

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

土壤流填料之力學行為探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-216-005-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：吳淵洵

計畫參與人員：張晏誌、黃政昭

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

土壤流填料之力學行為探討

The Study of Stress Behavior of Soil-Based Flowable Fill

計畫編號：NSC 92-2211-E-216-005

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：吳淵洵 中華大學土木工程系

計畫參與人員：張晏誌、黃政昭 中華大學土木工程系

一、中文摘要

本計畫於土壤流填料之實驗研究基礎上進一步探討以山級配製作之此種材料之工程性質與力學行為。研究內容包括試體製作、一般物理試驗、流動性檢測、凝固時間檢測、單軸壓縮試驗，變水頭滲透試驗、濕陷試驗及不同型式載重變形模數模擬等。管溝回填、擋土牆之回填、地下最後針對級配流填料與結構之整體穩定與安全設計提出結論與建議。

關鍵字：填土工程、流填料、CLSM

Abstract

Flowable fill or CLSM is favorable as an alternative for structural fill construction. This research studied the engineering behaviors of flowable fill that consisted of in-situ site mixtures of gravel and soil. The experimental program included sample preparation, physical tests, flowability, bleeding, unconfined compression strength, permeability, hydrocollapse, and observations of multiple stress-strain moduli. Final engineering parameters and failure mechanism were proposed and recommended at the completion of this study.

Keywords: CLSM, Flowable Fill,

二、緣由與目的

填土工程是許多工程設施在興建階段中必須執行的過程，無論是作為結構之承載基層 (foundation subgrade)、周邊回填(perimeter backfill)或區域整地(area site grading)，其品質之良窳均直接影響工程設施之安危，而夯實即為控制填土工程品質最重要之手段。然而由於諸多主、客觀因素之影響，使得填土工程之品質控制成效無法完全臻於理想，由此而導致之工程缺失亦不勝枚舉，如土石壩壩心沉陷所產生之壩體變位、路堤邊坡坍塌、橋台引道沉陷、管溝回填所造成之路面損毀及坡地填方社區沉陷所引起之建築龜裂、傾斜等 (澎淵燦，2003；吳淵洵，1995；Charles, 1994)均造成工程預算或維護成本增加、營運功能(service function)品質低劣或產值跌落、使用者怨聲載道等重大影響。

導致填土工程品質低劣之原因甚多，施工人員，技品、材料、機具、施工條件及天候等任何一項因素之變化均足以使得填土無法得到有效夯實，即使完全夯實亦可能因填土材料本身之濕陷性引致過量沉陷之發生(吳淵洵，1995)。相關研究及施工經驗顯示，在許多案例中，材料及施工條件均是達到填土品質最佳化與否之關鍵

因素(吳淵洵, 1995; 吳淵洵、洪志昇、王仁杰, 1997)。為保障填方品質, 重要工程多規定使用砂石級配, 然而台灣砂石料源日益短缺, 優良填方材料更屬供不應求, 地質條件的限制亦造成北部廢土無處可去, 南部無土可用之嚴重南北失衡現象。南二高工程曾一度發生欠缺土方高達330萬立方公尺, 導致工程進度嚴重延誤即為一例, 研發填方替代材料以解決上述問題實為當務之急。

流填料(flowable fill)為一種高含水量、具有自流动性之填方材料, 其成份為飛灰、爐石或其他回收材料以及低量水泥或固化劑。歐美等先進國家稱之為限制強度配方材料(CLSM, controlled low strength material), 由於具有自流动性、免夯實、低壓縮性、可調整強度(adjustable strength)及低成本等優點, 因此目前在國外已實務應用於管溝回填及擋土結構回填方面(Howard and Hitch, 1998)。依據美國混凝土協會(ACI Committee 229)之定義, CLSM為一種28天單軸壓縮強度不超過 84 kg/cm^2 ($1,200 \text{ psi}$)之水泥質材料。不過, 由於考量回填部份之開挖性(digability), 一般使用之CLSM其單軸強度均不超過 21 kg/cm^2 (300 psi)。目前CLSM在國內仍屬於初步應用階段, 吳淵洵、江啟政(1994)及錢文國(1995)等人曾以台電飛灰進行流填料之研究與推廣應用。研究結果顯示, 雖然飛灰流填料具有優異之大地工程性質, 可是在台灣之推廣應用卻無法獲得廣泛迴響, 究其原因可歸納如下(吳淵洵、江啟政, 1994):

