

簡易地錨荷重量測方法開發

國立臺灣科技大學／廖洪鈞、鄭世豪·大地工程股份有限公司／陳俊仲·三聯科技股份有限公司／謝志龍 

摘要

在地錨邊坡自動化監測工作的推動過程中，電子式地錨荷重計的安裝是無可避免的，但其安裝數量通常只佔邊坡全數地錨總數量的5~10%而已，並不足以對整體地錨邊坡現況穩定狀態，作出合理可靠的評估和安全預警。有鑑於此，本文配合現地地錨試驗，提出簡易可靠且精度良好之大量地錨荷重變化量測方式，並配合地錨揚起試驗進行驗證，期能使自動化地錨邊坡安全監測的工作，達到質/量兼俱和具有長期穩定之監測效果。

一、簡易地錨荷重量測開發背景

一般而言，地錨邊坡上的預力地錨，當完成荷重鎖定後，其殘餘荷重會因邊坡之滑動、坡體材料之壓密/解壓和風化、以及地錨構件材料之老劣化等原因而有所增減。為確保地錨邊坡的長期穩定性，是有必要對預力地錨長期荷重的變化，進行監測及追蹤。例如，國道三號3.1 K地錨邊坡走山事件，經事後地錨揚起試驗之檢測結果，發現有些地錨之受力，早已達降伏荷重，再加上地錨構件之銹蝕情況嚴重，才會發生來不及反應的大型滑坡，若在災變之前，就能掌握地錨荷重持續上升的情況，應可作即時處理，避免不幸災變的發生(Liao et al, 2013)。目前監測既有地錨預力變化的方式，不外乎裝設荷重計，或是進行揚起試驗，但電子式荷重計有價格昂貴、安裝數量少、以及耐

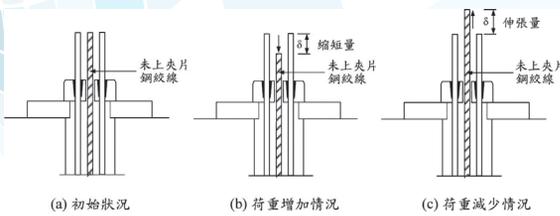
久性不佳等問題；而揚起試驗之操作需大量的人力，受施工動線和工作環境之影響大，倘若施工地點位於陡峭的邊坡，需再架設施工平台輔以施作，致使成本高，無法大量進行。但是，若從坡地工程之整體角度考量，邊坡地錨之荷重變化，最好是有整體性的掌握，而不只是作「點」或是「線」之監測，而應能達到面的監測，因此要落實「面」的荷重變化檢測工作，荷重變化監測裝置，應具備簡單和價廉特性，以利達到大量佈設之需求。至於，量測絕對荷重之準確性，可以增加之量測數量來彌補，一般只要誤差在地錨工作荷重10%以內，應可達到預警監測效果。有鑑於此，為了克服上述問題，並且為達地錨邊坡監測之簡易化、價廉化、大量使用化和滿足合理之監測誤差等目的，本文發展出一套簡易量測地錨荷重變化之方法，利用參考鋼絞線之相對伸縮量，來估算地錨荷重的變化。

二、簡易地錨荷重量測原理

邊坡地錨之既存荷重，乃是長期下來，地錨與邊坡取得之平衡荷重，原先之地錨設計荷重未必是該邊坡之最適荷重，當該邊坡無地表開裂、鋼絞線銹蝕嚴重、或抗張材受力太大瀕臨斷裂等現象且邊坡維持穩定狀態時，也不見得要去改變這個平衡狀況。因此，邊坡地錨之相對荷重變化的量測，遠比原始地錨設計荷重變化的追蹤來得重要，如圖1所示，簡易地錨

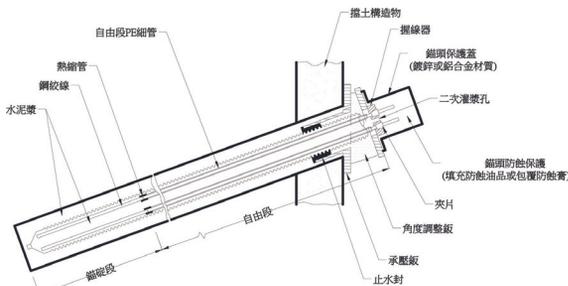


荷重變化量測原理，即針對地錨服務期間之相關荷重之變化進行量測，可適用於大範圍之地錨荷重變化量測需求，若能再配合少量電子式地錨荷重計，來對局部性之地錨作更精確之荷重變化量測，將可達到質/量兼具和具有長期穩定之地錨邊坡監測。



