

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 石灰穩定污水污泥之物理、力學及工程性質 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 99-2221-E-216-027-  
執行期間：99年08月01日至100年07月31日  
執行單位：中華大學土木工程學系

計畫主持人：楊朝平

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：劉俊成  
碩士班研究生-兼任助理人員：謝適任  
碩士班研究生-兼任助理人員：李侃穎

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 100 年 12 月 09 日

中文摘要：於臺灣隨著下水道普及率之提昇，須積極思考污泥之再利用課題。雖然相關於此課題之研究已甚多，仍尚可考慮將污泥再利用為工程土方，即將污泥以石灰穩定成混合料，並將此混合料再利用為「邊坡沃土區」之土方。此再利用途為筆者之創新構思，具低耗能性、大量性及生態性等特點；唯此混合料之各種性質尚不明，而有待探討。為此，本計畫擬分三年期探討污泥-石灰諸性質；而於本年度(99)係研究石灰穩定污泥之配比及其混合料之化學、物理及凝結性質等，以利此再利用途之推廣。本研究內容可廣泛應用於環保、大地及生態工程等領域。

中文關鍵詞：污水污泥、污泥-石灰、凝結、性質調查。

英文摘要：

英文關鍵詞：

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 石灰穩定污水污泥之物理,力學及工程性質(1/3)

The physical, mechanical, and engineering properties of sewage sludge stabilized by lime (1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 99-2221-E-216-027

執行期間：99年8月1日至100年7月31日

執行機構及系所：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：楊朝平 教授

計畫參與人員：劉俊成、李侃穎、謝適任（碩士班研究生）

成果報告類型：精簡報告

處理方式：得立即公開查詢

中 華 民 國 100 年 12 月

## 中文摘要

於臺灣隨著下水道普及率之提昇，須積極思考污泥之再利用課題。雖然相關於此課題之研究已甚多，仍尚可考慮將污泥再利用為工程土方，即將污泥以石灰穩定成混合料，並將此混合料再利用為「邊坡沃土區」之土方。此再利用途為筆者之創新構思，具低耗能性、大量性及生態性等特點；唯此混合料之各種性質尚不明，而有待探討。為此，本計畫擬分三年期探討污泥-石灰諸性質；而於本年度(99)係研究石灰穩定污泥之配比及其混合料之化學、物理及凝結性質等，以利此再利用途之推廣。本研究內容可廣泛應用於環保、大地及生態工程等領域。

關鍵詞：污水污泥、污泥-石灰、凝結、性質調查。

## ABSTRACT

In Taiwan, a rapid increase in the sewer construction causes the large volume of sewage sludge generated. Treated sewage sludge will be very significantly in the future. Although, there are many studies concerning to this issue, the sewage sludge tentatively can be reused as a construction earth which is studied scarcely. That is, the sewage sludge first is stabilized by lime as mixture. Then the mixture is used in the fertile zone of slope of embankment. This idea of reuse way is new and creative. The sewage sludge can be reused by this way in large quantities. Moreover, this kind of reuse way can be carried out under low energy condition and with ecological engineering method. However, the various properties of the mixtures are still unknown. Therefore, the writer intends to use sewage sludge as testing materials and to study the various properties of the mixtures in three years. At first year (99), those properties investigated are the optimum ratios of lime for condensation, and the phase of chemical factors, physical factors of the mixtures. It is thought that the results of this project are able to contribute to many fields such as environmental engineering, geotechnical engineering and ecological engineering, etc.

**Key words:** Sewage sludge, sludge-lime, condensation, properties investigation.

## 一、前言

內政部制定「污水下水道發展方案」，今後政府持續將經費投注於下水道工程之建設上；故民生污水污泥（以下統稱「污泥」）的產生勢必快速增加，且其終端處理將成為棘手的社會問題。此污泥屬一般廢棄物，傳統的處理方式為綠農地、掩埋及焚化三種，於台灣因對綠農地之污泥堆肥化尚欠缺處理規範而不普遍，掩埋方式則有場址不易取得與空間不足的問題，而焚化亦須考慮熱值及戴奧辛二次污染問題，因此日後污泥之處理主要應朝向減量化與資源化方式進行。

