

石岡埤頭地滑地之研究

謝豪榮*

一、前言

石岡埤頭地滑地自開發后東之沿岸道路(約2 m寬)後,其上邊坡即陸續發生小規模之崩坍,至民國61年才發生大規模的崩坍,而造成連道路亦一齊向下滑落之大崩坍,導致交通中斷。經修復後至民國68年該處道路又再受豪雨之影響而崩坍並產生裂縫,台中縣政府有鑑於此遂於民國69年除實施擋土牆及排水溝之防治工程外並將其道路拓寬成爲現今之后東產業道路。惟經開闢後,該地區仍陸續地發生路面上坡之崩坍及道路路面之下陷和駁坎倒塌等現象,造成對交通及水庫壽命之影響甚鉅。

本文即鑑於后東產業道路之嚴重受損及爲維護該道路之暢通和減少石岡水庫之淤砂,乃從民國75年11月起受農牧局第二工作處之委託對該地區實施鑽探工程、應變測定管之埋設及伸縮計之安裝等以進行地表移動量及地下水位之觀測,以探究其滑動之潛在因素與誘因,俾供而後對該滑地實施治理時之參考。

二、試驗地概況

本地滑地位於大甲溪石岡水庫大埤東北側約500公尺處,滑落崖從海拔360公尺之嶺線起,向下延伸達末端部之海拔230公尺之大甲溪床,滑動區之長爲280公尺,而寬爲100公尺,其面積約達2公頃之多。本區之地表植物係以相思樹與桂竹之雜木林爲主,其覆蓋情形雖尙稱良好,惟因發生滑動後其土地即未加以利用而該地目前仍呈顯著荒蕪雜亂。

本地滑地附近露出之地層爲上新世之卓蘭層,是由砂岩及頁岩互層所構成。砂岩以細粒泥質砂岩爲主,呈黃棕色,中度到強度風化;頁岩爲粉砂質粘土所組成,膠結不佳,呈灰色,新鮮到中度風化,強度均甚低。岩層之層理明析,走向約爲北20度東,傾向東南約23度;岩層中之砂岩節理較發達,有一組顯著之節理,其走向約北30度西,傾向則爲西南80度至垂直。

三、室內實驗

地滑地土壤之性質爲實施分析及治理地滑地時所必需具備之基本資料,土壤之樣品則以鑽探時以薄管所取之土壤爲試品而予於分析之。

(一)機械分析

其目的在於求出土樣內所含粗細不同顆粒所佔的比例。將其畫成顆粒粒徑分佈曲線則如圖 1-1 至圖

* 國立中興大學水土保持學系教授兼系所主任

1-4。

(二) 土壤力學性質試驗

以鑽孔之岩蕊為樣品，作直接剪力試驗〔direct shear test (DS)〕及三軸飽和不壓密不排水試驗〔saturated unconsolidated - undrained shear test (SUU)〕，其試驗結果則如表 1。

四、野外試驗

(一) 各種觀測儀器之裝設

地滑地內之各種儀器的配置圖情形如圖 2。茲將各種測定儀器分類敘述如下：

1. 應變測定管

對地滑地地層滑動面之測定，以埋設應變測定管觀測者最為有效。此法因需利用鑽探之鑽孔以埋設應變測定管，故不但可採取岩蕊並可兼具與地下水位之觀測及地下水檢層和追蹤等調查之用。應變測定管之裝設位置，如圖 2。

應變測定管以 2 gauge A. A 法裝設應變計 (Foil strain gauge)，所使用裝設應變計之塑膠管，其外徑為 60mm，內徑為 55mm，並予於鑽孔 (strainer) 加工。

No. 1 與 No. 9 鑽孔從地面下 1 公尺至地面下 9 公尺，No. 2，No. 6，No. 10 鑽孔則從地面下 1 公尺至地面下 14 公尺，其餘之鑽孔 No. 3，No. 4，No. 5，No. 7，No. 8，No. 11，No. 12，No. 13 則從地面下 1 公尺至地面下 19 公尺。每支鑽孔之應變管均間隔 1 公尺裝設一對應變計。應變測定管以 ME - 21.B 測定器測定之，並每隔一週測定一次。

2. 伸縮計

順滑動方向 (東南方向) 裝設兩部伸縮計，其裝設位置如圖 2。各伸縮計均用直徑 0.5 mm 的鋼與鎳之合金所製成的特殊鋼線，即所謂之鈎鋼線 (inver wire)，(其線膨脹係數為 0.00002)，連結 OT - 1405 型地滑計與木樁，測定其二點間之伸縮量以觀測地表土壤的移動量。又為避免鈎鋼線被人為之破壞，所有之鈎鋼線均以直徑 100 mm 口徑大之塑膠管予以保護之。

