

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University


Master Thesis

透水混凝土材料配比與抗壓強度與透水率關係

Relationship Between the Ratio of Permeable Concrete

Material and Compressive Strength and Water

Permeability



陳威霖

Wei-Lin Chen

指導教授：洪耀明 博士

Advisor: Yao-Ming Hong, Ph.D.

中華民國 108 年 7 月

July 2019

南華大學

南華大學永續綠色科技碩士學位學程

碩士學位論文

透水混凝土材料配比與抗壓強度與透水率關係

Relationship between the ratio of permeable concrete material
and compressive strength and water permeability

研究生：陳威霖

經考試合格特此證明

口試委員：

楊昱希

林文賜

洪耀明

指導教授：洪耀明

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 108 年 7 月 16 日

誌謝

在研究所兩年間，感謝指導老師洪耀明教授，於求學過程由淺而深指導我實驗上的步驟與內容，更是犧牲休息時間不厭其煩給於我論文上建議與修正，論文能夠順利完成亦是承蒙於恩師洪耀明老師。

在學習期間接觸許多不同職場領域的先進同學，聽取他們經驗使自身知識更充實，而在先進們中結識好友陳建丞、陳茂誠、陳清煥、陳美如、顏浚丞、吳旻芳、吳建陞…等優秀前輩，因為有他們的指引與鼓勵，論文才能如期完成。



中文摘要

透水混凝土透過空隙以便於地表水的排出，降低路面積水。本研究分析不同混凝土配比之抗壓強度與透水率試驗。首先，設計不同水泥、碎石比例混凝土，其次加入增塑劑以增加混凝土膠結力，並經過標準養護程序之後，量測其透水率和良好的抗壓強度。結果發現水泥含量約高，透水率越低、抗壓強度越高。

關鍵詞:透水混凝土、抗壓強度、透水率



ABSTRACT

Permeable concrete passes through the porosity to discharge the surface water and reduce the road area water. This study analyzed the compressive strength and water permeability of different concrete ratios. First, concrete with various cement and gravel proportion were designed, followed by plasticizer to increase concrete cementing strength. After standard maintenance procedures, water permeability and compressive strength were examined. Outcomes shows that a high cement content will reduce the water permeability and increase the compressive strength.

Keywords: Permeable concrete, compressive strength, permeability



目錄

誌謝.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 本文組織.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 透水混凝土.....	5
2.1.1 定義.....	5
2.1.2 透水混凝土之組成材料.....	6
2.1.3 透水混凝土之結構.....	8
2.1.4 透水性混凝土之設計參考.....	9
2.2 透水鋪面與排水性鋪面之區別與功能.....	12
2.3 透水混凝土抗壓強度.....	15
2.3.1 台灣抗壓強度規定.....	15
2.3.2 其他國家抗壓強度規定.....	16
第三章 研究方法.....	17
3.1 試驗材料設計與計算.....	18
3.1.1 試驗材料.....	18
3.1.2 試驗配比設計.....	20
3.2 試驗使用設備.....	21
3.3 試驗製作流程.....	24
3.4 抗壓實驗.....	30

3.4.1 試驗前置步驟.....	30
3.4.2 抗壓強度測試.....	30
3.5 滲透性實驗.....	34
第四章 結果與討論.....	37
4.1 試體抗壓強度分析.....	37
4.2 試體滲透率分析.....	41
4.2.1 試體抗壓強度應用於透水結構分析.....	43
第五章 結論與建議.....	44
5.1 結論.....	44
5.2 建議.....	44
參考文獻.....	45



圖目錄

圖 1.1 研究章節架構圖	4
圖 2.1 不同鋪面形式之斷面圖	13
圖 2.2 混凝土鋪面應用於次要道路	14
圖 2.3 混凝土鋪面應用於停車場	14
圖 3.1 試驗材料.....	19
圖 3.2 試驗使用設備.....	23
圖 3.3 試體製作過程.....	29
圖 3.4 實驗中混凝土抗壓性試驗	30
圖 3.5 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(1-1、1-2 組).....	31
圖 3.6 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(2-1、2-2 組).....	31
圖 3.7 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(3-1、3-2 組).....	32
圖 3.8 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(4-1、4-2 組).....	32
圖 3.9 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(5-1、5-2 組).....	33
圖 3.10 直徑 6 英吋高 40 公分 PVC 管.....	34
圖 3.11 周圍接縫填補並於內管註記 5 公分	35
圖 3.12 測試試體均有良好透水	35
圖 3.13 試體滲透試驗.....	36
圖 3.14 滲透試驗數據稱重	36
圖 4.1 抗壓試驗報告.....	38

表目錄

表 2.1 混凝土之水泥、粒料等之要求	9
表 2.2 細粒料混凝土之設計參考	11
表 3.1 透水混凝土圓柱試體組成材料用量.....	20
表 4.1 抗壓性試驗數據表	39
表 4.2 滲透性試驗數據表	42
表 4.3 透水混凝土應用於透水結構的工程性質	43



第一章 前言

1.1 研究動機

開發都市大量興建建築物及人工不透水鋪面，為了使運輸便利及工程需求，大面積使用不透水水泥及瀝青混凝土取代土壤，正因便捷的鋪面及道路給人們極大的方便，反而導致這些傳統不透水鋪面帶來負面影響，面臨極端氣候時，雨水不能滲入地下，地表面積水也無法迅速排水，使排水系統超出所負荷量導致水災發生，不透水的路面也難以空氣進行熱能、水分的交換，對都市內的地表溫度與濕度的調節能力下降，進而產生所謂「熱島現象」，且台灣正面臨極端短暫且集中強降雨，使原本已短促的河川無法有效捕獲適當水資源，對人民及生態帶來危機。

各國國家為能使改善迅速消除暴雨所產生地表逕流水，減少都市內之中的不透水面積，改施作可透水、透氣面積，加強地表熱能與水分交換，降低都市氣候，有效涵養地下水資源，緩解「熱島現象」等功能，成現今已開發國家對於生態城市環境品質為開發推展重點。

以台灣目前情況，因大量開發建築與公共工程所需料品甚於龐大，原本已狹小土地對於天然原料的開採也已遇到瓶頸，必須仰賴國外進口，為了使台灣減少資源浪費以及降低生態環境破壞，對於材料運用於建築與工程方面更顯得重要。

1.2 研究目的

本研究因應各國家所推動綠建築觀念中「基地保水」及「抗壓強度」作為重要參考指標，參考現行不同形式的透水生態工法內保水及路基承載度，應用於透水混凝土用料配比，並以相關檢測來評估其在抗壓強度、透水係數等功能，是否滿足現行規範容許值；並彙整細沙石的變化百分比於透水混凝土進行效益與成本上的差異分析與良好的透水功能，再進一步收集相關規範、工法設置、細粗骨材料配比之相關應用文獻，建置分析透水路面滲透孔隙率、保水性和良好的抗壓係度透水混凝土進行綜合評估與探討。