於污泥之減量化方面，除從源頭減量外（如工業污水集中處理、上水道與下水道確實分離、整治都會區淹水問題等），就是要思考如何脫水減小其體積及穩定化，以利運送及後續之資源化處理。污水處理程序始於沉澱池，此狀態之污泥含水率達 98% 以上；後續之處理程序包括濃縮、厭氧消化及脫水等，其最大目的係在減量。茲以台北市政府之迪化污水處理廠為例，即  $4000\text{ m}^3 \sim 5000\text{ m}^3$  之污水經沉澱後產生之污泥量約  $80\text{ m}^3 \sim 100\text{ m}^3$ ，經濃縮後的污泥量降為  $20\text{ m}^3 \sim 50\text{ m}^3$ ，而經厭氧消化後污泥量變為  $4\text{ m}^3 \sim 5\text{ m}^3$ ，再經脫水後之污泥量則約  $1\text{ m}^3$  [內政部營建署，2004；台北市政府工務局衛生下水道工程處，2008]。前述脫水污泥呈黏稠狀，仍處於不利於運送及資源化處理之狀態，故其後續之脫水及穩定技術仍有待探討。

## 二、研究目的

相關於「污水污泥」之研究，多出現於環境工程學門；此等整合型計畫之內涵甚廣，如污泥之處理系統模組、調理、脫水、水解回收有機物、熱解反應、厭氧生物裂解、熔融機制、熔融資材性質、熔融回收金屬、水泥固化灰渣、泥灰再製瓷磚及綠農地等。唯筆者從土木領域觀之，認為污泥之資源化除了前述整合型計畫之內涵外，尚可考慮其於工程土方之再利用上。即如圖1所示般，須於土方構造物之斜坡面夯實一寬約1m~2m沃土區 (Zone of Fertile soil)，以使其兼具邊坡保護及利於植物生長之功能。沃土於土木工程之使用量甚大，而一般對其品質之規範較籠統且寬鬆，只要求須為近似農地之壤土 (Loam) [水利署, 1991; 農業委員會, 1996]。與前述諸污泥整合計畫所建議之再利用途相比較，污泥於邊坡沃土區之再利用方式更具低耗能性、大量性及生態性等特點，故本計畫所構思之再利用途具有創新性、創意性及社會面的實用性。

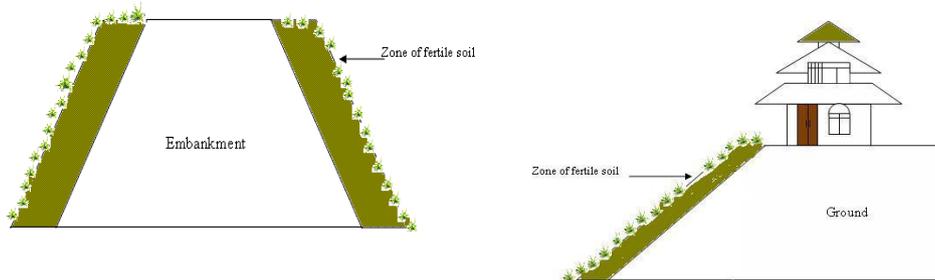


圖 1 土方構造物之邊坡沃土區示意

邊坡沃土之性質要求為物理性質穩定、力學性質佳、工程性質安全及具植生性，雖然污泥之有機物含量高而具植生肥沃性，但又會因高含量的有機物而折損其力學、工程性質，故陷於兩難之處境[Franklin, *et al.*, 1973]。相關於污泥肥沃性之研究屬於綠農地範疇，已具相當業績[Gaspard, *et al.*, 1995; Schnaak, *et al.*, 1997]；而將污泥穩定並再利用為邊坡沃土之研究仍欠缺，於技術面及學理面上仍有諸多亟待探討之處。

### 三、文獻探討

於本節回顧相關於污泥之性質、資源化技術及石灰穩定技術等國內外文獻。

#### 3.1 污泥性質

於一般污水下水道處理廠污泥產生過程的成份變化方面，生污泥之含水量約 99%、有機成分約 0.8%、無機成分約 0.2%，濃縮污泥之含水量約 33%、有機成分約 0.8%、無機成分約 0.2%，消化污泥之含水量約 33%、有機成分約 0.4%、無機成分約 0.2%，焚化灰之含水量 0%、有機成分 0%、無機成分約 0.2%。其餘為固體物質，其中揮發物質（C、H、N 及 P 等）約佔固體物質之 60~80%，另尚含有 Si、Ca、Al、Fe 及 Mg 等氧化物物質 [台北市政府工務局衛生下水道工程處，2006]。

