

95-44-7186
MOTC-IOT-94-H1DA005

高性能混凝土應用於交通工程 之研究—透水混凝土(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國95年3月

95-44-7186

MOTC-IOT-94-H1DA005

高性能混凝土應用於交通工程 之研究 — 透水混凝土(1/2)

著者：張道光

交通部運輸研究所

中華民國 95 年 3 月

高性能混凝土應用於交通工程之研究—透水混凝土 (1/2)

著 者：張道光

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：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 95 年 3 月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 130 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：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009500751

ISBN：986-00-4809-6 (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份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：高性能混凝土應用於交通工程之研究—透水混凝土(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 986-00-4809-6（平裝）	政府出版品統一編號 1009500751	運輸研究所出版品編號 95-44-7186	計畫編號 94-H1DA005
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：張道光 研究人員：張道光 聯絡電話：04-26587119 傳真號碼：04-265713297 & 04-26564418			研究期間 自 94 年 01 月 至 94 年 12 月
關鍵詞：透水混凝土、高性能混凝土、生態工法			
摘要： 台灣多年來因為經濟發展的需要，進行各項交通工程建設，土地開發面積廣闊，使用不透水材料常發生暴雨積水災害，另港灣岸壁易造成反射而危害船隻停泊及安全，又或因地形狹長，無法保存珍貴的水資源，其影響程度非常巨大，為解決前述問題，參照國外經驗，實有針對國內交通建設工程類別探討採用透水混凝土條件、類別、施工法及效益之必要性。 本研究因94年度之預算經費短缺，研究時程則延後，其研究內容則著重在透水混凝土相關文獻的蒐集與分析。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
95 年 3 月	42	100	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: Application of High Performance Concrete to Transportation Engineering — Pervious Concrete (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 986-00-4809-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009500751	IOT SERIAL NUMBER 95-44-7186	PROJECT NUMBER 94 – H1DA005
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tao-Kuang Chang PROJECT STAFF: Tao-Kuang Chang PHONE: 04 -26587119 FAX: 04 -26571329 & 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2005 TO December 2005
KEY WORDS: Pervious concrete, High performance concrete, Eco-technology			
ABSTRACT: Being in need of Taiwan economic development in recent years, many transportation-related projects are under construction. Vast land exploitation and the use of impermeable materials have caused flood disasters ensuing tropical storms, and reflection waves from harbor's walls influence the ship's safety berthed at harbor, and the whole land's slopes are so steep that it can't reserve water resource. In order to solve the above problems, we collect relevant references and conduct research about pervious concrete such as applicable conditions, categories, practices and benefits. Due to the budgetary constraint, we postpone the research's timetable, and aim at collecting the pervious concrete relevant documents/references and conducting some corresponding analyses.			
DATE OF PUBLICATION March 2006	NUMBER OF PAGES 42	PRICE 100	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 前言	1-1
1.1 計畫源起	1-1
1.2 研究目的	1-1
1.3 研究內容與流程	1-2
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 高性能混凝土	2-1
2.2 生態工法	2-2
2.3 鋪面種類	2-3
2.4 透水性鋪面	2-4
2.4.1 透水性鋪面之定義與效益	2-4
2.4.2 透水鋪面之形式	2-6
2.4.3 透水鋪面之類別	2-7
2.4.4 多孔性瀝青混凝土鋪面	2-8
2.4.5 透水混凝土	2-10
2.4.5.1 定義	2-10
2.4.5.2 透水性混凝土的破壞特徵	2-11

2.4.5.3 提高透水性混凝土強度的方法	2-11
2.5 邊坡工程	2-12
2.5.1 擋土護坡工之種類	2-12
2.5.2 邊坡工程之排水	2-15
2.5.2.1 坡面排水	2-15
2.5.2.2 護坡牆身排水	2-15
2.5.2.3 地下排水	2-16
2.6 港灣工程	2-18
2.6.1 碼頭分類	2-18
2.6.2 防波堤分類	2-22
第三章 分析與討論	3-1
3.1 鋪面工程	3-1
3.1.1 國內現況	3-1
3.1.2 國內相關研究	3-3
3.1.3 國外的現況	3-3
3.1.4 國外相關研究	3-5
3.2 討論	3-5

表目錄

表 3.1 國內使用案例	3-1
--------------	-----

表 3.2 台灣目前發展中及國外常用之透水鋪面型式	3-2
---------------------------	-----

圖目錄

圖 1.1 研究工作流程圖	1-3
圖 2.1 透水性鋪面示意圖	2-6
圖 2.2 透水性鋪面結構示意圖	2-7
圖 2.3 降低水珠的飛濺起霧現象	2-9
圖 2.4 減少雨夜車燈光線的反射	2-9
圖 2.5 有效減低行車所造成的噪音	2-10
圖 2.6 砌石擋土牆	2-14
圖 2.7 無筋混凝土擋土牆	2-14
圖 2.8 格床式擋土牆	2-14
圖 2.9 蛇籠式擋土牆	2-14
圖 2.10 RC 懸臂式擋土牆	2-14
圖 2.11 RC 扶臂式擋土牆	2-14
圖 2.12 加勁式擋土牆	2-14
圖 2.13 錨拉式擋土牆	2-14
圖 2.14 排水盲溝	2-17
圖 2.15 橫向排水溝	2-17
圖 2.16 邊坡地下水排水系統	2-17
圖 2.17 沉箱式碼頭	2-18
圖 2.18 空心方塊式碼頭	2-19
圖 2.19 方塊式碼頭	2-19

圖 2.20 L 型塊式碼頭	2-19
圖 2.21 板樁式碼頭	3-20
圖 2.22 直樁棧橋式碼頭	2-21
圖 2.23 斜樁棧橋式碼頭	2-23

第一章 前言

1.1 計畫源起

今日規劃興建混凝土構造物時，考量生命週期成本已為一必然之發展趨勢，輕質、高強度材料的研發係為因應此項需求；另外於興建交通工程結構物，必須考量對生態環境的影響；使用與環境親和的營建材料已成為目前交通建設重要的發展趨勢。台灣多年來因為經濟發展的需要，進行各項交通工程建設，土地開發面積廣闊，使用不透水材料常發生暴雨積水災害，另港灣岸壁易造成反射而危害船隻停泊及安全，又或因地形狹長，無法保存珍貴的水資源，其影響程度非常巨大，為解決前述問題，參照國外經驗，實有針對國內交通建設工程類別探討採用透水混凝土條件、類別、施工法及效益之必要性。

國內目前主要道路鋪面材料多為普通瀝青混凝土，停車場鋪面多為卜特蘭水泥混凝土，二者皆屬不透水材料，排水不良及鋪面積水為普遍發生的問題。又因國內城市人口密集，夏季高溫多雨，鋪面積水會放熱提高周圍空氣溫度。對於都市生態環境有不利影響，且若積水面積甚大將嚴重影響城市用水的品質雨水量。

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；台灣土地資源有限，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。本研究計畫可配合行政院工程會、國科會等整體策略確定透水混凝土適用性及應用範圍。

1.2 研究目的

本研究之主要目的希望能建立交通建設適用透水混凝土之項目、類別配比與特性，同時評估交通建設應用透水混凝土之初步效益，進而對透水混凝土進行示範工程與推廣。而在本年度因預算原因，研究

目的只對透水水混凝土進行國內外資料蒐集與現況分析。

1.3 研究內容與流程

本研究乃採合作研究計畫，預計分兩期進行，其研究工作項目如下所示：

第一期

- 1.國內外相關資料蒐集
- 2.國內應用發展現況調查分析
- 3.透水混凝土基本組合材料之調查分析
- 4.試驗室配比研究及試體製作與試驗
- 5 建立透水混凝土之製程與試驗標準。
- 6.整合透水混凝土之類別及並建立於交通建設適用之項目。
- 7.規劃選定適當地點進行示範性施作並觀測。
- 8.蒐集案例並利用試驗室與現地觀測結果進行透水混凝土於交通建設應用效益之評估。

第二期

- 1.利用第一年試驗室與現地施作觀測成果，重新檢討改進原施作規劃持續觀測並另行增建不同性質之施作地點進行觀測。
- 2.檢討補強第一年試驗室配比研究及試體製作與試驗之結果。
- 3.相關法規之修訂
- 4.考慮生態之透水混凝土工法之推廣

