

坡地社區生態防災工法
暫行技術手冊暨解說
擋土設施及坡面保護工編
(含參考基本圖彙編)

內政部建築研究所委託研究報告

094301070000G1001

GRB : PG9402-0345

坡地社區生態防災工法
暫行技術手冊暨解說
擋土設施及坡面保護工編
(含參考基本圖彙編)

受委託者：淡江大學

研究主持人：洪勇善

協同主持人：陳榮河

研究員：方仲欣

研究助理：陳國賢 周亦蕙 朱志峰

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國九十四年十二月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

**Provisional specifications and illustrations of
ecological engineering methods for slope
protection in hillside residential communities**

BY

YUNG-SHAN HONG

RONG-HER CHEN

JONG-SHIN FANG

KUO-HSIAN CHEN

I-HUI CHOU

CHIH-FENG JU

December 20, 2005

章節目次

章節目次	I
表次	
圖次	V
摘要	X
英文摘要	XII
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起與目的.....	1
1.2 山坡地的災害類型.....	2
1.3 應用生態防災工法的重要性.....	5
1.4 研究內容與過程.....	6
第二章 名詞釋義	9
第三章 坡面保護工之解說與設計	13
3.1 總則.....	13
3.2 植生毯.....	14
3.3 切枝壓條.....	17
3.4 加勁椰纖毯.....	19
3.5 萌芽樁配合抗沖蝕毯.....	22
3.6 打樁編柵.....	25
3.7 萌芽枝條捆.....	27
3.8 蜂巢格網.....	29
3.9 型框噴植.....	32
第四章 擋土工之解說與設計	35
4.1 總則.....	35

4.2	砌石牆.....	38
4.3	格框牆.....	53
4.4	箱籠牆.....	61
4.5	土工合成材加勁牆.....	75
4.6	土釘牆.....	105
第五章	基本圖說彙編.....	145
第六章	結論與建議.....	159
附錄一	第一次專家座談會專家意見.....	161
附錄二	期中審查專家意見.....	167
附錄三	第二次專家座談會專家意見.....	173
附錄四	聯合研討會專家意見.....	179
參考文獻	183

表次

表 1.2.1	山坡地分類表.....	3
表 1.2.2	坡地類型說明表.....	3
表 3.3.1	切枝壓條之間距.....	18
表 3.5.1	抗沖蝕毯種類及其耐久性.....	23
表 3.7.1	萌芽枝條捆之間距.....	28
表 4.1.1	砌石牆、格框牆與箱籠牆之常用牆高範圍.....	36
表 4.1.2	擋土工適用情形.....	36
表 4.1.3	擋土牆牆體穩定之最小安全係數要求.....	37
表 4.2.1	各類常見石材之單位重一覽表.....	39
表 4.2.2	各類石材之大小分類.....	40
表 4.2.3	石材之尺寸標準.....	40
表 4.2.4	卵塊石設計尺度之許可差範圍.....	41
表 4.2.5	不同基礎土壤之擋土牆基底摩擦係數參考值.....	46
表 4.2.6	抗傾倒安全係數(FS) _{OT} = 2.0 時，不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比(h/b)一覽表.....	50
表 4.3.1	格框牆之混凝土及鋼筋檢驗標準.....	57
表 4.4.1	鍍箱籠單元及鍍鋅鐵絲之常用尺寸.....	64
表 4.4.2	箱籠牆參考設計圖表.....	71
表 4.4.3	箱籠牆參考設計圖表之二.....	74
表 4.5.1	各折減係數之建議值.....	78
表 4.5.2	回填土料各性質要求之建議值.....	79
表 4.5.3	加勁擋土牆埋置深度.....	82

表 4.5.4	加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果.....	102
表 4.5.5	加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果.....	103
表 4.5.6	加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果.....	104
表 4.6.1	土釘工法適用與不適用之地質條件.....	106
表 4.6.2	竹節鋼筋之標示代號、單位質量、標稱尺度及節之尺度規範.....	111
表 4.6.3	圓鋼棒及竹節鋼棒試驗標準.....	112
表 4.6.4	土釘極限拉出阻抗.....	116
表 4.6.5	土釘支撐結構參數.....	116
表 4.6.6	pH 值與防蝕處理之對策.....	119
表 4.6.7	地層的腐蝕標準.....	120
表 4.6.8	土壤腐蝕性分類表.....	121

圖次

圖 1.4.1	研究作業流程圖.....	7
圖 3.1.1	坡面保護工之適用條件.....	14
圖 3.2.1	植生毯穩定工.....	15
圖 3.2.2	植生毯.....	15
圖 3.2.3	植生毯之施工.....	16
圖 3.3.1	切枝壓條穩定工示意圖.....	17
圖 3.3.2	切枝壓條穩定工.....	19
圖 3.4.1	加勁椰纖毯穩定工示意圖.....	19
圖 3.4.2	加勁椰纖毯.....	20
圖 3.4.3	加勁椰纖毯穩定工.....	21
圖 3.5.1	萌芽樁配合抗沖蝕網穩定工.....	22
圖 3.5.2	抗沖蝕網之材質.....	23
圖 3.5.3	萌芽樁.....	24
圖 3.5.4	萌芽樁配合抗沖蝕網之施工.....	25
圖 3.6.1	打樁編柵穩定工示意圖.....	25
圖 3.6.2	打樁編柵穩定工.....	26
圖 3.7.1	萌芽枝條捆穩定工示意圖.....	27
圖 3.7.2	萌芽枝條捆穩定工.....	29
圖 3.8.1	蜂巢格網穩定工示意圖.....	29
圖 3.8.2	蜂巢格網.....	30
圖 3.8.3	蜂巢格網穩定工.....	31
圖 3.9.1	型框噴植穩定工示意圖.....	32

圖 3.9.2	型框噴植穩定工.....	33
圖 4.2.1	砌石牆標準斷面示意圖.....	38
圖 4.2.2	砌石牆植栽布置示意圖.....	39
圖 4.2.3	重力式擋土牆之簡化斷面圖.....	43
圖 4.2.4	卵石(或塊石)之堆壘法示意圖.....	48
圖 4.2.5	抗傾倒安全係數(FS) _{OT} = 2.0 時, 不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比關係圖.....	50
圖 4.2.6	抗傾倒安全係數(FS) _{OT} = 2.0 時, 不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比(h/b)關係圖.....	51
圖 4.2.7	本研究重新檢算表 4.2.6 中當 $\beta=0^\circ$ 及 $\beta=20^\circ$ 時之抗傾倒安全係數.....	52
圖 4.3.1	格框牆示意圖.....	53
圖 4.3.2	混凝土格框牆應用實例.....	54
圖 4.3.3	表面植生之格框牆.....	54
圖 4.3.4	不同牆高之格框牆示意圖.....	58
圖 4.3.5	格框牆之高度及基底摩擦係數與抗滑動安全係數之關係圖.....	59
圖 4.3.6	格框牆之抗傾覆安全係數與牆高關係圖.....	60
圖 4.4.1	箱籠牆示意圖.....	61
圖 4.4.2	箱籠牆應用實例.....	61
圖 4.4.3	箱籠牆植栽配置示意圖.....	62
圖 4.4.4	箱籠牆植栽實例.....	62
圖 4.4.5	箱籠結構組成單元示意圖.....	64
圖 4.4.6	由填充石材之單位重 γ_s 及孔隙率 n 決定外視總體單位重 γ_g	65

圖 4.4.7	箱籠結構穩定檢核與應力分析作用力.....	68
圖 4.4.8	不同牆高之箱籠牆示意圖.....	73
圖 4.5.1	應用於坡地社區邊坡之地工合成材加勁擋土結構之 型式.....	75
圖 4.5.2	加勁土壤結構示意圖.....	76
圖 4.5.3	地工合成材加勁邊坡.....	77
圖 4.5.4	加勁擋土牆之設計流程.....	80
圖 4.5.5	加勁擋土牆作用力之分佈.....	84
圖 4.5.6	加勁邊坡之設計流程.....	87
圖 4.5.7	加勁邊坡之穩定分析.....	88
圖 4.5.8	加勁擋土牆施工步驟.....	91
圖 4.5.9	加勁擋土結構施工用模板.....	91
圖 4.5.10	加勁擋土牆加勁材鋪設長度之設計圖表.....	93
圖 4.5.11	加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表 ($H=6\text{ m}$ 、 $T_{ult}=120\text{ kN/m}$).....	95
圖 4.5.12	加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表 ($H=6\text{ m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$).....	96
圖 4.5.13	加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表 ($T_{ult}=120\text{ kN/m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$).....	97
圖 4.5.14	Jewell(1991)設計圖表($r_u=0$).....	99
圖 4.5.15	Jewell(1991)設計圖表($r_u=0.25$).....	100
圖 4.5.16	Jewell(1991)設計圖表($r_u=0.5$).....	101
圖 4.5.17	加勁擋土牆設計範例一之結果.....	102
圖 4.5.18	加勁擋土牆設計範例二之結果.....	103

圖 4.5.19	加勁邊坡設計範例之結果.....	104
圖 4.6.1	土釘牆示意圖.....	105
圖 4.6.2	鑽孔灌漿釘構造.....	107
圖 4.6.3	土釘加勁結構設計流程圖.....	118
圖 4.6.4	不同腐蝕環境土釘所需犧牲之厚度.....	123
圖 4.6.5	土工複合物排水帶.....	126
圖 4.6.6	現地土釘拉出試驗設備示意圖.....	131
圖 4.6.7	現地土釘拉出試驗之潛變曲線示意圖.....	132
圖 4.6.8	臨界潛變荷重示意圖.....	132
圖 4.6.9	坡高 10m 與 20m 設計圖之比較.....	135
圖 4.6.10	坡度 30°、 $c = 10$ kPa 之設計圖表.....	136
圖 4.6.11	坡度 30°、 $c = 20$ kPa 之設計圖表.....	136
圖 4.6.12	坡度 40°、 $c = 10$ kPa 之設計圖表.....	137
圖 4.6.13	坡度 40°、 $c = 20$ kPa 之設計圖表.....	137
圖 4.6.14	坡度 40°、 $c = 30$ kPa 之設計圖表.....	138
圖 4.6.15	坡度 50°、 $c = 10$ kPa 之設計圖表.....	138
圖 4.6.16	坡度 50°、 $c = 20$ kPa 之設計圖表.....	139
圖 4.6.17	坡度 50°、 $c = 30$ kPa 之設計圖表.....	139
圖 4.6.18	坡度 60°、 $c = 10$ kPa 之設計圖表.....	140
圖 4.6.19	坡度 60°、 $c = 20$ kPa 之設計圖表.....	140
圖 4.6.20	坡度 60°、 $c = 30$ kPa 之設計圖表.....	141
圖 4.6.21	坡度 70°、 $c = 10$ kPa 之設計圖表.....	141
圖 4.6.22	坡度 70°、 $c = 20$ kPa 之設計圖表.....	142
圖 4.6.23	坡度 70°、 $c = 30$ kPa 之設計圖表.....	142

圖 4.6.24	坡度 80°、 $c=10$ kPa 之設計圖表.....	143
圖 4.6.25	坡度 80°、 $c=20$ kPa 之設計圖表.....	143
圖 4.6.26	坡度 80°、 $c=30$ kPa 之設計圖表.....	144
圖 5.1	基本圖說 - 植生毯.....	146
圖 5.2	基本圖說 - 切枝壓條.....	147
圖 5.3	基本圖說 - 加勁椰纖毯.....	148
圖 5.4	基本圖說 - 萌芽樁配合抗沖蝕毯及萌芽枝條捆.....	149
圖 5.5	基本圖說 - 打樁編柵.....	150
圖 5.6	基本圖說 - 蜂巢格網.....	151
圖 5.7	基本圖說 - 混凝土型框植生.....	152
圖 5.8	基本圖說 - 噴凝土型框植生.....	153
圖 5.9	基本圖說 - 砌石牆.....	154
圖 5.10	基本圖說 - 格框牆.....	155
圖 5.11	基本圖說 - 箱籠牆.....	156
圖 5.12	基本圖說 - 土工合成材加勁牆.....	157
圖 5.13	基本圖說 - 土釘牆.....	158

摘 要

關鍵詞：坡地社區、生態防災工法、擋土設施、坡面保護工

一、研究緣起

坡地社區的整治，以往常以安全性及經濟性為主要考量，生態環境與景觀常受到忽視。近年來隨著國民生活品質的提升，及生態環境保育意識的覺醒，於是，「生態工法」乃漸受重視。台灣生態工法之觀念與技術的發展過程，類似日本之「近自然河川工法」，仍偏向溪流治理方面的應用，而較缺乏整治坡地社區之相關工法的研究。基於對生態環境及保育的重視，工程整治時各單位也極力朝兼顧環境保育的方向努力；然缺乏相關的設計與技術手冊，致使此工法難於推廣。當此工法應用於群聚密度較高之坡地社區的整治時，更應謹慎分析、界定各種可能採用工法之適用條件與範圍，並釐清採用生態工法時之安全疑慮。因此，考量結構安全、經濟成本與環境生態之生態防災工法，乃逐漸成為防災整治方式的共識。

二、研究方法及過程

本研究根據九十三年度「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」的計畫成果，彙整國內外相關資料，研擬符合生態工法理念之擋土設施與坡面保護工的暫行技術手冊，以供相關技術人員參考應用。

本計畫內容主要分成三部分：1.坡面保護工設計方法及解說；項目包含植生毯、切枝壓條、加勁椰纖毯、萌芽樁配合抗沖蝕毯、打樁編柵、萌芽枝條捆、蜂巢格網、型框噴植等的設計方法與解說之擬定。2.擋土工之解說與設計；包含砌石牆、格框牆、箱籠牆、土工合成材加勁牆及土釘牆等，分別進行通則、材料、分析、設計、施工、檢驗或檢測的解說，及參考設計圖表等之建立。3.基本圖說彙編；擬定各工法施工基本圖、配置原則及注意事項等。

三、重要發現

本研究蒐集國內外相關文獻，依據生態工法原則，提出 8 種可應用於坡地社區坡面保護的工法，並條列設計與施工步驟。在擋土工方面則提出 5 類；其中砌石牆與格框牆於石塊間孔隙可配合植栽而提供植物生長與生物棲息的環境。而箱籠牆除生態功能外，屬柔性結構能承受較大的不均勻沉陷。土工合成材加勁牆表層植生容易且具耐震性佳之優點，適用於需較高擋土設施的情況。而土釘牆僅需小規模之修坡，施工機具輕巧，對於生態衝擊輕微，且坡面可結合型框噴植，加速自然環境的營造，適合應用於坡地社區邊坡的補強。

四、主要建議事項

由本計畫之研究成果顯示，無論是坡面保護工或擋土工皆有多種工法可供應用，惟必須配合適當的地質條件，方能發揮最大功效。在本研究計畫的基礎下，尚有部分研究議題值得探討，茲建議如下：

➤ **立即可行建議：**

1. 生態排水設施之建立及施工規範。

➤ **中長期建議：**

2. 加勁擋土牆與土釘牆的動態分析與設計準則的研擬。
3. 台灣各種地質之土釘極限拉出阻抗資料的彙整與現地試驗。

ABSTRACT

Keywords: hillside residential communities, ecological engineering method, retaining structures, superficial protection of slopes.

Safety and economic are the major concerns in renovation of slopes located in old hillside residential communities. However, improvements of living standard in Taiwan nowadays call forth people's attention to the preservation of ecological system prior to, during, and post- construction of enhancing works. Hence, based on previous study in exploring the feasibility of slope stability techniques, provisional specifications and illustrations of ecological engineering methods in improving the stabilities of existed slopes under the prerequisite of ecological and environmental protections are proposed in this project.

The primary objectives of this research work include the following topics:

- (1) Specifications and illustrations of various retaining structures.
- (2) Specifications and illustrations for protection methods of slope faces.
- (3) Design charts for retaining structures based on typical soil types in Taiwan.
- (4) Compilation of the graphic displays for basic design methods.

第一章 緒論

1.1 研究緣起與目的

台灣地理位置與自然環境特殊，颱風與地震頻仍，加以地形陡峭、易引發土石流與坡地災害，此等天然災害經常造成重大經濟損失與人員傷亡。近十年來由於台灣產業快速發展，大規模山坡地社區的開發達到高峰，然而許多工程對於選址、邊坡穩定設計、水土保持規劃等常不夠嚴謹，所產生意外災害型態也愈趨複雜，每當雨季或颱風夾帶大量降雨，常常導致山坡地崩塌及土石流等災害，嚴重性及損失對民眾之影響不容忽視。

我國對於災害的問題一向非常關心，政府相關部門也積極從事災害防治工作，歷年來投入相當多的人力與資源於防災業務上，防災科技研究亦逐年增多。自民國 86 年 11 月「防災國家型科技計畫」以及 92 年 11 月「國家災害防救科技中心」成立以來，天然災害防治研究已漸趨整合，並陸續將成果落實應用於災害防救實務工作。台灣約 74% 面積為山坡地，在經濟發展之下，人為的開發因而必須向山區延伸，當住宅開發漸漸往山坡地移動時，甚多交通、水利、電力等設施亦往山坡地興建，建物愈多則安全問題便更加突顯，使得諸多土木設施興建與山坡地有密切之關係。概觀一般山坡地建設，擋土工程是基本且實際的方法，內容除採傳統修坡、止滑樁、各種形式擋土牆及格樑外，近幾年也逐漸採用加入抗張材的施工法(加勁工法)，使得施工方式之選擇更加多元，也因此對於不同需要而衍生出各種不同的擋土施工方法，更須仔細評估各擋土措施對工程所造成之效益，有關此部份已於前期研究「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」(洪勇善等人，2004a)進行探討與分析，本期研究則著重於各擋土設施及坡面保護工之解說與設計。

隨著國民生活品質的提升，及生態環境保育意識抬頭，「生態工法」(ecological engineering methods)逐漸成為共識。生態工法基本上

是遵循自然法則，在工程中考量自然與人類的共存共榮。台灣生態工法之觀念與技術的發展過程，也與國外相同，仍偏向溪流治理方面的應用，而較缺乏坡地社區整治之相關生態防災工法的依據。

位居建築密集之坡地社區，保護對象較一般護岸與道路邊坡為多，此時更應以安全為首要，生態為導向方為上策，故生態防災工法可視為「以安全為基礎、生態為導向，藉以減少周遭生態環境之衝擊，而達到生態與防災目的之工程方法」。因此，坡地社區整治與維護除了應深切體認「生態、安全、經濟」三項重點考量外，更應該落實生態防災工法之精神方可有效抑止災害威脅擴大。

由於生態保育觀念逐漸受到重視，工程整治時各單位也極力朝兼顧環境保育之方向努力；然相關的設計與技術手冊缺乏。有鑑於此，內政部建築研究所規劃本期研究朝向擬定坡地社區生態防災工法暫行技術手冊，解說擋土設施及坡面保護工，以及進行參考基本圖之彙編。經建研所依據採購法辦理評選，選擇過去具有此方面學術經驗之淡江大學團隊承辦本項計畫。

1.2 山坡地的災害類型

一般而言，山坡地的範圍具有標高與傾斜度之特徵，在此範圍內之山坡地利用與平地應有所區別。從建築學的觀點，山坡地的利用必須合乎人類生活條件的需求，才能增進人類生活環境的品質。而從經濟學的觀點，山坡地是都市外圍的邊際土地，其開發投資必須有一定之效益，否則應以保育為重。

就法律規章方面，山坡地的定義分見於「水土保持法」、「山坡地保育利用條例」、以及「山坡地開發建築管理辦法」(內政部營建署，1997)，符合下列情形之一者劃定為山坡地：

- 標高在一百公尺以上者。
- 標高未滿一百公尺，而其平均坡度在百分之五以上者。

此外，山坡地之界定亦應以當地政府公告為基準，有關坡度的分級詳見表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 山坡地分類表

分類	坡度(%)	分級	適合開發對象	備註
平坦地	<5	一級坡	大規模住宅建設	開發成本低
極緩坡	5~15	二級坡	高級別墅住宅	需注意水土保持
緩坡	15~30	三級坡	階梯住宅	成本及危險度高
中坡	30~45	四級坡	不得開發	不得開發
陡坡	45~100			
極陡坡	>100			

(張石角，1989；水土保持技術規範，2003)

山坡地社區即為設立於山坡地的住宅社區，因此山坡地的開發工程較一般平地工程更容易發生災變，且在坡地施工完成後，往往仍存在危險性。台灣山坡地由於環境地質的複雜而呈現相當的脆弱性，在開發行為中易產生建築破壞之坡地如表 1.2.2 所示。

表 1.2.2 坡地類型說明表

坡地類型	說明	災變破壞案例
順向坡地	脆性破壞、人民傷亡易產生。	汐止林肯大郡、台北虎山
崩積土坡	破壞規模大，且時程長，易造成房屋龜裂。	台北外雙溪中央社區、中部梨山地區
紅土坡地	紅土台地中央較安定，但在台地與平地界面之陡坡或大侵蝕溝之邊坡則很不安定。	林口台地嘉寶村
泥岩坡地	除考慮建築本身穩定外，周遭邊坡之安定性也需注意。	西南部泥岩地區
填方坡地	規模中等，滑動多屬漸進式或緩慢破壞，人員傷亡少，但財產損失大。	米蘭山莊、頂好花園新城、白雞山莊
陡坡或懸崖下方	數量多但規模較小，較少受到注意。	陡坡風化土、風化岩特別發達之地
谷口沖積扇(土石流區)	豪大雨時易受土石流攻擊。	銅門社區、郡坑口、豐丘

(整理自洪如江，1998)

山坡地災害可分為自然因素與人為因素，而人為因素導致坡地災害就發生原因分類，可概分為以下四大類(整理自廖瑞堂，1998)：

1. 地表排水或地下排水不良所引起的坡地災害

坡地社區的開發，在設計階段沒有妥善規劃地表及地下水排水措施，亦或根本沒有將排水部分列入規劃與設計中詳加考量，而直接在排水路徑上進行大規模之整地工作，此類排水不良所引起之坡地災害往往佔大多數，而造成規模大小不等之沖蝕溝或崩塌、掏空等破壞。

2. 以建築結構物做為擋土構造所造成的災害

由於地形的關係，山坡地之建築物在靠山的一側，常需以擋土護坡加以擋土，以克服地形之高差；但山坡地社區開發若直接利用建築結構物本體作為擋土設施，則可能造成建築物之破壞。

3. 滑動規模或破壞模式判斷不當

傳統重力或半重力式擋土牆僅能適用於淺層滑動或無明顯滑動之邊坡保護，當地質有明顯弱面存在時，傳統之擋土牆護坡即不適用。欲瞭解破壞規模及滑動深度，借助更精確的觀測系統及地質調查是十分必要的。

4. 軟弱地盤高填方區構築擋土牆

在軟弱地盤上之高填方擋土牆常發生破壞，其可分為兩部分；一部份是由高填方區下方地盤之承载力不足或沈陷量過大所導致的破壞，另一部份是擋土護坡本身設計斷面或強度不足所產生。如係地盤承载力不足，則可採用各種地盤改良方法以提高地盤承载力及減少沈陷量。

上述這些災害發生原因中，由於發生之機制不同，所需的防範方式及處理對策也不盡相同。

1.3 應用生態防災工法之重要性

隨著經濟發展，人文社經活動必然從飽和的都市社區，逐漸往鄰近的山坡地遷移。因此適度的開發利用山坡地，應為未來都市發展趨勢；惟開發過程中，必須兼顧生態環境，降低與自然界衝突，才能在和諧的自然環境中提昇生活品質。

生態防災工法將以往傳統防災工法僅注重安全防災思維中加入生態環境保育的理念；於規劃設計時，除考量生態基礎外，也應妥善檢討工法的安全性與工程設施的經濟性，並訂定生態防災工法應用範圍及目的，並於生態、安全與經濟之間取得最佳平衡點。以下即對生態、安全與經濟三項考量要素進行說明。

1. 生態考量

若施工地區為保全對象較少的社區時，應考量工程構造物之負面效應。設計規劃時，盡量在安全考量無虞的前提下，將社區周遭生態環境調和，並納入工程設計考量之中。此時如何善用當地土砂、植生等材料，以及如何降低施工過程及完工結構對當地生態之衝擊，進而達到當地環境保護、生態復育、永續經營及再生，將是首要課題。

2. 安全考量

若施工地區有特定之保護對象、重要的維生體系，或特殊地點時，安全將是優先考量。尤其台灣地形陡峻、人口稠密，便不能不提升安全性的考量。設計規劃時須依穩定性評估、擬定安全係數及力學檢算等分析為依據，土、砂、水泥、鋼筋等工程材料為主要使用材料。然若能善加利用施工現場或附近現存的塊石、木材等天然資材，配合植生並輔以有利生物棲息生長之人造資材等多樣性材料，則可降低工程構造物之視覺衝擊。

3. 經濟考量

除生態及安全考量外，設計時亦應注意工程設施之經濟性，以

避免資源過度浪費。然而，推廣到山坡地土地開發規劃及評估時，應就土地開發之必要性與程度，環境保育及所需建構之防災設施進行整體評估，及投資效益的分析。

1.4 研究內容與過程

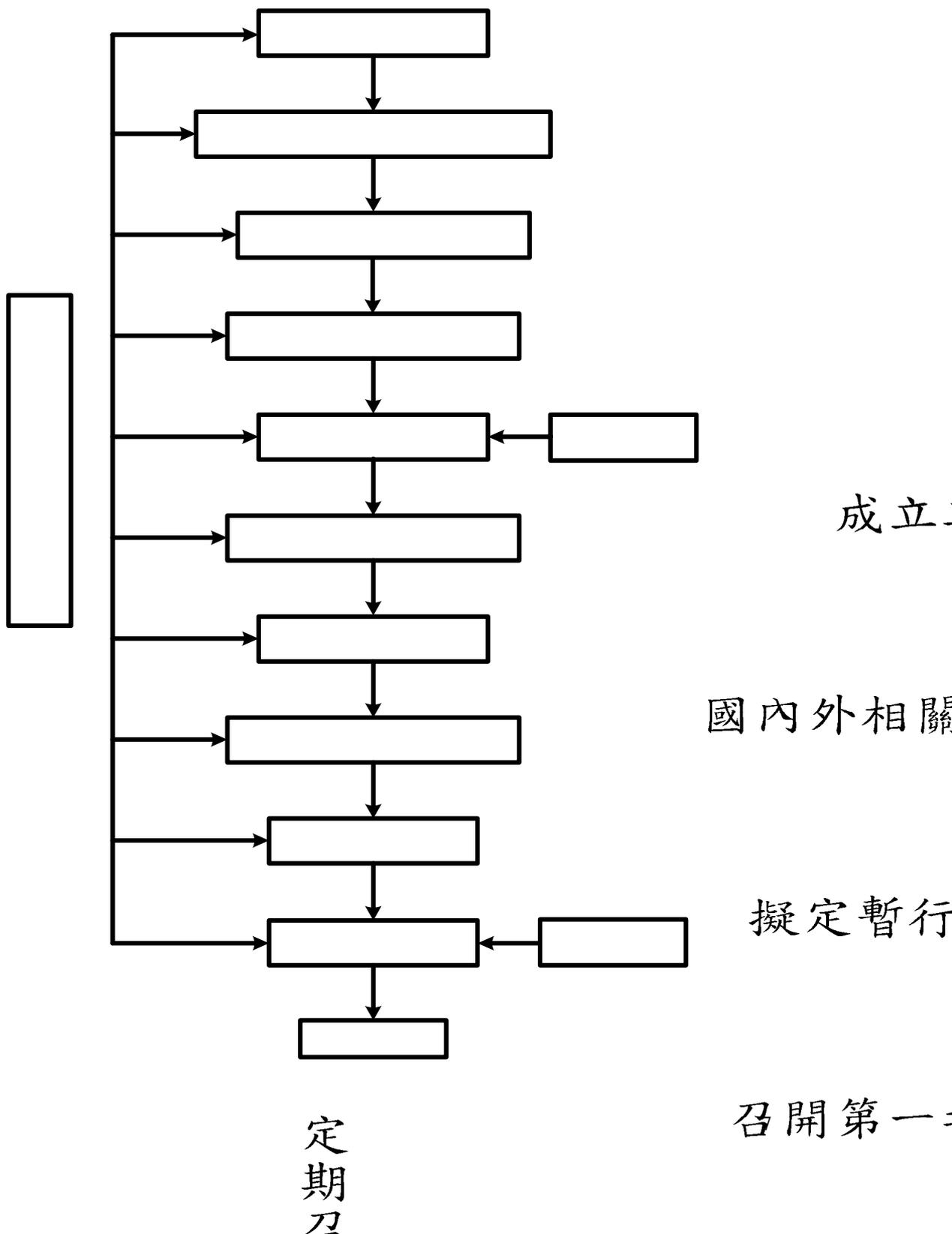
穩定邊坡的工程方法繁多，應選擇對生態衝擊較小之工法，以符合生態防災之原則。因此，本計畫基於 93 年度「既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」，(洪勇善等人，2004a)，計畫中所建議較符合生態原則的擋土工與坡面保護工，進行擬定設計方法與解說。由於生態工法涵蓋的範圍及領域很廣，因此本計畫之內容並不包含規劃時期之生態調查，及施工後之生態復舊、生態評鑑及維護管理等作業，而主要以工法分析為重點，選擇對生態衝擊較小之施工方式。

報告內容共分為六章，其中第二章為名詞釋義，針對各章節相關之專有名詞彙整解釋。第三章說明坡面保護工之應用與設計，包含植生毯、切枝壓條、加勁椰纖毯、萌芽樁配合抗沖蝕毯、打樁編柵、萌芽枝條捆、蜂巢格網及型框噴植等植生護坡工法，針對坡度、坡高與穩定性等要求，提出各方法適用之條件、設計與施工。第四章則針對所建議之擋土工，包含為砌石牆、格框牆、箱籠牆、土工合成材加勁牆及土釘牆等五類，分別進行解說、分析、設計、施工、檢驗或檢測，以及參考設計圖表等。另外，針對工程人員所需之設計與施工，依據前述章節彙編基本圖說，包含構造物基本尺寸、施工注意事項與適用範圍，以利參考，此部份於第五章。最後，於第六章將本研究之成果，整理做成結論。

本研究於執行過程中，首先成立工作小組，成員包括有此專長之學術界人員與實際參與生態防災工法設計之專家，含研究助理共計六位。依據專長劃分負責的內容，以分工合作方式撰寫各章節，然後定期舉行工作小組討論會，逐一檢討內容並擬定具可行之暫行技術手

冊。因工作小組成員有限，為恐報告有所缺失，也透過兩次專家座談會方式徵詢專家意見。此外，亦經由業主單位之期中與期末審查會，聽取各方意見，修正研究成果，以求技術手冊之完整性、正確性與可接受性。研究作業流程如圖 1.4.1。

圖 1.4.1 研究作業流程圖



第二章 名詞釋義

1. **丁條**：組合格框牆之短梁中，與坡面方向垂直者。
2. **土釘加勁**：為加強邊坡穩定或補強擋土結構物之現地加勁施工法，主要利用土釘與周圍土體產生之握裹力，增加整體土壤的抗剪強度及邊坡穩定性。
3. **土釘密度**：每平方公尺內所含土釘數量，隨陡峭程度、地層構造及安全性需求而不同。
4. **土釘傾角**：土釘設置與水平方向之夾角，因灌漿需要一般往下傾斜 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。
5. **切枝壓條**：將切下的可萌芽枝條，交錯埋置於槽溝中，待發芽後植生即能遍佈邊坡。此方法可降低坡面逕流速度、攔截泥砂土石，增加坡面穩定性。
6. **打樁編柵**：於平行坡面之方向以一定間隔打設木樁、木條或其他材質製成的樁，木樁之間再以竹片或樹枝編柵，或綁以土工合成材、鐵絲網等所製成之柵欄結構。具有減緩坡面逕流速度或分散逕流，而降低逕流沖蝕力，及攔截土砂之功能。
7. **加勁材**：鋪設於土壤之中，藉由加勁材與土壤間之摩擦力及互鎖力，以提升整體土壤強度之材料。
8. **加勁椰纖毯**：以椰殼纖維為基材，表層及中間再以聚丙烯網予以固定及加勁所形成之複合層。將加勁椰纖毯固定於噴覆草種之土壤表面，可防止土壤沖蝕，減緩水流速度，保護植生之目的。
9. **土工合成材**：使用於大地工程之高分子聚合物所製成之柔性材料的統稱，包括土工織物、土工膜布、土工格網、蜂巢格網等。

10. **地工合成材加勁擋土結構**：係利用地工合成材為加勁材及回填土料逐層所構築的擋土結構物。其中牆面坡度 $\geq 70^\circ$ 者，稱加勁擋土牆，牆面坡度 $< 70^\circ$ 者則稱加勁邊坡。
11. **防蝕套管**：波紋狀之塑膠材質，裝設於抗張材與孔壁間，再予以灌漿防止抗張材之鏽蝕。
12. **型框噴植**：以場鑄式鋼筋混凝土或噴凝土配合鋼絲網與錨筋施做成桁樑框架，再於框架空間內放置植生袋或噴植草種，形成連貫性坡面保護結構。
13. **砌石牆**：利用石塊逐層堆疊，藉由石塊間的摩擦力及牆體本身自重，提供抵擋水平土壓力之阻抗能力，屬於重力式擋土結構。
14. **格框牆**：又稱格籠牆、格床牆或框格牆，為縱橫交錯的短梁(俗稱丁條、順條)組合而成之框架結構，內部填充土壤或石塊，構築成為重力式擋土結構。
15. **添加劑**：添加於水泥漿中之材料，常用早強劑、緩凝劑、減水劑、無收縮劑等，依據不同目的選擇所需的添加劑。
16. **萌芽枝條捆**：將具有發芽能力之植物枝條包捆成束，並以木樁或活木樁固定於土溝中，其上再覆蓋土壤所形成坡面保護結構。待枝條生長完成後即具有穩定邊坡及降低逕流速度等功能。
17. **堆壘式**：或稱乾砌式，為砌石牆施工方式之一，靠石材本身之自重及互嵌效應達到穩定的功效。
18. **植生毯**：為聚乙烯(PE)或聚丙烯(PP)所製成之波紋片狀多孔立體地工合成材料，平鋪於坡面上並回填土壤，具抗沖蝕及強化植物根系的功能。

19. **萌芽樁**：取自原生植物或適應當地環境物種之活樹枝，其直徑為 1.25~4 cm，長為 60~90 cm，初期具有固定抗沖蝕網之功能，後期則長成灌木或喬木，具強化邊坡穩定及水土保持等功能。
20. **順條**：組合格框牆之短梁中，與坡面方向平行者，稱之。
21. **蜂巢格網**：係以高密度聚乙烯(HDPE)板片，經加工程序製成之立體網格結構。蜂巢格網具良好土壤圍束作用，可穩定表層土壤及提高承载力。常用於植生綠化、邊坡擋土牆、路基、崩塌地整治等。
22. **箱籠牆**：以鍍鋅鋼線或鍍鋅加 PVC 編成長方形空籠，填入卵石堆築而成之擋土牆，屬於重力式擋土結構之一。
23. **漿砌式**：為砌石牆施工方式之一，係以水泥砂漿黏結石材，使其組合成連續牆體。

第三章 坡面保護工之解說與設計

坡面易受到沖蝕，尤以裸露土壤為甚，其結果不僅導致土石流失，造成環境問題(土壤涵養水分功能降低、土壤沃度降低、排水系統阻塞、自然水體淤積等)；更可導致邊坡穩定性降低，造成坍塌破壞，甚至引發土石流災害。故保護坡面土壤，避免土壤沖蝕，對坡地社區乃至於環境品質皆甚為重要。

造成坡面土壤沖蝕之主要營力為水流，而水流沖蝕之影響因子有坡度、坡高與坡長、坡面土壤抗沖蝕性、流入坡面之逕流量及流速，其中坡度、坡高與坡長，可採修坡之工程方法，達到降低坡度，或使成台階方式，以降低坡高與坡長；流入坡面之逕流量及流速，則可由坡頂及坡面排水等工法加以控制。本章各種坡面保護工主要目的即在於增加坡面土壤抗沖蝕性，以達到減少甚至避免土壤沖蝕之目的。

邊坡保護工可利用植生方法、工程方法或兩者相互配合，以穩定坡面土壤，避免土壤遭受沖蝕，或強化坡面土壤強度，以增加抵抗沖蝕之能力。以下就生態工法應用於坡面保護工常見的方法，針對材料、設計與施工等加以說明。

3.1 總則

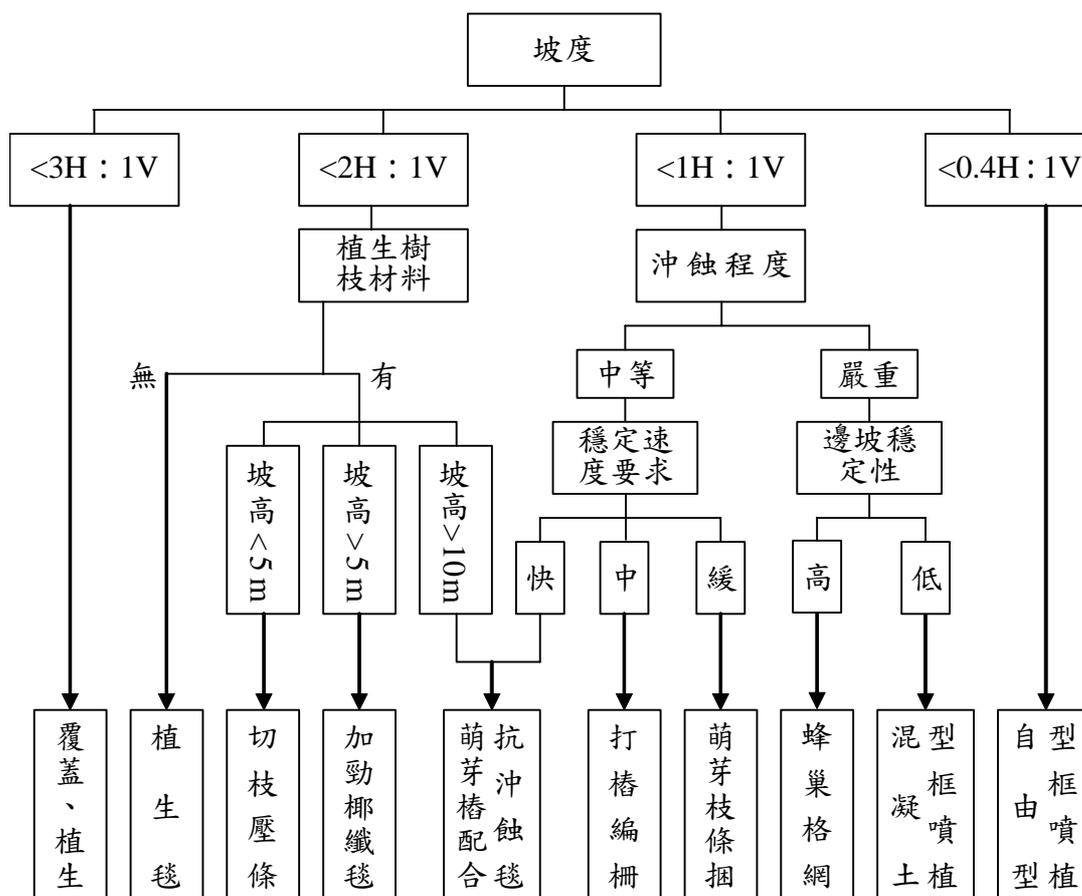
坡面保護工法眾多，各工法皆有其適用條件、範圍及優缺點，如依據現地地形、地質及環境等條件，據以選擇合適的工法，不僅可使工程發揮最佳的功能及經濟效益外，更可與週遭環境取得和諧平衡。本章主要針對坡度大於 3H：1V(18°)之土壤邊坡，主要以生態工法為主，一般工法為輔，應用於坡面保護及抗沖蝕，其合適之工法有：

1. 植生毯
2. 切枝壓條
3. 加勁椰纖毯
4. 萌芽樁配合抗沖蝕毯

5. 打樁編柵
6. 萌芽枝條捆
7. 蜂巢格網
8. 型框噴植

在一般情況下，各工法之適用條件詳如圖 3.1.1 所示，依此可選擇一較適宜之工法，而各工法詳細之設計與施工，說明於下。

圖 3.1.1 坡面保護工之適用條件



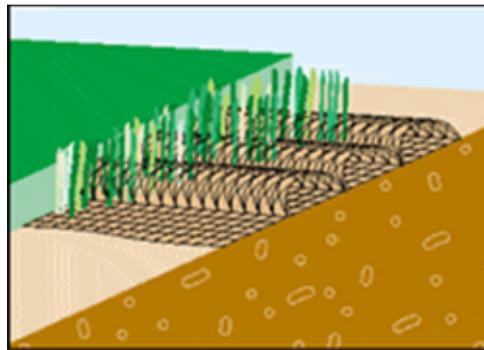
至於坡度小於 18° 之土壤邊坡，可採覆蓋(如鋪稻草蓆、樹枝或碎木片)及一般植生(如植生帶鋪植、挖穴客土噴植、直接噴植+鋪稻草蓆)等工法，此處不予贅述。

3.2 植生毯

3.2.1 通則

植生毯為 PP 或 PE 所製成之波狀立體片狀地工合成材料(圖 3.2.1)，將植生毯平鋪於坡面上並回填土壤，於植生未長成之初期，具有穩固坡面表層土壤的功能，故具抗沖蝕之能力；當坡面植生完成後，此立體網格可強化植物根系，使植生狀況更為良好，並使坡面表層整體更趨於穩定，且因其耐久性極佳(高度抗分解或抗老化)，故可提供坡面土壤永久性的抗沖蝕功能。此保護工具重量輕、施工容易、耐久性極佳、土壤保護性強等優點，故適用範圍廣。而 PP 或 PE 材質之地工合成材料，在一般情況下，耐各種環境條件(如氧化、水解、溫度、輻射、生物及陽光等)之性能極為良好，故對環境之長期影響極輕微。

圖 3.2.1 植生毯穩定工



3.2.2 材料

植生毯(圖 3.2.2)之重要性質如下：

厚度：20~25 mm

單位重：340 g/m²

抗張強度：3.5 kN/m(應變為 20%時)

尺寸：每卷尺寸為 2 m×25 m

圖 3.2.2 植生毯



3.2.3 設計

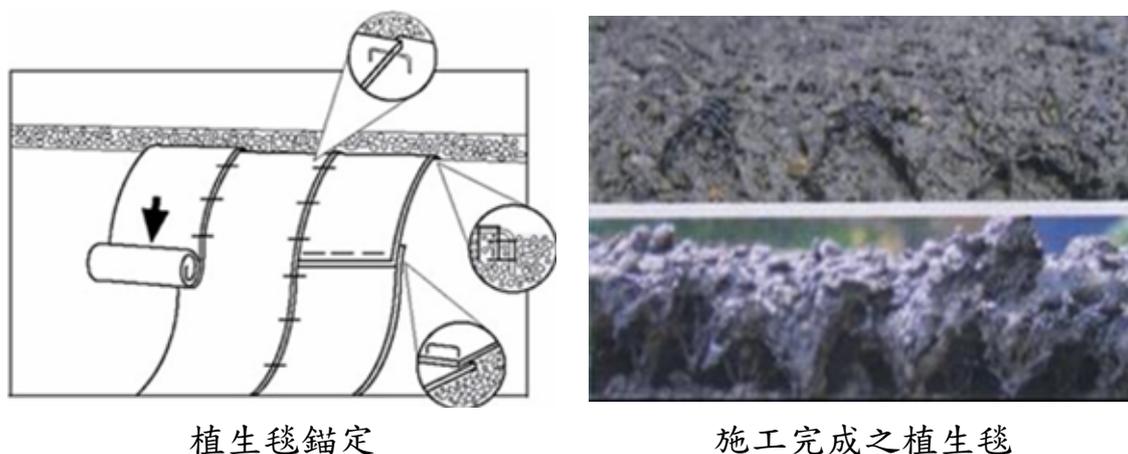
1. 坡頂需設錨定溝，其深度與寬度至少為 20 cm。
2. 網毯與網毯間之重疊長度至少需為 10 cm，重疊部份應以錨定鋼筋間隔 1 m 固定之。
3. 網毯須以間距 1~2 m(視坡度及坡面土壤狀況而定)之錨定鋼筋固定於坡面。

3.2.4 施工

施工步驟如下：

1. 坡面整理，移除植物殘根及突出土石，使之平整。
2. 將網毯一端置於坡頂錨定溝內，以錨定鋼筋(間隔 1 m)加以固定後，並回填土方。
3. 展開網毯卷材，由上往下使其平整鋪設在坡面上。
4. 網毯片之間重疊寬度應至少為 10 cm，重疊區域並以鋼筋釘(一般呈 U 型，典型尺寸為深 200 mm、寬 100 mm)固定之。
5. 回填覆土，可於覆土混以植物種子或表面噴灑植物種子等方式，加強植生(圖 3.2.3)。

