

加勁擋土結構應用於交通 土木工程規範草案之研究



執行單位：財團法人臺灣營建研究院

委託機關：交 通 部

中華民國 97 年 05 月

本報告為研究案並不代表交通部意見

加勁擋土結構應用於交通土木 工程規範草案之研究

著者：李維峰、廖振程、黃奉琦

執行單位：財團法人臺灣營建研究院

委託機關：交 通 部

中華民國 97 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目資料

加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究/李維峰等著.

--初版. -- 臺北市 : 交通部, 民 97

面; 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-01-4252-5 (平裝)

1. 土木水利工程類

557.15

93012399

加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究

著 者：李維峰、廖振程、黃奉琦

出版機關：交通部

地 址：10052 台北市仁愛路一段五十號

網 址：<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/lp?ctNode=314&mp=1>

電 話：(02)23492900

出版年月：中華民國 97 年 5 月

印 刷 者：康普影印社

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

定 價：350 元

本書同時登載於交通部網站

展售處：五南文化廣場 40042 台中市中山路 6 號 電話：(04) 2226-0330

GPN：1009701277

ISBN：978-986-01-4252-5

著作財產權人：交通部

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求著作財產權人書面同意或授權。

交通部科技顧問室委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究			
國際標準書號(或叢刊書)	政府出版品統一編號	計畫編號	
978-986-01-4252-5	1009701277	MOTC-STAO-96-04	
主管：賈玉輝 聯絡電話：02-23492860 傳真號碼：02-23122476 e-mail：yh_jea@motc.gov.tw 承辦人：許書王 聯絡電話：02-23492861 傳真號碼：02-23122476 e-mail：sy_hsu@motc.gov.tw	研究單位：財團法人臺灣營建研究院 計畫主持人：李維峰 聯絡電話：02-27303243 傳真號碼：02-27381920 e-mail：weilee@mail.ntust.edu.tw 研究人員：廖振程、黃奉琦 通信地址：台北縣新店市中興路二段 190 號 11 樓 聯絡電話：02-89195060		其他參與合作之研究團隊
			中華地工材料協會
			研究期間
			自 96.4.3. 至 97.4.2.
			研究經費
		壹佰陸拾貳萬元整	
關鍵詞：加勁擋土結構，交通工程，加勁材料，設計與施工，管理維護，規範			
摘要： <p>本案受交通部科技顧問室委託，彙編涵蓋加勁結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段，所參考之「加勁擋土設施設計及施工規範及範例」，同時進行相關於該結構應用之研究，計畫執行工作項目與重點包含「加勁擋土牆與邊坡應用之文獻蒐集」，「加勁擋土結構應用於交通土木工程之研究」及「編訂加勁擋土結構應用於交通土工程之草案」，並且選定一示範案例以為後續工程參考。</p> <p>首先，針對國內外於擋土牆及邊坡應用加勁擋土結構之資料進行蒐集彙整，以提供後續設計與施工規範訂定之參考，並收集國內相關施工破壞案例，以釐清現行規範的適宜性。同時考慮臺灣地理環境因素與施工習性，且將面版元件、地工合成材料、回填土料與其他元件本土化生產特性納入考量，編定一適宜的本土化加勁擋土結構規範草案，為使工程各個界面之單位皆能充份參與提供寶貴意見，擬邀請包含政府單位、學術單位、設計單位、施工單位、材料廠商以及相關協會公會之專家共同參與，且組成初審小組共同審查規範條文內容，以確實符合各方需求。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97 年 5 月	200	350	凡屬機密性出版品均不對外公開，普通性出版品；公營、公益機關團體及學校，由本部依業務性質函送參考，其他需要者可函洽本部免費贈閱，或逕進入 www.motc.gov.tw 之科技研究項下下載。
機密等級： <p> <input type="checkbox"/>限閱 <input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密 (解密【限】條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密) <input type="checkbox"/>普通 </p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見			

TITLE : Study on Specification Draft of Reinforced Retaining Structure Transportation Infrastructure Applications			
ISBN(OR ISSN)		GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-01-4252-5		1009701277	MOTC-STAO-96-04
DIRECTOR GENERAL : YU-HUEI JEA HONE : 02-23492860 FAX : 02-23122476 E-MAIL : yh-jea@motc.gov.tw SPONSOR STAFF : Hseu,Shu-Wang PHONE : 02-23492861 FAX : 02-23122476 E-MAIL : sy_hsu@motc.gov.tw		ESEARCH AGENCY : TaiwanConstruction Research Institute PRINCIPAL INVESTIGATOR : Lee,Wei-F PHONE : 02-27303243 FAX : 02-27381920 E-MAIL : weilee@mail.ntust.edu.tw PROJECT STAFF : Liao,Jen-Cheng ; Huang,Feng-Chi ADDRESS : 11F,190,Sec.2,Chung hsing Road,Hsintien, Taipei,Taiwan 231,R.O.C. PHONE : 886-2-89195060	
PROJECT PERIOD	From : April 2007 To : April 2008	PROJECT BUDGET	NT\$1,620,000
KEY WORDS : Reinforced Retaining Structure, Transportation Infrastructure,Geosynthetic, Design and construction, Management maintenance, Specification			
ABSTRACT : <p>This case assembles covers tries harder the structural design, theselection, the construction, the monitor and the management maintenance and so on various projects stage, refers to it "to try harder to keep off the earth facility to suppose takes into account he construction standard and the model".</p> <p>First, in view of domestic and foreign and slop the application tries harder to the bulkhead to keep off material of the texture of soil to carry on the collection to collect entire, provides the following design and the construction standard subscribes decides the reference,and the collection domestic correlation construction destruction case,is suitable the nature by the thousandth of a Yuan clear present standard. Simultaneously considered the Taiwan geographical environment factor and the construction habit compile and check as soon as is suitable tries harder to keep off the texture of soil standard draft, for enables unit of the project each contact surface all to imitate the share to participation provides the valued suggestion, invites the expert to participation together, also the composition first trial group examines the standard article content together, to truly conforms to all quarters demand.</p>			
DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
May 2008	200	NT\$350	<input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目 錄

第一章 計畫緣起與目的	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫目的與重要性	2
第二章 加勁擋土牆、邊坡與加勁路堤應用文獻蒐集	4
2.1 加勁擋土牆與邊坡概述	4
2.2 加勁擋土牆與邊坡破壞機制	5
2.3 加勁擋土牆與邊坡破壞特徵	7
2.4 加勁路堤應用時機概述	12
2.5 加勁路堤破壞機制	14
2.6 加勁擋土結構破壞原因歸納與分析	15
2.7 加勁擋土結構適用材料	18
2.8 加勁擋土結構施工程序概述	26
2.9 相關規範蒐集與比較	29
2.9.1 加勁材料的特性與試驗規範比較	29
2.9.2 加勁擋土結構設計規範比較	30
2.9.3 填築土料的特性與試驗規範比較	30
第三章 加勁擋土結構於交通土木工程之應用	32
3.1 加勁擋土結構應用於生態景觀	32
3.2 加勁擋土結構應用於河岸公路沖刷防治	35
3.3 加勁擋土結構應用於防救災工程	38
3.3.1 土石災害圍堵工程	38
3.3.2 災害搶救臨時道路與便橋搭建	39
3.4 加勁擋土結構於環境永續發展之應用	40
3.4.1 應用加勁擋土結構修復邊坡案例	40
第四章 加勁擋土結構設計分析與施工程序之研究	49
4.1 加勁擋土結構設計分析	49
4.1.1 加勁擋土結構組成原理與適用時機	49
4.1.2 加勁擋土結構基本設計觀念	50
4.1.3 加勁擋土結構基本設計步驟	54
4.1.4 加勁擋土結構動態設計分析	58

4.2 加勁擋土結構施工程序	60
4.2.1 加勁擋土結構施工程序項目	60
4.2.2 加勁擋土結構施工步驟及注意事項	62
第五章 加勁擋土結構動態設計分析研究	69
5.1 現階段加勁擋土結構動態設計概況	69
5.1.1 動態設計分析方法	69
5.1.2 現階段加勁擋土結構動態設計瓶頸	72
5.2 相關加勁擋土結構動態反應研究與發展	72
5.2.1 分析模型研發	73
5.2.2 模型試驗分析	74
5.2.3 工作應力分析	76
5.3 加勁擋土結構動態反應現有研究成果	77
5.3.1 數值模型開發	77
5.3.2 參數分析	79
5.3.3 小結	83
第六章 加勁擋土結構規範草案制訂與審查	84
6.1 加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案擬訂概述	84
6.2 規範草案專家審查會議歷程	84
第七章 加勁擋土結構示範工程驗證案例解說	86
7.1 示範工程背景	86
7.2 設計檢核流程	86
7.2.1 設計檢核方法與工具	86
7.2.2 加勁擋土牆設計檢核結果	86
7.3 材料選擇與檢驗	88
7.3.1 加勁材料品質檢驗規範與檢驗項目	88
7.3.2 加勁材料現場抽驗方法與自主檢查表	90
7.3.3 預鑄式剛性面版檢核規範與現場抽驗方法	91
7.3.4 填築土料檢核規範與現場抽驗方法	93
7.4 施工程序與品質管控	95
7.4.1 回包式柔性面版施工程序與注意事項	95
7.4.2 預鑄式剛性面版施工程序與注意事項	99
7.4.3 加勁擋土牆施工品質管理要領	105
7.5 問題與對策集錦	111

第八章 加勁擋土結構規範草案納入部頒規範作業建議	114
8.1 公路橋梁設計規範	116
8.2 公路橋梁耐震設計規範	118
8.3 公路工程施工規範	119
8.4 公路養護手冊	126
8.5 公路路線設計規範	126
8.6 鐵路橋梁設計規範	126
8.7 鐵路橋梁耐震設計規範	127
第九章 結論與建議.....	128
9.1 結論.....	128
9.2 建議.....	130
第十章 參考文獻.....	131
附錄一 加勁擋土結構應用於交通土木工程規範 草案條文內容	135
附錄二 規範草案歷次審查會議出席紀錄.....	136
附錄三 歷次工作會議記錄.....	137
附錄四 公共工程委員會施工綱要第 02838 章.....	138
加勁擋土牆-地工合成加勁材	138
附錄五 期中審查意見回覆表.....	139
附件六 期末審查意見回覆表.....	143
附件七 期末修正審查意見回覆表.....	146

圖目錄

圖 2-1 加勁擋土結構應用透視圖	4
圖 2-2 加勁邊坡結構剖面示意圖	5
圖 2-3 加勁擋土結構內部破壞示意圖	6
圖 2-4 擋土結構外部破壞示意圖	6
圖 2-5 加勁擋土牆牆面變形外鼓	7
圖 2-6 加勁擋土牆牆頂外傾	8
圖 2-7 加勁擋土牆牆頂沉陷開裂	8
圖 2-8 加勁擋土牆與加勁材料連接點破壞	9
圖 2-9 加勁材料縱向斷裂	10
圖 2-10 加勁材料橫向斷裂	10
圖 2-11 加勁擋土結構基礎承載破壞	11
圖 2-12 加勁擋土結構全面坍滑破壞	11
圖 2-13 加勁擋土結構表面土壤流失	12
圖 2-14 (a) 細料層上湧污染級配層的機制及地工織物改善成效	13
圖 2-14 (b) 級配層向下侵入細料層的機制及地工織物改善成效	14
圖 2-15 加勁材料路面加勁原理示意圖	14
圖 2-16 加勁路堤破壞形式彙整	15
圖 2-17 加勁材料示意圖	18
圖 2-18 堆疊式預鑄混凝土面版	23
圖 2-19 預鑄鋼筋混凝土面版	23
圖 2-20 加勁擋土牆回包面版	24
圖 2-21 剛性面版緩衝材料示意圖	25
圖 2-22 面版與加勁材料聯結示意圖	26
圖 2-23 加勁擋土結構預鑄式剛性面版施工步驟示意圖	27
圖 2-24 加勁擋土結構回包式柔性面版施工步驟示意圖	28
圖 3-1 預鑄式剛性面版結合道路景觀設計示意圖	33
圖 3-2 預鑄式剛性面版結合都市景觀設計示意圖	33
圖 3-3 生態景觀工法於加勁邊坡之應用情形示意圖	34
圖 3-4 坡趾與河道沖刷、淘刷防治示意圖	36
圖 3-5 河岸邊坡保護及固床工示意圖	37
圖 3-6 地工合成材料應用於水土保持工程案例	37
圖 3-7 土石圍堵屏障示意圖	38

圖 3-8 加勁擋土結構土石圍堵屏障完工情況	39
圖 3-9 加勁材料應用於臨時便橋設施	40
圖 3-10 邊坡坍塌整治前	41
圖 3-11 土工合成材料排水設施示意圖	44
圖 3-12 加勁擋土結構施工整地及加勁材料配置示意圖	44
圖 3-13 (a) 圓型土工合成材料排水設施配置示意圖	45
圖 3-13 (b) 扁型土工合成材料排水設施配置示意圖	45
圖 3-14(a) 圓型排水設施施工圖	46
圖 3-14(b) 扁型排水設施施工圖	46
圖 3-15 植生綠化配置示意圖	47
圖 3-16(a) 邊坡整治坡面植生初期現況	47
圖 3-16 (b) 邊坡整治坡面植生完成記錄	48
圖 3-16(c) 邊坡整治坡面植生完成記錄	48
圖 4-1 加勁擋土結構設計分析流程	51
圖 4-2 加勁擋土牆設計基本資料示意圖	54
圖 4-3 加勁擋土結構設計分析破壞面	55
圖 4-4 加勁擋土結構內部破壞示意圖	55
圖 4-5 加勁擋土結構外部破壞示意圖	56
圖 4-6 加勁擋土結構排水示意圖	57
圖 4-7(a) 表面植生綠化示意圖 4-7(b) 表面植生綠化剖面圖	57
圖 4-8 擋土牆擬靜態分析示意圖	58
圖 4-9 土壓力分佈示意圖	59
圖 4-10 加勁材料鋪設前定位避免鋪設誤差	63
圖 4-11 加勁材料鋪設後禁止工程車輛直接滾壓	63
圖 4-12 加勁材料鋪設後工程車輛行經加勁區須進行保護	64
圖 4-13 填築土料鋪設施工機具施作示意圖	65
圖 4-14 填築土料鋪設施工機具施作示意圖	65
圖 4-15 填築土料鋪設小型施工機具施作示意圖	66
圖 4-16 加勁擋土結構牆面多樣性變化示意圖	66
圖 4-17 內凹方形轉角加勁材配置示意圖	67
圖 4-18 內凹曲線轉角加勁材配置示意	67
圖 4-20 外凸曲線轉角加勁材配置示意圖	68
圖 5-1 加勁擋土結構側向土壓力分佈	70
圖 5-2 動態土壓力分佈示意圖	71

圖 5-3 擋土結構土層與堆疊模型示意圖	74
圖 5-4 三度自由度堆疊模型系統與互制參數	74
圖 5-5 全尺寸振動台試驗與配置示意圖	76
圖 5-6 應用FLAC程式模擬加勁擋土結構數值模型示意圖	77
圖 5-7 修正後加勁擋土結構數值模擬示意圖	78
圖 5-8 應用FLAC程式模擬現地加勁擋土牆動態反應	79
圖 5-9 集集地震時大坑地區加勁進擋土牆破壞案例	79
圖 5-10 動態作用下不同加勁長度牆面位移量	81
圖 5-11 動態作用下不同加勁材料鋪設間距牆面位移量	82
圖 5-12 動態作用下不同加勁勁度牆面位移量	82
圖 5-13 動態作用下不同加勁勁度之各層加勁材料張力變化	83
圖 7-1 加勁擋土牆設計流程圖	87
圖 7-2 典型加勁材料之單根肋條試體	89
圖 7-3 加勁材料典型結點強度試樣	90
圖 7-4 回包式柔性面版施工流程圖	95
圖 7-5 預鑄式剛性面版施工流程圖	100
圖 7-6 面版吊裝步驟示意圖	102
圖 7-7 面版垂直度控制	103
圖 7-8 透水礫石包堆疊示意圖	104
圖 7-9 近牆面區填築土料夯實示意圖	105
圖 7-10 工程施工檢驗流程圖	106
圖 7-11 面版連結構件施作示意圖	111
圖 7-12 面版連結構件拉力試驗	111
圖 7-13 面版水平接縫緩衝材料示意圖	112
圖 7-14(a)與其他構造物設置示意 圖 7-14(b)與其他構造設置側面圖	113

表目錄

表 2-1 常用地工材料檢測法	21
表 2-2 加勁擋土結構之填築土料粒徑規定	22
表 2-3 混凝土面版品質管理需求項目	24
表 2-4 加勁材料相關試驗規範彙整表	30
表 2-5 加勁擋土結構設計規範比較表	30
表 2-6 填築土料相關規範彙整表	31
表 3-1 主要工程項目與數量預估表	41
表 3-2 加勁材料相關規範	42
表 3-3 植生網毯材料規範及試驗方法	42
表 3-4 排水設施規格彙整表	43
表 3-5 地工合成排水材料規格彙整表	43
表 7-1 示範案例材料強度要求	89
表 7-2 加勁材料自主檢查表	91
表 7-3 預鑄式剛性面版材料自主檢查表	93
表 7-4 加勁材料施工品質管理要領和標準	107
表 7-4 加勁材料施工品質管理要領和標準(續).....	108
表 7-5 預鑄式面版吊裝施工品質管理要領和標準	109
表 7-5 預鑄式面版吊裝施工品質管理要領和標準(續).....	110
表 8-1 交通部部頒規範彙整表	115

第一章 計畫緣起與目的

1.1 計畫緣起

臺灣地區位處於環太平洋地震帶，且天然地形多為高山峻嶺、溪流縱谷，因此橋梁工程肅然成為國內交通網樞紐的重要角色。近年休閒產業的發展，使得山區開發交通建設逐年增多，挖填剩餘土方、生態環境與景觀耦合問題與日遽增。再加上國內各項大型工程建設正如火如荼的進行著，已使國內良好砂石骨材取得不易，因此有待發展能減少使用骨材、砂石之工程建設。據此，加勁工法正符合以自然材料為主體，並結合生態及環境需求為前提的設計準則，同時因加勁擋土結構的工程特性亦可降低交通震動。此外，相較於傳統鋼筋混凝土結構加勁擋土結構更具耐震能力，所以此類結構應用於地震區內更為適當。

為落實國內外已發展成熟且成功應用於各項交通工程建設之新材料及新技術，並結合環境生態永續發展之觀念，引進加勁擋土結構為交通土木結構新施工技術至今，對此結構理論及設計分析多未予深入介紹，雖然在工程業界的努力下，近年來已陸續有相關協會與公會編撰該工法之設計與施工手冊供工程界參考，然內容多為依據歐美之規範與國情所編撰，未必適合國內工程設計、施作所依循，所以發生破壞案例或施工爭議多有所聞。有鑑於此，財團法人臺灣營建研究院受交通部委託辦理此研究案，其編撰內容應涵蓋加勁擋土結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段，以期望使工程單位對於加勁材料工程特性能充分瞭解，並設計適宜的加勁擋土結構，選擇正確的施工方式及程序以充分發揮加勁擋土結構應有之功能。

1.2 計畫目的與重要性

為能達成本研究計畫目標：彙編涵蓋加勁擋土結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段，所參考之「加勁擋土構造物設計及施工規範及範例」，計畫執行工作項目與執行重點包含下列五項：

一、加勁擋土牆、邊坡與加勁路堤應用之文獻蒐集

國內大多數加勁相關應用規範及材料檢測方法多參照他國行之有年的準則，故本案執行期間，擬先針對國內外於擋土牆、邊坡及路堤應用加勁擋土結構之資料進行蒐集彙整，以提供後續設計與施工規範訂定之參考，同時收集國內相關施工破壞案例，以釐清現行規範的適宜性。

二、加勁擋土結構應用於交通土木工程之研究

臺灣限於地理環境道路建設多為依山而建，且因地質特殊、地震頻繁，興建工程應考慮更多潛在破壞因素。現階段的交通土木工程施工技術純熟，惟其施工方式對生態環境衝擊過大，無法顧及生態景觀，因而難以達到永續發展的目的，然加勁擋土結構的力學特性及施工技術正可改善現階段施工技術的不足。

三、編訂加勁擋土結構應用於交通土木工程之草案

加勁擋土結構是由多種材料所組成的複合結構體，因此於編撰本規範內容時將著重於面版元件、加勁材料、填築土料等主要構築元件與其他次要元件，在設計規劃階段，選擇適用材料、現場施工與後續維護管理等，各工程階段所應注意及規範的事項。對於使用時機再區分為緊急搶修、常態施工、特殊施工等，針對不同情況設置不同規範細則。

四、加勁擋土結構應用於交通土木工程示範案例驗證

為配合本研究案執行，擬規劃示範案例以作為加勁擋土結構整體

設計規劃之實做演示。內容包含設計分析、材料選取、施工程序及管理，以作為後續工程之參考。

五、建立規範草案審查機制

為使本計畫研究成果能符合工程界期望，將透過專家座談會方式廣納各方意見。為使工程各個界面所屬單位皆能充份參，並提供寶貴意見，擬邀請包含政府單位、學術單位、設計單位、施工單位、材料廠商以及相關協會、公會之專家共同參與，依各界所長就其優勢項目分組進行深入審查，並搭配本團隊提出之「適用時機」原則，使本「加勁擋土結構物設計及施工規範及範例」更為完善。

第二章 加勁擋土牆、邊坡與加勁路堤 應用文獻蒐集

本章節將依據加勁擋土設施應用於交通土木工程結構之種類進行相關文獻蒐集，其中包含擋土牆、邊坡及路堤等，章節內容包含該結構之原理、設計及案例。

2.1 加勁擋土牆與邊坡概述

加勁擋土牆(Reinforced Soil Walls 或稱 Mechanically Stabilized Earth Walls) MSEW 之設計理念係利用加勁材料、面版及填築土料所構築而成之加勁土壤結構物，其由加勁材料、面版及填築土料所構成的加勁土體(Reinforced Soil Mass)，可視為一穩定之個體，藉由本身之重量，可以抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力，因此力學行為類似於鋼筋混凝土擋土牆，所以適用於原考慮採用傳統重力式、懸臂式或是扶壁式鋼筋混凝土結構之工址，特別利於預期有大量整體沉陷或差異沉陷的工址。圖 2-1 為加勁擋土結構應用於擋土牆的透視圖，由圖中可清楚看出加勁材料與其他元件間的組合方式。

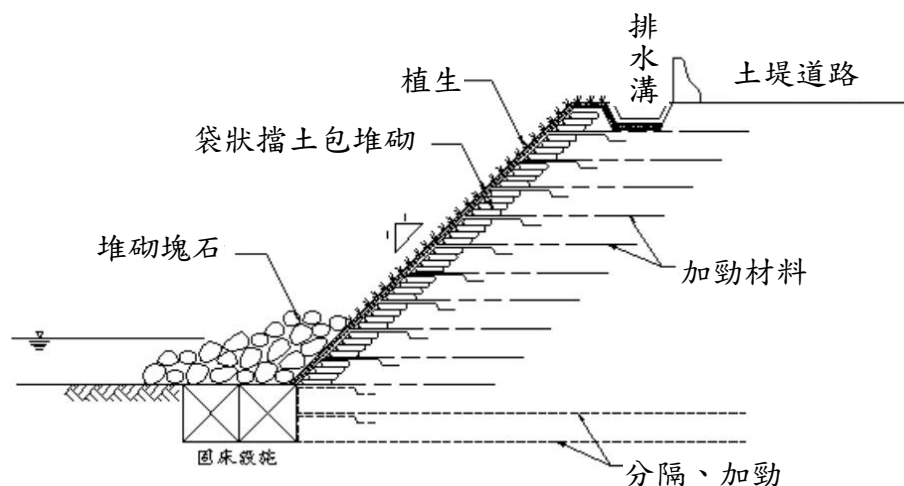


圖 2-1 加勁擋土結構應用透視圖

(本研究繪製)

邊坡構築的坡面與地面傾角超出填築土料的安息角時，邊坡土體即會產生不穩定而有坍塌破壞的趨勢。當邊坡構築坡面傾角小於或等於填築土料安息角時，既可穩定邊坡土體，謂之自然邊坡。平緩的自然邊坡通常佔地寬廣，於用地取得困難或地價昂貴的工程中無法採用自然邊坡。為了減少用地或其它因素而必須將邊坡坡面構築得較為陡峭時，可在填築土料內水平鋪設加勁材料，使水平方向產生一適當的阻抗，以阻止土體向外滑動，如圖 2-2。

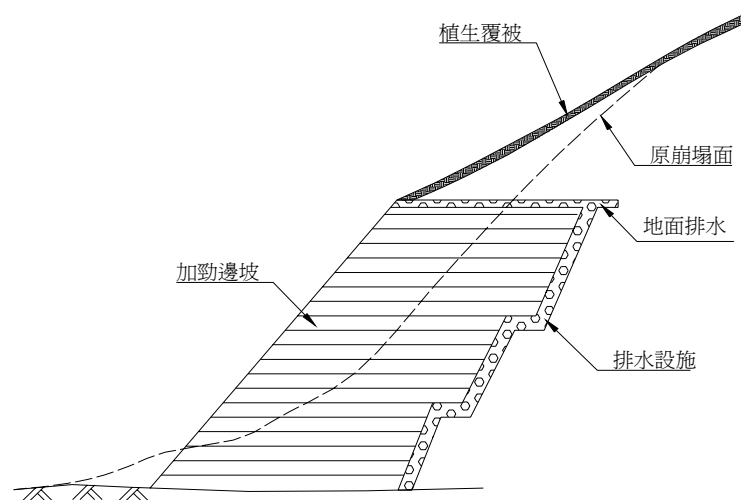


圖 2-2 加勁邊坡結構剖面示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【27】

2.2 加勁擋土牆與邊坡破壞機制

加勁擋土結構中，加勁擋土牆與加勁邊坡的破壞類型相似，其破壞形式可分為內部、外部破壞，其中內部破壞，如加勁材料拉斷破壞、加勁材料拉出破壞、層間滑動破壞，而外部破壞，則為加勁擋土結構基礎承載破壞、結構傾倒破壞及基礎滑動破壞等，以下將進行相關破壞機制說明。

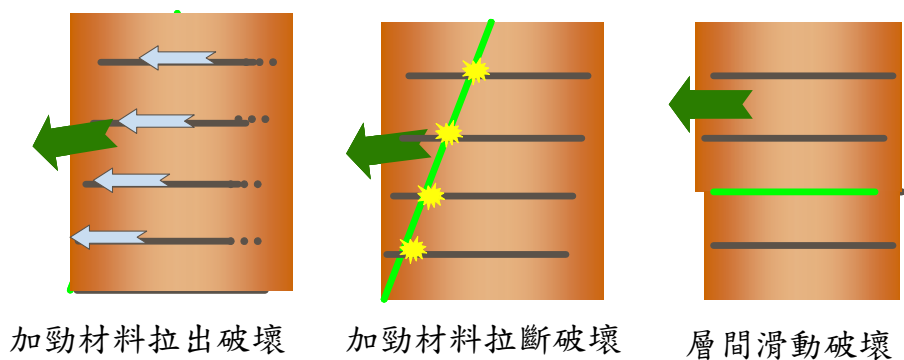


圖 2-3 加勁擋土結構內部破壞示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

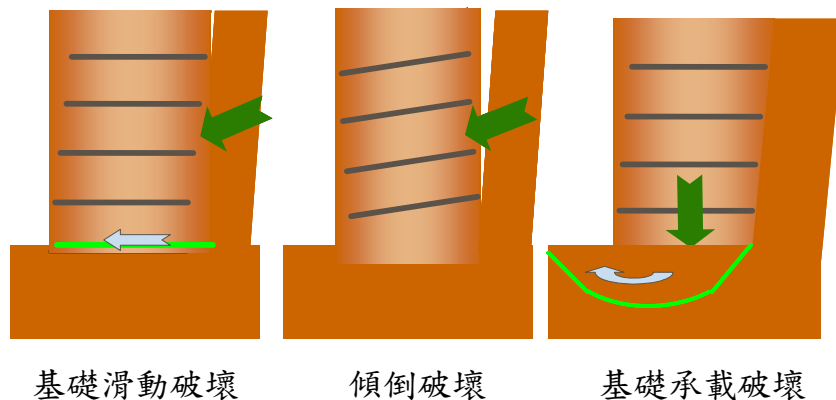


圖 2-4 擋土結構外部破壞示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

圖 2-3 為加勁擋土結構內部破壞示意圖，圖中加勁材料拉出破壞 (pull-out) 通常發生於加勁材料與填築土料的視凝聚力不足、加勁材料錨碇長度不足或填築土料夯壓不實等因素所造成。加勁材料拉斷破壞 (tensile)，常發生於結構穩定平衡破壞面上，發生因素為加勁材料強度未達設計標準、材料施工損傷等。層間滑動破壞 (internal sliding)，主要因成為施工夯壓不確實，導致各層回填單元未能充分結合，達到加勁擋土結構的設計穩定性。

圖 2-4 為擋土結構外部破壞示意圖，其中加勁擋土結構基礎滑動破壞 (base sliding)，常發生於側向土壓力大於原始設計值、加勁材料的錨碇長度不足或基礎底面為軟弱土壤之工址。加勁擋土結構傾倒破壞

(overturning)，主要破壞原因為結構基礎破壞。加勁擋土結構基礎承載破壞(bearing capacity)，大部份為結構體基礎以軟弱土層為承載層所導致。

2.3 加勁擋土牆與邊坡破壞特徵

加勁擋土結構與鋼筋混凝土結構之破壞特徵差異，在於前者是於破壞時具有破壞延時之柔性結構，於結構破壞前具有明顯的徵兆，使工程單位或使用者有充分的時間反應，而鋼筋混凝土結構之破壞往往是一瞬間的牆面倒塌，不具有預警時間以致造成損傷，以下茲就加勁擋土結構各項破壞機制其特徵整理如下：

一、牆面側向鼓脹(lateral bulging)、外傾

此種變形破壞多發生於牆高約 1/3 處之牆面變形外鼓或牆頂外傾，如圖 2-5、2-6，嚴重時甚至導致牆頂路面沈陷，其發生原因主要是因為加勁材料垂直間距過大或加勁區填築土料壓實度不足，以致加勁土體產生較大之側向土壓力所致。



圖 2-5 加勁擋土牆牆面變形外鼓

(中華地工材料協會提供)【29】



圖 2-6 加勁擋土牆牆頂外傾

(中華地工材料協會提供)【29】

二、牆頂沈陷開裂

加勁擋土結構產生之沈陷，包括加勁土體本身之變形、側向位，移導致牆頂局部或全部沈陷、地基承受載重而產生之不均勻沈陷以及地基承载力不足或整體滑動而引致之沈陷，如圖 2-7，其中規模與結構整體危害性則以後二者較為嚴重。主要原因為規劃調查不當、分析設計錯誤，以及施工壓實度控制不良。



圖 2-7 加勁擋土牆牆頂沉陷開裂

(中華地工材料協會提供)【29】

三、牆面接點破壞

此種破壞特徵係指加勁擋土結構面版系統以場鑄或預鑄之剛性面版而言，單塊或多塊面版與加勁區土體間產生分離、滑落，加勁材料在與面版自連接處斷裂或固定端鬆脫。其發生原因可能為填築土料壓實度不足所引致之加勁區土體與剛性面版間之差異沈陷或加勁材料垂直間距過大，以及地震之垂直及水平加速度過大等，如圖 2-8 所示。



圖 2-8 加勁擋土牆與加勁材料連接點破壞

(中華地工材料協會提供)【29】

四、加勁材料斷裂

加勁材料之拉斷破壞係由於側向土壓力過大、加勁材料抗拉強度不足所致。一般而言，此種破壞多發生於加勁擋土結構之最大主應力方向，如圖 2-9。然依據本研究團隊觀察所及之現象卻多同時伴隨側向變形、沈陷或滑動所產生之格網橫向肋條斷裂，如圖 2-10。此外，為充分應用加勁擋土結構的柔性，於選擇加勁材料時不應忽略其應有的潛變特性。



圖 2-9 加勁材料縱向斷裂

(中華地工材料協會提供)【29】



圖 2-10 加勁材料橫向斷裂

(中華地工材料協會提供)【29】

五、地基承載破壞(bearing failure)

加勁擋土結構為柔性結構，可容許較大變形，然而若其地基剪力強度嚴重不足，則在結構體載重作用下會發生承載力破壞，導致加勁擋土結構之基礎承載破壞，如圖 2-11。此種破壞多發生於包含軟弱地層之不良地質構造，顯示工程之規劃與調查未盡周延，以致未能於設計時適時提出對策。



圖 2-11 加勁擋土結構基礎承載破壞

(中華地工材料協會提供)【29】

六、全面坍滑(overall sliding) 破壞

此種破壞之產生係加勁擋土結構整體因自重及外力作用，自加勁區與原地層之界面或界面後方產生滑動而形成，如圖 2-12。破壞原因以區域性影響為主，如加勁結構土構體週邊之環境與地質因素等。例如以水文條件而言，地面逕流過大或地下水豐沛均可造成加勁擋土結構體因孔隙水壓及滲流壓力增加而破壞。分析其失誤成因在於加勁材料長度設計不足，或未依規範施工，使加勁區土體未與原地層有效聯結，亦可能為致災原因。



圖 2-12 加勁擋土結構全面坍滑破壞

(中華地工材料協會提供)【29】

七、表面局部沖蝕流失

加勁擋土結構表面植生不良，導致植被覆蓋率不足，即可能產生此種破壞，如圖 2-13。植物根系對加勁擋土結構之整體穩定性雖無明顯助益，惟其具有防止紫外線照射、減少雨水入滲結構與防止表面沖蝕，以及提昇景觀綠化效果，故就長期安全而言仍有助益，尤以回包式柔性面版之加勁擋土結構，在防止表面局部沖蝕流失的方面表現良好。



圖 2-13 加勁擋土結構表面土壤流失

（中華地工材料協會提供）【29】

八、加勁擋土結構表面焚毀

國內加勁擋土結構之多採用植生回包式柔性面版，此種方式雖具有優異景觀綠化效果，然亦因此較易遭致人為破壞，表面野火焚毀即為一例，所幸此種破壞尚不多見，且植物復育迅速，故對加勁擋土結構體之力學穩定多無影響。

2.4 加勁路堤應用時機概述

本研究將針對以下加勁路堤適用時機、應用加勁材料於路堤構造中之優點及路堤加勁機制進行說明之。

一、適用時機

1. 當在軟弱土層上構築路堤時，易產生基礎土壤沈陷量過大或不均勻沈陷。
2. 土堤施工時需大量推置、夯壓填築土料時，夯實度不易控制，容易發生沈陷、滑動等破壞。

二、路堤加勁的優點

1. 可提高軟弱基礎土壤上填築土堤的高度。
2. 能有效約束填築土堤側向位移及提高基礎土壤承载力，增加整體的穩定性。
3. 提高構築土堤夯實速度，減少最終沈陷量並避免產生不均勻沈陷。

三、路堤加勁機制

加勁材料應用於路堤構築工程中，主要引用其隔離（Separation）與加勁（Reinforcing）功能。

所謂「隔離」是藉由地工織物（不織布或織布）的阻隔（Retention）與過濾（Filtration）功能，如圖 2-14(a)(b)所示，防止下方細粒料上湧至上方級配層，也防止上方級配層侵入下方細料層。

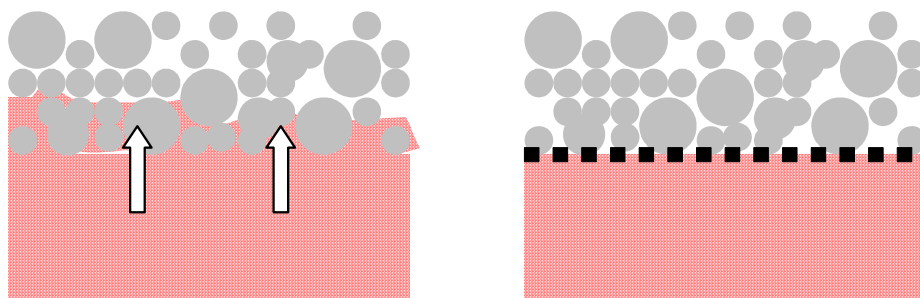


圖 2-14 (a) 細料層上湧污染級配層的機制及地工織物改善成效

(本研究繪製)

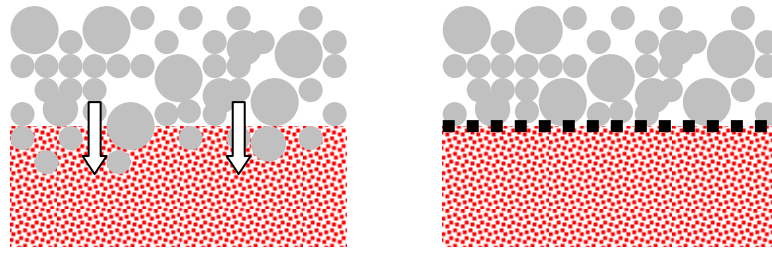


圖 2-14 (b) 級配層向下侵入細料層的機制及土工織物改善成效

(本研究繪製)

而加勁原理是於基底層或路堤層中，鋪設具抗張強度的加勁材料（織布或格網）提供額外的側向阻抗，如圖 2-15 所示，藉以分散車轍的集中荷重，阻止承載破壞的發生，並利用土壤與加勁材料間產生的互制作用，束制土體的側向變形，以強化填築路堤土體整體穩定性。

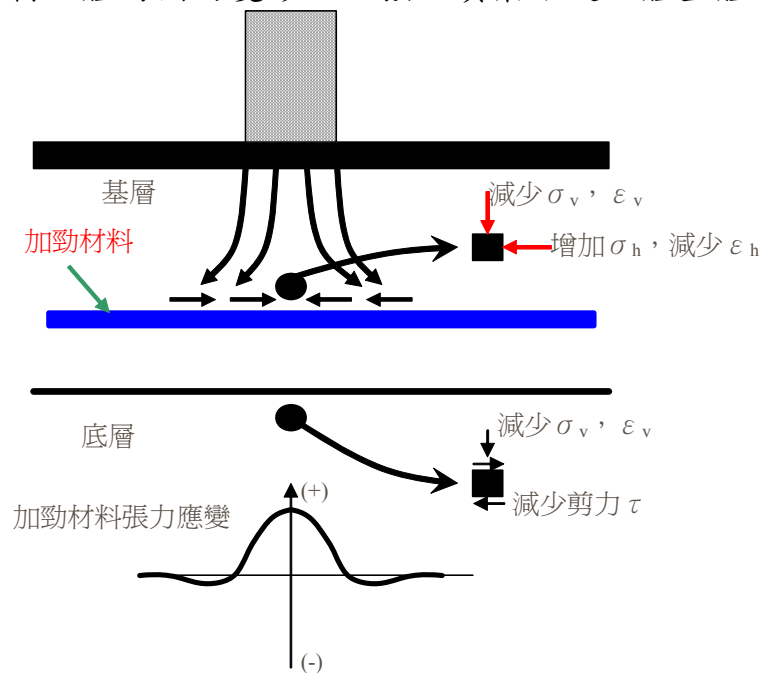


圖 2-15 加勁材料路面加勁原理示意圖

(本研究繪製)

2.5 加勁路堤破壞機制

一、路堤與加勁基底層破壞形式

1. 路堤填築土體沿著加勁區表面滑動破壞，如圖 3-16(a)。

2. 路堤基礎土壤局部承载力破壞，
3. 路堤與基礎土壤整體滑動破壞，如圖 3-16(b)
4. 路堤基礎土壤承载力不足破壞，如圖 3-16(c)

二、路堤主體破壞形式

加勁路堤破壞形式與加勁邊坡或加勁擋土牆類似，如前章節所述，因此本段落不再贅述。

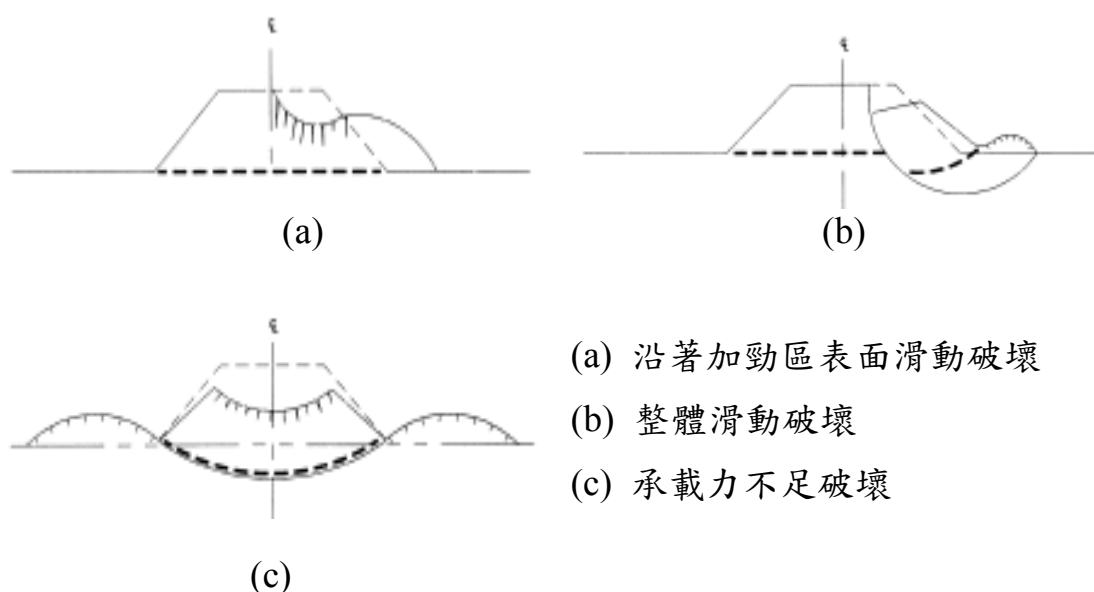


圖 2-16 加勁路堤破壞形式彙整

(摘錄自 FHWA)【10】

2.6 加勁擋土結構破壞原因歸納與分析

本研究蒐集相關案例進行現場勘察及相關工程實踐，歸納國內加勁擋土結構破壞原因，可分成自然因素與人為因素二方面加以檢討，以下茲就相關原因進行說明。

一、自然因素

1. 降雨

臺灣降雨機率大且雨量分布不均，故因降雨而導致邊坡破壞之案例時有所聞，造成破壞之原因係由於地表逕流之沖刷、侵蝕、

地下水浸潤所增加土體之自重與飽和度，以及孔隙水壓上升或滲流壓力增加等作用，降低土壤剪力強度。

2. 地震

依據本研究搜集之案例，因地震而產生之結構破壞均集中於921集集地震所引致者，此後雖然全台均曾發生規模不等的地震，惟均未聞任何加勁擋土結構發生顯著破壞，相較於降雨所導致之高破壞發生率，相對顯現加勁擋土結構之耐震功能性。

二、人為因素

1. 規劃

使用加勁擋土結構之前應就工址特性詳予規劃，確認使用之目的、相關工程設施性質、型式、地質條件、週邊環境相容性及整體力學平衡條件與機制等，用以評估加勁擋土結構之適用性與安全性。為獲致上述工作所需之資料，除應進行必要之現場勘察外，對於工址地質、水文條件及周邊環境尤應執行相關調查工作，以獲取必要之分析參數。審視國內案例之規劃工作各案例之規劃均有未盡周延之處，且以忽視地質與環境調查為甚，其後果輕則產生路面沈陷、開裂，重則造成全面坍滑嚴重災損。

2. 分析與設計

加勁擋土結構之穩定分析，除加勁材料的特殊斟酌外，其分析如同一般邊坡，另應考量短期與長期土壤強度參數之差異及地下水位、水壓之變化。同時應考量回填土區與原地層界面之破壞可能性，以及如岩土界面或順向坡等特殊地質構造之影響，而非單純的圓弧破壞。此外，降雨成為加勁擋土結構致災主因的另一個重要因素，即為排水系統之分析與設計不當，造成加勁擋土結構排水能力不足或失效，無法及時渲洩地面逕流與地下滲流，造成加勁土體強度折減或發生破壞。

3. 材料

任何結構體之安全均源於構體材料之穩定，因此加勁材料之

選材必須依加勁擋土結構之功能、設計年限及工址環境等背景條件審慎考量。國內加勁材料之使用係以加勁格網為主，由於材料種類與規格眾多、製程與材質各異，因此其性質之檢驗較一般土建材料複雜，唯目前國內未能有一套有效之檢驗流程及規範，因此常引起工程實踐上若干爭議，導致於材料品質管控之疏漏，然整體而言此項非致災之主因。

臺灣地區之加勁擋土結構，填築土料之本土特色即為就地取材，此係因國情、環境特殊所致，唯考量工址地質材料種類與特性，以及結構需求與重要性等，決定加勁擋土結構使用現地回填材料與否，而非昧於安全事實盲目採用之。

