

梨山地區地層滑動整治計畫之四

梨山地區管理基準值訂定

詹連昌、徐登文、蘇苗彬

即時監測的分析管理系統，最主要的功能在於將危險的狀況，及時的讓決策者知曉，因此將監測站的資料數據分析的結果，量化的分為四個階段，分別是正常、注意、警戒和疏散。第一個階段是正常，表示現在的狀況良好，處於穩定的狀態，第二個階段是注意，表示現地已經有所變化，雖然現在仍處於穩定的狀態，但是已經到達需要注意的時候，需密切注意未來的變化，第三是警戒，此時邊坡可能已經到達臨界邊緣或地滑地已有小幅度移動的現象，需要通知民眾做準備，第四是疏散，已經超過臨界值，邊坡可能已經達破壞，後續災害可能擴大，有必要緊急疏散地區的民眾或交通。基於以上對於危險程度的劃分，以下針對於各個監測項目來作探討，並決定其所對應的值，來作為監測系統中預警程式的核心。

一、雨量的基準值

雨量對於邊坡的穩定性影響非常的大，當有連續豪雨或颱風發生的時候，較易發生地滑的災害，對於梨山上的雨量管理方面，中華顧問工程在八十五年所做的暴雨頻率分析，結果如表 1、2、3 所示，分別為對於一日暴雨、二日暴雨以及三日暴雨作極端值第 I 型分布、對數常態分布、對數皮爾遜第三型分布在不同回歸週期的雨量，在八十九年梨山管理準則中採用十年回歸週期的暴雨頻率來決定雨量的管理值，列於表 4，其注意值分別為 1 日累積降雨 260mm，2 日累積降雨 380mm，3 日累積降雨 433mm，是以過去十年間的災害發生為出發點來看，採用十年頻率，也就是平均十年才注意一次可能不能掌握降雨對於邊坡的影響，對於發生地滑可能來不及疏散，故考慮改變其設定的基準值，由於 B9 監測站位置大約於各滑動體的中心，採用 B9 站自 1996 年 5 月 26 日到 2002 年 3

表 1 梨山地區 1 日暴雨頻率分析結果

單位：mm

迴歸週期 (年)	極端值 第 I 型分佈	對數 常態分佈	對數皮爾遜第 三型分佈	平均值 R ₂₄
2.33	178.0	178.6	178.6	178.4
5	223.1	224.5	224.5	224.0
10	259.7	261.3	261.3	260.8
25	306.0	307.2	307.3	306.8
50	340.4	341.0	341.3	340.9
100	374.5	374.6	375.1	374.7

資料來源：財團法人中華顧問工程司，八十五年度坡地災害整治計畫梨山地區地層滑動基本設計與補充調查委託技術服務期末報告

表 2 梨山地區 2 日暴雨頻率分析結果

單位：mm

迴歸週期 (年)	極端值 第 I 型分佈	對數 常態分佈	對數皮爾遜第 三型分佈	平均值 R ₂₄
2.33	254.96	254.62	248.31	252.63
5	327.06	321.77	318.55	322.44
10	385.7	375.85	380.71	380.75
25	459.78	443.55	465.85	456.39
50	514.75	493.62	534.24	514.2
100	569.3	543.46	607.03	573.26

資料來源：財團法人中華顧問工程司，八十五年度坡地災害整治計畫梨山地區地層滑動基本設計與補充調查委託技術服務期末報告

表 3 梨山地區 3 日暴雨頻率分析結果

單位：mm

迴歸週期 (年)	極端值 第 I 型分佈	對數 常態分佈	對數皮爾遜第 三型分佈	平均值 R ₂₄
2.33	287.03	286.02	278.54	283.86
5	370.94	364.07	360.19	365.07
10	439.18	427.30	433.10	433.19
25	525.40	506.84	533.75	522
50	589.37	565.92	615.18	590.16
100	652.86	624.91	702.34	660.04

資料來源：財團法人中華顧問工程司，八十五年度坡地災害整治計畫梨山地區地層滑動基本設計與補充調查委託技術服務期末報告

表 4 梨山地區 1，2，3 日累積降雨危險指標的基準值

累積降雨	1 日	2 日	3 日
“注意”基準值	260mm	380mm	433mm

月的雨量來分析，繪圖了解一個小時的雨量(圖 1)、累積 24 小時雨量(圖 2)、累積 48 小時雨量(圖 3)、累積 72 小時雨量(圖 4)等四個圖，再分別討論基準值的訂定。