(1) 料源分佈

飛灰為火力發電廠之衍生廢棄物, 而火力發電廠之分佈位置與施工地點未必配合, 運距之增加造成使用意願降低。

(2) 材料變異性

飛灰之性質因煤源、電廠設備等因素之影響可產生極大之差異, 流填料之工程性質因而具不穩定性, 造成品質管制上之困難。

(3) 凝固時間

由於飛灰在水泥的水化過程中具有緩凝作用, 因此凝結時間皆在24小時以上, 隨著含水量的增加, 凝結時間亦隨之增加, 此種性質對於爭取時效的填土工程即有緩不濟急之弊。使用速凝劑可改善此種現象, 但成本亦將因此提高, 而常用之速凝劑氯化鈣, 所含之氯離子亦可能腐蝕金屬管線。

(4) 成本

飛灰流填料之拌和必須使由混凝土拌和設備, 因此其單價約在 $1,200-1,500 \text{ 元/m}^3$, 與傳統回填施工方式相較, 並不具備競爭優勢, 對於只強調成本而不重品質之國內工程單位缺乏誘因, 此外, 飛灰業經CNS驗證可作為混凝土之合法摻料, 可節省混凝土之成本, 導致廠商競相採用, 因此目前在國內已漸無環保處理上之問題。

潘昌林及鄭瑞濱(2000)以摻入速凝劑之CLSM在台北市進行管溝現地回填試驗, 結果顯示CLSM之貫入阻抗(ASTM C 403)在3小時左右即具有 219 kg/cm^2 , 其流變性能、力學性質及施工性亦符合預期, 惟其成分均使用與混凝土相同之粗細骨材, 故其28天單軸強度高達 107.8 kg/cm^2 , 不符合開挖性之要求, 成本亦與一般混凝土無異。

鑑於填土工程品質之高度重要性及其控制之困難度, 而使用飛灰、爐渣之CLSM雖可解決部分品質問題惟仍存在若干技術障礙使其推廣應用無

法有效展開。李銘哲(2000)遂以現地土壤為基材，參照CLSM之原則研製土壤流填料。研究結果顯示，土壤流填料與一般CLSM相同，其工程性質主要是由灰水比和水固比所控制。土壤流填料使用灰水比0.3~0.5、水固比0.4~0.6(砂土)及0.6~0.8(黏土)，其性質可符合預期之設計目標。與傳統填土工法及CLSM工法相較，土壤流填料最多可節省72%之成本。整體而言土壤流填料具有相當合理之工程性質與成本效益，以之作為目前填方工程之替代工法應屬可行，惟各地土壤性質各異，工程要求亦不盡相同，因此土壤流填料之配比設計亦應因地而異。由於使用土壤流填料具有解決棄土傾倒、提高填土品質、減少砂石資源需求以及降低填土成本等多項優點，因此各工程單位對於土壤流填料之推廣均樂觀其成，並由營建署編列經費委由台灣營建研究院辦理CLSM之大型現地試拌作業。公路總局、南區水資源局等工程單位亦已採用本工法於路基填築及大型導水管線回填等實務案例之中(台灣營建研究院，2002)，惟對於現地土石材料變異性較大之工程，流填料之工程性質較難以控制，顯示土石混合料拌製之流填料其工程性質與力學行為仍待進一步探討。

本計畫於土壤流填料之實驗研究基礎上進一步執行以俗稱山級配之現地土石混合料製作之流填料，其工程性質與力學行為之實驗模擬與探討。

三、研究內容

本研究使用頭前溪附近之土石混合料(山級配)，以普通水泥(台泥 Type I)及污泥固化劑(台泥 Type 2A)

為膠結材料，添加不同比例的水拌合後進行配比設計，製成一般型級配流填料；此外另根據膠結材料的不同膠結特性搭配氯化鈣及矽酸鈉等化學摻料，製成早強型級配流填料。

首先將試料依大地工程法則進行基本物理性質試驗，包括比重、阿太堡限度與粒徑分析等試驗，並予以分類。其次進行配比設計試驗，其目的為求取符合級配流填料流動性與填土規範要求的強度。最後再選取級配流填料中之代表性配比進行大地工程材料試驗，以檢測其符合現地大地工程之力學行為參數。

