

野溪清疏土石資源化可行性研究

*姜燁秀¹、連榮吉²、吳上豪³、蘇苗彬⁴

1 行政院農業委員會水土保持局坡地調查科 科長

2 行政院農業委員會水土保持局監測管理組 組長

3 行政院農業委員會水土保持局坡地調查科 工程員

4 中興大學土木工程學系 教授

摘要

坡地野溪清疏作業的實施中，對野溪清疏產生的土石視為土石資源，並尋求有效的現地利用為整體環境資源有效應用非常重要的一環。在解決土砂淤積、阻礙有效排洪的同時，對清淤土石去處做有價值的利用，最能符合節能減碳、亦最經濟有效。清疏產生之土石，在上游集水區較佳的利用方式為填築低窪地，並同時利用清淤土石特性、配合改良工法做成各式保護措施，一併解決集水區土地流失、道路、房舍受損等問題。

土石資源填方利用的規劃，要先考慮現地位置的特性及要保護的程度，依實際需求作成規劃，如「現地拌合法」便是以即挖、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，回填於河道旁成為一種具備地質改良功效的保護措施。

關鍵詞：現地拌合法、土石資源、節能省碳

一、前言

每逢颱風豪雨肆掠過後，野溪河道常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。野溪淤積的土石方，可以經選擇作為骨材使用，但將深山野溪土石清運至中下游，往往嚴重衝擊沿線環境，過去的採售合一或採售分離的作法，若清淤土石品質不佳，更無廠商願意承

攬，可能導致工程多次流標、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。

因此將野溪清淤挖出之土石，視為可就地利用土石資源，施作成邊坡及河岸保護設施，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，依製作過程特性，大致如圖 2.1 所示。

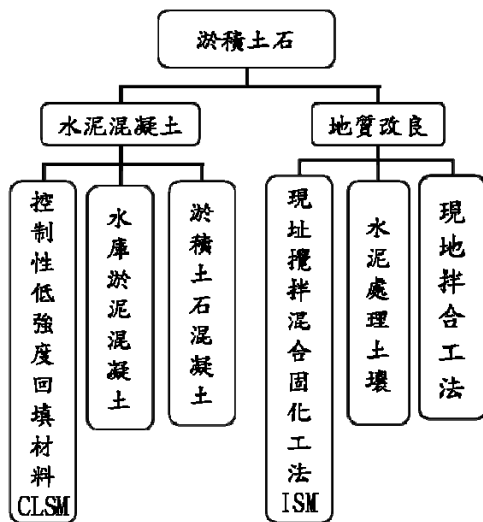


圖 1 現地土石添加水泥再利用分類

一可視為「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，如混凝土預拌廠的磅秤精度、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」。

另一可視為「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)。

以下將現行常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。



圖 2 地下管溝回填 CLSM

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

依據陳振川之研究(陳振川，2008)，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

礎或結構體，設備配置如圖 6。（日本，「ISM 工法研究會」官方網站，2011）



圖 3 淤積土石混凝土現場機具佈置

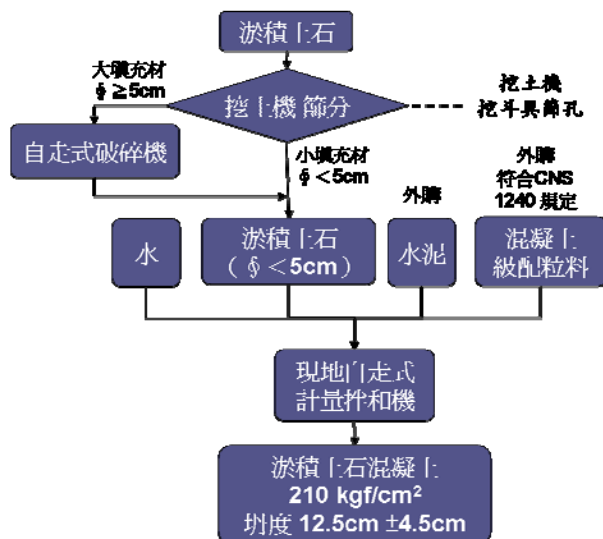


圖 4 淤積土石混凝土施作流程

2.4 現址攪拌混合固化工法

(資料來源：日本，「ISM工法研究會」官方網站)