4. 加勁擋土結構施工程序

國內加勁擋土結構之類型以回包式柔性面版及預鑄式剛性面版為主，二者施工方式雖略有差異，惟施工重點均在於填築土料之品質控制。然加勁擋土結構之填築施工規範要求及夯實方式，如滾壓厚度、含水量範圍控制、夯實程序等。國內尚未建立起一套標準程序，因此對於加勁擋土結構施工細部說明部分常存在一些模糊地帶，致使成為結構破壞的隱憂。此外，臺灣地區雨量多且不均勻，現地回填土料因為降雨而產生含水量過高的問題，亦未予以有效之防範與處理，導致工期延宕及工程品質低劣等。

5. 使用與維護

加勁擋土結構之安全除與其興建過程中之施工品質有關外，亦可能因完工後長期使用及維護不當而導致災害之發生。具體而明顯的事証即為使用者超限使用，例如施加之荷重超過加勁擋土結構原規劃及設計之範圍，或結構體已出現失穩徵兆，如沈陷、鼓脹等現象，而使用者仍未予積極有效處置，放任災害擴大，終於導致整體破壞之發生等，均屬於應注意、可注意而未注意之使用與維護疏失。

2.7 加勁擋土結構適用材料

加勁擋土牆結構的構造一般係由面版（剛性、柔性）、加勁材料、填築土料及排水系統所組成，以下茲就加勁擋土結構各主要組成元件之材料工程特性進行概述。

一、加勁材料

一般用於土壤加勁用途之加勁材料可區分為非金屬與金屬兩大類，其中金屬類加勁材以鋼材為較普遍應用之原料，此材質須視應用之週遭環境因素、使用年限之不同，而有不同之表面處理方式。然而，工程界目前較常應用於加勁土壤之材料則為非金屬類中之地工合成材料，其依織造方式及網目大小細又可細分為地工織物（Geofabrics）與地工格網（Geogrid），如圖 2-17

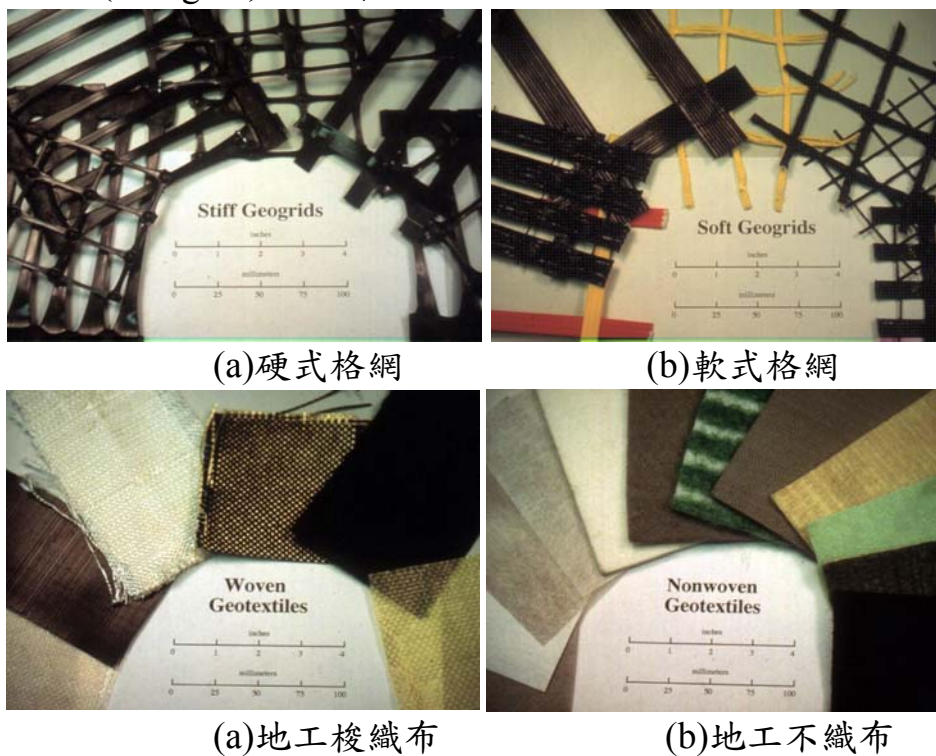


圖 2-17 加勁材料示意圖

（修改自中華地工材料協會教材）【29】

應用地工合成材料於加勁擋土結構工程，必須了解材料與結構有關的物理、力學、材料耐久性等各項工程特性，以便正確使用其相關

之設計參數，以下茲就相關工作參數進行闡述：

1. 物理特性

- (1) 厚度：常用之地工織物一般厚度為 0.1~0.5mm，地工格網則隨材料部位不同而有所差異，然其節點較肋條厚，但是一般常見之厚度則約為 0.5mm。
- (2) 單位面積質量：此一特性為單位面積地工合成材料具有的質量，其反應如抗拉強度等力學性能及透水性等，通常單位以 g/m^2 表示。

2. 力學特性

- (1) 抗拉強度：地工合成材料屬柔性材料，其利用抗拉強度來承受荷重以達到工程目的，因此，抗拉強度為應變式地工合成材料之主要特性指標，則此性質的檢測必須在標準規定的條件下進行，通常使用之單位為 kN/m 。
- (2) 抓式強度：此一強度特性反應地工織物分散集中力的能力，抓式強度試驗是抓住試樣兩端部分寬度進行的一種拉力試驗，其強度由試樣被抓持寬度的抗拉強度及相鄰纖維提供的附加抗拉強度兩部分所組成，常用之單位為 N 或 kN 。
- (3) 撕裂強度：地工織物於鋪設過程中偶有不同程度的破損，此項強度特性則可反應地工織物抵抗擴大破損裂口之能力，常用單位為 kN 。
- (4) 頂破強度：頂破強度反應地工織物平面抵抗正向壓力的能力，此項特性相較於穿刺強度，其壓力作用面積相對較大，材料本身呈雙向受力。

3. 地工合成材料的耐久性

- (1) 抗裂解特性 (Degradation)：裂解現象的產生主要是因為高分子聚合物受外力因素影響，發生裂解反應的結果，外界影響因素中以太陽輻射為最大影響因子。
- (2) 鋪設損傷：地工織物在鋪設及機械夯壓過程中易受損傷

且不易被發現，這種損傷是鋪設應力、外在應力和其他因素綜和之影響。

- (3) 溫溼度變化的影響：土工合成材料是由高分子聚合物所組成，在高溫條件下合成材料將發生熔融現象，有時溫度雖未達到融點但其聚合物分子結構也可能發生變化。
- (4) 抗氧化特性：土工合成材料之氧化作用源於熱、紫外線及製造過程之殘餘觸媒及其他雜質之反應，一般而言，以紫外線造成土工合成材料之衰減為主要考量。
- (5) 抗化學腐蝕性：關於土工合成材料之化學穩定性，目前均參考 ASTM 5322 執行之。
- (6) 水解作用（Hydrolysis）：水解作用將造成以聚酯為主之聚合物分子量降低，進而導致土工合成材料之強度降低。若以一般土壤而言，PH 值高於 9 或遇高溫、高濕的環境應將謹慎處理之。
- (7) 抗微生物侵蝕性：土工合成材料之材質主要為高分子聚合物，對微生物之侵蝕性抵抗力良好，通常無需考慮此項外在影響因素。

如上述各項土工加勁材料之工程性質，均需由相關試驗檢測之，然我國在土工合成材料之應用較歐美先進國家較晚，因此多會參考、應用歐美國家之規範，作為研訂我國 CNS 土工合成材料檢驗方法之依據，目前具備較完整之土工合成材料規範國家包括：美、德、英、日等國家，相關之規範則為 ASTM、DIN、BS 以及 JIS，其中又以美國材料協會 ASTM 規範最為普遍參用之。然而土工合成材料之演進，目前仍有多項檢測方法尚未標準化，僅只具備相關協會制定之參考規範，其中又以美國土工合成材料中心（Geosynthetic Institute, GSI）制定之規範最具參考價值。

目前國內 CNS 及美國 ASTM 規範中，仍有部分檢測項目未制定其專屬之規範，因而土工合成材料檢測項目常參考美國土工合成材料中心（GSI）所編定之規範，本研究將相關檢測項目參考依據彙整詳如表

2-1 所示。

表 2-1 常用地工材料檢測法

試驗項目	適用規範		
	CNS	ASTM	GRI
材料基重	13333	D792&D1505	
厚度	14260	D5199	
單位面積重	14279	D5261	
寬幅抗張強度		D4595	
直剪摩擦阻抗		D5321	
單肋條抗張強度			GG1
結點強度			GG2
抗拉出試驗			GG5
潛變試驗		D5262	
室內抗紫外線試驗		G1154	
戶外曝曬試驗		D5970	

二、填築土料

加勁擋土結構主要是由填築土料與加勁材料之互制作用下所構成之結構體，因此選擇填築土料時除需注意其排水性、承載力及變形等工程因素外，尚須考慮填築土料與加勁材料間之介面性質。

一般土壤含有機及無機物質，無機土壤主要來自於岩石及礦物的風化，而有機土壤則起源於動植物的腐化，然而有機土壤中的有機酸及溶劑可能加速加勁材料的劣化行為，故於選取填築土料時應避免使用之。

本研究彙將常用之填築土料規範依不同結構型式有不同的要求，而加勁擋土結構填築土料的基本要求彙整如下：

粒徑分佈（參考 AASHTO T-27）【1】

<u>篩號尺寸</u>	<u>過篩百分率</u>
20mm	100
0.425mm（#40）	0~60
0.075mm（#200）	0~15
<u>塑性指數 Plasticity Index</u> （參考 AASHTO T-90）	≤6
<u>健性（參考 AASHTO T-104）</u>	硫酸鎂鍵性≤30% 硫酸鈉鍵性≤15%

然而，基於經濟考量、棄土不易、砂石日漸稀少，以及土方平衡等因素考量，施工過程中常採以就地取材方式作為擋土結構物填築土料，因此，除了腐植土不宜作為填築土料外，幾乎大部分的現地土壤均被作為填築土料。有鑑於此，行政院公共工程委員會亦曾於民國八十九年委託執行相關研究案件，報告中提出之加勁擋土結構填築土料之粒徑規定詳如表 2-2。

表 2-2 加勁擋土結構之填築土料粒徑規定

加勁擋土結構種類 土料級配規格		第一類 加勁擋土牆 (傾角 $\geq 70^\circ$) 及屬重要結構 之加勁邊坡	第二類 加勁邊坡 $45^\circ < \theta < 70^\circ$ 及屬 重要結構之加勁 邊坡	第三類 加勁邊坡 $\theta < 45^\circ$
最大粒徑 (mm)		≤ 200	≤ 200	≤ 200
LL (%)		—	—	≤ 50
PI (%)		≤ 6	≤ 15	≤ 25
通 過 %	125mm	100	100	100
	4.75mm (4 號篩)	20~100	20~100	0~100
	0.425mm (40 號篩)	0~60	0~70	0~100
	0.075mm (200 號篩)	0~20	0~30	0~100
可能符合上述要求之統一土壤分類		GW、GP、GM、GC、SW、SP、SM	GW、GP、GM、GC、SW、SP、SM	GW、GP、GM、GC、SW、SP、SM、SC、ML、CL

三、面版系統

加勁擋土結構可採用的面版元件屬多樣化，一般可概分為預鑄式剛性面版及回包式柔性面版兩大類。預鑄式剛性面版又可概略分為場鑄鋼筋混凝土面版、預鑄鋼筋混凝土面版，以及堆疊式預鑄混凝土面版等，如圖 2-18、2-19 所示，回包式柔性面版則可概分為土包面版 (Sand-bag & Wrapped-around)、點焊鋼網面版 (Welded-wire Grids)、石籠面版 (Gabions) 等如圖 2-20，以下茲就各類面版性質進行闡述。



圖 2-18 堆疊式預鑄混凝土面版

(本研究拍攝)



圖 2-19 預鑄鋼筋混凝土面版

(本研究拍攝)



圖 2-20 加勁擋土牆回包面版

（本研究拍攝）

大部分剛性面版係採預鑄混凝土版或預鑄混凝土塊交疊而成。預鑄混凝土製品，不論是廠製或工地現場灌注，都必須依照合約圖說所規定的尺寸、形狀、鋼筋量、混凝土強度等澆製而成。而一般預鑄混凝土面版其 28 天抗壓強度必須大於 280kg/f 或 4000psi，至於混凝土面版品質管理項目則如表 2-3 所示。

表 2-3 混凝土面版品質管理需求項目

項目	品管項目
書面資料	出廠證明
	相關出廠檢驗文件
面版合約尺寸	長度、寬度、厚度
	面版方正性
	面版表面的平整度
強度性質	抗壓強度
面版外觀	蜂窩、龜裂、撓曲
	外露表面的緻密度
	色差
儲存方式	堆置場所的合宜性
	堆置方式的合宜性

柔性面版通常是採用加勁材料回包方式來構築擋土牆面，然而不管是堆疊土包或撐架模板的方式，由於其本身不是結構材料，因此，

除合約要求之尺寸外，並不特別要求其規格，但是回包式柔性面版為加勁回填區之加勁材料向外延伸，所以其相關之規範特性必須與加勁材料一致。然若採用點焊鋼網、石籠或其他方式的柔性面版，其亦可能牽涉相關之專利事項或特殊考量，其規格要求、容許誤差及驗收標準等同樣需符合合約要求。

四、其他材料

加勁擋土結構除主要組成之三大元素外，亦有其他相關之連接元件、填縫料及排水粒料等其他附屬材料，本小節茲就其相關之特性及功能進行概述。

1. 軟木片或其他緩衝材料

當面版採用混凝土預鑄時，因面版本身為剛性體，為了使兩面版之間具有一緩衝物質，避免因彼此碰撞而發生損壞，故在面版接縫處鋪以收縮性較大之緩衝材料，如圖 2-21，緩衝材料除可避免碰撞所發生之損壞外，亦可提升加勁擋土牆之柔軟結構特性，使牆體達到某種程度的可撓性。

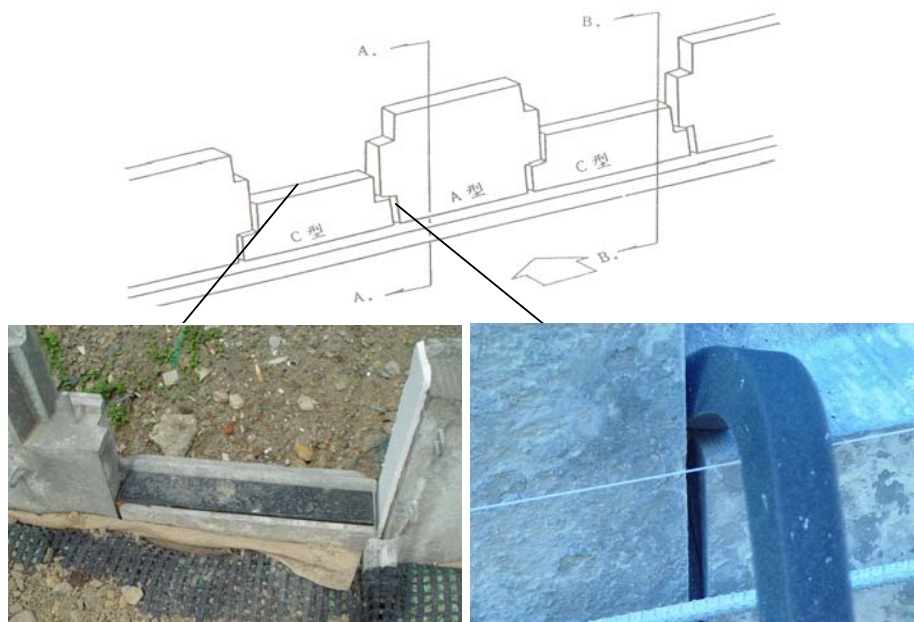


圖 2-21 剛性面版緩衝材料示意圖

(本研究拍攝)

2. 土工織物（透水防砂布）

織物以聚丙烯（Polypropylene）或聚酯（Polyester）為原料，

採用針軋法製成，其主要配置於混凝土預鑄面版牆背後之垂直接縫，相關規定應依合約設計圖。

3. 加勁材料與面版間之聯結元件

此一設施關係著面版與土體間是否能結合為一體如圖 2-22 所示，其相關之安全分析、試驗及規定則應依合約所述。

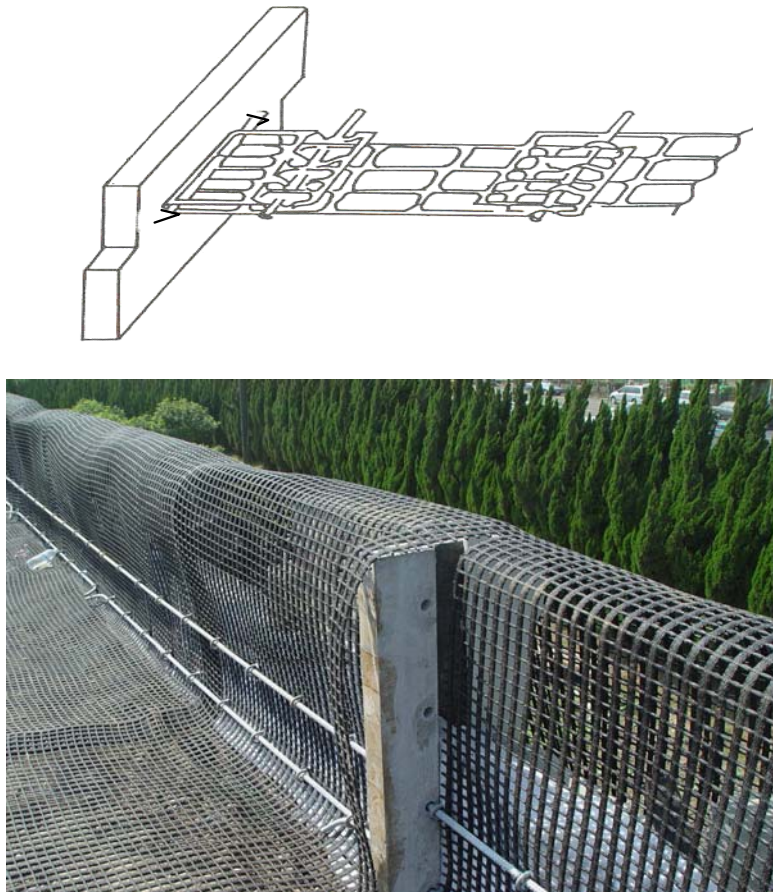
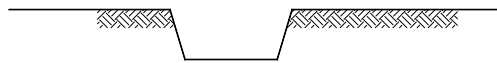


圖 2-22 面版與加勁材料聯結示意圖

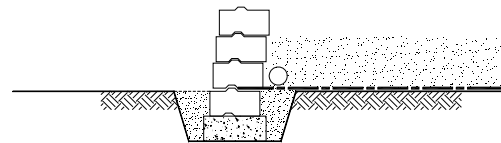
（本研究拍攝）

2.8 加勁擋土結構施工程序概述

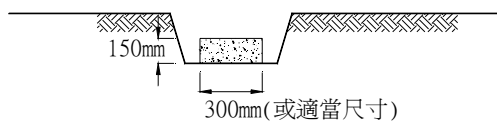
加勁擋土結構之施工方式依面版樣式而有些微之差異，但主要的施工步驟卻大同小異，以下茲就一般加勁土壤擋土結構的施工步驟列示如圖 2-23、2-24 所示，



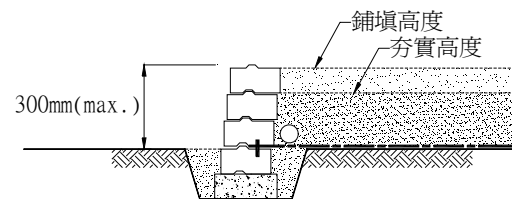
步驟一、整地開挖



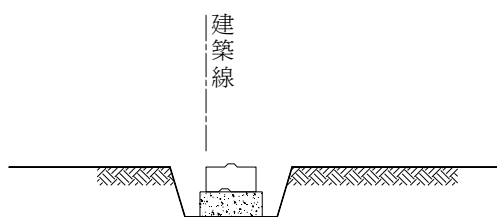
步驟五、組立第二、三、四列面版塊



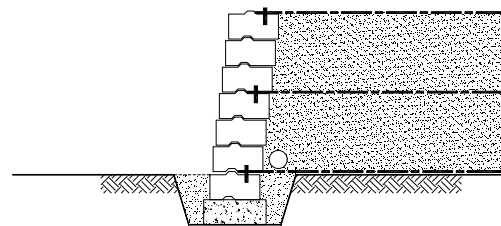
步驟二、設置整平基墊



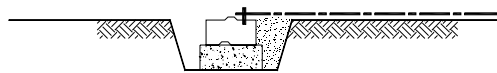
步驟六、分層鋪填及夯實填築土料



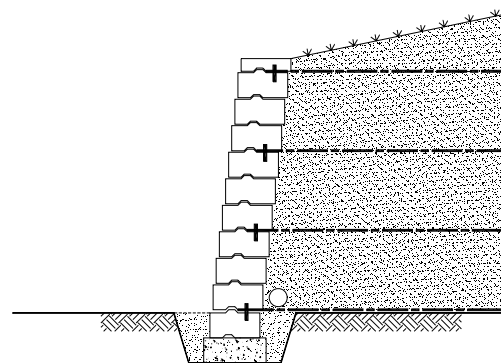
步驟三、組立第一列面版塊



步驟七、鋪設第二層加勁材料及後續之面版組立及土料鋪填夯實之作業



步驟四、鋪設第一層加勁材料



步驟八、設置完工頂蓋

圖 2-23 加勁擋土結構預鑄式剛性面版施工步驟示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

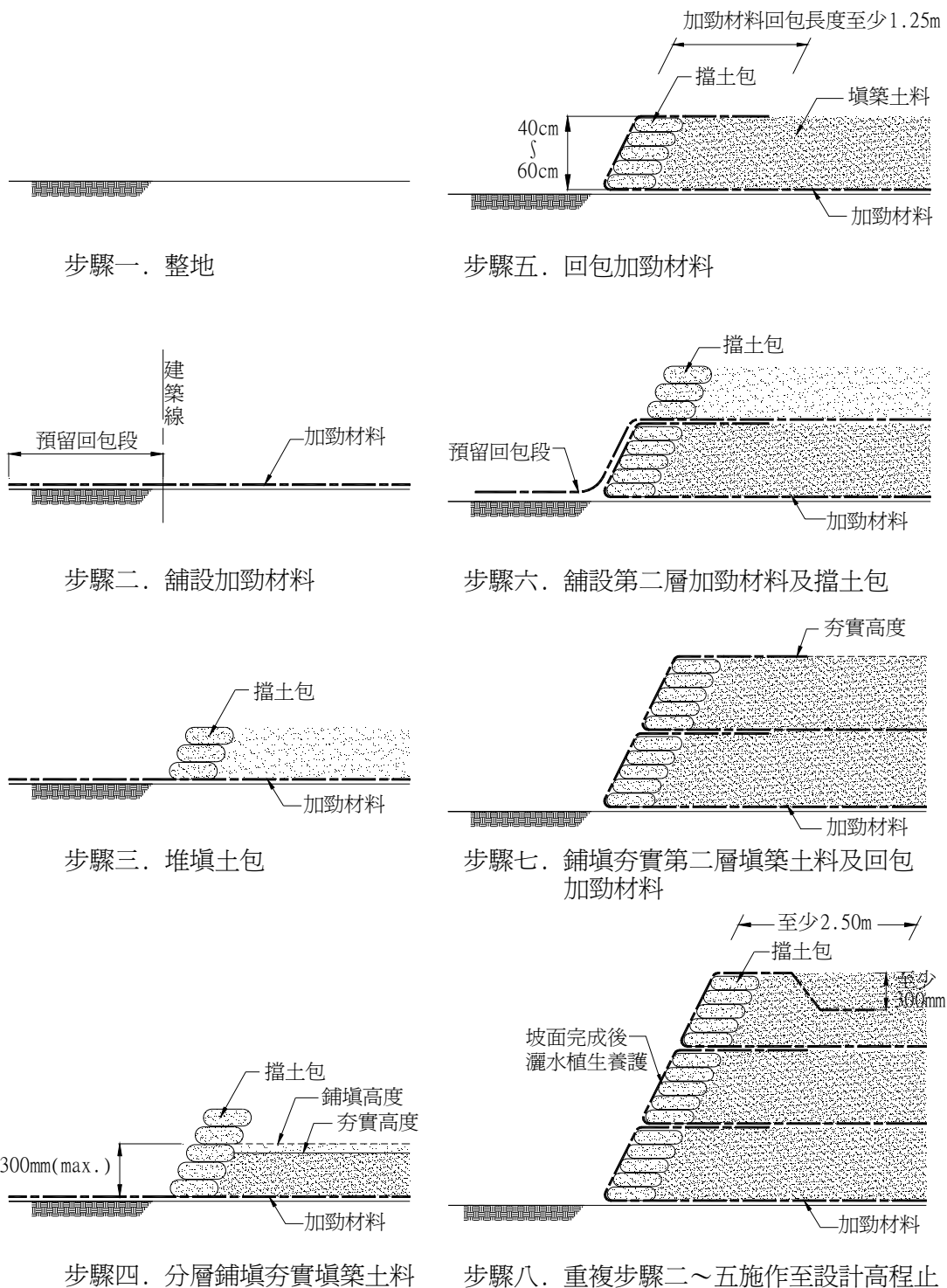


圖 2-24 加勁擋土結構回包式柔性面版施工步驟示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

2.9 相關規範蒐集與比較

由於我國對加勁擋土結構之應用相較於歐美國家，因此國內大部分相關應用規範及材料檢測方式撥參照其他國家行之有年的準則，本案執行期間收集有關加勁擋土結構組成元件之相關規範與準則。

本研究案參考國外各單位所制訂之規範包含：美國材料與試驗協會【2】(American Society for Testing and Materials, ASTM)、美國公路與運輸管理協會【1】(American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO)、美國聯邦公路總局【10】(Federal Highway Administration, FHWA)、英國標準學會【5】(British Standard Institution, BSI)、德國建築研究所(Deutsches Institute fur Bautechnik, DIBt)、日本工業標準(Japanese Industrial Standard, JIS)、國際標準化組織(International Standard Organization, ISO)等，以下茲將各規範對於加勁擋土結構之規定差異性進行說明。

2.9.1 加勁材料的特性與試驗規範比較

為了在工程中選擇與應用加勁材料，首先必須瞭解材料的特性參數，特別是用於工程設計的參數項目，因此為了提供可靠的特性指標，各國均制訂相關的規範，並不斷的修正更新以求精準。

對於加勁材料的工程特性試驗規範包括：物理性質、力學性質、加勁材料與填築土料的互制特性及加勁材料耐久性等內容。然大多數加勁材料以增加土壤的剪力強度為主要目的，且為呼應本研究所制訂之規範草案內容，本章節之加勁材料特性與試驗規範以力學性質為探討主軸，並蒐集國內現行參考規範與國外相關規範包含：英國、美國、德國等，以下茲就各規範編號彙整如表 2-4，以供後續參考、查閱。

表 2-4 加勁材料相關試驗規範彙整表

項目\規範種類	CNS	ASTM	ISO	GRI
寬幅抗張強度	13300	D6637	10319	GG6
單肋條強度	-	D6637	-	GG1
延伸率	13300	D6637	-	GG1
施工損傷	-	D5818	10722	-
潛變試驗	-	D5262	13431	-
室內抗紫外線	-	D4335/G154	-	-
項目\規範種類	BS	DIBt		
寬幅抗張強度	EN ISO10319	EN ISO10319		
單肋條強度	-	-		
延伸率	EN ISO13431	EN ISO13431		
施工損傷	EN ISO13427	EN ISO13427		
潛變試驗	6906-5	EN1897		
室內抗紫外線	EN 12224	EN12224		

2.9.2 加勁擋土結構設計規範比較

隨著各式加勁材料的生產，各國的設計規範亦有大幅的修正與相異之處，其中尤以英國於 1995 年推出的 BS8006 設計規範改以荷重-阻抗係數設計（Load Resistance Factor Design）觀念，也就是所謂部份係數設計（Partial Factor Design），改變最大。本章節將針對國內常引用參考之美國聯邦公路總局所訂定之 FHWA 及英國、德國等國家所制訂之加勁擋土結構設計規範進行收集與比較其間的差異，相關彙整內容如表 2-5 所示。

表 2-5 加勁擋土結構設計規範比較表

設計參數\規範項目	美國 FHWA	英國 BS8006	德國 DIBt
摩擦角	ϕ_{cv}	ϕ_p	ϕ_p
是否考慮牆背摩擦	否	否	是
土壓力模式	Rankine	Rankine	Coulomb
基礎承载力模式	Meyerhof	Meyerhof	Meyerhof
加勁材料最小設計長度	0.7H	0.7H 或 3m	-
安全係數	1.5	-	-
註：1. ϕ_{cv} ：內摩擦角。2. ϕ_p ：尖峰內摩擦角。			

2.9.3 填築土料的特性與試驗規範比較

對於加勁擋土結構填築土料的規定，各國因地質條件、地理環境

及施工條件不同而有所差異，本章節將針對國內常用之美國聯邦公路總局 FHWA-NHI-00-043 及亞洲鄰近國家，日本鐵道綜合技術研究所之相關規定進行彙整，同時臺灣高速鐵路工程局於 1996 年針對加勁擋土結構填築土料規劃相關規定，亦為本研究納入考量並收集之，相關內容如表 2-5 所述。

表 2-6 填築土料相關規範彙整表

	美國聯邦公路總局 (1996)	日本鐵道總合技術研究所 (1992)	台灣高速鐵路工程局 (1996)
背填土級配	通過 4inch (102mm) → 100% 通過 40 號篩 (0.425mm) → 0~60% 通過 200 號篩 (0.074mm) → 0~15%	上部路堤(道渣底部下方 3m 以內)適用 A 群材料，包括 GW, GP, G-M, G-C, G-V, GM, SW, S-M, S-C, 硬岩屑及 B 群，包括 G-O, GC, S-V, S-O, SP, SM, SC, 硬岩屑。下部填土除蒙脫土、溫泉土、蛇紋岩、泥岩、高有機土凍土外，以充分利用現地土為原則。	加勁擋土牆(傾角 $\geq 70^0$) 通過 125mm → 100% 通過 4 號篩(4.725mm) → 20~100% 通過 40 號篩(0.425mm) → 0~60% 通過 200 號篩(0.075mm) → 0~30% 加勁邊坡(傾角 $< 70^0$) 通過 125mm → 100% 通過 4 號篩(4.725mm) → 20~100% 通過 40 號篩(0.425mm) → 0~70% 通過 200 號篩(0.075mm) → 0~50%
最大粒徑	19mm	—	—
塑性指數	<6	—	加勁邊坡 ≤ 20 ；其餘<6
夯實度	AASHTO T-99(C,D) 之 95% 橋樑及其他重要結構載重：AASHTO T-99 之 100%	上部路堤之 30cm 直徑平板載重試驗 $K_{30} \geq 7 \text{Kg/cm}^3$ 下部路堤改良式普羅克達試驗最大乾密度之 90% 以上	$\geq 90\%$ 改良式普羅克達是驗最大乾密度(Modified Proctor Density, MPD)(AASHTO T-180)
健度	硫酸鎂或硫酸鈉 4cycles 健度損失 30% 以下	—	—
電化性質	電阻 $>3000 \Omega\text{-cm}$ PH：5~10 氯含量 $<200 \text{ppm}$ 硫化物含量 $<1000 \text{ppm}$	使用鋼片加勁土：電阻 $>500 \Omega\text{-cm}$ PH：5~10 使用地工合成物加勁材時：無特殊規定	使用金屬加勁材： 電阻 $>3000 \Omega\text{-cm}$ 9.5>PH>4.5 有機物含量 $<1\%$ 氯化物含量 $<100 \text{ppm}$ 硫酸鹽含量 $<200 \text{ppm}$ 使用地工合成物加勁材： 電阻 $>3000 \Omega\text{-cm}$ PH：聚乙烯/聚丙烯 5~10 多元酯 5~9 氯化物 $<100 \text{Mg/Kg}$ 硫酸鹽 $<200 \text{Mg/Kg}$

第三章 加勁擋土結構於交通土木工程之應用

加勁擋土結構近年來於歐、美、日各國，已被大量使用於坡地社區開發、景觀造景、以及重大公共工程設施等相關的領域，其省時、省工、省料而且結合綠建築材料，與其堅固美觀的特質同樣受到注目，同時更解決了需要使用大量石材、模版及其它擋土牆施工所需大量耗材的問題。

然而台灣地區位於環太平洋地震帶且多山岳溪流，橋梁因此成為國內交通網樞紐的重要工程角色之一，復以土地不易取得，沿山區開發之交通建設逐年增多，因此除多橋梁外，山區道路邊坡工程衍生挖填剩餘土方、生態環境與景觀耦合問題，與日遽增，因此如何將加勁擋土結構結合生態與環境永續發展，及發展降低交通震動與耐震之道路工程技術亦為本計畫之研究重點。

3.1 加勁擋土結構應用於生態景觀

加勁擋土結構以其產品的多樣化，及其應用的豐富性，從廣義的生態工法定義而言，加勁材料的應用，都能符合要求。不論從過濾、排水、分隔、加勁、及圍堵的功能來看，都能達到環境保護的目的，並減少對自然生態的衝擊。因此，加勁擋土結構於交通土木工程之生態永續發展的應用範圍，可說相當的廣泛，以下就本研究蒐集具代表性的應用，並與生態景觀工法相關的案例提供參考。加勁擋土牆體面版採用剛性面版，尤其是疊塊式加勁擋土牆，其牆面元件是利用預鑄式的混凝土塊(Modular Block)堆疊而成，如圖 3-1、3-2。面版材料大部分配合地工格網構築。因為預鑄式的混凝土塊可以做成各種形狀及顏色，而且堆疊時可有不同的樣式，因此可以變化出各種美觀的面牆，並且可以配合都市景觀設計營造不同的視覺效果，不再只是傳統印象中的單調混凝土面。



圖 3-1 預鑄式剛性面版結合道路景觀設計示意圖

(本研究拍攝)



圖 3-2 預鑄式剛性面版結合都市景觀設計示意圖

(本研究拍攝)

加勁邊坡不管是新構築或原有邊坡的滑動修復，加勁材料分層鋪設於回填的填築土料之間，鋪設間距相等或不等皆可，鋪設的長度一律或變化皆有。加勁材料鋪設於邊坡土體內之後，與土壤形成一種複

合性的結構，水平鋪設的加勁材料在水平方向上提供一項阻抗，因此能提高邊坡的穩定度。大多應用於腹地寬廣之都市區域或山區，採用土包及加勁材料回包(Soil Bags & Wrapped Around)的方式構築坡面，由於臨坡面處的土包非常適合做為植生的基盤，因此大部分的加勁陡坡，都會在坡面種植草皮或爬藤，不但美觀而且可以提高坡面回包加勁材料的耐久性。土包及回包工法屬於柔性坡面的構築方式，施工時非常靈活，可隨意變化坡面斜度及線形，因此可以配合現地的自然景觀設計如圖 3-3，完成植生後的加勁邊坡，可溶入自然的環境之中，且對於生態環境的衝擊減至最小，並可應用其營造都市綠地的景緻，完全克服傳統工法大規模填土工程之困難性與土體本身的不穩定性。



圖 3-3 生態景觀工法於加勁邊坡之應用情形示意圖

(中華地工材料協會提供)【29】

3.2 加勁擋土結構應用於河岸公路沖刷防治

台灣地區由於地勢陡峭，河川水流湍急，河道變動頻繁，每每造成堤防、臨水坡趾與河道的嚴重沖、淘刷，引致土石災害。土工合成材料由於具備有過濾(Filtration)、分隔(Separation)功能，兼具柔性吸能的特性，其主要利用合成材料織布類（含不織布）的過濾與分隔功能保護消波塊石下方的原狀土壤及河床。而土工合成材料也可被應用於構築鞏固臨水邊坡坡趾的護岸或擋牆。近年來，由於聚合化學科技的進步，高強度的土工格網於美、日也被用來取代鐵絲（條）製作箱籠，此類加勁格網除具備有與鐵絲相近的極限強度外，更有較佳的耐銹蝕能力、延展性，與破壞延伸率。

一、適合作為水岸與河道沖刷防制的土工合成材料

土工合成材料的防沖刷功能主要可區分為下列二項：

1. 過濾與分隔功能：

將具過濾與分隔功能的織布類土工合成材料鋪設於消波（能）構造（如消波塊、固床工等）與原狀土壤之間，除能有效降低水流的沖擊力對原狀土壤的破壞，並且可以阻絕反覆水流將原狀土的細粒料淘空，進而鞏固河岸、河道土壤保護相關結構物，如圖 3-4，圖中為防淘刷土工織布的適用範圍。

2. 加勁保護功能：

土工合成材料加勁擋土系統為一柔性內穩定系統，不僅較一般傳統護岸具備較佳的土體保護效能，在結構物遭受土石撞擊時也有較佳的吸能效果。傳統護岸多設計成重力式擋土結構，一旦主體結構遭受損害後便無法防止結構後方背填土壤的流失，而土工合成材料加勁擋土系統則是將土體分層分區保護圍束，可以有效地防止土壤流失、淘空。

二、地工合成材料的防冲刷應用

地工合成材料於各類水岸與河道冲刷防制的應用，包括：河岸防淘刷系統(Riprap Revetment)、橋墩冲刷與保護系統、河道防冲刷系統、天然固床工系統、加勁坡趾保護系統，如圖 3-4、3-5。其最大的特點在於全部皆為自然工法並兼具經濟效益，與 RC 構造物比較，地工合成材料除了價格低廉且搬運、施工簡便外，地工合成材料的各項應用皆可就地取材，直接搭配現地土石使用，大幅降低材料需求與施工時間，除此之外，地工合成材料更是絕佳的植生輔助材料，在綠美化與植生護坡的效能上絕對是比灰色單調的混凝土更能滿足自然生態的要求，圖 3-6。

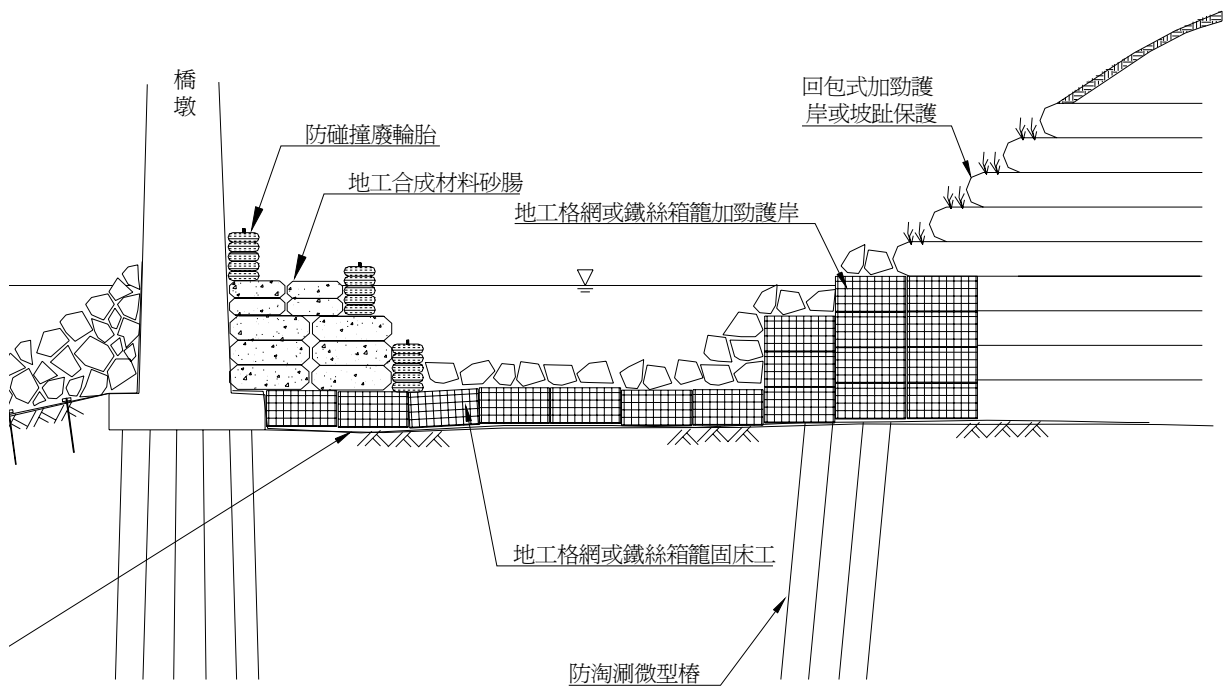


圖 3-4 坡趾與河道冲刷、淘刷防治示意圖

(本研究繪製)

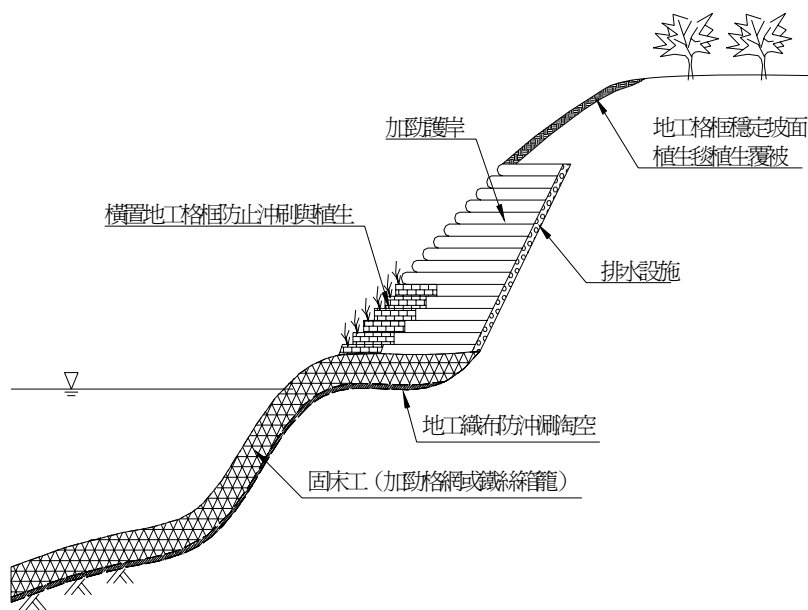


圖 3-5 河岸邊坡保護及固床工示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】



圖 3-6 地工合成材料應用於水土保持工程案例

(中華地工材料協會提供)【29】

3.3 加勁擋土結構應用於防救災工程

3.3.1 土石災害圍堵工程

對於表層破碎且節理複雜之高度風化岩坡，一般整治工法例如掛網植生、地錨、噴漿等，對於落石的防堵效用大多不盡理想，如何避免落石危害，便成為治理的首要考量。圖 3-7、3-8 所示，為利用加勁土堤或擋土牆作為圍阻岩坡落石之圍阻體，藉由地工合成材料加勁土體的柔性吸能特性，可以有效地吸收落石的撞擊能量，相較於傳統重力式擋土結構，其圍阻落石的能力明顯較佳，且應用地工加勁土堤或擋土構造進行防堵落石，其優點在於構造修復容易且耐震能力優異，適用於常發生崩坍、落石之地質鬆軟地區或大型機械不易到達之山區。

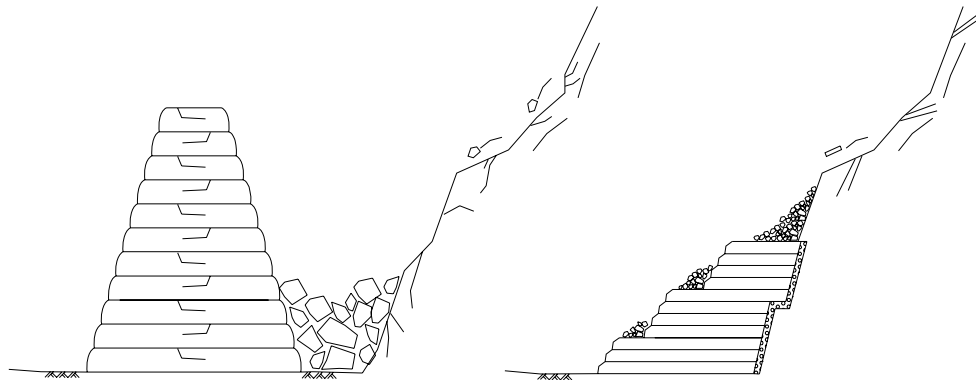


圖 3-7 土石圍堵屏障示意圖

(本研究繪製)



圖 3-8 加勁擋土結構土石圍堵屏障完工情況

(本研究拍攝)

3.3.2 災害搶救臨時道路與便橋搭建

災害發生後搶救災的關鍵為交通動線的恢復，由於災變現場多為軟土石或沖刷嚴重的溪谷坑溝，如何在最短時間內構築穩定性高且耐沖刷的臨時交通設施，即為災害緊急應變關鍵點，例如臨時道路、便橋。許多高強度地工合成材料，由於具有搬運與施工簡便性與耐震動及容許沖刷等特性，在歐、美、日早已成為臨時交通設施構建的主要輔助材料，如圖 3-9 所示。