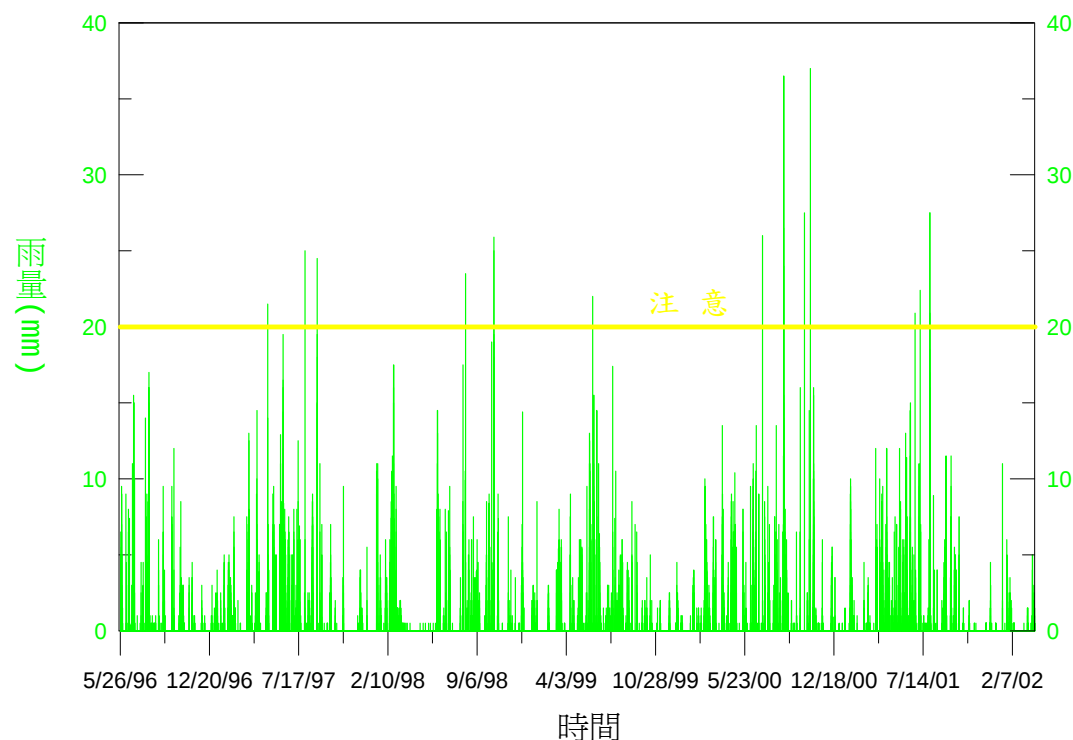


圖 1 B9 監測站 1996 年 5 月~2002 年 3 月之每小時雨量圖

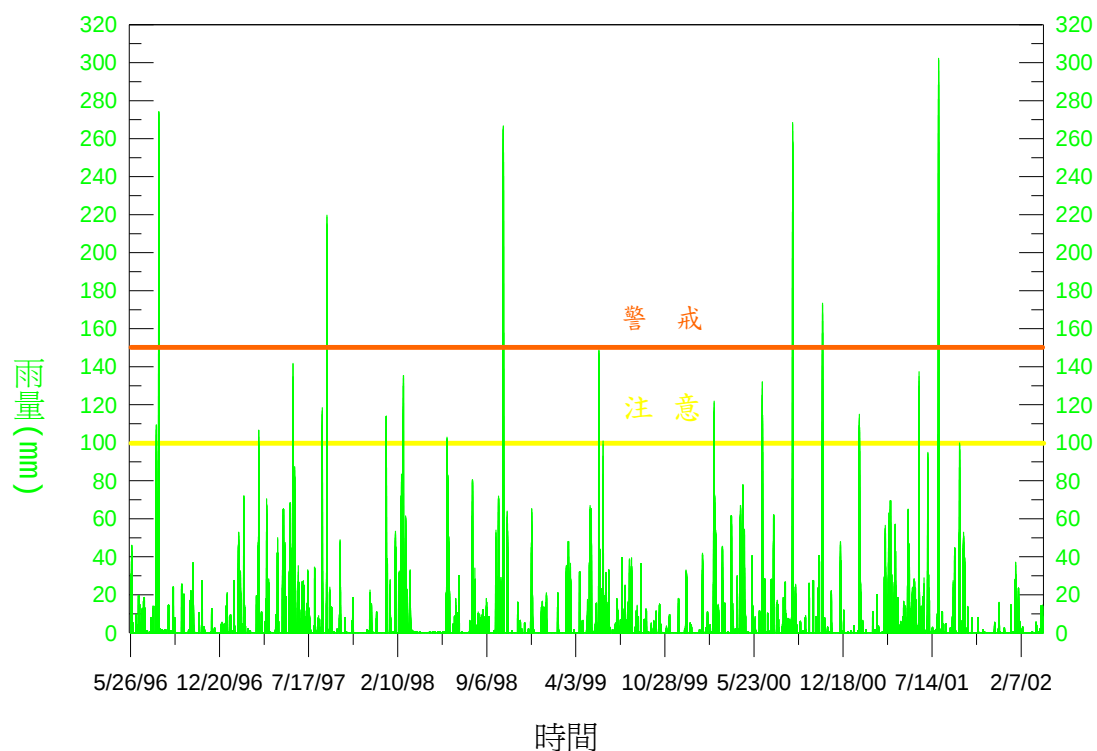


圖 2 B9 監測站 1996 年 5 月~2002 年 3 月累積 24 小時雨量圖

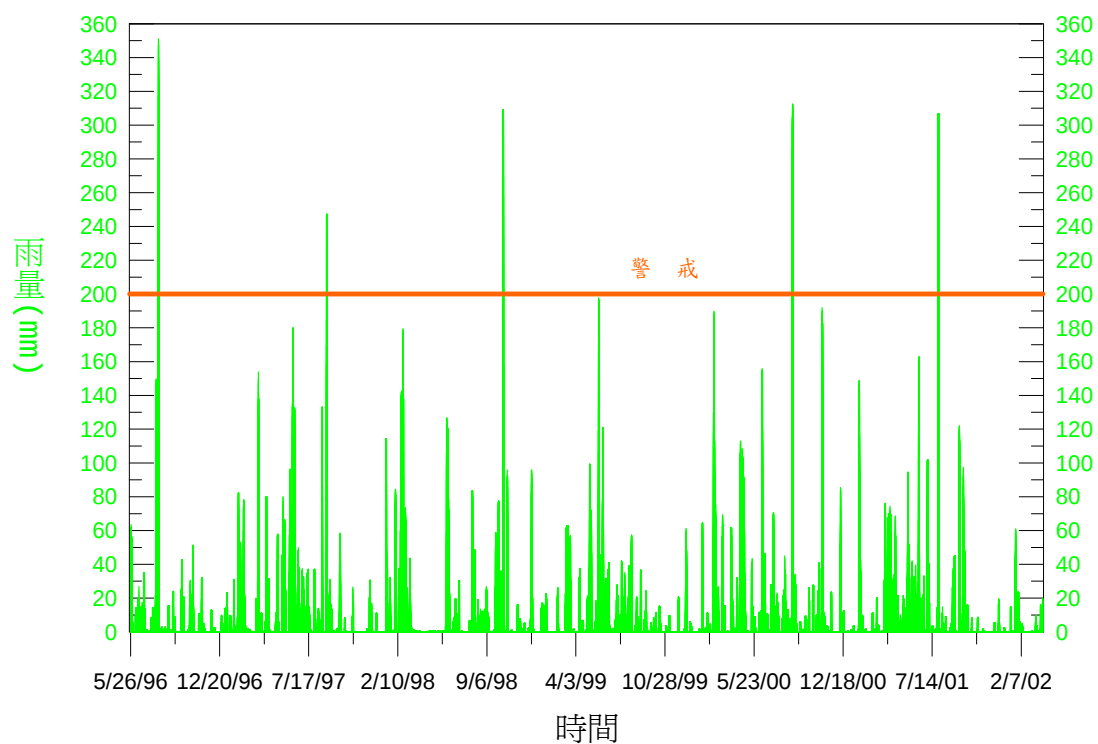


圖 3 B9 監測站 1996 年 5 月~2002 年 3 月累積 48 小時雨量圖

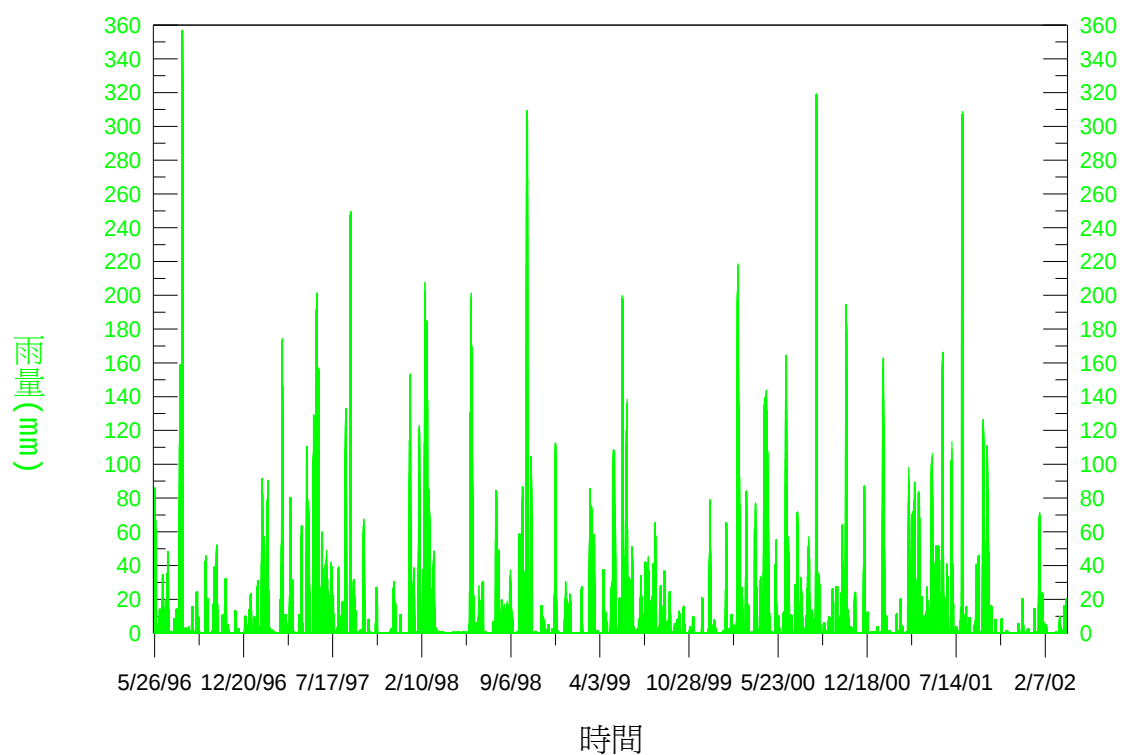


圖 4 B9 監測站 1996 年 5 月~2002 年 3 月累積 72 小時雨量圖

1.1 雨量基準值的建立

(1) 每小時雨量基準值：

考量每小時雨量的基準值時，首先看到圖 1 每小時雨量，在 B9 監測站的紀錄下，最高曾經到達 37mm/每小時，倘若之前為小雨，但土壤可能未飽和，而這一個小時的雨量尚不足造成到需要警戒的程度，當然如果在這一小時的暴雨前後有所累積的話，那就對土體的影響就很大了，累積雨量的影響會在下一部份探討，但在作類神經預測時，發現每個小時雨量超過 20mm 的時候，可能造成低估地下水位上升程度的情況，也就是說這 20mm 的降雨已經對於超過整個土體平時的水文狀況，因此認為每個小時雨量的基準值可以設定為 20mm/小時，不考慮用每個小時雨量設定警戒值，因為警戒值由累積雨量來判定，較符合實際需要。

(2) 24 小時累積雨量的基準值

依照之前的設定，日雨量為 260mm 才注意的話，由圖 2 可以看出紀錄時間內注意之情況只有 4 次，設定值可能偏高，在雨量的基準值中以這累積 24 小時的雨量基準值之設定最為重要，因為發生地滑經常在暴雨發生後的一日內發生，而參考表 1 中，回歸週期為 2.33 年的日雨量為 178mm/day，而在從圖 2 中，如果設定為 100mm/24 小時，大約一年中會有 7、8 次的達到注意的狀態，而從圖中可看出 150mm/24 小時 大約是一個界限，所以將警戒值設定在 150mm/24 小時。

(3) 累積 48 小時雨量的基準值

有了累積 24 小時雨量的基準值後還必須考量到一種狀況，就是如果雨量間隔較大，但是累積 24 小時雨量沒有超過 150mm/24 小時的警戒狀況，而累積 48 小時下來卻累積了相當多的量，那這種情況也要注意，將累積 48 小時的警戒雨量設定在 200mm/48 小時，以防連綿的雨或間隔稍大的雨發生而沒有注意，而對於累積 72 小時的雨量基準值，從圖 3 與圖 4 中可見，其實差距不大，表示 24 小時以及 48 小時已經足以對應危險狀態了，而 72 小時的危險狀態都已經涵蓋在 48 小時之中了。

整理以上的整個重新設定雨量的基準值，如表 5 中，在整個雨量的基準值中並沒有設定疏散的等級，因為降雨造成會隨著地區排水現況以及地質的狀況的不同而有所不同，因此疏散的等級應由真正實質的地層變動的發生來設定比較恰當。

表 5 重新建立之雨量基準值

	1 小時	累積 24 小時	累積 48 小時
注意	20mm	100mm	—
警戒	—	150mm	200mm

1.2 雨量基準值設定的驗證

由歷年來的 B9 測站雨量與 B1 的地下水位的關係來看，歷年來 24 小時累積雨量超過 150mm/24 小時在監測數據的中共有六次，而由中央氣象局的資料顯示這六次分別為 1996 年的賀伯(HERB)颱風、1997 年的卡絲(CASS)颱風、1998 年的瑞伯(ZEB)颱風、2000 年的碧利斯(BILIS)颱風、象神(XANGXANE)颱風以及 2001 年桃芝(TORAJI)等，圖 5、圖 6 及圖 7 分別為每小時雨量、24 小時累積雨量、48 小時累積雨量與 B1 測站地下水位的關係，可以看出地下水位上升到最高時幾乎都是在 24 小時累積雨量超過 150mm/24 小時及 48 小時累積雨量超過 200mm/48 小時的時候產生，因此以 24 小時累積雨量及 48 小時累積雨量來設定基準值能夠掌握梨山現地的狀況，表 6 到表 12 為六次 24 小時累積雨量超過 150mm 的雨量與地下水位的詳細監測數據。桃芝颱風在梨山地區最大時降雨量 27.5mm 已超過注意標準，因此在表 11 中加以探討累積雨量與安全係數之情況，歷年來之颱風對雨量基準值之驗證以 1996 年的賀伯颱風為例，梨山地區雨量之觀察期間，自 1996/7/30 下午兩點開始不停的降雨，到了隔天下午四點 24 小時累積雨量超過 100mm，此時已達注意的基準值，水位自降雨開始升高 6.5 公尺，此時此區安全係數為 1.05，經過 6 小時的暴雨後 24 小時累積雨量超過 150mm 的警戒基準值，此時地下水位高程上升至 1902.741 公尺，此時相對於開始降雨前的地下水位升高了 12 公尺，其安全係數降至 0.99，之後一個小時 48 小時累積雨量超過 200mm 的警戒基準值，此時相對於降雨前的地下水位升高了 13.5 公尺，使安全係數降為 0.98，而最高水位上升約 15 公尺，出現在警戒後四個小時，而在其他的四場暴雨中，注意及警戒狀態時 P1 剖面的安全係數列於各表下方，而觀察其地下水位上升的情形發現所設定的基準值都能掌握雨量對於地下水位及剖面安全係數的影響，故所設定基準值應適合於梨山的狀況。