1.3 本文組織

本研究方法，參考前人研究成果與經驗進行實驗探討，重點分成五章所示，各章簡述如圖 1.1，各章內容如下：

一是前言，關於都市內極端氣候引響產生熱島現象，如何改善地表散熱與涵養水資源，將是本研究重點，二是文獻回顧，，三是研究方法，四是針對本研究提出結果與討論，最後五為本研究結論與建議。依此研究重點將本文分成五章，各章內容簡述如下。

第一章為前言，說明研究背景、動機及研究目的，並概述論文架構。

第二章為文獻回顧，收集國內外文獻，針對現有混凝土設計配比及前人研究。

第三章為研究方法，內容包括試驗材料、試驗設備、試驗流程。

第四章為結果與討論，將不同配比透水混凝土，以實驗結果分析抗壓強度及滲透性影響分析，做為未來透水混凝土配比之選擇參考。

第五章為結論與建議，主要將上述各章之結果綜合歸納，並提出未來可以繼續研究之方向。

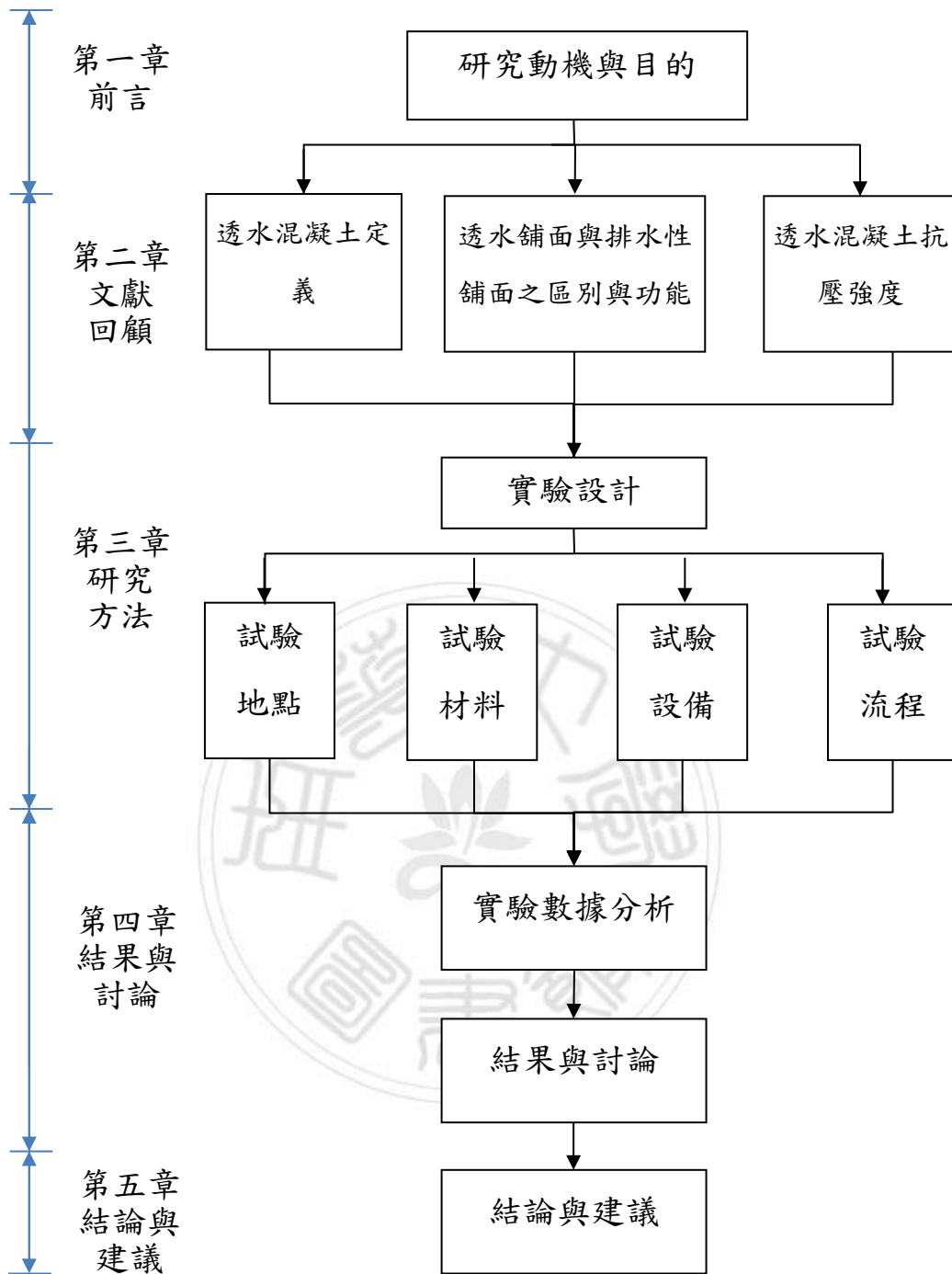


圖 1.1 研究章節架構圖

第二章 文獻回顧

本章收集混凝土於透水路面鋪設結構、設計材料特性與現況多種施工方法，整理混凝土、砂石粒料及強塑劑增減配比原則，與透水路面孔隙度透水功能。

2.1 透水混凝土

2.1.1 定義

近年來透水混凝土在工程用途已大幅增加，然而國內外的專家學者對名稱與定義都有不同解釋，例如透水混凝土、多孔隙混凝土、無細骨混凝土與排水混凝土等(吳俊欣，2013)。

在「透水混凝土與工程應用介紹」中描述為「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」(潘昌林、鄭瑞濱，2001)。

行政院公共工程委員會(2015)在公共工程施工綱要規範，對於透水混凝土的定義為「均勻級配之粗粒料，藉由粗粒料表面之水泥砂漿，使粒料表面接觸互相固結而發揮強度，同時形成多孔隙之結構體以提供透水功能」。

經濟部水利署(2015)之經濟部水利署施工規範，對於透水混凝土的定義為「由均勻級配之粗粒料、微量或無細粒料，且無足量水泥漿組成混凝土材料」。

其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。

由於透水混凝土係為多孔隙材料組合，由粒料為單一骨材，且包含少量或不包含細骨材，再摻入少量之水泥漿體所組成之混凝土。

抗壓強度約在 200 psi(1.5 Mpa)至 2000 psi(14 MPa)之間；在透水係數一般需均大於 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 。其與一般混凝土 (Normal Concrete, 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。

