大地工程發展史

臺灣地錨的發展史

廖瑞堂* 楊品錚**

一、地錨概論

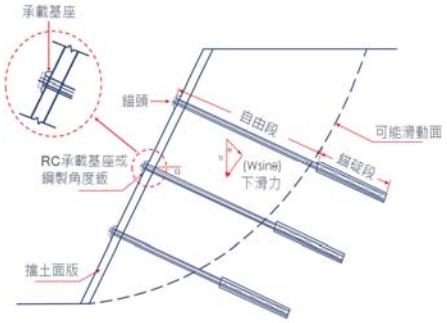
地錨是諸多大地工程的工法之一，其特色為可提供甚大的抗拉能力，如能妥善運用，則此工法可發揮甚大效益，但地錨昂貴且需要嚴謹的品質管理，如未能妥善地運用它，往往會帶來預期外的災難與浪費。

地錨的構造可分為錨碇段、自由段及錨頭三大部分，詳圖一所示。錨碇段之抗拉力係由灌漿體與地盤間的摩擦力提供，自由段的主要功能係為傳遞錨碇段與錨頭間之預力，將錨碇力由錨碇段傳遞至錨頭，而透過錨頭之鎖定將錨碇力傳遞至擋土構造物與下方之地層，如此預力將能充分分布在錨碇段與錨頭間的各地層，此種能抵抗邊坡下滑與提高擋土牆側向支撐力的構造物稱為地錨。

若依設計使用年限分類，地錨可分為臨時性地錨與長(永)久性地錨2種。臨時性地錨大都使用在地下室開挖，提供臨時之擋土支撐背拉系統，其使用年限小於2年。至於長久性地錨，則大都用於邊坡的補強或穩定，使用年限同結構體或大於50年。

二、地錨在臺灣的應用案例

臺灣自1970年代引進地錨，使用在德基水庫，至今(2020年)約50年，多運用於深開挖、邊坡穩定、吊橋反力座、隧道頂拱的穩定等工程。臨時性地錨常用在地下室開挖的擋土背拉支撐系統，地下室開挖係為假設工程，地下室短期開挖完成後即無擋土的必要，故通常採用臨時性地錨作為臨時擋土措施，代表性的案例如圖二所示；耐久性佳的長久性地錨則用在邊坡穩定，以抵抗邊坡的長期下滑力，代表性的案例如圖三所示。



圖一 地錨構造示意圖(廖等人，2002)

三、臺灣地錨護坡重大災害事件

近20年內，臺灣發生多起地錨護坡的重大災變，引起社會與政府對地錨的關心，較為媒體報導與關注的代表案例如下：

3.1 基隆監獄預定地錨拉式擋土牆地層滑動災變，1995年

1995年4月，基隆監獄預定地之順向坡，在整地挖填工程接近完工之際，西北側之邊坡發生大規模崩塌破壞，崩塌範圍內之格梁式地錨擋土設施扭曲明顯破壞，詳圖四。從1995年此邊坡產生滑動破壞後迄今尚未進行整治，但上方台電鐵塔等已遷移。

3.2 新北市林肯大郡地層滑動災變，1997年

1997年8月16日，溫妮颱風造成新北市汐止的林肯大郡社區在完工後約7年，發生地錨護坡嚴重破壞，奪走28條人命，經調查得知其致災原因，除了地錨數量不足外，部分地錨在錨頭鎖定功能及防蝕上亦有明顯的瑕疵(陳等人，1997)，詳圖五。

3.3 基隆市健康博市社區地層滑動災變，1998年

1998年8月，基隆市深澳坑路「健康博市」社區建築工地，發生順向坡滑動災害，該地錨

*青山工程顧問股份有限公司 **昱全大地工程有限公司

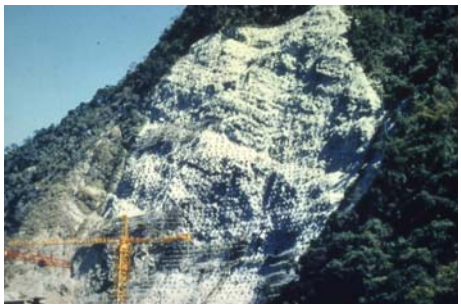
(a) 新店中興路地下室開挖地錨背拉支撐
(連續壁+地錨，1990)

(b) 桃園百貨公司地下室開挖地錨(楊品錚提供)
(H型鋼+地錨，1995)

