

# 貓纜T16塔柱下邊坡整治後之地錨荷重觀測和預力複拉

鄭世豪<sup>1,\*</sup>、廖洪鈞<sup>1</sup>、王瑞祺<sup>2</sup>、林士淵<sup>2</sup>、謝旻希<sup>2</sup>、楊國鑫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>臺灣科技大學 <sup>2</sup>臺北市政府工務局大地工程處 <sup>3</sup>臺灣大學

## 摘要

本文回顧了貓纜T16塔柱下邊坡災害和整治背景，並由整治邊坡上各式監測設施的長期紀錄數據、以及地錨荷重等監測數據變化，判斷目前邊坡狀態是穩定的。但是，當聚焦於地錨長期荷重監測數據以及近期地錨功能檢測結果時，發現服務中的地錨有普遍荷重損失現象，其荷重損失量約為0.2~0.5T<sub>w</sub> (8~20T)，究其原因和傳統地錨鋼絞線的銹蝕不同，可能和崩積層的壓密沉陷、地錨材料潛變或錨碇材料潛變有關。因此，當發現地錨鋼絞線銹蝕情況不嚴重，地錨的荷重損失係和地錨材料潛變或土壤潛變所導致的拉力平衡有關時，這種情況不見得只有採用補設地錨進行補強的唯一途徑，也可以評估以地錨複拉取代，故本文以貓纜T16塔柱下方之地錨邊坡為例，建議了一種延伸的地錨揚起試驗來進行既有地錨的錨碇狀態檢查(可複拉條件的評估)，並同步於揚起試驗程序將最大拉力施加至設計拉力以補充損失的荷重，荷重增加產生之承壓板與握線器間的空隙，可加入不同厚度之鋼製墊片以完成地錨荷重補充的工作。

**關鍵字：**貓纜邊坡、地錨荷重、延伸揚起試驗、地錨複拉。

## Monitoring and Re-stressing of the Anchor Loads after the Remediation of the Maokong Gondola T16 Downslope

S. H. Cheng<sup>1,\*</sup>, H. J. Liao<sup>1</sup>, J. C. Wang<sup>2</sup>, S. Y. Lin<sup>2</sup>, M. H. Hsieh<sup>2</sup>, and K. H. Yang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Taiwan University of Science and Technology <sup>2</sup>Taipei City Geotechnical Engineering Office

<sup>3</sup>National Taiwan University

## Abstract

This paper reviews the landslide disaster and remediation history of the Maokong Gondola T16 Downslope. The slope is currently stable, which is evaluated based on the long-term monitoring record. However, the anchor loads have decreased approximately by 0.2~0.5T<sub>w</sub> (8~20T). Rather than the typical cause which is due to anchor corrosion, the anchor load losses are likely due to the compression and settlement of the colluvium layer and the creep of the anchors and/or soil materials. For such situation, the slope stability can be enhanced by re-stressing the existing anchors instead of installing new anchors. This paper uses the ground anchors at the Maokong Gondola T16 Downslope as an example. An extended lift-off test is proposed to evaluate the behavior of the fixed end of the existing anchors. The test result can serve as an assessment for the possibility of re-stressing the anchors. The applied load during the extended lift-off test is increased to the design anchor load to compensate for the previous anchor load losses. A steel washer is inserted into the gap between the anchorage and the bearing plate to complete the anchor re-stressing process.

**Key Words :** Maokong Gondola slope, anchor load, extended lift-off test, re-stressing.

## 一、前言

2008年薔蜜颱風來襲時，貓纜T16塔柱下邊坡，因為地形構造(向源侵蝕溝)、地質條件(崩積土層厚達2~6m)和超大豪雨(累積降雨量達500mm/24小時)因素影響，發生了大規模的淺層邊坡滑動災害。雖然，由災後的調查和鑑定報告指出「地表逕流和侵蝕」是導致崩積層滑動的主要原因(臺北市土木技師公會、臺北市大地技師公會、臺北市水土保持技師公會、臺北市結構工程工業技師公會，2008；黃與楊，2009)，原則上只要針對滑動坡面的排水措施進行改善，即可達到災害防患的目的。但是，這次邊坡滑動災害之敷地範圍大(約1.2公頃)、沖蝕運移土石量多(約3萬立方)且又有顯著的保全對象(例如：貓纜T16塔柱基礎和下邊坡住宅社區)，故臺北市政府基於都會區山坡地的安全維護和市民生命財產的保全考量，周嚴地透過邊坡穩定設施、坡面保護設施、排水/逕流截留設施、和邊坡綠化植生設施進行複合式的滑坡治理設計及規劃，並在短短的2年內完成所有整治工程的施工(2008年9月~2010年8月)。回顧這些治理工程的設計和施工措施可知，滑動範圍上邊坡至下邊坡，除了排水/逕流截留目的而採用的水平/縱向排水導溝、集水井和沉砂池外，穩定滑動土體的土工構造主要包含有微型樁、地錨、土釘、排樁和帽梁等設施(游與傅，2017；林等人，2018)，這些構造體在服務10年後的近況，如圖一所示。

臺北市政府為了因應氣候變遷和建構慎密災害預防思維，在該處邊坡完成整治後，陸續透過山坡地邊坡及水土保持設施的列管計畫，逐步地建構其安全監測網絡，監測設備內容包含有傾斜管、水位觀測井、水位計和地錨荷重計等。在這些監測設備中，除了可獲得歷史滑動範圍之水位變化和邊坡穩定剖面的異動資訊外，最重要的是T16塔柱下方格梁式邊坡地錨之荷重監測數據追蹤，因為它是這個邊坡監測網絡中，唯一直接針對地錨結構功能狀況進行監測的元件，而且它們的數據變化，更直接反映著鄰近T16塔柱基礎土壤和歷史滑動坡面上坡段排樁和擋土牆的安全現況。

