

陽明山國家公園馬槽橋災變及其 鄰近地區之環境地質研究 報 告

委託單位：內政部營建署陽明山國家公園管理處
研究者：國立臺灣大學地理學系 張石角教授

中華民國七十六年六月二十六日

陽明山國家公園馬槽橋災變及其鄰近地區之環境地質研究

目 錄

一、前言	1
二、地理環境	1
三、地形	3
四、地質	4
五、溫泉與熱液換質作用	6
六、環境地質評估	8
七、災變現象及其發生原因之探討	14
八、災害處理問題之探討	22
九、結論與建議	22

陽明山國家公園管理處



301-R02041



陽明山國家公園馬槽橋災變及其鄰近地區之環境地質研究

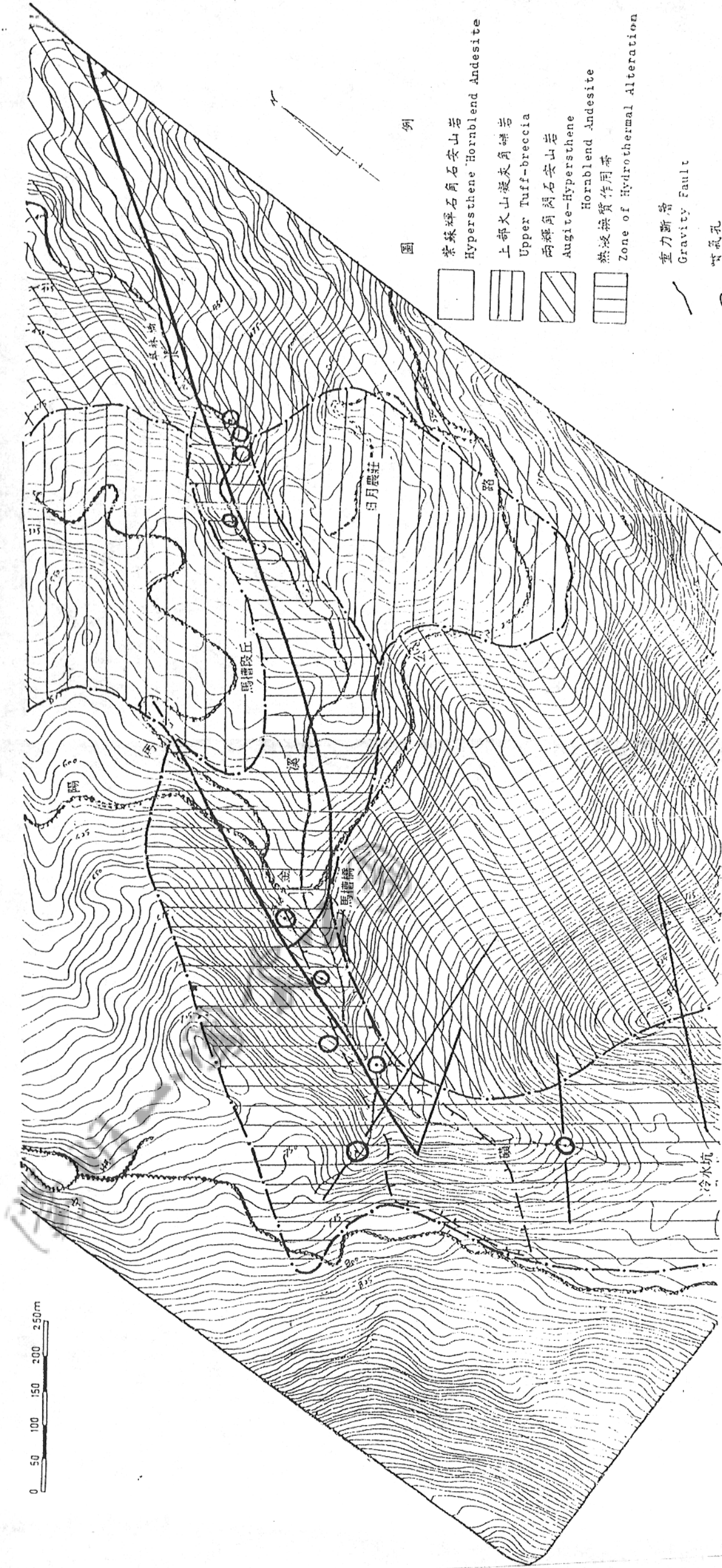
張 石 角

一、前言

1. 磺溪在馬槽橋上游附近，於七十五年十一月二十八日發生土石流和山崩，除將一部路過轎車衝入泥流中，肇致三人死亡之外，並將馬槽橋和在其下游 1.07公里之翠林橋沖毀；馬槽橋北側之民房並微有損害。
2. 本研究係以此崩山災害及其關連現象為對象，並及於鄰近地區之地質和邊坡穩定之關係，以供國家公園管理單位之參考。

二、地理環境

1. 災害發生區位於七星山東麓，陽金公路馬槽橋附近磺溪上游之河床及其兩岸地帶。南距陽明山九公里，北離金山十五公里，行政區屬北投區湖田里（圖一）。
2. 磺溪發源於七星山東麓之冷水坑，向東北奔流而於金山附近入海，全長 11 公里。在馬槽附近溪床坡降為30 %。
3. 馬槽橋下游，磺溪左岸為一平坦階地，為本區主要農業活動地區；主要聚落在馬槽橋陽金公路旁。位於右岸淺谷之日月農莊則擬開發為溫泉旅舍。



