

# 土釘設計與施工說明

土力工程處  
土木工程拓展署  
中華人民共和國香港特別行政區

# 土釘設計與施工說明

土力工程處  
土木工程拓展署  
中華人民共和國香港特別行政

©中華人民共和國香港特別行政區政府第一出版，2008 年 3 月

資料準備：

土力工程處

土木工程拓展署

土木工程拓展署大樓

101 公主道,

何文田，九龍，

香港

## 前言

該土力工程指南代表香港土釘系統設計、建造、觀察暨維護的良好推薦基準。同時，該說明內容涵蓋工程指南歷年香港土釘系統運用經驗以及相關技術開發工作。其推薦良好基準主要敘述高彎曲變形鋼筋是透過鑽孔和灌漿方式，組成，加固邊坡暨擋土牆和開挖區。

土力工程指南內容主要來自土力工程處所提供的土釘相關研究資料彙整所製。再經由專業研究員暨操作員實際執行相關規範，從中精進土釘設計和建造的規範，藉此有效提升土釘系統的可信度。其相關研究包含文獻評論、現場檢測、實驗調查以及多次模擬建造所彙整。其研究發現，有部分早已出版於土力技術報告以及指導說明刊物中。

土力工程指南內容準備是由專業團隊監督下所完成。團隊成員由相關公部門、香港工程師學會（土木工程拓展署）暨土地崩塌預防措施承包商等代表所組成。土力工程處管委會負責該土力工程指南的整體準備工作管理。

為確保該土力工程指南成功被認可為香港具共識的文件，曾於 2007 年底製作初版，收集國內外相關人員閱讀後的建議。相關閱讀人員包含業界專業人士、工程師、承包商、學者暨公部門。不僅如此，其初版也刊登於土木工程拓展署的官方網站，提供大眾參閱且開放提出相關建議。透過其方式審閱，許多民眾和企業都陸續提供具建設性的改善建議，且被納入為最終核定版本。感謝所有貢獻。

至於其他版本的土力工程指南，此份資料能提供良好的工程執行規範，但此推薦非強制性。為讓未來土力工程指南版本更好，我們鼓勵相關執行者於任何時間都能提供土力工程處更好的內容改善建議。



R.K.S. Chan

總督，土力工程處

土木工程拓展署

2008 年 3 月

工作團隊：

**建築署**

Mr. Joseph Wong C.P.

**土木工程拓展署**

Mr. Pun W.K. (主席)

Mr. Herman Shiu Y.K.

Mr. Charles Chan H.C.

Mr. Stephen Yip C.T.

Mr. Choi Y.C.

Mr. Lawrence Shum K.W.

Dr. Raymond Cheung W.M. (秘書)

**路政署**

**Mr. Andy Wong H.T.**

**房屋署**

Mr. Raymond Wong M.W.

**土地崩塌預防措施承包商承包商**

Mr. Cheung T.K.

**香港工程師學會 (土木工程拓展署)**

Dr. Eric Li S.F.

|                    |    |
|--------------------|----|
| <b>前言</b>          | 3  |
| 工作團隊：              | 4  |
| 土木工程拓展署            | 4  |
| 路政署                | 4  |
| Mr. Andy Wong H.T. | 4  |
| 房屋署                | 4  |
| 土地崩塌預防措施承包商承包商     | 4  |
| 香港工程師學會（土木工程拓展署）   | 4  |
| <b>表目錄</b>         | 11 |
| <b>圖目錄</b>         | 12 |
| 1. 介紹              | 13 |
| 1.1 目的             | 13 |
| 2. 應用              | 14 |
| 2.1 總              | 14 |
| 2.2 土釘技術開發         | 14 |
| 2.3 應用範圍           | 14 |
| 2.4 土釘系統基本原理       | 14 |

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 2.4.1 | 安裝方式.....       | 14 |
| 2.4.2 | 土釘系統的基本要素 ..... | 15 |
| 2.5   | 優點暨限制 .....     | 18 |
| 3.    | 土釘系統原理 .....    | 20 |
| 3.1   | 總 .....         | 20 |
| 3.2   | 土釘系統歸類 .....    | 20 |
| 3.3   | 土釘系統基本機制 .....  | 20 |
| 3.4   | 土釘地面互動 .....    | 21 |
| 4.    | 現場調查暨測試 .....   | 25 |
| 4.1   | 總 .....         | 25 |
| 4.2   | 土釘可建性 .....     | 25 |
| 4.3   | 土釘耐力性 .....     | 26 |
| 4.3.1 | 總 .....         | 26 |
| 4.3.2 | 土壤侵蝕 .....      | 26 |
| 4.3.3 | 土壤侵蝕性評估 .....   | 28 |
| 5.    | 土釘系統設計 .....    | 31 |
| 5.1   | 總 .....         | 31 |
| 5.2   | 設計考量 .....      | 31 |

|       |                  |           |
|-------|------------------|-----------|
| 5.3   | 穩定性設計 .....      | 31        |
| 5.3.1 | <b>總</b> .....   | <b>31</b> |
| 5.3.2 | 破壞模式 .....       | 32        |
| 5.3.3 | 模型 .....         | 34        |
| 5.3.4 | 穩定性分析方法 .....    | 35        |
| 5.4   | 維修服務之設計 .....    | 35        |
| 5.5   | 耐用性之設計 .....     | 35        |
| 5.6   | 土釘削坡之分析 .....    | 38        |
| 5.6.1 | <b>總</b> .....   | <b>38</b> |
| 5.6.2 | 安全因素 .....       | 38        |
| 5.6.3 | 土釘鋼筋 .....       | 41        |
| 5.6.4 | 土釘 .....         | 44        |
| 5.6.5 | 坡面 .....         | 46        |
| 5.7   | 擋土牆之土釘設計分析 ..... | 52        |
| 5.7.1 | <b>總</b> .....   | <b>52</b> |
| 5.7.2 | 安全因子 .....       | 52        |
| 5.7.3 | 土釘鋼筋 .....       | 54        |
| 5.7.4 | 土釘頭和表面 .....     | 54        |
| 5.8   | 填坡之土釘設計分析 .....  | 58        |

|        |                       |    |
|--------|-----------------------|----|
| 5.8.1  | 總.....                | 58 |
| 5.8.2  | 安全因子 .....            | 58 |
| 5.8.3  | 防止液化之設計 .....         | 59 |
| 5.8.4  | 土釘鋼筋 .....            | 60 |
| 5.9    | 既有削坡和擋土牆之土釘設計規範 ..... | 60 |
| 5.10   | 排水條款 .....            | 61 |
| 5.11   | 美學與景觀處理 .....         | 62 |
| 5.12   | 土釘設計之特定情況 .....       | 63 |
| 5.12.1 | 總.....                | 63 |
| 5.12.2 | 土釘設計之持續承載量 .....      | 65 |
| 5.12.3 | 臨時開挖土釘之設計 .....       | 66 |
| 5.12.4 | 使用替代強化材料的土釘設計 .....   | 66 |
| 6.     | 建造 .....              | 69 |
| 6.1    | 總 .....               | 69 |
| 6.2    | 建造監督和考量 .....         | 69 |
| 6.2.1  | 總.....                | 69 |
| 6.2.2  | 鑽孔 .....              | 70 |
|        | 鑽孔 .....              | 71 |

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| 6.1.1 | 土釘鋼筋組裝 ..... | 75 |
| 6.1.2 | 灌漿 .....     | 75 |
| 6.1.3 | 土釘建造 .....   | 76 |
| 6.1.4 | 開挖順序 .....   | 76 |
| 6.2   | 測試 .....     | 77 |
| 6.2.1 | 材料合規測試 ..... | 77 |
| 6.2.2 | 拔除測試 .....   | 77 |
| 6.2.3 | 蠕變測試 .....   | 79 |
| 6.2.4 | 非破壞性測試 ..... | 79 |
| 6.2.5 | 破壞性測試 .....  | 81 |
| 7.    | 監測暨維護 .....  | 82 |
| 7.1   | 總 .....      | 82 |
| 7.2   | 監測 .....     | 82 |
| 7.3   | 維護 .....     | 82 |
|       | 參考 .....     | 83 |
|       | 符號詞彙 .....   | 87 |
|       | 專業術語 .....   | 90 |

土力工程處刊物及訂購資料..... 93

土力工程處之主要刊物..... 94

## 表目錄

| 表號  |                                   | 頁     |
|-----|-----------------------------------|-------|
| 4.1 | 土壤侵蝕分類                            | 28    |
| 4.2 | 土壤侵蝕評估方案                          | 29    |
| 5.1 | 瞬態負載土釘侵蝕保護措施建議                    | 37    |
| 5.2 | 坡面破壞典型範例(生命後果類別)                  | 39    |
| 5.3 | 坡面破壞典型範例(經濟後果類別)                  | 39    |
| 5.4 | 因應十年降雨量回歸期土釘削坡破壞<br>建議之最小安全係數     | 40    |
| 5.5 | 因應十年降雨量回歸期既有土釘削坡<br>提升破壞建議之最小安全係數 | 40    |
| 5.6 | 內部土釘破壞之最小安全係數                     | 40    |
| 5.7 | 單一土釘頭之建議尺寸                        | 44    |
| 5.8 | 因應十年降雨量回歸期土釘現有擋土<br>牆提升之建議安全措施    | 53    |
| 5.9 | 持續負荷土釘之侵蝕預防安全措施                   | 65    |
| 6.1 | 土釘施工控制樣本清單                        | 71-74 |

## 圖目錄

| 圖號   |                            | 頁  |
|------|----------------------------|----|
| 2.1  | 土釘削坡示意圖                    | 17 |
| 3.1  | 土釘系統模式                     | 21 |
| 3.2  | 土釘動力傾向效果                   | 22 |
| 3.3  | 加固方向對增強土體剪切強度的影響           | 23 |
| 3.4  | 土釘拉力分布示意圖                  | 24 |
| 5.1  | 土釘系統潛在外部破壞模式               | 32 |
| 5.2  | 土釘系統潛在內部破壞模式               | 33 |
| 5.3  | 第一類侵蝕防護措施之典型細節             | 37 |
| 5.4  | 英國交通部推薦之土釘頭設計方式            | 45 |
| 5.5  | 土釘頭加強之典型細節                 | 45 |
| 5.6  | 適用於緩坡之土釘頭典型細節              | 46 |
| 5.7  | 用於檢查滑動的計算模型、土釘的翻轉和承載能力之擋土牆 | 55 |
| 5.8  | 適用於擋土牆之曝露獨立土釘頭典型細節         | 56 |
| 5.9  | 曝露繫樑之典型細節                  | 56 |
| 5.10 | 外殼牆典型接觸細節                  | 57 |
| 5.11 | 半明架土釘頭之典型細節                | 64 |
| 6.1  | 設置推桿測試                     | 78 |
| 6.2  | 推廣測試之典型程序和接受標準             | 80 |
| 6.3  | 潛變測試之典型程序和接受標準             | 81 |

# 1. 介紹

## 1.1 目的

該土力指南的目的是為推薦香港良好的土釘系統設計、建造、觀察暨維護基準，藉此希望達成專業合格工程師之間之共同土力工程原則和程序。

土釘是一種用於穩固提高坡面、擋土牆和挖掘土壤之加固技術。其技術涉及安裝間隔緊密且相對細長的結構元件。例如：將土釘鑽入地面且穩定土壤。土釘系統是由土釘所固定的邊坡、擋土牆或挖掘擋土設施所組成。土力指南所敘述的土力標準主要通過鑽孔和灌漿方法安裝的高變形鋼筋，用於加固土壤削坡邊坡、擋土牆、填充坡道、挖掘、擾動的地形和天然山坡。另，其土力指南裡不包括使用預應力土釘和於隧道、洞穴和河岸等地方使用土釘之內容。

關於潛在應用領域、安裝方法、土釘系統的基本要素、土釘工法優點及限制等眾多考慮可參閱第二章。土釘系統的概念和原理，以及可能影響系統行為的因素可參閱第三章。

關於土釘使用的現場調查和具體測試使用等規範可參閱第四章。第五章闡述了土釘系統的設計指導，包括美學和景觀處理。

與其他形式的坡面工程一樣，在施工土釘時也需充分進行現場監督和管理，其土釘系統的設計壽命期間也需要定期進行檢查和維護等作業。若有需求，施工期間及施工後，應對土釘系統進行監測。有關以上描述指導請分別參閱第六章和第七章。

相關專業術語可參閱其土力指南最後一頁。

## 2. 應用

### 2.1 總

本章概述香港土釘技術的發展及應用且強調土釘系統的基本要素，以及該技術的優點和限制。

### 2.2 土釘技術開發

土釘技術由 1960 年早期開發，其部分來自岩石錨固和多錨固系統的技術而另來自加固填充技術 (Clouterre, 1991; FHWA, 1998)。新奧工法於 1960 年早期被推出，主要是使用鋼筋和噴漿混凝土加固地面的首要原型。由於此技術的使用度逐日增加，土釘設計也隨著於 1970 年早期開始精進。在 1970 年中期，德國進行了第一次涉及模擬試驗和全面實地試驗的土釘的系統研究。後續發展作業也在 1990 年早期，由法國和美國主動進行。這項研究和開發工作的結果，為後續幾十年的土釘技術設計和施工方法擬定了相對紮實的基礎。

1980 年，土釘技術首次被香港使用。香港最初採用土釘作為規範性方法，且為其他堅固材料提供支援深層風化地帶。接著，多個被動錨或固定系統也開始使用此技術。這些早期案例的推動無疑是希望找到預應力地錨的替代方案，但都需要長期的監督。在 1980 年中期，香港製造了少量用於用於臨時支撐削坡的土釘。Watkins & Powell (1992) 於 1990 年統整了土釘相關設計和製造的經驗，且後續成為香港使用土釘的基準。

隨著現有邊坡和擋土牆的提升需求逐日增加，土釘技術於 1990 年中起廣受歡迎。在香港，目前土釘技術是穩定邊坡最為普遍的技術，且每年用由超過 200 其邊坡和擋土牆提升的案件需求。

### 2.3 應用範圍

由於地面調查可能錯過了一些微妙的不利地質特徵，我們建議採用較不敏感設計方案應對當地不利地下水和地下水條件（與沒有積極支持或邊坡加固的解決方案相反）。在實際可行的情況下，具有對生命力或經濟有嚴重威脅的大規模未被保護之削坡，應避免產生邊坡的破壞。由於缺乏堅固性，其邊坡特別容易受到未被檢測的不利地下水和地下水條件的影響。依據常規極限平衡分析的不同方案的計算安全係數可能相同，正邊坡支護或加固系統，必要時補充表面和地下排水措施，通常傾向單獨向後削坡。

土釘系統可透過應力重新分配來取代地面的局部弱點，且邊坡穩定性分析中也未考慮到地下水等相關條件。在香港，較多土釘工法適用於穩固現有削坡和擋土牆。另外，它們也適用於加強且穩固新削坡、填充現有坡度、非原狀邊坡以及自然邊坡。但在香港土釘工法適用於穩固新擋土牆和填補新坡度是非常罕見的現象。除常駐性作業外，土釘工法也可用於臨時挖掘。

### 2.4 土釘系統基本原理

#### 2.4.1 安裝方式

土釘安裝方式多元，且選擇適合的方式需經過多種考量。例如：預算、施工現場和地下土壤狀況等。以下簡單描述現有土釘安裝之方式：

(1) **鑽—灌**：該方式於香港和海外最為常見。該方式採用將土釘加固元件插入預鑽孔中，然後在重力或低壓下進行水泥灌漿。多種鑽技術包含螺旋式、旋轉衝喚鑽機、井下振動錘等技術都適用於應對各種土壤狀況。其技術的優點在於它能克服地下土壤狀況如核心岩石，且鑽井棄物可以提供關於地層的資訊。再加上，長土釘也能透過其技術安裝。如果需要，可以在插入加固件之前檢查鑽孔的尺寸和排列。但鑽孔和灌漿方法可能導致孔塌陷問題而為了克服其個問題，套管方式需被採用。另，鑽和灌漿過程也可能對地面造成干擾。

(2) **自行鑽孔**：與鑽—灌方式相比，其技術相對較新。使用拋棄鑽頭將土釘加固件直接鑽入地面，且中空的鋼筋同時用作鑽桿和灌漿管。隨著鑽孔和灌漿同時進行，其安裝過程很快。水泥漿能提升孔的穩固性，相對空氣和水，水泥漿更為適合。另外，灌漿管及套管也不須要。由於其自鑽技術不能有效地穿透岩石，所以在土壤中發現岩石的情況下，此方式不適合。由於加固的靈活性，可能難以確保長土釘的排列。如果依靠防腐措施的完整性，則可以考慮耐久性，其形式為灌漿蓋和鋼筋的防腐蝕保護層。這是因為在沒有中心器的情況下可能無法實現指定的最小灌漿蓋，並且在安裝過程中可能會損壞防腐蝕塗層。為能克服鋼筋保存持久的問題，此問題待持續研究。

(3) **打擊式**：通過使用壓縮空氣發射器的彈道方法，使用敲擊設備的敲擊方法或使用振動器的振動方法將土釘加固直接驅動到地底中。在打擊過程中，鋼筋周圍的地面將被移動和壓縮且安裝過程快速，所造成的地表影響很低。然而，由於設備功率有限，這種方法只能用於安裝長度較短的土釘。此外，土釘加固可能會受到安裝過程中引起的過度屈曲應力的破壞，因此不適用於含有堅硬土或岩心的場所。由於土釘加固件與地面直接接觸，除非使用非腐蝕性鋼筋，否則易腐蝕。

## 2.4.2 土釘系統的基本要素

圖 2.1 顯示了典型的削坡土釘的橫截面。由鑽—灌所組成的土釘系統包含以下要素：

(1) **土釘鋼筋**：土釘鋼筋是土釘系統的主要元素。其主要功能是提供抗拉強度。鋼筋通常是固體高屈服變形鋼筋。其他類型的材料如纖維增強聚合物，也可以作為土釘加強物件。

(2) **鋼筋連接器(鋼筋續接器)**：鋼筋續接器用於連接土釘鋼筋的部分。

(3) **水泥灌漿套管**：水泥灌漿是由波特蘭水泥和水所製成，在插入土釘鋼筋物件後放置在預鑽孔中。水泥灌漿套管具有與於地面和土釘鋼筋之間傳遞應力的主要功能。另也為鋼筋提供標稱水平的防腐蝕保護。

(4) **侵蝕措施**：根據設計壽命和土壤侵蝕性，需要不同類型的侵蝕措施。最普遍的侵蝕措施是熱浸鍍鋅及瓦楞塑膠剪力。由聚乙烯和防腐膠乳密封劑材料製成的熱收縮套管通常用於保護聯接器。

(5) **土釘頭**：土釘頭通常包括鋼筋混凝土墊、鋼軸承板和螺母。其主要功能是為單個土釘提供反應變動張力且還能促進靠近坡面和土釘之間的地面之穩定性。

(6) 坡面保護：坡面塗層通常用於提供邊坡表面保護，並最小化地表水對坡面的侵蝕和其他不利影響。它可能是柔軟、靈活、硬或三者的組合(CIRIA, 2005)。塗層柔軟的坡面是非結構性的，而柔性或硬的邊坡可以是結構的或非結構的。結構塗層的坡面可以通過將載荷從土釘頭之間的自由表面轉移到土釘和土釘之間的力的再分佈來增強土釘系統的穩定性。最常見的類型的軟面是植被覆蓋，通常與侵蝕控制墊和鋼絲網相關聯。一些專有產品的柔性面具是可用的。硬面包括噴塗混凝土，鋼筋混凝土和石頭鋪石。結構樑和格柵也可以架構在坡面上，將土釘頭連在一起，以促進土釘系統的整體作用。

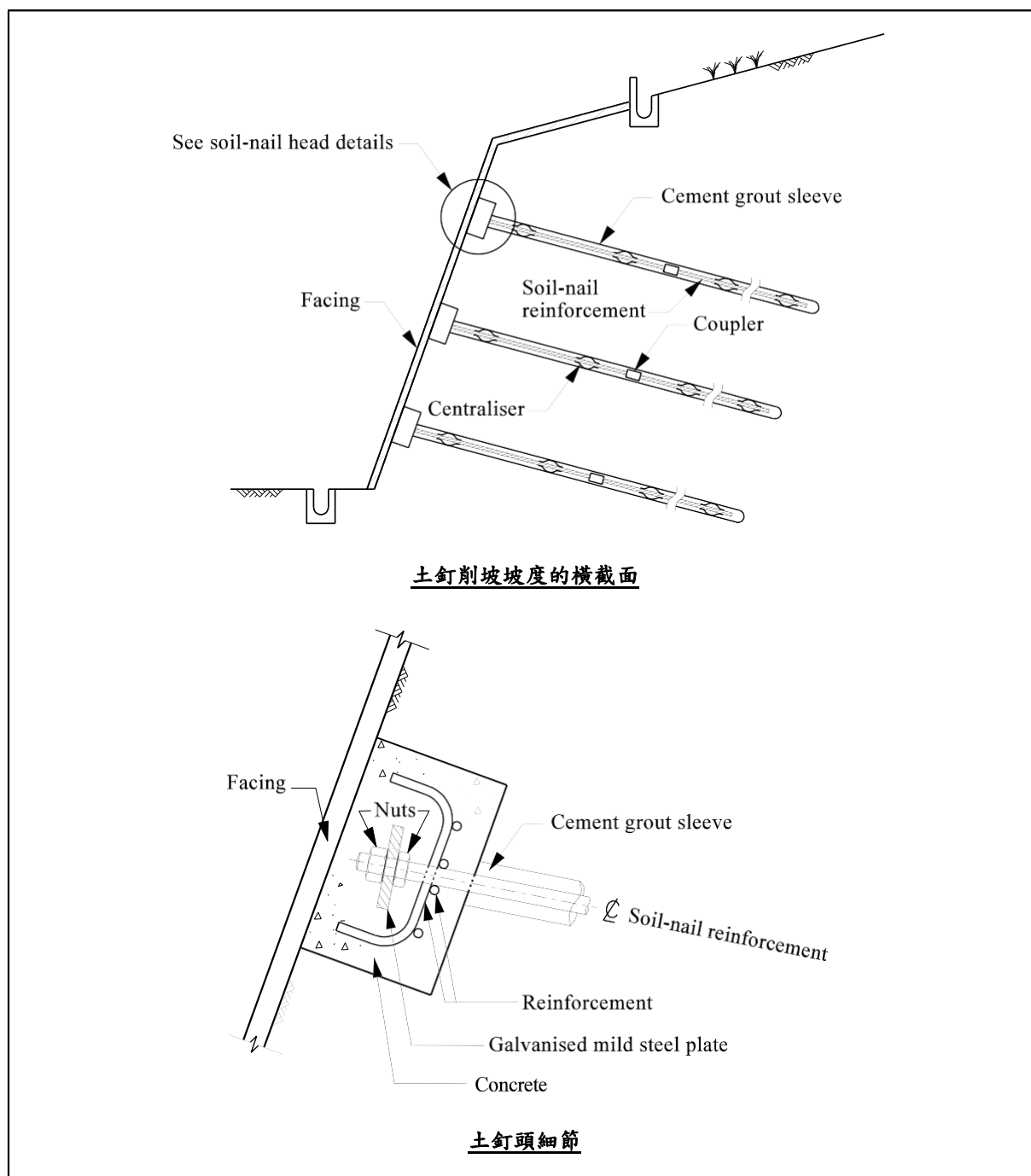


圖 2.1 土釘削坡示意圖

## 2.5 優點暨限制

土釘技術提供常規削坡和擋土牆施工技術另一種設計替代方案。以下是在施工成本等狀況下採用土釘技術之優點：

- (a) 因為土釘安裝所需的施工工程很小且移動範圍有限，所以適用於狹窄之場地。
- (b) 通過調整土釘的位置和長度以適應現場條件，可以輕鬆應對施工過程中遇到的場地限制和地面條件變化。
- (c) 在施工時，它能減少和擋土牆施工對環境的影響較小，因為不需要大型土方工程和砍伐樹木。
- (d) 相對一般削坡和擋土牆施工，它可節省時間和成本
- (e) 對未檢測到的不利地質特徵較不敏感，因此比不支持的削坡更為堅固可靠。此外，由於存在大量的土釘，因此相對無支撐的削坡或錨定邊坡更為適合。
- (f) 土釘系統的破壞模式是韌性的，因此能夠在失效前提供警告標誌。

土釘技術主要限制如下：

- (a) 公用設施、地下結構或其他埋藏的障礙物等，對土釘的長度和佈局構成造成限制。
- (b) 土釘所佔據的區域已被消毒破壞，且對現有場地發展構成之限制。
- (c) 必須從相鄰土地的業主獲得在土地邊界之外安裝土釘的許可。這對土釘的佈局造成了限制。
- (d) 地下水位高可能導致鑽孔和灌漿施工困難，以及在土釘挖掘的情況下坡面不穩定問題。
- (e) 土釘的有效性可能會因過度大的山體滑坡而受到影響。
- (f) 由於潛在泥漿洩漏問題及滲透性地面等問題，如具有許多鵝卵石、巨石、高度斷裂的岩石、開放接縫或空隙的地面等因素導致施工上的困難。
- (g) 高含量粉碎的地面可能會導致地面和土釘之間的蠕變之問題。
- (h) 長土釘安裝上困難，因此土釘技術可能不適合深層滑坡和陡峭坡度。