2.1.2 透水混凝土之組成材料

透水混凝土之組成材料包括水泥、粗細骨材、拌合水、強塑劑，關於各材料及用量說明如下表示：

一、水泥

水泥的基本化學原料組成份有氧化鈣 CaO 、二氧化矽 SiO_2 、三氧化二鋁 Al_2O_3 和三氧化二鐵 Fe_2O_3 ，水泥係將石灰質原料氧化鈣、黏土質原料二氧化矽、三氧化二鋁、三氧化二鐵，按化學組成成分與欲製成水泥品項決定配料比例，水泥原生料在經過正確配比、適當研磨與均勻混合後，並以適當的溫度及時間鍛燒，所得到之產物稱為水泥熟料，再添入少量石膏進行混合研磨，才能所稱為水泥。(顏聰，2014)

根據 CNS 61 (R2001)規定卜特蘭水泥分成下列五型：

第一型：「普通卜特蘭水泥」顧名思義用於一般用途，而不需要

具備其他任一型水泥所具有之特別性質者。

第二型：「改良卜特蘭水泥」特別用於需要抵抗中度硫酸鹽侵蝕或中度水合熱者之水泥。

第三型：「早期強度之水泥」特別用於需要高度早期強度者。

第四型：「低度水化熱之水泥」特別用於需要低度水合熱者。

第五型：「高度硫酸鹽抗性之水泥」需染物質的處理技術。

二、粗細骨材

透水混凝土主體架構組成分為粗骨材、不足量水泥漿體、少量及無添加細骨材。粗骨材主要為增強透水混凝土強度來源之一，而骨材與骨材間所堆疊形成的連續孔隙亦是影響透水混凝土之透水能力最重要的因素。



三、拌合水

透水混凝土使用的拌和用水與一般傳統混凝土相同，拌合用水中不得含油脂、酸類、氯化物、有機不純物及懸濁等對混凝土產生不良影響之物質，並符合 CNS 13961 之規定。

四、強塑劑

強塑劑 (superplasticizer, SP) 又稱高效能減水劑 (high range water reducing admixture, HRWR)，為添加水泥、水、砂、石子之外的添加材料，基本上水泥在水化過程裡，用水量必須多水泥量 26~28%，摻入混凝土中可減水 12% 以上，甚至達 20~30%，比傳統之減水劑高出 3~6 倍之多。強塑劑的摻加可使混凝土水灰比下降，卻仍然維持良好的工作性，即能製造出流動性高的高強度混凝土。(顏聰，2014)

強塑劑為化學性材料，常用的強塑劑，如改良式橫化木質素 (modified salt of ligninsulfonates, MLS)、磺化三聚氰胺甲醛聚合物 (sulphonated melamine formaldehyde condensates, SMF)、羧酸高分子聚合物 (polycarboxylic acid sodium salt, PCA) 及磺酸化萘甲醛聚合物 (sulphonated naphthalene formaldehyde condensates, SNF)。在製作一般稠度混凝土時，這些強塑劑是一種高效能減水劑；製造流動混凝土時，則是一種塑化劑。強塑劑的排斥及分散效果對混凝土的流動性扮演重要的角色。

2.1.3 透水混凝土之結構

一般的鋪面設計時，大都包含有表層、路基與路床等三層，路基的設計，除承載由表層傳下之應力，得具備穩定的強度性質外，其尚需考量排水等諸多的問題，設計、檢查、試驗上皆甚為繁瑣。然而使

用透水混凝土於鋪面工程各層使用材料，於行政院公共工程委員會施工綱要第 02794 章(2015)透水性鋪面之一般要求，分別使用材料及場所予以規範供使用參考。即是應用其具備穩定的強度性能與排、透水特性而可簡化路基的施工模式。考慮選用該材料時，應當考量鋪面使用的車輛種類，找出其抗彎、抗壓強度需求以及相關的滲透性能力等，而後進行使用材料規範的訂定後完成設計，達到設計簡易、檢、試驗方法明確等效果(潘昌林、鄭瑞濱，2001)。

2.1.4 透水性混凝土之設計參考

透水性混凝土設計時，會依水泥、粗骨材、少量及無細粒料、拌合水與強塑劑所使用情形以不同要求下去施作，達成彼此間平衡，若未依照配比進行拌和，則易產生析離現象除了使用材料外更考慮耐久性、施工性以及經濟性外，對於施作後對環境生態衝擊的因素也納入於考慮範圍內。

依照透水混凝土主要透水性與抗壓性為優先考慮，採利用行政院公共工程委員會施工綱要第 02794 章(2015)透水性鋪面之一般要求，建議水泥、粒料之要求設計，使用經驗圖表計算利於計算材料用量，如下表。

表 2.1 混凝土之水泥、粒料等之要求

原料	性能要求
水泥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泥應符合第 03052 章「卜特蘭水泥」之規定。 2. 使用的粒徑越小，水泥顆粒亦應相應變小。
粒料	<ol style="list-style-type: none"> 1. 粗粒料應為單一級配。如 10~20mm、10~30mm 等，不宜小於 5mm 或大於 40mm。 2. 粗粒料至少須含[90%](重量比)破碎顆粒，且該破碎

	<p>顆粒至少須具[一個]破碎面。</p> <p>3. 粗粒料之扁平率應小於15%，粒料含泥量應小於1%。</p>
--	---

資料來源：行政院公共工程委員會施工綱要第 02794 章 V4.0(2015)



表 2.2 細粒料混凝土之設計參考

水泥：粒料	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
註：水灰比理想範圍介於 0.45~0.6 之間，較低者可選用 0.35				

資料來源：行政院公共工程委員會施工綱要第 02794 章 V4.0(2015)

王威海(2006)在「多孔隙混凝土配比試驗之研究」中提到，以水灰比分析孔隙率與水灰比呈反比例趨勢，水灰比越高時孔隙率越低，漿骨比分析漿骨比越高，孔隙率明顯降低，其變化趨勢較水灰比明顯，顯示漿骨比對孔隙率之影響高於水灰比。

羅常銓(2006)在「多孔隙混凝土配比試驗及應用之研究」一文中提到以粒徑分析抗壓強度，粒徑越大者，其抗壓強度越低，而透水係數隨著水灰比增加而降低，在相同水灰比時，透水係數隨著漿骨比提高而降低，粒徑為 25~37.5mm 時，透水係數介於 11.0~1.0cm/sec。

林佑儒(2012)於「結合體積法與比表面積法之透水混凝土配比設計」中採用體積法結合比表面積法進行配比設計，使用之粒徑為三分石：粒徑分佈 12.5mm~4.75mm 與六分石：19.0mm~4.75mm 之骨材，其中透水混凝土之強度最高可達 307kgf/cm²，透水係數介於 0.061cm/sec~0.068cm/sec，試驗過程中發現對於三分石及六分石於水膠比 0.25 及 0.30 時，目標孔隙率越大，漿骨比越小，其強度也越小，透水係數則越大。