本研究之實驗可分為三大主軸：

1. 試料基本物理性質試驗：首先進行試料基本物理性質分析，包括比重、阿太堡限度、粒徑分佈與分類等。
2. 材料配比設計試驗：依據材料性質與應用需求，分成一般型與早強型兩種，依其控制參數灰水比(C/W)與水固比(W/S)，調配不同組合配比試樣。試驗項目包括：流動性、泌水率、單軸強度、凝結時間、及不同養護條件下的單軸強度等試驗。
3. 大地工程性質試驗：將選定的級配流填料代表性配比，進行變水頭透水試驗、加州載重比試驗、等壓循環載重試驗、逐級增壓循環載重、壓縮性等大地工程試驗，藉此求得各種重要之大地工程材料力學行為參數，如滲透係數、CBR值、各種應力-應變相關模數如切線模數、割線模數、彈性模數、變形模數、永久變形模數、壓密係數、壓縮比及再壓縮比等。

四、研究結果分析與討論

本研究重點為探討以山級配製作

之流填料其力學行為與工程參數。試驗方式為以灰水比、水固比與摻料含量為主要控制參數，觀察不同配比材料力學行為之變化，藉此評估流填料於承受相關載重時之表現及其對構造物安全之影響。

4.1 基本物理性質

級配流填料的基本物理性質試驗包括比重 (G_s)、阿太堡液塑限度與級配粒徑分析等。由試驗之結果可知，本研究的級配料粗骨材比重 2.58，細骨材比重 2.63，且均不具塑性，試料之洛杉磯抗磨損試驗值為 32.4%，由粒徑分佈結果，試料之分類為含砂碎石 (A-1-a) 或優良碎石級配 (GW) 屬於理想之道路基層或底層材料。

4.2 級配流填料之配比設計試驗

本研究參考 CLSM 及前人有關砂、黏土流填料之配比設計原理並考量現地填方工程之施工特性，以灰水比 (C/W) 與水固比 (W/S) 為控制參數，以試誤法分別調配出一般型與早強型之配比共 44 組。以下就各配比設計試驗結果加以說明，並將其影響因子作綜合性探討。

4.2.1 流動性

圖 1 為代表性級配流填料之流度變化。依據試驗結果，級配流填料之流動性主要是由水固比 (添加之拌合水量) 所控制，而根據配比設計之運算，水固比增加，膠結材料用量也隨之增加。此外，在使用不同膠結材料時，流動性亦有差別。此處建議使用一般水泥時，水固比取 0.23 以上；而使用固化劑時，則建議水固比取 0.25 以上，惟為考量不同試驗材料性質差別之影響，水固比之選定宜針對特定之使用材料以試驗方式求取之。

4.2.2 泌水率

泌水率是指當固體顆粒下沉時與粒料分離之含水量。一般而言混合物中含水量愈多，粒料之間游離水(自由水)愈多，產生泌水率愈大，此數值且與流動性亦具有高度關連性(李銘哲，2000)。

由圖 2 可知，泌水率主要是由水固比 (含水量) 所控制，二者之相關性與流動性之變化相似。另外依據前人之研究，泌水率過多對試料硬化後之強度、變形、均勻性、滲透性及澆置體積均有不利之影響。本研究所探討添加不同膠結材料之級配流填料在泌水率控制方面，於適宜的流動性下，泌水率皆在 0.2% 以下，顯示在澆置後，體積不致產生顯著的變化。

4.2.3 單軸壓縮強度

本項材料配比設計之目的為調配一兼具流動性與適當強度的回填材料。所謂適當強度是指回填材料必須具有足以承載各級設計載重或一般工程載重之強度，然而為執行一般管線工程完工後不可避免之維修或遷徙等二次施工，強度則必須具有上限，以維持未來二次開挖之便利性，因此本研究參考道路工程填土規範及一般管溝工程施工規範之強度限值設定配比強度之範圍，惟為考量國人施工習性以及料源變異性之影響，目標強度較規範強度另酌量增加一安全係數 1.5。

本節討論級配流填料在添加不同膠結材料情形下，調整灰水比以求達到符合規定強度之上下限值，再依據不同齡期與環境條件探討其後續的強度發展。

圖 3~圖 4 為級配流填料之單軸強度(q_u)與各相關參數之代表性關係。由圖可知，級配流填料的強度主要是取決於灰水比及水固比。在固定水固比的情形之下， q_u 均隨著灰水比提高與

