

# 淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM之評估

## 總結報告

執行單位： 國立台北科技大學

中華民國 一 百 年 一 月

# 淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM之評估

計畫主持人 柯明賢助理教授

協同主持人 康世芳教授

研究人員：簡靜瑜、沈佩玲、  
朱祐弘、高偉傑、盧子威

中華民國一百年一月

# 淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM 之評估 委託研究

一、案名：「淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM之評估」
二、委託單位：臺北自來水事業處
三、受託(研究)單位：國立台北科技大學
四、研究起時：中華民國99年06月08日
五、研究迄時：中華民國100年1月14日
六、研究目的： (一) 蒐集彙整 CLSM 之工程規範、淨水淤泥餅資源化文獻及其應用於 CLSM 之環保法規與臺北市相關工程管溝採用 CLSM 之年度需求量。 (二) 探討淨水淤泥餅之物化、工程、溶出及顯微等特性。 (三) 探討淨水淤泥餅拌製 CLSM 之最適操作參數及預鑄型 CLSM 之可行性。 (四) 探討淨水淤泥餅應用於 CLSM 之物化、工程材料、溶出及顯微等特性。 (五) 評析淨水淤泥餅應用於 CLSM 之成本效益。 (六) 探討洪水過後之淨水淤泥餅之特性及應用於 CLSM 之影響
七、研究內容： <p>本研究使用臺北自來水事業處直潭淨水場之淨水淤泥，組成經分析後其中以矽、鋁、鐵、鉀、鈉、鈣等物質之氧化物為主要成份，而氧化矽(SiO<sub>2</sub>)含量最高(53.2%)，主要為矽酸鹽化合物，並存在著Quartz[SiO<sub>2</sub>]、Chlorite Serpentine[(Mg, Al)<sub>6</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>] 及 Illite [(K, H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]等結晶相；且因為其中之石英之晶體結構，外觀呈現為片狀之形態。淨水淤泥餅之TCLP溶出濃度顯示，淨水淤泥餅以Zn之溶出濃度2.68mg/L最高，其次為Cu 1.089 mg/L及Pb 0.20 mg/L，皆遠低於法規標準值。物化特性方面，淨水淤泥餅之pH值為6.5，屬於中性物質，含水率為32.69%，灼燒減量為8%，粒徑分佈自0.5~70 μm，平均粒徑為6.2 μm。</p> <p>CLSM為一低強度水泥質材料，主要是當作回填材料以替代傳統的回填夯實材料，本研究使用淨水淤泥餅，摻配水泥、飛灰、細骨材及粗骨材來合成CLSM，並討論其材料間配比對CLSM之工作性及抗壓強度的影響。由實驗結果發現，以水灰比1.0、淨水淤泥取代比10%、早強劑添加量5%所製成之CLSM，其工作性、初凝時間、24小時抗壓強度皆能符合台北市工務局的規範。</p> <p>本研究亦討論，在颱風時期所產生的大量淨水淤泥，與一般淨水淤泥間</p>

之差異。經由物化組成、TCLP、XRD、FTIR等分析檢測，顯示颱風時期之淨水淤泥，與一般時期之淨水淤泥間並沒有太大的差異，推論即使是以颱風時期之淤泥合成CLSM，其性質不會有太大的變化。

以水灰比3.0及淤泥取代比10%合成之CLSM，經分析後，其中亦存在 Quartz [SiO<sub>2</sub>]、Chlorite Serpentine [(Mg, Al)<sub>6</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]、Illite [(K, H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]及 Ferrosilite[(Fe, Mg)SiO<sub>3</sub>]等結晶相，皆來自於淨水淤泥餅；此外，亦含有水泥中含鈣成分與空氣產生氧化反應所形成之碳酸鈣之晶相，故其主要化學鍵結為Si-O、Al-O、C-O等化學鍵結。經TCLP測試，其重金屬鉛、鉻、鎘、銅之溶出量分別為0.095、0.027、0.002、0.016(mg/L)，均小於國內所規範之數值；而管柱試驗模擬出的CLSM之重金屬溶出總量，與荷蘭營建材料法令Building Material Decree (BMD)之規定數值相比，亦均遠小於其規範。

在經濟效益分析方面，以水灰比1.0及淤泥取代比10%合成之CLSM單價估計為未加早強劑1721.25(元/m<sup>3</sup>)及有加早強劑2021.25(元/m<sup>3</sup>)，雖高於回填工程中常採用之140kgf/cm<sup>2</sup>強度的預拌混凝土材料之單價1670(元/m<sup>3</sup>)，但前者價格尚有降低之可能。綜合結果，以淨水淤泥製成CLSM，確有其可行性及發展之潛勢。

八、報告書印製份數：20份

九、研究人員：

計畫主持人 柯明賢助理教授

協同主持人 康世芳教授

研究人員：簡靜瑜、沈佩玲、朱祐弘、高偉傑、盧子威

# 目 錄

第一章 研究摘要 .....	1
第二章 研究主旨與背景說明 .....	4
2.1 研究緣起.....	4
2.2 研究目的.....	6
第三章 相關研究、文獻之探討 .....	8
3.1 淨水淤泥餅特性 .....	8
3.2 淨水淤泥餅資源化技術 .....	14
3.3 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範 .....	24
3.4 CLSM 之工程規範.....	28
3.5 再生建材之環境規範 .....	37
3.6 廢棄物應用於 CLSM 之研究 .....	40
3.7 CLSM 與傳統管溝回填材料之比較 .....	47
第四章 研究對象與限制 .....	52
4.1 研究對象.....	52
4.2 研究限制.....	56
第五章 研究方法與過程 .....	57
5.1 實驗流程.....	57
5.2 實驗步驟.....	59
5.3 分析方法.....	61
第六章 研究發現 .....	67
6.1 淨水淤泥餅之物化、工程、溶出及顯微特性分析 .....	67
6.2 淨水淤泥餅應用於 CLSM 之最適操作參數及預鑄型 CLSM 可行性評析 .....	72
6.3 洪水過後之淨水淤泥餅特性及其應用於 CLSM 之影響 .....	84
6.4 淨水淤泥餅應用於 CLSM 之特性分析 .....	89
6.5 淨水淤泥餅應用於 CLSM 之成本效益分析 .....	94
第七章 結論與討論 .....	96
7.1 結論.....	96

7.2 建議.....	97
參考文獻.....	98
附錄.....	103
臺北自來水事業處委託研究案報告修訂說明表 .....	103
1.期中報告修訂說明表 .....	103
2.期末報告修訂說明表 .....	110
審查會會議記錄 .....	115
1.期中報告審查會會議紀錄 .....	115
2.期末報告審查會會議紀錄 .....	119
預鑄溝蓋板之相關資料 .....	121

# 表目錄

表 3.1-1 淨水淤泥餅之物理與工程性質 .....	12
表 3.1-2 淨水淤泥餅之化學組成 .....	13
表 3.1-3 淨水淤泥餅之 TCLP 溶出值.....	13
表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點 .....	21
表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點 .....	22
表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點 .....	23
表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範.....	25
表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範 .....	26
表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範.....	27
表 3.4-1 98 年台北市相關管溝工程資料.....	30
表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整 .....	31
表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整 .....	32
表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整 .....	33
表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整 .....	34
表 3.4-3 美國各州關於 CLSM 材料使用規範章節名稱彙整表 .....	35
表 3.4-4 美國各州 CLSM 規範的要求性能 .....	35
表 3.4-5 國內 CLSM 材料規範彙整表 .....	36
表 3.5-1 BMD 對溶出物之規範.....	38
表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表 .....	44
表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表 .....	45
表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表 .....	46
表 3.7-1 CLSM 與傳統級配砂石料回填工法施工比較 .....	49
表 3.7-2 CLSM 與傳統級配砂石料回填工法施工單價比較.....	49
表 3.7-3 傳統管溝回填工法及 CLSM 回填工法之檢測項目 .....	49
表 3.7-4 下水污泥運用於 CLSM 材料取代部份粉土之材料成本探討 .	51
表 4.1-1 燃煤飛灰之元素組成 .....	53
表 4.1-2 粗骨材篩分析及含水率試驗結果 .....	55

表 4.1-3 細骨材篩分析及含水率試驗結果 .....	55
表 6.1-1 淨水淤泥餅元素組成 .....	67
表 6.1-2 淨水淤泥餅 TCLP 溶出試驗.....	67
表 6.1-3 淨水淤泥之物化特性 .....	68
表 6.2-1 經烘乾之淨水淤泥餅製作 CLSM 之分析結果.....	73
表 6.2-2 原廠狀態之淨水淤泥餅製作 CLSM 之分析結果.....	75
表 6.2-3 不同拌合方法之實驗流程 .....	77
表 6.2-4 不同拌合方法製作 CLSM 之工作性與抗壓強度之分析結果..	78
表 6.2-5 添加不同比例早強劑 CLSM 之結果分析 .....	79
表 6.2-6 新設管線之管溝挖掘標準斷面規範 .....	81
表 6.3-1 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅之元素組成 .....	84
表 6.3-2 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅 TCLP 試驗 .....	85
表 6.3-3 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅之物化特性 .....	86
表 6.4-1 淨水淤泥餅合成 CLSM 之 TCLP 試驗 .....	89
表 6.4-2 CLSM 管柱溶出試驗 .....	90
表 6.4-3 CLSM 重金屬溶出量與 BMD 規範數值 .....	91
表 6.5-1 CLSM 成本估算 .....	94

# 圖目錄

圖 3.1-1 世界上各國淨水淤泥餅產量 .....	9
圖 3.1-2 世界上各國單位面積淨水淤泥餅負荷量 .....	9
圖 3.7-1 管溝回填設計斷面 .....	48
圖 4.1-1 淨水淤泥餅採樣實況 .....	52
圖 4.1-2 淨水淤泥餅實際樣品 .....	53
圖 4.1-3 燃煤飛灰實際樣品 .....	53
圖 4.1-4 實驗所用之水泥樣品圖 .....	54
圖 4.1-5 天然粗骨材 .....	54
圖 5.1-1 實驗流程圖 .....	58
圖 5.3-1 白金坩鍋 .....	61
圖 5.3-2 掃描式電子顯微鏡 .....	62
圖 5.3-3 X 光繞射儀 .....	63
圖 5.3-4 測量坍流度使用之器具 .....	64
圖 5.3-5 管流度實驗 .....	65
圖 5.3-6 抗壓強度實驗 .....	66
圖 6.1-1 淨水淤泥餅粒徑分佈圖 .....	68
圖 6.1-2 淨水淤泥餅 X 光繞射圖 .....	69
圖 6.1-3 淨水淤泥餅之 FTIR 圖 .....	70
圖 6.1-4 淨水淤泥餅之 SEM 分析圖 .....	71
圖 6.2-1 管線工程管溝回填設計斷面圖 .....	81
圖 6.2-2 B 型預鑄緣石溝蓋版詳圖 .....	82
圖 6.2-3 S 型預鑄溝蓋版詳圖 .....	83
圖 6.2-4 L 型預鑄溝蓋版詳圖 .....	83
圖 6.3-1 淨水淤泥餅之粒徑分析(A)平時時期(B)颱風時期 .....	87
圖 6.3-2 淨水淤泥餅之 X 光繞射分析(A)平時時期(B)颱風時期 .....	87
圖 6.3-3 淨水淤泥餅之 FTIR 分析(A)平時時期(B)颱風時期 .....	88
圖 6.4-1 水灰比 3.0，淨水淤泥餅添加 10%CLSM 之 X 光繞射分析 ...	91

圖 6.4-2 水灰比 3.0，淨水污泥添加 10%CLSM 之 FTIR 分析 .....	92
圖 6.4-3 水灰比 3.0，淨水淤泥餅添加 10%CLSM 之 SEM 分析.....	93

## 第一章 研究摘要

本研究使用台北市直潭淨水場之淨水淤泥，組成經分析後其中以矽、鋁、鐵、鉀、鈉、鈣等物質之氧化物為主要成份，而氧化矽( $\text{SiO}_2$ )含量最高(53.2%)，主要為矽酸鹽化合物，並存在著Quartz[ $\text{SiO}_2$ ]、Chlorite Serpentine [ $(\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ]及Illite [ $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ]等結晶相；且因為其中之石英之晶體結構，外觀呈現為片狀之形態。淨水淤泥餅之TCLP溶出濃度顯示，淨水淤泥餅以Zn之溶出濃度2.68mg/L最高，其次為Cu 1.089 mg/L及Pb 0.20 mg/L，皆遠低於法規標準值。物化特性方面，淨水淤泥餅之pH值為6.5，屬於中性物質，含水率為32.69%，灼燒減量為8%，粒徑分佈自0.5~70 $\mu\text{m}$ ，平均粒徑為6.2 $\mu\text{m}$ 。

CLSM為一低強度水泥質材料，主要是當作回填材料以替代傳統的回填夯實材料，本研究使用淨水淤泥餅，摻配水泥、飛灰、細骨材及粗骨材來合成CLSM，並討論其材料間配比對CLSM之工作性及抗壓強度的影響。由實驗結果發現，以水灰比1.0、淨水淤泥取代比10%、早強劑添加量5%所製成之CLSM，其工作性、初凝時間、24小時抗壓強度皆能符合台北市工務局的規範。

本研究亦討論，在颱風時期所產生的大量淨水淤泥，與一般淨水淤泥間之差異。經由物化組成、TCLP、XRD、FTIR等分析檢測，顯示颱風時期之淨水淤泥，與一般時期之淨水淤泥間並沒有太大的差異，推論即使是以颱風時期之淤泥合成CLSM，其性質不會有太大的變化。

以水灰比3.0及淤泥取代比10%合成之CLSM，經分析後，其中亦存在Quartz [ $\text{SiO}_2$ ]、Chlorite Serpentine [ $(\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ]、Illite [ $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ]及Ferrosilite[ $(\text{Fe},\text{Mg})\text{SiO}_3$ ]等結晶相，皆來自於淨水淤泥餅；此外，亦含有水泥中含鈣成分與空氣產生氧化反應所

形成之碳酸鈣之晶相，故其主要化學鍵結為 Si-O、Al-O、C-O 等化學鍵結。經 TCLP 測試，其重金屬鉛、鉻、鎘、銅之溶出量分別為 0.095、0.027、0.002、0.016(mg/L)，均小於國內所規範之數值；而管柱試驗模擬出的 CLSM 之重金屬溶出總量，與荷蘭營建材料法令 Building Material Decree (BMD) 之規定數值相比，亦均遠小於其規範。

在經濟效益分析方面，以水灰比 1.0 及淤泥取代比 10%合成之 CLSM 單價估計為未加早強劑 1721.25(元/m<sup>3</sup>)及有加早強劑 2021.25(元/m<sup>3</sup>)，雖高於回填工程中常採用之 140kgf/cm<sup>2</sup>強度的預拌混凝土材料之單價 1670(元/m<sup>3</sup>)，但前者價格尚有降低之可能。綜合結果，以淨水淤泥製成 CLSM，確有其可行性及發展之潛勢。

## Abstract

In this study, the water treatment sludge from Taipei Jhihtan water treatment plant is used to synthesize CLSM(Controlled Low Strength Materials), which is a low strength material contained cement. With high flow ability, CLMS has great potential to replace the traditional materials to refill the pipeline projects. By the result, the CLSM produced with 1.0 water/cement, 10% water treatment sludge and 5% CaCl<sub>2</sub>, can achieve the standard of Public Works Department of Taipei City Government, including 24 hours compressive strength, work abilities, initial setting time.

According to the composition analysis, water treatment sludge consists of oxide of silicon, aluminum, iron, potassium, sodium and calcium, and the silicon oxide is the highest compound(53.2%). Its crystal phases are Quartz[SiO<sub>2</sub>], Chlorite Serpentine[(Mg,Al)<sub>6</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>] and Illite[(K,H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>], and physical-chemical characters show that the pH value is 6.5, ignition loss is 8%, moisture content is 32.69% and the particle size distribution is from 0.5 to 70μm. The TCLP(Toxicity characteristic leaching procedure) indicates the leaching concentrations of Zn, Cu and Pb are 2.68, 1.089 and 0.2 mg/L. By the way, this study also discusses with the effect of water treatment sludge by typhoon, and the result shows that there is no distinguishing change .

By the economic estimation, the water treatment CLSM costs 1721.25 and 2021.25 TD/m<sup>3</sup> with/without CaCl<sub>2</sub>, and the price is possible to get down because of the saving of water treatment sludge cost.

## 第二章 研究主旨與背景說明

### 2.1 研究緣起

台灣地區原水水源主要來自河川及水庫等地表水，約佔70%左右，而河川水源容易遭受周遭環境因素如不當開發或下雨等所影響，造成原水水質中含有濁度或懸浮固體等物質，因此需經過混凝、沈澱、過濾與消毒等處理單元，以去除原水中之雜質，達成淨化水質之目的。因此自來水處理過程所產生之水與淤泥或脫水後之淨水淤泥餅，皆須符合環保署公告之水污染防治法與廢棄物清理法規定予以適當之處理。

淨水淤泥餅的特性依照原水性質與處理程序的差異而有所不同，一般而言，淨水淤泥餅的組成，主要成分包含懸浮固體物、有機物、無機鹽類、混凝劑及水分，顏色由淺黃至灰黑均有，視其原水性質、加藥種類及貯存時間而異。每個淨水場處理後所產生之淤泥與成份都無法正確預估，因為原水水質與處理效率在不同的時間內皆有所不同，以致在同一個處理場任何時間淤泥之性質與數量都不一樣。其中懸浮固體物主要為原水中夾帶的黏土與細砂，主要組成為 $\text{SiO}_2$ 及 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。混凝劑的種類不同也會對淤泥的特性造成影響，添加鋁鹽混凝劑時，則會產生氫氧化鋁或聚合體之沉澱物，而添加鐵鹽類混凝劑，則產生氫氧化鐵等固體沉澱物<sup>(張,1997)</sup>。另淨水淤泥餅於統一土壤分類法中屬於塑性粉土(MH)，其80%以上之顆粒通過200篩，滲透係數約為 $1.11 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ <sup>(紀, 20002)</sup>，可知淨水淤泥餅顆粒甚小，具有明顯的凝聚性。由上述文獻資料可知淨水淤泥餅其主要組成與建築材料天然之組成成分相似。

由98年統計資料可知臺北自來水事業處所屬之五個淨水場，產生淨水淤泥餅(含水率30%~50%)約為6.8萬噸，而過去以掩埋場掩埋為主之傳統處理方式，隨著掩埋場使用之年限及進場費用日益高升已不敷使用，故現今淨水淤泥餅多以資源化處理取代傳統掩埋處置，且淨水

淤泥餅經毒性特性溶出程序溶出試驗(TCLP)，試驗值均合乎有害事業廢棄物認定標準，屬於一般事業廢棄物，故於資源化再利用時不會對環境造成二次污染。目前淨水淤泥餅資源化技術有農業園藝、建材及水泥原料等方面，然淨水淤泥餅應用於農業園藝<sup>(康, 2001; 廖, 2004)</sup>及製磚技術<sup>(江, 2004)</sup>雖已臻成熟，甚至已有實廠運作，但堆肥調理及園藝用土之再利用技術在台灣較少被使用，其經濟價值較低且受限於土壤污染法規定，而將淨水淤泥餅再利用於製磚技術，淤泥需經高溫燒結前處理，較為耗能且再利用成本高。淨水淤泥餅應用於輕質骨材技術<sup>(cheeseman et al, 2005)</sup>雖能使資源化產品雖具較高附加價值但也較為耗能，且市場的接受度不高，所以較少利用，而將淨水淤泥餅再利用於水泥原料<sup>(康, 2001; Ramirez et al, 2009)</sup>其添加比例有限且淤泥之清運成本也需考量。因此淨水淤泥餅再利用於管溝回填材料<sup>(紀, 2003)</sup>雖尚在研發階段，但可用於水公司自身管線回填，且其需求量大，不但可降低管溝回填材料的使用成本，減少社會成本的支出，增加淨水淤泥餅自身的經濟效益，更達到節能減碳的目標。因此以淨水淤泥餅運用於管溝回填材料實為可行之方法。

傳統管溝回填是以砂石料或原有開挖土方進行管溝回填，經常造成路面龜裂和下陷等問題，因此國內現有以高性能低強度混擬土 (Controlled Low Strength Materials CLSM) 替代傳統砂石材料進行管溝回填工作。以混凝土的觀點來看，CLSM 為一具自充填且 28 天單軸抗壓強度不超過  $84\text{kg/cm}^2$  (1200 psi) 之混凝土，以膠結料、水、砂、石透過配比技術，使之具有一定強度，未來又能便利人工或機具方式開挖的低強度水泥質材料，其具有自平性，不需滾壓或夯實，適用於狹小或機具無法進入的場所等優點，因此目前主要是被當作回填材料以替代傳統的回填夯實材料。內政部營建署和台北市政府工務局有鑑於 CLSM 用量日趨增加，因此分別針對 CLSM 擬定相關規範，其擬定之規範可依粒料來源分類為制式材料(水、水泥、飛灰或細砂、粗骨材所組成)與非制式材料，訂定有流度、初凝時間、配比設計、單位重、抗壓強度與落球強度試驗等要求。因非制式材料其來源可能為一般事業

廢棄物，如垃圾焚化底渣、廢鑄砂、廢玻璃或其他等具力學性能之粒料，因此非制式材料亦需符合廢棄物清理法及其相關法令之規範，以防止環境受到二次污染。目前國內已有許多使用廢棄物作為取代 CLSM 粒料的研究(紀, 2003; 吳, 2006; 葉, 2007; Sasha et. al,2009; Hashim et. al,2009)，研究結果顯示以焚化底渣作為 CLSM 其工作性能符合規範，惟後期強度可能發展過高，且有重金屬溶出之疑慮，而以下水淤泥配製 CLSM，其經燒結之淤泥可取代骨材料達 30~40%，單壓強度不僅符合規範要求並具有較佳經濟效益。因此本計畫利用淨水淤泥餅製作 CLSM 應為一可行之方法，值得進一步探討。

綜合以上所述，本研究計畫利用淨水淤泥餅取代傳統 CLSM 之材料，並配合添加適當之摻料、養護條件和水灰比等條件以縮短初凝時間，改善面臨之交通問題，並評析淨水淤泥餅應用於 CLSM 之可行性及成本效益，基於節能減碳之終極目標下，淨水淤泥餅應用於管線回填材料 CLSM，不僅為一兼具環保及工程之資源化方法，同時亦可降低淨水淤泥所造成之社會成本支出、避免環境的二次污染，並提升淨水淤泥餅的再生利用價值。

## 2.2 研究目的

- (七) 蒐集彙整 CLSM 之工程規範、淨水淤泥餅資源化文獻及其應用於 CLSM 之環保法規與臺北市相關工程管溝採用 CLSM 之年度需求量。
- (八) 探討淨水淤泥餅之物化、工程、溶出及顯微等特性。
- (九) 探討淨水淤泥餅拌製 CLSM 之最適操作參數及預鑄型 CLSM 之可行性。
- (十) 探討淨水淤泥餅應用於 CLSM 之物化、工程材料、溶出及顯微等特性。
- (十一) 評析淨水淤泥餅應用於 CLSM 之成本效益。
- (十二) 探討洪水過後之淨水淤泥餅之特性及應用於

CLSM 之影響。

## 第三章 相關研究、文獻之探討

### 3.1 淨水淤泥餅特性

目前台灣地區自來水源係以河川、湖泊、水庫等地表水為主，但地表水容易受到人為或天然因素影響而破壞水質，為得到良好且穩定的自來水，須將地表水引入淨水場處理經曝氣、沉澱、加藥、混凝沉澱、過濾等淨水程序，淨水場於淨水處理過程中所收集之沉澱物即為淨水淤泥餅，各淨水處理單元排出的淤泥餅含水率高、體積大，因此淨水場皆設有淤泥餅處理系統以進行淤泥濃縮、調理、脫水、乾燥等程序。混凝沉澱產生之淤泥餅其脫水性不佳，故常藉由調理程序加以改善。淤泥餅調理程序可分為物理性及化學性兩種，物理性調理以熱處理為主，化學性調理係添加化學藥劑於淤泥中以提高淤泥餅之脫水效率，但也因此將淤泥餅之pH值從中性（6.0~7.5）提高為鹼性。淨水淤泥餅之脫水方式主要可分為自然乾燥法與機械脫水法兩類。自然乾燥法係將淤泥餅集中至乾燥床，藉由日晒蒸發而脫水。機械脫水法包含離心脫水、真空脫水、袋濾式脫水及壓濾式脫水等，目前國內淨水廠多數採用壓濾式脫水，效率較高且淤泥餅含水率可降低至60%以下。

由台灣自來水公司淨水淤泥餅自資資源化之研究報告<sup>(台灣自來水公司, 2008)</sup>中整理台灣自來水公司所屬十二區處淨水淤泥餅量近年年產量約為12.5萬公噸，台北自來水事業處轄下五座淨水場，統計產生量約6.8萬公噸，因此推估台灣地區每年產生超過14萬公噸以上之淨水污泥餅。該研究亦彙整國外淨水淤泥餅產生量及探討每平方公里土地面積每年需負荷之淨水淤泥餅量如圖3.1-1、圖3.1-2所示，發現台灣淨水場產生的淨水淤泥餅，對於環境之負擔遠大於其他國家，因此台灣淨水淤泥餅的處置問題亦較為嚴重。

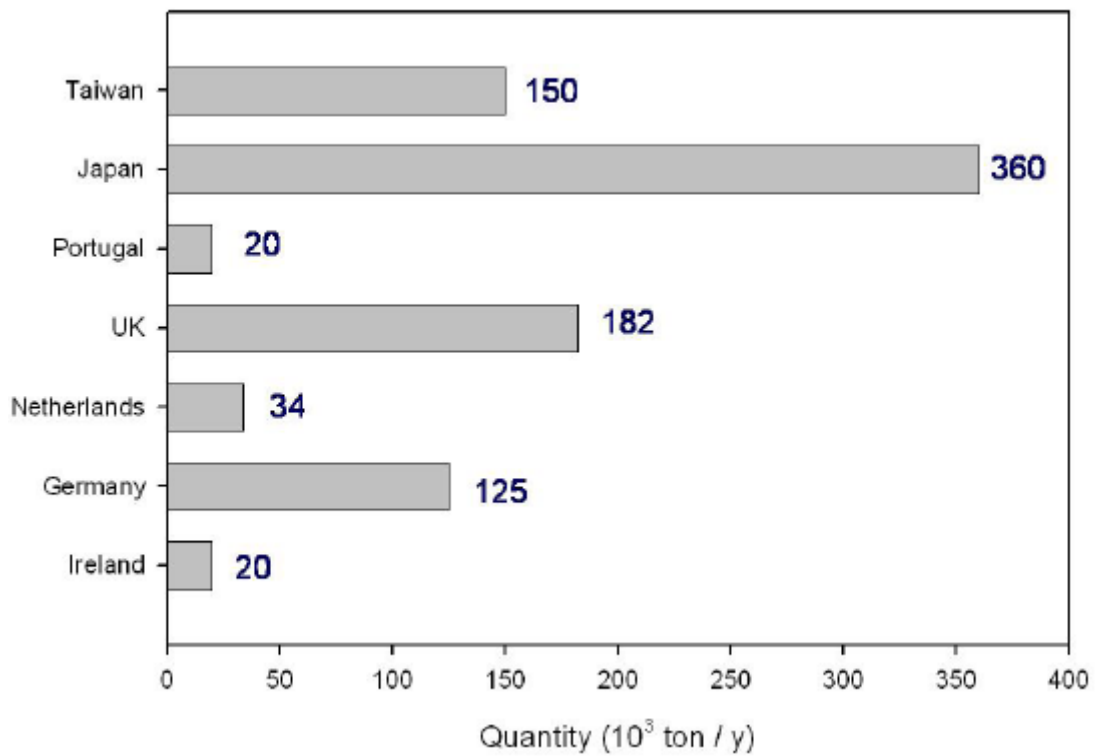


圖 3.1-1 世界上各國淨水淤泥餅產量 (Babatunde et. al 2007)

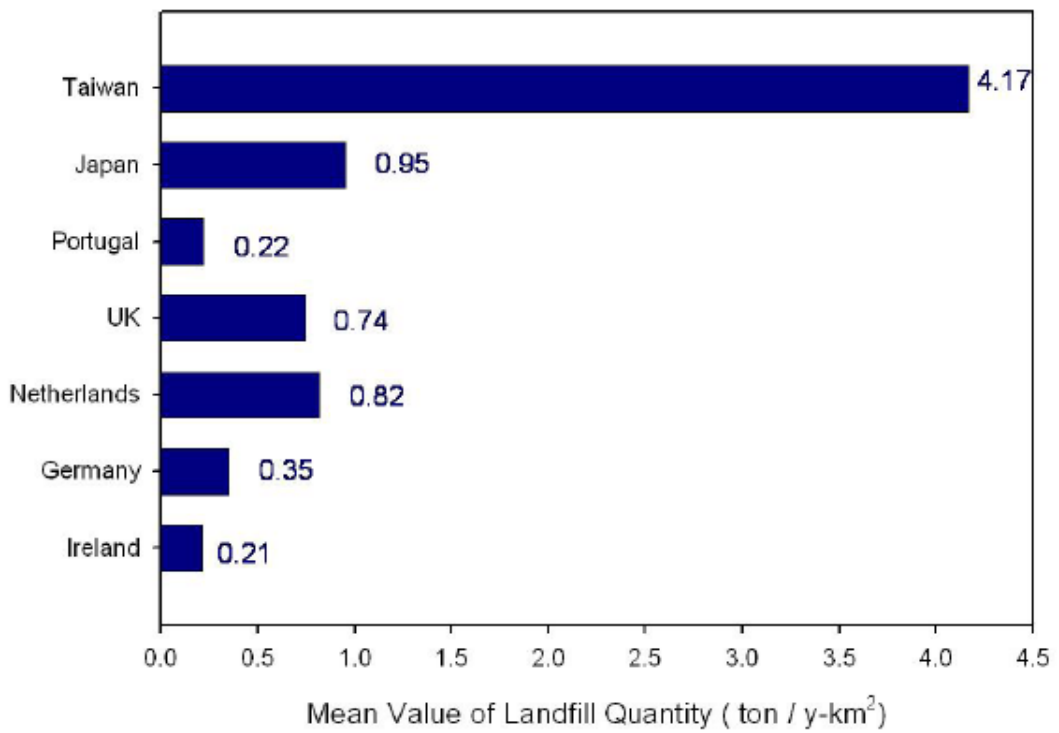
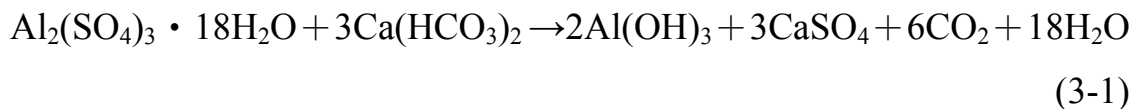


圖 3.1-2 世界上各國單位面積淨水淤泥餅負荷量 (台灣自來水公司 2008)