圖 5 「ISM 工法」攪拌混合機

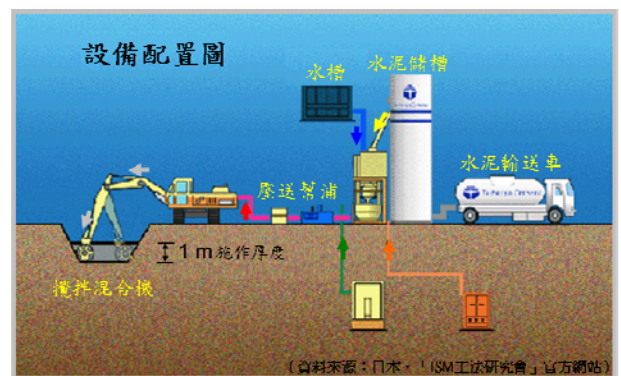


圖 6「ISM 工法」現場設備配置圖

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 $175\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 兩種。

三、清淤土石拌合試驗

各地清疏作業產出之土石，隨其來源母岩及運移過程的淘選作用，會有極大的差異，應針對土石特性，經由調查、試驗，彙整其工程性質以利後續應用之規

劃。

3.1 原理

如同前述「水泥穩定土壤」，利用土壤拌合添加物來改善其體積的穩定性，強度亦即受力產生應變的關係，滲透特性與耐久性等。

現地拌合法即為清疏工程推動中，利用現地清疏所得的材料，依其性質做必要的拌合改良，配合所擬定施作之保護措施需求，進行配合設計，以達成符合需求特性而實施的工法。現地原有之材料會因為拌合所添加之水泥與水的固結作用，降低了孔隙的體積，發展出較高的強度與勁度特性，而由水泥之凝結作用，減低了膨脹性，也改變了材料的滲透性，好的拌合作用會影響其成品，採用水泥作用作為現地土壤特性改良，可以有效的利用現地土石資源，協助上游集水區的清疏作業。

3.2 配比試驗

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，為了解各地野溪清疏土石拌合水泥之工程特性，選取 2009 年莫拉克風災後全省 10 處野溪淤積土石清疏地點進行取樣，並以固定水灰比 $W/C=0.55$ ，模擬傳統營建工程常用之混凝土配合比例 1:2:4、1:3:6 及 1:4:8 方式，探討不同配比與不同工程地點之現地拌合法適用情形，10 處野溪淤積土石現地取樣地點如表 2，室內試驗流程如圖 7。

表 2 10 處野溪淤積土石現地取樣地點

項次	現地名稱	GPS 點位	
		X 座標	Y 座標
1	花蓮山里	281,495	2,592,350
2	台東大島	239,781	2,477,006
3	南投眉溪上游(合望)	263,149	2,657,374
4	嘉義阿里山溪社興橋上游	221,499	2,605,753
5	苗栗沙河溪	234,478	2,718,976
6	新竹尖石(新樂國小)	275,397	2,735,857
7	台中頭汙坑茄荖寮	225,325	2,669,574
8	嘉義達邦	221,932	2,594,352
9	台南後堀溪主流	207,308	2,562,835
10	台南後堀溪支流亞美坑	207,392	2,562,424

(座標系統 TW67)

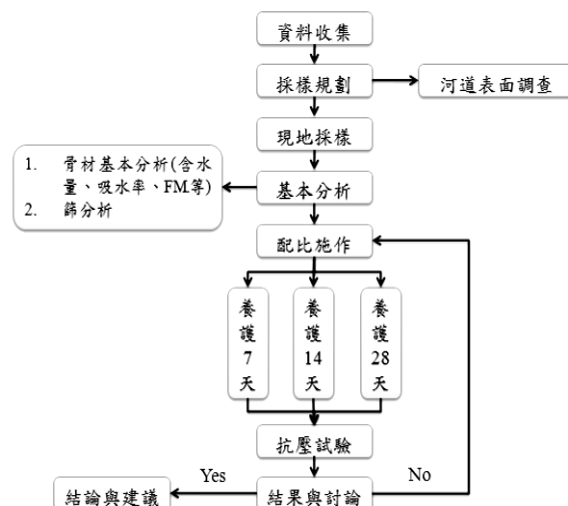


圖 7 配比試驗流程圖

3.3 現地取樣基本性質試驗

現地取樣時，先調查河道淤積現況，並於現地較具代表性地點，使用隨機方式進行現地土石取樣及過篩，如圖 8~圖 17，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。