圖例

- 紫綠輝石角石安山岩
Hypersthene Hornblend Andesite
- 上部火山凝灰角礫岩
Upper Tuff-breccia
- 兩輝角閃石安山岩
Augite-Hypersthene Hornblend Andesite
- 熱液蝕變作用帶
Zone of Hydrothermal Alteration
- 重力斷層
Gravity Fault
- 噴氣孔
Fumarole
- 溫泉
Hot Spring
- 災害發生區

圖三 陽明山國家公園馬槽附近地區地質、溫泉及噴氣孔分佈圖

三、地形

1. 本區位於七星山之東北麓，磺溪在馬槽橋下游兩岸有數個向東北方（海）傾斜之段丘的發育。其在磺溪左岸者，為馬槽段丘（標高575 ~ 400公尺），在右岸者為七股山北坡之榮太堂養豬場附近（標高450 ~ 375公尺）。日月農莊及其上坡亦形成一緩坡淺谷，惟非為段丘地形。

2. 磺溪發源於冷水坑北崖坡，因第四紀地殼隆起作用引起的河床下切作用，形成陡峻的河岸，尤其在攻擊坡側。在馬槽橋上游，磺溪河道劃一弧線，其左岸為攻擊坡，所形成成功的崩崖與河床之比高達 80 公尺（自1/5,000地形圖量測）。馬槽橋下游，河床與段丘或緩坡地面之比高亦在25公尺以上。在日月農莊下方溪床以及翠林橋與彩虹橋之間，溪床呈峽谷型，比高更大，可達40公尺以上。

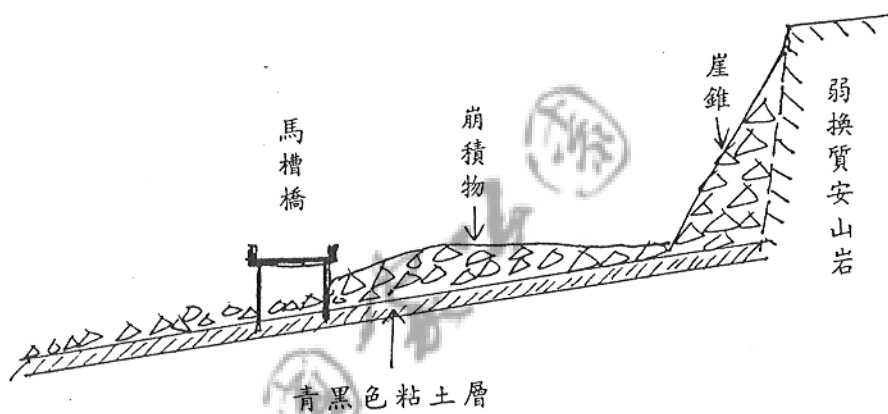
彩虹橋以下河床漸寬，至與清水溪（鹿角坑溪）之合流口處則形成寬100公尺左右的低位沖積階地。

3. 磺溪兩岸山壁之構成物質均為易崩之安山岩熱水換質帶或火山凝灰角礫岩或崩積層等，因此河床上多堆積有崩坍物質。惟分佈於馬槽橋上游之岩石以低度熱水換質安山岩為主，斷崖高達80公尺，其崩坍物質以巨型安山岩塊為多，且因受馬槽橋墩和引道之阻擋，故多積於橋之上游（照片一）；橋之下游則刷深。故馬槽橋上下游之溪床坡降為最大，如圖二所示。

冷水坑由高度熱水換質物質所構成，黏土質物質頗多，其崩坍物質以細粒為主，故於冷水坑與崩崖之間，河床反有較其下游段（至馬槽橋止）為低之現象（圖二）。

4. 馬槽橋上游之崩崖高度約80公尺，幾近壁立，故於災變發生前，其坡下堆積大量之崖

錐物質（圖二，照片一），其本身係處於不安定之狀態。



圖二 災變前馬槽橋上下游溪床縱剖面示意圖

四、地質

1. 本區之為火山岩分佈地區。出露於本區之火山岩計有：（1）紫蘇輝石角閃石安山岩（2）兩輝角閃石安山岩（3）凝灰角礫石（4）熱液換質帶等四種，其地理分佈如圖三所示。

茲將各火山岩岩性及其地理分佈特徵概述於次：

(3) 馬槽橋下游日月農莊下方，溪床上有溫泉一處、冷泉三處，惟泉水量不如馬槽橋上游者。

(4) 泉水湧出時，略混濁，並即產生淡黃色物質之沈澱。流路延長時，即發生褐色氧化鐵之沉澱，泉水亦轉為清澈。

2. 熱液換質作用

1. 溫泉和噴氣孔附近之安山岩受到硫氣和酸性熱液之影響，而使其成份發生顯著的變化，稱為熱液換質作用。熱液換質作用進行之程度，除與參與作用之熱液或氣體之強度成正比外，尚與受影響之岩石的滲透度成正比。是以固結程度較差之集塊岩和凝灰岩較易於受影響，而緻密之熔岩則較難以換質。

2. 換質程度分為四級，構成所謂溫泉殘餘土剖面，自淺而深如下：

(A) 赤褐色氧化鐵

(B) 黃白色明礬石和黏土

(C) 白色黏土

(D) 青黑色黏土和硫化物

3. 據上所述，則於換質帶之底部或換質比較完全之地區，以青黑色黏土或白色黏土為主。此等物質極具潤滑性。在冷水坑崩崖凹谷和崩崖至馬槽橋之間之河谷，此類換質物之分佈至多，此由災變發生後，此段溪床露出青黑色黏土（照片三）即可知之。馬槽橋下出露之岩盤亦有此種青黑色黏土化之現象，對此溪床物質之滑動一定扮演相當重要之角色。

