

崩積土邊坡水壓計資料分析  
**ANALYSIS OF PIEZOMETER DATA OF  
COLLUVIAL SLOPES**

黃立煌  
L. W. Wong

原著載於地工技術雜誌第 12 期，  
1985 年 10 月，26 - 34 頁

*Reprinted from Sino-Geotechnics,*  
*No. 12,*  
*October 1985,*  
*pp. 26 - 34*

# 崩積土邊坡水壓計資料分析

黃立煌\*

## 一、前言

台灣近年來開發山坡地日益增多，無論公共工程計劃，例如道路及水庫，或私人社區開發計劃，紛紛於山坡地展開。而鑒於台灣特殊之地質情況，許多區域地質上言之，多由砂岩、頁岩及砂頁岩互層構成，層面傾斜度甚大，且其上常覆蓋不透水之崩積土層。此種地形及地質狀況常有不穩定之潛在可能。依近十年來台灣山坡地開發後的災害層出不窮狀況視之，山坡地之開發實有詳細調查及分析其穩定性之必要。

於邊坡穩定分析中，地下水狀況為一項決定穩定性之重要參數。因水壓力不但一方面減低土壤之抗剪強度，同時亦增加滑動之上舉力，其值之高低直接影響邊坡之穩定程度。因此地下水之量測係邊坡穩定分析中必要之調查項目之一。

然而又鑑於實際作業之困難，地下水位觀測甚難持續長期間，通常能持續觀測一雨季已屬難得。在此情形下常不易觀測到邊坡破壞時可能之最高地下水位。復由於現場調查作業中，水壓計數目有限，涵蓋面及涵蓋深度的不足，皆難以提供足夠之資料，以瞭解整體地下水文狀況。

本文將根據台灣北部兩處山坡地所作之地下水觀測，分析崩積土山坡地之地下水狀況，地下水與降雨之關係，以及檢討估計地下水位升高之方法，以期獲得一較完整之現象。

## 二、台灣北部之雨量

台灣地區之降雨，根據蔡清彥(1985)，吳

宗堯等(1977)之研究，主要可區分為每年5月至6月之梅雨，7月至10月之颱風雨，與11月至翌年3月之東北季風雨，因此並無明顯之旱季。從圖一所示台灣年雨量等雨線圖可見台北附近地區年雨量介於2,500公厘至3,500公厘之間，愈往山區年雨量愈大。

根據中央氣象局1951年至1984年雨量紀錄，台北雨量站曾錄得最大日雨量達400公厘，最大每小時雨量為140公厘，顯示台灣北部之雨量十分豐沛。

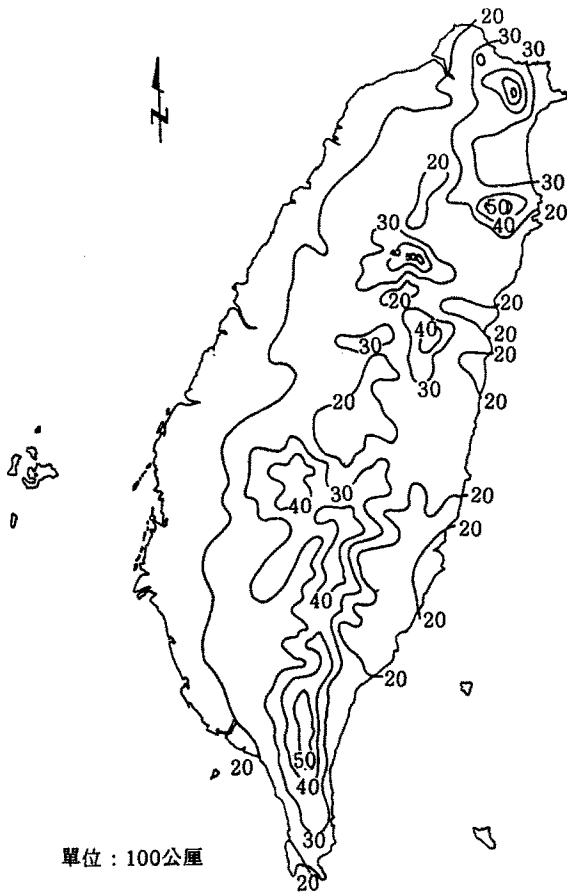
## 三、基地地形概況

本文引述之兩工程基地，基地甲面積約150公頃，基地乙面積約2公頃。兩基地相距約3公里，均位屬典型台灣麓山帶丘陵地。

基地甲涵蓋範圍於西側及北側以天然山脊為界，南方及東方則以溪谷為界限，地形自西北向東南傾斜，高程由730公尺降至225公尺，平均坡度在30%至60%之間(17°至30°)，基地之地形詳見圖二(a)。本基地尚未開發前地表植生狀況良好，除部份為果園外大多為茅草、相思樹、梧桐樹、竹等植物所掩蓋，基地原有排水系統為天然溪谷及地表沖蝕溝，溪流流向亦順應地形由西北向東南流動，集中於基地南側之溪流後，再往北注入該地區之主要河川中。基地甲內之沖蝕溝於乾旱季節時，僅部份主要溪谷發現滲水外，其餘大部份均呈乾涸狀態。