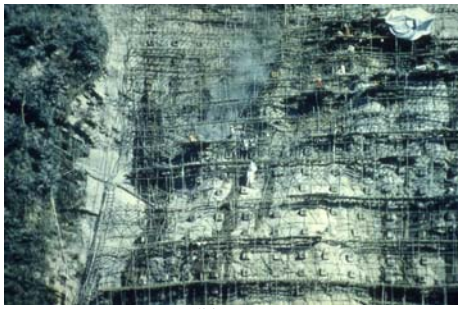
(c) 桃園機場第二航廈地下室開挖地錨 (鋼劈礫H型鋼+地錨，1995)

(d)新北市新莊機場捷運地下開挖 (連續壁+地錨，2014)

圖二 臨時性地錨應用案例

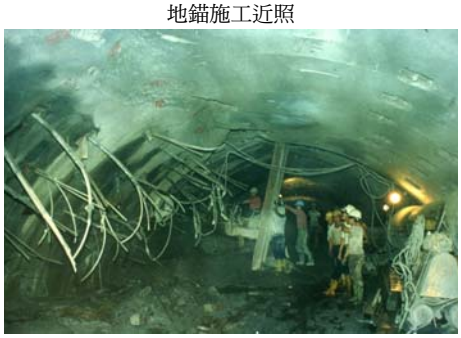


右壩軸邊坡穩定工程(噴漿及地錨)



地錨施工近照

地錨組件



隧道內地錨施工

(a) 明潭抽蓄邊坡工程(楊品錚提供，1988)

圖三 長久性地錨應用案例

(續下頁)

自由格梁破壞（1984）

整治中 (RC格梁+地錨，1986)

(b) 桃園煉油廠油槽邊坡穩定處理工程

邊坡滑動 (2008)

整治後 (RC面版式+地錨，2010)

(c) 臺北市新光路二段道路邊坡穩定工程

蘇拉颱風造成太平山莊邊坡滑動 (2012)

格梁式地錨，採可調式預力錨頭 (2015)

(d)宜蘭太平山莊邊坡穩定工程

(e)新莊機場邊坡穩定工程，採Expoy樹脂漿取代傳統水泥漿 (2012~2015)

圖三 長久性地錨應用案例

護坡在無地震、無降雨的良好天候下突然破壞，如圖六所示，破壞的錨拉式擋土牆衝擊坡趾正在施工的工地，波及附近四戶民宅，導致二人受傷(內政部建築研究所，2011)。此事件中，營造廠向保險公司求償約九千八百萬的賠償金額，歷經為期13年的訴訟案，判定此事件致災原因與鑽探報告造假及設計不當有關，法院遂判決確定保險公司不須賠償(司法院法學資料檢索系統，2012)。

3.4 新北市馥記山莊活動中心後側邊坡滑動，2000年

2000年象神颱風在新北市馥記山莊活動中心後側的錨拉式擋土牆，發生破壞的前兆，

(a)

(b)

(c)

(a) 錨拉式擋土牆之施工順序有疑慮，加上整體抗拉力不足，造成邊坡滑動 (b) 邊坡滑動造成上方鐵塔傾斜 (c) 破壞全景圖

圖四 基隆監獄預定地之地錨拉式擋土牆破壞(1995)

(a)

(b)

(a) 林肯大郡地錨護坡災變前(摘自林肯大郡災變原因鑑定報告，臺北市大地工程技師公會) (b) 林肯大郡災害狀況

圖五 林肯大郡地錨護坡災變(廖瑞堂攝，1997)

(a) 開發前 (b) 施工中 (c) 破壞全景

圖六 基隆健康博市社區順向坡災害(1998)

地錨鋼腱斷裂、錨頭陸續掉落，後方邊坡及民宅都受其影響，幸因應得當，採用地錨進行短期補強，使邊坡滑動受到完全的控制，未釀成更嚴重災損，如圖七。

3.5 國道3號3.1K順向坡災變，2010年

2010年4月26日國道3號3.1k崩塌事件，造成國道交通中斷，且奪走了4條人命。由破壞後的地錨殘骸，揭露出長久性地錨潛藏已久、不為人知的系統性的重大缺失，尤其地錨自由段近錨頭處未灌滿漿的問題相當普遍，以致地錨鋼腱於完工後約14年，因嚴重銹蝕，進而分階段的斷裂，當個別地錨的鋼腱持續斷裂至某一狀況時，整體順向坡即有可能發生無預警的瞬間破壞(中華民國大地工程學會，2011)，詳圖八。