另調查取樣點上下游表面粒徑，將各試區之骨材粒料，依照每組配比試驗所需用量約 60kg，攜回室內將骨材風乾並個別篩分成粗、細骨材，而後進行個別區域骨材基本性質試驗及調配拌合土，骨材性質基本試驗結果如表 3，細骨材粒徑分布曲線如圖 18。



圖 8 花蓮縣卓溪鄉山里部落太平溪取樣

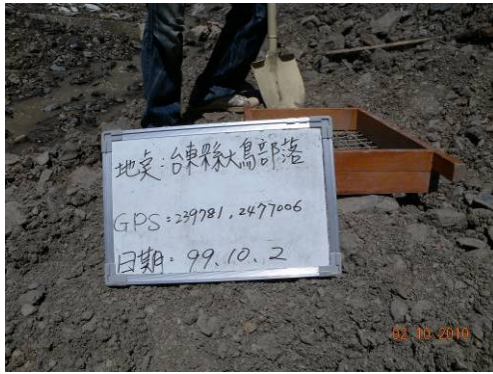


圖 9 台東縣大武鄉大鳥溪支流取樣



圖 13 新竹縣尖石鄉油羅溪河道採樣



圖 10 南投縣仁愛鄉眉溪上游(台望)取樣



圖 14 台中縣太平市茄苳寮頭汴坑溪取樣



圖 11 嘉義縣梅山鄉阿里山溪取樣



圖 15 嘉義縣阿里山鄉達邦村曾文溪取樣



圖 12 苗栗縣頭屋鄉沙河溪河道取樣



圖 16 台南縣南化鄉關山村後堀溪主流取樣



圖 17 台南縣南化鄉關山村後堀溪支流亞美坑取樣

表 3 10 處現地骨材基本試驗結果一覽表

試驗 項目 取樣 地點	含水量 (%)	細度 模數 (F.M)	比重	飽和含 水量 (%)	表面含 水量 (%)	最大 粒徑 (cm)
花蓮山里	2.86	2.60	2.25	14.35	0.82	40
台東大鳥	5.12	2.40	2.10	17.56	0.84	39.6
南投合望 眉溪	1.78	2.60	2.35	13.57	0.80	69.5
嘉義社興橋	2.86	2.80	2.65	14.01	0.85	69
苗栗沙河溪	1.98	2.60	2.60	14.02	0.83	36
新竹尖石 (新樂國小)	2.01	2.80	2.45	15.31	0.81	74
台中頭汴 (茄荖寮)	8.24	2.40	2.07	13.66	0.88	39.6
嘉義達邦	5.24	2.60	2.55	15.70	0.87	52.4
台南後堀溪	5.10	2.60	2.31	15.14	0.87	52
台南後堀溪 (亞美坑)	4.24	2.60	2.43	15.02	0.85	48.7

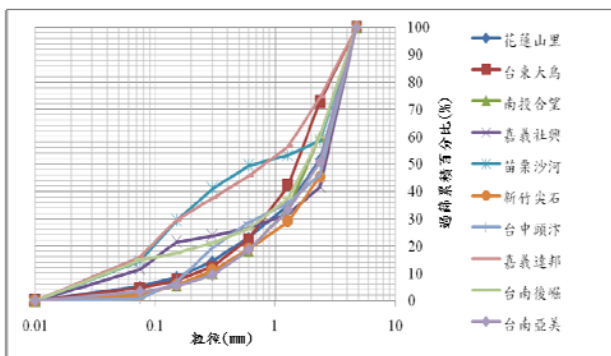


圖 18 10 處取樣地點細骨材粒徑分佈曲線比較

3.4 抗壓試驗

本試驗依不同配比、不同取樣地點，製作直徑 15 公分x高 30 公分圓柱試體，分別進行 7 天、14 天及 28 天之齡期抗壓試驗，抗壓強度如圖 19~圖 21 所示。