基地乙地形亦自西北向東南傾斜，高程由370公尺至300公尺，平均坡度約為35%(20°)，基地之地形詳見圖二(b)。基地乙之西南側道路開闢時，曾進行局部之挖填作業。本基地北

\* 亞新工程顧問公司工程師



圖一 台灣年雨量等雨綫圖

側之主要溪流及南側地形凹陷處，成為本區域之天然排水系統。基地乙大部份區域皆為原來植生所覆蓋。由於基地乙為一不穩定區域，除地下水位觀測外，同時亦有進行位移觀測。

#### 四、基地地質概況

基地甲及基地乙兩處山坡地，岩層上均屬第三紀中新世沉積岩。圖三為基地甲之地質圖，顯示岩層由砂岩、頁岩及其互層所構成。岩層層面走向大致為北偏東 $70^\circ$ ，向東南傾斜約 $30^\circ$ ，形成本基地之順向坡地形。一般而言，砂岩岩質堅硬，膠結度良好，而頁岩則易受風化或遇水軟化形成弱面，導至順向坡岩層沿弱面滑動，造成岩層面上普遍覆蓋崩積土的存在。崩積層視其形成位置厚度不一。接近稜線地區崩積層厚度較薄，大致在5公尺左右。接近山麓溪谷附近崩積層厚度則較厚，可達20公尺至30公尺厚度。崩積層通常含直徑1公尺至3公尺

之大塊砂岩及礫石，孔隙率大，易於滲水。

一如在台灣地區地質形成史中曾受造山運動之影響，且火山活動會發生於第三紀中新世地槽中，因此基地甲之地質構造情形亦極為複雜，南側溪谷更明顯有斷層及破碎帶存在。圖四顯示基地甲岩層，崩積層及斷層之相關位置。

基地乙位於基地甲東北方約3公里，與基地甲屬於同一地質構造，岩層上覆蓋之崩積層於岩石邊坡之下坡堆積厚度約有20公尺至25公尺，其分佈狀況詳見圖九(b)之剖面圖。

#### 五、崩積土之顆粒分佈及強度性質

基地甲及基地乙之崩積土通常含有大量大小不一之崩積岩塊及礫石。岩塊粒徑最大可達3公尺以上，並可佔總體積之50%。至於較細顆粒之組成百分比，如圖五所示，顯示崩積土含砂量佔30%以上，黏土顆粒含量佔30%以下。綜而言之，除崩積岩塊外，細粒土壤大致可劃分為砂質土。基地甲及基地乙崩積土樣三軸壓密不排水(CU)試驗結果，綜合如圖六所示，顯示兩區域之崩積土強度性質無顯著分別。根據統計得出其有效剪力強度與有效正應力之關係為： $\tau = 0.8 + \sigma'_n \tan 34^\circ$  ( $t/m^2$ )

#### 六、地下水觀測系統

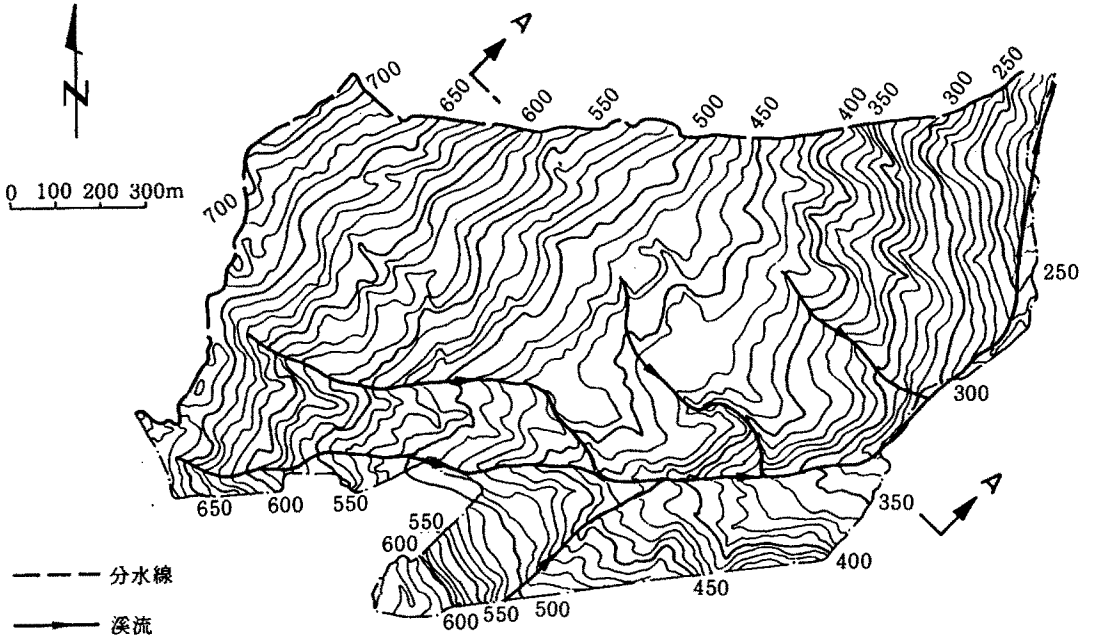
基地甲及基地乙裝置之水壓計，採用亞新工程顧問公司自行製造(MAA Type)水壓計及觀測井兩種型式。圖七表示兩種水壓計之構造。