因此，本文將以貓纜T16塔柱下方第二道整治防線，即格梁式地錨邊坡之地錨荷重監測數據為基礎，透過其長期荷重變化趨勢以及近期之地錨功能檢測結果，說明若發現邊坡地錨銹蝕情況不嚴重(尚可~正常等級，C~D級)、但預力發生損失時，除了延續過去設計作為，採用「補設地錨」措施進行維護管理之外。若可以透過可靠的程序和數據判斷地錨錨碇狀態是健全的，那麼地錨荷重的損失，也許只是地錨和邊坡間重新調整的拉力平衡現象(例如：坡面崩積層的壓密沉陷、土壤潛變或地錨材料潛變後的拉力平衡、...等)，這種情況或許不見得要採用補設地錨的方式來進行設計和施工，是否有更具經濟性和更具操作簡易性的實施工法(荷重補充的複拉工法)可茲應用?本文將透過貓纜T16塔柱下邊坡整治後之地錨荷重觀測以及銹蝕檢測結果來說明，地錨銹蝕情況「正常」而且錨碇段之錨碇狀態「健全」時，當發現地錨預力損失，如何在不損傷握線器咬合功能和額外創造鋼絞線咬痕情況下，執行既有地錨的荷重補充(地錨複拉)。

## 二、貓纜T16塔柱下邊坡地質和災害治理背景

2008年9月26日至29日薔蜜颱風來襲期間，貓纜T-16塔柱下邊坡發生崩塌，崩塌範圍之影響長度約230m，寬度為20~80m，總崩塌面積約1.2公頃，崩塌土石量約3萬立方(游與傅，2017)，最重要的，崩塌範圍除了最頂端影響貓纜T16塔柱基礎的穩定性外，最底端更延伸至邊坡下方之政大御花園社區，危及市民之生命安全(如圖二為崩塌現場照片)。本文為引用這個案例做為旨揭目的說明，下列將針對這個邊坡發生滑動之地形、地質條件和後續治理背景進行回顧：

### 2.1 地形構造

如圖二所示，因T16塔柱位於山脊稜線上(高程約EL.215m~EL.280m)，換句話說，這個山脊也是左右二側集水區的分水嶺。以崩塌側為例，其地表水或逕流水將由山脊匯流至政大

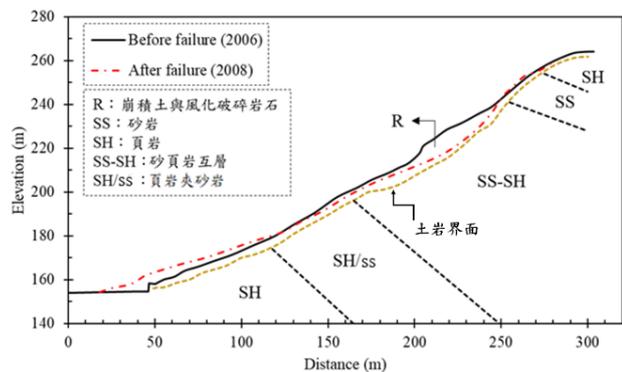


圖一 T16塔柱下邊坡治理措施之功能近況(2020年)



圖二 貓空纜車T16塔柱下邊坡崩塌現場照片 (陳仁達技師提供)

御花園社區。同時，如圖三由貓纜T16塔柱中線向下延伸之地形可知(楊等人，2020)，在崩塌前略呈凹入之侵蝕溝狀態，故崩積岩層易有風化產生之向源侵蝕現象。另外，貓纜T16塔柱下邊發生滑動前(2006年)之地形剖面，主要是參照臺北市政府千分之一地形圖所繪製；滑動後



圖三 貓空纜車T16塔柱中線向下延伸之地形剖面  
和地質分佈圖 (楊等人，2020)

之地形則是參照現地測量和調查所得結果進行套繪(2008年)，比較遺憾的是下邊坡的土壤堆積狀況和實際堆積量體，因礙於災後搶修，於崩塌發生後即立刻清除並未有清楚的紀錄。

## 2.2 地質特性

貓纜T16塔柱下邊坡位於台灣西北部麓山帶地質區內，基盤岩層主要由大寮層所構成，平均坡度約為 $26^{\circ}$ 。如圖三由邊坡表層沿深度分佈情形，可大概將該處邊坡地質簡化為：1.崩積層(R層)，平均厚度約2~6m是這個邊坡的主要滑動範圍；2.輕度風化的頁岩(SH層)，厚度約20m；3.塊狀砂岩厚度約16m(SS層)；以及4.頁岩夾砂岩或砂頁岩互層(SH/SS和SS-SH層)，厚度約80m左右。

## 2.3 崩塌治理工程

同上一所述,除了地形構造和破碎崩積層是觸發這次淺層邊坡滑動的主要原因外,超大豪雨(累積降雨量達500mm/24小時)更是關鍵的觸動要素。但是,因為滑動區域位於都會區且又要考量洪汛期和連續遭遇颱風侵襲,可能導致的二次災害影響,除了有助於坡面排水功能提昇的水平/縱向排水導溝、集水井和沉砂池應在短時間積極建築外,為了保全上坡段T16塔柱基礎和下坡段政大御花園社區,整體治理工程也基於生態保護和綠美化之設計思維,採用微型樁、地錨、土釘、排樁和帽梁等地工構造物進行施工(圖四),茲將其施工目的和量體說明如下(游與傳,2017;林等人,2018):

