
**適應野溪土石級配特性之固床整治工法
評估研究**

**A Study on Adaptability of Groundsill
Works to Riverbed Gradation considering
the Stability Control
(成果報告)**

執行單位：台灣科技大學營建系

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：盧之偉 教授

協同主持人：鄭世豪 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12

適應野溪土石級配特性之固床整治工法評估研究

摘要

台灣高山林立且溪流湍急，在洪汛期間遭遇豪雨、颱風侵襲後，主要河道常堆滿由上游沖刷淤積的土石，為防止更多土石往河道下游堆積，依民國100年行政院核定之「加強河川野溪及水庫疏濬方案」，水土保持局必須定期辦理野溪清疏作業，並開挖足以容納設計排洪量的深槽為原則，以維護野溪的通洪能力。但是，水土保持實施的野溪清疏作業，所需河道清疏開挖的土石數量相當可觀，欲藉車載來清運這些開挖土砂，除所需的搬運費和清運時間不貲外，大量機具的運載亦會造成大量碳排，不符合國家推動之淨零碳排作為。是故，就地開挖並將清疏之土石作為天然的工程資材，供給野溪堤防、固床工和護岸等工事使用，並使河床改良設計融入自然生態中，達成清疏和減碳的雙贏方案。

窄看下此構想可行且符合循環經濟和創新固床工法之發展，但實施上卻有相當程度的困難度，主要原因在於台灣地形和地質變異性大、降雨量的分佈離散，使得全島各地野溪之沖淤狀況、土石堆積規模、淤積土石級配變異皆有很大的差異，固床工工法的選擇及材料選用，也必須隨著不同的生態環境條件而調整。鑑於此，本計畫將依台灣的

地形和地質分佈特徵，將全島之野溪劃分為北區、中區和南區三個區域，並從中選定共6條野溪，進行現地調查與各區土石級配採集和分析。然後，再依各區野溪的材料粒徑不同，使用對應之地盤改良的固結工法，來找出各區適應的整治工法(例如：現地拌合、現地灌漿、土石固結...等)。本研究所提出的改良工法，其改良成效將透過數值分析來進行驗證，透過數模來得到不同工法下的穩定程度，藉此來評估不同工法的成效，然後就各工法的施工便利性、經濟性、環境友善性和保全對象等效益進行評價，說明本研究的新固床工法及其帶來循環經濟之最大效益。

關鍵詞：固床工、清疏、循環經濟、淨零碳排、整治工法

A Study on Adaptability of Groundsill Works to Riverbed Gradation considering the Stability Control

Abstract

The geological characteristics of Taiwan are high mountains, young rocks, a seismic zone, and steep slopes and flow. Therefore, the rivers quickly deposit sediments after heavy rain and typhoon. To prevent the sediments from being transported downstream, a comprehensive management plan of the river basin has been implemented systematically named "An Enhanced Dredging Plan for Streams, Rivers and Reservoirs" since 2011. However, transporting the massive amount of deposits by trucks is very costly and of high carbon emissions.

On the other hand, Wild creeks and rivers are often scoured by the steep flows and require an appropriate countermeasure technique. Moreover, this project suggests that the excavated and dredged earth and stone can be used as natural engineering materials. This study's result would use reinforcement such as wild creek embankment, groundsills, and bank protection to accommodate the riverbed improvement design into the natural ecology. Indeed, this idea is feasible and in line with the development of circular economy and innovative groundsills method, but it is challenging to implement. There are significant differences in wild creeks' scouring and silting conditions across the island, the scale of soil and rock accumulation, and the variation in deposited soil and rock gradation.

Thus, this project study zones will be divided into north, central, and

south Taiwan. To propose an adapting technique of groundsills to stabilize a riverbed and riverbank considering its bed gradation, in which the deposited sediments in the river and reservoir will be used. Further, on-site investigation, soil-rock gradation, and analysis in each district will be carried out. According to the characteristics of the groundsills work needed by the wild creek, uses consolidation technique for the riverbed improvement and other available materials on-site to evaluate the consolidation method suitable for each creek (for example, in-situ mixing, in-situ grouting, soil-rock consolidation). Meanwhile, the various reaction conditions will consider and verified from the numerical analysis. It can be used as a reference for the recommendations of the adaptive technique. Besides, particle gradation characteristics of the river and a comprehensive method of groundsills works will propose. Particular consideration will be on using useable natural materials on the site. An integrated evaluation is given as well for future reference.

Keywords : Groundsill work, Dredging, Circular economy, Net zero emissions, Countermeasures for riverbed and river bank stabilization

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	IX
第一章 緒論	1-1
第一節 研究動機	1-1
第二節 研究目的	1-2
第二章 文獻回顧	2-1
第一節 固床工相關工法回顧	2-1
第二節 地盤改良相關工法回顧	2-4
第三節 國內相關案例回顧	2-18
第三章 示範場區勘查與研究	3-1
第一節 示範場區研究說明	3-1
第二節 示範場區前期調查	3-4
第四章 研究方法	4-1
第一節 粒徑分析試驗方法	4-1
第二節 室內模擬拌合試驗方法	4-3
第三節 數值分析方法	4-5
第五章 研究成果	5-1
第一節 現場調查結果	5-1
第二節 粒經分析結果	5-20
第三節 數值分析研究結果	5-35
第四節 適應工法之改良效率分析	5-50

第五節 各適應工法之強弱危機分析比較	5-57
第六章 結論	6-1
第一節 計畫執行與管考	6-1
第二節 報告結論與建議	6-3
參考文獻.....	參-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-1
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-8
附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-13
附錄四、現地拌合地盤改良施作機具	附-14

表次

表 2-1 硬化材之穩定處理機制 (摘自 廖洪鈞和陳福勝，2006).....	2-6
表 3-1 構造物外觀檢視劣化型態照片示意及說明表(摘自:中興工程，2018)	3-2
表 3-2 構造物周遭檢視劣化型態照片示意及說明表(摘自:中興工程，2018)	3-3
表 5-1 統一土壤分類尺寸	5-24
表 5-2 各採樣點粒徑分析成果	5-24
表 5-3 拌合試驗抗壓試驗成果	5-31
表 5-4 綜合過往研究之拌合試驗抗壓試驗成果	5-33
表 5-5 數值分析參數表	5-39
表 5-6 地盤改良設計分析案例列表	5-39
表 5-7 安全係數分析結果-1	5-40
表 5-8 安全係數分析結果-2	5-42
表 5-9 安全係數分析結果-3	5-46
表 5-10 安全係數分析結果-4	5-48
表 5-11 刷深深度小於 3 公尺垂直施作分析結果	5-51
表 5-12 刷深深度小於 3 公尺水平施作分析結果	5-52
表 5-13 刷深深度大於 3 公尺垂直施作分析結果	5-54
表 5-14 刷深深度大於 3 公尺水平施作分析結果	5-54
表 5-15 刷深深度大於 3 公尺深層拌合分析結果	5-56
表 5-16 野溪整治之淺層和深層攪拌工法之評估與檢討列表	5-59
表 5-17 野溪整治之淺層和深層攪拌工法適用性比較	5-59
表 6-1 預定進度表	6-2

圖次

圖 1-1 計畫流程圖	2-3
圖 2-2 淺層攪拌工法常見施工機具	2-7
圖 2-3 淺層攪拌工法之設計流程 (重繪自 廖洪鈞和陳福勝, 2006)	2-8
圖 2-4 (中)深層攪拌工法之應用例	2-11
圖 2-5 (中)深層攪拌工法之規劃和設計流程(重繪自 廖洪鈞和陳福 勝, 2006)	2-12
圖 2-6 現地土石添加水泥再利用分類	2-14
圖 2-7 瓦魯斯溪現地拌合工法改良體	2-17
圖 2-8 金崙溪現地拌合工法改良體	2-17
圖 2-9 合望溪現地拌合水泥地盤改良施工成果	2-19
圖 2-10 瓦魯斯溪土石採樣點位置圖(摘自 徐弘明, 2019)	2-20
圖 3-1 河床堆積材料粒徑範例照片(摘自:水保局, 2016)	3-1
圖 3-2 河岸邊坡崩塌類型示意圖(摘自:水保局, 2016)	3-3
圖 3-3 現勘野溪地理位置圖 (摘自 余紀忠文教基金會)	3-7
圖 4-1 混凝土抗壓試驗機	4-4
圖 4-2 抗壓試驗機控制系統	4-4
圖 4-3 Slide 二維極限平衡穩定性分析示意圖	4-5
圖 5-1 中部阿里山溪之現地初步調查結果照片	5-1
圖 5-2 南部來社溪之現地初步調查結果照片	5-1
圖 5-3 南勢溪現勘位置	5-3
圖 5-4 南勢溪下游粒徑	5-3
圖 5-5 南勢溪中上游河床	5-4
圖 5-6 南勢溪河岸護坦與防砂設施	5-4

圖 5-7 碼崙溪現勘位置	5-6
圖 5-8 碼崙溪下游粒徑	5-7
圖 5-9 碼崙溪防砂設施	5-7
圖 5-10 萬大溪現勘位置	5-9
圖 5-11 萬大溪上游粒徑	5-10
圖 5-12 萬大溪河岸護坦與防砂設施	5-11
圖 5-13 阿里山溪現勘位置	5-13
圖 5-14 阿里山溪上游粒徑	5-13
圖 5-15 阿里山溪河岸護坦與防砂設施	5-13
圖 5-16 荖濃溪現勘位置	5-15
圖 5-17 荖濃溪河床表面	5-15
圖 5-18 荖濃溪河床採樣土石	5-16
圖 5-19 荖濃溪河岸邊坡情形	5-16
圖 5-20 荖濃溪現地土石混凝土堤防	5-16
圖 5-21 來社溪現勘位置	5-18
圖 5-22 來社溪表面堆積土石	5-19
圖 5-23 來社溪混凝土護岸及砌石固床工	5-19
圖 5-24 來社溪河岸邊坡情形	5-19
圖 5-25 阿里山溪河床淤積土石	5-21
圖 5-26 萬大溪河床淤積土石	5-21
圖 5-27 南勢溪河床淤積土石	5-22
圖 5-28 碼崙溪河床淤積土石	5-22
圖 5-29 荖濃溪河床淤積土石	5-23
圖 5-30 來社溪河床淤積土石	5-23
圖 5-31 北中南野溪粒徑分佈曲線圖	5-24

圖 5-32 北部野溪粒徑分佈曲線圖	5-25
圖 5-33 中部野溪粒徑分佈曲線圖	5-25
圖 5-34 南部野溪粒徑分佈曲線圖	5-26
圖 5-35 阿里山溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-28
圖 5-36 萬大溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-29
圖 5-37 南勢溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-29
圖 5-38 馬崙溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-30
圖 5-39 荖濃溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-30
圖 5-40 來社溪拌合試體 (左 1:6, 中 1:9, 右 1:12)	5-31
圖 5-41 北中南野溪土石拌合配比抗壓強度圖	5-32
圖 5-42 中部野溪土石拌合配比抗壓強度圖	5-32
圖 5-43 南北部野溪土石拌合配比抗壓強度圖	5-33
圖 5-44 綜合過往研究之土石拌合配比抗壓強度圖	5-34
圖 5-45 荖濃溪六龜大橋左岸護岸工程(經濟部水利署 2012)	5-35
圖 5-46 溪水冲刷導致土石流失	5-36
圖 5-47 土石籠破壞	5-36
圖 5-48 地盤改良體案例圖片	5-37
圖 5-49 地盤改良固床工模型示意圖	5-37
圖 5-50 數值分析建模	5-38
圖 5-51 護岸於無改良體保護下河床向下刷深	5-40
圖 5-52 安全係數分析結果圖表-1	5-41
圖 5-53 垂直向下施作地盤改良示意圖	5-42
圖 5-54 安全係數分析結果圖表-2	5-43
圖 5-55 安全係數分析結果圖表-3	5-43
圖 5-56 水平橫向施作地盤改良示意圖	5-45

圖 5-57 安全係數分析結果圖表-5.....	5-46
圖 5-58 安全係數分析結果圖表-6.....	5-47
圖 5-59 水平橫向施作地盤改良示意圖	5-48
圖 5-60 安全係數分析結果圖表-7.....	5-49
圖 5-61 安全係數分析結果圖表-8.....	5-49
圖 5-62 比較 $FS>1.5$ 時施做垂直地改之面積	5-51
圖 5-63 比較 $FS>1.5$ 時施做水平地改之面積	5-52
圖 5-64 比較 $FS>1.1$ 時施做垂直地改之面積	5-54
圖 5-65 比較 $FS>1.1$ 時施做水平地改之面積	5-55
圖 5-66 比較 $FS>1.5$ 時施做深層攪拌工法之面積	5-56
圖6-1 計畫甘特圖	6-1
圖附-1 現地拌合工法機具配置 (台中電廠灰塘區地改試驗).....	附-14
圖附-2 現地拌合工法控制系統(台中電廠灰塘區地改試驗).....	附-14
圖附-3 WILL 攪拌工法施工機具配置圖(台中電廠灰塘區地改試驗)	附-15
圖附-4 WILL 攪拌工法控制系統(台中電廠灰塘區地改試驗).....	附-15
圖附-5 WILL 攪拌頭(台中電廠灰塘區地改試驗)	附-16

第一章 緒論

第一節 研究動機

台灣野溪每逢雨季颱風或豪大雨之襲擊，各重災區大量的土石崩落堆積於主要河川之上游集水區。因清除災後之土石所費不貲、土方暫時布設空間不足、土石經濟效益不足等問題，本計畫建議以現地清疏之土石作為天然的工程材料，供給野溪堤防、固床工和護岸等工事使用，藉此達到發展新固床工法與符合循環經濟之最大效益。

固床工為常見之溪流整治抗冲刷保護措施，可以與河床齊平或略高於河床面，同時常採用連續施設方式構成。良好之固床工設計依水土保持手冊工程方法篇說明，能有效抑制河床面泥砂的輸移，防止河床產生嚴重冲刷現象，同時緩和床面及兩岸的流速，具整流、導流、減緩冲刷、調整河床坡度等功能，是河道整流工程重要設施之一。固床工規劃設計應就安全、保育與經濟予以考量，考量生態棲地干擾程度及復原間之相互因素，因地制宜考量運用，以降低工程行為對環境之衝擊，以及對自然生態之破壞。固床工設計位置選定原則：

- 一、河床冲刷之河段，或有可能被冲刷地點之下游。
- 二、冲刷地區如屬主支流合流處，應選定在合流點之下游處。
- 三、以保護構造物之基礎為目的者，應選定在構造物下游處。
- 四、河岸崩塌或地滑處，應選定在其下游處。

基於以上原則，本研究據以提出地盤改良的對應工法。

第二節 研究目的

地盤改良的工法需依據拌合材料性質的不同來做調整，考量河床粒徑之級配具有空間分布的差異性，地盤改良工法也必須跟著調整。是故，本計畫擬藉全島野溪之分區、現地調查、土石級配採集和分析、以及野溪所須固床工特性，以地盤改良之固結手段來評估各區的適應整治工法，茲將預計解決問題說明如下：

- 一、響應政府循環經濟和淨零碳排政策，希冀將野溪清疏土石視為就地整治自然資材，以節省清淤土石搬運費和清運時間。
- 二、依台灣地形/地質變異特性和降雨量的分佈離散特性，劃分全島野溪淤積土石級配分區，並依各分區特性，以地盤改良之固結手段建議適應的固床或保護整治工法。

本計畫預計藉由現地調查、全島各分區之主要野溪淤積土石取樣和相關試驗分析手段來完成旨揭工作目標，計畫預計流程圖如圖 1-1 所示，茲將預計完成目標說明如下：

- 一、依全島北、中、南分區，至少各完成2條野溪的現地調查(共計6條)，並就各野溪之淤積土石進行取樣和現況紀錄。
- 二、透過土石篩分析或土石顆粒尺寸的量測，劃分全島北、中、南分區之野溪淤積土石粒徑的概略分佈狀態。
- 三、依全島北、中、南分區之野溪淤積土石粒徑的概略分佈狀態，以地盤改良固結手段建議適應的固床或保護整治工法。
- 四、透過數值模擬不同粒徑之土石膠結所需的水泥材料配比。針對各適應地盤改良工法之施工便利性、經濟性、環境友善性和保全對象進行比較。



圖1-1 計畫流程圖

第二章 文獻回顧

本章透過回顧國內外野溪整治之相關文獻，首先了解台灣野溪常見的固床工之形式，再進行本計畫欲採用土壤固結工法的詳細介紹，最後將過往曾經施作土壤固結工法的經驗納入本研究的參考項目，整合過去對於土壤固結工法改良體強度的相關研究，作為設計以及數值分析驗證的資料。

第一節 固床工相關工法回顧

固床工工法為因應不同河川地形及水流特性而產生各種形式，並依行政院農業委會水土保持局分為以下型式：

- 一、階段(梯)式固床工:適用於落差較大之河川，每階段落差於 20~30 公分，且總河床坡降以 $\leq 15\%$ 為原則；但於非常流水則可不考慮魚類生態，可將每階段高度略增加為50~100公分，以減少構造物之設置。階段式固床工常與斜坡式固床工混合配合設計，施設位置、寬度、長度、坡度等視溪床之坡降、河幅、河床質及施設目的決定之。
- 二、斜坡式固床工:於下游面以斜坡方式構築，利用坡度消除落差，常流水之溪流如考慮魚類之生態，其坡度一般以10~15%為原則，坡面以塊石（長徑30~50公分）排、砌或植石，並預留低水流量之水道。於非常流水之溪流，因不考慮魚類生態，其坡度可採用 $\leq 20\%$ ，坡面除了排、砌塊（巨）石外，亦可以植石處理，常與階段式固床工配合構築。

三、複式斷面固床工:於河川為常流水時，設計溢洪口之排洪量可分低流量、常流量、最大（設計）洪峰流量等。由於河道遇枯水期之水流集中於深槽，為考慮魚類生存，固床工之溢洪口宜採用複式型，開口深度視魚類、生物棲息狀況調整，讓水流形成蜿蜒，一般宜小於1公尺，開口寬度可視溪床質、河幅寬度、流量、流心方向位置作適當設計。採用複式斷面一般有二階式及多階式兩種，二階式之複式溢洪口較常用於常流水之溪流，主要配合枯水期之低流量，以避免水流分散，水深太淺，影響魚類迴游。

四、拋物線型（淺碟式）固床工:排洪斷面採拋物線或複曲線或雙豎曲線等幾何圖形設計，可調整水流流心，保護兩岸減防淘刷，惟應注意集中水流可能造成之局部刷深致影響固床工之基腳，於彎曲河段之流心，應配合地形，考慮曲線段之超高，以免發生溢流。設計時應注意溢洪口底部寬度及彎曲段超高之考量。

五、溢洪口兩側形狀不同之固床工:

(一)梯形之溢洪口緩坡型:將梯形兩側之坡度設計為1:1~2（垂直：水平）呈緩坡狀以利生物通行，儘量避免因構造物之設置而受阻，設計時應考慮兩頂點相對之構造物基礎深度。

(二)門檻式之溢洪口:固床工兩翼直接嵌入兩岸，其排洪斷面之形狀呈梯形或矩形，皆端視護岸斜率而定，斷面寬度即為整治河道之計畫寬度。於非常流水、礫石河床質及土石流潛勢溪流適用。

(三)矩形式（缺口式）之溢洪口:在低流量時溢洪口採矩形設置，為一複式型溢洪口。於常流水溪流採用之。

- 六、踏步式固床工：於溢洪口斷面處每隔一距離開口或以大石於適當距離置放於河床或嵌入混凝土呈踏步台，可視為橫向構造物並兼具通行功能。如以混凝土為材料各呈方塊狀，其間留有低流量通水矩形開口，一般俗稱齒狀式固床工。較寬廣之溪流常與階段或緩坡式固床工混合施設。
- 七、丁壩式（單、雙岸）固床工：為防止亂流、偏流及溪岸侵蝕之固床工，一般與水流方面呈直角、向上游及向下游方向設置，不宜過分阻礙水流。依溪床寬度設置，方式有單岸、雙岸或以兩岸交錯排列並保留中間部分作為水流及生物之通道，設計時應注意水流流心之可能造成沖刷問題，材料以混凝土或網籠、拋石等多孔性為主。
- 八、柱狀式（透過性）固床工：以設置混凝土體（R.C）或鋼軌、工字型鋼等柱狀式樁、梳子形狀之材料為主要結構體，並以大塊石排列或填放其間構築呈一體之固床工，其結構之基礎底版等視現場需要可考慮打設鋼軌、工字型鋼樁等補強。
- 九、拋石固床工：於河道中將阻流石不規則分佈，使水流流向改變，以降低水流速度，避免河道過份沖刷。設計河床拋石石材大小之選擇及間距，除考慮降低水流之沖刷力外，應含棲息處之特性、多孔隙空間。依據日本DVWK（1998）之建議，採用之石材大小至少0.3~0.4 m，排列之間距至少2~3 倍石材長徑，為求多孔隙，石材仍應以天然石材為主。
- 十、石梁固床工：在非土石流區土砂災害較不嚴重溪流，以大型天然石塊構築於河床中之橫向構造物，使河道保持固定、降低河水的流速，以利魚蝦迴游。故設計時其石材之大小及佈置需避免水路

全面絕斷，應留有高度較低之水流路，以利水生動物於上下水域遷移。石樑應嵌入護岸，亦應嵌入河床之中，以抵抗水流沖擊力量。

第二節 地盤改良相關工法回顧

由於調查發現野溪治理之工程構造物破壞，主因多非關混凝土強度，乃常因基礎深度不足，經洪水淘刷後，構造物穩定性不夠因而位移、傾倒甚至翻覆。因此以下將對於固結工法進一步介紹，期望能透過此類工法才達到整治河床的效果，也可以應用於加固已有損壞情形之現存固床工結構。針對採用固結工法來完成野溪固床和護岸工程的相關文獻回顧，傳統方法有現地拌合和 CLSM 拌合工法，屬較淺層的施工方法，故本計畫除了回顧上述方法外，將對可實施淺層攪拌的適用工法進行詳細的介紹。除此之外，有些深槽區或護岸具有特殊保全和施工深度的限制時，則須要借助中、深層的攪拌工法才能達成，這個部分是過去水保單位比較陌生及鮮少採用的現地對策工法，將列為本計畫重要實施方法如下：

一、淺層攪拌工法：淺層攪拌工法係以地表面下1~3公尺內之軟弱地層為主要處理對象，可透過排水、被覆、置換和攪拌等方式，利用特殊機械，將固化材就地與軟弱地層材料攪拌後，經夯實形成堅實之地層，以增加基礎承载力，依材料種類可區分：

(一)水泥和水泥系硬化材穩定法：水泥穩定法係以水泥、水與土壤均勻鋪撒，並在水泥初凝前予以充分夯實。壓實後所形成之土壤水泥硬塊，遇水不致於軟化，亦不輕易破裂。除含有

機物之土壤外，大部分之土壤都可摻用合理數量之水泥做處理。水泥使用量隨土壤種類而不同，通常為土壤體積之8%~16%。

(二)瀝青穩定法：瀝青穩定法係以瀝青薄膜包裹土壤顆粒，供給土壤所需之黏結力。砂質土壤通常用較稠乳化瀝青或油溶解柏油之瀝青材料，瀝青用量在4%~6%左右。粉土或黏土則以低稠度乳化瀝青或柏油較適合，粉土之瀝青用量約為3%，黏土約為6%。

(三)石灰穩定法：因石灰有吸水降低土壤塑性之短期速效性和卜作嵐反應增加土壤強度之長期遲效性功能。一般路基穩定使用之石灰用量為乾土之2%~5%，但當土壤內含有礫土及砂石材料時，易與石灰作用產生新化合物，以增加土壤之改良強度，惟化學作用進行緩慢，須長時間濕治方能奏效。

(四)工業副產品穩定法：穩定處理之水泥如添加飛灰、高爐石粉末等工業副產品，可促進卜作嵐反應(加入飛灰時)和發揮潛在水硬性(加入高爐石粉末時)，且可獲經濟效益。

同時，近年因各種新式土壤改良劑之研製成功，該工法已不受限於 50 年前，僅以土壤水泥、土壤石灰和土壤瀝青應用於改善道路、機場跑道、淤泥和廢棄雜物等軟弱地盤改良，對於高含水量黏土、有機質污泥亦可獲得良好應用成效，茲將上述各方法之處理機制、應用案例、常見施工機具和設計流程，引用文獻建築物基礎設計規範之研究---地層改良(蕭江碧、廖鴻鈞，2004)，本研究提及設計需注意項目之詳細說明，可以做為相關研究及設計之參考。說明如表 2-1 和圖 2-1~圖 2-3。

表 2-1 硬化材之穩定處理機制 (摘自 廖洪鈞和陳福勝，2006)

固化材種類	穩定處理機制	適用土壤	處理上的問題
水泥系(普通波特蘭水泥、高爐水泥、水泥固化劑)	1.水泥之水合反應過程中形成土粒子固結和孔隙填充。 2.黏土粒子之物理、化學性質改善及親水性之減低。	1.砂質土壤 2.粉質砂土 3.黏土	1.用於黏土時不經濟和攪拌困難；有機土時阻礙水泥之水合反應。 2.乾縮時產生撓度裂縫。
石灰系(消石灰、生石灰、粒狀石灰)	1.黏土與石灰間之卜作嵐反應形成土粒子固結和孔隙填充。 2.黏土粒子之物理、化學性質改善及親水性之減低。	1.砂質土壤 2.粉質砂土 3.黏土	1.發揮處理效果需較長時間。 2.受養生溫度和冰凍溶解之影響大。 3.黏土少時穩定處理效果差。
石灰、卜作嵐系	1.卜作嵐材料與石灰間之卜作嵐反應形成土粒子固結和孔隙填充。(卜作嵐材料可用煤灰、燒成黏土、火山灰)	1.砂質土壤 2.粉質砂土	1.發揮效果需較長時間。 2.受養生溫度和冰凍溶解之影響大。 3.無法期待高強度。
瀝青系(直餾瀝青、乳劑瀝青、油溶瀝青)	1.藉瀝青接著性增加土粒子結合及對水之穩定性。 2.防止土粒子表面之疏水化及毛隙管吸水作用	1.砂質土壤 2.礫石	1.用於黏土時接著性變差和攪拌困難。 2.屬於物理性之穩定處理效果，遇水時容易剝離。 3.處理土之夯實密度低。