- (i) 由於土釘不預設應力，土釘動力的變動將伴隨地面變形。可能必須考慮對附近建築物，設施或服務的影響，特別是在土釘挖掘的情況下。
- (j) 土釘在穩定局部陡坡剖面，背陡，懸垂或侵蝕潛力高的地區無效。在土釘裝置之前，應考慮適當的措施，如局部修整。

以上列舉土釘技術之優缺點並不詳盡。工程設計師應在期權評估中進行適當的工程判斷，以選擇最佳設計解決方案。

### 3. 土釘系統原理

#### 3.1 總

本章概述了土釘系統的原理，並突顯可能影響系統行為的關鍵因素。

#### 3.2 土釘系統歸類

若土釘系統的表面是垂直的，則將土釘固定的系統視為土釘固定的牆體，並且其被設計成作為結構構件來執行，由於其自重而向地面提供保持作用，彎曲強度或剛度。例如：若土釘安裝在鋼筋混凝土或懸臂式擋土牆，其系統被認為土釘擋土牆。相反的，若面對主要是表面保護或單個土釘之間的連接（如噴塗混凝土面）的功能，則該系統應被視為土釘的邊坡。此外，在本文件中，如果承載瞬時或持續載荷的挖掘中的鋼筋被設計為執行土釘，則將土釘系統視為土釘挖掘。

#### 3.3 土釘系統基本機制

土釘系統改善邊坡穩定度、擋土牆以及開挖等現況。主要通過土釘和地面之間的摩擦相互作用以及由土釘頭提供的反作用力在土釘中產生張力。土釘中的拉力通過直接支撐一些施加的剪切載荷並通過增加潛在破壞面上的土壤中的正應力來增強地面，從而允許更高的剪切抗力被啟動。土釘頭和表面需通過限制地面變形接近正常的坡面來提供約束效應。因此，土釘頭後面土壤的平均有效應力和剪切阻力將會增加。它們還有助於防止坡面附近的局部破壞，並通過土釘之間的力分配來促進加固土體的整體作用。土釘的拉拔失效的抵抗力由埋在潛在破壞面後面的地面的土釘部分提供。土釘系統的內部穩定性通常使用兩區模型（即活動區域和被動區域（或抗性區域））進行評估，這兩個區域模型由潛在的破壞面分離。活動區域是潛在破壞面前方的區域，其具有從土釘系統脫離的傾向。被動區域是潛在故障表面後面的區域，其中保持多或少完好無損。土釘用於將活動區域綁定到被動區域。

工程設計人員應注意，雙區域配置只是極限平衡分析的簡化模型，其中不考慮土釘系統的變形。實際上，在土壤邊坡中，除非失效是由破壞面不明顯的聯合設置所決定的，否則通常會有剪切變形的剪切區域。土釘與地面相互作用是複雜的，土釘中的力量受到許多因素的影響。這些因素包括土釘的力學性能（即拉伸強度，剪切強度和彎曲能力），土釘的傾斜和方向，地面的剪切強度，土釘和地面的相對剛度，土釘與地面之間的摩擦，土釘頭的大小以及坡面的性質。

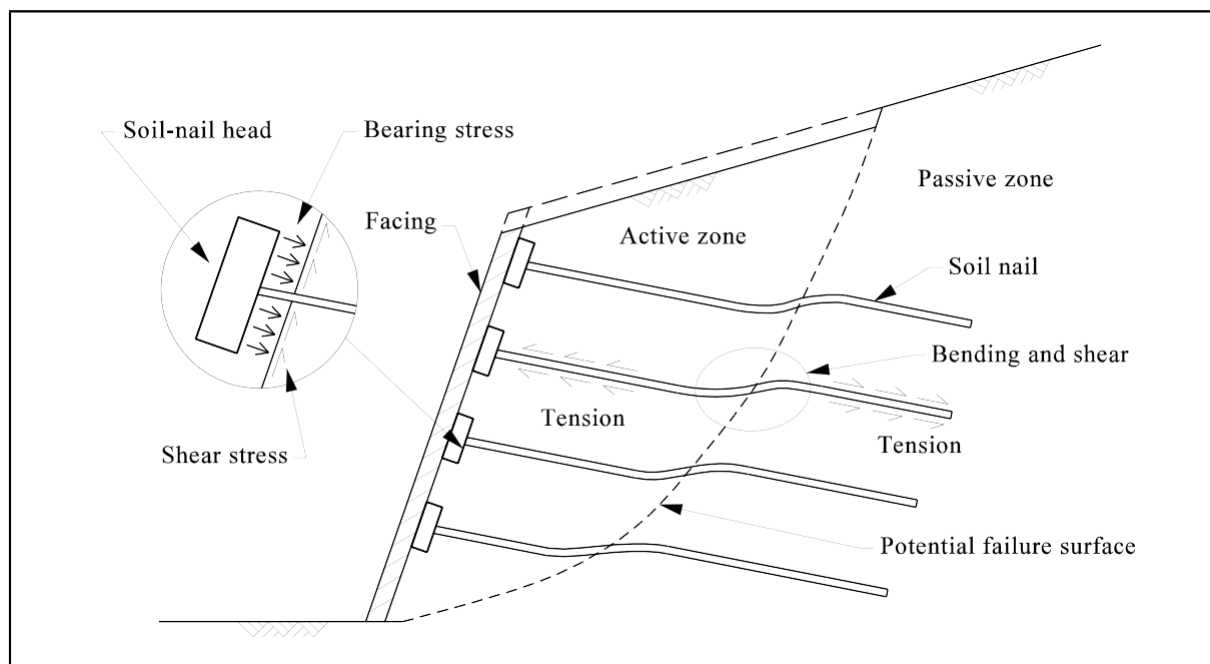


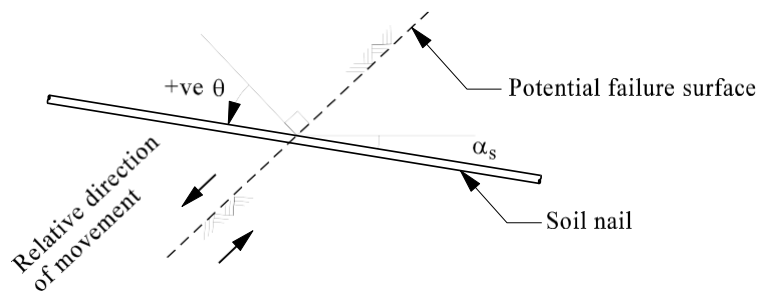
圖 3.1 土釘系統模式

### 3.4 土釘地面互動

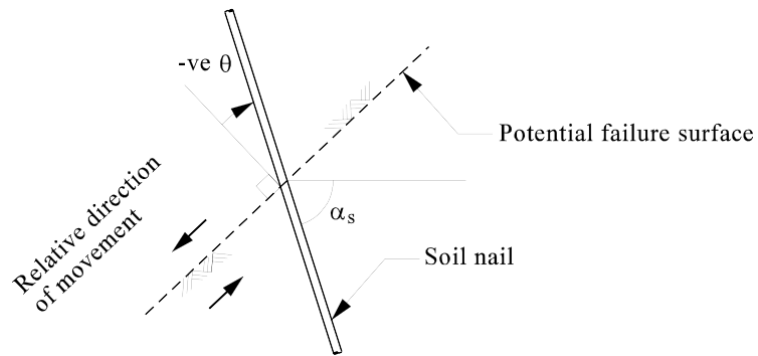
在活動區域，地面，土釘，土釘頭和邊坡之間的相互作用，在土釘中形成力。土釘 - 地面相互作用有兩個基本機制，即 (i) 土釘磨擦摩擦導致土釘中軸向張力或壓縮的發展，(ii) 土釘和釘子上的土體承受應力 土釘指向側面的地面摩擦導致土釘中剪切和彎矩的發展。

若土釘指向接近土體最大拉伸應變的方向，則土釘中的作用主要是拉伸力，這是通過土釘磨擦機制發展出來的。通過土體承載應力的機理以及土釘側面的土釘磨擦摩擦力，在土釘中發展剪力和彎矩。在均勻和各向同性的土體中，在使用荷載條件下，土釘的剪切應力和彎曲力矩的動員很小 (Jewell & Pedley, 1992)。相比之下，如果土釘在土體壓應變方向上對齊，土釘中會產生壓縮力。這可能導致潛在破壞面土壤中的正常應力降低，這降低了加固土體的抗剪切能力。如果土釘在零軸向應變的方向上對齊，則只能進行剪切和彎曲。然而，由於土釘的尺寸相對較細，這些增強作用受到小彎曲強度的限制，通常可以忽略不計 (Jewell & Pedley, 1992; FHWA, 1998)。

上述原則解釋了土釘傾向對土釘中動力的影響。一般來說，如圖 3.2 所示，土釘在動力拉力中的有效性隨著土釘傾斜度的增加而減小。對於土釘指向水平方向傾斜的大多數土壤，調動土釘的全部抗彎曲和抗剪切力所需的最小變形量大於動員全拉伸強度所需的最小變形量，因此，土釘的主要作用處於緊張狀態 (Clouterre, 1991; FHWA, 1998)。如果土釘指尖傾斜，土釘的效果將會因為一些土釘而受到壓縮而顯著降低。因此，應謹慎使用陡傾斜的土釘。圖 3.3 顯示了鋼筋定向對加筋土剪切強度的影響。



**(a) Mobilisation of Tensile Force in a Soil Nail**



**(b) Mobilisation of Compressive Force in a Soil Nail**

Legend:

- $\alpha_s$  Inclination of soil nail to the horizontal
- $\theta$  Orientation of soil nail with respect to the potential failure surface

**圖 3.2 土釘動力傾向效果**

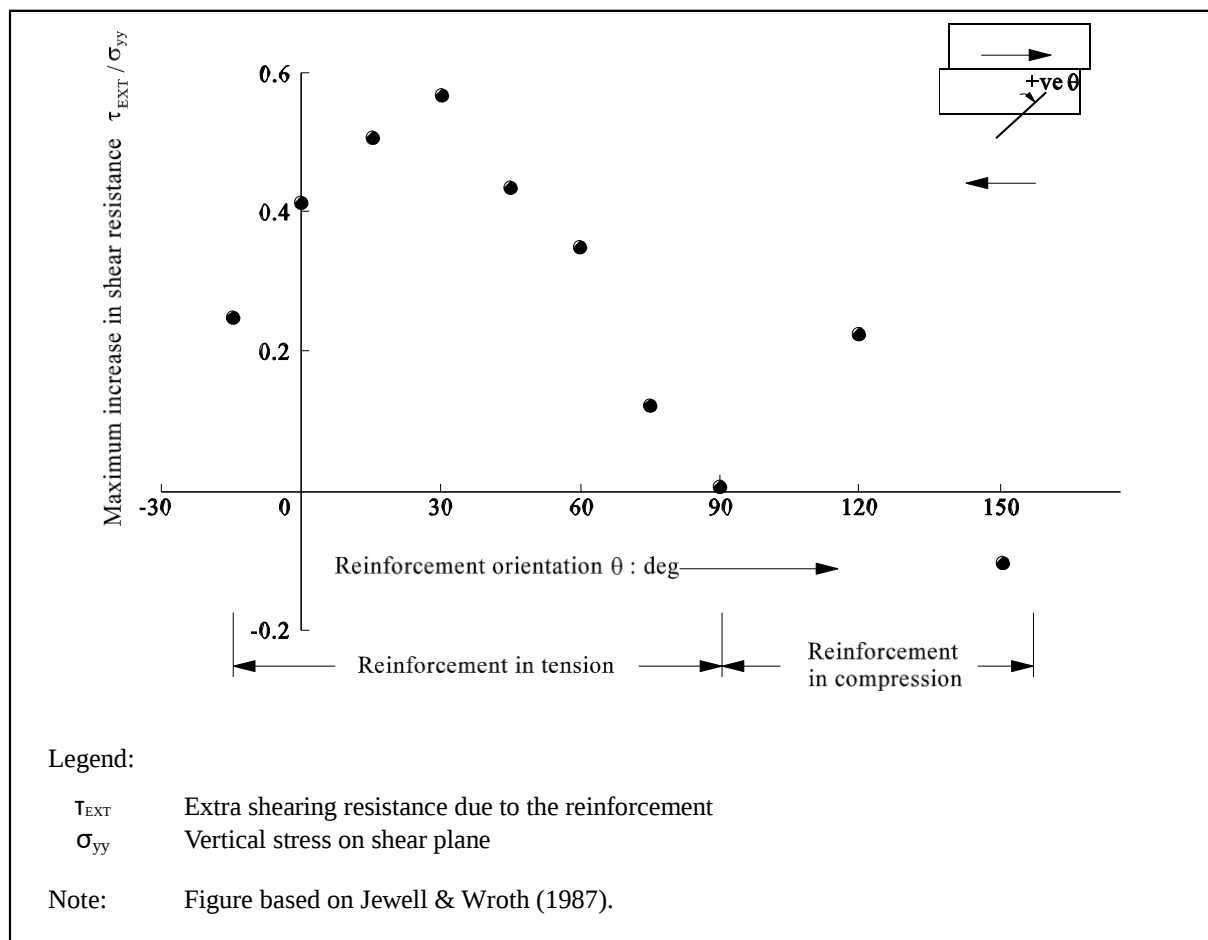


圖 3.3 加固方向對增強土體剪切強度的影響

響應於活動區域的地面變形，在土釘頭下面的土壤中產生出壓縮和剪切應變（圖 3.1）。如果所得的應變接近於與土釘頭基部垂直的方向，則頭 - 地相互作用主要以軸承機構的形式。然而，如果所得到的應變在與土釘頭的基部的法線明顯偏離的方向上，則頭 - 地相互作用將是軸承和滑動機構的組合。在這種情況下，土釘頭在土釘中動員張力的有效性將會降低。

土釘和土釘頭/面向一起作用將活動區域綁定到被動區域。土釘頭和地面之間的相互作用，特別是軸承機構，在土釘的頭部產生拉伸載荷。土釘頭的拉伸載荷被土釘加固所吸收。土釘中的拉力隨著土釘頭的大小或面層的覆蓋面增加而增加。

潛在故障表面後面的被動區域包含具有足夠連結長度的土釘的遠端，以防止土釘被拉出。當活動區域發生地面變形時，被動區域的土釘引起拔出力（圖 3.1）。通過地面和水泥灌漿套之間以及水泥灌漿套和土釘加固件之間的連結應力動員，拉拔力在土釘加強筋與地面之間傳遞。在土釘中可以發展的力受到地面和水泥灌漿套之間以及水泥灌漿套和土釘加固之間的連結應力的限制。

理論上，水泥灌漿套和地面之間的粘合強度取決於水泥灌漿套和地面之間的接觸應力和界面摩擦係數。鑽孔過程顯著降低了鑽孔周長處的徑向應力。實際上，通常在香港打擊鑽孔形成的鑽孔面是相當不規則和粗糙的。除了摩擦之外，水泥灌漿套和地面之間的機械互鎖貢獻了很大一部分的粘結強度。在土釘拔出後，圍繞土釘的有限區域內可能會發生剪切。如果土壤是膨脹的，土壤膨脹的抑制作用將發揮。這樣做的

效果是顯著的，並且可能導致土釘和地面之間的高摩擦。

水泥灌漿套管與土釘之間的連結應力分佈不均勻。圖 3.4 給出了土釘的最大拉力位置和邊坡的潛在破壞面的示意分佈圖。土釘中的最大張力點接近，但不是必須發生在最大土剪切應變點，即邊坡的潛在破壞面（FHWA，2003）。

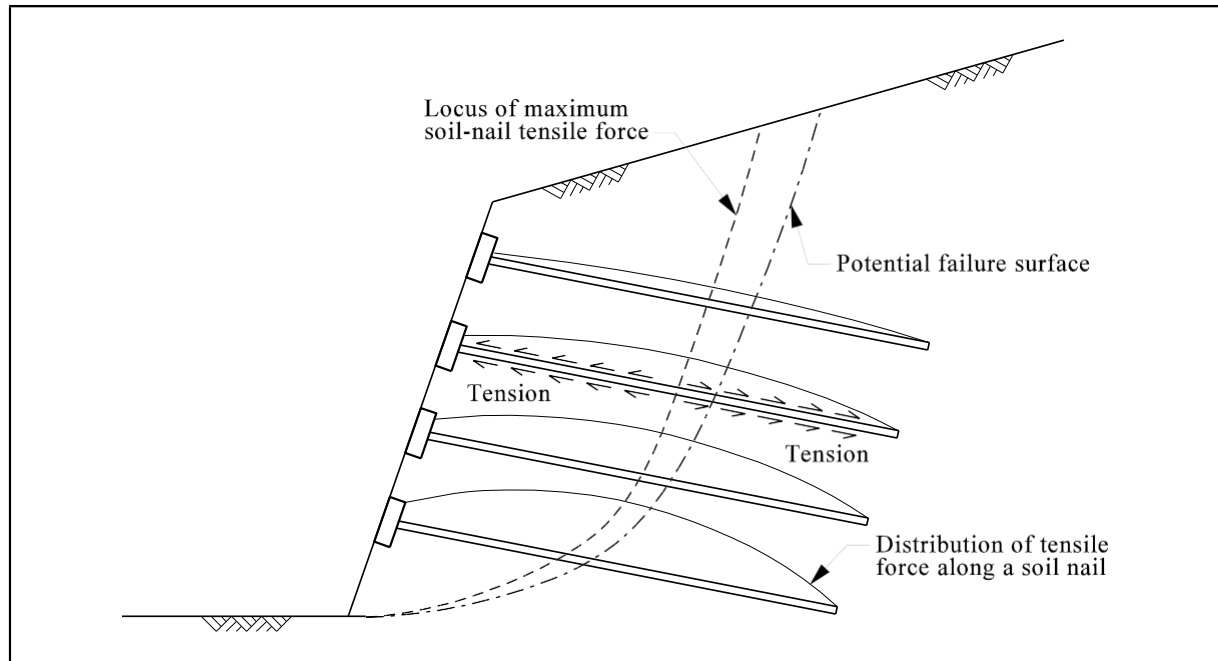


圖 3.4 土釘拉力分布示意圖

工程設計人員應考慮土釘子與地面之間在土釘系統設計中的相互作用。由於土釘 - 地面相互作用受到包括剛度，延展性和強度在內的土釘機械性能的影響，使用鋼土釘的經驗可能不適用於使用其他類型的鋼筋材料。

## 4. 現場調查暨測試

### 4.1 總

土釘系統的現場調查和測試與未加固邊坡的現場調查和測試類似，通常通過（i）台面研究，（ii）現場偵察，（iii）收集現場數據，包括地面調查和實驗室檢測，以及（iv）施工期間的後續調查和設計審查。土力指南 2：現場調查指南（GCO，1987）給出了現場調查規劃和地面調查執行情況的一般指導。土力指南 3：岩石與土壤指導指南”（GCO，1988）提供了有關工程用岩石和土壤描述的指導意見。土力規範 3：土壤測試模型規範（GEO，2001）給出了土壤實驗室測試指導。還應參考“高速公路邊坡手冊”（GEO，2000a），了解公路邊坡現場調查指導，以及出版號：1/2007：香港工程地質實踐（GEO，2007a），指導工程地質應當尋求專業的工程地質專業知識。本章對土釘的可建性和耐久性進行現場調查和試驗的具體指導

### 4.2 土釘可建性

在設計土釘時，設計人員應適當考慮到土釘的可建性，確保設計實用，可建造。

土釘的可建性在很大程度上受地面和地下水條件的限制。一些地面條件更可能呈現土釘構造的問題。例如，如果地質條件包括在基質中具有相對低的淤泥/粘土含量高滲透的粗材料，並且中等到高的石磚間孔隙度，或有地質結構的出現，這使得能夠增強流體通流。以下地質條件容易在土釘安裝期間發生過度的灌漿洩漏之狀況：

- (a) 填充，含有很大比例的粗材料，如：圓石、小石、礫石和砂，
- (b) 較高比例的粗物質的積雪和河床沉積物
- (c) 可通過多孔和可滲透材料部分填充的侵蝕管道，
- (d) 礦床內、礦藏和礦物材料之間的物質邊界，以及岩心岩石中，特別是岩心、斷層和剪切帶等邊界，以及其他不連續性（如水熱交替區等）。
- (e) 滑坡疤痕、張力裂縫等與邊坡變形有關的特徵，因為這些可能包括運輸和內部材料內的空洞
- (f) 與邊坡相交的排水管線，其中可能存在沖積物，可能會形成侵蝕管道，並且也可能發生優選的滲流位置/水平面所指示的地下水通流。

洩漏的水泥漿可能滲透到地面上的空隙中，並阻止土釘系統附近的地下水。應收集關於地面和地下水條件的足夠信息，以評估土釘系統的可建性。該信息還為製定土釘系統設計的模型提供了基礎。有關製定適當設計模型和設計地下水條件的指導見第 5.3.3 節。如果擔心由於土釘造成地下水的堵塞，應在適當的位置安裝壓力計，並進

行相當長的時間監測以確定防滲效果。

一般超過 20 米的長土釘鑽地層水位較高，局部薄弱地質帶和地層等不利地質特徵較高，水力傳導性較強的堤壩。這可能導致施工問題，例如沿鑽孔的土壤或岩石碎屑的塌陷以及大量的泥漿洩漏，且影響土釘的質量。對於建議長距離或密切間隔的土釘，或地下或地下水條件可能對土釘構造有害的情況，設計人員應考慮對建築性進行評估，並確定土釘裝置對現有地面的影響，地下水條件。這可能包括進行土釘工程之前的現場試驗。通過適當定位試驗土釘，現場試驗可以提供有潛在施工問題的信息，如潛在的過度灌漿洩漏，疏鬆材料易發生洞塌陷和地下水位高等問題。該信息對於評估土釘工程的可塑性非常重要。它還允許更好的設計工作土釘，並規劃適當的措施來克服可能的現場問題。試驗詳細信息，包括其位置、潛在問題和應急措施，若試驗土釘失敗，應納入設計人員的合同要求。

現場拉拔測試可以作為現場試驗的一部分進行，以提供有關拉出阻力的早期信息。拔出試驗的細節見 6.3.2 節。如果在地面考察中進行拉拔試驗，則可能會適當減少施工期間進行的拔出試驗次數。但是，施工階段不能完全取代拔出試驗，後者也是對施工單位的充分性和部署特定建築工程的勞動技能的考察。

要了解現場地質和水文地質之條件，需以評估土釘的可建性。現場調查工作應充分詳細說明，確定土釘工程的可建性，並獲取設計資料。它不應局限於要安裝土釘的地面；還要研究土釘系統附近的土體質量，這將影響所建議的土釘系統的整體穩定性和變形。

### 4.3 土釘耐力性

#### 4.3.1 總

鋼筋的腐蝕降低了土釘系統的耐久性。不同的地面條件對土釘造成不同程度的腐蝕潛力。了解現場土壤的侵蝕性是很重要的，以便為土釘提供適當的防腐措施。土壤的侵蝕性可以在很大範圍內變化，因為土壤組成和性質各異，以及其他環境因素。

鋼土釘之腐蝕速率受土釘土體的物理化學特性的影響。物理特性是控制土壤滲透通過空氣和水的物理特性。細粒土壤，即淤泥和粘土，比粗顆粒土壤，即砂子和礫石，其中空氣的循環更大，保水能力更小，可能更具腐蝕性。化學特性是確定土壤作為局部腐蝕細胞發展的電解質的能力的化學特性。它們包括鹼度、酸度、氧濃度和溶解鹽以及有機物和細菌含量。

#### 4.3.2 土壤侵蝕

該地點之土壤若遇到以下狀況，應被視為具侵略性之土壤：

- (a) 現場已經或很可能受到舊城市發展（如村屋及寮屋）所排放出之污水排放影響、污水處理系統（如化糞池及浸水坑）、工業設施（如加油站和化工廠），牲畜設施（如動物農場、屠宰場）或耕地等；
- (b) 現場顯示附近水運輸服務（如鹽水、淡水和下水道）等滲水（滲漏）跡象；

(c) 現場鄰近變電站、電氣化軌道系統和電車軌道系統等雜散電流源。

該地點之土壤若遇到以下狀況，應被視為非侵略性之土壤：

- (a) 該場地未曾並且不太可能受到發展或水運輸服務的流體洩漏或排放的影響，例如場地的上坡是純粹的自然地形；
- (b) 該場地沒有滲漏跡像或高地下水位，可能會使腐蝕劑遠離土釘。

或者該地點之土壤若遇到以下狀況，應被視為具有潛力侵略性之土壤。範例如下：

- (a) 有潛在受到發展、公路、垃圾掩埋場、污水處理廠、工廠、水上運輸服務等洩漏或排放流體影響的場；
- (b) 顯示不斷滲漏或高地下水位的場址，其來源不明確。