1. 擋土牆和微型樁:為穩固坡頂土體而施工。其中,在T16塔柱周圍坡面設置微型樁共503支(微型樁為NKSP鋼軌樁、間距0.8m、直徑0.25m)。

2. 格梁式地錨:為穩固陡峭、節理發達之上邊坡砂岩層,採用混凝土格梁加地錨方式進行施工,共設置617支地錨(地錨總長度=25m、錨碇段長=10m、自由段長度=15m、垂直及水平間距2m、設計預力40tons、打設仰角30°)。

3. 土釘加型框:因坡面中段坡度較緩且覆蓋層較厚,無破碎岩盤裸露,所需穩定邊坡力較中上段坡面小,故採用土釘加型框進行施工,共設置1,130支土釘(土釘長=8m、垂直及水平間距2m、打設仰角25°)。

4. 掛網噴植:為避免降雨侵蝕地表,在坡趾裸露面上進行大面積掛網噴植及進行植生復育,其栽植的根系樹種共計710棵,可防止地表土壤的沖蝕和進行坡面保護。

5. 排樁和帽梁:滑動範圍下坡段因地形較緩,覆蓋土層厚,為預防深層滑動破壞,施設三排共104支抗滑樁(樁直徑=80cm、長度=15m、間距1.2m),穩固覆土層及復原步道。樁頂以帽樑連接,提高結構剛度。

## 三、整治後之監測儀器配置和長期的行為監測

依據「臺北市公園山坡地邊坡及水土保持



圖四 貓纜T16塔柱整治使用之地工構造物配置示意圖

設施暨列管邊坡巡勘觀測委託技術服務計畫」相關資料的說明(臺北市府大地工程處,2020),目前貓纜T16塔柱下方整治邊坡,近10年來陸續被安裝的監測設備包含有結構變位使用之傾斜計和傾度盤外,還有地錨荷重計、水位計、地盤傾斜計等,茲將監測設備的佈設位置和主要監測數據變化說明如下:

### 3.1 監測內容和儀器佈設位置

當本文忽略結構變位之監測情資,僅關注上坡段格梁地錨區域之荷重變化和整體滑動邊坡的變形和地下水位資訊時,可整理既有安裝監測儀器如圖五所示。由圖五可知,上坡段格梁式地錨區域內,共佈設電阻式地錨荷重計12只,係安裝於2015年,主要平均分佈於擋土格梁上;水位計和地盤傾斜管則各有3孔,大都在早期滑坡和整治施工時期即裝設(約2009年),主要沿滑動邊坡的中線,由上坡段、中坡段和下坡段進行分佈,茲將這些監測數據近5年來之變化情形,分別說明如下:

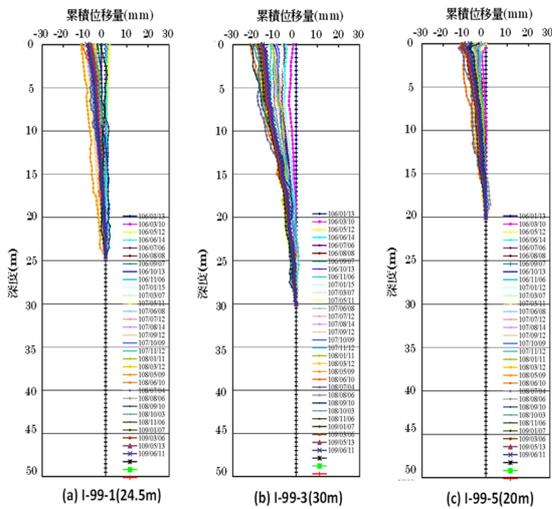
### 3.2 邊坡變位和地下水監測情形

目前臺北市列管邊坡之安全狀態大都委託專業廠商進行定期的巡勘和監測,本文由近5年(2017~)之監測資料的整理(臺北市府大地工程處,2020),可知沿滑動邊坡縱線位移變化皆小於注意值且無特定滑動面,顯示長期並無滑動跡象(圖六)。

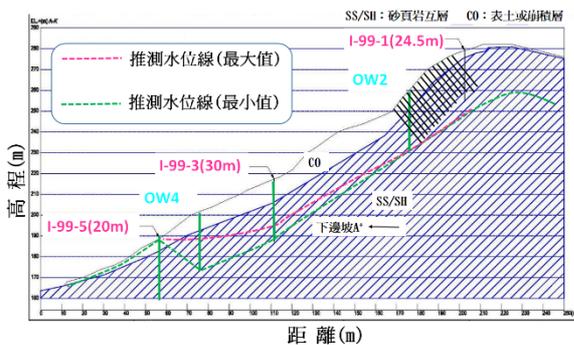
另外，由近5年之長期地下水位觀測數據的整理可知(圖七)，地下水位的變動不明顯，



圖五 監測設備佈設位置



圖六 地盤傾斜管之歷史監測資料(邊坡縱線方向/向下邊坡傾斜為”-”值)



圖七 依歷史水位監測數據沿邊坡推測之最大和最小可能水面

上坡段之長期最高和最低地下水位面幾乎維持同一高程，但有部分地錨的錨碇段可能和地下水交會，若設計地錨採開口導尖設計，對其銹蝕將造成負面影響；下坡段之長期最高和最低地下水位面則有明顯差異，最大有15m的高程差，顯示坡趾排水的重要性。