3.6 基隆基金路一段地錨護坡破壞，2011年

本基地係在1989年施工，其擋土設施採RC排樁加地錨，施工後22年，於2011年時破壞，詳圖九。初步研判此邊坡為順向坡，地錨鋼腱銹蝕應為其主要破壞原因。

3.7 基隆市教忠街地錨破壞，2016年

2016年1月，基隆市教忠街168巷底的坡地社區，大雨時錨拉式擋土牆崩塌，大量土石衝入下方民宅，有八戶民宅受到影響，其破壞原因應與地錨施工品質不佳有關，詳圖十。

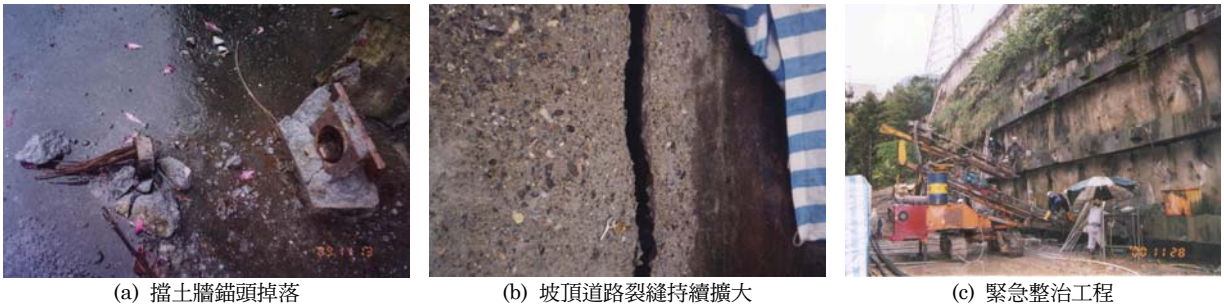
四、臺灣地錨護坡常見問題

臺灣自然條件不佳，「多山」、「多雨」、「多地震」是造成臺灣山坡地災害頻傳的重要背景因素。然而，除了自然條件不佳的因素外，由前面所述重大災害事件的檢討可知，臺灣地錨護坡的破壞，往往與人為因素有關，茲分別就設計及施工兩方面加以說明：

4.1 調查與設計考量不周

4.1.1 地錨長度不足，錨碇段座落在不穩定地層

調查與設計不夠周延，未充分瞭解邊坡的地質狀況，如滑動深度、地下水條件等，當地錨的錨碇段無法錨碇在穩定的地層時，則地錨會隨邊坡一併滑動，故往往僅有短期的改善效果，但無法提供長期的穩定功能，詳圖十一。這種情形容易發生在大規模崩塌地的整治工程，尤其滑動深度超過50公尺時，已超出地錨正常的可施工長度。如阿里山公路的五彎仔崩塌地或基隆監獄預定地錨拉式擋土牆的破壞，都是代表性的案例。



(a) 擋土牆錨頭掉落　(b) 坡頂道路裂縫持續擴大　(c) 緊急整治工程

圖七 馥記山莊活動中心後側邊坡產生滑動(2000)

(a)　(b)　(c)

(a) 國道3號3.1k順向坡崩塌　(b) 自由段鋼腱因無水泥漿保護，造成鋼腱嚴重銹蝕。從鋼腱斷裂面可知，鋼腱在邊坡滑動前極可能分階段破壞(廖瑞堂攝)　(c) 整治後(2013)

圖八 國道3號3.1k順向坡災害(2010)

(a) 施工中(廖瑞堂攝，1989)　　(b) 破壞後(林銘郎提供，2011)

圖九 基隆基金路地錨護坡破壞(2011)

(a) 教忠街168巷後方地錨擋土牆破壞(2016)　　(b) 整治後(2018)　　(c) 擋土牆補強改善完成(青山工程顧問，2018.4)

圖十 基隆市教忠街168巷底地錨破壞(2016)

圖十一 台18線五彎仔地滑區滑動深度達60 ~80m，但國內目前可施作的地錨長度大都僅有50~60m，故採單純的地錨工法，並無法達到長期穩定的目的

4.1.2 地錨總數量不足

滑動面的強度參數選取不當，或鑽探報告造假，均有可能引致地錨的數量不足。如基隆市健康博市社區的邊坡滑動或新北市林肯大郡社區的災變，都是代表性案例。

4.2 施工品管問題

4.2.1 自由段未滿漿，以致自由段鋼腱銹蝕嚴重

2010年中華民國大地工程學會在進行國道3號3.1k順向坡災變原因調查時，才驚覺地錨自由段的鋼腱銹蝕嚴重，可能是全國的系統性問題，如圖十二。雖然早在1997年林肯大郡災變原因鑑定時，已看到自由段有未滿漿的瑕疵，但當時以為私人開發的工程缺乏良好品管，誤判此問題可能僅是零星的個案而已。直至國道3號3.1k災變原因調查，首次啟用內視鏡檢視鄰近尚未破壞的地錨，亦發現都有此問題，向當時高速公路局局長曾大仁報告，曾局長遂指示全國高速公路進行地錨護坡全面體檢及改善(中華民國大地工程學會，2011)，同時也啟動高速公路進入邊坡制度化管理的時代。