4.崩崖之組成物質為熔岩，惟極富垂直方向之節理，並且顯然已受到弱熱液換質作用而於表面呈深褐色（照片六）。從此崩崖崩落之大量巨型安山岩塊構成崩崖坡下之崖錐，並且覆蓋在河床青黑色黏土層上（參看圖二和照片三）。

六、環境地質評估

- 1.茲依據以上地形和地質之分析結果，應用簡確環境地質評估法，繪製環境地質圖（圖四）。
- 2.簡確環境地質評估法所用參數及評估體系如下：

表 1 坡度分級準則

區 分	百分比坡度 (%)
極 緩 坡	<15
緩 坡	15~30
中 坡	30~45
陡 坡	45~100
極 陡 坡	>100

表 2 地表現象分級

等 級	地 表 現 象
1	不顯著
2	小沖蝕溝
3	中沖蝕溝
4	大沖蝕溝
5	舊崩塌地、煤渣堆
6	新崩塌地

表 4 土壤種類厚度及其代號

厚 度	A B C	<1 1~4 >4
種 類	c f s t w	崩 積 土 方 土 錐 土 風 化 沉 積 土

表 5 坡型類別及其代號

代 號	坡 面 類 別
3 2 1 0	傾 斜 坡 反 斜 坡 交 斜 坡 (崖 坡)

表 6 工 程 環 境 地 質 因 子 序 數

靜態地形因子		動態地形因子		工 程 地 質 因 子	
序 數	坡 度 %	序 數	地 表 現 象	序 數	工 程 地 質 組 合
1	<15	1	不 顯 著	1	II 0a, I 1a, I 2a, II 0a, II 1a, II 2a
2	15~30	2	小 沖 蝕 溝	2	I 0b, I 1b, I 2b
(3)	(2 / 4)	3	中 沖 蝕 溝	3	II 0b, II 1b, II 2b
4	30~45	4	大 沖 蝕 溝	4	I 0c, I 1c, I 2c, I 3a, II 0c, II 1c, II 2c
(5)	(4 / 6)	5	舊 崩 坍 地	5	I 3b, I 3c, II 3a, II 3b, II 3c
6	45~100	6	新 崩 坍 地	如一土地單元有兩種組合，其序數取其平均值並四捨五入之。	
(7)	(6 / 8)	坡度 5, 6 時，動態加權1；坡度 1 時，動態減 1。			
8	>100				

每一土地單元之工程環境地質符號稱為工程地質參數，其意義舉例說明如下：

2	3	II t	1	b
坡 度	地形作用	岩 質	坡 型	土 壤
(15~30%)	(中蝕溝)	(軟岩：凝灰岩)	(斜交坡)	(1~4公尺)
地形序數 (5)		工程地質序數 (3)		
工程冒險率 (8)				