3. 地下水位

觀測地下水位之變動狀況，不但可預測地層滑動之時期並可提供實施排水工程計劃時之參考資料。本地區以應變測定管上實施 strainer (加上塑膠管上以 15~20 公分間隔鑽 4 排直徑 7mm 之鑽孔)，以測定塑膠管內之水位做為觀測地下水位之用。

(二) 觀測及試驗結果之分析

1. 應變測定管之測定結果

由 76 年 4 月至 76 年 9 月，經 5 個月之觀測資料和藉其應變管之日應變量變化圖及其二次累加應變值圖而判斷 No. 1 鑽孔在地面下 4m，No. 2 鑽孔在地面下 3m，No. 3 鑽孔在地面下 3m，6m，10m，No. 4 鑽孔在地面下 4m，No. 5 鑽孔在地面下 2m，5m，No. 6 鑽孔在地面下 1m，No. 7 鑽孔在地面下 6m，10m，No. 8 鑽孔在地面下 8m，No. 9 鑽孔在地面下 2m，7m，No. 10 鑽孔在地面下 7m，No. 11 鑽孔在地面下 2m，6m，No. 12 鑽孔在地面下 4m，12m，No. 13 鑽孔在地面下 1m，6m 處顯出有滑動之跡象。現以滑落崖為滑動面之頂端部 T，產業道路下方隆起部為末端部 S，以測線 T，No. 9，No. 10，No. 11 為一剖面，如圖 3 及表 2 做安定分析結果，地下

水位在高水位時其安全係數為 0.943，在低水位時其安全係數為 0.291。由於觀測期間較短，其餘之觀測線的滑動面的位置尚無法確實地畫出與分析。

2. 伸縮計之觀測結果：

如圖 2. 伸縮計之 No. 1 裝設在 No. 1 ~ No. 5 鑽孔之斷面上，No. 2 伸縮計裝設在 No. 9 ~ No. 13 鑽孔之斷面上，由於受預算之限制，伸縮計至民國 76 年 8 月初才裝置完成而開始觀察。圖 4. - 1. 至圖 4. - 2. 為伸縮計之日移動量與降雨量之關係圖，由於觀測期間只至 9 月底，因而無法獲知其土層之移動與降雨之相關性。惟從圖中得知 No. 2 伸縮計之伸縮量則較 No. 1 伸縮計之伸縮量為大。

3. 地下水水位之觀測

地下水水位（自由地下水面）之高低係利用鑽孔之水位而測定之，其結果如表 3. 及圖 5. - 1. 至圖 5. - 2.。

由圖表中可知，位於地滑之頭部地區（標高 310 m 以上）之 No. 1，No. 2，No. 3，No. 5，No. 9，No. 10 等鑽孔之地下水水位之變化較其他地區劇烈，而其最高與最低水位之差均達 5 m 以上，尤其 No. 10 鑽孔之最高與最低水位之差則相差達 10.03 m 之多。此即顯示靠近滑動區頭部地區之地下水水位之變化情形較滑動區末端部地區之地下水水位之變化情形為大。

據水庫大壩附近之雨量觀測資料，各月份之降雨量為 76 年 1 月份為 59.7 mm，2 月份為 50 mm，3 月份為 176 mm，4 月份為 61.7 mm，5 月份為 332.9 mm，6 月份為 463 mm，7 月份為 410.7 mm，8 月份為 37.8 mm，9 月份為 94.2 mm，而在雨量較多之 5 月至 7 月間，頭部地區鑽孔之地下水之水位亦明顯地上昇，而其他地區之鑽孔則無此現象，可見降雨量之多寡對地下水水位之影響亦以地滑之頭部地區為顯著。

4. 地下水之追蹤與檢層

地下水檢層試驗乃在測知地下水在垂直方向的流動狀況，通常以鑽孔中投入電解物質使之溶解，使孔內之電阻降低後，如地下水從流動層流入孔內時，則孔內之電阻將因而升高。據此原理，做為判斷垂直方向之流動狀況。

地下水之追蹤乃在探求地下水在水平方向的流動狀況，在實施追蹤試驗時，首先須依據各鑽孔之地下水水位高程而預估地下水大概之流路，然後在上游之鑽孔中投入追蹤劑，經過一適當時間後，在下游所預估流過之鑽孔內裝設電阻感應器以測定其電阻或取出孔內之水樣予以分析，若某鑽孔中發現有追蹤劑流入，則可判斷地下水流至此處進而推測其流路，同時吾人亦可據其到達的時間與其流路之距離而算出其地下水之流速。

