

102-89-2164

MOTC-IOT-101-EDB004

# 交通運輸工程節能減碳規劃 設計手冊研究與編訂

著者：陳一昌、許書耕、胡智超、黃榮堯、蔡宗益、  
陳昭秀、蔡紀震

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊研究與編訂 /  
陳一昌等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研  
所，民 102. 04  
面；公分  
ISBN 978-986-03-6667-9(平裝)

1. 運輸能源 2. 能源節約

557

102007513

交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊研究與編訂

著 者：陳一昌、許書耕、胡智超、黃榮堯、蔡宗益、陳昭秀、蔡紀震  
出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 102 年 4 月

印 刷 者：連江印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 85 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：250 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010200782 ISBN：978-986-03-6667-9(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊研究與編訂			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-6667-9(平裝)	政府出版品統一編號 1010200782	運輸研究所出版品編號 102-89-2164	計畫編號 101-EDB004
本所主辦單位：運輸工程組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：許書耕、胡智超 聯絡電話：02-23496821 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：國立中央大學營建管理研究所 計畫主持人：黃榮堯 研究人員：蔡宗益、陳昭秀、蔡紀震 地址：32001 桃園縣中壢市中大路 300 號 聯絡電話：03-4227151#34036		研究期間 自 101 年 02 月 至 101 年 11 月
關鍵詞：工程碳排放量推估模式、通運輸工程節能減碳手冊			
<p>摘要：</p> <p>交通運輸工程建設攸關國家經濟與社會發展，然而以往工程的規劃設計較著重在技術品質與功能需求之滿足，較少探討工程建設本身因建材使用以及興建過程能資源耗用，所造成大量的溫室氣體排放。本研究針對交通運輸工程中的公路工程，提出簡易型與詳細型兩種碳排放評估模式，惟二者均未納入營運期間之車流排碳量。當公路工程詳細設計資料具備之情況下，詳細型模式可用來評估單一工程設計興建與維護所可能造成的碳排放量；簡易型模式則是針對單一工程未具詳細設計資訊情況下，用以評估單一工程之碳排量，分為橋梁、隧道及路工等三類基本碳排放項目，通常可用於不同選線方案的碳排評估。本研究並根據此兩種模式編擬“交通運輸工程節能減碳手冊”，以協助公路工程規劃設計人員評估其規劃設計工程之碳排大小，期能減少因工程建設所產生的碳排放量，以符合節能減碳的世界潮流趨勢。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 4 月	314	250	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，  <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS**  
**INSTITUTE OF TRANSPORTATION**  
**MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A study of compiling of Transportation Construction Carbon Emission Evaluation Handbook			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-886-03-6667-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200782	IOT SERIAL NUMBER 102-89-2164	PROJECT NUMBER 101-EDB004
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: Isaac I.C. Chen PRINCIPAL INVESTIGATOR: Isaac I.C. Chen PROJECT STAFF: Hu, Chih Chao PHONE: 02-23496821 FAX: DIVISION: 02-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2012 TO November 2012
RESEARCH AGENCY: Graduate Institute of Construction Engineering and Management, National Central Univ., Taiwan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Rong Yau Huang PROJECT STAFF: Tsung-Yi Tsai, Chao-Hsiu Chen, ADDRESS: No.300, Jhongda Rd., Jhongli City, Taoyuan County 32001, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 886-3-4227151#34036			
KEY WORDS: Carbon Emissions, Carbon Emission Evaluation Handbook			
ABSTRACT: <p>A country's economic and social development is affected by transportation construction projects. However, construction planning and design focused considerably on the technical quality and functional perspectives of a project in the past, and seldom investigated the immense greenhouse gases discharge induced by material use and resource consumption during construction. Focusing on highway constructions, which are included in transportation constructions, this research developed a simple estimation model, as well as a detailed estimation model, to evaluate carbon emissions. However, neither models included vehicle emissions during the operation period. When the detailed design data for highway constructions is available, the detail estimation model can be used to predict the carbon emissions for the design, construction, and maintenance of a single construction project. Conversely, when the detailed design data is not available, the simple estimation model can be employed for evaluations of three basic emission items, specifically, bridges, tunnels, and road work. It can typically be used to evaluate the carbon emissions of selecting alternative projects. Based on the two models, this study also compiles the "Handbook of Energy-conserving and Carbon-reducing Transportation Construction" that can be provided as a reference for the personnel who plan and design highway construction to calculate carbon emissions, further endeavoring to reduce carbon emissions generated by construction and to comply with the global trend of energy conservation and carbon reduction</p>			
DATE OF PUBLICATION  April 2013	NUMBER OF PAGES  314	PRICE  250	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED

# 目錄

目錄.....	III
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
第一章 緒論.....	1-1
1.1 緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究內容與工作項目.....	1-2
1.4 研究範圍與對象.....	1-2
1.5 研究方法與進行步驟.....	1-3
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 國際碳排放盤查方法.....	2-1
2.2 國內外永續公路工程發展與評估系統.....	2-4
2.2.1 國內外永續公路發展趨勢.....	2-4
2.2.2 國內外公路工程相關永續指標發展現況.....	2-10
第三章 公路工程節能減碳相關文獻與案例回顧.....	3-1
3.1 前期研究回顧.....	3-1
3.2 國內外公路工程節能減碳相關研究.....	3-3
3.2.1 國外公路工程節能減碳研究.....	3-3
3.2.2 國內公路工程節能減碳研究.....	3-12
3.3 國內外公路工程節能減碳案例與手法.....	3-15
3.3.1 國外公路工程節能減碳案例與手法.....	3-15
3.3.2 國內公路工程節能減碳案例與手法.....	3-20
第四章 公路工程規劃設計階段碳排放量推估模式.....	4-1
4.1 碳排放量評量模式規劃原則.....	4-1
4.1.1 評量模式建立流程.....	4-1
4.1.2 評量模式建立概念與原則.....	4-2

4.1.3 評量模式評估時機 .....	4-2
4.1.4 評量模式之計算範疇與計算方法 .....	4-3
4.2 專家意見與建議.....	4-4
4.3 碳排放量評量模式建立.....	4-6
4.3.1 簡易型碳排放評量模式 .....	4-6
4.3.2 詳細型碳排放評量模式 .....	4-10
4.4 小結.....	4-13
<b>第五章 案例碳排放評量與模式測試.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 案例評量之目的與方法.....	5-1
5.1.1 案例評量之目的 .....	5-1
5.1.2 案例評量方法與流程 .....	5-1
5.1.3 案例評量原則與限制 .....	5-2
5.2 案例蒐集.....	5-4
5.3 路工段案例計算.....	5-5
5.3.1 路工工程碳排放量計算 .....	5-6
5.3.2 路工段計算成果分析與探討 .....	5-6
5.3.3 路工工程主要碳排放工項彙整 .....	5-9
5.4 橋梁段案例計算.....	5-10
5.4.1 橋梁上部結構計算 .....	5-11
5.4.2 橋梁下部結構計算 .....	5-14
5.4.3 橋梁計算成果分析與探討 .....	5-16
5.4.4 橋梁工程主要碳排放工項彙整 .....	5-24
5.5 隧道段案例計算.....	5-28
5.5.1 隧道工程碳排放量計算 .....	5-28
5.5.2 隧道計算成果分析與探討 .....	5-29
5.5.3 隧道工程主要碳排放工項彙整 .....	5-31
5.6 模式測試.....	5-33
5.6.1 案例簡介-東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善 .....	5-33

5.6.2 規劃報告成果分析與探討 .....	5-38
5.7 小結 .....	5-39
<b>第六章 彙編交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊初稿</b> .....	6-1
6.1 手冊目的 .....	6-1
6.2 章節規劃 .....	6-2
6.3 專家審查意見 .....	6-2
<b>第七章 結論與建議</b> .....	7-1
7.1 結論 .....	7-1
7.2 後續建議 .....	7-3
<b>參考文獻</b> .....	參-1
附錄 1 期中報告意見回覆 .....	附 1-1
附錄 2 期末報告意見回覆 .....	附 2-1
附錄 3 工作會議紀錄 .....	附 3-1
附錄 3-1 工作會議紀錄（一） .....	附 3-1
附錄 3-2 工作會議紀錄（二） .....	附 3-2
附錄 3-3 工作會議紀錄（三） .....	附 3-3
附錄 3-4 工作會議紀錄（四） .....	附 3-4
附錄 3-5 工作會議紀錄（五） .....	附 3-5
附錄 4 專家訪談紀錄 .....	附 4-1
附錄 4-1 訪談紀錄（一） .....	附 4-1
附錄 4-2 訪談紀錄（二） .....	附 4-2
附錄 4-3 訪談紀錄（三） .....	附 4-4
附錄 4-4 訪談紀錄（四） .....	附 4-5
附錄 4-5 訪談記錄（五） .....	附 4-7
附錄 5 工程主要碳排放工項計算 .....	附 5-1
附錄 5-1 路工段碳排放源主要工項 .....	附 5-1
附錄 5-2 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋上部結構計算項目 .....	附 5-2
附錄 5-3 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋下部結構計算項目 .....	附 5-3

附錄 5-4 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋上部結構計算項目 .....	附 5-4
附錄 5-5 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋下部結構計算項目 .....	附 5-6
附錄 5-6 隧道段碳排放源主要工項(一).....	附 5-9
附錄 5-7 隧道段碳排放源主要工項(二).....	附 5-10
附錄 6 交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊初稿.....	附 6-1
附錄 7 期末簡報.....	附 7-1

## 圖目錄

圖 1.1 本年度研究流程圖.....	1-4
圖 2.1 工程溫室氣體盤查邊界.....	2-2
圖 2.2 台灣碳足跡標籤.....	2-4
圖 2.3 Greenroads 認證標章 .....	2-11
圖 3.1 碳排推估模式範疇示意圖.....	3-1
圖 3.2 Mickleham Road 之材料排碳量比例 .....	3-4
圖 3.3 公路不同鋪面形式建造、維護及營運過程之排碳量.....	3-5
圖 3.4 日本公路與建築工程環境衝擊評估架構圖.....	3-6
圖 3.5 高速公路公路拓寬 50 年排碳增量趨勢圖.....	3-10
圖 3.6 法國公路環境評估模式範疇界定.....	3-11
圖 3.7 法國 A-71 公路排碳量評估結果 .....	3-11
圖 4.1 本研究碳排放模式之評估時機.....	4-3
圖 4.2 簡易型碳排放評估範疇.....	4-7
圖 4.3 公路工程詳細型碳排放計算工項.....	4-11
圖 5.1 計算流程圖.....	5-1
圖 5.2 案例計算項目示意圖.....	5-2
圖 5.3 碳排放量(機具設備能耗部分)計算流程.....	5-3
圖 5.4 碳排放量(工程材料部分)計算流程.....	5-4
圖 5.5 路工工程分類圖.....	5-9
圖 5.6 混凝土橋與鋼橋單位面積碳排放量分佈圖.....	5-17
圖 5.7 混凝土橋-預鑄 I 型梁單位面積碳排放量分佈圖 .....	5-17
圖 5.8 橋梁工法單位面積碳排分佈圖.....	5-18
圖 5.9 單跨與多跨鋼橋單位面積碳排分佈圖.....	5-20
圖 5.10 跨河橋與非跨河橋單位面積碳排分佈圖.....	5-21
圖 5.11 跨河橋依橋墩高度排列分佈圖 .....	5-22
圖 5.12 橋墩基礎碳排放趨勢圖.....	5-23

圖 5.13 橋梁結構工程分類圖.....	5-24
圖 5.14 隧道結構工程分類圖.....	5-30
圖 5.15 東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善計畫範圍圖.....	5-33
圖 5.16 各方案選擇之碳排放量總和比較.....	5-38
圖 6.1 交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊建立流程.....	6-2

## 表目錄

表 2.1 GREENROADS 評估系統項目 .....	2-11
表 2.2 國內系統具節能減碳之項目 .....	2-13
表 3.1 台九線蘇花改施工階段碳排放量估算 .....	3-2
表 3.2 台九線蘇花改全線碳排放量推估結果 .....	3-3
表 3.3 各替代方案之概述 .....	3-7
表 3.4 CRC 專案五方案排碳量評估結果 .....	3-9
表 3.5 高速公路公路拓寬排碳增量評估結果 .....	3-10
表 4.1 專家建議之設計階段可評估項目 .....	4-6
表 4.2 專家建議之工程評估與分類條件 .....	4-6
表 4.3 簡易型評估單位與考量因子 .....	4-8
表 4.4 台灣各種植栽單位面積二氧化碳固定量 .....	4-10
表 5.1 蒐集之工程案例 .....	5-5
表 5.2 路工工程計算案例資料 .....	5-5
表 5.3 路工工程計算結果 .....	5-6
表 5.4 路工工程剔除路堤填築單位碳排放量 .....	5-7
表 5.5 蘇花改 B4 標鋪面工程數量計算表 .....	5-8
表 5.6 蘇花改 B4 標柔性、剛性路面分配表 .....	5-8
表 5.7 排除剛性路面之單位面積碳排放 .....	5-8
表 5.8 路堤填築單位體積碳排放量 .....	5-9
表 5.9 路工工程主要碳排放工項 .....	5-10
表 5.10 各案例橋梁工程內容 .....	5-11
表 5.11 預鑄 I 型梁吊裝工法碳排放計算結果 .....	5-12
表 5.12 預鑄節塊工法碳排放計算結果 .....	5-12
表 5.13 場鑄懸臂工法碳排放計算結果 .....	5-13
表 5.14 場鑄逐跨工法碳排放計算結果 .....	5-13
表 5.15 鋼橋碳排放計算結果 .....	5-14

表 5.16 跨河橋碳排放計算結果 .....	5-15
表 5.17 非跨河橋依橋墩碳排放計算結果 .....	5-15
表 5.18 非跨河橋樁基礎碳排放計算結果 .....	5-16
表 5.19 非跨河橋直接基礎碳排放計算結果 .....	5-16
表 5.20 場鑄懸臂工法以平均跨距分類 .....	5-19
表 5.21 場鑄逐跨工法平均單位面積碳排 .....	5-19
表 5.22 鋼橋單跨與多跨之碳排放量計算結果 .....	5-20
表 5.23 單跨跨河橋之碳排放計算結果 .....	5-21
表 5.24 多跨跨河橋之碳排放計算結果 .....	5-22
表 5.25 非跨河橋多跨碳排放計算結果 .....	5-23
表 5.26 混凝土橋上部結構碳排放主要工項 .....	5-25
表 5.27 混凝土橋下部結構碳排放主要工項 .....	5-26
表 5.28 鋼橋碳排放主要工項 .....	5-27
表 5.29 隧道工程計算案例資料 .....	5-28
表 5.30 隧道工程計算結果 .....	5-28
表 5.31 地質分布與案例計算結果 .....	5-29
表 5.32 II 類地質當量體積與碳排放總量 .....	5-30
表 5.33 地質對應單位體積碳排放量 .....	5-30
表 5.34 隧道工程主要碳排放分項工程 .....	5-31
表 5.35 隧道工程碳排放主要工項 .....	5-32
表 5.36 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段一方案相關內容 .....	5-34
表 5.37 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段二方案相關內容 .....	5-34
表 5.38 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段三方案相關內容 .....	5-34
表 5.39 路段一各方案總碳排放量計算結果 .....	5-36
表 5.40 路段二各方案總碳排放量計算結果 .....	5-37
表 5.41 路段三各方案總碳排放量計算結果 .....	5-37

# 第一章 緒論

## 1.1 緣起

自 1987 年，聯合國世界環境與發展委員會(World Commission on Environment and Development, WCED)於發表「布朗特蘭報告」(The Brundtland Report)中提出了「永續發展」(Sustainable Development)的理念與定義以來，世界各國莫不以「永續發展」為目標與願景來研擬國家的總體發展政策。公共建設在各國的社會、經濟與文化發展上扮演重要角色，除可改善其國民的生活環境，健全本身的經濟成長，更能促進社會的發展與轉變。然而，公共建設從可行性研究、規劃、設計、施工及營運的各項過程，乃至於後續的維護與拆除，卻也同樣深深的影響一個國家的國土發展方向、土地利用的合理性及社會的生活型態的變化，更何況，任何一項重大的公共建設耗時數年甚至十餘年的興建期，再加上使用期更有長達數十年以上，任何不當的作為，不論是對土地、生活空間與行為都將難以恢復原狀。

近年來，由於全球暖化問題，加速各地之氣候變遷、異常，全世界各地均面臨更頻繁與嚴峻之災害考驗，這些巨大災害往往造成為數可觀之生命與財產損失，也導致後續復建困難重重，其中面臨第一線嚴格檢驗的便是平常人民賴以維生之基礎建設。隨著國家發展與經濟需求，公路工程動輒綿延數十公里或更甚之，其所耗費資源及產生二氧化碳遠比建築工程大上許多，但在目前交通運輸工程之審議流程，並未包括「節能減碳」評估機制或可提供參考之建議與作為，致所規劃興建的規模及型式常以經濟發展為優先考量，而在資源再生利用或維護管理方面則較為不重視，而產生超量規劃或資源浪費之現象。因此，行政院公共工程委員會於「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」提及，其執行目標明確揭示希望能打造具節能減碳效果之公共工程，落實環境保護；同時協助國內綠色產業發展，增進國內綠色能源產業競爭力。各項公共建設之設計均應採用符合環保、節能減碳概念之綠色工法、綠色材料、綠色設計，並應融入節能減碳觀念及再生能源之設置。本計畫研究首要目的係尋求國內規劃設計作業流程上的共識，並汲取相關國內外案例，使所有實際推動與參與規劃設計之實務者，皆有一套標準操作機制而能有所遵循。

## 1.2 研究目的

根據經濟部能源局的統計資料顯示，在台灣的能源使用結構中，運輸部門佔了13.2%，比例居國內各產業之第二位。但國內早期並未將二氧化碳視為污染源，也未針對二氧化碳的排放量進行管制，然而以往工程的規劃設計較著重在技術品質與功能需求之滿足，較少探討工程建設本身因建材使用以及興建過程能資源耗用，所造成大量的溫室氣體排放。因此，本研究首要目的係尋求國內規劃設計作業流程上的共識，並汲取相關國內外案例作為，嘗試針對交通運輸工程規劃設計提出合適之節能減碳評估方法，並彙整成一兼具操作性與代表性之評估手冊，使所有實際推動與參與規劃設計之實務者，皆有一套標準操作機制而能有所遵循。

## 1.3 研究內容與工作項目

本研究主要工作內容與工作項目說明如下：

1. 彙集國內外工程上節能減碳規劃設計之相關研究，提供手冊之編擬參考。
2. 蒐集國內外相關節能減碳規劃設計案例，以比對方式提出明確之修正建議，以期提供簡單明瞭之規劃設計參考。
3. 針對現有各工程單位節能減碳規劃設計作業步驟及相關窒礙情形進行訪談或會議研討，並彙整訪談或會議研討內容，作為作業手冊研擬方向之參考。
4. 手冊研擬過程，需藉由訪談相關之工程單位，汲取現有工程建造之實務經驗，以獲得目前工程單位進行規劃、設計之各階段作業環節，了解現有課題及需求，將訪談內容納入手冊編擬之架構及內容中，以求落實手冊內容之實用性，並反應使用者之實際需求。
5. 彙整工程上節能減碳設計所可能使用之工法及材料，並制定相關施工說明及檢驗步驟及方法。
6. 以使用者（工程單位）觀點，研擬交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊（須包含國內外相關案例手法及照片），供各單位辦理參考。

## 1.4 研究範圍與對象

本年度工作內容，包含蒐集國內外相關交通運輸工程案例與研究、研提節能減碳規劃設計之建議、彙整工程上節能減碳設計所可能使用之工法及材料等，並訪談各工程單位與依據規劃、設計之各階段重要課題，編擬一具可操作性之作業參考手冊。整體工作範疇若以交通運輸工程為主體，內容將過於繁雜，因此本年度之研究範疇，在兼顧研究

期程與工作項目之品質後，將研究範圍鎖定於公路工程，並針對其工程量體與施工活動，建立其適用之碳排放評估模式，以確保工作內容精實且完善。

## 1.5 研究方法及進行步驟

本年度研究主要以蒐集文獻，並針對各工程單位規劃設計作業步驟進行座談討論，探討實際導入節能減碳作為之窒礙與方案。本研究之執行，遂透過國際間相關研究論文與實際案例之作為做為參考，配合工程單位之需求與建議進行萃取與導入，進而規劃一具可操作性與通用性之交通運輸工程節能減碳作業手冊。本年度研究流程如圖 1.1 所示，而主要研究對象初步以公路工程為主。

### 1. 研究範圍確立

由於交通運輸工程涵蓋範圍廣泛，故初步階段以公路工程為評估標的。

### 2. 彙整國內外碳排放計算方法與相關評估系統研究

為了釐清節能減碳之計算方法，本研究將針對國內外溫室氣體管理規範、先進國家碳排放評估作業現況、既有公路評估系統等進行回顧，輔助本研究研析與釐清國內外公路工程案例作為、工法、材料等是否具節能減碳之功效，以利後續納入手冊與提供規劃建議之參考。

### 3. 蒐集國內外交通運輸工程節能減碳相關研究與實際案例

為使後續研究得以順利進行，本研究將蒐集國內外相關研究，回顧重點將以「公路設計中影響碳排放量之因子」、「公路設計減碳/固碳相關作為與手法」、「實際案例作為」為主要蒐集範圍，並參考各國研究之優點與缺點，作為後手冊擬定參考。

### 4. 彙整工程節能減碳設計可能使用之工法及材料

原定：以符合綠色內涵需求，或具節能減碳功效之工法與材料進行蒐集，並考量各工法與材料可使用之範疇、限制等進行彙整。所彙整之工程節能減碳設計可能使用之工法與材料，將做為國內相關工程人員進行規劃設計時，考量專案限制與區域特性後，實際使用之參考與依據。

工作會議決議：針對工程可行性階段與規劃設計階段發展一套標準之工程碳排放評量系統，以做為國內相關工程人員進行規劃設計與方案評選時，計算碳排放量之參考與依據。

### 5. 專家訪談與座談

邀集相關工程單位即相關專家座談探討，汲取現有工程建造之實務經驗，以獲得目

前工程單位進行規劃、設計之各階段作業環節，了解現有課題及需求，將訪談內容納入手冊編擬之架構及內容中，以求落實手冊內容之實用性，並反應使用者之實際需求。

## 6. 交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊

編訂「交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊」，提供未來各工程單位執行節能減碳規劃設計之標準作業程序，以及作業內容之檢核參考。內容將彙整國內外碳排放計算方法、各國公路工程節能減碳手法與研究、座談會之意見等，並納入過去道公路工程常見之工法與材料，針對其施工說明及檢驗步驟等進行說明。

## 7. 成果報告撰寫

依審查意見修正研究結果並撰寫成果報告。

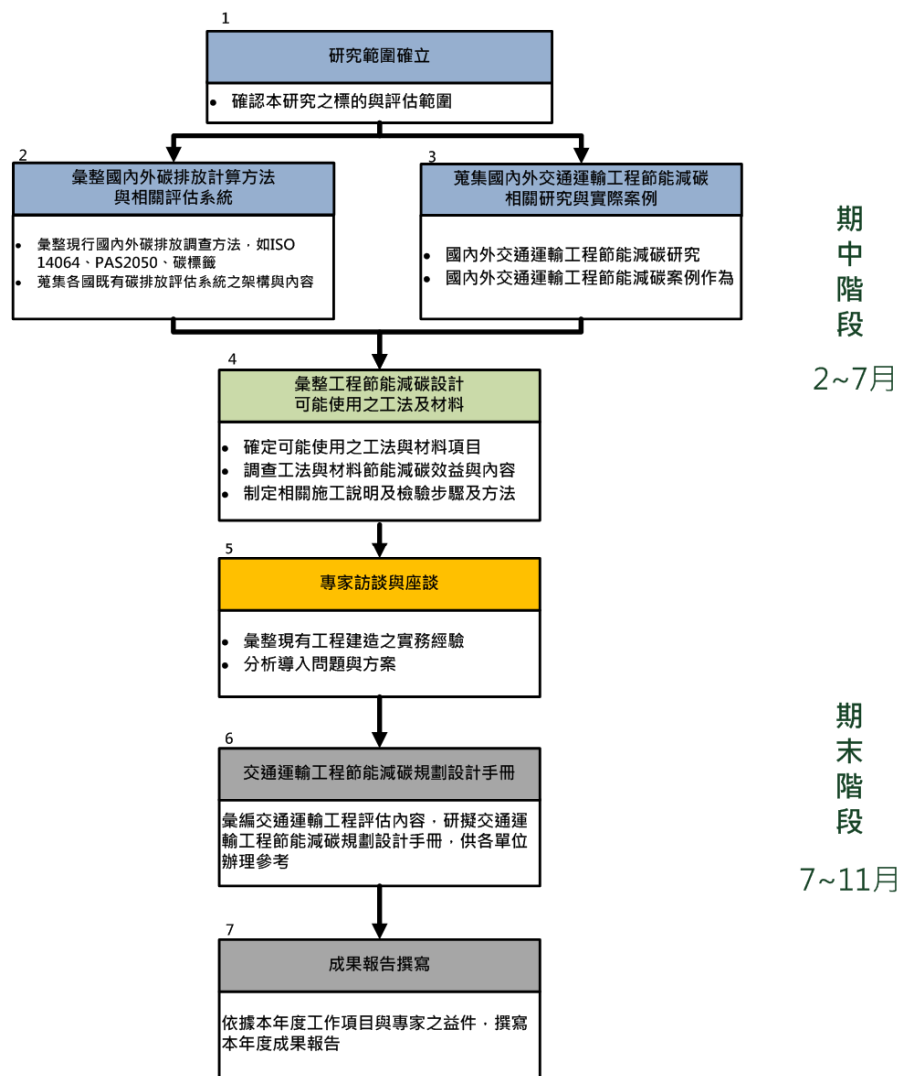


圖 1.1 本年度研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本研究將廣泛蒐集公路工程相關節能減碳文獻與實際案例內容，作為後續手冊編定之基礎。透過完善之分析與比較，希冀做為後續工程規劃設計之參考與範本。以下就目前蒐集之文獻進行說明：

### 2.1 國際碳排放盤查方法

#### 一、ISO 14064 溫室氣體盤查標準

ISO 14064 溫室氣體盤查標準為國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)，屬於 ISO 14000 國際環境管理系統系列標準之一。ISO14064 於 2006 年提出，宗旨在於提供組織或計劃階層進行溫室氣體排放與移除的計算、監督及報告之原則而推出之該標準。該標準共分三個層級：

##### 1. ISO14064-1

為組織層級溫室氣體盤查標準，提供一組織盤查之計算架構。以下至上(bottom-up)的方式計算排放量或減量結果。以相關性、完整性、一致性、準確性及透明度等五個原則來確保採用的資料避免選擇性影響計算結果。

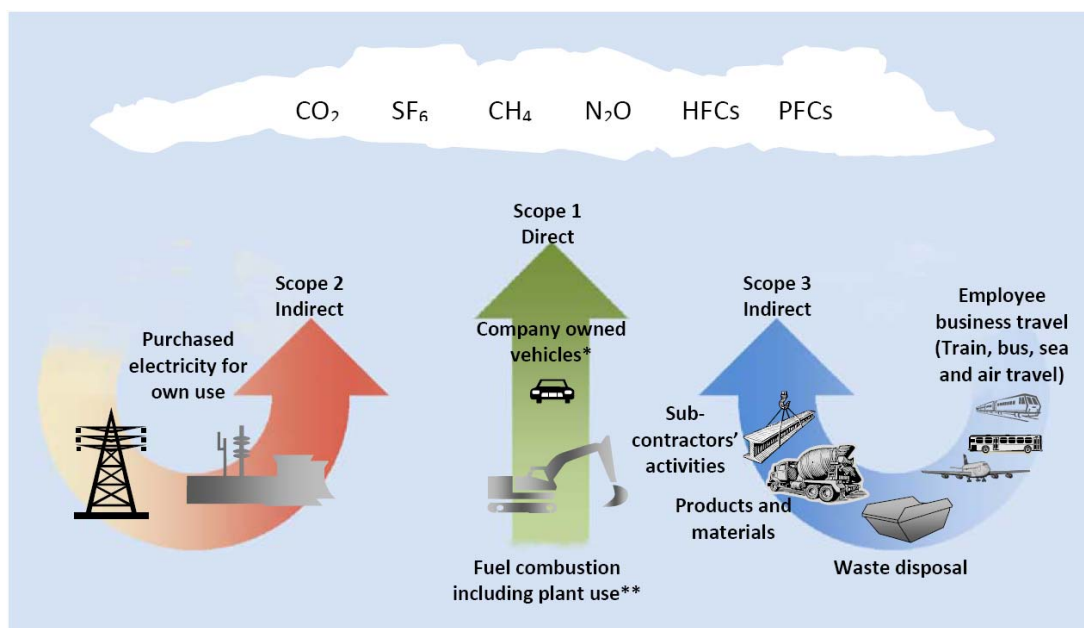
##### 2. ISO14064-2

計畫層級溫室氣體盤查標準，由下到上計算個別來源的溫室氣體排放量。此標準比起 ISO14064-1 有更嚴謹的範疇界定，對於計畫的邊界、基準、計算公式等有詳細的原則說明。

##### 3. ISO14064-3

此部分為溫室氣體之資料主張查證或之要求與指南。

而英國營造公會(Civil Engineering Contractors Association, CECA)所建議工程碳排放量盤查方法便是參考 ISO 14064-1 的盤查方式，定義工程施工時排放的三個類別範疇。範疇 1 為公司自有資源的直接排放，包含了自發電力、搭乘公司自有交通工具之商務交通、公司自有之瓦斯或燃料使用等；範疇 2 為由外部購買之電力或能源的間接排放；範疇 3 則為其他間接排放，如材料運輸、商務移動、下包商的範疇 1、2 造成的排放等。在公路生命週期碳排放的盤查上，可以參考此方式建立盤查邊界。



資料來源：Carbon in Construction Version 3(CECA, 2011)

圖 2.1 工程溫室氣體盤查邊界

## 二、PAS2050 產品與服務碳足跡評估

PAS2050 為英國標準協會(British Standards Institution, BSI)、碳信託(Carbon Trust)及食品與農村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra)所聯合出版的碳足跡評估標準方法，目前為各國碳足跡盤查方式的計算基準。此規範的制定目的在於可以測量各種產品生命週期的溫室氣體排放量，以便達成下列目標：

1. 減少各種溫室氣體排放
2. 找出減少成本的方式
3. 將對碳排放的影響納入製程之決策
4. 顯示企業與環境責任之關聯
5. 滿足客戶對產品碳足跡資訊的需求
6. 區分出"綠色"消費者之需求

本標準是以產品生命週期的碳足跡來計算產品之生命週期碳排放量。計算範疇有搖籃到墳墓及搖籃到大門兩種，以活動強度與排放係數來計算。盤查流程如下：

### 1. 盤查開始階段

設定目標、選擇產品、確認參與之供應商

### 2. 產品碳足跡計算

步驟 1 流程圖繪製

步驟 2 計算邊界及順序確定

步驟 3 數據蒐集

步驟 4 碳足跡計算

步驟 5 不確定性檢查(自選項目)

### 3. 後續步驟

盤查結果

減碳手法

通報並公布碳排放量

由碳排放量盤查的相關標準可看出，碳排放量的計算邊界的釐清、數據來源的正確性、計算方式的一致性相當重要，避免計算過程使用方法不同而造成差異或為達到減碳目的故意忽略某些排放來源的情形。而國內為配合國際發展碳足跡標準與指引，我國環保署於 100 年 5 月公告「產品與服務碳足跡查證技術指引」為加強產業界推動產品與服務碳足跡盤查。環保署亦於 99 年初公告目前國內計算碳足跡方式以依循 PAS2050 為準則，未來將根據正式公布之 ISO14067 內容進行修訂。

### 三、碳標籤

碳足跡標籤(Carbon Footprint Label)，又稱碳標籤(Carbon Label)或碳排放標籤(Carbon Emission Label)，其功能為紀錄生命週期各階段所產生的溫室氣體，經過換算成二氧化碳當量的總和。全球最早推出的碳標籤為英國於 2006 年所推出之碳減量標籤(Carbon Reduction Label)。透過碳標籤制度的施行，能使產品各階段的碳排放來源透明化，促使企業調整其產品碳排放量較大的製程，也能促使消費者正確地使用產品，以達到減低產品碳排放量的最大效益。

近年來許多國家進行碳足跡探討，呼籲已開發的消費型大國，應以『永續消費』作為減碳規劃之核心。如英國雖於 1992 年至 2004 年間，境內的溫室氣體排放量下降了 5%，但實際上，若將其因消費所導致的間接溫室氣體排放量納入時，則其碳足跡反而是上升了 18%。

目前包括英國、美國、加拿大、日本、韓國、泰國、澳洲等國家正積極地展開碳足跡相關政策與工作的建置，而我國也於 2009 年開始研議台灣碳標籤的機制，希望未來在相關商品上，廠商可於標籤標示產品從原料、製造、運輸、使用到廢棄等步驟所製造的碳排放量，由供應鏈中找出減量的機會，強化低碳產品的市場競爭力，落實綠色消費。

我國環保署將產品碳標籤制度規劃分為二階段推動：第一階段為推動產品碳標籤、

協助消費者瞭解產品碳排放及尋找低碳替代品。目前世界各國發展產品碳標籤制度相關配套措施尚無國際統一規範，且碳標籤制度推動初期取得碳標籤證書之產品較少，因此，第一階段以鼓勵廠商分析產品碳足跡，並以產品碳足跡揭露為目標。第二階段以發展低碳標章，提供消費者選購低碳產品為目標。待國際間產品碳足跡計算與標示制度發展出統一規範，且國內同類產品已普遍揭露碳足跡後，將低於或承諾減量至特定碳排放量產品納入政府機關優先採購範圍，形成綠色供應鏈與達到實質溫室氣體減量之成效。



資料來源：環保署台灣產品碳足跡資訊網(2011)

圖 2.2 台灣碳足跡標籤

## 2.2 國內外永續公路工程發展與評估系統

永續公路或公路工程節能減碳之相關發展與應用，在歐、美、日等先進國家已歷經數十年研究，對於本研究欲參考節能減碳之手法於公路工程中，已有若干成果及延就可供借鏡，因此，本節文獻主要針對國內外公路之節能減碳及永續發展之趨勢，並回顧本國公路發展現況，綜整說明如後。

### 2.2.1 國內外永續公路發展趨勢

#### 一、日本的永續公路發展經驗

鄰近的日本，無論在地緣環境、文化背景及政經制度上均與台灣有相當程度的關連，且日本對國土的開發及公共建設的推動，在制度及法規上均有完整之機制，其現代化的過程與發展經驗，值得台灣學習與參考。以下僅就日本推動公路建設與環境共生政策，目標的背景及永續公路的手法作說明。

日本在國土綜合開發的架構下，長期穩定的持續推動公路的建設，並依「公路整備計劃」以五年一期定期檢討，自 1954 年起已經完成十一期的推動計劃，迄 2002 年

止，預估將完成全國 8626 公里的高速公路，平均每年約有 250 公里的高速公路完工通車；計劃推動的初期，由於公路建設的迫切，相關環境保護及評估的準則未臻健全，致造成環境的許多衝擊，加上 1969 年起發生在日本全國各地的公害事件；更引發環保團體對公路建設主管機關的質疑。

1971 年設立的环境廳，在次年發表之第四回環境白皮書中，更提出以環境政策新座標為口號的許多相關環境保護法案，如：「都市綠地保全法」、「國土利用計畫法」等；故日本公路公團自 1973 年起開始委託學術機構，探討公路建設對周邊植生的影響；1979 年日本第一條所謂的生態公路（Eco-road），春日山周遊公路再度被奉為主旨，其後的高速公路建設，在環境保護的潮流及日趨嚴謹的法規下推動，累積了許多公路建設與環境共生的經驗；1994 年隸屬於建設省的公路環境研究所，更設立公路檢討委員會，推動公路建設與環境共生技術的相關研究；惟與歐陸推動初期的情況類似，個案的操作多僅局部的環境保護與棲地的維持，對於較大尺度的景觀生態聯繫與維持，在現行法規的規範下仍較無法關照；惟 2000 年聯合國生物多樣性條約締約後，日本政府已將自然棲地的減少、阻隔、棲地環境品質降低的防止等課題，列入環境基本計劃中，作為 2001 年的施政目標（日本環境省，2001），相關的公路補償法規，業已蒐集世界各國經驗積極推動中。

另為配合各項公共建設環境影響評估，量化資料之需求，日本環境廳每五年會提出全國之國勢調查；提出完整之環境監測觀察報告（日本環境法令研究會，2000）；如標的物種演替過程的監測、全國潛在植被圖等；這些調查成果，均是公路建設路廊研選之重要參考；日本公路公團在 1997 年對於永續公路的目標提出了推動之原則，其中在規劃設計階段，永續公路至少必須做到以下要求：

1. 景觀空間解析：基礎資料調查
2. 路廊初擬（配合環境資料庫）
3. 替選方案環境影響評估
4. 最適路線選定
5. 保全對策檢討（迴避、減輕、補償替代）

日本公路建設與環境共生之理念自 1973 年開始委託研究計劃，至 1997 年正式推動永續公路以來，累積了許多案例的經驗，其對環境保育的對策包括：棲地的復育與再生、棲地的創造、棲地條件的提昇、棲地碎裂的連結、目標物種的繁殖或移植及其他對策等六大類，其手法因應基地條件、施工要求、目標物種及環境特色而有不同，

惟經施工前後之監測資料顯示，其成效均已達成預期之目標。

## 二、美國的永續公路發展經驗

1962 年美國「寂靜的春天」一書出版後，喚起了全美的環境保育熱潮，由於該書的出版使得美國許多的環境保育組織，如 Audubon(奧杜邦)協會不斷的倡言，提醒人們建立野生動物庇護所及確立環境保護的相關法案；同年環境保育學家 H.T.Odum 更提出「永續工程」的相關理念；致使許多未審慎考量環境保護的公共建設計劃遭到質疑，其中更以貫穿落磯山脈的 I-70 州際公路備受矚目，使得公共建設計劃如何與環境共生共存，成為美國主管機關推動計劃的主要課題。

美國永續公路發展始於西元 1957 年之公路案例，當時美國聯邦政府核定，將 I-70 州際公路由科羅拉多州的丹佛，向西延伸至猶他州段的工程計劃，由於該段公路需貫穿落磯山脈，計劃之初即因環保議題遭到民間的反對，並緊接於 1969 年通過國家環境保護法(NEPA)，而於 1970 年初規劃單位審慎評估後，提出紅水牛線 (Red buffalo route) 及穿越威爾啞口 (Vail pass) 兩線路廊，公佈之後因為紅水牛線經過白頭鷹之棲地，而遭美國農業部否決，最後只得採行第二方案威爾啞口線，但仍面臨許多施工過程與環境衝擊的議題，該段公路在施工期間，曾針對環境保護相關議題耗資千萬美元，進行 23 項研究計劃的長期觀測；以研訂棲地保育及河流改道的相關準則。歷經二十多年的努力，於 1992 年完工。該公路針對生態敏感區，及配合自然景觀之設計理念與施工技術，因施工過程強調環境與生態保育；並維護既有自然景觀，榮獲美國 1993 年土木工程成就獎，由於本工程現階段已成為美國當今公路工程之典範，其亦供後續取得之相關工程經驗及技術之依據。以下就本工程之環境保護對策簡要說明如下：

1. 環境性考量
2. 規劃、設計與施工同步
3. 施工課題與因應對策
4. 邊坡處理
5. 服務區的選擇
6. 生態性考量
7. 棲地再造
8. 生態廊道
9. 河道整治

10. 植物的保護措施
11. 資源性考量
12. 表土及原生草花的利用
13. 就地取材
14. 水土保持

### 三、德國的永續公路發展經驗

德國在 1935 年完成了第一條高速公路（從法蘭克福至達姆城），迄 1997 年底德國高速公路的總長已達 11264 公里，預計 2010 年全德高速公路路網將達到 13200 公里，平均每年約有 180 公里的高速公路完工通車；在歐陸部分德國是最早提出「永續公路」相關概念的國家；早在 1938 年德國的 Seifert，便首先提出近自然河溪整治的觀念，其後歐陸各國如德國、瑞士、荷蘭等除個案的治標提出生態工法應用於公路工程的理念外，更積極的期望從更宏觀的景觀尺度來解讀自然的脈絡；進而推動維持自然界一個生態網絡完整的目標，其中德國的巴伐利亞省在 1993 年 6 月通過了「公路生態補償原則」之相關法案。使得公路建設對生態環境之衝擊，能透過該制度的推動得以補償。以下就德國推動公路環境保護對策所建立之生態補償原則法案內容提出說明。

原則一：對生態環境直接的破壞

原則二：面積縮小造成環境價值的喪失

原則三：集約利用的農地、林地之公路鋪設

原則四：因施工期間所造成的暫時影響

原則五：對公路附近生態環境的間接不良影響

原則六：以車道邊緣為起點的補償、替代用地的寬度

原則七：對於特殊的棲地環境所造成的不良影響

原則八：補償、替代措施的審查

原則九：對其他自然資源所造成的不良影響

### 四、荷蘭的永續公路發展經驗

荷蘭政府與德國同步在 1993 年 6 月通過了「公路生態補償原則」之相關法案；該原則係提昇自然保育的利益，在大型開發案決策模式中的能見度，並以該管制手段的操作來減輕或抵銷大型建設計劃對環境所造成的衝擊，並以對環境友善最適方案的選擇（most environment friendly alternative MEFA）為優先考量。在 80 年代及 90 年代

初期，許多荷蘭的政策，係建立在建設計劃的自然保育及管理上，直到國家第二運輸路網計劃制定時，才議定了以下之發展目標：「長期的目標在於降低棲地的碎裂程度，短程的目標在於預防上述情形的發生」，該目標係透過隔離或補償的機制來達成，例如：開發建設時需考量降低，或替代對生態系的損害等。直到 1993 年，在荷蘭國家路網計劃的文件中，對農地生態補償手法的運用仍屬於非強制性的法規，但仍持續推動一套生態補償原則的國家法案，惟該法案仍建立在規設單位對環境議題的「自我要求」，而非空間規劃相關法案的必要條件，故缺乏強制的要求；僅能在公有土地上高呼自然保育的利益，應高於農地的經濟效益；對於私有土地似乎仍束手無策。事實上，生態補償手段的推動，並非根植於國家級的法規，但目前為止像這樣的生態補償手法，業已透過一些非管理性的策略來推動，例如利益影響雙方的協議管道。荷蘭的生態補償原則，主要運用於以下幾種受到生態衝擊的區域：（1）荷蘭國家生態網路的核心區域 26 （2）國家生態網路的自然發展區（3）區域計劃或分區發展計劃中，受到自然保育法案保護的區域（4）國家物種保護計劃用途之棲地保育用地（5）受林業法案規範之林地，及植栽具有生態價值之區域等。

除了以上五種類型區域外，荷蘭的國家空間結構計劃亦針對農業區域頒布了以下之準則，以適用生態補償之原則：（1）規劃設計單位必須負責生態補償原則的推動（2）開發的合法性必須建立在生態補償原則的定位（3）必須盡可能避免生態衝擊的發生，在評估過所有的減輕對策的評估後，最後才能訴諸於補償原則的使用（4）補償的對策必須包含區域品質及生態網絡的完整（5）對棲地生態衝擊的補償，必須提供相同或對等的品質。（6）如果實質的補償不可行，相對的財務補償必須配對實施。

荷蘭政府的路網法案，係國家整體公共建設的一部份；相關法案內容規定，路網計劃在提出時必須提出一萬五千分之一以上之的地圖，並標示完整的計劃範圍及相關的工程資訊，及預期可能的環境衝擊；供大眾參閱並應附上相關的審議意見。在環境衝擊評估報告中，必須提出對交通、整體空間、經濟面及環境的衝擊及因應衝擊的對策，相關對策並應提出兩個以上的替選方案。路網的計劃及替選方案，都必須符合環境保護的相關法案，且具備對環境友善最適方案的精神。目前，環境衝擊評估報告已高度重視避免危害自然的觀點，公路建設也伴隨著相關緩和傷害的辦法來保護大自然。

生態補償原則自 1993 年導入荷蘭之後，其針對重大公共建設的環境衝擊管制，及補償策略係依據以下三個原則，包括：迴避、減緩及補償；經過立法及相關的宣導

之後；政府及民間的工程建設，已能將對環境衝擊減低的成本，納入整體開發預算中來考量，在確立環境保護的願景之後，透過立法的程序，荷蘭政府十年來亦不斷的累積經驗，其在生態補償策略之相關經驗，值得台灣學習與思考。

## 五、瑞典的永續公路發展經驗

瑞典的韋克舍堪稱是全球最「綠」的城市，可以預見其在公路建設應也不容小覷。瑞典在 1990 年開始，由於興建高速公路與水力發電廠，乃開始重視環境保護與景觀維護，配合聯合國 21 世紀憲章(Agenda 21)所制訂的國家政策與方針，加上交通部門對於環境的重視日益上升，也刺激了公路規劃設計者對於環境的考量。1994 年，瑞典國家公路管理部門(SNRA)開始了一個以改善現有對於環境影響的規劃方法，整合公路規劃與生態發展的計畫，希望能以公路規劃與建設過程中，加入更多對於環境的考量與保育。

瑞典政府指出公路對於環境的影響主要在於車輛所排放的廢氣汙染，以及將區域加以切割成幾個小塊，造成棲地破碎等情形。根據瑞典部份學者 Van der Zande et al. 提出於公路規劃設計時，所應著重考量的環境影響如下說明，可區分為六大類，目前瑞典仍針對相關議題進行研究與討論，期望能發展出更好的方法讓整體環境受到更多的保護。

1. 生態棲地改變
2. 棲地損失
3. 公路阻隔效應
4. 廊道效應
5. 對自然的干擾
6. 動物的傷亡

## 六、台灣的永續公路發展經驗

台灣地區於西元 1994 年立法通過「環境影響評估法」，規定相當規模之開發行為，需事前進行環境影響評估作業，經審核通過後使得動工。此外，為推動公共工程建設配合國家永續發展之政策方針，行政院在民國 90 年之「2008 年國家重點發展計畫」政策要求，凝聚共識推出以環境、安全、技術及品質提升為內涵的第三波高速公路建設概念，為落實目標的推動積極拜會生態領域之學術單位與民間團體，期待建立整合平台與跨專業對話機制，現地環境議題則檢討環評生態調查方法及頻率，檢討生態調查結果與工程應用之間落差的原因，配合工程生命週期的作業進程，以逐層深入、明

確定義課題、提出可行對策、引進研究資源、整合發包文件及持續成效追蹤等手段，來落實環境保育的議題。

為釐清公路建設與環境之議題，同時配合工程會生態工法政策的要求，主要負責台灣地區公路建設單位之國工局持續投入研究經費，先後完成「高速公路建設應用生態工法設計準則及範例之研究」、「高速公路照明對沿線農作物之影響」、「高速公路照明對沿線生態之影響」等研究；其中設計準則及範例之研究乙案，針對國道建設各生命週期可能衍生的環境議題，蒐集國內外相關技術案例、制度與做法後；歸納建立相關設計準則，並以檢索表方式提供工程司檢核；相關成果並納入設計合約中操作與回饋修正；該研究成果建立國工局後續環境保護對策之基本架構及規範依據。

## 2.2.2 國內外公路工程相關永續指標發展現況

### 一、Greenroads 評估系統

Greenroads 是一個對於公路設計及施工以等級制評估其永續發展的公路工程永續指標。此評估標準適用於新建公路與重建公路及修復公路。Greenroads 是由華盛頓大學與 CH2M HILL 共同開發，是一個針對公路設計及施工之永續發展評估指標。該系統以分項得分的方式建議不同的永續發展選擇或工法，用以評估公路項目之永續性。而該指標雖已發展多年，雖成為眾多國家參考與發展之樣板，但美國本土仍僅有部分州使用，。Greenroads 有以下特色：

以全方位的角度考慮公路永續性。

1. 以界定和量化的手段來評估永續發展公路工程。
2. 評估工具為決策者，機關，顧問公司及承包商，決定其設計與施工的永續性。

Greenroads 永續公路評估指標蒐集了各項永續公路設計及施工的最佳作法。每一個永續性設計手法與其評估方法 Greenroads 都有詳細的描述，根據這些內容來評估公路專案的永續性。在 Greenroads 當中有 11 個評估項目是屬於必定要辦到的項目，達到這些項目的基本需求才能被視為一個永續公路。而 Greenroads 也提供一個自定項目評分，使用者可以根據這個部份來進行自訂項目的增減。最後以分別項目得分後的總積分進行評估，並分作 4 個不同級別的認證：

1. 認可：完成所有專案最低要求，並得到 32-42 分(得到 30%~40%的分數)
2. 銀：完成所有專案最低要求，並得到 43-53 分(得到 40%~50%的分數)

3. 金：完成所有專案最低要求，並得到 54-63 分(得到 50%~60%的分數)
4. 長青：完成所有專案最低要求，並得到超過 64 分(得到 60%以上的分數)



圖 2.3 Greenroads 認證標章

表 2.1 Greenroads 評估系統項目

編碼	指標名稱	最高分數	簡介
專案最低要求(PR)			
PR-1	環境影響評估	必備項目	完成環境評估的程序
PR-2	生命週期成本分析	必備項目	完成鋪面階段生命週期成本分析(LCCA)
PR-3	生命週期項目清單	必備項目	利用軟體完成鋪面階段生命週期項目清單(LCI)
PR-4	品質控制計畫	必備項目	具備合乎規範的承包商品質控制計畫
PR-5	噪音減輕計畫	必備項目	具備噪音減輕計畫
PR-6	廢棄物管理計畫	必備項目	具備合乎規範的計畫來使興建及拆除(C&D)廢棄物從掩埋場轉移。
PR-7	汙染防治計畫	必備項目	具備逕流汙染控制計畫(SWPPP)/臨時治山防災計畫(TESC)
PR-8	低衝擊開發	必備項目	低衝擊開發(LID)技術在遇到暴雨之可行性分析
PR-9	鋪面管理系統	必備項目	具備鋪面維護系統
PR-10	工區環境維持計畫	必備項目	具備對環境及公共設施的維持計畫。
PR-11	教育性推廣	必備項目	宣傳專案之永續性資訊
環境及水文(EW)			
EW-1	環境管理系統	2	獲得 ISO 14001認證的承包商
EW-2	逕流量控制	3	減少逕流量
EW-3	逕流水質	3	於工區處理暴雨水
EW-4	暴雨成本分析	1	選擇進行全生命週期成本分析的暴雨管理或低衝擊開發
EW-5	工區植被	3	使用原生的低(無)需水植被
EW-6	棲息地恢復	3	創造新的棲息地
EW-7	生態連結	3	穿越公路之棲息地連結
EW-8	光害	3	光害防制

編碼	指標名稱	最高分數	簡介
資產管理(AE)			
AE-1	安全性評估	2	執行公路安全性評估
AE-2	智慧運輸系統	5	執行智慧運輸系統的方案
AE-3	通訊性的解決方案	5	將通訊性解決方案作成計畫
AE-4	交通排氣減量	5	有系統的減少空氣汙染物排放
AE-5	行人通道	2	提供/改進行人的無障礙性
AE-6	單車通道	2	提供/改進單車的無障礙性
AE-7	運輸及高運量(HOV)通道	5	提供/改進運輸的無障礙性
AE-8	景觀	2	提供景觀
AE-9	文化推廣	2	提昇公路藝術/文化/社群的價值
興建作業(CA)			
CA-1	品質管理系統	2	獲得 ISO 9001認證的承包商
CA-2	環境訓練	1	提供環境及安全性的訓練
CA-3	工區回收計畫	1	提供於工區的回收及垃圾處理計畫
CA-4	石化燃料使用之減量	2	使用替代燃料於營建機具上
CA-5	機具排氣減量	2	減少機具施工之廢氣排放量
CA-6	鋪面排氣減量	1	減少鋪面施工時之氣體排放量
CA-7	水資源使用之追蹤	2	記錄建築水資源使用資料
CA-8	承包商保修	3	提供更長的鋪面保修期
材料及資源(MR)			
MR-1	生命週期評估	2	為整個專案進行詳盡的生命週期評估(LCA)
MR-2	鋪面再使用	5	再使用現有路段的鋪面
MR-3	土方平衡	1	平衡開挖及回填數量
MR-4	回收材料使用	5	新鋪面使用回收材料
MR-5	當地材料使用	5	使用當地材料來減少排氣量
MR-6	能源效率	5	提高操作系統的能源效率
鋪面技術(PT)			
PT-1	長使用年限之鋪面	5	將鋪面設計為長使用年限
PT-2	透水鋪面	3	使用透水性鋪面
PT-3	溫拌瀝青	3	使用溫拌瀝青
PT-4	冷鋪面	5	讓鋪面產生較少熱量
PT-5	靜音鋪面	3	使用靜音鋪面來減少噪音
PT-6	鋪面效能追蹤	1	記錄效能資料並與建築資料對照
自訂評分(CC)			
CC-1	自訂評分項目	10	設計自己的評分項目

## (二) 國內公路工程相關永續指標

目前國內公路工程相關永續指標共有黃榮堯等在 95 年提出之「公路建設綠營建評估指標系統之研究」，針對影響層面較廣的國道建設，以模糊德菲法對綠營建公路所應考量之面向進行評估，篩選出重要性達一定標準之評估因子，其中包括生態、綠化、資材、減廢、保水、等五項因子及十九個評估項目，並將其納入本研究所建立之評估架構中，再以層級分析法針對篩選後之評估因子探討其重要性程度，最後提出一初步的評分方式並建立出評估架構，

郭瓊瑩在 94 年提出之「綠公路規劃與城鄉生態」，該研究認為綠公路除應有之運輸廊道機能外，更應該包含生態廊道、文化廊道、景觀廊道、視覺廊道等機能，以求完善。而在規劃時，更必須考量系統串連、環境生態、工程施工等面向，採取積極之政策，考量生態、綠化、資材、減廢、保水、節能等六大面向。

陳章鵬等在 93 年提出「建立公路工程綠營建審議指標之研究」，所擬綠營建審議指標之功能，旨在瞭解公路綠營建作業有否達到期望目標、與周遭生態環境是否調和共存、資源有否再生善用以及是否有利永續經營。該指標分為社會經濟、資源善用以及生態環境三大指標群，並依公路工程（須辦理先期規劃）、一般性公路工程（不需辦理先期規劃）及公路拓寬工程，均分山嶺區、丘陵區、平原區（以上可適用國道、省道、縣道及專用公路）及市區（市區公路）四種情況進行綠營建公路工程審議。

蔡厚男等在 92 年提出「公路建設與生態工法」，該研究從公路之生命週期切入，從可行性評估、規劃設計、工程施工到營運維管等四個階段，並包含 51 項評估準則，各準則之評估方式與量測結果均有具體之介紹。該研究詳細彙整了當前國內外公路建設過程中關於生態工法可能應用的對策與操作準則，以作為相關專業人員業務推動之參酌，亦可提供工程專業人員評估公路工程之生態議題。

表 2.2 國內系統具節能減碳之項目

年度	研究名稱	節能減碳項目	內容
92	公路建設與生態工法	納入環境承諾並研擬相關環境衝擊減輕對策	<ul style="list-style-type: none"><li>● 公路構造型式(橋梁、隧道、路工)及細部修正的檢討</li><li>● 施工計畫的檢討(工法、施工公路、施工機具、環境保護對策)</li><li>● 原有排水廊道及水資源的保護與復原</li></ul>
		研擬維管階段之環境	<ul style="list-style-type: none"><li>● 綠資材的應用</li></ul>

年度	研究名稱	節能減碳項目	內容
		管理對策	
93	建立公路工程綠營建審議指標之研究	資源善用指標群	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 植栽 CO<sub>2</sub> 固化功能。</li> <li>● 生態工法之設計。</li> <li>● 公路水土保持及邊坡整治之設計。</li> <li>● 路權空間綠化率（限拓寬工程）。</li> </ul>
94	綠公路規劃與城鄉生態	再生建材的使用比	● 設計時採取資源回收再用之材料之比率
		環保材料的利用比	● 設計時以木材或對環境負荷較小之資源化產品之比率
		最小土方開挖量	● 避免大規模之土方挖填作業，如無法避免則應檢討區域內最小開挖面積及最短運距之挖填平衡
95	公路建設綠營建評估指標系統之研究	再生建材的使用	● 設計時應採資源回收再用之材料作為優先考量
		環保材料的利用	● 設計時應以木材或對環境負荷較小之資源化產品為優先考量
		易於維護管理之措施及設備	● 採用易於拆卸或維護管理之措施及設備，減少維護管理階段所需耗費之人工及資源
		耐久性材料的應用	● 採用耐久性高材料，以降低其生命週期中更換維修之頻率
		最小土方開挖量	● 避免大規模之土方挖填作業，如無法避免則應檢討區域內最小開挖面積及最短運距之挖填平衡

## 第三章 公路工程節能減碳相關文獻與案例回顧

### 3.1 前期研究回顧

#### 一、計算範疇

「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」(2011)[1]，該研究之目的為建構交通運輸工程碳排放量推估模式並進行效益分析，內容首先蒐集美國、日本、英國與歐盟等國家在交通運輸工程節能減碳評估相關研究，並進行彙整分析、比較，提出檢討，亦針對國內交通運輸工程施工階段常使用之材料、機具進行碳排放係數蒐集，最後利用台九線蘇花公路改建工程進行案例碳排放量估算。

該研究報告經過文獻回顧與專家訪談後提出一碳排推估模式，此模式係依照環保署溫室氣體盤查及登錄管理原則中，對於溫室氣體排放源可分為材料製造過程中之直接排碳、外購能源利用所造成之間接排碳及員工通勤、委外業務所產生之間接排碳等三大範疇。依照此盤查及登錄管理原則導入交通運輸工程後，範疇一可歸類為工程興建所使用之材料造成之碳排，範疇二則是工區內所使用之機具燃料、用電所造成之間接排碳，而範疇三是該工地施工過程中，人員來往與物料、機具、人員在運輸上所造成之二氧化碳排放量。另外除了環保署所擬定此三範疇之碳排計算外，前期評估模式認為興建工程造成林木砍伐導致碳排變化亦須納入考量。

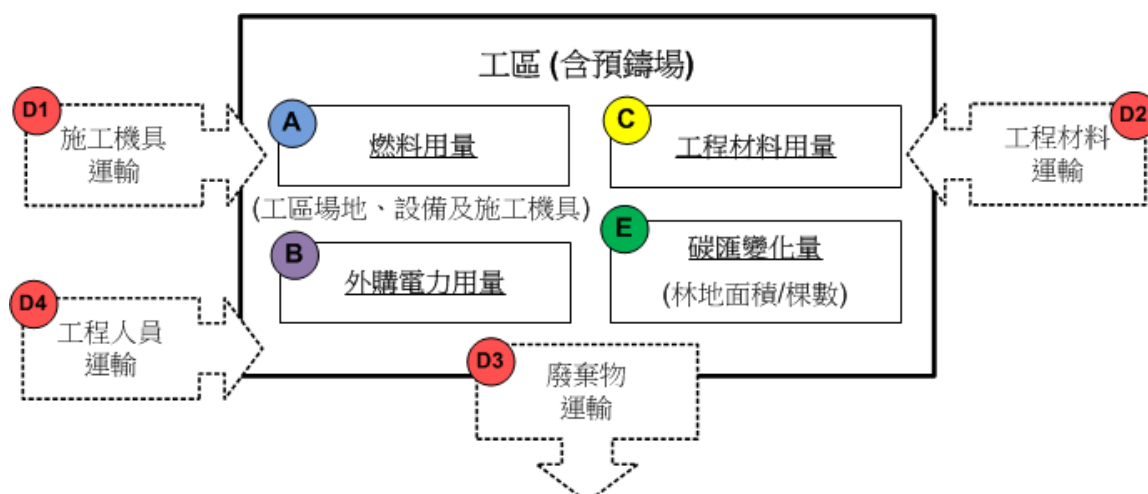


圖 3.1 碳排推估模式範疇示意圖

## 二、國內外相關案例回顧

該研究亦從瑞典及法國的相關研究報告文獻回顧中，營運階段所需之維護管理工程約為施工階段之 14%，在營運階段行車碳排放部分則是採用公路里程\*車流量\*單位里程油耗量\*燃料碳排放係數以估算出行車碳排放量。

## 三、碳排放係數蒐集

針對國內外相關碳排放係數進行蒐集，其蒐集成果中，工料係數共計 366 項、電力燃料係數 101 項、機具能耗係數 115 項、運輸排碳 156 項、林木固碳係數則為 22 項，該研究將上述蒐集係數整理製成一碳排放係數資料庫，並針對此評估模式算出之二氧化碳碳排放量，參考國外相關碳交易價格，以每公噸 500 元及 900 元為碳排放轉換價格，將碳排放量畫貨幣化後，以納入現有交通工程效益評估分析中。

## 四、案例試算

以台九線蘇花改建工程進行碳排放量估算，受限於無相關資料與係數資料庫不足等問題，因此該研究以規劃設計資料提供之機具能耗與材料使用量等資訊進行碳排放量估算，也就是評估模式中之範疇一與範疇二進行碳排放量估算。

該研究進行估算之案例分別為台九線蘇花改 A-2 標東澳隧道新建工程、A-3 標東澳東岳段新建工程、C-1 標中仁隧道新建工程、C-2 標仁水隧道新建工程等四案，其估算結果如表 3.1 所示。並利用此四個案例對蘇花改另外五標進行碳排放量推估，其推估結果如表 3.2。

表 3.1 台九線蘇花改施工階段碳排放量估算

項目		A-2	A-3	C-1	C-2
形式組成(m)	路工	78	329	1,458	93
	橋梁	0	1,535	35	106
	隧道	3,367	215	3,887	2911
排碳總量(tonCO <sub>2</sub> e)		108,396.87	58,187.27	115,239.56	65,422.81

表 3.2 台九線蘇花改全線碳排放量推估結果

項目	排碳總量 (tonCO <sub>2</sub> e)	單位面積排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	單位工程費排碳量 (tonCO <sub>2</sub> e/億元)	附註
第 A-1 標	87,365.04	1.64	4,641.15	A-3 推估
第 A-2 標	108,396.87	2.01	2,610.09	計算求得
第 A-3 標	58,187.27	1.70	3,402.76	計算求得
第 B-1 標	81,168.31	1.27	3,502.11	A-3 推估
第 B-2 標	294,619.85	2.05	3,014.75	A-2 推估
第 B-3 標	236,807.90	1.95	3,939.44	A-2、C-2 推估
第 B-4 標	42,584.64	1.43	4,464.73	A-3 推估
第 C-1 標	115,239.56	1.28	2,554.80	計算求得
第 C-2 標	65,422.81	1.66	2,696.74	計算求得
總計	1,089,792.25			
平均值		1.66	3,425.18	
標準差		0.30	786.70	

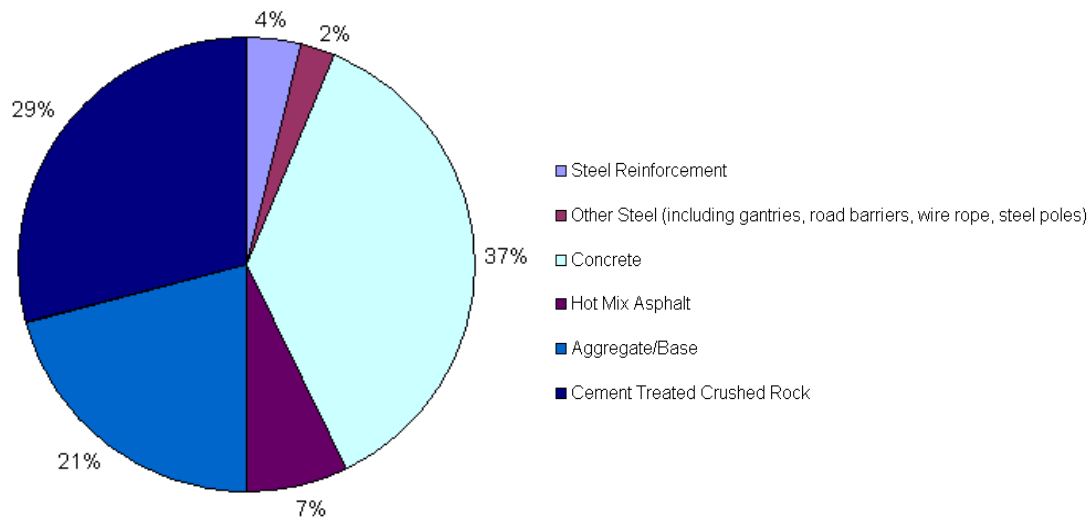
## 3.2 國內外公路工程節能減碳相關研究

### 3.2.1 國外公路工程節能減碳研究

#### 一、Mickleham Road 新建工程(VicRoads, 2009)

澳洲維多利亞州公路管理局(VicRoads)對公路建設之施工階段的碳足跡進行相關研究，以 Mickleham Road 新建工程進行試算、確認碳足跡量測及評估減碳方法。該專案碳足跡計算僅計算興建階段之直接(現場機具設備之能源消耗)及間接(材料製程及運輸)溫室氣體排放量。其以專案資料、現場排放、材料運輸、材料內固(embodied)能量、總影響、排放係數為輸入資料。

計算結果顯示米克勒姆路建造階段之碳足跡為 1820 公噸 CO<sub>2</sub>、760 公噸 CO<sub>2</sub>/公里或 190 公噸 CO<sub>2</sub> 車道/公里，其中 75%來自材料內固排碳、22%為現場機具耗能排碳、2%為材料運輸排碳、1%為現場電力使用排碳。



資料來源: VicRoads Greenhouse Gas Emission Framework 2008

圖 3.2 Mickleham Road 之材料排碳量比例

而材料製程之排碳部分又以混凝土所佔比例 37% 最大，其次是水泥處理及碎石佔 29%，再者為基礎骨材佔 21%，瀝青佔 7%，鋼材佔 6%，如圖 2.2 所示。該計畫主要的研究目的是希望能減少公路建造過程中的碳足跡，並建議未來公路興建過程中，可執行以下措施，以減少碳排放：

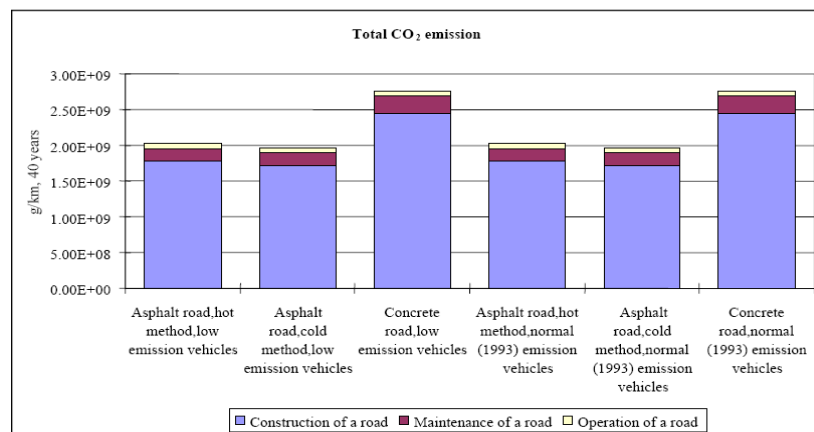
1. 使用高含量比例之再生物質原料。
2. 土方挖填平衡以減少挖填方之輸入或輸出。
3. 在現場進行砂石破碎以減少重要骨材的需求。
4. 廠區中使用混合燃料或生質燃料。
5. 使用本地產品。

另外，該研究另提出公路計畫中若包含橋梁及隧道等結構較複雜之組成時，其碳足跡將明顯較高。研究中透過 Doonybrook 公路交流道專案比較不同規模橋梁之碳足跡，結果顯示橋梁碳足跡相較於該研究中米克勒姆路的碳足跡高出 20 倍之多。其橋梁碳足跡評估資訊為一座 96m、3 跨、2 線道、雙向混凝土橋碳足跡為 1,530 tonCO<sub>2</sub>e，另一座 37m、1 跨、2 線道、雙向混凝土橋碳足跡為 600 tonCO<sub>2</sub>e，就上述兩座橋可平均出每單位橋面積(m<sup>2</sup>)之碳足跡約為 1.5 tonCO<sub>2</sub>e。以單位長度表示兩座橋之碳足跡分別為 15,938 tonCO<sub>2</sub>e/km 及 16,216 tonCO<sub>2</sub>e/km。

## 二、Life Cycle Assessment of Road

此案例為瑞典環境研究所(IVL Swedish Environmental Research Institute)與瑞典國家公路管理局(Swedish National Road Administration)合作的計畫報告。此研究就六種

不同路面，以服務年限 40 年推估其生命週期碳排放量，包含建造、營運及維護所消耗之能源造成的單位里程碳排放量，結果如圖 2.4 所示，其計算方式以排放係數法進行排碳量計算，利用公路生命週期中所有活動及材料使用消耗之能源量來推估。以同樣公路等級、不同類型路面之建造排碳量比較，結果顯示，熱拌瀝青混凝土路面和冷拌瀝青混凝土路面差異不大，但水泥混凝土路面施工階段排碳量則較瀝青混凝土路面多近 1.4 倍。

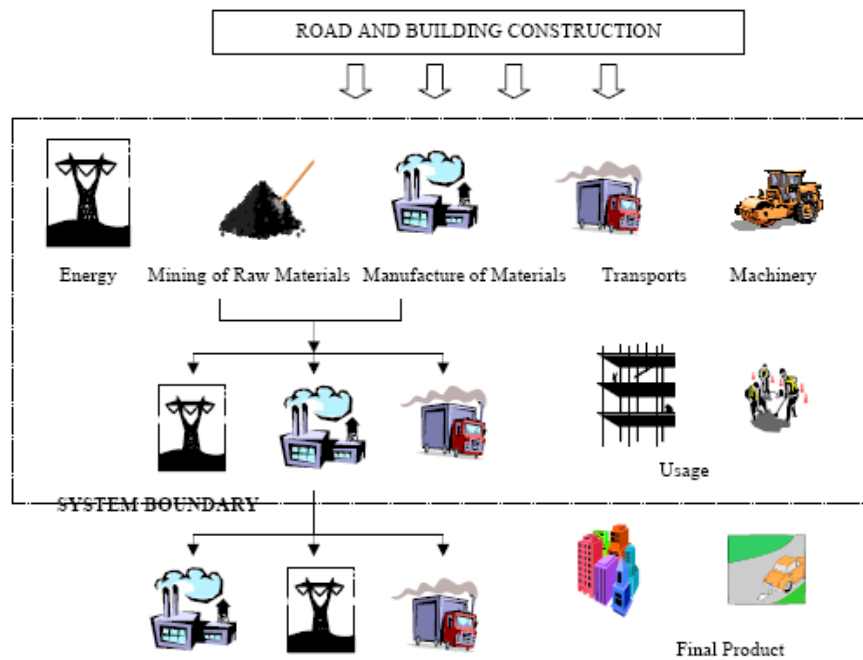


資料來源：Life Cycle Assessment of Road

圖 3.3 公路不同鋪面形式建造、維護及營運過程之排碳量

### 三、日本公路工程單位造價之排放係數(Gerilla, 2000)

2000 年 Gerilla 等人提出關於日本公路與建築工程的环境衝擊研究論文，其中包括了溫室氣體排放量的評估。從該研究(圖 3.4)中可知其研究範疇是以整個生命週期觀點切入，但在評估時僅以採集原料開始至產品使用前的階段，完工的使用和廢棄物處理過程的排碳情形不計算在內。將工程流程界定為施工建造及營運兩階段，其中施工建造階段考量的因素包括能源使用排碳量、物料及人員運輸排碳量、物料生產與製造過程排碳量及機具使用排碳量等。



資料來源：Gerilla et al. (2000)

圖 3.4 日本公路與建築工程環境衝擊評估架構圖

該研究在公路施工方面分為土方工程(earthworks)、橋梁工程(bridge works)、路面工程(pavement works)及其他工程如標誌、路標、線路鋪設等，並以此四類進行評估。各工程項目單價所對應的排碳係數經計算可知土方工程 16.11(kg/1000yen)、橋梁工程 20.37(kg/1000yen)、路面工程 17.23(kg/1000yen)、其他工程 16.20(kg/1000yen)，即單位投資該工程所造成的碳排程度。

由該研究分析得知，建造過程中的直接能源用量和工程材料生產運送過程中的能源用量之關係約為一比一，故在評估工程建造之排碳量時，不可將工程材料生產與製造過程的排碳量忽略。該研究最後針對公路與建築工程所求得之排碳係數進行比較，結果顯示在研究區域範圍內公路工程施工造成之排碳量較建築物建造施工之排碳量為大。

#### 四、哥倫比亞河跨河工程溫室氣體排放量分析計畫(2008)

哥倫比亞河跨河工程溫室氣體排放量分析計畫(Columbia River Crossing Greenhouse Gas Emission Analysis)為美國針對州際公路 I-5 公路進行重大工程改善計畫，由美國交通署(U.S. Department of Transportation)、華盛頓州交通部(Washington State Department of Transportation) 以及奧瑞岡州交通部(Oregon Department of Transportation)共同參與，結合地方運輸權責單位(波特蘭市與溫哥華交通運輸處)、華盛頓州西南部區域交通委員會及捷運公司等配合辦理哥倫比亞河跨河工程溫室氣體

排放量分析計畫(Columbia River Crossing Greenhouse Gas Emission Analysis)。

哥倫比亞河跨河工程計畫(簡稱 CRC 計畫)工程內容包括：在哥倫比亞河上建造新橋樑、延伸奧勒岡州波特蘭(Portland)與溫哥華間的輕軌鐵路，修建七處連絡道，並增加行人與自行車道等工作。為考量氣候變遷因素，進而成立了溫室氣體專家小組(Greenhouse Gas Expert Review Panel)，檢核該專案在 2008 年公布工程內容對環境衝擊評估結果(Draft Environmental Impact Statement, EIS)中的溫室氣體排放量推估方法與結果，並說明五個不同方案(含零方案)累積性環境衝擊評估的結果。方案概述如表 3.3 所示。

表 3.3 各替代方案之概述

CRC 工程專案內容包含了五個替代方案
1. 零方案(即不作改善維持現狀)
2. 以高速公車專用道取代 I-5 公路
3. 將 I-5 公路以輕軌鐵路替代
4. I-5 公路拓寬、增加高速公車專用道
5. I-5 公路拓寬、增加輕軌鐵路

資料來源：本研究整理自 CRC Energy Technical Report (2008)

而拓寬意指將原來橋面的雙向各 3 車道即共 6 車道寬的 I-5 公路擴充為雙向各 6 車道即共 12 車道寬的橋梁。以上方案中假設未來將以電子計費方式收取過橋費。

● 專案興建階段溫室氣體評估方式

專案中所採用的評估溫室氣體計算式為：

$$EM = FC \times EF \times CDE \dots \dots \dots (\text{式 2.1})$$

**EM**：二氧化碳排放當量(1bs CO<sub>2</sub>e)

**FC**：燃料或能源耗用量(gallons /KWh)

**EF**：燃料或能源之排碳係數

**CDE**：二氧化碳等效係數(1.052=100/95)

由公式 2.1 可知，能源耗用量為該專案中評估碳排量之重點。而該專案之工程能源耗用量計算部分是引用美國加州交通部(Caltrans)於 1973 年提出之分析與評估工程中能源耗用量的「加州交通部方法」(Caltrans methodology)作為計算的方法。其使用之能源耗用量計算式如下式 2.2 所示。

$$E = FC \times EF \times DC \dots \dots \dots (\text{式 2.2})$$

**E：能源耗用量(Btu)**

**FC：2007 年的工程建造費用**

**EF：燃料或能源之排碳係數(Btu/1973\$)**

**DC：物價轉換係數 0.086546(1973\$/2007\$)**

由此可知，該方案是以總價方式做為耗用能源之估算，進而以能源耗用量推估出溫室氣體排放量。

● 專案營運階段交通溫室氣體評估方式

該方案在交通能源耗用量推估部分，分別就公路營運能源消耗量 (Highway Operations Energy Consumption) 及交通營運能源消耗 (Transit Operations Energy Consumption) 以至 2030 年的交通量進行推估。

能量耗用計算式為：

$$E = V \times L \times FCR \times CF \dots\dots\dots (式 2.3)$$

其中：

**E = 能源消耗量 (Btu)**

**V：每日交通量(vph)**

**L：車公里數(mile)**

**FCR：交通耗油量(gal/mile)**

**CF：燃料轉換係數(車輛單位 Btu/gallon；列車單位 Btu/kWh)**

根據以上運算式及計算內容，得到初步評估五種方案之碳排量如表 3.4 所示。以興建階段施工碳排放來說方案 4 總耗能及碳排放量皆為最低消耗，而方案 3 之總耗能及碳排放量皆為最高消耗。但就營運階段評估顯示方案 2、3 之每日排放量最低，每日較零方案可減少 10 噸左右之碳排放量；而方案 4、5 則會較零方案每日多出 30 噸之碳排放量。

表 3.4 CRC 專案五方案排碳量評估結果

	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4	Alternative 5
Residential displacements	0 <sup>a</sup>	21-36	21-36	24-33	24-33
Commercial displacements	0 <sup>a</sup>	41-68	41-68	34-64	34-64
Number of potential adverse impacts to historic resources	0	5-8	5-8	5-8	5-8
Air Quality <sup>b</sup>					
Carbon monoxide	30% reduction	30% reduction	30% reduction	30% reduction	30% reduction
Nitrogen oxides	70% reduction	70% reduction	70% reduction	70% reduction	70% reduction
Volatile organic compounds	50% reduction	50% reduction	50% reduction	50% reduction	50% reduction
Particulate matter	90% reduction	90% reduction	90% reduction	90% reduction	90% reduction
Traffic noise impacts on sensitive receptors (before mitigation) <sup>c</sup>	264	334	334	329	329
Transit noise impacts on sensitive receptors (before mitigation) <sup>c</sup>	0	35-82	7-45	38-92	7-51
Impacts on fish	No impacts from in-water construction, existing piers would remain, and water quality issues would remain.	Impacts from in-water construction, fewer piers would be in water, but greatest improvement in water quality.	Impacts from in-water construction, fewer piers would be in water, but greatest improvement in water quality.	Impacts from in-water construction, more piers would be in water, but some improvement in water quality.	Impacts from in-water construction, more piers would be in water, but some improvement in water quality.
Wetland impacts	No impacts	0.11 acres of direct impacts	0.06 acres of direct impacts	0.16 acres of direct impacts	0.11 acres of direct impacts
Total Suspended Solids (lbs./year)	136,020	43,293	43,235	40,735	40,677
Total Phosphorus (lbs./year)	207	109	108	102	102
Dissolved Copper (lbs./year)	9	8	8	8	8
Dissolved zinc (lbs./year)	64	49	49	46	46
CO <sub>2</sub> Emissions (tons/day)	463	452	452	494	491

Sources: CRC Acquisitions Technical Report, 2008; CRC Historic Resources Technical Report, 2008; Air Quality Technical Report, 2008; CRC Noise and Vibration Technical Report, 2008; CRC Ecosystems Technical Report, 2008; CRC Wetlands Technical Report, 2008; CRC Water Quality Technical Report, 2008; CRC Energy Technical Report, 2008.