材齡之增長而增加。試體初期的強度取決於細粒料與膠結材料含量，由於膠結材料的水化作用未完全發揮效果，試體在受到破壞時因為粗粒料強度較強，使得破壞面沿著粗粒料邊緣通過，因此強度有限；在後期強度方面，由於膠結材料水化作用充分，使得試體內粗細粒料結合一體，共同發揮剪力阻抗作用，試體破壞時不一定沿著粗粒料邊緣破壞，也會穿過粗粒料，使得試體強度提高。在養護條件對於試體強度的影響方面，添加兩種膠結材料在經過空氣濕治與浸水養護後的單軸強度皆較僅以空氣濕治養護的試體單軸强度高，顯示在經過濕治的過程中，膠結材料的水化固結作用仍然持續進行因而可提升試體強度，因此能夠達到目標強度之標準。

本研究之目標強度下限為 7 天單軸強度為 20 kg/cm^2 。在強度達到 7 天的設計值後才能繼續下一個養護齡期的比較，而即使強度達到 28 天規範，若 90 天強度不足規範，此配比仍得捨棄，以重複的試誤法來求得添加兩種不同的膠結材料考慮成本與強度所需的最低灰水比。實驗結果顯示，一般型水泥級配流填料在灰水比 0.7，水固比 0.23；污泥固化劑級配流填料在灰水比 0.4，水固比 0.25 之設計配比值，可符合預期之目標。

依據早強性之試驗結果，欲促使早強作用發生，其所需化學摻料之含量是由膠結材料多寡所控制。由試驗結果得知，合理的氯化鈣含量為水泥量之 3%，而矽酸鈉則為 5%。由於早強性與流動性為相互制衡之因素，故若為求得二者之最佳表現，一般水泥之最佳配比為灰水比 0.8、水固比 0.25；使用污泥固化劑之最佳配比為灰水比 0.6、水固比 0.25。整體而言，仍是需要使用大量的膠結材料，同時也

造成後期強度過高，使得二次施工困難性增加，因此在後續的研究中，仍須針對此缺點作更深入的探討，

4.4 大地工程性質

為進一步瞭解級配流填料之大地工程性質，考量配比試樣之適用性，取用一般型與早強型之代表性配比，製作試體進行大地工程性質試驗，以探討級配流填料應用於現地回填工程時，作為承載基礎 (subgrade) 時所顯示之力學行為與大地工程特性。參考前述配比試驗結果並考量現地施工特性，選出最佳配比。以下各節分別就代表性試樣於滲透性、承載力、不同方式循環加載與壓縮性之試驗結果進行討論

4.4.1 滲透性

本研究使用變水頭滲透試驗求得級配流填料之滲透性 (k) 變化，其 k 值介於 5.2×10^{-6} 至 $3.3 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 之間。無論何種流填料，其滲透性均達到不透水 (impervious) 的程度。表示一般水泥、污泥固化劑添加於高含水量之山級配中，仍可藉由膠結漿體之填充與固化，大幅降低滲透性。在相同條件下 (7 天強度達到 20 kg/cm^2)，一般水泥較污泥固化劑滲透性低，其值約相差 2 倍，在早強型方面，使用固化劑/氯化鈣者較使用水泥/矽酸鈉者呈現較低之滲透性，其原因可能係由於固化劑具有較細之顆粒與較佳之水化效果。

4.4.2 承載力

級配流填料在固化後之結構體必須具有同等於良好回填級配料之承載力標準。依據公路局之道路工程相關規範，以碎石級配料作為路基底層其加州承載力比值 (CBR) 需達到應大

於 100 以上，因此為瞭解級配流填料於現地固化後是否具有符合上述規範之承載力，於本研究中製作代表性試樣執行 CBR 作為承載力之判斷標準。圖 5~圖 6 為級配流填料之承載力與貫入量之關係。由於各個配比之曲線均出現反曲現象，因此依照 ASTM D1883-87 之規定予以修正。所試驗之各類型級配流填料在不同養護情形下的 CBR 值介於 46~110 之間。參照美國陸軍工程署之分類標準，一般水泥級配流填料、污泥固化劑級配流填料與兩種早強型濕治一天之試體其 CBR 值皆等同於碎石級配料 (GM 或 GW) 之試驗值，而在濕治 1 天、浸水養護一天後其 CBR 值則等同於優良碎石級配 (GW) 之標準。綜合以上試驗結果，顯示級配流填料固化後具有良好的承載力。

4.4.3 不同載重之應力-應變關係

為探討級配流填料固化後在覆土載重及車輛反覆載重之影響下，其強度與變形之變化，本研究應用不同的載重試驗予以探討，並求得各試體的彈性模數、變形模數 (modulus of deformation)、永久變形模數 (modulus of permanent deformation)、切線變形模數及割線變形模數，以進一步瞭解各種狀況下應力與應變之關係。