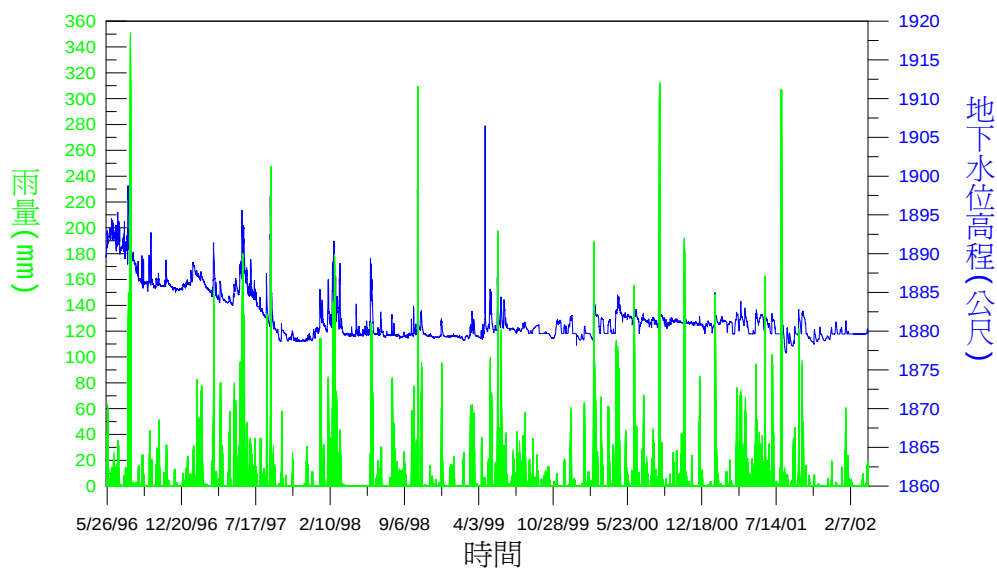
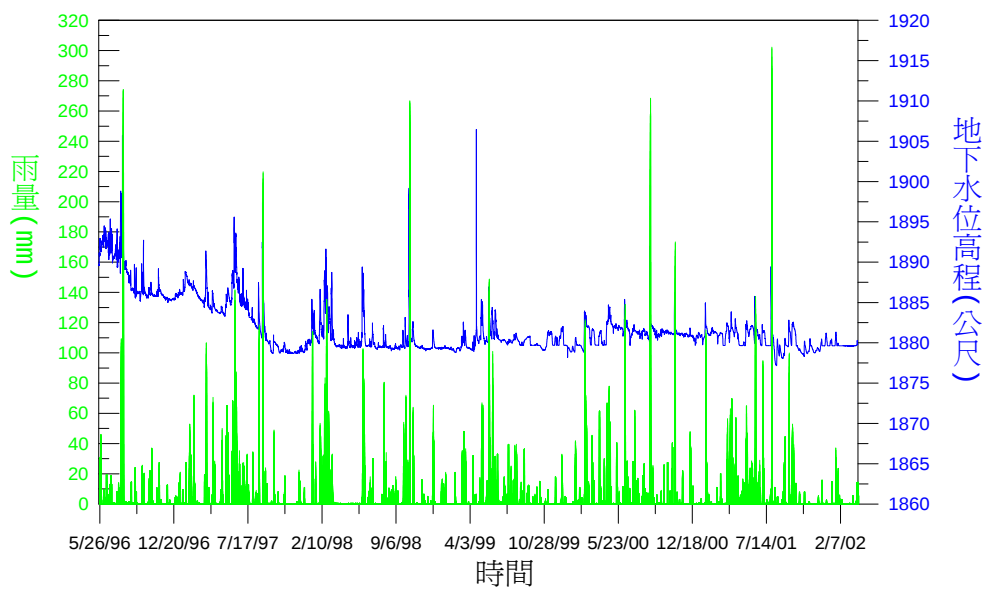
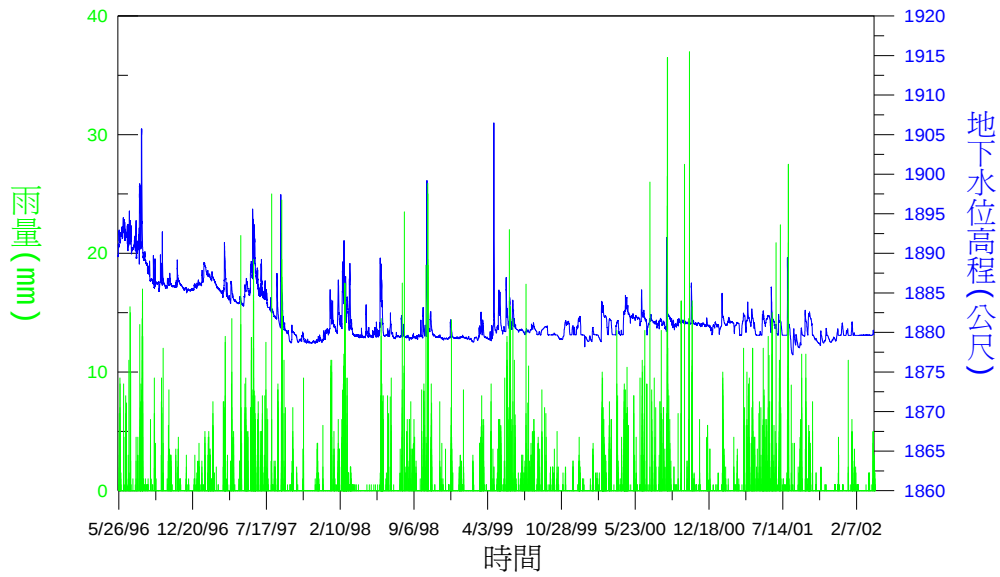


表 6 賀伯(HERB)颱風期間(1996/7/31~1996/8/1) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
1996/7/30	11:00:00	0	0	0	2	1890.811	-4.93	-4.64
1996/7/30	12:00:00	0	0	0	2	1890.631	-5.18	-4.78
1996/7/30	13:00:00	0	0	0	2	1890.741	-3.02	-4.64
1996/7/30	14:00:00	2.5	2.5	2.5	4.5	1891.031	-0.6	-4.3
1996/7/30	15:00:00	4.5	7	7	9	1891.091	0.15	-4.17
1996/7/30	16:00:00	8.5	15.5	15.5	17.5	1891.111	0.47	-4.07
1996/7/30	17:00:00	2.5	18	18	20	1891.151	0.61	-3.98
1996/7/30	18:00:00	4.9	22.9	22.9	24.9	1891.241	0.7	-3.89
1996/7/30	19:00:00	3	25.9	25.9	27.9	1892.311	1.73	-2.84
1996/7/30	20:00:00	2	27.9	27.9	29.9	1895.441	4.83	0.26
1996/7/30	21:00:00	2	29.9	29.9	30.4	1896.661	5.95	1.46
1996/7/30	22:00:00	1	30.9	30.9	30.9	1897.561	6.22	2.33
1996/7/30	23:00:00	0.5	31.4	31.4	31.4	1897.681	6.22	2.43
1996/7/31	00:00:00	1.5	32.9	32.9	32.9	1897.481	6.09	2.17
1996/7/31	01:00:00	4	36.9	36.9	36.9	1897.191	6.03	1.84
1996/7/31	02:00:00	1	37.9	37.9	37.9	1896.881	5.85	1.49
1996/7/31	03:00:00	1	38.9	38.9	38.9	1896.791	5.85	1.38
1996/7/31	04:00:00	1.5	40.4	40.4	40.4	1896.941	5.93	1.51
1996/7/31	05:00:00	2.5	42.9	42.9	42.9	1897.211	6.15	1.75
1996/7/31	06:00:00	2	44.9	44.9	44.9	1897.281	6.24	1.79
1996/7/31	07:00:00	5	49.9	49.9	49.9	1897.331	6.34	1.82
1996/7/31	08:00:00	8	57.9	57.9	57.9	1897.431	6.53	1.87
1996/7/31	09:00:00	3.5	61.4	61.4	61.4	1897.731	6.85	2.12
1996/7/31	10:00:00	3	64.4	64.4	64.4	1897.511	6.7	1.85
1996/7/31	11:00:00	1.5	65.9	65.9	65.9	1896.031	5.4	0.29
1996/7/31	12:00:00	6	71.9	71.9	71.9	1895.631	4.89	-0.18
1996/7/31	13:00:00	14.5	86.4	86.4	86.4	1895.561	4.53	1.8
1996/7/31	14:00:00	7	90.9	93.4	93.4	1895.801	4.71	4.17
1996/7/31	15:00:00	9	95.4	102.4	102.4	1896.361	5.25	5.42
▲ 1996/7/31	16:00:00	14.5	101.4	116.9	116.9	1897.381	6.23	6.74
1996/7/31	17:00:00	9.5	108.4	126.4	126.4	1898.911	7.67	8.37
1996/7/31	18:00:00	11	114.5	137.4	137.4	1900.391	8.08	9.85
1996/7/31	19:00:00	13	124.5	150.4	150.4	1900.591	5.15	10.01
1996/7/31	20:00:00	13.9	136.4	164.3	164.3	1901.081	4.42	10.47
1996/7/31	21:00:00	12.5	146.9	176.8	176.8	1901.761	4.2	11.05
● 1996/7/31	22:00:00	16	161.9	192.8	192.8	1902.741	5.06	11.4
★ 1996/7/31	23:00:00	16	177.4	208.8	208.8	1904.241	6.76	12.78

註: ▲ 24 小時累積雨量達注意狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.05

● 24 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 0.99

★ 48 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 0.98

表 6(續) 賀伯(HERB)颱風期間(1996/7/31~1996/8/1) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
1996/8/1	00:00:00	13	188.9	221.8	221.8	1905.061	7.87	13.67
1996/8/1	01:00:00	13	197.9	234.8	234.8	1905.551	8.67	14.39
1996/8/1	02:00:00	10	206.9	244.8	244.8	1905.711	8.92	14.68
1996/8/1	03:00:00	10	215.9	254.8	254.8	1905.651	8.71	14.71
1996/8/1	04:00:00	3.5	217.9	258.3	258.3	1905.481	8.27	14.47
1996/8/1	05:00:00	16	231.4	274.3	274.3	1905.261	7.98	14.2
1996/8/1	06:00:00	10.9	240.3	285.2	285.2	1905.001	7.67	13.96
1996/8/1	07:00:00	15	250.3	300.2	300.2	1904.961	7.53	13.97
1996/8/1	08:00:00	17	259.3	317.2	317.2	1904.991	7.26	14.09
1996/8/1	09:00:00	13	268.8	330.2	330.2	1905.361	7.85	14.48
1996/8/1	10:00:00	7.5	273.3	337.7	337.7	1905.631	9.6	14.82
1996/8/1	11:00:00	2.5	274.3	340.2	340.2	1905.741	10.11	15.11
1996/8/1	12:00:00	4.5	272.8	344.7	344.7	1905.581	10.02	14.84
1996/8/1	13:00:00	6.5	264.8	351.2	351.2	1905.141	9.34	14.11
1996/8/1	14:00:00	1	258.8	349.7	352.2	1904.651	8.29	13.56
1996/8/1	15:00:00	2	251.8	347.2	354.2	1904.241	6.86	13.13
1996/8/1	16:00:00	1	238.3	339.7	355.2	1903.781	4.87	12.63
1996/8/1	17:00:00	1	229.8	338.2	356.2	1903.161	2.77	11.92
1996/8/1	18:00:00	0.5	219.3	333.8	356.7	1902.741	2.15	10.43
1996/8/1	19:00:00	0	206.3	330.8	356.7	1902.261	1.18	6.82
1996/8/1	20:00:00	0	192.4	328.8	356.7	1901.781	0.02	5.12
1996/8/1	21:00:00	0	179.9	326.8	356.7	1901.301	-1.44	3.74
1996/8/1	22:00:00	0	163.9	325.8	356.7	1900.941	-3.3	3.26
1996/8/1	23:00:00	0	147.9	325.3	356.7	1900.691	-4.37	3.21
1996/8/2	00:00:00	0	134.9	323.8	356.7	1900.391	-5.16	3.2
1996/8/2	01:00:00	0	121.9	319.8	356.7	1899.981	-5.73	3.1
1996/8/2	02:00:00	0	111.9	318.8	356.7	1899.641	-6.01	2.85
1996/8/2	03:00:00	0	101.9	317.8	356.7	1899.381	-6.1	2.44
1996/8/2	04:00:00	0	98.4	316.3	356.7	1899.141	-6.12	1.93
1996/8/2	05:00:00	0	82.4	313.8	356.7	1898.911	-6.09	1.63
1996/8/2	06:00:00	0	71.5	311.8	356.7	1898.741	-6.22	1.41