2.2 透水鋪面與排水性鋪面之區別與功能

透水混凝土係利用面層之透水多孔隙混凝土幫助內部提供排水功能，典型透水混凝土鋪面斷面如圖 2.1 中 (B) 所示(吳佳銘，2004)。多孔隙混凝土在鋪面上應用包含了三個範圍：(1) 使用於道路面層做為排水用途；(2) 使用於道路底層做為透水底層；(3) 使用於道路邊緣或路肩排水。排水鋪面以藉由路基設置路拱及縱坡度之方式，將地表上的水分向左右排洩，最後再流至兩旁之邊溝或排水溝。面層材料功能僅只於排除面層上方之水分，不預期水分會滲透至道路內部，運用減少鋪面逕流之技術改善鋪面績效。

透水混凝土鋪面 (pervious concrete pavement) 之面層亦是運用多孔隙混凝土，協助雨水直接滲透至道路內部。除了能達到減少都市內洪水發生頻率、地表逕流產生及涵養地下水資源功能外，更能因鋪面下方多孔隙幫助水氣調節氣溫，可達到都市內氣溫降低不會迅速升高 (Asaeda, T. and V. T. Ca, 2000; Frentress, D., 2002)。

依據文獻中指出透水混凝土是屬「淺色」面層，而相較於瀝青混凝土的「深色」面層吸熱性較低，更能夠降低鋪面表面溫度。在美國喬治亞洲亞特蘭大市的停車場使用透水混凝土鋪面，除了能有效幫助暴雨管理 (manage stormwater)，更可以減緩「熱島現象」，熱島現象起因於鋪面在白天時大量吸收熱能散熱緩慢，使鋪面表體溫度比大氣氣溫高，然而進入的冷風被都市大樓所阻隔或減少，最後導致都市年平均溫度都比郊區外的溫度還高(Frentress, D., 2002)。

透水混凝土鋪面運用於道路公共工程上，就以美國而言，主要應用對象於次要道路、產業道路及巷道等較少交通量道路 (light traffic volume) (Ghafoori, N. and S. Dutta, 1995)，如圖 2.2 所示。以透水混凝土應用於停車場面層材料為例，美國為佛羅里達、新墨西哥及猶他等

州都有實務上應用案例，如圖 2.3 所示。大部分應用案例以佛羅里達佔大多數，由於該州地理環境關係，暴雨發生頻率高，使用透水混凝土做為道路面層材料可以快速排除地表逕流，並可以補充地下水，減少排水或儲水設施的負擔(Ghafoori,N. and S. Dutta, 1995)，此外歐洲也有限制的使用在停車場面層上，瑞士與英格蘭也將其應用於次要道路上。

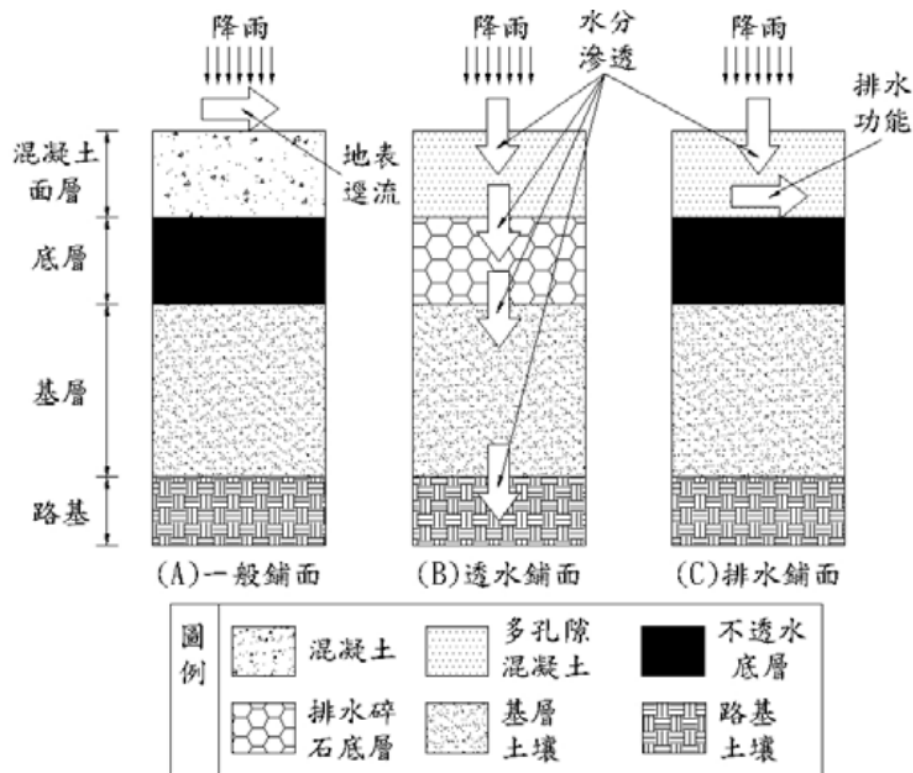


圖 2.1 不同鋪面形式之斷面圖

資料來源：(吳佳銘，2004)



圖 2.2 混凝土鋪面應用於次要道路
資料來源：Ghafoori, N. and S. Dutta, (1995)

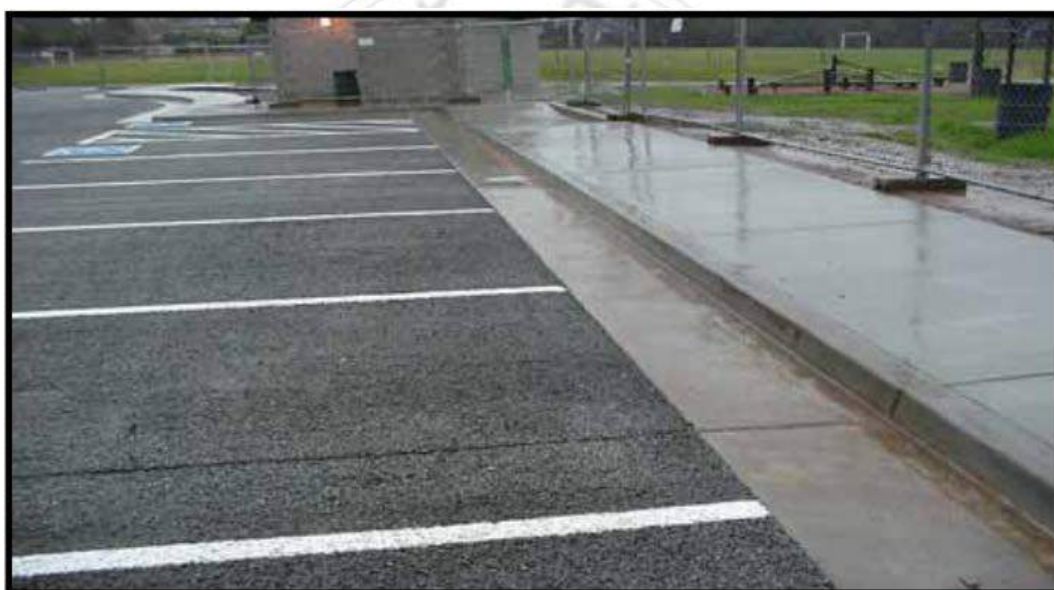


圖 2.3 混凝土鋪面應用於停車場
資料來源：Ghafoori, N. and S. Dutta, (1995)