追蹤與檢層試驗乃利用觀測應變量與地下水水位所使用之鑽孔予以進行。一般作為追蹤劑者有無機藥品、螢光劑及著色劑、放射同位元素等。本試驗則以食鹽為追蹤劑配合 ME - 48 型檢層與追蹤試驗，其試驗過程如表 4. 茲將其所得結果敘述如下：

(1) 追蹤與檢層試驗：從民國 76 年 9 月 3 日起至 9 月 7 日止共進行五天。以 No. 2 鑽孔投入食鹽而在 No. 3 鑽孔放置 ME - 48 型檢層器，在 No. 6 鑽孔放置 CM - 1 K 攜帶用導電度計，以測定其孔內水位之電阻變化。No. 3 鑽孔與 No. 6 鑽孔之電阻變化圖如圖 6. - 1. 至圖 6. - 4. 與圖 7. - 1. 至圖 7.

— 4。其電阻變化較大之位置，可被視為地下水流動層之地帶。

(2)由圖 6. - 1與圖 7. - 1.及表 5.中可知No. 6 鑽孔之流動層在 8.2 m~ 9.5 m之間，而No. 3 鑽孔之流動層則約在 11.~12.m之間（較不明顯）。

(3)由表 6.中可知No. 2 至No. 3 鑽孔間之地下水之平均流速約為 0.029 cm / sec，而No. 2 至No. 6 鑽孔間之地下水之平均流速約為 0.033 cm / sec，其平均流速約為 0.03 cm / sec。

表 4. 地下水追蹤試驗之投鹽孔與預估之流向

投 鹽 孔	預 估 之 流 向	設 置 儀 器 之 種 類	地 下 水 之 流 向
No. 2	No. 2 → No. 3	ME - 48.型檢層器	No. 2 → No. 3
No. 2	No. 2 → No. 6	CM - 1 K 攜帶用導電度計	No. 2 → No. 6

表 5. 地下水追蹤試驗時電阻變化最大之深度

孔 號	電 阻 變 化 最 大 之 深 度 (流 動 層)
No. 3	11 m ~ 12 m
No. 6	8.2 m ~ 9.5 m

表 6. 地下水之流程與流速表

孔 號	斜 距 (M)	時 間 (MIN)	流 速 (cm / sec)	平 均 流 速 (cm / sec)
No. 2 → No. 3	25.5	1443	0.029	0.03
No. 2 → No. 6	25.3	1275	0.033	

5. 石岡水庫大壩水位與鑽孔內地下水位之觀測

圖 8. - 1.至圖 8. - 3.為各鑽孔之地下水位與水庫水位高程從民國76年 4.月中旬至 9.月中旬間之關係圖，從圖中可看出兩者之間無相關性存在。

五、結論與建議

本試驗由於受經費之影響鑽探工程拖至民國76年 2.月才發包，因而各種觀測工作拖至 4.月中旬才開始，由於觀測時間之短暫，本年度因而無法取得完整之資料供作本地滑地機構分析之用。現就以 4.月至 9.月所得之資料概略地予以分析，其結果如下：

(一)綜合本試驗之結果而得下述之結論：

- 1.本地滑地為一淺層之滑動，最深之滑動面約在地面下 7.公尺，而其末端部在后東產業道路之上側。
- 2.降雨量與移動量之相關性由於觀測期間短暫無法觀測出其相關性，惟 No. 2 伸縮計之伸縮量較 No. 1 伸縮計之伸縮量為大。
- 3.滑落崖地區之地下水位之變化情形較末端部地區之地下水位之變化情形為大。

4.No.2, No.3, No.6鑽孔之地下水之流動層約在 8.m~12.m之間，而其平均流速約為 0.03 cm / sec。

5.大堤水位之變化與鑽孔之地下水位無相關性存在。

(二)建議事項

- 1.滑動區內的逕流，由逕流而產生許多之沖蝕溝，故應急速將原有之沖蝕溝整建為排水溝，以排除地表水以減少逕流之滲透。
- 2.產業道路路邊之排水溝已產生龜裂，因而上邊坡之逕流無法經由涵管排出而均滲透至道路路面下，而引起路面之下陷，因而應立即予於修補路邊排水溝以防止其繼續滑動。
- 3.為阻止地滑之運動，在滑動區之末端部即在路之上側部份增設蛇籠擋土牆做為基腳之壓土工程，使基腳之垂直荷重增加以產生壓密作用而促使抗剪強度增加。

