

# 山坡地開發建築地層滑動之檢討

## The analysis of landslide on the hillslope developing for buildings

陳 泓 文 \*

*H.W.Chen.*

### 摘 要

本文係以基隆市安樂社區國宅，利用山坡地開發建築，導致地層滑動為例，檢討山坡地岩層邊坡開發之設計，施工作業方式與補救措施，作為山坡地開發建築之借鏡，祈能更有效、安全地使山坡地作為開發建築之用。

### 目 次

- 一、前言
- 二、現場調查
- 三、地質調查
- 四、水文調查
- 五、岩石性質分析
- 六、地層滑動原因檢討
- 七、工程善後處理與建議
- 八、參考資料

---

\* 陳泓文：土木科專任講師



# 山坡地開發建築地層滑動之檢討

陳 泓 文

## 一、前 言

基隆市政府辦理之安樂社區（四期三標）國宅基地，面積為 13,596.26 平方公尺，預計興建棟八棟 16 層鋼筋混凝土造建築物 500 戶，建築用地係以山坡地開發並施以明挖方式為主，不期於山坡地開發工程施工期間內（81 年 6 月 22 日下午 6：20），基址東側之邊坡發生地層滑動現象，致使土石崩塌於基地內，並延伸覆蓋於附近道路，估算崩塌之土石方約 60,000 立方公尺，土石滑動範圍約 7500 平方公尺，地層滑動及土石覆蓋範圍如圖一所示。



## 二、現場調查：

現場調查除量測土石覆蓋範圍，主要岩盤滑動距離，滑動面傾角外，並蒐集附近區域地質圖，建築設計圖說，施工計畫書及崩塌前後所拍攝之相關照片，如照片一、二所示，以作為檢討地層滑動原因之參考。



照片一：地層滑動情形



照片二：土石覆蓋情形

### 三、地質調查：

基於局部地質常受區域地質之控制，因此地質調查範圍應不限於基址內的部份，並應延伸至基地的外圍。

#### (一)區域地質構造：

本區域之地質構造，主要為褶曲與斷層之重覆出現，其褶曲構造主要有三個向斜，一個背斜及三個同斜，主要軸向為北東或東北東，各構造間多為縱向斷層所分隔，所有褶曲多屬不對稱型，而背斜之西北翼一般較陡。本區域自東南向西北，有四個主要逆斷層，相繼將未變質之中新世紀地層向西北推送而上，重疊覆蓋。這四個主要逆斷層分別為崁腳斷層、基隆逆斷層、深澳坑斷層及瑞芳逆斷層，其斷面多傾向東南，昇側均位於斷層之東南方。

