

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 地球科學科

040507

貓空纜車 T16 塔柱基礎鄰近地區之地質問題

學校名稱：臺北市立大同高級中學

作者： 高一 陳昭年 高一 楊于萱	指導老師： 廖哲毅
-------------------------	--------------

關鍵詞：地層破碎、邊坡破壞、地質材料

# 貓空纜車 T16 塔柱基礎鄰近地區之地質問題

## 摘要

從貓空纜車T16 塔柱基礎地區之鑽探岩心檢核，實驗室試驗及各項收集資料的研究結果顯示，該塔柱基礎鄰近地區在地表下 10 公尺以內的岩石品質指標，大部份皆小於 25 以下，其地層屬於破碎狀態。薈蜜颱風 24 小時累積降雨量超過 400mm，使得土壤及岩石等地質材料在颱風豪雨的浸潤下，含水量呈現飽和狀態，間接弱化其地質材料的強度，減低該邊坡地層的穩定性，本研究地區在颱風豪雨的侵蝕作用下，因此產生了長約 200 公尺，寬約 40 公尺之邊坡破壞。

本研究工作包括：地質資料收集，邊坡破壞勘察，岩石露頭位態量測，鑽孔岩心之岩石品質指標估算，地質材料樣品採集，含水量及液性限度試驗，力學強度試驗，地形剖面繪製，研究結果分析與討論，以及本報告撰寫等工作。

## 壹、研究動機

民國 97 年 9 月 26 日薈蜜颱風襲擊本島，接連幾天的大雨，使得台北市文山區萬壽路 75 巷住宅區東南側緊臨的邊坡，在 9 月 28 日產生了地層的滑動，危及到住宅區居家環境的安全。而地層滑動的範圍延伸到了位於該邊坡頂部，也即貓空纜車 T16 塔柱的基礎（圖一），使得 T16 塔柱基礎鄰近地區，同時也產生了地表下陷以及掏空的現象，這個突如其來的地質災害，讓台北市政府立即停駛已經運作 1 年多的貓空纜車。接續而來，在 11 月 8 日超過 150mm 大雨的衝擊下，更是惡化了該地區原本就已經產生地層滑動的邊坡，使得該區域內邊坡的破壞範圍更加的擴大，其流動的土石並延伸進入坡腳下的住宅，使得居家環境的安全受到嚴重的威脅。

爲了探討貓空纜車 T16 塔柱地表下陷，以及其鄰近區域邊坡地層滑動的問題，我們希望能以嚴謹而科學性的方式，來進行這個工作的研究，主要的原因在於 T16 塔柱週遭的坡度陡峭，分布於地表下之地層破碎，颱風豪雨攜帶的雨水和地表水相對於坡體的沖刷相當嚴重。另外，本研究區的地質環境資料相對得不夠周全，對於發生地表下陷及地層滑動的原因，一直無法讓人完全了解，貓空纜車是否能安全的運作，又是眾目睽睽的焦點，更由於這個區域鄰近市區，交通方便，相當有利於我們利用假日時間進行現場的調查工作，加上現場也正好在進行鑽探的取樣工作，鑽取的岩心同時可以提供大家進行岩石品質指標的估算。因此，利用這些地質資料的收集及現地調查了解作業，並配合自己在現場的取樣和實驗室的試驗工作，將有助於我們對這個地質災害發生原因的了解。

註：本作品研究問題與高一基礎地球科學「地質災害」中的山崩與土石流相符。

## 貳、研究目的

我們進行本研究工作的目的，是想藉著嚴謹而科學性的調查方法，嘗試找出發生災害的真正原因。因此，我們收集了地質圖的資料（圖二），以了解本地區的岩層分布情形，利用三度空間的航空照片資料，來探討本研究區立體地形的空間對應（圖三），以及利用大比例尺之立體空照圖，來對比 T16 塔柱與週遭坡體和沖蝕凹谷間之相互關係（圖四），將這些資料與現地調查、實驗室的試驗結果整合，可以探討以下各項問題的相關性：

- 一、 岩層的位態分布是否構成順向坡的問題。
- 二、 岩石的破碎與地層滑動間的相互關係。
- 三、 雨水沖刷與現地地層滑動之相關性。

## 參、研究設備及器材

本研究所使用的設備，包括量測岩層露頭的傾斜儀，可以了解研究區周遭岩層的位態分布（圖五），估算岩石品質指標（Rock Quality Designation, RQD）的量尺，計算每個鑽孔的岩石品質指標（圖六），以了解岩層的破碎強度。現場取樣（圖七）的挖掘鏟子及收集袋、紀錄簿、尺規，量角器等各項必備的工具。另外，台灣大學地質材料力學實驗室內量測含水量之器皿、烤箱，量測液性限度之阿太堡儀器，可以瞭解土壤材料要進入流體狀態之最低含水量的組成。而使用量測力學強度之直接剪力試驗儀（圖九），其目的在初步了解本地區地表土壤的力學強度的分布情形，上述這些設備器材都是用來輔助本研究工作進行的最佳工具。

## 肆、研究過程及方法

在 9 月 28 日薔蜜颱風挾帶豪雨造成本區域的地質災害後，我們便構思了如何探討這整個災害區域的研究方法。首先，在 10 月初我們從氣象局收集颱風當天的雨量資料（圖十）發現，初步災害發生時，累積雨量是出現在 400mm 左右，而 11 月 8 日出現的大雨（圖十一），災害延伸擴大之累積雨量在 150mm 左右。而現場的兩次調查工作，也都是在兩次災害發生後第二天，同時進行的野外作業。

從現場使用傾斜儀圍繞本研究區周圍去瞭解岩層露頭的位態大約是北偏東  $50^{\circ}$  至  $60^{\circ}$ ，傾角向南約  $20^{\circ}$ ，這個結果告知，本區域的邊坡並非屬於順向坡的地質構造。因此，利用現場鑽孔資料（圖十二）來瞭解岩石的破碎情形相當的重要。將現地收集之地形剖面（圖十三）