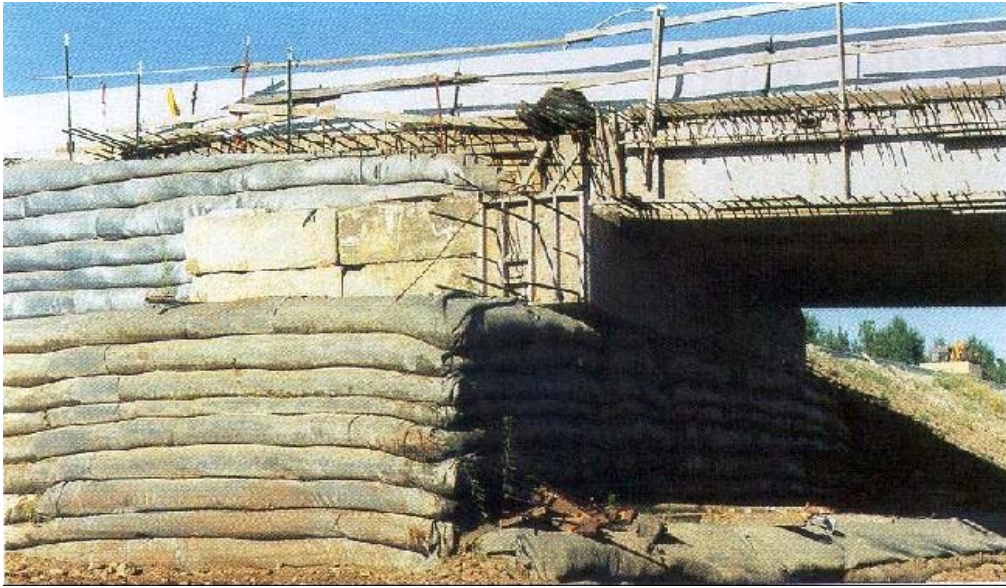


圖 3-9 加勁材料應用於臨時便橋設施

(本研究拍攝)

3.4 加勁擋土結構於環境永續發展之應用

全球環保意識的增長，「永續發展」已成為國際間關鍵之課題。台灣地狹人稠，自然環境與人為開發之問題層出不窮，如何調和及改善將是全民的責任與挑戰。再者近年來產生的營建廢棄物數量龐大，若無善加規劃及妥善處理，將會造成嚴重的環保問題。同時營建資源取得日漸不易、天然建材缺乏等問題不易解決，若能善加利用，可解決環境二次污染的問題，更能增加國內再生營建資源之使用，以達到「零廢棄」的「循環型社會」之目標。

國內重大公共建設仍逐年增多，因而衍生挖填剩餘土方、生態環境與景觀耦合問題，如何順應環境、創造「挖填平衡」並兼顧景觀需求，已成為工程師必須思考之問題，然大地工程界正鼓吹利用現地挖方土壤進行加勁擋土結構回填、夯壓，如此將能解決剩餘土石方的問題，亦可降低天然骨材、級配的使用量，以下茲就國內應用案例進行介紹與驗證。

3.4.1 應用加勁擋土結構修復邊坡案例

一、工程概述

本章節引用公路工程第三十期，道路上邊坡發生坍塌，利用加勁擋土結構進行修復之案例進行解說，如圖 3-10。為有效整治坍塌邊坡，因而考量加勁擋土結構具有適合自然生態工法、其具備外表可植生綠化、節省天然材料及消化剩餘土石方、配合生態環保、施工簡易快速等優點。



圖 3-10 邊坡坍塌整治前

（節錄公路工程月刊第三十期）【28】

二、施工概況

總施工長度約 72 公尺，預計工作期限約 80 日曆天，相關工程工作項目與數量如表 3-1，

表 3-1 主要工程項目與數量預估表^{【28】}

項次	工 程 項 目	單 位	數 量	備 註
1	基礎挖方	M ³	2515	
2	基礎卵石	M ³	1078	
3	回填	M ³	3258	
4	土石方遠運	M ³	335	
5	景觀加勁噴植植生擋土牆	M	72	
6	複合式加勁格網毯邊坡植生	M ²	7090	
7	鋪設圓型式排水速排龍	M	2570	

三、施工材料簡介

1. 加勁材料

加勁材料應採用外型呈格網之加勁材料，材質為高密度聚乙烯（HDPE）、聚脂纖維、聚丙烯等，其製程中，需添加日光安定劑於纖維主體中，或於被覆層添加抗氧化劑或碳黑，以防止日光照射而老化刺穿。為確保加勁擋土結構整體穩定性，則可採用縱、緯雙向同樣強度之格網材料，相關試驗規範如表 3-2。

表 3-2 加勁材料相關規範^[28]

項 目	內 容	檢 驗 標 準
縱向極限強度 (KN/M)	≥ 150	ASTM D4595 或 GRI-GG1
緯向極限強度 (KN/M)	≥ 150	ASTM D4595 或 GRI-GG1
格網材質	聚酯 PET 並外覆添加碳黑之 PVC	
網目尺寸	2CM × 2CM 以上	游標尺
結點強度	符合 AASHTO	TASK Force27
生產廠商品質認證標準	ISO 9000 系列	
確保加勁擋土牆整體穩定性、故採用縱、緯雙向同樣強度之格網材料		

1. 植生網毯

(1) 植生網毯材料相關規範及試驗方法，如表 3-3：

表 3-3 植生網毯材料規範及試驗方法^[28]

項 目		內 容		試驗方法	備註
1	單位重量 (g/M ²)	550 以上		天平秤重換算	樣品尺寸 1M×1.3M
2	融點 (℃)	220 以上		熱力分析儀測試	
3	抗拉強度 (N/m)	縱向	1300以上	GRI – GG1	條式法： 拉速200mm/min
		橫向	930以上		
4	最大伸長率 (%)	縱向	60以上	GRI – GG1	
		橫向	45以上		

2. 地工合成排水材料

(1) 材料規格：本工程使用之地工合成排水材料規格如表 3-4 及圖 3-11 所述，

表 3-4 排水設施規格彙整表^{【28】}

型式	本工程採用	規格	長度
圓型式		80mm (實心)	200cm 以上
		125mm (空心)	200cm 以上
	*	150mm (空心)	200cm 以上
扁型式		20*3cm(H*t)	200cm 以上
		30*5cm(H*t)	200cm 以上
	*	50*5cm(H*t)	200cm 以上

(2) 材料性質與特性：材質為熱塑性聚丙烯 (P.P)，密度為 0.9g/cm²，平均孔隙率 90% 以上，並具有下列特性，然對於材料特性規範及工程性彙整如表 3-5，

- i. 高開孔率
- ii. 高抗壓強度
- iii. 透排水量大
- iv. 施工輕便
- v. 高耐酸鹼度

表 3-5 地工合成排水材料規格彙整表^{【28】}

項目	測試項目	圓型 A	圓型 B	圓型 C	扁型 A		扁型 B	檢測方法
1	透水係數	21.5cm/sec	23.4cm/sec	24.5cm/sec	14.07cm/sec		23.24cm/sec	CNS10460
2	直徑/厚度	80mm	125mm	150mm	30.00mm		50.00mm	
3	抗壓強度	6160kgf/m	6487kgf/m	6670kgf/m	48000kgf/m		35000kgf/m	CNS10044
4	扁平率				抗壓率 (kgf/m ²)			ASTMD2412
	2%	69	61	56	10%	4000	2500	
	3%	107	87	77	20%	7000	5200	
	4%	143	114	99	30%	8800	7000	
	5%	175	135	114	40%	10500	8000	
	10%	309	251	219	50%	12700	9200	
5	抗化學性 30 天重量變化 (%)							CNS10044
	碳酸鈉	0.013	0.012	0.011	0.011		0.012	
	硫酸	0.020	0.002	0.020	0.020		0.021	
	碳酸鎂	0.012	0.012	0.012	0.012		0.011	

然如 3-12 配置圖所示，結構排水設施分別配置於加勁擋土牆體牆背處及牆基礎面之導水，相關配置圖及施工如圖 3-13(a)(b)、3-14(a)(b)

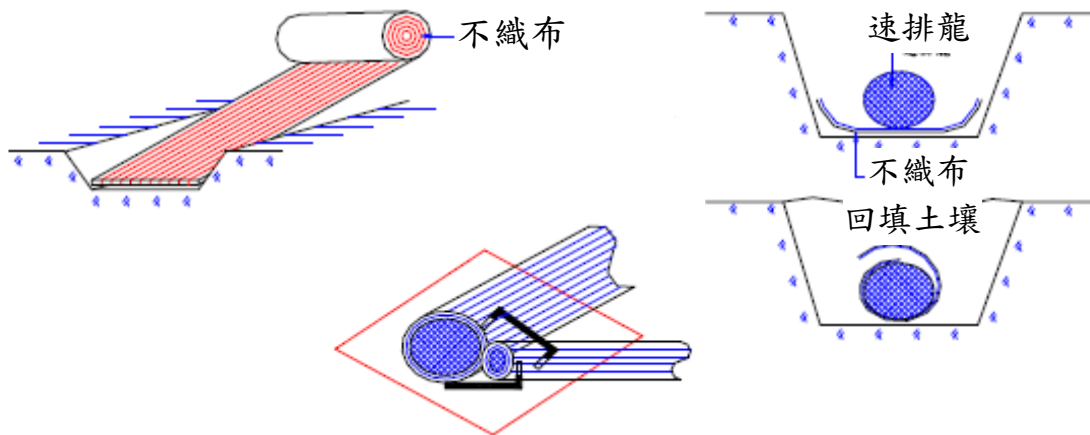


圖 3-13 (a) 圓型地工合成材料排水設施配置示意圖

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】

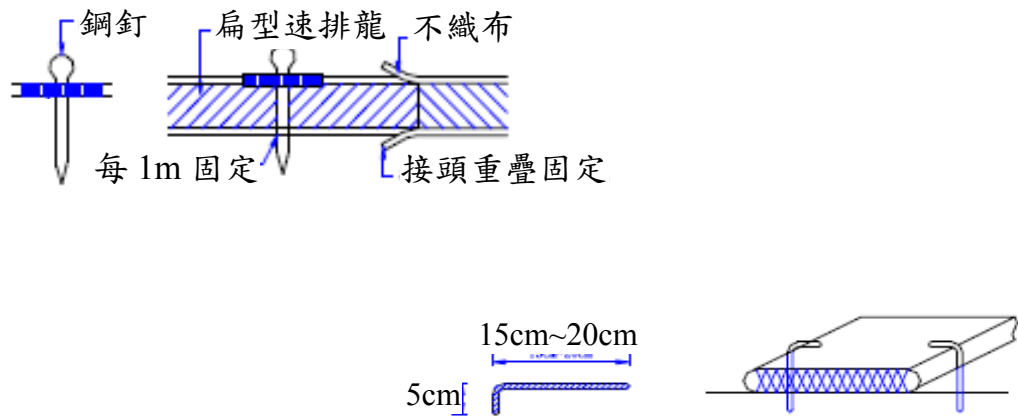


圖 3-13 (b) 扁型地工合成材料排水設施配置示意圖

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】



圖 3-14(a)圓型排水設施施工圖

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】



圖 3-14(b)扁型排水設施施工圖

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】

隨著加勁擋土結構體構築完成，本擋土工程將於結構牆體、牆頂及上邊坡進行植生綠化，相關配置示意圖及施工程序如圖 3-15，整治完成及綠化成果如圖 3-16(a)(b)(c)所示。

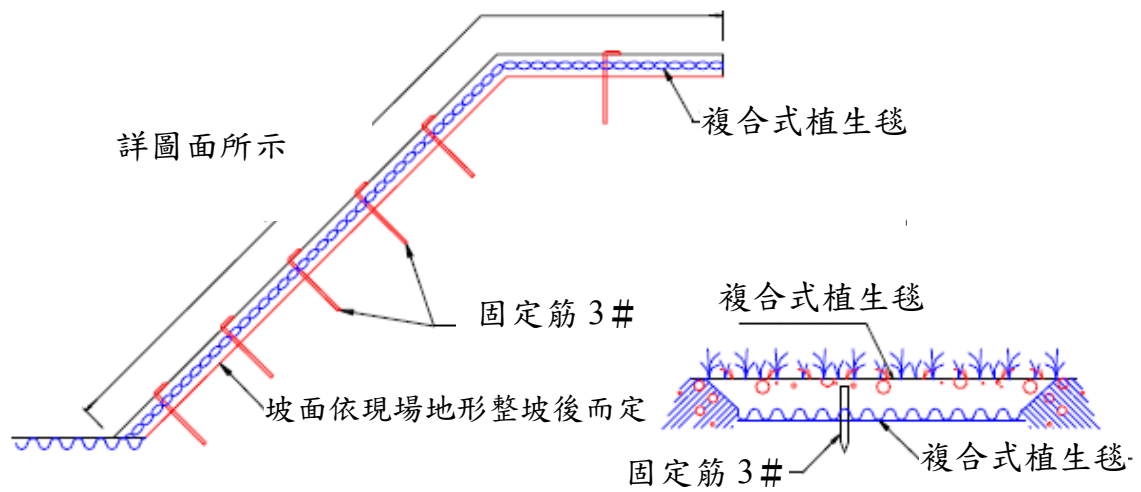


圖 3-15 植生綠化配置示意圖

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】



圖 3-16(a) 邊坡整治坡面植生初期現況

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】



圖 3-16 (b) 邊坡整治坡面植生完成記錄

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】



圖 3-16(c) 邊坡整治坡面植生完成記錄

(節錄公路工程月刊第三十期)【28】

五、結語

加勁擋土結構施工構築能充分應用現地材料進行回填，由此工程施作成果得到充分驗證，且邊坡修復後的植生綠化復育良好，除能穩定原始鬆軟坍塌的邊坡，亦能使結構體融合於自然環境中。

第四章 加勁擋土結構設計分析與施工程序之研究

4.1 加勁擋土結構設計分析

於分析加勁擋土結構設計之前應先了解該構造物的組成原理、適用時機及範圍，以充分掌握其力學行為與適切性，避免設計時的錯誤導致失敗，同時應了解本結構物的優缺點，才能使加勁擋土結構發揮最佳效益。

4.1.1 加勁擋土結構組成原理與適用時機

一、加勁擋土結構組成原理

加勁擋土結構利用加勁材料、面版及填築土料所構築而成的加勁土壤結構物，其穩定的關鍵在於藉由構造物本身的重量，抵抗來自加勁擋土結構體背後的土壓力或其它應力，以達到一種穩定的狀態。

二、適用時機及應用範圍

1. 加勁擋土結構通常適用於任何考慮採用傳統式擋土牆的地方，特別是在預期有大量整體沉陷或差異沉陷的位置。
2. 加勁擋土結構的容許沉陷量，係依據面版的縱向變形及結構物功能的要求所限制。
3. 以填方工程設計的擋土牆，較為適合選用加勁擋土結構，若工程設計為挖方工程，則不建議選用加勁擋土結構施工。

三、加勁擋土結構的優缺點

1. 優點

- (1) 施工程序簡單且快速，不需大型施工機具。
- (2) 比較於其他工法，施工前的工地整備要求較少。
- (3) 施工中，結構物前方的運作空間需求較少。

- (4) 節省路權 (Right-of-way) 。
- (5) 對變形的容許量較大。
- (6) 可就地取採，較具經濟效益。
- (7) 牆高超過 25m 時，於現階段施工技術仍為可行。
- (8) 柔性結構設計，對於地震阻抗較大。
- (9) 面版元件具多樣性，兼顧美觀且對週遭環境衝擊較小。

2. 缺點

- (1) 相較於其他工法，在擋土結構背後需求較大的空間，以獲取足夠的底寬來達到內部與外部穩定。
- (2) 填築使用的土料限制性雖比較少，但是仍有限制。
- (3) 必須考慮加勁材料的長期性質，尤其是採用加勁材料做為面版並曝露在陽光下。
- (4) 系統的設計與施工實務仍在推廣、發展中，規範及發包實務尚未標準化。
- (5) 因為加勁材料的多樣性，有關加勁土擋土結構的設計責任，必須要求具設計專業之設計廠商與材料廠商共同承擔。

四、加勁擋土結構不適用範圍

- 1. 當公共設施必須設置於加勁區內，於日後維修此公共設施維修時，需要切斷加勁材料之工程。
- 2. 當加勁材料可能暴露於遭受工業污染之地表、地下水中，或環境中具有侵蝕性的物質。
- 3. 當水流的沖蝕會淘空加勁區土層或坡面，且無法控制或阻斷沖刷源，或是淘刷的深度無法確定之工址。

4.1.2 加勁擋土結構基本設計觀念

於規劃調查階段，若有適當的先期規劃調查，不但可正確選擇適用的工法，達到減少工期成本外，更可確保工程成功執行。規劃調查階段建議應包括：工程規劃、工址調查以及設計參數。設計步驟則應

以力學穩定分析，求取加勁材料的強度與配置。如圖 4-1 以下將就上述階段說明如下：

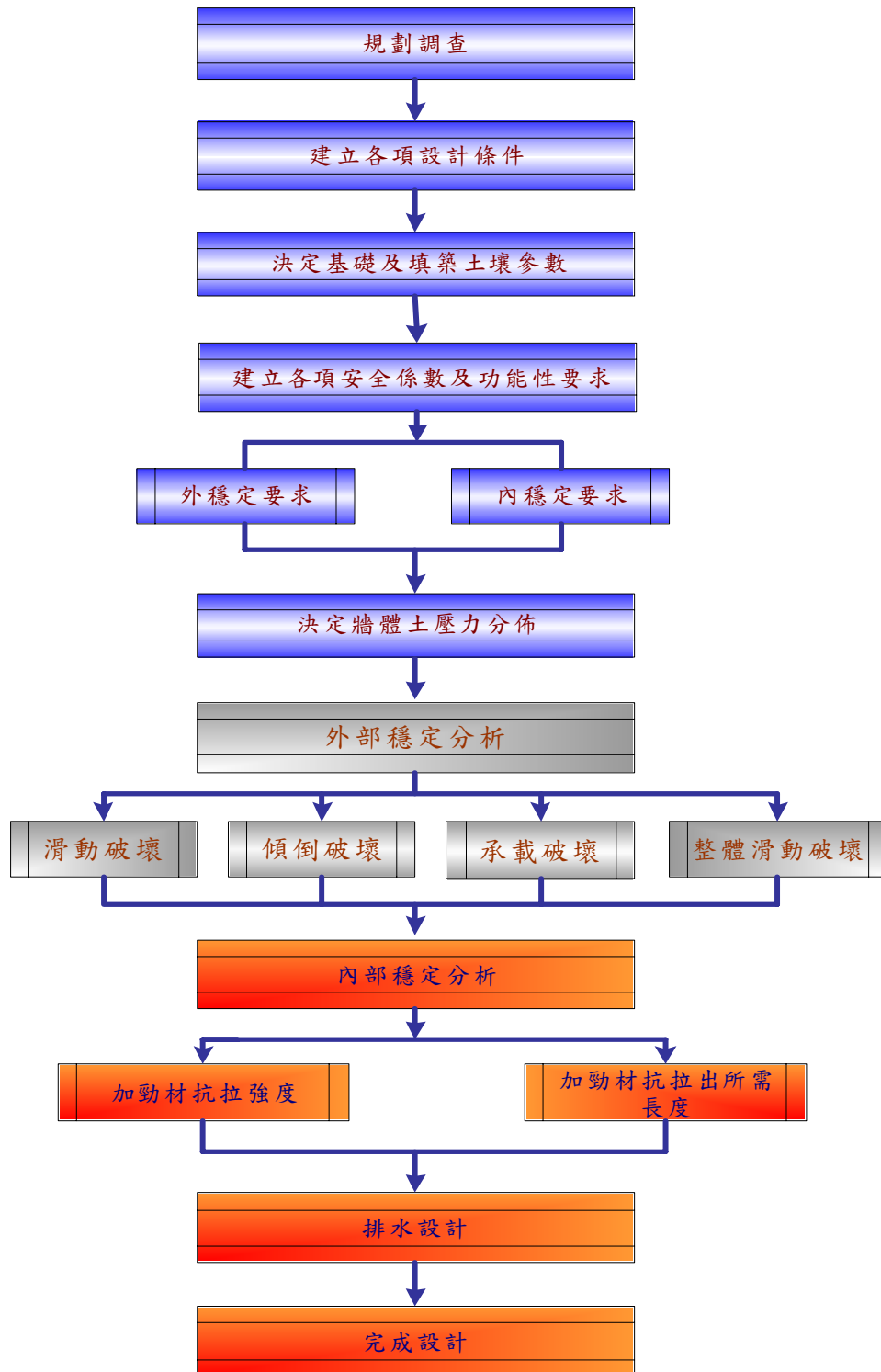


圖 4-1 加勁擋土結構設計分析流程

(本研究繪製)

一、工程規劃

不同的擋土系統有其不同之功能性，因此於技術上的選擇有其困難度，所以在進行規劃階段應著眼於地質、地形上、現地環境、結構物尺寸及種類、景觀、耐久性、性能規範、可利用材料、特殊系統之經驗或應用、造價影響因素等等加以妥善評估，以了解其工程之獨特性，選擇最適當的結構系統。關於特殊的技術論點概述如下：

1. 地質及地形上的狀況：加勁擋土牆適用於挖方量較少，且施工型態較沒有危害之填土型擋土牆（Fill Type Wall），因此可行性評估的第一順序便決定於支持填土重量基礎的適當性；而第二順序的可行性評估，必須針對結構物縱向（Longitudinal）及垂直於牆面之橫向（Transverse）進行初步沉陷分析，以便決定將來可能之差異沉陷。
2. 環境的狀況：現場環境狀況應優先考量工地現場土體（Ground Regime）之侵蝕性（Aggressiveness）。現地土壤是否會使加勁材料裂解，為環境影響加勁材料形式選擇及加勁擋土結構整體潛在性能之主要因素；而工地的方便性（Accessibility）為環境狀況之第二議題，此影響因素可能會控制加勁土壤擋土牆面版施工的形式、尺寸與種類。
3. 結構物的尺寸與種類：理論上加勁擋土結構並無高度的限制，在國外有成功使用金屬加勁材料建造高度 25 公尺加勁擋土結構之案例。但就實際層面而言，因受限於經濟性、路權使用與目前市面上可利用加勁材料抗拉強度等因素，而使加勁擋土結構施做高度有所限制，因此在評估時，應就各種不同因素作全面性之通盤考量。
4. 景觀：預鑄式混凝土面版可以鑄成不同的變化紋路與色彩，預鑄疊塊式面版可在廠內製成不同色彩與多樣化的表面外觀，兩者造價不相上下，但是在小型工程裡以預鑄疊塊式面版較佔優勢，其主要原因在於：可節省組裝機具與為不規則形狀所特別

鑄造的費用。

二、工址調查

在設計新的擋土牆之前，必須執行完整的地質探查計畫，以了解工址所在之穩定性、沉陷可能性、排水設施必要性等等，進而依據現有地形情況、地基情況、土壤或岩石等性質，選擇適用之擋土系統。而加勁擋土結構的造價，大部分需視現地填土材料的可利用性而定，因此調查必須有效的找出及試驗現地材料的特性，以供後續可否採用為填築土料之依據。

三、設計參數

加勁擋土結構所應考量的設計參數，應包括設計使用年限、結構物尺寸、承受之外部荷重及土壤參數，並應考慮外部、內部穩定。於規劃設計時需確認下列條件參數：

1. 設計年限：組成擋土結構各項元件的長期效應，為設計加勁土壤擋土結構服務年限之根基，針對大部分的應用，永久性擋土牆其最小服務年限必須設計為 75 年。而臨時性應用的擋土牆，一般設計之服務年限為 3 年或更短。加勁擋土牆可應用於支撐橋台（Bridge Abutments）、建築物（Building）或重要的公共設施，但應用於公共設施在發生失敗會有嚴重後果的時候，需採用更高的安全標準或較長的服務年限（例：100 年）。
2. 結構物尺寸：加勁擋土牆在設計時必須考量之元件尺寸，如圖 4-2 所示，其高度 H 、寬度 B ，以及牆面傾斜角必須滿足工程地形的要求，且必須優先建立，作為決定結構物的型式以及外部荷重之架構。
3. 外部荷重：外部荷重包括因應地形要求的土壤超載重（Soil Surcharges）、鄰近的基礎荷重（Footing Loads）或因交通引起的線型荷重（Line Load as from Traffic）。
4. 外部穩定：外部穩定分析包括滑動破壞（Sliding）、偏心距（ e , at Base）、支承力破壞（Bearing Capacity）、深層滑破壞（Deep

Seated Stability)、地震 (Seismic Stability) 等。

5. 內部穩定：包含抽出阻抗 (Pullout Resistance) 與加勁材料的容許抗拉強度。
6. 土壤參數：基礎土壤的工程性質 (γ_b 、 c_b 、 ψ_b)、加勁土區的填築土料的工程性質 (γ_r 、 c_r 、 ψ_r)，以及背填土區之填築土料的工程性質 (γ_f 、 c_f 、 ψ_f)

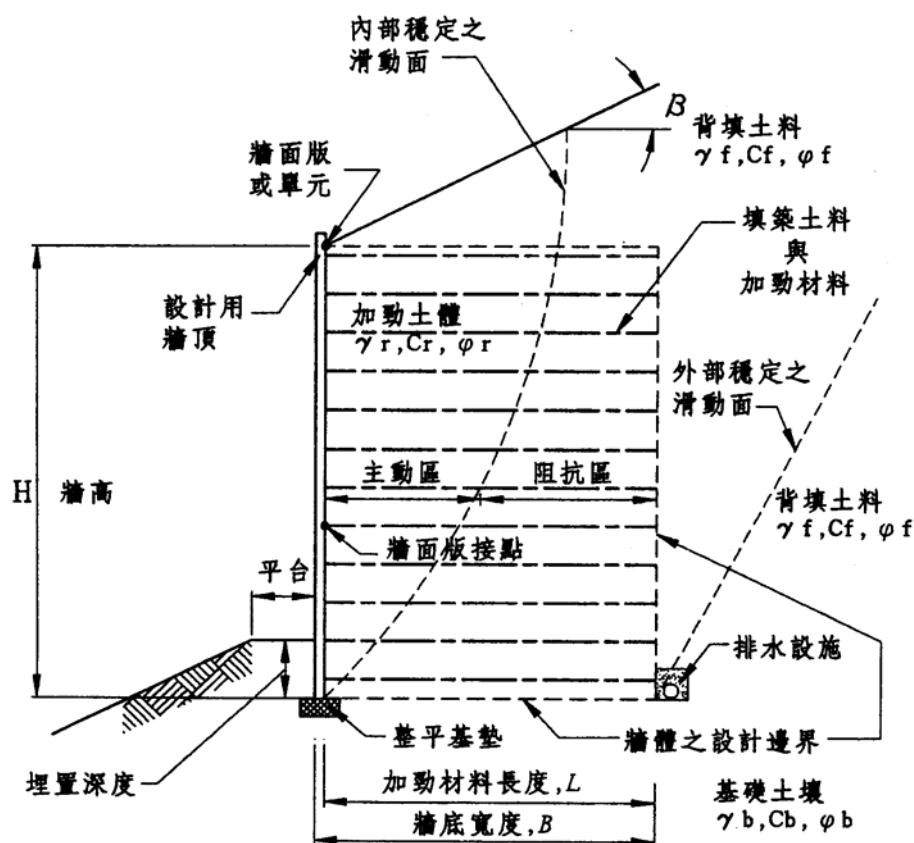


圖 4-2 加勁擋土牆設計基本資料示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

4.1.3 加勁擋土結構基本設計步驟

現行加勁擋土結構設計方法多為極限平衡法，其原理主要是計算防止內、外穩定破壞所需的加勁材料強度與加勁材料佈置，其設計分析與傳統重力式擋土牆相似，只是將加勁區視為一具較高強度之“複合”土塊進行分析。而內穩定分析方法則承襲背拉式地錨設計方法，

先假設一側向土壓力分佈狀況，然後據以計算各個深度對於穩定此一側向土壓力所需之加勁材料強度及配置，其中設計基本概念與步驟應包含力學穩定、排水設計與表面美化植生，以下就此說明之：

1. 力學穩定：應考慮內部破壞、外部破壞及複合式破壞等三種破壞形式之短期及長期安全性，其中內部破壞的特性為，破壞面通過加勁區，分析時所採用的破壞面可參考圖 4-3，並分析加勁結構內部應力是否能抵抗加勁材料拉斷、層間滑動與加勁材料拉出等破壞，如圖 4-4 所示。

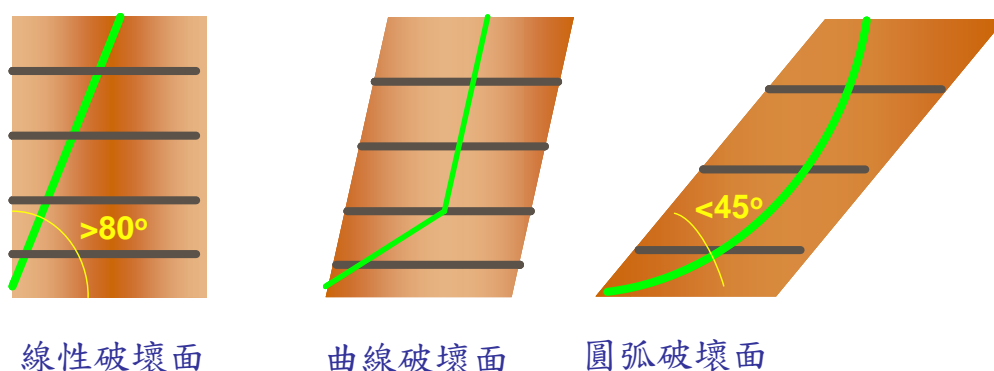


圖 4-3 加勁擋土結構設計分析破壞面

(修改自 NCMA) 【20】

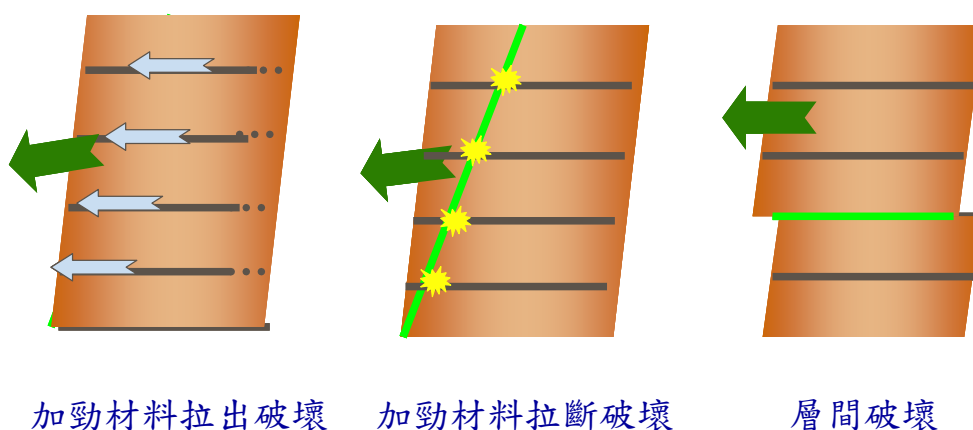
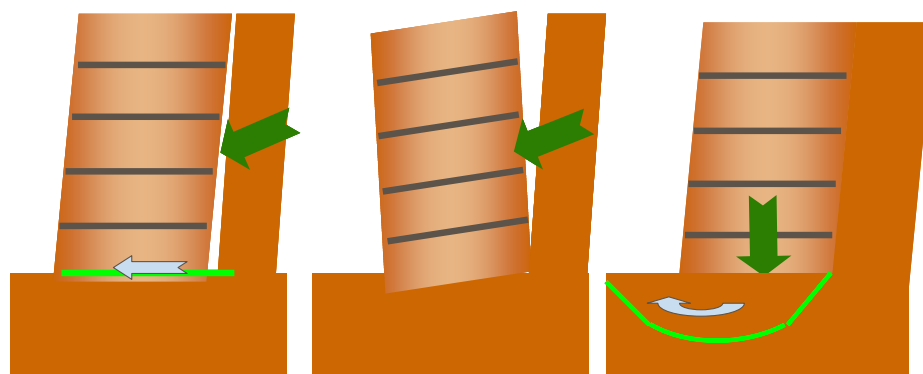


圖 4-4 加勁擋土結構內部破壞示意圖

(修改自 NCMA) 【20】

當考慮外部穩定分析時，其分析方式與傳統重力式擋土牆類似，分析的要點為：視加勁區是整體的單一土塊，並考慮該結構體的設計是否足以抵抗基礎承载力破壞、牆體傾倒破壞與圓弧滑動破壞，如圖 4-5 所示。



基礎承载力破壞 牆體傾倒破壞 圓弧滑動破壞

圖 4-5 加勁檔土結構外部破壞示意圖

(修改自 NCMA) 【20】

內外部穩定檢核分析之關鍵點如上所述，然各項設計安全係數及功能性要求，其內容應如下：

(1) 外部穩定安全係數參考要求

$$FS_{\text{sliding}} \geq 1.3$$

$$FS_{\text{external, deep-seated}} \geq 1.3$$

$$FS_{\text{local bearing failure}} \geq 1.3$$

$$FS_{\text{dynamic loading}} \geq 1.1$$

(2) 內部穩定安全係數參考要求

$$FS_{\text{internal}} \geq 1.3$$

$$FS_{\text{compound}} \geq 1.3$$

2. 排水設計：若排水設計不完善，將導致結構體內部淨水壓力過高或超額滲流力產生，此皆為擋土牆破壞之原因，因此迅速的排除地下水或有效的阻隔地下水侵入加勁土區，為排水設計的關鍵。牆後排水與地下導水配置如圖 4-6 所示。

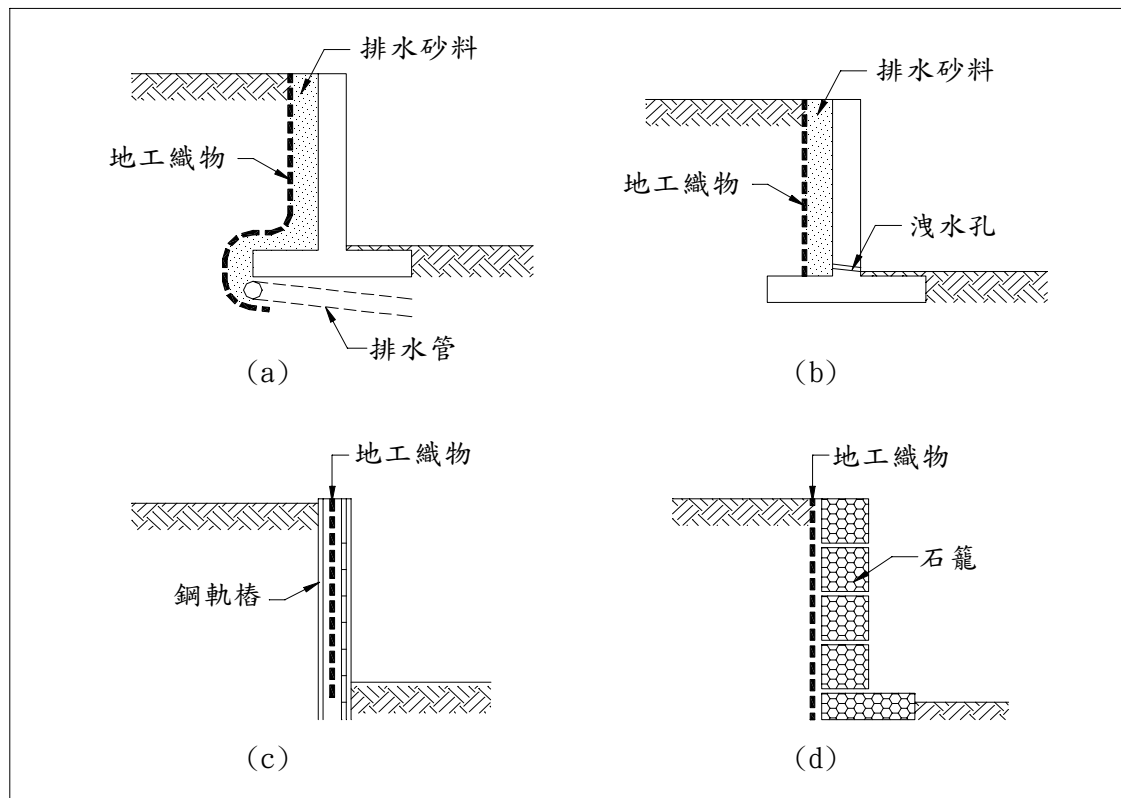


圖 4-6 加勁擋土結構排水示意圖

(本研究繪製)

3. 表面美化植生：多樣化的面板材料選擇為加勁擋土結構的特色之一，面版系統可依當地環境需求，選擇預鑄剛性面版或表面植生綠化之面版材料，如圖 4-7(a)(b)。



圖 4-7(a)表面植生綠化示意圖 4-7(b)表面植生綠化剖面圖

(中華地工材料協會提供)【29】

4.1.4 加勁擋土結構動態設計分析

目前相關數據顯示：加勁擋土結構在地震作用下比傳統擋土結構具備更佳的抗震能力，但受限於國內相關設計及施工規範尚未制定關於此部分之準則，本團隊將研擬此部分相關資料納入本案件之執行，以作為工程界後續參考之依據。以下茲就動態設計之相關原理及考量進行概述。

一、擋土牆動態設計原理與考量

1. 擬靜態 (Pseudo-Static) 土壓力原理 M-O 法：此分析方法為古典庫倫楔型分析法之延伸，其基本概念是將擋土結構後之土體所承受之地震力簡化為逕指土壓力及作用於擋土牆面之額外慣性力 (Inertial Force)，如圖 4-8 所示。

$$P_{AE} \equiv \frac{1}{2}(1 \pm K_V)K_{AE}\mathcal{H}^2$$

$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{dyn}$$

$$P_{AF} = \text{動態土壓力}$$

P_A = 靜態主動土壓力

$$H = \text{牆高}$$
$$P_{dyn} = \text{動態土壓力增量}$$

γ = 填築土壤單位重

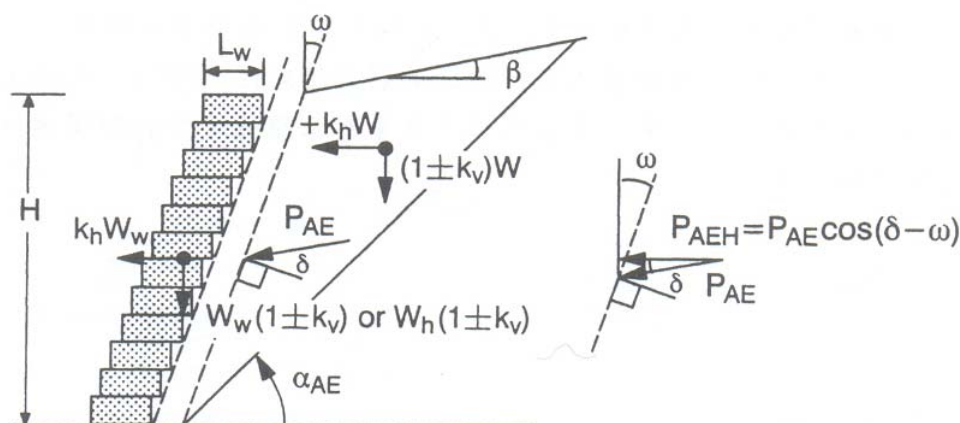
 K_{AE} = 動態土壓力係數

圖 4-8 擋土牆擬靜態分析示意圖

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

作用力水平分量關係式： $P_{AEH}=P_{AH}+P_{dynH}$ ，上述各項土壓力及其水平分量分布、合力作用位置如圖 4-9。

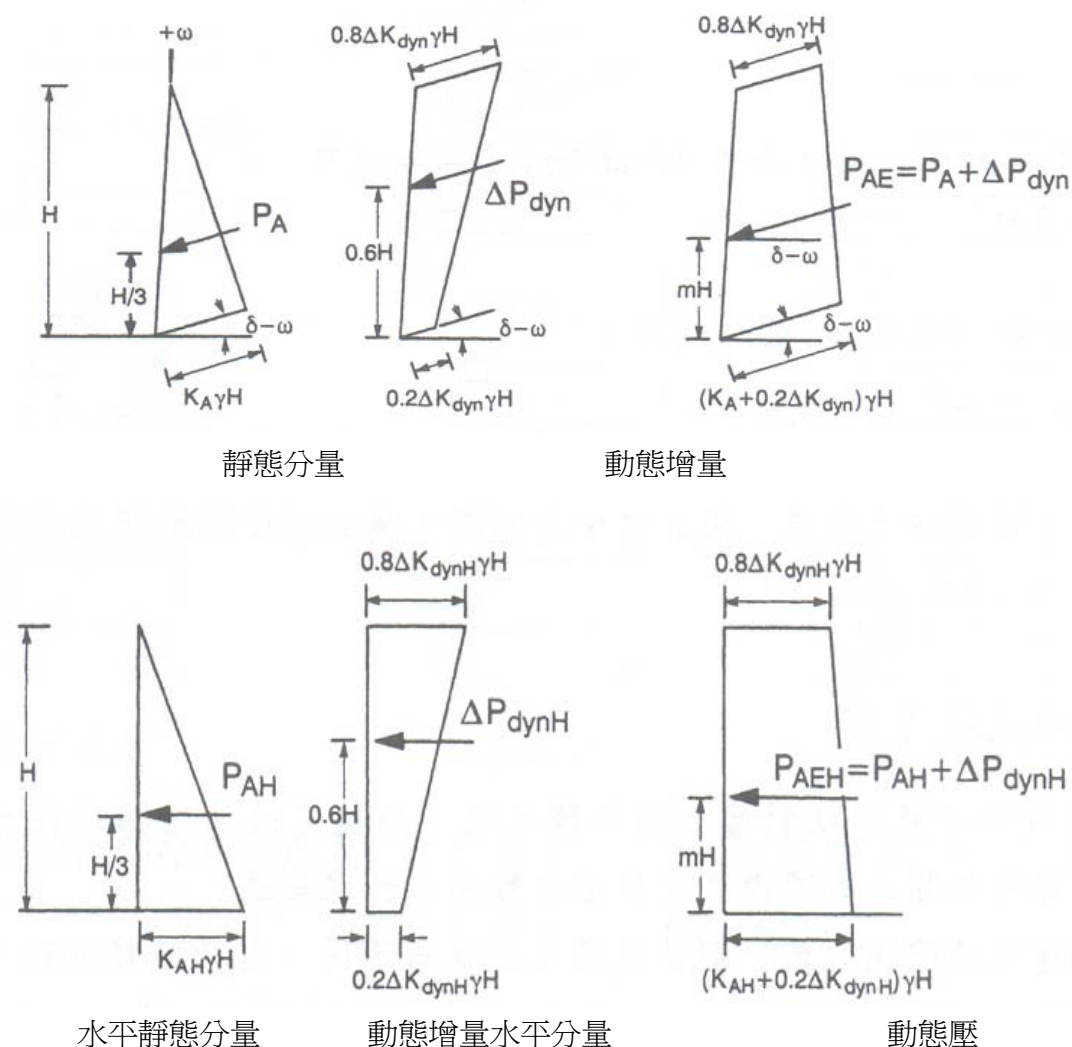


圖 4-9 土壓力分佈示意圖

(節錄自 NCMA) 【21】

2. 地震加速度係數 (K_v 、 K_h) 的選定：參考 FHWA 建議，對擋土結構進行動態穩定分析時，可將垂直方向的地震加速度係數假設為 0，可視為一保守的假設。
3. 加勁擋土牆動態設計考量：考量之要點應包含外穩定性、內穩定性及結構性牆面穩定性檢核。

二、擋土牆動態設計

本節動態設計將引入程式 MSEW 輔助分析，但因材料因素與擬靜態極限平衡原理，需以下列各項假設為使用前提：

1. 結構基礎為一完整穩定之地盤。
2. 結構體頂端與前沿之坡度為定值。
3. 結構體允許側向變形。
4. 結構體允許自由滑行。
5. 土壤的凝聚力忽略不計。
6. 最大水平加速值小於 $0.3g$ 。
7. 最大垂直加速值不大於水平加速值的 $2/3$ 。
8. 整體穩定。

由於動態設計分析之設計分析方法屬極限平衡土壓原理，且其分析步驟及流程與靜態設計一致，因此將不再贅述。

4.2 加勁擋土結構施工程序

加勁擋土結構系統的施工簡易且快速，其施工步驟主要包含工地基礎的整平、分層鋪填及夯實填築土料、鋪設加勁材料於定位，以及施做面版元件等等。因其施做不需特殊的施工機具與技術，所以一般當地工人即可施做，且大部分的加勁材料供應商都可提供施工技術指導服務。以下針對加勁擋土結構施工規範主要分為施工前審查、施工材料、施工步驟與監工注意事項，以及監測計畫等四大項進行考量。