#### (二)基址地質構造：

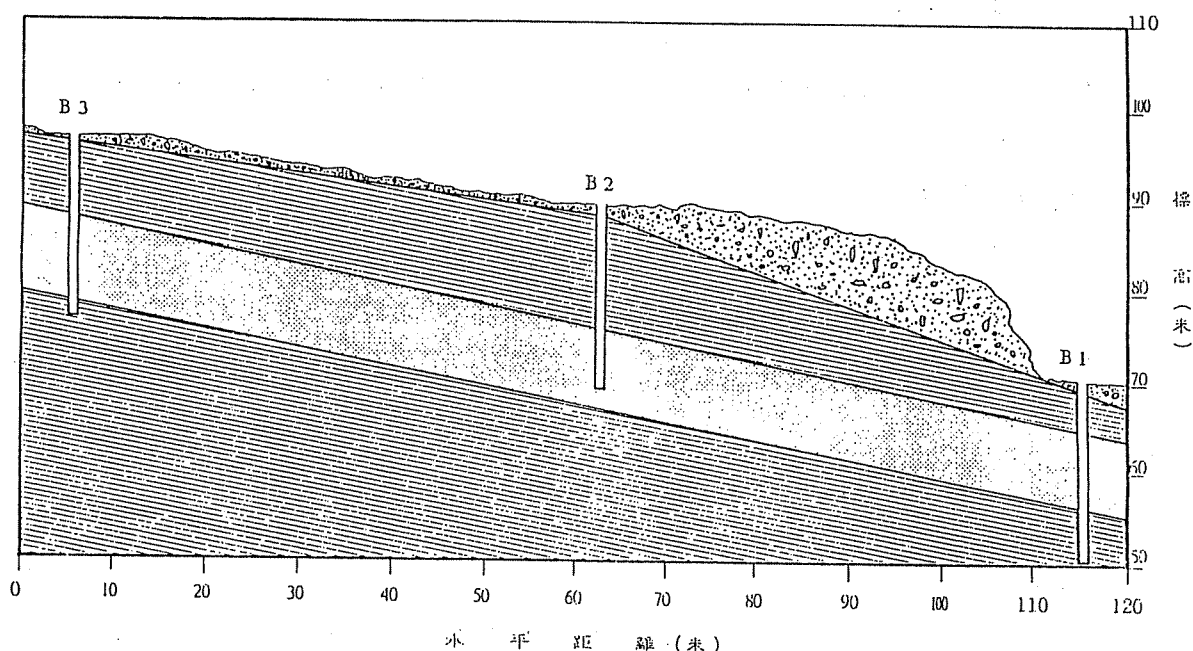
基址距離北海岸僅約 2 公里，構成地層組織大多屬大寮層之砂頁岩，而岩層上方多有崩積土石層覆蓋。

##### 1. 崩積土石層：

此層係由山上之砂土岩塊等，經由風化、沖刷等自然侵蝕作用，剝落而下在低處堆積而成，其積存位置皆在岩層上方。而崩積土石層所含之土壤大多為稍具有內聚力之沉泥質粘土或砂質粘土，而無內聚力砂質土壤多被沖刷而去。地層中除土壤外，含有剝落之岩塊，岩塊為砂岩或頁岩，粒徑則大小不等，分佈位置不具規則性。崩積土石層與岩層之界面為不連續面，地面水下滲後最容易沿此界面流下，造成兩者之間抗剪力減弱。

##### 2. 岩層：

在覆蓋層下方之岩層大多為頁岩，亦即表層之岩層多屬泥質頁岩或粉砂質頁岩，厚度約為 11m，呈灰色至灰黑色，其中偶夾薄層砂岩；頁岩下方有一厚約 8 ~ 9m 之砂岩，呈灰色及黃色，岩質多較新鮮，並有節理面出現，部份因含有雲母或薄層頁岩而呈板狀。砂岩層之層面或節理面偶有鐵染出現，顯示曾有地下水在該處滲流，但因基地地勢較高，地下水不易在岩層中積存，砂岩層以下亦為頁岩，多為薄層之砂頁岩互層或頁岩夾薄層砂岩，厚度在 10m 以上。地質剖面如圖二所示。



圖二：地質剖面圖

#### 四、水文調查：

##### (一)地下水調查：

經由埋設地下水觀測井，由於鑽孔內皆排水不良，無法量測實際之地下水位，因此由鑽取之岩心觀察鐵染狀況，顯示頁岩部份透水性極低，只少有鐵染現象，砂岩部份則節理較為發達，節理面常有鐵染痕跡，由此可判斷地下水多由砂岩之層面或節理裂面滲流，並由於地形因素，基址內之岩層內並無地下水積存。

##### (二)降雨調查：

山坡地遇久雨或暴雨時，對坡地基岩之含水層、受壓含水層層面破裂、地下水貯存情形及地下水位變化有著不同程度之影響，而岩石層面裂縫中含水量之多寡更直接影響邊坡穩定，經檢視工地晴雨表，及中央氣象局基隆氣象測站逐日晴雨統計表，如表一所示，顯示施工期間均有極密集之降雨情況。