進行分析各鑽孔之岩石品質指標（RQD）的數據，可以發現地表下岩層的破碎程度。岩石品質指標（RQD）的估算，是指鑽探岩心超過 10 公分的長度與該鑽岩心長度的比值。岩石品質指標有訂定一套岩石破碎標準的評比，如果 RQD 小於 25，為屬於「非常差」，26 至 50 為「差」，51 至 75 為「中等」，76 至 90 為「好」，90 以上則屬於「非常好」。

現場取樣進行之土壤含水量及液性限度的量測，主要目的是想了解該區域地表土壤在開始流動狀態時含水量的可能分布比例，而利用直接剪力試驗儀量測力學強度更可以瞭解地表地質材料的強度特性，以作為整體災害分析之參考。

## 伍、研究結果

從現場的調查結果發現，本區域第一次發生邊坡破壞的時間為 97 年 9 月 28 日晚上 8 時左右，其累積雨量超過 400mm，坡體的破壞規模寬度大約為 20 公尺左右，長度則尚未延伸至坡頂的 T16 塔柱範圍（圖十四），但是塔柱基礎周邊開始產生大約 50 公分之地表下陷的現象。同年 11 月 8 日本區域又降下了大雨，其累積雨量超過 150mm，整個坡體在多次的侵蝕沖刷後，破壞規模不僅由邊坡之下段、中段往上方延伸擴大至坡頂，將坡頂 T16 塔柱基礎淘空達 3 公尺左右，整體地層滑動之長度也超過了 200 公尺，寬度擴大至 40 公尺（圖十五），此為地層滑動中屬於「後退式漸續性破壞」之一種模式。

現地的露頭量測結果顯示，本研究區岩層位態為北偏東的走向，岩層的傾角朝向東南，與現地向西北傾斜的地形坡度正好相反，是屬於逆向坡的地質構造分布。從現場 9 個鑽孔岩心資料的檢核中可以發現（圖十六），岩石品質指標（RQD）分布在 50 以下（差），約為 60%，而屬於「非常差」（小於 25）的分布，也達到了 40% 左右，顯示本區域的岩層是屬於「非常破碎」的程度。而圍繞著 T16 塔柱的 BH-2，BH-7 以及本研究區域邊坡中段以下的 BH-6，和 BH-8 兩個鑽孔之岩石品質指標，以及地表下 10 公尺以內的岩盤，其岩石品質指標小於 25（非常差）的分布皆超過 50%，即岩層為屬於「非常破碎」程度。這個意義顯示，T16 塔柱地表下 10 公尺左右，延伸至西北側之下邊坡，可能為一個屬於破碎帶的地層分佈。

從含水量的量測結果也發現，本區域之含水量大致上都分布在 25% 以上（表一）。而液性限度的量測資料顯示（表二及圖十七至圖十九），含水量分布在 30% 以上，此現象告知，本區域地表之土壤要達到流動破壞狀態，其含水量大約只比平常增加 5% 至 10% 便可達到破壞強度，也即地表土壤較為鬆散，從台北市政府過去環境地質圖的文獻資料顯示，本區域為舊有崩場地，這些地表之地質材料可能仍為舊有崩塌之土壤所覆蓋，因此整體的土層結構是呈現比較鬆散的狀態。也可能是因為地表土壤具有上述之特性，因此其力學強度較低，土壤之摩擦角分布在  $17^{\circ}$  至  $23^{\circ}$  之間（表三及圖二十、圖二十一）。

## 陸、討論

就這個研究區域量測岩層露頭的傾角資料，與現地地形傾角正好出現相反的結果可以發現，本區域並不是屬於一個順向坡的地質構造。但是，現地的邊坡仍然發生著地層滑動的現象，也因此，我們嘗試從另外一個角度「岩層的破碎程度」來探討這個原因。

我們利用現地 9 個鑽孔的岩石品質指標統計資料，發現整體岩層的破碎程度確實相當高（超過 50%）。另外，從自行繪製的剖面圖，與鑽孔之岩石品質指標的分布圖中，似乎也可以對比出，地表下存在著兩條以上之岩層破碎帶，順著地形坡度而分布於地表下十公尺以內的深度。從現場地層滑動後，坡體表面裸露之破碎岩層中可以發現，彼此確實有直接之關聯性。

兩次大雨過後，現地地層滑動的面積不僅擴大而延伸，其地層滑動的深度，以及 T16 塔柱周遭地表下陷的程度，也都出現相當醒目的破壞現象。當我們在 11 月 9 日早上進入現場勘查時，雖然下雨規模逐漸變小，但是看著地表地層被雨水沖刷，土壤以及岩塊隨著地表水緩緩流入坡腳的民間住宅的情景（圖二十二、圖二十三），實在是令人怵目驚心。因此，雨水沖刷與現地地層滑動，就我們的研究分析，以及現地調查的資料顯示，應該是有直接之關係。

本次的研究工作，主要是從我們過去研讀地球科學領域中之地質環境的問題，切入來探討整個區域發生地表下陷，以及地層滑動的原因。雖然從各項資料的收集，現場調查及實驗室之試驗工作的分析中，可以瞭解到這次災害發生的主要原因與周圍之地質環境有關，唯其他領域上的問題，包括貓纜塔柱的重量，地表逕流的沖刷，以及植物根系的破壞等等，也可能都是致災的因素之一，未來也許有機會瞭解這些專業後，可以一併再加入討論。

## 柒、結論

從上述的現場調查，地質及地形資料的比對，岩石品質指標的估算，以及實驗室的試驗結果，我們可以歸納出：本研究區主要是因為地表上之舊有崩塌土層鬆散，地表下之地層破碎及超大雨量之雨水沖刷坡體表面，而造成區域內地表下陷，以及地層滑動之地質災害，其邊坡之破壞，是由下往上之後退式漸續性破壞模式。