淨水淤泥餅之特性受到原水水質、淨水程序、混凝劑種類等因素影響，台灣之淨水場大多以地表水為主要水源，原水經過前述淨水程序處理後，產生的淨水淤泥餅主要包含沉澱泥砂、混凝膠羽及濾床反沖洗淤泥。泥砂量及其特性與集水區內土壤、地質、水土保持及天候狀況等因素有關。混凝程序係添加混凝劑於原水中破壞膠體穩定，使粒子能互相接觸而凝聚為膠羽，進而利用重力沉澱或過濾去除。常使用之混凝劑可分為鐵系及鋁系兩大類，鐵系混凝劑如氯化鐵、硫酸鐵、硫酸亞鐵等，鋁系混凝劑則以多元氯化鋁（Polyaluminium Chloride，PAC）、硫酸鋁較為常見。茲以硫酸鋁為例，其在水中之反應如3-1式：



硫酸鋁與水中鹼度反應產生氫氧化鋁或聚合體，其最適pH範圍為6.0~7.8，產生膠羽亦具有相似之pH值。比重大於1的膠羽顆粒可藉由重力沉澱形成淤泥，其他比重小於1者可在後續快砂濾池中過濾去除。

淨水淤泥餅的特性依照原水性質與處理程序的差異而有所不同，一般而言，淨水淤泥餅的組成主要為懸浮固體物、有機物、無機鹽類、混凝劑及水分，因此所產生的淤泥餅特性與組成，主要受到懸浮固體物與添加的混凝劑影響。其中懸浮固體物主要為原水中夾帶的黏土與細砂，主要組成為 $\text{SiO}_2$ 及 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。另外，混凝劑的種類不同也會對淤泥的特性造成影響，添加鋁鹽混凝劑時，產生的固體沉澱物組成為 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，而添加鐵鹽類混凝劑，固體沉澱物組成則為 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。(張,1997)

淨水淤泥餅的物理特性與如表3.1-1所示，可以看出不同淨水場的淤泥餅，其物化性質有很大的差異。一般而言，鋁鹽淤泥餅有沉降速度快，但脫水不易的特性，除了因為鋁鹽在水中所產生的水合金屬結構，造成脫水性不佳外，由細小泥砂顆粒所組成的淤泥餅，也會影響淤泥餅的脫水性。此類淤泥餅的比重與一般土壤的比重接近，在工程

性質方面，受到固體物的含量或污泥本身結構等因素的影響，各淨水場淤泥的工程性質，彼此之間數值亦有很大的差異。

淨水淤泥餅的化學組成如表3.1-2所示，依照使用混凝劑的不同，分為鋁鹽、鐵鹽與石灰淤泥，從表中可看出，由於淤泥餅組成主要為原水中的細小泥砂顆粒與混凝劑，因此總組成成分以氧化矽所佔比例最高。另外，依照使用的混凝劑種類不同，鋁、鐵、鈣在化學組成中所佔的比例也會有所增減，除了上述的主要成分外，其中還包含少量的量的 $Mg^{2+}$ 、 $Na^{+}$ 、 $K^{+}$ 等元素化合物。此淤泥餅的pH 值大致介於中性的範圍，石灰淤泥餅則較偏鹼性。在BOD 與重金屬部分，由於原水水質良好，因此淤泥餅中僅含有少量的BOD 與微量的重金屬。依據表3.1-3表列中可看出，淤泥的TCLP 數值皆遠低於法規的標準，因此若經過適當處置應不至於對環境造成影響。

表 3.1-1 淨水淤泥餅之物理與工程性質<sup>(鄭 2002)</sup>

性質	數值	文獻
黏滯度(N-s/m <sup>2</sup> ), 20°C	0.002-0.004	MWH, 2005
初始沉降速度(m/h)	2.2-5.5	MWH, 2005
乾密度(kg/m <sup>3</sup> )	1,200-1,520	MWH, 2005
	1,170-1,560	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
濕密度(kg/m <sup>3</sup> )	1,025-1,100	MWH, 2005
TS(%)	0.1-4	MWH, 2005
	0.3-5	Babatunde and Zhao, 2007
比阻抗(m/kg)	10×10 <sup>11</sup> -50×10 <sup>11</sup>	MWH, 2005
	0.98×10 <sup>13</sup> -24.92×10 <sup>13</sup>	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
		Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
比重	1.87-2.71	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
	2.12-2.93	日本財團法人水道技術研究中心, 1998
	2.72	紀宗男, 2003
粒徑分佈(mm)	0.002-0.039	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
塑性限度(%)	4.0-322.1	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
	40.6-186.3	日本財團法人水道技術研究中心, 1998
	35	紀宗男, 2003
液性限度(%)	35.5-617.4	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
	84.3-365	日本財團法人水道技術研究中心, 1998
	51	紀宗男, 2003
最佳含水率(%) (最大乾密度(kg/m <sup>3</sup> ))	17-83(594-1,856)	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
	20-144(547-1,394)	日本財團法人水道技術研究中心, 1998
	30.7(1,435)	
抗剪強度(kpa)	2.4-106.8	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003
抗壓強度(kpa)	32-316.9	Aldeeb <i>et al.</i> , 2003

表 3.1-2 淨水淤泥餅之化學組成 (Babatunde et. al,2007)

成份	單位	鋁鹽淤泥	鐵鹽淤泥	石灰淤泥
鋁		29.7±13.3	10.0±4.8	0.5±0.8
鐵		10.2±12	26.0±15.5	3.3±5.8
鈣	乾重(%)	2.9±1.7	8.32±9.5	33.1±1.04
鎂		0.89±0.8	1.6	2.2±1.04
氧化矽		33.4±26.2	-	54.57
pH	-	7.0±1.4	8.0±1.6	8.9±1.8
BOD <sub>5</sub>	mg/L	45(2-104)	-	-
磷	乾重(%)	0.35	0.36	0.02
鋅		33.0±28	18.7±16	2.5±0.7
鉛		44.1±38.2	19.3±25.3	1.87±1.13
鎘		0.5	0.48±0.26	0.44±0.02
鎳	mg/kg	44.3±38.4	42.9±39.2	0.98±0.52
銅		33.72±32.5	18.7±25.8	3.6±3.1
鉻		25.0±20.1	25.7±21.6	1.3±0.2
鈷		1.06	1.61±1.1	0.67±0.05

註：mean values±SD

表 3.1-3 淨水淤泥餅之 TCLP 溶出值 (台北自來水事業處 2001, 台灣省自來水公司 2002)

重金屬	銅	鉻	鎘	鉛	汞
直潭淨水場淨 水淤泥餅 (mg/L)*	0.05	ND	0.03	0.62	ND
板新淨水場淨 水淤泥餅 (mg/L)**	0.058	ND	ND	ND	ND
法規限值	15	5.0	1.0	5.0	0.2

### 3.2 淨水淤泥餅資源化技術

淨水淤泥餅資源化再利用技術目前可分為三大項，其中(1)為利用淨水淤泥餅中添加之混凝劑殘餘物質作為污水處理用途之再利用方式，(2)為經由簡單乾燥、破碎與造粒後作為拌合摻料之再利用方式，如作為園藝培養土、植栽培養土等土壤基質之再利用方式以及(3)需經高溫完全乾燥或經高溫燒結之土木建築及結構物之資源化再利用技術，如作為水泥生料替代、燒結製磚及鋪面及大地工程材料等。而目前淨水淤泥餅資材化方向歸納如下列各項。

#### 一、污水處理程序

Guan(2005)等人於污水中添加鋁鹽淤泥餅作為混凝劑，欲以提升污水初級處理中SS及COD的去除效率，研究結果顯示以硫酸鋁淤泥餅中的氫氧化鋁作為混凝劑計算，在18-20 mg Al/L的添加劑量下可分別提高SS及COD的去除效率達20%及15%，研究結果也發現由於污水中顆粒與硫酸鋁淤泥餅均帶同樣負電，因此電性中和機制對於微粒污染物的去除並無助益，鋁鹽淨水淤泥餅作為混凝劑在SS及COD等污染物的去除主要是經由沉澱網除與物理吸附機制進行。

Wu(2004)等人將淨水淤泥餅經由高溫燒結後之燒結體做為吸附劑將合成之毒性污水進行吸附實驗，研究結果顯示，經由燒結後之淨水淤泥餅可吸附大量的毒性物質，且燒結程序可避免淨水淤泥餅中有害物質的釋出，在 pH4.6的環境下鉻(Cr)吸附量可達到1.40mg/g，汞(Hg)在pH6.0之吸附量為0.43mg/g。

黃(2005)利用鋁鹽淤泥餅與富磷淤泥餅進行調理，鋁鹽淤泥餅可提高富磷淤泥餅之不可壓縮性，同時可吸附水體中之磷酸根，若鋁鹽淤泥餅與富磷淤泥餅混合體積比為1:0.25及1:1時，磷之去除率高達99%，共調理後之淤泥餅具有良好之脫水性。此外，利用恆溫吸附實驗探討影響鋁鹽淤泥餅吸附磷酸根之因素，研究結果顯示溶液之酸鹼值為影響吸附能力之重要因子，在pH 5.25之吸附量為5.4mg P/g，而在pH 8.22

磷之吸附量則下降至1.4mg P/g，吸附量隨pH值上升有明顯的下降，另外針對不同地方之鋁鹽淤泥餅進行分析，研究結果發現磷之吸附量隨著鋁鹽淤泥餅中氫氧化鋁含量增加而提高。

Yang(2006)等人探討鋁鹽淤泥餅對磷酸鹽的吸附行為，研究結果顯示，脫水鋁鹽淤泥餅中含有46%高含量的氧化鋁，吸附量易受到pH值影響，在pH4.3磷之吸附量為3.5 mg P/g，此外界達電位也由+75.8mV變化到-33.7mV，在競爭吸附中發現， $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{Cl}^-$ 對於磷酸鹽吸附沒有顯著影響，指出磷酸鹽為特定吸附行為。此外，脫水鋁鹽淤泥餅在吸附磷酸鹽過程中會釋放出 $\text{OH}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 等物質，是由於這些官能基會與磷酸鹽進行配位基交換的機制而進入水相中，證明此反應在磷酸鹽去除為重要機制。

## 二、土地施用

Basta等人(2001)研究結果顯示，淨水淤泥餅為原水中的土壤顆粒，經沉降作用後所蒐集而產生，因此淤泥餅的性質與土壤接近，且可能含有部份的有機物。

廖明聰(2004)使用淨水淤泥餅與植物性堆肥，以不同比例，配製混合培養土，淨水淤泥餅添加在土壤作為綠美化時，可增加土壤緩衝能力，提高陽離子交換容量(CEC)，且不會增加土壤交換性鋁的含量，無生態毒性之風險，也增加土壤團粒穩定度。

Westerhoff( 1981)等人利用石灰淤泥餅探討石灰淤泥餅對於土壤中pH值之影響。研究結果顯示，石灰淤泥餅可以做為土壤 pH的緩衝基質，其效果能比直接使用石灰石佳。

Peters(1996)等人研究淨水淤泥餅對磷之吸附效果，研究結果顯示，淨水淤泥餅中的氫氧化鋁成份對磷有良好的吸附效果，因此，若將淨水淤泥餅添加至土壤中，可以吸附土壤中的磷，避免其流失至水體中，添加淤泥餅至土壤中可減少土壤中的磷流失。此外，Novak (2004)等人發現，添加淤泥餅對減少磷流失有良好效果，但淤泥餅的使用量若太多，可能會限制磷的效用。

目前日本大阪地區之淨水淤泥餅已被全量使用為公共綠地之植栽培養土，國內目前通過的再利用許可案例則被要求淤泥餅仍需添加有機質肥料才可出售，淨水淤泥餅作為栽培土用於底層當作基材時，有機質肥料與淤泥的摻配比例可以較低；施用於表層時，由於植物需要較高的養分，則需將有機質肥料的摻配比例提高<sup>(康, 2001)</sup>。

### 三、土木建材

#### 1. 製磚

淨水淤泥餅利用燒結技術製成建築用紅磚，已是行之有年的成熟應用技術，許多磚窯業者皆已進行實廠大規模量產。製磚過程之主要原料為黏土，需添加一定比例之無機淤泥作為副原料，經研磨、混合及加入一定比例之水份後，再經成型、疊杯、乾燥、燒成等步驟，使黏土與淤泥餅燒結成磚，而製作磚通常使用含鐵量較高的淨水淤泥餅。

江(2004)利用淨水淤泥餅與廢玻璃粉混合燒結製作磚，研究結果顯示，燒結溫度低於1000°C試驗條件下，由於顆粒尚未達到黏合及頸部成長現象，燒結試體結構鬆散，建築用磚之材料特性分析結果尚未符合中國國家標準(CNS)規範。當燒結溫度達1000°C時，燒結試體體積收縮率明顯增大，吸水率降低，試體緻密化程度、密度及抗壓強度等皆呈明顯上升之現象，同時燒結試體抗壓強度及吸水率均符合CNS之一般建築用磚之規範，且抗壓強度亦能符合一級磚之規範。至於燒結溫度1100°C時，隨玻璃量之添加，大量之黏滯性非結晶玻璃相形成於試體外部，有發泡輕質化之現象，內部密閉孔隙體積增加，體積呈現膨脹且密度降低，形成類似多孔性之燒結材料。

Huang 等人(2005)將淨水淤泥餅混合廢棄土壤燒結製磚，並將淨水淤泥餅磚體進行毒性特性溶出程序(TCLP)，研究結果顯示，磚體之重金屬溶出濃度均遠小於法規標準，燒結磚體具有良好包封重金屬能力。且淨水淤泥餅燒結體在燒結溫度為1100°C、燒結時間為15分鐘時，其燒結磚體亦可符合CNS規範之一級磚標準。當淨水淤泥餅添加40-50%混合廢棄土壤燒結製磚時，可有效降低燒結體之軟化。當混合

淤泥餅燒結體在成型壓力為 $220 \text{ kg/cm}^2$ ，燒結溫度為 $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ ，燒結時間為60分鐘時，混合淤泥餅燒結體符合鋪路磚之規範。顯示淨水淤泥餅燒結體可做為一般建築磚之使用。

Chiang 等人(2009)利用淨水淤泥餅混合稻殼灰以不同燒結溫度燒結製磚，研究結果顯示隨著燒結溫度越高，淨水淤泥餅燒結體之抗壓強度越高以淨水淤泥餅混合含量15%以下之稻殼灰，並以 $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 持溫3小時製成之淨水淤泥餅燒結體具有較高的抗壓強度，其抗壓強度可符合CNS規範之一級磚之標準( $100 \text{ kgf/cm}^2$ )，而隨著稻殼灰添加量增加，淨水淤泥餅燒結體之抗壓強度則下降。然稻殼灰含量增加會使淨水淤泥餅燒結體之孔隙率上升而提升及隔熱性質。

## 2. 輕質人造骨材

輕質骨材具有質輕、耐久性佳、隔熱保溫性優及高抗壓強度等特質，最適宜使用於房屋建築的構材，由其是高樓耐震、大型結構物及隔熱等建築工程上。將淨水淤泥餅及營建廢土混配應用於燒結型輕質骨材之製造，其方式乃是利用造粒法將粉末狀淤泥混合物結合成圓型顆粒團，經高溫 $800\sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 燒結成緻密且具有強度的顆粒。

使用下水污泥製作輕質骨材，可降低骨材密度及減少商用生料燒製時的熱能消耗。Cheeseman 等人(2005)將下水污泥混合黏土，以 $1020\sim 1080 \text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度燒製成輕質骨材，與商用骨材比較，在 $1050\sim 1080 \text{ }^\circ\text{C}$ 的溫度下燒製時，有較低的密度與吸水性，在低添加量時，強度與商用骨材相近。因其表面特性及形狀影響，加入混凝土中可改進其性質。

Mun(2007)將黏土以16~50%的比例混合下水污泥，燒製輕質骨材，並且將骨材添加至混凝土試體，骨材密度與吸水率隨著黏土取代量減少而下降，磨耗量、磨碎值與衝擊值皆隨著黏土取代量增加而減少，而在混凝土試體性質上，抗壓、抗撓強度與密度皆隨著黏土取代量增加而上升，皆比添加商用骨材的混凝土試體要高，而使用下水污泥比例高的骨材，混凝土試體會含有較高的孔隙比，因此吸水率較高，導熱率較低。

### 3. 水泥原料

水泥係由黏土質及石灰岩原料分別研磨至粉末，按比例混合後培燒而成。黏土質原料為黏土或頁岩，石灰石原料為石灰石，研磨灰渣中加入石膏以調節水泥之凝結時間。

水泥製造流程除原料之開採外，其製造過程可分為生料研磨、熟料燒成、熟料冷卻、水泥研磨以及包裝出貨等五個部分。生料研磨為原料自儲存槽取出依比例混合送入生料磨，進行乾燥研磨與選粉作業；經選粉之生料經預熱後，再送入旋窯加熱至1450°C高溫燒成熟料，之後再以氣冷方式冷卻至120°C而得結晶粒狀之熟料，冷卻之熟料與5%石膏混合即可送入水泥磨研磨成細粉，其中並以選粉機進行粗細分選，細粉隨氣流由袋濾機捕集後送入水泥庫，粗粉則回流至水泥磨中再次研磨而成細粉，則形成水泥。

康(2001)的研究結果顯示，製造1噸波特蘭水泥需要各項原料之比例，石灰石、黏土、矽砂、鐵渣及石膏分別為1080、220、60、30及35公斤。淨水淤泥餅作為黏土替代品，替代率為黏土之20%；換言之，製造1噸水泥可再利用之淨水淤泥餅約為40公斤(220公斤\*0.2=44公斤)。

淨水淤泥餅在水泥原料取代中，可作為水泥生料中取代黏土的角色，但Huang(2005)等人的研究結果顯示，並非所有淨水淤泥餅皆可作為水泥生料黏土成份之替代品。不同水源處之淨水淤泥餅皆受到當地原水及處理方式的不同而有所差異。如高雄鳳山淨水場由於化學組成成份與水泥用黏土迥異且含氯量過高，在水泥之燒成過程中，Cl會以 $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}\text{Cl}_2$ 化合物型態沉澱於窯壁或排氣管中，造成窯壁的腐蝕或排氣管的堵塞，因而不適合作為水泥生料使用；而適合作為水泥生料之直潭淨水場淤泥餅，經水泥係數(Cement Index)配比顯示，淨水淤泥餅可完全替代黏土做為水泥生料，且熟料中礦物的生成不因淨水淤泥餅之添加而有所改變，且在不同淨水淤泥餅替代率下，所製成之波特蘭水泥皆可符合CNS波特蘭水泥一型標準。

林東燦 (2006)以淨水淤泥餅、下水污泥、大理石污泥及轉爐礦泥四種廢棄物燒製水泥，分別作為取代水泥生料中的黏土、矽砂、石灰與鐵礦。研究結果顯示，以不同配比燒製出的水泥，大多能符合波特蘭水泥一型的物理與化學檢定，但抗壓強度則低於一般水泥。

Ramirez利用(2009)等人淨水淤泥餅取代水泥製作混凝土材料，研究結果顯示，以90%淨水淤泥餅添加10%水泥混合之配比以及90%淨水淤泥添加5%石灰及5%水泥之配比具有較高之抗壓強度，其抗壓強度為130 to 150 kg/cm<sup>2</sup>，強度高於一般混凝土材料之強度(125 kg/cm<sup>2</sup>)。而其強度之來源可能由於淨水淤泥餅中含有高含量之氧化矽(33.23%)及氧化鋁(31.98%)，經由水化反應而形成矽酸鈣使強度增加。綜合以上所述，淨水淤泥餅做為水泥取代料及砂石取代料具有可行性。

#### 4. 管線回填材料

管線回填材料係指管溝開挖後管線周圍之回填材料，包括覆於管溝外圍之回填砂與瀝青間之碎石級配料與控制性低強度回填材料(Control Low Strength Materials, CLSM)等，回填材料能提供適當之強度、勁度及能均勻接觸管線並提供穩定性。

控制性低強度材料(CLSM)依美國混凝土協會(ACI)的定義，為一種具備自我充填，用為替代優良級配的新興材料，若以混凝土的觀點而言，CLSM更可被定義為一種28天抗壓強度不超過1200 psi(約84 kg/cm<sup>2</sup>)之混凝土材料，以膠結料、水、砂及石等材料混合製成可便利將來以人工或機具方式再開挖的超低強度水泥質材料，其組成材料與混凝土相似，但對於組成材料的要求，卻無製造混凝土材料的嚴苛規定，因此除了使用砂石作為CLSM材料外，亦可使用水泥窯灰、焚化底灰、下水淤泥、廢鑄砂、廢玻璃與自來水淨水淤泥餅等作為替代材料使用。由於控制性低強度回填材料具有高工作性，可自充填於管溝中，節省所需之人力，且其具有混凝土之特性，因此沉陷量亦較低，檢核項目也僅需進行初凝時間以及抗壓強度即可。

紀宗男(2003)將淨水淤泥拌製成CLSM進行探討研究，研究結果顯

示，淨水淤泥餅拌製一般型CLSM方面，淤泥餅取代比例為30%時，工作性達到最佳，且該研究28天抗壓強度為4.6-25 kgf/cm<sup>2</sup>。淨水淤泥餅拌製早強型CLSM方面，當細粒料用量較高時，工作性較佳，隨著淤泥取代比例增加，工作性亦趨於改善，但會延緩CLSM初凝時間及早期強度發展，因此淨水淤泥餅應用於早強型CLSM時，可採用粗粒料且淤泥餅取代比例不可過高。

綜觀前述內容，目前淨水淤泥餅可應用的再利用方式大致有三大方向，分別為重新回用於污水處理程序中、使用於建築材料以及土壤基質應用三大類，Babatunde (2007)等人將淨水淤泥詳細的應用方式與優缺點示如表3.2-1所示。

表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點 (Babatunde et. al,2007)

應用方向	詳細用途	優點	缺點	附註	發展情形
污水及污泥處理程序	化學混凝藥劑	可減少污泥體積及處置成本	回收程序複雜、費工且價格高。藥劑純度有限，且可能含有污染物。	運用上藥劑純度、處理技術及經濟因素是考量的重點。	除實驗室研究外，已有實場應用
	吸附劑	經濟性高，對於磷、金屬及污染物有良好的去除效果。	有阻塞及基質流失的風險。	吸附的機制及效果仍需進一步研究。	僅實驗室研究階段
	用於下水污泥的調理及脫水	改善最終污泥的特性，如污泥沉降速度及脫水性。增加營養鹽去除。減少污泥上浮。增進活性污泥沉降性及處理效率。增加消化時產氣量及使用離心脫水時污泥脫水性	搬運的花費。營運上不宜將污水處理場設置於淨水場附近。需要額外的污水管線，會增加建置的費用。	需考量運送距離及成本的增加。	除實驗室研究外，已有實場應用

表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點

應用方向	詳細用途	優點	缺點	附註	發展情形
土木及建築材料	水泥製造	無害化。高固體含量。與水泥黏土相似的化學組成。鋁污泥生成的鈣鋁水合物可避免鋼筋受到氯的侵蝕。	有機物可能影響其力學性質。氫氧化物產生有害物質、鋁的膨脹物、阻礙沉降、臭味、含水量過高。爐體的損害。鐵鹽污泥產生的氧化鐵會造成成品顏色受影響。	需要保證質量的穩定，目前仍需增加應用上的相關知識。	除實驗室研究外，已有實場應用
	製磚	有機物質可提供部分能量降低燒製溫度。可減少成品的收縮及美感。氫氧化金屬可產生低孔隙磚使其在結構上可被接受。	增加污泥使用比率會降低力學、抗張強度及抗凍能力。硫的含量限制添加比率。	儘管有缺點仍有可行性。有機物含量有所變化時，製出磚的品質仍有穩定的表現。	除實驗室研究外，已有實場應用
	粒料、濾料及衛生掩埋不透水層	減少原料成本。	污泥的有機物與標準材料有所差異。用加熱去除有機物所產生之臭味。	有相當大的利用潛力，但需要更進一步的研究。	僅實驗室研究階段

表 3.2-1 淨水淤泥餅再利用的方式與優缺點

應用方向	詳細用途	優點	缺點	附註	發展情形
土壤改良材	土壤結構改善	減少膨脹。 增加聚集穩定性。 水分的保留。 增加底部空氣流通。	有金屬累積於土壤中的風險。 肥料價值低及磷的固定(potential fixation of P)	使用上要考量在最小影響下最大的經濟效益。	除實驗室研究外，已有實場應用
	土壤緩衝質	改善土壤的pH及土壤的調理性。	固定土壤中可利用的磷，並減少流失	效能可再增進。	除實驗室研究外，已有實場應用
	降低土壤中營養鹽	減少磷的含量且花費少。	鋁可能造成的危害。磷的固定。	每個案例的最佳化利用都是不同的。	除實驗室研究外，已有實場應用

### 3.3 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範

目前自來水公司各淨水場淨水處理程序所產出之淤泥餅，由廢棄物清理法第二條第二項第二款之規定可知，屬於一般事業廢棄物，且經由有害事業廢棄物認定標準中之毒性特性溶出程序溶出試驗(TCLP)，淨水淤泥餅其重金屬溶出量符合法規規定，不屬於有害事業廢棄物，可依一般事業廢棄物之相關清理規範逕行處理處置。經濟部工業局自民國95年3月24日修訂之「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」再利用種類編號三十九項將「自來水淨水污泥」列為以水泥原料用途之再利用之事業廢棄物，其相關再利用規定整理如表3.3-1所示。

依據經濟部事業廢棄物再利用管理辦法第三條之規定，淨水淤泥餅屬非公告再利用之一般事業廢棄物，因此依據事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第三十一條規定事業廢棄物經中央主管機關及中央目的事業主管機關認定，以再利用方式較符合資源永續使用方式者，不得以再利用以外方式最終處置；故淨水淤泥餅於處理與處置上，須以再利用之方式為考量。淨水淤泥餅再利用時須依據經濟部事業廢棄物再利用管理辦法第三條第一項之規定，須檢具事業廢棄物清理計畫書經地方主管機關或中央主管機關委託之機關審查核准後，始得於廠(場)內自行再利用。另外根據經濟部事業廢棄物再利用管理辦法第三條第三項規定非屬第三條第二項公告之事業廢棄物種類及管理方式者，應經經濟部許可，使得送往再利用機構再利用；而許可可分為個案再利用許可及通案再利用許可。因此淨水淤泥餅將可以個案再利用或通案再利用方式以其他再利用用途進行再利用，目前已有廠商以製磚及生產園藝培養土方式進行再利用且獲許可。

因此若考量淨水淤泥餅再利用於 CSLM 可依據經濟部事業廢棄物再利用管理辦法第三條第一項與第三條第三項規定，須依照非公告之一般事業廢棄物再利用類別及管理方式申請，並註明廢棄物來源、種類、數量、成分與再利用方式等，經地方主管機關核可後轉中央主管機關核准後得以進行再利用。

表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範

法令規範	規範內容
<p>廢棄物清理法 (95.05.30)</p>	<p>第二條第二項第二款之規定，由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物屬一般事業廢棄物。</p> <p>第三十九條第一項之規定，事業廢棄物之再利用，應依中央目的事業主管機關規定辦理，不受廢棄物清理法第二十八條與第四十一條之限制。</p> <p>前項再利用之事業廢棄物種類、數量、許可、許可期限、廢止、記錄、申報及其他應遵行事項之管理辦法，由中央目的事業主管機關會商中央主管機關、再利用用途目的事業主管機關定之。</p>
<p>事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準 (95.12.24)</p>	<p>第二條規定之再利用係指事業產生之事業廢棄物自行、販賣、轉讓或委託作為原料、材料、燃料、填土或其他經中央目的事業主管機關認定之用途行為，並應符合其規定者。</p> <p>第三十一條規定事業廢棄物經中央主管機關及中央目的事業主管機關認定，以再利用方是較符合資源永續使用方式者，不得以再利用以外方式最終處置。</p>

表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範

<p>經濟部事業廢棄物再利用管理辦法 (99.04.09)</p>	<p>第二條第一項之規定本辦法所稱事業，指本法第二條第四項以經濟部（以下簡稱本部）為目的事業主管機關之事業。</p> <p>第二條第二項規定本辦法所稱再利用，指事業將其事業廢棄物自行或送往再利用機構做為原料、材料、燃料、工程填料、土地改良、新生地、填土（地）或經本部認定之用途行為。</p> <p>前項再利用機構以經政府機關登記有案或依法律規定免辦理登記之工商廠(場)為限。</p> <p>第三條第一項之規定屬本法第三十一條第一項公告之事業，於其事業廢棄物清理計畫書經直轄市、縣(市)主管機關或中央主管機關委託之機關審查核准後，始得於廠(場)內自行再利用；其非屬公告之事業者，得自行於廠(場)內再利用。</p> <p>第三條第二項規定事業廢棄物之性質安定或再利用技術成熟者，其種類及管理方式經本部公告後，事業及再利用機構得逕依該管理方式進行再利用。</p> <p>第三條第三項規定前項經本部公告之事業廢棄物再利用用途，如有污染環境之虞者，本部得暫停其再利用；其原因消失時，應即解除之。</p> <p>第三條第四項規定非屬第二項公告之事業廢棄物種類及管理方式者，應經本部許可，始得送往再利用機構再利用。前項許可分為個案再利用許可及通案再利用許可。</p>
---------------------------------------	--

表 3.3-1 淨水淤泥餅再利用之相關管理規範

<p>經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式 (99.04.23)</p>	<p>再利用種類： 編號三十九、淨水淤泥</p> <p>再利用管理方式：</p> <p>一、事業廢棄物來源：工業用水專用設施及自來水淨水場之淨水處理所產生之脫水淤泥。但依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。</p> <p>二、再利用用途：水泥原料。</p> <p>三、再利用機構應具備下列資格：領有工廠登記證之製造業，其產品為水泥或其他相關產品。</p> <p>四、運作管理：</p> <p>(一)再利用機構應具備水泥旋窯設備。</p> <p>(二)再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。</p> <p>(三)再利用用途之產品應符合國家標準、國際標準或該產品之相關使用規定。</p>
--	--

### 3.4 CLSM 之工程規範

依據台北市政府 99 年工務統計年報及台北自來水事業處 97 及 99 年統計資料，台北市 94 至 98 年相關管溝工程資料如表 3.4-1 所示，以 98 年統計資料為主，相關管線工程挖掘約達 25.5 萬公尺長，因此若能有效將淨水淤泥餅再利用作為 CLSM 之材料，除可減少天然資源之消耗與節省淨水淤泥餅處理費外，亦可提高淨水淤泥餅之再利用價值。管溝回填材料係管溝開挖後管線周圍回填之材料，管溝回填材料應能提供適當強度、勁度及能均勻接觸與穩定性，故於選擇管溝回填材料時，應考慮粒料之粒徑大小、粒型及其分布對管線支撐的影響，國內管線相關事業單位及政府機關均訂定管溝回填材料規範，以維持管溝施工回填品質，表 3.4-2 為國內各機關對管溝回填材料規範彙整。

傳統回填工法係以傳統碎石級配料，做為管溝的回填材料，常因夯實作用不足致使回填道路路面下陷、龜裂以及路面剝落等缺失，而現今雨水及汙水下水道支管溝工程是以推進方式進行，無使用 CLSM 材料，若考慮 CLSM 材料之自填能力，則有相當大的潛能可以應用在管溝工程的回填上。目前國外針對 CLSM 使用規範，以美國為例，其名稱及章節如表 3.4-3 所示<sup>(陳,2007)</sup>，自表中之名稱及章節可看出各州政府對 CLSM 的使用皆著眼於充填(fill)的性能，希望能透過 CLSM 材料良好的充填特性完成施工，至於規範內容之定義，各州或有所差異，但皆以強度為主要要求性能，表 3.4-4 為各州規範的要求性能，強度以 1100psi(77.36 kgf/cm<sup>2</sup>)是所有規範的最高強度上限，除阿拉巴馬州對強度訂定有不同等級外，絕大部分對於強度的要求接在約 200psi(14.06 kgf/cm<sup>2</sup>)以下。國內目前針對 CLSM 制定之規範如表 3.4-5 所示，內政部營建署擬定之 CLSM 規範草案中，將使用的粒料分為混凝土使用之制式及非制式材料兩類，制式材料及天然粒料，非制式材料則包含：廢棄混凝土再生粒料、剩餘土石方、垃圾焚化底渣、廢玻璃、廢鑄砂、廢陶瓷或經試驗證實無環保公害並具力學性質之粒料及不得含有機質或腐蝕性物質；台北市政府新建工程處因考量市區道路之車