記錄期間：自 81 年 1 月 1 日至 81 年 8 月 26 日止 日雨量超過 0.1mm

	1	2	3	4	5	6	7	8					平均/總計 TVC/TOT
1	✓		✓	✓	✓	✓							
2	✓		✓	✓	✓		✓						
3	✓		✓	✓									
4	✓		✓	✓			✓						
5	✓		✓	✓		✓							
6	✓		✓	✓		✓							
7	✓		✓		✓	✓	✓						
8	✓		✓		✓	✓	✓						
9	✓		✓	✓	✓	✓							
10			✓	✓		✓							
11	✓		✓	✓		✓							
12	✓			✓									
13	✓			✓		✓							
14	✓				✓	✓							
15					✓								
16			✓		✓			✓					
17			✓		✓			✓					
18			✓	✓	✓	✓		✓					
19	✓		✓	✓	✓	✓		✓					
20	✓			✓		✓		✓					
21			✓		✓			✓					
22			✓	✓	✓								
23	✓		✓	✓	✓								
24	✓		✓	✓									
25	✓		✓	✓									
26			✓	✓	✓			✓					
27			✓	✓		✓							
28			✓			✓							
29			✓										
30			✓	✓	✓	✓							
31	✓		✓		✓								
TOT	19	20	26	21	17	16	4	6					

表一：中央氣象局基隆測站晴雨統計表

### 五、岩石性質分析：

基址內之岩層走向約呈北 65 度東，向南傾斜 18 度，屬順向坡，基岩組織由厚層或塊狀砂岩和深色頁岩或粉砂質頁岩互層所構成，其岩層界面係由不同性質之材料逐漸轉換而成，而頁岩層中並存在屬不連續弱面之層面，且其層面通常有風化破碎現象，此破碎層面易吸水飽而成為剪力弱面。

1. 頁岩主要由細粒之粘土物質沈積岩化而成，呈灰色至灰黑色，性脆而緻密，除葉理及破

碎帶外，新鮮岩層為不透水層。

2. 頁岩之葉理係由細顆粒薄片狀之礦物在沈積時或沈積後受荷重而作平行排列所造成。
3. 葉理為頁岩之弱面，其抗剪強度極小，易受水之下滲作用，不僅使岩體吸水膨脹，增加本身之重量，更因水之潤滑，使抗剪強度更形減低。
4. 頁岩抗風化能力極弱，受風化作用，易因脫水而乾燥、脆裂或呈岩礫狀。
5. 頁岩之單軸抗壓強度約在  $50 \sim 60 \text{ kg/cm}^2$  左右，而在垂直葉理方向之單軸抗壓強則在  $50 \text{ kg/cm}^2$  以下。頁岩之內摩擦角約在  $28 \sim 35$  度之間。
6. 砂岩則大致皆頗為新鮮，膠結情況尚稱良好，部份因含較多之雲母或薄層頁岩而呈板狀。
7. 砂岩層中多有節理面出現，厚度大多在 20 公分以內，且多有鐵染痕跡，顯示地下水當由此滲流。
8. 砂岩之比重值約在  $2.5 \sim 2.8$  之間，孔隙率約  $6 \sim 8\%$ ，部份可達  $18\%$  以上。
9. 砂岩之單軸抗壓強度為  $70 \sim 130 \text{ kg/cm}^2$ ，屬中強度岩石，適宜作為岩錨固定端之錨錠層。
10. 有關岩心之單軸壓縮試驗及岩心直接剪力試驗，如表二、表三所示。

岩 心 種 類	試 體 深 度 (M)	無 圍 壓 縮 試 驗 強 度 ( $\text{kg/cm}^2$ )
灰 色 砂 岩	5.40 ~ 5.64	97.81
黃 色 砂 岩	14.28 ~ 14.53	84.91
灰 色 砂 頁 岩 互 層	7.00 ~ 7.30	54.33
黃 色 砂 岩	17.66 ~ 18.00	127.45
黃 色 砂 岩	6.00 ~ 6.20	75.46
黃 色 砂 岩	12.22 ~ 12.52	78.58