臺灣在2010~2013年間啟動高速公路既有地錨的全面性檢測，以34處地錨護坡檢測成果為例，共計4,388支地錨進行功能檢測，抽樣約300支地錨進行揚起試驗與組件檢視。由調查結果顯示，自由段未灌滿水泥漿約90%。鋼腱斷裂約10.4%。鎖定異常約5.5%。錨碇段拉脫約4.8%，如表一所示(廖等人，2014)。

由此調查結果，反映出臺灣早期施作的長久性地錨，在自由段接近錨頭的鋼腱，有90%無水泥漿的保護，導致鋼腱之銹蝕問題嚴重，尤其部分工址地下水較豐沛，鋼腱的銹蝕速度更快。此現象揭露臺灣早期的既有地錨普遍存有施工品質與防蝕措施不足的問題，造成地錨功能日益下降甚至斷裂而完全喪失其功能，如新北市林肯大郡地層災變(1997年)、新北市馥記山莊活動中心後側邊坡滑動(2000年)與基隆市基金路一段地錨護坡破壞(2011年)，都是典型的案例。

4.2.2 錨頭握線器鎖定功能異常

在表一中顯示地地錨鎖定異常平均約5.5%。此處5.5%並非指同一邊坡單元，個別地錨鎖定異常的比例，在此一邊坡有100支地錨，其中有5支異常。而是指平均20處地錨護坡中，有1處地錨鎖定異常，在此狀況下，該處邊坡就處在極高風險的狀態。

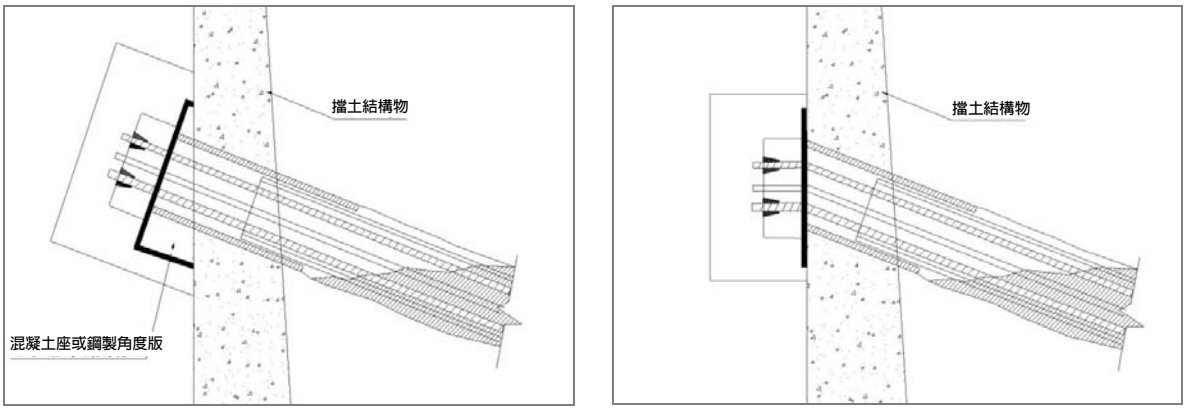
正常的地錨鋼腱在錨頭係為一直線，不可折角。但地錨施工時，往往缺乏詳細的設計圖說，任由施工廠商自由發揮或擅自變更，使鋼腱形成折角，詳圖十三所示，當折角愈大，錨頭握線器的鎖定功能愈差，當邊坡下滑力作用在地錨時，往往造成夾片受損、滑脫，地錨功能無從發揮，圖十四亦是握線器鎖定功能異常的現象。

1997年在林肯大郡的地錨檢測時，就發現有此一問題，筆者在2002年地工技術期刊94期發表時(廖等人，2002)，已提出呼籲，可惜這問題仍陸續發生在少數個案。

圖十二 國道3號3.1k地錨因鋼腱銹蝕，引致鋼腱斷裂，邊坡全面破壞(廖瑞堂攝，2010)

表一 臺灣34處地錨護坡地錨功能檢測成果統計表(廖等人，2014)

地區	地錨數量(支)	揚起試驗數量(支)	組件檢視數量(支)	自由段未滿漿數量(支，%)	殘餘荷重(%)	鋼腱斷裂(支，%)	鎖定異常(支，%)	錨碇段拉脫(支，%)
M區	2526	168	175	164(94%)	78	21(12.5%)	16(9.5%)	8(4.8%)
S區	1862	121	133	113(85%)	66	9(7.4%)	0(0.0%)	6(5.0%)
總計	4388	289	308	277(90%)	73	30(10.4%)	16(5.5%)	14(4.8%)



