

99-76-7485

MOTC-IOT-98-H1DB005

透水混凝土應用在港灣構造物設施 與公路路面成效評估之研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

99-76-7485

MOTC-IOT-98-H1DB005

透水混凝土應用在港灣構造物設施 與公路路面成效評估之研究(1/2)

著者：張道光、李明君、顏聰、邱垂德、黃怡碩
童文志、何政翰、林岱瑋、陳靖宇、賴明志

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 5 月

GPN : 1009901784

定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目資料

透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效
評估之研究. (1/2) / 張道光等著. -- 出版. -- 臺北市
：交通部運研所, 民 99. 05
面；公分
參考書目：面
ISBN 978-986-02-3701-6 (平裝)

1. 混凝土 2. 鋪面工程

440.327

99009955

透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究(1/2)

著者：張道光、李明君、顏聰、邱垂德、黃怡碩、童文志、何政翰
林岱瑋、陳靖宇、賴明志

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.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 99 年 5 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：200 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 F1•電話：(02) 25180207

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

GPN：1009901784

ISBN：978-986-02-3701-6 (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：透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-3701-6(平裝)	政府出版品統一編號 1009901784	運輸研究所出版品編號 99-76-7485	計畫編號 98-H1DB005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 聯絡電話：04-26587119 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：朝陽科技大學 計畫主持人：李明君 研究人員：顏 聰、邱垂德 地址：臺中縣霧峰鄉吉峰東路 168 號 聯絡電話：04-23323000 轉 4239		研究期間 自 98 年 03 月 至 98 年 12 月
關鍵詞：透水混凝土、防波堤、鋪面材料、落塵量			
摘要： 本計畫完成透水混凝土路面試鋪規劃座談會、防波堤透水混凝土試鋪規劃座談會、透水混凝土鋪面材料及施工規範研擬座談會辦理與審查。在文獻回顧亦彙整 10 個透水混凝土應用案例，具參考價值。現地實驗方面，於透水混凝土路面受落塵量之試驗發現：當飛灰模擬累積 20 年落塵量時，透水混凝土之孔隙 有部份被阻塞，阻塞造成現地透水能力降低，部分測點現地透水能力下降 30%，但停車格整體透水能力仍然良好，其現地透水量超過一般透水鋪面 400 ml/15sec 之標準甚多。 本研究成果之效益，以及可提供本所或其他政府機關後續應用情形，包括(1) 透水混凝土鋪面材料之施工規範草案，具參考價值；(2) 獲交通部公路總局第二區養護工程處之應用，預計於 2009 年底發包施工興建「埔里工務段辦公大樓新建工程」中，規劃部分停車場與路面採用透水混凝土；(3) 提供各港務局、公路局及相關交通單位推廣應用透水混凝土之參據。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
99 年 5 月	214	200	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。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
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: Performance Evaluation on Highway Pavement and Harbor and Marine Utilities by Applying Pervious Concrete (1/2)

ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3701-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901784	IOT SERIAL NUMBER 99-76-7485	PROJECT NUMBER 98-H1DB005
--	--	-------------------------------------	----------------------------------

DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Tao-kuang PHONE: (04) 26587119 FAX: (04) 26564418	PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO December 2009
---	---

RESEARCH AGENCY: Chaoyang University of Technology
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Ming-gin
PROJECT STAFF: Yan Cong, Ciou Chuei-de
ADDRESS: No.168 Jifong E. Rd., wufong Township Taichung County, Taiwan (R.O.C)
PHONE: 886-4-2332-3000Ext.4239

KEY WORDS: PERVIOUS CONCRETE, SEAWALL, PAVEMENT MATERIAL, AMOUNT OF DUST

ABSTRACT:

Over the past year, we have done almost complete tasks, including two field trial plans and a draft of specification for pervious concrete, which is suggested by the technical experts to be proposed to the Public Construction Commission for approval. The report reviewed about 10 valuable cases involving pervious concrete application. By simulating a dust quantity of 20 years, using fly ash as dust particles, it was concluded that although porous pavements would partially be blocked and permeability reduced by 30%, the permeability of a pervious concrete parking lot would drain water at a speed faster than 400 ml/15 sec. set for lower limit of porous pavements.

The results and subsequent applications of this research work could be summarized in that (1) the draft of specification for pervious concrete has reference value, (2) a pervious concrete parking lot has been designed and scheduled to be constructed in 2010 in the new office building project of the Taiwan Highway Bureau, (3) The result can offer each harbor authority, Directorate General of Highways and related units the reference and application of pervious concrete.

DATE OF PUBLICATION April 2010	NUMBER OF PAGES 214	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
---------------------------------------	----------------------------	------------------	--

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

透水混凝土應用在港灣構造物設施與 公路路面成效評估之研究(1/2)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
表目錄	VII
圖目錄	IX
照片目錄	XI
第一章 緒 論	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 研究目的與重要性	1-5
1.3 研究內容與工作項目	1-5
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 透水混凝土	2-1
2.1.1 透水混凝土之定義	2-1
2.1.2 透水混凝土之組成	2-2
2.1.2.1 水泥與其它膠結材料	2-2
2.1.2.2 骨材	2-3
2.1.2.3 拌合水	2-4
2.1.2.4 摻劑	2-5
2.1.2.5 水灰比	2-5
2.1.3 透水混凝土之配比	2-6
2.2 透水混凝土之工程性質	2-12
2.2.1 新拌透水混凝土	2-12

2.2.2 硬固透水混凝土	2-12
2.3 透水混凝土在公路路面與港灣構造物設施之應用	2-13
2.3.1 透水混凝土應用—沿革	2-14
2.3.2 公路路面應用	2-14
2.3.3 港灣構造物設施應用	2-23
2.3.4 透水混凝土案例	2-29
2.3.5 透水混凝土研究彙編：過去、現在與未來	2-40
第三章 防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃	3-1
3.1 防波堤之選擇	3-1
3.2 防波堤現況	3-2
3.3 試鋪防波堤配置與細部規劃	3-3
3.4 試鋪材料規範的草擬	3-7
3.4.1 目前國內現有規範之探討	3-7
3.4.2 使用材料與配比設計原則	3-8
3.5 施工技術規範	3-10
3.5.1 簡介	3-10
3.5.2 承包商資格	3-10
3.5.3 材料和配比設計	3-10
3.5.4 透水混凝土施工	3-11
3.5.4.1 路基材料	3-11
3.5.4.2 施工場地準備	3-11
3.5.4.3 蓄水功能	3-11
3.5.4.4 模板	3-12
3.5.4.5 透水混凝土之輸送澆置養護	3-12
3.5.5 施工後	3-18

3.5.6 施工試驗及檢查.....	3-18
3.5.6.1 透水混凝土施工前檢試驗.....	3-18
3.5.6.2 透水混凝土施工中檢試驗.....	3-18
3.5.6.3 透水混凝土施工完成後檢試驗.....	3-19
3.5.7 維護.....	3-19
第四章 透水混凝土路面試鋪作業規劃.....	4-1
4.1 試鋪路面場址選擇規劃.....	4-1
4.2 透水鋪面配置與厚度設計.....	4-4
4.3 材料配比設計.....	4-7
4.4 透水混凝土鋪面施工規範之研擬.....	4-8
第五章 透水混凝土路面受落塵量影響之評估.....	5-1
5.1 落塵量與鋪面現地透水試驗.....	5-1
5.2 現地透水混凝土鋪面實驗區現況回顧.....	5-3
5.2.1 透水混凝土鋪面實驗區介紹.....	5-3
5.2.2 透水混凝土鋪面實驗區規劃設計與施作過程.....	5-4
5.2.3 透水混凝土鋪面實驗區施工後現地透水試驗結果.....	5-6
5.3 落塵量對透水混凝土鋪面透水能力之影響.....	5-7
第六章 透水混凝土鋪面材料與施工技術規範研擬.....	6-1
6.1 通則.....	6-1
6.1.1 本章概要.....	6-1
6.1.2 工作範圍.....	6-1
6.1.3 相關章節.....	6-2
6.1.4 相關準則.....	6-2
6.1.5 定義.....	6-2
6.1.6 資料送審.....	6-3

6.2 產品.....	6-3
6.2.1 設計概要.....	6-3
6.2.2 材料之一般規定.....	6-4
6.2.3 工廠品質管理.....	6-6
6.3 施工.....	6-6
6.3.1 透水混凝土之設計及基底層施工要求.....	6-6
6.3.2 透水混凝土面層.....	6-8
6.3.3 檢測.....	6-10
6.3.4 管理與維護.....	6-12
6.4 計量與計價.....	6-12
6.4.1 計量.....	6-12
6.4.2 計價.....	6-12
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告會議意見答覆表.....	附錄 1-1
附錄二 期末報告會議意見答覆表.....	附錄 2-1
附錄三 期末報告簡報資料.....	附錄 3-1
附錄四 顧問團專家建議意見答覆表.....	附錄 4-1
附錄五 透水混凝土路面試鋪作業規劃意見答覆書.....	附錄 5-1
附錄六 防波堤試鋪透水混凝土作業規劃意見答覆表.....	附錄 6-1
附錄七 材料與施工技術規範.....	附錄 7-1
附錄八 透水混凝土鋪面材料與施工技術規範研擬座談會意見答覆表	附錄 8-1

表 目 錄

表 1-1 顧問團的成員名單.....	1-9
表 2-1 各國推薦或採用透水性混凝土路面之骨材級配.....	2-4
表 2-2 典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍.....	2-7
表 2-3 背填透水混凝土之配合比例.....	2-25
表 2-4 各種粗糙度與透水性海堤堤面溯升減少率.....	2-28
表 2-5 SIOUX 市重交通車輛倉庫與車道 10 種透水混凝土配比.....	2-34
表 3-1 透水混凝土材料規範要求.....	3-8
表 3-2 無細骨材混凝土水泥之配比設計參考.....	3-9
表 4-1 基地保水指標評估表.....	4-6
表 4-2 典型透水混凝土鋪面材料配比.....	4-8
表 4-3 ACI 522.1 規範中的強制規定條文檢核表.....	4-10
表 4-4 ACI 522.1 規範中的選擇性規定條文檢核表.....	4-10
表 4-5 ACI 522.1 規範中的送審文件檢核表.....	4-11
表 5-1 每一試驗單元以飛灰量模擬若干年累計落塵量.....	5-2
表 5-2 停車場停車格現場透水量試驗結果.....	5-7
表 5-3 停車格透水混凝土鋪面現地落塵量其透水試驗結果.....	5-8
表 6-1 人行道碎石級配表.....	6-4
表 6-2 粗粒料質量表.....	6-5
表 6-3 碎石粒徑級配表.....	6-5
表 6-4 典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍表.....	6-5
表 6-5 檢測表.....	6-10

圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖.....	1-7
圖 2.1 透水混凝土含水量多寡是否結球行為： (A)太少，(B)適量，(C)太多水	2-5
圖 2.2 透水混凝土抗壓強度與孔隙率之關係	2-9
圖 2.3 透水混凝土抗壓強度與單位重之關係	2-9
圖 2.4 透水混凝土水灰比與孔隙率之關係	2-9
圖 2.5 透水混凝土抗彎強度與孔隙率之關係	2-10
圖 2.6 透水混凝土抗彎強度與抗壓強度之關係	2-10
圖 2.7 透水混凝土透水速率與孔隙率之關係	2-10
圖 2.8 透水混凝土配比設計流程圖.....	2-11
圖 2.9 灌溉水路使用透水混凝土之工法	2-21
圖 2.10 透水係數與漿骨比關係圖	2-22
圖 2.11 孔隙率與透水係數關係圖	2-22
圖 2.12 高陡護坡斷面示意圖.....	2-25
圖 2.13 凹凸面易使珊瑚著生.....	2-27
圖 2.14 海草數量與試驗期相關性.....	2-28
圖 2.15 SUN RAY STORE-AWAY 倉儲設施透水混凝土鋪面設計圖.....	2-30
圖 2.16 STRANG COMMUNICATION OFFICE 透水混凝土停車場設計圖	2-31
圖 2.17 TALLAHASSEE 市環境保護署建築物附近 載重區透水混凝土設計圖.....	2-32

圖 2.18 喬治亞州 EFFINGHAM 郡掩埋場透水混凝土設計圖.....	2-33
圖 2.19 美國南卡羅來那州 SANTEE 土石壩與堤防工程.....	2-36
圖 2.20 設計使用透水混凝土 10 英吋厚與碎石透層 4 英吋作為 SANTEE 土石壩或堤保護坡.....	2-36
圖 2.21 美國州政府投注資源於透水混凝土研究或訓練示意圖	2-41
圖 3.1 臺中港北防沙堤配置圖.....	3-3
圖 3.2 臺中港北防沙突堤配置圖	3-3
圖 3.3 臺中港整體規劃平面配置圖及現況照片	3-4
圖 3.4 臺中港整體現況照片	3-4
圖 3.5 臺中港中碼頭區第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤現狀照片	3-6
圖 3.6 港內第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤透水混凝土試鋪規劃設計圖..	3-6
圖 4.1 公路總局新建埔里工務段辦公大樓預定位址圖.....	4-2
圖 4.2 公路總局新建埔里工務段辦公大樓配置平面圖.....	4-3
圖 4.3 原規劃之辦公人員停車場設計圖	4-4
圖 4.4 預定設計之透水鋪面標準斷面圖	4-5
圖 5.1 現地停車格之示意圖	5-4

照片目錄

照片 2.1 美國透水鋪面應用於停車場.....	2-15
照片 2.2 VILLANOVA 大學透水混凝土試驗廣場	2-16
照片 2.3 日本透水鋪面應用於步道.....	2-17
照片 2.4 臺南市中華西路之排水性瀝青路面	2-20
照片 2.5 透水混凝土護坡施工澆置情形(GOMACO 公司).....	2-26
照片 2.6 日本佐賀縣多久市石原川透水多孔混凝土護岸工程.....	2-26
照片 2.7 日本山口縣防府市佐波川多孔混凝土護岸工程	2-27
照片 2.8 南加州 MANHATTAN BEACH 透水混凝土停車場	2-29
照片 2.9 SUN RAY STORE-AWAY 倉儲設施透水混凝土鋪面.....	2-30
照片 2.10 STRANG COMMUNICATION OFFICE 透水混凝土停車場....	2-31
照片 2.11 TALLAHASSEE 市環境保護署建築物附近透水混凝土載重區	2-32
照片 2.12 喬治亞州 EFFINGHAM 透水混凝土郡掩埋場	2-33
照片 2.13 SIOUX 重交通車輛倉庫透水混凝土鑽心試體.....	2-34
照片 2.14 北卡羅來那大學通勤停車場透水混凝土	2-35
照片 2.15 (A) 奧勒岡州波特蘭動物園走道	2-37
照片 2.15 (B) 加州美橡樹 MILLER 公園	2-37
照片 2.15 (C) 田納西州 CHATTANOOGA FINLEY 體育館停車場.....	2-38
照片 2.15 (D) 加州 IMPERIAL 海濱運動公園.....	2-38
照片 2.15 (E) 奧勒岡州天使山倉儲用地.....	2-38
照片 2.15 (F) 華盛頓州 BAINBRIDGE 島彩色透水混凝土人行道.....	2-39

照片 2.15 (G) 喬治亞州 BUFORD LARGE CONCRETE 停車場	2-39
照片 3-1 藉由預拌車尾端卸料澆置透水混凝土.....	3-12
照片 3-2 藉由輸送帶澆置透水混凝土	3-13
照片 3-3 藉由耙子攤平透水混凝土	3-13
照片 3-4 藉由振動刮板進行搗實透水混凝土.....	3-14
照片 3-5 藉由滾筒壓密透水混凝土	3-15
照片 3-6 藉由小滾筒壓密小區域透水混凝土.....	3-15
照片 3-7 二次橫向滾筒壓密透水混凝土以改善鋪面騎乘品質	3-15
照片 3-8 鋤刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀.....	3-16
照片 3-9 切縫工具附有刀鋒約為 1/3 版厚度.....	3-16
照片 3-10 滾筒附有刀鋒可以縱向切縫透水混凝土鋪面	3-17
照片 3-11 壓密透水混凝土後應迅速使用塑膠紙覆蓋鋪面養護	3-17
照片 5.1 朝陽科技大學操場後面之第二停車場.....	5-4
照片 5.2 落塵量對現地透水試驗	5-9

第一章 緒 論

1.1 計畫背景

透水混凝土是一種特殊型式的多孔混凝土，一般多使用在平面澆置的版片構件上，允許雨水或其他來源的水穿過混凝土層，降低逕流量並提升地下水蓄存量。高透水性係經由混凝土中大量連結的孔洞來達成。一般透水混凝土幾乎不含細粒料（又稱 no-fines concrete），僅利用有限的水泥質糊體將粗粒料黏結，維持混凝土內部孔洞的連續性。過去，透水混凝土多應用於停車場、人行步道、輕承載區域及溫室區域；目前，永續發展是社會上普遍追求的目標，而透水混凝土正是永續營建的重要工程材料之一^[1]。

近年來，都市洪災頻傳，人民生命財產損失慘重，政府亟思解決之道；其中推動永續或生態的概念於國內公共工程的設計與施工上，為重要改善天然災損的政策之一，有鑑於此，內政部營建署擬修訂「市區道路條例」，規定未來人行道鋪面材料應將生態與防災功能列入考量，並建議鋪面材料使用透水混凝土^[2]。

美國環保署（EPA）認為適當使用透水混凝土是控制初始急流污染（first-flush pollution）及暴雨管理（storm water management）的最佳方式，並利用訂定區域暴雨逕流量的限制條件，鼓勵使用透水混凝土做為道路面層材料；此因，倘不使用透水鋪面材料，新區域土地開發必需擴增排水系統的規模與興建費用、提高房地產開發成本，方能符合區域暴雨逕流量的法規限制條件。然而使用透水混凝土可降低鋪面區域的逕流量，減少設置暴雨集水池的需求，降低雨水排水管線的需求容量，又可發揮濾網濾清的功能，使得伴隨雨水進入河川、蓄水池的污染物數量降低；施作透水混凝土區域其功能好似一個水源貯存盆地，在此廣大區域允許雨水透水進入透水混凝土及底層土壤，可有效地補充區域性珍貴的地下水貯存量。前述使用透水混凝土的各項效益，均利於土地的有效利用。此外，使用透水混凝土尚可降低新區域土地開發對植物生長的衝擊，透水鋪面允許水分與空氣

穿過到達土壤並延伸至植物根部，使植物可以獲得滋養而成長^[2]。

環保科技發達的德國，街道積水現象非常少見；在德國，人行道、自行車道及郊區道路等承受壓力不大的路面，均採用透水地磚，除磚材本身可透水外，磚與磚間採用透水性填充材料拼接；自行車存放區及停車場地面，使用多孔的混凝土磚，並在磚孔中用土填充以利綠草生長，使 40% 以上的地面可具有綠化功能；德國經驗亦顯示使用硬質低透水鋪面，會使雨水補充地下水的路徑被阻斷，雨水匯集地面，若大量集中在汽、機車道上，更將使交通堵塞引發嚴重都市問題。又因為土壤不能大量及時吸收雨水，雨水排放至河川，河水水位常會迅速升高造成洪災；而雨水直接從地面蒸發流失，亦會使城市粉塵污染加重，地面平均溫度升高，能源消耗增加。同時，不透水地面會使地面空氣交換與濕度降低，影響大地的生態系統。

過去二十年國內經濟發展快速，多數區域均呈現都市化現象，大量鋪設不透水面層，使得不透水面積逐年增加，降低區域地表保水效能，導致各都會區水災頻傳。國中、小三十五所學校校園環境調查報告顯示，國中校園地面平均不透水面積高達 69%，國小平均不透水面積達 68%。臺灣鋪面工程幾乎均採用不透水鋪面材料，主要考量耐用、美觀及保護地下工程設施等因素。而透水材料研究正方興未艾，其中包括透水瀝青路面及透水混凝土材料應用研究。透水性瀝青鋪面與排水性瀝青路面曾進行比較試驗，而為發展多孔隙瀝青混凝土，亦有工程公司鋪設試驗性多孔瀝青鋪面，其設計之目標孔隙率為 20%^[3]。

製作成功的透水混凝土鋪面，必須有經驗豐富的營造廠商配合；與製作普通混凝土鋪面一樣，澆置前適當的基層施工亦非常重要。應該適當地壓密基層，以獲致均勻且穩定的底層。當透水鋪面設在土壤層或砂礫層上時，基層壓密建議達到其最大密度的 92%~96% (ASTM D1557)。若面層鋪設於砂層及黏土層上時，則壓密度取決於鋪面設計的規定，土壤層上或需鋪設開放級配粒料層，同時可置放工程不織布於細顆粒土層與石料層間。但不能過度壓密土壤，避免潛在的膨脹性能。施作透水混凝土鋪面前，必須濕潤基層及先使用耙子耙平車輛所造成之車軌，再行壓密。濕潤基

層，可以避免透水混凝土過快凝結^[2]。

一般透水混凝土使用的水/膠結材的比值約在於 0.35~0.45，孔隙率約為 15%~25%。配比中使用膠結材料、粗粒料及水，使用少量或者不使用細粒料。配比材料對用水量非常敏感，現場施作時，經常需要修正配比用水量。太多用水會造成泌水現象，太少用水則會造成材料在拌合機內團簇，並使得卸料速度減緩。太少的水量也會妨礙混凝土獲得適當養護，且可能產生表面裂縫。適當的配比會使混凝土表面具有如金屬的平滑外觀^[2]。

透水混凝土可以澆注在固定模板或是移動模板內。通常所使用有斜度的模板，在模板的上方，有一上升移動帶，帶動刮平裝置移動。刮平可用震動的或是手動的刮刀，一般說來震動式刮刀較為常用。刮除完多餘的混凝土以後，刮刀由模板上移除，然後使用架設在模板上的手動滾輪輾壓混凝土。滾動壓密可使漿體與粗粒料產生良好結合，形成一較為平滑的路面。應避免施加過大的壓力於滾輪上，因過大壓力會造成混凝土內部的孔洞崩塌。

混凝土鋪面接合處的要求事項與混凝土板塊在斜度下接合的要求是一致的。當用水量很少時，硬固混凝土的收縮會明顯地下降，因此接合處的收縮縫尺寸應放大。正確的養護是維持透水混凝土鋪面的結構完整性的基本需求，養護使得水泥漿體得以完成足夠的水化反應，使鋪面斷面有足夠的強度抵抗清理時的外力，養護應該從澆置後 20 分鐘內開始，並持續 7 天。為達養護之目的，通常亦有將塑膠布鋪設於透水混凝土上。

透水混凝土的抗壓強度可以達到 2.8~28 MPa，而介於 4.2~10MPa 較為常見。然而，透水混凝土的優劣主要不是以抗壓強度來規範，孔隙含量更為重要。一般多以現場透水混凝土的密度(單位重)作為驗收標準。接受的誤差準則是以設計密度為準正負 80 公斤/立方米為其允許變異範圍，此試驗必須要在現地進行。新拌透水混凝土的密度係參照 ASTM C29 規定的振動法量測。坍度試驗與空氣含量試驗並不適用於透水混凝土。如果透水混凝土是使用在洪汎區工程，使用前必須以目視方法檢查其排水功能是

否達到預期的效果。對於透水混凝土抵抗凍融破壞的能力，目前未有定論。在溫熱帶地區，透水混凝土已有許多成功的案例，使用在寒冷地帶，近年來才開始嘗試。當透水混凝土使用在凍融環境，應避免使之處於飽合狀態。為了避免透水混凝土處於飽合狀態，其面層厚度應介於200~600mm。有限的試驗室資料顯示，注入空氣有助於透水混凝土抵抗凍融效應。EPA 建議透水混凝土鋪面應該定期清理，避免阻塞。清理可使用真空吸取或是高壓水沖洗。雖然透水混凝土以及底層的土壤層提供了濾淨的效果，並不是所有的污染物都可以除去^[2]。

近年來國內以打造永續臺灣為未來努力的目標，為解決水資源流失、環境生態破壞及熱島效應擴張，研發本土透水混凝土實有其重要性及迫切性。交通部運輸研究所為改善交通運輸行車安全和解決上述雨水資源流失、環境生態破壞及熱島效應日益擴張之問題，參考歐美各國及日本近年來所研究鋪設推廣的透水混凝土，於民國九十五年起，委託國內學術單位針對透水混凝土應用於交通工程進行試驗與研究，研究內容包括(1)國內外應用發展現況調查分析；(2)透水混凝土基本組合材料之調查分析；(3)試驗室配比研究及試體製作與試驗；(4)透水混凝土技術推廣應用之可行性評估；(5)建立透水混凝土之製程與試驗標準；(6)驗證透水混凝土之最適配比；(7)停車場進行現地施作，以驗證透(排)水效果；(8)評估透水混凝土應用於交通工程設施之總類及適用性；(9)舉辦教育訓練課程。上述有關停車場現地鋪設透水混凝土施作，以驗證透(排)水效果；結果發現透水混凝土現地透水性能力良好，透水混凝土試驗經由目視與現場透水量兩種試驗評估，目視鋪面透水驗證試驗是於現地六個停車格(#1 至#6)使用自來水管將水量開到最大，分別目視每個停車格鋪面之自來水是否能完全透入鋪面中而不積水，自來水管透水驗證時間為約3分鐘，結果發現六個停車格均可通過目視鋪面透水驗證，另外，藉由現地透水量試驗儀器驗證停車場透水平均超過1,000ml/15sec，其現地透水量約為日本排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗規範(400ml/15sec)要求之2.5倍。上述停車場開放車輛交通至今超過壹年，並無龜裂或裂紋產生，應可多加推廣^[2]。

1.2 研究目的與重要性

傳統交通工程採用不透水或低透水材料鋪設道路面層，當降雨時由於面層的阻隔，雨水無法及時穿透面層材料到達土壤，使得土壤保水功能喪失，又若暴雨逕流量過大時，排水設施不良，河川排洪量不足，往往會造成都市洪災，或使水源區水質污染，影響用水安全；同時不透水道路面層亦會降低土地滋養植物的能力，使地表土壤無法發揮適當調節大氣中的溫溼度功能，導致都市區域溫度升高產生「熱島效應」。因此，如何於都市的開發建設中，妥善規劃運用具透水性的鋪面材料於港灣構造物設施與公路工程上，以恢復都市開發前之水文循環現象及降低對生態環境的衝擊，實為一重要的研究課題。

本研究即延續前期研究之成果，針對國內公路路面狀況需求，擬定詳細的試鋪作業計畫，並執行試鋪作業，再對試鋪透水混凝土路面進行超過兩年的完整成效評估；另外，根據最近美國 ACI 522R-06 報告證實透水混凝土可以應用在港灣工程範圍包括海濱結構、海堤(seawall)和人工漁礁等方面，因此本研究特別針對國內港灣構造設施狀況，擬定詳細的試鋪作業計畫，並執行試鋪作業，再對試鋪透水混凝土進行超過壹年以上的完整成效評估，深入瞭解本土化透水混凝土應用於港灣構造技術之績效與適用性，以綠建築環境科技與打造永續臺灣為未來努力的方向。

1.3 研究內容與工作項目

公共工程採用生態工法及生態材料為政府近年來大力推行之政策；臺灣土地資源有限，為能使國家永續發展，建立生態城市是必須努力達到的目標，新建交通工程廣泛使用透水材料是建立生態城市的第一步。本計畫著重於透水混凝土組合材料特性、配比設計參數、驗證試驗技術及適用項目的探討，經由試拌、試體試驗、及案例分析達到研究目的。

本研究嚐試將透水混凝土應用在公路路面及港灣之防波堤上，預期將在降低材料的服務績效的先決條件下，在公路方面有減少表面逕流及增加保水面積，在防波堤方面則有消能及增加生物棲地，提昇環境生態的正

面效果；然經由本中心二年來的研究成果，將證實透水混凝土在這方面的潛力，但因材料的變異性較高，再加上施工經驗缺乏，若沒有累積足夠經驗、擬定設計準則及施工標準作業程序、並提出施工規範，則將無法進行實務應用，本研究先以兩年為期，進行港灣構造設施與公路路面試鋪透水混凝土及其成效評估之實務研究，分年工作內容如下：

第一年(民國 98 年為第一年)：

1. 國內外文獻及試鋪顧問團意見彙整

其內容包括試鋪顧問團的組成、擴大收集國內外文獻及透水混凝土鋪面相關資料彙整。

2. 防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃

其內容包括試鋪防波堤之選擇、防波堤現況調查、試鋪防波堤配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範編定。

3. 公路試鋪透水混凝土路面作業規劃與受落塵量影響之評估

其內容包括試鋪路段之選擇、路面現況量測、試鋪路面配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範研擬及透水混凝土路面受落塵量影響之評估。

4. 透水混凝土材料與施工技術規範研擬與試鋪規劃座談會

其內容包括試鋪防波堤配置與細部規劃之座談會、試鋪路面配置與細部規劃之座談會、材料與施工技術規範研擬專家之座談會。

5. 完成試鋪作業規劃報告

上述工作內容項目以圖 1.1 研究流程表示：

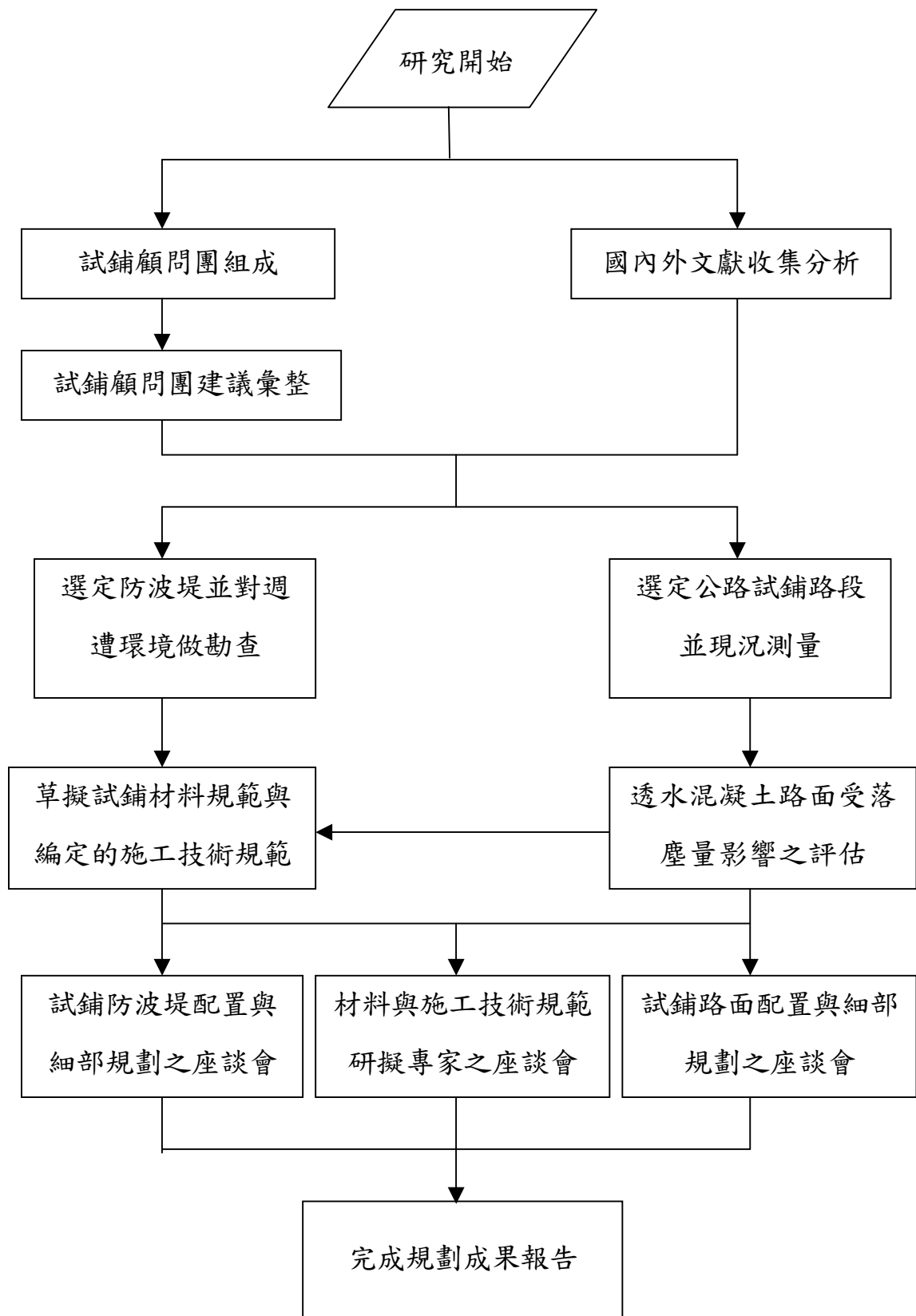


圖 1.1 研究流程圖

第二年(民國 99 年為第二年)：

1. 公路路面試鋪透水混凝土配比設計與試拌作業

其內容包括公路路面透水混凝土配比設計試驗、拌合廠與材料認可、執行配比設計與試拌作業。

2. 公路路面試鋪施工作業執行

其內容包括拌合廠檢驗與材料認可驗證、施工中的製程控制作業、施工後的品質檢測作業。

3. 公路路面試鋪成效評估作業

其內容包括實驗室內的材料性質評估、鋪築地點的鋪面特性評估、現地透水成效評估。

4. 研擬試鋪公路路面設計透水混凝土導則初稿。

1.4 試鋪顧問團組成與意見彙整

本計畫以試鋪顧問團組成開始，於簽約後至六月底，一方面擴大文獻收集，參酌研究團隊與彙整顧問團意見；有關顧問團專家建議意見答覆書如附錄四所示，目前大致已經選定未來試鋪透水混凝土路段，至於有關試鋪防波堤配置與規劃，顧問團建議試鋪透水混凝土以海堤或護岸為佳，原選定臺中港港務局轄區北防砂堤外圍之 50 公尺海堤，港務局也於 98 年 6 月 3 日回文，要求提供本案詳細之研究計畫，俾進一步確認適合之場地需求、本局可提供之協助、雙方須配合協調之內容及宜注意之事項，並請由交通部運輸研究所循行政程序洽本局辦理商借事宜。原擬借區屬 98 年度防風林週邊道路(98-1)標休憩灣施工範圍，且該區海堤為下陷觀察維護區，爰請另覓適當位置。試鋪顧問團的成員名單如表 1-1 所示，顧問團除將提供更完整的文獻資料外，也將協助有關防波堤設施與公路試鋪作業規劃，參與材料與施工技術規範研擬與試鋪規劃座談會，及提供未來防波堤設施與公路試鋪施工與檢測之諮詢。本次顧問團組成以公路工程專長

為主，以港灣海洋工程專長為輔，未來臺中港港務局試鋪海堤位置選定後，將增加港灣海洋工程專長之顧問專家。

表 1-1 顧問團的成員名單

顧問	現職
蔡清標教授	國立中興大學土木工程學系教授 (海洋與港灣工程)
高邦基組長	交通部公路總局新工組組長 (公路工程)
陳進發處長	交通部公路總局第二區養護工程處 (公路工程)
吳中龍博士 Chung Wu, Ph.D., PE	美國維吉尼亞州交通部

第二章 文獻回顧

2.1 透水混凝土

2.1.1 透水混凝土之定義

透水混凝土 (pervious concrete) 為一種多孔隙的複合材料，過去常被稱為孔隙混凝土 (porous concrete)，部分學者稱之為無細(骨材)混凝土 (no fines concrete)，可以視為一種骨材粒徑分佈在狹窄級配範圍內並且含(無)微量細骨材加上不足量膠結漿體所構成的混凝土，透水混凝土最明顯的特性即質量輕且多孔隙。透水混凝土的構成由裹覆在骨材顆粒外層的不足量水泥漿體與骨材顆粒之間點接觸，相互黏結形成多孔隙結構體，在這種結構之下擁有良好的透水性能($K > 10^{-3} \text{cm/sec}$)^[1]，也因為多孔隙的特性而使得力學強度會受到限制，學者鄭與潘曾在 2001 年對無細混凝土進行抗壓試驗，所得抗壓強度約在 1.5MPa 至 14MPa 之間^[2-3]。增加透水性則犧牲力學強度，兩者往往顧此失彼，但可以依照使用的需求，在透水性能與力學強度上作為取捨以及採取不同的設計。除上述透水性能以及力學強度特性之外，透水混凝土特性仍有許多由學者^[4-6]研究結果發現透水混凝土亦是有低單位重($1600 \sim 2000 \text{kg/m}^3$)、低成本、低乾縮量(水泥使用量減少)、低熱傳導係數($0.7 \text{kcal/m} \times \text{hr} \times ^\circ\text{C}$)、無析離現象及透水混凝土中的孔隙直徑平均大於 1mm，因此無毛細水現象之特性^[1]。上述有關孔隙混凝土 (porous concrete) 與無細混凝土 (no fines concrete) 在美國混凝土協會(ACI) 中並無規範可依循，最近美國 ACI 522R-06 與 ACI 522.1-08 是有關透水混凝土與透水混凝土鋪面之規定，較上述嚴謹，其說明如下：

- (1) 透水混凝土泛指零坍度、採用開放級配的混凝土材料。
- (2) 透水混凝土由水泥、粗骨材、少量或無細骨材、摻劑與水等所組成。
- (3) 硬固透水混凝土內部含有連續孔隙，尺寸由 0.08~0.32 吋 (0.2~8mm)；空隙含量 18~35%；抗壓強度 2.8~28MPa (400~4000psi)。
- (4) 透水混凝土特性為可使水分容易滲透，其鋪面的透水速率依骨材尺

寸及混凝土密度而定，一般介於 $2 \sim 18 \text{ gal/min/ft}^2$ ($81 \sim 730 \text{ L/min/m}^2$) 或透水係數為 $K > 0.1 \text{ cm/sec}$ 。

2.1.2 透水混凝土之組成

透水混凝土組成的材料一般包含有水泥、拌和水、骨材、摻劑。有關其組成的材料與用量說明如下：

2.1.2.1 水泥與其它膠結材料

波特蘭水泥是一種水硬性水泥，主要由矽酸鈣鹽類所組成。加水後產生化學反應而有凝結與硬固作用，與骨材膠結一起拌合形成一種人造石材，是土木工程界普遍使用的營建材料。水泥的產製是以石灰質材料與黏土材料（或頁岩）為主，輔以適當的配比而組成，生料再經過研磨、煅燒、急速冷卻等步驟後形成熟料，加石膏研磨後便成水泥。

水泥主要的成份為矽酸三鈣（ C_3S ）、矽酸二鈣（ C_2S ）、鋁酸三鈣（ C_3A ）、鋁鐵酸四鈣（ C_4AF ）等四種主要礦物熟料（Clinker）。其與原礦物含有之雜質和研磨時加入之石膏共同組成波特蘭水泥。故水泥之成份除含有少量之 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 SO_3 及未經水化之 CaO （即游離石灰）外，主要者為 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 等四種，而此四種主要成份隨著煅燒的時間與溫度之變化組成 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 及 C_4AF 等四種主要化合物（或稱單礦物）；這四種成份息息相關。波特蘭水泥應符合 CNS 61 [波特蘭水泥] 相關規範，除波特蘭水泥一般的分類外，礦物摻料的應用在國內亦有漸趨普遍的現象，使用摻有高爐石粉或飛灰的水泥，可另行參照 CNS 3654 [波特蘭高爐水泥] 或 CNS 11270 [波特蘭飛灰水泥] 等規範之規定，不過，國內目前高爐石粉或飛灰的應用仍以直接摻用或取代部分水泥的方式進行。

透水混凝土之膠結材料通常使用波特蘭水泥，但為了整體強度的考量，會有添加礦物摻料亦或者使用其他漿體來取代水泥漿體。以水泥漿體而言，若保證在最佳用水量的狀況之下，增加水泥用量是可以提升水泥漿