根據水壓計所裝設深度之地層位置，可區分為三類：

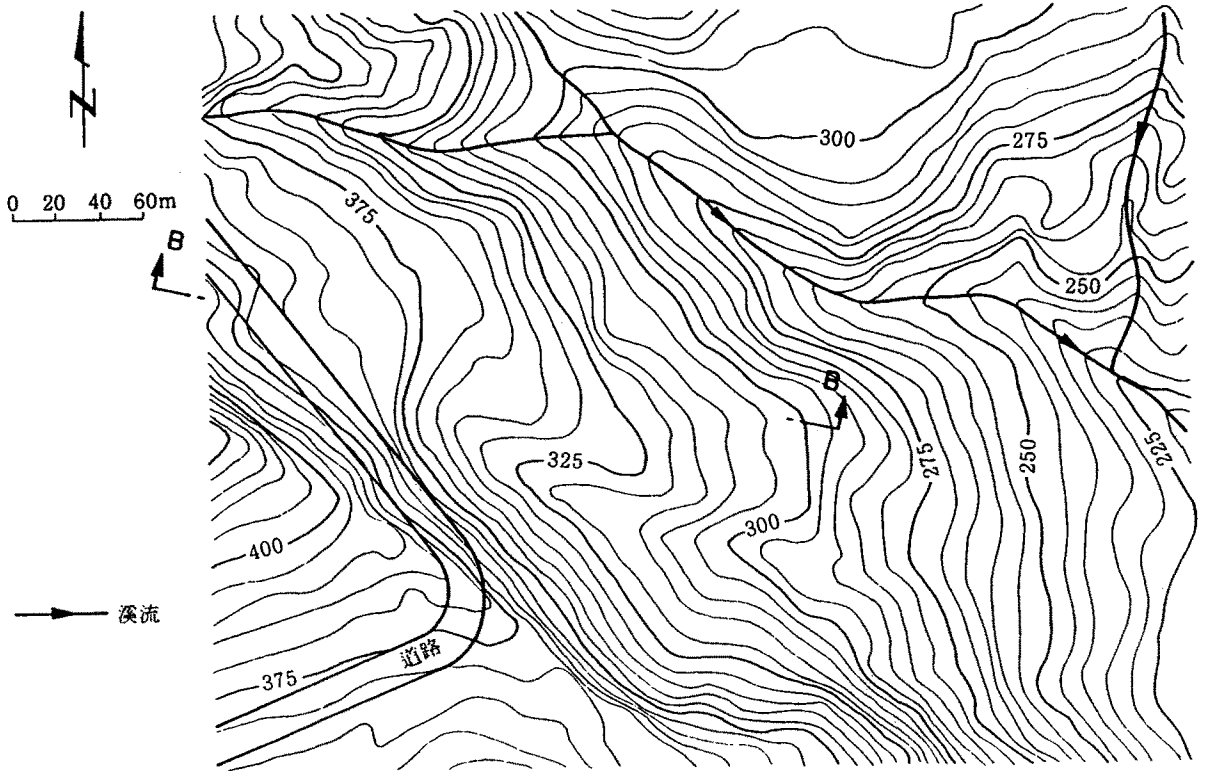
1. 第一類：裝設於崩積土層內之水壓計。
2. 第二類：裝設於崩積土層及岩層界面之水壓計。
3. 第三類：裝設於岩層內之水壓計。

基地甲共裝水壓計140支，基地乙共裝有40支。由於考慮砂岩具有節理，常成為岩層中之含水層，而頁岩部份則透水性低，不易透水，因此在岩層裝置水壓計原則上選擇砂岩節理較發達處，以便量測地下水位時獲得較佳成效，以反映岩層之地下水壓。