但因 94 年度之預算經費擱据，研究時程則延後，本年度的研究內容則著重在透水混凝土相關文獻的蒐集與分析，其研究流程如圖 1.1

所示。

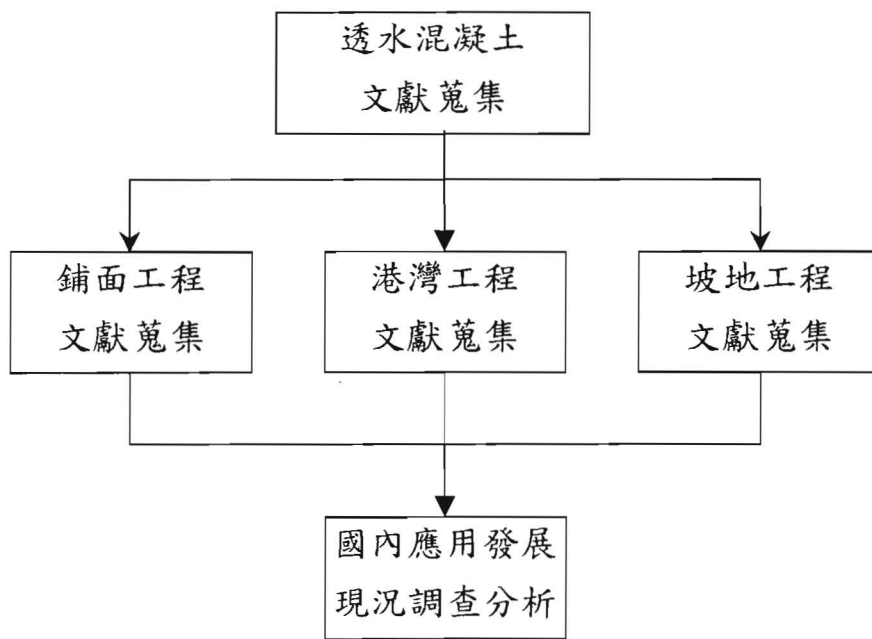


圖 1.1 研究工作流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 高性能混凝土

高性能混凝土名稱為世界各國所共用，並為最重要之研究領域與課題，惟其名稱之定義在世界各地均稍有不同，惟一相似者，即各國之定義均著重耐久性。在歐美國家，以強調高強度與高坍度，並達到耐久使用之目標來發展高性能混凝土。在日本，經過多年之整合，終於達成將高性能混凝土區分為三類，即(1)高強度高性能混凝土(2)高流動高性能混凝土與(3)特殊功能高性能混凝土。其中之第(2)項即自填充高性能混凝土，不須搗實即可達到均勻填充之混凝土，第(3)項即包括耐磨低熱、早強等特殊功能之混凝土^[1]。

在國內國科會對高性能混凝土之工作計劃要求為具高工作性、高流動性(坍度 >250 mm)之高強度混凝土($f_c' > 8000$ psi)，並且在混凝土澆置 45 分鐘後仍具坍度 235 mm 之性質。然而，侷限於設計規範之強度限制，國內工程建設仍偏重使用一般強度(中低強度)之混凝土，為達從普及化觀點來全面提升國內混凝土材料品質與施工技術，國科會 HPC 研究群於民國 85 年 12 月 8 日開會討論，提出研發推動本土化中強度高流動高性能混凝土之決議。其規劃 HPC 之特性為 $f_c' = 4000 \sim 5000$ psi，並具有以下之性質，水泥應有每公斤 15 psi 強度以上之效益，水泥用量低於 300 kg/cm^2 ，初期坍度為 220 ± 20 mm，坍流度為 500 ± 100 mm，45 分鐘後坍度應大於 200 mm，坍流度在 400 mm 以上，水灰比 ≥ 0.42 ，波索蘭材料 $\leq 30\%$ 為原則之免搗實混凝土^[1]。

另外中華民國結構工程學會之『高性能混凝土特別條款^[2]』，定義高性能混凝土係混凝土經過品質保證技術，確保品質一致性及穩定性，滿足營建工程優良品質之需求。其特別條款乃依據美國混凝土學會 ACI 318-95 「結構混凝土」精神及內涵所補充，在使混凝土由規劃設計及配比時能考量有耐久性及能確保最終結構體混凝土品質。目的在確保 HPC 澆鑄之結構物品質，免除蜂窩，泌水及析離等問題，使達

到「安全性、耐久性、經濟性、工作性及生態性」之準則。

又依據美國混凝土學會（ACI-American Concrete Institute）對「高性能混凝土」之定義，指稱「高性能混凝土」（HPC-High Performance Concrete）為性質優於傳統混凝土。為其「性質」所指為何未詳述，應可包含強度、彈性模數、工作度、流動性、體積穩定性、耐久性、耐磨性、水密性、完整性及其他特殊功能（如低水化熱）經濟性等。因此所謂高性能乃是針對一般傳統混凝土的施工方式仍無法滿足工程需求的情況下，所開發出來的混凝土，高性能混凝土可能具有一種甚至數種的「高性能」以符合工程的需求。其實可將「高性能混凝土」視為是一個較廣義的工程材料名稱^[3]，而透水混凝土所要求的「高性能」便是「透水」，更明確來說透水混凝土應該是 HPC 的一種。

2.2 生態工法

為保持生態環境之完整，以維持多樣化生物之生存權，需避免棲息地及遷徙路徑等之破壞，則在尊重當地天然條件，及人為設施與環境不相衝突前提下，妥適導入人類在環境生活中為提供安全所利用的土木工程構造，均可謂「生態工法」。而公共工程委員會生態工法諮詢小組針對生態工法(Ecotechnology)所研擬的定義「基於對生態系統之深切認知與落實生物多樣性保育及永續發展，而採取以生態為基礎、安全為導向的工程方法，以減輕對自然環境造成傷害」。

生態工法包含了「生態」和「工法」兩個部分。生態是指生物和牠們生存的環境之間的互動關係；至於工法則是人類為了生活的安全，在環境中建造土木工程的方法。

生態工法規劃設計時，有 5 個原則要注意^[4]：

1. 表面孔隙化

傳統的工程常利用看似穩固的鋼筋水泥作為原料，構成表面光滑建造物，使得動植物沒有附著生長的地方，造成生態嚴重的破壞。若

改為使用表面孔隙化的砌石護岸等工程，就能增加生物的棲地，恢復自然生態。

2. 構造物最小化

當施行工程時，幾乎所有的構造物都要造成環境的破壞，因此減少人為干擾，也就是減少對環境的衝擊，而同時也能節省經費及能源的消耗。

3. 坡度緩坡化

在工程中，太大的坡度會讓生物難以遷移，也容易受到水土的沖刷，所以降低水壩的高度，並以踏步式的固床工來減緩坡度，不僅能保持功能，還能增加親近水的機會。

4. 材質自然化

自然的砌石、植被是進行工法時最好的材料，例如利用植草來當作穩定山坡地的材料等方法。自然的材質不僅取得容易，也能提供生物棲息的空間，讓景觀更自然、美觀。

5. 界面透水化

水的循環是自然生態最重要的一環。讓水能夠滲入土地，而不直接流入河川、海洋，對水土保持也很重要，因此透水的的路面、溝渠、堤岸等，都是生態工程設計的重點。

2.3 鋪面種類^[5]

1. 混凝土鋪面

混凝土鋪面主要由：砂、礫石或碎石、水及水泥四種材料組成，混凝土鋪面依其施工方式有：場鑄混凝土鋪面及預鑄混凝土鋪面二種。混凝土於灌注前可使用染料或灌注後使用染色劑，使混凝土表面有顏色的變化；也可採用圖案壓模處理或表面仿石材處理等，使表面

更具變化。混凝土鋪面採預防熱漲冷縮的隔離縫及伸縮縫設計，能防止因溫度變化所造成的鋪面破壞。

2.磚造鋪面

傳統常用的人行道磚材鋪面有清水磚、紅磚、窯燒陶磚等，目前市面上已較少生產清水磚，反之各種陶磚相繼進口，價格也漸趨平實，往往使用於具歷史風貌之地區，有不錯之仿古效果。

3.瀝青鋪面

瀝青鋪面具有：防水、耐久、抗酸鹼鹽等特性，但在受熱情況下，會有軟化、移動等缺點，且遇汽油或類似流體會有溶解之虞。現行運用於鋪面材料的有：密級配瀝青混凝土、開放級配瀝青混凝土、石膠泥瀝青混凝土及多孔隙瀝青混凝土四種，其中多孔隙瀝青混凝土較適合應用於人行道，其具有高度透水功能，亦可添加色料，創造多樣化的圖案色彩，但費工及施工之人工量亦大。

4.天然石材鋪面

天然石材在尺寸、形狀、顏色及紋理上都有許多種選擇，常見的天然石材有：沈積石、大理石、板岩、花崗石、火山岩及黑色火成岩等。

5.人造鋪面

人造鋪面有石質面磚、陶質面磚、瓷質面磚等，其中石質面磚採用天然花崗岩微粒子為主材，除去雜質後高壓成型，再經高溫還原燒成，其具有硬度高、磨損率低且高止滑效果。

2.4 透水性鋪面

2.4.1 透水性鋪面之定義與效益^[5]

一般所指的鋪面可分為表層及基層，表層通常為耐磨材，如磚材、

石材等面材，而基層通常為承載層，如砂石、級配、混凝土等。而所謂「透水性鋪面」是指由表層至基層均有良好的透水性，因此表層採用孔隙率高且抗壓強度足夠之材料，並以透水性良好、孔隙率高之材料運用於面層與基底層，使雨水通過人工鋪築之多孔性鋪面，直接滲入路基土壤，而具有讓水還原於地下之性能，如圖 2.1 所示。

行政院公共工程委員會制定透水性鋪面的定義為使雨水通過人工鋪築之多孔性鋪面，直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能。

