

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

輕質 CLSM 路基材料工程性質之探討

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 102-2221-E-216-032-
執行期間：102年08月01日至103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：碩士班研究生-兼任助理人員：陳志旻
碩士班研究生-兼任助理人員：莊育杰

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 102年10月31日

中文摘要：營建剩餘土石方日益增多，產生嚴重之環保與生態問題，研議剩餘土石方之資源化應用實屬刻不容緩。控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials, CLSM 亦稱流填料, Flowable Fill)能有效解決填土工程品質低劣之問題，因此以剩餘土石產製 CLSM(Soil-based CLSM, S-CLSM) 可解決國內營建工程剩餘土石方之困境，並達到資源有效再永續利用的環保目標。CLSM 目前主要的施工檢驗方式皆以破壞性為主，對於強度較低之早期強度檢測，只能依賴澆置時製作的圓柱試體進行間接檢驗，缺乏施工品質管制之成效，因此進行早期強度非破壞之檢測可行性探討極為必要。本研究以新竹寶山砂土為探討土樣，研究內容以實驗室試驗為主。研究結果顯示藉由適當配比設計，可得符合規範之工作度，超音波檢測 S-CLSM 強度確實可行，時域反射儀(TDR)所得之體積含水量值具有正確性，衝擊錘(Impact Tester)之衝擊值與 CBR 值及強度關係相關性良好。依據研究成果，非破壞檢測應用於 S-CLSM 之早期品質檢測確實可行且成效良好。

中文關鍵詞：控制性低強度材料、非破壞檢測、時域反射儀、超音波檢測、剩餘土石

英文摘要：The increasing amount of construction surplus soils is leading to severe environmental protection and ecological issues such that it is imperative to develop a resource application of surplus soils. Controlled Low Strength Materials can effectively address the issue of poor quality of domestic backfilling construction projects. The issue of construction surplus soils can be solved by using it for production of CLSM (Soil-based CLSM, S-CLSM), and the effective reclamation of resources can reduce the impact of poor quality of backfilling construction projects. Currently the construction tests of CLSM are mostly based on destructive methods. The early strength measurements of lower strength materials can only rely on indirect tests on the cylindrical specimens fabricated during pouring, which lacks construction quality control effectiveness. Therefore, it is extremely necessary to investigate the feasibility of non-destructive testing methods of early strength. In this study the Baoshan sand is used as the sample for investigation based on laboratory experiments

where ultrasonic, Time Domain Reflectometry (TDR) and impact hammer are adopted to observe the workability of fresh S-CLSM samples and the construction properties of hardened samples at age 1, 3, 7, and 28 days. The results of this study show that good workability can be obtained by proper mix design and there is good correlation between the impact value and the CBR value and strength of S-CLSM. There is also good correlation between the ultrasonic and impact tester detection and the strength such that they can be used to estimate the strength, and the impact hammer detection can also be used to estimate CBR value. The results of this study have proven the feasibility of using surplus soils for CLSM, while it can not only solve the issue of surplus soils and enhance the quality and application scope of backfilling construction projects, but also relieve the dilemma of piles of surplus soils causing environmental pollution. The initial assessment has proven the feasibility of using non-destructive testing for S-CLSM, yet the popularity of such application remains to be further verified.

英文關鍵詞： controlled low strength materials, CLSM, flowable fill, surplus soils, non-destructive testing, time domain reflectometry, ultrasonic detection, impact tester.

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

非破壞檢測應用於 CLSM 填築路基強度檢測之探討

期末報告

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 101-221-E-216-030-

執行期間：2012 年 08 月 01 日至 2013 年 07 月 31 日

執行機構及系所：中華大學土木工程學系

計畫主持人：吳淵洵

計畫參與人員：陳志旻、莊育杰

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 102 年 10 月 26 日

非破壞檢測應用於 CLSM 填築路基強度檢測之探討

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 101-221-E-216-030-

執行期間：2012 年 08 月 01 日至 2013 年 07 月 31 日

執行機構及系所：中華大學土木工程學系

計畫主持人：吳淵洵

共同主持人：

計畫參與人員：陳志旻、莊育杰

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 ____ 份：

移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中 華 民 國 102 年 10 月 26 日

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	II
圖目錄.....	III
中文摘要.....	IV
英文摘要.....	V
第一章 緒論.....	1
第二章 文獻回顧.....	1
第三章 研究方法與流程.....	1
第四章 試驗結果與分析.....	2
第五章 結論與建議.....	10
5.1 結論.....	10
5.2 建議.....	11
參考文獻.....	11

表目錄

表 4-1 非破壞性檢測結果之比較.....	8
------------------------	---

圖目錄

圖 4.1	S-CLSM 試體之強度與水泥量、齡期之關係	2
圖 4.2	各齡期落沉試驗	3
圖 4.2	各配比不同齡期之 CBR 試驗結果	3
圖 4.3	水泥量與強度、波速之關係	4
圖 4.5	單軸壓縮強度與波速之關係(圓柱-整體)	4
圖 4.6	單軸壓縮強度與波速之關係(版型-整體)	5
圖 4.7	體積含水量與波速之關係(圓柱-整體)	5
圖 4.8	體積含水量與波速之關係(版型-整體)	6
圖 4.9	體積含水量與單軸壓縮強度之關係(圓柱-整體)	6
圖 4.10	體積含水量與單軸壓縮強度之關係(版型-整體)	7
圖 4.11	衝擊值與 CBR 值之關係	7
圖 4.12	衝擊值與強度之關係	8
圖 4.13	非破壞性檢測應用說明-依據 V 推測 q_u	9
圖 4.14	非破壞性檢測應用說明-依據 q_u 推測 I_v	9
圖 4.15	非破壞性檢測應用說明-依據 I_v 推測 CBR 值	10

摘 要

營建剩餘土石方日益增多，產生嚴重之環保與生態問題，研議剩餘土石方之資源化應用實屬刻不容緩。控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials, CLSM 亦稱流填料，Flowable Fill)能有效解決填土工程品質低劣之問題，因此以剩餘土石產製 CLSM(Soil-based CLSM, S-CLSM) 可解決國內營建工程剩餘土石方之困境，並達到資源有效再永續利用的環保目標。CLSM 目前主要的施工檢驗方式皆以破壞性為主，對於強度較低之早期強度檢測，只能依賴澆置時製作的圓柱試體進行間接檢驗，缺乏施工品質管制之成效，因此進行早期強度非破壞之檢測可行性探討極為必要。本研究以新竹寶山砂土為探討土樣，研究內容以實驗室試驗為主。研究結果顯示藉由適當配比設計，可得符合規範之工作度，超音波檢測 S-CLSM 強度確實可行，時域反射儀(TDR)所得之體積含水量值具有正確性，衝擊錘(Impact Tester)之衝擊值與 CBR 值及強度關係相關性良好。依據研究成果，非破壞檢測應用於 S-CLSM 之早期品質檢測確實可行且成效良好。

關鍵字：控制性低強度材料、非破壞檢測、時域反射儀、超音波檢測、剩餘土石。

ABSTRACT

The increasing amount of construction surplus soils is leading to severe environmental protection and ecological issues such that it is imperative to develop a resource application of surplus soils. Controlled Low Strength Materials (CLSM, also known as Flowable Fill) can effectively address the issue of poor quality of domestic backfilling construction projects. The issue of construction surplus soils can be solved by using it for production of CLSM (Soil-based CLSM, S-CLSM), and the effective reclamation of resources can reduce the impact of poor quality of backfilling construction projects. Currently the construction tests of CLSM are mostly based on destructive methods. The early strength measurements of lower strength materials can only rely on indirect tests on the cylindrical specimens fabricated during pouring, which lacks construction quality control effectiveness. Therefore, it is extremely necessary to investigate the feasibility of non-destructive testing methods of early strength.