這些地質災害讓我們知道，公共工程抑或居家環境，都與周遭之地質環境，有重大之關聯性。因此，我們應該就生活周遭之大自然環境中，多瞭解與我們息息相關之地質問題，居安思危，才能防微杜漸。

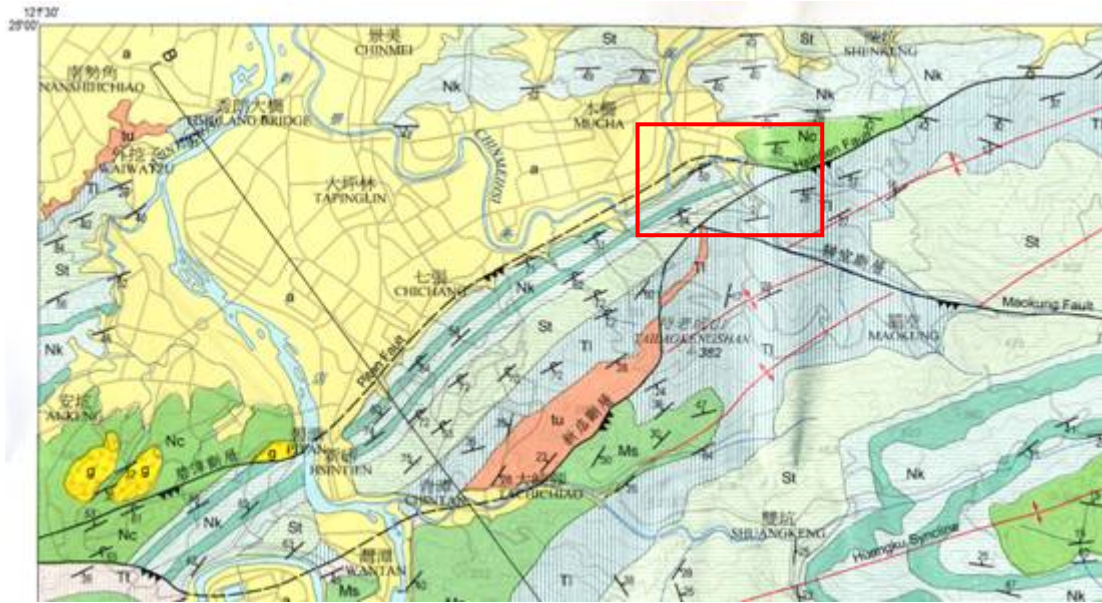
## 捌、參考資料及其他

一、洪如江（民 76）土力學試驗，152 頁，科技圖書。

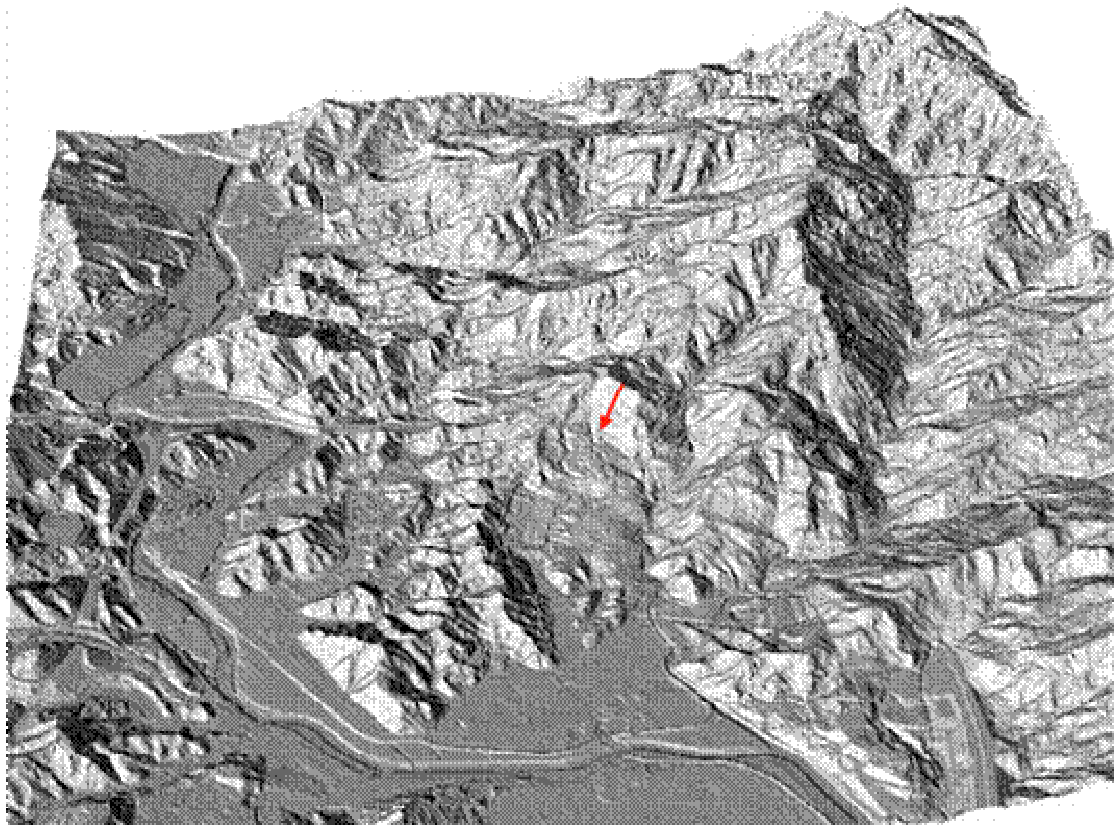
- 二、中央地調查所（民 89）五萬分之一地質圖新店圖幅，經濟部中央地質調查所。
- 三、農林航空測量所（民 89）新店地區，農委會林務局農林航空測量所。
- 四、工業技術研究院（民 91）測繪台北市五千分之一環境地質圖，台北市政府建設局。
- 五、台北市土木技師公會（民 97）台北市文山區萬壽路 75 巷政大御花園蓄蜜風災土石崩塌鑑定報告，共二冊。