表二：岩心單軸壓縮試驗成果表

岩 心 種 類	試體深度 (M)	最 大 應 力		殘 餘 應 力	
		Cp(kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_p$ (度)	Cr(kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_r$ (度)
灰色砂頁岩互層	14.00 ~ 14.25	0.28	33.6	0.15	26.9
灰 色 頁 岩	6.25 ~ 6.48	0.18	30.1	0.13	18.8
灰 色 頁 岩	4.52 ~ 4.72	0.21	34.5	0.14	22.8
灰 色 頁 岩	9.10 ~ 9.35	0.26	28.2	0.16	21.3
黃 色 砂 岩	12.22 ~ 12.52	0.15	38.6	0.09	27.9
黃 色 砂 岩	16.58 ~ 16.85	0.19	42.5	0.09	31.1

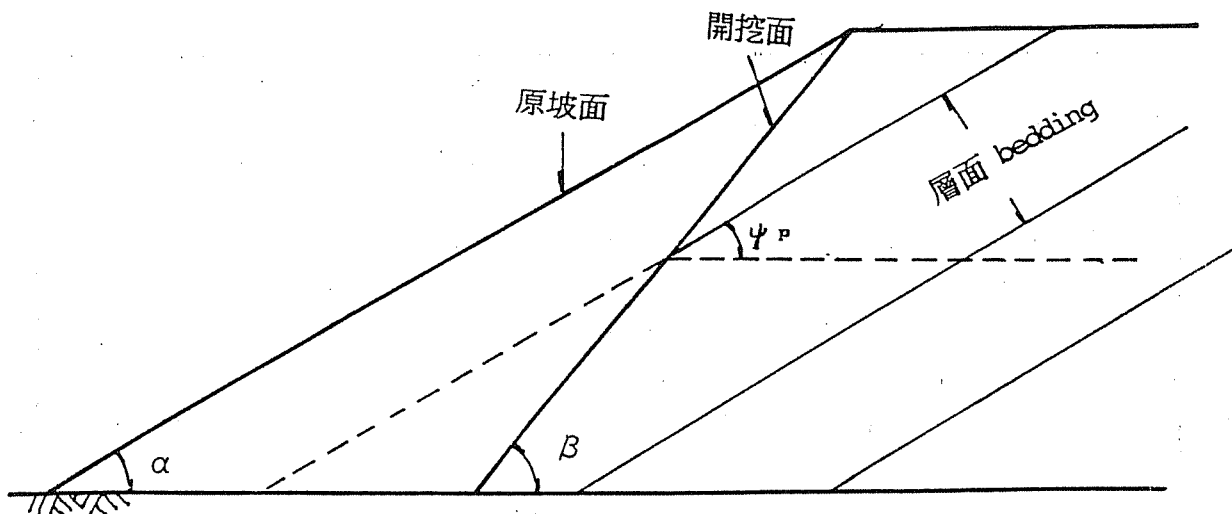
表三：岩心直接剪力試驗成果表

## 六、地層滑動原因檢討：

### 1. 地層滑動型態分析：

地層滑動乃係邊坡運動而導致破壞之現象，而邊坡運動又常沿著特定或數個剪力面而發生。且不同類型之坍方均可能發生於岩石或土壤中，因此正確辨認坍方之型態，始能以最恰當之分析方法來檢討地層滑動之發生原因。

而分類坍方之型態可依其運動之型態、運動之速率、破壞地區之地形及運動之岩塊或土壤等加以區分，因此本基址地層滑動現象按其坡地崩滑之運動型式而言，屬岩石平面塊狀滑動（Block Slide），此一滑動型態乃為導致本基地地層滑動災變之主要因素，即岩塊依其傾斜層面滑動，而並不改變其原形，其滑動破壞平面沿著地質不連續面走向，並平行於斜坡而滑動，且當滑動面傾角 $\psi_p$ 大於岩體本身之抗剪角 $\phi$ ，並小於斜坡坡面之開挖傾角 $\beta$ 時發生破壞，因此其破壞類型亦屬傾斜坡破壞（Dip Slope Failure），其岩層之抗剪阻力通常對於岩層之移動相當敏感，亦即相當小之移動量，即可能造成抗剪強度大幅降低，而使邊坡穩定之安全係數遽減而造成地層滑動，如圖三所示。



