

## 野溪淤積土石再利用方法初步研究

姜燁秀<sup>a</sup>、連榮吉<sup>b</sup>、吳上豪<sup>c</sup>、蔡正壽<sup>d</sup>、莊賢達<sup>e</sup>、蘇苗彬<sup>f\*</sup>

a 行政院農業委員會水土保持局坡地調查科 科長

b 行政院農業委員會水土保持局監測管理組 組長

c 行政院農業委員會水土保持局坡地調查科 工程師

d 行政院農業委員會水土保持局坡地調查科 副工程師

e 財團法人中興土木科技發展文教基金會 專案經理

f 中興大學土木工程學系 教授

\* 台中市國光路250號 mbsu@dragon.nchu.edu.tw

## 摘要

每逢颱風豪雨肆掠後，野溪河道便堆滿從上游沖刷淤積之土石，若不儘速清理，待下次暴雨來臨，便會成為下游土石流的來源，因此非儘速清淤不可。清疏作業中，利用挖出之土石方，視為可利用土石資源，在預算有限、但工期緊迫下，建議以最少的錢、於最短的時間內，先開築深槽、疏通水路，依現地修復與保護的需求，搭配施作「現地拌合法」進行河岸地質改良，施工容易、價格便宜、施作快速，而且最節能減碳、經濟有效。

**關鍵字：**淤積土石、水泥、現地拌合法

## 一、前言

每逢颱風豪雨肆掠過後，野溪河道便堆滿從上游沖刷之土石，若不儘速清理，待下次暴雨來臨，便會成為下游土石流的來源，因此非儘速清淤、疏通不可，但以全台數千條野溪而言，若全部要治理，將需要如天價般之預算，抑或是長達數十年的治理速度方能完成。

將深山野溪土石清運至中下游，往往嚴重衝擊沿線環境，若清淤土石品質不佳，更無廠商願意承攬，致工程多次流標、無法執行，人民會認為是政府執行效率不彰，面對此一困境，執行機關更視此為燙手山芋，執行意願更低，最後政府、人民都成為此惡性循環的受害者。

因此將挖出之土石方，視為可就地利用土石資源，施作成保護設施，不飭為解決上述問題的有效途徑。

## 二、現地土石再利用

以添加水泥、就地利用土石方法，大致如圖 1 所示。一類視其為「水泥混凝土」，現地土石做為混凝土骨材來源，依混凝土材料標準規範其品質，如級配等，同樣地，與水泥混合方式也需符合規範要求，如混凝土拌廠的磅秤精度、拌合機性能等，方能生產出符合配比要求、具一定坍度、強度的「混凝土」。

另一類視為「地質改良」，它對骨材要求不像水泥混凝土般嚴格，拌合要求也不需如預拌廠般複雜，通常只需將水泥灑鋪後，使用如推土機等機具混合，

以壓實度等方式檢驗。其中「水泥穩定土壤主要機制為卜作嵐反應和硬化效果，即水泥含石灰成分，石灰中之鈣離子與土壤礦物中之矽酸鹽及鋁酸鹽產生膠結反應，形成矽鈣膠體(CSH)及鋁鈣膠體(CAH)；此種膠體有助於顆粒間之鍵結和土壤中孔隙之填塞，對於提昇強度、降低滲水性有相當大之助益。且一般認為水泥穩定土工程性質之改變主要是水泥硬化所致，當水泥硬化作用產生時，水泥顆粒和周遭之土壤顆粒固結，形成不連續之強且硬的骨架圍繞在土粒之四周，可以視骨架為塞入土壤之孔隙中之填塞作用。」(陳振川，2008)。

以下將現行可見的現地土石再利用方式分述如下。

## 2.1 水泥處理土壤

或可稱之為土壤水泥 (Soil Cement)，依公共工程施工綱要規範第 02715 章「水泥處理土壤」之定義，係依照設計圖說，依序將土壤搗碎、灑佈水泥，以路拌法或其他方法予以拌和、滾壓並充份壓實而成；規範中建議所有土壤粒料最大尺度不得超過 75mm，並最少須有 55%通過 4.75mm，適用於道路路基、底層。