圖 3.2.3 植生毯之施工



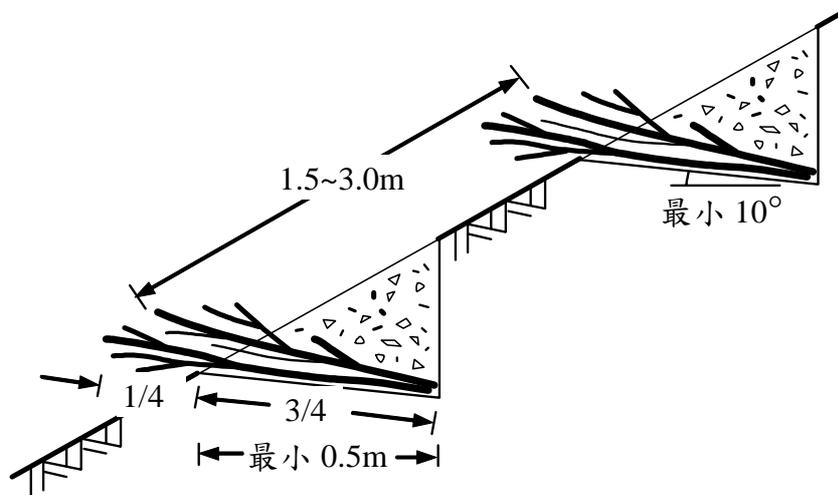
3.3 切枝壓條

3.3.1 通則

沿著等高線挖掘槽溝，將切下之可萌芽枝條，交錯埋置於槽溝中，待發芽後植生即能遍佈邊坡(圖 3.3.1)。此方法可降低坡面逕流速度、攔截泥砂土石，亦可將長坡變成一系列短坡，減少土壤流失量。而交錯堆疊之植物枝條亦提供加勁的功能，增加坡面穩定性。此外，水份可沿枝條向坡面排除，降低坡體內之水壓力。

此法適合於坡度小於 27° (2H:1V)之短坡(坡高小於 5 m)或輕度沖蝕之開挖坡或回填邊坡。此外，對於坡面有大量之鬆軟土壤或須客土以修復受侵蝕之地區，此法亦頗為合適。然對於沖蝕嚴重地區及土壤為緊密堅硬等之坡面，較不適用。

圖 3.3.1 切枝壓條穩定工示意圖



(Morgan and Rickson, 1995)

3.3.2 材料

由原生樹種(紅楠、香楠、土肉桂、茄苳、血桐、九芎、黃槿、相思樹、荊桐、台灣欒樹、烏榕、樟樹、烏心石、白雞油、山棕、水柳、台灣欒等)或適應當地環境之樹種，在適當季節期間(生長時期之前)切下枝條而得，枝條直徑約為 1.5~3 cm。

3.3.3 設計

1. 層與層的間距約 1.5~3 m，與坡度及邊坡穩定性有關，如表 3.3.1 所示；而邊坡底部之間距可較小。
2. 枝條長度至少為 75 cm，埋置深度至少為 50 cm，傾斜度(與水平面夾角)為 10°~20°。

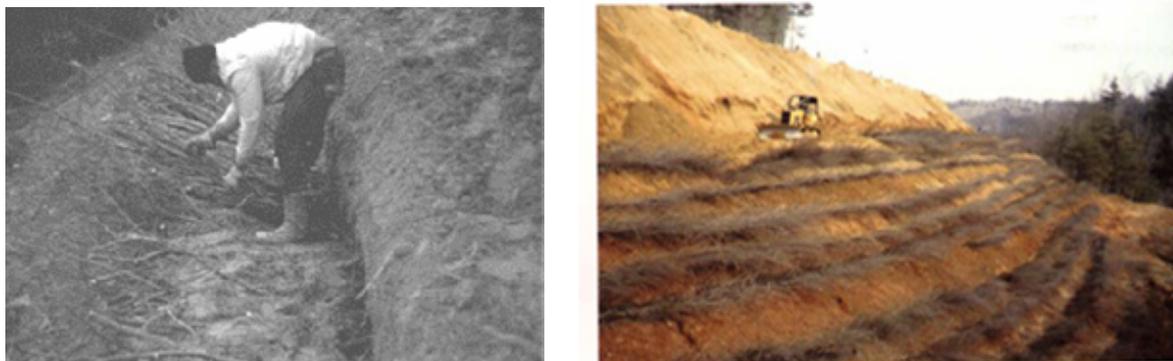
表 3.3.1 切枝壓條之間距

坡度(H : V)	切枝壓條之間距	
	濕邊坡	乾邊坡
2 : 1~2.5 : 1	1.5	1.5
2.5 : 1~3.5 : 1	2.0	2.5
3.5 : 1~4 : 1	2.5	3.0

3.3.4 施工

1. 若有足夠空間，可先進行修坡，降低其坡度或使其成階梯狀。
2. 沿著等高線挖掘槽溝，槽溝深度至少約 50 cm，但亦避免過度開挖。
3. 將切下之可萌芽枝條，交錯埋置於槽溝中，枝條約需 3/4 長度埋置於土壤中，故在枝條佈置好後即覆蓋土壤，並適度夯實。
4. 往上邊坡之方向移至下一槽溝位置，重複步驟 2 及 3 方式施工(圖 3.3.2)。
5. 因所選用之植栽大多屬木本植物，故須較厚之表土層方能提供適合之生長環境。
6. 植物根系尚未生長之前，應有適當的養護措施(如稻草敷蓋、定期灑水、柵欄圍籬等)，以避免植栽尚未發揮功效便遭受破壞。

圖 3.3.2 切枝壓條穩定工



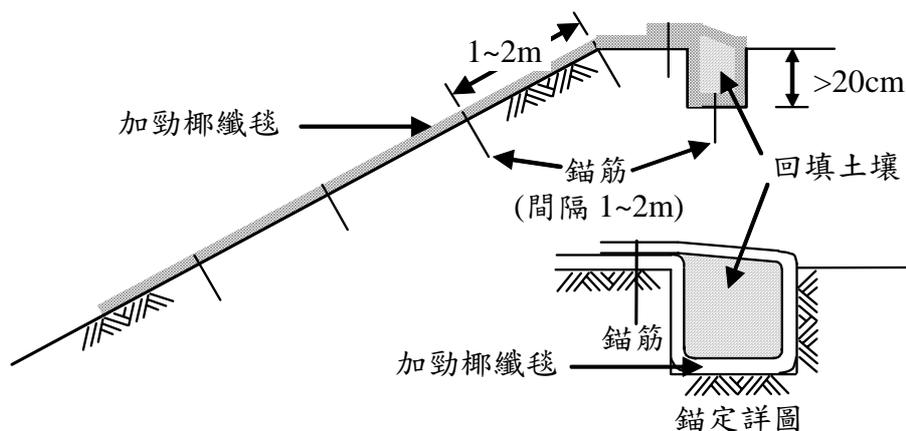
(Gray and Sotir,1996)

3.4 加勁椰纖毯

3.4.1 通則

加勁椰纖毯乃以椰纖為基材，表層及中間再以聚丙烯網予以固定及加勁所形成之複合層。此毯具有高孔隙率及彈性佳之特性，可提高沖刷面植物生長率。加勁椰纖毯固定於噴覆草種之土壤表面，經草種之生長，以形成草根、加勁椰纖毯、土壤三者結合的連續面，達到防止土壤被沖蝕，減緩水流速度，保護植生之目的(圖 3.4.1)。

圖 3.4.1 加勁椰纖毯穩定工示意圖



椰纖毯為椰子纖維所製成，當鋪於坡面之初期，具有保護坡面土壤之功能，當坡面植生完成後，坡面土壤結構更趨穩定，而其吸水、

保濕之功能，更為底層種子提供良好的生長環境，促進草種快速萌芽。其埋置於土壤一段時間後，會因生物分解而腐化，並轉為有機物質使土壤肥沃，故不僅不會對現地生態環境造成衝擊，更有助於植生之成長，因此為一良好之生態工法材料。

加勁椰纖毯保護工適用於中等坡度抗沖蝕之用，而因其具柔性，故可鋪設於不平整坡面。此外，亦可應用於整地之植生綠化及土地復育。

3.4.2 材料

乾燥狀態下椰纖毯(圖 3.4.2)性質如下(Rathmayer 與 Komulanein, 1992)：

單位面積重量：66.4~67.8 g/m²，

厚度：正向應力為 20 kPa 時為 4.63~4.86 mm

破壞應變：24.6 %~28.7 %

抗張強度：1.74 kN/m~1.89 kN/m。

圖 3.4.2 加勁椰纖毯



3.4.3 設計

1. 坡頂及坡趾皆需設錨定溝，其深度與寬度至少為 20 cm。
2. 網毯與網毯間之搭接長度至少需為 10 cm，搭接部份應以錨定鋼

筋間隔 1 m 固定。

3. 網毯須以間距 1~2 m(視坡度及坡面土壤狀況而定)之錨定鋼筋固定於坡面。

3.4.4 施工

施工步驟如下：

1. 整理鋪設面，使之平整，且加以壓實。去除樹根、石塊等雜物，並填平原地面之縫隙及凹洞部份。
2. 在坡頂平台上及坡趾附近，挖掘 20 cm 以上深度之溝道，用以固定網毯。若鋪設面表土質不佳，可採覆土加以改良。
3. 自坡頂溝道起撒佈草種後，鋪設網毯，溝道內之網毯應以錨定鋼筋每隔 1 m 加以固定後，並回填土方。鋪設時上方之網毯應覆蓋於下坡之網毯上，搭接長度至少為 10 cm。
4. 網毯鋪設至坡趾之溝道內後，將網毯截斷，並固定於坡趾溝道內。固定後，回填土方並予以適當夯實。
5. 鋪設面之網毯應在適當間距，以錨定鋼筋固定，使網毯能與鋪設面完全密接(圖 3.4.3)。
6. 植生養護，直至全區覆草率達 70% 以上。

圖 3.4.3 加勁椰纖毯穩定工



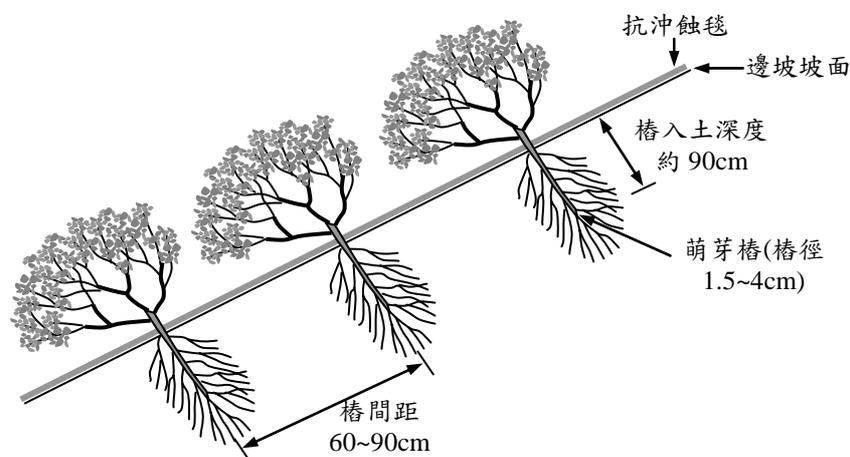
3.5 萌芽樁配合抗沖蝕毯

3.5.1 通則

抗沖蝕毯是一種平面或三維結構的水土保持之天然材料或地工合成材料所製成，此抗沖蝕毯可有效吸收及減少降雨能量，減緩逕流之流速，而有效的防止肥料、土壤或種子之流失，並具有坡面覆蓋(材質為天然材料時)或加勁(材質為地工合成材料時)之功能，而穩定坡面土壤，增強植生綠化效果，改善生態環境(圖 3.5.1)。而一定間隔打入坡面之萌芽樁(灌木或樹木之活樹枝)，初期具有固定抗沖蝕網之功能，而後期則長成灌木或喬木，具強化邊坡之穩定性及水土保持等功能。

適用於坡度大於 $18^\circ(3H:1V)\sim 45^\circ(1H:1V)$ 之坡面保護，如坡度小於 18° ，則採覆蓋或植生，較具成本效益。

圖 3.5.1 萌芽樁配合抗沖蝕網穩定工示意圖



3.5.2 材料

抗沖蝕毯之材質(圖 3.5.2)可分兩類：一類為地工合成材料，其型式有平面格網結構及三維立體結構；一類為天然材料，如稻草、麥桿、椰纖等可自然生物分解之材料，其種類如表 3.5.1 所示。而萌芽樁則為取自原生植物或適應當地環境物種之活樁，其直徑為 1.5~4 cm，長

為 60~90 cm，如圖 3.5.3 所示。並可使用鋼絲或鋼筋製成之 U 型釘來代替萌芽樁。

表 3.5.1 抗沖蝕毯種類及其耐久性

材料	耐久性
高強度聚丙烯網	0.5~1 年
稻草毯+單層針織網	1 年
稻草毯+雙層針織網	1 年
70% 稻草+30% 椰纖+雙層針織網	2 年
椰纖毯	>4 年
黃麻纖維網	100~150 天
合成纖維加勁毯	>10 年

圖 3.5.2 抗沖蝕網之材質



高強度聚丙烯網

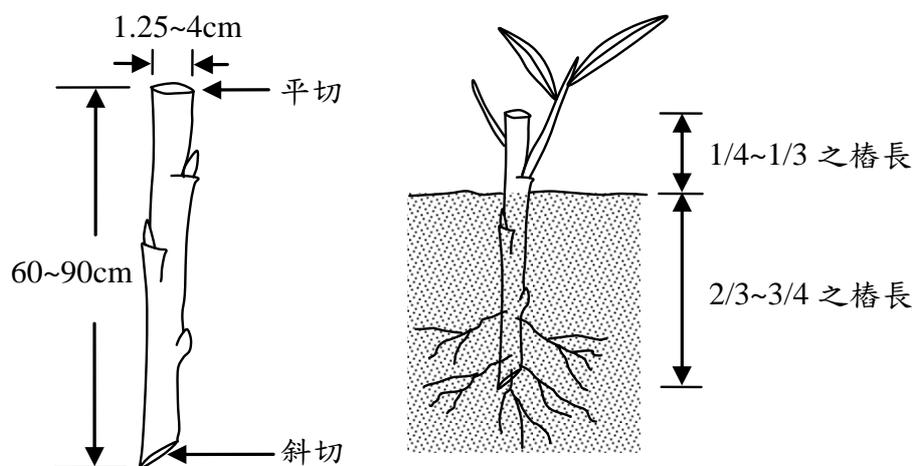


黃麻纖維毯



椰纖毯

圖 3.5.3 萌芽樁



3.5.3 設計

萌芽樁打設間距約為 0.6~0.9 m。施設密度約為 2~3 枝/m²。

3.5.4 施工

施工步驟如下：

1. 整平坡面，清除危石及植物殘株等凸出物。
2. 由上坡向下坡方向平鋪抗沖蝕網，使之緊貼於地面。卷與卷之間的重疊寬度至少 10 cm，並以木樁或門型釘(釘長 20 cm、寬 5 cm)固定於坡面上。
3. 如坡長超過單卷長度，則上方抗沖蝕網須覆蓋於下方抗沖蝕網之上，其重疊長度至少為 30 cm。
4. 以垂直坡面方向將萌芽樁插入邊坡中，且應使其芽苞向上。
5. 將萌芽樁 2/3 長度置入土中(長度為 60~90 cm)，於施作完成後將樁周邊土壤壓實(圖 3.5.4)。
6. 當施設時若有裂開之萌芽樁，嚴重者應將其移除及置換；小部份裂開者，應鋸掉裂開部分避免腐爛。此外，宜搭配原生植物或複層喬灌木，以達植生目的。對於堅硬土層，可以用鐵棍先行敲出

一孔或預先鑽孔，以便於萌芽樁貫入。

圖 3.5.4 萌芽樁配合抗沖蝕網之施工



3.6 打樁編柵

3.6.1 通則

於坡面上略沿等高方向，以一定間隔打設萌芽樁、木樁、木條或其他材質製成的樁，萌芽樁之間再以竹片或樹枝編柵，或綁以地工合成材或鐵絲網；亦有於地面先放置稻草網或椰纖籠(條)，再打入萌芽樁予以固定(圖 3.6.1)。此法製成之柵欄結構除了可減緩坡面逕流速度或分散逕流，以降低逕流沖蝕力，達到保護坡面之功能，亦具有攔截土砂之功能，可避免土石流失及混濁逕流造成環境之汙染問題。而待枝條發芽後，其莖、葉除具美觀效果外，也可提供額外之抗沖蝕力。

此法適用於坡度 45° 以下之填方坡面、挖方坡面、及崩積土或淺層崩塌坡面。為生態工法中最常使用之一種坡面保護工(圖 3.6.2)。

圖 3.6.1 打樁編柵穩定工示意圖

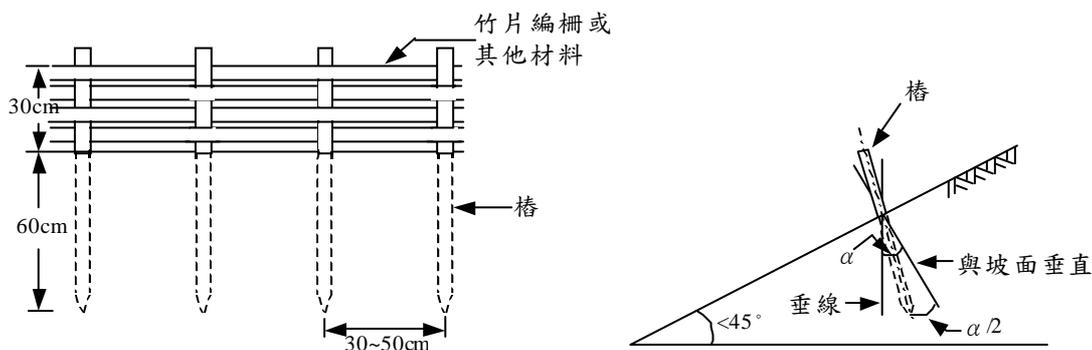


圖 3.6.2 打樁編柵穩定工



竹片



稻草網



椰纖籠



土工合成材

3.6.2 材料

編柵之材料可為竹片、樹枝、土工織物、稻草(麥桿)網、椰纖籠等。木樁可採用枯木樁，或萌芽力強之黃槿、榕樹、雀榕、烏榕、九芎等萌芽木樁。

3.6.3 設計

1. 一般每排樁之距離以 1~3 m，樁距以 30~50 cm 為原則。如編柵材質為土工合成材，則樁距最大可為 1.5 m。唯建議以天然材料為佳。
2. 稻草網一般尺寸為長 60 cm、直徑 45 cm。

3.6.4 施工

施工步驟如下：

1. 施工前需略為整平坡面及消除蝕溝，清除危石及植物殘株，並依坡地形狀及地質狀況於坡頂及坡面構築截水溝。

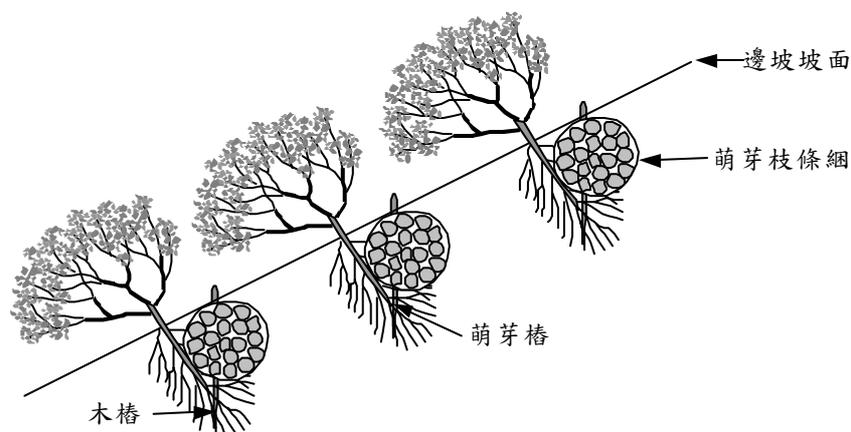
2. 萌芽樁應保持新鮮，打樁時須保護樁頭，不使打裂，裂開部分需鋸掉，以免影響其萌芽能力。
3. 萌芽樁需打入坡內 60 cm，而露於地面之萌芽樁長度至少為 30 cm。
4. 如萌芽樁不足時，可以其他雜木樁混合使用。編製柵網時，最上端需用鐵絲扭緊，以防脫落。
5. 亦可在欲保護之邊坡上鋪設稻草蓆等材料增加抗沖蝕能力。

3.7 萌芽枝條捆

3.7.1 通則

將具有發芽能力之植物枝條包捆成束，並以木樁或萌芽樁固定於土溝中，其上再覆蓋土壤保護枝條，待生長完成後即具有固定不安定之土石、降低逕流速度等機能(圖 3.7.1)。沖蝕量較大處可先行於坡面上鋪設麻或椰纖等製成之抗沖蝕毯，與活枝條捆一同施做即可。此法適用於當地具有足夠植材，可提供植生枝條之邊坡(坡度小於 45°)、崩積土坡、淺層崩塌坡面及地表沖蝕區域等處。

圖 3.7.1 萌芽枝條捆穩定工示意圖



3.7.2 材料

由適應當地環境之樹種，在適當季節期間(生長時期之前)切下枝

條而得，枝條長度為 1.5~3 m、直徑約為 1~3 cm，以枝條生長方向一致之方式，每隔 30 cm 以細繩捆綁，緊實綁紮成捆，其直徑多為 15~20 cm，長度一般為 1.5~9 m，視現況而定。

3.7.3 設計

萌芽樁長 60~100 cm，間距為 60~100 cm，埋設時使其與水平面夾 45°~60°。枝條捆之間距，依坡度及坡面土壤狀況而定(表 3.7.1)：

表 3.7.1 萌芽枝條捆之間距

坡度(H:V)	萌芽枝條間距(cm)	
	黏性土壤	非黏性土壤
1:1	100	60~100
1:1 ~ 2:1	100~120	60~100
2:1 ~ 3:1	120~150	100~120
3:1 ~ 4:1	150~180	120~150
<4:1	180~240	150~200

(Sotir and Fischenich, 2001)

3.7.4 施工

施工步驟如下：

1. 萌芽枝條捆和萌芽樁準備完成後，應立即施設。
2. 從下邊坡之坡底開始，沿著等高線挖掘，溝的寬度一般為 30~50 cm，深度為 20~30 cm，且應比萌芽枝條捆大 5~10 cm。
3. 打設木樁或萌芽樁，使其直接穿透萌芽枝條捆並貫入固定於坡面上，其間距為 60~100 cm。在萌芽枝條捆銜接處或重疊處應額外打設木樁，並使木樁之頂端和已施設完成之萌芽枝條等高。
4. 須使萌芽樁緊靠活枝條網的下方，且貫入之位置是在木樁位置之間。而萌芽樁須高出萌芽枝條捆約 5~10 cm。
5. 當枝條捆及萌芽樁鋪設完成後，則以土壤回填於溝內，並適時夯實(圖 3.7.2)。

6. 如坡度小於 27° (2H:1V)時，可於枝條捆枝間鋪設如稻草等敷蓋物；如坡度介於 $27^\circ\sim 34^\circ$ (1.5H:1V)之間，則可加鋪黃麻纖維網；如坡度介於 $34^\circ\sim 45^\circ$ (1H:1V)之間，則可在放置枝條捆之前先鋪設抗沖蝕毯。

圖 3.7.2 萌芽枝條捆穩定工



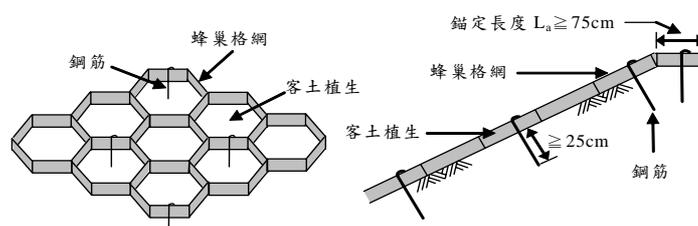
3.8 蜂巢格網

3.8.1 通則

蜂巢格網係以高密度聚乙烯(HDPE)板片，經加工程序製成之立體網格結構。依工程設計之要求，選擇適當之網格厚度與尺寸，鋪設時須完全拉撐，經鋪設、錨定、填土、循序組立完成，再進行植生工程，施工簡單快速(圖 3.8.1)。蜂巢格網具良好土壤圍束作用，故有穩定表層土壤之功能。

蜂巢格網坡面保護工，適用在中等陡坡及崩積土或淺層崩塌坡面等之抗沖蝕保護。然應用於岩坡時，植生之根系無法深入，且水無法入滲而於蜂巢格網底部與岩坡坡面間流動，易導致蜂巢格網發生滑落現象，故此法較不適用於岩坡。

圖 3.8.1 蜂巢格網穩定工示意圖



3.8.2 材料

蜂巢格網為 HDPE 材質，厚度 5~20 cm。展開後寬度為 2~3m，長度為 6~12m，網格尺寸為 20 cm×24 cm~40 cm×49 cm(圖 3.8.2)。

圖 3.8.2 蜂巢格網



3.8.3 設計

蜂巢格網於坡頂處錨定於溝槽內之長度至少為 75 cm；而坡趾處之錨定長度至少為 1 m。設計時蜂巢格網之穩定分析，需考慮下列三種安全係數：

1. 抵抗蜂巢格網內部及上方等土壤重量所產生之下滑，此安全係數至少為 1.3。
2. 抵抗蜂巢格網節點破壞之安全係數，至少為 1.5。
3. 抵抗錨定端拉出破壞之安全係數，至少為 1.5。

3.8.4 施工

施工步驟如下：

1. 整平坡面，並移除植生及碎石等。
2. 平貼坡面鋪設，須完全拉撐，不得有摺曲產生。如有需要可先鋪設一層土工織物(具排水及隔離土壤之功能)。
3. 以直徑約為 13 mm 之竹節鋼筋，折彎成 U 型或 J 型插入錨定，錨

定之間距依現地地質狀況及工程師認可，每平方公尺錨定至少 2 處，錨定深度至少為 25 cm。

4. 因每一單元組側向(短向)具有同材質之卡榫槽構造，單元組與相鄰元組之結合，須以直徑約 13 mm 之竹節鋼筋直接插入卡榫槽內錨定，錨定入土深度須為 25 cm 以上。
5. 填土時須自下坡面往上回填，填土高度須約高於蜂巢格室 1~2 cm。蜂巢格網經鋪設、結合、錨定、填方、鋪灑混合草仔、表面覆蓋植生棉毯、灑水養生、循序完成(圖 3.8.3)。
6. 依施工規範之規定，常鋪灑百慕達、百喜草、黑麥草之混合草種，並於表面覆蓋植生棉毯。植生坡面於施工期間，每天須至少灑水二次，連續養護二個月，以達到確實之綠化效果及抗沖蝕之效。

圖 3.8.3 蜂巢格網穩定工



蜂巢格網固定



蜂巢格網植生狀況



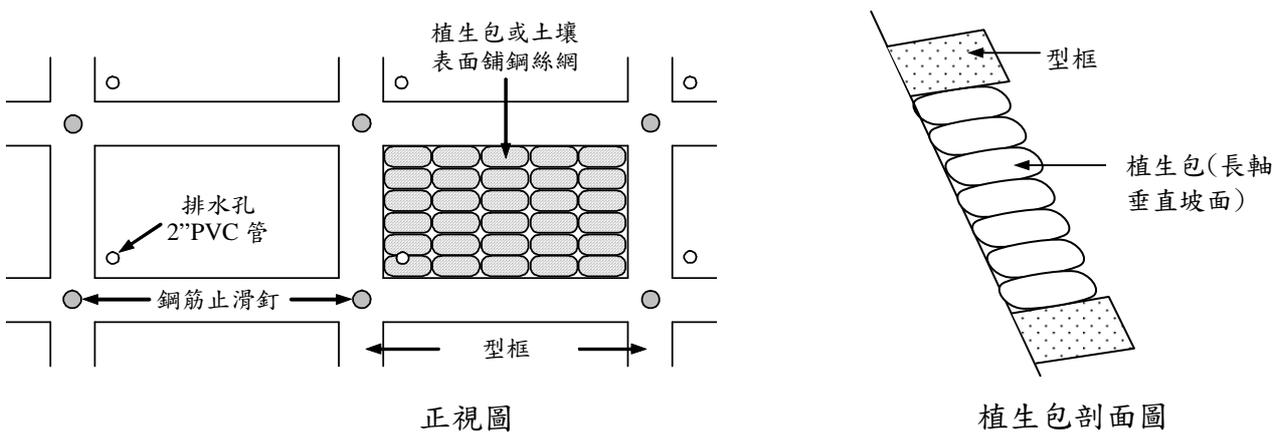
3.9 型框噴植

3.9.1 通則

型框可以場鑄式鋼筋混凝土或噴凝土配合鋼絲網與錨筋施做成桁樑框架，再於框架空間內放置植生袋或噴植草種或砌卵石，形成連貫性坡面，此工法兼具穩定保護及植生綠化之功能(圖 3.9.1)。型框本身具有支撐其內之植生袋或土石材料功能，避免土壤流失，進而可促成其間之植生繁茂生長。此種工法施工快速，綠化及坡面透水效果較傳統之噴漿護坡佳。此外，型框亦可配合土釘等工法穩定邊坡。

此法適用於坡面岩質風化速度較緩，且坡面起伏較大或不規則之邊坡。亦可用於坡面表層有滑落現象、開挖面屬薄層砂頁岩互層或其它岩層者、逆向坡、或層面傾角較小等之邊坡。預鑄鋼筋混凝土格樑因施工問題，較適用於坡度小於 45° 之坡面，而場鑄混凝土格樑則不受此限。噴凝土配合鋼絲網與鋼筋所形成之自由型格框，因施工較容易，故適合坡度 $45^\circ \sim 68^\circ (0.4H : 1V)$ 之較陡邊坡。

圖 3.9.1 型框噴植穩定工示意圖



3.9.2 材料

型框採用噴凝土方式構築，可隨著邊坡地勢噴灑成框，框內噴植草種或植生基材，抗沖蝕效果良好，又稱為自由型框。

混凝土型框亦可採用預鑄混凝土(預鑄型框)及現場澆置混凝土，

預鑄格樑之材質有 RC 預鑄框、PE 預鑄框及鋼製預鑄框。

3.9.3 設計

坡度小於 45° 者，採鋼筋混凝土型框；坡度 $45^\circ \sim 68^\circ$ 之較陡邊坡者，則採噴凝土配合鋼絲網或鋼筋之自由型框。

3.9.4 施工

1. 修坡完成後，進行放樣。
2. 打設錨筋，並綁紮鋼筋及組立模板或鋼絲網。
3. 澆注混凝土或噴凝土(圖 3.9.2)。
4. 格框內填沃土或植生包植草，而為防止植生包因坡面雨水沖刷而位移或粒料流失，植生包除堆置應求緊密外，若坡度超過 1:1(V:H)或雨水沖刷較為嚴重之坡面，可輔以打設木樁或鋼筋、或以格網(鋼絲網、土工格網)覆蓋等將植生包緊固於坡面上。

型框若係於現場澆置之鋼筋混凝土樑，隨坡面起伏構築，並於適當間距(1~2 m)設置錨釘，錨定深度至少 1 m，並依坡面狀況及實際需要調整之。

圖 3.9.2 型框噴植穩定工



自由型框



混凝土型框

第四章 擋土工之解說與設計

4.1 總則

坡地社區之邊坡坡度較大時，應施築擋土措施；而為顧及生態景觀等考量，應多使用具孔隙的重力式擋土結構。重力式擋土結構可避免大量使用鋼筋混凝土，又可利用土石或天然材料，對整體環境衝擊較小。此式結構的孔隙可提供發根植物或枝條於土體內成長，且亦可作為生物棲息的場所，以達到保護生態環境，綠美化景觀的目的。本章節以擋土工之解說與設計為重點，說明各擋土結構設計方式、適用範圍及條件限制等。選定之擋土構造物包括砌石牆、格框牆、箱籠牆、地工合成材加勁牆及土釘牆，其中砌石牆、格框牆與箱籠牆主要係依牆身自重維持穩定，而地工合成材加勁牆與土釘牆皆屬採用土壤加勁方式作為擋土結構。若依牆身容許變形程度的不同，又可區分為剛性擋土牆與柔性擋土牆，尤其是箱籠牆與地工合成材加勁牆，較適用於土層有較大沉陷或不均勻沉陷之情形。格框牆則對於丁條方向之不均勻沉陷較為敏感，故應用時需特別注意基礎地層之處理。土釘牆則與一般擋土結構需先挖掘整地後再由下往上堆疊的施工方式不同，而是直接針對現有邊坡加勁，施工方式常由上往下設置土釘。

上述擋土工各有其適用性與優缺點，如重力式擋土牆的特點是結構簡單、施工方便、能夠就地取材，通常適用於中、低高度的擋土措施，單階常用高度如表 4.1.1 所示；各擋土工之適用情形如表 4.1.2。

一般而言，擋土牆的設計應考量邊坡整體穩定、擋土牆牆體穩定及擋土牆結構安全，有關作用力及其計算可參考「建築物基礎構造設計規範」（內政部營建署，2001）第七章之相關規定。

關於邊坡整體穩定分析，設計者應依岩土條件、潛在滑動面之破壞型式等，選用適當之分析方法，充分檢討擋土牆所處邊坡之整體穩定性。至於擋土牆之結構安全，一般對於剛性擋土牆而言，應核算擋土牆結構體之斷面應力，包括牆身及基礎版之彎矩應力、剪應力等；惟工程經驗顯示，對於常用高度範圍內之砌石牆及箱籠牆等重力式擋

土牆，極少因牆身變形過大而致破壞的情形，因此一般可無需核算其牆體結構安全。

有關於擋土牆之牆體穩定，應檢核滑動、傾覆(或稱翻轉)及基礎承载力，其安全係數至少應滿足表 4.1.3 之規定。

表 4.1.1 砌石牆、格框牆與箱籠牆之常用牆高範圍

	常用石材 粒徑	常用單階 高度	備 註
砌石牆	30 cm~90 cm	≤3 m	結構穩定主要與砌石間之摩擦角或石徑大小有關。
格框牆	10~30 cm	≤4~6 m	(1) 此處係指混凝土格框牆。 (2) 採用石材粒徑以其不會由格框間隙漏失為原則。
箱籠牆	10~35 cm	≤3~5 m	(1) 石材粒徑約為網目孔徑之 1.5-2.0 倍。 (2) 鐵線之耐久性是設計之重要考量。

註：當牆高超過表中常用高度時，設計者應審慎進行安全檢核。

表 4.1.2 擋土工適用情形

擋土工	
單元項目	適用情形
砌石牆	(1) 當地大塊石材充裕時。 (2) 保護坡趾沖刷。
格框牆	(1) 邊坡坡度過大時或當地具有充裕石材時適用，比砌石工法具穩定成效。 (2) 以木格框而言，對於生態景觀具有較佳效益，但強度較混凝土格框低，於坡地社區不建議採用。 (3) 保護坡址。
箱籠牆	(1) 社區邊坡坡度過大。 (2) 只有小尺寸石材時，箱籠牆可為砌石牆之替代方法。 (3) 排水為首要之土質邊坡坡址處。
土工合成材加勁牆	(1) 坡度較陡之邊坡。 (2) 施工工趾小或擋土牆構築高度較高之處。 (3) 可應用於較軟弱之基礎或差異沉陷較大之處。
土釘牆	(1) 崎嶇不平之邊坡或工作地點狹小之處。 (2) 地質材料強度較弱，坡度 30°以上之邊坡。

表 4.1.3 擋土牆牆體穩定之最小安全係數要求

破壞型態	安全係數	最小安全係數		「建築物基礎構造設計規範」參考章節
		平常時	地震時	
牆體滑動	$FS = \frac{\text{作用於牆前之被動土壓力} + \text{牆底摩擦力}}{\text{作用於牆背之主動水平土壓力}}$	1.5	1.2	第七章
牆體傾覆	$FS = \frac{\text{對牆前趾產生之抵抗力距}}{\text{對牆前產生之傾覆力距}}$	2.0	1.5	
基礎容許 承载力	基礎容許承载力	3.0	2.0	第四章
整體穩定	通過擋土牆底部土層之滑動破壞面，其安全係數於常時載重狀況時應大於 1.5，於地震時須大於 1.2，考慮最高水位狀況之安全係數應大於 1.1。惟考慮最高水位狀況時，可不同時考慮地震狀況。	1.5	1.2	第七章

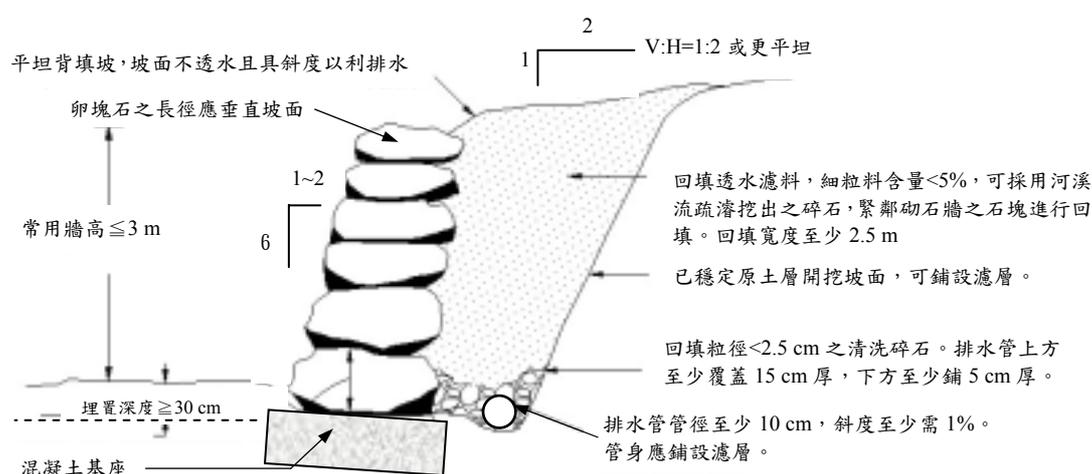
必須強調，雖然擋土牆的設計應考量使用中之最不利狀況進行設計，然而使用期間也要加強管理，避免出現因使用超出設計條件而使擋土牆發生損壞，例如控制牆背填土表面的超載、避免坡趾覆土流失等。

4.2 砌石牆

4.2.1 通則

砌石牆之應用，可提供多孔隙之環境供生物生長棲息，亦可於石塊孔隙間填土植生，皆有利於生態與景觀。近幾年於國內之應用相當普遍，尤其是應用於邊坡坡址保護，通常高度限制不大於 3 m；當採用之石材粒徑較大時，偶或有高至 5、6 m 者，常見斷面及相關設計條件示意如圖 4.2.1。

圖 4.2.1 砌石牆標準斷面示意圖

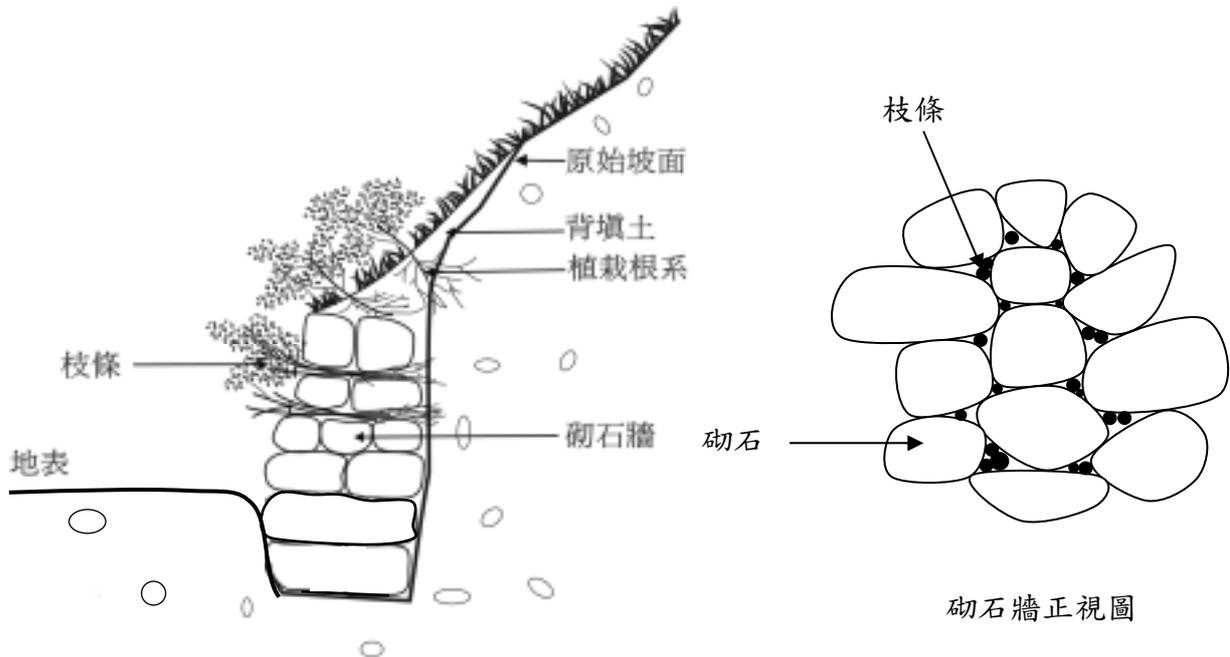


砌石牆為利用石塊逐層堆疊，藉由石塊間之摩擦力及牆體本身之自重，阻抗牆背之土壓力作用，以達保護坡趾、減少坡面沖蝕之目的。構築砌石牆時，石塊之長軸應垂直坡面，並置於下方石塊間之凹陷處，每一石塊至少需有三點支承於下方石塊。構築砌石牆之石塊最好採用角狀石塊，角狀突起能夠相嵌，以提供抗移動之阻抗；相對地，圓形石塊因易沿某一點轉動而不建議採用。

砌石牆之植生，可於砌石間孔隙植生，或將植生覆蓋在牆頂的土壤中，如圖 4.2.2 所示。砌石牆配合植生之優點包括：(1)比僅使用單

一工法的外觀更為自然，(2)可以促進坡趾處植物生長，(3)植物根系可以將岩石連結在一起，以降低局部剪力破壞。

圖 4.2.2 砌石牆植栽布置示意圖



4.2.2 材料

1. 石材

砌石可為天然之塊石或採石場生產之石材，材質應具有抗風化、不易碎裂、不易溶蝕及強度(硬度)高之特性。一般而言，砌石牆係依靠牆身之自重以維持穩定功能，故宜採用密度較高之石材，典型石材單位重示如表 4.2.1，各類石材之大小分類則如表 4.2.2 所示。

表 4.2.1 各類常見石材之單位重一覽表

石材種類	$\gamma_s (t/m^3)$
玄武岩	2.9
花岡岩	2.6
硬石灰岩	2.6
砂岩	2.3
軟石灰岩	2.2
凝灰岩	1.7

表 4.2.2 各類石材之大小分類

石 材	長徑尺度
小塊石	15cm 以下
塊 石	$15\text{cm} \leq \phi \leq 40\text{cm}$
大塊石	$41\text{cm} \leq \phi \leq 80\text{cm}$
巨 石	80cm 以上

選用自然形成之石材，其長徑應為橫徑之 1 至 2 倍，厚度應為橫徑之 1/2 以上，如無特別註明，石材之大小即以長徑為代表，一般之尺寸標準如下（資料來源：工程會施工綱要規範第 04410 章）：

表 4.2.3 石材之尺寸標準

砌 石 厚 度	石材尺寸		
	長度（長徑）	寬度（橫徑）	厚度（縱徑）
20 cm	25~17 cm	14~10 cm	7~5 cm
25 cm	30~25 cm	20~13 cm	10~7 cm
30 cm	35~22 cm	24~15 cm	12~8 cm
35 cm	40~32 cm	28~18 cm	14~9 cm

（資料來源：工程會施工綱要規範第 04410 章）

一般而言，石材之設計尺度為一概括長徑，而可容許相當程度的誤差，尺度許可差範圍可進一步規定如下表 4.2.4 所示（資料來源：工程會施工綱要規範第 02388 章）。

表 4.2.4 卵塊石設計尺度之許可差範圍

卵塊石設計 尺度(cm)	尺度許可差範圍	備 註
20	20 至 25cm 者 70%以上；19 至 15cm 者 30%以下。	1. 上項超過或不足 規定尺度之百分 數係指單項之最 大限度，並非指 級配而言。 2. 驗收時以單位面 積法來抽樣檢查 塊石之尺度是否 有符合尺度許可 差範圍的規定。
25	25 至 32cm 者 70%以上；24 至 18cm 者 30%以下。	
30	30 至 38cm 者 70%以上；29 至 22cm 者 30%以下。	
35	35 至 44cm 者 70%以上；34 至 26cm 者 30%以下。	
40	40 至 50cm 者 70%以上；39 至 30cm 者 30%以下。	
50	50 至 63cm 者 70%以上；49 至 38cm 者 30%以下。	
60	60 至 75cm 者 70%以上；59 至 45cm 者 30%以下。	
70	70 至 88cm 者 70%以上；69 至 53cm 者 30%以下。	
70 以上	塊石尺度許可差範圍為設計粒徑之 30%。	