流量大，必須於夜間離峰時段進行管線回填施工，一般離峰時段約為晚間11點～隔日清晨6點為施工時間，扣除施工機具進出時間及安全設施架設，真正施工時間約只有2～4小時，故新建工程處制定配比屬早強型CLSM。行政院公共工程委員會也在94年1月公告「可控制性低強度回填材料」草案，對於CLSM 使用天然粒料、現場開挖土石方及再生粒料都有各項性質之規定；茲將CLSM之工程性質與相關規範之描述簡述如后：

- 1.工作性(流動性): CLSM 因具有良好的工作性，具有自我填充功能，且能流入填充任何孔隙之特性，相較傳統級配砂石料回填工法需以機具夯實之缺點，占有一大優勢。而 CLSM 的工作性可視工程目的之需要加以調整，目前量測工作性之標準方法有坍度錐試驗、坍流度試驗與管流度試驗法，若以管流度試驗法為例，以該試驗方法所得之工作性可分為低工作性 CLSM(<15 公分)、一般性 CLSM(15-20 公分)和高工作性 CLSM(>20 公分)。當配比添加過量之拌合水時，雖可得到較好的工作性質，但亦有可能造成析離之現象，故台北市政府新建工程處 CLSM 規範與內政部 CLSM 規範草案都規定 CLSM 之流度需於 15 公分以上，但以不超過 20 公分為宜。
- 2.初凝時間：依凝結時間之不同，可分為早強型與一般型 CLSM，而早強型 CLSM 利用於市區和交通要衝之工程有施工時間限制之回填工程，而一般型 CLSM 則較適用於郊區或工業區之工程回填。
- 3.配比設計：粗粒料用量較多時，雖可得到較高之抗壓強度，但 CLSM 為考慮再開挖之便利性，故規定粗粒料用量不超過  $400\text{Kg/m}^3$ 。
- 4.抗壓強度：CLSM 為一種 28 天抗壓強度不超過  $1200\text{psi}$ (約  $84\text{ Kg/cm}^2$ )，而目前國外在使用之 CLSM 抗壓強度則不超過  $300\text{psi}$ (約  $21\text{Kg/cm}^2$ )，以利之後人工或機具開挖時之再開挖性。

表 3.4-1 98 年台北市相關管溝工程資料(台北市政府工務局, 2010)

工程	98	97	96	95	94
衛生下水道工程處營運管理 相關管溝工程管溝長度(m)	39,647	29,244	5,434	13,012	26,350
共同管道工程相關管溝工程 管溝長度(m)	48,960	24,480	24,480	—	—
台北自來水事業處配輸水管 長	166,498	162,001	—	—	—
總和(m)	255,105	215,725	29,914	13,012	26,350

表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整

規範名稱	規範內容摘要																																																
台北市工務局施工規範第02319章選擇材料回填(99.01.01)	<p>2.1 材料</p> <p>2.1.1 透水材料</p> <p>(1) 透水材料應為潔淨、堅硬耐磨之砂、礫石、碎石或卵石，並經工程司核可後使用。</p> <p>(2) 除契約圖說另有規定外，透水材料之級配按CNS 486 A3005試驗方法檢驗，重量百分率應符合下表類型1之規定。</p> <table border="1" data-bbox="347 636 1433 1104"> <thead> <tr> <th colspan="4">通過百分率 (%)</th> </tr> <tr> <th>試驗篩標稱孔寬</th> <th>類型 1</th> <th>類型 2</th> <th>類型 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50mm(2")</td> <td>100</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>37.5mm(1 1/2")</td> <td>95~100</td> <td>100</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>19.0mm(3/4")</td> <td>50~100</td> <td>90~100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>12.5mm(1/2")</td> <td>—</td> <td>40~100</td> <td>95~100</td> </tr> <tr> <td>9.5mm(3/8")</td> <td>15~55</td> <td>25~40</td> <td>70~100</td> </tr> <tr> <td>4.75mm(No. 4)</td> <td>0~25</td> <td>18~33</td> <td>0~55</td> </tr> <tr> <td>2.36mm(No. 8)</td> <td>0~5</td> <td>5~15</td> <td>0~10</td> </tr> <tr> <td>0.075mm(No. 200)</td> <td>0~3</td> <td>0~3</td> <td>0~3</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 所有供應之粒料，須按CNS 490 A3009方法試驗，經過500迴轉後，其磨損百分率不得大於40%。</p> <p>(4) 透水材料依AASHTO T176試驗，含砂當量不得小於55。</p> <p>2.1.2 砂</p> <p>本工作所採用之砂，應為潔淨河砂或陸地砂，並符合下列之規定：</p> <table border="1" data-bbox="352 1384 1394 1585"> <thead> <tr> <th>試驗篩標稱孔寬</th> <th>通過百分率 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.75mm(No. 4)</td> <td>50~100</td> </tr> <tr> <td>0.075mm(No. 200)</td> <td>0~15</td> </tr> <tr> <td colspan="2">含砂當量不得小於[30]</td> </tr> </tbody> </table> <p>2.1.3 級配粒料：級配粒料須符合第02726章「級配粒料底層」之規定。</p> <p>2.1.4 控制性低強度回填材料</p> <p>控制性低強度回填材料須符合第03377章「控制性低強度回填材料」之規定。</p> <p>承包商應於施工前提出控制性低強度回填材料之配比資料，經工程司核可後始可施作。</p>	通過百分率 (%)				試驗篩標稱孔寬	類型 1	類型 2	類型 3	50mm(2")	100	—	—	37.5mm(1 1/2")	95~100	100	—	19.0mm(3/4")	50~100	90~100	100	12.5mm(1/2")	—	40~100	95~100	9.5mm(3/8")	15~55	25~40	70~100	4.75mm(No. 4)	0~25	18~33	0~55	2.36mm(No. 8)	0~5	5~15	0~10	0.075mm(No. 200)	0~3	0~3	0~3	試驗篩標稱孔寬	通過百分率 (%)	4.75mm(No. 4)	50~100	0.075mm(No. 200)	0~15	含砂當量不得小於[30]	
通過百分率 (%)																																																	
試驗篩標稱孔寬	類型 1	類型 2	類型 3																																														
50mm(2")	100	—	—																																														
37.5mm(1 1/2")	95~100	100	—																																														
19.0mm(3/4")	50~100	90~100	100																																														
12.5mm(1/2")	—	40~100	95~100																																														
9.5mm(3/8")	15~55	25~40	70~100																																														
4.75mm(No. 4)	0~25	18~33	0~55																																														
2.36mm(No. 8)	0~5	5~15	0~10																																														
0.075mm(No. 200)	0~3	0~3	0~3																																														
試驗篩標稱孔寬	通過百分率 (%)																																																
4.75mm(No. 4)	50~100																																																
0.075mm(No. 200)	0~15																																																
含砂當量不得小於[30]																																																	

表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整

規範名稱	規範內容摘要															
<p>臺北自來水事業處(工程總隊)施工說明書 構造物回填 (99.01.01)</p>	<p>2.1 材料 2.1.1 構造物回填之材料，應為經工程司認可之適當材料並不得含有淤泥、樹根、草皮、腐植土、其他有害物質及不適用材料。 2.1.2 經工程司核可用於回填構造物周圍之材料，其最大粒徑應小於10cm。經工程司核可該項材料得以石塊或礫石摻粒料回填之。 3.2 檢驗 除契約另有約定外，各項材料及施工之檢驗項目如下表</p> <table border="1" data-bbox="336 674 1433 1261"> <thead> <tr> <th>名稱</th> <th>檢驗項目</th> <th>檢驗方法</th> <th>規範之要求</th> <th>建議頻率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>回填材料</td> <td>土壤分類</td> <td>CNS 12387 A3258</td> <td>[最大粒徑不得大於10cm][依契約圖之規定]</td> <td>1. 數量未達 120 m<sup>3</sup>時免檢驗。 2. 數量達 120~600m<sup>3</sup>檢驗 1 次。 3. 數量超過 600 m<sup>3</sup>時，每 600 m<sup>3</sup>加驗 1 次。</td> </tr> <tr> <td>構造物回填</td> <td>壓實度</td> <td>CNS 14733 A3388、CNS 14732 A3387</td> <td>路面區域：最大乾密度 90%以上</td> <td>1. 每層面積未達 20 m<sup>2</sup>時免檢驗。 2. 每層面積達 20~100m<sup>2</sup>檢驗 1 次。 3. 每層面積超過 100 m<sup>2</sup>時，每 100 m<sup>2</sup>加驗 1 次。</td> </tr> </tbody> </table>	名稱	檢驗項目	檢驗方法	規範之要求	建議頻率	回填材料	土壤分類	CNS 12387 A3258	[最大粒徑不得大於10cm][依契約圖之規定]	1. 數量未達 120 m <sup>3</sup> 時免檢驗。 2. 數量達 120~600m <sup>3</sup> 檢驗 1 次。 3. 數量超過 600 m <sup>3</sup> 時，每 600 m <sup>3</sup> 加驗 1 次。	構造物回填	壓實度	CNS 14733 A3388、CNS 14732 A3387	路面區域：最大乾密度 90%以上	1. 每層面積未達 20 m <sup>2</sup> 時免檢驗。 2. 每層面積達 20~100m <sup>2</sup> 檢驗 1 次。 3. 每層面積超過 100 m <sup>2</sup> 時，每 100 m <sup>2</sup> 加驗 1 次。
名稱	檢驗項目	檢驗方法	規範之要求	建議頻率												
回填材料	土壤分類	CNS 12387 A3258	[最大粒徑不得大於10cm][依契約圖之規定]	1. 數量未達 120 m <sup>3</sup> 時免檢驗。 2. 數量達 120~600m <sup>3</sup> 檢驗 1 次。 3. 數量超過 600 m <sup>3</sup> 時，每 600 m <sup>3</sup> 加驗 1 次。												
構造物回填	壓實度	CNS 14733 A3388、CNS 14732 A3387	路面區域：最大乾密度 90%以上	1. 每層面積未達 20 m <sup>2</sup> 時免檢驗。 2. 每層面積達 20~100m <sup>2</sup> 檢驗 1 次。 3. 每層面積超過 100 m <sup>2</sup> 時，每 100 m <sup>2</sup> 加驗 1 次。												
<p>臺北自來水事業處(工程總隊)施工說明書 管線工程通則 (99.01.01)</p>	<p>3.2.4 回填：回填工作之進行應符合第02317章「構造物回填」之規定。 3.2.5 道路面層修復：緣石、邊溝、水泥混凝土及瀝青混凝土路面材料、草皮、樹木及其他改良物等，由於承包商施工作業而移除、破壞及損害者，應以原材料或經工程司核可之材料復原。有關瀝青混凝土路面復原及修復，應依第02967章「瀝青混凝土路面維修」之規定辦理。</p>															
<p>臺北自來水事業處(工程總隊)施工說明書 自來水管埋設 (99.01.01)</p>	<p>3.5 管溝回填 3.5.1 水管裝接完成經工程司認可後始准回填，回填前管溝中倘有積水或油泥等雜物時，應先排除乾淨。 3.5.2 管溝填方如回填砂、級配粒料或CLSM等，除另有規定者外，均依照施工標準圖施作。</p>															

表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整

台灣省自來水公司自來水管理設工程施工說明書(97.01)	3.5 回填工程																																																																
	3.5.1水管裝接完成經監造單位現場人員認可後始准回填，回填前管溝中倘有積水或油泥等雜物時，應先排除乾淨，回填時除設計圖另有註明外，管底須墊十公分以上之砂料，管頂40cm 以下以砂料回填，並應注意回填之砂料中不得有石塊、什物；管頂40cm 以上均回填碎石級配；回填須視土質逐層適量灑水夯實。																																																																
	3.5.5 回填材料之施工檢驗：																																																																
	(1)管溝回填砂不得為海砂，亦不得含有石塊、磚塊、堅硬物質及其他不適宜之雜物，其砂料之規格如下：																																																																
	(A)含泥量不得超過20%(含)(檢驗方式依CNS—491—A3010 規定辦理)(B)氯離子含量不得大於0.06%(檢驗方式依CNS —13407 規定辦理)(C)需均為通過4號4.76mm)篩號之細粒料。(即為通過4 號方孔篩之細粒料重量百分率為100%)																																																																
	(2)管溝回填級配料部份：																																																																
	A.碎石級配料，除特別規定者外，應符合下表任何一種之級配規定：																																																																
	<table border="1" data-bbox="448 1167 1396 1765"> <thead> <tr> <th rowspan="2">篩號</th> <th colspan="5">通過方孔篩之重量百分率</th> </tr> <tr> <th colspan="2">A</th> <th colspan="2">B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 吋(76.2 m)</td> <td>100</td> <td></td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 吋(50.8mm</td> <td>95-100</td> <td>100</td> <td>95-100</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 吋(25. mm)</td> <td></td> <td></td> <td>75-95</td> <td>75-95</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/8 吋(9 51 m)</td> <td>30-</td> <td>30-65</td> <td>40-75</td> <td>40-75</td> <td>50-85</td> </tr> <tr> <td>4 號(4.76mm)</td> <td>25-55</td> <td>25-55</td> <td>30-60</td> <td>30-60</td> <td>35-65</td> </tr> <tr> <td>10 號(2.0 mm</td> <td>15 40</td> <td>15-40</td> <td>20-45</td> <td>20-45</td> <td>25-50</td> </tr> <tr> <td>40 號 (420mi ron)</td> <td>8-20</td> <td>8-20</td> <td>15-30</td> <td>15-30</td> <td>15-30</td> </tr> <tr> <td>200 號 (74micron)</td> <td>2-8</td> <td>2 8</td> <td>5-20</td> <td>5-20</td> <td>5-15</td> </tr> </tbody> </table>						篩號	通過方孔篩之重量百分率					A		B		C	3 吋(76.2 m)	100		100			2 吋(50.8mm	95-100	100	95-100	0		1 吋(25. mm)			75-95	75-95	100	3/8 吋(9 51 m)	30-	30-65	40-75	40-75	50-85	4 號(4.76mm)	25-55	25-55	30-60	30-60	35-65	10 號(2.0 mm	15 40	15-40	20-45	20-45	25-50	40 號 (420mi ron)	8-20	8-20	15-30	15-30	15-30	200 號 (74micron)	2-8	2 8	5-20	5-20	5-15
	篩號	通過方孔篩之重量百分率																																																															
		A		B		C																																																											
3 吋(76.2 m)	100		100																																																														
2 吋(50.8mm	95-100	100	95-100	0																																																													
1 吋(25. mm)			75-95	75-95	100																																																												
3/8 吋(9 51 m)	30-	30-65	40-75	40-75	50-85																																																												
4 號(4.76mm)	25-55	25-55	30-60	30-60	35-65																																																												
10 號(2.0 mm	15 40	15-40	20-45	20-45	25-50																																																												
40 號 (420mi ron)	8-20	8-20	15-30	15-30	15-30																																																												
200 號 (74micron)	2-8	2 8	5-20	5-20	5-15																																																												
(A)粗粒料為停留於#10 篩上堅韌石屑或卵石。																																																																	
(B)材料須不含有機物質、團狀之土塊、建築廢棄物及其他不適宜之什物。																																																																	
(C)碎石級配料施工時，其檢驗處理原則及減價收受依下列規定辦理。																																																																	

表 3.4-2 國內各機關對管溝回填材料規範彙整

台灣電力公司地下電纜土木工程施工說明書 (90.05)	(十二)回填及填方材料			
	2.凡管線之人孔、涵洞及管路(包括直埋或電纜槽)等設施於道路之結構物，除另有規定者外，一律回填粗砂或碎石級配，不得含有泥土、石塊等什物。			
	8.填方材料：			
	(1)砂：限用河溪產粗砂(其細度模數 F.M.應大於 2)，規範詳如下表：			
	篩號	通過篩孔之重量百分比(%)	篩號	通過篩孔之重量百分比 (%)
	3/8”	10	#50	10-30
	#4	95-100	#10	2-10
	#16	45-80	#200	0-3
	(2)級配砂石：級配砂石須為河、溪級配砂石，規範詳如下表，不得含有植物或其他不良雜質。			
	種類	重量百分率%	備註	
石子	45-70	#4 篩以上最大粒徑 15 公分為準		
砂	20~35	#4 篩至#200 篩		
黏性土壤	4~200			
(3)碎石級配：規範詳如下表。				
篩號	通過方篩孔粒料重量百分率%			
	A 級	B 級	C 級	
2”	95~100	95~100	—	
1”	—	75~9	100	
3/8”	30~65	40~75	0~85	

表 3.4-3 美國各州關於 CLSM 材料使用規範章節名稱彙整表

州別	規範章節與名稱	公布年分
阿拉巴馬州	Sec.260 Low Strength Cement Mortar	1996
佛羅里達州	Sec.121 Flowable Fill(rev 1996)	1997
喬治亞州	Sec.600 Controlled Low Strength Flowable Fill	1995
北卡羅萊納州	Controlled Low Strength Material Specification	1996
南卡羅萊納州	Spec.11 Specification for Flowwable Fill	1992
維吉尼亞州	Spl. Prov. For Flowable Backfill	1991

表 3.4-4 美國各州 CLSM 規範的要求性能

州別	試驗齡期(天)	強度psi(MPa)
阿拉巴馬州	28	80-1100 (0.55-7.6)
佛羅里達州	28	100-125 (0.7-0.9)
喬治亞州	28	100-125 (0.7-0.9)
北卡羅萊納州	28 56	125(0.9) 150(1)
南卡羅萊納州	28 56	80(0.55) 125(0.86)
維吉尼亞州	28	30-200 (0.2-1.4)

表 3.4-5 國內 CLSM 材料規範彙整表

		台北市政府 工務局 CLSM 施工規範	內政部營建署		經濟部水利署 CLSM 施工 說明	行政院公共工 程委員會施工 綱要之 CLSM 施工規範
			制式材料 CLSM 規範 草案	非制式材料 CLSM 規範 草案		
工 作 性	坍度	-		19 公分以上 (CNS 1176)	15~27 cm (ASTM C143)	
	坍流度	40~60 公分- (CNS 14842)		40 公分以上 (CNS 14842)		40 公分以上 CNS 14842
	流度	15~ 20 公分 (ASTM D6103)	15-20 公分 (ASTM D6103)		20~40 公 分(ASTM D6103)	15~20公分 20~30公分 (ASTMD6103)
初凝時間 (貫穿壓力 達 400psi 之 時間)		4 小時內 (ASTM C403)	早強型： 3-5 小時 一般型：12-36 小時(ASTM C403)			
配比設計		粗粒料用量不 超過 400Kg/m <sup>3</sup>	粗粒料用量 不超過 400 Kg/m <sup>3</sup>			粗粒料用量不 超過 400 Kg/m <sup>3</sup>
單位重			2000Kg/m <sup>3</sup> 以 下(ASTM D6032)			
抗 壓 強 度	24 小時 齡期	7Kg/cm <sup>2</sup> 以上 (CNS 1232)				
	28 天 齡期	40~80Kgf/cm <sup>2</sup> (CNS 1232)	7-90Kgf/cm <sup>2</sup> (ASTM D4832)	5-30Kgf/cm <sup>2</sup> (ASTM D4832)	7.5~50 kgf/cm <sup>2</sup> (ASTM D4832)	90Kgf/cm <sup>2</sup> 以下
落球強度試 驗		一般型：24小時 早強型：4 小時		7.6 公分以下 (ASTM D6024)	7.6 cm 以下 (ASTM D6024)	一般型： 12~24 小時 早強型： 3~4 小時

備註：依經濟部水利署規定，CLSM 回填料配比所使用之細骨材混合料為開挖出之可再利用土石資源，承包商應以ASTM D2487將其開挖出之土石方分為：礫石 (G)、粗粒土壤 (S)、細粒土壤 (C 或M)、泥炭土 (PT) 後再參照所提供之配比進行拌合。強度要求：1 天不得小於3.5 kg/cm<sup>2</sup>，7 天不得小於5.0 kg/cm<sup>2</sup>

### 3.5 再生建材之環境規範

由淨水場所產生之淨水淤泥餅，其性質穩定且組成富含 Si、Al、Ca、Fe 等元素，若再利用作為 CLSM 之替代材料，不僅可降低工程施工成本，亦可減少對天然資源之需求與淨水淤泥餅之處理問題。而淨水淤泥餅經由有害事業廢棄物認定標準中之毒性特性溶出程序 (TCLP)，淨水淤泥餅其重金屬溶出量符合法規規範，但目前國內尚無對非制式材料 CLSM 於工程填方再利用之相關環境長期穩定特性資料等環境相容性等法令規範。而目前僅歐洲國家與荷蘭提出有關廢棄物作為二次材料(Secondary raw materials)再利用之相關法令規範，故廢棄物再利用之相關法規規範於未來仍有很大進步之空間。

目前台灣地區之有害廢棄物認定均採用毒性特性溶出程序 (TCLP) 作為認定標準，然而廢棄物經中間處理作為再生材料之環境規範仍是以 TCLP 為主，但再生材料經中間處理後已不是廢棄物，而此方法係模擬廢棄物於掩埋場之溶出行為，故此方法僅可代表短期之溶出情形，因此應須發展更嚴謹之測試方法預估廢棄物或再生材料對環境之相容性，測試方法除可應用於各種不同材料外，更須可顯示在不同應用或處置環境下，預測污染物之溶出特性與環境相容性。故目前歐盟與荷蘭等許多國家正積極推動更符合實際環境溶出試驗研究。

因歐盟期望可發展出一套平行整合各種材料之方法，故成立歐洲標準委員會(CEN working Group)期望各國專家學者整合各國溶出試驗規範(NEN, BS, DIN etc.)，且於 2003 年水平化(HORIZONTAL)標準計畫訂定適合歐盟各國均可遵守之溶出規範(EN)。目前荷蘭所發展的溶出試驗方法適用於檢測再生材料和廢棄物與環境相容性，且在歐盟的水平化標準計畫中被大力推動，依據荷蘭營建材料法令 Building Material Decree (BMD) 之規定，如表 3.5-1 所示，其主要精神為保護土壤與地下水、推動再生資源之再利用、節約天然資源與避免棄置等，且規範內容包括用於環境中之材料(填地、土木工程、水力工程、道路填築及建築使用等)皆須符合其溶出標準方可再利用，其各種溶出試驗分述如后<sup>(中國鋼鐵公司，2005;中國鋼鐵公司，2009)</sup>。

表 3.5-1 BMD 對溶出物之規範<sup>(中國鋼鐵公司, 2005)</sup>

金屬	溶出規定 (mg/ m <sup>2</sup> per 100years)	非金屬	溶出規定 (mg/ m <sup>2</sup> per 100years)	有機物	溶出規定 (mg/kg)
As	435	Br	300	BETX	1.25
Ba	6,300	Cl	30,000	Phenol	1.25
Cd	12	F	14,000	PAH	75
Co	300	SO <sub>4</sub>	45,000	PCB	0.5
Cr	1,500			EOCl	3
Cu	540			Pesticides	0.5
Hg	4.5			Mineral oil	500
Mo	150				
Ni	525				
Pb	1,275				
Sb	39				
Se	15				
Sn	300				
V	2,400				
Zn	2,100				

(1)荷蘭管柱溶出試驗(Column leaching test, NEN 7343)

當待測材料呈顆粒狀時(其顆粒粒徑<4 mm)時,主要以管柱溶出試驗來作為材料長期溶出特性之試驗,此試驗主要利用上流式管柱,將萃取液控制 pH=4 條件下模擬雨水對材料之影響,並改變液固比(L/S)0.1-10L/kg 及萃取液與材料之接觸時間,其可計算材料之短期、長期溶出特性,並可由無機物之累計溶出量以外插方式計算土壤表面的長期釋出量,並可與 BMD 法規限值比較。

## (2) 荷蘭桶槽溶出試驗(Tank leaching test, NEN 7345)

當待測材料為塊狀或大顆粒(其顆粒粒徑 $>4\text{mm}$ )時，主要以桶槽溶出試驗作為材料長期溶出特性之試驗，此試驗主要係用來測試材料表面擴散速率，進而推算材料於環境中長期溶出特性，而試驗主要係控制萃取液之 $\text{pH}=4$ 、且液固比(L/S)為5的條件下，並於特定試驗時間更換萃取液，並分析萃取液所含之物質，藉由擴散速率推算污染物於土壤之長期釋出量。

## (3) 荷蘭 Availability test (NEN 7341)

此試驗方法主要係搭配桶槽溶出試驗進行溶出實驗，並以批次式探討細顆粒待測材料(粒徑 $<125\ \mu\text{m}$ )於環境中最大溶出量，且以硝酸配製不同 $\text{pH}$ 值之萃取液，於第一階段控制 $\text{pH}=7$ 條件下，以液固比(L/S)=50進行攪拌溶出一定時間，經過濾後之固體殘渣保留進入第二階段，第二階段係以 $\text{pH}=4$ 之萃取液、液固比(L/S)=50條件下進行攪拌溶出一定時間後，經過濾與分析萃取液之污染物濃度與萃取液體積即可換算成單位待測材料之污染物釋出量( $\text{mg}/\text{kg}$ )。

## (4) 歐盟 pH-dependence leaching test (CEN/TS 14429)

此方法主要係模擬材料在不同酸鹼值之液相環境時之溶出情形，將待測材料破碎至 $1\ \text{mm}$ 以下，並以硝酸或氫氧化鈉溶液配製不同酸鹼濃度之萃取液，且待測材料於48小時之旋轉萃取後過濾並分析其所含之污染物，分析結果可知一系列最終平衡 $\text{pH}$ 值環境下不同污染物之溶出量，探討材料於不同 $\text{pH}$ 值時污染物會因周遭液相酸鹼值之改變，而使得待測材料所含之污染物溶出行為改變之情形，或是瞭解待測材料本身於不同外在環境暴露下污染物之溶出行為。此外，亦可透過地球化學模式(如 MINTEQ、LeachXS、Orchestra 等模擬軟體)推估待測材料之溶解礦物相組成為何。

### 3.6 廢棄物應用於 CLSM 之研究

CLSM 為水泥、水、骨材及摻料等拌合而成，大部分用於回填材料，以利日後再開挖，故長期之抗壓強度不宜過高，理論上抗壓強度高於支撐其上部荷重即可。故可採用非標準化之材料，如內政部營建署規範中所提及之非制式材料，作為CLSM 之粒料，以取代天然砂石，使廢棄物資源化再生利用，增加CSM 骨材料源，減少廢棄物任意處置所產生之環保問題，並降低CLSM 產製成本。

目前國內外皆有以廢棄物作為CLSM粒料之研究，國外如：日本大阪市及橫濱市自來水公司系將淨水淤泥餅破碎至適當粒徑並添加一定比例之水泥、天然砂、或碎石，將有助於改良淤泥餅強度表現，使之達一定強度，作為管線工程回填土<sup>(康, 2001)</sup>。

Trejo (2003)等人研究，主要為調查使用不同覆蓋材料對製成CLSM之抗壓強度的影響，這些材料包含了硫化物、石膏化合物質、氯丁橡膠墊等。此研究結果發現覆蓋硫化物樣品能得到最高的抗壓強度以及最小的強度變化；覆蓋石膏的樣品組則能得出比氯丁橡膠墊更好的強度，但石膏需要花費很長時間來凝化，且在實驗室的環境之下其效果不如硫化物的好；另外使用先天硬度不同之氯丁橡膠墊，其實驗出來之結果差異不大，不過現行依ASTM C1231之實驗規定的描述，只有特定硬度的類型是在製程上被接受的，也許往後可以修正這個範圍。不過，在運用潛水衣型氯丁橡膠墊上，需要更深入的探討其最適宜的覆蓋機制，而不會對CLSM柱體本身產生鍵結與影響。

Turkel(2006)之研究利用發電廠飛灰，低強度水泥和破碎的石灰石細粒料製作CLSM。其中含有低含量的水泥與高含量的C級飛灰和破碎的石灰石細粒料的配比可以製得流動性良好的CLSM，其365天之抗壓強度介於1.16-2.80 MPa。這些結果顯示，該材料具有可重新開挖之特性。增加水泥或減少水分的含量能使該材料之強度增加。此外，根據美國環保署的標準，該控制性低強度材料對環境無害。

Taha(2007)等人利用焚化灰渣、煉銅爐渣、水泥窯灰製作CLSM，評估利用廢棄物製作控制性低強度材料的潛勢。目的在探討養護和製

備方法對CLSM特性的影響，以期CLSM能達到不使用任何機械設備很容易地進行開挖之特性。結果顯示，最高強度為451 kPa，良好的配比設計能產生可以手動挖掘的CLSM。此外，養護方法對強度有相當大的影響，在室溫下養護會比在密封的塑膠袋中養護的樣品具有較高的強度。

Turkel (2007)等人以高添加量飛灰(FA)、砂石灰石粉(填料)及低比例波特蘭水泥混合物製成CLSM。所有操作條件下之波特蘭水泥添加比例皆為飛灰重量的5%。實驗結果顯示CLSM的抗剪應力特性比夯實土壤高。CLSM以飛灰、砂石灰石粉、波特蘭水泥及自來水拌製，無添加藥劑。由實驗結果可知，較低的水灰比及填料含量會發展出較高的抗壓強度，而水與膠結材的比例對抗壓及剪力強度有很高的影響，這可能是因為增加水膠比會使CLSM的孔隙率增加。因此水膠比越高，強度也就越低，且增加水膠比也會增加毛管係數。綜合結果可知，以低含量的波特蘭水泥與高含量的C型飛灰及石灰石填料可以拌製成具有良好流度及抗壓強度(28天，0.85~1.15 MPa)，且因使用之成分的成本較低使得CLSM較具經濟及可行性。

Nataraja(2008)等人以飛灰、稻殼灰(rice husk ash, RHA)及採石場粉塵(quarry dust)等三種工業副產物分別製成CLSM。並測試CLSM中工業副產物的混合比例及各種試驗參數，如流度、無為抗壓強度(UCS)、應力-應變行為、密度、吸水率及體積的變化。其研究結果顯示，CLSM之密度及單位重量主要取決於填充物或聚合材料的單位重。以混入砂之CLSM流度最大、RHA次之、FA最小，而含有RAH混合物之吸水率則高於其他的混合物。此篇研究將試體進行7、28及60天抗壓強度，結果顯示在混合時加入的物料數量會影響強度；而體積變化測定則發現RHA混合物的變化幾乎是FA混合物的兩倍，其可能是由於水灰比增加，致使收縮增加，而對於水泥和飛灰混合物及水泥及稻殼灰混合物來說水灰比及體積變化則呈現線性關係。