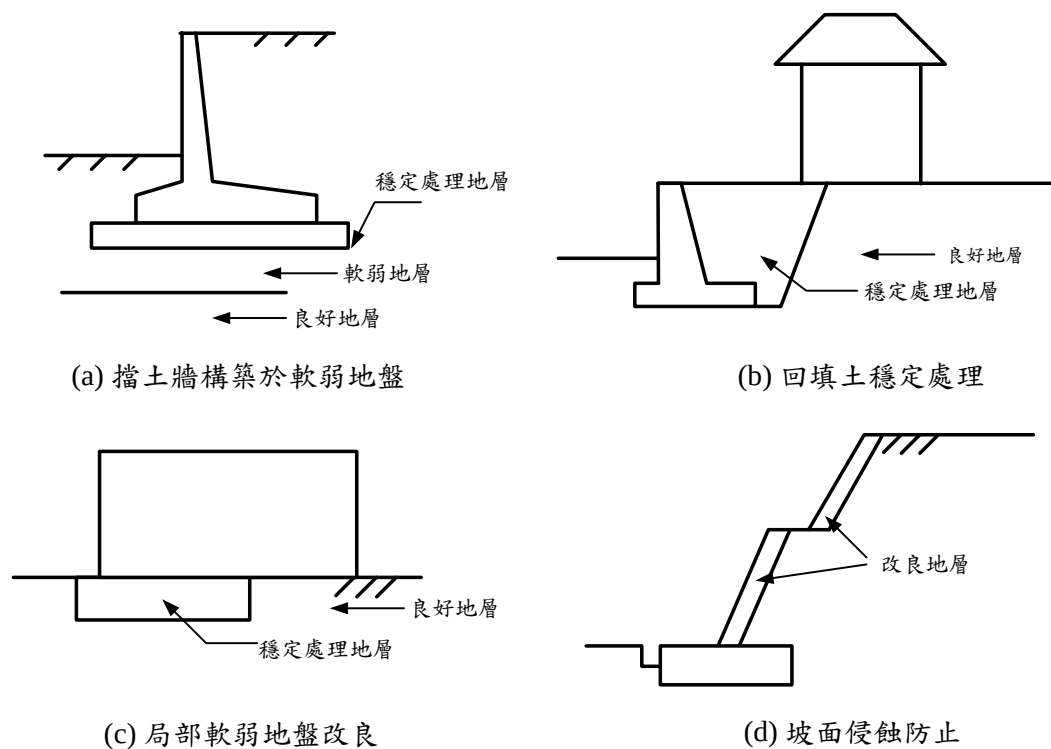


圖 2-1 淺層攪拌工法之應用例

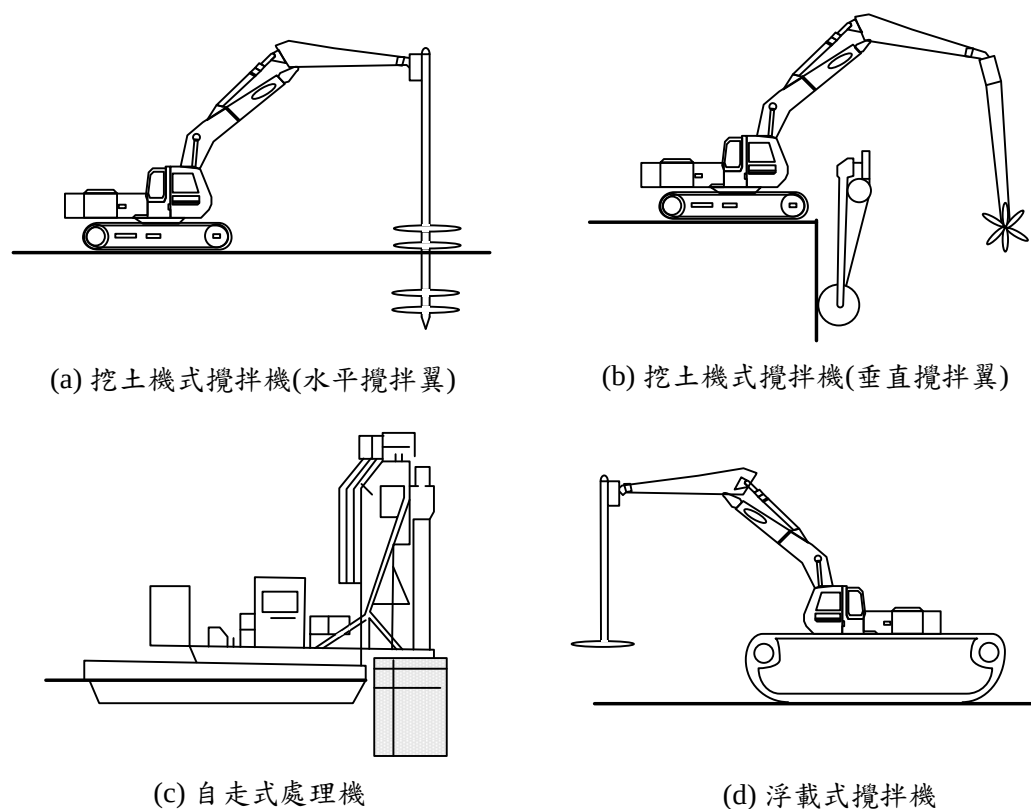


圖2-2 淺層攪拌工法常見施工機具

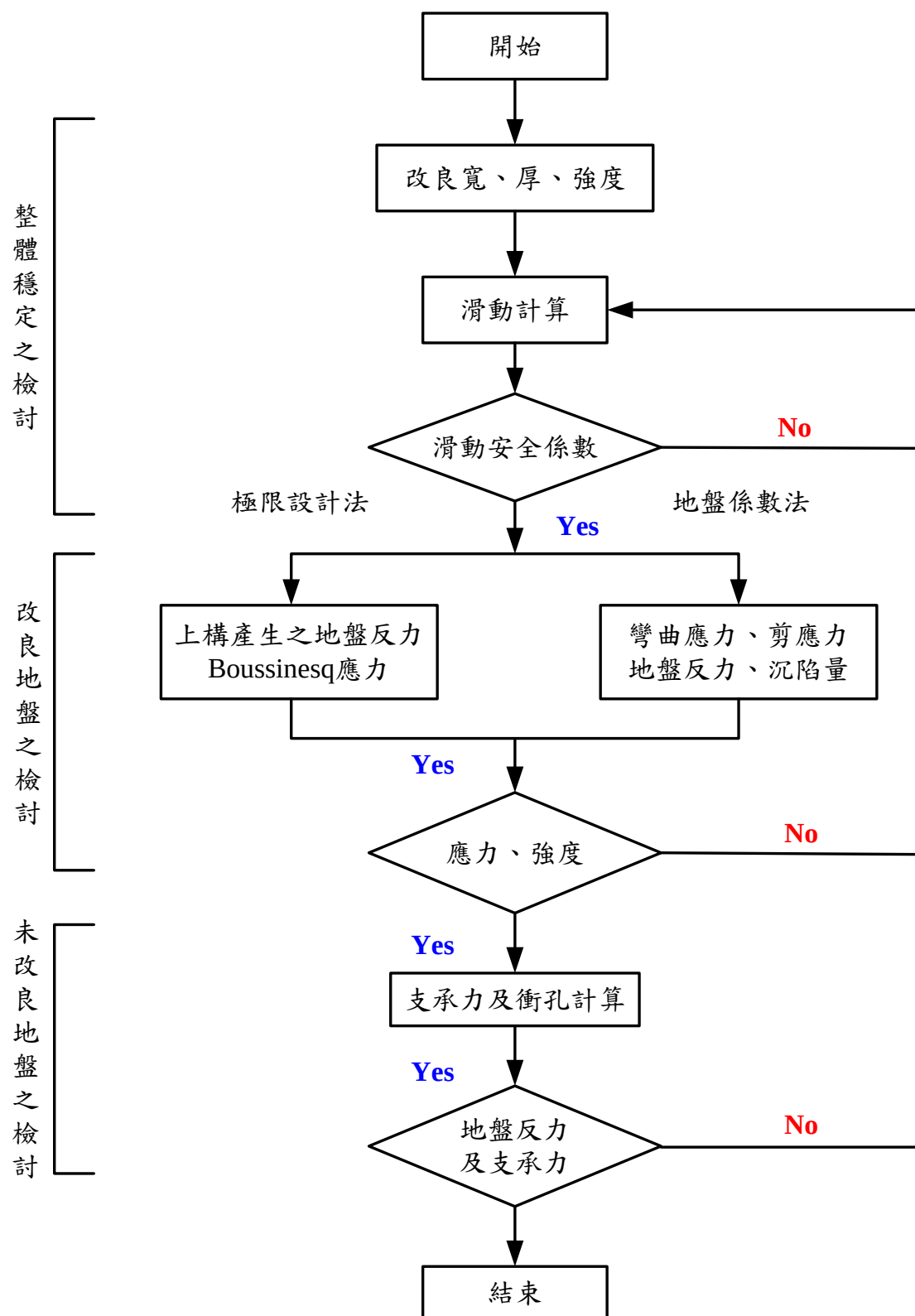


圖2-3 淺層攪拌工法之設計流程 (重繪自 廖洪鈞和陳福勝，2006)

二、(中)深層攪拌工法：(中)深層攪拌工法係利用特殊之機械於軟弱地層中攪拌土壤之同時注入固化材，使與土壤混合形成固結體之工法。(中)深層攪拌工法在軟弱地層之處理上是極為有效之工法。工作原理30多年來並未有太多改變，但隨著工法的改進其適用範圍大幅擴大，用量也大為增長。在考量改良對象地層特性、構造物規模、重要性以及經濟性時，(中)深層攪拌工法常被考慮選擇之工法，主要可區分為機械攪拌、高壓噴射攪拌、機械和高壓噴射併用等三種工法。但不同工法之間則大都有其共同性(例如：改良地盤特性、設計方法、施工管理和品質管理等)。茲將分類之詳細說明整理如下：

(一)機械攪拌工法:係利用附有攪拌翼之複式中空鑽桿，配合壓力水沖洗切削鑽掘至設計深度後，提昇鑽桿之同時以高壓噴出固化材，並以攪拌翼將土壤與固化材充分混合後形成固結體。施工方法依照所用之硬化材型態分有乾式和濕式兩種；依照攪拌軸數，分有單軸、雙軸、多軸等三種，其中，單軸又有單管和雙重管等工法。

(二)噴射攪拌：噴射攪拌工法是以超高壓力將固化材、水或空氣簾之噴射流切削地層，同時灌注硬化材使與地層之土壤混合形成固結體之工法。超高壓噴射流之運動能量破壞地盤組織結構，同時藉空氣簾之氣昇作用浮動土壤形成固化材滲入之空間與土壤強制混合。此破壞機構大致具有下列功能：凹渦現象、流體衝擊力、水劈效果、地盤疲勞效應等。依照噴射管構造，噴射攪拌工法大致可分為單管、雙重管和三重管等工法。

(三)機械、噴射攪拌併用：機械、噴射併用之攪拌工法為近十年來較新研發之技術，其優點具有改良斷面大，工期縮短和經濟性高等特性。以目前之使用情況而言，台灣應用較多的工法大致有RAS-Jet、SWING-Jet、JACSMAN等，其中，RAS-Jet工法可以正逆旋轉兼噴射攪拌來完成施工，改良固結體之有效直徑最大可達4 m；SWING-Jet工法可以較小直徑之導管鑽掘改良土層後展開攪拌翼擴孔以完成擴幅及噴射攪拌，使固化材與土層材料充分結合，最大改良體之有效直徑可達3.6 m；JACSMAN工法則於攪拌翼之末端裝設上下二段斜向噴嘴，透過機械攪拌和交叉噴射併用方式築造大口徑改良柱體，其特色除可較傳統方法提昇四倍以上之改良斷面積外，亦可確實控制改良體之成型直徑。

近年，隨著基礎工程規模擴大和深度的加深，(中)深層攪拌工法應用於軟弱地盤改良亦逐漸普遍，其中以軟弱砂土、黏土層和砂與黏土互層最為常見。綜合相關文獻可整理，(中)深層攪拌工法之主要應用範圍包含各種構造物基礎之地盤改良，開挖坡面之穩定，沉陷和液化之防治等(圖 2-4)。同時，因原地層之地質影響改良體之品質至鉅，地盤改良進行需事先精確掌握地質狀況和土石粒徑尺寸，故設計階段應施作配比試驗，並將結果反映至設計和施工上，為確保施工品質需訂定各種施工管理準則，且對環境之維護尤須注意，引用文獻建築物基礎設計規範之研究---地層改良(蕭江碧、廖鴻鈞，2004)，本研究提及設計需注意項目之詳細說明，可以做為相關研究及設計之參考。如圖 2-5 為(中)深攪拌工法之一般規劃和設計流程。

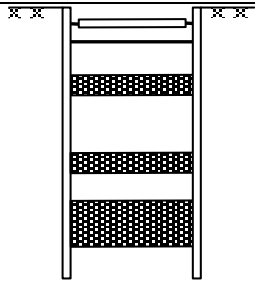
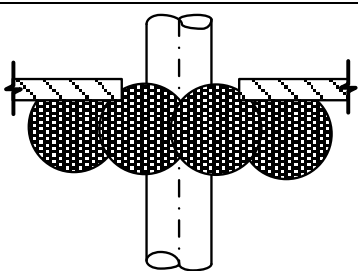
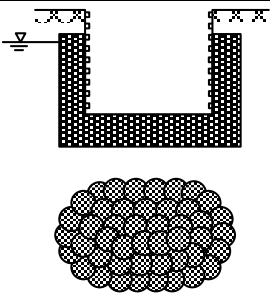
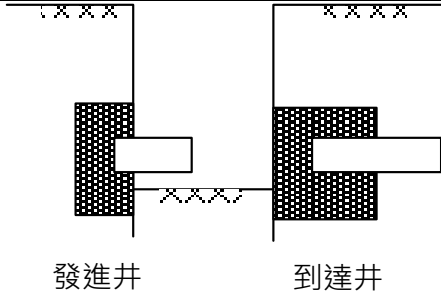
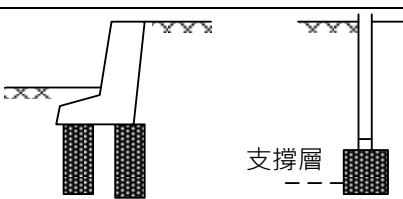
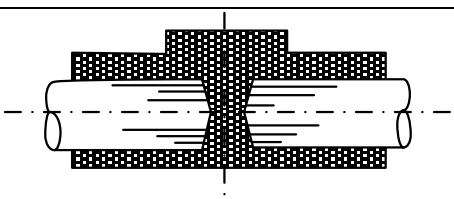
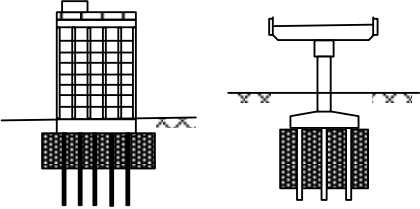
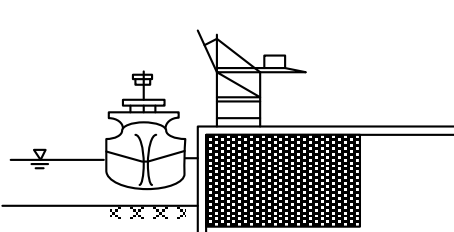
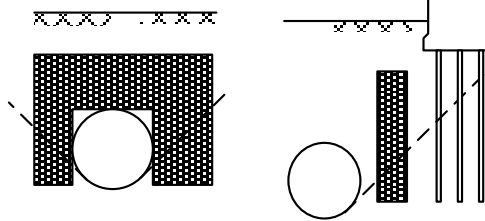
	
(a) 深基礎底版、地中梁之地盤改良	(b) 擋土牆缺口之地盤改良
	 發進井 到達井
(c) 地盤改良擋土牆、底盤	(d) 潛盾隧道發進、到達保護
 支撐層	
(e) 既有構造物支承力之補強	(f) 潛盾隧道地中接合處之補強處理
 建築 橋梁	
(g) 建築、橋梁基樁耐震補強	(h) 護岸結構物液化防止
 潛盾隧道曲線部補強 近接構造物保護	
(i) 潛盾隧道線路、構造物保護	

圖2-4 (中)深層攪拌工法之應用例

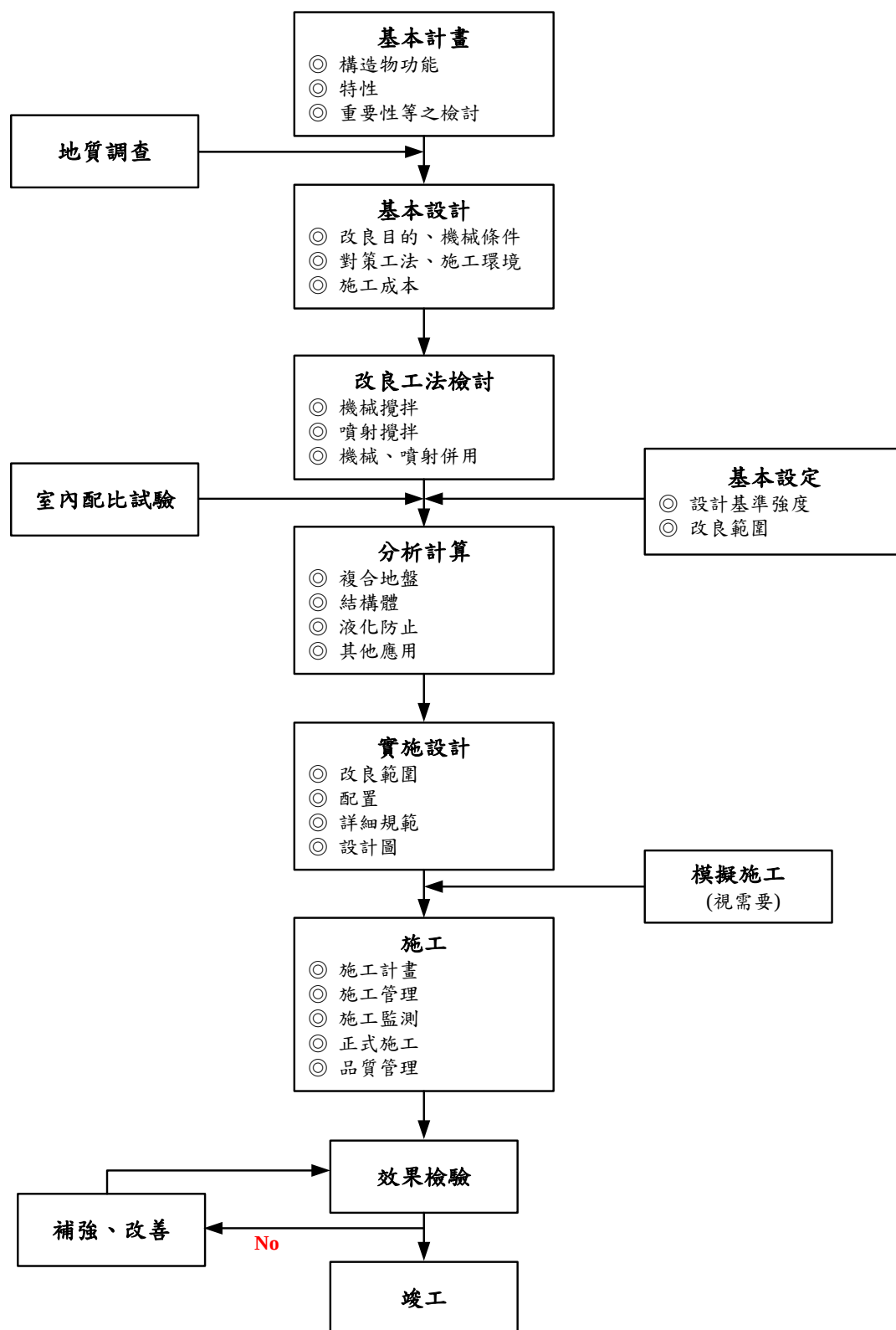


圖2-5 (中)深層攪拌工法之規劃和設計流程(重繪自 廖洪鈞和陳福勝，2006)

現地土石再利用，以添加水泥就地利用之工法，大致如圖 2-6 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」。

另一類視為「地盤改良」，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。以下將現行可見的現地土石再利用方式分述如下。

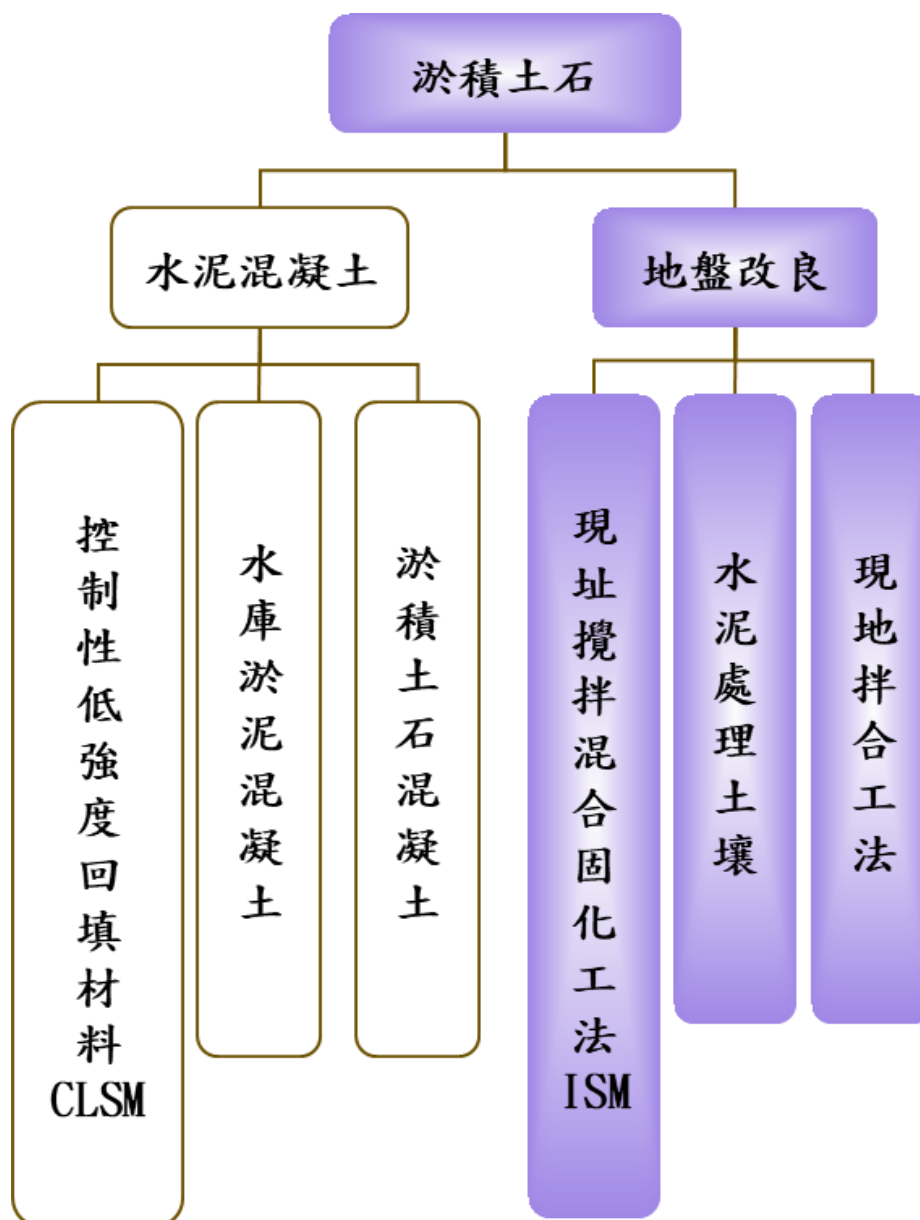


圖2-6 現地土石添加水泥再利用分類

三、現地土石再利用

(一)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 75 mm，並最少須有 55 %通過 4.75 mm，適用於道路路基、底層。

(二)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，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。

(三)淤積土石混凝土：以具篩孔料斗之怪手將淤積土石篩分出大於 5 cm 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 5 cm 之石材)；將小於 5 cm 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 kgf/cm^2 、坍度 $12.5\text{cm} \pm 4.5\text{cm}$ 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。

(四)現址攪拌混合固化工法：「現址攪拌混合固化工法」(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，在施工現場依配比將水泥、水、混合劑等材料混合成為水泥漿後，壓送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 300 mm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。

(五)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 kgf/cm^2 、 210 kgf/cm^2 兩種。

(六)現地拌合工法：「現地拌合工法」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」，現地拌合改良體如圖2-7、圖2-8所示。



圖2-7 瓦魯斯溪現地拌合工法改良體



圖2-8 金崙溪現地拌合工法改良體

第三節 國內相關案例回顧

本計畫透過上述工法，在現地探勘調查後確定改良的目的以及機械施工性等外在條件，進行適應性評估，設計合適的改良策略。過去台灣曾經利用現地土石作為野溪整治之工程材料的案例，包括現地土石作為地盤改良材及坡面工現地拌合材等形式，改良材針對土石的規格、品質幾乎不設限，可使用之最大粒徑以現場機具可以拌合的最大粒徑為原則，就使用工法的不同對應不同的適應改良材粒徑，以下回顧過往的實際工程案例。