In this study the Baoshan sand is used as the sample for investigation based on laboratory experiments where ultrasonic, Time Domain Reflectometry (TDR) and impact hammer are adopted to observe the workability of fresh S-CLSM samples and the construction properties of hardened samples at age 1, 3, 7, and 28 days. The results of this study show that the workability in compliance with regulations can be obtained by proper mix design, which means it is indeed feasible to use ultrasonic detection of early strength of S-CLSM, the volumetric water content obtained by TDR is correct, and there is good correlation between the impact value and the CBR value and strength of S-CLSM. There is also good correlation between the ultrasonic and impact tester detection and the strength such that they can be used to estimate the strength, and the impact hammer detection can also be used to estimate CBR value. The results of this study have proven the feasibility of using surplus soils for CLSM, while it can not only solve the issue of surplus soils and enhance the quality and application scope of backfilling construction projects, but also relieve the dilemma of piles of surplus soils causing environmental pollution. The initial assessment has proven the feasibility of using non-destructive testing for S-CLSM, yet the popularity of such application remains to be further verified.

Keyword : controlled low strength materials, CLSM, flowable fill, surplus soils, non-destructive testing, time domain reflectometry, ultrasonic detection, impact tester.

第一章 緒論

依據內政部營建署(2013)之統計(<http://140.124.56.30/>瀏覽日期 2013/03/01)，近年來(2008~2013)全台土石方總產出量為 170,819,373 立方公尺，總需求量為 15,393,053 立方公尺，剩餘土石方達到 155,426,319 立方公尺，其中可再利用總計僅為 8,088,752 立方公尺，剩餘皆為廢棄土石方，研議剩餘土石方之資源化應用實屬刻不容緩。

控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials，簡稱 CLSM，亦稱流填料，Flowable Fill) 具有自流性、免夯實、低沈陷等優良工程性質。以剩餘土壤產製 CLSM(Soil-based CLSM，S-CLSM) 不僅可解決營建工程剩餘土石方之問題，將資源有效的再利用，增進填方工程之品質亦可紓解剩餘土石方堆置之窘境，避免剩餘土石隨意棄置汙染環境。然而目前 CLSM 施工品質之判斷，一般均參照混凝土標準，以現場取樣製作標準圓柱試體為之，對於早期強度之 CLSM 成效不彰。近年來，非壞性檢測盛行，其可快速、精確的檢測結構物，且不會對檢測物體造成任何的破壞，對於強度較低的材料，更可快速精確的檢測出安全性及完整性，用於施工品質管制可以大幅提升品質及安全性。為了解決 CLSM 早期強度檢驗問題，本研究以寶山砂土為試驗樣本製作 S-CLSM，以實驗室試驗觀察 S-CLSM 之工程性質及應用超音波檢測、TDR 檢測及衝擊錘之可行性。

第二章 文獻回顧

國內道路工程品質不良，因管線開挖回填過程，多未遵照道路工程規範採分層滾壓，導致壓實度不佳，因此開放通行後常造成道路下陷或路面不平整，對用路人造成困擾，須經常維護嚴重浪費資源。根據美國混凝土協會(ACI)之定義，CLSM為一種具自我充填之材料，其組成與混凝土材料類似，以膠結料、水、粒料組成，主要作為傳統回填填方工法之替代材料。CLSM具有低強度、高坍度、高流動、自充填性、免夯實、低強度及易於再開挖性等多重優點。CLSM之低強度可供人工或機具方式開挖，且對粒料之要求並無特殊限制，資源回收粒料、工程剩餘土石、爐石、玻璃屑、輪胎屑及水庫淤泥等，皆可作為CLSM之粒料使用(Wu and Tsai, 2009)。依據前人研究，CLSM配比之主要控制參數為水固比(用水量與固體粒料之重量比，W/S) 及灰水比(水泥量與用水量之重量比，C/W)。一般而言，流動性隨著W/S之增加而增加；強度則隨著C/W之增加而增加(Wu and Tsai, 2009)。

沈永年、林彥余(2006)以爐渣為粗細骨材拌製CLSM，一般型與早強型CLSM 圓柱試體超音波波速與抗壓強度關係趨勢之相關係數皆大於0.91，均屬於高度相關且成正比關係，顯示利用超音波檢測做為CLSM 圓柱試體抗壓強度之初步評估實為可行。

時域反射儀為一簡單迅速、方便輕巧、無核輻射之儀器，測量單筆數據僅需數秒、並可原位連續監測土壤含水量。此儀器其之誤差值小於3%，應用範圍廣泛且野外與室內皆可適用(李姿潔，2010)。

王明德(2002)應用水泥固化剩餘土石方，探討衝擊錘之衝擊值(Impact Value, Iv)與CBR值之關係，試驗結果顯示衝擊值與承載力之間呈現良好之線性關係，可藉由衝擊錘試驗得知土壤承載力大小。

第三章 研究方法與流程

本研究以寶山砂土取代CLSM之骨材執行配比設計試驗，觀察S-CLSM不同配比之工程性質與工作性質，探討非破壞檢測技術應用於S-CLSM早期強度檢測之可行性。研究以實驗室方法進行，首先進行寶山砂土之基本物理性質試驗，試驗內容包含比重(ASTM D854)、阿太堡限度(ASTM D4318)、土壤粒徑分析(ASTM D422)等並以土壤統一分類法進行土壤之分類。由土壤基本物理性質進行S-CLSM配比試拌，利用規範挑選出適合本研究的不同配比。針對各種不同配比製作圓柱試體(10cm ϕ ×20cmH)與板型試體(60cmW×60cmL×15cmH)，觀察硬固試體之強度性質，包括抗壓強度(ASTM D2938)、超音

波檢測、TDR檢測、落沉試驗(ASTM D6024)、衝擊錘 (ASTM D5874)等，以及承载力驗證 (CBR, ASTM D1883)。針對新拌流態試體之檢測則包括流度(ASTM D6103)、坍流度 (CNS 14842) 等，確認S-CLSM之工作性及工程性質，確認非破壞檢測應用於S-CLSM路基性質驗證之可行性。

第四章 試驗結果與分析

本試驗土壤試驗結果之平均比重值為 2.58 與 2.62，通過 200 號篩之細粒料分別為 27.5%及 30.7%，其液性限度(LL)為 19 與 27，塑性限度 (PL) 為 16 與 18，塑性指數(PI)為 3 與 9，因此試樣依統一土壤分類法屬於泥質砂土(SM)與黏質砂土(SC)。

各配比流態試體之流度值為16~20cm，坍度值為21~26cm、坍流度為40~50cm，。由結果可知各配比之流度、坍流度及坍度皆位於適當範圍之內。工作性優劣由材料之流動性決定，然而拌合水過多易造成骨材離析、泌水率增加，影響S-CLSM之品質，故流動性之範圍應同時符合強度與施工性能之要求。圖4.1為S-CLSM強度與水泥量、齡期之關係，針對相同水固比，強度則隨水泥用量(C/W) 及齡期之增加而增加，S-CLSM齡期28天強度為870~2,600kPa，符合一般路基承载力之規定。