表 1. 各鑽孔土樣之剪力試驗結果

孔 號	深 度 (m)	凝聚力 (C) t / m ²	內摩擦角 (ϕ) 度	試驗名稱
NO-4	0.50 - 1.50	1.60	34.5	DS.
NO-5	1.50 - 2.50	0	40.4	DS.
NO-7	2.00 - 3.00	0	52.5	DS.
NO-8	6.00 - 7.10	0	45.0	DS.
NO-10	3.00 - 3.60	1.25	36.0	DS.
NO-11	1.50 - 2.00	1.60	36.0	DS.
NO-13	1.50 - 2.50	0	44.0	DS.
NO-1	0.85 - 1.45	7.0	0	SUU.
NO-2	0.30 - 1.30	10.0	0	SUU.
NO-3	0.50 - 1.50	12.0	0	SUU.
NO-7	8.50 - 9.10	9.50	0	SUU.
NO-9	0.30 - 0.70	6.80	0	SUU.
NO-12	1.50 - 2.50	6.30	0	SUU.

表 2. 断面安定分析表

SITE: NO.9-NO.11 (GREEN)
 SPECIFIC WEIGHT OF SOIL=2.69
 COHESION=1.25 TON / M²
 ANGLE OF INTERNAL FRICTION = 36 DEGREE

No.	h1	h2	L	A	θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$	W	T	N	H1	U1	N-U1	H2	U2	N-U2
1	0.0	2.1	6.3	4.4	48.0	0.743	0.669	11.9	8.82	7.94	1.2	7.56	0.38	0.0	0.00	7.94
2	2.1	6.9	12.3	40.5	45.0	0.707	0.707	108.9	77.03	77.04	4.8	59.04	18.00	0.0	0.00	77.04
3	6.9	7.2	11.7	63.5	42.0	0.669	0.743	170.7	114.21	126.84	4.2	49.14	77.70	0.0	0.00	126.84
4	7.2	5.4	11.4	56.7	39.0	0.629	0.777	152.5	95.98	118.53	3.6	41.04	77.49	0.0	0.00	118.53
5	5.4	5.7	10.8	50.0	36.0	0.588	0.809	134.4	78.98	108.70	1.8	19.44	89.26	0.0	0.00	108.70
6	5.7	3.6	10.1	41.8	32.0	0.530	0.848	112.6	59.66	95.47	1.2	12.12	83.35	0.0	0.00	95.47
7	3.6	3.0	9.9	29.7	28.0	0.469	0.883	79.9	37.51	70.54	2.1	20.79	49.75	0.0	0.00	70.54
8	3.0	3.0	9.7	27.0	25.0	0.423	0.906	72.6	30.69	65.83	2.7	26.19	39.64	0.0	0.00	65.83
9	3.0	2.8	9.6	26.1	22.0	0.375	0.927	70.2	26.30	65.10	2.7	25.92	39.18	0.0	0.00	65.10
10	2.8	0.6	9.4	15.3	19.0	0.334	0.943	41.2	13.74	38.80	0.0	0.00	38.80	0.0	0.00	38.80
11	0.6	0.0	7.8	2.3	17.0	0.292	0.956	6.1	1.77	5.79	0.0	0.00	5.79	0.0	0.00	5.79

total length = 109

shear stress = 544.828

normal stress = 780.5741

n-u1 = 519.3341

N-U2 = 780.5741

F.S. = .9428606 when high water level

F.S. = 1.291316 when low water level

表 3. 各觀測站地下水位

(單位：m)