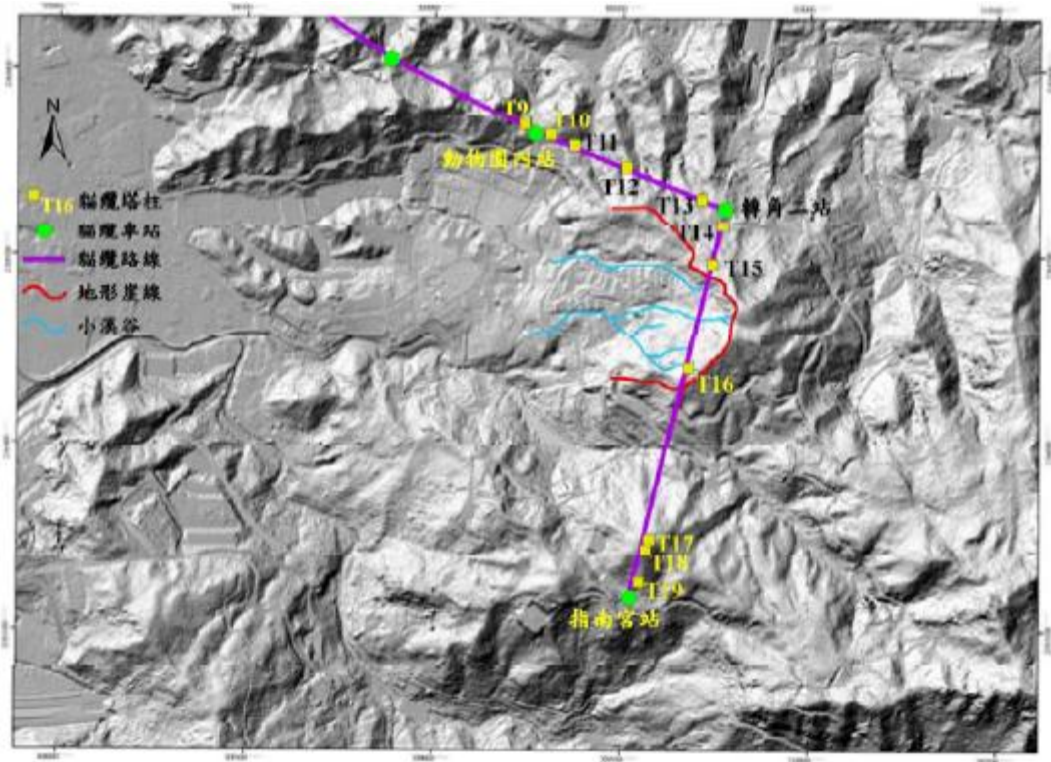
圖一 貓空纜車 T16 塔柱基礎臨近地區之邊坡受到大雨的沖刷產生地層滑動的現況。



圖二 本研究區之地質圖（摘錄自中央地質調查所，民 89），紅色框部分為本研究區之範圍，不同顏色、Nk、Nc 以及 St 等各符號，表示不同岩層的組成。



圖三 本研究區數位地形模型顯示區域內地形起伏之分布（摘錄自中央地質調查所，民 97），紅色箭頭部分為本研究區地層滑動的位置及方向。



圖四 本研究區空載光達圖顯示 T16 塔柱與鄰近塔柱，以及沖蝕凹谷間之相對應分布（摘錄自中央地質調查所，民 97），紅色線條為研究區域之嶺線範圍，藍色線條為沖蝕凹谷。