#### 4.3.3 土壤侵蝕性評估

通過實驗室物理和化學測試，現場記錄審查和現場觀察，對土壤侵蝕進行了詳細的評估。評估基於 Eyre & Lewis (1987) 開發的標記系統，並根據當地情況進行了修改。在該系統中，土壤侵蝕性分為四類，如表 4.1 所示。分類是根據表 4.2 給出的土壤侵蝕性評估方案確定的總標記。

表 4.1 土壤侵蝕分類

| 土壤侵蝕分類 | 總評分標準       |
|--------|-------------|
| 非侵蝕    | $\geq 0$    |
| 輕度侵蝕   | - 1 至 - 4   |
| 侵蝕     | - 5 至 - 10  |
| 高度侵蝕   | $\leq - 11$ |

表 4.2 土壤侵蝕評估方案

| 屬性           | 測量值                                                                                                                                                 | 分數                              | 測試方式                                                                           |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 複合式土壤        | Fraction passing 63 $\mu\text{m}$ sieve $\leq 10\%$                                                                                                 | 2                               | Geospec 3<br>Test Methods<br>6.1, 8.1, 8.2, 8.5,<br>8.6 and 9.1<br>(GEO, 2001) |
|              | PI of fraction passing 425 $\mu\text{m}$ sieve $< 2$ , and<br>Organic content $< 1.0\%$                                                             |                                 |                                                                                |
|              | 10 % < Fraction passing 63 $\mu\text{m}$ sieve $\leq 75\%$ , and                                                                                    |                                 |                                                                                |
|              | Fraction passing 2 $\mu\text{m}$ sieve $\leq 10\%$ , and<br>PI of fraction passing 425 $\mu\text{m}$ sieve $< 6$ , and<br>Organic content $< 1.0\%$ | 0                               |                                                                                |
|              | Any grading, and<br>PI of fraction passing 425 $\mu\text{m}$ sieve $< 15$ , and<br>Organic content $< 1.0\%$                                        | - 2                             |                                                                                |
|              | Any grading, and                                                                                                                                    |                                 |                                                                                |
|              | PI of fraction passing 425 $\mu\text{m}$ sieve $\geq 15$ and<br>Organic content $< 1.0\%$                                                           | - 4                             |                                                                                |
|              | Any grading, and<br>Organic content $\geq 1.0\%$                                                                                                    | - 4                             |                                                                                |
| 抵抗力 (ohm-cm) | $\geq 10,000$                                                                                                                                       | 0                               | BS 1377: Part 3:<br>1990, Test 10.4<br>(BSI, 1990)                             |
|              | $< 10,000$ but $\geq 3,000$                                                                                                                         | - 1                             |                                                                                |
|              | $< 3,000$ but $\geq 1,000$                                                                                                                          | - 2                             |                                                                                |
|              | $< 1,000$ but $\geq 100$                                                                                                                            | - 3                             |                                                                                |
|              | $< 100$                                                                                                                                             | - 4                             |                                                                                |
| 水分含量         | $\leq 20\%$                                                                                                                                         | 0                               | Geospec 3<br>Test Method 5.2<br>(GEO, 2001)                                    |
|              | $> 20\%$                                                                                                                                            | - 1                             |                                                                                |
| 地下水位         | Above groundwater level and no periodic flow or seepage                                                                                             | 1                               | -                                                                              |
|              | Local zones with periodic flow or seepage                                                                                                           | - 1                             |                                                                                |
|              | At groundwater level or in zones with constant flow or seepage                                                                                      | - 4                             |                                                                                |
| pH           | 6 $\leq$ pH $\leq$ 9<br>5 $\leq$ pH $<$ 6<br>4 $\leq$ pH $<$ 5 or 10 $\geq$ pH $>$ 9<br>pH $<$ 4 or pH $>$ 10                                       | 0<br>- 1<br>- 2<br>(See Note 1) | Geospec 3<br>Test Method 9.5<br>(GEO, 2001)                                    |
| 可溶性硫酸鹽 (ppm) | $\leq 200$<br>$> 200$ but $\leq 500$<br>$> 500$ but $\leq 1,000$<br>$> 1,000$                                                                       | 0<br>- 1<br>- 2<br>- 3          | Geospec 3<br>Test Method 9.3<br>(GEO, 2001)                                    |
| 地面           | None<br>Exist                                                                                                                                       | 0<br>- 4                        | -                                                                              |
| 氯離子          | $\leq 100$<br>$> 100$ but $\leq 300$<br>$> 300$ but $\leq 500$<br>$> 500$                                                                           | 0<br>- 1<br>- 2<br>- 4          | Geospec 3<br>Test Method 9.4<br>(GEO, 2001)                                    |

備註： (1) 若 pH 值小於 4 或大於 10，不管其他測試項目的結果如何，土壤應分類為侵蝕性的。  
(2) 水溶性硫酸鹽為  $\text{SO}_3$ 。  
(3) “製造地”是指與高腐蝕速率相關的人造地面非工程填補垃圾和有機物質

極酸性或強鹼性之土壤通常導致高的鋼腐蝕速率。因此，如果發現土壤樣品的 pH 值小於 4 或大於 10，則不考慮其他試驗項目的結果，土壤應分類為“侵蝕性”。

第 5.5 節給出了安裝在不同侵蝕性土壤中的土釘的防腐措施指引。

## 5. 土釘系統設計

### 5.1 總

本章提供了使用無預應力鑽孔和灌漿方法安裝的固體高產變形鋼筋形式的土釘設計指導。第 5.2 至 5.5, 5.10 和 5.11 節的一般指導適用於任何類型的土釘系統。第 5.6 節至第 5.8 節分別給出了在沒有連續地面變形跡象的土釘邊坡，擋土牆和填充邊坡上承載臨時載荷的土釘的設計具體指導。在這種情況下，土釘系統絕大多數時間都不依賴於土釘。瞬時負荷的一個例子是由於大量降雨後地下水位高而造成的水力。關於設計承載持續載荷的土釘的其他指導方針和其他具體情況，請參見第 5.12 節。

### 5.2 設計考量

在施工期間和整個設計壽命期間，都需要一個土釘系統來滿足穩定性，適用性和耐久性的基本要求。其他問題，如成本和環境影響也是重要的設計考慮。

- (1) 穩定性：應評估土釘系統在整個設計壽命期間的穩定性。其性能不應超過在地面或土釘系統中形成故障機制的狀態，或者土釘系統的運動可能導致其結構元件或附近結構，設施或服務的嚴重損壞。土釘系統的設計應確保對所有潛在的故障模式都有足夠的安全保障。關於穩定性設計的指導見 5.3 節。
- (2) 服務性：土釘系統的表現不應超過系統運動影響其外觀或有效利用依靠它的附近建築物，設施或服務的狀態。與土釘系統相關的潛在適用性問題包括過度的地面變形，以及坡面和排水系統的惡化。有關可用性設計的指導見 5.4 節。
- (3) 持久性：應在設計階段對環境條件進行調查，以評估其與土釘的耐久性有關的意義。應對土釘進行適當的措施，使其在整個設計壽命期間能夠保持足夠的土釘系統的安全裕度。鋼土釘系統的耐久性主要由不同土壤侵蝕性下的耐腐蝕性決定。關於防腐措施設計的指導見 5.5 節。
- (4) 經濟考量：土釘系統的施工成本取決於材料成本、施工方法、臨時工作要求、可建性、防腐要求、土釘佈置、面型等。土釘可建性的一般指導見第 4.2 節。
- (5) 環境考量：土釘系統的建設可能會擾亂地面生態系統，造成施工過程中的滋擾和污染，對現有環境造成視覺衝擊。應盡量減少對環境的不利影響。例如成熟的樹木和自然地形應盡可能保持和保護，以維持生態系統。應提供適當的污染控制措施，如鑽孔時在鑽孔口提供噴水和除塵器，篩選工作平台，並在敏感接收區域安裝隔音屏障。還應對 5.11 節中討論的適當的美學和景觀處理進行減小視覺效果。

### 5.3 穩定性設計

#### 5.3.1 總

針對不穩定性應設計一種土釘系統。第 5.3.2 節討論了潛在的故障模式。第 5.3.3 節列出了製定地下水模型的建議方法。第 5.3.4 節討論了評估土釘系統穩定性的分析方法。兩種不同的方法，即基於計算的分析方法和基於經驗的規定性方法，通常用於香港土釘的設計。基於分析方法的推薦設計程序見 5.6 至 5.8 節。有關規範設計的指導見 5.9 節。

### 5.3.2 破壞模式

設計人員應進行工程判斷，以確定特定地下和地下水條件下所有潛在的失效方式，以及土釘系統的類型。至少在圖 5.1 和 5.2 中所示的故障模式應在土釘系統的設計中考慮。

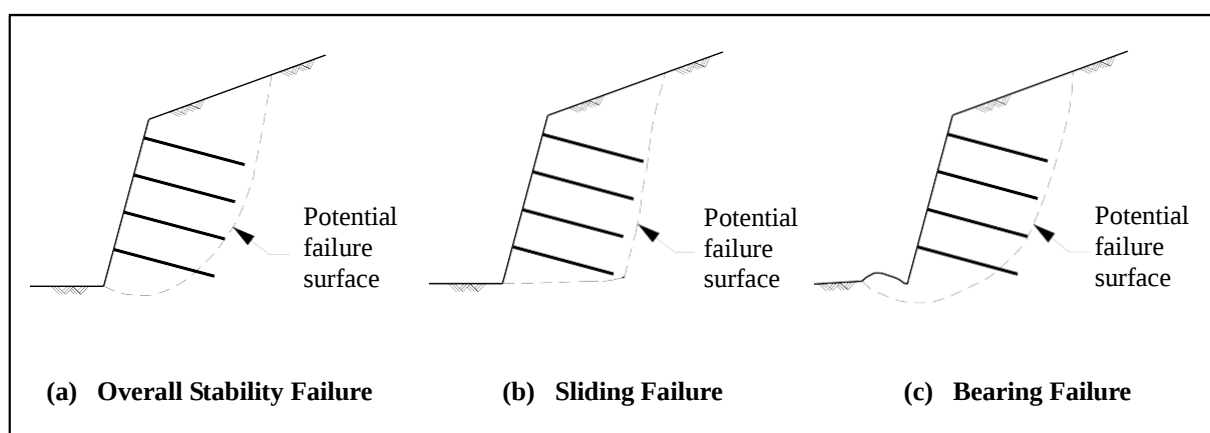


圖 5.1 土釘系統潛在外部破壞模式

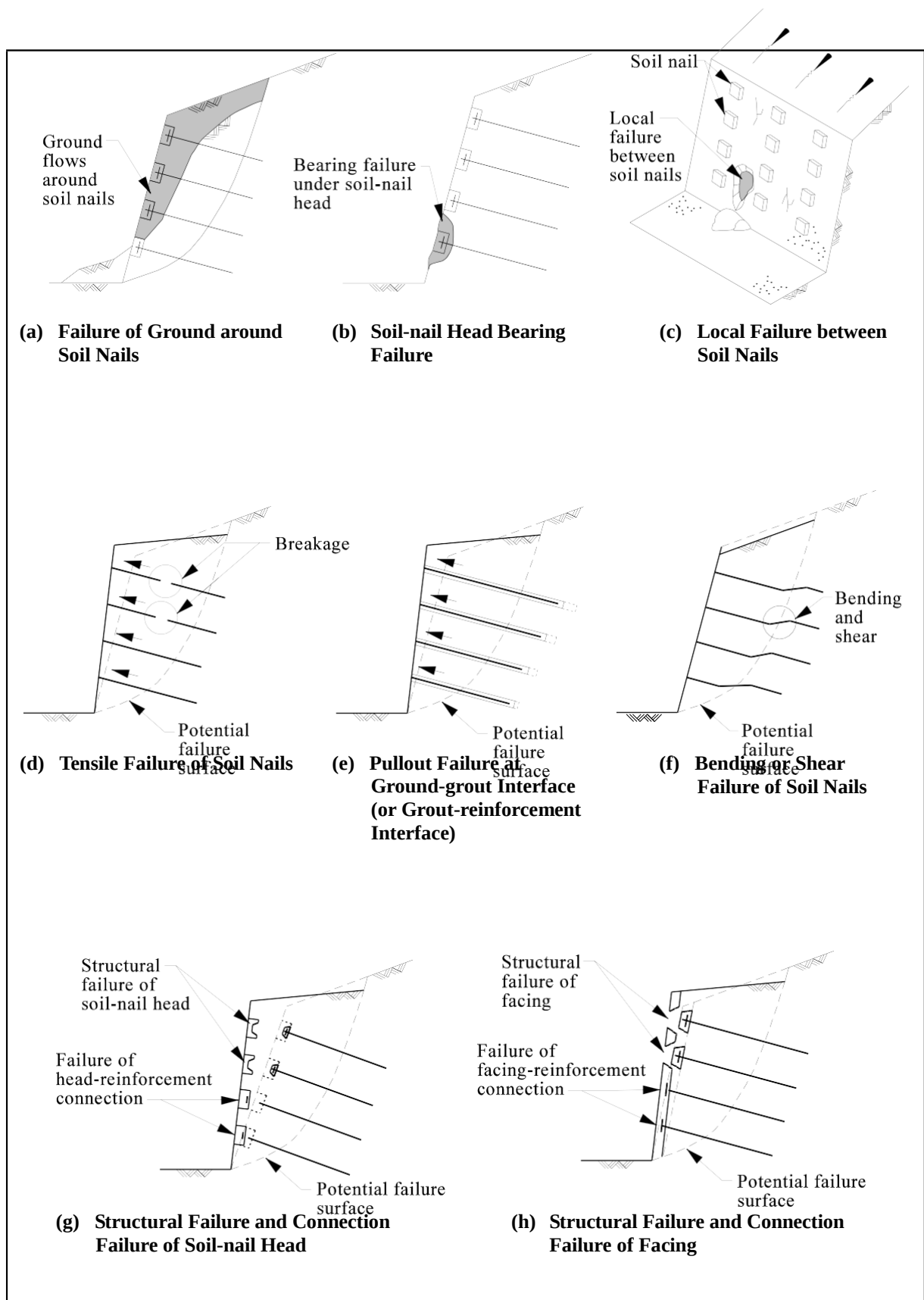


圖 5.2 土釘系統潛在內部破壞模式

- (1) 外部故障：外部故障是指在土釘固定的地塊之外潛在破壞面的發展。故障可以是滑動，旋轉，軸承或其他形式的整體穩定性損失的形式。
- (2) 內部故障：內部故障是指土釘打入的地塊內的失效且內部故障可能發生在活動區域，被動區域或土釘系統的兩個區域中。

在活動區域中，內部故障模式包括：

- (a) 地面質量的破壞，即地面在土釘和土釘頭周圍分解和“流動”
- (b) 土釘頭下方的軸承失效，
- (c) 土釘因張力、剪切和彎曲等綜合作影響下而造成結構破壞
- (d) 土釘頭或面部的結構破壞，如彎曲或沖壓剪切破壞，或在頭部加強或面對加強連接處的失效
- (e) 釘頭之間的表面破壞，如沖洗、侵蝕或局部滑動失效

在被動區域，應考慮地面灌漿界面或灌漿加固界面的拉拔失效。

### 5.3.3 模型

地面條件的異質性使得適當設計模型的製定和設計地下水條件成為一項艱鉅的任務。在施工期間，對地表和地下水模型進行穩定性評估和設計驗證的地面調查和製定應有足夠的工程地質意義。模型的開發應因各種條件如下：

- (a) 需考慮地下水潛在變化之條件
- (b) 確認現場調查需求
- (c) 了解地下水之狀況且提供相對應的設計基礎建議

為確保工程地質投入的充分性，應採用“地質”，“地面”和“設計”模式之三步驟。一個地質模型用於表徵重點放在地質，地貌和水文地質特徵以及與工程項目相關的特徵的地點。

地面模型建立在地質模型的基礎上，整合了設計中需要考慮的工程參數和地面條件。它通過定義和表徵具有相似工程性質的地面體來精進地質模型，並確定可能發生岩土工程變化的邊界。另一方面，設計模式主要關注評估地面對建議作品的反應，反之亦然，用於岩土工程評估或工程設計。經驗、規範和定量設計的設計模型取決於工程應用，經驗/規範模型中的保守程度和岩土風險水平。

應參考“土力指南”第 1/2007 號之“香港土力工程工法”(GEO, 2007a)，且進一步指導建立適合的模型和工程地質投入。若地下水狀況受環境條件變化的影響，如當硬坡面覆蓋物被植被覆蓋物更換時，需要特別注意設計地下水條件之評估。若有新信息提示，地面和地下水模型應在整個設計和施工階段進行更新。

#### 5.3.4 穩定性分析方法

各種分析方法可用於評估土釘系統的穩定性。其中大多數是基於切片方法的極限平衡分析。在選擇極限平衡分析方法時，設計人員應考慮該方法是否滿足所有的均衡條件。僅考慮力平衡或力矩平衡的方法給出的計算安全因子可能無法得出正確的結果。因此只要符合以之方法才能進行相關分析 (Shiu et al, 2007)。

在特殊情況下，可能需要進行應力應變分析來評估土釘的設計能力或進行地面變形評估。例如，如果土釘是陡峭的傾斜，可以在土釘中動態的拉力可能遠小於稍傾斜的土釘。在這種情況下，可以使用有限元或有限差分法進行分析。將這種數值分析的結果併入邊坡穩定性評估中有不同的方法，例如強度降低方法，以及 Krahn (2003) 採用極限平衡法耦合數值分析的方法。設計人員應選擇最適合所考慮案件具體目的的方法。

常規土壓理論和力矩平衡考慮的常用計算方法可用於土釘牆擋土牆的穩定性分析。

#### 5.4 維修服務之設計

土釘系統的性能應滿足變形的適用性要求，否則可能導致過度的地面沉降、面臨惡化或破壞表面或地下排水系統。土釘系統的變形由各種因素決定，包括地面剖面、土體剛度、地下水條件、土釘的佈局、坡面以及施工工法等。土釘技術一般用於提高香港土壤邊坡的穩定性。若根據該土力指南設計和構造，這種土釘系統的變形通常較小，並且通常不需要變形分析。

當土釘系統的過度變形引起關注時，應進行變形分析。例如，對於那些通過陡傾斜的土釘或者需要承載持續載荷的土釘來加固的邊坡和擋土牆，可能需要進行變形分析（見第 5.6.3 和 5.12.2 節）。分析應該表明，土釘系統的預期變形在適當考慮到受影響的結構，設施和服務的適用性要求的範圍之內。使用應力應變有限元或有限差分計算機程序或其他合適工具的數值模擬可用於分析。關於變形參數選擇的一般指導可以在土力指南 1：“擋土牆設計說明”(GEO, 1993) 中取得。

#### 5.5 耐用性之設計

土釘系統應足夠耐用，以便承受現有和設想的腐蝕性環境的攻擊，且需具穩定性及適用性。另外，需針對鋼筋提供適當的防腐措施。香港普遍使用的防腐措施可分為三類：

- (a) 一級：Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$  to BS EN ISO 1461: 1999 (BSI, 1999) plus

corrugated plastic sheathing in accordance with the General Specification for Civil Engineering Works (CEDD, 2006a),

- (b) 二級：Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$  to BS EN ISO 1461: 1999 (BSI, 1999) plus a 2 mm sacrificial thickness on the radius of the steel reinforcement, and
- (c) 三級：Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$  to BS EN ISO 1461: 1999 (BSI, 1999).

鋼筋的防腐措施應以土壤侵蝕性以及土釘的裝載狀況和設計壽命為依據。關於土壤侵蝕性分類的指導見 4.3 節。對於承載瞬時載荷的土釘的推薦防腐措施見表 5.1。典型的 1 級防腐措施詳見圖 5.3。

要承受持續負荷的土釘需要更嚴格的防腐措施。第 5.12.2 節給出了設計指導。

表 5.1 瞬態負載土釘侵蝕保護措施建議

| 設計壽命     | 土壤侵蝕性分類 |     |       |      |
|----------|---------|-----|-------|------|
|          | 高度侵蝕性   | 侵蝕性 | 輕度侵蝕性 | 非侵蝕性 |
| 長達 120 年 | 一級      |     | 二級    |      |
| 長達 2 年   | 三級      |     |       |      |

防侵蝕措施：

一級 - Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$  and corrugated plastic sheathing

二級 - Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$  and 2 mm sacrificial thickness on the radius of the steel reinforcement

三級 - Hot-dip galvanising with a minimum zinc coating of  $610 \text{ g/m}^2$

備註： (1) 對於沒有土壤侵蝕性評估的“潛在侵略性”場所，應提供設計壽命超過 2 年的土釘的一級防腐措施。  
(2) 對於設計壽命長達 2 年的土釘子，無需進行土壤侵蝕性評估。

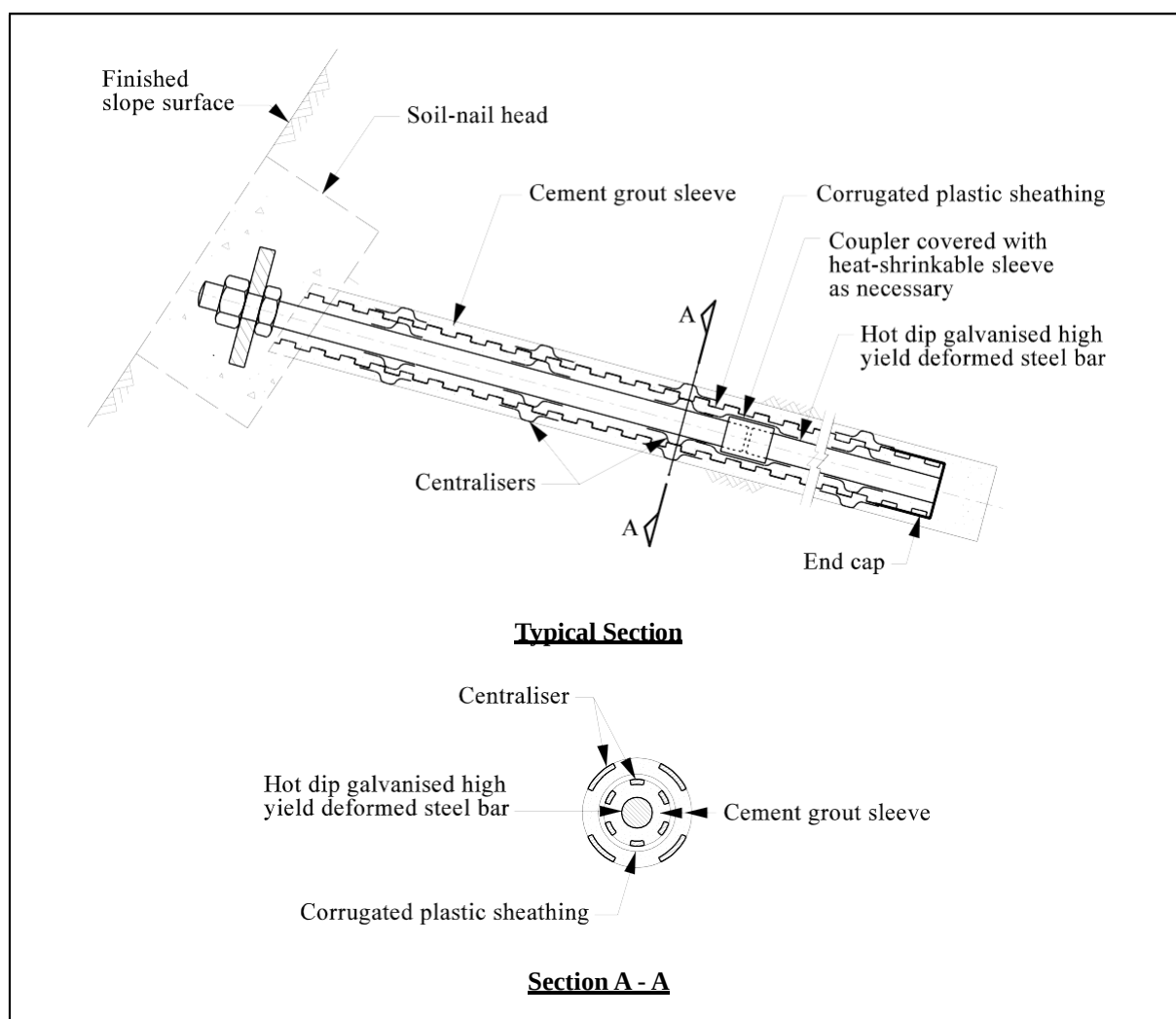


圖 5.3 第一類侵蝕防護措施之典型細節

其他類型的防腐措施可以在適當考慮以下因素的情況下使用，表 5.1 中推薦的防腐措施提供比較好的或更好的防腐強化保護措施。

- (a) 措施需具可靠性和長期之績效
- (b) 灌漿穩固介面對粘結強度之影響
- (c) 經費
- (d) 市場取得性
- (e) 現場品質掌控

## 5.6 土釘削坡之分析

### 5.6.1 總

用於加強新土地和現有邊坡的土釘可以分析設計。應建立適當的地下水模型，並通過 5.3.3 節中討論的詳細現場調查獲得設計參數。第 5.6.2 至 5.6.5 節描述土釘加固、土釘頭和坡面等安全和設計程序之建議要素。