▲ 圖1 簡易地錨荷重變化檢測原理

國內對長久性地錨自由段抗張材大多選用鋼鐵材質之鋼絞線，在國道三號3.1K走山事件後，各單位之施工規範經過幾次編修後，大都建議其防蝕保護應以防蝕油脂塗抹後，再套上自由段小口徑PE細管以隔離水泥漿，該PE細管同時也當作抗張材之另一層防蝕保護(如圖2)。



▲ 圖2 全浪管式之鋼腱組立和錨頭上下方之防蝕保護方式

因此自由段鋼絞線在整個地錨生命週期中，都是可以自由伸張的，圖1所示之簡易地錨量測方式，即是利用此一特性，施工時於其中一條鋼絞線不下夾片，讓其自由伸縮情形，與其他下夾片之鋼絞線伸縮情形分開。換言

之，不下夾片之鋼絞線可當做參考鋼絞線，不會因地錨荷重之變化而有伸縮，故當地錨荷重有增加或減少情況時，可量測參考鋼絞線和其他上夾片鎖定鋼絞線之相對縮短量或伸張量。當使用此簡易裝置進行地錨荷重變化量測時，地錨荷重變化(ΔP)即可由以下公式加以估算：

$$\Delta P = \frac{\delta \times E \times \Sigma A}{L_{\text{eff}}} \quad (1)$$

其中， δ 為地錨荷重變化所產生之鋼絞線伸縮量； E =鋼絞線之彈性模數=2000 t/cm²； A =有下夾片之所有鋼絞線之斷面積總和(國內常用之直徑12.7 mm鋼絞線， $A=0.9871$ cm²)； L_{eff} =地錨鋼絞線之有效自由段長度。待求得地錨荷重變化(ΔP)後，地錨之殘餘荷重(P_r)可由下列公式求得：

$$P_r = P_i + \Delta P \quad (2)$$

其中， P_i 為地錨之初始鎖定荷重，若無特別紀錄，其值可取為地錨之設計荷重。

一般而言，公式(1)是理論值，要求得實際地錨荷重之變化，除了鋼絞線之材料參數外，還有兩項參數需要確定：首先，是鋼絞線之相對伸縮量(δ)，當地錨荷重有變化時，有下夾片之鋼絞線(即受力鋼絞線)，與未下夾片之鋼絞線(即不受力鋼絞線)間，所產生之鋼絞線相對伸縮量，其值可用游標卡尺量得(圖3)。其次，是地錨鋼絞線之有效自由段長度(L_{eff})，這個參數並無法於現場直接量得，但若地錨之鋼腱組立方式係如圖2所示，則地錨鋼絞線之有效自由段長度(L_{eff})，通常直接假設為設計地錨自由段長度。至於這項假設是否合理，則須利用實際工作地錨之施拉過程來進行驗證。實際上，圖1所示之地錨荷重變化量測裝置，其

原理是與Telltale 型式之荷重計類似(Dunnicliff, 1988)，利用一支無受力之量測桿，附加於受力之結構元件上，並用來量測受力元件之長度變化。若元件之初始長度為已知，則可將量測到之元件長度變化，轉換為元件之荷重變化。將上述原理運用到簡易地錨荷重變化量測裝置時，元件之初始長度確定便是一項重要的工作。為確定初始長度，可進行地錨揚起試驗，以確定公式(1)中之各項參數，方便地錨有效自由段長度(L_{eff})的計算。當計算有效自由段長度確定後，可與實際地錨中包覆小PE細管之鋼絞線長度(需加外露鋼絞線長度)比較，確定兩者長度足夠相近後，才可證實地錨鋼絞線之有效自由段長度(L_{eff})，等於地錨設計自由段長度，是合理的假設。同時，吾人也必須提醒，因在力求地錨構件之長期防蝕效果的同時，錨頭下方必須以灌注水泥漿等方式，做到錨頭下方和地錨自由段無孔隙殘留的情況(圖4)。由於錨頭下方構造複雜，若水泥漿灌注處理不當，恐影響到自由段鋼絞線之自由伸張，連帶地影響地錨鋼絞線之有效自由段長度(L_{eff})，假設等於地錨設計自由段長度之合理性。