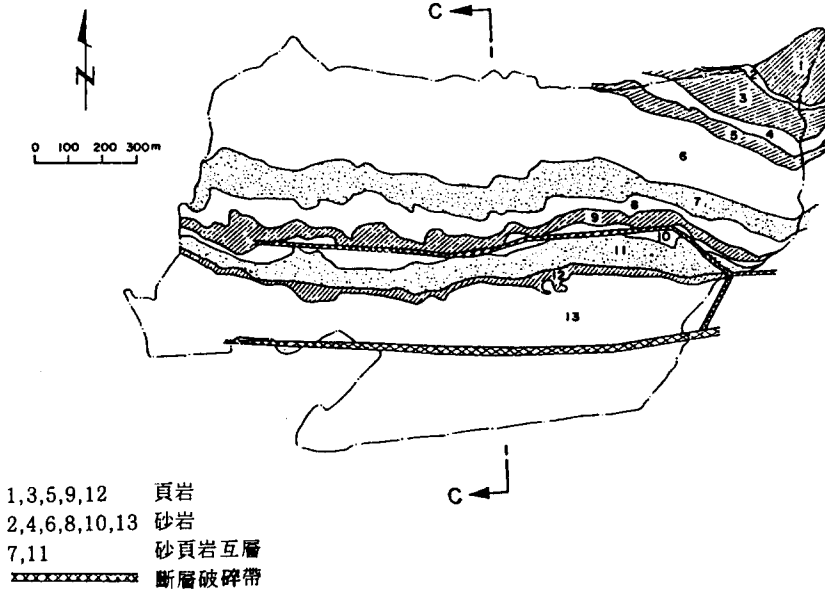
至於崩積土層之水壓計或觀測井原則上埋



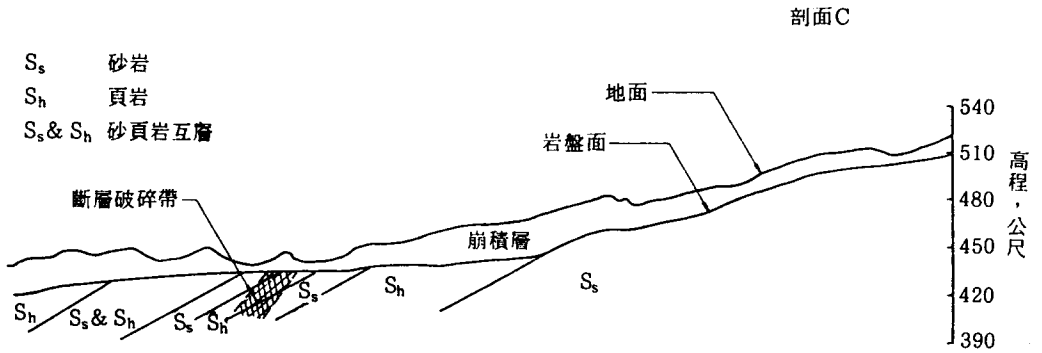
圖二(a) 基地甲地形圖



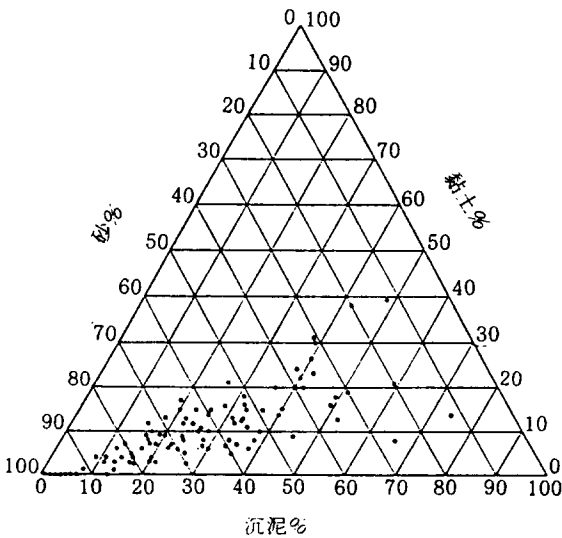
圖二(b) 基地乙地形圖



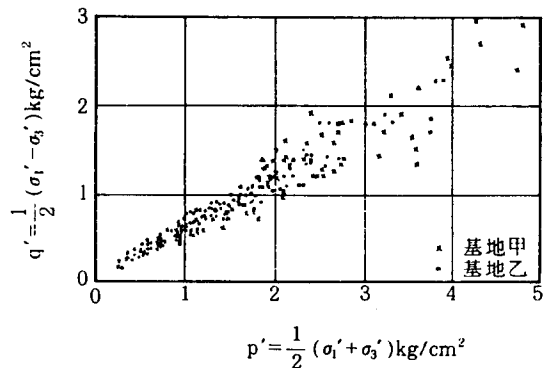
圖三 基地甲地質圖



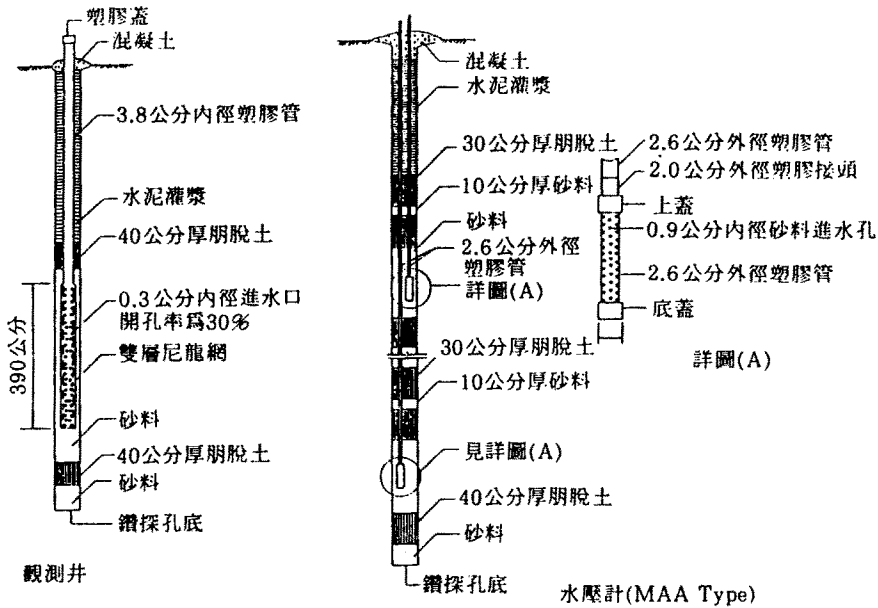
圖四 基地甲地質剖面圖



圖五 崩積土細粒料部份顆粒分析結果



圖六 崩積土三軸剪力試驗結果



圖七 水壓計裝設詳圖

設於崩積層與岩層界面上，部份鑽孔未到達岩層者則仍將該部份之水壓計裝設於崩積土層內。

### 七、 地下水壓分佈狀況

水壓計經長期觀測並綜合其與雨量之關係以研判其影響。圖八為具代表性之P8-1, P8-3及D10水壓計觀測紀錄，以顯示地下水位與降雨之大略關係。P8-1係裝設於岩層內，其水壓大致較穩定。P8-3裝設於崩積層與岩層界面位置，而D10則裝設於崩積層內，於5月至6月之雨季中，P8-3及D10之水位受雨量之影響極大。