表 7 卡絲(CASS)颱風期間(1997/8/29~1997/8/30) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
1997/8/28	06:00:00	0	0	0	0	1880.631	-0.15	-0.33
1997/8/28	07:00:00	0.5	0.5	0.5	0.5	1880.631	-0.15	-0.32
1997/8/28	08:00:00	2.5	3	3	3	1880.611	-0.17	-0.34
1997/8/28	09:00:00	0.5	3.5	3.5	3.5	1880.611	-0.17	-0.34
1997/8/28	10:00:00	1.5	5	5	5	1880.601	-0.16	-0.34
1997/8/28	11:00:00	2	7	7	7	1880.591	-0.16	-0.35
1997/8/28	12:00:00	7.5	14.5	14.5	14.5	1880.591	-0.16	-0.34
1997/8/28	13:00:00	1	15.5	15.5	15.5	1880.581	-0.17	-0.35
1997/8/28	14:00:00	1	16.5	16.5	16.5	1880.581	-0.16	-0.33
1997/8/28	15:00:00	0.5	17	17	17	1880.561	-0.18	-0.35
1997/8/28	16:00:00	1.5	18.5	18.5	18.5	1880.561	-0.17	-0.34
1997/8/28	17:00:00	7	25.5	25.5	25.5	1880.561	-0.16	-0.33
1997/8/28	18:00:00	1	26.5	26.5	26.5	1880.601	-0.1	-0.28
1997/8/28	19:00:00	1.5	28	28	28	1880.641	-0.06	-0.22
1997/8/28	20:00:00	3.5	31.5	31.5	31.5	1880.681	-0.01	-0.17
1997/8/28	21:00:00	3.5	35	35	35	1880.751	0.07	-0.09
1997/8/28	22:00:00	5	40	40	40	1880.851	0.19	0.02
1997/8/28	23:00:00	5	45	45	45	1880.911	0.26	0.1
1997/8/29	00:00:00	6.5	51.5	51.5	51.5	1880.991	0.34	0.18
1997/8/29	01:00:00	5.9	57.4	57.4	57.4	1881.151	0.51	0.35
1997/8/29	02:00:00	7	64.4	64.4	64.4	1881.411	0.77	0.62
1997/8/29	03:00:00	15	79.4	79.4	79.4	1881.781	1.15	0.99
▲	1997/8/29	24.5	103.9	103.9	103.9	1882.191	1.56	1.4
	1997/8/29	19.5	123.4	123.4	123.4	1882.711	2.08	1.92
	1997/8/29	12	135.4	135.4	135.4	1884.991	4.36	4.21
	1997/8/29	6	140.9	141.4	141.4	1889.651	9.04	8.87
	1997/8/29	8	146.4	149.4	149.4	1891.301	10.69	10.52
●	1997/8/29	5.5	151.4	154.9	154.9	1891.941	11.34	11.16
	1997/8/29	3.5	153.4	158.4	158.4	1892.401	11.81	11.64
	1997/8/29	2	153.4	160.4	160.4	1892.501	11.91	11.75
	1997/8/29	9	154.9	169.4	169.4	1892.431	11.85	11.68
	1997/8/29	14.9	168.8	184.3	184.3	1892.101	11.52	11.35
	1997/8/29	15	182.8	199.3	199.3	1891.741	11.18	11
★	1997/8/29	18	200.3	217.3	217.3	1892.041	11.48	11.3
	1997/8/29	14	212.8	231.3	231.3	1894.291	13.73	13.56
	1997/8/29	9	214.8	240.3	240.3	1896.811	16.21	16.09
	1997/8/29	6	219.8	246.3	246.3	1897.411	16.77	16.71

註: ▲ 24 小時累積雨量達注意狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.39

● 24 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.35

★ 48 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.11

表 7(續) 卡絲(CASS)颱風期間(1997/8/29~1997/8/30) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
1997/8/29	19:00:00	0.5	218.8	246.8	246.8	1896.751	16.07	16.05
1997/8/29	20:00:00	0	215.3	246.8	246.8	1896.631	15.88	15.94
1997/8/29	21:00:00	0.5	212.3	247.3	247.3	1896.311	15.46	15.63
1997/8/29	22:00:00	0	207.3	247.3	247.3	1895.731	14.82	15.07
1997/8/29	23:00:00	0	202.3	247.3	247.3	1894.811	13.82	14.16
1997/8/30	00:00:00	0	195.8	247.3	247.3	1893.901	12.75	13.25
1997/8/30	01:00:00	0	189.9	247.3	247.3	1893.141	11.73	12.5
1997/8/30	02:00:00	0	182.9	247.3	247.3	1892.441	10.66	11.8
1997/8/30	03:00:00	0	167.9	247.3	247.3	1891.991	9.8	11.36
1997/8/30	04:00:00	0	143.4	247.3	247.3	1891.661	8.95	11.03
1997/8/30	05:00:00	0	123.9	247.3	247.3	1891.391	6.4	10.76
1997/8/30	06:00:00	0	111.9	247.3	247.3	1891.141	1.49	10.51
1997/8/30	07:00:00	0	105.9	246.8	247.3	1890.861	-0.44	10.25
1997/8/30	08:00:00	0.5	98.4	244.8	247.8	1890.581	-1.36	9.97
1997/8/30	09:00:00	0	92.9	244.3	247.8	1890.131	-2.27	9.53
1997/8/30	10:00:00	0	89.4	242.8	247.8	1889.531	-2.97	8.94
1997/8/30	11:00:00	0	87.4	240.8	247.8	1889.201	-3.23	8.61
1997/8/30	12:00:00	0	78.4	233.3	247.8	1888.981	-3.12	8.4
1997/8/30	13:00:00	0	63.5	232.3	247.8	1888.781	-2.96	8.2
1997/8/30	14:00:00	0	48.5	231.3	247.8	1888.611	-3.43	8.05
1997/8/30	15:00:00	0	30.5	230.8	247.8	1888.531	-5.76	7.97
1997/8/30	16:00:00	0	16.5	229.3	247.8	1888.361	-8.45	7.8

表 8 瑞伯(ZEB)颱風期間(1998/10/14~1998/10/16)時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
1998/10/14	17:00:00	0	0	0	4	1879.601	-0.09	-0.41
1998/10/14	18:00:00	0	0	0	0	1879.601	-0.08	-0.39
1998/10/14	19:00:00	0	0	0	0	1879.591	-0.07	-0.4
1998/10/14	20:00:00	0	0	0	0	1879.591	-0.06	-0.39
1998/10/14	21:00:00	0	0	0	0	1879.581	-0.07	-0.38
1998/10/14	22:00:00	0	0	0	0	1879.581	-0.07	-0.37
1998/10/14	23:00:00	0.5	0.5	0.5	0.5	1879.581	-0.07	-0.36
1998/10/15	00:00:00	0	0.5	0.5	0.5	1879.561	-0.09	-0.38
1998/10/15	01:00:00	1	1.5	1.5	1.5	1879.561	-0.08	-0.37
1998/10/15	02:00:00	2.5	4	4	4	1879.561	-0.08	-0.35
1998/10/15	03:00:00	0	4	4	4	1879.561	-0.08	-0.33
1998/10/15	04:00:00	0	4	4	4	1879.551	-0.09	-0.33
1998/10/15	05:00:00	0.5	4.5	4.5	4.5	1879.541	-0.09	-0.31
1998/10/15	06:00:00	0.5	5	5	5	1879.541	-0.09	-0.3
1998/10/15	07:00:00	0	5	5	5	1879.531	-0.08	-0.28
1998/10/15	08:00:00	0	5	5	5	1879.531	-0.07	-0.26
1998/10/15	09:00:00	2.5	7.5	7.5	7.5	1879.531	-0.07	-0.25
1998/10/15	10:00:00	5	12.5	12.5	12.5	1879.531	-0.07	-0.22
1998/10/15	11:00:00	8.9	21.4	21.4	21.4	1879.531	-0.07	-0.21
1998/10/15	12:00:00	9.5	30.9	30.9	30.9	1879.531	-0.07	-0.2
1998/10/15	13:00:00	9	39.9	39.9	39.9	1879.541	-0.06	-0.17
1998/10/15	14:00:00	11	50.9	50.9	50.9	1879.591	-0.01	-0.11
1998/10/15	15:00:00	12.5	63.4	63.4	63.4	1879.851	0.25	0.15
1998/10/15	16:00:00	10.5	73.9	73.9	73.9	1880.381	0.78	0.68
1998/10/15	17:00:00	18	91.9	91.9	91.9	1881.181	1.58	1.49
▲	1998/10/15	14	105.9	105.9	105.9	1882.091	2.5	2.41
●	1998/10/15	19.5	125.4	125.4	125.4	1888.001	8.41	8.34
●	1998/10/15	25.9	151.3	151.3	151.3	1891.881	12.3	12.23
●	1998/10/15	19	170.3	170.3	170.3	1898.331	18.75	18.68
★	1998/10/15	25	195.3	195.3	195.3	1896.711	17.13	17.06
★	1998/10/15	12.5	207.3	207.8	207.8	1898.211	18.65	18.56
★	1998/10/16	11	218.3	218.8	218.8	1898.181	18.62	18.53
★	1998/10/16	13	230.3	231.8	231.8	1896.781	17.22	17.14
★	1998/10/16	13	240.8	244.8	244.8	1896.741	17.18	17.1
★	1998/10/16	9.5	250.3	254.3	254.3	1898.541	18.99	18.9
★	1998/10/16	5	255.3	259.3	259.3	1899.181	19.64	19.54
★	1998/10/16	5	259.8	264.3	264.3	1898.711	19.17	19.08
★	1998/10/16	5.5	264.8	269.8	269.8	1896.841	17.31	17.21

註: ▲ 24 小時累積雨量達注意狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.42
 ● 24 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.38
 ★ 48 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.04

表 8(續) 瑞伯(ZEB)颱風期間(1998/10/14~1998/10/16)時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
1998/10/16	07:00:00	1.5	266.3	271.3	271.3	1893.981	14.45	14.37
1998/10/16	08:00:00	0.5	266.8	271.8	271.8	1891.661	12.13	12.06
1998/10/16	09:00:00	1	265.3	272.8	272.8	1890.751	11.22	11.15
1998/10/16	10:00:00	2.5	262.8	275.3	275.3	1889.201	9.67	9.6
1998/10/16	11:00:00	3.5	257.4	278.8	278.8	1888.011	8.48	8.41
1998/10/16	12:00:00	5.9	253.8	284.7	284.7	1887.191	7.65	7.59
1998/10/16	13:00:00	8	252.8	292.7	292.7	1886.591	7	6.99
1998/10/16	14:00:00	6	247.8	298.7	298.7	1886.161	6.31	6.56
1998/10/16	15:00:00	5	240.3	303.7	303.7	1885.861	5.48	6.26
1998/10/16	16:00:00	3	232.8	306.7	306.7	1885.701	4.52	6.1
1998/10/16	17:00:00	2	216.8	308.7	308.7	1885.861	3.77	6.26
1998/10/16	18:00:00	0.5	203.3	309.2	309.2	1886.351	-1.65	6.76
1998/10/16	19:00:00	0	183.8	309.2	309.2	1886.561	-5.32	6.97
1998/10/16	20:00:00	0	157.9	309.2	309.2	1886.451	-11.88	6.87
1998/10/16	21:00:00	0	138.9	309.2	309.2	1886.231	-10.48	6.65
1998/10/16	22:00:00	0	113.9	309.2	309.2	1885.951	-12.26	6.37
1998/10/16	23:00:00	0	101.4	308.7	309.2	1885.701	-12.48	6.14
1998/10/17	00:00:00	0	90.4	308.7	309.2	1885.451	-11.33	5.89
1998/10/17	01:00:00	0	77.4	307.7	309.2	1885.201	-11.54	5.64
1998/10/17	02:00:00	0	64.4	305.2	309.2	1884.951	-13.59	5.39
1998/10/17	03:00:00	0	54.9	305.2	309.2	1884.781	-14.4	5.23
1998/10/17	04:00:00	0	49.9	305.2	309.2	1884.611	-14.1	5.07
1998/10/17	05:00:00	0	44.9	304.7	309.2	1884.481	-12.36	4.94
1998/10/17	06:00:00	0	39.4	304.2	309.2	1884.311	-9.67	4.78
1998/10/17	07:00:00	0	37.9	304.2	309.2	1884.201	-7.46	4.67
1998/10/17	08:00:00	0	37.4	304.2	309.2	1884.091	-6.66	4.56
1998/10/17	09:00:00	0	36.4	301.7	309.2	1883.991	-5.21	4.46
1998/10/17	10:00:00	0	33.9	296.7	309.2	1883.881	-4.13	4.35
1998/10/17	11:00:00	0	30.4	287.8	309.2	1883.761	-3.43	4.23
1998/10/17	12:00:00	0	24.5	278.3	309.2	1883.651	-2.94	4.11
1998/10/17	13:00:00	0	16.5	269.3	309.2	1883.551	-2.61	3.96
1998/10/17	14:00:00	0	10.5	258.3	309.2	1883.441	-2.42	3.59
1998/10/17	14:00:00	0	5.5	245.8	309.2	1883.441	-2.26	3.06
1998/10/17	15:00:00	0	2.5	235.3	309.2	1883.311	-2.55	2.13
1998/10/17	16:00:00	0	0.5	217.3	309.2	1883.211	-3.14	1.12
1998/10/17	17:00:00	0	0	203.3	309.2	1883.131	-3.43	-4.87
1998/10/17	19:00:00	0	0	183.8	309.2	1882.941	-3.51	-8.94
1998/10/17	20:00:00	0	0	157.9	309.2	1882.881	-3.35	-15.45
1998/10/17	21:00:00	0	0	138.9	309.2	1882.811	-3.14	-13.9
1998/10/17	22:00:00	0	0	113.9	309.2	1882.751	-2.95	-15.46