4.2.1 加勁擋土結構施工程序項目

一、施工前審查

基礎整平、施工便道設置、工作面開挖及排水設施施做時，是否需要特別的施工程序，決定於施工前對工地狀況的審查。加勁擋土結構施工前，負責監督施工的監造人員必須完全熟悉工程計畫與規範與施工要求有關的工地狀況、施工材料的要求及特殊加勁系統的施工步

驟等。

二、施工材料

加勁擋土結構組成三大主要元件之一的面版，在進行施工之前，承造廠商應就合約圖說的要求，尋求穩定可靠且合於規範要求的料源，而在施工材料進場之前，應就所擬採用的材料向駐地工程師提呈該材料的試驗數據、認證證書（Certificate）或其它相關的檢驗報告，以供其核可後始可進場使用。以下針對三大組成元件施工材料進行說明，並擬於施工規範中擬定各項規格要求、容許誤差與驗收/退貨標準。

1. 面版及其接合元件（Facing and Joint Materials）

若為剛性面版，係採預鑄混凝土版或預鑄混凝土塊交互堆疊成。當預鑄混凝土製品，不論是廠製或工地製做，都必須依照合約圖說所規定的尺寸、形狀、鋼筋量、混凝土強度等澆置而成。而柔性面版通常使用加勁材料回包的方式來構築牆面或坡面，不管是使用堆疊土包或撐架模板的方式，由於不是結構材料，因此不特別要求其規格。

2. 加勁材料

承造廠商應依合約圖說所規定的加勁材料規格，選擇符合設計要求的加勁材料使用。一般加勁材料的設計規格應由設計者依工程結構物之特性，經分析與計算後，訂定其設計上所需要的強度 T_d （加勁材料設計強度）； T_d 係指材料鋪設於設計位置上，在設計服務年限內，所可能受到最大荷重（已考慮各項不確定因素及安全係數）。承造廠商為滿足合約圖說的設計要求，應選擇加勁材料在設計壽命內所能提供最大抗拉強度 T_a （長期容許強度） $\geq T_d$ 的材料。 T_a 評估方法如下：

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF * FS}$$

式中， T_a ＝在設計壽命內，依據現場環境影響因素所評估的加勁材料長期容許抗拉強度，單位：仟牛頓/米（kN/m）。

T_{ult} = 加勁材料的極限抗拉強度，試驗方法 ASTM D 4595、GRI GG 1，或其它合適的試驗標準，單位：仟牛噸/米 (kN/m)。

RF = 加勁材料的折減係數，折減係數包含潛變折減係數 RF_{CR} 、耐久性折減係數 RF_D 、施工損傷折減係數 RF_{ID} ，以及結點折減係數 RF_{jnt} 。 $RF = RF_{CR} \times RF_D \times RF_{ID} \times RF_{jnt}$ 。

FS = 總體安全係數，係考量設計時之外加荷重、結構物形狀、填土性質、可能的局部應力集中，以及加勁材料長期強度的各項不確定因素所採用的總體安全係數。

3. 填築土料

加勁擋土結構的填築土料是滿足設計功能的主要元素之一，使用合適的材料及其正確的鋪填皆是非常重要的性質。加勁擋土結構的填築土料通常會規定必須符合設計的粒徑分佈 (Gradation)、塑性 (Plasticity)、健度 (Soundness) 等等的要求。

4.2.2 加勁擋土結構施工步驟及注意事項

加勁擋土結構的施工步驟如 2.6 節「加勁擋土牆與邊坡施工程序概述」內容所述，本節將不再贅述，然於各項施工步驟中具有其應注意之關鍵施工項目，將於本節中詳細說明之並分述如下：

一、加勁材料的鋪設要求

1. 鋪設方位、長度及高程應按設計圖施做。
2. 鋪設後應固定，使其平貼地面，不得有鬆弛現象。
3. 鋪設前先定位，使其高程誤差 $\leq \pm 25\text{mm}$ ，如圖 4-10。
4. 加勁材料與面版單元的接合方式與接合強度應符合設計圖說。
5. 鋪設後應盡快予以覆土，避免曝曬或其他因素損傷加勁材料。
6. 加勁材料鋪設定位後，任何施工機具或車輛都不得行走其上，如圖 4-11 為錯誤施工程序，可能造成加勁材料損傷。
7. 如工程車輛必須行經加勁材料鋪設區，應經駐地工程師許可，並於加勁材料上覆蓋至少 150mm 的覆土，如圖 4-12 所示。



圖 4-10 加勁材料鋪設前定位避免鋪設誤差

(本研究拍攝)



圖 4-11 加勁材料鋪設後禁止工程車輛直接滾壓

(本研究拍攝)



圖 4-12 加勁材料鋪設後工程車輛行經加勁區須進行保護

(本研究拍攝)

二、填築土料鋪設施工要求

1. 填築土料鋪填應以推土機施作，不得以運土卡車直接傾倒，此為避免施工中造成加勁材料損傷，如圖 4-13。
2. 若使用挖土機則挖斗放落高度 $\leq 1\text{m}$ ，如圖 4-14。
3. 考慮使用滾壓機具的功率，因此最大的鋪填厚度 $\leq 300\text{mm}$ 。
4. 填築土料鋪填後以合適夯實機夯實
 - (1) 避免牆面變形大型滾壓機應距離牆面/坡面，如圖 4-15
剛性面版：1.5m / 柔性面版：1m
 - (2) 小型夯實機重量應 $\leq 1\text{MT}$
 - (3) 夯實機行進方向應平行於牆面/坡面



圖 4-13 填築土料鋪設施工機具施作示意圖

(本研究蒐集)



圖 4-14 填築土料鋪設施工機具施作示意圖

(本研究蒐集)



圖 4-15 填築土料鋪設小型施工機具施作示意圖

(本研究拍攝)

三、加勁材料特殊鋪設要求

加勁擋土結構可順應地形構築不同的線型牆面，如直線型、曲線牆面及多邊轉角牆面等如圖 4-16，然為達到填築土料的穩定性，因應不同的牆面變化加勁材料的鋪設方式亦不同，以下茲就說明之，



圖 4-16 加勁擋土結構牆面多樣性變化示意圖

(本研究拍攝)

1. 內凹方形轉角加勁材配置

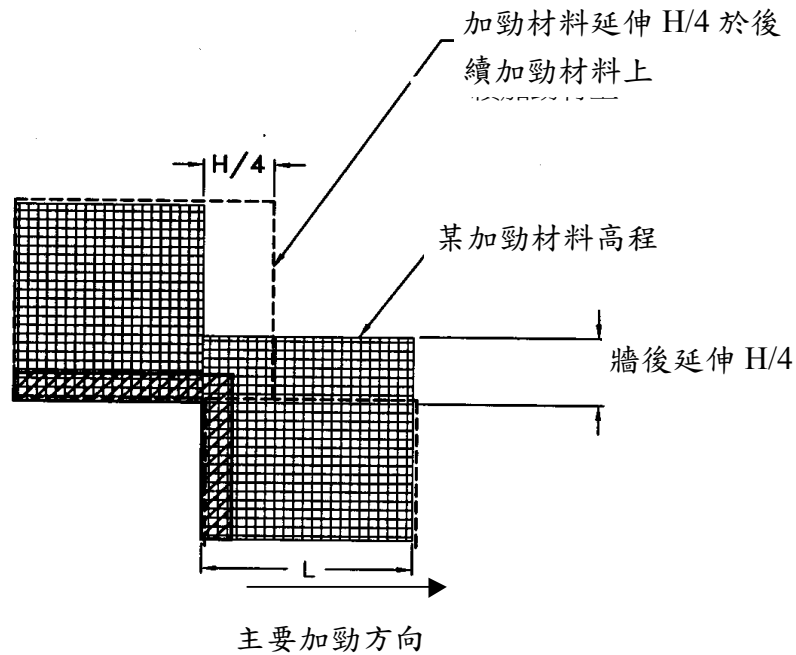


圖 4-17 內凹方形轉角加勁材配置示意圖

(修改自 FHWA) 【9】

2. 內凹曲線轉角加勁材配置

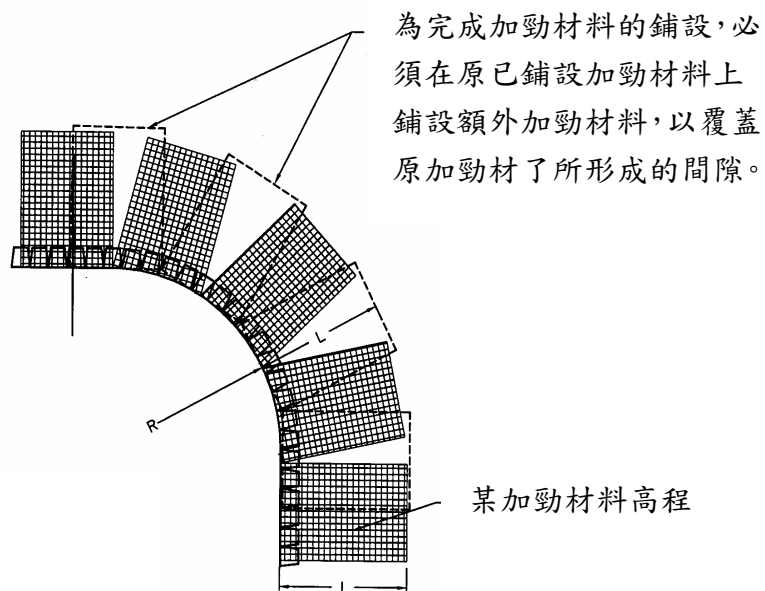


圖 4-18 內凹曲線轉角加勁材配置示意

(修改自 FHWA) 【9】

3. 外凸方形轉角加勁材配置

若兩層加勁材料位於同一高程，在鋪設時可互相搭接，亦可以相互垂直方式重疊鋪設。

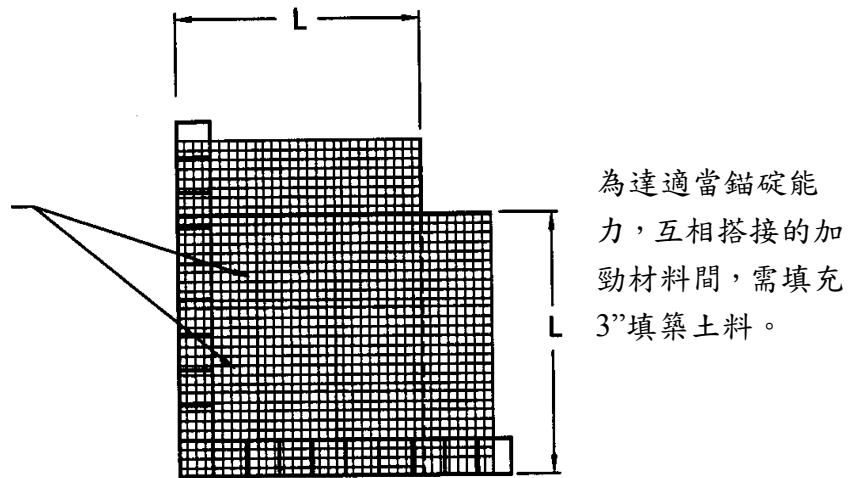


圖 4-19 外凸方形轉角加勁材配置示意圖

(修改自 FHWA)【9】

4. 外凸曲線轉角加勁材配置

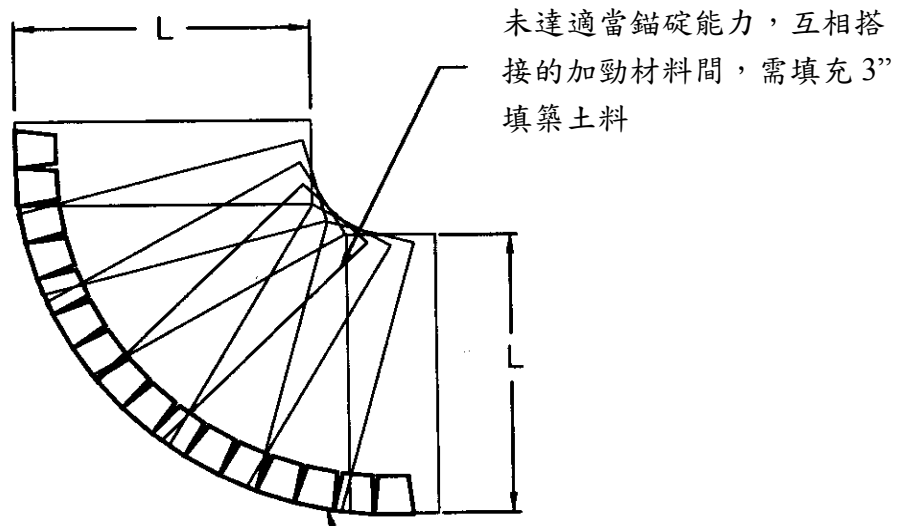


圖 4-20 外凸曲線轉角加勁材配置示意圖

(修改自 FHWA)【9】

第五章 加勁擋土結構動態設計分析 研究

5.1 現階段加勁擋土結構動態設計概況

5.1.1 動態設計分析方法

目前加勁擋土結構動態設計主要仍沿用以極限平衡法觀念所發展出的擬靜態分析法（Pseudo Static Analysis），而擬靜態土壓分析法中又以 M-O 法（Mononobe-Okabe）最為普遍。其概念是將擋土牆受到之地震力轉化為靜止土壓力及作用於牆面的額外慣性力 P_{AE} ，式 5-1 為動態狀態下主動土壓力或稱動態土壓力：

$$P_{AE} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{AE}\gamma H^2 \quad (5-1)$$

式中 γ ：土壤單位重

H ：牆高

K_{AE} ：動態土壓力係數

而 K_{AE} 的計算如下：

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi + \omega - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \omega \cos(\delta - \omega + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta - \omega + \theta) \cos(\omega + \beta)}} \right]^2} \quad (5-2)$$

式中 ϕ ：土壤內摩擦角

ω ：牆面傾角

δ ：主動土壓力和牆背的摩擦角

β ：牆頂土體的傾角

θ ：動態慣性力角

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

k_h, k_v ：水平及垂直地震加速度係數

而 Seed and Whitman (1970) 則把動態土壓力 (P_{AE}) 分成靜態土壓力 P_A 和因地震力所增加的土壓力 ΔP_{dyn} ：

$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{dyn} \quad (5-3)$$

式中 P_A ：靜態土壓力

ΔP_{dyn} ：動態土壓力增量

其中 ΔP_{dyn} 的合力作用位置為 $0.6H$ ，而合力 (P_{AE}) 所作用位置 (mH) 則可由下式求得：

$$mH = \frac{\frac{1}{3}P_A + \frac{6}{10}P_{AE}}{P_{AE}} \times H \quad (5-4)$$

相關加勁擋土結構動態作用所產生之應力分佈如圖 5-1、5-2，慣性阻抗區作用區寬度為 $0.5H$ 、土壓力增量為 $(50\%)P_{AE}$ ，作用點位置為 $0.6H$ ，而動態土壓力分佈如(1-3)式，其作用點位置如(1-4)式。

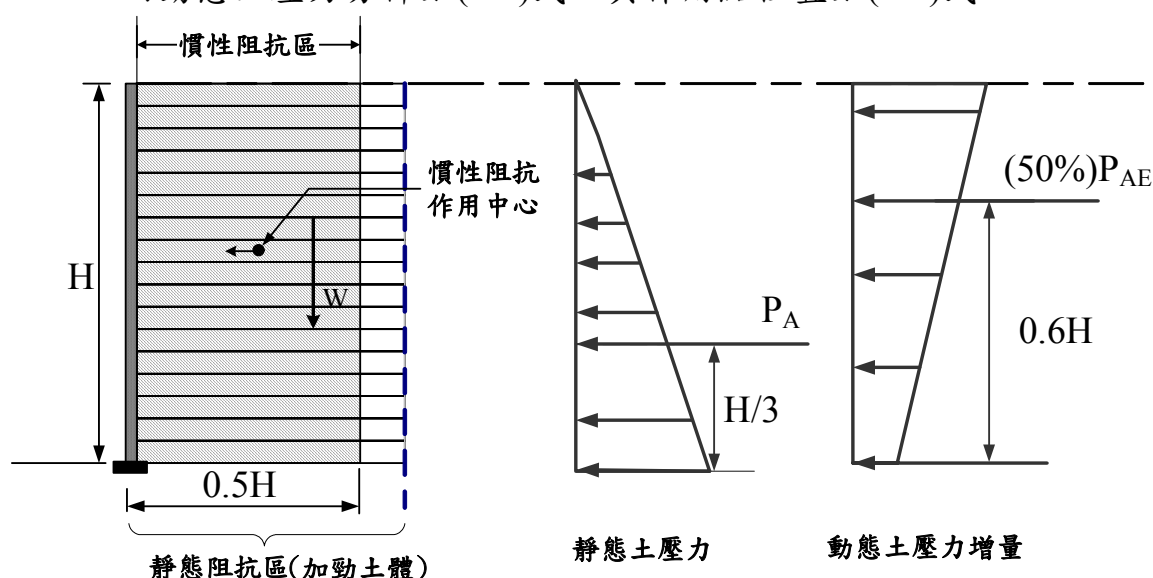


圖 5-1 加勁擋土結構側向土壓力分佈

(修改自 FHWA) 【9】

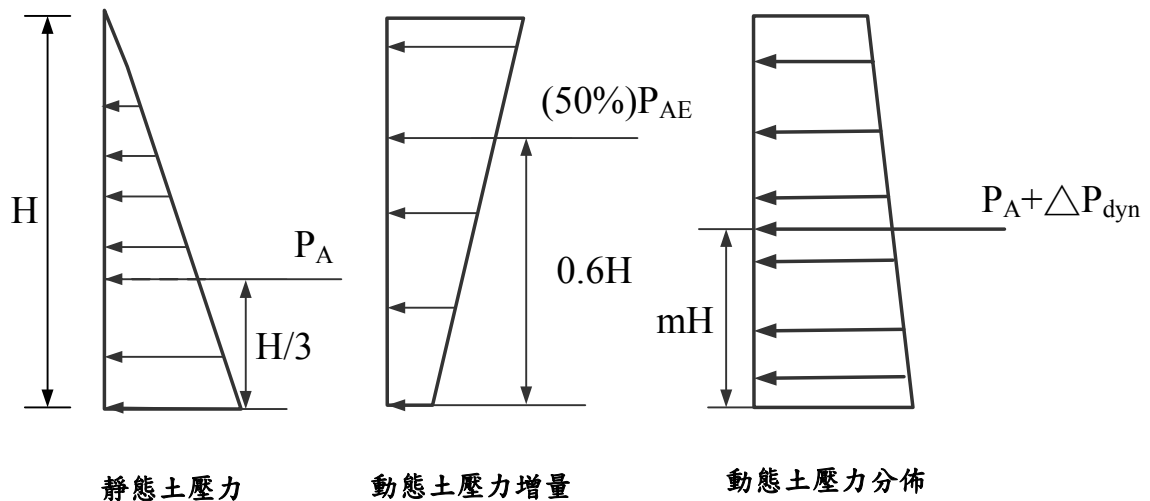


圖 5-2 動態土壓力分佈示意圖

(節錄自 NCMA)【21】

上述為進行加勁擋土結構動態設計時，所需熟悉之力學特性與相關公式，然對於公式的應用與運算，應預先蒐集相關之擋土結構資訊，整理下列基本幾何與材料性質資料：

一、土壤性質

土壤性質調查工作應涵蓋基礎土壤、加勁區填築土料、背填土料、及牆體內使用的排水骨材等土壤，調查性質包括土壤單位重、內摩擦角、凝聚力及不同土壤或材料間的介面性質。

二、擋土結構幾何設計

應就工程目的及實際環境狀況選定擋土結構的幾何設計，包括牆高，加勁區寬度，牆面後方土壤坡度，及加勁材料垂直間距等。

三、加勁材料性質

在取得土壤材料參數及決定擋土結構各項幾何設計後，便可以進行初步的穩定性分析，計算出滿足穩定要求所需的材料強度（李咸亨等，2001）。由於一般加勁材料的強度是隨應變速率的增加而增加，然動態荷重下，因受瞬時反覆應變速率遠高於其靜態荷重下所受的應變速率，所以加勁材料的動態力學性質，包括力學模數，抗拉出阻抗與

極限強度等均較其靜態力學性質為高，一般在進行動態設計時為求保守可直接引用加勁材料的靜態力學性質，但必需注意的是動態狀況下加勁材料的極限應變可能會低於靜態狀況時的極限應變，因此需注意動態狀況下的牆體瞬間位移量，是否會造成加勁材的斷裂破壞。

5.1.2 現階段加勁擋土結構動態設計瓶頸

目前加勁擋土結構動態內、外穩定設計中各項破壞可能的分析與計算仍沿用擬靜態分析，然此分析計算方法受限於下列條件：

1. 擋土結構基礎為一完整穩定之地盤，亦即過量及不均勻沈陷、液化，與承载力不足等基礎問題需先處理克服。
2. 結構體頂端與前沿之坡度為定值。
3. 結構體允許自由側向變形（Free Lateral Deformation）。
4. 結構體基礎底部允許自由滑行（Free Sliding）。
5. 填築土料為非凝聚性土壤，亦即土壤之凝聚力忽略不計，但使用凝聚性土壤時需作額外考量。
6. 最大水平加速度值小於 $0.3g$ 。
7. 最大垂直加速度值不大於水平加速度值的 $2/3$ 。
8. 總體穩定（Global Stability）須滿足，亦即通過牆體外圍的破壞面須滿足穩定需求。
9. 於穩定分析計算時所需之基本參數，均以土壤參數、牆面幾何條件進行推演而得，對於加勁材料勁度與加勁材料間距 (J/S_v)、結構高度與加勁材料長度 (L/H) 及加勁材料鋪設間距 (S_v) 均未列入考量，因此無法得知上述各參數對於加勁擋土結構的穩定性有何影響。

5.2 相關加勁擋土結構動態反應研究與發展

如前述以極限平衡法（Limited Equilibrium Analysis，LEA）分析

加勁擋土結構動態反應，具有其可預期的瓶頸，因此相關研究團隊正逐漸捨棄此分析方法，而演進為使用工作應力分析方法 (Working Stress Analysis, WSA)。兩種分析方法最大的不同在於 LEA 是假設可能發生的破壞面並予以分析其穩定性，而 LEA 僅能提供各種可能破壞模式的安全係數，無法評估加勁擋土結構體內、外可能的變形或應力—應變分佈狀況。然而 WSA 則是使用現場或大型試驗監測儀器的量測結果以有限元素或有限差分分析方法針對結構體在工作狀況下其實際產生的應力—應變分佈狀況進行分析，因此 WSA 所提供不僅只有安全係數，更可提供結構體施工至完工使用期間各階段的變形量預測與應力—應變分佈狀況。

有關於加勁擋土結構靜態的工作應力分析，近年來已獲致突破性的進展，然而在動態的工作應力分析上，儘管歐、美、日及臺灣已有相當多的研究進展，然而距離實際應用仍需要更多的努力與團隊合作。一般來說，現階段 WSA 主要的研發課題包括：

1. 建立分析模式
2. 搜集分析現場或模型試驗量測結果
3. 開發數值分析程式進行工作應力分析

5.2.1 分析模型研發

自 1990 年開始，美、日等國的研究人員為簡化複雜的地工合成材料加勁土壤 (Geosynthetic Reinforced Soil, GRS) 中各項材料間的相互作用，陸續提出以多自由度 (Multi-Degree-of-Freedom, MDOF) 的堆疊質量模型 (Lumped Mass Model) 模擬 GRS 結構物的行為。

如圖 5-3 與 5-4 所示為以堆疊質量模型模擬 GRS 擋土結構行為的示意圖及模型單元解析圖。義大利學者 Carotti and Rimoldi 查據此一解析圖提出一非線性分析模型，並將其程式化用以模擬實際擋土結構行為。GRS 分析模型的研發瓶頸在於缺乏足夠的 GRS 行為資料進行模型

的校正，僅能針對某些特定案例進行個別的分析與修正。

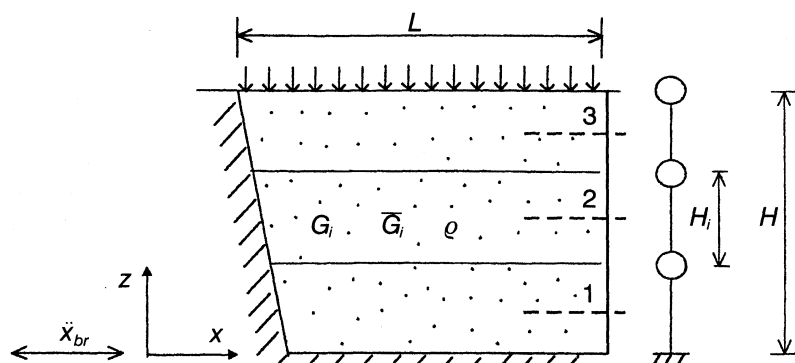


圖 5-3 擋土結構土層與堆疊模型示意圖

(Carotti、Rimoldi,1998)【7】

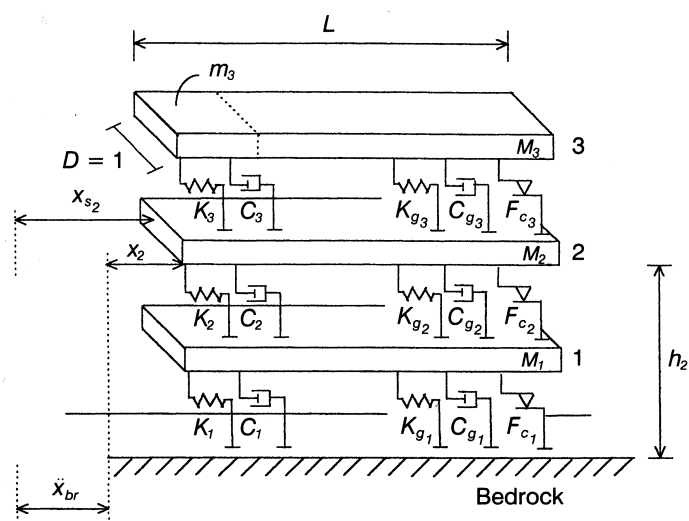


圖 5-4 三度自由度堆疊模型系統與互制參數

(Carotti、Rimoldi,1998)【7】

5.2.2 模型試驗分析

利用大型震動台試驗模擬加勁擋土牆的動態反應可算是近年來較

有進展的研究方向。美、加、日等地的研究團隊自 1980 年開始就有不少剛性加勁材料加勁擋土牆震動台模型試驗成果的提出，土工合成材料的相關試驗於 1990 年後也有相當的成果。

於 1998 年，Ramakrishnan【23】等人在亞歷山納大學執行震動台試驗，由試驗結果提出增加土壤的摩擦角與縮小加勁材的垂直間距有助於加勁擋土牆耐震能力的提升。

另外日本東京大學的研究團隊 Koseki【15】等人也利用震動及傾斜台 (Tilt Table) 試驗進行對加勁擋土牆動態反應的分析 (Koseki et al., 1998)，主要針對在觀察加勁擋土牆的動態反應，並將試驗結果與擬靜態雙楔形分析法使用的動態土壓力係數與破壞面形狀作一比較，並提出相關修正。

同時日本地震防災研究中心 (Japan Earthquake Disaster Prevention Research Center) 亦於 1995 年著手進行加勁擋土牆的震動台試驗，研究團隊 Matsuo【19】等人，於 1998 年將成果彙整發表於 Geosynthetics International 期刊上，然 Matsuo 等人主要研究加勁擋土牆各項設計參數，例如牆高、牆面構造、埋設長度及輸入地震波等對牆體穩定性的影響，並就試驗結果提出對日本設計規範的修正建議。

上述各項研究主要的缺點在於試驗模型的尺寸太小，結構體尺寸與加勁材料強度放大效應無法完全配合。然而美國華盛頓大學 Holtz 和 Kramer 等人規劃了一系列離心機、大尺寸震動台試驗圖 5-5，並配合 FLAC 程式的數值分析。其研究範圍為加勁擋土牆設計參數分析，例如加勁材垂直間距與埋設長度和牆面傾角的分析，牆體內部位移的量測，以及牆體內部不同位置的動態加速度反應等。



圖 5-5 全尺寸振動台試驗與配置示意圖

(Lee,1999)【16】

5.2.3 工作應力分析

關於加勁擋土牆應用工作應力法進行分析研究，除了華盛頓大學的研究團隊以外，使用 FLAC 程式進行加勁擋土牆動態工作應力分析的團隊還包括加拿大皇家理工學院的 Bathurst【4】等人。自 1995 年加拿大學術界對於加勁土壤工作應力方面的研究成果豐碩。於 1998 年 Bathurst and Hatami【6】利用 FLAC 程式開發了一組加勁擋土牆動態分析模型，其利用此組模型觀察分析不同設計條件下加勁擋土牆的各項動態反應，包括加勁材受力狀況，牆體內內部應力—應變狀況等。

5.3 加勁擋土結構動態反應現有研究成果

5.3.1 數值模型開發

針對加勁擋土牆動態反應所遭遇的瓶頸，仍有研究團隊不斷的持續投入，依據 Lee (2000)【18】所提出之研究成果為應用 FLAC 程式建立加勁擋土牆的數值模型，如圖 5-6 所示，其基本假設為回填土料符合摩爾庫倫條件，於土料單元模型中插入 Cable 原件已增強土壤勁度，並且假設面版系統為符合彈性之單元，為使之能瞭解結構體內各原件的應力反應，除上述構件的數值模擬外，同時區隔面版與土壤間的影響及面版與面版間的影響，如此將能充分反應現地加勁擋土牆組成原件間的相互行為模式。

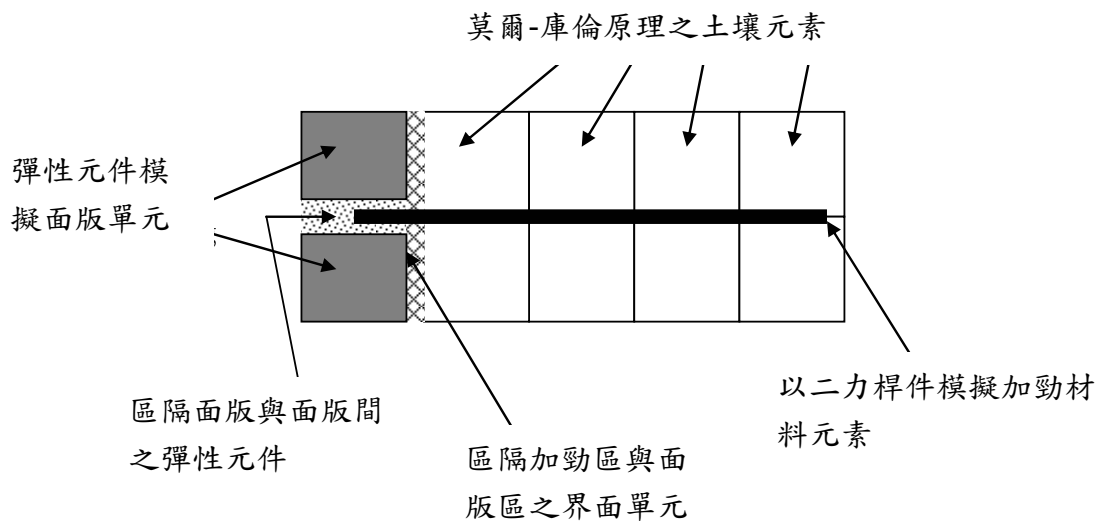


圖 5-6 應用 FLAC 程式模擬加勁擋土結構數值模型示意圖

(Lee,2000)【18】

然當上述模型進行動態反應模擬時，仍發生無法充分反應加勁擋土牆體實際動態行為，同時對於結構體內之應力-應變行為仍無法瞭解其變化，因此研究團隊進行數值模型的修正與改良，首先假設回填土料仍符合摩爾-庫倫條件、加勁材料仍以索元素插入，然而為改善各元

件在動態負荷條件下，許多接口的複雜計算，因此將各元件單元連接點設置為活動點，使各單元以剛性繩索所組成的盒子（Cable Box）型態模擬之，如圖 5-7 所示。

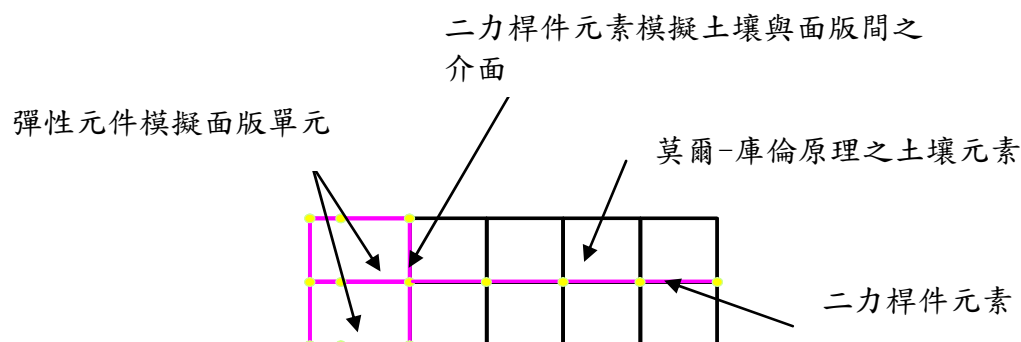


圖 5-7 修正後加勁擋土結構數值模擬示意圖

(Lee,2003)【20】

為了實際瞭解本數值模型的反應行為，研究團隊利用 1999 年於臺灣地區所發生之集集地震相關資料進行模擬，並且實際分析位於大坑地區的加勁擋土牆，以應證本數值模型的假設。

依據地震記錄資料顯示，地震發生後第 12 秒產生最大加速度，然而此時加勁擋土牆內部產生位移，但是加勁材料所產生的軸向力及加勁材料與土壤間的摩擦力亦同時產生，然如圖 5-8 所示，牆體約在 $1/2 \sim 1/3$ 牆高處產生最大位移量，且由應力分佈顯示，加勁擋土牆體應力集中於牆體表面，而牆頂的垂直位移與應力產生為牆面側向位移所導致，此符合現場破壞狀態，圖 5-9。

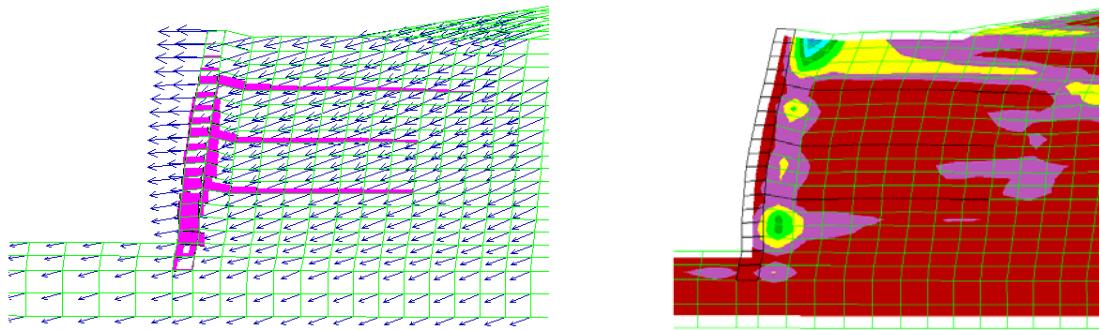


圖 5-8 應用 FLAC 程式模擬現地加勁擋土牆動態反應

(Lee,2003)【20】



圖 5-9 集集地震時大坑地區加勁進擋土牆破壞案例

(Lee,2003)【20】

如上述，Lee 於 2003 年成功開發加勁擋土牆動態反應數值模型，該模型能成功模擬加勁結構體內部應力分佈狀態，並且能反應出加勁材料的受力狀況，同時亦可瞭解面版的行為模式。

5.3.2 參數分析

當成功建立加勁擋土牆的動態數值模型之後，即尋求加勁擋土結構組成元件間之相互關連性，已探討各元件於加勁結構體內的行為影響，並針對加勁材料鋪設間距 S_v 、加勁材料勁度 J 、加勁材料的長度 L 和振動頻率對於加勁擋土牆動態行為的影響進行分析，以下茲就相關

研究彙整如下。

Lee (2000) 則使用 FLAC 程式發展出一套加勁擋土牆的數值模型，並模擬現場以及試驗牆靜態行為，與現場量測的牆面變位及加勁材應變進行比對，以預測加勁擋土牆行為，期可發展出可行的數值模型，同時做了一系列的土壤、加勁材料的參數分析。且後續研究團隊發現於加勁結構體動態行為中，加勁材埋設長度對於結構體的動態行為有顯著影響，若埋設長度越長則可有效減少牆面變形，如圖 5-10 所示，於靜態分析時加勁材料的埋設長度對牆面位移差距不大，然於動態狀況下，動態荷重可藉由加勁材料的軸力傳遞，使加勁材料產生張力阻抗，因而降低最大的軸力，同時也減少牆面的變形量。以結構體整體而言，加勁勁度 (J/S_v) 越高時，加勁材料受力大小差距越大，牆面變形量越小，如圖 5-11、5-12、5-13。

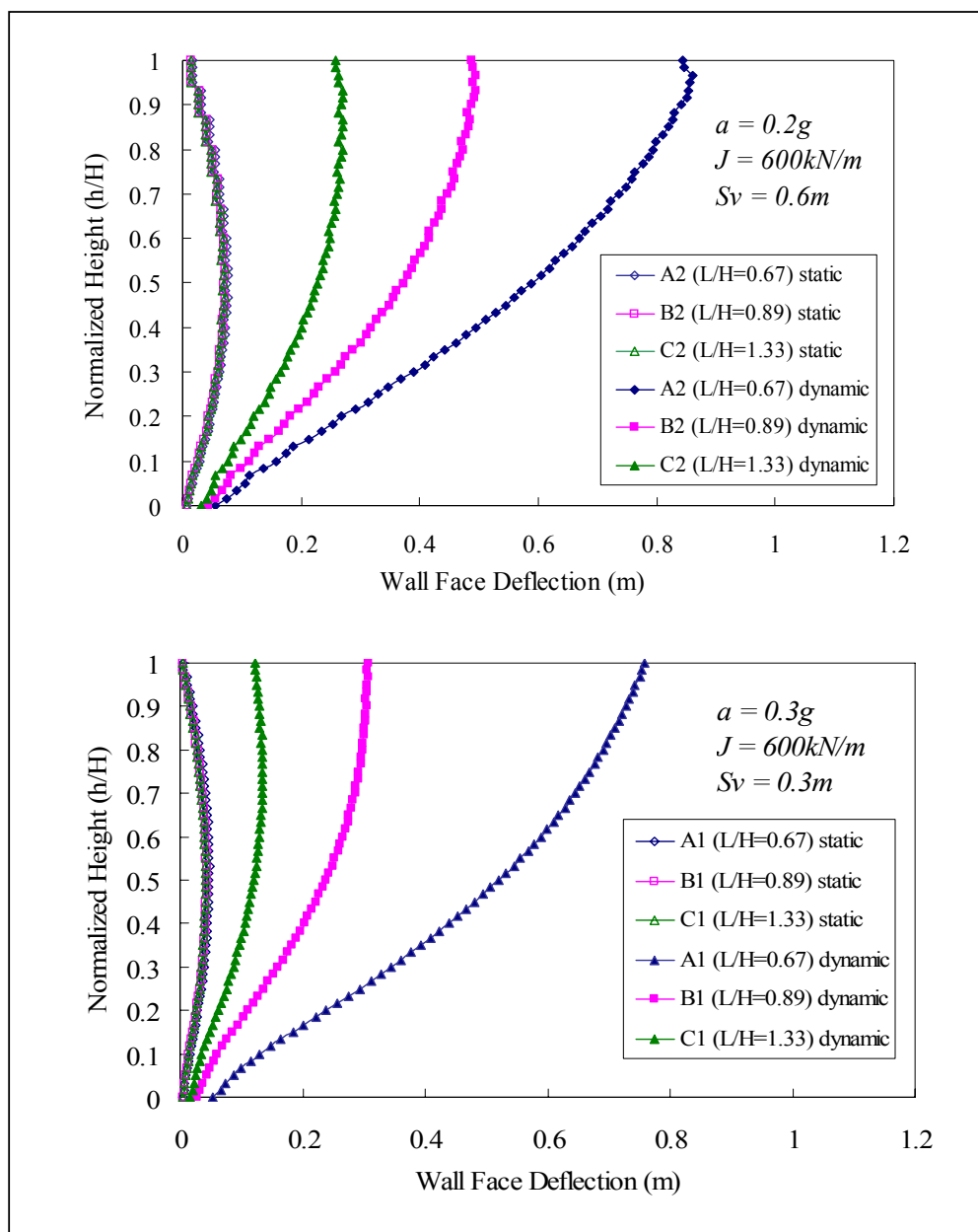


圖 5-10 動態作用下不同加勁長度牆面位移量

(陳建吾，2004)【27】

如圖 5-11 所示，動態作用下加勁結構的牆面變形量，在不同的加勁材料鋪設間距下，牆面的變位量隨著鋪設間距越大，牆面的變位量越大，圖 5-12 所示，當加勁材料勁度越高，其牆面變位量越小，圖 5-13 所示，則是將各層加勁材各段所受到的張力取平均值，可發現加勁材料勁度為 1800 kN/m 候，其最大的加勁張力約在牆高 0.25(h/H)處，而當加勁勁度越低時，所承受的最大張力位置會往上移動，此結果正呼

應加勁勁度越高時，各層加勁材受力大小差距越大。

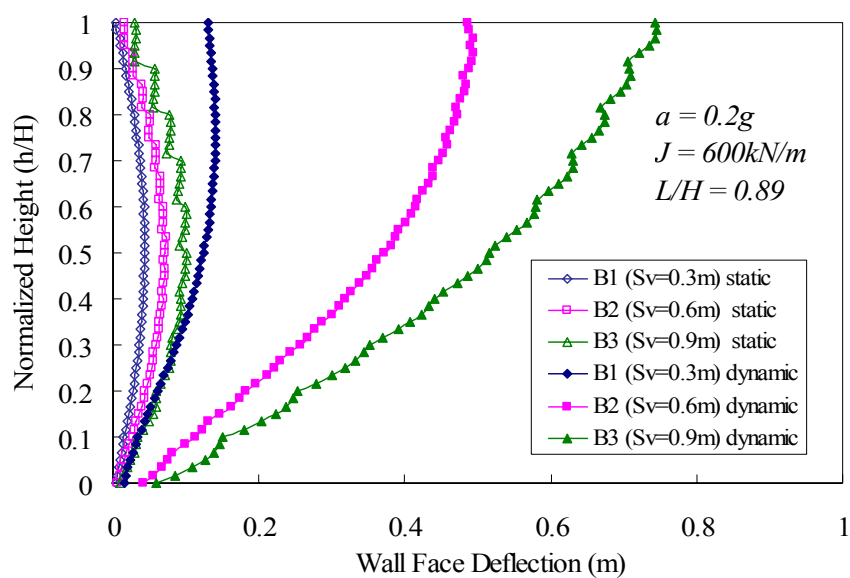


圖 5-11 動態作用下不同加勁材料鋪設間距牆面位移量

(陳建吾，2004)【27】

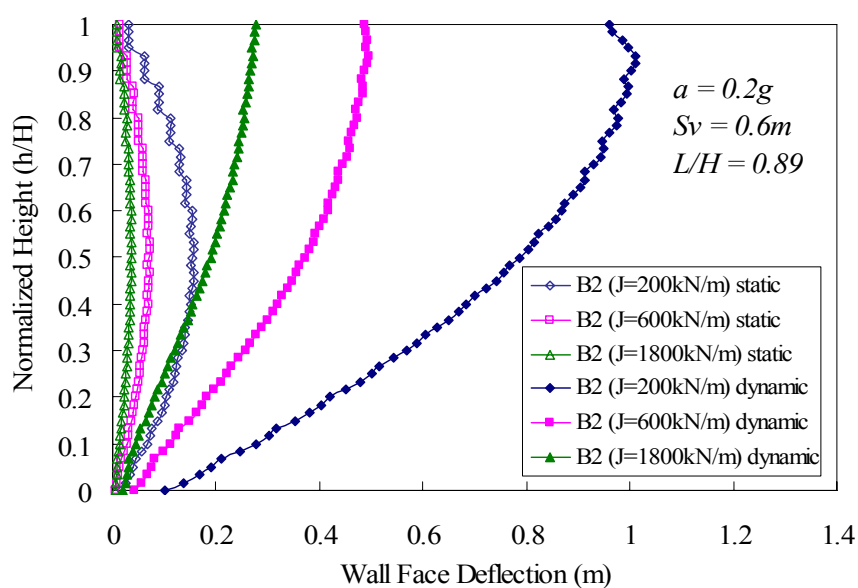


圖 5-12 動態作用下不同加勁勁度牆面位移量

(陳建吾，2004)【27】

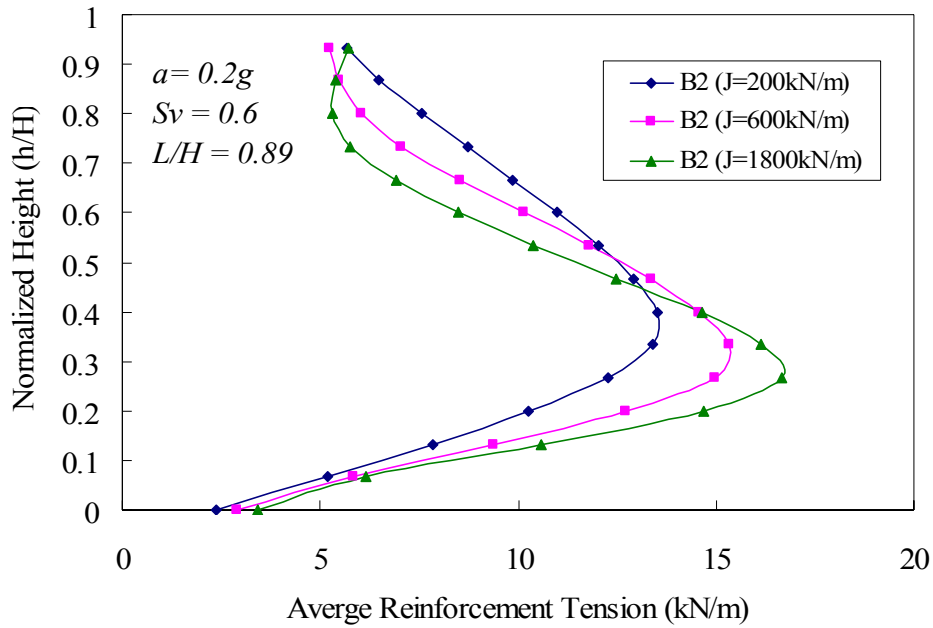


圖 5-13 動態作用下不同加勁勁度之各層加勁材料張力變化

(陳建吾，2004)【27】

5.3.3 小結

誠如上述資料彙整，本研究對於加勁擋土牆數值模型的開發與結構物動態行為之研究歷程進行通盤的整理與收集，然如章節中所述數值模型雖以開發完成，且接續數年的研究成果約略呈現加勁結構於動態狀況下的行為模式及設定各構築元件間的參數影響，但是仍侷限於行為趨勢分析研究，對於落實設計與實際行為模式仍顯不足，彙整如下所述：