透水性鋪面其主要效益如下：

- 1.植物、生物等地下生態環境改善，維持生態系成長
- 2.減少地表逕流，降低都市河川洪患。
- 3.減少公共水域的污染及降低車行噪音。
- 4.減輕排水管負擔及減少路面排水設施。
- 5.地下水之涵養，有助於水資源永續經營。
- 6.降低熱島效應，減少能源損耗。
- 7.增大路面抗滑性能，改善步行條件。
- 8.減輕因日光漫反射造成之目眩。

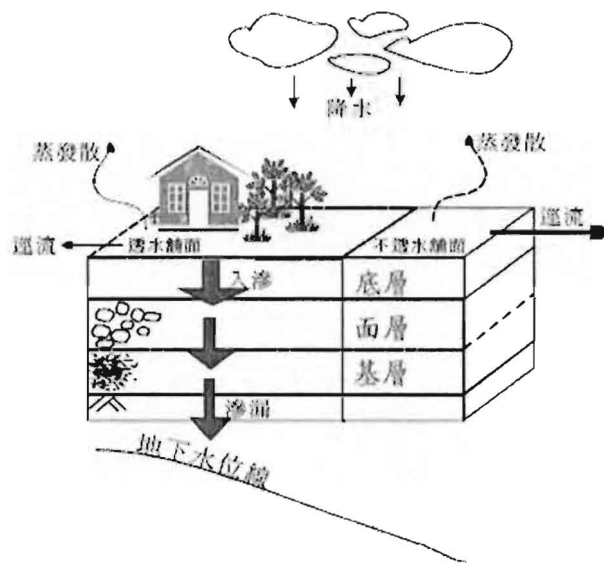


圖 2.1 透水性鋪面示意圖^[6]

2.4.2 透水性鋪面之形式^[7]

一般鋪面可分為不透水性鋪面、排水性鋪面及透水性鋪面與三種，示意圖如圖 2.2 所示。

1. 不透水性鋪面

是將雨水以表面排水方式，導入邊溝及下水道，即使滲漏，亦以地下排水設施處理。

2. 排水性鋪面

鋪設具有側向排水功能之面層，至於排水功能層底層水份無法滲透，可藉以防止路床或路基土壤因浸水而降低承載強度值。

3. 透水性鋪面

係除面層或可透水外，基層與路基層亦能滲透水份，因此透水性鋪面可涵養水源，改善生態，減少部份洪峰流量及降低溫度。

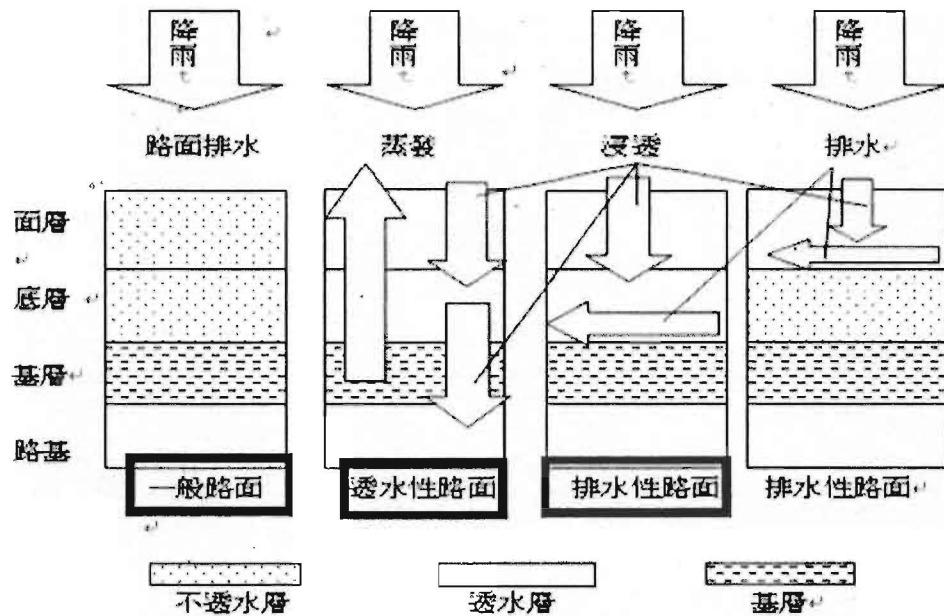


圖 2.2 透水性鋪面結構示意圖

2.4.3 透水鋪面之類別^[8]

透水性鋪面對生態、環境及洪旱災，甚至對集水區、都會區之永續發展，具有相當大的影響，致使此種鋪面愈來愈受重視，目前較常用者如下：

1. 多孔性瀝青混凝土鋪面 (Porous asphalt)

多孔性瀝青混凝土係具有高孔隙之排水性材料，其發展最早開始於歐洲，1970 年代中期在歐洲地區大量使用，日本則是於 1980 年代開始發展（潘昌林，2000）。多孔性瀝青混凝土主要的原理乃利用級配調整使粗細骨材間的孔隙率提高至 20% 左右，以使降於鋪面上的水可由大量的孔隙迅速滲透。多孔性瀝青混凝土為提高瀝青韌性與強度，增加瀝青薄膜的厚度，以確保瀝青混凝土的耐久性，常須添加改質劑、纖維或石灰。

2. 無細骨材混凝土 (No-fines concrete) 鋪面

無細骨混凝土一般被定義為由均勻級配之粗骨材、微量或無細骨

材、且無足量水泥漿之混凝土材料。藉由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，主要作為無須壓密之回填材料或水工結構物，抗壓強度約在 200psi(1.5Mpa) 至 2000psi(14Mpa)之間（鄭瑞濱、潘昌林，2001），藉由粗骨材表面的一般水泥漿體，使之骨材表面接觸互相固結而發揮強度，同時形成多孔隙的結構體，因此具有相當大的透水性。其滲透係數隨含砂量而不同，一般均大於 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ (潘昌林，2000)，無細骨材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，一般使用於載重較小的區域，如人行道或行人廣場等。

3. 塊狀或鏤空鋪面

以非連續性拼接塊狀鋪面，在鋪面與鋪面間有很大的間隙可填入砂土，鋪面下採用透水性底層如無細骨材混凝土、砂土層，而鏤空的路面，如植草磚，則直接提供植被生長的環境，使得人車行走上面，而不至於造成植被壞死。

2.4.4 多孔性瀝青混凝土鋪面

透水性鋪面材與傳統柏油瀝青路面在設備及生產過程方式上完全一樣，而其不同點在於內部骨材與混合膠結液之配置不同。傳統的瀝青鋪面是以大量的瀝青油加入較細顆粒的骨材膠結，使得行駛於其路面時感到平順與舒適。但是細粒料與瀝青油將會使整個鋪面沒有孔隙。而透水性鋪面則是採用較大的骨材，並將細料含量減少至一適當含量，另外搭配較少量的瀝青油作為混合之用，使鋪面本身具有孔隙可使液體滲透^[9]。