<sup>a</sup> Both the C-TRAN bus maintenance facility and TriMet Ruby Junction light rail maintenance facility could be expanded with the No-Build alternative, though the exact size of the expansions is not known. Both of these expansions would likely result in both residential and commercial displacements.

<sup>b</sup> Reductions in emissions are largely due to expected improvements in vehicle emissions by 2030, and are thus not the result of this project and therefore are common amongst all alternatives.

<sup>c</sup> Noise impacts are expressed as the total number of impacts on sensitive receptors as defined by FHWA guidelines. This means that, for example, a 30 unit apartment complex that is impacted by traffic noise would register as 30 impacts on sensitive receptors.

資料來源：CRC Energy Technical Report(2008)

## 五、美國高速公路擴建計畫之排碳增量評估

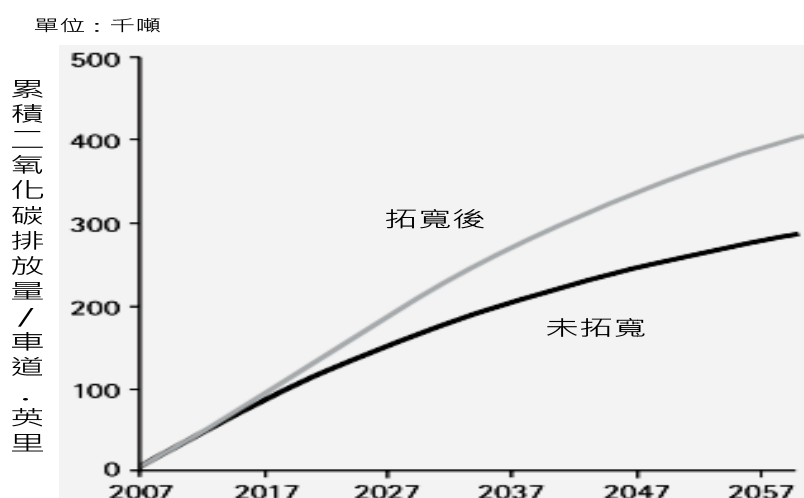
Sightline 研究計畫主要目的在於探討「拓寬高速公路是否能減少溫室氣體排放」，由於增加車道後可減輕交通堵塞，使車輛因停滯所浪費的燃料減少，此研究結合建造階段以及後續使用高速公路時之排碳量，進而分析拓寬之優劣，服務年限為 50 年期，評估結果如表 3.5 所示。

根據表 3.5 分析顯示，高速公路於拓寬工程中本身就增加了 3,500 公噸之二氧化碳碳排放量；對於減輕交通堵塞的效益面來看，50 年大約可減少 7,000 公噸的二氧化碳；但對於增加的車輛將額外造成 90,000 公噸之二氧化碳碳排放量。其中還可能因為此工程之建造而增加了其他周邊燃料之使用量，當車輛行駛於高速公路以外之公路，致使增加 30,000 至 100,000 公噸之二氧化碳排碳量。拓寬前後相關預測分析結果如圖 3.5 所示。

表 3.5 高速公路公路拓寬排碳增量評估結果

高速公路建造一車道所排放之二氧化碳，服務年限為 50 年期	
建設、建築材料、維護	3,500 tons
舒緩交通阻塞	-7,000 tons
額外增加的車輛	90,000 tons
誘導車輛行駛非高速公路之公路	30,000-100,000 tons
總排碳量	116,500-186,500 tons

本研究整理自 Clark Williams(2007)



資料來源：本研究整理自 Clark Williams(2007)

圖 3.5 高速公路公路拓寬 50 年排碳增量趨勢圖

## 六、ECTRI Application to transport for road building

歐洲運輸研究機構(European Conference of Transport Research Institutes, ECTRI)網站中，在公路環境影響評估工具於公路建置運輸量的應用(A global tool for environmental assessment of roads – Application to transport for road building)一文中，提及法國交通運輸工程排碳量評估結果。

該研究是以公路鋪面的建造與維護為對象，計算施工過程可能造成的排碳增量，排碳量評估方法是採用排碳係數法，即以活動強度乘上排放係數計算排碳量。研究中是以法國境內已完成之雙向各兩車道公路 A-71 為案例，比較其施工完成、施工完成後 16 年與施工完成後 30 年的狀況進行二氧化碳排碳量分析。如圖 3.6 所示。

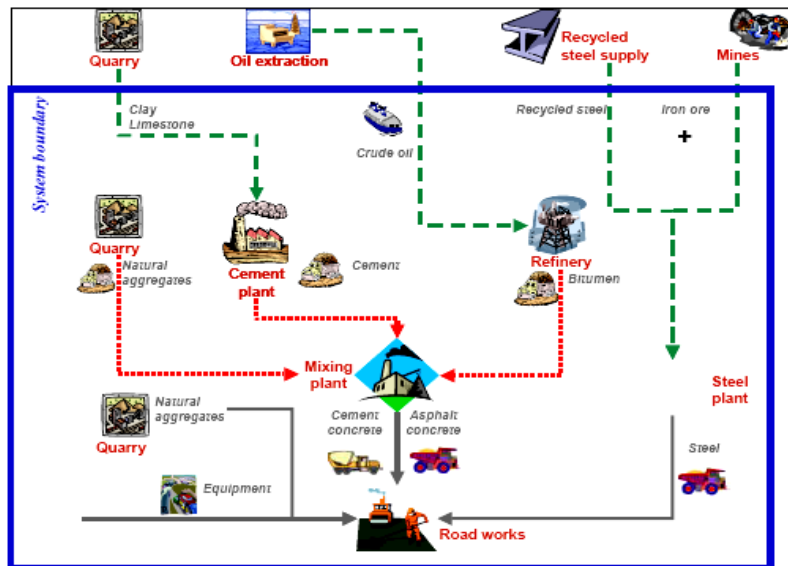
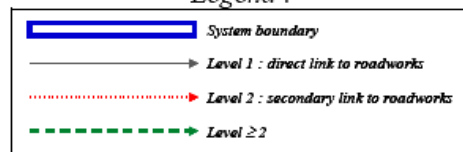


Figure 1 : ERM general system

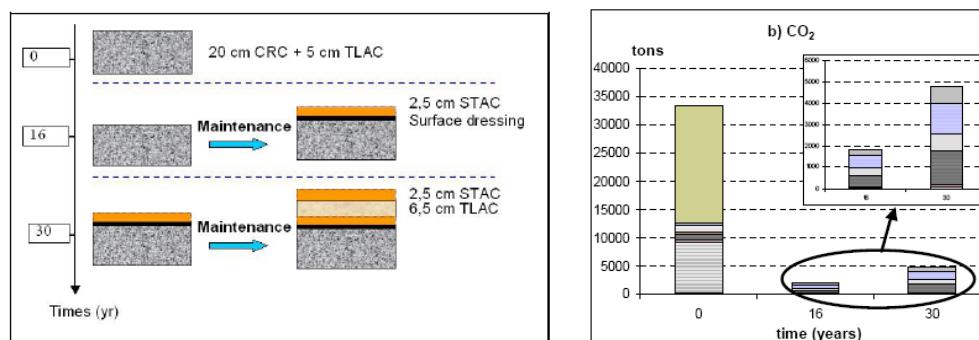
Legend :



資料來源：ECTRI, <http://www.ectri.org/>。

圖 3.6 法國公路環境評估模式範疇界定

研究結果顯示，在建造過程中大部分的交通運輸碳排量來自於水泥和鋼筋等物料運輸，其影響不大僅佔排碳量之 4%。而公路完工後之營運維護階段交通運輸之排碳量逐漸提高，於竣工後 16 年與 30 年排碳量分別提升至約 46%與 47%。評估結果如圖 3.7 所示。



資料來源：ECTRI, <http://www.ectri.org/>。

圖 3.7 法國 A-71 公路排碳量評估結果

### 3.2.2 國內公路工程節能減碳研究

#### 一、交通部-節能減碳規劃設計參考原則

行政院公共工程委員會民國 97 年 10 月頒布之「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」中，清楚提及政府推動節能減碳之政策目標，其中第一項即為「推動永續公共工程，落實節能減碳理念」，在技術面以工程全生命週期的落實為核心，將永續發展及節能減碳的考量納入可行性評估、規劃、設計、施工、維護管理等每一個環節；依據行政院公共工程委員會民國 98 年 5 月 5 日「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，其目標明確揭示希望能打造具節能減碳效果之公共工程，落實環境保護，建立原則依據工程之特性分類為 1.「一般公路」節能減碳規劃設計參考原則，2.「高快速公路網」節能減碳規劃設計參考原則，3.「捷運系統」節能減碳規劃設計參考原則，4.「桃園航空城」節能減碳規劃設計參考原則，5.「自行車路網」節能減碳規劃設計參考原則，依上述五項工程特性說明相關節能減碳規劃設計原則與措施。

#### 二、公路工程與節能減碳

該研究提出，公路工程節能減碳的方向應該著重在公路選線與線形設計、公路輕量化設計、低碳材料應用、在地材料選用、植生保育達固碳、設備選用等公路減碳手法，且以全生命週期與加入綠色內涵進入公路設計的概念，就規畫設計階段提出因地制宜、採用高性能之工法與規範、提升規劃設計品質，延長工程主體壽命等多項作為。

##### 公路選線與線形設計之節能減碳

公路線形除必須符合行車安全與舒適外，必須順應地形地貌並避免高填深挖，以減少土方之外運，避免額外運輸造成的溫室氣體排放。傳統之公路構築型式選用多以路堤、路塹為主，雖然在設計上比較簡單，但由於臺灣公路以南北向發展為主，易與多數東西向河流、生態路徑衝突，因此建議若遇有生態敏感區還是以橋梁或隧道穿越，既可減少土方開挖外運，也可以降低生態衝擊。

公路選線過往常僅考慮工程敏感區迴避或路權取得等因素，但若選定之路線造成公路縱坡度過大時，則會導致載具必須負擔高油耗，造成能源耗損而不利減排碳，例如國道林口爬坡段增加車輛油耗。因此選線時如可考慮後續載具可能必須付出之碳成本，選擇較低坡度之路線，在節能減碳上將有相當大之助益。

##### 1. 輕量化設計以達節能減碳

公路工程在路線決定後仍可透過路幅檢討與構造輕量設計達到節能減碳效果。而

路幅檢討與構造輕量設計主要以交通運輸需求考量車道數、車道寬，以及號誌燈具是否採用共桿化等作為，在滿足運輸需求下，使公路設計盡量輕量化，運用較少的材料以達節能減碳。低碳材料應用以達節能減碳。公路工程材料用量甚大，若可以從材料方面著手，對於節能減碳亦可獲得很大的效果，包括低碳材料、再生營建材料與在地材料選用，都可以達到節能減碳功效。

## 2. 低碳材料選用

由於公共工程通常基地面積與結構量體較大，必須使用許多營建材料，因此光是在營建材料的製作過程中所排放的二氧化碳貢獻量常列名前矛，一般來說營建材料在製造過程中常需要用到許多機具設備進行鍛燒、破碎、搬運等步驟，若可以在營建材料之產品設計、物料採購、產品製造與銷售等階段，運用排碳量較低之生產製程，或是選用低耗能之機具設備，分送採用低油耗載具以及優化運送距離，將可以有效降低二氧化碳排碳量，使工程達到節能減碳之目標。

## 3. 植生保育達固碳減碳

植物是減緩二氧化碳排放之重要角色，因此在公路工程設計之初應避免穿越林相，砍伐既有森林，這樣不僅可以不影響植物吸附二氧化碳，也可避免干擾森林生態。但考量線形情況下常不免必須切割既有森林，此時除必須選擇切割區位較小方案，亦必須考量移植或補植至少等量的相同植材。

## 4. 避免破壞既有植栽

由於既有植栽除了保有既有動物之天然棲地，對於二氧化碳之固定吸附也有一定程度之貢獻，若因公路工程切割既有林相，則植栽對於二氧化碳之吸附量將會減少，亦有可能破壞珍貴樹種，因此保育既有植栽是公路工程規劃設計時必須考量之重點。

## 5. 設備選用達節能減碳

公路工程主要用電設施包含號誌、路燈等，若沿線路燈可選用亮度符合需求，且符合低耗電量之功率，則全線路燈之減碳效益相當可觀；此外在綠能科技逐漸成熟後，運用替代能源的公路工程設備也快速發展，運用太陽能進行夜晚之號誌運作，降低石化燃料之耗電，將是未來公路工程節能減碳之重要目標之一。

## 三、柔性路面工程之二氧化碳排放量評估

該研究主要建立柔性路面工程之二氧化碳排放量評估資料，並分析公路施工機具市總二氧化碳排放量及推導每公噸再生瀝青混凝土之二氧化碳排放量。結果顯示，以路寬 15m 以下路幅斷面配置來建立公路單位面積之 CO<sub>2</sub> 排放量，同樣設計類型但使

用再生瀝青混凝土所產生的二氧化碳排放量會比使用瀝青混凝土所產生的二氧化碳排放量減少 17.5~18%。

#### 四、預力 I 型梁橋之二氧化碳排放量評估

由於公共工程有關二氧化碳的評估與檢核尚在起步階段，該研究針對預力 I 型梁橋在不同的設計條件下計算不同跨距、寬度之單位面積所用之建材用量，並以統計分析軟體 SPSS 進行迴歸曲線分析，推導二氧化碳排放量公式，而該研究所推估的二氧化碳排放量與橋寬、跨距之間的關係式可分為以下七種：

1. 地震甲區第一類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1051.318+0.937(\text{跨徑})-13.8(\text{橋寬})$
2. 地震甲區第二類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1257.3+1.475(\text{跨徑})-17.18(\text{橋寬})$
3. 地震甲區第三類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1171.681+1.324(\text{跨徑})-15.987(\text{橋寬})$
4. 台北盆地地區： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1163.166+0.986(\text{跨徑})-14.818(\text{橋寬})$
5. 地震乙區第一類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1014.852+1.216(\text{跨徑})-12.919(\text{橋寬})$
6. 地震乙區第二類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1168.321+2.214(\text{跨徑})-14.902(\text{橋寬})$
7. 地震乙區第三類地盤： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1141.793+1.219(\text{跨徑})-15.113(\text{橋寬})$
- 8.

由於各種設計條件下所推估之排放量公式係數彼此之間相差不遠，因此取平均值計算做迴歸曲線分析，所推估之公式如下：

平均之  $\text{CO}_2$  排放量： $\text{CO}_2(\text{kg-CO}_2/\text{單位})=1138.347+1.339(\text{跨徑})-14.96(\text{橋寬})$

#### 五、預力 I 型梁橋下部結構不同時之二氧化碳排放量評估

該研究將針對預力 I 型梁橋下部結構高度不同時之材料消耗的二氧化碳排放量進行分析與評估；首先將針對不同橋寬、不同跨度、不同柱高的預力 I 型梁，使用 SAP2000 軟體進行模型之模擬與墩柱設計，再將計算與設計後所獲得之材料使用量，根據各材料生產含運輸之二氧化碳排放量轉換表，進行二氧化碳排放量的運算與轉換，最後，使用 SPSS 軟體進行迴歸曲線分析，分析後可以獲得各橋柱高度情況下，二氧化碳排放量與淨寬和跨距之關係式如下：

1. 橋柱高 10m： $\text{二氧化碳} = 408.910 - 3.919 \times \text{淨寬} + 6.909 \times \text{跨度}$
2. 橋柱高 20m： $\text{二氧化碳} = 424.989 - 4.267 \times \text{淨寬} + 6.748 \times \text{跨度}$
3. 橋柱高 30m： $\text{二氧化碳} = 455.844 - 5.237 \times \text{淨寬} + 6.519 \times \text{跨度}$
4. 橋柱高 40m： $\text{二氧化碳} = 489.234 - 5.939 \times \text{淨寬} + 6.304 \times \text{跨度}$
5. 橋柱高 50m： $\text{二氧化碳} = 524.366 - 6.373 \times \text{淨寬} + 5.996 \times \text{跨度}$

6. 橋柱高 60m：二氧化碳 =  $597.411 - 7.763 \times \text{淨寬} + 5.305 \times \text{跨度}$

7. 將柱高、淨寬與跨度之二氧化碳排放量三者都考慮進去，可獲得以下公式：

二氧化碳 =  $433.894 + 1.416 \times \text{柱高} - 5.583 \times \text{淨寬} + 6.297 \times \text{跨度}$

#### 六、公路工程綠色內涵探討之研究

該研究發現目前國內各界對所謂「綠色內涵」之相關落實做法及認定方式仍有疑慮，因此以公路工程為標的，研擬出一套參考內容。該研究透過國內與國外永續公路案例蒐集，彙整公路工程於規劃設計階段所需考量之「綠色內涵項目」，從中利用模糊德菲專家問卷進行各項目適宜性之篩選，找出各界所共識之綠色內涵項目，並彙集與「綠色內涵」政策最直接相關之公路規劃設計單位與綠色內涵審核單位兩方面專家之意見，進而研擬公路工程綠色內涵之內容架構包含 24 項指標群，各指標群衍生共計 57 項綠色內涵項目。

#### 七、公路設計對於行車碳排放之影響分析－以雪山隧道為例

該研究探討公路設計對於公路營運階段車輛行駛二氧化碳排放的影響。內容說明到公路生命週期中之二氧化碳排放，以其服務車輛之排放為大宗，而公路平縱面線形、橫斷面設計都對車流有很大的影響。因此，以加速度做為反應碳排放之主要因子，找出主要影響加速度之公路設計，並透過以雪隧實測數據及錄影觀測的結果比較，發現碳排放量與煞車發生次數具有相同的趨勢。

經過案例計算，十項公路設計中曲線半徑與反向曲線對行車碳排放影響確實顯著， $R=1500\text{m}$  與直線段差異可達 1.62 倍；反向曲線的設置對行車碳排放的影響最高可達直線段的 1.64 倍。車道越彎(平曲線半徑越小)，造成碳排放量越大。 $R=1500$  比  $R=2500$  多了 2.9%至 6.5%的碳排放量。

### 3.3 國內外公路工程節能減碳案例與手法

#### 3.3.1 國外公路工程節能減碳案例與手法

##### 一、美國 I-70 公路

丹佛與 Glenwood Canyon 間的 70 號州際公路 (I-70) 因穿越洛磯山脈 (Rocky Mountain) 而成為地形陡峭、施工困難且環境敏感的公路。沿途經 Vail, Copper Mountain, Beaver Creek 等世界級的滑雪勝地，加上怒濤洶湧的科羅拉多河貫穿其中，是全美聞名的景觀與生態公路。科州 I-70 Glenwood Canyon 段是美國高速公路系

統最後完成的一段，於 1992 年完工，途經懸崖、峭壁、峽谷，風光綺麗，與太魯閣及蘇花公路相類似。以下為節能減碳之作為：

#### 1. 以高架橋與半橋通過環境敏感地區

由於峽谷地區空間有限，為避免開挖造成環境破壞及落石問題，多以高架橋及雙階棧橋(Terrace Viaduct)方式通過。採取雙階棧橋可以減少開挖量，並增加線型的優美。棧橋部分以預鑄、預力式雙 T 型擋土牆為主，以取其施工快速、面板統一而美觀之優點。在棧橋之上則為懸臂式預力混凝土鋪面，懸臂之寬度為 2 公尺。懸臂不僅可節省空間，亦因日射之陰影而造成擋土牆較低之錯覺，減少駕車者之壓迫感。

#### 2. 生態與環境的保護措施

為避免橋墩施工破壞周遭環境，在規劃時特就預定路線詳細調查其植被，在設計時儘量避免將橋墩之位置座落於樹叢中。此外，懸臂式橋面較傳統式垂直面牆所造成的擾動要少很多，亦可減低施工範圍對植物的損害程度。為免公路之興築阻隔了本路段動物的行經路線，並在適當地點設置動物(如牛、鹿、羊)專用涵洞。此外，施工結束的地段，要求承包商立即植生，並補植 315 萬棵樹苗及設置噴灌系統，按時灑水以利植栽生長。由於濕地(Wetland)對於動植物之生態助益甚大，復原工作尚包括新增數個濕地，以利野生動植物之棲息。

### 二、日本鬼首道路

日本鬼首道路是連結秋田縣和宮城縣的一般國道(108 號)，從地勢險峻難行的鬼首地區中間穿越而過，圖 2-6；圖 2-7，全長：13.7km、隧道：7 處(共 1.9km)，橋樑：17 座(共 6.4km)，隧道及橋樑長度佔道路全長的 61%左右，是日本東北地區的重要的橫向道路。以下為節能減碳之作為：

#### 1. 環境性考量

##### (1)道路線形：

從秋田縣到宮城縣，為考量路幅寬度及道路高程，若採高填方之路堤形式或大開挖之路塹方式，必將造成大面積之土方開挖並面臨景觀破壞及生態環境的衝擊；經檢討後將線形向北方移動，利用河谷地形降低路堤或路塹挖填方需求量，儘量將部份路段改為隧道形式或橋梁行式通過，並以地表做最小幅度之變動為最高指導原則。

道路構造型式改採隧道或橋梁穿越鬼首山區，路段若以路堤或路塹方式通過，對地形改變太大，經評估後改採隧道或橋梁的穿越方式通過，降低環境衝

擊。

## (2)表土保存再利用

原生林區之表土係植群物種之土地銀行，經長年的生態作用表土富含豐富之腐植質及種源庫；為減輕對植群的干擾、加速植群社會的演化，經調查後擬保留開挖路權範圍之表土，俟路面完工後再回覆鋪植於附近邊坡。

## 三、日本日光宇都宮公路

位於櫛木縣西北部的日光國家公園，則是日本有名的避暑旅遊勝地，既有火山、沼澤等自然風光，又有古建築、溫泉等觀光景點與設施。而日光宇都宮公路從日光交流道到青瀧交流道之間的路段，正好經過日光國家公園的範圍，因此從公路的規劃、設計、到施工等各個階段，都特別注重讓公路建設與自然環境共存的課題。

### 1. 改善公路形式

從鳴蟲山隧道到安良澤路段，為考量路幅寬度及道路高程原計劃採高填土之路堤，但經評估後認為高填土的取土必定造成大面積之開挖，馬上面臨景觀破壞及生態環境的衝擊；經檢討後將線形向大谷川方向移動並檢討路堤高程之實際需求部分改為低路堤方式或橋梁興建，以對地表做最小幅度之變動為最高指導原則。

### 2. 道路構造形式改採隧道穿越

鳴蟲山路段原設計係以路堤方式通過，惟對地形改變太大經評估後改採隧道穿越方式通過，降低環境衝擊。

### 3. 表土的保存與再利用

原生林區之表土係植群物種之土地銀行；經長年的生態作用表土富含豐富之腐植質及種源庫；為減輕對植群的干擾加速植群社會的演化；經調查後擬保留開挖路權範圍之表土，俟路面完工後再回覆鋪植於附近邊坡；本案共保留了 5 萬立方公尺的表土；並於完工後鋪植於路面邊坡上，覆土厚度為 1 公尺。

## 四、北海道縱貫自動車道（北海道白老郡白老町）

道央自動車道白老郡段 polodo 湖附近因線形經過原生林及部分溼地，為使道路建設減輕對環境之干擾及破壞，避免橋梁落墩及施工時對環境的干擾故針對橋梁形式及施工時之環境考量提出檢討。

### 1. 道路構造形式

為免對該環境敏感區造成衝擊，經檢討相關工法及構造物形式後決定採單跨橋（singlespan）跨越該原生林及溼地。

## 2. 施工中的環境保護

為維持該區之完整俾免施工中之干擾，橋樑之工法採懸臂工法（cantilever）施作；施工期間均於高空完成，對地面之干擾降至最低。

## 3. 設計階段的檢討

為維持人工構造物與自然的和諧，橋型及橋台的設計作最輕巧的跨越，以減少人工構造物在自然環境的景觀衝突。

## 五、道央自動車道（北海道縱貫自動車道）

北海道道央自動車道小牧至千歲段因線形經過生長良好之林帶，在細設階段路線檢討後認為該林帶有保存價值，復研議相關對策。

### 1. 改善公路線形

經於現地會勘後決定調整線形將道路用地縮減至最小範圍，同時將南下北上側分離，將部分 12 公尺寬之林帶保留為中央分隔帶；施工階段並於相關特定條款中述明對現有林帶植栽的保存，並限定作最小幅度的衝擊；承商需針對前述議題提出施工計劃送審後方可施作。

### 2. 原生林帶的保留

本案於規劃設計階段因地制宜彈性拉開雙向之線形，減少對原地形地貌的破壞，同時於施工階段研議相關機制保護原有植生林帶；惟後續對中央 12 公尺寬之林帶棲地之保存及移動路徑的長期觀測，仍待相關資料的彙整；俾提出完整的環境共生對策。

## 六、瑞士盧森市山區公路設計

盧森(Luzern)市是瑞士著名的觀光勝地，區內有 Vierwald 等四座高山湖，群山環抱，有森林王國之湖的美稱。為了開發觀光資源，瑞士公路當局在此闢建環湖公路，但為滿足山光水色景觀上之協調，其設計有多處值得稱道之處：

### 1. 懸臂式道路面版(Cantilever Deck)設計

為了降低對當地自然景觀之破壞，同時減少邊坡防護、整治的成本，以懸臂方式支撐的道路處處可見借助預力岩錨、岩釘之支撐將路面托架於峭壁之上，此種設計可完全避免傳統山區公路的挖填，大幅減少公路施工成本。

### 2. 廢輪胎的利用

瑞士公路當局對於環保工作之推行極為積極，盧森湖畔 Vitznau 鎮附近特以廢輪胎填築成約 8m 高之加勁擋土牆，除可有效解決當地廢輪胎堆積問題外，兼可做

落石防護牆之用，對於工程單位推行環保之決心亦有極大的宣傳效果。植生後之廢輪胎擋土牆在景觀上亦不致造成太大負面之影響。

### 3. 高架橋梁

瑞士山區道路之另一特色即是高架橋梁。由於公路當局對於水土保持及景觀極為重視，因此鮮少大挖大填，在稍陡峭之山腰即以連續高架橋方式蛇行通過，對於環境生態之衝擊較小，其特色為高且細的橋墩，常達數十公尺高，與周遭之村落景觀相融，成為地標。橋墩基座周圍植生情況極佳，不僅有助於橋梁之整體景觀，亦可減少橋墩沖刷、水土流失之機率。

## 七、夏威夷 H-3 道路

為緩和夏威夷瓦胡島交通壅塞問題，於瓦胡島興建三條州際高速公路，分別為 H-1，H-2，H-3。其中 H-3 公路為東西走向，全長 26km，西起珍珠市，與 78 號高速相通，串聯人口最密集的歐胡島東西兩側交通，此公路的四線道路跨越未開發的生態敏感地，此地同時亦是重要的考古地點及文化遺址，並且開挖了約 1 英哩的隧道通過嚴峻、秀麗的 Koolau 山。

H-3 工程設計興建時特別全方面的考慮了夏威夷脆弱的生態環境。這條亦曲亦直的公路跨越了崎嶇不平的地形，並以隧道方式穿越 Koolau 山。為了將當地生態環境的衝擊減到最小，工程設計多採用懸臂式的橋樑設計，以保護下方植栽及動物。

## 八、美國加州生態社區 Village Home

位於加州戴維斯市的 Village Home 社區，始於 1974 年，是由 Michael & Judy Corbett 所規劃，面積為 70 英頃(acres)，共有 240 戶。其特色為節能設計、社區水循環設計、可食植栽造景、狹窄街道設計，為生態社區規劃設計之先河。

### 1. 減少公路橫斷面與植栽綠化

Village Home 改變美國式的 12 至 18 公尺寬汽車道為主的設計，以自行車及步道為主的交通系統取而代之，在此系統中汽車道僅只 7 米寬，降低了車流量及車速，居民可安心自在享受林蔭大道帶來的舒暢。且又因公路面積減少，等於透水草地及林蔭地的增加，亦對社區的水循環及節能有正面的貢獻。因自行車及步道為主的交通系統，使此社區每戶擁有車輛減至為 1.8 輛(其他地方平均為 2.1 輛)。

### 2. 考量採用替代能源

Village Home 公路設計均為東西向，故住戶有最好的條件作充分的陽光運用，避免西曬，增加空調負擔。大部分的住宅採用太陽能設施；另外亦有採覆土設計的

住宅，使此社區的冷暖房耗能量低過其他社區。汽車道採用淺色鋪路建材，減少太陽能的吸收與折射。節能設計及太陽能設施的利用，居民生活所需的熱能高達50~75%是來自太陽能的利用。

### 3.3.2 國內公路工程節能減碳案例與手法

#### 一、國道六號南投段節能減碳具體作為

國道六號南投段全長約 37.6 公里。路線設計採用對原地生態干擾較小的高架橋和隧道構築（約占全線 81%）為主，其中主線橋梁長度 26.4km，佔路線全長 70%，隧道長 4.2 公里，佔 11%，路工長 7 公里，佔 19%。國道六號南投段為第三代高速公路，為落實環境與生態保育的永續理念，規設考量對環境干擾最小化，使用新材料、新工法以節能減碳，並運用生態工法、配合地方環境、人文意象與景觀特色，構建一條符合環保、生態、景觀及交通需求的永續公路。以下為節能減碳之具體作為及效益：

1. 提昇公路服務品質及節能減碳國 6 通車後提供便捷之交通，估計將轉移臺 14 交通量(50%~65%)，因公路服務品質提昇，可提高能源使用效率，減少 CO<sub>2</sub> 排放量。以臺 14 草屯~埔里路段現況交通量約 34,000PCU/日(雙向)，及該路 50% 之交通量轉移行駛國 6 估算，每天約減少 CO<sub>2</sub> 排放量 39.1 噸，節省汽油 2.4 萬公升。

2. 採用再生材料與新材料

(1)以煉鋼之副產品「爐石粉」取代部分水泥，資源再利用。

橋墩柱全面採用自充填混凝土，除提昇混凝土強度、工作性、耐久性與外表美觀外，因以煉鋼副產品爐石粉取代部分水泥，可減少水泥用量約 4.7 萬噸，降低 CO<sub>2</sub> 排放量約 4.2 萬噸。

一般混凝土在規範允許範圍內摻用爐石粉取代部份水泥(平均約 26%)，減少水泥用量約 19.2 萬噸，降低 CO<sub>2</sub> 排放量約 17.1 萬噸。以上混凝土摻用爐石粉，總計減少 CO<sub>2</sub> 排放量約 21.3 萬噸，約相當於 2.1 萬公頃林地每年的 CO<sub>2</sub> 固定量（資料來源：農委會林務局網站；以單位面積林地 CO<sub>2</sub> 固定量 7.45~14.9 公噸/公頃/年計算）。

石灼巷跨越橋上構採用輕質混凝土，其粗骨材係以水庫淤泥再生利用燒結而成，單位重僅為一般混凝土之 1/4。因上部結構減輕，橋墩柱斷面

積縮小約 16.7% (400×120cm 400×100cm)，減少混凝土用量。

#### (2)綠化與植生

約種植喬木 9 千株、灌木 16.5 萬株。其中喬木約可吸收 4,320 噸 CO<sub>2</sub>。

(依相關研究 1 顆樹 1 年能減少 12 公斤 CO<sub>2</sub>，平均壽命 40 年計算)

(3)全線土方平衡，充分利用資源，減少土方運輸耗能。

#### (4)保護綠資源

a.路線以橋隧為主（合計 81%），主線路塹開挖段約僅 0.9 公里，減少地形、地貌與生物棲地破壞。

b.設置鋼棧橋，減低施工對坡面影響，保護既有地被生態。

c.表土回收利用，保存當地種子庫。

### 二、三芝北投段快速道路

三芝至北投快速公路全長約 19.8 公里，其中橋樑總長 13.4 公里(67.8%)，隧道 3.1 公里(15.4%)，設有淡海、內竿蓁林及大度路三處交流道。路線跨越大屯山放射山系，鄰近陽明山國家公園、關渡自然保護區及紅樹林保護區等生態敏感區。

以下為節能減碳之作為：

#### 1. 路線調整

全線主要以高架及隧道等對生態衝擊較小的構造形式進行設計，除交流道引道外，路堤、路塹段皆未有連續超過 500 公尺者，且保留河川谷地，已儘量減少切割效應與衝擊。

#### 2. 橋樑配置與漸進工法

為使橋墩落柱避開水域及濱溪林帶，採預鑄節塊漸進式之新工法施作，減少橋樑施工時對地貌的干擾，並律定橋梁基礎施作範圍，縮小植被破壞面積。

#### 3. 植栽計劃及表土保存

沿線植栽完全採用當地原生種植物，施工時並劃設表土保存區，保存現地豐富植物種源庫，待工程邊坡完工後回鋪，以加速生態復原。

### 三、北宜高速公路

北宜高速公路路線分為南港頭城段及頭城蘇澳段，南港頭城段西以南港系統交流道與北二高銜接，經石碇、坪林，穿越雪山山脈後，止於宜蘭縣頭城鎮。全長約 31 公里，路線沿山區及溪谷行走，為減少土方開挖及避免施工污染水源，維持天然景觀，故大部份均採隧道或高架橋梁工程克服，其中隧道工程佔 65%（全線雙向共 11 座

隧道)，橋梁工程佔 20%（大小橋梁雙向（含匝道）共計四十座），公路工程佔 15%。頭城蘇澳段起自頭城交流道，往南經礁溪、宜蘭、壯圍、五結、羅東、冬山至蘇澳鎮止，全長約 24 公里，除起點銜接頭城交流道約 500 公尺為路堤外，餘均以 4 車道高架橋佈設。全線 55 公里中，橋樑及隧道佔 91%，有助於降低對自然環境之干擾。

以下為節能減碳之作為：

#### 1. 路廊構造型式及路線調整

為減少土方開挖污染水源，並維持天然景觀，故大部分均採隧道或高架橋梁穿越避免環境干擾。如石碇高架橋、潭邊橋、烏塗溪橋等橋梁穿越原始林區，為減少基礎施工對其破壞，均採雙向共構設計以減少開挖。坪林一、二號高架橋沿坑子口溪溪谷施築，為減少開挖及影響水流，橋面採分離式設計，東、西行線橋梁之距離配合山谷變化，且兩向橋面高程亦不相同，除於兩頭隧道進出口等高外，中間高架橋段兩向高低亦不等。

#### 2. 昇井工法

雪山隧道全長約 12.9 公里，為通風需要沿線設置 3 組豎井（由西向東分別為 1 號豎井、2 號豎井與 3 號豎井）配合施工進度需求 2 號豎井、3 號豎井採傳統鑽炸法施作，1 號豎井採昇井工法。相較於傳統鑽炸法施工，開挖碴料需由豎井上方另尋（或另闢）公路運棄，對豎井週遭環境擾動極大。

昇井工法施工所產生之碴料，直接落入豎井下方隧道內，與隧道主體開挖碴料一併處理，可減少施工期間土方運輸路線、縮短運距，降低工程施工對週遭環境之傷害。

### 五、國道三號沿線

國道三號全長 432 公里，北起基隆、南至屏東，貫穿整個台灣西部。為了落實交通建設與環境生態並存並榮的理念，在沿線各路段的公路設計中加入生態的考量，將公路系統對鄰近生態系統的衝擊降到最低。

#### 1. 以高架橋取代高填土

國道三號部分路段跨越谷地，若採路堤填築將造成原地形地貌大幅改變及棲地阻隔，不適動物之遷徙及繁衍。故以高架橋取代高填土，保留橋下動物生態廊道暢通，減少填土對棲地之傷害及借土對環境之破壞，或採大跨徑跨越水路或棲地，保留橋下完整空間對棲地造成最小干擾。

#### 2. 採用明挖覆蓋工法施作

早期隧道設計為維持洞口之穩定，常需選擇有相當岩覆（如 2~3m）才進洞，故洞口常伴隨大規模之邊坡開挖。隨著工程施工經驗之累積，隧道設計觀念逐漸改變，國道三號後續階段之隧道工程，多設法以減少開挖提前進洞為原則，採用明挖覆蓋工法施作，以期儘可能回復原貌，或以輔助工法(如管幕工法 Pipe Roof)於隧道洞口處於極淺覆蓋之情況下，直接進洞施作，將洞口週遭邊坡工程規模減至最小，並植栽以恢復自然景觀。例如景美隧道南口就是採用管幕工法輔助施工。

#### 六、東部公路蘇澳和平段 2A 隧道

國道東部公路蘇澳和平段路線全長約 36 公里，配置隧道計 9 座，總長約 25.9 公里，占路線比例 72%。其中 2A 隧道於初步設計階段初期規劃以路塹方式通過，其邊坡大開挖路段約長 200 餘公尺，開挖邊坡最高達 8 階，估算土方平衡後，尚餘棄方約 48 萬立方公尺。

經初步設計階段反覆檢討後，2A 隧道構築之方案雖有其工程上之種種不利因素(如覆蓋不足及偏壓)，且工程造價較高，但考量大規模路幅開挖將造成路線週遭自然環境嚴重破壞，最後仍決定以 2A 隧道之工程配置進行細部設計。成果評估及檢討：路塹開挖方案與隧道構築方案相較，前者憑藉著造價低、工期短之有利因素，再加上施工技術門檻亦不高，在傳統設計觀念上，常是第一順位之選擇。但近來邊坡工程因大規模土方工程所造成之環境衝擊常遭人詬病，在納入生態考量及棄方處理等因素下，隧道構築方案儘管在工程技術上將遭遇更多之困難，且所需費用亦較高，但在工程考量及環境保護兩相權衡下，隧道構築方案應為現階段較佳之選擇。



## 第四章 公路工程規劃設計階段碳排放量推估模式

### 4.1 碳排放量評量模式規劃原則

本研究所研擬之公路工程碳排放量推估模式，依據本年度工作會議之決議與專家之結論，將分成前期規劃(可行性)階段與規劃設計階段兩評估時機。可行性階段係考量工程選線、方案評選與效益問題，應提供規劃設計相關人員快速評量碳排放量之方法；設計規劃階段，考量初步設計與細部設計等項目，應探討如何計算工程材料與工法之碳排放評量方法，以協助同仁未來計算工程計算碳排放量之參考依據。

本研究研析評估時機與內容，為完成公路工程碳排放評估模式之內容，規劃整體建立流程與方法，並配合專家意見進行收斂，以下茲就模式建立原則、流程與方法等內容進行說明。

#### 4.1.1 評量模式建立流程

建立公路工程碳排放評估模式的方法必須循序漸進，除了依參考前期研究所研擬之計算模式與國內外相關文獻外，應商討確實必須評估之範圍、計算方法與限制後，進而建構「公路工程碳排放量推估模式」之評量範疇。因此為了確保本模式符合國際標準與國內需求，模式建立之流程主要可分為四階段，包含文獻蒐集階段、研究團隊內部腦力激盪階段與專家座談、案例試算及修正階段。

第一階段：文獻蒐集及回顧，本階段對於國內外相關之文獻、碳評估系統與案例進行蒐集，目的在於探討國內外工程碳排放量評估之限制與考量，以及針對未來實際使用需求進行探討。

第二階段：透過研究團隊內部之工作會議進行腦力激盪，並透過訪談各界專家以建立初步評估模式。將先針對現階段工程操作方式與需求進行評估模式概念發想，爾後針對實際規劃流程進行探討，確立模式使用時機與雛形後，進行訪談，確立未來模式方向。

第三階段：以國內外相關工程排放評估模式與本研究之概念為主要收斂對象，討論並截取其中適合國內之環境與可行性部分進行調整及套用，再利用專家座談，邀請各領域之專家學者探討研擬之評估標模式，檢討模式可行性與操作性。

第四階段：評估模式確立且經專家認證後，最後透過公路總局、高公局等單位之相關

工程案例進行反推估計算，並針對推估內容進行檢討及修正，持續簡化與確認模式操作性。

#### 4.1.2 評量模式建立概念與原則

本年度所建立之碳排放推估模式，該內容將針對方案評選、工程主要材料選擇及工法差異進行探討，並依據可行性階段與規劃設計階段之重點項目與使用時機進行分析後，進而提出模式概念與評估原則，最後再透過專家訪談、工作會議與產官學專家座談會等方式，確立本模式適用性與實際操作性。以下茲就模式建立概念與原則進行說明：

##### 一、簡潔且容易計算

工程在可行性階段之選線或方案初擬過程裡，工程標的物之設計理念、量體數量與預算皆處於初步階段，資訊正確性與完整性較為不足，倘若提供詳細之碳排放計算方法，或需要倚靠完整或詳實之資訊，將造成執行難度過高，不僅增加作業人員負擔，亦無法達到輔助之效果。因此，為了輔助設計人員進行不同方案評選之碳排放量推估與比較，若能建立路工、橋梁及隧道等不同類型之工程單位碳排放量，使用者僅需利用粗略之單位用量進行計算，便可容易推估碳排放量，才能有助於未來計算與減少負擔。

##### 二、正確且具代表性

在工程進行基本設計或細部設計時，設計人員所考量之內容與範疇往往複雜且繁多，除了必須兼顧成本與效益外，細部的施工工法選擇、材料使用及結構設計都必須仔細思考。然而，不同設計概念或項目變更等都將產生工程材料項目與用量差異，在考量碳排放量同時，應建立標的物所需要之燃料消耗、材料用量、交通運輸或間接產生之能源消耗等皆納入計算，不僅費時且難以計算。因此，若能透過歷史資料進行反推估，探討不同工程類型、施工工法或結構等問題，擷取必須且主要之碳排放源，使用者僅針對主要項目進行計算，將可兼顧代表性與方便計算之需求。

#### 4.1.3 評量模式評估時機

本年度之工作目的在於協助相關人員，於可行性評估與規劃設計階段時，可依循一套標準且具代表性之工程碳排放推估方法，並將溫室氣體排放作為工程效益評估、方案選擇條件之一。透過概念發想階段後，本研究所規劃之碳排放評估模式，其適用之時機可分為可行性評估階段與規劃設計階段兩大階段，而其適用評估時機點，如圖

4.1 所示。第一階段：可行性評估階段，由於此階段主要針對環境、交通、工程初步量體、可行性等問題進行探討，並依據效益評估之原則、成本與實際需求等探討各方案之優缺點。因此，此階段之碳排放評估模式之重點為分析地表環境的改變與各方案初步碳排放之差異，以進行評選與比較；第二階段，規劃設計階段，由於此階段已初步確立路線方案，因此，評估方法應針對設計所採用之材料、施工工法或機具等實際工項內容進行計算，以探討其碳排放量之總量。提供使用者於施工計畫與細部設計完成前，先行比較主要碳排放量來源之材料內容，協助相關單位進行調整與修正。

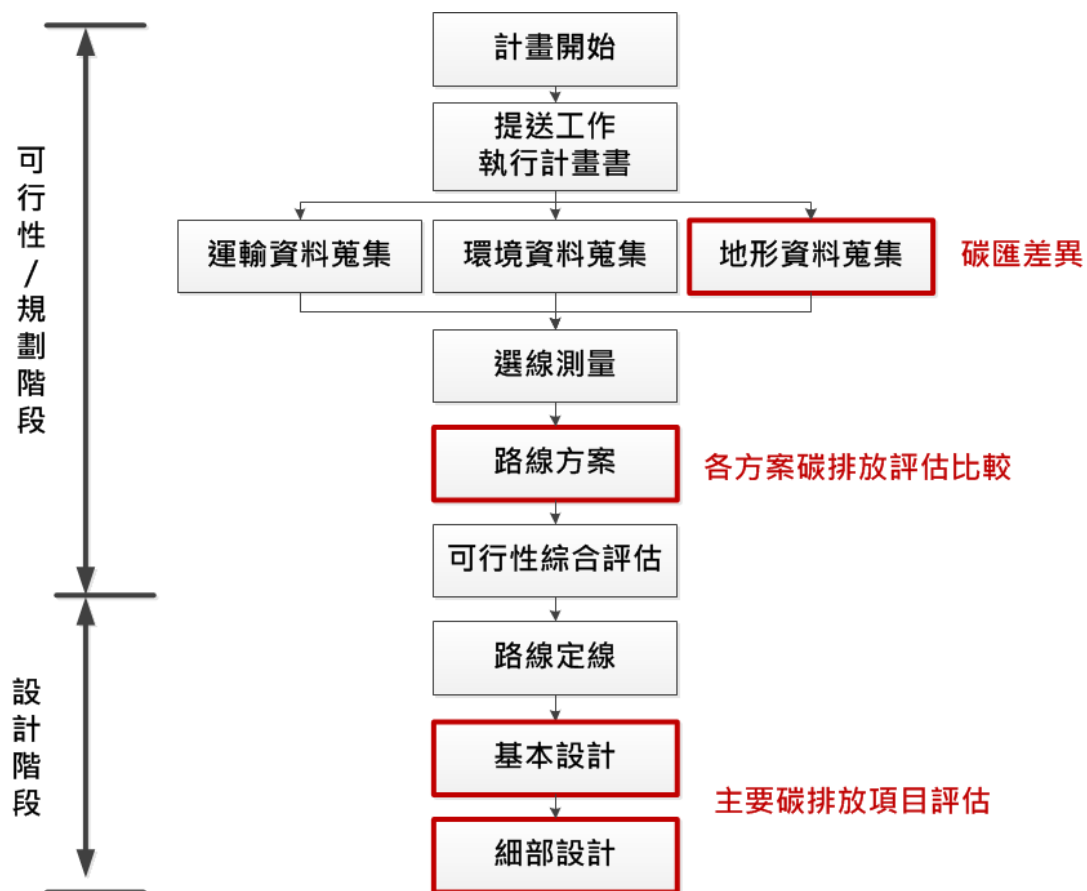


圖 4.1 本研究碳排放模式之評估時機

#### 4.1.4 評量模式之計算範疇與計算方法

##### 一、計算範疇

依據環保署溫室氣體盤查與登錄管理原則將排放範疇界定為：依溫室氣體排放來源劃分之三大類溫室氣體排放範疇，範疇一係指來自於製程或設施之直接排放；範疇

二係指來自於外購電力、熱或蒸汽之能源利用間接排放；範疇三係指非屬自有或可支配控制之排放源所產生之排放，如因租賃、委外業務、員工通勤等造成之其他間接排放。

此三大範疇中，範疇一和範疇二的邊界設定應以營運控制權法為依據，即以實際具有管理權力的範圍做劃分，範疇三部分因大多數屬不可控制範圍，故目前溫室氣體管理規則與指引僅強調對範疇三的排放源進行定性描述，並未將之納入計算。而依據範疇一、二、三之計算內容，可將工程碳排放量計算歸納為五大計算工項，包含直接排碳量、間接排碳量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量：

1. 直接排碳量：指施工機具設備或現場燃料使用後產生之碳排放量。
2. 間接排碳量：指工區範圍內之外購能源所產生之碳排放量，如場地照明、通風或耗電機具設備之用電量、工區用水等。
3. 材料排碳量：指工程所需之工程材料，其生命週期之碳排放量總和。
4. 運輸排碳量：指因運輸行為使燃料耗用所產生之碳排放。
5. 碳匯變化量：指地表植被改變前後之固碳量差異。

## 二、計算方法

本研究之碳排放計算方法，係考量國內外溫室氣體盤查與管制等相關規範後，將採取排放係數法為一致的碳排放狀況量化評估方法，其計算式原則為：

$$\text{碳排放量}(CO_2e) = \sum \text{活動強度} \times \text{排碳係數}(CO_2e/\text{單位活動強度})$$

於計算式中所指之活動強度係為會造成排碳量的相關活動量，應根據不同計算範疇加以鑑別；而排碳係數則是指對應各項排碳活動的單位活動強度排碳量。透過設計階段之數量計算書與工程預算書中之細項材料用量，依二氧化碳排放量計算方法即可計算出工程量體、施工與維護操作之總碳排放量。

## 4.2 專家意見與建議

依據 4.1 節公路工程碳排放評量模式建立原則與概念，本研究完成回顧國內、外相關工程評估項目與方法後，透過專家訪談逐步確認評量模式之架構與後續建立方式，並利用前期研究所建立之方法進行模式適用性與可行性探討。透過專家會議之諮詢與問答後發現，專家們皆認同本研究所提出之模式建立原則，並建議評量模式必須考量實際計算之困難與負擔，進而探討快速與準確之方法。本節茲針對專家建議進行彙整，主要建議如下。專家會議與訪談之詳細內容煩請參閱附件四。

1. 目前國內尚無規劃、設計階段之碳排放評估方法，100 年度運研所「交通運輸工程碳

排放量推估模式建立與效益分析之研究」所提出之計算方法是目前較為明確且可行之模式。而現行的工程中，目前只有蘇花改工程有進行二氧化碳排放評估，未來規劃、設計階段之碳排放評量將依據本研究所提出之內容為主。

2. 於規劃階段評估時，本研究初步所提出之路工、橋梁以單位面積 ( $\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ ) 計算、隧道使用單位長度或體積 ( $\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ) 計算應無問題，但建議研究單位應利用歷史資料計算後再行確認。
3. 本研究所研擬之計算模式將有助於未來進行方案評估與比較，惟路工段建議討論路堤高度問題、橋梁段需考量橋下淨高問題、隧道段除了以單位體積計算外，建議須考量機電設備內容等。
4. 考量影響碳排放或材料用量之分類，若針對路工工程設計部分，公路等級差別應不會造成明顯碳排放差異，反而應注意填土數量；橋梁部分建議分成上、下部結構探討，上部結構可利用工法區分，下部結構須考量高度與墩基礎；隧道部分所使用之工法不多，建議可依據工法或地質區分，工法可包含新奧工法、隧道鑽掘機 (TBM) 工法、明挖覆蓋工法與鑽炸法。
5. 目前各工程於細部設計階段時，都已有完整之工程項目、數量及單價分析，本研究應利用歷史資料推估之方法，依據路工、橋梁與隧道之分類，分別建立主要工程碳排放源，未來計算與參考實亦較為可行且精確。
6. 本研究所提出評估模式概念可行，但是目前國內尚無完整且具代表之機具與材料碳排放係數，建議未來進行歷史資料推估時，應說明係數來源，才有助於使用者參考或調整。

彙整專家之意見發現，本碳排放評量模式可依據路工、橋梁及隧道工程進行分類與排放量加總，以作為未來評量路線方案之依據參考。而各類工程評估因子與分類則依據路堤高度、橋梁結構、主梁型式、隧道斷面等類別進行探討；工法則以國內常用之橋梁、隧道工法進行彙整，如表 4.1、4.2 所示。

表 4.1 專家建議之設計階段可評估項目

工程分類	評估要項	分類考量
路工	填土數量	
橋梁	上部結構	依主梁型式區分： 支撐先進工法、預鑄節塊工法、場鑄懸臂工法、就地支撐工法、I 型梁
	下部結構	依基礎型式區分： 井式基礎、沉箱基礎、樁基礎、直接基礎
隧道	使用工法或地質	隧道鑽掘機（TBM）工法、明挖覆蓋工法與鑽炸法

表 4.2 專家建議之工程評估與分類條件

工程分類	評估要項	分類考量
路工	單位面積與填土數量	
橋梁	橋下淨高、主梁材質、結構型式	I 型梁、箱型梁、鋼箱梁橋
隧道	斷面積或體積	

### 4.3 碳排放量評量模式建立

為了簡化未來作業負擔且兼顧碳排放量推估之準確率，本研究利用碳足跡計算原則、前期研究之計算方法、專家與工作會之意見等。分別規劃出簡易型與詳細型碳排放評量模式，並依據路工段、橋梁段與隧道段進行主要碳排放影響因子探討，而後再針對各工程類別之主要碳排放源之材料、施工工法等進行彙整，以作為未來工程評估碳排放之參考。以下茲就兩大評量模式計算項目、內容與原則進行說明。

#### 4.3.1 簡易型碳排放評量模式

##### 一、模式計算內容

重大公路工程計畫之實施，需經過先期規劃(可行性研究)、綜合規劃、初步設計(基本設計)、詳細設計與施工等階段執行。多數公路工程於先期規劃及綜合規劃之方案評選階段，受到國家計畫、未來交通需求與環境變遷趨勢等限制，必須分析與探討若干可能之替代方案，相關決策者則依據方案之資訊，考量經濟、財務、技術之可行性及環境可接受性等因素後選定最佳方案。然而就工程本體二氧化碳排放評估而言，先

期規劃階段所提出之設計內容與資訊較為粗略，不合乎碳足跡計算之原則所需，亦無法計算方案間之碳排放差異。

公路工程自工程構想、可行性評估、施工到完工等過程中，各階段可獲得之工程資訊精度皆不同，參照現行常見之規劃設計報告內容發現，規劃設計單位多數僅能進行提供預計路工長度、路面寬度、車道數與預計填築之土方量等基本設計，而工程成本估算之內容亦以此基本資訊進行推估。本簡易型碳排放評量方法順應既有成本推估之方法，考量資料之詳細度與工程成本估算常使用之單位，並以公路工程之主要碳排放工項來源，作為碳排放量推估之基礎。此外，除計算公路工程之主要碳排放工項來源外，本模式一併考量環境改變所產生之固碳量差異。故本簡易型碳排放評量模式將包含工程排碳與環境改變兩大部分，內容如圖 4.2 所示。



圖 4.2 簡易型碳排放評估範疇

#### 1. 工程碳排放量

本簡易型碳排放評量模式所計算之工程碳排放量，係計算公路工程之主要碳排放來源，包含路工段、橋梁段與隧道段三大工程之量體材料與施作所需之機具能耗，及設施服務年限中，可能產生之維護工程排碳量。

#### 2. 環境改變差異

由於公路工程於開發整地階段必須清除既有植被、森林等，而後在建造過程中或完成後將進行植生復育，都將使該工程區域範圍內的碳匯量產生變化。

因此，環境改變差異係考量工程施工前後之碳匯差異。

### 二、模式計算單位

由於國內外尚未對於單位公路的碳排放計量方式有明確定義與適用單位，故本研究參考專家會所得之建議與單位成本概估法之單位進行簡化。路工段以單位路工面積與土方單位體積為考量；橋梁段則依據上、下部結構特性後以單位橋面板面積計算之；隧道段部分原訂以隧道單位長度計算，惟考量斷面面積後，專家建議以單位體積更為合宜。

維護工程與碳匯部分，在我國公路工程項目中，並未有碳排放量推估或調查資

料，此兩部分則建議暫參照相關部會與國外研究之成果計算之。本簡易型評估方法所採用之計量單位與考量因子，如表 4.3 所示。第五章之計算分析亦依據表 4.3 本研究評估單位進行計算。

表 4.3 簡易型評估單位與考量因子

類別	簡易型計算考量因素	單位成本概估法計價因素	本方法評估單位
路工段	1. 路面工程 2. 土方工程	1. 路面面積(m <sup>2</sup> ) 2. 土石方數量(m <sup>3</sup> ) ● 清除與掘除面積 ● 擋土牆、邊坡、其他	● 路面單位面積(m <sup>2</sup> ) ● 土方單位體積(m <sup>3</sup> )
橋梁段	1. 地形 2. 上部結構-主梁材質、主梁結構、工法、跨距 3. 下部結構-高度、基礎型式	橋面版單位面積(m <sup>2</sup> ) ● 上部結構-按工法及使用機具數量、跨距 ● 下部結構-直接基礎、樁或沉箱	● 橋面單位面積(m <sup>2</sup> )
隧道段	1. 長度 2. 斷面 3. 車道數 4. 地質	隧道單位長度(m) ● 長度 ● 車道數 ● 地質	● 隧道單位體積(m <sup>3</sup> )
維護工程	● 長度或體積	無	● 碳排放固定百分比
碳匯	● 面積	無	● 單位面積(m <sup>2</sup> )

### 三、模式計算方法

本模式之計算方法，主要依循排放係數法之計算原則與專家意見後，並考量範疇與先期規劃之資訊，將工程碳排放主要計算式規劃為：

$$\text{工程碳排放量} = \text{工程碳排放} + \text{維護階段碳排放} - \text{碳匯差異}$$

以下茲就主要工程碳排放類別、維護工程與碳匯之計算方法進行說明：

#### 1. 路工段

路工段之計算可分成路面工程與土方工程。路面工程以單位面積進行計算，內容則考量不同鋪面之組成，應分為柔性路面與剛性路面；土方工程則以單位體積進行計算之。路工段主要計算式為：

$$\text{路工段碳排放量} = \Sigma(\text{鋪面面積} \times \text{碳排放係數}) + (\text{土方填築體積} \times \text{碳排放係數})$$

## 2. 橋梁段

橋梁段工程之估算需分成上、下部結構分別評量，計算單位皆以單位橋面板面積計算之。上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁形式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁形式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。橋梁段碳排放評估計算式為：

$$\text{橋梁段碳排放量} = \Sigma (\text{橋面板面積} \times \text{工法碳排放係數}) + (\text{橋面板面積} \times \text{下部結構碳排放係數})$$

## 3. 隧道段

隧道段工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例或支撐強度之內容進行計算，隧道段工程主要計算式為：

$$\text{隧道段碳排放量} = \Sigma (\text{隧道體積} \times \text{各地質所占比例} \times \text{各地質類別碳排放係數})$$

## 四、維護工程

在我國公路操作維護工程中，並未有碳排放量推估或調查資料，而本研究根據國外交通運輸排碳量研究之回顧中發現，瑞典對交通運輸生命週期之盤查分析為估算公路 40 年生命週期內建造、操作、維護階段之排碳量，其中操作維護排碳量約佔施工階段碳排放之 14% (維護 10%、操作 4%)【14】；法國 A71 公路建造與維護碳排放評估研究中，以 30 年生命週期估算公路各階段排碳量，當中公路操作維護之排碳量約佔公路施工階段碳排放的 14%【13】。因此，本模式暫建議維護工程碳排放量，以施工階段工程碳排放總量評估結果為參數，以其 14% 計之。維護工程主要計算式為：

$$\text{維護階段碳排放量} = \Sigma (\text{路工段} + \text{橋梁段} + \text{隧道段碳排放量}) \times 14\%$$

## 五、碳匯

為適切推估剷除林地、草地可能造成的碳匯損失以及植生復育可能造成的碳匯增量，本手冊蒐集國內外林地、植栽等相關碳固定量研究結果，作為碳匯損失計算之基準。本手冊建議碳匯計算之內容，可依據內政部建築研究所發表之綠建築設計技術彙編(2005)中，所發表之台灣各種植栽類別單位面積下 40 年二氧化碳固定量，內容如表 4.4 所示，吾人可利用環境空照圖與現地勘查等方式，依據表 3.7 之資訊進行碳匯差異計算。主要計算式為：

$$\text{碳匯碳排放量} = \Sigma (\text{新種植栽面積} \times \text{固定碳排放係數}) - \Sigma (\text{既有植栽面積} \times \text{固定碳}$$

## 排係數)

表 4.4 台灣各種植栽單位面積二氧化碳固定量

栽植類型		二氧化碳固定量		覆土深度
		kg/m <sup>2</sup> /40 年	Ton/ha/yr	
生態複層(喬木間距 3.0m 以下，以實際綠地面積計)	大小喬木、灌木、花草密植混種區	1,100	275	1.0 m 以上
喬木(每棵喬木種植間距 5 m 以上，樹冠覆蓋面積以 25 m <sup>2</sup> 計)	大喬木	900	225	
	小喬木	600	150	
	棕櫚類	400	100	0.5 m 以上
灌木(每 m <sup>2</sup> 至少栽植 4 株以上，覆蓋面積每株以 0.25 m <sup>2</sup> 計)		300	75	
多年生蔓藤(以實際攀附覆蓋面積計)		100	25	
草花花圃、自然野草地、草坪		20	5	0.3 m 以上

資料來源：【15】

### 4.3.2 詳細型碳排放評量模式

#### 一、模式計算內容

本模式即以公路工程規劃設計階段、施工及維護管理階段為評估對象，以合乎國內外碳足跡評估的觀點、計算方法正確與內容完整為基本考量，規劃出可作為合理解釋與分析公路工程排碳量評估結果之計算方法，以提供規劃設計階段決策分析所需碳排放資訊之輔助工具。

詳細型碳排放評估方法，係以工區即工程設施運作的區域為範圍，考量包括工區範圍內或就近為因應此工區所需的工務所、預拌廠和預鑄廠等，含括公路建造過程中的製程能源供應與使用及營運場所的排碳；另還須以公路建造之工程材料製造過程排碳及各式物資運輸與儲存排碳；最後還必須考量公路工程建造完成後於服務年限內之維護工程排碳。

此外，依據國外計算模式之範疇計驗與國內實際情形，本研究考量最終處理階段其流向與處理方式難以追蹤與計算，因此暫不納入本模式計算中。而公路工程之碳足跡計算邊界則界定以公路工程施工和維護管理兩階段為時間邊界，實際計算則不包含營運階段之行車碳排放量與後續拆除後之廢棄物處理、再生利用之可能。

#### 二、模式計算原則

為能完整計算公路工程之二氧化碳總碳排放量，本研究建議使用者於計算時應以

符合以下計算原則為前提，再詳實考量詳細型模式所需計算之工項，以確保計算內容之完善。本模式之主要計算原則說明如下：

1. 所有具實質貢獻超過 1% 以上之碳排放源皆應納入計算
2. 應計算至少 95% 之工程項目碳排放量（單一排放源的碳排放量小於 1% 時，可不計算，但所有不計算者累加起來不可高於 5%）。
3. 若單一個排放源的排放量已大於 50%，其餘排放源應計算其至少達 95% 的排放量。
4. 應將最終計算結果擴增至 100% 的排放量（假如有小於 1% 的排放量未納入計算時）。

### 三、模式計算原則

依據模式原則，本工程碳排放量計算可歸納為五大計算工項，包含 A 直接排碳量、B 間接排放量、C 材料排碳量、D 運輸排碳量與 E 碳匯變化量，計算工項內容，如圖 4.3 所示。

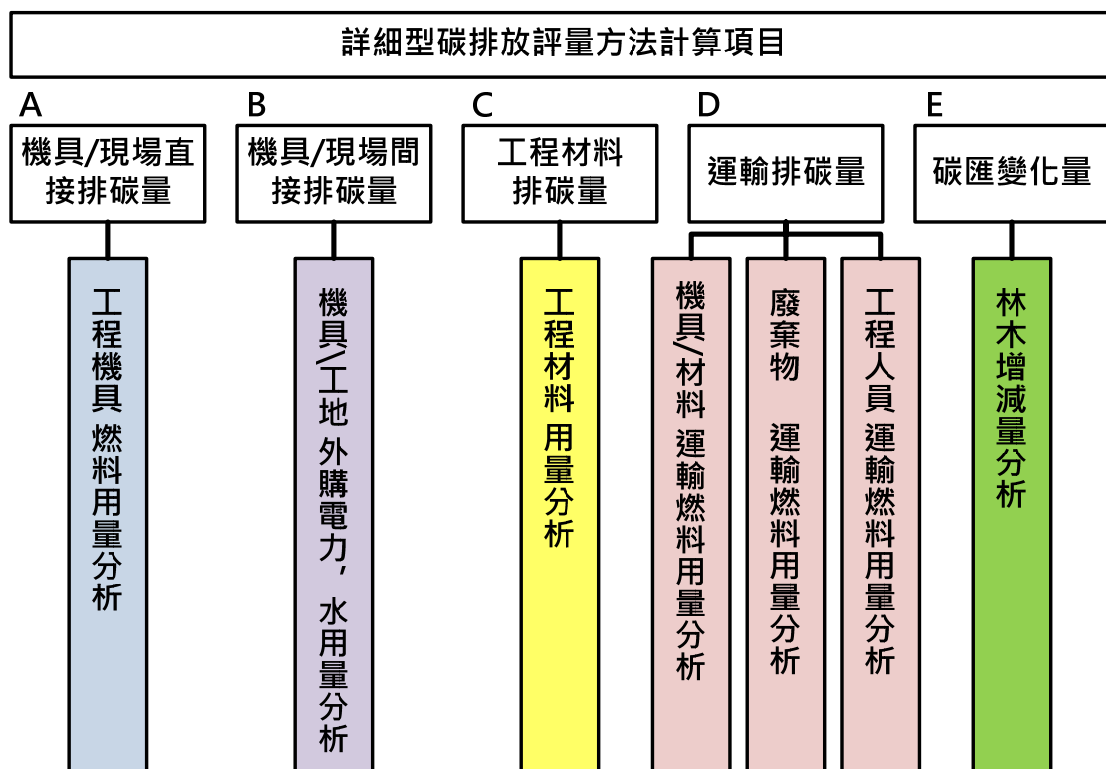


圖 4.3 公路工程詳細型碳排放計算工項

本模式計算方法亦以排放係數法為量化評估方法，其計算式為：

$$\text{工程總碳排放量}(CO_2e) = A + B + C + D - E$$

以下針對計算工項之計算方法進行說明：

#### A. 直接排放量

直接排放量即為機具設備或現場的燃料使用排放量。使用者可就相關燃料用量提出數據，或統計機具工作量(操作時間)，再輔以施工機具單位時間燃料耗用率推估燃料用量，進行排碳量計算。

$$\begin{aligned}\text{直接碳排放量} &= \sum \text{燃料用量} \times \text{燃料排放係數} \\ &= \sum (\sum \text{機具操作時數} \times \text{機具單位時間油耗}) \times \text{燃料排放係數}\end{aligned}$$

#### B. 間接排碳量

外購電力排碳量，係指工區範圍內場地照明、通風或其他耗電機具設備的用電量及工區用水、氣體之使用量所產生之能源消耗。而外購電力乃針對向台電公司或其他單位所購買的電量，並以能源局所公告之電力排放係數進行排碳量計算。若用電設備機具所耗電力來自於燃油發電機，則此部分應以發電機之燃料耗用量於直接排放量中計算。

$$\text{間接碳排放量} = \sum \text{使用量} \times \text{能源排放係數}$$

#### C. 材料排碳量

以碳足跡之觀點，物料的碳排放係數應以全收命週期進行評估，使用者必須考量使用量與運輸問題，工程材料碳排放量可利用材料總量與其生命週期碳排放係數進行計算。本研究所計算之材料碳排放係數主要依據「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」中，所彙整之材料碳排放係數資料庫。

$$\text{工程材料碳排放量} = \sum (\text{工程材料用量} \times \text{工程材料排放係數})$$

#### D. 運輸排碳量

運輸排碳量應考量項目包括機具運輸、工料運輸、人員運輸以及廢棄物運輸四種。運輸行為造成碳排放主要源自於運具在運輸過程中的燃料耗用，因此，運輸排碳量可利用燃料耗用量與燃料排碳係數計算得知，或可以利用運具的燃料耗用係數進行燃料耗用量的推估。評估算式為：

$$\begin{aligned}\text{運輸碳排放量} &= \sum \text{燃料用量} \times \text{燃料排放係數} \\ &= \sum [\sum (\text{運輸量} / \text{運具載運量} \times \text{往返運輸距離} \times \text{運具油耗係數}) \times \text{燃料排放係數}]\end{aligned}$$

倘若在該工程運輸所需燃料量資料無法取得或計算獲得的情況下，依據運研

所相關研究與英國環境署工程碳排放計算器之運輸排碳量計算方式，吾人可考慮以全國統計資料進行特定運輸型式之單位延人公里(客運)或單位延噸公里(貨運)燃料耗用量為參數，以運輸距離估算該工程的碳排放量。

$$\text{運輸碳排放量} = \Sigma[(\text{運輸量} \times \text{運輸距離}) \times \text{單位運輸距離燃料耗用量}] \times \text{燃料排放係數}$$

#### E. 碳匯變化量

碳匯變化量部分係以地表植被的改變量為活動強度，若植被遭移除代表碳匯減量、植生復育則代表碳匯增量，輔以林木固碳係數進行碳匯變化量計算。

$$\text{碳匯碳排放量} = \Sigma(\text{新種植栽面積} \times \text{固定碳排係數}) - \Sigma(\text{既有植栽面積} \times \text{固定碳排係數})$$

## 4.4 小結

依據本章節之內容與說明，以下茲就主要結論與後續工作進行彙整：

1. 依據模式概念與原則建立，透過專家之意見與建議後，本研究所規劃之碳排放評量模式，可分為簡易型與詳細型兩大評量模式。利用此兩大模式，相關人員可於公路工程可行性與規劃設計階段時，進行評量工程之總碳排放量，進而將溫室氣體排放作為工程效益評估、方案選擇條件之一。兩大模式以合乎國內外碳足跡評估的觀點、計算方法正確與內容完整為基本考量，可作為未來合理解釋與分析公路工程排碳量，及提供決策分析之輔助工具。
2. 簡易型評量模式，建議適用時機為公路工程可行性或初步規劃階段。由於此階段所規劃之內容與現場相關資訊亦較為粗略，多數僅能評估使用工法、路工面積、橋梁涵蓋面積、隧道初估長度等內容。故本模式順應此特性與既有工程成本推估之考量因子，以公路工程之主要碳排放工項來源，作為碳排放量推估之基礎，包含路工段、橋梁段、隧道段與維護工程，並考量環境改變所產生之固碳量差異。
3. 詳細型評量模式，建議適用時機為公路工程之規劃設計階段與施工階段，或在相關工項有詳細資料可供計算碳排放量的情況下使用。其計算內容係以工區即工程設施運作的區域為範圍，應就工程直接排碳量、間接排碳量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量進行計算。
4. 本研究所研提之工程碳排放評量方法除考量工程直接排碳量、間接排碳量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量等五大類碳排放項目外，針對營運管理階

段之操作維護碳排放量，參考國外原則與經驗，其計算方法暫以比例法估算，初步以 14%作為 40 年碳排放量推估的比例。未來待我國彙整及計算維護工程之完整資料後，再行研議。

5. 本研究透過專家會與工作會之討論，可確立本兩大評量模式之內容符合期待，為確保模式適用性與完整性，本研究依循專家之建議，後續將針對歷史工程之內容進行計算與分析(請詳參本報告第五章)，探討主要影響工程碳排放之分類與碳排放係數，並嘗試蒐集既有工程之規畫報告進行簡易型模式測試，避免評量方法差異或不利使用之可能。

## 第五章 案例碳排放評量與模式測試

本章節將依據詳細型碳排放評量模式之方法與內容，進行歷史案例之計算。透過案例計算與分析之過程，不僅針對兩大模式進行修正外，亦逐步收斂與分析路工工程之主要碳排放材料內容與施工工項，並透過案例試算之成果作為模式分析分類與影響因子之關鍵。以下茲就案例蒐集、案例計算方法與流程、與評量內容等進行說明。

### 5.1 案例評量之目的與方法

#### 5.1.1 案例評量之目的

利用歷史案例評量是為了確認公路工程碳排放評量模式之適用性與操作性，並深入探討路工段、橋梁段與隧道段之實際碳排放主要來源與影響因子，進而利用案例評量之成果彙集影響工項碳排放之分類原則與碳排放建議係數，以輔助使用者建立工程碳排放評量與方案評選分析之關聯與建議。

#### 5.1.2 案例評量方法與流程

本案例評量之方法將依據詳細型碳排放評量模式，針對歷史案例所使用之材料、機具而產生的二氧化碳進行評估。在進行案例試算時，應就所需資訊與參數進行分析與確認，計算流程大致分成四大部分，第一部分，確立計算內容，將針對案例之工程預算書、數量計算書、工程圖說與建置需求等內容進行確認，以分析工程活動強度之資訊，第二部分，選用合適之排放係數，將針對活動強度與內容，分析其可使用之碳排放係數內容與替代方法；第三部分，活動內容計算與加總，針對計算範疇一～三之原則與工程五大計算項目計算碳排放源；最後將計算之結果進行彙整，以進行工程碳排放主要因子與主要工項之探討與分析。本案例計算流程，如圖 5.1 所示。



圖 5.1 計算流程圖

### 5.1.3 案例評量原則與限制

公路工程設計資料內容項目可概略分為人、機、料三大類，其中大部分皆為工程材料。而公路工程設計與施工之項目繁多，依據詳細型評量模式設計，使用者應實際計算五大項目，惟所蒐集之案例數量計算書、單價分析表、設計與施工圖說等內容可發現，部分資訊不足以支持碳排放計算所需，其中運輸所需之能耗資料最為缺乏，而間接排放所需計算之用水、氣體量亦無法於數量書中得知，本研究權衡實際所能取得之資訊與碳排放之關聯下，僅計算工程直接排碳、間接排碳、材料排碳與碳匯等部分內容。在既有設計結果限制條件下，本研究將進行部分簡化，而計算過程中之各計算項目與假設將延用前期研究之原則與建議執行。案例計算之項目內容如圖 5.2 所示，虛線部分受資料取得問題影響，暫未納入計算。

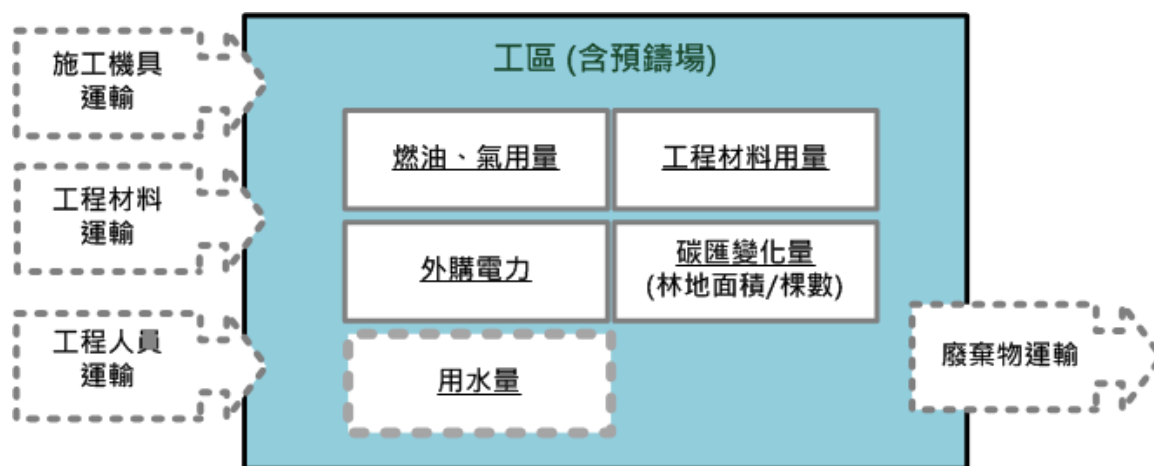


圖 5.2 案例計算項目示意圖

以下茲就計算限制與方法進行說明：

#### 一、機具設備能耗排碳量計算

經分析工程概算書內容及各設計項目可發現，施工機具與設備的數量計算都是以工作時數估計。故針對工程計算書中的機具項目，首先必須先參考本研究所蒐集之施工機具設備每小時之油耗量，確認單位時間能耗係數，再以本研究建議採用之我國環保署產品碳足跡網站公告的燃料與電力係數進行轉換，作為該機具單位操作時間之碳排放係數，進而計算該施工機具於工程過程中的排碳量。

同理，用電設備部分亦依本研究蒐集之每小時耗電量，乘以每度電力之碳排放係數，計算施工機具與設備之每小時排碳量。部分未有能耗係數的機具設備，則由設計人員以專業判斷，選擇相近功能、功率之機具能耗係數替代之。根據上述說明，以工

程設計結果進行機具設備能耗排碳量計算流程如圖 5.3 所示。

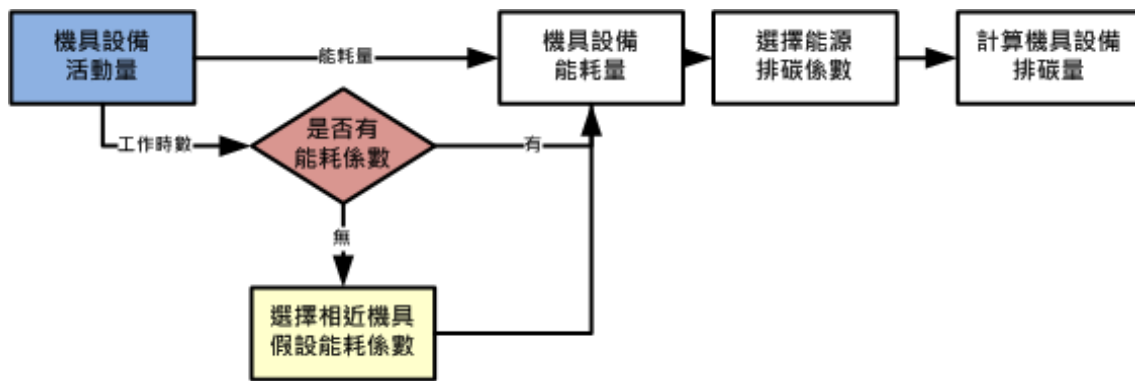


圖 5.3 碳排放量(機具設備能耗部分)計算流程

## 二、工程使用之材料設備生產排碳量計算

依本研究所定之碳排放量評估方法，工程用原物料的排碳量計算方法為：工程材料或設備用量乘以其製造過程排碳係數，求得此工程所用各項物料的排碳量。但檢視工程設計結果資料後發現，公路工程設計結果所提出屬於物料的資源項目，大多數並非原物料，在我國推動產品碳足跡年資上尚淺的情況下，絕大部分並無可直接對應之產品碳排放係數。為此，本研究係以提供本研究蒐集彙整之原物料參數資料表的方式，由工程數量計算專業人員就各品項中可求出原物料含量之項目如：PVC 管、鍍鋅鋼管、電線電纜等，依 CNS 所列之單位長度或重量中原料含量，乘以現有的原料排碳係數進行轉換，求得各品項之單位長度或重量排碳量，再依設計結果所提之工程數量進行碳排放量計算，此部分換算程序如圖 5.4 所示。

此外，組合型材料設備多數亦無可直接對應之排碳係數可供引用計算，故本研究除參照前期研究所使用之組合型材料，並利用專家之建議，在無法逐一針對以各組合型產品製程進行盤查的情況下，以其相近之原物料量為排碳係數轉換依據，逐一換算各式組合型材料設備之排碳係數，進而乘上工程數量求得該品項於本工程之碳排放量。而工程使用之臨時設施及設備部分，可重複使用之臨時設施及設備如鋼模、鋼支撐架、鋼板樁、鋼軌樁、水平支撐、施工護欄、上下爬梯、安全欄杆等，因完工後即可運出工地，雖在實務上必須就其可用次數攤提該設施的製造、運輸與廢棄碳排放量，但在資料有限的情況下，暫且將可重複使用之臨時設施及設備不計排碳量；惟為施作該臨時設施及設備所需之運輸與打設機具仍列入機具能耗碳排放量計算。