表 9 碧利斯(BILIS)颱風期間(2000/8/21~2000/8/23)時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
2000/8/21	21:00:00	0	0	8	8	1880.711	0.27	0.13
2000/8/21	22:00:00	0	0	8	8	1880.701	0.24	0.14
2000/8/21	23:00:00	0	0	8	8	1880.691	0.2	0.11
2000/8/22	00:00:00	0	0	8	8	1880.661	0.15	0.1
2000/8/22	01:00:00	0	0	8	8	1880.651	0.11	0.09
2000/8/22	02:00:00	0	0	8	8	1880.641	0.08	0.06
2000/8/22	03:00:00	0	0	7.5	8	1880.611	0.02	0.05
2000/8/22	04:00:00	0	0	7.5	8	1880.601	0	0.04
2000/8/22	05:00:00	0.5	0.5	8	8.5	1880.581	-0.03	0.03
2000/8/22	06:00:00	0	0.5	8	8.5	1880.561	-0.07	0.02
2000/8/22	07:00:00	0.5	1	8.5	9	1880.531	-0.11	0
2000/8/22	08:00:00	2.5	3.5	11	11.5	1880.501	-0.15	-0.01
2000/8/22	09:00:00	3	6.5	14	14.5	1880.461	-0.2	-0.04
2000/8/22	10:00:00	2	8.5	16	16.5	1880.451	-0.23	-0.04
2000/8/22	11:00:00	4.5	13	20.5	21	1880.391	-0.3	-0.09
2000/8/22	12:00:00	7	20	27.5	28	1880.341	-0.36	-0.11
2000/8/22	13:00:00	6.5	26.5	34	34.5	1880.331	-0.38	-0.1
2000/8/22	14:00:00	2.5	29	30	37	1880.301	-0.41	-0.11
2000/8/22	15:00:00	3.5	32.5	33	40.5	1880.241	-0.49	-0.15
2000/8/22	16:00:00	5	37.5	38	45.5	1880.191	-0.54	-0.19
2000/8/22	17:00:00	7	44.5	45	52.5	1880.141	-0.59	-0.24
2000/8/22	18:00:00	11.5	56	56	64	1880.131	-0.6	-0.26
2000/8/22	19:00:00	15	71	71	79	1880.131	-0.58	-0.27
2000/8/22	20:00:00	10	81	81	89	1880.201	-0.51	-0.21
2000/8/22	21:00:00	13.5	94.5	94.5	102.5	1880.391	-0.31	-0.05
▲	2000/8/22	26.5	121	121	129	1880.681	-0.01	0.22
●	2000/8/22	24	145	145	153	1881.051	0.39	0.56
★	2000/8/23	36.5	181.5	181.5	189.5	1883.991	3.34	3.48
	2000/8/23	15.5	197	197	205	1891.991	11.35	11.45
	2000/8/23	14	211	211	219	1891.651	11.04	11.09
	2000/8/23	10.5	221.5	221.5	229	1891.101	10.5	10.51
	2000/8/23	7	228.5	228.5	236	1890.711	10.13	10.11
	2000/8/23	5.5	233.5	234	241.5	1890.241	9.68	9.63
	2000/8/23	7	240.5	241	248.5	1889.541	9.01	8.91
	2000/8/23	6	246	247	254.5	1888.881	8.38	8.24
	2000/8/23	8.5	252	255.5	263	1888.341	7.88	7.69
	2000/8/23	9	258	264.5	272	1887.961	7.51	7.3
	2000/8/23	1	257	265.5	273	1887.691	7.3	7.01

註: ▲ 24 小時累積雨量達注意狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.42

● 24 小時累積雨量達警戒狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.37

★ 48 小時累積雨量達警戒狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.32

表 9(續) 碧利斯(BILIS)颱風期間(2000/8/21~2000/8/23)時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
2000/8/23	11:00:00	6	258.5	271.5	279	1887.601	7.26	6.91
2000/8/23	12:00:00	5.5	257	277	284.5	1887.451	7.12	6.75
2000/8/23	13:00:00	8.5	259	285.5	293	1887.161	6.86	6.45
2000/8/23	14:00:00	12	268.5	297.5	298.5	1886.901	6.66	6.19
2000/8/23	15:00:00	2.5	267.5	300	300.5	1886.761	6.57	6.03
2000/8/23	16:00:00	1.5	264	301.5	302	1886.881	6.74	6.15
2000/8/23	17:00:00	1	258	302.5	303	1887.061	6.93	6.33
2000/8/23	18:00:00	1	247.5	303.5	303.5	1886.951	6.82	6.22
2000/8/23	19:00:00	1	233.5	304.5	304.5	1886.731	6.53	6.02
2000/8/23	20:00:00	0	223.5	304.5	304.5	1886.491	6.1	5.78
2000/8/23	21:00:00	0.5	210.5	305	305	1886.281	5.6	5.58
2000/8/23	22:00:00	0	184	305	305	1886.081	5.03	5.39
2000/8/23	23:00:00	0	160	305	305	1885.881	1.89	5.22
2000/8/24	00:00:00	1.5	125	306.5	306.5	1885.731	-6.26	5.08
2000/8/24	01:00:00	2.5	112	309	309	1885.551	-6.1	4.91
2000/8/24	02:00:00	0.5	98.5	309.5	309.5	1885.381	-5.72	4.77
2000/8/24	03:00:00	2	90	311.5	311.5	1885.201	-5.51	4.6
2000/8/24	04:00:00	0.5	83.5	312	312	1885.031	-5.21	4.45
2000/8/24	05:00:00	0.5	78.5	312	312.5	1884.901	-4.64	4.34
2000/8/24	06:00:00	0.5	72	312.5	313	1884.781	-4.1	4.25
2000/8/24	07:00:00	0.5	66.5	312.5	313.5	1884.701	-3.64	4.2
2000/8/24	08:00:00	0.5	58.5	310.5	314	1884.611	-3.35	4.15
2000/8/24	09:00:00	2	51.5	309.5	316	1884.541	-3.15	4.09
2000/8/24	10:00:00	1	51.5	308.5	317	1884.481	-3.12	4.09
2000/8/24	11:00:00	0	45.5	304	317	1884.431	-3.02	4.09
2000/8/24	12:00:00	1	41	298	318	1884.361	-2.8	4.03
2000/8/24	13:00:00	1	33.5	292.5	319	1884.311	-2.59	4.01
2000/8/24	14:00:00	0	21.5	290	319	1884.261	-2.5	4.02
2000/8/24	15:00:00	0	19	286.5	319	1884.191	-2.69	4
2000/8/24	16:00:00	0	17.5	281.5	319	1884.081	-2.98	3.94
2000/8/24	17:00:00	0	16.5	274.5	319	1883.981	-2.97	3.85
2000/8/24	18:00:00	0	15.5	263	319	1883.891	-2.84	3.76
2000/8/24	19:00:00	0	14.5	248	319	1883.791	-2.7	3.59
2000/8/24	20:00:00	0	14.5	238	319	1883.581	-2.7	3.19
2000/8/24	21:00:00	0	14	224.5	319	1883.411	-2.67	2.73
2000/8/24	22:00:00	0	14	198	319	1883.301	-2.58	2.25
2000/8/24	23:00:00	0	14	174	319	1883.201	-2.53	-0.79
2000/8/25	00:00:00	0	12.5	137.5	319	1883.101	-2.45	-8.89
2000/8/25	01:00:00	0	10	122	319	1883.011	-2.37	-8.64

表 10 象神(XANG SANE)颱風期間(2000/10/30~2000/11/1)時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr上升	48hr上升
2000/10/30	23:00:00	0	11.5	11.5	11.5	1881.151	0.01	0.07
2000/10/31	00:00:00	0	11.5	11.5	11.5	1881.151	0	0.07
2000/10/31	01:00:00	0	11.5	11.5	11.5	1881.151	0	0.07
2000/10/31	02:00:00	0	11.5	11.5	11.5	1881.151	-0.01	0.06
2000/10/31	03:00:00	0	11.5	11.5	11.5	1881.151	-0.01	0.05
2000/10/31	04:00:00	0.5	12	12	12	1881.151	-0.01	0.05
2000/10/31	05:00:00	1	13	13	13	1881.141	-0.04	0.04
2000/10/31	06:00:00	1.5	14.5	14.5	14.5	1881.141	-0.04	0.04
2000/10/31	07:00:00	2.5	16.5	17	17	1881.131	-0.05	0.03
2000/10/31	08:00:00	4.5	19.5	21.5	21.5	1881.131	-0.05	0.03
2000/10/31	09:00:00	5	23	26.5	26.5	1881.131	-0.05	0.02
2000/10/31	10:00:00	4	25	30.5	30.5	1881.131	-0.05	0.02
2000/10/31	11:00:00	6	30.5	36.5	36.5	1881.141	-0.05	0.01
2000/10/31	12:00:00	10	40	46.5	46.5	1881.151	-0.04	0.02
2000/10/31	13:00:00	8	48	54.5	54.5	1881.181	-0.01	0.05
2000/10/31	14:00:00	6.5	54	61	61	1881.251	0.06	0.12
2000/10/31	15:00:00	3.5	57.5	64.5	64.5	1881.381	0.19	0.25
2000/10/31	16:00:00	7	64	71.5	71.5	1881.531	0.34	0.4
2000/10/31	17:00:00	11	74	82.5	82.5	1881.701	0.52	0.57
2000/10/31	18:00:00	7	80	89.5	89.5	1881.911	0.73	0.78
2000/10/31	19:00:00	15.5	94	105	105	1882.091	0.93	0.96
▲	2000/10/31	7	100.5	112	112	1882.331	1.18	1.2
	2000/10/31	10.5	111	122.5	122.5	1882.661	1.51	1.53
	2000/10/31	16	127	138.5	138.5	1883.131	1.98	1.99
	2000/10/31	6.5	133.5	145	145	1883.711	2.56	2.57
	2000/11/1	11.5	145	156.5	156.5	1884.101	2.95	2.95
●	2000/11/1	14.5	159.5	171	171	1884.401	3.25	3.25
	2000/11/1	4.5	164	175.5	175.5	1884.801	3.65	3.64
	2000/11/1	2.5	166.5	178	178	1885.611	4.46	4.45
	2000/11/1	6	172	184	184	1885.911	4.77	4.75
	2000/11/1	3	174	187	187	1885.901	4.76	4.72
	2000/11/1	8.5	181	195.5	195.5	1885.801	4.67	4.62
★	2000/11/1	7.5	186	202.5	203	1885.691	4.56	4.51
	2000/11/1	6	187.5	207	209	1885.671	4.54	4.49
	2000/11/1	7.5	190	213	216.5	1885.751	4.62	4.57
	2000/11/1	3.5	189.5	214.5	220	1885.941	4.8	4.76