多孔隙瀝青混凝土鋪面優點^[10]：

1. 雨天可確保路面的抗滑能力。
2. 降低水珠的飛濺起霧現象，如示意圖 2.3。
3. 減少雨夜車燈光線的反射，如示意圖 2.4。

4.有效減低行車所造成的噪音，如示意圖 2.5。

5.確保行車的安全。

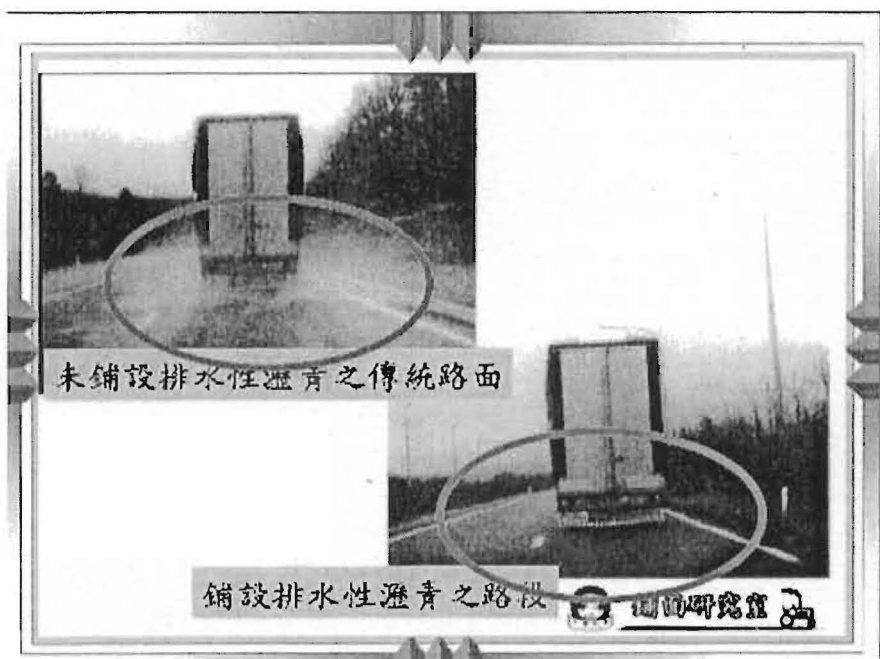


圖 2.3 降低水珠的飛濺起霧現象



圖 2.4 減少雨夜車燈光線的反射

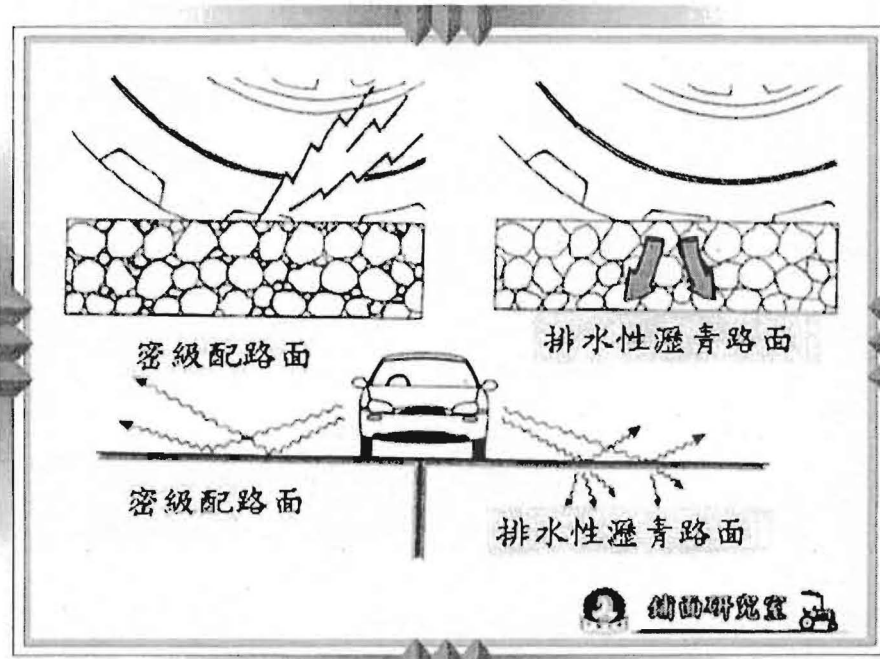


圖 2.5 有效減低行車所造成的噪音

2.4.5 透水混凝土

2.4.5.1 定義^[11]

所謂透水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 (1.5 MPa) 至 2000 psi (14 MPa) 之間。其與一般混凝土 (NC) 相比，具有下列的特點：

1. 透水混凝土比重一般約在 $1400\text{kg/m}^3 \sim 1900\text{kg/m}^3$ 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。

2.4.5.2 透水性混凝土的破壞特徵^[12]

透水混凝土的配比特點是採用單粒級粗骨料作為骨架，水泥淨漿或加入少量細骨料的砂漿薄層包裹在粗骨料顆粒的表面，作為骨料顆粒之間的膠結層，形成骨架—空隙結構的多孔混凝土材料。透水性混凝土是粗骨料顆粒間通過硬化的水泥漿薄層膠結而成的多孔堆聚結構，內部含有較多的孔隙，且多為直徑超過 1mm 的大孔，因此具有良好的透水性，但同時強度比普通混凝土低很多。然而透水性混凝土受力時通過骨料之間的膠結點傳遞力的作用，由於骨料本身的強度較高，水泥凝膠層很薄，水泥凝膠體與粗骨料界面之間的膠結面積小，因此其破壞特徵是骨料顆粒之間的連接點處破壞。因此在保證一定孔隙率的前提下，增加膠結點的數量和面積，提高膠結層的強度是提高透水性混凝土強度的關鍵。

2.4.5.3 提高透水性混凝土強度的方法^[12]

1.減小粗骨料粒徑

骨料粒徑越小，比表面積越大，所形成的結構骨架單位體積內骨料顆粒之間的接觸點數量多，膠結面積越大，從而提高透水混凝土的整體強度。

2.摻入礦物細摻料和高效減水劑

由於包裹骨料的水泥漿層較薄，水泥凝膠體與骨料之間的過渡區所佔比重較大，而水泥硬化體內部含有較多的毛細孔和微裂縫，因此水泥凝膠體的強度及膠結能力較低。借鑒高性能混凝土中摻入平均粒徑只有 0.1~1.2 微米礦物細摻料，提高混凝土密實度、減小過渡區的經驗，本研究在水泥漿中摻入少量的礦物細摻料，同時使用高效減水

劑使其分散，填充於水泥凝膠體的毛細孔和微裂縫中，達到提高膠結強度的目的。

3.採用有機增強劑改善表層強度

作為路面材料，通常要求表層具有良好的耐磨性和平整度。按常規方法配製的透水性混凝土，水泥凝膠體與骨料顆粒之間的膠結強度較低，處於表層的骨料顆粒很容易脫落，而使道路表面凹凸不平。為提高透水性混凝土表層的耐磨性以及凝膠體對骨料顆粒的握裹力，本研究採用有機增強劑，利用其微填充、阻裂和提高粘結力的作用，大大改善骨料與水泥凝膠體之間界面的性質，從而提高透水性混凝土表層的力學性能。

2.5 邊坡工程

2.5.1 擋土護坡工之種類

常見的擋土護坡有重力式擋土護坡、半重力式擋土護坡、加勁式擋土護坡及錨拉式護坡等多種類型。以下例舉常見的數種擋土護坡工作說明。

1.重力式擋土牆

此類擋土護工均以其重力提供抗滑動及抗傾倒之功能。例如砌石擋土牆、無筋混凝土擋土牆、格床式擋土牆及蛇籠式擋土牆等均為此重力式擋土牆之一種。如圖 2.6~2.9 所示。

2.半重力式擋土牆

此類擋土護工係以本身結構之重量及擋土牆底版上方之土體重，結合鋼筋混凝土強度，提供邊坡之抗剪及抗滑動之功能。常見的有 RC 懸臂式擋土牆及 RC 扶臂式擋土牆等等。如圖 2.10、圖 2.11 所示。

3.加勁式擋土牆

此類擋土牆通常係以預鑄牆面版、橫向加勁材及回填土石料所構成。一般依加勁材所使用的類型可分為硬式及軟式加勁擋土牆。此類型擋土牆係藉助於加勁材料，將牆面版與回填土結合為一體，以其重量發揮擋土功能。適用於高填土區使用，可有效縮小土方範圍增加使用空間，較為經濟。如圖 2.12 所示。

4. 錨拉式擋土牆

地(岩)錨工法使用在邊坡穩定上，係以高張力鋼材穿過可能滑動之土體或岩體，將其錨錠於穩定之地盤內，並對鋼材施加預力，使其能牢繫可能滑動之土體或岩體。地錨之錨頭端一般配合面版承載於坡面並分散其荷載，或配合格樑系統加以承載使荷載能均勻分佈於坡面。如圖 2.13 所示。

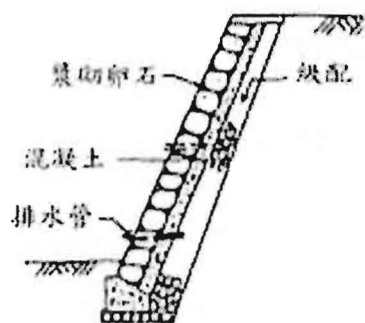


圖 2.6 砌石擋土牆

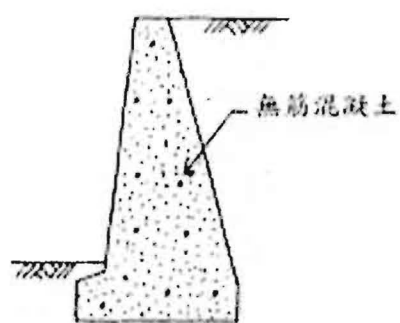


圖 2.7 無筋混凝土擋土牆

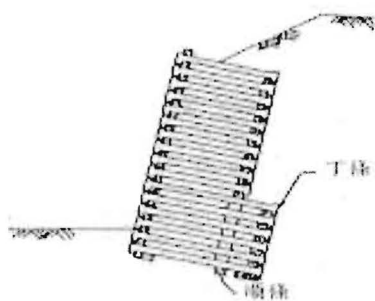


圖 2.8 格床式擋土牆

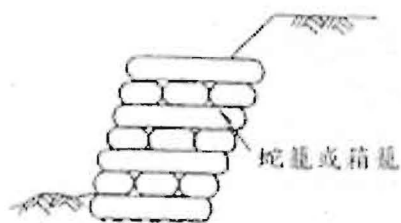


圖 2.9 蛇籠式擋土牆

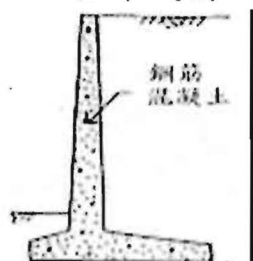


圖 2.10 RC 懸臂式擋土牆

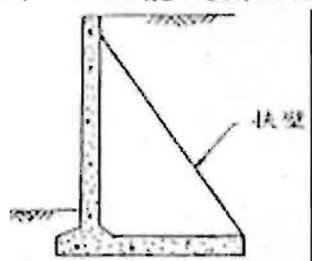


圖 2.11 RC 扶臂式擋土牆

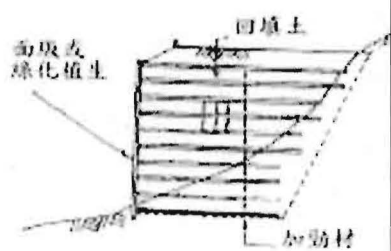


圖 2.12 加勁式擋土牆



圖 2.13 錨拉式擋土牆

摘自廖瑞堂，2001

2.5.2 邊坡工程之排水^[13]