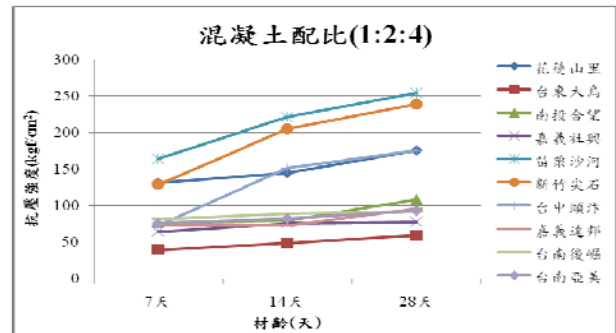


圖 19 10 處取樣地點配比(1:2:4)之抗壓試驗比較

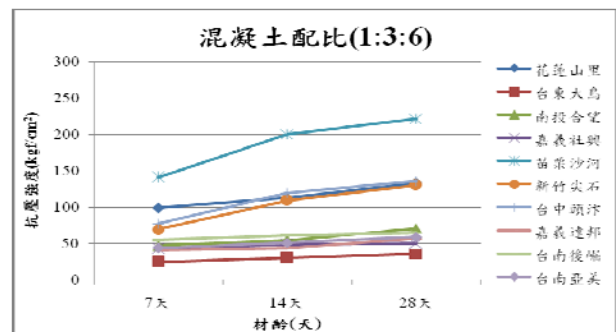


圖 20 10 處取樣地點配比(1:3:6)之抗壓試驗比較

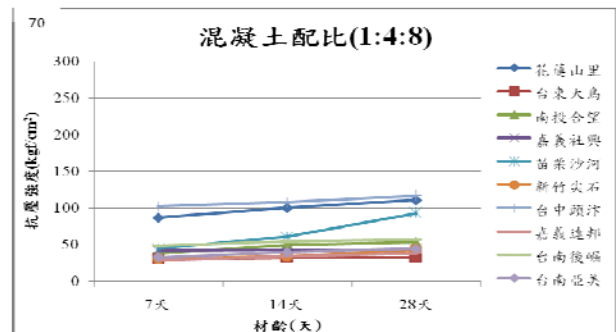


圖 21 10 處取樣地點配比(1:3:6)之抗壓試驗比較

首先針對各個試驗地點進行單方面探討，其目的係以找出各地區之各種配比，並找出最為適用於該地使用混凝土配比。經由分析結果顯示，若採用一般混凝土 140 kgf/cm² 之一半 70 kgf/cm² 為標準，則配比 1:2:4 通過此標準者佔全試驗區之 2/3。

對於各地區之 28 天抗壓強度，1:2:4 之配比強度，其中有 9 個試驗區，花蓮山里、南投合望、嘉義社興橋、苗栗沙河溪、新竹尖石、台中茄荖寮、嘉義達邦、

台南後堀溪、台南亞美坑均有達到本次設定之標準 70 kgf/cm²；而台東大鳥之試驗結果亦頗接近此標準；1:3:6 則有 6 個試驗區，花蓮山里、南投合望、苗栗沙河溪、新竹尖石、台中茄苳寮、台南後堀溪、台南亞美坑；1:4:8 則有 3 個試驗區，花蓮山里、苗栗沙河溪、台中茄苳寮。若依照 ACI 規範施作之混凝土抗壓強度，亦有達標準 70 kgf/cm² 者僅 7 個試驗區(南投合望、嘉義社興橋、苗栗沙河溪、新竹尖石、台中茄苳寮、嘉義達邦、台南後堀溪)。

本計畫之目的，希能在節能減碳與工程經濟效益兩者達到最佳之平衡，故選擇營建工程常用之配比而進行各試區工程配比設計，不僅可以加快現地拌合之推行外，也可方便工程人員進行現地之拌合使用。