體的稠度和增加裹覆在骨材顆粒周圍的漿體厚度，此舉可以有效地提升透水混凝土的力學強度。但若水泥使用量過大，會使得漿體體積增加，進而減少骨材之間的孔隙率，因而損失透水性能^[3]。

膠結漿體的設計量並不須完全充滿此單位骨材中的所有孔隙，而漿體的使用量是可以依據所需的透水性能和力學強度做權衡設計的。由學者楊靜所建議，一立方公尺透水混凝土的重量應為骨材緊密堆積之重量與單方水泥用量加上拌和水量之和，約在 1600-2100kg 範圍內，根據此原則可以初步確定透水混凝土的配比^[6]。同時水泥用量亦受到骨材粒徑影響，若骨材粒徑較小，則骨材表面積較大，此時可適當增加水泥用量。通常透水混凝土水泥用量在 250-350 kg/m³ 範圍內^[3,6]。

2.1.2.2 骨材

骨材是透水混凝土主要的骨架構，亦是提供主要強度的相位之一，骨材包含普通骨材（礫石、卵石、砂）或特殊骨材（輕質骨材、回收營建材料^[7-8]等）。為了保證透水混凝土的透水性能與力學強度，且骨材顆粒級配是決定整體透水性能與力學強度的主因，粗骨材通常採用顆粒較小的單一粒徑級配，於 10~20mm 或 5~10mm^[6]如表 2-1 所示。此外對於碎石型骨材中針片狀顆粒應盡量減少，骨材含泥量應不大於 1%^[9]。有關骨材用量與粒徑說明如下：

1. 骨材用量

一立方公尺透水混凝土中粗骨材總量可以取最緊密堆積的骨材重量，大致在 1200-1400kg 之間，主要使用粗骨材，若需使用細骨材，則細骨材使用量控制在粗骨材之 20%之內^[3,6]。

2. 骨材粒徑

骨材粒徑是決定透水混凝土中孔隙體積重要因素之一，骨材粒徑影響透水混凝土的力學強度甚鉅^[3]。由理論推斷，若骨材形狀接近圓形的理想狀況之下，單位體積內骨材堆疊所產生的孔隙體積是相同的，不同之處在於孔隙的大小。大粒徑的骨材堆積之下的孔隙必定大於小

粒徑骨材堆積所產生的孔隙。主導透水性能的連通孔隙直徑越大則透水性能會較佳，反之則較差。以力學強度觀點，骨材粒徑較小，單位體積中的骨材顆粒數量必定大於骨材粒徑大者，因此單位體積中透水混凝土內骨材接觸點數量增加的情形下，力學強度是會向上提升的^[3]。因此，骨材粒徑的選用關係到透水混凝土的透水性能以及力學強度，故可以依照透水混凝土使用的目的來設計選用骨材粒徑。

表 2-1 各國推薦或採用透水性混凝土路面之骨材級配^[6]

英國	篩孔/mm		14	10	6.3	3.3	0.075
	過篩率/%		100	90-100	45-95	10-20	2-5
法國	篩孔/mm	25	19	12.5	6.3	3	0.075
	過篩率/%	100	90	40	25	20	4
南非	篩孔/mm		13	10	6.73	3.36	0.074
	過篩率/%		100	90-100	40-45	22-28	3-5
日本	篩孔/mm		13	5	2.5	1.25	
	過篩率/%		100	50-100	8-25	0-6	

2.1.2.3 拌合水

透水混凝土所使用的拌合水品質要求與傳統混凝土無異，不得含有油脂、酸類、氯化物、有機不純物及懸濁等對混凝土產生不良影響物質，並且符合 CNS 13961 混凝土拌合水之規定。透水混凝土配比材料對用水量非常敏感，經常需要修正配比用水量。太多用水會造成泌水或垂流現象，並填塞透水混凝土連接孔隙；太少用水則會造成材料在拌合機內團簇，並使得卸料速度減緩。太少的水量也會妨礙混凝土獲得適當養護，且可能產生表面裂縫。適當的配比混凝土具有高黏性可結球形，表面較平滑，如圖 2.1 所示，因此，工地加水行為應嚴格管制與監督。



圖 2.1 透水混凝土含水量多寡是否結球行為：
(a)太少，(b)適量，(c)太多水^[32]

2.1.2.4 摻劑

透水混凝土除了上述骨材、水泥、水等基本材料外，通常會加入其他輔助或改善其性質的摻劑，摻劑應符合 ASTM C 494 (或 CNS 12283 A2219)相關規定。例如添加一定量的減水劑或高性能減水劑可減少拌和水用量或增加工作度，藉由降低水灰比來提升力學強度；或添加增黏劑來增加水泥漿體的黏稠度，藉以提高施工面表層的平整；低氣溫狀況下可添加早強劑，藉以加速透水混凝土的硬化；或為了使透水混凝土更能抵抗結冰凍融之能力，可添加輸氣劑以增加長期凍融耐久之壽命；或為了使透水混凝土更加美觀，添加著色劑增加色彩獲得視覺享受^[1]。

2.1.2.5 水灰比

水灰比在水泥漿體性質中扮演相當重要的角色，水灰比關乎水泥漿體硬固後的力學強度，也關係著水泥漿體的工作性。

良好的水灰比設計，使得工作性良好，可以使得水泥漿體充分裹覆在骨材顆粒周圍，在透水混凝土硬固後展現優良的力學強度。倘若水灰比過高，透水混凝土較不容易有高力學強度，此外漿體流動性過高的狀況下，不易裹覆在骨材周圍而因重力影響向下流動，產生垂流現象。漿體垂流至透水混凝土底部硬固後，會造成透水性能喪失，骨材顆粒因漿體垂流而無法被漿體均勻裹覆，力學強度也會受到折減^[2-3]。

此外，為了提升力學性能而使用過低水灰比的漿體，會造成漿體過於黏稠，工作性差且不易於拌合。過於黏稠的漿體會使得骨材產生團簇的現象，使漿體在透水混凝土之中分佈不均，極有可能阻斷透水路徑，分佈

不均的漿體也會讓透水混凝土內部形成許多缺漿的弱面，而使力學強度大為折減。

良好的水灰比可以透過實際拌和求得，通常界於 0.25-0.45 之間，最佳水灰比通常有兩種確定方法^[16]：

- (1)在骨料與水泥用量一定的狀況下，從小至大選定數組不同水灰比分別拌製混凝土，再以試驗測定其抗壓強度，繪製 W/C-f 曲線，求出最大抗壓強度所對應的水灰比即為最佳水灰比。
- (2)實際工作中常依據經驗判定水灰比是否合適，取一些拌和良好的新拌透水混凝土進行觀察，若水泥漿在骨材顆粒表面均勻裹覆，沒有水泥漿體下滴的情形，而且顆粒有類似金屬光澤，則說明此水灰比較為合適。

2.1.3 透水混凝土之配比

典型透水混凝土主要是由水泥、粗骨材、少量或無細骨材、摻劑與拌合水等所組成零坍度與開放級配拌合料，硬固的透水混凝土內有連接孔隙系統，孔隙大小介於 0.08 吋至 0.32 吋(2 至 8 mm)之間，如此將使水份容易穿越其中，美國混凝土協會 ACI 522^[32]委員會提供透水混凝土之技術資訊，包括透水混凝土應用、設計方法、材料、性質、配比、製程方法、試驗與檢驗等，其中，經由配比設計實驗來達成透水混凝土重要的物理性質與力學行為，透水混凝土空隙率範圍介於 18%至 35%之間，典型抗壓強度範圍介於 400 至 4,000 psi (2.8 至 28 MPa)之間，透水混凝土鋪面排水率因骨材尺寸與其壓密度有關，但一般排水率範圍介於 2 至 18 gal./min/ft² (81 至 730 L/min/m²)之間，即典型透水混凝土透水係數範圍介於 0.16 至 1.22 cm/sec^[31-32]。

透水混凝土之配比，除力學強度之外，一般透水係數為性能的重要指標，故進行配比設計實驗，應先求出預使用粗骨材之乾搗單位重，從而求出粗骨材中之孔隙率，之後，依據需求強度，填充少於總孔隙體積但不同體積含量的水泥漿體；使用水泥漿體填充孔隙體積的量，從總孔隙體積

的 30%至 70%皆可，依據需求強度而定，當然，隨填充孔隙漿體之增加，其透水能力亦隨之大幅下降。另外，一般水灰比的選取以能充份包裹骨材而不產生垂流現象為原則，良好的水灰比區間可以透過實際拌合求得，通常介於 0.25 至 0.45 之間，再依據需求透水係數而定出漿骨比，經由試誤法試拌即可完成配比的設計。有關美國波特蘭水泥協會 (PCA) 與預拌混凝土協會 (NRMCA) 出版『透水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比材料範圍如表 2-2 所示^[31]。

表 2-2 典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍^[31]

	膠結料 (C)	骨材(A)	水灰比 (W/C，重量)	骨材膠結料 比(A/C，重量)	細粗骨材比 (F/A，重量)
材料用量 (lb/yd ³)	450 ~700	2000 ~ 2500	0.25 ~ 0.35	4 ~ 4.5	0 ~ 0.5
材料用量 (kg/m ³)	270 ~ 415	1190 ~ 1480	0.25 ~ 0.35	4 ~ 4.5	0 ~ 0.5

典型新拌透水混凝土是零坍度，拌合水應嚴加管控，適當的配比混凝土具有黏性可結球形，不會產生垂流現象，表面較平滑，如圖 2.1 所示，因此，工地加水行為應嚴格管制與監督。

透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，如透水混凝土有工作性其水灰比應落在 0.25 ~ 0.45 間，再使用試誤與檢驗法求得配比；然而美國波特蘭水泥協會(PCA)與預拌混凝土協會(NRMCA)出版『透水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比的材料範圍如表 2-2 所示，並說明美國混凝土協會 ACI 211.3R 零坍度混凝土配比設計方法可以作為透水混凝土配比設計程序。

依據本研究第一年計畫研究成果所提供透水混凝土配比設計流程，再依照美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊適度修正如下：

- Step1 選擇水灰比，依強度及透水需求尋找對應之連通孔隙率與單位重，並依水灰比及連通孔隙率尋找對應之填充孔隙體積與骨材主要粒徑。
- Step2 求出骨材之乾搗單位重，決定骨材之單方用量。
- Step3 藉由骨材乾搗單位重求出在單位體積中的孔隙率及孔隙體積。
- Step4 由填充孔隙體積決定水泥漿體使用量，透過水灰比求出水泥之單方用量、拌合水之單方用量及新拌混凝土配比單位重。
- Step5 檢核新拌混凝土單位重；製作試體，檢核強度及透水需求。
- Step6 完成透水混凝土配比設計。

上述 Step 1(步驟 1)所需之經驗關係，需更大量之數據資料，以適合之流動性，建立漿體水灰比及填充孔隙體積在不同骨材粒徑級配下，對應之孔隙率與強度關係，進而達到強度及透水係數之需求；其中，美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊包括圖 2.2 透水混凝土抗壓強度與孔隙率之關係，圖 2.3 透水混凝土抗壓強度與單位重之關係，圖 2.4 透水混凝土水灰比與孔隙率之關係，圖 2.5 透水混凝土抗彎強度與孔隙率之關係，圖 2.6 透水混凝土抗彎強度與抗壓強度之關係，圖 2.7 透水混凝土透水速率與孔隙率之關係，圖 2.8 為透水混凝土配比設計流程圖。利用上述 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊關係圖可以經過試拌求得最佳配比設計，如上述透水混凝土配比設計流程。由於 ACI 522R-06 規定透水混凝土其孔隙率範圍為 18%至 35%之間，本研究依據 ACI 522R-06 透水混凝土與 PCA 透水混凝土鋪面規定建議：可依據工程種類與其透水之需求不同而分為兩組，一組孔隙率為 $20\pm 4\%$ ，屬於一般強度低透水混凝土；另一組孔隙率為 $30\pm 5\%$ ，屬於低強度高透水混凝土；典型透水混凝土其單位重介於 100 lb/ft^3 與 125 lb/ft^3 ($1,600 \text{ kg/m}^3$ 與 $2,000 \text{ kg/m}^3$)間，水灰比介於 0.25 與 0.45 間，抗壓強度介於 400 psi (2.8MPa) 與 4,000 psi (28MPa) 間，其水泥(膠結料)與骨材比率以不產生垂流為原則。

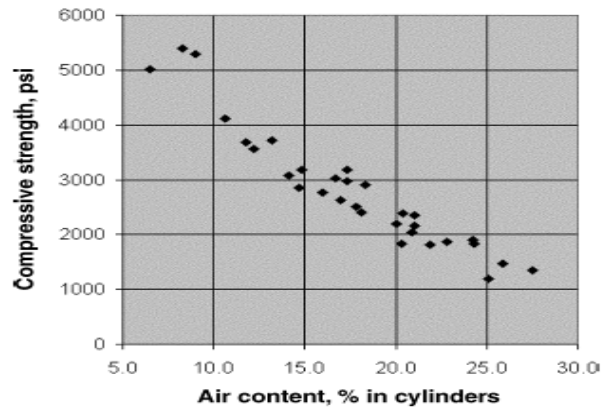


圖 2.2 透水混凝土抗壓強度與孔隙率之關係^[32]

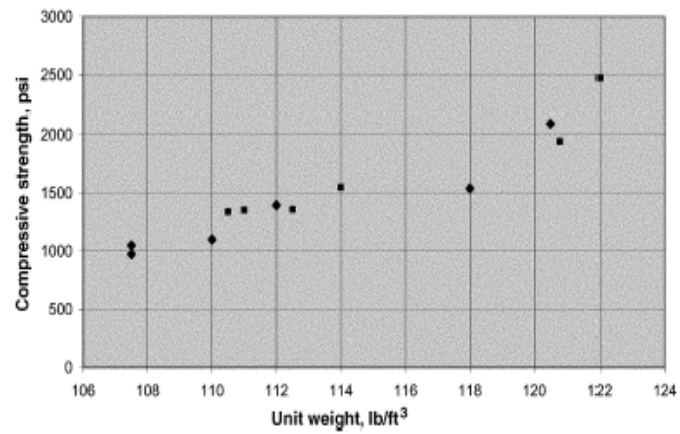


圖 2.3 透水混凝土抗壓強度與單位重之關係^[32]

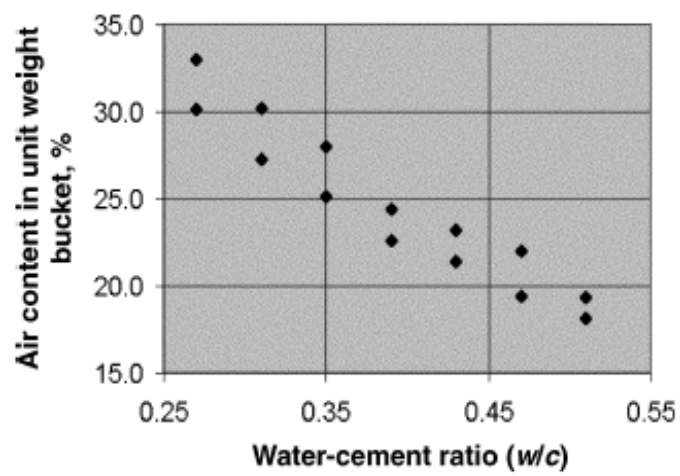


圖 2.4 透水混凝土水灰比與孔隙率之關係^[32]

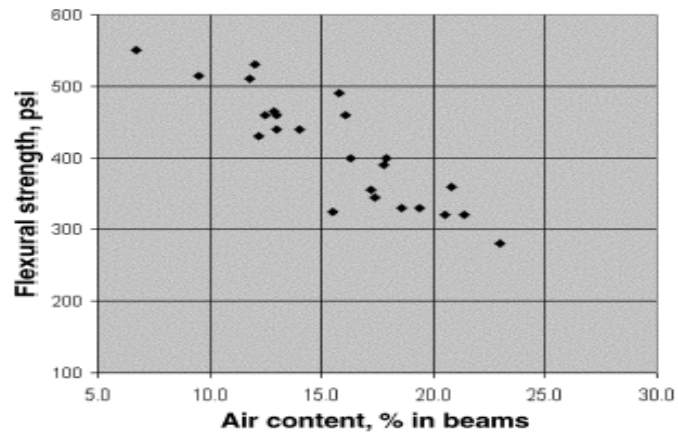


圖 2.5 透水混凝土抗彎強度與孔隙率之關係^[32]

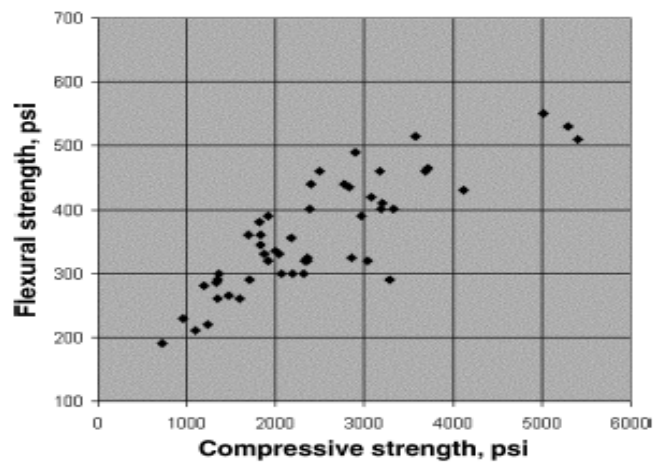


圖 2.6 透水混凝土抗彎強度與抗壓強度之關係^[32]

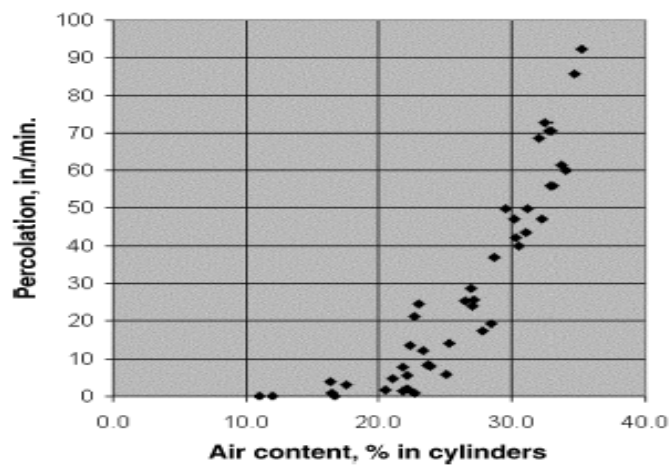


圖 2.7 透水混凝土透水速率與孔隙率之關係^[32]

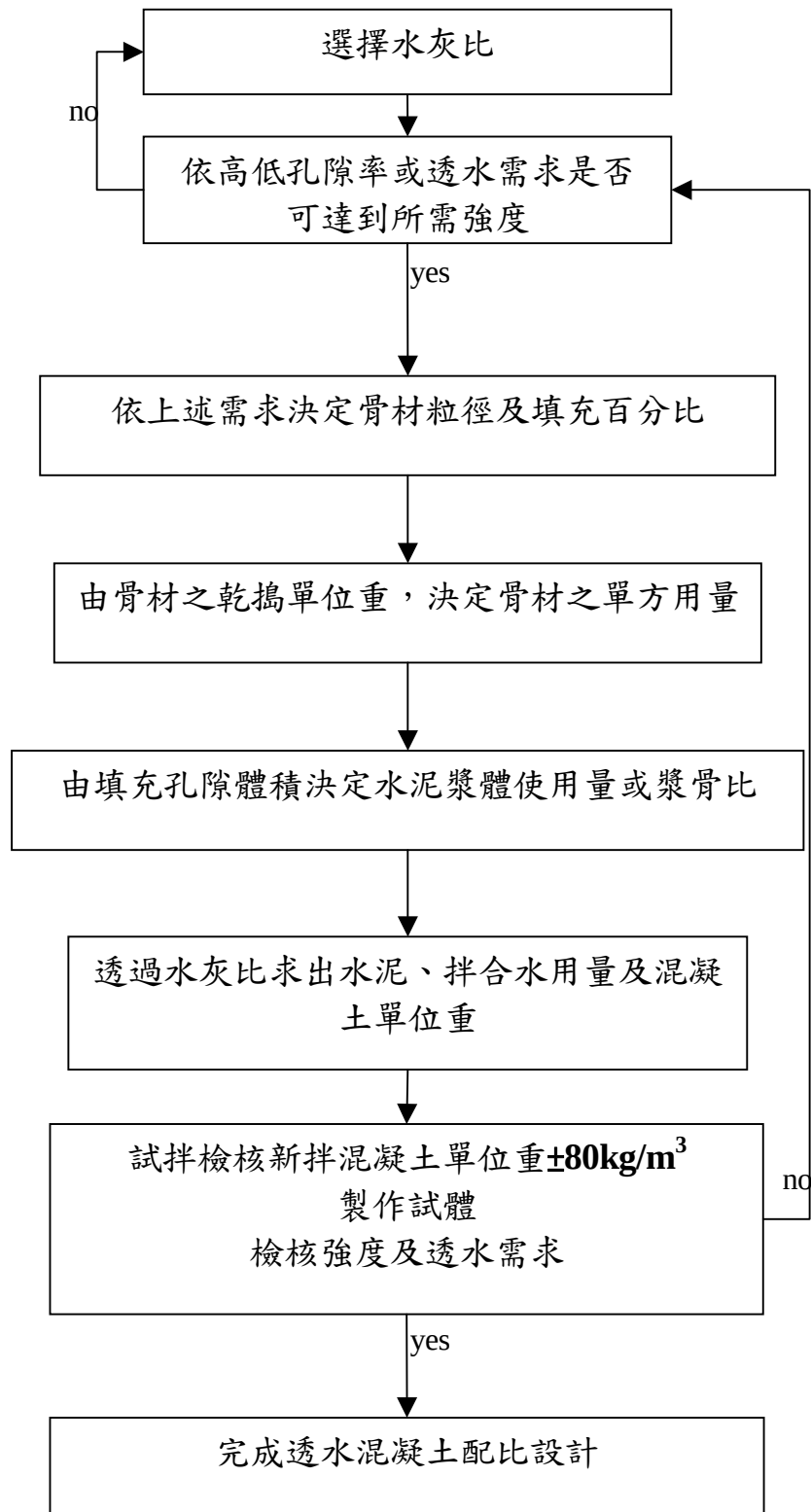


圖 2.8 透水混凝土配比設計流程圖

2.2 透水混凝土之工程性質

2.2.1 新拌透水混凝土

透水混凝土組成材料主要包含有膠結材料、拌和水、骨材、摻劑。新拌透水混凝土比普通混凝土黏稠，其坍度一般為 0 至 20mm，也有提高到 50mm 的使用實例。澆置並搗實後的透水混凝土，其骨材顆粒為相互緊密黏結，形成一種開放的材料體。對透水混凝土的品質，以單位重的量測較具參考性，坍度試驗反而不具意義。透水混凝土的單位重一般約為普通混凝土的 70%至 80%。透水混凝土施作方式與一般混凝土大同小異，因細料含量稀少工作度較低(接近零坍度)，水泥漿包覆骨材表面與空氣接觸量大，極易失去工作性，故施作要領應「迅速」進行施作，透水混凝土的可工作時間通常建議為拌和後 1 小時，若摻加緩凝劑則可延長至 1.5 小時。

2.2.2 硬固透水混凝土

透水混凝土硬固後之工程性質與普通混凝土有相當地不同，依密度、孔隙率、滲透性、抗壓強度、抗彎強度、收縮及耐久性等順序說明如下。

1. 密度、孔隙率及滲透性

透水混凝土的密度依混合材料之性質與配比以及夯實度而定。現地的混凝土密度一般為 $1,600 \sim 2,000 \text{ kg/m}^3$ 。孔隙率 20% 的透水混凝土鋪面，厚度 125mm 者可蓄積 25mm 降雨量於其空隙內；若是將鋪面澆置於 150mm 厚之級配料底層上，則其蓄積量可增加至 75mm 降雨量。透水混凝土的透水率取決於所用材料和澆置作業法。典型的透水率為 $120 \text{ L/m}^2/\text{min}$ (0.2 cm/s) $\sim$ $320 \text{ L/m}^2/\text{min}$ (0.54 cm/s)，實驗室內量測的透水率可高達 $700 \text{ L/m}^2/\text{min}$ 。

2. 抗壓強度

透水混凝土的抗壓強度主要受混合材料比例和夯實度的影響，一般介於 500psi $\sim$ 4,000psi ($3.5 \text{ MPa} \sim 28 \text{ MPa}$)，常用的強度約為 2,500psi (17 MPa)。美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊包括

圖 2.2 透水混凝土抗壓強度與孔隙率之關係，圖 2.3 透水混凝土抗壓強度與單位重之關係，圖 2.4 透水混凝土水灰比與孔隙率之關係，水灰比太大或水泥漿體過多，會使漿體流失填塞至空隙中；而水灰比太小或水泥漿體過少，則不易澆置，並不利於漿體與骨材的黏裹；適當的水灰比為 0.26~0.45。

3. 抗彎強度

透水混凝土的抗彎強度受多項因素的影響，大約 50~80%的乾縮量發生在前 10 天內，相對的普通混凝土者只有約 20~30%。透水混凝土的抗彎強度介於 150psi~550psi (1MPa~3.5MPa)。圖 2-5 透水混凝土抗彎強度與孔隙率之關係，圖 2-6 透水混凝土抗彎強度與抗壓強度之關係，圖 2-7 透水混凝土透水速率與孔隙率之關係。

4. 收縮與耐久性

透水混凝土的乾縮產生比普通混凝土早，大約 50~80%的乾縮量發生在前 10 天內，相對的普通混凝土則只有約 20~30%。透水混凝土的乾縮量依混合材料和配比而定，約為 200×10^{-6} ，只有普通混凝土的一半，工程上可不用顧慮乾縮開裂問題。透水混凝土的耐久性可從物理作用和化學侵蝕兩方面考量。物理作用主要包括凍融抵抗和抗磨耗，可分為二：(a)透水混凝土的凍融抵抗依空隙內積水狀況而定，冰凍時充滿水的空隙會引發凍融破壞，摻加輸氣劑可有效改善凍融抵抗能力；(b)表面粗糙而開放的透水混凝土，其磨耗和骨材剝脫是較需考量的課題，適當的夯實和養護可降低骨材剝脫現象。至於化學侵蝕主要為硫酸鹽和酸類，對透水混凝土的侵蝕作用類似於普通混凝土。由於透水混凝土具有開放結構，使硫酸鹽侵蝕對其侵蝕較為敏感。

2.3 透水混凝土在公路路面與港灣構造物設施之應用

混凝土材料在臺灣以及國際間被應用在土木工程上已經有很長的時間，學者和工程師們對於土木工程實務上各項構造物其用途的不同也開發或改良許多新型混凝土，隨著環保意識抬頭，混凝土材料除了考慮耐久

性、經濟性、施工性之外，對於環境生態衝擊的因素也漸漸納入研發新材料的考慮重點^[2]。本研究嘗試採用新材料(即透水混凝土)應用在公路路面及港灣之防波堤上，預期將在不降低材料的服務績效的先決條件下，在公路方面有減少表面逕流及增加保水面積，在防波堤方面則有消能及增加生物棲地，提昇環境生態的正面效果；然經由港研中心二年來的研究成果，證實透水混凝土在這方面的潛力，但因材料的變異性較高，再加上施工經驗缺乏，若沒有累積足夠經驗、擬定設計準則及施工標準作業程序、並提出施工規範，則將無法進行實務應用，本研究即以四年為期，進行港灣構造設施與公路路面試鋪透水混凝土及其成效評估之實務研究。

2.3.1 透水混凝土應用－沿革

19 世紀中葉透水混凝土已經開始應用於建築與營建上，透水混凝土傳統上又稱為無細混凝土，早期歐陸國家使用透水混凝土的方式有多種：單層或多層房屋之場鑄承重牆、高樓建築、預鑄隔間版牆及蒸氣養護混凝土磚。於西元 1852 年英國首度使用透水混凝土於房屋建造，當時混凝土只含水泥及磚石。於 1923 年愛登堡、蘇格蘭以熟料骨材建造 50 棟二層樓房屋。二次大戰（1939-1945）期間，歐洲鼓勵以透水混凝土建造臨時房屋（vast housing）；1945 年後歐洲大部分國家均持續採用透水混凝土於房屋建築上，德國更利用廢磚製造透水混凝土。1960 年加拿大首次報導透水混凝土應用於 Toronto 的一些房屋建築上；1965 年透水混凝土已容許建造十層樓房屋^[32]。

2.3.2 公路路面應用

1970 年代早期於美國開始發展，為的是要改善鋪面面層的透水性、降低噪音和增加雨天的抗滑，而當時早就有許多歐洲國家採用，現今至少也有 7 個國家採用，他們都有所共識，鋪設厚度 45~50mm、孔隙率在 17~20% 左右，粒徑標稱 11mm 或 16mm，較大或較小的篩號則不常使用，瀝青膜厚度約在 20~40 μm ^[3]。

於 1979 年的美國佛州 Sarasota 區已經使用無細骨材的多孔隙混凝土

建造具有透水性路面的停車場，並且取得透水混凝土專利。此後，透水混凝土在美國開始被推廣應用，例如在 Sarasota 大學附近構築了一條 4 線車道長 1.6 公里的透水路面道路，之後在新墨西哥以及佛州西部地區共修建 53 座透水混凝土停車場。從 80 年代開始，美國開始有透水混凝土預拌廠，佛州於 1991 年成立了『透水性波特蘭水泥混凝土協會』，對於透水混凝土的應用提供技術指導。照片 2.1 為美國透水鋪面應用於停車場^[1,2]。



照片 2.1 美國透水鋪面應用於停車場^[1]

美國 CAHILL ASSOCIATES 環境工程顧問^[12]在 Villanova 大學所做的透水混凝土雨水滯留量試驗中，以 5359 平方公尺面積土地鋪設 0.45 至 0.75 公尺厚度之透水混凝土，經過實際 24 小時降雨強度達 149mm，最大每小時降雨強度達 35.1mm 暴雨的測試，其出流量僅為 76 立方公尺，平均深度 14.2mm，即減少逕流量約達 90%，其餘雨水均流入地下，其試驗基地如照片 2.2 所示。美國 ACI 522 提供透水混凝土鋪面相對傳統混凝土鋪面之優點如下^[32]：

- 1) 從源頭控制洪水污染，並控制其排水；
- 2) 下雨時減少積水面積，增加停車空間；
- 3) 可減少道路路面的水利設施；

- 4) 由冷卻效應可增加飛機起飛時的額外上升力；
- 5) 減少路面反光現象及輪胎噪音；
- 6) 使水與空氣得以滲入樹木根部。



照片 2.2 Villanova 大學透水混凝土試驗廣場^[12]

日本於 1987 年開始有學者申請透水混凝土鋪築材料的專利，專利內容是使用單一粒徑粗骨材加上微量細骨材配合有機高分子樹脂作為膠結材料，主要應用在公園人行步道和停車場。日本自 1973 年起採用多孔隙瀝青混凝土鋪面，東京都建設局當時為改善行道樹之生長環境，因而開始對人行道透水性鋪面之規劃、設計、施工及後續追蹤調查進行研究；於 20 多年間，共鋪設了透水鋪面 220 萬平方公尺，並以階段性的方式配合政策的推行，於 1986~1995 年間，以每年增加 10~20 萬平方公尺之速度成長，東京都透水性鋪面之推動成果，在日本具有指標性意義，促使日本全國進行透水性鋪面之鋪設，至 1999 年，全國已累積了 1000 萬平方公尺以上的施工實績。照片 2.3 為日本透水鋪面應用於步道^[1]。



照片 2.3 日本透水鋪面應用於步道^[1]

日本透水性鋪面發展至今，依其用途可區分為 3 類，即(1)步行道路面鋪面；(2)車行道路鋪面；(3)戶外體育、景觀設施鋪面；推廣過程是以步行道路面鋪面、車行道路鋪面及其他（戶外體育、景觀設施鋪面）之應用次續發展，從其發展歷程，透水鋪面並無一蹴可幾，而是由試驗區開始，後得成功之案例，再局部地區推動至全國。

歐洲之透水性鋪面發展情形簡述如下：

1. 瑞典

瑞典國家公路管理局 SNRA(Swedish National Road Administration) 表明多孔隙地瀝青混凝土的耐久性比一般密級配瀝青混凝土來的好。的確，在許多情況中多孔隙瀝青混凝土對大頭釘胎環的損害，比對一般密級配瀝青的更具有較低的抵抗力，因此多孔隙瀝青混凝土的使用多半是基於對噪音的減少和水的排除^[3]。

多孔隙瀝青混凝土混合的 5.0%的瀝青，並用 0.8%的礦物纖維，用來增加連結劑的耐久性及風化強度。施工期之瀝青混凝土之孔隙率大於 15%^[3]。

哥德堡（Goteborg）和郝爾辛堡（Helsingborg）之間之 E-6 高速公路上，幾個多孔隙瀝青混凝土的表面也被調查過。城市道路當局選擇新的多孔瀝青混凝土表面道路主要用於減少交通噪音；在城市，排水是次重要的。在中等的降雨量以後，可見到只有較少的水留在多孔隙瀝青混凝土表面上。

1980 年代早期，在哥德堡（Goteborg）測量到多孔隙瀝青混凝土的噪音量在 2 年之中，由初始的 6.0 分貝降到 4.8 分貝。同樣地，道路的排水容量在了 50% 這些減少的空間主要源自於道路上的灰塵的堆積和大頭釘胎環（studded tire）的損害。但哥德堡道路當局還是認為這些現象足以證明多孔隙瀝青混凝土的使用是正確的。

2. 德國

在德國多孔隙瀝青混凝土（德國術語為 Larmmindemde 瀝青）還沒有標準規格，由於民眾的壓力漸增，為的是使用它來減少交通的噪音。如同在瑞典，多孔隙瀝青混凝土是用來減少交通噪音和排水。多孔隙瀝青混凝土設計有 8 和 11mm 兩種粒料尺寸，有 15 到 25% 孔隙含量，其瀝青含量大約 5% 混合物重。

應用 40mm 厚的多孔隙瀝青混凝土面層，使用最大尺寸為 11mm 的粗粒料，85% 的粗粒料保留在 2mm 的篩子上，含有 0.5%（混合物的重量）的纖維素纖維（cellulose fibers）。

德國多孔隙瀝青混凝土的鋪面比傳統路面大約多 100% 費用。支付這個費用主要是用來減少因高速行駛在住宅區或附近其中的公路上時所產生的噪音^[2]。

3. 法國

法國使用之多孔隙瀝青混凝土面層，粒料最大尺寸為 10mm 或 14mm 的粒料，其中粗粒料（2mm 以上）佔總粒料的 85%，其孔隙率約為 22%，其黏合劑組成範圍很廣，包括瀝青、改質瀝青、橡膠瀝青和添加纖維的瀝青。主要用在恢復人行道鋪面及公路路面，以降低

噪音和增加滲漏，並減少路面逕流。法國認為多孔隙瀝青混凝土光使用瀝青，無法抵抗重交通所需的凝聚力及柔性，所以自 1982 年開始採用橡膠瀝青，透水性底部基礎，則使用粒料最大尺寸有 14 mm 和粘結劑如瀝青。跳躍（gap-graded）級配的粒料，大多在 10mm 到 14 mm，但是只有很少的礦物填充，一年後，這個高交通流量的城市道路路面外表上還是沒有顯示出任何的損壞^[5]。目前多孔隙瀝青混凝土在德國，還沒有標準的規格，如同瑞典一樣，多孔隙瀝青混凝土，主要用來減少交通噪音和排水^[1,5]。

4. 比利時

比利時在 1970 年代開始使用，其填充料小於 0.08mm，其黏結劑採改質瀝青和橡膠瀝青，90±5%通過 No.60 篩，70±10%通過 No.200 篩，孔隙率為 19%~25%，建議不適合用多孔隙瀝青混凝土路面之處^[3]：

- (1)落塵量大的道路，因粒料間之空隙很快就被堵塞。
- (2)低交通量或慢車速車道，因為車速不夠快被堵塞。
- (3)承受高載重路面（彎道，上、下坡道），因目前尚不明瞭多孔隙瀝青混凝土混合料對此荷重能否有足夠抵抗力。

目前國內透水性鋪面之發展尚處於研究發展階段，尤其都市化結果不透水面積逐年增加，使得地表保水之效能降低。根據國中小學校園環境調查報告顯示，國內三十五所國中小學校園的地面平均不透水面積，在國中校園高達 69%，國小達 68%，保水現況十分不良，此一趨勢已令相關管理單位正視鋪面透水議題^[1,5]。

臺南市中華路有試鋪與透水性鋪面面層相同之排水性瀝青路面，如照片 2.4，其添加木質纖維材料，使其有較高黏度，強化路面結構強度，屬於中低承載之路面。另外總面積達一百廿九公頃，位於彰濱工業區，主要設施包括了綜合性能測試道、煞車性能測試道、噪音測試道、綜合耐久測試道、標準不良路、斜坡測試道、滑行暨振動噪音測試道、實驗室等的彰濱試車場暨實驗室，建中工程公司為發展多孔隙瀝青混凝土，在該廠鋪

設多孔隙瀝青混凝土鋪面，設計之孔隙率目標值為 20%，並測試各項功能，經測試透水效能達 100ml/sec，透水係數 $3.1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ ^[1,5]。



照片 2.4 臺南市中華西路之排水性瀝青路面^[5]

國際應用透水混凝土作為路面材料，可預見的這種材料也將被應用的更廣泛，但在國內仍未有相關規範，因此大量的研究工作以及分析數據的產出對於國內透水混凝土技術的提升是首要的課題^[1,5]。

當邊坡坡度大時，應施築擋土結構，傳統之混凝土擋土牆工法提供了邊坡穩定與保護功能，當今則利用透水性材料作為保護之素材，結合工程、生物與生態之觀念進行整治工程，成為適合整體環境之保護工法。由於透水混凝土具有良好的水份進出特性，迎水面水位升降或背填土孔隙水增加，結構本身幾乎均不承受水壓變化的影響，尤其當河川水位驟降時，一般擋土牆因牆後水位無法迅速下降，較易傾倒。

一般農田灌溉水路旁有較寬廣腹地，為使水域與陸域區之生態交會區範圍增加，營造綠色環境，何廷祥 2005^[4]提出灌溉渠道以透水混凝土與傳統混凝土結合為複合斷面的施工方式，示意圖如圖 2.9^[4]所示，圖中灌溉水路為避免灌溉水流失，常流水面仍使用傳統混凝土，但在上部則改以

透水混凝土，以供植物生長以及地表水滲入。其中透水混凝土曼寧係數 N 值增大，必須於水裡分析時考量，以 10~20mm 骨材之透水混凝土而言，其曼寧係數 N 值約為 0.02，較傳統混凝土 0.015 為高。