2.3 透水混凝土抗壓強度

2.3.1 台灣抗壓強度規定

內政部營建署(2019)於 91 年 6 月 27 日以台內營字第 0910084633 號令訂定，並自 92 年 1 月 1 日施行之「結構混凝土設計規範」(註：「結構混凝土設計規範」名稱已決定修正為「混凝土結構設計規範」)。

在 1.7 章中第 1.7.1 節(混凝土規定強度)除設計時另有規定者外，混凝土規定抗壓強度 f_c' 為混凝土 28 日齡期之試驗極限強度。此項抗壓強度之試驗均應符合「中華民國國家標準」CNS 1232〔混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法〕及「結構混凝土施工規範」之有關規定。如結構物在混凝土澆置後未達規定齡期已須承受載重時，則應以該承受載重時之齡期之試驗極限強度為其規定強度。而第 1.7.2 節；結構混凝土之(規定抗壓強度) f_c' 不得小於 175kgf/cm^2 ；另於第 15.3.4.1 節(抵抗地震力構材之混凝土)中規定：「混凝土之規定抗壓強度 f_c' 不得小於 210kgf/cm^2 」。

2.3.2 其他國家抗壓強度規定

陳正平(2017)技師於技師報說明，美國、中國大陸與日本對混凝土抗壓強度之規定如下：

(1) 美國「混凝土結構設計規範」(ACI318-08)規定耐震構材之混凝土設計抗壓強度不得低於 210kgf/cm^2 。

(2) 中國大陸「混凝土結構設計規範」(GB 50010-2002)規定，使用於結構框架(梁、柱)耐震構材之混凝土設計抗壓強度不得低於 C30(210kgf/cm^2)。

(3) 日本「建築標準規範」(JASS5-2009)規定在一般使用年限下，耐震構材之混凝土設計抗壓強度不得低於 240kgf/cm^2 。

由以上規範之規定顯示，美國與中國大陸對於抗震結構之混凝土最低設計強度要求為不得低於 210kgf/cm^2 。

因此，「財團法人台灣混凝土學會」提出建議將修訂中之「混凝土結構設計規範」，第 1.7.2 節(混凝土規定強度)中規定之最低結構混凝土規定抗壓強度提高為 210kgf/cm^2 ；及第 15.3.4.1 節(抵抗地震力構材之混凝土)中規定之最低結構混凝土規定抗壓強度提高為 245kgf/cm^2 。

第三章 研究方法

由陳榮燦(2015)研究說明，透水混凝土組成主要為水泥、水、粗骨材及強塑劑，其製作混凝土所產生之孔隙中空氣含量，空氣含量於混凝土所佔據比例均稱為孔隙率，為此孔隙率的增減變化則明顯影響透水混凝土抗壓度及透水性，因此透水混凝土會依其漿體、骨材孔隙與砂漿骨材混合介面孔隙調整強度，而主要漿體孔隙與界面層所產生之孔隙率影響因子為水灰比、強塑劑、空氣含量等，故抗壓度的變化將由影響因子決定。

透水混凝土施作流程及結構組成與一般混凝土皆為不同，一般混凝土所產生的孔隙率控制得愈小，其混凝土強度與工作表現顯於較佳，反之，透水混凝土所產生的孔隙率愈大，則透水率表現更出色，但由於孔隙的增加，導致目標強度縮減，因此，本研究重點是如何使透水性、抗壓性與工作性之達到三者兼備的透水混凝土。

依據楊靜、蔣國梁(2003)研究指出，透水混凝土所產生的力學行為主要透過骨材與骨材間膠結點傳遞力的作用，由於骨材之強度較高，而粒料間之膠結點面積較小，導致骨材粒料間之連結點破壞為其破壞特徵。因此在維持一定孔隙率的前提下，如何增加膠結點的數量面積以及提高膠結層的強度是影響透水混凝土強度的關鍵。

本研究之透水混凝土，試體製作來源位嘉義縣番路地區合格之預拌混凝土拌合廠，依據不同配比設計施作。

3.1 試驗材料設計與計算

3.1.1 試驗材料

(1) 水泥

試驗選用水硬性水泥-卜特蘭水泥。

(2) 粗骨材

試驗骨材採用天然骨材 5mm 和 10mm 混合且具有堆積密度的粗骨材。

(3) 拌合水

水是混凝土拌合物中重要的材料，它參與水泥的水化反應，對混凝土的質量有影響。

(4) 強塑劑

製作混凝土組成中，另一種附加材料為此，作用可分散水泥顆粒，增加水泥水化速度，使混凝土耐久性更加優良。

試驗材料如圖 3.1 所示。



(a) 卜特蘭水泥



(b) 天然粗骨材



(c) 拌合水



(d) 強塑劑

圖 3.1 試驗材料

3.1.2 試驗配比設計

試體大小為 15*30cm，從表 3-1 顯示試驗配比，水灰比分別以 0.39、0.35、0.32、0.29、0.27，天然骨材 1570、1560、1550、1540、1530 與強塑劑 0.9%、1%、1.1%、1.2% 下去摻拌，製作五種不同比例透水混凝土，每組配比做兩組試體。

表 3.1 透水混凝土圓柱試體組成材料用量

水灰比	水泥		水		天然骨材		強塑劑
	(%)	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(%)	(kg/cm ³)	(%)	
0.39	90	5.31%	35	2.06%	1570	92.63%	0.9
0.35	100	5.90%	35	2.06%	1560	92.04%	1
0.32	110	6.49%	35	2.06%	1550	91.45%	1.1
0.29	120	7.08%	35	2.06%	1540	90.86%	1.2
0.27	130	7.67%	35	2.06%	1530	90.27%	1.3

3.2 試驗使用設備

試體尺寸為 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ ，以鋼模製作，以及施作相關設備如圖 3.2 所示：