## 2.2 控制性低強度回填材料

「控制性低強度回填材料 (Controlled Low-Strength Material, CLSM)」具備類似高性能混凝土的自充填、高流動化特性，故不需滾壓、震實，非常適用於如地下管溝回填等以 CLSM 替代傳統土石回填，如圖 2。

依公共工程施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」規定，CLSM 之生產除可於預拌混凝土廠利用一般混凝土用之潔淨粒料生產外，亦可利用現地開挖土石方或再生粒料予以生產。目前市面上，大部分預拌廠採用潔淨粒料，品質較易掌控但單價較高，但也接受現地開挖土石方做為替代骨材，單價雖較低，約為使用之潔淨粒料的 6 至 8 成（依「公共工程價格資料庫」，2011 及「營建物價」，81 期），但前提是現地開挖土石料必須由施工單位自行運送至預拌廠，所以成本更高。

## 2.3 淤積土石混凝土

依據 陳振川教授之研究(陳振川，2008)，嘗試以具篩孔料斗之怪手將淤積土石篩分出大於 5cm 之淤積石料（稱為大填充材，再藉由自走式破碎機破碎為小於 5cm 之石材）；將小於 5cm 以下之小填充材，添加水泥、符合 CNS 規定之混凝土級配粒料（目的為調整淤積土石不良之級配），搭配現地自走式計量拌和機等機具，拌合產製設計強度 210 kg/cm<sup>2</sup>、坍度 12.5cm ±4.5cm 之淤積土石混凝土。據其成本估算，考量材料、機具與試驗費用，使用數量必須達一定規模時，方具經濟效益。

## 2.4 現地攪拌混合固化工法

「現地攪拌混合固化工法」(In Situ Mixing，簡稱 ISM 工法)，是日本於 1992 年研發將現地土石以水泥固化之施工方式，在施工现场依配比將水泥、水、混合劑等材料混合成為水泥漿後，壓送至裝在挖土機挖臂前方之「攪拌混合機」，與現場開挖但已事先經篩選、粒徑小於 300mm 之土石，直接進行攪拌混合，最後形成類似混凝土具有一定強度的基礎或結構體。（日本，「ISM 工法研究會」官方網站，2011）

## 2.5 水庫淤泥混凝土

每逢颱風或豪雨過後，部分土石隨洪水流入水庫造成淤積，不僅使水庫有效蓄水量減少，亦對水庫安全造成威脅，處理對策除了水力排砂外，若能在乾季將淤泥開挖予以有效利用，亦是一種極佳的處理方式。依公共工程施工綱要規範第 03801 章「水庫淤泥混凝土」定義，以水庫淤泥替代部分細骨材使用，適用於純混凝土，或次要結構使用之低強度鋼筋混凝土，建議配比設計強度有 175kg/cm<sup>2</sup>、210kg/cm<sup>2</sup> 兩種。

比較上述各工法對淤積土石之使用限制，如表 1。

# 三、現地拌合法

「現地拌合法」是以即挖、即拌、即用方式，於工地直接將現地開挖土石料與水泥混合，逐步加水拌合至目視均勻程度後，成為一種可直接用於回填、

無結構安全與強度需求等考量用途之拌合料，基本上屬於地質改良的一種，改良原理類似「水泥處理土壤」。

然而受材料來源、溪床縱坡變化、土石流規模、沖淤程度等影響，使得淤積土石級配變異性極大，由各地深山野溪淤積土石組成比例來看，粒徑大於 4.75mm 粗粒料含量皆非常高，粗估皆可達

50%~80%，即至少都是 USCS 分類之「G」類。依文獻所述，以路拌法或其他方法將現地灑佈的水泥與土壤予以拌和均勻、充份壓實混合時，統一土壤分類為「GW」、「GP」、「GM」、「GC」，現地拌合之水泥建議用量大約為 3%~9%，如表 2，其抗壓強度大致上還有 6.5MN/mm<sup>2</sup>，如表 3。