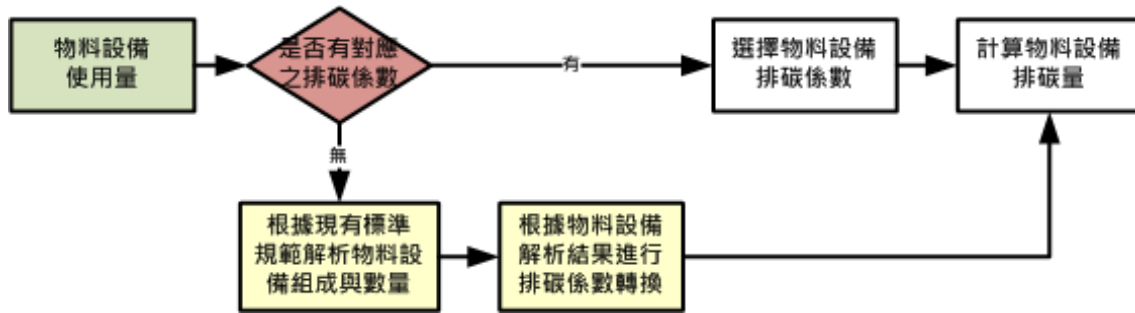


圖 5.4 碳排放量(工程材料部分)計算流程

### 三、人員運輸排碳量計算

由設計資料可彙整出來的人員相關資料僅總工作時數，在未有相關調查資料的情況下，並無法轉換為本研究提出應列入計算之工程人員往返工區人員運輸油耗量。由於各工程的人力往返距離難以假設，本研究暫不將人工之排碳量納入計算，建議未來若對於工區施工人力交通往返狀況有所了解時再予估算。

## 5.2 案例蒐集

本研究所蒐集之案例係透過交通部公路總局所提供，案例資料內容包含規劃設計資料、工程圖說、數量計算書預算書等共計 13 件案例。依據 5.1 節所述，本研究將根據詳細型計算方法與案例計算之目的，分別針對路工、橋梁、隧道工程進行碳排放評量。本研究所蒐集之案例如表 5.1 所示，計算內容則分別以路工、橋梁及隧道工程分開計算，共計算路工 5 件、橋梁 9 件與與隧道 4 件，詳細計算內容請參閱本報告 5.3~5.5 節。

表 5.1 蒐集之工程案例

類型	數量	案例名稱
路工	5	1. 台九線蘇花公路南澳武塔新建工程(B1) 2. 台九線蘇花公路觀音隧道新建工程(B2) 3. 台九線蘇花公路谷風隧道新建工程(B3) 4. 台九線蘇花公路山區路段改善計畫和平路段橋梁工程(B4)
橋梁	9	5. 玉長公路 6. 紅葉溪橋改建工程 7. 東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 8. 東西快速公路北門玉井線(麻豆至西庄) 9. 雙園大橋 10. 台 2 線 156K+000~157K+575 路基拓寬工程 11. 臺中縣大里市立元二橋開闢工程 12. 臺南都會區北外環公路第 1 期工程 13. 楊梅市 I-9-15 都市計畫公路開闢工程
隧道	4	

### 5.3 路工段案例計算

本節將針對路工工程計算結果進行介紹，本研究路工工程共計算 5 個案例，分別為花蓮縣瑞穗鄉紅葉溪橋改建工程、莫拉克颱風災害台 17 線雙園大橋緊急改建工程、台 9 線蘇花公路南澳武塔新建工程、谷風隧道新建工程及和平路段橋梁工程等五案，其所在地區分別為花蓮縣、高雄縣、宜蘭縣等；其中，兩案為改建工程，三案為新建工程，其相關資料彙整如表 5.2。

表 5.2 路工工程計算案例資料

案例名稱	紅葉溪橋 改建工程	雙園大橋 緊急改建工程	蘇花改南澳武塔新 建工程(B1)	蘇花改谷風隧道新 建工程(B3)	蘇花改和平路段橋 梁工程(B4)
所在地區	花蓮縣	高雄縣	宜蘭縣	宜蘭縣	宜蘭縣
工程類別	改建工程	改建工程	新建工程	新建工程	新建工程
路工長度(m)	452	480	1,865	575	573
路工面積(m <sup>2</sup> )	6,786	9,922	29,407	11,895	8,022

### 5.3.1 路工工程碳排放量計算

路工段之計算案例皆為公路總局辦理，本研究依照工程預算書之資料進行詳細型二氧化碳排放量計算，並依據專家之建議與公共建設工程經費估算編列手冊所使用之單位面積法作為計量單位，進行工程碳排放評量。路工工程計算結果如表 5.3。

表 5.3 路工工程計算結果

案例名稱	紅葉溪橋改建工程	雙園大橋緊急改建工程	蘇花改南澳武塔新建工程(B1)	蘇花改谷風隧道新建工程(B3)	蘇花改和平路段橋梁工程(B4)
碳排放量(tonCO <sub>2</sub> e)	345.26	475.18	4,666.14	3,829.31	834.07
單位面積碳排放量(ton CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	0.051	0.048	0.159	0.322	0.104

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

本研究分別將碳排放量除以面積，其中碳排放量最大者為蘇花改谷風隧道，其單位面積碳排放量為 6.6597 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，最小者則為紅葉溪橋改建工程，為 0.7638tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

### 5.3.2 路工段計算成果分析與探討

本研究根據專家訪談之建議與主要碳排放工項進行單位碳排放量收斂，因路堤填築於主要碳排放工項中，所占比例區間極大，因此將先針對路堤填築進行分析，探討單位面積碳排放量在剔除路堤填築後有何種變化，接下來針對 B4 標所鋪設之剛性路面部分進行剔除整理，最後提出路堤填築、柔性路面與剛性路面之單位碳排放量。

#### 一、路堤填築獨立計算探討

根據主要碳排放工作項目分析之結果顯示，「基地及路堤填築」此工項碳排放量佔路工工程碳排放之比例自 0.37%至 77.69%不等，但因填土數量是以立方公尺單位進行設計，且與當地地形或工區土方平衡等因素有關，與本研究所擬定單位面積碳排放量較無關，因此本研究嘗試將路填築部分分開獨立計算，本研究計算之五個案例填土數量及扣除路堤填築之計算結果，如表 5.4 所示。

表 5.4 路工工程剔除路堤填築單位碳排放量

案例名稱	紅葉溪橋	雙園大橋	蘇花改(B1)	蘇花改(B3)	蘇花改(B4)
原始單位面積碳排( $\text{tonCO}_2\text{e/m}^2$ )	0.051	0.048	0.159	0.322	0.104
路基填築土方量( $\text{m}^3$ )	14,508	1,251	1,656,004	1,750,067	92,993
剔除填土後單位面積碳排( $\text{tonCO}_2\text{e/m}^2$ )	0.04754	0.04771	0.06294	0.07181	0.08392

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

由上表之結果顯示，蘇花改案例之填土數量為其他工程的數百倍至數千倍之多。原因為蘇花改案例為達成節能減碳設計目的，因而將隧道段開挖後之剩餘土石方運至蘇花改其他路段，採用路堤填築之方式，以減少土方外運耗能所產生之二氧化碳。

而將路堤填築另外計算後，可發現五個案例之單位面積碳排放量已由原本的  $0.76 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  至  $6.66 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  間，下降至  $0.048 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  至  $0.084 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  間，已使得案例間單位面積碳排放量區間縮小，顯見路堤填土之碳排放量與單位面積碳排無關係，因此建議分開獨立計算；但蘇花改 B4 標仍屬較高之單位面積碳排放，單位面積碳排放約為較低者的兩倍，因此將持續針對蘇花改 B4 標較高之碳排放項目進行分析比較。

## 二、柔性路面與剛性路面單位碳排放量探討

回顧蘇花改 B4 之碳排放工項百分比(詳見附錄五)後可發現，其碳排放工項第三高者為「水泥混凝土鋪面」，根據蘇花改 B4 標之細部設計圖說可發現，蘇花改 B4 標於部分路段採用剛性路面，其剛性路面面積約為 2,776 平方公尺，因此本研究嘗試將 B4 標剛性路面碳排放量  $146.84 \text{ tonCO}_2\text{e}$  另行計算，本研究將剛性路面之鋪面項目整理，如表 5.5 所示。

本研究先將蘇花改 B4 標扣除路堤填築之碳排放量  $673.19 \text{ tonCO}_2\text{e}$  扣除柔性與剛性路面碳排  $328.29 \text{ tonCO}_2\text{e}$  與  $146.84 \text{ tonCO}_2\text{e}$  後，剩餘分配至 B4 標總面積  $10798 \text{ m}^2$  (柔性  $8022 \text{ m}^2$ 、剛性  $2776 \text{ m}^2$ ) 後得到單位面積碳排放為  $0.018 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ，此為扣除鋪面工程後之單位面積碳排放，另將柔性路面碳排放  $328.29 \text{ tonCO}_2\text{e}$  除以柔性路面面積  $8022 \text{ m}^2$ ，加上原本分配之  $0.018 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  得到柔性路面單位面積碳排放為  $0.059 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ；剛性路面則將  $146.84 \text{ tonCO}_2\text{e}$  除以  $2776 \text{ m}^2$ ，加上原本分配之  $0.018 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ，即可求得剛性路面單位碳排放為  $0.071 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ，根據瑞典環境研究所與瑞典國家公路管理局之研究，其剛性路面施工過程碳排放約為柔性路面的 1.4

倍，本研究所計算出之剛性路面單位面積碳排放則為柔性路面碳排放之 1.22 倍，相關計算結果如表 5.6。

表 5.5 蘇花改 B4 標鋪面工程數量計算表

	密級配	粗級配	水泥鋪面	碎石級配	瀝青透層	瀝青黏層	小計
柔性鋪面數量	1,609	1,948	2,776	5,875	12,986	58,143	
剛性鋪面數量				833			
單位碳排放量 (kgCO <sub>2</sub> e)	32.48	32.48	50.89	6.69	0.63	0.26	
柔性鋪面碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	120.18	145.51		39.30	8.18	15.12	328.29
剛性鋪面碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)			141.27	5.57			146.84

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.6 蘇花改 B4 標柔性、剛性路面分配表

	總碳排放量 (剔除路堤填築)	柔性路面	剛性路面	扣除柔性、 剛性路面後
碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)	673.19	328.29	146.84	198.06
面積(m <sup>2</sup> )		8,022	2,776	10,798
單位面積碳排 放(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.041	0.053	0.018

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

將剛性路面碳排放量另行計算後，蘇花改 B4 標之單位面積碳排放量自 0.084 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 下降至 0.059 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，另將五案例剔除路堤填築、剛性路面後之單位面積碳排放量取平均值後，其平均單位面積碳排放則為 0.058tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，計算結果如表 5.7。

表 5.7 排除剛性路面之單位面積碳排放

案例名稱	紅葉溪橋	雙園大橋	蘇花改(B1)	蘇花改(B3)	蘇花改(B4)
排除填土後 單位面積碳排 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	0.04754	0.04771	0.06294	0.07181	0.08392
排除剛性路面 單位面積碳排 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	0.04754	0.04771	0.06294	0.07181	0.05927
平均(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	0.058				

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

### 三、路基填築獨立計算碳排放量探討

另外在路工工程路堤填築工項採用獨立計算部分，本研究所計算之五個案例的路堤填築單位體積碳排放係數如表 5.8，建議採用平均單位體積碳排放 0.00162 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，作為路堤填築之單位碳排放量，另將路工工程分類繪製如圖 5.5。

表 5.8 路堤填築單位體積碳排放量

案例名稱	紅葉溪橋	雙園大橋	蘇花改(B1)	蘇花改(B3)	蘇花改(B4)
路堤填築 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.00156	0.00141	0.00170	0.00170	0.00173
平均(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.00162				

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

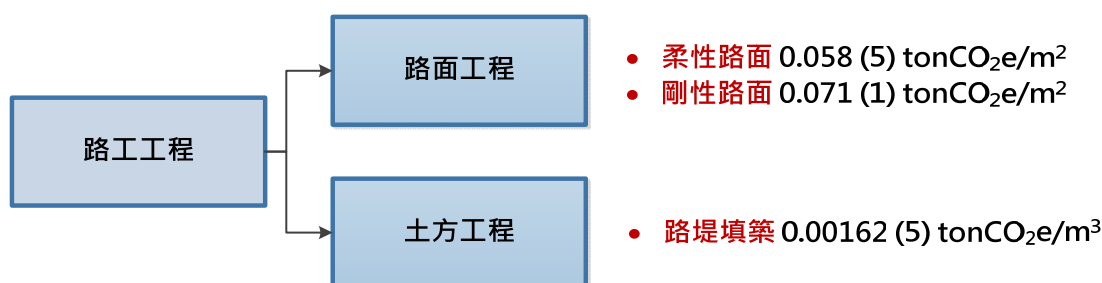


圖 5.5 路工工程分類圖

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

### 5.3.3 路工工程主要碳排放工項彙整

為了讓手冊使用者在計算碳排放量時，能直接針對碳排放量較大之工作項目進行計算，因此本研究將路工、橋梁、隧道等計算結果中，將碳排放量較大之工作項目進行篩選，路工工程主要碳排放工作項目如表 5.7。

路工工程主要碳排放工項中，其篩選標準為路工工程碳排放量之 95%；亦即在本研究計算的五個案例中，若計算此 13 個主要碳排放工項所排放之二氧化碳，即可達到該案例二氧化碳排放量之 95%，若手冊使用者需要進行二氧化碳概估時，可優先針對二氧化碳排放量較大之工項進行計算，以減少計算項目及計算時間。本研究將五個案例之主要工項排碳百分比彙整於附錄五。在主要碳排放項目中，基地及路堤填築為五個案例中最大之碳排放源，且此工項占全案之碳排放比例自 0.37%至 77.69%不等，將造成單位面積碳排放無法維持在穩定區間。另外路工工程所採用之護欄及緣石將使

用混凝土及鋼筋材料進行施作，使得護欄及緣石此兩個工項之碳排放亦在路工工程之 95% 主要碳排放範圍內，但護欄部分因設計位置或安全考量，因此有中央分隔島、金屬鋼管、塊狀護欄、混凝土隔欄等形式，緣石則有不同尺寸大小之設計，為了避免不同案例採用不同形式之護欄、緣石，因此建議若需採用主要碳排放工項計算二氧化碳碳排放量時，須將路工工程所採用之護欄、緣石等納入計算，才能確保計算結果可達到路工工程之 95%。

表 5.9 路工工程主要碳排放工項

項次	主要工項
1	密級配瀝青混凝土
2	粗級配瀝青混凝土
3	級配粒料底層，碎石級配
4	基地及路堤填築
5	標線，熱處理聚酯，反光，厚 2mm
6	清除與掘除
7	瀝青混凝土刨除，厚 5cm
8	基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，開挖機)
9	瀝青透層
10	餘方近運利用
11	單面金屬護欄、中央分隔島護欄、紐澤西護欄、塊狀護欄
12	水泥混凝土鋪面
13	混凝土緣石

## 5.4 橋梁段案例計算

本研究所蒐集之橋梁工程案例共計 9 件，依據各工程之橋梁數量與內容，則可分成 22 座橋梁，彙整如表 5.10 所示。本研究透過數量計算書與工程預算書中之細項材料用量與單價分析表，依二氧化碳排放量計算方法進行全部之施作工項計算，並求得工程量體碳排放量與彙整出橋梁工程主要碳排放工項。橋梁工程計算部分，將依其上部結構與下部結構分開探討，針對上、下部結構之內容探討工法、材質等細部分類，進而計算出總碳排放量與單位面積碳排放量與相關分析。

表 5.10 各案例橋梁工程內容

項次	案例名稱	橋梁名稱
1	台九線蘇花公路南澳武塔新建工程(B1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 武塔高架橋</li> <li>● 南澳南溪橋</li> </ul>
2	台九線蘇花公路山區路段改善計畫和平路段橋梁工程(B4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 和平溪河川橋</li> </ul>
3	玉長公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 裕民橋</li> <li>● 開元橋</li> <li>● 裕國橋</li> <li>● 富祥橋</li> <li>● 富國橋</li> <li>● 國泰橋</li> </ul>
4	東岸聯外公路新建工程計畫 CI01	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 一號橋</li> <li>● 二號橋</li> <li>● 四號橋</li> <li>● 六號橋</li> <li>● 八號橋</li> </ul>
5	東西快速公路北門玉井線 E708-2 標 (麻豆至西庄)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 北門玉井線 E708-2 標(主線)</li> <li>● 北門玉井線 E708-2 標(匝道)</li> </ul>
6	台 2 線 156K+000~157K+575 路基拓寬工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 加禮遠橋</li> <li>● 自強二號橋</li> <li>● 自強三號橋</li> </ul>
7	臺中縣大里市立元二橋開闢工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 立元二橋</li> </ul>
8	臺南都會區北外環公路第 1 期工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 台南北外環公路(主線)</li> </ul>
9	楊梅市 I-9-15 都市計畫公路開闢工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 瑞獅景觀大橋</li> </ul>

#### 5.4.1 橋梁上部結構計算

本研究進行橋梁上部結構量體總碳排放量計算時，由於部分案例橋梁上部結構施作時考量地形與周邊環境等因素，同一座橋梁在施作時會選用兩種橋梁工法，如場鑄懸臂工法與場鑄逐跨工法，部分橋梁在材質上亦使用兩種材質，如混凝土橋與鋼橋，因此計算碳排放時會先將不同橋梁工法與橋梁材質依照數量計算書中之材料數量分開計算。此外，同一座橋若採用兩種橋梁工法或使用兩種材質，則進行編號作業。

透過本研究所評量之橋梁工程碳排放量可發現，上部結構之碳排放將受到不同橋梁材質、主梁結構形式與橋梁工法之不同而有所差異，如混凝土橋、鋼橋；預鑄 I 型梁及箱型梁；I 型梁吊裝工法、場鑄懸臂工法、場鑄逐跨工法等。計算內容受不同因子之影響，本節就計算內容進行說明，並於 5.4.3 節進行不同因子計算分析，以下就影響最大之主梁材質進行與結構型式進行說明：

## 一、混凝土橋

### 1. 預鑄 I 型梁

混凝土預鑄 I 型梁係屬常見之橋梁結構型式，其主要使用之工法以吊裝工法為主。本研究所評量之預鑄 I 型梁橋梁，共計 3 座，而其上部結構單位面積平均碳排放量約為  $0.39 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ，計算結果如表 5.11 所示。

表 5.11 預鑄 I 型梁吊裝工法碳排放計算結果

橋名	自強三號橋	自強二號橋	裕民橋
工法	吊裝工法		
橋長(m)	15	35	25
橋寬(m)	30	30	8.9
平均高度(m)	5.4	5.1	6.5
平均跨度(m)	15	35	25
跨河/非跨河	非跨河	跨河	跨河
橋面版面積( $\text{m}^2$ )	450.0	1,050.0	222.5
上部結構碳排	151.82	491.50	80.72
單位面積碳排	0.34	0.47	0.36
平均	$0.39 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$		

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

### 2. 箱型梁

本研究依據案例內容與其工法進行分類計算，在所有案例中僅有一座橋梁採用預鑄節塊工法，其上部結構單位面積碳排放量約為  $0.44 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ；有 8 座橋梁採用場鑄懸臂工法，其上部結構單位面積碳排放量平均約為  $0.52 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ ；有 5 座橋梁採場鑄逐跨工法，其上部結構單位面積碳排放量平均約為  $0.32 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$ 。計算內容，如表 5.12~表 5.14 所示。

表 5.12 預鑄節塊工法碳排放計算結果

橋名	北門玉井線 E708-2 標(主線)
工法	預鑄節塊
橋長(m)	2,798
平均高度(m)	20.33
平均跨度(m)	38.3
跨河/非跨河	跨河
橋面版面積( $\text{m}^2$ )	63,794.4
上部結構碳排	28,069.54
單位面積碳排	0.44
平均	$0.44 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.13 場鑄懸臂工法碳排放計算結果

橋名	六號橋-A	四號橋	二號橋	瑞獅景觀大橋	加禮遠橋	和平溪-A	南澳	武塔
工法	場鑄懸臂							
橋長(m)	160.0	152.0	154.0	320.0	181.5	1197.0	656.0	485.0
橋寬(m)	21	21	21	15	30	7.9	20.3	13.8
平均高度(m)	9.0	9.2	9.55	13.3	7.8	19.9	21.4	22.0
平均跨度(m)	80	50.7	51.4	80	60.5	92	109	69
跨河/非跨河	非跨河	非跨河	非跨河	非跨河	跨河	跨河	跨河	非跨河
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	3,328.00	3,192.00	3,234.00	4,800.00	5,445.00	9,480.00	13,340.00	8,712.00
上部結構碳排	1,416.40	1,142.88	1,110.70	2,414.57	2,680.86	10,146.29	9,482.87	6,724.20
單位面積碳排	0.43	0.36	0.34	0.50	0.49	0.56	0.71	0.77
平均	0.52 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>							

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.14 場鑄逐跨工法碳排放計算結果

橋名	一號橋-B	六號橋-B	八號橋	北門玉井線 E708-2 標(匝道)	和平溪-B
工法	場鑄逐跨				
橋長(m)	161.0	148.0	180.0	590.0	360.0
橋寬(m)	10.5	20.8	20.8	7	15.9
平均高度(m)	5.5	8.0	9.9	9.9	13.0
平均跨度(m)	42.2	49.3	45.0	36.9	45.0
跨河/非跨河	非跨河	非跨河	非跨河	非跨河	非跨河
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	3,053.00	3,078.00	3,744.00	4,130.00	5,706.00
上部結構碳排	859.01	814.47	943.59	1,480.30	2,706.34
單位面積碳排	0.28	0.26	0.25	0.36	0.47
平均	0.32 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>				

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

## 二、鋼橋

在鋼橋計算方面，本研究所蒐集之鋼橋共計 8 座橋梁皆為箱型梁，且皆採用吊裝工法。就鋼橋碳排放計算，根據專家意見與國內設計規範之要求，新建鋼橋應選用新的鋼材料，本研究則依據新鋼材料係數進行計算，所有工程案例之上部結構單位面積碳排平均約為 1.35 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。計算內容如表 5.15 所示。

表 5.15 鋼橋碳排放計算結果

橋名	一號橋-A	台南北外環公路-A	開元橋	裕國橋	富祥橋	富國橋	國泰橋	立元二橋
工法	吊裝工法							
橋長(m)	140.0	250.0	53.0	40.0	36.0	48.0	45.0	246.0
橋寬(m)	21.1	21	9	9	9	9	9	20
平均高度(m)	5.1	12.5	7.2	8.5	9.5	9.7	10.2	12.8
平均跨度(m)	46.9	83.3	53.0	40.0	36.6	48.0	45.0	61.0
跨河/非跨河	非跨河	非跨河	跨河	跨河	跨河	跨河	跨河	跨河
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	2,940	5,250.00	477.00	360.00	324.00	432.00	405.00	4,920.00
上部結構碳排	4,775.90	5,981.62	814.29	434.13	389.05	710.49	501.34	5,356.84
單位面積碳排	1.62	1.14	1.71	1.21	1.18	1.64	1.24	1.09
平均	1.35 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>							

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

#### 5.4.2 橋梁下部結構計算

考量本研究所蒐集之工程案例資料與專家之建議，進行下部結構單位面積碳排放計算時，依據多跨（包含橋墩與橋台）與單跨（僅為橋台）之橋梁分別計算。另外，本研究計算下部結構碳排放量時，受數量計算書內容限制，惟下部結構橋台、橋墩與基礎之材料數量無法分別拆開計算，因此在計算下部結構碳排放量時，材料採合併計算。除專家建議橋梁下部結構可依基礎型式分類外亦將跨河與非跨河橋分開計算。

針對跨河橋碳排放計算結果，如表 5.16 所示，加禮遠橋、立元二橋、和平溪-A、南澳等橋，其下部結構橋台與橋墩之基礎均為樁基礎，橋墩高度約為 7m 至 25m 之間。下部結構單位面積碳排平均約為 0.61 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>；非跨河橋碳排放計算，內容如表 5.17 所示，下部結構單位面積碳排平均約為 0.35tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，本研究所蒐集之非跨河橋梁下部結構橋台與橋墩之基礎多為樁基礎與直接基礎，僅東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 一號橋-A 為沉箱基礎。而武塔高架橋係屬蘇花公路規劃橋梁之一，設計與結構受地形錯綜複雜與其他環境因素影響，其橋墩高度亦較其他橋梁長，達 20m 以上。

透過表 5.17 計算成果，可明顯發現非跨河橋之下部結構單位面積碳排放量的數值呈現不穩定的狀態，依據專家之建議，基礎型式不同將影響下部結構材料用量與施作

方法，因此，本研究依據不同橋墩及橋台基礎型式分類，並依橋墩高度排列，如表 5.18 與表 5.19 所示。

依據基礎型式區分，可發現使用樁基礎型式之橋梁，其下部結構單位面積碳排放量界於 0.25 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 至 0.40 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 左右；而採用直接基礎型式之橋梁，其碳排放計算結果，下部結構單位面積碳排放量約為 0.20 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 左右。

表 5.16 跨河橋碳排放計算結果

橋名	加禮遠橋	立元二橋	和平溪-A	南澳
平均高度(m)	7.8	12.8	19.9	21.4
橋台基礎型式	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎
橋墩基礎型式	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	5,445.00	4920	18012.0	13,340.00
下部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	2,910.47	3,027.30	10,822.09	9,084.50
下部結構 單位面積碳排	0.53	0.62	0.60	0.68
平均	0.61 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>			

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.17 非跨河橋依橋墩碳排放計算結果

橋名	一號橋-A	一號橋-B	六號橋-A	六號橋-B	四號橋	二號橋	八號橋	北門玉井(匝道)	台南北外環公路-A	和平溪-B	瑞獅景觀大橋	武塔
平均高度(m)	5.1	5.5	8.0	9.0	9.2	9.55	9.9	9.9	12.5	13.0	13.3	22.0
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	2,940	3,053	3,078	3,328	3,192	3,234	3,744	4,130	5,250	5,706	4,800	8,712.0
下部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	602.74	720.19	1,223.62	819.06	924.82	1,119.99	740.45	2,719.46	1969.44	1,251	2,048.5	5,095.3
下部結構 單位面積碳排	0.21	0.24	0.40	0.25	0.29	0.35	0.20	0.66	0.38	0.22	0.43	0.58

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.18 非跨河橋樁基礎碳排放計算結果

橋名	六號橋-A	六號橋-B	四號橋	二號橋	北門 玉井 (匝道)	台南北外 環公路-A	瑞獅景觀 大橋
平均高度(m)	8.0	9.0	9.2	9.55	9.9	12.5	13.3
橋台基礎型式	樁基礎	樁基礎	直接/ 樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎
橋墩基礎型式	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎	樁基礎
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	3,078	3,328	3,192	3,234	4,130	5,250	4,800
下部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	1,223.62	819.06	924.82	1,119.99	2,719.46	1969.44	2,048.5
下部結構 單位面積碳排	0.40	0.25	0.29	0.35	0.66	0.38	0.43

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.19 非跨河橋直接基礎碳排放計算結果

橋名	一號橋-A	一號橋-B	八號橋	和平溪-B	武塔
橋台基礎型式	直接基礎	樁基礎	直接基礎	直接基礎	樁基礎
橋墩基礎型式	沉箱基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	2,940	3,053	3,744	5,706	8,712.0
下部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	602.74	720.19	740.45	1,251	5,095.3
下部結構 單位面積碳排	0.21	0.24	0.20	0.22	0.58

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

### 5.4.3 橋梁計算成果分析與探討

根據專家訪談之建議，路工段、橋梁段與隧道段工程應依其構造型式與斷面型式進行分類。在橋梁段工程部分，專家建議首先應依橋梁上部結構型式分類，而橋梁下部結構則以墩柱高度或基礎型式分類。以下茲就橋梁上部結構計算內容，包含結構型式與主梁材質等，進行分析與探討：

#### 一、橋梁上部結構成果分析

##### 1. 橋梁材質碳排放差異

透過橋梁不同材質進行分析，可發現鋼橋單位排放量皆比混凝土橋大上許多，如圖 5.6 所示，主要原因為新建鋼材料碳排放係數大於各級強度之混凝土碳排放係數，明顯影響結構體計算之成果。

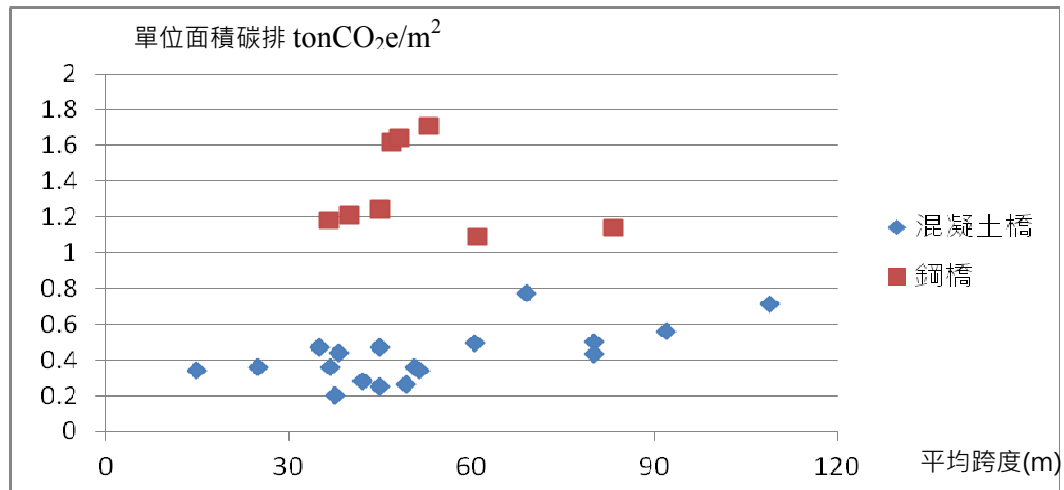


圖 5.6 混凝土橋與鋼橋單位面積碳排放量分佈圖

## 2. 混凝土橋-預鑄 I 型梁碳排放成果分析

依計算結果顯示，本研究所蒐集之三座單跨且均為短橋之預鑄 I 型梁橋，透過單價分析表發現工作項目中，「預鑄預力 I 型梁」長度愈長，其使用之吊車噸數單位愈大，相對地吊車活動的工時也愈久，燃料耗用率與燃料耗用係數亦愈大，如預鑄預力 I 型梁，L=15M，使用機具之規格為吊車 30~39t，工時數量為 3 小時，而預鑄預力 I 型梁，L=35M，使用機具之規格為吊車 80~89t，工時數量為 4 小時。油耗與工時皆明顯影響碳排放量之計算。分佈情形如圖 5.7 所示。

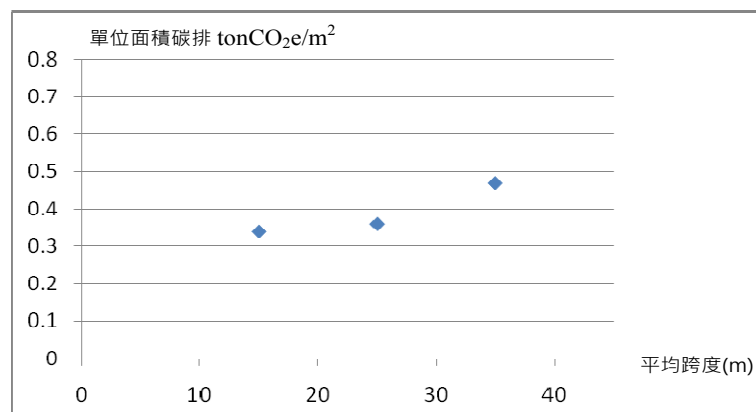


圖 5.7 混凝土橋-預鑄 I 型梁單位面積碳排放量分佈圖

### 3. 混凝土箱型梁碳排放成果分析

依據專家訪談與本研究所蒐集之內容，可發現跨越深谷、河道、河槽路段多採用較大跨徑 80~120 公尺之預力混凝土箱型梁橋，跨距甚至可達 300 公尺，且以場鑄懸臂工法施工為主；而跨越一般路段或河道以外路段多採用中長跨徑 40~60 公尺之預力混凝土箱型梁橋，以場鑄逐跨工法或預鑄節塊吊裝工法施工為主。本研究計算之混凝土跨河橋與跨深谷的橋上部結構均為懸臂工法，跨度約為 80 公尺以上。由圖 5.8 可辨識出場鑄懸臂單位面積碳排放量都比場鑄逐跨工法大，而橋梁施作受不同工法之影響，其碳排放量明顯差異。

透過分佈圖顯示，本研究發現上部結構跨距越大之橋梁，其單位面積碳排放量亦呈現愈大之趨勢，因此本研究以跨距為影響碳排放量之因子進行分析。考量案例數量與內容，本研究將工程初步分為三級別，以平均跨距為基準，正負 20% 為邊界進行區分，並以單位碳排放係數差距 20% 之內為基準，排出差異過大之案例。其結果可明顯呈現 60m 以下、61~90m 以下、91m 以上等三級別，如表 5.20 所示。

在分析過程中，由於武塔高架變異太大，且與同級距之六號橋-A、加禮遠橋與瑞獅景觀大橋比較下，發現武塔高架所使用之結構用混凝土  $420\text{kgf/cm}^2$  數量大於其他三座橋梁，在材料強度不同與數量差距的情況下，其所計算出來之碳排放量明顯過大，因此暫不納入計算。

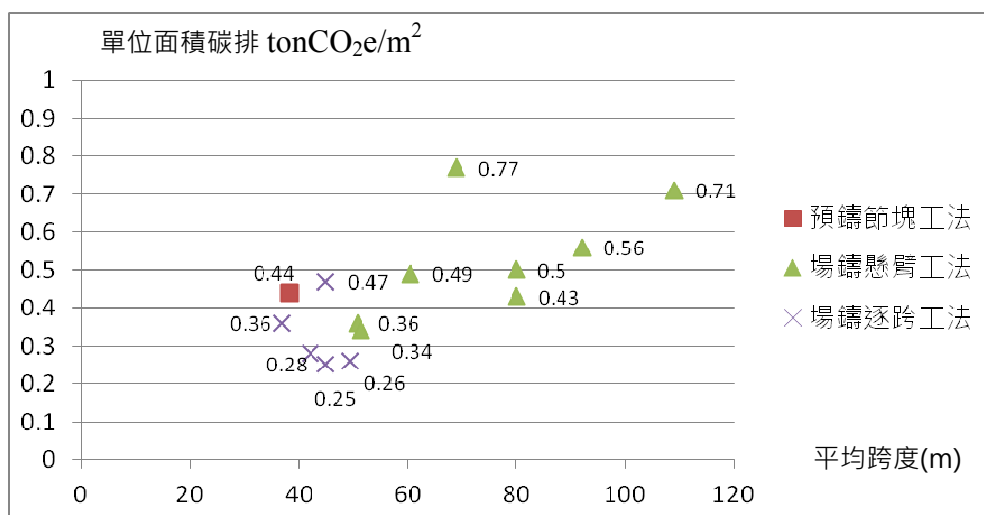


圖 5.8 橋梁工法單位面積碳排分佈圖

表 5.20 場鑄懸臂工法以平均跨距分類

橋名	二號橋	四號橋	六號橋-A	加禮遠橋	瑞獅景觀大橋	和平溪-A	南澳	武塔
平均跨度(m)	51.4	50.7	80	60.5	80	92	109	69
級距	60m 以下		61~90m			91m 以上		-
單位面積碳排	0.34	0.36	0.43	0.49	0.50	0.56	0.71	0.77
平均單位面積碳排	0.35(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.47(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )			0.64(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		-

在場鑄逐跨工法計算發現，平均跨度 45 公尺左右之四座橋梁中，和平溪-B 橋其單位碳排放量明顯大於其他三座橋梁，探究其內容發現，和平溪-B 橋主要結構用混凝土亦為強度為 420kgf/cm<sup>2</sup>，其他三座為 350kgf/cm<sup>2</sup>，導致和平溪-B 橋變異太大，因此暫不納入平均計算。依據平均單位面積碳排放係數為基準進行級別分析，除和平溪橋外，誤差皆在正負 20% 左右，而此分類結果受限案例數量與內容之影響，雖無法直接分成三級別，但其結果亦反應出此類工程設計與使用工法差距不大，因此本研究初步建議場鑄逐跨工法單位面積碳排放量可採平均值為 0.29 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

表 5.21 場鑄逐跨工法平均單位面積碳排

橋名	八號橋	六號橋-B	一號橋-B	北門玉井線 E708-2 標(匝道)	和平溪-B
平均跨度(m)	45.0	49.3	42.2	36.9	45.0
單位面積碳排	0.25	0.26	0.28	0.36	0.47
平均單位面積碳排	0.29(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )				-

#### 4. 鋼橋碳排放成果分析

本研究蒐集之鋼橋部分為單跨（僅為橋台），因此在鋼橋上部結構計算上分別依單跨（僅為橋台）及多跨（包含橋墩與橋台）分析，如表 5.22 所示。依鋼橋單跨之單位面積碳排放量趨勢可明顯發現，跨距愈大，所使用的材料數量愈多，因此單位面積碳排放量愈大，如圖 5.9 所示。本研究蒐集之鋼橋單跨跨距上無特別明顯差距，因而無法分辨級距與差異，鋼橋單跨單位面積碳排平均為 1.40 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。而鋼橋多跨僅為三座，亦無法分辨級距與差異。

表 5.22 鋼橋單跨與多跨之碳排放量計算結果

橋名	富祥橋	裕國橋	國泰橋	富國橋	開元橋	一號橋-A	立元二橋	台南北外環公路-A
平均跨度(m)	36.6	40.0	45.0	48.0	53.0	46.9	61.0	83.3
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	324.00	360.00	405.00	432.00	477.00	2,940.00	4,920.00	5,250.00
上部結構碳排	389.05	434.13	501.34	710.49	814.29	4,775.90	5,356.84	5,981.62
單位面積碳排	1.18	1.21	1.24	1.64	1.71	1.62	1.09	1.14
平均	1.40 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>					-	-	-

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

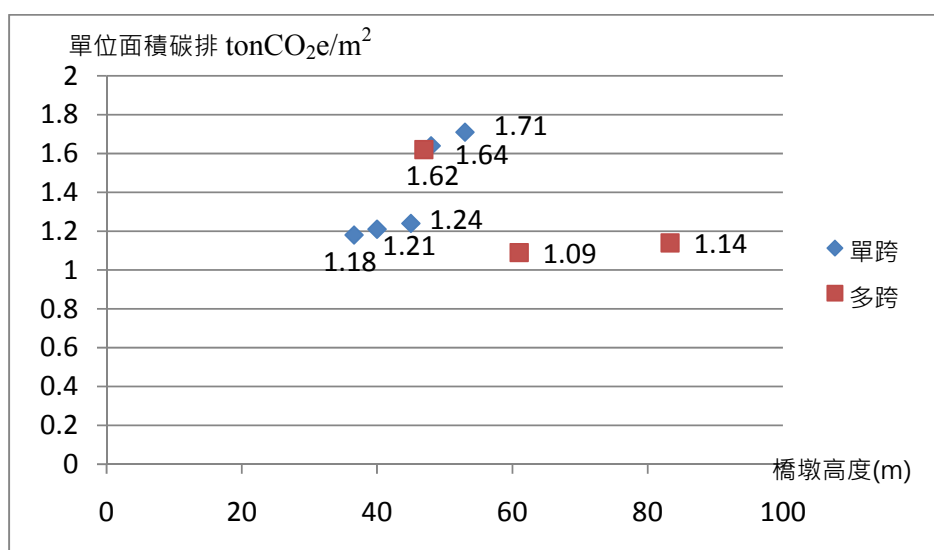


圖 5.9 單跨與多跨鋼橋單位面積碳排分佈圖

## 二、橋梁下部結構成果分析

下部結構受環境影響，不同基礎型式、所處區域、橋墩高度、設計強度等皆影響材料與碳排放量，以下就橋梁下部結構依是否為跨河橋、橋墩柱高度與基礎型式的成果分析各別說明與探討：

### 1. 跨河橋與非跨河橋碳排放成果分析

依據跨河橋碳排放計算結果發現，跨河橋橋墩高度愈高，其單位碳排放係數呈現愈高之趨勢。而跨河橋與非跨河橋之下部結構單位面積碳排相較後，發現非跨河橋之單位面積碳排多數比跨河橋低，且散佈情形呈不穩定之狀態，如圖 5.10 所示，顯示出除跨河橋與非跨河橋之分別外，應探討其他因子。

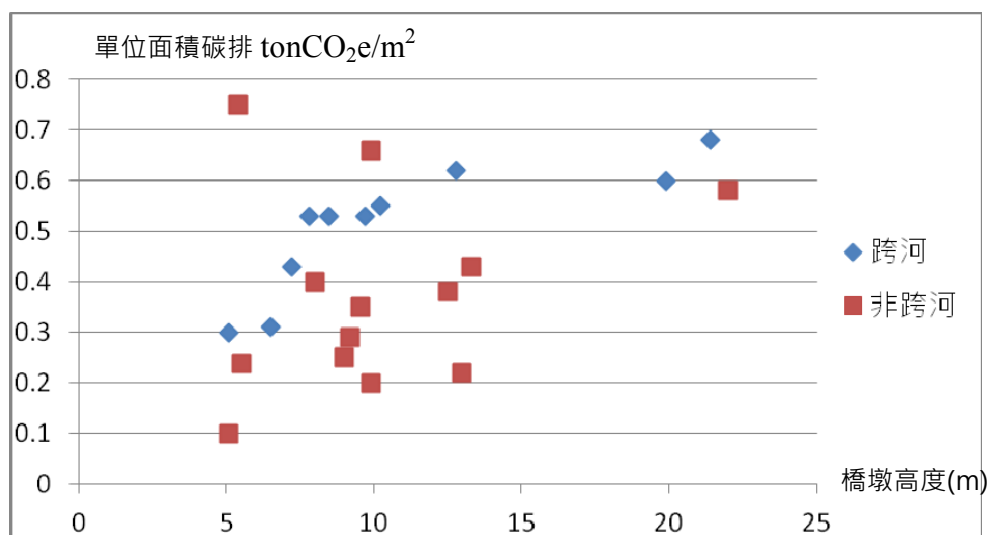


圖 5.10 跨河橋與非跨河橋單位面積碳排分佈圖

## 2. 橋墩高度碳排放成果分析

本研究蒐集之案例中，在橋梁下部結構分類亦可區分為單跨（僅為橋台）及多跨（包含橋墩與橋台），如表 5.23、表 5.24 與表 5.25 所示。而以橋墩高度分析下部結構單位面積碳排放之趨勢，可發現橋墩高度愈高之橋梁，所使用的材料數量愈多，單位面積碳排就愈大。本研究以平均高度為基準，並以正負 20%為邊界進行區分，而富祥橋因其具有三座橋台，暫不納入計算。分類計算後，跨河橋單跨碳排放之級別可分成 6.5m 以下、6.6m 以上，跨河橋單跨高度 6.5m 以下單位碳排平均為 0.31tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，高度 6.6m 以上單位碳排平均為 0.51tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，圖 5.10 為跨河橋單跨單位面積碳排趨勢圖；而多跨橋墩雖高度有明顯差距，惟單位面積碳排尚無明顯差異，無法分辨級距與差異，故建議以單位面積碳排平均為 0.61 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> 使用之。

表 5.23 單跨跨河橋之碳排放計算結果

橋名	自強二號橋	裕民橋	開元橋	裕國橋	富祥橋	富國橋	國泰橋
橋墩高度(m)	5.1	6.5	7.2	8.5	9.5	9.7	10.2
級距	6.5m 以下		6.6m 以上				
下部結構 單位面積碳排	0.30	0.31	0.43	0.53	0.81	0.53	0.55
平均	0.31 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.51 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )				
總平均	0.44 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )						

表 5.24 多跨跨河橋之碳排放計算結果

橋名	加禮遠橋	立元二橋	和平溪-A	南澳
橋墩高度(m)	7.8	12.8	19.9	21.4
下部結構 單位面積碳排	0.53	0.62	0.60	0.68
總平均	0.61 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )			

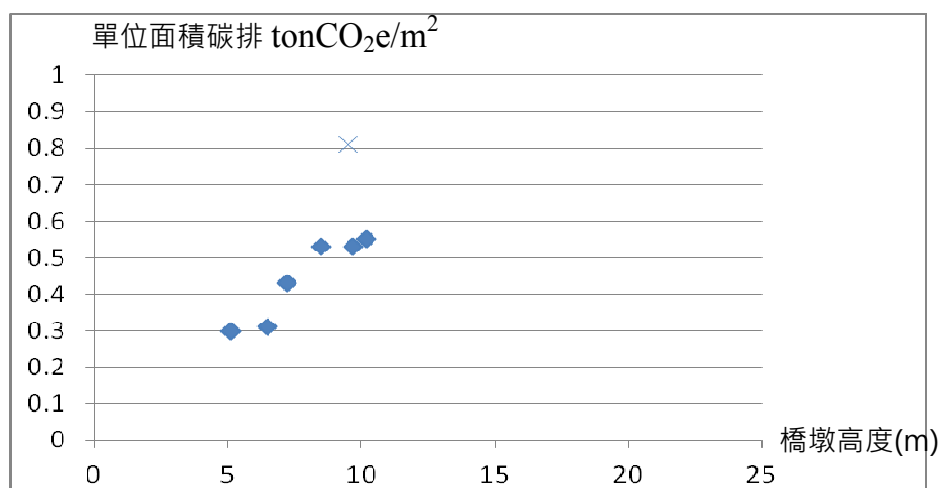


圖 5.11 跨河橋依橋墩高度排列分佈圖

依據高度分類之原則，排除高度與碳排放變異大之案例，不納入計算外，多跨之非跨河橋可初分為 6.5m 以下、6.5~9.5m、9.5m 以上等三類，高度 6.5m 以下單位碳排平均為 0.23tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，高度 6.5~9.5m 單位碳排平均為 0.27tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，高度 9.5m 以上單位碳排平均為 0.44tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

在排除案例中，本研究發現東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 六號橋-A 與六號橋-B 橋墩高度僅差 1m，但六號橋-A 的單位面積碳排卻比六號橋-B 高，其差異原因在於該路段地形起伏大，須跨越較陡峭之山谷，因此在規劃設計階段以較大之橋墩基礎設計，相對材料之使用上也特別多；而八號橋與二號橋、瑞獅景觀大橋與和平溪-B 之分析比較中，可發現高度相當，而碳排放量卻明顯差異，詳細探討分析後發現這四座橋梁受基礎型式之不同導致，成果差異，亦顯示出基礎型式應為下部結構碳排放量之關鍵。

在本研究所蒐集之案例中，僅自強三號橋屬單跨非跨河橋，其單位面積碳排為 0.75 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

表 5.25 非跨河橋多跨碳排放計算結果

橋名	一號橋 -A	一號橋 -B	六號橋 -B	四號橋	二號 橋	台南 北外 環公 路-A	瑞獅 景觀 大橋	武塔	六號 橋-A	八號橋	北門 玉井 (匝道)	和平溪 -B
橋墩高度	5.1	5.5	9.0	9.2	9.55	12.5	13.3	22.0	8.0	9.9	9.9	13.0
級距	6.5m 以下		6.5~9.5m		9.5m 以上				-	-	-	-
下部結構 單位面積碳排	0.21	0.24	0.25	0.29	0.35	0.38	0.43	0.58	0.40	0.20	0.66	0.22
平均	0.23(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.27(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.44(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )				-	-	-	-
總平均	0.31(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )											

### 3. 基礎型式碳排放成果分析

透過各式橋台、橋墩之基礎型式碳排放量分佈圖顯示，如圖 5.12，本研究所蒐集之案例中，雖可直接辨識出樁基礎下部結構單位面積碳排放量多數比直接基礎與沉箱基礎大，但各類基礎分佈情形較為分散，顯示基礎型式類別雖有明顯影響，但似乎仍需配合其他因素一起探討，如高度、所在環境、成本等影響後，才合適後續使用。以武塔高架橋為例，其橋墩型式雖為直接基礎，但受地形錯縱複雜之影響，該橋墩多數高度達 20m 以上，亦影響整體材料數量，計算成果亦顯示出較高碳排放量。

在分析過程中，本研究礙於依據蒐集之資料內容限制，僅能探討高度與基礎型式之關聯。而以高度進行級別分析後，發現各級別中之橋梁碳排放差異超過 20%，顯示利用高度與基礎型式無法直接分類與分級，考量資料限制，故本研究暫建議先以基礎型式類別進行平均，其中樁基礎下部結構單位面積碳排平均為 0.47 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，直接基礎下部結構單位面積碳排平均為 0.31tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，另下部結構沉箱基礎為 0.21tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。

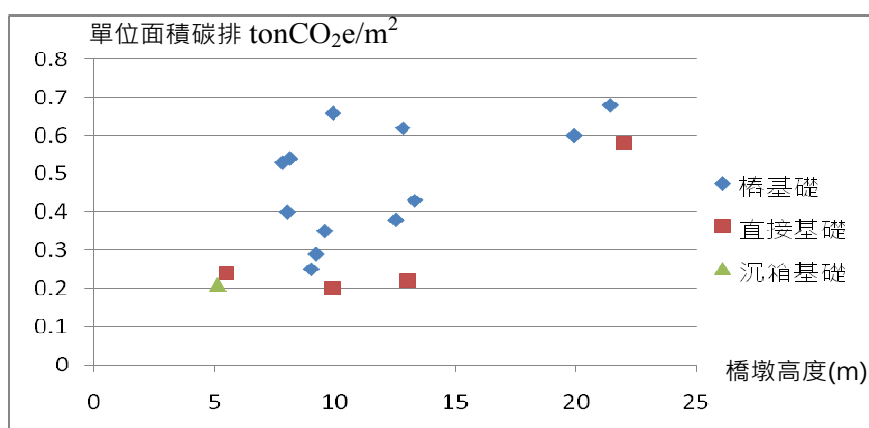


圖 5.12 橋墩基礎碳排放趨勢圖

依據橋梁碳排放量分析結果得知，上部結構主要受不同(1).主梁材質、(2).結構形式、(3).施工工法等影響；而橋梁下部結構碳排放量主要影響因素眾多，以本研究蒐集之案例內容分析後，大致可分為(1).橋梁是否為跨河橋；(2).單跨橋與多跨橋；(3).橋墩高度；(4).橋台與橋墩基礎之型式。本研究依據各影響因素進行分類，如圖 5.13 所示，由於本研究僅透過九件案例，共 22 座橋梁進行計算，雖可初步進行分類並彙整單位碳排放係數，不過本成果僅能做為參考，建議仍需持續增加案例，且依據計算成果再次檢視分類內容，才合適做為參考依據。

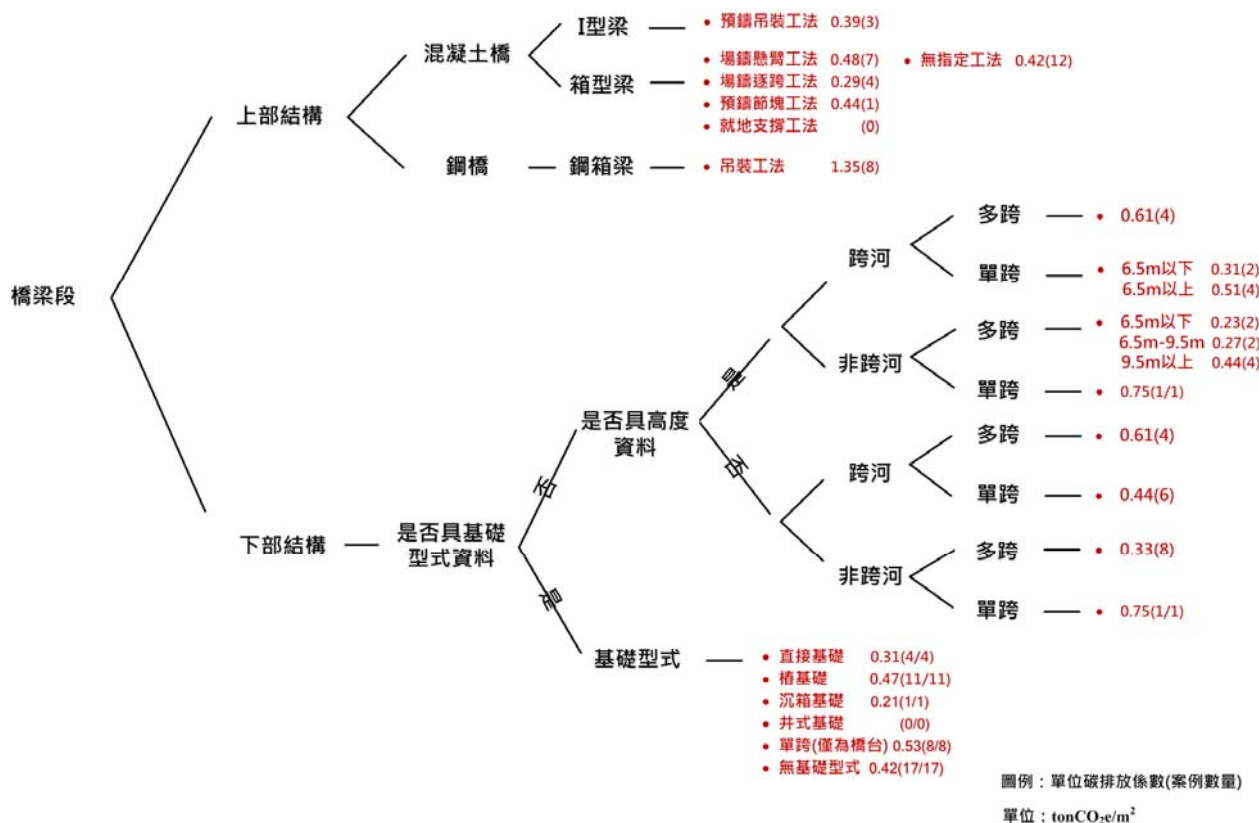


圖 5.13 橋梁結構工程分類圖

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

#### 5.4.4 橋梁工程主要碳排放工項彙整

##### 一、混凝土橋

依據詳細型評量模式之計算原則，為求得公路工程整體碳排放量與碳排放量之主要工項，因此預算詳細表中之所有施作工項（包含材料與機具）皆應納入計算。本研究計算之橋梁工程數量達 22 座，透過彙整發現，混凝土橋上部結構碳排放主要工項，

結構用預力混凝土、鋼筋材料、混凝土隔欄、金屬欄杆與橋面伸縮縫等，其中 I 型橋梁本身以預鑄預力 I 型梁製作為最主要碳排放工項。主要碳排放工項如表 5.26 所示，本研究將實際計算之案例內容與主要碳排放源工項百分比彙整於附錄五，主要碳排放工項百分比之計算過程亦已於附錄五手冊範例計算中說明。

表 5.26 混凝土橋上部結構碳排放主要工項

主要工項		
項次	混凝土橋-箱型梁	混凝土橋-I 型梁
1	結構用預力混凝土	結構用預力混凝土
2	鋼筋材料	鋼筋材料
3	鋼筋，加工及組立	預鑄預力 I 型梁製作
4	透空式護欄(二管)	進橋版
5	混凝土隔欄	金屬欄杆
6	橋面伸縮縫	橋面伸縮縫
7	橋面洩水孔	密級配瀝青混凝土
8	套管及灌漿，鍍鋅金屬製	瀝青黏層

註：結構用預力混凝土強度為 240kgf/cm<sup>2</sup>；280 kgf/cm<sup>2</sup>；350 kgf/cm<sup>2</sup>；420 kgf/cm<sup>2</sup>

而混凝土橋下部結構碳排放主要工項包含結構用預力混凝土、鋼筋材料、鋼筋加工及組立、與混凝土基樁等。其中以全套管式鑽掘混凝土基樁屬最主要碳排放工項，約達各工程之 20%以上，數量相當可觀。彙整內容如表 5.27 所示。

表 5.27 混凝土橋下部結構碳排放主要工項

主要工項		
項次	混凝土橋-箱型梁	混凝土橋-I 型梁
1	結構用預力混凝土	結構用預力混凝土
2	結構用預拌水中混凝土	鋼筋材料
3	自充填混凝土	鋼筋，加工及組立
4	鋼筋材料	全套管式鑽掘混凝土基樁
5	鋼筋，加工及組立	就近利用挖方及填方滾壓
6	防撞鋼板	剩餘土石方處理
7	構造物開挖(含設擋土設施、抽排水、裝車)	
8	構造物回填	
9	全套管式鑽掘混凝土基樁	

註 1：結構用預力混凝土強度包含 140 kgf/cm<sup>2</sup>；175 kgf/cm<sup>2</sup>；240 kgf/cm<sup>2</sup>；280 kgf/cm<sup>2</sup>；350 kgf/cm<sup>2</sup>；420 kgf/cm<sup>2</sup>。

註 2：受案例數量與來源限制，多數橋量下部結構皆採用全套管式鑽掘混凝土基樁。

## 二、鋼橋

彙整鋼橋上部結構碳排放主要工項，可得知碳排放主要工項為 ASTM A709 鋼鈹、ASTM A709 箱梁製作及加工、箱梁吊裝、結構用預力混凝土、鋼筋材料與 ASTM A325 強力螺栓，其中上部結構以鋼鈹為最主要碳排放工項，各案例鋼橋材料之鋼鈹碳排放量皆達 60%以上。除鋼橋本身以鋼材料為最主要碳排放工項外，其他碳排放主要工項包含結構用混凝土、密級配瀝青混凝土、鋼構材及配件，與鋼筋等。

表 5.28 鋼橋碳排放主要工項

主要工項		
項次	上部結構	下部結構
1	ASTM A709 鋼鈹	結構用預力混凝土
2	ASTM A709 箱梁製作及加工	自充填混凝土
3	箱梁吊裝	鋼筋材料
4	結構用預力混凝土	剩餘土石方處理、就近利用挖方及填方滾壓
5	鋼筋材料	構造物開挖
6	ASTM A325 強力螺栓	外覆防沖鋼版
7	橋面伸縮縫	*全套管式鑽掘混凝土基樁
8	橋面洩水孔	
9	進橋版	
10	金屬欄杆	

註：受案例數量與來源限制，下部結構皆沒有橋墩。

而鋼橋下部結構碳排放主要工項，為結構用預力混凝土、自充填混凝土、鋼筋材料、剩餘土石方處理、構造物開挖與全套管式鑽掘混凝土基樁等。受本研究所蒐集之鋼橋案例差別，多數鋼橋之下部結構皆沒有橋墩，相對沒有基樁施作之工項，否則依混凝土橋下部結構主要工項之內容，基樁施作之工項應屬主要碳排放項目。

## 5.5 隧道段案例計算

本研究隧道工程部分，共計算四個案例，分別為台 9 線蘇花公路南澳武塔新建工程、觀音隧道新建工程、谷風隧道新建工程及東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 標北段工程等，其所在地區為宜蘭縣及基隆市等地，工程性質部分則全為新建工程，其相關資料彙整如表 5.29。

表 5.29 隧道工程計算案例資料

案例名稱		蘇花改南澳武塔新建工程 (B1)	蘇花改觀音隧道新建工程 (B2)	蘇花改谷風隧道新建工程 (B3)	東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 標北段工程
所在地區		宜蘭縣	宜蘭縣	宜蘭縣	基隆市
工程類別		新建工程	新建工程	新建工程	新建工程
地質分布 (m <sup>3</sup> )	II	50	12,318	58,324	0
	III	10,190	127,539	407,336	10,458
	IV	40,784	739,724	714,136	6,743
	V	19,213	194,672	152,554	0
	VI	4,266	116,106	168,635	0
隧道長度		464	5,758	7,600	118
隧道面積		7,238	89,825	18,560	826

### 5.5.1 隧道工程碳排放量計算

隧道工程之內容較路工段與橋梁段複雜，主要因隧道結構尚分析與考量後續安全，因此結構尚須設計逃生橫坑、避車彎、豎井等安全設施。本研究利用隧道體積作為計量單位進行碳排放係數計算，其主要計算結果如表 5.30 所示。

表 5.30 隧道工程計算結果

案例名稱	蘇花改南澳武塔新建工程 (B1)	蘇花改觀音隧道新建工程 (B2)	蘇花改谷風隧道新建工程 (B3)	東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 標北段工程
碳排放量(tonCO <sub>2</sub> e)	15,376	227,815	248,598	2,968
單位體積碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.206	0.191	0.166	0.173

本研究將碳排放量算出後，除以體積，最大者為蘇花改南澳武塔新建工程，其單位體積碳排放量為 0.206tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，最小者為同為蘇花改谷風隧道新建工程，其單位體積碳排放量為 0.166tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。

### 5.5.2 隧道計算成果分析與探討

本研究隧道工程依照不同地質分類，進行單位體積碳排放係數分配，其案例計算結果及土質分佈情形如下表 5.31：

表 5.31 地質分布與案例計算結果

案例名稱		蘇花改南澳 武塔新建工程(B1)	蘇花改觀音 隧道新建工程(B2)	蘇花改谷風 隧道新建工程(B3)	東岸聯外公路 新建工程計畫 CI01 標北段工程
地質 分 布 (m <sup>3</sup> )	II	50	12,318	58,324	0
	III	10,190	127,539	407,336	10,458
	IV	40,784	739,724	714,136	6,743
	V	19,213	194,672	152,554	0
	VI	4,266	116,106	168,635	0
總碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)		15,376	227,815	248,598	2,968

根據專家訪談之建議，每一類土質其材料、機具用量差異約為 1.2 倍，因此本研究將針對所有土質進行加權計算，亦即將第二類地質土方量乘以 1，第三類地質土方量則乘以 1.2，第四類地質土方量乘以 1.44，第五類地質土方量則乘以 1.728，第六類地質土方量則乘以 2.074，其加權後之土方量如表 5.32，將土方量進行加權計算後，再將各案例計算結果除以加權計算土方量，則可得到 4 個案例中，第二類地質之單位體積碳排放量為何，再將四個案例之第二類單位體積碳排放量進行平均，則得到第二類之碳排放量為 0.1272 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。

經由上述步驟得到第二類地質之單位體積碳排放量後，將第二類地質乘以 1.2 即可得到第三類地質單位體積碳排放係數 0.1527 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，再將第三類地質乘以 1.2 即可得到第四類地質單位體積碳排放係數 0.1832 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，依此類推，本研究將各地質碳排放係數彙整如表 5.33。

表 5.32 II 類地質當量體積與碳排放總量

案例名稱		蘇花改南澳 武塔新建工程 (B1)	蘇花改觀音 隧道新建工程 (B2)	蘇花改谷風 隧道新建工程 (B3)	東岸聯外公路 新建工程計畫 CI01 標北段工程
地質 分布 (m <sup>3</sup> )	II	50	12,318	58,324	0
	III	12,228	153,047	488,803	12,550
	IV	58,729	1,065,203	1,028,356	9,710
	V	33,200	336,393	263,613	0
	VI	8,846	240,757	349,682	0
總碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)		113,053	1,807,718	2,188,778	22,260
平均碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )		0.1360	0.1260	0.1136	0.1333
平均 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )		0.1272			

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

表 5.33 地質對應單位體積碳排放量

地質類型	II	III	IV	V	VI
單位體積碳 排放量 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.1272	0.1527	0.1832	0.2199	0.2638

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

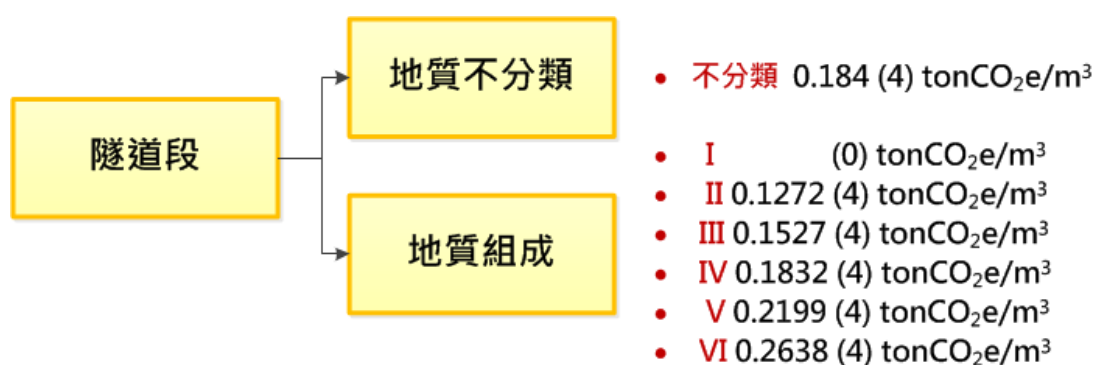


圖 5.14 隧道結構工程分類圖

註：以上資料計算受案例數量與來源限制，仍有誤差，計算成果僅提供參考。

### 5.5.3 隧道工程主要碳排放工項彙整

本研究碳排放項目之用意，在於讓設計人員計算時，可快速掌握主要碳排放項目，進而概估工程碳排放量，但因隧道工程之工程項目較橋梁與路工多，因此本研究統計隧道工程之主要碳排放源，分為以下兩種層級進行主要碳排放源介紹，首先針對隧道分項工程進行碳排放大小排序，碳排放比例最大之工程項目為襯砌混凝土工程，其次為隧道支撐工程，第三名則為隧道開挖及運碴工程，分項工程依碳排放量大小彙整如表 5.34 所示。

設計者計算隧道工程碳排放量時，可先依主要碳排放工程項目隧道分項工程進行碳排放計算，但因各分項工程之工作項目中，仍有碳排放量大小之別，因此本研究另針對不分工程項目進行碳排放主要工項排序，亦與路工、橋梁工程之碳排放主要工項採同一種作法，針對隧道工程碳排放 95%進行主要碳排放工項彙整，彙整結果如表 5.35。本研究將實際計算之案例內容與主要碳排放源工項百分比彙整於附錄五，碳排放源工項百分比之計算過程於附錄五手冊範例計算中說明。

表 5.34 隧道工程主要碳排放分項工程

項次	隧道分項工程
1	襯砌混凝土工程
2	隧道支撐工程
3	隧道開挖及運碴工程
4	隧道鑽孔及灌漿工程
5	洞口及假隧道工程
6	零星工程
7	隧道鋪面工程
8	洞口電纜管道工程
9	隧道段電氣預埋管工程
10	隧道交控土木管道工程
11	計測系統工程
12	隧道段火警系統預埋管工程
13	隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程
14	隧道監控系統預埋管工程

在隧道工程主要碳排放工項中，碳排放比例最高者為鋼纖維噴凝土、噴凝土，此工項在 4 個案例中所占百分比，其平均為 19.63%；所佔比例第二高之工作項目則為

隧道襯砌混凝土，其平均百分比為 14.52%；第三高之工作項目則為仰拱混凝土，其平均百分比為 7.61%。

表 5.35 隧道工程碳排放主要工項

項次	主要工項
1	鋼纖維噴凝土、噴凝土
2	隧道襯砌混凝土
3	仰拱混凝土
4	碴料近運、遠運利用
5	隧道開挖(第 I ~VI 類岩體、洞口段)
6	鋼筋材料，SD420W
7	水玻璃
8	桁型或 H 型鋼支保
9	鋼筋材料，SD280W
10	灌漿岩栓(預力、非預力)
11	結構用混凝土
12	餘方近運利用
13	先撐鋼管、管幕鋼管
14	水泥漿液灌漿
15	仰拱開挖
16	化學藥液灌漿
17	機電,監控,火警,交控土木管道
18	高低壓土木管道
19	隧道襯砌模板(主隧道)
20	管幕灌漿(水泥漿液)
21	防水層
22	預力鋼腱岩錨
23	場鑄鋼筋混凝土格梁護坡

## 5.6 模式測試

### 5.6.1 案例簡介-東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善

#### 一、案例背景說明

計畫範圍係省道台 66 線自 0K+000 至 17K+200 路段範圍與主要橫交相到的平面路口，評估範圍全長 17,000 公尺，屬桃園縣觀音鄉、新屋鄉及楊梅鎮境內，標準路段路權寬度 40 公尺；現有平面交叉路口既有 1K+000(台 15 線叉路口)、2K+050(桃 89 線叉路口)、2K+500(桃 94 線叉路口)線叉路口、7K+200(桃 84 線叉路口)、8K+400(桃 82 線叉路口)、12K+700(桃 81 線叉路口)、13K+000(桃 79 線叉路口)、13K+400(高鐵橋下連絡道)、及 15K+200(桃 102 線叉路口)，其路線位置詳圖 5.11。



圖 5.15 東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善計畫範圍圖

東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中之公路類型僅有路工與橋梁，尚無隧道。就計畫範圍有三個路段，各路段因周邊環境因素、高程差、交通量與公路工程相關限制條件，因此各路段方案研擬分為方案一至方案六，將各路段方案相關內容彙整如表 5.36~5.38 所示。

表 5.36 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段一方案相關內容

區域	方案	方案內容					
		台 15 線路口	桃 89 線路口	桃 94 線路口	高架橋 總面積	路工 工程面積	路堤填築 面積
路段一	方案一	高架橋 跨台 15 線	平面交叉	平面交叉	9,460	0	0
	方案二	高架橋 跨台 15 線	高架橋跨桃 89 線	平面交叉	20,020	5,460	4,550
	方案三	高架橋 跨台 15 線	平面交叉	高架橋跨桃 94 線	20,020	7,150	6,500
	方案四	高架橋 跨台 15 線	採一座高架橋跨桃 89 線、94 線		33,720	11,850	11,050
	方案五	採一座高架橋跨台 15 線、桃 89 線、桃 94 線			46,330	13,000	6,500
	方案六	高架橋 跨台 15 線	高架橋跨 66 線	高架橋跨 66 線	12,260	7,700	0

表 5.37 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段二方案相關內容

區域	方案	方案內容				
		桃 84 線	桃 82 線	高架橋總面積	路工工程面積	路堤填築面積
路段二	方案一	高架橋跨桃 84 線	平面交叉	11,440	6,240	4,810
	方案二	平面交叉	高架橋跨桃 82 線	9,680	4,550	3,900
	方案三	採一座高架橋跨越桃 84、82 線		34,352	12,350	9,750
	方案四	高架橋跨越 66 線	高架橋跨越 66 線	2,800	7,700	0

表 5.38 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段三方案相關內容

區域	方案	方案內容					
		桃 79 線	桃 81 線	桃 102 線	高架橋總面積	路工工程面積	路堤填築面積
路段三	方案一	不改道	平面交叉	高架橋跨桃 102 線	8,140	6,750	2,700
	方案二	改道	高架橋跨桃 81 線	平面交叉	7,920	17,530	7,250
	方案三	改道	平面交叉	高架橋跨桃 102 線	8,140	10,250	2,700
	方案四	改道	高架橋跨桃 81 線	高架橋跨桃 102 線	16,060	17,530	7,250
	方案五	採一座高架橋跨越桃 79、81 線		高架橋跨桃 102 線	22,220	7,280	9,950

## 二、計算結果

### 1. 路工碳排放計算

路工段土方工程路堤填築所採用之單位為體積，但東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中提供路堤填築之單位為面積，因此在路堤填築的部分尚未計算，路工之碳排放僅計算路工工程面積，採用單位面積碳排放係數為 0.058。

### 2. 橋梁碳排放計算

由於東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中說明省道台 15 線與台 66 線路口現況採用槽化處理，且為一斜交路口，為保有較大視距，有必要採用與縣道 115 線及縣道 114 線相似的大跨徑連續梁規劃，在橋梁上部結構型式初步研提 2 個方案，分別為鋼箱型梁橋吊裝工法與預力混凝土箱型梁之場鑄懸臂工法或預鑄節塊工法。因此在計算橋梁上部結構碳排放時，所套用的單位面積碳排放係數以鋼箱型梁橋吊裝工法或是採用場鑄懸臂工法與預鑄節塊工法之平均值計算。另省道台 66 線現況高架橋之橋墩基礎因地質條件佳，計算橋梁下部結構碳排放時，係採用直接基礎單位面積碳排放係數。

#### (1)橋梁上部結構與下部結構係數選用

計算項目		單位面積碳排放係數
上部結構	鋼箱型梁橋吊裝工法	1.35
	場鑄懸臂與預鑄節塊工法	$(0.48 + 0.44)/2 = 0.46$
下部結構	直接基礎	0.31

#### (2)路段一之方案一計算方式：

a.採用鋼橋之方案一總碳排放量 = 17,903 tonCO<sub>2</sub>e

b.依據瑞典與法國文獻維護工程約為施工階段排碳量之 14%推估，由於此案例尚無隧道段，因此維護工程碳排放量僅利用路工與橋梁施工期間之碳排放×14%推估

計算項目		單位面積碳排放係數	面積	總碳排放量
路面工程	柔性路面	0.058	0	0
橋梁上部結構	鋼箱型梁橋	1.35	9,460	12,771
橋梁下部結構	直接基礎	0.31	9,460	2,933
維護工程		施工排碳量(路工+橋梁)×14%		2,199
小計				17,903

c.採用混凝土橋之方案一總碳排放量 = 8,305 tonco<sub>2</sub>e

計算項目		單位面積碳排放係數	面積	總碳排放量
路面工程	柔性路面	0.058	0	0
橋梁上部結構	混凝土橋	0.46	9,460	4,352
橋梁下部結構	直接基礎	0.31	9,460	2,933
維護工程		施工排碳量(路工+橋梁)×14%		1,020
			小計	8,305

後續各路段與各方案計算方式以此類推，計算內容與結果如表 5.34-5.36 所示。

表 5.39 路段一各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
上部結構碳排放	鋼橋	12,771	27,027	27,027	45,522	62,546	16,551
	混凝土橋	4,352	9,209	9,209	15,511	21,312	5,640
下部結構碳排放		2,933	6,206	6,206	10,453	14,362	3,801
路工工程碳排放		0	322	422	699	767	454
鋼橋施工碳排放		15,704	33,555	33,655	56,674	77,675	20,806
維護工程碳排放		2,199	4,698	4,712	7,934	10,874	2,913
鋼橋總碳排放		17,902	38,253	38,367	64,609	88,549	23,719
混凝土橋施工碳排放		7,284	15,738	15,837	26,664	36,441	9,895
維護工程碳排放		1,020	2,203	2,217	3,733	5102	1,385
混凝土橋總碳排放		8,304	17,941	18,054	30,396	41,543	11,280
工程造價(億)		3.44	5.35	5.53	8.40	11.53	4.24
實際工程選擇方案		★					

表 5.40 路段二各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四
上部結構碳排放	鋼橋	15,444	13,068	46,375	3,780
	混凝土橋	5,262	4,453	15,802	1,288
下部結構碳排放		3,546	3,001	10,649	868
路工工程碳排放		368	268	729	454
鋼橋施工碳排放		19,359	16,337	57,753	5,102
維護工程碳排放		2,710	2,287	8,085	714
鋼橋總碳排放		22,069	18,624	65,838	5,817
混凝土橋施工碳排放		9,177	7,722	27,180	2,610
維護工程碳排放		1,285	1,081	3,805	365
混凝土橋總碳排放		10,462	8,803	30,985	2,976
工程造價(億)		2.66	2.81	9.29	0.87
實際工程選擇方案			★		

表 5.41 路段三各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
上部結構碳排放	鋼橋	10,989	10,692	10,989	21,681	29,997
	混凝土橋	3,744	3,643	3,744	7,388	10,221
下部結構碳排放		2,523	2,455	2,523	4,979	6,888
路工工程碳排放		398	1,034	605	1,034	430
鋼橋施工碳排放		13,911	14,181	14,117	27,694	37,315
維護工程碳排放		1,947	1,985	1,976	3,877	5,224
鋼橋總碳排放		15,858	16,167	16,094	31,571	42,539
混凝土橋施工碳排放		6,666	7,133	6,873	13,400	17,539
維護工程碳排放		933	999	962	1,876	2,455
混凝土橋總碳排放		7,599	8,131	7,835	15,277	19,994
工程造價(億)		3.65	3.74	4.16	5.71	5.42
實際工程選擇方案				★		

### 5.6.2 規劃報告成果分析與探討

1. 透過案例測試後可確立本研究所建立之簡易型評量模式，可根據規劃報告之內容與其初步規劃之設計進行評量，本研究利用不同方案間之橋面版面積、公路面積等資訊，計算出不同路線方案之碳排放量。依據本研究計算的結果可發現橋梁碳排放量影響程度高於路工碳排放量，此結果亦符合各國文獻所提及之原則。
2. 本研究探討各路段之碳排放量後發現，工程最後所採用之方案皆都落於碳排放量最小與最大方案之區間，尤其路段一建議之方案為方案一，為本研究計算該路段碳排放量最小之方案，而其他方案雖不是選用碳排放最少之設計，但仍小於最大方案，如圖 5.13 所示。此可見依據本研究提供之碳排放計算模式與單位面積碳排放，雖無法完全準確計算所有碳排放量，但透過簡易型模式之輔助仍具有一定的參考價值。