圖 7 為一般型與早強型級配流填料代表性配比在不同載重方式、不同齡期下，單軸強度與軸向應變的關係。圖 8 與圖 9 為一般型與早強型級配流填料在不同齡期下與各種模數之代表性關係。

由試驗結果可知，在試體從未受荷重到第一次加載，應變變化量較大，在受到其後的載重時，變形量的成長趨勢才較為和緩，因此雖然級配

流填料在經過適當的配比設計之下，能夠發揮足夠的強度，但對於變形要求極為嚴格之工程例如高鐵工程，級配流填料的初期應變較高之影響應予進一步評估。由應力-應變曲線中發現，曲線有反曲的現象，推測是由於試體於澆置初期，骨材發生部分析離的現象，使得試體頂部空隙較多，於受壓初期孔隙部分先受到擠壓，粒料重新排列，而發生反曲現象。加載初期之應力-應變曲線斜率較小，但在循環載重作用後斜率增加，顯示應變硬化之情形，試體破壞亦呈現脆性特徵。試體破壞後剖視其內部骨材之分佈，足以驗證上述推論。

4.4.4 壓縮性

為瞭解級配流填料於承受載重下之壓縮性，本研究以一般型與早強型級配流填料代表性配比試體進行單向度壓密試驗。圖 10 與圖 11 為最佳配比之試體其單向度壓密試驗之代表性關係，其壓縮比介於 0.021~0.033 之間，而再壓縮比則介於 0.008~0.014 之間。由上述可知，不論一般型或早強型級配流填料，其壓縮性均十分微小，近似非常緊密 (Very Dense) 之砂礫性土壤，因此以其作為結構回填，就材料整體而言，應無發生壓密沈陷之虞。

五、結論

為了改善傳統回填工法品質不良及施工不易的缺點，本研究以山級配合適當的膠結材料調製成一種具有自流性的回填材料，期能達到無須夯實、高承載力及低沈陷量等優異工程性質。在經過一系列的配比設計試驗，並以高速鐵路結構回填的規範為依據，以實驗室試驗的方式加以探討其大地工程性質，並評估其實際應用的可行性。綜合以上結果，可獲致結

論與建議如下：

1. 配比設計試驗

- ◇ 級配流填料之流動性主要是由水固比（拌合水量）所控制，流動性隨水固比之增加而增加。本研究調配之級配流填料其流度比介於 15% 至 20%，皆屬於可流動之回填材料。依據試驗結果，一般型配比之水固比控制在 0.23（膠結材料為水泥）及 0.25（膠結材料為污泥固化劑）；早強型配比之水固比控制在 0.25（膠結材料為水泥、污泥固化劑）時，所呈現之流動性較符合自流性及工作度之要求。
- ◇ 泌水率亦由水固比所控制，二者之關係與前述流動性近似，在本研究中級配流填料的泌水率可控制在 2% 以下，對於強度及體積變化的影響不大。
- ◇ 試體強度取決於灰水比及水固比。不論何種水固比， q_u 均隨著材齡之增長而增加，且此種現象隨著灰水比之增加更為明顯。依據配比設計結果，建議一般型水泥級配流填料使用灰水比為 0.7 以上，水固比為 0.22 以上；污泥固化劑級配流填料使用灰水比為 0.4 以上，水固比為 0.24 以上，其 7 天強度可符合填土結構回填之強度要求，在經過濕置及浸水養護後，其後期強度亦符合設計值。
- ◇ 早強型級配流填料以一般水泥添加 5% 矽酸鈉，灰水比 0.8，水固比 0.25 及污泥固化劑添加 3% 氯化鈣，灰水比 0.6，水固比 0.25 之配比可達到早強性之要求（1~4 小時可具有 1.0kg/cm^2 以上的強度），惟後期強度則遠高於預期之