表 1 土石利用工法比較

| 種類                   |         | 骨材特殊限制                                                                                                                                               | 備註                                                                                                       |
|----------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 淤積土石混凝土<br>(現地產製)    |         | 1.使用現地淤積土石。<br>2.粗骨材最大粒徑 50mm。<br>3.搭配混凝土用砂(須符合 CNS 1240 之規定)。                                                                                       | 1.不同區域、不同特性淤積土石，需單獨設計配比。<br>2.現地租用「自走式現地拌合機具」。<br>3.在工程一定規模以上方具經濟效益。                                     |
| 現址攪拌混合固化工法<br>(ISM)  |         | 1.使用現地淤積土石。<br>2.粗骨材最大粒徑：300mm。                                                                                                                      | 1.日本專利工法，特殊攪拌混合機。<br>2.現地設置水泥槽、水泥漿混合槽、水泥漿壓送幫浦。<br>3.視土石種類、用途設計配比。                                        |
| 水泥處理土壤<br>(土壤水泥)     |         | 1.使用現地淤積土石。<br>2.粗骨材最大粒徑建議不得超過 75mm。<br>3.最少須有 55%通過 4.75mm (No.4) 篩。                                                                                | 1. 現地水泥撒佈後，立即使用攪拌機具反覆拌和，使水泥與刮鬆搗碎之全部土壤充分均勻混合為止。<br>2.現場以最佳含水量模式管控施作品質。<br>3.依公共工程施工綱要規範第 02715 章「水泥處理土壤」。 |
| 水庫淤泥混凝土              |         | 1.使用水庫淤泥替代部分細骨材。<br>2.其他相關規定依公共工程施工綱要規範第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」辦理。                                                                                  | 1.適用於純混凝土，或次要結構使用之低強度鋼筋混凝土。<br>2.施工前依淤泥特性及規範建議配比進行試拌確認試驗。<br>3.依公共工程施工綱要規範第 03801 章「水庫淤泥混凝土」。            |
| 控制性低強度回填材料<br>(CLSM) | 現場開挖土石方 | 1.現場開挖土石須由施工單位自行運交預拌廠使用。<br>2.依 ASTM D2487 分類，泥炭土、高塑性有機質土及低塑性有機質土含量不得大於 10%<br>3.粒料粒徑不得超過 50mm，大於 NO.4 試驗篩 4.75mm 之粗粒料用量不得超過 400 kg/m <sup>3</sup> 。 | 1.由混凝土預拌廠產製、預拌車輸送。<br>2.依公共工程施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」。<br>3.材料需符合公共工程施工綱要規範第 02320 章「不適用材料」之要求規定。     |
|                      | 混凝土用粒料  | 1.混凝土用粒料應符合 CNS 1240 之規定。<br>2.粒料粒徑不得超過 50mm，大於 NO.4 試驗篩 4.75mm 之粗粒料用量不得超過 400 kg/m <sup>3</sup> 。                                                   | 1.由混凝土預拌廠產製、預拌車輸送。<br>2.依公共工程施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」。                                                |

資料來源：「公共工程施工綱要規範」、「陳振川，2008，淤積土石現地利用之研究及輔導試驗工程」、「ISM 工法研究會官方網站」

表 2 不同土壤拌合所需的水泥量[after Anon 1990, State of the art report on Soil-cement, ACI 87(4)]

| 統一土壤分類                 | 水泥量需求(註 1)<br>(重量百分比) | 依含水量與密度試驗(註 2)<br>(重量百分比) | 耐久性試驗(註 3)<br>(重量百分比) |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| GW, GP, GM, SW, SP, SM | 3-5                   | 5                         | 3-5-7                 |
| GM, GP, SM, SP         | 5-8                   | 6                         | 4-6-8                 |
| GM, GC, SM, SC         | 5-9                   | 7                         | 5-7-9                 |
| SP                     | 7-11                  | 9                         | 7-9-11                |
| CL, ML                 | 7-12                  | 10                        | 8-10-12               |
| ML, MH, CH             | 8-13                  | 10                        | 8-10-12               |
| CL, CH                 | 9-15                  | 12                        | 10-12-14              |
| MH, CH                 | 10-16                 | 13                        | 11-13-15              |

註 1：水泥需求量不包括土壤的有機成份或與水泥作用不佳者，通常用作邊坡保護者，如曝曬嚴重應考慮增加水泥含量。

註 2：ASTMD558(1992)土壤水泥拌合之水份密度關係標準試驗方法。

註 3：ASTMD559(1982)土壤水泥拌合之乾濕循環測試標準試驗方法。

資料來源：F.G.Bell (1993), "Engineering Treatment of Soils", E & FN SPON, an imprint of Chapman & Hall, London