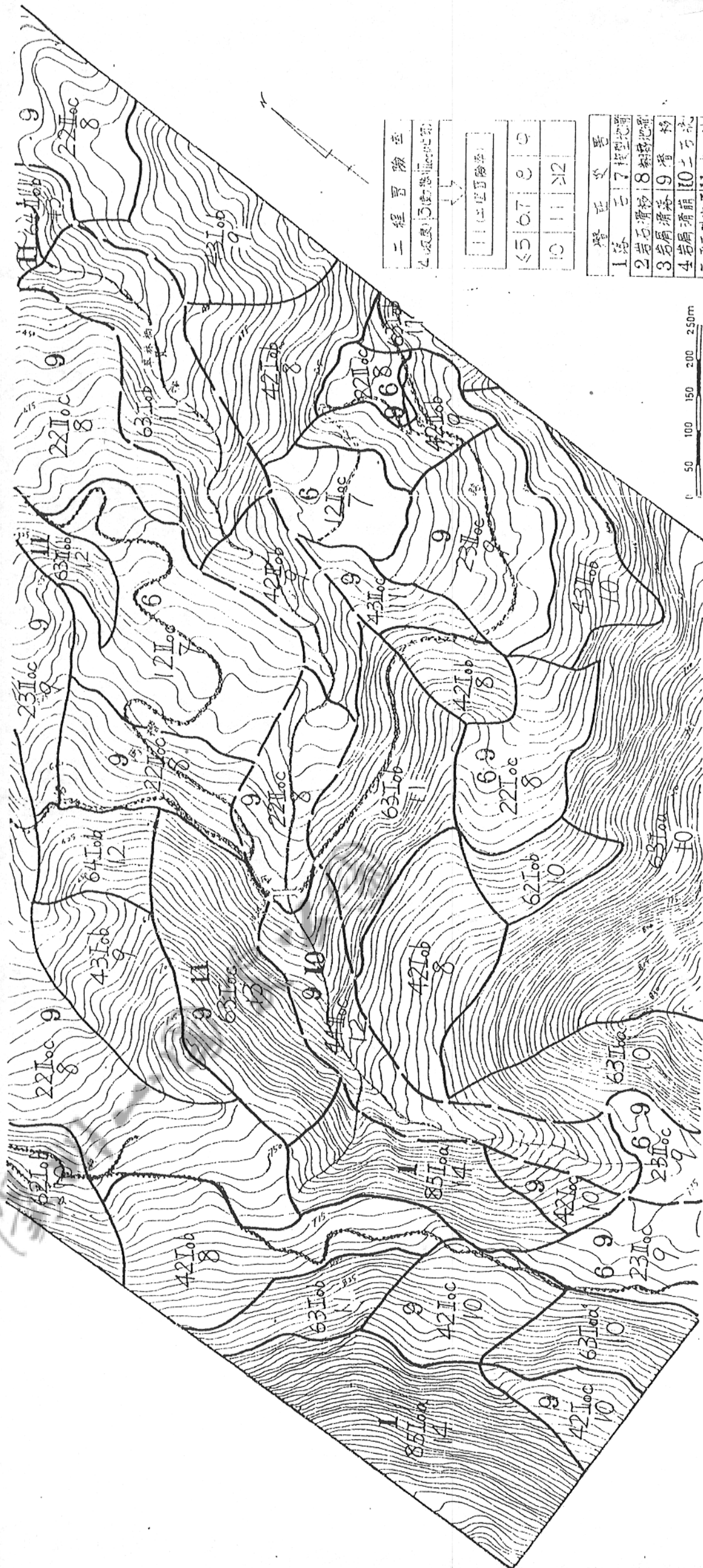
表 7 山坡地潛在崩山災害之空間分佈預測

崩山類型	辨識準則	土壤厚度	地質構造與斜坡關係	岩質	動態地形作用	坡度 %		高差 (m)	不連續面傾角 (°)	備註
						本坡	下坡			
山崩	落石	a	—	I	—	>8		>10	≈90°	
	岩石滑移	a,b	3	II s	—	≥2	>地層傾角	—	>40°	
	岩屑滑落	a,b	1,2	II	>2	≥7		—	—	
	岩屑滑崩	c	—	—	—	>8		>5	—	
地滑	平面型地滑	a,b	3	I s	—	≥4	>地層傾角	—	—	
				II s	—	≥2		—	<40°	
	弧型地滑	c	—	—	—	≤3	>4	—	—	
		—	—	II b,k,n	—	>4				淺滑動面
	楔型地滑	a,b	兩組不連續面交線之順向坡	I g	—		>不連續面傾角			
	翻轉地滑	a,b	2,3	II	—	—	>8	>5	≈90°	
潛移		c	—	—	—	≥2	—	—	—	
土石流		c	—	—	>3	≥2	—	—	—	一、二級河谷
沖蝕		c	—	—	>3	≥6	—	—	—	
		a,b	—	II						

* 高差指該土地單元之上限至垂直該區等高線之谷底的高差。

** 層面，節理面等。

圖四 陽明山國家公園馬槽及其附近地區環境地質圖



二 經 理 險 查
4 坡 度 3 動 態 地 震 地 點

111 正 斷 線
112 正 斷 線

≤ 5 6.7 8 9
10 11 > 12

聲 正 災 害
1 落 石 2 坡 型 地 溝
3 岩 石 滑 移 4 岩 石 崩 落
5 岩 石 崩 落 6 岩 石 崩 落
7 岩 石 崩 落 8 岩 石 崩 落
9 岩 石 崩 落 10 岩 石 崩 落
11 岩 石 崩 落 12 岩 石 崩 落

3. 由圖四之分析，關於本區之自然環境可得以下之結論：

- (1) 馬槽橋上游溪床有土石流之潛在災害。
- (2) 崩崖及其上坡之陡坡有落石災害。
- (3) 馬槽段丘之溪邊有發生弧型地滑之虞。
- (4) 緩坡地有潛移之可能性。

七、災變現象及其發生原因之探討

1. 災變現象

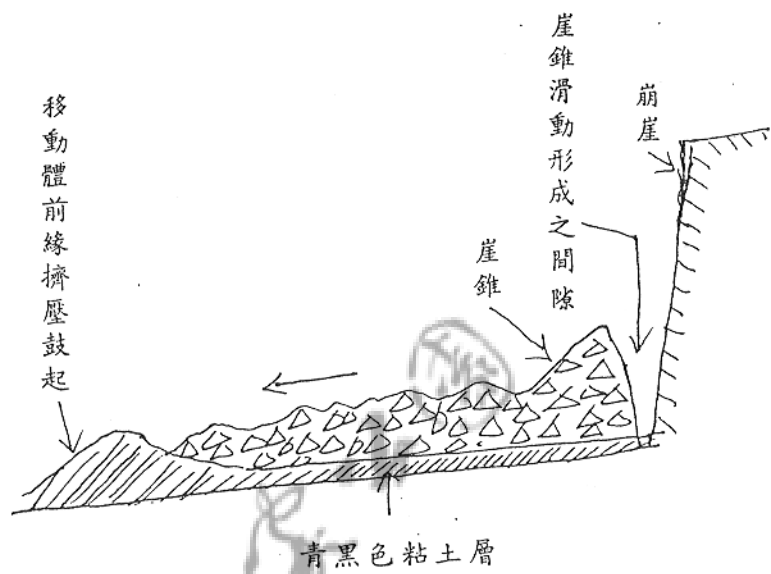
(1) 本區75年11月28日發生之災變，依現象特徵可分為四區（圖五）：

(A) 落石區——馬槽橋上游約400公尺處，高80公尺寬約250公尺直立懸崖之崩坍。該懸崖由弱換質安山熔岩所構成（其頂部為崩積層），呈暗褐色，節理至為發達（照片六、七），災變後發生大量落石堆積於其下溪床上。崩坍作用至今仍舊進行中，並已破壞崖頂通往冷水坑之公路（照片八）。崩坍堆積成功的崖錐（照片九）與絕壁間有明顯間隙，顯示該由巨塊岩石累積之崖錐整體有順溪床坡度滑動之現象，如圖六所示。