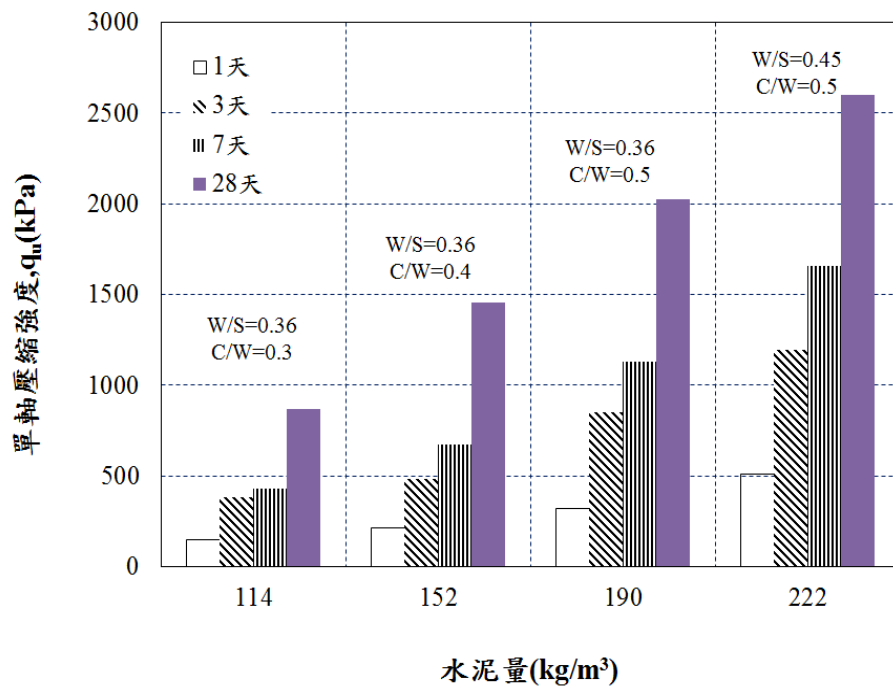


圖 4.1 S-CLSM 試體之強度與水泥量、齡期之關係

落沉試驗結果如圖4.2所示，P-3-3(W/S=0.36、C/W=0.3)及P-4-3(W/S=0.36、C/W=0.4)這兩組配比之試體其齡期1天之落沉試驗結果不符合規定的76mm，其餘的兩組配比均符合規定。28天齡期之配比P-5-3及P-5-4則二者之凹痕直徑差異不大，因此落沉試驗所得到之試驗值僅可作為材料承载力之初步判斷，若需得到S-CLSM精確之承载力，尚須仰賴其他試驗結果進一步評估。

圖4.3為S-CLSM不同齡期之CBR試驗結果，其中以W/S=0.36、C/W=0.5(C-5-3)與W/S=0.45、C/W=0.5(C-5-4)，CBR值發展較高。在3天齡期時，CBR值即已超過30%，其餘配比因水泥含量較少，CBR值發展較慢。應用水泥固化土壤，可以利用逐漸水化硬固的膠結性使其達到良好的承载力。利用量測不同齡期之CBR值，以觀察CBR值與齡期之關係，由圖4.3可知，CBR值皆隨齡期成長。C/W 為0.5之S-CLSM於齡期28天之承载力遠大於一般砂石級配料，適合作為路基材料。

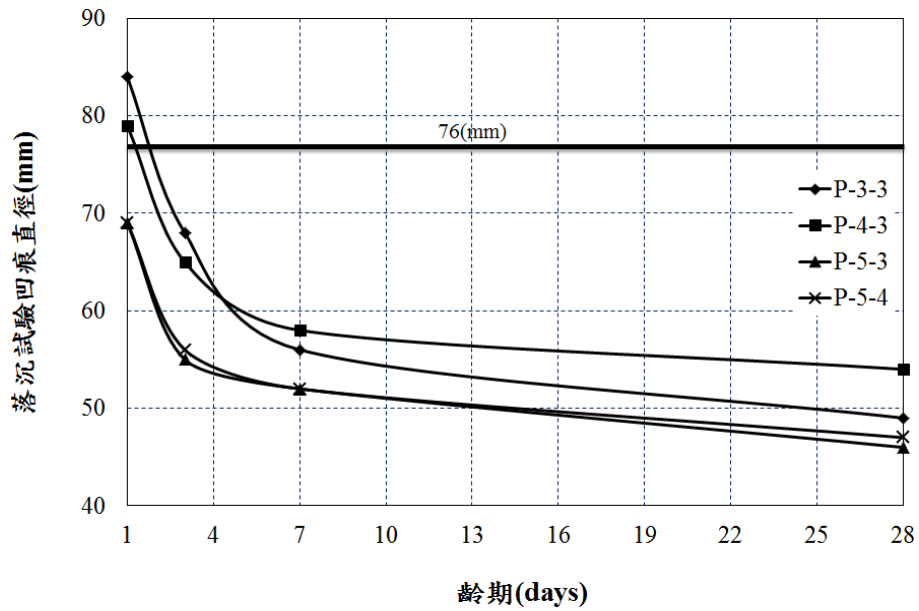


圖 4.2 各齡期落沉試驗

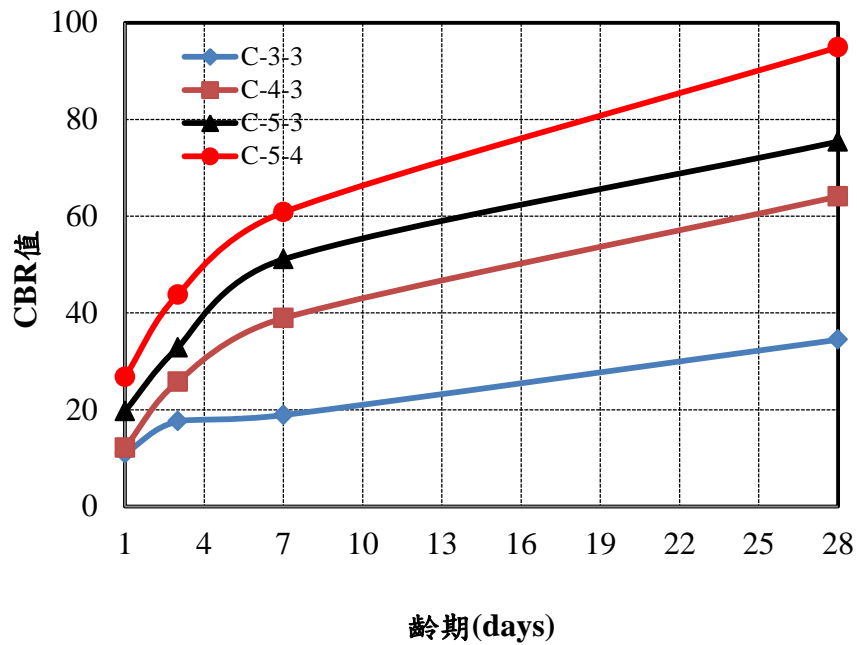


圖 4.3 各配比不同齡期之 CBR 試驗結果

圖4.4所示為水泥量與強度、波速之關係，由圖可知，水泥量的增加可影響試體強度及波速之變化，水泥量愈多，強度與波速愈高，惟強度增加至2,600kPa之後，其波速變化即不明顯，由此推論應用超音波檢測S-CLSM之強度，似有其限制。造成此結果的原因可能與超音波檢測儀器能力有關，亦可能為試體內部缺陷之影響。正確原因仍待進一步之驗證。