1. 動態模型開發尚未完整，如加勁材料鋪設間距 (S_v)、鋪設長度及面版等因素並未納入廣泛討論。
2. 地震因子如頻率、地震延時等，未見納入分析工作。
3. 臺灣常使用之工程型態如多階邊坡、擋土牆分析模型尚未建立。
4. 動態設計所需之設計圖表尚未開發。

第六章 加勁擋土結構規範草案制訂 與審查

6.1 加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案 擬訂概述

本規範內容含蓋加勁擋土結構的定義、適用範圍，加勁擋土結構的應用與類型，以及規畫設計階段的現地調查重點與注意事項，然無論是設計者或是監造、施工單位對於所使用的材料應具有一定的瞭解與認知，因此規範內充分說明了構築加勁結構所需之各項材料性質與需求及其檢核項目與規定，如地工合成材料、回填土料、面版與聯接材料及排水材料的性質要求。

對加勁擋土結構的設計、分析進行闡述，說明設計階段所需注意的項目包含：基本設計、特殊結構設計，亦包含排水設計與耐震設計，使加勁擋土結構柔性、抗震之特殊功能性，在地震頻繁的臺灣地區發揮，此外加勁擋土結構新建成功的關鍵，除了適當的設計，正確的施工方式、程序亦不可少，建立加勁擋土結構標準施工程序是本規範內容之一，將施工章節分列為柔性面版、剛性面版施工程序並在章節最後加註施工品質管理計畫。

誠如上述，規範內容涵蓋學理、規畫調查、設計、施工、工程品質管理等，平鋪直敘的說明了一座加勁擋土結構產出歷程，並清楚註明維持工程品質的關鍵點，相關條文內容詳列於附件一。

6.2 規範草案專家審查會議歷程

為使本研究計畫成果能符合工程界預期，本執行單位透過專家座談與規範初審的方式廣納各方意見，使工程各個界面單位皆能充份參與並提供寶貴意見。本研究計畫案初審委員組成包含政府單位、學術單位、設計單位、施工單位、材料廠商以及相關協會公會等之專家共同參與，並執行規範草案初審工作。

其中共召開六次審查會，審查方式為以草案條文內容逐字審查為主，檢討規範內容與用字的適切性，再以書面複審的方式以求本規範草案的嚴謹。本草案為求審慎與嚴謹，草案審查委員邀集包含產、官、學界代表共同參與，以臺灣大學土木系陳榮河教授為召集人，邀請交通部路政司路工科藍維恭科長、交通部公路總局養路組陳進發副組長、暨南國際大學土木系劉家男副教授、海洋大學河海工程系簡連貴副教授、中央大學應用地質研究所董家鈞助理教授、臺灣世曦工程顧問股份有限公司周功台經理、中華地工材料協會郭勝雄理事、台北市大地技師公會賴世屏理事等人共同審查。

本次草案審查過程以研究單位提出草案內容，經學界代表進行勘誤，並由工程設計單位進行實用性的審查、修正，再由公務單位執行逐字審查已確認規範草案用字的適切性，同時亦請中華地工材料協會為廠商連絡窗口，並於審查會議中能充分反應產業界的需求。

第七章 加勁擋土結構示範工程驗證 案例解說

7.1 示範工程背景

本示範工程區域廣闊，工區延伸長度約達 1,200 公尺，擋土構造物最大高度達 13 公尺，面版型式包含：回包式柔性面版與預鑄式剛性面版，此工程為國內加勁擋土結構設計施工，有史以來最長的加勁擋土工程，故本研究案特別摘錄此工程計畫為示範案例進行解說。

本研究團隊為配合現地需求與施工狀況，將工作方向規劃分成施工前之設計檢核及施工中加勁材料與施工品質管理兩大項，以下各章節將敘明之。

7.2 設計檢核流程

7.2.1 設計檢核方法與工具

選擇重要斷面進行電腦程式檢討分析，檢核流程如圖 7-1 中所述，其亦為本規範草案第四章 4.1 圖。

本檢核資料依照設計圖說之幾何斷面及土層資料等設計概念，透過極限平衡法理論之 Ressa 及 MSEW 程式進行各項安全係數檢核。

7.2.2 加勁擋土牆設計檢核結果

一、設計斷面分析

填築土料	凝聚力	$C=1.0 \text{ T/m}^2=9.8 \text{ KN/m}^2$
	內摩擦角	$\phi=28^\circ$
	單位重	$\gamma=18.2 \text{ KN/m}^3$
岩層	凝聚力	$C=30 \text{ KN/m}^2$
	內摩擦角	$\phi=45^\circ$
	單位重	$\gamma=23 \text{ KN/m}^3$
加勁區回填土壤使用回填土料參數，基礎則採回填土料或岩層		

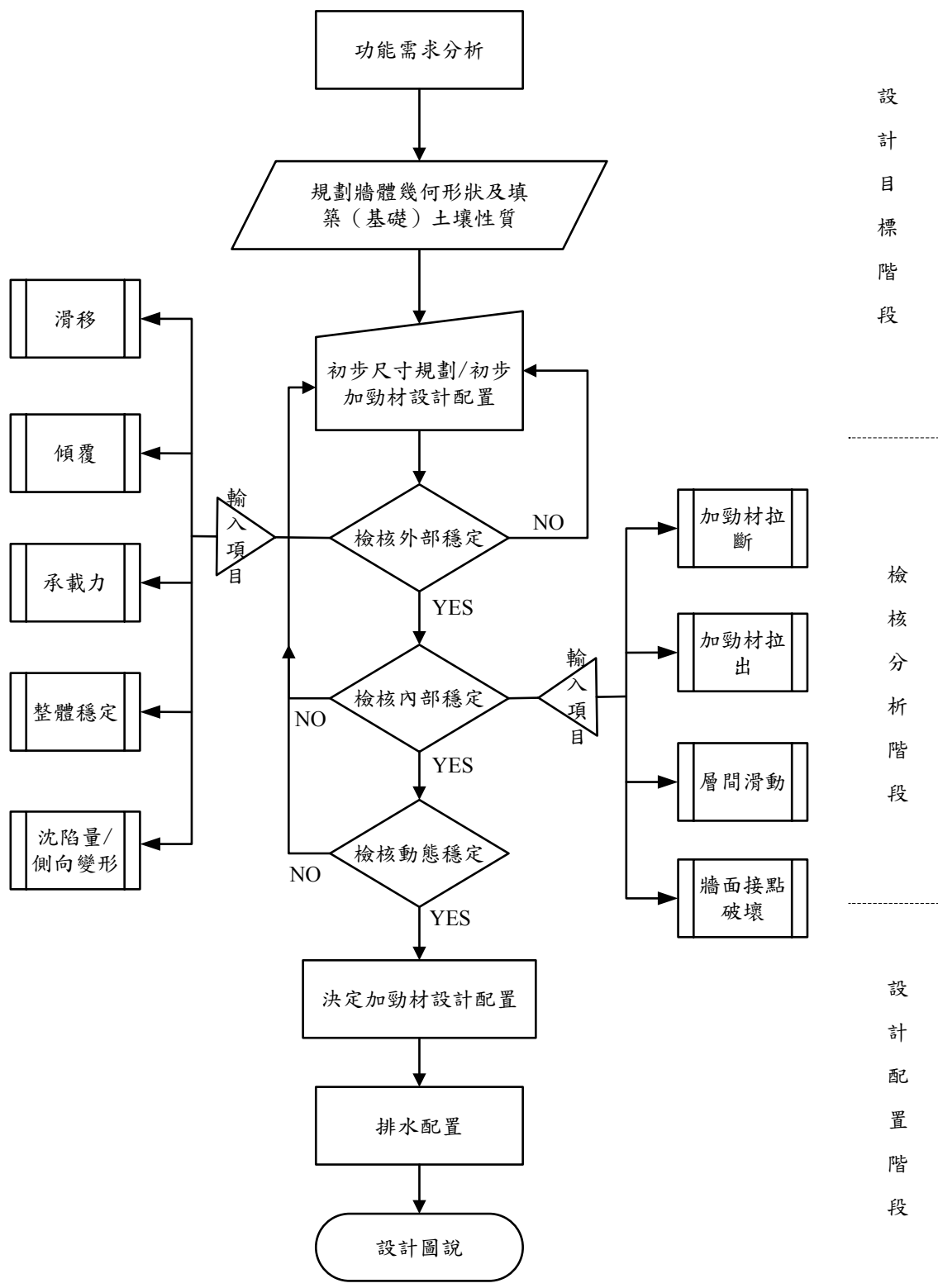


圖 7-1 加勁擋土牆設計流程圖

(本研究繪製)

二、斷面檢核成果

依據本案研究成果所草擬之規範草案「4.3 加勁擋土構造物設計要求表 4-1」，如下所示，本示範工程均能合乎規定。

破壞模式		靜態安全係數	動態安全係數
外部穩定	滑移破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	傾覆破壞	≥ 2.0	≥ 1.5
	承载力破壞	≥ 3.0	≥ 2.3
	整體穩定	≥ 1.5	≥ 1.1
內部穩定	加勁材拉出破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	加勁材拉斷破壞	$T_{\max} \leq T_d$	
1. T_{\max} : 設計最大側向拉力			
2. T_a : 加勁材料容許抗拉強度			
(註)1.地震狀態下之安全係數,係以 $FS \geq 75\%$ 的靜態 FS 為原則,且不得小於 1.0。			
2.內部穩定中層間滑動及牆面接點破壞,檢核條件為牆面修飾設計為剛性面版才需進行穩定檢核,其 $FS \geq 1.5$ 。			

7.3 材料選擇與檢驗

7.3.1 加勁材料品質檢驗規範與檢驗項目

依據本工程的施工規範及相關施工圖說，加勁材料進場檢驗項目與注意事項應符合如下所述之規定。

1. 出廠證明書及相關證明文件。
2. 目視檢查：格網之纖維束表面不得有斷裂、分離、保護層脫落等情形。
3. 完成品之堆置方法和狀態。
4. 材料性質，表 7-1 所示。

然如表 7-1 所述，各型式的加勁材料分別鋪設於不同高程之加勁擋土牆，且相關強度檢測參考依據仍以美國 ASTM 為主，同時本研究亦針對相關試驗要點摘錄之。

表 7-1 示範案例材料強度要求

項目	A 型	B 型	C 型	檢驗規範依據
縱向極限拉力強度	$\geq 400\text{KN/M}$	$\geq 210\text{KN/m}$	$\geq 140\text{KN/m}$	ASTM 6637 或 GRI-GG1
橫向極限拉力強度	$\geq 200\text{KN/M}$	$\geq 210\text{KN/m}$	$\geq 140\text{KN/m}$	
格網延伸率	$\leq 20\%$	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$	
網孔尺寸	20mm×20mm±15%			測微尺
開孔率（%）	51~79			AASHTO TASK FORCE 27
結點強度需符合	AASHTO TASK FORCE 27 (30 cm 長之結點剪力強度 \geq 單一肋條強度)			

三、單肋條抗拉檢測法（GRI-GG1）

GRI-GG1 加勁材料抗拉強度試驗規範為決定各種型式加勁格網單一肋條之抗拉強度及伸長行為之測定法，測試時需取用代表性試片，肋條需包含三個結點，二端點節點為提供夾具固定之用，典型試樣如圖 7-2 所示。

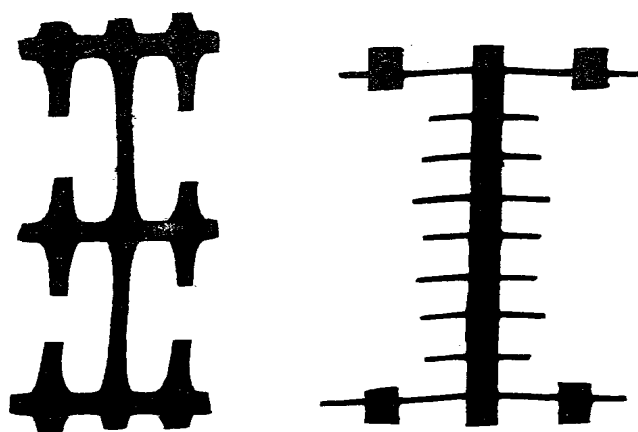


圖 7-2 典型加勁材料之單根肋條試體

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

四、加勁材料結點抗拉強度（GRI-GG2）

加勁材料結點抗拉強度試驗法，通常為地工格網之結點極限抗拉強度亦為其整體抗拉強度之考慮因素，本試驗法適用於測試格網單一結點之極限抗拉強度，試片需切割為 T 型如示圖 7-3 所示。

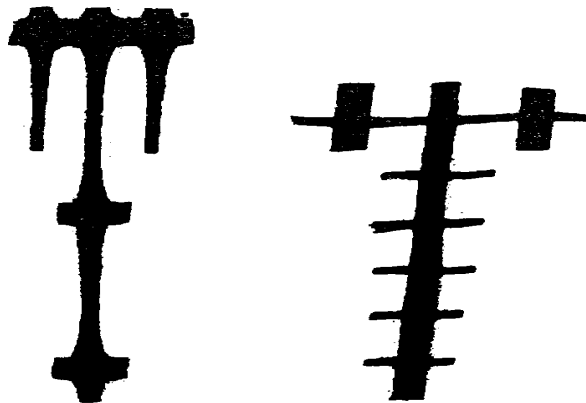


圖 7-3 加勁材料典型結點強度試樣

(修改自中華地工材料協會教材)【29】

7.3.2 加勁材料現場抽驗方法與自主檢查表

加勁材料一般以成捲的方式運交至工地，每捲加勁格網的尺寸不拘，每批運交至工地的材料在鋪設至定位之前應報請駐地工程師驗收檢驗以便核可使用。檢驗項目通常包含材料取樣送驗、認證證書及目視檢查。材料取樣送驗的方法可依 ASTM D-4354 辦理，所需取樣送驗的項目則依合約圖說的規定辦理，材料送驗後的結果是否符合規定則可依 ASTM D-4759 辦理。以下就針對本工程所使用之加勁格網說明其抽驗方式及材料之自主檢查表如表 7-2。

1. 檢驗時機：每種型式之加勁材料送至地工時，由現場人員提送檢驗申請單，同意後會同品管人員進行取樣。進場之材料經檢驗不合格後，立即作適當明顯之標記，以防誤用且須於三天之內出場。
2. 檢驗頻率：每 7000 m² 選取一組樣品檢驗，每次進料不足 7000 m²，則對該批進料進行乙組檢驗。
3. 檢驗依據：依本工程施工補充說明書、設計圖說及國家相關規範標準。

表 7-2 加勁材料自主檢查表

工程名稱： 供應廠商：隔網規格： <input type="checkbox"/> 140×140 <input type="checkbox"/> 210×210 <input type="checkbox"/> 400×200 隔網數量： m ² (捲) 抽驗數量： 組 (每7000 m ² 抽驗一組) 送貨日期：民國 年 月 日 抽驗日期：民國 年 月 日 試驗報告日期：民國 年 月 日 檢查結果說明： <input type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 缺點已改正 <input type="radio"/> X 不合格有缺點需要改善再確認					
項 目	檢 驗 項 目	管理標準	檢查結果	複查結果	備註事項
書 面 資 料	出廠證明				
	檢驗文件				
材 料 性 質	縱向極限拉力強度	合約規範			
	橫向極限拉力強度	合約規範			
	極限延伸率	≤15%			
	網孔尺寸	20 mm×20 mm±15%			
	網目開孔率 (%)	51~79			
	結點強度	合約規範			
堆 置	儲放場是否平坦				
	儲放場是否直接曝露於陽光下或其他紫外線				
	堆放方式是否適當				
	不同規格是否分別堆置				

7.3.3 預鑄式剛性面版檢核規範與現場抽驗方法

一、品質檢驗項目

本工程應採用符合設計圖說之混凝土產品，然依規定混凝土強度採 $f_c' = 315 \text{ kgf/cm}^2$ ，外側表面緻密光滑，其許可差長、寬皆於 $\pm 0.3 \text{ cm}$ ，不含造型之厚度 $\pm 0.15 \text{ cm}$ ，為確保品質、外觀與設計吻合，施工前應於現場進行試組立，高度約 3m、寬度 5m 以上，經監造單位認可後始進行全區施工作業。

二、現場抽驗與自主檢查表

預鑄面版供應商應於生產工廠內進行材料品質之自主檢查，其中於廠內澆置混凝土時，其品質與強度需求必須符合本工程施工規範，檢驗頻率則以每 150 m³ 混凝土至少抽樣一次，不足 150 m³ 部份仍抽樣 1 次，每次製作 3 個以上試體，而運送至工地現場之預鑄面版則應進行下述頻率之檢驗並填報自主檢查表，如表 7-3，以為後續材料管理用。

1. 檢驗時機：每種尺度之面版元件送至地工時，由現場人員提送檢驗申請單，同意後會同品管人員進行取樣。進場之材料經檢驗不合格後，立即作適當明顯之標記，以防誤用且須於三天之內出場。
2. 檢驗頻率：面版之外觀、形狀及尺度等檢查，以每批抽取一塊為原則，每批數量為 20 塊（相同尺度），不足 20 塊部分以一批計。面版之強度品質檢查，以每批抽取一塊為原則，每批數量為 40 塊（相同尺度），不足 40 塊部分以一批計。
3. 檢驗依據：依本工程施工補充說明書、設計圖說及國家相關規範標準。

表 7-3 預鑄式剛性面版材料自主檢查表

工程名稱：					
供應廠商：					
面版型式：					
面版數量： 塊					
抽驗數量： 塊（抗壓強度每40塊抽驗一塊，其餘每20塊抽驗一塊）					
送貨日期：民國 年 月 日					
抽驗日期：民國 年 月 日					
試驗報告日期：民國 年 月 日					
檢查結果說明： ○合格 △缺點已改正 X 不合格有缺點需要改善再確認					
項 目	檢 驗 項 目	管理標準	檢查結果	複查結果	備註事項
書面 資料	出廠證明				
	檢驗文件				
面 版 尺 寸	長度、寬度	偏差 $\leq\pm 3$ mm			
	不含造型之厚度	偏差 $\leq\pm 1.5$ mm			
	結合元件位置	偏差 $\leq\pm 25$ mm			
	面版的正方性	偏差 $\leq\pm 13$ mm（兩對角線的差距）			
	完工表面平整度（光滑）	偏差 $\leq\pm 2$ mm/1m			
	完工表面平整度（粗糙）	偏差 $\leq\pm 2$ mm/1m			
性質	抗壓強度	≥ 315 kg/cm ²			附報告
外 觀	是否有蜂窩、龜裂、撓曲				
	外側表面是否緻密光滑				
	表面顏色是否偏差				
	插銷數量及位置是否正確				
堆 置	儲放場是否平坦				
	堆放方式是否適當				
	不同規格是否分別堆置				

7.3.4 填築土料檢核規範與現場抽驗方法

使用於加勁擋土結構的填築土料，依不同的結構物型式而有不同的要求，一般加勁擋土牆及加勁邊坡的規定如下（AASHTO T-27，T-90，T-104）

一、加勁擋土牆加勁區填築土料

粒徑分佈 (AASHTO T-27) 【1】	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	100
No.40(0.425mm)	0~60
No.200(0.075mm)	0~15
塑性指數：(Plasticity Index) ≤ 6 (AASHTO T-90)	
健性：硫酸鎂健性損耗四循環 $\leq 30\%$ ，(AASHTO T-104)，或硫酸鈉健性損耗五循環 $\leq 15\%$ 。	

二、加勁邊坡加勁區填築土料

粒徑分佈 (AASHTO T-27) 【1】	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	75~100
No.4(4.76mm)	20~100
No.40(0.425mm)	0~60
No.200(0.075mm)	0~50
塑性指數：(Plasticity Index) ≤ 20 (AASHTO T-90)	
健性：硫酸鎂健性損耗四循環 $\leq 30\%$ ，(AASHTO T-104)，或硫酸鈉健性損耗五循環 $\leq 15\%$ 。	

三、現場抽驗方法與頻率

填築土料運至工地後，在鋪填於定位前，承造廠商應依合約圖說的規定，執行相關的檢驗項目，以確保土料規格符合要求。檢驗頻率建議每 1500 立方呎至少取樣一次。

7.4 施工程序與品質管控

7.4.1 回包式柔性面版施工程序與注意事項

本章節將依預鑄式剛性面版及回包式柔性面版的施工程序及流程分述如下，並說明各階段施工內容及注意事項。

如圖 7-4 為回包式柔性面版加勁擋土牆施工流程圖，其中整地階段須執行地面基礎層施作，且加勁材料鋪設、土包堆疊及回填土料夯實為循環工項，以下茲就各工程階段說明之。

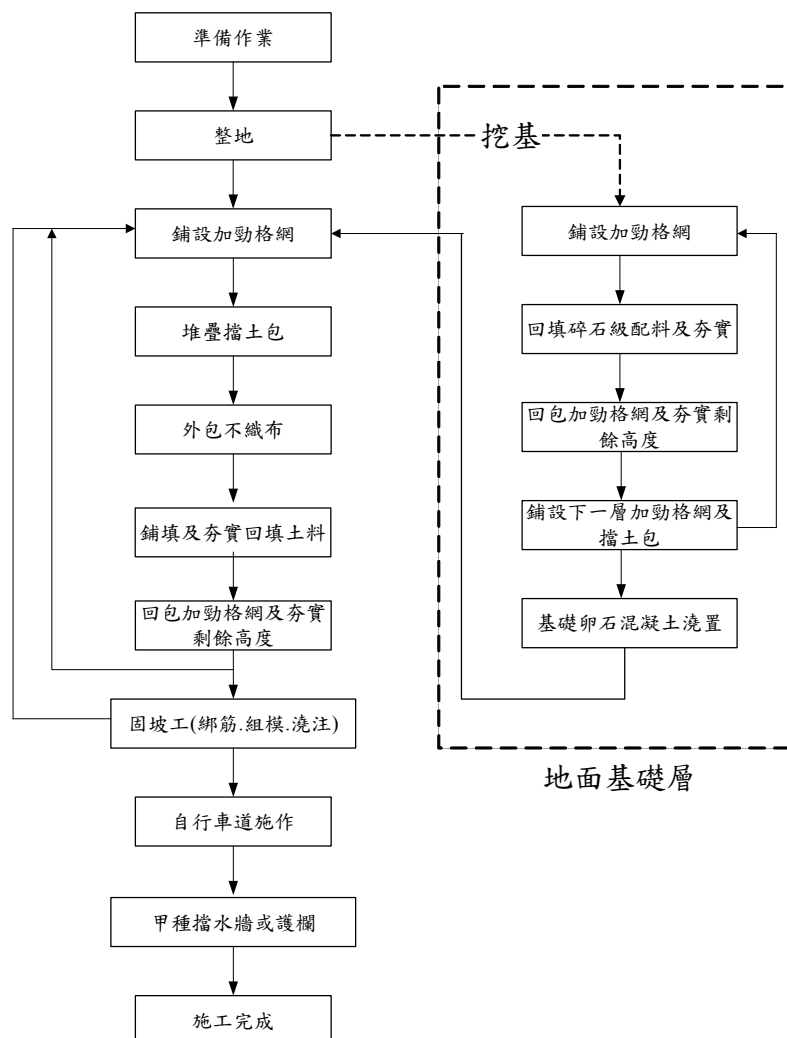


圖 7-4 回包式柔性面版施工流程圖

(本研究繪製)

一、開工報告

於開工前三天，向監造單位提送開工報告以供認可。開工後七日內會同業主主辦人員會勘實際地形無誤，再行施工。動工前先拍攝全工程施工前照片，施工期間各項工作、尤其隱蔽部分均應照相，以備工程驗收之依據。

二、準備工作

1. 材料堆置

依合約規定提供一安全、潔淨的場所，以供儲放加勁材料及其相關的施工材料(背填土料除外)。若儲放於露天場所時，則儲放場所以不受周遭環境的影響(如受高溫、污染、或其它有害的情形)為考量，避免加勁材料損傷。加勁材料盡可能儲放於平坦的地面，儲放時直立或水平堆置，堆疊高度以不嚴重壓扁底層之格網為原則，儲放地點不直接曝露於陽光下，或任何其它紫外線輻射下。加勁材料在儲放期間，若有遭受損害則應立即向工程師報告並請其檢視，經工程師認可者方得繼續使用，不合格者即明白標示，立即運離工地。

2. 測量放樣

依合約斷面尺寸進行測量放樣工作，並經監造單位核對無誤後，開始後續作業。

三、整地

依據設計圖說所指定的位置及高程，於擋土牆所座落之基礎位置進行開挖與整平工作，將有機物、植生、滑落的土石及其它不穩定的材質挖除，而凹窪地區則先以合適的填築土料回填並夯實至其具適當之承载力。

整地挖填時應注意開挖面的穩定性以避免意外發生。若開挖後的地質情況與原先設計預期不符時，則報請工程師決定地質改良或變更設計。

基礎面整平後，任何施工機具及車輛都不得於其上行走，以免擾動整平面。

四、鋪設加勁材料

本工程使用之加勁材料為軟式加勁格網，於基礎整平後，經駐地工程師校核位置、高程認可後，始依合約圖說指示，釘立控制樣版，拉妥準線，即可開始鋪設第一層加勁格網。每層格網之裁剪長度將考慮回包所需長度。加勁材料鋪設的方位、長度及高程應按合約圖說所指定的方式施做，其鋪設方位應以加勁格網之較大主應力方式垂直於牆/坡面為原則，且鋪設高程誤差不得大於 ± 25 mm，另外加勁格網間之搭接亦依合約圖說規定至少 10 cm 施作。

加勁格網鋪設後，將以合約圖說所指定或其它合適的方式予以固定，以免爾後的填土作業擾動其鋪設定位。加勁格網鋪設定位後，任何施工機具或車輛都不得行走其上。若為必須，則須經駐地工程師同意，並且於其上覆蓋至少 150 mm 的覆土，行車時速不大於 5 公里，行車方向以縱循或橫跨為原則，並不得急速轉彎、煞車或加速。無論如何載土卡車絕對禁止在加勁土區之上行駛。

加勁格網的剪裁，將以花剪、鋏剪或工程師核可之裁剪工具及方法剪裁。剪裁時不得損傷加勁格網性能。

五、堆疊擋土包及外包不織布

回包式柔性面版在鋪設加勁格網後，將利用加勁格網回包填土面以形成牆/坡面，因而必須在牆/坡面堆填土包，以便填築土料在鋪填夯實時不易崩落且在鋪填夯實後比較平整美觀。依合約圖說中 023/SW 所示要求，使尺寸約為 40×60 cm PE 網袋內填填築土料（包括碎石及有機肥土）而成。

擋土包堆疊後再利用重量少於 1 公噸的夯實機予以適當的夯實。為求擋土包堆疊後成平整美觀，可利用挖土機之挖斗面予以整平。由於土包的不規則性，其所堆疊後成型之牆/坡面的平整度，在加勁格網

回包後，其定量要求稍有困難，承造廠商參照 FHWA 建議其線型誤差仍不得大於 15 mm / m(水平或垂直向)，且其完工後整體垂直牆/坡面的線型容許誤差不得大於 8 mm / m，或經監造工程核可之容許誤差量。

未避免完工後因雨水的沖刷，細顆粒土壤流失而造成牆/坡面的不穩定，將依合約圖說要求，在填築土料及加勁格網之間加鋪一層不織布。

六、鋪填及夯實填築土料

1. 鋪填填築土料

除業主或監造單位另有指示，鋪填土料皆為符合合約規範所指定成份，並排除含有淤泥、黏土塊、尖銳或粒徑超過 20 cm 石塊、樹根、有機物、不存在於自然土壤之化學物質與微生物。

於加勁格鋪設後，除非天雨或另有其他規定，鋪覆土料時間將不遲於 72 小時。

填築土料的鋪填將以推土機沿著平行牆/坡面的方式逐漸鋪填，嚴禁運土卡車直接傾倒於加勁材料之上。如遇工作面限制，則改採用挖土機鋪填土料，挖斗放置土料的放落高度不超過 1m。

每層填土料夯實前，將先修改成略水平，夯實後之平整度同基礎面平整度要求。每層填築土料的鋪填厚度依合約圖說規定或加勁材料的鋪設間距做調整，但是最大的鋪填厚度以不超過 300 mm 為原則。

2. 夯實填築土料

填築土料鋪填後將以合適的夯實機具進行滾壓夯實，在距離牆/坡面 1.5 m 以內的區域則使用重量小於 1 公噸之小型夯實機具進行夯壓。夯實土料時，夯實機具的行進方向應以平行於牆/坡面的方式進行。使用震動型滾壓機時，於原地停留時間控制在不超過 5 秒以上。

夯實後之高程控制在誤差不大於 50 mm 之設計高程。對於含水量與壓密度之控制則遵照合約圖說上所載辦理。

七、回包加勁材料及夯實剩餘高度

當分層填土及夯實至後續加勁格網的鋪設高程時，則將先前所預留的加勁格網回包段翻折至牆/坡面後方以形成回包坡面。且加勁格網依合約圖說所規定的方法予以固定。加勁格網的回包段將以適當的方法予以拉襯，俾使得回包後的坡面平整美觀，完工後的回包坡面，對於平整度之容許誤差控制在不大於 15 mm/m（重要性結構物）。

依據合約圖說所規定的高程，按前面施工步驟重複鋪設加勁格網，堆疊土包、外包不織布、填與夯實填築土料等工作，直到合約圖說所指定的完工高程為止。

施作至最後一層之加勁格網回包並向下埋置至少 300 mm，且回包長度至少 2.5m。

7.4.2 預鑄式剛性面版施工程序與注意事項

如圖 7-5 為預鑄式剛性面版加勁擋土牆施工流程圖，其中於面版組立前需完成整地及牆底排水設置，且加勁材料鋪設、透水礫石包堆疊及回填土料夯實為循環工項，以下茲就各工程階段說明之。

一、開工報告

於開工前三天，向監造單位提送開工報告以供認可。開工後七日內會同業主主辦人員會勘實際地形無誤，再行施工。動工前先拍攝全工程施工前照片，施工期間各項工作、尤其隱蔽部分均應照相，以備工程驗收之依據。

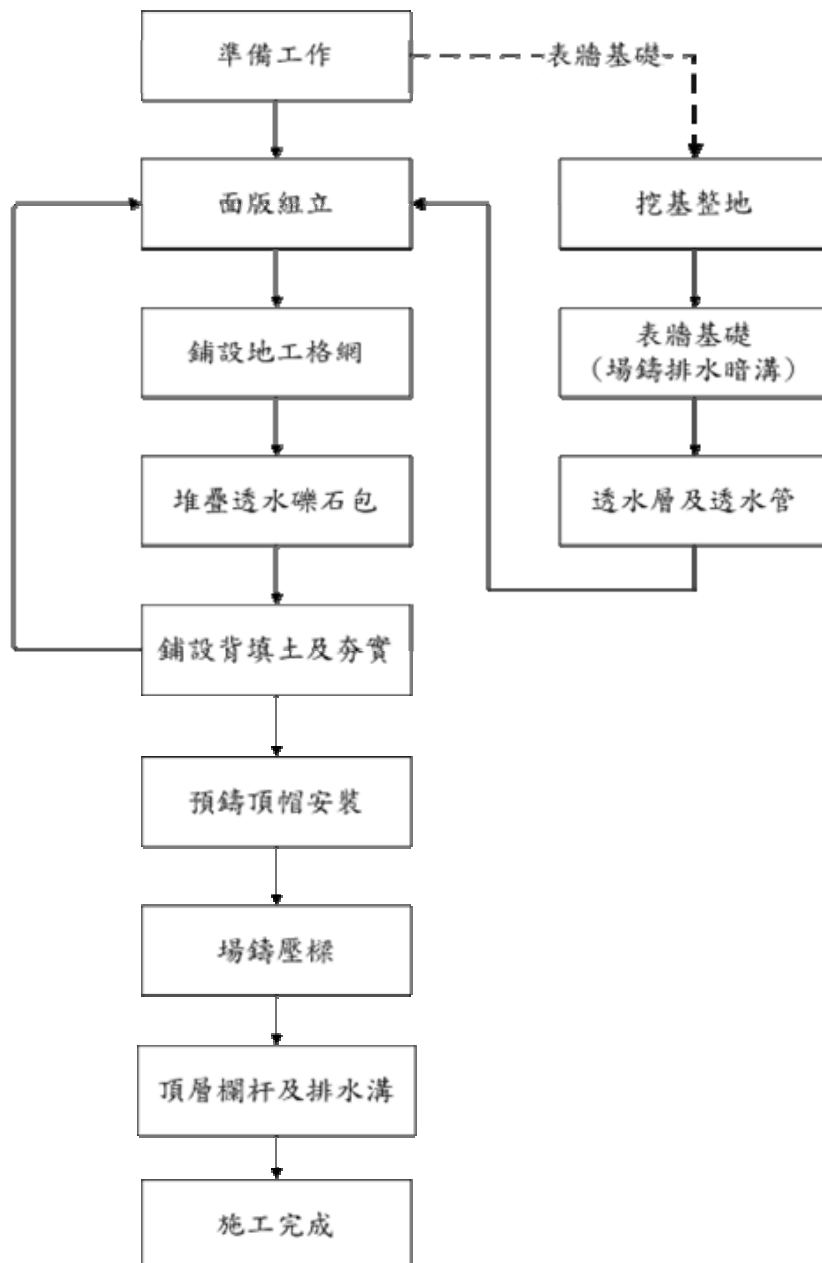


圖 7-5 預鑄式剛性面版施工流程圖

(本研究繪製)

二、準備工作

1. 材料堆置

依合約規定提供一安全、潔淨的場所，以供儲放加勁格網及其相關的施工材料(背填土料除外)。若儲放於露天場所時，則儲放場所所以不受周遭環境的影響(如受高溫、污染、或其它有害的情形)為考量，避免加勁材料損傷。加勁材料盡可能儲放於平坦的地

面，儲放時直立或水平堆置，堆疊高度以不嚴重壓扁底層之格網為原則，儲放地點不直接曝露於陽光下，或任何其它紫外線輻射下。加勁材料在儲放期間，若有遭受損害，則立即向駐地工程師報告，請其檢視。經工程師認可者方得繼續使用，不合格者即明白標示，並立即運離工地。

預鑄面板之現場堆置亦配合工作面展開，將所需各型式預鑄面板堆置適當場所。

2. 測量放樣

依合約斷面尺寸進行測量放樣工作，並經監造單位核對無誤後，開始後續作業。

三、挖基整地

依據設計圖說所指定的位置及高程，於擋土牆所座落之基礎位置進行開挖與整平工作，將有機物、植生、滑落的土石及其它不穩定的材質挖除，而凹窪地區則先以合適的填築土料回填並夯實至其具適當之承载力。

整地挖填時應注意開挖面的穩定性以避免意外發生。若開挖後的地質情況與原先設計預期不符時，則報請駐地工程師決定就地地質改良或變更設計。

基礎面整平後，任何施工機具及車輛都不得於其上行走，以免擾動整平面。

整平基墊的位置及高程將業主或相關監造單位校驗後始得進行下一施工步驟。整平基墊其 28 天的混凝土抗壓強度需達 13.8 MPa。澆置後至少養護 12 小時。其完工面的平整度與其設計高程的誤差控制在不大於 3 mm。

四、表牆基礎

本計畫將依照設計圖說要求，以暗溝為表牆基礎，其基礎頂面維持水平，準確度及基礎承载力則遵照相關設計圖說與規範辦理，相關檢核分析亦報請業主或相關監造單位核準後，始進行作業。

位於斜坡上之加勁擋土牆基礎將配合入土深度及維持水平，施作成階梯式基礎，階梯之間三角形開挖部分使用混凝土填滿。

五、透水層及透水管

透水層內每 300 cm 埋設一支 10 ψ 以不織布包裹之 HDPE 透水管，管長與地工格網長度相同。管之接頭應緊密，管尾以不織布封口，以防止土砂流入管內。管維持 2~3% 坡度，使水能順利流入基礎暗溝中。

六、面版組立

預鑄混凝土面版將利用起重設備，依照施工圖對正整齊排列，吊裝時特別注意面版稜角碰撞問題，如有破損即不予採用。參考步驟如圖 7-6 所示。

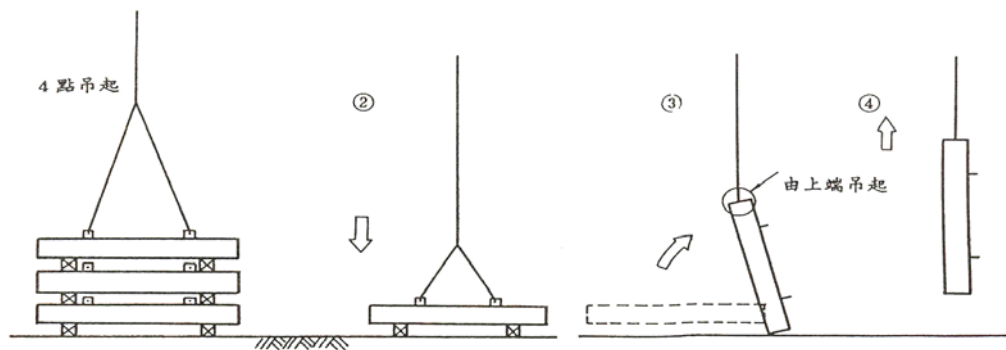


圖 7-6 面版吊裝步驟示意圖

(摘錄自 FHWA)【10】

施工時之牆面將先預作傾斜度，傾斜度雖與填料性質及滾壓程度有關，大體上以木楔調整使其向後傾斜 $1\pm0.5\%$ ，使完成後之牆面大致可保持垂直。第三層以上面版組立時，可視狀況使用重鎚、經緯儀及水管等調校面版垂直度。如圖 7-7 所示。

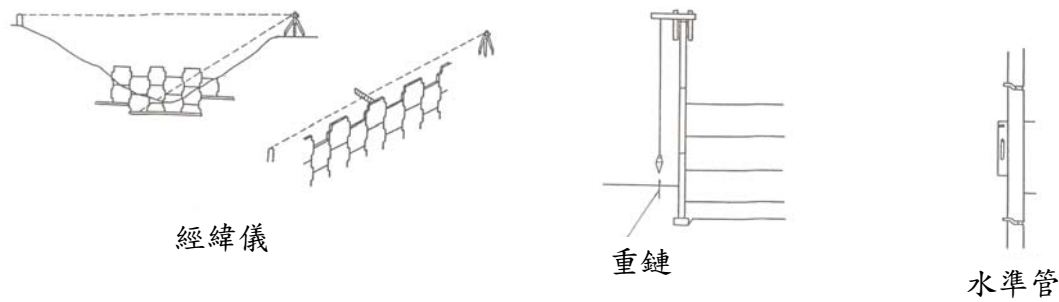


圖 7-7 面版垂直度控制

(摘錄自 FHWA)【10】

七、鋪設加勁材料

本工程使用之加勁材料為軟式地工格網，依照設計圖說所要求之尺寸，正確地分層水平鋪設，避免凹凸不平，其鋪設方位以與牆面垂直為原則（加勁格網之較大主應力方式垂直於牆/坡面），其縱向不得搭接或續接。決不允許因基礎開挖困難或施工便捷性而將其彎折或扭曲。若於開挖時發現有設計圖說未標示之埋設物或既有構造物，則報請業主或相關監造單位核準適當之地工格網鋪設長度。

依現行設計圖說中所示，可知加勁格網擋土牆後方存在結構物情況，其鋪設長度及穩定性考量將報請業主或相關監造單位指示。若長度之調整可能影響牆之穩定性時，將遵照業主施工說明書中所載，可以增加「回包式工法」達成安全穩定之目的。

地工格網鋪設如遇轉角處及與其他構造物銜接處可能與牆面無法垂直時，均遵照設計圖說之規定要求或報請業主、相關監造單位指示辦理。

八、堆疊透水礫石包

遵照設計圖說要求，配合每層土料回填，於牆背壘砌碎石包，寬度約 30 cm。碎石包與面板背面緊靠，使地工格網回包時與面板間無空隙。碎石包可形成一透水層，其碎石料規格如透水礫石料。如圖 7-8 所示。

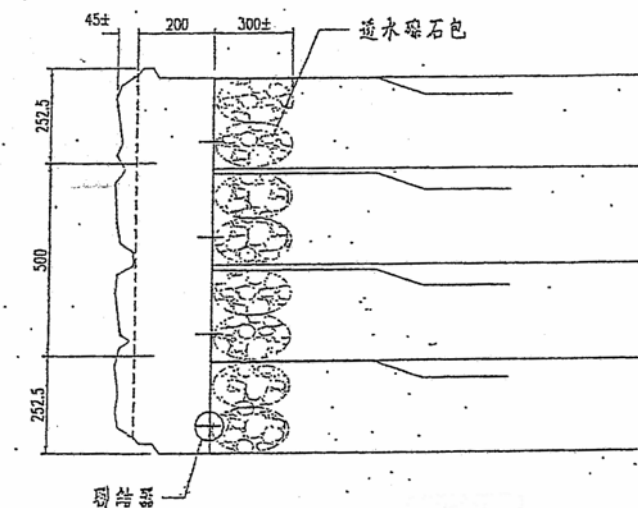


圖 7-8 透水礫石包堆疊示意圖

(本研究蒐集)

九、鋪設填築土料及夯實

鋪設填築土料應符合設計圖說所指定成份，並排除含有淤泥、黏土塊、尖銳或粒徑超過 20 cm 石塊、樹根、有機物、不存在於自然土壤之化學物質與微生物。另外，於加勁材料設後，除非天雨或另有其他規定，鋪覆土料時間將不遲於 72 小時。然施工機械遵照設計圖說所載要求如下：

1. 與牆面平行行駛。
2. 重型機械離開牆面 1.5 m 外行駛。
3. 出料與整平方式為自牆面向內側循序進行。
4. 在地工格網鋪設區內不急轉彎。
5. 無填料覆蓋之地工格網上不可行駛。

填築土料鋪填後將以合適的夯實機具進行滾壓夯實，為防止面板外傾，在距離牆/坡面 1.5 m 以內的區域將使用重量小於 1 公噸之小型夯實機具進行夯壓，絕對禁止重型施工機械行駛。此範圍內由人工填土夯實土料時，如圖 7-9 所示，應同時檢查牆面垂直度，如有不妥應隨時矯正。



圖 7-9 近牆面區填築土料夯實示意圖

(摘錄自 FHWA)【10】

7.4.3 加勁擋土牆施工品質管理要領

為確保本工程之品質無虞，將依相關規定嚴格要求品管人人員依實際施工情形據實填報施工自主檢查表，本工程之施工檢驗作業標準流程如圖 7-10 所示。

本節將針對回包式與預鑄式面版擋土結構施工工項之查驗進行說明，然本研究摘錄於加勁材料與預鑄面版施工管理要點，如表 7-4、7-5 所述，其餘工項之施工查驗將依本工程之施工補充說明書、設計圖說及相關國內標準進行。