(資料來源：工程會施工綱要規範第 02388 章)

2. 植生

砌石牆植生之位置為砌石間孔隙或覆蓋在牆頂的土壤中(圖 4.2.2)，植材通常採用直徑在 1 cm~2.5 cm 間者，枝條長度需超過砌石牆，直至砌石牆後的背填土或未擾動土區。

有關砌石牆之植生種類，可參考水土保持手冊(1995)植生篇之規定。砌石牆適合耐旱藤類植物如薜荔、地錦、槭葉牽牛、營多藤...等(或稱為蔓性植物)之生長，其生長快速，能早期全面覆蓋，又生長強健，病蟲害少，且綠化覆蓋後具美觀效果。此係因藤類生長、管理與維護容易，且可由點之栽植達到全面綠化效果。藤類植物莖之主幹不能直立，可靠其藤莖纏繞砌石、或特殊器官攀附砌石縫上升或貼覆地面生長。

4.2.3 設計

砌石牆之一般設計原則說明如下：

1. 設計分析方法

砌石牆屬於重力式擋土結構之一種，設計分析參照重力式擋土牆之方法，安全係數需滿足表 4.1.3 中之規定。

2. 設計流程

- (1) 結合經驗和工程技術、環境條件，初步擬定砌石牆斷面尺寸進行試算。
- (2) 根據初步擬定之砌石牆尺寸和現地土壤性質計算土壓力，包括土壓力分佈、總壓力大小、作用點和方向的確定等。(註：應充分考慮使用中可能出現的狀況，按最不利的狀況進行設計。)
- (3) 進行牆體穩定性驗算，包括滑動及傾覆(或稱翻轉)之安全係數檢核。
- (4) 檢核基礎之容許承载力。
- (5) 當滑動、傾覆或基礎承载力之安全係數未能滿足最低要求時，調整斷面尺寸，然後再重複進行上述步驟(2)~(4)，直至滿足要求為止。

3. 牆體構造

- (1) 砌石牆之穩定性與其高寬比(H/B)有關(註：H=牆高，B=石材長徑)，常用的高寬比，大致介於 4~8 之間。
- (2) 砌石牆之常用石材粒徑約為 30 cm~90 cm，常見高度通常不大於 3 m；當採用之石材粒徑較大時，偶或有高至 5、6 m 者。
- (3) 砌石牆之牆頂寬度，一般不小於 0.3~0.5 m(漿砌)或 0.3~0.6 m(乾砌)。
- (4) 砌石牆之牆面坡度，一般採用 V:H \cong 6:1~3:1；當牆高較小時，亦可採用垂直牆面。

4. 基礎及牆背處理

砌石牆之基礎及牆背，宜鋪設透水級配材料或土工織物作為濾層；基礎底層鋪設碎石級配材料並可降低牆體之不均勻沉陷量，偶或有採用混凝土基礎者。

5. 植生

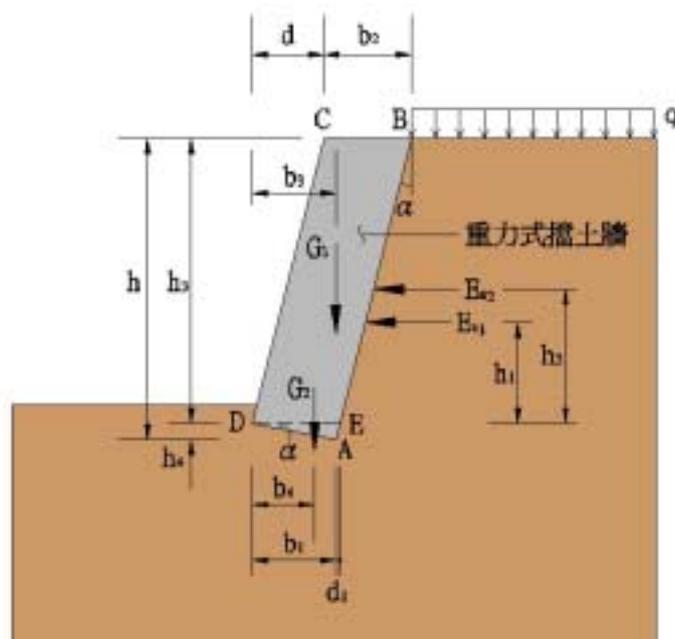
砌石牆植生之位置可為砌石間孔隙或覆蓋在牆頂的土壤中，有關砌石牆之植生種類，可參考水土保持手冊(1995)植生篇之規定，以採用耐旱藤類植物為主(參見 4.2.2 節)。

4.2.4 分析

砌石牆屬於重力式擋土牆之一種，其分析可參照重力式擋土牆的原則辦理。根據 Gray & Sotir (1996)之建議，可將砌石牆之不連續塊體結構假設為整體性結構後，再依傳統擋土結構計算其安全係數。又由於砌石牆之透水性良好，故一般情形毋需考慮水壓力。

以下就重力式擋土牆(含砌石牆及格框牆)之滑動及傾覆(或稱翻轉)安全係數檢核方法詳述於後，分析採用之簡化斷面如圖 4.2.3 所示。

圖 4.2.3 重力式擋土牆之簡化斷面圖



(適用於砌石牆及格框牆等，圖中符號詳以下說明)

1. 主動土壓力及其力臂

令 E_{a1} 及 E_{a2} 分別表示由於填土自重及超載所引起之主動土壓力， E_a 為總土壓力。

$$E_a = E_{a1} + E_{a2} \quad (4.2.1)$$

$$E_{a1} = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2 - 2ch\sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (4.2.2)$$

$$E_{a2} = K_a \gamma h' h \quad (4.2.3)$$

式中

γ = 牆背土壤之單位重, kN/m^3

c = 牆背土壤之凝聚力, kN/m^2

h = 擋土牆高度, m

$h' = q/\gamma$ ， q 為牆背之均佈超載

K_a 為主動土壓力係數，可依下式計算：

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (4.2.4)$$

式(4.2.4) 中

ϕ = 牆背土壤之內摩擦角($^\circ$)

α = 牆背傾斜角($^\circ$)，即牆背與垂直線的夾角，以垂線為準，逆時針方向為正(或稱俯斜)，順時針方向為負(或稱仰斜)

β = 牆背地表之傾斜角($^\circ$)

δ = 土壤對牆背之摩擦角($^\circ$)，其值與土壤性質、牆背粗糙程度、排水條件及超載條件等有關，應由試驗確定。一般情況下，其值約介於 $\frac{\phi}{3} \sim \frac{2\phi}{3}$ 間。

土壓力 E_{a1} 及 E_{a2} 對於牆趾 D 點之力臂分別為：

$$h_1 = \frac{1}{3}h - h_4 \quad (4.2.5)$$

$$h_2 = \frac{1}{2}h - h_4 \quad (4.2.6)$$

2. 擋土牆重量及重心

設擋土牆頂寬 $= b_2$ ，依幾何關係可求得 b_1 、 d 、 h_3 、 h_4 及 d_1 ：

$$b_1 = b_2 \times \cos^2 \alpha \quad (4.2.7)$$

$$d = (h - b_1 \times \tan \alpha) \times \tan \alpha \quad (4.2.8)$$

$$h_3 = h - b_1 \tan \alpha \quad (4.2.9)$$

$$h_4 = b_1 \tan \alpha \quad (4.2.10)$$

$$d_1 = b_2 - b_1 \quad (4.2.11)$$

將牆身斷面分為兩部分，一個平行四邊形 BCDE 及一個三角形 ADE，其重量分別為 G_1 及 G_2 ：

$$G_1 = b_2 h_3 \gamma_k \quad (4.2.12)$$

$$G_2 = \frac{1}{2} b_2 h_4 \gamma_k \quad (4.2.13)$$

式中

$$\gamma_k = \text{牆體之單位重, kN/m}^3$$

$$\text{而 } G = G_1 + G_2 \quad (4.2.14)$$

G_1 及 G_2 對牆趾 D 點之力臂分別為 b_3 及 b_4 。

$$b_3 = \frac{1}{2}(b_2 + d) \quad (4.2.15)$$

$$b_4 = \frac{2b_1^2 + b_1 d_1 + d_1^2}{3(b_1 + d_1)} \quad (4.2.16)$$

3. 滑動穩定驗算

擋土牆之抗滑動安全係數可依下式計算。

$$FS_{SL} = \frac{(G \cos \alpha - E_a \sin \alpha) \mu}{E_a \cos \alpha + G \sin \alpha} \quad (4.2.17)$$

式中

μ = 基底摩擦係數，應由試驗確定。當無試驗資料時，可參考表 4.2.5 初步選用

表 4.2.5 不同基礎土壤之擋土牆基底摩擦係數參考值

基礎土壤種類	基底摩擦係數 μ
黏性土	0.25~0.45
粉土	0.30~0.40
中砂、粗砂、礫砂	0.40~0.50
碎石土	0.40~0.60
軟質岩石	0.40~0.60
表面粗糙的硬質岩石	0.65~0.75

4. 傾覆穩定驗算

擋土牆之抗傾覆安全係數可依下式計算。

$$FS_{OT} = \frac{G_1 b_3 + G_2 b_4}{E_{a1} h_1 + E_{a2} h_2} \quad (4.2.18)$$

5. 地震力之考量

有關地震力可採用擬靜態分析方式，假設擋土牆系統受地震作用而於水平及垂直方向各承受一附加之慣性力，其大小為系統自重乘以水平與垂直地震係數 (k_h 、 k_v)，方向則假設為最危險之狀況，即水平為朝牆面向外之方向，垂直則為朝上之方向。

有關於我國之震區劃分，詳參內政部營建署 (2001) 「建築物基

礎構造設計規範」2.4 節之相關規定，目前全國分為地震甲區與地震乙區，二震區之工址水平加速度係數分別為 0.33 與 0.23。

工程設計實務中，於擬靜態分析時，水平地震係數 k_h 一般取為 $(1/2 \sim 2/3)$ 乘水平加速度係數，其取值容許設計者於經濟與安全之間擁有權衡空間。此外，我國【建築技術規則建築構造編耐震設計規範與解說】修訂版 2.15 條文解說之規定，地震甲區之垂直向 PGA 值取為水平向值之 $2/3$ ，地震乙區則取為 $1/3$ 。

綜合以上所述，一般情形之下，水平與垂直地震係數 (k_h 、 k_v) 可參考下述所列值選用。

$$\text{地震甲區： } k_h = (1/2 \sim 2/3) \times 0.33 = 0.17 \sim 0.22$$

$$K_v = (2/3) \times k_h = 0.11 \sim 0.15$$

$$\text{地震乙區： } k_h = (1/2 \sim 2/3) \times 0.23 = 0.12 \sim 0.16$$

$$K_v = (1/3) \times k_h = 0.04 \sim 0.05$$

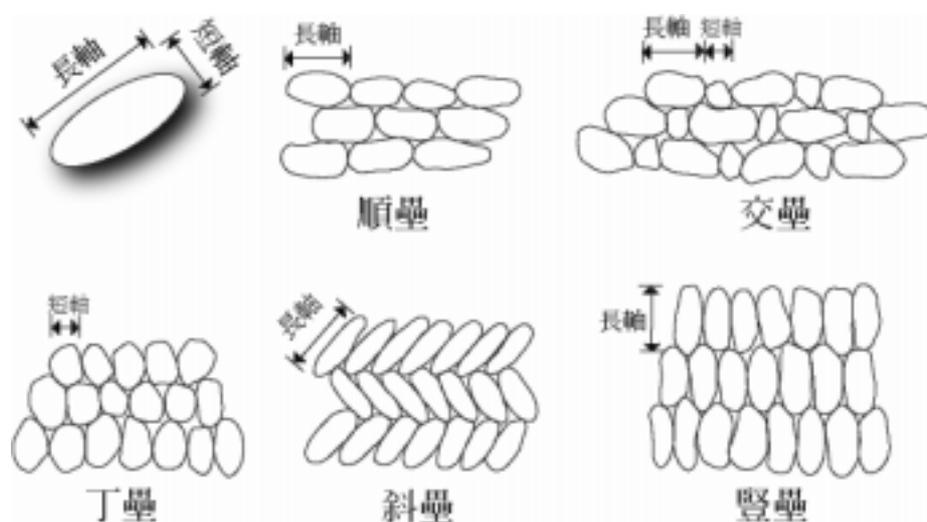
4.2.5 施工

砌石牆之施工方式可區分為漿砌式及堆壘式(或乾砌式)，漿砌式係以水泥砂漿來黏結石材，使其組合成連續之壁體來抵抗側向推力及或水流之沖刷力，避免產生崩潰；而堆壘式則是靠石材本身之自重及互嵌效應來達到穩定的功效。漿砌式砌石牆因牆面較平滑，不易達到多孔隙之要求，故一般情形建議以堆壘式砌石牆較佳；若採用漿砌式則應於石塊間設置洩水孔。

砌石之堆壘(或稱壘積)，可分為順壘、丁壘、交壘、豎壘及斜壘等五種方法(如圖 4.2.4 所示)。將每層卵石(或塊石)橫臥，露出較長之側面，如此壘積稱為順壘，其高度在乾砌時，以四至五層為限。每卵石(或塊石)四周圍有 6 個卵石(或塊石)，整個牆面成龜甲狀。將卵石(或塊石)按其大小形狀，每層側面與圓頭端順丁混雜壘積，

謂之交壘，為石工最常見者，其效果最佳。若將每層卵石（或塊石）豎立則稱為豎壘。若上下層轉換傾斜壘積則謂之斜壘，此法外觀極美，甚多被採用在乾砌卵石（或塊石）時，監工人員應注意，工匠為趕工，常有誤壘或惡壘情事發生，可能造成卵石（或塊石）間缺少較佳之結合而致崩潰。

圖 4.2.4 卵石(或塊石)之堆壘法示意圖



砌石牆施工之一般通則說明如下：

1. 砌石牆之石料以就地取材為原則，但不宜破壞當地之生態平衡。
2. 石材應表面潔淨，質料應堅硬耐久、無風化、無分裂紋縫等現象。
3. 砌石應分段自沖蝕深度以下砌起，平均水準升高砌築，基礎底部各層應選用較大塊石，基礎土面應妥加整平夯實。如有混凝土基底，底面第一個卵塊石應嵌入混凝土內。
4. 砌石時應小心排砌安放，不得拋置或施以重大錘擊，以免搖動。
5. 砌石應使卵塊石之長徑垂直於坡面，交錯銜接，並使其接觸面盡量平整、寬大、露面成三角孔形。
6. 砌石應相互交錯連鎖，其中大孔隙，可用小塊石嵌塞穩固。

7. 砌石起終點除設計圖示另有規定外，應按實地情況插入原有地盤內。
8. 砌石以六圍砌為原則，五圍砌、七圍砌尚可使用。
9. 有關砌石牆之植生，可將枝條插在砌石牆上的邊坡，或是直接移植植物於其上。枝條可以在砌石牆鋪設期間插入砌石之孔隙中，或於砌石牆鋪設完畢後，再將枝條敲入砌石間的孔隙；且注意枝條的底端應儘可能插入砌石牆後的土壤中。

4.2.6 檢驗

完成之砌石牆應進行下列檢驗：

- (1) 目視檢查石材應表面潔淨，質料應堅硬耐久、無風化、無分裂紋縫等現象。
- (2) 砌石牆牆高應在設計值許可差(如 $\pm 5\%$)範圍內
- (3) 石材大小應在許可差範圍內(參考表 4.2.3)

4.2.7 設計參考圖表

如前指出，砌石牆之分析可參照重力式擋土牆的原則辦理，根據 4.2.4 節所述分析方法，可以電腦應用程式簡單地寫成試算表進行分析。

就坡地社區常見之應用情形，砌石牆之可能破壞模式有兩種，即砌石間之局部受剪破壞（單粒砌石受推擠突出）及整體之傾倒破壞。Gray & Sotir (1996)指出，傾倒破壞為砌石結構之主要破壞模式，意即 $(FS)_{\text{滑動}} > (FS)_{\text{傾倒}}$ ；故一般設計時，僅需檢核抗傾倒之安全係數，

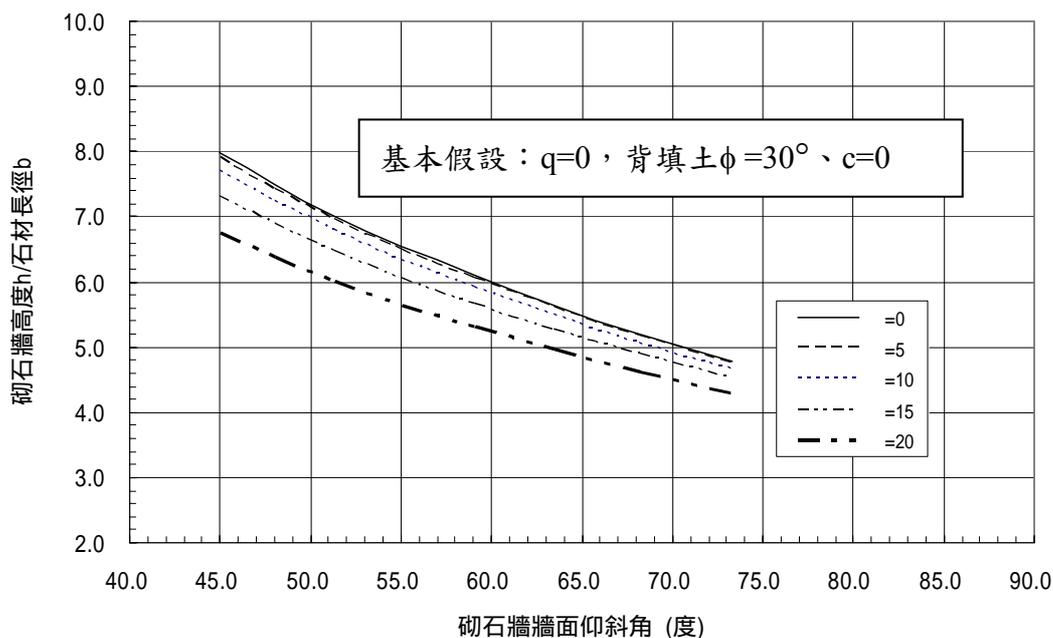
林德貴等人 (2002a) 曾計算不同牆面坡度 (V:H) 及背填土坡度 (β)，符合抗傾倒安全係數 $(FS)_{\text{OT}} = 2.0$ 時之砌石牆高寬比 (h/b)，如表 4.2.6 所示，或繪如圖 4.2.5。

表 4.2.6 抗傾倒安全係數(FS)_{OT}=2.0 時，不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比(h/b)一覽表

牆面坡度 (V:H)	$\beta=20^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=0^\circ$
1 : 1.0	6.75	7.32	7.70	7.92	7.99
1 : 0.9	6.38	6.89	7.23	7.43	7.50
1 : 0.8	6.01	6.48	6.79	6.97	7.02
1 : 0.7	5.65	6.06	6.34	6.50	6.55
1 : 0.6	5.31	5.67	5.91	6.05	6.10
1 : 0.5	4.96	5.28	5.49	5.61	5.65
1 : 0.4	4.62	4.89	5.07	5.18	5.21
1 : 0.3	4.29	4.52	4.67	4.75	4.78

註：上表分析時假設 $q=0$ ，背填土之 $\phi=30^\circ$ 、 $c=0$

圖 4.2.5 抗傾倒安全係數(FS)_{OT}=2.0 時，不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比關係圖



為檢核表 4.2.6 及圖 4.2.5 之正確性，本研究依 4.2.4 節所述分析方法，重新檢算當「 $q=0$ ， $\beta=0^\circ$ ，背填土 $\phi=30^\circ$ 、 $c=0$ 」時，滿足抗傾倒安全係數 $(FS)_{OT}=2.0$ 時之砌石牆高寬比 (h/b) ，得圖 4.2.6 所示。結果顯示林德貴等人 (2002a) 之計算可得較小之砌石牆高寬比值。研判此等差異主要可能係因主動土壓力係數之差異所致，林德貴等人 (2002a) 假設主動土壓力係數介於 0.3~0.5，而本研究依據式 (4.2.4) 計算所得之主動土壓力係數則約介於 0.05~0.3 之間，前者之計算結果顯然較偏保守側；依 4.2.4 節所述分析方法重新檢算表 4.2.6 中當 $\beta=0^\circ$ 及 $\beta=20^\circ$ 時之抗傾倒安全係數，大致均高於 2.0，如圖 4.2.7 所示。由於該等圖表亦納入工程會頒佈之「基層公共工程基本圖彙編」中，故本研究亦從其成果以供設計者參考。

圖 4.2.6 抗傾倒安全係數 $(FS)_{OT}=2.0$ 時，不同牆面坡度及背填土坡度對應之砌石牆高寬比 (h/b) 關係圖

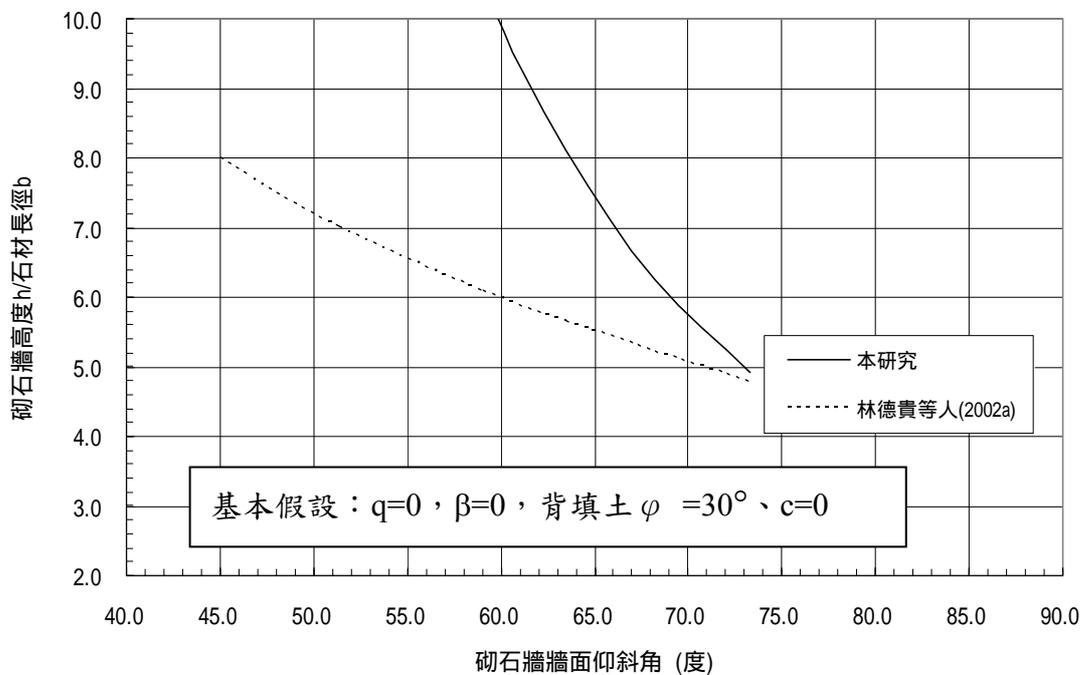
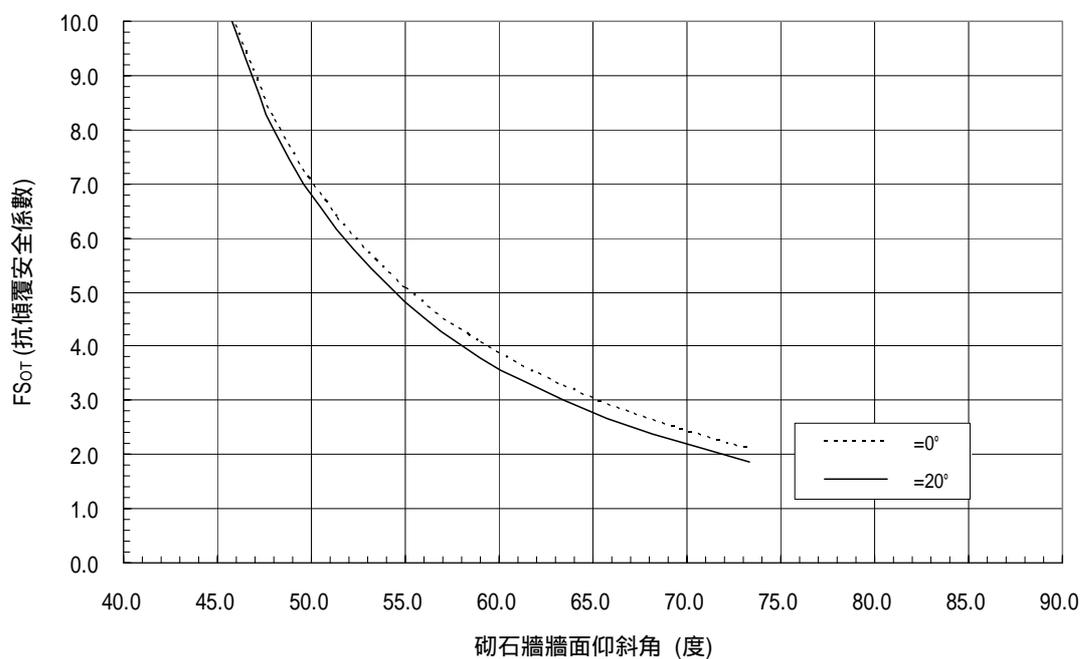


圖 4.2.7 本研究重新檢算表 4.2.6 中當 $\beta=0^\circ$ 及 $\beta=20^\circ$ 時之抗傾倒安全係數



4.3 格框牆

4.3.1 通則

格框牆(或稱格籠牆、格床牆或框格牆)係由縱橫交錯的短樑(俗稱丁條、順條)組成框架結構，再於內部填充粒徑 10~30 cm 大小之塊石或卵石，所組合而成之重力式擋土結構(如圖 4.3.1)；依格框材質可分為木格框、鋼材格框及混凝土格框(如圖 4.3.2)。木格框由於較為柔性，對於差異沉陷及單一格樑之破壞較不敏感，且木格框具自然性，較易融入自然環境景觀；而混凝土格框則具有較高之剛性、力學性質及耐久性。此外，亦可採預鑄格框設計，由模組化之節塊堆疊而成。

圖 4.3.1 格框牆示意圖



格框牆具有易施工、透水性佳，完工後可達到綠美化景觀兼利於生態環境等優點；當應用於山坡地社區時，以耐久性之觀點，建議以混凝土格框牆配合植生為優先考量。

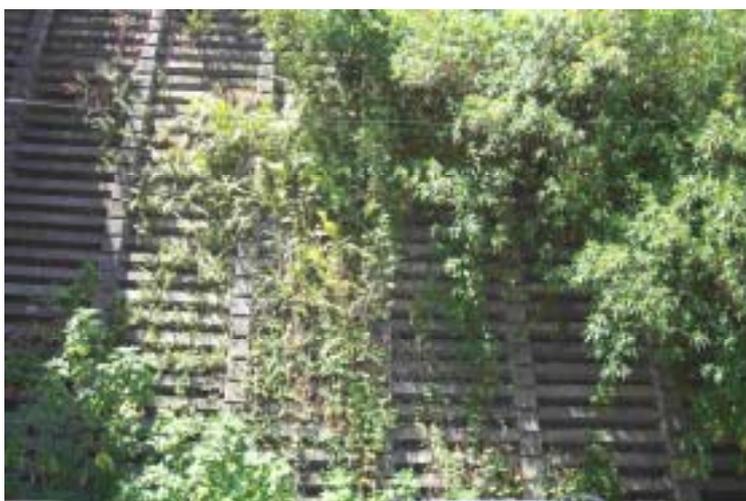
格框牆表面之橫條間的孔隙，亦可提供植栽插入，或直接種植在格框內之填土中。植生形成後可使格框表面更為自然，如圖 4.3.3 所示，同時有助於防止框內土壤被淘空之問題。

圖 4.3.2 混凝土格框牆應用實例



(方仲欣攝)

圖 4.3.3 表面植生之格框牆



(何嘉浚攝)

4.3.2 材料

1. 鋼筋

不得使用水淬鋼筋。

16 ϕ 以下 (含 16 ϕ) 鋼筋採用 CNS560-A2006 SD280W

19 ϕ 以下 (含 19 ϕ) 鋼筋採用 CNS560-A2006 SD420W

2. 混凝土

常用之丁條及順條混凝土強度為 $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ 。

3. 石材

通常採用粒徑 10~30 cm 之石材，石材之相關規定參考 4.2.2 節。考慮現地石材供應條件，或可於格框外側四周填充較大石材，再於單元中心部分填充較小石材，惟其粒徑仍以不致漏失為原則。

4. 植生

植生之相關規定參考 4.2.2 節。

4.3.3 設計

格框牆之一般設計原則說明如下：

1. 設計分析方法

格框牆屬於重力式擋土結構之一種，設計分析參照重力式擋土牆之方法，安全係數需滿足表 4.1.3 中之規定。

2. 設計流程

- (1) 結合經驗和工程技術、環境條件，初步擬定格框牆斷面尺寸進行試算。
- (2) 根據初步擬定之格框牆尺寸和現地土壤性質計算土壓力，包括土壓力分佈、總壓力大小、作用點和方向的確定等。(註：應充分考慮使用中可能出現的狀況，按最不利的狀況進行設計。)
- (3) 進行牆體穩定性驗算，包括滑動及傾覆(或稱翻轉)之安全係數檢核。
- (4) 檢核基礎之容許承载力。
- (5) 當滑動、傾覆或基礎承载力之安全係數未能滿足最低要求時，調整斷面尺寸，然後再重複進行上述步驟(2)~(4)，直至滿足要求為止。

3. 牆體構造

- (1) 格框牆係由縱橫交錯的丁條及順條組成框架結構，並藉由丁頭之特殊構造以防止滑動，故丁頭處需做適當之保護以防止破壞。
- (2) 格框牆之設計，應避免牆身之平面曲度過大，或牆面縱向差異沉陷量過大之情形。
- (3) 格框牆之適用高度一般可達 4~6 m，牆面之後傾斜率 $V:H \leq 6:1$ ，底面亦向內略為傾斜(以降低作用於牆背之土壓力)，牆底寬度約為 1~1/2 坡高。
- (4) 格框中填入之塊石、卵石或其他顆粒性材料，粒徑以其不會由格框間隙漏失為原則，通常採用粒徑 10~30 cm 之石材。

4. 基礎及牆背處理

- (1) 格框牆之牆背宜採用排水性能良好之級配材料予以回填或鋪設地工織物作為濾層。
- (2) 由於格框結構對於橫向或丁條方向之不均勻沉陷較為敏感，因此基礎地層應妥予夯實至堅實程度，必要時應採用混凝土基礎。

5. 植生

格框牆表面橫條間之孔隙，可提供植栽插入，亦可直接種植在格框內之填土中。有關植生種類，可參考水土保持手冊(1995)植生篇之規定，以採用耐旱藤類植物為主(參見 4.2.2 節)。

4.3.4 分析

格框牆屬於重力式擋土牆之一種，其分析可參照重力式擋土牆的原則辦理。分析時，可將格框牆之格框結構假設為整體性結構後，再依傳統擋土結構計算其安全係數；又由於格框牆之透水性良好，故一般情形毋需考慮水壓力，分析方法詳參 4.2.4 節。

4.3.5 施工

格框牆施工之一般通則說明如下：

1. 格框牆之石料應以就地取材為原則，但不宜破壞當地之生態平衡。
2. 格框牆之基礎土層應妥加整平夯實，必要時採用混凝土基礎。
3. 格框牆內填石材粒徑以其不會由格框間隙漏失為原則，通常採用粒徑 10~30 cm 之石材；考慮現地石材供應條件，或可於格框外側四周填充較大石材，再於單元中心部分填充較小石材。
4. 石材應表面潔淨，質料應堅硬耐久、無風化、無分裂紋縫等現象；石材應小心以人工堆放，不得拋置或施以重大錘擊，每層均需確實填塞及整平。
5. 格框牆背面可視實際需要鋪設地工織物或以級配材料回填，以防止土壤淘刷。
6. 有關格框牆之植生，可將枝條插在格框牆上的邊坡，或是直接移植植物於其上。枝條可以在格框牆鋪設期間插入石塊之孔隙中，或於格框牆鋪設完畢後再將枝條敲入石塊間的孔隙。

4.3.6 檢驗

格框牆之檢驗，除石材大小應在許可差範圍內(參考表 4.2.3)，丁條及順條等材料並應依規定進行下列檢驗如表 4.3.1。

表 4.3.1 格框牆之混凝土及鋼筋檢驗標準

名稱	檢驗項目	依據之方法	頻率
混凝土	抗壓強度試驗	CNS 1174 A3038 CNS 1231 A3044	[每批 1 次]
鋼筋	物理性質	CNS 479 A3002	
	化學性質	CNS 479 A3002	

4.3.7 設計參考圖表

如前指出，格框牆之分析可參照重力式擋土牆的原則辦理，參考 4.2.4 節所述分析方法，可以電腦應用程式簡單地寫成試算表進行分析。

對於一般之應用情形，若符合下列條件：

- ◆ 牆背均佈超載 $q = 0$
- ◆ 牆背土壤之凝聚力 $c = 0 \text{ kN/m}^2$ 、內摩擦角 $\phi = 30^\circ$
- ◆ 土壤對牆背之摩擦角 $\delta = \frac{\phi}{2} = 15^\circ$

則採用本手冊之格框牆基本圖（格框牆尺寸示意如圖 4.3.4，或詳見第五章），可合乎牆體平時抵抗滑動及傾覆之安全係數要求；當牆高不超過 6 m 時之安全係數如圖 4.3.5～圖 4.3.6 所示（註：以上分析忽略基礎版之貢獻；牆背填土轉換為等效荷重）。

圖 4.3.4 不同牆高之格框牆示意圖

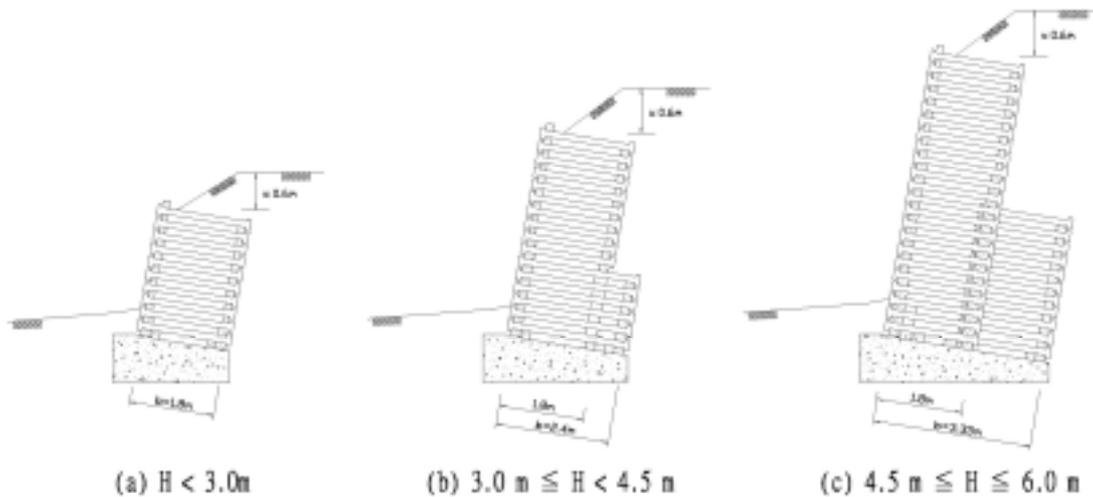


圖 4.3.5 格框牆之高度及基底摩擦係數與抗滑動安全係數之關係圖

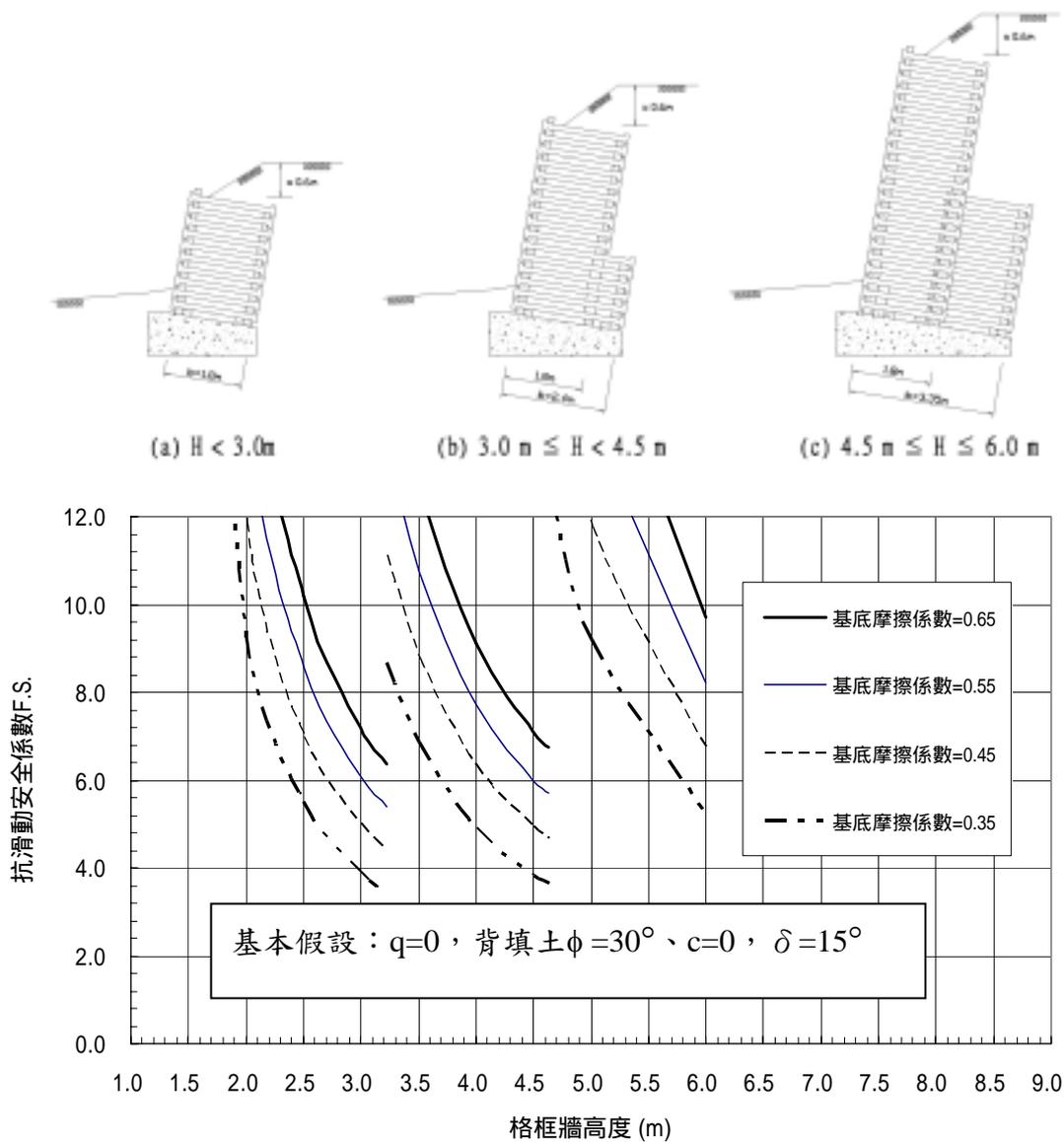
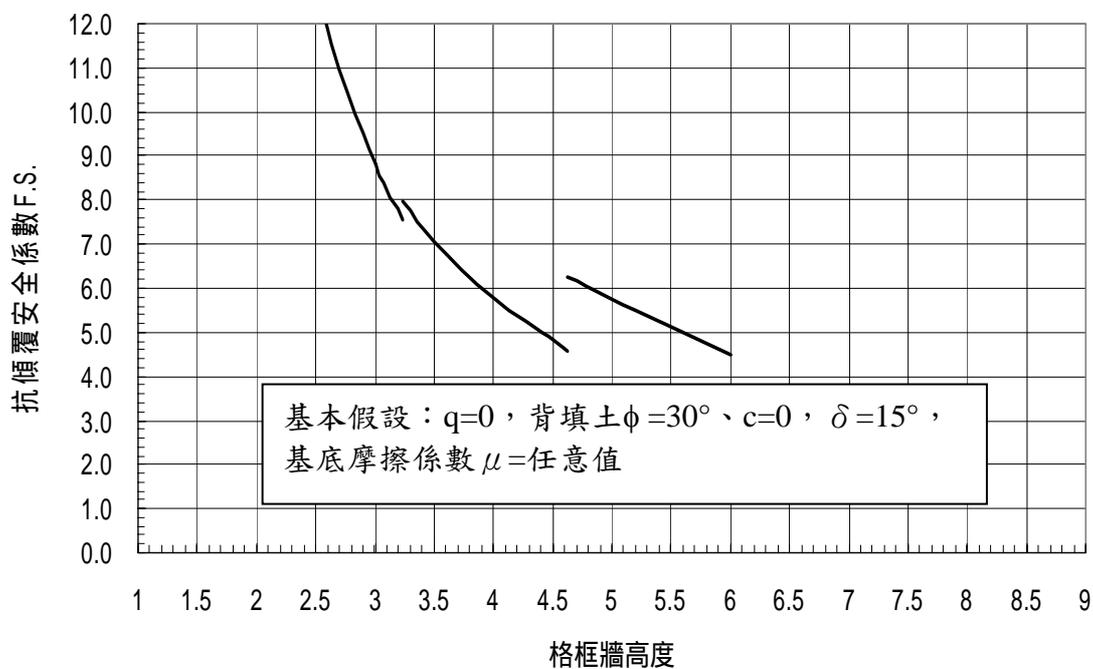
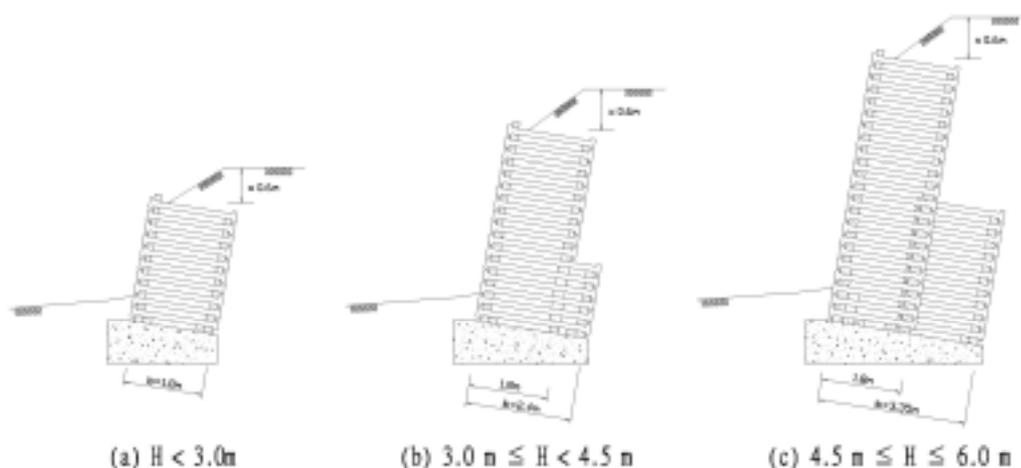


圖 4.3.6 格框牆之抗傾覆安全係數與牆高關係圖



4.4 箱籠牆

4.4.1 通則

箱籠(或稱石籠、方籠)牆係以鋼絲表層鍍鋅或鍍鋅加 PVC 編成之長方形盒，填入粒徑 10~35 cm (視網目大小而定) 之卵塊石之堆疊式擋土牆(如圖 4.4.1 及圖 4.4.2)。箱籠規格可依實際需要加以設計，惟通常設計採用市場之通用規格以節省成本，常見之機編鍍鋅箱籠為寬、高皆為 1 m 之籠身。