表 3 水泥拌合土壤後的性質[after Ingles and Metcalf, 1972]

| 土壤分類<br>(統一土壤分類法) | 抗壓強度<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | 楊式係數 E<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | CBR  | 滲透性(m/s)                        | 收縮性 | 總結                  |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------|------|---------------------------------|-----|---------------------|
| GW,GP,GM,GC,SW    | 6.5                          | $2 \times 10^4$                | >600 | 降低( $\cong 2 \times 10^{-7}$ )  | 可忽略 | 太強,可能容易<br>生裂隙(註 1) |
| SM,SC             | 2.5                          | $1 \times 10^4$                | 600  | 降低                              | 很小  | 很好的材料               |
| SP,ML,CL          | 1.2                          | $5 \times 10^3$                | 200  | 降低( $\cong 1 \times 10^{-9}$ )  | 低   | 可用的材料               |
| ML,CL,MH,VH       | 0.6                          | $2.5 \times 10^3$              | <100 | 增高                              | 中   | 不好的材料               |
| CH,OL,OH<br>Pt    | <0.6                         | $1 \times 10^3$                | <50  | 增高( $\cong 1 \times 10^{-11}$ ) | 高   | 拌合不易,需更<br>多的水泥     |

註：表中為均值，變異可能達 50%。表中為以添加 10%水泥為準。

註 1：考慮減低水泥用量

資料來源：F.G.Bell (1993), "Engineering Treatment of Soils", E & FN SPON, an imprint of Chapman & Hall, London

「現地拌合法」採取將水泥與土壤顆粒包裹攪拌混合，是較「水泥處理土壤」拌合更為均勻的一種方式，再加上無強度或耐久性的需求，水泥含量可採用 7%~8%。為了簡化施工程序，只要現地淤積土石之 USCS 分類屬於「G」類，建議水泥與淤積土石之重量比例為 1:12（即相當於水泥用量為 7.7%），每立方公尺之現地拌合料使用水泥 165 公斤。施工時為了讓工地施作迅速，直接採用鬆方土石挖斗次數（開工前已先行秤量挖土機挖斗能盛裝之淤積土石重量）搭配水泥包數方式計量。另因淤積土石屬泥、土、砂、石之複合材料，各種材料吸水率差異極大，加上現地土石含水量會因開挖取料位置深淺、距河道遠近而不同，實務上用水量採現場控制、逐步添加直至所有材料達到攪拌均勻程度為止。

## 四、應用-以合望溪清疏工程為例

現以南投縣仁愛鄉合望溪緊急清疏工程為例，在河道旁開挖溝槽，回填現地拌合料，在河道與欲保全對象間形成一道「地下改良體」，如圖 3。在非汛期，河道會因地形、降雨等影響而左右迂迴亂竄，溪水會先逐漸侵蝕、帶離土石中之細顆粒，剩下呈假性穩定之粗顆粒骨架暫時支撐土體，一旦被帶走之土砂夠多、或溪水冲刷力道變大，便會使此架構破壞、土石流失，如圖 4。若流失處上方有蛇籠或土石堆置場等，下方會掏空，最後導致蛇籠損毀、邊坡滑動破壞。相反的，若有施作「拌合式地盤改良工法」，改良體

耐溪水冲刷、侵蝕能力一定高於未壓實淤積土石，一旦河道接近改良體時，至少可以延緩甚至阻擋其後方土石被侵蝕、冲刷。

## 五、成本分析

由於合望溪工區主要混凝土供應來源為埔里鎮，經

電話訪查當地預拌混凝土廠之混凝土不含稅牌價，與「公共工程價格資料庫」、合望溪清疏工程單價進行比較，如表 4。原則上「預拌混凝土 140kgf/cm<sup>2</sup>」之價格較 CLSM 為高，而「現場開挖土石方拌合 CLSM」雖較「混凝土用粒料拌合 CLSM」單價低，但若再考慮開挖土石運費，則未必比較便宜。所以就施工實務性、土石就地利用而言，在不考慮強度下，「拌合式地盤改良工法」不僅單價只有土石籠之 1/3，更遠低於預拌混凝土或 CLSM。