Date	No1.	No 2.	No3.	No4.	No 5.	No 6.	No7.	No 8.	No9.	No 10.	No11.	No 12.	No 13.
76. 04 17	8.37	13.45	9.93	7.49	6.89	11.84	2.60	6.62	8.42	13.48	2.97	8.02	6.73
76. 04 24	8.37	13.45	10.27	7.58	6.28	11.95	2.90	6.58	8.42	14.35	3.19	8.19	6.03
76. 05 01	8.37	13.45	10.26	7.78	6.89	12.05	3.10	6.76	8.42	14.98	3.93	8.36	7.27
76. 05 08	8.37	13.45	10.51	7.63	7.09	12.65	3.15	6.80	8.42	14.45	3.49	8.21	6.82
76. 05 15	8.37	13.45	10.66	7.93	6.84	13.35	3.40	6.76	8.42	14.65	3.59	8.36	6.27
76. 05 29	6.87	10.55	9.81	7.53	6.72	11.60	1.10	5.61	7.32	12.25	0.34	7.46	6.02
76. 06 05	7.57	11.95	9.91	7.78	6.79	11.75	1.55	5.86	8.42	13.00	0.34	7.66	7.27
76. 06 26	0.77	8.30	5.61	6.98	6.24	8.45	0.25	3.81	2.02	4.95	0.09	6.26	4.92
76. 07 04	2.52	8.75	7.71	7.13	6.24	10.55	0.60	5.71	5.52	8.10	0.89	7.41	5.62
76. 07 12	3.12	9.75	6.46	5.93	7.19	9.20	1.00	4.41	5.97	11.45	0.04	7.16	7.07
76. 07 18	2.87	9.60	6.31	6.03	6.99	9.05	0.90	5.16	5.72	11.30	0.04	6.91	6.97
76. 08 02	8.37	9.40	3.46	4.98	6.54	5.95	0.20	4.21	8.42	7.90	0.04	6.26	5.87
76. 08 15	8.37	10.90	4.31	5.93	6.84	7.25	0.55	5.76	8.42	9.70	0.14	6.71	7.27
76. 08 22	8.37	11.40	4.46	6.08	6.89	7.50	0.75	5.91	8.42	10.50	0.14	6.86	7.42
76. 08 29	8.37	11.55	4.56	6.03	7.19	7.55	0.45	4.86	8.42	10.65	0.14	6.81	6.32
76. 09 05	8.37	10.95	4.86	6.13	6.64	7.80	0.60	5.11	8.42	10.85	0.19	6.66	6.32
76. 09 12	8.37	12.15	5.06	6.30	6.64	7.90	0.65	5.36	8.42	11.00	0.14	6.81	6.17
76. 09 19	8.37	12.75	5.36	6.23	6.84	8.05	0.90	5.56	8.42	11.20	0.29	6.91	6.32