註: ▲ 24 小時累積雨量達注意狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.47

● 24 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.46, 地下水位變動很小。

★ 48 小時累積雨量達警戒狀態, 此時 P1 剖面安全係數為 1.45, 地下水位變動很小。

表 10(續) 象神(XANG SANE)颱風期間(2000/10/30~2000/11/1) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24 hrs	48 hrs	72 hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2000/11/1	11:00:00	0	183.5	214	220	1886.121	4.97	4.93
2000/11/1	12:00:00	0.5	174	214	220.5	1886.211	5.03	5.02
2000/11/1	13:00:00	0	166	214	220.5	1886.251	5	5.06
2000/11/1	14:00:00	0	159.5	213.5	220.5	1886.171	4.79	4.98
2000/11/1	15:00:00	0	156	213.5	220.5	1886.061	4.53	4.87
2000/11/1	16:00:00	0	149	213	220.5	1885.911	4.21	4.72
2000/11/1	17:00:00	0	138	212	220.5	1885.741	3.83	4.56
2000/11/1	18:00:00	0	131	211	220.5	1885.551	3.46	4.37
2000/11/1	19:00:00	0	115.5	209.5	220.5	1885.351	3.02	4.19
2000/11/1	20:00:00	0	108.5	209	220.5	1885.191	2.53	4.04
2000/11/1	21:00:00	0	98	209	220.5	1885.051	1.92	3.9
2000/11/1	22:00:00	0	82	209	220.5	1884.951	1.24	3.8
2000/11/1	23:00:00	0	75.5	209	220.5	1884.851	0.75	3.7
2000/11/2	00:00:00	0	64	209	220.5	1884.721	0.32	3.57
2000/11/2	01:00:00	0	49.5	209	220.5	1884.571	-0.23	3.42
2000/11/2	02:00:00	0	45	209	220.5	1884.451	-1.16	3.3
2000/11/2	03:00:00	0	42.5	209	220.5	1884.271	-1.64	3.12
2000/11/2	04:00:00	0	36.5	208.5	220.5	1884.101	-1.8	2.96
2000/11/2	05:00:00	0	33.5	207.5	220.5	1883.961	-1.84	2.82
2000/11/2	06:00:00	0	25	206	220.5	1883.811	-1.88	2.68
2000/11/2	07:00:00	0	17.5	203.5	220	1883.611	-2.06	2.48
2000/11/2	08:00:00	0	11.5	199	218.5	1883.401	-2.35	2.27
2000/11/2	09:00:00	0	4	194	217	1883.261	-2.68	2.13
2000/11/2	10:00:00	0	0.5	190	215	1883.151	-2.97	2.01
2000/11/2	11:00:00	0	0.5	184	214.5	1883.041	-3.17	1.89
2000/11/2	12:00:00	0	0	174	214	1882.961	-3.29	1.78
2000/11/2	13:00:00	0	0	166	214	1882.901	-3.27	1.65
2000/11/2	14:00:00	0	0	159.5	213.5	1882.831	-3.23	1.45
2000/11/2	15:00:00	0	0	156	213.5	1882.781	-3.13	1.25
2000/11/2	16:00:00	0	0	149	213	1882.691	-3.05	0.99

表 11 桃芝(TORAJI)颱風期間(2001/07/28~2001/07/31) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24hrs	48hrs	72hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2001/7/28	00:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	01:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	02:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	03:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	04:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	05:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	05:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	07:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	08:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	09:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	10:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	11:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	12:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	13:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	14:00:00	0	8	13	15	1879.641	0	0
2001/7/28	15:00:00	0	2	11.5	15	1879.641	0	0
2001/7/28	16:00:00	0	1	11	15	1879.641	0	0
2001/7/28	17:00:00	0	0.5	10.5	15	1879.641	0	0
2001/7/28	18:00:00	0	0.5	9	15	1879.641	0	0
2001/7/28	19:00:00	0	0.5	8	14.5	1879.641	0	0
2001/7/28	20:00:00	0	0.5	8	13.5	1879.641	0	0
2001/7/28	21:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/28	22:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/28	23:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	00:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	01:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	02:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	03:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	04:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	05:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	06:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	07:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	08:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	09:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	10:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	11:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	12:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0

表 11(續) 桃芝(TORAJI)颱風期間(2001/07/28~2001/07/31) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24hrs	48hrs	72hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2001/7/29	13:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	14:00:00	0	0	8	13	1879.641	0	0
2001/7/29	15:00:00	0	0	2	11.5	1879.641	0	0
2001/7/29	16:00:00	0	0	1	11	1879.641	0	0
2001/7/29	17:00:00	0	0	0.5	10.5	1879.641	0	0
2001/7/29	18:00:00	0	0	0.5	9	1879.641	0	0
2001/7/29	19:00:00	0	0	0.5	8	1879.641	0	0
2001/7/29	20:00:00	0	0	0.5	8	1879.641	0	0
2001/7/29	21:00:00	0	0	0	8	1879.641	0	0
2001/7/29	22:00:00	2	2	2	10	1879.641	0	0
2001/7/29	23:00:00	14.5	16.5	16.5	24.5	1879.641	0	0
2001/7/30	00:00:00	9.5	26	26	34	1879.641	0	0
2001/7/30	01:00:00	9	35	35	43	1879.641	0	0
2001/7/30	02:00:00	13.5	48.5	48.5	56.5	1879.641	0	0
2001/7/30	03:00:00	10	58.5	58.5	66.5	1879.641	0	0
2001/7/30	04:00:00	11.4	69.9	69.9	77.9	1879.641	0	0
2001/7/30	05:00:00	16	85.9	85.9	93.9	1879.641	0	0
▲ 2001/7/30	06:00:00	18.5	104.4	104.4	112.4	1879.641	0	0
2001/7/30	07:00:00	16	120.4	120.4	128.4	1879.641	0	0
● 2001/7/30	08:00:00	17	137.4	137.4	145.4	1879.711	0.07	0.07
2001/7/30	09:00:00	27.5	164.9	164.9	172.9	1880.401	0.76	0.76
2001/7/30	10:00:00	10.5	175.4	175.4	183.4	1881.551	1.91	1.91
2001/7/30	11:00:00	4.5	179.9	179.9	187.9	1882.391	2.75	2.75
2001/7/30	12:00:00	13.5	193.4	193.4	201.4	1883.991	4.35	4.35
★ 2001/7/30	13:00:00	27.5	220.9	220.9	228.9	1888.531	8.89	8.89
2001/7/30	14:00:00	20.9	241.8	241.8	249.8	1889.441	9.8	9.8
2001/7/30	15:00:00	10.5	252.3	252.3	254.3	1888.891	9.25	9.25
2001/7/30	16:00:00	10.5	262.8	262.8	263.8	1888.481	8.84	8.84
2001/7/30	17:00:00	9.5	272.3	272.3	272.8	1888.151	8.51	8.51
2001/7/30	18:00:00	8.5	280.8	280.8	281.3	1887.851	8.21	8.21
2001/7/30	19:00:00	7.5	288.3	288.3	288.8	1887.511	7.87	7.87
2001/7/30	20:00:00	7.5	295.8	295.8	296.3	1887.211	7.57	7.57
2001/7/30	21:00:00	5.5	301.3	301.3	301.3	1887.001	7.36	7.36
2001/7/30	22:00:00	3	302.3	304.3	304.3	1886.741	7.1	7.1

註：▲24 小時累積雨量達注意狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.41

●24 小時累積雨量達警戒狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.40，地下水位仍低。

★48 小時累積雨量達警戒狀態，此時 P1 剖面安全係數為 1.37，地下水位仍低。

表 11(續) 桃芝(TORAJI)颱風期間(2001/07/28~2001/07/31) 時雨量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24hrs	48hrs	72hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2001/7/30	23:00:00	2	289.8	306.3	306.3	1886.461	6.82	6.82
2001/7/31	00:00:00	0.5	280.8	306.8	306.8	1886.191	6.55	6.55
2001/7/31	01:00:00	0	271.8	306.8	306.8	1885.931	6.29	6.29
2001/7/31	02:00:00	0	258.3	306.8	306.8	1885.661	6.02	6.02
2001/7/31	03:00:00	0	248.3	306.8	306.8	1885.411	5.77	5.77
2001/7/31	04:00:00	0	236.9	306.8	306.8	1885.181	5.54	5.54
2001/7/31	05:00:00	0	220.9	306.8	306.8	1884.981	5.34	5.34
2001/7/31	06:00:00	0	202.4	306.8	306.8	1884.781	5.14	5.14
2001/7/31	07:00:00	0	186.4	306.8	306.8	1884.581	4.87	4.94
2001/7/31	08:00:00	0	169.4	306.8	306.8	1884.411	4.01	4.77
2001/7/31	09:00:00	0	141.9	306.8	306.8	1884.261	2.71	4.62
2001/7/31	10:00:00	0	131.4	306.8	306.8	1884.151	1.76	4.51
2001/7/31	11:00:00	0	126.9	306.8	306.8	1884.081	0.09	4.44
2001/7/31	12:00:00	0	113.4	306.8	306.8	1883.961	-4.57	4.32
2001/7/31	13:00:00	0	85.9	306.8	306.8	1883.891	-5.55	4.25
2001/7/31	14:00:00	0	65	306.8	306.8	1883.781	-5.11	4.14
2001/7/31	15:00:00	0	54.5	306.8	306.8	1883.641	-4.84	4
2001/7/31	16:00:00	0	44	306.8	306.8	1883.511	-4.64	3.87
2001/7/31	17:00:00	0	34.5	306.8	306.8	1883.381	-4.47	3.74
2001/7/31	18:00:00	0	26	306.8	306.8	1883.211	-4.3	3.57
2001/7/31	19:00:00	0	18.5	306.8	306.8	1883.051	-4.16	3.41
2001/7/31	20:00:00	0	11	306.8	306.8	1882.941	-4.06	3.3
2001/7/31	21:00:00	0	5.5	306.8	306.8	1882.841	-3.9	3.2
2001/7/31	22:00:00	0	2.5	304.8	306.8	1882.761	-3.7	3.12
2001/7/31	23:00:00	0	0.5	290.3	306.8	1882.701	-3.49	3.06