一、安朔溪-坡面工

本案例地點位於台東林區管理處大武事業區第46、47林班地內，因遭受颱風災害影響，洪流挾帶上游大量土砂往下游移動，造成既有3號淺壩及原有護岸嚴重崩塌、河道被大量土石壅高、致水流方向改變、流心不穩，易向兩側河岸侵蝕，嚴重影響周圍農作物生長及居民的安全。本工程使用現地淤積土石作為護岸的拌合材料，將土石拌合後鋪設於坡面，作為一層強度較高的保護層，防止水流進一步沖蝕導致邊坡崩落。

二、合望溪-地盤改良

本案例位於南投縣仁愛鄉合望野溪流域，原本為仁愛鄉主要高山鱒魚養殖場產區，但在 921 大地震之後受災嚴重，往後每逢大雨便時常傳出災情，莫拉克颱風期間更是造成嚴重的土石災害。水土保持局南投分局，於災後為避免土石淤積河道，在成水路亂竄、災情擴大，乃辦理緊急清疏工程，並配合清疏土石以現地拌合水泥地盤改良，作為各種保護設施的構造如圖 2-9，包括作為臨時護岸的基礎保護，作為護坡趾部基礎地盤改良，並配合低窪流失農地回填等應用。



圖2-9 合望溪現地拌合水泥地盤改良施工成果

本計畫後續將會持續追蹤國內外土石固結工法在野溪整治上的應用，視計畫的需要進行進一步探勘或蒐集資料，來評估土石固結工法在現地實際應用的侷限性，及其工程性質應用於野溪治理的突出之處。同時也規劃以數值分析的方式，驗證改良體是否能夠保護河床及河岸邊坡，減少因為水流衝擊而崩落的土石量，在進行數值分析之前，首先要先進行改良體強度的評估，在 108 年坡地防災學報中，徐弘明等人有針對瓦魯斯溪河床(如圖 2-10 所示)土砂拌合水泥之抗壓強度進行比較，以該溪河床土砂來進行現地拌合試樣製作，並以不同配比、齡期、水灰比進行抗壓強度試驗，研究資料試驗結果呈現粗骨材比重較高、水灰比較低之試體強度增長率較低，粗骨材比重較低水灰比較高之試體增長率較高。因此水泥比例、水灰比為影響現地拌合強度之重要因子。此研究為後續相關研究或是治理工程的參考文獻。

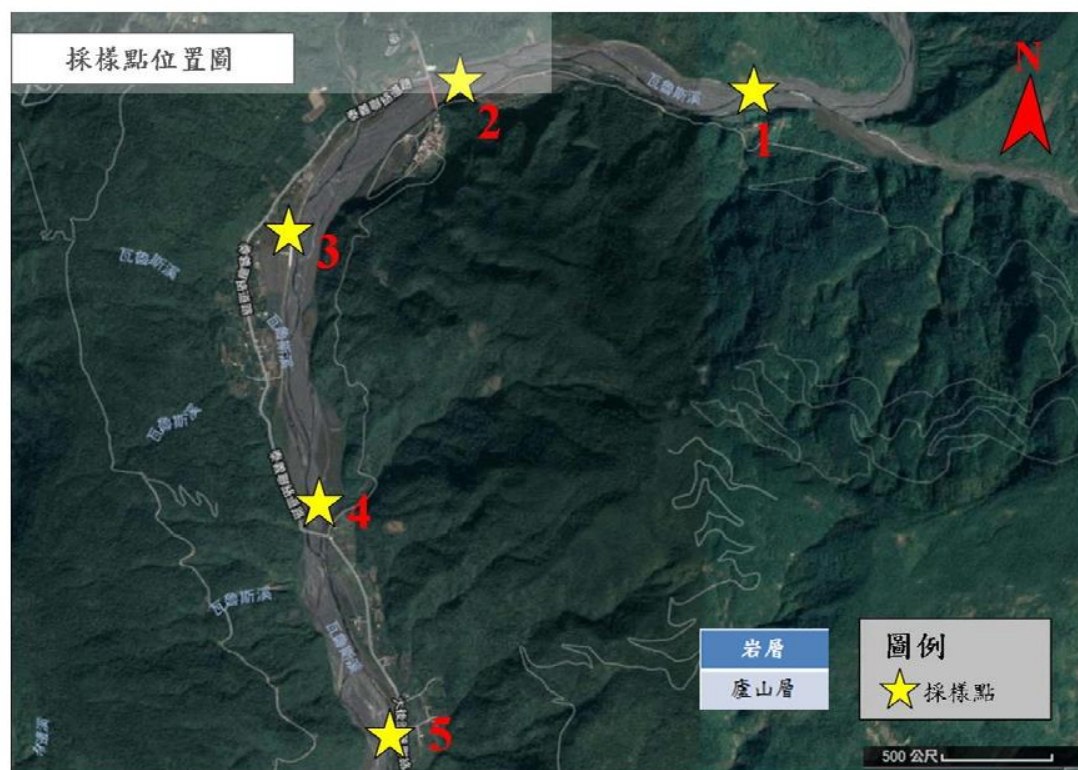


圖2-10 瓦魯斯溪土石採樣點位置圖(摘自 徐弘明，2019)

第三章 示範場區勘查與研究

第一節 示範場區研究說明

本文係調查北、中、南各分區內選擇 2 條代表性的野溪，以野溪之防砂設施構造物周遭區域為主，調查河床粒徑分類概況、防砂設施構造物完整性、河岸邊坡完整性、周遭區域狀況等，針對調查內容，逐項說明如下。

一、調查河床粒徑分類概況

河床粒徑分類調查主要為，約略評估野溪防砂構造物周遭、其上游河床堆積表面材料之概況。本文參考周毅和洪明瑞(1996)、Rosgen and Silvery(1996)、本次忠司(2010)及汪靜明(1990) 等文獻河床質粒徑分類方式，並考量實際判斷操作可行性，依現場堆積材料狀況，於構造物上游溪床，以 1m x 1m 範圍、目視觀察其主要組成 (約七成以上)，概略區分砂質 (2mm 以下)、多礫石 (2~64mm) 及多塊石 (64mm 以上，含卵石) 等三種定性方式說明，並以照片紀錄河床堆積情形，堆積材料範例照片如圖 3-1 所示。



(a) 多砂質



(b) 多粒石



(c) 多塊石

圖3-1 河床堆積材料粒徑範例照片 (摘自:水保局, 2016)

二、防砂設施構造物完整性

於野溪現勘場址檢視構造物外觀劣化程度，包含良好、裂縫、磨蝕、傾倒、沉陷、錯動斷裂、錯動變形、位移、砌石鬆脫、外框損毀或其他，其相關說明，詳見表 3-1。此外，同步檢視構造物周遭環境，包含良好、床面淤升(影響通洪斷面)、床面沖降(基礎裸露)、回填土、流失或其他。詳見表 3-2 所示。

表 3-1 構造物外觀檢視劣化型態照片示意及說明表(摘自:中興工程, 2018)

項次	類型	照片	說明
1	裂縫		裂縫的存在和發展通常會使構造物內部的鋼筋等材料產生腐蝕，降低鋼筋混凝土材料的承載能力、耐久性 及抗滲能力，影響構造物的外觀及使用壽命。
2	傾倒		設施因地震、背填材流失、地盤承載力不足、河水沖擊等各種因素，造成設施呈現傾斜和傾倒等情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。
3	斷裂		設施因地震、背填材流失、側向土壤壓力推擠、河水沖擊等各種因素，造成設施呈現應力斷裂等情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。
4	基礎淘空		因設施底部土壤遭河水沖刷或土壤承載力不足等各種因素，造成設施往下沉陷、滑動等情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。
5	沖毀		設施因地震、背填材流失、側向土壤壓力推擠、河水沖擊等各種因素，造成設施呈現應力斷裂等情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。
6	磨損		河溪工程構造物長期遭受 高速挾砂水流之沖刷磨損及穴蝕作用，導致構造物表面混凝土產生剝離流失，不僅可能影響構造物機能，嚴重時亦可能危及構造物安全。

表 3-2 構造物周遭檢視劣化型態照片示意及說明表(摘自:中興工程, 2018)

項次	類型	照片	說明
1	床面淤升 (影響通洪斷面)		因上游來砂量或近岸崩落量高於下游輸砂量之影響，導致溪床床面抬升而可能影響通洪。
2	床面沖降 (基礎裸露)		因下游土砂輸出量高於上游來砂量，導致溪床床面沖降而致使結構物基礎裸露。
3	回填土沖刷或流失		護岸背填土方因地表逕流集中沖刷或回填夯實不足而流失，導致護岸毀損。

三、河岸邊坡

針對調查之大型防砂設施構造物，參考水保局(2015)之定義，以其上游溪床坡度調查範圍及目視可通達範圍，以目測方式研判河岸邊坡是否呈現穩定，或具有緊鄰河道之河岸淘刷所引致崩塌與遠離河道之山腹崩塌(如圖 3-2)等情況，並以照片概略紀錄其崩塌面情形。



(a)河岸掏刷崩塌



(b)山腹崩塌

圖3-2 河岸邊坡崩塌類型示意圖(摘自:水保局, 2016)

第二節 示範場區前期調查

一、各分區野溪現地調查地點

本計畫將以全島之北、中、南進行分區，並由各分區擇 2 條代表性的野溪進行現地調查，現勘地將遴選溪床土石淤積問題較嚴重或曾施作固床工或護岸等工事的野溪，紀錄其水文、地形、土石淤積和清疏情況。同時，現勘紀錄河床堆積情形，也將就現地土石進行取樣和顆粒尺寸量測，以利判釋野溪淤積土石粒徑的概略分類狀態，以下為各區選擇進行現勘的野溪以及背景介紹。

(一) 南勢溪(北部-新北市)

受民國 104 年蘇迪勒颱風影響，新店溪上游南勢溪山區多處崩塌，土砂不斷往河道堆積，經資料顯示在受災後的三年期間，水利署第十河川局動員超過 3 萬趟的砂石車疏濬，希望把握颱風豪雨季節來臨前的空檔，同步在烏來覽勝橋上下游、新店龜山里加速辦理疏濬，以防止溪水氾濫危害鄰近區域安全。此區域每逢颱風豪雨期間，受南勢溪上游東札孔河流域崩塌地影響，溪水夾帶大量泥沙，導致下游新店溪濁度提高及淤積增加等問題。

(二) 碼崙溪(北部-宜蘭縣)

碼崙溪上游溪床土石不斷堆積，過去宜 51 線舊碼崙橋和二座攔砂壩，遭土石埋沒，嚴重威脅新碼崙橋和部落安全。民國 85 年建造完工之新碼崙橋，橋面距離溪床原本超過 20 公尺，但是由於河床升高目前橋面與溪床距離已不足 10 公尺。河川局表示碼崙溪碼崙橋下游屬該局治理區段，過去清理過多次，但效果不佳，認為必須從源頭配合整治，才能徹底改善。根據水保局 110 至 113 年度的整體性

治山防災計畫，因考量未來在極端氣候降雨條件下，面對碼崙溪下游土砂淤積移動量相當可觀，已計畫改建碼崙橋，根據該河川相關整治歷史可以得知，碼崙溪上游的地質不穩，若遭風大雨就容易堆積大量土石於河道，連帶危及河道的穩定及周遭建設的安全。

(三)萬大溪(中部-南投縣)

106 年度萬大溪防砂治理工程，針對計畫區為奧萬大楓林步道銜接森林步道處對岸坑溝，該坑溝係屬萬大溪支流，因該區溪床堆積大量土砂，汛期下移時易於匯流口處堆積形成堆積扇，造成萬大溪主流流心擺盪，溪水直接衝擊對岸，恐影響鄰近邊坡安全；支流大量土砂瞬時下移恐造成下游水庫負擔。107 年度萬大溪集水區野溪整治工程，起因為土石流沖刷導致邊坡崩塌，影響奧萬大森林遊樂區安全。因此施作潛壩調整流心，加大通水斷面，加大橋樑斷面，使土石無礙通過。萬大溪上游因地質條件脆弱，容易因暴雨或溪水沖蝕產生大量土砂淤積，需要定期清疏整治，以維持周遭森林遊樂區的安全性、防止溪水衝擊邊坡引起崩落。

(四)阿里山溪(中部-嘉義縣)

阿立山溪流域於民國 90 年桃芝颱風與納莉颱風、民國 93 年敏督利颱風、民國 97 年聖帕颱風與柯羅莎颱風，以及民國 98 年莫拉克颱風，皆發生規模不一之崩塌，並造成嚴重土砂災害。其中，民國 98 年莫拉克颱風於集水區內累積降雨約達 3,000 mm，最大降雨強度超過 120 mm，颱風期間於梅山鄉太和村（振興宮）發生大規模土砂災害，不幸造成多人死亡；另於 各交通要道如 169 甲縣道、149 甲縣

道、162 縣道及 169 縣道等聯外道路亦因土石流、多處崩塌而導致聯外道路中斷、人員受困之情況。莫拉克颱風造成的災害規模實屬該集水區歷年較為嚴重之事件之一。

(五) 荖濃溪(南部-高雄市)

荖濃溪過往清疏計畫，以民國 107 年荖濃溪清疏工作為例，在汛期來臨前，為有效增加荖濃溪上游河段通洪斷面，第七河川局以及高雄市政府，共計辦理荖濃溪新威大橋上游河段及高美大橋上游河段，兩處的疏濬作業，以期解決荖濃溪急要河段土砂淤積影響通洪問題。荖濃溪為南部重要溪流，其河岸邊坡的崩塌特性，導致當颱風、暴雨襲擊上游地區，此區域有機率發生土石流災情，水流夾帶著上游土石而下，必須定期施作清疏工作以保證河道暢通，確保土石能夠流通，避免二次土砂災害發生。

(六) 來社溪(南部-屏東縣)

來社溪經中央地調所(2014)利用光達施測進行大規模崩塌地調查發現，莫拉克風災後，新增崩塌位於來社溪下游右岸之上邊坡，初步評估潛在崩塌面積約 79 公頃，保全住戶 71 戶，崩塌潛勢屬中級；但距離來義聚落上游處約 1 公里處仍有大型潛在崩塌，初步研判潛在崩塌面積約 108 公頃。另外因莫拉克颱風帶來之超大豪雨，導致來社溪山洪暴發，並造成集水區內多處大規模之崩塌。初步推測因來社溪上游河岸坡面崩塌堵塞河道，形成之堰塞湖潰決後，沖毀來義村沿溪堤防、道路、橋樑及民宅等多處。

本計畫預計要調查的野溪如圖 3-3 所示，依全島北、中、南分區之野溪淤積土石粒徑的概略分佈狀態，依台灣地形/地質變異特性和降雨量的分佈離散特性，劃分全島野溪淤積土石級配分區，並依各分區特性，以地盤改良之固結手段建議適應的固床或保護整治工法。

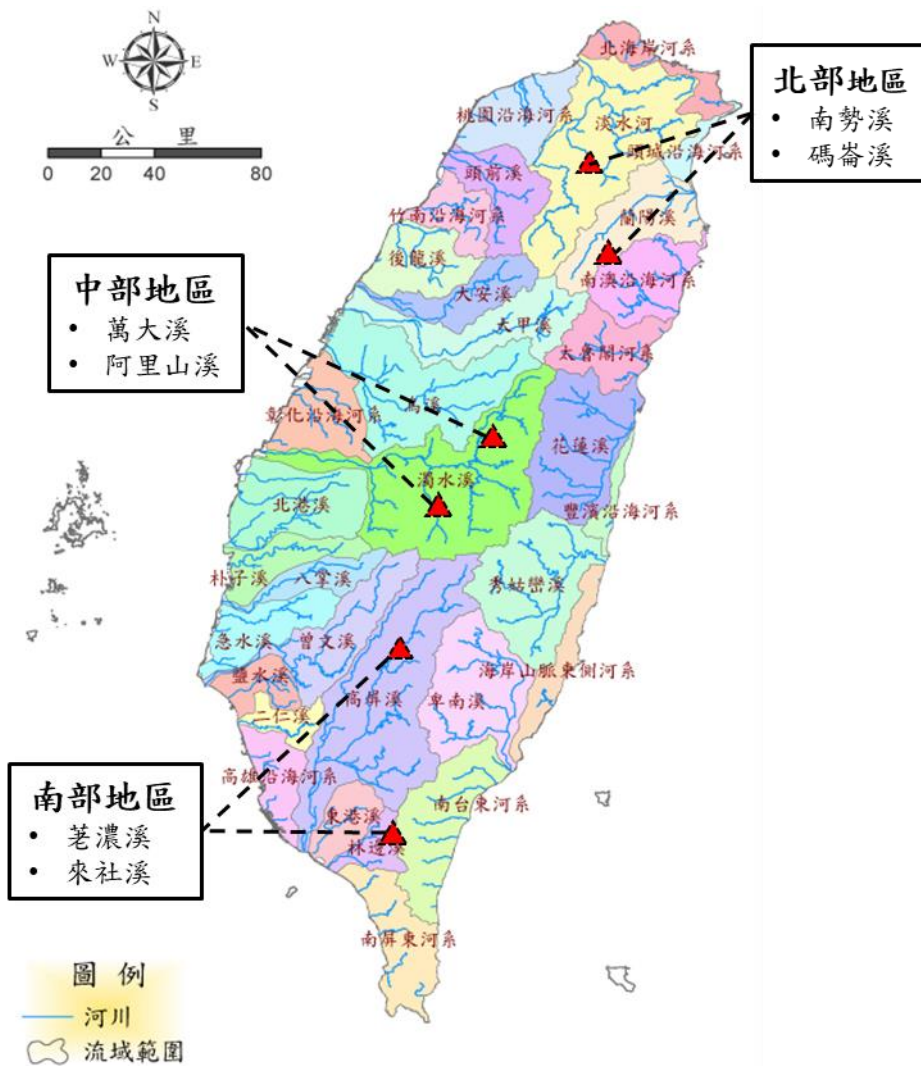


圖3-3 現勘野溪地理位置圖 (摘自 余紀忠文教基金會)

第四章 研究方法

第一節 粒徑分析試驗方法

本計畫以台灣的地形、地質分佈特徵，將全島之野溪劃分為北區、中區和南區三個分區，為瞭解野溪各採樣點現地土砂之粒徑分布，本計畫粒徑分析試驗方法參考水土保持技術規範第 37 條進行採樣分析，其中河床質粒徑調查方法主要為採樣孔粒徑調查及表面粒徑調查兩種。本計畫實施之採樣孔粒徑調查，其調查方法說明如下：

一、採樣孔粒徑調查分析

(一)河床質採樣：

本研究採樣孔至少為 1 m^2 之正方形，深度至 60 cm (如遇岩盤左右移動量測)，同時進行野外粗顆粒篩分析，細粒徑以四分法採取樣品攜回室內分析；並記錄採樣孔尺寸，推算採樣體積，紀錄最大石徑之尺寸。

(二)河床質粒徑分析：

粗顆粒分析：凡大於標準篩 3/8" 以上之礫石，分用 1"、1/2"、3/4" 及 3/8" 之方孔篩做篩分析，將各篩上停留之礫石分別秤重記錄，大於 3" 以上之礫石，則直接使用鋼捲尺量其粒徑並秤重，同時記錄各樣孔之最大石徑。

細粒徑分析：通過 3/8" 之顆粒，秤總重以四分法檢取約 2kg 重之樣品，烘乾秤重，再於室內以標準篩 #4、#8、#16、#20、#30、#50、#100、#200 號分別做篩分析，將各篩上停留之砂秤重記量，依樣品

重與採樣總重之比例，換算各粒徑別之停留重量，再與粗顆粒分析結果合併，依各粒徑分別算出其停留百分率及通過百分率。

但骨材級配以篩分析通過百分率及級配曲線均無法簡易表示骨材之級配，為統計分析需要採用數值表示骨材之級配，此一數值稱為骨材之細度模數，細度模數在 ASTM 定義為篩分析時殘留在標準篩上骨材百分率之累積值除以 100 所得之值。

粒徑分布曲線上，累積通過百分比 10%對應的尺寸為 D_{10} ， D_{10} 又稱為有效粒徑。累積通過百分比 50%對應的尺寸為 D_{50} ， D_{50} 又稱為平均粒徑。

其中均勻係數為：

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

曲率係數為：

$$C_d = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

均勻係數 C_u 越接近 1，代表土體各顆粒尺寸均勻接近，稱為均勻級配 (Poorly Graded)，此狀況下土壤的粒徑較趨於一致，土壤的孔徑較一致，孔徑可能較大。對於優良級配 (Well Graded)，此狀況下，土壤粒徑分佈平均，各種粒徑參雜混合，土壤的孔隙大小也較均佈，孔徑會較小。優良級配的礫石，統一土壤分類法要求 $C_u \geq 4$ ， $1 \geq C_u \geq 3$ 。優良級配砂，統一土壤分類法要求 $C_u \geq 6$ ， $1 \geq C_u \geq 3$ 。對於跳級配 (Gap Graded)，由明顯的兩種粒徑土壤組成者，此種土壤受沖蝕的可能性較高。

第二節 室內模擬拌合試驗方法

現地拌合工法是以水泥與淤積土石進行拌合，並依據構造物不同之工程需求，以水泥量控制拌合體之強度，其中水泥與淤積土石之比例，乃採重量比法進行調配，許中立、許正葳(2011)及陳延豪(2012)指出，原則上，應用於阻抗溪水沖蝕、掏刷之主結構部位採 1:6；應用於背填材料或基礎、路基回填使用則採 1:9；地盤改良則為 1:12，本室內模擬拌合試驗以不區分骨材之配比，用現場採集的淤積圖石去除 3 公分以上的礫石，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）= 1:6、1:9 及 1:12 之配合比例進行試驗探

試驗依不同配比、不同取樣地點，製作直徑 10 公分 × 高 20 公分圓柱試體，因現地拌合工法施作的場景不穩定性較高，因此建議更關注於早期強度，以免過度高估結構體的強度，本試驗圓柱試體分別進行 7 天之齡期抗壓試驗。

參考文獻(姜燁秀等人，水保技術 2012)，就現地拌合工法抗壓而言，採用一般混凝土 140 kgf/cm^2 之 50%， 70 kgf/cm^2 為期望標準；以 20%之抗壓強度 28 kgf/cm^2 為地盤改良需要，可以提供足夠的抗側向沖刷，並且能有效提高結構安全性之抗壓強度，以 20%之抗壓強度 28 kgf/cm^2 為判斷地盤改良是否會受沖蝕而破壞的最低標準。



圖4-1 混凝土抗壓試驗機

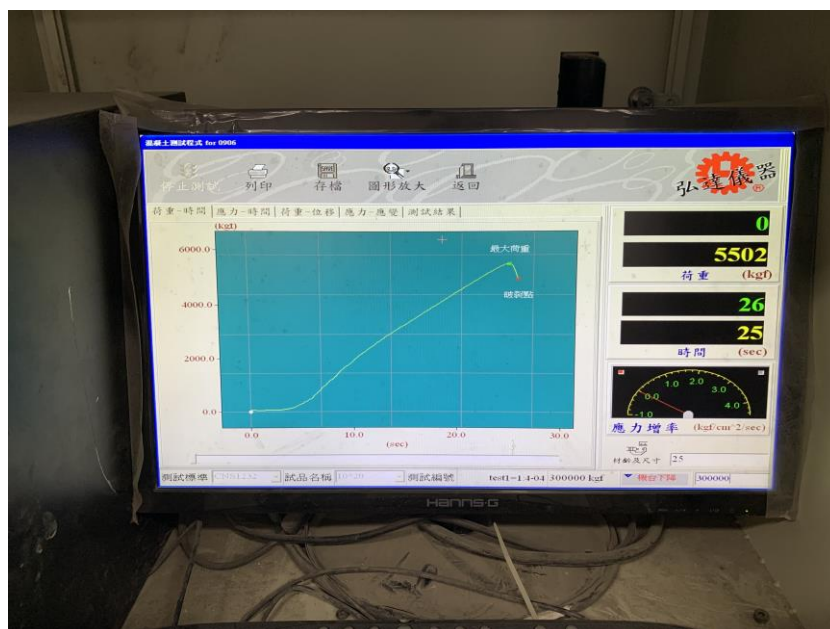


圖4-2 抗壓試驗機控制系統

第三節 數值分析方法

本計畫採用 Slide 進行靜態護岸穩定性分析，以利用各種技術的優勢，研發出固床工在各區野溪土石級配之安全性評估技術。分析中材料參數須由文獻蒐集與鑽探資料決定。

本計劃將以 Slide 數值分析評估各地區土石級配之固床工穩定性分析技術，並藉由高精度數值分析模式提供其合理之強度參數折減係數進行安全係數分析，以利後續各界在使用上之方便性。數值分析技術所需步驟概述如下：

- (一)建立極限平衡法之數值模型形體，以常見之固床工模型為主。
- (二)配置數值模型材料參數。
- (三)應用切片法計算工程師經驗判斷之破壞面穩定性與自動搜尋最弱破壞面穩定性。
- (四)進行二維極限平衡穩定性分析，如圖4-3所示。
- (五)資料彙整後，以各破壞面臨界安全係數建立出評估各區土石級配適應之整治工法。