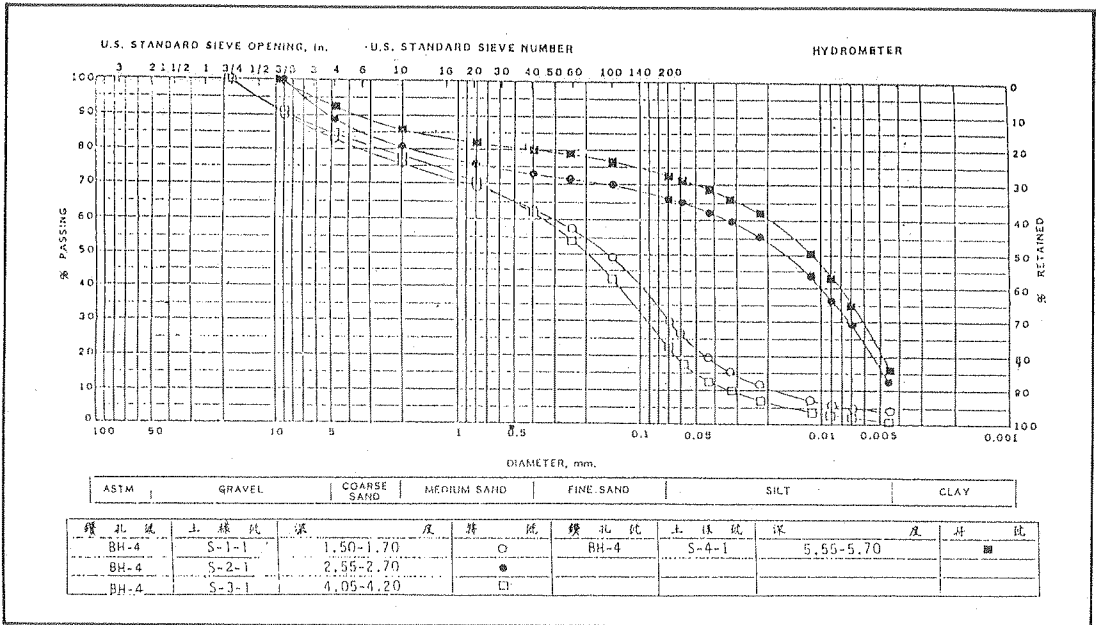


圖 1-1 埤頭地滑地各鑽孔土樣之顆粒粒徑分佈圖

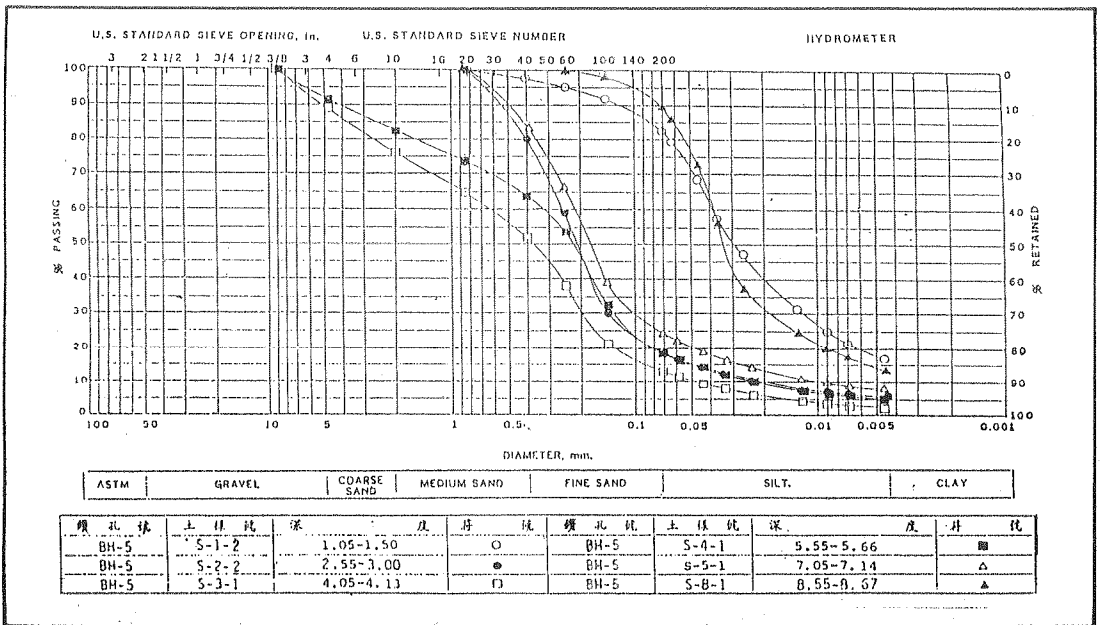


圖 1-2 埤頭地滑地各鑽孔土樣之顆粒粒徑分佈圖

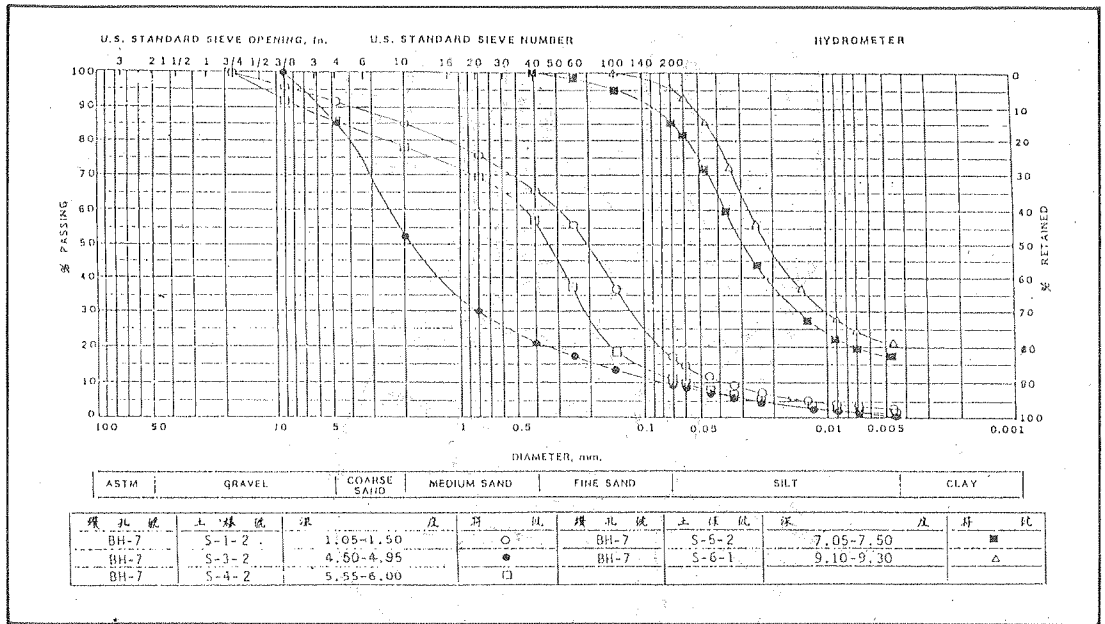


圖 1-3 埤頭地滑地各鑽孔土樣之顆粒粒徑分佈圖

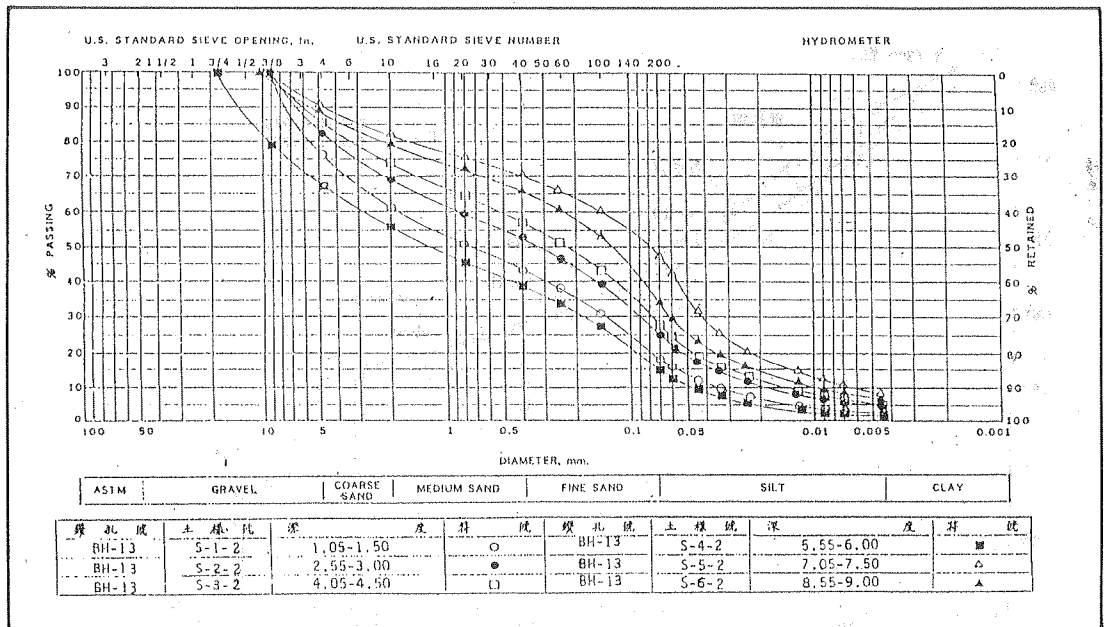