Achtemichuk (2009)等人主要研究為使用爐石與高含量鈣飛灰依特定取代比替換混凝土粗細骨材(RCA)搭配來製成 CLSM 而不添加

任何的波特蘭水泥，並觀察其抗壓強度與流度，其中爐石組別的強度優於飛灰，故此研究之後以爐石為主進行實驗。此篇實驗結果中顯示RCA使用細粒徑與粗細粒徑混雜的樣品具有差異，可發現細粒徑RCA適用於狹小有限的區域；另一類粗細粒徑混合之RCA則可藉其較高強度、高耐性、較短的硬化時間，來做為永久性建材或路基使用。細粒RCA添加爐石20%的組別可發覺其擁有低沉陷值、高耐性及不錯的強度，然而做為未來之可移除的填料似乎不太適合。較低比率的爐石添加可使強度符合這方面的需求，不過有著高沉陷值的問題。粗/細粒RCA添加爐石10% & 20%的組合，由實驗顯示含有高耐性與快速的凝化時間，其強度作可移除回填料與建材路基都有空間，兩者的差別在於凝化時間上。

Zamora (2009)等人主要以小於 10 mm 之工業廢棄物焚化底灰及水、水泥製作 CLSM，並測試於四種不同的養護環境，實驗結果顯示其初凝時間受水灰比及流度影響，水灰比高初凝時間增長，而流度增加初凝時間亦增長，且 CLSM 試體之抗壓強度皆介於 0.3~0.7 MPa，凝固後密度範圍為 1474~1584 kg/m<sup>3</sup>，砂與砂壤土的密度值範圍為 1200~1800 kg/m<sup>3</sup>，為一良好之充填土壤，因此適合取代填充土材料以及建築充填料。而 CLSM 之溶出特性結果顯示，pH 範圍值為 8~11.5，在規範範圍內，認定無腐蝕性，其重金屬溶出值均於範圍值內，對人體及環境無潛在危害。且實驗結果發現，添加水泥可以有效抑制硼的溶出，但流出液及浸出液的溶出機制不同，須再作進一步的研究探討。實驗中亦針對去離子水養護條件進行實驗，結果顯示其強度值最低，推測為在去離子水中水化反應速率較慢，而乾養護在高水灰比的情況強度高，這是因為當乾燥時在水泥漿體中形成了更進一步的結合，強度迅速增大。根據計算偏差強度值，不同的養護條件在高水灰比的情況下有少量影響，而在低水灰比的情況下沒有影響，綜合實驗結果得知以廢棄物焚化底灰製作 CLSM 是為可行。

國內相關之研究則如表3.6-1所彙整，由研究結果顯示以焚化底渣作為CLSM其工作性能符合規範，惟後期強度可能發展過高，且有重

金屬溶出之疑慮，而以下水淤泥配製CLSM，其經燒結之淤泥可取代骨材料達30~40%，單壓強度不僅符合規範要求並具有較佳經濟效益。

由上述文獻可知使用廢棄物應用於CLSM材料以取代天然粒料，減少天然資源的使用，已是世界共通之課題，且研究結果顯示廢棄物應用於CLSM上，大多可以符合工程規範，因此本計畫擬用淨水淤泥取代傳統CLSM之材料拌製CLSM，應是一可行且兼具環保的方式，值得進一步研究。

表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表

廢棄物種類	年分	作者	研究結果
水庫淤泥	2007	葉樺姿	以水庫淤泥取代流填料傳統骨材之可行性進行研究與探討。試驗結果顯示，水庫淤泥為低塑性黏土，以其拌製流填料，於適當配比時，其於實驗室觀測所得之流度、強度、滲透性與壓縮性等工程性質均符合實務應用之需求
淨水淤泥	2003	紀宗男	以淨水淤泥取代 CLSM 中的細粒料配比並添加氯化鈣為速凝劑進行拌製一般型及早強型 CLSM，試驗結果顯示，早強型 CLSM 方面，當細粒料用量較高時，工作性較佳，隨著淤泥取代比例之增加，工作性亦趨於改善，但會延緩 CLSM 初凝時間及早期強度發展，因此拌製時可採用粗粒料且淤泥取代比例不可過高。一般型 CLSM 方面，隨著水灰比及淤泥取代比例之增高，工作性亦趨於良好，抗壓強度隨之降低。淤泥取代比例 30%時，工作性達到最佳，28 天抗壓強度為 4.6~25 kg/cm <sup>2</sup> 。
下水淤泥	2006	吳坤達	下水道淤泥與砂及粉土拌合之 CLSM，以燒結污泥取代骨材量 30%~40%有最佳效果，其強度最高，單壓強度不僅滿足規範要求，且具有較佳的經濟性。
剩餘土石	2002	余德全	採用現場拌合之 CLSM 及現場剩餘土石作為素材，依不同拌合比例拌合成 CLSM，其結果顯示，屬粉土質礫石與優良級配粉土質礫石之剩餘土拌合之 CLSM，水灰比 (W/C) 為 1.7~3.3 水固比 (W/S) 為 0.12~0.17，其工程性質可符合預期之設計目標。

\*本研究計畫整理

表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表

煉鋼脫硫渣	2006	翁明偉	以脫硫渣骨材取代天然骨材拌合無卜特蘭水泥之水淬爐石粉／脫硫渣粉砂漿產製 CLSM，其結果顯示脫硫渣可提供足夠鹼性環境，使水淬爐石粉進行卜作嵐反應產生強度。增加水淬爐石粉用量及細度可縮短凝結時間，而增加脫硫渣粉用量則可使初終凝時間差縮短。抗壓強度隨脫硫渣粉增加及脫硫渣骨材取代天然骨材而降低，大部份可符合 28 天齡期強度不超過 84 kgf/cm <sup>2</sup> 之 CLSM 定義。
廢鑄件砂	2004	江奇成	以未處理之混合廢鑄件砂料取代不同比例之河砂並摻以其他膠結劑配製 CLSM，其結果顯示，當取代河砂量愈多其工作性愈低，部分 CLSM 配比可滿足高流動性與密度小於 2000kg / m <sup>3</sup> 的條件。添加膠結料 15%以上，部分 CLSM 配比可達到 3.5 小時內初凝效果，而水泥量為 200 kg/m <sup>3</sup> ，亦有部份 CLSM 配比可符合早期強度高，晚期強度低的需求。
廢玻璃	2007	黃陳佑	以廢玻璃取代不同比例之細骨材並加以添加藥劑、膠結料及減量粗骨材等不同變數因子配製 CLSM，其結果顯示，廢玻璃之取代率愈大，則工作性愈差，強度愈強、粗骨材減量有利於提昇工作性、不同之膠結料則對強度有不同影響；若將費用列入考量，則以土壤及廢玻璃完全取代細骨材之配比較為可行

\*本研究計畫整理

表 3.6-1 目前國內廢棄物應用於 CLSM 之相關研究彙整表

電弧爐氧化渣	2004	林志杰	電弧爐氧化渣取代天然粒料拌製一般型及早強型 CLSM，其結果顯示不論一般型及早強型工作性方面，隨著爐渣取代比例之增加其工作性呈現降低之趨勢，增加單位重及降低含氣量，延緩 CLSM 之凝結時間，增加 CLSM 之抗壓強度，但一般型 CLSM 水灰比範圍為 1.5-2.0 間，爐渣取代上限可為 100%，早強型 CLSM 水灰比為 0.7-0.8 時爐渣取代上限可為 50%，且由初步經濟性比較可知，爐渣取代天然粒料可減少 CLSM 材料之成本，在合乎工程性質要求的條件下，取代比例越高其經濟效益越高。
焚化底渣	2002	胡志誠	試驗結果顯示，經過妥善處理之底灰相當適合於 CLSM 之使用，工作性透過配比設計均能符合 CLSM 規範之要求（管流度 > 15cm，坍流度 > 40cm），強度方面，大部分之配比亦能滿足制式材料產製之 CLSM 一般型的要求（強度 7~90kg/cm <sup>2</sup> ，初凝時間為 12~36 小時），惟後期強度將發展過高，可能會超出 28 天 90kg/cm <sup>2</sup> 之限制，且在溶出試驗中，銅金屬有持續溶出的潛勢；而在管柱溶出試驗中，銅與鉛皆有持續溶出的趨勢

\*本研究計畫整理

### 3.7 CLSM 與傳統管溝回填材料之比較

由於台灣都市地區相關建設快速成長，許多設備均改為地下化，如電線桿地下化、電信、瓦斯管線、自來水管線及污水管等維生管線。其必須依賴道路挖掘予以鋪設，由於道路施工單位並未能確實依規定程序與回填材料施工，造成修復不良及回填不實等缺失，但僅以管溝回填材料而言，傳統管溝回填材料皆以土壤或碎石級配料，並利用夯實的方式來達到回填所需之厚度，以承載上部結構所產生之外力，但因管溝開挖面積狹小且管線埋設密集，造成夯實不確實，路面易形成坑洞、沉陷等破壞。且由於經濟日益進化之變遷，造成人力資源的價值高於物料價格，因此工程施工時應考慮省工之施工方式，以降低施工成本。目前一般管溝開挖及傳統回填工法所使用之材料大致為原有開挖之土壤或級配砂石料、混凝土等，其中土壤回填需進行夯實以確保其承載力。但管線回填工程因施工空間狹小，使夯實不易進行。而優良級配砂石因成本問題而較少使用於管溝工程，雖然使用上亦有夯實問題，所以混凝土使用於管線管溝工程回填工程為較佳之回填材料，但因其不易於再開挖，需使用大型機具進行再開挖，為資源運用上的浪費，且傳統管溝回填工程之檢驗試驗耗費多數施工時程及費用，將成為施工成本考量的關鍵。因此為了解決上述問題，引進 CLSM 來取代傳統回填材料，以期有效提升管溝回填工程品質，並減少因回填夯實不確實所產生之問題。圖 3.7-1 為台北自來水事業處自來水管線工程管溝回填設計斷面，圖中回填砂用於管溝回填工程至管線頂上方一定深度後，再回填 CLSM，最後在鋪設瀝青混凝土面層。

李維鋒(2002)整理傳統碎石級配回填與 CLSM 回填工法使用材料、施工所需工作人員、機具以及施工中之檢、試驗方法等，如表 3.7-1 所示。由二者比較可瞭解，使用 CLSM 對於施工人力的節省，有甚大的助益，業主的檢、試驗規格要求明顯降低許多，CLSM 工法更免除了夯實度的檢驗方式，更有利於整體工程品質的掌握。對於施工單位而言，其少了施工中分層夯實、鋪設厚度檢查、壓實度計算等諸多

繁瑣工作，其對工程進度的執行，應更能掌握。表3.7-2 為李維鋒（2002）整理傳統碎石級配回填與CLSM 回填工法之施工成本單價比較。CLSM 工法在使用材料的成本上，高出約兩倍的價格，似乎未具有與傳統工法競爭的優勢。但CLSM 工法由於其水泥質材料的特性，無承载力不足的問題產生，祛除了壓密度試驗所需之開銷。且其工作性優良、充填性佳的狀況，更免除了傳統工法所需之夯壓費用。數者相抵，其整體施工成本將較傳統工法有競爭的空間，CLSM 材料運用於回填工程上有其品質及施工程序上之優勢。

由各項工法及檢驗項目比較，兩者所使用之材料、施工人員、機具及施工中檢驗、試驗方式皆有所不同。由表3.7-3中得知，CLSM 回填工法免除分層夯實、鋪設厚度、檢查壓實度計算等多項檢測項目，即可有效掌控工程進度之執行之外並能節省費用，其整體施工及檢測由CLSM 材料之運用具有品質及施工程序上之優勢。

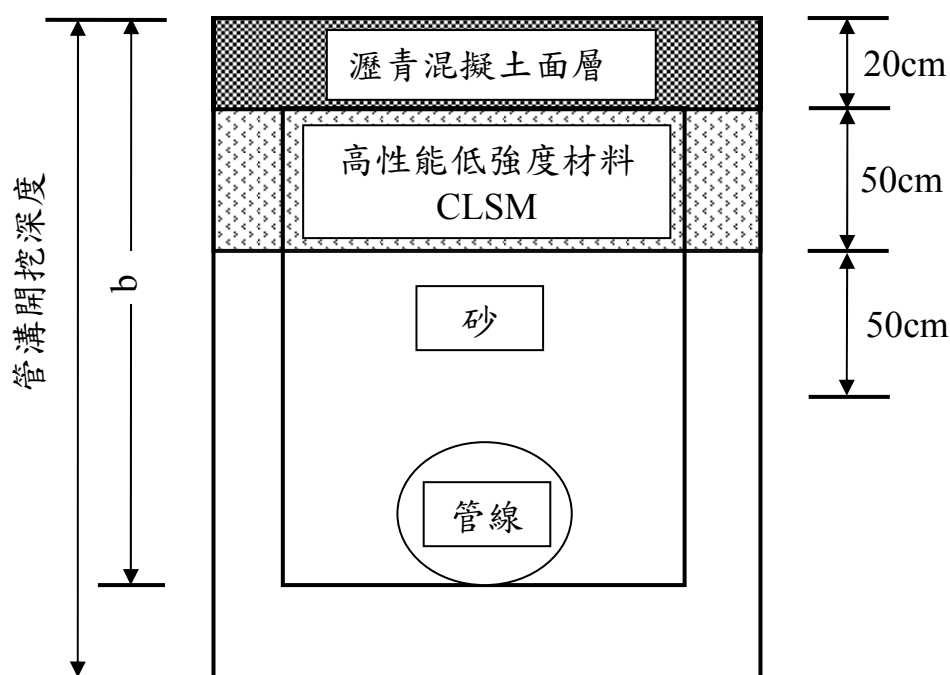


圖 3.7-1 管溝回填設計斷面<sup>(紀, 2002)</sup>

表 3.7-1 CLSM 與傳統級配砂石料回填工法施工比較<sup>(李, 2002)</sup>

項目	傳統級配砂石料回填工法	CLSM 回填工法
使用材料	碎石級配料	預拌廠拌合之 CLSM
施工人員	大工一人 小工若干人	小工一人
機具	夯實機	無
施工中檢驗方式	是否分層夯實	工作性檢驗
	鋪設厚度檢查	初凝時間測定
	含水量	-
	壓實度試驗	-

表 3.7-2 CLSM 與傳統級配砂石料回填工法施工單價比較<sup>(李, 2002)</sup>

項目	傳統級配砂石料回填工法	CLSM 回填工法
使用材料(元/m <sup>3</sup> )	300-400	1200-1500
回填夯實費用(元/m <sup>3</sup> )	400-600	-
檢驗費用(元/次)	6500(壓密度試驗/3 孔)	900(抗壓試驗)

表 3.7-3 傳統管溝回填工法及 CLSM 回填工法之檢測項目<sup>(李, 2002)</sup>

項目	材料檢驗	施工檢驗	完工驗收
土壤及碎石級配料	(1)篩分析試驗 (2)最大乾密度試驗 (3)阿太保試驗 (4)洛杉磯磨損試驗 (5)含砂當量試驗	(1)含水量 (2)是否含超勁力料或雜質 (3)是否分層夯實 (4)鋪設厚度檢查	工地密度試驗
CLSM	(1)凝結時間 (2)工作性 (3)單位重試驗	(1)工作性試驗 (2)初凝時間	抗壓強度試驗

由上述可知，CLSM回填工法相較於傳統回填工法，其成本較高，因此國內有研究在以資源廢棄物應用於CLSM時之成本效益，吳坤達以下水污泥晾曬經乾燥之後，再與不同比例之粘土混拌、造粒並燒結成材料A、B及C三種輕質骨材，再取代部份級配料作為基底層材料，另外再與砂及粉土各別拌合成CLSM，並參考臺灣營建研究院所出版之營建物價（2006）、楊新乾（1999）以及臺北市政府工務局（2006）所編纂之工料單價分析手冊，核算成本以進行成本分析，如表3.7-4所示，其結果顯示燒結污泥作為CLSM材料，其在燒結污泥取代40%以上之經濟性較差，若考慮政府補助污泥處理費用，則取代50%粗細骨材之成本會降低將使其價格具競爭性；而燒結污泥取代CLSM骨材用量30%以下之成本已相當於傳統混凝土的價格，甚至於更低，因此運用於管溝回填上時，價格具有競爭性。故由此可推知本計畫使用淨水淤泥應用於CLSM上其成本應是一可行之方法。

表 3.7-4 下水污泥運用於 CLSM 材料取代部份粉土之材料成本探討<sup>(吳, 2006)</sup>

使用材料	單位	單價		單位用量(kg/m <sup>3</sup> )						合計					
				淤泥使用量						淤泥使用量					
				0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
水	kg	0	02	190	190	190	190	190	190	4	4	4	4	4	4
水泥	kg	3	00	66	66	66	66	66	66	198	198	198	198	198	198
飛灰	kg	0	50	40	40	40	40	40	40	20	20	20	20	20	20
爐石	kg	0	80	60	60	60	60	60	60	48	48	48	48	48	48
粉土	kg	0	56	350	315	280	245	210	175	196	176	157	137	118	98
淤泥	kg	0	00	0	35	70	105	140	175	0	0	0	0	0	0
淤泥燒潔費	kg	2	12	0	35	70	105	140	175	0	170	340	510	680	850
強塑劑	kg	30	00	15	15	15	15	15	15	450	450	450	450	450	450
輸氣劑	kg	10	00	6	6	6	6	6	6	60	60	60	60	60	60
水玻璃	kg	15	00	6	6	6	6	6	6	90	90	90	90	90	90
拌合費	式	30	00	1	1	1	1	1	1	30	30	30	30	30	30
零星工料	式	20	00	1	1	1	1	1	1	20	20	20	20	20	20
總計	m <sup>3</sup>									1116 1266 1417 1567 1717 1868					
140kgf/cm <sup>2</sup> 混凝土	m <sup>3</sup>	1670	00	1600 kg/L M <sup>3</sup>						1670					
價差	m <sup>3</sup>									-554 -404 -253 -103 +47 +198					

## 第四章 研究對象與限制

### 4.1 研究對象

CLSM 為一低強度水泥質材料，主要是當作回填材料以替代傳統的回填夯實材料，而依據國內外的研究文獻顯示，已有許多廢棄物可資源化作為 CLSM 之原料。因此，淨水淤泥餅應用於 CLSM 應是一可行之方法，不僅可應用於自來水事業處自身管線回填，以增加經濟效益，更可達到節能減碳之目標。惟目前仍缺乏淨水淤泥餅應用於 CLSM 之工程參數及環境規範，故本計畫內容為蒐集彙整 CLSM 之相關工程規範及再生營建材料之相關環保法規，並探討淨水淤泥餅之特性，如：元素組成、粒徑分析及顯微特性等，以及進行淨水淤泥餅拌製成 CLSM 之水灰比、取代比、添加藥劑及養護條件等實驗操作參數之探討，並評析預鑄型 CLSM 之可行性及淨水淤泥應用於 CLSM 之成本分析。以下是本研究所使用之材料。

#### 1. 淨水淤泥餅

本研究計畫所使用之淨水淤泥餅為直潭淨水場之淨水淤泥，如圖 4.1-1、4.1-2 所示。實驗中所採用之淨水淤泥餅有經過事先烘乾，或以原廠之狀態直接進行實驗。淨水淤泥之原始狀態因為自淨水廠脫水壓製成餅狀，故大都為團塊狀，以手可將團塊分散。



圖 4.1-1 淨水淤泥餅採樣實況



圖 4.1-2 淨水淤泥餅實際樣品

## 2. 燃煤飛灰

本研究所使用之燃煤飛灰取樣自中國鋼鐵股份有限公司屬於 F 級之飛灰，其基本組成如表 4.1-1，飛灰之粒度細小，外觀呈現灰黑色如圖 4.1-3。取回實驗室後封存，需使用時取出可直接使用，不需做任何前處理。

表 4.1-1 燃煤飛灰之元素組成

樣品	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	PbO
燃煤飛灰	41.92	14.52	6.48	2.98	0.29	-	10	-



圖 4.1-3 燃煤飛灰實際樣品

## 3. 水泥

本研究所使用之水泥為台灣水泥公司之卜特蘭第一型水泥，如圖 4.1-4 所示，適合於一般用途，其符合中華民國國家標準 CNS61 卜特蘭水泥規範要求。



圖 4.1-4 實驗所用之水泥樣品圖

#### 4. 天然粗細骨材

本研究所使用之天然粗細骨材向本地三合建材行購買，天然粗細之粒徑皆符合實驗所需規範粒徑大小，購買來即可直接使用。其外觀同圖 4.1-5，而基本性質如表 4.1-2 及表 4.1-3 所示。



圖 4.1-5 天然粗骨材

表 4.1-2 粗骨材篩分析及含水率試驗結果

篩網編號	個別留篩百分率 (%)	累積	
		留篩重量百分率	過篩重量百分率
3/4"	0	0	100
1/2"	6.6	7	93
3/8"	21	28	72
#4	58	86	14
#8	11.6	97	3
F.M.		-	
含水率(%)		0.6	

表 4.1-3 細骨材篩分析及含水率試驗結果

篩網編號	個別留篩百分率 (%)	累積	
		留篩重量百分率	過篩重量百分率
3/8"	0	0	100
#4	2	2	98
#8	12	14	86
#16	21	35	65
#30	25	60	40
#50	27	87	13
#100	8	95	5
#200	3	98	2
F.M.		2.93	
含水率(%)		10%	

## 5. 拌合水

本研究計畫所使用之水，為台北科技大學自來用水。

## 4.2 研究限制

本研究最大之困難及限制所在，為主要研究對象淨水淤泥餅之成分不均勻。由於淨水場之淨水淤泥採大量批次處理，相同批次的每一小塊淨水淤泥餅組成會有些許的差異，就實驗室內進行的小規模實驗而言，淤泥餅的用量並不大，故每次實驗結果可能會因為所取用之淤泥餅的差異，造成實驗上的誤差。但就未來量產化或商業化的角度來看，屆時所使用之淨水淤泥餅為大量，故每一小塊淨水淤泥餅的差異則不會對整體性質造成太大的影響。

本研究為了解決在小規模實驗時淨水淤泥餅成分不均所造成的誤差，針對淨水淤泥餅在實驗前烘乾與否作探討，除此之外，CLSM拌合方法及拌合時間，也一併討論之，其詳細的實驗步驟，將於下章節說明。

## 第五章 研究方法與過程

### 5.1 實驗流程

本研究計畫採用淨水淤泥餅取代傳統CLSM之材料，並配合添加之摻料、養護條件和水灰比等條件以評析淨水淤泥應用於CLSM的可行性。圖5.1-1為實驗流程圖：

1. 蒐集法令規範及文獻報告：蒐集CLSM及淨水淤泥資源化等相關法規及文獻報告以作為後續實驗工作之依據。
2. 淨水淤泥餅特性分析：首先針對淨水淤泥餅之特性進行分析，其分析內容包括淨水淤泥餅之物化特性分析(如粒徑分析、比重、化學組成等)、溶出特性(如TCLP、Column leaching test等)與顯微特性分析(如FTIR、XRD、SEM等)等，所得淨水淤泥餅之特性作為後續淨水淤泥餅配製CLSM操作條件之參考依據。
3. 洪水過後淨水淤泥餅特性分析：針對洪水過後之淨水淤泥餅進行特性分析，其分析內容同第2項所述，然後以最適操作參數拌製CLSM，並進行工程性質及特性分析。
4. 建立淨水淤泥餅配製CLSM操作參數：依據淨水淤泥的組成添加適當的材料配比以配製CLSM，以進行後續CLSM工程特性及特性分析，實驗參數將改變淤泥餅取代比、養護時間、水灰比及添加劑(如：氯化鈣  $\text{CaCl}_2$  等)等。
5. 淨水淤泥餅配製CLSM之工程性質及特性分析：將前述配製完成之CLSM進行工程特性分析(如工作性試驗、初凝時間試驗、抗壓強度試驗等)及物化特性分析(如比重、化學組成等)、溶出特性(如TCLP、Column leaching test等)與顯微特性分析(如FTIR、XRD、SEM等)等。
6. 結果與評析：綜合以上之實驗結果，得到淨水淤泥餅應用於CLSM之最適操作參數，以評析預鑄型CLSM之可行性及探討去淨水淤泥餅應用於CLSM之成本效益，並探討洪水過後之淨水淤泥餅之特性及其應用於CLSM之影響。

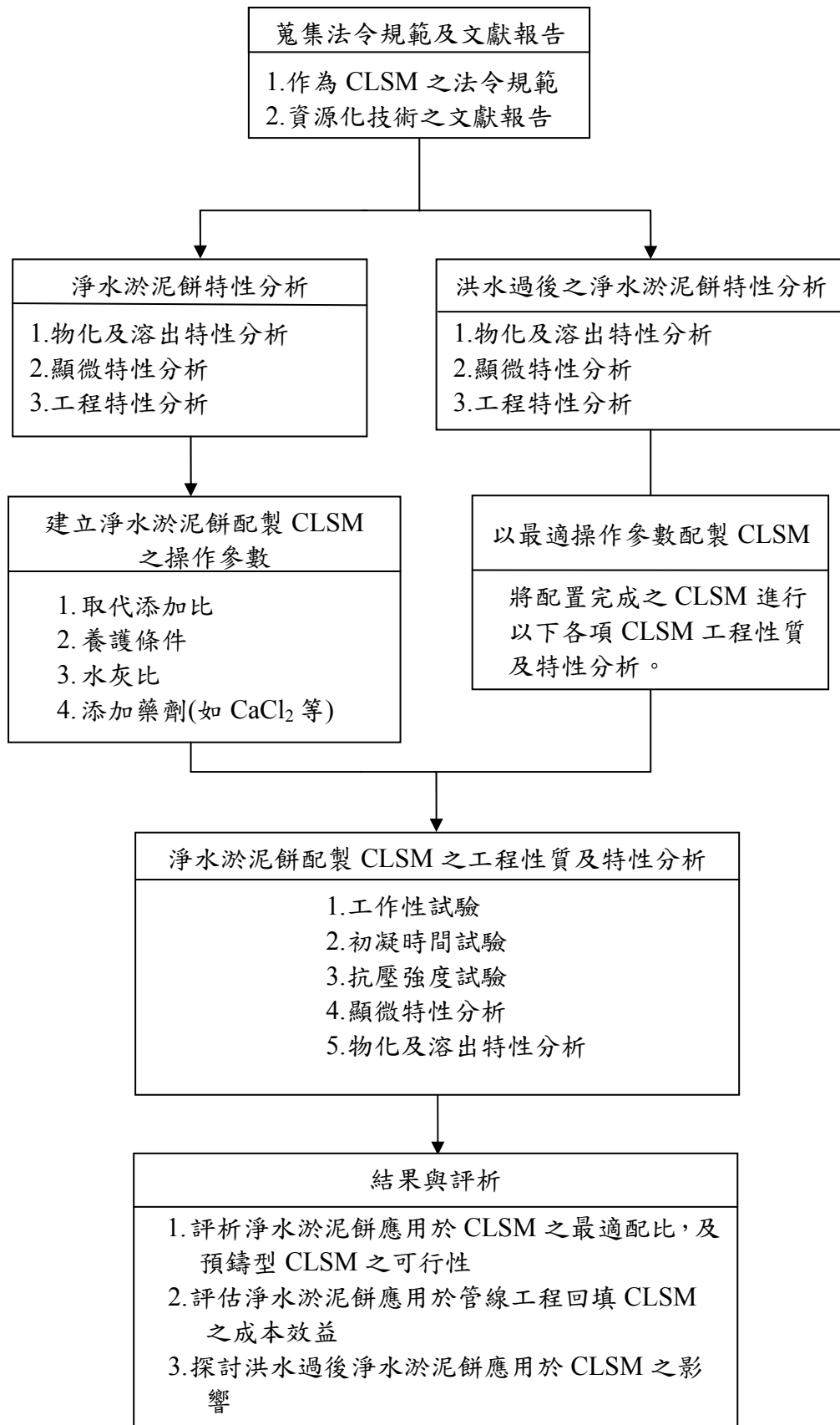


圖 5.1-1 實驗流程圖

## 5.2 實驗步驟

本研究針對淨水淤泥餅在實驗前烘乾與否及 CLSM 拌合方法及拌合時間做探討，且為模擬實際量產化之情況，5.2.2 後之實驗均未將淨水淤泥餅事先乾燥，而以原廠狀態進行之。

### 5.2.1 淨水淤泥餅前處理之探討

1. 在實驗進行前先將淨水淤泥餅放置 100°C 烘箱中乾燥脫水 24 小時，以致完全除去水分。
2. 秤所需之料量(淨水淤泥餅、水泥、飛灰、濕細骨材、粗骨材)於攪拌容器當中，並加入所需之水量，攪拌半個小時。

### 5.2.2 淨水淤泥餅未前處理之探討

1. 以原廠狀態之淨水淤泥餅直接進行實驗。淨水淤泥之原始狀態因為自淨水廠脫水壓製成餅狀，故大都為團塊狀，以手可將團塊分散。
2. 秤所需之料量(淨水淤泥餅、水泥、飛灰、濕細骨材、粗骨材)於攪拌容器當中，並加入所需之水量，攪拌半個小時。

### 5.2.3 不同拌合方法之探討

A.

1. 秤取水灰比(1-0.1)之水量及所需之濕淤泥於攪拌器中並攪拌十分鐘。再加入所需量之水泥及飛灰攪拌十分鐘。
2. 同時秤所需之粗細骨材料量，並加入細骨材重量之 10% 水量拌合十分鐘。
3. 將料及剩餘水量全數加入，以攪拌機攪拌一小時。期間每個十分鐘以人工攪拌一分鐘。

B.