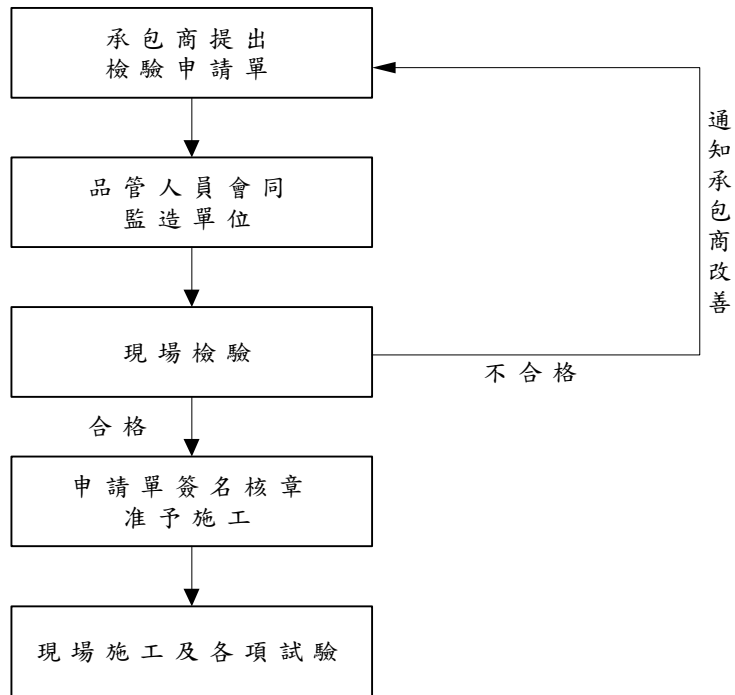


圖 7-10 工程施工檢驗流程圖

(本研究繪製)

表 7-4 加勁材料施工品質管理要領和標準

工程項目		管 理 要 領						管 理 記 錄
		管理項目	管理標準	檢查時間	檢查方法	檢查頻率	不合標準值 之處置方法	
計畫階段	瞭解工程設計圖說	掌握設計圖之內容	確認施工要點	施工要領決定前				審核施工計畫
	製作施工計畫及施工圖	施工計畫、施工圖之內容	施工條件、檢查標準值之核定	施工要領決定前	由專業技師認定是否合格	再檢討修訂	計畫圖說及施工圖	
	決定施工要領	施工要領之內容	掌握施工要要，檢查標準值之確認	加工前			再檢討修正	
施工階段	材料進場	格網之規格、尺寸、數量	核對訂貨單內容	卸貨前	核對訂貨單目視	運入工地時	退貨	
		縱向、橫向極限拉力強度及結點強度	設計規範	卸貨前	抽樣送驗	每 7000 m ²	重新取樣或退貨	試驗報告
		極限延伸率	≤15%	卸貨前	抽樣送驗	每 7000 m ²	重新取樣或退貨	試驗報告
		網孔尺寸	20mm×20mm±15%	卸貨前	以尺丈量、目視	每 7000 m ²	重新取樣或退貨	試驗報告
		網目開孔率	51~79	卸貨前	以尺丈量、目視	每 7000 m ²	重新取樣或退貨	試驗報告
		格網之堆置方法和狀態	儲放場宜平坦、避免直接曝曬、堆放高度	堆置期間	目視	每次卸貨或成品堆置時	再加強儲放場所保養	自主檢查表
	格網鋪設	加勁隔網鋪設方位	垂直牆面	施工中	目視	每一層	修正	施工照片及自主檢查表
		加勁隔網鋪設長度	設計圖說	施工中	以尺丈量、目視	每一層	修正	
		加勁隔網鋪設高程誤差	<±25 mm	施工中	經緯儀	每一層	修正	

表 7-4 加勁材料施工品質管理要領和標準(續)

工 程 項 目		管 理 要 領						管 理 記 錄
		管理項目	管理標準	檢查時間	檢查方法	檢查頻率	不合標準值之處置方法	
施工階段	格網鋪設	加勁隔網鋪設後平整度		施工中	目視	每一層	回填土重新壓實	施工照片 自主檢查表
		加勁隔網與面版之接合	合約規範	施工中	目視	每一層	修正	
		加勁隔網回包長度	$\geq 2 \text{ m}$	施工中	以尺丈量、目視	每一層	修正	
		加勁隔網搭接長度	$\geq 100 \text{ mm}$	施工中	以尺丈量、目視	每一層	修正	
		最後一層回包長度	$\geq 2.5 \text{ m}$	施工中	以尺丈量、目視	每一層	修正	
		最後一層向下埋置深度	$\geq 300 \text{ mm}$	施工中	以尺丈量、目視	每一層	修正	
	不織布鋪設	不織布外觀檢視	有無損毀	施工中	目視	施工中	更換	施工照片 自主檢查表
		不織布鋪設方位	垂直牆面	施工中	目視	施工中	修正	
		不織布鋪設長度	設計圖說	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
		不織布回包長度	設計圖說	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	

表 7-5 預鑄式面版吊裝施工品質管理要領和標準

工 程 項 目		管 理 要 領						管 理 記 錄
		管理項目	管理標準	檢查時間	檢查方法	檢查頻率	不合標準值之處置方法	
計畫階段	瞭解工程設計圖說	掌握設計圖之內容	確認施工要點	施工要領決定前				審核施工計畫
	製作施工計畫及施工圖	施工計畫、施工圖之內容	施工條件、檢查標準值之核定	施要要領決定前	由專業技師認定是否合格	再檢討修訂	計劃圖說及施工圖	
	決定施工要領	施工要領之內容	掌握施工要要，檢查標準值之確認	施工前			再檢討修正	
	製作牆面展開及面版分塊圖	牆面展開及面版分塊圖內容	確認面版數量、尺寸、位置	施工前	送至監造單位認可		修正加工圖	
施工階段	材料進場	面版尺寸與外觀	設計規範	卸貨前	以尺丈量、目視	每 20 塊	重新取樣	自主檢查表
		面版抗壓強度	設計規範	卸貨前	鑽心取樣	每 40 塊	重新取樣	試驗報告
		面版之堆置方法和狀態	防止面版受損	堆置期間	目視	每次卸貨或成品堆	再加強堆置場所保養	自主檢查表
	面版吊裝	面版吊掛方式	施工計畫書	施工中	目視	施工中	修正	施工照片 自主檢查表
		臨時支撐架	施工計畫書	施工中	目視	施工中	修正	
		固定夾板	施工計畫書	施工中	目視	施工中	修正	
		水平與垂直線形	≤20mm/3m	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
		兩面版之間隙	19mm±6mm	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	

表 7-5 預鑄式面版吊裝施工品質管理要領和標準(續)

工 程 項 目		管 理 要 領						管 理 記 錄
		管理項目	管理標準	檢查時間	檢查方法	檢查頻率	不合標準值之處置方法	
	垂直接縫施工	裁剪不織布	依圖說檢核尺寸 寬度大於 25cm	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	施工照片 自主檢查表
		黏貼不織布	依設計圖說確認位置	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
		放置垂直填塞片	依設計圖說檢核尺寸及位置，5cm 泡棉	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
	水平接縫施工	裁剪不織布	依設計圖說檢核尺寸寬度大於 12.5cm	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	施工照片 自主檢查表
		黏貼不織布	依設計圖說確認位置	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
		放置軟木水平接縫墊條	依設計圖說檢核尺寸及位置，2×12×75cm	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
	垂直伸縮縫施工	裁剪不織布	依設計圖說檢核尺寸	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	施工照片 自主檢查表
		黏貼不織布	依設計圖說確認位置	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	
		放置預鑄墊條	依設計圖說檢核尺寸及位置	施工中	以尺丈量、目視	施工中	修正	

7.5 問題與對策集錦

問題一、面板與加勁材料連結構件標準圖說敘明請施工單位提送連結構件細部設計及施作方式，應如何解決？

解決對策：

面版與加勁材料連結的目的為，當側向力產生時除面版間的插銷連結外，亦有版後加勁材料可提供阻抗，預防面版掉落，因此連結構件需經過設計使其足以抵抗側向應力。

本構件施作方式為預鑄面版澆灌時，將連接構件焊入使其與面版成為一體如圖 7-11 所示，並進行構件拉力試驗以檢核之，如圖 7-12 所示。



圖 7-11 面版連結構件施作示意圖

(本研究拍攝)



圖 7-12 面版連結構件拉力試驗

(本研究拍攝)

問題二、預鑄式剛性面版組立施工依設計圖說規定，面版間需配置緩衝材料軟木片，然該材料取得困難且成本高，是否可採用其他替代材料？

解決對策：

面版間配置緩衝材料的目的為，避免混凝土面版間相互碰撞擠壓造成破裂損壞，因此只要尋找同樣功能之材料經工程司核可即可採用。

緩衝材料需滿足規定如下：

物理性	規範值
密度， g/cm^3	0.23~0.35
壓縮載重（50%壓縮時）， kgf/cm^2	3.4~103.5
復原率（50%壓縮時），%	90 以上
擠出量（50%壓縮時），mm	6.4 以下

經測試結果，本項緩衝材料可以國內生產之 2cm 橡膠墊片取代之，因此面版水平接縫可鋪設此材料，已達到牆體某種程度的柔軟性，如圖 7-13 所示。



圖 7-13 面版水平接縫緩衝材料示意圖

（本研究拍攝）

問題三、就施工說明書中所規範之填築材料粒徑，現階段本工程鄰近料源供應區所提供之最大粒徑均大於規範值，為求工程進度順利，可否放寬最大粒徑規定？

解決對策：

規範填築土料的目的為，避免因粒徑過大或過小而影響加勁材料與填築土料間的互制作用，同時避免夯壓時過大的粒徑造成加勁材料損傷，而影響構造物整體的穩定性。

因此若要放寬最大粒徑規範，應參考 ASTM D5818 進行施工損傷試驗，且放寬後的填築土料，不可使用於預鑄式剛性面版加勁擋土牆之加勁區，但仍可鋪設於回包式柔性面版擋土結構。

問題四、加勁材料鋪設時遇上管線人孔或其他構造物阻斷原鋪設長度，應如何處理？

解決對策：

加勁構造物頂層設置其他構造物，對於整體靜態穩定並無太大的影響，然仍須考慮地震狀態下的穩定分析，因此建議於加勁材料與管線人孔間加設錨碇扣件或以土包袋施作回包，如圖 7-14(a)(b)。



圖 7-14(a)與其他構造物設置示意 圖 7-14(b)與其他構造設置側面圖

(本研究拍攝)

第八章 加勁擋土結構規範草案納入 部頒規範作業建議

本研究團隊於編定完成「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案」，並完成專家、學者初步審查與修正，然而為使本規範能被工程單位廣泛應用，團隊將彙整交通部部頒規範，從中提出各規範內容適合納入加勁擋土結構部份，以為後續規範修正參考。

依據交通部公布之相關資料，歷年部頒交通技術標準規範項目類別為，公路、鐵路、港務、捷運、電信、航空、氣象與郵政等，相關彙整如表 8-1，其中與本規範相關之類別為公路與鐵路，因此本研究團隊將針對此兩類別規範內容進行審視，尋求加勁擋土規範適當納入部份，以下茲就各部頒規範適合納入部份進行分別說明。

表 8-1 交通部頒布規範彙整表

類別	規範項目名稱	頒布日期	規範部頒文號
公路	公路景觀設計規範	96 年 12 月 13 日	交技()字第 0960011797 號
	公路工程施工規範	93 年 04 月 30 日	交技()字第 0930004518 號
	柔性鋪面設計規範	93 年 01 月 31 日	交技()字第 0910000988 號
	交通工程手冊	93 年 01 月 16 日	交技()字第 0930000719 號
	公路隧道設計規範	92 年 12 月 01 日	交技()字第 0920012627 號
	公路排水設計規範	90 年 01 月 12 日	交技(90)字第 000481-2 號
	公路路線設計規範	90 年 01 月 12 日	交技(90)字第 000481 號
	公路橋梁設計規範	90 年 01 月 12 日	交技(90)字第 000481-1 號
	公路橋梁耐震設計規範	89 年 01 月 07 日	交技(89)字第 003577 號
	公路養護手冊	77 年 03 月 10 日	交技()字第 0920010402 號
鐵路	鐵路橋梁耐震設計規範	96 年 01 月 09 日	交技()字第 0960000389 號
	高速鐵路車輛技術標準規範	95 年 12 月 13 日	交技()字第 960000057 號
	1067 公厘軌距軌道橋隧檢查養護規範	95 年 08 月 30 日	交技()字第 0950008363 號
	一四三五公厘軌距鐵路長鉚鋼軌鋪設及養護規範	95 年 01 月 27 日	交技()字第 0950001256 號
	鐵路橋梁設計規範	93 年 12 月 27 日	交技()字第 093013259 號
	1067 公厘軌距鐵路長鉚鋼軌鋪設及養護規範	92 年 10 月 24 日	交技(92)字 920010954 號
	鐵路號誌設備維修規範	75 年 06 月 16 日	交技(75)字第 014104 號
	鐵路機務材料規範	75 年 02 月 19 日	交技(75)字第 003878 號
	電氣動力車檢修規範	73 年 03 月 27 日	交技(73)字第 0062294 號
	鐵路變電站維修規範	73 年 02 月 15 日	交技(73)字第 003051 號
港務	港灣構造設計基準-碼頭設計基準及說明	89 年 05 月 08 月	交技(86)字第 005123 號
	港灣構造設計基準-防波堤設計基準及說明	85 年 03 月 04 月	交技(85)字第 001217 號
捷運	捷運系統建設技術標準規範	95 年 12 月 05 日	交技()字第 0950011801 號
	捷運軌道車輛技術標準-高運量鋼軌車輛規劃準則	92 年 06 月 18 日	交技()字第 0920006381 號
電信	用戶專用交換設備審驗規範	74 年 01 月 10 日	交技(73)字第 028591 號
	用戶專用交換機工程施工工日規範	74 年 01 月 10 日	交技(73)字第 028591 號

8.1 公路橋梁設計規範

本規範撰寫分為八章，其中第四章下部結構與擋土牆，主述各公路橋梁構築要件的設計規範共 10 節，建議增列 1 節為 4.11 加勁擋土牆，並納入本研究成果第四章加勁擋土構造物設計與分析，建議納入內容如下。

4.11 加勁擋土牆

A.使用

加勁擋土牆通常適用於任何考慮採用傳統式擋土牆工址，特別是在預期有大量整體沉陷或差異沉陷的位置，大部分的工程設計還是以填方工程為主，若為挖方工程則不建議使用之。

B.設計

加勁擋土牆設計流程圖如下：

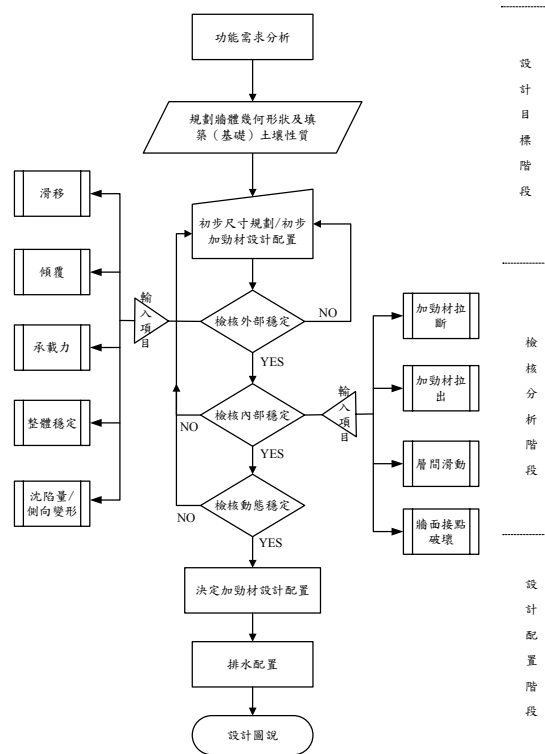


圖 4.1 加勁擋土牆設計流程圖

C.設計、檢核

加勁擋土牆安全係數彙整

(FHWA, 2001 及台北市土木技師公會, 2004)

破壞模式		靜態安全係數	動態安全係數
外部穩定	滑移破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	傾覆破壞	≥ 2.0	≥ 1.5
	承载力破壞	≥ 3.0	≥ 2.3
	整體穩定	≥ 1.5	≥ 1.1
內部穩定	加勁材拉出破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	加勁材拉斷破壞	$T_{\max} \leq T_d$	
1. T_{\max} :設計最大側向拉力			
2. T_d ：加勁材料容許抗拉強度			

- (註) 1. 地震狀態下之安全係數，係以 $FS \geq 75\%$ 的靜態 FS 為原則，且不得小於 1.0。
2. 內部穩定中層間滑動及牆面接點破壞，檢核條件為牆面修飾設計為剛性面版才需進行穩定檢核，其 $FS \geq 1.5$ 。

D.耐震

加勁擋土牆之耐震設計建議仍採擬靜態動態土壓力方法。

註：地表最大加速度可參考建築技術規則、建築物耐震設計規範或可參考 FHWA, 2001；NCMA, 1990。

E.沈陷

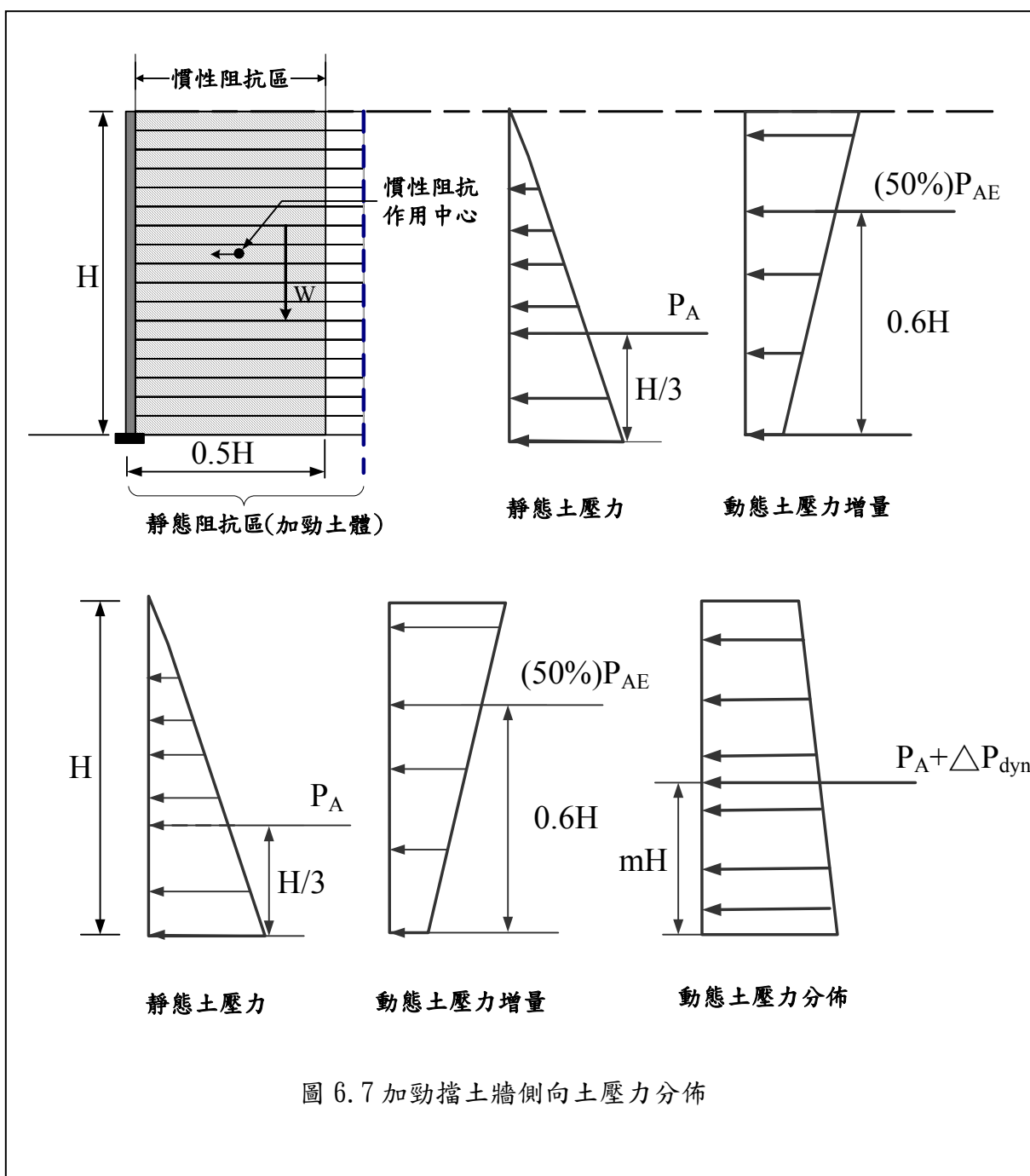
加勁擋土構造物之沉陷量分為基礎、構造體及背填土壤三部份。基礎結構不應有差異沉陷之情形；構造體及背填土壤部分，其沉陷量需以改良式普羅克達試驗，使土壤夯壓度達 90% 最大乾密度，以控制沉陷量。

F.排水

若排水性能不良，使地下水滲入加勁土區將導致破壞，因此必需設計完善的排水系統以確保加勁擋土構造物的穩定性。

8.2 公路橋梁耐震設計規範

本規範撰寫格式分為規範條文與解說兩部份，條文內容與解說內容共分為六章，其中第六章地震時之土壓力與解說部份圖示部份建議增列 6.7 加勁擋土牆土壓力分佈，並納入本研究成果第四章加勁擋土構造物設計與分析中之「加勁擋土構造物外部側向土壓力部份」，建議納入內容如下。



8.3 公路工程施工規範

本施工規範撰寫分為十一章，其中第八章邊坡工程中 8.2 節擋土牆內容已提及加勁擋土牆施工規範，然該部份內容並未完善，因此建議刪除本項說明，並增列 1 節為 8.8 加勁邊坡，並納入本研究成果第五章加勁擋土構造物施工，如下所述。

8.8 加勁邊坡

8.8.1 加勁擋土構造物資料送審

加勁擋土牆、加勁邊坡施工前，應提供下列資料以供審查：

1. 施工計畫書。
2. 符合設計要求之施工材料檢驗報告。
3. 其他。

8.8.2 加勁擋土構造物施工材料

構築加勁擋土構造所採用之材料包括：加勁材料、填築材料、排水材料、面版與繫接構件等，應於施工前，預先覓得合於設計圖說要求且供應穩定的料源。

8.8.3 加勁擋土構造物使用之加勁材料

加勁材料進場之前，應就所擬採用的加勁材料，提出產品證明、試驗數據、[認證證書 (Certificate)] 及其他工程司所要求的文件，送請工程司核可後方得進場。

8.8.4 加勁擋土構造物使用之填築材料

加勁擋土構造物所使用之填築材料性質若符合設計圖說，得來自現地挖方、借土區或其他供應料源等，均不得含有有機物質，如樹枝葉、雜草等及會影響土體穩定與加勁材強度之有害物質，一般對於填築材料粒徑要求如下：

1. 加勁擋土牆加勁區填築材料：

粒徑分佈：	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	100
No.40 (0.425mm)	0 ~ 60
No.200 (0.075mm)	0 ~ 15
參考(AASHTO T-27)/FHWA	

2. 加勁邊坡加勁區填築材料：

粒徑分佈：	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	75 ~ 100
No.4 (4.76mm)	20 ~ 100
No.40 (0.425mm)	0 ~ 60
No.200 (0.075mm)	0 ~ 50
參考(AASHTO T-27)/FHWA	

8.8.5 加勁擋土構造物使用之面版材料要求

加勁擋土構造物可採用的面版材料可概分為剛性面版及柔性面版，若設計者為因應工程的特殊需要而採用特定的面版系統，則施工時應按設計圖說的指示施做，一般面版材料要求如下：

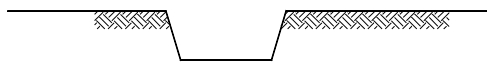
1. 預鑄混凝土面版 28 天抗壓強度不得少於 28kg/f 或 4000psi
2. 預鑄混凝土面版尺寸誤差應符合設計圖說規定
3. 柔性面版通常不是結構材料，因此不特別要求其規格，一般使用之面版材料要求與加勁材料相同。

8.8.6 加勁擋土構造物使用之其他材料

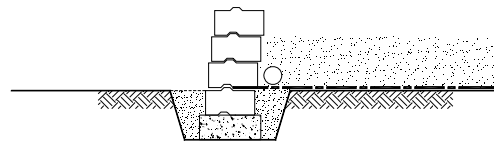
此節所述之其他材料包含排水材料、繫接構件等，施工時應按設計圖說的指示施做。

8.8.7 加勁擋土構造物施工步驟

加勁擋土構造之施工方式依面版樣式而有些微之差異，但主要的施工步驟卻差異不大，以下為剛性面版、柔性面版加勁擋土牆施工程序流程，如圖 8-1、8-2。



步驟一、整地開挖

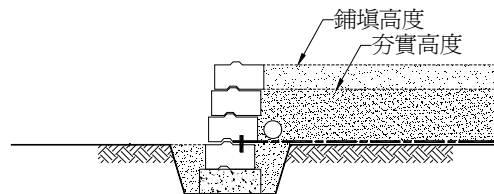


步驟五、組立第二、三、四列面版塊



設計圖說尺寸

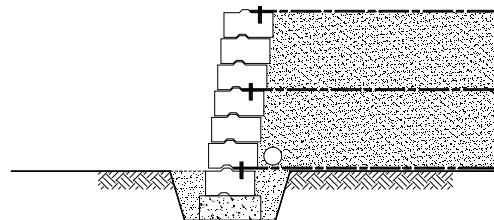
步驟二、設置整平基墊



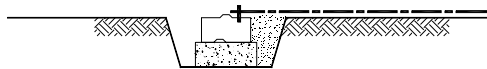
步驟六、分層鋪填及夯實填築土料



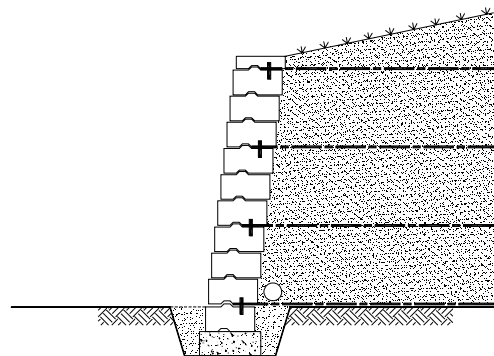
步驟三、組立第一列面版塊



步驟七、鋪設第二層加勁材料及後續之面版組立及土料鋪填夯實之作業



步驟四、鋪設第一層加勁材料



步驟八、設置完工頂蓋

圖 8-1 剛性面版施工步驟示意圖

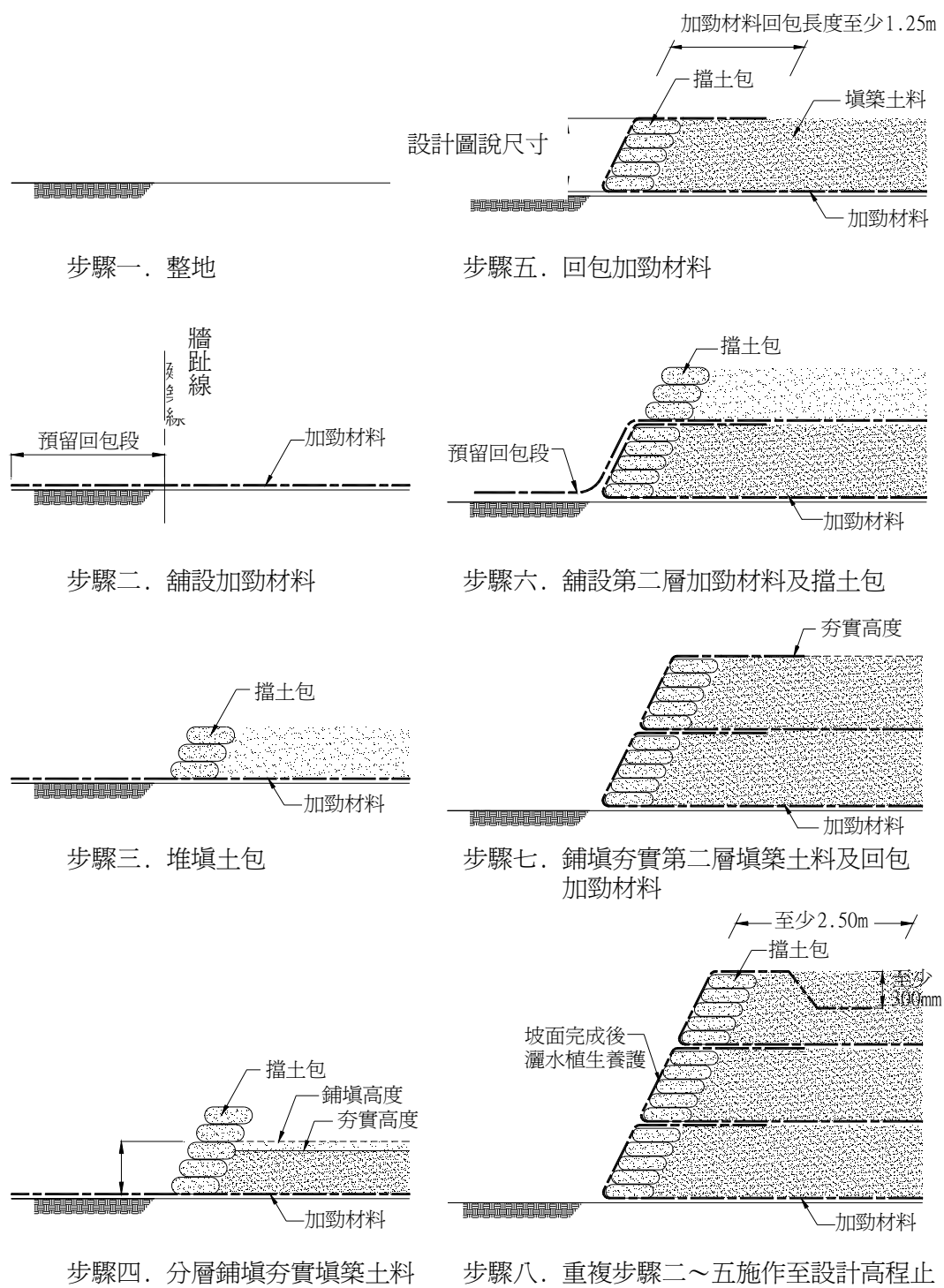


圖 8-2 柔性面版施工步驟示意圖

8.8.8 加勁擋土構造物施工品質注意事項

本節將依施工中對於工程品質應注意之事項分述如下：

1. 檢驗頻率：

(1) 加勁材料檢驗項目及檢驗方法，應依契約及設計圖說之規定，若無規定時，可參考表 8-1、8-2，供檢驗之取樣數為每[3000]平方公尺一組，且每批貨至少須取樣一組；如試驗結果不合格，同批貨得再隨機抽取[3]組樣品複驗，若複驗結果有任何一組不合格，則該批產品不得使用。

(2) 填築土料應採由外向內分層整平、夯實。每層夯實後每[500]平方公尺應依據 AASHTO T180 進行一組工地密度試驗，每層不足[500] 平方公尺時，則至少須進行一組試驗。

表 8-1 土工格網性質試驗方法

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	寬幅抗張強度	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、ASTM D4632
互制性質	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、GRI GG5、ENISO 13738

表 8-2 地工織物性質試驗方法

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	寬幅抗張強度	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、ASTM D4632
互制性質	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、GRI GG5、ENISO 13738

2. 施工注意事項：

- (1) 填築材料填築作業及加勁材料鋪設時，施工機具或車輛嚴格禁止直接碾壓過加勁材料，且任何作業不可損及加勁材料與擋土牆面板。所有車輛及施工機具設備，其停放位置應與擋土牆面保持至少 1.5 公尺以上之距離。
- (2) 材料進場儲存期間不得遭雨水浸泡、陽光直晒及其他有害於材料之儲存方式。
- (3) 成捲包裝之加勁材料應有中心管或導桿以利抬起，地工織物或加勁格網成捲時，應施加至少二點以上之支撐以避免過度彎曲。
- (4) 加勁材料應依設計圖說規定之間距與長度逐層鋪設，鋪設時若需搭接或其他結合方式，其搭接或結合方式之強度，需符合設計圖說之規定，施工單位於施工計畫中應詳述加勁材料鋪設施作計畫，至少包含施工步驟、施工細節、施工機械、加勁材錨碇方式與錨碇間距及搭接方式。

8.8.9 加勁擋土構造物計量與計價

1. 說明

除另有規定者外，加勁擋土構造物工程之計量與計價，承包商應提供為完成擋土構造物工程所需之一切開挖、回填、人工、材料、模版、機具、設備、動力運輸等以及完成構造物所需之其他附屬工作，其費用均已包含在各項工作契約單價內。

2. 加勁擋土構造物應按實作數量，以立方公尺計算，並以契約單價計價。

8.4 公路養護手冊

本養護手冊撰寫分為十二章，其中第三章路基及邊坡中 3.3 節邊坡養護，建議應增列加勁擋土牆與邊坡為邊坡穩定方法之文字敘述，且於 3.4 節護坡及擋土設施養護中雖提及加勁擋土牆，但是未詳細說明，建議應增列第 13 點說明內容為：「加勁擋土結構於養護階段注意牆面保持完整且應注意地下水或地表逕流是否滲入加勁土層區」。

8.5 公路路線設計規範

考量本規範的屬性及適切性，並不適合於此規範中納入本研究成果，因此不建議納入此案。

8.6 鐵路橋梁設計規範

本規範撰寫格式分為規範條文與解說兩部份，條文內容與解說內容共分為五章，其中第四章橋梁結構 4.2 下部結構於解說部份，可使用加勁擋土結構，但是對於橋台的振動與軌道運輸所產生的污染物質是否影響加勁擋土結構的穩定性，仍有待深入研究，因此建議暫不列入

此案研究成果。

8.7 鐵路橋梁耐震設計規範

本規範撰寫格式分為規範條文與解說兩部份，條文內容與解說內容共分為八章，然如 8.6 節所述，建議暫不列入此案研究成果。

第九章 結論與建議

9.1 結論

加勁擋土結構應用於交通土木工程，在時效性、經濟性、便利性及安全性上，有其必然之優越與適宜性。本研究的目的，在於以永續經營的概念，編定一套適合臺灣地區加勁擋土結構工程所共同遵守之規範草案。本研究案執行規畫彙集國內加勁擋土結構現有文獻及施工實際案例，以橫向連結破除國內加勁擋土結構在理論與實際施作之間的矛盾，提供選材、施工及監督單位在各個面向上所需之嚴謹規範，穩定加勁擋土結構在國內的施作成效，進而達到廣泛應用之目的。於案件執行之初規畫五大工作執行重點，經綜合歸納本研究結論如下：

1. 加勁路堤、擋土牆與邊坡應用之文獻蒐集

本研究案於工作執行中蒐集國內、外相關文獻，並將其分門別類進行歸納，其中包含加勁路堤、擋土牆與邊坡的概略說明、破壞機制、破壞特徵、發生破壞的原因分析及加勁擋土結構構築時的選材與施工程序，此章節將加勁擋土結構的生命歷程簡單且明確闡述一回，使初次接觸或對加勁結構生疏的工程人員，能輕易的對此構造物有一通盤的瞭解與認知。

同時本研究案亦收集國外相關規範，並依各相關規範所訂定之加勁材料特性與試驗規範、結構設計規範及填築土料特性與規範之差異性進行比較，以為後續參考之。

2. 加勁擋土結構於交通土木工程應用之研究

加勁擋土結構具備省時、省工、省料且結合綠建築材料的工法，其堅固美觀的特質同樣受到注目，同時能順應環境所需發揮功能性的變化，本研究案於工作執行中蒐集國內、外相關應用文獻與案例，以為工程人員參考，其中包含生態景觀、公路沖刷防治、防救災工程等。

3. 加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案草擬

本規範草案編定原則為使設計者或是監造、施工單位對於所使用的材料，應具有一定的瞭解與認知，則規範草案內充分說明構築加勁擋土結構所需各項材料應具備的性質與需求及其檢核項目與規定。對於設計階段所需注意的項目包含：基本設計、特殊結構設計、排水設計及耐震設計等，此外加勁擋土結構新建成功的關鍵，除了適當的設計，正確的施工方式、程序亦不可少，建立加勁擋土結構標準施工程序是本規範草案內容之一，將施工章節分列為柔性面版、剛性面版施工程序並在章節最後加註施工品質管理計畫。

誠如上述，規範草案內容涵蓋學理、規畫調查、設計、施工、工程品質管理等，平鋪直敘的說明了一座加勁擋土結構產出歷程，並清楚註明維持工程品質的關鍵點。

4. 建立規範草案審查機制

為使本研究案成果透過專家座談與規範草案初審的方式廣納各方意見，使工程界各個層面皆能充份參與並提供寶貴意見。規範草案初審小組由產官學界代表所組成，以座談會議方式為主，書面意見為輔，同時特別考慮國內各規範間的競合問題，共召開六次審查會議完成規範草案條文初步審查程序。

5. 加勁擋土結構應用於交通土木工程示範案例

為配合本研究案訂定之加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案，本研究團隊選取一公路新建工程為示範案例，以作為加勁擋土結構整體設計規劃之實做演示。內容包含設計分析、材料選取、施工程序及維護管理，以作為後續工程之參考。

6. 其他

依據相關部會訪談結果，本研究成果之規範草案，為使之能被工程單位廣泛應用，研究團隊將彙整交通部部頒規，並羅列各部頒規範內容適合納入加勁擋土結構部份之條文，以為後續部頒規範修正參考。

9.2 建議

1. 對於在軟弱地層上構築結構物或填土夯實，大部份會造成不均勻沈陷或大量沈陷，影響工程品質。依據國外研究文獻顯示，加勁材料之隔離、阻絕特性可改善此工程瑕疵，但是國內的地質及施工環境有其得特性，國外的相關規範條款未必全然適合國內狀況，因此建議後續可另闢相關研究案進行探討之。
2. 本研究案中所節錄之示範工程，為已進行之相關道路新建工程，因此部份規範草案條文未能落實，且該工程至本研究案結案時尚未完工，因此後續維護管理階段亦無法實踐，建議後續相關新建工程可於規劃階段即可參考本研究成果，以為再次通盤審視條文的適宜性。
3. 研究團隊於國外文獻中發現，加勁擋土結構亦常使用於橋臺及軌道運輸結構，然此兩項構造物的力學行為及工程型態需作特殊考量，因此研究團隊未將其納入本次研究的主軸，但加勁結構的耐震特性不容忽視，建議後續可另闢研究案件進行深入探討之。

第十章 參考文獻

1. AASHTO (1999), Standard Specifications for Highway Bridges, with 1997 interims, American Association of State Highway and Transportation Officials, 5th Edition, Washington, D.C. USA
2. ASTM (1999), “Standard Test Method”, American Society for Testing and Materials, Vols 4.08 and 4.09, Philadelphia, PA, USA
3. Bassett, R.H. and Last, H.C. (1978), “Reinforced Earth Below Footings and Embankments,” Proceeding, Symposium on Reinforced Earth, ASCE, Pittsburgh, pp. 222-331.
4. Bathurst, R.J., and Koerner R.M. (1988), “Results of Class A Predictions for the RMC Reinforced Soil Wall Trials,” The Application of Polymeric Reinforcement in Soil Retaining Structures, P.M. Jarrett and A. McGown, Eds., NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences – Vol. 147, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 127-171.
5. British Standard Institution(1995),Code of Practice for strengthened,Reinforced Soils and Other Fills.BSI,London,BS8006.
6. Bathurst, R.J., and Hatami, K. (1998), “Seismic Response Analysis of a Geogrid-Reinforced Soil Retaining Wall”, Geosynthetics International, Vol.5, No.1-2, pp.127-166.
7. Carotti,A. and Rimoldi, p.(1998), “A Nonlinear Model for the Seismic Response Analysis of Geosynthetic-Peinforced Soil Structures”,Geosynthetics International,Vol. 5, No.1-2,pp167-201.
8. Chen, T. C., Chen, R. H., and Lin, S. S.,(2000),“A Nonlinear Homogenized Model Applicable to Reinforced Soil Analysis”, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 18, No. 6, pp.349-366 (SCI, EI).
9. Elias, V. and Christopher, B.R.(1997), “Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines”, FHWA DM 82 Manual, Report No. FHWA A-SA-96-071, Washington, D.C. USA.