設計地下水條件和基礎荷載應遵循“土力坡度之說明”（GCO，1984）中提出的建議。關於附加費的指導應遵循圖例說明 1：擋土牆設計說明（GEO，1993）之擋土牆施工方法，同時也適用於土釘削坡邊坡的設計。

### 5.6.2 安全因素

土釘系統的可靠性不僅取決於計算的安全係數，還取決於分析方法，地下水和地下水模型的不確定性，假定的岩土參數的代表性和施工品質。應該指出，安全因素無法克服嚴重錯誤和未遵守的規範。

沿著潛在的破壞面，必要的安全性，防止邊坡的破壞，取決於破壞的後果。應考慮到兩種類型的後果，即“生命的後果”和“經濟後果”。這兩個後果分類中不同類別的邊坡破壞案例分別在表 5.2 和 5.3 中給出。對於潛在的破壞面，推薦的安全性最小係數因素是根據“岩土工程手冊”（GCO，1984）提供的非加固邊坡。相關標準請參閱表 5.4 和 5.5。

表 5.2 坡面破壞典型範例 (生命後果類別)

| 範例                                              | 生命後果類別 |     |     |
|-------------------------------------------------|--------|-----|-----|
|                                                 | 分類一    | 分類二 | 分類三 |
| (1) 影響居住建築之破壞情況<br>(如民宅、學校、企業大樓、工業大樓、公車站、地鐵月台等) | ／      |     |     |
| (2) 儲藏危險物品建築之破壞情況                               | ／      |     |     |
| (3) 空地和娛樂場所破壞情況之<br>(如休憩區、遊樂場、停車場等).            |        | ／   |     |
| (4) 交通繁忙區之破壞情況                                  |        | ／   |     |
| (5) 公共等候區之破壞情況(如公車站、加油站等)                       |        | ／   |     |
| (6) 郊區之破壞情況                                     |        |     | ／   |
| (7) 交通繁忙區之破壞情況                                  |        |     | ／   |
| (8) 儲藏非危險物品建築之破壞情況                              |        |     | ／   |

表 5.3 坡面破壞典型範例(經濟後果類別)

| 範例                    | 經濟後果類別 |      |      |
|-----------------------|--------|------|------|
|                       | 分類 A   | 分類 B | 分類 C |
| (1) 影響建築之破壞情況         | ／      |      |      |
| (2) 影響基本服務造成長期損失之破壞情況 | ／      |      |      |
| (3) 農村或城市道路之破壞情況      | ／      |      |      |
| (4) 影響基本服務造成短期損失之破壞情況 |        | ／    |      |
| (5) 影響農村(A) 主要分岔路     |        | ／    |      |
| (6) 影響露天停車場之破壞情況      |        |      | ／    |
| (7) 影響農村(B) 主要區域分岔路   |        |      | ／    |
| (8) 影響國家公園之破壞情況       |        |      | ／    |

表 5.4 因應十年降雨量回歸期土釘削坡破壞建議之最小安全係數

| 經濟後果類別 \ 生命後果類別 | 分類一 | 分類二 | 分類三   |
|-----------------|-----|-----|-------|
| 分類 A            | 1.4 | 1.4 | 1.4   |
| 分類 B            | 1.4 | 1.2 | 1.2   |
| 分類 C            | 1.4 | 1.2 | > 1.0 |

備註:

- (1) 除了最低安全係數 1.4 的十年回歸期降雨量外，還有一個邊坡對於預測最差的地下水條件，生命後果類別 1 應具有至少 1.1 的安全係數。
- (2) 本表中給出的安全因素是推薦的最小值。在特殊情況下，在生命損失和經濟損失方面，可能需要更高的安全因素。

表 5.5 因應十年降雨量回歸期既有土釘削坡提升破壞建議之最小安全係數

| 生命後果類別 | 分類一 | 分類二 | 分類三   |
|--------|-----|-----|-------|
| 最低安全係數 | 1.2 | 1.1 | > 1.0 |

備註:

- (1) 這些安全因素只適用於嚴格的地質和岩土研究已經進行了（其中應包括對維護歷史、地下水記錄、降雨記錄和任何監測記錄的全面檢查），邊坡已經站立了相當長的一段時間，以及裝載條件、地下水位和基礎修改斜率的形式與現有斜率基本相同。否則，應採用表 5.4 中規定的新邊坡標準。
- (2) 本表中給出的安全因素是推薦的最小值。在特殊情況下，在生命損失和經濟損失方面，可能需要更高的安全因素。

推薦最低安全係數是針對土釘內部失效的三種模式，即（i）土釘強化的拉伸失效，（ii）土壤-灌漿界面的拉拔失效，以及（iii）拔除失效灌漿加固界面見表 5.6。這與邊坡的失效後果無關。

表 5.6 內部土釘破壞之最小安全係數

| 內部破壞模式   | 最低安全係數                                             |
|----------|----------------------------------------------------|
| 土釘加固伸縮損壞 | $F_T = 1.5$                                        |
| 土壤灌漿移除失效 | $F_{SG} = 1.5$ (Note 1)<br>$F_{SG} = 2.0$ (Note 2) |
| 灌漿穩固移除失效 | $F_{GR} = 2.0$                                     |

備註:

- (1) 承載瞬時載荷的土釘，並結合在風化花崗岩或火山岩中。
- (2) 承載持續負荷的土釘或承載瞬時載荷的土釘，並在除風化花崗岩或火山岩之外的土壤中粘結。

### 5.6.3 土釘鋼筋

(1) 總：土釘的尺寸、長度、間距和傾斜度應設計成為加固土體提供所需的穩定力。

(2) 土釘容量：鑽孔和泥漿土釘的能力由土釘加固的拉伸能力、土釘的尺寸，即周長和長度，土壤 - 灌漿界面可以起動的粘結應力決定並且在灌漿加強界面處，以及可以由土釘頭或面部提供的阻力。土釘加固件和水泥漿料之間的粘結強度取決於水泥漿料與土釘加固件表面的突起和凹陷之間的機械互鎖。這又受到粘結、摩擦和軸承等綜合影響。若使用具有橫向肋骨的高屈服變形鋼筋作為土釘加固，肋骨和水泥漿料之間的承載應力有助於大部分的粘結。水泥漿與土壤之間的粘結強度主要取決於水泥漿與土壤之間的接觸應力和界面摩擦係數。

The allowable tensile capacity,  $T_T$ , of a soil nail is given by:

$$T_T = \frac{f_y A'}{F_T} \dots\dots\dots(5.1)$$

where  $f_y$  = characteristic yield strength of the soil-nail reinforcement  
 $A'$  = effective cross-sectional area of the soil-nail reinforcement  
 $F_T$  = factor of safety against tensile failure of soil-nail reinforcement

因張力、剪切和彎曲等組合作用，我們無須檢查土釘能力之減少程度。因為輕微的土釘，由於以上聯合作用而導致的土釘能力的降低是微不足道的。另外，由於鋼筋的韌性和土釘削坡坡度的高度冗餘，在土釘產生時，額外的載荷可以重新分配到其他土釘。但若土釘發生傾斜傾向，土釘在動力拉伸作用下的效果也將顯著降低。在此情況下，土釘能力應在張力、剪力和彎曲等綜合作用下進行評估。

The allowable pullout resistance provided by the soil-grout bond length in the passive zone,  $T_{SG}$ , can be determined using the effective stress method:

$$T_{SG} = \frac{c' P_c L + 2D \int_v^{\infty} \sigma'_v}{F_{SG}} \dots\dots\dots(5.2)$$

where  $c'$  = effective cohesion of the soil  
 $P_c$  = outer perimeter of the cement grout sleeve  
 $L$  = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone  
 $D$  = outer diameter of the cement grout sleeve

- $\sigma_v$  = vertical effective stress in the soil calculated at mid-depth of the soil-nail reinforcement in the passive zone, with a maximum value of 300 kPa
- $\mu^*$  = coefficient of apparent friction of soil ( $\mu^*$  may be taken to be equal to  $\tan \phi'$ , where  $\phi'$  is the angle of shearing resistance of the soil under effective stress condition)
- $F_{SG}$  = factor of safety against pullout failure at soil-grout interface

應注意有效應力方法是有局限性，且通過該方法評估的鑽孔和泥漿土釘的拉拔阻力僅僅是基於簡化假設的估計。有效應力方法不包括土體拱起，土壤膨脹、土壤吸力、鑽孔表面粗糙、斷裂等因素。經驗證明，該方法與建議安全係數  $F_{SG}$  一起使用為香港經常遇到的地面和地下水條件提供了一個足夠安全的設計方案。作為防止由於土壤膨脹，鑽孔不規則等引起的抵抗力的積極貢獻低於在高覆蓋層壓力的情況下由於土體拱起而產生的負面影響的可能性的建議，建議限制最大覆蓋層使用有效應力法估計拔出阻力時的壓力為 300 kPa。

其他方法可以估計土釘的拉拔阻力，如與 SPT-N 值或壓力計測試結果的經驗相關性，以及通過站點特異性拔出試驗進行驗證。這些方法的優點和局限性由 Pun & Shiu (2007) 描述。設計人員可以考慮使用這些方法來建立現場特定的經驗相關性或設計參數，同時適當考慮到現場數據的充分性和質量，測試結果的代表性，任何經驗相關性的可靠性和所需的安全裕度。

被動區域岩漿粘結長度提供的容許拉拔阻力取決於強度，接合和裂縫程度以及岩體不連續傾角。在沒有詳細調查的情況下，如果將土釘插入 PW90 / 100 或更好的岩石區域的部分風化岩體中，則可以使用 0.35MPa 的岩漿粘結強度的假定值來確定拉拔能力。如果設計人員可以通過詳細的地面調查，測試和分析來證明設計粘結強度的價值，則可以考慮更高的價值。推薦最小岩石插座長度為 2 米，以適應沿土壤 - 岩石界面的過渡帶中岩體強度和性質的變化。

The allowable pullout resistance provided by the grout-reinforcement bond length in the passive zone,  $T_{GR}$ , is given by:

$$T_{GR} = \frac{\beta \sqrt{f_{cu}} P_r L}{F_{GR}} \dots\dots\dots (5.3)$$

where  $\beta$  = coefficient of friction at the grout-reinforcement interface, which depends on the bar type characteristic in accordance with BS 8110 (BSI, 1997), e.g., 0.5 for high yield deformed steel bars

$f_{cu}$  = characteristic strength of cement grout

$P_r$  = effective perimeter of the soil-nail reinforcement

$L$  = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone  
 $F_{GR}$  = factor of safety against pullout failure at grout-reinforcement interface

(3) 直徑：直徑 25 毫米、32 毫米和 40 毫米的高產率變形鋼筋在香港常用於土釘加固。使用小直徑的棒應謹慎使用，特別是在長釘的情況下，因為它們在安裝過程中往往會過度彎曲。

(4) 長度：通常使用長 20 米以上的長釘，謹慎使用。應適當考慮到土釘的可建性（詳見第 4.2 節），以確保設計是可建造的，並且土釘的質量不會受到不適當的影響。

長土釘也需要比短土釘更大的動作，調動土釘的全部能力。這可能導致實質的地面變形，特別是在地面鬆散的材料或土釘上的地面質量由於與鑽井困難相關的干擾而減弱的情況下。

(5) 間距：廣泛間隔的土釘可能無法有效地確保土釘和地面作為一個整體，並防止土釘之間的局部不穩定。相反，太靠近的土釘可能不具有成本效益，可能難以正確安裝。在香港，土釘通常安裝在 1.5 米至 2.0 米的間距。水平排的土釘應該交錯，以改善土釘和地面之間的整體作用。一些方法可用於增強土釘 - 地面相互作用和土釘之間的局部穩定性。例如，可以通過提供適當的土釘頭和面部來增強土釘 - 地面相互作用，並且可以通過在工作的土釘之間安裝中間短長的土釘來改善土釘之間的局部穩定性。

(6) 傾角：若將它們安裝在相應的最佳土釘取向上，即與土壤的最大拉伸應變方向對齊，則土釘的有效性將最大化。這將導致不同的土釘傾角，這是土釘與水平面的角度。然而，由於實際的原因，土釘通常以均勻的傾角安裝。

土釘通常向下傾斜，為  $5^\circ$  至  $20^\circ$ ，以便於在重力或低壓下進行適當的灌漿。小的向下傾斜也可以最大限度地增強土釘在加筋土體中的平均抗拉強度。然而，隨著土釘傾斜度的增加，土釘的平均增強效果將顯著降低。如果需要將土釘傾斜度傾斜以適應物理限制，則應考慮到土釘的有效性和動員設計土釘力所需的坡度變形量。通過有限元法或有限差分法進行應力應變分析（詳見第 5.3.4 節）可用於研究土釘的作用及其在張力，剪切和彎曲聯合作用下的有效性。應參考第 3.4 節關於土釘傾斜對釘相互作用機理的影響。

## 5.6.4 土釘

土釘頭應設計為提供足夠的安全距離，以防止土釘頭下方的土體的承載能力下降和頭部結構失效。表 5.7 中給出了傾斜角度大於 45° 的削坡邊坡的孤立土釘頭的推薦尺寸。或可使用英國運輸部（DOT，1994）推薦的方法設計土釘頭的尺寸，如圖 5.4 所示。

土釘頭之典型加固細節如圖 5.5 所示。或者，土釘頭的結構設計及其與鋼筋的連接應遵循相關結構設計規範中的建議。在土釘頭下方施加的土壤壓力可以假定為均勻的。

表 5.7 單一土釘頭之建議尺寸

| Soil Shear Strength<br>Parameter near the<br>Slope Surface |          | 45° δ Slope Angle < 55°                        |     |     | 55° δ Slope Angle < 65°                        |     |     | Slope Angle ε 65°                              |     |     |
|------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------|-----|-----|------------------------------------------------|-----|-----|
|                                                            |          | Diameter of<br>Soil-nail<br>Reinforcement (mm) |     |     | Diameter of<br>Soil-nail<br>Reinforcement (mm) |     |     | Diameter of<br>Soil-nail<br>Reinforcement (mm) |     |     |
| γ'                                                         | c' (kPa) | 25                                             | 32  | 40  | 25                                             | 32  | 40  | 25                                             | 32  | 40  |
|                                                            | 2        | 800                                            | 800 | 800 | 600                                            | 600 | 800 | 600                                            | 600 | 800 |
|                                                            | 4        | 600                                            | 800 | 800 | 600                                            | 600 | 800 | 600                                            | 600 | 800 |
| 34°                                                        | 6        | 600                                            | 800 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 8        | 600                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 10       | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 2        | 600                                            | 800 | 800 | 600                                            | 600 | 800 | 600                                            | 600 | 800 |
|                                                            | 4        | 600                                            | 800 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 800 |
| 36°                                                        | 6        | 600                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 8        | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 10       | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
|                                                            | 2        | 600                                            | 800 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 600                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 4        | 600                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 |
| 38°                                                        | 6        | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 8        | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
|                                                            | 10       | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 400 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
|                                                            | 2        | 600                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 800 | 600                                            | 600 | 600 |
|                                                            | 4        | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
| 40°                                                        | 6        | 400                                            | 600 | 800 | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
|                                                            | 8        | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |
|                                                            | 10       | 400                                            | 600 | 600 | 400                                            | 400 | 600 | 400                                            | 400 | 600 |

- 備註：
- (1) 除非另有說明，尺寸為毫米。
  - (2) 只有方形土釘頭的寬度如表所示。
  - (3) 土釘頭的最小厚度應為 250 毫米。
  - (4) 本表基於“土力指南”第 175 號報告書的研究結果（Shiu & Chang，2005）。

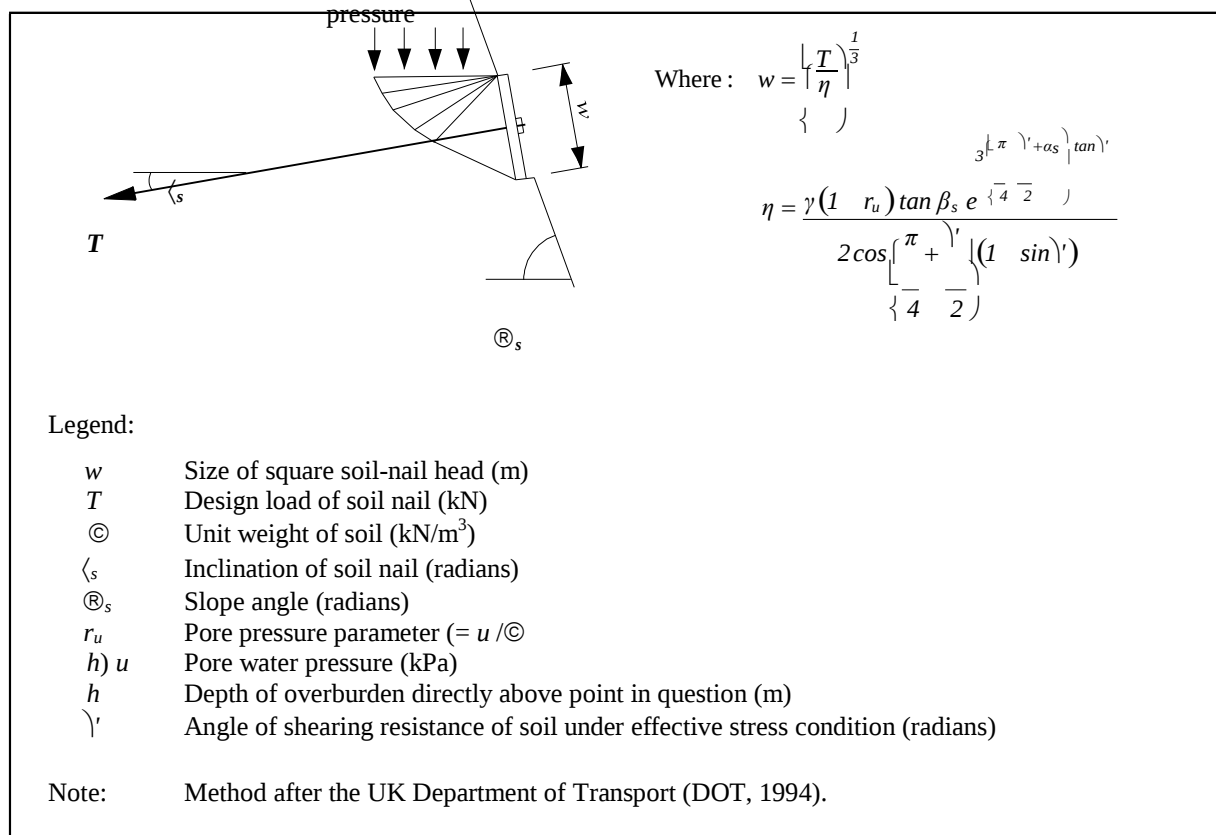


圖 5.4 英國交通部推薦之土釘頭設計方式

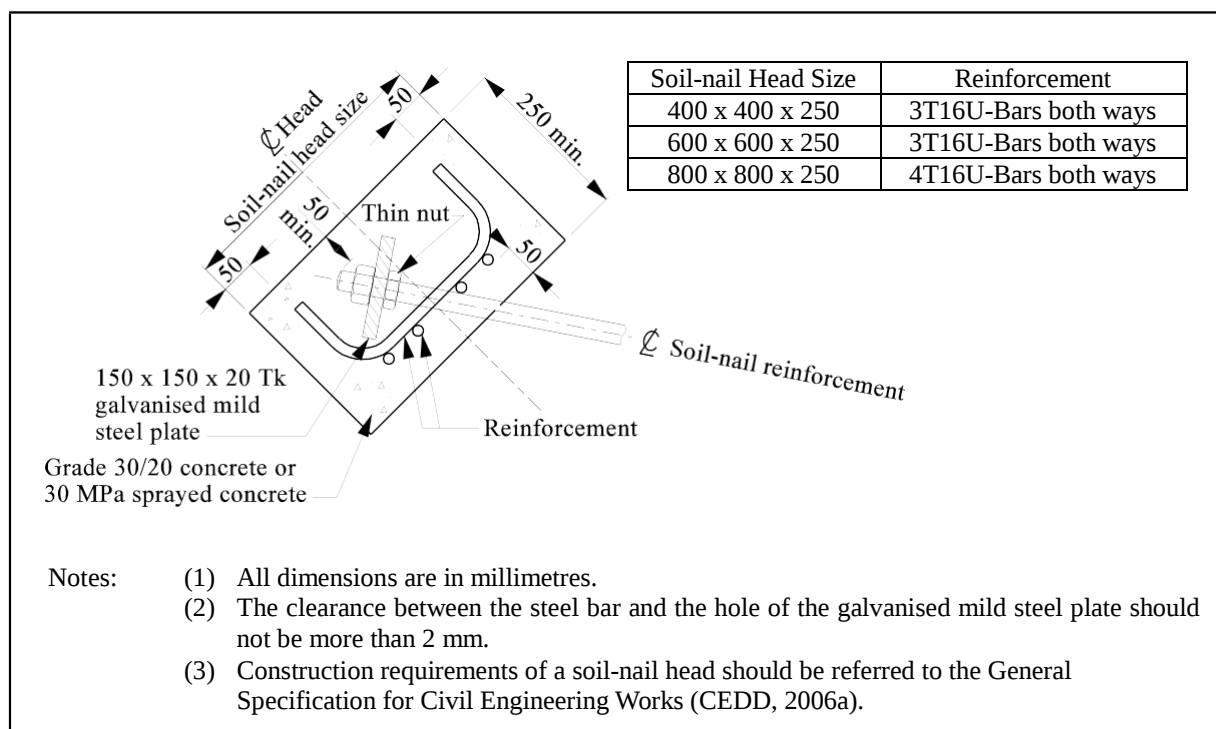


圖 5.5 土釘頭加強之典型細節

土釘頭移動土釘的拉伸力的有效性可能會隨著傾斜角度的減小而減小（見第 3.4 節）。設計人員應適當考慮，以確保土釘頭與地面之間有效的相互作用，以適應平緩的邊坡，如天然邊坡的情況。可以採用如圖 5.6 所示的典型細節，以緩緩傾斜，以提高頭部的效能。土釘頭的尺寸可以根據圖 5.4 確定。

除了拉伸力的動員之外，釘頭的副作用是提高土釘之間的局部穩定性。5.6.5 節給出了關於防止邊坡局部不穩定性的進一步指導。

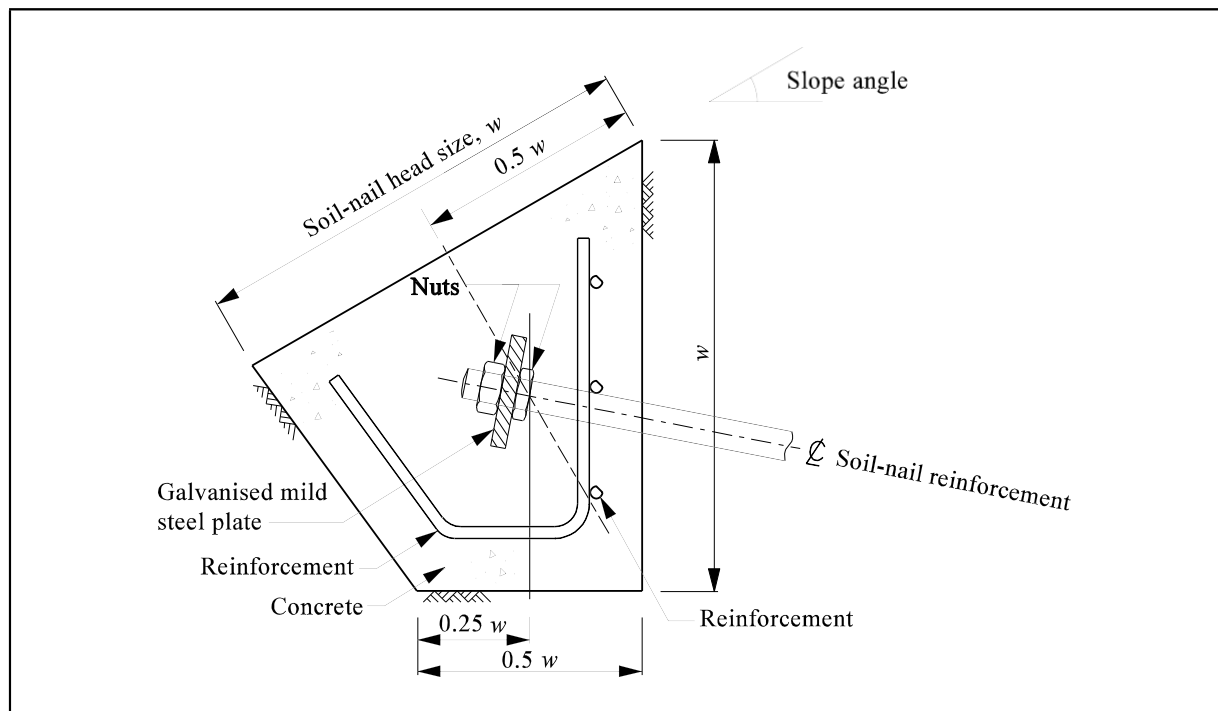


圖 5.6 適用於緩坡之土釘頭典型細節

### 5.6.5 坡面

坡面主要用於為邊坡提供表面保護，並儘量減少地表水對坡面的侵蝕和其他不利影響。它可能是柔軟，靈活，硬或三者的組合。面向柔軟的坡面是非結構性的，而柔性或硬的邊坡可以是結構的或非結構的。靈活的結構面可以通過在土釘頭之間分配負載來為土釘系統的表面提供穩定性。這些面層允許一定程度的地面變形。硬結構面的功能與柔性結構面的功能相似，但具有較小的地面變形餘量。柔性和堅硬的結構面提供了土釘之間的結構連接，其促進了被釘入的削坡坡度的整體作用，並增強了坡面的局部穩定性。