由於水的存在對於邊坡之穩定性有著極大的影響性，因此邊坡排水的施設也有其關鍵之重要性，而邊坡排水的主要目的為（1）減少地表水入滲至土(岩)體中；（2）將已停滯在土(岩)體中的地下水儘速排除，以減少土(岩)體中的含水量，以降低水壓力。一般邊坡排水方法可分為坡面截水、護坡牆身排水及地下排水等三類。

2.5.2.1 坡面排水

目的為防止或減少地表水之滲入，亦可減少土壤受沖蝕及土體流失，常見的方法有以下數種：

1. 截水溝及跌水溝

在坡頂及各階坡腳處設置明溝或暗溝以截除地表流動之逕流，可減少坡面的沖刷力及避免積水軟化土壤，同時在坡面垂直方向設置縱向跌水溝，以匯集地表水至下邊坡之大型排水溝。

2. 坡面整平及裂縫填補

坡面有低窪積水處應整平，裂縫處則以黏土、瀝青或水泥漿填塞，藉以消除地表逕流蓄積或滲入之路徑。若用灌漿填補時，初期在漿液凝固前，會增加側向推力，故需謹慎控制灌漿壓力。

3. 坡面保護與植生

邊坡坡面值生除了可美化環境、加速排除地表水，仍可降低雨水沖刷及表土沖蝕。若採用噴漿或噴凝土護坡則可降低岩石風化速度、防止小塊岩石崩落及有效阻止地表水之滲入。而鋪設瀝青柏油亦可有同等之效果。若當邊坡開挖期間遭逢下雨時，則可以帆布或不透水材料覆蓋以阻絕雨水滲入。

2.5.2.2 護坡牆身排水

由於護坡工程與後方之土體之接觸面亦為地表水滲入之路徑，當

邊坡牆身無施設排水設施時將造成滲水路徑阻隔，使水壓提高並降低邊坡之穩定性。因此施設護坡牆身排水目的為防止雨水滲入牆背及迅速排除聚集於牆背之滲水。常見的方法有坡頂截水溝、洩水管及牆背透水料排水層。

1. 洩水管

在剛性擋土牆或預力地錨擋土牆上，常見牆身預埋間距 1~3m 之洩水管。而洩水管排水系統除了牆身洩水管還包括牆背後之排水瓶或排水袋，通常於排水瓶周圍需回填約 30cm 厚之碎石及配料作為保護層，其作用可使回填土再夯實時免於損及排水瓶，亦可有效過濾細小砂石或黏土質已減少阻塞洩水管。

2. 透水料排水層

牆後背填透水料排水層，其佈設方式有全填式、貼牆式、煙囪式及水平式排水層，主要目的為引導牆後土體中的地下水能加速排除。若以點狀分佈之洩水孔配合牆後排水層使用時，可使排水效果更加。

2.5.2.3 地下排水

對於地下水之排水方法主要分為深層及淺層排水，其中排水盲溝及橫向排水管用以排除淺層地下水，而集水井及排水廊道則用以排除較深層之地下水。

1. 排水盲溝

若邊坡內地下水位較高，可設置排水盲溝排水，溝深一般小於 5m，溝底鋪設濾料在外包濾布，或濾料中埋設透水排水管，其上以低透水性土壤回填，以防止繫力料土壤流失和阻塞，並將邊坡土體內之地下水排導流出。如圖 2.14 所示。

2. 橫向排水溝

以水平或傾斜方式鑽孔，在插入包有濾網的排水管，以防止細顆

粒土壤流失和阻塞，其深度應深入含水層，使邊坡土體內的地下水排導出。如圖 2.15 所示。

3.集水井

以垂直方式挖井，乃由井內施打水平排水管制邊坡土體內以匯集地下水至集水井中，再以重力或泵浦排除，並排放至影響邊坡穩定之以外區域。如圖 2.16 所示。

4.排水廊道(排水隧道)

在地下水較豐沛之處，採其他方法仍無法迅速地將地下水排除時，則可設置排水廊道，並配合橫向排水管將地下水導入，在排至他處。而排水廊道之施作方式與隧道施工相同，所需的費用較為昂貴，故除非必要，一般邊坡排水工程不會輕易選用。如圖 2.16 所示。

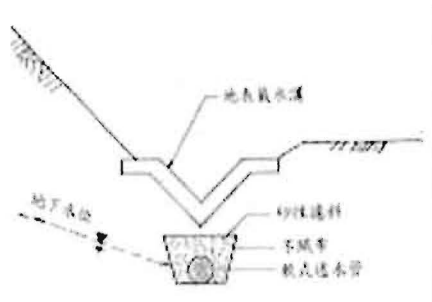


圖 2.14 排水盲溝

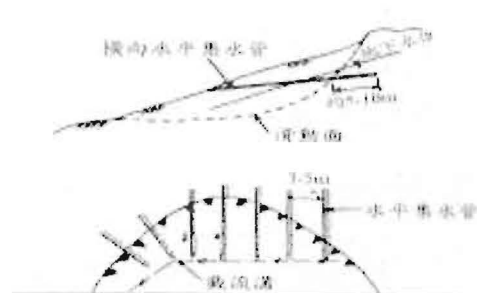


圖 2.15 橫向排水溝

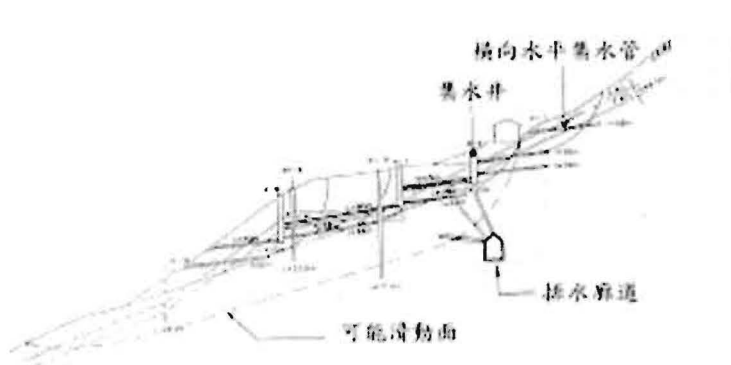


圖 2.16 邊坡地下水排水系統（摘自郭瑞柏，2001）

2.6 港灣工程

2.6.1 碼頭分類

碼頭的種類繁多，建造時應按海底基礎的狀況、設置水深、地震的大小、波浪的強弱、潮差的大小等自然條件，船舶的種類和大小、貨物的種類等利用條件，施工條件，工期和工程費用等，作最適當的選擇。一般來說，臺灣的各國際港內的碼頭大致上可分成重力式碼頭、板樁式碼頭、棧橋式碼頭及其他類碼頭四類，各類碼頭型式及特性說明如下：

1. 重力式(gravity type)

用沉箱、空心塊、方塊、L 型塊等結構體所築成之壁體，以其本身的重量，承受碼頭上的上載荷重，並抵抗背後的土壓力，正面的水壓力及船舶衝擊力。因壁體重量集中，所以較適用於基礎良好之處。如於基礎軟弱之處使用，因支承力不足，沉陷量大，故必須先改良地盤。優點為堅固耐用，使用年限長。缺點為水深大時，因土壓力急遽增大，則壁體重量及斷面相對的需增大很多，造成不經濟，且在地震力作用下，結構體若構築在軟弱的地盤上，則容易產生滑動。形式如圖 2.17~圖 20。