10. Federal Highway Administration (2001), Geosynthetic Design and Construction Guidelines, FHWA DTFH61-99-T-25041, USA,
11. Hausmann, M.R. (1976), "Strength of Reinforced Soil," Proceeding of Eighth Australian Road Research Board Conference, Perth, Session 13, pp. 1-3,.
12. Hausmann, M.R., and Lee, K.L. (1976), "Strength Characteristics of Reinforced Soil," Proceedings of the International Symposium on New Horizons in Construction Materials, Lehigh, Vol. 1, pp. 165-176.
13. Hausmann, M.R. (1990), Engineering Principles of Ground Modification, McGraw-Hill.
14. Holtz, R.D., Christopher, B.R., and Berg, R. (1997), "Geosynthetic Engineering" Bitech Publishers, Vancouver.
15. Krizhner, F., and Rosenhouse, G. (2000), "Numerical analysis of Tunnel Dynamic Response to Earth Motions," Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 15, No. 3, pp. 249-258.
16. Koseki, J., Bathurst, R.J., Guler, E., Kuwano, J., and Maugrei, M. (2006), "Seismic stability of reinforced soil wells," Geosynthetic International, Volume 1, No. 3, pp. 51-77.
17. Lee, W.F., (1999) "Distributions of Lateral Earth Pressure and Reinforcement Tension Inside the Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls", Proceedings of Geosynthetics '99, Boston, Vol. 2, pp. 651-660.
18. Lee, W.F., Holtz, R.D., and Allen, T.M., (1999) "Full Scale Geosynthetic Reinforced Retaining Walls: A Numerical Parametric Study", Proceedings of Geosynthetics'99, Boston, Vol. 2 pp. 935-948.
19. Lee, W.F., (2000) "Internal Stability Analyses of Geosynthetic Reinforced Retaining Walls," Ph.D. Dissertation, University of Washington, Seattle, 381p.
20. Lee, W. F., Lin, S.S., Lai, Y.J. and Chiang, C.C. (2003), "Seismic Performance Analysis of Reinforced Earth Retaining Structures"

- Proceedings of the Twelfth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Singapore, pp. 311-314.
21. Matsuo, O., Tsutsumi, K., Yokoyama, K. and Saito, Y. (1998), "Shaking Table Tests and Analyses of Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Wall," Geosynthetic International, Volume 5, Nos. 1-2, pp. 97-126.
 22. NCMA (1998), "Segmental Retaining Walls-Seismic Design Manual", 1st Edition, National Concrete Masonry Association, Bathurst, R.J., USA
 23. NCMA (1996), "Design Manual for Segmental Retaining Walls", 2nd Edition, National Concrete Masonry Association, Collin, J.G. Ed., Herndon, MN, USA
 24. Perez, A. (1999), "Seismic Response of Geosynthetic Reinforced Steep Slopes," Master of Science Thesis, University of Washington.
 25. Richardson, G.N. and Lee, K.L. (1975), "Seismic Design of Reinforced Earth Walls", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 101, pp. 167-188.
 26. 日本鐵道總合技術研究所 (1992), 鐵道構造物等設計標準同解說, 丸善書局。
 27. 陳建吾 (2004), 「加勁擋土牆動態行為之模擬」, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
 28. 公路工程月刊 (2003), 第三十卷第一期。
 29. 中華地工材料協會 (2001), "地工合成材料加勁擋土結構設計與施工手冊"。
 30. 周南山等 (2000), "地工合成材料應用於加勁擋土結構之相關規範與招標措施", 行政院公共工程委員會。
 31. 阮仲如、張吉佐、廖乾榮 (2000), "加勁擋土結構在山坡地之應用—宜蘭佛光大學案例介紹", 加勁擋土結構之最新發展研討會, 台北。

- 32.陳志雄等(2000), "北二高關西新竹段 80K+300 右側邊坡坍滑緊急整治工程簡介", 第三屆國道建設研討會。
- 33.中國國家標準(1999), 經濟部標準檢驗局。
- 34.陳榮河(1999), 地工合成材於掩埋場之應用, 地工技術第 71 期。
- 35.廖瑞堂(1998), "山坡地護坡工程設計", 台灣省土木技師公會出版
- 36.周南山等(1998), "加勁擋土結構設計及施工手冊", 台北市土木技師公會出版。
- 37.李怡先、陳榮河(1997), "地工格網拉出阻抗之評估模式", 第七屆大地工程研討會。
- 38.周南山(1997), "加勁擋土牆之特性及其在山坡地、公路及高鐵之應用", 加勁擋土結構工程研習會。
- 39.周南山等(1996), "高速鐵路加勁擋土結構之研究", 交通部高速鐵路工程局出版。
- 40.陳榮河、張達德等(1990), "加勁土壤結構暫行技術手冊", 交通部國道新建工程局出版。
- 41.李咸亨(1989), "不織布加勁擋土牆觀測研究", 財團法人台灣營建中心。

附錄一 加勁擋土結構應用於交通土木工程規範 草案條文內容

加勁擋土結構設計與施工規範

第一章 通則

1.1 適用範圍

本規範主要適用於以地工合成材料為加勁材之加勁擋土構造物。

1.2 內容

本規範內容依章節分述如下：

1. 通則
2. 規劃與調查。
3. 材料相關驗證及試驗方法。
4. 加勁擋土構造物設計與分析。
5. 加勁擋土構造物施工。

1.3 參考文獻

本規範主要參考國內、外相關文獻：

1. 經濟部標準檢驗局，中國國家標準，經濟部標準檢驗局
2. 中華地工材料協會，地工合成材料加勁擋土結構設計與施工手冊，中華地工材料協會（2001）。
3. 台北市土木技師公會，加勁擋土結構設計及施工手冊，台北市土木技師公會（1988）
4. 台北市土木技師公會，結合生態與景觀之加勁擋土結構設計及施工規範，台北市土木技師公會（1994）。
5. Elias, V. and Christopher, B. R(1997), "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines", FHWA DM82 Manual, Report No. FHWA SA96-071, Washington, D.C. USA

6. AASHTO(1999), Standard Specifications for Highway Bridges, with 1997 interims, American Association of State Highway and Transportation Officials, 5th Edition, Washington, D.C. USA
7. ASTM(1999), "Standard Test Method", American Society for Testing and Materials, Vols 4.08 and 4.09, Philadelphia, PA, USA

1.4 使用限制

設計、施工者引用本規範，內所附之圖說，仍應依計畫條件進行相關之調查設計，對於特殊施工環境及材料仍須有特殊考量及設計規劃，規範內之施工相關圖說不可直接引用為設計圖說。

1.5 加勁擋土構造物系統

加勁擋土構造物系統的主要組成一般包含下列項目，如圖所示：

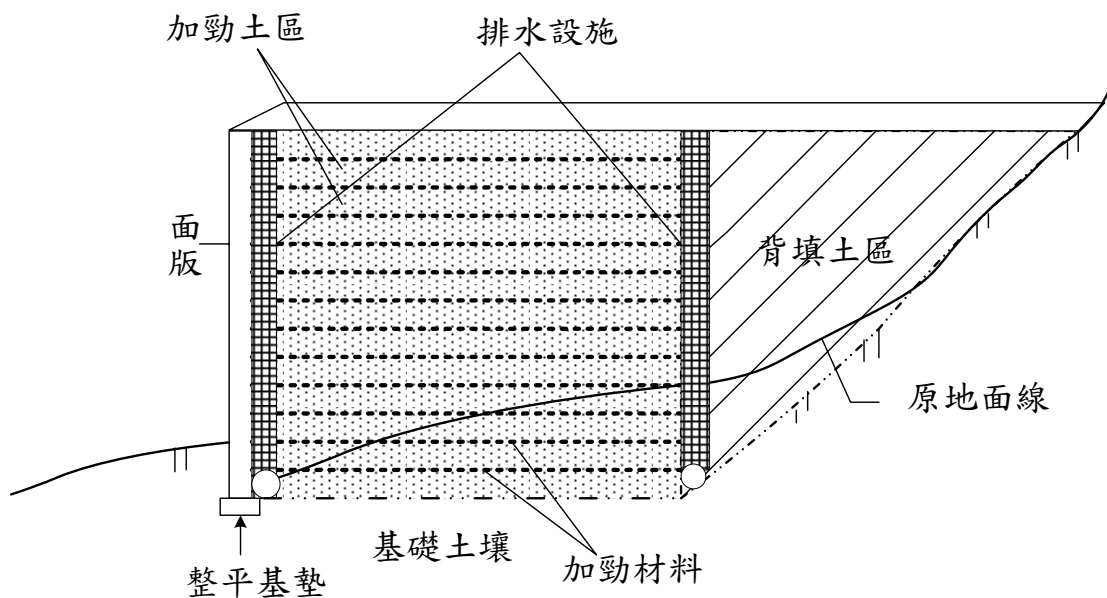


圖 1-1 加勁擋土牆示意圖

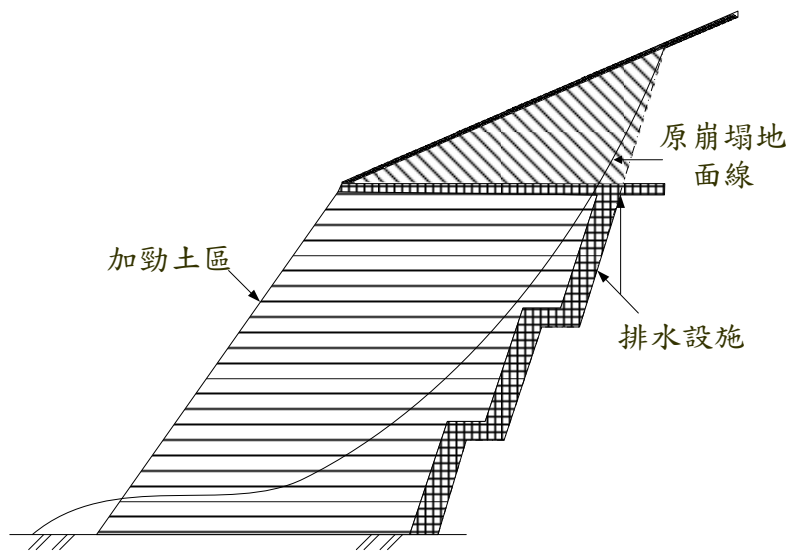


圖 1-2 加勁邊坡示意圖

1.6 名詞定義

1. 加勁土區-此區域由填築土料與加勁材料所組成，藉此提供擋土結構穩定的功能。
2. 背填土區-為加勁區後與原邊坡間的區域，此區可利用現地土壤回填夯實以增加結構的擋土穩定性。
3. 排水材料-通常使用透水性良好之級配或砂性土壤為主，亦可使用地工複合材料為透水材料。
4. 面版-一般面版使用種類可分為預鑄或場鑄剛性面版、土包堆疊等柔性面版。
5. 埋置深度-加勁擋土牆的埋置深度提供牆體抗傾倒的阻抗，其最小深度可考量基礎承载力、沈陷量及整體穩定性。
6. 整平基墊-此構造之功能為面版系統的承載基礎。
7. 原地面線-於加勁擋土構造物構築工址，未進行整地修坡前之地面線。
8. 崩塌地面線-適用於邊坡崩塌區，未進行整地修挖前之地面線。

9. 坡（牆）頂回填-當加勁擋土構造物構築至設計高度時，於坡頂處進行修坡回填。
10. 加勁材料埋置長度-其長度需考量填築土料的性質，一般應大於可能破壞面長度。
11. 加勁材料垂直間距-加勁材料與填築土料互層鋪設、滾壓，加勁材料間的垂直間距既為夯實後的填築土料厚度。

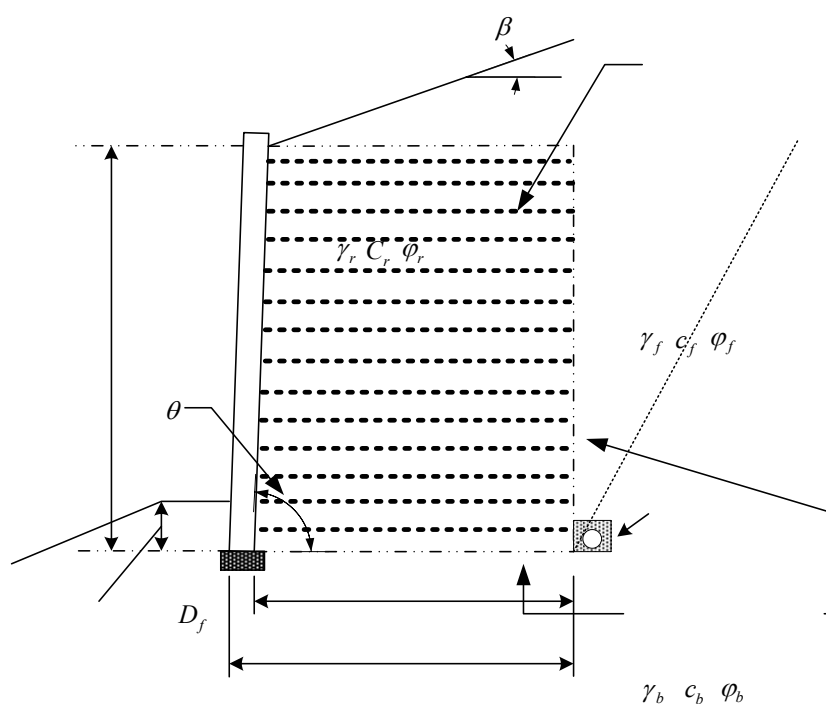


圖 1-3 加勁結構名詞定義示意圖

第二章 規劃與調查

2.1 工程規劃

1. 規劃階段應針對地質、地形、現地環境、結構物尺寸及種類、周遭景觀、可利用材料及系統考量與造價影響因素等加以妥善評估，以了解其工程之特性，選擇適當之擋土構造物系統。
2. 若加勁填土區內，具有需重複開挖回填之設施，則需考量加勁材料的損傷及加勁土區的穩定性。
3. 若工址有基礎沖刷之疑慮或地表、地下具有酸、鹼溶液滲出時，應考量抗沖刷與加勁材料的耐久性。

2.2 構造物尺寸

加勁擋土構造物於設計時所須考量的元件尺寸如圖所示，其主要尺寸定義如下：

1. 擋土構造物的高度〔H〕、寬度〔B〕，牆面或坡面傾角〔 θ 〕
2. 擋土構造物頂邊坡傾角〔 β 〕
3. 加勁材料長度〔L〕。
4. 埋置深度 D_f

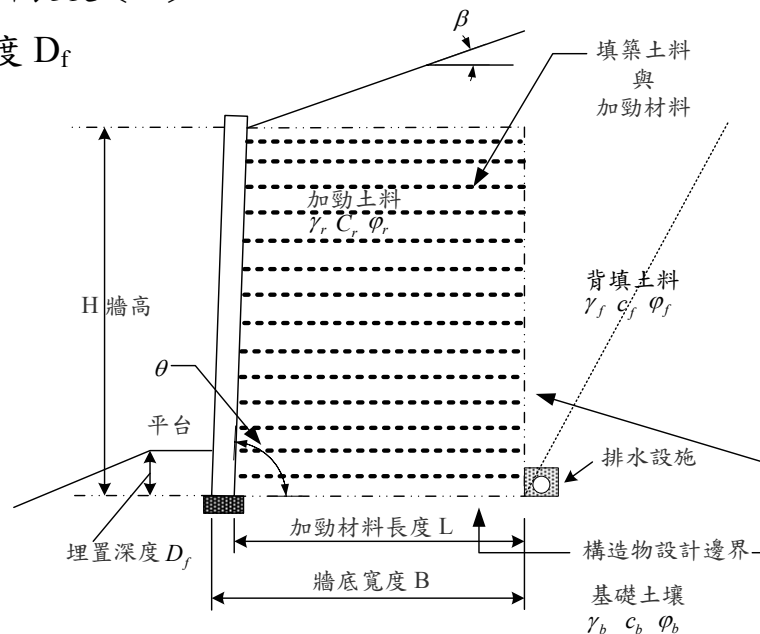


圖 2-1 加勁擋土構造物尺寸示意圖

2.3 規劃設計階段工址調查

在進行細部設計階段之前，應至工址現場進行初步的勘查，其執行項目及流程圖如下：

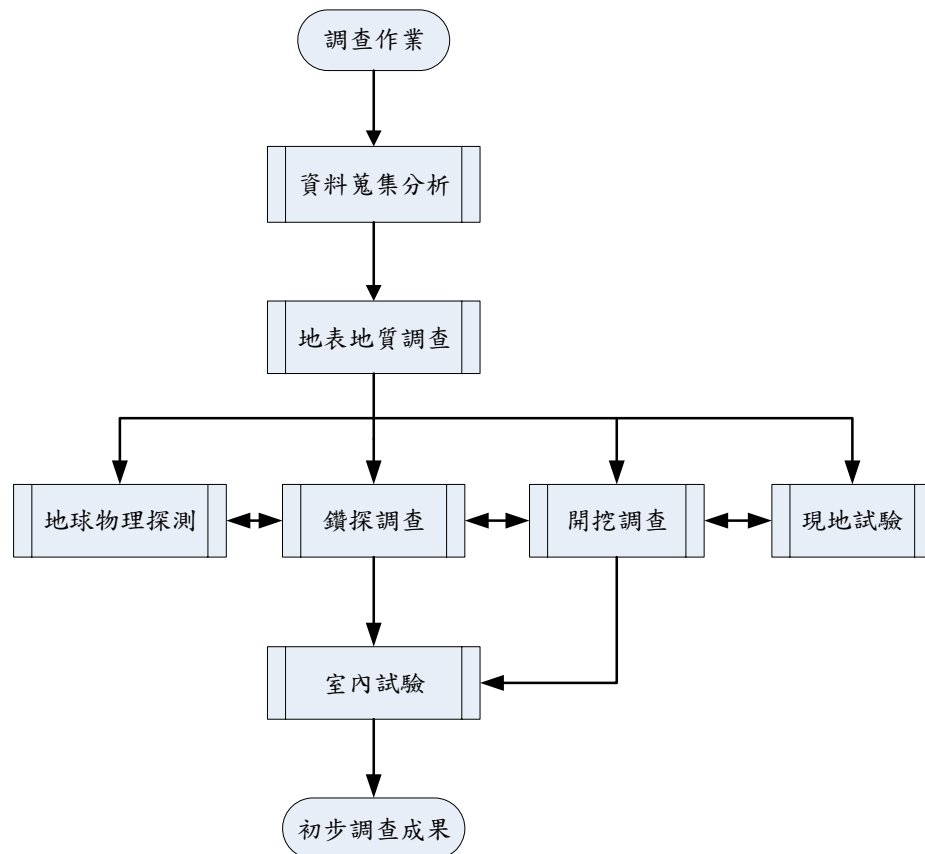


圖 2-2 工址調查流程圖

1. 以地球物理探測、鑽探調查、開挖調查、現地試驗等方法取得以下資料：
 - (1) 地形及水系特徵
 - (2) 覆蓋土層類別及特性
 - (3) 岩盤露頭類別及分佈
 - (4) 地層之層序、岩性、分佈及工程特性
 - (5) 地質弱面之特性、型式及其區域性變化
 - (6) 主要斷層之延展、屬性及其活動性

- (7) 崩塌地、地盤下陷、河海侵蝕、火山、地震等進行中地質現象之分佈
 - (8) 水文地質現象
 - (9) 其他地質構造（如褶皺型態及特性）及特殊地形與地質現象
 - (10) 其他特殊考量（回填土料來源及供應量調查）
2. 室內試驗—視需要進行相關土壤物理、化學性質試驗及力學試驗取得參數。

2.4 外部荷重

外部荷重考量應考慮擋土構造物之使用目的，依據不同使用時機考量不同荷重，應包括下列因素：

- 1. 地形要求的土壤超荷重。
- 2. 鄰近的基礎荷重。
- 3. 因交通運輸所引起的線型荷重。
- 4. 因交通承載量所引起的衝擊荷重。

第三章 材料相關驗證及試驗方法

3.1 加勁擋土構造物材料組成

加勁擋土結構是由加勁材料、填築土料、排水材料及面板材料所構成的，以下詳述之。

1. 加勁材料—本規範所指之加勁材料，係以人工合成之高分子材料做為加勁材料。
2. 加勁土區、背填土區—本規範所指之填築土料，基於挖填平衡，避免棄方造成汙染，可以現地材料為填築土料。
3. 排水材料—本規範所指之排水材料，以透水性良好之級配或砂質土壤為主，亦可為地工合成材料。
4. 面板材料—本規範所指之面板材料，主要作用在於保護加勁材料、避免填築土料流失及增加牆體美觀。

3.2 加勁材料工程性質

加勁材料主要工程性質如下：

1. 抗拉強度—地工合成材料係為柔性材料，大多利用其抗拉強度來承載荷重，以達工程目的。

加勁材料之長期容許抗拉強度可由下式分析：

$$T_{allow} = T_{ult} \left[\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D} \right] \quad \text{其中：}$$

T_{allow} = 長期容許抗張強度

T_{ult} = 極限抗張強度

RF_{ID} = 施工損傷折減係數

RF_{CR} = 潛變折減係數

RF_D = 耐久性折減係數

2. 撕裂強度—撕裂強度為反映試樣抵抗擴大破損裂口之能力，可評價不同地工織物和地工合成膜被擴大破損程度的難易。
3. 穿刺強度—穿刺強度為反映地工織物或地工合成膜抵抗集中荷載之能力。
4. 抓式強度—抓式強度反映其分散集中力之能力。
5. 潛變特性—係指材料受力大小不變，變形隨時間增長而逐漸增大之現象。為材料是否能長期適用之關鍵。
6. 耐久性—主要與聚合物的類型及添加劑的性質有關，其為外界因素變化之抗禦能力。

3.3 排水材料基本要求

本規範定義排水材料為具備良好透水性能與截水面積以排除進入加勁擋土構造物之多餘水量，並避免發生阻塞、管湧及細料流失。

排水材料檢、試驗標準—針對抗管湧、滲透係數 K 、抗阻塞能力及物理性質逐一檢驗。若以級配或砂質土壤作為濾料時，可參考一般擋土設施排水濾料透水性的要求；若以地工織物作為濾料時之物理性質應滿足下表要求：

表 3-1 地工織物作為濾材時之物理性質要求

物理特性要求		註： A. 建議以寬幅抗拉強度作為基準，如缺乏此項性質報告時，考慮改用抓拉式抗拉強度作為選材之依據。 B. 抗穿刺係考慮現場可能有尖銳礫石，使得織物纖維被貫穿而分離，並因此而破壞。故應予考慮之。 C. 量測不織布之抗逆裂強度，係對地工織物所包裹之材料向外逆裂抵抗能力的檢測方法。
項目	試驗依據	
抓拉強度	〔CNS13483-82〕ASTM D4632	
抗拉強度	〔CNS13300-82〕ASTM D4595	
抗穿刺強度	〔CNS14263-87〕ASTM D4833	
逆裂強度	〔CNS5613-86〕ASTM D3786	
抗磨損強度	〔CNS14278-87〕ASTM D4886	
抗撕裂強度	〔CNS13299-82〕ASTM D4533	

3.4 面板材料性質要求

面版主要作用在於保護加勁材料、避免填築土料流失及增加牆體美觀。

1. 柔性面板採用之土包，其強度應符合於填裝、堆疊及夯壓之要求；其網目應以不造成植生困難及土壤流失為原則。
2. 剛性面版及疊塊式面版必須符合合約圖說所規定之要點。

3.5 面版與加勁材料間連接構件性質要求

面版與加勁材料間連接之功能在於將面版固定於加勁構造物上，保持構造物之穩定性。因此連接構件除需符合相關使用材料規定，其連接強度應考慮靜態及動態之荷重。

3.6 加勁材料之功能驗證

為確保加勁材料品質及功能符合設計要求，施工廠商於施工前需提送加勁材料驗證之驗證報告書，經核可後始得供貨。

1. 驗證報告書內容應包含：
 - (1) 型號
 - (2) 材質
 - (3) 尺寸
 - (4) 厚度
 - (5) 單位重
 - (6) 樣品
2. 驗證項目
 - (1) 長期抗拉強度
 - (2) 加勁材料與填築土料的互制性質

表 3-2 功能驗證項目彙整表

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	單位面積重	CNS14279、ASTM D5261	CNS14279、 ASTM D5261、ISO 9864
	寬幅抗張強度	CNS13300、 ASTM D6637、 GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、 ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、 ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、 ASTM D4632
	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	潛變試驗	ASTM D5262、 EN ISO 13431	ASTM D5262、 GRI GG10、 EN ISO 13431
	室內抗紫外線試驗	ASTM D4355、 ASTM G154	CNS 9024、 ASTM D4355、 ASTM G154
	戶外曝曬試驗	ASTM D5970	ASTM D5970、GRI GT3
互制性質*	直剪摩擦阻抗試驗	ASTM D5321	ASTM D5321、 EN ISO 12957
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、 GRI GG5、EN 13738

註：1.試驗報告需由國內外認可之試驗單位提供。試驗單位應對所執行之測試作業就其所依據之相關標準訂定測試程序，對於通過認證之試驗項目，在其認證範圍內，皆要求在報告中出具認證標誌，同時必須遵守 TAF 對認證標誌使用之相關規定。

2.當現地填築土料粒徑與設計規範不符時，應執行互制性質所要求之試驗項目。

3.7 加勁材料現場檢驗及試驗

為確保加勁材料符合驗證報告書內容，可由監造單位進行抽驗，送 TAF 認證單位測試試驗結果經監造單位認可後，方可施工。

表 3-3 加勁材料現場取樣檢驗項目

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	寬幅抗張強度	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、ASTM D4632
互制性質	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、GRI GG5、ENISO 13738

註：1.當現地填築土料粒徑與設計規範不符時，應執行互制性質所要求之試驗項目。

第四章 加勁擋土構造物設計與分析

4.1 說明

加勁擋土結構包含加勁擋土牆與加勁邊坡，相關設計分析應完成之步驟如設計流程圖所述。

4.2 加勁擋土牆設計流程

加勁擋土牆設計流程如圖 4.1 所示：

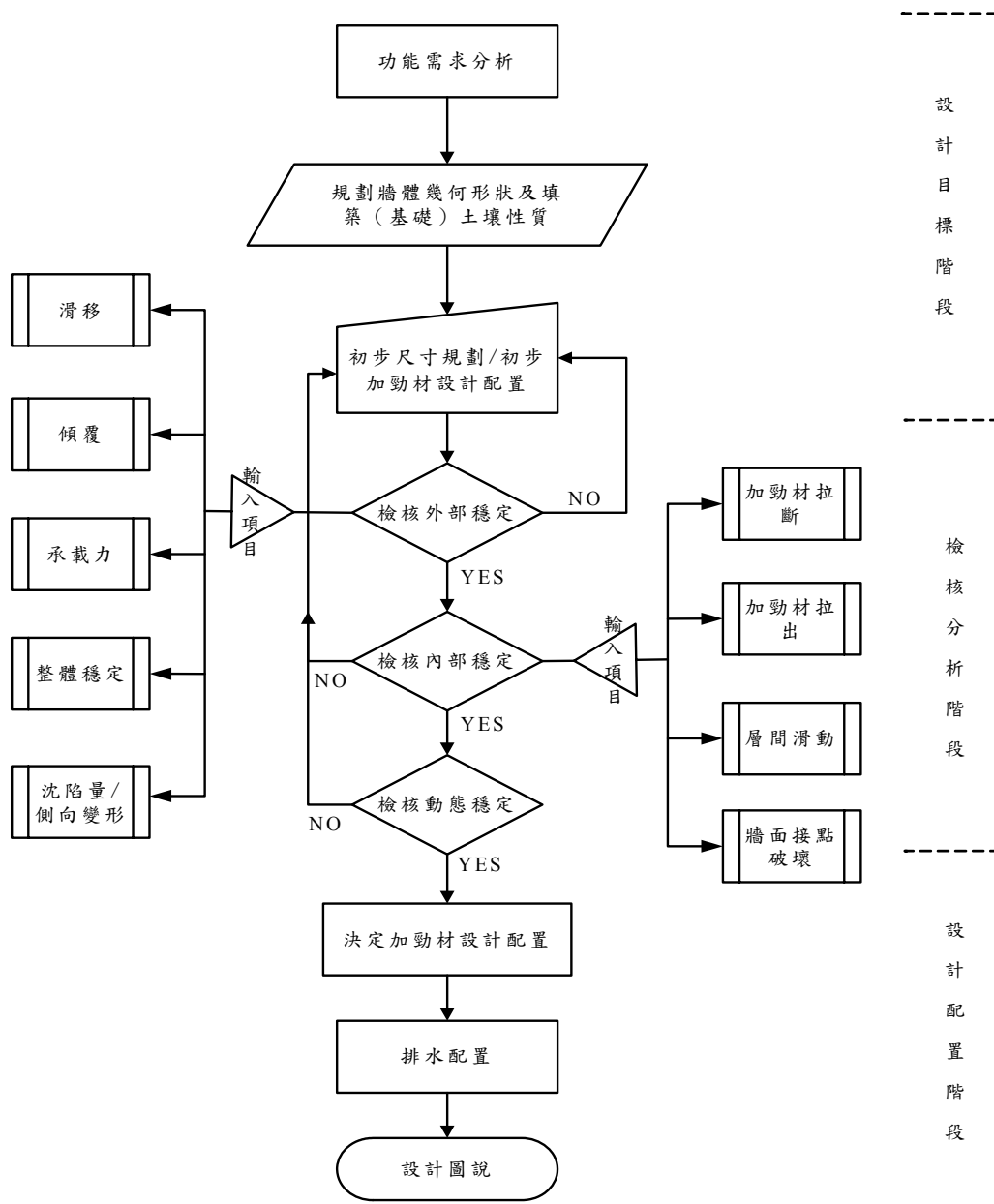


圖 4.1 加勁擋土牆設計流程圖

4.3 加勁邊坡設計流程

加勁邊坡設計流程如圖 4.2 所示：

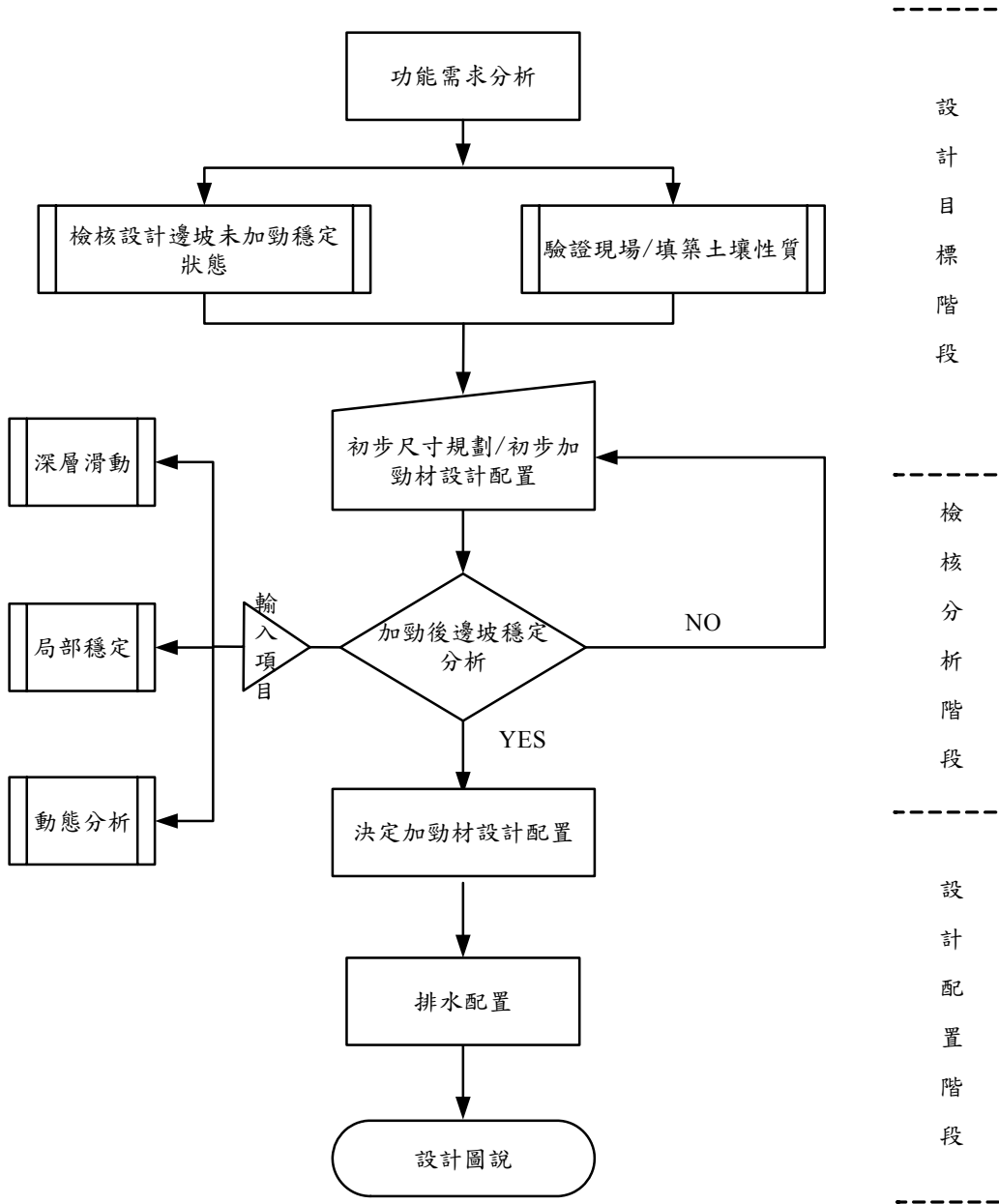


圖 4.2 加勁邊坡設計流程圖

4.4 加勁擋土構造物設計要求

本規範所規定之加勁擋土構造物設計要求，包括內部、外部穩定安全係數之規定，如表 4-1、4-2。

表 4-1 加勁擋土牆安全係數規定

(FHWA, 2001 及台北市土木技師公會, 2004)

破壞模式		靜態安全係數	動態安全係數
外部穩定	滑移破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	傾覆破壞	≥ 2.0	≥ 1.5
	承载力破壞	≥ 3.0	≥ 2.3
	整體穩定	≥ 1.5	≥ 1.1
內部穩定	加勁材拉出破壞	≥ 1.5	≥ 1.1
	加勁材拉斷破壞	$T_{\max} \leq T_a$	
1. T_{\max} : 設計最大側向拉力			
2. T_a : 加勁材料容許抗拉強度			

(註)1.地震狀態下之安全係數，係以 $FS \geq 75\%$ 的靜態 FS 為原則，且不得小於 1.0。

2.內部穩定中層間滑動及牆面接點破壞，檢核條件為牆面修飾設計為剛性面版才需進行穩定檢核，其 $FS \geq 1.5$ 。

表 4-2 加勁邊坡安全係數規定

(FHWA, 2001 及台北市土木技師公會, 2004)

破壞模式		靜態安全係數	動態安全係數
外部穩定	滑移破壞	≥ 1.3	≥ 1.0
	傾覆破壞	-	-
	承载力破壞	≥ 1.3	≥ 1.0
	整體穩定	≥ 1.3	≥ 1.0
內部穩定	加勁材拉出破壞	≥ 1.3	≥ 1.0
	加勁材拉斷破壞	$T_{\max} \leq T_a$	
1. T_{\max} : 設計最大側向拉力			
2. T_a : 加勁材料容許抗拉強度			

(註)地震狀態下之安全係數，係以 $FS \geq 75\%$ 的靜態 FS 為原則，且不得小於 1.0。

4.5 加勁擋土牆外部側向土壓力分析

加勁擋土牆之側向土壓力分析，如圖 4.3 所示：

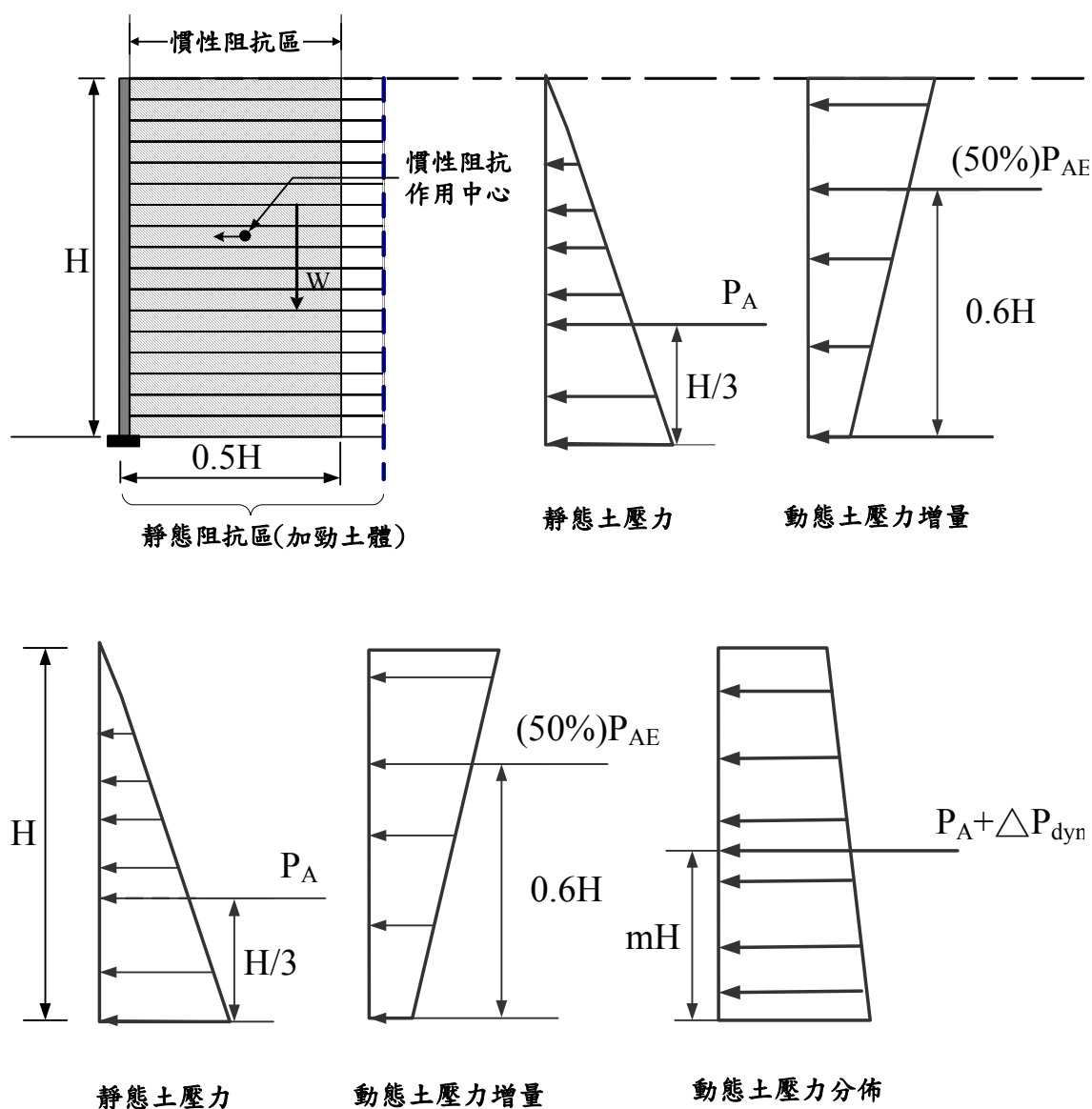


圖 4.3 加勁擋土構造物側向土壓力分析示意圖

W = 加勁土體自重

P_A = 靜態土壓力總和

ΔP_{dyn} = 動態土壓力增量

P_{AE} = 動態土壓力

P_{IR} = 加勁填土區所產生的慣性力

H=牆高

mH=動態土壓力作用位置

4.6 加勁擋土牆外部穩定檢核

1. 滑移破壞

$$FS_{sliding} = \frac{F_v (\text{垂直總力}) \times \tan \phi''}{F_H (\text{側向總力})}, FS_{sliding} \geq 1.5。$$

ϕ'' 建議取填築土料內摩擦角，基礎土壤內摩擦角及加勁材料與土壤間摩擦角之最小值。

其中， F_v ：垂直總力 F_H ：側向總力

破壞示意圖，如圖 4.4 (a) 所示，

2. 傾倒破壞

$$FS_{overturning} = \frac{M_r}{M_d}, FS_{overturning} \geq 2.0。$$

其中， M_r ：抵抗力矩 M_d ：驅動力矩

破壞示意圖，如圖 4.4 (b) 所示，

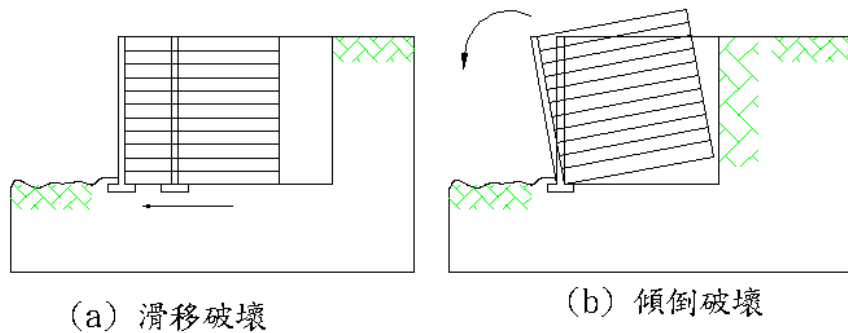


圖 4.4 加勁擋土結構之外穩定破壞示意圖(修改自 NCMA,1998)

3. 承载力破壞

$$\sigma_v \leq q_a = \frac{q_{ult}}{FS_{Bearing}}, FS_{Bearing} \geq 3.0$$

其中， σ_v ：垂直應力

q_a ：容許承载力

q_{ult} ：極限承载力，可由 Meyerhof 承载力公式求得。

破壞示意圖，如圖 4.5(a)所示，

4. 深層滑動破壞

整體滑動(Global Stability)為加勁擋土構造物最常發生之破壞模式，其中涵蓋加勁區及未加勁區之混合破壞方式圖 4.4(a)及圖 4.4(b)。破壞之分析時可採用圓弧破壞或複式平面破壞(Planar Failure)分析方法，檢核所有可能產生破壞之可能性，其安全係數 $FS_{Global} \geq 1.5$ ，破壞示意圖，如圖 4.5(b)所示，

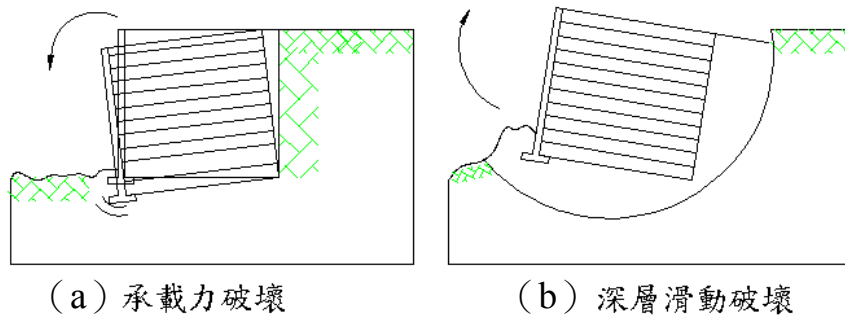


圖 4.5 加勁擋土結構之外穩定破壞示意圖(修改自 NCMA,1998)

4.7 加勁擋土牆內部穩定檢核

如圖 4-5 所示，加勁擋土牆內部穩定各參數，相關檢核項目如下述：

1. 計算各層加勁材抗拉強度需求：

$$T_{\max,i} = \sigma_{h,i} \times S_{v,i}$$

$T_{\max,i}$ ：第 i 層加勁材所受抗拉強度

$\sigma_{h,i}$ ：第 i 層平均側向土壓力

$S_{v,i}$ ：第 i 層平均加勁材間隔

2. 計算加勁材抗拉出破壞所需長度 (Le)

各層加勁材 L_e 可由下式計算而得：

$$L_{e,i} \geq \frac{T_{\max,i}}{2 \cdot \gamma_r \cdot Z \cdot R_c \cdot F^* \cdot \alpha} \cdot (FS_{pullout})$$

$$L_{e,i} \geq 1m \text{ (最低要求)}$$

γ_r ：填築土料單位重

Z ：第 i 層加勁材所在深度

R_c ：加勁材覆蓋率

F^* ：抗拉摩擦係數

α ：尺寸校正係數

$FS_{pullout}$ ：抗拉出破壞安全係數， $FS \geq 1.5$

3. 計算加勁材回包所需長度(L_o)：

$$L_{o,i} = \frac{T_{\max,i-1}}{2 \cdot \gamma_r \cdot Z \cdot R_c \cdot F^* \cdot \alpha} \cdot (FS)$$

$T_{\max,i-1}$ ：第 $i-1$ 層（上方層）加勁材所受之最大拉力

其中， $L_o \geq 2m$ ，最上層之回包長度為 $L_o \geq 2.5m$

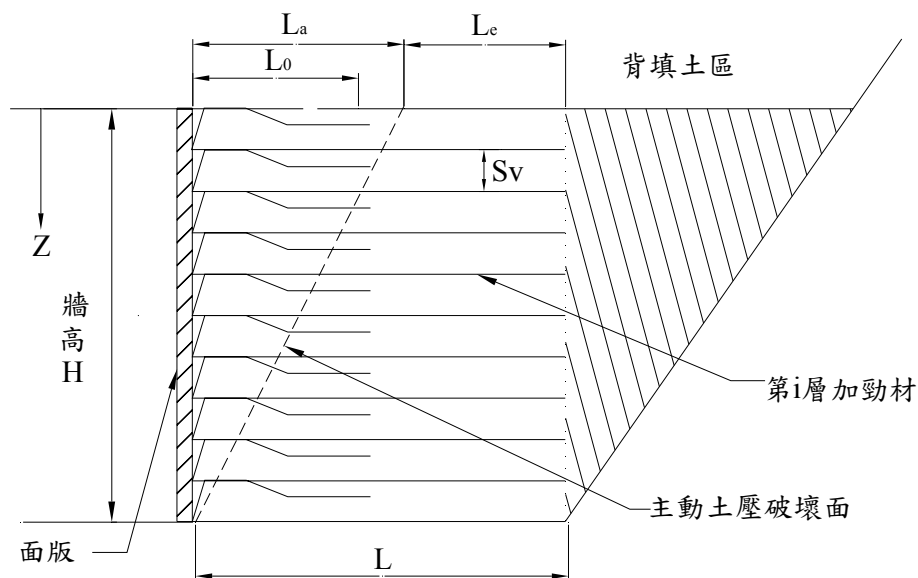


圖 4.6 加勁擋土牆之內部穩定參數示意圖

註：若牆面設計為預鑄面版或疊塊式面版，設計單位除應提供內、外穩定分析，並應提送面版穩定分析計算書。

4.8 加勁邊坡整體穩定檢核

加勁邊坡外穩定檢核可參考加勁擋土牆之外穩定檢核（傾覆檢核通常不需要）與一般非加勁邊坡的外穩定性檢核相似，加勁邊坡內各穩定參數如圖 4.6 所示，相關檢核項目如下述：

1. 計算加勁材強度總和需求

$$T_s = (FS_R - FS_u) \frac{M_D}{D}$$

T_s ：單位寬度所需的加勁材強度總合

FS_R ：設計要求安全係數

FS_u ：設計邊坡未加勁時最小安全係數

M_D ：驅動力矩

D ：加勁材抵抗力矩力臂

2. 檢核最大加勁材強度總和需求

$$T_{s,\max} = \frac{1}{2} K \gamma_r (H')^2$$

K ：側向土壓力係數，可由坡度（ β ）及 ϕ_f （ $\phi_f = \tan^{-1}(\frac{\tan \phi_r}{FS_R})$ ）

$$H' = H + \frac{q}{\gamma_r}, \text{ } q \text{ 為額外載重}$$

$T_{s,\max}$ 決定後需與 T_s 比較確認設計所需的加勁材強度。

3. 決定每一區間加勁材間距（ S_v ）及設計強度（ T_{al} ）

$$T_{\max} = \frac{T_{zone} S_v}{H_{zone}} = \frac{T_{zone}}{N} \leq T_{al} R_c$$

$$T_{zone} = T_{s,\max} \quad (H < 6m)$$

S_v ：加勁材垂直間距

H_{zone} ：加勁區高度

$$N：\text{加勁材層數}, N = \frac{H_{zone}}{S_v}$$

R_c ：覆蓋率

4. 抗拉出破壞所需長度

加勁材所需埋設長度（ L_e ）可由下式求得：

$$L_e \geq \frac{T_{\max}}{2 \cdot \gamma_r \cdot Z \cdot R_c \cdot F^* \cdot \alpha} \cdot (FS_{pullout})$$

$$L_e \geq 1m \quad (\text{最低要求})$$

其中 T_{\max} ：加勁材料所受之最大拉力

γ_r ：填築土料單位重

Z ：第 i 層加勁材所在深度

R_c ：加勁材覆蓋率

F^* ：拉出摩擦係數

α ：尺寸校正係數

$FS_{pullout}$ ：抗拉出破壞安全係數， $FS_{pullout} \geq 1.5$

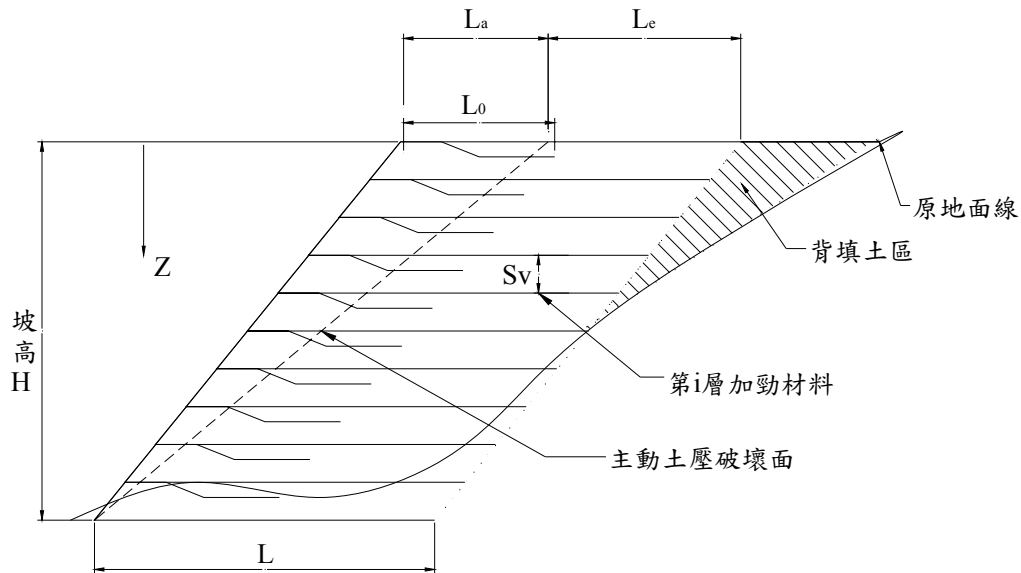


圖 4.7 加勁邊坡內部穩定參數示意圖

4.9 加勁擋土牆耐震設計

加勁擋土牆之耐震設計建議仍採擬靜態動態土壓力方法。

註：地表最大加速度可參考建築技術規則、建築物耐震設計規範或可參考 FHWA, 2001；NCMA, 1990。

4.10 沉陷要求

加勁擋土構造物之沉陷量分為基礎、構造體及背填土壤三部份。基礎結構不應有差異沉陷之情形；構造體及背填土壤部分，其沉陷量需以改良式普羅克達試驗，使土壤夯壓度達 90% 最大乾密度，以控制沉陷量。