土釘植物系統活動區近地表部分淺層侵蝕或局部輕微侵蝕或脫落的植被土釘邊坡的失效個案。可以參考 Ng 等人（2008）關於故障情況的細節。其中許多邊坡以前都有一個堅硬的表面覆蓋物，當安裝了土釘時，它被植被所取代。設計人員應提供適當的邊坡面，適當考慮選項的穩定性和成本效益。對於需要長期維護的坡面，設計人員應在設計期限內考慮到土釘邊坡的維護要求。坡面選擇應考慮因素如下：

- (a) 提供有效表面保護和侵蝕之控制
- (b) 在坡度變形時提供土釘之間之最佳效果
- (c) 有效防止土釘頭之間的局部失效
- (d) 施工容易
- (e) 耕種之時機
- (f) 維護之條件,
- (g) 維護經費
- (h) 美學

使用不可降解的侵蝕控制墊與鋼絲網相結合可有效提高局部穩定性，並控制土釘頭之間的土壤表面侵蝕。為確保侵蝕控制墊與坡面之間良好的接觸，建議鋼絲網稍微拉伸並固定在混凝土土釘頭上。這也可以滿足當地可能的分離和減少故障的後果。對於具有高風險和故障後果的敏感結構，可以採用增強的表面保護系統，如主動鋼絲網和格柵系統。

作為隔離鋼筋混凝土土釘頭的替代方案，格柵系統可以提供更好的抵抗局部地表破壞的能力，並促進加固土體的整體作用。結構支撐應設計成考慮到其設計壽命引起的彎曲、剪切和沖壓力。對於在陡峭的地面上的重型結構支撐，由於其重量可能發生支撐件的顯著的向下和向外運動。在設計時應考慮到這一點，以避免過度的地面變形。應提供適當的景觀處理以減輕結構支持的任何潛在的視覺衝擊。

若坡面不規則，在施工土釘之前，必須考慮適當的局部修剪。平滑而不太陡的坡面也可以有助於更有效地建造坡面。對於存在局部不穩定性的陡坡的情況，應提供足夠的邊坡限制，以防止淺層深度土體過度變形和分解，從而可以利用土釘的全部能力。

對於非結構性之坡面設計，應考慮可持續性和抵抗由釘頭施加的載荷的能力，以避免在工作條件下穿刺或破裂和/或過度膨脹導致失效。應考慮之設計如下：

- (a) 衝剪抗力
- (b) 抗彎曲性
- (c) 連接的結構能力
- (d) 耐用性

可參考 GEO 出版號 1/2000：“人工邊坡和擋土牆景觀治理與生物工程技术指南”（GEO，2000b）和 GEO 技術指導說明 20（GEO，2007b）指導適用於形成軟面的不同綠化技術，以及 CIRIA（2005）為柔性和硬結構面的設計指導。在 GEO Report 56 中給出了基於坡度梯度的軟面設計規範建議（Wong 等，1999）。表面保護材料的規範可參見“土木工程總則”（CEDD，2006a）。

## 5.7 擋土牆之土釘設計分析

### 5.7.1 總

擋牆土釘的分析設計應遵循本節給出的指導。應建立適當的地下水模型，並通過 5.3.3 節中討論的詳細現場調查獲得設計參數。第 5.7.2 節至第 5.7.4 節介紹了改造現有擋土牆設計土釘的指導意見。

土釘可能與新的擋土牆結合使用，儘管這種設計方案很少在香港使用。第 5.7.3 和 5.7.4 中給出的指導通常適用於在新擋土牆中使用土釘。設計方法，安全因素和安全性和可維護性驗證的計算方法應遵循土力指南 1：“擋土牆設計指南”（GEO，1993）的指導。土釘能力應根據 5.6.3 節中給出的指導和表 5.6 中建議的安全係數來確定。土釘力量應該被模擬為外力。然後可以使用土力指南 1 中給出的部分安全係數的極限狀態方法來評估土釘擋土牆的外部穩定性。

擋土牆後面的應力場和變形取決於牆體失效的方式。考慮到土釘拉力的變動，設計人員應考慮土釘的潛在破壞面的方向和所考慮的特定失效方式下的牆體移動方向。例如，在軸承故障的模式中，土體的潛在的破壞面可以從水平方向傾斜成傾斜角，並且牆壁可能具有向下移動的傾向。在這些條件下，土釘的效果可能很低。

### 5.7.2 安全因子

在改造現有的擋土牆時，土釘應設計成為牆壁提供足夠的安全距離，防止滑動，傾覆，承載和整體不穩定的失效模式。建議採用全球安全方法。通過計算安全係數（FS）對各種故障模式確定安全餘量，一般定義如下：

$$F_S = \frac{\text{Moments or forces aiding stability}}{\text{Moments or forces causing instability}} \dots\dots\dots(5.4)$$

針對各種失效方式的建議的最低安全因素和設計的地下水條件應遵循表 5.8 中轉載的“邊坡岩土工程手冊”（GCO，1984）。

表 5.8 因應十年降雨量回歸期土釘現有擋土牆提升之建議安全措施

| 失敗方式  | 最低安全因子                 |                                           |
|-------|------------------------|-------------------------------------------|
|       | 第一組                    | 第二組                                       |
| 滑動    | 1.5                    | 1.25                                      |
| 顛覆    | 2.0                    | 1.5                                       |
|       | 該適用於牆底上之合力應位於基座的中三分之一處 |                                           |
| 承載能力  | 3.0                    | 以下保留現有價值 3.0；<br>對於具有腳趾坡度的牆壁，坡度的整體穩定性必須足夠 |
| 整體穩定性 | 參閱表 5.4                | 參閱表 5.5                                   |

圖 5.7 表示用於防止帶有土釘的擋土牆的滑動，翻轉和承載能力故障的計算模型。土釘力量被模擬為外部載荷。應按照 5.3.4 節給出的指導，通過邊坡穩定性分析方法檢查擋土牆的整體穩定性。

### 5.7.3 土釘鋼筋

第 5.6.3 (2) 條中關於確定土釘的允許拉伸能力和拉拔阻力的指導，適用於改造現有擋土牆的土釘設計。第 5.6.3 (3) 至 5.6.3 (6) 條給出的土釘的直徑，長度，間距和傾斜度的考慮也適用。

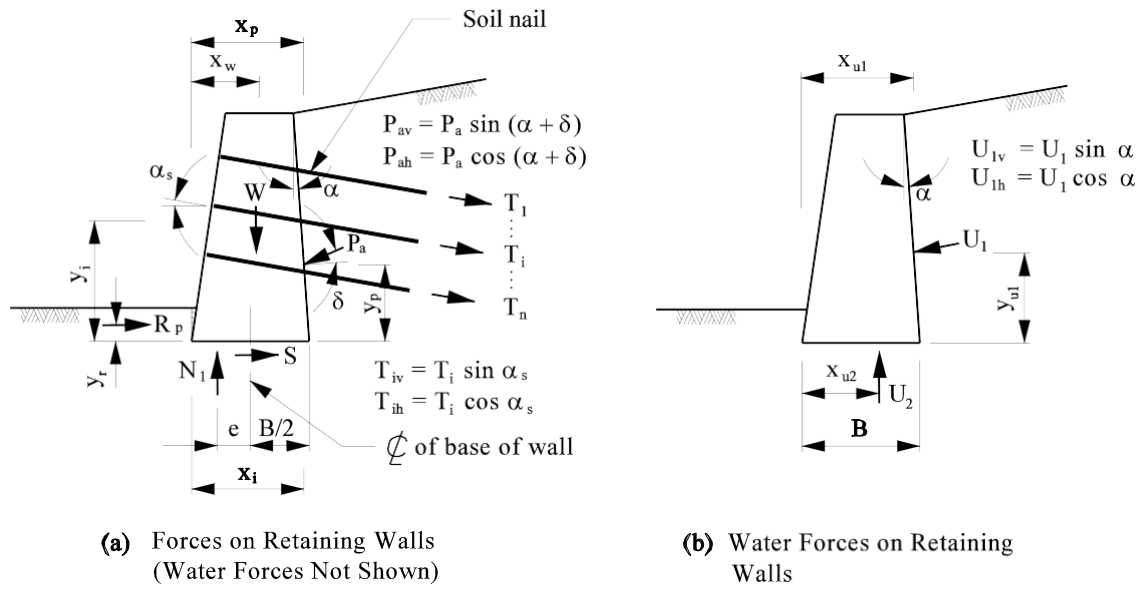
因現有擋土牆後面的填充材料的質量不確定（例如，材料可能沒有被適當地壓實），土釘應設計成粘合到本地土壤和/或岩體層，以確保所需的拔出阻力可以實現。在設計所需的粘結長度時，應考慮只有土釘釘層土體內和內層主體層之外的土釘部分。有能力的層是飽和時不會崩潰的層，可以為土釘提供可靠的拔出阻力。有效層的例子是岩層和緊密的堆積層。永久套管應用於擋土牆後面的瓦礫區域，以防止孔塌陷，水泥漿滲漏和排水層堵塞。土釘的任何套管部分在拉拔阻力的估計中應該被忽略。

### 5.7.4 土釘頭和表面

土釘頭和面部應設計成為結構故障提供足夠的安全餘地。在選擇土釘頭和面部類型時，應考慮以下因素：

- (a) 土牆類別
- (b) 土牆細長比例
- (c) 土牆狀況
- (d) 土牆前方可使用空間
- (e) 美學

在升級現有的混凝土擋土牆時，通常使用暴露的孤立的土釘頭或連接梁，典型的細節分別如圖 5.8 和 5.9 所示。應適當考慮到土釘頭和連接樑的彎曲和剪切阻力以及現有擋土牆的結構完整性來設計土釘頭和連接樑的尺寸。在設計中也應考慮牆體的最終外觀和牆前的可用空間。例如：如果現有的擋土牆俯瞰小徑，最低排的土釘應放置得足夠高，以免暴露的土釘頭影響到行人。



### Sliding Failure

Activating force  $F_a = P_{ah} + U_{ih}$

Resisting force  $F_r = N_1 \tan \delta_b + R_p + \sum_{i=1}^n T_{ih}$  where  $N_1 = W + P_{av} + \sum_{i=1}^n T_{iv} + U_{iv} - U_2$

Factor of Safety  $F_s = \frac{F_r}{F_a}$

### Overturning Failure

Overturning moment  $M_o = P_{ah} y_p - U_{iv} x_{u1} + U_2 x_{u2}$  (See Note)

$$M_r = W x_w + R_p y_r + \sum_{i=1}^n U_{ih} y_i + \sum_{i=1}^n T_{iv} x_i$$

Resisting moment  $e = B/2 - (M_r - M_o) / N_1$

Eccentricity  $F_s = \frac{M_r}{M_o}$

Factor of Safety

### Bearing Capacity Failure

Effective normal load  $Q_n$  and shear load  $Q_s$  imposed on the foundation are given by  $Q_n = N_1$ , and  $Q_s = F_a - \sum_{i=1}^n T_{ih}$  respectively. Guidance on design against bearing capacity failure of the foundation is given in Appendix A of Geoguide 1 (GEO, 1993). Unfactored parameters should be used to calculate the ultimate bearing capacity  $Q_{ult}$  of the foundation.

Factor of Safety  $F_s = \frac{Q_{ult}}{Q_n}$

Note: When  $M_o$  is negative, there is no need to check for overturning failure.

圖 5.7 用於檢查滑動的計算模型、土釘的翻轉和承載能力之擋土牆

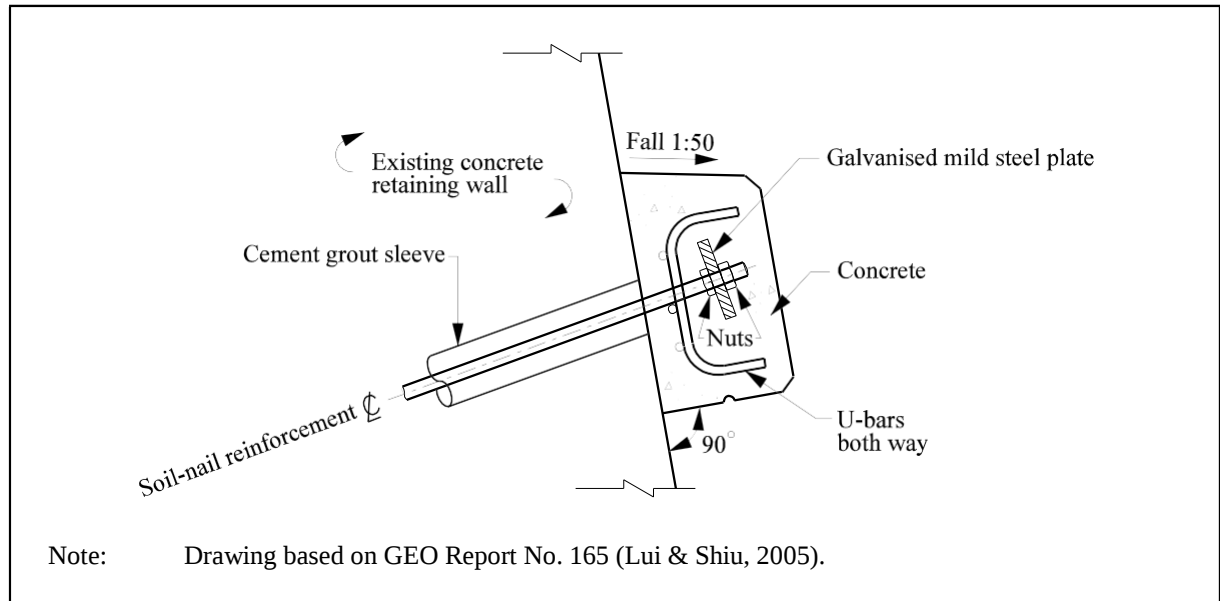


圖 5.8 適用於擋土牆之曝露獨立土釘頭典型細節

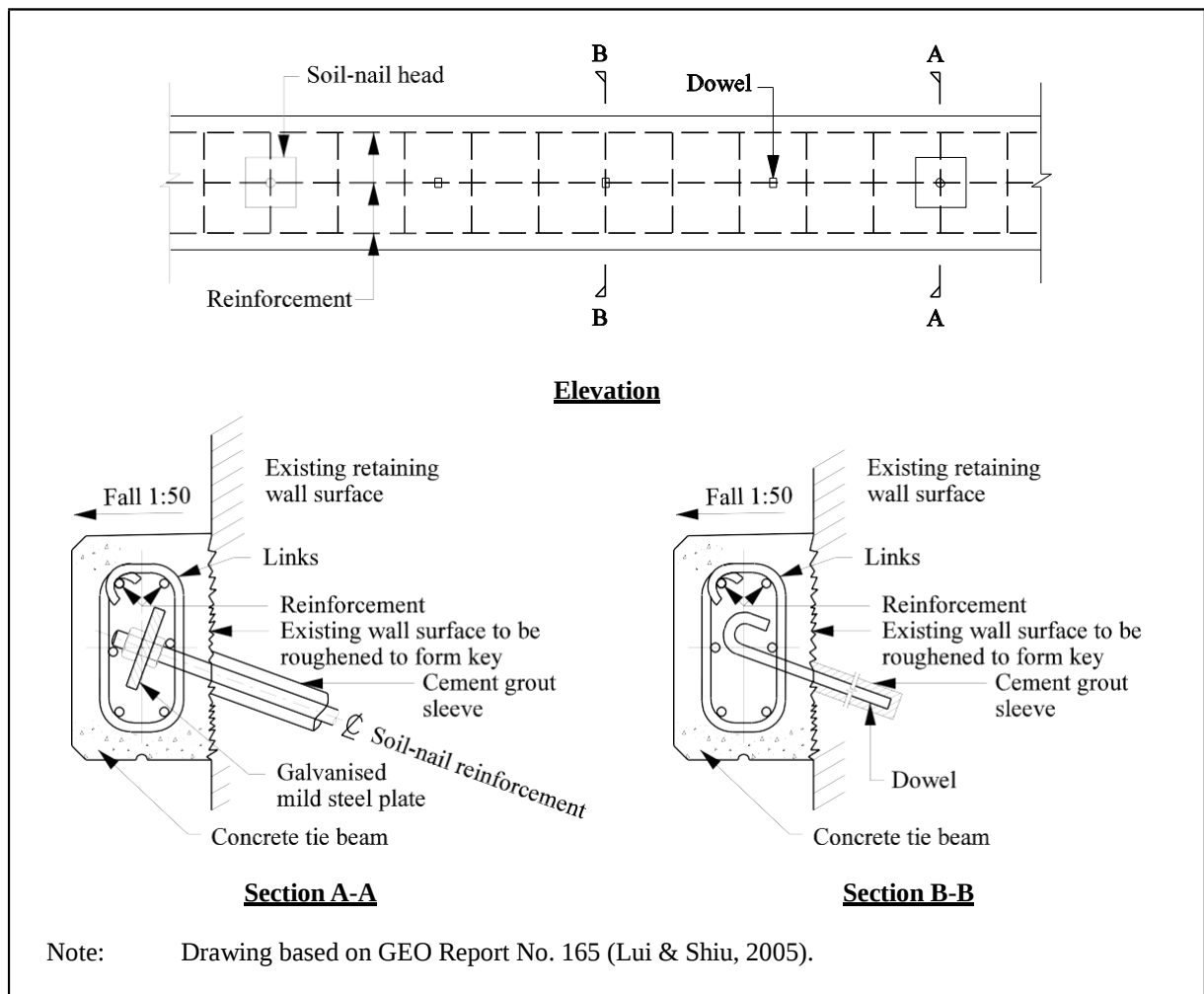


圖 5.9 曝露繫樑之典型細節

若涉及由鬆散塊組成的砌石擋土牆，則應在設計中考慮其結構完整性。為了促進土釘砌石塊擋土牆的整體作用，應採用混凝土外牆代替孤立的土釘頭，以擴大集中的土釘力。混凝土牆壁應充分嵌入地面，以提高擋土牆的整體穩定性。作為表面牆壁的替代品，如果必須保護牆壁織物，則可以使用混凝土樑的格柵。此外，定位桿應完全嵌入砌石牆體，以確保可以開發適當的錨固。牆表面與土釘的典型連接細節如圖 5.10。

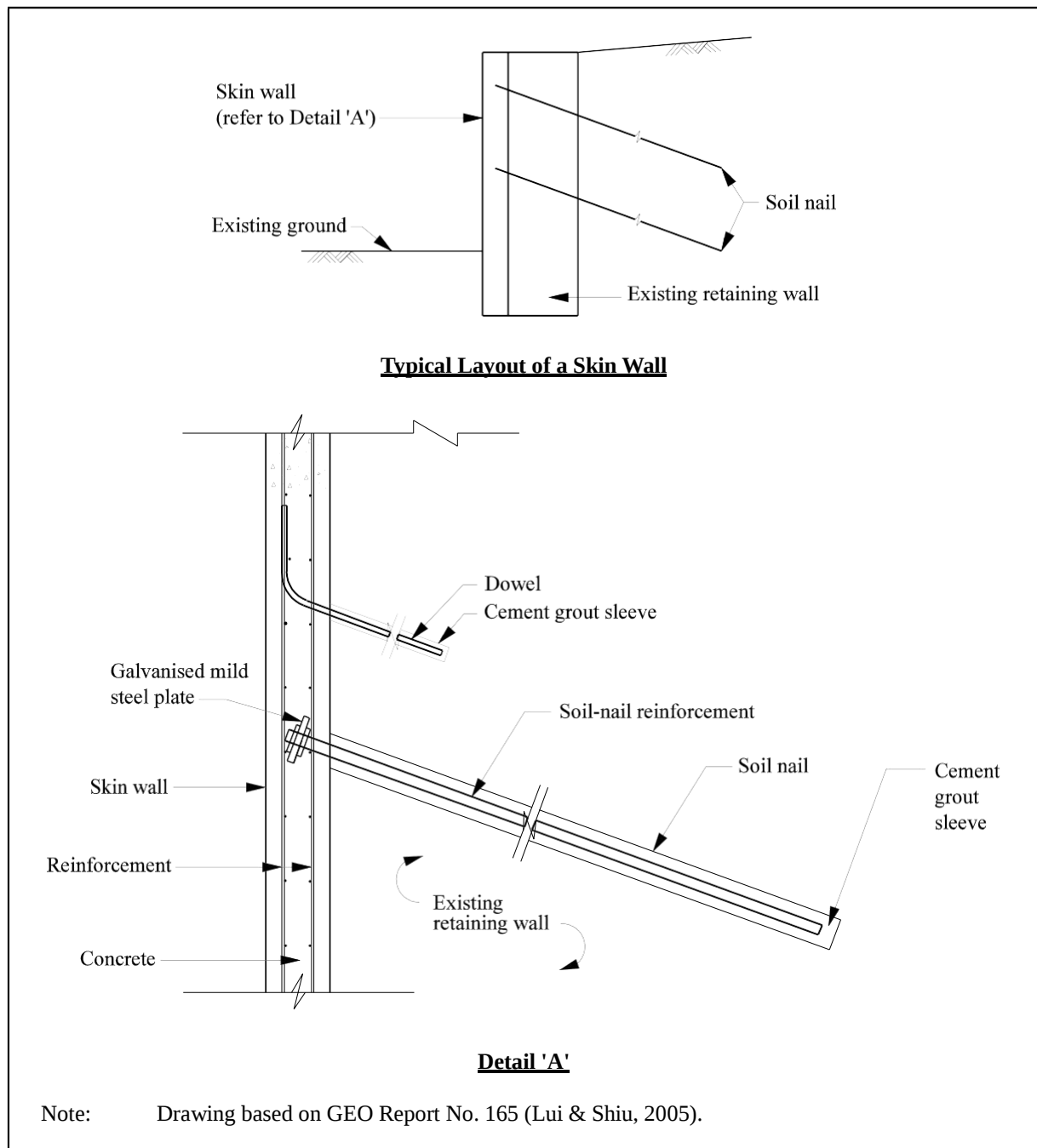


圖 5.10 外殼牆典型接觸細節

## 5.8 填坡之土釘設計分析

### 5.8.1 總

若填充邊坡或路堤中的填充材料在剪切時具有收縮性能或具有可能導致“應變軟化”的結構，則將填充物分類為鬆散填充物。如果填充邊坡被適當壓實，並且填充材料在剪切時表現出擴張行為，則填充物被分類為稠密填充。在沒有壓實的情況下，通過端頭傾斜形成的填充斜率在該土力指南文中。

在密集填充邊坡上的土釘，包括土釘頭和邊坡面的設計與土釘削坡坡度的設計相似。設計應遵循 5.6 節給出的指導。

若滿足以下符合條件者，土釘即可用於升級鬆散填充邊坡：

- (a) 填坡的相對壓實度不小於 75%
- (b) 在邊坡上沒有重大跡象表明破壞，運動歷史，重度滲流，也沒有薄弱區域（如淤泥或泥土層）
- (c) 填築坡度不在於由於地下水流或地下水位可能較高的古老谷地，因水運輸而導致的水洩漏。

對於不符合上述限定標準的鬆散填充邊坡，應採用除土釘以外的設計方案（如再壓實）。

應遵循“填埋邊坡填土土釘”的指導原則，遵循香港工程師學會編寫的“鬆散填土土釘研究報告”（HKIE，2003 年）所提出的建議。建議和補充指引的要點見 5.8.2 至 5.8.4 節。

### 5.8.2 安全因子

為了評估土釘鬆散填坡的穩定性，應考慮潛在破壞的三種情況：

- (a) 假設最小穩態不排水剪切強度被移動時，鬆散填充材料的潛在故障
- (b) 在排水狀態下鬆散填充材料的潛在破壞

(c) 填充物下面的地面的潛在破壞。

對於以上所設計之情景 (a)，對於任何潛在的破壞表面，應該達到 1.1 的最低安全係數。對於土釘的內部破壞模式，應遵循 5.6.2 節中推薦的最低安全要求，除了土釘強化抗拉強度的安全係數應符合“研究報告”(HKIE, 2003)。對於設計情景 (b) 和 (c)，應該實現 5.6.2 節中表 5.4 至 5.6 建議的最低安全要素。

### 5.8.3 防止液化之設計

(1) 鬆散填充設計剪切強度：為了解決當鬆散填充受到剪切時的擔心，它們可能會以這樣的速度失去強度，使得在土釘中移動的力將不能補償填充物的剪切強度的損失，大應變穩定應採用狀態穩定不排水剪切強度進行疏鬆填充設計。如果不進行現場特異性實驗室檢測，可以採用等於平均有效應力  $p'_{peak}$  的 0.2 倍的穩態不排水剪切強度的保守值，其中  $p'_{peak}$  是填充行為變化的點在可能的故障情況下從排水到不排水。然而，鑑於低應力水平，使用  $c_{ss} / p'_{peak}$  相關性來確定格架底部的抗剪強度是不合適的。格架底部的抗剪強度的下限值可能在 3kPa 至 10kPa 的範圍內。如果要進行實驗室測試以獲得填充物的穩態不排水剪切強度，則應遵循“研究報告”(HKIE, 2003) 中給出的測試程序和指導。