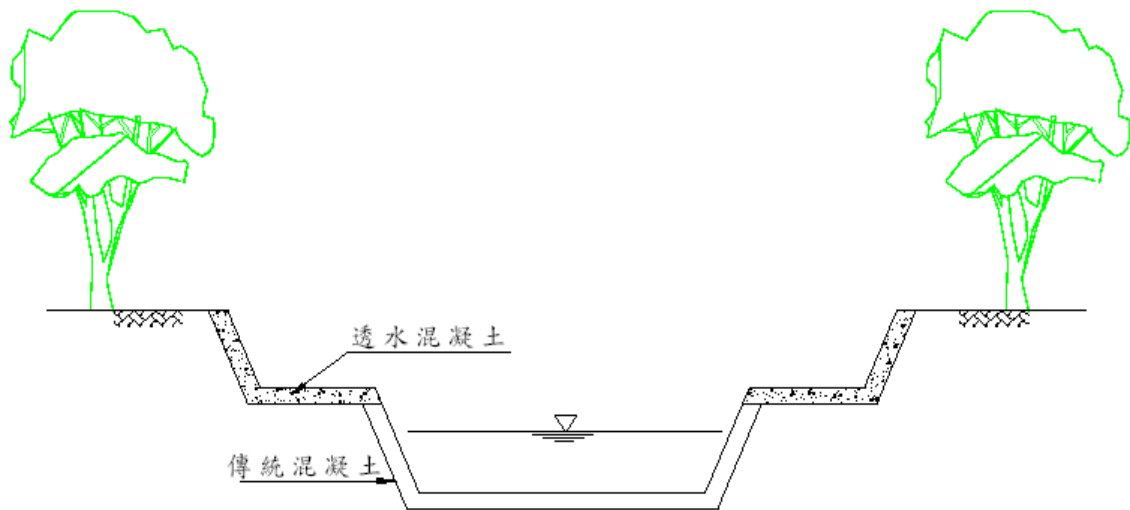


圖 2.9 灌溉水路使用透水混凝土之工法^[4]

依據韓乃斌論文(連惠邦教授指導)，由圖 2.10^[5]可知，當骨材粒徑愈大，其透水係數愈高，骨材粒徑愈小，其透水係數則愈低，主要原因在於骨材粒徑愈大時，所形成之孔隙孔徑較大，水通過流速較快，水份通過較容易，反之骨材粒徑愈小，因孔隙孔徑較小，阻力較大，水份較不易通過。至於透水係數與水灰比之關係，水灰比 0.35 之透水係數小於水灰比 0.3 者，主要原因應與結構緻密度較大有關。由於透水混凝土透水能力是否良好，尚牽涉與其接觸之土壤之透水能力，一般而言，透水係數若大於所接觸之土壤或地工織物，則無阻礙水流之虞，公共工程委員會對地工織物之規範要求其透水係數為大於 10-2cm/sec，依該標準不論 0.35 或 0.3 水灰比之配比均可輕易達成。

孔隙率在透水混凝土中與透水係數成正比，孔隙率愈高，透水係數愈高；孔隙率愈低，透水係數愈低。在孔隙率為 30%情形下，透水係數約為 1.69cm/sec，詳圖 2.11^[5]所示。將本研究試驗值與文獻回顧美國混凝土協會透水係數比較，該協會以骨材級配 9.5~2.36mm 以及 19.0~4.75mm 之骨材配比進行透水係數試驗，當孔隙率為 35%時，其透水係數為

3.75cm/sec，而本試驗以 19~12.5mm 之骨材配比，孔隙率為 36%時，透水係數為 5.39cm/sec，因本試驗之骨材粒徑平均值較大，形成之孔隙較大，結構內水流阻力較少，比較結果透水係數值雖較大尚屬合理。

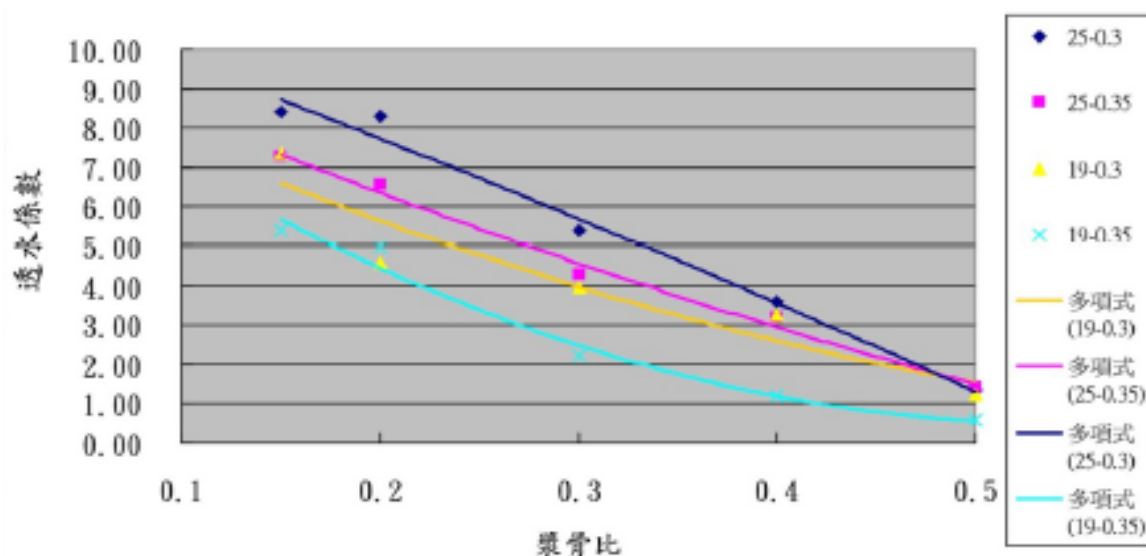


圖 2.10 透水係數與漿骨比關係圖^[5]

(註：圖例前方數字為骨材粒徑，後方數字為水灰比，透水係數單位：cm/sec)

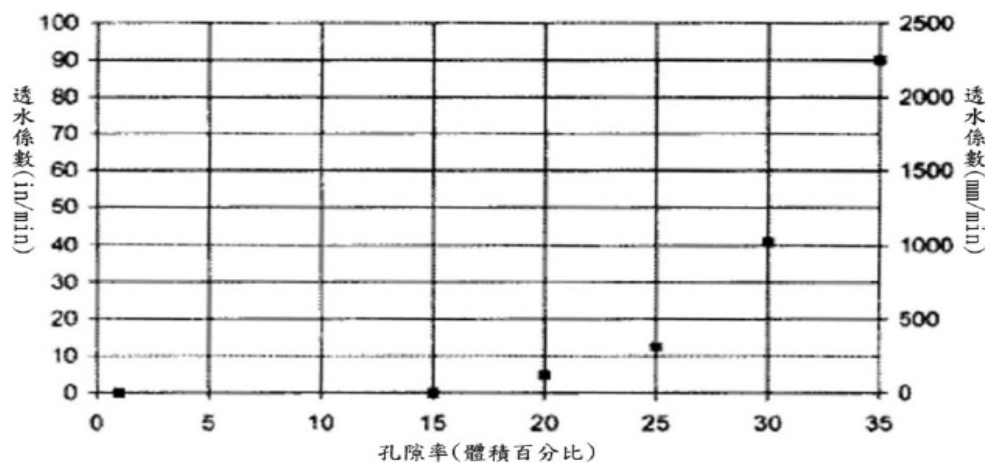


圖 2.11 孔隙率與透水係數關係圖^[5]

透水混凝土或可稱為多孔隙混凝土 (porous concrete, PC) 具有良好排水、吸音與抗滑能力，適合鋪設於臺灣多雨之環境，由於多孔隙混凝土

孔隙率較高，其強度低於一般混凝土，因此要應用於高速公路面層將受到局限。活性粉混凝土（reactive powder concrete, RPC）則是法國近年開發出之高度緻密化及均質化混凝土，具有超高抗壓強度與抗彎強度。劉明仁^[33]新近研究結合多孔隙混凝土（PC）與活性粉混凝土（RPC）之特性，研發符合強度與孔隙特性之新型路面材料，命名為「活性粉多孔隙混凝土（reactive powder porous concrete, RPPC）」，以符合高速公路剛性路面面層混凝土設計抗彎強度 45 kg/cm^2 之要求。此研究之活性粉多孔隙混凝土 RPPC 試體具有 15% 之孔隙率，28 天齡期抗彎強度皆超過 52 kg/cm^2 ，符合國內高速公路剛性路面面層水泥混凝土設計抗彎強度 45 kg/cm^2 （目標抗彎強度 52 kg/cm^2 ）之要求。活性粉多孔隙混凝土抗壓強度水準已達到臺灣區公路規範參考水泥用量 400 kg/cm^2 時，一般水泥混凝土 28 天齡期設計抗壓強度 280 kg/cm^2 之水準，顯示活性粉砂漿可有效改良多孔隙水泥混凝土之強度。此透水試驗結果顯示活性粉多孔隙混凝土 RPPC 具有良好之透水能力，整體而言，試驗組配比之滲透係數都高於 0.10 cm/sec ，顯示目標孔隙率在 15% 以上情況下透水績效良好^[33]。

2.3.3 港灣構造物設施應用

在港灣工程應用上混凝土的品質因應結構物之種類、位置及環境條件而有不同的設計標準強度，基本上須滿足強度與耐久性的要求。由於波浪的反覆衝擊作用，對於僅屬於點狀接觸黏結的透水性混凝土而言，或許不宜將其應用於主體結構物上，且基於腐蝕的考量，亦不可將其應用於鋼筋混凝土中，較可能的應用方式僅止於次要結構物之應用，如人工魚礁、消波塊、護基方塊及消波覆蓋等。

人工魚礁是將天然或人造的物體投放於海洋中，改變海洋環境，供給動植物良好棲息場地，已達到培育資源與增加漁獲之目的。而利用多孔混凝土礁石投放於海中，因表面有許多微小的連續孔隙，作為海洋復育的魚礁或藻礁石，可增加甲殼類或體型較小之魚種、魚苗之棲息場所，在生態效果的觀點上，多孔性混凝土而表面凹凸的混凝土，都優於普通混凝土^[35]。由於經濟快速發展，臺灣都市車輛數目快速成長，車行噪音問題儼

然已成為現代社會的一種公害，特別是在交通流量大車速快的快速道路周邊居民構成極大的困擾，利用多孔混凝土製成吸音板，可有效減低交通噪音影響，未來可朝此方面進行研發^[1]，依據 ACI 522R-06 透水混凝土之應用可以使用在港灣工程範圍包括海濱結構、海堤 (seawall) 和人工漁礁等。ACI 522R-06^[32]透水混凝土應用範圍與適用性大致分為：(1)停車場的透水鋪面和步道，(2)大賣場室外的剛性透水鋪面，(3)溫室 (green house) 地版，用以防止積水，(4)輕量或具隔熱性能的結構牆體，(5)需具有良好吸音性能的鋪面、牆體及樓版，(6)都市道路、鄉村道路、公路及機場之底層 (base course)，(7)停車場及動物園區等之面層，(8)橋樑基座 (embankments)，(9)游泳池地版，(10)海濱結構和海堤，(11)污水處理場的污泥床，(12)太陽能儲存系統，(13)人工漁礁等，通常，上述透水混凝土都不加鋼筋補強，若應用於鋼筋混凝土，則鋼筋需要防蝕或使用鍍鋅塗裝。

目前為止，透水混凝土在道路鋪面或停車場鋪面的應用較為廣泛，主要的類別可分為透水性水泥混凝土、透水性高分子混凝土及透水性燒結製品三大類。相對地使用在港灣工程上則不多見，反而在河川護岸或坡地工程上的應用卻是有一些國內外案例，主要均以透水方塊或球型透水製品於現地加以組合成結構單元體的型式。一般而言，普通混凝土為公共工程最常使用之材料，如 RC 結構物、剛性鋪面、基樁、消波塊、擋土牆、堤防、護岸等，一般在強度要求下，透水混凝土可以取代普通混凝土，由於透水混凝土其具有高孔隙率，可提供與普通混凝土不同之特性，如透水混凝土應用於剛性鋪面可以減少噪音與積水，增加安全性；應用於堤防護岸，透水混凝土易於植生植物並豐富堤防護岸之生態^[2]。另外，多孔混凝土可用於河川、封閉水域或港灣的海水淨化，其原理是應用塊石表面上易附著微生物，形成所謂的生物膜，消耗氧氣而分解水中的懸浮物質和已溶解的有機性污濁物，使水質達到淨化的目的^[35]。

日本混凝土協會 2004 年^[11]為因應高陡護坡常因暴雨時排水不及側壓力過大造成崩毀災害，提出以透水混凝土施築護牆之施工方式，其中背填透水混凝土為增加工作性，以加砂及加強塑劑方式拌合。透水混凝土配比

如表 2-3 所示，該配比抗壓強度約 250kg/cm^2 ，高陡護坡斷面圖如圖 2.12 所示。

表 2-3 背填透水混凝土之配合比例^[11]

孔隙率 (%)	水灰比	單位體積材料用量(kg/m ³)				
		水泥	水	細骨材	粗骨材	強塑劑*
15	0.25	355	89	153	1576	0.75%

註：強塑劑為水泥量之 0.75%。

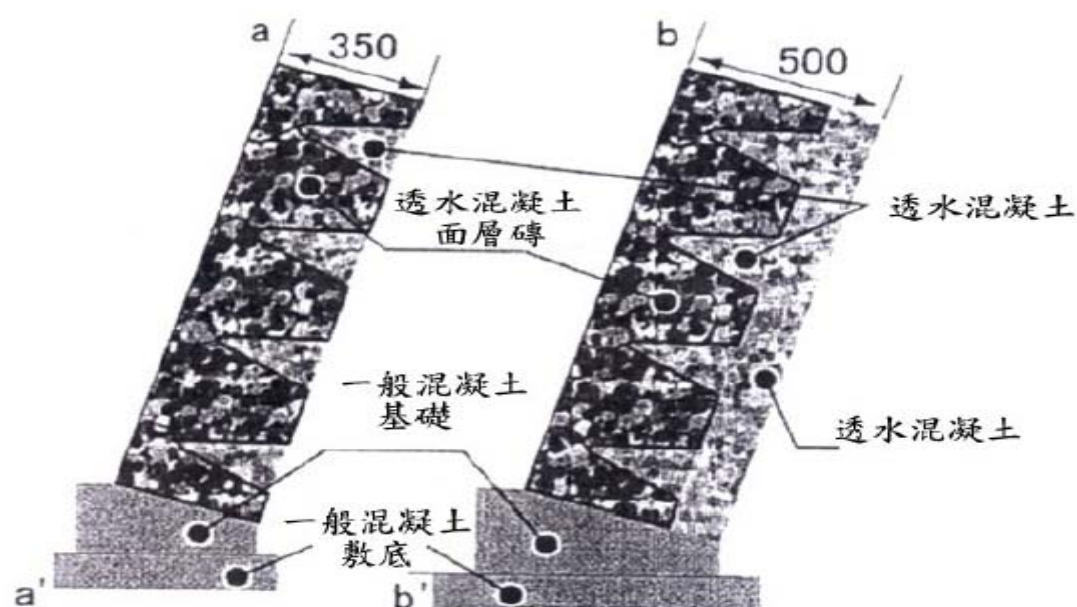


圖 2.12 高陡護坡斷面示意圖(資料來源：日本混凝土協會 2004^[11])

日本 GOMACO 公司^[12]以滑動模板進行透水混凝土護坡施工，施工河道長 64 公尺，透水混凝土澆置總面積 271 平方公尺，澆置厚度 20 公分，全部完成所花時間僅為 2 日，較傳統預鑄透水框格塊鋪設工法速度快 2-3 倍，成本節省 20%以上，詳如照片 2.5 所示。



照片 2.5 透水混凝土護坡施工澆置情形 (GOMACO 公司)^[12]

照片 2.6 與照片 2.7 則分別為日本佐賀縣多久市石原川透水多孔混凝土護岸工程及日本山口縣防府市佐波川透水多孔混凝土護岸工程，工程結構安全性符合需求，且植生效果良好^[35]。



強度重視タイプのポーラスコンクリート護岸として、全国にさがけて平成7年度に採用されました。その後、生態調査や強度調査がおこなわれており、動植物（昆虫、微生物等）が生息しやすい環境であることが確認されています。又、5年が経過したポーラスコンクリートの強度劣化は認められず、安定した護岸を保っているといえます。

照片 2.6 日本佐賀縣多久市石原川透水多孔混凝土護岸工程

(資料來源：日本 P.E.C.協會施工事例)^[35]



※施工後2年



※植生の様子

■佐波川
山口県防府市
国土交通省
山口工事事務所
テトラックPG3型
用法：護岸

高水護岸、遮水シートと植生には困難な要素ではありましたが、覆土工を行い植生は十分回復してきています。

照片 2.7 日本山口縣防府市佐波川多孔混凝土護岸工程
(資料來源：日本 P.E.C.協會施工事例)^[35]

日本那霸港防波堤之消波塊拋置後珊瑚礁開始自然附著，從研究中發現混凝土表面做成數公分凹凸不平時，珊瑚都沿凸出部份著生如圖 2.13 所示，顯示凹凸面形成水流紊流區及滯留區，成為幼虫易於著床處，同時也比較不受海膽及海星等生物掠食。槍烏賊常以岩礁凹陷處之頂部或岩石間之空隙頂部生產長紡錘形之卵囊，但適合於產卵之底床附近之岩石空隙卻意外的少，而防波堤、岸壁等混凝土垂直壁之破損處，或消波混凝土塊空隙部份卻提供槍烏賊良好之產卵場所^[38]；改良消波塊表面成凹凸不平之形狀顯然值得研究^[39]。

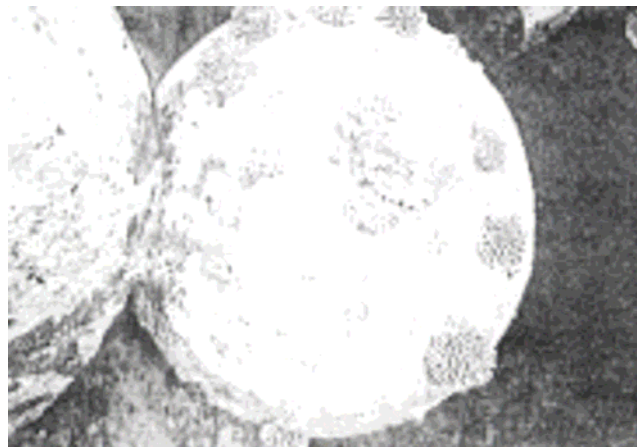


圖 2.13 凹凸面易使珊瑚著生^[39]

Yoshida 與 Tamai^[38, 39]有關海域海草叢林再生使用透水混凝土之研究，介紹一般混凝土版與透水混凝土版於日本 SETO 島海中超過兩年試驗，發現透水混凝土不但適合海藻附著與繁殖，並可形成海草叢林再現，如圖 2.14 所示，海草數量隨從試驗期增加而增多，透水混凝土較易海草附著與繁殖。

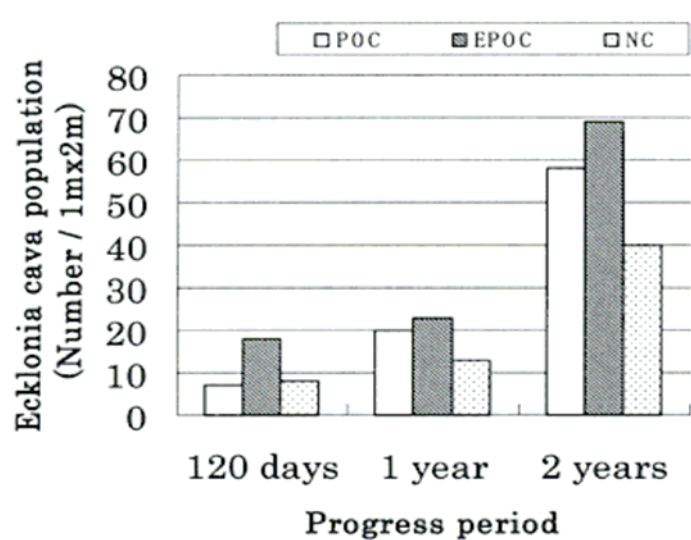


圖 2.14 海草數量與試驗期相關性^[38]

郭金棟於海岸生態工法中有關親水海堤堤高設計要領，要求高粗糙度、透水性良好之緩坡，配合平台有利降低堤高，表 2-4 為各種堤面溯升減少率，由此可知粗糙度與透水性之效果^[37]。

表 2-4 各種粗糙度與透水性海堤堤面溯升減少率^[37]

海堤種類	溯升減少率 Kr
瀝青、光滑混凝土面	1.00
混凝土塊、纖維席	0.95
漿砌石	0.90
卵石、蛇籠	0.70
混凝土消波塊一層於不透水底層	0.80
拋塊石或消波塊二層	0.60

2.3.4 透水混凝土案例

1. 南加州 Manhattan Beach 透水混凝土停車場

南加州Manhattan Beach透水混凝土停車場計畫經費是90萬美元，經費來源是州政府水資源管理委員會，完工為2008年4月是Manhattan市居民與官員為慶祝地球日而發起，這是作為環境友好材料之示範。透水混凝土停車場共兩處是位於Manhattan Beach之右邊，停車場坡度設計是順應海岸下降直到邊緣碰到海砂，透水混凝土鋪設厚度為10英吋 (25公分)，如照片2.8所示^[42]。



照片 2.8 南加州 Manhattan Beach 透水混凝土停車場^[42]

2. Sun Ray Store-Away 倉儲設施

Sun Ray Store-Away倉儲位於佛羅里達州Mary湖附近，共有0.7英畝，1999年建造，透水混凝土應用於823個儲存單元之車道系統和62個大型車輛之停車位，透水混凝土厚度介於5.1 ~ 6.9 英吋之間。日後發現透水混凝土系統在前面大門與垃圾卡車投擲處有損壞，裂縫聚集於前面大門歸因為所有車輛出入口交通載重大，裂縫也聚集於垃圾卡車投擲處，歸因於垃圾卡車投擲產生極大衝擊載重，如圖2.15與照片2.9所示^[43]。

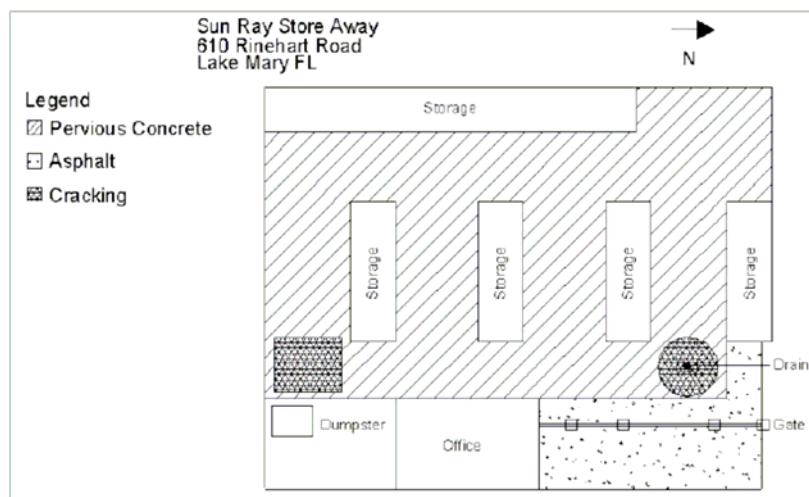


圖 2.15 Sun Ray Store-Away 倉儲設施透水混凝土鋪面設計圖^[43]



照片 2.9 Sun Ray Store-Away 倉儲設施透水混凝土鋪面^[43]

3. Strang Communication Office

Strang Communication Office位於佛羅里達州Mary湖附近，共有0.3英畝停車場，可供200位員工停車，於1992年建造，其中有71停車位是透水混凝土，其他的停車位是瀝青混凝土鋪面，透水混凝土厚度介於7.0~7.1英吋之間。日後發現透水混凝土停車場表面有小的損壞，有表面鬆散情況發生，特別是入口處附近，另外，藻類和小草也呈現於透水混凝土停車場之表面，如圖2.16與照片2.10所示^[43]。

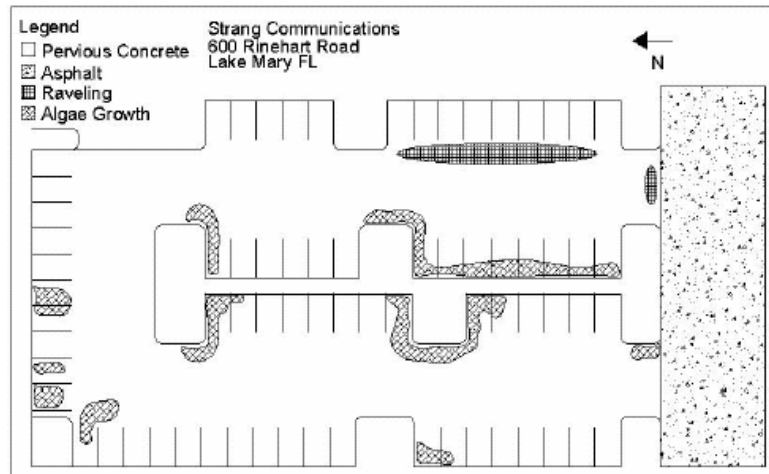


圖 2.16 Strang Communication Office 透水混凝土停車場設計圖^[43]



照片 2.10 Strang Communication Office 透水混凝土停車場^[43]

4. FDEP Office

FDEP Office為佛羅里達州政府Tallahassee市環境保護署建築物，建築物附近載重區（車道與停車場），最初於1985年建造，有一小部分經過第二次加鋪，加鋪時間為1995年，透水混凝土鋪面厚度介於5.0 ~ 8.9英吋之間，如圖2.17與照片2.11所示。目前發現透水混凝土部分有次要結構損壞，藉由肉眼觀察有一部分混凝土表面被填封，無法讓水經表面滲透，此區域主要發生在第二次加鋪處^[43]。

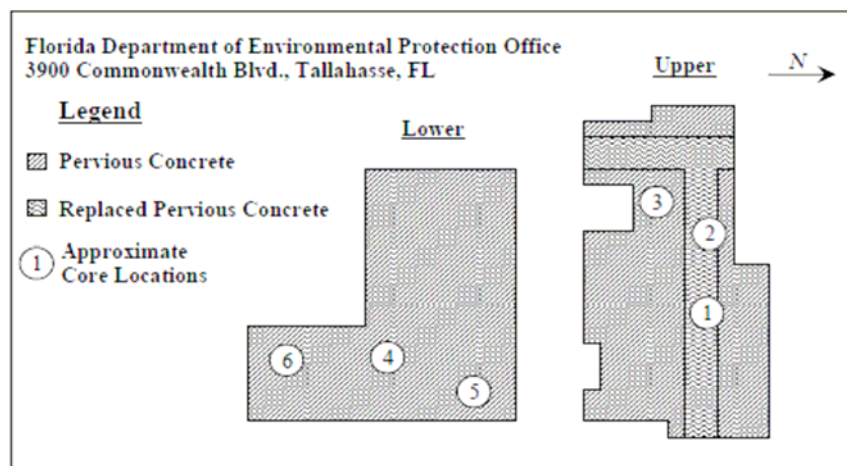


圖 2.17 Tallahassee 市環境保護署建築物附近載重區透水混凝土設計圖^[43]



照片 2.11 Tallahassee 市環境保護署建築物附近透水混凝土載重區^[43]

5. Effingham 郡掩埋場

Effingham郡掩埋場位於喬治亞州Guyton附近，大約有0.6英畝混凝土鋪面，於1999年建造完工，混凝土鋪面中間50英呎x50英呎平方是鋪設一般混凝土，其他區域屬於透水混凝土，如圖2.18與照片2.12所示，透水混凝土厚度介於5.8～6.3英吋之間，透水混凝土鋪面下有設計6英吋碎石層和砂層，其設計作為垃圾儲存與分類之處。目前發現透水混凝土鋪面結構屬於良好狀況，僅有很小的裂縫產生^[43]。

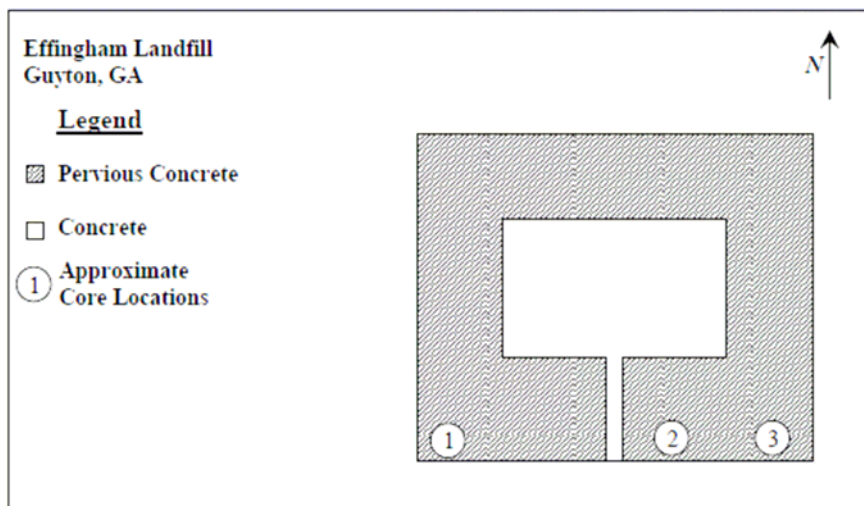


圖 2.18 喬治亞州 Effingham 郡掩埋場透水混凝土設計圖^[43]



照片 2.12 喬治亞州 Effingham 透水混凝土郡掩埋場^[43]

6. Sioux 重交通車輛倉庫

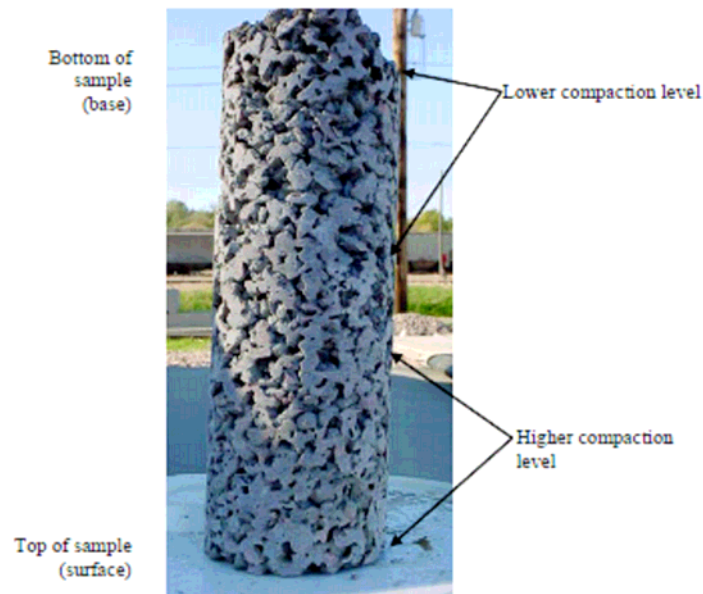
愛阿華州Sioux市一重交通車輛倉庫與車道也使用透水混凝土，混凝土鋪面下有設計18英吋碎石層，作為附近不透水區之排放水流域，於2006年建造完工，建造前曾委託愛阿華州立大學Kevern等學者進行10種透水混凝土配比設計研究，其10種配比如表2-5所示，水膠比相當低，落在0.26~0.19之間，方能承受重車載重，透水混凝土面層厚度設計8英吋，下有18英吋碎石底層，寬度為10英呎，長度為130英呎。目

前發現鋪面結構屬於良好狀況，但透水混凝土強度差異相當大，不僅上下層有差異 (如照片2.13所示下層孔隙多，上層較緻密) 且各鑽心試驗點有極大差距^[44]。

表 2-5 Sioux 市重交通車輛倉庫與車道 10 種透水混凝土配比^[44]

Mix ID	Coarse Aggregate	Sand	Binder				w/b
	(PCY)	(PCY)	PC (PCY)	GGBFS (PCY)	FA (PCY)	H ₂ O (lb)	
1/2PG ^A -B21-SL19-FA7	2600	-	400	100	40	117	0.22
1/2PG-B21-SL19-FA7	2600	-	400	100	40	117	0.22
P1/2QTZ ^A -B22-SL29-FA7-S5	2470	120	411	113	40	125	0.22
P1/2QTZ-B22-SL-29-FA7-S5	2470	120	411	113	40	108	0.19
3/8PG ^A -B21-SL19-FA7-S7	2500	168	425	106	40	133	0.23
3/8PG-B21-SL19-FA7-S7	2500	168	425	106	40	125	0.22
3/8PG ^A -B21-FA7-S7	2500	168	531	-	40	150	0.26
3/8PG-B21-FA7-S7	2500	168	531	-	40	150	0.26
#4PG ^A -B21-FA7-S7	2500	168	531	-	40	125	0.22
#4PG-B21-FA7-S7	2500	168	531	-	40	125	0.22

Notes: Slag (SL), Fly Ash (FA), Quartzite (QTZ), air-entrainment (^A)



照片 2.13 Sioux 重交通車輛倉庫透水混凝土鑽心試體^[43]

7. 北卡羅來那大學通勤停車場

北卡羅來那大學Estes Drive通勤停車場和星期五中心通勤停車場於2002年完成，星期五中心有150個停車位，Estes Drive通勤停車有75個停車位，透水混凝土面層厚度設計5英吋，使用水洗過碎石做底層，共1,500立方碼之透水混凝土，並獲得美國工程公司委員會Grand Conceptor Award，工程位置落在每年會有多次冰凍融化之地（平均每年有90次凍融），目前狀況良好，本停車場另有透水瀝青混凝土鋪面，以進行相關研究與比較評估，如照片2.14所示^[45]。



照片 2.14 北卡羅來那大學通勤停車場透水混凝土^[45]

8. 南卡羅來那州 Santee-Cooper 計畫堤防工程

1942年美國南卡羅來那州Santee-Cooper 計畫^[36]之Santee土石壩與堤防工程竣工，設計使用透水混凝土10英吋厚與碎石透層4英吋作為壩或堤保護坡，保護坡最大寬度103英呎，有41英呎會受到波浪的衝擊，保護坡全長共計15.6英哩，如圖2.19與2.20所示；規劃設計前二年(1940年)曾經在Vicksburg美國水道實驗中心進行全尺寸模型試驗，模擬透水混凝土版(10英吋厚)作為壩或堤保護坡受到波浪快速上下的

衝擊力與冰凍融解循環試驗，試驗結果得知：(1)透水混凝土版較其它保護坡材料之單價為低，(2)全尺寸模型試驗透水混凝土版受到波浪衝擊並無明顯上舉壓力產生，(3)試驗顯示有充足的抗壓強度，(4)透水混凝土版可以承受50回冰凍融解循環試驗，(5)大波浪衝擊若有漂流物如大樹幹或圓木將對混凝土護坡造成損傷。Santee土石壩與堤防工程竣工數年後，發現透水混凝土保護坡有大龜裂與破壞問題產生，經過現地與室內試驗得知部分透水混凝土有嚴重中性化，透水混凝土鑽心強度變異太大，範圍介於595至2915psi之間；最後，於1946年決定將透水混凝土保護坡打除再以鋼筋混凝土（低水位區之上）與大石堆成的石基（低水位區之下）兩者作為Santee土石壩與堤防保護坡^[36]。



圖 2.19 美國南卡羅來那州 Santee 土石壩與堤防工程^[36]

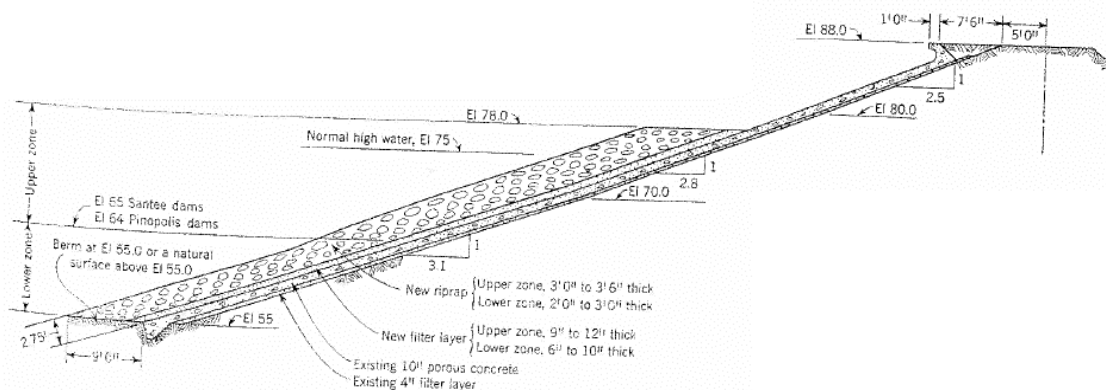


圖 2.20 設計使用透水混凝土 10 英吋厚與碎石透層 4 英吋作為 Santee 土石壩或堤保護坡^[36]

9. PCA 透水混凝土鋪面 (2004) 應用案例

PCA 透水混凝土鋪面應用^[31]案例說明包括：(A)奧勒岡州波特蘭動物園走道；(B)加州美橡樹 Miller 公園；(C)田納西州Chattanooga Finley體育館停車場；(D)加州Imperial海濱運動公園；(E)奧勒岡州天使山倉儲用地；(F)華盛頓州Bainbridge島彩色透水混凝土人行道；(G)喬治亞州Buford Large concrete停車場，如照片2.15(A)至(G)所示。



照片2.15(A) 奧勒岡州波特蘭動物園走道



照片2.15(B) 加州美橡樹 Miller 公園



照片2.15(C) 田納西州Chattanooga Finley體育館停車場



照片2.15(D) 加州Imperial海濱運動公園



照片2.15(E) 奧勒岡州天使山倉儲用地



照片2.15(F) 華盛頓州Bainbridge島彩色透水混凝土人行道



照片2.15(G) 喬治亞州Buford Large concrete停車場

10. ACI 透水混凝土 (2006) 應用案例

ACI 522R-06【32】透水混凝土應用範圍與適用性大致分為：(1)停車場的透水鋪面和步道，(2)大賣場室外的剛性透水鋪面，(3)溫室（green house）地版，用以防止積水，(4)輕量或具隔熱性能的結構牆體，(5)需具有良好吸音性能的鋪面、牆體及樓版，(6)都市道路、鄉村道路、公路及機場之底層（base course），(7)停車場及動物園區等之面層，(8)橋樑基座（embankments），(9)游泳池地版，(10)海濱結構和海

堤，(11)污水處理場的污泥床，(12)太陽能儲存系統，(13)人工漁礁等，通常，上述透水混凝土都不加鋼筋補強。

2.3.5 透水混凝土研究彙編：過去、現在與未來

1. 案例研討與應用

過去數年來，美國一直不斷的投注資源與經費於透水混凝土研究上，如圖2.21所示，有超過2/3的州政府進行此項研究或人員訓練，至少有17所美國大學拿到政府透水混凝土研究經費，透水混凝土應用於停車場與行人道鋪面已經成為焦點與喜好，未來應該投入更多的資源與研究於都市道路、公路及機場之底層（base course）、高速公路路肩、橋樑基座（embankments）、海濱結構、人工漁礁和海堤等^[42]。

2. 營建技術

透水混凝土澆置技術有使用滾筒、高密度鋪裝機、振動刮板與金屬板壓密機等，不同夯實與壓密程度會影響透水混凝土很多性質，應重視標準化壓密設備機具以達成品質控制與保證之目的；目前無此方面之研究。

3. 維護與耐久性

透水混凝土冰凍融解循環試驗研究已經被驗證多次，唯試驗研究方法需適當修正，在凍融循環下，透水混凝土試體不應有水存在其中；透水混凝土表面或裡面阻塞與表面顆粒鬆散需要維護，此方面也應進行相關研究。

4. 水文與環境設計

水文與環境設計應考慮(a)油脂被吸附於透水混凝土孔隙中與其長期衝擊，(b)比較水流經過透水混凝土和透水瀝青混凝土兩者滲透與淨化之影響，(c)透水系統中生物質量與有氧消化的分解與成長，(d)混凝土材料分解析出進入地下水與土壤中。

5. 試驗方法與規範

透水混凝土鋪面工程可引用並符合ACI 522R-06與ACI 522.1-08^[41]新規範與試驗方法，未來應該投入的研究有現地透水試驗方法、非破壞試驗方法與觀測井對水質試驗之發展^[42]。