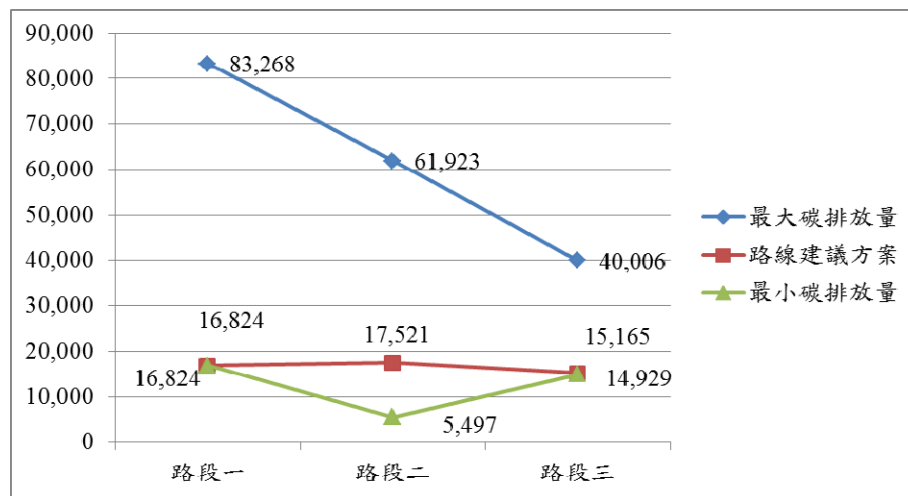


圖 5.16 各方案選擇之碳排放量總和比較

## 5.7 小結

根據本章計算之內容與成果，茲整理重要結論如下：

1. 本研究根據專家訪談之建議，蒐集不同特性之案例後，進行詳細型碳排放量計算，並根據計算結果進行結果分析與探討，嘗試將單位碳排放量依照案例特性進行分類歸納，並分別彙整路工、橋梁、隧道之單位碳排放量，以利簡易型模式使用。
2. 本研究為彙集實際公路工程之設計資料、單價分析表、數量計算書等，總共蒐集 13 件工程案例，並依據工程類型分成路工工程 5 案、橋梁工程 9 案及隧道工程 4 案，並利用詳細型模式及計算原則進行後續案例計算與分析。
  - (1) 路工工程之計算應分為柔性路面、剛性路面及路堤填築等三個部份，柔性路面之單位面積碳排放為 0.058 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，剛性路面之單位面積碳排放 0.071 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，路堤填築部份則為 0.00162 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。
  - (2) 橋梁工程之計算，橋梁上部結構之不同主梁材質、結構型式與橋梁工法將對碳排放量有莫大影響，混凝土橋 I 型梁吊裝工法單位面積碳排平均為 0.39 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，場鑄懸臂為 0.48 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，場鑄逐跨為 0.29tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，預鑄節塊為 0.44 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，箱型梁橋梁工法為 0.42 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，鋼橋為 1.35 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>；而橋梁下部結構依跨河橋與非跨河橋、橋墩高度以及基礎型式分類也有差異，跨河橋多跨單位面積碳排平均為 0.61 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，非跨河橋多跨單位面積碳排為 0.33tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>；再依高度區分跨河橋單位面積碳排為 0.61 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，非跨河橋 6.5m 以下單位面積碳排 0.23 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>；橋梁基礎型式直接基礎單位面積碳排平均為 0.31 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，樁基礎單位面積碳排為 0.47 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，沉箱基礎單位面積碳排為 0.21 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>，各基礎型式單位面積碳排平均為 0.42 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>。
  - (3) 隧道部分則依地質分為 II~VI 類，其計算結果如下，第 II 類則為 0.1272 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，第 III 類為 0.1527 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，第 IV 類 0.1832 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，第 V 類 2.199 t tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，第 VI 類 2.638 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>，但因各工程專案可能有所不同，因此本研究另有另有地質不分類之單位碳排放係數供使用者進行碳排放量計算，隧道不分類為 0.184 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>。
3. 本研究亦嘗試以台 66 縣路口改善規劃報告進行簡易型碳排放量計算，其計算

結果顯示，本研究所建構之模式可利用規劃報告所提供之資訊，計算出不同方案間之碳排放量，以供規劃者於選線階段參考。

## 第六章 彙編交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊初稿

製作本交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊，可提供使用者一套標準且適當之工程碳排放評量模式可遵循，並以減少碳排放量為目標，深入分析與檢討各工程方案與內容所產生之碳排放量差異，確實執行國家工程節能減碳之政策與目標。本手冊之內容包含公路工程碳排放評量系統之說明與操作、各國公路工程減碳手法與各國工程材料、機具碳排放係數等。以下針對手冊會編目的、文章架構與專家建議等進行說明。

### 6.1 手冊目的

#### 一、手冊彙編目的

交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊，其彙編之目的在於使公路工程碳排放評量模式以透明、公開之形式呈現。整體內容考量計算限制、計算範疇、示範案例與注意事項等，並佐以國內外減碳案例之態樣與實際作為進行闡述，以提供相關實務人員或讀者，進行公路工程規劃與施工階段之碳排放計算參考，鼓勵國內工程從業人員，注重節能減碳之作為與績效，落實低碳社會之目標。

#### 二、彙編方法與流程

彙編手冊主要以公路工程碳排放評量模式為核心，並透過蒐集、測試與研析等三大階段進行整理。蒐集階段，將持續蒐集與彙整國內、外可參考之實際案例作為，搭配可行之作為進行對應；測試階段，將配合案例計算之成果，透過本研究所取得之規劃報告內容進行測試，透過示範案例之呈現，輔助同仁後續評量與分析；最後階段為研析階段，手冊彙編過程中將不斷透過工作會議進行溝通與協調，確認合適之手冊架構，確保手冊內容合乎預期，並研討後續是否需增加內容。整體彙編方法與流程，如圖 6.1 所示。

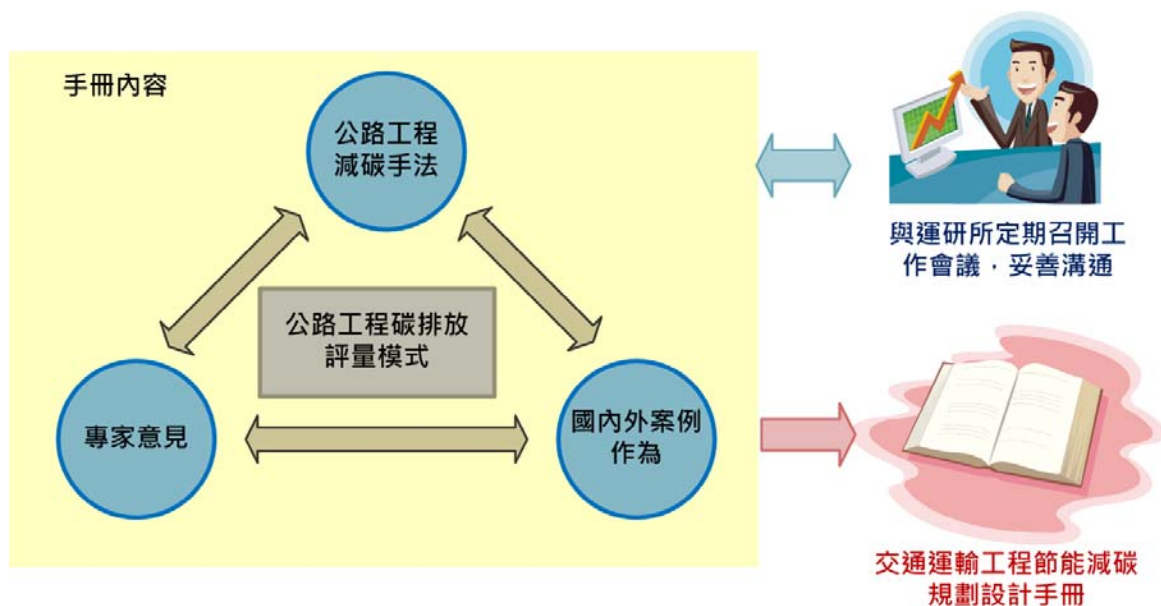


圖 6.1 交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊建立流程

## 6.2 章節規劃

本手冊係以快速傳達工程碳排放評估方法為原則，參考公路工程容量手冊與公共建設工程經費估算編列手冊之架構，以指導性之內容，提供公路工程於可行性、規劃、設計、施工到維護管理等各階段碳排放評量參考。本手冊內容包含公路工程碳排放評估方法、計算內容、使用限制與單位等評量準則，並提供相關國內外公路工程減碳作為與案例。本研究為了簡化學習負擔與查詢考量，整體手冊架構將以三大部份為編排主軸，第一部份包含前言、系統架構與使用流程；第二部份，則依公路工程碳排放評量模式進行說明，並佐以示範案例進行提示；最後部分則彙整國內外公路工程減碳可實行與參考之作為。以下則針對各章節內容進行簡述，而完整之交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊，請詳參附件六。

### 第一章：前言

本章節主要敘述手冊編撰之緣起，說明評量模式建立之背景與目的。

### 第二章：名詞界定與碳排放係數選用

本章節將說明手冊內所有提及之名詞釋義、可使用之碳排放係數分級與碳排放係數使用之原則等。

### 第三章：公路工程簡易型碳排放評量方法

此章節針對簡易型碳排放評量方法進行說明，包含模式計算項目、適用時機與

評量方法。簡易型評量方法，係以公路工程主要碳排放之路工段、橋梁段、隧道段與維護工程為計算主軸，並考量碳匯差異後，進行方案評選之參考。章節最後並輔以案例之計算，以簡化同仁參考或計算時之疑慮。

#### 第四章：公路工程詳細型碳排放評量方法

此章節針對詳細型碳排放評量方法進行說明，包含實際計算之範疇與內容、計算原則、與主要碳排放工項等分析。詳細型評量方法係以直接排放、間接排放與其他方放為計算範疇，進而延伸可歸納出五大計算工項，包含直接排碳量、間接排放量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量。使用者可依循各計算工項之計算式與評量原則，便可計算出各工程工項之碳排放量。

#### 第五章：公路工程減碳手法與案例彙整

此章節彙集公路工程適用之減碳手法與內容，並依據手法蒐集國內、外工程案例。同仁可檢討與考量主辦工程之限制、環境與內容等查詢相似案例內容，將有助於同仁思考或導入可行之作為。

#### 附 錄：

本手冊之附錄可分為兩大部分，第一部分係提供本研究與前期研究所彙整之國內外碳排放係數與其使用方法；第二部分，則說明本手冊推估係數之來源與實際計算之案例內容等。

## 6.3 專家審查意見

本研究與手冊初稿完成後，採用專家單獨審查之方式，邀請曾參與本研究諮詢之專家委員、期中審查委員及工程顧問規劃設計人員等。將由專家個別提供手冊修正意見或建議，審查成果除可協助了解手冊需調整之部分外，亦可了解手冊實際使用可能發生之問題，使本手冊更具實務操作性。手冊審查委員名單如表 6.1。

表 6.1 手冊審查名單

服務單位	職稱	審查委員
交通部台灣區國道新建工程局規劃組	組長	陳國隆
交通部台灣區高速公路局技術組	組長	林炳松
亞新工程顧問股份有限公司	協理	林金德
財團法人中華顧問工程司	執行長	黃洪才
臺灣世曦工程顧問股份有限公司	技術經理	魏雲魯
林同棧工程顧問股份有限公司	副總工程師	彭康瑜
中興工程顧問股份有限公司	工程師	卓涼華

本研究透過各專家單獨審查後，排除錯漏字、名詞定義與相關說明等內容後，針對主要手冊方向、使用目的、係數運用等主要問題彙整如表 6.2 所示。彙整意見之內容可發現，多數專家針對本研究計算所採用之係數來源之準確性與代表性較多疑慮；而針對案例係數計算部分，多提出係數分類之成果運用與建議選用適當之分類方法或原則進行探討等。對於整體架構與內容並無太多意見，顯示專家多數肯定且皆能接受本手冊內容與使用方法。

表 6.2 專家審查意見

意見	本研究修正與回覆
1. 2.3.1 節中，物料參數資料中提到以碩博士論文為主，請補充為何以該論文為主？	1. 係數使用與蒐集係考量我國材料計算問題與區域性問題，選用碩博士論文所調查之係數，可避免計算皆選用國外係數，造成差異過大。
2. 碳排放係數來源建議值如何取得？若為案例回推建議針對案例名稱或相關背景進行補充	2. 本研究碳排放建議值主要透過已設計完成之公路總局與營建署之案例進行計算，根據案例計算之結果提出碳排放係數建議值，路工、橋梁、隧道之主要碳排放工項詳見手冊 3-1 至附錄 3-7，
3. 無橋墩是指僅有橋台嗎？為何無橋墩之碳排放量較有橋墩者多？建議可採用單跨或多跨進行分類	案例名稱及主要工項佔全案之碳排放
4. 本研究關於橋墩高度之分類依據 15m	

意見	本研究修正與回覆
<p>與 10m 為何?，且橋高之計算基準為何?(梁底至計劃水位或梁底至河床面之淨高)</p> <p>5. 鋼橋之碳排放係數較混凝土橋高，與該橋可回收碳排放應該較低之既有印象不符，請說明原因?</p> <p>6. 岩體組成中，I~VI 類之分類依據為何?</p> <p>7. 台 66 線案例中，路堤單位為何使用面積?且未針對碳匯部分進行計算?</p> <p>8. 台 66 線案例中，鋪面工程為 0，路堤面積為 0，此部分為何為 0?</p> <p>9. 維護工程皆採用 14%，但路工、橋梁及隧道之維護工程碳排放可能不同，建議採用不同百分比進行計算</p> <p>10. 本手冊之碳排放係數建議值較運研所編列之「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」報告低，請說明為何碳排放係數建議值較低?</p>	<p>比例等資訊顯示於該附錄中</p> <p>3. 無橋墩者即為此橋無落墩，僅有橋台，根據專家意見及檢視計算結果，無橋墩者較低應是因為該橋之橋面板面積較小，因而造成單位碳排放面積較大之情形發生</p> <p>4. 本研究計算橋高之依據是依造橋梁管理系統所提供資橋高資訊進行結果分類，並根據計算結果針對平均值正負 20%作為分類級距進行分類</p> <p>5. 本研究根據專家訪談及回顧國內外研究之結果，由於鋼橋建造時須使用全新鋼料，因此在碳排放係數選用上暫以不計回收效益之碳排放係數進行計算，因鋼料本身製造過程中碳排放已較混凝土多，使得計算結果中，鋼橋之碳排放量大於混凝土橋</p> <p>6. 岩體組成之分類依據根據岩體評分(RMR)進行分類，第 I 類為 81~100 分，第 II 類為 61~80 分，第 III 類為 41~60 分，第 IV 類為 21~40 分，第 V 類為 11~20 分，第 VI 類為 0~10 分</p> <p>7. 根據本研究蒐集之規劃報告案例中，該案例所提供之路堤填築計算單位即以面積計算，本研究採用平均填築高度 10m 進行計算後，其對碳排計算結果影響不大，因此該案例之路堤填築未納入計算，路工部分僅計算鋪面工程</p> <p>8. 本研究所蒐集之規劃報告案例為路口</p>

意見	本研究修正與回覆
	<p>改善規劃報告，因此鋪面工程及路堤填築面積為 0 之部分之工程做為即為維持現狀，因此相關工程數據為 0。</p> <p>9. 本研究根據瑞典與法國之相關研究，其維護工程碳排放量約為施工過程之 14%，因國內外相關研究尚未完整，本研究針對維護工程暫以 14%進行碳排放量估算。</p> <p>10. 案例計算數值差異部分，受限於本研究蒐集案例且根據專家訪談之意見，不同設計單位將有不同工程作為與設計考量，將產生不同之設計強度及材料用量。為確保本研究所提出碳排放係數建議值之準確性，建議應持續蒐集大量案例並進行碳排放量計算，以提供準確之碳排放係數建議值</p>

## 第七章 結論與建議

根據經濟部能源局的統計資料顯示，在台灣的能源使用結構中，運輸部門佔了13.2%，比例居國內各產業之第二位。但國內早期並未將二氧化碳視為汙染源，也未針對二氧化碳的排放量進行管制，然而以往工程的規劃設計較著重在技術品質與功能需求之滿足，較少探討工程建設本身因建材使用以及興建過程能資源耗用，所造成大量的溫室氣體排放。因此，本研究首要目的係尋求國內規劃設計作業流程上的共識，並汲取相關國內外案例作為，嘗試針對交通運輸工程規劃設計提出合適之節能減碳評估方法，並彙整成一兼具操作性與代表性之評估手冊，使所有實際推動與參與規劃設計之實務者，皆有一套標準操作機制而能有所遵循。

### 7.1 結論

根據前述各章之研究內容與成果說明，茲整理本研究重要結論如下：

#### 一、公路工程碳排放評量模式

本研究所規劃之碳排放評量模式，可分為簡易型與詳細型兩大評量模式。利用此兩大模式，相關人員可於公路工程可行性與規劃設計階段時，進行評量工程之總碳排放量，進而將溫室氣體排放作為工程效益評估、方案選擇條件之一。兩大模式以合乎國內外碳足跡評估的觀點、計算方法正確與內容完整為基本考量，可作為未來合理解釋與分析公路工程排碳量，及提供決策分析之輔助工具。

1. 簡易型評量模式，建議適用時機為公路工程可行性或初步規劃階段。計算內容以公路工程之主要碳排放工項來源，作為碳排放量推估之基礎，包含路工段、橋梁段、隧道段與維護工程，及環境改變所產生之固碳量差異。
2. 詳細型評量模式，建議適用時機為公路工程之規劃設計階段與施工階段，或在相關工項有詳細資料可供計算碳排放量的情況下使用。其計算內容係以工區即工程設施運作的區域為範圍，應就工程直接排碳量、間接排碳量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量進行計算。

本研究所研提之工程碳排放評量方法除考量工程直接排碳量、間接排碳量、材料排碳量、運輸排碳量與碳匯變化量等五大類碳排放項目外，針對營運管理階段之操作維護碳排放量，參考國外原則與經驗，其計算方法暫以比例法估算，初步以14%作為40年碳排放量推估的比例。未來待我國彙整及計算維護工程之完整資料後，再行研議。

#### 二、案例計算與分析

本研究為彙集實際公路工程之設計資料、單價分析表、數量計算書等，總共蒐集 13 件工程案例，並依據工程類型分成路工工程 5 案、橋梁工程 9 案及隧道工程 4 案，並利用詳細型模式及計算原則進行後續案例計算與分析。

依據各工程計算成果可得知，不同工程類別應採用不同之計量單位：

1. 路工段之計算可分成路面工程與土方工程。路面工程以單位面積進行計算，內容則考量不同鋪面之組成，應分為柔性路面與剛性路面；土方工程則以單位體積進行計算之。
2. 橋梁段工程之估算需分成上、下部結構分別評量，計算單位皆以單位橋面板面積計算之。上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁形式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁形式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。
3. 隧道段工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例進行計算。

本研究依據工程案例計算之成果，針對路工段、橋梁段與隧道段進行工程主要碳排放工項彙整，路工段共有 13 項主要碳排放工作項目、混凝土 I 型橋梁 14 項、混凝土箱型梁 17 項、鋼橋 17 項、隧道工程 23 項。未來規劃設計者可於規劃設計時，針對此主要碳排放工作項目進行碳排放量計算，即可掌握該工程約 95% 之碳排放量，達到簡易估算工程碳排放量之目的，亦可針對主要碳排放工項著手，優先針對這些工項進行減碳作為，減少工程碳排放量，達到減碳之目的。

### 三、交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊

本手冊係以快速傳達工程碳排放評估方法為原則，參考公路工程容量手冊與公共建設工程經費估算編列手冊之架構，以指導性之內容，提供公路工程於可行性、規劃、設計、施工到維護管理等各階段碳排放評量參考。本手冊內容包含緒論、本評量模式之使用說明、相關工程作為與案例等共分為五章節。

第一章：緒論，說明本系統之緣起與定義。

第二章：名詞界定與碳排放係數選用，本章節將說明手冊內所有提及之名詞釋義、可使用之碳排放係數分級與碳排放係數使用之原則等。

第三章：簡易型評量方法，提供可行性及初步規劃設計階段，進行工程碳排放量之評量方法說明與案例。

第四章：詳細型評量方法，提供詳細規劃或施工階段，進行工程碳排放量之評量方法說

明與案例。

第五章：公路工程減碳手法與案例彙整，此章節彙集公路工程適用之減碳手法與內容，並依據手法蒐集國內、外工程案例。

附 錄：提供本研究與前期研究所彙整之國內外碳排放係數與其使用方法、推估係數之來源與實際計算之案例內容等。

## 7.2 後續建議

根據本研究成果，本研究後續發展之建議如下：

1. 經由本研究建立碳排放評量方法並進行案例研究之過程與結果可知，工程碳排放量評估的關鍵在於活動數據和碳排放係數兩部分。然而，現階段國內外各工程材料的碳足跡資料並不完備，除有必要針對工程材料之重要性進行排序外，建議應持續納入國內外最新公告數值或研究結果外，後續還應以工程應用所需為考量，依重要次序逐一進行參數之率定，重新檢討各參數之涵蓋範圍，進而合理提出一建議值，作為我國交通運輸工程碳排放量推估時採用之一致標準。
2. 透過文獻回顧與專家訪談可發現，目前國內尚未針對工程營運與維護階段，進行碳排放之評量與分析，現在模式針對營運管理階段之操作維護碳排放量，選用國外原則與經驗，初步以 14%作為 40 年碳排放量推估的比例。考量未來模式精進與發展，後續應深入探討及分析我國維護工程之完整資料，針對各類工程之特性、設計原則、環境限制與工法等內容，加以研議，進而建立營運與維護階段適用之碳排放評量方法與內容。
3. 為了未來能落實使用本評量模式，本研究建議後續應持續蒐集公路工程之路工段、橋梁段與隧道段等現行工程案例，並針對其內容進行碳排放評量，持續改善工程分類項目，進而完善各工項之碳排放係數，使整體評量模式更符合國內設計習慣與特性，確保本評量模式之準確性。
4. 在可行性、規劃階段，線形因素對未來運具使用將造成諾大影響，由於本年度僅就結構體本體與施工過程進行碳排放計算，建議後續研究可針對方案線形部分進行探討，如曲率半徑、坡度、直線段佔多少比例等進行探討，分析各方案之趨勢，並將影響因子列入工程規劃階段碳排放評估中，以求符合工程整體生命週期碳排放評估需求與國家政策目標。
5. 實務面部分，可參考國外工程管理單位對於溫室氣體排放議題的關注現況與趨勢，建議後續可推動公路新建(含更新、擴建、改善)工程及設施操作與維護工

程的碳盤查，藉由碳排放活動的實質調查，檢討碳排放活動數量與設計值之差異，同時累積與建立各式工程排碳項目之碳排放係數，藉以回饋至理論面的碳排放量推估結果，更有效歸納出我國公路工程特定規模、等級、工法等不同條件下的碳排放量以及碳足跡。

## 參考文獻

- 【1】 交通部運輸研究所，交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究，2011。
- 【2】 行政院公共工程委員會網站：<http://www.pcc.gov.tw>。
- 【3】 永續公共工程－節能減碳政策白皮書（草案），行政院公共工程委員會，2008。
- 【4】 台灣二十一世紀議程國家永續發展願景與策略綱領，行政院經濟建設委員會，2004。
- 【5】 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營建政策推動策略及藍圖之研究（研究報告 194），2002。
- 【6】 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營工程方案—推動綠營建工程評估審議制度及評估指標之研究（研究報告 127），2001。
- 【7】 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營建工程方案—道路工程建立綠營建工程設計規範及設計準則（研究報告 154），2001。
- 【8】 蔡厚男、邱銘源、呂慧穎道路建設與生態工法（Ecological Technology for Road Construction），熊貓出版社，2003。
- 【9】 綠營建道路工程研討會，國立中央大學，2005。
- 【10】 黃榮堯等，道路建設綠營建評估指標系統之研究，技術學報，2006。
- 【11】 陳章鵬等，建立道路工程綠營建審議指標之研究，行政院公共工程委員會，2004。
- 【12】 行政院環保署，產品與服務碳足跡計算指引，2010。
- 【13】 Tung, H., Cédric, D., Anne, V., Agnès, J., Gilles, L., (2005). A global tool for environmental assessment of roads – Application to transport for road building. <http://www.ectri.org/YRS05/Papiers/Session-3bis/ventura.pdf>. (accessed date: 2012/4/13)
- 【14】 Stripple, H. (IVL Swedish Environmental Research Institute), (2001). Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis. Project Report of Swedish National Road Administration. <http://www.ivl.se/download/18.2f3a7b311a7c806443800055078/B1210E.pdf>. (accessed date: 2012/4/13)
- 【15】 內政部建築研究所，綠建築設計技術彙編，2005。。
- 【16】 行政院環保署，行政院環境保護署溫室氣體查驗指引，2010。

- 【17】 經濟部能源局，99 年我國電力排放係數，2011。
- 【18】 薛惠兒，「綠建材應用於景觀公共工程之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，2007。
- 【19】 「推動縣市執行營建廢棄物再利用計畫」，行政院環保署，2009。
- 【20】 「建立永續公共工程指標系統之研究」，行政院公共工程委員會，2008。
- 【21】 ADB，"Methodology for estimating carbon footprint of road projects- case study: India"，Asian Development Bank，2010。
- 【22】 Andrew Porter & Kathryn Vowles，"Highways Agency Carbon Calculation Tool – Instruction Manual – Version v5c"，UK Highway Agency Document No. CCP-369-371-Instruction Manual-101209-v5c，2008。
- 【23】 Boriboonsomsin, K. Scora, G. Barth, M. "Analysis of Heavy-Duty Diesel Truck Activity and Fuel Economy Based on Electronic Control Module Data"，Journal of the Transportation Research Board. 2010。
- 【24】 PAS2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, 2008。
- 【25】 Dean Kerwick-Chrisp，"Carbon Calculation Tool Instruction Manual For Major Projects"，Highways Agency research project，2009。
- 【26】 Gerilla, G.P. et al，"Environmental Impacts of the Road and Building Construction Industry in Japan" Proceeding of the International Symposium on Lowland Technology，2000。
- 【27】 H. Christopher Frey, Nagui M. Rouphail, Haibo Zhai, "Measurement and Modeling of the Real-World Activity, Fuel Use, and Emissions of Onroad Vehicles: Policy Implications of Fuels, Technologies, and Infrastructure", 2010 TRB Energy and Environment Research Conference, June 6-9, 2010
- 【28】 ISO/CNS 14061-1 溫室氣體－第一部：組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告附指引之規範，2006。
- 【29】 ISO/CNS 14061-2 溫室氣體－第二部：計畫層級溫室氣體排放或移除增量監督及報告附指引之規範，2006。
- 【30】 ISO/CNS 14061-3 溫室氣體－第三部：溫室氣體主張之確證與查證附指引之規範，2006。
- 【31】 張又升，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，國立成功大學建築研究所，

2002。

- 【32】 林再澍，「不同建築生產方式對環境負荷影響之研究」，國立臺北科技大學建築與都市設計研究所，2008。



**附錄 1：期中報告審查意見**  
**交通部運輸研究所合作研究計畫**

**☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表**

計畫名稱：交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊研究與編訂

執行單位：國立中央大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>(一)國道新建工程局陳組長國隆</b>		
1. 目前案例分類方式大都以橋梁、路工、隧道，簡易推估模式包含各工項所使用之燃料、外購電力、材料，簡易版是否會包含這些範疇？	本研究係以實際案例之單價分析表與數量計算書之資訊進行碳排放估算，施工中之機具與材料都已納入計算。	同意辦理。
2. 本研究參照去年係數資料庫，建議放在本報告中，一併納入本報告附件中。資料庫中之碳排放項目中，混凝土之施工方式等應寫出，將可對不同案例有更大幫助。	前期報告之資料庫已納入手冊附件二，惟許多碳排放係數僅提供數據，並無詳細之內容，難以分析。	同意辦理。
3. 建議橋梁案例部分，因箱型梁之施工方式較多，目前分類部分僅以懸臂工法為主，建議增加其他工法之案例，以探討其他工法是否會對碳排放量造成影響。	採用不同工法勢必影響施工機具之時間與能耗，本研究所蒐集案例，其使用之工法將可分成 I 型梁吊裝工法、場鑄懸臂工法、場鑄逐跨工等。請詳參本報告第 5.4 節橋梁工程之計算。	同意辦理。
4. 目前期中報告中，針對目前無係數部分目前採用 0 代替，雖然比例不高，但若可能佔的比例較高，建議手冊內可針對此部分進行說明定義。	係數為 0 部分，係為本研究初步計算時之標註，實際計算時因有部分係數於資料庫內無法取得，後續計算過程皆以利用相近之係數取代。	同意辦理。
5. 碳排放量部分，施工階段所占碳排約在 20%以下，考量全生命週期之概念下，本研究是否會針對其他階段進行估算？	依據合約範疇，本研究所規劃之碳排放評量方法，係以工程量體、施工與後續維護工程之碳排為主。	同意辦理。
6. 若要進行係數探討，需要很多案例。	本研究已徵詢公路總局與其他工程顧問公司之協助，直至期末階段共蒐集 13 件工程案例。	同意辦理。
7. 鋼橋碳足跡係數部分，是否有納入回收後。	本計算模式所採用之鋼材係數不包含回收部分。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>(二)中興工程顧問股份有限公司黃工程師琬淇</b>		
1. 建議計算過程中，排除哪些項目，應做顯示，以便使用者使用。	計算過程之限制與排除皆已註記，如本報告 5.1.3 節所示。	同意辦理。
2. 用水量跟廢棄物數量，在規劃設計無法得知，但詳細計算部分建議增加。	惟實際案例計算時所能取得之資料限制，部分計算項目僅能簡化計算。	同意辦理。
3. 簡易版部分在路線方案或許可針對營運階段提出評估依據，以便使用者使用。	營運階段不屬本年度工作範疇，本模式僅探討工程本體、施工與維護工程之碳排放量。	同意辦理。
4. 英國部分路工部分有相關係數，建議可納入參考。	本研究將持續蒐集，並納入後續參考。	同意辦理。
<b>(三) 交通部公路總局夏組長明勝</b>		
1. 目前中興工程顧問公司進行碳盤查部分，係針對前期所提出之範疇進行盤查，研究成果將會呈現隧道每一挖方將會有多少碳排，橋梁每平方公尺有多少碳排。本研究目前所呈現部分，雙園大橋幾乎沒有路工，案例代表性可能較為不足。蘇花改是較特殊之工程，B1 跟 B4 標之填土部分來自其他標隧道之出渣，與西部工程不太相同，採用其結果可能失真，建議本研究針對較常用之工程進行案例試算。北門玉井線之箱型梁較為一個典型代表，代表性較雙園大橋充足，雙園大橋規模較大與跨距較大，若以此個案直接針對鋼橋提出係數，代表性可能較為不足。	本研究將持續進行案例蒐集，並將此建議納入後續研究重點。透過案例試算後，可發現路工段之計算可分成路面工程與土方工程；橋梁段工程之估算需分成上、下部結構分別評量。上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁形式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁形式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。隧道段工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例進行計算。	同意辦理。
2. 目前提出之簡易型與詳細型部分，大致沒有什麼問題，惟針對簡易型之係數是從詳細版回饋部分應做清楚說明，以	感謝委員肯定，本研究將持續努力。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
免使用者誤用，本研究目前將填土部分獨立計算，應為可行。		
3. 期中報告橋梁部分以單位高度之面積排放量，現在分為上部、下部更為明確，隧道以體積部分應為可行。	感謝委員肯定，本研究將持續努力。	同意辦理。
4. 建議增加案例數量分析，以釐清相關疑義。	本研究將持續努力。	同意辦理。
5. 認同本研究目前之作法，針對工程中之主要碳排放量之百分之 90 以上已具代表性，其概括評估部分已經足夠。	感謝委員肯定，本研究將持續努力。	同意辦理。
6. 全生命週期部分，可對營運階段提出部分評估方式，將可對規劃者有極大助益。例如若採用較多橋梁，隧道之工程，雖然工程碳排放較高，但若可降低營運段之碳排，或許可針對方案間進行全生命週期之碳排趨勢比較，可對規劃階段有所幫助。	本研究之範疇係以工程量體與施工階段之碳排放為考量。而營運階段之碳排放計算更為複雜，透過文獻回顧發現，除速限、坡度限制外，仍有諸多因子無法單獨計算，本研究建議後續研究可針對營運階段單一因子或複合因子之關係進行分析，因此後續將與運研所討論，並建議為後續研究發展主題。	同意辦理。
<b>(四)交通部運研所運工組許副組長書耕</b>		
1. 規劃階段部分進行全生命週期碳排放比較方面，本研究目前以工程階段為主，而針對營運階段部分則由本所別組進行相關研究，待評估時再將兩部分進行加總比較。本研究目前以規劃階段估算與設計階段估算為主，建議本研究簡易版與詳細版搭配規劃設計階段進行使用，並於手冊中應清楚寫出。	感謝委員提醒，已納入手冊內容。	同意辦理。
2. 簡易模型與詳細模型部分，簡易版太過簡易，例如在公路容量分析手冊中，坡度部分可使	本研究針對工程之特性與內容進行分類。路工段之計算可分成路面工程與土方工程；橋梁段工	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>用平坦地、山嶺地、丘陵地或坡度等，建議本研究於詳細版中應針對個案之背景特性與條件列出，將可對手冊使用者有較大助益，以便不同工程規劃者使用，針對不同特性進行分類、分群。</p>	<p>程之估算需分成上、下部結構分別評量。上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁形式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁形式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。隧道段工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例進行計算。</p>	
<b>(五) 臺北科技大學土木工程系吳教授傳威</b>		
<p>1. 交通運輸工程之範疇極大，包含陸、海、空，而本研究僅針對公路工程（非軌道）進行探討，針對本研究之範疇宜予適當說明。</p>	<p>感謝委員意見，本研究建立之模式其實是適用於各工程（工地、鐵路工程），若範疇屬於 ABCDE 都是可適用的，其不同在於機具的耗油與用電。該計算模式是遵循碳足跡的基準，也是前期報告的模式，因是運研所之研究案，因此還是要有延續性，目前案例蒐集皆以公路工程為主，後續會於報告中寫清楚。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>2. 報告中研究團隊成員未列出，應將工作團隊名單進行條列，可對團隊之專業性進行說明。</p>	<p>團隊成員名單已於工作服務建議書中羅列，並已說明。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>3. 報告中提到前期研究，但未出現在參考文獻中，在本研究之參考文獻中應清楚表列。</p>	<p>感謝委員意見，業已修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>4. 本研究將重新建立新模式或主要仍以前期研究之碳排推估模式為準？本研究所使用之模式與去年之模式差異為何？</p>	<p>本研究之詳細版係延續前期報告之範疇，而簡易版模式乃依據專家與詳細型模式進行簡化而成。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>5. 規劃設計手冊部分，規劃階段之資訊非常有限，規劃階段之推估恐過於粗略而看不出差</p>	<p>因不同案例情況可能不同，無法辨於在規劃與設計階段時，是否有橋長、橋墩、工法等資訊。因</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
異，本研究目前所擬定之簡易版之資訊，應為基本設計才能使用，針對規劃部分應做更細部之探討，應將本研究之定位更加清楚。	此本研究分簡易與詳細版，若可取得之資料夠詳細與清楚，則用詳細版模式，若無法得知太多資訊可運用簡易版模式。	
6. 手冊之編定應讓大家可以廣泛採用，應需進行驗證，讓大家對此產生可信度，將可使手冊有更大的效益。	本研究嘗試運用規劃報告之資訊進行模式測試，確認本模式運行與計算內容符合期待。	同意辦理。
7. 期待本研究之成果能得到廣泛的認為，可被欣然的引用。	感謝委員鼓勵。	同意辦理。
<b>(六)行政院公共工程委員會</b>		
1. 鋼橋之單位碳排放較混凝土橋高，與一般所認知較為不同，針對這樣的成果因做詳細探討。	本研究之範疇係考量工程建造之主體碳排放量，依國內設計規範與特性，鋼橋利用新材料，並非利用回收材。至於後續回收效益等，本研究參考國內外之案例發現，工程除役(回收再利用)階段仍有諸多疑點與限制，多數建議暫不考量後續回收。	同意辦理。
2. 橋梁工程之單位碳排放較路工多，與本研究先前提出以橋梁取代填土之結果矛盾。	本研究之橋梁係以上下部結構分類，因此上下部結構的碳排已分開計算，委員所指的碳排或許已包含營運階段，將無法直接進行比較。	同意辦理。
3. 橋梁的型式是受到跨距的影響，在實務上相同跨距斷面而言，I 型梁較不經濟，材料用量會比箱型梁來的多，則 I 型梁碳排會更多，但本研究箱型梁碳排放係數大於 I 型梁，因此資料的顯示與使用應有限制與說明。	本研究將檢視計算內容之缺失，並於本報告 5.4 節中探討與分析橋梁上部結構之差異。	同意辦理。
4. 路基填築受到填方的運距影響很大，一般如果能在工區挖填平衡，其跟填方需要遠方運距運過來的比較上，這兩個會	感謝委員提醒。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
有很大的差異。		
5. 建議搜尋相關節能減碳工 法，與本研究之研究成果搭配 參考是否相符。	本研究於手冊初稿第五章已初 步彙整可行之減碳手法，請詳參 報告附錄六。	同意辦理。
<b>(七) 公路總局規劃組</b>		
1. 針對簡易版部分，案例數量是 否有打算要算多少？未來可 行性研究部分，亦可能將碳排 納入考量，說明案例數量將可 對本手冊之可信度有一定代 表性。	本研究在時間允許範圍之內，將 盡可能蒐集案例，並進行試算， 以增加本碳排放評估模式之內 容。直至期末階段共蒐集 13 件 工程案例。	同意辦理。
<b>(八) 國道新建工程處</b>		
1. 【P.11】第 2.2.1 節 國內外 永續道路發展趨勢，諸多內容 係所列國家 10 多年前發展經 驗資料，請再查詢是否有較新 資料。	感謝委員提醒，本研究持續蒐集 相關文獻與該國相關報告，皆無 更新之資訊。	同意辦理。
2. 第 3.3 節文中提及許多研 究，但未在參考文獻中敘明， 請補充。	業已修正。	同意辦理。
3. 表 5.5 中目前已蒐集之工程 案例，均屬公路總局轄管範 圍，未見高公局轄管部分。	業已修正。	同意辦理。
4. 專家訪談紀錄中僅見 2 位專 家之紀錄，缺少 1 位。	業已修正。	同意辦理。
5. 誤繕部份經查如下： (1) 【P.25】標題「3.2 國內外 道路工程節能減碳研究」是否應 為「3.2 國內道路工程節能減碳 研究」？ (2) 【P.31】文中提及「圖 3.6」 但對照資料卻是「表 3.5」，且 文中並未編列「表 3.4」。 (3) 【P.67】標題「5.3.4 案例 三：蘇花改計畫工程」是否應為 「5.2.4 案例三：蘇花改計畫工 程」？	業已修正。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>(4) 【P. 73】標題「5.2.4 案例四：蘇花改觀音隧道新建工程」是否應為「5.2.5 案例四：蘇花改觀音隧道新建工程」？</p> <p>(5) 【P. 74】標題「表 5.17 蘇花改和平段路工工程碳排放量」是否應為「表 5.17 蘇花改觀音隧道新建工程碳排放量」？</p>		
<b>(九)運工組</b>		
1. 有關在設計階段，如何建立回饋機制，將未來工程計算之碳排放量，回饋至分析模式中（例如如何更新碳排放量係數資料庫等），請再詳細說明。	未來工程之碳排放計算，應以詳細型模式進行推估，而後應依據本研究所彙整之工程碳排放主要因子之分類進行更新即可，惟當本研究之分類級距無法涵蓋或誤差過大時，則須重新檢視分類與基準問題。	同意辦理。
2. 有關評估要項及分類考量內容，請再詳述其定義，以免造成引用誤解；另建議再後續研究中，能建立其完整流程圖，以利工程人員使用。	本研究已修正內容，請詳參成果報告第五章內容。	同意辦理。
3. 請研究團隊再進行案例計算同時，能分析差異性較大之數據原因，並回饋至表 4.1 之評估項目中，以確認評估要項之完整性，以提高評估之準確度。	本研究納入參考。	同意辦理。
4. 山區橋梁為了避免基礎冲刷，因此在設計上常採用鋼拱橋型式，利用其長跨度特性，可以避免基礎坐落於河川中，建議研究團隊後續在案例分析及分類考量中能加入；另鋼拱橋型式可分為上拱、中拱、及下拱，建議可以一併納入分析。	本研究將嘗試蒐集。	同意辦理。
5. 因案例分析是一件龐雜之工	遵照辦理。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
作，請研究團隊於案例分析完成後盡速召開專家學者座談會，以確認計算模式之完整性、正確性及方便性。		
<b>(十)陳主席一昌</b>		
1. 簡易模式如何建構應於報告中寫清楚，詳細版在設計階段如何供使用者使用，亦在報告中應詳述，以便使用者了解應用。	遵照辦理。	同意辦理。
2. 針對手冊範疇部分，該模式之適用範圍宜說明係針對路工、橋梁、隧道項目，故軌道與海空運涉及相關項目者，亦可參酌引用。	遵照辦理。	同意辦理。

**附錄 2：期末報告審查意見**  
**交通部運輸研究所合作研究計畫**

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊研究與編訂

執行單位：國立中央大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<b>(一) 公路總局夏組長明勝</b>		
1. 簡易型模式忽略一項重要因素，在可行性、規劃階段，線形因素對未來運具使用所造成碳排影響最大，建議簡易型模式可針對線形部分進行計算，各方案可採用曲率半徑、坡度、直線段佔多少比例等進行探討，分析各方案的趨勢。	感謝委員意見，線形因素確實影響後續營運階段之碳排放，透過文獻回顧發現，除速限、坡度限制外，仍有諸多因子無法單獨計算，甚至需要實際量測才有具體數據，由於本研究之範疇以工程量體與施工階段之碳排放為主，但線形因素著實影響甚鉅，本研究將納入後續研究之重點，並建議運研所參考。	同意辦理。
2. 本局提供之案例代表性不足，尚未有大規模路工工程，建議手冊所計算之案例內容（路工、橋梁、隧道）應提供 95% 主要碳排放源工項。	感謝委員意見與提供案例，本研究蒐集計算之 13 件工程雖無路工代表性工程，但仍具有討論分析之空間。而相關工程主要碳排放源工項，請詳參本成果報告附件四內容。	同意辦理。
3. 報告 54 頁，施工計畫應為細部設計之後，因此建議將施工計畫刪除。	感謝委員意見，業已修正，請詳參本成果報告 p49 頁。	同意辦理。
4. 報告 57 頁，表 4-1 與表 4-2 應互換，第一層次應為工法（表 4-1），第二層次為較詳細的評估項目（表 4-2），而橋梁分為 I 型梁、箱型梁與鋼箱梁即可，而預力箱梁與箱型梁其實是相同，因此可刪除預力箱梁。	感謝委員意見，業已修正，此二表係為專家意見之彙整，而委員意見亦納入此二表中。	同意辦理。
5. 報告 57 頁，上部結構工法忽略了 I 型梁，請修正。	感謝委員意見，業已修正。	同意辦理。
6. 報告 59 頁，表 4-3 簡易型評	該表顯示之機具的使用數量為	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
估考量因子，本表因是簡易型評估，因此在規劃與初步設計時應當沒有機具的使用數量，請修正。	成本概估法探討之因子，本簡易型內容未討論與計算。	
7. 詳細型計算只需計算造成95%以上之碳排放工項即可，因此建議將主要工項列表以供參考。	路工、橋梁與隧道工程主要碳排放源工項，請詳參本成果報告第5.3.3、5.4.3、5.53節或附件四之內容。	同意辦理。
<b>(二) 國道新建工程局陳組長國隆</b>		
1. 第五章將許多案例分成路工(表 5.3~表 5.5)、橋梁(表 5.11~5.20)與隧道(表 5.25與表 5.27)三部分來計算「碳排放量」，但未見其計算過程，為利後續工程單位計算參考，建議將表格中「碳排放量」之計算過程(路工、橋梁、隧道)補充於附錄。	感謝委員意見，計算過程可參照手冊附錄二計算項目與碳排放係數選用方法。	同意辦理。
2. 鋼橋分析上建議參考預力梁方式再予以區分，較符合實際狀況。	感謝委員意見，本研究依據跨度為考量因子，依其平均值為基準進行分析，僅能發現跨距愈大之鋼橋，其單位碳排放量呈現愈大之趨勢，惟受案例資料數量影響，暫無法分出清楚級別。	同意辦理。
3. 表 5.3、表 5.4 中，「單位面積碳排放量」似乎是將碳排放量除以「路工長度」求得其值？請檢核是否有誤。	感謝委員提醒，表 5.3 與表 5.4 之內容實屬誤繕，本研究已修正，實際計算皆以面積計算之。	同意辦理。
4. 表 5.4 中，雙園大橋之「剔除填土後單位面積碳排」與「原始單位面積碳排」相比較減少90%以上，但對照附錄 4-1，雙園大橋「基地及路堤填築」之碳排放量僅佔總碳排放0.37%，似不合理，請檢核是否有誤？另其他工程案例亦	感謝委員提醒，實屬誤繕，本研究業已修正。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
請一併檢核。		
5. 表 5.11~5.15 中，建議補充橋寬資料，以利了解橋梁背景條件。	感謝委員意見，業已修正。	同意辦理。
6. 表 5.13 及表 5.15 所求得之「場鑄懸臂工法」及「鋼橋」之碳排放係數分別為 0.52 及 1.25( $\text{tonCO}_2\text{e}$ )，請補充說明其適用之跨度等背景條件，或再細分計算不同跨度範圍之碳排放係數(第 5.8 節小結及規劃手冊亦請配合補充)，以利日後工程單位使用。	本研究於期末簡報中已納入計算，將依委員意見與期末簡報計算之成果修正成果報告，內容請詳參本成果報告第 5.4 節。	同意辦理。
7. 第 5.4.2 節內容提及表 5.17 中各案例橋墩基礎有樁基礎、直接基礎與沉箱基礎，橋墩高度約為 5m 至 15m 之間，但表 5.17 卻無「基礎型式」、「橋墩高度」等資訊，建議補充。	感謝委員意見，業已修正。	同意辦理。
8. 橋梁下部結構分類方式，意見如下：依表 5.16、表 5.17 及工程實務經驗判斷，跨河、非跨河應非影響碳排放量之主要因素，以此分類，雖可簡化，但代表性較不足，因此建議下部結構分類方式可拆分為「橋墩」與「基礎」，而橋墩建議再依高度區分，基礎再依型式區分，分別求得碳排放係數(圖 5.10「橋梁結構工程分類圖」可配合檢討)，應較精確。	感謝委員意見，由於本研究所蒐集之案例數量計算書，恐無法直接針對橋墩與橋台分開計算。而本研究分析出之跨河、非跨河差異，亦僅由本年度所蒐集之案例內容分析得知，至於是否直接影響，仍需持續計算案例與分析，才能辨識。	同意辦理。
9. 表 5.27 中欄位名稱「總碳排放量( $\text{tonCO}_2\text{e}$ )」應有錯誤，建議更正為 II 類地質當量體	感謝委員意見，業已修正。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
積(m <sup>3</sup> )。		
10. 附錄 4.1~4.7 中，主要工項之比例數值，請補充說明如何求得？	感謝委員意見，本研究所進行之案例推估方法，以詳細型模式進行計算，其主要工項之百分比係為佔整體 95%以上之所有工項彙整。	同意辦理。
11. 富國橋、富祥橋、裕國橋、開元橋、國泰橋等於報告 90 頁之表 5.20 中顯示其橋台均採用樁基礎，惟附錄 4.3 中，未將「基礎」列為主要工項，似不合理，請檢討。	感謝委員意見，本研究所蒐集之案例內容中，多數基樁與鑽掘並非列為工項，僅於單價分析中以費用呈現，透過專家諮詢後得知，該內容應以納入混凝土數量與施作工項中。	同意辦理。
<b>(三) 交通部運輸研究所許副組長書耕</b>		
1. 橋梁樣本分析中將直接將極端值部分剔除，建議針對該案例進行說明差異較大之原因為何？	感謝委員意見，以將剔除原因與分析過程納入 5.4 節中說明。	同意辦理。
2. 剛性路面評估方面可能會失真，因剛性路面之初期成本較高，但維護成本較低，因此建議剛性路面之維護成本不要直接採用 14%。	感謝委員意見，受限時程與資料蒐集之難度，本研究初步僅就文獻所提及之成果做為評量參考。而委員之建議，本研究將納入後續研究與建議中，並說明應深入探討不同工程、工法或材質其後續維護之內容，再回饋於本研究之模式中。	同意辦理。
3. 簡報 72 頁，第四點小結成本效益分析，金錢有增貶值之特性，但碳排放則無，小結內容建議調整。	感謝委員意見，業已修正。	同意辦理。
4. 線形之選擇，曲率半徑、坡度等會影響車輛碳排放，以上因子應列入工程規劃階段評估中，建議本研究與手冊可參考研析，並納入後續研究建議。	感謝委員意見，本研究將此意見彙整於後續研究中。	同意辦理。
<b>(四) 交通部運輸研究所陳一昌組長</b>		
1. 高速公路之設計標準較高，曲率半徑設計與一般道路是有	感謝委員意見，本年度僅就結構本體與施工進行計算，關於細部設計與現行因子之探討，本研究	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
所不同的。對碳排放之比較，宜以相同等級道路為之。	將納入後續研究與建議中。	
2. 本研究之結果顯示橋梁的碳排放量比路工高，但實際上在環評中路工往往被認為比橋梁的影響大，研究團隊應於報告中說明差異。	感謝委員意見，橋梁單位碳排放高於路工單位碳排放之內容，其主要原因在於混凝土使用量之差異，而整體方案分析時，須加上碳匯差異一併考量。	同意辦理。
3. 橋梁分類圖可再調整，看似已考量重覆性因子（跨河與高度）的分類，可再擴充使橋梁分類更完整。	感謝委員意見，本研究於期末簡報中已納入重覆性因子計算，將依委員意見與期末簡報計算之成果修正成果報告，內容請詳參本成果報告第 5.4 節。	同意辦理。
4. 有關 Green Road 文獻之介紹，美國應只有幾個州在使用，但在報告中提指標時並未特別指明出來，會誤以為 Green Road 是一個已實際運作的指標。	感謝委員意見，本研究已於成果報告中提及並分全美國皆使用該指標，避免混淆後續讀者。	同意辦理。
5. 碳匯公式計算，應放入既有植栽被移除的說明，因為工程中並非所有植栽皆會被移除。	感謝委員意見，本報告中已提及計算時應以原有碳匯量與完工後之碳匯量進行比較，並非所有植栽皆會被移除。	同意辦理。
6. 手冊中減碳手法與案例，建議應針對該案例是否為成功減碳案例加註說明分析，以利後續工程人員引用上之正確性。	感謝委員意見，本研究將重新檢視案例內容，進行篩選後，再納入手冊內容。	同意辦理。
7. 奧杜邦協會之英文拼字有錯，請修正。	感謝委員意見，誤繕部分已修正為“Audubon”。	同意辦理。
<b>(五) 國道新建工程局</b>		
1. 【P. 7】在第 2.2.1 節中，諸多內容係所列國家 10 多年前發展經驗資料，已於期中報告審查時，請研究團隊再查詢是否有較新資料，但期末報告中第 2.2.1 節仍無更新補充。	感謝委員提醒，本研究持續蒐集相關文獻與該國相關報告，皆無更新之資訊。	同意辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>2. 誤繕部份經查如下，其餘部分請自行檢視確認。</p> <p>(1) 【P. 77】圖 5.5 中，柔性路面碳排係數為 0.059(<math>\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2</math>)，剛性路面碳排係數為 0.053(<math>\text{tonCO}_2\text{e}/\text{m}^2</math>)，與內文所述及第 5.8 節小結之建議數值不符。</p> <p>(2) 【P. 81】表 5.13 標題「場鑄懸臂工法與預鑄節塊工法碳排計算結果」，是否應為「場鑄懸臂工法碳排計算結果」？</p> <p>(3) 【手冊-17】表 3.5「有橋墩之跨河橋」其碳排放建議係數為 0.95，對照期末報告第 5.8 節小結，應更正為 0.59。</p> <p>(4) 【手冊-36】第二段第三行：「…工作項目分別為 35 項 34 項…」，文意表達不清，請修正。</p> <p>(5) 【手冊-39】第 1 段第 5 行：「…碳排放百分比可達 95%以上，<u>小於之工作項目</u>可忽略不計…」，文意表達不清，請修正。</p>	<p>感謝委員意見與提醒，誤繕部分與語意不清之部分，本團隊於成果報告中皆已修正。</p>	<p>同意辦理。</p>
<b>(六) 交通部運輸研究所運工組</b>		
<p>1. P70 有關碳排放計算範圍中，施工機具運輸、工程材料運輸、工程人員運輸等項目，因在可行性評估階段資料取得困難恐無法計算，因此暫未納入計算；建議以詳細評估方式計算一案例，並計算出比例，如所佔比例很小可忽略</p>	<p>感謝委員意見，由於本研究所蒐集資料中，皆無運輸之內容與數量，因此亦無法計算出運輸之影響。就文獻回顧得知，運輸之油耗將佔工程一定之百分比，但應考量不同工程之所在區域、設計內容等差異問題，因此較無法分析出一定比例。</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
時，建議於報告中敘明本項計算不會影響成果。		
2. P77 圖 5.5 路工工程分類圖中，柔性路面 0.059ton 與表 5.6 柔性路面 0.041 不同，請釐清確認數字何者為是。	感謝委員意見，圖 5.5 實屬誤繕，業已修正。	同意辦理。
3. 有關橋墩高度區分以 15m 及非跨河橋以 10m 當作判別分界線，請於報告中說明以此數據分類之理由及依據。	感謝委員意見，期末報告中之分類，係採用二分法，直接利用差異較大之內容進行區分，並非合適之分類方式，本研究已於期末簡報與成果報告中以平均值為基準，初步將案例分為三個級距，以利後續參考使用。	同意辦理。
4. P89 圖 5.10 橋梁結構工程費類圖中，請加註數字之意義，避免使用者使用錯誤，例如預鑄吊裝工法 0.34(4/4)。	感謝委員意見，本研究於圖中已加註圖例說明。	同意辦理。
5. 期中報告意見回覆漏缺運工組期中意見，請修正；另工作會議漏缺 11 月份工作會議紀錄，請一併修正。	感謝委員提醒，本團隊已將期中意見補充於本成果報告附錄一中。	同意辦理。
6. 有關手冊-25 中，以蘇花改案例分析部分，請再加註最後選擇之方案，另外方案四與方案五請再釐清設計內容不同處，因設計速率不同應會影響道路轉彎半徑及段面大小等之設計，因此碳排放量應會有所不同。	感謝委員意見，蘇花改案例，最後採取不同路段不同方案進行細部設計，惟規劃報告中方案四、五之內容無詳細說明，導致無法辨識主要差異，故僅以單一斷面進行計算。	同意辦理。
7. 針對蘇花改案例計算，請研究團隊再與去年計算之碳排放量進行比較，以了解可行性評估與細部設計碳排放量之差距性為何。	感謝委員意見，本研究進行初步分析發現，可行性評估與細部設計碳排放量差異明顯，但整體路工、橋梁與隧道碳排放之趨勢與結論皆符合前年度專案分析之結論。	同意辦理。
8. 部分文字誤繕，請於期末報告	感謝委員意見，業已修正。	

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>中一併修正，例如 P74 倒數 1 行多逗號，P78 表 5.7 應為 5.9，P87 圖 5.7 應為非跨河橋，手冊-47 與 48 編排有誤等。</p>		

## 附錄 3 工作會議紀錄

### 附錄 3-1 工作會議紀錄（一）

會議時間	101/03/07
會議地點	交通部運輸研究所
會議紀錄	蔡紀震
會議紀錄	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. 請貴團隊將前期中興所完成之報告進行文獻回顧，了解目前發展情形。</li><li>2. 請貴團隊針對規畫設計單位進行訪談，例如：國工局、高公局，以了解規劃設計各階段之實際操作情形。必要時可請運研所提供相關協助。</li><li>3. 手冊編訂希望可分為規劃設計(可行性)及初設兩部分。</li><li>4. 文獻蒐集請增加碳稅(碳匯)這部分相關文獻</li><li>5. 本研究案為延續性之研究案，希望貴團隊可參考去年報告資料。</li><li>6. 排碳相關評估方式以區間方式呈現即可。</li><li>7. 去年之計劃案已將碳排部分作出部分成果，請貴團隊將報告看過後，若有重複的部分以前期報告為主即可，本案主要的方向是想除了規劃設計時所考量之成本面、效益面之外，再多考量排碳面，以供方案定線時之參考。</li><li>8. 請貴團隊參考本所運技組之規畫設計流程，並提出規劃與設計之評估方式與評估時間點。</li><li>9. 可參考台九線之案例進行碳排方案評估。</li><li>10. 持續蒐集國外文獻(尤其是台灣未引進之施工法)</li><li>11. 希望本研究案可針對規劃設計階段之方案選擇提出指標(規劃階段之選址、選線等)</li><li>12. 專家座談會名單須送運研所這邊進行確認</li></ol>	

## 附錄 3-2 工作會議紀錄（二）

會議時間	101/05/04
會議地點	交通部運輸研究所
會議紀錄	蔡紀震
會議紀錄	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 抓主要材料之碳排放量即可(80/20)</li> <li>2. 長短隧道、長短橋，根據前期研究成果，由於隧道設備或橋台都有最低基礎規範，因此建議計算方式應採區間方式進行計算(例如:隧道長 1~5K)或採常數項方式處理。</li> <li>3. 根據運計組研究成果發現，公路等級影響碳排程度大於鋪面種類</li> <li>4. 誘發旅次的問題應直接考慮整體路網之影響。</li> <li>5. 盡早提出專家會時間、地點、專家名單等，運研所將盡力協助。</li> <li>6. 簡報第 8 頁部分，文字敘述與圖面不符。</li> <li>7. 貴團隊資料需求盡早提出，運研所將全力協助。</li> <li>8. 若碳足跡已將設施拆除及處裡所造成的排碳納入考量，應在本研究中註明。若材料碳足跡本身已考量拆除時所造成之碳排，應在本研究中註記，分為施工階段之耗能與拆除時之耗能。</li> <li>9. 以既有規劃設計流程為基礎，將碳排評估方式、評估時間點等加入現行規劃設計作業流程中，亦可了解各階段所擁有之資訊以利研擬評估方式。</li> <li>10. 將可行性規劃部分更為規劃。</li> <li>11. 本手冊著重於工程面，應避免車流量(運管手段)、設計容量等影響因素。</li> <li>12. 建議將設施拆除階段之碳排評估納入。</li> <li>13. 橋柱高也會是碳排因子，應將影響大之碳排因子找出。</li> <li>14. 目前團隊於定線方案所採用之計算方式中，係採用單位面積方式進行計算，但於選線階段並無單位面積參數可供計算，選線初期對於高程部分大多只有丘陵地、山坡地、平坦地等資訊。</li> <li>15. 貴團隊所需資料部分針對資料特性、案例名稱、數量等部分，請列出需求清單部分，以便運研所進行協助。</li> <li>16. 效益評估部分係屬運計組業務範圍，應避免重複。重點應在工程面。</li> </ol>	

### 附錄 3-3 工作會議紀錄（三）

會議時間	101/06/20
會議地點	交通部運輸研究所
會議紀錄	陳昭秀
會議紀錄	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 邊坡填土要納入計算，因環保意識的提高，盡量以高橋墩的方式繞過而不去挖土，以至減少開挖的量，但後續的案例計算應將邊坡部分納入計算。</li> <li>2. 運輸排碳在材料的部分應納入計算，但在工法部分運輸排碳不會納入計算，建議在報告中要寫清楚。</li> <li>3. 簡報內容建議將路高或路堤的資訊納入，說明清楚有納入計算，要與前述專家建議路工工程依路堤高度分類一致。</li> <li>4. 透過專家訪談皆建議公路工程不以公路等級作區分，但去年度中興報告裡國外（印度）文獻的分析結果說明國道、省道的排碳量還是有差的，建議計算國內國道、省道及一般公路的排碳量是否會有差異性。</li> <li>5. 建議後續案例試算將鋼橋納入，尤其是特別的鋼橋（無基樁），建議跟公路總局獲取特別案例。</li> </ol>	

### 附錄 3-4 工作會議紀錄（四）

會議時間	101/08/30
會議地點	交通部運輸研究所
會議紀錄	陳昭秀
會議紀錄	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究重點在於不同結構形式之碳排放量差異(短跨橋數量、長跨橋數量、隧道等)，本研究雖受限於案例數量，但針對範疇及案例地圖應建立完整。</li> <li>2. 為了比較不同案例間之差異，應計算排水與邊坡擋牆工程後，以免納入計算後，造成過大差異，影響決策結果。</li> <li>3. 建議簡易型與詳細型建構完成後，針對同一案例進行簡易型與詳細型比較，探討是否影響後續決策。</li> <li>4. 針對本模式部分簡易型部分其精細度，其準確性應有一定的準確度，以達成不影響決策正確性之目的。</li> <li>5. 該如何驗證簡易型模式之準確度?以增加本手冊之可信性。</li> <li>6. 應呈現計算路工、橋梁、隧道等三部分佔整標工程中比例為多少?</li> <li>7. 蒐集歷史資料中，將過去規劃階段資料、細設階段資料等，驗證本模式並集結成手冊，為本手冊之重大貢獻。</li> <li>8. 嘗試考量工程維護階段之碳排，建議納入可行性階段中考量。</li> <li>9. 手冊編寫第二章與第三章，手冊編寫請參考容量手冊。</li> <li>10. 針對分類參考部分，針對各類別應力求完整，或者是在數值後面將試算案例數量。</li> <li>11. 本研究之考量部分盡量採用通案性案例。</li> <li>12. 模式中應納入維護管理階段之部分，利用百分比或者其他方式呈現皆可。</li> <li>13. 手冊中註明簡易型各數值之案例計算之依據(是利用了幾個案例計算)，橋高分群或跨距分群等，建議長度是否也進行分群?(影響碳排放之因子皆進行分群)。</li> <li>14. 將可行性先介紹簡易型，再進入詳細版部分。</li> </ol>	

### 附錄 3-5 工作會議紀錄（五）

會議時間	101/11/20
會議地點	交通部運輸研究所
會議紀錄	陳昭秀
會議紀錄	
<ol style="list-style-type: none"><li>1. 規劃報告之方案評選應做最佳方案與最差方案之選擇。</li><li>2. 規劃報告蘇花改案例分析，請再加註最後選擇之方案。</li><li>3. 方案四與方案五請再釐清設計內容不同處，因設計速率不同應會影響公路轉彎半徑及段面大小等之設計，因此碳排放量應會有所不同。</li></ol>	

## 附錄 4 專家訪談紀錄

### 附錄 4-1 訪談紀錄（一）

訪談對象	黃琬淇 工程師
訪談人員	蔡紀震、蔡宗益
訪談時間	4/5
訪談地點	中興工程顧問股份有限公司
會議記錄	蔡紀震
訪談紀錄	
<ol style="list-style-type: none"><li>對於公路工程碳排放評估模式擬定，利用結構形式不同及結構形式所占比例進行碳排放量推估應屬可行，為去年有短橋單位碳排放較長橋多、短隧道比長隧道單位碳排放亦較多之情形。</li><li>建議將所蒐集之單價分析表建構標準轉換模式，即計算碳排放之方法與流程。</li><li>國內碳足跡資料不足，去年之碳排放計算中，沒有碳足跡可供參考時，便透過材料轉換之方式，例如：螺栓以 CNS 標準轉換為單位重等方式，進行碳排放計算。</li><li>隧道部分去年以平面面積與長度進行計算，其結果無明顯趨勢，建議可嘗試採用隧道段面積*隧道長之方式，以求得隧道體積，用以計算單位體積碳排放量之結果。</li><li>營運階段部分考慮之因子，建議除了去年度所使用之長度與坡度外，再另多考慮一個因子即可。</li></ol>	

## 附錄 4-2 訪談紀錄（二）

訪談對象	夏明勝 組長
訪談人員	余品蓁、陳昭秀
訪談時間	101/05/30
訪談地點	交通部公路總局
會議記錄	陳昭秀
訪談紀錄	
<ol style="list-style-type: none"> <li>現行的工程目前只有蘇花改案例有作二氧化碳的評估方式，且本局目前也依據蘇花改的前期研究與計算方式作相關推估，但所謂碳排放的評估或計算，其實未來是要依據本研究團隊目前在執行的研究報告。</li> <li>規劃階段以單位面積（路基、橋梁）或體積（隧道）尚屬合宜。惟路基部分建議多考量檔土高度、地質條件。橋梁分上、下部結構。上部結構大同小異變化不大亦可分箱型梁與 I 型梁等結構型式，而下部結構較為複雜，下部結構可依墩柱高度（0-5m、6-10m 等）、基礎型式或基樁作分類。隧道以斷面積或體積分類。</li> <li>設計階段既已有工程項目、數量及單價分析，可依工程項目、數量及單價分析估算較精確。</li> <li>就國內橋梁上部結構之工法而言，一般高速公路所使用之工法為特殊工法，且均為箱型梁，如就地支撐工法、場鑄懸臂工法、支撐先進工法及預鑄節塊吊裝工法等其他工法。另一般適用於市區公路（一般公路）之橋梁普遍工法為 I 型梁，適用於橋長較短的橋梁（小橋）。</li> <li>本研究僅需針對部分工法探討，就地支撐工法、場鑄懸臂工法、支撐先進工法及預鑄節塊吊裝工法，另 I 型梁（小橋）與鋼橋亦可納入計算碳排放。</li> <li>本研究所整理之橋梁下部結構三種工法（全套管基樁、基樁高壓灌漿工法、基樁式橋墩橋梁工法）最終做出來就是一支樁，建議以橋墩基礎型式區分（樁基礎、沉箱基礎、直接基礎、等）較適宜，但同時也要考量地質條件。</li> <li>隧道工法則以新奧工法（山岳隧道）、隧道鑽掘機（TBM）工法（雪山隧道）、潛盾工法（市區捷運）與明挖覆蓋工法（下水道）。</li> <li>預算書之單價及數量分析機具可能只有功率估算，若要機具輸出功率、耗時或油耗需求，恐要在施工廠商提出之施工計畫內容，甚至要到施工工地調查才有。</li> </ol>	

9. 案例可提供本局提送「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」之各項計劃資料。

- 將提供南迴、蘇花改、西濱等規劃報告
- 可提供已核定可行性報告及規劃報告
- 可提供已發包工程圖說預算書

### 附錄 4-3 訪談紀錄（三）

訪談對象	魏雲魯 經理、謝明榮 顧問
訪談人員	蔡宗益、陳昭秀、蔡紀震
訪談時間	101/06/07
訪談地點	台灣世曦工程顧問股份有限公司
會議記錄	蔡紀震
訪談紀錄	
1.	中興工程顧問去年受交通部運輸研究所委託進行類似研究，除此之外，國內尚無其他評估方式可供參考。另外因為國內目前尚無標準評估模式，因此造成相關碳排放係數資料庫不足。
2.	雖然國內外有相關研究提供混凝土之碳排放係數參考，但大多未揭露其混凝土配比等相關資訊，因此碳排放係數仍無固定的答案。另外由於每項產品之生命週期皆不同，若直接針對碳排放係數進行評估將造成結果失真。
3.	若要編定規劃設計手冊請務必將範疇定義部分說明清楚，以避免設計者產生誤用之情形。
4.	規劃階段可以利用單位面積（路基、橋梁）或體積（隧道）進行評估，但有些粗略。
5.	現行評估模式最大的問題在於碳排放係數資料不夠完整。
6.	建議在用字上進行調整，公路工程指的是包含路工工程、橋梁工程、隧道工程等，因此建議將公路工程更為路工工程。
7.	若為路工工程設計部分，公路等級差別並不會造成明顯差異。支撐先進工法為國內最多使用之工法，節塊推進較少應用，新奧工法為一個概念而非工法，因此建議刪除。橋梁下部結構部分建議採用基樁型式進行分類較清楚，以井式、沉箱、全套管、直接基礎等進行分類。
8.	碳排放量部分應考量新、舊機具所造成的油耗差異，進而影響碳排放量。

## 附錄 4-4 訪談紀錄（四）

訪談對象	黃琬淇 工程師、李成淵 副理
訪談人員	蔡宗益、陳昭秀、蔡紀震
訪談時間	8/24
訪談地點	中興顧問股份有限公司
會議記錄	蔡紀震
訪談紀錄	
1.	目前現有碳排放估算中，最大的挑戰，就路工段來說，路工段可分為路堤段與路塹段，路堤段填土高度最高不會超過 10m；路塹則是分為 1 階~3 階(或是路塹的邊坡高度將造成影響)，攤到面積上之價格可能差 2~3 倍。
2.	路工段除了級配料、AC 這些東西以外，路面上之標線、號誌等，是否要納入路工段考量範圍是可以討論的，但碳排放量的比重應該不大。
3.	橋梁工程中，地質、所處的斷層帶等，都將影響橋的設計強度，亦將影響橋梁基礎形式，進而影響造價、工法、碳排放量等，橋墩高度亦為一個重要影響因子。
4.	橋梁上部結構部分則為橋梁跨距，橋梁跨距越大將對鋼筋用量與單位面積造價皆有顯著影響。
5.	一般橋梁 30 公尺以下會考慮做箱涵，30 以上開始考慮做橋梁，150 公尺以上，自 35~150 公尺之橋梁，其工程造價差價可至 3 倍，排碳量也大約有 2~3 倍之差異。
6.	所蒐集之案例，如果沒有說明地質條件、斷層、地震力係數、橋高、跨距等條件，將造成碳排放差異極大之問題。
7.	隧道段部分，第一個影響的是車道數，因為車道數將影響隧道斷面大小，第二個是隧道地質部分，隧道地質可分為 1~6 類，第 1 類與第 2 類通常採用同一種支撐方式，所以支撐大概可分為五種等級，第五種的岩栓支撐密度可能會到第一種的 10 倍以上，所以隧道部分建議將地質部份說明清楚。
8.	要提供一個可信度很高之參考，則需要透過計算很多的案例才能準確，且不同的設計者或顧問公司，其設計手法也大不相同，可能在相同地質條件中，兩間不同顧問公司之做法就不同，例如頂拱厚度來說，就可能有 30 公分及 50 公分兩種差別，其實是因為有較保守之設計，而採用不同的安全係數。
9.	建議案例呈現部份將條件說明清楚，讓使用者可以了解到案例碳排放係數的限制條

訪談對象	黃琬淇 工程師、李成淵 副理
訪談人員	蔡宗益、陳昭秀、蔡紀震
訪談時間	8/24
訪談地點	中興顧問股份有限公司
會議記錄	蔡紀震
訪談紀錄	
<p>件為何，最後交由使用者自行增減即可，建議將背景說清楚，畢竟在這麼短時間其實不容易做到案例數量及案例完整性這兩點。</p> <p>10. 現有規劃作業較多委託工程顧問公司辦理，建議亦可訪談顧問公司設計人員之意見。</p> <p>11. 一般方案評選中，最經濟、省錢的應該也會是碳排放量較低的，除非使用較特殊之材料或其他因素。</p> <p>12. 在工程造價上，隧道大於橋梁大於路工</p> <p>13. 隧道之主要碳排項目為開挖及鑽炸等作業所使用之機具碳排放，橋梁則是以鋼筋、混凝土為主，隧道之襯砌混凝土用量除上平面面積後，單位混凝土用量則較橋梁低。</p> <p>14. 現有碳排放係數資料不足，現階段之計算僅能透過係數轉換等方式進行簡易估算，無法得知其真正碳排放係數，待日後廠商提出產品碳足跡後才能完整計算出準確之碳排放係數，但這些估算之碳排放量屬於量較少的一環，應不致造成工程碳排放量差異過大之問題。</p> <p>15. 地質條件等因素可能導致單位碳排放有 1~3 倍之差異屬正常。</p> <p>16. I 型梁與箱型梁之碳排放係數比較中，I 型應該較低，箱型梁應該較高，因 I 型梁之垮距較短，因此應較小，箱型應較大，但不至於大到 3、5 倍，橋梁部分主要碳排為鋼筋、混凝土、預力鋼鍵等。</p> <p>17. 建議建立完整之營建係數資料庫，並完整說明轉換方法等，以供未來使用參考。</p>	

## 附錄 4-5 訪談紀錄（五）

訪談對象	林錦宏 協理
訪談人員	蔡宗益、蔡紀震
訪談時間	9/28
訪談地點	台灣世曦工程顧問股份有限公司
會議記錄	蔡紀震
訪談紀錄	
<ol style="list-style-type: none"> <li>公路規劃選線階段時，針對路工、橋梁、隧道皆有標準斷面圖，以供工程估算人員進行工程成本概估，因此在隧道工程部分可透過隧道斷面面積乘上隧道長度，即可求得隧道體積大小，但在隧道地質部分則要等到定線確定後，才會進行進一步地質鑽探作業，以求得詳細隧道地質分布情形。</li> <li>隧道地質不同，將導致材料、機具用量不同，六種地質等級中，每差一級將使材料、機具用量多出約 1.2 倍。</li> <li>隧道開挖地質所預估之土方量中，以包含人行、車行橫坑及豎井等，皆會納入土方量計算中。</li> <li>隧道施工工法將影響材料、機具使用量，但施工工法仍與地質相關，鑽炸法及 TBM 用在岩盤地質，管幕工法則是屬於輔助工法，用以支撐開挖隧道，因此在可用在岩石、土層兩種皆適用，新奧工法則屬於岩盤地質，潛盾則適用土層。</li> <li>工程設計時，為符合政府綠色內涵相關規定，因此須將碳排放減量 10%，實務上多採用飛灰、爐石等材料，以減少水泥用量，或採用高性能材料，以減少材料量體大小等，以達到減碳之目的。</li> <li>建議未來碳排放計算部分採用與 PCCES 估價方式結合，若資料可以互相共用，對工程師在碳排放計算時，將可節省許多時間。</li> </ol>	

## 附錄 5 工程主要碳排放工項計算

### 附錄 5-1 路工段碳排放源主要工項

主要工項		紅葉	雙園	B1	B4	B3
密級配瀝青混凝土		31.26%	17.69%	8.75%	14.41%	4.06%
粗級配瀝青混凝土			12.95%	10.79%	17.45%	3.42%
級配粒料底層，碎石級配		9.47%	6.02%	3.32%	5.38%	1.38%
標線，熱處理聚酯，反光，厚 2mm		6.31%	8.65%	1.37%	3.24%	2.78%
清除與掘除			4.12%	3.27%	4.53%	4.60%
瀝青混凝土刨除，厚 5cm			21.36%	2.01%	7.68%	
基地及路堤填築		6.56%	0.37%	60.33%	19.29%	77.69%
基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，開挖機)		7.47%			0.15%	0.54%
瀝青透層		1.75%	1.37%	0.75%	0.98%	0.48%
餘方近運利用		4.86%				
護欄	單面金屬護欄(H 型鋼柱)			3.18%	2.16%	1.55%
	中央分隔島護欄			2.10%	0.30%	0.17%
	塊狀護欄			1.47%		0.54%
	金屬鋼管護欄	14.24%				
	基礎，金屬鋼管護欄(路工區)	8.91%				
	混凝土隔欄(H=80cm)(設於路堤)		12.63%			
	混凝土護欄(H=80cm)(擋土牆頂)		11.31%			
緣石	預鑄緣石，A 型，35cm 高(含基礎座)	6.79%	2.19%		3.50%	
水泥混凝土鋪面(t=30cm)					16.94%	
小計		97.62%	98.66%	97.34%	96.01%	97.21%

## 附錄 5-2 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋上部結構計算項目

項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-B	立元二橋
1	結構用預力混凝土， 240kgf/cm2	2.89%	5.61%	3.96%	2.79%	3.85%		
2	結構用預力混凝土， 280kgf/cm2							4.28%
3	ASTM A709 GR50 鋼板	74.28%	63.72%	69.42%	75.51%	70.20%	91.46%	80.80%
4	ASTM A709 GR36 鋼板							2.73%
5	ASTM A709 GR50 箱梁製作 及加工	1.37%	1.18%	1.28%	1.39%	1.30%		2.22%
6	ASTM A325 強力螺栓						0.78%	1.63%
7	鋼承板(ALK18，含支撐折板)							0.33%
8	箱梁吊裝	9.97%	8.55%	9.32%	10.13%	9.42%		
9	鋼筋材料，SD280W	6.11%	9.26%	8.11%	5.62%	7.88%		
10	鋼筋材料，SD420W	0.94%	4.02%	1.33%	0.53%	1.32%		6.89%
11	橋面伸縮縫，A1 級，16cm						1.10%	
12	橋面洩水孔，C 型						5.58%	
13	進橋版	2.01%	3.67%	3.29%	1.76%	2.85%		
14	金屬欄杆	0.71%	1.20%	0.97%	0.68%	0.95%		
15	鋼橋內面塗裝	0.34%		0.42%	0.36%	0.40%		
16	橋面伸縮縫 (伸縮量 10cm)		0.70%					
17	熱拌新料瀝青混凝土及鋪設		0.43%					
	小計	98.63%	98.33%	98.11%	98.77%	98.17%	98.92%	98.87%

### 附錄 5-3 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋下部結構計算項目

項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-B	立元二橋
1	結構用預力混凝土， 210kgf/cm2							0.70%
2	結構用預力混凝土， 240kgf/cm2	42.21%	49.06%	41.71%	36.54%	40.18%		
3	結構用預力混凝土， 245kgf/cm2						38.96%	2.20%
4	結構用混凝土，245kgf/cm2(預拌，水中)							23.90%
5	結構用預力混凝土， 280kgf/cm2	6.65%	7.01%	11.13%	11.49%	9.46%		17.24%
6	結構用預力混凝土， 350kgf/cm2							6.93%
7	自充填混凝土，350kgf/cm2						29.88%	
8	鋼筋材料，SD280W	11.74%	11.03%	12.65%	10.71%	11.47%		
9	鋼筋材料，SD420W	29.11%	24.94%	30.30%	25.54%	29.61%	1.43%	41.70%
10	剩餘土石方處理、就近利用挖方及填方滾壓	8.1%	5.87%	2.72%	13.18%	7.38%		
11	河川內餘方近運整平(包括裝車)							0.45%
12	沉箱基礎(7m $\phi$ )						22.96%	
13	構造物開挖						4.18%	
14	構造物開挖，(設擋土設施)						1.49%	
15	外覆防沖鋼版							5.00%
16	全套管式鑽掘混凝土基樁， D=2000mm，鑽掘(含空鑽)							0.66%
	小計	97.81%	97.91%	98.50%	97.45%	98.10%	98.89%	98.78%

## 附錄 5-4 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋上部結構計算項目

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	一號橋-A	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋	加禮遠橋	北門玉井E708-2(匝道)	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
1	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>													15.07%		
2	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>														9.72%	12.57%
3	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>					15.36%	17.48%	18.98%	12.84%	21.74%	20.18%	34.74%	44.62%			
4	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>	37.01%	39.50%	32.15%	38.30%											
5	鋼筋材料，SD280W	8.36%	9.56%	7.21%	7.46%							13.57%	37.43%	21.48%	15.52%	2.31%
6	鋼筋材料，SD420W	30.28%	20.65%	33.11%	32.62%	4.57%	2.33%	2.30%	1.62%	2.97%	2.90%	26.41%		0.78%	15.59%	22.64%
7	鋼筋，加工及組立	1.08%	0.84 %	1.12 %	1.12%							1.11%				
8	進橋版													17.7%		
9	新製預鑄預力 I 型梁，L=15M															43.98%
10	預力梁製作及吊裝(L=24.9M)													37.21%		
11	新製預鑄預力 I 型梁，L=35M														49.63%	
12	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	12.36%	18.15%	15.64%	9.14%	43.54%	64.08%	62.58%	75.16%	56.53%	58.62%	17.22%	12.79%			
13	透空式護欄(二管)	5.62%	5.36%	4.29%	4.84%	17.65%	8.83%	7.71%	3.27%	6.96%	6.99%	2.12%				
14	混凝土隔欄			1.27 %	1.43%	2.92%			1.74 %	3.70%	3.72%					
15	金屬欄杆													3.18%		