圖例說明 1 (GEO, 1993) 第 5.2 和 5.3 節中關於確定設計岩土參數選定值的一般指導是相關的。建議通過仔細評估試驗結果，獲得穩態剪切強度的選定值。應考慮測試數據的充分性和一致性，測試條件與可能的現場條件以及填充的可變性有關的適當性。還應考慮試樣相對於易於液化破壞的邊坡填充物質（特別是填料的乾密度範圍和相對壓實值以及應力水平）的代表性。應採用合理的保守選擇剪切強度值。在這方面，應進行設計參數的靈敏度檢查。

(2) 釘板架系統設計：坡度的整體穩定性應由土釘架系統提供，土釘指向主要地下層，水平間距不超過 2 米，垂直距離為 1.5 米。任何填充物中的錨固阻力的貢獻都應該被忽略，即鬆散填充的土釘段被認為是自由長度。

邊坡表面附近的局部穩定性由釘子格柵系統提供。格柵樑的寬度應設計成提供邊坡表面的足夠覆蓋，以防止通過開口擠出填充材料。格柵應設計成可承受由其保留的填充物產生的彎矩和剪切力。

土釘應設計為抵抗作用在格架上的力，包括由填充物產生的正常和剪切力。格柵應充分建立在有能力的層面上，否則應沿著格柵的腳趾提供一排垂直支撐，以支撐系統，以吸收由於構造的土釘的對準可能偏離而產生的任何不平衡力並提高土釘架系統的全球穩定性。

在使用陡傾斜的土釘的情況下，也就是說，為了在填充已達到大應變穩定狀態的設計情況下抵抗所產生的負荷，還應檢查設計土釘力對抗邊坡破壞的有效性 按照第 5.6.3 (6) 節給出的指導。

例如密集的植被排除了使用規則圖案의土釘，可以使用具有樹環而不是格柵的板。預計現場施工困難是在填裝土釘時遇到的困難。這些可能包括由於鑽孔，孔塌陷和過度的灌漿損失造成的地面損失和填充緻密化造成的地面運動。應注意避免對相鄰設施的地面沉降和損壞，例如通過限制開放式鑽孔的數量和間距，規定使用永久性套管進

行鑽孔或使用預灌漿。地面運動和振動監測可能需要在邊坡上有敏感的結構或設施，如水運輸服務。

#### **5.8.4 土釘鋼筋**

土釘的允許容量和拉拔阻力應根據 5.6.3 (2) 節給出的指導確定。第 5.6.3 (3) 至 5.6.3 (6) 條給出的直徑，長度，間距和傾斜度的考慮也適用。

### **5.9 既有削坡和擋土牆之土釘設計規範**

土釘可以規範地設計，用於穩定現有的土壤削坡邊坡和擋土牆。規定措施是預先確定的，經驗豐富的，適當保守的作品模塊，用於提高特徵的穩定性，無需詳細的地面調查和設計分析。這些措施可用於預防性維護，並對土壤削坡邊坡和擋土牆進行緊急維修和升級。但是，在實施規定措施之前，應當滿足以下方面的相關資格標準：

- (a) 公法類別
- (b) 坡度或牆壁幾何形狀
- (c) 破壞之後果

土力指南報告編號 56 (Wong et al., 1999), GEO Report No.165 (Lui & Shiu, 2005) 以及“土地利用指南” GEO 技術指導說明 9 (GEO, 2004a)。

因無進行地面調查，因此應根據現場設置，發展歷史以及影響場地的公用設施的性質和程度進行評估，對場地土壤的侵蝕性進行分類（見 4.3.2 節）。防腐措施的設計應遵循 5.5 節中的指導。對於沒有土壤侵蝕性評估的“潛在侵略性”場所，應提供設計壽命超過 2 年的土釘的 1 級防腐措施。

## 5.10 排水條款

應正確控制地表水逕流和現有地下水條件，以確保施工期間及整個設計壽命期間土釘系統的滿意表現。集中的地表水流可能導致侵蝕，沖刷破壞或淺層滑坡。建立系統後面的高地下水壓力可能導致其整體穩定性的降低。高地下水位也可能對灌漿質量產生不利影響，並加速鋼筋的腐蝕速度。應根據實際現場條件於土釘系統提供合適的表面排水裝置，例如具有豎立和階梯式通道的頂部通道，以及地下排水設施，例如耙式排水裝置。

應對地表逕流的可能流路和影響邊坡或擋土牆的地表水流的集中可能性進行詳細評估，以便於表面排水系統的設計。基於工程判斷，設計中應允許充分的冗餘，同時適當考慮到現場環境設定，以及在表面排水通道堵塞情況下的後果。“邊坡岩土工程手冊” (GCO, 1984) 給出了地表排水渠道設計指導。應參考土力技術指導說明書第 27 號 (GEO, 2006) 關於設計排水渠道的步驟。

在填充邊坡的情況下，應提供足夠的表面排水措施，例如具有豎立的頂部通道，以盡量減少水進入填充體的潛在進入。適當的地下排水措施對於防止高基地或棲息地下水位的發展也至關重要。送水服務的洩漏將對填坡的穩定性產生不利影響。如果這些服務在填充結構內或上方存在，則應採取“邊坡岩土工程手冊” (GCO, 1984)，土力指南 5：“坡度維護指南” (GEO, 2003 年) 中的指導措施，降低洩漏風險。以及影響邊坡的水流輸送服務監測與維護實務守則 (ETWB, 2006)。

若擔心面對後面的水壓會增加，應考慮在堅硬的邊坡面後面提供地下排水

考慮到地下水條件的天生變化，規定的地下排水措施，如排水渠道，作為應急準備是謹慎的。這在積雪和腐蝕性地面剖面中是特別有用的，而硬的坡面覆蓋物將被植被覆蓋物所替代。設計者應在規定必要的地下排水措施時作出適當判斷。作為指導，可能需要規定地下排水措施的情況包括：

- (a) 坡面滲水之處
- (b) 具有顯著滲透性對比度的材料的界面處產生潛伏潛力
- (c) 大量流域向邊坡排水
- (d) 於坡度或其附近存在埋藏的水道或地下排水濃度，可能會向邊坡側向排水
- (e) 坡度穩定性與因地下水量設計變化之明顯改變

(f) 為對附近水流運送(排水)可能洩漏的應急措施

(g) 若擔心緊密間隔的土釘可能對地下水流動造成的阻礙作用

當指定地下排水時，應注意確保地下水位的下降不會對附近的建築物，設施或服務造成不利影響。

關於地下排水系統規定設計的指導意見，在土力指南報告 56 號 (Wong 等，1999) 中提出。

施工期間，特別是在潮濕季節，應隨時提供足夠的臨時排水，以避免不受控制的集中進水或地表水流的不良影響。應定期維護臨時排水系統，並清除任何堵塞物，以確保在大雨期間排水管路保持運轉。在工程初期，應鼓勵或要求承包商酌情建造一部分永久性排水措施，例如頂部排水和相關排放點，以加強臨時排水設施。在地下排水渠道施工期間，應注意避免損壞排水溝附近的土釘。

### 5.11 美學與景觀處理

未加固邊坡的美學和景觀處理原則通常適用於土釘系統。土釘系統的外觀應與現有環境兼容並造成最小的視覺衝擊。設計人員應盡量使成品的土釘系統盡可能自然。一個重要的考慮是確定和保存在實際的情況下，邊坡上的成熟樹木，特別是靠近山坡頂部和腳趾處的成熟樹木。在考慮安全和維護的情況下，植被應始終被視為土壤削坡和填充邊坡上的表面覆蓋物的首選。如果植被解決方案不可行，設計人員應考慮採用侵蝕控制技術的視覺處理。在陡峭的土坡上，建議使用侵蝕控制墊和結構連接到土釘頭的鋼絲網（參見第 5.6.5 節）。在陡坡上應注意種植技術的選擇，以確保敷蓋措施的侵蝕控制能力不受影響。

使用植被，特別是在陡峭的土釘釘邊坡上，存在偶爾和小規模破壞的風險。例如，這可能是在土壤邊坡上採取淺沖洗的形式。小規模破壞的風險應該與提供更環保和更美觀的坡度的好處相平衡，並在必要時提供適當的緩解措施。應考慮緩衝區，擋泥板或滑坡碎屑抵抗腳趾牆，其中生命後果類別高，坡度陡峭；或者可能傾向於大量地表水逕流，即在邊坡上方的大流域或邊坡與谷相交。關於坡地綠化和景觀處理的一般指導在“全球環境展望”第 1/2000 號“人造邊坡和擋土牆景觀治理與生物工程技術指南”（GEO，2000b）中給出。有關適合邊坡種植的植被種類的資料，可在資訊科發布的“香港植樹保養”小冊子（HKG，1991 年）和 GEO 技術指導說明 20（GEO，2007b）中找到。

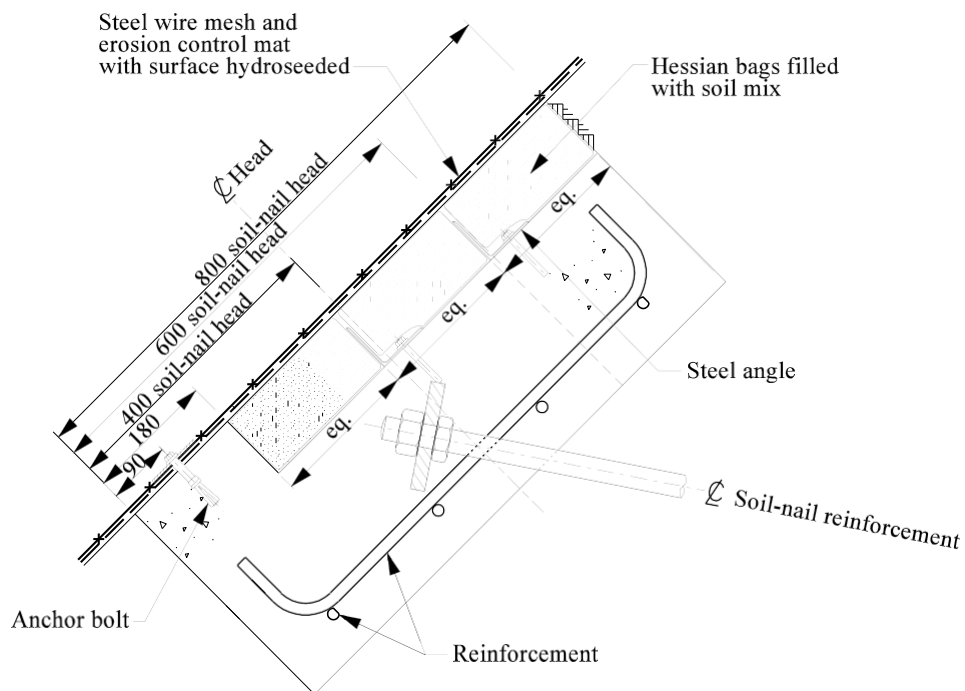
還應注意表面排水通道，樓梯和集水井等功能的設計和位置，以盡量減少視覺衝擊。在排水通道兩側的混凝土圍裙，或在某些情況下，整個地表排水系統可以使用土工織物或其他生物工程技術進行設計。樓梯應小心佈置，以盡可能減少視覺衝擊，盡可能減小其寬度，欄杆以類似(相仿)不引人注目的顏色繪製。

若把它們放在一個規則而不是隨機的圖案中，那麼在視覺上，土釘是可以接受的。土釘的佈局應該補充保護和保護擋土牆上的邊坡或牆壁上的樹木的計劃。土釘和其他工程特徵應遠離樹幹和根部。應該使用樹環來保留需要硬表面的現有樹木。在可能的情况下，孤立的土釘頭應該用適合顏色的啞光漆進行凹陷處理，以減少侵入性的視覺外觀。鋪設在土釘頭上並侵入邊坡的侵蝕控制墊也有助於減少其視覺突出。凹陷土釘頭的典型細節如圖 5.11。

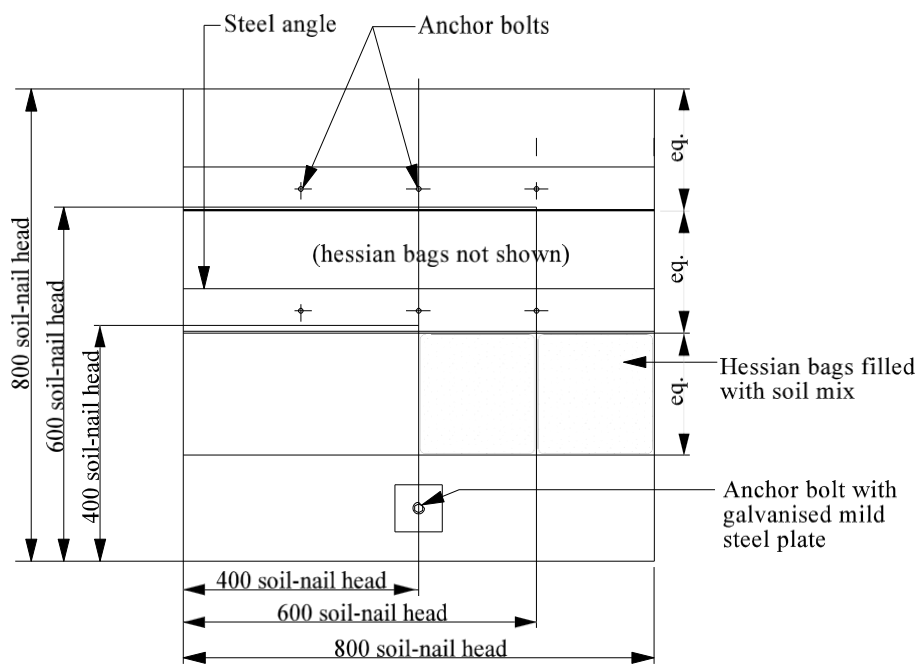
## 5.12 土釘設計之特定情況

### 5.12.1 總

第 5.3 至 5.11 節中給出的設計指導是專門用於在邊坡和擋土牆中承載瞬時載荷的土釘的設計，以及沒有連續地面變形的跡象。特別是關於適用性、耐久性、排水提供、美觀和景觀處理的設計考慮，一般也適用於其他應用領域。然而，在某些具體情況下，應遵循以下各節中提出的附加設計指南和要求。



**Typical Section**



**Typical Elevation**  
(erosion control mat and steel wire mesh not shown for clarity)

- Notes:
- (1) All dimensions are in millimetres.
  - (2) For further details refer to Standard Drawing Nos. C2106/4&5 promulgated by the Civil Engineering and Development Department.

圖 5.11 半明架土釘頭之典型細節

### 5.12.2 土釘設計之持續承載量

設計用於承載持續載荷的土釘需要在適用性和耐久性方面特別考慮。如果系統的穩定性不能在土釘的繼續作用的情況下不能維持，系統中的土釘應該承擔持續的載荷。以下指導適用於通過地面和土釘之間的相互作用自然地動員持續負荷的土釘。

因承載持續負荷的土釘通常與地面變形相關，更容易發生蠕變，特別是在土釘與高含量的細粉結合的地方，應進行變形分析（見第5.4節）。蠕變敏感性應根據6.3.3項的蠕變試驗確定，如果土釘被設計成粘土在土壤中。對於永久性持續使用的土釘子，完成的土釘系統的性能檢查應在項目實質完成之前進行，以確定其長期穩定性。

持續負載下的鋼筋比承載瞬時載荷的鋼筋更容易受到腐蝕。因此，應提供更嚴格的防腐措施。應遵循表 5.9 中給出的承受持續負荷的土釘的推薦防腐措施。

表 5.9 持續負荷土釘之侵蝕預防安全措施

| 設計壽命    | 土壤侵蝕性分類 |     |       |      |
|---------|---------|-----|-------|------|
|         | 高度侵蝕性   | 侵蝕性 | 中度侵蝕性 | 非侵蝕性 |
| 至 120 年 | 第一級     |     |       | 第二級  |
| 120 年以上 | 第三級     |     |       |      |

防腐措施：

第一級：熱鍍鋅，鍍層最小為  $610 \text{ g/m}^2$ 、波紋塑料護套

第二級：熱鍍鋅，鋼筋半徑最小鍍鋅層為  $610 \text{ g/m}^2$ 、犧牲厚度為 2 mm

第三級：熱鍍鋅，鍍層最小鍍層為  $610 \text{ g/m}^2$

Notes: (1) 對於沒有土壤侵蝕性評估的“潛在侵略性”場所，應提供設計壽命超過 2 年的土釘的 1 級防腐措施。  
(2) 對於設計壽命長達 2 年的土釘，土壤侵蝕性評估是不需要的。

土壤釘系統的變形監測和沿著代表性土釘移動的載荷應在施工期間和施工後一段相當長的時間內進行，通常至少有兩個濕季，以驗證設計假設並進行設計必要時進行更改。也應該對壓力進行監測，以幫助解釋變形數據。土釘用於臨時工作時，應進行變形監測，直至不再需要使用土釘。監測這些土釘中的載荷通常不是必要的。

### 5.12.3 臨時開挖土釘之設計

永久性土釘削坡坡度設計於第 5.6 節中的指導通常適用於臨時削坡土釘的設計。所需的安全因素應與永久新邊坡相同，但適當考慮到在臨時工程期間可能存在的地下水和裝載條件。

在規劃和設計分期削坡時，要特別注意暴露坡面的高度應根據其穩定性來確定，特別是在打釘頭之前。在進行下一階段的挖掘工程之前，應建造土釘頭和面。一些大型山體滑坡發生在臨時削坡中，其中安裝了土釘，但沒有土釘頭。

如果臨時削坡涉及承載持續負荷的土釘，則應遵循第 5.12.2 節給出的指導。如果土釘開挖的變形可能對附近的建築物，設施，服務和土地造成損害，則需要進行變形分析。

若臨時挖掘涉及到使用結構性側向支撐，土釘可作為搭扣。第 5.3, 5.4 和 5.5 條關於土釘設計的指導性通常適用。土釘可以被建模為向橫向支撐系統的桿壁提供外力的結構元件。應遵循 GCO 出版號 1/90：“挖掘設計方法審查（GCO，1990）”中關於側向支撐設計的指導。

因香港凝聚土壤中臨時開挖使用土釘之經驗有限，要特別注意爬坡對開挖的穩定性和適用性的影響，特別是如果土釘設計為承載持續載荷。

### 5.12.4 使用替代強化材料的土釘設計

雖然固體高變形鋼筋通常用於土釘加固，但還是可以考慮加固其他類型之材料。相關增強材料之替代方式說明如下：

- (1) 纖維增強聚合物：纖維增強聚合物或纖維增強塑料（FRP）是由嵌入熱固性或熱塑性聚合樹脂的纖維製成的複合材料。通常用於土木工程複合材料的纖維包括碳，玻璃和芳綸。FRP 加固在抗拉强度高，重量輕，耐腐蝕性好的情況下，優於鋼筋。然而，這種材料的缺點包括其低的彎曲和剪切能力以及其在破壞過程中的脆性。關於碳纖維增強聚合物（CFRP）加固的當地實驗室材料試驗和現場拉拔試驗數據，以及 CFRP 土釘的設計和施工臨時指導，由張和洛（2005）討論。
- (2) 不鏽鋼：一系列不鏽鋼合金類型可用於選擇土釘加固，以滿足機械方面和預期的土壤侵蝕性。不鏽鋼在五個合金組中生產，即奧氏體，鐵素體，雙相，馬氏體和沉淀硬化。不同的組具有不同的微觀結構，其由化學成分和所涉及的生產步驟決定。對於不鏽鋼鋼筋，奧氏體和雙相合金通常受到最多的關注。近來，變形鋼筋被不鏽鋼包層熔化的高屈服變形鋼和不鏽鋼棒的混合物成為可能。不鏽鋼加強件的優點是耐腐蝕性好，而鋼的韌性行為得以保留。另外，由於不涉及增強塗層，所以既不需要特別處理暴露的削坡端，也不需要對塗層造成損壞的風險。不鏽鋼

的成本很高，在香港使用不銹鋼包覆條的經驗很少。

- (3) 高拉伸鋼筋和鋼筋：預應力錨桿通常使用高強度鋼筋加固件。於土釘中使用此材料之優點是它的靈活性，特別在具有有限的工作空間等場所情況下協助增強該安裝。類似於高屈服變形鋼筋，高強度鋼絞線和鋼筋容易腐蝕。必須將合適的防腐措施與加強筋結合使用。地面和柔性鋼筋加固之間的相互作用尚未明了。

在評估材料作為高強度變形鋼筋替代土釘加固的適用性時，設計人員應適當考慮在設計和施工要求下使用材料的優缺點。例如，由於缺乏纖維增強聚合物材料的韌性破壞行為，可能需要非常高的安全性來防止拉伸破壞，因此使其使用在大多數應用中是不經濟的。雖然其中一些替代材料已被用作海外的土釘，但在香港的應用程度有限。如果這些材料用作土釘加固，設計中應考慮以下因素：

- (a) 張力(擴張)、剪切和彎曲的聯合作用下的能力
- (b) 易彎曲或剪切破壞
- (c) 材料與地面之間的應變兼容性

- (d) 材料與水泥漿料之間之粘結強度
- (e) 於張力、剪切和彎曲等綜合作用下之延展性
- (f) 長期持久性
- (g) 現場材料之運輸、儲存和處理等特殊要求
- (h) 相關測試需求
- (i) 維修及觀察規範

## 6. 建造

### 6.1 總

土釘之材質和做工質量需符合設計要求。設計人員應在合同文件中納入足夠的控制措施，確保在施工期間對與特定項目規模和複雜程度相適應的適當的岩土工程監理、檢測和監測進行評估。

在土釘工程中所有階段，特別是以後難以驗證的作業方面，例如土釘的長度，聯結器的完整性和防腐蝕措施，都需要適當的監督和控制。應向現場監督人員提供足夠的信息和通報，以了解工程的岩土工程內容，關鍵設計假設和可能遇到的潛在異常範圍。在設計施工期間，設計師有責任審查設計關鍵設想的有效性。但現場監督人員應通知設計人員實際情況是否與假設有明顯的偏差。

在進一步提供有關實際地下水和地下水條件的信息的施工階段，設計的開發和驗證應持續進行。這可能會導致原始設計的改進。土力指南出版物第 1/2007 號：香港工程地質實踐（GEO，2007a）介紹了工程地質投入和相關良好實踐在香港的重要性。

關於施工管理方面的一般指導，參見“岩土工程手冊”（GCO，1984）第 9 章和“土力指南 1：擋土牆設計指南”（GEO，1993）第 12 章。本章涵蓋了土釘工程的進一步指導。

### 6.2 建造監督和考量

#### 6.2.1 總

監理、檢查和保存土釘工程所有施工活動的準確記錄非常重要，因為一旦安裝了土釘，質量不容易看到。所有土釘工程應由具有適當資質和經驗的人員進行監督。一般情況下，對現場監理人員進行單獨檢查和檢查時，應對所有土釘工程進行全面監督，包括拉拔試驗，土釘加固和灌漿等。土釘工程監督之內容如下：

- (a) 對於尺寸、等級、長度、防腐措施和完整性進行土釘加固及其附件的檢查，並檢查所有土釘構件是否符合規範要求，
- (b) 檢查以確保土釘，特別是其長度，傾斜度和間距，均按照設計構造，
- (c) 監測和記錄土釘的安裝和測試操作，特別是鑽井過程中遇到的地面和地下水情況，持續低壓頭處的灌漿量以及拉拔試驗過程
- (d) 評估用於建造土釘的方法和施工順序的安全性和充分性，特別是對於由土釘支撐的削坡
- (e) 評估臨時工程的安全性及其對邊坡或削坡及其附近地面，結構，設施和服務的影響
- (f) 確定不符合規範或議定的臨時或永久工程方法說明，及時糾正情況。

對於公共工程項目，“項目管理手冊”（CEDD，2006b）規定了監督人員的指導和要求。“土木工程一般規範”（CEDD，2006a）對材料和工藝要求進行了說明。對於私人項目，要求是由屋宇署發出的“2005 年現場監管實務守則”（屋宇署，2005a）及“2005 年監管計劃技術備忘錄”（BD，2005b）中規定。圖 6.1 給出了提供構建土釘子時可能需要解決的一般問題的樣本清單。應對該清單進行修改，以適應個別情況和合同要求。以下部分提供了與這些重大建設活動有關的一些重要問題。

## 6.2.2 鑽孔

鑽孔對準的正確性對於預防土釘的碰撞是非常重要的，特別是對於緊密間隔或長的土釘或具有不同傾角和方位的土釘。通常的做法是通過在鑽桿上使用量角器和羅盤來檢查鑽孔的傾斜度和軸承的正確性。控制和檢查鑽孔的初始傾角和軸承是至關重要的。如果需要精確測量鑽孔沿其長度的傾斜度和軸承，則可以採用諸如伊士曼相機的特殊設備。