強度，顯示其對於二次開挖仍存在不利之影響，必須進一步之探討。

2. 大地工程性質試驗

- ◇ 一般型與早強型級配流填料代表性試樣之滲透係數介於 10^{-6} 至 10^{-7} cm/sec 之間，屬於低滲透性材料。
- ◇ 代表性試樣之 CBR 值介於 46 至 110 之間，顯示流填料在水泥固化之影響下能具有同等於礫石（GW）之承载力。
- ◇ 在不同型式載重之作用下（單軸載重、等壓循環載重與逐級增壓載重），級配流填料均顯示出試體在承受荷重初期會產生較大的應變，應變量一般均隨著灰水比降低及水固比之增加而增加，而不同型式載重所產生之應變量亦具有若干差異性。
- ◇ 在壓縮性試驗方面，級配流填料的 C_v 達到 10^{-7} (m^2/sec)，具有極低壓縮性，近似非常緊密 (Very Dense) 之砂礫性土壤。

綜合上述，流填料之滲透性、承载力、應力與應變關係及壓縮性等工程性質大致上具有優越性，而且於施工品質及便利性之評估下，級配流填料同時亦具有降低成本與提高工作效率之特點。相較於傳統回填工程品質之不易控制，級配流填材料証實確可作為道路結構回填以及一般回填工程之替代工法。

六、計畫成果自評

本研究為一實務應用型計畫，針對土石變異性較大之狀況時，使用土石混合料拌製之流填料其力學行為與工程性質進行綜合探討，使之符合結

構回填工程之需要。所得結果符合計畫預期目標，對於該材料使用各種摻料之配比設計均提出具體建議。研究成果除部分作為碩士研究生論文之外，亦已供完成二篇學術論文擬投稿發表於相關期刊或研討會。本研究因研究時程之限制，所得結果仍有若干不足之處，仍待後續進一步之研究加以探討。

七、參考文獻

- 吳淵洵，江啟政(1994)，“自流动性飛灰在土方工程上之應用”，中國工程師學會高雄分會會刊，第一卷第四期，第143-151頁。
- 吳淵洵(1995)，“濕陷性對填土工程品質之影響”，中國工程師學會高雄分會會刊，第二卷第四期，第96-103頁。
- 吳淵洵，洪志昇，王仁杰(1997)，“填土工程品質檢測方法之評估”，營建知訊，第173期，第30-37頁。
- 李銘哲(2000)，“自流动性填方材料之工程性質及其可行性探討”，中華大學土木工程系碩士論文。
- 柴希文，謝佩昌(1999)，“礦物摻料在高流動低強度回填料的應用”應用礦物摻料提昇混凝土品質研討會論文集，台灣營建研究院，第63-90頁。
- 邱啟東(2001)，“營建污泥拌製CLSM可行性之研究”，台灣科技大學土木工程系碩士論文。
- 潘昌林，鄭瑞濱(2000)，“控制性低強度材料(CLSM)之工程運用”，第四屆鋪面研討會論文集，第211-219頁。
- 錢文國(1995)，“飛灰流填料之大地工程特性”，中華工學院土木工程系碩士論文。
- 黃俊豪(2001)，“高速鐵路結構回填料替代工法之探討”，中華大學土木工程系碩士論文。
- 臺灣營建研究院(2001)，“控制性低強度材料於土木工程之應用及試辦作業”期末報告。
- 陳仙洲(2002)，“MRC之研發與驗證”，第五屆鋪面材料再生學術研討會，臺中，第97-112頁。
- 彭淵燦(2003)，“道路回填不實”，2003年1月10日聯合報18版。
- Charles, J. A., “Collapse Compression of Fills on Inundation”, Geotechnical Engineering Emerging Trends in Design and Practice, Saxena, K. R. Editor, Balkema and Rotterdam, pp. 353-375, 1994.
- Howard, A. K. and Hitch, J. L., “The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill), ASTM STP 1331, 1998.

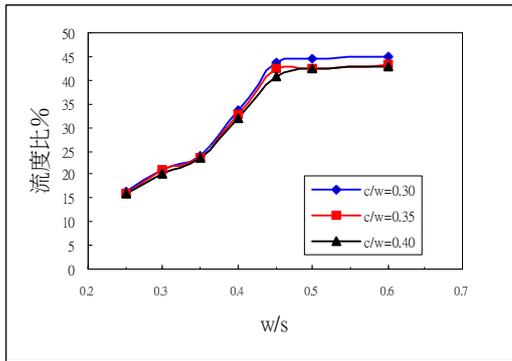


圖 1 一般水泥級配流填料之流度比與 W/S 之關係 (c/w=0.3~0.4)