- (1) 篩網：用以篩選粗骨材粒徑，符合本研究所需求。
- (2) 混凝土標準圓柱試體模具：為 $\phi 15\text{cm}$ 、高 30cm 之混凝土標準模具製作混凝土圓柱試體。
- (3) 搗實棒：製作圓柱試體中，搗棒夯實用（每層搗 25 次）。
- (4) 混凝土攪拌機：試體材料拌和用之機具。
- (5) $\phi 6$ “PVC 管-40cm：PVC 內加註 5cm 記號，於滲透性實驗使用，用以套住 $\phi 15\text{cm}$ 圓柱試體。
- (6) 方格網：於滲透性實驗中，用以隔開試體和下方承接滲透水量之水桶。
- (7) 水桶：於滲透性實驗中，承接滲透試體之水量。
- (8) 粘土：於滲透性實驗使用，因 PVC 管套住圓柱試體，避免造成從旁側漏，影響實驗數據，填縫使用。
- (9) 裝水器具：滲透性實驗中，用以添加水量及量測數據。
- (10) 電子秤：滲透性實驗中，用以量測數據。
- (11) 熱熔槍：於滲透性實驗使用，因 PVC 管套住圓柱試體，避免造成從旁側漏，影響實驗數據，填縫使用。
- (12) 抗壓機台：於做試體抗壓性實驗使用。



1. 篩網



2. 混凝土標準圓柱試體模具



3. 搗實棒



4. 混凝土攪拌機



5. $\phi 6$ “PVC 管-40cm



6. 方格網



7.水桶



8.粘土



9.裝水器具



10.電子秤



11.熱熔槍

12. 抗壓機台

圖 3.2 試驗使用設備

3.3 試驗製作流程

本研究之試體材料首先選用 5mm~10mm 間的三分石進行製作，並加入水泥、拌合水與強塑劑，以配比比例計算材料所需水泥漿體，使用混凝土攪拌機將試體材料進行拌和。

將機具拌和好之混凝土，按規定分層數置入圓柱試體模具內，而倒入模具前須以適當的密封材料，如黃油、礦物油或塑性黏土等塗抹接縫防止滲漏，以方便日後脫模。

製作過程分三次動作進行夯實，確保粒料間的密合，完成後放置於戶外無影響他人動線處所，於 24 小時後將試體脫模浸泡於飽和石灰水中。



(a) 粗骨材



(b) 水泥



(c) 拌合水



(d) 強塑劑



(e) 使用混凝土攪拌機將試體材料進行拌和



(f) 將試體材料倒入模組進行夯實



(g) 試體材料夯實分三次動作進行



(h) 將試體材料進行最後夯實作業



(i) 圓柱試體完成



(j) 試體於 24 小時後拆模浸至飽和石灰水中養護

圖 3.3 試體製作過程

3.4 抗壓實驗

3.4.1 試驗前置步驟

本研究透水混凝土試體至養護池取出後，首先使用石膏進行做試體蓋平作業，此動作是為進行抗壓時確保測試試體已垂直承受抗壓強度，若試體不是垂直狀態，則在承受抗壓測試時抗壓強度會有變化，蓋平完成後進入抗壓機進行測試，測試時試體軸心與球形座中心軸須吻合，以緩慢手動方式使荷重均勻。試驗方法使用抗壓機以一般混凝土；依據 CNS 1232 A3045 (2002) 進行試驗。

3.4.2 抗壓強度測試

本試驗抗壓強度為 28 天養護之抗壓強度，抗壓機以每秒 1.50kgf/cm² 到 3.5kgf/cm² 間，加壓時間上半段內可用稍高速率加壓，加壓試驗過程如圖 3.4 至 3.9。



圖 3.4 實驗中混凝土抗壓性試驗



圖 3.5 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(1-1、1-2 組)



圖 3.6 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(2-1、2-2 組)



圖 3.7 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(3-1、3-2 組)



圖 3.8 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(4-1、4-2 組)



圖 3.9 實驗中混凝土抗壓性試驗配比(5-1、5-2 組)



3.5 滲透性實驗

本研究透水混凝土試體至養護池取出後，直徑 6 英吋高 40 公分 PVC 管（圖）套住，試體與 PVC 管接縫處以熱熔膠填補四周，上方空隙以黏土填補，確保注入水不可從周圍滲入，中間以方格網區隔，下方則使用水桶接取水源，試驗前 PVC 管內標註 5 公分記號。

後續由試體上方緩慢注入水，使試體空隙間氣泡驅離，持續注入清水至 5 公分記號處，以 1 分鐘量測試體上方流出之水量 Q 。其步驟重複至各組試體，實驗過程如圖 3.10 至 3.14 所示。



圖 3.10 直徑 6 英吋高 40 公分 PVC 管



圖 3.11 周圍接縫填補並於內管註記 5 公分



圖 3.12 測試試體均有良好透水



圖 3.13 試體滲透試驗



圖 3.14 滲透試驗數據稱重

第四章 結果與討論

4.1 試體抗壓強度分析

本次研究顯示，由於粗細骨材的增加，取代原先混凝土的抗壓強度，使得抗壓性明顯降低，然而因混凝土的增加，提升混凝土抗壓強度是必然的。

本次試體抗壓研究於委託斗南桂田實驗室進行，報告試驗如圖 4-1 所示，試驗結果整理如表 4.1 所示。

混凝土抗壓強度計算公式：抗壓荷重 kg/截面積(cm²)=抗壓強度(kgf/cm²)，試驗報告指出，水灰比與強塑劑的變化，抗壓強度皆緩慢的增加，以最低抗壓 98kgf/cm² 與最高平均抗壓 129.5kgf/cm² 形成對比，而試組中試體為人工方式搗實，人為因素或氣候影響，導致透水混凝土均勻性欠佳，因此試驗結果不如預期。