依照本計畫之目的，一是考量可達設定之抗壓強度、水泥最小用量下之配比設計，整理各地區之不同配比抗壓試驗結果如表 3 所示，已達設計之抗壓強度(以色塊區分)，可利減少工程經費，但仍保有一定之強度水準。另一則是考量施工最經濟成本，即採最低水泥用量，以配比 1:4:8 之試驗結果，最低強度仍有至少 33 kgf/cm²。

表 4 10 處取樣地點配比抗壓強度

試驗區	1:2:4	1:3:6	1:4:8
花蓮山里	176	133	111
台東大鳥	60	36	33
南投眉溪上游	109	71	53
嘉義社興橋	78	50	43
苗栗沙河溪	254	221	93
新竹尖石鄉	239	131	43
台中頭汴坑	175	136	117
嘉義達邦	96	57	38
台南後堀溪	92	65	57
台南亞美坑	93	59	45

(單位：kgf/cm²)

土石流於淤積上抬之河床亂竄、漫溢兩岸，如能簡化施工步驟、提升施工效率、有效縮短工期，將對全省各野溪清淤進度有極大之幫助。

因此將「現地拌合法」定義屬於地質改良的一種，改良原理類似「水泥處理土壤」，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，現地不再篩分粗、細骨材，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、可提供抗沖蝕、提高結構安全與現地強度等考量用途之拌合料。

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 5，其抗壓強度大致上還有 66 kgf/cm²(6.5MN/mm²)，如表 6。

由前節清淤土石拌合試驗結果，配比 1:4:8 (相當水泥用量為 7.7%) 之試驗結果，最低強度仍有 33 kgf/cm²，在不考慮粗細骨材篩分情形下，以水泥：淤積土石(粗、細骨材混合)=1：12 之配合比例進行試驗探討。

4.1 試驗室模擬拌合試驗

為配合野溪清淤工程，選擇南投縣仁愛鄉眉溪上游(合望)進行取樣，以水泥：淤積土石=1：12 之配合比例進行拌合，用水量參酌一般混凝土澆置常見工作性，分別設定為坍度 15 公分與 20 公分，相對之水灰比為 W/C=1.82、W/C=1.98，拌合料比照 CNS 1174 移除 37.5mm(含)以上之卵(塊)石，製作直徑 15 公分×高 30 公分圓柱試體，強度試驗結果如圖 22，坍度 15 公分與 20 公分之 28 天齡期強度分別為 39 kgf/cm²、36kgf/cm²，比前節配比 1:4:8 之最低強度 53 kgf/cm² 為低，應為試驗室模擬拌合試驗之水灰比 W/C 較高所致。

四、現地拌合法

但由於野溪河道清淤往往有其急迫性，必須趕在下次颱風豪雨來臨前完成，否則野溪未及清淤，將致

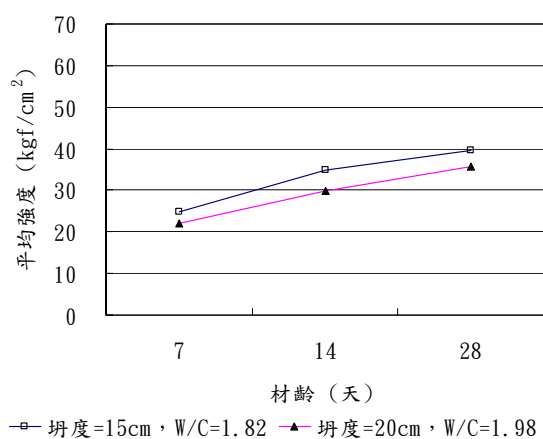


圖 22 室內強度試驗結果

4.2 野溪清疏工程實際應用

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，下方方便會掏空，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、抗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。

「現地拌合工法」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，可直接用於回填，可提供抗冲刷、提高結構安全與現地強度考量等用途，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，如圖 23，以「合望」為例：PC300 挖土機一挖斗可裝載 2.183 公噸土石，即實際施工，每