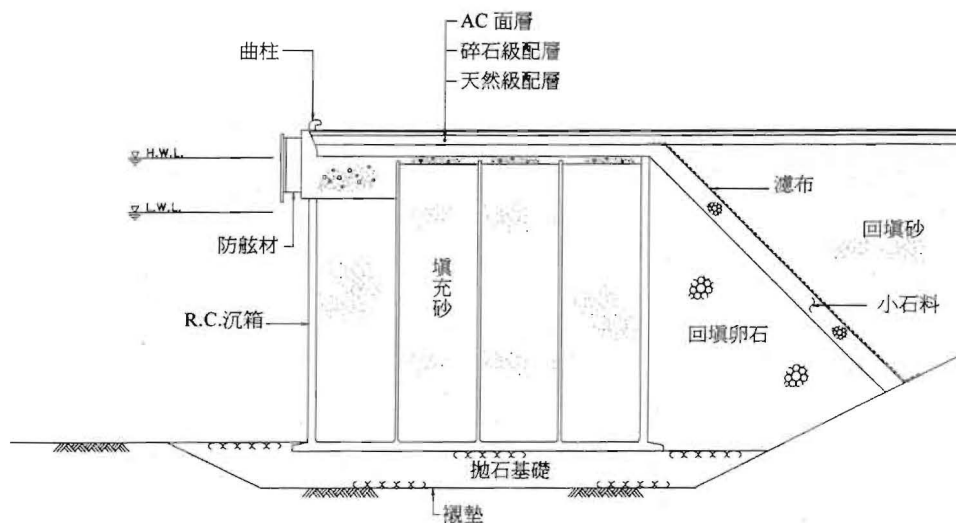


圖 2.17 沉箱式碼頭

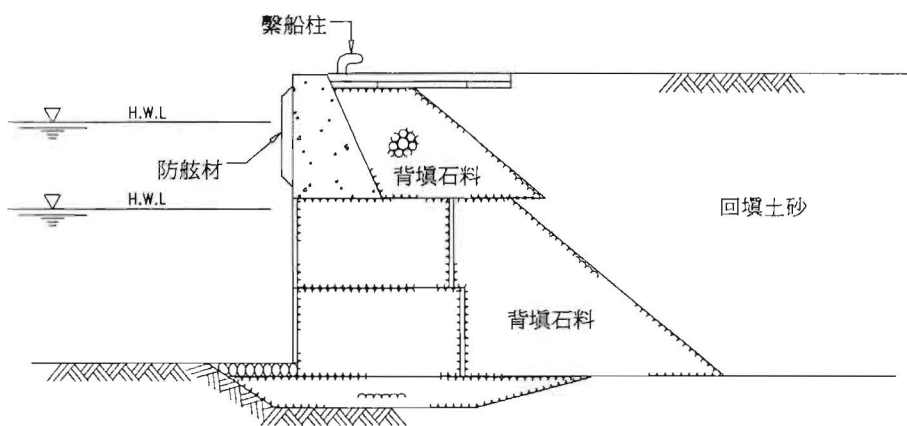


圖 2.18 空心方塊式碼頭

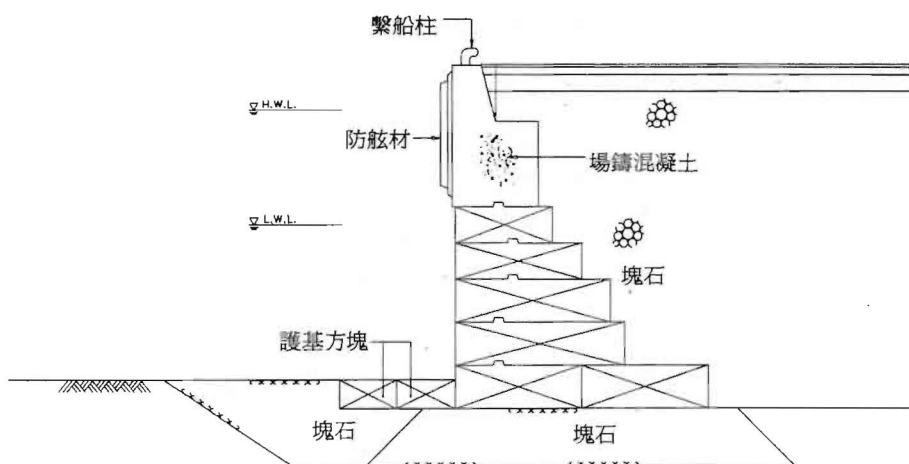


圖 2.19 方塊式碼頭

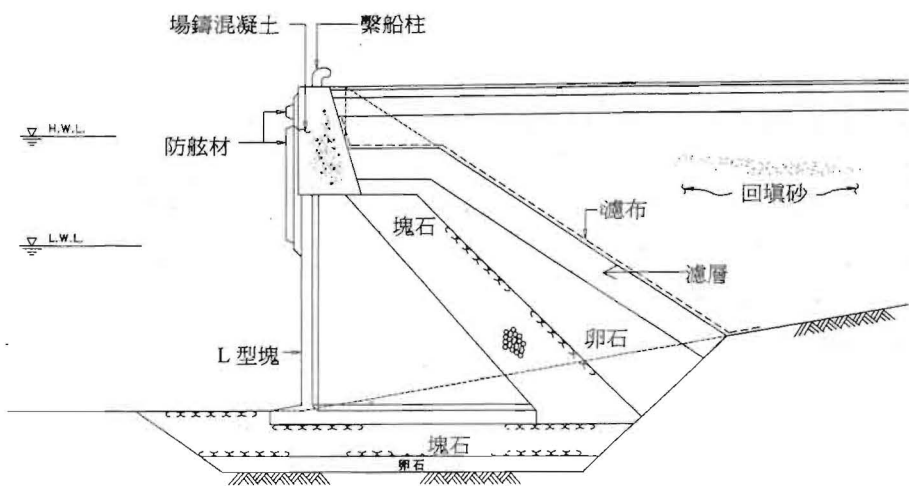


圖 2.20 L 型塊式碼頭

2.板樁式(sheet pile type)

用板樁深入土中，築成直立岸壁，板樁由拉桿錨碇及板樁前方被動土壓支撐，以抵抗外力。板樁的材料一般用鋼材，岸壁前水深淺時，亦可用混凝土製板樁。板樁一般適用於基礎較好之處，但基礎若過於堅硬，因衝打板樁困難，則不適用，若基礎軟弱時，板樁對土壓之抵抗力不夠，也不適用。板樁之優點為施工容易，設備簡單，水中工事較少，工期短。缺點為耐用年限短，板樁如用鋼材，須加強防蝕。如圖 2.21 所示。

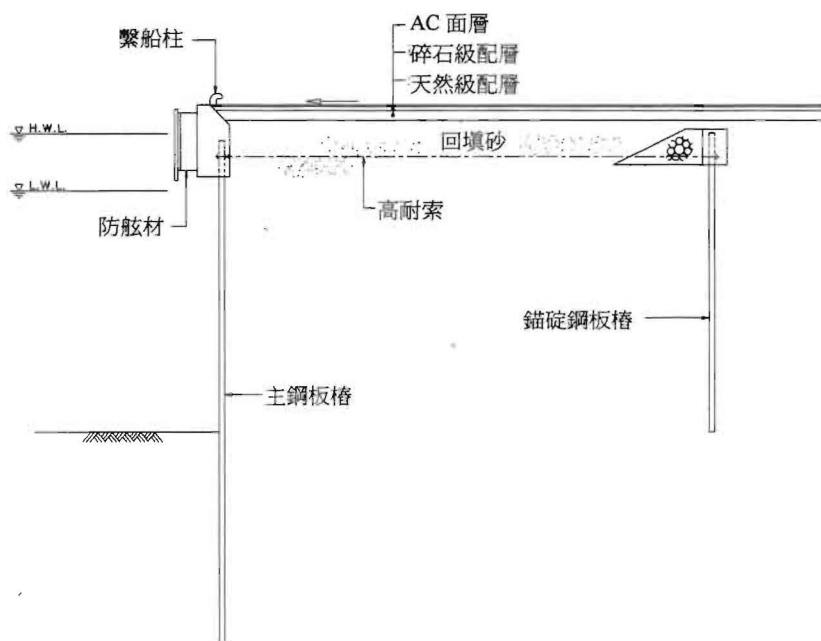


圖 2.21 板樁式碼頭

3.棧橋式(pile type)

用樁或各種形狀的柱體支撐碼頭面，成為與海岸線垂直或平行的半座橋樑，稱為棧橋式碼頭。其適用於軟弱地盤，優點為不妨礙水流、反射波較小、構造輕、耐震力強，可利用現有護岸加築，延長亦方便。缺點為工程費較大，對船舶衝擊力及其他水平力的抵抗較弱，有時碼頭面易受波浪之揚壓力作用而破壞。如圖 2.22 與圖 2.23 所示