圖 1-4 埤頭地滑地各鑽孔土樣之顆粒粒徑分佈圖

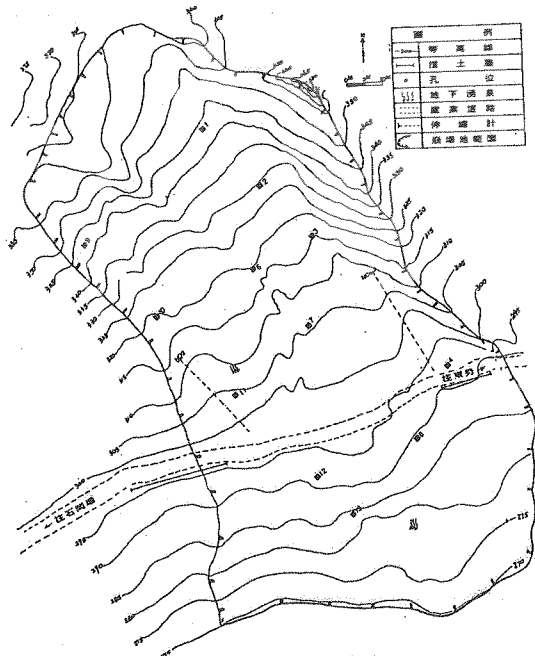


圖 2 埤頭地滑地之儀器配置圖

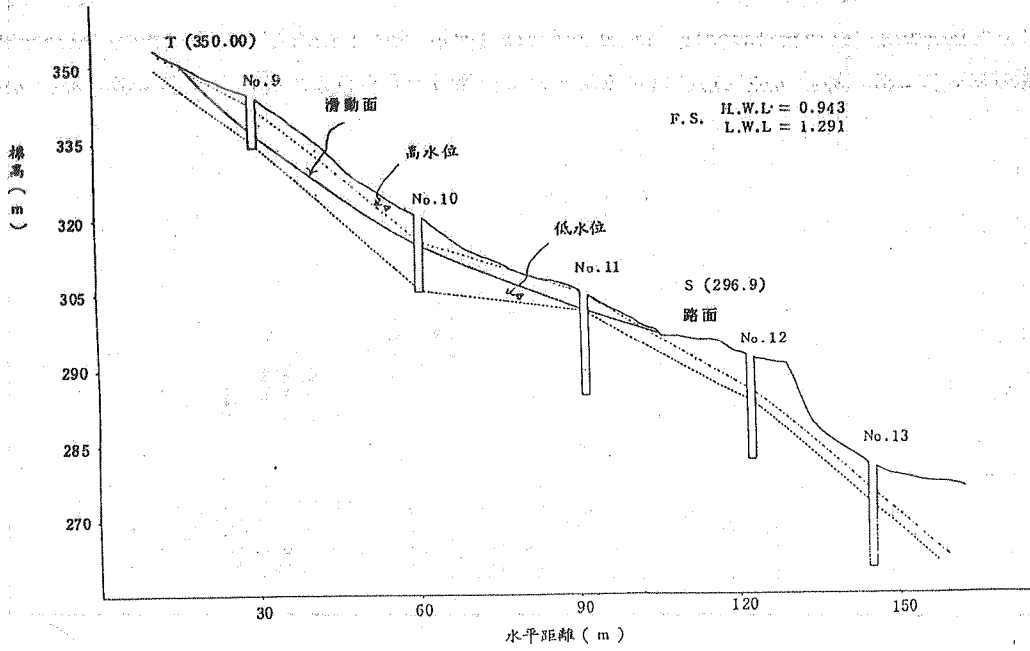


圖 3 T-S 滑動面推定與穩定分析斷面圖

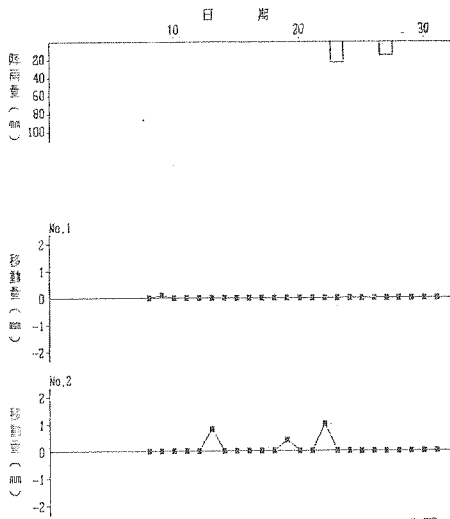


圖 4-1 八月份降雨量與伸縮計日移動量之關係變化圖