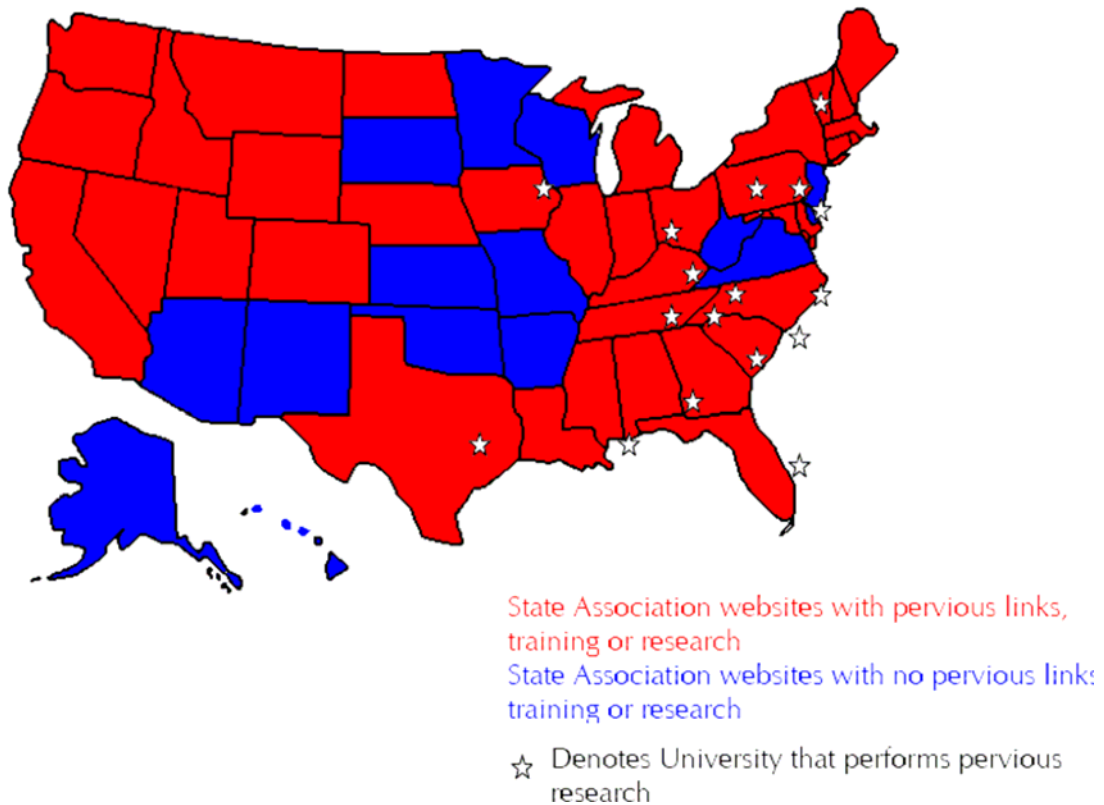


圖 2.21 美國州政府投注資源於透水混凝土研究或訓練示意圖^[42]

第三章 防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃

本章內容包括試鋪防波堤之選擇、防波堤現況調查、試鋪防波堤配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範編定。

3.1 防波堤之選擇

隨著時代海岸與防波堤扮演不同之角色，早期之海岸與防波堤提供人類生活不可或缺的海產食物及食鹽，同時成為生命財產以及國防安全之防線，繼之提供海上交通運輸不可或缺之交通貿易之基地—港灣。20 世紀前半以農作物供應糧食圍墾海埔新生地，20 世紀後半則開發為工業基地及商業中心，而近年則除保有過去之使用目的之外，已轉變為休閒活動及生態保育之重要地區。過去僅與沿岸居民生活有所關連，今則由於沿岸人口增加關係，沿岸經濟及休閒活動日益頻繁，幾與全體國民生活息息相關密不可分。同時沿岸土地利用愈向外海延伸，海岸穩定遭受嚴重之破壞，生命財產感受海洋能量嚴重之威脅，對海岸之保護要求日益成迫切。有關世界各國所使用的防波堤，大致可劃分為(1)直立堤，(2)斜坡堤，(3)合成堤，(4)消波塊覆蓋堤，(5)直立消波塊堤，(6)消波塊沉箱堤，(7)上部斜面沉箱堤共七種；另一方面，依據海岸保護工法—硬性結構分類，可劃分為(1)海堤或護岸，(2)突堤，(3)離岸堤，(4)潛堤，(5)人工潛礁共五種，當港灣完成後，其防波堤的反射率將與其斷面設計與組成材料有關；依據顧問團專家蔡清標教授建議透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤(seawall)、護岸(revetment)、潛堤(submerged breakwater)及人工潛(漁)礁(artificial reef)等。有關水工模型試驗方面，建議可先進行在實驗室裡模擬波浪對於透水混凝土海堤上之波浪溯升(run-up)及堤前波浪反射率之觀測，再經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，結果應可供透水混凝土在港灣或海岸結構物應用的可行性評估，再做現地的試鋪試驗。

目前防波堤之選擇，鎖定中部地區海域(如臺中港)屬於斜坡堤、海堤或護岸結構，特別是海堤或護岸該結構臨海面(受潮水面)有漿砌卵石保護邊坡或面層混凝土保護邊坡，較易於施作透水混凝土與利於日後觀測。

3.2 防波堤現況調查

港灣構造物常年處於波浪或地震力等巨大外力衝擊與海水鹽份浸泡等惡劣環境港灣構造物常年處於波浪或地震力等巨大外力衝擊與海水鹽份浸泡等惡劣環境下，甚易造成碼頭或防波堤等港灣構造物之使用構材諸如混凝土劣化、強度損失以及內部鋼筋腐蝕、斷裂或鋼板樁腐蝕等破壞現象，對構造物之耐久性與安全性威脅甚大。

有關上述港灣構造物之調查研究與安全檢測，已有相關研究案正在進行中，本次調查僅針對目前中部地區防波堤型式種類與是否可試鋪透水混凝土為主要調查方向，並以臺中港區域來說明；臺中港為一人工港，興建於臺灣西海岸中央之沙質海岸上，距離北部之基隆港及南部之高雄港航程各約 110 哩，港區範圍北起大甲溪南岸，南迄大肚溪北岸，西臨臺灣海峽，東以臨港大道及其延長線為界。在 1973 年 10 月臺中港興工其，其防波堤工程可說是第一次臺灣以現代方法築造，當年臺中港防波堤拖放了 40 座沉箱，以防波堤的工程進度，斷言不可能達成。臺中港北防波堤是屬於沉箱式混成堤，其基礎設計所使用堤心料（編號為”a”石料）為直徑 10~30 cm 的河床卵石，每日拋”a”石料 3000~5000m³，實輕而易舉，此確為防波堤施工上的大突破。沉箱基礎與”a”石料間，另鋪以 50~100 cm 厚的”A”石料（重量在 100 kg 以下）。過去一座沉箱的通石基礎整平需要 20~30 天，現在僅需 3 天，臺中港基礎整平、拖放沉箱與護基面拋石均能在短時間內完成。

臺中港南防波堤是屬於拋石斜面堤，波浪在拋石堤面上必定碎波，不可能形成氣袋之類，反射波問題亦少。堤心設計為”a”石料，臨海面鋪設”D”塊石（定義為 0.5~1.0 ton 塊石），其外吊放 8 ton 消波塊，臨港面鋪設”C”塊石（300~500 kg），其外吊放 6 ton 消波塊，頂部覆蓋混凝土塊。注意其設計高水位為+5.2m，而”a”石料最高面為+5.0m，即已在一般高潮以上，施工時受高潮侵犯的機會不多。在防波堤現況調查亦發現，臺中港為防止淤塞控制漂沙，即堵截大甲溪河川帶來之大量漂沙，在大甲溪口與港口之間，設置一防沙堤，其防沙堤堤向大致與海岸線垂直，堤頭伸至最頻繁發生波浪的集體移動限界水深以外，主要防波堤的堤向亦

有一段大致與防沙堤方向平行。臺中港防波堤配置主要是北防波堤、南防波堤與北防沙堤三者之外，並包括港內堤、南海堤與護岸等，其中海堤與護岸是屬於拋石護基海堤與陡坡護岸，該結構臨海面（受潮水面）有漿砌卵石保護或面層混凝土保護，並有大量消波塊固守海岸線。

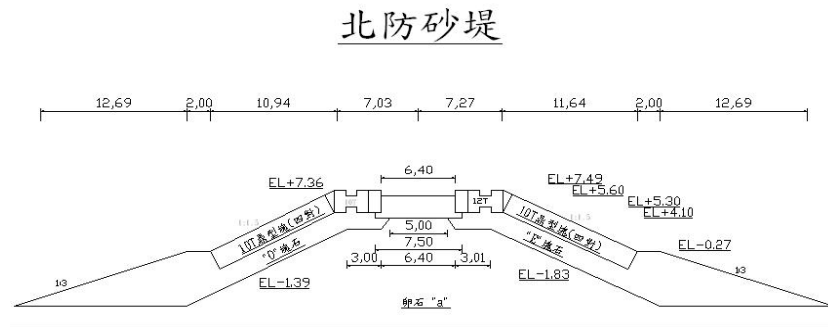


圖 3.1 臺中港北防沙堤配置圖

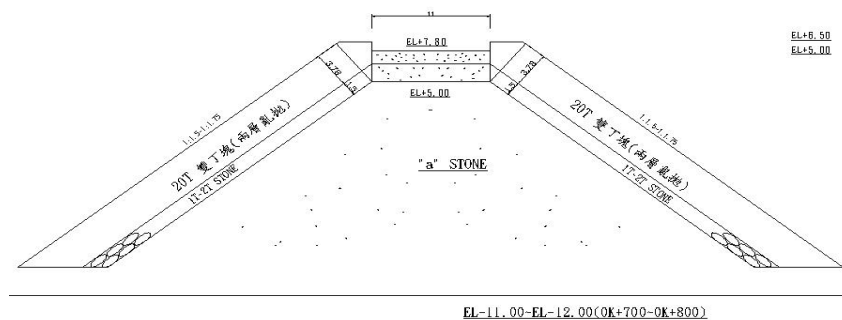


圖 3.2 臺中港北防沙突堤配置圖

3.3 試鋪防波堤配置與細部規劃

臺中港港務局希望能同時兼顧現有生態環境的提下，將北堤北側至大甲溪港區之間九百餘公頃的淤沙區作有效的利用。目前根據「臺中港整體規劃及未來發展計畫」，將有部份區域作為漁業專業區、遊憩專業區、漂飛沙整治區及防風林區等相關設施。臺中港整體規劃平面配置圖及現況照片如圖 3.3 與 3.4 所示。臺中港目前進行中重要工程計畫有二：其一為「臺中港物流專業區公共設施新建工程」，工程完成可加速開發物流專業區，適時提供設廠用地，吸引企業投資，提昇業者投資意願，增加港埠營運量，

活絡臺中港區產業經濟活動，闢建該區聯外交通路網長約 7,211 公尺及排水等公共設施，預定 98 年底完成，其施工期程自 96 年 1 月至 98 年 12 月止，總工程經費 4.677 億元。其二為「臺中港中泊渠底端護岸工程」，工程完成有利於後續中泊渠底端碼頭工程施作及後線親水遊憩專業區之開發，辦理中泊渠底端護岸及水域浚深工程以穩定岸線，並配合辦理該區範圍內之道路、排水、照明及管線拆遷工程等，其施工期程自 97 年 1 月至 99 年 12 月止，總工程經費 2.44 億元。

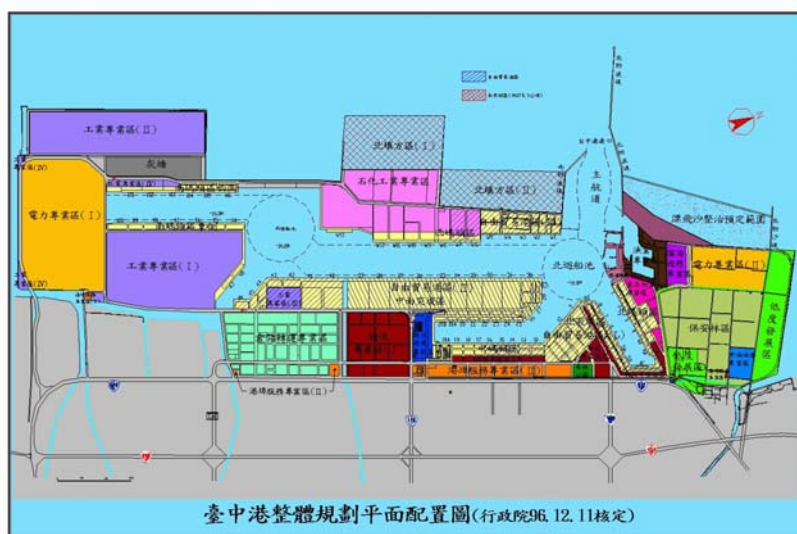


圖 3.3 臺中港整體規劃平面配置圖及現況照片



圖 3.4 臺中港整體現況照片

有關研究單位試鋪防波堤配置與細部規劃，原選定臺中港港務局轄區北防砂堤外圍之 50 公尺海堤，並於 98 年 5 月 12 日以本校名義擬借用北防砂堤外圍之 50 公尺海堤，作為防波堤與路面試鋪透水混凝土場地案發文給臺中港港務局；港務局也於 98 年 6 月 3 日回文，要求提供本案詳細之研究計畫，俾進一步確認適合之場地需求、本局可提供之協助、雙方須配合協調之內容及宜注意之事項，並請由交通部運輸研究所循行政程序洽本局辦理商借事宜。原擬借區屬 98 年度防風林週邊道路（98-1）標休憩灣施工範圍，且該區海堤為下陷觀察維護區，爰請另覓適當位置（如需協助請洽本局工務組或港工處，發文字號：中港工字第 0980201819 號）。

目前正積極洽請臺中港港務局工務組或港工處協助另覓適當位置，其中，研究單位原選定位置—北防砂堤外圍之 50 公尺海堤，該結構臨海面（受潮水面）有漿砌卵石保護邊坡，其春夏兩季潮汐僅達海堤中段，有利於透水混凝土施工，擬規劃設計 25 公分厚透水混凝土於漿砌卵石保護邊坡，而秋冬兩季潮汐將可達堤頂，有利於日後觀測；因此，依據上述原則經港務局工務組相關人員協助選定中碼頭區第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤長約 50 公尺，該區海堤部分有龜裂與破損，可藉由本次試鋪進行修護，海堤試鋪場地位置如圖 3.3 中碼頭區，由於第 15 與 16 號碼頭轉角位在港內，受風浪影響小；這是港務局人員建議較許可的位置。圖 3.4 與圖 3.5 分別是選定中碼頭區第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤現狀照片和其透水混凝土試鋪規劃設計圖，試鋪海堤中央是階梯步道，左右兩側分別規劃設計一般混凝土與透水混凝土，面積均為 225 平方公尺，厚度 25 公分；本試鋪作業之試驗目的在於檢驗透水混凝土是否具有消波的特性，量測項目將包括混凝土透水性、表面溫度量測、海堤上之波浪溯升（run-up）之觀測等。另外，規劃試鋪透水混凝土作業方面應對海象與氣象資訊，潮汐變化時間應及時掌控，並可進一步安排思考施工方式，採何時段施工，否則所鋪混凝土未達足以能夠抗拒潮汐海浪之初凝強度，即遭破壞而徒勞無功，增加工程等施作成本。因此，未來進港施作前，應做好港內管制區內其施工過程之聯繫，機具人員調配運用需配合海象潮差之有限時間內施工，其中，各個期程運作應預先探討研擬溝通定案依據進行，俾可降低突發情況之風險如期完成任務；上述應可撰寫於防波堤透水混凝土試鋪工程計畫

中，包括編訂詳細施工計畫書、品質管理計畫書及透水混凝土鋪面工程之底層及面層所使用材料之配合設計報告書等。



圖 3.5 臺中港中碼頭區第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤現狀照片

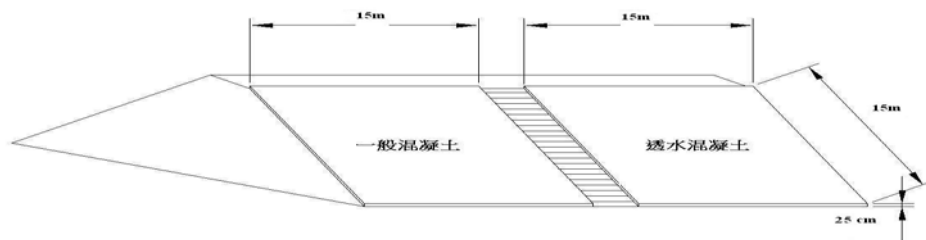


圖 3.6 港內第 15 與第 16 號碼頭中間之海堤透水混凝土試鋪規劃設計圖

3.4 試鋪材料規範的草擬

3.4.1 目前國內現有規範之探討

潘昌林與鄭瑞濱在無細混凝土 (no fines concrete) 與工程應用介紹文章中提到，無細混凝土一般被定義為一種含有狹窄級配之粗骨材、微量或無細骨材、且無足量水泥漿之混凝土材料。其以配比設計與製程控制其特性以達合適強度、高透水性、無析離等工程需求，主要作為無需壓密之回填材料或水工結構物，抗壓強度約在 200 psi (1.5MPa) 至 2,000 psi (14 MPa) 之間。無細混凝土與一般混凝土相比，具有下列的特點^[5]：

1. 透水混凝土單位重一般約在 $1,400\text{kg/m}^3 \sim 1,900\text{kg/m}^3$ 間。
2. 熱傳導係數小。
3. 水的毛細現象不顯著。
4. 水泥用量少。
5. 成型時側壓力小，可使用各種輕型模版。
6. 表面存在蜂窩狀孔洞，表面抹平施工方便。

此外，透水混凝土靠自重下料即可成型，施工簡易而方便，對於工人的施工技術要求不高更是其主要特色。上述有關無細混凝土在美國混凝土協會(ACI)中並無規範可依循，最近美國 ACI 522R-06 與 ACI 522.1-08 是有關透水混凝土與透水混凝土鋪面之規定，較上述嚴謹，其說明如下：

- (1) 透水混凝土泛指零坍度、採用開放級配的混凝土材料。
- (2) 透水混凝土由水泥、粗骨材、少量或無細骨材、摻劑與水等所組成。
- (3) 硬固透水混凝土內部含有連續孔隙，尺寸由 0.08~0.32 吋 (0.2~8mm)；空隙含量 18~35%；抗壓強度 2.8~28MPa (400~4,000psi)。
- (4) 透水混凝土特性為可使水分容易滲透，其鋪面的透水速率依骨材尺寸及混凝土密度而定，一般介於 $2 \sim 18 \text{ gal/min/ft}^2$ (81~730L/min/m²) 或透水係數為 $K > 0.1 \text{ cm/sec}$ 。

3.4.2 使用材料與配比設計原則

透水混凝土使用的材料是由一般的水泥、粗骨材和水拌合而成，有時也會加入少量的砂。粗骨材可以是碎石、卵石，也可以是人工輕骨材或再生骨材、工業的爐渣廢料以及其它強度較高的建築廢棄物等。其強度的發揮性，藉著粗骨材表面的一般水泥漿體，使之骨材表面接觸互相固結，形成多孔隙的結構體，因此具有相當大的透水性。使用之水泥、骨材等之要求如下表 3-1 所示。透水混凝土之配比，除力學強度之外，一般透水係數為性能的指標。故配比設計時，先將使用骨材之乾搗單位重求出，從而求取骨材中存在的孔隙。而後，依據需要強度，填充少於總孔隙體積但不同體積含量的水泥漿體，即可完成配比的設計。

表 3-1 透水混凝土材料規範要求

原料名稱	規範要求
水泥	1. 滿足國家規範要求。 2. 使用的粒徑越小，水泥顆粒亦應相應變小。
骨材	1. 粗骨材應為單一級配。如10mm~20mm、10mm~30mm等不宜小於5mm 或大於40mm。 2. 碎石型粗骨材之針、片狀總量最好小於15%，骨材含泥量不宜大於1%。 3. 亦可使用再生骨材、人造骨材等。

資料來源：公共工程施工綱要規範第02794 章，2003.

上述之配比設計中，使用漿體量的多少為強度與透水性能的最大變數。漿體的水灰比，對於透水混凝土整體性能的表現，無太大的助益，其扮演骨材與骨材接觸點間的黏結角色。一般水灰比的選取以能充分黏結骨材、不產生流失為原則，約在 0.35~0.55 間。使用漿體充填孔隙體積的量，從總孔隙體積的 30%~70%皆可，依據要求強度而定。當然，隨填充孔隙漿體的增加，其透水能力亦隨之遞減，如下表 3-2 所示。透過上述的設

計方法，使用 20 mm 標稱骨材粒徑、0.35 水灰比，並填充 70%總孔隙體積含量的水泥漿體狀況，並灌注圓柱試體($\Phi 10 \times 20$)進行試驗，其約可達到抗壓強度 140 kg/cm^2 、抗彎強度 17 kg/cm^2 以及透水係數 $4.5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 等性能。

表 3-2 無細骨材混凝土水泥之配比設計參考

水泥：骨材	水灰比	水泥 kg/m^3	用水量 kg/m^3	碎石 kg/m^3
1：10	0.364	157	57	1570
1：10	0.582	152	88	1520
1:12	0.408	133	54	1597
1:15	0.41	107	44	1598
1:8	0.35	201	70	1608
1:10	0.36	158	57.5	1580

資料來源：可滲透式人行鋪面材料及施工方法^[6]

透水混凝土 (pervious concrete) 為一種多孔隙的複合材料，過去常被稱為孔隙混凝土 (porous concrete)，國內部分學者稱之為無細 (骨材) 混凝土，可以視為一種骨材粒徑分佈在狹窄級配範圍內並且含 (無) 微量細骨材加上不足量膠結漿體所構成的混凝土，透水混凝土最明顯的特性即質輕且多孔隙。透水混凝土的構成由裹覆在骨材顆粒外層的不足量水泥漿體與骨材顆粒之間點接觸，相互黏結形成多孔隙結構體，在這種結構之下擁有良好的透水性能 ($K > 10^{-3} \text{ cm/sec}$)^[6]，也因為多孔隙的特性而使得力學強度會受到限制，學者鄭與潘曾在 2001 年對無細混凝土進行抗壓試驗，所得抗壓強度約在 1.5 MPa 至 14 MPa 之間^[7]。美國波特蘭水泥協會 (PCA) 與預拌混凝土協會 (NRMCA) 出版『透水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比材料範圍如表 2-2 所示^[31]，美國混凝土協會 ACI 522 委員會提供透水混凝土之技術資訊，包括透水混凝土應用、設計方法、材料、性質、配比、製程方法、試驗與檢驗等，有關透水混凝土定義、組成與配比，詳第二章第 2.1 節。

3.5 施工技術規範

3.5.1 簡介

參考美國國家預拌混凝土協會和 ACI 522 委員會 (ACI 522-06) 以擬定針對透水混凝土路面的規格和施工規範建議，針對透水混凝土擬訂規格和施工建議。在本章節之內，將研究透水混凝土在海岸結構的施工規範，並依既有施工方式討論更新，初步規範隨以下章節逐一討論。

3.5.2 承包商資格

透水混凝土的澆置和修整技術不同於一般普通混凝土，且如果不適當地依照施作將嚴重影響混凝土的結構和透水性質。因此限制承包商須具有澆置透水混凝土資格及經驗是必要的。在簽訂合約之前，承商應提出具體廠商資格和經驗證明包括一般混凝土修整證明，透水混凝土修整證明及產品的樣品，含試體或試驗器材等。如果施工的承包商或透水混凝土的供應商任何一方不具施工經驗，那麼承商須聘請據有相關資格和經驗的顧問單位監督基本準備、生產、澆置，修整和養護等過程。

3.5.3 材料和配比設計

所有使用於透水混凝土的材料均須經實驗室試驗核准或有合格出廠證明的材料。水泥應符合波特蘭水泥最新的規訂 (ASTM C 150 和 ASTM C1157)，或摻配水硬性水泥 (ASTM C 595 和 ASTM C 1157)。除非由工程單位以書面方式批准否則，所有骨材均須符合 ASTM C 33。骨材可取自同一來源或不同粗細級配料混合組成。級配料應篩分以生產出緻密的骨材配比，同時提供完工後混凝土路面足夠結構強度。

無機添加物應符合 ASTM C 618 (飛灰)，ASTM C 989 (爐石粉) 和 ASTM C 1240 (矽灰) 的要求。除非工程單位另外指示，在混合的膠結料總無機添加物含量不得超出波特蘭水泥重量。化學添加劑包括，減水劑和緩凝劑均須符合 ASTM C 494 要求，並且於使用前必須獲得監造單位批准。

使用水源應是確切乾淨，清澈，並不含有害於混凝土品質的酸性物、

礦物鹽、鹼性物或者其他有機物質。非飲用的水可考慮作為拌合用水源，但須提出有效的證明採用此類的水源對混凝土的強度和耐久性將不具任何影響。

當提議使用無細顆粒配比設計時，至少於施工前一個星期必須提報監造單位核准。配比設計應包括骨材篩分析、水泥品質、添加物（若有使用）和將達到的單位重量等相關細節。

3.5.4 透水混凝土施工

3.5.4.1 路基材料

確實的慎選路基材料對日後滲透混凝土的工率極為重要，基層六英寸的路基材料應含顆粒狀碎石，主要由含砂量高的土壤將組成，路基材料至少應有每個小時 2.54 公分的滲透率；為減少影響土壤的濾滲能力，採用的土壤含泥量應儘量控制於最小。如施工現場含大量排水性差的土壤，於路基上方可鋪設顆粒狀碎石以提供良好的洩水系統。

3.5.4.2 施工場地準備

路基應整平緩坡度傾斜不超過 5% 以提供平坦的施工面。建議盡可能將路基整平（根據 EPA 832- F-99-023）。整平後，土壤應夯實至最大乾密度 92% 依據 ASTM D 698 或 AASHTO T 99。如須回填將路基提高至設計高程，回填料應採用乾淨的含砂土壤，每層回填深度 8 英寸并且夯實至最大乾密度 92% 依據 ASTM D 698 或 AASHTO T 99。

3.5.4.3 蓄水功能

當現場路基滲透率無法達到設計要求時，可增設傳統蓄水系統以改善蓄水功能和系統恢復時間。在級配料鋪設之前，蓄水系統的底部和邊緣需埋設過濾纖維。這項措施可防止下層土壤湧泉。過濾纖維鋪設時需攤平鋪滿。碎石級配於鋪設之前應徹底清洗乾淨。未清洗的級配料可能夾帶其它沉積物可能增加過濾纖維堵塞的風險。#4 ~#8 碎石級配 (ASTM C 33) 應鋪設於開挖處之蓄水系統並輕微夯實以形成路基。

3.5.4.4 模板

模板可使用木板或鐵板，並且與鋪築路面深度一致。模板需有足夠的承力和穩定性以支撐路面及機械設備荷重。現有的路面邊緣也可作為模板使用。

3.5.4.5 透水混凝土之輸送澆置養護

茲因透水混凝土材質的獨特性，故需嚴格密的管控拌合配比。透水混凝土施工方式與一般混凝土大同小異，因細料含量稀少工作度較低(接近零坍度)，水泥漿包覆骨材表面與空氣接觸量大，極易失去工作性，故施工要領應「迅速」進行施作，由於目前透水混凝土在鋪面工程上已使用甚廣，茲以鋪面工程作為施工主要流程說明，詳如照片 3-1.至照片 3-11^[32]。

1. 澆置施工要領

(1)運輸時間不宜過長預拌車至現場後需迅速澆置，透水混凝土工作度較低(接近零坍度)，不適合泵送方式施工，為避免工作性喪失，如照片3-1所示可藉由預拌車尾端直接卸料澆置透水混凝土，照片3-2所示藉由輸送帶澆置透水混凝土。

(2)若天氣太熱，則預拌車可至工地再加強塑劑拌合。



照片 3-1 藉由預拌車尾端卸料澆置透水混凝土^[32]



照片 3-2 藉由輸送帶澆置透水混凝土^[32]



照片 3-3 藉由耙子攤平透水混凝土^[32]

2. 攤平施工要領

- (1)預拌車需到達定位後再行下料，避免長距離移動拌合料。
- (2)在攤平階段，如照片3-3所示藉由耙子攤平透水混凝土，使完成面整平，以利壓實後表面美觀及方便使用。



照片 3-4 藉由振動刮板進行搗實透水混凝土^[32]

3. 壓實施工要領

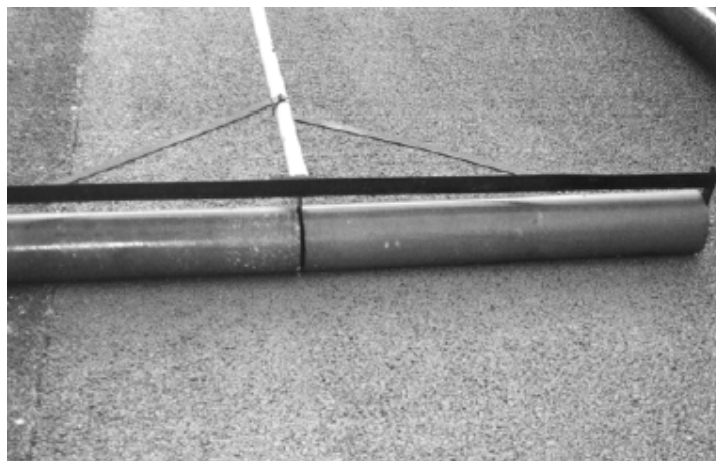
- (1)不得使用高能量振動棒，最初可使用振動刮板進行搗實透水混凝土如照片3-4所示，再以滾筒採重力壓實方式進行，滾筒最小垂直壓力為10 psi (0.07MPa)。
- (2)滾筒之寬度應大於施工面寬度，一般3.7m (12 ft)道面寬所使用大滾筒之重量約是270kg至320kg (600至700lb)如照片3-5所示；小區域鋪面可使用較小滾筒之重量大約是90kg至140kg (200至300lb)如照片3-6所示，縱向滾壓之後，可再進行二次橫向滾筒壓密透水混凝土，以改善鋪面行車品質如照片3-7所示。
- (3)角落外觀修飾必須在尚有工作度時迅速進行，如照片3-8以鏟刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀。
- (4)上述澆置、刮板攤平、滾筒壓密、修飾與工作縫處理應於透水混凝土混合料加水拌合開始計時至一小時內完成，若有使用緩凝劑或天氣濕冷許可條件下，可延長至90分鐘內完成。



照片 3-5 藉由滾筒壓密透水混凝土^[32]



照片 3-6 藉由小滾筒壓密小區域透水混凝土^[32]



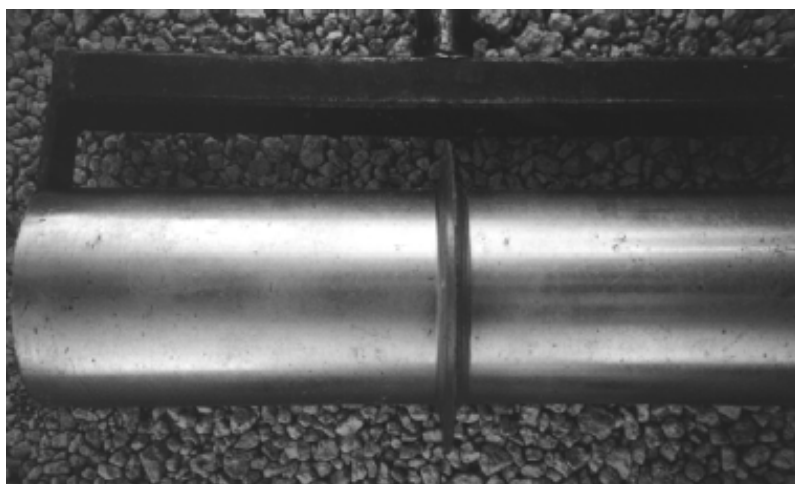
照片 3-7 二次橫向滾筒壓密透水混凝土以改善鋪面騎乘品質^[32]



照片 3-8 鋤刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀^[32]

4. 施工縫施工要領

透水混凝土伸縮縫可依一般混凝土施工方式事先留置，在施工完成後應於施工鋪面以3至6公尺距離切一道伸縮縫以防止熱脹冷縮，或於壓實完成後在未完全硬固前進行切縫，傳統混凝土鋪面鋸縫工具不能用於透水混凝土，一種特別設計滾筒切縫附有刀鋒，刀鋒約為1/4至1/3版厚如照片3-9所示，照片3-10所示為透水混凝土鋪面縱向施工縫施作使用滾筒附有刀鋒。



照片 3-9 切縫工具附有刀鋒約為 1/3 版厚度^[32]



照片 3-10 滾筒附有刀鋒可以縱向切縫透水混凝土鋪面^[32]



照片 3-11 壓密透水混凝土後應迅速使用塑膠紙覆蓋鋪面養護^[32]

5. 養護施工要領

當透水混凝土鋪面施工縫施作完成後，應迅速進行養護，一般混凝土的養護常使用漫淹方式澆水在表面，透水混凝土之養護因孔隙率關係，水份無法保持在表面，故常以塑膠布覆蓋避免水份散失，初期淋水時水柱不得過強，一般要求透水混凝土鋪面滾壓夯實施作完成後，應於二十分鐘內進行養護，照片3-11所示為透水混凝土滾壓後使用塑膠布覆蓋鋪面養護，避免泥土、砂、鋸屑與細料污染或堵塞透水混凝土孔隙；一般要求透水混凝土鋪面應全程使用塑膠布覆蓋養護且至少養護7天後，方能對外開放交通。

3.5.5 施工後

在混凝土澆置完成後，施工車輛及重型機具均應限制進出以確保混凝土的結構和滲透性完整。防止水由未完成施工區域或周邊路面漫流過透水混凝土版。設置適當形式的路邊緣石以防止透水混凝土版的邊緣過度磨損。並應清楚地使用標誌標示透水混凝土區域。

3.5.6 施工試驗及檢查

3.5.6.1 透水混凝土施工前檢試驗

有關土壤分析與路基透水性質對透水混凝土計畫影響特別重要，如同一般營建材料驗證透水混凝土鋪面的品質是非常重要的，首先對基層條件的測試，包括足夠的密度、承載值與透水性，方能有效的針對新拌混凝土與硬固混凝土兩者性質進行品質保證的試驗（試驗項目包含單位重、厚度、透水係數與孔隙率等），有關土壤基層有很多 ASTM 與 AASHTO 試驗方法，但並非所有一般混凝土鋪面的試驗可適用於透水混凝土。基本上路基性質的試驗有粒徑大小分析 (ASTM D422 或 CNS 11776)、土壤分類 (ASTM D2487 或 CNS 12387 A3285) 與土壤 Proctor 夯實試驗 (ASTM D698 或 CNS 11777 A3252) 等，藉由上述試驗資料可提供設計者必要的資訊，在透水混凝土澆置前，依據 ASTM 標準試驗有關壓密度程序方法應進行正常施作而不需要修正，此為正常品質管制的一部分。

3.5.6.2 透水混凝土施工中檢試驗

一般混凝土標準試驗項目包含單位重（密度）、坍度、含氣量、強度、透水率與其他性質等，並非所有的試驗可適用於透水混凝土直到新試驗標準發展完全。典型透水混凝土配比規定為最少水泥（膠結料）用量、骨材體積與級配（或漿骨比）、藥劑及水膠比限制，如表 3-1 所示提供一典型透水混凝土配比材料範圍。

有很多 ASTM 與 AASHTO 試驗方法可以應用於透水混凝土鋪面，但並非所有一般混凝土的試驗可適用於透水混凝土。

典型透水混凝土其單位重介於 $1,600 \text{ kg/m}^3$ 與 $2,000 \text{ kg/m}^3$ 之間，水灰比介於 0.25 與 0.45 之間，抗壓強度介於 400 psi (2.8MPa)與 4000 psi (28MPa)之間，其水泥 (膠結料) 與骨材比率以不產生垂流為原則。其施工中可以目視判斷是否垂流產生，並應進行新拌透水混凝土單位重之試驗，每天澆置混凝土至少應進行一次以上單位重之驗證，單位重試驗係依據 ASTM C172 與 C29 規範(CNS1174 與 1163) 之規定進行，允收標準為設計單位重之 $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ (5 lb/ft^3)之間。

3.5.6.3 透水混凝土施工完成後檢試驗

透水混凝土施工完成後檢試驗以鋪面混凝土為例，混凝土澆置至少七天後方能進行抽驗，抽驗數量以每 75 m^3 取一組，鑽心試驗一組至少三個試體，試驗項目包含單位重、厚度與抗壓強度 (目前 ACI 522R-06 並無抗壓強度驗收規定)，單位重驗收標準為設計單位重之 $\pm 80 \text{ kg/m}^3$ (5 lb/ft^3)間，厚度驗收標準為平均厚度不小於設計厚度，且無任一鑽心試體厚度較設計厚度小 0.5 英吋(13 mm)。其他試驗包含抗彎強度與透水率等，而抗壓強度與抗彎強度試驗方法依據準則分別為 CNS 1232 與 CNS 1233 規範；，有關透水率目前室內用定水頭試驗法，使用 Darcy 公式，可計算出透水係數；而本研究發現新發展瀝青混凝土鋪面現地透水試驗也可適用透水混凝土現地試驗，上述兩種透水試驗規範是依據日本道路協會「鋪裝試驗法便覽」與中華鋪面工程學會「透水性鋪面」。

3.5.7 維護

這項研究針對現場測試的部分結論如下，絕大多數滲透混凝土路面幾乎無需維護或少許維護即可維持良好的功能。標準防止滲透混凝土路面孔隙堵塞方法包括於路面周邊設置排水設施以防止雜物流向路面。周圍地上物例如腐土、沙子和表土在任何時候均不能覆蓋於透水混凝土表面。

維護方法包括真空吸塵清掃和高壓洗滌。通常並不使用這些維護方法，然而，當下雨後路面有積水情形時，應應用上述維護方法改善。在這項維護方法效率研究的結果顯示，真空吸塵清掃、高壓洗滌和二種方法同

時使用時，阻塞透水鋪面修復滲透的透水能力 (in/hr) 分別提高為 100%、90%和 200%。概括來說，每年均應使用以上任何一種維護方法或同時使用兩種維護方法以維護透水混凝土路面的濾滲能力。另外，每年應使用嵌入式滲透率測試機測試路面系統濾滲能力。如果路面系統滲透率小於可接受範圍時，應該執行以上其中任一種維護方法。

第四章 透水混凝土路面試鋪作業規劃

本章說明本研究即將進行的透水混凝土路面試鋪作業及其評估方法，內容涵蓋場址的選擇及規劃、透水鋪面配置與厚度設計、材料配比設計規範、及施工規範研擬共四節分述如下。

4.1 試鋪路面場址選擇規劃

本研究獲交通部公路總局第二區養護工程處之支持，在該處預計於 2010 年興建之「埔里工務段辦公大樓新建工程」中，規劃採用透水混凝土鋪面。該新建工程案由莊建德建築師事務所負責規劃設計，依據 2009 年 5 月提供的規劃設計圖，該新建辦公大樓位於南投縣埔里鎮南方，南安路、水頭路、南環路、及隆生路之間，緊鄰屬於烏溪上游南港溪堤防之南環路上，如圖 4.1 所示。該處土層主要由砂礫與黏土為主的沖積土，土層深度約一公尺，依據土質判斷滲透係數應可超過透水鋪面需求之 $2 \times 10^{-2} \text{cm/min}$ 。雨量分佈方面，全年平均雨量為 2,120 公釐，降雨日數約 149 日，具有乾濕雨季分明的氣候特徵，雨季集中於夏季，以六月份降雨最多，月平均雨量達 437 公釐，冬季為乾季，十一月降雨量最少，平均雨量僅 16 公釐。