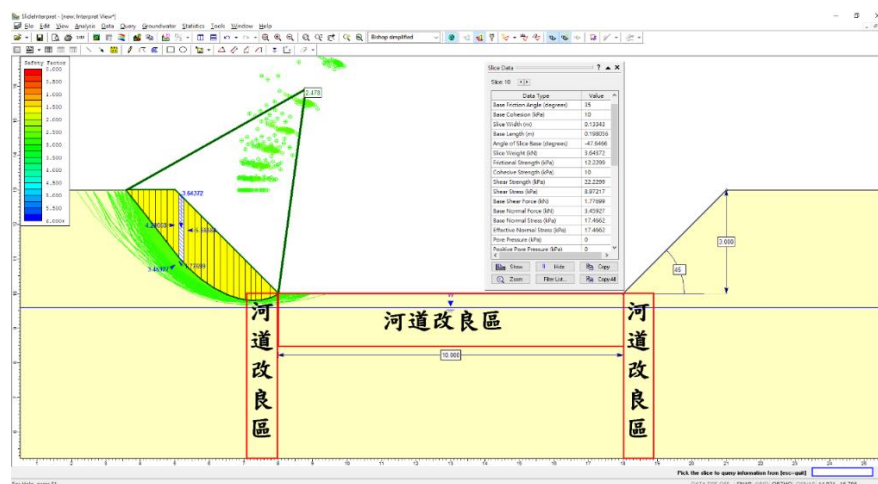


圖4-3 Slide二維極限平衡穩定性分析示意圖

第五章 研究成果

第一節 現場調查結果

一、初步調查結果

圖 5-1~圖 5-2 為針對中部之阿里山溪和南部之來社溪所進行的初步調查結果，由圖 5-1 可知，中部野溪之土石淤積和清疏顆粒大都為大顆粒的礫石，其顆粒最大可及 70 cm 以上；由圖 5-2 可知，南部野溪之土石淤積和清疏顆粒大都為破碎板岩，顆粒尺寸較小。由此可知其實施的固床和護岸的對策工法將有所差異，尤其是適應現地土石級配的固結工法。於初步調查後，本計畫將全台野溪分為北、中、南三區，進行完整的現勘以及採樣工作。



圖5-1 中部阿里山溪之現地初步調查結果照片



圖5-2 南部來社溪之現地初步調查結果照片

二、北部現勘結果

(一)南勢溪(北部-新北市)

南勢溪位於台灣北部，為新店溪的源流之一，全長約 45 公里，流域涵蓋新北市烏來鄉全境及新店南端一小部分。南勢溪流域各主要支流均發源於雪山山脈主嶺線附近，海拔高度在一千公尺以上，地勢較高，河床坡降大，河道下蝕劇烈，兩岸地形陡峻，局部地區可能有沿節理或其他裂隙發展之剪裂帶，可能深入岩體內部，為造成邊坡崩塌之另一重要因素。

南勢溪流域位於台灣雪山山脈地質分區上，地層主要由地質時代古第三紀之西村層、四稜砂岩、乾溝層、大桶山層及部分澳底層構成，岩層大多數受過輕度區域變質作用，變質度由西北向東南方遞增，且大多數岩層呈東北方向延伸分布。南勢溪自龜山至烏來段約呈南微偏東方向發展，此段因斜切過夾砂岩較多之地層而呈深刻曲流，河床坡度較大。

本次現勘採樣點位於南勢溪下游如圖 5-3，下游區域經過溪流掏選粒徑較小，符合現地拌合工法的粒徑適用範圍，選擇此區採樣，並進行粒徑分析及拌合試驗，南勢溪下游的河床淤積粒徑分布狀況如圖 5-4 以礫石(2~64 mm)為主，其次為塊石(64 mm 以上)，此區河床質岩石分類為砂岩，形狀扁平，質地堅硬。

南勢溪上游河川如圖 5-5 因坡度過陡形成河床沖蝕，或因流向改變造成局部岸坡淘蝕或崩塌。上游河床上可見許多河岸邊坡崩塌落下的大型塊石，常見之整治設施包括設置防砂壩、節制壩、潛壩等結構物加以控制、減緩河床坡降與保護岸坡。本計畫考察上游多處固床工及護坡設施如圖 5-6。

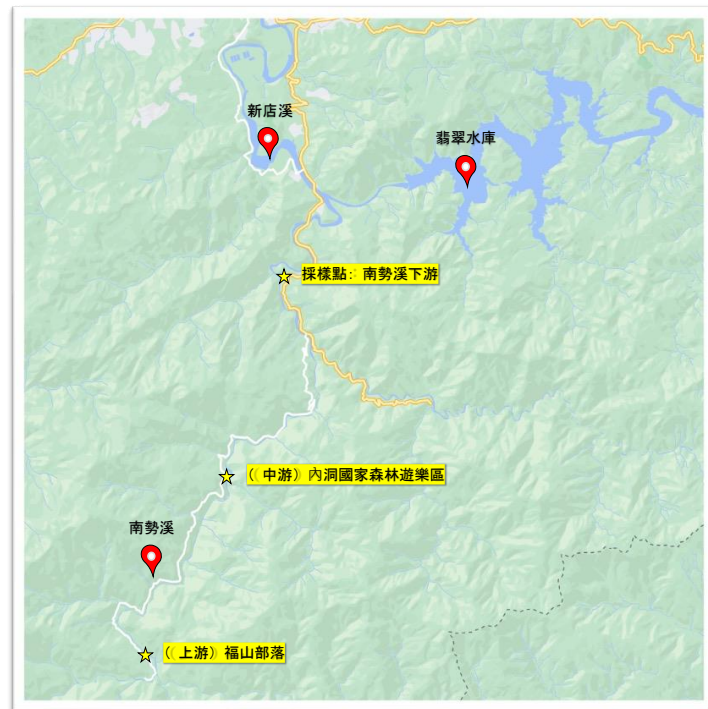


圖5-3南勢溪現勘位置



圖5-4 南勢溪下游粒徑



圖5-5 南勢溪中上游河床



圖5-6 南勢溪河岸護坦與防砂設施

(二) 碼崙溪(北部-宜蘭縣)

碼崙溪位於台灣北部，為蘭陽溪支流，主流長度約 8.64 公里，集水區位於宜蘭縣大同鄉。碼崙溪集水區內地層為廬山層，廬山層構造頁理發達，容易受雨水入滲並產生崩塌。土層方面，碼崙溪範圍主要土層為石質土及崩積土，雨水入滲時，石質土主要由許多碎石塊所組成，容易有土石滑動的現象產生；崩積土內黏土含量較多，單位重較大，穩定性較低。因地質特性導致碼崙溪雨季時河床升高速度較快，整治上面臨許多問題。

現勘採樣點位於碼崙溪下游如圖 5-7，此區域河床淤積量大，淤積土石粒徑現場情形如圖 5-8，以砂質(2 mm 以下)最多，其次為礫石(2~64 mm)，塊石(64 mm 以上，含卵石)佔比較低，因為碼崙溪淤積土石相對鬆軟，河床穩定性低，向下游淤積造成蘭陽溪匯流處土砂大量淤積，碼崙溪設置兩處攔砂壩如圖 5-9 用於控制溪床淤積高度，並且需要定期進行清淤，此處土石粒徑較小，本區域粒徑適用的工法包括攪拌工法或是現地拌合工法。

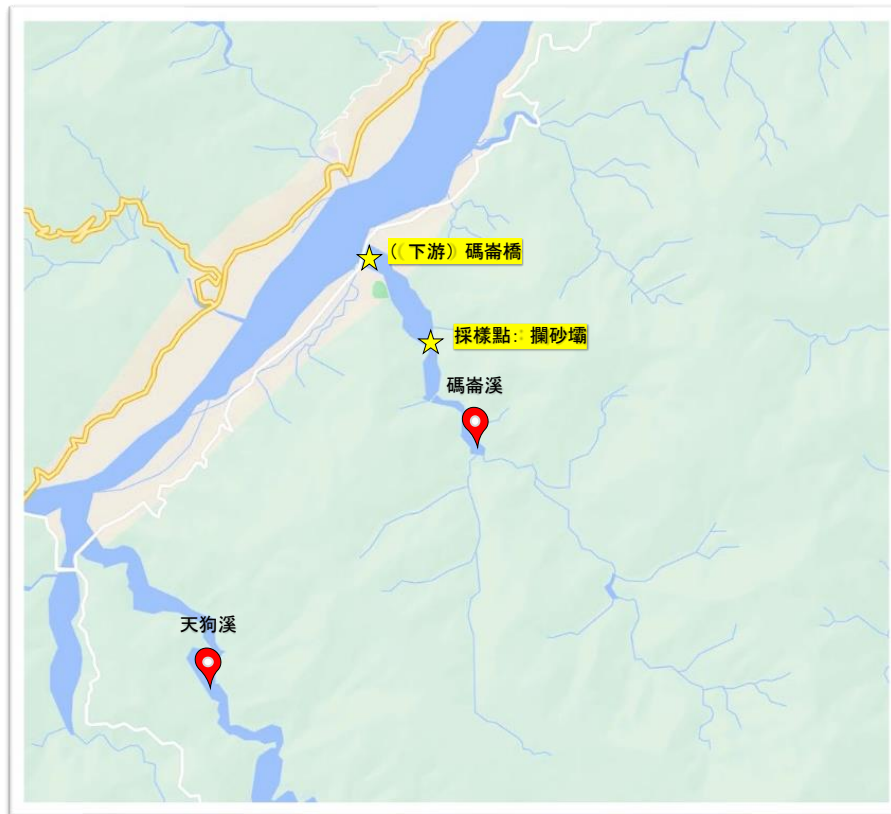


圖5-7 碼崙溪現勘位置



圖5-8 碼崙溪下游粒徑



圖5-9 碼崙溪防砂設施

三、中部現勘成果

(一)萬大溪(中部-南投縣)

萬大溪位於台灣中部，為濁水溪的支流，河長 37 公里，主流長 16.62 公里，流域面積 77.49 平方公里，流域分佈於南投縣仁愛鄉東南部。在地勢陡峭且地質脆弱之上游山區，每遇颱風豪雨土砂產量驚人，在水砂運移的過程，亦衍生出許多災害。

現勘地點位於萬大溪上游如圖 5-10，溪床堆積材料如圖 5-11 主要以礫石(2~64 mm)為主，其次為塊石(64 mm 以上)，此區河床質岩石分類為板岩，形狀扁平，質地脆弱，容易碎裂成更小的岩屑。此區的河床質以粒徑較小之板岩比例最高，佔七成以上，河床堆積物反映此流域地質之破碎，如圖可見河道兩岸受河道掏蝕而產生的崩塌。

林務局於 106-107 年度於萬大溪集水區施作的野溪整治工程如圖 5-12，調查萬大溪的河川整治形式及防砂設施損壞情形。其中一處位於奧萬大親水園區內，此處施作階梯式固床工、加勁擋土牆護岸，現場有土石淤積的情形，固床工及護岸完整無損毀；另一處位於清水溪與萬大溪交接口，使用橫樑式固床工、加勁擋土牆護岸，此區淤積較嚴重，固床工有輕微破損的情形。

從現調結果得知，目前的防砂構造物結構強度足夠，並沒有產生功能性的損傷，但淤積嚴重需要定期進行清淤，建議利用該地區的淤積土石施做結構受損補強、回填土區保護層，或是做為新設固床工的材料利用。因為此區淤積土石的粒徑屬於礫石，建議以現地拌合工法進行施作，在工程使用上，須先篩除 30 cm 以上之塊石，拌合水泥或其他固化材，可直接利用於坡面工、地盤改良材、野溪治理構造物之內填材等等。

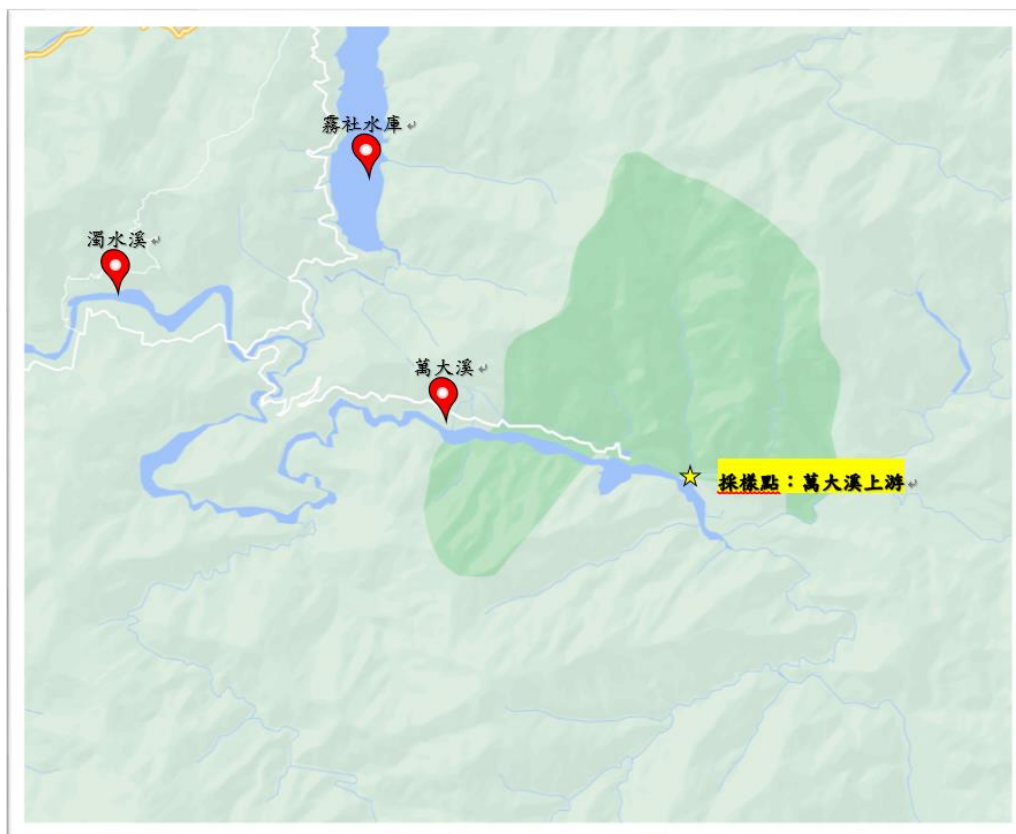


圖5-10 萬大溪現勘位置



圖5-11 萬大溪上游粒徑



圖5-12 萬大溪河岸護坦與防砂設施

(二) 阿里山溪(中部-嘉義縣)

阿里山溪位於中部，集水區為濁水溪流域。阿里山溪集水區近年來歷經多次颱風豪雨肆虐，引發多次大規模土砂災害，如民國 85 年賀伯颱風，阿里山溪因爆發大量土砂災害，對兩岸民眾與公共設施造成嚴重之威脅，民國 88 年 92 集集大地震使集水區內地質條件更加脆弱。

現勘地點位於阿里山溪上游如圖 5-13，此區河床堆積如圖 5-14，以塊石(64 mm 以上，含卵石)為主，形狀接近橢圓，質地較為堅硬，表層的巨石尺寸到達一公尺以上。在此處的防砂設施如圖 5-15，為高低差的橫樑式固床工，目的是可以削減水流能量，但因為此區域的巨石多，水流夾帶巨石衝擊力強大，現場有一處混凝土水工構造物疑似被掏空沖毀的情形。

此處的河床土石粒徑過大，超過攪拌工法工法適用的粒徑範圍，若要使用現地拌合需要篩除 30 cm 以上的土石，大型的塊石可以作為施做塊石護坦，或是以部分塊石固結工法利用作為保護河道穩定的材料，大型的塊石也可以做為砌石固床工的材料，視此區河道的整治需要將淤積的土石做不同的利用。

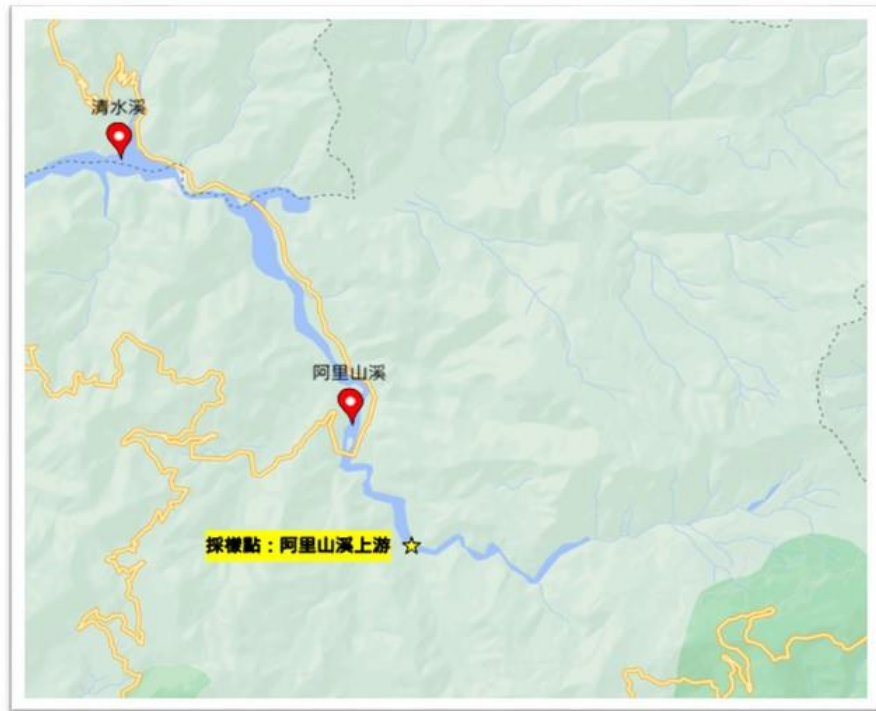


圖5-13 阿里山溪現勘位置



圖5-14 阿里山溪上游粒徑



圖5-15 阿里山溪河岸護坦與防砂設施

四、南部現勘成果

(一) 荖濃溪(南部-高雄市)

荖濃溪位於台灣南部，為高屏溪的主流上游，河長 133 公里，流域面積 2,038 平方公里，分佈於高雄市東部、屏東縣北部、臺東縣西端一小部分及南投縣南端一小部分。荖濃溪上游至中游一帶，為典型的河谷地形，有蝕谷、崩塌地、肩狀稜、縱谷及橫谷等地形。流域多屬於新造山帶與亞變質岩區，地質條件為多斷層、節理與劈理發達、岩石破碎、岩性鬆軟，容易造成山崩、地滑與土石流等天然災害。

現勘地點位於荖濃溪與拉克斯溪的交會處如圖 5-16，此區表面之河床堆積如圖 5-17，以塊石(64 mm 以上，含卵石)為主，尺寸大多介於 30~50 公分，質地較為堅硬的砂岩，將河床表的土石移除後，可以見到下方的土石含較高的細粒料成分，粒徑尺寸也較小，取樣區現場情形如圖 5-18。

荖濃溪的河岸邊坡如圖 5-19，因此區地質條件脆弱，容易造成山崩、地滑與土石流等天然災害，本處的河岸邊坡也有大面積的裸露實際情形，可以預期此荖濃溪易造成河道不穩定的危險因子，河岸邊坡崩坍為其中之一，故本區需要保護特定較危險的邊坡避免災害發生。

此處的河床表面土石粒徑較大，超過攪拌工法工法適用的粒徑範圍，若要使用現地拌合工法需要將表面的土石移除，使用下層粒徑較小的土石進行施作，篩除 30 cm 以上的土石，即可進行現地拌合作業，現勘過程中發現一處以現地土石為材料形成低強度混凝土的河岸堤防如圖 5-20，得知此區的河床土石過去有被使用作為河岸整治的案例。



圖5-16 荖濃溪現勘位置



圖5-17 荖濃溪河床表面



圖5-18 荖濃溪河床採樣土石



圖5-19 荖濃溪河岸邊坡情形



圖5-20 荖濃溪現地土石混凝土堤防

(二) 來社溪(南部-屏東縣)

來社溪位於台灣南部，屏東縣來義鄉，此區域上游土砂生產量相當旺盛，且河道土砂淤積嚴重，大雨期間易發生災害，現勘地點如圖 5-21 所示，此區表面之河床堆積如圖 5-22，主要以礫石(2~64 mm)為主，土石淤積和清疏顆粒大都為破碎板岩，顆粒尺寸較小。此區域河床淤積嚴重，有發現幾處河道清淤的土石堆放區，也有一處橋墩疑似因為淤積過高被拆除的遺跡，因淤積導致河床上升，鄰近房屋的河岸使用約八米高之混凝土護岸，下方堆置土石保護如圖 5-23。因為此區域地質條件較為脆弱，現勘過程中發現河岸邊坡有大範圍的裸露的情況如圖 5-24。

此處的河床表面土石粒徑，合乎攪拌工法適用的粒徑範圍，主要淤積土石的粒徑皆落在小於 30 公分的範圍內，僅須清除表面粒徑過大的少數巨石，即可進行現地拌合作業，現地拌合可以依據現場需要，施作堆放土石區保護工，亦或是做為護岸的護坦等應用。



圖5-21 來社溪現勘位置



圖5-22 來社溪表面堆積土石



圖5-23來社溪混凝土護岸及砌石固床工



圖5-24 來社溪河岸邊坡情形

第二節 粒徑分析結果

一、河床質粒徑分析結果

本計畫區域各採樣點進行粒徑篩分析試驗，篩分析結果依據統一土壤分類系統（Unified Soil Classification System, USCS）作為粒徑分佈之描述及判釋的依據，圖 5-25~5-30 為各野溪採樣的淤積土石樣本，由表 5-1 得知統一土壤分類系統之顆粒尺寸分類標準，表 5-2 為各野溪採樣點統一土壤分類標準所劃分之顆粒尺寸，北中南區現勘採樣共計六條野溪之粒徑分佈曲線綜合展示如圖 5-31 所示，北中南各區的粒徑分布曲線圖分開展示如圖 5-32~34 所示。

篩分析結果顯示，北部兩條野溪南勢溪及碼崙溪的粒徑分布，碼崙溪中值粒徑 D_{50} 為所有採樣點中最小，推測原因為碼崙溪採樣點的上游有兩座攔砂壩，在搬運過程中粒徑較大的石頭，可能已經被攔截了，故產生中值粒徑最小的篩分析結果，位於北部的南勢溪為 D_{50} 最大的採樣點，此採樣點周遭並沒有發現攔砂壩等設施，故認定此區的粒徑分布較符合北部野溪自然堆積的結果，北部野溪土石在自然堆積的情況下，相較於其他區域粒徑較大。

中部與南部四條野溪萬大溪、阿里山溪、荖濃溪及來社溪的採樣粒徑分布結果，可以觀察到中南部採樣點土石的平均中值粒徑有較北部變小的情形，僅萬大溪的中值粒徑接近北部野溪的中值粒徑，其地理位置也相較接近北部，南部兩條野溪採樣點的細粒料($<0.075\text{mm}$)含量相較中部的採樣點有明顯提升的現象，可以推斷野溪分布越往南細粒料有增加的趨勢，故總體結果看來北部之粒徑較大，而中部與南部相對北部有變小的趨勢，南部土石的中值粒徑與中部相似但細粒料含量有增加的趨勢。



圖5-25 阿里山溪河床淤積土石



圖5-26 萬大溪河床淤積土石



圖5-27 南勢溪河床淤積土石



圖5-28 碼崙溪河床淤積土石



圖5-29 荖濃溪河床淤積土石



圖5-30 來社溪河床淤積土石

表 5-1 統一土壤分類尺寸

統一土壤分類系統 各分類粒徑尺寸			
土壤分類	礫石	砂	粉土、黏土
粒徑(mm)	76.2 到 4.75	4.75 到 0.075	< 0.075

表 5-2 各採樣點粒徑分析成果

野溪 粒徑	< 0.075mm (%)	4.75~0.075mm (%)	> 4.75mm (%)	D ₁₀ 粒徑 (mm)	D ₅₀ 粒徑 (mm)	D ₉₀ 粒徑 (mm)
南勢溪	0	24	76	1.2	11	23
碼崙溪	1.4	52	46.6	0.5	3.9	20
萬大溪	0.4	32.6	67	0.7	10	22.5
阿里山溪	0.5	39.5	60	0.6	6.7	21
荖濃溪	7	38	55	1.7	6.3	23
來社溪	1	31	69	0.2	8.5	21