註： $\beta < \psi_p$  時，岩塊坡面穩定

$\beta > \psi_p$  時，岩塊坡面不穩定易於滑動

$\alpha$ ：原來坡面傾角

$\beta$ ：開挖後坡面傾角

$\phi$ ：岩體抗剪角

$\psi_p$ ：滑動面傾角

圖三：邊坡破壞示意圖

## 2. 地層滑動破壞分析：

依地層滑動型態分析結果顯示，本基址地層滑動其破條件包括：

- (1) 滑動面之走向大致平行於斜坡坡面（順向坡）。
- (2) 滑動面傾角  $\psi_p$  大於岩體本身之抗剪角  $\phi$  且小於開挖後斜坡坡面之傾角  $\beta$ 。
- (3) 滑動面兩側無阻力產生。

而岩石邊坡之安全性其決定因素包括：

- (1) 岩石層面兩側岩石本身材料強度。
- (2) 岩石層面摩擦角。
- (3) 岩石風化程度。
- (4) 岩石層面粗糙度。
- (5) 岩石層面之夾泥情況。
- (6) 岩石層面之含水情況。
- (7) 岩石層面上所受之垂直應力。

另岩石層面裂縫中不同水位深度之影響，對安全係數值之升降甚為靈敏，而岩體內之地下水流形態，一般甚難加以估定，因此依下列四種可能情況加以考慮，以決定安全係數變化之可能範圍：

(1)乾岩坡：

即岩坡假設為完全排水狀況，亦即滑動面皆無水壓存在，其安全係數：

$$F.S. = \frac{CA}{W \times \sin \beta} + \cot \psi_p \tan \phi = 1.24$$

(2)水僅存在於張裂縫內：

即相當於長期乾旱後大量降雨情況，亦即在大雨期間或剛落雨完畢後，其安全係數：

$$F.S. = \frac{CA + (W \times \cos \psi_p - V \times \sin \psi_p) \times \tan \phi}{W \times \sin \psi_p + V \times \cos \psi_p} = 1.06$$

(3)水存在於張裂縫與滑動面內：

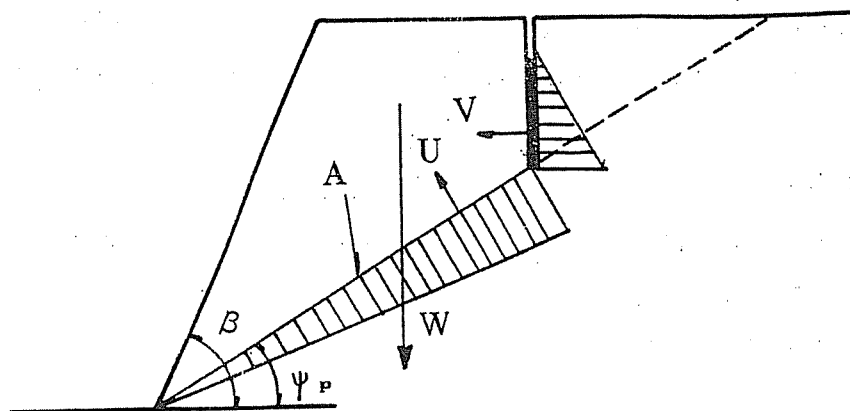
即相當於經過一段長期間之連續降雨後，其安全係數：

$$F.S. = \frac{CA + (W \times \cos \psi_p - U - V \times \sin \psi_p) \times \tan \phi}{W \times \sin \psi_p + V \times \cos \psi_p} = 0.87$$

(4)張裂縫與滑動面完全被水充滿：

即相當於大雨補注後飽和岩坡，此乃滑動面之極限平衡狀態，其安全係數：

$$F.S. = \frac{CA + (W \times \cos \beta - U) \times \tan \phi}{W \times \sin \beta + V} = 0.76$$