為了鑽長土釘，應適當地控制鑽速，以最小化由鑽桿侵入產生的偏心率，否則可能導致鑽孔不對准或者可能不適當地增大鑽孔的直徑並導致孔塌陷。

|          | 活動                                                              | 發現 |   |   | 備註 |
|----------|-----------------------------------------------------------------|----|---|---|----|
| 編號       | 內容                                                              | 是  | 否 | 無 |    |
| <b>1</b> | <b>建造前製回顧</b>                                                   |    |   |   |    |
| 1.1      | 是否受過任何批准之圖紙、岩土設計報告和規格？                                          |    |   |   |    |
| 1.2      | 是否受過任何批准的方法聲明提供施工程序和作品序列？                                       |    |   |   |    |
| 1.3      | 是否受過任何材料要求、施工公差和驗收/排除標準？                                        |    |   |   |    |
| 1.4      | 為確保施工品質，是否有任何相關測試措施？                                            |    |   |   |    |
| 1.5      | 為確保工作表現，是否有任何相關監督措施？                                            |    |   |   |    |
| 1.6      | 因應長期之工程，於這期間是否有任何臨時工程需配合？                                       |    |   |   |    |
| 1.7      | 為評估該工地之可建性，是否於施工前期進行測試？                                         |    |   |   |    |
| <b>2</b> | <b>設置</b>                                                       |    |   |   |    |
| 2.1      | 土釘設置位置是否對應合約需求？                                                 |    |   |   |    |
| 2.2      | 檢查土釘之位置是否會影響現有的公用事業、渠道、地面巨石、樹木、基礎設施和其他建築物、還是任何建議的工程，如地面通道和地下水渠？ |    |   |   |    |
| <b>3</b> | <b>鑽孔</b>                                                       |    |   |   |    |
| 3.1      | 鑽孔器材是否通過檢查？                                                     |    |   |   |    |
| 3.2      | 鑽井作業中產生的水、灰塵、煙霧和噪音是否得到充分轉移、控制、抑制和消聲？                            |    |   |   |    |
| 3.3      | 附近居民看到的工作平台上的鑽井作業是否被篷佈板屏蔽？                                      |    |   |   |    |
| 3.4      | 是否有使用永久或臨時套管的任何要求？                                              |    |   |   |    |
| 3.5      | 於鑽孔附近有沒有新的灌漿土釘子要鑽？                                              |    |   |   |    |

表 6.1 土釘施工控制樣本清單 (1/4)

|     | 活動                                                                       | 發現 |   |    | 備註 |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|----|---|----|----|
| 編號  | 內容                                                                       | 是  | 否 | 編號 | 內容 |
| 3.6 | 鑽孔直徑、長度、傾角和軸承是否符合合約需求？                                                   |    |   |    |    |
| 3.7 | 承包商是否適當地控制了鑽速，以便在鑽長長的土釘時最小化鑽桿傾斜產生的偏心率？                                   |    |   |    |    |
| 3.8 | 對鑽孔過程中鑽孔傾角和軸承的正確性進行隨機差？                                                  |    |   |    |    |
| 3.9 | 地下水是否有異常？                                                                |    |   |    |    |
| 4   | <b>土釘鋼筋組裝</b>                                                            |    |   |    |    |
| 4.1 | 包括鋼筋、灌漿管、扶正器、加強連接器、波紋塑料護套、熱收縮套管、墊圈、螺母、承載板和導線（NDT）的土釘部件，包括正確的類型，等級，長度和尺寸？ |    |   |    |    |
| 4.2 | 扶正器是否足以支撐鋼筋並確保最小的灌漿蓋？                                                    |    |   |    |    |
| 4.3 | 組裝後檢查加固連接件是否有密封？                                                         |    |   |    |    |
| 4.4 | 灌漿管是否直線、沒有堵塞、沒有側孔（除了合同中規定的管道的盡頭之外），並延伸到土釘的末端？                            |    |   |    |    |
| 4.5 | 侵蝕措施是否符合合同要求對連接件進行加固和加固，是否經過檢驗？                                          |    |   |    |    |
| 4.6 | 組裝方法是否通過現場試驗驗證，在插入和取出土釘時，不會對裝配完成後的土釘部件造成損壞，變形和移位？                        |    |   |    |    |
| 5   | <b>組裝</b>                                                                |    |   |    |    |
| 5.1 | 鑽孔是否比合約允許之打開時間更長？                                                        |    |   |    |    |
| 5.2 | 是否有穩定水量從鑽孔出來？                                                            |    |   |    |    |

表 6.1 土釘施工控制樣本清單 (2/4)

|          | 活動                                       | 發現 |   |     | 備註 |
|----------|------------------------------------------|----|---|-----|----|
| 編號.      | 內容                                       | 是  | 否 | 編號. | 內容 |
| 5.3      | 在安裝鋼筋之前，是否有鑽孔清除了碎屑和立式水？                  |    |   |     |    |
| 5.4      | 是否插入了土釘加固件的正確裝配？                         |    |   |     |    |
| 5.5      | 在將加固件插入鑽孔時遇到障礙物？                         |    |   |     |    |
| 5.6      | 按照合同要求，在加固的末端與鑽孔底部之間是否保持安裝？              |    |   |     |    |
| <b>6</b> | <b>灌漿</b>                                |    |   |     |    |
| 6.1      | 灌漿混合標準是否有符合合約需求？                         |    |   |     |    |
| 6.2      | 灌漿作業是否依據相關說明方式進行？                        |    |   |     |    |
| 6.3      | 土釘灌漿作業是否與土釘安裝作業同天進行？                     |    |   |     |    |
| 6.4      | 灌漿過程中所產生的水、灰塵、煙霧和噪音是否能充分轉移，控制，抑制和消音？     |    |   |     |    |
| 6.5      | 是否有多餘的灌漿？                                |    |   |     |    |
| 6.6      | 從鑽孔頂部返回的水泥漿是否符合清潔度和粘度之滿意度？               |    |   |     |    |
| 6.7      | 依據相關合同要求，完成灌漿後保持在出口管道中之水泥漿料是否有達到初始設定標準？； |    |   |     |    |
| <b>7</b> | <b>土釘頭建造</b>                             |    |   |     |    |
| 7.1      | 土釘頭的尺寸是否正確？且按照合同需求使用之材料？                 |    |   |     |    |
| 7.2      | 鋼筋是否有被妥善的清理？                             |    |   |     |    |
| 7.3      | 放置之混凝土是否被充分壓實以避免蜂窩結構產生？                  |    |   |     |    |

表 6.1 土釘施工控制樣本清單 (3/4)

|           | 活動                                                                         | 發現 |   |     | 備註 |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|----|---|-----|----|
| 編號.       | 內容                                                                         | 是  | 否 | 編號. | 內容 |
| 7.4       | 使用噴射混凝土時，將土釘頭的混凝土分為兩個階段？                                                   |    |   |     |    |
| 7.5       | 在混凝土施工過程中產生的水、灰塵、煙霧和噪音被充分轉移、控制、抑制和消聲？                                      |    |   |     |    |
| 7.6       | 依據合約需求，對於打釘頭的工藝是否有異常現象？                                                    |    |   |     |    |
| 7.7       | 依據合約需求，是否將瓦楞塑料護套埋在土釘頭上？                                                    |    |   |     |    |
| <b>8</b>  | <b>拔除測試</b>                                                                |    |   |     |    |
| 8.1       | 土釘組裝是否通過相關拔除測試？                                                            |    |   |     |    |
| 8.2       | 拔除測試是否有符合合約需求？                                                             |    |   |     |    |
| 8.3       | 是否有需要進行蠕變試驗的必要性？                                                           |    |   |     |    |
| 8.4       | 測試完成後，試驗土釘指孔是否完全灌漿？                                                        |    |   |     |    |
| <b>9</b>  | <b>開挖</b>                                                                  |    |   |     |    |
| 9.1       | 挖掘和土釘施工順序是否按照方法說明？                                                         |    |   |     |    |
| 9.2       | 土釘和土釘頭是否及時建成？                                                              |    |   |     |    |
| 9.3       | 挖掘面是否受到水侵和表面侵蝕之保護？                                                         |    |   |     |    |
| 9.4       | 臨時排水規定是否足夠？                                                                |    |   |     |    |
| 9.5       | 是否有任何影響挖掘或附近設施穩定性之過度活動？                                                    |    |   |     |    |
| <b>10</b> | <b>工地監督</b>                                                                |    |   |     |    |
| 10.1      | 是否由政府部門或土力工程顧問為公共工程提供了必要的合格監督（例如第一類和第三類現場監督），以及私人項目的註冊岩土工程師，特別是在土釘工程的關鍵階段？ |    |   |     |    |

表 6.1 土釘施工控制樣本清單 (4/4)

於特殊情況下，例如穿過鬆散材料區域且可以使用套管來增強可建造性。土壤中的鑽孔只能在短時間內保持打開。孔打開的時間越長，崩潰的風險越大。

在水下鑽孔應謹慎，因為孔比干燥地面中的孔更容易崩潰。也可能對鄰近地面造成干擾，這將削弱地面和土釘之間的粘結強度。在困難的地面條件下，可能必須考慮適當的脫水措施，以便於土釘的鑽孔。應適當評估任何脫水的影響，並酌情採取緩解措施。

在鋼筋混凝土牆進行鑽井作業之前，應採取安全措施，避免鋼筋混凝土牆體中的鋼筋受損，例如使用金屬探測器確定鋼筋的位置。

諸如鑽井過程監測（DPM）等先進技術（Yue 等，2004）可用於記錄鑽孔過程中的信息。

### **6.1.1 土釘鋼筋組裝**

在插入土釘加固件之前，應檢查熱鍍鋅，波紋塑料護套和熱收縮套管等防腐措施的完整性。點蝕點不應該被容忍，因為這可能會在侵蝕性地面條件下導致嚴重的腐蝕。

鑽孔應保持清潔，否則水泥漿套的完整性將受到影響。簡單的工具，如鏡子和高強度的光通常足以檢查鑽孔的清潔度。對於長鑽孔，可以使用閉路電視（CCTV）。如果在將土釘加固件插入鑽孔期間遇到障礙物，則應在鋼筋被重新插入之前撤除鋼筋並堵塞障礙物。

在插入土釘加固件期間，鋼筋不應完全推到鑽孔底部。設計人員指定的最小間隙應保持在鋼筋的端部與鑽孔的底部之間，以便有足夠的水泥漿覆蓋到土釘加固件上。

### **6.1.2 灌漿**

應該盡快進行灌漿，例如在土釘加固桿插入鑽孔的同一天，以盡量減少孔洞的可能性。使用插入鑽孔底部的灌漿管進行灌漿，應繼續進行，直到從孔頂出現的水泥漿不受污染。這有助於確保水泥灌漿套管的良好完整性。為了補償可能的灌漿洩漏，在灌漿完成之後，通常在鑽孔口上方約1米處的壓頭應保持在水泥灌漿套筒中，直到水泥漿料達到初始凝固。

水泥漿滲漏過大意味著難以形成完整的水泥灌漿套筒。水泥泥漿的過度遷移也可能增加地下水淹沒和地面污染的風險。通過記錄放置在每個鑽孔中的水泥漿的體積來監測水泥漿的量。如果過度灌漿，應立即通知設計人員，以確定採取的措施，例如採用分級灌漿，套管滲漏的位置。此外，設計人員應該審查假設設計模型的有效性，以評估是否需要設計變更。

對於用波紋塑料護套灌注土釘，如果護套壁和土釘加固件之間的內部環形空間首先被灌漿，並且集中器不夠堅固以支撐重量，則可能會發生支撐之間的護套的過度偏轉和變形的濕灌漿。若首先在外環中進行注漿，則應採取適當措施防止護套浮起。

應盡可能避免水下灌漿，因為水泥漿的完整性可能受到不利影響。若預計灌漿作業將受到地下水的影響，則應將設計中的脫水措施，例如排水渠道的規定納入設計。如果鑽孔意外地侵入持續的地下水位，則在灌漿作業之前應該實施脫水措施。任何脫水對鄰近地面和設施的影響應予適當評估，並採取緩解措施，酌情減輕影響。

### **6.1.3 土釘建造**

應特別注意確保釘頭的完整性，特別是在承載板下方的蜂窩結構不常見的位置。若使用噴塗混凝土，最佳狀況是於兩個階段中建造土釘頭。第一階段混凝土應適用於鋼承載板預定基準面以上的規定厚度。然後在應用第二階段混凝土之前，將支承板錘擊到位，並將螺母擰緊到土釘加固件上。如果有必要，一些土釘頭應作為質量檢查被揭開。

### **6.1.4 開挖順序**

土釘開挖通常分階段進行。暴露的坡面的高度是根據其臨時穩定性來確定的。在安裝一排土釘後，隨後的挖掘工作只有在挖掘的臨時穩定性足夠的情況下才能進行。在開挖下一階段之前，應該建造土釘頭和面，除非在沒有土釘頭的情況下土釘釘挖掘的臨時穩定性足夠（見第 5.12.3 節）。監測和控制土釘的安裝順序和時間安排，打釘頭，開挖施工，以達到上述要求。

## 6.2 測試

### 6.2.1 材料合規測試

用於施工土釘的所有材料均應符合設計規範要求。應對代表性樣品進行材料合格性測試，以驗證材料的質量。對於水泥漿，需要進行抗碎強度，流出和流出錐體流出時間的測試，對於土釘加固，應進行拉伸試驗，彎曲試驗和再彎曲試驗。對於公共工程項目，“土木工程總體規範”（CEDD，2006a）規定了檢測要求，抽樣頻率和驗收標準。

### 6.2.2 拔除測試

現場拉拔試驗的主要目的是驗證關於地面和水泥灌漿套管之間界面處的粘結強度的設計假設。試驗還說明了承包商的工藝，施工方法在特定地面和地下水條件下的適用性和潛在的施工困難。拉伸試驗應盡可能在拉拔阻力可能較低的地方進行，或者土釘的可建性最不確定，例如在材料相對較弱或地下水位較高的地點。在施工工作土釘之前，應進行拉拔試驗，以便根據需要對從試驗中收集的信息進行審查，以進行設計變更。

試驗土釘應使用與工作土釘相同的程序進行安裝，只有土釘的底部有灌漿。在香港，測試土釘的水泥灌漿套管的長度通常為2米。粘結長度太短可能不具有足夠的代表性，而長粘結長度需要大的拉拔載荷，因此需要重機和設備。然而，設計人員可以指定2米以外的粘合長度，以適應特定的測試目標。

收集更多的信息如鑽孔時遇到的材料類型和地下水的存在，能有利於了解更多關於特定地點之地面條件。

用於拉拔試驗的土釘需要鑽孔的部分灌漿，以形成指定的粘結長度進行測試。灌漿應該緩慢而仔細地進行，以防止過度灌漿。封隔器通常用於密封灌漿段。可以使用許多類型的包裝機，例如充氣封隔器。只能使用能有效密封灌漿部分的包裝機。封隔器應盡可能不對灌漿段的粘結強度作出貢獻，否則在估計粘結強度時應考慮到貢獻。除了封隔器，時域反射技術可以用於確定灌漿過程中灌漿段的長度，具有合理的準確度。

設置拉拔試驗裝置時，不得將用於試驗的鋼製支承板壓在鋼筋上，因為這樣會使鋼條偏轉，從而在試驗過程中給出不正確的讀數。還應向測試設備提供無摩擦支撐，以便最小化由頂起運動引起的摩擦損失。圖 6.1 中顯示了一個測試設備和設置的示例。

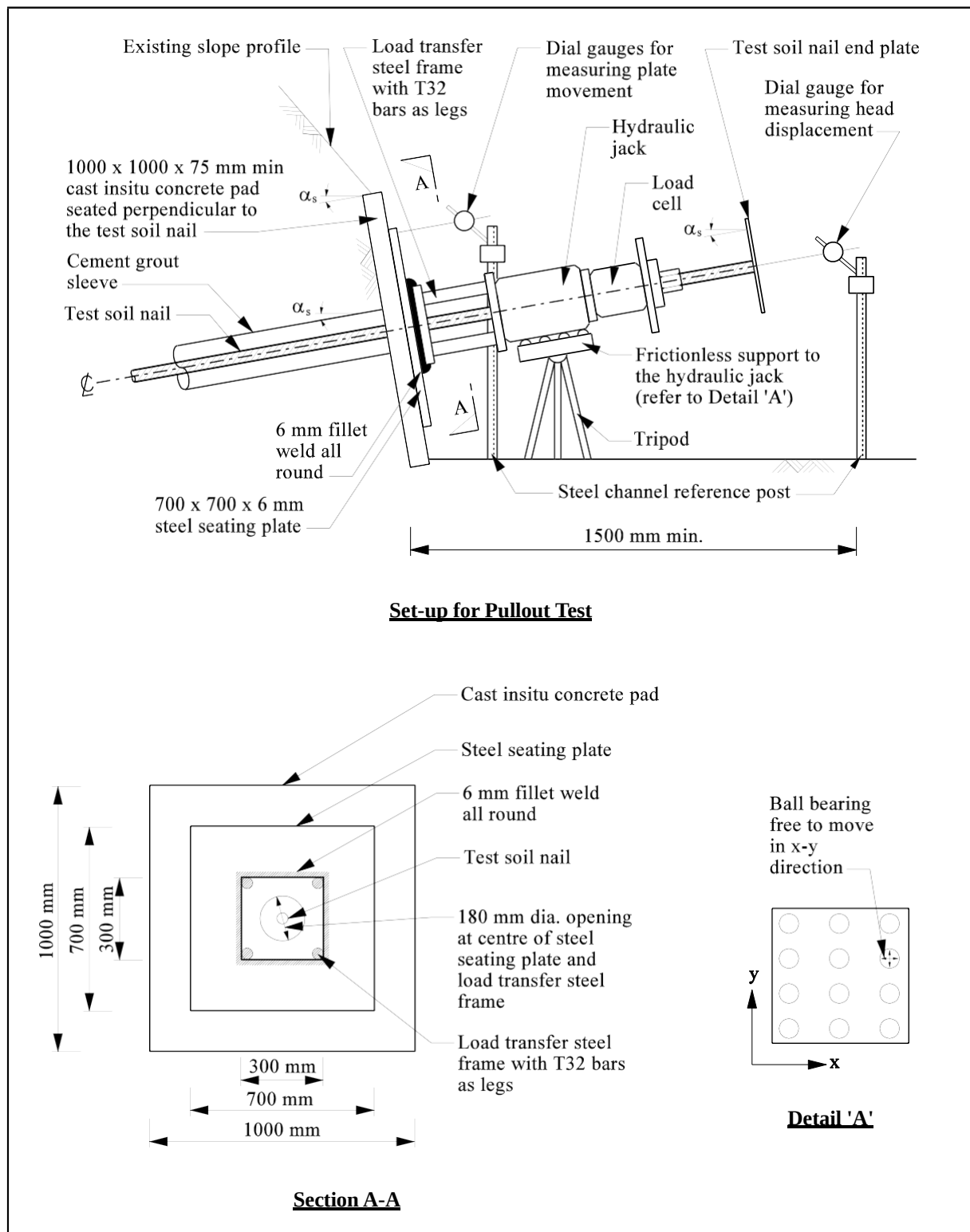


圖 6.1 設置推桿測試

一般作法是將拉拔試驗次數設定為工作土釘總數的 2%，最少為 2 次。然而，設計人員應該進行工程判斷，以確保拉拔試驗的數量足以代表滿足試驗目標。典型的測試程序和驗收標準見圖 6.2。

由於進行拉拔試驗的土釘的完整性在試驗過程中可能會受損，因此應將其作為犧牲品，並在試驗完成後由水泥漿填滿，即不應構成永久性工程的一部分。工作土釘不應用於拉拔試驗，因為在試驗過程中水泥漿套的完整性可能會受損。結果也是誤導性的，因為拉出阻力的一部分歸因於活性區中的地層粘結。

### 6.2.3 蠕變測試

對於設計用於承載持續負載並粘結在土壤中的土釘，應進行蠕變試驗以確定土釘長期蠕變的易感性。測試可以作為拉拔測試的一部分進行。蠕變試驗的數量可能與拉拔試驗的數量相同。然而，設計人員應該對測試滿足測試目標的充分性和代表性進行工程判斷。測試之典型程序和驗收標準見圖 6.3。

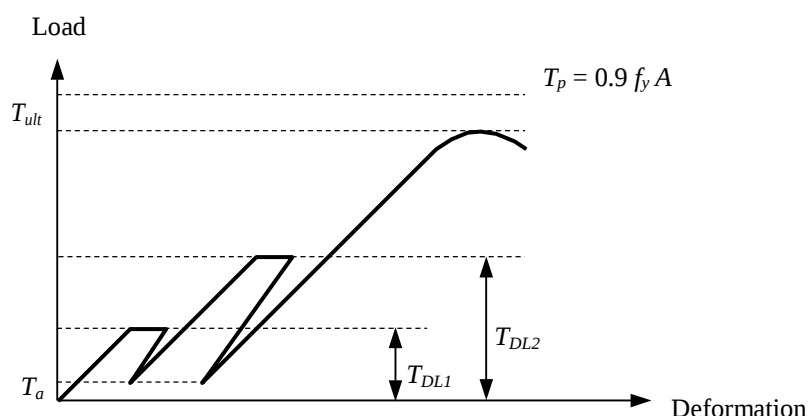
若任何蠕變試驗不能滿足驗收標準，蠕變試驗所代表的土釘之設計粘結強度應根據需求再進行審查和修訂。若設計粘結強度發生變化，應進行新的蠕變試驗。

### 6.2.4 非破壞性測試

非破壞性測試（NDT）可提升施工標準，且促進安裝技術和質量控制的自我改進。測試結果可用於建立安裝的土釘的完整性的整體圖。

NDT 已在香港用於評估鋼筋的長度和安裝的土釘中水泥灌漿套的完整性，例如使用預先安裝的導線對土釘進行時域反射測試（TDR）測試。只要 NDT 的限制被理解和允許，這些測試可以作為一個有用的審計工具。請參閱 Lee & OAP（2007）關於香港通用的無損檢測技術。

在已經研究的潛在 NDT 技術中，TDR 已被證明是可靠的，並且是最簡單的（Lee & OAP，2007）。還有其他技術可用於檢查安裝的土釘的質量。為了接受任何新的無損檢測技術進行質量控制，除了可靠性、科學依據和局限性等其他考慮外，該技術還應具有解釋測試結果的已知和一致的基礎。應參考 GEO 技術指導說明 18（GEO，2004b）關於接受質量控制方法的原則。



**Schematic Diagram of Load-deformation Cycles of a Pullout Test**

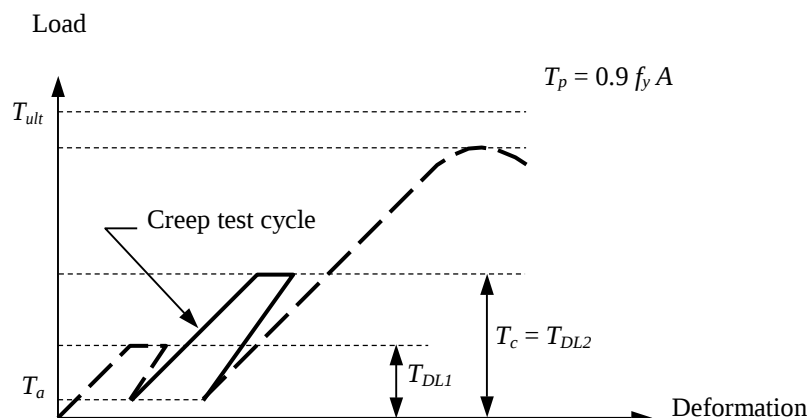
#### Testing Procedures<sup>4)</sup>

1. The test soil nail shall be loaded in stages: from the initial load ( $T_a$ ) via two intermediate test loads ( $T_{DL1}$  and  $T_{DL2}$ ) to the maximum test load.<sup>4)</sup>
2.  $T_{DL1}$  shall be the allowable pullout resistance provided by the bond length of the cement grout sleeve of the test soil nail.<sup>4)</sup>
3.  $T_{DL2}$  shall be  $T_{DL1}$  times the factor of safety against pullout failure at soil-grout interface ( $F_{SG}$ ).<sup>4)</sup>
4. The maximum test load shall be 90 % of the yield load of the test soil-nail reinforcement ( $T_p$ ) unless the ultimate ground-grout bond load ( $T_{ult}$ ) is reached during the test. Reinforcement size larger than that of the working soil nail should be used in the pullout test, where necessary, to allow the development of  $T_{ult}$  prior to reaching  $T_p$ .<sup>4)</sup>
5.  $T_a$  shall be  $T_{DL1}$  or 5 % of  $T_p$ , whichever is smaller.<sup>4)</sup>
6. During the first two loading cycles,  $T_{DL1}$  and  $T_{DL2}$  shall be maintained for 60 minutes for deformation measurement. The measurement at each of the cycles shall be taken at time intervals of 1, 3, 6, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. If the test soil nail can sustain the test load subject to the acceptance criteria given below, the load shall be reduced to  $T_a$  and the residual deformation shall be recorded, after which the test shall proceed to the next loading cycle.<sup>4)</sup>
7. In the last loading cycle, the test load shall be increased gradually from  $T_a$  straight to the maximum test load and then maintained for deformation measurement. The measurement shall be taken at time intervals of 1, 3, 6, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. If the test soil nail can sustain the test load subject to the acceptance criteria given below, the load shall be reduced to  $T_a$  and the residual deformation shall be recorded, after which the test is completed.<sup>4)</sup>
8. If the test soil nail fails to sustain  $T_{DL1}$ ,  $T_{DL2}$ , or the maximum test load in any cycle, the test shall be terminated and the soil nail movement against residual load with time shall be recorded. The measurements shall be taken at time intervals of 1, 3, 6, 10 and, every 10 minutes thereafter over a period for at least two hours. The measurements shall be taken for a longer period where considered necessary.<sup>4)</sup>