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	一號橋-A	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋	加禮遠橋	北門玉井E708-2(匝道)	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
16	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 9.0cm	1.84%	0.79%									0.87%	2.43%			
17	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 10.0cm	0.43%	0.81%	2.41%								1.88%				
18	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 11.0cm		1.98%		2.05%											
19	橋面伸縮縫，A 型， $16 < \text{伸縮量} \leq 24\text{cm}$					5.96%						0.60%				
20	橋面伸縮縫，B 型， $5 < \text{伸縮量} \leq 10\text{cm}$														2.88%	9.29%
21	橋面伸縮縫，B 級					5.08%	4.50%	4.50%	3.00%	3.46%	2.85%					
22	盤式支承，單向活動型， $V=700\text{tf}$ ， $H=175\text{tf}$										1.80%					
23	盤式支承，單向活動型， $V=700\text{tf}$ ， $H=200\text{tf}$					1.62%										
24	密級配瀝青混凝土(針入度 60-70)	0.81 %	0.76%	1.02 %	1.2%								0.91%			1.03%
25	瀝青黏層														5.30%	6.99%
26	A 型橋面洩水孔	0.58%				1.95%				2.86%	1.47%		1.04%			
	小計	98.37%	98.41%	98.23%	98.16%	98.65%	98.82%	97.92%	98.67%	98.21%	98.52%	98.52%	99.22%	99.05%	98.62%	98.81%

## 附錄 5-5 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋下部結構計算項目

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
1	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>			0.34%	1.22%							0.47%	0.31%	1.62%	0.53%	
2	結構用預力混凝土，175kgf/cm <sup>2</sup>	0.84%	0.28%													
3	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>													63.57%		
4	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>					8.05%	2.99%	5.03%	3.63%	3.64%	11.70%	0.33%			3.90%	3.68%
5	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	31.54%	14.74%	15.27%	44.93%	28.53%	4.56%	9.96%	9.18%	10.55%	35.68%	28.43%	17.46%		26.36 %	34.94%
6	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	24.11%	14.68%	13.14%	15.66%											
7	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>															
8	結構用混凝土，210kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)	1.85%	15.44%	17.87%												
9	結構用混凝土，265kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)												13.78%			
10	結構用混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)												8.14%			
11	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>					8.21%	3.19%	3.80%	2.50%	5.68%	9.28%					
12	鋼筋材料，SD280W		0.94%		0.76%							0.32%		14.81 %	3.76%	4.99%
13	鋼筋材料，SD420W	38.54%	45.57%	44.82%	34.46%	6.04%	1.51%	3.89%	2.34%	3.06%	7.39%	15.36%	37.02%	3.52%	14.06%	16.72%
14	鋼筋，加工及組立	0.82%	1.06%	1.24%	0.97%							0.43%				0.60%

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
15	剪力鋼箱，400T $\leq$ 抗剪力 $<$ 800T												0.39%			
16	剪力鋼箱，800T $\leq$ 抗剪力 $<$ 1200T												0.30%			
17	剪力鋼箱，抗剪力1500T	0.35%														
18	防撞鋼板(t=10mm)		3.29%	2.64%												
19	樁頭處理，基樁，150cm $\phi$ (含運費)			0.20%												
20	基樁完整性試驗測管		0.60%	0.67%												
21	構造物開挖(含設擋土設施、抽排水、裝車)				0.45%	22.44%	1.19%	6.91%	4.72%	3.93%	32.32%	0.16%	18.96%	2.96%		
22	構造物回填					1.40%					2.34%					
23	全套管鑽掘樁(100cm $\phi$ )											6.58%			50.09%	37.86%
24	全套管式鑽掘混凝土基樁，=1500mm，鑽掘(含空鑽)		1.95%	2.49%												
25	全套管鑽掘樁(150cm $\phi$ )(TYPE I)					23.77%	7.54%	28.65%	77.08%	21.41%		47.47%	0.56%			
26	全套管鑽掘樁(150cm $\phi$ )(TYPE II)						32.15%	40.94%		17.28%						
27	全套管鑽掘樁(150cm $\phi$ )(TYPE III)						45.95%			33.81%						
28	臨時擋土樁,鋼板樁,9m $<$ H $\leq$ 13m(單邊水平長度，含擋土支撐系統)												0.33%			
29	臨時擋土樁,鋼板樁,6m $<$ H $\leq$ 9m(單邊水平長度，含擋土支												0.78%			

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
	撐系統)															
30	填縫劑(填縫膠)												0.99%			
31	就近利用挖方及填方滾壓													2.10%		
32	剩餘土石方處理													9.26%		
	小計	98.05%	98.55%	98.68%	98.45%	98.44%	99.08 %	99.19%	99.46 %	99.35%	98.69%	99.54%	98.04%	97.84%	98.71%	98.79%

## 附錄 5-6 隧道段碳排放源主要工項(一)

隧道分項工程	B1	B2	B3	C01-1a
襯砌混凝土	32.59%	39.21%	42.11%	23.84%
隧道鑽孔及灌漿工程	10.64%	12.49%	12.35%	
隧道鋪面工程	1.09%	0.92%	1.05%	
隧道開挖及運渣	11.11%	13.03%	11.56%	22.59%
隧道段電氣預埋管工程	0.00%	0.11%	0.12%	
隧道段火警系統預埋管工程	0.00%	0.01%	0.00%	
隧道交控土木管道工程	0.11%	0.02%	0.02%	
隧道支撐	33.59%	28.51%	25.78%	34.12%
零星工程	3.17%	5.14%	5.35%	1.12%
計測系統	0.03%	0.01%	0.01%	0.11%
洞口電纜管道	0.24%	0.23%	0.66%	
洞口及假隧道工程	7.41%	0.32%	0.88%	17.81%
隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程	0.00%	0.00%	0.01%	
隧道監控系統預埋管工程	0.01%	0.00%	0.00%	
小計	99.99%	99.99%	99.90%	99.59%

## 附錄 5-7 隧道段碳排放源主要工項(二)

主要工項	B1	B2	B3	C01-1a
鋼纖維噴凝土、噴凝土	22.40%	19.20%	17.61%	19.32%
隧道襯砌混凝土	13.72%	15.48%	16.50%	12.39%
仰拱混凝土	8.11%	7.71%	7.35%	7.27%
碴料近運、遠運利用	1.20%	3.11%	1.31%	19.35%
隧道開挖(第 I ~VI類岩體、洞口段)	6.85%	6.76%	7.27%	2.73%
鋼筋材料，SD420W	5.45%	6.48%	8.68%	1.46%
水玻璃	5.46%	6.97%	6.85%	0.00%
桁型或 H 型鋼支保	4.75%	3.31%	3.27%	4.66%
鋼筋材料，SD280W	4.65%	4.38%	4.57%	1.95%
灌漿岩栓(預力、非預力)	2.07%	2.16%	2.19%	6.14%
結構用混凝土	1.75%	2.84%	3.60%	4.12%
餘方近運利用	0.42%	0.00%	0.01%	10.90%
先撐鋼管、管幕鋼管	2.69%	3.23%	2.31%	1.76%
水泥漿液灌漿	5.03%	1.81%	1.78%	1.35%
仰拱開挖	2.90%	3.03%	2.86%	0.42%
化學藥液灌漿	0.00%	3.48%	3.56%	0.33%
機電,監控,火警,交控土木管道	1.24%	2.35%	2.44%	0.00%
高低壓土木管道	1.02%	1.92%	1.99%	0.00%
隧道襯砌模板(主隧道)	0.69%	1.32%	1.47%	0.00%
管幕灌漿(水泥漿液)	1.49%	0.39%	0.23%	1.35%
防水層	0.65%	0.68%	0.73%	0.94%
預力鋼腱岩錨	1.81%	0.19%	0.08%	0.00%
場鑄鋼筋混凝土格梁護坡	1.98%	0.01%	0.04%	0.00%
小計	96.33%	96.81%	96.70%	96.44%

附錄 6 交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊初稿

# 交通運輸工程節能減碳 規劃設計手冊



(初稿)

交通部運輸研究所

# 目錄

目錄.....	i
表目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 緣起.....	1
1.2 手冊之目的.....	2
1.3 手冊適用範圍與時機.....	2
第二章 名詞界定與碳排放係數選用.....	4
2.1 名詞界定.....	4
2.3 碳排放係數來源與分級.....	5
2.3.1 碳排放係數來源.....	5
2.3.2 碳排放量係數選用及分級原則.....	7
第三章 公路工程簡易型碳排放評估方法.....	9
3.1 簡易型評估方法說明與適用時機.....	9
3.2 簡易型評估方法之計算範疇.....	10
3.3 簡易型碳排放評量方法.....	11
3.3.1 計算單位.....	11
3.3.2 計算方法.....	12
3.4 計算範例.....	17
第四章 公路工程詳細型碳排放評估方法.....	25

4.1	詳細型評估方法說明與適用時機.....	25
4.2	詳細型評估方法之計算範疇.....	26
4.3	詳細型碳排放評量方法.....	27
4.3.1	計算原則 .....	27
4.3.2	計算方法 .....	27
4.4	計算範例.....	29
第五章	公路工程減碳方法與案例彙整.....	36
5.1	公路工程減碳建議手法.....	36
5.2	公路工程具減碳作為之案例.....	40
5.2.1	路工工程 .....	40
5.2.2	橋梁工程 .....	43
5.2.3	隧道工程 .....	46
	參考文獻.....	48
附錄一	碳排放係數資料庫.....	50
附錄 1-1	參數資料庫-物料參數資料表 .....	50
附錄 1-2	參數資料庫-電力燃料參數資料表 .....	65
附錄 1-3	參數資料庫-機具能耗參數資料表 .....	71
附錄 1-4	參數資料庫-交通運輸參數資料表 .....	76
附錄 1-5	參數資料庫-林木固碳參數資料表 .....	84
附錄 1-6	參數資料庫-參數文獻資料表 .....	86
附錄二	計算項目與碳排放係數選用方法.....	89
附錄三	案例之主要碳排放工項百分比.....	94

附錄 3-1	路工段碳排放源主要工項 .....	94
附錄 3-2	橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋上部結構計算項目 .....	95
附錄 3-3	橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋下部結構計算項目 .....	96
附錄 3-4	橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋上部結構計算項目 .....	97
附錄 3-5	橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋下部結構計算項目 .....	99
附錄 3-6	隧道段碳排放源主要工項(一).....	102
附錄 3-7	隧道段碳排放源主要工項(二).....	103

## 表目錄

表 2.1	全球暖化潛勢值.....	5
表 2.2	碳排放量推估參數級別分析表.....	8
表 3.1	簡易型評估單位與考量因子一覽表.....	13
表 3.2	蒐集之公路工程案例.....	14
表 3.3	路工段碳排放計算推估表.....	14
表 3.4	橋梁段上部結構碳排放建議係數.....	15
表 3.5	橋梁段下部結構碳排放建議係數-以基樁型式區分 .....	15
表 3.6	橋梁段下部結構碳排放建議係數-以是否跨河區分 .....	16
表 3.7	橋梁段下部結構碳排放建議係數-以橋下平均淨高區分 .....	16
表 3.8	隧道段碳排放計算推估表-以地質組成區分 .....	16
表 3.9	台灣各種植栽單位面積二氧化碳固定量.....	17
表 3.10	東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段一方案相關內容.....	20
表 3.11	東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段二方案相關內容.....	20
表 3.12	東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段三方案相關內容.....	21
表 3.13	路段一各方案總碳排放量計算結果.....	23
表 3.14	路段二各方案總碳排放量計算結果.....	24
表 3.15	路段三各方案總碳排放量計算結果.....	24
表 4.1	蘇花改和平溪河川橋上部結構場鑄懸臂工法之碳排放量計算結果.....	34
表 4.2	蘇花改和平溪河川橋下部結構樁基礎之碳排放量計算結果.....	34
表 4.3	蘇花改和平溪河川橋上部結構場鑄逐跨工法之碳排放量計算結果.....	36
表 4.4	蘇花改和平溪河川橋下部結構直接基礎之碳排放量計算結果.....	36
表 4.5	蘇花改南澳和平段 B-4 標高架橋上下部結構工程主要碳排工項.....	37

表 4.6	蘇花改和平溪河川橋基本資料與上下結構碳排放計算結果.....	37
表 5.1	公路工程規劃階段可行減碳手法一覽表.....	42
表 5.2	具減碳手法之路工工程案例.....	43
表 5.3	具減碳手法之橋梁工程案例.....	46
表 5.4	具減碳手法之隧道工程案例.....	49
附表 1.1	清除與挖掘項目機具能耗參數搜尋.....	93
附表 1.2	清除與掘除項目機具燃料參數搜尋.....	95
附表 1.3	清除與掘除工作機具能耗碳排放量.....	96
附表 1.4	鋼筋加工及組立項目機具能耗參數搜尋.....	96
附表 1.5	鋼筋加工及組立項目物料參數搜尋.....	97
附表 1.6	鋼筋加工及組立項目物料及機具碳排放量.....	97

## 圖目錄

圖 3.1	簡易型碳排放評估範疇.....	10
圖 3.2	東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善計畫範圍圖.....	18
圖 4.1	公路工程詳細型碳排放計算工項.....	27
圖 4.2	公路工程案例計算流程圖.....	29
圖 4.3	蘇花改路線圖.....	30
圖 4.4	南澳和平段工程路線規劃.....	30
附圖 1.1	清除與掘除項目使用機具.....	89
附圖 1.2	鋼筋加工及組立項目使用材料.....	90

# 第一章 緒論

## 1.1 緣起

自十九世紀工業革命以降，全球二氧化碳排放量不斷攀升，溫室氣體問題明顯加速了全球暖化與各地氣候改變。近年來全球氣候變遷與異常情況加劇，集中暴雨、土石流、洪澇等災害頻傳，導致人民平常賴以維生的基礎建設受到嚴重損害，造成難以估計的財產損失與人命損傷。有鑑於全球暖化與極端氣候已無法避免，世界各國莫不戮力以「永續發展」與「二氧化碳減量」為目標與願景來研擬國家的總體發展政策。

工程建設的推動在一個國家的社會及經濟發展上扮演重要之角色，不僅可改善生活環境、健全社會發展，更是促進經濟成長之要件。但隨著國家發展需求，政府大興土木，持續建設多項大型公共工程，雖有效帶動社經發展，但其所耗費之資源遠超乎吾人想像。因此，在追求地球永續發展的努力下，2008 年行政院長指示：「愛台 12 項建設計畫，在規劃時，經濟成長、環境保護和社會公義都要一起考量，不容偏廢。這樣才能做到全方位的施政，也才能夠走向永續。」；2009 年「全國公共工程會議」中，院長更特別指示編列「振興經濟擴大公共建設投資計畫-落實節能減碳執行方案」，揭示希望打造具節能減碳效果之公共工程，落實環境保護，同時協助國內綠色產業發展，增進國內綠色能源產業競爭力。各項公共建設均應採用符合環保之綠色工法、綠色材料、綠色設計，並應融入節能減碳觀念及再生能源之設置，以配合整體國家永續發展節能減碳目標的達成。

然而，隨著國家發展與經濟需求，公路工程動輒綿延數十公里或更甚之，其所耗費資源及產生二氧化碳遠比建築工程大上許多。國家雖有明確指示公共工程需導入節能減碳之概念，並強調應維持經濟、社會與環境之三方平衡，惟目前工程之規劃規模及型式仍以經濟發展、成本最小化為方案評選原則，加上交通運輸工程之審議流程尚未完整考量「節能減碳」之評估機制或建立基準進行比對，以致超量規劃或資源浪費之現象產生。因此，對於台灣公路工程單位而言，思索如何延長設施功能之可持續性，得以承受大自然之反撲與挑戰外，更進一步檢視並減少工程整體碳排放，應是刻不容緩之重要課題。

## 1.2 手冊之目的

基於對溫室氣體排放與減量的重視，我國近年來不斷針對工程減碳擬定相關政策，如「永續公共工程-節能減碳政策白皮書」、「綠色內涵至少達 10%」等，要求各項建設均應採用綠色工法、綠色材料、綠色設計，並應融入節能減碳觀念及再生能源之設置。然而，政策推行僅作原則性說明，如何評量符合綠色內涵之作法與認定方法，卻直接由規劃單位或單位主管自行辦理，再經審查委員評析；雖然可引用碳足跡原則計算材料碳排放量，以選取低碳材料來符合政策，但卻未深入探討基準或計算邊界之問題，反而突顯出國內綠色內涵或碳排放計算原則與認定方法之問題。

因此，本手冊之首要目的係尋求國內規劃設計作業流程上的共識，針對公路工程規劃設計階段提出合適之碳排放評估方法，使所有實際推動與參與規劃設計之實務者，皆有一套標準操作機制而能有所遵循。將協助決策者分析工程設計規劃與內容，選擇對環境與資源友善之方案，並輔助規劃設計人員針對主要二氧化碳來源進行分析，探討最適規模、使用材料、工法或替代方案等減碳可能。

## 1.3 手冊適用範圍與時機

本手冊係以公路工程施工及維護管理兩階段為計算標的，歸納出規劃設計階段應考量之碳排放項目與內容，考量國內外碳足跡評估的觀點、計算方法正確與內容完整，進而發展一套公路工程規劃設計碳排放量推估模式，作為可合理解釋與分析公路工程排碳量評估結果、可提供規劃設計階段決策分析所需碳排放資訊之輔助工具。

相關人員可於公路工程規劃設計階段時，用以評量工程碳排放量，進而將溫室氣體排放作為工程效益評估、方案選擇條件之一。本規劃設計碳排放評估方法，係考量各階段需求資料與數據內容，茲分為簡易型與詳細型兩大評估模式。評估方法之詳細內容請詳參第三、四章節說明，以下僅概述模式適用範圍與時機，使用時機如圖 1.1 所示。

### 一、簡易型評估模式

此模式適用於可行性或初步規劃階段。由於可行性階段或初步規劃階段乃初步評估工程內容之可能性，其主要內容針對環境、交通、工程量體、施工可行性等問題進行初步分析，並依據效益評估之原則、成本與實際需求等探討方案可能。而此階段所規劃之內容與現場相關資訊亦較為粗略，多數僅能評估使用工法、路工面積、橋梁涵蓋面積、隧道初估長度等內

容。因此，本簡易型評估模式根據公共建設工程經費估算編列手冊中，所運用之單位成本概估法為基礎，並利用歷史工程案例進行彙整與評析，使用者僅需運用本模式所建立之基礎係數進行加總，便可快速推估各方案之碳排放量。

## 二、詳細型評估模式

詳細型評估模式，適用於公路工程之規劃設計階段與施工階段，或在相關工項有詳細資料可供計算碳排放量的情況下使用。使用者應就工程使用燃料之直接排放、使用外購電力之間接排放，以及其他排放與碳匯變化量進行公路工程碳排放總量計算。針對設計所採用之材料、施工工法或其他變更等影響排放量之內容進行考量。施工計畫與基本設計完成前，先行比較主要碳排放量來源之材料內容，將有助於細部設計進行調整與修正。

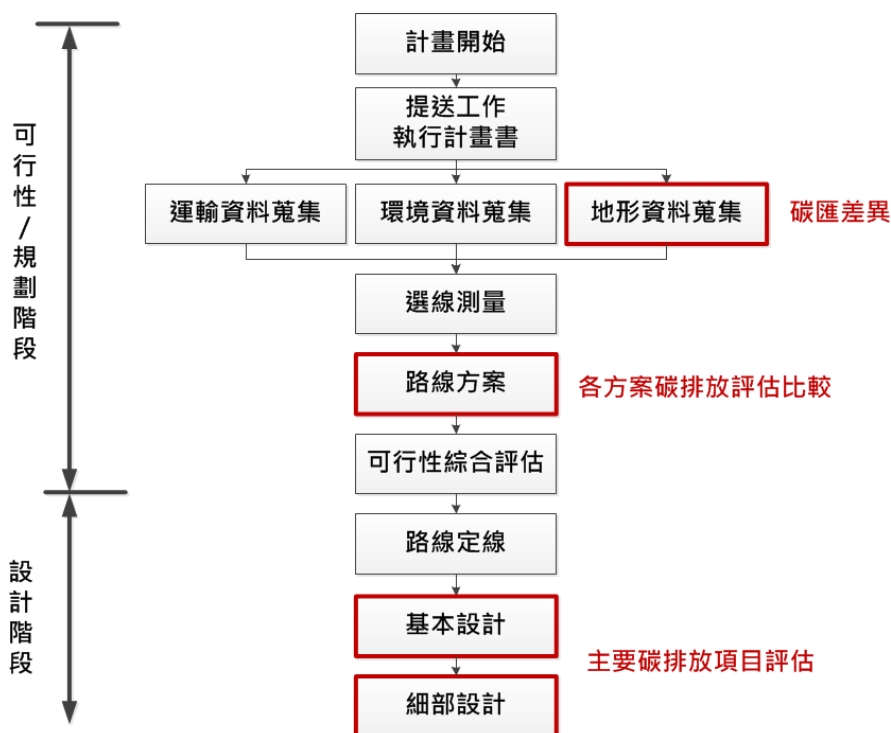


圖 1.1 本研究碳排放模式之評估時機

## 第二章 名詞界定與碳排放係數選用

為確保本手冊後續發展公路工程碳排放量計算方法及模式建立與應用的一致性，本章節將針對相關名詞進行界定，並分析使用係數來源及資料等級進行說明，作為後續參考與使用本手冊之依據。

### 2.1 名詞界定

#### 一、交通運輸工程

交通運輸工程所涵蓋的範圍包括港埠、機場、公路、橋梁、鐵路、捷運等，是土木工程的分支。為促進經濟與社會持續發展，政府推動的重大交通工程建設涵蓋公路建設、鐵路建設、港埠建設、捷運建設，其特色是考量國家或地方等區域性整體運輸的需求，經由行政程序審核所規劃出的各項建設計畫，所需工期較一般基礎建設長，經費亦相對龐大。有鑑於交通運輸工程涵蓋範圍過於廣泛，故本手冊首先以最普遍、影響範圍最廣的公路工程建設為考量，將路工、橋梁及隧道三類工程定義為公路工程主要建造型式，並聚焦於此，作為後續碳排放量評估的對象。

#### 二、溫室氣體

根據我國環保署產品與服務碳足跡計算指引【12】，計算碳足跡時應涵蓋所有 IPCC 所公布之溫室氣體。故除了一般溫室氣體管制所提及、京都議定書所列管的六類溫室氣體：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)外，蒙特婁議定書所管制之物質、氟化醚(Fluorinated ethers)、全氟聚醚(Perfluoropolyethers)及碳氫化合物及其他(Hydrocarbons and other compounds – direct effects)等溫室氣體亦同為評估對象。

#### 三、碳排放量

依據國際上計算碳排放量之方法，本手冊將以二氧化碳當量(CO<sub>2</sub>e)為碳排放一致計量單位，將公路工程中可直接計算求得之各溫室氣體排放量以表 2.1 之全球暖化潛勢值(Global Warming Potential, GWP)進行換算。對於無法個別計算不同溫室氣體排放量、必須間接以排碳係數(單位資源用量之二氧化碳當量排放量)計算，如材料使用、施工用電用油等，則盡可能

蒐集我國本土相關排放係數，以排放係數法：活動強度(資源耗用量)與排放係數之乘積推估出碳排放量。

表 2.1 全球暖化潛勢值

溫室氣體	全球暖化潛勢(GWP)
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298
HFCs	124~14,800
PFCs	5,700~11,900
SF <sub>6</sub>	22,800

#### 四、碳匯變化量

碳匯係指物質歸結之所，自然界的碳因自然作用被固定在海洋、土壤、岩石與生物體中，這些碳固定量於本計畫中即統一稱為碳匯；一般認為海洋、土壤與森林是地球上主要的碳匯產生源。環保署溫室氣體盤查及登錄管理原則(2010)將碳匯量界定為：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除之數量，扣除固定或封存於碳匯過程中所產生之排放量及一定期間後再排放至大氣之數量後，所得到固定或封存之溫室氣體排放量淨值。

本手冊所規劃之模式，考量施工階段進行整地時、會移除地表的林地或草地，造成碳匯損失，以及施工過程中或完成時會進行植樹造林等復育措施，以植生面積每年的碳吸存量為碳匯源，探討公路工程施工建造、操作維護及營運管理階段可能的碳匯變化情形。

#### 五、公路工程碳足跡

根據碳足跡相關規範及其他國家現階段以公路工程碳足跡為名進行評估的內容與計算結果呈現方式可知，公路工程碳足跡應為公路的單位碳排放量；亦即，為公路工程整體碳排放總量除以公路的功能單元數量的數值。

## 2.3 碳排放係數來源與分級

### 2.3.1 碳排放係數來源

根據環保署產品與服務碳足跡計算指引進行產品碳足跡宣告的品項不多，且皆為食品或家電用品，而非本手冊所須之工程營建材料。為能滿足後續排放量評估的需求，本手冊蒐集

目前國內外工程材料、機具與運輸之相關數據，作為建立參數資料庫及後續模式內使用之參數資料表的參考來源；以下即分項簡要說明各類參數蒐集之目的及資料來源。

## 一、物料參數資料

根據國外文獻回顧結果可知，工程材料對於公路工程施工階段排碳量貢獻相當大，是不可忽視的一個要項。為此，本手冊於國內物料係數資料蒐集係以碩博士論文研究結果為主，並就其計算方法對數據進行合理修正，作為與能耗排碳係數現況相符、可供我國公路工程排碳量推估之基礎。此外，國外物料係數之彙整則針對美國、加拿大、瑞典、英國、日本、韓國、紐西蘭等國家級研究報告及生命週期評估軟體所引用之物料排碳係數為主，以作為評析本土係數值之參考。

## 二、燃料參數資料

燃料參數資料之國內參數蒐集來源主要為環保署產品碳足跡資訊網所公告之「產品碳足跡計算公用係數」，以及 IPCC(2006)國家溫室氣體排放清冊中我國的燃料熱值。國外部分亦以美國、加拿大、英國、紐西蘭等國家級研究報告及生命週期評估軟體所引用之燃料排碳係數為主。

## 三、機具能耗參數資料

機具能耗參數蒐集之目的在於輔助評估施工過程中的燃料使用量，藉以評估工程直接排放量。此部分參數蒐集係以本土係數為主，並就施工機具費率表中的單位時間能耗量進行整理分析。

## 四、物料人員運輸參數

物料人員運輸參數之用途在於無法直接獲得人員及物料運輸之燃料耗用數據時，間接以人次或料量及運輸距離，進行物料人員運輸之碳排放量。由於國內尚未有直接可引用之係數，故參數蒐集彙整係以英國的參數資料為主，作為未來有需要推求我國平均運輸排碳參數實可參考分析之依據。

## 五、碳匯

考量公路工程於整地階段必須進行清除與掘除，而後在建造過程中或完成後將進行植生復育，使得碳匯量可能因碳儲存或固定碳的能力喪失或增加而改變。此部分參數蒐集係以本

土係數為主，並依據空照圖、環境調查等方式據以計算。

### 2.3.2 碳排放量係數選用及分級原則

經本手冊蒐集相關參數進行彙整後發現，相同的物料在不同國家或相同國家不同研究中，也有不同的數值。為此，本手冊參考溫室氣體盤查相關規範與文獻中的建議，以本土化、可信度與時間性三者為本研究選用參數原則，作為篩選與節錄參數資料庫之數據應用於公路工程施工階段碳排放量推估模式中的基準。茲分別就參數選用三項原則說明如下：

#### 一、本土化

根據環保署最新公告之溫室氣體查驗指引(2010)所載【16】，在量化碳排放量時，應採實務可行下最高準確等級之量化方法，以準確的估算排放量。又其所規定之量化參數、排放係數之優先選擇順序為：自廠發展係數>同業使用係數>設備提供之係數>區域公告係數>國家公告係數>國際公告係數。由此優先順序可知，在參數選用時，應以溫室氣體排放源自廠或供應商的係數為先，而後才是地區或國家的公告值，最後才是國際公告值。

而在相關文獻的回顧過程中，亦有文獻嚴正提出不建議其他地區或國家採用其推估過程中使用的排碳係數，特別是排碳係數發展最為活躍的英國。為此，本研究將本土化列為參數選用的第一項原則，以我國係數為優先選用對象。

#### 二、可信度

除了以國內係數為優先選用對象為基礎外，則必須對於係數的可信度進行篩選。依據環保署溫室氣體查驗指引(2010)【16】，雖然自廠發展係數、同業使用係數等優於國家公告係數，但未來在溫室氣體減量法通過施行，這些係數均須取得環保署或相關政府主管機關同意，方能使用。就本模式所扮演的角色為對尚未進行的工程施工階段排碳量推估而言，並無法取得相關的自廠係數；而在國內組織碳盤查及碳足跡盤查尚在發展階段的情況下，亦難以要求供應商提供相關係數。

為此，就本研究文獻回顧及係數蒐集彙整結果分析，本研究將就內容的可信度，以國家政府機關公告優於專案報告、專案報告又優於研究論文之順序，選擇本研究碳排放量推估模式引用之參數。

#### 三、時間性

為使碳排放量推估結果更接近於現實狀況，除選用國內參數、以較具公信力的來源為優先外，本研究將考量係數公告或產出的時間，以較接近現況者，如：電力排放係數採我國能源局最新公告之民國 99 年數據【17】，作為優先選用係數。

根據上述選用原則，本研究進一步發展參數分級原則，藉以就後續發展之公路工程施工階段碳排放量推估模式中，參數資料表的各項係數給予適當的級別，作為後續其他研究應用或進行參數補強更新的參考依據。茲以四級進行概分，整理各級別對應之條件如表 2.2；其中，A 級數據為最可信賴的數據，而 D 級數據為最不建議使用的數據。

表 2.2 碳排放量推估參數級別分析表

級別	條件說明
A	國家政府機關公告數據
B	國內專案或研究報告及論文數據
C	國際公告數據
D	他國研究數據

### 第三章 公路工程簡易型碳排放評估方法

本章節將針對公路工程簡易型二氧化碳評估模式進行說明。簡易型評估模式依據歷史案例之內容與詳細性碳排放評估模式<sup>1</sup>原則簡化而成，兼具快速且具代表性之優點，有助實務者於工程規劃階段推估工程量體之碳排放量，探討方案間之碳排放量之差異，進而納入前期規劃或綜合規劃階段之方案評選條件。

#### 3.1 簡易型評估方法說明與適用時機

重大公路工程計畫之實施，需經過先期規劃(可行性研究)、綜合規劃、初步設計(基本設計)、詳細設計與施工等階段執行。多數公路工程於先期規劃及綜合規劃之方案評選階段，受到國家計畫、未來交通需求與環境變遷趨勢等限制，必須分析與探討若干可能之替代方案，相關決策者則依據方案之資訊，考量經濟、財務、技術之可行性及環境可接受性等因素後選定最佳方案。然而就工程本體二氧化碳排放評估而言，先期規劃階段所提出之設計內容與資訊較為粗略，不合乎碳足跡計算之原則所需，亦無法計算方案間之碳排放差異。因此對於先期規劃或綜合規劃階段進行碳排放評估，如何選用合宜之計算方法、計算範疇與引用數據等，亟需一套完整的評估方法作為遵循之依據。

本手冊所研擬之公路工程簡易型碳排放評估方法，主要因應先期規劃階段資訊粗略之特性，係利用歷史工程案例<sup>2</sup>與工程詳細性碳排放評估模式原則，並參考公共建設工程經費估算編列手冊中所使用之成本概估法簡化而成。簡易型評估方法兼具快速評估與工程代表性之優點，可輔助相關實務者僅利用路線長度、寬度、工法等基本工程資訊下，進行二氧化碳排估算。以下茲就本模式之內容進行說明：

##### 一、作業原則

簡易型碳排放評估模式，應配合既有工程效益評估方法一併考量，應在財務、經濟、環境與技術可行性之條件下，輔助中央或地方單位評選低碳工程方案。工程承辦單位於先期規

---

<sup>1</sup>：詳細型評估模式係利用排放係數法進行計算，並依據工程之範疇定義應計算之碳排放項目與說明等，內容請詳參本手冊第四章。

<sup>2</sup>：本手冊使用之歷史工程案例計算內容，請詳參附錄3，其計算之成果與分類僅作參考。

劃(可行性研究)中納入評量，作為政府核定興建之依據，如經核定，再進行後續經費概估與報請核定預算等程序。本模式計算之碳排放量可供後續實際作業碳排放計算之基準。

## 二、評估內容

簡易型碳排放評估方法，其計算內容僅考量工程本體、施工階段與拆除可能產生之工程碳排放，並考量環境改變所產生之碳匯差異，實際計算並不包含營運階段之行車碳排放與後續廢棄物再生利用之可能。

## 三、評估時機

簡易型碳排放評估方法，建議評估時機為可行性或初步規劃階段，應搭配交通需求、環境調查、路線方案、結構型式等內容進行碳排放量評估，據以提供初期方案評選之參考。

### 3.2 簡易型評估方法之計算範疇

公路工程自工程構想、可行性評估、施工到完工等過程中，各階段可獲得之工程資訊精度皆不同，參照現行常見之規劃設計報告內容發現，規劃設計單位多數僅能進行提供預計路工長度、路面寬度、車道數與預計填築之土方量等基本設計，而工程成本估算之內容亦以此基本資訊進行推估。本簡易型碳排放評量方法順應既有成本推估之方法，將考量資料之詳細度與工程成本估算常使用之單位，並以公路工程之主要碳排放工項來源<sup>3</sup>，作為碳排放量推估之基礎。此外，除計算公路工程之主要碳排放工項來源外，本模式一併考量環境改變所產生之固碳量差異。因此，本簡易型碳排放評估方法之範疇將包含工程排碳與環境改變兩大部分，內容如圖 3.1 所示。以下茲針對工程排碳與環境改變進行說明：

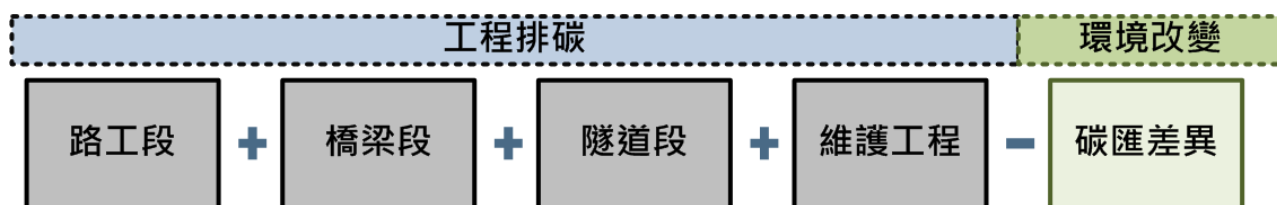


圖 3.1 簡易型碳排放評估範疇

#### 一、工程碳排放量

<sup>3</sup>：依據運研所(2011)『交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究』中，案例計算之成果發現公路工程約莫 90%碳排放量來自路工段、橋梁段與隧道段之量體與其施工過程。

本簡易型碳排放評估方法所計算之工程碳排放量，係計算公路工程之主要碳排放來源，包含路工段、橋梁段與隧道段三大工程之量體材料與施作所需之機具能耗，及設施服務年限中，可能產生之維護工程排碳量。

## 二、環境改變差異

由於公路工程於開發整地階段必須清除既有植被、森林等，而後在建造過程中或完成後將進行植生復育，都將使該工程區域範圍內的碳匯量產生變化。因此，環境改變差異係考量工程施工前後之碳匯差異。

## 3.3 簡易型碳排放評量方法

### 3.3.1 計算單位

由於國內外尚未對於單位公路的計量方式有明確定義與適用單位，本手冊參考專家諮詢會所得之建議與單位成本概估法之考量單位進行簡化。路工段以單位公路面積與土方單位體積為考量；橋梁段則考量上、下部結構特性後以單位橋面板面積計算；隧道段部分原訂以隧道單位長度計算，惟考量斷面面積後，專家建議以單位體積更為合宜。

而維護工程與碳匯部分，在我國公路工程項目中，並未有碳排放量推估或調查資料，此兩部分則建議暫參照相關部會與國外研究之成果計算之，本簡易型評估方法所採用之單位與考量因子一覽表，如表 3.1 所示。

表 3.1 簡易型評估單位與考量因子一覽表

類別	本手冊計算考量因素	單位成本概估法計價因素	本方法評估單位
路工段	3. 鋪面工程 4. 土方工程	3. 鋪面面積(m <sup>2</sup> ) 4. 土石方數量(m <sup>3</sup> ) ● 清除與掘除面積 ● 擋土牆、邊坡、其他	● 鋪面單位面積(m <sup>2</sup> ) ● 土方單位體積(m <sup>3</sup> )
橋梁段	1. 地形 2. 上部結構-主梁材質、主梁結構、工法、跨距 3. 下部結構-高度、基礎型式	橋面板單位面積(m <sup>2</sup> ) ● 上部結構-按工法及使用機具數量、跨距 ● 下部結構-直接基礎、樁或沉箱	● 橋面單位面積(m <sup>2</sup> )
隧道段	5. 長度 6. 斷面 7. 車道數 8. 地質	隧道單位長度(m) ● 長度 ● 車道數 ● 地質	● 隧道單位體積(m <sup>3</sup> )
維護工程	1. 長度或體積	無	● 碳排放固定百分比
碳匯	1. 面積	無	● 單位面積(m <sup>2</sup> )

### 3.3.2 計算方法

本模式之計算方法，依循排放係數法之計算原則，並以此原則做為一致的碳排放狀況量化評估方法，工程碳排放量之主要計算式為：

$$\text{工程碳排放量} = \text{工程碳排放} + \text{維護階段碳排放} - \text{碳匯差異}$$

計算式中所指之活動強度係為會造成排碳量的相關活動量，應根據不同計算範疇加以鑑別；而排碳係數則是指對應各項排碳活動的單位活動強度排碳量。本簡易型模式之計算範疇以主要工程碳排放類別、維護工程與碳匯為主，而本手冊初步匯集交通部公路總局與營建署共 13 件公路工程案例，如表 3.2 所示。再依據工程類別分別拆解計算，彙整出主要工程之建

議碳排放係數供使用者參考使用，以下茲就主要工程碳排放類別、維護工程與碳匯之計算方法與建議係數進行說明：

表 3.2 蒐集之公路工程案例

類型	數量	案例名稱
路工	5	14. 台九線蘇花公路南澳武塔新建工程(B1) 15. 台九線蘇花公路觀音隧道新建工程(B2) 16. 台九線蘇花公路谷風隧道新建工程(B3) 17. 台九線蘇花公路山區路段改善計畫和平路段橋梁工程(B4) 18. 玉長公路
橋梁	9	19. 紅葉溪橋改建工程 20. 東岸聯外公路新建工程計畫 CI01 21. 東西快速公路北門玉井線(麻豆至西庄) 22. 雙園大橋 23. 台 2 線 156K+000~157K+575 路基拓寬工程 24. 臺中縣大里市立元二橋開闢工程
隧道	4	25. 臺南都會區北外環公路第 1 期工程 26. 楊梅市 I-9-15 都市計畫公路開闢工程

## 一、路工段

路工段之計算可分成鋪面工程與土方工程。鋪面工程以單位面積進行計算，內容則考量不同鋪面之組成，分為柔性鋪面與剛性鋪面；土方工程則以單位體積進行計算之。路工段建議碳排放係數，如表 3.3 所示。路工段碳排放量評估計算式為：

$$\text{路工段碳排放量} = \Sigma(\text{鋪面面積} \times \text{碳排放係數}) + (\text{土方填築體積} \times \text{碳排放係數})$$

表 3.3 路工段碳排放計算推估表

工程項目		計算單位	碳排放係數建議	案例數量
鋪面工程	柔性鋪面	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0.058	5
	剛性鋪面		0.071	1
土方工程	路堤填築	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.00162	5

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

## 二、橋梁段

橋梁段工程之估算需分成上、下部結構分別評量，計算單位皆以單位橋面板面積計算之。

上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁型式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁型式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。橋梁段碳排放量評估計算式為：

$$\text{橋梁段碳排放量} = \sum (\text{橋面板面積} \times \text{工法碳排放係數}) + (\text{橋面板面積} \times \text{下部結構碳排放係數})$$

上部結構部分，使用者應針對主梁材質後，再依據主梁型式與適用之工法進行計算，如某混凝土橋箱型梁採用場鑄逐跨工法，其碳排放量便可採用建議係數  $0.32 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  計算之。其餘上部結構碳排放建議係數，如表 3.4 所示。

表 3.4 橋梁段上部結構碳排放建議係數

工程項目			計算單位	碳排放係數建議	案例數量
混凝土橋	I 型梁	預鑄吊裝工法	$\text{tonCO}_2\text{e/m}^2$	0.39	3
	箱型梁	場鑄懸臂工法		0.48	7
		場鑄逐跨工法		0.29	4
		預鑄節塊工法		0.44	1
		就地支撐工法		-	0
		無指定工法		0.42	12
鋼橋	鋼箱梁	吊裝工法		1.35	8

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

下部結構部分，若規劃報告內容已明確說明基樁型式者，如直接基礎、樁基礎、沉箱基礎、井式基礎等，建議可直接參考表 3.5 之基樁型式碳排放建議係數乘橋面板面積進行計算；若報告中未說明基樁之型式，亦可使用無指定基礎之係數  $0.42 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  計算之。

使用者亦可依據規劃報告之資訊差異，考量不同計算方式，如以橋梁是否跨越河川區分，內容如表 3.6 所示；使用者亦可利用橋下平均淨高與是否有橋墩進行碳排放評量，例如某橋梁非跨越河川、具有橋墩且平均淨高於 9.5m 以上，便可選用表 3.7 依據橋下平均淨高差異所建議之係數  $0.44 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$  計算之。

表 3.5 橋梁段下部結構碳排放建議係數-以基樁型式區分

工程項目		計算單位	碳排放係數建議	案例數量
基樁型式	直接基礎	$\text{tonCO}_2\text{e/m}^2$	0.31	4
	樁基礎		0.47	11

	沉箱基礎		0.21	1
	井式基礎		-	0
	單跨（僅為橋台）		0.53	8
	無指定基礎		0.42	17

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

表 3.6 橋梁段下部結構碳排放建議係數-以是否跨河區分

下部結構類型		計算單位	碳排放係數建議	案例數量
跨河	多跨	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0.61	4
	單跨		0.44	6
非跨河	多跨		0.33	8
	單跨		0.75	1

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

表 3.7 橋梁段下部結構碳排放建議係數-以橋下平均淨高區分

下部結構類型		高度	計算單位	碳排放係數建議	案例數量
跨河	多跨	-	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	0.61	4
	單跨	6.5m 以上		0.51	4
		6.5 m 以下		0.31	2
非跨河	多跨	9.5 m 以上		0.44	4
		6.5m~9.5 m		0.27	2
		6.5 m 以下		0.23	2
	單跨	-		0.75	1

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

### 三、隧道段

隧道段工程之碳排放評量採用隧道開挖地質資訊進行碳排放計算，本研究根據專家訪談之結果，隧道地質與工法具相關性，故僅考慮隧道地質之影響。首先將隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例進行計算，本手冊依據國內地質成分與施工成本之關係，推估地質差異間之比例。使用者若無法得知地質資訊時，亦可利用表 3.8 所提供之地質不分類係數進行推估。隧道段工程主要計算式為：

$$\text{隧道段碳排放量} = \sum (\text{隧道體積} \times \text{各地質所佔比例} \times \text{各地質類別碳排放係數})$$

表 3.8 隧道段碳排放計算推估表-以地質組成區分

工程項目		計算單位	碳排放係數建議	案例數量
地質組成	地質不分類	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.184	4

	第 I 類		-	0
	第 II 類		0.1272	4
	第 III 類		0.1527	4
	第 IV 類		0.1832	4
	第 V 類		0.2199	4
	第 VI 類		0.2638	4

註：以上資料係提供作業之參考，受到案例數量與內容影響將有偏差，實際編估時應考量各專案之特性，自行酌量調整。

#### 四、維護工程

在我國公路操作維護工程中，並未有碳排放量推估或調查資料，因此本手冊根據國外交通運輸排碳量研究之回顧中發現，瑞典對交通運輸生命週期之盤查分析為估算公路 40 年生命週期內建造、操作、維護階段之排碳量，其中操作維護排碳量約佔施工階段碳排放之 14%(維護 10%、操作 4%)【14】；法國 A71 公路建造與維護碳排放評估研究中，以 30 年生命週期估算公路各階段排碳量，當中公路操作維護之排碳量約佔公路施工階段碳排放的 14%【13】。因此，本手冊暫建議維護工程碳排放量，以施工階段工程碳排放總量評估結果為參數，以其 14% 計之。維護工程主要計算式為：

$$\text{維護階段碳排放量} = \Sigma(\text{路工段碳排放量} + \text{橋梁段碳排放量} + \text{隧道段碳排放量}) \times 14\%$$

#### 五、碳匯

為適切推估剷除林地、草地可能造成的碳匯損失以及植生復育可能造成的碳匯增量，本手冊蒐集國內外林地、植栽等相關碳固定量研究結果，作為碳匯損失計算之基準。本手冊建議碳匯計算之內容，可依據內政部建築研究所發表之綠建築設計技術彙編(2005)【15】中，所發表之台灣各種植栽類別單位面積下 40 年二氧化碳固定量，內容如表 3.9 所示，吾人可利用環境空照圖與現地勘查等方式，依據表 3.9 之資訊進行碳匯差異計算。主要計算式為：

$$\text{碳匯碳排放量} = \Sigma(\text{新種植栽面積} \times \text{固定碳排係數}) - \Sigma(\text{既有植栽面積} \times \text{固定碳排係數})$$

表 3.9 台灣各種植栽單位面積二氧化碳固定量

栽植類型		二氧化碳固定量		覆土深度
		kg/m <sup>2</sup> /40 年	Ton/ha/yr	
生態複層(喬木間距 3.0m 以下，以實際綠地面積計)	大小喬木、灌木、花草密植混種區	1,100	275	1.0 m 以上
喬木(每棵喬木種植間距 5 m 以	大喬木	900	225	

上，樹冠覆蓋面積以 25 m <sup>2</sup> 計)	小喬木	600	150	
	棕櫚類	400	100	
灌木(每 m <sup>2</sup> 至少栽植 4 株以上，覆蓋面積每株以 0.25 m <sup>2</sup> 計)		300	75	0.5 m 以上
多年生蔓藤(以實際攀附覆蓋面積計)		100	25	
草花花圃、自然野草地、草坪		20	5	0.3 m 以上

資料來源：【15】

### 3.4 計算範例

計算範例： 規劃報告-東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告

#### 一、案例背景說明

計畫範圍係省道台 66 線自 0K+000 至 17K+200 路段範圍與橫交的主要平面路口，評估範圍全長 17,000 公尺，屬桃園縣觀音鄉、新屋鄉及楊梅鎮境內，標準路段路權寬度 40 公尺；現有平面交叉路口既有 1K+000(台 15 線叉路口)、2K+050(桃 89 線叉路口)、2K+500(桃 94 線叉路口)線叉路口、7K+200(桃 84 線叉路口)、8K+400(桃 82 線叉路口)、12K+700(桃 81 線叉路口)、13K+000(桃 79 線叉路口)、13K+400(高鐵橋下連絡道)、及 15K+200(桃 102 線叉路口)，其路線位置詳圖 3.2。

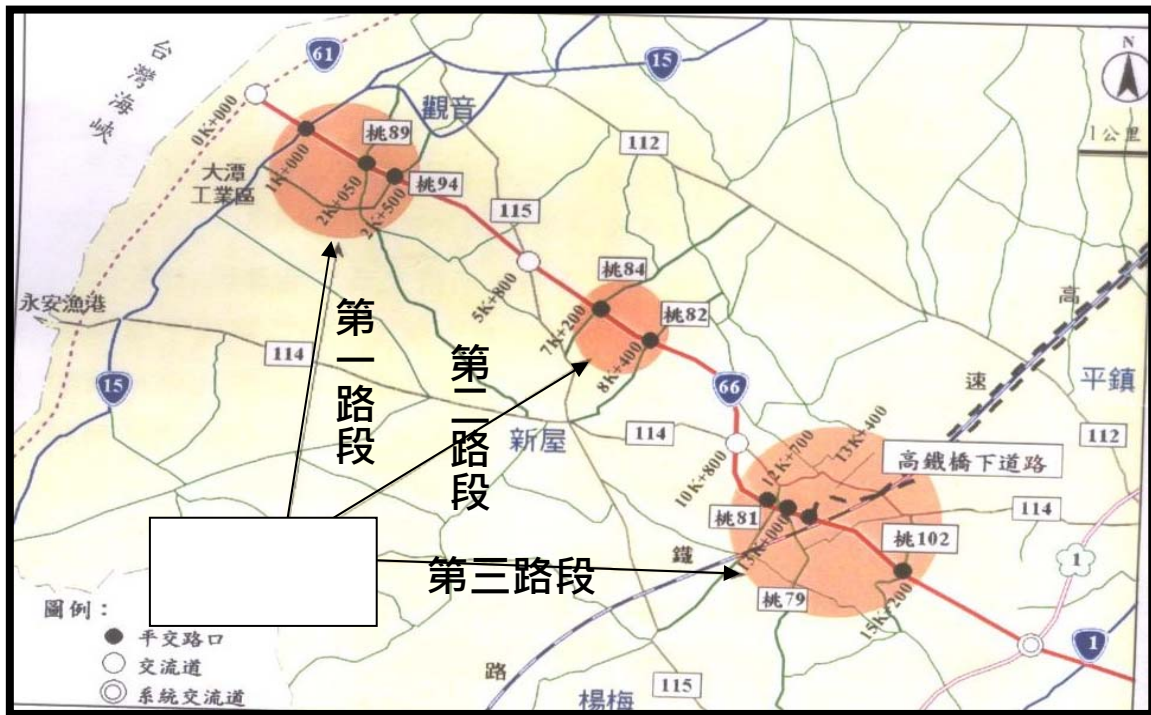


圖 3.2 東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善計畫範圍圖

## 二、計算與確認內容

依據簡易型計算方式，使用者應先行確認計算內容是否可套用本手冊建議之單位面積或體積碳排放係數，諸如：路工段應確認土方數量、鋪面材質；橋梁段應探討橋梁材質、橋面板面積、橋梁工法、是否為跨河橋、高度、基礎型式等；隧道段則需分析隧道長、隧道斷面積等。經單位碳排放係數 $\times$ 面積（體積），計算出路工段、橋梁段與隧道段之總碳排放量。

東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中，結構型式僅採路工與橋梁，尚無隧道。就計畫範圍有三個路段，各路段因周邊環境因素、高程差、交通量與公路工程相關限制條件，因此各路段方案研擬分為方案一至方案六，將各路段方案相關內容彙整如表 3.10-3.12 所示。

● 路段一案例限制：

省道台 15 線為三級路，按照交通部 90.1「公路路線設計規範」，三級路之公路與快速公路宜採立體交叉。另省道台 15 線寬度 20 公尺，兩側開發較早，現況公路兩側房屋較密集，無法採高架或地下化。

表 3.10 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段一方案相關內容

區域	方案	方案內容					
		台 15 線 路口	桃 89 線 路口	桃 94 線 路口	高架 橋 總面 積(m <sup>2</sup> )	鋪面 工程面積 (m <sup>2</sup> )	路堤 填築 面積 (m <sup>2</sup> )
路段一	方案一	高架橋 跨台 15 線	平面交 叉	平面交 叉	9,46 0	0	0
	方案二	高架橋 跨台 15 線	高架橋 跨 桃 89 線	平面交 叉	20,0 20	5,46 0	4,55 0
	方案三	高架橋 跨台 15 線	平面交 叉	高架橋 跨 桃 94 線	20,0 20	7,15 0	6,50 0
	方案四	高架橋 跨台 15 線	採一座高架橋跨桃 89 線、94 線		33,7 20	11,8 50	11,0 50
	方案五	採一座高架橋跨台 15 線、桃 89 線、桃 94 線			46,3 30	13,0 00	6,50 0
	方案六	高架橋 跨台 15 線	高架橋 跨 66 線	高架橋 跨 66 線	12,2 60	7,70 0	0

● 路段二案例限制：

台 66 線主線里程 6K+700 為縣道 115 線交流道高架橋東側端點，本路段長期改善方案研擬，應避免敲除 6K+700 以西既有高架橋結構；桃 84 與桃 82 線路口距離約 1,200 公尺，路口立體化縱面定線宜妥慎規劃，並配合現有主線高程變化，避免產生駝峰線形。

表 3.11 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段二方案相關內容

區域	方案	方案內容				
		桃 84 線	桃 82 線	高架 橋 總面	鋪面 工程 面積	路堤 填築 面積

				積(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
路段二	方案一	高架橋跨桃 84 線	平面交叉	11,440	6,240	4,810
	方案二	平面交叉	高架橋跨桃 82 線	9,680	4,550	3,900
	方案三	採一座高架橋跨越桃 84、82 線		34,352	12,350	9,750
	方案四	高架橋跨越 66 線	高架橋跨越 66 線	2,800	7,700	0

● 路段三案例限制：

由於桃 81 線、桃 79 線路口距離較小，且桃 79 線離高鐵橋下路口僅 400 公尺，因此優先建議將桃 79 線改道與桃 81 線合併，以簡化路口數，且 13K+400 與高鐵橋下公路(三級路)呈 T 字平交路口，按部頒規定，建議先考慮於台 66 線路口南側設置喇叭型交流道，另高鐵橋下公路位於長陡坡最底處，建議加長平面匯出入段長度；台 66 線與新榮路交叉口沿線地勢高差相當大，兩側亦有民房及工廠分布，立體化工程須考量將面臨用地拓寬之限制。

表 3.12 東西向快速公路觀音大溪線平交路口路段三方案相關內容

區域	方案	方案內容					
		桃 79 線	桃 81 線	桃 102 線	高架橋總面積(m <sup>2</sup> )	鋪面工程面積(m <sup>2</sup> )	路堤填築面積(m <sup>2</sup> )
路段三	方案一	不改道	平面交叉	高架橋跨桃 102 線	8,140	6,750	2,700
	方案二	改道	高架橋跨桃 81 線	平面交叉	7,920	17,530	7,250
	方案三	改道	平面交叉	高架橋跨桃 102 線	8,140	10,250	2,700

				線			
	方案四	改道	高架橋 跨 桃 81 線	高架橋 跨 桃 102 線	16,0 60	17,5 30	7,25 0
	方案五	採一座高架橋跨越桃 79、81 線		高架橋 跨 桃 102 線	22,2 20	7,28 0	9,95 0

### 三、計算結果

透過上述確認計算內容後，進行碳排放計算。

#### ● 路工碳排放計算

手冊中土方工程路堤填築所採用之單位為體積，但東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中提供路堤填築之單位為面積，本研究將路堤填築高度以假設 10 公尺後進行試算後發現，路堤碳排放在本案例中並不造成任何影響，因此在路堤填築的部分未計算，路工之碳排放僅計算路工工程面積，採用單位面積碳排放係數為 0.058。

#### ● 橋梁碳排放計算

由於東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告中說明省道台 15 線與台 66 線路口現況採用槽化處理，且為一斜交路口，為保有較大視距，有必要採用與縣道 115 線及縣道 114 線相似的大跨徑連續梁規劃，在橋梁上部結構型式初步研提 2 個方案，分別為鋼箱型梁橋吊裝工法與預力混凝土箱型梁之場鑄懸臂工法或預鑄節塊工法。因此在計算橋梁上部結構碳排放時，所套用的單位面積碳排放係數以鋼箱型梁橋吊裝工法或是採用場鑄懸臂工法與預鑄節塊工法之平均值計算。另省道台 66 線現況高架橋之橋墩基礎因地質條件佳，計算橋梁下部結構碳排放時，係採用直接基礎單位面積碳排放係數。

橋梁上部結構與下部結構係數選用

計算項目		單位面積碳排放係數 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
上部結構	鋼箱型梁橋吊裝工法	1.35
	場鑄懸臂與預鑄節塊工法	(0.48+0.44)/2 = 0.46
下部結構	直接基礎	0.31

● 路段一之方案一計算方式：

■ 採用鋼橋之方案一總碳排放量 = 17,903 tonCO<sub>2</sub>e

■ 依據瑞典與法國文獻維護工程約為施工階段排碳量之 14%推估，如下列：

$$\text{維護工程碳排} = \text{施工排碳量}(\text{路工} + \text{橋梁} + \text{隧道}) \times 14\%$$

由於此案例尚無隧道段，因此維護工程碳排放量僅利用路工與橋梁施工期間之碳排放×14%推估。

計算項目		單位面積碳排放係數 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	面積 (m <sup>2</sup> )	總碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)
鋪面工程	柔性鋪面	0.058	0	0
橋梁上部結構	鋼箱型梁橋	1.35	9,460	12,771
橋梁下部結構	直接基礎	0.31	9,460	2,933
維護工程		施工排碳量(路工+橋梁)×14%		2,199
小計				17,903

■ 採用混凝土橋之方案一總碳排放量 = 8,305 tonCO<sub>2</sub>e

計算項目		單位面積碳排放係數 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	面積 (m <sup>2</sup> )	總碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)
鋪面工程	柔性鋪面	0.058	0	0
橋梁上部結構	混凝土橋	0.46	9,460	4,352
橋梁下部結構	直接基礎	0.31	9,460	2,933
維護工程		施工排碳量(路工+橋梁)×14%		1,020
			小計	8,305

後續各路段與各方案計算方式以此類推，計算之內容如表 3.13-3.15 所示。

表 3.13 路段一各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
上部結構 碳排放	鋼橋	12,771	27,027	27,027	45,522	62,546	16,551
	混凝土橋	4,352	9,209	9,209	15,511	21,312	5,640
下部結構碳排放		2,933	6,206	6,206	10,453	14,362	3,801
路工工程碳排放		0	322	422	699	767	454

方案	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
鋼橋施工碳排放	15,704	33,555	33,655	56,674	77,675	20,806
維護工程碳排放	2,199	4,698	4,712	7,934	10,874	2,913
鋼橋總碳排放	17,902	38,253	38,367	64,609	88,549	23,719
混凝土橋施工碳排放	7,284	15,738	15,837	26,664	36,441	9,895
維護工程碳排放	1,020	2,203	2,217	3,733	5102	1,385
混凝土橋總碳排放	8,304	17,941	18,054	30,396	41,543	11,280
工程造價(億)	3.44	5.35	5.53	8.40	11.53	4.24
實際使用方案	★					

表 3.14 路段二各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四
上部結構碳排放	鋼橋	15,444	13,068	46,375	3,780
	混凝土橋	5,262	4,453	15,802	1,288
下部結構碳排放		3,546	3,001	10,649	868
路工工程碳排放		368	268	729	454
鋼橋施工碳排放		19,359	16,337	57,753	5,102
維護工程碳排放		2,710	2,287	8,085	714
鋼橋總碳排放		22,069	18,624	65,838	5,817
混凝土橋施工碳排放		9,177	7,722	27,180	2,610
維護工程碳排放		1,285	1,081	3,805	365
混凝土橋總碳排放		10,462	8,803	30,985	2,976
工程造價(億)		2.66	2.81	9.29	0.87
實際使用方案			★		

表 3.15 路段三各方案總碳排放量計算結果

方案		方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
上部結構	鋼橋	10,989	10,692	10,989	21,681	29,997

方案		方案 一	方案 二	方案 三	方案 四	方案 五
碳排放	混凝土橋	3,744	3,643	3,744	7,388	10,221
下部結構碳排放		2,523	2,455	2,523	4,979	6,888
路工工程碳排放		398	1,034	605	1,034	430
鋼橋施工碳排放		13,911	14,181	14,117	27,694	37,315
維護工程碳排放		1,947	1,985	1,976	3,877	5,224
鋼橋總碳排放		15,858	16,167	16,094	31,571	42,539
混凝土橋施工碳排放		6,666	7,133	6,873	13,400	17,539
維護工程碳排放		933	999	962	1,876	2,455
混凝土橋總碳排放		7,599	8,131	7,835	15,277	19,994
工程造價(億)		3.65	3.74	4.16	5.71	5.42
實際使用方案				★		

## 第四章 公路工程詳細型碳排放評估方法

本章節將針對公路工程詳細型二氧化碳評估模式進行說明。本詳細型評估模式係依據國際碳排放評估方法、我國環保署溫室氣體盤查與登錄管理原則進行規劃。

模式主要目的在於協助工程人員詳實計算不同公路工程量體、施工工法、材料或設計所產成之碳排放量差異，相關單位可依據計算結果記錄不同工項之碳排放內容，進而回饋未來相關工程減碳之參考。

### 4.1 詳細型評估方法說明與適用時機

本模式即以公路工程規劃設計階段、施工及維護管理階段為評估對象，以合乎國內外碳足跡評估的觀點、計算方法正確與內容完整為基本考量，作為可合理解釋與分析公路工程排放量評估結果，提供規劃設計階段決策分析所需碳排放資訊之輔助工具。以下茲就本評量方法之內容進行說明：

#### 一、作業原則

詳細型碳排放評估方法，應就工程操作之使用燃料的直接排放、使用外購電力的間接排放，以及其他排放與碳匯變化量進行公路工程操作維護碳排放總量計算。工程承辦單位應於規劃設計階段與施工階段，或在相關工項有詳細資料可供計算碳排放量的情況下進行使用，進而分析工程主要碳排放之項目，以作為工程興建時之減碳檢討與依據。

#### 二、評估內容

詳細型碳排放評估方法，係以工區即工程設施運作的區域為範圍，考量包括工區範圍內或就近為因應此工區所需的工務所、預拌廠和預鑄廠等，含括公路建造過程中的製程能源供應與使用及營運場所的排碳；另還須以公路建造之工程材料製造過程排碳及各式物資運輸與儲存排碳；最後還必須考量公路工程建造完成後於服務年限內之維護工程排碳。

此外，考量最終處理階段其流向與處理方式難以追蹤與計算，因此暫不納入本模式計算。本公路工程之碳足跡計算邊界則界定以公路工程施工和維護管理兩階段為時間邊界。實際計算並不包含營運階段之行車碳排放與後續拆除後之廢棄物處理、再生利用之可能。

### 三、評估時機

詳細型碳排放評估方法，建議適用時機為公路工程之規劃設計階段與施工階段，或在相關工項有詳細資料可供計算碳排放量的情況下使用。使用者應就工程使用燃料之直接排放、使用外購電力之間接排放，以及其他排放與碳匯變化量進行公路工程碳排放總量計算。

## 4.2 詳細型評估方法之計算範疇

依據環保署溫室氣體盤查與登錄管理原則將排放範疇界定為：依溫室氣體排放來源劃分之三大類溫室氣體排放範疇，範疇一係指來自於製程或設施之直接排放；範疇二係指來自於外購電力、熱或蒸汽之能源利用間接排放；範疇三係指非屬自有或可支配控制之排放源所產生之排放，如因租賃、委外業務、員工通勤等造成之其他間接排放。

此三大範疇中，範疇一和範疇二的邊界設定應以營運控制權法為依據，即以實際具有管理權力的範圍做劃分，範疇三部分因大多數屬不可控制範圍，故目前溫室氣體管理規則與指引僅強調對範疇三的排放源進行定性描述，並未將之納入計算。為考量範疇一、二之內容，該模式未將範疇三納入邊界中。依據上述範疇一、二、三計算內容，可將工程碳排放量計算歸納為五大計算工項，包含 A 直接排碳量、B 間接排碳量、C 材料排碳量、D 運輸排碳量與 E 碳匯變化量，計算工項內容，如圖 4.1 所示。

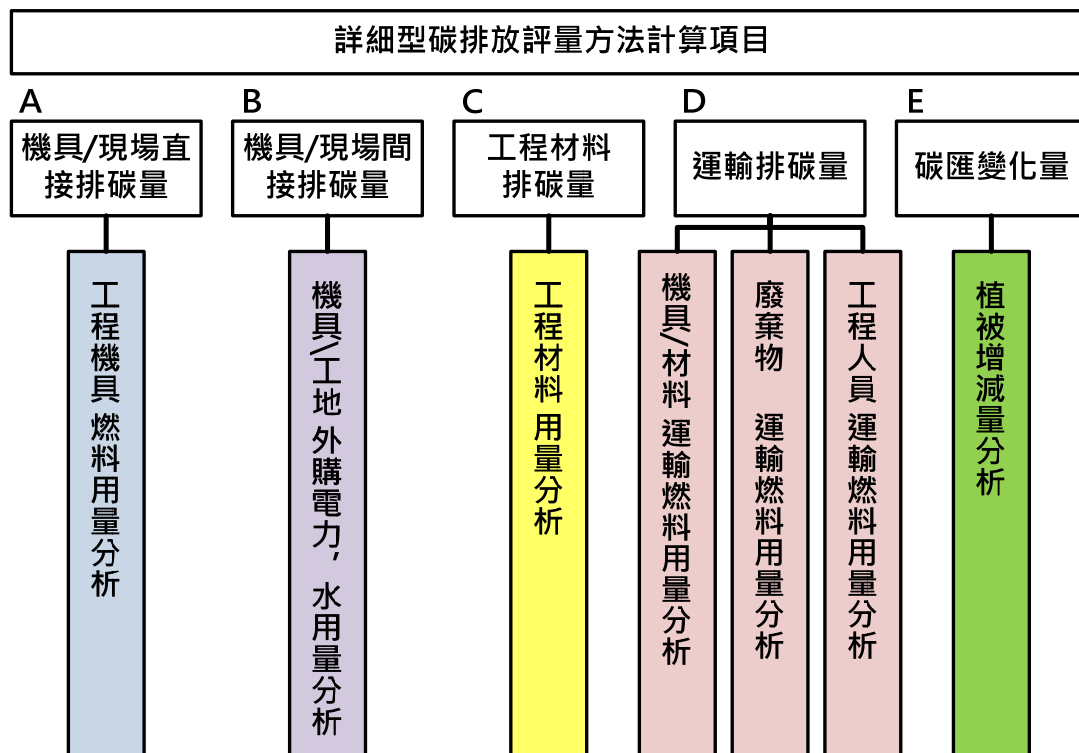


圖 4.1 公路工程詳細型碳排放計算工項

- A. 直接排碳量：係指施工機具設備或現場燃料使用後產生之碳排放量。
- B. 間接排碳量：係指工區範圍內之外購能源所產生之碳排放量，如場地照明、通風或耗電機具設備之用電量、工區用水等。
- C. 材料排碳量：係指工程所需之工程材料，其生命週期之碳排放量總和。
- D. 運輸排碳量：係指因運輸行為產生之碳排放，如運具在運輸過程中的燃料耗用。
- E. 碳匯變化量：係指地表植被改變前後之固碳量差異。

### 4.3 詳細型碳排放評量方法

#### 4.3.1 計算原則

為能完整計算公路工程之二氧化碳總碳排放量，建議使用者於計算時應以符合本計算原則為前提，再詳實計算詳細型模式所需計算之工項，以確保計算內容之完善。本模式之計算原則說明如下：

1. 所有具實質貢獻超過 1% 以上之碳排放源皆應納入計算
2. 應計算至少 95% 之工程項目碳排放量（單一排放源的碳排放量小於 1% 時，可不計算，但所有不計算者累加起來不可高於 5%）。
3. 單一個排放源的排放量就已經大於 50%，其餘排放源應計算其至少達 95% 的排放量。
4. 應將最終計算結果擴增至 100% 的排放量（假如有一些小於 1% 的排放量未納入計算）。

#### 4.3.2 計算方法

本模式計算方法主要考量國內外溫室氣體盤查與管制等相關規範後，將採取排放係數法為一致的碳排放狀況量化評估方法，其計算式為：

$$\text{工程總碳排放量}(CO_2e) = A + B + C + D - E$$

於計算式中所指之活動強度係為會造成排碳量的相關活動量，應根據不同計算範疇加以鑑別；而排碳係數則是指對應各項排碳活動的單位活動強度排碳量。透過細部設計階段之數量計算書與工程預算書中之細項材料用量，依二氧化碳排放量計算方法即可計算出工程量體碳排放量。以下針對計算工項之計算方法進行說明：

- A. 直接排放量

直接排放量即為機具設備或現場的燃料使用排放量。使用者可就相關燃料用量提出數據，或統計機具工作量(操作時間)，再輔以施工機具單位時間燃料耗用率推估燃料用量，進行排碳量計算。

**直接碳排放量 =  $\Sigma$  燃料用量  $\times$  燃料排放係數**

$$= \Sigma (\Sigma \text{機具操作時數} \times \text{機具單位時間油耗}) \times \text{燃料排放係數}$$

#### B. 間接排碳量

外購電力排碳量，係指工區範圍內場地照明、通風或耗電機具設備的用電量或工區用水、氣體之使用量。而外購電力乃針對向台電公司或其他單位所購買的電量，並以能源局所公告之電力排放係數進行排碳量計算。若用電設備機具所耗電力來自於燃油發電機，則此部分應以發電機之燃料耗用量於直接排放量中計算。

$$\text{間接碳排放量} = \Sigma \text{使用量} \times \text{能源排放係數}$$

#### C. 材料排碳量

以碳足跡之觀點，物料的碳排放係數應以全生命週期進行評估，使用者必須考量使用量與運輸問題，工程材料碳排放量可利用材料總量與其生命週期碳排放係數進行計算。本研究所計算之材料碳排放係數主要依據「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」中，所彙整之材料碳排放係數資料庫。

$$\text{工程材料碳排放量} = \Sigma (\text{工程材料用量} \times \text{工程材料排放係數})$$

#### D. 運輸排碳量

運輸排碳量應考量項目包括機具運輸、工料運輸、人員運輸以及廢棄物運輸四種。運輸行為造成碳排放主要源自於運具在運輸過程中的燃料耗用，因此，運輸排碳量可利用燃料耗用量與燃料排碳係數計算得知，或可以利用運具的燃料耗用係數進行燃料耗用量的推估。評估算式為：

**運輸碳排放量 =  $\Sigma$  燃料用量  $\times$  燃料排放係數**

$$= \Sigma [ \Sigma (\text{運輸量} / \text{運具載運量}) \times \text{往返運輸距離} \times \text{運具油耗係數} ] \times \text{燃料排放係數}$$

倘若在該工程運輸所需燃料量資料無法取得或計算獲得的情況下，依據運研所相關研究

與英國環境署工程碳排放計算器之運輸排碳量計算方式，吾人可考慮以全國統計資料進行特定運輸型式之單位延人公里(客運)或單位延噸公里(貨運)燃料耗用量為參數，以運輸距離估算該工程的碳排放量。

$$\text{運輸碳排放量} = \sum[(\text{運輸量} \times \text{運輸距離}) \times \text{單位運輸距離燃料耗用量}] \times \text{燃料排放係數}$$

#### E. 碳匯變化量

碳匯變化量部分係以地表植被的改變量為活動強度，若植被遭移除代表碳匯減量、植生復育則代表碳匯增量，輔以林木固碳係數進行碳匯變化量計算。

$$\text{碳匯碳排放量} = \sum(\text{新種植栽面積} \times \text{固定碳排係數}) - \sum(\text{既有植栽面積} \times \text{固定碳排係數})$$

## 4.4 計算範例

進行案例計算時，應就計算所需資訊與參數進行確認，所需資訊大致分成三大部分，第一部分碳排放係數內容；第二部分，依據計算範疇一～三之原則計算碳排放源；第三部分利用案例之工程預算書、數量計算書、工程圖說與建置需求等進行蒐集主要碳排放源，以下圖4.2為案例計算流程圖。

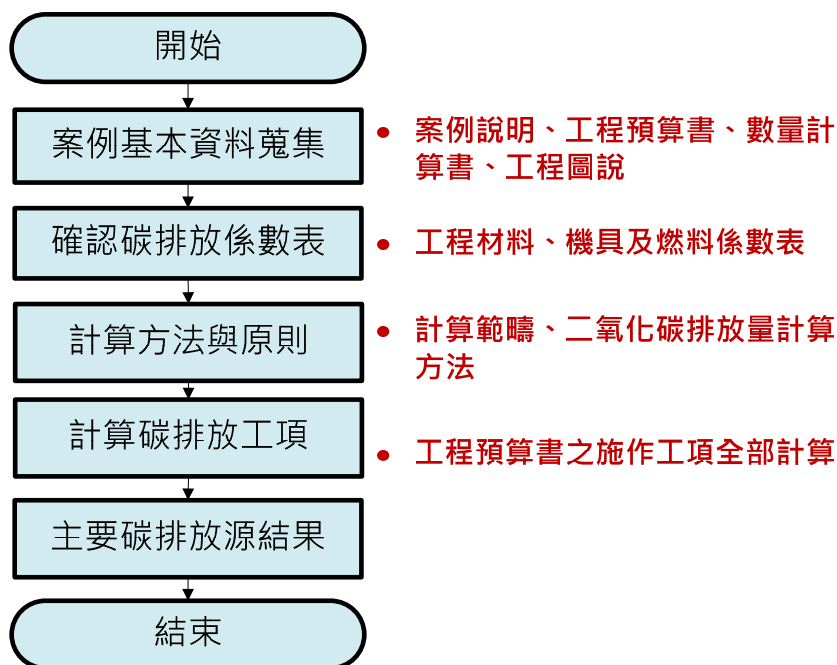


圖 4.2 公路工程案例計算流程圖

計算範例：蘇花改計畫工程

## 一、 背景說明

台 9 線蘇花公路山區路段改善計畫係為以國土空間發展策略為基礎、東部永續發展綱要計畫為考量，符合交通部東部運輸政策：以「軌道為主、公路為輔」、「公共運輸為主、私人運輸為輔」的工程計畫。計畫內容主要是優先就線形標準低導致交通肇事頻率高之「蘇澳至東澳」，以及落石坍方較多之「南澳至和平」、「和中至大清水」三個路段另闢新線，其餘東澳至南澳以小幅度之彎道改善及邊坡保護工程處理，總計新建改善長度 38.4 公里，隧道合計 23.6 公里(約佔總長度的 61%)的改善計畫。



圖 4.3 蘇花改路線圖

南澳和平段之工程路線規劃如圖 4.3 示，依工程特性分為 4 個工程標及 1 個機電標，共計 5 個施工標。4 個工程標中，B-1 標於 101 年 2 月動工，B-2、B-3 標於 100 年 11 月動工，B-4 標於 100 年 3 月即動工。工程內容共包括路堤路塹段 6 處、橋梁段 6 座及隧道段 3 座，其中包含兩座長隧道(觀音隧道約 7.9 公里、谷風隧道約 5 公里)。

手冊中以台九線蘇花改南澳和平段 B-4 標作為案例計算，該標自和平溪河川橋 A2 橋台至終點(STA.2k+100~STA.2k+677.625)為路堤填築路段，路面採用柔性瀝青路面。橋梁為和平溪河川橋，橋長 1,557 公尺(0k+543~2k+100)，採預力混凝土箱型梁設計，場鑄懸臂工法及場鑄逐跨工法施工。



圖 4.4 南澳和平段工程路線規劃

瞭解案例基本資料後，同時間必須具有案例之工程預算書、數量計算書與工程圖說等有手冊-30

利於計算之資料，接著確認碳排放係數表（參數資料庫），再依據碳排放計算方式與範疇計算工作項目之內容以求得施工階段之碳排放量。

## 二、 計算內容與步驟

依據二氧化碳排放量之計算方式，確認計算內容、選擇適當機具與物料碳排放係數後，即可計算出各工項每單位之二氧化碳排放量，再採用預算詳細表中，各工項所使用之數量，即可推得該工程於施工進行中所造成的二氧化碳排放。（詳細計算方式、計算內容、材料與機具之係數選用方法請參考附錄 1-2）

### 1. 計算內容

手冊中詳細型碳排放評估方法以台九線蘇花改南澳和平段 B-4 標之橋梁工程和平溪河川橋作為公路工程範例計算，為求得公路工程整體碳排放量與主要工項碳排達 95%以上，因此預算詳細表中之所有施作工項（包含材料與機具）皆應納入計算。以下為計算工作項目之步驟：

- 步驟 1：單價分析表主要材料與機具項目

根據工程預算書中之細部工作項目內容，計算各工作項目中之施工機具與工程材料項目。（詳細計算方式、計算內容、材料與機具係數選用方法請參考附錄 1-2）

- 步驟 2：碳排放係數選用

- (1) 機具操作部分

- 機具使用類型確認後，尋找對應參數進行能源用量及碳排放量計算。若使用之機具無可對應之參數，可採用內插法估算亦或採用規格相近之機具替代。

- (2) 工程材料部分

- 材料用量確認後，尋找對應參數進行能源用量及碳排放量計算。若使用之材料無可對應之參數，可採用內插法估算亦或採用材質或強度相近之材料替代。

- 步驟 3：公路工程工作項目均計算

- 依照上述步驟 1 與步驟 2 計算之原則，持續計算所有工作項目。

## 三、 主要碳排放源結果

依據上述之計算範疇、計算方法、主要碳排放工項計算建議與計算工作項目之步驟，遵

循這些原則使用者可清楚、快速計算出公路工程的主要碳排放來源，且主要碳排放來源之加總須滿足整體工程碳排放量 95%以上之原則。

因考量地形與地質條件，台九線蘇花改南澳和平段 B-4 標和平溪河川橋之上部結構橋梁工法分為兩種，以場鑄懸臂工法及場鑄逐跨工法進行施作。高架橋上、下部結構工程施作工項全部計算後，將各結構工程之工作項目依照碳排放量之多寡進行排序，各工作項目碳排加總後可得總碳排放量，再將各工作項目碳排除以總碳排放量，乘以百分比可得各工作項目佔結構工程之百分比。依計算結果排序 1 至 11 工項就是高架橋結構工程主要碳排放源，表 4.1 至表 4.2 為台九線蘇花改南澳和平段 B-4 標橋梁工程上、下部結構之碳排放量計算結果。

表 4.1 蘇花改和平溪河川橋上部結構場鑄懸臂工法之碳排放量計算結果

排序	項目及說明	單位	數量	碳排放係數 (KgCO <sub>2</sub> e)	碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)	碳排放 百分比
高架橋上部結構工程						
1	鋼筋材料，SD420W	T	3,651.64	920.00	3,359.51	33.11%
2	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	14,014.69	232.77	3,262.20	32.15%
3	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	T	674.00	2,355.00	1,587.27	15.64%
4	鋼筋材料，SD280W	T	794.72	920.00	731.14	7.21%
5	透空式護欄(二管)	M	2,394.00	181.95	435.59	4.29%
6	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 10.0cm	M	32,295.00	7.58	244.80	2.41%
7	混凝土隔欄	M	1,197.00	107.45	128.62	1.27%
8	鋼筋，加工及組立	T	4,104.39	27.81	114.14	1.12%
9	密級配瀝青混凝土 (針入度 60-70)	T	3,172.43	32.48	103.04	1.02%
小計					10,146.29	98.23%