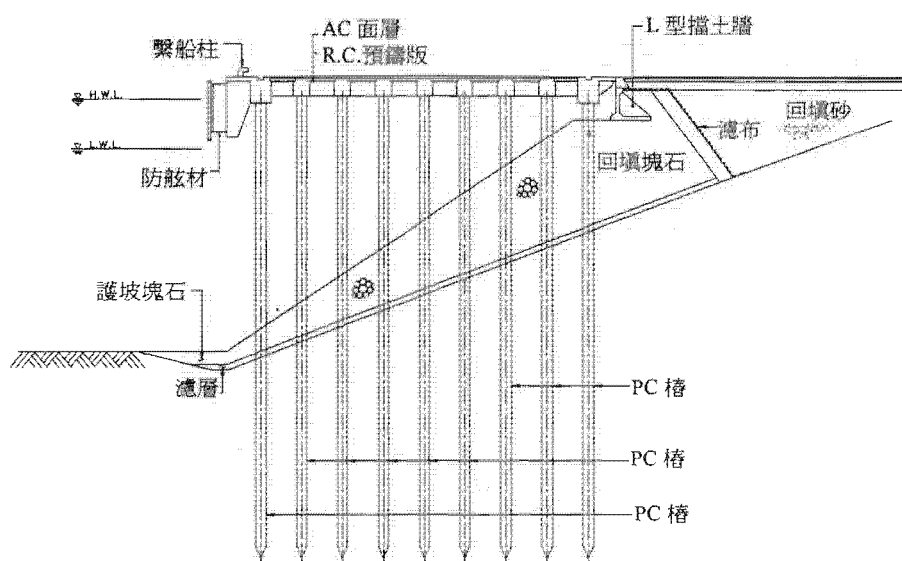


圖 2.22 直樁棧橋式碼頭

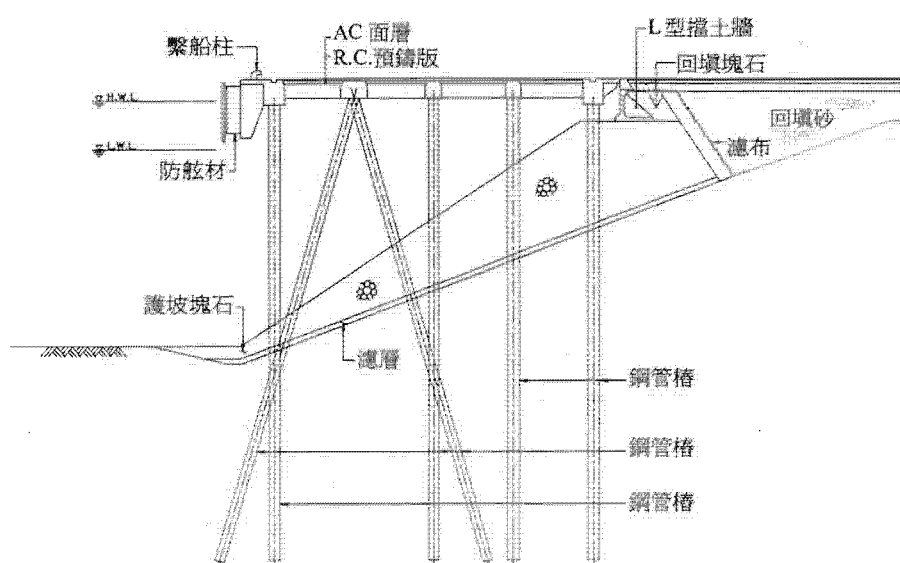
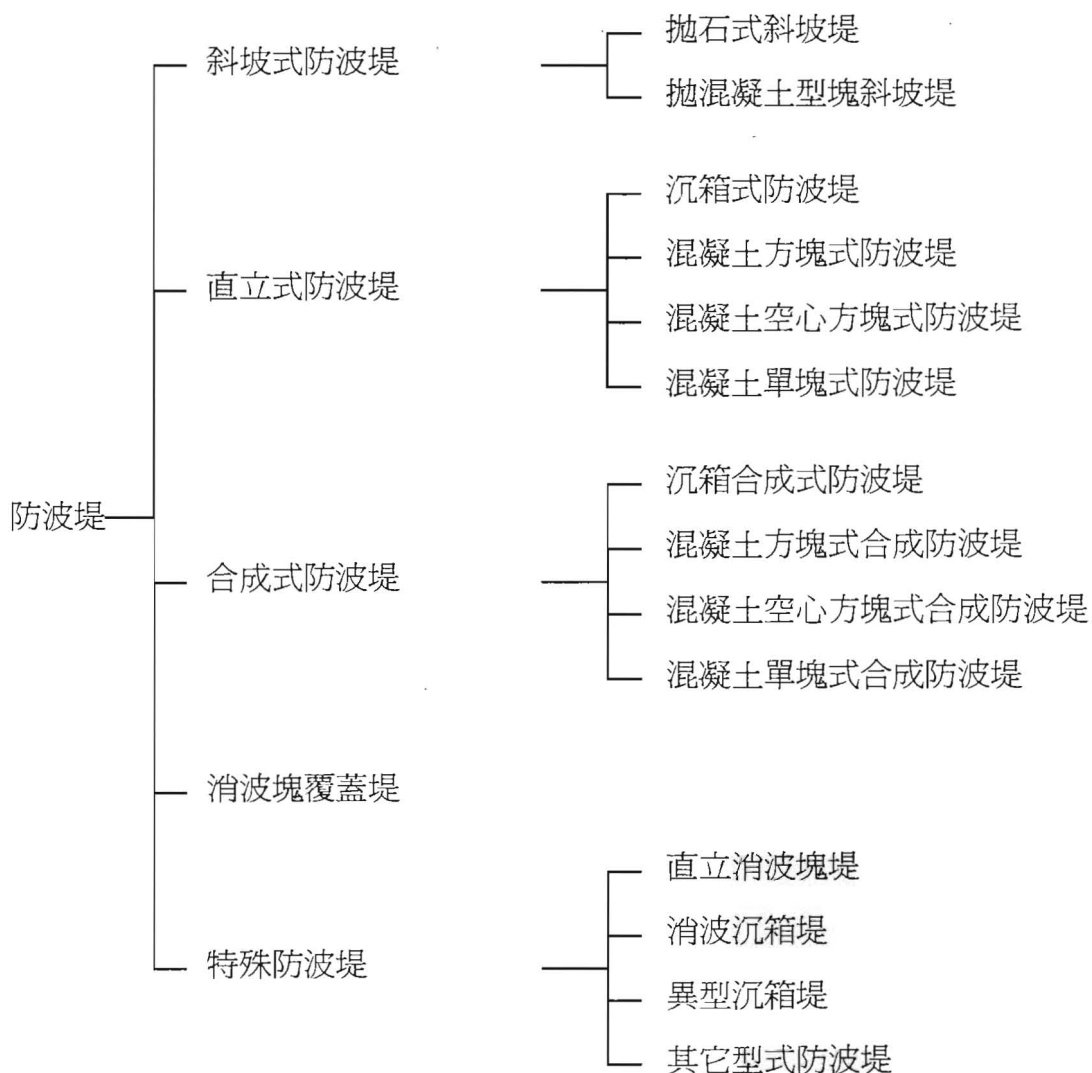


圖 2.23 斜樁棧橋式碼頭

2.6.2 防波堤分類

築於海中之長堤，用以庇護一片水域，防禦波浪侵入，使水面平靜，船舶得以安全繫泊。對於港口而言，防波堤乃其外廓，型式甚多，有常見者亦有甚為奇特者，不勝枚舉。

依其在水域上之平面佈置而言，有接岸式防波堤、離岸堤，與複式防波堤。



上述中拋石式斜坡堤之護面方式，有混凝土方塊護面，菱型塊護

面、鼎型塊護面與其他型式混凝土塊護面等。混凝土塊堆積式防波堤混凝土塊之形狀又有方塊，菱形塊、鼎形塊等。

防波堤亦有浮於水面，不接連海底，可產生防波作用者，稱為浮式防波堤。有海底天然潛礁綿延成堤狀或人工築成潛在海底之堤亦能阻擋波浪通過或削弱波力者，可稱為潛式防波

第三章 分析與討論

台灣目前透水混凝土之研發尚處於研究發展階段，且無相關法令與規範，實務上大量推廣使用並不普遍，目前僅限於部份停車場、廣場、中央分隔島、人行道與運動場與公園設施等鋪面與基層使用，比起歐美或日本等先進國家來說，起步稍晚，因此僅就有關透水性混凝土之現況，蒐集彙整如下：

3.1 鋪面工程

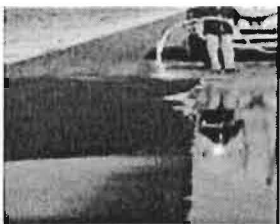
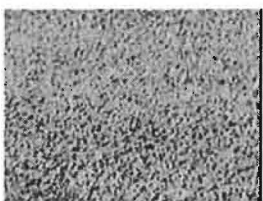
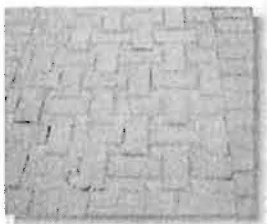
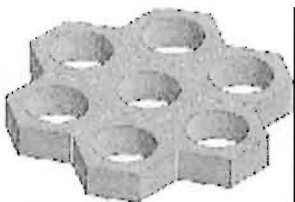
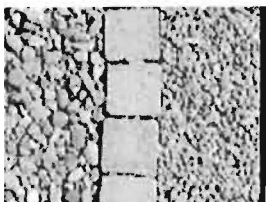
3.1.1 國內現況

國內目前透水鋪面的現況，整理如表 3.1 所示，且目前發展中及國外常用之透水鋪面型式整理如表 3.2 所示。

表 3.1 國內使用案例^[14]

案例	北科大設計館前	北科大土木館旁	北科大材資館旁
面層	透水磚	透水瀝青	連鎖管透水混凝土
功能	透水路面	透水路面	透水路面
案例	北科大人文廣場旁	南投國小	營建署廣場
面層	透水磚	連鎖磚	連鎖磚
功能	排水路面	透水路面	透水路面
案例	石牌國小	北安路(1)	北安路(2)
面層	石英砂	透水磚	透水混凝土
功能	透水磚	透水路面	透水路面
案例	北科大設計館前	北科大土木館旁	北科大材資館旁
案例	深坑國小	鶯歌廣場	新竹、南崁交流道
面層	連鎖磚	透水磚	透水瀝青
功能	透水路面	排水路面	排水路面