迪化污水處理廠之污泥經由機械濃縮、厭氧消化及過濾式脫水之處理後，每日之脫水污泥產生量約為 95~138 $m^3$ ，以代操作契約內之廢棄物處理單價 1,775 元/噸計算，此場每日污泥之清運處理費約 200,000 元。其污泥量於初級沉澱池約 447 $m^3/day$ 、二級沉澱池約 2,710 $m^3/day$ ；而其污泥濃度於初級沉澱池約 40,346 $mg/L$ 、二級沉澱池約 11,741 $mg/L$ ；濃縮污泥濃度約 41,137 $mg/L$ 、脫水污泥進流濃度約 24,423 $mg/L$ 。其脫水污泥之化學性質檢測結果為氫離子濃度 pH=7.45，萃出液中之重金屬含量於總鉛（Pb）0.011 $mg/L$ 、總鎘（Cd）0.001 $mg/L$ 、總汞（Hg）0.002 $mg/L$ 、總砷（As）0.006 $mg/L$  [台北市政府工務局衛生下水道工程處，2007]。

#### 3.2 污泥之資源化技術

污泥之資源化技術主要有焚化、燒結、熔融、堆肥、乾燥及鹼性安定等，以下概述之 [Cecil and Peter Matthews, 1996; 蕭炳欽、駱尚廉, 1997; Campbell, 2000; 蔡振球, 2006; ]：

##### 一、焚化

焚化的過程為在充分氧氣供應、反應系統有良好擾動及高操作溫度（850~1050 $^{\circ}C$ ）三條件下，將所處理污泥中有機物燃燒。其焚化灰可製成土質改良劑、路基、水泥、瀝青混凝土、磁磚及透水磚等；唯國內目前多將污泥與垃圾共同焚化，致其產品再利用價

值低。

## 二、燒結

一般燒結技術為將原料加熱在 300~600 °C 的溫度下乾燥，預先除去其中的揮發成分，使原有的有機物大約 80 % 炭化。由於有機污泥含有大量的有機物質，利用有機污泥低溫炭化技術，可將污泥中有機成份炭化，當作燃料使用。碳化處理後之污泥主要可應用於除臭劑、燃料及脫水輔助材等使用。

## 三、熔融

熔融為一高耗能之處理技術，熔融與焚化同屬熱處理都必須高溫燃燒，最大的不同點是熔融燃燒溫度高達攝氏 1400~2400°C，致產生之底灰也不一樣；熔融後之產物主要資源化於磚類。

## 四、堆肥

現代化的堆肥技術多以好氧堆肥化的方式為主，主要原因為其具有溫度較高(約為 55~60°C 效果較佳)、基質分解較為徹底、堆置週期較短、臭味較少、可以大規模採用機械處理等優點。產物主要應用於土壤改良劑與肥料。

## 五、乾燥

以空氣壓縮乾燥法或瓦斯加熱乾燥法處理，例如在歐美被廣泛使用者為轉台式乾燥機。一般使用天然氣或丙烷燃燒，維持溫度在 260~480°C 左右，熱氣體進入後與污泥表面接觸可迅速烘乾，氣體經管線收集後經空氣處理設備排放。此法可使污泥含水率小於 10 %，有減少體積、殺菌效果、減少運輸費用及增加儲存能力等優點。

## 六、鹼性穩定

將污泥拌以石灰等鹼性化合物，在  $pH$  大於 10、25°C 下 72 小時或 52°C 下 12 小時，若再利用空氣或機械乾燥則可使其含水率降到 50 % 以下。污泥經過鹼性穩定後，將使  $pH$  值改變並產出生物化學鈍化產品，可用於農業肥料及酸性土壤之改良劑；此法具低耗能及操作簡單等特點。

### 3.3 污泥之石灰穩定技術

於土壤穩定領域，美國 FHWA(1979)出版了「鋪面材料土壤穩定使用者手冊-鋪面設計及施工考量」，說明選擇穩定劑方法、試驗規範及鋪面厚度設計、施工細節等；而 Ronald *et al.* (1979)之「鋪面材料土壤穩定使用者手冊-配比設計」，則說明配比設計細節及穩定土之物理、力學性質等。其建議石灰穩定法適用於粉土、粘土含量多之土壤，慣用之石灰係指「熟石灰」，以石灰固化細粒可塑性土壤乃是土壤穩定工法之一。