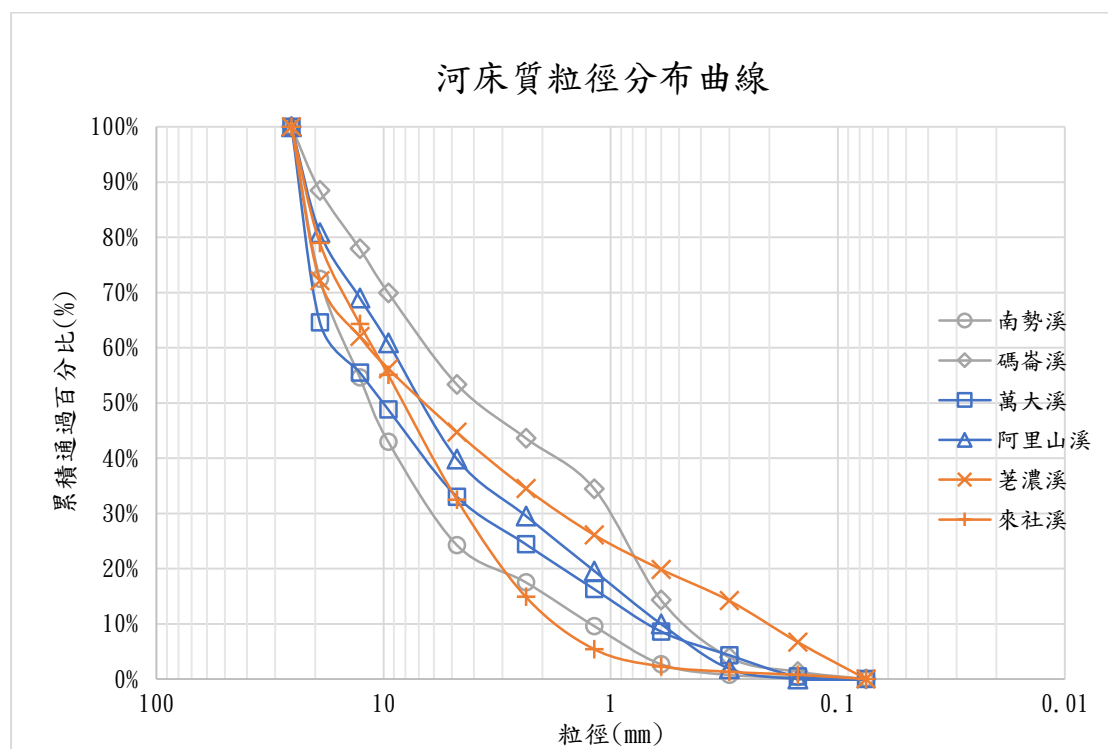


圖5-31 北中南野溪粒徑分佈曲線圖

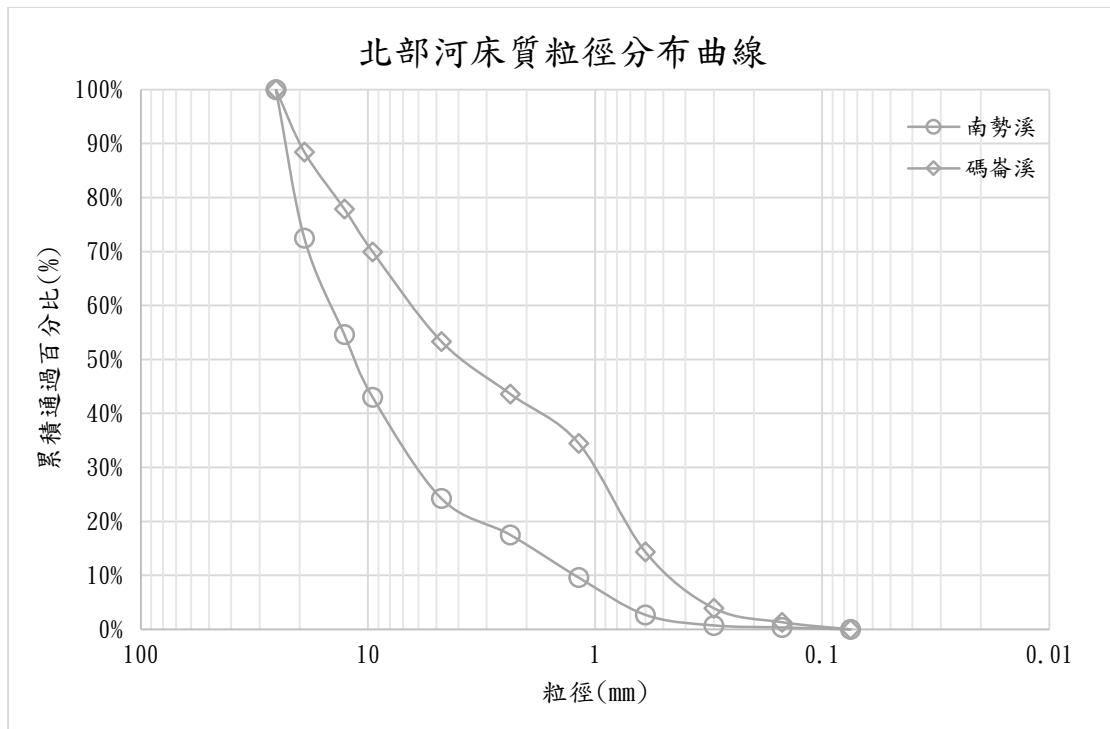


圖5-32 北部野溪粒徑分佈曲線圖

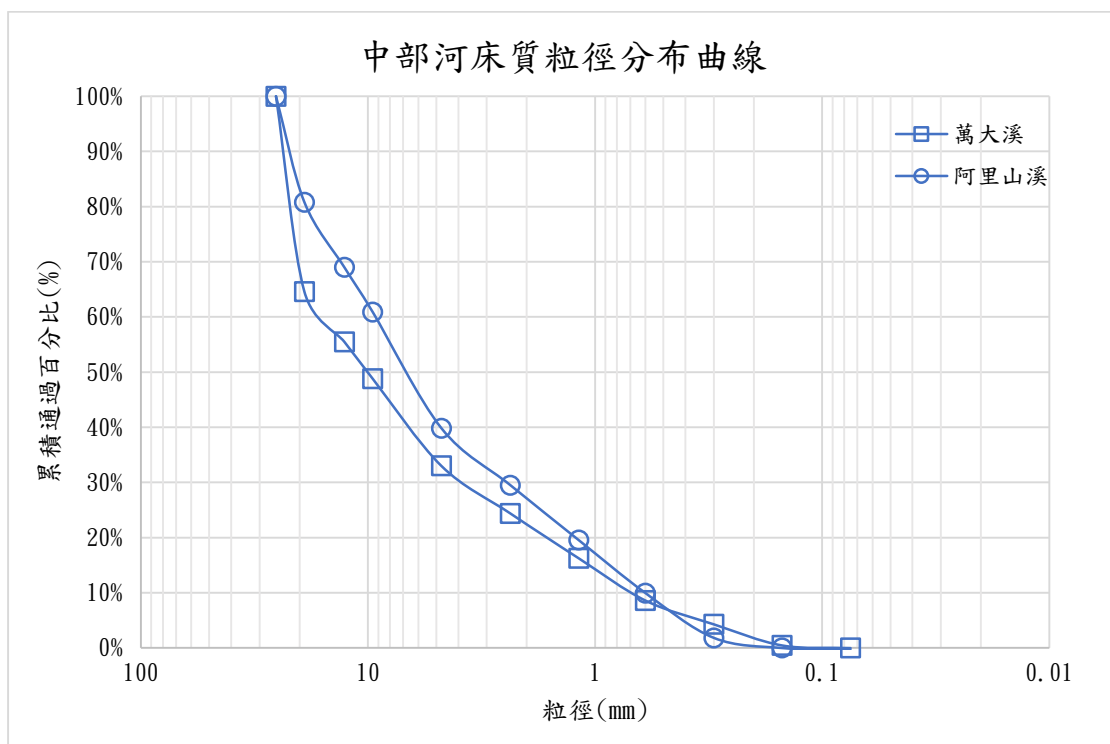


圖5-33 中部野溪粒徑分佈曲線圖

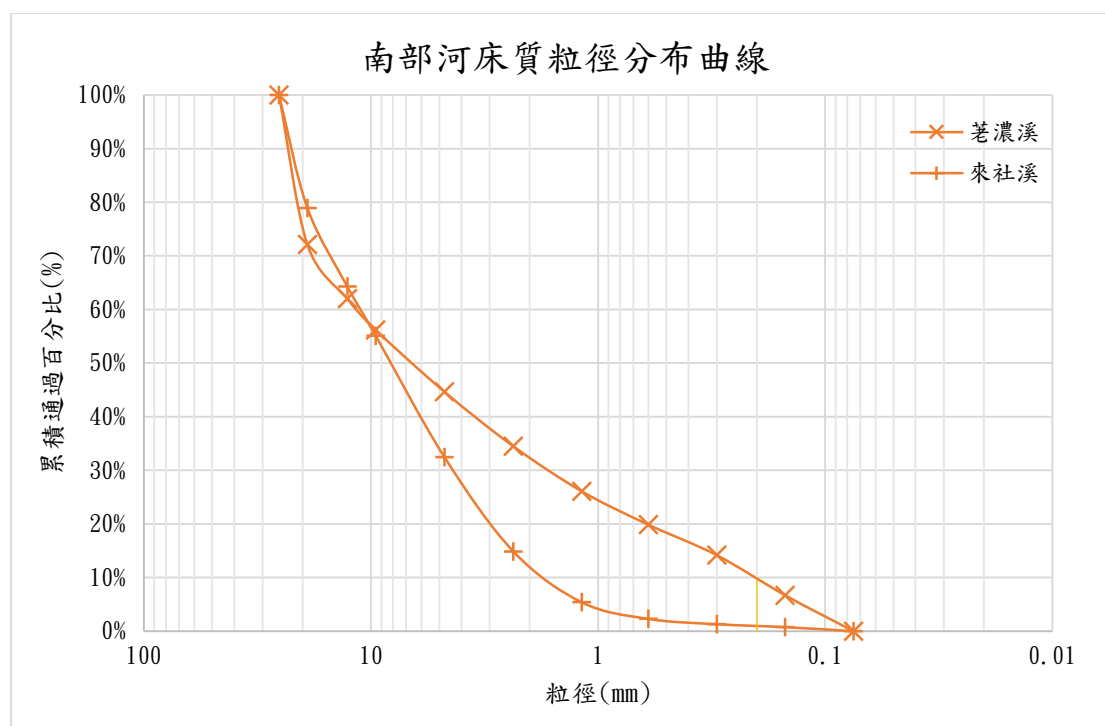


圖5-34 南部野溪粒徑分佈曲線圖

二、室內模擬拌合試驗結果

本室內模擬拌合試驗以不區分粗細骨材之配比，在不考慮粗細骨材篩分情形下，用現場採集的淤積土石進行圓柱試體抗壓試驗，因應模具尺寸限制，去除 4 公分以上的礫石，以水泥：淤積土石（粗、細骨材混合）= 1:6、1:9 及 1:12 之配合比例（相當水泥用量為 14%、10%、7.7%），水灰比=0.55，進行室內模擬拌合試驗。試驗依不同配比、不同取樣地點，製作直徑 10 公分、高 20 公分圓柱試體，進行 7 天之齡期抗壓試驗，圓柱試體如圖 5-35~5-40 所示。因現地拌合工法施作的現場不穩定性較高，因此本試驗關注早期強度，以免過度高估結構體的強度，所有試驗結果整理於下表 5-3、圖 5-41。

拌合試驗結果可以發現中部野溪(萬大溪、阿里山溪)採樣土石所製作的試體，抗壓強度明顯較低，此現象與土石級配或拌合配比無關，

經討論後推斷是因中部野溪抗壓試驗之試體其搗實不完全導致強度下降，試體表面可見蜂窩結構，後續在製作試體時有針對此問題進行改善，此結果可作為拌合試體拌合不均於時的強度參考值，南部以及北部淤積土石製作試體則沒有此問題，強度較高，試體外表完整，因此另外將中部與南部北部的試體抗壓強度分開繪製，如圖 5-42~43。

抗壓試驗的成果，參考文獻(姜燁秀等人，水保技術 2012)，就現地拌合工法抗壓而言，採用一般混凝土 140 kgf/cm^2 之 50%， 70 kgf/cm^2 為期望標準；以 20%之抗壓強度 28 kgf/cm^2 為地盤改良需要最低標準。

首先針對北中南 6 條野溪的試驗採樣地點進行探討，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。經由試驗結果顯示，若採用一般混凝土 140 kgf/cm^2 之一半 70 kgf/cm^2 為期望標準，則北中南 6 條野溪其設計配比 1:6 的拌合試體皆通過此標準；對於各地區之 1:9 之配比強度，其中有 3 個採樣點，南勢溪、碼崙溪、來社溪，有達到本次設定之標準 70 kgf/cm^2 ，而荖濃溪之試驗結果亦頗接近此標準，阿里山溪達到最低標準 28 kgf/cm^2 ；對於各地區之 1:12 配比強度則皆未達到本次設定之標準 70 kgf/cm^2 ，1:12 之配比強度有 4 個採樣點，南勢溪、碼崙溪、荖濃溪、來社溪，達到 28 kgf/cm^2 地盤改良需要最低標準。

中部地區的試驗結果因搗實不完全導致影響試體強度，試驗結果僅 1:6 達到本次設定之標準 70 kgf/cm^2 ，1:9、1:12 之配比強度皆未達最低標準 28 kgf/cm^2 ，因溪床土石粒徑分布各層差異性較大，現地拌合時也可能產生較多的孔隙、蜂窩結構，根據本次的結果在拌合不均勻的情況下會影響改良體強度，在拌合配比水泥量較低的案例甚至會

小於地盤改良需要之最低標準。

將本次試驗所得的試體抗壓強度與過往研究的試驗結果（姜燁秀等人，水保技術 2012)做比較分析，詳細資料記錄於表 5-4，並繪製抗壓強度比較圖表於圖 5-44，可以從圖表中看出本次試驗結果並無與過往試驗結果差異過大的案例，強度上升的趨勢也符合預期，確認本試驗結果之可信度，可供未來之相關試驗做為參考，相關現地土石拌合的研究因現地材料性質差異性較大，存在不同地區試驗結果差異性較高的結果，固往後也期待更多的試驗資料加入，可以做更進一步的分析與設計建議。



圖5-35 阿里山溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)



圖5-36 萬大溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)



圖5-37 南勢溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)



圖5-38 馬崙溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)



圖5-39 荖濃溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)



圖5-40 來社溪拌合試體 (左1:6，中1:9，右1:12)

表 5-3 拌合試驗抗壓試驗成果

拌合試驗抗壓強度 (kgf /cm ²)						
野溪 配比	萬大溪	阿里山溪	南勢溪	碼崙溪	荖濃溪	來社溪
1:6	74	87	249	173	234	228
1:9	21	30	117	79	62	96
1:12	13	24	54	52	51	59

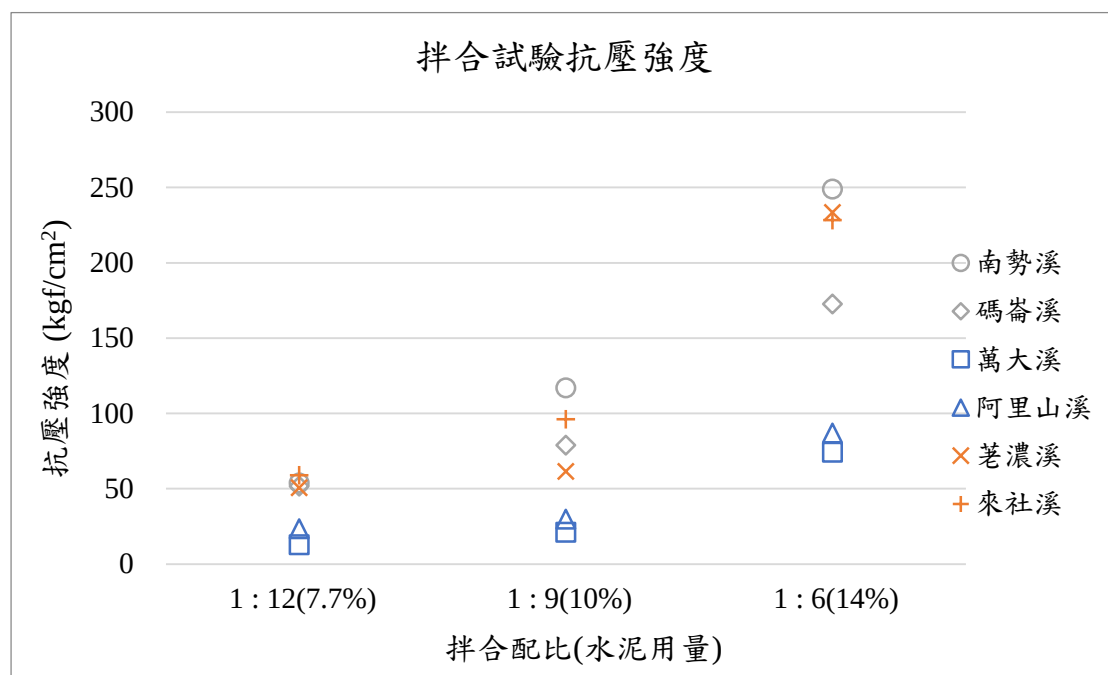


圖5-41 北中南野溪土石拌合配比抗壓強度圖

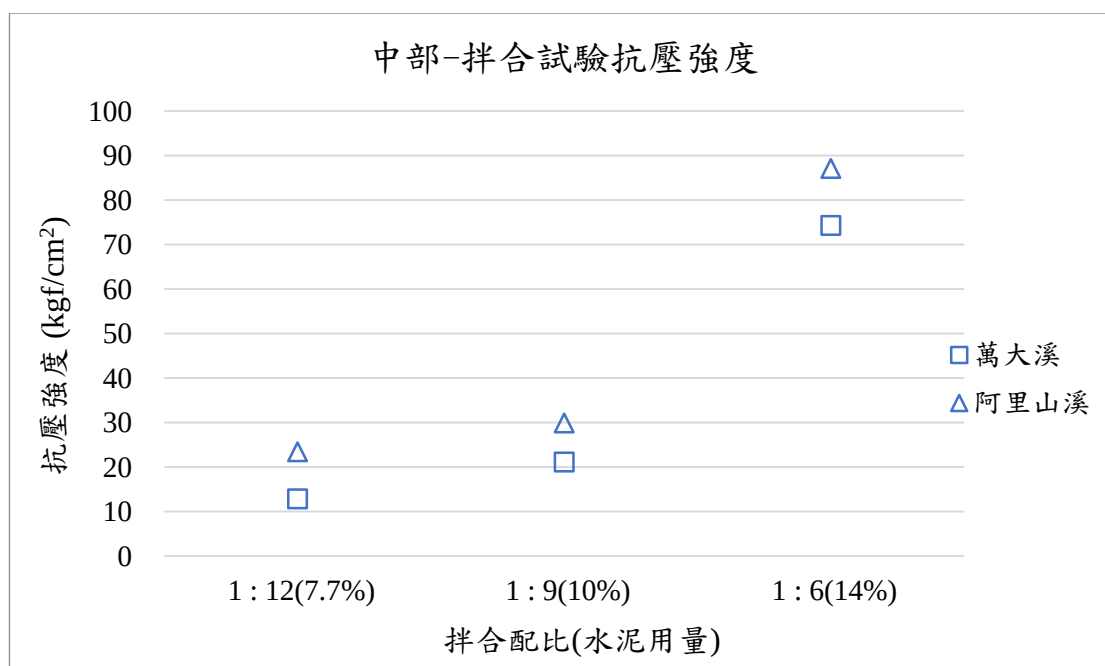


圖5-42 中部野溪土石拌合配比抗壓強度圖

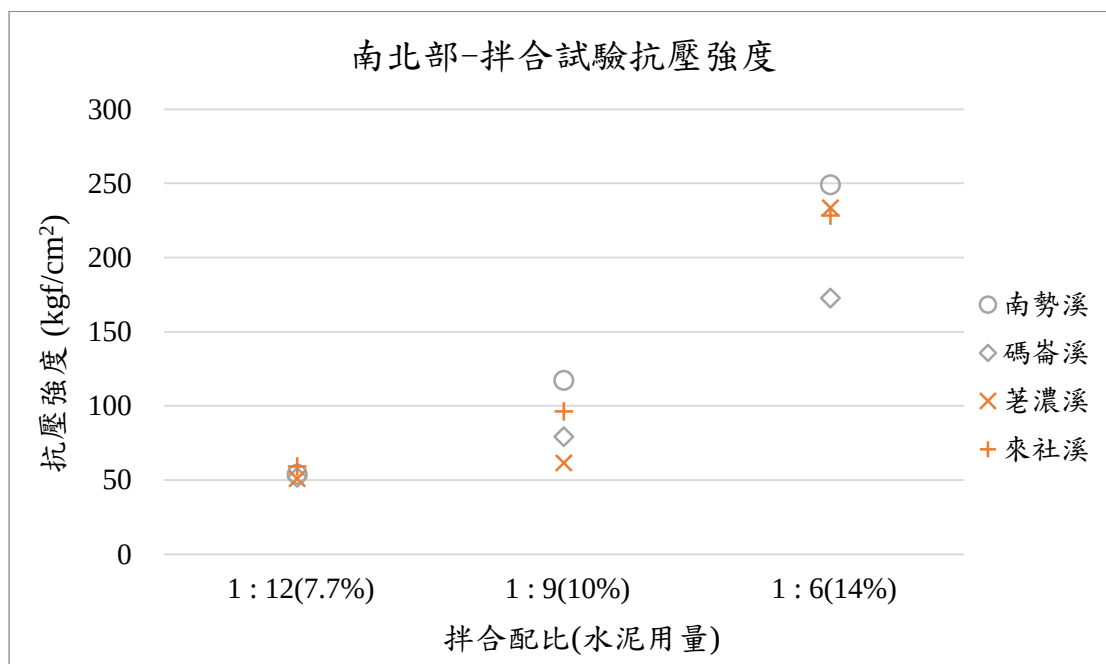


圖5-43 南北部野溪土石拌合配比抗壓強度圖

表 5-4 綜合過往研究之拌合試驗抗壓試驗成果

拌合試驗抗壓強度 (kgf/cm ²)			
試驗區	1:6	1:9	1:12
花蓮山里	176	133	111
台東大島	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
本案-萬大溪	74	21	13
本案-阿里山溪	87	30	24
本案-南勢溪	249	117	54
本案-碼崙溪	173	79	52
本案-荖濃溪	234	62	51
本案-來社溪	228	96	59

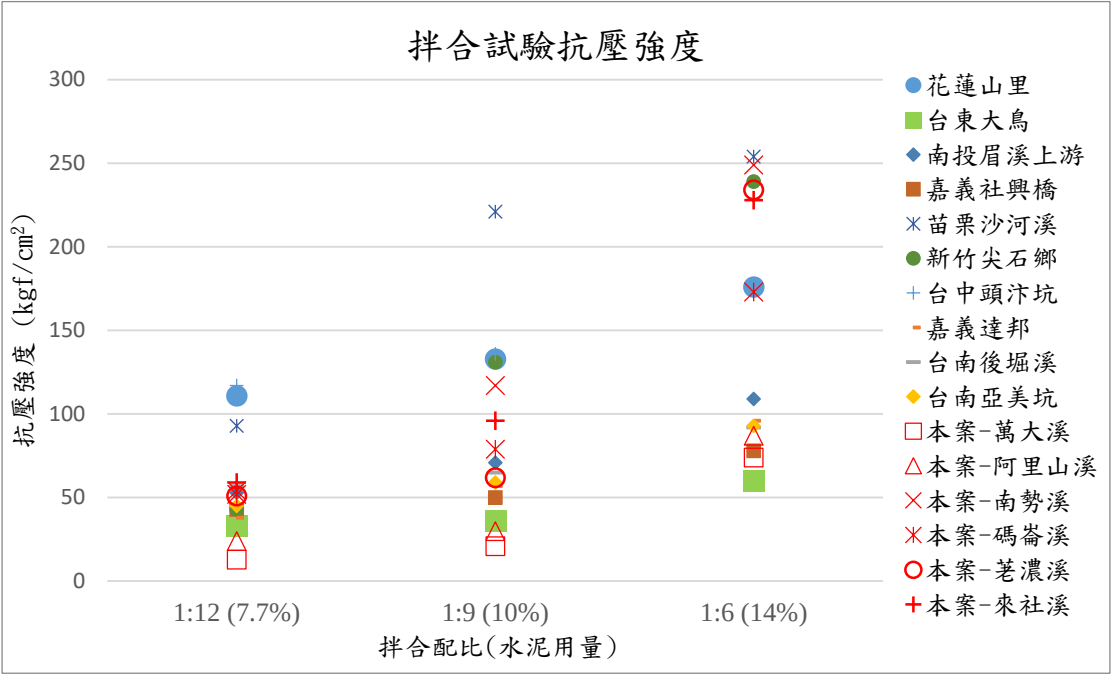


圖5-44 綜合過往研究之土石拌合配比抗壓強度圖

第三節 數值分析研究結果

一、數值分析情境設定

本計畫數值模型的建置，主要係依據常見之固床工模型與現場調查之固床工尺寸 (水保局 2010)。其常見之固床工模型，係透過回顧過往固床地盤改良相關研究，然後依據前人的研究成果來進行模型設計；而在現地調查資料蒐集的部分，本計畫選定支線降，其野溪皆是存在較大的安全性疑慮、土石淤積問題較嚴重或曾施作固床工或護岸等工事之野溪，在現地調查後，根據現地調查的結果，得到固床工之尺寸資料。本次數值模擬的建模參考，荖濃溪六龜大橋左岸護岸工程 (如圖 5-45)，此類的護岸工程目的為保護河岸邊坡，避免在汛期時洪水引發坡面大量崩坍，護坡工程可以提供邊坡穩定及抵抗水流沖蝕的效果。



圖5-45 荖濃溪六龜大橋左岸護岸工程(經濟部水利署 2012)

透過現場調查可以知道固床工受溪流破壞的機制，在護坡工程施

做後，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，然後剩下支撐土體之粗顆粒骨架出露。一旦被帶走之土砂夠多、或溪水沖刷力道變大，便會使此架構破壞、土石流失(如圖 5-46)，若流失處上方有蛇籠或土石堆置場等，下方便會掏空，最後導致蛇籠損毀、邊坡滑動破壞(如圖 5-47)。



圖5-46 溪水沖刷導致土石流失



圖5-47 土石籠破壞

為此，在設計護岸工時須考慮河床刷深基礎外露的可能性，除了設計基礎深度需充足外，於基礎前方加設護坦可以保護護岸免受水流的直接攻擊造成基礎掏空。護坦可透過地改方法來進行設置，即利用現地拌合工法，以河床質進行地盤改良工法，而形成功能與混凝土護坦相似的固床工為其中之一(如圖 5-48)。常見有數種設計形式，本研究針對利用現地土石進行地盤改良工法的固床工設計進行數值分析模擬(如圖 5-49)。