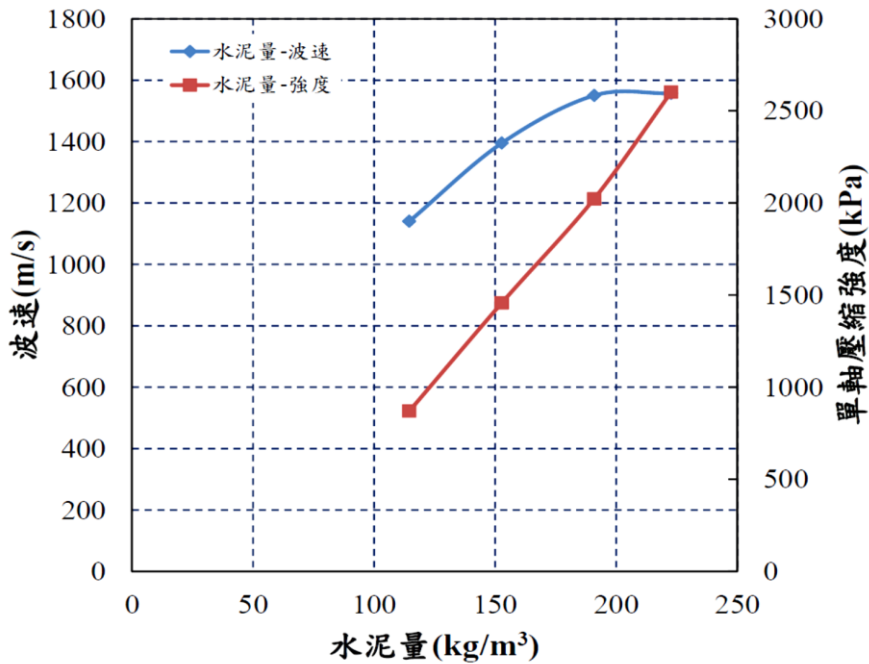


圖 4.4 水泥量與強度、波速之關係

圖 4.5~圖 4.10 為不同配比之試驗結果彙整統計。針對整體試驗結果之迴歸分析，無論試體形狀，波速-強度之相關性 R^2 達 0.9 以上。其餘參數之相關性表現則較不理想。TDR 量測試體之含水量準確性高，惟以之推論 S-CLSM 強度之效果則較差。針對配比各自獨立之情況尚可推估強度，但整體統一迴歸時利用含水量推估其強度則較困難。由此顯示，S-CLSM 試體含水量降低不必然表示，水化作用之進行程度，因此強度之發育不完全與含水量變化有關，造成 TDR 迴歸關係不理想。整體而言，應用非破壞性檢測技術推估強度，超音波之效果優於 TDR。含水量推估波速與含水量推估強度情況相似，全部配比之迴歸關係不良，應用 TDR 檢測效果較差。

TDR 量測體積含水量、單軸壓縮強度、超音波波速三者之迴歸趨勢圖，版型試體以線性迴歸，圓柱試體以指數迴歸，配比各自獨立時 R^2 皆大於 0.9 其相關性良好，但全部配比統一迴歸 TDR 檢測效果不佳，超音波檢測不受影響，因此超音波之檢測優於 TDR 檢測。

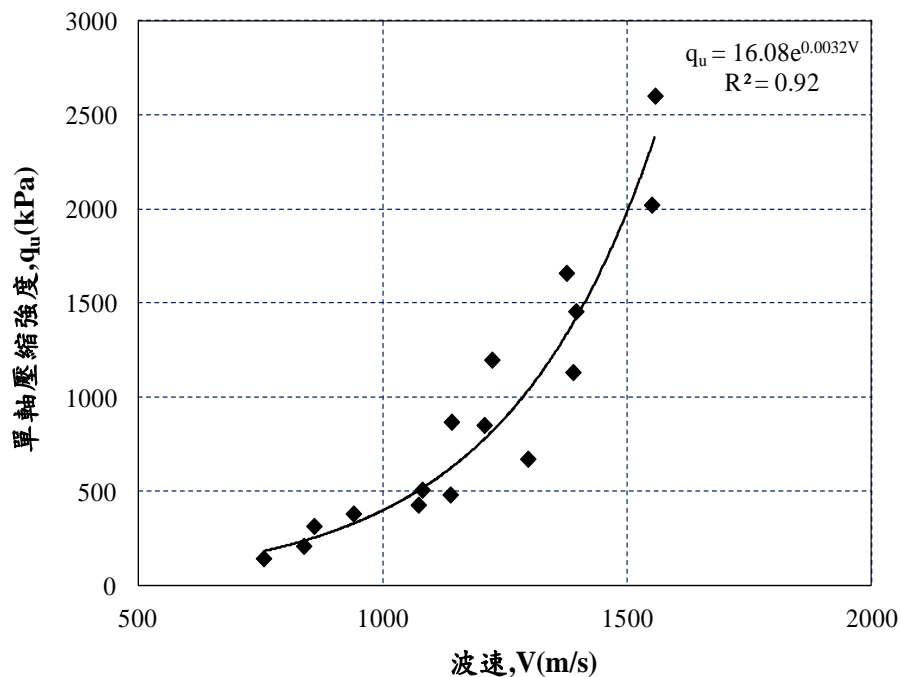


圖 4.5 單軸壓縮強度與波速之關係(圓柱-整體)

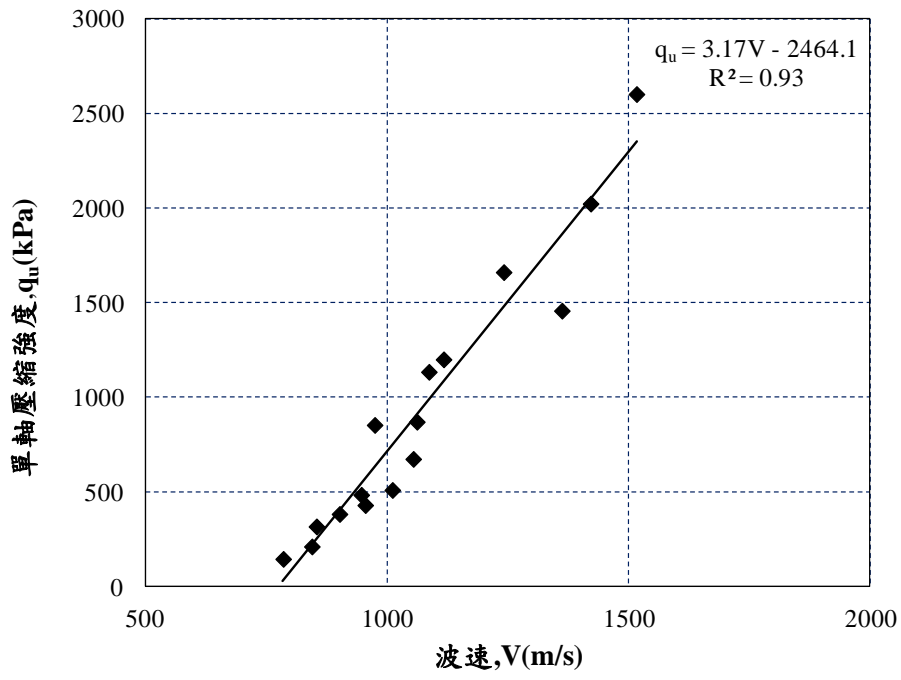


圖 4.6 單軸壓縮強度與波速之關係(版型-整體)