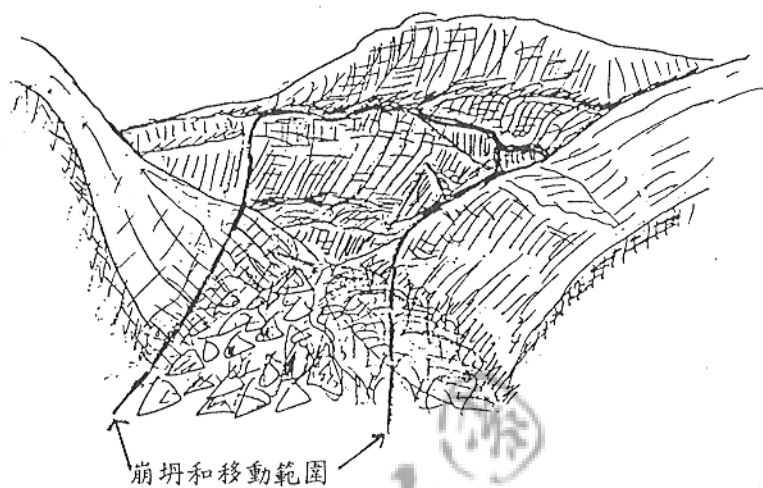
(B) 溪床堆積物滑動區——落石區崖錐與馬槽橋間之溪床上原有大量物質之堆積，災變後已消失無蹤，如圖七(a)(b)所示。並參看（照片一、二）。

本溪床堆積物之滑走摧毀馬槽橋，並似為引起落石劇烈之坍方的主因。

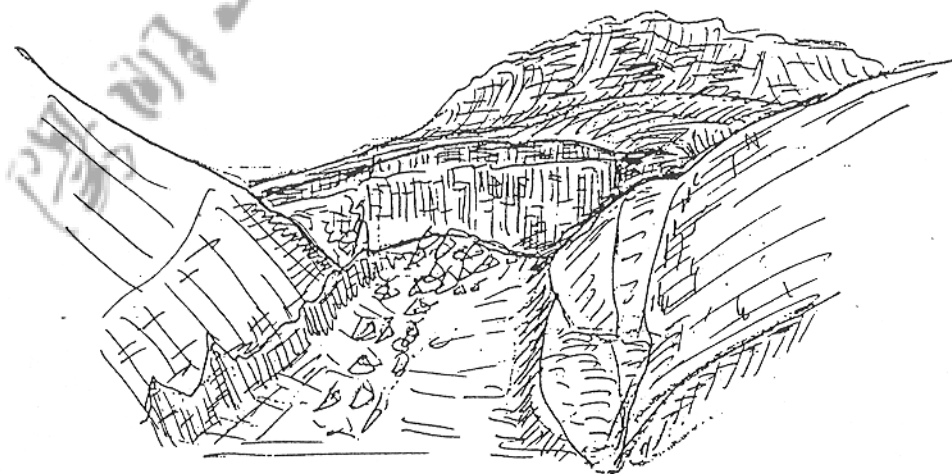
本段堆積物長 400 公尺，寬約 40 公尺，厚以平均5公尺概算，則約有 80,000立方公尺之砂石下移，其速度使過橋之轎車都難以躲過一劫。



圖六 落石區崖錐移動示意圖



圖七(a) 災變前馬槽上游之地形



圖七(b) 災變後馬槽橋上游之地形

(C) 流送區——自馬槽以下，經翠林橋址至翠林橋與彩虹橋之半途，翠林橋面橫陳之間的河段為下洩沙石通過之區。從所留痕跡，可知土石流係以重密度流之方式衝過翠林橋面，方才可能將重數噸之橋面帶至數百公尺之下游。

本砂石流送區溪床皆為之刷深，但攻擊坡之外側則皆有大量砂石之堆積（照片十），可知攻擊坡具有遲滯土石流之效應，與一般河流作用並無二致。

(D) 堆積區——自翠林橋面橫陳之處至彩虹橋之間的河段為土石堆積區。該段溪床全面淤高，而無刷深現象，可知土石流經過約1,500公尺之奔馳之後，氣勢已盡。由於在彩虹橋下，新堆積的砂土與其下游原河床之間係一陡降之斜坡，可知重密度流的狀態一直維持到最後，並沒有受溪水之稀釋而披開。

(2) 礮溪於砂石所及之溪段，皆屬高岸深谷，流竄之砂石全在溪岸控制範圍之內，故除衝垮兩座橋樑之外，並未溢出兩岸而造成其他災害。惟現仍停留於溪床之巨量砂石將逐漸被溪水沖蝕而去，對彩虹橋下游地區將有污染水質、淤高溪床，造成下游地區氾濫之虞。