圖5-48 地盤改良體案例圖片

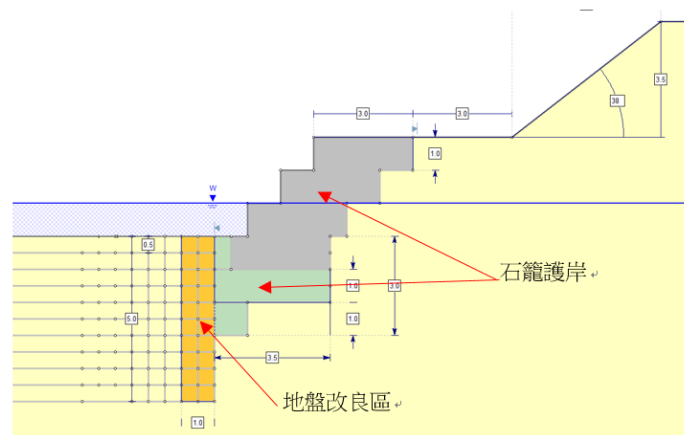


圖5-49 地盤改良固床工模型示意圖

二、模式建置與相關參數給定

數值分析的過程，主要包括模式的建置與參數的給定。首先，模式依據現調結果來建置河岸邊坡的幾何形狀其坡高為 6.5 公尺，其坡長為 12.5 公尺，河岸邊坡土層參數取自地調所之公開鑽探資料，採用荖濃溪六龜大橋鄰近鑽探點位之物性試驗資料，土層單位重 25.7 kN/m^3 ，摩擦角 28.6 度。然後，護岸尺寸參考荖濃溪現場案例設計，箱籠護岸高 3 公尺，基礎深度 3 公尺，箱籠護岸及其基礎單位重為 25 kN/m^3 ，假設破壞弧不發生在穿過護岸及基礎的範圍內，也忽略變形的影響，材料設定為不會變形與破壞的固定物；最後，護岸前方地盤改良區，設計地盤改良深度 h 公尺、寬度 w 公尺，隨地盤改良設計改變如圖 5-50，數值分析參數表如下表 5-5，地盤改良區單位重 26 kN/m^3 ，強度參數採用混凝土抗剪強度公式計算 $V_c = 0.53\sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2$ ，得到凝聚力 290 kN/m^2 。本節分析的地盤改良案例包含淺層攪拌（改良深度可達 5 公尺）與深層攪拌（改良深度可達 10 公尺）的設計案例如表 5-6。

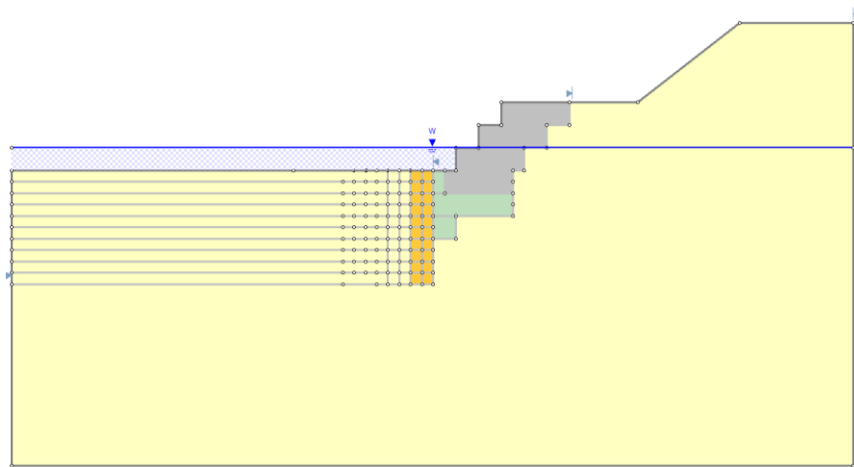


圖5-50 數值分析建模

表 5-5 數值分析參數表

材料名稱	顏色	單位重 (kN/m ³)	強度參數
河岸邊坡土層		25.7	$c=0 \text{ kN/m}^2$, $\varphi=28.6 \text{ degrees}$
箱籠護岸		25	infinite strength, $\tau=\infty$
鋼筋混凝土基礎		25	infinite strength, $\tau=\infty$
地改區域		26	$c=290 \text{ kN/m}^2$, $\varphi=0 \text{ degrees}$
河水刷深區域		9.81	no strength (i.e. water), $\tau=0$

表 5-6 地盤改良設計分析案例列表

淺層攪拌工法 改良體尺寸 (m)				深層攪拌工法 改良體尺寸 (m)	
向下施作		水平施作		向下施作	
寬度	深度	寬度	深度	寬度	深度
1	1	1	1	1	6
1	2	2	1	1	7
1	3	3	1	1	8
1	4	4	1	1	9
1	5	5	1	1	10
共 5 組		共 5 組		共 5 組	

三、數值分析結果

(一)原始護岸無改良狀態

探討護岸在無改良體保護的情況下，基礎位於攻擊岸周遭土壤被水流掏空，對於護岸安全係數的影響，模擬情境假設河床向下刷深如圖 5-51，在河床位刷深 0 公尺時安全係數 $FS=1.836$ ，當河床刷深深度的到達 1.5 公尺時 $FS < 1.5$ ，刷深深度大於基礎深度 3 公尺時 $FS < 1$ ，河床刷深影響護岸安全係數之詳細分析結果如下 5-7 及圖 5-52。

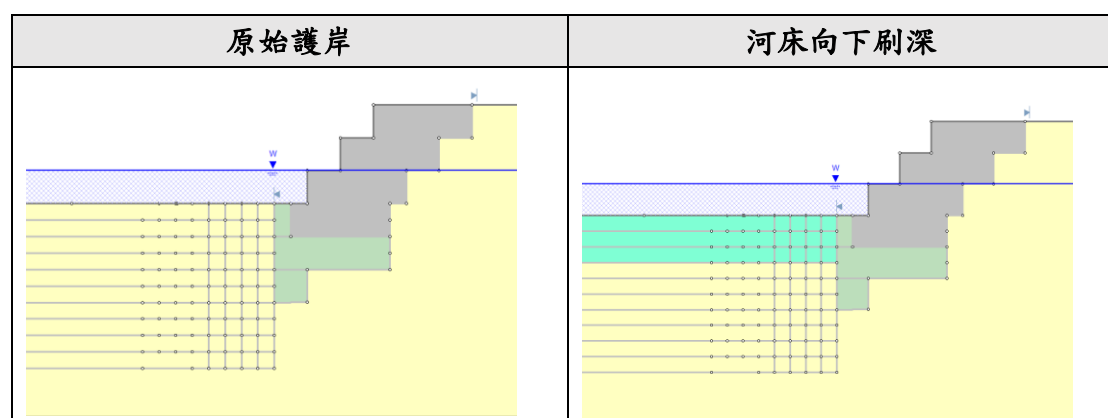


圖5-51 護岸於無改良體保護下河床向下刷深

表 5-7 安全係數分析結果-1

河床刷深 (m)	安全係數 FS
0	1.85
0.5	1.68
1	1.55
1.5	1.44
2	1.32
2.5	1.22
3	1.13
3.5	0.92
4	0.77
4.5	0.67
5	0.60

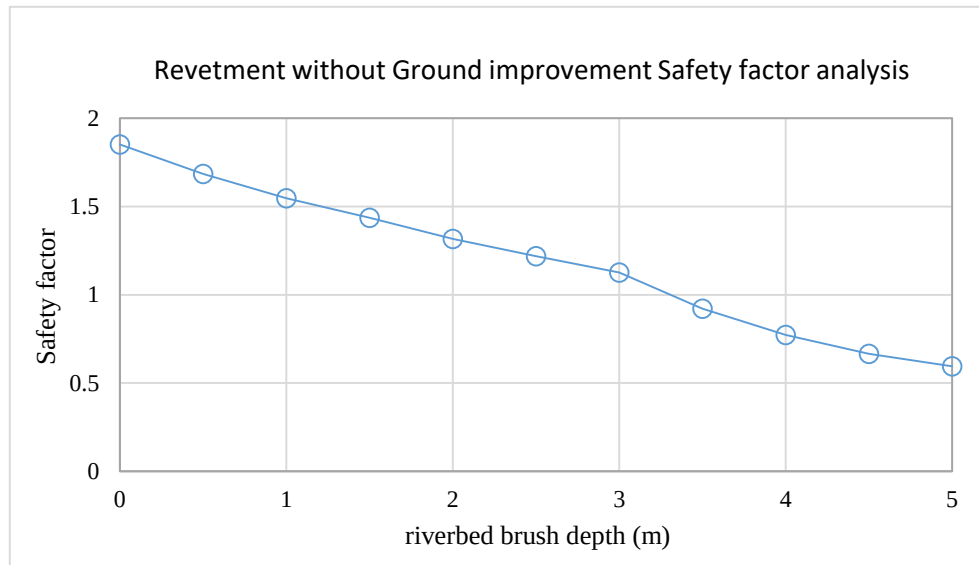


圖5-52 安全係數分析結果圖表-1

(二)淺層攪拌工法

淺層攪拌工法適用範圍為地下深度五公尺以內，以寬度 1 公尺，垂直向下施作地盤改良深度= 1~5 公尺為例，探討地盤改良深度對於護岸安全係數的影響，模擬情境假設河床向下刷深如圖 5-53。

於護岸前方向下施作地盤改良，深度大於原先設計之基礎深度的作用形同增設一排更深的攪拌樁，可阻止護岸滑動破壞，提供支撐，對於既有的護岸，有基礎掏空的疑慮，可以採取此類地盤改良的措施，進行補強或加固，在刷深深度小於 3 公尺的案例中，施作地盤改良深度 5 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.51，在在刷深深度介於 3~5 公尺的案例中，施作地盤改良寬度 5 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.04，詳細分析結果如下表 5-8 及圖 5-54~5-55。

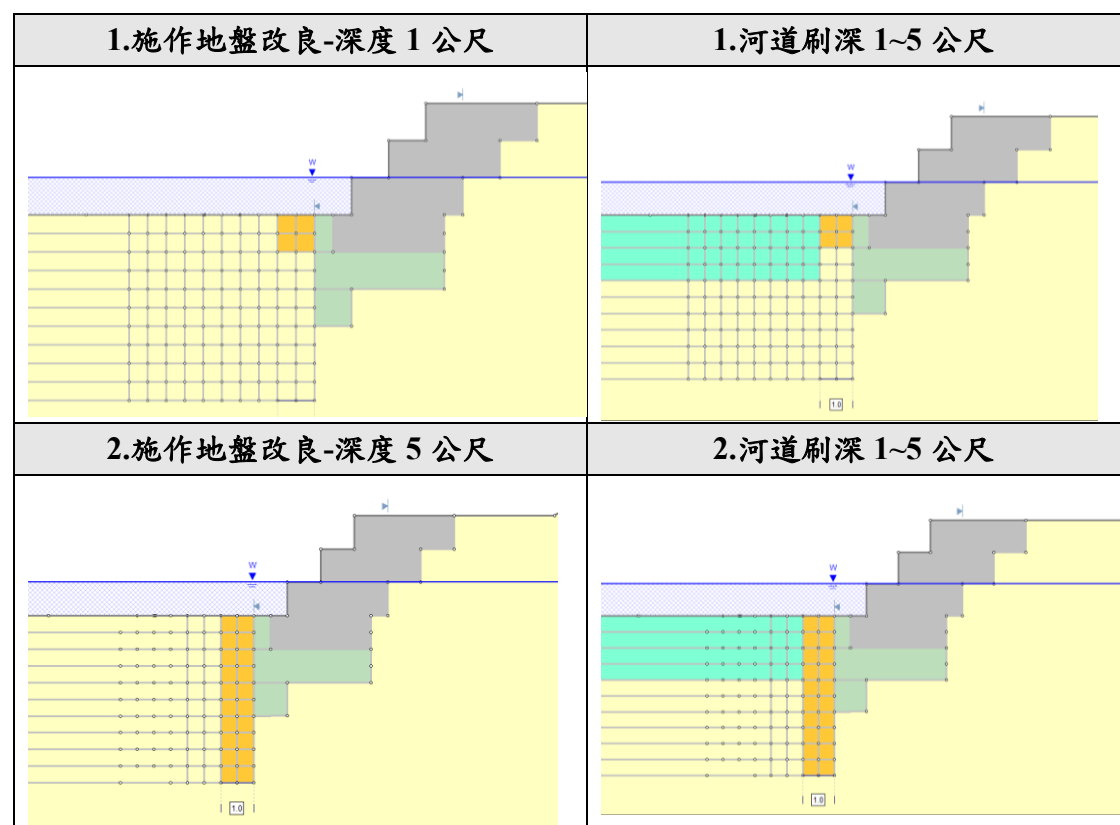


圖5-53 垂直向下施作地盤改良示意圖

表 5-8 安全係數分析結果-2

	改良深度(m)					
	0	1	2	3	4	5
河床刷深 (m)	安全係數 FS					
0	1.85	1.85	1.85	1.88	2.05	2.24
0.5	1.68	1.70	1.70	1.74	1.89	2.07
1	1.55	1.57	1.57	1.61	1.75	1.92
1.5	1.44	1.46	1.46	1.47	1.62	1.77
2	1.32	1.36	1.36	1.36	1.49	1.63
2.5	1.22	1.26	1.26	1.27	1.38	1.51
3	1.13	1.18	1.18	1.18	1.27	1.41
3.5	0.92	1.07	1.07	1.07	1.17	1.31
4	0.77	0.93	0.93	0.93	1.10	1.21
4.5	0.67	0.79	0.79	0.79	0.79	1.13
5	0.60	0.71	0.71	0.71	0.71	1.04

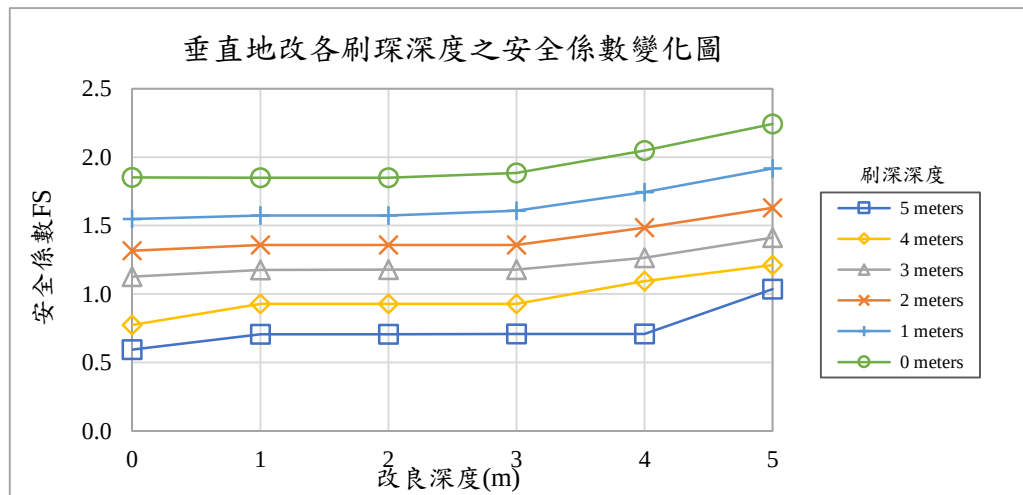


圖5-54 安全係數分析結果圖表-2

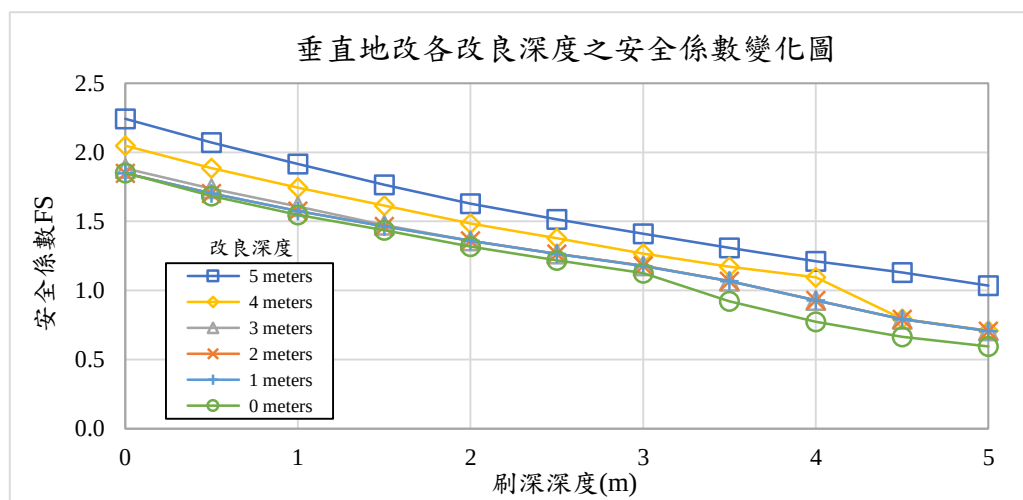


圖5-55 安全係數分析結果圖表-3

水平施作地盤改良體於基礎前方土石，保護該區域的土石不受沖刷而流失，此法與垂直施作地盤改良藉由改良體本身的強度，形成支撐而提升安全係數不同，支撐來源是護岸基礎前方土石提供的土壓力，藉由土壓力穩定護岸之基礎。以改良深度 1 公尺，地盤改良覆蓋範圍寬度= 1~5 公尺為例，探討地盤改良寬度對於護岸安全係數的影響，模擬情境假設河床向下刷深如圖 5-56。

水平施作地盤改良體於基礎前方，分析結果顯示在刷深深度越大的案例，地盤改良提高安全係數的情形越顯著，說明在基礎前方土石被有效保留的情況下，即便河床刷深，地盤改良體的存在仍能有效的抑制護岸破壞的發生，在刷深深度小於 3 公尺的案例中，施作地盤改良寬度 5 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.5，在在刷深深度介於 3~5 公尺的案例中，施作地盤改良寬度 5 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.14，使詳細分析結果如下表 5-9 及圖 5-57~5-58。

在河床刷深大於 3 公尺時，此時河道刷深已經過大，原始狀態安全係數小於 1，地改深度可以有效提升安全係數，但分析結果的安全係數皆小於長期載重狀況時規範安全係數 1.5，由此可知施作淺層攪拌工法對於河床刷深過大的案例效果有限，當河床刷深大於原先設計之基礎深度時，地盤改良體可以使護岸安全性提高，但不適合作為永久性的護岸基礎，須配合其他補救措施恢復原基礎之穩定性。

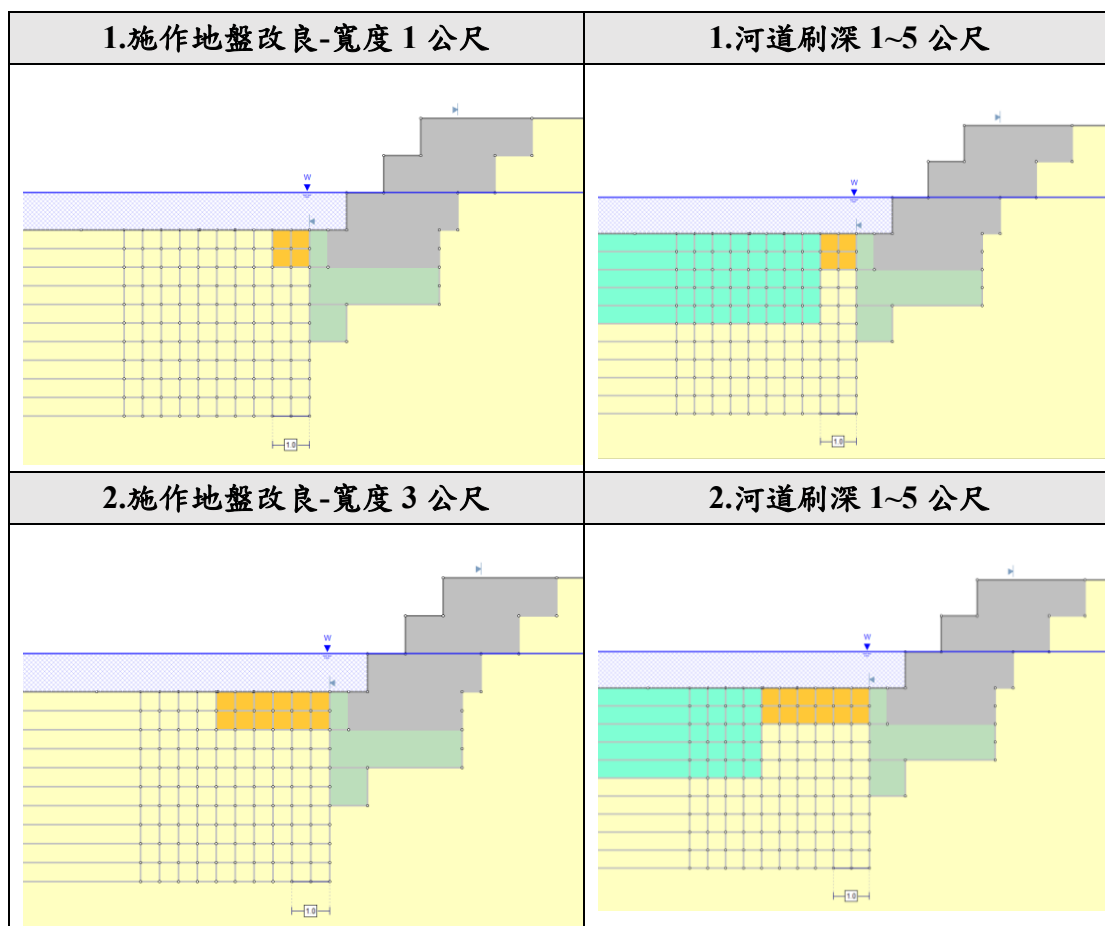


圖5-56 水平橫向施作地盤改良示意圖

表 5-9 安全係數分析結果-3

	改良寬度(m)					
	0	1	2	3	4	5
河床刷深 (m)	安全係數 FS					
0	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
0.5	1.68	1.70	1.72	1.73	1.75	1.77
1	1.55	1.57	1.60	1.62	1.65	1.68
1.5	1.44	1.46	1.50	1.53	1.58	1.62
2	1.32	1.36	1.40	1.44	1.49	1.54
2.5	1.22	1.26	1.31	1.37	1.42	1.50
3	1.13	1.18	1.24	1.29	1.35	1.41
3.5	0.92	1.07	1.16	1.22	1.28	1.34
4	0.77	0.93	1.07	1.14	1.23	1.29
4.5	0.67	0.79	0.94	1.04	1.12	1.22
5	0.60	0.71	0.83	0.95	1.05	1.14

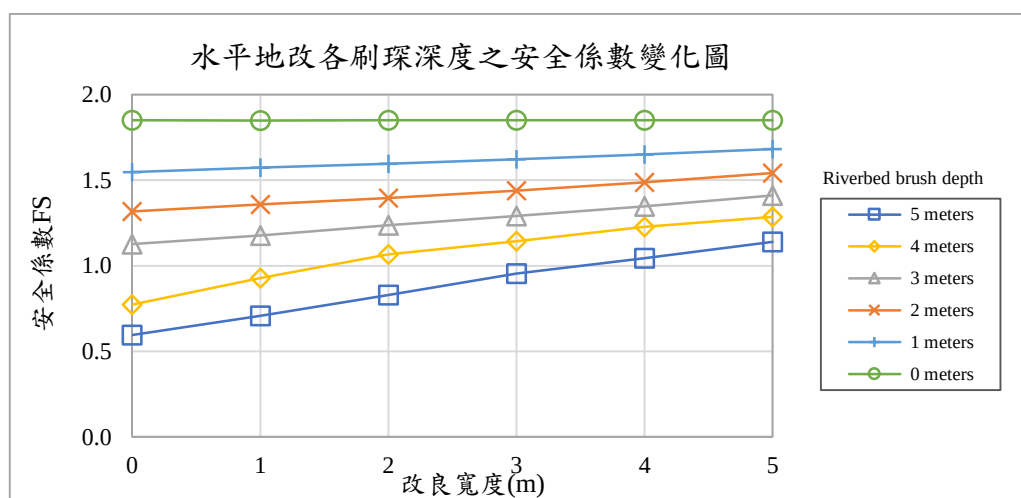


圖5-57 安全係數分析結果圖表-5

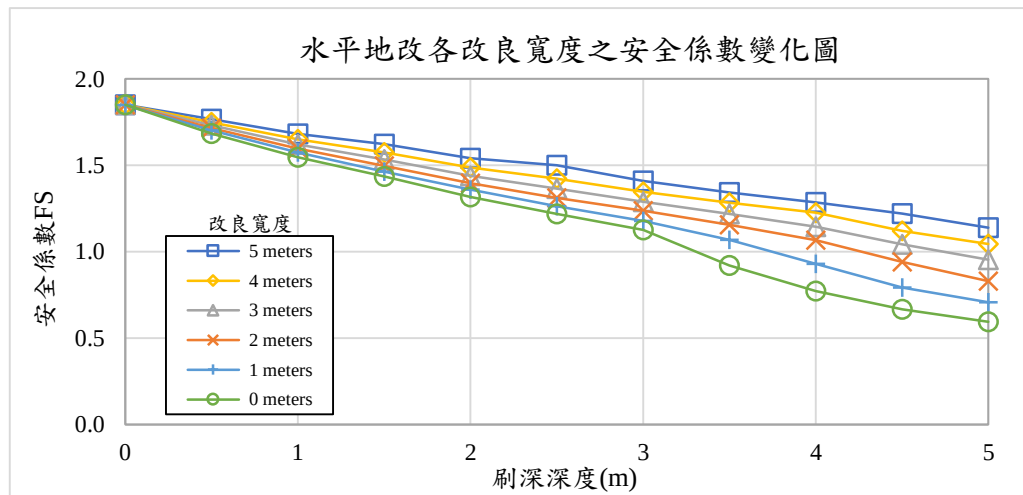


圖5-58 安全係數分析結果圖表-6

(三)深層攪拌工法

深層攪拌工法適用範圍為地下深度十公尺以內，以寬度 1 公尺，垂直向下施作地盤改良深度=6~10 公尺為例，探討地盤改良深度對於護岸安全係數的影響，模擬情境假設河床向下刷深如圖 5-59。