次拌合皆直接以 1 公噸水泥 搭配 5.5 挖斗土石比例混合，故實際施工時不再做任何過篩與秤重動作。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。

現地拌合料比照 CNS 1174 移除 37.5mm(含)以上之卵(塊)石，製作直徑 15 公分×高 30 公分圓柱試體，強度試驗結果，坍度 14 公分，7 天、14 天、28 天齡期強度分別為 42kgf/cm²、62kgf/cm²、69kgf/cm²，28 天齡期強度比前節配比 1:4:8 之最低強度 53 kgf/cm² 為高。

4.3 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 7。原則上「預拌混凝土 140kgf/cm²」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。

五、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「現地拌合工法」進行河岸地質改良，此工法施工容易、價格便宜、施作快速，而且最節能減碳、經濟有效。



圖 25 挖土機挖斗盛裝土石秤重試驗



圖 23 「拌合式地盤改良工法改良體」保全對象種類



圖 26 「現地拌合法」施工流程



圖 24 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 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 (現地產製)		1.使用現地淤積土石。 2.粗骨材最大粒徑 50mm。 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。 2.現地租用「自走式現地拌合機具」。 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(ISM)		1.使用現地淤積土石。 2.粗骨材最大粒徑：300mm。	1.日本專利工法，特殊攪拌混合機。 2.現地設置水泥槽、水泥漿混合槽、水泥漿壓送幫浦。 3.視土石種類、用途設計配比。
水泥處理土壤 (土壤水泥)		1.使用現地淤積土石。 2.粗骨材最大粒徑建議不得超過 75mm。 3.最少須有 55%通過 4.75mm (No.4) 篩。	1. 依公共工程施工綱要規範第 02715 章「水泥處理土壤」。 2.現場以最佳含水量模式管控施作品質。 3. 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。
水庫淤泥混凝土		1.使用水庫淤泥替代部分細骨材。 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. 依公共工程施工綱要規範第 03801 章「水庫淤泥混凝土」。 2.施工前依淤泥特性及規範建議配比進行試拌確認試驗。 3. 適用於純混凝土，或次要結構使用之低強度鋼筋混凝土。
控制性低強度回填材料(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。 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% 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 ³ 。	1. 依公共工程施工綱要規範第 03377 章「控制性低強度回填材料」。 2. 由混凝土預拌廠產製、預拌車輸送。 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。 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 ³ 。	

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 5 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) (重量百分比)	依含水量與密度試驗(註 2) (重量百分比)	耐久性試驗(註 3) (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 6 水泥拌合土壤後的性質[after Ingles and Metcalf, 1972]

土壤分類 (統一土壤分類法)	抗壓強度 (MN/m ²)	楊式係數 E (MN/m ²)	CBR	滲透性(m/s)	收縮性	總結
GW,GP,GM,GC,SW	6.5	2×10^4	>600	降低($\cong 2 \times 10^{-7}$)	可忽略	太強，可能容易 生裂隙(註 1)
SM,SC	2.5	1×10^4	600	降低	很小	很好的材料
SP,ML,CL	1.2	5×10^3	200	降低($\cong 1 \times 10^{-9}$)	低	可用的材料
ML,CL,MH,VH	0.6	2.5×10^3	<100	增高	中	不好的材料
CH,OL,OH Pt	<0.6	1×10^3	<50	增高($\cong 1 \times 20^{-11}$)	高	拌合不易，需更 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

表 7 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 ² ，第 I 型水泥，工地交貨	M ³	2,000~2,100 (1,603)	
產品，控制性低強度回填材料，混凝土用粒料，80kgf/cm ²	M ³	1,800~1,900 (1,429)	
產品，控制性低強度回填材料，現場開挖土石方，80kgf/cm ²	M ³	1,500 (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 ³	733	
土石籠	M ³	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/csinev/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)
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。

http://pcces.archknowledge.com/csinev/Default.aspx?FunID=Fun_11_2&SearchType=D。

5. 陳振川 (2008)。淤積土石現地利用之研究及輔導試驗工程。財團法人臺灣營建研究院。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。
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