圖五 本研究區域南側岩石露頭的分布情形。





圖六 現場鑽探岩心可以輔助估算岩石品質指標，找出岩層的破碎帶。



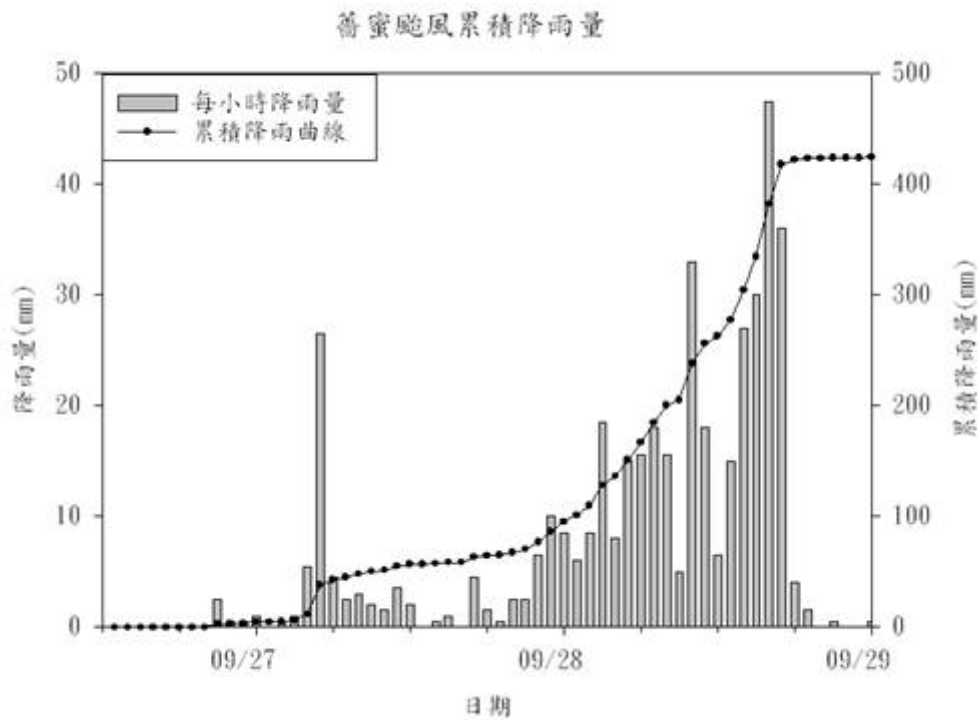
圖七 現場取樣是依照地層滑動邊坡之上段、中段及下段逐一取樣。



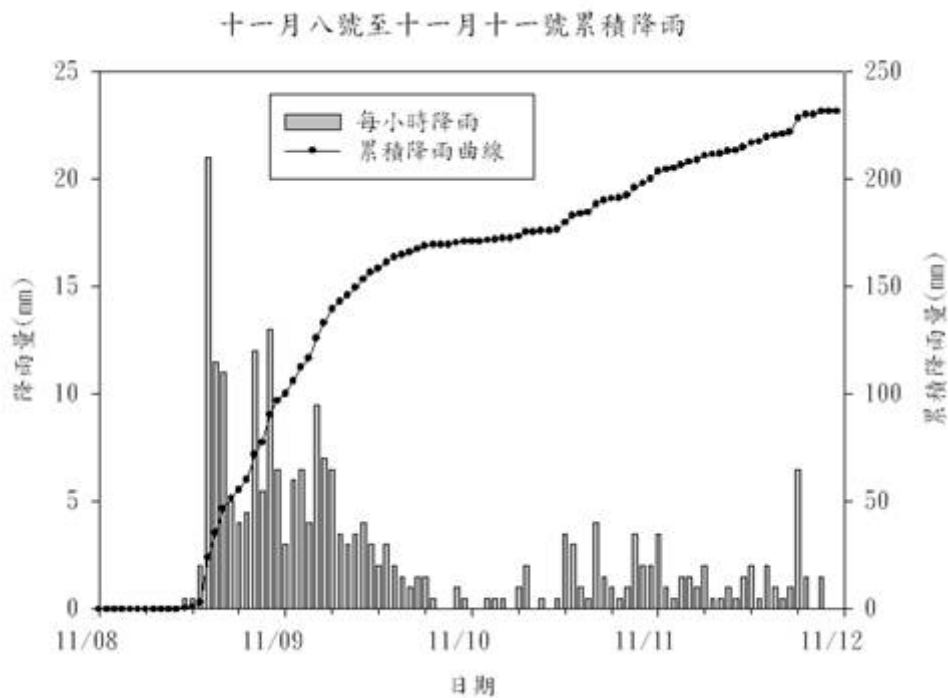
圖八 阿太堡儀器為量測液性限度。



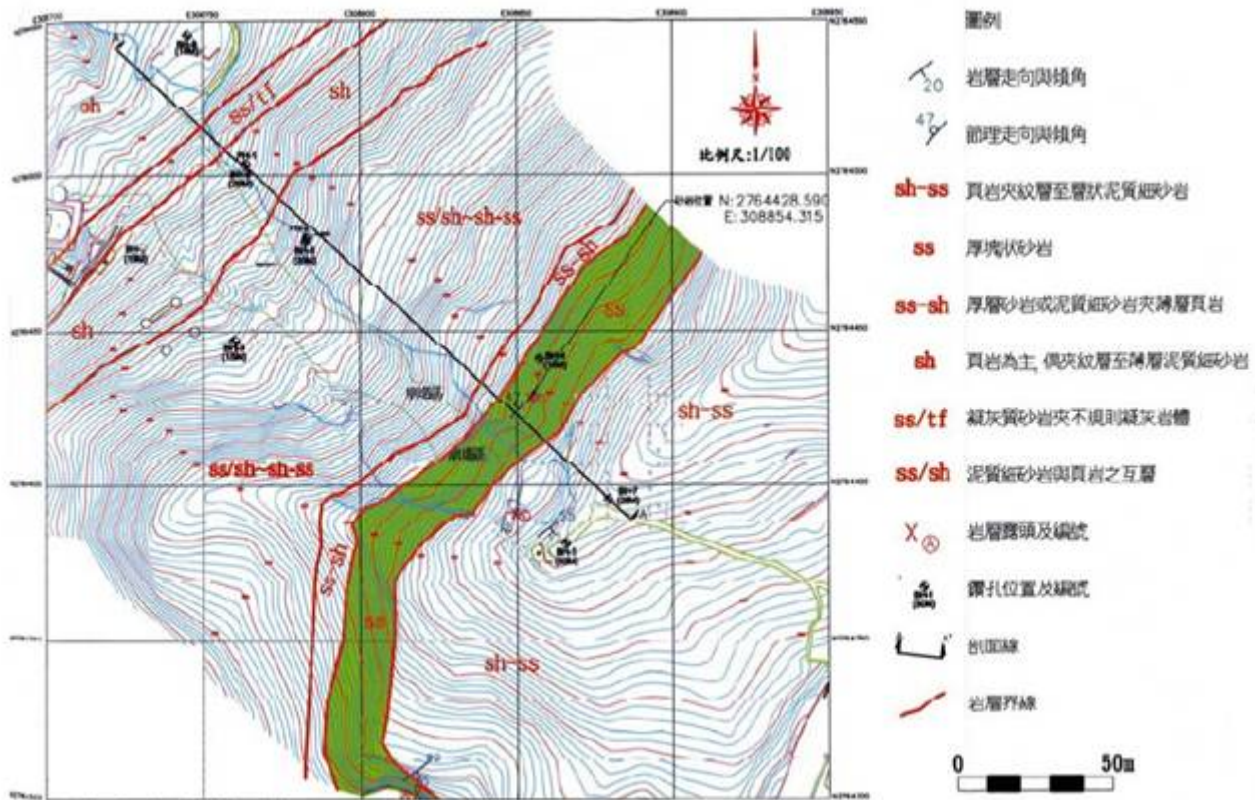
圖九 直接剪力試驗儀是用來量測地表土壤之力學強度。