1. 秤取水灰比 1 之水量及所需之濕淤泥於攪拌器中並攪拌五分鐘。
2. 秤所需之料量(水泥、飛灰、濕細骨材、粗骨材)，並先乾拌至混和均勻。

3. 於攪拌期間少量緩慢加入混和均勻之料。過程大約五分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量。
4. 當料全數加入後，以人工攪拌約一至兩分鐘後，轉以攪拌機攪拌一小時。期間每個十分鐘以人工攪拌一分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量並在攪拌時間結束前加入全部剩餘水量。

#### 5.2.4 添加早強劑之探討

1. 秤取水灰比 1 之水量、早強劑及所需之濕淤泥於攪拌器中並攪拌五分鐘。
2. 秤所需之料量(水泥、飛灰、濕細骨材、粗骨材)，並先乾拌至混和均勻。
3. 於攪拌期間少量緩慢加入混和均勻之料。過程大約五分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量。
4. 當料全數加入後，以人工攪拌約一至兩分鐘後，轉以攪拌機攪拌半小時。期間每個十分鐘以人工攪拌一分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量並在攪拌時間結束前加入全部剩餘水量。

## 5.3 分析方法

### 1. 元素組成分析

稱取 $0.1 \pm 0.001$  g 的待分析樣品置入白金坩堝，如圖5.2-1所示，加入0.8 g的助熔劑( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )，並與樣品充份混合，然後再將0.8 g的 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  均勻覆蓋於樣品上方，將裝有樣品之白金坩堝置於高溫爐中加熱至 $1100^\circ\text{C}$ ，並持溫60分鐘。待高溫爐中之溫度降至室溫後，將含有樣品之白金坩堝取出並放入250 ml燒杯中，置入磁攪拌石，加入150 ml 1:1的鹽酸溶液，蓋上錶玻璃後立即加熱攪拌，直至白金坩鍋內之樣品完全溶解後才停止加熱攪拌。靜待溶液完全冷卻後，將溶液稀釋定量至250 ml，以ICP-AES (Seiko Instruments Inc. SPS 7800)分析各元素的濃度。操作時需注意加熱攪拌之溫度應稍低於沸點，以避免沸騰；另外若溶解時有沉澱物出現則樣品須重新熔融直至無沉澱物出現為止。



圖 5.3-1 白金坩鍋

### 2. 粒徑分析試驗

本試驗使用Honeywell Microtrac X-100雷射粒徑測定儀進行粒徑分析，其測量原理是利用雷射光束經由奔流的粒子反射的光散射線現象，從粒子散射光線的總量和方向由光學偵測器陣列量測，並經由微電腦分析計算在流動樣品中粒子的尺寸分布區域。實驗設定檢測最小粒徑為0.133  $\mu\text{m}$ ，最大粒徑為704  $\mu\text{m}$ ，並且皆以三次粒度檢測平均值為最後輸出值。

### 3. 比重試驗

本試驗依據ASTM D854 規範進行試驗。土壤比重意指土壤與4°C水之單位重比值。淨水淤泥餅欲再利用於建材資源化或工程方面，則有必要對淨水淤泥進行其比重試驗，以利後續淨水淤泥餅之分析及研究。

### 4. 掃描式電子顯微鏡之觀察：

本實驗儀器為Hitachi S-4700之掃描式電子顯微鏡，實驗方法為利用掃描式電子顯微鏡可觀察樣品微觀之形態，先將已過篩選之有害飛灰樣品於真空抽氣乾燥保存盒內抽真空乾燥後，分別以鍍碳雙面膠帶固定於先後經去離子水及酒精由超音波震盪清洗過銅製之小圓柱體上，在確認不易移動或掉落後，置於電子顯微鏡內真空基座上，抽真空後進行樣品表面電子顯微形態觀察，儀器如圖5.2-2所示。



圖 5.3-2 掃描式電子顯微鏡

### 5. XRD表面礦物結晶型態觀察

本實驗為Rigaku,DMX-2200之X光繞射儀，實驗方法為將樣品使用瑪瑙研鉢研磨至粉末狀，並將其置於振動篩上過200 mesh之篩網後，取篩下物壓實壓平於載片後，放入X光繞射儀中進行分析，掃描角度由10°至80°止，並可依據特定晶相出現之特徵強度區段進行慢速掃描，藉此提高晶相之鑑別率。儀器如下圖示。



圖 5.3-3 X 光繞射儀

#### 6. 紅外線光譜分析

傅利葉紅外線光譜儀(FTIR, Thermo Nicolet)之原理是樣品於紅外線輻射下，於某種特定振動模式下產生振動或能量之變化，以得知樣品中特定物種及含量。將研磨極細之樣品(<400 mesh)與溴化鉀混合後，再以打片機製成薄片，置於儀器中分析，使紅外光對固體粉末表面進行測定。

#### 7. 毒性特性溶出試驗(TCLP)

根據環保署環檢所訂定之毒性特性溶出試驗規定(NIEA R201.11C)。首先須了解待測樣品之pH值，取5 g之樣品加入95ml之去離子水並攪拌5分鐘後測量其pH值，若pH<5.0，則使用萃取液A(萃取液pH為4.93±0.05)，若pH>5.0，則加入3.5毫升之1 N HCl，並蓋上錶玻璃加熱至50°C 且持溫10分鐘，待冷卻至室溫後側其pH值，若pH<5.0則使用萃取液A，若pH>5.0則使用萃取液B(萃取液pH為2.88±0.05)。以固液比20之比例將待測樣品置於選轉萃取裝置上，以轉速30±2 rpm旋轉萃取18±2小時，待萃取完成後以0.45 μm孔徑濾紙過濾，收及濾液以進行重金屬濃度分析。

#### 8. 管柱溶出試驗(Column leaching test)：

此試驗為測試粒狀建材產品之管柱試驗，探討物質於長期溶出特性表現，滲出實驗為上流式，使用萃取液為pH=4之硝酸溶液，反應粒徑<4 mm，7次萃取固液比範圍為0.1~10 (L/kg)，全部實驗時間為16.7天。

## 9. 工作性試驗

(1)分為CLSM坍度及坍流度試驗：本試驗係依據CNS 1176規範進行試驗，試驗步驟如后，先潤濕坍度錐內側及平板，然後將待測之CLSM採用免搗實的方式填入試模，填滿坍度錐，以刮刀將坍度錐上面刮平之後，再將坍度錐垂直向上拉起，拉上30 cm 的時間約2~3秒，待混凝土停止流動後，量測擴散圓形的最大直徑及與其垂直的另一直徑，兩者之平均值即為流度值（混凝土的坍流度如偏離圓形，當兩直徑相差5 cm以上時，則需以同一盤試料再做一次試驗），而混凝土中央部分的坍下量即為坍度值，並用目視觀察混凝土有無材料分離的現象。重複試驗3次取其平均值。測量坍流度使用之器具如圖5.2-4所示。

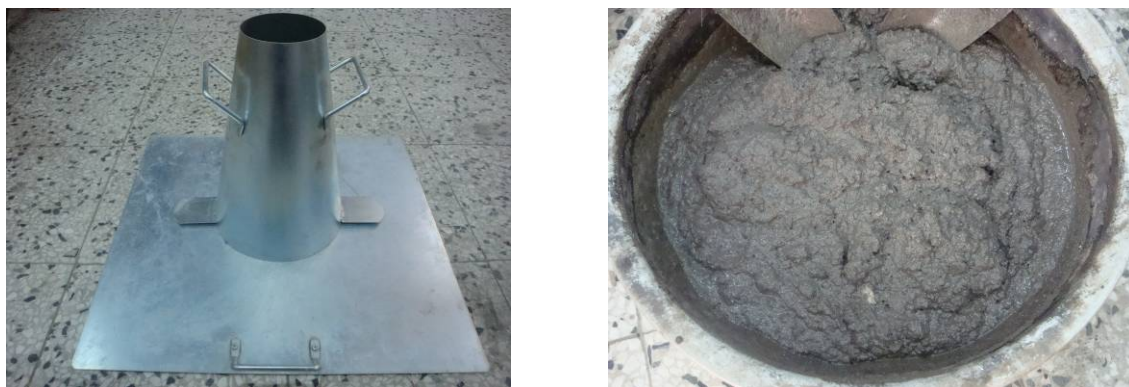


圖 5.3-4 測量坍流度使用之器具

(2)CLSM管流度試驗：本試驗依據ASTM D6103圓柱試體的修正流度試驗法進行試驗，CLSM流度試驗法是使用內徑3英吋（76 mm）、高度6英吋（152 mm）之流度管置於平坦、水平且不受震動或其他干擾的堅固平台上，填入CLSM於流度管中，使其剛滿或稍高於管口，在填滿CLSM的5秒鐘內得開始試驗，並在填滿後2-4秒內，將流度管提高至15公分以上，量測兩垂直方向的坍流直徑。重重複試驗3次取其平均值。量測管流度實驗如圖5.2-5所示



圖 5.3-5 管流度實驗

10. 初凝時間試驗：依據CNS 786進行試驗，初凝儀器使用費開氏針。試驗方法為將拌合好之CLSM 材料，使用4號篩網，將粗粒料去除，然後將剔除粗粒料後之試樣裝滿於不受擾動並具足夠勁度容器中，接著使用貫入針施加外力，使之垂直貫入CLSM漿體中，深度達 $25 \pm 2$  mm時，所產生之阻力，即稱之為貫入強度，因要求得實際貫入深度達25 mm時有實質上之困難，因此本實驗是以定時記錄貫入深度，後用內插法求得針入度為25 mm之時間，即為其初凝時間。
11. 抗壓強度試驗：本試驗根據ASTM C39，抗壓強度試驗目的為測定特定齡期(24小時、3天、28天)CLSM之抗壓強度，製作直徑與高度比例為1：2之圓柱試體( $H/D=2$ )，本試驗實驗試體為直徑15 cm、高30 cm之圓柱試體，製作CLSM試體時，採用免搗方式實製作，灌製約24小時後拆模，以放置在常溫下的方式進行養護，在適當齡期(24小時、3天、28天)取出進行抗壓實驗。抗壓實驗前，使用蓋平石膏蓋平，以求均勻受壓，再以抗壓強度試驗機進行單軸抗壓實驗。每次取三個試體進行實驗，實驗後，剔除最不合理的數據，取另兩筆資料的平均為該試體之抗壓實驗值，抗壓強度實驗如圖5.2-6所示。

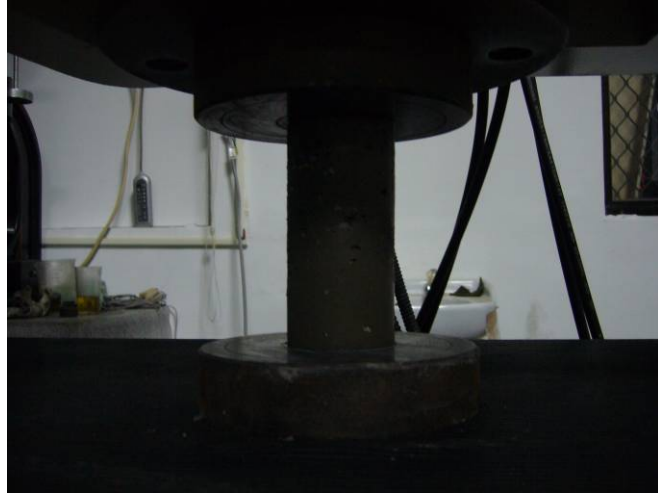


圖 5.3-6 抗壓強度實驗

## 第六章 研究發現

### 6.1 淨水淤泥餅之物化、工程、溶出及顯微特性分析

#### 1. 化學組成分析

本研究計畫所使用之淨水淤泥餅係來自台北市自來水事業處，淨水過程中所使用之混凝劑為多元氯化鋁。將淨水淤泥餅進行化學組成分析以了解其元素組成含量，結果如表6.1-1所示。由表可知，淨水淤泥餅以矽、鋁、鐵、鉀、鈉、鈣等物質之氧化物為主要成份，其中氧化矽( $\text{SiO}_2$ )含量最高(53.2%)，由此可知淤泥餅性質與天然黏土成份相似，主要為矽酸鹽化合物，此乃因雨水之地表沖刷或河川夾帶黏土礦物，經混凝沉積而成，而淨水淤泥餅組成中含量次之為氧化鋁，則是因為淨水廠在淨水過程中會加入多元氯化鋁等鋁系混凝劑以沉降原水中之懸浮固體物，所形成之沉澱物所致。

表 6.1-1 淨水淤泥餅元素組成

元素組成	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$
百分比(%)	53.2	23.2	12.8	6.6	1.2	0.3	1.3

#### 2. 毒性特性溶出試驗

因法規目前規定廢棄物資源再利用時須符合TCLP溶出標準值，由TCLP溶出濃度判定是否為有害廢棄物，因此淨水淤泥餅資源化再利用時須先了解其TCLP溶出濃度。淨水淤泥餅之TCLP溶出濃度，如表6.1-2所示，由溶出試驗結果可知，淨水淤泥餅以Zn之溶出濃度2.68mg/L最高，其次為Cu 1.089 mg/L及Pb 0.20 mg/L，但皆遠低於法規標準值，因此應用於CLSM時，應不會對環境造成二次污染。

表 6.1-2 淨水淤泥餅 TCLP 溶出試驗

元素	Pb	Zn	Cr	Cd	Cu
平均值	0.20	2.68	0.009	0.003	1.089
法規值	5	25	5	1	15

單位:ppm

### 3. 物化性質

將淨水淤泥餅進行物化特性分析，如表6.1-3所示。由表可知，淨水淤泥餅之pH值為6.5，屬於中性物質，於此pH範圍值內，未來將淨水淤泥餅應用於CLSM進行管線工程回填時，不會對管線造成腐蝕破壞。本研究計畫所分析之淨水淤泥餅含水率為32.69%，與剛脫水之淨水淤泥餅含水率30~50%相差不多，而灼燒減量則為8%，可知淤泥餅中揮發性有機物質含量並不多。淨水淤泥餅進行粒徑分析，其粒徑分佈圖如圖6.1-1所示，粒徑分佈自0.5~70 $\mu$ m，平均粒徑為6.2 $\mu$ m，可知淨水淤泥餅之顆粒粒徑甚為細小，此與淤泥餅具有明顯凝聚性之特徵相符。

表 6.1-3 淨水淤泥之物化特性

性質	第一次採樣	第二次採樣
pH	6.5	6.3
比重	1.5	2
水分	32.69 %	40.6%
灰份	61.97%	53.6%
可燃份	5.34%	5.8%
灼燒減量	8%	9%

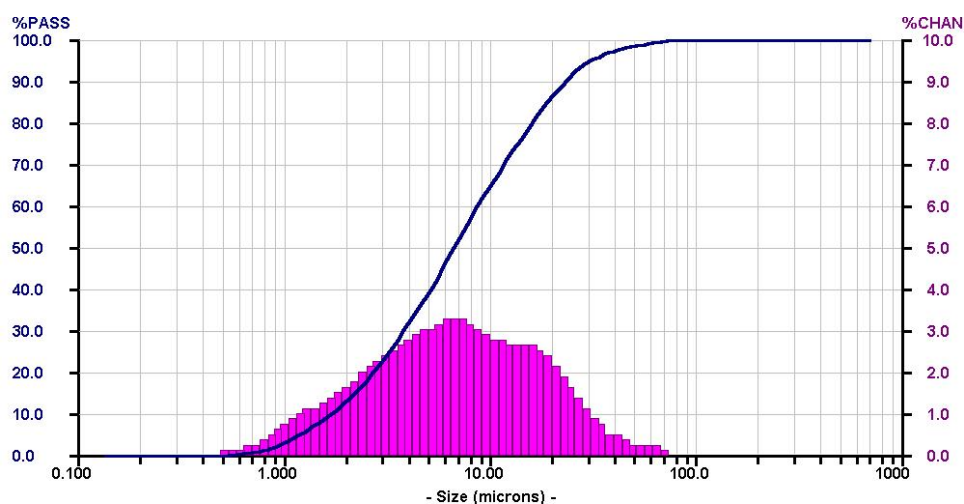


圖 6.1-1 淨水淤泥餅粒徑分佈圖

#### 4. X光繞射分析

本研究將淨水淤泥餅進行X光繞射分析，以了解淨水淤泥餅之晶相組成，其結果如圖6.1-2所示。由X光繞射分析結果可知，淨水淤泥餅存在Quartz[SiO<sub>2</sub>]、Chlorite Serpentine [(Mg,Al)<sub>6</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]及Illite [(K,H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]等結晶相，其中SiO<sub>2</sub>之繞射角度26度為最大之繞射強度，此係因淨水淤泥餅富含大量地表土壤所致。

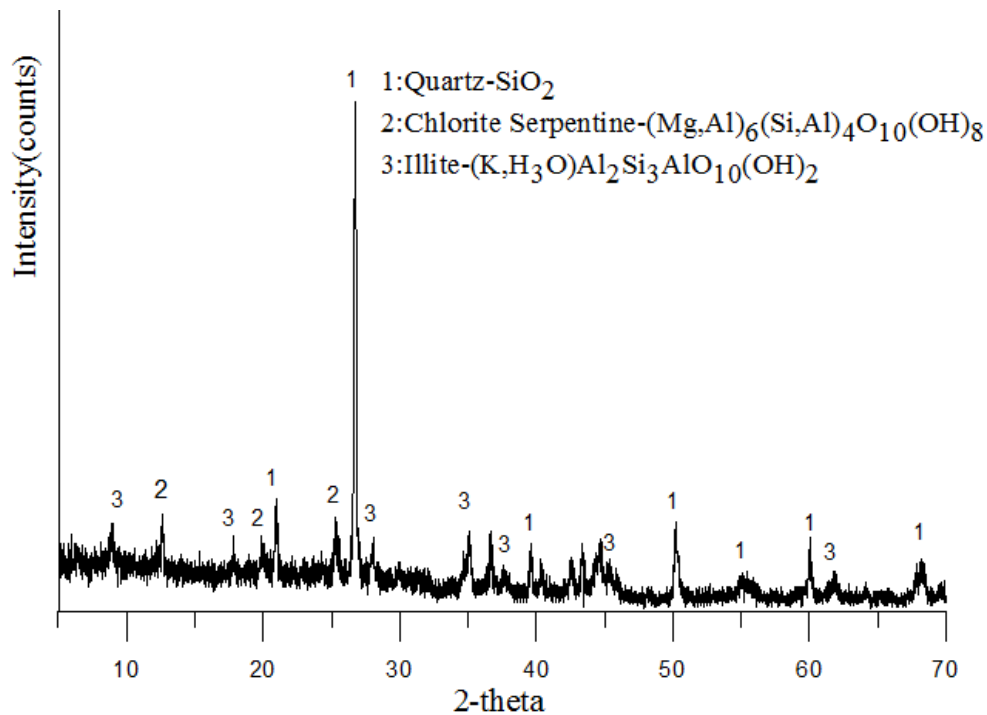


圖 6.1-2 淨水淤泥餅 X 光繞射圖

## 5. FTIR分析

本研究計畫將淨水淤泥餅進行FTIR分析，如圖6.1-3所示。由圖可知在約 $984\text{ cm}^{-1}$ 出現明顯穿透峰，根據文獻可知<sup>(A. Catherine et al, 2008)</sup>，此應為T-Oi鍵(T代表Si或Al)之振動穿透峰，在 $694\text{ cm}^{-1}$ 及 $558\text{ cm}^{-1}$ 應為T-O-Si鍵之非對稱伸張振動穿透峰，而 $797\text{ cm}^{-1}$ 則為純 $\text{SiO}_2$ 之Si-O-Si鍵非對稱伸張振動穿透峰。由淨水淤泥餅知元素組成可知，淨水淤泥餅中含有矽酸鹽及鋁系化合物，因此淨水淤泥餅之FTIR中可測得Si-O或Al-O等之鍵結特徵峰。在 $3405\text{ cm}^{-1}$ 間可發現一微弱之OH鍵振動穿透峰，此應是因為淨水淤泥餅偏屬黏土性質，因此層間之鍵結水不易被烘乾，故可於FTIR中被測得。

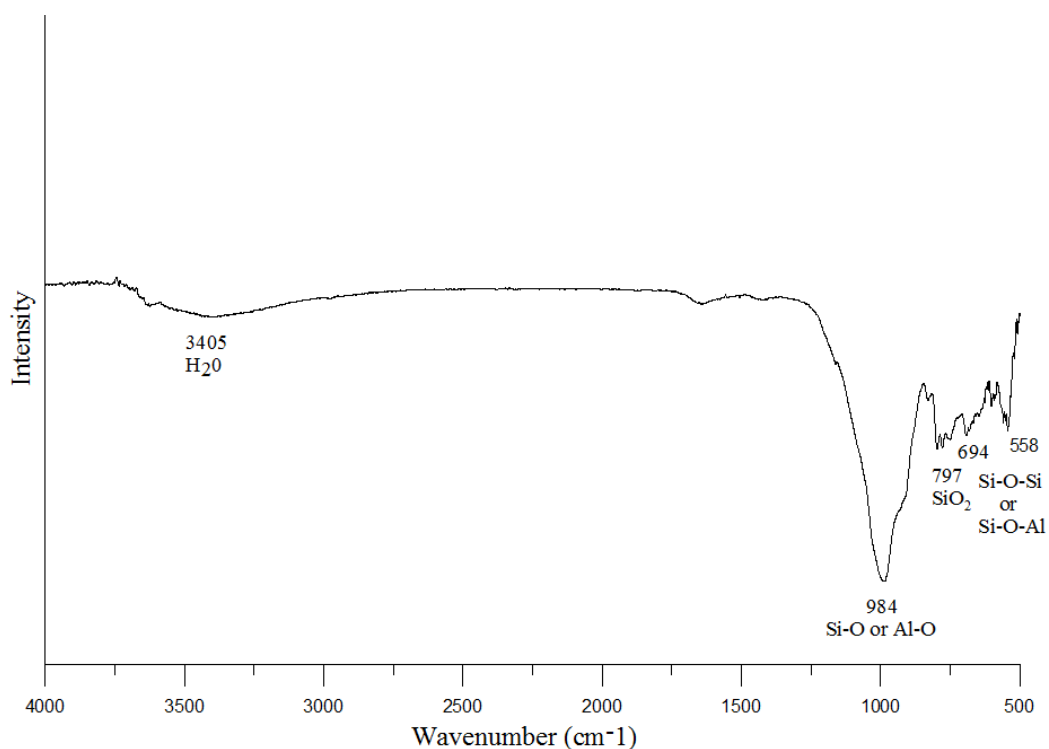


圖 6.1-3 淨水淤泥餅之 FTIR 圖

## 6. SEM顯微分析

本研究計畫將淨水淤泥餅石進行SEM顯微分析，以了解淨水淤泥餅之顯微形態，並可進一步與後續實驗中所製得之CLSM試體進行比較，以得知淨水淤泥餅製成CLSM前後顯微形態之變化。圖6.1-4為淨水淤泥餅之SEM 10000倍顯微分析圖，由圖可知淨水淤泥餅之外觀呈現為片狀之形態，此片狀晶體結構為淨水淤泥餅中石英之晶體結構。

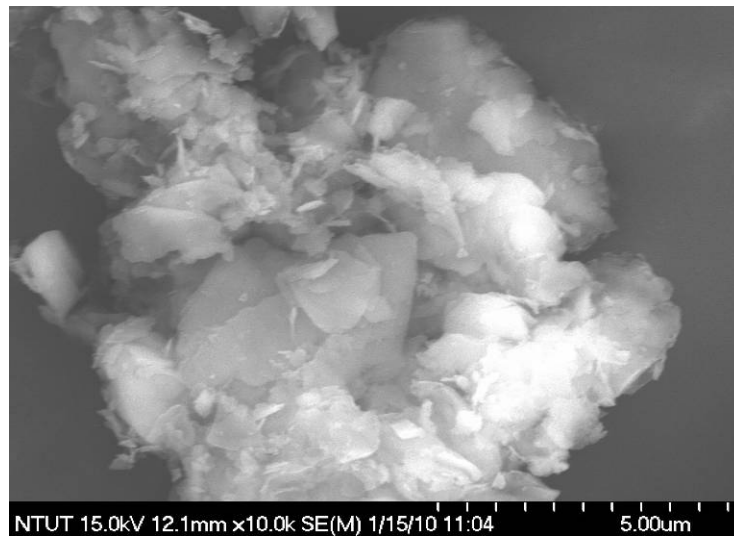


圖 6.1-4 淨水淤泥餅之 SEM 分析圖

## 6.2 淨水淤泥餅應用於CLSM之最適操作參數及預鑄型CLSM可行性評析

### 6.2.1 淨水淤泥餅前處理之探討

本研究計畫進行利用淨水淤泥餅應用於 CLSM 之實驗，係參考內政部營建署「控制性低強度回填材料施工規範」作為試驗設計之依據。本實驗首先研究之 CLSM 係主要運用於較無施工時間限制之填方或路基工程，並期能製成高流動性、高坍度、免搗實且低強度之材料。本研究中之 CLSM 是由水泥、燃煤飛灰、粗粒料與細粒料搭配水來構成其拌製主體，並先以淨水淤泥餅取代特定比例之細粒料與改變水灰比 (W/C) 做為可行性評估試驗之兩項變因。

本研究起初利用已烘乾之淨水淤泥餅做為取代材料，並於拌合過程中加入其 35%總重之水量，以模擬未烘乾之淨水淤泥餅含水量 30~40%，後依照淨水淤泥餅取代比率 0%、10%及 30%進行配製實驗，而各設定水灰比分別為 2.5、3.0、3.5，並將全部摻料拌合 30 分鐘後進行相關試驗，以探討淨水淤泥餅產製 CLSM 的可行性，各項相關試驗結果如表 6.2-1 所示。且本研究發現加入淨水淤泥餅取代部分細粒料後拌製成之 CLSM，其試體的凝結時間拉長，於一天內無法脫模成形。故本研究計畫中，於加入淨水淤泥餅取代細粒料後拌製成之 CLSM 試體的抗壓強度皆以三天抗壓強度開始測量。

表 6.2-1 經烘乾之淨水淤泥餅製作 CLSM 之分析結果

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	新建工程 處規範
水灰比(W/C)	2.5			3.0			3.5			—
取代比(%)	0	10	30	0	10	30	0	10	30	
淤泥添加量(kg/m <sup>3</sup> )	0	140	420	0	140	420	0	140	420	
水泥(kg/m <sup>3</sup> )	150			150			150			
飛灰(kg/m <sup>3</sup> )	75			75			75			
細粒料(kg/m <sup>3</sup> )	1400	1260	980	1400	1260	980	1400	1260	980	
粗粒料(kg/m <sup>3</sup> )	250			250			250			
添加水量(kg/m <sup>3</sup> )	375			450			525			
管流度(cm)	11	7.5	10	30	22	18	42	18	25	15~20
坍流度(cm)	28	20	28	62	54	48	88	45	64	40~60
1 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	2.75	—	—	1.95	—	—	1.56	—	—	—
3 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	—	1.90	0.70	—	0.79	0.59	—	0.49	0.26	
7 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	8.80	2.43	1.46	7.79	1.61	0.83	6.88	1.63	1.57	
14 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	11.51	2.00	1.12	9.61	2.07	1.31	7.71	2.07	1.80	
28 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	11.67	2.21	1.00	4.63	2.27	1.48	7.71	2.14	1.21	5-30

CLSM 為一具自壓實性與自平性之水泥質材，主要為用來取代傳統回填材料之低強度混凝土系材料，其須具備高工作性才能顯見出相較於傳統回填材料之優勢，一般而言，工作性與用水量有密切關係當用水量高時可產生良好之工作性及降低強度以達 CLSM 材料之要求，但易造成 CLSM 材料中漿體與粒料析離之現象。若用水量過低時，則會造成工作性降低，不易施工，較不符合 CLSM 所需之高工作性的要求。由表 6.2-1 可知無論是淤泥餅取代比或是水灰比的調整都對工作性有顯著影響。從實驗結果可知，水灰比 2.5 取代 0 % 時，其工作性皆無法符合規範要求。因此本實驗後續以水灰比 2.5、3.0、3.5 做為實驗水灰比及取代比之探討。由實驗結果可得知，除水灰比 2.5 外之取代比為零的原始組別皆能符合規範最低需求的管流度與坍流度，但當開始添加淨水淤泥餅取代細粒料後，管流度與坍流度都出現下滑的趨勢，隨著取代量比率越大而其下滑的幅度也就加大，這可能是因為淨水淤泥餅為黏土性質，易吸收水分，但不易釋放水份，且淨水淤泥餅顆粒細緻，吸水之淤泥漿體黏滯阻礙了流動性，使 CLSM 漿體在取代比增加同樣水灰比下之工作性下降。因此當淤泥取代比增加，可以確認造成 CLSM 漿體工作性下降。但整體而言，為了使工作性符合規範所採用高水灰比條件，造成了試體結構本身潮濕度過大，致使試體變乾的速度減緩，一方面拉長了初凝時間(因初凝時間過長 > 37 小時，故無法準確精測而列在表內)，更降低 CLSM 之抗壓強度。綜合初步的實驗結果，本研究於第二階段採用不將淨水淤泥餅事先烘乾，直接以原廠之狀態進行合成實驗。希望藉由低水灰比即可達到工作性之規範，且初凝時間與抗壓強度皆能有效的提升。

### 6.2.2 淨水淤泥餅未前處理之探討

此階段之實驗採用未烘乾之原廠淨水淤泥餅進行合成實驗，其詳細步驟如 5.2.2 節所述，結果如表 6.2-2 所示。

表 6.2-2 原廠狀態之淨水淤泥餅製作 CLSM 之分析結果

編號	1	2	3	4	5	6	7	新建工程處規範
水灰比(w/c)	1.5	1.7	1.7	1.9	1.9	2.1	2.1	—
取代比(%)	0	0	10	0	10	0	10	
淤泥餅(kg/m <sup>3</sup> )	0	0	150	0	150	0	150	
水泥(kg/m <sup>3</sup> )	200	200	200	200	200	200	200	
飛灰(kg/m <sup>3</sup> )	70	70	70	70	70	70	70	
細粒料(kg/m <sup>3</sup> )	1500	1500	1350	1500	1350	1500	1350	
粗粒料(kg/m <sup>3</sup> )	250	250	250	250	250	250	250	
水(kg/m <sup>3</sup> )	300	340	340	380	380	420	420	
管流度(cm)	11.5	16	14	36	21	34	25	
坍流度(cm)	27	43	35	65	51	84	60	40~60
1 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	4.84	3.16	1.25	2.60	1.19	2.65	1.56	—
7 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	—	14.97	12.77	10.18	9.34	10.29	11.42	
14 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	—	19.07	16.55	16.81	12.24	10.39	12.95	
28 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	—	23.29	20.69	18.99	15.14	13.45	16.72	

由實驗結果可知，採用未經烘乾原廠狀態之淨水淤泥餅進行 CLSM 合成時，即使在較低水灰比的條件下，其工作性也能符合規範值，此即說明了淨水淤泥餅在烘乾後，其散逸的不只是水分，在長時間處在高溫的環境條件下，更可能改變了其物理或化學性質，使其在合成 CLSM 時其工作性會大幅的下降；此外，未來 CLSM 實用化上，若要將淨水淤泥餅事先進行烘乾，則會使成本增加，故爾後之實驗，皆以未經烘乾原廠狀態之淨水淤泥餅進行之。再者，雖工作性在水灰比 1.7、淤泥取代比 10% 的條件下可符合規範，但初凝時間仍過長(> 半天，故無法準確精測而列在表內)，且抗壓強度未能達到臺北市工務局標準(一天 > 7 kgf/cm<sup>2</sup>)，故下階段之實驗將持續調降水灰比，但為了保持工作度，並採用了林樹豪教授之建議，調整拌合條件來使 CLSM 之成效上升。

### 6.2.3 不同拌合方法之探討

在前兩階段之實驗中，發現因原廠狀態之淨水淤泥餅呈餅狀或塊狀，且帶有些許之黏性，若將所有原料一起於攪拌容器中混合，則可能會有淨水淤泥餅未能完全攪散並與其他配料充分混和之疑慮；此外也觀察到在攪拌結束後，會有部分原料積結在攪拌槽底部或壁緣而未充分混合，這些都可能是造成了整體工作性下降且抗壓強度低下的主要因素。有鑑於此，在此階段針對拌合方法做修正，主要是將淨水淤泥餅先加入水預拌至完全分散後，再與其他配料做混合。其方法流程列於表 6.2-3，而實驗結果如表 6.2-4。

表 6.2-3 不同拌合方法之實驗流程

方法 A	方法 B
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 秤取水灰比(1-0.1)之水量及所需之濕淤泥於攪拌器中並攪拌十分鐘。再加入所需量之水泥及飛灰攪拌十分鐘。</li> <li>2. 同時秤所需之粗細骨材料量，並加入細骨材重量之 10%水量拌合十分鐘。</li> <li>3. 將料及剩餘水量全數加入，以攪拌機攪拌一小時。期間每個十分鐘以人工攪拌一分鐘。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 秤取水灰比 1 之水量及所需之濕淤泥於攪拌器中並攪拌五分鐘。</li> <li>2. 秤所需之料量(水泥、飛灰、濕細骨材、粗骨材)，並先乾拌至混和均勻。</li> <li>3. 於攪拌期間少量緩慢加入混和均勻之料。過程大約五分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量。</li> <li>4. 當料全數加入後，以人工攪拌約一至兩分鐘後，轉以攪拌機攪拌一小時。期間每個十分鐘以人工攪拌一分鐘。如發覺太乾可加入部分剩餘水量並在攪拌時間結束前加入全部剩餘水量。</li> </ol>