圖九(a)及九(b)分別表示基地甲及基地乙之剖面圖，於各該剖面上，裝設的一系列水壓計經長期觀測可得自由水位及壓力水位，繪出地下水之分佈。從兩個基地之水壓計觀測結果，可以發現下列各種地下水分佈狀況：

1. 在基地甲，岩層之地下水位較崩積層地下水位為低。裝置於崩積層及岩層界面之水壓計其地下水位平均高於界面於3公尺，而裝置於岩層內之水壓計，其地下水位平均位於界面以下約6公尺。
2. 在基地乙，崩積層之地下水位平均高於崩積層與岩層界面約9公尺，岩層之地下水位則平均高於界面約7公尺，顯示岩層及崩積層各有不同水頭壓力之地下水位，而且由於岩

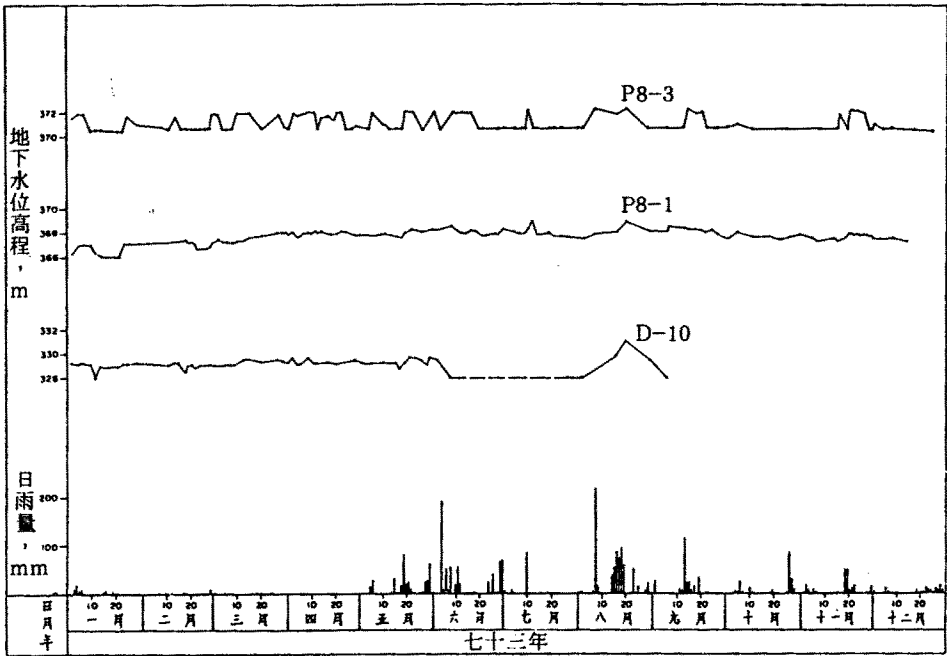
層地下水位水頭壓力高於岩層面，因而成為壓力含水層。

3. 基地甲內裝置於崩積層內之水壓計，大約有25%因實際地下水位低於水壓計裝設之深度，因此無水位紀錄，其餘75%之水壓計均記錄得高於崩積層及岩層界面5公尺至15公尺之地下水位。此記錄明顯反映崩積層中存有自由含水層，且部份地區可能有棲止水位存在。因為棲止水位能於土壤透水係數減低之處形成，在穩定分析時，必須針對不同之滑動面，採用適當之地下水位。