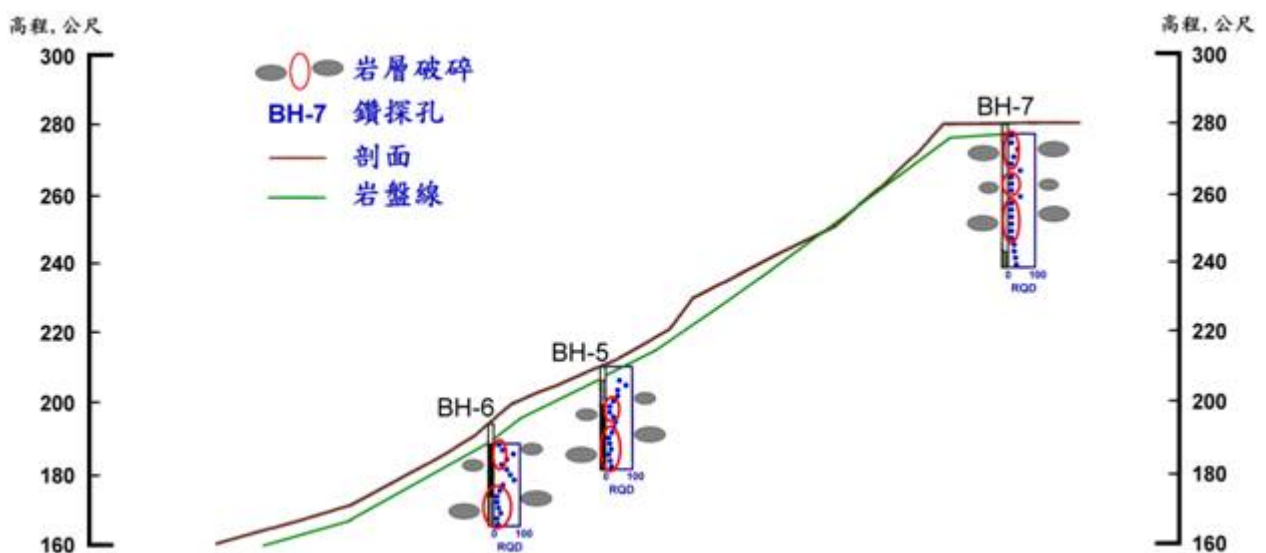
圖十 薈蜜颱風累積降雨量之分布資料。



圖十一 11月8日至11月11日累積降雨之分布資料。



圖十二 現地 9 個鑽探孔位置、剖面位置、露頭位態、不同岩層的分布，以及地形等高線資料（摘錄自台北市土木技師公會，民 97）。



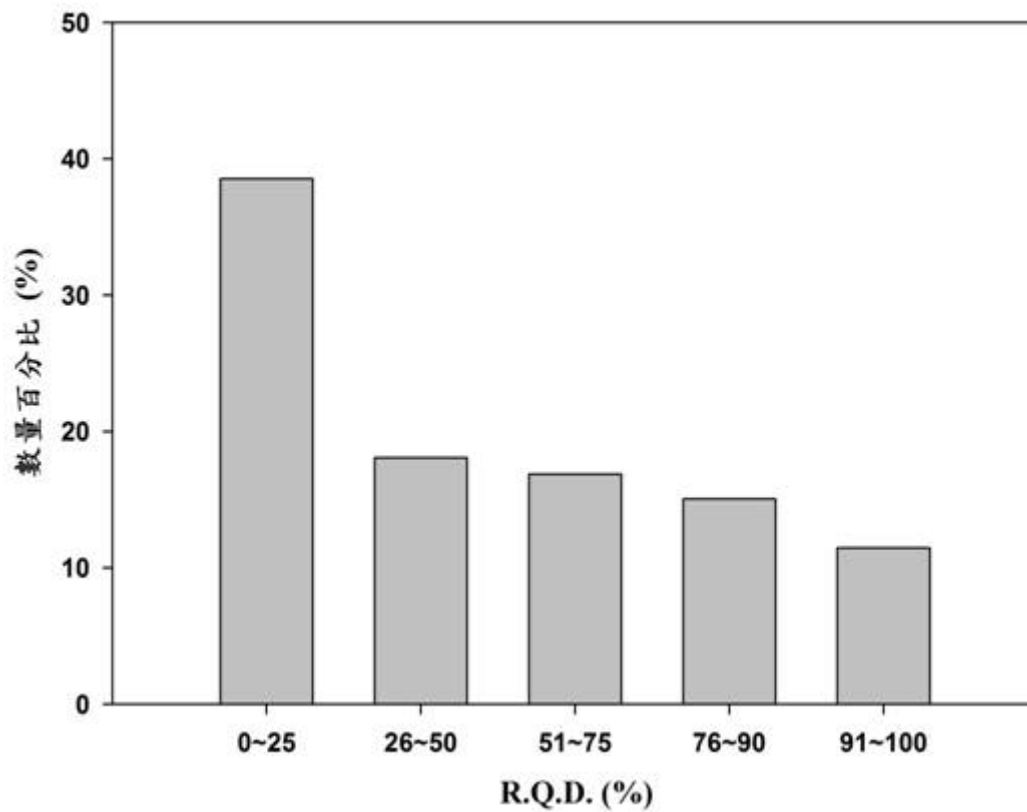
圖十三 利用 BH-7、BH-6 以及 BH-5 三個鑽孔之地層資料，繪製剖面分布圖，各孔之岩心品質指標的統計也一併顯示於剖面圖內。