圖 4.4.1 箱籠牆示意圖

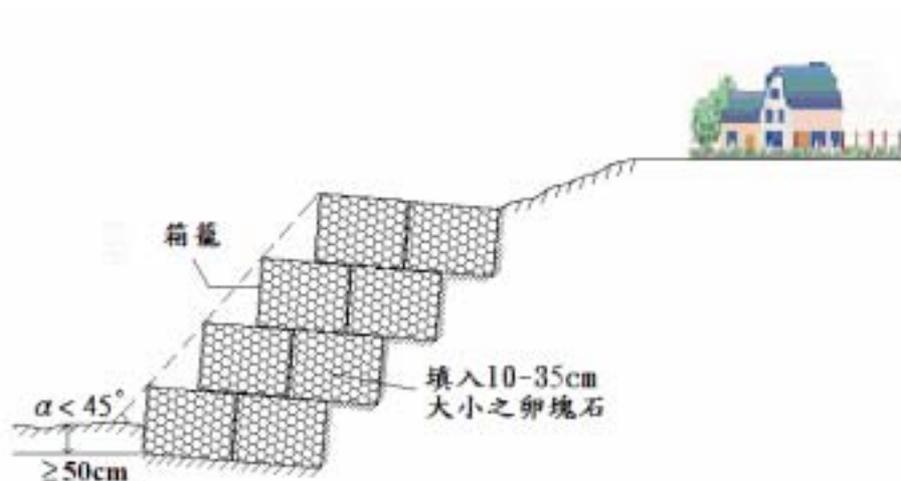


圖 4.4.2 箱籠牆應用實例



(方仲欣攝)

具柔性結構之土石箱籠，對於不均勻沉陷具有平衡穩定之功效。一般而言，高度超過 2 m 之箱籠需進行力學分析設計。愈高的牆需要愈大之基礎寬度，而為使箱籠不易互相分離，於適當間隔須以鐵絲將箱籠連續結實，且箱籠端部等重要部份亦應以鐵絲加強結牢。箱籠內的卵塊石可提供生物多孔隙環境，如填以土壤並插入活樹枝或埋設植草包等，可加速植物進入生長，如圖 4.4.3 及圖 4.4.4 所示。

圖 4.4.3 箱籠牆植栽配置示意圖

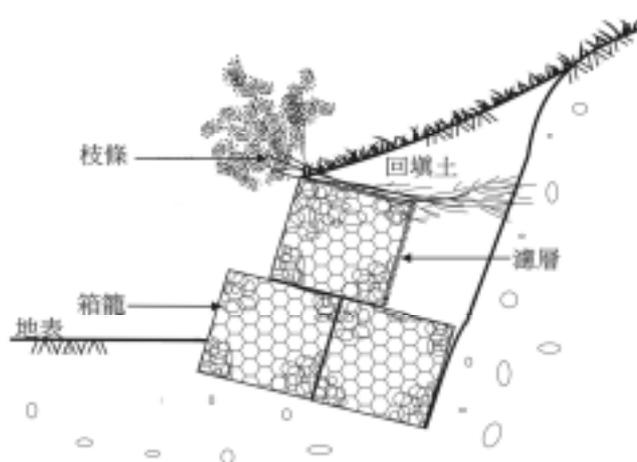


圖 4.4.4 箱籠牆植栽實例



(方仲欣攝)

4.4.2 材料

箱籠牆係由組裝之盒式箱籠內填卵塊石或碎石材料而成，箱籠鐵線材料之工程性質對於箱籠結構之整體力學行為有重大影響。有關於箱籠鐵線材料之特性，可參考美國海軍工兵團(1991)，或義大利MACCAFERRI公司(1987, 1995)之「箱籠結構導引手冊」，尤其後者頗具實務應用之參考價值。

1. 箱籠

箱籠鐵線一般先以軟鋼加熱並退火使其韌化，再經過鍍鋅及外表PVC裹覆處理後而得，鍍鋅可抗氧化而外層裹覆PVC可抵抗天候或環境長期造成之侵蝕；然而亦有主張無須採用外層裹覆PVC者（如圖4.2.2所示）。鐵線係以機器編織成六邊形雙扭線格網(hexagonal double twisted wire mesh)，再裁剪後組裝成箱籠，組裝完成之箱籠單元及其展開之形式，如圖4.4.5(a)及(b)所示。圖4.4.5(c)則顯示網目之尺寸及邊框之捆結方式。箱籠可於內部架裝隔間網片，予以隔間（一般採用1m間距，隔成 1m^3 之小隔間），其功能在加強箱籠結構整體之勁度。經常採用之箱籠單元尺寸如表4.4.1所示。

鐵線之力學性質(如斷裂強度、伸長率及鍍鋅品質)應符合規範標準；就一般情況而言，通常可參考CNS 1468-G3029之規定，茲簡列如下：

A. 鐵線鍍鋅量

2.2 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 240 \text{ g/m}^2$

2.7 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 260 \text{ g/m}^2$

3.4 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 275 \text{ g/m}^2$

B. 鐵線抗拉強度：30~55 kgf/mm²

圖 4.4.5 箱籠結構組成單元示意圖

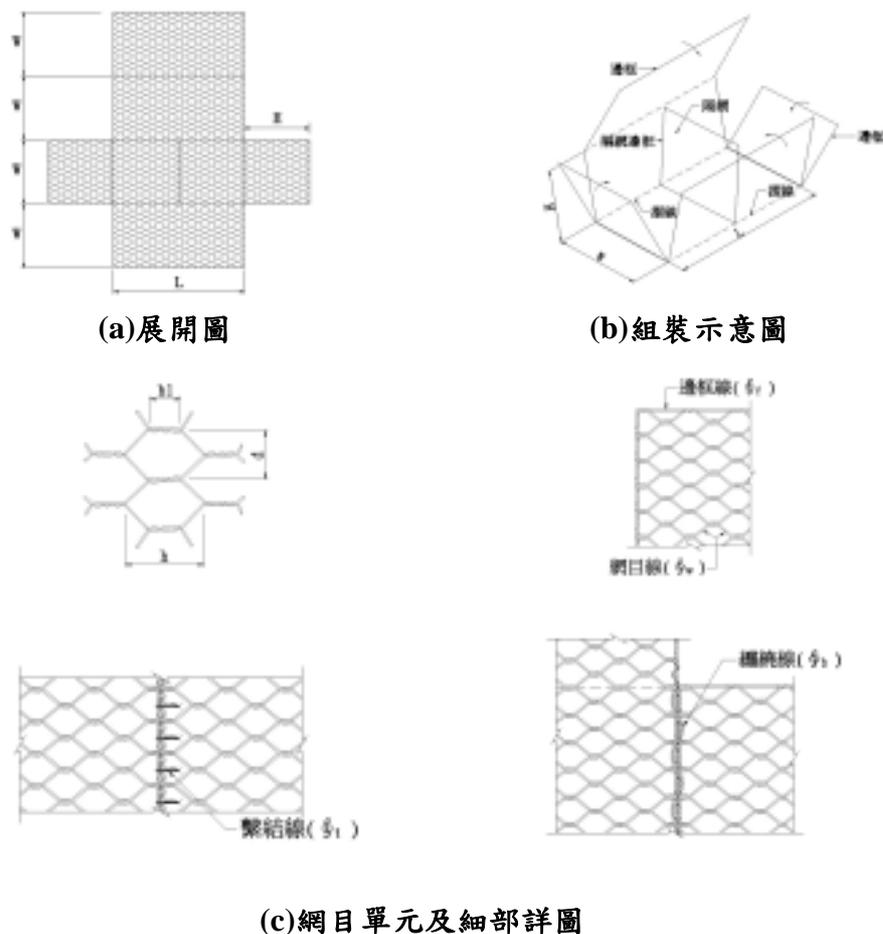


表 4.4.1 鍍箱籠單元及鍍鋅鐵絲（或俗稱鉛絲）之常用尺寸

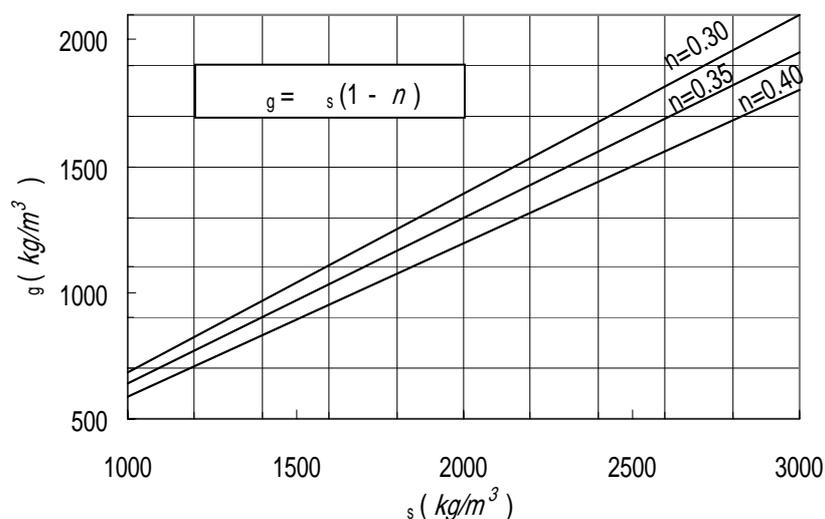
項 目	符 號	單 位	規 格
長 度	L	m	1.0/2.0/3.0/4.0
寬 度	W	m	1.0
高 度	H	m	1.0
網 目	d×h	cm	5×8 / 8×10 / 10×15 / 15×20
編織捲繞長	h_1	cm	4.5/6.0
網目線(籠線) 直徑	ϕ_w	mm	1.8/2.7/3.0/3.2/3.5/4.0
邊框線 直徑	ϕ_f	mm	3.0/3.2/3.5/4.0
纏繞線 直徑	ϕ_b	mm	1.8/2.7/3.0/3.2/3.5/4.0
繫結線 直徑	ϕ_t	mm	2.4/3.0/3.2/3.5/4.0
PVC 裹覆厚度		mm	0.4~0.6

2. 填充材

箱籠內之填充材可採用採石場生產或天然之圓狀石材，石材應具有抗風化、不易碎裂、不易溶蝕及強度(硬度)高之特性；通常採用之石材粒徑約為 10~35 cm，石材之相關規定參考 4.2.2 節所述。

有關填充材之單位重量，可參考圖 4.4.6 之方法估算(OFFICINE MACCAFERRI, 1983)，由已知填充石材之單位重 γ_s 及孔隙率 n ($=0.30\sim0.40$) 決定箱籠之外視總體單位重(apparent total unit weight) γ_g ，填充石材之最佳粒徑 d_s 約為 1~2 倍的箱籠網目尺寸，亦即 $d_s = (1\sim 2)d$ ，如此除可達成較經濟之回填施工外，亦可使結構體之荷載呈較佳之分佈(降低應力集中)，並增進整體結構對變形沉陷之自我調整能力。

圖 4.4.6 由填充石材之單位重 γ_s 及孔隙率 n 決定外視總體單位重 γ_g



(資料來源：林德貴等人，2002b)

3. 植生

以採用爬藤類植物為佳，目的乃於箱籠鐵線腐蝕斷裂後，由爬藤類植物根系握裹石材取代原有鐵線之功能，以達穩定的效果。其他植生之相關規定參考 4.2.2 節。

4.4.3 設計

有關箱籠牆之一般設計原則說明如下：

1. 設計分析方法

箱籠牆屬於重力式擋土結構之一種，設計分析參照重力式擋土牆之方法，安全係數需滿足表 4.1.3 中之規定。

2. 設計流程

- (1) 結合經驗和工程技術、環境條件，初步擬定箱籠牆斷面尺寸進行試算。
- (2) 根據初步擬定之箱籠牆尺寸和現地土壤性質計算土壓力，包括土壓力分佈、總壓力大小、作用點和方向的確定等。(註：應充分考慮使用中可能出現的狀況，按最不利的狀況進行設計。)
- (3) 進行牆體穩定性驗算，包括滑動及傾覆(或稱翻轉)之安全係數檢核。
- (4) 檢核基礎之容許承载力。
- (5) 當滑動、傾覆或基礎承载力之安全係數未能滿足最低要求時，調整斷面尺寸，然後再重複進行上述步驟(2)~(4)，直至滿足要求為止。

3. 牆體構造

- (1) 箱籠牆之適用高度一般可達 3~5 m。箱籠單元為 1 m 高，每層箱籠堆疊時須些許向後退縮(約退縮 0.5 m 或 1 m)，並略向內傾斜(一般採用 6°以上)，可降低作用於牆背上之土壓力。
- (2) 箱籠牆內填充石材之最佳粒徑約為 1~2 倍的箱籠網目尺寸，經常採用之石材粒徑約為 10~35 cm。

- (3) 箱籠牆之耐久性取決於鐵線，故通常設計採用鍍鋅鐵線，並可依實際需要採用較粗線徑之鍍鋅鐵線，其外或再以 PVC 裹覆。鍍鋅之品質及鐵線之力學性質(如斷裂強度、伸長率等)應符合規範標準(詳 4.4.2 節)。

4. 基礎及牆背處理

- (1) 經驗顯示，箱籠牆較少發生傾覆破壞，故其設計以抵抗滑動之檢核為主。為提高滑動抵抗力，建議基礎之埋置深度應大於 50 cm。
- (2) 箱籠牆之牆背宜採用排水性能良好之級配材料予以回填或鋪設土工織物作為濾層。

5. 植生

箱籠牆為具有孔隙之結構物，可提供植栽插入，或直接種植發根植物於其內之填土，以美化景觀。植栽方式(詳圖 4.4.2)可將枝條插在土壤、塊石填料之孔隙間，枝條頂端需少許超過牆面，底部需到達箱籠牆後之背填土部分。或以薄土層覆蓋枝條，並搗實土層，以確保枝條與土壤有緊密之接觸，以利植物生長。有關植生種類，可參考水土保持手冊(1995)植生篇之規定，以採用耐旱藤類植物為主(參見 4.2.2 節)。

4.4.4 分析

箱籠牆屬於重力式擋土牆之一種，其分析可參照重力式擋土牆的原則辦理。分析時，可將箱籠牆假設為整體性結構後，再依傳統擋土結構計算其安全係數；又由於箱籠牆之透水性良好，故一般情形毋需考慮水壓力。

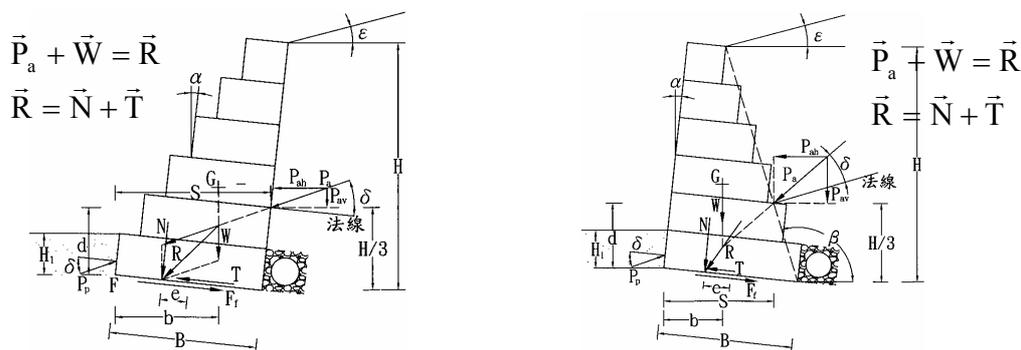
一般而言，無論任何型式之箱籠結構皆需檢核其傾覆(overturning)、滑動(sliding)及整體穩定(overall stability)之安全性。其中，整體穩定與結構本身及其周圍之土層狀況有關，可歸類為邊坡穩定分析，一般通用之邊坡穩定分析程式即可進行檢核分析。本文限

於篇幅，僅說明滑動穩定及傾覆穩定之檢核方式(參考林德貴等人，2002b)。

1. 滑動穩定檢核

經驗顯示，箱籠牆發生傾覆破壞之可能性不高，故其穩定檢核以滑動破壞為主。參見圖 4.4.7(a)及(b)，抗滑作用力 F_r 、滑動作用力 F_s 及抵抗滑動之安全係數 $(FS)_s$ 可計算如下：

圖 4.4.7 箱籠牆穩定檢核與應力分析作用力



(a) 牆面台階式(steped-front-face) (b) 牆背台階式(steped-rear-face)
(林德貴等人，2002b)

$$(FS)_s = \frac{F_r}{F_s} \geq 1.3 \sim 1.5 \quad (4.4.1)$$

$$F_r = F_f + P_p \cos \delta = (N \tan \phi + CB) + P_p \cos \delta \quad (4.4.2)$$

$$F_s = P_{ah} = P_a \cos \delta \quad (4.4.3)$$

式中， C 及 ϕ = 基礎土層之凝聚力及摩擦角

$$P_a = \text{牆背主動土壓力} = P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 - 2CH\sqrt{K_a}$$

$$P_p = \text{牆趾埋設深度之被動土壓力} = \frac{1}{2} K_p \gamma H_1^2 \quad (4.4.4)$$

其中， K_a = 主動土壓力係數

$$K_p = \text{被動土壓力係數} = 1/K_a$$

2. 傾覆穩定檢核

由於箱籠牆通常係採後傾方式構築，故其抵抗傾覆之安全係數通常皆可滿足要求。參見圖 4.4.7(a)及(b)，抵抗傾覆力矩 M_r 、傾覆力矩

M_o 及抵抗傾覆之安全係數 $(FS)_o$ 可計算如下：

$$(FS)_o = \frac{M_r}{M_o} \geq 1.5 \quad (4.4.5)$$

$$M_r = Wb + P_{av}S = Wb + P_a \sin \delta \times S \quad (4.4.6)$$

$$M_o = P_{ah}d = P_a \cos \delta \times d \quad (4.4.7)$$

4.4.5 施工

箱籠牆(卵、塊石)之施工通則說明如下：

1. 箱籠網線應採鍍鋅鐵線編結成六角形網目，常用網目尺寸為孔長在 20 cm、寬在 15 cm 以下，例如孔長 15 cm、寬 10 cm；或孔長 10 cm、寬 8 cm 等(註：網目尺寸與內填石材粒徑有關)，且需整齊一致。每兩根鄰近鐵線之捲接處，至少繞結 2 圈半以上，依設計圖說之詳細尺度圍成正方形或長方形。
2. 箱籠每長 100 cm 或依設計圖說所示，須以鐵線網間隔之，間隔網孔亦需結成六角形，孔長在 17.4 cm、寬在 15 cm 以下。
3. 箱籠內填石材粒徑與網目尺寸有關，通常石材粒徑約為網目孔徑之 1.5~2.0 倍。例如採用網目孔長為 15 cm、寬為 10 cm 時，可採用粒徑 22~35 cm 為原則；但為裝實及填平，可依工程司之指示，於其空隙內，斟酌填以直徑 10 cm~22 cm 之卵石(或塊石)。
4. 箱籠內應小心以人工或機械放入石塊，填充石材應分層填滿，每層均需確實填塞及整平。
5. 除另有規定外，箱籠內之石料應以當地為主，但不宜破壞當地之生態平衡。依現地石材供應條件，可於箱籠單元靠籠面四周填充較大石材，用以固定籠形後，再於單元中心部分填充礫石土，礫石土之填充方式應符合圖說規定，以不織布包覆並加以夯實。
6. 箱籠安放指定位置後應用鐵線互相連接每邊每公尺至少 3 處，其他重要部分，應照工程司指示固結之。

7. 箱籠安裝前，基礎應先整平，平鋪部分除設計圖另有規定外應儘可能鋪於原地面上，但相鄰兩箱籠頂面高度相差以 10 cm 為限。
8. 箱籠每層退縮長度及後傾靠坡之相關規定應依設計圖說或工程司指示，一般退縮長度約 50~100 cm，後傾至少 6°。
9. 箱籠施工時，每單元應銜接平順；每一施工步驟都應將箱籠適當拉緊，以期完工能有較好之線形。
10. 箱籠背面可視實際需要鋪設地工織物，以防止土壤淘刷。
11. 箱籠植生

箱籠於現場組裝填充石料完畢後，即可進行植生工作，茲列舉如下三種施作方式：

- (1) 直接客土(土壤+混播種子+肥料)於箱籠形成之階梯狀坡面，略整平成一斜坡面，略為夯實後，並撒水使其土壤濕潤，並鋪蓋稻草席予以保護之。
- (2) 放置土壤包或植生袋於箱籠所形成之階梯狀坡面外端，再客土整平為一斜坡面，並夯實、撒水。
- (3) 可於箱籠中選定地點加植栽圈環，回填土壤後種植藤類植物及樹木，或於箱籠間以可發芽、發根之活枝條置入。

4.4.6 檢驗

箱籠牆之檢驗，除石材大小應在許可差範圍內(參考表 4.2.3)，箱籠材料並應依規定進行下列檢驗：

1. 鐵線線徑應符合設計圖規定，其品質須符合 CNS 1468(低碳鋼線)之要求，物理性功能須符合 CNS 1468，G3029 之規定。鐵線應為熱浸鍍鋅，鍍鋅層須符合捲解試驗，鍍鋅量除另有規定外，應不得少於下列標準：

2.2 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 240 \text{ g/m}^2$

2.7 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 260 \text{ g/m}^2$

3.4 mm 鐵線：鍍鋅量 $\geq 275 \text{ g/m}^2$

2. 鍍鋅鐵線若採用外覆 PVC 保護層，其厚度應在 0.4~0.6 mm 以上，比重至少 1.25，抗拉強度 175 kgf/cm^2 以上，延伸率 150% 以上，延伸時劣化試驗須符合 CNS 10146，A3183 之規定檢驗。

4.4.7 設計參考圖表

林德貴等人 (2002b) 利用 OFFICINE MACCAFERRI 公司(1995) 所發展之箱籠擋土牆設計套裝程式 GAWAC (GAbion Wall Code)，進行重力式箱籠牆之穩定分析及應力檢算，並將分析結果製成表格，其成果亦納入工程會頒佈之「基層公共工程基本圖彙編」中。該等分析結果係依三種高寬比：(a) $H/B \leq 1.5$ 、(b) $1.5 < H/B \leq 2.0$ 及 (c) $H/B \geq 2.0$ 予以分類，如表 4.4.2 所示（註：箱籠型式參考圖 4.4.7(a)）。設計者可依現地基礎土層之情況(ϕ)及所要求之各種穩定安全係數（抗傾覆安全係數(FS)_o 或抗滑動安全係數(FS)_s）來選擇箱籠牆體最合適之高寬比(H/B)。

表 4.4.2 箱籠牆參考設計圖表

(a) 重力式牆面台階式 (gravity stepped front face) 箱籠牆

$$H/B \leq 1.5$$

H (m)	B (m)	$\beta=0^\circ$ 、 $q=0$			$\beta=0^\circ$ 、 $q=\gamma_t \times 1(\text{t/m}^2)$			$\beta=\phi$ 、 $q=0$		
		ϕ (°)	(FS) _o	(FS) _s	ϕ (°)	(FS) _o	(FS) _s	ϕ (°)	(FS) _o	(FS) _s
2	1.5	22	7.82	2.68	24	3.64	1.71	23	4.00	1.32
3	2.5	24	10.42	2.91	23	5.01	1.63	25	5.08	1.37
4	3.0	25	8.42	2.56	25	4.89	1.76	26	4.94	1.49
5	4.0	24	9.10	2.86	24	5.99	2.13	25	4.76	1.55
6	4.0	24	6.03	2.18	24	4.09	1.67	26	3.79	1.41

H：箱籠總高度

q：牆背填土區之均佈載重

B：箱籠底面寬度

(FS)_o：抵抗傾倒之安全係數

β ：背填土傾斜角

(FS)_s：抵抗滑動之安全係數

(林德貴等人，2002b)

(b) 重力式牆面台階式 (gravity stepped front face) 箱籠牆

$$1.5 < H/B < 2.0$$

H (m)	B (m)	$\beta=0^\circ$ 、 $q=0$			$\beta=0^\circ$ 、 $q=\gamma_t \times 1(t/m^2)$			$\beta=\phi$ 、 $q=0$		
		ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$
2	1.5	22	7.82	2.68	24	3.64	1.71	23	4.00	1.32
3	2.0	24	6.30	2.30	24	3.29	1.43	27	4.08	1.61
4	2.0	25	3.89	1.89	28	2.72	1.76	30	2.73	1.56
5	2.5	23	3.42	1.77	26	2.62	1.77	28	2.53	1.53
6	3.0	23	3.24	1.53	26	2.62	1.61	28	2.40	1.33

H：箱籠總高度

q：牆背填土區之均佈載重

B：箱籠底面寬度

$(FS)_o$ ：抵抗傾倒之安全係數

β ：背填土傾斜角

$(FS)_s$ ：抵抗滑動之安全係數

(林德貴等人，2002b)

(c) 重力式牆面台階式 (gravity stepped front face) 箱籠牆

$$H/B \geq 2$$

H (m)	B (m)	$\beta=0^\circ$ 、 $q=0$			$\beta=0^\circ$ 、 $q=\gamma_t \times 1(t/m^2)$			$\beta=\phi$ 、 $q=0$		
		ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$
2	1.5	22	7.82	2.68	24	3.64	1.71	23	4.00	1.32
3	1.5	25	4.12	2.23	29	2.72	2.10	29	2.79	1.68
4	2.0	25	3.89	1.89	28	2.72	1.76	30	2.73	1.56
5	3.0	24	5.08	2.24	24	3.47	1.68	26	2.85	1.34
6	3.0	23	3.21	1.53	26	2.62	1.61	28	2.40	1.33

H：箱籠總高度

q：牆背填土區之均佈載重

B：箱籠底面寬度

$(FS)_o$ ：抵抗傾倒之安全係數

β ：背填土傾斜角

$(FS)_s$ ：抵抗滑動之安全係數

(林德貴等人，2002b)

上述參考設計圖表之箱籠型式並非常用尺寸，為便於本手冊之使用者參考，本研究針對常用之箱籠牆尺寸（如圖 4.4.8 所示）重新製作設計圖表如下表 4.4.3 所示，由該表可知，對於一般基礎土層（ $\phi \geq 30^\circ$ ）而言，採用圖 4.4.8 之設計可符合平時抗傾覆及抗滑動之安全係數要求。

圖 4.4.8 不同牆高之箱籠牆示意圖

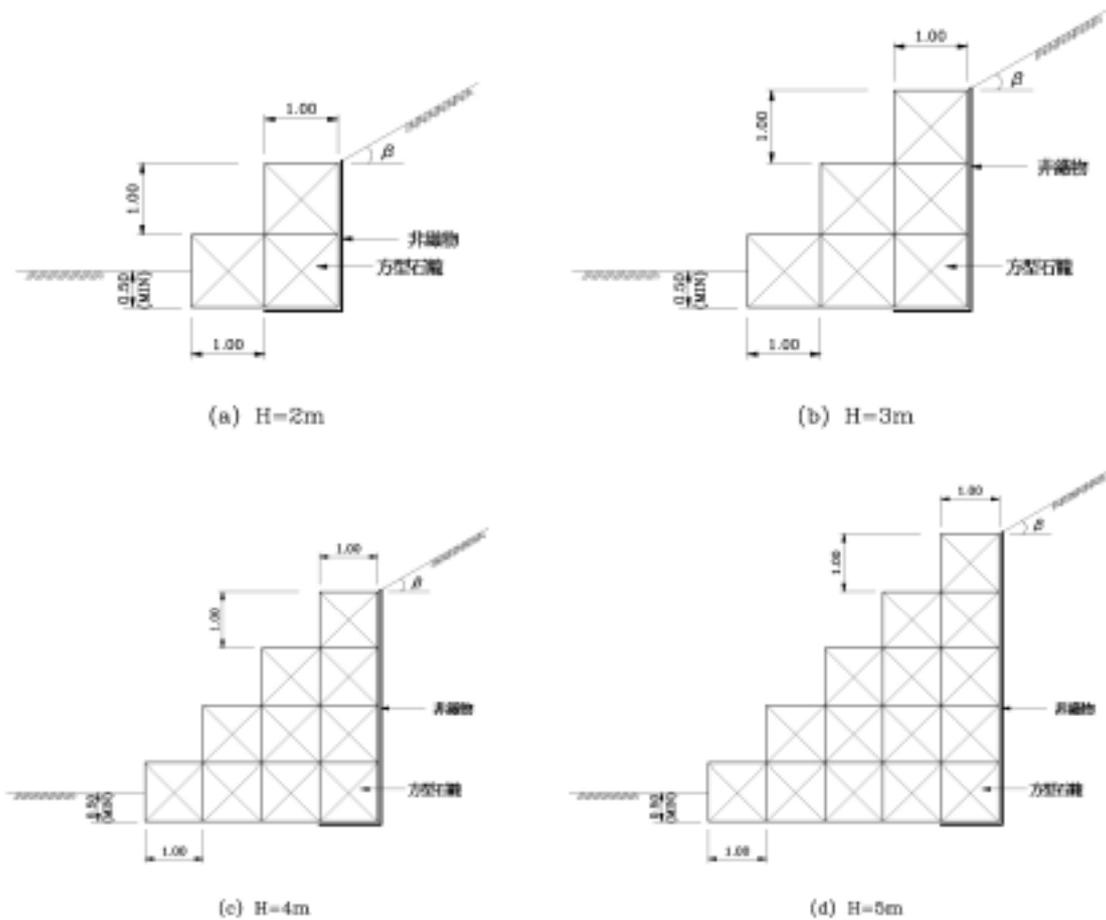


表 4.4.3 箱籠牆參考設計圖表之二 (本研究)

重力式牆面台階式 (gravity stepped front face) 箱籠牆

$$H/B = 1.0$$

H (m)	B (m)	$\beta=0^\circ$ 、 $q=0$			$\beta=0^\circ$ 、 $q=1t/m^2$		
		ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$
2	2	30	14.2	3.7	30	9.5	2.4
3	3	30	13.2	2.9	30	10.0	2.1
4	4	30	12.7	2.5	30	10.2	2.0
5	5	30	12.3	2.3	30	10.3	1.9

(設計圖參考圖 4.4.8)

H (m)	B (m)	$\beta=10^\circ$ 、 $q=0$			$\beta=20^\circ$ 、 $q=0$		
		ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$	ϕ (°)	$(FS)_o$	$(FS)_s$
2	2	30	12.5	3.3	30	10.5	2.7
3	3	30	11.7	2.5	30	9.8	2.1
4	4	30	11.2	2.2	30	9.4	1.8
5	5	30	10.9	2.0	30	9.1	1.7

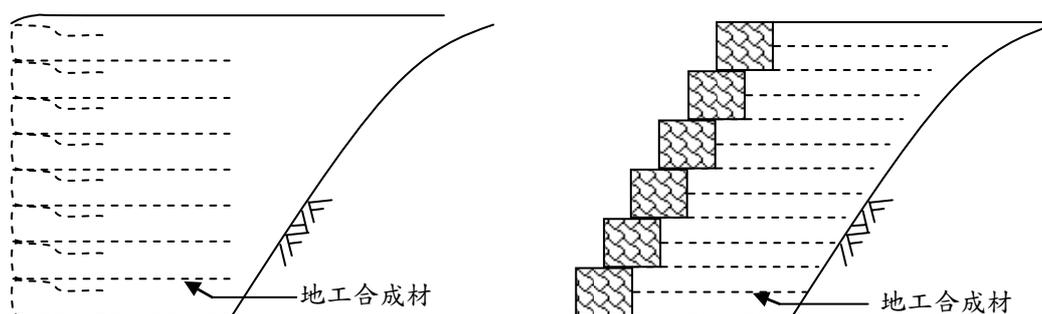
(設計圖參考圖 4.4.8)

4.5 土工合成材加勁牆

4.5.1 通則

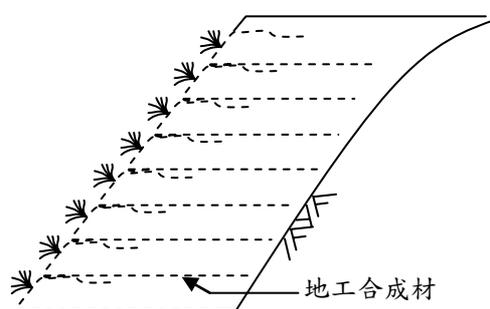
應用於坡地社區邊坡穩定之地工合成材加勁擋土結構牆分為加勁擋土牆(牆面坡度 $\geq 70^\circ$ 者)及加勁邊坡(牆面坡度 $< 70^\circ$ 者)兩大類，如圖 4.5.1 所示。

圖 4.5.1 應用於坡地社區邊坡之地工合成材加勁擋土結構之型式



(a) 回包式加勁擋土牆

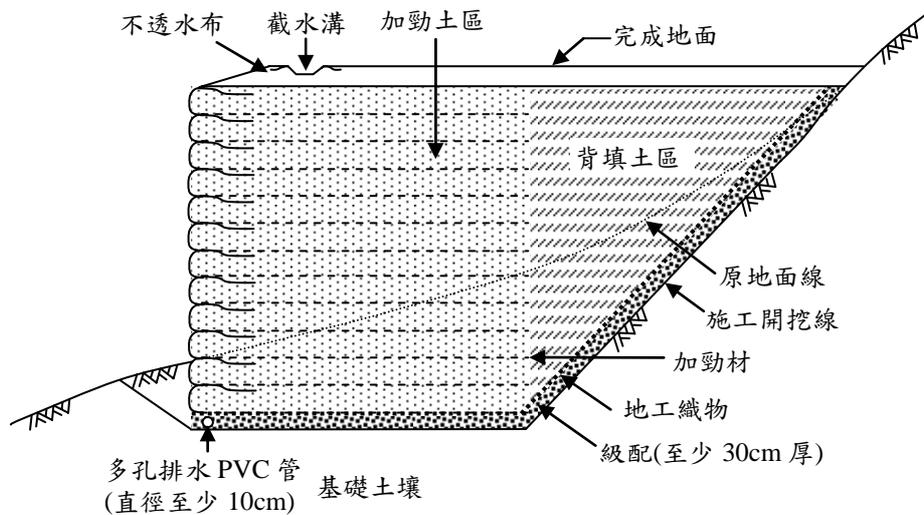
(b) 箱籠面版加勁擋土牆



(c) 坡面植生回包式加勁邊坡

土工合成材加勁擋土結構係利用土工合成材為加勁材及逐層回填土料所構築而成的擋土結構物。其部分行為類似於重力式擋土牆，即由土工合成材、回填土料及面版所構成之加勁土體，藉由自身的重量，以抵抗來自於牆體背後之土壓力(包括靜態及動態)或其它外力。另外，由於加勁材與土壤間之摩擦力及互鎖力(interlocking)，增加了作用於土體之有效圍壓，因而增加土體的強度，進而提升牆體之穩定性(圖 4.5.2)。

圖 4.5.2 加勁土壤結構示意圖



土工合成材加勁擋土結構因其具有施工迅速、所需人力與機具少、柔性、成本低等優點，已廣泛應用於包括邊坡穩定、路基加勁、路堤等土木工程中，其中又以應用於坡地社區、鐵公路等邊坡之穩定工程最為普遍。

基本上，土工合成材加勁牆擋土結構適用於任何可構築傳統擋土牆或邊坡之地方，唯若有下列情況，必須避免採用：

1. 加勁材料可能暴露於遭受污染之地表水或地下水的地方，或環境具有侵蝕性的地方。
2. 在地表水或地下水匯集之地區，因排水量過大，無法設計時，如山凹、山溝等。
3. 在高危險崩塌區。

4.5.2 材料

土工合成材加勁擋土結構之三大組成材料為面版、土工合成材及回填土料，各項材料之規格要求分述於下：

1. 面版

土工合成材加勁牆之面版，一般可分剛性面版及柔性面版。剛性面版以鋼筋混凝土面版為主，而柔性面版則大都以加勁材回包之方式

來構築牆面或坡面(圖 4.5.3)。

圖 4.5.3 土工合成材加勁邊坡



2. 土工合成材

應用於加勁擋土結構之土工合成材，有土工織物(geotextile)、土工格網(geogrid)及蜂巢格網(geocell)等，其中以土工格網最為普遍。土工合成材之設計考量，包括強度及耐久性兩項：

(1) 強度

加勁材之設計強度 T_d 為設計者依工程結構物之特性，考慮各種載重作用下，加勁材可能受到之最大荷重。而選用之土工合成材，其容許強度 T_a 需大於 T_d 。

土工合成材之容許強度係指材料在設計之年限內所能提供之最大抗拉強度，其評估方法如下：

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF} \quad (4.5.1)$$

式中， T_{ult} =土工合成材之極限抗拉強度

RF =土工合成材強度之折減係數= $RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD}$ ，其中 RF_{ID} 為施工損傷之折減係數， RF_{CR} 為潛變折減係數， RF_{CD} 為化學分解之折減係數， RF_{BD} 為生物分解之折減係數，各折減係數如表 4.5.1 所示。

表 4.5.1 各折減係數之建議值

用途	各折減安全係數			
	RF _{ID}	RF _{CR} [*]	RF _{CD}	RF _{BD}
擋土牆	1.1-2.0	2.0-4.0	1.0-1.5	1.0-1.3
邊坡	1.1-1.5	2.0-3.0	1.0-1.5	1.0-1.3

*如設計年限較短或潛變對系統之影響不大時，則可採範圍內之最低值(Koerner, 1994)

(2) 耐久性

影響地工合成材耐久性之因素包括材料潛變、施工損傷、紫外線破壞、化學物質和微生物之侵蝕等，這些資料應由加勁材製造廠商提供。如無完整之資料，則由各折減安全係數來考慮地工合成材之強度損失。至於紫外線之影響，因大多數加勁材皆埋置於土內，故較無此方面之問題，但對於回包式之牆面，則須加以保護，以避免紫外線直接照射而造成損傷。此外在施工期間，加勁材也應避免長時間受到陽光之照射。

3. 回填土料

回填土料之性質、施工夯實情況、及其與加勁材間之界面性質等，為影響結構穩定性之重要因素。要達到設計之要求，回填材料以低凝聚性(低塑性指數 PI)、透水性良好之粒狀土壤為佳。然考慮回填土之數量極大、現地棄方不易、土方平衡之環保要求、施工成本等，一般施工皆以現地土壤或岩石碎塊做為回填材料。故現地土壤須經過適當施工與品管，方可達到實際之要求。回填土料各性質要求之建議值可參考表 4.5.2。

4.5.3 設計

加勁擋土牆(牆面坡度 $\geq 70^\circ$ 者)與加勁邊坡(牆面坡度 $< 70^\circ$ 者)兩者之設計原理是不同的，其設計步驟亦不相同，故須分別說明。

表 4.5.2 回填土料各性質要求之建議值

	加勁擋土牆	加勁邊坡
級配	通過 100mm→100% 通過 40 號篩→0~60% 通過 200 號篩→0~15%	通過 20mm→100% 通過 4 號篩→20~100% 通過 40 號篩→0~60% 通過 200 號篩→0~50%
塑性指數	≤6	≤20
夯實情況	相對夯實度：≥90% 含水量：OMC±2%(OMC 為土壤之最佳含水量) 夯實分層厚度：凝聚性土壤≤20 cm 顆粒性土壤 23~30 cm	
健性	硫酸鎂四循環後之損失量<30% 硫酸鈉五循環後之損失量<15%	
化學性質	pH 值：5.0~9.0 有機物含量：<10% 氯化物：<100 ppm 硫酸鹽：<200 ppm	

(FHWA, 2001)

1. 加勁擋土牆**(1) 設計原理**

此類方法是根據加勁土體背側土壓力，計算所需平衡應力之大小，而據以設計加勁材，故需對破壞面、側向土壓力分佈作適當之假設。再由內部穩定分析，分別考慮各層加勁材之拉斷破壞及拉出破壞之安全性，而得加勁材所需之鋪設長度與間距，再據以檢核外部穩定。

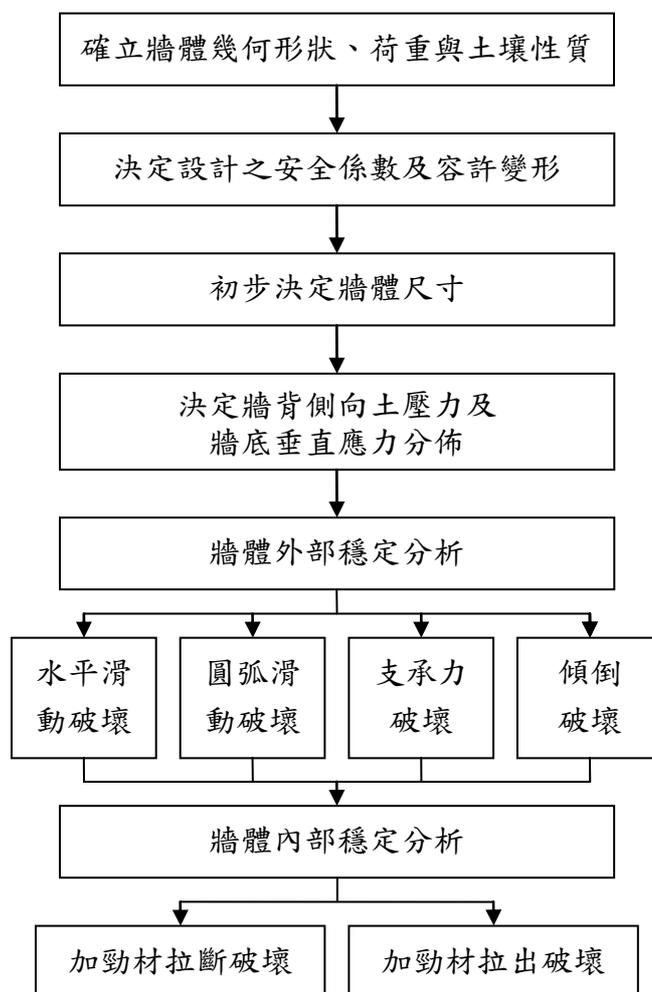
(2) 設計步驟

(a) 確立牆體幾何形狀、荷重與土壤性質

- (b)決定設計之安全設計及容許變形
- (c)初步決定加勁牆尺寸
- (d)決定牆面及牆背側向土壓力及基底垂直應力分佈
- (e)檢核外部穩定
- (f)檢核內部穩定

其設計流程詳如圖 4.5.4 所示。

圖 4.5.4 加勁擋土牆之設計流程



各步驟之詳細說明如下：

- (a)確立牆體幾何形狀、荷重與土壤性質

包括：

- (i) 牆高、牆面傾角、牆後地表之坡角
- (ii) 牆體之外加載重：臨時載重、均勻載重及地震載重等
- (iii) 牆面型式
- (iv) 加勁材鋪設垂直間距(S_v)
- (v) 基礎(現地)土壤之土壤參數(強度參數及壓縮性質)、回填土壤及牆背土壤等之土壤參數(強度參數、基本土壤指數及夯實參數)

(b)決定設計之安全係數及容許變形

(i)外部穩定

安全係數之要求：

水平滑動破壞： $FS \geq 1.5$

傾倒破壞： $FS \geq 2.0$

支承力破壞： $FS \geq 2.5$

圓弧滑動破壞： $FS \geq 1.3$

(ii)內部穩定

安全係數之要求：

加勁材斷裂安全係數： $FS \geq 1.5$

加勁材拉出安全係數： $FS \geq 1.5$

(c)初步決定加勁牆尺寸

(i)牆埋置深度

加勁牆埋置深度可參考表 4.5.3。除座落於岩層面上，不論何種情況下，牆埋置深度均不得小於 0.5 m。若擋土牆座落於邊坡上，則在擋土牆址前方應至少有 1.2 m 之平台。

(ii)決定加勁材長度 L

初步設計時，可假設加勁材長度 $L=0.7H$ ，且至少為 2.5 m。如

表 4.5.3 加勁擋土牆埋置深度

擋土牆址前方坡度	最小埋置深度
水平	H/20
3H : 1V	H/10
2H : 1V	H/7
1.5H : 1V	H/5

(FHWA, 2001)

加勁牆上方有覆土荷重或集中荷重，則加勁材長度需較長，約為 $0.8H \sim 1.1H$ 。

(d)決定牆面及牆背側向土壓力及基底之垂直應力分佈

(i)牆面側向土壓力分佈

$$P_a = K_a \gamma_r z + K_a q \quad (4.5.2)$$

式中：

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_r}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_r}} \quad (\text{牆面傾角} > 80^\circ)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi_r)}{\sin^2 \theta \sin(\theta - \phi_r) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(2\phi_r) \sin(\phi_r - \beta)}{\sin(\theta - \phi_r) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (\text{牆面傾角} \leq 80^\circ)$$

β = 牆頂地面坡角

θ = 牆面傾角

γ_r, ϕ_r = 分別為加勁區土壤單位重及摩擦角

z =深度

q =線性均佈載重之垂直應力增量

(ii) 牆背側向土壓力分布

$$P_a = K_a \gamma_f z + qK_a \quad (4.5.3)$$

式中：

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_f}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_f}} \quad (\text{牆面傾角} > 80^\circ)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi_f)}{\sin^2 \theta \sin(\theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_f + \delta) \sin(\phi_f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (\text{牆面傾角} \leq 80^\circ)$$