(a) 正常情形　　(b) 異常情形

圖十三 錨頭細部構造示意圖(廖等人，2002)

(a) 錨頭尚未打開前，外觀均正常　　(b) 錨頭打開，發現6支鋼腱中，有5支內縮

圖十四 握線器鎖定功能異常

4.2.3 長久性地錨採用臨時性地錨的錨頭構造

防蝕要求及防蝕保護，為長久性地錨與臨時性地錨的最大差異。長久性地錨如果做好防蝕措施，則在使用年限內，地錨功能即使隨時間略為下降，但是都在預期的範圍內，地錨都可發揮良好的功能，但如果未做好防蝕保護，在使用年限內，因受地下水入侵等不利條件影響，可能造成地錨功能快速下降，超出預期。

長久性地錨防蝕的措施必需在地錨的設計圖上，詳細標繪及說明，方能要求施工廠商據以施工。若地錨細部構造未標繪，而是由施工廠商在擬定施工計畫時提出，則施工廠商基於成本考量，其防蝕保護的標準可能過於簡易，接近臨時性地錨。

另有部分長久性地錨採用組合式的鋼製承壓基座，這類型的基座存在較多裂隙，易形成地下水入侵自由段鋼腱的通路，詳圖十五所示，對長久性地錨而言，如能採用RC承壓基座，可有效減少鋼腱折角及地下水流入錨頭的機會。

五、長久性地錨的耐久性爭議

臺灣近20年，由於地錨的災害事件頻傳，突顯了臺灣既有長久性地錨的施工品質、防蝕概念及技術，確實存有嚴重的問題。故地錨是否可以當做結構體的一部分而長久使用，在工程界引起相當大的爭議及論戰，以下就雙方的論點，加以說明：

5.1 反方論點(反對地錨當成長久性構造物)

1. 地錨只適合作為臨時性擋土措施之用，因地錨鋼腱的銹蝕會隨著時間惡化，無法避免。

2. 地錨使用的後拉預力工法，預力會隨著時間而降低，地錨功能隨之下降。

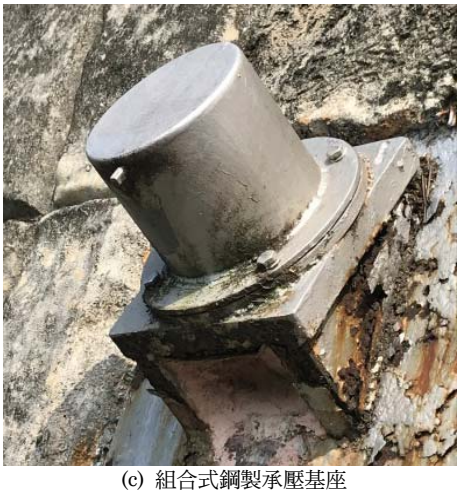
3. 地錨護坡因為預力施加的關係，使邊坡趨於更剛性。一旦滑動，邊坡或擋土牆的變形會更嚴重。

5.2 正方論點(贊成地錨可當成長久性構造物)

1. 長久性地錨應有充分防蝕設計及施工品管，當鋼腱完全被水泥漿或油脂完全包覆

(a) 自由段PE管外側與地層間有滲出地下水

(b) 地下水由錨頭段滲入，以致鋼腱佈滿黑泥



(c) 組合式鋼製承壓基座

(d) RC承壓基座

圖十五 自由段及錨頭必需儘可能密封，以減少地下水的通路

時，鋼腱銹蝕機會極低。

2. 長期地錨預力會呈輕微降低趨勢，但對於邊坡安全性影響不大。當邊坡有位移時，預力會再增加。

3. 當整體地錨護坡設計及施工是完善的時候，邊坡的位移相當小，不致誘發無預警的破壞。

4. 臨時性地錨與長久性地錨的設計及施工標準，完全不相同。尤其防蝕處理的部分，差異極大。國內有許多長久性地錨破壞案例，大都導因於把長久性地錨當成臨時性地錨設計或施工。沒有必要因噎廢食，而不敢使用。