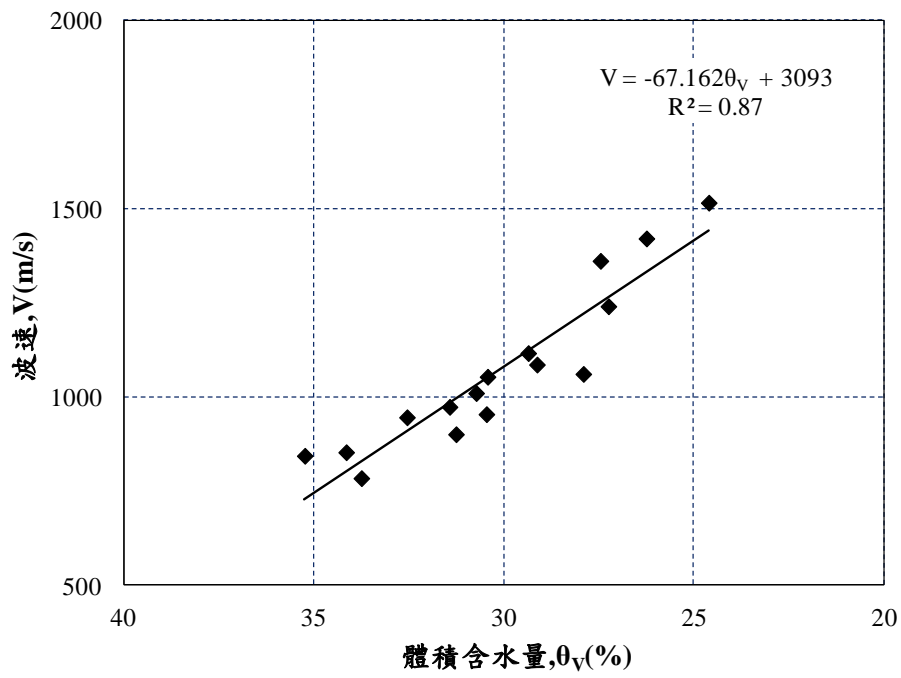


圖 4.7 體積含水量與波速之關係(圓柱-整體)

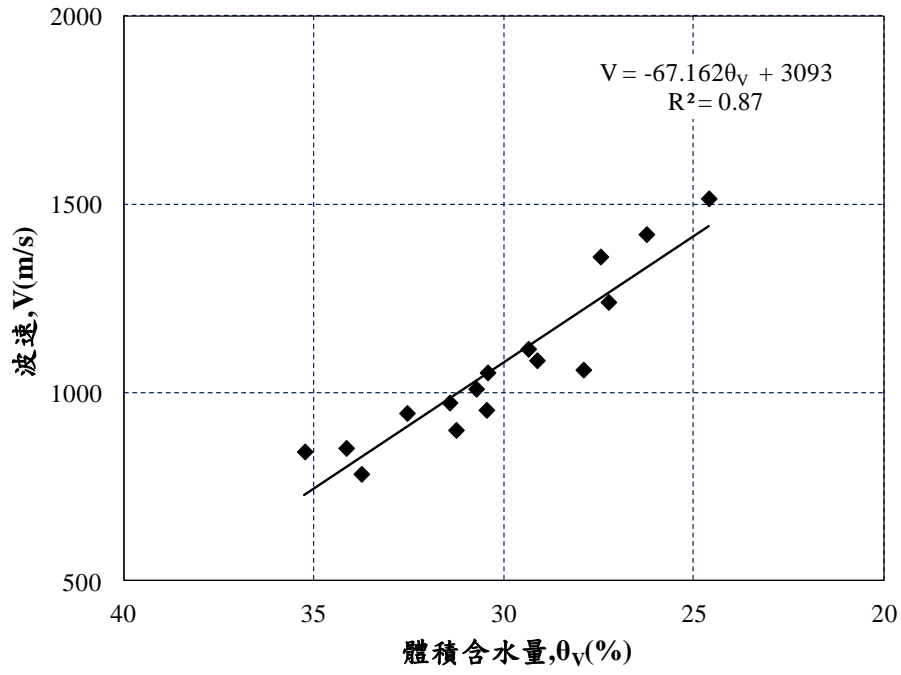


圖 4.8 體積含水量與波速之關係(版型-整體)

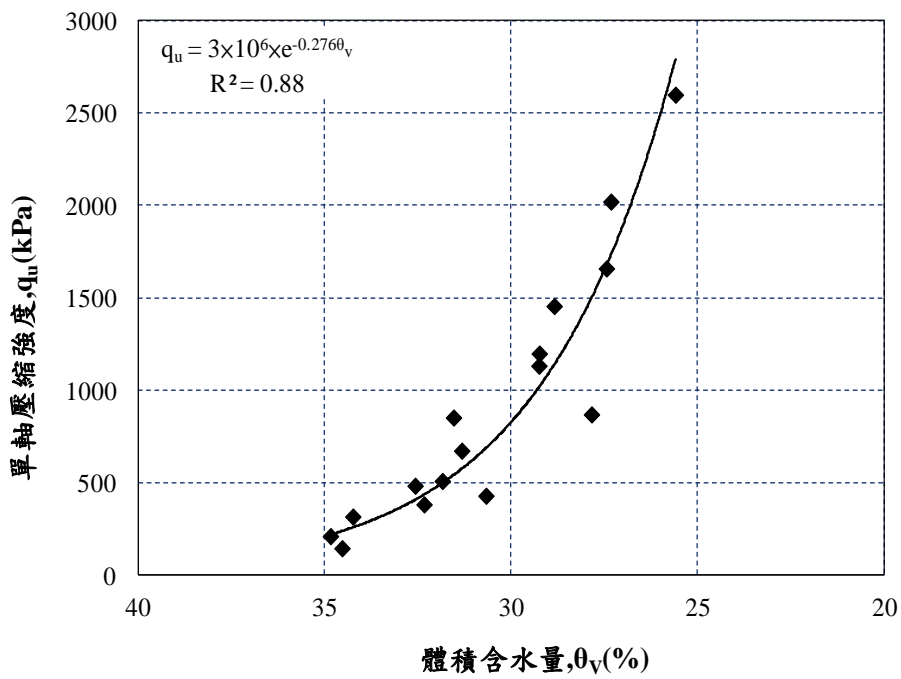


圖 4.9 體積含水量與單軸壓縮強度之關係(圓柱-整體)