γ_f, ϕ_f =分別為背填區土壤之單位重與摩擦角

δ =加勁區與被填區土壤間的摩擦角

牆背總側向土壓力：

$$F_T = \frac{1}{2} K_a \gamma_f H'^2 + qK_a H'$$

式中， H' =加勁區背側高度

(iii) 基底垂直應力

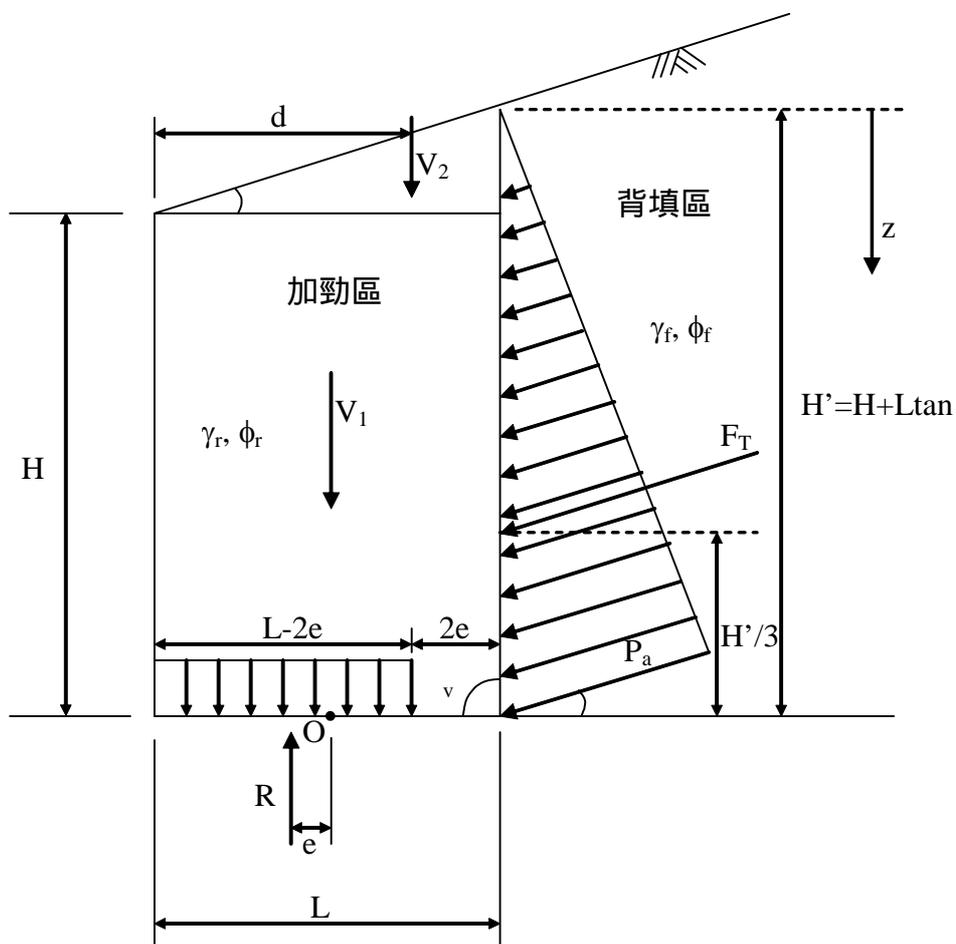
加勁擋土牆基底垂直應力之分佈情形如圖 4.5.5 所示，並計算計算及計算基底之垂直應力 σ_v 。計算所得合力偏心距 e ，需小於 $L/6$ ，否則加勁材鋪設長度需加長。

(e) 檢核加勁擋土牆之外部穩定

外部穩定分析可參見一般基礎工程書籍。包括：

(i) 水平滑動破壞

圖 4.5.5 加勁擋土牆作用力之分佈



- | | |
|----------------------|--------------------|
| e : 基底合力之偏心距 | F_T : 主動土壓力之合力 |
| P_a : 主動土壓力 | R : 基底之合力 |
| V_1 : 加勁區土壤之重量 | V_2 : 加勁區上方覆土之重量 |
| σ_v : 基底之垂直應力 | H : 牆高 |
| L : 最底層加勁材鋪設長度 | |

考慮加勁擋土牆受後方背填區側向土壓力之作用，而沿最底層加勁材滑動之安全性分析。

(ii) 傾倒破壞

考慮加勁擋土牆因後方背填區側向土壓力之作用下，而沿牆趾傾

翻破壞之安全性分析。

(iii) 支承力破壞

考慮加勁擋土牆下方土壤之承载力破壞之穩定分析。

(iv) 整體圓弧滑動破壞

考慮整體圓弧滑動之穩定性分析。此部份如傳統邊坡穩定分析之方法，亦可利用電腦分析軟體進行。

(f) 檢核加勁擋土牆內部穩定

此部分係考慮破壞面通過加勁區之安全性檢核。以一般邊坡穩定分析方法或軟體進行。

(i) 加勁材拉斷破壞分析

考慮加勁材因張力不足以抵抗牆面處之水平土壓力，而導致加勁材斷裂之破壞。先計算各層加勁材之最大張力 $T_{s \max}$

$$T_{s \max} = P_a S_v$$

式中， P_a 為牆面處之側向土壓力，即式(4.5.2)

$$S_v = \text{加勁加垂直間距}$$

計算各層加勁材拉斷之安全係數

$$FS_{rup} = \frac{T_a}{T_{s \max}}$$

(ii) 加勁材拉出破壞分析

考慮因土壤與加勁材界面之摩擦力不足，而造成加勁材自土壤中拉出之破壞。

計算各層加勁材之拉出阻抗 P_r

$$P_r = 2\mu\sigma'_v L_e$$

式中， L_e = 加勁材在破壞面後方(被動區)之埋置長度
$$= L - (H - z) \tan(45 - \frac{\phi}{2})$$

μ = 加勁區土壤與加勁材間之摩擦係數

計算各層加勁材拉出破壞之安全係數

$$FS_{pull} = \frac{P_r}{T_{s \max}}$$

2. 加勁邊坡

(1) 設計原理

假設不同破壞面，並考慮滑動面上之力矩平衡，其中驅動力矩為土壤重量及外加载重所造成，抵抗力矩為滑動面上土壤抗剪強度及加勁材抗張強度所提供，找出安全係數最小之破壞面，以計算滿足加勁土體內外部穩定所需之加勁材。

(2) 設計步驟

- (a) 確立邊坡體幾何形狀、荷重與土壤性質
- (b) 決定設計之安全係數及加勁材抗張強度
- (c) 內部穩定檢核
- (d) 外部穩定性檢核

其設計流程如圖 4.5.6 所示。

各步驟之詳細說明如下：

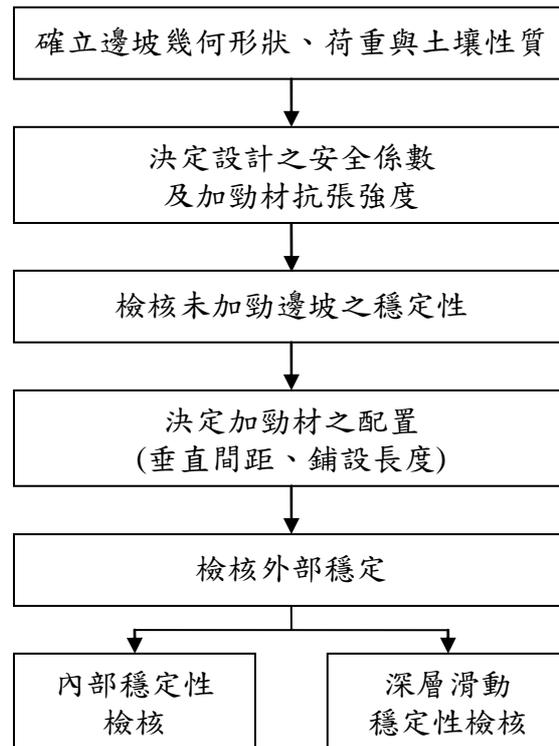
(a) 確立邊坡幾何形狀、荷重與土壤性質

包括：

- (i) 邊坡幾何：形狀、高度、坡角
- (ii) 外加载重：臨時載重、均佈載重等
- (iii) 若為邊坡整治，需判斷原破壞發生原因及確認原破壞面。

- (iv) 決定土壤參數(包括單位重及強度參數等)
- (v) 確認地下水位及地下水層之分佈

圖 4.5.6 加勁邊坡之設計流程



(b) 決定設計之安全係數及加勁材抗張強度

安全係數及加勁材抗張強度之決定皆與加勁擋土牆相同。

安全係數之要求：

邊坡圓弧滑動破壞安全係數 $FS \geq 1.3$

加勁材斷裂安全係數 $FS_{rup} \geq 1.5$

加勁材拉出安全係數 $FS_{pull} \geq 1.5$ (無凝聚性土壤)

$FS_{pull} \geq 2.0$ (凝聚性土壤)

加勁材容許抗張強度之決定與加勁擋土牆相同。

(c) 內部穩定性檢核

(i)檢核未加勁邊坡之穩定性

其安全係數 FS 須大於 1.3 之要求。

(ii)檢核每個破壞面，使其安全係數皆大於或等於 1.5，據此估計每個破壞面所需總抗張力 T_s 。加勁邊坡安全係數之定義如下式(圖 4.5.7)：

$$FS = FS_u + \frac{T_s D}{M_d}$$

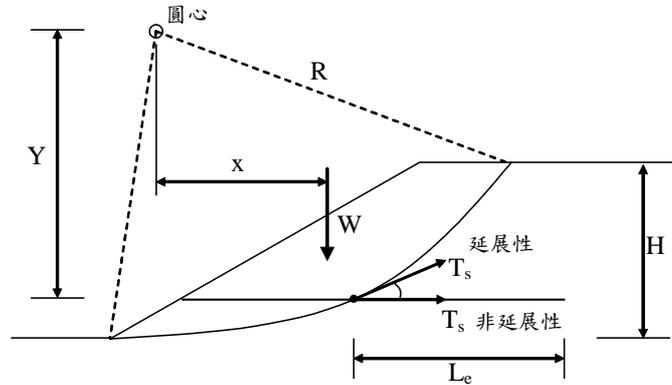
式中， FS_u ：未加勁邊坡之安全係數

T_s ：達安全係數要求時所需加勁材之總抗張力

D ： T_s 之力臂。延展性加勁材 $D=R$ ，非延展性加勁材 $D=Y$

M_d ：破壞土體之總驅動彎矩

圖 4.5.7 加勁邊坡之穩定分析



(iii)決定加勁材之配置

矮坡($H < 6$ m)可採用均勻間距。

高坡($H \geq 6$ m)，則可依下列二種方式處理：

(a)分成二個加勁區域時：

$$T_{\text{bottom}}=3/4 T_s$$

$$T_{\text{top}}=1/4 T_s$$

(b)分成三個加勁區域時：

$$T_{\text{bottom}}=1/2 T_s$$

$$T_{\text{middle}}=1/3 T_s$$

$$T_{\text{top}}=1/6 T_s$$

(iv)決定加勁材之垂直間距 S_v 與所需最少層數 N

對每一加勁區域，計算加勁材之垂直間距 S_v 與所需最少層數 N ：

$$N(\text{區域})=T(\text{區域})/T_a$$

$$S_v(\text{區域})=H(\text{區域})/N(\text{區域})$$

而總層數(各區域層數之總和)須大於所需最小層數：

$$N=T_s/T_a$$

為增加牆面之穩定性(避免牆面土壤遭沖蝕)及夯實品質，可使用長度較短(1.2 ~2.0 m)之中間層加勁材，以保持加勁材垂直間距不超過 60 cm。

(v)決定臨界破壞面外所需之加勁材有效長度 L_e 。

$$L_e = \frac{T_a (FS_{\text{pull}})}{2\mu\sigma'_v(z)}$$

式中， $\sigma'_v(z)$ =深度 z 處之垂直有效應力

L_e 至少需 1 m。

(vi)決定加勁材鋪設長度

加勁邊坡加勁材之鋪設長度一般採梯形分佈，即最底部之長度由外部穩定分析求得，而最頂部之長度則由內部穩定分析決

定。如採等長分佈時，則加勁材鋪設長度為由外部穩定分析與內部穩定分析所得之較長者。

(vii)決定加勁材回包長度

如為回包式加勁邊坡，加勁材回包長度 L_w 由下式計算：

$$L_e = \frac{P_a(z)S_v}{2\mu\sigma'_v(z)}$$

式中， $P_a(z)$ =深度 z 處之側向土壓力(式 4.5.2)

L_w 至少需 1 m。

(d)外部深層滑動穩定性檢核

此部份穩定分析與加勁擋土牆相同。

4.5.4 施工

土工合成材加勁擋土結構之施工步驟，雖會因所採用之面版系統而有些微之差異，然主要之施工步驟大致如下所述(圖 4.5.8)：

1. 整地(清理地表植物、土石、雜物等)及開挖(包括坡址及牆面基礎淺溝)。
2. 澆置整平基墊或夯實石料基墊。
3. 架設模板(加勁擋土牆，一般使用 L 型模板；加勁邊坡則使用三角形模板，如圖 4.5.9 所示)及鋪設第一層加勁材。
4. 堆填土包(或箱籠)。
5. 鋪築及夯實回填土料(夯實昇層厚度不得超過 30 cm；而加勁層厚度一般不超過 60 cm，如大於 60 cm 者，應加長度 1.2~2.0 m 之中間層加勁材，以增加牆面之穩定性)。
6. 回包加勁材(回包長度須能夠避免加勁材回包段之拉出破壞，且長度至少為 1 m)。
7. 重覆步驟 3~6 至設計高度。

8. 排水設施及植生。

圖 4.5.8 加勁擋土牆施工步驟

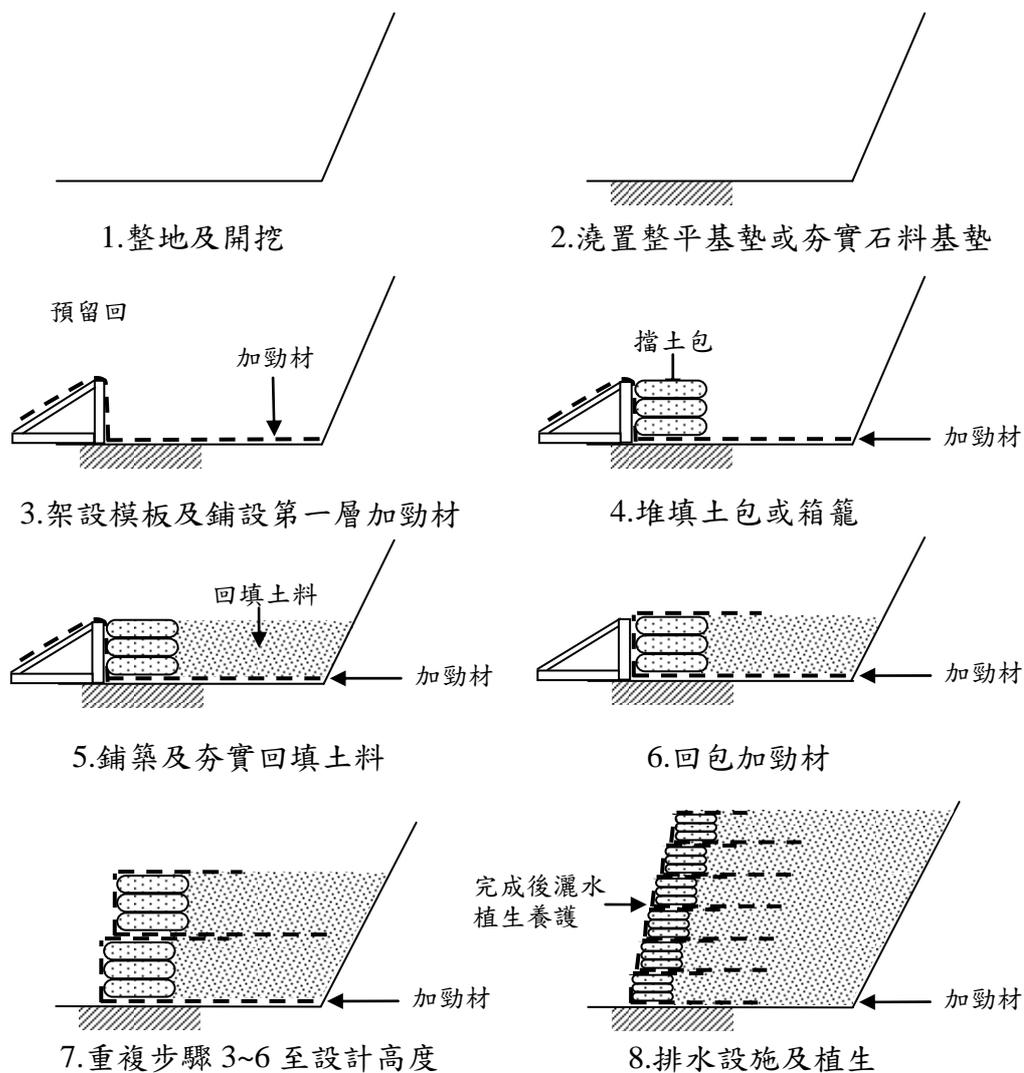
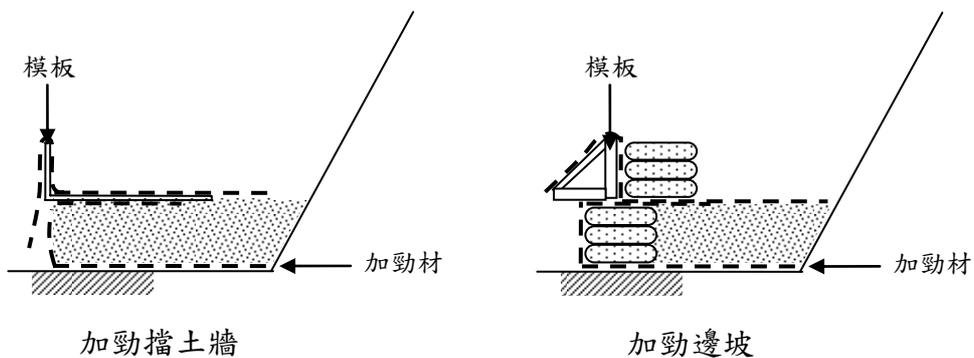


圖 4.5.9 加勁擋土結構施工用模板



4.5.5 設計參考圖表

因加勁擋土牆(牆面坡度 $\geq 70^\circ$ 者)與加勁邊坡(牆面坡度 $< 70^\circ$ 者)兩者之設計原理不同，故其設計圖表須分別說明。

1. 加勁擋土牆

與加勁擋土牆設計相關之參數眾多，為使設計圖表易於參考使用，遂做下列之簡化與說明：

1. 不考慮孔隙水壓之問題(如回填土符合表 4.5.2 要求，亦設有如圖 4.5.2 之排水設施，則牆體內部無孔隙水壓蓄積之問題)。
2. 不考慮地震載重及包括臨時載重與地表覆土等之外加載重。
3. 回填土之凝聚力(c 值)為零。按要求回填土應為透水性良好之粒狀土壤，故 c 值可忽略，然若使用現地土壤做為回填土，則假設 c 值為零，亦可得較為保守之結果。
4. 各項安全係數皆採要求之最低值。
5. 計算加勁材容許強度時(式 4.5.1)，折減係數採 5($RF_{ID}=1.5$ 、 $RF_{CR}=3.0$ 、 $RF_{CD}=1.1$ 、 $RF_{BD}=1.0$)。
6. 加勁材與土壤間之摩擦係數 $\mu=2/3\tan\phi$ ；加勁區與被填區土壤間之摩擦角 $\delta=\phi$ 。
7. 加勁牆之支承力破壞及整體穩定性破壞，需另行檢核之。

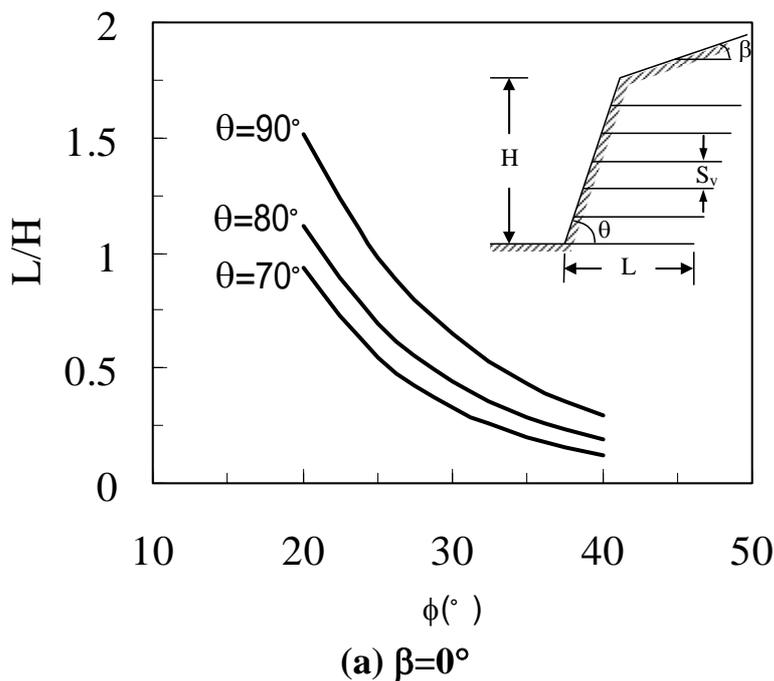
因設計圖表乃基於上述簡化而得，故如實際加勁擋土牆之設計條件或考量與上述有所不同，則需進行詳細之設計與分析。

根據分析結果顯示，加勁材鋪設長度主要受外部穩定分析之水平滑動破壞所控制，故本研究乃以 4.5.3 所述之設計方法，由外部穩定之水平滑動穩定分析來計算加勁材鋪設長度。所得加勁材鋪設長度與牆高之比值(L/H)與牆面傾角(θ)、牆頂地面坡角(β)及回填土壤摩擦角

(ϕ)等關係之設計圖表如圖 4.5.10 所示。

而加勁材鋪設之垂直間距則主要受內部穩定分析之加勁材拉斷破壞所控制。當牆高 $H=6\text{ m}$ ，加勁材極限抗張強度 $T_{ult}=120\text{ kN/m}$ ，則加勁材鋪設最大垂直間距與牆面傾角及牆頂地面坡角之關係如圖 4.5.11 所示。當 $H=6\text{ m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$ ，則加勁材鋪設最大垂直間距與加勁材極限抗張強度(T_{ult})之關係如圖 4.5.12 所示。當 $T_{ult}=120\text{ kN/m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$ ，則加勁材鋪設最大垂直間距與牆高之關係如圖 4.5.13 所示。然加勁材垂直間距以不超過 1 m 為原則。

圖 4.5.10 加勁擋土牆加勁材鋪設長度之設計圖表



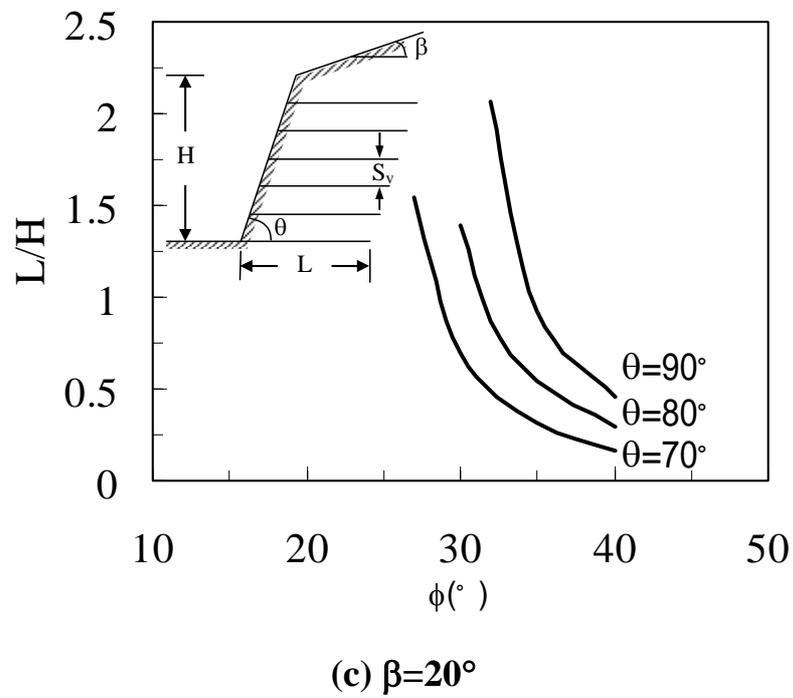
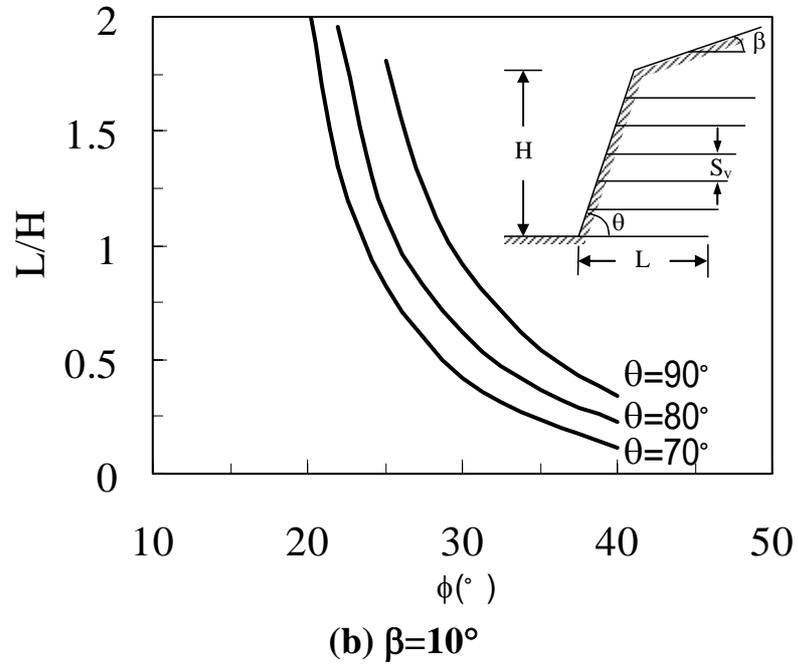
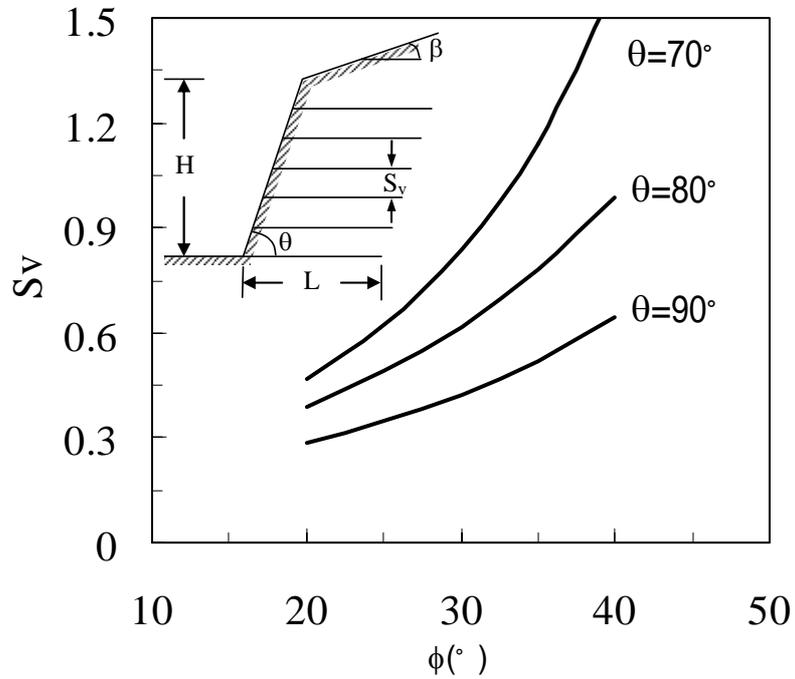
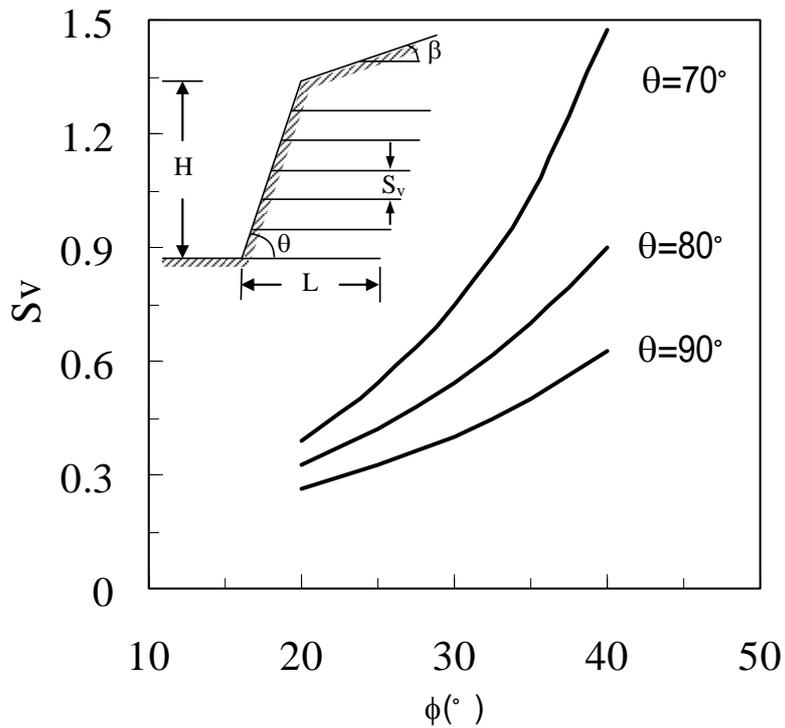


圖 4.5.11 加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表

($H=6\text{ m}$ 、 $T_{ult}=120\text{ kN/m}$)



(a) $\beta=0^\circ$



(b) $\beta=10^\circ$

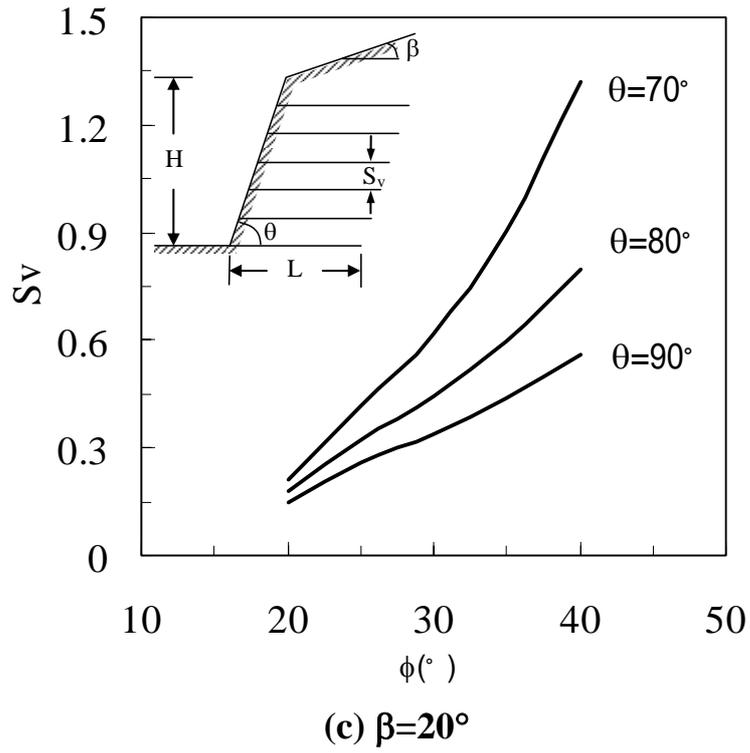


圖 4.5.12 加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表
($H=6\text{ m}$ 、 $\theta=90^\circ$ 、 $\beta=0^\circ$)

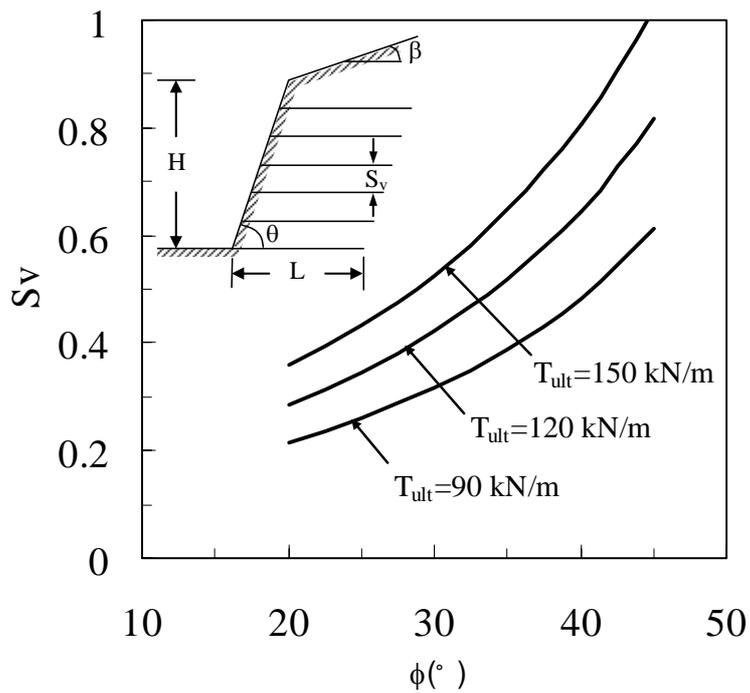
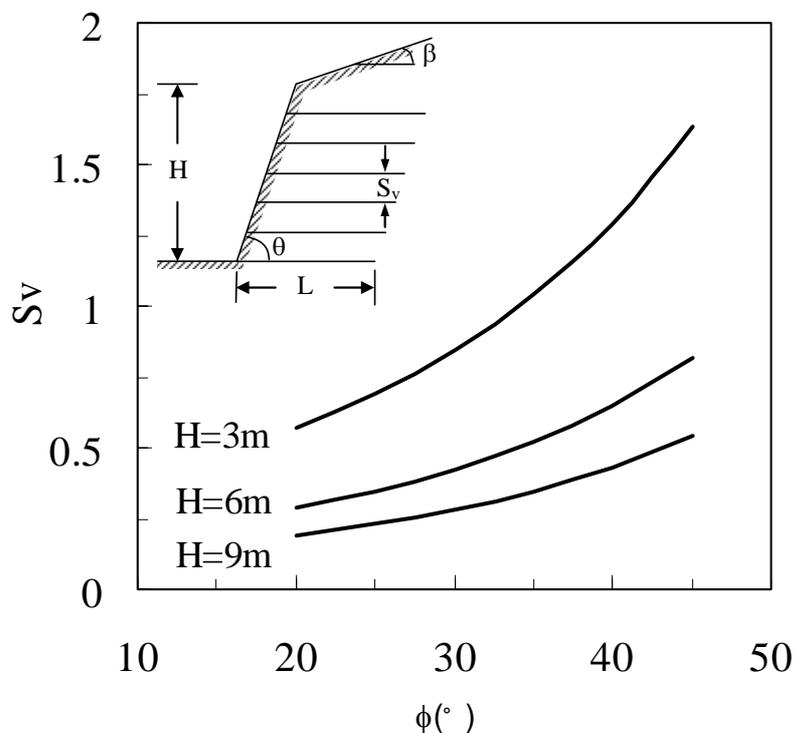


圖 4.5.13 加勁擋土牆加勁材鋪設最大垂直間距之設計圖表

$$(T_{ult}=120 \text{ kN/m}、\theta=90^\circ、\beta=0^\circ)$$



2. 加勁邊坡

加勁邊坡之設計原理與加勁擋土牆不同，須找出安全係數最小之破壞面，以計算滿足加勁土體內外部穩定所需之加勁材抗張強度提供之抵抗力矩，再計算所需加勁材層數與間距。此部份為一般傳統邊坡穩定分析，可由傳統邊坡穩定分析法(如 Boshop 法、Fellenius 法)或利用電腦分析軟體(如 STABL、RESLOPE 等)進行。

此外，Jewell(1991)將加勁區內之土壤分為兩滑動楔，由極限平衡之觀念進行分析而發展出一系列設計圖表(圖 4.5.14~圖 4.5.16)。此法適用於坡角 $30^\circ \sim 80^\circ$ 之加勁邊坡，且可考慮土體內孔隙水壓之情形。其設計步驟為：

(1) 決定孔隙水壓力參數 r_u

$$r_u = \frac{u}{\gamma_r z}$$

式中， u 為深度 z 處之孔隙水壓。若為粗粒土壤，則無孔隙水壓問題，即 $r_u=0$ 。

(2)由坡角 θ 及土壤有效摩擦角 ϕ' ，查圖 4.5.14~圖 4.5.16 得 K_{req} (側向土壓力係數)、 $(L_R/H)_{ovrl}$ (整體穩定之加勁材所需鋪設長度和坡高之比值)、 $(L_R/H)_{ds}$ (抗滑動破壞之加勁材所需鋪設長度和坡高之比值)。

若求得之 $r_u \neq 0.25$ 或 0.5 ，則採線性內插方式求得 K_{req} 、 $(L_R/H)_{ovrl}$ 與 $(L_R/H)_{ds}$ 。

(3)計算加勁材垂直鋪設間隔 S_v (採等間隔方式)及層數 n

$$S_v = \frac{T_a}{K_{req} \gamma_{z_{max}} FS}$$

式中， z_{max} 為最底層加勁材之鋪設深度。而所需鋪設之層數 $n=H/S_v$ (n 採整數)

(4)決定加勁材之鋪設長度

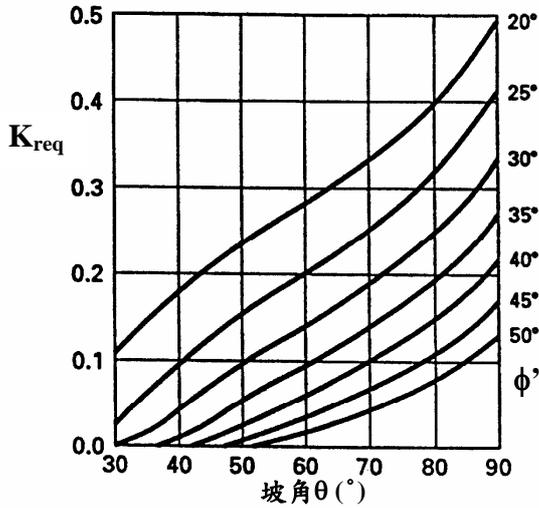
a.若 $(L_R/H)_{ovrl} > (L_R/H)_{ds}$ ，則採相同長度之 $(L_R/H)_{ovrl}$ 。

b.若 $(L_R/H)_{ovrl} \leq (L_R/H)_{ds}$ ，則採相同長度之 $(L_R/H)_{ds}$ 或由底部之 $(L_R/H)_{ds}$ 漸變至頂部之 $(L_R/H)_{ovrl}$ 。

(5)傾倒破壞、滑動破壞及承载力破壞等外部穩定分析，則以傳統分析方法進行。

圖 4.5.14 Jewell(1991)設計圖表($r_u=0$)

最小要求側向土壓係數 K_{req}

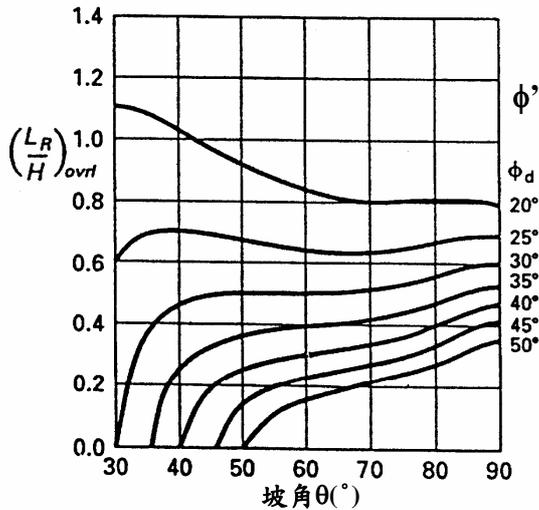


加勁材最小要求鋪設長度之決定：

- (1) 牆頂之最小長度是根據整體穩定之要求而定。
- (2) 牆底之最小長度是根據整體穩定及底部滑移要求中之大者而定。
- (3) 採用等長之加勁材時，根據(2)來決定長度。
- (4) 當底部滑移控制設計長度時，牆底可採用 L_{ds} ，牆頂採用 L_{ovrl} ，其間長度採線性變化。

整體穩定之最小要求長度

$$\left(\frac{L_R}{H}\right)_{ovrl}$$



底部滑移之最小要求長度

$$\left(\frac{L_R}{H}\right)_{ds}$$

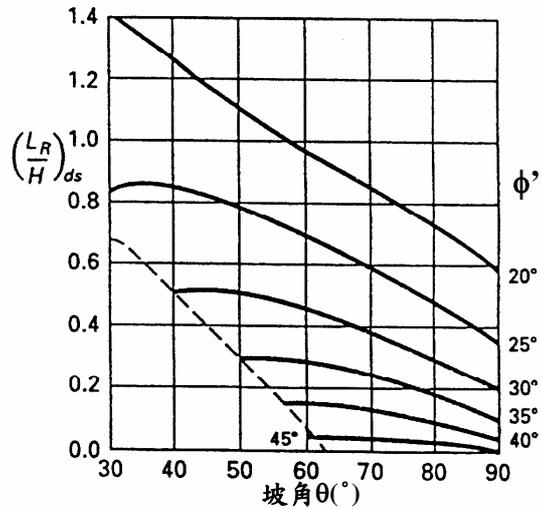
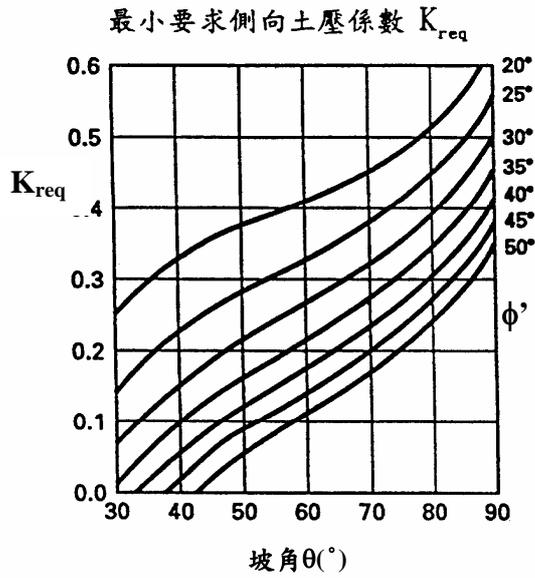


圖 4.5.15 Jewell(1991)設計圖表($r_u=0.25$)



加勁材最小要求鋪設長度之決定：

- (1) 牆頂之最小長度是根據整體穩定之要求而定。
- (2) 牆底之最小長度是根據整體穩定及底部滑移要求中之大者而定。
- (3) 採用等長之加勁材時，根據(2)來決定長度。
- (4) 當底部滑移控制設計長度時，牆底可採用 L_{ds} ，牆頂採用 L_{ovrl} ，其間長度採線性變化。

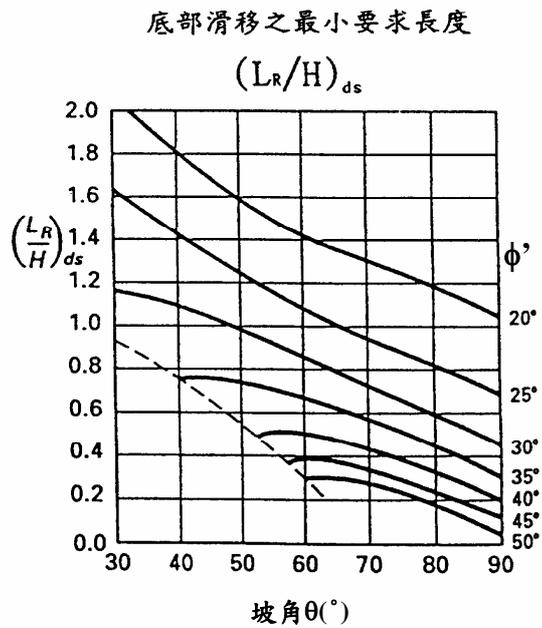
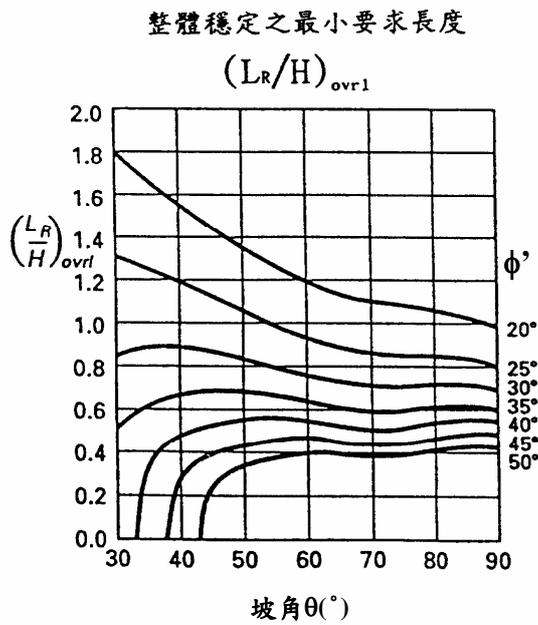
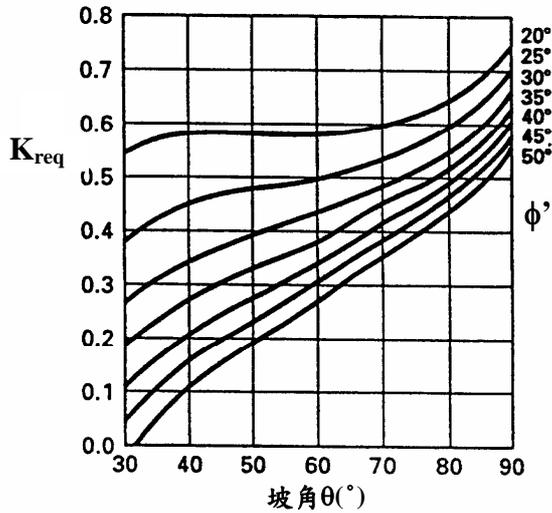