該場址基地面積 9,373 平方公尺，法定空地 (40%) 面積 3,749 平方公尺，基地內海拔高程最高約 448 公尺，最低約 445 公尺，周邊為皎白筍田，預計興建辦公大樓 (A 棟)、機械車輛保養場 (B 棟)、及車庫廠房 (C 棟) 三棟建築物，平面配置圖如圖 4.2 所示。由圖 4.2 的平面配置圖，亦可知該基地整平後的排水設計乃沿建物四週佈設排水溝，併入基地四周沿圍牆的排水溝，最後導入原有排水管路，穿過堤防排出。

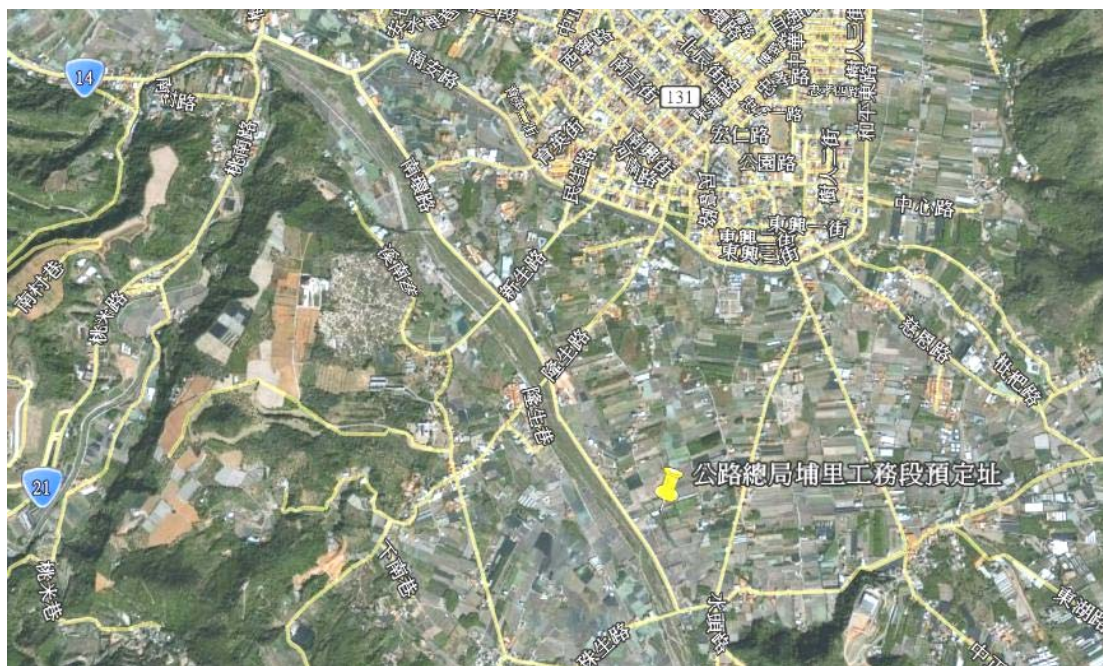


圖 4.1 公路總局新建埔里工務段辦公大樓預定位址圖

依據與建築師洽談配合試鋪透水混凝土鋪面的初步共識，為將辦公人員停車場，由原植草磚改為透水混凝土，該處停車場位於辦公大樓後方呈三角形，面積約為 800 平方公尺，原規劃為連接瀝青混凝土地坪車道，進入停車區塊後改採植草磚鋪面。原設計圖如圖 4.3 所示。斷面厚度部份則在夯實基層土壤以上，分別為 10 公分夯實級配料、3 公分細碎石、及 8 公分厚的高壓彩晶植草磚。至於連接之瀝青混凝土車道及地坪，則應在夯實基層土壤以上，至少有 10 公分夯實級配料及 5 至 10 公分厚瀝青混凝土面層。

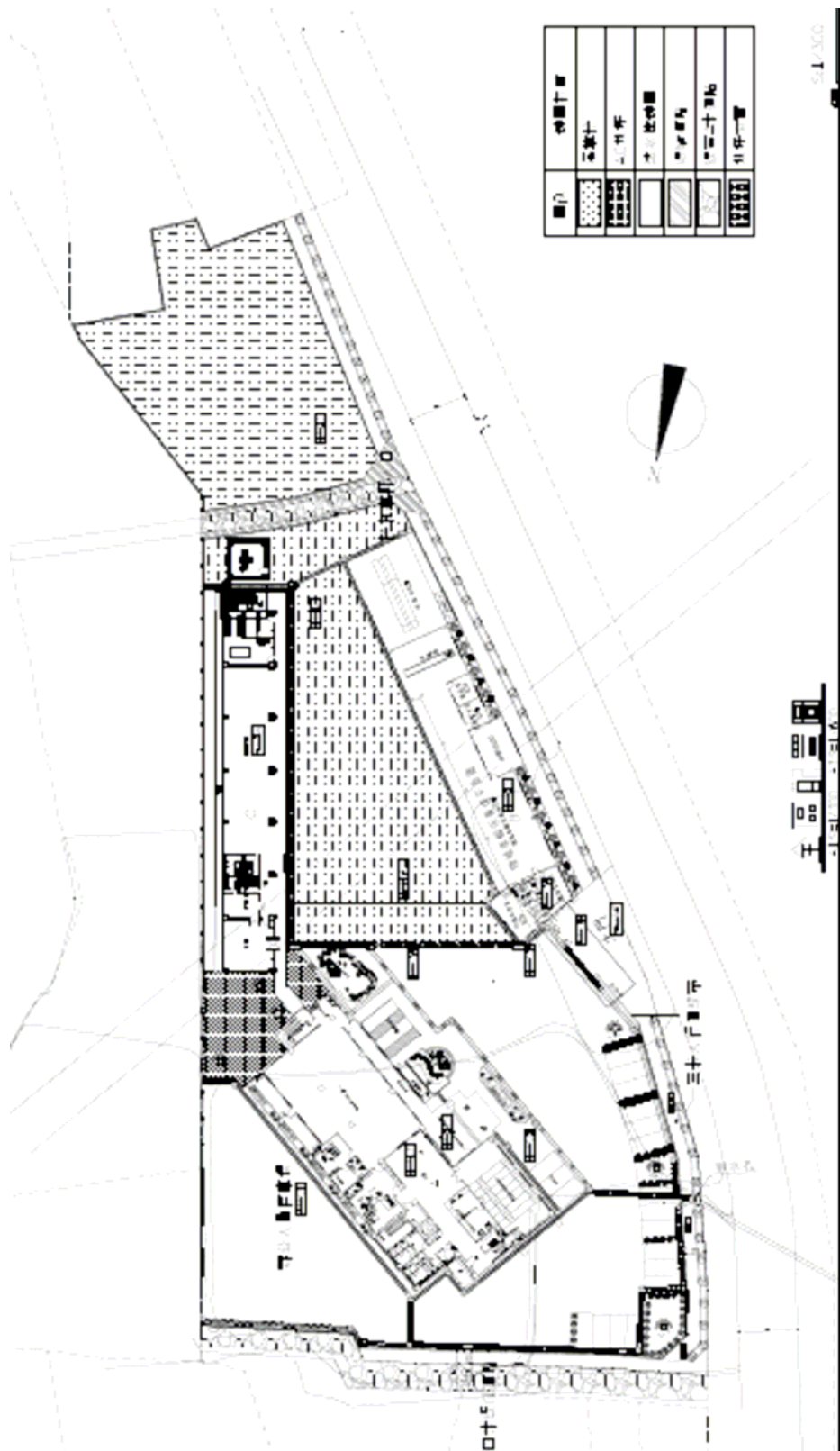


圖 4.2 公路總局新建埔里工務段辦公大樓配置平面圖

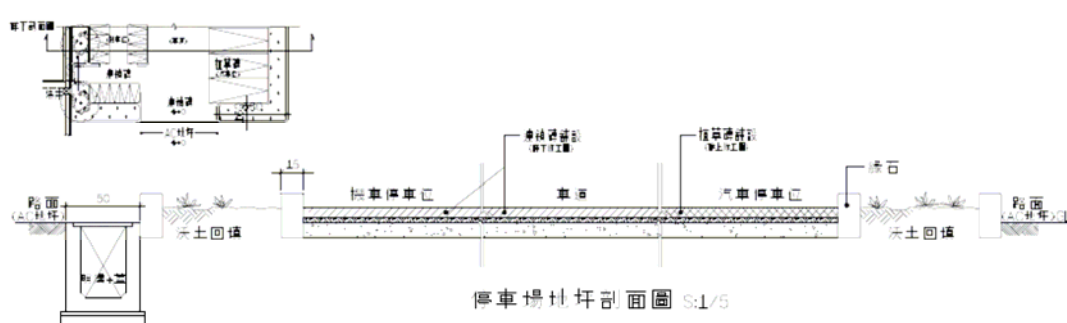


圖 4.3 原規劃之辦公人員停車場設計圖

4.2 透水鋪面配置與厚度設計

由於透水鋪面結構不緻密且底下土壤常處於飽和狀態，不能承受大的荷重，另像動植物批發場、汽機車回收場、加油場站、倉庫、工業場站、船埠、保養場、洗車場、油槽附近場站等，鋪面上可能有較多污染物，若經沖入孔隙造成阻塞，而使透水鋪面失去功能；故依據國外透水鋪面選址的原則，主要有兩大顧慮，即交通荷重大不宜，及有過多污染活動的地方不宜。本案選擇新建辦公大樓的辦公人員停車場，並與機械車輛保養場和庫房區隔，應為適當的場址。

設計透水鋪面的考量因素有水力特性與承載特性兩項。在水力特性部份，目前國內相關建築法規，雖未將保水性強制納入，但有鼓勵性的基地保水指標規定，本研究建議本案嘗試計算保水設計值 λ ，並依據表 4-1 計算基地保水指標。保水設計值是開發後基地保水量與開發前基地原保水量的比值，該比值為 1，即代表開發前後不影響土地的保水量，一般作為學校的土地保水設計值應超過 0.5 ($\lambda_c=0.5$)，其它類型的開發案則希望能超過最小空地比的 80%且不得低於 0.15，相關計算公式彙整如下：

$$\lambda = \frac{\sum Q_i}{A_0 \times k \times t} \quad \lambda_c = 0.8 \times (1 - \text{法定建蔽率})$$

A_0 =基地總面積

k=基地土壤滲透係數基準值

t=最大降雨延時，以 158,244 秒代入

本試鋪案並未有主動降低逕流量的考慮，只考慮基地透水保水效果。若以夯實基層土壤上鋪 15 公分碎石級配，再鋪 15 公分透水混凝土為標準斷面，如圖 4.4 所示。以較保守的鋪面有效孔隙比，透水混凝土為 15%，碎石級配層為 20%來估算，則該鋪面的貯水量為 52.5mm，已經超過交通部中央氣象局「大雨」定義之雨量 (>50mm)，可以有效地降低逕流量。

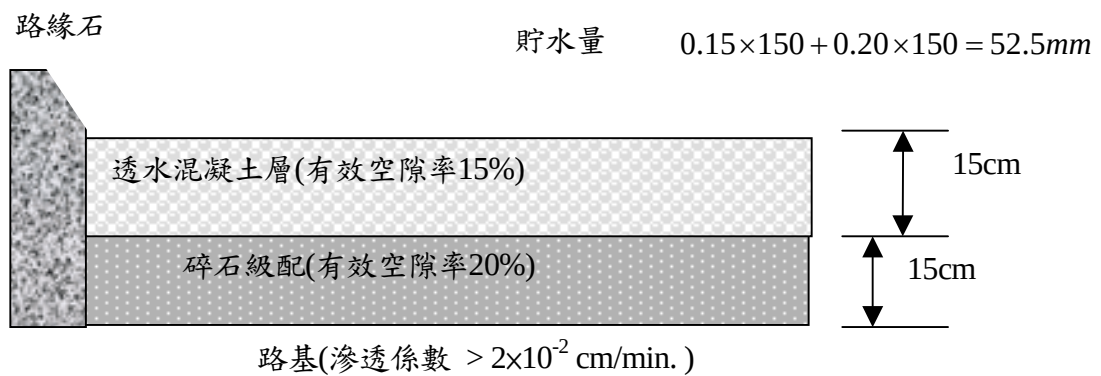


圖 4.4 預定設計之透水鋪面標準斷面圖

表 4-1 基地保水指標評估表

建 物 概 要			
申請編號			建築物名稱
土壤滲透係數 k (m/s) (表層 2m 以內之土壤)	☐ 有鑽探調查	統一土壤分類為	$k =$ m/s
	☐ 無鑽探調查	經判斷土質為	$k =$ m/s
土壤滲透係數基準值 $\bar{k}$ (m/s)	☐ $k \geq 10^{-7}$ m/s	$\bar{k} = k =$ m/s	
	☐ $k < 10^{-7}$ m/s	$\bar{k} = 10^{-7}$ m/s	
保 水 設 計 概 要			
一、各項保水手法及保水量 Q_i 值檢討			
保水手法			保水量 Q_i (m ³)
常用 保水 設計	☐	一. 裸露土地保水量 Q_1	m ³
	☐	二. 透水鋪面設計保水量 Q_2	m ³
	☐	三. 人工地盤花園貯留設計保水量 Q_3	m ³
特殊 保水 設計	☐	四. 地面貯留滲透設計保水量 Q_4	m ³
	☐	五. 地下礫石滲透貯留保水量 Q_5	m ³
	☐	六. 滲透排水溝設計保水量 Q_6	m ³
	☐	七. 滲透陰井設計保水量 Q_7	m ³
	☐	八. 滲透側溝保水量 Q_8	m ³
註： Q_4 至 Q_8 五項為利用特殊排水滲透工程的特殊保水設計法，於山坡地及地盤滑動危機之區域應嚴禁採用之，請詳見評估手冊之說明。			
二. 基地保水指標計算			
原土地保水量 $Q_0 =$ m ³			
各類保水設計之保水量 $Q' = \sum Q_i =$ m ³			
基地保水指標 $\lambda = \frac{Q'}{Q_0} =$			

三.基地保水及格基準值檢討 法定建蔽率 $(1 - r) = \boxed{} \leq 0.15?$ yes: $1.0 - r = 0.15$ no: $1 - r = 1.0 - r$ 基地保水指標基準值 $\lambda_c = 0.8 (1.0 - r) = \boxed{}$								
四.合格判斷式 $\lambda \quad \text{是否} \geq \lambda_c \quad ?$ <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="padding: 5px;">合格與否</td> <td style="padding: 5px;">合格</td> <td style="width: 50px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 5px;">不合格</td> <td style="width: 50px; height: 20px;"></td> </tr> </table>			合格與否	合格			不合格	
合格與否	合格							
	不合格							

本案法定建蔽率為 0.6 (實際設計只有約 0.21)，基地總面積為 9,373m²，若只計入 A、C 兩棟建物間的草皮及 A 棟後方辦公人員停車場兩塊保水地，則開發後的基地保水量計算為：用面積看大概為 0.9，而 λ_c 約為 $0.8 \times 0.4 = 0.32$ ，若不採主動保水設計，則應擴大透水鋪面的面積才能符合保水指標的規定；甚至應改採主動保水設計，搭配原設計的生態池，改變排水設計，積極將降雨導入透水鋪面，以便降低逕流量。

Q1：裸露地保水量 = $A_1 \times k \times t$

Q2：透水鋪面保水量 = $A_2 \times k \times t$

$$\lambda = \frac{\sum Q_i}{A_0 \times k \times t}$$

至於透水鋪面的載重特性方面，該基地的路基土壤以砂礫石佔大部份，含少量黏土，支撐力中等，交通量部份則因為辦公人員停車場，以一般混凝土版停車場厚度為 10~15cm，改用透水混凝土增厚 50%，故用 20cm 厚度為設計版厚。

4.3 材料配比設計

透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，例如透水混凝土要有可工作性，其水灰比應落在 0.25~0.45 之間，再使用試誤與檢驗法求得配比；然而美國波特蘭水泥協會 (PCA) 與 預

拌混凝土協會 (NRMCA) 出版透『水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土配比的材料範圍，如表 4-2 所示，並說明美國混凝土協會 ACI 211.3R 零坍度混凝土配比設計方法，可以作為透水混凝土配比設計程序。本研究依照美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊，適度修正提出透水混凝土的配比設計流程如第 2.1.3 節所述，執行的步驟則簡要說明如下。

- (1) 選擇水灰比，依強度及透水需求尋找對應之連通孔隙率與單位重，並依水灰比及連通孔隙率尋找對應之填充孔隙體積與骨材主要粒徑。
- (2) 求出骨材之乾搗單位重，決定骨材之單方用量。
- (3) 藉由骨材乾搗單位重求出在單位體積中的孔隙率及孔隙體積。
- (4) 由填充孔隙體積決定水泥漿體使用量，透過水灰比求出水泥之單方用量、拌合水之單方用量及新拌混凝土配比單位重。
- (5) 檢核新拌混凝土單位重；製作試體，檢核強度及透水需求。
- (6) 完成透水混凝土配比設計。

表 4-2 典型透水混凝土鋪面材料配比

材料別 單位別	膠結料 (C)	骨材(A)	水灰比 (W/B，重量)	骨材膠結料比 (A/C，重量)	細粗骨材比 (F/A，重量)
(lb/yd ³)	450~700	2000~2500	0.25~0.35	4~4.5	0~0.5
(kg/m ³)	270~415	1190~1480	0.25~0.35	4~4.5	0~0.5

4.4 透水混凝土鋪面施工規範之研擬

國內公共工程委員會在施工綱要規範之第 02794 章透水性鋪面，以通則、產品、施工、計量與計價等 4 節方式撰寫，但因在第 2 節的產品部份，雖在設計概要之 2.1.2 節訂有「無細料混凝土」，但在材料一般規定中的 2.2.3 面層部份，並沒有透水混凝土；且在 2.3 節的工廠品質管制中，亦沒

有透水混凝土品質管制相關規定。同樣地，在第 3 節施工方面，都是以透水瀝青鋪面為主，沒有透水混凝土施工方面的條款。

本研究因而引用 ACI 522.1-08 Specification for Pervious Concrete Pavement，該規範詳述透水混凝土鋪面之材料、組成配比、現場組模、澆置鋪築、成型鑲飾、鋸縫、養護、及品質管制等工作，也同時列出透水混凝土鋪面試驗、評估、及與驗收相關的條款，應可為本次透水混凝土鋪面試鋪工作所引用。

ACI 522.1 規範中的每一個技術章節，皆依施工規範協會的三節式格式，採用簡潔命令句撰寫，此所謂三節式乃指(1)一般規定，(2)產品，及(3)執行(施工)。在第 1 節的一般規定中，除了工作範圍、名詞定義、相關標準、制定標準的單位外，主要是要求有送審文件及品質控制，分別整理如下。

1. 送審文件

- (1)承包商應依本規範之規定繳交圖說及文件給工程司核可。
- (2)在規定應核可的材料或工法使用前，應獲得工程司的書面核可。
- (3)承包商的責任：在施工前應繳交下列文件：
 - i)承包商透水混凝土鋪面施工的相關資格證明。
 - ii)提出的混凝土配比資料及單位重。
 - iii)依工程司要求，提出最近一年內相關工作的現場鋪面試驗報告，包括設計空隙率、密度、及混凝土配比資料。
 - iv)依前節規定，試鋪築、鋸縫及養護兩塊混凝土版；每塊至少 225ft² (20.9m²) 且厚度與契約規定厚度相同。

2. 品質控制

規定以新拌混凝土單位重(密度)及鋪築 7 天後的鑽心試體密度和厚度為主的試驗方法、取樣時機與頻率、及合格標準。

在前節的產品部份反而較簡單，只有依契約文件規定的基層級配要求、隔絕填縫材、及模板的相關規定，甚至在透水混凝土的產品規定中，也只引用一般預拌混凝土的相關規定，多加的 4 條規定，分別是標稱最大粒徑應不超過鋪面厚度的 1/3、在工程司許可的狀況下可使用摻料、纖維及染色劑。

施工一節，則包括路基準備、基層鋪築、模板組裝、計量、拌合、輸送、澆置鋪築與成型鏟飾、滑動模板鋪面之澆置鋪築與成型鏟飾、終鏟打毛、修邊、及完成鋪面的容許誤差、養護、熱或冷天施工、接縫、及開放通車等共 13 條，詳細修文可參照附錄二及附錄三所示。另為方便引用規範的業主快速檢核承商是否符合本規範的要求，該規範末附帶列出三種檢核表，分別如表 4-3、表 4-4、及表 4-5 所示。本研究將可嘗試引用。

表 4-3 ACI 522.1 規範中的強制規定條文檢核表

章節	說 明
1.6	規定品質管制檢驗與試驗的責任
2.2.1	指定粒料的標稱最大粒徑
3.1	指定路基整理及路基的透水性要求
3.5.8	指定完成面的高程及鋪面厚度要求
3.12.1	指定接縫位置、深度、及水平尺寸

表 4-4 ACI 522.1 規範中的選擇性規定條文檢核表

章節	說 明
1.6.1.1	指明承包商的其它特殊資格：
2.1	指明粒粒料的尺寸及坡度要求
3.2	若有必要，應在契約文件中指明基層的種類
3.3.4	其它可接受的鋪築寬度應指明
3.5	若准用其它運送機具與方法應指明
3.5.6	若准用其它修平機具與方法應指明
3.10.1	如果需要較長的工作時間時，應指明最長時間
3.10.5	指定養護時間
3.12.2.3	指定接縫間的交接角

表 4-5 ACI 522.1 規範中的送審文件檢核表

章節	送審文件別及要點說明
1.6.1.1	證明承包商具有鋪築透水混凝土能力的相關NRMCA資格證明文件
3.11.1	若有必要時，應依ACI 305R查核承包商的執行計畫
3.11.2	若有必要時，應依ACI 306R查核承包商的執行計畫
3.12.2	若有必要時，應查核承包商提出的接縫施作需求
3.12.2.1	若有必要時，應查核承包商提出的接縫要求與接縫間距
3.12.2.8	若有必要時，應查核承包商提出的接縫施作細節

第五章 透水混凝土路面受落塵量影響之評估

空氣落塵量近年來互有增減，空氣中懸浮微粒量數多寡是重要關鍵，由於考慮落塵量是否會影響或阻塞透水鋪面之透水能力，所以本章進行模擬若干年累計落塵量之現地透水實驗，參考臺中市人工測站歷年落塵量統計如下表所示^[20]，平均落塵量為 100 公噸/平方公里/年，做為試驗依據，即換算得到每一年的落塵量為 100 克/平方公尺/年，當累計若干年後，其落塵量是否會造成透水混凝土孔隙結構阻塞而影響透水能力是本實驗之評估要項；當透水混凝土孔隙結構阻塞造成透水能力下降至一定範圍，應該以進行維護保養，例如高壓水沖洗和真空吸塵清掃，若仍然無法有效改善其透水能力，可考慮加以挖除重鋪。

本章研究即模擬若干年累計落塵量對透水混凝土鋪面之現地透水能力進行影響評估，內容涵蓋落塵量與鋪面現地透水試驗、現地透水混凝土鋪面實驗區現況回顧介紹及落塵量對透水混凝土鋪面透水能力之影響共三節分述如下。

5.1 落塵量與鋪面現地透水試驗

評估落塵量是否會影響或阻塞透水鋪面之透水能力，將進行模擬若干年累計落塵量之現地透水實驗，假設平均每年落塵量為 100 公噸/平方公里，即換算得到每一年的落塵量為 100 克/平方公尺，並以飛灰量模擬代替若干年累計落塵量進行現地透水實驗，每一透水混凝土鋪面將量測 4 個測點，現地透水實驗測點以 0.6m×0.6m 為一試驗單元，模擬累計落塵量有 0、1、10 與 20 年，如表 5-1 所示為換算後之模擬若干年累計落塵量（飛灰量），以胡椒罐內裝若干年累計落塵量（飛灰量）再均勻灑在試驗單元表面，並以毛刷協助使得飛灰能夠均勻進入透水混凝土內，再以下列方法做現場透水試驗。

年別	落塵量 (公噸/平方公里/
86	12.7
87	10
88	4.8
89	4.5
90	3.6
91	3.9
92	3.2
93	4.0

表 5-1 每一試驗單元以飛灰量模擬若干年累計落塵量

試驗單元	0年	1年	10年	20年
模擬落塵量(g)	0	36	324	696

現場透水量試驗方法原使用於柔性鋪面透水瀝青混凝土現地透水性能力評估，如今首次使用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估，其試驗目的、說明、設備與方法如下：

- 1.目的：主要作為排水性鋪面之透水性能力評估。
- 2.適用範圍：主要作為排水性鋪面之透水性能力評估實施，適用於現場。
- 3.試驗器具：
 - (1)現場透水試驗器。
 - (2)油性黏土(橡膠黏土)、碼錶(可測量到0.1秒單位)、裝水容器、抹布、水。
- 4.試驗方法：
 - (1)清除鋪築路面的垃圾等。

(2)將現場透水試驗器底版外周的底面附著上直徑長約 1cm 繩狀 (長度 50cm 左右) 的油性黏土。接著將試器壓著在路面上，避免油性黏土部份會漏水後，在底版上放上圈型金屬環的重量。此時黏土多的話，黏土會跑到內側部，使透水面積變小。

(3)現場透水試驗器玻璃圓筒部上端 100 的位置打上 X1 的記號，從 X1 至 500ml 的位置打上 X2 記號。

(4)關掉閥門，將水注入到圓筒部上端。

(5)一次將閥門全打開，用碼錶計算圓筒部內水位從 X1 降到 X2的經過時間 (秒)，記錄下來。

(6)重複(d)和(e)的作業，進行 3 次，另各測定隔 1 分鐘測定之。

5.計算方法：

(1)以秒單位算出 3 次的平均時間。此平均時間為讓水 400ml流下的時間。

(2)由算出的平均時間算出每 15 秒的流下水量，此稱為透水量(ml/15 秒)。

透水量公式： $(X2 - X1) / [(t1 + t2 + t3) / 3]$

X1=100ml 水量的刻劃，X2=500ml 水量的刻劃，

t1=第一次流下水量時間，t2=第二次流下水量時間，

t3=第三次流下水量時間

5.2 現地透水混凝土鋪面實驗區現況回顧

5.2.1 透水混凝土鋪面實驗區介紹

本研究現地透水混凝土鋪面實驗區位置在本校田徑場後面之第二停車場如照片 5.1 所示，此停車場位於本校較偏遠區域，一般會停車於此者為本校進修部在職學生，於停車場中間選取 5.5 公尺長×2.4 公尺寬×0.3 公

尺深之停車格共計六格進行試鋪，如圖 5.1 所示，透水混凝土鋪面面積為 14.4 公尺長x5.5 公尺寬，施作前先開挖土壤到適當的長寬高，利用鏟子、破碎機手工具、鏟土機及卡車進行開挖鋪面實驗區，並使用模版組立六個 5.5 公尺長x2.4 公尺的停車格，於最底層先鋪上一層厚約 5 公分碎石級配，再於碎石級配上鋪築透水混凝土，有關停車場透水混凝土的配比請詳參考文獻^[2]之說明。



照片 5.1 朝陽科技大學操場後面之第二停車場^[2]



圖 5.1 現地停車格之示意圖^[2]

5.2.2 透水混凝土鋪面實驗區規劃設計與施作過程

本實驗區透水混凝土鋪面規劃設計為使用 1 種透水混凝土配比與 3 種不同搗實方式，其中，震動搗實編號#1 與#2 兩個停車格，大滾筒 (3.7m

寬大滾筒約 270kg) 重量滾壓編號#3 與#4 兩個停車格，小滾筒 (0.8m 寬小滾筒約 100kg) 重量滾壓編號#5 與#6 兩個停車格，藉由 3 種不同搗實方式來瞭解其強度、透水係數、單位重、孔隙率等關係；圖 5-1 為實驗區透水混凝土鋪面六個停車格之示意圖，透水混凝土鋪面設計為 30 公分厚，於底層先鋪上一層厚約 5 公分碎石級配，再於碎石級配上鋪築透水混凝土厚約 25 公分，原預定利用一個下午的時間鋪築完工，卻花費兩個下午的時間鋪築完畢，第一天下午動用三輛預拌車，每輛預拌車裝載 4 立方公尺的透水混凝土，嘗試藉由預拌車尾端卸料澆置透水混凝土，尾端卸料澆置速度非常地慢，可能是運輸時間超過半小時及零坍度的影響，招致有接近一半 (2 立方公尺) 的透水混凝土凝結於預拌車圓筒內，此時已經天暗無法施工；第二天下午動用兩輛卡車，兩輛卡車共裝載 15 立方公尺的透水混凝土，其中，第一輛卡車尾端傾倒卸料澆置，才發現部分透水混凝土太乾，可能是透水混凝土水份被卡車烈日照射之平台鋼板吸收的影響，第貳輛卡車尾端傾倒卸料澆置，發現部分透水混凝土較濕，現場透水混凝土品質非常不容易控制，加上透水混凝土為零坍度無法流動，大型拌合機非常不容易卸料而會黏著於拌合機內壁，本次鋪築六個停車格合計使用透水混凝土約 24 立方公尺。當實驗區透水混凝土進行鋪築時，預定於編號 #1 與#2 兩個停車格使用震動搗實，然而發現震動搗實方式完全無效果，只好臨時更改為不同滾筒滾壓方式進行來回滾壓，編號#1 與#2 兩個停車格使用小滾筒 (0.8m 寬小滾筒約 100kg) 重量滾壓，發現此為小面積鋪築滾壓，較大面積鋪築應使用大滾筒滾壓，編號#3、#4 與#5 三個停車格使用兩種滾壓包括小滾筒 (0.8m 寬小滾筒約 100kg) 和大滾筒 (3.7m 寬大滾筒約 270kg)，其中，第一輛卡車尾端傾倒卸料澆置在編號#4 與#5 兩個停車格中，部分透水混凝土太乾，編號#6 停車格使用三種滾壓包括小滾筒 (0.8m 寬小滾筒約 100kg)、大滾筒 (3.7m 寬大滾筒約 270kg) 和中滾筒 (1.4m 寬中滾筒約 120kg)。實驗區透水混凝土鋪面施作之過程包括停車格開挖、現地模版組立、底層鋪設礫石、透水混凝土澆置與刮平、滾筒壓密、塑膠布覆蓋養護、現地透水混凝土試體製作等，已於民國九十六年七月底施作完成，請詳參考文獻^[2]施作過程與照片。

5.2.3 透水混凝土鋪面實驗區施工後現地透水試驗結果

現地透水混凝土鋪面之施作包括停車格 (編號#1、#2、#3、#4、#5 與#6 共六個停車格) 開挖、現地模版組立、底層鋪設礫石、透水混凝土澆置與刮平、大小滾筒壓密、塑膠布覆蓋養護、現地透水混凝土試體製作等，當養護齡期達 7 天與 28 天時，即進行現地檢測與混凝土鋪面鑽心試驗，現地檢測包括現地透水量試驗與目視鋪面透水驗證試驗，來瞭解六個停車格上中下三層壓密程度、強度、單位重、孔隙率、透水係數等，請詳參考文獻^[2]報告；下一段文僅說明完成後 28 天現地透水量試驗與目視鋪面透水驗證試驗。

實驗區透水混凝土鋪面已於九十六年七月底施作完成，鋪面透水驗證試驗是使用日本規範排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗方法，其為柔性鋪面透水瀝青混凝土現地透水性能力評估，首次被使用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估與驗證。現地透水量試驗目的是測定現地透水鋪面的透水量，可做為現場品質管制或做為驗收之依據。經本次研究發現，現地透水量試驗確實可用於剛性鋪面透水混凝土現地透水性能力評估與驗證。

現地透水量試驗結果如表 5-2 所示，其中，混凝土的齡期已達 28 天，每一停車格進行四測點現場透水量試驗，結果發現停車場#1 停車格有一測點現場透水量 796.8ml/15sec 最低，其他五個停車格 (#2 至#6) 現場透水量數據都很集中與平均接近 1,000ml/15sec 或超過上值，藉由現地透水量試驗驗證停車場透水平均超過 1,000ml/15sec，其現地透水量約為日本排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗規範 (400ml/15sec) 要求之 2.5 倍。

目視鋪面透水驗證試驗是於現地六個停車格 (#1 至#6) 使用自來水管將水量開到最大，分別目視每個停車格鋪面之自來水是否能完全透入鋪面中，自來水管透水驗證時間為約 3 分鐘，結果發現六個停車格均可通過目視鋪面透水驗證，因此透水混凝土可運用於人行道、停車場與道路工程，它是一種綠環保鋪面材料。

表 5-2 停車場停車格現場透水量試驗結果

車格編號	透水量	車格編號	透水量	車格編號	透水量
#1	796.8	#3	1147.2	#5	1153.9
	967.7		1096.9		1071.4
	1071.4		967.7		1132.1
	1043.4		1081.1		1081.1
#1 平均值 (變異數)	969.8 (12.7%)	#3 平均值 (變異數)	1073.2 (7.0%)	#5 平均值 (變異數)	1109.6 (3.5%)
#2	1176.4	#4	1153.8	#6	1098.9
	1094.9		1176.5		1140.7
	1121.5		1153.9		1062.0
	1125.7		1071.4		1162.0
#2 平均值 (變異數)	1129.6 (3.0%)	#4 平均值 (變異數)	1138.9 (4.0%)	#6 平均值 (變異數)	1115.9 (4.0%)

單位 (現場透水量): ml/15sec

5.3 落塵量對透水混凝土鋪面透水能力之影響

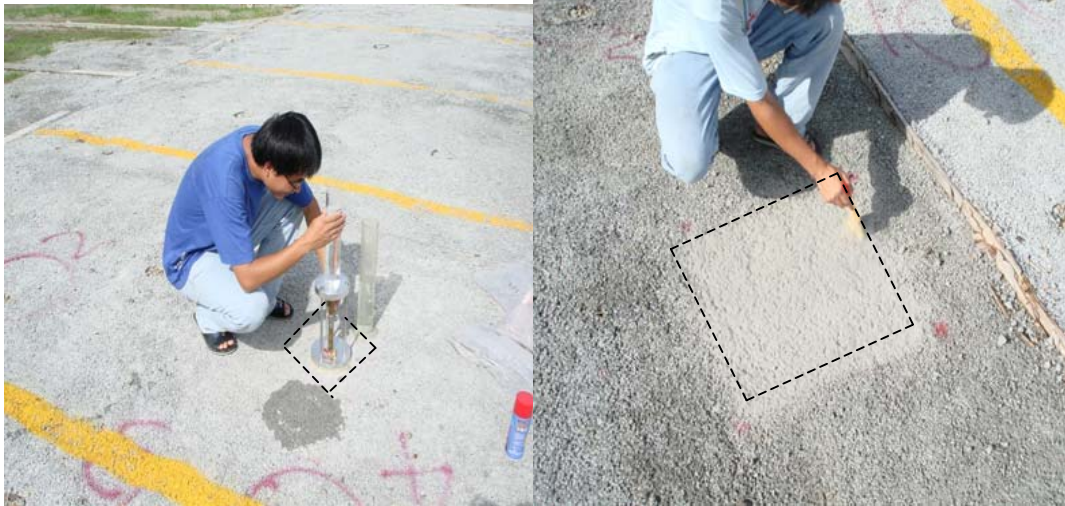
評估落塵量是否會影響或阻塞透水鋪面之透水能力，將進行模擬若干年累計落塵量之現地透水實驗，參考臺中市人工測站歷年落塵量統計為試驗依據，假設平均每年落塵量為 100 公噸/平方公里，即換算得到每一年的落塵量為 100 克/平方公尺，並以飛灰量模擬代替若干年累計落塵量進行現地透水實驗，每一透水混凝土鋪面停車格將量測 4 個測點，現地透水實驗測點以 0.6m×0.6m 為一試驗單元，模擬累計落塵量有 0、1、10 與 20 年，如表 5-1 所示為換算後之模擬若干年累計落塵量 (飛灰量)，以胡椒罐內裝若干年累計落塵量(飛灰量)再均勻灑在試驗單元表面，如照片 5.2 所示，並以毛刷協助使得飛灰能夠均勻進入透水混凝土內，再進行現場透水試驗。

試驗結果如表 5-3 和圖 5.1 所示，六透水混凝土鋪面停車格中，第四與第五停車格因表面磨耗與骨材剝脫不平整，透水試驗器底版與試驗單元表面無法使用油性黏土固定而不漏水，因此無法獲得現場透水試驗數

據；一般而言，現地透水量隨著落塵量增加而有小部分遞減，其中，第二與第六停車格於模擬 20 年落塵量之後，測得兩者其現地透水量約為 1,000ml/15sec，第三停車格居中約為 750ml/15sec，第一停車格期現地透水能力最小，量測值約為 630 ml/15sec，以上現地透水混凝土停車格經模擬 20 年落塵量試驗後，發現 20 年落塵量會有小部份阻塞透水混凝土鋪面之孔隙，阻塞造成現地透水能力降低，部分測點現地透水能力下降 30%，但整體透水能力仍然保持良好，其現地透水量超過一般透水鋪面 400 ml/15sec 之標準甚多。

表 5-3 停車格透水混凝土鋪面現地落塵量其透水試驗結果 (ml/15sec)

第一停車格	時期	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	標準差	平均值
	0 年	796.8	967.7	1071.4	1043.4	106.8561	969.825
	1 年	797.87	668.15	751.87	672.6	54.74282	722.6225
	10 年	680.27	687.28	672.64	671.14	6.460423	677.8325
	20 年	617.9	642.39	651.46	624.34	13.48858	634.0225
第二停車格	時期	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	標準差	平均值
	0 年	1176.4	1094.9	1121.5	1125.7	29.47519	1129.625
	1 年	1147.2	1111.1	1107.01	1067.6	28.19212	1108.228
	10 年	1098	1100	1077	1088	9.148087	1090.75
	20 年	1013	1013	931	944	38.02877	975.25
第三停車格	時期	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	標準差	平均值
	0 年	1147.2	1096.9	967.7	1081.1	65.63221	1073.225
	1 年	1094.8	1005	952	1034.4	51.57953	1021.55
	10 年	1047.1	985.2	1077	1147	58.20874	1064.075
	20 年	730	802	739	768	28.14583	759.75
第六停車格	時期	測點 1	測點 2	測點 3	測點 4	標準差	平均值
	0 年	1098.9	1140.7	1062	1162	38.51772	1115.9
	1 年	1121.49	1061.94	1127.82	1134.216	28.88893	1111.367
	10 年	1016.94	1094.89	1067.61	1013.51	34.41396	1048.238
	20 年	1027.39	923.07	881.05	1015.22	61.59599	961.6825



照片 5.2 落塵量對現地透水試驗

第六章 透水混凝土鋪面材料與施工技術規範研擬

本章為透水混凝土鋪面材料與施工技術規範研擬初稿，內容共四節(通則、產品、施工、計量與計價)分述如下，並於十月14日辦理透水混凝土鋪面材料與施工技術規範研擬座談會，初稿經專家學者討論後，其建議意見回覆表與初稿修正之內容，分別詳附錄七與八。

6.1 通則

6.1.1 本章概要

- 6.1.1.1 說明透水混凝土鋪面工程中之材料並配合設計、檢驗、施工及養護等相關規定。
- 6.1.1.2 透水混凝土鋪面可使雨水直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能，可減輕排水道負擔、延緩洪峰流量並可減緩熱島效應，進而達到生態效益。
- 6.1.1.3 透水混凝土鋪面強度低於一般傳統水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等，除此之外，為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區。依據 ACI 522R-06 透水混凝土應用範圍與適用性大致分為：(1)停車場的透水鋪面和步道，(2)大賣場室外的剛性透水鋪面，(3)溫室地版，用以防止積水，(4)輕量或具隔熱性能的結構牆體，(5)需具有良好吸音性能的鋪面、牆體及樓版，(6)都市道路、鄉村道路、公路或機場之底層，(7)停車場、網球場及動物園區等之面層，(8)橋樑基座，(9)游泳池地版，(10)海濱結構和海堤，(11)污水處理場的污泥床，(12)太陽能儲存系統，(13)人工漁礁等。