5.3 早期長久性地錨耐久性的追蹤

地錨最早在臺灣使用例，為1970年德基水庫新建工程，迄今約50年，追蹤該長久性地錨的鋼腱銹蝕狀況，如圖十六所示。當時的自由段係採較簡易的防蝕措施，用大的PE平面管包覆所有鋼腱，並內填水泥漿，個別鋼腱並未分別使用小的PE平面管加以包覆，但從安裝完成迄今近50年，其鋼腱銹蝕狀況並不嚴重。看到自由段只要能灌滿水泥漿，自由段的鋼腱就不至於直接與空氣及地下水接觸，在2011年檢視時，即使經過40年的時間，地錨的狀況都還在可接受的範圍。故在臺灣早期長久性地錨，只要在嚴謹的設計及施工的狀況下，大都仍可以保持正常的功能。至於近年世界各國對於地錨防蝕的要求，都更為嚴謹，包括鋼腱材料、防蝕油脂等，均有更具體的規範及作為，可供國內借鏡及參考。

5.4 長久性地錨適用性及耐久性的探討

由於地錨的分析、設計、圖說及數量計算，對其他型式的擋土護坡，例如懸臂式擋土牆、加勁擋土牆或抗滑樁……等，相對簡單，而且可有效提高邊坡短期的安全性，故有許多設計者樂於採用地錨。但是長久性地錨護坡的設計及施工細節相當多，例如設計時， 如何做到有效防蝕，就必需在設計圖說上先充分說明，並在施工相關品管、試驗、計價等細節，加以有效的規範說明。如若設計時簡易帶過，則會增加許多潛在不利因子；把設計可能問題，留到施工再解決的思維，極不適合臺灣採最低價搶標的發包制度，且往往會種下地錨品質低下，劣幣趨逐良幣的惡果。地錨工法必需

(a) 德基水庫地錨護坡(拱壩右岸)

(b) 右岸邊坡地錨使用RC保護座

(c) 隧道內地錨

(d) 隧道內地錨

圖十六 德基水庫地錨使用40年後的狀況(楊品錚攝，2011)

有嚴謹的設計及高強度的施工品管，配合合理的施工價格，才能營造良好的地錨整體環境。

六、臺灣地錨發展史

臺灣的地錨從1970年引進後，其發展過程大致可分為四大階段，詳表二所示，包括導入期、擴大期、調整期、重整再出發期，至於何時能邁入成熟期，需要產、官、學的通力合作，才能儘速邁入成熟期。

6.1 導入(萌芽)期(1970~1987年)

臺灣自1970年引進地錨技術，於德基水庫首次使用地錨護坡工程，後續則有國道高速公路、鐵路等邊坡使用長久性地錨進行護坡工程；亦有諸多地下開挖背拉系統等工程使用臨時性地錨。此階段，施作地錨的鑽掘機大都為國內自製旋鑽式鑽機，受限於鑽機能量，地錨進尺速度較慢，故地錨單價略高，此階段地錨專業廠商家數不多，施工廠商約5至10家，例如：台灣探勘工程股份有限公司、大地工程股

表二 臺灣地錨的發展史

年 份	主 要 事 項	發展階段
1970~1987年(17年)	首次施作於德基水庫(1970) 鑽掘機多為自製傳統旋鑽鑽機，地錨進尺速度較慢，遂地錨單價略高 專業廠商家數約5至10家，市場競爭較小 大都使用於公共工程 地錨單價與施工品質維持在一定水準 引進長久性地錨工法與油壓履帶式鑽機(花蓮佳山計畫，1985~1987)	導入期(萌芽)
1988~1997年(10年)	引進西德、日本製履帶式鑽機，鑽孔速度更快，使地錨成本大幅降低 廠商數攀升至50家以上，市場競爭激烈 民間工程開始大量使用 重價格輕品質 坡地社區大量使用 國道3號高速公路大量使用地錨	擴大期(快速發展)
1998~2010年(11年)	林肯大郡社區順向坡滑動破壞(1997) 基隆健康博市社區災變(1998) 頒布建築技術規則-第十三章山坡地建築專章(1998) 國道3號3.1k地錨護坡破壞(2010) 地錨使用量有減緩趨勢	調整期
2011年迄今(>8年)	永久性地錨更名為長久性地錨(2013)，避免使用單位輕忽地錨管理及檢測的必要性 實施乙級地錨技術士檢定(2013) 擬定地錨應用於邊坡工程設計與施工規範-草案(2014) 頒布公路邊坡大地工程設施維護與管理規範附錄「地錨檢測」(2015)	重整再出發期

份有限公司、利德工程股份有限公司、眾力基礎營造股份有限公司、肇基工程鑽探試驗有限公司、保利工程股份有限公司……等，由於市場競爭較小，故地錨的單價與施工品質尚能維持在一定水準。自1985~1987年花蓮佳山計畫引進國外長久性地錨工法與油壓履帶式鑽機，使當時地錨之施工品質具國際水準，此階段地錨大都使用於公共工程，民間工程使用甚少，當時大規模地錨破壞發生案例極少。