2. 災變發生之現象

(1) 災變前之天候：

(A) 地震：75年11月15日本島發生規模 6.5之強烈地震。

(B) 降雨：本區11月份降雨量達 977.1mm（基隆測候站資料），佔本區平均年雨量 3,200mm之30.5%，佔七分之一以上，故屬災害性之降雨（張石角

，1984)。

- (2) 災變發生時之現象：據當地居民描述；災變發生時，適逢降雨，且霧氣甚濃，曾聽到爆炸聲。剛過馬槽橋之臺汽班車尾部曾遭石塊碰傷，而尾隨之轎車，則於濃霧中被土石流捲入。從該車被擠壓之程度，可想見該土石流碰撞力量之大。
- (3) 災變後，溪床堆積物滑動區之馬槽橋上游溪床全面呈顯青黑色黏土，而就其露出情形研判，其厚度在2~3公尺以上（照片三），其上堆積新自崩崖崩落之大量褐色安山岩塊。
- (4) 該等災害後新崩之巨大褐色安山岩塊，部份已自崩落處向下游移動相當長之距離。其中包括數塊3公尺見方以上仍附生茅草之巨岩（照片十一，十二），仍維持自崩崖頂垂直落下之姿態，故可知此等崩積岩塊係在青黑色黏土層上滑行，而非滾動。現場調查時曾發現帶有滑痕之青黑色黏塊，亦可為之佐證。因知溪床堆積物滑動區底部之青黑色黏土層具有高度潤滑功能，而且岩塊滑動體前緣之青黑色黏土亦受來自上游之擠壓而隆起。
- (5) 崩塌和推擠作用仍繼續進行中。

3. 災變原因之探討

茲以上述各項調查資料為基礎，探討災變發生之原因如下：

- (1) 馬槽橋上游為土石流發生區。本溪段包括落石區和溪床堆積物滑動區。其發生次序應是溪床堆積物因某種原因發生滑動，而牽動原已趨安定之崖錐（照片一

）滑動，使原受崖錐保護之高80公尺絕壁完全裸露，而復甦其落石方式之崩塌作用（圖八）。

(2) 促使深厚溪床堆積物發生移動之原因，據資料推測如下：

(A) 基因：

- (a) 土石流發生區溪床下之厚層高度潤滑性青黑色黏土；
- (b) 其上厚層崩積物；
- (c) 大坡降之溪床；
- (d) 馬槽橋引道及橋墩之攔阻作用造成橋上下游之高差。

(B) 誘因：

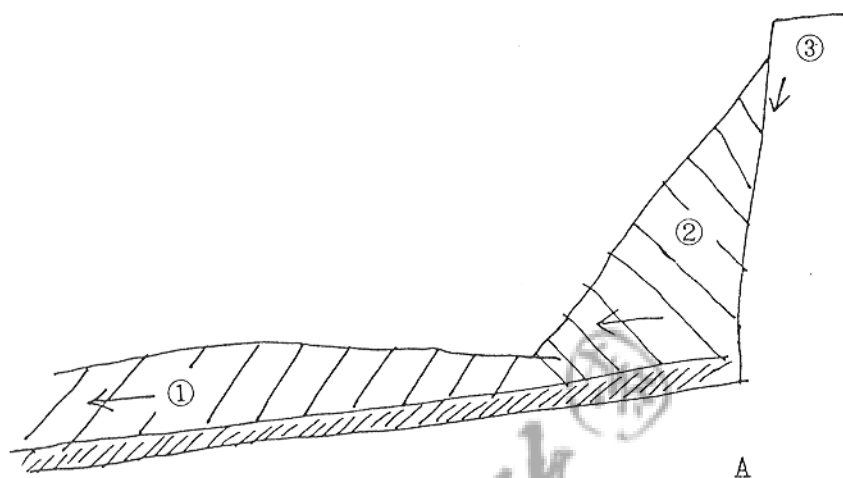
- (a) 75年11月15日強烈地震，可能使部份噴氣孔受到阻塞，令大量高壓氣體受制於地下，其突圍而出，足以增加土壤之孔隙壓力，甚或形成氣墊，而促使堆積物之移動。