## 六、結論

近年颱風超大豪雨不斷，坡地崩塌土石導致河道淤積堵塞，水路亂竄，造成嚴重災情，河道清淤已刻不容緩。在預算有限、但工期緊迫下，建議以最少的錢、於最短的時間內，先開築深槽、疏通水路，將清疏挖出之土石，視為可利用資源，依現地修復與保護的需求，搭配施作「現地拌合法」進行河岸地質改

良，此工法施工容易、价格便宜、施作快速，而且最  
節能減碳、經濟有效。

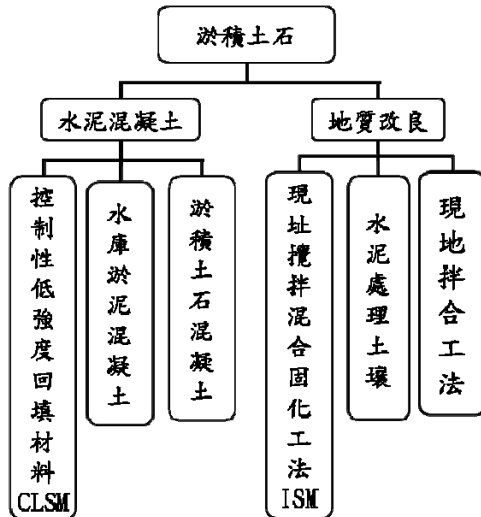


圖 1 現地土石添加水泥再利用分類



圖 2 地下管溝回填 CLSM



圖 3 「拌合式地盤改良工法改良體」保全對象種類



圖 4 拌合式地盤改良工法之改良體與對岸已遭溪水侵蝕冲刷之河岸

表 4 不同工法單價比較

| 工項名稱                                             | 單位             | 價格，元                   | 備註               |
|--------------------------------------------------|----------------|------------------------|------------------|
| 產品，預拌混凝土材料費，140kgf/cm <sup>2</sup> ，第 I 型水泥，工地交貨 | M <sup>3</sup> | 2,000~2,100<br>(1,603) |                  |
| 產品，控制性低強度回填材料，混凝土用粒料，80kg/cm <sup>2</sup>        | M <sup>3</sup> | 1,800~1,900<br>(1,429) |                  |
| 產品，控制性低強度回填材料，現場開挖土石方，80kg/cm <sup>2</sup>       | M <sup>3</sup> | 1,500<br>(953)         | 未含將淤積土石運送至預拌廠之費用 |
| 拌合式地盤改良工法                                        | M <sup>3</sup> | 733                    |                  |
| 土石籠                                              | M <sup>3</sup> | 2,200                  |                  |

資料來源：1.預拌廠電話訪價、合望溪緊急清疏工程單價分析表

2. ( ) 內為行政院公共工程委員會「公共工程價格資料庫」中部地區平均價格

## 參考文獻

1. 行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範  
網 頁 資 料 (2011)  
[http://pcces.archknowledge.com/csinew/Default.aspx?FunID=Fun\\_9\\_3&SearchType=B](http://pcces.archknowledge.com/csinew/Default.aspx?FunID=Fun_9_3&SearchType=B)。
2. 行政院公共工程委員會，公共工程價格資料庫網  
頁 資 料 (2011)  
[http://pcces.archknowledge.com/csinew/Default.aspx?FunID=Fun\\_11\\_2&SearchType=D](http://pcces.archknowledge.com/csinew/Default.aspx?FunID=Fun_11_2&SearchType=D)。
3. 南投縣仁愛鄉公所 (2010)。「合望溪無名橋上游  
0K+950~1K+500 緊急清疏工程」單價分析表。南  
投縣仁愛鄉公所。
4. 財團法人台灣營建研究院 (2011)。營建物價。81  
期。財團法人台灣營建研究院。
5. 陳振川 (2008)。淤積土石現地利用之研究及輔導  
試驗工程。財團法人台灣營建研究院。行政院農  
業委員會水土保持局。
6. 日本「ISM 工法研究會」官方網站網頁資料 (2011)  
<http://www.ism-method.jp/>。
7. 中國國家標準(2009)，經濟部中央標準局。(CNS  
1240)
8. ASTM Stands, American Society for  
Testing and Materials(1998) (ASTM D2487)

9. F.G.Bell (1993), "Engineering Treatment of Soils",  
E & FN SPON, an imprint of Chapman & Hall,  
London