故於土木工程用途上，選擇污泥-石灰之石灰含量試驗程序可比照石灰-土壤者，若污泥之成份變異小，則選擇石灰含量之主要影響因素為工程用途，尤其需因應工程用途判釋污泥-石灰之品質要求（單位重、變形、強度、透水性等），進而依據品質要求決定適宜之石灰含量；故需對其試驗程序予以規範[Ronald *et al.* , 1979]。

## 四、研究方法

本計畫擬分三年期探討石灰穩定污泥（以下統稱「污泥-石灰」：Sludge-lime）諸性質，而於本年度(99)計畫裡所擬定之工作項目為（1）污泥採取及污泥-石灰調製、（2）污泥-石灰之化學反應機制推導、（3）污泥-石灰之凝結性質試驗、（4）污泥-石灰顯微鏡影像觀察及（5）凝結污泥-石灰之浸水性質試驗。於本節茲對此等工作項目之研究方法說明之。

### 4.1 污泥採取及污泥-石灰調製之方法

欲採取污泥時，須先由學校發公文給臺北市政府迪化污水處理廠，經其允許後再約定時間前往採取。圖 2 為前至廠區採取污泥之情形，須將此污泥裝袋密封後，運回學校實驗室。



圖 2 於臺北市政府迪化污水處理廠之取污泥情形

此污泥含水率甚高（約 80%），須先以曝曬乾燥法調整污泥之初始含水率  $w_0$ ，擬設定  $w_0=83\%$ 、 $78\%$ 、 $73\%$ 及  $68\%$ 四種，每種調整之污泥量約  $100\text{kgf}$ 。將四種具不同  $w_0$ 之污泥團粒揉碎、拌合後，以塑膠袋密封，置於陰涼處，供後續調製各種污泥-石灰使用。

於污泥-石灰之調製上，茲考慮其再利用為邊坡沃土之物理、力學、工程及植生性質，設定其石灰含量為九種（ $L_c=0\%$ 、 $3\%$ 、 $6\%$ 、 $9\%$ 、 $12\%$ 、 $15\%$ 、 $18\%$ 、 $21\%$ 及  $24\%$ ）。依

各種試驗所需之污泥量，從前處理過之四種 $w_0$ 污泥中取出所需量並拌合石灰。圖3為污泥-石灰之調製情形；注意調製完污泥-石灰後，應立即進行試驗，以避免因石灰碳化，而使其呈堅硬固體狀。



圖3 污泥-石灰之調製情形

## 4.2 污泥-石灰化學反應機制推導之方法

熟石灰是一種在廢水處理過程中脫水、防止氣味及消除病原微生物的常見鹼性穩定材料。見式(1)，熟石灰與空氣中的二氧化碳接觸，轉換成堅硬固體狀的碳酸鈣，並放出水。



污泥-石灰反應可分為陽離子交換密簇及膠結兩種作用；然而，影響污泥-石灰反應之最主要因素為污泥之本質及特性，如果污泥本質不具反應性，則勿論石灰種類、石灰添加量或養護期，皆無法發生充分的膠結作用。

由3.1節知曉試驗用污泥含鋅(Zn)、銅(Cu)、鉻(Cr)、鉛(Pb)、鎳(Ni)、砷(As)、汞(Hg)及鎘(Cd)八種金屬，其中係以鋅、銅、鉻、鉛、鎳之含量較多，而僅含微量之砷、汞及鎘。本計畫推導石灰與污泥八種金屬之化學反應式，並找資料說明八種重金屬之氫氧化物性質，俾據以確認其抑制微生物生長、降低臭味及凝結污泥之作用。

### 4.3 污泥-石灰凝結性質試驗之方法

為了觀察污泥初始含水量  $w_o$ 、石灰含量  $L_c$  及氣乾期  $t$  對污泥-石灰凝結性質之影響性，本計畫構思出依循 ASTM C-191 規範（水泥漿之凝結時間試驗-維卡針），量測污泥-石灰凝結性質之方法，並以維卡針之貫入量來量化其凝結性，貫入量小者表示其凝結性佳較硬；圖 4 為本作業之情形。