表 6.2-4 不同拌合方法製作 CLSM 之工作性與抗壓強度之分析結果

方法	A		B		規範值
	1	2	1	2	
編號	1	2	1	2	規範值
水灰比(W/B)(不含料)	1.4	1.4	1.4	1.4	-
取代比(%)	0	10	0	10	
淤泥添加量(kg/m <sup>3</sup> )	0	125	0	125	-
水泥(kg/m <sup>3</sup> )	250	250	230	230	-
飛灰(kg/m <sup>3</sup> )	70	70	70	70	-
細骨材(kg/m <sup>3</sup> )	1250	1125	1250	1125	-
粗骨材(kg/m <sup>3</sup> )	400	400	400	400	-
添加水量(kg/m <sup>3</sup> )	350	350	324	324	-
初凝時間(hr)	7.88	8.66	6.00	10.36	≤4
管流度(cm)	30	15	15.5	17	15 - 20
坍流度(cm)	85	32	41	39	40 - 60
1 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	6.74	2.27	6.94	7.61(1.5 天)	≥7.00
28 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	12.47	20.26	15.38	13.83	

由實驗結果可知，將水灰比持續調降，且預先將淨水淤泥餅預拌攪散後，其初凝時間確有顯著的縮短，並可維持一定的工作性。在同等水灰比 1.4，淤泥取代比 10%的情況下，雖然拌合法 B 所製成之 CLSM 初凝時間略比拌合法 A 之初凝時間長，但其工作性與抗壓強度方法 B 較方法 A 佳，且在 1.5 天時，抗壓強度就達到了 7.61 kgf/cm<sup>2</sup>，推測若適量加入早強劑，一天之抗壓強度將會到達台北市工務局規範之 ≥7.00 kgf/cm<sup>2</sup>。由拌合法不同所造成的實驗結果可推測，所有的原料除淨水淤泥餅須先與水預拌使其完全充分地分散外，其餘如飛灰、水泥、粗細粒料等，則先經過乾式的混拌後，再一同加入水中所製成 CLSM 之效果會較佳；若將各種原料均先各自加水預拌，而後再混合的話，很可能在預拌的過程中，各原料就已先與水發生水合反應，造成後續步驟全部一起加入混合後，彼此間混合效果不彰。

#### 6.2.4 添加早強劑試驗分析

綜合前述的結果，本研究得到了較佳的淤泥實驗狀態、水灰比及拌合方法等。故在此以未經烘乾原廠狀態之淨水淤泥餅、低水灰比、配合拌合方法 B，來進行 CLSM 之合成，並添加氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )作為早強劑，討論在不同配比的情況下，對 CLSM 之初凝時間及抗壓強度的影響。由於添加早強劑後其凝結之速度會大幅上升，故拌合時間從原先一個小時縮短至半個小時，防止在拌合的過程中已有聚結的情況發生，其實驗結果如表 6.2-5 所示。

表 6.2-5 添加不同比例早強劑 CLSM 之結果分析

編號	1	2	3	4	5	規範值
水灰比(W/B)(不含料)	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	-
取代比(%)	10	10	10	10	10	
淤泥添加量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	125	125	125	125	125	-
水泥( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	250	250	250	250	250	-
飛灰( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	70	70	70	70	70	-
細骨材( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1125	1125	1125	1125	1125	-
粗骨材( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	400	400	400	400	400	-
添加水量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	350	300	250	250	250	-
早強劑 $\text{CaCl}_2$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	10(0.5%)	10(0.5%)	10(0.5%)	50(2.5%)	100(5.0%)	
初凝時間(hr)	-	-	6.56	~7hr	3.82	$\leq 4$
管流度(cm)	27	27	17	21	15	15 - 20
坍流度(cm)	56	64	52	58	(45~50)	40 - 60
1 天抗壓強度( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	-	-	13.34	16.25	19.57	$\geq 7.00$
28 天抗壓強度( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	-	-	63.65(24天)	77.44(21天)	93.19(24天)	

由上表可知，搭配早強劑添加量 0.5%、水灰比 1.0 及淤泥取代比 10%之情況下，CLSM 之工作性均能符合規範，抗壓強度在一天即可達到  $13.34 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，且初凝時間也大幅縮短至 7 小時以內。若將早強劑添加量增加至 5%時，其一天之抗壓強度會大幅度的增加至  $19.57 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，且初凝時間可以控制在 4 小時以內。但值得討論的是，加入

5%早強劑時由於 CLSM 過於快乾，在測量完管流度且符合標準後，接下來進行坍流度測量時，其兩個步驟間的時間差已足以使 CLSM 凝結且成形，故此時之坍流度變得無法精確的測量。由實驗經驗來看，若以最初拌合半個小時後就直接測量坍流度的結果，推測其數值會坐落於 45~50 cm 中間，也可符合台北市工務局的標準。

#### 6.2.5. 預鑄型 CLSM 可行性評析

CLSM 原為具有高工作性及控制性但強度較低之材料，可自充填於管溝中，節省所需之人力，且其具有混凝土之特性，因此沉陷量亦較低，若要以預鑄型態來使用，因只要將 CLSM 事先灌入鑄模中，故自填充能力的要求可視情況降低，所以在製作預鑄型 CLSM 時，則可對於其組成配比稍做變動，以降低其工作性但卻有較強的材料抗壓強度。

圖 6.2-1 與表 6.2-6 為台北自來水事業處之管線工程管溝回填設計斷面圖與新設管線之管溝挖掘標準斷面規範，圖中回填砂用於管溝回填工程至管線頂上方一定深度後，再回填 CLSM，最後在鋪設瀝青混凝土面層。若要利用預鑄型 CLSM，則可將 CLSM 依規範尺寸預先鑄成板塊狀，而後回填時使用之。其他 CLSM 預鑄型的應用方面，則可參照台灣水泥製品工業同業公會之預鑄溝蓋板，共有 B 型、S 型、L 型 3 種模式，為圖 6.2-2 至 6.2-4，同樣的可依照其規範尺寸製造之。

配合實驗結果及實際應用概念可知，不同水灰比及不同淤泥餅取代比所製成的 CLSM 之工作度及抗壓強度分析，皆會有很大的差異，一般而言，隨著水灰比的下降，其製作出來的 CLSM 之抗壓強度亦有明顯的提升，故在預鑄型 CLSM 的應用方面，因自填能力並不是最主要的考慮因素，故可視需要降低水灰比來拌合 CLSM，以提昇其之抗壓強度，使製作出來的成品能更廣泛的應用。此外，針對預鑄型的 CLSM，由於是在廠內製成，並不會影響到交通，其初凝時間也變得不是首要考慮的因素之一。

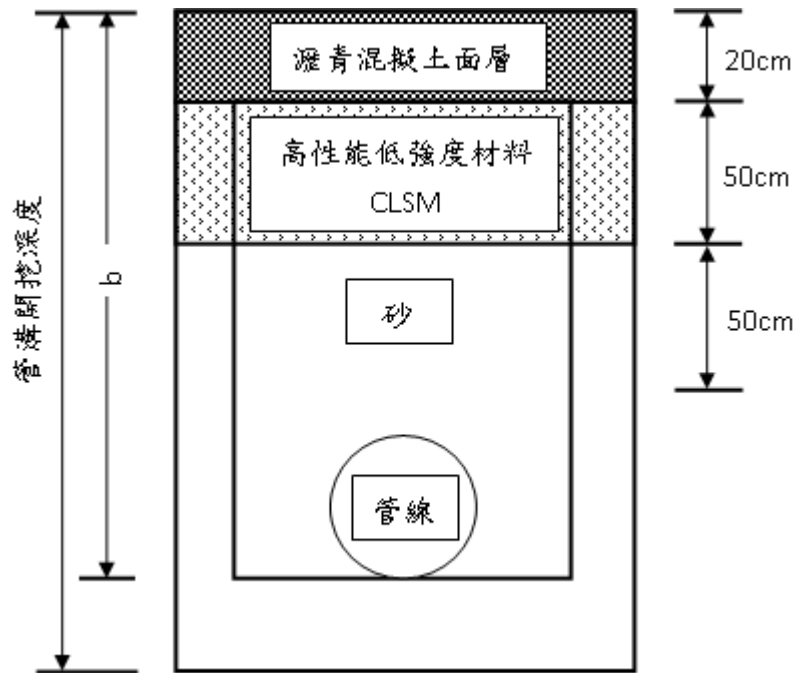


圖 6.2-1 管線工程管溝回填設計斷面圖

表 6.2-6 新設管線之管溝挖掘標準斷面規範

管徑 內徑 (公厘)	直管處		接頭處			管溝體積 立方公尺 (公尺)	接頭增加土方 立方公尺 (處)
	寬 (公尺)	深 (公尺)	寬 (公尺)	深 (公尺)	長 (公尺)		
75	0.45	1.29	0.65	1.49	0.70	0.581	0.212
100	0.50	1.32	0.65	1.52	0.70	0.660	0.230
150	0.55	1.37	0.70	1.57	0.70	0.754	0.242
200	0.60	1.42	0.75	1.62	0.70	0.852	0.254
250	0.65	1.47	0.87	1.72	0.80	0.956	0.433
300	0.70	1.52	0.92	1.87	0.80	1.064	0.525
350	0.75	1.57	1.17	1.97	0.80	1.178	0.902
400	0.85	1.63	1.23	2.03	0.90	1.386	1.000
450	0.90	1.68	1.28	2.08	0.90	1.512	1.035
500	0.95	1.73	1.33	2.13	0.90	1.644	1.070
600	1.10	1.93	1.43	2.33	0.90	2.123	1.088
700	1.30	2.03	1.63	2.48	0.90	2.639	1.163
800	1.50	2.14	1.74	2.59	0.90	3.210	1.167
900	1.70	2.24	1.84	2.69	1.00	3.808	1.242
1000	1.80	2.34	2.04	2.79	1.00	4.212	1.480
1100	1.90	2.65	2.15	3.00	1.20	5.035	1.698
1200	2.00	2.75	2.25	3.20	1.20	5.500	2.040

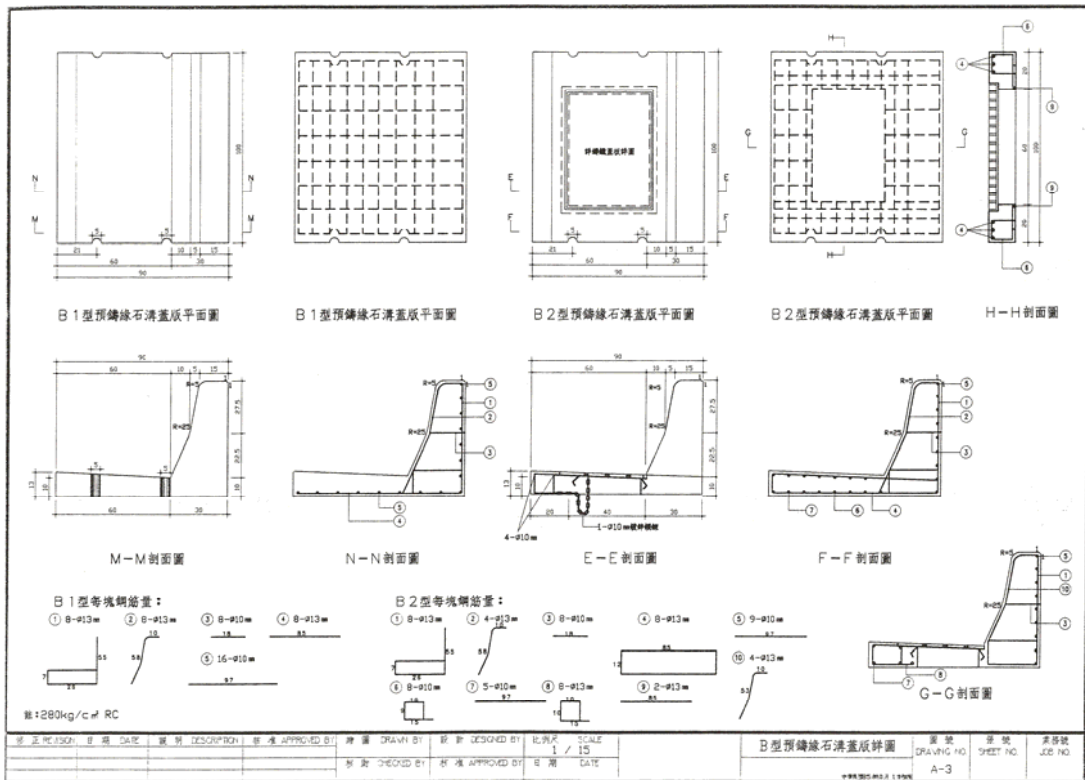


圖 6.2-2 B 型預鑄緣石溝蓋版詳圖

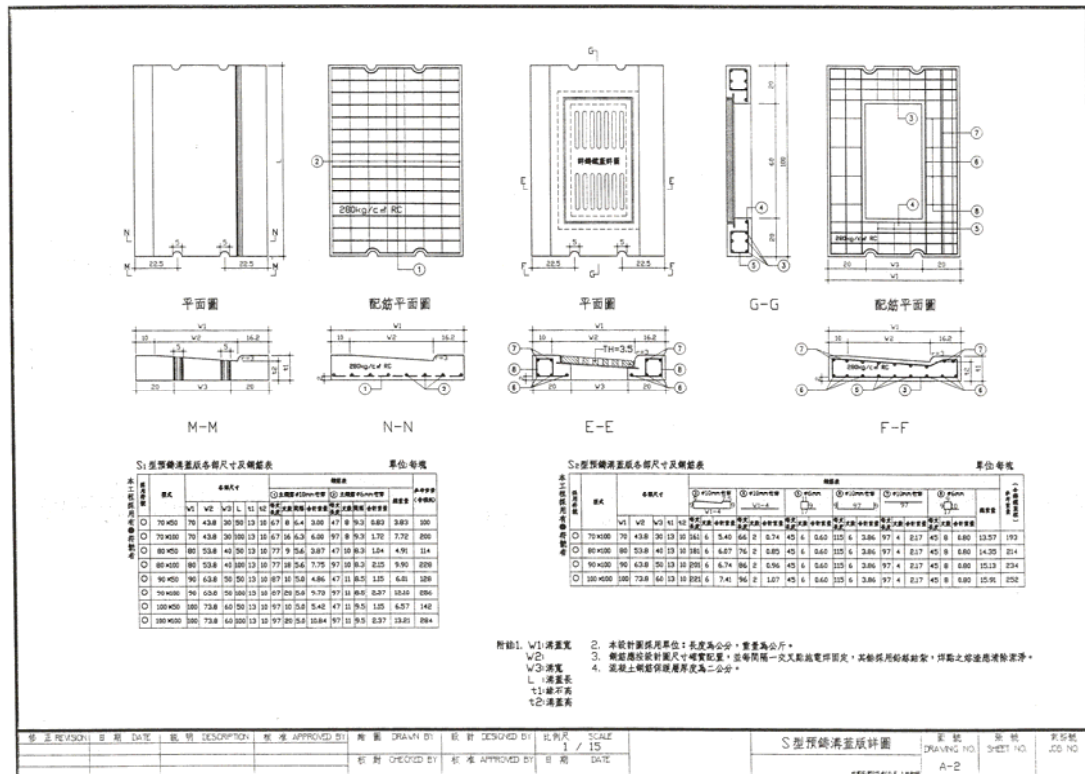
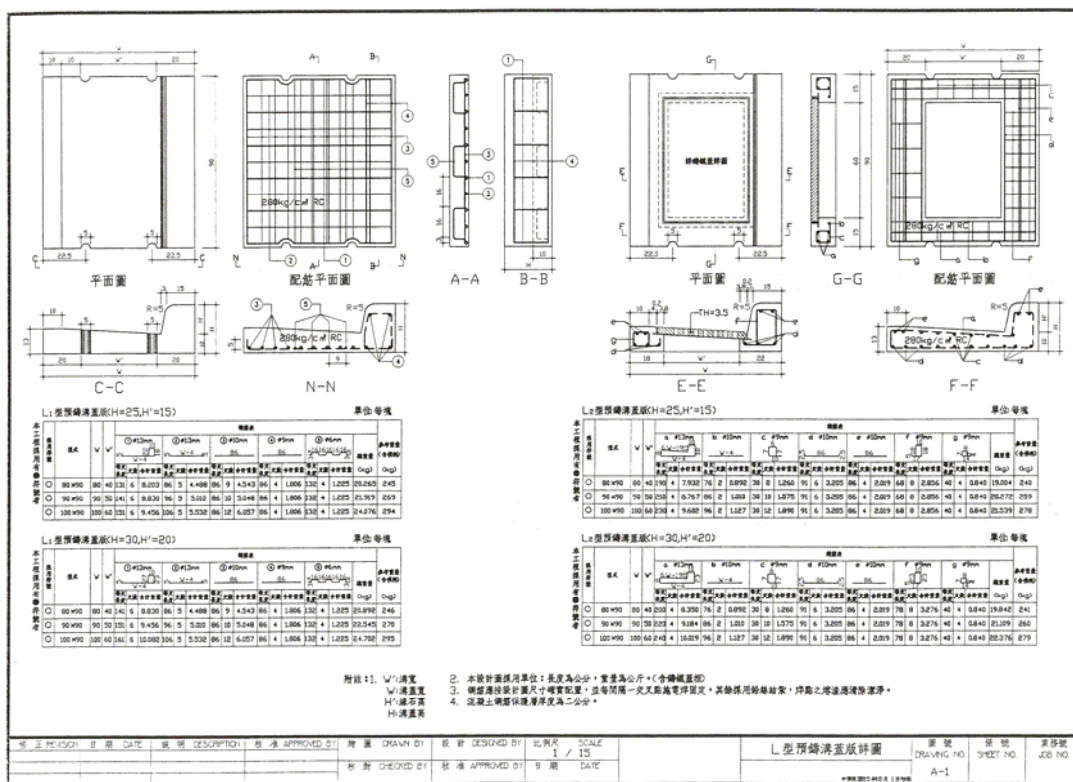


圖 6.2-3 S 型預鑄緣石溝蓋版詳圖

圖 6.2-3 S 型預鑄溝蓋版詳圖



### 6.3 洪水過後之淨水淤泥餅特性及其應用於 CLSM 之影響

#### 1. 化學組成分析

本計畫所使用之淨水淤泥餅來自直潭淨水場，為了解平時淨水淤泥餅與颱風淨水淤泥餅其化學組成變化，可做為後續再利用於製作 CLSM 之參考依據，將平時淤泥餅與颱風淤泥餅利用 X 光螢光繞射分析儀進行化學組成分析，以了解其元素組成含量，其結果如表 6.3-1 所示，顯示平時淤泥餅與颱風淤泥餅皆以矽、鋁、鐵、鉀、鎂、鈦、鈣等物質之氧化物為主要成份，其中氧化矽含量最高，含量高於 50%，此係因淨水淤泥餅為原水經由地表土壤沖刷或河川夾帶大量黏土礦物，再經由淨水場混凝沉積而產生，因此淨水淤泥餅性質與天然黏土成份相似，主要為矽酸鹽化合物為主，而淨水淤泥餅組成中含量次之為氧化鋁，則是因為淨水場在淨水過程中會加入多元氯化鋁等鋁系混凝劑以沉降原水中之懸浮固體物，所形成之沉澱物所致。

此外，分析平時淤泥餅與颱風淤泥餅之  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量，平時淨水淤泥餅之  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量為 53.2% 與 23.2%，而颱風高濁度淤泥餅之  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量分別為 50.9% 與 24.3%，由結果可得知，兩者之元素組成差距很小，在採樣及實驗的誤差範圍內，故可推論經過洪水沖刷並不會改變淤泥元素組成。

表 6.3-1 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅之元素組成

元素(%)	平時淨水淤泥餅	颱風淨水淤泥餅
$\text{SiO}_2$	53.2	50.9
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.2	24.3
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	12.8	13.5
$\text{CaO}$	0.3	0.3
$\text{K}_2\text{O}$	6.6	7.0
$\text{MgO}$	1.2	1.2
$\text{TiO}_2$	1.3	1.5

## 2. 毒性特性溶出試驗

本研究中底渣毒性特性溶出試驗主要參考環保署環檢所 NIEA R201.13C 之方法，表 6.3-2 為平時時期之污泥、颱風時期之污泥毒性特性溶出試驗結果，由結果顯示平時時期污泥中重金屬 Pb、Zn、Cr、Cd、Cu 之溶出量均符合毒性特性溶出試驗，而颱風時期之污泥中重金屬 Zn 之溶出量小於儀器偵測極限，其他重金屬雖有些微之增減，但亦都小於法規數值，可推測因颱風時期洪水夾帶各式各樣的廢棄物，其中有含重金屬的廢棄物或是可將特定重金屬溶出之物質，與淤泥接觸後，造成淤泥內重金屬有增加或減少的變化，但增減的幅度有限。故無論是以平時或是颱風時期之淨水淤泥餅作 TCLP 之合成，淤泥餅貢獻的重金屬濃度均相當有限，且颱風過後產生的大量淤泥，也可使用在合成 TCLP 中，以降低處理、儲存及環保上的負擔。

表 6.3-2 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅 TCLP 試驗

	溶出濃度 (mg/L)				
	Pb	Zn	Cr	Cd	Cu
平時時期	0.020	2.68	0.009	0.003	1.089
颱風時期	0.015	ND	0.141	0.022	0.037
TCLP 標準值	5.0	25	5.0	1.0	15

ND : Not Detected

## 3. 物化性質

將淨水淤泥餅進行物化特性分析，如表 6.3-3 所示。而平時時期之淨水淤泥餅因採樣兩次，故以兩次樣本數值為範圍，來跟颱風時期之淨水淤泥餅做比較。由表可知，除灼燒減量外，其餘物化特性並沒有太大的改變，而颱風時期淤泥餅的灼燒減量約為平時時期的一半，推測可能為淤泥餅中揮發性有機物質經過暴雨沖刷後，散逸量比平時

時來的高。

表 6.3-3 平時時期與颱風時期淨水淤泥餅之物化特性

性質	平時時期	颱風時期
pH	6.3~6.5	6.7
比重	1.5~2.0	1.78
水分	32.69%~40.60%	38.64%
灰份	53.60%~61.97%	55.79%
可燃份	5.34%~5.80%	5.58%
灼燒減量	8%~9%	4.77%

而粒徑分佈圖如圖 6.3-1 所示，可知平時時期與颱風時期淨水淤泥餅之粒徑分佈狀況相當接近，其顆粒粒徑甚為細小。平時時期淨水淤泥餅之粒徑分佈約為 0.5~70 $\mu\text{m}$ ， $d_{(50)}$ 為 6.2 $\mu\text{m}$ ；颱風時期淨水淤泥餅之粒徑分佈約為 0.5~110 $\mu\text{m}$ ， $d_{(50)}$ 為 10.3 $\mu\text{m}$ ，顯示颱風時期之淤泥餅粒徑較平時時期稍大，其應為颱風高濁度水勢較湍急可夾帶較大顆粒之土壤與黏土而使得颱風時期之淨水淤泥餅粒徑較平時稍大。

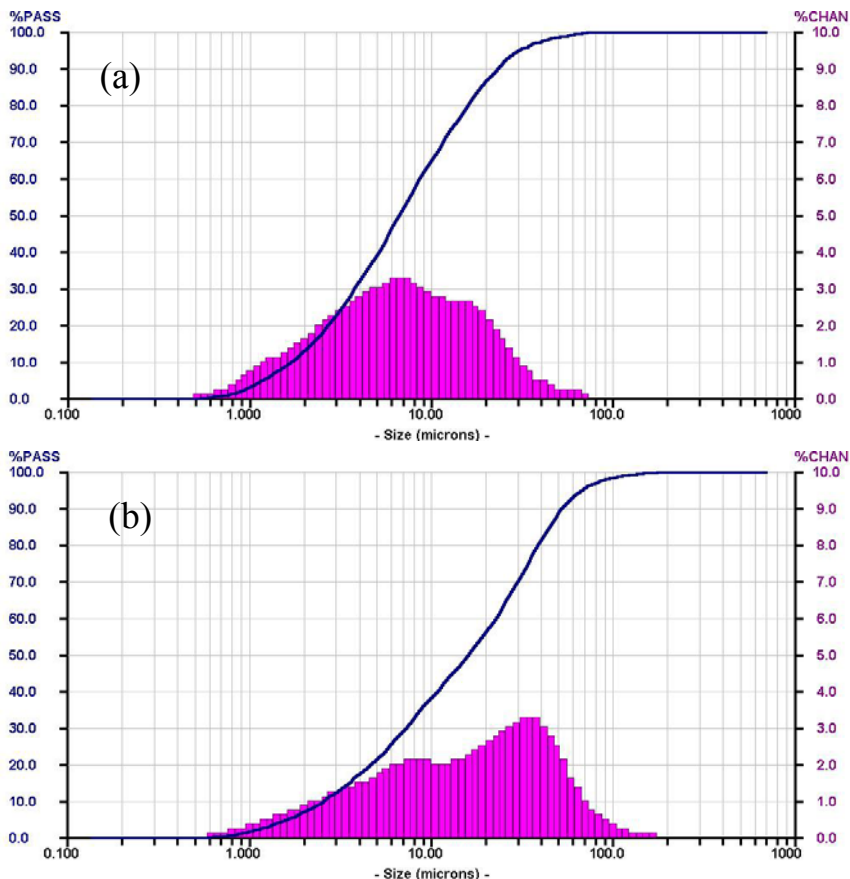


圖 6.3-1 淨水淤泥餅之粒徑分析(a)平時時期(b)颱風時期

#### 4. X 光繞射分析

將平時淨水淤泥餅與颱風淨水淤泥餅進行X光繞射分析，以了解平時淨水淤泥餅與颱風淨水淤泥餅之晶相組成，其結果如圖6.3-2所示。由X光繞射分析結果可知，淨水淤泥餅存在石英(Quartz)、綠泥石(Chlorite Serpentine)、伊萊石Illite及鐵輝石(Ferrosilite)等結晶相，皆為地表上常見之黏土礦物，此係因淨水淤泥餅為原水經由地表土壤沖刷或河川夾帶大量黏土礦物，再經由淨水場混凝沉積而產生，因此含有大量黏土之結晶相。

此外，比較平時淨水淤泥與颱風淨水淤泥之晶相組成，由結果得知，不同時期之淨水淤泥餅其晶相組成無改變，其晶相皆為石英、綠泥石、鐵輝石與伊萊石。其可能原因為直潭淨水場之淤泥餅為固定原水經由地表土壤沖刷夾帶之黏土礦物，再經由淨水場混凝沉積產生，因此平時時期淤泥餅與颱風淤泥餅之晶相相同。

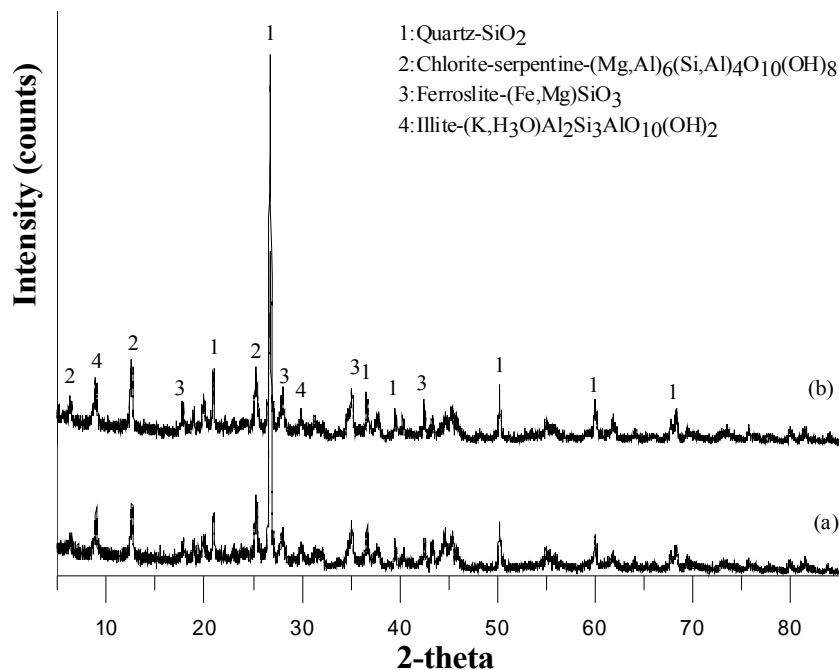


圖 6.3-2 淨水淤泥餅之 X 光繞射分析(a)平時時期(b)颱風時期

#### 5. FTIR 分析

將平時之淨水淤泥餅及颱風淨水淤泥餅進行 FTIR 分析，主要目

的是要了解淨水淤泥餅其化學鍵結形式，同時可用於比較後續製成 CLSM 結構之變化。平時之淨水淤泥餅及颱風淨水淤泥餅之 FTIR 分析結果如圖 6.3-3 所示，圖中顯示平時淤泥餅與颱風淤泥餅分別約在  $984\text{cm}^{-1}$  與  $987\text{cm}^{-1}$  出現明顯穿透峰，根據文獻可知，此應為 T-O 鍵 (T 代表 Si 或 Al) 之非對稱伸張振動穿透峰，在  $694\text{cm}^{-1}$ 、 $558\text{cm}^{-1}$  應為 Si-O-T 鍵之對稱伸張振動穿透峰，而  $798\text{cm}^{-1}$  則為純  $\text{SiO}_2$  之 Si-O-Si 鍵非對稱伸張振動穿透峰。另外，平時淤泥餅與颱風淤泥餅約在  $3450\text{cm}^{-1}$  皆出現穿透峰，其應為淤泥餅於乾燥後又再度受潮而形成之 O-H 鍵穿透峰。由淨水淤泥餅之元素組成可知，淨水淤泥餅中含有矽、鋁等氧化物，因此淨水淤泥餅之 FTIR 中可測得 Si-O 或 Al-O 等鍵結特徵峰。此外，比較平時淨水淤泥與颱風淨水淤泥之化學鍵結，由結果得知，不同時期之淨水淤泥餅其化學鍵結無太大改變，其化學鍵結晶相皆為 Si-O 或 Al-O 等鍵結特徵峰。