### 3.3 地錨荷重監測情形

上坡段格梁擋土系統上的617支地錨在2010年即全數完工，並且維持穩定功能狀況。但在工程保固期限後，為持續追蹤地錨荷重的變化情形，在2015年才透過「臺北市山坡地邊坡改善及設施維護工程」蒐集更多的紀錄數據，如表一所示為2015~2020年地錨荷重計之連續監測數據摘錄(各年度9月的平均值)，可知大多數地錨荷重計皆能維持正常功能，而且地錨監測荷重皆維持在尚可(C級)~正常(D級)等級(0.8T<sub>w</sub> ~1.2T<sub>w</sub>)。但表中仍顯示有1/3的荷重計(LD-01, LD-05, LD-06, LD-11共4只)，有明顯荷重減少(LD-01)、數值異常跳動(LD-05、LD-11)和無法讀值(LD-06)情形，僅管這些地錨荷重計的服務年限已逾5年時間，可能有耐候性和零點漂移而影響讀值可靠性問題(鄭等人，2020)。但是，當一個受測邊坡有高達33%的地錨荷重計發生讀值異常，比例則稍嫌偏高，折扣了監測結果的可信賴程度，故相關單位便於同年透過荷重計鄰近地錨的揚起試驗結果，來檢核服役荷重計和讀值可靠性，並據以評估其汰換的必要性。

如表二和圖五所示，被檢核荷重計係由邊坡的中心線，即受力最大且影響邊坡穩定性最具代表性的剖面選出，而揚起試驗則以被檢核荷重計四周的鄰近地錨為實施對象。由表二之檢核結果可知，除了LD-05荷重計讀值異常無比較數據之外，其他荷重計之讀值和鄰近地錨揚起試驗結果有12%~51%的誤差，建議荷重計應逐年更新以維持地錨荷重監測水準。另外，由表二仍可觀察，揚起試驗所得的地錨殘餘荷重皆明顯低於荷重計讀值，並非像荷重計監測反映著穩定的維持荷重，而是有明顯的荷重損失狀況。因此，根據這個檢驗結果，臺北市政府也依據「臺北市公園山坡地邊坡及水土保持設施暨列管邊坡巡勘觀測」作業辦法和專

家建議，考量本邊坡因已修建10年以上，有必要全面性地進行錨頭保護座的外觀檢視和錨頭防蝕處理，並由邊坡選擇45支地錨進行功能檢測(初步地錨功能檢測)，以做為後續處理作為決策之參考。

表一 電阻式地錨荷重計之部分紀錄數據摘錄 (荷重單位為T)

時間 編號	2015 (9月)	2016 (9月)	2017 (9月)	2018 (9月)	2019 (9月)	2020 (9月)
LD-01	39.93	37.48	34.75	33.64	21.90	19.57
LD-02	40.86	41.19	41.21	41.53	41.76	41.55
LD-03	40.65	39.99	38.81	38.81	38.77	38.29
LD-04	43.26	43.38	43.32	43.38	43.53	43.55
LD-05	42.35	42.53	41.04	37.29	40.64	39.78
LD-06	32.37	—	—	—	—	—
LD-07	44.86	45.06	44.65	44.53	44.35	44.05
LD-08	46.09	45.88	45.27	44.99	44.87	44.64
LD-09	45.21	45.06	44.84	44.61	44.68	44.25
LD-10	43.11	43.17	42.60	42.64	42.62	42.09
LD-11	39.51	39.43	39.12	38.98	54.32	38.50
LD-12	40.61	41.15	41.31	41.29	41.64	41.74

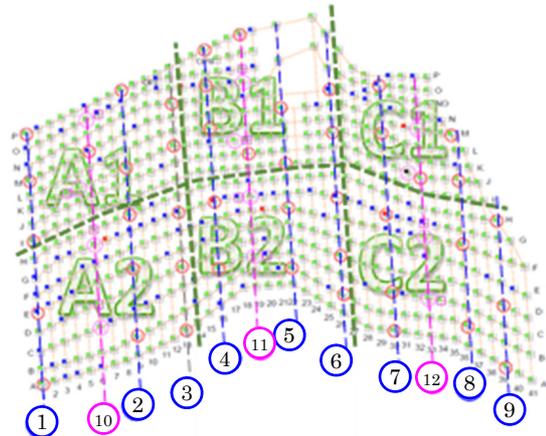
表二 地錨荷重計和揚起試驗之相對誤差

被檢核地錨 荷重計編號	2020(11月) 荷重監測值	驗證的地 錨編號	地錨揚起 試驗結果	相對誤差 值(%)
LD-02	46.41T	O-19	39.1T	18.7%
LD-05	—	K-18	37.4T	—
LD-08	46.17T	G-19	41.0T	12.7%
LD-11	39.71T	C-19	26.3T	51.0%

#### 四、初步地錨功能檢測結果

本地錨邊坡之初步(45支)地錨功能檢測選點原則係參考高速公路養護手冊(2019年)建議執行(檢測數量>邊坡地錨總數5%的須求)，但考量未來邊坡穩定分析剖面選用以及分析結果之驗證應用，可將整體邊坡劃分數個微分區，以提高各微分區功能狀態的掌握。如圖八，本地錨邊坡的檢測選點，共採用9道縱向剖面進行分佈(藍線部分)，但當加入原地錨荷重計佈設位置(紫色縱向剖面)，整體地錨邊坡則共有12道剖面。同時，為提高邊坡微分區之地錨功能的掌握，可以I-H橫斷面和3、6縱向剖面將整體地錨邊坡劃分為6個小分區(A1, A2, B1, B2, C1, C2)，茲將其功能檢測結果說明如下(表三)：

1. 地錨保護蓋外觀：本邊坡之原始錨頭設計，為混凝土保護蓋，將藉此機會全數敲除並更換為鍍鋅保護蓋，以利未來之維護。地錨



圖八 初步地錨功能檢測之選點分佈情形

外觀檢視共619支(較設計數量多2支)，大部分無破損或白滑現象，經外觀檢視後，屬C、D分級者為99%，為正常及外觀輕微破損，其餘屬A級共6支，屬X級共1支。

2. 地錨組件：地錨組件檢視共45支，屬C級者為89%，屬B級共5支，其檢視後有輕度鏽蝕情形，主要分佈於A1分區和B1分區。

3. 內視鏡鋼腱銹蝕：本邊坡治理工程的地錨設計和施工品質較傳統地錨更為嚴謹，其自由段鋼絞線皆套有小PE細管並灌注油脂防止鋼絞線的銹蝕。由內視鏡檢視結果可知，45支內視鏡檢測中，分級屬C、D分級者為91%，影像顯示為PE管包覆良好且充滿油脂約8成以上，分級屬B分級者有4處。