以上分析結果顯示，張裂縫內水量存在之多寡，對於斜坡之穩定性具有相當大影響作用，而依水文調查結果顯示地層滑動災變前有密集之降雨記錄，並隨著開挖坡面傾角之增大，更降低坡面滑動之安全係數（F.S.），而導致地層滑動。

### 3. 法規檢討：

很多工程災害都是施工時改變地形而發生，因此處於自然狀態下之地層可能很安全，但一經人工開挖後，地層強度變弱或不連續面露出邊坡外，災害可能跟隨發生，因此在工程進行中仍應遵照工址開發規則，及山坡地相關建築法規等規定施工，並應由工地主任技師從旁協助勘察，以期防範工程災害於未然。有開山坡地開發之工程規範，其中就基地選擇條件、施工監督與勘驗、邊坡穩定分析、安全防範措施、地質災變問題之研究、擋土設施及山坡地開發建築完成後之管理維護等法令規定如下：

#### (1) 工程規範：

山坡地開發建築工程之設計與施工，應依建築技術規則之規定辦理。

#### (2) 基地選擇條件：

山坡地如有地形不良、坡度陡峭、不適於開發建築之地區或地質構造不良、地層破碎、斷層、順向坡有滑動顧慮之地區不得申請開發建築使用。

#### (3) 施工監督與勘驗：

山坡地開發施工期間應由監造之專業技師或其代表常駐工地實際負責監督，指導工程之進行，並依施工進度分期分區紀錄並拍照備查，並於申報完工時一併送審；主管建築機關得定期主動抽驗工程施工，如有發現不合格者，得限期令其改善，俟勘驗合格後始得繼續施工。

#### (4) 邊坡穩定分析：

鑒於山坡地挖填方工程牽涉山坡地地質狀況之事項甚多，難以一一列舉涵蓋，應由專業技師負責研究，在影響邊坡穩定之安全係數上訂出標準，並根據現場調查及試驗結果，提出穩定分析，一般情況下，邊坡抵抗滑動破壞安全係數不得小於 1.5，於地震情況不得小於 1.2。

#### (5) 安全防範措施：

山坡地開發工程進行時，應依施工計畫就下列安全防範措施確實處理。

- a. 施工中毗鄰土地及改良物之安全維護。
- b. 施工場所之安全預防措施。

c. 危石、險坡、坍方、落盤等防範。

d. 挖土、填土、裸露地表部分臨時坡面水土保持與防止沖刷設施。

(6)地質災變問題之研究：

對開發基地已發生之地質災變現況應加以判釋，對未來可能發生災變加以預測，並提供相應對策之建議。

(7)擋土設施：

擋土結構物抵抗傾倒之安全係數不得小於 2.0，於地震情況不得小於 1.5。僅考慮擋土結構物基礎與基礎土壤或岩石表面摩擦阻力情況時，抵抗滑動安全係數不得於 1.5，地震情況不得小於 1.2。若將擋土結構前方之被動土壓力一併考慮時，其安全係數不得小於 2.0，地震情況不得小於 1.5。

(8)管理維護：

山坡地開發建築完成，開發者應協助居民成立社區管理委員會，訂定管理章程，負責社區公共設施、水土保持設施維護與管理。

## 七、工程善後處理與建議：

### 1.工程善後處理：

山坡地開發建築避免不了周圍邊坡之穩定問題，而其所造成之邊坡破壞有二十大類：一為新挖邊坡之破壞。一為開發區邊緣邊坡之破壞，而如能做好邊坡穩定之防治措施，遠勝於災害發生後之補救措施。其邊坡防治處理方式：