6.1.2 工作範圍

- 6.1.2.1 透水混凝土鋪面之一般之設計及施工要求。

6.1.2.2 基、底層、面層材料之鋪築及壓實。

6.1.3 相關章節

6.1.3.1 第 02794 章--透水性鋪面

6.1.3.2 第 03052 章--卜特蘭水泥

6.1.3.3 第 03053 章--水泥混凝土之一般要求

6.1.4 相關準則

6.1.4.1 中華民國國家標準(CNS)

- | | |
|--------------------|---------------|
| (1)CNS 11228 A2183 | 工程用非織物 |
| (2)CNS 6298 A1026 | 道路用碎石 |
| (3)CNS 11777-1 | 土壤含水量與密度關係試驗法 |
| (4)CNS 1174 | 混凝土單位重試驗法 |

6.1.4.2 美國混凝土協會 (ACI)

- | | |
|-----------------|-----------|
| (1)ACI 522-06 | 透水混凝土 |
| (2)ACI 522.1-08 | 透水混凝土鋪面規範 |

6.1.4.3 日本道路建設協會：透水性瀝青路面

6.1.5 定義

6.1.5.1 透水混凝土鋪面：使雨水通過人工鋪築之透水混凝土面層，直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能。透水混凝土，定義為由水泥、粗粒料、少量或無細粒料、摻料與水等所組成。粗粒料為單一粒徑粗粒料或級配顆粒介於 9.5~19 mm 或 4.75~9.5 mm 之間。一般傳統波特蘭水泥是主要膠結料；除此之外，經常使用卜作嵐材料如飛灰、爐石粉與矽灰亦應符合 CNS 3036 相關規定。其藉由粗粒料表面的水泥砂漿體，使粒料表面接觸互相固結而發揮強度，同時形成多孔隙的結構體，提供透水功能。

6.1.6 資料送審

透水混凝土鋪面工程於訂約後規定日期內，根據契約所訂工期，承包商應編訂詳細施工計畫書，品質管理計畫書及透水混凝土鋪面工程之基、底及面層所使用材料之配合設計報告書，提送工程司核定，施工中並應嚴格控制生產與施工品質及數量。

6.1.6.1 品質管理計畫書

6.1.6.2 施工計畫書

6.1.6.3 廠商資料

6.1.6.4 材料應提送樣品[3 份][]

6.1.6.5 各項檢驗及試驗報告

6.2 產品

6.2.1 設計概要

6.2.1.1 透水混凝土 (pervious concrete)

透水混凝土鋪面由下至上，分別由路基層、碎石級配底層及透水混凝土面層等三層所構成，各層之規定性質需符合設計圖說，其原則如下：

(1)路基層：由原來土壤構成，土壤具有良好之透水性。

(2)碎石級配底層：一般的碎石級配底層，厚度視雨量設計強度而定。

(3)透水混凝土面層：厚度視使用需求而定，一般約為 15cm (6in) 厚。藉由配合設計 (由單一尺寸或級配之粗粒料、微量或無細粒料之水泥砂漿) 與製程控制其特性以達適合之強度、高透水性、無析離等工程需求，抗壓強度約在 400psi (3Mpa) ~ 4000psi (28Mpa) 之間。其滲透係數隨實際含砂量而不同，一般大於 1×10^{-3} cm/sec，透水混凝土為增加透水性而犧牲強度，因此無法

承受太大的載重，一般適合使用於載重較小的區域，如人行道、停車場或行人廣場等。

6.2.2 材料之一般規定

6.2.2.1 基、底層材料

(1)人行道

人行道的底層材料，使用一般碎石級配。通過 ASTM 40 號篩 (孔徑 0.425mm) 的部份，塑性指數須小於 6。建議的級配粒徑如下：

表 6-1 人行道碎石級配表

名稱 \ 試驗篩(mm)	通過重量百分率(%)				
	25	19	13.2	4.75	2.36
碎石級配	[100]	[95~100]	[60~90]	[20~50]	[10~33]

(2)停車場、廣場等其他路面

基、底層材料可使用一般碎石級配，與人行道之底層材料相同，修正 CBR，基層定為 20%以上，底層定為 60%以上，通過 40 號篩的部份，其塑性指數在基層定為 6 以下，在底層定為 4 以下，上鋪透水混凝土面層。

6.2.2.2 面層材料-透水混凝土

(1)膠結材料：膠結材料可包含水泥與礦物摻料，水泥為主要膠結材料，水泥應符合 CNS 61 [波特蘭水泥]相關規範，礦物摻料的添加主要是要提高透水混凝土的性能，使用礦物摻料如矽灰、高爐石粉或飛灰等應符合 CNS 12283 相關規定。

(2)粒料：粒料之品質需符合 CNS 6298 A1026 道路用碎石之規定，粗粒料為單一粒徑粗粒料或級配顆粒介於 9.5~19 mm 或 4.75~9.5 mm 之間，國內常用碎石級配 (6 或 7 號) 也納入使

用範圍，其質量要求與級配如下表所示。由於細粒料 (砂) 將堵塞透水混凝土阻斷孔隙系統，細粒料與含泥量應受到限制。

表 6-2 粗粒料質量表

項 目	規 定
比重	2.45 以上
吸水率%	3.0%以下
磨損率%	30.0%以下

表 6-3 碎石粒徑級配表

稱號	粒徑範圍 mm	通過篩網之重量百分率(%)					
		26.5mm	19mm	13.2mm	4.76mm	2.36mm	1.18mm
S-13(6 號)	13-5	-	100	85-100	0-15	-	-
S-5 (7 號)	5-2.5	-	-	100	85-100	0-25	0-5

(3)透水混凝土配比：典型透水混凝土主要是由水泥、粗骨材、少量細骨材、摻料與拌合水等所組成低坍度之拌合料，摻料之使用須符合本規範第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之有關規定辦理。透水混凝土空隙率範圍介於 18 至 35%之間，28 天抗壓強度範圍介於 400 至 40,00 psi (2.8 至 28 MPa)之間，典型透水混凝土透水係數範圍介於 0.1 至 1.22 cm/sec，工地透水試驗應達 400ml/15sec 以上。水灰比或水膠比的選取以能充份包裹骨材而不產生垂流現象為原則，通常介於 0.25 至 0.45 間，典型透水混凝土其單位重介於 100 與 125 lb/ft³ (1,600 與 2,000 kg/m³)間，典型透水混凝土配比材料範圍如下表。

表 6-4 典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍表

	膠結料(B)	骨材(A)	水膠比 (W/B，重量)	骨材膠結料比 (A/B，重量)	細粗骨材比 (F/A，重量)
材料用量 (kg/m ³)	270 ~ 415	1190 ~ 1500	0.25 ~ 0.45	4 ~ 4.5	0 ~ 0.5

6.2.3 工廠品質管理

6.2.3.1 材料及新拌透水混凝土之試驗

水泥、粒料、摻料及新拌透水混凝土材料，應依中華民國國家標準（CNS）、美國州公路及運輸官員協會（AASHTO）或美國混凝土學會（ACI）最新修訂之試驗方法，若設計圖說無特別規定時，可依第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之規定，分別辦理材料之各項試驗。

6.3 施工

6.3.1 透水混凝土之設計及基底層施工要求

(1) 施工計畫

透水混凝土鋪面之施工計畫與普通混凝土鋪面工程之施工計畫大同小異，因細粒料與漿量較少，工作度差（接近零坍度），水泥漿包覆骨材表面與空氣接觸量大，故施工要領應「迅速」施作；除此以外，下列幾點攸關鋪面透水性成效，須注意事項如下：

- A. 施工前及施工中避免逕流挾帶泥砂進入施工地點。
- B. 各層要採用適宜壓實方法及重型機具勿置於欲鋪透水鋪面之路基上。
- C. 模板可使用木板或金屬模板，並且與鋪築路面厚度一致。模板需有足夠的承載力和穩定性以支撐路面及機械設備荷重；現有的路面邊緣也可作為模板使用。
- D. 混凝土澆置完成後，施工車輛及重型機具均應限制進出，以確保混凝土的結構和滲透性完整。防止水由未完成施工區域或周邊路面漫流過透水混凝土版，設置適當形式的路邊緣石以防止透水混凝土版的邊緣過度磨損，並應清楚地標示透水混凝土區域。

(2) 路基

- A. 依照契約文件規定準備整理好路基。
- B. 在施工期間應盡可能管制避免有交通荷重壓過整理好的路基。經施工車輛及機具滾壓過的路基，應視情況做必要的重新整理再壓實。
- C. 整理後的路基應經壓實且保持在正確的設計高程面。
- D. 鋪築混凝土鋪面前，應檢測路基的透水性；確認路基透水性符合契約文件的要求。
- E. 降雨時避免雨水進入工地。
- F. 對較不易滲透路基可用垂直排水孔，內填砂以助滲透或以地下排水管收集水或溢滿滲透水並導至滯洪池或過濾池。或可增設傳統蓄水系統以改善蓄水功能，級配料鋪設之前，蓄水系統的底部和邊緣需埋設過濾纖維，以防止下層土壤湧泉，過濾纖維鋪設時需攤平鋪滿，碎石級配於鋪設之前應徹底清洗乾淨。

(3) 基、底層

- A. 在契約文件規定要鋪築基層時才鋪築，且應依契約文件要求的方法及材料鋪築基層。

B. 人行道

底層用小型推土機或人工攤鋪，依規定作成形狀。在最佳含水量的情況下，可用小型壓路機滾壓，須注意到適當的密度和透水能力。

C. 停車場、廣場等其他路面

材料的析離影響底層的透水功能很大，因此在攤鋪時必須充分注意。因此，在攤鋪過程中，要注意滾壓的厚度，一層約為[20cm]，超過[20cm]時需要分[兩層]攤鋪，由於

碎石所鋪成基、底層被視為儲水層，碎石須經清洗，另在鋪面層前，需要保持其底層表面清潔，防止被灰塵、泥土、垃圾等污染。

(a)基層：基層的材料，採用一般的碎石級配，其施工要點如人行道底層，滾壓時使用雙輪或三輪壓路機進行壓實。

(b)底層：底層材料採用一般碎石級配，可按照基層的施工方法進行。

6.3.2 透水混凝土面層

(1) 模板組裝

A.設置、組裝、及釘牢模板，以期混凝土硬固後的外觀尺寸能符合契約文件要求。

B.模板內側（與混凝土接觸側）應均勻塗抹脫模劑。

C.可以用前次澆置混凝土的垂直面做為模板面。

D.鋪築寬度應依照契約文件的規定鋪築，且除非另有規定，否則鋪築寬度不得大於 6 公尺。

(2) 運輸與澆置施工

運輸時間不宜過長，拌合卡車或預拌車至現場後需迅速澆置，透水混凝土工作度較低(接近零坍度)，不適合泵送方式施工，為避免工作性喪失，可藉由拌合卡車或預拌車尾端直接卸料澆置透水混凝土。若天氣太熱，則拌合卡車可至工地再加強塑劑拌合。除非另有規定，否則應直接將透水混凝土卸出澆置在預先澆溼的路基或基層上；當點位較遠無法直接卸料在定位時，則應採用輸送帶運送混凝土至正確的點位上。

(3) 攤平施工

拌合卡車或預拌車需到達定位後再行下料，避免長距離

移動拌合料。在攤鋪攤平階段，藉由耙子攤平透水混凝土，使完成面整平，以利壓實後表面美觀及方便使用。

(4) 壓實施工

- A. 進行攤鋪工作後，以架在模板兩端的鋪築機具(a form-riding paving machine)或震動刮板(vibrating screed)進行搗實整平新拌透水混凝土。其它修平機具則應在核可後才可以使用。
- B. 不得使用高能量振動棒，亦不要使用鋼製鋤刀或任何電動鋤飾機具，可以使用滑模機 (Slipform equipment) 進行澆置鋪築與成型鋤飾。一般使用平板振動機或振動刮板進行搗實整平後，再以滾筒採重力壓實方式進行，滾筒最小垂直壓力為 10psi (0.07MPa)。
- C. 滾筒之寬度應大於施工面寬度，一般 3.7m (12 ft)道面寬所使用大滾筒之重量約 270kg 至 320kg (600 至 700lb)；小區域鋪面可使用較小滾筒之重量約 90kg 至 140kg (200 至 300lb)，縱向滾壓之後，可再進行二次橫向滾筒壓密透水混凝土，以提高鋪面平坦度。
- D. 修飾混凝土面，以使鋪築厚度及高程符合契約文件規定，角落外觀修飾必須在尚有工作度時迅速進行，可以鋤刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀。上述澆置、平板振動機攤平搗實、滾筒壓密、修飾與工作縫處理應於透水混凝土混合料加水拌合開始計時至一小時內完成，若有使用緩凝劑或天氣濕冷許可條件下，可延長至 90 分鐘內完成。

(5) 接縫施工

除非另有規定，應依照契約文件內指定的位置、深度、及平面尺寸接縫。透水混凝土伸縮縫可在施工完成後，於施工鋪面以 3 至 6 公尺距離切一道伸縮縫以防止熱脹冷縮，或於新拌混凝土鋪面壓實完成後馬上製作伸縮縫，即在未完全

硬固前進行切縫，切縫工具是一種特別設計滾筒切縫附有刀鋒，刀鋒約為 1/4 至 1/3 版厚，可進行橫向與縱向切縫。若以切鋸法鋸出的最小接縫寬度應為 3 mm，而採用提早進場的乾鋸刀鋸縫時，切鋸深度應達 25 mm 以上。

(6) 養護施工

一般混凝土的養護常使用漫淹方式澆水在表面，透水混凝土之養護因孔隙率關係，水份無法保持在表面，故常以厚度 6mil (0.15mm) 的厚聚乙烯塑膠布緊密覆蓋鋪面，為避免乾縮裂縫，只有在進行切割作業時，才可以將養護覆蓋塑膠布移開；塑膠布的最小寬度應能覆蓋整個鋪面寬度。初期淋水時水柱不得過強，一般要求透水混凝土鋪面滾壓夯實作完成後，應於二十分鐘內進行養護，透水混凝土滾壓後使用塑膠布覆蓋養護鋪面，避免泥土、砂、鋸屑與細料污染或堵塞透水混凝土孔隙；一般要求透水混凝土鋪面應全程使用塑膠布覆蓋養護且至少養護 7 天後，方能對外開放交通。

6.3.3 檢測

施工前、中、後，對各層材料品質、鋪設厚度及透水性等均須加以檢測，以求符合規定。

- (1) 施工前對所用材料須就級配、潔淨、單位重、強度及透水係數加以檢測是否符合本章 6.2 節材料之規定。
- (2) 施工中及完工須進行厚度、級配、平坦度、單位重及滲透性等項目檢測有關其頻率及標準要求範圍參考下表。

表 6-5 檢測表

工 種		項 目	次 數	標準要求範圍
施工前	路基本層	滲透性(工地透水試驗)	每隔 1000m ² /次	依設計圖說
	透水混凝土	配比與試拌		依設計圖說
施 工 中	路基本層	符合標準的滾壓	隨時	依設計圖說
	碎石底層	厚度	每隔 20m 一處	±10mm
		含水量	隨時	依設計圖說
		壓實度	每 500m ² 一次	93%以上
	新拌透水混凝土面層	取樣(試體製作)	每隔 20m,一處	依設計圖說
		級配	每 1000m ² 一次	依設計圖說
		單位重	每 1000m ² 一次	設計值±80 kg/m ³
		外觀(垂流與否)	隨時	視判識
施 工 後	新拌透水混凝土面層	厚度	每隔 20m,一處	±10mm
		強度	每 1000m ² 一次	依設計圖說
		單位重	每 1000m ² 一次	設計值±80 kg/m ³
	新拌透水混凝土面層	伸縮縫深度	每隔 20m,一處	±10mm
		平坦度(外觀)	隨時	±6mm
		滲透性(工地透水試驗)	每 500m ² 一次	400ml/15sec 以上

6.3.4 管理與維護

- (1) 鋪面完工前四個月，每月檢視一次，往後每年檢視四次。
- (2) 於大雨後即刻檢視表面是否積水，若發現鋪面嚴重阻塞，需翻修。
- (3) 透水鋪面強度較弱，應設置告示牌禁止重型車進入，避免不當使用造成結構破壞。
- (4) 鋪面應避免堆置砂土及其它粒料或粉狀物料和含泥砂之車輪進入，以免破壞鋪面透水性。
- (5) 鋪面周圍地面應種植草皮，避免裸露地之砂土進入。
- (6) 鋪面若接受臨近地區排水，應視需要設置前處理設施，以去除漂浮物及沉渣，延長鋪面使用壽命。
- (7) 鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應即進行清洗。
- (8) 鋪面每年清理兩次，使用吸塵及高壓水柱沖洗兩道程序。

6.4 計量與計價

6.4.1 計量

以現場完成並經驗收之各種材料厚度以[立方公尺][]為計量單位。

6.4.2 計價

付款應按契約詳細價目表所列之單價計付。單價包括一切人工、材料、機具、設備、運輸及其現場構築之透水混凝土鋪面工程所需之附屬工作，包括模板之供應與架設、伸縮縫之裝置等。

第七章 結論與建議

近年來國內以打造永續臺灣與綠建築為未來努力的方向，為解決雨水資源流失、環境生態破壞及降低熱島效應等問題，進行研究與探討透水混凝土應用在港灣構造設施與公路路面實有其必要性。本研究第一年針對國內公路路面狀況需求與港灣構造設施狀況，分別擬定詳細的試鋪作業計畫與材料施工規範，次年再執行相關試鋪作業，對試鋪透水混凝土進行成效評估。

7.1 結論

1. 第二章收集 10 個透水混凝土應用案例，極具參考價值，其中，應用於停車場與行人道鋪面已經成為焦點與喜好，未來應該投入更多的資源與研究於都市道路、公路及機場之底層、高速公路路肩、海濱結構、人工潛(漁)礁和海堤等。
2. 獲交通部公路總局第二區養護工程處之應用，預計於 2009 年底發包施工興建「埔里工務段辦公大樓新建工程」中，規劃部分停車場與路面採用透水混凝土，詳第四章說明。
3. 有關透水混凝土路面試鋪規劃座談會、防波堤透水混凝土試鋪規劃座談會、透水混凝土鋪面材料及施工規範研擬座談會均邀請相關專家學者進行審查，專家學者審查意見回覆與紀錄詳附錄五至七。
4. 附錄六透水混凝土鋪面材料及施工規範研擬，極具參考價值，經座談會專家學者認定可送請公共工程委員會進行施工綱要規範審查。
5. 以飛灰量模擬若干年累計落塵量，進行現地透水試驗結果發現 20 年落塵量會有小部份阻塞透水混凝土鋪面之孔隙，阻塞造成現地透水能力降低，部分測點現地透水能力下降 30%，但停車格整體透水能力仍然保持良好，其現地透水量超過一般透水鋪面 400 ml/15sec 之標準甚多。
6. 日本規範排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗方法為柔性鋪面透水

瀝青混凝土現地透水性能力評估，發現可用於模擬若干年後透水混凝土鋪面現地透水能力之評估。

7. 透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤、護岸、潛堤及人工潛(漁)礁等。惟港灣工程之實地試鋪作業可能不容易執行，工程亦較浩大且不易掌控。港灣防波堤 (breakwater) 的設計，尤其消波特性，通常係經由水工模型試驗檢核，先在實驗室裡模擬波浪對於透水混凝土海堤上之波浪溯升 (run-up) 及堤前波浪反射率之觀測，再經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，結果應可供透水混凝土在港灣或海岸結構物應用的可行性評估，再做現地的試鋪試驗。

7.2 建議

1. 透水混凝土鋪面工程可引用並符合 ACI 522R-06 與 ACI 522.1-08 新規範與試驗方法，未來應該投入的研究有現地試驗方法、非破壞試驗方法與觀測井對水質試驗之發展。
2. 有關水工模型試驗方面，建議可先進行實驗室裡模擬波浪對於透水混凝土海堤上之波浪溯升 (run-up) 及堤前波浪反射率之觀測，經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，提供透水混凝土在港灣或海岸結構物應用的可行性評估。
3. 一般透水混凝土路面堵塞程度決定於現場土壤、交通流量和施工品質情況而定。當透水混凝土孔隙結構阻塞造成透水能力下降至一定範圍，應進行維護保養，例如高壓水沖洗和真空吸塵清掃，若仍然無法有效改善其透水能力，可考慮加以挖除重鋪。
4. 未來研究可針對透水混凝土表面磨耗與骨材剝脫、堵塞、老化及維護方法做進一步的調查與評估。

本研究成果之效益包括：1.透水混凝土鋪面材料之施工規範草案，具參考價值。2.獲交通部公路總局第二區養護工程處之應用，預計於 2009 年底發包施工興建「埔里工務段辦公大樓新建工程」中，規劃部分停車場

與路面採用透水混凝土。3.本研究可提供給各港務局、公路局及相關交通單位推廣應用透水混凝土之參據。

參考文獻

1. 邱永芳、朱金元、張道光、黃然、張建智、葉為忠，「透水混凝土應用於交通工程之研究(1/2)」，交通部運輸研究所研究計畫成果報告(計畫主持人黃然教授)，MOTC-IOT-95-H1DB007，2006。
2. 邱永芳、張道光、李明君、顏聰、邱垂德，「透水混凝土應用於交通工程之研究(2/2)」，交通部運輸研究所研究計畫成果報告(計畫主持人李明君)，MOTC-IOT-96-H1DB004，2007。
3. 林志棟，「透水性鋪面」，臺灣鋪面(Taipave)之設計與應用實務(六)，中華鋪面工程學會，2007。
4. 何廷祥，透水混凝土應用在灌排水路之初步研究，逢甲大學水利工程學系碩專班碩士論文(連惠邦教授指導)，2005。
5. 韓乃斌，透水混凝土配比試驗及應用之研究，逢甲大學水利工程學系碩士論文(連惠邦教授指導)，2006。
6. 「可透水式人行道鋪面材料(無細骨材混凝土)及施工方法研究」，內政部建築研究所研究計畫成果報告，MOIS 891005，10月23日，2000。
7. 鄭瑞濱、潘昌林，「透水性鋪面介紹」，WERC水環研究中心，2001。
8. 楊雅雲，「輕質骨材抗壓磚之透水性研究」，國立成功大學土木工程學系碩士論文，2004。
9. 林志棟，「建築基地保水透水技術設計規範與法制化之研究子計畫二透水鋪面性能工法試驗解析」，內政部建築研究所。
10. 楊靜，「建築材料與人居環境施普林格出版社」，清華大學出版社。
11. Japan Concrete Institute，Proceedings of the JCI Symposium on Design ,Construction and Recent Applications of Porous Concrete,

- 2004.
12. GOMACO Corporation, A Green and Easy Solution for Flood Control Problems. Retrieved from 2004,
http://www.gomaco.com/Resources/worldstories/world32_1/satoroad.html
13. 周樺，<http://www.linlins.com/jenniferchou/20040222175500.shtml>
14. 蔡文博、陳豪吉、林政毅、彭獻生，”再生粒料混凝土塊之產製技術與應用”，中華民國第八屆結構工程研討會。
15. 李培文，「高壓透水磚產製技術之研究」，國立中興大學土木工程學系碩士論文，2004。
16. 涂允捷，「營建廢棄物混凝土與磁磚應用於透水鋪面之性能實驗評估」，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文，2004。
17. Construction of pervious concrete pavements, Mtt Offenber, PE.
18. 郭一羽、李麗雪，「海岸景觀與生態設計」，田園城市文化事業有限公司，第一版，2005。
19. 內政部營建署，「市區人行道施工規範」，中華民國 92 年。
20. 「港灣及海岸結構物設計基準」，港灣技術研究所，專刊第 123 號，1987。
21. 行政院公共工程委員會公共工程施工網要規範第 02794 章透水性鋪面。
22. 行政院公共工程委員會，透水性鋪面之研究，第 44 至第 63 頁，2003。
23. 行政院公共工程委員會重力式擋土牆標準圖。

- 24.內政部營建署，市區道路人行道設計手冊第 4.6.4 節透水鋪面材，2003。
- 25.經濟部水資源局，生態工法技術參考手冊第 5-4-2 節，2001。
- 26.中國土木水利工程學會，混凝土工程設計規範第 1.7 節，1998。
- 27.林志棟，建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究-子計畫二：透水鋪面工法性能實驗解析，內政部建築研究所研究委託研究報告第 57 頁至第 58 頁，2002。
- 28.潘昌林、鄭瑞濱，透水混凝土與工程應用介紹，臺灣營建研究院研發資訊，2001。
- 29.雷揚中，焚化爐底渣應用於道路工程之研究，中央大學土木工程研究所碩士論文，2004。
- 30.交通部臺灣區國道新建工程局，北二高剛性路面建造講習，1990。
- 31.Portland Cement Association, Pervious Concrete Pavements, 2004.
- 32.ACI Committee 522 (ACI 522R-06), Pervious Concrete, 2006.
- 33.劉明仁、吳建璋、黃喬炎，”活性粉多孔隙混凝土應用於道路面層之工程性質研究”，中華民國第十三屆鋪面工程研討會，2007。
- 34.陳豪吉、林建國，「輕質磚之配比及工程性質研究」，興大工程學刊，第 13 卷，第 3 期，11 月，2002。
- 35.陳豪吉、陳榮松、方富民、李明君，「多孔混凝土應用於河川工程之研究(1/2)」委託計畫服務建議書，經濟部水利署，2009。
- 36.Henry H. Jewell, Rock Riprap Replaces Porous Concrete Slope Protection at Santee-Cooper Project, ASCE, Civil Engineering, 1948.
- 37.郭金棟,海岸整治與生態工法應用之案例介紹,2003 年生態工法人才培訓講習會講義。

38. Tamai, M. and Y. Nishiwaki, Studies on marine epilithic organisms to no-fine concrete using slag cement and portland cement with silica fume. ACI Journals. SP-132-87, Vol.2:1621-1635, 1992.
39. http://nippon.zaidan.info/library/seikabutsu_print_view.do?url=http://nippon.zaidan.info/seika... 2009/3/8 Tamai, M. and Y. Nishiwaki. 2003. A STUDY ON KELP FOREST REGENERATION USING POROUS CONCRETE.
40. 「生態工法觀摩與研習」，農田水利聯合會研究報告，2004。
41. ACI 522.1-08, Specification for Pervious Concrete Pavement, 2008.
42. <http://www.ConstructionPros.com>, “City of Manhattan Beach Goes Green with Pervious Concrete”.
43. Manoj Chopra, Marty Wanielista, Craig Ballock, and Josh Spence, “Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements”, Final Report, Florida Department of Transportation, 2007.
44. John Kevern, “Mix design development for Portland cement pervious concrete in cold weather climates”, Master Thesis, Iowa State University, 2006.
45. National Ready Mixed Concrete Association, Freeze Thaw Resistance of Pervious Concrete, 2004.
46. Heather J. Brown, “Pervious Concrete Research Compilation Past, Present and Future”, RMC Research Foundation.

附錄一

期中報告會議意見答覆表

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：透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究(1/2)

合作研究單位：朝陽科技大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
一、崇佑技術學院 蘇南 副校長	
1. 第一章緒論 (p1-1~ p1-6) 建議部份統計資料 (如 p1-2) 的文獻出處請註明。	p1-1~p1-6 遵照辦理。
2. p3-9 起之 3.5 施工技術規範其專有名詞建議與國內工程用語一致化，例如：p3-9 承商→承包商，p3-10 (第 8 列) 水凝水泥，p3-10 (倒第 3 列) 水泥材質→水泥品質，P3-14 騎乘品質→行車品質，其他處亦同，P3-16 切縫→施工縫，P3-17 覆蓋養護鋪面→覆蓋鋪面養護，P3-20 滲透混凝土→透水混凝土，P3-21 (第 2 列) 100、90 和 200→100%、90%和 200%，表 4-2 W/C→W/B；以上均遵照委員辦理修正。	
3. 試鋪作業建議加強溝通協調，例如先與對口單位之承辦人或主管取得同意後再發文以爭取時效。	感謝試鋪作業建議。
4. p4-5 (第 1 列) λ 未定義，請補充。	λ 於 p4-4 (倒數第 5 列) 有定義。
5. p2-13 (第 4 列) 坍度一般為 0 至 20mm，是否太低，本研究建	透水混凝土比普通混凝土黏稠，其坍度一般為 0 至 20mm，也有提高到

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
議考慮使用高性能混凝土（HPC）之可行性。	50mm 的使用實例；建議考慮使用高性能混凝土（HPC）之可行性不易。
二、臺灣海洋大學材料工程研究所 楊仲家 教授	
1. 建議考量磨耗與骨材剝脫之問題。	磨耗與骨材剝脫是重要問題，因此，公路應為低交通量設計。
2. 請考量落塵量之影響。	遵照辦理，期末報告將說明。
3. 建議考量道路版塊之間的傳導。	道路低交通量設計可以不考慮版塊之間的傳導，即不設置綴縫筋(目前 ACI 522 未有此設置)。
4. 請考量試鋪路面混凝土澆注施工方式。	將依據 ACI 522 透水混凝土鋪面施工方式。
5. 請盡快決定試鋪地點。	遵照辦理。
三、中央大學土木工程系 李釗 教授	
1. 期中報告宜增加摘要。	期末報告將增加摘要。
2. 本年度的工作部份主要在規劃透水混凝土的現場施作，現已協調在公路總局新埔里公路段辦公大樓工程內鋪設透水路面，預定明年施作，海堤工程部份尚待協調，建議主辦單位能介入協調港務單位。	謝謝委員建議，希望主辦單位能介入協調港務單位。
3. 建議本年度工作加強實驗室內之配比實驗及撰寫施工規範。	撰寫施工規範是本年度工作內容，而配比實驗正進行中。
4. 透水海堤有施工上的未知數，如透水混凝土抵抗波浪的能力，建議先期進行實驗室內實驗，若有困難建議依實際情形縮小試做規模。	遵照辦理，研究團隊將適時提出建議，以利成果推動。
5. 建議透水混凝土施工規範的撰寫格式依工程會施工綱要規範的格式撰寫，將來可提修正案。	遵照辦理，以利成果推動，將來可提修正案。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形
四、中興大學土木工程系 黃添坤 教授	
1. 海堤及路面現地實作及成效評估，可能在研究期間完成？而海堤施作費用如何支付。	海堤及路面現地實作及成效評估，要在研究期間完成有其困難度，需要各方面協助配合；而海堤施作由相關協力廠商負責。
2. 研究計畫含規範研擬，在未完成前述工作下如何落實本土化之適用性。	有關計畫含材料與施工規範研擬，其實僅屬於規範之草案，以利海堤及路面現地試鋪辦理。
3. 本年度計畫內容未見有試驗內容，但在經費項目有材料使用費。	計畫內容有透水混凝土路面受落塵量影響評估是戶外實驗為主，編列材料使用費是需要的。
4. 海堤方面之應用國外相關成效應適度說明。	僅 ACI 522R-06 說明可以使用在港灣工程範圍包括海濱結構、海堤和人工漁礁等。
5. 國內在此方面之實際應用未見施行。	國內實際應用很少，希望委員與工程先進能夠協助推廣。
五、本所港研中心 朱金元 科長	
1. 請依本所出版品規定格式：目錄、圖目錄、表目錄、報告內引用文獻方式。	遵照辦理，期末報告將參酌規定格式撰寫。
2. 補流程圖，哪些研究項目是期中審查要完成的？	期末報告將補流程圖，並說明哪些研究項目是期中或期末審查要完成的。
3. p1-8 寫法，顧問團何時結束？	顧問團將儘速完成彙整。
4. 透水混凝土之坍度很低，對於水的控管要求很嚴，請問在預拌廠時與實際施工上如何嚴格控管拌合水？	透水混凝土對於水的控管要求很嚴，不可亂加水，應對預拌廠嚴格控管配比材料和實際施工中的製程品質控制達到要求。

參與審查人員及 其所提之意見	合作研究單位 處理情形
5. 透水混凝土的配比設計程序是否依據圖 2.2~2.7 之關係，與參考 p2-9 的設計步驟，整理一個設計流程圖，以方便使用。	遵照辦理，期末報告將整理一個設計流程圖。
6. 由文獻蒐集在鋪設透水混凝土遭遇之問題有哪些？如何克服？與普通混凝土及透水瀝青混凝土比較（如施工、維護、成本與績效）。	遵照辦理，期末報告將由文獻蒐集整理尋求問題解答。

附錄二

期末報告會議意見答覆表

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：透水混凝土應用在港灣構造物設施與公路路面成效評估之研究（1/2）

合作研究單位：朝陽科技大學

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
一、崇佑技術學院 蘇南 副校長		
1. P.7-1 之結論 1 請就國內之環境因素（物理性及化學性等）提出評估及使用於不同工程的注意事項。	國內並無透水混凝土應用案例，仍然停留於實驗室階段，因此國外不同工程案例極具參考價值。	同意
2. 結論 2 建議就埔里工務段之停車場用透水混凝土提出建議設計強度、配比、施工注意事項等具體建議。俾因應該工程將於 2009 年底發包施工之工程進度需求。	感謝建議，已將附錄五透水混凝土鋪面材料與施工技術規範給該案建築師，進行設計以利年底發包施工。	同意
3. 結論 4 建議就透水混凝土鋪面材料、施工與普通混凝土之不同點提出具體說明，俾使讀者一目了然。	感謝建議，附錄五材料與施工技術規範有說明，未來將加強透水混凝土鋪面教育訓練，以利施工。	同意
4. 建議將透水混凝土與綠建材的關聯性增述（結合表 4-1），並有實際之計算值（可以埔里工務段為例）。	p4-7 有初步計算；本案法定建蔽率為 0.6（實際設計只有約 0.21），基地總面積為 9,373m ² ，若只計入 A、C 兩棟建物間的草皮及 A 棟後方辦公人員停車場兩塊保水地，則開發後的基地保水量計算為：用面積看大概為 0.9，而 λ_c 約為 $0.8 \times 0.4 = 0.32$ ，若不採主動	同意

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
	保水設計，則應擴大透水鋪面的面積才能符合保水指標的規定。	
5. 建議將結論 3 之專家學者座談會資料經系統化整理（例如分材料、施工用途等）納入本文中且註明出處。	感謝建議，專家學者座談會資料包括期中與期末報告會議意見審查共五次，部份專家學者意見是相左對立的，要系統化整理是不容易。	同意
6. 建議將 p.3-10 之表 3-2 的配比推算其孔隙率，俾利應用參考。	表 3-2 配比資料來源： http://www.fuh3.com.tw/pressed6.htm ，配比不容易推算孔隙率，因為影響孔隙率重要因子包括搗實度、骨材級配、膠結材料含量與水膠比。	同意
二、臺灣海洋大學材料工程研究所 楊仲家 教授		
1. 全文中對透水混凝土之定義，多次重複。	感謝建議，將刪除額外的定義。	同意
2. 部份文字 (p.3-9, 3-12, 3-13, 4-4), (p.3-20), 附錄 (p.4-10) 之文字請修正。	遵照辦理。	同意
3. 請考量 p.3-12 無機添加物使用量之限制。	無機添加物應符合 ASTM C 618 (飛灰), ASTM C 989 (爐渣) 和 ASTM C 1240 (矽灰) 的要求。除非工程單位另外指示，在混合的膠結料總無機添加物含量不得超出波特蘭水泥重量。	同意

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
4. 請明列 3.5.6.2 節中不適用於透水混凝土之試驗標準。	有困難，因為一般混凝土標準試驗項目包含單位重(密度)、坍度、含氣量、強度、透水率與其他性質等，並非所有的試驗可適用於透水混凝土直到新試驗標準發展完全(ACI 522R-06)。	同意
5. 請詳細說明 3.5.6.3 節之後檢試驗法。	請詳附錄五透水混凝土鋪面材料與施工技術規範 3.3 施工後檢測表之說明。	同意
6. 請說明 p.3-22 恢復滲透率 200% 之定義。	真空吸塵清掃、高壓洗滌和二種方法同時使用時，阻塞透水鋪面修復滲透的透水能力 (in/hr) 分別提高為 100%、90%和 200%。	同意
7. 請說明試鋪工作中攤平、壓實等工作是否容許非機械施工法。	容許非機械施工法：在攤平階段，藉由耙子攤平透水混凝土，使完成面整平；小區域鋪面可使用較小滾筒壓實；並以鏟刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀。	同意
8. 請確認圖 2.2,2.4,2.5,2.7 中 Air content 是否為孔隙率。	圖 2.2,2.4,2.5,2.7 中 Air content 是孔隙率，因透水混凝土一般不會測試含氣量，而其孔隙率範圍正合乎 18%至 35%之間。	同意
三、中央大學土木工程系 李釗 教授		
1. 3.1 前數行之文字內容似無密切的邏輯關係。	3.1 前數行之文字內容是隨著時代海岸與防波堤扮演不同之角色，後面文字內容是防波堤之選擇；二者仍有一定程度相關。	同意

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
2. 防波堤、海堤...等之定義似有不同，建議日後針對擬實際施作的部份做適當用語，避免誤認透水混凝土可用於抵擋波浪的防波堤。	防波堤與海堤二者定義是不同，謝謝委員建議。	同意
3. 3.2 文中之”a”石料”D”石塊宜適當定義，50~100cm 後之表達意義，請述明。	堤心料（編號為”a”石料）為直徑 10~30 cm 的河床卵石，臨海面鋪設”D”塊石（定義為 0.5~1.0 ton 塊石）；50~100cm 後筆誤為 50~100cm 厚。	同意
4. p.3-8 1.透水混凝土”比重”→單位重。	感謝指正。	同意
5. p.3-12, 3.5.4.1 宜定義頂層及每小時 1 英吋的滲透率之試驗方法，單位請用公制。	3.5.4.1 頂層應為基層（筆誤），每小時 1 英吋的滲透率，單位用公制即每小時 2.54 公分的滲透率。	同意
6. p.4-4, 4.2 第一行”飽和”和→飽和。	感謝指正。	同意
7. p.4-6, 文字之上下標請適當調整。	感謝指正，已調整。	同意
8. p.5-1 相同的文字語句避免重覆出現。	感謝指正，已刪除部分重覆文字語句。	同意
9. p.5-4 公式中的括號請修正。	感謝指正，已調整。	同意
10. p.6-1~6-2 透水混凝土之應用範圍可適及本土化。	感謝建議，透水混凝土之應用範圍及本土化詳附錄五透水混凝土鋪面材料與施工技術規範 1.1.3。	同意
11. p.6-4 文中若用中括號，表可另選用其他數值，中括號之後應有另一空格之中括號，如	感謝指正，已調整。	同意

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
[1×10-3cm/sec][]。		
12. 請檢查全文之上下標。	遵照辦理。	同意
13. p.6-4~p.6-5，表 6-1 之標題應在同一頁，且注意中括號。	感謝指正，已調整。	同意
14. 英文的括號前應有一空格。	感謝指正，已調整。	同意
四、中興大學土木工程系 黃添坤 教授		
1. 英文摘要內容請加以修飾。	遵照辦理。	同意
2. 部份內容有些重覆，請加以改進。	遵照辦理。	同意
3. 透水混凝土主要功能應在於減少積水、迅速排水，至於地下貯水功能似乎功效不明顯。	透水混凝土主要功能應在於減少積水、迅速排水與保水，地下貯水功能可進行適當規劃設計之。	同意
4. 透水混凝土之沿革應用，有些為排水瀝青與本研究主題無關。	排水瀝青與本研究主題無關，但仍是透水鋪面。	同意
5. 為加強透水混凝土間之黏結力，應考慮加入添加劑作為膠結材料。如日本曾使用。	考慮添加劑作為膠結材料應視工程需求而加入較佳。	同意
五、本所港研中心 朱金元 科長		
1. 請依本所出版品規定格式：目錄、圖目錄、表目錄、報告內引用文獻方式。	遵照辦理，報告定稿中格式將參酌規定格式撰寫。	同意