4. 既存荷重(揚起試驗)：揚起試驗共實施於45支地錨中，分級屬C、D級約有89%，分級屬X級者有2支，主要原因為拉脫。本邊坡原始地錨設計荷重為40T，揚起試驗雖皆屬正常和尚可情形，但地錨既存荷重則大都分佈在20~32T左右(約為0.5T<sub>w</sub>~0.8T<sub>w</sub>)，普遍有荷重損失現象，和表二之結果一致。但反觀2015年設置之荷重計穩定讀值(觀測荷重約36~44T左右，約為0.9T<sub>w</sub>~1.1T<sub>w</sub>)，和揚起試驗結果有0.3T<sub>w</sub>~0.4T<sub>w</sub>左右的差異，其原因若排除地錨的潛變和地錨銹蝕導致的荷重損失，最大可能為邊坡(土壤)材料的潛變或崩積土層受預力導致的壓密沉陷。

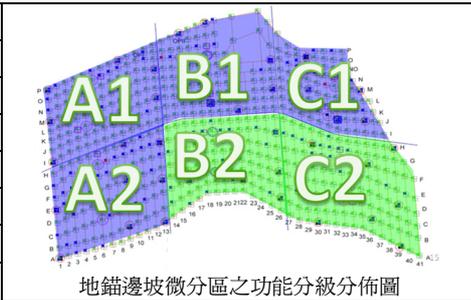
當完成上述所有地錨的功能檢測後，可參考高速公路養護手冊(交通部高速公路局，2019)說明，個別為45支受測地錨進行功能評分，以及整體邊坡進行功能分級。如表四可知，

表三 地錨功能檢測結果和各檢測項目之分級數量

地錨功能檢測分級	地錨保護蓋外觀		錨頭組件		內視鏡鋼鍵銹蝕		既存荷重	
	支數	百分比	支數	百分比	支數	百分比	支數	百分比
X(喪失功能)	1	0%	0	0%	0	0%	2	4%
A(極差)	6	1%	0	0%	0	0%	0	0%
B(不佳)	0	0%	5	11%	4	9%	3	7%
C(尚可)	103	17%	40	89%	16	36%	36	80%
D(正常)	509	82%	0	0%	25	56%	4	9%
合計	619	100%	45	100%	45	100%	45	100%

表四 整體地錨邊坡和各微分區之功能分級分佈情形

分區	檢測數量	抽樣百分比	整體評分	整體功能分級
A1	8	7.55%	79.81	C.尚可■
A2	8	7.69%	66.83	C.尚可■
B1	9	8.82%	78.49	C.尚可■
B2	7	6.73%	82.50	D.正常■
C1	5	5.81%	63.50	C.尚可■
C2	8	6.84%	82.02	D.正常■
整體	45	7.27%	76.24	C.尚可



依據45支受測地錨之功能評分方法推估之地錨邊坡評分為76.24，屬C級邊坡。但為提高整體地錨邊坡行為的掌握和決策處理順序時，可依上述微分區說明，個別進行評分，如表四可知A1, A2, B1, C1微分區為C(尚可)級，而B2, C2微分區則為D(正常)級。僅管在本地錨邊坡中，這樣的結果雖未能突出明顯的微分區的效益，但相同概念若運用在分級明顯的微分區(例如：有A級和D級明顯差異時)，以及施工經費有限必須決策處置順序時，則具有高度的參考輔助價值。

## 五、實施之地錨維護管理作為

依過去執行經驗，地錨檢測的實施大都綜合定性(錨頭外觀/組件檢視、內視鏡檢視)和定量(揚起試驗)的檢測結果，來進行地錨的評分和地錨邊坡的分級，據以評估地錨的健康程度和決策邊坡地錨補強的設計數量。這樣的設計作為雖然可靠，但對都會區的地錨邊坡而言，地錨補設使用的混凝土面版，除了影響景觀綠化的空間規劃外，也折損了日後維護管理作為的操作彈性。那麼，我們是否應該思考，除了單純補設地錨外，是否有其他方式或更精進的作法？一般而言，定性的地錨檢測結果是判斷地錨本體是否發生銹蝕的重要依據，但定量的揚起試驗結果除了反應地錨本體的銹蝕程度

外，也可能反應了邊坡(土壤)材料的潛變、地錨的潛變和邊坡的滑動徵兆。其中，除了嚴重地錨銹蝕造成的荷重損失以及邊坡滑動造成的荷重增加，應該即刻辦理邊坡補強作業外，當地錨鋼絞線銹蝕情況不嚴重時，地錨荷重的損失有可能是地錨和邊坡之間的平衡拉力，這種情況則可透過複拉程序來補充損失的拉力，不見得要採用補設地錨的設計。但是，如何判斷銹蝕情況不嚴重且荷重損失之地錨錨碇能力呢(或稱可複拉條件)？