表 12 納克莉(NAKRI)颱風期間(2002/7/9~2002/7/10)時與量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24hrs	48hrs	72hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2002/7/9	00:00:00	0.5	4	4.5	20.4	1880.611	-0.39	-0.63
2002/7/9	01:00:00	0.5	4.5	5	20.9	1880.611	-0.37	-0.64
2002/7/9	02:00:00	0.5	5	5.5	21.4	1880.601	-0.36	-0.65
2002/7/9	03:00:00	0	5	5	21.4	1880.601	-0.34	-0.65
2002/7/9	04:00:00	0	4.5	5	21.4	1880.601	-0.31	-0.65
2002/7/9	05:00:00	0	4.5	5	21.4	1880.601	-0.3	-0.65
2002/7/9	06:00:00	0	4.5	5	21.4	1880.601	-0.28	-0.64
2002/7/9	07:00:00	0	4.5	5	21.4	1880.601	-0.25	-0.64
2002/7/9	08:00:00	0	4.5	5	21.4	1880.601	-0.23	-0.63
2002/7/9	09:00:00	0	4	5	21.4	1880.601	-0.2	-0.63
2002/7/9	10:00:00	0	4	5	21.4	1880.601	-0.2	-0.61
2002/7/9	11:00:00	0	4	5	21.4	1880.601	-0.18	-0.61
2002/7/9	12:00:00	0.5	4.5	5.5	21.9	1880.591	-0.15	-0.61
2002/7/9	13:00:00	0	4.5	5.5	21.9	1880.591	-0.14	-0.6
2002/7/9	14:00:00	0	4	5.5	19.4	1880.591	-0.11	-0.59
2002/7/9	15:00:00	0	2	5.5	18.5	1880.601	-0.09	-0.58
2002/7/9	16:00:00	2	4	7.5	15.5	1880.601	-0.08	-0.56
2002/7/9	17:00:00	1	5	8.5	9.5	1880.601	-0.06	-0.55
2002/7/9	18:00:00	6.5	11.5	15	15.5	1880.611	-0.04	-0.52
2002/7/9	19:00:00	0	11.5	15	15.5	1880.611	-0.03	-0.5
2002/7/9	20:00:00	0.5	12	15.5	16	1880.631	0	-0.46
2002/7/9	21:00:00	0	12	15.5	16	1880.631	0	-0.43
2002/7/9	22:00:00	0	12	15.5	16	1880.641	0.03	-0.4
2002/7/9	23:00:00	0	12	15.5	16	1880.651	0.04	-0.38
2002/7/10	00:00:00	0	11.5	15.5	16	1880.661	0.05	-0.34
2002/7/10	01:00:00	0	11	15.5	16	1880.691	0.09	-0.29
2002/7/10	02:00:00	2.5	13	18	18.5	1880.701	0.1	-0.26
2002/7/10	03:00:00	4	17	22	22	1880.731	0.13	-0.21
2002/7/10	04:00:00	7.5	24.5	29	29.5	1880.741	0.14	-0.17
2002/7/10	05:00:00	3.5	28	32.5	33	1880.761	0.16	-0.14
2002/7/10	06:00:00	2	30	34.5	35	1880.781	0.18	-0.1
2002/7/10	07:00:00	2	32	36.5	37	1880.801	0.2	-0.05
2002/7/10	08:00:00	1	33	37.5	38	1880.881	0.28	0.05
2002/7/10	09:00:00	2	35	39	40	1880.981	0.38	0.18
2002/7/10	10:00:00	0.5	35.5	39.5	40.5	1881.111	0.51	0.31
2002/7/10	11:00:00	1	36.5	40.5	41.5	1881.261	0.67	0.48
2002/7/10	12:00:00	1	37	41.5	42.5	1881.361	0.77	0.62
2002/7/10	13:00:00	0.5	37.5	42	43	1881.461	0.87	0.73
2002/7/10	14:00:00	0.5	38	42	43.5	1881.541	0.94	0.84

表 12(續) 納克莉(NAKRI)颱風期間(2002/7/9~2002/7/10)時與量與 B1 地下水位變化關係表

B1 日期	時間	雨量	24hrs	48hrs	72hrs	地下水位	24hr 上升	48hr 上升
2002/7/10	15:00:00	4	42	44	47.5	1881.561	0.96	0.87
2002/7/10	16:00:00	8.5	48.5	52.5	56	1881.591	0.99	0.91
2002/7/10	17:00:00	3.5	51	56	59.5	1881.611	1	0.95
2002/7/10	18:00:00	0.5	45	56.5	60	1881.651	1.04	1
2002/7/10	19:00:00	0	45	56.5	60	1881.761	1.13	1.12
2002/7/10	20:00:00	0	44.5	56.5	60	1881.841	1.21	1.21
2002/7/10	21:00:00	0	44.5	56.5	60	1881.941	1.3	1.31
2002/7/10	22:00:00	0	44.5	56.5	60	1882.061	1.41	1.45
2002/7/10	23:00:00	0	44.5	56.5	60	1882.111	1.45	1.5

註：降雨期間很長，但都未達降雨量注意的基準值，地下水位變化也很小。

二、地下水位的基準值

對於梨山地滑地的監測地下位的基準值利用邊坡穩定分析的結果與回歸方程式以及監測數據分析結果綜合來作為危險地下水位基準值的依據。針對梨山地區的潛在滑動面進行分析，建立地下水位與安全係數的關係式，以進行即時系統的構建，並利用 ARCVIEW 進行空間分析後，所得到的剖面情況，以 SLIDE 進行邊坡穩定分析，並由地層判識的結果配合自動監測的資料，進行地質參數之反算與回歸方程式之建立，最後配合監測數據分析之總體研判訂出地下水之基準值。

2.1 地質剖面圖之建立

根據滑動土體的危險度分級與自動監測站的分佈位置，選擇 5 條較危險且具有代表性的剖面線(P1 至 P5)，其相關位置如圖 8 所示。

在剖面圖的繪製上，首先利用 ARCVIEW 建立之梨山地質資料庫，並利用自行撰寫的 AVENUE 巨集程式將所選定的剖面線寫入圖層檔，並以線段(Line、Polyline)的型式儲存，將邊坡穩定分析程式 SLIDE 所需的屬性一併寫入，以便進行剖面的匯出。

AVENUE 巨集程式可一次對四個網格檔進行剖面的繪製，程式將自動的抓取網格檔的高程值，繪製剖面圖使用的網格檔包括克立金法得到的三個網格檔及梨山的地表網格檔。其圖 9 為網格檔與剖面屬性相對關係，繪置完成的剖面如圖 10。

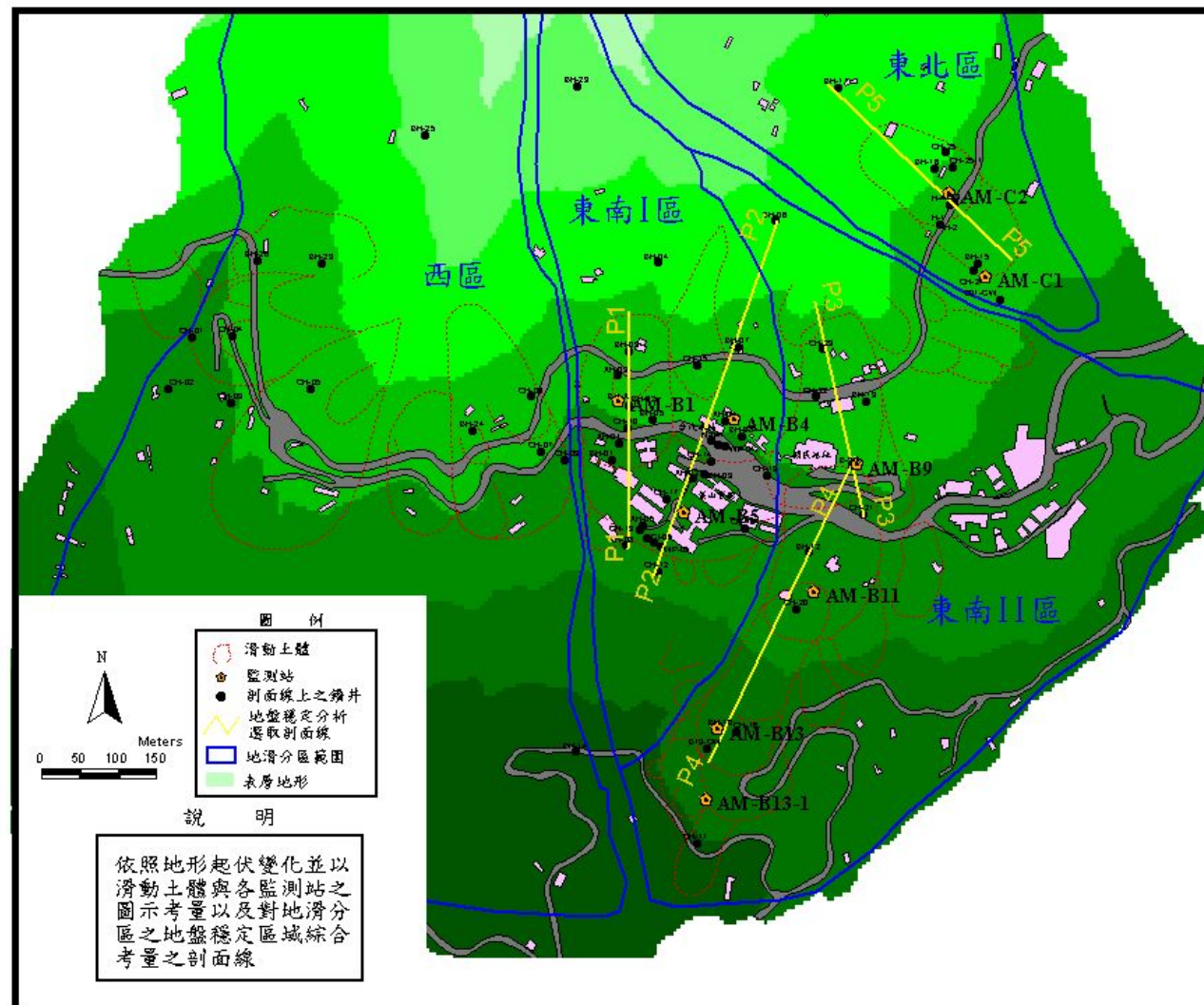


圖 8 P1 至 P5 剖面相關位置圖

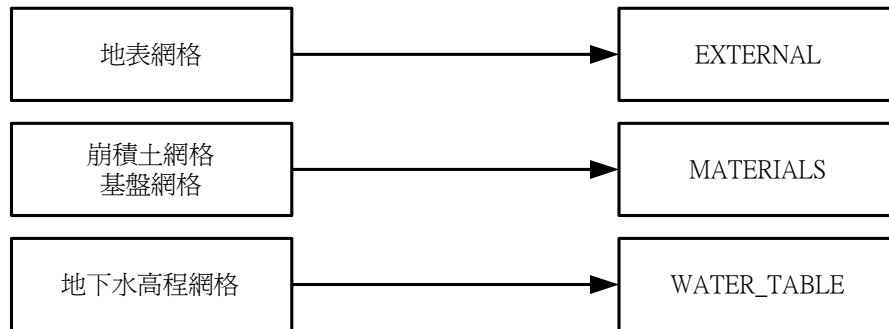


圖 9 網格檔與剖面屬性相對關係

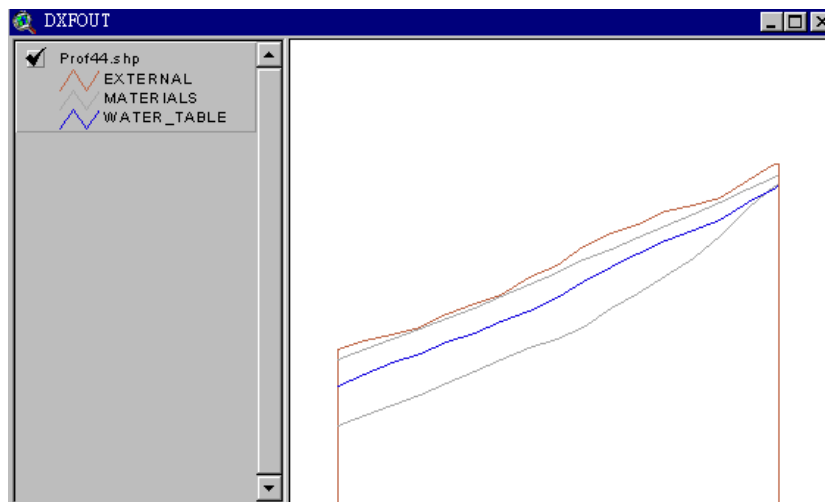


圖 10 繪製完成之剖面圖

2.2 滑動位置之研判

由梨山地區的監測相關報告及自動監測站之監測資料，將梨山監測得到可能滑動面位置進行整理，滑動面位置之研判將由自動監測站之間測數據與 TDR 監測所得到的結果，配合地質上可能滑動面的判識，以確定滑動面的發生位置。藉由比對的結果配合地質剖面圖，決定可能滑動面的深度，並以剖面的地質狀況及黏土層造成的阻水效應，探討地下水位變動與地質環境的關係。圖 11~15 為剖面線(P1~P5) 所對應之地質剖面與監測站相關位置及其可能滑動面。