6.2 擴大(快速發展)期(1988~1997年)

1988年後，北部第二條高速公路闢建，山區的高挖方邊坡使用許多地錨工法，此外經濟成長與山坡地開發的需求，民間工程開始大量使用地錨。因西德、日本製履帶式鑽機的引進，該種鑽機能量甚高、扭力大且高度自動化，使地錨成本急遽降低，地錨專業廠商數攀升至50家以上，較具規模及技術人員的廠商，除前期廠商外，再加入許多新的公司，如昱全大地工程有限公司、東洋工程有限公司、偉志探勘股份有限公司……等。在此階段廠商之規模、施工能力差異頗大，良莠不齊，且因為市場競爭更為激烈，導致部份廠商重價格、輕品質的情事，造成部分長久性地錨的品質存有嚴重問題，埋下後續地錨護坡破壞的致災因子。

6.3 調整期(1998~2010年)

1997年8月汐止林肯大郡社區順向坡滑動，隨後又發生基隆健康博市災變(1998)，都引起社會的高度關注，當時催生建築技術規則山坡地建築相關規定，促使各單位加強山坡地社區開發的審查，並要求一定規模以上的山坡地社區(面積超過3,000平方公尺的社區)設置邊坡監測系統，此階段地錨使用量有減少的趨勢。

6.4 重整再出發期(2011年~迄今)

國道3號3.1k地錨護坡位於高設計標準及高強度監造的高速公路，完工後13年，於2010年天候良好的狀況下，邊坡滑動破壞，令社會大眾與工程界感到震驚，更喚起政府對地錨護坡施工品質及維護管理的重視，促使國內地錨技術士檢定的實施，也催生地錨應用於邊坡工程設計與施工規範草案、公路邊坡大地工程設施維護與管理規範地錨檢測等相關規範的修訂(中華民國大地工程學會，2011)。至於何時才能重整再出發，儘速踏入地錨穩定的成熟期，更需要產、官、學痛定思痛，大家通力合作共同努力，以使地錨的發展在制度面及執行面上均能更加健全周延。

七、地錨技術士制度的推動

臺灣的地錨發展過程與日本極相近，臺灣既有的地錨與日本的舊型地錨一樣，存有相當多的問題，日本在1990年以後全面採用新型地錨，並在1995年後開始執行地錨施工士(技術士)的考試，迄今通過人數約3,200人以上。至於臺灣在2010年4月臺灣國道3號3.1k發生地錨護坡的崩塌事件，引起社會及政府的高度重視，更突顯地錨技術士技能檢定之必要性，以提昇長久性地錨的品質，故臺灣於2014年開辦地錨技術士技能檢定考試(廖，2011)；據統計臺灣自2014年至2018年間，地錨技術士乙級累計通過人數共23人(行政院勞工委員會，2019)，但人數偏少。以臺灣目前的地錨工程規模及數量而言，至少要有100人，才能全面將地錨技術士納入發包執行的要求，惟政府機關可選擇部分地錨重大工程，例如地錨總數量超過5,000公尺以上的長久性地錨工程，優先要求，逐步推動，才能達到當時開辦技術士檢定，提昇地錨品質的目的。

八、地錨設計及施工規範之修訂

國際上常引用之地錨設計標準包括美國標準(PTI)、日本標準(JSF D1-88、JGS4101)、國際預力協會(FIP)、歐洲標準(European Standard EN1537、ISO/DIS 22477-5)及英國標準(BSI)，以上國際標準對於長久性地錨的防

蝕處理皆有嚴謹的規定，值得借鏡。至於臺灣地錨最早的設計及施工規範，詳見廖洪鈞教授1994年主編「地錨設計與施工準則之研究」，迄今約25年。此外，中華民國大地工程學會在2014年(交通部台灣區國道新建工程局，2014)，完成長久性地錨相關規範草案之訂定，如表三，但此版本僅是草案，目前尚未成為國內共同遵守的正式規範，有必要繼續研究地錨相關重要課題，包括防蝕及耐久性等，

並儘速公佈正式版本，供臺灣工程界使用。地錨施工規範必需每十年左右加以檢討，依國內設計及施工相關經驗，加以回饋修正。

表三 地錨設計及施工規範

	規　　範
國際	美國預力協會PTI (2004)
	地錨設計施工基準JSF D1-88，日本土質工學會JSF (1988)。 グラウントアンカー設計・施工基準，同解說JGS4101，日本地盤工學會JGS (2012)
	國際預力協會FIP (1986、1996)
	歐洲標準European Standard EN1537 (2000)；ISO/DIS 22477-5 (2010)
	英國標準協會BSI (2000、2004、2007、2009)
	Prior Approval System，香港土木工程拓展署GEOSPEC (1989)
臺灣	地錨設計與施工準則暨解說，中國土木水利工程學會 (2001)
	「施工綱要規範」第02492章，預力鋼腱地錨及岩錨，公共工程委員會 (2010)
	第02492章，預力地錨施工規範，交通公路總局 (2012)
	水土保持手冊，工程篇，2.14地錨，行政院農業委員水土保持局 (2017)
	地錨應用於邊坡工程設計與施工規範草案，中華民國大地工程學會 (2014)
	公路邊坡大地工程設施維護與管理規範附錄「地錨檢測」，中華民國交通部 (2015)