4.11 排水設計

若排水性能不良，使地下水滲入加勁土區將導致破壞，因此必需設計完善的排水系統以確保加勁擋土構造物的穩定性。

排水設施的配置主要為避免地下水、地表逕流及雨水滲入加勁土層區，以下圖示就不同地下水位狀況下的排水設計考量，以及柔性面版及剛性面版區分之，

1. 常時地下水位距離牆基礎深大於 $2/3$ 牆高

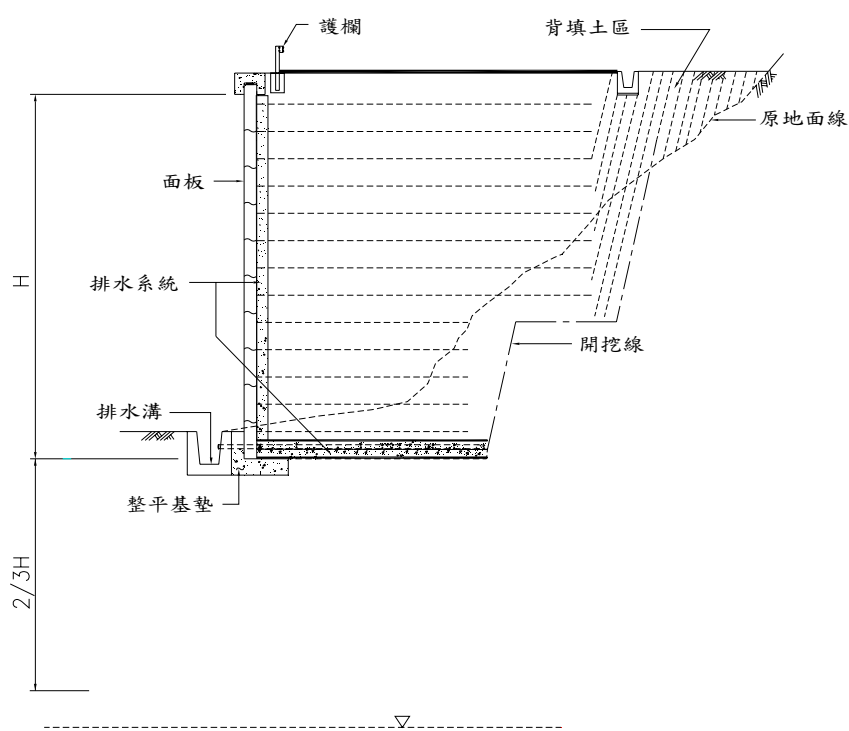


圖 4.8 剛性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

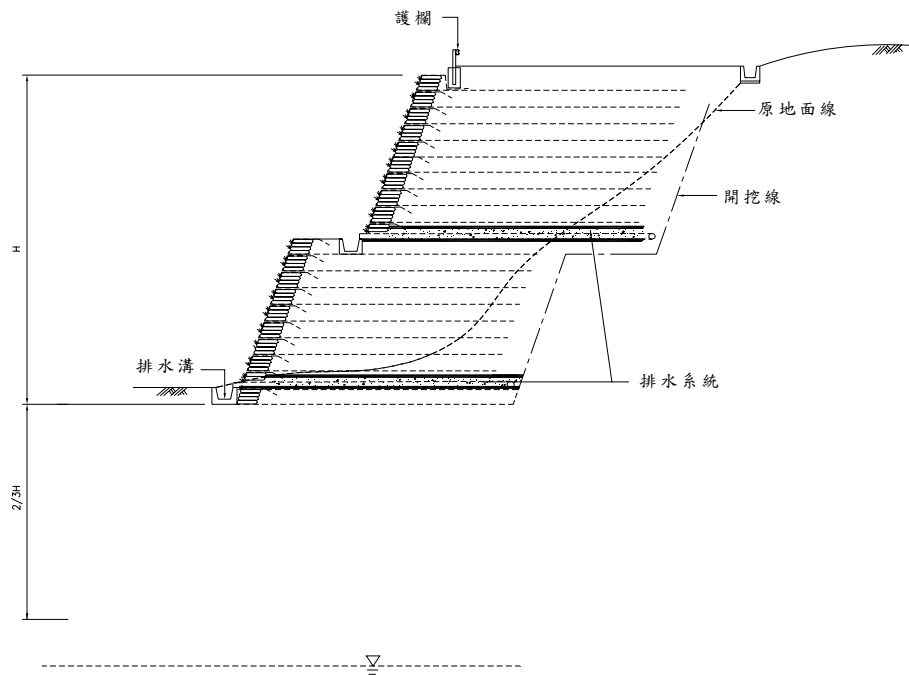


圖 4.9 柔性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

2. 常時地下水位距離牆基礎深小於 $2/3$ 牆高

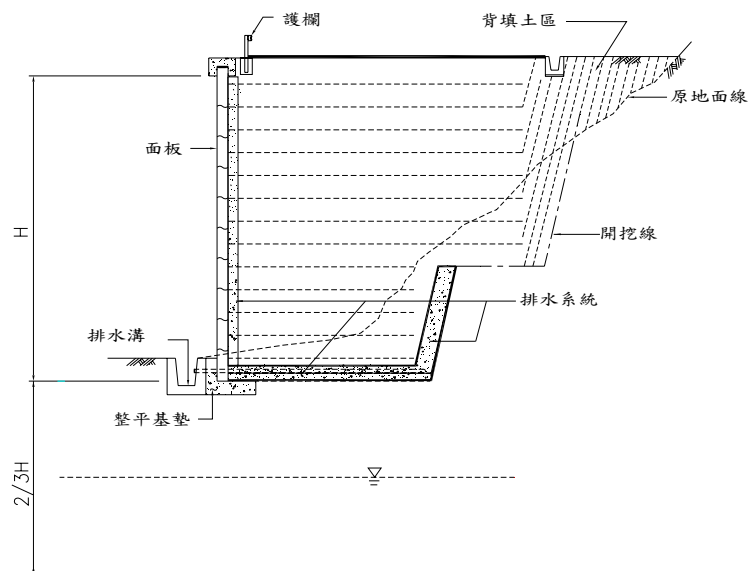


圖 4.10 剛性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

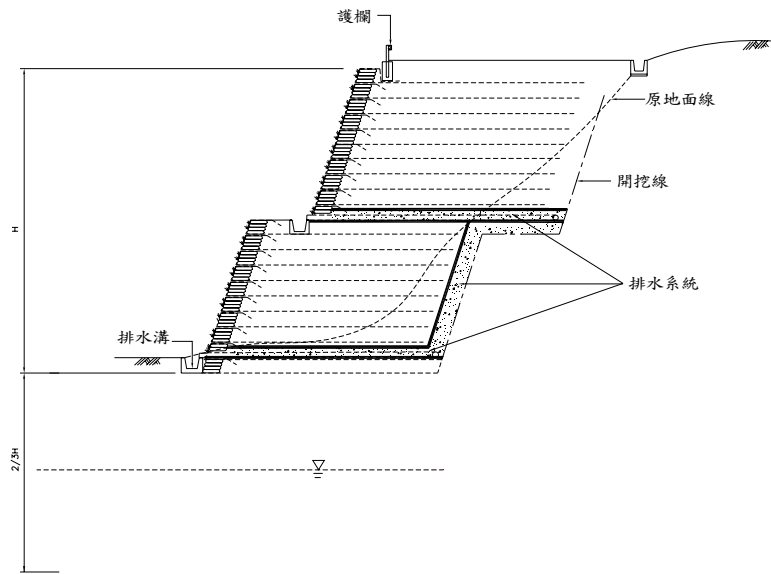


圖 4.11 柔性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

3. 常時地下水位位於加勁回填區

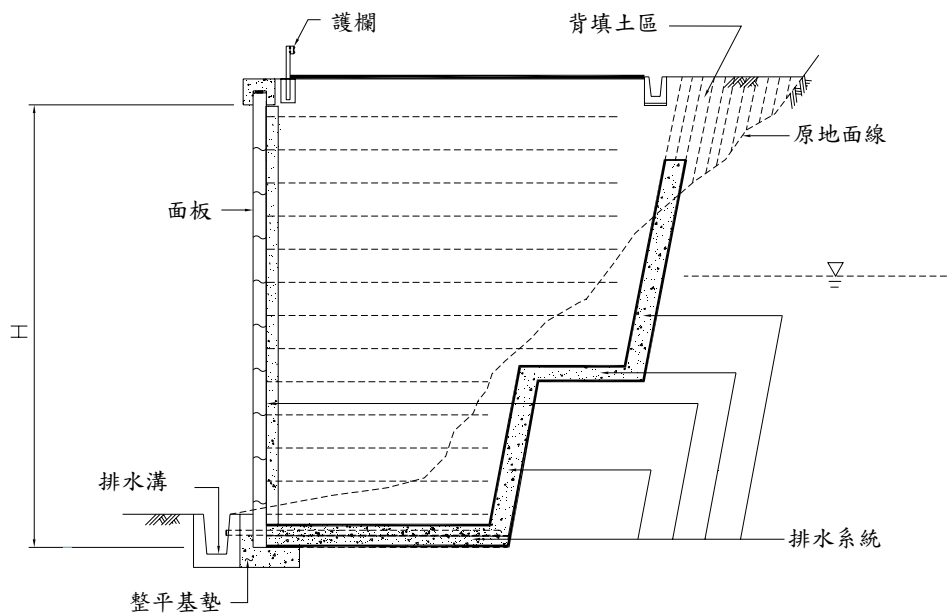


圖 4.12 剛性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

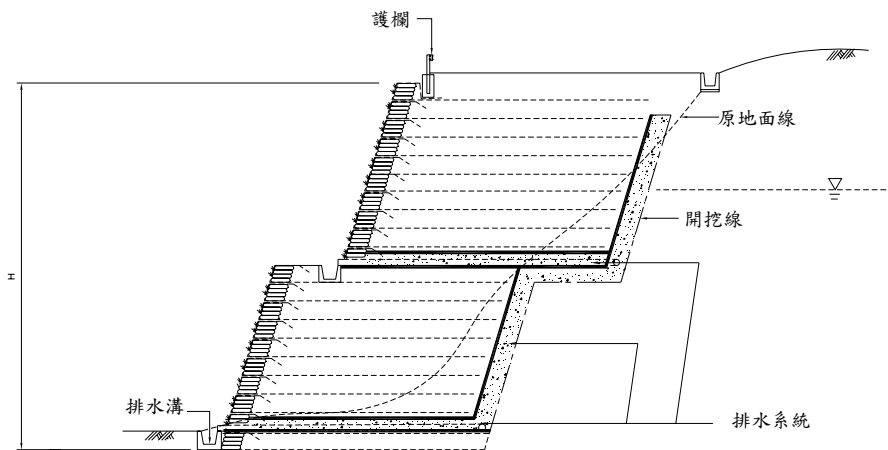


圖 4.13 柔性面版加勁擋土結構排水設施配置示意圖

4.12 特殊狀況

本節就特殊加勁擋土構造物設計考量及分析原則加以說明，多階式加勁擋土構造物如圖 4.14，其設計分析的主要考量如下，

- (1) 單一階層加勁擋土牆的設計需包括上方其它階層擋土牆所造成的額外垂直與水平應力。
- (2) 各階段設計完畢後需針對整體多階擋土牆的穩定性進行分析，由於多階擋土牆的幾何形狀複雜，因此整體破壞面有可能同時穿越加勁及非加勁區。

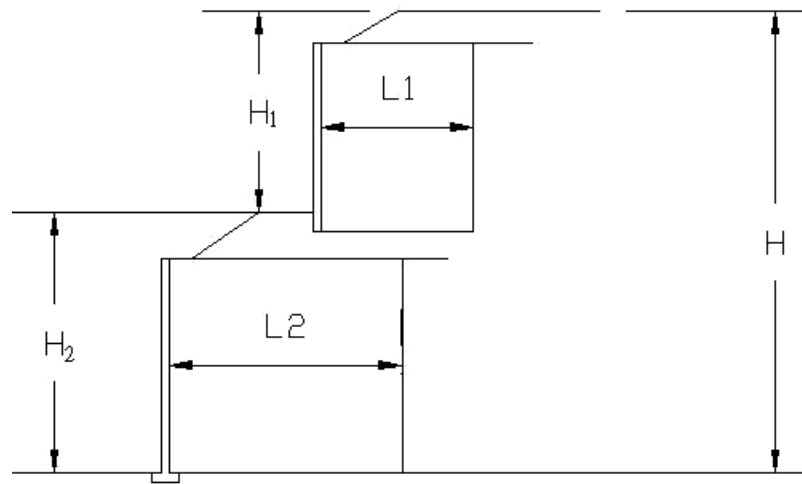


圖 4.14 多階式加勁擋土牆設計示意圖（FHWA，2001）

註：上述特殊狀況設計，應由設計單位提送詳細設計分析，經工程司核可。

第五章 加勁擋土構造物施工

5.1 加勁擋土構造物資料送審

加勁擋土牆、加勁邊坡施工前，應提供下列資料以供審查：

4. 施工計畫書。
5. 符合設計要求之施工材料檢驗報告。
6. 其他。

5.2 加勁擋土構造物施工材料

構築加勁擋土構造所採用之材料包括：加勁材料、填築材料、排水材料、面版與繫接構件等，應於施工前，預先覓得合於設計圖說要求且供應穩定的料源。

5.3 加勁擋土構造物使用之加勁材料

加勁材料進場之前，應就所擬採用的加勁材料，提出產品證明、試驗數據、[認證證書 (Certificate)] 及其他工程司所要求的文件，送請工程司核可後方得進場。

5.4 加勁擋土構造物使用之填築材料

加勁擋土構造物所使用之填築材料性質若符合設計圖說，得來自現地挖方、借土區或其他供應料源等，均不得含有有機物質，如樹枝葉、雜草等及會影響土體穩定與加勁材強度之有害物質，一般對於填築材料粒徑要求如下：

1. 加勁擋土牆加勁區填築材料：

粒徑分佈：	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	100
No.40 (0.425mm)	0 ~ 60
No.200 (0.075mm)	0 ~ 15
參考(AASHTO T-27)/FHWA	

2. 加勁邊坡加勁區填築材料：

粒徑分佈：	
篩號尺寸	過篩百分率
20mm	75 ~ 100
No.4 (4.76mm)	20 ~ 100
No.40 (0.425mm)	0 ~ 60
No.200 (0.075mm)	0 ~ 50
參考(AASHTO T-27)/FHWA	

5.5 加勁擋土構造物使用之面版材料要求

加勁擋土構造物可採用的面版材料可概分為剛性面版及柔性面版，若設計者為因應工程的特殊需要而採用特定的面版系統，則施工時應按設計圖說的指示施做，一般面版材料要求如下：

4. 預鑄混凝土面版 28 天抗壓強度不得少於 28kg/f 或 4000psi
5. 預鑄混凝土面版尺寸誤差應符合設計圖說規定
6. 柔性面版通常不是結構材料，因此不特別要求其規格，一般使用之面版材料要求與加勁材料相同。

5.6 加勁擋土構造物使用之其他材料

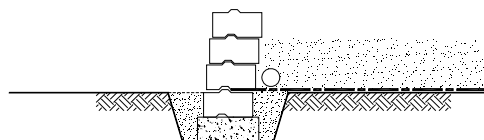
此節所述之其他材料包含排水材料、繫接構件等，施工時應按設計圖說的指示施做。

5.7 加勁擋土構造物施工步驟

加勁擋土構造之施工方式依面版樣式而有些微之差異，但主要的施工步驟卻差異不大，以下為剛性面版、柔性面版加勁擋土牆施工程序流程，如圖 5-2、5-3。



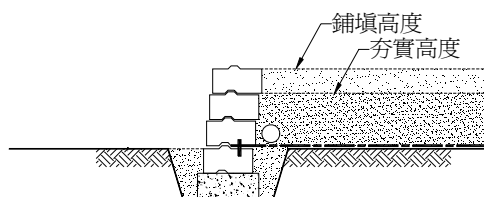
步驟一、整地開挖



步驟五、組立第二、三、四列面版塊



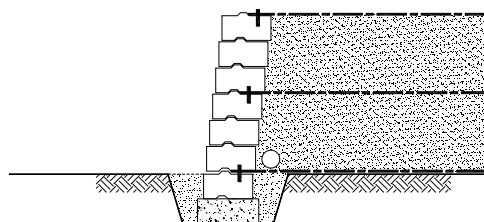
步驟二、設置整平基墊



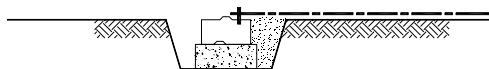
步驟六、分層鋪填及夯實填築土料



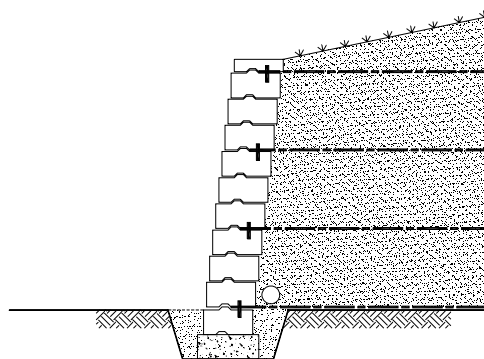
步驟三、組立第一列面版塊



步驟七、鋪設第二層加勁材料及後續之面版組立及土料鋪填夯實之作業



步驟四、鋪設第一層加勁材料



步驟八、設置完工頂蓋

圖 5-2 剛性面版施工步驟示意圖

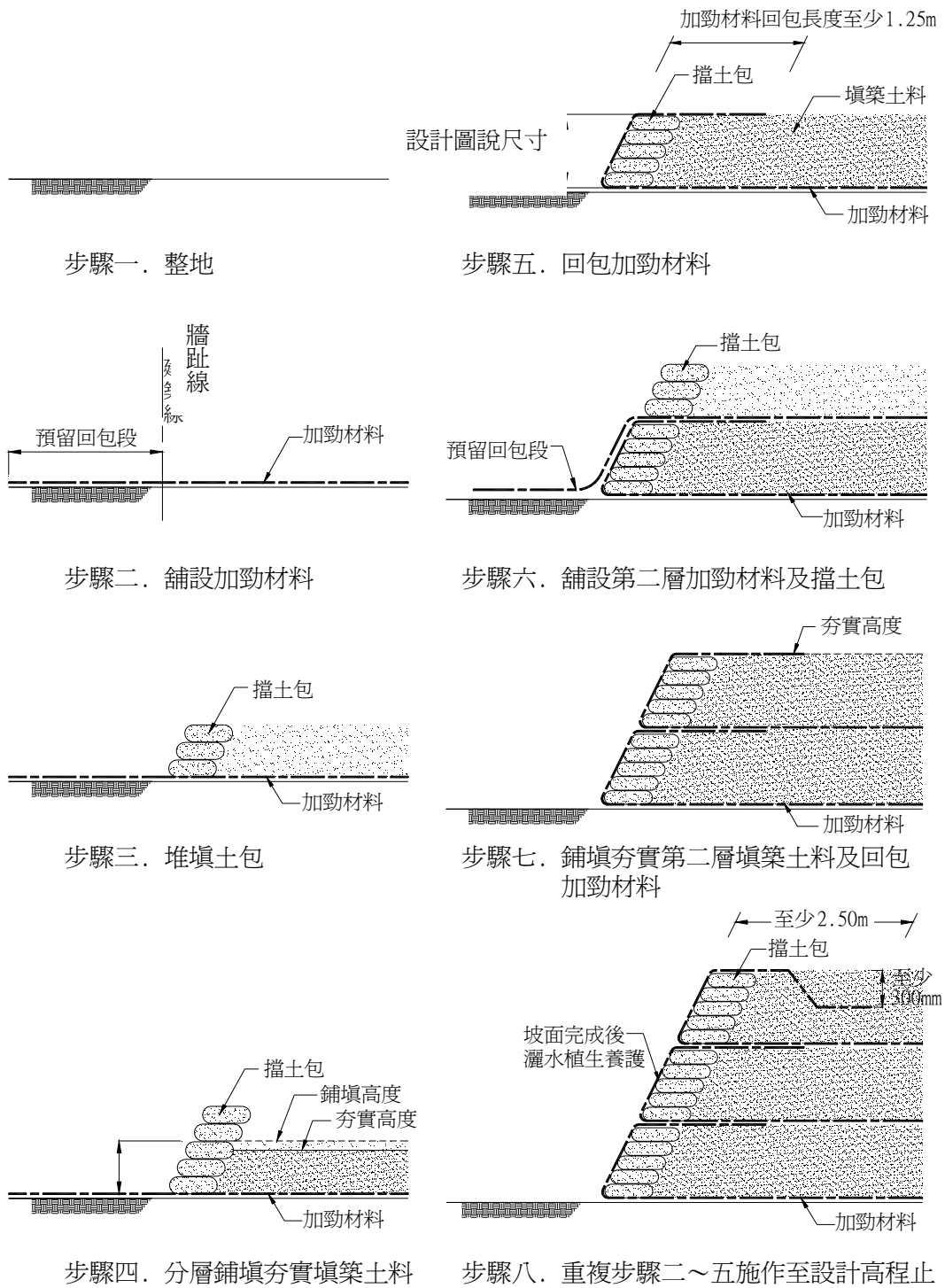


圖 5-3 柔性面版施工步驟示意圖

5.8 加勁擋土構造物施工品質注意事項

本節將依施工中對於工程品質應注意之事項分述如下：

3. 檢驗頻率：

- (1) 加勁材料檢驗項目及檢驗方法，應依契約及設計圖說之規定，若無規定時，可參考表 5-1、5-2，供檢驗之取樣數為每[3000]平方公尺一組，且每批貨至少須取樣一組；如試驗結果不合格，同批貨得再隨機抽取[3]組樣品複驗，若複驗結果有任何一組不合格，則該批產品不得使用。
- (2) 填築土料應採由外向內分層整平、夯實。每層夯實後每[500]平方公尺應依據 AASHTO T180 進行一組工地密度試驗，每層不足[500] 平方公尺時，則至少須進行一組試驗。

表 5-1 土工格網性質試驗方法

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	寬幅抗張強度	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、ASTM D4632
互制性質	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、GRI GG5、ENISO 13738

表 5-2 土工織物性質試驗方法

項目		規範依據(格網需求)	規範依據(織物需求)
長期抗拉強度	寬幅抗張強度	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG6、EN ISO 10319	CNS 13300、ASTM D4595、GRI GT9
	單肋條抗張強度	ASTM D6637、GRI GG1	
	延伸率	CNS13300、ASTM D6637、GRI GG1	CNS 13483、ASTM D4632
互制性質	施工損傷	ASTM D5818、ISO 10722	ASTM D5818
	拉出試驗	ASTM D6706、GRI GG5	ASTM D6706、GRI GG5、ENISO 13738

4. 施工注意事項：

- (1) 填築材料填築作業及加勁材料鋪設時，施工機具或車輛嚴格禁止直接碾壓過加勁材料，且任何作業不可損及加勁材料與擋土牆面板。所有車輛及施工機具設備，其停放位置應與擋土牆面保持至少 1.5 公尺以上之距離。
- (2) 材料進場儲存期間不得遭雨水浸泡、陽光直晒及其他有害於材料之儲存方式。
- (3) 成捲包裝之加勁材料應有中心管或導桿以利抬起，土工織物或加勁格網成捲時，應施加至少二點以上之支撐以避免過度彎曲。
- (4) 加勁材料應依設計圖說規定之間距與長度逐層鋪設，鋪設時若需搭接或其他結合方式，其搭接或結合方式之強度，需符合設計圖說之規定，施工單位於施工計畫中應詳述加勁材料鋪設施工計畫，至少包含施工步驟、施工細節、施工機械、加勁材錨碇方式與錨碇間距及搭接方式。

5.9 加勁擋土構造物計量與計價

1. 說明

除另有規定者外，加勁擋土構造物工程之計量與計價，承包商應提供為完成擋土構造物工程所需之一切開挖、回填、人工、材料、模版、機具、設備、動力運輸等以及完成構造物所需之其他附屬工作，其費用均已包含在各項工作契約單價內。

2. 計價

加勁擋土構造物應按實作數量，以立方公尺計算，並以契約單價計價。

附錄二 規範草案歷次審查會議出席紀錄

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第一次 規範草案初審會議簽到單

時間	民國 96 年 11 月 2 日 上午 09 時 00 分整	地點	交通部 1101 會議室
主持人		記錄	黃奉琦
單 位 簽 名			
出(列)席人員	台大土木系	陳孝河	
	交通大學地土系	郭勝峰	
	暨南大學土木系	劉永男	
	中央大學應用地質研究所	董永烈	
	公路總局	陳建發	
	路政司	溫外春	
	台北市大地技師公會	賴世偉	
	財團法人台灣營建研究院	李維峰	
		黃奉琦	
		蔡振程	
列席指導員			

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第二次 規範草案初審會議簽到單

時 間	民國 96 年 11 月 16 日 上 午 09 時 30 分整	地 點	臺灣營建研究院會議室
主持人		記 錄	黃奉琦
單 位 簽 名			
出(列)席人員	台大土木系	陳 榮 河	
	海洋大學	顏 廷 貴	
	中華地工材料協會	高 勝 龍	
	大地技師公會	賴 世 屏	
	宏達顧問	陳 建 茂	
	暨南大學	劉 永 男	
	中央大學	葉 永 鈞	
	台灣世曦工程顧問公司	周 功 全	
	營建研究院	李 維 峰	
		黃 奉 琦	
列席 指導員			

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第三次 規範草案初審會議簽到單

時 間	民國 96 年 12 月 18 日 上 午 09 時 30 分整	地 點	臺灣營建研究院會議室
主持人	陳榮河	記 錄	黃奉琦
單 位 簽 名			
出 (列) 席 人 員	台大土木系	陳榮河	
	大地技師公會	賴世屏	
	地球材料協會	郭勝雄	
	公路總局	陳維祥	
	交通部公路局	高引榮	
	暨大土木系	劉永男	
	海洋大學	翁道貴	
	台灣世曦版肉公司	周力之	
	財團法人台灣營建研究院		
		高振程	
		黃奉琦	
列席 指導員			

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第四次規範草案初審會議簽到單

時間	民國 97 年 1 月 14 日 上午 09 時 30 分整	地點	臺灣營建研究院會議室
主持人		記錄	黃奉琦
單 位 簽 名			
出(列)席人員	台大土木系	陳其河	
	中華材料協會	黃振振	
	大地技師公會	賴世祥	
	公路總局	陳維發	
	交通部	藍外榮	
	暨南大學土木系	劉永男	
	台灣世曦顧問公司	周力全	
	中央大學應用地質研究所	董嘉鈞	
	台科大	李維峰	
	海洋大學	翁達貴	
	台灣營建研究院		
		黃奉琦	
		黃振振	
列席指導員			

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第五次 規範草案初審會議簽到單

時間	民國 97 年 3 月 18 日 上午 09 時 00 分整	地點	臺灣營建研究院會議室
主持人		記錄	黃奉琦
單		位	
		簽 名	
出席(列)席人員			
	交通大學土木系	劉宗男	
	中華材料協會	蘇振程	
	公路總局	陳進發	
	交通部	高水長	
	大地技師公會	賴世祥	
	財團法人台灣營建 研究院	蘇振程	
		黃奉琦	
		王紹豐	
列席 指導員			

財團法人臺灣營建研究院

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

第六次 規範草案初審會議簽到單

時間	民國 97 年 4 月 17 日 上午 09 時 30 分整	地點	臺灣科技大學國際大樓會議室
主持人		記錄	黃奉琦
單 位 簽 名			
出(列)席人員			
	台灣大學	陳榮河	
	公路總局	陳維峰	
	中華地工材料協會	郭勝峰	
	海洋大學	翁達貴	
	交通部	溫仲春	
	中央大學	葉永鈞	
	大地技師公會	賴世屏	
		李維峰	
		黃奉琦	
列席指導員			

附錄三 歷次工作會議記錄

附錄四 公共工程委員會施工網要第 02838 章
加勁擋土牆-地工合成加勁材

附錄五 期中審查意見回覆表

交通部科技顧問室

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

期中審查意見暨回覆表

審查意見編號	審查意見	回覆意見
一、馮道偉 委員		
1	同意刪除加勁材料應用於鋪面的內容。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
2	請研究單位補附本計畫之合約摘要。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
3	研究單位目前的執行進度是否如預期？	已於期中審查會議中補充說明，目前執行進度如預期進度。
4	請研究單位將國外規範應用、蒐集、分析成果呈現於報告中。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
5	簡報資料中 P34. ~P37. 所列之圖形為附文獻出處。	遵照辦理。
二、陳天健 委員		
1	本案內容之編撰，於第二、三章內容建議改為針對各設計項目，就各國現行規範進行比較分析，與就所研擬之規範草案精神、細節、規範選定原則或原理進行說明，已延續出規範草案本體內容。	本項意見將研議辦理，並呈現於規範草案執行成果。
2	本案之耐震性及生態景觀功能及設計方面考量稍顯不足。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
3	於加勁擋土結構應用方面章節，建議可增加，「見現行國內各種交通工程設施類型，擬訂可以加勁擋土結構可替代之方向及規劃考量。」	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
4	加勁擋土結構之應用內容，建議可就其景觀、耐震、生態、防災等角色進行說明，以配合計畫服務建議書之主旨。	本項意見已於期中報告第三章敘明之，唯缺耐震特性的應用，此將於期末報告中進行修正。
5	規範草案與設計範例說明，兩者內容宜分別章節編寫，不宜合併成一章節，以利計畫成果後續之推廣。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
6	報告中部分名詞及用法應使用工程界常用之語法，以避免造成誤解。	遵照辦理。
7	針對簡報內容提及使用時機區分為緊急搶修、常態施工、特殊施工，針對不同情況設置不同規範細則，此一部份內容宜包含於規範中。	遵照辦理。

審查意見編號	審查意見	回覆意見
三、簡連貴 委員		
1	本計畫為落實加勁擋土結構應用於各項交通工程建設之新材料及新技術，並結合台灣本土環境生態永續發展之觀念，主要針對加勁結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段之規範加以研析，對交通工程建設永續發展相當重要，值得支持。期中報告主要包括加勁路堤、擋土牆與邊坡應用之文獻收集，及加勁擋土結構應用於各項交通工程之研究，已有初步規範構想，大致符合要求，研究團隊努力，應予肯定。	感謝委員鼓勵。
2	期初評審委員意見建議應適度說明補充，以利評估。	遵照辦理。
3	本計畫主要在研擬加勁擋土結構應用於交通土木工程規範，建議加強補充國內外相關規範之收集與比較分析，及加勁擋土結構新材料、新技術及工程(施工破壞)案例之收集研析，以期結合國內施工技術及自然環境因素(颱風、豪雨、地震)，落實本土化規範之計畫目標；另相關資料引用應說明其資料來源與出處，以利參考。	遵照辦理，將於期末報告中進行修正。
4	加勁擋土結構應用於各項交通工程之研究，建議應強化新材料、新技術及相關關鍵技術之研究說明，以作規範及後續推動之參考。	本項意見將於編撰規範草案中納入考量。
5	本計畫期建立之規範涵蓋加勁結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段，相當完整；以下意見請參考：(1)請說明規範撰寫格式之考量，建議參考大部過去相關規範或工程會規範之要求。(2)加勁擋土結構應用於交通土木工程，主要包括加勁路堤、擋土牆與邊坡應用，如何納入規範中，請補充說明。(3)規範中有關材料及工法之規定，應特別注意專利及特殊性，避免壟斷市場。	(1) 本項意見將遵循委員建議，參考大部歷次相關規範格式。 (2) 本案執行草擬規範大綱如報告附件一，然路堤、擋土牆及邊坡均為擋土結構，其使用材料、施工程序及注意事項雷同，唯其結構形式不同，因此於規範中將敘明各種結構形式應注意之要項。 (3) 遵照委員意見辦理。
四、張弘義		
1	期中報告內容豐富完整，對加勁材料詳細敘述，對其實例之應用實做研析，研究方法及方向正確。	感謝委員鼓勵。
2	下列建議提供參考： (1) 臺灣特性環境；地震多、雨量多於研擬規範時多加考量。	(1) 遵照委員意見辦理。

審查意見編號	審查意見	回覆意見
	<p>(2) 邊坡加勁擋土牆之排水功能至為重要，攸關其是否容易破壞，請加強。</p> <p>(3) 加勁材料應用於路堤主要在於避免大量沈陷，不適用於地下水位高之路堤，請研究單位對此結構應用加勁材之厚度取捨與建議提供研析評估方法。</p> <p>(4) 臺灣地區已使用案例之分析（成功、失敗）</p>	<p>(2) 遵照委員意見辦理。</p> <p>(3) 本項意見將研議辦理。</p> <p>(4) 本項意見將研議納入期末報告中修正。</p>
五、吳鎮封		
1	<p>在計畫目的與重要性中提及編訂加勁擋土結構應用於交通土木工程之草案，對於使用時機要再區分為緊急搶修、常態施工、特殊施工等時機，針對不同情況設置不同規範，若本研究能夠做到此地步，值得肯定。唯依據目前經驗，規範使用上以一般正常施工為主，顧問公司對於規範適用上亦然，因此對於緊急搶修部分是否編定規範予以限制，值得商榷，此有可能造成現場施工檢驗、驗收等困難，且時程過長而延誤搶修時效，且檢視本研究附錄 1 之草案大綱並未提及緊急搶修部份之處置，而報告中僅 2.1.3 節加勁材料應用於鋪面之設計中約略描述臨時性道路之隔離設計方法，其他狀況並未提及。</p>	<p>本研究研擬規範草案中之緊急搶修部份，可能因此而延誤搶修時程或造成施工、驗收困難，此項意見將本研究單位將審慎考慮並研議納入規範草案中，避免上述現象發生。</p>
2	<p>在計畫目的與重要性中提及本研究將辦理示範案例驗證，此部份確有需要，希望能將示範案例驗證之所有過程與計算等資料彙編成規範之附錄可供使用者參考，另外提及內容包括維護管理部份，此部份將如何呈現？以養護觀點視之，加勁結構物完成後維護管理部份僅剩養護巡察或損壞時之修復，巡察部份有公路養護手冊規定辦理，因此是否針對損壞時之修復？此部份一般依據正常施工狀況辦理即可。</p>	<p>感謝委員建議與建議，本項意見將納入期末報告中。</p>
3	<p>在計畫目的與重要性中有關建立規範草案審查機制部份，研究目標是建立規範草案機制供日後辦理規範草案審查之依據，亦或僅對本研究範疇內之規範草案審查進行，請研究單位釐清。</p>	<p>因加勁結構為一復合材料所組成之結構體，其成敗之關鍵因素除材料性質外，亦包含施工程序及其他關鍵因素，因此本研究單位初期構想分門別類進行審查，然僅針對本案執行，若日後其他類似案件僅供參考。</p>

附件六 期末審查意見回覆表

交通部科技顧問室

「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」

期末審查意見暨回覆表

審查意見 編號	審查意見	回覆意見
一、張弘義 委員		
1	建議研究單位將相關工程材料計量、計價列入研究報告中，以為後續工程執行單位編列預算時參考之用。	本項意見已納入研究成果規範草案第五章 5.9 加勁構造物計量與計價中。
二、陳天健 委員		
1	景觀、生態、環保的規範內容未見列入，建議研究單位可將此部份再加強內容，補充之。	本項意見已於研究報告中進行相關說明及資料收集，唯納入規範一案並不在本合約範圍。
2	目前本研究成果規範草案內容所規定的設計參數仍以摩擦角為主，此意謂著僅粗顆粒土料能為加勁結構所使用，建議研究單位應考慮細顆粒土料的使用可行性。	本研究成果大多彙整國內外相關規範所制訂，尤以國內現行之相關規範為主，為避免各規範間之競合，對於本項建議仍持保留。
3	目前交通工程設施中路堤、橋台屬主要設施，因此研究單位是否可將此設施應遵守的規範條文，納入本研究成果報告中。	路堤設施已納入，然對於橋台設施使用加勁構造物實屬特殊構造物，因此並不建議納入本規範草案中。
三、馮道偉 委員		
1	建議研究單位應多收集國外的文獻如德國、英國、日本等，不應只侷限於美國的文獻收集。	遵照辦理。
2	研究單位於案件執行過程中如何與產業界互動，請研究單位說明之。	本案於規範初審會議中邀集產官學界代表參與，會議歷程概述於第六章。
3	規範草案的格式並未統一，同時加勁擋土牆及加勁邊坡的區分應給予文字說明。	遵照辦理。
4	建議研究單位，應於成果報告中增列或說明，本研究成果之規範草案完成後至正式執行的後續建議等，相關說明	遵照辦理。
四、工程會		
1	請研究單位於成果報告中補充期中審查意見	將依委員意見補充至附件四。
2	示範案例的驗證請研究單位補充說明之。	將依委員意見補充於第七章加勁擋土結構示範工程驗證案例解說。
3	施工綱要第 02838 章已修正為地工合成材，請研究單位更正	遵照辦理。
4	針對部頒規範納入加勁擋土結構部份，是否應註明地工合成材料部份。	本項意見將研議辦理。

審查意見編號	審查意見	回覆意見
四、路政司		
1	示範案例的驗證請研究單位具體說明，並納入本研究成果中。	將依委員意見補充於第七章加勁擋土結構示範工程驗證案例解說。
2	本研究成果規範草案中，第五章經初審會議結論，已有部份內容修改，請研究單位另行修正補充之。	遵照辦理。
3	關於規範內所提之「材料驗證」，國內是否有合乎該項規定之認證單位？此一新措施納入規範是否適當，請研究單位斟酌	本項意見將研議辦理。
4	針對加勁擋土結構納入部頒規範作業，考量各規範的格式及屬性，本項作業是否妥當，請研究單位考量。	本研究成果為規範草案，將以單行本與納入部頒規範兩案並呈的方式提送。
五、國工局		
1	規範內名詞定義應更加詳細，請研究單位於以修正。	遵照辦理。
2	地工織物與非織物的加勁使用，請研究單位釐清。	遵照辦理。
3	本研究成果規範草案 P33 地工織物試驗項目，是否應區分加勁功能與排水功能。	遵照辦理。
4	規範條文內容所提「材料功能驗證」對於後續執行是否有可預期的困難。	本項意見將研議辦理。
5	請研究單位說明，長期容許抗拉強度與抗拉強度間的關連性。	本項意見將敘明於第四章 4.1 加勁擋土結構設計分析。
六、公路總局		
1	建議研究單位於規範條文加入適當的解說，以避免工程單位誤用。	本項意見將研議辦理。
2	建議研究單位考量地工合成材料與金屬加勁材間的競合關係。	遵照辦理。
3	現場抽樣檢驗項目的規範限定，目前國內試驗單位是否能承攬，請研究單位說明之。	本項意見將研議辦理。
七、高公局		
1	抗紫外線試驗的參考規範，請研究單位確認該參考規範的編號。	遵照辦理。
2	請研究單位於成果報告中若有英文圖示者，應以中英文對照之。	遵照辦理。

附件七 期末修正審查意見回覆表

交通部科技顧問室
「加勁擋土結構應用於交通土木工程規範草案之研究」
期末修正稿審查意見暨回覆表

審查意見編號	審查意見	回覆意見
一、陳天健 委員		
1	P7.beaning capacity 修正為 bearing capacity	本項建議依委員意見修正。
2	P9.長樑效應之概念，尚未為學術研究領域之共識，相關內容請予以刪除。	本項建議依委員意見修正。
二、馮道偉 委員		
1	所有引用之文獻應列於參考文獻中，目前尚不完整。	本項建議依委員意見修正。
2	所有引用之圖表皆應註明出處。	本項建議依委員意見修正。
3	表 2-1 中最右欄之 GRI 是否應為 GSI？	GRI 為”Geosynthetics Research Institute Test Methods and Standards 的縮寫。
4	DIS、BS、JIS 規範之內容應有參考價值，有必要評述之，請表列其內容。	本項建議依委員意見修正於 2.9 節相關規範蒐集與比較。
5	第六章相關問題：整個研究其間僅與一家施工廠商座談，是否足夠？此部份與研究構想有落差，若相關意見調查與蒐集另有相關學會進行，亦應將成果列入報告中，以佐證本規範草案擬定之基礎。	本項建議研究單位的執行方式為，邀請中華地工材料協會為廠商連絡窗口，並邀請協會代表參與審查會充分反應產業界的意見。
三、簡連貴 委員		
1	本計畫為落實加勁擋土結構應用於各項交通工程建設之新材料及新技術，並結合臺灣本土環境生態永續發展之觀念，主要針對加勁擋土結構設計、選材、施工、監測及管理維護等各工程階段之規範加以研析，五大工作項目（除示範案例驗證應補強說明外）大致符合要求，尤其規範草案邀請專家審查且已有初步研究成果可供參考，研究團隊努力值得肯定。	感謝委員肯定
2	有關加勁擋土結構應用於交通土木工程示範案例驗證，建議加強補充說明或於後續計畫中落實推動。	本項建議以補充於研究報告第七章。
3	期初、期中評審委員意見建議應適度說明補充，以利評估參考。	遵照辦理。
4	本計畫期建立之規範涵蓋加勁結構設計、選材、施工、監測及管理維護等工程階段，相當完整，以下意見請參考： (1) 有關沈陷要求規定，建議參考相關規範	(1) 現行相關規範均以土壤最大夯實度為規範要求，因此本項建議仍以依循原規範草案撰寫方式。 (2) 本項意見依委員建議敘明於第

	<p>及加勁擋土結構之特性，具體規範沈陷要求或允許沈陷量。</p> <p>(2) 加勁擋土結構應用於交通土木工程，主要包括加勁路堤、擋土牆與邊坡應用，如何納入規範中，請補充說明。</p> <p>(3) 規範中有關加勁材料之功能驗證，請再考量其完整性及妥適性。</p> <p>(4) 目前規範草案已經初步具參考價值，建議補充維護管理相關規定。</p> <p>(5) 建議後續考量規劃示範計畫或適用規範之機制，以評估其合理性及適應性。</p>	<p>八章加勁擋土結構規範草案納入部頒規範作業建議。</p> <p>(3) 本項建議為研究單位參酌國外行之有年的制度草擬成果，並提送交通部建議採用，雖然委員考量不同意見，但仍鑑請提送部內進行最後的審查。</p> <p>(4) 本項建議將列入後續建議事項。</p> <p>(5) 本項建議將列入後續建議事項。</p>
四、吳鎮封 委員		
1	「加勁擋土牆設計流程」及「加勁邊坡設計流程」僅有流程圖，是否應有解說較佳。	本項建議依委員意見修正。
2	P4-7「FS：抗拉出破壞安全係數」與 P4-10 頁「FS _{pullout} ：抗拉出破壞安全係數」為同一安全係數，請統一。	本項建議依委員意見修正。
3	規範草案內容「4.4 加勁擋土牆側向土壓力分析」(P4-4) 列出各符號所代表之意義，但卻未列算式，是否為遺漏？	本項意見經草案初審會議決議通過之呈現方式。
4	擋土牆與邊坡對於排水需謹慎處理，「4.10 排水設計部份」僅有示意圖，是否恰當？	本項建議依委員意見增列排水設施配置目的為避免地下水、地表逕流及雨水滲入加勁土層區。
五、張弘義委員		
1.	同意研究單位期末修正稿	感謝委員肯定