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
2. 有關附錄五透水水泥混凝土鋪面材料與施工技術規範經過多少次專家學者座談會審查？若要送請行政院公共工程委員會進行施工綱要規範審查之前，應有專家學者組成審查小組逐章逐節詳細審查。	附錄五透水水泥混凝土鋪面材料與施工技術規範僅經過 1 次專家學者座談會審查(計畫內容要求規定)，若要送請行政院公共工程委員會進行施工綱要規範審查之前，應有專家學者組成審查小組逐章逐節詳細審查。	同意
3. 投影片第 42 頁落塵量對透水混凝土鋪面之現地透水能力評估，試驗結果六個停車格差異相當大，特別是第三停車格試驗數據再確認。	六停車格中，第四與第五停車格因表面磨耗與骨材剝脫不平整，無法獲得現場透水試驗數據；另外，各停車格澆置與滾壓方式有所不同，造成透水能力差異大。	同意

附錄三

期末報告簡報資料

透水混凝土應用在港灣構造物設施 與公路路面成效評估之研究(1/2)期末報告



計畫主持人：李明君 教授

協同主持人：顏聰 特聘教授、邱垂德 教授、
黃怡碩 助理教授

執行單位：朝陽科技大學營建工程系

中華民國九十八年十一月十七日

1

報告大綱

- 壹、研究範圍與對象
- 貳、本年度計畫內容
- 參、研究方法及進行步驟
- 肆、文獻回顧(案例集)
- 伍、顧問團組成與意見彙整
- 陸、防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃
- 柒、公路試鋪透水混凝土路面作業規劃
- 捌、透水混凝土路面受落塵量影響之評估
- 玖、完成工作項目
- 拾、結論與建議



2



壹、計畫範圍與對象

- 本研究即延續前期研究(透水混凝土應用於交通工程之研究)之成果，針對目標為下列各項：
 1. 國內公路路面
 2. 國內港灣工程
 - a. 海濱結構
 - b. 防波堤(seawall)應為「海堤」
 - c. 人工漁礁
- 擬定詳細的試鋪作業計畫，並執行公路路面試鋪作業，再對試鋪透水混凝土進行超過壹年以上的完整成效評估。

3



貳、本年度計畫內容 (1/3)

1. 國內外文獻及試鋪顧問團意見彙整。

包括試鋪顧問團的組成、擴大收集國內外文獻及透水混凝土鋪面相關資料彙整。
2. 防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃。

包括試鋪防波堤之選擇、防波堤現況調查、試鋪防波堤配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範編定。

4



本年度計畫內容 (2/3)

3. 公路試鋪透水混凝土路面作業規劃與受落塵量影響之評估。

包括試鋪路段之選擇、路面現況量測、試鋪路面配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範研擬及透水混凝土路面受落塵量影響之評估。

5



本年度計畫內容 (3/3)

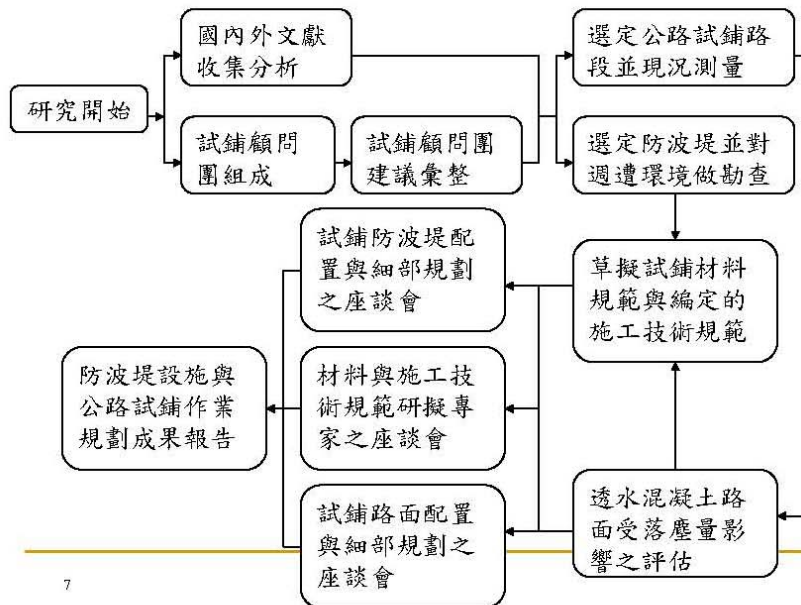
4. 透水混凝土材料與施工技術規範研擬與試鋪規劃座談會。

包括試鋪防波堤配置與細部規劃之座談會、試鋪路面配置與細部規劃之座談會、材料與施工技術規範研擬專家之座談會。

5. 完成防波堤設施與公路試鋪作業規劃報告。

6

參、研究方法及進行步驟



肆、文獻回顧

- 透水混凝土重要文獻
- 透水混凝土(2.1)
- 透水混凝土之工程性質(2.2)
- 透水混凝土在公路路面與港灣構造物設施之應用(2.3)
- 透水混凝土公路路面應用
- 透水混凝土港灣構造物設施應用
- 透水混凝土案例
- 透水混凝土研究彙編：過去現在與未來



透水混凝土重要文獻：

- (1) ACI 522R-06 Pervious Concrete**
- (2) ACI 522.1-08 Specification for Pervious Concrete Pavement**
- (3) PCA Pervious Concrete Pavement**
- (4) Henry H. Jewell, Rock Riprap Replaces Porous Concrete Slope Protection at Santee-Cooper Project, ASCE, Civil Engineering, 1948.**
- (5) Heather J. Brown, Pervious Concrete Research Compilation Past, Present and Future, RMC Research Foundation**



透水混凝土公路鋪面

- 美國：
- 1979年的美國佛州Sarasota區使用無細骨材的多孔隙混凝土建造具有透水性路面的停車場。
- 有超過200條透水路面道路有10年壽命以上，如Sarasota大學附近構築了一條4線車道長1.6公里的透水路面道路。
- 新墨西哥以及佛州西部地區共修建53座透水混凝土停車場。



透水混凝土護坡施工

- 日本混凝土協會2004年為因應高陡護坡常因暴雨時排水不及側壓力過大造成崩毀災害，提出以透水混凝土施築護牆之施工方式，其中背填透水混凝土為增加工作性，以加砂及加強塑劑方式拌合（水灰比0.25）。



11

資料來源：日本混凝土協會2004

透水混凝土護岸施工

- 日本佐賀縣多久市石原川透水多孔混凝土護岸工程，工程結構安全性符合需求，且植生效果良好。



■石原川
佐賀縣多久市牟田辺
国土交通省
武雄工事事務所
ゲトラックPGI型
用法：低水護岸

強度重視タイプのポーラスコンクリート護岸として、全国にさががけて平成7年度に採用されました。その後、生態調査や強度調査がおこなわれており、動植物（昆虫、微生物等）が生息しやすい環境であることが確認されています。又、5年が経過したポーラスコンクリートの強度劣化は認められず、安定した護岸を保っているといえます。

12

資料來源：日本P.E.C.協會施工事例

港灣構造物設施應用

- 郭金棟於海岸生態工法中有關親水海堤堤高設計要領，要求高粗糙度、透水性良好之緩坡，配合平台有利降低堤高，表2.4為各種堤面溯升減少率，由此可知粗糙度與透水性之效果。

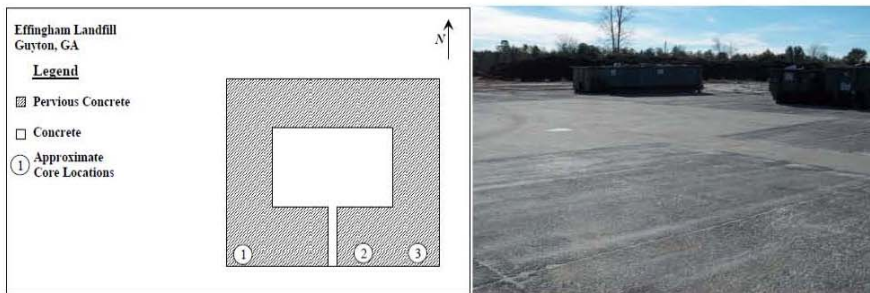
海堤種類	溯升減少率Kr
瀝青、光滑混凝土面	1.00
混凝土塊、纖維席	0.95
漿砌石	0.90
卵石、蛇籠	0.70
混凝土消波塊一層於不透水底層	0.80
拋塊石或消波塊二層	0.60

肆、文獻回顧(案例集)

- 南加州Manhattan Beach透水混凝土停車場
- Sun Ray Store-Away倉儲設施
- Strang Communication Office
- FDEP Office (Tallahassee市環境保護署)
- Effingham郡掩埋場
- Sioux 重交通車輛倉庫
- 北卡羅來那大學通勤停車場
- 南卡羅來那州Santee-Cooper計畫堤防工程
- PCA 透水混凝土鋪面(2004)應用案例
- ACI 透水混凝土(2006)應用案例

肆、案例集-喬治亞Effingham郡掩埋場

1999年建造完工，混凝土鋪面中間50英尺x50英尺平方是鋪設一般混凝土，其他區域屬於透水混凝土，透水混凝土厚度約6英吋，其設計作為垃圾儲存與分類之處。目前發現透水混凝土鋪面結構屬於良好狀況，僅有很小的裂縫產生。



15

肆、案例集-Sioux 市重交通車輛倉庫與車道

愛阿華州一倉庫與車道進行10種透水混凝土配比設計研究，水膠比相當低，落在0.26~0.19之間，方能承受重車載重，透水混凝土面層厚度設計8英吋

Mix ID	Coarse Aggregate (PCY)	Sand (PCY)	PC (PCY)	Binder			w/b
				GGBFS (PCY)	FA (PCY)	H ₂ O (lb)	
FA7	2600	-	400	100	40	117	0.22
FA7	2600	-	400	100	40	117	0.22
L29-	2470	120	411	113	40	125	0.22
-29-	2470	120	411	113	40	108	0.19
-FA7-	2500	168	425	106	40	133	0.23
FA7-	2500	168	425	106	40	125	0.22
7-S7	2500	168	531	-	40	150	0.26
-S7	2500	168	531	-	40	150	0.26
'S7	2500	168	531	-	40	125	0.22
#40-B-1-FA/-S7	2500	168	531	-	40	125	0.22

Notes: Slag (SL), Fly Ash (FA), Quartzite (QTZ), air-entrainment (^A)

16

肆、案例集-北卡羅來那大學通勤停車場



2002年完成，星期五中心有150個停車位，Estes Drive通勤停車有75個停車位，透水混凝土面層厚度設計5英吋，並獲得美國工程公司委員會Grand Conceptor Award，工程位置落在每年會有多次冰凍融化之地(平均每年有90次凍融)，目前狀況良好



17

肆、案例集

南卡羅來那州Santee-Cooper 計畫堤防工程



- 設計使用透水混凝土10英吋厚與碎石透層4英吋作為壩或堤保護坡，保護坡最大寬度103英尺，有41英尺會受到波浪的衝擊，保護坡全長共計15.6英里，如圖所示；規劃設計前二年(1940年)曾經在Vicksburg美國水道實驗中心進行全尺寸模型試驗。



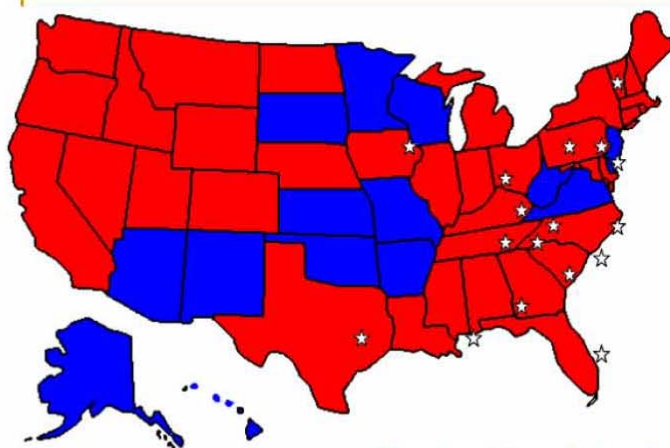
18

肆、文獻回顧

■ 透水混凝土研究彙編：過去、現在與未來

過去數年來，美國一直不斷的投注資源與經費於透水混凝土研究上，如下圖所示，有超過2/3的州政府進行此項研究或人員訓練，至少有17所美國大學拿到政府透水混凝土研究經費，透水混凝土應用於停車場與行人道鋪面已經成為焦點與喜好，未來應該投入更多的資源與研究於都市道路、公路及機場之底層、高速公路路肩、橋樑基座、海濱結構、人工漁礁和海堤等。

19



State Association websites with pervious links,
training or research
State Association websites with no pervious links,
training or research
☆ Denotes University that performs pervious
research

20



試鋪顧問團組成與意見彙整：

- **試鋪顧問團組成：**
- 海洋與港灣工程領域：蔡清標教授(國立中興大學土木工程學系)
- 公路鋪面工程領域：高邦基組長(交通部公路總局新工組組長)
- 公路鋪面工程領域：陳進發處長(交通部公路總局第二區養護工程處)
- 公路鋪面工程領域：吳中龍博士(美國維吉尼亞州交通部)
- 意見彙整(詳附錄一)

21

陸、防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃



其內容包括試鋪防波堤之選擇、防波堤現況調查、試鋪防波堤配置與細部規劃、試鋪材料規範的草擬及施工技術規範編定。



22



試鋪防波堤之選擇

有關世界各國所使用的防波堤，大致可劃分為(1) 直立堤，(2) 斜面堤，(3) 混成堤，(4) 消波塊堤，(5) 特殊防波堤共五種；目前防波堤之選擇，鎖定中部地區海域(如台中港)屬於斜面堤、海堤或護岸結構，特別是該結構臨海面(受潮水面)有漿砌卵石保護邊坡或面層混凝土保護邊坡，較易於施作透水混凝土與利於日後觀測。



23



防波堤現況調查

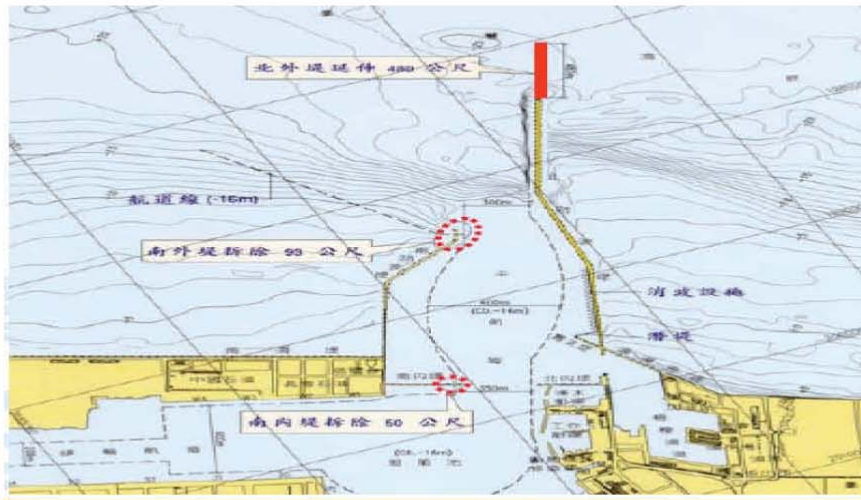
臺中港係在平直沙岸上建造之人工港，沿岸有大量之漂沙活動，故興建之外廓堤防除須具備防浪功能之外，更需兼具防沙功能。建港之初為求得最佳之防波堤佈置，規劃設計單位做過多次水工模型遮蔽試驗及漂沙試驗後，才選定兼具防浪及防沙雙重功能之最佳南北防波堤佈置。



24

防波堤現況調查

臺中港港口第二期擴建工程佈置圖



25

防波堤現況調查



防波堤要做好維護工作必須建立一些基本資料，除原施工過程之圖說紀錄應予建檔保存參考外，施工完成以後之變化情形必須追蹤瞭解。基此，港工處於北防波堤(目前全長三千多公尺，號稱臺中港的海上長城)完工後第二年起，除定期對堤身外觀情況予以檢視外，並對堤面實施高程測量以瞭解其沉陷情形，累計92至96年五年期間之測量資料得知，第一期延長之850公尺段，平均沉陷量約2.5公分已很穩定。第二期延長之480公尺段20座沉箱中，第1座至第10座沉箱平均沉陷量約11.8公分，第11座至第15座沉箱平均沉陷量約15公分，第16座至第20座沉箱平均沉陷量約19.2公分，可見堤頭部份受強勁海流及巨浪之拍打等外力作用下，造成拋石基礎之沉陷量較大，其穩固性必須加以注意。港工處勘測隊於每年實施港區全域水深測量時，對防波堤基礎邊坡及緊鄰之海底亦施以多音束水深測量，據以了解有無異常狀況，至96年上半年尚未發現有不正常之情形。



26



防波堤現況調查

本次調查僅針對中部地區防波堤型式種類與是否可試鋪透水混凝土為主要調查方向，並以台中港區域來說明；台中港北防波堤是屬於沉箱式混成堤，台中港南防波堤是屬於拋石斜面堤，台中港防波堤配置主要是北防波堤、南防波堤與北防沙堤三者之外，並包括港內堤、南海堤與護岸等，其中海堤與護岸是屬於拋石護基海堤與陡坡護岸，該結構臨海面(受潮水面)有漿砌卵石保護或面層混凝土保護，並有大量消波塊固守海岸線。



27



防波堤現況調查 台中港拋石斜面堤



28

北防砂堤



臺中港整體規劃平面配置圖



30

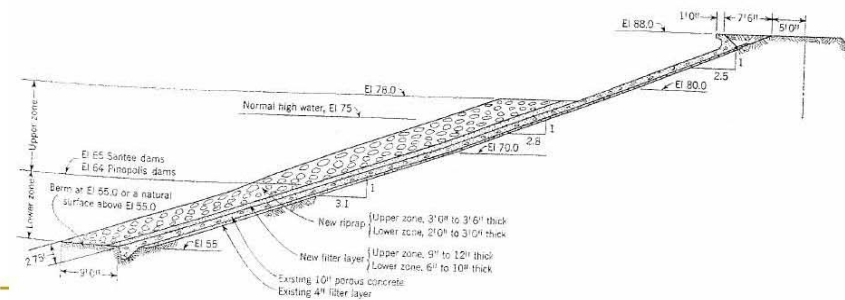
試鋪防波堤配置與細部規劃

有關研究單位試鋪防波堤配置與細部規劃，原選定台中港港務局轄區北防砂堤外圍之50公尺海堤，並於98年5月12日以本校名義擬借用北防砂堤外圍之50公尺海堤，作為防波堤與路面試鋪透水混凝土場地案發文給台中港港務局；港務局也於98年6月3日回文，要求提供本案詳細之研究計畫，俾進一步確認適合之場地需求、港務局可提供之協助、雙方須配合協調之內容及宜注意之事項，並請由交通部運輸研究所循行政程序洽港務局辦理商借事宜。原擬借區屬98年度防風林週邊道路（98-1）標休憩灣施工範圍，且該區海堤為下陷觀察維護區，爰請另覓適當位置。

31

試鋪防波堤配置與細部規劃

北防砂堤外圍之50公尺海堤，該結構臨海面(受潮水面)有漿砌卵石保護邊坡，其春夏兩季潮汐僅達海堤中央，有利於透水混凝土施工，擬規劃設計25公分厚透水混凝土於漿砌卵石保護邊坡表面，作為碎波消能之保護工，而秋冬兩季潮汐將可達堤頂，有利於日後觀測；因此，依據上述原則應可再找到適當位置進行規劃設計與施作。



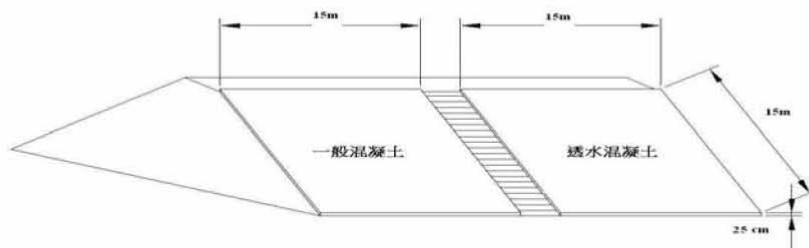
32

試鋪防波堤配置與細部規劃



33 試鋪透水混凝土場地：中碼頭區第15與第16號碼頭中間之海堤長約50公尺

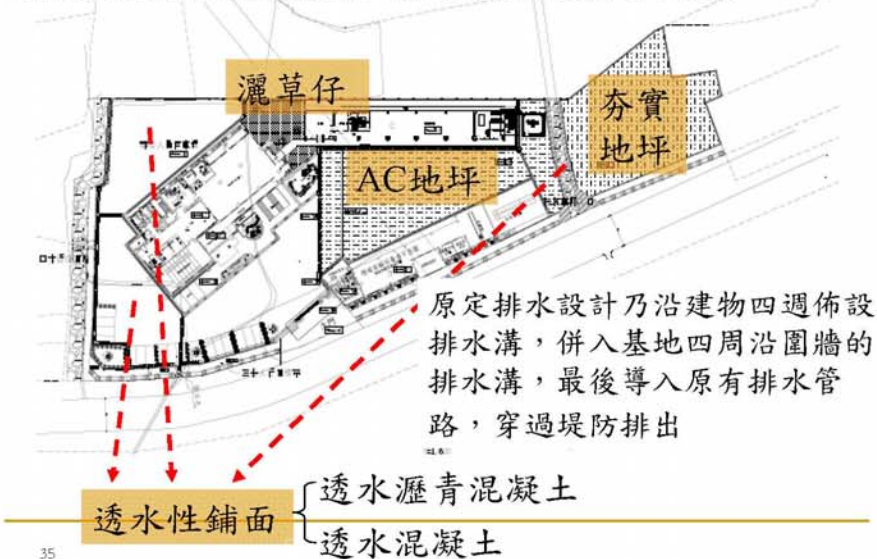
試鋪作業量測項目將包括混凝土透水性、表面溫度量測、海堤上之波浪溯升(run-up)之觀測等。規劃試鋪透水混凝土作業方面應對海象與氣象資訊，潮汐變化時間應及時掌控，俾可進一步安排思考施工方式，採何時段施工，否則所鋪混凝土未達足以能夠抗拒潮汐海浪之初凝強度，即遭破壞而徒勞無功，增加工程等施作成本。



34 圖3.6 港內第15與第16號碼頭中間之海堤透水混凝土試鋪規劃設計圖

柒、公路試鋪透水混凝土路面作業規劃

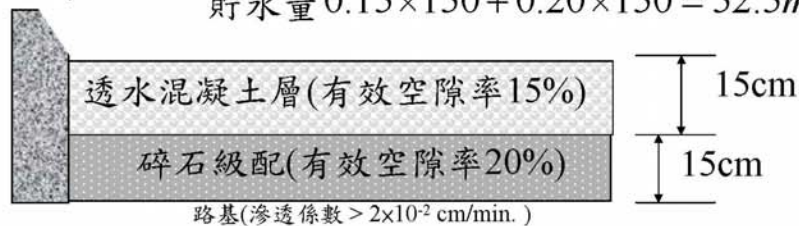
交通部公路總局新建埔里工務段辦公大樓配置平面圖



規劃設計之透水鋪面標準斷面圖

路緣石

$$\text{貯水量 } 0.15 \times 150 + 0.20 \times 150 = 52.5 \text{ mm}$$



若不採主動保水設計，則應擴大透水鋪面的面積才能符合保水指標的規定；應改採主動保水設計，搭配原設計的生態池，改變排水設計，積極將降雨導入透水鋪面，以便降低逕流量，為提高承載能力，故用20cm厚度為設計版厚。



**透水混凝土試鋪材料規範及
施工技術規範：詳附錄五 材
料與施工技術規範和附錄六 透
水混凝土鋪面材料與施工技術
規範研擬座談會意見答覆書。**



37



捌、透水混凝土路面受落塵量影響之評估

現場透水量試驗



38

捌、透水混凝土路面受落塵量影響之評估

參考台中市人工測站歷年落塵量統計為試驗依據，假設平均每年落塵量為100公噸/平方公里，即換算得到每一年的落塵量為100克/平方公尺，並以飛灰量模擬代替若干年累計落塵量進行現地透水實驗，每一透水混凝土鋪面將量測4個測點

年別	86	87	91	93
落塵量 公噸/平方公里/月	12.7	10	3.9	4.0

39



透水混凝土路面受落塵量影響之評估

每一透水混凝土停車格量測4個測點，現地透水實驗測點以0.6m×0.6m為一試驗單元，模擬累計落塵量有0、1、10與20年



40

透水混凝土路面受落塵量影響之評估



每一試驗單元以飛灰量
模擬若干年累計落塵量(g)

試驗單元	0年	1年	10年	20年
模擬落塵量	0	36	324	696

落塵量對現地透水試驗

41

透水混凝土路面受落塵量影響之評估



停車格透水鋪面受落塵量其現地透水試驗結果(ml/15sec)

停車格	No.1	No.2	No.3	No.6
0 年	969.8	1129.6	1073.2	1115.9
1 年	722.6	1108.2	1021.5	1111.3
10 年	677.8	1090.7	1064.0	1048.2
20 年	634.0	975.2	759.7	961.6

六停車格中，第四與第五停車格因表面磨耗與骨材剝脫不平整，透水試驗器底版與試驗單元表面無法使用油性黏土固定而不漏水，因此無法獲得現場透水試驗數據；一般而言，現地透水量隨著落塵量增加而有小部分遞減。

42



玖、已完成工作項目

- 文獻收集及試鋪顧問團意見彙整-附錄一。
- 防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃。
- 公路試鋪透水混凝土路面作業規劃。
- 透水混凝土路面受落塵量影響之評估。
- 公路試鋪作業座談會(98/9/8)-附錄三。
- 防波堤設施試鋪作業座談會(98/9/8)-附錄四。
- 透水混凝土材料與施工技術規範研擬座談會(98/10/14)-附錄五與六。

43



拾、結論與建議

- 第二章收集10個透水混凝土應用案例，極具參考價值，未來應該投入更多的資源與研究於都市道路、公路及機場之底層、高速公路路肩、海濱結構、人工潛(漁)礁和海堤等。
- 透水混凝土路面試鋪規劃，預計於2009年底發包施工興建「埔里工務段辦公大樓新建工程」中，規劃透水混凝土鋪面停車場與車道，詳第四章說明。
- 附錄六透水混凝土鋪面材料及施工規範研擬，極具參考價值，經座談會專家學者認定可送請公共工程委員會進行施工綱要規範審查。

44



拾、結論與建議(續1)

- 以飛灰量模擬20年落塵量會有小部份阻塞透水混凝土鋪面之孔隙，阻塞造成現地透水能力降低，部分測點現地透水能力下降30%，但透水混凝土停車格整體透水能力仍然保持良好。
- 日本規範排水性鋪裝技術指針之現場透水量試驗可用於評估若干年後透水混凝土鋪面透水能力。
- 透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤、護岸、潛堤及人工潛(漁)礁等。惟港灣工程之實地試鋪作業可能不容易執行，工程亦較浩大且不易掌控，需配合海象潮差之有限時間內施工。

45



拾、結論與建議(續2)

- 有關水工模型試驗方面，建議可先進行海堤上之波浪溯升(run-up)及堤前波浪反射率之觀測，經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，結果應可供透水混凝土在港灣或海岸結構物應用的可行性評估。
- 透水混凝土工程可引用並符合附錄五材料與施工技術規範-透水水泥混凝土鋪面、ACI 522R-06與ACI 522.1-08新規範與試驗方法，未來可投入研究有透水混凝土孔隙結構阻塞預估、現地試驗方法、非破壞試驗方法與觀測井對水質試驗之發展。

46



本研究部分成果
獲得TCI台灣混
凝土學會2009年
混凝土工程研討
會優秀論文獎，
感謝研究成果被
肯定！

47



簡報完畢敬請指導

48

附錄四

顧問團專家建議意見答覆表

顧問團專家建議意見答覆表

顧問專家建議意見	意見答覆
一、蔡清標教授建議意見	
1.本研究目的之一係評估透水混凝土應用在港灣結構物的可行性，研究擬將特別針對國內港灣結構物設施狀況擬定試鋪作業計畫。由於透水混凝土的多孔性及透水性，本計畫預期該混凝土鋪面具有消波效果，而進一步應用於港灣結構物的設計上，研究主題相當有意義。	謝謝提供寶貴意見，研究小組正進行國內港灣結構物設施狀況擬定透水混凝土試鋪作業計畫，期望研究主題相當有意義。
2.惟港灣工程之實地試鋪作業可能不容易執行，除試鋪地點不易找尋外，工程亦較浩大且不易掌控。一般而言，港灣防波堤(breakwater)的設計，尤其消波特性，通常係經由水工模型試驗檢核，因此建議本計畫之執行可以規劃先在試驗室進行。	謝謝建議指正，目前港灣工程之實地試鋪地點仍然未確定，施工作業不易執行與掌控，將是未來的挑戰，若能經由水工模型試驗檢核，應是最佳策劃。
3.透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤(seawall)、護岸(revetment)、潛堤(submerged breakwater)及人工潛(漁)礁(artificial reef)等。有關水工模型試驗方面，建議可先進行海堤上之波浪溯升(run-up)及堤前波浪反射率之觀測，經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，結果應可供透水混凝土在港灣或海岸結構物應用的可行性評估。	謝謝建議，有關防波堤設施試鋪透水混凝土作業規劃，將依據上述建議針對海堤(seawall)、護岸(revetment)、潛堤(submerged breakwater)及人工潛(漁)礁(artificial reef)等進行選定與考量；至於水工模型試驗方面，建議可先進行海堤上之波浪溯升(run-up)及堤前波浪反射率之觀測，經由與一般混凝土鋪面之海堤情況比較，將再研議以進行模擬波浪溯升及堤前波浪反射之水工模型試驗。
二、陳進發處長建議意見	
1.交通部公路總局第二區養護工程	謝謝提供寶貴意見，研究小組正

顧問專家建議意見	意見答覆
處埔里工務段辦公大樓新建工程原先規劃包含透水鋪面工程，主要是透水混凝土鋪面-剛性鋪面工程，特別施做於公務人員停車場，面積將超過 800 平方公尺，將於年底公開招標，敬請提供透水混凝土材料與施工規範，以利規劃設計與施工查驗。	進行透水混凝土試鋪材料規範的草擬及施工技術規範研擬，初稿將盡快提供貴單位，以利規劃設計與施工查驗。 將加強產製技術部分，研究小組正積極籌備透水混凝土拌合廠產製試拌，以利下一工作項目工程現地施作。
2. 有關透水混凝土之製程似包括配比決定、拌和廠產製及現場施工三方面，廠商能力與人員訓練是否足夠？	本案對於拌和廠產製技術部分較不足，似宜加強，最好能要求於拌和廠試鋪透水混凝土，現場施工人員也應有講習或訓練，以利工程現地施作。
三、高邦基組長建議意見	
1. 透水混凝土之配比設計 A. 其利用試誤法之配比之配方式可在詳加討論。主要原因，本計畫係利用試誤法是只達到抗壓強度與透水性要求，但是在目前任何配合設計皆朝向最經濟性配合設計方式前進，以試誤法之配合設計建議宜再考量。本中心查閱國內相關文獻，發現國內中興大學土木系陳教授豪吉，對於無細輕質混凝土配比以 Kenndy 學者於 1940 年發表之 $P=(T*S+V)*N$ 方式加以改良，獲得良好之顆粒間點粘結方式，也就是以得到最大孔隙率與強度之關係圖；由於透水混凝土與無細輕質骨材混凝土係屬相同觀念得到抗壓強度與透水率之最佳關係圖。供參考。 B. 美國混凝土協會 ACI522 提供混凝土之技術資訊，包括透水混凝土	謝謝建議指正，A、感謝提供最經濟性配合設計方式考量。透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，最新美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，本研究依據第一年計畫研究成果所提供透水混凝土配比設計流程，再參照美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊適度修正與驗證，已提供一套配比設計方法。 B、同上述說明：透水混凝土在目前為止並無成熟的設計方式，最新美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土並沒有提供一套配比設計方法，僅說明簡易配比基準原則，本研究依據第一年計畫研究成果所提供透水混凝土配比設計流程，再參照美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土所提供資訊適度修正與驗證，

顧問專家建議意見	意見答覆
土應用、設計方法……、試驗與檢驗等。但並無成熟之設計方法，前後是否有矛盾？ C. 透水混凝土水灰比宜作一說明。	已提供一套配比設計方法。C、有關美國混凝土協會 ACI 522R-06 透水混凝土建議透水混凝土其水灰比應落在 0.25 ~ 0.45 之間，可用試誤與檢驗法求得配比；表 3-1 所示水灰比 0.25~0.35 之間為美國波特蘭水泥協會 (PCA) 與預拌混凝土協會 (NRMCA) 出版『透水混凝土鋪面』一書，提供一典型透水混凝土鋪面的配比。
2. 透水混凝土孔隙施工前檢驗 A. 對於透水混凝土施工前檢驗，並沒有很明確之說明是針對透水混凝土本身或是對於路基。 B. 請說明為何要施作粒徑大小分析、土壤分類與土壤 Proctor 試驗，似並未與透水混凝土有直接關係。	謝謝建議指正，一、對透水混凝土施工前檢驗，主要是針對路基土壤。二、有關土壤分析與路基透水性質對透水混凝土計畫影響特別重要，相關的試驗有粒徑大小分析 (ASTM D422)、土壤分類 (ASTM D2487) 與土壤 Proctor 夯實試驗 (ASTM D698)，藉由上述試驗資料可提供設計者必要的資訊。
3. 透水混凝土施工中檢試驗：目視無法判斷垂流，因為透水混凝土最薄鋪設厚度應在五公分左右，而肉眼根本無法看底部是否有垂流。而施工中驗證單位重是否有意義？	謝謝建議指正，目視無法判斷垂流，但可藉由圖 3.1 透水混凝土不同含水量是否結球行為來輔佐判斷是否會垂流，有關施工中驗證透水混凝土之單位重特別重要，新拌混凝土搗實壓密之水準和單位重與抗壓強度有直接的關係。
4. 透水混凝土施工完成後試驗 A. 本單元文中提及透水混凝土施工完成後試驗項目包含孔隙率，但孔隙率之試驗方式採何種規範。 B. 本單元文中敘述『其他試驗包含	謝謝建議指正，一、目前 ACI 522R-06 並無孔隙率驗收規定，硬固混凝土孔隙率之試驗方式可採用排水體積法之原理，依據日本混凝土協會下屬的『環保型混凝土研究委員會』於 1998 年提出的『多孔混凝土性能試驗方法草

顧問專家建議意見	意見答覆
抗壓強度、抗彎強度與透水率等，目前並無標準試驗可適用透水混凝土直到新試驗標準發展完全，有關新發展瀝青混凝土鋪面現地透水透水試驗也許可以適用透水混凝土』。若無規範ACI如何進行試驗，並且將其試驗解果之圖放於 ACI522R-06上。	案』規定的試驗法作孔隙率測定。二、由研究初步發現瀝青混凝土鋪面現地透水透水試驗與儀器可以適用於現地透水混凝土檢驗，一般透水試驗有二種方法，各有用途：實驗室內用定水頭試驗法，可計算出透水係數，此為ACI522R-06之方法；工地用為變水頭法，用於工地檢驗。

附錄五

透水混凝土路面試鋪作業 規劃意見答覆書

試鋪防波堤和路面配置與細部規劃座談會
座談委員簽到單

開 時 間	民國98年9月8日上午九 時至中午十二時30分	地點	朝陽科技大學 理工大樓E-520	午餐：一般(○) 或素食(◎)
出席人員 (簽名)	顏聰特聘教授 陳進發處長 陳式毅所長 高邦基組長 吳啟東總工程司 羅振中組長 蔡清標教授 蘇南教授 楊仲家教授 李釗教授 黃添坤教授 陳桂清研究員 張道光研究員 邱垂德教授 黃怡碩教授 李明君教授 陳麗寧 張永氣 賴明志 林國富 江孝蓮	請假 請假(附審查資料) 請假 請假 請假(附審查資料) 請假 請假 請假(出國) —— 張道光 邱垂德 黃怡碩 李明君 林依陽 江孝蓮		
備 註				

顧問專家建議意見	意見答覆
一、羅振中工務組長建議意見	
1. 透水性鋪面就水資源保育及消減洪峰流量而言，有正面助益，保水設計值 λ 之訂定，有助於相關單位就土地開發時空地、廣場或畸零地設置透水性鋪面之建議或要求有一標準化之定量依據參考。	謝謝寶貴的建議。
2. λ_c 之訂定，宜再參考相關案例或標準，俾符合需求並兼顧經濟性。	正是保水設計之訂定，美國 PCA 協會有透水混凝土水文分析程式計算。
3. 相關區域涉及土石流淺勢區或不許地下水位過高及土壤含水量過高之區域（如山坡地擋土牆結構物上方廣場、地滑淺勢區），需加強排水，俟不宜要求設置本透水性鋪面。	謝謝建議。
4. 硬固透水混凝土抗壓強度低（約 150kgf/cm^2 ）尤其規範七日後可對外開放，混凝土強度恐僅約 70kgf/cm^2 容易破壞，若強度成長期間受應力產生裂縫無法復原，建議開放時間延長。	謝謝建議，若七日後可對外開放，但是重車不得進入。
5. 本設施孔隙率甚高，降雨時雨水經過各 15 公分之透水混凝土及碎石級配，將造成路面基飽和含水，載重時超額孔隙水壓造成有效應力降低，承载力折減，建議加強硬固透水混凝土抗壓強度。	強度與孔隙不容易兼得，透水混凝土鋪面強度低於一般傳統水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等。
二、蔡清標教授建議意見	
1. 建議可嘗試評估透水混凝土的逕流係數，及對鋪面表面溫度之降低作用，前者對能承受的暴雨	謝謝教授您寶貴的建議，對於鋪面的表面溫度目前有學生的論文是針對這方面的研究，先在實驗

顧問專家建議意見	意見答覆
量評估有幫助，而後者有助益於綠色環境之營造。	室裡觀察其試體的升降溫度變化；至於逕流係數方面會再多方查詢比對透水混凝土應歸類於屬於何種徑流系數，以幫助評估可承受的暴雨量。
三、高邦基教授建議意見	
1. 請補充說明試鋪計畫之緣由。	謝謝您寶貴的建議。
2. 試鋪透水混凝土之配比設計、澆置拌合、骨材供應等之施作計畫可再補充。	目前正研擬透水混凝土材料與施工規範，將納入說明。
3. 透水混凝土未來商業化之契機。	透水混凝土是綠建材可永續經營，將是未來商業化之契機。
四、楊仲家教授建議意見	
1. 請確認透水混凝土層之厚度為 15 cm 或 20cm (4-7 頁)	謝謝寶貴的建議，此為筆誤，以 20cm(4-7 頁)為正確的尺寸，原設計本以 15cm 為設計尺寸，但後來與建築師討論後認為改以 20cm 的設計厚度有較佳的承載力。
2. 請說明透水混凝土與一般混凝土厚度比例選擇之方法。	由於透水混凝土的強度本身就較低於一般混凝土，因此透水混凝土的厚度會較一般混凝土為厚，但實際尺寸必須根據配比來決定。
3. 請說明水膠比 0.25~0.35 之選取原則。	水膠比 0.25~0.35 是根據文獻與實驗室所做出的最佳配比，取其上下區間所決定出來的，由於招標案不能硬性規定其配比，因此給其一範圍。
4. 請確認並說明施工縫及最小鋸縫之差異 (4-9 頁)，並考量裂縫成長之可能性。	透水混凝土伸縮縫施作有兩個時機，其一是在施工完成後，於施工鋪面以 3 至 6 公尺距離切鋸一道伸縮縫以防止熱脹冷縮，另一是或於新拌混凝土鋪面壓實完成