圖十四 薔蜜颱風後本區域出現初次地層滑動破壞，坡頂之 T16 塔柱則出現地表下陷現象，邊坡破壞尚未延伸至坡頂。



圖十五 11月8日大雨過後，邊坡之破壞延伸至坡頂 T16 塔柱，裸露之破碎地層，顯示地表下可能存在之岩層破碎帶，此與地層滑動有相互關聯性。



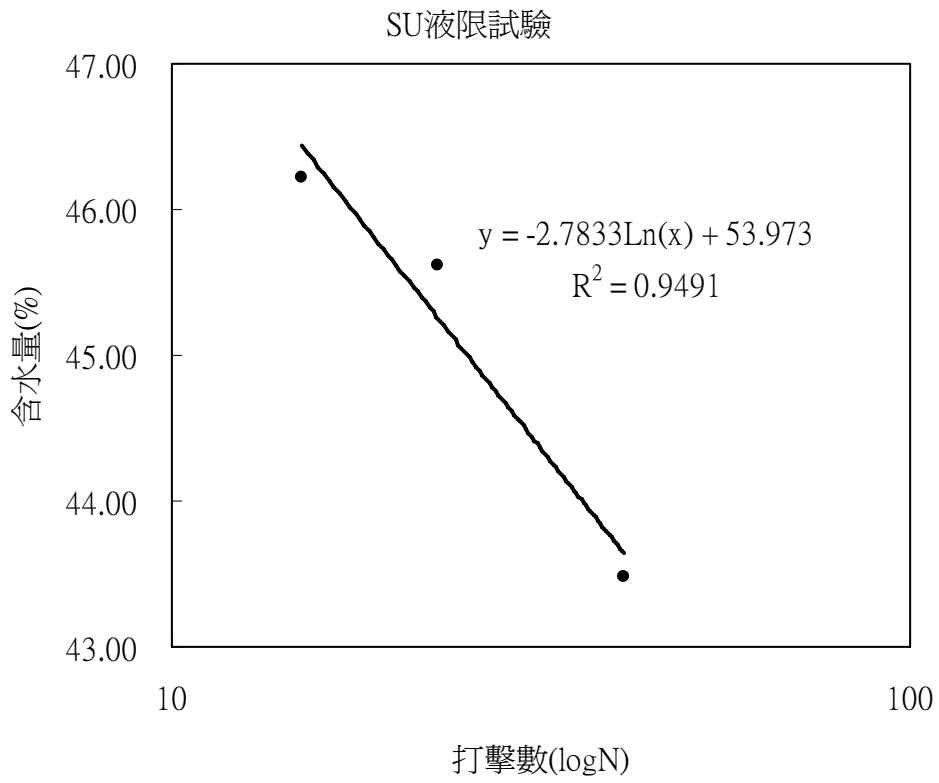
圖十六 本研究區 9 個鑽探孔，其岩心品質指標之統計分布資料。

表一 土壤含水量試驗結果

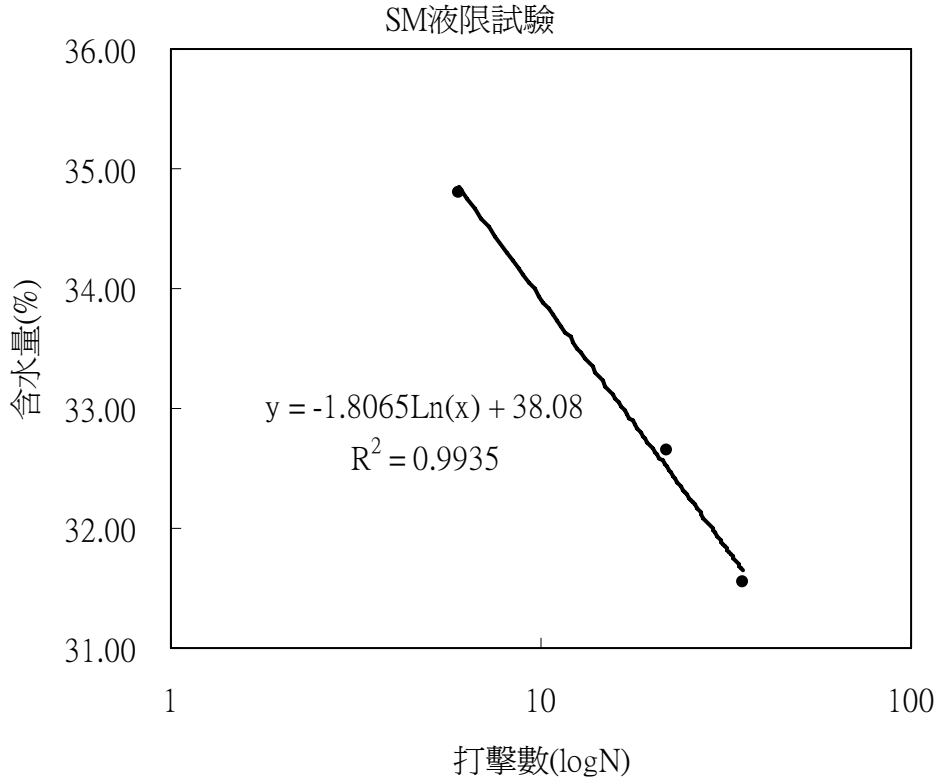
土壤樣品編號	含水量 (%)
SU-1	27.23
SU-2	24.30
SM-1	26.52
SM-2	28.36
SL-1	25.95
SL-2	26.05