(a) 將混合料填入試模中

(b) 維卡針貫入量之量測

圖 4 污泥-石灰之凝結性質試驗情形

此試驗將對 36 個圓錐狀之污泥-石灰試體，即四種不同污泥初始含水率 ( $w_o=83\%$ 、 $78\%$ 、 $73\%$  及  $68\%$ )，各添加九種不同石灰含量 ( $L_c=0\%$ 、 $3\%$ 、 $6\%$ 、 $9\%$ 、 $12\%$ 、 $15\%$ 、 $18\%$ 、 $21\%$  及  $24\%$ )，施行凝結試驗，並觀察其性質。圖 4(b) 為維卡針試驗全景，實驗儀器含維卡針試驗儀、游標尺、電子秤及圓錐試模(上內徑  $60\text{mm}$ 、下內徑  $70\text{mm}$ 、高  $40\text{mm}$ )。其試驗方法如下所述：

1. 將不同含量比例之石灰拌合入四種不同  $w_o$  之污泥中，以調製出具不同  $L_c$  之污泥-石灰試料。
2. 見圖 4(a)，將污泥-石灰試料均勻填入圓錐試模中，使成試體；因為此狀態之污泥-石灰為膠體物，額外壓實也無法增加其密實程度，經多次測試得到試體之初始單位重  $\gamma_o$  約為  $1.13\text{ gf/cm}^3$  ( $11.08\text{ kN/m}^3$ )。
3. 對所有污泥-石灰試料，各製作兩個試體，一個供維卡針試驗用；另一個將其以  $100^\circ\text{C}$  烘乾 12hr，求其烘乾後之污泥-石灰重  $W_s$ 。

4. 將試體置於恆溫恆濕室內中進行氣乾，試體會放熱，發散臭味；氣乾期間之室內溫度控制為  $25^{\circ}\text{C}$ 、濕度 51%；經過約 0.25 day 時、試體會收縮，則可將其從試模中取出繼續氣乾，拆模時盡量不要影響到試體完整性。
5. 每隔 0.5 day 對試體施作維卡針試驗，量測其貫入量。
6. 對試體做維卡針試驗之後，量測試體之含水率  $w$  (Moisture content rate) 及貫入量數據，並表列觀察之；定義  $w = (W - W_s) \div W$ ， $W$  為試體重。
7. 至所有試體之貫入量=0 時，結束試驗。

#### 4.4 污泥-石灰顯微鏡影像觀察之方法

將以 45 倍放大倍率之顯微鏡觀察前述試驗條件之試體，則吾人可根據影像解釋凝結試驗之結果，進而得以使本計畫從巨觀進階至微觀的領域。此試驗之儀器為顯微鏡設備、電腦、刮刀、酒精及拭鏡紙等。其試驗步驟如下述：

1. 取酒精及拭鏡紙，將所有鏡頭以單一直線方向擦拭乾淨。
2. 刮取試料約 10 gf，置放於顯微鏡載物台上（參閱圖 5）。
3. 調整細調節器，律定放大倍率為 45 倍。
4. 旋轉粗調節器使鏡筒往上移，直至見到清晰的影像為止。
5. 利用影像擷取器，將觀察到的影像直接傳達至電腦，再由電腦將影像畫面直接輸出並存檔。



圖 5 顯微鏡觀察設備

## 4.5 凝結污泥-石灰浸水性質試驗之方法

為了觀察凝結後之污泥-石灰在自然環境中遇雨飽和是否會鬆散、軟化，而擬施行此浸水性質試驗，其軟化程度亦是以貫入量量化之。基本上，此試驗之方法同 4.3 節者，不同之處在於污泥-石灰為完全凝結呈硬固體（參閱圖 6）；使用污泥-石灰之  $w_o=83\%$ ，而石灰含量條件為  $L_c=0\%$ 、 $3\%$ 、 $6\%$ 、 $9\%$ 、 $12\%$ 、 $15\%$ 、 $18\%$ 、 $21\%$  及  $24\%$ 。見圖 7，將此試體浸水，茲定義浸水時間之符號為  $t_w$ ；每隔 1 day 對試體施作維卡針試驗，並觀察之。