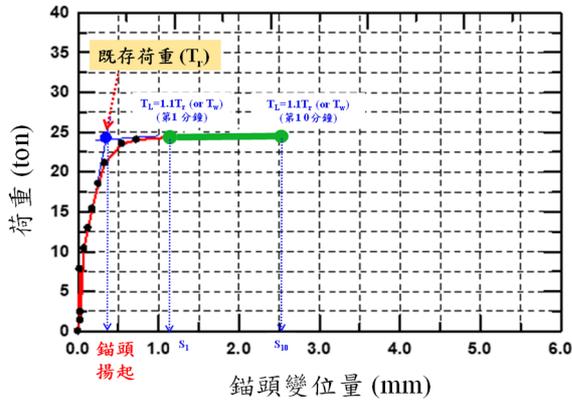
同上述說明，本文以貓纜T16塔柱下方之地錨邊坡為例，建議一種延伸的地錨揚起試驗來進行既有地錨的錨碇狀況(健全度)檢查，並據以評估是否具有荷重補充(可複拉)條件，茲將相關說明如下：

### 5.1 延伸揚起試驗

揚起試驗求得之地錨既存荷重，乃是邊坡現況和地錨現況之間取得的平衡荷重，一旦地錨受力超過既存荷重(即揚起荷重， $T_r$ )，而且地錨之鋼絞線銹蝕程度嚴重時，則鋼絞線常會因銹蝕程度不一和受力不均等原因，於揚起試驗施拉過程中，發生鋼絞線逐條斷裂的情形，此時地錨之揚起荷重常與鋼絞線斷裂荷重相差不多，但其值會小於地錨錨碇段之剩餘錨碇力，可判定為「失效地錨」。第二種情形，僅管地錨發生銹蝕，但在地錨揚起試驗發現仍可維持

一定程度的最大拉力( $T_L$ )，一般假設為既存荷重的1.1~1.2倍(1.1~1.2 $T_r$ )。第三種情形，當地錨銹蝕情況不嚴重，則可嘗試將地錨揚起試驗之最大拉力( $T_L$ )，提升至設計荷重(1.0 $T_w$ )左右。因此，第二種和第三種情形地錨是否維持健康的錨碇狀態，可透過延伸揚起試驗進行檢核。如圖九之揚起試驗曲線，地錨錨碇狀況的檢核可在最大拉力下，維持10分鐘，並紀錄地錨在最大拉力( $T_L$ )下之起始1分鐘( $S_1$ )和第10分鐘( $S_{10}$ )的錨頭變位量，再以公式(1)計算地錨在最大拉力下的潛變係數( $k_{s(10)}$ )。

$$k_{s(10)} = \frac{S_{10} - S_1}{\log 10 - \log 1} \quad (1)$$



圖九 延伸揚起試驗(地錨錨碇狀況檢核)之執行示意圖

### 5.2 錨碇狀況的檢核

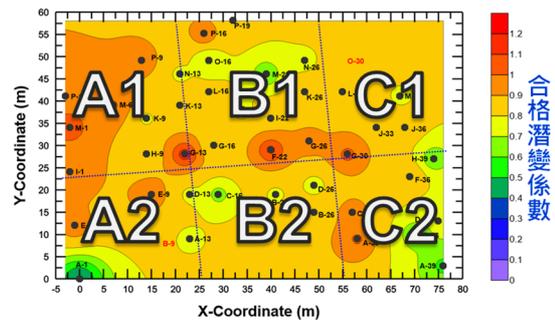
因所有工作地錨完工後均應進行驗收試驗。舉例來說，若依交通部(2014)頒公路施工規範規定，地錨在(例行)驗收試驗施予最大施拉荷重=1.2 $T_w$ ，而且當地錨施工前未實施證明試驗時，長久性和臨時性地之最大試驗荷重潛變係數應小於1.2mm；當地錨施工前有實施證明試驗，長久性地錨之最大試驗荷重潛變係數應小於1.5mm、臨時性地錨之最大試驗荷重潛變係數應小於1.8mm。僅管國內大多數地錨皆施工於2014年之前，對(例行)驗收試驗之合格標準大都以潛變位移量來進行規定，故為進一步地進行地錨的錨碇狀態檢核，關於合格的潛變係數取用方式有二：一是直接引用2014年交通部頒公路施工規範規定說明；二是使用舊有地錨適用性試驗規定的地錨潛變係數合格標準，即長久性或臨時性地錨，在最大試驗荷重

下(1.5 $T_w$ )，對應的潛變係數應小於2.0mm。

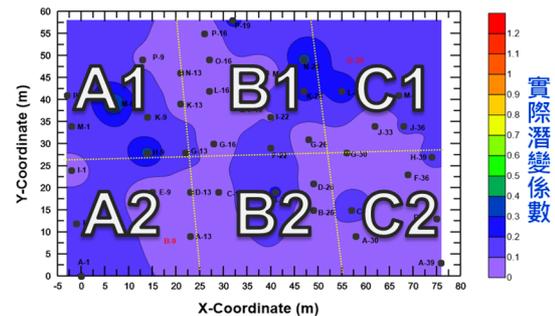
當長久性地錨有了上述完工驗收合格之潛變係數後，吾人可利用公式(2)，求得服務中地錨在最大拉力情況下(= $T_L$ )，所對應的潛變係數 $k_{s(L)}$ 值，再將此值與延伸揚起試驗所求得之 $k_{s(10)}$ 比較，即可評估地錨之錨碇狀況(健全程度)，以據判斷這支地錨是否有條件實施複拉程序。

$$\frac{1.2T_w \text{ (or } 1.5T_w)}{1.2\text{mm (or } 2.0\text{mm})} = \frac{T_L}{k_{s(L)}} \quad (2)$$