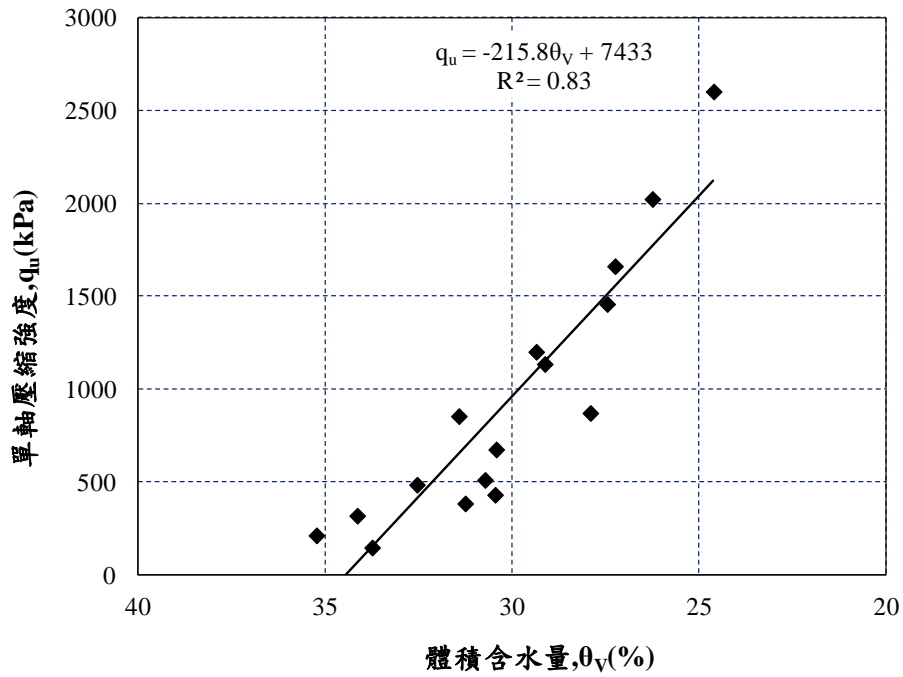


圖 4.10 體積含水量與單軸壓縮強度之關係(版型-整體)

圖 4.11 為衝擊值與 CBR 值之關係，兩者呈現良好之線性關係，相關性 R^2 達 0.92，故可藉由衝擊值推估 CBR 值，減少施作 CBR 試驗之時間與成本。圖 4.12 為衝擊值與強度之關係，衝擊值與強度之間具有良好線性關係，相關性 R^2 達 0.96，強度增加，承载力增加，因此衝擊值也產生相對應之變化，因此可藉由衝擊值推估強度值。

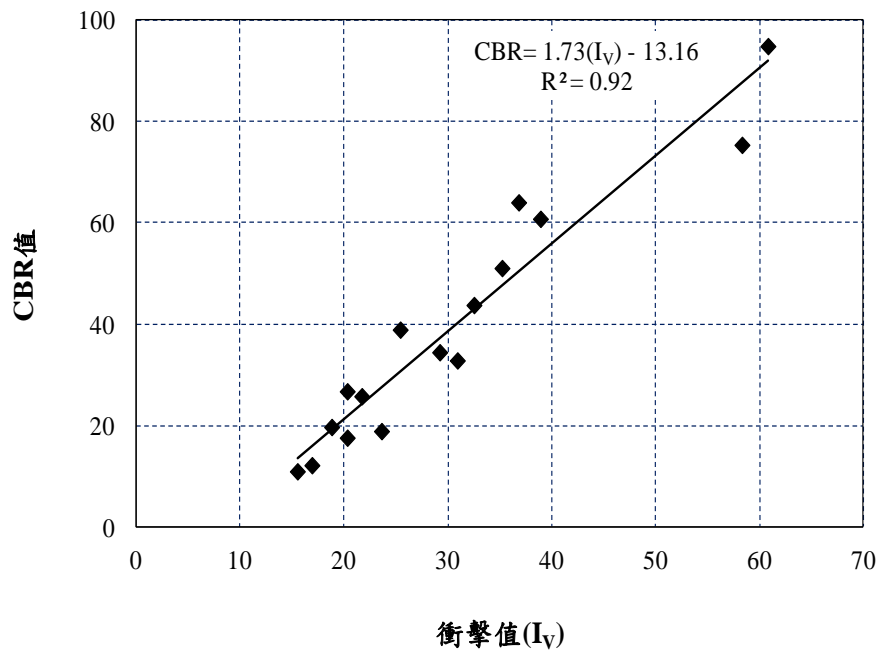


圖 4.11 衝擊值與 CBR 值之關係

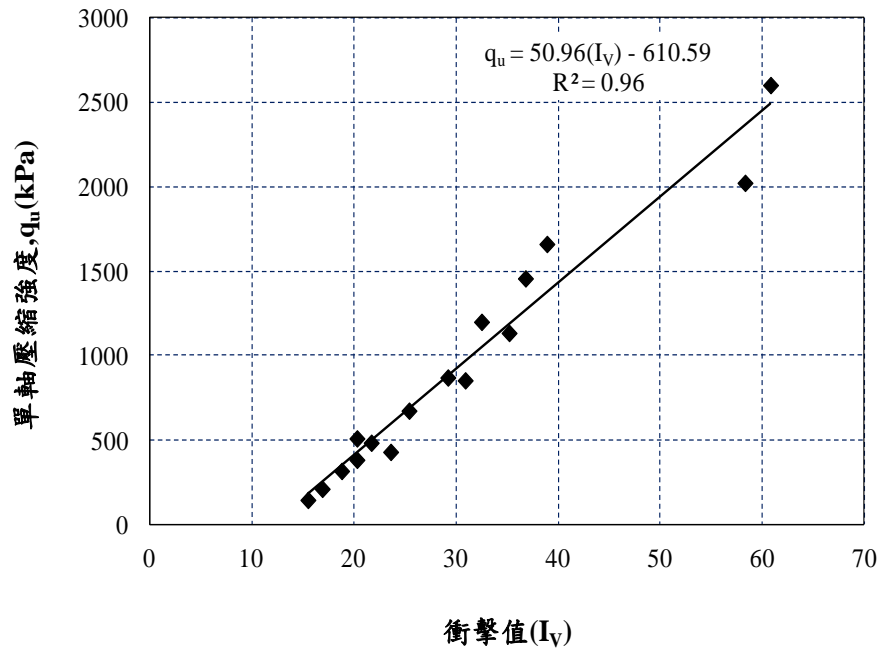


圖 4.42 衝擊值與強度之關係

綜合前述超音波、TDR 及衝擊錘之非破壞檢測結果，三者之比較如表 4-1 所示，由表 4-1 可知超音波檢測強度之效果良好，但試體形狀不同亦造成迴歸公式不同，惟整體檢測情況皆良好。含水量及承載力檢測需經由其他參數關係轉換推估。TDR 檢測與超音波效果相似，差異在於進行全部配比整體檢測效果不佳，試體形狀影響檢測結果。衝擊錘檢測於強度及承載力效果皆良好，可利用迴歸公式推估強度及承載力，檢測含水量則需經由其他參數關係轉換推估。

表 4-1 非破壞性檢測結果之比較

檢測項目	超音波	TDR	衝擊錘
強度	檢測效果良好，可用迴歸公式推估	-	檢測效果良好，可用迴歸公式推估
承載力	需經迴歸公式及圖形曲線轉換推估	需經迴歸公式及圖形曲線轉換推估	檢測效果良好，可用迴歸公式推估
含水量	需經迴歸公式及圖形曲線轉換推估	檢測效果良好，可用迴歸公式推估	需經迴歸公式及圖形曲線轉換推估