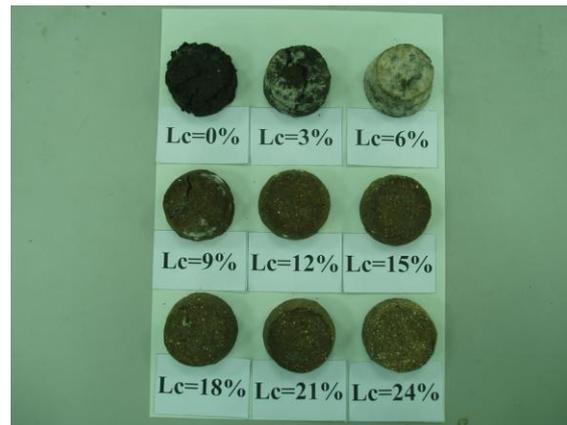


圖 6 凝結硬固之污泥-石灰



圖 7 凝結硬固污泥-石灰之浸水情形

## 五、結果與討論

### 5.1 污泥-石灰化學反應機制

式(2)~式(9)為筆者推導出之石灰與污泥八種金屬之化學反應式，Ca(OH)<sub>2</sub> 係發揮催化劑之作用，反應過程因會放熱因而具脫水效果。石灰與污泥反應後，會分別產生 Zn(OH)<sub>2</sub>、Cu(OH)<sub>2</sub>、Pb(OH)<sub>4</sub>、Cr(OH)<sub>3</sub>、Ni(OH)<sub>3</sub>、Cd(OH)<sub>2</sub>、Hg(OH)<sub>2</sub> 及 As(OH)<sub>3</sub> 八種氫氧化物，其皆係以膠結沉澱物狀態存在，且確認影響污泥-石灰反應之因素為石灰含量、水含量及反應時間。



### 5.2 污泥-石灰凝結性質

茲根據維卡針之貫入量將污泥-石灰之凝結性質分為四階段：尚未凝結、凝結初期、凝結中期及完全凝結，並觀察之。茲說明四階段之凝結性質如下：

#### 尚未凝結

係指接觸試體頂面之維卡針被鬆開螺栓後，瞬間落下至底部之性質。

### 凝結初期

係指接觸試體頂面之維卡針被鬆開螺栓後，緩慢落下至底部之性質。

### 凝結中期

係指接觸試體頂面之維卡針被鬆開螺栓後，在試體中間停止，可讀出貫入量之性質。

### 完全凝結

係指接觸試體頂面之維卡針被鬆開螺栓後，針貫入量為 0 性質。

圖 8 為污泥-石灰之凝結試驗結果例( $w_o=83.1\%$ )，研究發現：

1. 試體之  $L_c$  越高，到達「尚未凝結」階段之  $t$  越短。
2. 達「凝結初期」階段之試體明顯較「尚未凝結」階段之試體不易穿透，因為試體已產生凝結效應，並對維卡針產生阻力；如以  $L_c=18\%$  之試體而言，到達此階段之  $t$  於  $w_o=83\%$  者為 6.0 day、 $w_o=78\%$  者為 5.0 day、 $w_o=73\%$  者為 3.0 day、 $w_o=68\%$  者為 0.5 day。
3. 到達「凝結中期」階段之  $t$  與「凝結初期」階段差距約僅 0.5~1 day。
4. 於  $w_o=83.1\%$  之污泥，其到達「完全凝結」階段之  $t$  從  $L_c=0\%$  試體之 10.0 day 縮短至  $L_c=21\%$  試體之 8.5 day。
5. 於  $w_o=78.1\%$  之污泥，其到達「完全凝結」階段之  $t$  從  $L_c=0\%$  試體之 8.5 day 縮短至  $L_c=21\%$  試體之 7.0 day。
6. 於  $w_o=73.1\%$  之污泥，其到達「完全凝結」階段之  $t$  從  $L_c=0\%$  試體之 6.5 day 縮短至  $L_c=21\%$  試體之 5.0 day。
7. 於  $w_o=68.1\%$  之污泥，其到達「完全凝結」階段之  $t$  從  $L_c=0\%$  試體之 4.5 day 縮短至  $L_c=24\%$  試體之 2.5 day。