A. 安定化：利用適當的工程技術對具有地質危險的地帶加以穩固。

B. 警報系統：有些地質災害可以預先偵測，經由發出警報，使附近居民有充裕的時間可逃避，並採取救災防護措施。

#### (1)基地邊坡防治：

一般挖方邊坡發生不穩定現象，致發生崩塌或滑動現象，主要係由於邊坡滑動面所受之剪應力大於滑動面所具有之抗剪強度時產生。相反地，欲穩定開挖邊坡，則應設法使滑動面所具有之抗剪強度大於邊坡滑動面下滑之剪應力，也就是說使滑動面上之抗剪強度與下滑剪應力之比值大於某特定之安全係數，而此一經穩定分析結果而得之安全係數必須在 1.2 ~ 1.5 以上才算安全。因此當邊坡之安全度不足時，則必須將開挖面及坡趾予以適當保護，以提高其安全度，一般而言邊坡穩定方法有：

a. 減緩坡度。

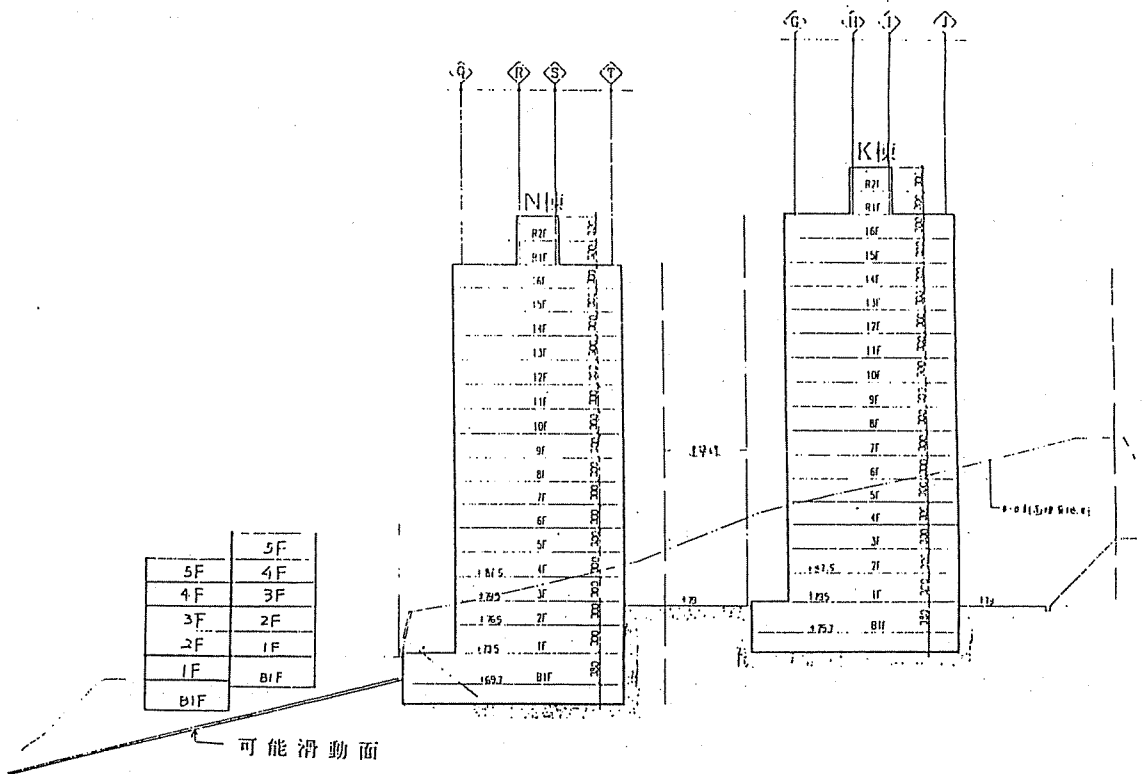
- b. 降低邊坡高度。
- c. 設置擋土牆、駁坎、蛇籠等阻擋設施。
- d. 以排水設施降低水壓。
- e. 灌漿加強岩體強度。
- f. 設岩錨、岩栓、岩釘等加強措施。
- g. 以鋼絲網噴漿加強坡面保護。