表二 液性限度試驗結果

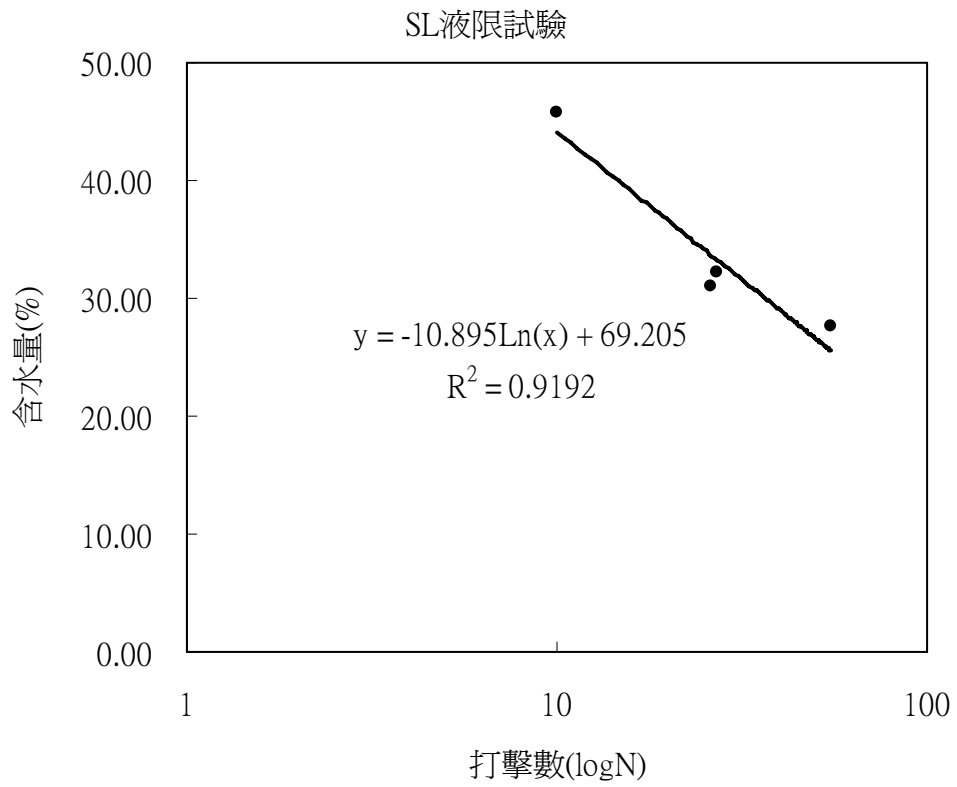
土壤樣品編號	液性限度 (%)
SU	45.01
SM	34.14
SL	32.27



圖十七 在邊坡上段，SU 樣品液性限度試驗結果。



圖十八 在邊坡中段，SM 樣品液性限度試驗結果。

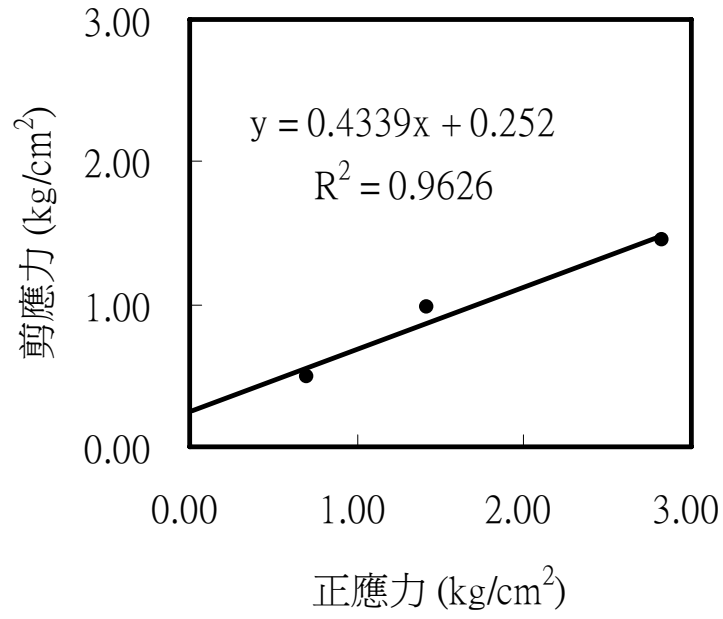


圖十九 在邊坡下段，SL 樣品液性限度試驗結果。

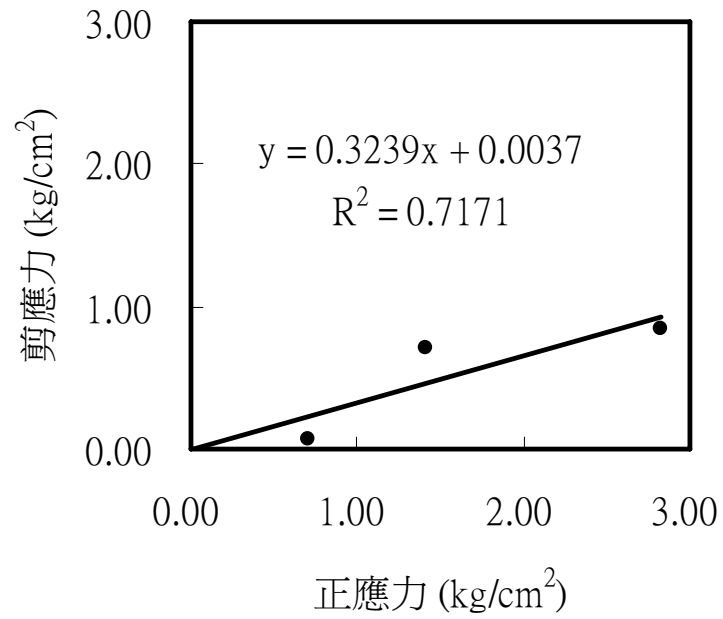
表三 土壤直接剪力試驗結果

土壤樣品編號	摩擦角 ( ° )	凝聚力 ( kg/cm <sup>2</sup> )
SU	23.46	0.25
SM	17.95	0.00





圖二十 在邊坡上段，SU 樣品之直接剪力試驗結果。



圖二十一 在邊坡中段，SM 樣品之直接剪力試驗結果。



圖二十二 11月9日清晨下雨規模雖然變小，但是雨水仍然沖刷地表之土壤及岩塊，地表水混著土壤及岩塊，緩慢的向下移動。



圖二十三 11月9日下雨過後，地表水混著土壤及岩塊，緩慢的向下移動，進入坡腳下的民間住宅。

## **【評語】 040507**

貓纜 T16 塔柱基礎問題，引起動機符合時事問題且對環境的關心值得鼓勵，惟因該問題熱門，相關媒體、報章雜誌討論很多，本篇並無特別創新的觀點。如果再加入地質因塔柱建後，造成滑落現象的探討，本作品將會有更好的表現。