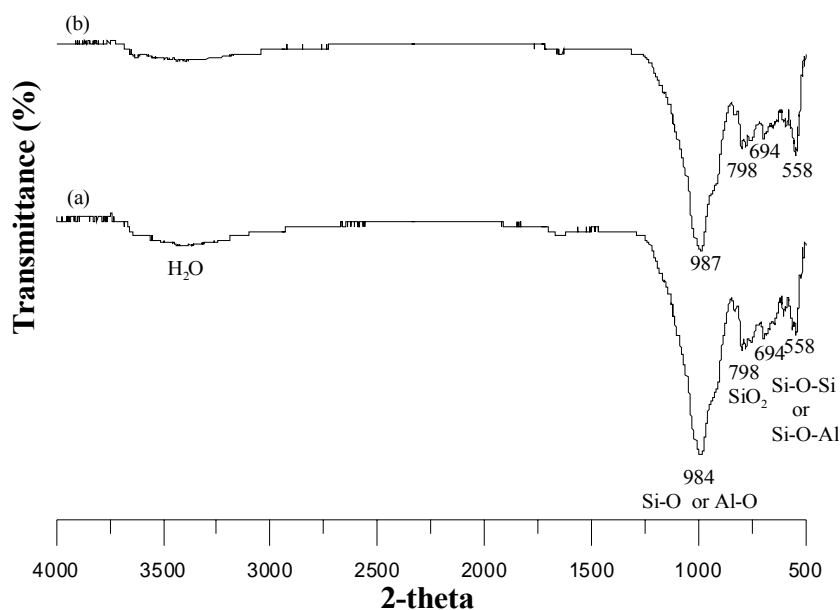


圖 6.3-3 淨水淤泥餅之 FTIR 分析(a)平時時期(b)颱風時期

## 6.4 淨水淤泥餅應用於 CLSM 之特性分析

### 1. 毒性特性溶出試驗(TCLP)

此部分亦參考環保署環檢所 NIEA R201.13C 之方法，表 6.4-1 為水灰比 3.0 及淤泥取代比 10%所合成 CLSM 之毒性特性溶出試驗結果，由結果顯示新鮮污泥中重金屬 Pb、Zn、Cr、Cd、Cu 之溶出量均符合毒性特性溶出試驗，且 CLSM 中重金屬 Zn 之溶出量小於儀器偵測極限。

表 6.4-1 淨水淤泥餅合成 CLSM 之 TCLP 試驗

	溶出濃度 (mg/L)				
	Pb	Zn	Cr	Cd	Cu
CLSM	0.095	ND	0.027	0.002	0.016
TCLP 標準值	5.0	25	5.0	1.0	15

### 2. 管柱溶出試驗(Column leaching test)

由於我國對於 CLSM 沒有重金屬之規範，因此引用在荷蘭評估垃圾焚化底渣再利用，可能會對環境產生危害，是利用管柱溶出試驗方法，而目前荷蘭是以 NEN7343 作為規範底渣再利用之管柱溶出試驗方法。此試驗主要目的是透過管柱試驗來模擬粒狀廢棄物於短，中期 (< 50 years) 過程中，無機物的溶出情形。若是使用於評估底渣再利用可能對環境造成危害，可模擬底渣再利用於填土、道路補材、路基等工程時，受到酸雨淋滲作用，會使底渣中重金屬及鹽類等物質之溶出情況，以可了解底渣中污染物溶出與淋滲水量之相關性，可進一步控制污染物之溶出，以此保護土壤及地下水的目的。本計劃亦使用 NEN7343 來對新鮮的水庫污泥及 CLSM 進行實驗，監測重金屬鉛、鎘、鉻、銅、鋅及鎳

表 6.4-2 為在水灰比 3.0 及淤泥取代比 10%所合成之 CLSM 管柱溶出試驗數值，由表可知 CLSM 之重金屬溶出濃度隨流經水量的增

加而遞減，而其中鉻與銅為主要溶出之重金屬，其銅主要溶出多集中於後期，可能是重金屬間有互相競爭作用，造成初期其他金屬有較高的溶出量。

表 6.4-2 CLSM 管柱溶出試驗

	操作階段						
	1	2	3	4	5	6	7
液固 比	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	5.0-10.0
Pb	0.0118	0.0057	0.0057	-	-	-	-
Cd	0.0013	ND	ND	-	-	-	-
Cr	0.0634	0.0065	0.0065	-	-	-	-
Cu	0.1670	0.0028	0.0028	-	-	-	-
Zn	ND	ND	ND	-	-	-	-
Ni	0.0053	ND	ND	-	-	-	-

ND : Not Detected

單位 : mg/L

表 6.4-3 為將上表內各種金屬之溶出濃度換算成溶出量，經由累加後與荷蘭營建材料法令 Building Material Decree (BMD) 之規定數值來做比較，由表可知，CLSM 之金屬溶出數值，均遠小於 BMD 的規範數值，若要更精確的來做比較，可將管柱實驗的時間拉長，並取多組實驗點，經由時間與金屬累積溶出量做圖，回歸後外插，即可模擬出 CLSM 在 100 年後重金屬的總溶出量，並藉此做更精確之比較與探討。由此節及上節的實驗數據可初步推論，利用淨水淤泥餅合成 CLSM，並不會造成重金屬溶出的二次危害。

表 6.4-3 CLSM 重金屬溶出量與 BMD 規範數值

金屬	BMD 溶出規定 (mg/ m <sup>2</sup> per 100years)	CLSM 之溶出量 (mg/ m <sup>2</sup> per 100years)
Pb	1,275	1.445
Cd	12	0.036
Cr	1,500	3.056
Cu	540	5.235
Zn	2,100	ND
Ni	525	0.006

### 3.X 光繞射分析

將參配條件為水灰比 3.0，泥餅取代量 10%製成之 CSM 進行 X 光繞射分析，以了解 CLSM 之晶相組成，其結果如圖 6.4-1 所示。由 X 光繞射分析結果可知，CLSM 存在 Quartz [SiO<sub>2</sub>]、Chlorite Serpentine [(Mg,Al)<sub>6</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]、Illite [(K,H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>] 及 Ferrosilite[(Fe,Mg)SiO<sub>3</sub>]等結晶相，皆為淨水淤泥餅存在之結晶相，其應為添加淤泥餅所產生之晶相。此外，亦含有碳酸鈣之晶相，此應為水泥中含鈣之成分與空氣產生氧化反應所形成之晶相。

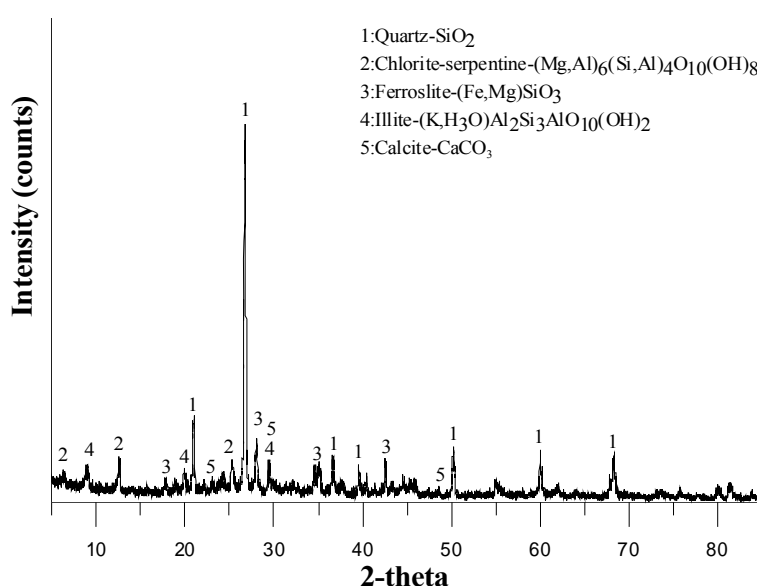


圖 6.4-1 水灰比 3.0，淨水淤泥餅添加 10%CLSM 之 X 光繞射分析

#### 4. FTIR 分析

將參配條件為水灰比 3.0，泥餅取代量 10% 製成之 CSM 進行 FTIR 分析，以了解以淨水淤泥餅取代細骨材製成之 CLSM 其化學鍵結結構，其結果如圖 6.4-2 所示。由圖顯示 CLSM 約在  $992\text{ cm}^{-1}$  出現明顯穿透峰，此應為 T-O 鍵(T 代表 Si 或 Al)之非對稱伸張振動穿透峰，在  $694\text{ cm}^{-1}$ 、 $550\text{ cm}^{-1}$  應為 Si-O-T 鍵之對稱伸張振動穿透峰，而  $798\text{ cm}^{-1}$  則為純  $\text{SiO}_2$  之 Si-O-Si 鍵非對稱伸張振動穿透峰。由此結果得知 CLSM 主要是以 Si-O 與 Al-O 等化學鍵結存在，此外約在  $1415\text{ cm}^{-1}$  出現之穿透峰應為 C-O 化學鍵結，根據前述 XRD 結果，此應為碳酸鈣晶相之 C-O 化學鍵結產生之穿透峰。

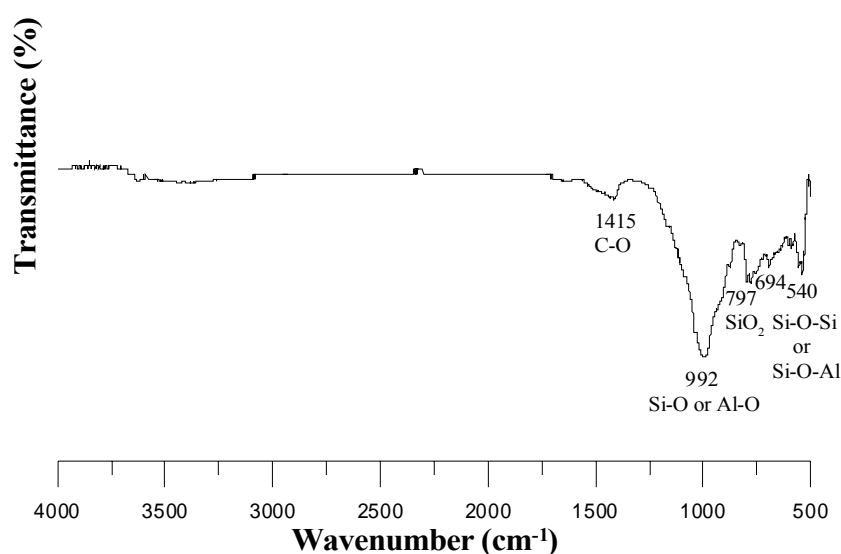


圖 6.4-2 水灰比 3.0，淨水污泥添加 10%CLSM 之 FTIR 分析

#### 5. SEM 顯微分析

圖 6.4-3 為水灰比 3.0，淨水污泥添加 10% 製成 CLSM 之 SEM 分析，由圖可知以參配淨水淤泥餅製成之 CLSM 之外觀呈現片狀且鬆散多孔洞之結構，而由 XRD 晶相結果顯示淤泥餅中含有綠泥石及伊萊石等黏土之晶相，而綠泥石及伊萊石為層狀之矽酸鹽結構，因此添加淤泥餅製成之 CLSM 呈現鬆散之形貌。

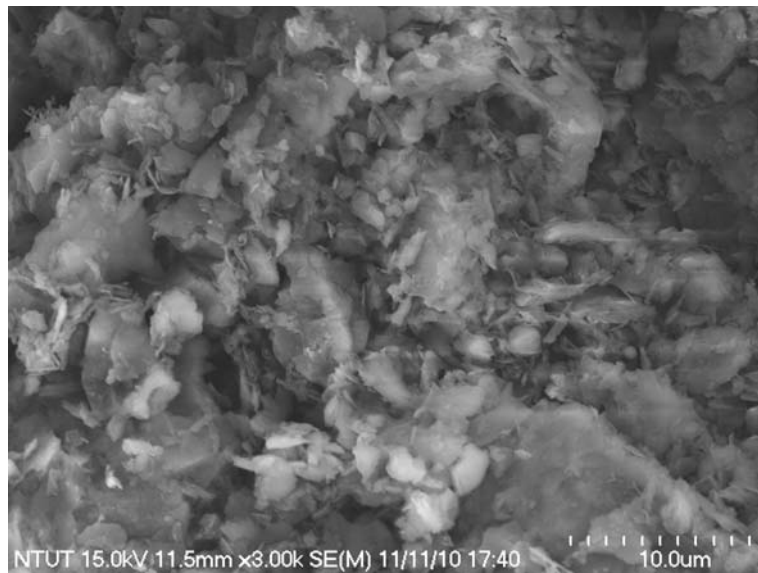
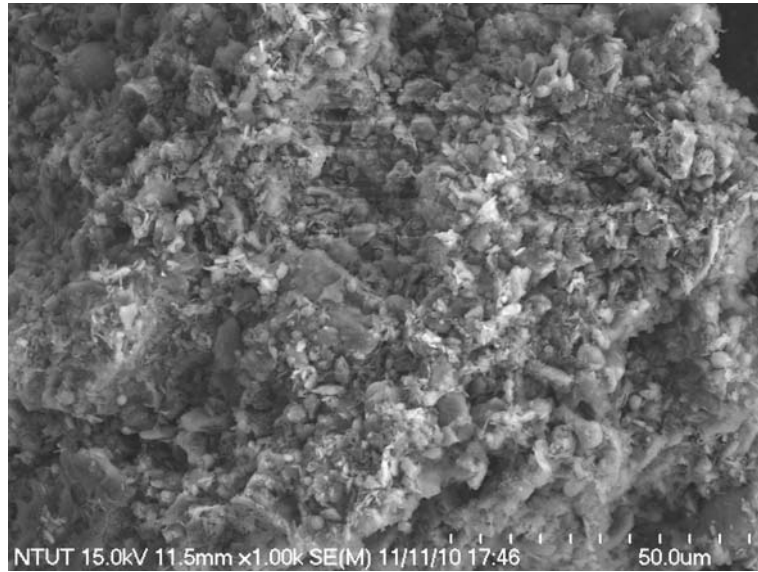


圖 6.4-3 水灰比 3.0，淨水淤泥餅添加 10%CLSM 之 SEM 分析

## 6.5 淨水淤泥餅應用於 CLSM 之成本效益分析

本研究參考臺灣營建研究院所出版之營建物價（2006）、楊新乾（1999）以及臺北市政府工務局（2006）所編纂之工料單價分析手冊，來進行製作 CLSM 時所使用原料之成本估算，並參考吳坤達(2006)的估算方法，代入本研究之水灰比 1.0、淤泥取代比 10%及早強劑 0.5% 之研究數據，進而得到每單位體積 CLSM 的總價格，並與回填工程中常採用之  $140\text{kgf/cm}^2$  強度的預拌混凝土材料每單位體積之單價來做比較，其估算出來的結果如表 6.5-1 所示。

表 6.5-1 CLSM 成本估算

使用材料	單位	單價(元)	單位用量 (kg/m <sup>3</sup> )		單位用量價格 (元/m <sup>3</sup> )	
水	kg	0.02	250		5	
水泥	kg	3.00	250		750	
飛灰	kg	0.50	70		35	
細粒料	kg	0.56	1125		630	
粗粒料	kg	0.80	400		320	
淤泥	kg	-0.55 <sup>(扣除處置費用)</sup>	125		-68.75	
早強劑	kg	30.0	0 <sup>(未使用早強劑)</sup>	10	0	300
拌合費	-	30.0	1		30	
零星工料	-	20.0	1		20	
總計	-	-	-		1721.25	2021.25
140kgf/cm <sup>2</sup> 混凝土	m <sup>3</sup>	1670	-		-	

由上表可知本研究所製成之未加早強劑 CLSM 單位體積價格略高於  $140\text{kgf/cm}^2$  混凝土單位體積單價，而早強劑雖對初凝時間有顯著的提升，但因單價昂貴，故提高添加量時會很明顯的反應在成本上面，未來在實用上，必須多加斟酌早強劑的添加情況。

此外，因為淤泥不需成本，故提高淤泥取代比時，製作出來之 CLSM 價格會隨著下降，若以現今淨水淤泥之處置費用(含儲存、掩埋等)約為每公噸 550 元，若將淨水淤泥合成 CLSM，除了其本身的價值外，更可節省淨水淤泥的處置費用，再者廢棄的淨水淤泥所產生的環保問題，也一併減小，其所帶來的正面效益，的確是難以估計。故以淨水淤泥合成 CLSM 來取代一般傳統的回填材料，的確有其經濟效益及發展潛能存在。

## 第七章 結論與討論

### 7.1 結論

1. 本研究淨水淤泥組成以矽、鋁、鐵、鉀、鈉、鈣等物質之氧化物為主要成份，而氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ) 含量最高 (53.2%)，並存在著 Quartz [ $\text{SiO}_2$ ]、Chlorite Serpentine [ $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ] 及 Illite [ $(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ] 等結晶相，外觀因石英之晶體結構呈現片狀之形態。而 TCLP 溶出濃度顯示，其中之重金屬濃度以 Zn 2.68mg/L 最高，其次為 Cu 1.089 mg/L 及 Pb 0.20 mg/L。物化特性方面，淨水淤泥餅之 pH 值為 6.5，含水率為 32.69 %，灼燒減量為 8%，粒徑分佈自 0.5~70 $\mu\text{m}$ ，平均粒徑為 6.2 $\mu\text{m}$ 。
2. 使用未烘乾之原廠淨水淤泥餅進行合成 CLSM 之工作性較佳；而混拌時先將淨水淤泥餅加水預拌，其他原料經過乾式的混拌後，再一同加入水中所製成 CLSM 之效果會較佳。本研究以水灰比 1.0、淨水淤泥取代比 10%、早強劑添加量 5% 所製成之 CLSM，其工作性、初凝時間、24 小時抗壓強度皆能符合台北市工務局的規範。
3. 颱風過後所採樣之淨水淤泥，其重金屬 Pb、Zn、Cu 含量較一般時期減小；而 Cr、Cd 含量則增加。物化組成除了平均粒徑稍微增加外，其 pH 值、含水率、灼燒減量並沒有太大的改變；晶相主要仍以石英 (Quartz)、綠泥石 (Chlorite Serpentine)、伊萊石 (Illite) 及鐵輝石 (Ferrosilite) 為主；化學鍵結主要仍為 Si-O 或 Al-O。
4. 以水灰比 3.0 及淤泥取代比 10% 合成之 CLSM 進行 TCLP 測試，其重金屬之溶出量為 Pb 0.095(mg/L)、Cr 0.027(mg/L)、Cd 0.002(mg/L)、Cu 0.016(mg/L)，均小於國內所規範之數值；而管柱試驗模擬出的 CLSM 之重金屬溶出總量，亦遠小於 BMD 之規範數值，可知以淨水淤泥製成 CLSM，並不會對環境造成二次污染。

5. 以水灰比 1.0 及淤泥取代比 10%合成之 CLSM 單價估計為未加早強劑 1721.25(元/m<sup>3</sup>)及有加早強劑 2021.25(元/m<sup>3</sup>), 雖高於回填工程中常採用之 140kgf/cm<sup>2</sup> 強度的預拌混凝土材料之單價 1670(元/m<sup>3</sup>), 若將淨水淤泥再利用, 除節省淨水淤泥之處置費用外, 亦可解決其帶來的環保問題與降低衍生的社會成本。

## 7.2 建議

1. 為了使 CLSM 之初凝時間達到標準, 本研究在摻配過程中加入較高比例之早強劑, 但也直接造成了製成的 CLSM 單價上升。未來視應用情況要求, 可考量施工地段是否有快速通車之急迫性, 而調整在摻配過程中加入之早強劑比例, 亦或是搭配預鑄型 CLSM 使用, 以降低成本。

2. 未來視預鑄型CLSM之應用情況, 可對於其組成配比稍做變動, 以降低其工作性但卻有較強的材料抗壓強度。

3. 除了事先將淤泥預拌, 也可嘗試在其中加入去凝劑, 以加強淨水淤泥餅之分散性, 使製成之CLSM更為均勻。

4. 加入早強劑CaCl<sub>2</sub>後初凝時間的確有顯著之提昇, 但也因此大幅地提昇了CLSM之強度, 導致在長時間的養護時間(28天)後抗壓強度過高, 如此則增加了往後開挖時之困難度。在此可考慮將添加之水泥量降低, 使之強度稍降; 亦或是可選擇其他種類之化合物, 作為早強劑之應用。

### 參考文獻

- Achtemichuk, S., Hubbard, J., Sluce, R. and Shehata, M.H., The utilization of recycled concrete aggregate to produce controlled low-strength materials without using Portland cement, *Cement & Concrete Composites*, Vol.31, 2009, p564–569
- Babatunde, A. O. and Zhao, Y. Q., Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses, *Environmental Science and Technology*, Vol.37, 2007, p129-164 .
- Basta, N. and Dayton, E. A., Characterization of Drinking Water Treatment Residuals for Use as a Soil Substitute, *Water Environment Research*, Vol.73, No.1, 2001, p52-57
- Catherine, A., John, L., Grant, C. and Jannie, S.J., The mechanism of geopolymer gel formation investigated through seeded nucleation, *Colloids and Surfaces A: Physicochem and Engineering Aspects*, vol. 318, 2008, p97-105.
- Cheeseman, C. R. and G. S., Viridi, Properties and Microstructure of Lightweight Aggregate Produced from Sintered Sewage Sludge Ash, *Conservation and Recycling*, Vol. 45, 2005, p18-30.
- Chiang, K.Y. and Chou, P.H., Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks, *Journal of Hazardous Materials*, Vol.171, 2009, p76-82.

- Guan, X.H., Chen, G.H. and Shang, C., Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage, *Water Res.*, Vol.39, 2005, p3433-3440.
- Huang, C. and Pan, J.R., Mixing water treatment residual with excavation waste soil in brick and artificial aggregate-making, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, vol.131, 2005, p272-277.
- Mun, K.J., Development and Tests of Lightweight Aggregate Using Sewage Sludge for Nonstructural Concrete, *Construction and Building Materials*, Vol.21, 2007, p1583-1588
- Nataraja, M.C. and Nalanda, Y., Performance of industrial by-products in controlled low-strength materials (CLSM), *Waste Management*, Vol.28, 2008. p1168–1181.
- Novak, J.T., Dewatering of Sewage Sludge, *Drying Technology*, Vol.24, No.10, 2006, p1257-1262.
- Peters, J.M. and Basta, N.T. Reduction of Excessive Bioavailable Phosphorus in Soils by Using Municipal and Industrial Wastes, *Journal of Environmental Quality*, Vol.25, No.6, 1996, p1236-1241.
- Razak, H. Abdul. ; Naganathan, S. and Abdul Hamid, S. N. , Performance appraisal of industrial waste incineration bottom ash as controlled low-strength material, *Journal of Hazardous Materials*, Vol.172, 2009, p862–867
- Siddique, R. and Noumowe, A., Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.53, 2008, p27–35
- Turkel, S., Long-term compressive strength and some other properties of controlled low strength materials made with pozzolanic cement and Class C fly ash, *Journal of Hazardous Materials B*, Vol.137, 2006, p261–266

- Taha, R.A. ;Alnuaimi, A.S.; Al-Jabri, K.S.and Al-Harthy, A.S., Evaluation of controlled low strength materials containing industrial by-products, Building and Environment, Vol.42, 2007, p3366–3372
- Trejo, D. ; ASCE, M.; Folliard K. and Du, L. , Alternative Cap Materials for Evaluating the Compressive Strength of Controlled Low-Strength Materials, Journal of materials in civil engineering, 2003, p484-490
- Turkel, S., Strength properties of fly ash based controlled low strength materials, Journal of Hazardous Materials, Vol.147, 2007, p1015–1019
- Westerhoff, G.P. and Cornwell, D.A., Lime Softening Sludge Treatment and Disposal, Proceedings - AWWA Annual Conference, 1981, p167-194.
- Wu, C.H.; Lin, C.F. and Horng, P.Y., Adsorption of Copper and Lead Ions onto Regenerated Sludge from a Water Treatment Plant, Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, Vol.39, No.1, 2004, p237-252.
- Yang, Y.; Tomlinson, D.; Kennedy, S. and Zhao, Y.Q., Dewatered Alum Sludge: A Potential Adsorbent for Phosphorus Removal, Water Science and Technology, Vol.54, No.5, 2006, p207-213.
- Zamora, R., Ceron, R.M. and Alfaro, O., Valorization of drinking water treatment sludges as raw materials to produce concrete and mortar, American Journal of Environmental Sciences, Vol.4, 2009, p223-228.
- 中國鋼鐵公司，中鋼轉爐石之長期穩定與環境相容性探討期末報告，2005
- 中國鋼鐵公司，以歐盟 pH 關聯性溶出試驗(TS14429)探討轉爐石之溶出特性，中國鋼鐵股份有限公司研究報告，2009
- 台北市政府工務局，99 年統計年報，2010
- 台北自來水事業處，97 年統計年報，2008
- 台北自來水事業處，淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水場可行性評估，2001。

台灣自來水公司，自來水公司淨水污泥自資資源化之研究報告，2008。

台灣省自來水公司，自來水淨水場脫水污泥再利用可行性研究期中報告，2002。

台灣營建研究院，高性能回填材料(CLSM)產製，2002

台灣營建研究院，高性能回填材料(CLSM)應用，2001

江奇成，電弧爐煉鋼還原渣與鑄件廢料摻用於混凝土再生材之模式研究，碩士論文，國立台灣科技大學，2004

江康鈺，陳宜晶，簡光勵，淨水污泥燒製磚材之材料特性研究，自來水會刊第二十三卷第三期，2003，第 38-48 頁。

余德全，臺灣南部地區剩餘土拌合之控制性低強度材料於回填工程應用之探討，碩士論文，屏東科技大學土木工程學系，2001。

吳坤達，下水道污泥作為道路基底層及 CLSM 材料之工程特性研究，碩士論文，成功大學資源工程學系，2006。

李維鋒，控制性低強度材料於土木工程應用之研究，內政部營建署，2002

林志杰，應用電弧爐氧化渣於高性能低強度材料之研究，碩士論文，淡江大學土木工程學系，2003。

林東燦，污泥類廢棄物取代部分水泥原料燒製環保水泥之可行性研究，碩士論文，國立中央大學環境工程研究所，2006。

胡志誠，焚化廠底灰應用於工程回填材料之環境安全性研究，碩士論文，台灣大學土木工程學研究所，2003。

紀宗男，淨水污泥餅資源化應用於管溝回填材料之研究，碩士論文，淡江大學土木工程學系，2003。

翁明偉，脫硫渣與水淬爐石資源化於無水泥 CLSM 可行性之研究，碩士論文，國立高雄應用科技大學，2006

康世芳，淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水場可行性評估期末報告，台北市自來水事業處，2001。

- 張添晉，淨水處理廠廢污處理技術之研究，中華民國自來水協會，1997。
- 陳寬叡，CLSM 材料實務應用與經濟效益分析—「以大台中地區管線工程為例」，朝陽科技大學，2007
- 黃昭貴、劉志成、張維欽，含磷污泥與鋁鹽污泥之共調理脫水，中華民國環境工程學會第三十屆廢水處理技術研討會，2005。
- 黃陳佑，廢玻璃摻入可控制性低強度混凝土之配比研究，碩士論文，嘉南藥理科技大學，2007
- 葉樺姿，水庫淤泥應用於流填料之探討，碩士論文，中華大學土木工程學系，2007。
- 廖明聰，以淨水污泥做為綠美化用地之土壤改良劑，碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系，2004。
- 鄭宏德，自來水淨水場脫水污泥資源再利用可行性研究，第十九屆自來水研究發表論文集，2002。

附錄

臺北自來水事業處委託研究案報告修訂說明表

1.期中報告修訂說明表

委託研究名稱	淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM 之評估				
提議單位人員及意見內容	報告初稿原內容	頁次	報告修正後內容	頁次	備註
羅副局長俊昇	1.因台北市交通特性，工程施工須避開交通尖峰時間，故針對 CLSM 材料之初凝時間須再多加探討。		1.目前實驗僅以工作及抗壓強度作為 CLSM 材料初步實驗參考指標，未來實驗將會針對此部分多加探討，並於期末報告內容說明。		
	2.現場管溝施工，如可以預鑄型 CLSM 結合現場拌製之 CLSM，可縮短施工時間並提供足夠之承載力，惟因有運送過程中碎裂之疑慮，故 CLSM 之強度可再增加。		2.感謝建議與指導，本研究團隊將參考此部分意見納入預鑄型 CLSM 之相關實驗探討。		
	3.請確認本實驗淨水淤泥餅製成 CLSM 之製程，所使用之摻料及製程是否為 CLSM 材料之正確製程。		3.本實驗所使用之 CLSM 材料與製程係參考台灣營建研究院叢書製作，故應為正確之 CLSM 製程。		
	4.如淨水淤泥餅製成 CLSM 於工程現場實務拌合時之條件及品質如何控管？		4.此部分將於期末報告中之建議事項內酌予討論。		

林教授樹豪	1. 報告書內 p39、p48 之圖 39、 3.4，請修正為表 3.7-4，48、 及 p67~68 之圖座標相 67~6 反，請修正。 8	1. 已修正於期中報告定稿 中。	39、 48、 67~6 8	
	2. 計畫書中參考文獻，紀宗男 碩論年份請修正；本計畫 與紀宗男之碩論研究題 目相似，於實驗內容有何 不同之處？	2. 本實驗 CLSM 所使用之淤 泥及骨材並無烘乾也無 添加輸氣劑，而紀宗男 碩論內容使用之材料皆 已烘乾並添加輸氣劑且 未使用粗骨材。		
	3. CLSM 材料其塑性指數越 65 高，CLSM 拌合時間越 長，因此請說明實驗拌合 時間。	3. 已修正於期中報告定稿 p65 中。	65	
	4. 報告書內 p5 之研究進度甘 5 特圖，缺少添加藥劑之實 驗，且實驗於何時進行， 請修正並說明。	4. 已修正於期中報告定稿 5 中。另此部分實驗結果 將於期末報告中呈列。		
沈教授得縣	1. 期中報告格式缺少摘要及 初步結論及建議，請補充 說明。	1. 期中報告格式將依主辦單 位所要求之格式撰寫修 正。		
	2. 期中報告中之錯別字，如 27 p27 交區→郊區等，及流 度、管流度，前後名詞不 一致，請修正。	2. 已修正於期中報告定稿 中。	27	
	3. 報告書內規劃之期末報告 格式不同於一般格式，請 斟酌一般常用格式修正。	3. 期末報告格式將依主辦單 位所要求之格式撰寫修 正。		

	4. CLSM 材料主要著重於工作性、初擬時間、配比及抗壓強度等，因此若採用預鑄型 CLSM，其衍生之材料運送、回填施工及品管問題應加以探討。		4. 此部分將於期末報告中之建議事項內酌予討論。		
	5. 因 CLSM 應用於管線工程回填，應考慮回填之後仍有鋪面底層及面層施工，因此 CLSM 之工程特性應加入落球強度試驗、一天抗壓性質測試及凝結時間記錄，盡可能符合 p34 相關規範之要求。		5. 感謝指導。此部分實驗結果將於期末報告中呈列。		
	6. 本計畫第 6 項探討洪水過後之淤泥餅應用於 CLSM 之影響，因不確定洪水產生之時間，因此研究單位可與主辦單位協調以模擬高濁度淤泥方式進行實驗分析。		6. 此部分將再與主辦單位協調之。		
	7. 淨水淤泥餅製成 CLSM 之品質管理是否有施工規範？		7. 感謝指導。此部分可能將於期末報告中之建議事項內酌予討論。		
台北市工務局	1. 針對相關工程使用 CLSM 之需求量統計，將盡可能協助提供相關資訊，可以		1. 感謝台北市工務局之參與協助。		

	<p>管路挖掘長度 8 公尺以上或以下之工程數量進行 CLSM 需求推算。</p>				
	<p>2. 雨水及污水下水道之管溝工程是以推進方式進行工程，無使用 CLSM 材料，故請修正 p28。</p>	28	<p>2. 已修正於期中報告定稿中。</p>	28	
台北自來水事業處淨水科	<p>1. 淨水淤泥餅之含水率是否對拌製 CLSM 有影響。</p>		<p>1. 依目前實驗結果顯現淨水淤泥餅含水率會對拌製 CLSM 造成影響，此部分結果將於期末報告討論之。</p>		
	<p>2. 實驗內容目前作至 10% 取代比例，是否有更高之淤泥取代比例?</p>		<p>2. 未來將會規劃 30% 取代比例實驗。</p>		
	<p>3. 目前淨水淤泥應用於磚廠及水泥廠，其處理費為 500~600，如應用於 CLSM 是否可降低處理費，增加經濟效益，且單一工廠是否有能力消化目前淨水淤泥餅量，另 CLSM 取代細粒料是否有其經濟優越處。</p>		<p>3. 此部分將於期末報告之成本效益分析中討論之。</p>		
	<p>4. 洪水過後之淨水淤泥餅可與主辦單位協調濁度 500~ 600 時產生之淤泥餅或仍須為原水濁度</p>		<p>4. 此部分將再與主辦單位協調之。</p>		