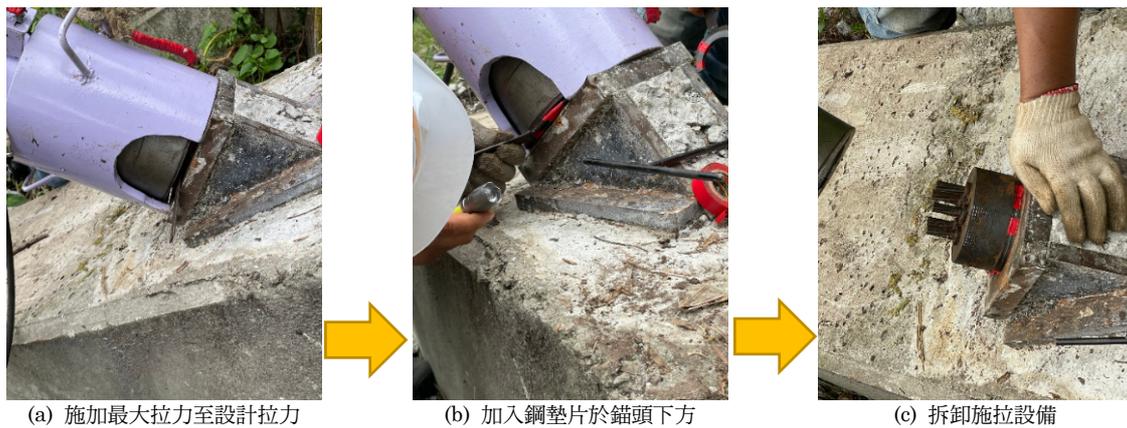
由第四節之地錨功能檢測結果可知，貓纜T16下邊坡之格梁式地錨邊坡，為地錨銹蝕情況「正常」之C級邊坡，但地錨既存荷重則有明顯的荷重損失現象，損失量約0.2~0.5 $T_w$  (8~20T)。因此，可依據公式(2)說明，由受測的45支地錨的揚起試驗推估整體邊坡上，各支地錨在維持既存荷重下對應合格的潛變係數等高線圖(圖十)，以及依據公式(1)說明，在揚起試驗時推求執行延伸揚起試驗之地錨實際潛變係數(圖十一)。由圖十一可知，貓纜T16之邊坡地錨，除銹蝕情況「正常」外，錨碇狀態亦健全，有條件透過複拉方式，回補損失的地錨拉力，以擷節工程經費之支出。



圖十 貓纜T16塔柱下方邊坡地錨在既存荷重下滿足之合格潛變係數等高線分佈圖



圖十一 貓纜T16塔柱下方邊坡地錨在既存荷重下測得之實際潛變係數等高線分佈圖



圖十二 地錨複拉時錨頭下方鋼墊片施工情況

### 5.3 地錨複拉程序的執行

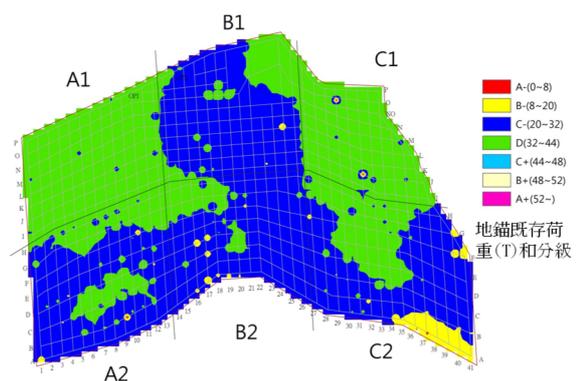
當依上述程序判斷地錨之錨碇狀況後，若地錨銹蝕情況屬「尚可」、「正常」且又有明顯的荷重損失時，即可透過複拉的方式來補足地錨的設計拉力。一般而言，地錨複拉的施工方式可分為下列二種方法：

1. 卸除預力退出夾片進行地錨複拉：這種複拉方式又稱為「有條件的地錨複拉」，因當地錨外露段預留鋼絞線長度不足以架設千斤頂來執行施拉工作時，即無法執行。雖然，它可以透過具有特殊咬合裝置之前捉式千斤頂來克服，但因設備並不普遍，不易推廣採用。另外，當地錨預力卸除後(由握線器退出夾片)，再執行複拉，可能改變夾片和鋼絞線的咬合位置而創造組立鋼腱的防蝕弱點。

2. 透過揚起試驗程序進行地錨複拉：這種複拉的執行程序和一般揚起試驗作法相同，即當揚起試驗獲得地錨的既存荷重後，若發現地錨拉力是損失狀況，可進一步透過延伸揚起試驗進行錨碇狀況檢核，若既存荷重對應之潛變係數合格，將同步透過揚起試驗將最大拉力施加至設計拉力，此時承壓板與握線器間的空隙，可依圖十二方式加入鋼製墊片以完成荷重補充的工作(備註：10噸拉力約須1公分厚鋼墊片)。

由前述內容說明可知，貓纜T16之邊坡地錨之既存荷重則大都分佈在20~32T左右(約為 $0.5T_w \sim 0.8T_w$ )，而且銹蝕情況「正常」、錨碇狀態健全，可透過複拉方式，回補損失的地錨拉力。由於複拉程序和揚起試驗相同，可能有部分地錨會因鋼絞線斷裂、錨碇段拉脫等導致地錨失效的現象發生，故當複拉地錨失效時，建議應依失效

比例進行補設作業，依前期貓纜T16之邊坡地錨之45支地錨揚起試驗可知，其失效比例約5~10%。目前，貓纜T16塔柱下方地錨邊坡目前已依上述程序完成A2, B1, B2, C2四個微分區地錨(約417支地錨)的揚起試驗(獲得既存荷重)、錨碇狀況檢核(錨碇潛變係數檢核)和荷重補充作業(複拉)，如圖十三可知，受檢的420支地錨，其既存荷重大都分佈在20~32T，約須補充8~20T的荷重(如圖十四為複拉工程使用的鋼墊片規格)，圖十五則為完成複拉之荷重分佈圖，由圖可知約有33支地錨在複拉程序中失效，其比例約為 $33/417=8\%$ ，和前期45支地錨揚起試驗的失效比例吻合。若不論施工難易度和環境美觀問題，吾人可進一步以貓纜T16之邊坡地錨