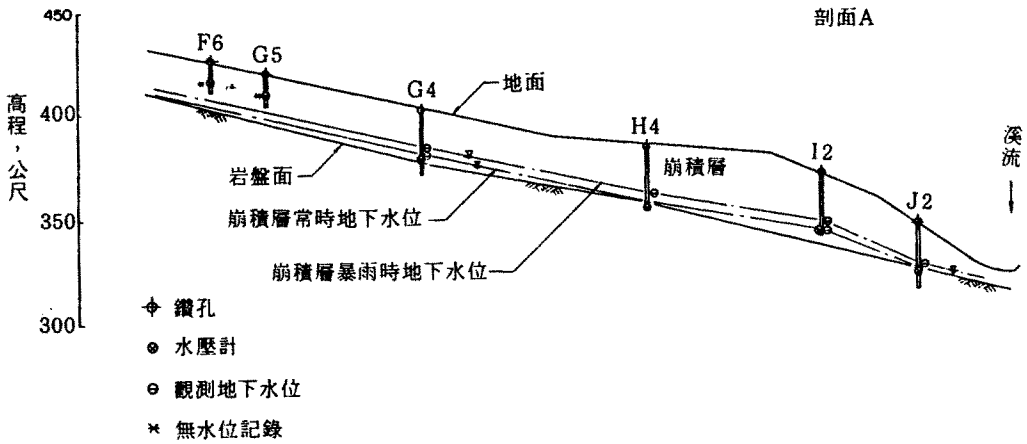
### 八、 地下水與降雨之關係

台灣邊坡坍方之歷史顯示坍方災害通常發生於暴雨期間。根據基地乙之位移觀測結果，如圖十所示，記錄邊坡之滑動速率與降雨強度之關係，顯示基地乙邊坡之移動，直接受降雨之影響，暴雨量愈大時邊坡移動之速率亦愈高。同時圖八已顯示，暴雨後大部份水壓計水位皆隨之上升。如七十三年六月三日之暴雨，水壓計水位上升幅度約達2公尺左右。

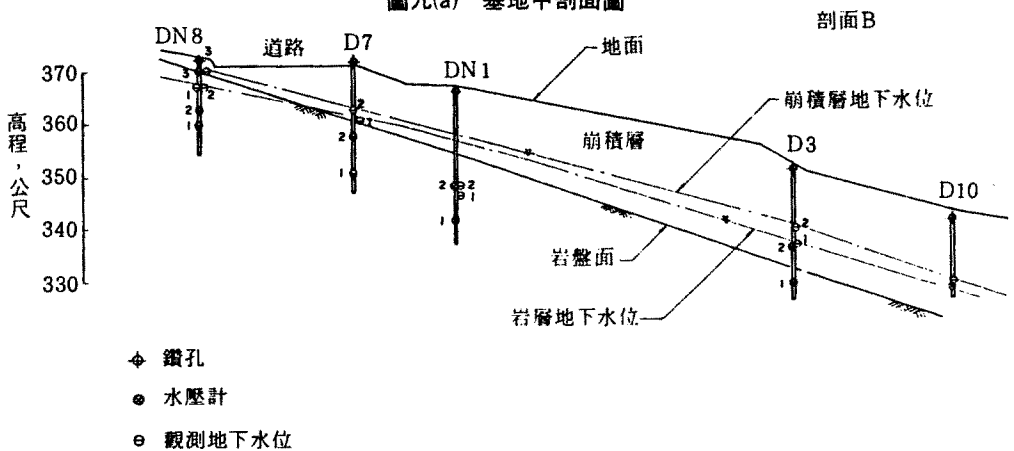
綜合上述位移及水壓計觀測之結果，可見降雨後地下水位迅速升高，並且邊坡之穩定程度亦隨之而降低。因此，邊坡穩定及地下水位之變化，皆與降雨有極密切之關係。



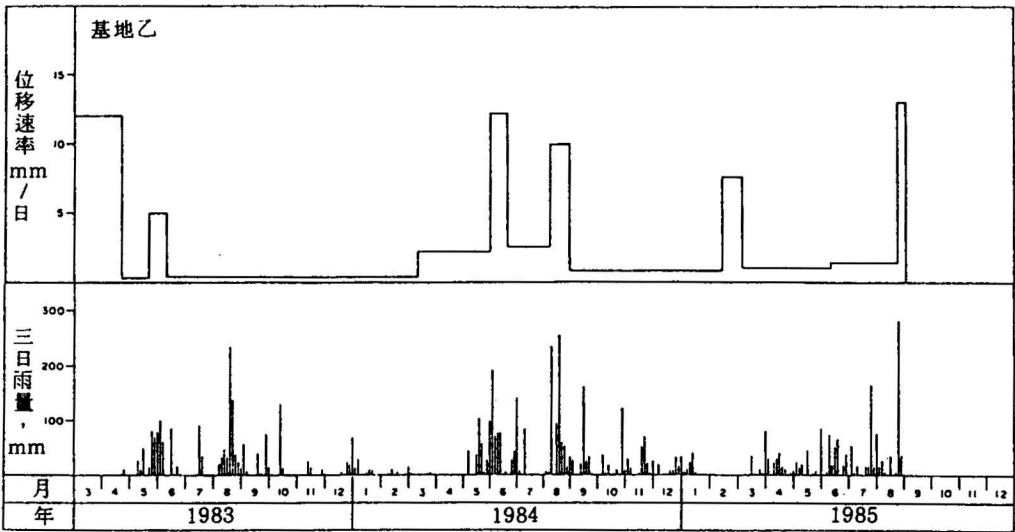
圖八 地下水水位觀測結果



圖九(a) 基地甲剖面圖



圖九(b) 基地乙剖面圖



圖十 邊坡位移與降雨關係

## 九、地下水變化之預測

於邊坡穩定分析及設計時，通常必須考慮在設計年限內可能出現之最高地下水位。而最高地下水位則須分析裝設於該基地之水壓計觀測結果，從而預測於罕有暴雨時之地下水文狀況。預測的方法通常可分為下列兩種：