針對本基地岩盤地質特性，及處於順向坡位置，並配合建築配置之要求，可以擋土牆（並加錨定）、岩釘、岩錨及鋼絲噴漿等處理方式綜合應用如下：

- A. 於邊坡坡趾設置擋土牆（並加錨定），以承受擋土牆身後之土石、地下水、地表土荷重及地震力所引致之側向力，以維持擋土牆身前後不同高程之土石邊坡面之穩定安全。
- B. 對邊坡之大塊石或岩塊以岩釘加固，不但可保持大塊石或岩塊不致掉落，並可免除其鄰近邊坡因其移動而導致不穩定。
- C. 埋設預力岩錨，應用預力鋼腱穿過層縫及破碎帶深入內部之堅實岩盤，將不穩定之岩層藉由預力岩錨與內部岩盤接合一體，一方面除可增加岩石層面（弱面）上之摩擦阻力外，一方面並可減少岩石層面之滑動，以穩固邊坡。
- D. 對開挖面以鋼絲網噴漿加強坡面保護，除可防止開挖面暴露之頁岩風化及破碎岩塊鬆動坍落外，並配合岩釘與預力岩錨形成一噴凝土支承，增加邊坡之穩定。

## (2) 毗鄰區域災害防範：

自然界中之平衡是由許多複雜的因素相互牽制與作用的結果，如果其中一個因素有了改變，平衡狀態即被破壞，其他因素必須進行各種不同程度之調整，而對於可能發生破壞之邊坡除了穩定分析外，設置觀測系統亦是相當重要且有效之預防措施。對基地下方四幢國宅建築物，爲了幫助瞭解邊坡層面之可能滑動現象，如圖四所示，可置邊坡指示器（Slope Indicators）藉由指示器之紀錄資料除可預知危險發生的可能性，並提供在設計、施工與管理上之有用資料，以利於進行詳細之邊坡穩定分析。



圖四：毗鄰區域邊坡可能滑動面

## 2. 建議事項：

基隆市安樂國宅社區因其區域自然環境之影響，山坡地之崩坍甚易發生，然為謀求山地之合理應用，及提高有限土地資源之利用，並為減少崩塌災害之發生，應從建築設計改良，施工監督與勘驗，邊坡災害防範措施，設置警報系統及管理人力之加強等，共同努力以期防範工程災害於未然，謹提供建議如下：

- (1) 本基地最可能發生之邊坡破壞型式為平面滑動破壞，其破壞之防治，除挖方高度與坡度之控制外，亦應做好基地排水設施，以減少水之滲透作用。
- (2) 基地建築結構主體完成後將增加  $20T/m^2$  左右之正壓力，大量提昇可能滑動面之驅動力，建議應重新檢討並作穩定分析，若應予加強錨固，則錨錠端應穿過可能破壞面至下層之砂岩。

- (3)有關邊坡穩定分析，應依建築技術規則「山坡地社區開發與建築編」之規定，邊坡抵抗滑動破壞之安全係數不得小於 1.5，並應分析地震時之情況，其安全係數不得小於 1.2。
- (4)基地下方四幢國宅建築物，由於本基地基礎開挖將造成土壤之擾動及岩層之少許滑動，並於施工期間增加水份滲透作用，建議除設立預警系統外，並應進行穩定分析，以確保安全。
- (5)本基地開發建築完成後，施工單位應輔導社區管理委員會，繼續做好水土保持設施之管理與維護，以確保山坡地社區安全。

## 八、參考資料：

- 1. 邊坡穩定之分析方法與應用 吳偉特編著
- 2. 山坡地地質分析 梁國樑編著
- 3. 山坡地分析 劉柏宏 譯
- 4. 基隆市政府安樂社區四期三標新建工程施工計劃書 鴻建營造有限公司
- 5. 基隆市安樂社區地層滑動災變鑑定地質鑽探試驗報告書 力奇工程有限公司
- 6. 坍方類型之現地研判 陳榮河 地工技術雜誌第七期 P.13 ~ 19
- 7. 名詞解說專欄—坍方、地滑、土石流 林耀煌 地工技術雜誌第七期 P93 ~ 95
- 8. 基地調查新擬規範之精義 鄭再仁、秦中天 地工技術雜誌第 26 期 P39 ~ 43
- 9. 山坡地開發建築管理辦法
- 10. 山坡地保育利用條例
- 11. 山坡地土地可利用限度分類標準