圖 4.5.16 Jewell(1991)設計圖表($r_u=0.5$)

最小要求側向土壓係數 K_{Req}

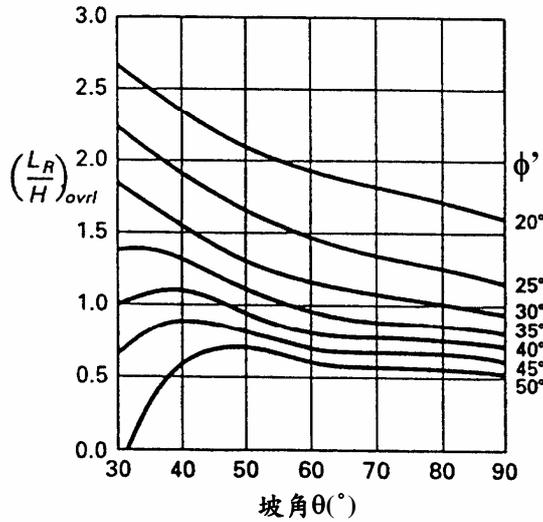


加勁材最小要求鋪設長度之決定：

- (1) 牆頂之最小長度是根據整體穩定之要求而定。
- (2) 牆底之最小長度是根據整體穩定及底部滑移要求中之大者而定。
- (3) 採用等長之加勁材時，根據(2)來決定長度。
- (4) 當底部滑移控制設計長度時，牆底可採用 L_{ds} ，牆頂採用 L_{ovrl} ，其間長度採線性變化。

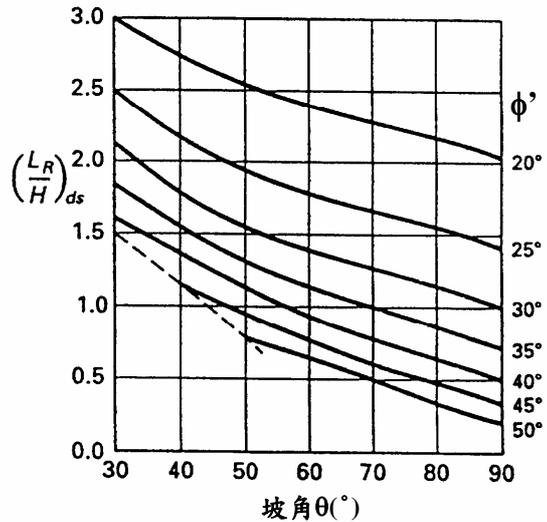
整體穩定之最小要求長度

$$\left(\frac{L_R}{H}\right)_{ovrl}$$



底部滑移之最小要求長度

$$\left(\frac{L_R}{H}\right)_{ds}$$



4.5.6 驗證

1.加勁擋土牆

範例一：

設計一 6 m 高之垂直加勁擋土牆，牆頂地面為水平。回填土之性質為 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=10 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi=20^\circ$ ；基礎(現地)土壤之性質為 $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=0$ 、 $\phi=30^\circ$ 。加勁材為極限抗張強度 120 kN/m 之地工格網。

設計：

(1) 因牆頂地面為水平，即 $\beta=0^\circ$ 。由圖 4.5.10(a)及圖 4.5.11(a)，查得當 $\phi=20^\circ$ 時， $L/H=1.52$ 、 $S_v=0.286 \text{ m} \cong 30 \text{ cm}$ 。加勁擋土牆之設計結果如圖 4.5.17 所示。

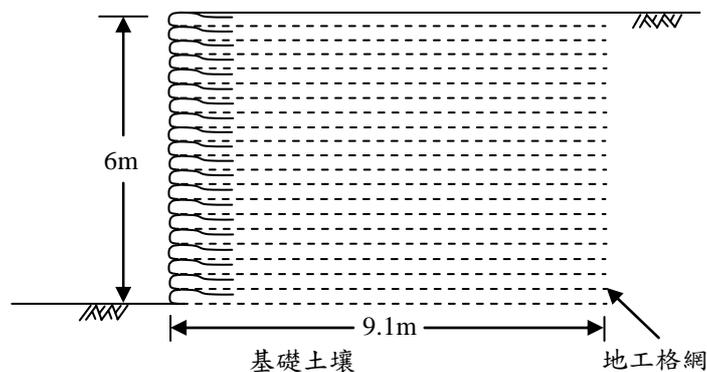
(2) 進行穩定分析(支承力破壞除外)，分析結果示於表 4.5.4。

表 4.5.4 加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果

分析項目		安全係數
外部穩定	水平滑動破壞	1.5
	傾倒破壞	14.1
	整體圓弧滑動破壞	2.2
內部穩定	加勁材拉斷破壞	1.4 ¹
	加勁材拉出破壞	17.7 ²

¹：最小值(最底層加勁材)；²：最小值(最頂層加勁材)

圖 4.5.17 加勁擋土牆設計範例一之結果



範例二：

設計一 6 m 高之垂直加勁擋土牆，牆頂地面坡度為 20° 。回填土之性質為 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=0$ 、 $\phi=35^\circ$ ；基礎(現地)土壤之性質為 $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$ 、 $c=0$ 、 $\phi=30^\circ$ 。加勁材為極限抗張強度 120 kN/m 之地工格網。

設計：

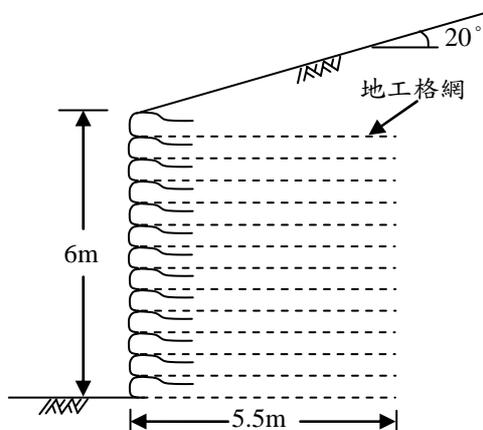
- (1) $\beta=20^\circ$ ，由圖 4.5.10(c)及圖 4.5.11(c)，查得當 $\phi=35^\circ$ 時， $L/H=0.92$ 、 $S_v=0.44 \text{ m}$ ，採 45 cm 。加勁擋土牆之設計結果如圖 4.5.18 所示。
- (2) 進行穩定分析(支承力破壞除外)，分析結果示於表 4.5.5。

表 4.5.5 加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果

分析項目		安全係數
外部穩定	水平滑動破壞	1.5
	傾倒破壞	4.0
	整體圓弧滑動破壞	1.5
內部穩定	加勁材拉斷破壞	1.5 ¹
	加勁材拉出破壞	17.4 ²

¹：最小值(最底層加勁材)；²：最小值(最頂層加勁材)

圖 4.5.18 加勁擋土牆設計範例二之結果



2.加勁邊坡

設計一高 6 m、坡度 60°之加勁邊坡。回填土之性質為 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ 、 $c = 10 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi = 20^\circ$ ；基礎土壤之性質為 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ 、 $c = 0$ 、 $\phi = 30^\circ$ 。加勁材為極限抗張強度 120 kN/m 之地工格網。

設計：

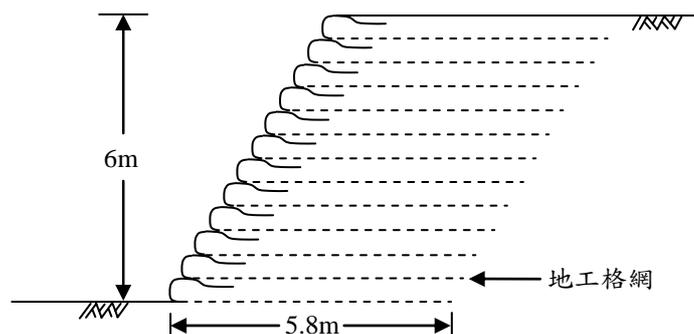
- (1) 不考慮孔隙水壓， $r_u = 0$ 。
- (2) 當 $\phi = 35^\circ$ 時，查圖 4.5.14 得 $K_{req} = 0.28$ 、 $(L_R/H)_{ovrl} = 0.84$ 、 $(L_R/H)_{ds} = 0.96$ 。
- (3) 計算得加勁材垂直鋪設間隔 $S_v = 0.5\text{m}$ 及層數 $n = 12$ 。
- (4) 因 $(L_R/H)_{ovrl} < (L_R/H)_{ds}$ ，故採相同長度之 $(L_R/H)_{ds}$ ，即加勁材鋪設長度 $L_R = 0.96 \times 6\text{m} = 5.8\text{m}$ 。

設計結果如圖 4.5.19 所示。未加勁之邊坡安全係數為 1.08，加勁後其穩定分析分析結果則示於表 4.5.6。

表 4.5.6 加勁擋土牆設計範例之穩定分析結果

分析項目		安全係數
外部穩定	水平滑動破壞	2.2
	傾倒破壞	32.0
	整體圓弧滑動破壞	1.56
內部穩定	圓弧滑動破壞	1.61

圖 4.5.19 加勁邊坡設計範例之結果

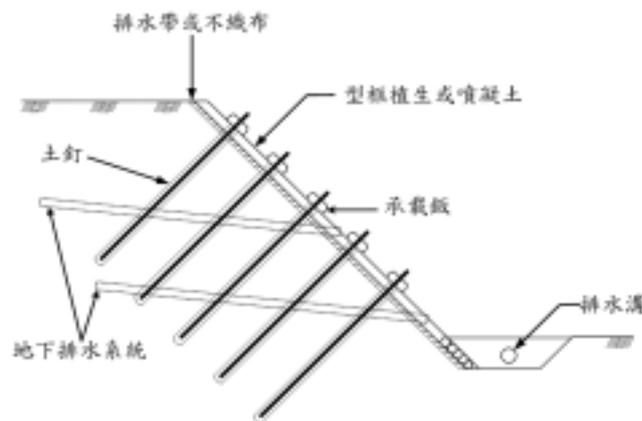


4.6 土釘牆

4.6.1 通則

土釘加勁是藉由植入具抗張特性之加勁材料，使其穿越預估可能的破壞面，以加勁現有地層，增加土壤整體穩定性。施工方式依一定間距先於預定施作位置鑽孔，後將加勁材(採用#5~#10之螺紋鋼筋或碳纖維棒)插入鑽孔，再以水泥砂漿低壓填充孔洞與加勁材間之空隙。灌漿完成後之土釘與現地土壤結為一體，形成一類似重力式擋土構造，抵抗牆後土壓力並抑制其變形，如圖 4.6.1 所示。

圖 4.6.1 土釘牆示意圖



1. 適用範圍

適用土釘加勁邊坡的土壤包括：具一定程度之毛細水凝聚力的中細砂土、含自然膠結能力的砂土和礫石土，以及具有凝聚力的沈泥及低塑性黏土與風化岩層等。Byrne 等人(1998)曾提出土釘工法之適用與不適用地層條件，整理如表 4.6.1，並指出塑性指數 PI 大於 20 之黏土不宜採用土釘加勁作為永久性邊坡補強，而塑性限度 PL 大於 20、液性限度大於 50 之黏性土壤，在未深入測定瞭解潛變勢能前不能使用土釘補強。

一般而言，將預應力地錨的工程經驗或規範應用於土釘工法中，大多是偏於安全的，因為土釘所承受的力要比預應力地錨小很多，而且加勁時土釘施設數量較多，所以不論是潛變、鏽蝕的影響，或是施

工安裝的容許偏差，都比地錨相對有利。

表 4.6.1 土釘工法適用與不適用之地質條件

適用之地層條件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 堅實、低塑性且不具潛變之黏土質沈泥。 2. 視凝聚力大於 5 kN/m^2，且自然含水量大於 5% 之細或中細砂。 3. 具低凝聚力之緊密砂層或礫石層。 4. 殘餘土壤或沒有不利傾向之風化岩層。 5. 地下水位以上。
不適用之地層條件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有機土或黏土液性指數大於 0.2，及不排水剪力強度低於 50 kN/m^2 之黏土。 2. 標準貫入試驗 N 值低於 10，或相對密度小於 30% 之鬆散潔淨砂。 3. 均勻係數(C_u)低於 2 之不良級配礫石或砂(極緊密者除外)。 4. 高膨脹性之土壤。 5. 含水量極高或含有水袋(wet pocket)之地層。 6. 高度破碎且具有開口節理或蝕洞之岩石。 7. 礦渣堆積或具有不利弱面之岩石。

(Byrne 等人，1998)

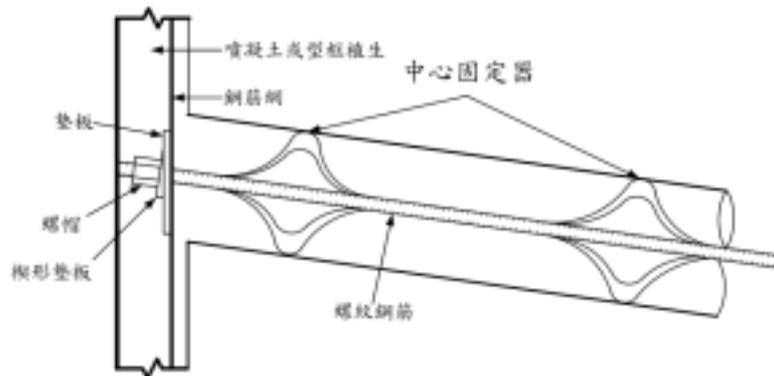
2. 構造與種類

一般最常使用之土釘稱為鑽孔灌漿釘，即先在欲加勁之土層鑽孔，置入螺紋鋼筋，再灌漿填孔，使得鋼筋和外裹的水泥砂漿結合，並與周圍土壤形成一結構體。為了確保鋼筋置入鑽孔中心位置，使得鋼筋周圍有足夠的漿體作為保護層，因此沿鋼筋每隔 2~3 m 設置中心固定器(如圖 4.6.2)。使用於土釘之鋼筋直徑大多為 16~32 mm(#5~#10)，降伏強度約 400~500 MPa；鑽孔直徑則約為四倍鋼筋直徑，即約 70~120 mm。

土釘之鑽孔技術大致與地錨相同，鑽孔方式取決於欲加勁地層之特性與施工單位已有之設備條件。一般在硬黏土和緊密粒狀土壤的鑽孔多採用旋轉鑽，旋轉鑽又分實心與空心兩種鑽桿，即在鑽孔時利用壓縮空氣或水將孔內土粒排出；採用此方法時，另可選擇套管使用於易坍塌的

土層。

圖 4.6.2 鑽孔灌漿釘構造



灌漿釘之灌漿方式也有許多種類，最簡單的為重力式灌漿，鑽孔需向下傾斜 10° 以上，為改善土釘與土體間之界面黏結力，一般情況下宜採用低壓灌漿(灌漿壓力 0.5 MPa)，此時需同時設置止漿塞及排氣孔。若土釘於端部車有螺紋並通過螺母、承載板與面層相連，則在灌漿硬結之後拴緊螺母，亦可使得土釘產生微量之預應力，約為設計拉力的 $5\% \sim 10\%$ 。

除鑽孔灌漿釘外，尚有其他類型：

(1) 擊入釘

使用角鋼、圓鋼或鋼管作為土釘材料，由振動沖擊或液壓錘擊，只將土釘打入而不灌漿，因此與土體的接觸面積小，加上釘長又受到限制，所以土釘配置需較密集，每平方公尺內需配置 $2 \sim 4$ 根土釘。擊入釘的優點是不需鑽孔，因此施工極為快速，但不適用於卵礫石層及鬆散砂土，擊入釘在緊密砂土中的加勁效果優於黏性土壤。

(2) 灌漿擊入釘

使用表面帶孔而底部封閉之鋼管，在擊入後由管內灌漿並透過鋼管壁上的孔將漿體滲出。國外有特殊加工的土釘，在軸向有孔槽，能

在置入土體後灌漿使土釘與周圍土體黏結。

(3) 高壓噴射灌漿擊入釘

土釘中間有縱向小孔，由高頻率沖擊振動錘將土釘擊入，同時以約 20 MPa 的壓力，將水泥漿從土釘底部的小孔中射出。在土釘置入土體的過程中，流射出的水泥漿不但能發揮潤滑作用，並且能滲透入周圍的土體，達到提高土釘與土體間黏結力的效果。

4.6.2 材料

土釘施做大體可分為兩部份，一為面層部份，為結構體外之部分稱之；另一為握裹段部份，為結構體內部承受握裹之受力段稱之；以下針對各部分之材料說明：

1. 面層部分

(1) 釘頭

為抗張材之延伸，主為抗張材受力後將力傳至結構體外之主要部分，需以螺母將其固定於承載鈹上。

(2) 螺母

為固定抗張材之延伸釘頭部分，待土釘漿體固化後，配合承載鈹將螺母旋緊，並產生微預力。

(3) 承載鈹

主要分散土釘應力於坡面之部分，強度與尺寸應能承受來自土釘釘頭之荷重，且不得有過量之變形。

(4) 鋼絲網

常用於配合生態型框植生修坡；搭接方式為先鋪設立體鋼絲網，並以短釘固定再置格框鋼筋，最後與鋼絲網綁紮結合做為坡面面層部分。格框內待植生部分需予不透水材料將其覆蓋，再施予噴凝土。

(5) 噴凝土

為型框植生中鋼筋之保護層，鋼筋包裹在內可避免產生鏽蝕，並防止不當外力造成鋼筋過度變形。適用於岩裂發達、浮屑不穩、坡面粗糙度大且非表層植被所能克服之坡地。

(6) 植生基材

以植生方式防止裸露山坡侵蝕，提昇坡面保護及自然景觀。基於生物多樣性之保全，盡量禁止外來種子與植物之引入，並更進一步使與周邊環境相調和，期能儘速回復地面植被。

2. 握裹段部分

(1) 灌漿材料

水泥砂漿為主要之灌漿材料，形成土釘與土壤間主要摩擦力來源，尚可提供弱鹼性之 PH 值，可使金屬抗張材於一定期限內免受腐蝕。水泥漿之拌合注入需保持良好流動性，使滲入周圍土體能力佳，此可擴大灌漿體之範圍及界面粗糙度，增加極限拉出阻抗。水泥漿體應依據 CNS 1010 水硬性水泥抗壓強度檢驗法之規定製作試體。水泥漿中所使用之材料包含水泥、水、細骨材、及添加劑等，工程師可視所需之強度及施工性設計最佳配比，以下為各材料之說明。

(a) 水泥

水泥原則上使用波特蘭 型水泥，若為縮短凝固時間可採用低水灰比波特蘭 型水泥，以獲得早期強度，若使用於高腐蝕環境中可使用波特蘭 或 型水泥以抵抗腐蝕，水灰比建議範圍 0.4~0.5 為原則(Lazarte 等人，2003)；所有種類水泥均應符合 CNS 61，R2001 波特蘭水泥之相關規格及性質。

(b) 水

拌合用水應無色無臭不含油、鹽類、鹼性物及其它有害物質。含有不潔物或有異物之水不得做為拌合用水，除該水無損水泥漿體品質之使用記錄，否則不予採用。有疑問之水必須依據 CNS 3090，A2042 預拌混凝土中水質試驗之相關規定檢驗合格後方可

使用。

(c) 細骨材

土釘灌漿材料所摻用之細骨材性質與所含雜物及有機物應符合 CNS 3001, A2039 圪工砂漿用粒料之規定。且所有細骨材之粒徑均應通過篩孔為 1.25 mm 之篩網。

(d) 添加劑

為使水泥砂漿在施行灌漿時保持良好工作性，避免粒料分離情形，可添加適當的添加劑以獲得早期強度、減少浮水、體積收縮及增加工作性之功效；但添加劑之使用應不使其對抗張材、漿體、甚至防蝕套管等構件有不良之影響。

(e) 防蝕材料

為確保土釘在設計使用年限內，不會因鋼材的腐蝕而降低或喪失加勁之效能，在設計及施工時必須考量土釘的防蝕處理。除水泥砂漿可提供短期防蝕外，作為永久性設施可配合採用加大鋼筋截面積、鋼筋表面鍍鋅或塗環氧樹脂及採用塑料波紋封套等方法，此部份將於 4.6.5 節詳述。

(2) 抗張材

土釘主要利用鋼筋或金屬空管、鋼棒等勁度大之棒狀物體配合灌漿材料植入地盤中以抵抗土體變形所發展之張力。一般常使用圓棒及竹節鋼棒，原則上長度 12 m 以上始得採用續接，材料選取及性質需滿足表 4.6.2、4.6.3 所規定之物性，且需滿足下列要求：

(a) 抗張材應為無鏽蝕之新品，不得附有塵垢、油脂或其他有害物質。

(b) 抗張材不得受到過高之溫度，以免材料性質產生變化。

表 4.6.2 竹節鋼筋之標示代號、單位質量、標稱尺度及節之尺度規範

竹節 鋼筋 稱號	標示 代號	單位重量 (kg/m)	標稱直徑 (mm)	標稱剖面積 (cm ²)	標稱周長 (cm)	節之尺度			
						節距 平均值 (mm)	節之高度		單一間隙寬度 (mm)
							Max (mm)	Min (mm)	
D10	3	0.560	9.53	0.7133	3.0	6.7	0.4	0.8	3.7
D13	4	0.994	12.7	1.267	4.0	8.9	0.5	1.0	5.0
D16	5	1.56	15.9	1.986	5.0	11.1	0.7	1.4	6.2
D19	6	2.25	19.1	2.865	6.0	13.3	1.0	2.0	7.5
D22	7	3.04	22.2	3.871	7.0	15.6	1.1	2.2	8.7
D25	8	3.98	25.4	5.067	8.0	17.82	1.3	2.6	10.0
D29	9	5.08	28.7	6.469	9.0	20.1	1.4	2.8	11.3
D32	10	6.39	32.2	8.143	10.1	22.6	1.6	3.2	12.6
D36	11	7.90	35.8	10.07	11.3	25.1	1.8	3.6	14.1
D39	12	9.57	39.4	12.19	12.4	27.6	2.0	4.0	15.5
D43	14	11.4	43.0	14.52	13.5	30.1	2.1	4.2	16.9
D50	16	15.5	50.2	19.79	15.8	35.1	2.5	5.0	19.7
D57	18	20.2	57.3	25.79	18.0	40.1	2.9	5.8	22.5

節與脊不接觸或無脊時，節之終端距離為間隙寬度(節間隙)，若節與脊接觸，則脊寬視為間隙寬度 (CNS 560, A2006)

表 4.6.3 圓鋼棒及竹節鋼棒試驗標準

種類			符號	拉伸試驗			鬆弛試驗
				降伏點或降伏強度 kgf / mm ² (KN / mm ²)	拉伸長度 kgf / mm ² (KN / mm ²)	伸長率 %	鬆弛值%
圓鋼棒	A 種	1 號	SBPR 80/95	80 以上(0.784)以上	95 以上(0.932)以上	5 以上	1.5 以下
		2 號	SBPR 80/105	80 以上(0.784)以上	105 以上(1.030)以上	5 以上	1.5 以下
	B 種	1 號	SBPR 95/110	95 以上(0.932)以上	110 以上(1.079)以上	5 以上	1.5 以下
		2 種	SBPR 95/120	95 以上(0.932)以上	120 以上(1.177)以上	5 以上	1.5 以下
	C 種	1 號	SBPR 110/125	110 以上(1.079)以上	125 以上(1.226)以上	5 以上	1.5 以下
		2 種	SBPR 110/135	110 以上(1.079)以上	135 以上(1.324)以上	5 以上	1.5 以下
竹節鋼棒	B 種	1 號	SBPR 95/110	95 以上(0.932)以上	110 以上(1.079)以上	5 以上	1.5 以下
	C 種	1 號	SBPR 110/125	110 以上(1.079)以上	125 以上(1.226)以上	5 以上	1.5 以下
	D 種	1 種	SBPR 130/145	130 以上(1.275)以上	145 以上(1.422)以上	5 以上	1.5 以下

(CNS 9272 , G3192)

4.6.3 設計

土釘工法為現地土壤加勁技術，係利用土釘與土壤之摩擦阻抗增加整體邊坡穩定，或抵抗因施工開挖或其他因素改變原土壤平衡力系所造成之作用力。土釘因不需如地錨般施加預力，故於長期之穩定性與耐久性而言，無需如地錨考慮因時間關係可能損失之預力與摩擦力，也因此土釘相當適合作為永久性邊坡穩定之措施。有關設計所需之參數與配置如下：

1. 基本參數

設計土釘加勁邊坡必須充分掌握土壤與土釘之力學行為、強度參數及界面參數等，因此需事先進行相關之試驗與分析，所需參數包括：

- (1) 土壤性質：含水量、單位重、粒徑分佈、阿太堡限度、土壤分類、強度參數(c 、 ϕ)等。
- (2) 土釘的力學性質：土釘的抗拉力、剪力強度及撓曲勁度等。
- (3) 土釘與土壤界面間之握裹性質：設計土釘加勁邊坡前或施工時應於現地進行適量之拉拔試驗，以求取土釘與現地土壤界面之摩擦阻抗，尤其是對於大型工程而言更為重要。
- (4) 作用於土釘上之側向土壓力：必須事先預估土壤之水平地盤反力係數。
- (5) 土釘的幾何條件：土釘尺寸、形狀、長度及打設角度等。
- (6) 土釘施工方式：詳細施工方式請參閱 4.6.6 節。
- (7) 邊坡頂面荷重情形、地下水位高度及現地其他影響因子。

2. 極限拉出阻抗

土釘與土壤界面之摩擦阻抗，是土釘得以發揮作用的基礎。不同的灌漿壓力和鑽孔方式對於界面的黏結性能影響很大，對於滲透係數在 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ cm/s 之間的砂、礫石和軟弱岩體，漿體可滲入土體孔隙或岩體裂隙中，進而提高黏結範圍；而滲透係數小於 10^{-3} cm/s 的粉細砂，則應使用壓力灌漿使其密實。另外鑽孔方式、鑽孔直徑、土釘形狀、土壤強度與施工技術都會影響土釘之摩擦阻抗，Lazarte 等人(2003)將

現地土釘拉出試驗之結果歸納整理如表 4.6.4，該表僅能作為初步設計參考之用；由於國內並未彙整相關現地資料，因此對於實際拉出阻抗必須於現地施作拉出試驗，俾能與原設計之假設比較或進一步修正。

3. 配置

土釘支撐的結構參數，如土釘長度、分佈密度、傾角等指標，主要依據工程經驗並經分析計算而定。Bruce 與 Jewell(1987)曾歸納國外早期工程數據，提出土釘結構的設計參數指標：

- (a) 長度比 - L/H ，其中 L 為土釘長度， H 為牆高。
- (b) 黏結比 - DL/S ，其中 D 為孔徑， S 為每一土釘承受的土體面積，即為土釘水平間距和垂直間距的乘積。
- (c) 強度比 - d^2/S ，其中 d 為鋼筋直徑，若抗張材非圓截面，則以面積相等的原則來決定等效直徑 d 。

上述參數範圍如表 4.6.5 所示，適用於無地下水作用的土釘加勁陡坡（坡度 $> 70^\circ$ ），國內實務界可採用作為初步配置之參考，但尚需經分析計算確保穩定性達安全之要求。此外，對於配置部分建議鑽孔灌漿釘在初步設計釘長、間距和傾角可依據以下之原則：

(1) 土釘長度

對陡坡土釘而言，於工作應力狀態下，上下層土釘發揮的最大軸力相差甚多，一般於高度約一半處之土釘軸力最大，但上層土釘對於抑制頂部水平位移甚為重要。若設計採用上層土釘較短，則於土釘尾部或尾部以外的上方地表易出現裂隙，因此在坡地社區採用土釘補強，宜適當加長頂部土釘的長度；至於下層土釘也不宜過短，否則不利於抵抗基底滑動，易產生基底底部失穩。另外當土釘結構接近極限狀態時，底部土釘的軸力會明顯增大，所以削弱下部土釘的作法並不合適。因此，在一般均質土層中，將上下所有土釘取成等長，或頂部土釘稍微偏長較為合適。一般坡地社區施工，土釘長度宜大於 0.5 倍加勁區之坡(牆)高，對於頂部土釘不宜小於 0.8 倍坡(牆)高。

(2) 土釘密度

為使土釘與周圍土壤形成連貫性實體，土釘間距顯然不宜過大，Hong 等人(2003)曾進行室內雙釘拉出試驗，於土釘長徑比為 30 之情況下，兩釘相互影響之最大間距與土釘表面粗糙度有關，約介於 16~24 倍土釘直徑；若以 10 cm 為例，則平均土釘間距不宜超過 2 m，亦即水平與垂直間距之乘積應小於 4 m²。但土釘間距亦不宜太小，否則相鄰土釘相互影響將導致拉出阻抗降低。一般可選擇土釘水平間距與垂直間距相等，於砂土層宜介於 1~2 m。

(3) 土釘傾角

過去有關土釘傾角對整體加勁結構之影響，主要著重於垂直開挖之情況，且皆指出土釘傾角由 0°(水平)增加至 30°，將導致牆面位移增加，土釘最大張力減小(Juran 等人，1985；Mitchell 與 Villet，1987)。

陳榮河等人(2001)曾以高 7m，坡度分別為 90°、85°、80°、75°、70° 之土釘陡坡進行數值分析，土釘傾角選用 0°~30°，分別由坡面變形量與邊坡承載力評估最合適之土釘傾角。分析結果顯示，於邊坡坡度 85° 和 90° 之情形，使得最小坡面位移與最大邊坡承載力之土釘傾角分別為 6° 和 12°；隨著坡度減緩至 75° 和 70° 不論考量坡面位移或承載力，則最適土釘傾角皆為 15°。故對於極陡坡而言，除非重力灌漿之需要，或更大之傾角有利於土釘置入下層較好之土層，否則土釘傾角不宜過大。

4.6.4 整體穩定性

土釘加勁結構之穩定性分析，除可驗證設計選用參數之合理性外，更可判斷土釘結構之安全性。邊坡有無土釘加勁可能造成破壞面不盡相同，無加勁土壤之抗滑動完全倚賴土壤剪力強度，且屬突發性之整體破壞。而加勁土坡的抗滑動除土壤本身剪力強度外，尚包括土釘的阻抗，因此可有效提高邊坡的穩定性，同時改變破壞形式，屬漸近式破壞。

表 4.6.4 土釘極限拉出阻抗

岩層之極限拉出阻抗		
施工方式	岩石種類	max (kPa)
旋轉式鑽掘	泥岩/石灰岩	300 – 400
	沸石	100 – 300
	白堊石	500 – 600
	軟弱白雲岩	400 – 600
	具裂隙白雲岩	600 – 1000
	風化砂岩	200 – 300
	風化頁岩	100 – 150
	風化片岩	100 – 175
	玄武岩	500 – 600
	硬頁岩	300 – 400
非凝聚性土壤之極限拉出阻抗		
施工方式	土壤種類	max (kPa)
旋轉式鑽掘	砂土/卵礫石	100 – 180
	沈泥質砂	100 – 150
	沈泥	60 – 75
	崖錐堆積	40 – 120
	細顆粒崩積層	75 – 150
螺旋鑽掘	沈泥質砂土	20 – 40
	沈泥質細顆粒砂土	55 – 90
	沈泥質的黏土質砂	60 – 140
噴射灌漿	砂土	380
	砂土/卵礫石	700
凝聚性土壤之極限拉出阻抗		
施工方式	土壤種類	max (kPa)
旋轉式鑽掘	沈泥質黏土	35 – 50
螺旋鑽掘	黃土	25 – 75
	軟弱黏土	20 – 30
	堅硬黏土	40 – 60
	堅硬黏土質沈泥	40 – 100
	石灰質的砂質黏土	90 – 140

(Lazarte 等人, 2003),

表 4.6.5 土釘支撐結構參數

土釘類型	地質材料	設計參數		
		L/H	DL/S	$d^2/S (10^{-3})$
重力灌漿式	砂質土層	0.5~0.8	0.3~0.6	0.4~0.8
	堅硬粘土層	0.5~1.0	0.15~0.20	0.10~0.25
灌入式	砂質土層	0.5~0.6	0.6~1.1	1.3~1.9

(Bruce 與 Jewell, 1987)

1. 穩定分析方法

土釘擋土結構之穩定性分析分為內部穩定與外部穩定分析，其中外部穩定分析即將加勁區視為重力式擋土結構，抵抗後側土體之推力，檢核方式與重力式擋土牆相同，因此不再贅述。而內部穩定分析與邊坡穩定計算類似，常利用極限平衡觀念來求取主動區之驅動力，並據此分析各種內部破壞之安全係數。

檢核加勁區內部之穩定，顯示一旦內部穩定性不足，則可能發生下述三種破壞模式：

(1) 土釘拉出破壞

當土釘埋置於阻抗區之錨碇長度不足，或摩擦阻抗不足以抵抗主動區之驅動力時，土釘被拉出而發生破壞，此種破壞模式較易發生於淺層之土釘。

(2) 土釘拉斷破壞

當主動區之驅動力甚大時，土釘強度不足而發生土釘拉斷破壞，此種破壞模式多發生於深層之土釘。但以目前一般土釘之配置且採用[#]5~[#]10號鋼筋，此破壞模式可能性甚低。

(3) 土釘-承載鈹連接處破壞

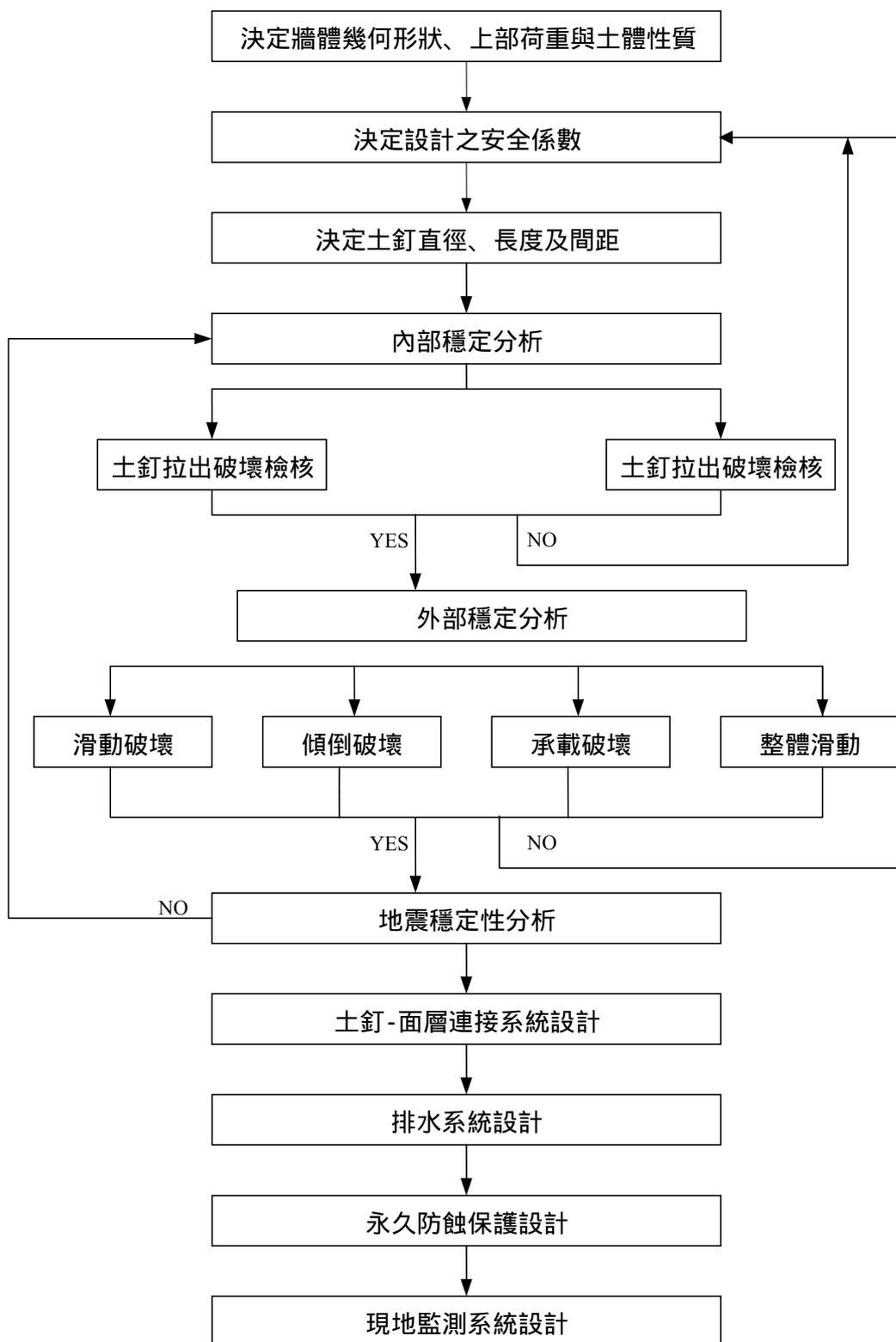
若噴凝土面版或型框穩定性不佳，造成土釘與承載鈹之連接處發生分離，致使主動區塌滑破壞；此種破壞模式較易發生於面層過薄，且土釘間距過大，或土釘-承載鈹連接系統施工不當所致。

有關內部穩定分析之方法有德國法、Davis 法、法國法、運動學極限分析法、服務設計載重法、載重及阻抗係數設計法，詳細說明可參考陳榮河與何嘉浚(2003)。

2. 分析設計流程

土釘加勁結構之設計主要係針對內部穩定、外部穩定、地震穩定性加以分析，並視現地情況設計必要之土釘-面層連接系統、排水系統、現地監測系統及永久性土釘之防蝕保護等，其設計流程如圖 4.6.3 所示。

圖 4.6.3 土釘加勁結構設計流程圖



(修改自陳榮河與何嘉浚，2003)

4.6.5 防蝕保護

為確保土釘在設計使用年限內，不會因鋼材的腐蝕破壞而降低或喪失加勁效能，在設計及施工時必須考量土釘的防蝕處理。除了掌握現地腐蝕環境，選擇處理方式時也應以對土釘最不利的條件來決定。

1. 一般說明

生鏽是一種電化學反應，表面的一處電子移至另一處，失去電子之處成為陽極，得到電子之處成為陰極；陽極反應的鐵成為+2 價之鐵離子，陰極則為水分子還原成氫氣與氫氧根離子。陽極的+2 價離子與陰極之氫氧根離子接觸生成氫氧化鐵，再氧化變成水和氧化鐵，而此生成物即為所謂的鏽，鏽剝落後下層之鐵還會繼續氧化。

2. 環境調查

針對施工現場應進行可能造成鋼材鏽蝕之相關環境調查，特別是土釘應用於設計年限較久之坡地社區邊坡穩定時，需謹慎調查分析當地地質，相關項目如下：

(1) pH 值

對於鋼材而言，酸性愈強，腐蝕速度愈快，尤其當 pH 值在 4 以下時腐蝕甚速，單使用高鹼性水泥漿體的保護，易因裂隙或碳化或氯離子存在而降低，因此仍須有其他保護措施如表 4.6.6 所示。

表 4.6.6 pH 值與防蝕處理之對策

pH 值	防蝕處理
5.5 以上	地下水滯留時，良好之水泥漿體不會受到侵蝕
5.5~3.5	使用水密性之漿體，如水泥加粉狀飛灰或高爐渣等
3.5 以下	使用一般波特蘭水泥系以外的灌漿材料(如抗硫水泥)

(FIP, 1986)

(2) 視電阻值

地層之視電阻值與土壤的含水量及地層之透水性有關，FIP(1986)建議地層視電阻值與酸化還原勢能值及腐蝕度大小關係如表 4.6.7 所示。

表 4.6.7 地層的腐蝕標準

腐蝕度	視電阻值(ohm-cm)	酸化還原勢能值(mV)
大	700 以下	100 以下
中	700~2000	100~200
小	2000~5000	200~400
輕微或沒有	5000 以上	400 以上(若在黏性土中)

(FIP , 1986)

(3) 細菌

厭氧的硫酸鹽還原細菌，常存在於土壤及水中，特別是飽和的黏土層，這種菌新陳代謝的結果產生硫化離子會腐蝕鋼材，特別是有刮痕處，腐蝕會特別嚴重。在 pH 值為 7.5 的中性土壤中，此種硫酸鹽還原菌可能更加活躍。

(4) 土壤中之溶解成分

地下水中的游離碳酸、火山溫泉地帶或工廠附近之亞硫酸氣及硫化物、有機物腐敗產生的阿摩尼亞、鹽化物及硫化物等都會加速腐蝕，而如磷酸離子、硝酸離子、碳酸離子、游離鹼及易吸附之陽離子(如 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} 等)則不會造成腐蝕或可以減少腐蝕的速度。

(5) 游離電

游離電(鐵路或電車軌道附近)可能使拉力鋼材產生腐蝕，若施工區位於附近，宜應設計隔離系統，以減少腐蝕機會。

依照美國國家標準局(National Bureau of Standard, NBS)鏽蝕試驗結果，Elias(1997)建議以下公式(1)(2)作為土釘鏽蝕及使用年限參考依據：

一般鋼筋：

$$X=40 t^{0.80} \quad (4.6.1)$$

鍍鋅鋼筋：

$$X=25 t^{0.65} \quad (4.6.2)$$

式中 X 為腐蝕深度，t 為時間以年為單位。

一般鋼筋及鍍鋅鋼筋在低 pH 值的環境下鏽蝕速率皆較快；若以土壤來區分，則兩種鋼筋在黏土中的鏽蝕速率較快，而在砂土中則較慢。若考慮水的影響，一般鋼筋在地下水之上的鏽蝕速率較在地下水面之下為高。ZALAS(1985)建議僅以鍍鋅處理之鋼筋不應於 pH 值小於 6 或 pH 值大於 12.5 的環境下使用，而在 pH 值為 6 至 12 之間，鍍鋅的薄膜保護則可達到降低鋼筋鏽蝕速率的效果。

綜合以上敘述，土壤環境調查主要在於判斷現地是否屬於腐蝕性土壤；在腐蝕性土壤定義上，建議採用美國土壤腐蝕性分類(Byrne 等人，1998)如表 4.6.8，此分類法較為簡單且易於遵循。

表 4.6.8 土壤腐蝕性分類表

土壤性質	臨界值
視電阻值	2000 ohm-cm 以下
pH 值	5 以下
硫酸鹽含量	200 ppm 以上
氯離子含量	100 ppm 以上

(Byrne 等人，1998)

3. 處理方式

作為永久性土釘，可採取的防鏽蝕措施大致如下：

- (1) 加大土釘鋼筋的截面積。這種方式是目前最簡單且最為廣泛採用的方式(Shiu 與 Cheung，2003)，根據現場情況預測鋼筋的鏽蝕率，按

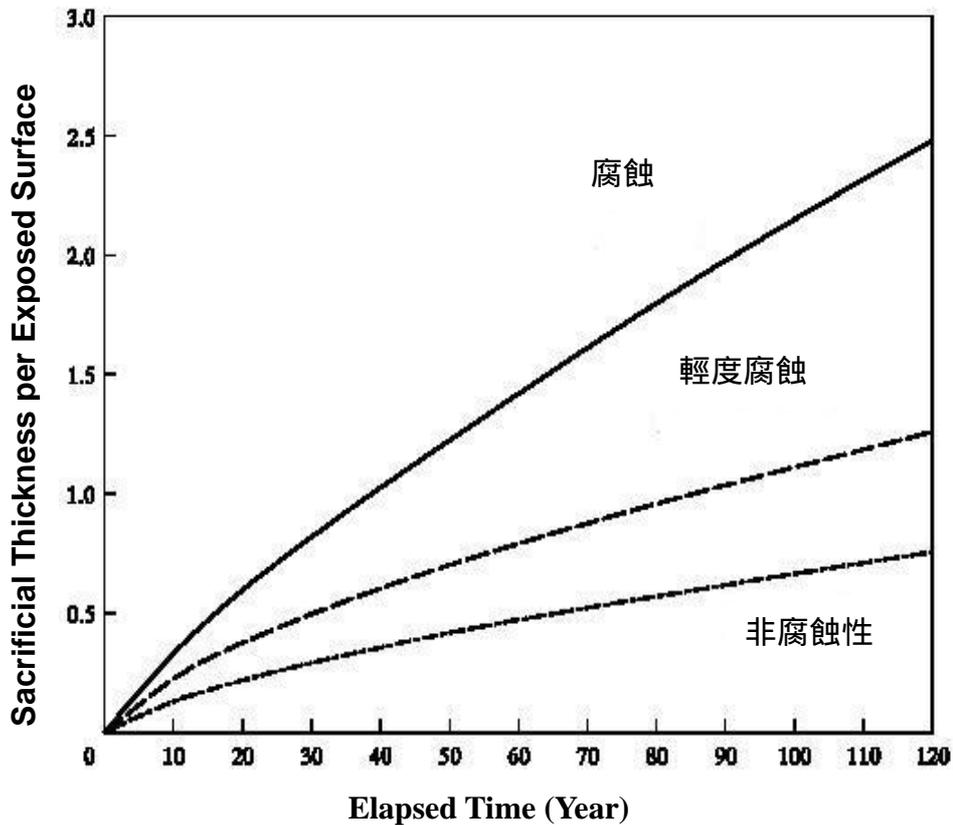
照規定的使用年限，確定可能的最大鏽蝕深度，並將其加到土釘鋼筋的直徑上。鏽蝕產物會形成一層保護膜介於鋼筋及周遭環境之間，可藉此降低腐蝕速率，其犧牲厚度可參照圖 4.6.4。