	5000~6000 時產生之淤泥餅。				
台北自來水事業處技術科	1. CLSM 實驗請符合台北市政府工務局之規範，並請增強一天抗壓強度，達到 7 kgf/cm <sup>2</sup> 標準。		1. 未來實驗將添加早強劑拌製 CLSM 以提高抗壓強度達到台北市政府工務局之規範要求。		
	2. p58 抗壓試體請依營建署研究採用 15*30cm 圓柱體，而非 5*10cm 圓柱體	58	2. 已修正於期中報告定稿中。	58	
	3. 未來淨水淤泥餅製作 CLSM 材料之研究請朝縮短初凝時間及增強抗壓強度方向進行。		3. 感謝指導與建議。		
	4. p3 1.2-4、「工程」應修改為「工程材料」。	3	4. 已修正於期中報告定稿中。	3	
	5. p6 3.1「4.3 萬公噸」應修改為「6.8 萬公噸」併同修訂台灣區年產量與圖。	6	5. 已修正於期中報告定稿中。	6	
	6. p26 「養工處」改為「新建工程處」	26	6. 已修正於期中報告定稿中。	26	
	7. p30「台灣自來水」改為「臺北自來水」。	30	7. 已修正於期中報告定稿中。	30	
	8. p31 「91.01」改為「97.01」	31	8. 已修正於期中報告定稿中。	31	
	9. p32「師工說明書」改為「施工說明書」	32	9. 已修正於期中報告定稿中。	32	
	10. p67 圖座標軸 X、Y 錯誤	67	10. 已修正於期中報告定稿	67	

			中。		
	11. 預鑄型 CLSM 可行性之規劃方向為何?		11. 此部分將於期末報告中之建議事項內酌予討論。		
	12. 淨水淤泥再利用得以個案再利用或通案再利用,何者合適?		12. 目前淨水淤泥再利用可以通案再利用方式進行 CLSM 之應用,此部分將於期末報告中之建議事項內討論。		
	13. 表 3.4-5 請補充相關規範正確名稱。	35	13. 已修正於期中報告定稿中。	35	
	14. p48 L8 燒結污泥作為 CLSM 材料其經濟性較差, L11 就經濟觀點來看, 將燒結污泥作為 CLSM 材料已相當於傳統混凝土價格, 甚至更低」前後文代表意義為何?	48	14. 已修正於期中報告定稿中。	48	
	15. p49 表 3.7-4 中「淤泥取代粉土」粉土是否為粒料?	49	15. 就該文獻而言粉土為自然土壤分類中之粉土。	49	
	16. p52 試驗材料飛灰之基本材料特性為何?採用 F 類、C 類??(一般分 class C 及 class F, 另有 N、C、F 3 種分類, 含鈣量高 (CaO) 卜作蘭反應較快, 早期強度較高, class F 含	52	16. 已修正於期中報告定稿中。	52	

	鈣量較低(CaO)卜作蘭反應較慢，早期強度較低，class C 一般不易取得)				
17. p53	試驗材料粒料之基本性質為何?(粒徑分布，物理性質(吸水率、細度模數 F.M.)	53	17. 已修正於期中報告定稿中。	53	
18. p58	抗壓試體採用 5*10CM 圓柱試體建議依營建署之研究採用 15*30cm 圓柱試體。	58	18. 已修正於期中報告定稿中。	58	
19. p66	L6 水分之析離現象非水分析離，應為漿體與粒料析離。	66	19. 已修正於期中報告定稿中。	66	
20. p67~68	圖 5.2-2~4 建議修改為平面直方圖並增加參考橫軸。	67~68	20. 已修正於期中報告定稿中。	67~68	

## 2. 期末報告修訂說明表

委 託 研 究 名 稱	淨水淤泥餅應用於管線工程回填—CLSM 之評估				
提議單位人員 及意見內容	報 告 初 稿 原 內 容	頁次	報 告 修 正 後 內 容	頁次	備 註
羅副局長俊昇	1. 本研究所使用之淤泥為採樣 2 次取得，以 2 次的採樣樣本即可認定其化學組成之穩定度？		1. 因淨水廠淤泥處理採批次進行，在淤泥堆中含有多批來自於不同時間環境之淤泥，而現場採樣時為多點採樣，盡量提升樣品之多樣性及穩定度代表性。		
	2. 實驗運作中淤泥之含水率如何掌握？及實場運用上的品管控制？		2. 本研究使用之淤泥經採樣後均立即妥善保存，以防止其水分之散逸；實用上則可在混拌時再於淨水場取新鮮之淤泥，以確保其淤泥含水率之原始性。		
	3. CLSM 本身之化學成分對地下掩埋之管溝管材之影響？		3. CLSM 之主要成份來自於其原料，為矽、鋁等氧化物，故對管溝管材不會造成影響。		
	4. 如何提升 CLSM 樣品之初凝時間？(如添加早強劑或其他種類之藥品)		4. 感謝建議與指導，此部分於期末報告定稿中討論且已有顯著成效。		
	5. 預鑄型 CLSM 其製成之條件操控與建議？		5. 感謝建議與指導，此部分於期末報告定稿中討		

			論。		
	6.CLSM 技術於商業實場上的運用性?		6.CLSM 之自填性對於難使用機具外力填料的環境(如管溝等)具有相當大的潛能，且可因應不同之需求，於配製時調整其配比來得到不同之抗壓強度或工作性質。		
林教授樹豪	1.P.53 之粗骨材改成細骨材，另細骨材之含水率可能太高。	53	1.感謝建議與指導，已修正於期末報告定稿中。本研究使用之細骨材經購買後均立即妥善保存，故其含水率為原始之狀態。	53	
	2.P.63 淤泥之比重試驗，兩次採樣的數據結果大不相同，需再確認，污泥的拌合條件與情形也須多加描述，因拌合效果可能影響很大。	63	2.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中做拌合條件的探討。	63	
	3.P.67 初凝時間不合預期與規範。	67	3.因此部分使用之水灰比太高，造成初凝時間過長，其合成配比已於期末報告定稿中修正。	67	
	4.P.69 文中水灰比 2.5 之效果太差，可不予考量。	69	4.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。	69	
	5.P.69 圖與文中描述不符，圖	69	5.感謝建議與指導，此部分	69	

	的表現和文字的推論並沒有反應出明顯的趨勢，應該進行統計方面的評定。		已於期末報告定稿中修正。		
	6.P.71 拌合情形與定稿後的數據要補充得更明確。	71	6.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。	71	
	7.P.74 文中所說之最佳配比並無明確證據支持，定稿時修正。	74	7.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。	74	
	8.P.75 早強型初凝時間效果不明顯，是否有試辦，另期中與期末報告因含水量成因不同，應一併整合。	75	8.關於拌合條件與早強劑添加之成效，已於期末報告定稿中提出。且其中報告之研究成果，也已一併整合討論。	75	
	9.研究流程應有配比試拌流程。		9.感謝建議與指導，期末報告定稿中已針對拌合條件做探討。		
	10.研究分析應考量數據顯著性統計檢定。		10.感謝建議與指導，已增加實驗數據於期末報告定稿中，來提升實驗數據趨勢的顯著性。		
陳副總工程司 維政	1.CLSM 製作之標準應參照臺北市工務局的規範，以利未來在實用上的需求。		1.經期末報告審查會後，本研究調整 CLSM 合成配比、拌合方法及拌合時間等參數，期望達到臺北市工務局規範，已有顯著成效。		

	2.洪水後淤泥取樣性的問題 (應注意正確性與時間)。	27	2.因淨水廠淤泥採批次性處理，經詢問有關單位後實難確認 9/21 所採集之樣本是否為 9/19 颱風過後所處理之淤泥。	27	
	3.CLSM 與淤泥之再利用，未來執行面、法規規定等如何確切實行。		3.此方面須配合政府訂立之環保、廢棄物、或建築材料標準等法規，而就目前 CLSM 之應用，採滿足台北市工務局之規範標準為先。		
	4.P.87 淤泥清運成本 550 元/噸。	87	4.感謝建議與指導，已於期末報告成本計算部分中修正。	87	
	5.水灰比 3.0，淤泥取代比 10%是否可以代表最佳配比。		5.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。		
	6.P.50 第四章名與內容不盡相符。	50	6.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。	50	
	7.P.62 表 6.1-2 單位沒寫	62	7.於期末報告定稿中已將單位 ppm 補上。	62	
供水科	1.就實用性考量，應符合台北市工務局 CLSM 規範要求。		1.經期末報告審查會後，本研究調整 CLSM 合成配比、拌合方法及拌合時間等參數，期望達到台北市工務局規範，已有顯著成效。		

工程總隊	1.原始配比可透過新建工程處看是否能取得實用性的配比。		1.感謝建議與指導，已於張本慶副工程師取得實用性配比，並以此為藍圖進行參數的微調。		
技術科	1.CLSM 製作務必以符合臺北市工務局 CLSM 規範的規定為主，否則文內其他論述都缺乏效力。		1.經期末報告審查會後，本研究調整 CLSM 合成配比、拌合方法及拌合時間等參數，期望達到臺北市工務局規範，已有顯著成效。		
	2.請考量縮短初凝時間以提升施工效益。		2.於期末報告定稿中探討加入早強劑對初凝時間的影響，並在初凝時間上有顯著的縮短。	58	
	3.預鑄型 CLSM 板塊之施作上(吊裝、安放、基本強度等)之需求(配比、尺寸等)。		3.感謝建議與指導，此部分於期末報告定稿附錄中討論。		
	4.承辦單位初審意見表隨附，請參酌修正。	3	4.感謝建議與指導，此部分已於期末報告定稿中修正。	3	

## 審查會會議記錄

### 1.期中報告審查會會議紀錄

#### 臺北自來水事業處

#### 「淨水淤泥餅應用於管線工程回填-CLSM 之評估」

#### 期中報告書審查會議紀錄

壹、會議名稱：期中報告書審查會

貳、會議次別：第 1 次

參、會議時間：99 年 8 月 13 日(星期五)上午 9 時 30 分整

肆、會議地點：台北自來水事業處第 1 會議室

伍、主持人：陳總工程司錦祥 記錄：簡靜瑜

陸、出席人員：詳簽到單

柒、主持人致詞：略

捌、與會單位意見：

羅副局長俊昇：

1. 目前台北市工務局規範，同意 2 立方公尺以下之回填工程可使用碎石級配，2 立方公尺以上之回填工程則須採用 CLSM 作為回填材料，故目前工程大多以使用 CLSM 為主。
2. 因台北市交通特性，工程施作須避開交通尖峰時間，故針對 CLSM 材料之初凝時間須再多加探討。
3. 現場管溝施工，如可以預鑄型 CLSM 結合現場拌製之 CLSM，可縮短施工時間並提供足夠之承载力，惟因有運送過程中碎裂之疑慮，故 CLSM 之強度可再增加。
4. 請確認本實驗淨水淤泥餅製成 CLSM 之製程，所使用之摻料及製程是否為 CLSM 材料之正確製程。

5. 如淨水淤泥餅製成 CLSM 需於工程現場實務拌合時之條件及品質如何控管？

林教授樹豪：

1. 報告書內 p.39、p.48 之圖 3.7-4，請修正為表 3.7-4，及 p.67~68 之圖座標相反，請修正。
2. 計畫書中參考文獻紀宗男碩論年份請修正。另外，本計畫與紀宗男之碩論題目相似，於實驗內容有何不同之處？
3. CLSM 材料其塑性指數越高，CLSM 拌合時間越長，因此請說明實驗拌合時間。
4. 報告書內 p.5 之研究進度甘特圖中工作項目，缺少添加藥劑之實驗，且此部分實驗於何時進行，請修正並說明。

沈教授得縣：

1. 期中報告格式缺少摘要及初步結論及建議，請補充說明。
2. 期中報告中之錯別字，如 p.27 交區→郊區等，及流度、管流度，前後名詞不一致，請修正。
3. 報告書內規劃之期末報告格式不同於一般格式，請斟酌參考一般常用格式修正。
4. CLSM 材料主要著重於工作性、初凝時間、配比及抗壓強度等，因此若採用預鑄型 CLSM，其衍生之材料運送、回填施工及品管問題應加以探討。
5. 因 CLSM 應用於管線工程回填，應考慮回填之後仍有鋪面底層及面層施工，因此 CLSM 之工程特性應加入落球

強度試驗、一天抗壓強度測試及初凝時間測試等，盡可能符合 p34 相關規範之要求。

6. 本計畫第 6 項探討洪水過後之淤泥餅應用於 CLSM 之影響，因不確定洪水產生之時間，因此研究單位可與主辦單位協調以模擬高濁度淤泥方式進行實驗分析。

7. 淨水淤泥餅製成 CLSM 之品質管理是否有施工規範？

台北市工務局：

1. 針對相關工程使用 CLSM 之需求量統計，將盡可能協助提供相關資訊，可以管路挖掘長度 8 公尺以上或以下之工程數量進行 CLSM 需求量推算。
2. 雨水及污水下水道之管溝工程是以推進方式進行工程，無使用 CLSM 材料，故請修正 p.28 之相關資料。

淨水科：

1. 淨水淤泥餅之含水率是否對拌製 CLSM 有影響。
2. 實驗內容目前作至 10% 取代比例，是否有更高之淤泥取代比例？
3. 目前淨水淤泥應用於磚廠及水泥廠，其處理費為 500~600，如應用於 CLSM 是否可降低處理費，增加經濟效益，且單一工廠是否有能力消化目前淨水淤泥餅量，另 CLSM 取代細粒料是否有其經濟優勢。
4. 洪水過後之淨水淤泥餅可與主辦單位協調是否可為原水濁度 500~600 時產生之淤泥餅，或仍須為原水濁度 5000~6000 時產生之淤泥餅。

## 技術科

1. CLSM 實驗請符合台北市政府工務局之規範，並請增強一天抗壓強度，達到  $7 \text{ kgf/cm}^2$  標準。
2. p.58 抗壓試體請依營建署規範採用  $15*30\text{cm}$  圓柱體而非  $5*10\text{cm}$  圓柱體。
3. 未來淨水淤泥餅製作 CLSM 材料之研究請朝縮短初凝時間及增強抗壓強度方向進行。
4. 期中及期末報告格式為參考台北市政府研考會規定之格式而訂定於契約規範內。

## 玖、會議紀錄：

- 一、 本次會議就期中報告之研究架構、方向、方法及須配合事項等審查原則通過。
- 二、 將與會人員意見於契約規範範圍內酌參辦理，並於期中報告定稿內進行修正及說明。

拾、散會時間：上午 11 時 10 分。

## 2. 期末報告審查會會議紀錄

### 臺北自來水事業處

#### 「淨水淤泥餅應用於管線工程回填-CLSM 之評估」

#### 期末報告書審查會議紀錄

時間：99 年 11 月 19 日(星期五)下午 2 時整

地點：本處第 2 會議室

主持人：陳總工程司錦祥（陳副總維政代理）      紀錄：張本慶

出席人員：詳簽到單

#### 玖、與會單位意見：

羅副局長俊昇：

- 一、淤泥採樣 2 次即可以認定其化學組成之穩定度？
- 二、實驗運作中淤泥之含水率如何掌握？及實場運用上的品管控制？
- 三、CLSM 本身之化學成分對地下掩埋之管溝管材之影響？
- 四、如何提升 CLSM 樣品之初凝時間？(如添加何種的藥劑之類)
- 五、預鑄型 CLSM 其製成之條件操控與建議？
- 六、CLSM 技術於商業實場上的運用性？

林教授樹豪：

- 一、P53 應修改為細骨材，另細骨材之含水率可能太高。
- 二、P63 淤泥之比重試驗，兩次採樣的數據結果大不相同，需再確認，污泥的拌合條件與情形也須多加描述，其拌

合效果可能影響很大。

- 三、P67 初凝時間不合預期與規範。
- 四、P69 文中水灰比 2.5 之效果太差，可不予考量。
- 五、P69 圖與文中描述不符，圖的表現和文字的推論並沒有反應出明顯的趨勢，應該進行統計方面的評定。
- 六、P71 拌合情形與定稿後的數據要補充得更明確。
- 七、P74 文中所說之最佳配比並無明確證據支持，定稿時修正。
- 八、P75 早強型初凝時間效果不明顯，是否有試辦，另期中與期末報告因含水量成因不同，應一併整合。
- 九、研究流程應有配比試拌流程。
- 十、研究分析應考量數據顯著性統計檢定。

陳副總工程司維政：

CLSM 製作之標準應參照臺北市工務局的規範。

淨水科：

- 一、洪水後淤泥取樣性的問題(應注意正確性與時間)。
- 二、CLSM 與淤泥之再利用，未來執行面、法規規定等如何確切實行。
- 三、P87 淤泥清運成本 550 元/噸。
- 四、同樣是「最佳」配比的問題，建請修正。
- 五、P50 第四章名與內容不盡相符。
- 六、P62 表 6.1-2 單位沒寫。

供水科：

就實用性考量，應符合臺北市工務局 CLSM 規範要求為優先考量。

工程總隊：

原始 CLSM 配比可嘗試透過新建工程處查詢取得實用性的配比。

技術科：

- 一、CLSM 製作務必以符合臺北市工務局 CLSM 規範的規定為主，否則文內其他論述都缺乏實用性。
- 二、請考量縮短初凝時間以提升施工效益。
- 三、預鑄型 CLSM 混凝土板塊應考量施作吊裝、安放時之基本強度需求，以研究其最適配比。
- 四、承辦單位初審意見表隨附，請參酌修正。

貳、會議結論：

- 一、本次會議就期末報告之內容與配合事項等審查原則通過。
- 二、請台北科技大學研究團隊將與會人員審查意見於契約規範範圍內參酌辦理，並依臺北市工務局 CLSM 規範相關要求進行配比與試驗，一併於期末報告定稿內進行修正及補充。

參、散會時間：下午 4 時 10 分。

預鑄溝蓋板之相關資料

預鑄 L 型側溝蓋版施工細則  
製造：

- 1.鋼筋須按照設計尺寸切實配置，並每隔一交叉點施電焊固定。其餘採用千線結紮(捍點之溶渣應澈底清除潔淨)。
- 2.模型採用鋼板模，組立時應嚴格要求垂直及永平，並不得因實等外力而發生變形，務使完成後之混凝土表面之容許誤差不超過設計要求。混凝土表面尺寸之容許誤差，長寬誤差不得大於正負 1/200，厚度誤差不得大於正負 1/50。
- 3.澆灌混凝土之前，應將模型內面切實清理，並塗以脫模劑，不得使用污性油，以免污染混凝土表面。

#### 檢驗辦法

強度試驗，(分 L1 型及 L2 型兩種)

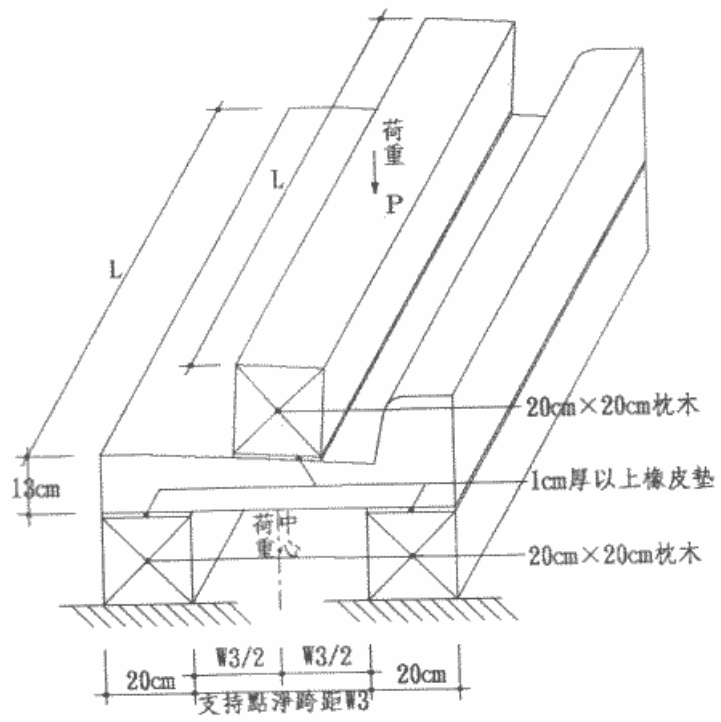
- 1.L1 型每 300 塊為一組，每組至少抽樣一塊做彎曲試驗(分為無破壞試驗及破壞試驗二階段)及內部構造檢查。
- 2.L2 型每 100 塊為一組，每組至少抽樣一塊做內部構造檢查。
- 3.若試驗結果，有任有一塊不合規格時，則於該組中再抽樣二塊做同樣之試驗，其中一塊仍有不合規格者，則該組三 00 塊(一 00 塊)均不予接受。
- 4.彎曲試樣方法：

(1)無破壞試驗：依照『附圖』所示方法試驗過程中溝蓋版發生初裂時(以肉眼可以視察為準)之彎曲荷重，其無破壞荷重應大於『附表一』。所示無破壞荷重。

(2)破壞試驗：L 型依照『附圖一』所示方法，溝蓋版經試驗破壞時之荷重，應大於『附表一』所示破壞荷重。

附表一 預鑄 L 型側溝蓋版試驗荷重

型式	支持淨跨距 W3(cm)	無破壞荷重(kg)	破壞荷重(kg)
L1 80x90	40	8800	17200
L1 90x90	50	8800	17200
L1 100x90	60	8800	17200



附圖一 預鑄 L 型側溝蓋版強度試驗示意圖

## 預鑄溝蓋版(緣石)施工細則

### 製造：

1. 鋼筋須按照設計尺寸切實配置，並每隔一交叉點施電焊固定，其餘採用鉛線結紮(焊點之溶渣應澈底清除潔淨)。
2. 模型採用鋼板模，組立時應嚴格要求垂直及永平，並不得因實等外力而發生變形，務使完成後之混凝土表面之容許誤差不超過設計要求。混凝土表面尺寸之容許誤差，長寬誤差不得大於正負 1/200，厚度誤差不得大於正負 1/50。
3. 澆灌混凝土之前，應將模型內面切實清理，並塗以脫模劑，不得使用污性油，以免污染混凝土表面。

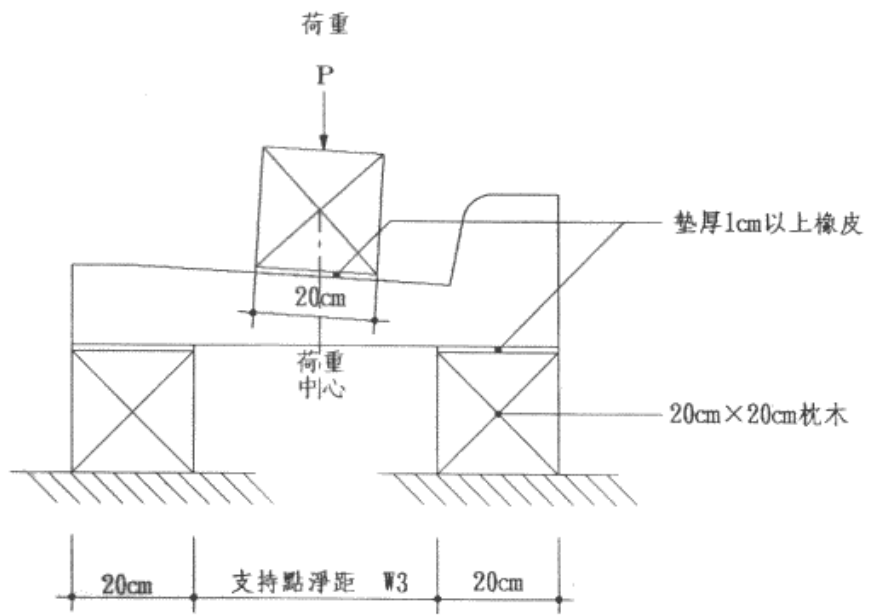
### 檢驗辦法：

#### 強度試驗

1. S1 型(也括低緣石)每 300 塊為一組，每組至少抽樣一塊做彎曲試驗(分為無破壞試驗及破壞試驗二階段)及內部構造檢查。
2. 若試驗結果，有任有一塊不合規格時，則於該組中再抽樣二塊做同樣之試驗，其中一塊仍有不合規格者，則該組三 00 塊(一 00 塊)均不予接受。
3. S2 型及緣石(包括低緣石)預鑄溝蓋版每一 00 塊為一組抽樣一塊(不足一 00 塊者仍應抽樣一塊)做內部構造檢查，檢查鑄鐵蓋各部尺寸及插稍組合是否正確，如不合格者，則該組一 00 塊均不予接受。
4. 彎曲試樣方法：
  - (1) 無破壞試驗：依照『附圖一』所示方法試驗過程中溝蓋版發生初裂時(以肉眼可以視察為準)之彎曲荷重，其無破壞荷重應大於『附表一』所示無破壞荷重。
  - (2) 破壞試驗：依照『附圖一』所示方法，溝蓋版經試驗破壞時之荷重，應大於『附表一』所示破壞荷重。

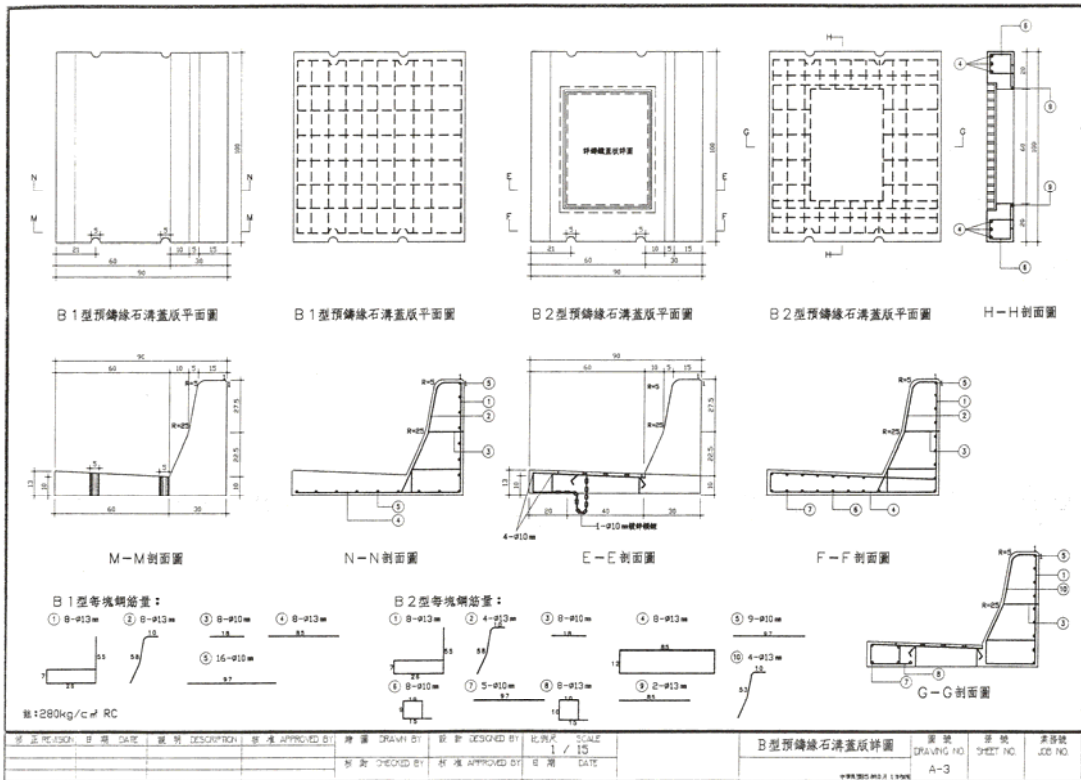
附表二 預鑄溝蓋版彎曲試驗荷重

型式	支持淨跨距 W3(cm)	無破壞荷重(kg)	破壞荷重(kg)
S1 70x50	30	6700	13100
S1 70x100	30	13400	26200
S1 80x50	40	5700	11200
S1 80x100	40	11400	22400
S1 90x50	50	5100	10100
S1 90x100	50	10200	20200
S1 100x50	60	4300	8500
S1 100x100	60	8600	17000

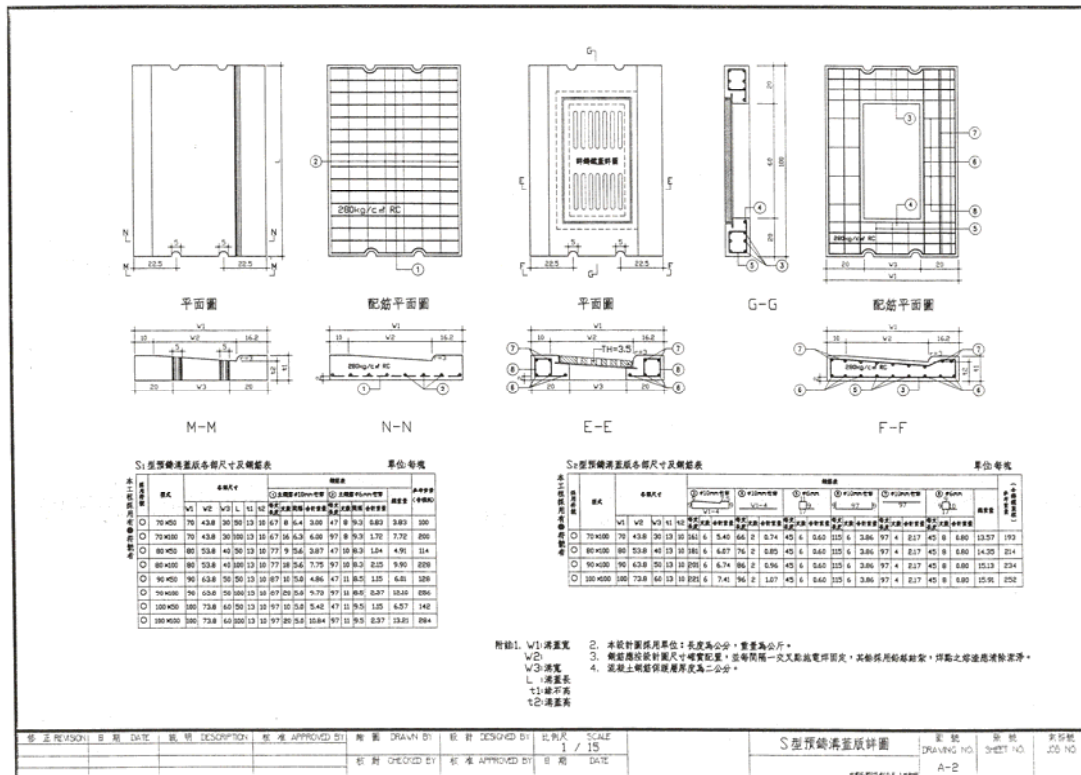


附圖二預鑄溝蓋版(緣石)強度試驗示意圖

# B型預鑄緣石溝蓋版詳圖



# S型預鑄溝蓋版詳圖



# L型預鑄溝蓋版詳圖