災變發生時，居民曾聽到爆炸聲或可以此解釋。據日月農莊經理言，二十多年前，此處亦曾發生災變，也曾有爆炸聲。詳情如何不得而知。

- (b) 11月份本區連續降雨，雨量破40年紀錄，並達災害性降雨之強度，使位於堆積層下方之換質帶青黑色黏土充份吸收水份而為之軟化，形成一潤滑層。

另外，連續降雨，有增加溫泉水和噴氣量之效應，使溫泉和噴氣活動劇烈增加，亦可使土壤之強度減弱。

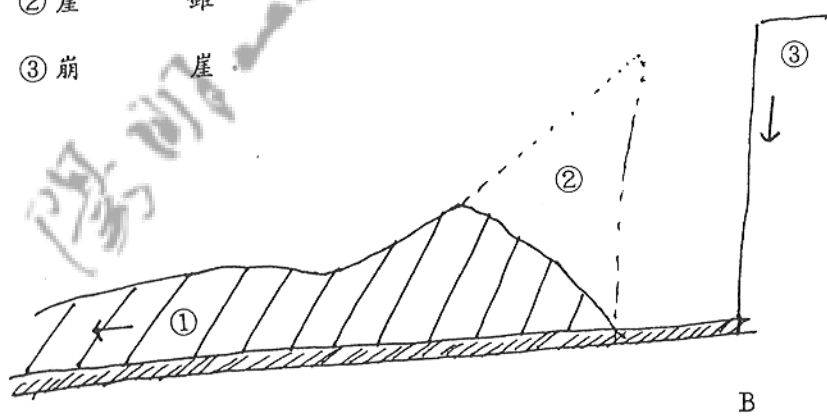
由上所論，可知馬槽橋上游之礮溪係具備土石流之基本條件（參看圖四環境地質圖



① 溪床堆積物

② 崖 錐

③ 崩 崖



圖八 土石流發生過程示意圖

），應屬天然災害。但如橋樑之設計，不致阻擋崩積物之流動，則應可減少溪床淤積量，而使土石流之規模減小。

八、災害處理問題之探討

- 1.崩崖之坍塌：本崩崖高80公尺，岩石破碎且成倒懸狀，坡下已無崖錐支撐（照片六、七），仍將繼續崩坍，而使崖頂上公路不易維修。公路線內移，而使此崩崖自然穩定，似比較可行之辦法。大規模護坡或整坡工程非但不經濟，而且將破壞自然景觀，似非適宜。
- 2.現馬槽橋之便道以及擬設置之蛇籠似難阻擋上游崩積物之移動。尤其在硫氣之影響下蛇籠壽命恐不逾一年。故設置橋樑仍為永久之計。為免重蹈覆轍，橋樑設施必須不致妨礙溪床巨大堆積物之自然流動。是以引道不能逼近溪床，而橋孔須足讓巨石通過，而不受橫阻。
- 3.馬槽橋下游河床上仍有巨量砂石之堆積，於溪水高漲時，勢將下移。惟依下游河道及土地利用情況判斷，危害情形不大。惟為安全計，在經費許可下，也可考慮將彩虹橋上下游之淤積砂土挖除。

九、結論與建議

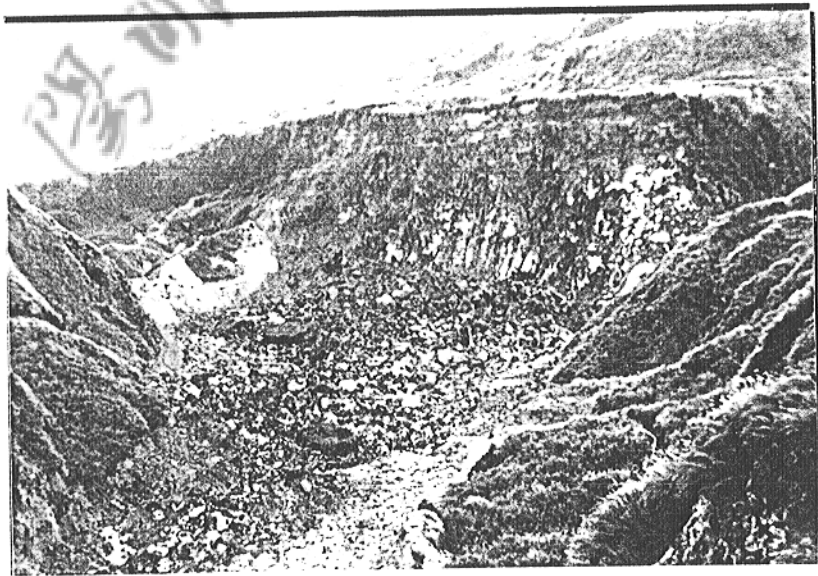
- 1.75年11月28日土石流災變發生區在馬槽橋上游之礮溪谷；砂石流送區在馬槽橋至翠林橋與彩虹橋之中途，距馬槽橋約1,000公尺。砂石堆積區在其下至彩虹橋。
- 2.馬槽橋上游溪床由高熱液換質之青黑色黏土層所構成，為高潤滑性物質；其上堆積厚

層崩積物，因受馬槽橋墩之攔阻，未能移動流暢。同時在此段溪床之左岸有一連串之溫泉和噴氣孔，而以崩崖左側凹谷者為最大。

3. 災變發生之前有強烈地震和連續降雨，造成溪床物質迅速滑動之環境條件。
4. 青黑色黏土層為滑動面，堆積層順此面滑動，引起崩崖下崖錐之移動，形成80公尺高之直立岩崩，發生不落之落石，至今依然進行中。
5. 受土石流影響之磺溪溪谷有高岸深谷，將土石流限制於溪谷內，故除衝垮馬槽橋和翠林橋外，未造成其他災害。
6. 馬槽橋上游之落石和滑移作用將持續進行。將來馬槽橋之設計，應以能維持堆積物之自然暢通為原則，以避免再發生土石流災害。
7. 現停留於河床上之大量砂石將逐漸隨高漲溪水下移，惟應不致發生嚴重災害。經費許可時，可考慮挖除彩虹橋下之土石，以減輕下游壓力。
8. 崩崖頂公路受坍方之影響，難有簡易工程方法。將路線內移似較為可行。
9. 本區環境地質圖顯示諸多高環境敏感地帶，不可輕易從事工程活動，以免觸發災變。



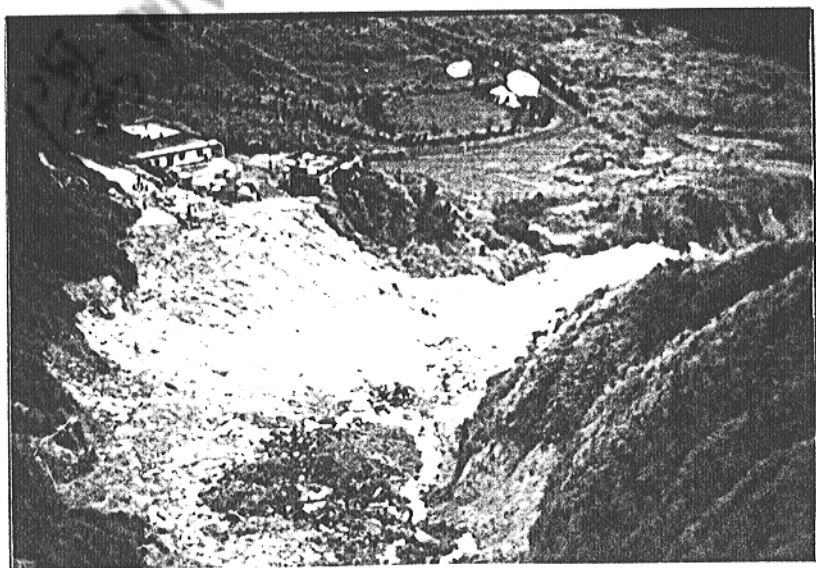
(照片一) 馬槽橋上游災變發生前之地貌和地形。
A—崩崖，B—崩錐，C—河床堆積物。