#### Acceptance Criteria<sup>4)</sup>

The test soil nail is considered to be able to sustain the test load if the difference of soil nail movements at 6 minutes and 60 minutes does not exceed 2 mm or 0.1 % of the bond length of the test soil nail.<sup>4)</sup>

圖 6.2 推廣測試之典型程序和接受標準



**Schematic Diagram of Load-deformation Cycle of a Creep Test as part of a Pullout Test**

#### Testing Procedures<sup>4)</sup>

1. The procedures for a creep test are similar to those for a pullout test except that only one loading cycle is required. Hence, it may be carried out as part of a pullout test. Typical procedures for a pullout test and the definition of  $T_a$ ,  $T_{DL1}$  and  $T_{DL2}$  are given in Figure 6.3.<sup>4)</sup>
2. The test soil nail shall be loaded from  $T_a$  to the creep test load ( $T_c$ ).<sup>4)</sup>
3. The creep test load ( $T_c$ ) is defined as the allowable pullout resistance provided by the bond length of the cement grout sleeve of the test soil nail times the factor of safety against pullout failure at soil-grout interface ( $F_{SG}$ ), which is corresponding to the intermediate test load  $T_{DL1}$  for a pullout test.<sup>4)</sup>
4. The creep period shall be deemed to begin when  $T_c$  is applied. The load shall be maintained for 60 minutes for deformation measurement. During the creep period, the measurement shall be taken at time intervals of 1, 3, 6, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes.<sup>4)</sup>

#### Acceptance Criteria<sup>4)</sup>

A test soil nail shall be considered acceptable when:<sup>4)</sup>

- (a) the difference of soil nail movements at 6 minutes and 60 minutes during the creep period does not exceed 2 mm or 0.1 % of the bond length of the test soil nail, and<sup>4)</sup>
- (b) the overall trend of creep rate (i.e., soil nail movement/log time) is decreasing throughout the creep period.<sup>4)</sup>

**圖 6.3 潛變測試之典型程序和接受標準**

### 6.2.5 破壞性測試

土釘破壞性檢測案例很少能順利進行。若有需求，工作人員需採用破壞性的測試技術，例如縫合鑽孔，抽取芯和開挖，以排除已安裝的土釘，以檢查其長度和建造狀況。然而，難以控制鑽孔和取芯相對於安裝的土釘的對準。挖掘長期深埋的土釘可能甚至是不切實際的。

## 7. 監測暨維護

### 7.1 總

本章為土釘系統的監測和維護提供具體指導。岩土工程手冊（GCO，1984）和土力指南 5：坡度

### 7.2 監測

對於承載瞬時負載的土釘加固的永久性邊坡或擋土牆通常不需要進行監測。對於攜帶持續負荷的土釘子，應在施工期間和相當長的時間內施工地面運動和沿代表性土釘移動的載荷進行監測，例如施工後至少兩個濕季。傾斜計可用於獲得水平地面運動的完整垂直剖面。還應該對壓力進行監測，以幫助解釋變形數據。若於臨時結構中使用承載持續負荷的土釘，則應進行運動監測，直到不再需要使用土釘。監測這些土釘中的載荷通常不是必要的。

於正常情況下，土釘和相關灌漿對水文地質條件不會產生顯著的不利的水壩作用（HCL，2007）。然而，在過度的灌漿洩漏的情況下，水泥漿可以顯著降低地面的滲透性，可能會阻止地下水。如果出現防水效應的問題，應立即將壓力計安裝在土釘區的預期範圍之後，以便在土釘工作之前和之後進行監測以確定其影響。在規劃壓力計的位置時，也應考慮其被滲漏的水泥漿堵塞的潛力。

### 7.3 維護

土釘系統的維護要求應遵循土力指南 5：“坡度維護指南”（GEO，2003）中的建議。特別地，土力指南 5 建議工程師維修頻率每五年一次，對於第一類和第二類邊坡的生命週期，每十年一次。如果通過施工後審查確認了土釘邊坡或擋土牆的性能令人滿意，則維修工程師維修次數可能會降低。

## 參考

- BD (2005a). *Code of Practice for Site Supervision 2005*. Buildings Department, Hong Kong, 104 p.
- BD (2005b). *Technical Memorandum for Supervision Plans 2005*. Buildings Department, Hong Kong, 31 p.
- BSI (1990). *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes (BS 1377: Parts 1 to 9: 1990)*. British Standards Institution, London, UK, 406 p.
- BSI (1997). *Structural Use of Concrete. Part 1 - Code of Practice for Design and Construction (BS 8110: Part 1: 1997)*. British Standards Institution, London, UK, 163 p.
- BSI (1999). *Hot Dip Galvanised Coatings on Fabricated Iron and Steel Articles - Specifications and Test Methods (BS EN ISO 1461: 1999)*. British Standards Institution, London, UK, 22 p.
- CEDD (2006a). *General Specification for Civil Engineering Works*. Civil Engineering and Development Department, Hong Kong.
- CEDD (2006b). *Project Administration Handbook*. Civil Engineering and Development Department, Hong Kong.
- Cheung, W.M. & Lo, D.O.K. (2005). Use of carbon fibre reinforced polymer reinforcement in soil nailing works. *Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 25<sup>th</sup> Annual Seminar: Safe and Green Slopes*. The Hong Kong Institution of Engineers, Hong Kong, pp. 175-184.
- CIRIA (2005). *Soil Nailing - Best Practice Guidance*. Construction Industry Research & Information Association, London, UK, Report No. C637, 286 p.
- Clouterre (1991). *French National Research Project Clouterre - Recommendations Clouterre (English Translation 1993)*. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C., USA, Report No. FHWA-SA-93-026, 321 p.
- DOT (1994). *Design Methods for the Reinforcement of Highway Slopes by Reinforced Soil and Soil Nailing Techniques (HA 68/94)*. Department of Transport, UK.
- ETWB (2006). *Code of Practice on Monitoring and Maintenance of Water-carrying Services Affecting Slopes*. Environment, Transport and Works Bureau, Hong Kong, 93 p.
- Eyre, D. & Lewis, D.A. (1987). *Soil Corrosivity Assessment. (Contractor Report 54)*.  
◆ Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK.

---

備註：(\*) 標記的出版物是指導文件，為土釘的設計和施工提供補充指導

- FHWA (1998). *Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls*.  
 ◆ Federal Highway Administration, US Department of Transportation,  
 Washington, D.C., USA, Report No. FHWA-SA-96-069R, 530 p.
- FHWA (2003). *Geotechnical Engineering Circular No. 7 - Soil Nail Walls*. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington, D.C., USA, Report No. FHWA0-IF-03-017, 210 p.
- \*GCO (1984). *Geotechnical Manual for Slopes. (2<sup>nd</sup> Edition)*. Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 295 p.
- \*GCO (1987). *Guide to Site Investigation (Geoguide 2)*. Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 359 p.
- \*GCO (1988). *Guide to Rock and Soil Descriptions (Geoguide 3)*. Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 189 p.
- GCO (1990). *Review of Design Methods for Excavations (GCO Publication No. 1/90)*.  
 ◆ Geotechnical Control Office, Civil Engineering Services Department, Hong Kong, 192 p.
- \*GEO (1993). *Guide to Retaining Wall Design (Geoguide 1). (2<sup>nd</sup> Edition)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 258 p.
- GEO (2000a). *Highway Slope Manual*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 114 p.
- GEO (2000b). *Technical Guidelines on Landscape Treatment and Bio-engineering for Man-made Slopes and Retaining Walls (GEO Publication No. 1/2000)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 146 p.
- \*GEO (2001). *Model Specification for Soil Testing (Geospec 3)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 340 p.
- \*GEO (2003). *Guide to Slope Maintenance (Geoguide 5). (3<sup>rd</sup> Edition)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 132 p.
- \*GEO (2004a). *Updating of GEO Report No. 56 : Application of Prescriptive Measures to Slopes and Retaining Walls (2<sup>nd</sup> Edition) (GEO Technical Guidance Note No. 9)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 4 p.
- GEO (2004b). *Acceptance of Methods for Quality Control (GEO Technical Guidance Note No. 18)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 2 p.

---

備註：(\*) 標記的出版物是指導文件，為土釘的設計和施工提供補充指導

- GEO (2006). *Hydraulic Design of Stepped Channels on Slopes (GEO Technical Guidance Note No. 27)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 16 p.
- \*GEO (2007a). *Engineering Geological Practice in Hong Kong (GEO Publication No. 1/2007)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 278 p.
- GEO (2007b). *Update of GEO Publication No. 1/2000 - Technical Guidelines on Landscape Treatment and Bio-engineering for Man-made Slopes and Retaining Walls (GEO Technical Guidance Note No. 20)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 8 p.
- HCL (Halcrow China Limited) (2007). *Study on the Potential Effect of Blockage of Subsurface Drainage by Soil Nailing Works (GEO Report No. 218)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 102 p.
- HKG (1991). *Tree Planting and Maintenance in Hong Kong*. Hong Kong Government, Hong Kong, 53 p.
- \*HKIE (2003). *Soil Nails in Loose Fill Slopes (A Preliminary Study) - Final Report*.
  - ◆ Geotechnical Division, The Hong Kong Institution of Engineers, Hong Kong, 38 p.
- Jewell, R.A. & Pedley, M.J. (1992). Analysis for soil reinforcement with bending stiffness.
  - ◆ *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 118, No. 10, October, pp. 1505-1528.
- Jewell, R.A. & Wroth, C.P. (1987). Direct shear tests on reinforced sand. *Géotechnique*, Vol. 37, No. 1, pp. 53-68.
- Krahn, J. (2003). The 2001 R.M. Hardy Lecture: The limits of limit equilibrium analyses.
  - ◆ *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 40, No. 3, pp. 643-660.
- Lee, C.F. & OAP (Ove Arup & Partners Hong Kong Limited) (2007). *Review of Use of Non-destructive Testing in Quality Control in Soil Nailing Works (GEO Report No. 219)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 109 p.
- \*Lui, B.L.S. & Shiu, Y.K. (2005). *Prescriptive Soil Nail Design for Concrete and Masonry Retaining Walls (GEO Report No. 165)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 76 p.
- Ng, F.H., Lau, M.F., Shum, K.W. & Cheung, W.M. (2008). *Review of Selected Landslides Involving Soil-nailed Slopes (GEO Report No. 222)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 98 p.

- Pun, W.K. & Shiu, Y.K. (2007). Design Practice and Technical Developments of Soil Nailing in Hong Kong. *Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 27<sup>th</sup> Annual Seminar: Geotechnical Advancements in Hong Kong since 1970s*. The Hong Kong Institution of Engineers, Hong Kong, pp. 197-212.
- Shiu, Y.K. & Chang, G.W.K. (2005). *Soil Nail Head Review (GEO Report No. 175)*.  
 ◆ Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 106 p.
- Shiu, Y.K., Chang, G.W.K. & Cheung, W.M. (2007). *Review of Limit Equilibrium Methods for Soil Nail Design (GEO Report No. 208)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong, 107 p.
- Watkins, A.T. & Powell, G.E. (1992). Soil nailing to existing slopes as landslip preventive works. *Hong Kong Engineer*, March, Hong Kong, pp. 20-27.
- \*Wong, H.N., Pang, L.S., Wong, A.C.W., Pun, W.K. & Yu, Y.F. (1999). *Application of Prescriptive Measures to Slopes and Retaining Walls (GEO Report No. 56)*. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hong Kong, 73 p.
- Yue, Z.Q., Lee, C.F., Law, K.T. & Tham, L.G. (2004). Automatic monitoring of rotary-percussive drilling for ground characterization - illustrated by a case example in Hong Kong. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol. 41, pp. 573-612.

---

備註：(\*) 標記的出版物是指導文件，為土釘的設計和施工提供補充指導

## 符號詞彙

|          |                  |
|----------|------------------|
| $A'$     | 土釘加筋的有效橫截面積      |
| $B$      | 擋土牆基座的寬度         |
| $c'$     | 土壤凝聚力因壓力所造       |
| $c_{ss}$ | 穩定不排水剪切之強度       |
| $D$      | 水泥灌漿套外徑          |
| $e$      | Eccentricity     |
| $F_a$    | 啟動力量             |
| $F_{SG}$ | 土壤灌漿表面拉拔失效之安全因素  |
| $F_{GR}$ | 土壤灌漿鋼筋拉拔失效之安全因素  |
| $F_r$    | 對抗力量             |
| $F_S$    | 擋土牆失敗之安全因素       |
| $F_T$    | 擋土牆伸展失效之安全因素     |
| $f_{cu}$ | 水泥漿之特點           |
| $f_y$    | 土釘鋼筋之獨特屈服強度      |
| $h$      | 土釘鋼筋強化至覆蓋層之深度    |
| $L$      | 被動區域土釘加固的粘結長度    |
| $M_o$    | 翻轉時刻             |
| $M_r$    | 抵抗時刻             |
| $N_1$    | 擋土牆之正常反應         |
| $P_a$    | 因地球壓力所造成壓力壓至於擋土牆 |
| $P_{ah}$ | 水平分力 $P_a$       |
| $P_{av}$ | 垂直分力 $P_a$       |
| $P_c$    | 水泥漿套外圍           |
| $P_r$    | 有效土釘鋼筋外圍         |
| $pH$     | 水溶液之酸度值          |

|                    |                                                                |
|--------------------|----------------------------------------------------------------|
| $p'_{peak}$        | 平均有效壓力                                                         |
| $Q_n$              | 對基礎施加有效之正常載荷                                                   |
| $Q_s$              | 對基礎施加有效之剪切載荷                                                   |
| $Q_{ult}$          | 對基礎承受能力的極限抵抗力                                                  |
| $R_p$              | 因阻力所造成土壤測試失效                                                   |
| $r_u$              | 孔壓參數                                                           |
| $S$                | 抵抗擋土牆滑動的抵抗力                                                    |
| $T$                | 土釘設計載荷量                                                        |
| $T_a$              | 拔除測試初步載荷量                                                      |
| $T_c$              | 蠕變試驗載荷量                                                        |
| $T_{DL1}, T_{DL2}$ | 拔除測試中級載荷量                                                      |
| $T_i$              | Force of the $i^{th}$ row soil nail acting on a retaining wall |
| $T_{ih}$           | 水平分力 $T_i$                                                     |
| $T_{iv}$           | 垂直分力 $T_i$                                                     |
| $T_{SG}$           | 被動區域土壤水泥漿粘結長度允許的拉拔阻力                                           |
| $T_p$              | 拔除測試之鋼筋 90%載荷量                                                 |
| $T_{GR}$           | 被動區域的灌漿加固結合長度提供允許的拔出阻力                                         |
| $T_T$              | 土釘加固件的允許拉伸強度                                                   |
| $T_{ult}$          | 拔除測試之極限地面砂漿粘結載荷                                                |
| $U_1, U_2$         | 因水壓所導致土壤中作用之試驗表面失效                                             |
| $U_{1h}$           | 水平分力                                                           |
| $U_1, U_{1v}$      | 垂直分力 $U_1$                                                     |
| $u$                | 孔隙水壓力                                                          |
| $W$                | W 重量                                                           |
| $w$                | 方形土釘頭的尺寸                                                       |

|                  |                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| $x_p, x_i, etc.$ | 擋土牆的腳趾與作用在牆壁上的力的作用點之間的水平距離                                   |
| $y_p, y_i, etc.$ | 擋土牆腳趾與作用在牆壁上的力作用點之間的垂直距離                                     |
| $\alpha$         | 擋土牆背面向垂直方向傾斜                                                 |
| $\alpha_s$       | 土釘傾斜                                                         |
| $\beta$          | Coefficient of friction at the grout-reinforcement interface |
| $\beta_s$        | 坡度                                                           |
| $\delta$         | 牆摩擦角度                                                        |
| $\varphi'$       | 土體在有效應力條件下的剪切阻力角                                             |
| $\gamma$         | 土壤單位重量                                                       |
| $\theta$         | 土釘指向                                                         |
| $\mu^*$          | 土壤表觀摩擦係數                                                     |
| $\tau_{EXT}$     | 鋼筋所造成的剪切阻力                                                   |
| $\sigma'_v$      | 土釘鋼筋之垂直有效應力                                                  |
| $\sigma_{yy}$    | 垂直應力之剪切平面上的                                                  |

## 專業術語

**活動區：**在坡度的潛在破壞區域

**可建性：**土釘系統的設計和細節在多大程度上有助於根據完成工程的總體要求輕鬆進行施工

**水泥漿套管：**水泥漿由波特蘭水泥和水製成，被放置在土釘加固件和地面之間

**土釘設計壽命：**土釘可能發揮功能的之預期時間

**鑽孔—灌漿土釘：**將土釘加固件安裝在預鑽孔中的土釘，然後在重力或低壓下進行水泥灌漿。

**驅動土釘：**土釘子通過彈道、衝擊或振動方法直接驅動到地面上

**土釘之傾斜：**土釘的長軸與水平面之間的角度

**土釘之方向：**土釘的長軸與潛在的破壞面的法線之間的角度。

**被動區：**坡度潛在破壞表面後面的區域，其中或多或少保持不變。

**規定措施：**基於經驗的和適當保守的工程模塊，用於邊坡或擋土牆，以提高其穩定性或降低故障的風險，無需詳細的地面調查和設計分析。這些通常涉及設計中的常規和保守的細節，以及對材料的規範和控制，工藝，保護和維護程序的關注。

**預防維護作業：**具有預防性的工程，以減少邊坡或擋土牆的變質率。這些通常涉及使用規定性措施，比日常維護工作更為重要。

**腐爛：**從原始岩石風化衍生的土壤，其中保留了原始岩石紋理，織物和結構的證據

**自鑽土釘：**其中土釘加固件使用犧牲鑽頭直接鑽入地面，加固件作為鑽桿。土釘在安裝過程中使用中空鋼筋作為灌漿管進行水泥灌漿

**坡度：**坡度是用以表示邊坡的斜度，常用於標記丘陵、屋頂和道路的邊坡的陡峭程度

**土壤侵蝕：**土壤侵蝕是土壤退化的一種形式。土地的侵蝕是在所有土地上自然發生的過程

**土釘：**通常以與水平的水平角度安裝在地面上的增強元件，其與地面一起沿其全長移動摩擦。

**土釘承載之持續負荷量：**土釘在其設計壽命中承載著持續的負載

**土釘承載之瞬態負荷量：**承載瞬間負荷的土釘，只能持續一段時間。瞬時負荷的一個例子是暴雨後地下水位上升引起的負荷。

**土釘頭：**與鋼軸承板和螺母相關的鋼筋混凝土墊，為單個土釘提供反應，以動員拉力並提高土釘之間的局部穩定性

**土釘鋼筋：**加強土釘作業且提供抗拉性

**土釘挖土：**若挖掘中的鋼筋（承載瞬時或持續載荷）被設計為執行土釘，則被認為是土釘的挖掘

**土釘擋土牆：**一種土釘系統，其中面部是亞垂直的，並且被設計成作為結構構件執行，其由於其自重，彎曲強度或剛度而向地面提供保持作用。例如，如果將土釘裝入重力，鋼筋混凝土或懸臂擋土牆，則該系統被認為是一個固定有土的擋土牆

**土釘坡度：**通過安裝鋼筋增強和鋼筋中變動張力之穩定性。

**土釘系統：**坡地、擋土牆或挖掘，且通過安裝鋼筋加固以及鋼筋張力之穩定性。

**土釘測試：**使用與工作土釘相同的步驟安裝土釘

**提升工程：**將不合標準的坡度或擋土牆升級為目前的岩土工程標準中規定的要求

**緊急修繕工程：**使受到山體滑坡影響的地區暫時安全。由於永久性補救工程可能需要一些時間來啟動和完成，緊急維修工程的目的是確保該區域不會在臨時造成一定程度的直接危險

**工作土釘：**通過分析或規範設計的土釘，以改善邊坡，擋土牆，挖掘，擾亂地形或天然山坡的穩定性

## 土力工程處刊物及訂購資料

部份土力工程處的主要刊物目錄刊載於下頁而詳盡及最新的土力工程處刊物目錄則登載於土木工程拓展署的互聯網網頁 <http://www.cedd.gov.hk> 的“刊物”版面之內刊物的摘要及更新刊物內轄的工程技術指引亦可在這網頁找到。

讀者可採用以下方法購買土力工程處刊物(地質圖及免費刊物除外):

親臨訂購 軒港中環花園道 美利大廈 4 樓 402 室 政府新聞處 刊物銷售組  
傳真: (852) 2598 7482

或

致電政府新聞處刊物銷售小組訂購 (電話(852) 2537 1910)  
進入網上「政府領店」選購 網址為 <http://www.bookstore.gov.hk>

透過政府新聞處的網站 (<http://www.isd.gov.hk>) 於網上遞交訂購表 或將表傳真至刊物銷售小組 (傳真(852)2523 7195)

以電郵方式訂購 (電郵地址 [puborder@isd.gov.hk](mailto:puborder@isd.gov.hk))

讀者可於下列地點購買 1:100 000 1:20 000 及 1:5 000 地質圖  
軒港北角渣華道 333 號 北角政府合署 23 樓 地政總署測繪處  
電話: 2231 3187  
傳真: (852) 2116 0774

如欲索取地質調查報告其他免費刊物及地質圖請致函

地質調查報告及地質圖: 軒港九龍何文田公主道 101 號 土木工程拓展署大樓 土木工程拓展署

土力工程處 規劃部總土力工程 電話: (852) 2762 5380  
傳真: (852) 2714 0247  
電子郵件: [jsewell@cedd.gov.hk](mailto:jsewell@cedd.gov.hk)

其他免費刊物: 軒港九龍何文田公主道 101 號 土木工程拓展署大樓 土木工程拓展署  
土力工程處 標準及測試部總土力工程 電話: (852) 2762 5346  
傳真: (852) 2714 0275  
電子郵件: [wmcheung@cedd.gov.hk](mailto:wmcheung@cedd.gov.hk)

## 土力工程處之主要刊物

### 土力工程手冊

Geotechnical Manual for Slopes, 2nd Edition (1984), 300 p. (English Version), (Reprinted, 2000).

邊坡岩土工程手冊(1998)ã308 頁(1984 年英文版的中文譯本)ã

Highway Slope Manual (2000), 114 p.

### 土力指南

Geoguide 1 Guide to Retaining Wall Design, 2nd Edition (1993), 258 p. (Reprinted, 2007).

Geoguide 2 Guide to Site Investigation (1987), 359 p. (Reprinted, 2000).

Geoguide 3 Guide to Rock and Soil Descriptions (1988), 186 p. (Reprinted, 2000).

Geoguide 4 Guide to Cavern Engineering (1992), 148 p. (Reprinted, 1998).

Geoguide 5 Guide to Slope Maintenance, 3rd Edition (2003), 132 p. (English Version).

岩土指南第五冊 邊坡維韜指南 ã 第三版(2003)ã120 頁(中文版)ã

Geoguide 6 Guide to Reinforced Fill Structure and Slope Design (2002), 236 p.

Geoguide 7 Guide to Soil Nail Design and Construction (2008), 97 p.

### 土力規格

Geospec 1 Model Specification for Prestressed Ground Anchors, 2nd Edition (1989), 164 p. (Reprinted, 1997).

Geospec 3 Model Specification for Soil Testing (2001), 340 p.

### 土力出版

GCO Publication No. 1/90 Review of Design Methods for Excavations (1990), 187 p. (Reprinted, 2002).

GEO Publication No. 1/93 Review of Granular and Geotextile Filters (1993), 141 p.

GEO Publication No. 1/2000 Technical Guidelines on Landscape Treatment and Bio-engineering for Man-made Slopes and Retaining Walls (2000), 146 p.

GEO Publication No. 1/2006 Foundation Design and Construction (2006), 376 p.

GEO Publication No. 1/2007 Engineering Geological Practice in Hong Kong (2007), 278 p.

### 土力出版刊物

The Quaternary Geology of Hong Kong, by J.A. Fyfe, R. Shaw, S.D.G. Campbell, K.W. Lai & P.A. Kirk (2000), 210 p. plus 6 maps.

The Pre-Quaternary Geology of Hong Kong, by R.J. Sewell, S.D.G. Campbell, C.J.N. Fletcher, K.W. Lai & P.A. Kirk (2000), 181 p. plus 4 maps.

### 技術指導參考

TGN 1                      Technical Guidance Documents

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2017

本文件之翻譯及轉載，均符合香港著作權法相關規定。