表 4.2 蘇花改和平溪河川橋下部結構樁基礎之碳排放量計算結果

排序	項目及說明	單位	數量	碳排放係數 (KgCO <sub>2</sub> e)	碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)	碳排放 百分比
高架橋下部結構工程						
1	鋼筋材料，SD420W	T	4,738.55	920.00	4,359.47	40.28%
2	結構用混凝土，210kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)	M <sup>3</sup>	9,933.39	194.65	1,933.53	17.87%
3	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	9,628.98	171.64	1,652.72	15.27%
4	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	4,980.08	285.48	1,421.71	13.14%
5	鋼筋材料，SD420W，D43	T	533.74	920.00	491.04	4.54%
6	防撞鋼板(t=10mm)	M <sup>2</sup>	1,509.55	189.41	285.92	2.64%
7	全套管式鑽掘混凝土基樁，	M	5,620.75	47.93	269.40	2.49%

	D=1500mm，鑽掘(含空鑽)					
8	鋼筋，加工及組立	T	4,824.21	27.81	134.16	1.24%
9	基樁完整性試驗測管	M	22,670.00	3.18	72.09	0.67%
10	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	307.74	121.20	37.30	0.34%
11	樁頭處理，基樁，150cm $\phi$ (含運費)	處	233.00	92.39	21.53	0.20%
				小計	10,822.09	98.68%

表 4.3 至表 4.4 碳排放量(tonCO<sub>2</sub>e)小計之總和為所有工作項目之加總。

表 4.3 蘇花改和平溪河川橋上部結構場鑄逐跨工法之碳排放量計算結果

排序	項目及說明	單位	數量	碳排放係數 (KgCO <sub>2</sub> e)	碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)	碳排放 百分比
高架橋上部結構工程						
1	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	4,502.00	230.26	1,036.63	38.30%
2	鋼筋材料，SD420W	T	959.48	920.00	882.72	32.62%
3	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	T	105.00	2,355.00	247.28	9.14%
4	鋼筋材料，SD280W	T	219.55	920.00	201.99	7.46%
5	透空式護欄(二管)	M	720.00	181.95	131.00	4.84%
6	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 11.0cm	M	4,343.00	12.75	55.37	2.05%
7	混凝土隔欄	M	360.00	107.45	38.68	1.43%
8	密級配瀝青混凝土 (針入度 60-70)	T	1,002.24	32.48	32.55	1.20%
9	鋼筋，加工及組立	T	1,086.50	27.81	30.22	1.12%
	小計				2,706.34	98.16%

表 4.4 蘇花改和平溪河川橋下部結構直接基礎之碳排放量計算結果

排序	項目及說明	單位	數量	碳排放係數 (KgCO <sub>2</sub> e)	碳排放量 (tonCO <sub>2</sub> e)	
高架橋下部結構工程						
1	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	3,276.55	171.64	562.39	44.93%
2	鋼筋材料，SD420W	T	468.89	920.00	431.38	34.46%
3	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	686.83	285.48	196.08	15.66%
4	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	125.61	121.20	15.22	1.22%
5	鋼筋，加工及組立	T	437.69	27.81	12.17	0.97%
6	鋼筋材料，SD280W	T	10.33	920.00	9.50	0.76%
7	構造物開挖，深度≤5m，(含抽排水、裝車)	B.M <sup>3</sup>	5,588.75	1.01	5.64	0.45%
	小計				1,251.82	98.45%

透過計算結果可得知橋梁上部結構 95%以上之主要碳排放源工項為結構用混凝土、鋼筋材料與預力鋼腱(預力鋼腱及後拉式施預力)，而橋梁下部結構 95%以上之主要碳排放源工項亦為結構用混凝土、鋼筋材料以及全套管式鑽掘混凝土基樁，上下部結構各三個工作項目碳

排放百分比加總就已達 90%左右，其餘大於 1%之工作項目再加總過後之碳排放百分比可達 95%以上，小於 1%之工作項目可忽略不計。因此工程人員只要計算主要碳排之工作項目，就可快速地計算公路工程整體之碳排放量。

表 4.5 蘇花改南澳和平段 B-4 標高架橋上下部結構工程主要碳排工項

項次	主要工項	
	上部結構	下部結構
1	結構用預力混凝土	結構用預力混凝土
2	鋼筋材料	結構用預拌水中混凝土
3	鋼筋，加工及組立	自充填混凝土
4	透空式護欄(二管)	鋼筋材料
5	套管及灌漿，鍍鋅金屬製	鋼筋，加工及組立
6	混凝土隔欄	防撞鋼板
7	密級配瀝青混凝土	全套管式鑽掘混凝土基樁
8	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	

因考量地形與地質條件，台九線蘇花改南澳和平段 B-4 標和平溪河川橋之上部結構橋梁工法分兩種工法，以場鑄懸臂工法及場鑄逐跨工法進行施作，下部結構之基礎型式亦不同，手冊中依和平溪河川橋工法之不同另行編號和平溪河川橋-A 與和平溪河川橋-B。

表 4.6 蘇花改和平溪河川橋基本資料與上下結構碳排放計算結果

橋名	和平溪河川橋-A	和平溪河川橋-B
橋梁工法	場鑄懸臂工法	場鑄逐跨工法
橋長 (m)	1197.0	360.0
施作單元	U1-U4	U5-U6
橋墩基礎型式	樁基礎	直接基礎
橋面板面積 (m <sup>2</sup> )	18,012.00	5706.00
上部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	10,146.29	2,706.34
下部結構碳排 (tonCO <sub>2</sub> e)	10,822.09	1,251.82

## 第五章 公路工程減碳方法與案例彙整

### 5.1 公路工程減碳建議手法

臺灣地區公路總長約為 40,878 公里，幾乎遍及所有角落，路網密度之稠及對居民之重要性當不在話下。公路工程之規劃設計與施作除了影響居民行的便利性外，更會因為穿越廊道或生態棲地，影響動植物既有生態；此外，公路工程採用之設計和材料除影響景觀美感外，也會影響二氧化碳的排放量。因此，近年來在各國疾呼關注全球暖化、氣候變遷與節能減碳議題之際，公路工程之節能減碳更是需要被正視的重要課題。國內外已有許多研究探討發展綠色運輸系統與提昇載具能源效率等改善碳排放量之可行手法，本章節將直接以公路工程規劃設計為主，思考應如何導入永續觀念，達成滿足運輸需求並兼顧節能減碳效益之目標。

由於公路工程設計傳統上多以交通部頒之公路路線設計規範為主，經數十年來雖然已經累計足夠工程經驗與規範可供遵循，但對於節能減碳議題尚未有明確指導原則，因此本手冊彙整現階段可行之減碳手法，並針對碳排放比例較高之重點項目進行探討，手法內容可分為五大項目，詳細內容可參閱表 5.1，此五大項目將可提供公路工程設計人員在未來執行業務時納入參考，以激發更符合節能減碳之永續設計，敦促國內公路工程永續性之成長。

#### 一、工程效益評量

規劃設計階段應審慎評估工程興建之必要性與其營建規模，詳實評估新建工程之必要性與其成本效益，合理分配有限資源，避免過度浪費與造成環境負荷，並以最小營建規模為規劃設計之原則，減少天然資源耗費。主要評估項目包含：工程必要性檢討與工程適度性檢討。

##### 1、工程必要性檢討

- 工程必要性檢討，應檢視及分析社會發展之需求，確保工程設施具一定之效益與功能，避免資源大量消耗。
- 設施規劃階段，應進行替代方案之檢討，分析工程設施之需求功能，是否可透過其他工程或非工程措施(零方案或管理手段)達成，以提升整體工程設施之效益。

##### 2、工程適度性檢討

- 工程規模應審慎推估後續使用情形，順應地形地貌並避免高填深挖，施工階段可減少土方之外運，避免額外運輸造成的溫室氣體排放。營運階段可避免路線縱坡度過大，導致載具必須負擔高油耗，造成能源耗損而不利減排碳。
- 公路工程在路線決定後，應嘗試進行路幅檢討與構造輕量設計達到節能減碳效果。而路幅檢討與構造輕量設計主要以交通運輸需求考量車道數、車道寬，以及號誌燈具是否採用共桿化等作為，在滿足運輸需求下，使公路設計盡量輕量化，運用較少的材料以達節能減碳。

## 二、工程節能規劃

工程規劃時探討施工與使用階段之能源使用效率，並嘗試運用替代能源，調整使用能源結構，包含施工階段機電設備採用節能措施、考量使用行為進行節能設計、提高能源使用效率、多採用再生能源（綠能源、廢能回收），降低工程之碳排放量等。主要評估項目包含：設施節能設計、導入節能設備與當地材料使用等

### 1、節能設備設計

- 公路工程主要用電設施包含號誌、路燈等，若沿線路燈可選用亮度符合需求，且符合低耗電量之功率，則全線路燈之減碳效益相當可觀；此外，綠能科技逐漸成熟後，使用替代能源的公路工程設備也快速發展，運用太陽能進行夜晚之號誌運作，降低石化燃料之耗電，將是未來公路工程節能減碳之重要目標。

### 2、機具節能管理

- 工程機具多屬大功率較耗能之機械，除了選用具國內外省電標章或較同級產品省能之設備外，管理單位應透過良好之工程管理手段，改善施工階段之動線與流程順暢度，並針對機具、車輛、人員進行動線控管；施工單位應進行節能教育，以降低閒置或等候之時間，亦可間接降低能耗。

### 3、土方挖填平衡

- 工程規劃應導入土方平衡設計，若無法避免大規模之土方挖填，則規劃上應以最小開挖面積以及最短運距促使土方挖填達到平衡，降低土方運入或運離所造成之排碳，並可避免破壞當地自然地形地貌。

### 三、低碳材料使用

由於公路工程材料用量甚大，若在設施安全與功能前提下，應避免材料耗費或適度選用低碳材料，並提高廢棄物之潛在利用價值，減少原生物料之開採。主要評估項目包含：低碳材料選用、再生材料選用與當地材料選用等。

#### 1、低碳材料設計

- 公路工程基地面積與結構量體較大，亦使用較多營建材料，因此建議應優先考量排碳量較低之材料，如選用生產製程較低耗能，或分送採用低油耗載具之材料，可有效降低二氧化碳排碳量，使工程達到節能減碳之目標。

#### 2、再生材料選用

- 選用再生營建材料可以降低天然材料使用量，減少因天然材料開採、加工及運輸耗能，也可避免因開採造成植栽砍伐，保留既有植栽之固碳量。此外，使用再生材料更可減少因廢棄材料廢棄處理所需之排碳，對於整體節能減碳有很大的效益，如採用煉鋼之副產品「爐石粉」取代部分水泥，爐石、飛灰等水泥替代材料。

#### 3、在地材料選用

- 公路工程在施作時，應考量因地制宜原則，適度選用工程設施所在地之區域範圍內之材料，以減少運送時間與距離，可避免因運輸距離過長造成大量能源消耗與環境衝擊。

### 四、植生環境維持

植物是減緩二氧化碳排放之重要角色，因此在公路工程設計之初應避免穿越林相，砍伐既有森林，不僅不影響植物吸附二氧化碳，也可避免干擾森林生態。但考量線形情況下常不免必須切割既有森林，此時除必須選擇切割區位較小方案，亦必須考量移植或補植至少等量的相同植材。

#### 1、迴避既有植栽

- 由於既有植栽除了保有既有動物之天然棲地，對於二氧化碳之固定吸附也有一定程度之貢獻，若因公路工程切割既有林相，則二氧化碳之吸附量將會減少，亦有可能

破壞珍貴樹種，因此保育或迴避既有植栽是工程規劃設計時必須考量之重點。

## 2、高固碳植栽設計

- 公路工程設計選線時若必須穿越森林或植生帶時，應考慮於工址附近補償既有植栽數量，而添補植栽時應以原有物種或高固碳量之植材(闊葉大喬木)為主，以降低生態棲地影響。

## 五、其他創新設計

- 規劃設計階段可規劃新工法與新材料提高工程效率，減少工程對周鄰環境影響與促進施工品質、節省耗費，並利用創新管理作為整合有限資源有效應用；鼓勵各單位投入創新能量，以積極作為提升效率，促進節能減碳之成效。

表 5.1 公路工程規劃階段可行減碳手法一覽表

項目	評估內容	說明
工程效益評量	工程必要性檢討	針對設施功能與使用效益進行檢討，以設施功能改變與效用活化為首要考慮，避免重複性高或是使用效能低之新建工程。
	工程適度性檢討	工程規模應審慎推估後續使用情形，避免過度設計，並特別考量因應當地條件設計最適化之營建規模，避免不合現地環境條件之設計，造成不必要之土地利用與天然材料耗費，增加環境負擔。
工程節能規劃	節能設備設計	考量營運階段低耗能之設備，如採用 LED 節能燈具，或相關具節能指標之產品。
	機具節能管理	比較機電設備效能與耗電表現，選擇節能益本比較高設備，並於施工期間選用耗能標準較佳之施工機具、運輸車輛等。
	土方挖填平衡	進行土方平衡之規劃設計，預估土方產出與運離之產量，以充分利用土方，避免不必要之運棄或填埋。
低碳材料使用	低碳材料設計	考量排碳量較低之材料，如選用生產製程較低耗能，或分送採用低油耗載具之材料。
	再生材料選用	規劃使用再生與環保材料，減少原生材料之開採與二氧化碳之排放。如使用飛灰或爐石替代水泥。
	在地材料選用	優先考量使用當地材料，避免多餘運輸與耗能產生二


項目	評估內容	說明
		氧化碳排放。
植生環境維持	迴避既有植栽	用地整理時，應注意植栽之保留率，避免多餘之砍伐開拓，應以現地保留為首要處理手法，以遷移或再利用次之。
	高固碳植栽設計	栽種植栽應以原生物種為主，次之則選擇碳儲存效率較佳之樹種。
其他創新設計	具節能減碳效益	有利工程節能減碳之事項

## 5.2 公路工程具減碳作為之案例

### 5.2.1 路工工程

路工工程所含括的範圍較廣，其主要建設應盡可能有效減輕對環境整體的衝擊，包括邊坡應以結構性佳、安全性高且融合生態之構造型式、擋土設施設置、有效之鋪面排水設施、適當之公路照明及交通控制等。此外，在規劃設計手法上，可考量既有設施的服務效能、採用再生環保材料、綠化設計及採用當地材料等。故在符合各項設計原則要求下，本手冊彙集國內外具減碳作為之案例，並依據其手法與內容進行說明，如下表 5.2 所示。

表 5.2 具減碳手法之路工工程案例

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
國道六號 南投段	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 工程必要性檢討</li> <li>■ 工程適度性檢討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 國 6 通車後提供便捷之交通，估計將轉移臺 14 交通量 (50%~65%)，因公路服務品質提昇，可提高能源使用效率，減少 CO<sub>2</sub> 排放量。</li> <li>■ 臺 14 草屯~埔里路段現況交通量約 34,000PCU/日(雙向)，及該路 50%之交通量轉移行駛國 6 估算，每天約減少 CO<sub>2</sub> 排放量 39.1 噸，節省汽油 2.4 萬公升。</li> </ul>	

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
宜蘭無尾港生態社區計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>高固碳植栽設計</li> </ul>	<p>功勞埔聚落內公路，以局部砌黑頁岩板牆做為界定，公路施以透水鋪面，公路旁以多樣化複層植栽綠化等，使之成為良好的生態社區示範公路。</p>	
桃園市大興西路公路照明景觀工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>節能設備設計</li> </ul>	<p>採用 LED 路燈，除了使用壽命拉長，約是傳統高壓鈉燈壽命 5 倍，且耗電量僅傳統高壓鈉燈的 1/3，不含汞，屬於環保材質，演色性也較佳，能提供良好的視覺環境，預估每年可減碳 112Kg。</p>	
台電公司鳳山植林計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>高固碳植栽設計</li> </ul>	<p>此計畫進行 60 公頃的植林計畫，栽植 81,000 株的苗木。植林苗木種類有桃花心木、相思樹、白雞油、楓香、無患子、黃連木及烏心石等樹種。</p>	
美國 I-70 公路 Glenwood Canyon	<ul style="list-style-type: none"> <li>工程適度性檢討</li> <li>其他創意設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>採以高架橋及棧橋通過環境敏感區，減少挖填方量。</li> <li>因地制宜研提橋梁新工法，如採氧化鐵染色之預鑄擋土牆俾融合整體環境、因應施工用地不足的加勁擋土牆、過河可搭設木便橋、提高預鑄結構物之比例及降低工地之干擾等。</li> </ul>	
美國德州 U.S. 83 公路方形涵洞改建	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用當地材料，減少運輸</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用鄰近植物材料、土石、木料、苗圃等天然材料資源，以供做生態工法設計參考。</li> <li>施工方法根據 Bats and Bridges Study 研究計畫，來選定以 U.S. 83 公路的箱涵做為蝙蝠棲地的創造。以 5 個嵌壁式的方形 "domes" 作為嵌入箱涵的天花板，以及一個二次利用的夾板做成表面粗糙的結構物，作為蝙蝠的棲息處。</li> </ul>	

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
美國 Atlanta 市公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 綠地美化</li> <li>■ 沿線設置自行車道，誘發綠色交通</li> </ul>	利用高速公路沿線地創造具串連性質之腳踏車道，規劃綠色運輸路線	
美國 曼哈頓 Chambers to Hubert Streets	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量既有公共設施服務效能</li> <li>■ 市區公路用途改造，使公路公園化，多用途使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 公園公路拓寬，整合人行道設計</li> <li>■ 行車路面寬度最適量規劃</li> <li>■ 路燈降低，增加照明度與範圍，減少耗能</li> <li>■ 利用巴士彎道創造夜間臨時停車場</li> </ul>	
日本山形縣金山町13號國道改良工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 選用當地材料</li> </ul>	採用「Bonteran 工法」，以當地工程砍下的植物木屑，與開挖下來的土壤加以混合，作為綠化基盤材料，噴佈在坡面上，該植被在3星期後即可覆蓋坡面，保護邊坡抵抗大雨侵蝕。	
日本國道 108 號鬼首公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 運輸採用替代方案</li> </ul>	在施工時，考慮到開闢施工便道會砍伐既有樹木，改採用纜車運送機具和建材。	
加拿大 Toronto 市複合使用開放空間	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 綠化規劃設計</li> <li>■ 串聯周遭環境，建立綠地系統，增加環境固碳量</li> </ul>	將高速公路河岸及庭園、鄰里公園、廣場與行人徒步區、樹林緩衝帶等聯合而形成有組織性之綠地系統，使公路與社區結合	
飛利浦創意設計環保路燈	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 採用環保材料</li> </ul>	環保路燈「Light Blossom」燈在有日照的時候，太陽能光電板會有如花瓣般張開，並模擬向日葵的行為找尋太陽的角度；在風吹過的時候也會跟著旋轉產生電能；到了晚上花瓣會自動合上並供應適當的照度，避免光污染，特別是當有人經過的時候還會投射在人所在位置	

## 5.2.2 橋梁工程


公路建設多強調應尊重原有地形，在自然環境生態較佳處，為維持原有環境之永續性，近年來公路工程大量採用橋梁型式建造，且施工方法日新月異，對環境之衝擊層面亦有別於傳統的路堤式設計及施工方式，且就規劃設計時所應考量之各項設計原則，如最適營建規模、使用低碳環保材料、施工注意環境汙染、施工順序、橋墩座落位置、橋台位置，適用區域等因素下，本研究彙整出之橋梁工程之減碳手法項目如下表 5.3 所示。

表 5.3 具減碳手法之橋梁工程案例

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
國道三號 4K+339~4K+784	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> <li>■ 加大垮距，減少落墩</li> </ul>	跨越溪谷拱跨徑 138 公尺、橋面距地面高 70 公尺，若採短跨多孔橋梁，必須於溪中落墩，對棲地將造成干擾	
國道三號沿線	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> <li>■ 以高架橋取代高填土</li> </ul>	國道三號部分路段跨越谷地，若採路堤填築將造成原地地形地貌大幅改變及棲地阻隔，不適動物之遷徙及繁衍。故以高架橋取代高填土，保留橋下動物生態廊道暢通，減少填土對棲地之傷害及借土對環境之破壞，或採大跨徑跨越水路或棲地，保留橋下完整空間對棲地造成最小干擾。	
國道六號南投段	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 採用再生或環保材料</li> <li>■ 再生材料</li> <li>■ 輕質混凝土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 以煉鋼之副產品「爐石粉」取代部分水泥，資源再利用，並減碳。</li> <li>■ 一般混凝土在規範允許範圍內摻用爐石粉取代部份水泥(平均約 26%)，減少水泥用量約 19.2 萬噸，降低 CO<sub>2</sub> 排放量約 17.1 萬噸。</li> <li>■ 橋墩柱全面採用自充填混凝土，除提昇混凝土強度、工作性、耐久性與外表美觀外，因以煉鋼副產品爐石粉取代部分水泥，可減少水泥用量約 4.7 萬噸，降低 CO<sub>2</sub> 排放量約 4.2 萬噸。</li> </ul>	

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 保存原工址之植被與物種，保護綠資源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 路線以橋隧為主（合計 81%），主線路塹開挖段約僅 0.9 公里，減少地形、地貌與生物棲地破壞。</li> <li>■ 設置鋼棧橋，減低施工對坡面影響，保護既有地被生態。</li> <li>■ 表土回收利用，保存當地種子庫。</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 植栽固碳</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 種植喬木 9,000 株、灌木 16.5 萬株。</li> <li>■ 其中喬木約可吸收 4,320 噸 CO<sub>2</sub></li> </ul>	
台中縣后豐大橋	考量公共設施與附屬設施於營運使用階段可易於維護保養	受辛樂克颱風夾帶豪雨洪流冲刷影響，造成 P2 橋墩斷裂，但部分舊有預力梁經專家評估無安全疑慮後，轉為南端橋面拓寬使用，均可減少原生材料使用	
三芝北投段快速道路	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> <li>■ 有利工程節能減碳實質效益之作為</li> <li>■ 採橋梁新工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 全線主要以高架及隧道等對生態衝擊較小的構造型式進行設計，除交流道引道外，路堤、路塹段皆未有連續超過 500 公尺者，且保留河川谷地，已儘量減少切割效應。</li> <li>■ 採預鑄節塊漸進式之新工法施工，減少橋梁施工時對地貌的干擾，並律定橋梁基礎施作範圍，縮小植被破壞面積</li> </ul>	


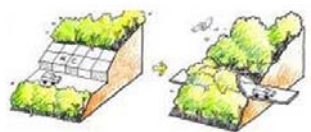
案例名稱	減碳手法	說明	圖片
北宜高速公路	考量以最適營建規模規劃	<ul style="list-style-type: none"> <li>為維持天然景觀及減少土方工程，以減輕開發行為對水土保持及環境之破壞與衝擊，儘量採用隧道及橋梁的構築型式，避免採用路堤、路塹之設計。並加強橋梁及隧道洞口結構造型與公路邊坡之綠美化設計，以配合天然及地方景觀融合成一體。</li> <li>為減少土方開挖污染水源，並維持天然景觀，故大部分均採隧道或高架橋梁穿越避免環境干擾。如石碇高架橋、潭邊橋、烏塗溪橋等橋梁穿越原始林區，為減少基礎施工對其破壞，均採雙向共構設計以減少開挖。</li> </ul>	
德國 karlsruhe 車站附近交通管理與工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>考量以最適營建規模規劃</li> <li>立體交叉型式管理</li> <li>減少開挖</li> </ul>	運用隧道或高架橋之架設，以減少傳統路面施作需要大規模之土方挖掘，避免因開挖行為，剷除大範圍之植被面積	
日本日光宇都宮公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>考量以最適營建規模規劃</li> <li>以高架橋取代路堤型式</li> </ul>	原設計以路堤方式穿越，改用橋梁以及隧道方式穿越，減少填土對棲地之傷害及借土與運輸問題	
日本道央自動車道（北海道縱貫自動車道）	<ul style="list-style-type: none"> <li>考量以最適營建規模規劃</li> <li>有利工程節能減碳實質效益之作為</li> <li>採用橋梁新工法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>為免對該環境敏感區造成衝擊，經檢討相關工法及構造物型式後決定採單跨橋（single span）跨越該原生林及溼地。</li> <li>為維持該區之完整俾免施工中之干擾，橋梁之工法採懸臂工法（cantilever）施作；施工期間均於高空完成，對地面之干擾降至最低。</li> </ul>	



案例名稱	減碳手法	說明	圖片
夏威夷 H-3 公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> <li>■ 多線型調整，減少環境破壞</li> <li>■ 避免大量填築</li> <li>■ 有利工程節能減碳實質效益之作為</li> <li>■ 採用橋梁新工法</li> </ul>	串聯歐胡島兩側交通，必須通過敏感地區、考古地點與文化遺址。設計考慮脆弱環境，採亦曲亦直的方式設計，跨越崎嶇不平的地形，並且以隧道穿越 Koolau 山，橋梁多採懸臂式設計	

### 5.2.3 隧道工程

隧道工程之開挖早期多賴人力為之，其後，改以利用炸藥進行鑽炸方式施工，除對勞工危險性高之外，對環境之影響均甚大。致近年來，開挖機具之使用乃漸受重視，從部分案例顯示，屬於對地表干擾最小的一種構造型式，因此在應用上均強調應以安全導向為第一。除了符合隧道安全及防災所應考量的各項原則下，並包含低碳之施工方法、進出洞口位置選擇、符合近自然原則、等因素，本研究利用案例所彙整出之隧道工程之減碳手法項目如下表 5.4 所示。

表 5.4 具減碳手法之隧道工程案例

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
國道三號沿線	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 有利工程節能減碳實質效益之作為</li> <li>■ 採用明挖覆蓋工法施作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 國道三號後續階段之隧道工程，設法以減少開挖提前進洞為原則，採用明挖覆蓋工法施作，以期儘可能回復原貌，或以輔助工法(如管幕工法 Pipe Roof)於隧道洞口處於極淺覆蓋之情況下，直接進洞施作，將洞口週遭邊坡工程規模減至最小，並植栽以恢復自然景觀。例如景美隧道南口就是採用管幕工法輔助施工。</li> </ul>	
東部公路蘇澳和平段 2A 隧道	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> <li>■ 隧道構築，生態公路工程之迴避原則</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2A 隧道於初步設計階段初期規劃以路塹方式通過，但考量大規模路幅開挖將造成路線週遭自然環境嚴重破壞，最後仍決定以 2A 隧道之工程配置進行細部設計。</li> </ul>	

案例名稱	減碳手法	說明	圖片
日光宇都宮蟲鳴山隧道	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 考量以最適營建規模規劃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鳴蟲山路段原設計係以路堤方式通過，惟對地形改變太大經評估後改採隧道穿越方式通過，降低環境衝擊。</li> <li>■ 原採高填土之路堤，而後依實際需求改為低路堤方式或橋梁興建</li> </ul>	
荷蘭 A50 號高速公路	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 有利工程節能減碳實質效益之作為</li> <li>■ 引進新工法來改善施工過程對環境的衝擊</li> <li>■ 棲地隔離對策</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 改變路廊型式，將路塹改為隧道通過，以保持原地上物之生態功能。</li> <li>■ 施工道路的替代方案改以由上而下（top down）的施工方式，俾對原地形地貌作最小的衝擊。（A2-TE 標）</li> <li>■ 隧道穿越及跨越橋補償遷移路徑等。</li> </ul>	

## 參考文獻

- [1]. 交通部運輸研究所，交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究，2011。
- [2]. 行政院公共工程委員會網站：<http://www.pcc.gov.tw>。
- [3]. 永續公共工程－節能減碳政策白皮書（草案），行政院公共工程委員會，2008。
- [4]. 台灣二十一世紀議程國家永續發展願景與策略綱領，行政院經濟建設委員會，2004。
- [5]. 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營建政策推動策略及藍圖之研究（研究報告194），2002。
- [6]. 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營工程方案－推動綠營建工程評估審議制度及評估指標之研究（研究報告127），2001。
- [7]. 行政院公共工程委員會委託財團法人中華建築中心：綠營建工程方案－道路工程建立綠營建工程設計規範及設計準則（研究報告154），2001。
- [8]. 蔡厚男、邱銘源、呂慧穎道路建設與生態工法（Ecological Technology for Road Construction），熊貓出版社，2003。
- [9]. 綠營建道路工程研討會，國立中央大學，2005。
- [10]. 黃榮堯等，道路建設綠營建評估指標系統之研究，技術學報，2006。
- [11]. 陳章鵬等，建立道路工程綠營建審議指標之研究，行政院公共工程委員會，2004。
- [12]. 行政院環保署，產品與服務碳足跡計算指引，2010。
- [13]. Tung, H., Cédric, D., Anne, V., Agnès, J., Gilles, L., (2005). A global tool for environmental assessment of roads – Application to transport for road building. <http://www.ectri.org/YRS05/Papiers/Session-3bis/ventura.pdf>. (accessed date: 2012/4/13)
- [14]. Stripple, H. (IVL Swedish Environmental Research Institute), (2001). Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis. Project Report of Swedish National Road Administration. <http://www.ivl.se/download/18.2f3a7b311a7c806443800055078/B1210E.pdf>. (accessed date: 2012/4/13)
- [15]. 內政部建築研究所，綠建築設計技術彙編，2005。。
- [16]. 行政院環保署，行政院環境保護署溫室氣體查驗指引，2010。
- [17]. 經濟部能源局，99年我國電力排放係數，2011。
- [18]. 薛惠兒，「綠建材應用於景觀公共工程之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，2007。
- [19]. 「推動縣市執行營建廢棄物再利用計畫」，行政院環保署，2009。

- [20].「建立永續公共工程指標系統之研究」，行政院公共工程委員會，2008。
- [21].ADB，"Methodology for estimating carbon footprint of road projects- case study: India"，Asian Development Bank，2010。
- [22].Andrew Porter & Kathryn Vowles，"Highways Agency Carbon Calculation Tool – Instruction Manual – Version v5c"，UK Highway Agency Document No. CCP-369-371-Instruction Manual-101209-v5c，2008。
- [23].Boriboonsomsin, K. Scora, G. Barth, M. "Analysis of Heavy-Duty Diesel Truck Activity and Fuel Economy Based on Electronic Control Module Data"，Journal of the Transportation Research Board. 2010。
- [24].PAS2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services, 2008。
- [25].Dean Kerwick-Chrisp，"Carbon Calculation Tool Instruction Manual For Major Projects"，Highways Agency research project，2009。
- [26].Gerilla, G.P. et al，"Environmental Impacts of the Road and Building Construction Industry in Japan" Proceeding of the International Symposium on Lowland Technology，2000。
- [27].H. Christopher Frey, Nagui M. Rouphail, Haibo Zhai, "Measurement and Modeling of the Real-World Activity, Fuel Use, and Emissions of Onroad Vehicles: Policy Implications of Fuels, Technologies, and Infrastructure", 2010 TRB Energy and Environment Research Conference, June 6-9, 2010
- [28].ISO/CNS 14061-1 溫室氣體－第一部：組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告附指引之規範，2006。
- [29].ISO/CNS 14061-2 溫室氣體－第二部：計畫層級溫室氣體排放或移除增量監督及報告附指引之規範，2006。
- [30].ISO/CNS 14061-3 溫室氣體－第三部：溫室氣體主張之確證與查證附指引之規範，2006。
- [31].張又升，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，國立成功大學建築研究所，2002。
- [32].林再澍，「不同建築生產方式對環境負荷影響之研究」，國立臺北科技大學建築與都市設計研究所，2008。

## 手冊附錄 1 碳排放係數資料庫

### 附錄 1-1 參數資料庫-物料參數資料表

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
鋼鐵類	Deformed rebar,SD30	kg	0.39	【18】	Cradle to Grave	韓國	M03210
鋼鐵類	Deformed rebar,SD30	kg	0.40	【18】	Cradle to Grave	韓國	M03210
鋼鐵類	Steel	kg	0.65	【3】	N/A	斯里蘭卡	M03210
鋼鐵類	Steel General - UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.37	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel -Pipe- UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.55	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel -Plate- UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.42	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel -Stainless	kg	6.15	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel -Wire - Virgin	Kg	3.02	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel: Bar & rod (Predominantly recycled)	kg	0.42	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Bar & rod (UK typical)	kg	1.71	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Bar & rod (Virgin)	kg	2.68	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: General (Predominantly recycled)	kg	0.43	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: General (UK typical)	kg	1.77	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: General (Virgin)	kg	2.75	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Pipe (Virgin)	kg	2.70	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Section (Predominantly recycled)	kg	0.44	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Section (UK typical)	kg	1.78	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Section (Virgin)	kg	2.78	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Sheet (Virgin)	kg	2.51	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel: Stainless (UK typical)	kg	6.15	【25】	Cradle to Gate	英國	

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
鋼鐵類	Steel: stainless, average(alcorn)	kg	5.46	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03210
鋼鐵類	Steel: stainless, average(gabi)	kg	4.62	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03210
鋼鐵類	Steel: virgin, general (alcorn)	kg	1.24	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03210
鋼鐵類	Steel: virgin, general (gabi)	kg	1.31	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03210
鋼鐵類	Steel: Wire (Virgin)	kg	2.83	【25】	Cradle to Gate	英國	
鋼鐵類	Steel-Bar & rod - UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.40	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel-Coil (Sheet) - UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.30	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel-Coil (Sheet), Galvanised - UK (EU) Average Recycled Content	kg	1.45	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel-Engineering steel -Recycled	kg	0.68	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel-Recycled	kg	0.44	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Steel-Virgin	kg	2.77	【15】	Cradle to Gate	英國	M03210
鋼鐵類	Totals for Steel in Timber LVL Storage Building	kg	0.80	【6】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03210
鋼鐵類	不銹鋼捲(不分類) <sup>*3</sup>	kg	1.41	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	不銹鋼捲(電弧爐)	kg	0.98	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	不銹鋼管(不分類) <sup>*3</sup>	kg	1.45	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	冷軋輕型鋼(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.91	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	冷軋鋼板(電弧爐)	kg	0.51	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	冷軋鋼捲(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.86	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	冷軋鋼捲(高爐)	kg	2.25	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	冷軋鋼管(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.90	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	型鋼	kg	0.99	【4】	N/A	日本	M05120
鋼鐵類	型鋼	kg	0.94	【1】	N/A	台灣	M05120
鋼鐵類	型鋼(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.94	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	型鋼(高爐)	kg	2.32	【1】	N/A	台灣	
鋼鐵類	型鋼(電弧爐)	kg	0.57	【1】	N/A	台灣	更新

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
鋼鐵類	烤漆鋼板(電弧爐)	kg	0.49	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	軟鋼	kg	2.13	【4】	N/A	日本	M05060
鋼鐵類	棒鋼(高爐)	kg	2.21	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	熱軋鋼捲(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.84	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	熱軋鋼捲(高爐)	kg	2.23	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	熱軋鋼捲(電弧爐)	kg	0.46	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	線材(高爐)	kg	2.23	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼板	kg	1.60	【4】	N/A	日本	M05500
鋼鐵類	鋼板(高爐)	kg	2.19	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼胚(高爐)	kg	2.13	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼胚(電弧爐)	kg	0.36	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼筋	kg	0.69	【4】	N/A	日本	M03210
鋼鐵類	鋼筋(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.92	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	鋼筋(高爐)	kg	2.30	【1】	N/A	台灣	
鋼鐵類	鋼筋(電弧爐) <sup>*2</sup>	kg	0.57	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼管(電弧爐)	kg	0.50	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼管加工	kg	0.04	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼鐵	kg	2.13	【16】	N/A	台灣	M03210
鋼鐵類	鍍鋅鋼板(電弧爐)	kg	0.50	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鍍鋅鋼管(不分類) <sup>*3</sup>	kg	0.93	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋪面材料	Air-cooled steel slag, ASS (氣冷鋼渣)	kg	0.01	【19】	N/A	英國	M02742
鋪面材料	Asphalt	kg	0.06	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	Asphalt laying and compacting(瀝青鋪裝夯實)	kg	3.90	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Asphalt, 4%(bitumen) binder content (mass)	kg	0.07	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	Asphalt, 5%(bitumen) binder content	kg	0.07	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
鋪面材料	Asphalt,6%(bitumen) binder contaent	kg	0.08	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	Asphalt,7%(bitumen) binder contaent	kg	0.08	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	Asphalt,8%(bitumen) binder contaent	kg	0.09	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	Bitumen	kg	0.43~0.55	【15】	Cradle to Gate	英國	M02742
鋪面材料	bitumen	kg	0.28	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Bitumen emulsion(乳化瀝青)	kg	0.34	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Bitumen, feedstock(alcorn)	kg	0.17	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02742
鋪面材料	Bitumen, feedstock(alcorn)	kg	0.14	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02742
鋪面材料	Bitumen, feedstock(gabi)	kg	0.31	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02742
鋪面材料	Bitumen, feedstock(gabi)	kg	0.18	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02742
鋪面材料	Cold mixed asphalt(冷拌瀝青混凝土)	kg	0.01	【22】	N/A	瑞典	M02742
鋪面材料	Hot mixed asphalt(熱拌瀝青混凝土)	kg	0.03	【22】	N/A	瑞典	M02742
鋪面材料	Hydraulic Road Binder,HRB(水硬性公路黏結材料)	kg	0.32	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Lime (CaO) (石灰)	kg	0.74	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Lime(石灰)	kg	0.74	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Polymer Modified Bitumen Emulsion(改質乳化瀝青)	kg	0.45	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Polymer Modified Bitumen(改質瀝青)	kg	0.46	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	total laying plus compacting	m3	5.35	【23】	N/A	歐盟	M02742
鋪面材料	Waxes (Crude Derived)	kg	0.37	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	Waxes (Synthetic)	kg	5.70	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	WET Pulverised Fuel Ash,PFA(濕燃煤飛灰)	kg	0.00	【19】	N/A	N/A	M02742
鋪面材料	瀝青混凝土	T	30.62	【1】	N/A	台灣	更新
塑膠產品	ABS	kg	2.18	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	ABS 樹脂	kg	1.45	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	Acrylic(PMMA)	kg	1.98	【7】	N/A	瑞典	M06065

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
塑膠產品	EPDM(橡膠)	kg	2.52	【7】	N/A	瑞典	M06090
塑膠產品	Insulation, polystyrene(alcorn)	kg	2.50	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	Insulation, polystyrene(gabi)	kg	2.67	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	Linoleum	kg	1.65	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	Nylon	kg	1.98	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PC 耐力板	kg	1.50	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	PE	kg	2.82	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PES(PET)	kg	1.59	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	Plastic, HDPE(alcorn)	kg	3.45	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	Plastic, HDPE(gabi)	kg	0.94	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	Plastic, LDPE(alcorn)	kg	3.54	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	Plastic, LDPE(gabi)	kg	1.25	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	Plastic, PVC, extruded(alcorn)	kg	4.35	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	Plastic, PVC, extruded(gabi)	kg	2.18	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06065
塑膠產品	PP	kg	2.82	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PS	kg	2.20	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PUR	kg	1.99	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PVC-flooring	kg	1.00	【7】	N/A	瑞典	M06065
塑膠產品	PVC 原料	kg	0.56	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	PVC 塑膠管、PVC 板	kg	0.75	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	PVC 管	kg	42.67	【8】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	PVC 管耐熱線	kg	15.10	【8】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	PVC 管接頭、凡而	kg	1.42	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	SGP 管	kg	113.61	【8】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	Timber glulam(alcorn)	kg	1.14	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06090

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
塑膠產品	Timber glulam(gabi)	kg	0.05	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06090
塑膠產品	尼龍線	kg	47.89	【8】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	合成樹脂品	kg	2.79	【4】	N/A	日本	M06065
塑膠產品	塑膠布	kg	0.88	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	塑鋼原料	kg	0.56	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	電線電纜	kg	2.01	【5】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	聚苯乙烯(PS)	kg	1.19	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	聚酯棉	kg	1.01	【1】	N/A	台灣	M06065
塑膠產品	聚酯絲	kg	0.92	【1】	N/A	台灣	M06065
混凝土	45%高爐混凝土 2500psi	m <sup>3</sup>	82.49	【1】	N/A	台灣	
混凝土	45%高爐混凝土 3000psi	m <sup>3</sup>	95.05	【1】	N/A	台灣	
混凝土	45%高爐混凝土 3500psi	m <sup>3</sup>	101.38	【1】	N/A	台灣	
混凝土	45%高爐混凝土 4000psi	m <sup>3</sup>	107.63	【1】	N/A	台灣	
混凝土	45%高爐混凝土 5000psi	m <sup>3</sup>	126.67	【1】	N/A	台灣	
混凝土	45%高爐混凝土 6000psi	m <sup>3</sup>	145.56	【1】	N/A	台灣	
混凝土	Concrete (1:2:4)	m <sup>3</sup>	78.00	【3】	N/A	斯里蘭卡	M030504
混凝土	Concrete 16/20 Mpa	kg	0.10	【15】	Cradle to Gate	英國	M03050441L1
混凝土	Concrete 20/25 Mpa	kg	0.11	【15】	Cradle to Gate	英國	M03050451L1
混凝土	Concrete 25/30 Mpa	kg	0.11	【15】	Cradle to Gate	英國	M03050461L1
混凝土	Concrete 28/35 Mpa	kg	0.12	【15】	Cradle to Gate	英國	M03050481L1
混凝土	Concrete 32/40 Mpa	kg	0.13	【15】	Cradle to Gate	英國	M030504
混凝土	Concrete 40/50 Mpa	kg	0.15	【15】	Cradle to Gate	英國	M030504
混凝土	Concrete and Cement Products	kg	0.17	【6】	Cradle to Grave	紐西蘭	M030504
混凝土	Concrete General	kg	0.11	【15】	Cradle to Gate	英國	M030504
混凝土	Concrete ready mix, 17.5 MPa(alcorn)	kg	0.11	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03050431L1

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
混凝土	Concrete ready mix, 17.5 MPa(gabi)	kg	0.11	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03050431L1
混凝土	Concrete ready mix, 30MPa(alcorn)	kg	0.16	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03050471L3
混凝土	Concrete ready mix, 30MPa(gabi)	kg	0.13	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M03050471L3
混凝土	generic recycled concrete(再生混凝土)	kg	0.01	【24】	N/A	英國	M030504
混凝土	Ready-mixed concrete,21 Mpa	kg	0.19	【18】	Cradle to Grave	韓國	M03050451L1
混凝土	Ready-mixed concrete,24 Mpa	kg	0.19	【18】	Cradle to Grave	韓國	M03050461L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)175kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	128.69	【1】	N/A	台灣	M03050431L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)210kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	148.95	【1】	N/A	台灣	M03050441L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)245kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	159.13	【1】	N/A	台灣	M03050451L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)280kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	169.23	【1】	N/A	台灣	M03050461L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)350kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	199.82	【1】	N/A	台灣	M03050481L1
混凝土	預拌混凝土，(第一型水泥)420kgf/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	230.26	【1】	N/A	台灣	M030504
混凝土	預拌混凝土 2500psi	m <sup>3</sup>	128.69	【1】	N/A	台灣	
混凝土	預拌混凝土 3000psi	m <sup>3</sup>	148.95	【1】	N/A	台灣	
混凝土	預拌混凝土 3500psi	m <sup>3</sup>	159.13	【1】	N/A	台灣	
混凝土	預拌混凝土 4000psi	m <sup>3</sup>	169.23	【1】	N/A	台灣	
混凝土	預拌混凝土 5000psi	m <sup>3</sup>	199.82	【1】	N/A	台灣	
混凝土	預拌混凝土 6000psi	m <sup>3</sup>	230.26	【1】	N/A	台灣	
骨材	Aggregate	kg	0.01	【15】	Cradle to Gate	英國	M02060
骨材	Aggregate, general(alcorn)	kg	0.00	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02060
骨材	Aggregate, general(gabi)	kg	0.00	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02060
骨材	Aggregates	m <sup>3</sup>	2.00	【3】	N/A	斯里蘭卡	M02060
骨材	Coarse aggregate	kg	0.01	【18】	Cradle to Grave	韓國	M02060
骨材	crushed aggregates(人工骨材)	kg	0.01	【19】	N/A	英國	M02060
骨材	Fine aggregate	kg	0.00	【18】	Cradle to Grave	韓國	M02060

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO2e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
骨材	generic crushed rock(碎石)	kg	0.00	【21】	N/A	N/A	M023191
骨材	generic land won gravel(路礫)	kg	0.00	【21】	N/A	N/A	M02060
骨材	generic land won sand(陸砂)	kg	0.00	【21】	N/A	N/A	M02060
骨材	generic marine gravel(海礫)	kg	0.01	【20】	N/A	英國	M02060
骨材	generic marine sand(海砂)	kg	0.01	【20】	N/A	英國	M02060
骨材	generic recycled aggregate(再生骨材)	kg	0.01	【24】	N/A	英國	M02060
骨材	Sand	kg	0.00	【4】	N/A	英國	M02060
骨材	Sand(alcorn)	kg	0.01	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02060
骨材	Sand(gabi)	kg	0.00	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M02060
骨材	砂礫	m3	3.11	【1】	N/A	台灣	M02060
骨材	砂礫	kg	0.00	【4】	N/A	日本	M02060
骨材	碎石	kg	0.00	【4】	N/A	日本	M023191
室內裝修原料	Fibre cement board(alcorn)	kg	0.63	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M09240
室內裝修原料	Fibre cement board(gabi)	kg	1.21	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M09240
室內裝修原料	Gypsum plasterboard(alcorn)	kg	0.42	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M09250
室內裝修原料	Gypsum plasterboard(gabi)	kg	0.17	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M09250
室內裝修原料	Mortar(1:3 cement:sand mix)	kg	0.21	【15】	Cradle to Gate	英國	M09220
室內裝修原料	Mortar(1:4)	kg	0.17	【15】	Cradle to Gate	英國	M09220
室內裝修原料	Mortar(1:5)	kg	0.15	【15】	Cradle to Gate	英國	M09220
室內裝修原料	Mortar(1:6)	kg	0.13	【15】	Cradle to Gate	英國	M09220
室內裝修原料	PVC 塑膠地磚	m2	2.70	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	木合板(6 分板)	m2	3.24	【1】	N/A	台灣	M09640
室內裝修原料	木地板	m2	3.43	【5】	N/A	台灣	M09640
室內裝修原料	木地板(2cm 厚)	m2	4.32	【1】	N/A	台灣	M09640
室內裝修原料	木模板(1.5cm5 分厚)	m2	0.34	【1】	N/A	台灣	M09640

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
室內裝修原料	水泥砂漿，1:1	m3	9.19	【1】	N/A	台灣	M09220
室內裝修原料	水泥砂漿，1:2	m3	6.01	【1】	N/A	台灣	M09220
室內裝修原料	水泥砂漿，1:3	m3	4.20	【1】	N/A	台灣	M09220
室內裝修原料	石膏	kg	0.20	【1】	N/A	台灣	M09210
室內裝修原料	石膏板隔間(雙面單層 9mm)	m2	14.50	【1】	N/A	台灣	M09262
室內裝修原料	石膏板隔間(雙面雙層 9mm)	m2	18.20	【1】	N/A	台灣	M09262
室內裝修原料	石膏版(15mm)	m2	3.08	【1】	N/A	台灣	M09250
室內裝修原料	石膏版(9mm)	m2	1.85	【1】	N/A	台灣	M09250
室內裝修原料	矽酸鈣	kg	0.31	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	矽酸鈣天花板	m2	1.84	【5】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	矽酸鈣板隔間(雙面 12mm)	m2	15.36	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	矽酸鈣版(12mm)	m2	2.28	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	矽酸鈣版(6mm)	m2	1.14	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	矽酸鈣版(9mm)	m2	1.71	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	塑膠天花(發泡 5mm)	m2	2.63	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	塑膠天花(硬質 20mm)	m2	22.50	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	塑膠天花(硬質 24mm)	m2	12.60	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	塑膠天花(硬質 8mm)	m2	9.00	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	塑膠踢腳板、線板(10cm 寬)	M	0.56	【1】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	磁磚	m2	7.90	【1】	N/A	台灣	M09310
室內裝修原料	磁磚	m2	7.38	【5】	N/A	台灣	M09310
室內裝修原料	輕鋼架天花板	m2	7.50	【5】	N/A	台灣	M09500
室內裝修原料	輕鋼架石膏版天花板	m2	4.22	【1】	N/A	台灣	M09561
室內裝修原料	牆面石材	m2	0.16	【5】	N/A	台灣	M09750
門窗物品	直式百葉(含鋁支架、鐵架)	m2	3.38	【1】	N/A	台灣	M12492

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
門窗物品	直式百葉 0.5 kg	m2	0.34	【5】	N/A	台灣	M12492
門窗物品	窗紗	kg	0.74	【5】	N/A	台灣	M12493
門窗物品	窗紗(含鋁支架)	m2	0.99	【1】	N/A	台灣	M12493
門窗物品	窗簾布	kg	0.68	【5】	N/A	台灣	M12493
門窗	Glass, float, tint(alcorn)	kg	1.74	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M08810
門窗	Glass, float, tint(gabi)	kg	1.29	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M08810
門窗	Insulation, fiberglass(alcorn)	kg	0.77	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M08810
門窗	Insulation, fiberglass(gabi)	kg	2.26	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M08810
玻璃	Low-E 玻璃	kg	1.15	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	反射玻璃	kg	0.91	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	平板玻璃	kg	0.68	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	平板玻璃	kg	2.44	【4】	N/A	日本	M08810
門窗	玻璃棉捲(16K【1】吋)	m2	1.03	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	玻璃纖維	kg	2.54	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	強化玻璃	kg	1.00	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	膠合安全玻璃	kg	0.86	【1】	N/A	台灣	M08810
門窗	鋁門窗(10mm 玻璃)	m2	27.38	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(12mm 玻璃)	m2	30.71	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(5mm 玻璃)	m2	19.06	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(6mm+6mm 玻璃)	m2	32.33	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(6mm 玻璃)	m2	20.73	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(8mm+8mm 玻璃)	m2	34.72	【1】	N/A	台灣	M08520
門窗	鋁門窗(8mm 玻璃)	m2	24.05	【1】	N/A	台灣	M08520
玻璃	雙層玻璃	kg	0.71	【1】	N/A	台灣	M08810
玻璃	鏡面玻璃	kg	0.88	【1】	N/A	台灣	M08810

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
圬工	Bricks	Nos	0.00	【3】	N/A	斯里蘭卡	M04211
圬工	Bricks (per brick)	kg	0.55	【15】	Cradle to Gate	英國	M04211
圬工	Brickwork (225 mm)	m <sup>2</sup>	4.10	【3】	N/A	斯里蘭卡	M04211
圬工	Clay General	kg	0.23	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Clay Tile	kg	0.45	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	General Bricks	kg	0.24	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Granite	kg	0.64	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Limestone	kg	0.09	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Marble	kg	0.12	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Marble tile	kg	0.19	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Sandstone	kg	0.06	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Shale	kg	0.00	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	Slate	kg	0.006 to 0.058	【15】	Cradle to Gate	英國	M04420
圬工	石材	m <sup>2</sup>	5.65	【5】	N/A	台灣	M04420
圬工	紅磚(20*9.5*5cm)	塊	0.41	【1】	N/A	台灣	M04211
骨材	採石(原石)	m <sup>3</sup>	3.90	【1】	N/A	台灣	M04420
水泥類	1:145%高爐水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	5.76	【1】	N/A	台灣	
水泥類	1:1 水泥砂漿粉刷 <sup>*4</sup>	m <sup>2</sup>	9.19	【1】	N/A	台灣	
水泥類	1:245%高爐水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	3.79	【1】	N/A	台灣	
水泥類	1:2 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	6.01	【1】	N/A	台灣	
水泥類	1:345%高爐水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	2.66	【1】	N/A	台灣	
水泥類	1:3 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	4.20	【1】	N/A	台灣	
水泥類	Average Cement I Portland Cement,94% Clinker	kg	0.95	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Blended Portland Cement	kg	0.21	【18】	Cradle to Grave	韓國	M030521141A
水泥類	Cement General	kg	0.73	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
水泥類	cement (水泥)	kg	0.93	【19】	N/A	英國	M030521141A
水泥類	Cement, average(alcorn)	kg	0.99	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M030521141A
水泥類	Cement, average(gabi)	kg	0.71	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M030521141A
水泥類	Cement,21-35 Fly Ash (CEM II/B-V)	kg	0.75 to 0.62	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Cement,21-35% GGBS(CEM II/B-S)	kg	0.76 to 0.64	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Cement,36-65% GGBS(CEM III/A)	kg	0.63 to 0.38	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Cement,6-20% Fly Ash (CEM II/A-V)	kg	0.89(@6%) to 0.76(@20%)	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Cement,66-80% GGBS(CEM II/B)	kg	0.38 to 0.26	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	DRY Pulverised Fuel Ash,PFA(乾燃煤飛灰)	kg	0.00	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	Fibres (纖維)	kg	0.00	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	Fibre Cement Panels-(Colour) Coated	kg	1.28	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Fibre Cement Panels-Uncated	kg	1.09	【15】	Cradle to Gate	英國	M030521141A
水泥類	Fluxes (助焊劑)	kg	0.37	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	generic ground granulated BFS(水淬爐石粉)	kg	0.05	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	generic steel slag(鋼渣)	kg	0.01	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	generic zinc slag(鋅渣)	kg	0.01	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	Ground granulated blast furnace slag, (爐渣)	kg	0.05	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	Ground Granulated Blastfurnace Sag,GGBS(水淬爐石粉,高爐石粉)	kg	0.05	【19】	N/A	英國	M03050
水泥類	Portland cement,type 1	kg	0.93	【18】	Cradle to Grave	韓國	M030521141A
水泥類	Portland cement,type 2	kg	0.94	【18】	Cradle to Grave	韓國	M030521141A
水泥類	Portland cement,type 3	kg	0.93	【18】	Cradle to Grave	韓國	M030521141A
水泥類	Portland cement,type 5	kg	0.94	【18】	Cradle to Grave	韓國	M030521141A
水泥類	卜特蘭水泥* <sup>2</sup>	kg	0.41	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	卜特蘭水泥, 第1型水泥, 散裝, 拌和廠交貨, 普通水泥	kg	0.23	【3】		斯里蘭卡	M030521141A

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
水泥類	水泥	kg	0.79	【4】	N/A	日本	M030521141A
水泥類	水泥 I 型熟料	kg	0.51	【16】	N/A	台灣	M03051
水泥類	水泥 II 型熟料	kg	0.50	【16】	N/A	台灣	M03051
水泥類	白水泥	kg	0.96	【1】	N/A	台灣	M030521141A
水泥類	白水泥 <sup>*2</sup>	T	979.33	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	石膏	kg	0.22	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	石膏板(9mm)	m <sup>2</sup>	2.12	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	石膏磚(66.5×50×10cm)	塊	2.09	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	矽酸鈣、碳酸鈣	kg	0.24	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	矽酸鈣板(12mm)	m <sup>2</sup>	2.28	【1】	N/A	台灣	
水泥類	高爐水泥(爐石粉 30%)	kg	0.31	【1】	N/A	台灣	M03051
水泥類	高爐水泥(爐石粉 30%)	T	307.19	【1】	N/A	台灣	
水泥類	高爐水泥(爐石粉 45%)	kg	0.26	【1】	N/A	台灣	M03051
水泥類	高爐水泥(爐石粉 45%)	T	256.00	【1】	N/A	台灣	
水泥類	預拌廠加工拌合	m <sup>3</sup>	1.25	【1】	N/A	台灣	更新
水泥類	爐石粉	kg	0.07	【1】	N/A	台灣	M03050
水泥類	爐石粉	T	68.05	【1】	N/A	台灣	更新
木材	Timber sections (75 mm [1] 100 mm)	m3	281.00	【3】	N/A	斯里蘭卡	M06060
木材	Timber, air dried, roughsawn, untreated(alcorn)	kg	1.67	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06060
木材	Timber, air dried, roughsawn, untreated(gabi)	kg	1.80	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06060
木材	Timber, Kiln dried, gas fired, dressed(alcorn)	kg	1.35	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06060
木材	Timber, Kiln dried, gas fired, dressed(gabi)	kg	1.33	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06060
木材	Totals for Timber and Timber Products in Timber LVL Storage Building	kg	1.14	【6】	Cradle to Grave	紐西蘭	M06060
木材	Wood	kg	1.45	【7】	N/A	瑞典	M06060
木材	木材原材(林管木)	m3	904.60	【1】	N/A	台灣	M06060

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
木材	木製材	kg	0.03	【4】	N/A	日本	M06060
一般金屬材料	Alu, recycled, extrude(alcorn)	kg	8.39	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, recycled, extrude(gabi)	kg	0.72	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, recycled, extrude, anodised(alcorn)	kg	20.55	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, recycled, extrude, anodised(gabi)	kg	0.89	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, virgin, extrude(alcorn)	kg	8.35	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, virgin, extrude(gabi)	kg	13.18	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Alu, virgin, extrude, anodised(alcorn)	kg	9.36	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Aluminium Cast Products	kg	8.28	【15】	Cradle to Gate	英國	M05140
一般金屬材料	Aluminium Extruded	kg	8.16	【15】	Cradle to Gate	英國	M05140
一般金屬材料	Aluminium extrusions	T	3.05	【3】	N/A	斯里蘭卡	M05140
一般金屬材料	Aluminium General	kg	8.24	【15】	Cradle to Gate	英國	M05140
一般金屬材料	Aluminium Rolled	kg	8.26	【15】	Cradle to Gate	英國	M05140
一般金屬材料	Aluminium, virgin(alcorn)	kg	8.00	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Aluminium, virgin(gabi)	kg	12.74	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
一般金屬材料	Bronze	kg	3.73	【15】	Cradle to Gate	英國	M05500
一般金屬材料	Iron General	kg	1.91	【15】	Cradle to Gate	英國	M05120
一般金屬材料	Lead General	kg	1.57	【15】	Cradle to Gate	英國	M05500
一般金屬材料	Lead (General: Virgin)	kg	3.18	【15】	Cradle to Gate	英國	M05500
一般金屬材料	Lead (General: Recycled)	kg	0.54	【15】	Cradle to Gate	英國	M05500
一般金屬材料	Lime General	kg	0.76	【15】	Cradle to Gate	英國	M05500
一般金屬材料	門窗鋁料	kg	2.47	【1】	N/A	台灣	M05140
一般金屬材料	進口粗鋁錠	kg	8.23	【1】	N/A	台灣	M05140
一般金屬材料	鋁	kg	6.45	【2】	Cradle to Grave	紐西蘭	M05140
鋼鐵類	鋼胚(一貫煉鋼)	kg	2.05	【32】	N/A	台灣	

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
鋼鐵類	碳鋼鋼胚(電弧爐)	kg	0.43	【32】	N/A	台灣	
鋼鐵類	不銹鋼鋼胚(電弧爐)	kg	0.48	【32】	N/A	台灣	
鋼鐵類	H 型鋼(軋鋼)	kg	0.17	【32】	N/A	台灣	
鋼鐵類	不銹鋼熱軋鋼捲/板(軋鋼)	kg	0.14	【32】	N/A	台灣	
水泥類	水泥熟料	kg	0.86	【31】	N/A	台灣	
一般金屬材料	Copper: general	kg	3.01	【25】	Cradle to Site	英國	
一般金屬材料	Copper: recycled from low grade scrap	kg	2.75	【25】	Cradle to Grave	英國	
一般金屬材料	Copper: recycled from high grade scrap	kg	0.96	【25】	Cradle to Site	英國	
一般金屬材料	Copper: virgin	kg	3.83	【25】	Cradle to Gate	英國	
一般金屬材料	Copper (EU tube & sheet)	kg	2.60	【15】		英國	
一般金屬材料	Copper (EU tube & sheet: Virgin)	kg	3.65	【15】		英國	
一般金屬材料	Copper (EU tube & sheet: Recycled)	kg	0.80	【15】		英國	
一般金屬材料	Copper (Recycled from high grade scrap)	kg	1.10	【15】		英國	
一般金屬材料	Copper (Recycled from low grade scrap)	kg	3.10	【15】		英國	
一般金屬材料	Zinc General	kg	2.88	【15】		英國	
一般金屬材料	Zinc (General: Virgin)	kg	3.90	【15】		英國	
一般金屬材料	Zinc (General: Recycled)	kg	0.49	【15】		英國	
塑膠產品	Rubber General	kg	2.66	【15】		英國	
玻璃	Primary Glass	kg	0.86	【15】		英國	
玻璃	Secondary Glass	kg	0.55	【15】		英國	
玻璃	Fiberglass (Glasswool)	kg	1.54	【15】		英國	
玻璃	Toughened	kg	1.27	【15】		英國	

## 附錄 1-2 參數資料庫-電力燃料參數資料表

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
		Petrol	kgCO <sub>2</sub> e/kg	2.870	【7】	N/A	瑞典	
		乙烷	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	0.197	【9】	N/A	加拿大	M18000
		丁烷	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	0.349	【9】	N/A	加拿大	
		天然氣製成產品	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	1.274	【9】	N/A	加拿大	
		丙烷	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	0.303	【9】	N/A	加拿大	
		石化蒸餾液	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	0.500	【9】	N/A	加拿大	
		石油製成產品	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	1.450	【9】	N/A	加拿大	
		石油製成潤滑油	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	1.410	【9】	N/A	加拿大	
		石腦油製成產品	kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>3</sup>	0.625	【9】	N/A	加拿大	
燃料氣 fuel gas	固定源	乙烷 (Ethane)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.861	【10】	N/A	台灣	
燃料氣 fuel gas	固定源	天然氣 (Natural Gas)	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	1.881	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	石油焦 (Petroleum coke)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	3.356	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	石油腦 (Naphtha)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.402	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	次煙煤 (Sub-bituminous coal)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	2.386	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	汽油 (Gasoline)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.271	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	車用汽油 (Gasoline)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.361	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	泥煤 (Peat)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	1.039	【10】	N/A	台灣	

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
燃料油 fuel oil	固定源	原油 (Crude Oil)	kgCO2e/kg	2.772	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	原料煤 (Feedstocks coal)	kgCO2e/kg	2.707	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	柴油 (Diesel)	kgCO2e/L	2.615	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	柴油 (Diesel)	kgCO2e/L	2.650	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	航空汽油(Aviation Gasoline, Jet Gasoline)	kgCO2e/L	2.206	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	航空燃油 (Jet Fuel, Jet Kerosene)	kgCO2e/L	2.403	【10】	N/A	台灣	
燃料氣 fuel gas	固定源	高爐氣 (Blast Furnace Gas)	kgCO2e/m3	0.846	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	液化天然氣(Liquefied Natural Gas, LNG)	kgCO2e/m3	2.429	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	液化天然氣(Liquefied Natural Gas, LNG)	kgCO2e/m3	2.234	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	液化石油氣(Liquefied Petroleum Gas, LPG)	kgCO2e/L	1.755	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	液化石油氣(Liquefied Petroleum Gas, LPG)	kgCO2e/L	1.798	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	焦炭 (Coke Oven Coke)	kgCO2e/kg	3.150	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	焦煤 (Coking Coal)	kgCO2e/kg	2.786	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	無煙煤 (Anthracite)	kgCO2e/kg	2.936	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	煙煤 (Bituminous coal)	kgCO2e/kg	2.548	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	煤油 (Kerosene)	kgCO2e/L	2.568	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	煤油 (Kerosene)	kgCO2e/L	2.568	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	煤球 (Patent Fuel)	kgCO2e/kg	1.559	【10】	N/A	台灣	
燃料氣 fuel gas	固定源	煉油氣 (Refinery Gas)	kgCO2e/m3	2.172	【10】	N/A	台灣	
燃料氣 fuel gas	固定源	煉焦爐氣 (Coke Oven Gas)	kgCO2e/m3	0.782	【10】	N/A	台灣	

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
燃料油 fuel oil	固定源	蒸餘油(燃料油)(Residual fuel oil)	kgCO2e/L	3.121	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	潤滑油 (Lubricant)	kgCO2e/L	2.956	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	褐煤 (Lignite)	kgCO2e/kg	1.208	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	燃料煤 (Steam Coal)	kgCO2e/kg	2.548	【10】	N/A	台灣	
		Coal	£/kWh	2.050	【11】	N/A	美國	
		Gas	£/kWh	0.860	【11】	N/A	美國	
		Oil	£/kWh	1.910	【11】	N/A	美國	
		天然氣 (Natural Gas and Natural Gas Liquids)	kgCO2e/L	1.510	【12】	N/A	加拿大	
		重油(Heavy Fuel Oil)	kgCO2e/L	3.124	【12】	N/A	加拿大	
		煤油(Kerosene)	kgCO2e/L	2.534	【12】	N/A	加拿大	
		輕油(Light Fuel Oil)	kgCO2e/L	2.725	【12】	N/A	加拿大	
		重油(Heavy Fuel Oil)	kgCO2e/L	3.449	【13】	N/A	紐西蘭	
		柴油(Diesel)	kgCO2e/L	3.057	【13】	N/A	紐西蘭	
		無鉛汽油(Petrol,regular unleaded)	kgCO2e/L	2.701	【13】	N/A	紐西蘭	
		煤(Coal,lignite)	kgCO2e/L	1.545	【13】	N/A	紐西蘭	
		煤(Coal,sub-bituminous)	kgCO2e/L	2.079	【13】	N/A	紐西蘭	
		石油天然氣(gas oil)	kgCO2e/L	3.029	【14】	N/A	英國	
		汽油(Petrol)	kgCO2e/L	2.331	【14】	N/A	英國	
		重燃料油(Fuel oil)	kgCO2e/L	3.229	【14】	N/A	英國	

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
		柴油(Diesel)	kgCO2e/L	2.669	【14】	N/A	英國	
		液化石油氣(LPG)	kgCO2e/L	1.497	【14】	N/A	英國	
		燃油(Burning oil)	kgCO2e/L	3.165	【14】	N/A	英國	
煤	固定源	自產煤	KgCO2e/Kg	2.468	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	原料煤	KgCO2e/Kg	2.707	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	燃料煤	KgCO2e/Kg	2.548	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	無煙煤	KgCO2e/Kg	2.936	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	焦煤	KgCO2e/Kg	2.707	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	煙煤	KgCO2e/Kg	2.548	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	次煙煤	KgCO2e/Kg	2.386	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	褐煤	KgCO2e/Kg	1.208	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	油頁岩	KgCO2e/Kg	0.957	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	泥煤	KgCO2e/Kg	1.040	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	煤球	KgCO2e/Kg	1.559	【17】	N/A	台灣	
煤	固定源	焦炭	KgCO2e/Kg	3.150	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	石油焦	KgCO2e/Kg	3.356	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	航空汽油	KgCO2e/L	2.206	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	航空燃油	KgCO3e/L	2.403	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	原油	KgCO4e/L	2.772	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	奧里油	KgCO2e/Kg	2.126	【17】	N/A	台灣	

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
燃料油	固定源	天然氣凝結油(NGLs)	KgCO <sub>2</sub> e/M3	2.851	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	煤油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.568	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	頁岩油	KgCO <sub>2</sub> e/Kg	2.804	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	柴油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.615	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	車用汽油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.271	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	蒸餘油(燃料油)	KgCO <sub>2</sub> e/L	3.121	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	液化石油氣(LPG)	KgCO <sub>2</sub> e/L	1.754	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	石油腦	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.402	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	柏油	KgCO <sub>2</sub> e/L	3.389	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	潤滑油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.956	【17】	N/A	台灣	
燃料油	固定源	其他油品	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.772	【17】	N/A	台灣	
燃料氣	固定源	乙烷	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.863	【17】	N/A	台灣	
燃料氣	固定源	天然氣	KgCO <sub>2</sub> e/M3	1.881	【17】	N/A	台灣	
燃料氣	固定源	煉油氣	KgCO <sub>2</sub> e/M3	2.173	【17】	N/A	台灣	
燃料氣	固定源	焦爐氣	KgCO <sub>2</sub> e/M3	0.782	【17】	N/A	台灣	
燃料氣	固定源	高爐氣	KgCO <sub>2</sub> e/M3	0.846	【17】	N/A	台灣	
其他燃料	固定源	一般廢棄物	KgCO <sub>2</sub> e/Kg	0.823	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	航空汽油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.206	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	航空燃油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.403	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	車用汽油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.361	【17】	N/A	台灣	

燃料類別 1	燃料類別 2	電力/燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註(材料編碼)
燃料油	移動源	柴油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.650	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	煤油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.568	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	潤滑油	KgCO <sub>2</sub> e/L	2.956	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	液化石油氣(LPG)	KgCO <sub>2</sub> e/L	1.798	【17】	N/A	台灣	
燃料油	移動源	液化天然氣(LNG)	KgCO <sub>2</sub> e/M3	2.234	【17】	N/A	台灣	
		電力	kgCO <sub>2</sub> e/kWh	0.612	【26】		台灣	99 年公告值

### 附錄 1-3 參數資料庫-機具能耗參數資料表

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
1	推土機	推土機，履帶式，60~69kW	60~69	高級柴油	0.188	L/kW · h	12.22	L/hr	【27】
2	推土機	推土機，履帶式，80~89kW	80~89	高級柴油	0.188	L/kW · h	15.98	L/hr	【27】
3	推土機	推土機，履帶式，120~129kW	120~129	高級柴油	0.188	L/kW · h	23.50	L/hr	【27】
4	推土機	推土機，履帶式，160~169kW	160~169	高級柴油	0.188	L/kW · h	31.02	L/hr	【27】
5	推土機	推土機，履帶式，250~259kW	250~259	高級柴油	0.188	L/kW · h	42.30	L/hr	【27】
6	推土機	推土機，履帶式，340~349kW	340~349	高級柴油	0.188	L/kW · h	57.34	L/hr	【27】
7	推土機	推土機，履帶式帶聲刀，250~259kW	250~259	高級柴油	0.188	L/kW · h	42.30	L/hr	【27】
8	推土機	推土機，履帶式帶聲刀，340~349kW	340~349	高級柴油	0.188	L/kW · h	64.86	L/hr	【27】
9	刮運機	刮運機，10~10.9m <sup>3</sup>	240~249	高級柴油	0.174	L/kW · h	42.63	L/hr	【27】
10	刮運機	刮運機，16~16.9m <sup>3</sup>	330~339	高級柴油	0.188	L/kW · h	62.98	L/hr	【27】
11	裝載機	裝載機，履帶式，2.00~2.09m <sup>3</sup>	140~149	高級柴油	0.188	L/kW · h	27.26	L/hr	【27】
12	裝載機	裝載機，履帶式，1.50~1.59m <sup>3</sup>	90~99	高級柴油	0.188	L/kW · h	17.86	L/hr	【27】
13	裝載機	裝載機，膠輪式，1.50~1.59m <sup>3</sup>	70~79	高級柴油	0.188	L/kW · h	14.10	L/hr	【27】
14	裝載機	裝載機，膠輪式，1.20~1.29m <sup>3</sup>	50~59	高級柴油	0.188	L/kW · h	10.34	L/hr	【27】
15	平土機	平土機，履帶式，寬 3.6m	100~109	高級柴油	0.188	L/kW · h	19.74	L/hr	【27】
16	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 15t	140~149	高級柴油	0.094	L/kW · h	13.63	L/hr	【27】
17	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 21t	200~209	高級柴油	0.094	L/kW · h	19.27	L/hr	【27】
18	傾卸貨車	傾卸貨車，總重 35t	270~279	高級柴油	0.094	L/kW · h	25.38	L/hr	【27】
19	開挖機	開挖機，0.40~0.49m <sup>3</sup>	60~69	高級柴油	0.188	L/kW · h	12.22	L/hr	【27】
20	開挖機	開挖機，0.70~0.79m <sup>3</sup>	70~79	高級柴油	0.188	L/kW · h	14.10	L/hr	【27】
21	壓路機	二輪壓路機，6~8t	40~49	高級柴油	0.168	L/kW · h	7.56	L/hr	【27】

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
22	壓路機	三輪壓路機，10~12t	60~69	高級柴油	0.168	L/kW · h	10.92	L/hr	【27】
23	壓路機	膠輪壓路機，8.5~20t	60~69	高級柴油	0.168	L/kW · h	10.92	L/hr	【27】
24	壓路機	振動壓路機，9~9.9t	90~99	高級柴油	0.188	L/kW · h	17.86	L/hr	【27】
25	壓路機	振動壓路機，15~15.9t	130~139	高級柴油	0.188	L/kW · h	25.38	L/hr	【27】
26	壓路機	振動壓路機，10~10.9t	90~99	高級柴油	0.188	L/kW · h	17.86	L/hr	【27】
27	搗固機	回填土搗固機，0.5t	5~5.9	高級柴油	0.188	L/kW · h	1.03	L/hr	【27】
28	水車	水車，淨載重 8t，總重 15t	140~149	高級柴油	0.094	L/kW · h	13.63	L/hr	【27】
29	抽水機	抽水機，D=150mm	50~59	電			55.00	度/hr	【27】
30	抽水機	抽水機，D=125mm	30~39	電			33.00	度/hr	【27】
31	抽水機	抽水機，D=100mm	8~8.9	電			8.50	度/hr	【27】
32	抽水機	抽水機，D=75mm	3~3.9	電			3.50	度/hr	【27】
33	吊車	吊車，10~19t	80~89	高級柴油	0.402	L/kW · h	34.17	L/hr	【27】
34	吊車	吊車，20~29t	110~119	高級柴油	0.402	L/kW · h	47.70	L/hr	【27】
35	吊車	吊車，40~49t	170~179	高級柴油	0.402	L/kW · h	70.35	L/hr	【27】
36	打樁機	打樁機，落錘式，錘重 2.0~2.9t		高級柴油			12.00	L/hr	【27】
37	打樁機	打樁機，落錘式，錘重 4.0~4.9t		高級柴油			19.00	L/hr	【27】
38	鑽掘機	反循環式鑽掘機，150~159kw-	150~159	高級柴油	0.168	L/kW · h	26.04	L/hr	【27】
39	鑽掘機	全套管鑽掘機，200~209kw	200~209	高級柴油	0.168	L/kW · h	34.40	L/hr	【27】
40	混凝土	瀝青混凝土鋪裝機，W=2.4m	20~29	高級柴油	0.161	L/kW · h	4.03	L/hr	【27】
41	混凝土	瀝青混凝土鋪裝機，W=3.75m	30~39	高級柴油	0.161	L/kW · h	5.64	L/hr	【27】
42	水泥砂漿	水泥砂漿樁鑽孔機及拌合機	30~39	高級柴油	0.161	L/kW · h	5.64	L/hr	【27】
43	混凝土	水泥混凝土攪拌運送車，3.0~3.9m <sup>3</sup>	140~149	高級柴油	0.134	L/kW · h	19.43	L/hr	【27】
44	混凝土	水泥混凝土攪拌運送車，5.0~5.9m <sup>4</sup>	200~209	高級柴油	0.134	L/kW · h	27.47	L/hr	【27】
45	混凝土	混凝土拌和機，0.3~0.39m <sup>3</sup>	7~7.9	高級柴油	0.161	L/kW · h	1.21	L/hr	【27】
46	混凝土	混凝土振動器	1.0~1.09	電			1.00	度/hr	【27】

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
47	混凝土	混凝土泵，車載式，30m <sup>3</sup> /h	210~219	高級柴油	0.161	L/kW · h	34.62	L/hr	【27】
48	混凝土	混凝土輸送管，100m							【27】
49	空氣壓縮機	空氣壓縮機，170~179CFM	30~39	高級柴油	0.188	L/kW · h	6.58	L/hr	【27】
50	空氣壓縮機	空氣壓縮機，390~399CFM	70~79	高級柴油	0.174	L/kW · h	13.05	L/hr	【27】
51	空氣壓縮機	空氣壓縮機，600~609CFM	110~119	高級柴油	0.174	L/kW · h	20.01	L/hr	【27】
52	清掃機	清掃機					3.50	L/hr	【28】
53	瀝青撒佈機	瀝青撒佈機					2.00	L/hr	【28】
54	鋪築機	鋪築機					28.00	L/hr	【28】
55	壓路機	九輪鐵輪壓路機					15.47	L/hr	【28】
56	刨除機	刨除機					125.00	L/hr	【28】
57	推土機	推土機, D4E, Caterpillar	95	高級柴油	0.140		13.300	L/hr	【43】
58	推土機	推土機, D5B, Caterpillar	120	高級柴油	0.140		16.800	L/hr	【43】
59	推土機	推土機, D6D, Caterpillar	165	高級柴油	0.140		23.100	L/hr	【43】
60	推土機	推土機, D7G, Caterpillar	215	高級柴油	0.140		30.100	L/hr	【43】
61	推土機	推土機, D8L, Caterpillar	285	高級柴油	0.140		40.100	L/hr	【43】
62	推土機	推土機 D8L 帶刮裂機 Caterpillar	285	高級柴油	0.140		39.900	L/hr	【43】
63	推土機	推土機, D9L, Caterpillar	370	高級柴油	0.140		51.800	L/hr	【43】
64	推土機	推土機 D9L 帶刮裂機 Caterpillar	370	高級柴油	0.140		51.800	L/hr	【43】
65	裝載機	履帶式裝載機, 1.1m <sup>3</sup> Cat953	110	高級柴油	0.140		15.400	L/hr	【43】
66	裝載機	履帶式裝載機, 1.9m <sup>3</sup> Cat953	150	高級柴油	0.140		21.000	L/hr	【43】
67	裝載機	膠輪式裝載機, 1.5m <sup>3</sup> Cat926	110	高級柴油	0.140		15.400	L/hr	【43】
68	裝載機	膠輪式裝載機, 1.9m <sup>3</sup> Cat936	135	高級柴油	0.140		18.900	L/hr	【43】
69	裝載機	膠輪式裝載機, 2.3m <sup>3</sup> Cat950B	160	高級柴油	0.140		22.400	L/hr	【43】
70	挖土機	挖土機, 0.55m <sup>3</sup>	89	高級柴油	0.140		12.460	L/hr	【43】
71	挖土機	挖土機, 0.7m <sup>3</sup>	128	高級柴油	0.140		17.920	L/hr	【43】