混凝土圓柱試體抗壓強度試驗報告

柱田技術顧問有限公司
 柱田斗南實驗室
 地址:雲林縣斗南鎮文昌路298號
 電話:(05)597-7368 傳真:(05)597-9796

工程名稱:自試					報告編號:19007249				
承包商:NA 委託單位:陳威霖 聯絡資訊:NA 取樣人員:陳威霖 結構部位:透水材料 送樣備註:1-1、1-2、2-1、2-2、3-1、3-2、4-1、4-2、5-1、5-2 設計強度: NA 送驗人員:陳威霖 會驗人員:NA 備註:收件日期時間:07101455 送樣日期時間:07101455 試驗日期時間:07101625 製模時間:108/06/12 材齡:28天					頁次:第 1 頁 共 1 頁 收件日期:108/07/10 試驗日期:108/07/10 報告日期:108/07/10 試驗方法:CNS 1232 A3045(2002) 試體數量: 10 個				
試體編號 (取樣部位)	試體平均尺寸 (cm)		最大 荷重 (kgf)	抗壓 面積 cm ²	修正係數	抗壓強度		破壞 型態	試體 或 蓋平 缺陷
	直徑	高度				kgf/cm ² (psi)	(MPa)		
01 1-1	15.03	30.0	20218	177.42	-----	114(1621)	11.2	C	B
02 1-2	15.05	30.0	14525	177.90	-----	82(1166)	8.0	C	B
03 2-1	15.07	30.0	19398	178.37	-----	109(1550)	10.7	C	B
04 2-2	15.02	30.0	15268	177.19	-----	86(1223)	8.4	C	B
05 3-1	14.99	30.0	17793	176.48	-----	101(1437)	9.9	C	B
06 3-2	15.04	30.0	23100	177.66	-----	130(1849)	12.7	C	B
07 4-1	15.00	30.0	19280	176.72	-----	109(1550)	10.7	C	B
08 4-2	15.05	30.0	21173	177.90	-----	119(1693)	11.7	C	B
09 5-1	15.00	30.0	22256	176.72	-----	126(1792)	12.4	C	B
10 5-2	15.01	30.0	23584	176.95	-----	133(1892)	13.0	C	B
— 以下空白Blank Below —									
附註:(1)試體之製作由陳威霖辦理。 (2)試體之養護:養護單位:,同送樣者;養護方式:*水中養護;養護條件:送樣者管理。 養護起始時間:1080613-17:00;養護結束時間:1080710-08:00。 實驗室收件後養護條件:NA。 (3)本實驗室為公共工程材料實驗室認證服務計畫認可實驗室。試驗報告僅提供委託單位使用,不作為法律訴訟或商業廣告之用途。當試驗運輸單(報告)需進行修改時需經由委託單位或會送驗單位/人員提出,經送樣單位/人員之同意。 (4)工程名稱、業主、承包商、委託單位、聯絡資訊、取樣人員、製造單位、結構部位、送樣備註、設計強度、試驗方法、製模時間、材齡、試體編號、附註(1)、附註(2)第1、2列之上述欄位資訊若有呈現,係由送驗單位所提供,實驗室不負責資訊之真偽。(以郵寄/貨運等送樣品時則送樣人員資訊屬顧客提供) (5)抗壓強度單位換算: 1 kgf/cm ² = 0.0980665 MPa。 (6)本報告若有提供規範值時,該規範值僅供參考,合格之判定以委託單位實際要求為主。 (7)本報告結果除另有說明否則僅對送驗樣品負責。 (8)試驗時試體飽濕狀態為面乾;試體承壓面處理方式為蓋平;處理單位:本實驗室。 (9)試體或蓋平缺陷:A外觀及蓋平良好,B外觀有裂痕或孔洞但蓋平良好,C外觀有磁痕或磁跡但蓋平良好,D蓋平不良(端面之容許差>0.05mm),E無。 (10)本報告未蓋鋼印無效,未經書面許可不得塗改及抽錄複製。申請需部份資訊時呈報于TAF。 (11)未出典認證標記報告之原因:樣品不符合規範所要求,試體高度係以標稱高度出具。								(111)	(0%)

報告簽署人: 賴永堅
 B11AHBA_AB_AB
 ZHAK571_17001
 系統1-30

破壞型態圖示

賴永堅
吳建隆

服務人員:謝政原

圖 4.1 抗壓試驗報告

表 4.1 抗壓性試驗數據表

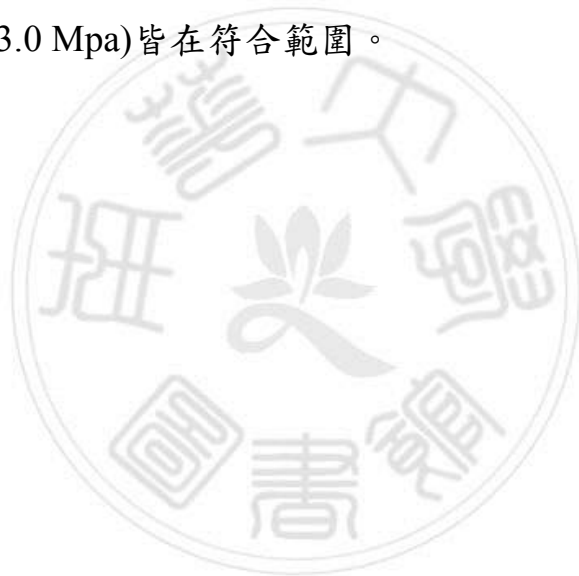
試 體 編 號	水灰 比	水泥	水	天然 骨材	強塑 劑	抗壓強度	平均抗 壓強度
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	kgf/cm ² (psi)	kgf/cm ² (psi)
1-1	0.39	5.31%	2.06%	92.63%	0.9	114(1621)	98 (1393.5)
1-2						82(1166)	
2-1	0.35	5.90%	2.06%	92.04%	1.0	109(1550)	97.5 (1386.5)
2-2						86(1223)	
3-1	0.32	6.49%	2.06%	91.45%	1.1	101(1437)	120 (1643)
3-2						130(1849)	
4-1	0.29	7.08%	2.06%	90.86%	1.2	109(1550)	114 (1621.5)
4-2						119(1693)	
5-1	0.27	7.67%	2.06%	90.27%	1.3	126(1792)	129.5 (1810.5)
5-2						133(1892)	

註：一般混凝土-依據 CNS 1232 A3045 (2002) 執行試驗

依內政部營建署(2019)中，混凝土結構設計規範「結構混凝土之(規定抗壓強度) f_c' 不得小於 175kgf/cm^2 」，在此次試驗 10 組試體，均無達到抗壓強度所規範之要求。

而在行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02794 章 (2015)「透水性鋪面之一般要求」，藉由配合設計與製程控制使鋪面達到適合之強度、透水性及無材料析離等工程需求，一般作為無須壓密之回填材料或水工構造物，抗壓強度約在 $200\text{psi}(1.5\text{Mpa})$ 至 $2000\text{psi}(14\text{MPa})$ 之間。

根據上述之要求規範，本次 10 組試驗試體試驗結果 $1166\text{psi}(8.0\text{Mpa})\sim 1892\text{psi}(13.0\text{Mpa})$ 皆在符合範圍。