顧問專家建議意見	意見答覆
	後馬上製作伸縮縫，此兩者最小鋸縫有所差異。若以切鋸法鋸出的最小接縫寬度應為 3 mm。
五、陳世毅所長建議意見	
以透水混凝土構築路面，在施工技術上應該可行，惟以下各點建議注意： 1. 注意透水之去處，若係透往基底層，會降低其承載力。 2. 透水混凝土路面應該比較通用於自行車道或人行道等輕承載路面，用於汽車道有承載力不足之顧慮。 3. 透水混凝土路面之孔隙容易被落塵等填塞，其清除非常困難。 4. 用作汽車道或停車場時，除靜態強度之外，宜兼注意耐撞擊及磨損能力。	謝謝所長寶貴的建議，試鋪的停車場地點已設計：每 2m 留一支 2 英吋ϕ 的 PVC 排水管，用於將多餘的水分排入邊溝，以避免降低土壤的承載力；一般透水混凝土路面堵塞造成透水能力下降至一定範圍，應進行維護保養，例如高壓水沖洗和真空吸塵清掃，至於未來維護方面將於繼續收集資料與數據再說明。
六、李釗教授建議意見	
1. 本案屬試鋪性，為提昇成功率建議採 overdesign 在部分鋪面內部加設經防蝕處理之點銑鋼絲網降低將來產生裂縫何緩和裂縫延伸的機會。執行時若量夠大，可嘗試不同的鋪面設計方式，並妥擬適當的監測評估方法，使本案執行時亦可保持透水鋪面的設計方法。	謝謝老師您寶貴的建議，如此將會大幅增加工程造价，不知公路總局是否願意配合。
2. 討論鋸縫寬度是否須 15mm，鋸縫是否須填縫？	應為筆誤鋸縫寬度是 3mm，鋸縫之後不需填縫。

顧問專家建議意見	意見答覆
3. 先預擬透水孔隙阻塞後如何處理。	高壓水沖洗和真空吸塵清掃處理，阻塞維護方面將繼續收集資料與數據再說明。

附錄六

防波堤試鋪透水混凝土作業 規劃意見答覆表

試鋪防波堤和路面配置與細部規劃座談會
座談委員簽到單

開 時 間	民國98年9月8日上午九 時至中午十二時30分	地點	朝陽科技大學 理工大樓E-520	午餐：一般(○) 或素食(◎)
出席人員 (簽名)	顏聰特聘教授 陳進發處長 陳式毅所長 高邦基組長 吳啟東總工程司 羅振中組長 蔡清標教授 蘇南教授 楊仲家教授 李釗教授 黃添坤教授 陳桂清研究員 張道光研究員 邱垂德教授 黃怡碩教授 李明君教授 陳建宇 張家毓 賴明志 林依陽 江孝豐	請假 請假(附審查資料) 請假 請假(附審查資料) 請假 請假 請假 請假(出國) — 張道光 邱垂德 黃怡碩 李明君 林依陽 賴明志 江孝豐		
備 註				

顧問專家建議意見	意見答覆
一、羅振中工務組長建議意見	
1. 本作業規劃內容 3-2 頁中，沉箱式混成提請更正為沉箱式合成堤；50~100cm 厚的”A”石料請更正為 50~100cm 厚的”A”塊石料；沉箱的通石基礎整平請更正為沉箱的拋石基礎整平；臺中港基礎整平應更改為臺中港沉箱基礎整平。 3~3 頁中頂部覆蓋混凝土塊請更正為頂部覆蓋場鑄混凝土。 3~5 頁中...兼顧現有生態環境的前提下，請更正為兼顧現有生態環境的前提下。	感謝指正，遵照辦理。
2. 規劃試鋪透水混凝土作業方向尚未可行，為應對海象資訊，潮汐變化時間應及時掌控，俾可進一步安排施工方式，採何時段施工，否則所鋪混凝土未達足以能夠抗拒潮汐海浪之初凝強度，即遭破壞而徒勞無功，增加工程等施作成本。	試鋪前之海象資訊與潮汐變化應納入考量，再請臺中港務局提供資訊，謝謝！
3. 在港內管制區內其施工過程之聯繫，機具人員調配運用需配合海象潮差之有限時間內施工，其中各個期程運作，應預先探討研擬溝通定案依據進行，俾可降低突發情況之風險如期完成任務。	規劃第 3 年防波堤透水混凝土試鋪工程計畫將包括編訂詳細施工計畫書，品質管理計畫書及透水混凝土鋪面工程之基、底及面層所使用材料之配合設計報告書等。
4. 大面積之混凝土請考慮施工縫。	感謝建議，可考量納入辦理。
二、蔡清標教授建議意見	
1. 建議在鋪面選址前，先予說明本試鋪作業之試驗目的，及試驗測量項目。	本試鋪作業之試驗目的在於檢驗透水混凝土是否具有消波的特性，量測項目將包括混凝土透水性、表面溫度量測、海堤上之波浪溯升(run-up)之觀測等。

2. 目前選擇 15.16 號碼頭轉角，承受波浪作用較不明顯，是否可達到作業之目的，建議應予以評估。	由於 15 與 16 號碼頭轉角位在港內，受風浪影響小；這是港務局人員建議較許可的位置。
3. 試鋪作業對原設施的影響如何，建議最好亦有評估說明。	規劃第 3 年為防波堤透水混凝土試鋪工程與第 4 年為防波堤透水混凝土試鋪評估計畫將有詳細說明。
4. 如未來應用對象是海堤時，鋪設透水混凝土對海堤內部的影響，建議未來可列為研究之評估項目。	感謝建議，可考量納入辦理。
5. 如未來未能在臺中港進行試鋪作業，建議可以在水利署河川局列管的海堤，或地方政府列管的漁港防波堤。	
6. 如為評估消波功能，則建議在實驗室進行，較為可行。	
三、高邦基組長建議意見	
1. 防波堤採用透水混凝土預期達成之效益	預期希望達成散熱迅速的效果與消波之效能。
2. 透水混凝土未來商業化之契機	透水混凝土是永續經營綠建材，將是未來商業化之契機。
3. 防波堤之選址之準則（要求）	說明如 3.1 防波堤之選擇。
四、楊仲家教授建議意見	
1. 請考量透水混凝土適用於何種方式之防波堤。	依據顧問團專家蔡清標教授建議透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤、護岸、潛堤及人工潛(漁)礁等。
2. 請考量透水混凝土於防波堤防浪之功效，並與一般混凝土做比較。	感謝建議，可考量納入。
3. 請考量透水混凝土於防波堤防砂之功效。	感謝建議。
4. 請說明試鋪防波堤選址之主要原則。	說明如 3.1 防波堤之選擇。

5. 建議以大型室內試驗取代試鋪作業。	規劃第3年為防波堤透水混凝土試鋪工程與第4年為防波堤透水混凝土試鋪評估計畫，若要改為大型室內試驗，應徵詢業主與委員會同意。
五、陳世毅所長建議意見	
1. 對於巨浪之消能應該主要依賴防波堤之巨觀結構，如適當之造成孔洞，透水混凝土僅有表面之細小孔隙，對消能幫助不大。	感謝建議，對於消能方面將有學生的論文研究，先於實驗室試驗其透水混凝土與一般混凝土相較消能的效果。
2. 防波堤位處潮間帶，常會乾濕交替，又受海水作用，容易造成混凝土劣化，透水混凝土需要大量孔隙，必然加速其劣化反應。但若施作為人工海礁，透水混凝土可能會吸引海生物附著，或許值得嘗試。	感謝建議依據蔡清標教授建議透水混凝土預期可應用於海岸結構物，如海堤、護岸、潛堤及人工潛(漁)礁等，應值得嘗試。
六、李釗教授建議意見	
1. 本案屬試作性研究，若以防波堤功能而言，使用透水混凝土的成功率，將被波浪作用力大小與透水混凝土的強度而定。在初期且若案量夠大，可考量在部份位置加裝耐腐蝕的地工織物類或fiber的補強材料。	謝謝寶貴的建議，現地的試鋪應可加入補強材料。
2. 建議妥擬量測監測項目。	試鋪監測項目將包括混凝土透水性、表面溫度量測、海堤上之波浪溯升(run-up)之觀測等。
3. 若透水混凝土是作為重力式堤防，建議考量相關影響。	雖然透水混凝土的重量要輕於一般混凝土，但其重量用於重量式堤防其重量是足夠的，且具有生態工程的效果。
4. 可考慮做少量消波塊。	謝謝建議，可考量納入。
5. 考慮乾溼循環時透水混凝土的影響。	謝謝建議，可考量納入監測項目。

附錄七

材料與施工技術規範

透水水泥混凝土鋪面

1. 通則

1.1 本章概要

- 1.1.1 說明透水水泥混凝土鋪面 (以下簡稱透水混凝土鋪面) 工程中之材料配合設計、檢驗、施工及養護等相關規定。
- 1.1.2 透水混凝土鋪面應可使雨水直接滲入路基，具有使水還原於地下之性能，可減輕排水設施負擔、延緩逕流量並可減緩熱島效應，進而達到生態效益。
- 1.1.3 透水混凝土鋪面強度低於一般傳統水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等，為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層 (如黏土層) 及裸露地有大量鬆散砂土等地區。依據 ACI 522R-06 透水混凝土適用範圍大致分為：(1)停車場的透水鋪面和步道，(2)大賣場室外的剛性透水鋪面，(3)溫室地版，用以防止積水，(4)輕量或具隔熱性能的結構牆體，(5)需具有良好吸音性能的鋪面、牆體及樓版，(6)都市道路、鄉村道路、公路或機場之底層，(7)休憩園區，(8)人工漁礁等其它適宜使用結構物。

1.2 工作範圍

- 1.2.1 透水混凝土鋪面之一般設計及施工要求。
- 1.2.2 基層、底層、面層材料之鋪築及壓實。

1.3 相關章節

- 1.3.1 第 02794 章--透水性鋪面

1.3.2 第 03052 章--卜特蘭水泥

1.3.3 第 03053 章--水泥混凝土之一般要求

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

(1)CNS 61 R2001 卜特蘭水泥

(2)CNS 386 試驗篩

(3)CNS 1174 混凝土單位重試驗法

(4)CNS 11777-1 土壤含水量與密度關係試驗法

(5)CNS 6298 A1026 道路用碎石

(6)CNS 3036 卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物

(7)CNS 12549 混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣粉

(8)CNS 12223 水淬高爐爐渣

1.4.2 美國混凝土協會 (ACI)

(1)ACI 522-06 透水混凝土

(2)ACI 522.1-08 透水混凝土鋪面規範

1.4.3 日本道路建設協會

(1)排水性鋪裝技術指針

1.5 定義

1.5.1 透水混凝土鋪面係使雨水通過人工鋪築之透水混凝土面層，直接滲入路基，具有使水還原於地下之性能。透水混凝土為由水泥、粗粒料、少量或無細粒料、摻料與水等所組成。粗粒料為單一粒徑粗粒料或級配顆粒介於 9.5~19 mm 或 4.75~9.5 mm 之間。並以一般波特蘭水泥為主要膠結料；除此之外，亦可使用卜作嵐材料如飛灰、爐石粉與矽灰亦應符合 CNS 3036、CNS 12223 與 CNS12549 相關規定。藉由粗粒料表面的水泥砂漿體，使粒料表面接觸互相膠結而發揮強度，同時形成多孔隙的結構體，提供透水功能。

1.6 施工所需資料送審

透水混凝土鋪面施工前應根據契約於規定日期內，根據契約所訂工期，承包商應編訂施工計畫書，品質管理計畫書及透水混凝土鋪面工程之基層、底層及面層所使用材料之配合設計報告書，提送工程司核定，施工中並應嚴格控制生產與施工品質及數量。

1.6.1 品質管理計畫書

1.6.2 施工計畫書

1.6.3 廠商資料

1.6.4 材料應提送樣品

1.6.5 各項檢驗及試驗報告

2. 產品

2.1 設計概要 (註本節僅供設計參考，非施工強制規定)

2.1.1 透水混凝土 (pervious concrete)

透水混凝土鋪面由下至上，分別由基層、碎石級配底層及透水混凝土面層等三層所構成，各層之規定性質需符合設計圖說，其原則如下：

- (1)基層：由原來土壤構成，土壤具有良好之透水性。
- (2)碎石級配底層：一般的碎石級配底層。
- (3)透水混凝土面層：厚度視使用需求而定，一般約為 15cm 厚。藉由配合設計與製程控制其特性以達適合之強度、高透水性、無析離等工程需求，抗壓強度約在 800psi (5.6MPa) ~ 4000psi (28MPa) 之間。

2.2 材料之一般規定

2.2.1 底層材料

(1)人行道

人行道的底層材料，使用一般碎石級配。通過 ASTM 40 號篩 (孔徑 0.425mm) 的部份，塑性指數須小於[6]。建議的級配粒徑如下表：

人行道碎石級配表

名稱 \ 試驗篩(mm)	通過重量百分率(%)				
	25	19	9.5	4.75	2.36
碎石級配	[100]	[90~100]	[20~55]	[0~10]	[0~5]

(2)停車場、廣場等其他路面

底層材料可使用一般碎石級配，與人行道之底層材料相同，修正 CBR，基層定為[20%]以上，底層定為[60%]以上，

通過 40 號篩的部份，其塑性指數在基層定為[6]以下，在底層定為[4]以下，上鋪透水混凝土面層。

2.2.2 透水混凝土面層材料

(1)膠結材料：膠結材料可包含水泥與礦物摻料，水泥為主要膠結材料，水泥應符合 CNS 61 [波特蘭水泥]相關規範，礦物摻料的添加主要是要提高透水混凝土的性能，使用礦物摻料如矽灰、高爐石粉或飛灰等應符合 CNS 3036、CNS 12223 與 CNS12549 相關規定。

(2)粒料：粒料之品質需符合 CNS 6298 A1026 道路用碎石之規定，粗粒料為單一粒徑粗粒料或級配顆粒介於 9.5~19 mm 或 4.75~9.5 mm 之間，國內常用碎石級配 (6 或 7 號) 也納入使用範圍，其性質要求與級配如下表所示。由於細粒料 (砂) 將填塞透水混凝土阻斷孔隙系統，細粒料與含泥量應受到限制。

粗粒料性質要求表

項 目	規 定
比重	2.45 以上
吸水率%	3.0%以下
磨損率%	30.0%以下(洛杉磯)

碎石粒徑級配表

稱號	粒徑範圍 mm	通過篩網之重量百分率(%)					
		25.0mm	19.0mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm
S-13(6 號)	13-5	100	90~100	20~55	0~15	0~5	-
S-5 (7 號)	5-2.5	-	100	90~100	40~70	0-15	0~5

(3)透水混凝土配比：典型透水混凝土主要是由水泥、粗骨材、少量細骨材、摻料與拌合水等所組成低坍度之拌合料，摻

料之使用須符合本規範第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之有關規定辦理。透水混凝土空隙率範圍介於 18 至 35% 之間，28 天抗壓強度範圍介於 800 至 4,000 psi (5.6 至 28 MPa) 之間，典型透水混凝土透水係數範圍介於 0.1 至 1.22 cm/sec，工地透水試驗應達 400ml/15sec 以上。水灰比或水膠比的選取以能充份包裹骨材而不產生垂流現象為原則，通常介於 0.25 至 0.45 間，典型透水混凝土其單位重介於 100 與 125 lb/ft³ (1,600 與 2,000 kg/m³) 間，典型透水混凝土配比材料範圍如下表。

典型透水混凝土鋪面配比的材料範圍表

	膠結料(B)	骨材(A)	水膠比 (W/B, 重量)	骨材膠結比 (A/B, 重量)	細粗骨材比 (F/A, 重量)
材料用量 (kg/m ³)	270 ~ 415	1190 ~ 1500	0.25 ~ 0.45	4 ~ 4.5	0 ~ 0.5

2.3 工廠品質管理

水泥、粒料、摻料及新拌透水混凝土材料，應依中華民國國家標準（CNS）、美國州公路及運輸官員協會（AASHTO）或美國混凝土學會（ACI）最新修訂之試驗方法，若設計圖說無特別規定時，可依第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之規定，分別辦理材料之各項試驗。

3. 施工

3.1 透水混凝土之設計及基層、底層施工要求

(1) 施工計畫

透水混凝土鋪面之施工計畫類同普通混凝土鋪面工程之施工計畫，因細粒料與漿量較少，工作度差(接近零坍

度)，水泥漿包覆骨材表面與空氣接觸面大，故施工時應「迅速」施作；須注意事項如下：

- A. 施工時避免逕流挾帶泥砂進入施工地點。
- B. 模板可使用木板或金屬模板，並且與鋪築路面厚度一致。模板需有足夠的承載力和穩定性以支撐路面及機械設備荷重；現有水泥混凝土路面邊緣也可作為模板使用。
- C. 混凝土澆置完成後，施工車輛及重型機具均應限制進入，以確保混凝土的結構和滲透性完整。防止水由未完成施工區域或周邊路面漫流過透水混凝土版，設置適當形式的路邊緣石以防止透水混凝土版的邊緣過度磨損，並應清楚地標示透水混凝土區域。

(2) 路基

- A. 依照契約文件規定準備整理好路基。
- B. 在施工期間應盡可能管制交通荷重壓過整理好的路基。經施工車輛及機具滾壓過的路基，應視情況做必要的重新整理再壓實。
- C. 整理後的路基應經壓實且保持在正確的設計高程面。
- D. 鋪築混凝土鋪面前，應檢測路基的透水性；確認路基透水性符合契約文件的要求。
- E. 降雨時避免雨水進入工地。

(3) 基層與底層

- A. 在契約文件規定要鋪築基層時才鋪築，且應依契約文件要求的方法及材料鋪築基層。
- B. 人行道
 - a. 底層用小型推土機或人工攤鋪，在適宜含水量情況下，用小型壓路機滾壓，須注意到適當的密度和透水

能力。

C. 停車場、廣場等其他路面

材料的析離影響底層的透水功能很大，因此在攤鋪時必須充分注意。因此，在攤鋪過程中，要注意滾壓的厚度，一層約為 20cm，超過 20cm 時需要分兩層攤鋪，由於碎石所鋪成基、底層被視為儲水層，碎石須經清洗，另在鋪面層前，需要保持其底層表面清潔，防止被灰塵、泥土、垃圾等污染。

a. 基層：基層的材料，採用一般的碎石級配如 2.2 材料之一般規定，其施工要點如人行道底層，滾壓時使用雙輪或三輪壓路機進行壓實。

b. 底層：底層材料採用一般碎石級配如 2.2 材料之一般規定，可按照基層的施工方法進行。

3.2 透水混凝土面層

(1) 模板組裝

- A. 設置、組裝、及釘牢模板，以期混凝土硬固後的外觀尺寸能符合契約文件要求。
- B. 模板內側 (與混凝土接觸側) 應均勻塗抹脫模劑。
- C. 可以用前次澆置混凝土的垂直面做為模板面。
- D. 鋪築寬度應依照契約文件的規定鋪築，且除非另有規定，否則鋪築寬度不得大於 6 公尺。

(2) 運輸與澆置施工

運輸時間不宜過長，拌合卡車或攪拌車至現場後需迅速澆置，透水混凝土工作度較低 (接近零坍度)，不適合泵送方式施工，為避免工作性喪失，可藉由拌合卡車或預拌

車尾端直接卸料澆置透水混凝土。若天氣太熱，則拌合卡車可至工地再加強塑劑拌合。除非另有規定，否則應直接將透水混凝土卸出澆置在預先澆溼的路基或基層上；當點位較遠無法直接卸料在定位時，則應採用輸送帶運送混凝土至正確的點位上。

(3)攤平施工

拌合卡車或預拌車需到達定位後再行下料，避免長距離移動拌合料。在攤鋪攤平階段，藉由耙子攤平透水混凝土，使完成面整平，以利壓實後表面美觀及方便使用。

(4)壓實施工

- A. 進行攤鋪工作後，以架在模板兩端的鋪築機具 (a form-riding paving machine) 或震動刮板 (vibrating screed) 進行搗實整平新拌透水混凝土。其它修平機具則應在核可後才可以使用。
- B. 不得使用高能量振動棒，亦不要使用鋼製鋤刀或任何電動鋤飾機具，可以使用滑模機 (Slipform equipment) 進行澆置鋪築與成型鋤飾。一般使用平板振動機或振動刮板進行搗實整平後，再以滾筒採重力壓實方式進行，滾筒最小垂直壓力為 10psi (0.07MPa)。
- C. 滾筒之寬度應大於施工面寬度，一般 3.7m (12 ft) 道面寬所使用大滾筒之重量約 270kg 至 320kg (600 至 700lb)；小區域鋪面可使用較小滾筒之重量約 90kg 至 140kg (200 至 300lb)，縱向滾壓之後，可再進行二次橫向滾筒壓密透水混凝土，以提高鋪面平坦度。
- D. 修飾混凝土面，以使鋪築厚度及高程符合契約文件規定，角落外觀修飾必須在尚有工作度時迅速進行，可以

鋤刀邊飾透水混凝土以改善角落外觀。上述澆置、平板振動機攤平搗實、滾筒壓密、修飾與工作縫處理應於透水混凝土混合料加水拌合開始計時至一小時內完成，若有使用緩凝劑或天氣濕冷許可條件下，可延長至 90 分鐘內完成。

(5)接縫施工

除非另有規定，應依照契約文件內指定的位置、深度、及平面尺寸接縫施工。透水混凝土鋪面伸縮縫、施工縫及分隔縫可在施工中或施工後進行，僅有在鋪面版與建築物、基礎結構物、或人孔結構物相接時，才可使用分隔縫；分隔縫的深度應達全部版厚，且應以隔絕材料填滿。伸縮縫間距應小於 6 公尺，以防止熱脹冷縮，於新拌混凝土鋪面壓實完成後製作伸縮縫，即在未完全硬固前進行切縫，切縫工具是一種特別設計滾筒切縫附有刀鋒，切縫深度約為 1/4 至 1/3 版厚，可進行橫向與縱向切縫。若使用一般鋸縫法，應待混凝土擁有足夠強度，鋸縫時不會引起毛邊或崩塌，且能在混凝土產生伸縮裂縫前鋸縫，其鋸出的最小接縫寬度應為 3 mm，而採用提早進場的乾鋸刀鋸縫時，鋸縫深度應達 25 mm 以上。

(6)養護施工

一般混凝土的養護常使用漫淹方式澆水在表面，透水混凝土之養護因孔隙率關係，水份無法保持在表面，故常以厚度 6mil (0.15mm) 的厚聚乙烯塑膠布緊密覆蓋鋪面，為避免乾縮裂縫，只有在進行切割作業時，才可以將養護覆蓋塑膠布移開；塑膠布的最小寬度應能覆蓋整個鋪面寬度。初期淋水時水柱不得過強，一般要求透水混凝土鋪面滾壓夯

實施作完成後，應於二十分鐘內進行養護，透水混凝土滾壓後使用塑膠布覆蓋養護鋪面，避免泥土、砂、鋸屑與細料污染或堵塞透水混凝土孔隙；一般要求透水混凝土鋪面應全程使用塑膠布覆蓋養護且至少養護 7 天後，工程司或建築師認可後方能對外開放交通。

3.3 檢測

施工前、中、後，對各層材料品質、鋪設厚度及透水性等均須加以檢測，以求符合規定。

(1)路基基層滲透性（工地透水試驗）宜於設計階段辦理，施工前對所用材料須就級配、潔淨、單位重、強度及透水係數加以檢測是否符合本章 2.2 節材料之規定。

(2)施工中及完工須進行厚度、級配、平坦度、單位重及滲透性等項目檢測有關其頻率及標準要求範圍參考下表。

檢測表

工 種		項 目	次 數	標準要求範圍
施工前	路基基層	滲透性(工地透水試驗)	每隔 1000m ² 一次	設計階段辦理
	透水混凝土	配比與試拌	每配比一次	依設計圖說
施工中	路基基層	符合標準的滾壓	隨時	依設計圖說
	碎石底層	厚度	每隔 20m 一處	+24mm & -6mm
		含水量	隨時	依設計圖說
		壓實度	每 500m ² 一次	93%以上
	新拌透水混凝土面層	取樣(試體製作)	每隔 20m, 一處	依設計圖說
		級配	每 1000m ² 一次	依設計圖說
		單位重	每 1000m ² 一次	設計值之±80 kg/m ³
		外觀(垂流與否)	隨時	視判識

施 工 後	新拌透水混凝土面層	厚度	每隔 20m, 一處	+24mm & -6mm
		強度	每 1000m ² 一次	依設計圖說
		單位重	每 1000m ² 一次	設計值之±80 kg/m ³
		伸縮縫深度	每隔 20m 一處	±10mm
		滲透性(工地透水試驗)或	每 500m ² 一次	400ml/15sec 以上 或
		透水係數		10 ⁻² cm/sec 以上

3.4 管理與維護

- (1)鋪面完工前四個月，每月檢視一次，往後每年檢視四次。
- (2)於大雨後即刻檢視表面是否積水，若發現鋪面嚴重阻塞，需翻修。
- (3)透水鋪面強度較弱，應設置告示牌禁止重型車進入，避免不當使用造成結構破壞。
- (4)鋪面應避免堆置砂土及其它粒料或粉狀物料和含泥砂之車輪進入，以免破壞鋪面透水性。
- (5)鋪面周圍地面應種植草皮，避免裸露地之砂土進入。
- (6)鋪面若接受臨近地區排水，應視需要設置前處理設施，以去除漂浮物及沉渣，延長鋪面使用壽命。
- (7)鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應即進行清洗。
- (8)鋪面每年清理兩次，使用吸塵及高壓水柱沖洗兩道程序。

4. 計量與計價

4.1 計量

以現場完成並經驗收之各種材料厚度以[立方公尺][]為計量單位。

4.2 計價

付款應按契約詳細價目表所列之單價計付。單價包括一切人工、材料、機具、設備、運輸及其現場構築之透水混凝土鋪面工程所需之附屬工作，包括模板之供應與架設、伸縮縫之裝置等。

〈本章結束〉

附錄八

透水混凝土鋪面材料與施工技術 規範研擬座談會意見答覆表

透水混凝土材料與施工技術規範研擬座談會
座談委員簽到單

開 時 會 間	98年10月14日上午十時30分 至中午十二時30分	地點	朝陽科技大學 理工大樓E-520	午餐: 一般(○) 或素食(◎)
出席人員 (簽名)	顏聰特聘教授 陳振川副主任委員 陳進發處長 陳式毅所長 高邦基組長 羅振中組長 蔡清標教授 蘇南教授 楊仲家教授 李釗教授 黃添坤教授 陳桂清研究員 張道光研究員 邱垂德教授 黃怡碩教授 李明君教授 陳漢中 賴明志	張聰 請假 請假 出國(附意見表) 高邦基 請假(附意見表) 出國 蘇南 楊仲家 李釗 黃添坤 請假 請假 請假 黃怡碩 李明君 林岱陽 江文達 林慶豐 張家豪		
備 註				

顧問專家建議意見	意見答覆
一、陳式毅所長建議意見	
1. 1.4 相關準則：建議列入全文所用之全部文件，且所列入者應全部在文中出現。目前尚頗有差異。	謝謝建議指正。
2. 1.5.1：文中之 CNS3036[混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攪和物]內容僅列「飛灰」之標準，是否適用於文中所示「爐石粉」及「矽灰」頗可疑，引用名詞建議用標準名詞，如「爐石粉」建議改用「水淬高爐爐渣粉」（有 CNS12549[混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣粉]），若要用俗名「爐石粉」，建議先加以說明，如：第一次出現時用「水淬高爐爐渣粉」（以下簡稱爐石粉）。	接受建議 1.5.1：使用卜作嵐材料如飛灰、爐石粉與矽灰亦應符合 CNS 3036、CNS 12223 與 CNS12549 相關規定。
3. 1.5.1：最後第 2 行「固結」建議改為「膠結」。	接受建議。
4. 2.1.1：第 1 行「路基層」建議修正為「基層」。 （1）之定義內容為路基，若係指「路基」，則非路面結構，後續條文顯示為「基層」前後不一致。 （2）所列抗壓強度及滲透係數為概略值，似僅供參考，宜有說明。施工規範一般不列 2.1 設計概要，若要列入，請加註本節僅供設計參考，非施工強制規定。	接受建議，「路基層」建議修正為「基層」。2.1 設計概要，加註本節僅供設計參考，非施工強制規定。

顧問專家建議意見	意見答覆
5. 2.2.1：引用試驗篩規格請改用 CNS386 標準。	謝謝建議指正改用 CNS386 標準篩。
6. 2.2.2 (1)：經查無 CNS12283 標準，是否為 CNS12223[水淬高爐爐渣]之誤？若是，CNS 項目亦不完整，理由同意見二。	接受建議 2.2.2 (1)：使用卜作嵐材料如飛灰、爐石粉與矽灰亦應符合 CNS 3036、CNS 12223 與 CNS12549 相關規定。
7. 2.3.1：籠統指 CNS、AASHTO、ACI 最新修訂之試驗法非常不恰當。全文所列各項要求宜逐一列出明確合格標準及試驗方法，含透水係數之試驗法。	謝謝建議指正，本節僅依據公共工程委員會施工綱要規範 02794 章 2.3.1 試驗說明研擬。
8. 3.1 (1) C：「現有路面邊緣」建議修正為「現有水泥混凝土路面邊緣」。	接受建議修正。
9. 3.1 (3) C：所指「一般碎石級配」為何？請明列要求標準。	採用一般的碎石級配如 2.2 材料之一般規定。
10. 3.2 (2)：「拌合卡車或預拌車」建議參照 CNS3090[預拌混凝土]11.3 修正為「拌合卡車或攪拌車」。拌合車 (truck mixer) 與攪拌車 (agitator) 不同，預拌車為俗名。	接受建議修正。
11. 3.2 (5)：「鋪面壓時完成馬上製作切縫」可能太早了，可能容易引起毛邊或崩塌。「刀鋒約為 1/4 至 1/3 版厚」是否為「切縫深度約為 1/4 至 1/3 版厚」。	感謝建議，重新考量依透水混凝土鋪面伸縮縫、施工縫及分隔縫來說明詳 3.2(5)接縫施工。
12. 3.3 所列各項檢測應明列檢測方法。	謝謝建議，本節僅依據公共工程委員會施工綱要規範 02794 章 3.3.1 檢測說明研擬。
13. 3.4 管理與維護：內容很重要，但似非施工規範之範圍。	同意。

顧問專家建議意見	意見答覆
二、羅振中組長建議意見	
1. 於第一頁透水混凝土應用範圍包括「... (6) 都市道路、...公路或機場之底層，(7) 停車場...等之面層，... (10) 海濱結構和海堤...」，建議第三頁第 2.1.1 透水混凝土第 (3) 款「...抗壓強度約在【400psi (3Mpa) ~4000psi(28Mpa)】」建議 400psi 調升為 800psi，原因如次： (1) 因應用範圍包括停車場之面層及海堤可能會有大型重量級車輛使用，抗壓強度建議調升。 (2) 國內目前使用控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials, 簡稱 CLSM) 應用於地下管線管線回填，臺灣地區原料為主並可於混凝土預拌廠實際生產，研發出一種抗壓強度介於 $10\sim 80\text{kg/cm}^2$ (143psi~1143psi)。雖然 400psi 介於其中，不過地下管線使用低強度混凝土位置應是屬於路面基層底下，何況是應用於停車場之面層，建議提高抗壓強度。	謝謝建議，同意將 400psi 調升為 800psi。
2. 第四頁 2.2.1 基底層材料「(1) 人行道...塑性指數需小於【6】」建議調整為【4】，依據細粒土壤 Casagrande 塑性圖當低塑性土壤 PI 值介於 4~7 之間，其工程性質介於粉土與粘土之間	人行道要求較不高，塑性指數需小於【6】可接受。

顧問專家建議意見	意見答覆
(CL~ML)。PI 值越大滲透性越小，建議調整為【4】。	
3. 第四頁 2.2.1 基底層材料「(2)停車場、廣場等其他路面：...修正 CBR，基層定為【20%】以上，底層定為【60%】以上...塑性指數在基層定為【6】...」，因考慮停車場有大型車及滲透性建議調整為「(2)停車場、廣場等其他路面：...修正 CBR，基層定為【40%】以上，底層定為【80%】以上...塑性指數在基層定為【4】以下...」。	當考慮停車場有大型車時可增加面層厚度以提高載重能力。
4. 第五頁 2.2.2...28 天抗壓強度介於 400 至 4000psi，建議調整為 800 至 4,000psi。	同意將 400psi 調升為 800psi。
5. 第九頁 3.2 透水混凝土面層 (6)「養護施工...，方能對外開放交通。」於其後建議加註「開放交通應坐視體抗壓強度達【 】 kgf/cm^2 之試驗」。	同意修改為至少養護 7 天後，工程司或建築師認可後方能對外開放交通。
6. 海濱結構與海堤為抵抗颱風波浪等極端氣象條件，本身結構所提供之重量與強度及越波量之控制至為重要，並直接提供海堤後生命財產之安全保障，有防災及國土保安之重要考量，且目前海堤壽齡提列約 30~50 年，亦須考慮將來維護性與耐久性。若以透水混凝土設計海堤因有抗傾覆之結構重量需求而須加大斷面，本身強度亦有疑慮並有維護問題，恐利不及費，宜慎重。有關『通則 1.1.3』透水混凝土應用	同意『海濱結構和海堤』結構安全至為重要，修改為『海濱構造物附屬設施』如人工漁礁等其它適宜使用結構物。

顧問專家建議意見	意見答覆
範圍與適用性包含『海濱結構和海堤』乙節，建議應定義為『海濱構造物附屬設施』，以強調其排水性能而非結構性能，將來推廣應用於海濱亦宜慎重。	
7. 『2.產品 2.1.1 透水混凝土設計 (2) 碎石級配底層』有關厚度視雨量設計強度而定乙節，過於模糊，建議有一檢索查對表以方便應用。另宜一併考量設計之降雨延時，俾利作區域性之排水設計。	有關厚度視雨量設計強度而定乙節，過於模糊，已有其他委員建議刪除。
8. 『3.3 檢測』中，路基基層滲透性（工地透水試驗）宜於設計階段辦理，以事先掌握地質條件，若於工程發包後施工前方檢測，因土壤滲透性不足恐衍生變更設計及追加碎石級配數量等缺失或履約爭議。	同意修改加入路基基層滲透性（工地透水試驗）宜於設計階段辦理。
三、黃添坤教授建議意見	
1. 1.1.2 ...”延緩洪峰流量”... 敘述是否適當，或許可改為降低水位類似名詞。	謝謝建議，修改為”可減輕排水設施負擔、延緩逕流量並可減緩熱島效應”。
2. 1.1.3 應用範圍是否針對國內實際可能之適用性，調整範圍內容。	謝謝建議，已修改調整範圍內容如 1.1.3 所示。
3. 2.1.1 碎石級配底層，厚度視雨量設計強度而定，是否不易遵循，400psi (3Mpa) 應為 (2.8Mpa) 另外滲透係數 1×10^{-3} cm/sec，是否過低。	有關厚度視雨量設計強度而定乙節，過於模糊，已有其他委員建議刪除。透水混凝土滲透係數已修正為 1×10^{-2} cm/sec 置於檢測表中。
4. 2.2.1 試驗篩 13.2mm 是否合宜，請檢討。	試驗篩 13.2mm 有誤，已修正。

顧問專家建議意見	意見答覆
5. 2.2.2 相同 2.2.1 問題，另外吸水率 3.0% 是否過高，請檢討。滲透係數 0.1~1.22cm/sec 為何不同 2.1.1 節 1×10^{-3} cm/sec，另外工地透水試驗 400ml/15sec，滲透係數大約多少應與 0.1~1.22cm/sec 有關連。	工地透水試驗 400ml/15sec，滲透係數 0.1~1.22cm/sec 並無直接關連，因滲透係數試驗量測垂直滲透排水，而工地透水試驗量測垂直與水平滲透排水。
6. 檢測表 施工前：次數每隔 1000m ² /次，應為次數每隔 1000m ² 一次。 施工中：厚度深度標準範圍 ±10mm，應依實際厚度而定。施工後平坦度：標準範圍 ±6mm，實際意義為何？是否太嚴格。	謝謝建議，(1) 已修正為次數每隔 1000m ² 一次。(2) 厚度深度標準範圍修正為 +24mm & -6mm。(3) 平坦度：標準範圍 ±12mm。
四、高邦基組長建議意見	
1. 透水混凝土鋪面建議改為透水水泥混凝土鋪面。	謝謝建議，已修改為透水水泥混凝土鋪面。
2. 1.1.3 範圍部分太廣，請就重點舉例說明。	謝謝建議，已修改調整範圍。
五、楊仲家教授建議意見	
1. 整體之文字請加以修飾。	謝謝建議。
2. 1.1.3 範圍部分，請就重點舉例說明。	謝謝建議，已修改調整範圍。
3. 文中提及之相關規範，請整合於 1.4 中，如 1.5.1 之 CNS3036。	相關規範整合中。
4. 請確認 2.2.1 中表中之篩的尺寸。	試驗篩 13.2mm 有誤，已修正。
5. 請考量刪除 2.1.1 (3) 後面部分文字。	已考量並刪除 2.1.1 (3) 後面部分文字。
6. 3.1 (1) 施工計畫章節，文中請修飾。	3.1 (1) 施工計畫章節，文中已修飾較簡化。
7. 建議整合 3.1 (3) B、C 人行道與停車場等的部份。	人行道、停車場等透水混凝土面層施工是一致，但其基層或底層受載重能力與工程規模不同不易整合。

顧問專家建議意見	意見答覆
六、李釗教授建議意見	
1. 路基、基層、底層、面層建議全文能有邏輯性的鋪陳，前後一致，並定義清楚。	感謝建議，2.1.1：第 1 行「路基層」修正為「基層」。2.1.1 與 2.2 已有修改。
2. 人行道、停車場等施工差異不大可整合。	人行道、停車場等透水混凝土面層施工是一致，但其基層或底層受載重能力與工程規模不同不易整合。
1. 接縫與伸縮縫的定義、功能及施工方法不同，建議重新考量。	感謝建議，重新考量依透水混凝土鋪面伸縮縫、施工縫及分隔縫來說明詳 3.2(5)接縫施工。
七、蘇南教授建議意見	
1. 1.6 資料送審建議改為施工所需資料送審較清楚。	感謝建議已修改。
2. 請確認 2.2.1 中表中之節的尺寸。	謝謝建議指正改用 CNS386 標準節。
3. 粗粒料磨損率%，建議加入試驗方法。	已加入洛杉磯試驗方法。
4. 有關對較不易滲透路基可用垂直排水孔，內填砂以助滲透或以地下排水管收集水或溢滿滲透水並導至滯洪池或過濾池。或可增設傳統蓄水系統以改善蓄水功能，級配料鋪設之前，蓄水系統的底部和邊緣需埋設過濾纖維，以防止下層土壤湧泉，過濾纖維鋪設時需攤平鋪滿，碎石級配於鋪設之前應徹底清洗乾淨，內容不妥因路基本層滲透性（工地透水試驗）宜於設計階段辦理。	感謝建議已將 3.2(1)路基 F 部分刪除。