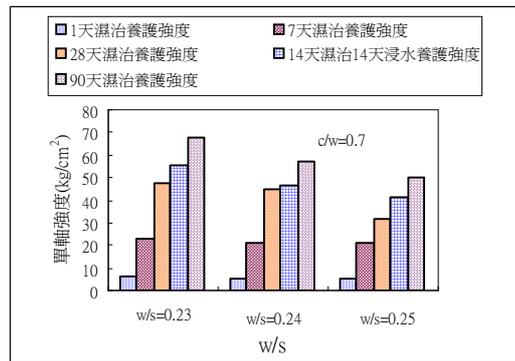


圖 4 一般水泥級配流填料之強度與養護齡期、養護條件之關係 (c/w=0.7)

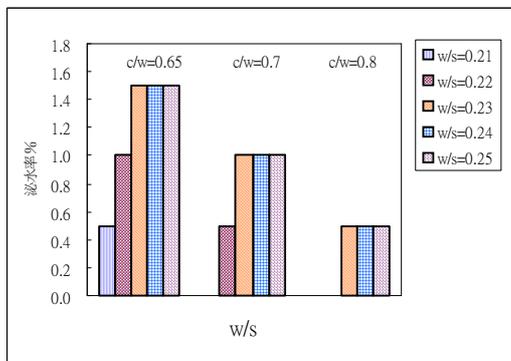


圖 2 一般水泥級配流填料之泌水率與 C/W、W/S 之關係

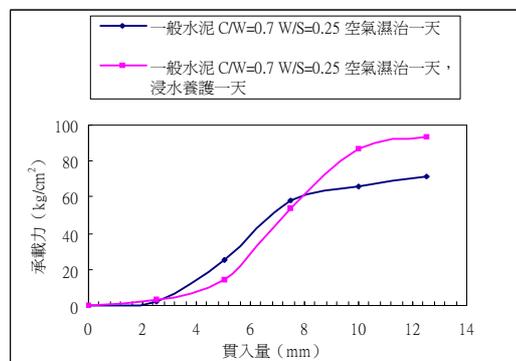


圖 5 承載力與貫入量之關係(一般水泥，C/W=0.7)

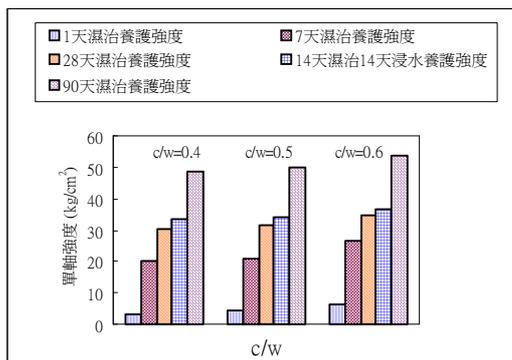


圖 3 污泥固化劑級配流填料之強度與養護齡期、養護條件下之關係

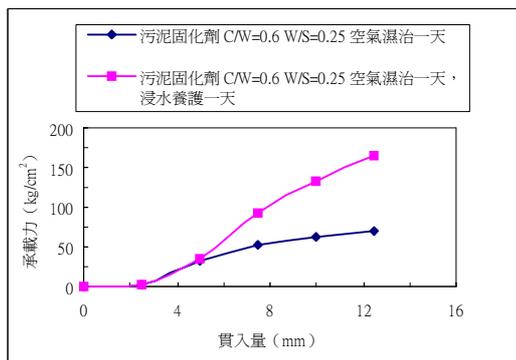


圖 6 承載力與貫入量之關係(污泥固化劑，C/W=0.6)