九、結語及期許

臺灣的地錨工程，一路走來跌跌撞撞，任何小小的疏忽，都可能引發後續的龐大損失。以地錨自由段未灌滿水泥漿為例，係簡單而且做得到的重要工序，但因該小疏忽，引發後續檢測及補強費用，在高速公路部分至少10億元，在省道、縣鄉道部分最少10億元，全國性公路部分的損失粗估20億元以上，此損失金額尚不包括民間的坡地社區。臺灣早期的地錨曾發揮很好的功能，但因設計及施工品質良莠不齊，也發生過許多災害事件，遭受很多質疑，甚至排斥使用。期盼臺灣的工程界能痛定思痛，儘速建立合理可行的設計規範、施工規範，加速推動地錨技術士檢定與健全地錨發包及維護管理制度，甚至建立工法認證委員會，為臺灣地錨護坡的施工品質做高強度的把關，使臺灣地錨早日邁向成熟期，讓地錨工法能用在其最適用的地方，如此才能有效減少坡地災害再發生的機率。

對地錨相關從業人員的期待及建議：

1. 設計或監造者：宜對地錨行為及防蝕細節，有更深入的了解，知其適用性及限制性，不宜因噎廢食，而不敢採用地錨工程。

2. 施工者：宜強化地錨施工品管及要求，讓地錨可以變成可信賴且樂於採用的大地工法之一。

3. 管理單位：建立公平且競爭的環境及發包制度，讓優良的設計及施工單位，可以善用該工法的優點，提供優質服務，提昇整體品質。另外必須定期的辦理地錨檢測、維護，以確保地錨維持正常的服務功能。

參考文獻

中華民國大地工程學會 (2011)，「國道3號3.1k公里崩塌事件原因調查工作總結報告」，交通部。

內政部建築研究所 (2011)，「山坡地建築用地基礎開挖準則研擬之研究」。

司法院法學資料檢索系統 (2012)，「臺灣高等法院98年保險上更(一)字第4號民事判決」，https://law.judicial.gov.tw (2020年3月10日)。

交通部台灣區國道新建工程局 (2014)，「地錨應用於邊坡工程設計與施工規範(草案)」，執行單位：中華民國大地工程學會執行編撰。計畫主持人：林三賢、廖洪鈞。研究人員：廖瑞堂、陳俊仲、楊品錚、林益正、鄭清江、鄭世豪、劉彥君。

陳堯中、廖洪鈞、林宏達、陳志南 (1997)，「汐止林肯大郡邊坡滑動災變原因鑑定報告」，台灣士林地方法院檢察署委託。

行政院勞工委員會(2019)，「勞動統計查詢網，技能檢定合格數，按級別及細職類分之190『地錨』」，https://statfy.mol.gov.tw (2020年3月10日)。

廖洪鈞、周功台(2001)，「地錨設計與施工準則暨解說」，中國土木水利工程學會。

廖瑞堂 (2011)，「地錨技術士的推動」，*大地技師*，第5期，第58-65頁。

廖瑞堂、陳昭維、陳御崇 (2014)，「從地錨功能檢測經驗談坡地社區地錨管理維護機制」，*技師期刊*，第67期，第1-11頁。

廖瑞堂、陳昭維、楊品錚 (2002)，「地錨在台灣之邊坡穩定發展沿革及適用性探討」，*地工技術*，第94期，第105-116頁。

後　記

這篇文章登出時，廖瑞堂博士已到另一個國度。我最後一次碰到廖博士已是一年以前，在去參加地工技術基金會新春餐會途中，捷運上巧遇廖兄，我當時的狀況也不是很好，廖兄對我的鼓勵與加油聲仍歷歷在耳，今焉永訣。閒談中向廖兄詢求幫忙撰寫國內地錨相關工程發展的歷史回顧文，他馬上答應，並於數個月內完成，本文成為絕響。廖兄在大地工程界的貢獻有目共睹，將會被永遠懷念。願廖博士一路好走，家屬節哀。 林三賢 鞠躬 2020.6.15