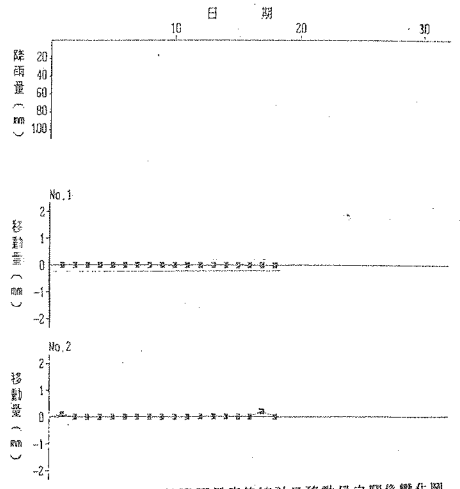


圖 4-2 九月份降雨量與伸縮計日移動量之關係變化圖

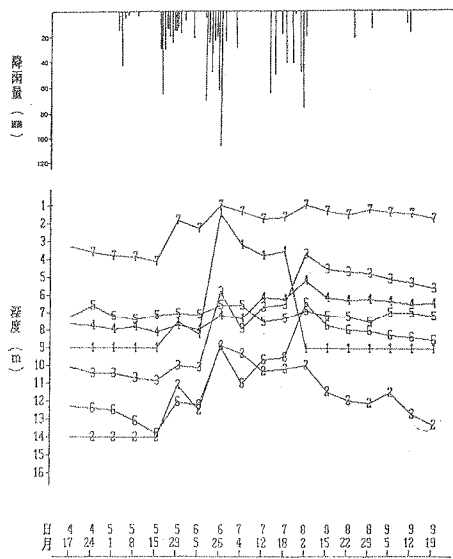


圖 5-1 埤頭地滑地之降雨量與地下水水位變化關係圖 (1)

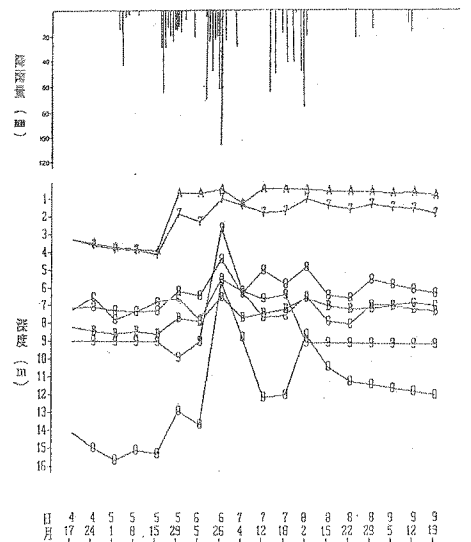


圖 5-2 埤頭地滑地之降雨量與地下水水位變化關係圖 (2)