1. 理論預測方法。
2. 水壓計觀測結果分析方法。

地下水位之預測，通常配合邊坡穩定分析之設計準則。例如香港採用十年頻率暴雨（邊坡手冊 1984）為標準。台灣對邊坡穩定分析有關之設計準則尚待建立。況且由於水壓計觀測之期間通常只有一兩年，因此利用統計方法推估暴雨期之地下水位，不宜用以推算太長之暴雨頻率。

### 1. 理論預測方法

影響地下水位變化之因素，包括降雨、地形、地質、入滲量、流出量等主要項目。一般言之，推測地下水文之理論及數學模型，通常需要收集上述各項因素之數據，然而實際上，即使在同一區域，各項因素已存有變異性，例如崩積土由岩塊、砂土及黏土組成，其下之岩層則有砂岩、頁岩及砂頁岩互層，即以地質因素而言，已顯示其複雜性。因此理論預測方法尋求地下水文之變化，在應用上無可避免有其局限性。

Lumb(1975)之潮濕帶觀念(Wetting Band Concept)，為一較簡單之理論模式，能預測降雨與地下水位升高之關係。其基本假設為一垂直，二度空間剖面及均質土壤之模式。簡言之，在降雨前，地下水面上之土壤，通常為不飽和土壤，降雨時滲入地面下之水份向下滲透，同時增加土壤飽和度，成為一向下伸展之潮濕帶。潮濕帶抵達地下水或不透水表面後，土壤開始飽和，成為地下水位升高之現象。地下水位升高之預測，可用下列公式表示：

$$h = \frac{kt}{n(s_0 - s_r)}$$

其中  $h$  = 地下水位上升高度

$k$  = 土壤滲透係數

$t$  = 降雨延時

$n$  = 土壤孔隙率

$s_0$  = 降雨前土壤飽和度

$s_r$  = 降雨後土壤飽和度

假設地表逕流系數為0.5，則暴雨強度等於土壤滲透係數之兩倍時，將有最高之地下水上升幅度。因此應用此公式時，降雨延時與滲透係數有關。

七十三年六月三日之暴雨，根據設於基地乙附近之雨量計紀錄，6小時內降雨190公厘，以山地農牧局台北地區十年頻率暴雨公式計算，土壤孔隙率0.4，降雨前後飽和度變

化0.2，根據Lumb之公式，地下水水位上升為1.5公尺。此上升值與基地甲及基地乙水壓計觀測結果極為接近。

2. 水壓計觀測結果分析方法

由於每一水壓計所記錄得之觀測結果，實際上包含各水壓計所在地點之地形、地質、土壤滲透係數，水位上升及下降速率等特性，因此利用水壓計觀測結果所得之地下水水位與降雨關係應較能反映同一地理環境之地下水文狀況。以水壓計記錄預測地下水文變化之研究亦甚為普遍(GCO(1982)及Uno等(1981))。

本文所採用之方法，為分析水壓計觀測結果，將降雨前及降雨後地下水水位上升高度與日雨量比較，求出其關係曲線後，則在設計暴雨頻率下之地下水水位升高幅度即可從該關係曲線讀出。圖十一表示基地甲及基地乙具有代表性水壓計之地下水升高及降雨關係曲線。

依照上述方法，基地甲及基地乙其他水壓計，約有25%能繪出相似之地下水水位及降雨關係。其餘75%之水壓計由於觀測頻率不夠或暴雨期間未有進行觀測，尚無法合理估計地下水水位與降雨關係。

以基地甲而言，崩積層水壓計，不論裝置於崩積層底部或崩積層中部（第一類及第二類水壓計），其關係曲線推估所得之十年頻率暴雨時地下水水位升高高度約在1.5公尺至5公尺。而岩層水壓計（第三類水壓計）則有較高之反應，十年頻率暴雨時，預測上升高度約為2公尺至6公尺。

基地乙之水壓計則顯示崩積層及岩層水壓計之地下水水位與雨量關係分別不大，預測十年頻率暴雨時地下水水位將升高約2.5公尺。需注意，以上之預測值係按降雨強度之推估，至於其延時之影響應進一步分析以推求之。

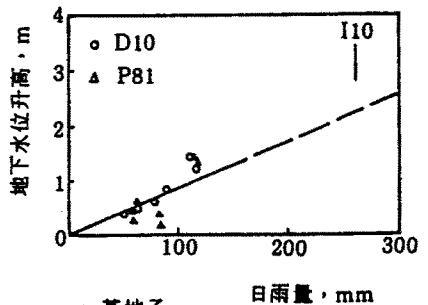
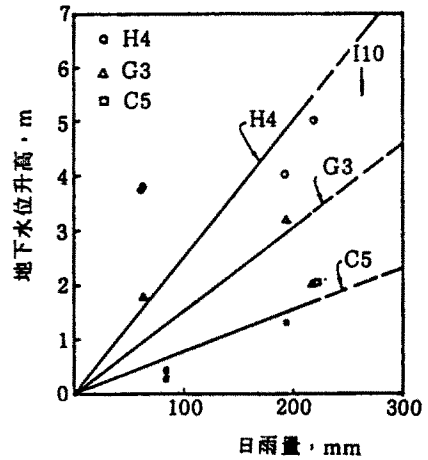
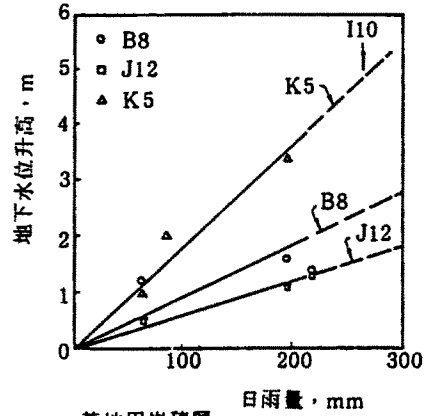
3. 兩種預測方法討論