(照片二) 災變發生後，原來崩崖下之龐大崩錐和溪床上大量堆積物都已消失；崩崖裸露，並發生劇烈之崩塌作用。



(照片三) 災變後，馬槽橋上游溪床全面呈露青黑色粘土，顯示原溪床厚層堆積物，係沿此粘土層滑動。



(照片四) 馬槽橋及其引道均被其上游土石滑動所沖毀而流失。照片背景為「馬槽段丘」。



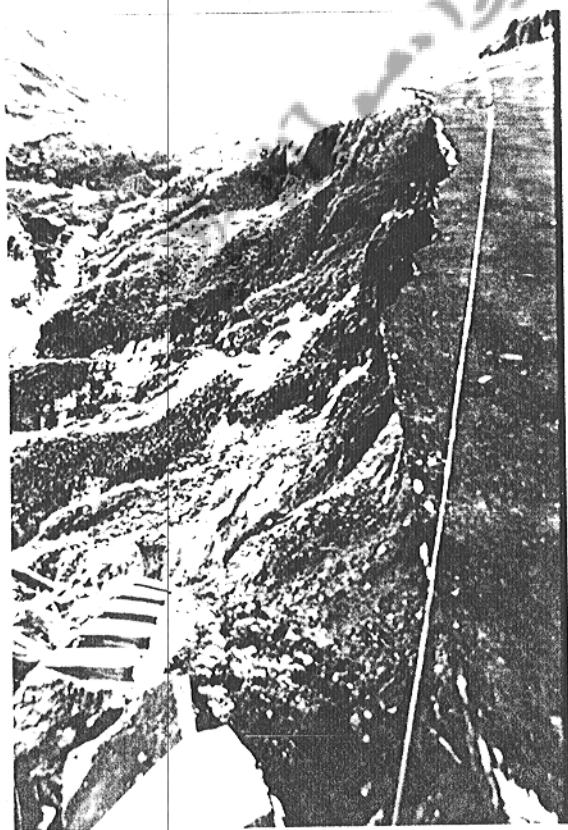
(照片五) 馬槽橋上游溪床堆積物直線衝向右岸馬槽橋段丘之聚落，造成房屋輕微損害。



(照片六) 崩崖之組成物質為熔岩，惟極富垂直之節理，且顯然已受到弱熱液換質作用，而於表面呈深褐色。右側凹谷為本區最大之溫泉和噴氣孔分佈區，其岩石之換質作用頗深，並呈青黑色。



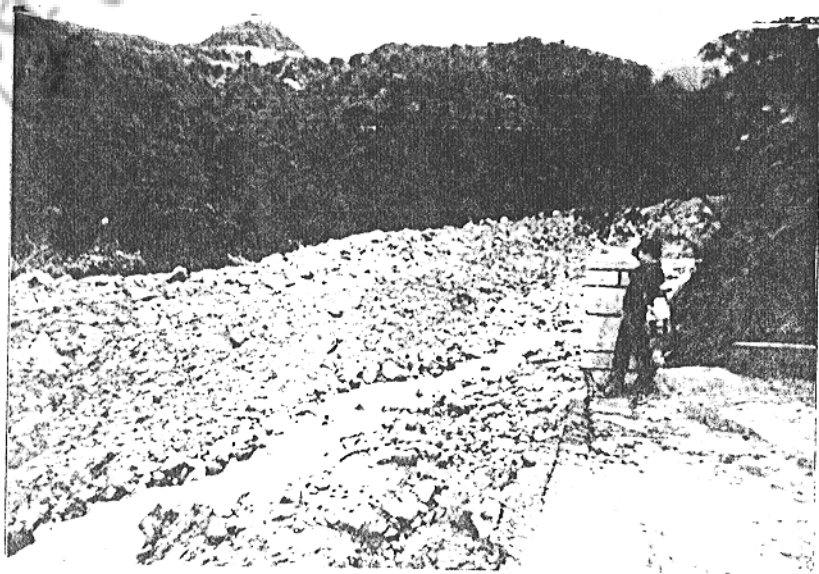
(照片七) 懸崖由弱質安山熔岩所構成，呈暗褐色，節理至為明顯，多懸空，將繼續發生大量崩落，影響崖頂道路之維修。



(照片八) 崩坍作用至今仍在進行中，並已破壞崖頂通往冷水坑之公路，維修頗為困難。



(照片九) 馬槽橋上游之崩崖高達約八十公尺，幾近壁立。故於災變前，其坡下堆積大量之崖錐物質與崖壁間形成一空隙，為崖錐滑動之結果。



(照片十) 翠林橋被土石流沖斷，曲流外側堆積大量土石。