表 3.2 台灣目前發展中及國外常用之透水鋪面型式（鄭光炎, 2002）^[6]

圖例	概述	透水性	
		面層	底層
	<u>多孔性瀝青混凝土</u> 常使用於中低承載道路，如社區步道、腳踏車道等。特性為透水性強、排水快等特點。若底層不透水，則為排水性路面。	可	可
	<u>透水性混凝土</u> 使用於載重較小的區域，如人行道、行人廣場以及停車場鋪面等。廣泛應用於道路之透水層等工程上。若底層不透水，則為排水性路面。	可	可
	<u>連鎖磚</u> 主要用於廣場、停車場等，透水效能依靠磚塊間之細縫。	可	可
	<u>植草磚</u> 主要用於停車場，細縫間植草，透水效能依靠磚塊間之細縫，具有處理污染物功能。	可	可
	<u>礫石鋪面</u> 由礫石、碎石鋪設而成，透水性強、結構強度較低。在非點源最佳控制策略中（BMPs）歸類為乾式滯留池，具有滯洪效果，削減非點源之污染量效能。	可	可
	<u>植草鋪面</u> 由軟底土壤植草而成，透水性及保水性強，結構強度低。在非點源最佳控制策略中（BMPs）可視為草帶草溝鋪面，具有滯洪效果，削減非點源之污染量效能。	可	可

3.1.2 國內相關研究

1. 黃兆龍、洪盟峰—透水性水泥混凝土性質與應用之探討^[15]

研究指出透水性水泥混凝土材料性質及用量如下：

- (1) 骨材用量：1m³ 混凝土所使用的粒料總量取粒料的緊密堆積密度的數值，大致在 1200~1400kg。其中主要採用粗粒料，細粒料一般控制在 20% 以內。
- (2) 水泥用量：通常透水性混凝土的水泥用量在 250~450kg/cm²。
- (3) 卜作嵐：添加飛灰等卜作嵐材料，有助於改善粒料與水泥過渡區的品質，填塞水泥漿水化的微毛細孔及避免裂縫的產生，有助於提高透水混凝土的強度。
- (4) 水膠比：透水性水泥混凝土的水膠比建議值在 0.20~0.35 範圍。

2. 潘昌林、鄭瑞濱—透水混凝土與工程應用介紹^[11]

透水混凝土配比設計中，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裹角色。一般水灰比的選取以能充分黏裹骨材、不產生流失為原則，約在 0.35~0.55 間。使用漿體填充孔隙體積的量，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。

3. 行政院工共工程委員會—透水性鋪面之研究

報告指出無細骨材混凝土的水灰比可變範圍較小，超過一定區間，就會形成水泥漿流失和不能成型。比較理想的範圍是 0.45~0.60 之間，較低者可選用 0.35。

3.1.3 國外的現況

1. 日本^[16]

從 1973 年推動透水性鋪面迄今已逾三十年，當時東京都建設局為改善行道樹之生長環境，進行人行道透水性鋪面規劃、設計、施工及後續追蹤調查之研究，於 1973 至 1995 年共鋪築 220 萬平方公尺，並以政策性及階段性方式加以推廣，並於 1986 至 1995 年間以 10~20 萬平方公尺/年之速度成長，到 2000 年已完成 270 萬平方公尺，且尚有 40% 之人行道目前正在進行，因此東京都透水性鋪面之推動成果具有指標性之意義，促使日本全國進行透水性鋪面之鋪設，至 1999 年止，全國累積了 1000 萬平方公尺以上之施工實績。

日本為了減緩都市熱島效應，達到水資源永續的目的，更致力於雨水貯留、滲透設施鋪築之研究，都市開發設計之初即將雨水貯留、滲透得理念納入規劃設計之中，於近幾年收到顯著之成效。

2. 美國^[5]

國透水性混凝土鋪面於 1970 年在佛羅里達開始推廣，佛羅里達混凝土協會 (Florida Concrete & Products Association) 扮演重要推動角色。透水性混凝土係採用水泥 (Cement)、水、粗骨材及少量細砂等輔助材料所構成，因使用少量或不摻入細骨材，故又稱為無細骨材混凝土 (No-fines Concrete)。透水性混凝土鋪面具有良好之耐久性 (Durable) 及排水性，初期廣泛被使用在停車場及中低承載路面。

在 1990 年佛羅里達水資源管理單位推動暴雨逕流復育計畫 (Stormwater Rehabilitation Project)，使用透水性混凝土鋪面於 Bath Club Concourse，其目的是希望增加暴雨逕流入滲量，減少未處理地表逕流非點源污染 (None Point Source, NPS) 直接排入水體，鋪設二座停車場，面積 848 平方公尺，20.32 公分厚，具有 20% 孔隙率透水性混凝土鋪面。

透水性混凝土一般都使用於大面積的開放空間區域上，如人行道、行人廣場、停車場鋪面等。目前美國更已廣泛應用透水性混凝土於擋土牆之回填料和道路之透水層等工程上。其除了具有相當理想的透水性能外且水泥質材料粘結特性使之可提供一定之力學強度，顯示

其將會解決都會區鋪面使用需求與路基排水問題的甚佳方案。

3.1.4 國外相關研究

1. 楊靜、蔣國梁－透水性混凝土路面材料強度的研究（北京清華大學土木系）^[12]

(1) 由於透水性混凝土內部含有較多的孔隙，採用常規的材料很難達到較高的強度。

(2) 採用礦物細摻量，並配合使用高效減水劑，能夠使透水性混凝土的強度提高 60% 左右，配製的路面磚抗壓強度可以達到 35MPa 以上，可以作為人行路、輕車路材料使用。

(3) 採用有機增強材料，可使透水性混凝土材料的抗壓強度達到 40MPa 以上，從強度指標上可滿足車行道路面材料的使用要求。

(5) 採用較小粒徑的骨料可以提高透水性混凝土的強度，但必須同時調整水泥用量。

2. American Concrete Institute 211.3R-02(2002)規範，對材料性質及配比設計有以下結論：

(1) 正常用於傳統混凝土之水灰比與強度關係曲線，不適用於透水混凝土，經驗顯示透水混凝土之水灰比以 0.35~0.45 為最佳。

(2) 實驗顯示孔隙結構在允許排水情形下耐久性增強。

(3) 孔隙率越高，強度越低；當骨材粒徑減小時強度增加。

(4) 以穩定的漿體達到所需之孔隙率與透水率比達到所需強度更為重要。

3.2 討論

由於本年度因預算的刪減，原兩年之合作計畫案因而延後，故今年之研究只針對文獻蒐集與分析。而於往後兩年希達成如下之工作項

目：

- 1.確認交通建設適用透水混凝土之項目。
- 2.確認透水混凝土之類別。
- 3.確定透水混凝土之配比與特性。
- 4.評估交通建設應用透水混凝土之初步效益。
- 5.國內透水混凝土產製技術之建立。
- 6.國內透水混凝土應用於示範性工程以驗證其排水效能。
- 7.國內透水混凝土之推廣。

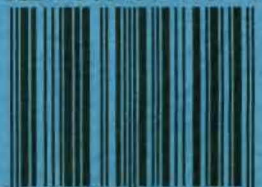
參考文獻

- [1] 陳振川，「高性能混凝土研發及推廣研討論會文輯，台北市台灣工業技術學院」，P.2，民國 86 年 6 月。
- [2] 高性能混凝土施工規範（草案），中華民國結構工程學會（1994）。
- [3] 陳松堂、林建宏，「自充填混凝土之適用介紹」，台灣公路工程，第三十卷第五期，2003。
- [4] 生態工法[學生版]---認識生態工法
http://eem.pcc.gov.tw/natural/students/main_1.htm#into1
- [5] 王建智，「透水性鋪面入滲成效評估之研究——淡海新市鎮為例」，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士學位論文，2003。
- [6] 鄭光炎老師研究室，土木工程系暨土木與防災研究所。
- [7] 「透水性瀝青混凝土」，台灣公路工程第三十卷。
- [8] 「透水性鋪面介紹」，水環境研究中心生態工法網頁。
- [9] 鄭光炎、高榮杉、鄭向高，「讓大地呼吸之透水性鋪面」，環保月刊，第 18 期，pp. 115-129，2002.12。
- [10] 中華大學鋪面研究室。
- [11] 潘昌林、鄭瑞濱，「透水混凝土與工程應用介紹」，台灣營建研究院。
- [12] 楊靜、蔣國梁，「透水性混凝土路面材料強度的研究」，清華大學土木工程系，北京。
- [13] 吳振威，「公路邊坡保護工法之選擇模式研究-以南二高白河以南路段為例」，國立成功大學資源工程學系碩士論文，2003。
- [14] 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，2005。

[15] 黃兆龍、洪盟峰，「透水性水泥混凝土性質與應用之探討」，德霖學報第 18 期。。

[16] 日本雨水貯留浸透技術協會，2002。

ISBN 986-00-4809-6



9 789860 048094

GPN:1009500751

定價100元