4.2 試體滲透率分析

本次研究初期目標試體為能探討在具有透水係數下，用不同水灰比與骨材粒料間孔隙率的變化，其對應抗壓強度，其滲透性定水頭試驗時，依據 Darcy 公式，量取試體長度 L 、截面積 A ，以單位分鐘量測試體上方流出之水量 Q ， ρ 為水的密度，於以計算透水係數 $K=\rho \times L \times Q / (H \times A)$ ，本研究試體圓面積為 $\pi \times r^2 = 3.1416 \times 7.5 \times 7.5 = 176.72$ $[\text{cm}]^2$ ，其滲透計算水量/(時間 \times 面積)，試驗結果如表所示，試驗試體 1-1 與 1-2 組試驗數據來看，雖抗壓性顯得不足，而透水性與滲透率彌補其缺失，隨著水泥漿體的增加，其透水性隨之遞減，滲透率不佳，然而另一層面是抗壓性較高。



表 4.2 滲透性試驗數據表

試 體 編 號	水灰 比	水泥	水	天然 骨材	強 塑 劑	透水率	平均 透水率
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(cm/sec)	(cm/sec)
1-1	0.39	5.31%	2.06%	92.63%	0.9	0.86	1.02
1-2						1.18	
2-1	0.35	5.90%	2.06%	92.04%	1.0	0.82	0.99
2-2						1.16	
3-1	0.32	6.49%	2.06%	91.45%	1.1	0.74	0.71
3-2						0.68	
4-1	0.29	7.08%	2.06%	90.86%	1.2	0.80	0.775
4-2						0.75	
5-1	0.27	7.67%	2.06%	90.27%	1.3	0.69	0.68
5-2						0.67	

4.2.1 試體抗壓強度應用於透水結構分析

根據行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02795 章(2010)，中華民國國家標準(CNS) 14995 「透水性混凝土磚」，主要適用於景觀或室外鋪面如廣場、人行道、景觀步道及自行車道等透水性混凝土磚，規定之透水係數應於 $1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$ 以上，抗壓強度於 $280\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上，抗彎強度也須 1200kgf 以上，適用於透水地磚長度或寬度超過 280mm 者。

洪盟峰、黃兆龍(2013)期刊中說明，日本於透水混凝土用於透水構造物工程性質如表 4-2，建議透水構造物的透水係數在 $1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$ 以上。因此以日本透水結構規範 $1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$ 要求，大約與粗砂及礫石的透水性直接近。日本透水結構物用途如人行道與自行車道的強度規範為 $180\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上，廣場及停車場強度要求 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上。

表 4.3 透水混凝土應用於透水結構的工程性質

用途	人行道	自行車道	廣場、停車場
強度	$180(\text{kgf}/\text{cm}^2)$	$180(\text{kgf}/\text{cm}^2)$	$180(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
滲水係數	$1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$	$1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$	$1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$
空隙率	10%以上	10%以上	10%以上

資料來源：(洪盟峰、黃兆龍，2013)

本次 10 組試體平均抗壓強度 $98\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 129.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ 應對於透水混凝土應用於透水結構之強度規範為 $180\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，皆無法達到抗壓強度所規範之要求。

而另滲透率平均測試 $0.68\text{cm}/\text{sec} \sim 1.02\text{cm}/\text{sec}$ 應對於滲水係數 $1 \times 10^{-2}(\text{cm}/\text{sec})$ ，試驗結果均符合規範之要求。

第五章 結論與建議

本研究主要目標為探討透水混凝土於前人研究方法中在不同水泥、天然骨材及強塑劑之試驗材料比例，其對應抗壓強度的變化及滲透係數之差異結果。於本次試驗當中嘗試改變混凝土、天然材料及強塑劑的配比，後續分析所製作測試試體之抗壓強度及透水係數試驗結果獲得以下結論與建議。

5.1 結論

本研究試驗中混凝土、天然骨材及強塑劑所使用不同比例製作之試體，因養護期間過短與人為因素，導致混凝土之膠結不足，其結果對應於試驗報告所示，皆無達到「混凝土結構設計規範」不得小於 175kgf/cm^2 抗壓強度規範之要求。

應對無須壓密之回填材料或水工構造物「透水性鋪面之一般要求」結果，本次配比均符合，適用於簡易施工方式之工程。

對於抗壓強度反應於滲透性上，抗壓強度較低者則透水係數提升，但隨著抗壓強度增強，混凝土滲透係數逐漸降低。

5.2 建議

本研究透水混凝土之養護應比照前人研究方式採用 28 天養護試體週期進行作業，使研究試體有良好的濕養及養護時間，以提高本試驗試體的正確性。

本研究試驗目前只以混凝土、天然骨材(三分石)及強塑劑所產生的變化進行實驗，後續未來研究可使用本次試驗配比，進行三分石與六分石混合製作及添加矽灰等其他添加物之透水混凝土試體，探討抗壓性與滲透性。

參考文獻

- 內政部營建署(2019)，混凝土結構設計規範。
- 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02794 章 V4.0(2015)，透水性鋪面之一般要求。
- 行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02795 章 V2.0(2010)，透水性混凝土磚。
- 經濟部水利署(2015)，施工規範第 03378 章，多孔混凝土規範。
- 洪盟峰、黃兆龍(2013)，透水性水泥混凝土性質與應用之探討，德霖學報第十八期。
- 陳正平(2017)，結構混凝土規定抗壓強度之最低設計強度，技師報。
- 王威海(2006)，多孔隙混凝土配比試驗之研究，逢甲大學水利工程學系碩士論文。
- 吳俊欣(2013)，透水混凝土中添加化學摻料之研究，逢甲大學土木工程學系碩專班碩士論文。
- 吳佳銘(2004)，多孔隙混凝土應用到路面層工程性質之研究，淡江大學土木工程學系碩士論文。
- 林佑儒(2012)，結合體積法與比表面積法之透水混凝土配比設計，逢甲大學水利工程學系碩士論文。
- 陳榮燦(2015)，透水混凝土砂漿係數法配比設計之研究(單一粒徑 19mm)，逢甲大學土木工程學系碩士論文。
- 楊靜、蔣國梁(2003)，透水混凝土路面材料強度研究，北京清華大學土木系研究所碩士論文。
- 顏聰(2014)，土木材料，4 版。

羅常銓(2006)，多孔隙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。

潘昌林、鄭瑞濱(2001)，透水混凝土與工程應用介紹，台灣營建研究院研發資訊。

Asaeda, T. and V. T. Ca, 2000,“Characteristics of Permeable Pavement During Hot Summer Weather and Impact on the Thermal Environment”Building and Environment, Vol35.

Frentress, D.,2002, “Pervious Concrete Applications: Parking Lots,Sidewalks, Low speed Road Surfaces” Conference on Sustainable Concrete & Asphalt Practices.

Ghafoori, N. and S.Dutta,1995,“Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials,”Journal of Transportation Engineering,pp.183-191.