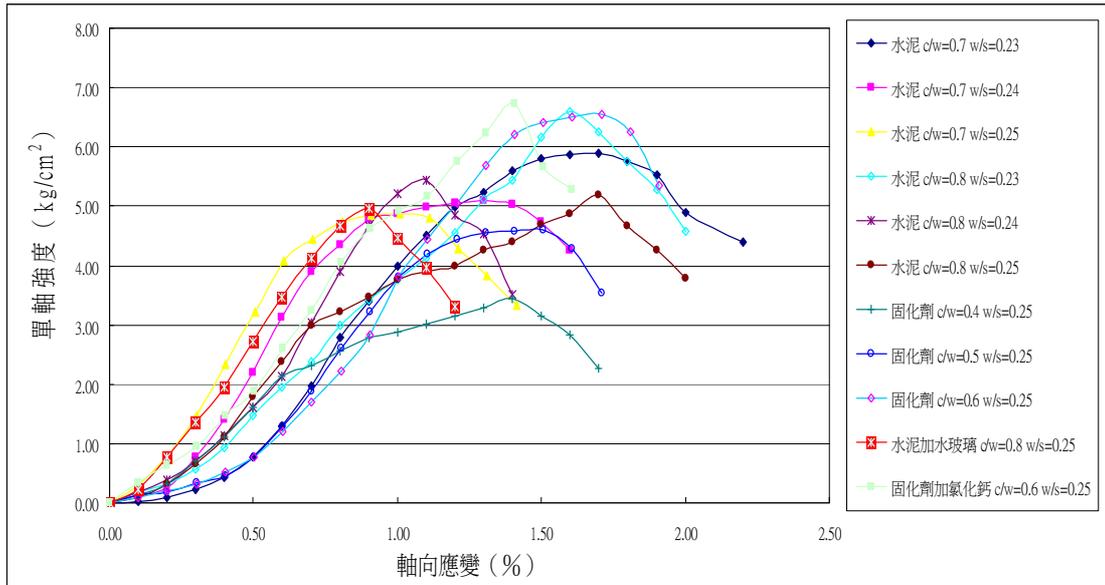


圖 7 各類型級配流填料代表性配比之單軸強度與軸向應變之關係(齡期 1 天)

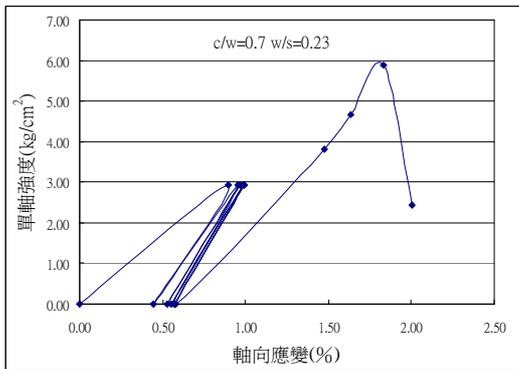


圖 8 一般型水泥級配流填料在等壓循環載重下，齡期 1 天之單軸強度與軸向應變之關係(c/w=0.7 w/s=0.23)

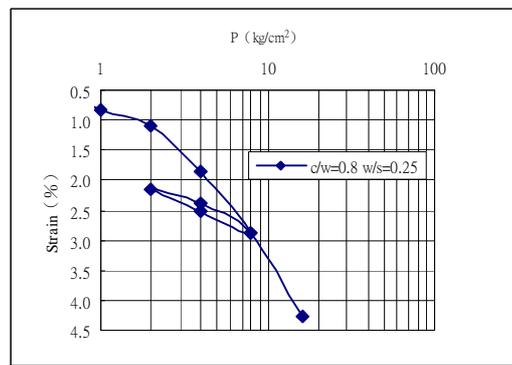


圖 10 一般型水泥級配流填料之垂直應變與載重之關係 (c/w=0.8)

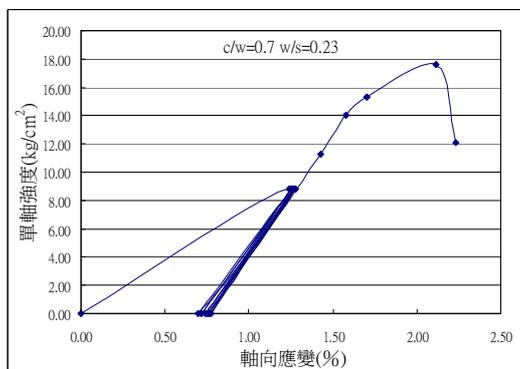


圖 9 一般型水泥級配流填料在等壓循環載重下，齡期 3 天之單軸強度與軸向應變之關係(c/w=0.7 w/s=0.23)

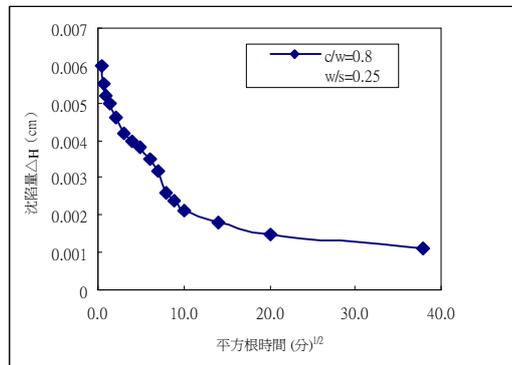


圖 11 一般型水泥級配流填料壓密試驗 $\Delta H-\sqrt{t}$ 曲線 (c/w=0.8)