- (2) 使用水泥砂漿保護層。即採用一般灌漿方式之土釘，保護層厚度不小於 30~40 mm；由於土釘受拉會引起砂漿保護層開裂，所以水泥砂漿在許多國家被視為不具防蝕保護功效，因此在計算腐蝕速率時需將土釘視為無水泥砂漿保護之一般鋼筋(French National Research Project, 1991；Mitchell 與 Villet, 1987)。
- (3) 在鋼筋表面上鍍鋅以增加抗鏽能力。這種方法一樣需要考慮鏽蝕率並加大截面，而且這種塗層容易受碰撞損傷，在連接處也較難處理；保護層之有效時間除大致與鍍鋅厚度成比例外，並與土壤腐蝕性有關 (Murray, 1993)，以目前最常見之鍍鋅厚度 $85 \mu\text{m}(610 \text{ g/m}^2)$ ，在非腐蝕性的土壤中保護層可維持 21 年，但在腐蝕性土壤中僅可維持 6 年。
- (4) 在鋼筋表面塗環氧樹脂。這種方法為美國普遍使用，環氧樹脂藉由將鋼筋與周遭環境隔絕達到防蝕效果；為了有效防蝕，環氧樹脂塗層必須確保其連續性及不透水性，且鋼筋與塗層之間絕不可有空隙，若水或氧從塗層裂隙處進入塗層與鋼筋之間，則環氧樹脂即喪失防蝕效果。
- (5) 採用塑料波紋封套。在鋼筋外面加塑料波紋套管，套管壁厚不小於 1 mm，套管與鋼筋之間須留有大於 5 mm 的間隙以注入水泥漿，而在套管與鑽孔之間仍須灌漿封填，這種方式最為可靠。

綜合上述，依據土壤腐蝕性質，對於土釘鋼筋防蝕處理方式，建議在一般非腐蝕性土壤中，可採加大斷面及鍍鋅防蝕的方式，因其處理方式較為簡單且國內鍍鋅技術已趨成熟。以香港經驗為例，#8 鋼筋加大斷面半徑 2 mm 之後即等於直接採用#10 鋼筋，此方式在大量採用後並無因土釘鏽蝕造成斷裂而產生意外；而鋼筋鍍鋅防蝕早已是一種普遍的防

蝕方式，僅需注意塗料之完整並避免施工上的碰撞。

圖 4.6.4 不同腐蝕環境土釘所需犧牲之厚度



(Murray , 1993)

在具腐蝕性土壤中，建議採用外加塑料波紋套管之方式，需注意套管與鑽孔間隙需大於 12 mm，鋼筋與套管間隙需大於 5 mm，在套管與鑽孔之間仍需以灌漿封填，即能達到較佳之防蝕效果。至於雙層套管之方式因相關技術研究尚未成熟，故本計畫不予建議。另外於土釘外露之釘頭、承載板及螺母，也必須進行防蝕處理；土釘外露部分之防蝕處理除鍍鋅外，直接噴漿也可達到防蝕保護之效果。

4.6.6 施工

土釘施工應根據土釘使用目的、設計需求、現場地質情況、周圍環境及施工條件擬定施工計畫以落實設計理念。對於台灣之山坡地而言，由於地質、地形及地下水文等基本條件與環境因素之多變性，加上多項邊坡破壞不同組合方式造成破壞效應之多樣性，使邊坡破壞機制甚為複雜；因此在施工前應擬定不同破壞機制可採用的不同整治對策及工法。

1. 施工準備

土釘工法的施行需仰賴確實的地質調查及正確的應力分析，而大部分地層並非均質，穩定分析之潛在滑動面往往沿弱面產生，因此若以土釘工法施工，則施工前需充分收集相關的地質、地形、水文資料，掌握施工期限內的各種可能狀況，主要內包括：

(1) 現地探勘

- (a) 調查各種埋設物，如周遭構造物基礎、周遭管線埋設，分析施工過程可能造成之影響。
- (b) 調查工程範圍內土壤物理性質及其參數，可根據各種實驗室試驗獲得。
- (c) 觀測地下水型態及水量變化。
- (d) 施工過程中之主要要求；如開挖深度、分段長度、開挖面裸露時間限制等。
- (e) 分析土釘極限承載力計算，並預估最大側向位移量。

(2) 施工計畫

- (a) 工程概要
- (b) 設計需求
- (c) 施工程序
- (d) 場地配置
- (e) 鑽孔、灌漿埋設土釘
- (f) 使用材料及抗張材組立詳圖

- (g) 使用機具設備
- (h) 人員編組
- (i) 施工管理、品質管理
- (j) 日報表、記錄表及其他技術資料

2. 修坡

土釘施做無論在補強工程或開挖工程皆需予以修坡整地，以利於土釘施做的進行。施工方式需按設計規定分層順序施工，在未完成上層施做及噴凝土護坡前不宜進行下一層施工。為使邊坡裸露之土體能在規定的時間內及時支撐，對易亦崩塌之土體可考慮採用下列措施：

- (1) 對修整後之邊坡立即噴上一層薄砂漿，待凝結後再進行鑽孔。
- (2) 若在較陡之邊坡，則應考慮鋪上鋼絲網噴凝土面層，初步穩定邊坡後再予以鑽孔。
- (3) 若為顧及生態可考慮採用型框植生，避免使用混凝土材料。

3. 排水系統

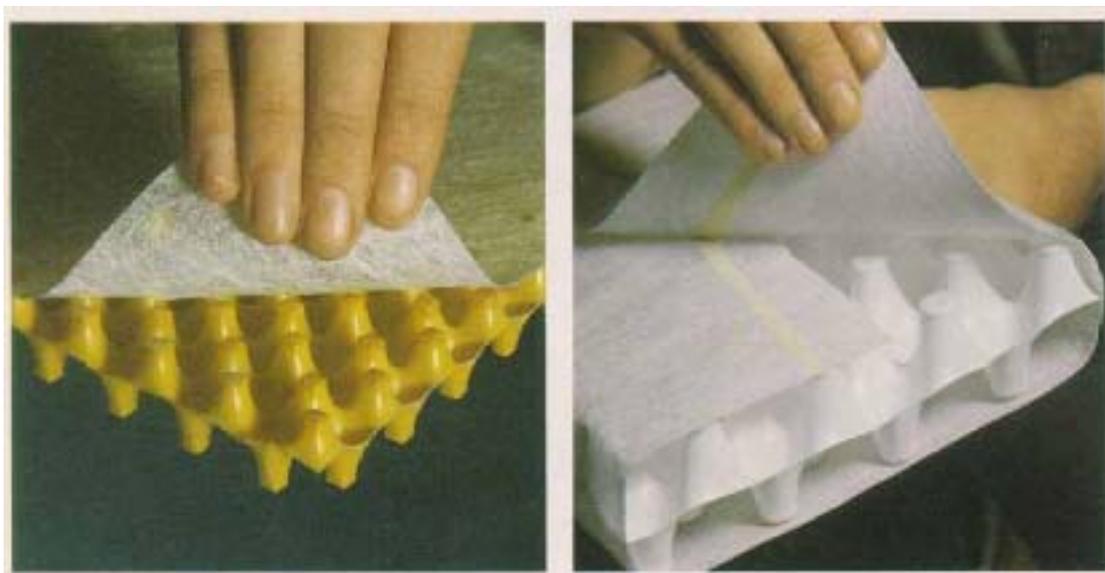
邊坡排水即將地下水有效引導、分流或排除至坡外，以減輕或避免地下水導致之破壞，且對於土釘成效而言，地下水的影響甚大，因此土釘加勁排水系統的完善就更形重要。對於邊坡而言，排水系統可以分為坡面排水及地下排水，兩者對於邊坡排水都相當重要。

(1) 坡面排水系統

土工織物在過濾排水的應用日趨廣泛，許多土釘加勁邊坡之坡面排水也選用地工織物作為排水帶以利將加勁土體內之水排出。在土體中，當水由較細顆粒土壤流至粗顆粒排水層時，部分細顆粒土壤會被水流帶動，而流經細顆粒土壤之孔隙，或停留於粗顆粒土壤之孔隙中；其結果將導致粗顆粒土壤穩定性之喪失或滲透性之降低，織物的設計即在使水流暢通及顆粒不致過度流失。

當使用織物於顆粒狀土壤以作為過濾材時，其功能為允許部分顆粒通過織物或停留於織物孔隙內，但阻擋大部分粗顆粒於織物前，經由依序阻擋更前方的次小顆粒，催化穩定過濾層的形成。當使用於具些許凝聚性的良好級配土壤時，藉由纖維的交錯與折曲，於織物前形成圓拱狀自由纖維緩衝層，以防止土壤顆粒的進一步流失。故織物的功能為提供土壤形成穩定過濾層的催化材料，土工複合織物的照片如圖 4.6.5 所示。

圖 4.6.5 土工複合物排水帶



註：(左圖為單面不織布，右圖為雙面不織布)

理論上織物濾層之設計原理與級配濾層並無差異，但織物的高壓縮性質使其開孔結構(水流管道)變得複雜。要有效執行過濾功能，土工織物必須在設計年限內達到四項基本要求：(1)防止大多數土壤顆粒的移動；(2)提供足夠的水流能力；(3)提供足夠的開孔路徑，使部分顆粒停留於織物孔隙後，尚不致過度阻礙水流；(4)抵抗包括施工過程及使用期間的外來刺激，如溫度、化學、紫外線、應力等。

為了防止過量的顆粒流失，法國土工織布與土工不透水布協會(CFGG, 1986)限制織物最大開孔徑的公式為

$$O_f = C \times d_{85} ; C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$$

其中 C 值為由土壤粒徑分佈(C_1)、密實度(C_2)、水流狀況(C_3)及織物的功能(C_4)等參數的乘積組合，各參數值之範圍如下：

(a) 土壤粒徑分佈(C_1)

級配良好 $C_1=1$

均質土壤 $C_1=0.8$

(b) 土壤密度(C_2)

鬆土或無束制土壤 $C_2=0.8$

密實或束制土壤 $C_2=1.25$

(c) 水流狀況(C_3)

水力坡降 $i < 5$ $C_3=1$

$5 < i < 20$ $C_3=0.8$

$20 < i < 40$ $C_3=0.6$

循環水流 $C_3=0.6$

(d) 織物的功能(C_4)

只作為過濾功能 $C_4=1$

兼作排水濾層 $C_4=0.3$

Fisher 等人(1990)依據織物的孔隙尺寸分佈和土壤之均勻係數 C_u 值提出選用織物的阻留準則如下：

$$O_{50}/d_{85} = 0.8 ; O_{50}/d_{15} = 1.8 \sim 2.7 ; O_{50}/d_{50} = 0.8 \sim 2.0$$

其中 d_x 為通過百分比為 $x\%$ 時，所對應之土粒直徑； O_x 為織物開孔徑。

(2) 地下排水系統

在土釘邊坡常見之地下排水系統為水平(橫向)排水管(圖 4.6.1)。水平排水孔以鑽孔機從坡面以大約大於 5° 之仰角鑽入土體之孔洞，其鑽孔以能貫穿地下水之含水層，使地下水能沿鑽孔排除，使用於土釘邊坡若坡面採用混凝土面版，需注意之施工事項建議如下：

- (a) 施工順序建議先設置土釘後，再鑽孔貫入排水管線。
- (b) 排水管線鑽孔時，可能在鑽孔機抽出後產生孔壁塌陷，因此須套入預先在管壁鑽孔之塑膠管，以確保該鑽孔之排水功能。
- (c) 除水平排水孔外，亦可搭配暗渠一同排除地下水，兩者最大差別在於水平排水孔可依坡面地形鑽入土層較深位置，以排除較深之地下水，而暗渠主要用以排除地面滲入土中之水量，但若覆土太深，恐收集不到地下滲流水。
- (d) 一般排水孔施工常出現設置混亂、出水口潮濕髒亂等情況，建議於混凝土面版上施作縱向小型溝渠將排水孔排出水分導入排水溝內。

4. 鑽孔

土釘鑽孔與灌漿是施做過程中最重要的一部分，鑽孔位置與角度須經過詳細之計算與配置，找出最適合之打設間距與埋設深度，以設計足夠穩定之邊坡，且對於鑽孔應依設計圖所示之方位、孔徑、方向和深度等施工，誤差皆須在合理範圍內，孔口位置除有特別規定外，誤差應在 $\pm 1\text{mm}$ 內，且鑽孔傾角容許誤差為 $\pm 0.5^\circ$ 內，鑽孔過程若遇有障礙須調整孔位時，不得影響設計之安全係數。最後鑽孔後需清孔檢查，對於孔中出現局部漏水或崩坍應立即處理，避免灌漿後產生漿體坍孔現象而導致握裹力不足。

鑽孔的施工及注意事項同地錨施工之鑽孔規則，依據地錨施工設計準則(廖洪鈞等人，1994)，可歸納如下幾點：

(1) 鑽掘系統：

鑽掘系統主要由鑽頭、鑽桿、鑽機、和排渣等四大系統構成：

(a) 鑽頭

可分為衝擊式及旋轉式兩種，其中衝擊式為無岩心鑽頭；旋轉式可分為岩心鑽頭及無岩心鑽頭兩種（如魚尾鑽頭、三心鑽頭）。

(b) 鑽桿

實際上分為鑽桿(rod)、套管(casing)、打擊管(drive pipe)三類。打擊管屬於衝擊式系統，鑽桿及套管則分別有衝擊式及旋轉式兩種，凡衝擊式系統均適用於旋轉及衝擊施工，旋轉系統則只適用於旋轉施工。

(c) 鑽機

鑽機有多種形式，以鑽掘系統之運作而言，可分為三類：旋轉式、衝擊式和旋轉+衝擊式。由鑽機本身產生之衝擊稱為頂擊鎚(top-hammer)；以壓縮空氣驅動置於孔底之氣鎚產生衝擊者為孔底氣鎚(down-the-hole-hammer, DTH hammer)。衝擊式鑽掘系統極少單獨使用，通常配合旋轉式鑽機施工。

(d) 排渣

排渣目的是將鑽掘過程中產生之渣料排出鑽孔外，使鑽掘之速率加快，可避免鑽桿卡住。一般以水或壓縮空氣為排渣媒介，於不迴水地層可與起泡劑配合使用。

對於不同地層情況下之鑽掘系統組合方式，可參考廖洪鈞等人，(1994)之研究。

5. 安置抗張材與灌漿作業

土釘係以抗張材及灌漿料之組合完成主要加勁構造，此兩部份之施工方式將影響土釘日後之加勁效能。抗張材在鑽孔作業後即進行設置，過程中以中心固定器確保抗張材能位於鑽孔中心即可施行灌漿作業(圖 4.6.2)。抗張材之設置與灌漿作業之施工需注意下列幾點。

(1) 安置抗張材

- (a) 一般使用竹節(螺紋)鋼筋作為抗張材之選擇，以不發生斷裂為原則建議採用號數[#]5~[#]10 鋼筋。另外，亦可使用高強度之碳纖維棒，惟應注意與水泥漿體之握裹強度是否足夠。

- (b) 抗張材設置前應需檢查組件數量及尺寸是否正確，防蝕措施是否受損，並檢查有無有害物質附著。
- (c) 抗張材置入鑽孔前應每隔 2~3 m 裝上中心固定器，以確保抗張材位於中心且與孔壁平行無偏斜，且應不妨礙灌漿之漿體流動。
- (d) 鋼筋於任何期間均須予以保護，以免受損。工地組立時，不得沾有污泥、浮鏽、油漆、油或其他外來之有害物質。

(2) 灌漿作業

- (a) 灌漿用水泥砂漿水灰比建議約 0.4~0.5(Lazater 等人, 2003)，另可加入適當的早強劑；但未經過工程師許可不得任意加大用水量。
- (b) 加勁材置入鑽孔後，可採用重力、低壓或高壓方式注漿填孔。一般情況宜採用低壓灌漿，(灌漿壓力 $\leq 0.5\text{MPa}$)，此時需同時設置止漿塞及排氣孔。
- (c) 灌漿作業宜採用底部灌漿方式，將底管導入孔底，在灌漿同時將導管緩緩移出，且導管之管口應保持在漿面下，以保證孔中氣體能全部逸出。
- (d) 加壓灌漿可對土體產生入滲作用，擴大灌漿體之範圍及界面粗糙度，有助於握裹力之提升。

6. 釘頭處理

釘頭部份通常由承載板、鋼筋、螺母所組成，主要使加勁材應力能傳遞分散於面層。施工完成後對於過長之鋼筋須與以切除，並以螺母將鋼筋固定於承載板上。使用之螺母、承載板均須經過熱浸鍍鋅處理，並配合噴凝土噴漿，抑制鏽蝕產生。

4.6.7 現地檢測

目前國內使用的土釘，絕大多數屬於重力灌漿式土釘，而土釘與土

壤間之握裹強度，直接影響加勁結構體穩定與否。因此，施工後透過現地拉出試驗，除驗收土釘加勁效果外，並可回饋比較設計時所採用之參數，必要時可調整設計尺寸或施工方法，故現地拉出試驗扮演重要的角色；以下摘自洪勇善(2000)之建議。

現地拉出試驗採用階段性固定荷重方式，試驗最大荷重不超過 90% 之土釘抗張降伏強度，且每階段之荷重增量不得超過 25% 之土釘拉出設計荷重(一般設計荷重為極限拉出力之一半)。每一階段之荷重增量維持固定，於 0、1、2、3、4、5、6、10 分鐘時紀錄拉出位移量，若 1~10 分鐘間拉出之位移量大於 1 mm，則該荷重必須持續至 60 分鐘，並且每 10 分鐘讀取位移量。每階段依據事先所擬定之荷重增量加載，直到拉出破壞發生；此拉出破壞定義為 60 分鐘位移量大於 2 mm 時。拉出試驗過程為避免土釘拉出破壞前即先降伏斷裂，因此，試驗土釘之灌漿長度不宜過長，但亦不得小於 2.5 m，一般建議採用 2.5~3 m，且拉出端至少有 1 m 以上無灌漿之自由段，以減少坡面之影響，圖 4.6.6 為土釘拉出試驗之設備示意圖。

此外，對於有潛變疑慮的土層，則必須經由試驗結果進一步求出臨界潛變荷重(critical creep load)。將每一階段之荷重繪出土釘位移與時間(對數座標)之關係圖，如圖 4.6.7，並將該階段之斜率(n)與荷重關係繪出，而求得臨界潛變荷重 T_c ，如圖 4.6.8 所示。設計時所假設之土釘拉出承載力不得大於 T_c ，否則必須修正設計參數，重新調整土釘尺寸和間距。

圖 4.6.6 現地土釘拉出試驗設備示意圖

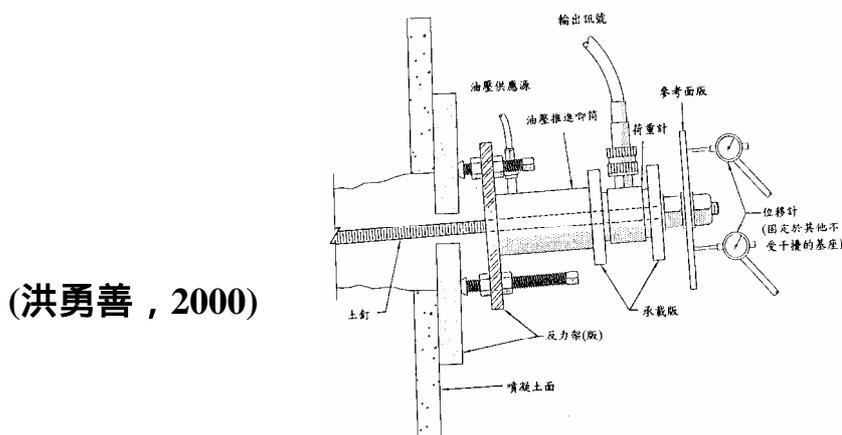
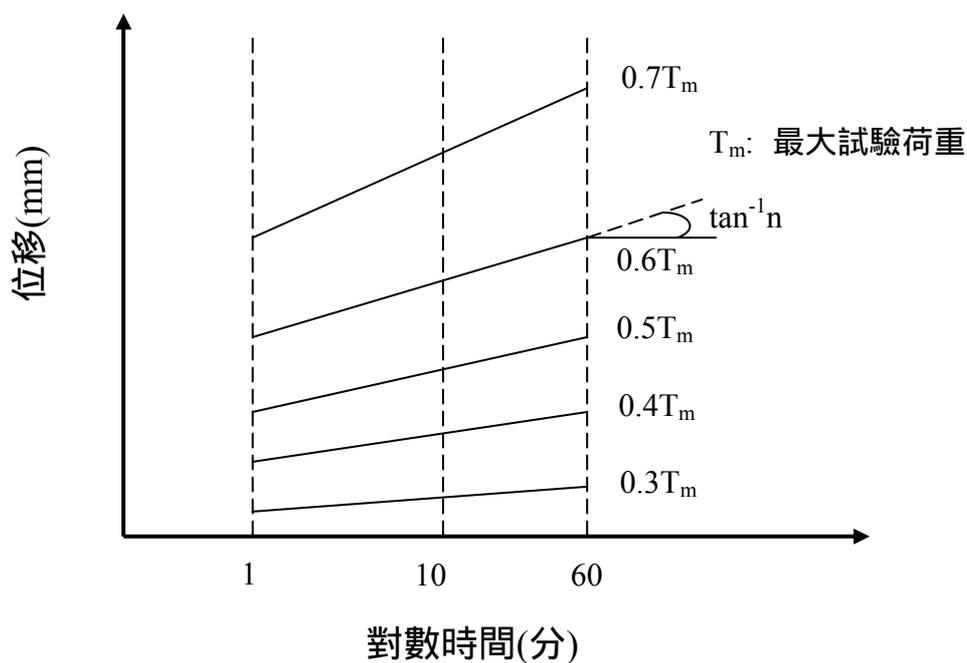
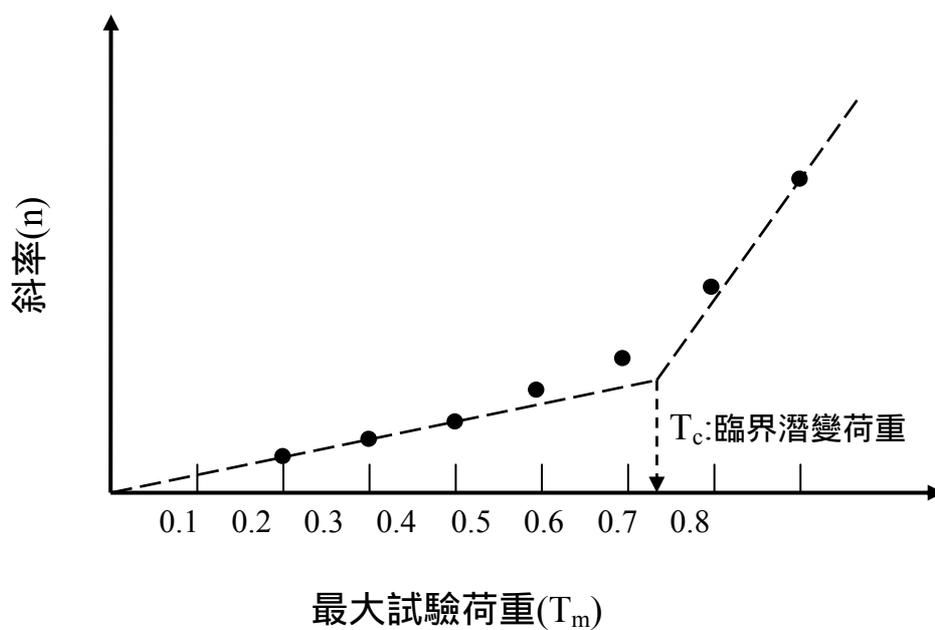


圖 4.6.7 現地土釘拉出試驗之潛變曲線示意圖



(洪勇善, 2000)

圖 4.6.8 臨界潛變荷重示意圖



(洪勇善, 2000)

4.6.8 設計參考圖表

洪勇善等人(2004b)曾以坡高 10 m、坡度 50°之土釘邊坡為例，進行上部加載數值分析，結果顯示除非使用斷面特別小之剛棒(如#4 鋼筋)導致破壞由土釘斷裂所致，否則土釘結構之破壞大多由土釘拉出所控制，此結構下之土釘受力機制即由土釘與土壤間之摩擦阻抗傳遞至土釘內承受軸力之剛棒，而土釘所提供之剪力與彎矩阻抗則可忽略。因此建議土釘僅考慮軸力並搭配採用一般邊坡穩定分析之切片法進行土釘邊坡安全評估，此法類似 Schlosser(1982)所提出之法國法，惟並不考慮土釘在剪力與彎矩上之貢獻。此外，土壤剪力強度依據 Juran 等人(1990)建議假設完全發揮；且基於土釘應用於人口居住密集之坡地社區的邊坡補強，因此，在設計考量上本研究建議土釘拉出阻抗之安全係數採用 2。

在設計方面，土釘傾角扮演著影響邊坡穩定性之重要參數，若土釘打設間距很小或拉出阻抗很大，破壞面便無法穿過加勁區，致使加勁區的性質類似於重力式擋土結構，屬於整體外部滑動破壞。而若土釘間距大或拉出阻抗小，則破壞面將通過加勁區，屬於內部土釘拉出破壞或拉斷破壞。陳榮河等人(2001)曾針對 921 地震後中部某一坡度 65°、坡高 9 m 之邊坡補強進行分析；在土釘傾角 0°~40°分析中，獲得若為內部土釘拉出破壞，則土釘傾角 20°可提供最大安全係數，若為外部穩定破壞，隨土釘傾角愈大加勁區所形成之重力構造愈深，滑動破壞面愈大，安全係數也愈大。范嘉程(2003)也曾以有限元素法配合土壤強度折減方式，獲得在邊坡坡度為 40°~70°間，使得邊坡穩定性最佳之土釘傾角介於 10°~30°。綜合上述之論點並考量實際土釘鑽掘與重力式灌漿，建議一般土釘邊坡設計時可採用土釘傾角 20°。

依據前述建議之分析方法，及土釘拉出阻抗安全係數為 2，首先分別進行坡高 10 m 與 20 m 且坡度 50°邊坡之土釘設計，以土釘水平間距 s_h 與垂直間距 s_v 皆為 1 為例，並假設土釘極限摩擦阻抗為 125 kPa，各情況下設計土釘長度如圖 4.6.9 所示，圖中顯示於相同地質條件下，所

求得之釘長與坡高比(L/H)並不因坡高不同而改變。因此，後續設計圖表皆以坡高 10 m 為例，地質材料強度參數範圍摩擦角 20° ~ 40° 、凝聚力 10 kPa~ 30 kPa，針對邊坡坡度 30° ~ 80° 分別進行土釘設計，提供圖 4.6.10~ 4.6.26，可作為土釘邊坡工程設計參考依據。對於現地土層摩擦角非 20° 、 30° 及 40° ，則可採用內插方式求取設計釘長。