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
72	動力鏟	動力鏟, 2.3m <sup>3</sup>	195	高級柴油	0.140		27.300	L/hr	【43】
73	挖土機	抓斗式挖土機, 0.55m <sup>3</sup>	195	高級柴油	0.140		27.300	L/hr	【43】
74	平路機	平路機, 12G, Caterpillar	135	高級柴油	0.130		17.600	L/hr	【43】
75	傾卸卡車	傾卸卡車, 5m <sup>3</sup> (12T)	145	高級柴油	0.110		15.950	L/hr	【43】
76	傾卸卡車	傾卸卡車, 8m <sup>3</sup> (21T)	235	高級柴油	0.110		25.850	L/hr	【43】
77	壓路機	二輪鐵輪壓路機, 6-8 MT	58	高級柴油	0.126		7.300	L/hr	【43】
78	壓路機	二輪鐵輪壓路機, 8-10MT	58	高級柴油	0.126		7.300	L/hr	【43】
79	壓路機	三輪鐵輪壓路機, 10-12 MT	92	高級柴油	0.125		11.500	L/hr	【43】
80	壓路機	三輪鐵輪壓路機, 10-15 MT	92	高級柴油	0.125		11.500	L/hr	【43】
81	壓路機	自走式膠輪壓路機, 8.5-20 MT	100	高級柴油	0.125		12.500	L/hr	【43】
82	壓路機	自走式膠輪壓路機, 16-36 MT	133	高級柴油	0.125		16.600	L/hr	【43】
83	壓路機	自走式膠輪壓路機, 9.5 MT	105	高級柴油	0.140		14.700	L/hr	【43】
84	壓路機	自走式震動鐵輪壓路機, 15 MT	232	高級柴油	0.140		32.500	L/hr	【43】
85	壓路機	自走式震動鐵輪壓路機, 1.8 MT	13	高級柴油	0.138		1.800	L/hr	【43】
86	壓路機	拖式震動鐵輪壓路機, 6 MT	43	高級柴油	0.140		6.000	L/hr	【43】
87	壓路機	拖式震動鐵輪壓路機, 15 MT	130	高級柴油	0.140		18.200	L/hr	【43】
88	壓路機	拖式震動鐵輪壓路機, 50 MT	130						【43】
89	羊腳滾	自走式震動羊腳滾, 10.2 MT	105	高級柴油	0.140		14.700	L/hr	【43】
90	羊腳滾	自走式震動羊腳滾, 14.2 MT	105	高級柴油	0.140		14.700	L/hr	【43】
91	羊腳滾	推土機, D8L, 拖羊腳滾	335	高級柴油	0.140		46.900	L/hr	【43】
92	夯實機	手推式夯實機, 0.5MT	5	高級柴油	0.140		0.700	L/hr	【43】
93	清掃機	清掃機	59	高級柴油	0.141		8.300	L/hr	【43】
94	瀝青	液化瀝青撒佈機, 1500CaL	170	高級柴油	0.140		23.800	L/hr	【43】
95	混凝土	瀝青混凝土鋪裝機, W=3.75M	53	高級柴油	0.211		11.200	L/hr	【43】
96	混凝土	瀝青混凝土拌合廠, 60MT/時	300	電			300.000	度/hr	【43】

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
97	混凝土	瀝青混凝土拌合機, 90MT/時	450	電			450.000	度/hr	【43】
98	混凝土	混凝土拌合廠, 20~30M3/時	60	電			60.000	度/hr	【43】
99	混凝土	混凝土拌合廠, 60M3/時	100	電			100.000	度/hr	【43】
100	混凝土	混凝土攪拌輸送車, 6M3	270	高級柴油	0.120		32.400	L/hr	【43】
101	混凝土	混凝土泵浦車, 20~30M3/時	270	高級柴油	0.120		32.400	L/hr	【43】
102	混凝土	混凝土震動機	1	電			100.000	度/hr	【43】
103	鑽掘機	反循環鑽掘機	60	高級柴油	0.125		7.500	L/hr	【43】
104	抽水機	抽水機, 4"(1000 公升/分)	7.5	電			5.600	度/hr	【43】
105	灑水車	灑水車, 8M3	195	高級柴油	0.110		21.500	L/hr	【43】
106	吊車	膠輪式吊車, 13.6MT	120	高級柴油	0.250		30.000	L/hr	【43】
107	吊車	膠輪式吊車, 27.2MT	158	高級柴油	0.250		39.500	L/hr	【43】
108	吊車	膠輪式吊車, 45.4MT	238	高級柴油	0.250		59.500	L/hr	【43】
109	空氣壓縮機	空氣壓縮機, 176CFM	238	高級柴油	0.027		6.500	L/hr	【43】
110	空氣壓縮機	空氣壓縮機, 392CFM	100	高級柴油	0.130		13.000	L/hr	【43】
111	空氣壓縮機	空氣壓縮機, 600CFM	158	高級柴油	0.132		20.800	L/hr	【43】
112	混凝土	混凝土滑動模板鋪築機, SF-500	375	高級柴油	0.140		52.500	L/hr	【43】
113	混凝土	混凝土散佈機, PST-28-300	250	高級柴油	0.140		35.000	L/hr	【43】
114	整面機	管式整面機	52	高級柴油	0.140		7.280	L/hr	【43】
115	掃紋及養治機	掃紋及養治機 TC-250	56	高級柴油	0.130		7.280	L/hr	【43】

## 附錄 1-4 參數資料庫-交通運輸參數資料表

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
物料運輸	公路	貨車	Energy use, distribution truck, driving in non city area (14 metric ton load), max load-empty return trip	11.93	MJ/vkm	【24】	英國	
物料運輸	公路	貨車	Energy use, long distance transport, (32 metric ton load), max load-empty return trip	13.34	MJ/vkm	【24】	英國	
物料運輸	鐵路	火車	Train - electrical, energy use	0.09	MJ/ton,km	【24】	英國	
物料運輸	鐵路	火車	Train - diesel, energy use	0.26	MJ/ton,km	【24】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Coast ship, energy use	0.13	MJ/metric ton,km	【24】	英國	
物料運輸	公路		Road	0.00013	tCO <sub>2</sub> /ton,km	【25】	英國	
物料運輸	鐵路		Rail	0.00002	tCO <sub>2</sub> /ton,km	【25】	英國	
物料運輸	水路		Water	0.00001	tCO <sub>2</sub> /ton,km	【25】	英國	
人員運輸	公路	汽油車	Small petrol car, up to 1.4 litre engine	0.20499	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 179.8gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	汽油車	Medium petrol car, from 1.4 - 2.0 litres	0.25436	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 212.8gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	汽油車	Large petrol cars, above 2.0 litres	0.35396	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 295.5gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	汽油車	Average petrol car	0.24947	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	汽油車	MPV	238.4	gCO <sub>2</sub> /pkm	【25】	英國	
人員運輸	公路	汽油車	SUV	291.0	gCO <sub>2</sub> /pkm	【25】	英國	
人員運輸	公路	柴油車	Small diesel car, up to 1.7 litre or under	0.17474	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 151gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	柴油車	Medium diesel car, from 1.7 to 2.0 litre	0.21740	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 187.6gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	柴油車	Large diesel car, over 2.0 litre	0.29426	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 255.8gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	柴油車	Average diesel car	0.23406	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	柴油車	MPV	210.2	gCO <sub>2</sub> /pkm	【25】	英國	

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
人員運輸	公路	柴油車	SUV	274.5	gCO <sub>2</sub> /pkm	【25】	英國	
人員運輸	公路	替代能源車	Medium petrol hybrid car	0.14147	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 126.2gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Large petrol hybrid car	0.25714	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 224gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Average petrol hybrid car	0.19520	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	替代能源車	Medium LPG car	0.21918	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 186.2gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Large LPG car	0.30477	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 258.6gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Average LPG car	0.24261	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	替代能源車	Medium CNG car	0.19922	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 186.2gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Large CNG car	0.27673	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 258.6gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	Average CNG car	0.22043	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	燃料未知車輛	Average small car	0.20069	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	燃料未知車輛	Average medium car	0.24210	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	燃料未知車輛	Average large car	0.32384	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	燃料未知車輛	Average car	0.24579	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	汽油休旅車	Petrol van (Class I), up to 1.305 tonne	0.23259	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	汽油休旅車	Petrol van (Class II), 1.305 to 1.74 tonne	0.25289	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	汽油休旅車	Petrol van (Class III), 1.74 to 3.5 tonne	0.30731	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	汽油休旅車	Petrol van up to 3.5 tonne	0.28869	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 224.4gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	柴油休旅車	Diesel van (Class I), up to 1.305 tonne	0.18850	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	柴油休旅車	Diesel van (Class II), 1.305 to 1.74 tonne	0.26982	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	柴油休旅車	Diesel van (Class III), 1.74 to 3.5 tonne	0.32303	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	柴油休旅車	Diesel van up to 3.5 tonne	0.30103	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 271.6gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	替代能源車	LPG van up to 3.5 tonne	0.29908	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 271.8gCO <sub>2</sub> /pkm

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
人員運輸	公路	替代能源車	CNG van up to 3.5 tonne	0.27686	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 271.8gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	休旅車	Average van up to 3.5 tonne	0.30026	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 266.6gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	機車	Small petrol motorbike (mopeds/scooters up to 125cc)	0.10307	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	機車	Medium petrol motorbike (125-500cc)	0.12509	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	機車	Large petrol motorbike (over 500cc)	0.16460	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	機車	Average petrol motorbike (unknown engine size)	0.14002	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	計程車	Taxi (Regular taxi)	0.23966	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	計程車	Taxi (Regular taxi)	0.18274	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	公路	公車	Local bus (not London)	0.18891	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	非都會區公車
人員運輸	公路	公車	Local London bus	0.10609	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	都會區公車
人員運輸	公路	公車	Average local bus	0.16084	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	UK EA 原 103.5gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	公路	公車	Coach	0.03641	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	長程客運
人員運輸	鐵路	鐵路	National rail	0.06510	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	國內鐵路；UK EA 原 57.7gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	鐵路	鐵路	International rail (Eurostar)	0.01714	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	國際鐵路
人員運輸	鐵路	輕軌鐵路	Light rail and tram	0.08761	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	輕軌列車
人員運輸	鐵路	節運	London Underground	0.08457	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	都會區地鐵；UK EA 原 78CO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	水路	渡輪	Foot passengers	0.02254	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	渡輪乘客
人員運輸	水路	渡輪	Car passengers	0.15576	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	渡輪乘車
人員運輸	水路	渡輪	Average (all passengers)	0.13572	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	
人員運輸	航空	飛機	Average Domestic	0.20515	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	國內線；UK EA 原 171.02gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	航空	飛機	Average Short-haul international	0.11600	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	國際線短程；UK EA 原 98.26gCO <sub>2</sub> /pkm
人員運輸	航空	飛機	Average Long-haul international	0.13535	kgCO <sub>2</sub> /pkm	【29】	英國	國際線長程；UK EA 原 112.2gCO <sub>2</sub> /pkm
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class I) up to 1.305t	0.23259	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 36.75%；Uk 平均每車載重 0.17ton

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class II) 1.305t to 1.74t	0.25289	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.26ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class III) 1.74t to 3.5t	0.30731	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 41.25%;Uk 平均每車載重 0.52ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (average) up to 3.5t	0.28869	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class I) up to 1.305t	0.18850	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.17ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class II) 1.305t to 1.74t	0.26982	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.26ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class III) 1.74t to 3.5t	0.32303	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 41.25%;Uk 平均每車載重 0.52ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (average) up to 3.5t	0.30103	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	替代能源貨車	LPG up to 3.5t	0.29908	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	替代能源貨車	CNG up to 3.5t	0.27686	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	貨車	Average (all vehicles) up to 3.5t	0.30026	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class I) up to 1.305t	1.40641	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.17ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class II) 1.305t to 1.74t	0.98305	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.26ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (Class III) 1.74t to 3.5t	0.59598	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 41.25%;Uk 平均每車載重 0.52ton
物料運輸	公路	汽油貨車	Petrol (average) up to 3.5t	0.67683	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class I) up to 1.305t	1.13984	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.17ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class II) 1.305t to 1.74t	1.04888	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 36.75%;Uk 平均每車載重 0.26ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (Class III) 1.74t to 3.5t	0.62648	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 41.25%;Uk 平均每車載重 0.52ton
物料運輸	公路	柴油貨車	Diesel (average) up to 3.5t	0.70577	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	替代能源貨車	LPG up to 3.5t	0.74273	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	替代能源貨車	CNG up to 3.5t	0.67471	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	貨車	Average (all vehicles) up to 3.5t	0.70397	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	載重百分比 40.28%;Uk 平均每車載重 0.43ton
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >3.5-7.5t ; 載重百分比 0%	0.63621	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >3.5-7.5t ; 載重百分比 50%	0.69089	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >3.5-7.5t；載重百分比 100%	0.74557	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Average Rgids >3.5-7.5t；UK 平均載重百分比 41%	0.68105	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >7.5-17t；載重百分比 0%	0.80979	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >7.5-17t；載重百分比 50%	0.92408	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >7.5-17t；載重百分比 100%	1.03836	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Average Rgids >7.5-17t；UK 平均載重百分比 41%	0.90350	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >17t；載重百分比 0%	0.96406	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >17t；載重百分比 50%	1.17288	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >17t；載重百分比 100%	1.38169	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Average Rgids >17t；UK 平均載重百分比 53%	1.18533	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Average All rigid	0.99887	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >3.5-33t；載重百分比 0%	0.83655	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >3.5-33t；載重百分比 50%	1.04279	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >3.5-33t；載重百分比 100%	1.24902	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >3.5-33t；UK 平均載重百分比 45%	1.02217	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >33t；載重百分比 0%	0.84528	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >33t；載重百分比 50%	1.12256	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >33t；載重百分比 100%	1.39983	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >33t；UK 平均載重百分比 61%	1.18355	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Average All artics；UK 平均載重百分比 60%	1.16819	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	載重貨車	Average (all HGVs)；載重百分比 58%	1.07897	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >3.5-7.5t；載重百分比 41%	0.79456	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >7.5-17t；載重百分比 41%	0.49692	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rgids >17t；載重百分比 53%	0.24130	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Average All rigids；載重百分比 52%	0.30260	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >3.5-33t；載重百分比 45%	0.18400	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated >33t；載重百分比 61%	0.10462	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Average All artics；UK 平均載重百分比 60%	0.10692	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	載重貨車	Average (all HGVs)；載重百分比 58%	0.15054	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	鐵路	火車	Diesel / Electric	0.03692	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	航空	飛機	Domestic	2.34593	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	國內線
物料運輸	航空	飛機	Short-haul international	1.76243	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	國際線短程
物料運輸	航空	飛機	Long-haul international	0.73329	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	國際線長程
物料運輸	水路	船舶	Average Crude tanker (oil)；平均載重百分比 48%	0.00531	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Products tanker ；平均載重百分比 54.20%	0.01050	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Chemical tanker ；平均載重百分比 64%	0.01200	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average LNG tanker；平均載重百分比 48%	0.01342	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Bulk carrier；平均載重百分比 51.43%	0.00412	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average General cargo；平均載重百分比 60%	0.01538	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Refrigerated cargo；平均載重百分比 50%	0.01520	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Container；平均載重百分比 70%	0.01877	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Vehicle transport；平均載重百分比 70%	0.04484	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	水路	船舶	Average Ro-Ro ferry；平均載重百分比 70%	0.06005	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【29】	英國	
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 3.5 -7.5 tonne；載重百分比 0%	0.51500	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.000885；平均載重率41%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 3.5 -7.5 tonne；載重百分比 50%	0.55925	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.000885；平均載重率41%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 3.5 -7.5 tonne；載重百分比 100%	0.60350	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.000885；平均載重率

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
								41%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 7.5 -17 tonne；載重百分比 0%	0.66600	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.001879；平均載重率 39%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 7.5 -17 tonne；載重百分比 50%	0.75995	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.001879；平均載重率 39%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - 7.5 -17 tonne；載重百分比 100%	0.85390	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.001879；平均載重率 39%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - >17 tonne ；載重百分比 0%	0.76170	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003299；平均載重率 56%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - >17 tonne ；載重百分比 50%	0.92665	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003299；平均載重率 56%
物料運輸	公路	固定式載重貨車	Rigid - >17 tonne ；載重百分比 10%	1.09160	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003299；平均載重率 56%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - 3.5 -33 tonne；載重百分比 0%	0.70010	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003447；平均載重率 43%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - 3.5 -33 tonne；載重百分比 50%	0.87245	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003447；平均載重率 43%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - 3.5 -33 tonne；載重百分比 100%	1.04480	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.003447；平均載重率 43%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - >33 tonne；載重百分比 0%	0.68580	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.004494；平均載重率 59%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - >33 tonne；載重百分比 50%	0.91050	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.004494；平均載重率 59%
物料運輸	公路	連結式載重貨車	Articulated - >33 tonne；載重百分比 100%	1.13520	kgCO <sub>2</sub> /vkm	【30】	英國	載重因子(load factor):0.004494；平均載重率 59%
物料運輸	水路	船舶	Large RoPax Ferry	0.3875	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Small Tanker	0.0202	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Large Tanker	0.0050	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Very Large Tanker	0.0040	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Small Bulk Carrier	0.0111	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Large Bulk Carrier	0.0071	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Very Large Bulk Carrier	0.0060	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	

運輸類型	運輸型式	運具類別	運輸方式	排碳係數	排碳係數單位	資料來源	國別	備註
物料運輸	公路	船舶	Small Container Vessel	0.0151	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	公路	船舶	Large Container Vessel	0.0131	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	鐵路	火車	Rail Freight	0.0319	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【30】	英國	
物料運輸	鐵路	火車	台鐵單位貨運用電及油耗排碳(2001~2007)平均值	0.2243	kgCO <sub>2</sub> /ton,km	【44】	台灣	本研究計算

## 附錄 1-5 參數資料庫-林木固碳參數資料表

林木類別	固碳係數	單位	資料來源	國別	備註
台灣森林	8.27	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【33】	台灣	
台灣森林	45.87	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【34】	台灣	
台灣森林	10.40	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【35】	台灣	
造林(林齡 10 年)	45.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【36】	台灣	
造林(林齡 20 年)	90.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【36】	台灣	
樟樹(林齡 20 年)	50.76	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【37】	台灣	
台灣櫟(林齡 20 年)	84.75	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【37】	台灣	
柳杉(林齡 20 年)	33.27	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【37】	台灣	
杉木(林齡 20 年)	30.61	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【37】	台灣	
台灣森林 1993 年	9.62	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【38】	台灣	
台灣森林 2003 年	14.64	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【38】	台灣	
台灣森林	20.97	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【39】	台灣	
普通人工林	14.30	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【40】		
台灣森林	7.45~14.9	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【41】	台灣	林務局
台灣森林	5~10	kgCO <sub>2</sub> e/株/yr	【41】	台灣	林務局
草花花圃、自然野草地、草坪	5.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	
多年生蔓藤	25.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	
灌木	75.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	每 m2 至少栽植 4 株以上，覆蓋面積每株以 0.25m <sup>2</sup> 計
棕櫚類	100.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	每棵喬木種植間距 5m 以上，樹冠覆蓋面積以 25m <sup>2</sup> 計
小喬木	150.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	
大喬木	225.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	

林木類別	固碳係數	單位	資料來源	國別	備註
生態複層	275.00	tonCO <sub>2</sub> e/ha/yr	【42】	台灣	大小喬木、灌木、花草密植混種區

## 附錄 1-6 參數資料庫-參數文獻資料表

編碼	文獻資料	國別	資料等級	備註
1	張又升, (2002)。建築物生命週期二氧化碳減量評估, 國立成功大學建築研究所, 博士論文。	台灣	B	
2	Fernandez, N. P., (2008). The influence of construction materials on life-cycle energy use and carbon dioxide emissions, Building Science at the School of Architecture, Victoria University of Wellington, Master thesis. <a href="http://researcharchive.vuw.ac.nz/bitstream/handle/10063/653/thesis.pdf?sequence=1">http://researcharchive.vuw.ac.nz/bitstream/handle/10063/653/thesis.pdf?sequence=1</a>	紐西蘭	D	
3	Dias, W.P.S. and Pooliyadda, S.P., (2004). Quality based energy contents and carbon coefficients for building materials: A systems approach, Energy, Vol. 29, pp. 561-580.	斯里蘭卡	D	
4	中島康孝等, (1997), 地球環境時代の建築マネジメント, 日本建築研究所。	日本	D	
5	歐文生, (2000), 建築物室內裝修環境負荷評估之研究-以耗能量與二氧化碳排放量解析, 國立成功大學建築研究所, 碩士論文。	台灣	B	
6	Alcorn, A., (2003). Embodied Energy and CO2 coefficients for NZ building materials. Centre for Building Performance Research Report, Victoria University of Wellington. ISBN 0-475-11099-4 <a href="http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-co2_report_2003.pdf">http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-co2_report_2003.pdf</a>	紐西蘭	D	
7	SP Technical Research Institute of Sweden, (2009). Estimation of CO2-emissions from Fires in Dwellings, Schools and Cars in the Nordic Countries, SP Technical Note 2009:13. ISSN 0284-5172	瑞典	D	
8	林建隆, (2003)。住宅設備生命週期二氧化碳排放量解析, 國立成功大學建築研究所, 碩士論文。	台灣	B	
9	McCann, T.J. (2000), 2000 Fossil Fuel and Derivative Factors, prepared for Environment Canada by T.J. McCann and Associates. <a href="http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/013101/%E5%8A%A0%E6%8B%BF%E5%A4%A7%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%B8%85%E5%86%8A%E6%8E%92%E6%94%BE%E4%BF%82%E6%95%B8.pdf">http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/013101/%E5%8A%A0%E6%8B%BF%E5%A4%A7%E6%BA%AB%E5%AE%A4%E6%B0%A3%E9%AB%94%E6%B8%85%E5%86%8A%E6%8E%92%E6%94%BE%E4%BF%82%E6%95%B8.pdf</a>	加拿大	B	
10	環保署產品碳足跡計算公用係數, <a href="http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLFootProduct/ModulusDataBase.aspx">http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLFootProduct/ModulusDataBase.aspx</a>	台灣	A	
11	Riddell, W., Bhatia, K. K., Parisi, M., Foote, J. and Imperatore III, J., (2009). Assessing Carbon Dioxide Emissions from Energy Use at a University, International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 10 Iss: 3, pp.266-278.	美國	D	
12	Environment Canada, (2010). CANADA'S 2008 GREENHOUSE GAS INVENTORY: A Summary of Trends: 1990-2008. <a href="http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/0590640B-87F7-449A-AA8F-D5674A7BAC57/2010%20Annual%20Summary%20of%20Trends.pdf">http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/0590640B-87F7-449A-AA8F-D5674A7BAC57/2010%20Annual%20Summary%20of%20Trends.pdf</a>	加拿大	C	
13	Barber, A., (2009). NZ Fuel and Electricity-Total Primary Energy Use, Carbon Dioxide and GHG Emission Factors. <a href="http://www.agrilink.co.nz/Portals/Agri link/Files/FuelEmissionFactors06.pdf">http://www.agrilink.co.nz/Portals/Agri link/Files/FuelEmissionFactors06.pdf</a>	紐西蘭	D	
14	英國碳信託(Carbon Trust) 網站 <a href="http://www.carbontrust.co.uk">http://www.carbontrust.co.uk</a>	英國	D	
15	Hammond, G. and Jones, C., (2011). Inventory of Carbon and Energy (ICE) version 2.0, Bath University, UK. <a href="http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/">http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/</a>	英國	D	
16	財團法人工業技術研究院, (2010), 國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用, 環保署溫室氣體減量管理辦公室專案報告。EPA-98-FA11-03-A060 <a href="http://epq.epa.gov.tw/project/projectcp.aspx?proj_id=WIQKZMAJSH">http://epq.epa.gov.tw/project/projectcp.aspx?proj_id=WIQKZMAJSH</a>	台灣	B	
17	溫室氣體排放係數管理表(6.0 版本 100/10), , 行政院環境保護署國家溫室氣體登錄平台。	台灣	A	

編碼	文獻資料	國別	資料等級	備註
18	Technologies for Reduction of Carbon Footprint from Concrete Industry in Korea	韓國	D	
19	Asphalt Pavement Embodied Carbon Tool, asPECT, version 3.0, (2011). <a href="http://www.sustainabilityofhighways.org.uk">http://www.sustainabilityofhighways.org.uk</a>	英國	D	
20	British marine Aggregate Producers Association, BMAPA, (2009). Third sustainable development report for the British marine aggregate industry. <a href="http://www.bmapa.org/downloads/BMAPA_SD_Report2009.pdf">http://www.bmapa.org/downloads/BMAPA_SD_Report2009.pdf</a>	英國	D	
21	Mineral Products Association, MPA, (2009). Sustainable Development Report 2009. <a href="http://www.mineralproducts.org/documents/MPA_SD_Report_2009.pdf">http://www.mineralproducts.org/documents/MPA_SD_Report_2009.pdf</a>	N/A	D	
22	Stripple, H. (IVL Swedish Environmental Research Institute), (2001). Life Cycle Assessment of Road: A Pilot Study for Inventory Analysis. Project Report of Swedish National Road Administration. <a href="http://www.ivl.se/download/18.2f3a7b311a7c806443800055078/B1210E.pdf">http://www.ivl.se/download/18.2f3a7b311a7c806443800055078/B1210E.pdf</a>	瑞典	D	
23	EU Energy Conservation in Road Pavement Design, Maintenance and Utilisation, ECRPD, (2009). Potential Energy Savings in Road Construction and Operation - Joulesave Results <a href="http://www.roadtechnology.se/ecrpd.eu/files/Joulesave%20Final%20Report.pdf">http://www.roadtechnology.se/ecrpd.eu/files/Joulesave%20Final%20Report.pdf</a>	歐盟	D	
24	WRAP (Waste & Resources Action Programme) and TRL Limited, (2010). AggRegain CO2 Tool: CO2 estimator tool for aggregates, version 2.0. <a href="http://aggregain.wrap.org.uk/sustainability/try_a_sustainability_tool/co2_emissions.html">http://aggregain.wrap.org.uk/sustainability/try_a_sustainability_tool/co2_emissions.html</a>	英國	D	UK EPA 計算器參考文獻 3
25	UK Environmental Agency, Carbon calculator for construction activities. <a href="http://www.environment-agency.gov.uk/business/sectors/37543.aspx">http://www.environment-agency.gov.uk/business/sectors/37543.aspx</a>	英國	D	
26	能源局 99 年公告值 <a href="http://www.moeaboe.gov.tw/promote/greenhouse/PrGHMain.aspx?PageId=pr_gh_list">http://www.moeaboe.gov.tw/promote/greenhouse/PrGHMain.aspx?PageId=pr_gh_list</a>	台灣	A	
27	施工機具費率分析及工作量計算。	台灣	A	
28	楊典樵, (2010)。柔性路面工程之二氧化碳排放量評估, 逢甲大學土木工程研究所, 碩士論文。	台灣	B	
29	2010 Guidelines to Defra / DECC's Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting (Excel 1.2 MB) <a href="http://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/101006-guidelines-ghg-conversion-factors.xls">http://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/pdf/101006-guidelines-ghg-conversion-factors.xls</a>	英國	D	UK EPA 計算器參考文獻 8 之更新版本
30	Defra Emissions Factors, <a href="http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm">http://www.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm</a>	英國	D	WRAP AggRegain CO2e Emissions Estimator Tool (2010) v2.0 參考文獻 2
31	環保署公告水泥業溫室氣體公告排放強度(Elr), 民國 100 年 1 月 1 日後既存排放源數據	台灣	A	
32	環保署公告鋼鐵業溫室氣體公告排放強度(Elr), 民國 100 年 1 月 1 日後既存排放源數據	台灣	A	
33	王立志, (1996)。氣候變遷對台灣林業的衝擊與適應, 氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集, 第 215-229 頁。	台灣	B	
34	楊盛行, (1997)。臺灣地區森林二氧化碳之涵容量估算, 中華生質能源學會會誌, 16(1/2), 第 1-10 頁。	台灣	B	
35	楊榮啟、馮豐隆、黃俊維, (1998)。林業對溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估(二), 環保署計劃期末報告(EPA-87-FA44-03-75),	台灣	B	

編碼	文獻資料	國別	資料等級	備註
	第 121 頁			
36	柳中明、李國忠、林俊成、劉育慈，(2001)。造林復育對臺灣環境二氧化碳減量之貢獻。全球變遷通訊雜誌，第 31 期，第 11-28 頁。	台灣	B	
37	林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠，(2002)。全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估，台灣林業科學，17(3)，第 311-321 頁。	台灣	B	
38	王義仲，(2002)。林木對碳吸存效益評估，華岡農科學報，第 10 期，第 53-67 頁。	台灣	B	
39	廖大牛，(2009)。試算台灣森林碳固定機能，台灣林業，第 35 期第 2 卷，第 26-38 頁。	台灣	B	
40	Sedjo, R.A., (1989). Forest to Offset the Greenhouse Effect, Journal of Forestry, 87(7), pp.12-15.		D	
41	林務局「減碳森活綠動 99」網站。 <a href="http://lifetree.forest.gov.tw/cp05.asp">http://lifetree.forest.gov.tw/cp05.asp</a> (瀏覽日期：2011/07/15)	台灣	A	
42	綠建築設計技術彙編(2005)	台灣	B	
43	交通部公路總局施工機具費率表。	台灣	A	
44	台鐵交通統計年報(2001~2007)貨運量、能耗量換算	台灣	B	

## 手冊附錄 2 計算項目與碳排放係數選用方法

### 1. 主要材料與機具項目

根據工程預算書中之細部工作項目內容，計算各工作項目中之施工機具與工程材料項目。以附圖 1.1 為例，該工作項目內容僅計算機具操作使用之時數所造成之碳排，其它工人及費用項目不納入計算；另附圖 1.2 則顯示該工作項目內主要排碳項目為工程材料使用。

壹.一.1.	工作項目：清除及掘除.		單位：M2.		計價代碼：02231ZA002.	
	工料名稱.	單位.	數量.	單價.	複價.	編碼(備註).
	生產體力工.	工.	1.250			
	工具損耗(約工資 3%).	式.	1.000			
	開挖機，0.7~0.79m3.	時.	2.500			
	推土機，D7G.	時.	2.500			
	開挖機操作工.	時.	2.500			
	推土機操作工.	時.	2.500			
	傾卸貨車，總重 21~21.9t.	時.	5.000			
	傾卸貨車駕駛員.	時.	5.000			
	廢棄物清運費.	M2.	1,000.000			
	零星工料(以上費用之 2%).	式.	1.000			
	合計.	M2.	1,000.000			
	計.	M2.	1.000			
	人工：11.53	機具：19.05.	每 M2 單價計.			
	材料：7.30	雜項：1.12.				

附圖 1.1 清除與掘除項目使用機具

壹.一.A.10.	工作項目：鋼筋加工及組立.		單位： T		計價代碼：03210ZA001.	
	工料名稱.	單位.	數量.	單價.	複價.	編碼(備註).
	鋼筋剪裁工.	工.	1.00.			
	鋼筋彎紮工.	工.	1.40.			
	生產體力工，鋼筋用.	工.	1.00.			
	工具損耗.	式.	1.00.			
	產品，鐵線，(#20，D=0.889mm).	KG.	3.50.			
	吊車，20~29t.	時.	0.15.			
	吊車操作工.	時.	0.15.			
	零星工料.	式.	1.00.			
	合計.	T.	1.00.			
	人工： 5,264.92	機具： 201.86.	每 T 單價計.			
	材料： 131.22	雜項： 0.00.				

附圖 1.2 鋼筋加工及組立項目使用材料

## 2. 係數選用

### (1) 機具操作部分

機具使用類型與材料用量確認後，使用參數資料庫-機具能耗係數資料表(參見附錄 1-1)，尋找對應參數進行能源用量及碳排放量計算。以附圖 1.1 所列之三種機具，填入模式後由機具能耗參數資料表中選擇適當參數，如附表 1.1 進行總能耗量計算，再根據能耗種類由電力燃料參數資料表選擇燃料排碳係數，如附表 1.2，進行排碳量計算，結果如附表 1.3 所示。此計算結果即代表此工程中每 1,000 m<sup>2</sup> 清除與掘除工作的碳排放量為 0.55 tonCO<sub>2</sub>e。

附表 1.1 清除與挖掘項目機具能耗參數搜尋

類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位	資料來源
傾卸貨車	傾卸貨車，總重 15t	140~149	高級柴油	0.094	L/kW · h	13.63	L/hr	【27】
傾卸貨車	傾卸貨車，總重 21t	200~209	高級柴油	0.094	L/kW · h	19.27	L/hr	【27】
傾卸貨車	傾卸貨車，總重 35t	270~279	高級柴油	0.094	L/kW · h	25.38	L/hr	【27】
開挖機	開挖機，0.40~0.49m <sup>3</sup>	60~69	高級柴油	0.188	L/kW · h	12.22	L/hr	【27】
開挖機	開挖機，0.70~0.79m <sup>3</sup>	70~79	高級柴油	0.188	L/kW · h	14.10	L/hr	【27】
推土機	推土機, D4E, Caterpillar	95	高級柴油	0.140		13.300	L/hr	【43】
推土機	推土機, D5B, Caterpillar	120	高級柴油	0.140		16.800	L/hr	【43】
推土機	推土機, D6D, Caterpillar	165	高級柴油	0.140		23.100	L/hr	【43】
推土機	推土機, D7G, Caterpillar	215	高級柴油	0.140		30.100	L/hr	【43】
推土機	推土機, D8L, Caterpillar	285	高級柴油	0.141		40.100	L/hr	【43】
推土機	推土機 D8L 帶刮裂機 Caterpillar	285	高級柴油	0.140		39.900	L/hr	【43】
推土機	推土機, D9L, Caterpillar	370	高級柴油	0.140		51.800	L/hr	【43】
推土機	推土機 D9L 帶刮裂機 Caterpillar	370	高級柴油	0.140		51.800	L/hr	【43】

附表 1.2 清除與掘除項目機具燃料參數搜尋

燃料類別	燃料類別	電力 燃料名稱	單位	排放係數	資料來源	生命週期範圍	國別	備註 (材料編碼)
燃料氣 fuel gas	固定源	(Ethane)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.861	【10】	N/A	台灣	
燃料氣 fuel gas	固定源	天然氣 (Natural Gas)	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	1.881	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	石油焦 (Petroleum coke)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	3.356	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	石油腦 (Naphtha)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.402	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	次煙煤 (Sub-bituminous coal)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	2.386	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	汽油 (Gasoline)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.271	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	車用汽油 (Gasoline)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.361	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	泥煤 (Peat)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	1.039	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	原油 (Crude Oil)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	2.772	【10】	N/A	台灣	
煤 Coal	固定源	原料煤 (Feedstocks coal)	kgCO <sub>2</sub> e/kg	2.707	【10】	N/A	台灣	
燃料油 fuel oil	固定源	柴油 (Diesel)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.615	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	柴油 (Diesel)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.650	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	航空汽油(Aviation Gasoline, Jet Gasoline)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.206	【10】	N/A	台灣	
燃料 fuel	移動源	航空燃油 (Jet Fuel, Jet Kerosene)	kgCO <sub>2</sub> e/L	2.403	【10】	N/A	台灣	

附表 1.3 清除與掘除工作機具能耗碳排放量

機具型式	工作時數	燃料類別	每小時耗能量	能耗單位	能/油耗量
開挖機， 0.7~0.79m <sup>3</sup>	2.5	高級柴油	14.10	L/hr	35.25
推土機，D7G	2.5	高級柴油	30.10	L/hr	75.25
傾卸貨車， 總重 21~21.9t	5.0	高級柴油	19.27	L/hr	96.35
					-
					-
燃料類別	能/油耗量	能耗單位	碳排係數	碳排係數單位	碳排放量單位 (tonCO <sub>2</sub> e)
柴油	206.85	L	2.65	(kgCO <sub>2</sub> e/L)	0.55
汽油	-	L	2.36	(kgCO <sub>2</sub> e/L)	-
				總計	0.55

(2) 工程材料部分

設計材料用量確認後，使用參數資料庫-物料係數資料表(參見附錄 1-1)，尋找對應參數進行碳排放量計算。依附圖 1.2 所列之工程材料為例，將材料數量套用於模式中，選擇適當參數進行碳排放計算。

附表 1.4 鋼筋加工及組立項目機具能耗參數搜尋

類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料 耗用係數	單位	機具燃料 耗用率	單位	資料 來源
抽水機	抽水機，D=150mm	50~59	電			55.00	度/hr	【27】
抽水機	抽水機，D=125mm	30~39	電			33.00	度/hr	【27】
抽水機	抽水機，D=100mm	8~8.9	電			8.50	度/hr	【27】
抽水機	抽水機，D=75mm	3~3.9	電			3.50	度/hr	【27】
吊車	吊車，10~19t	80~89	高級柴油	0.402	L/kW · h	34.17	L/hr	【27】
吊車	吊車，20~29t	110~119	高級柴油	0.402	L/kW · h	47.70	L/hr	【27】
吊車	吊車，40~49t	170~179	高級柴油	0.402	L/kW · h	70.35	L/hr	【27】

附表 1.5 鋼筋加工及組立項目物料參數搜尋

材料類別	材料名稱	單位	排放係數 (kgCO <sub>2</sub> e)	資料來源	生命週期範圍	國別	備註 (材料編碼)
鋼鐵類	線材(高爐)	kg	2.23	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼板(高爐)	kg	2.19	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼胚(高爐)	kg	2.13	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼胚(電弧爐)	kg	0.36	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼筋(不分類)* <sup>3</sup>	kg	0.92	【1】	N/A	台灣	計入資源回收效益
鋼鐵類	鋼筋(高爐)	kg	2.30	【1】	N/A	台灣	
鋼鐵類	鋼筋(電弧爐)* <sup>2</sup>	kg	0.57	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	線材(高爐)	kg	2.23	【1】	N/A	台灣	更新
鋼鐵類	鋼板(高爐)	kg	2.19	【1】	N/A	台灣	更新

附表 1.6 鋼筋加工及組立項目物料及機具碳排放量

機具型式	工作 時數	燃料類別	每小時耗 能量	能耗單位	能/油耗量
吊車，20~29t	0.15	高級柴油	47.7	L/hr	7.16
					-
					-
燃料類別	能/油耗量	能耗單位	碳排係數	碳排係數 單位	碳排放量單位 (tonCO <sub>2</sub> e)
柴油	7.16	L	2.65	(kgCO <sub>2</sub> e/L)	18.97
					-
材料類別	材料名稱	單位	碳排係數	數量	碳排放量單位 (tonCO <sub>2</sub> e)
鋼鐵類	線材(高爐)	kg	2.23	3.50	7.81
					-
				總計	26.78

依附表 1.6 計算結果可代表此工程中每 T 鋼筋加工及組立的碳排放量為 26.78tonCO<sub>2</sub>e，假設該工程使用之鋼筋加工及組立物料總共為 1,050T，則鋼筋加工及組立之總碳排放量為 1,250T × 26.78 = 33.48 tonCO<sub>2</sub>e。

## 手冊附錄 3 案例之主要碳排放工項百分比

### 附錄 3-1 路工段碳排放源主要工項

主要工項		紅葉	雙園	B1	B4	B3
密級配瀝青混凝土		31.26%	17.69%	8.75%	14.41%	4.06%
粗級配瀝青混凝土			12.95%	10.79%	17.45%	3.42%
級配粒料底層，碎石級配		9.47%	6.02%	3.32%	5.38%	1.38%
標線，熱處理聚酯，反光，厚 2mm		6.31%	8.65%	1.37%	3.24%	2.78%
清除與掘除			4.12%	3.27%	4.53%	4.60%
瀝青混凝土刨除，厚 5cm			21.36%	2.01%	7.68%	
基地及路堤填築		6.56%	0.37%	60.33%	19.29%	77.69%
基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，開挖機)		7.47%			0.15%	0.54%
瀝青透層		1.75%	1.37%	0.75%	0.98%	0.48%
餘方近運利用		4.86%				
護欄	單面金屬護欄(H 型鋼柱)			3.18%	2.16%	1.55%
	中央分隔島護欄			2.10%	0.30%	0.17%
	塊狀護欄			1.47%		0.54%
	金屬鋼管護欄	14.24%				
	基礎，金屬鋼管護欄(路工區)	8.91%				
	混凝土隔欄(H=80cm)(設於路堤)		12.63%			
	混凝土護欄(H=80cm)(擋土牆頂)		11.31%			
緣石	預鑄緣石，A 型，35cm 高(含基礎座)	6.79%	2.19%		3.50%	
水泥混凝土鋪面(t=30cm)					16.94%	
小計		97.62%	98.66%	97.34%	96.01%	97.21%

## 附錄 3-2 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋上部結構計算項目

項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-B	立元二橋
1	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>	2.89%	5.61%	3.96%	2.79%	3.85%		
2	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>							4.28%
3	ASTM A709 GR50 鋼板	74.28%	63.72%	69.42%	75.51%	70.20%	91.46%	80.80%
4	ASTM A709 GR36 鋼板							2.73%
5	ASTM A709 GR50 箱梁製作及加工	1.37%	1.18%	1.28%	1.39%	1.30%		2.22%
6	ASTM A325 強力螺栓						0.78%	1.63%
7	鋼承板(ALK18，含支撐折板)							0.33%
8	箱梁吊裝	9.97%	8.55%	9.32%	10.13%	9.42%		
9	鋼筋材料，SD280W	6.11%	9.26%	8.11%	5.62%	7.88%		
10	鋼筋材料，SD420W	0.94%	4.02%	1.33%	0.53%	1.32%		6.89%
11	橋面伸縮縫，A1 級，16cm						1.10%	
12	橋面洩水孔，C 型						5.58%	
13	進橋版	2.01%	3.67%	3.29%	1.76%	2.85%		
14	金屬欄杆	0.71%	1.20%	0.97%	0.68%	0.95%		
15	鋼橋內面塗裝	0.34%		0.42%	0.36%	0.40%		
16	橋面伸縮縫 (伸縮量 10cm)		0.70%					
17	熱拌新料瀝青混凝土及鋪設		0.43%					
	小計	98.63%	98.33%	98.11%	98.77%	98.17%	98.92%	98.87%

### 附錄 3-3 橋梁段碳排放源主要工項-鋼橋下部結構計算項目

項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-B	立元二橋
1	結構用預力混凝土，210kgf/cm2							0.70%
2	結構用預力混凝土，240kgf/cm2	42.21%	49.06%	41.71%	36.54%	40.18%		
3	結構用預力混凝土，245kgf/cm2						38.96%	2.20%
4	結構用混凝土，245kgf/cm2(預拌，水中)							23.90%
5	結構用預力混凝土，280kgf/cm2	6.65%	7.01%	11.13%	11.49%	9.46%		17.24%
6	結構用預力混凝土，350kgf/cm2							6.93%
7	自充填混凝土，350kgf/cm2						29.88%	
8	鋼筋材料，SD280W	11.74%	11.03%	12.65%	10.71%	11.47%		
9	鋼筋材料，SD420W	29.11%	24.94%	30.30%	25.54%	29.61%	1.43%	41.70%
10	剩餘土石方處理、就近利用挖方及填方滾壓	8.1%	5.87%	2.72%	13.18%	7.38%		
11	河川內餘方近運整平(包括裝車)							0.45%
12	沉箱基礎(7m $\phi$ )						22.96%	
13	構造物開挖						4.18%	
14	構造物開挖，(設擋土設施)						1.49%	
15	外覆防沖鋼版							5.00%
16	全套管式鑽掘混凝土基樁，D=2000mm，鑽掘(含空鑽)							0.66%
	小計	97.81%	97.91%	98.50%	97.45%	98.10%	98.89%	98.78%

### 附錄 3-4 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋上部結構計算項目

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	一號橋-A	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋	加禮遠橋	北門玉井E708-2(匝道)	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
1	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>													15.07%		
2	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>														9.72%	12.57%
3	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>					15.36%	17.48%	18.98%	12.84%	21.74%	20.18%	34.74%	44.62%			
4	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>	37.01%	39.50%	32.15%	38.30%											
5	鋼筋材料，SD280W	8.36%	9.56%	7.21%	7.46%							13.57%	37.43%	21.48%	15.52%	2.31%
6	鋼筋材料，SD420W	30.28%	20.65%	33.11%	32.62%	4.57%	2.33%	2.30%	1.62%	2.97%	2.90%	26.41%		0.78%	15.59%	22.64%
7	鋼筋，加工及組立	1.08%	0.84 %	1.12 %	1.12%							1.11%				
8	進橋版													17.7%		
9	新製預鑄預力 I 型梁，L=15M															43.98%
10	預力梁製作及吊裝(L=24.9M)													37.21%		
11	新製預鑄預力 I 型梁，L=35M														49.63%	
12	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	12.36%	18.15%	15.64%	9.14%	43.54%	64.08%	62.58%	75.16%	56.53%	58.62%	17.22%	12.79%			
13	透空式護欄(二管)	5.62%	5.36%	4.29%	4.84%	17.65%	8.83%	7.71%	3.27%	6.96%	6.99%	2.12%				
14	混凝土隔欄			1.27 %	1.43%	2.92%			1.74 %	3.70%	3.72%					
15	金屬欄杆													3.18%		
16	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 9.0cm	1.84%	0.79%									0.87%	2.43%			
17	套管及灌漿，鍍鋅金屬製，內徑 10.0cm	0.43%	0.81%	2.41%								1.88%				
18	套管及灌漿，鍍鋅金		1.98%		2.05%											

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	一號橋-A	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋	加禮遠橋	北門玉井E708-2(匝道)	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
	屬製，內徑 11.0cm															
19	橋面伸縮縫，A 型， $16 < \text{伸縮量} \leq 24\text{cm}$					5.96%						0.60%				
20	橋面伸縮縫，B 型， $5 < \text{伸縮量} \leq 10\text{cm}$														2.88%	9.29%
21	橋面伸縮縫，B 級					5.08%	4.50%	4.50%	3.00%	3.46%	2.85%					
22	盤式支承，單向活動型， $V=700\text{tf}$ ， $H=175\text{tf}$										1.80%					
23	盤式支承，單向活動型， $V=700\text{tf}$ ， $H=200\text{tf}$					1.62%										
24	密級配瀝青混凝土(針入度 60-70)	0.81 %	0.76%	1.02 %	1.2%								0.91%			1.03%
25	瀝青黏層														5.30%	6.99%
26	A 型橋面洩水孔	0.58%				1.95%				2.86%	1.47%		1.04%			
	小計	98.37%	98.41%	98.23%	98.16%	98.65%	98.82%	97.92%	98.67%	98.21%	98.52%	98.52%	99.22%	99.05%	98.62%	98.81%

### 附錄 3-5 橋梁段碳排放源主要工項-混凝土橋下部結構計算項目

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
1	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>			0.34%	1.22%							0.47%	0.31%	1.62%	0.53%	
2	結構用預力混凝土，175kgf/cm <sup>2</sup>	0.84%	0.28%													
3	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>													63.57%		
4	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>					8.05%	2.99%	5.03%	3.63%	3.64%	11.70%	0.33%			3.90%	3.68%
5	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	31.54%	14.74%	15.27%	44.93%	28.53%	4.56%	9.96%	9.18%	10.55%	35.68%	28.43%	17.46%		26.36 %	34.94%
6	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	24.11%	14.68%	13.14%	15.66%											
7	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>															
8	結構用混凝土，210kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)	1.85%	15.44%	17.87%												
9	結構用混凝土，265kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)												13.78%			
10	結構用混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)												8.14%			
11	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>					8.21%	3.19%	3.80%	2.50%	5.68%	9.28%					
12	鋼筋材料，SD280W		0.94%		0.76%							0.32%		14.81 %	3.76%	4.99%
13	鋼筋材料，SD420W	38.54%	45.57%	44.82%	34.46%	6.04%	1.51%	3.89%	2.34%	3.06%	7.39%	15.36%	37.02%	3.52%	14.06%	16.72%
14	鋼筋，加工及組立	0.82%	1.06%	1.24%	0.97%							0.43%				0.60%
15	剪力鋼箱，400T≤抗												0.39%			

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
	剪力 < 800T															
16	剪力鋼箱，800T ≤ 抗剪力 < 1200T												0.30%			
17	剪力鋼箱，抗剪力 1500T	0.35%														
18	防撞鋼板(t=10mm)		3.29%	2.64%												
19	樁頭處理，基樁，150cm $\phi$ (含運費)			0.20%												
20	基樁完整性試驗測管		0.60%	0.67%												
21	構造物開挖(含設擋土設施、抽排水、裝車)				0.45%	22.44%	1.19%	6.91%	4.72%	3.93%	32.32%	0.16%	18.96%	2.96%		
22	構造物回填					1.40%					2.34%					
23	全套管鑽掘樁 (100cm $\phi$ )											6.58%			50.09%	37.86%
24	全套管式鑽掘混凝土基樁，=1500mm，鑽掘(含空鑽)		1.95%	2.49%												
25	全套管鑽掘樁 (150cm $\phi$ )(TYPE I)					23.77%	7.54%	28.65%	77.08%	21.41%		47.47%	0.56%			
26	全套管鑽掘樁 (150cm $\phi$ )(TYPE II)						32.15%	40.94%		17.28%						
27	全套管鑽掘樁 (150cm $\phi$ )(TYPE III)						45.95%			33.81%						
28	臨時擋土樁,鋼板樁,9m < H ≤ 13m(單邊水平長度，含擋土支撐系統)												0.33%			
29	臨時擋土樁,鋼板樁,6m < H ≤ 9m(單邊水平長度，含擋土支撐系統)												0.78%			

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井 E708-2 (匝道)	裕民橋	自強 2 號橋	自強 3 號橋
30	填縫劑(填縫膠)												0.99%			
31	就近利用挖方及填方滾壓													2.10%		
32	剩餘土石方處理													9.26%		
	小計	98.05%	98.55%	98.68%	98.45%	98.44%	99.08 %	99.19%	99.46 %	99.35%	98.69%	99.54%	98.04%	97.84%	98.71%	98.79%

### 附錄 3-6 隧道段碳排放源主要工項(一)

隧道分項工程	B1	B2	B3	C01-1a
襯砌混凝土	32.59%	39.21%	42.11%	23.84%
隧道鑽孔及灌漿工程	10.64%	12.49%	12.35%	
隧道鋪面工程	1.09%	0.92%	1.05%	
隧道開挖及運碴	11.11%	13.03%	11.56%	22.59%
隧道段電氣預埋管工程	0.00%	0.11%	0.12%	
隧道段火警系統預埋管工程	0.00%	0.01%	0.00%	
隧道交控土木管道工程	0.11%	0.02%	0.02%	
隧道支撐	33.59%	28.51%	25.78%	34.12%
零星工程	3.17%	5.14%	5.35%	1.12%
計測系統	0.03%	0.01%	0.01%	0.11%
洞口電纜管道	0.24%	0.23%	0.66%	
洞口及假隧道工程	7.41%	0.32%	0.88%	17.81%
隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程	0.00%	0.00%	0.01%	
隧道監控系統預埋管工程	0.01%	0.00%	0.00%	
小計	99.99%	99.99%	99.90%	99.59%

### 附錄 3-7 隧道段碳排放源主要工項(二)

主要工項	B1	B2	B3	C01-1a
鋼纖維噴凝土、噴凝土	22.40%	19.20%	17.61%	19.32%
隧道襯砌混凝土	13.72%	15.48%	16.50%	12.39%
仰拱混凝土	8.11%	7.71%	7.35%	7.27%
碴料近運、遠運利用	1.20%	3.11%	1.31%	19.35%
隧道開挖(第 I ~VI類岩體、洞口段)	6.85%	6.76%	7.27%	2.73%
鋼筋材料，SD420W	5.45%	6.48%	8.68%	1.46%
水玻璃	5.46%	6.97%	6.85%	0.00%
桁型或 H 型鋼支保	4.75%	3.31%	3.27%	4.66%
鋼筋材料，SD280W	4.65%	4.38%	4.57%	1.95%
灌漿岩栓(預力、非預力)	2.07%	2.16%	2.19%	6.14%
結構用混凝土	1.75%	2.84%	3.60%	4.12%
餘方近運利用	0.42%	0.00%	0.01%	10.90%
先撐鋼管、管幕鋼管	2.69%	3.23%	2.31%	1.76%
水泥漿液灌漿	5.03%	1.81%	1.78%	1.35%
仰拱開挖	2.90%	3.03%	2.86%	0.42%
化學藥液灌漿	0.00%	3.48%	3.56%	0.33%
機電,監控,火警,交控土木管道	1.24%	2.35%	2.44%	0.00%
高低壓土木管道	1.02%	1.92%	1.99%	0.00%
隧道襯砌模板(主隧道)	0.69%	1.32%	1.47%	0.00%
管幕灌漿(水泥漿液)	1.49%	0.39%	0.23%	1.35%
防水層	0.65%	0.68%	0.73%	0.94%
預力鋼腱岩錨	1.81%	0.19%	0.08%	0.00%
場鑄鋼筋混凝土格梁護坡	1.98%	0.01%	0.04%	0.00%
小計	96.33%	96.81%	96.70%	96.44%

項次	主要工項	武塔高架橋	南溪南溪橋	和平溪橋-A	和平溪橋-B	東岸聯外-一號橋-A	東岸聯外-二號橋	東岸聯外-四號橋	東岸聯外-六號橋-A	東岸聯外-六號橋-B	東岸聯外-八號橋	加禮遠橋	北門玉井E708-2(匝道)	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
30	填縫劑(填縫膠)												0.99%			
31	就近利用挖方及填方 滾壓													2.10%		
32	剩餘土石方處理													9.26%		
	小計	98.05%	98.55%	98.68%	98.45%	98.44%	99.08 %	99.19%	99.46 %	99.35%	98.69%	99.54%	98.04%	97.84%	98.71%	98.79%


### 附錄 3-6 隧道段碳排放源主要工項(一)

隧道分項工程	B1	B2	B3	C01-1a
襯砌混凝土	32.59%	39.21%	42.11%	23.84%
隧道鑽孔及灌漿工程	10.64%	12.49%	12.35%	
隧道鋪面工程	1.09%	0.92%	1.05%	
隧道開挖及運碴	11.11%	13.03%	11.56%	22.59%
隧道段電氣預埋管工程	0.00%	0.11%	0.12%	
隧道段火警系統預埋管工程	0.00%	0.01%	0.00%	
隧道交控土木管道工程	0.11%	0.02%	0.02%	
隧道支撐	33.59%	28.51%	25.78%	34.12%
零星工程	3.17%	5.14%	5.35%	1.12%
計測系統	0.03%	0.01%	0.01%	0.11%
洞口電纜管道	0.24%	0.23%	0.66%	
洞口及假隧道工程	7.41%	0.32%	0.88%	17.81%
隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程	0.00%	0.00%	0.01%	
隧道監控系統預埋管工程	0.01%	0.00%	0.00%	
小計	99.99%	99.99%	99.90%	99.59%


### 附錄 3-7 隧道段碳排放源主要工項(二)

主要工項	B1	B2	B3	C01-1a
鋼纖維噴凝土、噴凝土	22.40%	19.20%	17.61%	19.32%
隧道襯砌混凝土	13.72%	15.48%	16.50%	12.39%
仰拱混凝土	8.11%	7.71%	7.35%	7.27%
碴料近運、遠運利用	1.20%	3.11%	1.31%	19.35%
隧道開挖(第 I ~VI類岩體、洞口段)	6.85%	6.76%	7.27%	2.73%
鋼筋材料，SD420W	5.45%	6.48%	8.68%	1.46%
水玻璃	5.46%	6.97%	6.85%	0.00%
桁型或 H 型鋼支保	4.75%	3.31%	3.27%	4.66%
鋼筋材料，SD280W	4.65%	4.38%	4.57%	1.95%
灌漿岩栓(預力、非預力)	2.07%	2.16%	2.19%	6.14%
結構用混凝土	1.75%	2.84%	3.60%	4.12%
餘方近運利用	0.42%	0.00%	0.01%	10.90%
先撐鋼管、管幕鋼管	2.69%	3.23%	2.31%	1.76%
水泥漿液灌漿	5.03%	1.81%	1.78%	1.35%
仰拱開挖	2.90%	3.03%	2.86%	0.42%
化學藥液灌漿	0.00%	3.48%	3.56%	0.33%
機電,監控,火警,交控土木管道	1.24%	2.35%	2.44%	0.00%
高低壓土木管道	1.02%	1.92%	1.99%	0.00%
隧道襯砌模板(主隧道)	0.69%	1.32%	1.47%	0.00%
管幕灌漿(水泥漿液)	1.49%	0.39%	0.23%	1.35%
防水層	0.65%	0.68%	0.73%	0.94%
預力鋼腱岩錨	1.81%	0.19%	0.08%	0.00%
場鑄鋼筋混凝土格梁護坡	1.98%	0.01%	0.04%	0.00%
小計	96.33%	96.81%	96.70%	96.44%

## 附錄7 期末簡報




交通部運輸研究所  
Institute of Transportation, MOTC




# 交通運輸工程節能減碳 規劃設計手冊研究與編訂

期末審查簡報

計畫主持人：黃榮堯 教授



國立中央大學營建管理研究所



### 簡報大綱



-  計畫背景與目的
-  國內外相關文獻與案例
-  現況訪談暨專家會意見
-  公路工程碳排放評估模式
-  案例計算與分析
-  節能減碳規劃設計手冊
-  結論與建議

2

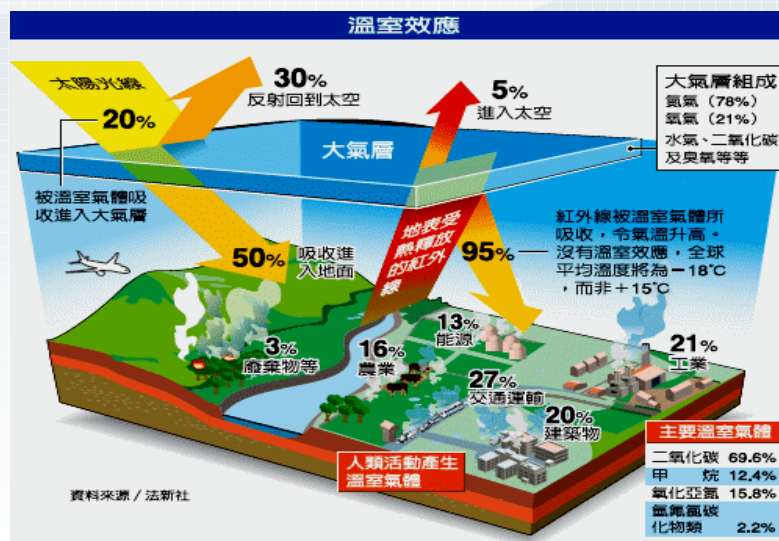
## 附錄7 期末簡報

### 計畫背景與目的



3

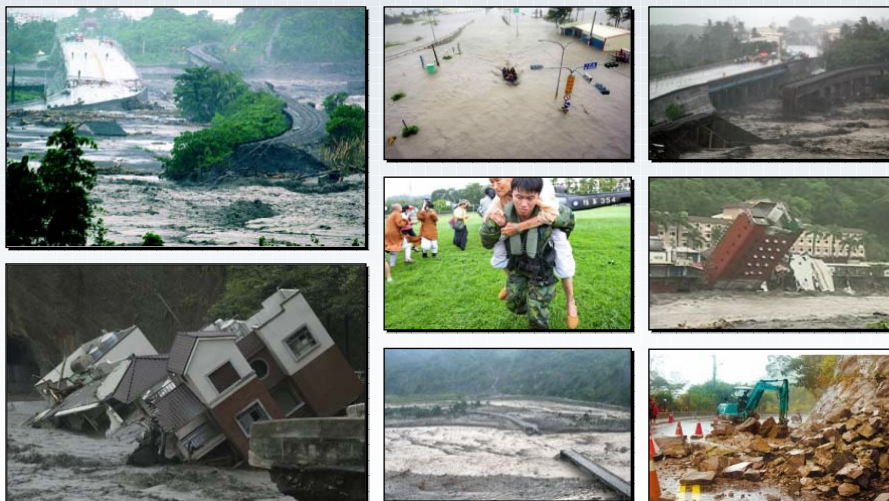
### 溫室效應



4

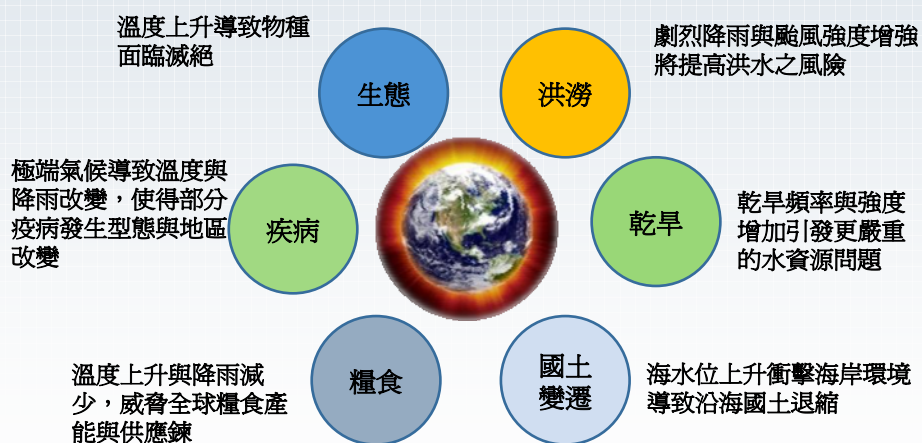
## 附錄7 期末簡報

### 極端氣候導致嚴重災情



5

### 全球暖化的衝擊

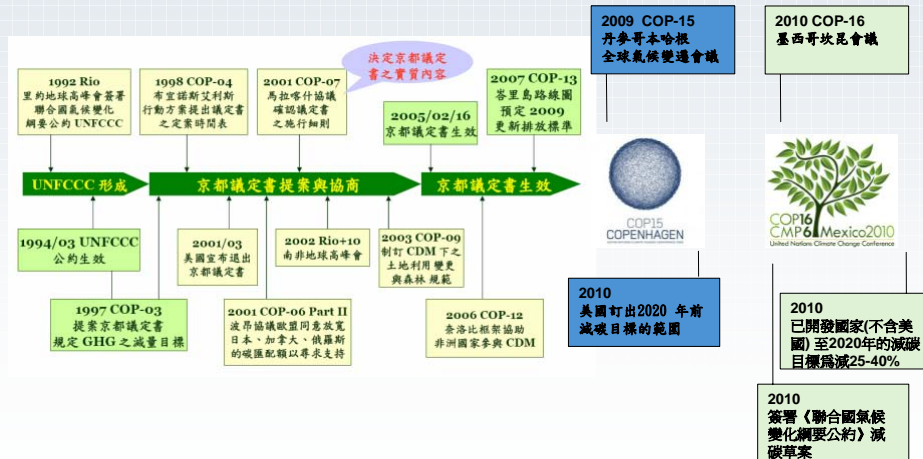


資料來源：陳亮全，2007

6

## 附錄7 期末簡報

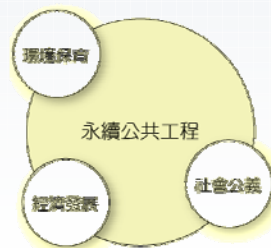
### 國際氣候變遷決議歷程



7

### 行政院推行永續工程與減碳目標

- 行政院工程會於2008年完成「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」，大力推動永續公共工程的理念，並將永續發展及節能減碳的理念融入到工程全生命週期的每一個階段
- 永續公共工程定義(工程會)：「永續公共工程為符合環境保育、社會公義和經濟成長所規劃、建置、營運與管理之公共工程。」



8

## 附錄7 期末簡報

### 道路工程節能減碳



- 行政院-振興經濟擴大公共建設投資計畫
  - 10%綠色內涵；6%綠色能源
- 交通部-節能減碳規劃設計參考原則
  - 打造具節能減碳效果之交通運輸工程，落實環境保護
  - 依據工程之特性分類為一般道路、高快速公路網、捷運系統、桃園航空城、自行車路網，並規劃綠色內涵計算參考原則
    - 擬定規劃設計參考原則、節能減碳經費計算原則、管理節能減碳參考原則
  - 僅提供計算綠色內涵比例與規劃設計之原則參考，缺乏評估碳排放之方法與比較基準，無法直接比較是否具節能減碳之成效

9

### 研究目的



- 尋求國內交通運輸工程規劃設計作業流程之共識，並汲取相關國內外案例作為，嘗試針對道路工程規劃設計提出合適之節能減碳考量，使所有實際推動與參與規劃設計之實務者，皆有一套標準操作機制參考使用



10

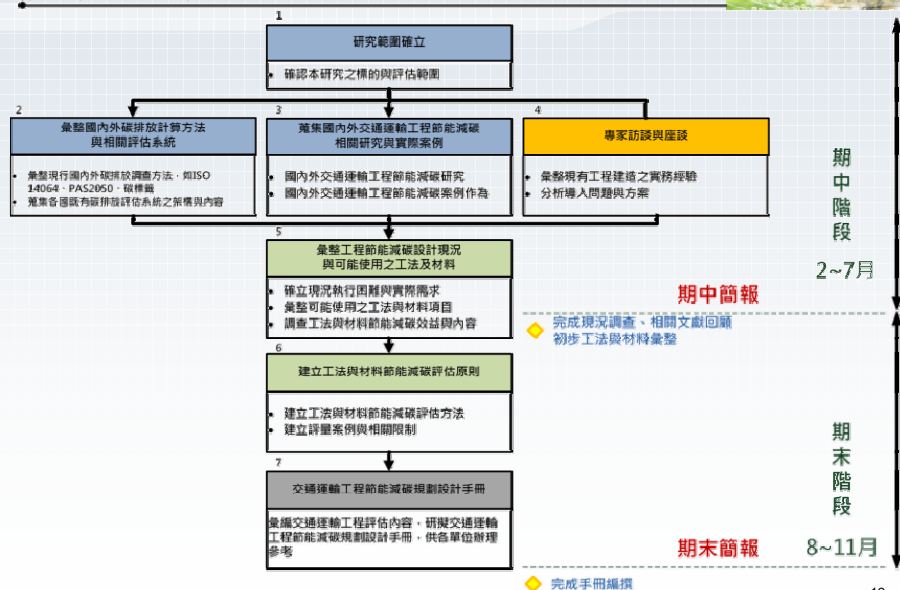
## 附錄7 期末簡報

### 研究內容與工作項目

1. 彙集國內外工程上節能減碳規劃設計之相關研究
2. 蒐集國內外相關節能減碳規劃設計案例
3. 針對現有各工程單位節能減碳規劃設計作業步驟及相關窒礙情形進行訪談或會議研討，並彙整訪談或會議研討內容
4. 訪談相關之工程單位，汲取現有工程建造之實務經驗，了解現有課題及需求
5. 彙整工程上節能減碳設計所可能使用之工法及材料，並制定相關施工說明及檢驗步驟及方法
6. 以使用者（工程單位）觀點，研擬交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊（須包含國內外相關案例手法及照片），供各單位辦理參考

11

### 執行流程



12

## 附錄7 期末簡報



# 國內外研究與案例回顧



13

### 國內外節能減碳相關研究(1/4)



國家	年度	作者	研究名稱	考量項目	成果
日本	2000	Gerilla等	日本道路工程單位造價之排放係數	<ul style="list-style-type: none"> <li>能源使用排碳量、物料及人員運輸排碳量、物料生產與製造過程排碳量及機具使用排碳量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計算出各工程項目單價所對應的排碳係數，再經計算即單位投資該工程所造成的排碳程度</li> <li>提出評估工程建造之排碳量時，應將工程材料生產與製造過程納入</li> </ul>
瑞典	2001	IVL環境研究所與國家公路管理局	道路生命週期評估-盤查分析先期研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>全生命週期考量</li> <li>物料生產、運輸及機具耗能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>依不同類型路面，設定服務年限40年，比較施工與維護排碳量</li> <li>剛性路面施工階段較柔性路面碳排放量大1.4倍</li> </ul>
英國	2010	土木工程承辦商協會	工程碳排放量推估指引	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工過程機具燃料耗用排碳、電力耗用排碳，及材料、廢棄物、人員及周邊活動排碳量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提供後續工程碳排放計算範疇</li> </ul>
英國	2010	環保署	工程活動碳排放量計算工具	<ul style="list-style-type: none"> <li>考量燃料之碳排放、電力耗用、物料使用與人員運輸間接排碳</li> <li>使用係數推估法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>提供工程活動碳排放量評估工具</li> </ul>
美國	2010	Siamak	路面類型對行駛城市道路之燃油消耗和排放的影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路鋪面、油耗</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>採用剛性鋪面可使車輛的燃油使用量節省3%到17%</li> <li>該研究以德州達拉斯市的和沃斯區之交通量計算，採用剛性鋪面每年可節省減少62萬噸的CO<sub>2</sub>排放</li> </ul>

14

## 附錄7 期末簡報

### 國內外節能減碳相關研究(2/4)



年度	作者	研究名稱	考量項目	成果
2009	黃榮堯等	道路工程與節能減碳	• 全生命週期與加入綠色內涵進入道路設計概念	• 提出在道路選線與線形設計、道路輕量化設計、低碳材料應用、在地材料選用、植生保育達固碳、設備選用等道路減碳手法
2009	楊典樵	柔性路面工程之二氧化碳排放量評估	• 建立柔性路面工程之二氧化碳排放量	• 同樣設計類型但使用再生瀝青混凝土所產生的二氧化碳排放量會比使用瀝青混凝土所產生的二氧化碳排放量減少17.5~18%
2009	羅紹文	預力I型梁橋之二氧化碳排放量評估	• 預力I型梁橋在不同的設計條件下計算不同跨距、寬度之單位面積所用之建材用量	• $CO_2(kg-CO_2/單位)$ =1138.347+1.339(跨徑)-14.96(橋寬)
2010	劉庭璋	預力I型梁橋下部結構不同時之二氧化碳排放量評估	• 針對預力 I 型梁橋下部結構高度不同時之材料消耗	• 柱高、淨寬與跨度之二氧化碳排放=433.894 + 1.416×柱高 - 5.583×淨寬 + 6.297×跨度
2010	徐偉國	道路工程綠色內涵探討之研究	• 道路工程於規劃設計階段所需考量之「綠色內涵項目」	• 研擬道路工程綠色內涵之內容架構包含24項指標群，各指標群衍生共計57項綠色內涵項目
2011	趙厚誠	道路設計對於行車碳排放之影響分析—以雪山隧道為例	• 以加速度為反應碳排放之主要因子，找出主要影響加速度之道路設計	• 車道越彎(平曲線半徑越小)，造成碳排放量越大。R=1500比R=2500多了2.9%至6.5%的碳排放量

15

### 國內外節能減碳相關研究(3/4)



國別	美國	美國	澳洲	法國
文獻主題	哥倫比亞河跨河工程碳排放分析計畫(2008)	Sightline高速公路擴建計畫(2007)	維多利亞州道路管理局-(VicRoads)道路碳足跡計算(2009)	道路環境影響評估工具於道路建置運輸應用-公路A-71為例(2004)
評估項目與作為	■ 就工程碳排放量、完工後交通碳排放量進行改建方案比較(5個方案)	■ 拓寬工程碳排放量。探討車道寬與交通量之關係 ■ 完工後50年間交通塞車狀況舒緩 ■ 完工後50年間交通碳排放增量	■ 道路施工碳排放總量 ■ 單位道路里程碳排放量 ■ 單位線道里程碳排放量	■ 針對材料與材料運輸於施工階段及營運階段之所佔比例作比較
評估方法	■ 由各方案工程總價推估能源耗用量 ■ 以能源耗用量為活動強度×排碳係數計算碳排放量	■ 未說明推估方法	■ 以碳足跡計算施工階段碳排放量	■ 以能源耗用量為活動強度×排碳係數計算碳排放量
評量成果	■ 各方案之施工碳排放量與營運交通日排放量進行比較	■ 拓寬工程產生1400~2300tonCO <sub>2</sub> e/lane-mile ■ 考量營運50年產生，3500tonCO <sub>2</sub> e/lane-mile	■ 工程總碳排放量1,820tonCO <sub>2</sub> e ■ 75%材料製程、22%機具耗能、3%運輸與現場電力	■ 鋪面建造之碳排放量33,000tonCO <sub>2</sub> e ■ 施工期間材料運輸僅占總碳排放4%，營運維護超過40%
評量包含階段	施工、營運	施工、營運	施工	施工、營運

16

## 附錄7 期末簡報

### 國內外節能減碳相關研究(4/4)



國別	亞洲開發銀行	台灣	台灣
文獻主題	道路生命週期二氧化碳排放量評估模式架構-以印度道路為例(2010)	國道六號南投段(2008)	交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究-以蘇花改工程為例(2011)
評估項目與作為	<ul style="list-style-type: none"> <li>針對印度4種道路等級進行碳排放量計算</li> <li>計算施工之材料製程、燃料使用、植被清除、工程機具等</li> <li>營運維護利用維護成本、使用年限、交通量、道路長度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不同設計方案選擇</li> <li>交通量與交通改善程度差異(轉移量14交通量)</li> <li>材料使用</li> <li>植生項目與數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接燃料排放、間接電力排放、工程材料使用排放</li> <li>計算包含A、B、C三個工程段，共9個工程標</li> </ul>
評估方法	以 <b>碳足跡</b> 計算各階段碳排放量	以能源耗用量為活動強度×碳排放係數計算碳排放量	以能源耗用量為活動強度×碳排放係數計算碳排放量
評量成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>無論任何等級道路，使用階段碳排放占總量93~98%</li> <li>國道興建碳足跡等於省道公路6倍，隨道路等級遞減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋墩柱全面採用自充填混凝土，並以煉鋼副產品爐石粉取代部分水泥，降低CO<sub>2</sub>排放量約4.2萬噸</li> <li>一般混凝土摻用爐石粉取代部份水泥(平均約26%)，降低CO<sub>2</sub>排放量約17.1萬噸</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全線總碳排放量1,089,792tonCO<sub>2</sub>e</li> <li>預拌混凝土、噴凝土、鋼構建、鋼筋、炸藥、岩栓與鋼支保佔總工程碳排放量60~70%</li> <li>工程建設前後交通運輸排碳將呈現減量</li> </ul>
評量包含階段	施工、營運	設計、施工、營運	設計、施工、營運

17

### 節能減碳規劃設計案例(1/3)



案例名稱	節能減碳手法	說明	圖片
德國karlsruhe車站附近交通管理與工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>立體交叉形式管理</li> <li>減少開挖</li> </ul>	運用隧道或高架橋之架設，以減少傳統路面施工需要大規模之土方挖掘，避免因開挖行為，剷除大範圍之植被面積	
美國Atlanta市道路	<ul style="list-style-type: none"> <li>綠地美化</li> <li>沿線設置自行車道，誘發綠色交通</li> </ul>	利用高速公路沿線地創造具串連性質之腳踏車道，規劃綠色運輸路線	
加拿大Toronto市複合使用開放空間	<ul style="list-style-type: none"> <li>串聯周遭環境，建立綠地系統，增加環境固碳量</li> </ul>	將高速公路河岸及庭園、鄰里公園、廣場與行人徒步區、樹林緩衝帶等聯合而形成有組織性之綠地系統，使道路與社區結合	
夏威夷H-3道路	<ul style="list-style-type: none"> <li>多線型調整，減少環境破壞</li> <li>避免大量填築</li> </ul>	串聯歐胡島兩側交通，必須通過敏感地區、考古地點與文化遺址。設計考慮脆弱環境，採亦曲亦直的方式設計，跨越崎嶇不平的地形，並且以隧道穿越Koolau山，橋梁多採懸臂式設計	

18

## 附錄7 期末簡報

### 節能減碳規劃設計案例(2/3)



案例名稱	節能減碳手法	說明	圖片
美國曼哈頓 Chambers to Hubert Streets	市區道路用途改造，使道路公園化，多用途使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>公園道路拓寬，整合人行道設計</li> <li>行車路面寬度最適量規劃</li> <li>路燈降低，增加照明度與範圍，減少耗能</li> <li>利用巴士彎道創造夜間臨時停車場</li> </ul>	
美國德州U.S.83道路方形涵洞改建	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用當地材料，減少運輸</li> <li>塑造天然蝙蝠棲地</li> </ul>	使用鄰近植物材料、土石、木料、苗圃等天然材料資源，以供做生態工法設計參考	
日本日光宇都宮道路	以高架橋取代路堤形式	原設計以路堤方式穿越，改用橋梁以及隧道方式穿越，減少填土對棲地之傷害及借土與運輸問題	
美國I-70公路 Glenwood Canyon	<ul style="list-style-type: none"> <li>工程適度性檢討</li> <li>其他創意設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>採以高架橋及棧橋通過環境敏感區，減少挖填方量</li> <li>採用橋梁新工法，如採氧化鐵染色之預鑄擋土牆俾融合整體環境、因應施工用地不足的加勁擋土牆、提高預鑄結構物比例</li> </ul>	

19

### 節能減碳規劃設計案例(3/3)



案例名稱	節能減碳手法	說明	圖片
國道六號南投段	<ul style="list-style-type: none"> <li>工程必要性檢討</li> <li>工程適度性檢討</li> </ul>	國6通車後提供便捷之交通，估計將轉移臺14交通量(50%~65%)，臺14草屯~埔里路段現況交通量約34,000PCU/日(雙向)，及該路50%之交通量轉移行駛國6估算，每天約減少CO2排放量39.1噸，節省汽油2.4萬公升	
宜蘭無尾港生態社區計畫	採高固碳植栽設計	功勞埔聚落內道路，以局部砌黑頁岩板牆做為界定，道路施以透水鋪面，道路旁以多樣化複層植栽綠化等，使之成為良好的生態社區示範道路	
桃園市大興西路道路照明景觀工程	採節能設備設計	採用LED路燈，除了使用壽命拉長，約是傳統高壓鈉燈壽命5倍，且耗電量僅傳統高壓鈉燈的1/3，不含汞，屬於環保材質，演色性也較佳，能提供良好的視覺環境，預估每年可減碳112Kg	
國道三號 4K+339~4K+784	加大跨距，減少落墩	跨越溪谷拱跨徑138公尺、橋面距地面高70公尺，若採短跨多孔橋梁，必須於溪中落墩，對棲地將造成干擾	

20

## 附錄7 期末簡報



# 現況訪談



21



# 專家訪談名單

編號	訪談單位	受訪對象	訪談時間	訪談議題
1	中興工程顧問股份有限公司	黃琬淇 工程師	101/04/05	1. 國內現行計算問題 2. 工程推估模式建議 3. 案例計算建議與檢討
2	交通部公路總局新工組	夏明勝 組長	101/05/30	
3	台灣世曦工程顧問股份有限公司	魏雲魯 經理 謝明榮 顧問	101/06/07	
4	中興工程顧問股份有限公司	黃琬淇 工程師 李成淵 副理	101/08/24	
5	台灣世曦工程顧問股份有限公司	林錦宏 副理	101/09/28	

22

## 附錄7 期末簡報

### 專家建議彙整-現況問題



1. 現行的工程只有蘇花改案例有規劃二氧化碳的評估方式(前期研究)，國內目前尚無標準評估模式，因此造成相關碳排放計算無代表性
2. 目前國內尚無完整且具代表之機具與材料碳排放係數，雖有相關碳排放係數之參考，大多未揭露其產品配比等相關資訊，因此碳排放係數仍無固定的答案，且生命週期皆不同，若直接針對碳排放係數進行評估會有疑慮
3. 本研究預計編定規劃設計手冊，請務必將範疇定義部分說明清楚，以避免設計者產生誤用之情形