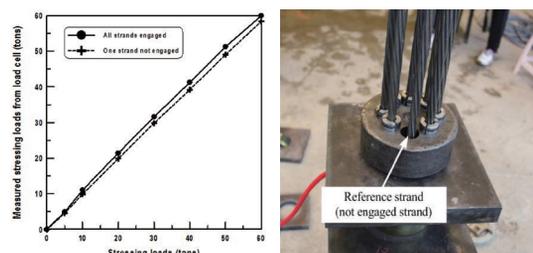
▲ 圖3 以游標卡尺量測參考鋼絞線之伸縮量



▲ 圖4 可重複補漿數次之水泥漿点滴瓶和水泥漿滿溢目視檢測方式

三、有效自由段長度的確認

由於本文提出之簡易荷重量測方法，須額外增加一條鋼絞線且錨頭上有一個錐孔不上夾片，故為證明這個措施對地錨施拉荷重及力傳遞之影響，本研究先以簡易組合拉力試驗進行應力傳遞力測試，如圖5所示，當地錨所有鋼絞線皆上夾片並留有一條鋼絞線不上夾片時，由試驗結果可觀察，兩者並不會造成錨頭力傳遞的差異，證明當有一條鋼絞線不上夾片時，其對錨頭承載能力的影響是可忽略的。同時，當地錨荷重增加或減少時，不上夾片之鋼絞線亦能如預期，自由的伸張(如圖6為拉力減少情況)或縮短(如圖7為拉力增加情況)。

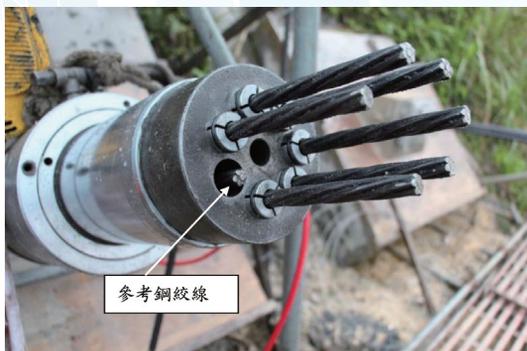


(a) 簡易組合拉力試驗結果 (b) 有一條鋼絞線不上夾片之狀況

▲ 圖5 地錨所有鋼絞線皆上夾片以及有一條鋼絞線不上夾片之組合拉力試驗結果比較



▲ 圖6 不上夾條片鋼絞線之現地拉力試驗時之伸張情況(拉力減少)



▲ 圖7 不上夾條片鋼絞線之現地拉力試驗時之縮短情況(拉力增加)

然而，為驗證上述將地錨鋼絞線之有效自由段長度(L_{eff})，假設等於地錨設計自由段長度(L_{df})之合理性，本研究共進行三支現場地錨之拉拔試驗，以確認當以圖2所示之方式組立地錨，並進行必要的防蝕保護和水泥漿灌注動作之後，公式(1)所需之 L_{eff} 是否可直接以地錨設計自由段長度代入，其誤差值又為何？現地試驗時，施拉荷重變化分別為11噸→23.6噸、11噸→47.2噸、11噸→59噸、11噸→70.8噸，並且在荷重變化前後分別量測參考鋼絞線之相對伸縮量(δ)，同時假設公式(1)中之各參數為已知值，可利用公式(1)計算出 L_{eff} 。如表1，由試驗結果發現在小噸數的荷重變化時，計算和設計

有效自由段長度可能會有較大的誤差產生，但整體而言其誤差是可接受的，如圖8證明利用公式(1)所求得之地錨鋼絞線有效自由段長度 L_{eff} 與設計自由段長度 L_{df} 幾乎一致，因此可確認當自由段鋼絞線塗抹防蝕油脂再套上自由段小口徑PE細管能發揮自由段裸線自由伸張的功能，有效自由段長度 L_{eff} 可以用設計自由段長度 L_{df} 做為假設。

▼表1 驗證地錨鋼絞線有效自由段長度之拉力試驗相關數據表

ΔP (tons)	地錨編號 1				地錨編號 2				地錨編號 3			
	δ^a (cm)	L_{eff}^b (m)	L_{df}^c (m)	L_{diff}^d (m)	δ (cm)	L_{eff} (m)	L_{df} (m)	L_{diff} (m)	δ (cm)	L_{eff} (m)	L_{df} (m)	L_{diff} (m)
11→23.6	1.21	11.26	16	4.74	1.84	17.14	16	1.14	1.56	14.50	16	1.50
11→47.2	4.51	14.60	16	1.40	4.80	15.53	16	0.47	4.93	15.96	16	0.04
11→59.0	6.43	15.70	16	0.30	6.51	15.91	16	0.09	6.58	16.08	16	0.08
11→70.8	8.48	16.63	16	0.64	8.18	16.03	16	0.03	8.34	16.35	16	0.35

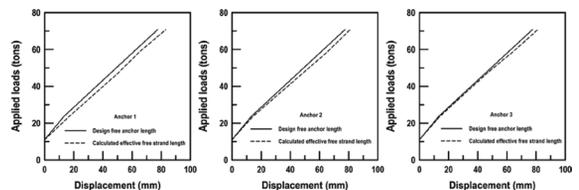
^a: 地錨荷重變化所產生之鋼絞線伸縮量

^b L_{eff} : 公式(1)算得之地錨鋼絞線有效自由段長度

$E = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$; $A = 0.9871 \text{ cm}^2$; 5.9226 cm^2 (鑲定6條鋼絞線)