由前段分析可知，施作淺層攪拌工法對於河床刷深過大的案例，效果有限，使用深層攪拌工法，可以提高地盤改良施作的深度，使護岸安全係數提高至接近長期載重狀況時規範安全係數 1.5，在刷深深度的小於 3 公尺的案例中，施作地盤改良深度 6 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.55，刷深深度介於 3~5 公尺的案例中，施作地盤改良寬度 10 公尺，可以使安全係數提升到至少 1.44，對於沖刷較嚴重地區的河岸設施，可以使用深層攪拌工法進行加固，使護岸在河床刷深之後的依然保持足夠的安全係數，詳細分析結果如下表 5-10 及圖 5-60~5-61。

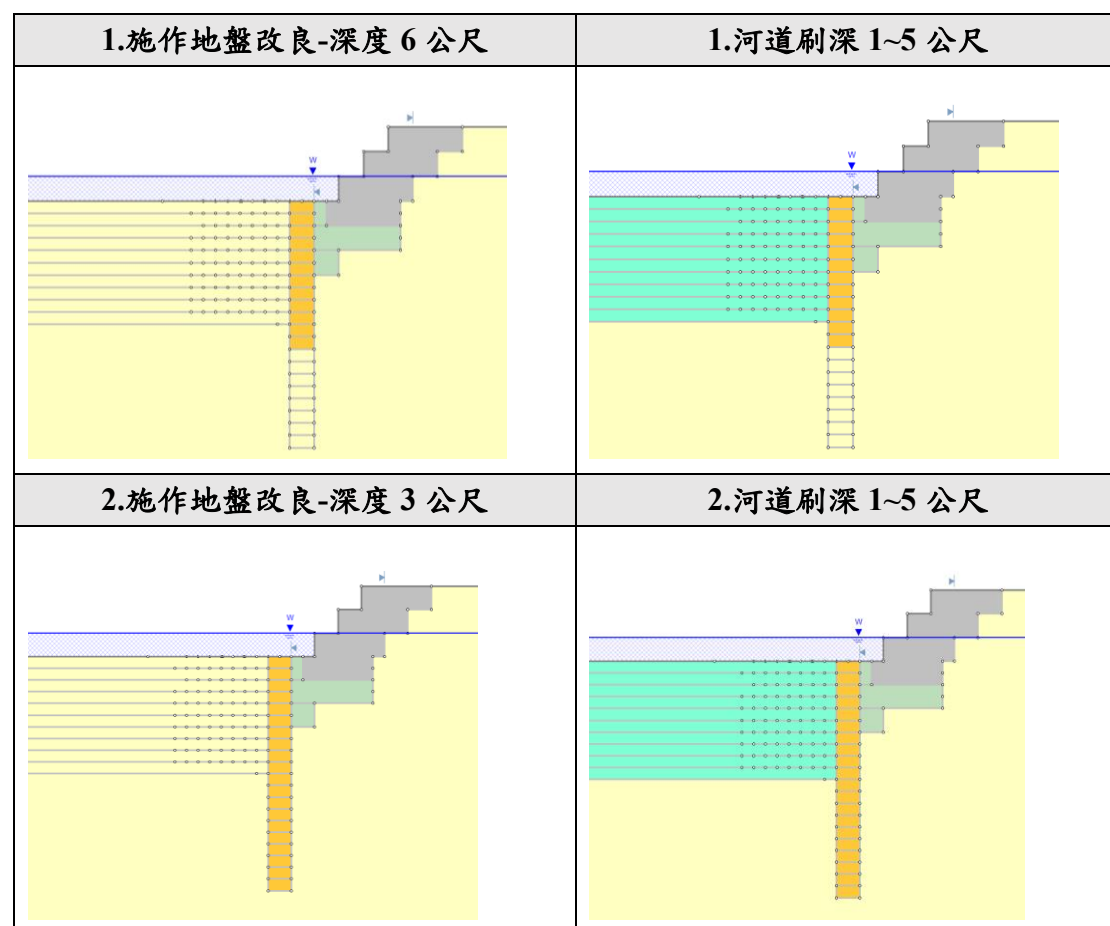


圖5-59 水平橫向施作地盤改良示意圖

表 5-10 安全係數分析結果-4

	改良深度(m)					
	原始	6	7	8	9	10
河床刷深 (m)	安全係數 FS					
0	1.85	2.30	2.33	2.33	2.33	2.33
0.5	1.68	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
1	1.55	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
1.5	1.44	1.93	1.98	1.98	1.98	1.98
2	1.32	1.79	1.89	1.89	1.89	1.89
2.5	1.22	1.66	1.80	1.80	1.80	1.80
3	1.13	1.55	1.69	1.73	1.73	1.73
3.5	0.92	1.44	1.58	1.65	1.65	1.65
4	0.77	1.34	1.47	1.59	1.59	1.59
4.5	0.67	1.24	1.37	1.49	1.52	1.52
5	0.60	1.16	1.28	1.40	1.44	1.44

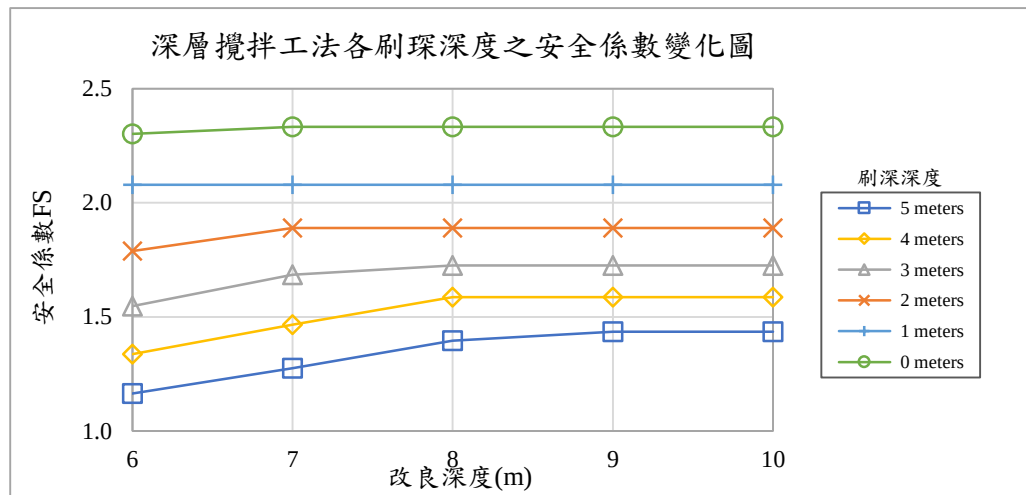


圖5-60 安全係數分析結果圖表-7

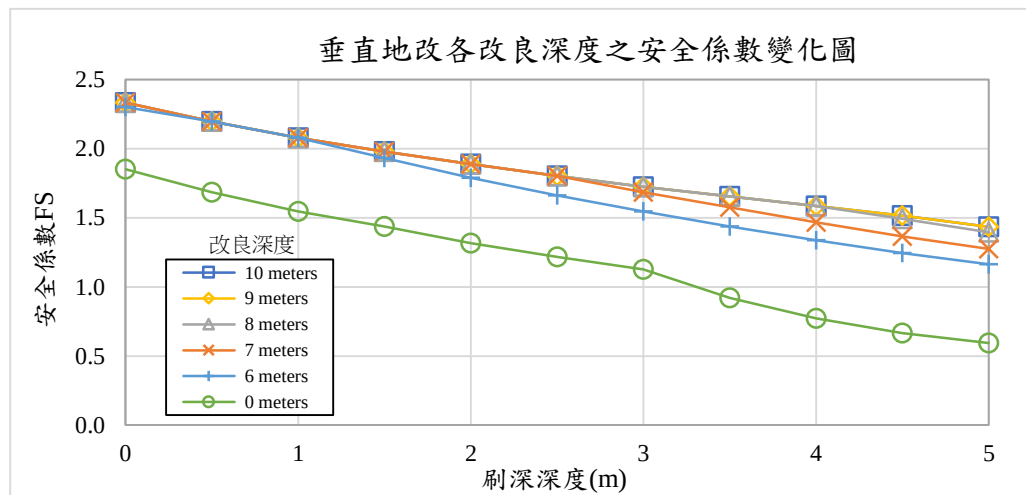


圖5-61 安全係數分析結果圖表-8

第四節 適應工法之改良效率分析

本節將比較淺層攪拌工法，施作深度 1~5 公尺，兩種不同的施作方式，水平、垂直施作的改良案例，以及深層攪拌工法，施作深度 6~10 公尺的改良案例，分析以上三組不同案例的改良效率及適用性評估，以下分析會將分析案例的刷深深度，以基礎深度 3 公尺為分界，分為刷深小於基礎深度，及刷深大於基礎深度，兩種情境分開討論。

列舉在刷深深度小於基礎深度的情況，提高護岸安全係數到達長期載重狀況時規範 1.5，所需的改良斷面積；以及刷深深度大於基礎深度的情況，假設施作淺層攪拌工法的設計目標為，提高護岸安全係數至 1.1，所需的改良斷面積，以及施作深層攪拌工法的設計目標為，提高護岸安全係數達 1.5，所需的改良斷面積，相同條件下所需改良面積越小，代表改良效率越高，評估工法的改良效率，並對於不同刷深情況進行適用性評估。

一、刷深深度小於基礎深度(< 3公尺)

分析結果顯示，刷深深度小於基礎深度的案例，僅需施作淺層攪拌工法，就能使護岸在河道刷深的情況下，安全係數提升至長期載重狀況時規範 1.5。列舉淺層攪拌工法兩種不同施作形式，水平施作地盤改良於河道表層，以及，垂直向下施作地改，以類似於樁的形式提高基礎穩定性，比較兩者在改良效率上的差異。

在刷深深度小於 3 公尺的情況，提高護岸安全係數到達 1.5，所需的改良斷面積，分析結果如下表 5-11~5-12、圖 5-62~5-63 所示，當刷深深度到達 1.5 公尺，護岸整體穩定之安全係數小於 1.5，若需要將安全係數維持在 1.5 以上，需施作水平改良寬度 2 公尺、垂直改良深度 4 公尺以上，當刷深深度到達 2 ~ 2.5 公尺時，若要將安全係數

維持在 1.5 以上，需施作水平改良寬度 5 公尺、垂直改良深度 5 公尺。

表 5-10~5-11 標記處為安全係數 $FS > 1.5$ 之改良案例，對應其施作面積，分析結果顯示兩者在相同的條件下，僅刷深 1.5 公尺的案例水平施作效率較高，其餘所需的改良面積一致，因應刷深深度的小於基礎深度的情況，兩種不同的施作方式皆能提供有效的保護 ($FS > 1.5$)，在改良面積相同的情況下，安全係數提升效率差異性不大。

表 5-11 刷深深度小於 3 公尺垂直施作分析結果

施作面積(m ²)	刷深 0.5 公尺	刷深 1 公尺	刷深 1.5 公尺	刷深 2 公尺	刷深 2.5 公尺
0	1.68	1.55	1.44	1.32	1.22
1	1.70	1.57	1.46	1.36	1.26
2	1.70	1.57	1.46	1.36	1.26
3	1.74	1.61	1.47	1.36	1.27
4	1.89	1.75	1.62	1.49	1.38
5	2.07	1.92	1.77	1.63	1.51

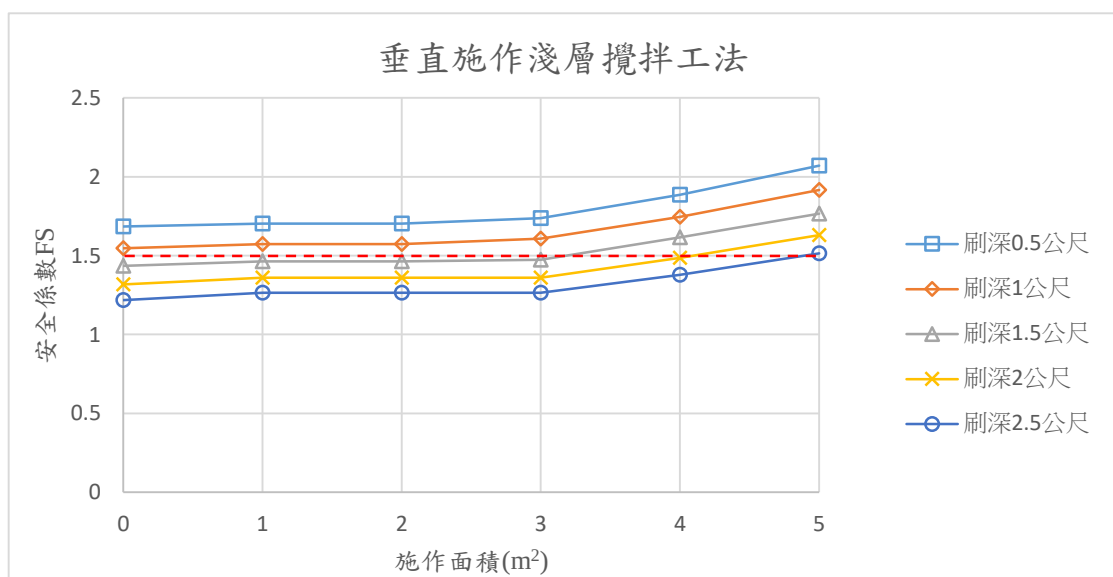


圖5-62 比較 $FS > 1.5$ 時施做垂直地改之面積

表 5-12 刷深深度小於 3 公尺水平施作分析結果

施作面積(m ²)	刷深 0.5 公尺	刷深 1 公尺	刷深 1.5 公尺	刷深 2 公尺	刷深 2.5 公尺
0	1.68	1.55	1.44	1.32	1.22
1	1.70	1.57	1.46	1.36	1.26
2	1.72	1.60	1.50	1.40	1.31
3	1.73	1.62	1.53	1.44	1.37
4	1.75	1.65	1.58	1.49	1.42
5	1.77	1.68	1.62	1.54	1.50

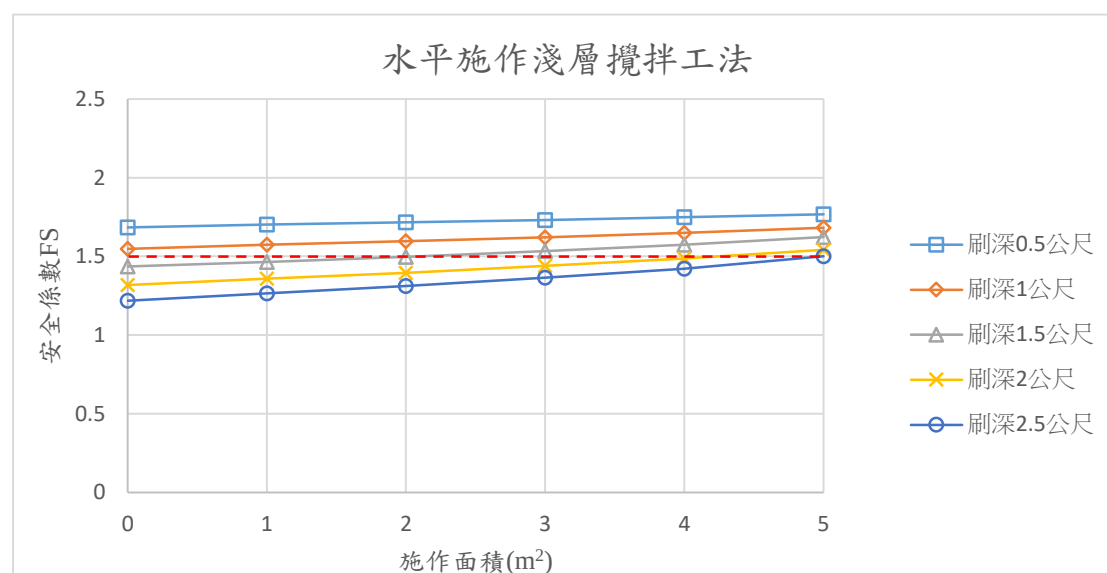


圖5-63 比較FS>1.5時施做水平地改之面積

二、刷深深度大於基礎深度(> 3公尺)

當刷深深度超過基礎深度，此時施作淺層攪拌工法，不足以將安全係數提升至 1.5，假設施作淺層攪拌工法的設計目標為，提高護岸安全係數至 1.1，保護護岸在短期內不被破壞，如上節比較改良效率上的差異。

在刷深深度大於 3 公尺的情況，提高護岸安全係數到達 1.1，所需的改良斷面積，分析結果如下表 5-13~5-14、圖 5-64~5-65 所示，當刷深深度到達 3.5 公尺，護岸整體穩定之安全係數小於 1，若需要將安全係數維持在 1.1 以上，需施作水平改良寬度 2 公尺、垂直改良則需深度 4 公尺以上，刷深深度到達 4 公尺時，需施作水平改良寬度 3 公尺、垂直改良深度 4 公尺，刷深深度到達 4.5 公尺時，需施作水平改良寬度 4 公尺、垂直改良深度 5 公尺，刷深深度到達 5 公尺時，需施作水平改良寬度 5 公尺、垂直改良深度 5 公尺安全係數僅 1.04。

標記處為安全係數 $FS > 1.1$ 之改良案例，對應其施作面積，分析結果顯示兩者在相同的條件下，水平施作所需要的地盤改良面積較少，可以得知，相較之下水平施作地盤改良效率較高，因應刷深深度大於基礎深度的情況，若要使用較少的拌合材料提供相同的保護 ($FS > 1.1$)，在改良形式上選擇攪拌工法水平施作於基礎前方的效率更好。

在刷深深度大於 3 公尺的條件下，若要將安全係數提升至 1.5，則需要選用深層攪拌工法，深層攪拌工法改良深度 6~10 公尺的分析結果如下表 5-15、圖 5-66 所示，標記處為安全係數 $FS > 1.5$ 之改良案例，深層攪拌工法適用於刷深深度較大的護岸，相對於淺層攪拌工法可以適用的範圍更廣，提高安全係數的效果也更高，適合應用於解決沖蝕嚴重區域河岸設施的穩定性問題。

表 5-13 刷深深度大於 3 公尺垂直施作分析結果

施作面積(m ²)	刷深 3 公尺	刷深 3.5 公尺	刷深 4 公尺	刷深 4.5 公尺	刷深 5 公尺
	垂直施作	垂直施作	垂直施作	垂直施作	垂直施作
0	1.13	0.92	0.77	0.67	0.60
1	1.18	1.07	0.93	0.79	0.71
2	1.18	1.07	0.93	0.79	0.71
3	1.18	1.07	0.93	0.79	0.71
4	1.27	1.17	1.10	0.79	0.71
5	1.41	1.31	1.21	1.13	1.04

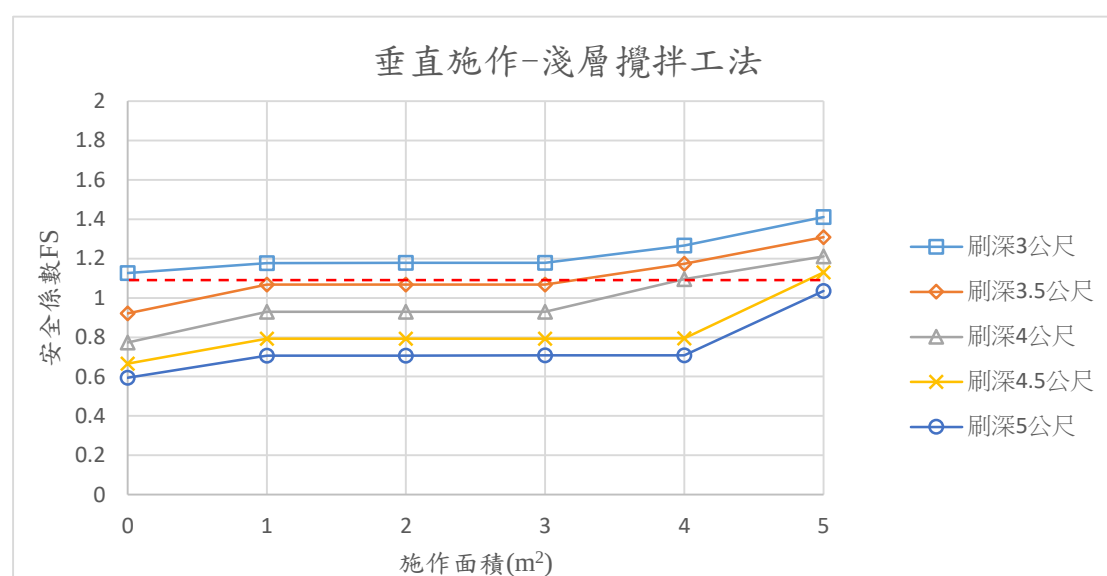


圖5-64 比較FS>1.1時施做垂直地改之面積

表 5-14 刷深深度大於 3 公尺水平施作分析結果

施作面積(m ²)	刷深 3 公尺	刷深 3.5 公尺	刷深 4 公尺	刷深 4.5 公尺	刷深 5 公尺
	水平施作	水平施作	水平施作	水平施作	水平施作
0	1.13	0.92	0.77	0.67	0.60
1	1.18	1.07	0.93	0.79	0.71
2	1.24	1.16	1.07	0.94	0.83
3	1.29	1.22	1.14	1.04	0.95
4	1.35	1.28	1.23	1.12	1.05
5	1.41	1.34	1.29	1.22	1.14

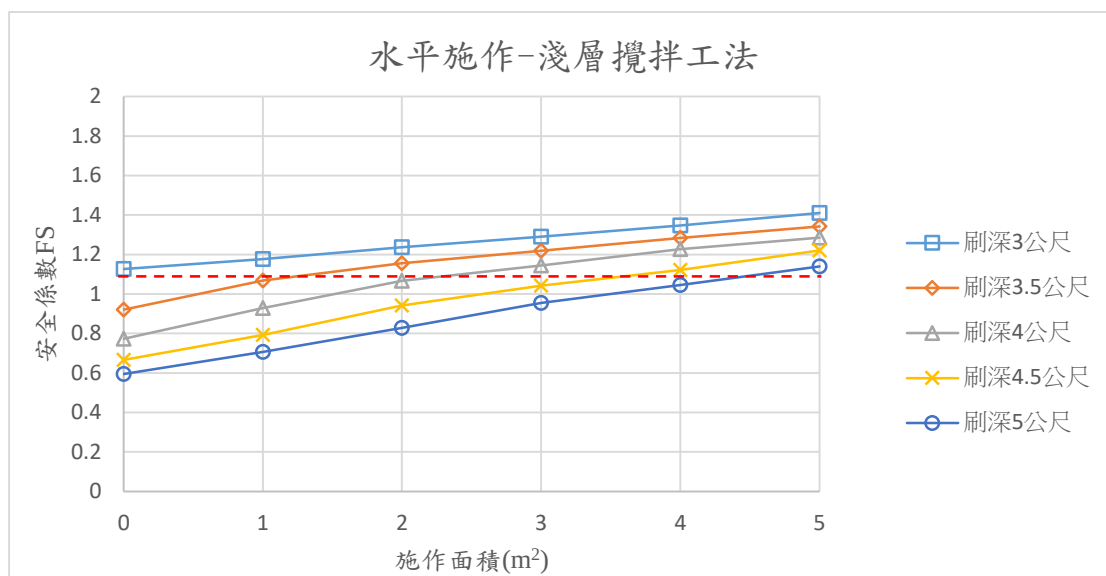


圖5-65 比較FS>1.1時施做水平地改之面積

表 5-15 刷深深度大於 3 公尺深層拌合分析結果

施作面積(m ²)	刷深 3 公尺	刷深 3.5 公尺	刷深 4 公尺	刷深 4.5 公尺	刷深 5 公尺
	垂直施作	垂直施作	垂直施作	垂直施作	垂直施作
6	1.55	1.44	1.34	1.24	1.16
7	1.69	1.58	1.47	1.37	1.28
8	1.73	1.65	1.59	1.49	1.40
9	1.73	1.65	1.59	1.52	1.44
10	1.73	1.65	1.59	1.52	1.44

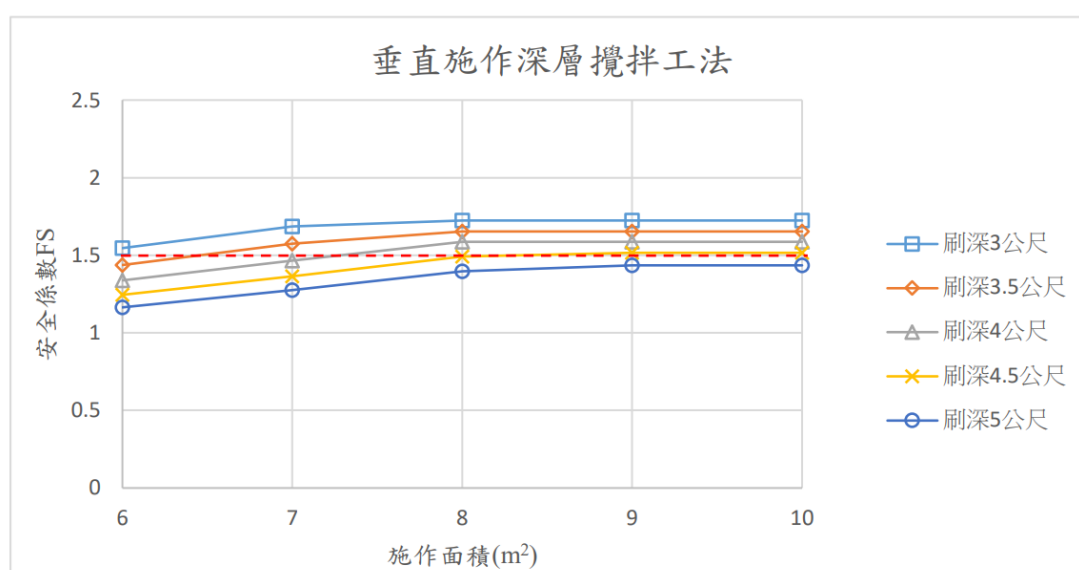


圖5-66 比較FS>1.5時施做深層攪拌工法之面積

第五節 各適應工法之強弱危機分析比較

本計畫為評估淺層和(中)深層對策工法之優劣性，將依施工材料、施工機具需求、施工品質管理、施工效率、直接施工費用和對環境之衝擊等面向，進行簡便並且有效的分析，相關細節可參考表 5-16、表 5-17，以及下列細節的說明：