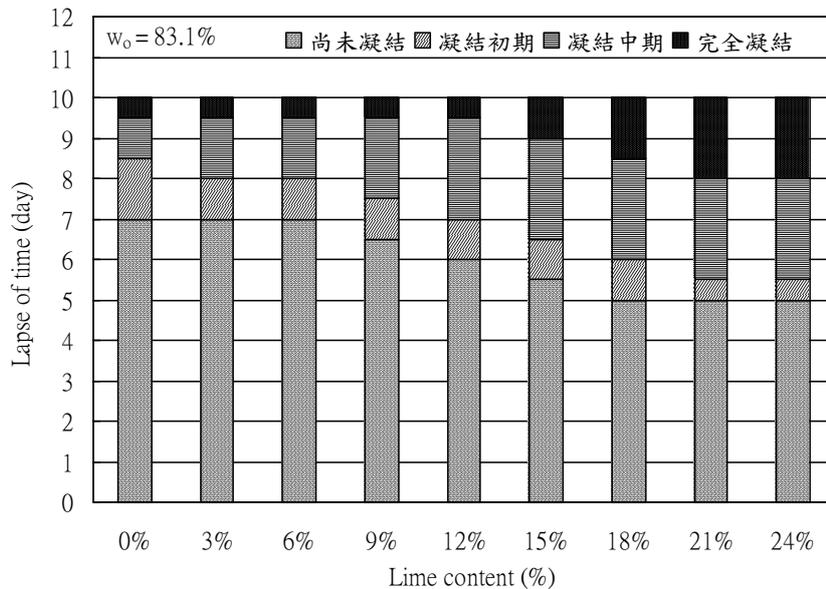


圖 8 污泥-石灰之凝結性質與養護期關係

### 5.3 污泥-石灰顯微鏡影像觀察

圖 9 為  $w_o=83\%$  之出廠脫水污泥及其拌合  $L_c=12\%$  後，於凝結初期、完全凝結階段之顯微鏡微觀相片。見圖 9(a)，出廠脫水污泥為濕潤之黏稠膠狀物，此狀態不具任何強度；黏塊間雖有縫隙但不連續，黏塊內幾乎無孔隙，可判斷其不具有透水性或透水性甚小。見圖 9(b)，於凝結初期，發現其仍然呈黏稠膠狀，但濕潤程度降低，表示污泥-石灰反應正進行中，含水率降低；於此時也會產生撲鼻臭味。見圖 9(c)，於完全凝結階段，已非黏稠狀物質，而是固化成硬狀體，也開始具有強度。



(a) 出廠脫水污泥



(b) 凝結初期 ( $L_c=12\%$ )



(c) 完全凝結 ( $L_c=12\%$ )

圖 9 污泥-石灰之微觀相片

## 5.4 凝結污泥-石灰之浸水性質

於此節說明將  $w_o = 83\%$  且已完全硬固（維卡針貫入量  $\delta_p = 0$  mm）之 9 種（ $L_c = 0\% \sim 24\%$ ）污泥-石灰圓錐試體，在被浸水後之軟化情形，其軟化程度亦是以  $\delta_p$  值量化之， $\delta_p$  值大表示試體軟化程度高，至  $\delta_p = 40$  mm 之數值表示試體已軟化。每隔 1 day 量測  $\delta_p$  值一次；取浸水時間  $t_w$  共計 7 day，係因為  $L_c > 9\%$  者至 7 day 時，其  $\delta_p$  已趨於定值，表示仍呈硬塊狀，不會再軟化。

於表 1 列出 9 種污泥-石灰試體之浸水時間  $t_w$  及其  $\delta_p$ ；發現於  $L_c = 0\%$  者，在  $t_w = 1$  day 時即已軟化；而於  $L_c = 3\%$  及  $6\%$  者，在  $t_w = 2$  day 時也已軟化。另一方面， $L_c > 9\%$  者，至  $t_w = 7$  day 時仍未軟化，表示其可能常態性的呈硬塊狀。

表 1 凝結試驗之針入量與浸水時間關係

Item	Penetration of Vincat Needle $\delta_p$ (mm)								
	$L_c = 0\%$	$L_c = 3\%$ %	$L_c = 6\%$ %	$L_c = 9\%$ %	$L_c = 12\%$ %	$L_c = 15\%$ %	$L_c = 18\%$ %	$L_c = 21\%$ %	$L_c = 24\%$ %
Water soaked time $t_w$ (day)									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	40	11	13	6	6	6	5	4	2
2		40	40	11	10	10	8	7	3
3				14	11	12	10	8	6
4				18	16	15	10	8	6
5				20	19	18	11	8	7
6				22	22	20	11	9	7
7				22	22	21	12	9	7