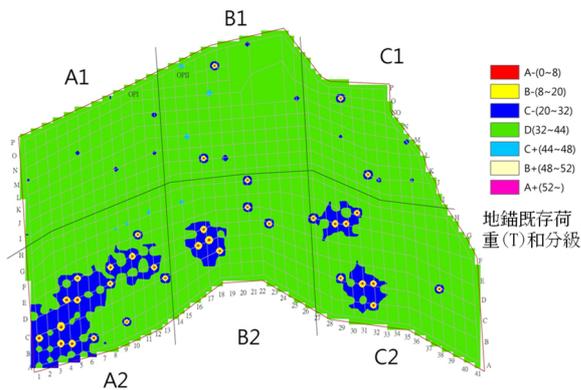


圖十三 貓纜T16塔柱下方邊坡地錨A2, B1, B2, C2四個微分區之地錨既存荷重等高線分佈圖



圖十四 地錨複拉使用鋼墊片厚度

為例,說明「補設地錨」和「地錨複拉」的經濟效益差異。也就是說,若以平均值來看,前期45支地錨揚起試驗所得之既存荷重發現其荷重損失約1/3左右,故可知T16地錨邊坡若依傳統補設地錨的設計原則約須補設200支地錨(600支\*1/3),但當以複拉方式執行時,除可重新對邊坡上的每一支地錨進行功能狀態的評估,以及荷重的補充外,若以目前所得8%的地錨失效比例來看,也只須要補設48支的地錨。



圖十五 貓纜T16塔柱下方邊坡地錨A2, B1, B2, C2四個微分區之地錨複拉後荷重等高線分佈圖

## 六、結論

本文回顧了貓纜T16塔柱下邊坡的災害歷史和整治後各式監測設備的長期紀錄數據,可知整體邊坡是穩定的。但是,由地錨荷重計紀錄讀數和功能檢測結果,發現地錨有普遍的荷重損失現象,並以延伸的揚起試驗進行荷重損失地錨的錨碇狀況評估和荷重補充(複拉),茲將相關發現說明如下:

1. 貓纜T16塔柱下邊坡地錨,有普遍性的荷重損失狀況,其荷重損失量約為0.2~0.5 $T_w$ (8~20T),經功能檢測結果可知其原因和傳統的地錨銹蝕因素不同,可能和崩積層的壓密沉陷、地錨材料或錨碇材料的潛變有關。

2. 延伸的地錨揚起試驗可用來進行既有地錨可複拉條件的評估(錨碇健全度),當判斷有條件執行複拉時,可同步於試驗程序將最大拉力施加至設計拉力或欲補充的荷重水平,並使用鋼墊片填塞於承壓板 and 握線器間的空隙,以完成地錨荷重複拉工作。

3. 地錨複拉作業必須在地錨鋼絞線銹蝕

狀況不明顯(C~D級)才建議執行,在執行過程也可能因鋼絞線斷裂、錨碇段拉脫等,而導致地錨失效,依貓纜T16塔柱下邊坡地錨之複拉經驗,其失效比例約為8%(隨每一場址地錨施工品質和條件可能不同)。

4. 本文建議之地錨複拉和一般揚起試驗的作業程序相同,施拉時不用由握線器退出夾片,直接咬合錨頭即可施拉,故原始夾片和鋼絞線的咬合位置不會改變,也不會因這個工作的執行,而創造組立鋼腱的防蝕弱點

5. 針對都會區的地錨邊坡而言,地錨補設使用的混凝土面版,除了影響景觀綠化的空間規劃外,也折損了日後維護管理作為的操作彈性。當既有地錨有條件執行複拉時,具有更好的經濟性、操作簡易性和環境友善(美觀、綠化)性。

## 誌謝

本文感謝「2021年度臺北市山坡地邊坡改善與設施維護工程委託設計技術服務案」之設計和監造團隊:亞柏技術顧問股份有限公司,施工團隊:曜鼎營造有限公司、昱全大地工程有限公司之現場數據蒐集和施工所做的努力。

## 參考文獻

- 交通部 (2014),「公路工程施工規範」。
- 交通部高速公路局 (2019),「高速公路養護手冊」。
- 林德貴、張國欽、鄧瑞卿 (2018),「臺北貓空纜車T16-墩柱邊坡(T16-邊坡)複合型整治工程之效益評估」,《中華水土保持學報》,第49期,第4卷,第214-232頁。
- 游裕偉、傅文鵬 (2017),「臺北市貓空纜車T16塔柱下邊坡整治工程」,《技師報》,第214-232頁。
- 黃鑑水、楊賢德 (2009),「貓空纜車T16塔基邊坡崩塌」,《地質》,第28卷,第1期,第51-54頁。
- 楊國鑫、吳昱葵、鄧福宸、陳昭維、陳仁達 (2020),「物質點法分析邊坡崩塌過程與運動機制~以貓空邊坡為例」,《土工技術》,第166期,第79-92頁。
- 臺北市土木技師公會、臺北市大地技師公會、臺北市水土保持技師公會、臺北市結構工程工業技師公會 (2008),「臺北市文山區萬壽路75巷政大御花園蓄壩風災土石崩塌鑑定報告」,臺北市府。
- 臺北市府大地工程處 (2020),「臺北市公園山坡地邊坡及水土保持設施暨列管邊坡巡迴觀測委託技術服務計畫」。
- 鄭世豪、廖洪鈞、彭煥儒、陳冠閔、王祐璋、黃俊明、賴榮俊 (2020),「智慧地錨荷重變化監測系統開發與現地應用」,《土工技術》,第166期,第61-70頁。