依據本研究之試驗觀察，以非破壞性檢測技術應用於 S-CLSM 早期強度之驗證確實可行。參考本研究非破壞性檢測參數試驗值之曲線，可應用迴歸公式快速推測 S-CLSM 之強度及承載力，其使用方式以版形式體為例說明如次：

1. 以超音波量測得知 S-CLSM 之波速(V)為 1116.8m/s。
2. 參考波速與強度之曲線(圖 4.13)中迴歸公式 $q_u = 3.17V - 2464.1$ ，可推測 S-CLSM 之強度為 1,076.2kPa。
3. 參考強度與衝擊值(Iv)之曲線(圖 4.14) 中迴歸公式 $q_u = 50.96(Iv) - 610.59$ ，可推測 S-CLSM 之衝擊值為 33.1。
4. 參考衝擊值與 CBR 值之曲線(圖 4.15) 中迴歸公式 $CBR = 1.73(Iv) - 13.16$ ，求得 S-CLSM 之 CBR 值 44.1%
5. 依據上述步驟即可推測 S-CLSM 強度 1,076.2kPa 及承載力 44.1%。

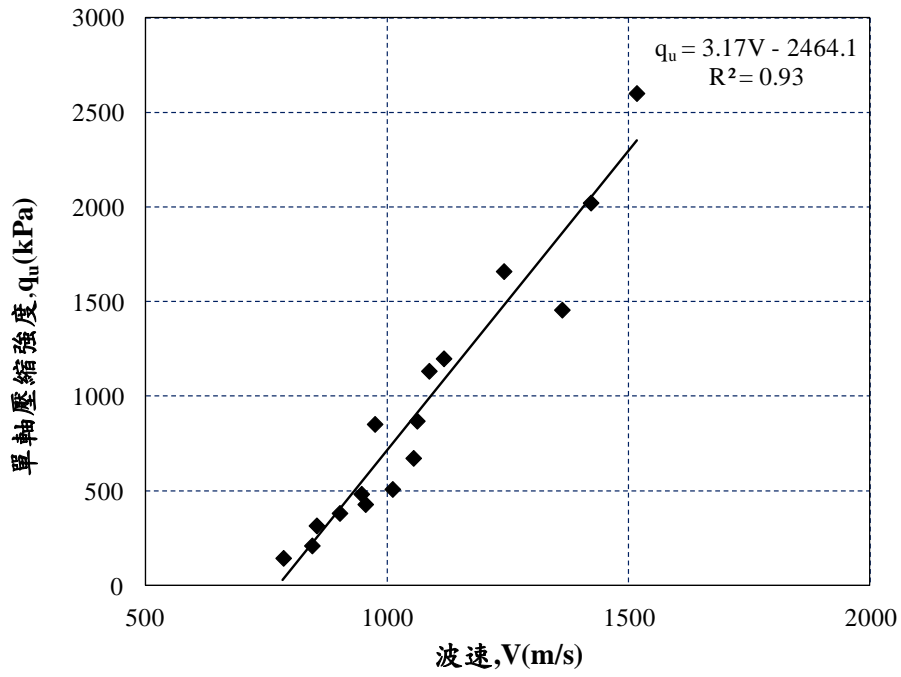


圖 4.13 非破壞性檢測應用說明-依據 V 推測 q_u

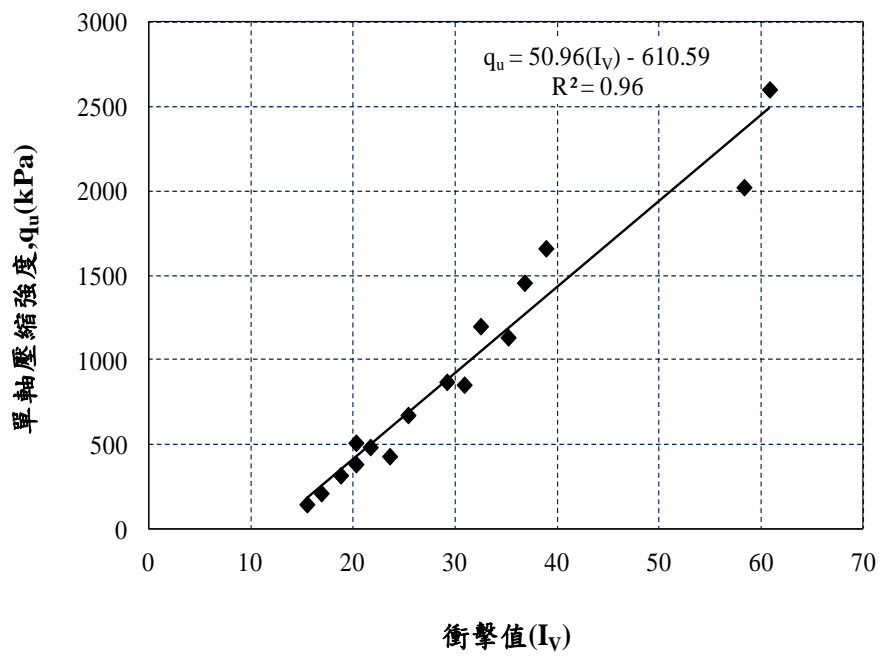


圖 4.14 非破壞性檢測應用說明-依據 q_u 推測 I_v

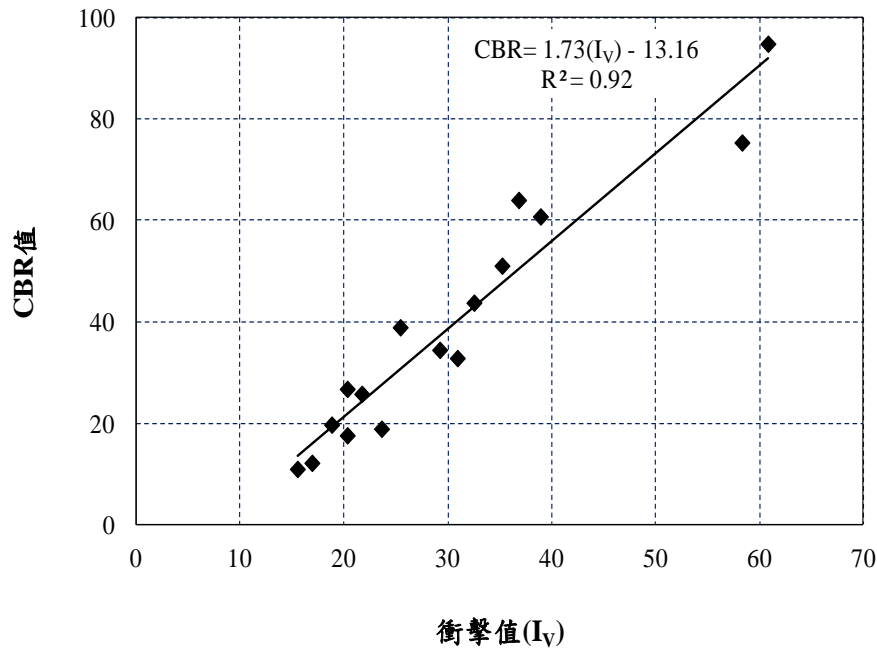


圖 4.15 非破壞性檢測應用說明-依據 I_v 推測 CBR 值

第五章 結論及建議

本研究以實驗室試驗方式探討 S-CLSM 之物理性質並觀察非破壞性檢測應用於 S-CLSM 之可行性，藉以提昇剩餘土石方之再利用。綜合研究結果可獲得結論與建議如次。