23

### 專家建議彙整-模式建議



1. 本研究所建構之簡易模式可用於可行性階段，詳細型則可應用於細部設計階段
2. 路工及橋梁段採用單位面積、隧道採用單位體積
  - 橋梁另分為上、下部結構
  - 隧道則可依地質條件進行分類
3. 公路工程材料及機具用量資訊將呈現於預算書中，可利用相關資料計算公路工程碳排放量
4. 未來建立碳排放係數或相關計算，應嘗試結合PCCES或以單價分析表內容計算，才有助於實際使用

24

## 附錄7 期末簡報

### 專家建議彙整-計算建議



1. 過去研究採用單位長度排放量或單位面積排放量進行計算，其排碳量有**短橋(隧道)較長橋(隧道)多**之情形
2. 橋梁部份影響因素眾多，例如**基礎型式、斷層帶、所處地質、橋墩高度、設計強度**等，皆會影響橋梁碳排放量
3. 隧道地質可分為六種地質，實際評估時地質每增加一級，將增加**材料用量或成本，約1.2~1.5倍**
4. 不同設計者將有不同設計考量及作法，建議團隊**盡可能增加計算案例**，以提高可信度

25

### 專家座談會



時間：101/08/10

地點：台灣金融研訓院六樓會議室

服務單位	職稱	與會專家
中華顧問工程司	執行長	黃洪才
環興科技股份有限公司	經理	陳啓明
臺灣世曦工程顧問股份有限公司	經理	魏雲魯
亞新工程顧問股份有限公司	協理	林金德
交通部國道高速公路局	組長	林炳松
國立中央大學	教授	林志棟



26

## 附錄7 期末簡報

### 專家建議彙整



#### • 評估模式建議

- 橋梁及隧道計算單位採體積計算應確認是否可行，現行橋梁造價估算是採用**橋面版面積**進行估算
- 簡易型模式可供**可行性階段**參考
- 應注意本研究成果是否與工程會成果衝突
- 計算單位採用**工項**對使用者計算較為方便
- 建議結合現有估價系統**PCCES**進行碳排放計算

#### • 案例計算建議

- **橋梁結構系統**不同時，將影響材料用量，應盡可能增加計算案例，以確保模式準確性
- 其他附屬設施部分，**佔整體工程碳排放較小**，可建議手冊使用者參考其他計算方式
- 建議手冊彙整**主要工項**及**百分比**，供使用者參考

27

### 工作會議討論重點-模式建立



會議時間	與會人員	意見	團隊回應
04/09	組長、副組長	針對前期專案報告進行回顧，了解計算模式，而後續碳排放計算應參考去年專案所提出之參數資料庫	已完成前期專案回顧與研析
		本案主要方向應考量除了規劃設計時所考量之 <b>成本面</b> 、 <b>效益面</b> 之外，再 <b>多考量碳排放面</b> ，以供 <b>方案定線時之參考</b>	針對選線階段之資訊與需求進行評估模式建立
		<b>手冊編訂</b> 建議分為 <b>規劃與設計</b> 兩部分進行撰寫，以滿足不同手冊使用者需求	手冊內容將依據各階段需求，並搭配評估模式進行撰寫
05/04	組長、副組長	前期研究成果中， <b>橋柱高度</b> 與 <b>隧道長度</b> 將影響單位碳排放量，建議 <b>針對關鍵影響因子</b> 進行分析計算	專家建議橋梁段可考量以單位高度作為計算；隧道段部分則以體積計算
		運輸效益評估屬運計組業務範圍，應盡量著重於 <b>工程面</b>	已排除本研究範疇之外
06/20	組長、副組長	應 <b>針對主要工程碳排放源</b> 進行分析探討，找出工程中主要碳排放源為何	本研究於案例試算分析部分，分別針對路工、隧道、橋梁工程之主要碳排放源進行探討
		建議後續案例將 <b>鋼橋</b> 納入，並 <b>蒐集無基樁之鋼橋案例</b>	已蒐集並納入計算
8/30	組長、副組長	手冊章節請 <b>參考公路容量設計手冊</b>	本研究遵照辦理
		簡易型模式計算完成後，應 <b>蒐集規劃報告進行計算</b> ，除可確定本模式之可操作性外，亦可確認本模式是否可計算不同方案之碳排放差異	已蒐集兩件規劃報告並計算完成

28

## 附錄7 期末簡報

### 公路工程碳排放評估模式



29

### 計算邊界定

#### • 公路工程生命週期



僅計算工程排碳量，不考量行車及拆除回收階段

#### • 公路工程碳排放計算模式

– 簡易模式：利用公路工程單位碳排放係數推估

• 可行性階段

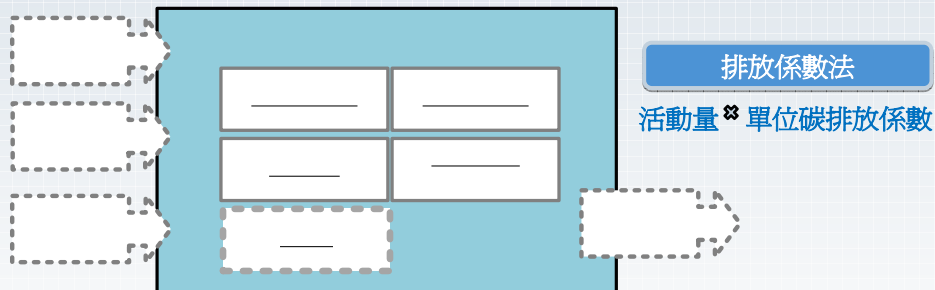
– 詳細模式：詳細計算範疇內之主要碳排放項目

• 規劃/設計階段

30

## 附錄7 期末簡報

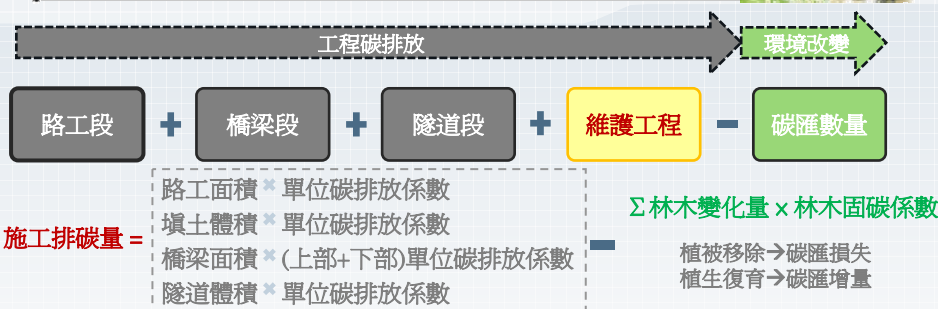
### 詳細型碳排放評估方法



- 以碳足跡計算原則統計活動量進行計算，直接排碳、間接排碳及其他間接排碳
- 運研所(2011)，『交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究』之碳排放計算模型，包含直接排放、外購電力、工程材料、運輸排放、碳匯變化

31

### 簡易推估模式



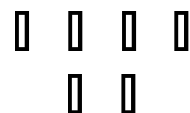
維護工程排碳= 施工排碳量(路工+橋梁+隧道)之14%

文獻來源：  
• 法國A71高速公路工程排碳評估(2005)  
• 瑞典道路生命週期排碳量評估研究(2001)

#### • 計算方法

- 方案排碳量：將路工、橋梁、隧道分別進行碳排放量計算
- 維護工程：依據瑞典與法國文獻維護工程約為施工階段排碳量之14%
- 碳匯數量：利用航照圖進行單位面積之植物碳匯差概估

32



## 附錄7 期末簡報

### 簡易型計算單位



類別	簡易型計算考量因素	單位成本概估法計價因素	本方法評估單位
路工段	1. 路面工程 2. 土方工程	路面面積(m <sup>2</sup> ) 土石方數量(m <sup>3</sup> ) •清除與掘除面積 •擋土牆、邊坡、其他	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面單位面積(m<sup>2</sup>)</li> </ul> 1. 路面工程-按柔性路面與剛性路面 <ul style="list-style-type: none"> <li>土方單位體積(m<sup>3</sup>)</li> </ul>
橋梁段	1. 地形 2. 上部結構-主梁材質、主梁結構、工法、跨距 3. 下部結構-高度、基礎型式	橋面版單位面積(m <sup>2</sup> ) •上部結構-按工法及使用機具數量、跨距 •下部結構-直接基礎、樁或沉箱	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋面版單位面積(m<sup>2</sup>)</li> </ul> 1. 上部結構-按材質及施工工法 2. 下部結構-基礎型式、跨河/非跨河、橋墩高度
隧道段	1. 長度 2. 斷面 3. 車道數 4. 地質	隧道單位長度(m) •長度 •車道數 •地質	<ul style="list-style-type: none"> <li>隧道單位體積(m<sup>3</sup>)</li> </ul> 1. 無特定地質分類 2. II~VI類地質分開
維護工程	長度或體積	無	碳排放固定百分比
碳匯	面積	無	單位面積(m <sup>2</sup> )

33

### 案例計算與分析



34

## 附錄7 期末簡報

### 案例彙整



- 共蒐集13件工程案例，依工程內容分成路工、橋梁與隧道

案例分類	案例類型	案例數量	案例名稱
	路工	5	1. 台九線蘇花公路南澳武塔新建工程(B1) 2. 台九線蘇花公路觀音隧道新建工程(B2) 3. 台九線蘇花公路谷風隧道新建工程(B3)
	橋梁	9	4. 台九線蘇花公路山區路段改善計畫和平路段橋梁工程(B4) 5. 玉長公路 6. 紅葉溪橋改建工程 7. 東岸聯外道路新建工程計畫CI01
	隧道	4	8. 東西快速公路北門玉井線(麻豆至西庄) 9. 雙園大橋 10. 台2線156K+000~157K+575路基拓寬工程 11. 臺中縣大里市立元二橋開闢工程 12. 臺南都會區北外環道路第1期工程 13. 楊梅市I-9-15都市計畫道路開闢工程

案例來源：交通部公路總局、營建署

35

### 路工段計算-包含路堤及水泥鋪面



編號	主要工項	紅葉	雙園	B1	B3	B4
1	清除與掘除		4.12%	3.27%	4.60%	4.53%
2	瀝青混凝土刨除，厚5cm		21.36%	2.01%		7.68%
3	基地及路堤填築	6.56%	0.37%	60.33%	77.69%	19.29%
4	基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，開挖機)	7.47%		0.02%	0.54%	0.15%
5	餘方近運利用	4.86%				
6	瀝青黏層	1.42%	1.29%	1.06%	0.32%	1.81%
7	瀝青透層	1.75%	1.37%	0.75%	0.48%	0.98%
8	密級配瀝青混凝土	31.26%	17.69%	8.75%	4.06%	14.41%
9	粗級配瀝青混凝土		12.95%	10.79%	3.42%	17.45%
10	水泥混凝土鋪面(t=30cm)					16.94%
11	級配粒料底層，碎石級配	9.47%	6.02%	3.32%	1.38%	5.38%
12	標線，熱處理聚酯，反光，厚2mm	6.31%	8.65%	1.37%	2.78%	3.24%
		3.69%	23.94%	7.37%	4.52%	3.32%
		5.79%	2.19%	0.82%		4.42%
		2.58%	99.95%	99.86%	99.79%	99.60%
總碳排放量		345.26	475.18	4666.14	3829.31	834.07
單位面積碳排放量		0.051	0.048	0.159	0.322	0.104

- 基地及路堤填築影響大
- 混凝土鋪面碳排放量大

36

## 附錄7 期末簡報

### 路工段計算-路堤及水泥鋪面另計



編號	主要工項	紅葉	雙園	B1	B3	B4
1	清除與掘除		4.13%	8.25%	20.64%	7.10%
2	瀝青混凝土刨除，厚5cm		21.43%	5.08%		12.04%
4	基地及路幅開挖，未含運費，(機械挖，開挖機)	7.99%		0.04%	2.44%	0.23%
5	餘方近運利用	5.20%		0.09%	0.51%	0.09%
6	瀝青黏層	1.52%	1.30%	2.68%	1.44%	2.84%
7	瀝青透層	1.87%	1.37%	1.89%	2.17%	1.54%
8	密級配瀝青混凝土	33.45%	17.76%	22.05%	18.19%	22.59%
9	粗級配瀝青混凝土		12.99%	27.20%	15.34%	27.36%
11	級配粒料底層，碎石級配	10.13%	6.04%	8.38%	6.21%	8.44%
12	標線，熱處理聚酯，反光，厚2mm	6.76%	8.68%	3.49%	12.45%	5.09%
13	單面金屬護欄、中央分隔島護欄、紐澤西護欄、塊狀護欄	25.35%	24.03%	18.57%	20.25%	5.20%
14	混凝土緣石，A型，H=35cm、H=15cm	7.27%	2.20%	2.06%		6.93%
小計		99.54%	99.93%	99.78%	99.64%	99.45%
總碳排放量		322.63	473.41	1850.93	854.20	531.93
單位面積碳排放量		0.048	0.048	0.063	0.072	0.059
平均				0.058		

填土碳排放係數(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	紅葉溪	雙園	B1	B3	B4
路堤填築	0.00156	0.00141	0.00170	0.00170	0.00173
平均			0.00162		

37

### 路工段計算-剛性路面分析



- 將B4標不同鋪面材料用量分開計算

材料名稱	密級配 混凝土	粗級配 混凝土	水泥鋪面 混凝土	碎石級配 底層	瀝青透層	瀝青黏層	小計
柔性鋪面材料	1,609	1,948		5,875	12,986	58,143	
剛性鋪面材料			2,776	833			
材料單位碳排放量(kgCO <sub>2</sub> e)	32.48	32.48	50.89	6.69	0.63	0.26	
柔性鋪面碳排(tonCO <sub>2</sub> e)	120.18	145.51		39.30	8.18	15.12	328.29
剛性鋪面碳排(tonCO <sub>2</sub> e)			141.27	5.57			146.84

- 將B4標之碳排放量依照不同鋪面進行碳排分配

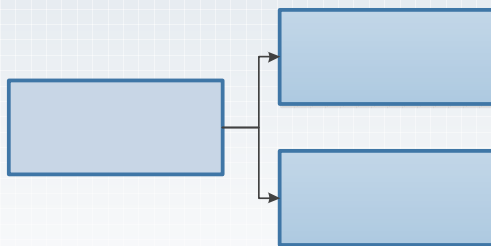
	碳排放量	面積	單位面積 碳排放係數	單位面積碳排放係數 分配結果
柔性鋪面	328.29	8,022	0.041	0.059
剛性路面	146.84	2,776	0.053	0.071
其他碳排(護欄、路緣石)	198.06	10,798	0.018	-

※根據瑞典環境研究所之研究，剛性路面施工碳排約為柔性路面之1.4倍，本研究計算結果約為1.22倍

38

## 附錄7 期末簡報

### 路工段分類圖與推估係數



39

### 橋梁上部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
橋梁型式		I型梁		
1	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>	15.07%		
2	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>		9.72%	12.57%
3	鋼筋材料，SD280W	21.48%	15.52%	2.31%
4	鋼筋材料，SD420W	0.78%	15.59%	22.64%
5	進橋版	17.7%		
6	新製預鑄預力I型梁L=15M			43.98%
7	預力梁製作及吊裝L=24.9M	37.21%		
8	新製預鑄預力I型梁L=35M		49.63%	
9	預鑄預力I梁(VIII型)及吊裝，37.0m≤L<39.5m			
10	預鑄預力I梁(VIII型)及吊裝，39.5m≤L			
11	混凝土隔欄			
12	金屬欄杆	3.18%		
13	橋面伸縮縫，B型，5<伸縮量≤10cm		2.875%	9.29%
14	密級配瀝青混凝土			1.04%
15	瀝青黏層		5.30%	6.99%
小計		95.42%	98.63%	98.82%
上部結構碳排放量		80.72	491.50	151.82
單位面積碳排放量		0.36	0.47	0.34

40

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁上部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	加福 速橋	和平溪-A	和平溪-B	南溪	武塔	北門玉井 E708-2(主線)	北門玉井 E708-2(匝道)
	橋梁型式	箱型梁						
1	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	34.74%					46.56%	44.62%
2	結構用預力混凝土，420kgf/cm <sup>2</sup>		32.15%	38.30%	39.50%	37.01%		
3	鋼筋材料，SD280W	13.57%	7.21%	7.46%	9.56%	8.36%	38.55%	37.43%
4	鋼筋材料，SD420W	26.41%	33.11%	32.62%	20.65%	30.28%		
5	鋼筋，加工及組立	1.11%	1.12%	1.12%	0.84 %	1.08%		
6	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	17.22%	15.64%	9.14%	18.15%	12.36%	11.07%	12.79%
7	透空式護欄(二管)	2.12%	4.29%	4.84%	5.36%	5.62%		
8	混凝土隔欄		1.27%	1.43%				
9	套管及灌漿，鍍鋅金屬製， 內徑9.0cm	0.87%			0.79%	1.84%	0.24%	2.43%
10	套管及灌漿，鍍鋅金屬製， 內徑10.0cm	1.88%	2.41%		0.81%	0.43%	1.44%	
12	套管及灌漿，鍍鋅金屬製， 內徑11.0cm			2.05%	1.98%			
13	橋面伸縮縫，A型， 16<伸縮量≤24cm	0.60%						
14	密級配瀝青混凝土		1.02%	1.20%	0.76%	0.81 %	0.94%	0.91%
15	A型橋面洩水孔					0.58		
小計		98.52%	98.23%	98.16%	98.40%	97.79%	98.79%	98.18%
上部結構碳排放量		2,680.86	10,146.29	2,706.34	9,482.87	6,724.20	28,069.54	1,480.30
單位面積碳排放量		0.49	0.56	0.47	0.71	0.77	0.44	0.36

41

### 橋梁上部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	瑞獅景觀 大橋	一號橋-B	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋
	橋梁型式	箱型梁						
1	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>	1.25%						
2	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	37.03%	15.36%	17.48%	18.98%	12.84%	21.74%	20.18%
3	鋼筋材料，SD280W	21.83%						
4	鋼筋材料，SD420W	9.49%	4.57%	2.33%	2.30%	1.62%	2.97%	2.90%
5	預力鋼腱，預力鋼腱及後拉式施預力	19.54%	43.54%	64.08%	62.58%	75.16%	56.53%	58.62%
6	透空式護欄(二管)			8.83%	7.71%	3.27%	6.69%	6.99%
7	橋隔欄與護欄		20.57%			3.70%	3.72%	3.72%
8	鋁合金橋欄杆製作及安裝	4.34%						
9	套管及灌漿，鍍鋅金屬製， 內徑8.5cm	1.44%						
10	橋面伸縮縫，A型， 16<伸縮量≤24cm		5.96%					
11	橋面伸縮縫，B級		5.08%	4.50%	4.50%	3.00%	3.46%	2.85%
12	密級配再生瀝青混凝土面層	0.69%						
13	A型橋面洩水孔	0.77%	1.95%				2.86%	
小計		96.38%	98.92%	97.22%	96.07%	98.67%	98.21%	95.26%
上部結構碳排放量		2,414.57	859.01	1,110.70	1,142.88	1,416.40	814.47	943.59
單位面積碳排放量		0.50	0.28	0.34	0.36	0.43	0.26	0.25

42

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁上部結構碳排放源-鋼橋



項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-A	立元二橋	台南北外環道路-A
1	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>	2.89%	5.61%	3.96%	2.79%	3.85%			
2	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>							4.28%	3.72%
3	ASTM A709 GR50 鋼板	74.28%	63.72%	69.42%	75.51%	70.20%	91.46%	80.80%	85.73%
4	ASTM A709 GR36 鋼板							2.73%	2.34%
5	ASTM A709 GR50 箱梁製作及加工	1.37%	1.18%	1.28%	1.39%	1.30%		2.22%	
6	ASTM A325強力螺栓						0.78%	1.63%	1.58%
7	鋼承板(ALK18，含支撐折板)							0.33%	
8	箱梁吊裝	9.97%	8.55%	9.32%	10.13%	9.42%			
9	鋼筋材料，SD280W	6.11%	9.26%	8.11%	5.62%	7.88%			0.57%
10	鋼筋材料，SD420W	0.94%	4.02%	1.33%	0.53%	1.32%		6.89%	4.97%
11	橋面伸縮縫，A1級，16cm						1.10%		
12	橋面洩水孔，C型						5.58%		
13	進橋版	2.01%	3.67%	3.29%	1.76%	2.85%			
14	金屬欄杆	0.71%	1.20%	0.97%	0.68%	0.95%			
15	鋼橋內面塗裝	0.34%		0.42%	0.36%	0.40%			
16	橋面伸縮縫(伸縮量10cm)		0.70%						
17	熱拌新料瀝青混凝土及鋪設		0.43%						
小計		98.63%	98.33%	98.11%	98.77%	98.17%	98.92%	98.87%	98.92%
上部結構碳排放量		710.49	389.05	434.13	814.29	501.34	4775.9	5356.84	5981.63
單位面積碳排放量		1.64	1.18	1.21	1.71	1.24	1.62	1.09	1.14

43

### 橋梁下部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	裕民橋	自強2號橋	自強3號橋
	橋梁型式	T型梁		
1	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>	1.62%	0.53%	
2	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>	63.57%		
3	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>		3.90%	3.68%
4	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>		26.36%	34.94%
5	鋼筋材料，SD280W	14.81%	3.76%	4.99%
6	鋼筋材料，SD420W	3.52%	14.06%	16.72%
7	鋼筋，加工及組立			0.60%
8	構造物開挖(含設置土設施、抽排水、裝車)	2.96%		
9	全套管鑽掘樁(100cm φ)		50.09%	37.86%
10	就近利用挖方及填方填壓	2.10%		
11	剩餘土石方處理	9.26%		
小計		97.84%	98.71%	98.79%
下部結構碳排放量		69.47	318.12	336.74
單位面積碳排放量		0.31	0.30	0.75

44

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁下部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	加通 通橋	和平溪-A	和平溪-B	南溪	武塔	北門玉井 E708-2(匝道)
橋梁型式		箱型梁					
1	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>	0.47%	0.34%	1.22%	0.28%		0.31%
2	結構用預力混凝土，175kgf/cm <sup>2</sup>					0.84%	
3	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>						
4	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>	0.33%			14.74%		
5	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	28.43%	15.27%	44.93%	14.68%	31.54%	17.46%
6	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>		13.14%	15.66%	15.44%	24.11%	
7	結構用混凝土，210kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)		17.87%			1.85%	
8	結構用混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)				0.94%		
9	結構用混凝土，265kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)						13.78%
10	結構用混凝土，265kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)						8.14%
11	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>					8.47%	
12	鋼筋材料，SD280W	0.32%		0.76%	45.57%		
13	鋼筋材料，SD420W	15.36%	44.8%	34.46%	3.29%	38.54%	37.02%
14	鋼筋，加工及組立		1.24%	0.97%	1.06%	0.82%	
15	防護鋼板(≧10mm)		2.64%				
16	構造物開挖(含設擋土設施、抽排水、裝車)	0.16%		0.45%			18.96%
17	全套管鑽掘樁(100cm φ)	6.58%					
18	全套管鑽掘樁(200cm φ)				1.95%		
19	全套管式鑽掘混凝土基樁，D=1500mm，鑽掘(含空鑽)		2.49%				
20	全套管鑽掘樁(150cm φ)(TYPE I)	47.47%					0.56%
21	填縫劑(填縫膠)						0.99%
22	剩餘土石方處理						
小計		99.12%	98.68%	98.45%	96.89%	96.88%	97.22%
下部結構碳排放量		2,910.47	10822.09	1,251.00	9,084.50	5,095.31	2,719.46
單位面積碳排放量		0.53	0.60	0.22	0.68	0.58	0.66

45

### 橋梁下部結構碳排放源-混凝土橋



項次	主要工項	增設景觀 大橋	一號橋-B	二號橋	四號橋	六號橋-A	六號橋-B	八號橋
橋梁型式		箱型梁						
1	結構用預力混凝土，140kgf/cm <sup>2</sup>							
2	結構用預力混凝土，175kgf/cm <sup>2</sup>							
3	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>		8.05%	2.99%	5.03%	3.63%	3.64%	11.70%
4	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	6.14%	28.53%	4.56%	9.96%	9.18%	10.55%	35.68%
5	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>	19.57%						
6	結構用混凝土，210kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)							
7	結構用混凝土，265kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)							
8	結構用混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)	19.98%						
9	結構用混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)							
10	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>		8.21%	3.19%	3.80%	2.50%	5.68%	9.28%
11	鋼筋材料，SD280W	9.34%	6.04%					
12	鋼筋材料，SD420W	23.54%		1.51%	3.89%	2.34%	3.06%	7.39%
13	沉箱基礎(7m φ)							
14	構造物開挖(含設擋土設施、抽排水、裝車)		22.44%	1.19%	6.91%	4.72%	3.93%	32.32%
15	構造物回填		1.40%					2.34%
16	全套管鑽掘樁(150cm φ)(TYPE I)		23.77%	7.54%	28.65%	77.08%	21.41%	
17	全套管鑽掘樁(150cm φ)(TYPE II)			32.15%	40.94%		17.2%	
18	全套管鑽掘樁(150cm φ)(TYPE III)			45.95%			33.8%	
小計		98.88%	98.44%	99.08%	99.18%	98.67%	99.35%	98.71%
上部結構碳排放量		2048.47	720.19	1,119.99	924.82	1416.40	1223.62	740.45
單位面積碳排放量		0.43	0.24	0.35	0.29	0.43	0.40	0.20

46

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁下部結構碳排放源-鋼橋



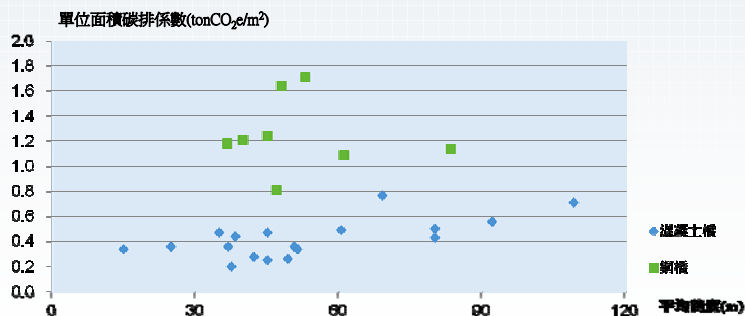
項次	主要工項	富國橋	富祥橋	裕國橋	開元橋	國泰橋	一號橋-A	立元二橋
1	結構用預力混凝土，175kgf/cm <sup>2</sup>							0.70%
2	結構用預力混凝土，240kgf/cm <sup>2</sup>	42.21%	49.06%	41.71%	36.54%	40.18%		2.20%
3	結構用預力混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup>						38.96%	
4	結構用預力混凝土，280kgf/cm <sup>2</sup>	6.65%	7.01%	11.13%	11.49%	9.46%		17.24%
5	結構用預力混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>							6.93%
6	結構用混凝土，245kgf/cm <sup>2</sup> (預拌，水中)							23.9%
7	自充填混凝土，350kgf/cm <sup>2</sup>						29.88%	
8	鋼筋材料，SD280W	11.74%	11.03%	12.65%	10.71%	11.47%		
9	鋼筋材料，SD420W	29.11%	24.94%	30.30%	25.54%	29.61%	1.43%	41.7%
10	防撞鋼板(t=10mm)							5.0%
11	沉箱基礎(7m φ)						22.96%	
12	構造物開挖 (含設擋土設施、抽排水、裝車)						5.67%	
13	全套管鑽掘樁(200cm φ)							0.45%
14	剩餘土石方處理	8.1%	5.87%	2.72%	13.18%	7.38%		0.66%
小計		97.81%	97.91%	98.50%	97.45%	98.10%	98.89%	98.78%
上部結構碳排放量		228.87	262.96	189.99	202.79	223.41	602.74	3027.3
單位面積碳排放量		0.53	0.81	0.53	0.43	0.55	0.10	0.62

47

### 橋梁段上部結構分析(1/4)



- 透過訪談與文獻得知，上部結構碳排放量應探討主梁材質與結構差異、跨度影響與施工工法影響
- 主梁材質與結構差異-混凝土橋/鋼橋
  - 新建鋼橋須採用全新的鋼材，鋼橋碳排放量較大
  - 混凝土橋結構形式區分為I型梁與箱型梁



48

## 附錄7 期末簡報

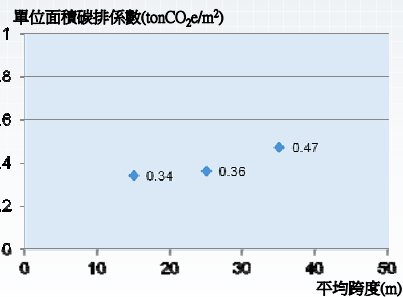
### 橋梁段上部結構分析(2/4)



#### • 混凝土橋-I型梁橋

- 案例中之I型梁橋跨徑約15-40公尺
- 由於跨徑大之橋梁，亦使用較大型機具吊裝，燃料消耗相對大，上部結構單位碳排較大

橋名	自強三墩橋	裕民橋	自強二墩橋
工法	吊裝工法		
橋長(m)	15	25	35
平均跨度(m)	15	25	35
跨河/非跨河	非跨河	跨河	跨河
橋面版面積(m <sup>2</sup> )	450.0	222.5	1,050.0
上部結構碳排	151.82	80.72	491.50
單位面積碳排	0.34	0.36	0.47
平均	0.39(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		



\* 以平均單位面積碳排放係數為基準，誤差皆在正負20%左右

49

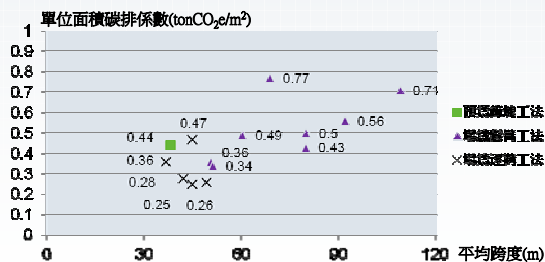
### 橋梁段上部結構分析(3/4)



#### • 混凝土橋-箱型梁橋

- 箱型梁橋跨徑約40-120公尺
- 跨越河道、河槽路段採用多以場鑄懸臂工法施工
- 一般路段或河道以外路段採用多以場鑄逐跨工法或預鑄節塊吊裝工法施工
- 受不同工法影響，碳排放量差異大

工法	預鑄節塊	懸臂工法	逐跨工法
橋梁數量	1	8	5
平均跨度(m)	38.3	74.1	43.7



50

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁段上部結構分析(4/4)



#### • 箱型梁橋施工工法

##### - 場鑄懸臂工法

橋名	二號橋	四號橋	六號橋-A	加禮遠橋	瑞鄉景觀大橋	和平溪-A	南澳	武塔
平均跨度	51.4	50.7	80	60.5	80	92	109	69
級距	60m以下		60~90m			91m以上		
單位面積碳排	0.34	0.36	0.43	0.49	0.5	0.56	0.71	0.77
平均單位面積碳排	0.35(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		0.47(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )			0.64(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		

- 武塔高架變異太大，不納入計算
- 以平均跨距為基準，正負20%為級距，可分成60m以下、61~90m以下、91m以上

##### - 場鑄逐跨工法

橋名	八號橋	六號橋-B	一號橋-B	北門玉井線E708-2標(匝道)	和平溪-B
平均跨度	45	49.3	42.2	36.9	45
單位面積碳排	0.25	0.26	0.28	0.36	0.47
平均單位面積碳排	0.29(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )				-

- 以平均跨距為基準，誤差皆在正負20%左右
- 以平均單位面積碳排係數為基準，除和平溪橋，誤差皆在正負20%左右

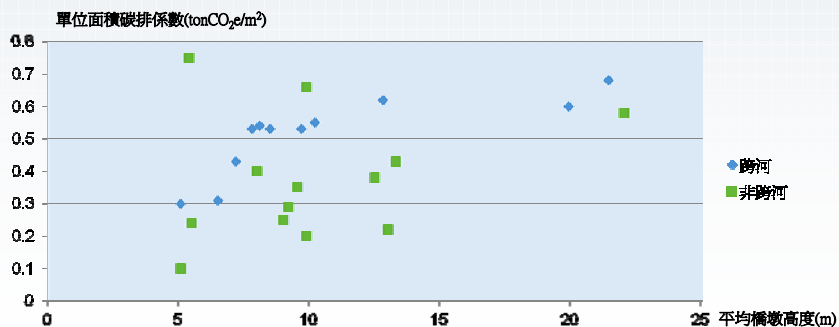
51

### 橋梁段下部結構分析(1/4)



#### • 下部結構受環境影響，不同基礎型式、所處區域、橋墩高度、設計強度等皆影響材料與碳排放量

- 跨河橋橋墩高度愈高，存在單位碳排係數愈高之趨勢
- 跨河橋之下部結構單位面積碳排均大於0.5tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>
- 非跨河橋之單位面積碳排多為0.2-0.4 tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>



52

## 附錄7 期末簡報

### 橋梁段下部結構分析(2/4)

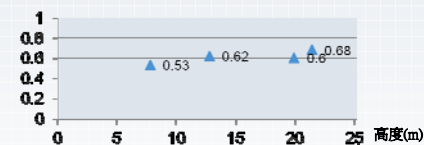


#### • 橋墩高度(1/2)-跨河橋

- 跨河橋區分為有落墩及無落墩
- 有橋墩0.61 (tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)
- 無橋墩分6.5m以上(0.51)、6.5m以下(0.31)

有橋墩橋名	加通連橋	立元二橋	和平溪-A	南澳
橋墩高度	7.8	12.8	19.9	21.4
單位面積碳排(下橋)	0.53	0.62	0.60	0.68
總平均	0.61 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )			

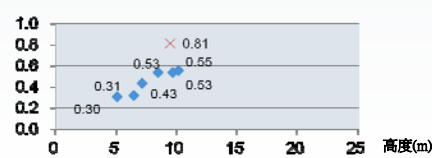
單位面積碳排係數(tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)



- 以平均高度為基準，無法分辨級距與差異
- 以平均單位面積碳排放係數為基準，誤差皆在正負20%左右

無橋墩橋名	自強二號橋	裕民橋	開元橋	裕國橋	富國橋	國泰橋
橋墩高度	5.1	6.5	7.6	8.5	9.7	10.2
級距	6.5m以下			6.6m以上		
單位面積碳排(下橋)	0.30	0.31	0.43	0.53	0.53	0.55
平均	0.31 tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>		0.51 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )			
總平均	0.44 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )					

單位面積碳排係數(tonCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>)



- 以平均高度為基準，正負20%為級距，約可分成6.5m以下、6.6m以上
- 富祥橋為3橋台，不納入計算

53

### 橋梁段下部結構分析(3/4)



#### • 橋墩高度(2/2)-非跨河橋

- 非跨河橋區分為有落墩及無落墩
- 有橋墩分6.5m以下(0.17)、6.5~9.5m (0.27)、9.5m以上(0.44)
- 非跨河橋無橋墩僅1座 (0.75)

橋名	一號橋-A	一號橋-B	六號橋-B	四號橋	二號橋	台南北外環道路-A	瑞獅景觀大橋	武塔	八號橋	六號橋-A	北門五井(區道)	和平溪-B
橋墩高度	5.1	5.5	9.0	9.2	9.55	12.5	13.3	22.0	9.9	8.0	9.9	13.0
級距	6.5m以下		6.5-9.5m		9.5m以上				-	-	-	-
單位面積碳排(下橋)	0.10	0.24	0.25	0.29	0.35	0.38	0.43	0.58	0.20	0.40	0.66	0.22
平均	0.17		0.27		0.44				-	-	-	-
總平均	0.33 (tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )											

- 高度與碳排放變異大之案例，暫不納入計算
- 以平均高度為基準，正負20%為級距，初分為6.5m以下、6.5~9.5m、9.5m以上

54

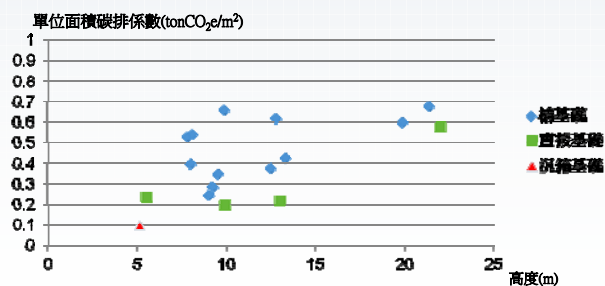
## 附錄7 期末簡報

### 橋梁段下部結構分析(4/4)



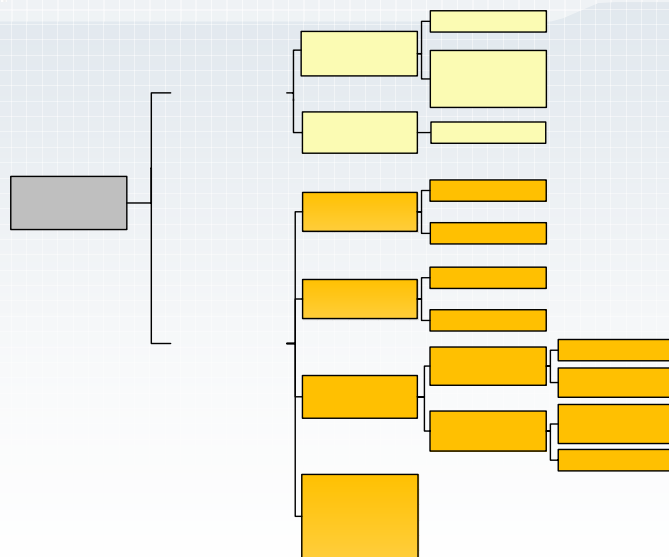
#### • 基礎型式

- 依基礎型式分類可明顯得知**樁基礎下部結構單位面積碳排放較直接基礎大**
  - 樁基礎下部結構單位碳排平均為 $0.39 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$
  - 直接基礎單位碳排平均為 $0.27 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$
- 橋梁下部結構沉箱基礎僅為1座，單位碳排為 $0.10 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$



55

### 橋梁工程分類與推估係數



56

## 附錄7 期末簡報

### 隧道碳排放源



項次	主要工項	B1	B2	B3	C01-1a
1	襯砌混凝土	32.59%	39.21%	42.11%	23.84%
2	隧道鑽孔及灌漿工程	10.64%	12.49%	12.35%	
3	隧道鋪面工程	1.09%	0.92%	1.05%	
4	隧道開挖及運碴	11.11%	13.03%	11.56%	22.59%
5	隧道段電氣預埋管工程	0.00%	0.11%	0.12%	
6	隧道段火警系統預埋管工程	0.00%	0.01%	0.00%	
7	隧道交控土木管道工程	0.11%	0.02%	0.02%	
8	隧道支撐	33.59%	28.51%	25.78%	34.12%
9	零星工程	3.17%	5.14%	5.35%	1.12%
10	計測系統	0.03%	0.01%	0.01%	0.11%
11	洞口電纜管道	0.24%	0.23%	0.66%	
12	洞口及假隧道工程	7.41%	0.32%	0.88%	17.81%
13	隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程	0.00%	0.00%	0.01%	
14	隧道監控系統預埋管工程	0.01%	0.00%	0.00%	
小計		99.99%	99.99%	99.90%	99.59%
總碳排放量		15,375.87	227,815.20	248,597.78	2967.91
單位體積碳排放量		0.206	0.191	0.166	0.173
平均			0.184		

57

### 隧道碳排放源



項次	主要工項	B1	B2	B3	C01-1a
1	襯砌混凝土	32.59%	39.21%	42.11%	23.84%
2	隧道鑽孔及灌漿工程	10.64%	12.49%	12.35%	
3	隧道鋪面工程	1.09%	0.92%	1.05%	
4	隧道開挖及運碴	11.11%	13.03%	11.56%	22.59%
5	隧道段電氣預埋管工程	0.00%	0.11%	0.12%	
6	隧道段火警系統預埋管工程	0.00%	0.01%	0.00%	
7	隧道交控土木管道工程	0.11%	0.02%	0.02%	
8	隧道支撐	33.59%	28.51%	25.78%	34.12%
9	零星工程	3.17%	5.14%	5.35%	1.12%
10	計測系統	0.03%	0.01%	0.01%	0.11%
11	洞口電纜管道	0.24%	0.23%	0.66%	
12	洞口及假隧道工程	7.41%	0.32%	0.88%	17.81%
13	隧道聯絡道照明插座設備預埋管工程	0.00%	0.00%	0.01%	
14	隧道監控系統預埋管工程	0.01%	0.00%	0.00%	
小計		99.99%	99.99%	99.90%	99.59%
總碳排放量		15,375.87	227,815.20	248,597.78	2967.91
單位體積碳排放量		0.206	0.191	0.166	0.173
平均			0.184		

58

## 附錄7 期末簡報

### 隧道地質分類



地質組成：

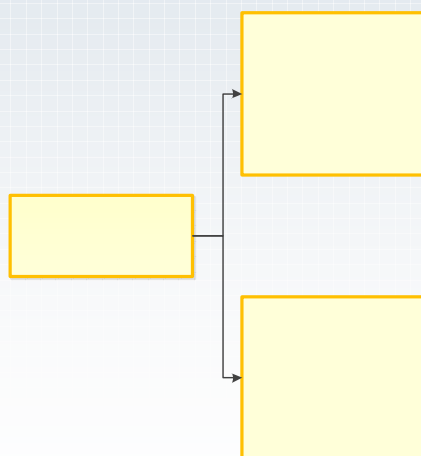
地質類型	單位	B1	B2	B3	C01-1a
II	m <sup>3</sup>	50	12,318	58,324	0
III		10,190	127,539	407,336	10,458
IV		40,784	739,724	714,136	6743
V		19,213	194,672	152,554	0
VI		4,266	116,106	168,635	0
加權後地質總量	m <sup>3</sup>	113,053	1,807,718	2,188,778	22,260
總碳排放量	tonCO <sub>2</sub> e	15,375.87	227,815.20	248,597.78	2967.91
單位碳排放量	tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	0.1360	0.1260	0.1136	0.1333
平均		0.1272			

地質類型	II	III	IV	V	VI
隧道地質碳排放係數(tonCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	0.1272	0.1527	0.1832	0.2199	0.2638

專家訪談建議：材料機具用量每類級距約為1.2~1.5倍，專家建議先採以1.2倍計算

59

### 隧道工程分類與推估係數



60

## 附錄7 期末簡報

### 規劃報告蒐集



- 本研究共蒐集2件規劃報告

項次	規劃報告名稱	圖片
1	東西向快速公路觀音大溪線 平交路口改善規劃報告	
2	臺9線蘇花公路山區路段 改善計畫可行性研究	

資料來源：交通部公路總局

61

### 簡易型模式計算方式



- 計算方式
  - 確認資料內容
    - 路工面積、填土量、橋梁材質、橋面版面積、橋梁工法、是否為跨河橋、高度、基礎型式、隧道體積、地質特性等
  - 套用單位面積或體積碳排放係數
- 路工段計算方式
  - 路工面積×單位碳排係數
  - 填土體積×單位碳排係數

→ 路工碳排放量( $\text{tonCO}_2\text{e}$ )
- 橋梁段計算方式
  - 橋面面積×上部結構單位碳排放係數
  - 橋面面積×下部結構單位碳排放係數

→ 橋梁碳排放量( $\text{tonCO}_2\text{e}$ )
- 隧道段計算方式
  - 隧道體積×單位碳排係數

→ 隧道碳排放量( $\text{tonCO}_2\text{e}$ )
- 維護工程
  - 施工碳排放量(路工+橋梁+隧道)之14%

62

## 附錄7 期末簡報

### 規劃報告案例(一)-基本資料



- 報告名稱：東西向快速公路觀音大溪線平交路口改善規劃報告
- 計畫範圍
  - 西濱快速公路至縣道115線路段(第一路段)
  - 縣道115線至縣道114線路段(第二路段)
  - 縣道114線至國道1號路段(第三路段)

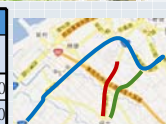


63

### 規劃報告案例(一)-路段一方案研擬



區域	方案	方案內容					
		台15線路口	桃89線路口	桃94線路口	高架橋總面積	路工工程面積	路堤填築面積
路段一	方案一	高架橋跨台15線	平面交叉	平面交叉	9,460	0	
	方案二	高架橋跨台15線	高架橋跨桃89線	平面交叉	20,020	5,460	4,550
	方案三	高架橋跨台15線	平面交叉	高架橋跨桃94線	20,020	7,150	6,500
	方案四	高架橋跨台15線	採一座高架橋跨桃89線、94線		33,720	11,850	11,050
	方案五	採一座高架橋跨台15線、桃89線、桃94線			46,330	13,000	6,500
	方案六	高架橋跨台15線	高架橋跨66線	高架橋跨66線	12,260	7,700	



台15線  
桃89線  
桃94線

方案	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
上部結構碳排放	12,771	27,027	27,027	45,522	62,546	16,551
下部結構碳排放	4,352	9,209	9,209	15,511	21,312	5,640
路工工程碳排放	2,933	6,206	6,206	10,453	14,362	3,801
鋼橋施工碳排放	0	322	422	699	767	454
鋼橋施工碳排放	15,704	33,555	33,655	56,674	77,675	20,806
維護工程碳排放	2,199	4,698	4,712	7,934	10,874	2,913
總碳排放	17,902	38,253	38,367	64,609	88,549	23,719
混凝土橋施工碳排放	7,284	15,738	15,837	26,664	36,441	9,895
維護工程碳排放	1,020	2,203	2,217	3,733	5,102	1,385
總碳排放	8,304	17,941	18,054	30,396	41,543	11,280
工程造價(億)	3.44	5.35	5.53	8.40	11.53	4.24
建議方案	★					

案例限制：

※ 台15線週邊鄰房較多，無法採取高架或地下化

※ 台66線若採地下化，將導致線型過長且地下隧道應避免車流匯入、岔出

※ 橋梁上部結構建議採用鋼箱梁吊裝、場鑄懸臂、預鑄節塊吊裝，下部結構建議採用直接基礎

64

## 附錄7 期末簡報

### 規劃報告案例(一)-路段二方案研擬

區域	方案	方案內容				
		桃84線	桃82線	高架橋總面積	路工工程面積	路堤填築面積
路段二	方案一	高架橋跨桃84線	平面交叉	11,440	6,240	4,810
	方案二	平面交叉	高架橋跨桃82線	9,680	4,550	3,900
	方案三	採一座高架橋跨越桃84、82線		34,352	12,350	9,750
	方案四	高架橋跨越66線	高架橋跨越66線	2,800	7,700	0

備註：鋼橋採用鋼箱梁吊裝工法：1.35 混凝土橋採用場鑄懸臂或預鑄節塊吊裝工法(採平均)：0.46  
直接基礎：0.31 路面工程：0.059



桃84線  
桃82線

方案	方案一	方案二	方案三	方案四
上部結構碳排放	15,444	13,068	46,375	3,780
混凝土橋	5,262	4,453	15,802	1,288
下部結構碳排放	3,546	3,001	10,649	868
路工工程碳排放	368	268	729	454
鋼橋施工碳排放	19,359	16,337	57,753	5,102
維護工程碳排放	2,710	2,287	8,085	714
總碳排放	22,069	18,624	65,838	5,817
混凝土橋施工碳排放	9,177	7,722	27,180	2,610
維護工程碳排放	1,285	1,081	3,805	365
總碳排放	10,462	8,803	30,985	2,976
工程造價(億)	2.66	2.81	9.29	0.87
建議方案		★		

#### 案例限制：

※ 桃84&82線路口高程差過大，台66線無法地下化

※ 桃84 & 82立體化路幅條件不足，建議可透過拓寬改善鄰近路口

※ 桃84線車流量不大，立體化工程經濟效益較低

※ 橋梁上部結構建議採用鋼箱梁吊裝、場鑄懸臂、預鑄節塊吊裝，下部結構建議採用直接基礎

65

### 規劃報告案例(一)-路段三方案研擬

區域	方案	方案內容				
		桃79線	桃81線	桃102線	高架橋總面積	路工工程面積
路段三	方案一	不改道	平面交叉	高架橋跨 桃102線	8,140	6,750
	方案二	改道	高架橋跨 桃81線	平面交叉	7,920	17,530
	方案三	改道	平面交叉	高架橋跨 桃102線	8,140	10,250
	方案四	改道	高架橋跨 桃81線	高架橋跨 桃102線	16,060	17,530
	方案五	採一座高架橋跨越桃79、81線		高架橋跨 桃102線	22,220	7,280



桃81線  
桃79線  
桃102線

方案	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
上部結構碳排放	10,989	10,692	10,989	21,681	29,997
混凝土橋	3,744	3,643	3,744	7,388	10,221
下部結構碳排放	2,523	2,455	2,523	4,979	6,888
路工工程碳排放	398	1,034	605	1,034	430
鋼橋施工碳排放	13,911	14,181	14,117	27,694	37,315
維護工程碳排放	1,947	1,985	1,976	3,877	5,224
總碳排放	15,858	16,167	16,094	31,571	42,539
混凝土橋施工碳排放	6,666	7,133	6,873	13,400	17,539
維護工程碳排放	933	999	962	1,876	2,455
總碳排放	7,599	8,131	7,835	15,277	19,994
工程造價(億)	3.65	3.74	4.16	5.71	5.42
建議方案			★		

#### 案例限制：

※ 桃81&79線路幅空間不足，且對民房衝擊過大

※ 高低落差過大，且無法滿足設計速率80 km/hr

※ 通過高鐵若採高架將使高鐵橋下道路淨空不足

※ 橋梁上部結構建議採用鋼箱梁吊裝、場鑄懸臂、預鑄節塊吊裝，下部結構建議採用直接基礎

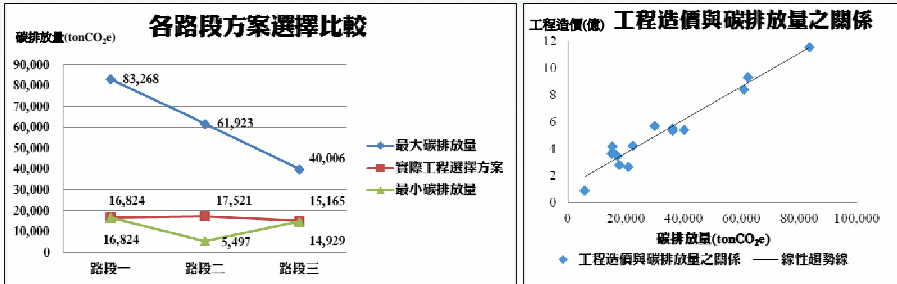
66

## 附錄7 期末簡報

### 案例計算小結



- 簡易型模式可利用方案間不同橋梁面積、路工面積等，即可計算出不同路線方案之碳排放量
- 橋梁碳排放影響程度高於路工碳排放
- 工程建議方案碳排放與最小碳排放相近，顯示建議方案已為環境影響較小之方案
- 碳排放量與工程造價具正向關係



67

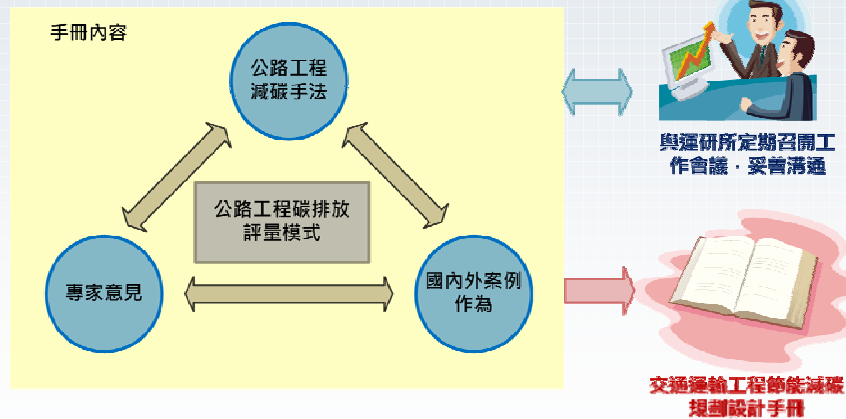
### 節能減碳規劃設計手冊



68

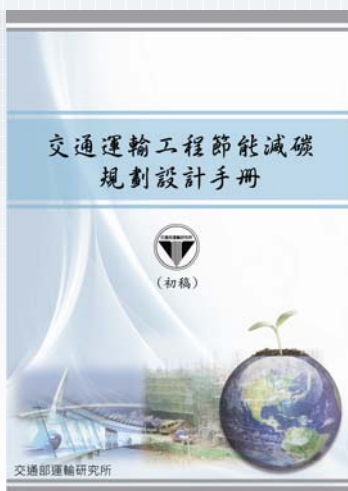
## 附錄7 期末簡報

### 手冊建立流程



69

### 緒論



- 1.1 緣起
  - 說明本手冊之背景與節能減碳之重要性
- 1.2 手冊之目的
  - 建立適用於規劃設計階段之碳排放評估方法，透過計算碳排放量、介紹減碳手法等方式，以輔助規劃設計人員探討最適設計、替代方案之可能
- 1.3 手冊適用範圍與時機
  - 分別介紹簡易型與詳細型之適用範圍與適用時機，以便使用者利用本手冊評估模式針對不同案例進行碳排放量計算

70

## 附錄7 期末簡報

### 名詞界定與碳排放係數選用



碳排放量推估參數級別分析表

級別	條件說明
A	國家政府機關公告數據
B	國內專案或研究報告及論文數據
C	國際公告數據
D	他國研究數據

#### • 2.1 名詞界定

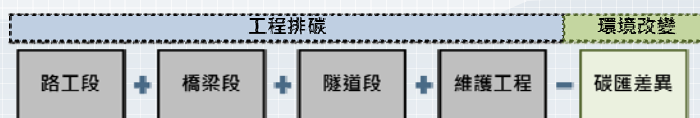
- 針對交通運輸工程、溫室氣體、碳排放量、碳匯變化量、公路工程碳足跡等名詞作定義，以避免手冊使用者混淆或誤用之情形發生

#### • 2.2 碳排放係數來源與分級

- 本手冊所採用之碳排放係數來源共可分成物料、燃料、機具能耗、物料人員運輸、碳匯等五類。經本手冊彙整係數後發現，相同物料將因不同國家或不同研究假設，而有兩種以上的碳排放係數，因此本手冊需針對碳排放係數選用進行說明，以避免使用者計算碳排放時，因誤用而導致計算結果失真或錯誤

71

### 公路工程簡易型碳排放評估方法



#### • 3.1 簡易型模式說明與適用時機

- 分別以作業原則、評估內容、評估時機等三部分說明簡易型模式之概念與使用限制

#### • 3.2 簡易型模式計算範疇

- 說明簡易型模式計算包含工程排碳與環境改變造成之碳匯差異等兩大計算範疇

#### • 3.3 簡易型模式碳排放評量方法

- 首先透過專家訪談與文獻回顧影響碳排放量之因子，並以工程估價所使用之估價單位進行簡易型碳排放計算

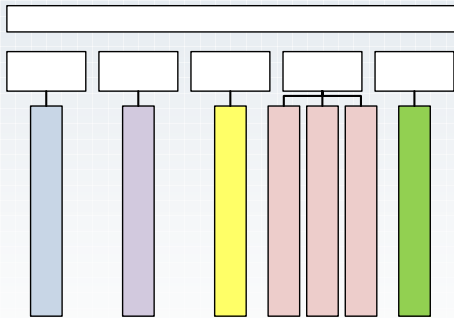
#### • 3.4 計算範例

- 以台九線蘇花公路改善計畫進行簡易型碳排放計算，以提供手冊使用者參考

72

## 附錄7 期末簡報

### 公路工程詳細型碳排放評估方法



- 4.1 詳細型評估方法說明與適用時機
  - 分別以模式目的、評估內容、評估時機等三部分說明詳細型模式之概念與計算原則
- 4.2 詳細型評估方法計算範疇
  - 根據環保署溫室氣體盤查與登錄管理原則將溫室氣體排放源分為三大範疇，而詳細型之計算範疇即為此三大範疇
- 4.3 詳細型碳排放評量方法
  - 首先說明詳細型模式之四大計算原則，並介紹詳細型計算方法
- 4.4 計算範例
  - 以台九線蘇花公路改善計畫進行詳細型碳排放計算，以提供手冊使用者參考

73

### 公路工程減碳方法與案例彙整



- 5.1 公路工程減碳建議手法
  - 公路工程減碳手法可從工程效益評量、工程節能規劃、低碳材料使用、植生環境維持及其他節能減碳作為等五大面向著手，以達到公路工程減碳之目的
- 5.2 公路工程具減碳作為之案例
  - 本手冊摘錄國內外相關減碳之工程案例，並依照路工、橋梁、隧道等分別呈現，可依使用者的不同需求，進行減碳規劃與減碳設計，以減少公路工程碳排

74

## 附錄7 期末簡報

### 附錄

項目	類別	機具名稱及規格	馬力 (kW)	燃料類別	燃料耗用係數	單位	機具燃料耗用率	單位
1	拌土機	拌土機，履帶式，60~69kW	60~69	高級柴油	0.188	l/kW·h	12.72	l/hr
2	拌土機	拌土機，履帶式，80~89kW	80~89	高級柴油	0.188	l/kW·h	15.98	l/hr
3	推土機	推土機，履帶式，120~129kW	120~129	高級柴油	0.188	L/kW·h	23.50	L/hr
4	拌土機	拌土機，履帶式，160~169kW	160~169	高級柴油	0.188	l/kW·h	31.02	l/hr
5	拌土機	拌土機，履帶式，250~259kW	250~259	高級柴油	0.188	l/kW·h	42.30	l/hr
6	推土機	推土機，履帶式，340~349kW	340~349	高級柴油	0.188	L/kW·h	57.34	L/hr
7	拌土機	拌土機，履帶式，250~259kW 挖斗型，履帶式，340~349kW	250~259 340~349	高級柴油	0.188	l/kW·h	42.30	l/hr
8	拌土機	拌土機，履帶式，340~349kW	340~349	高級柴油	0.188	l/kW·h	64.86	l/hr

#### • 附錄一 碳排放係數資料庫

- 建議物料、燃料、機具能耗、物料人員運輸、碳匯等五大類之碳排放係數，供手冊使用者計算參考

#### • 附錄二 計算項目與碳排放係數選用方法

- 若使用者對於係數選用有疑慮，無法確認該用哪一種係數，或找不到適用係數時，說明係數替代方法

#### • 附錄三 案例之主要碳排放工項百分比

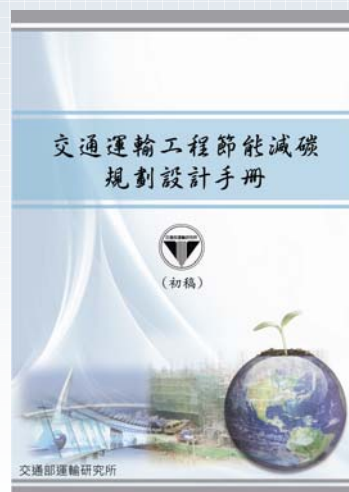
- 說明路工、橋梁、隧道之主要碳排放工作項目，建議使用者計算時必須納入計算之主要碳排工作項目

75

### 手冊專家審查

#### • 專家審查名單

服務單位	職稱	審查專家
交通部台灣區國道新建工程局規劃組	組長	陳國隆
交通部台灣區高速公路局技術組	組長	林炳松
亞新工程顧問股份有限公司	協理	林金德
財團法人中華顧問工程司	執行長	黃洪才
臺灣世曦工程顧問股份有限公司	技術經理	魏雲魯
林同棧工程顧問股份有限公司	副總工程師	彭康瑜
中興工程顧問股份有限公司	工程師	卓涼華



76

## 附錄7 期末簡報

### 結論與建議



77

### 結論(1/3)

#### • 規劃碳排放評量方法

- 簡易型：建議於**可行性**或**初步規劃**階段使用，利用各路線方案中，路工、橋梁及隧道之工程規模大小及碳匯之變化進行碳排放量計算
- 詳細型：建議於施工階段使用，針對**工程直接排碳量**、**間接排碳量**、**材料排碳量**、**運輸排碳量**與**碳匯變化量**進行計算等五類碳排放項目進行計算
- 維護工程暫參考國外計算原則與經驗，公路維護工程**40年**之碳排放量約為施工過程之**14%**

78

## 附錄7 期末簡報

### 結論(2/3)



#### • 公路工程碳排放量計算

- 本研究蒐集實際公路工程設計資料進行碳排放量計算，並根據計算結果分別提出路工、橋梁、隧道之主要碳排放工項
- 路工段分為路面工程與土方工程，並將剛性與柔性路面分開計算
- 橋梁段分為上、下部結構，並根據主梁材質、施作工法、基礎形式、橋墩高度分開計算
- 隧道段依照隧道體積進行計算，亦可配合地質組成進行計算

79

### 結論(3/3)



#### • 彙編交通運輸工程節能減碳規劃設計手冊

- 第一章：緒論，說明本系統之緣起與定義
- 第二章：名詞界定與碳排放係數選用，說明手冊內所有提及之名詞釋義、可使用碳排放係數分級與碳排放係數使用原則等
- 第三章：簡易型評量方法，提供可行性及初步規劃設計階段，進行工程碳排放量之評量方法說明與案例
- 第四章：詳細型評量方法，提供詳細規劃或施工階段，進行工程碳排放量之評量方法說明與案例
- 第五章：公路工程減碳手法與案例彙整，此章節彙集公路工程適用之減碳手法與內容，並依據手法蒐集國內外工程案例
- 附錄：提供本研究與前期研究所彙整之國內外碳排放係數與其使用方法、推估係數來源與實際計算案例內容等

80

## 附錄7 期末簡報

### 後續建議



- 國內碳足跡資料庫不足
  - 現階段國內**碳足跡資料不完備**，建議後續研究持續納入國內外最新公告數值與研究結果
- 缺乏營運與維護工程碳排放評量
  - 透過文獻回顧與專家訪談發現，國內尚無針對**營運維護階段**之工程碳排放量有標準計算方式
- 持續增加案例計算
  - 建議後續研究持續蒐集公路工程案例進行碳排放量計算，以確保本評量模式之準確性
- 推動新建公路工程碳盤查
  - 本研究計算主要採用設計資料，建議後續研究針對施工過程實際使用材料、機具進行**碳活動實質調查**，以得到更精確之工程碳排放量

81



簡報完畢 敬請指正

82

# 附錄7 期末簡報

## 期中審查意見回覆



審查委員	意見	團隊回應
國道新建工程局 陳組長國隆	<ol style="list-style-type: none"> <li>目前案例分類方式大都以橋梁、路工、隧道，簡易推估模式包含各工項所使用之燃料、外購電力、材料，簡易版是否會包含這些範疇？</li> <li>本研究參照去年係數資料庫，建議放在本報告中，一併納入本報告附件中。資料庫中之碳排放項目中，混凝土之施工方式等應寫出，將可對不同案例有更大幫助</li> <li>建議橋梁案例部分，因箱型梁之施工方式較多，目前分類部分僅以懸臂工法為主，<b>建議增加其他工法之案例</b>，以探討其他工法是否會對碳排放量造成影響</li> <li>目前期中報告中，針對目前無係數部分目前採用0代替，雖然比例不高，但若可能佔的比例較高，建議手冊內可針對此部分進行說明定義</li> <li>碳排放量部分，施工階段所佔碳排放約在20%以下，考量全生命週期之概念下，本研究<b>是否會針對其他階段進行估算</b>？</li> <li>若要進行係數探討，需要增加很多案例</li> <li><b>鋼橋碳足跡</b>係數部分，是否有納入回收後效益</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員意見，本研究係以實際案例之單價分析表與數量計算書之資訊進行碳排放估算，施工中之機具與材料都已納入計算</li> <li>感謝委員意見，前期報告之資料庫已納入手冊附件二，惟許多碳排放係數僅提供數據，並無詳細之內容，難以分析</li> <li>感謝委員意見，採用不同工法勢必影響施工機具之時間與能耗，本研究<b>蒐集案例</b>，其使用之工法將可分成<b>I型梁吊裝工法、場鑄懸臂工法、場鑄逐跨工法</b>等。請詳參本報告第5.4節橋梁工程之計算</li> <li>感謝委員提醒，係數為0部分，係為本研究初步計算時之標註，實際計算時因有部分係數於資料庫內無法取得，後續計算過程皆以<b>利用相近之係數取代</b></li> <li>感謝委員意見，依據合約範疇，本研究所規劃之碳排放評量方法，係以<b>工程量體、施工與後續維護工程</b>之碳排放為主</li> <li>感謝委員提醒，本研究已徵詢公路總局與其他工程顧問公司之協助，直至期末階段共蒐集<b>13件</b>工程案例</li> <li>感謝委員意見，本計算模式所採用之<b>鋼材係數不包含回收部分</b></li> </ol>
中興工程顧問 黃工程師婉淇	<ol style="list-style-type: none"> <li>建議計算過程中，<b>排除哪些項目</b>，應做顯示，以便使用者使用</li> <li><b>用水量跟廢棄物數量</b>，在規劃設計無法得知，但<b>詳細計算部分建議增加</b></li> <li>簡易版部分在路線方案或許可針對營運階段提出評估依據，以便使用者使用</li> <li>英國部分路工部分有相關係數，建議可納入參考</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員意見，計算過程之限制與排除皆已註記，如<b>本報告5.1.3節</b>所示</li> <li>感謝委員意見，業已修正。惟實際案例計算時所能取得之資料限制，部分計算項目僅能簡化計算</li> <li>感謝委員意見，營運階段不屬本年度工作範疇，本模式僅探討<b>工程本體、施工與維護工程</b>之碳排放量</li> <li>感謝委員意見，本研究將持續蒐集，並納入後續參考</li> </ol>

## 期中審查意見回覆



審查委員	意見	團隊回應
交通部公路總局 夏組長明勝	<ol style="list-style-type: none"> <li>目前中興進行碳盤查部分，針對前期所提出之範疇進行盤查，研究成果將會呈現隧道每一挖方將會有多少碳排放，橋梁每平方公尺有多少碳排放。<b>建議案例採用通用型案例</b>，本研究目前所呈現部分，雙園大橋幾乎沒有路工，案例代表性可能較為不足。蘇花改是較特殊之工程，B1跟B4標之填土部分來自其他標隧道之出渣，與西部工程不太相同，採用其結果可能失真，建議本研究針對較常用之工程進行案例試算。北門玉井線之箱型梁較為一個典型代表，代表性較雙園大橋充足，雙園大橋規模較大與跨距較大，若以此個案直接針對鋼橋提出係數，代表性可能較為不足</li> <li>目前提出之簡易型與詳細型部分，大致沒有什麼問題，惟針對簡易型之係數是從詳細版回饋部分應做清楚說明，以免使用者誤用，本研究目前將填土部分獨立計算，應為可行</li> <li>期中報告橋梁部分以單位高度之面積排放量，現在分為上部、下部更為明確，隧道以體積部分應為可行。建議增加案例數量</li> <li>認同本研究目前之作法，針對工程中之<b>主要碳排放量之百分之90以上已具代表性</b>，針對概括評估部分已經足夠</li> <li>全生命週期部分，可對營運階段提出部分評估方式，將可對規劃者有極大助益</li> <li>若採用較多橋梁，隧道之工程，雖然工程碳排放較高，但可降低營運段之碳排放，或許可針對方案間進行全生命週期之碳排放趨勢比較，可對規劃階段有部分幫助</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>感謝委員意見，本研究將持續進行案例蒐集，並將此建議納入後續研究重點。透過案例試算後，可發現<b>路工段</b>之計算可分成<b>路面工程與土方工程</b>，路面工程可再細分為<b>剛性路面及柔性路面</b>；<b>橋梁段</b>工程之估算需分成<b>上、下部結構</b>分別評量。上部結構部分評估時需考量不同<b>主梁材質、主梁形式及施作工法</b>等差異；下部結構之評估方式主要以<b>基樁型式</b>為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否<b>跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩</b>等方式進行評量。<b>隧道段</b>工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成<b>體積</b>後，再配合<b>地質組成</b>之比例進行計算</li> <li>感謝委員肯定，本研究將持續努力</li> <li>感謝委員肯定，本研究將持續努力</li> <li>感謝委員肯定，本研究將持續努力</li> <li>感謝委員肯定，本研究將持續努力</li> <li>感謝委員意見，本研究之範疇係以工程量體與施工階段之碳排放為考量。而營運階段之碳排放計算更為複雜，透過文獻回顧發現，除速限、坡度限制外，仍有諸多因子無法單獨計算，本研究建議後續研究可針對營運階段單一因子或複合因子之關係進行分析</li> <li>感謝委員意見，本研究將此建議與所內長官討論，並建議為後續研究發展主題</li> </ol>

# 附錄7 期末簡報

## 期中審查意見回覆



審查委員	意見	團隊回應
交通部運輸研究所 許副組長書軒	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 規劃階段部分進行全生命周期碳排放比較，本研究目前以<b>工程階段排放</b>為主，針對營運階段部分由運計組進行，待評估時再將兩部分進行加總比較，本研究目前以<b>規劃階段估算與設計階段估算</b>為主，建議本研究<b>簡易版與詳細版搭配規劃設計階段使用</b>，本研究於手冊中應清楚寫出(報告P.41)</li> <li>2. 簡易模型與詳細模型部分，簡易版太過簡易，容量分析手冊中，坡度部分可使用平坦地、山嶺地、丘陵地或坡度等，建議本研究詳細模型應針對個案之背景特性與條件列出，將可對手冊使用者有較大助益，以便不同工程規劃者使用，針對不同特性進行分類、分群</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員提醒，已納入手冊內容</li> <li>2. 感謝委員提醒，本研究針對工程之特性與內容進行分類。路工程之計算可分成路面工程與土方工程；橋梁段工程之估算需分成上、下部結構分別評量。上部結構部分評估時需考量不同主梁材質、主梁形式及施作工法等差異；下部結構之評估方式主要以基樁形式為主，惟考量規劃設計報告內容差異，使用者亦可依據橋下是否跨河、橋梁平均淨高、有無橋墩等方式進行評量。隧道段工程之碳排放評量，以隧道斷面積與長度換算成體積後，再配合地質組成之比例進行計算</li> </ol>
臺北科技大學 吳教授傳威	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 交通運輸工程之範疇極大，包含陸、海、空，而本研究僅針對公路工程（非軌道）進行探討，針對本研究之範疇宜予適當說明</li> <li>2. 報告中研究團隊成員未列出，應將工作團隊名單進行條列，可對團隊之專業性進行說明</li> <li>3. 報告中提到前期研究，但未出現在參考文獻中，在本研究之參考文獻中應清楚表列</li> <li>4. 本研究將重新建立新模式或主要仍以前期研究之碳排推估模式為準？本研究使用之模式與去年之模式差異為何？</li> <li>5. 規劃設計手冊部分，規劃階段之資訊非常有限，規劃階段之推估恐過於粗略而看不出差異，本研究目前所擬定之簡易版之資訊，應為基本設計才能使用，針對規劃部分應做更細部之探討，應將本研究之定位更加清楚</li> <li>6. 手冊編定應讓大家可以廣泛採用，應需進行驗證，讓大家對此產生可信度，將可使手冊有更大的效益</li> <li>7. 期待本研究成果能得到廣泛的認為，可被欣然的引用</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員意見，本研究建立之模式其實是適用於各工程（工地、鐵路工程），若範疇屬於ABCDE都是可適用的，其不同在於機具的耗油與用電。該計算模式是遵循碳足跡的基準，也是前期報告的模式，因是運研所之研究案，因此還是有延續性，目前案例蒐集皆以<b>公路工程</b>為主，後續會於報告中寫清楚</li> <li>2. 感謝委員意見，本研究遵照辦理，並於期末報告說明</li> <li>3. 感謝委員意見，業已修正</li> <li>4. 感謝委員意見，本研究之詳細版係延續前期報告之範疇，而簡易版模式乃依據專家與詳細模型進行簡化而成</li> <li>5. 感謝委員意見，因不同案例情況可能不同，無法辨於在規劃與設計階段時，是否有橋長、橋墩、工法等資訊。因此本研究分簡易與詳細版，若可取得之資料夠詳細與清楚，則用詳細版模式，若無法得知太多資訊可運用簡易版模式</li> <li>6. 感謝委員意見，<b>本研究嘗試運用規劃報告之資訊進行模式測試</b>，確認本模式運行與計算內容符合期待</li> <li>7. 感謝委員鼓勵</li> </ol>

85

## 期中審查意見回覆



審查委員	意見	團隊回應
行政院公共工程委員會	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>鋼橋之單位碳排放較混凝土橋高</b>，與一般所認知較為不同，針對這樣的成果因做詳細探討</li> <li>2. 橋梁工程之單位碳排放較路工多，與本研究先前提出以橋梁取代填土之結果矛盾</li> <li>3. 橋梁的型式是受到<b>跨距</b>的影響，在實務上相同跨距斷面而言，<b>I型梁</b>較不經濟，<b>材料用量會比箱型梁來的多</b>，則I型梁碳排放會更多，但本研究<b>箱型梁碳排放係數大於I型梁</b>，因此資料的顯示與使用應有限制與說明</li> <li>4. 路基填築受到填方的運距影響很大，一般如果能在工區挖填平衡的跟填方需要遠方運距運過來的比較上，這兩個會有很大的差異</li> <li>5. 建議蒐集<b>節能減碳手法</b>，與本研究之研究成果搭配參考是否相符</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員提醒，本研究之範疇係考量<b>工程建造之主體碳排放量</b>，依國內設計規範與特性，鋼橋利用新材料，並非利用回收材。至於後續回收效益等，本研究參考<b>國內外之案例</b>發現，工程除役(回收再利用)階段仍有諸多疑點與限制，<b>多數建議暫不考量後續回收</b></li> <li>2. 感謝委員意見，本研究之橋梁係以上下部結構分類，因此上下部結構的碳排放已分開計算，委員所指的碳排放或許已包含營運階段，將無法直接進行比較</li> <li>3. 感謝委員意見，本研究將檢視計算內容之缺失，並於本報告<b>5.4節</b>中探討與分析<b>橋梁上部結構之差異</b></li> <li>4. 感謝委員提醒</li> <li>5. 感謝委員意見，本研究於<b>手冊初稿第五章</b>已初步彙整可行之減碳手法，請詳參報告<b>附錄六</b></li> </ol>
國道新建工程局	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>【P.11】第2.2.1節</b>國內外永續道路發展趨勢，諸多內容係所列國家10年前發展經驗資料，請再查詢是否有較新資料</li> <li>2. 第3.3節中提及許多研究，但未在參考文獻中敘明，請補充</li> <li>3. 表5.5中目前已蒐集之工程案例，均屬公路總局轄管範圍，未見高公局轄管部分</li> <li>4. 專家訪談紀錄中僅見2位專家之紀錄，缺少1位</li> <li>5. 誤繕部份經查如下： <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ <b>【P.25】</b>標題「3.2 國內外道路工程節能減碳研究」是否應為「3.2 國內道路工程節能減碳研究」？</li> <li>➢ <b>【P.31】</b>文中提及「圖3.6」但對照資料卻是「表3.5」，且文中並未編列「表3.4」。</li> <li>➢ <b>【P.67】</b>標題「5.3.4 案例三：蘇花改計畫工程」是否應為「5.2.4 案例三：蘇花改計畫工程」？</li> <li>➢ <b>【P.73】</b>標題「5.2.4 案例四：蘇花改觀音隧道新建工程」是否應為「5.2.5 案例四：蘇花改觀音隧道新建工程」？</li> <li>➢ <b>【P.74】</b>標題「表5.17 蘇花改和平段路工程碳排放量」是否應為「表5.17 蘇花改觀音隧道新建工程碳排放量」？</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員提醒，業已修正</li> <li>2. 感謝委員提醒，業已修正</li> <li>3. 感謝委員提醒，業已修正</li> <li>4. 感謝委員提醒，業已修正</li> </ol>

## 附錄7 期末簡報

### 期中審查意見回覆



審查委員	意見	團隊回應
公路規劃組	1. 針對簡易版部分， <b>案例數量</b> 是否有打算要算多少？未來可行性研究部分，亦可能將碳排納入考量，說明案例數量將可對本手冊之可信度有一定代表性	1. 感謝委員提醒，本研究在時間允許範圍之內，將盡可能蒐集案例，並進行試算，以增加本碳排放評估模式之內容。直至期末階段共蒐集 <b>13件工程案例</b>
交通部運輸研究所 陳組長一昌	1. 簡易模式如何建構應於報告中寫清楚以及詳細版在設計階段如何供使用者使用，在報告中應詳述，以便使用者方便針對 <b>手冊範疇</b> 部分，該模式應針對 <b>路工、橋梁、隧道進行說明</b> 3. 本研究後續針對委員意見部分應做意見及回應。 4. 簡報第55頁，目前 <b>係數計算方式是採用何種方式</b> ？ 5. 係數為0部分應做補充，避免委員誤會	1. 感謝委員意見，本研究遵照辦理 2. 感謝委員意見，本研究遵照辦理 3. 感謝委員意見，本研究遵照辦理 4. 本研究目前針對案例試算結果暫時先以 <b>平均方式</b> 進行數值。 5. 感謝委員意見，本研究遵照辦理

87

### 公路工程百分比統計



工程類型	蘇花改A2標	蘇花改A3標	蘇花改C1標	蘇花改C2標
隧道工程	97.25%	16.58%	88.50%	91.12%
橋梁及結構工程	0.00%	77.78%	1.45%	4.71%
道路工程	0.74%	1.97%	3.73%	2.27%
小計	97.99%	96.33%	93.68%	98.10%
排水工程	0.09%	1.56%	4.32%	0.45%
交通工程	0.08%	0.33%	0.39%	0.69%
路堤及橋梁電力預埋管路工程	0.00%	0.77%	0.36%	0.00%
地磅站及管制站工程	0.00%	0.00%	0.32%	0.00%
植物種植及生態保護設施工程	0.78%	0.18%	0.27%	0.07%
路堤及橋梁段交控系統土木管道工程	0.00%	0.42%	0.27%	0.29%
工地交通維持、安全衛生及環境保護費	0.02%	0.06%	0.10%	0.17%
施工期間運輸道路維護	0.00%	0.21%	0.09%	0.05%
隧道洞口機房工程	0.97%	0.00%	0.06%	0.10%
邊坡保護工程	0.00%	0.00%	0.06%	0.00%
公路照明預埋管路工程	0.00%	0.03%	0.04%	0.02%
雜項工程	0.00%	0.12%	0.04%	0.06%
號誌設備工程	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%

資料來源：交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究，運研所（2011）

88