## 參考文獻

1. 內政部營建署 (2004), 圖說下水道, 台灣水環境再生協會執行。
2. 水利署 (1991), 土方及植生施工要領。
3. 台北市政府工務局衛生下水道工程處 (2006), 污泥資源化工程技術可行性研究, 中欣工程行股份有限公司執行。
4. 台北市政府工務局衛生下水道工程處 (2007), 迪化廠污泥資源回收再利用可行性評估報告, 美商傑明工程顧問公司執行。
5. 台北市政府工務局衛生下水道工程處 (2008), 迪化污水處理廠宣導簡介。
6. 農業委員會 (1996), 水土保持技術規範, 第三章。
7. 蔡振球 (2006), 都市下水污泥灰燒結輕質化特性之研究, 博士論文, 環境工程學系, 國立中央大學。
8. 蕭炳欽、駱尚廉 (1997), 「下水污泥石灰處理對重金屬、有機物及相關特性之影響」, 第十二屆廢棄物處理技術研討會論文集, 第 443-450 頁。
9. Campbell, H.W., (2000), "Sludge management-future issues and trends," *Journal of Water Science and Technology*, Vol. 41, No. 8, pp. 1-8。
10. Cecil, L.H. and Peter M., (1996), "Sludge management in highly urbanized areas," *Journal of Water Science and Technology*, Vol. 34, No. 3, pp. 517-524。
11. FHWA, (1979) "Soil Stabilization in Pavement Structures - A User's Manual for Pavement Design and Construction Considerations," Federal Highway Administration Department of Transportation, Contract No. DOT-FH-11-9406.
12. Franklin, A.F., Orozco, L.F. and Semrau, R., (1973), "Compaction of slightly organic soils," *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division*, ASCE, Vol. 99, No. SM7, pp. 541-557.
13. Gaspard, P.G., Wiart, J. and Schwartzbrod, J., (1995), "Urban sludge reuse in agriculture : waste treatment and parasitological risk," *Bioresource Technology*, Vol. 52, pp. 37-40。
14. Ronald, L.T., Jon, A.E., Ernest, J.B., James, K.M. and Marshall, R.T. (1979), "Soil stabilization in pavement structures, A user's manual, Vol. 2, Mixture design

considerations.” Contract No. DOT-FH-11-9406, Prepared for the Federal Highway Administration Department of Transportation, Washington, D. C.

15. Schnaak, W., Kuchler, T., Kujawa, M., Henschel, K.P., Subenbach, D., Donau, R. (1997), “Organic contaminants in sewage sludge and the ecotoxicological significance in agricultural utilization of sewage sludge,” *Chemosphere*, Vol. 35, Nos. 1/2, pp. 5-11 °

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/09/26

國科會補助計畫	計畫名稱: 石灰穩定污水污泥之物理、力學及工程性質
	計畫主持人: 楊朝平
	計畫編號: 99-2221-E-216-027- 學門領域: 大地工程
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：楊朝平		計畫編號：99-2221-E-216-027-					
計畫名稱：石灰穩定污水污泥之物理、力學及工程性質							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	60%	篇	撰寫中
		研究報告/技術報告	0	0	0%		
		研討會論文	0	0	0%		
		專書	0	0	0%		
	專利	申請中件數	0	0	0%	件	
		已獲得件數	0	0	0%		
	技術移轉	件數	0	0	0%	件	
		權利金	0	0	0%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	0%		
		博士後研究員	0	0	0%		
		專任助理	0	0	0%		
國外	論文著作	期刊論文	0	1	60%	篇	撰寫中
		研究報告/技術報告	0	0	0%		
		研討會論文	0	0	0%		
		專書	0	0	0%		
	專利	申請中件數	0	0	0%	件	
		已獲得件數	0	0	0%		
	技術移轉	件數	0	0	0%	件	
		權利金	0	0	0%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	0%	人次	
		博士生	0	0	0%		
		博士後研究員	0	0	0%		
		專任助理	0	0	0%		

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

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

# 國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

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

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

已完成兩本碩士論文化程度之研究成果。

[污泥-海砂混合物之性質探討],

[石灰穩定污水污泥之凝結性質探討].

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

本計畫以污水污泥為試驗材料，研究穩定污泥之石灰配比及混合料之化學、物理、凝結、力學、工程、植生等性質，並建議含沃土構造物之安全性分析方法、設計法則、施工要領及推動策略等，以利此再利用途之推廣。本研究內容可廣泛應用於環保、大地及生態工程等領域。