^c L_{df} : 設計自由段鋼絞線長度-套小PE細管之鋼絞線長度+千斤頂和荷重計內之鋼絞線長度

^d L_{diff} : 設計和計算之自由段鋼絞線長度差值 = $abs(L_{df} - L_{eff})$



▲ 圖8 設計自由錨長度和計算的有效自由段長度之施加荷重-位移關係的比較

四、地錨殘蝕荷重確認的準確性

當確定公式(1)計算有效自由段長度(L_{eff})對合理性後，本研究亦同樣進行3支地錨揚起試驗，以確定公式(1)所計算得荷重變化，與實際地錨荷重變化的差異。然而，為以人為方

式製造地錨殘餘荷重之變化，試驗地錨之錨頭下方需先置入鋼製墊片後，才予以鎖定，在墊片移除前先以揚起試驗量測地錨之殘餘荷重；然後將鋼製墊片移除後，再以地錨揚起試驗量測第二次的地錨殘餘荷重，以確定其荷重的變化。同時，為利用公式(1)計算墊片移除前後之地錨荷重差值，如圖9揚起試驗時應以游標卡尺量測移除墊片前後之參考鋼絞線(即未下夾片之鋼絞線)的伸縮量(δ)。由試驗結果量測之地錨荷重變化和以公式(1)計算差值幾乎可忽略，如表2之試驗結果，比較量測值與公式(1)之計算值後，可知兩者誤差約2~5%，證明本研究提之簡易地錨荷重變化量測方法具有實務應用價值，並可將量測構件內化為地錨的一部分。



▼表2 揚起試驗量得之地錨殘餘荷重變化與公式

地錨	揚起試驗量得荷重 (tons)				δ (cm)	$\Delta P_{\text{calculated}}$ (tons)	$\Delta P_{\text{calculated}} / P_1$ (%)	$\Delta P_{\text{diff}} / P_1$ (%)
	P_1^a	P_2^b	$\Delta P_{\text{measured}}^c$	$\Delta P_{\text{measured}} / P_1$ (%)				
1	53.5	42.5	10.5	19.6	0.96	7.96	14.9	4.7
2	46.0	37.0	9.0	19.5	0.95	7.88	17.1	2.4
3	54.0	45.5	8.5	15.7	0.93	7.71	14.3	1.4

^a P_1 ：墊片移除前地錨殘餘荷重
^b P_2 ：墊片移除後地錨殘餘荷重
^c $\Delta P_{\text{measured}}$ ：量測得到之地錨荷重差值
^d $\Delta P_{\text{calculated}}$ ：公式(1)算得之地錨荷重差值
 條鋼絞線(自由段長度15公尺；錨碇段15公尺)
^e ΔP_{diff} ：量測及公式(1)計算之荷重差值 = $\text{abs}(\Delta P_{\text{measured}} - \Delta P_{\text{calculated}})$

五、結論與建議

1. 本研究所提之簡易地錨荷重變化量測方法，係將量測構件內化為地錨的一部分，無外來的元件加入，只是多加一條不下夾片的鋼絞線當做參考鋼絞線，作為量取下夾片鋼絞線因地錨荷重變化產生伸縮量，惟其地錨組立方式應採用圖2之組立方法(自由段鋼絞線需逐條塗抹防銹油脂後，套上自由段 PE 細管，並以熱縮管封住自由段 PE 細管底部，防止錨碇段水泥漿流入)，以確保自由段鋼絞線可在地錨工作期間維持自由伸張。
2. 本研究建議簡易地錨荷重變化量測方法具備簡易、價廉、準確可靠和可大量採用之特性，同時因無耐久性問題，可為整體邊坡地錨做到「面」的長期荷重變化檢測，邊坡穩定分析工程師，亦可藉由大量收集資訊做為整體邊坡之長期穩定性評估的參考依據。
3. 為滿足長期自動化地錨邊坡的監測需求，未來建議可依據本文之試驗成果和建議之量測方法，進行自動化構件的開發，使之更具實務應用價值。

☒ 參考文獻

1. Duniciff, J., Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley, New York, 1988.
2. Liao, H. J., Lee, Wei F. and Wang, C. W., "A tale of twin cut slopes in Taiwan," Proc. of the ICE - Forensic Engineering, Vol. 166, Issue 2, 2013, pp. 72-80, doi: 10.1680/feng.12.00024.