Lumb之地下水水位升高預測公式不適用於預測岩層之地下水文狀況。當具有適當數據時，則可合理推測土層地下水水位及棲止水位之升高。

雖然本文引述之兩個基地，水壓計之數量尚屬不少，但基地甲水壓計觀測頻率稍嫌

不足，未能更詳細分析地下水水位與降雨之關係，例如三日雨量，七日雨量或更長延時暴雨之降雨量，可能有更高之地下水水位反應。

自觀測資料上可約略推測，於崩積層中地下水水位能在暴雨開始後數小時內上升至最高點，因此觀測頻率即使每天一次，也很可能只量測到消退中之地下水水位。如要進一步研究地下水文狀況，水壓計之量測頻率須要

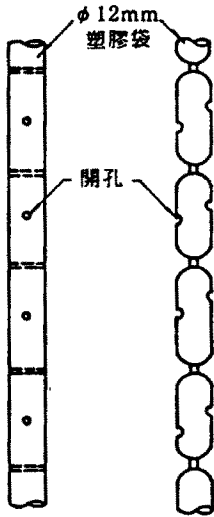


I10 十年頻率暴雨

圖十一 地下水水位升高與降雨關係

增加，最低限度在降雨期間頻密觀測，以錄得尖峯地下水位及發生時間，配合雨量紀錄，再行研判地下水位與降雨兩者之關係函數。對重要之水壓計應考慮設立自動量測系統，以獲得足夠之數據。惟目前一般之山坡地處理工程，常因調查經費之短缺無法用自動量測裝置，亞新工程顧問公司自行研製如圖十二所示之最高水位自動採集器，大致上可測得短時間之最高水位，其準確性因採集時差而異。

目前基地甲及基地乙兩處均未開發，日後之發展將可能影響地下水文狀況。地面排水系統將改變入滲量，整地將改變地形、坡度、逕流係數。另一方面，給水管、污水管、雨水排水管之滲漏，可使地下水位升高，凡此種種皆可影響地下水位變化之預測。



圖十二 簡便水壓計最高水位採集器

## 結 論

本文根據兩處山坡地之地下水觀測，可得下列崩積土山坡地之地下水文特性：

1. 崩積土山坡地地下水位之變化與降雨有極密切之關係。
2. 崩積層及岩層各有不同水頭壓力之地下水位。
3. 岩層之地下水壓分佈，隨地理位置之不同，有時高於岩層面，亦有低於岩層面者，因此必須裝設水壓計進行量測。

4. Lumb 之潮濕帶觀念，只要具有適當之數據，能應用於崩積層之地下水位升高預測。
5. 水壓計資料分析方法，能合理預測各含水層地下水位與降雨變化之關係，至於延時之影響仍需進一步分析研究。
6. 由於每一水壓計所在之地理位置不同，因此各水壓計皆有其獨特之地下水變化與雨量關係曲線。分析時應仔細分析其特性，以免引致錯誤之判斷。
7. 預測地下水位變化必須衡量基地之實際狀況，例如排水溝及水管之漏水引致之地下水位升高難以採用數學公式預估。

## 誌 謝

本文承蒙亞新工程顧問公司歐晉德博士、游坤先生，郭文祥先生提供許多寶貴意見，及同仁盡力幫忙，方能順利完成，特此誌謝。

## 參 考 文 獻

- 吳宗堯，陳正改(1977)，台灣(北部)地區豪雨特性分佈，暴雨對環境之影響研討會論文集，國立台灣大學。
- 邊坡手冊， *Geotechnical Manual for Slopes* (1984). Geotechnical Control Office, Engineering Development Department Hong Kong, 2nd Edition.
- Geotechnical Control Office (1982). *Mid-level Study: (Report on Geology, Hydrology and Soil Properties)*. Hong Kong Government Printer.
- LUMB P. (1975). *Slope Failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 8, pp. 31-65.
- TSAY C.Y. (1985). *The Problem and Status of Research in Meteorological Disasters in Taiwan. Proceedings of the ROC-Japan Joint Seminar on Multiple Hazards Mitigation*, Vol. II, pp. 777-795.
- UNO T., ARAI H. & SHIBAYAMA M. (1981). *Models for Predicting Groundwater Level. Proceedings 10th ICSMFE*, Stockholm, Vol. 1, pp. 495-488.