- 一、使用材料要求：淺層攪拌和(中)深攪拌工法皆使用現地土石及適當的固化材。
- 二、施工機具需求：淺層攪拌工法常配載自動化CLSM產製和拌合設施為CLSM工法之主要設備(含配比調控系統和自動拌合)，而水槽、水泥(固化材)儲桶、排料設備...等則為附屬設施；(中)深層攪拌工法係以配載資訊化之管理系統和感應器處理機為主要施工機具，而水槽、發電機組、水泥(固化材)泵浦及流量控制系統、水泥(固化材)攪拌裝置、水泥(固化材)儲桶...等則為附屬設備。
- 三、施工品質管理：淺層攪拌工法具有自動化配比調配系統，雖可確保CLSM產製品質，但施工程序和方式，亦為CLSM改良品質之優劣關鍵，在無標準施工程序下，容易造成產製CLSM的析離和改良體品質不均勻現象；先進之(中)深層攪拌工法大都具有資訊化電腦管理系統，可透過互動式之管理界面，即時監控施工時，攪拌改良深度及改良範圍、固化材漿體注入量、處理機貫入臂之貫入角度、攪拌翼迴轉數等變化情形，可確實掌握施工進度或施工品質。
- 四、施工功率：施工功率之評估可按改良土方量和實際改良土方量進行評估，但由於改良土方量與改良率有關，且不同工法和不同施工目的之改良率需求亦不盡相同，因此為標準化評估作業，本計

畫依過去經驗以實際改良土方和單位化方式(單一機組、單日工作量)進行各工法之施工功率評估：

(四)淺層攪拌工法在每日工作8小時情況下，單座機組之改良土方約達 1500 m^3 ($1500\text{ m}^3/\text{單機/日}$)。

(五)(中)深層攪拌工法在每日工作8小時情況下，單座機組之改良土方約達 250 m^3 ($250\text{ m}^3/\text{單機/日}$)。

五、直接施工費用：為簡化各工法之評估，本計畫在不考慮間接工事費用和改良率等影響因素，而以單位實際改良土方針對其直接工事費用(施工技術費用和材料費用)進行評估如下：

(一)假設淺層攪拌工法單位改良土方添加固化材含量 100 kg (100 kg/m^3)情況下，估算淺層攪拌工法之主要直接施工費用以施工技術佔大宗，每單位改良土方約新台幣700元(新台幣700元/ m^3)。

(二)假設(中)深層攪拌工法單位改良土方添加固化材含量 100 kg (100 kg/m^3)情況下，估算(中)深層攪拌工法之主要直接施工費用以施工技術佔大宗，每單位改良土方約新台幣1500元(新台幣1500元/ m^3)。

六、施工對環境之影響：淺層攪拌工法施工材料就地資源化，並無污染源和廢棄材料之生產，惟拌合機組之機動性不佳，無法於惡劣環境下(如：泥濘黏土或承载力不足之砂土層)工作；(中)深層攪拌工法之施工材料也是就地資源利用，並無污染源和廢棄材料之生產，而且施工之攪拌翼係掛載於挖土機小臂前端，具機動性和輕量化特性，可有效抑制施工產生之振動、噪音和改良材料之流動，使之適用於侷限空間或惡劣環境中。

表 5-16 野溪整治之淺層和深層攪拌工法之評估與檢討列表

工法 評估項目	(中)深層攪拌	淺層攪拌
使用材料	固化材	固化材
施工機具	處理機	拌合車
施工管理	自動化電腦系統管理	配比調適與控制
施工功率	250 m ³ /日/單機	1500 m ³ /日/單機
施工費用	1500 元/m ³	700 元/m ³
環境影響	施工材料就地資源利用 無振動及噪音污染	施工材料就地資源利用 無振動及噪音污染

表 5-17 野溪整治之淺層和深層攪拌工法適用性比較

工法 評估項目	(中)深層攪拌	淺層攪拌
使用材料	○	○
施工機具	○	△
施工管理	○	△
直接施工費用	1500 元/m ³	700 元/m ³
施工成效	○	△
環境影響	○	○
備註： ○：理想 △：尚可 ×：不理想		

第六章 結論

第一節 計畫執行與管考

月份 工作項目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1.全台野溪分佈文獻 和技術報告蒐集與分 析												
2.野溪現地調查和淤 積土石取樣												
3.室內土石粒徑分析 和相關試驗												
4.土石固結整治工法 的建議和適應比較												
5.固床保護工穩定性 之數值分析和驗證												
6.各適應施工方法之 優劣性分析												
7.報告書撰寫與成果 發表												
進度累積百分比 (%)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100

圖6-1 計畫甘特圖

成果報告之現地調查進度達預期進度總計畫之 100%，文獻蒐集與回顧進度達預期之 100%，土壤試驗進度達預期之 100%，數值分析與成果整合達進度之 100%，報告書撰寫達預期進度之 100%，累積總進度達預期之 100%。

表 6-1 預定進度表

重要工作項目	工作比重%	預定進度	111			
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月
現地調查	20	工作量或內容	北部地區現勘	中部地區現勘	南部地區現勘	
		累計百分比	40	70	100	100
文獻蒐集	20	工作量或內容	文現蒐集	文現蒐集	文現蒐集	
		累計百分比	40	70	100	100
土壤試驗	10	工作量或內容	土壤試驗	土壤試驗	土壤試驗	
		累計百分比	40	70	100	100
數值分析與成果整合	40	工作量或內容	架構數值尺寸，分析參數	數值分析	分析與成果整合	分析與成果整合
		累計百分比	30	60	90	100
報告與論文撰寫	10	工作量或內容	期初報告書撰寫	期中報告書撰寫	期末報告書撰寫	成果報告書撰寫
		累計百分比	40	60	90	100
累計總進度	百分比		36	65	95	100

第二節 報告結論與建議

- 一、根據野溪現勘結果，目視觀察其河床質主要組成，概略區分砂質(2mm以下)、礫石(2~64mm) 及塊石 (64mm以上，含卵石) 等三種定性方式說明，建議適應之現地之固床整治工法，依據野溪河床質組成，多砂質、礫石之區域，較適合現地拌合工法、攪拌工法；多礫石、塊石之區域，可使用部分固結塊石工法、砌石工法、塊石護坦，使河床改良設計融入自然生態中。
- 二、根據北中南各分區野溪粒徑分析，北部野溪的 D_{50} 分析結果為 11 mm，中部野溪的 D_{50} 分析結果平均為 8.35 mm，南部野溪的 D_{50} 分析結果平均為 7.4 mm，粒徑分析結果顯示，全台河床粒徑從北到南有逐漸變小的趨勢。
- 三、現地攪拌工法之研究，採集北中南各分區野溪淤積土石，針對野溪不同粒徑分佈，進行拌合試體抗壓試驗，試驗結果顯示抗壓強度與拌合材料的粒徑分佈有相關性，相同拌合配比下，粗粒料比例較高的試體，抗壓強度也較高。
- 四、針對各區域進行拌合配比試驗，並且根據參考文獻(姜燁秀等人，水保技術 2012)，就現地拌合工法抗壓而言，採用一般混凝土 140 kgf/cm^2 之 50 %， 70 kgf/cm^2 為期望標準，地盤改良需要的最低標準為其值之 20 %，意即 28 kgf/cm^2 為最低標準。北中南各分區的河床土石在拌合配比 1:6 的設計下，皆達到期望標準 70 kgf/cm^2 ；拌合配比 1:9 的設計下，6 條野溪中，抗壓強度試驗 3 條到達期望標準，2 條到達最低標準，1 條未達最低標準；拌合配比 1:12 的設計下，6 條野溪中，抗壓強度試驗 4 條到達最低標準，2 條未達最低標準，固建議在使用情境上做區分，

提高結構安全與現地強度考量等用途，使用拌合配比 1:6，僅提供抗側向沖蝕用途，使用拌合配比 1:9、1:12。

五、數值分析結果，在河床刷深小於基礎深度的情況下，建議選用淺層攪拌工法，於基礎前方施作地改之固床工，使護岸在河床刷深的情況下安全係數下降幅度減小，安全係數維持在 1.5 以上，在分析河床刷深大於基礎深度的情況下，建議選用深層攪拌工法，深層攪拌工法可以提供更好的穩定性，可有效保護護岸，使安全係數維持在 1.5 以上。

六、比較淺層拌合工法，水平施作與垂直向下施作的改良成效，結果顯示水平施作的效率更好，在分析的案例中可以減少 20%~50% 的改良面積，透過地盤改良保護基礎前方的土石不因沖刷而流失，提供護岸更好的穩定性。

參考文獻

1. 盧之偉，110 年水保局創新研究計劃，“不同地震強度區農塘之壩體受震災害潛勢判釋研究”，國立台灣科技大學，2020。
2. 姜燁秀等人，“野溪清疏作業方法之四：野溪土石資源化現地利用之研究”，水保技術，2012。
3. 蕭江碧、廖鴻鈞等人，“建築物基礎設計規範之研究---地層改良”，2004。
4. 曹鼎志、蕭震洋，“野溪清疏之防災效益評估-以仁愛鄉南豐村眉溪為例”，國立中興大學。
5. 周君衡，“石梁固床工型式影響水流沖刷效應之研究”，中國文化大學，2010。
6. 張清晏、徐弘明，“固床工型式與野溪生態環境介紹”，坡地防災學報，2016。
7. 林親義，“河床質粒徑分布特性之探討”，中華水土保持學報，1983。
8. 林親義、謝豪榮，“碼崙溪河床質剪力及摩擦試驗之相關性研究”，中華水土保持學報，1985。
9. 徐弘明等人，“瓦魯斯溪河床土砂拌合水泥之抗壓強度比較”，坡地防災學報，2019。

10. 陳延豪等人，“知本溪樂林橋段淤積土砂現地拌合配比之研究”，坡地防災學報，2016。
11. 許中立等人，“溪床淤積土砂線地拌合水泥工法之應用”，水保技術，2014。
12. 盧光輝，“水土保持治理與生態保育”，中國文化大學，2001。
13. 陳樹群、彭思顯，“台灣河川型態五層分類法研究”，中華水土保持學報，2002。
14. 周欽源、許中立，“野溪清疏工程之規劃與執行成效”，中華水土保持學報，2012。
15. 朱芳儀等人，“臺灣主要流域之河川型態及其野溪界點判定評估”，中華水土保持學報，2018。
16. 陳智誠、施邦築，宜蘭縣碼崙溪集水區土砂災害之研究，國立臺北科技大學，2015。
17. 整體性治山計畫 110 至 113 年度，行政院農業委員會。
18. 濁水溪流域整體治理綱要計畫 101 至 104 年，國家發展委員會。
19. 94 年度天然災害復健復育計畫，南勢溪整體治理調查規劃之研究，行政院農業委員會林務局。
20. 蔡明波、陳樹群，阿里山溪集水區之土砂災害調查及枝幹式防

- 治工法探討，技師期刊，2011。
21. 蔡文村、齊柏林，高度觀察荖濃溪，經典雜誌，2008。
 22. 林家弘、蔡淑芬、林昭遠，來社溪集水區大規模崩塌潛勢劃定模式之建置，國立中興大學，2016。
 23. 陳彥婷、盧杰志、林喬莉、林秉賢、連惠邦，來社溪野溪清疏方案之二維數值模擬分析，中華水土保持學會，2014。
 24. Chunhsien Wu , Chihkuan Ni , Honyim Ko “Seismic response of an earth dam : finite element coupling analysis and validation from centrifuge tests,”Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering Volume 1, Issue 1, 26 October 2009, Pages 56-70.
 25. B.H. Maula, L. Zhang, “Assessment of Embankment Factor Safety Using Two Commercially Available Programs in Slope Stability Analysis” , Procedia Engineering Volume 14, 2011, Pages 559-566.
 26. S. Rampello, E. Cascone, N. Grosso, “Evaluation of the seismic response of a homogeneous earth dam”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering Volume 29, Issue 5, May 2009, Pages 782-798.
 27. Mostefa Belkhatir, Ahmed Arab, Nouredine Della , Tom Schanz , “Experimental Study of Undrained Shear Strength of Silty Sand : Effect of Fines and Gradation” , Original paper Published : 24 May 2012.
 28. Xiaoping Chen, Jingwu Huang , “Stability analysis of bank slope

under conditions of reservoir impounding and rapid drawdown” ,
Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering Volume
3, Supplement 1, 28 December 2011, Pages 429-437.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1.	請補充工作項目之甘特圖。	感謝委員提醒，工作進度甘特圖以補充於 P3-1。
2.	如何江河川改良區(地盤固結工法)納入 Slide、plaxis2D、DBLEAVES等數值分析中。	感謝委員建議，河川改良區會參考，室內模擬拌合試驗所得的試體強度，於有限元素分析軟體中建立改良區、河道、河岸邊坡等，會再參考河川沖刷力的相關公式，計算衝擊力模擬水流，於軟體中模擬拌合區是否強度足夠保護受保全的區域如河道、河岸邊坡等。

項次	審查意見	回覆辦理情形
3.	北、中、南之現地調查，與示範區之六條溪流，在計畫中之目的為何。	感謝委員建議，計畫中規劃北、中、南現地調查之六條溪流，分別分布於台灣的不同區域，因各分區地質條件不同，河床淤積土石的粒徑、強度、形狀、岩石分類會有所差異，本研究之目的為，透過現地調查建議對應可行且適應現地土石利用的工法，且評估其未來成效。
4.	P1-3直剪，三軸試驗之目的為何，北、中、南不同模擬區域是否需作試驗，求取相關 c 、 ϕ 值。	感謝委員建議，本研究採集的樣本以河床上的砂、礫石、塊石為主，故不會以直剪、三軸試驗作為強度評估的試驗方法，此部分已經予以刪除，並補上室內模擬拌合試驗、抗壓試驗作為主要強度評估試驗方法。

項次	審查意見	回覆辦理情形
5.	P3-1建議須有較詳細之工作內容，並取根據不同固結工法提供相關結論與建議，以供水保局參考。	感謝委員建議，P2-14~18 詳細說明現地土石利用之相關固結工法，集結過往相關的施作案例，整理各個工法分別適用的土石粒徑。
6.	河川礫石顆粒大小與河道坡度，上、中、下游及區域及上游地質條件有關，建議除現場踏勘外，可就採樣點作確認與說明，巨大礫石多為砂岩，前身為砂板岩，多為頁岩前身為黏土，均為沉積岩之砂頁岩互層。	感謝委員的建議，現地踏勘採樣的位置，已經使用地圖標示處確切的地點，會再針對各區野溪現勘地之岩層特性、淤積土石岩性，做進一步的研究說明。
7.	能否由產品之生命週期，估算混凝土碳足跡，彰顯此方法特色。	感謝委員建議，產品之生命週期、混凝土碳足跡的比較分析，會在現地探勘後，評估各分區野溪不同的適應性工法可行性，再針對適應性

項次	審查意見	回覆辦理情形
		工法與現有的河川整治工法作比較，計算使用配合現地土石級配之適應性工法在減碳方面的效益，此部分預計會在期末報告中作詳細的說明。
8.	試驗及配材料會影響混凝土強度，如何結合數值分析與現場混凝土強度關係。	感謝委員建議，本計畫於北、中、南現地調查之六條溪流採集淤積土石，並參考文獻中現地拌合工法常見之拌合配比，進行室內模擬拌合試驗，最終以拌合試體的抗壓強度作為數值分析的參考基準。
9.	固床工損毀原因，因常發生於下游沖刷造成基礎掏空，請探討經濟有效固結深度。	感謝委員建議，現地拌合工法的適用深度，受機具及地質條件影響，深度約在 10 米內，設計固床工之基礎深度

項次	審查意見	回覆辦理情形
		應大於沖刷坑之深度避免造成基礎掏空，故設計深度也要考慮野溪沖刷的強勁程度。若下游沖刷造成既有固床工基礎掏空，建議可以配合乾季以現地拌合工法進行固床工基礎補強。本計畫後續也會針對拌合工法與混凝土構造物的經濟性進行強弱分析。
10.	為逐步建立全國野溪土石及配特性資料，因東部屬海岸山脈地區，其差異性較大，除北、中、南分區，建議增列東部分區，使資料更為完整。	感謝委員建議，本研究團隊會先完成預定北、中、南分區共計六條野溪之線勘工作，同時規劃東部分區的野溪現勘，評估本計畫之資料完整性與預定工作進度綜合評估，視需要前往東部進行現勘。

項次	審查意見	回覆辦理情形
11.	請蒐集國內淺中深層攪拌工法施作案例，供水土保持局各分局相關同仁觀摩。	感謝委員建議，淺中深層攪拌工法在國內目前並沒有野溪整治的相關案例，尚屬於評估研究階段，本計畫會針對該工法在野溪的適用性，做更深入的探討，並於砌末報告中呈現。本計畫整理現地土石利用相關工法施作案例，P2-14~18 詳細說明。
12.	P2-4本計畫採用攪拌工法，加固化劑強化地層，另依P2-6表2-1處理機制之土壤，與本計畫野溪及配調查關聯甚低，級配分析試驗結果，如何應用。	感謝委員建議，攪拌工法適用的粒徑，能涵蓋粒徑小於10 公分、SPT-N 值小於 40 的礫石層，可用於部分河床淤積土石較鬆軟的區域，改善河岸邊坡強度較低或較危險的區域不受溪水侵蝕。

項次	審查意見	回覆辦理情形
13.	P-32示範場區現地調查，大塊石粒徑多，攪拌工法適用嗎。	感謝委員建議，在大塊石佔比較高的區域，現地攪拌工法是不適用的，大塊石粒徑多的河床，建議可以利用部分固結塊石工法、砌石工法、邊坡塊石護坦等工法，利用塊石本身強度較高的特性，搭配少量的固結材，達到利用現地土石資源整治野溪的目的。
14.	P2-23河道改良區示意圖，河道邊坡納入固化改良方法建議。	感謝委員建議，本計畫整理過往固化改良工法用於河道邊坡施整治的案例，於 P2-14~18 詳細說明。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1.	建議本計畫盡量蒐集過去曾使用過現地土石為材料之工程規劃設計資料，深入了解其材料特性、強度及相關適用條件，以歸納出參考原則。	感謝委員寶貴的建議，根據參考文獻(姜燁秀等人，水保技術 2012)，本文獻參考合望溪、紅香溫泉去曾使用過現地土石為材料之工程設計資料，包括鑽心試體強度，及圓柱試體抗壓試驗強度，並於本文獻中建議，現地拌合料抗壓強度，就現地拌合工法抗壓而言，採用一般混凝土 140 kgf/cm ² 之 50%，70 kgf/cm ² 為期望標準，地盤改良需要的最低標準為其值之 20%，意即 28 kgf/cm ² 為最低標準。本研究採此標準作為判斷拌合改良體是否強度足夠之依據。
2.	建議針對本計畫提出之方案，進行實際案例分析，尤其是著重在強度、適用條件	感謝委員寶貴的建議，本計畫針對攪拌工法應用於現地護岸的情境，進行三組不同

項次	審查意見	回覆辦理情形
	及成本效益等方面，並具體提出建議方案，供水保局未來參考。	的地盤改良方式之數值分析研究，改良體的強度期望標準為 70 kgf/cm^2 ，最低標準為 28 kgf/cm^2 ，適用條件及效益分析的報告內容於第 5 章第 4 節。
3.	本計畫僅針對拌合試體的抗壓強度進行分析，是否足夠證明未來以該拌合材料及方式所生產之構造物可符合相關規範，同時具實用性，請詳細說明。	感謝委員寶貴的建議，根據參考文獻(姜燁秀等人，水保技術 2012)，本文獻參考合望溪、紅香溫泉去曾使用過現地土石為材料之工程設計資料，包括鑽心試體強度，及圓柱試體抗壓試驗強度，並歸納出建議的試體抗壓強度，本計畫也以相同的方式對於六條野溪採樣試體，做抗壓試驗，試驗結果報告於第五章第二節，根據結果歸

項次	審查意見	回覆辦理情形
		納出本計畫建議不同情境下適用之拌合配比。
4.	圖 2-3 淺層攪拌工法設計流程，雖引用前人研究成果，但流程圖中各判斷條件，亦應同時引用，使流程圖具可用性。	感謝委員寶貴的建議，引用參考文獻建築物基礎設計規範之研究---地層改良(蕭江碧、廖鴻鈞，2004)，第二章:淺層拌合工法、第三章:深層拌合工法，本文獻提及設計需注意的項目，可以做為相關研究及設計之參考。相關研究中並沒有直接對應於工法的判斷條件，因為地盤改良因應不同的設計需求、配合不同的構造物，使用相應的設計規範，期待未來對於地盤改良相關施作有更多研

項次	審查意見	回覆辦理情形
		究，並制定完整的設計規範。以加註於報告書中，參考本篇文獻，並依據施作地盤改良設施的設計規範做為攪拌工法之設計依據。
5.	依圖 3-21 及圖 3-22 拌合試體影像，其蜂窩現象極為明顯，顯示攪拌搗實不全，對於抗壓試體數值變異影響極大，所得數據可信度堪慮。目前僅就水泥:土石比進行1:6、1:9、1:12 配比試驗，應對於施作工法及注意事項進行研究，以利往後推廣施作之依據。	感謝委員寶貴的建議，拌合試驗的搗實狀況已在後續做出改善，並將搗實不全的狀況記錄於報告中，以後續四組抗壓試驗的結果與兩組搗實不全的結果做比較，確實顯現出強度上的差異，拌合體的均勻程度影響其強度，現地施作需加強施工品質以維持改良體強度。就應對於施作工法本計畫以數值分析的方式，模擬三種不同的施作方式，在河床刷深的情況

項次	審查意見	回覆辦理情形
		下，其對於護岸的穩定性的改良效益，報告於第五章第三節中。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1.	因本局工程交通不便，較大型機具不易進場施作，對於此類區位是否有適合之方式。	感謝委員寶貴的建議，因本計畫設定之地改範圍位於既有固床防砂設施周遭，假定此區有足夠施作常見鋼筋混凝土設施的施工空間，在此前提下本研究所建議之機具應可以進場施作，具體施工空間配置問題還須視現場情況而定，本報告書提供潛層改良及中深層改良機具與施作照片於附錄四，供後續施工參考。
2.	因本局工程施作野溪很多無常流水，挖方質地與報告較不同(甚至土壤、有機質含量高)，是否仍適合本方法。	感謝委員寶貴的建議，本研究所建議之地盤改良工法非常適合在各種軟弱土層，包括土壤、有機質含量高土，現地拌合工法適用性上的限制，攪拌頭遭遇粒徑過大的塊石可會無法攪動。

附錄四、現地拌合地盤改良施作機具

一、淺層改良：現地拌合法

(一)適用改良深度：地下 4~5 公尺。

(二)主要施工機具：自走式拌合車(裝載水槽、固化材儲桶、拌合裝置、配比調配系統和排料設施...等)



圖附-1 現地拌合法機具配置 (台中電廠灰塘區地改試驗)

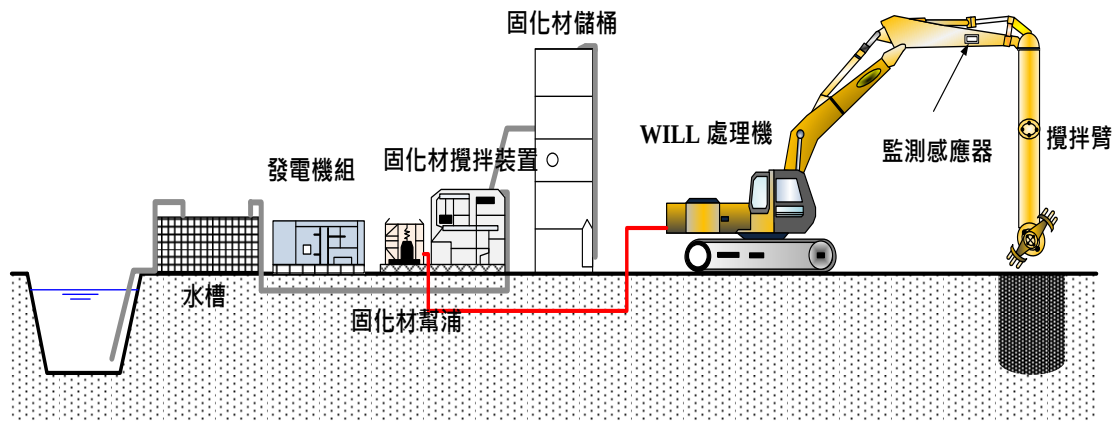


圖附-2 現地拌合法控制系統(台中電廠灰塘區地改試驗)

二、中層改良：WILL攪拌工法

(一)適用改良深度：地下 10公尺。

(二)主要施工機具：WILL處理機和電腦管理系統(附屬設施包含：水槽、發電機組、固化材攪拌裝置、流量控制系統、固化材攪拌裝置及固化材儲桶...等)



圖附-3 WILL攪拌工法施工機具配置圖(台中電廠灰塘區地改試驗)



圖附-4 WILL攪拌工法控制系統(台中電廠灰塘區地改試驗)



圖附-5 WILL攪拌頭(台中電廠灰塘區地改試驗)