圖 4.6.9 坡高 10 m 與 20 m 設計圖之比較

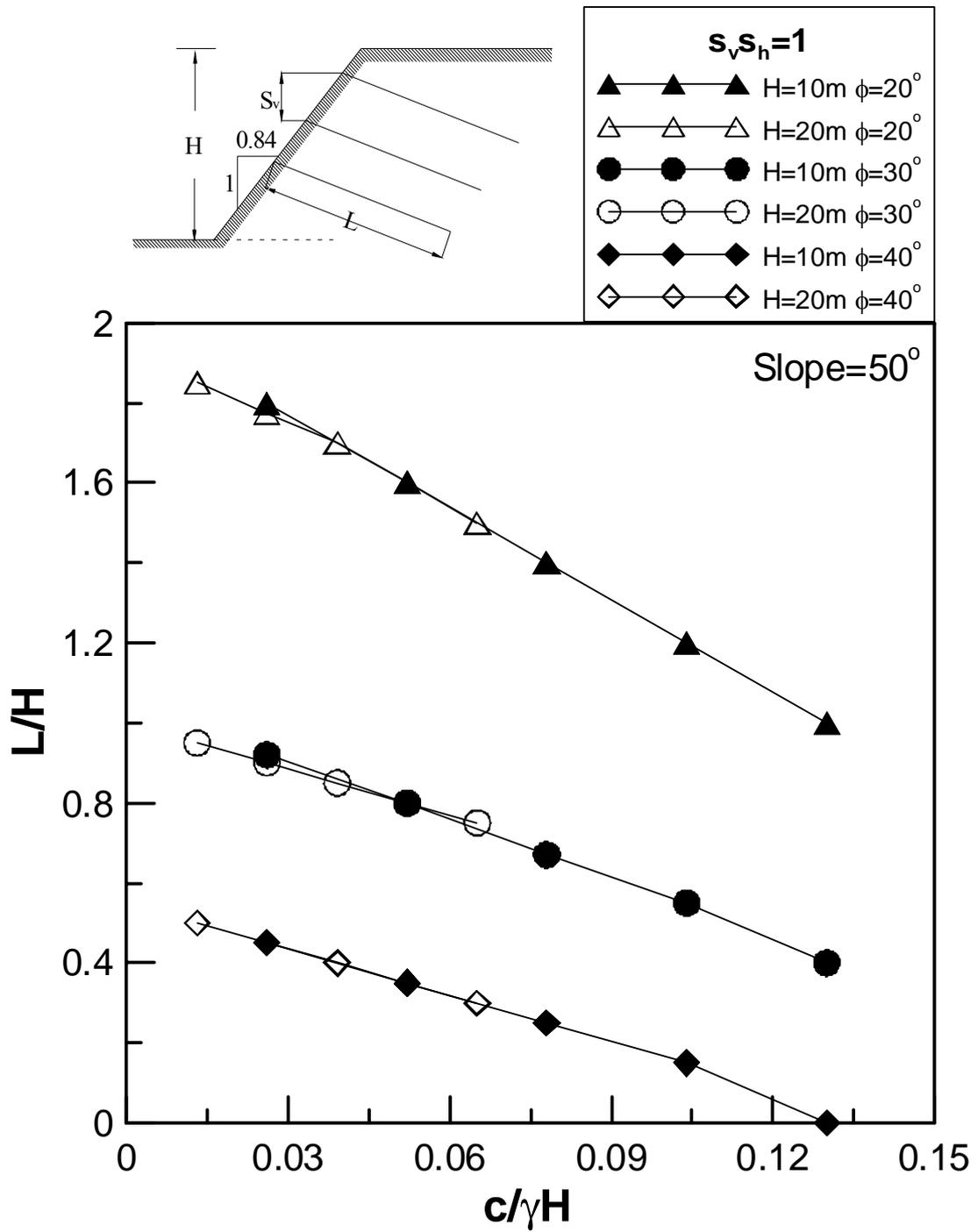


圖 4.6.10 坡度 30°、c = 10 kPa 之設計圖表

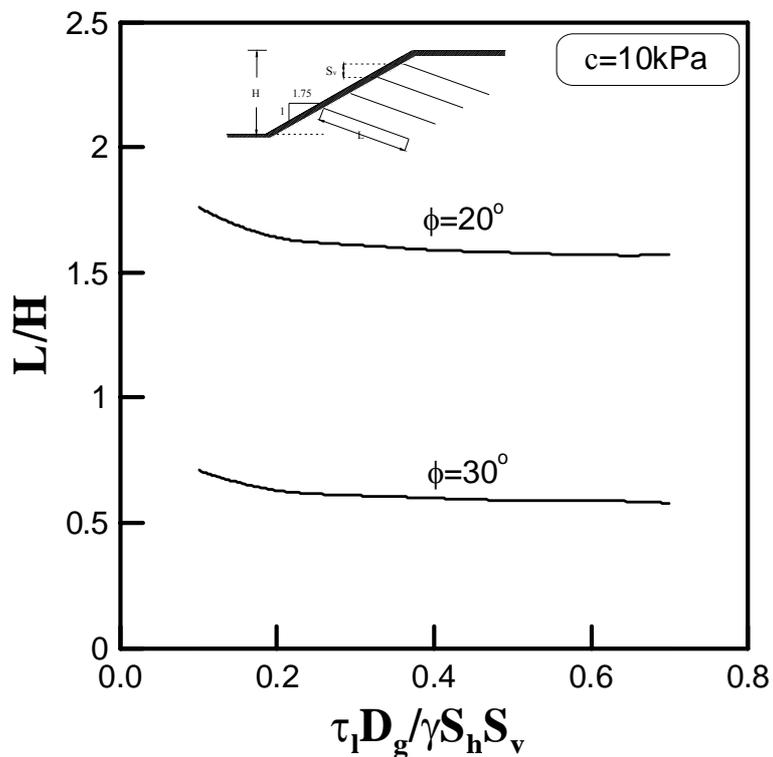


圖 4.6.11 坡度 30°、c = 20 kPa 之設計圖表

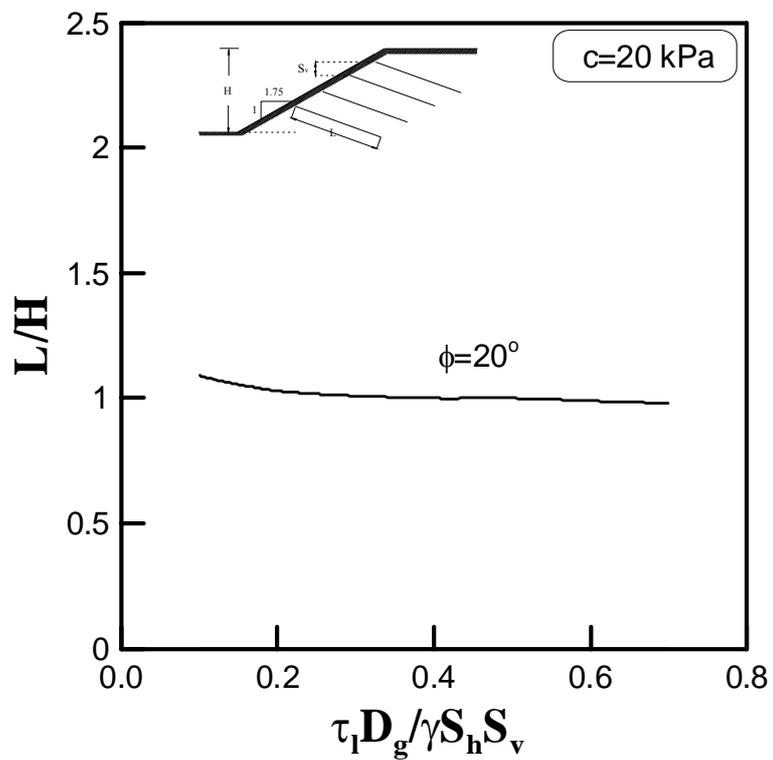


圖 4.6.12 坡度 40°、c = 10 kPa 之設計圖表

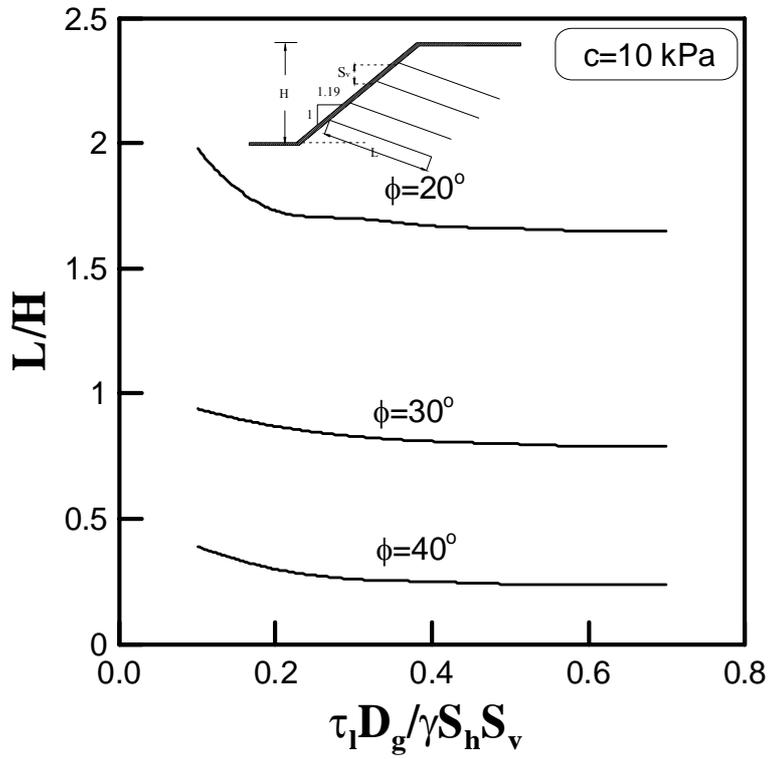


圖 4.6.13 坡度 40°、c = 20 kPa 之設計圖表

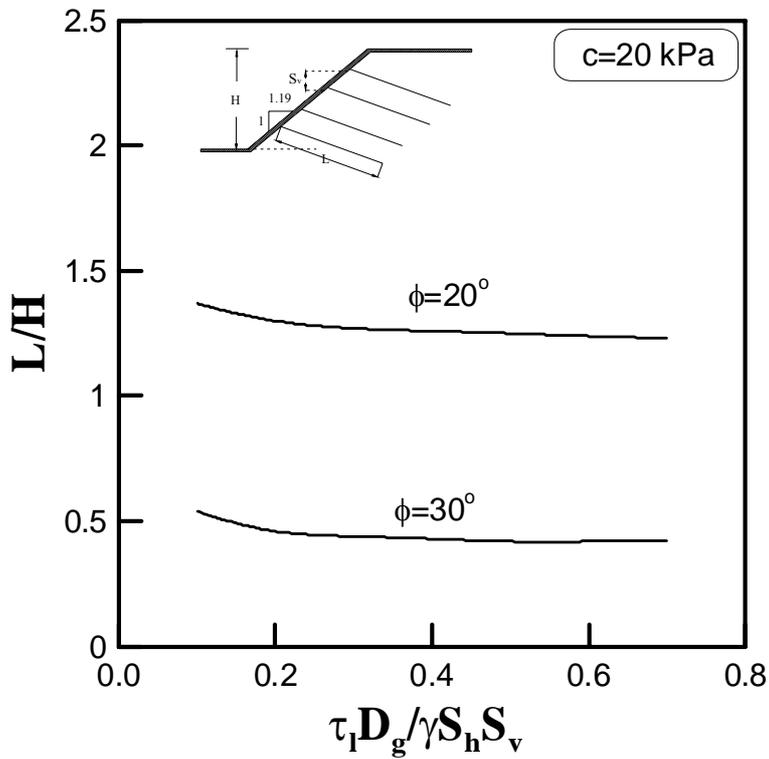


圖 4.6.14 坡度 40°、c = 30 kPa 之設計圖表

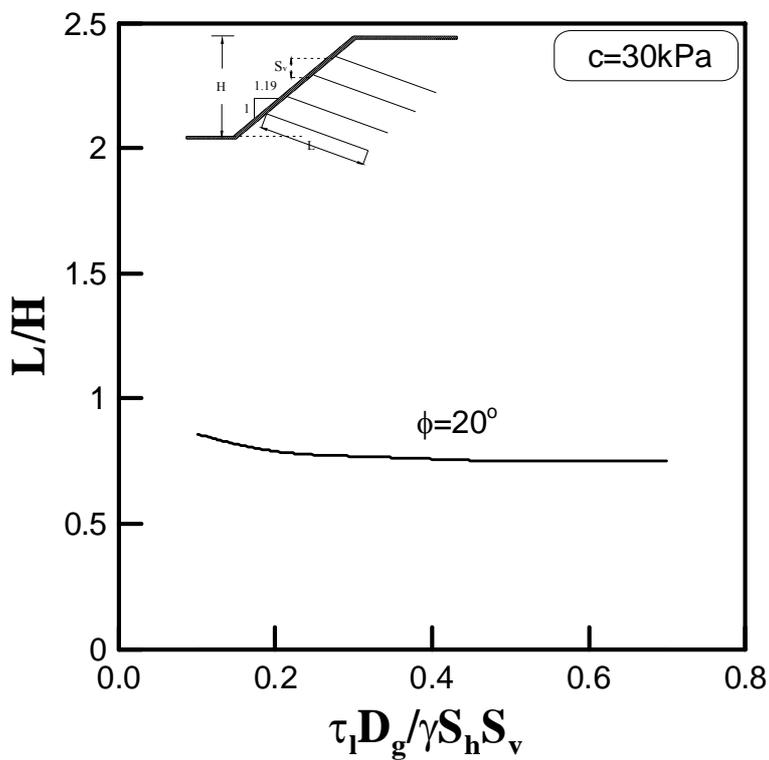


圖 4.6.15 坡度 50°、c = 10 kPa 之設計圖表

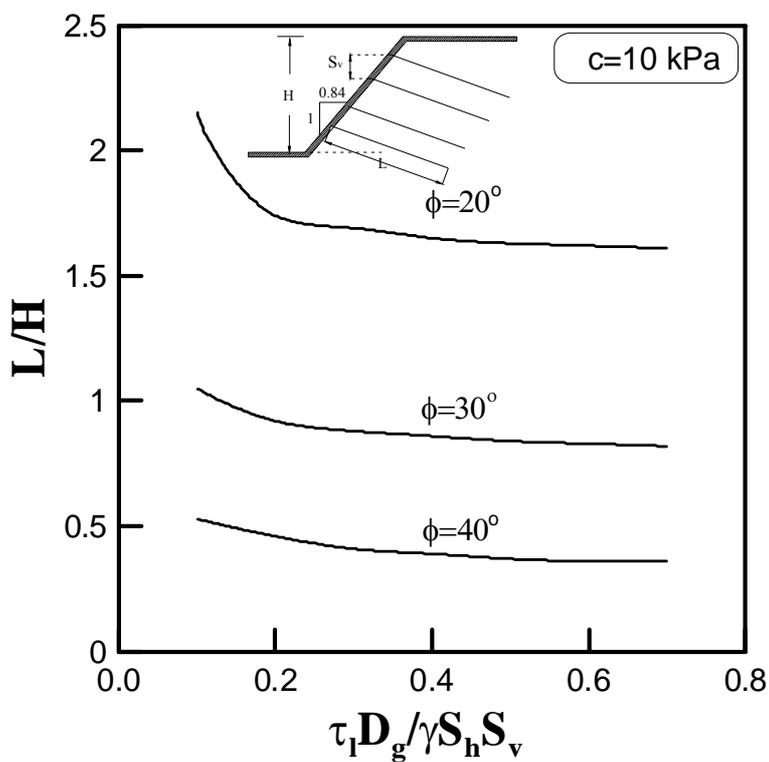


圖 4.6.16 坡度 50°、c = 20 kPa 之設計圖表

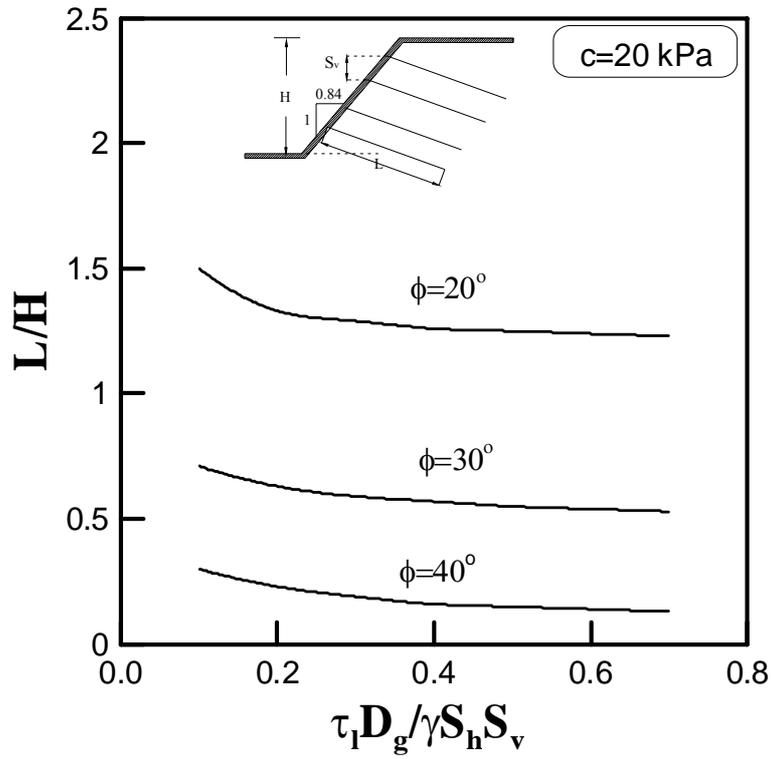


圖 4.6.17 坡度 50°、c = 30 kPa 之設計圖表

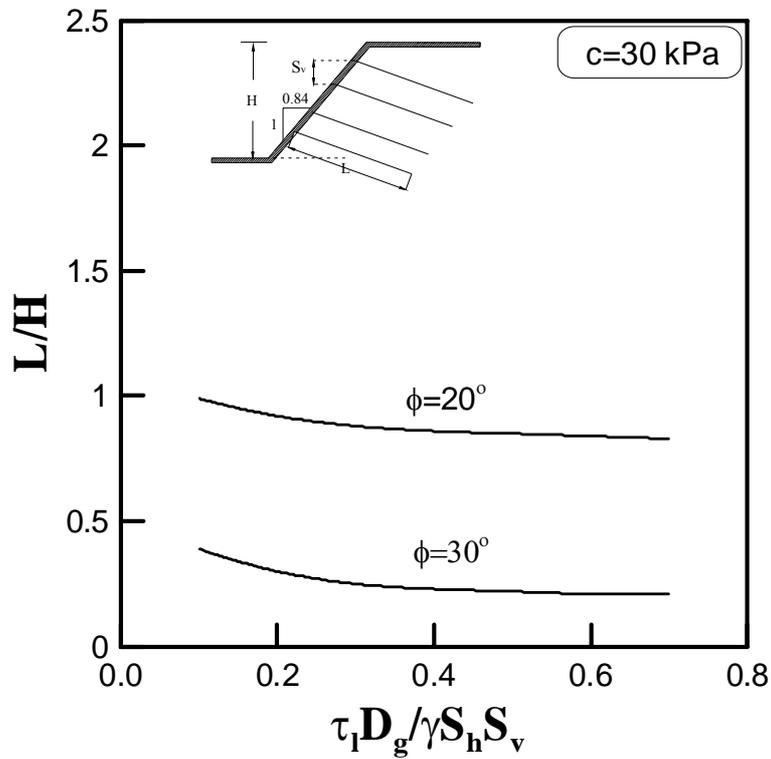


圖 4.6.18 坡度 60°、c = 10 kPa 之設計圖表

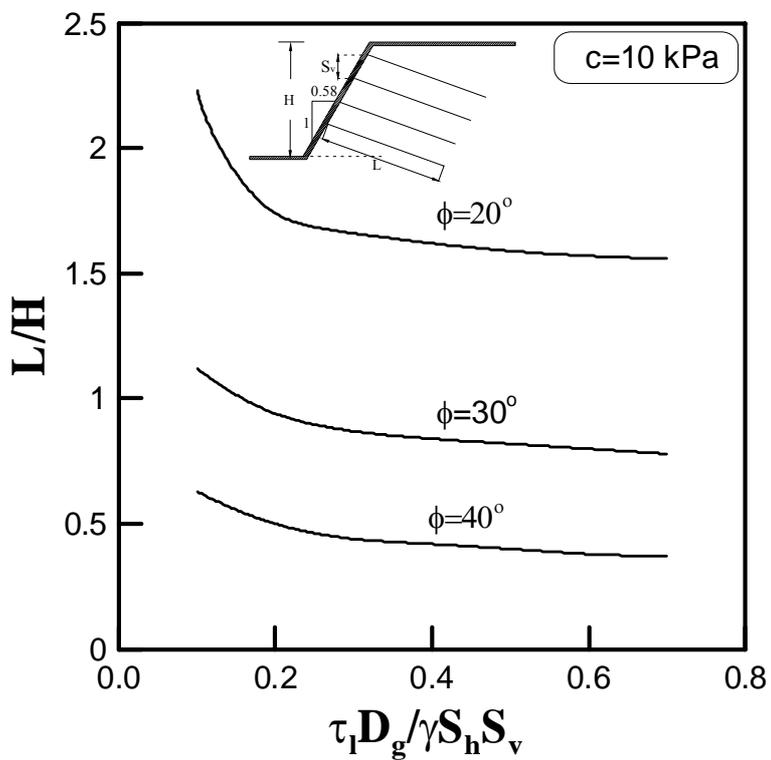


圖 4.6.19 坡度 60°、c = 20 kPa 之設計圖表

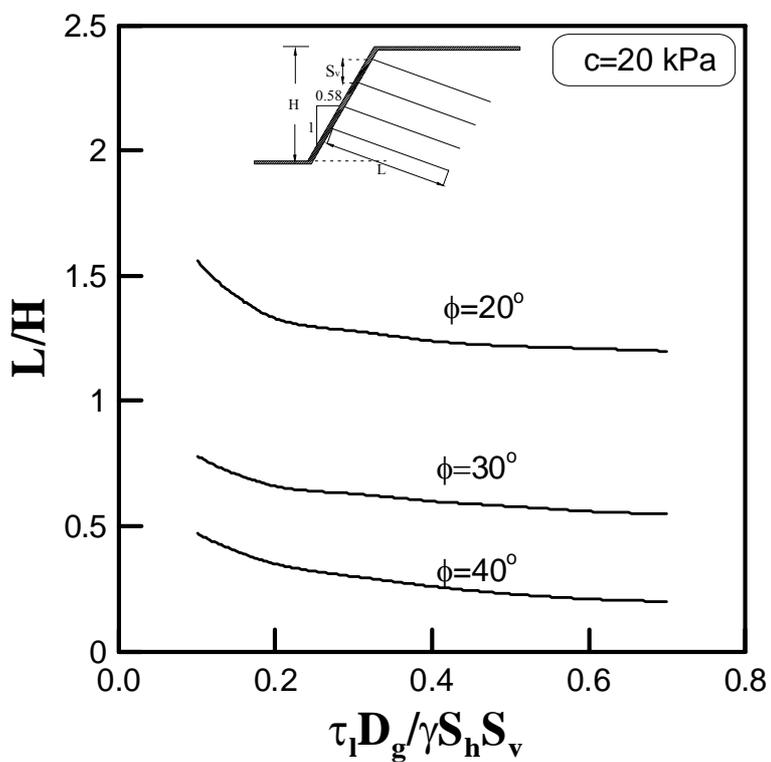


圖 4.6.20 坡度 60°、c = 30 kPa 之設計圖表

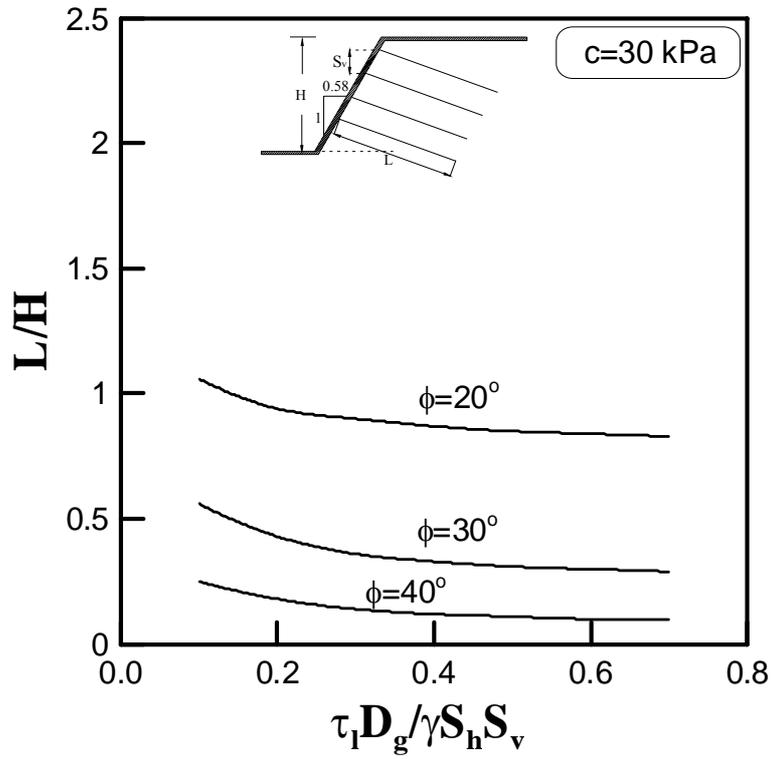
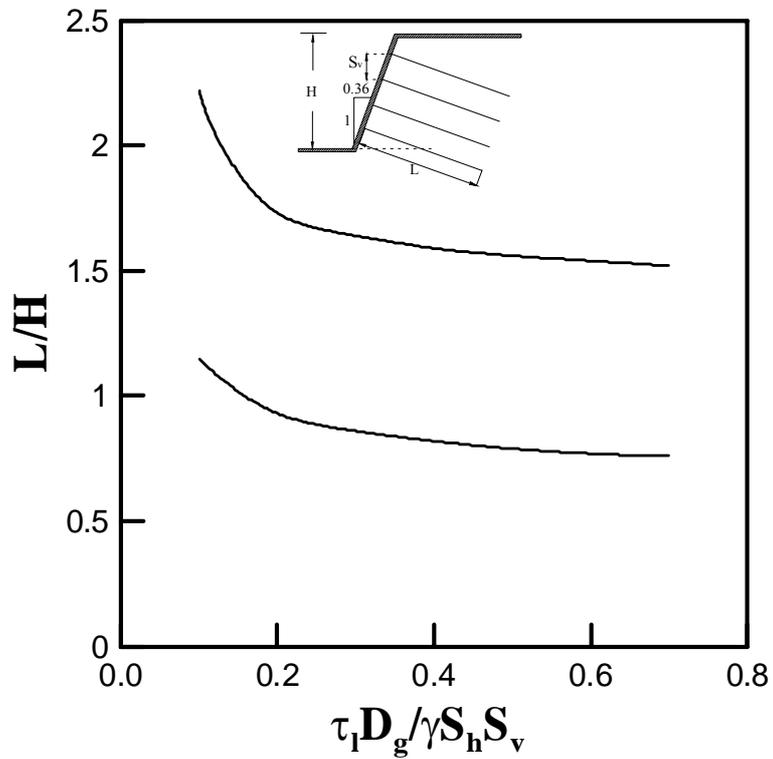


圖 4.6.21 坡度 70°、c = 10 kPa 之設計圖表



第五章 基本圖說彙編

由於生態保育觀念逐漸受到重視，工程整治時各單位也極力朝兼顧環境保育之方向努力；然相關的設計與技術手冊缺乏。依據本計畫所提出之各式坡面保護工與擋土工，坡面保護工內容包括植生毯、切枝壓條、加勁椰纖毯、萌芽樁配合抗沖蝕毯及萌芽枝條捆、打樁編柵、蜂巢格網、混凝土型框植生、噴凝土型框植生計 8 種，功能為避免因降雨逕流沖刷導致土壤嚴重流失，而通常植生工程結構與純工程結構，也經常結合成為一系統，使之更具成效。擋土工包含砌石牆、格框牆、箱籠牆、土工合成材加勁牆及土釘牆等 5 種。此兩部分內容皆包含設計方法、設計圖表以整合彙編基本圖說，研擬符合生態工法理念之坡面保護工與擋土工之暫行技術手冊，以提供工程實務界設計參考；此基本圖說僅供參考，工程師應依現場地質、地形、水文、等條件詳實檢核。

第六章 結論與建議

根據前述各章加以綜合整理，對於「坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)」之研究可歸納出以下重要結論及建議，分述如下。

一、坡面保護工之解說與設計

坡面保護工可利用植生方法、工程方法或兩者相互配合，以減少坡面土壤的沖蝕。本計畫蒐集國內外相關文獻，依據生態工法原則，提出植生毯、切枝壓條、加勁椰纖毯、萌芽樁配合抗沖蝕毯、打樁編柵、萌芽枝條捆、蜂巢格網及型框噴植等 8 種可應用於坡地社區坡面保護的工法，並條列設計與施工步驟。各工法皆有其適用條件，如圖 3.1.1 所示，提供實務界依現地條件選擇適宜工法的參考。

二、砌石牆之解說與設計

坡地社區的邊坡在安全無虞的情形下，為保護坡趾沖刷且當地大塊石材充裕時，砌石牆之石塊間孔隙因可提供植物生長及生物棲息，為適當的擋土措施之一。惟設計施工時底部石塊必須嵌入地面下 30 cm，若地質強度不佳時應構築混凝土基座。

三、格框牆之解說與設計

考量耐久性因素，格框牆宜採用混凝土格樑配合植栽萌芽枝條，使格框表面更為自然，有利於生物棲息。地面 50 cm 以下需設置後傾式混凝土基座，減少不均勻沈陷；有關設計、施工與檢驗詳如 4.3 節。

四、箱籠牆之解說與設計

箱籠牆屬柔性結構，能承受較大之不均勻沈陷；為提高抗滑能力，最底層箱籠需嵌入地面下至少 50 cm，堆疊時需向後退縮 0.5 m 或 1 m，並略微後傾；有關設計、施工與檢驗詳如 4.4 節。

五、土工合成材加勁牆之解說與設計

土工合成材加勁擋土結構因表層植生容易且耐震性佳等優點，適合應用於一般坡地社區需較高擋土措施的情況。本計畫依據牆面坡度分別提出加勁牆與加勁邊坡的設計步驟、分析方法及檢核項目，並說明施工的順序，以及建立參考設計圖表，詳如 4.5 節。

六、土釘牆之解說與設計

土釘牆之施工僅需就邊坡不規則處進行小規模修坡，且設置土釘鋼筋時僅鑽掘直徑約 10 cm 之孔洞，對原有環境之影響及破壞程度相當輕微，而坡面結合型框噴植則能加速自然環境的營造，適合應用於坡地社區的邊坡補強。本計畫蒐集國內外文獻，彙整土釘工法之適用條件、材料要求、設計方法、防蝕保護、施工注意事項，以及現地檢測方法，並依據國內地質條件，透過一系列數值計算，建立設計參考圖表，詳如 4.6 節。

七、基本圖說彙編

依據本計畫所提出之各式坡面保護工與擋土工，彙編基本圖說，以提供工程實務界設計參考，相關內容請參見第五章。

八、後續研究議題

由本計畫之研究成果顯示，無論是坡面保護工或擋土工皆有多種工法可供應用，惟必須配合適當的地質條件，方能發揮最大功效。在本研究計畫的基礎下，尚有部分議題值得繼續研究，茲建議如下：

➤ 立即可行建議：

1. 生態排水設施之建立及施工規範。

➤ 中長期建議：

2. 加勁擋土牆與土釘牆的動態分析與設計準則的研擬。
3. 台灣各種地質之士釘極限拉出阻抗資料的彙整與現地試驗。

附錄一 第一次專家座談會專家意見

第一次專家座談會專家意見

- 一、 主題：坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)
- 二、 時間：民國九十四年五月十七日(星期二)下午三點整
- 三、 地點：台灣大學土木系館會議室(CE215)
- 四、 主持人：洪勇善教授
- 五、 紀錄：朱志峯
- 六、 出席專家學者：李三畏教授、台北科技大學土木系鄭光炎教授、內政部建築研究所李怡先博士。
- 七、 主辦單位：淡江大學
- 八、 研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、永碁工顧問有限公司方仲欣總經理、台灣大學土木工程學系陳國賢研究助理、周亦蕙研究助理、淡江大學土木工程學系朱志峯研究助理

九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>內政部建築研究所/李怡先博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)，題目之「暫行」可考慮修改為「參考」。 2. 加強解說部份，如設計圖表之使用限制、注意事項、準則等... 3. 章節份量要平均。 4. 4.6 章土釘部份 4.6.9 ~ 4.6.27 設計參考圖表之線上標記可拿掉，即僅留線條部分即可。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝建議；計畫之題目尚需建研所委員評估後尚可修改。 2. 謝謝建議；已加強解說部份作詳細補充。 3. 遵照辦理。 4. 遵照辦理。
<p>李三畏教授</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第一章請清楚說明本計畫的研究範圍，主要以坡地防災為主，不包含規劃中之生態調查、生態復舊等，避免造成誤導。 2. 第 2 頁內容(自民國 68 年以來...)內容在此並不適合，應適度修正。 3. 不須定義生態防災工法：「以安全為基礎生態為導向...」，避免與現行工程會之定義不同。 4. 第 2 頁之 1.2 山坡地的定義與災害類型，定義兩字可捨去，不要去定義避免困擾，可改為「山坡地的災害類型」即可。 5. 表 1.2.1 應以營建署公佈之資料為 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝建議；已釐清研究範圍，並做適當修正。 2. 遵照辦理。 3. 山坡地設施同一般工程主要以人為，在此採納建議不刻意強調其定義。 4. 遵照辦理。 5. 遵照辦理；已做適當修正。

<p>主。</p> <p>6. 第 3 頁之坡度小於 40%者方能開發.....此部分無根據考慮移除，且林肯大郡非老丙建之問題。</p> <p>7. 第 8 頁研究流程圖，「建立參考設計圖表」及「擬定設計方法與施工程序」後面皆需補以「維護」項。</p> <p>8. 圖 3.1.1 坡度<0.4H：1V，似乎已是岩盤，則是否仍適用。</p> <p>9. 第 11 頁之 3.2.1 植生毯 PP 及 PE 製成之合成材因分解時間過長，是否可加入不織布。</p> <p>10. 每一工法最後皆需加入維護章節。</p> <p>11. 第 14 頁圖 3.3.1 及 3.3.2 對照有異。</p> <p>12. 第 30 頁之 4.1 總則需加齊後章節子項所有之工法概述。</p> <p>13. 第 40 頁地震力之考量，可加入地震力係數。</p> <p>14. 圖 4.2.4 應包含塊石，可改為塊卵石，且避免施工困擾，圖若有來源須附上出處。</p> <p>15. 第 43 頁圖 4.3.1 之格框後傾需加入坡度對照，基礎是否也需加入混凝土基座。</p> <p>16. 第 44 頁 材料部分若有用到鋼筋則需補入。</p> <p>17. 第 48 頁 圖 4.4.2 草樹在此搭疊空間下不宜生長，宜用排水管或其它保護措施提高樹種存活，可加入平</p>	<p>6. 謝謝建議，此段落已重新詮釋並做適當修正。</p> <p>7. 遵照辦理。</p> <p>8. 格框噴植法亦可適用於岩坡，唯當坡度為 45°~68°(0.4H：1V)之較陡時，應採噴凝土配合鋼絲網與鋼筋所形成之自由型格框。</p> <p>9. 因考慮長期效能，故現有植生毯之材質皆為耐久性較佳之 PP 或 PE 所製成。不織布因較不耐久且強度較弱，無法提供長時間的抗沖蝕功能，故一般較少用於植生毯之製作。</p> <p>10. 遵照辦理。已補充在各工法之施工說明。</p> <p>11. 圖 3.3.1 已修正。</p> <p>12. 遵照辦理。</p> <p>13. 遵照辦理。</p> <p>14. 遵照辦理。</p> <p>15. 遵照辦理。</p> <p>16. 遵照辦理。</p> <p>17. 修改植生位置使位於最上層，應可提高植生存活率。</p>
--	---

<p>面圖示意。</p> <p>18. 第 62 頁 表 4.5.2 相對夯實度 95% 對於坡地而言不太可能達到，是否考慮修正。</p> <p>19. 第 79 頁 水泥砂漿部份之水灰比範圍應加入出處參照「交通部台灣區國道新建工程局」。</p> <p>20. 第 87 頁 表 4.6.5、4.6.6，此為國外標準，國內是否已有，若無則文中應說明。</p> <p>21. 第 89 頁 腐蝕敘述中少應力腐蝕項，且內容略多。</p> <p>22. 圖內符號盡量用中文表示。</p>	<p>18. 遵照辦理。已針對坡地社區之現況，將相對夯實度修訂為$\geq 90\%$。</p> <p>19. 遵照辦理。</p> <p>20. 欲修正國外研究結果並應用於國內，必須透過大量之現場試驗、彙整資料，本計畫將建議於未來相關研究計畫中進行。</p> <p>21. 謝謝建議；已對內容做適當修正。</p> <p>22. 遵照辦理。</p>
<p>台北科技大學土木系/鄭光炎教授</p> <p>1. 手冊首章宜加入前言、導言，說明應用範圍及限制，且不包含維護與管理。</p> <p>2. 公式之應用建議說明限制(動、靜態)宜說明。</p> <p>3. 所有工法需加入適用坡度，且需與前後敘述有連貫。</p> <p>4. 加強可操作性，如公式、材料、坡度限制之使用。</p> <p>5. 內容之圖表需說明出處。</p> <p>6. 表 1.2.1 若有較新之官方資料應採用。</p> <p>7. 第 6 頁之 1.生態考量部份，生態復舊可修正為「生態復育及永續經</p>	<p>1. 遵照辦理；已對第一章之架構重新彙整。</p> <p>2. 謝謝建議；已對公式應用做適當之解說。</p> <p>3. 計畫所提之各種坡面保護工，其適用坡度已示於圖 3.1.1。</p> <p>4. 謝謝建議。</p> <p>5. 遵照辦理。</p> <p>6. 遵照辦理；已做適當修正。</p> <p>7. 遵照辦理。</p>

<p>營」。</p> <p>8. 第二章、第五章及第六章寫待續不留空白。</p> <p>9. 第 11 頁之 PP、PE 對生態有影響，宜於文中說明。</p> <p>10. 第 15 頁第 6 點內容之保護措施，宜改成「養護措施」。</p> <p>11. 第 16 頁圖 3.4.1 錨筋 1~2m 易造成誤解，須修正。</p> <p>12. 第 24 頁第 3 點，將木板對角線切成兩枝木樁，修正為「將木板切成兩片木樁」。</p> <p>13. 第 39 頁 γ_k 著名為塊石之 γ_k。</p> <p>14. 第 41 頁圖 4.2.4 卵石修正為「塊卵石」。</p> <p>15. 第 44 頁 4.3.2 第 2 點，可加入採用外大內小組合之石材。</p> <p>16. 第 48 頁 4.4.1 填入粒徑 10~35 cm 大小之卵塊石.....，此部分應可視網目大小而訂。</p> <p>17. 第 73 頁第 6 點，回包部分需加入長度設計，且可加入施工注意事項。</p>	<p>8. 遵照辦理。</p> <p>9. 已補充說明於 P.12 第一段。</p> <p>10. 遵照辦理。已修正。</p> <p>11. 圖 3.4.1 已依建議修正。</p> <p>12. 遵照辦理。已修正。</p> <p>13. 已註明 γ_k 為牆體之單位重。</p> <p>14. 已修正為「卵石(或塊石)」。</p> <p>15. 遵照修正</p> <p>16. 遵照修正</p> <p>17. 遵照辦理。已補充於 P.72 之(vii)。</p>
--	---

附錄二 期中審查專家意見

期中審查專家意見

- 一、 主題：坡地社區生態防災工法參考技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)
- 二、 時間：民國九十四年七月七日(星期四)下午兩點三十分
- 三、 地點：內政部建築研究所
- 四、 主持人：何明錦副所長
- 五、 紀錄：朱志峯
- 六、 出席專家學者：台北縣柳宏典局長、青山工程顧問公司總經理廖瑞堂博士、國家災害防救科技中心陳建元博士、大地技師公會鄭清江博士、台北市水土保持技師公會鄺寶成理事長、行政院農委會水保局黃先生、內政部建築研究所陳建忠組長、內政部建築研究所李怡先博士、中興大學水土保持學系游繁結教授(書面審查)。
- 七、 主辦單位：內政部建築研究所
- 八、 研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、永基工程顧問有限公司方仲欣總經理、台灣大學土木工程學系陳國賢研究助理、周亦蕙研究助理、淡江大學土木工程學系朱志峯研究助理

專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>青山工程顧問公司/廖瑞堂博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 專有名詞採用工程界常用之名詞，可參考國工局手冊。 2. 手冊中工法之適用性多一些探討。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已參考國工局手冊並做適當修正。 2. 遵照辦理。
<p>台北縣政府工務局/柳局長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 手冊開頭應概括敘述適用性。 2. 加強描述整體性邊坡崩塌，並進一步介紹適用的排水設施。 3. 是否能提供預算與單價分析。 4. p.98 土釘於非腐蝕性土中保護層可維持 21 年，但一般設計 50 年，應如何處理。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理。 2. 排水設施已於建研所上期計畫「既有山坡地社區邊坡穩定補強工法之研究」中介紹，故此期計畫中不另詳述。 3. 非屬本研究範圍。 4. 除鍍鋅外，依環境需要尚可於鋼筋表面塗環氧樹脂或加大鋼筋斷面積。
<p>行政院農委會水保局/黃先生</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.15 切枝壓條部分是否有其它建議樹種。 2. p.30 型框噴植對降雨、逕流之沖刷導致草包間粒料流失，是否有建議之保護方法。 3. p.45 卵石堆壘方式以護岸砌石為例，順壘、丁壘應避免，在此堆壘方法是否考慮排除較不安全之方式。 4. p.35 依水保局研究案所提出，建議砌石基座與坡面垂直較佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將於期末報告中建議適用之數種。 2. 為防止植生包因坡面雨水沖刷而位移或粒料流失，植生包除堆置應求緊密外，亦須予以固定於坡面上，其方式有打設木樁或鋼筋、或以格網(鋼絲網、土工格網)覆蓋固定之。 3. 文章中補充說明不適用之堆壘法。 4. 加註”長軸應垂直坡面”。

<p>5. p.65 加勁擋土牆，排水設施應加入。</p>	<p>5. 遵照辦理。</p>
<p>國家災害防救科技中心/陳建元博士</p> <p>1 加勁牆與土釘牆納入生態工法是否恰當。</p> <p>2. 箱籠破壞模式依現地情況而有所不同，此計畫之分析方法與實用性不能完全涵蓋現地狀況。</p>	<p>1. 生態工法為一種施工理念，並非一種工法，故施工若符合生態之理念便能納入生態工法。</p> <p>2. 箱籠牆（與其他任何重力牆）之設計須滿足牆體之傾覆、滑動及邊坡整體穩定之安全性；有關邊坡整體穩定分析，可以一般通用之邊坡穩定分析程式檢核，限於篇幅，本研究不予贅述。</p>
<p>大地技師公會/鄭清江博士</p> <p>1. 「生態防災工法」各工法於生態上之特性及相關性應加以著墨。</p> <p>2. 技術手冊建議增加細部設計圖表及照片。</p> <p>3. 參考設計圖表建議以實例驗證。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 將於期末報告完成建議設計圖表。</p> <p>3. 謝謝建議。</p>
<p>台北市水保持技師公會/鄺寶成理事長</p> <p>1. 對此研究實用性與方向予以肯定。</p> <p>2. 建議下期研究案可加入分析方法、施工規範及安全係數擬定。</p> <p>3. 是否考慮加入單價及工料分析。</p> <p>4. 大量活樁收購是否另外造成他處之破壞。</p> <p>5. p.40 重力式擋土牆穩定分析之參數值如何考量。</p> <p>6. p.68 加勁牆回填土料性質是否適</p>	<p>1. 謝謝鼓勵。</p> <p>2. 謝謝建議。</p> <p>3. 非屬本研究範圍。</p> <p>4. 此問題不為本研究考量範圍，唯活樁之取得，當以不造成他處環境破壞為首要考量。</p> <p>5. 根據 Gray & Sotir (1996)之建議，可將砌石牆之不連續塊體結構假設為整體性結構後，再依傳統重力式擋</p>

<p>用。</p>	<p>土結構計算其安全係數。</p> <p>6. 此回填土料之要求乃根據美國 FHWA 之規範，其主要考量為使用之回填土料需具有適當之透水性，以降低加勁擋土牆之側向土壓力。若現地土壤不符表列之要求，若需作為回填土料之使用，則應審慎評估之，包括透水性、化學性質等。</p>
<p>中興大學水土保持學系/游繁結教授</p> <p>1. 名詞定義考慮修正“於坡面上略沿等高方向，以一定間隔打設木樁、竹樁或其他材料製成之樁，樁與樁間再以竹片或樹枝編柵....”。</p> <p>2. p.19 植生基樁與植生樁名詞宜統一。又此處之植生樁係以活木樁為主，是否與打樁編柵之活木樁統一稱呼為萌芽樁。</p> <p>3. p.24 倒數第 11 行之木樁建議採用萌芽樁。</p> <p>4. p.35 圖 4.2.1 石塊之長軸應垂直坡面。</p> <p>5. p.36 圖 4.2.2 石縫間塞入枝條會被誤解砌石時擺放上枝條，應以根系表示。</p> <p>6. p.45 圖 4.2.4 卵石之短軸表示不當，又丁疊之堆置時石塊應密接不宜有縫隙。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 已做適當修正。</p> <p>3. 遵照辦理。</p> <p>4. 加註”長軸應垂直坡面”。</p> <p>5. 謝謝建議，另已附加砌石牆正視圖以釐清疑問之處。</p> <p>6. 圖已重新繪製，清楚表示堆疊方式。</p>

<p>內部部建築研究所/李怡先博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基本圖彙編應提早送出，以便有足夠時間審核。 2. 計畫題目考慮將「暫行技術手冊」修改為「參考技術手冊」。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理。 2. 待建研所委員同意即可修改。
<p>內部部建築研究所/陳建忠組長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議增加使用流程。 2. 針對生態防災工法應加強彙整現有資料。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理。 2. 謝謝建議，將彙整相關資料。
<p>內部部建築研究所/何明錦副所長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 生態工法在實務上有某些不適用性，盡可能瞭解現地情況及分明適用條件。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝建議。

附錄三 第二次專家座談會專家意見

第二次專家座談會專家意見

- 一、 主題：坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)
- 二、 時間：民國九十四年十月三日(星期一)下午三點整
- 三、 地點：台灣大學土木館會議室 307 室
- 四、 主持人：洪勇善教授
- 五、 紀錄：朱志峯
- 六、 出席專家學者：台北市政府建設局陳志慎簡任技正、中興工程顧問股份有限公司王建智經理、內政部建築研究所陳建忠組長、內政部建築研究所李怡先博士
- 七、 主辦單位：淡江大學
- 八、 研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、永碁工顧問有限公司方仲欣總經理、台灣大學土木工程學系陳國賢研究助理、永碁工程顧問有限公司周亦蕙研究助理、淡江大學土木工程學系朱志峯研究助理

九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>內政部建築研究所/李怡先博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 坡地社區生態防災工法定義本與農委會水保局之定義不同，坡地社區需注意以安全為首要考量，因此強調以「生態為基礎，安全為導向」做為出發點，此為需釐清之要點。 2. p.13 植生毯尺寸與 p.143 是否一致？另外 p.14 固定錨釘以口型釘尺寸深 100 mm、寬 200 mm 與圖說不符，考慮修正長寬比。 3. p.150 型框植生可考慮納入鋼線網，另外不需僅限定一種植生方式。 4. 圖說部分字型大小需統一。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本報告於第一章緒論已清楚說明此點。 2. 植生毯將修正為前後一致，一律為 2 m 寬。錨釘修正為深 200 mm、寬 100 mm。 3. 此工法為噴凝土型框植生，厚度很薄，一般植生方式採用噴植法。 4. 謝謝建議，將予以修正。
<p>台北市政府建設局/陳志慎簡任技正</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. p.14 錨釘呈口型建議尺寸深 200 mm、寬 100 mm 較牢固；且 3.2.3 節中第 2、3 點錨定鋼筋似乎密度太高。 2. p.22 第 6 點可加入以鑽孔方式便於萌芽樁貫入。 3. p.24 萌芽力強之九芎建議順序放置後面，因強風豪雨易損壞不建議優先採用。 4. p.35 圖 4.2.1 排水管已註明但於圖中未標示排水管。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝建議，將依此修正。錨定鋼筋之間隔為原則性建議，視現場情況調整。 2. 依建議修正。 3. 依建議修正。 4. 圖中將予以標示。

<p>5. p.36 圖 4.2.2 砌石牆正視圖建議採六圍砌排列方式。</p> <p>6. 植生部分，內文中「長度需超過砌石牆，直至砌石牆後的背填土或為擾動區」指何者？枝條長度？</p> <p>7. p.46 堆疊方式不需過於描述，僅需說明排列方式及原則即可。</p> <p>8. p.73 第二行用地省不需寫入，避免爭議。</p> <p>9. p.88 模板部分應與圖說相符。</p>	<p>5. 依建議修正。</p> <p>6. 文字修正為「枝條長度需超過砌石牆，直至砌石牆後的背填土或為擾動區」。</p> <p>7. 謝謝建議，文中修飾。</p> <p>8. 依建議修正。</p> <p>9. 一般加勁擋土牆使用 L 型模板，加勁邊坡則使用三角型模板；現場模板型態依牆面設計而有所不同。</p>
<p>中興工程顧問公司/王建智經理</p> <p>1. 工料分析可建議主辦單位在下期計畫分析。</p> <p>2. p.2 山坡地定義，建議加註以公告為準。</p> <p>3. p.150 鍍鋅立體鐵絲網目前有新產品，可考慮加入應用。</p> <p>4. p.153 鍍鋅部分可考慮以樹脂或 PVC 取代。</p> <p>5. p.30 設計部分若為預鑄則坡度 <math>45^\circ</math>為合理，但若為場鑄則不限制 <math>45^\circ</math>。</p> <p>6. p.30 圖 3.9.1 植草包長軸需垂直坡面，需加註剖面圖。</p> <p>7. 下期計畫建議以生態工法種類評估逕流量、土壤沖蝕、保水功能及滯洪池評估等。</p>	<p>1. 謝謝建議。</p> <p>2. 已於文中補充。</p> <p>3. 將於收集新資料後補充加入。</p> <p>4. 建議鐵線除鍍鋅外可再加上 PVC 包覆，增加耐久性。</p> <p>5. 文中已修正。</p> <p>6. 已修正並加入剖面圖。</p> <p>7. 謝謝建議。</p>

<p>內政部建築研究所/陳建忠組長</p> <p>1. 建議配合往後手冊使用上方便，考慮以單獨方式撰寫「擋土設施編」及「坡面保護工編」。</p>	<p>1. 本手冊已朝此方向撰寫，而觀念性說明主要敘述於第一章，避免於其他章節重複描述，而過於冗長。</p>
--	--

附錄四 聯合研討會專家意見

聯合研討會專家意見

- 一、 主題：坡地社區生態防災工法暫行技術手冊暨解說擋土設施及坡面保護工編(含參考基本圖彙編)
- 二、 時間：民國九十四年十一月二十一日(星期一)下午三點
- 三、 地點：台北科技大學建築系設計館國際會議廳
- 四、 主持人：陳建忠組長
- 五、 紀錄：朱志峯
- 六、 出席專家學者：一梅達工程顧問有限公司陳宗禮董事長、新世紀技術顧問有限公司林四川董事長、內政部建築研究所陳建忠組長、內政部建築研究所李怡先博士
- 七、 主辦單位：內政部建築研究所
- 八、 研究團隊：淡江大學土木工程學系洪勇善教授、台灣大學土木工程學系陳榮河教授、永碁工顧問有限公司方仲欣總經理、台灣大學土木工程學系陳國賢研究助理、永碁工程顧問有限公司周亦蕙研究助理、淡江大學土木工程學系朱志峯研究助理

九、專家意見與回覆：

專家學者意見	回覆
<p>一梅達工程顧問公司/陳宗禮 董事長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 文中擋土工與擋土牆是否需統一。 2. 對於坡地社區生態防災工法宜提出最後的適用及建議。 3. 基本圖說彙編內容詳細給予肯定；若應用於防災，基礎格外重要，可考慮加強基礎之設計部分。 4. 資料豐富值得肯定。 5. 技術手冊之定義乃以簡單、實用、經濟為主，計畫中皆有達到給予肯定。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 擋土工泛指一般擋土設施，而擋土牆係指該構造物。 2. 報告中之工法皆提供適用範圍與限制條件。 3. 基本圖說中對於部份構造物已註明現場必要時需構築混凝土基礎。 4. 謝謝肯定。 5. 謝謝肯定。
<p>新世紀技術顧問公司/林四川 董事長</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 資料寶貴且實用，給予肯定。 2. 坡地社區生態防災工法應不僅如計畫報告中所提出的 13 種，其實還有其他方式。 3. 文中萌芽樁間距不宜太密。 4. 箱籠之鐵線鍍鋅量對於整個工程造价影響極小，因此可依環境及年限需要再加大鍍鋅量。 5. 生態工法除需符合生態環境外，安全仍為優先考量，此計畫定義符合此方向。 6. 工程中排水極為重要，若排水設施設計完善，在大部分情況仍可避免使用混凝土。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝肯定。 2. 生態工法為一種理念，施工方式並非一層不變，報告中的建議僅為目前對環境衝擊較少的工法。 3. 謝謝建議，考慮縮小萌芽樁間距。 4. 報告中建議採用爬藤類植物為佳，其目的即是箱籠鐵線腐蝕斷裂後由爬藤類植物根系握裹石材，以達穩定的效果。 5. 謝謝肯定。 6. 坡地排水設施非今年度重點，可參考前期計畫。

<p>內政部建築研究所/陳建忠組長</p> <p>1. 坡面保護是否需考量原生種進入，由於初期應以儘速復育保護保全對象為主，而本土原生種成長速度較慢，初期保護功能不佳，故需視情形選用外來種進行植生。然原生種成長至一定程度後，亦可達到坡面保護之功能，故所選取之外來種必須不能妨礙原生種之生長。</p>	<p>1. 基本上若能採用原生草種為最佳；目前工程一般噴植會先混以 2~3 種草籽，其一生長速度快但壽命短，另一則生長慢但壽命長，如此前者可達緊急復育之效，又可作為後者的養分。</p>
---	--

參考文獻

1. 公共工程委員會(2005)，「公共工程施工綱要規範」。
2. 行政院農業委員會水土保持局(2003)，「水土保持技術規範」。
3. 內政部營建署(1997)，「山坡地開發建築管理辦法」，台(86)內營字第 8672450 號。
4. 內政部營建署(2001)，「建築物基礎構造設計規範」。
5. 水土保持手冊(1995)，「工程篇」、「植生篇」，台北市政府建設局、中華水土保持學會。
6. 林德貴、何世勝、林信輝(2002a)，「砌石護岸工法」，野溪自然生態工法教育訓練研習班講義。
7. 林德貴、蔡喬文、林信輝(2002b)，「箱籠結構之力學特性與設計分析」，野溪自然生態工法教育訓練研習班講義。
8. 洪如江(1998)，「坡地建築之破壞」，地工技術，第 68 期，pp. 129-142。
9. 洪勇善(2000)，「現地坡面土釘加勁工法之應用」，土木技術，第 31 期，pp. 45-55。
10. 洪勇善、陳榮河、吳朝賢 (2004a)，「坡地災害防治技術研究，子計畫一：既有山坡地社區應用生態防災工法及效益評估之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。
11. 洪勇善、陳榮河、吳朝賢 (2004b)，「坡地災害防治技術研究，子計畫二：既有山坡地社區邊坡穩定補強工法之研究—土釘」，內政部建築研究所委託研究報告。
12. 范嘉程(2003)，「土釘擋土結構最佳化設計之探討」，地工技術，第 98 期，第 27-38 頁。
13. 陳榮河、洪勇善、蘇玉峰、葉國杰(2001)，「土釘加勁邊坡力學行為分析」，地震衍生之邊坡破壞行為及防治對策研究研討會論文

- 集，pp. 111-136。
14. 陳榮河、何嘉浚(2003)，「土釘擋土工法導論」，地工技術，第 98 期，pp. 5-16。
 15. 張石角(1989)，「台灣山坡地建築區地質災害個案研究計畫」，內政部營建署。
 16. 廖洪鈞、周功台、陳曉明、王劍虹(1994)，「地岩錨設計和施工準則研究」，交通部台灣區國道新建工程局。
 17. 廖瑞堂(1998)，「山坡地護坡工程設計」，台灣省土木技師工會。
 18. 廖洪鈞、廖瑞堂(1999)，「坡地社區開發安全監測手冊」，內政部營建署研究報告。
 19. Byrne, R. J., Cotton, D. Porterfield, J. Wolschlag, C. Ueblacker, G. (1998), "Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall," FHWA-SA-96-069R, Federal Highway Administration.
 20. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1987), "Soil nailing: application and practice- part 2," Ground Engineering, Jun., pp.21-38.
 21. Elias, V. (1997), "Corrosion/Degradation of Soil Reinforcements for Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes," FHWA-SA-96-072, Federal Highway Administration.
 22. French Committee on Geotextiles and Geomembranes (CFGG) (1986), Geotextiles Manual, Institut Textile de France, Bagneux, France.
 23. Federation Internationale de la Precontrainte(FIP)(1986), "Corrosion and Corrosion Protection of Prestressed Anchorages," 國際 PC 協會.
 24. French National Research Project (1991), "Recommendations Clouterre: Soil Nailing Recommendations for Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing," Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 302p.

25. Fisher, G. R., Christopfer, B. R., and Holtz, R. D (1990), “Filter Criteria Based on Pore Size Distribution,” Proceedings, Fourth International Conference on Geotextiles, The Hague, The Netherlands, Vol. 1, pp. 289-294.
26. Gray,D.H. and Sotir, R.B.(1996), “Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization : A Practical Guide for Erosion Control”, John Wiley & Sons, Inc.,USA.
27. Hong, Y. S., Wu, C. S. and Yang, S. H. (2003), “Pullout Resistance of Single and Double Nails in a Model Sandbox,” Canadian Geotechnical Journal, vol. 40, pp. 1039-1047.
28. Jewell, R.A.(1991) “Application of Revised Design Charts for Steep Reinforced Slopes”, J. of Geotextiles and Geomembranes, Vol. 10, No. 3, pp. 203-233.
29. Juran ,I.,SHAFIEE,S.AND SCHLOSSER,F.(1985),“Numerical Study of Nailed Soil Retaining Structures,”Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, pp.1713-1716
30. Juran, I., Baudrand, G., Farrag, K. and Elias, V. (1990), “Kinematical Limit Analysis for Design of Soil-Nailed Structures,” Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 1, pp. 54-72.
31. Koerner, R. M.(1994), “Designing with Geosynthetics,” 3th ed., Prentice Hall.
32. Lazarte, C. A. , Elias, V. , Espinoza, R. D. and Sabatini, P. J. (2003), “Geotechnical Engineering Circle NO.7,” FHWA-IF-03-017, Federal Highway Administration.
33. MACCAFERRI Gabions (1987&1995) , “Retaining structures. ”
34. Mitchell, J. K. and Villet, W. C. B. (1987), “Reinforcement of Earth

- Slopes and Embankment. National Cooperative Highway Research Program Report 290,” Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 323p.
35. Murray, R. T. (1993), “The Development of Specifications for Soil Nailing, Research Report 380,” Transport Research Laboratory, Department of Transport, UK, 25p.
 36. Morgan, R.P.C. and Rickson, R.J. (1995), “Slope Stabilization and Erosion Control—A Bioengineering Approach”, Spon, London.
 37. OFFICINE MACCAFERRI S.p.A. (1983) , “Gabbioni Maccaferri, Labanti & Nanni Bologna, Ristampa. ”
 38. Rathmayer, H. and Komulanein, H. (1992) , “Quality requirements of prefabricated strip drains”, Finn Road Administration Report, No.22/92, Quality Control and Test Methods, Helsinki, 62p.
 39. Schlosser, F. (1982), “Behavior and Design of Soil Nailing,” International Symposium on Recent Development in Ground Improvement Techniques, Bangkok, pp. 399-413.
 40. Sotir, R.B. and Fischenich, J.C. (2001), ”Live and Inert Fascine Steambank Erosion Control”,USACE Technical Notes, ERDC TN-EMRRP-SR-31.
 41. Shiu, Y.K. and Cheung W. M. (2003), “Long-Term Durability of Steel Soil Nails,” GEO Report No. 135.
 42. U.S. Army Corps of Engineers. (1991) , “Wire mesh gabion., Civil Works Construction Guide Specification CW-02541 ”, 29 July 1991, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C..
 43. U.S. FHWA (2001), “Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes. Design & Construction Guidelines”, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration,

Publication No. FHWA-NHI-00-043.

44. ZALAS (1985). "Hot Dip Galvanizing. (3rd Edition). Zinc and Lead Asian Service, pp.174 .