5.1 結論

1. S-CLSM 工作度隨水固比與灰水比之增加而增加，且以水固比之影響較為明顯，流度值為 16~20cm，坍度值為 21~26cm、坍流度為 40~50cm；強度則隨水泥用量之增加而增加，S-CLSM 齡期 28 天強度為 870~2,600kPa，符合一般路基之強度要求。依據施工之工作性與經濟性要求，S-CLSM 之配比建議為 $W/S=0.36$ 、 $C/W=0.4$ 與 $W/S=0.36$ 、 $C/W=0.5$ 。
2. S-CLSM 四組配比經落沉試驗檢測，僅 $W/S=0.36$ 、 $C/W=0.5$ 與 $W/S=0.45$ 、 $C/W=0.5$ 配比符合設計要求。
3. S-CLSM 四組配比 CBR 試驗，齡期 1 天之 CBR 值均超過 10%，其中以 $W/S=0.36$ 、 $C/W=0.5$ 與 $W/S=0.45$ 、 $C/W=0.5$ 兩組配比之 CBR 值發展較高，於齡期 3 天時 CBR 值，即已超過 30%。
4. 試驗結果超音波之波速隨齡期之增加而增加，波速早期發展較快，晚期發展則較平緩，因量測方式不同，其結果亦有所差異，惟成長趨勢一致。波速與強度之關係依各配比之彙整觀察，相關係數為 0.92 以上，相關性良好，因此可藉由迴歸公式推估強度，說明超音波檢測 S-CLSM 確實可行。
5. TDR 儀器輕巧，攜帶方便，操作簡易，可迅速求得體積含水量，試驗結果 TDR 量測之體積含水量與烘乾法之重量含水量誤差在 3% 以內。
6. 衝擊錘檢測之衝擊值與承载力及強度相關係數均達 0.92 以上，相關性良好，佐證其於低強度材料依然可進行檢測。應用 I_v 之迴歸公式可推估強度及承载力 CBR 值，因此以衝擊錘檢測 S-CLSM 確實可行。

5.2 建議

1. 本研究僅針對寶山砂土進行試驗及探討，故研究成果之普遍性較為不足，為確定剩餘土石方應用於S-CLSM之可行性，未來應針對其他地區各類剩餘土石方進行探討。
2. 非破壞檢測儀器類別繁多，未來應利用更多類似儀器，驗證本研究成果，並應用於現地施工實際檢測，落實實務應用之可行性與便利性。

參考文獻

1. 內政部營建署網站，營建剩餘土石方資訊服務中心，<http://140.124.56.30/default.aspx>(瀏覽2013/03/01)。
2. 王明德(2002)，「水泥固化剩餘土石方之改良成效」，碩士論文，中華大學，土木工程學系。
3. 李姿潔(2010)，「時域反射儀檢測填土密度之實驗室標定研究」，碩士論文，中華大學，土木與工程資訊學系。
4. 沈永年、林彥余(2006)，「CLSM 強度發展之非破壞檢測研究」，鋪面工程，第四卷，第四期，第43~49頁。
5. Wu, J. Y. and Tsai, M. F.(2009), "Feasibility Study of a Soil-Based Rubberized CLSM," Waste Management, Vol., 29, Issue 2, pp.636-642.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2013/10/31

國科會補助計畫	計畫名稱: 輕質CLSM路基材料工程性質之探討		
	計畫主持人: 吳淵洵		
	計畫編號: 102-2221-E-216-032-		學門領域: 土木材料
研發成果名稱	(中文) 非破壞檢測應用於CLSM填築路基強度檢測之探討		
	(英文) The applications of non-destructive testing for CLSM subgrade strength measurement		
成果歸屬機構	中華大學	發明人 (創作人)	吳淵洵, 陳志旻
	<p>(中文) 應用剩餘土石產製控制性低強度材料(controlled low strength material, CLSM) 並應用於路基填築可節省傳統路基級配材料, 同時亦可紓解剩餘土石棄置、儲存之環境壓力。由於CLSM含水量高, 早期強度較低, 因此其檢測效率不彰, 本研究採用超音波、衝擊錘與時域反射儀等非破壞檢測儀器於實驗室進行可行性驗證。研究成果證實超音波與衝擊錘可用於強度及承载力之檢測, 時域反射儀可用於含水量變化之連續紀錄。研究成果之迴歸公式相關性良好, 可用以預測強度、承载力等參數之內插預測。</p> <p>(英文) Use of construction surplus soils to produce construction low strength materials and subsequently use it as an alternative for the subgrade construction. It not only save the traditional aggregate materials but also save the spaces for storage of these problematic soils. Because the higher water content of CLSM, its early strength is too low to measure. This research uses ultrasonic, impact tester, and TDR to measure the early strength, water content, and CBR of CLSM material in the laboratory. The research results verify that the non-destructive techniques can be used for CLSM strength measurement. The regression of test results can be used for the prediction of strength and bearing capacity.</p>		
產業別	營造業		
技術/產品應用範圍	營建產業/土木工程、道路工程、材料試驗、品管工程。		
技術移轉可行性及預期效益	本計畫研究成果可立即轉移, 提供試驗儀器廠商用以改良非破壞檢測應用之超音波、衝擊錘及時域反射儀, 增加此類儀器於CLSM之應用。由於剩餘土石產製CLSM用途廣泛並兼具環境保護與永續利用之優點, 因此技術轉移之預期效益十分良好。		

註: 本項研發成果若尚未申請專利, 請勿揭露可申請專利之主要內容。

102 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：吳淵洵		計畫編號：102-2221-E-216-032-					
計畫名稱：輕質 CLSM 路基材料工程性質之探討							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
----------------------------------------------------------------------------------------	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

營建剩餘土石方日益增多，產生嚴重之環保與生態問題，研議剩餘土石方之資源化應用實屬刻不容緩。控制性低強度材料(Controlled Low Strength Materials, CLSM, 亦稱流填料, Flowable Fill)能有效解決填土工程品質低劣之問題，因此以剩餘土石產製 CLSM(Soil-based CLSM, S-CLSM) 可解決國內營建工程剩餘土石方之困境，並達到資源有效再永續利用的環保目標。CLSM 目前主要的施工檢驗方式皆以破壞性為主，對於強度較低之早期強度檢測，只能依賴澆置時製作的圓柱試體進行間接檢驗，缺乏施工品質管制之成效，因此進行早期強度非破壞之檢測可行性探討極為必要。本研究以新竹寶山砂土為探討土樣，研究內容以實驗室試驗為主。研究結果顯示藉由適當配比設計，可得符合規範之工作度，超音波檢測 S-CLSM 強度確實可行，時域反射儀(TDR)所得之體積含水量值具有正確性，衝擊錘(Impact Tester)之衝擊值與 CBR 值及強度關係相關性良好。依據研究成果，非破壞檢測應用於 S-CLSM 之早期品質檢測確實可行且成效良好。