2.3 地下水位之變化

針對各剖面所假設的地下水位以監測站之目前水位情況及曾經量測之最高水位作為高水位之情況兩種水位狀態加以分析，以兩種水位分析各剖面的可能滑動面之安全係數，如下表 15 為整理所有監測站歷年水位變化之情形，

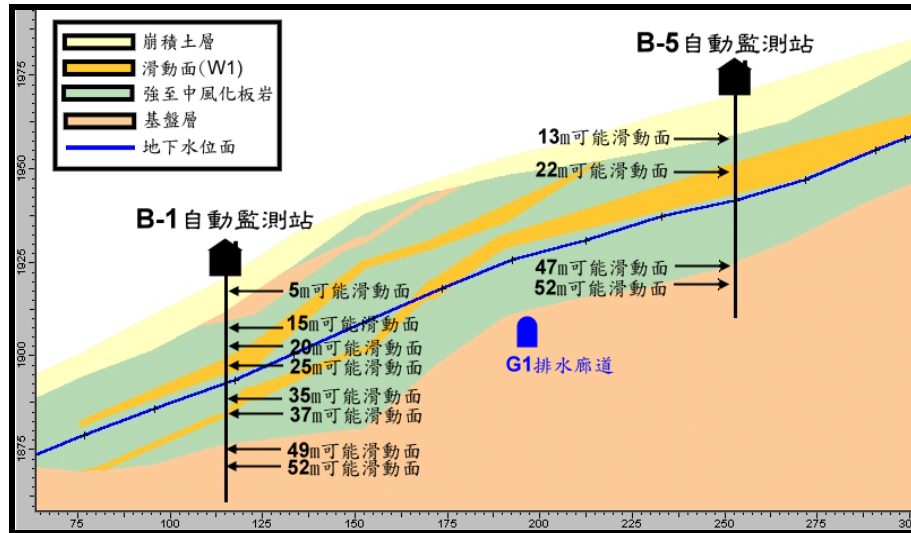


圖 11 P1 剖面可能滑動面判識圖

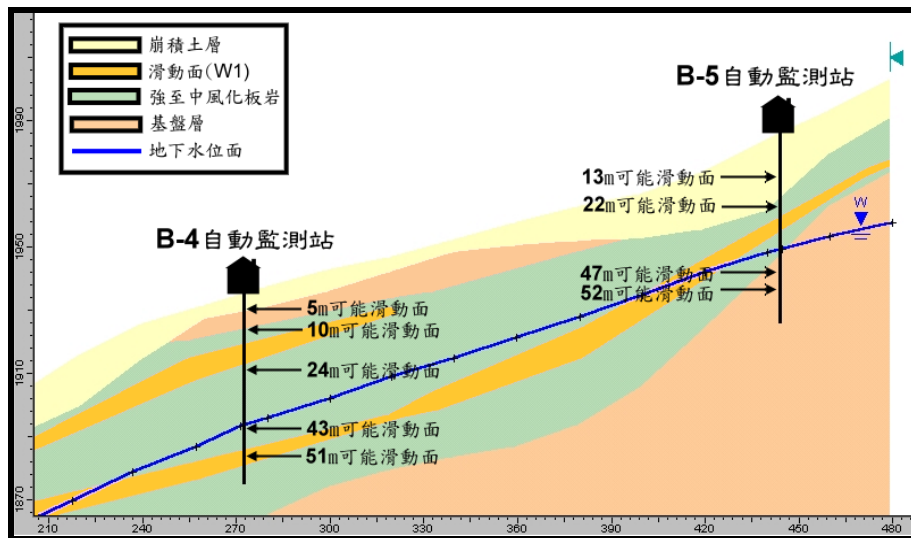


圖 12 P2 剖面可能滑動面判識圖

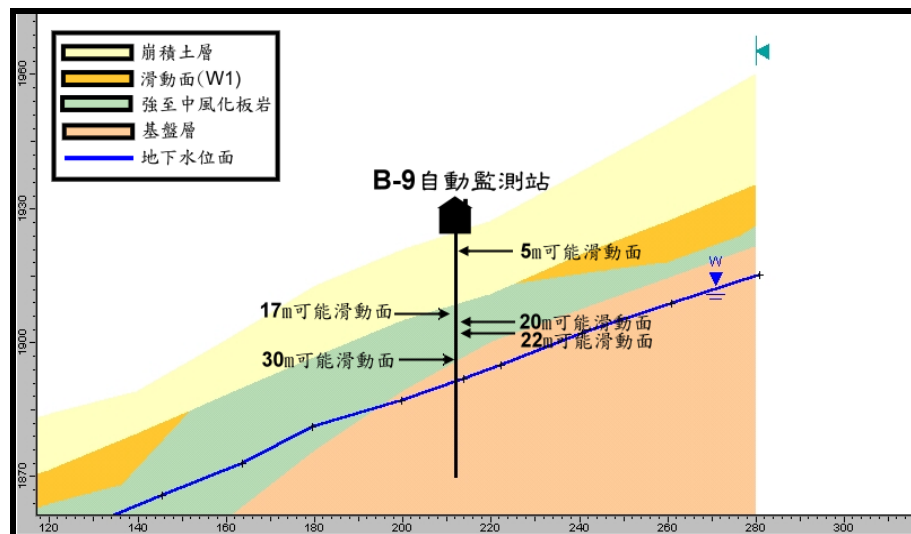


圖 13 P3 剖面可能滑動面判識圖

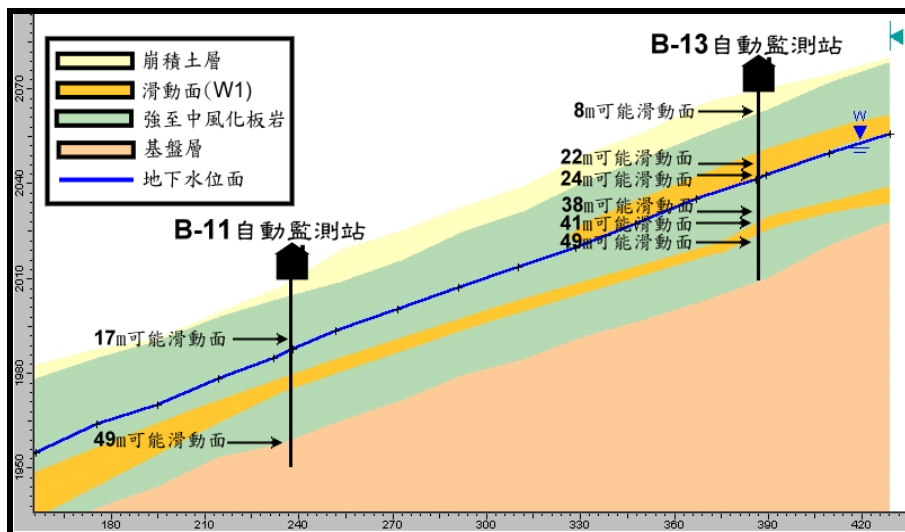


圖 14 P4 剖面可能滑動面判識圖

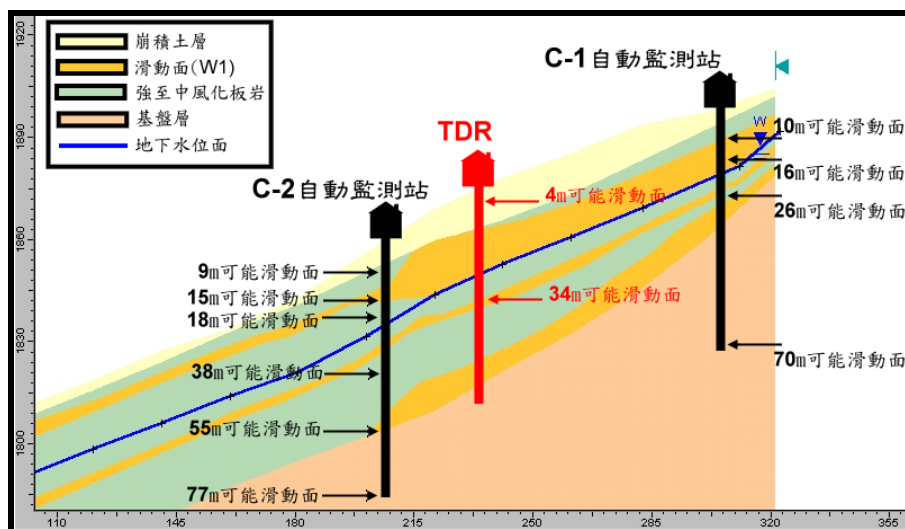


圖 15 P5 剖面可能滑動面判識圖

表 15 監測站地下水位歷年水位表(目前水位為 91 年 9 月 30 日之資料)

監測站	目前水位(m)	最低水位(m)	最高水位(m)	監測站所屬剖面
B1	1877.15	1877.15	1906.48	P1
B4	1887.16	1886.64	1902.09	P2
B5	1918.51	1918.47	1967.05	P1 P2
B9	1896.88	1892.70	1903.74	P3 P4
B11	1979.46	1978.47	1987.94	P4
B13	2041.87	2040.92	2043.02	P4
C1	1862.78	1859.47	1879.99	P5
C2	1831.62	1830.53	1831.69	P5

並經由文獻得之此區域有棲息水停留於滑動層之可能性，尤其於大雨過後，水位有可能暫時停留於滲透係數較低之滑動層上，因此有些剖面另外分析水位於第一個滑動層之上的情況加以分析其安全係數。

針對五個剖面之可能滑動面進行分析，考量之狀況有目前地下水位與最高地下水位以及無載重與有載重時(重要建築物)加以交叉分析，並考量梨山之地質特性，此區域有棲息水停留於滑動層之可能性，因此有些剖面另外分析水位於滿水位之情形，並試算其危險水位的情況，將於地下水基準值建立的探討中加以仔細比對與闡述。

本研究主要以地下水位的變化經由穩定分析建立地下水位安全基準值，當決定了滑動面地質參數，並由監測站資料與地質剖面的比對定出可能潛在滑動面後，將假設地下水位對剖面進行穩定性分析，以所得到的地下水位與相應的安全係數，進行迴歸分析，建立迴歸方程式，假設地下水位之依據為各剖面所在監測站之地下水資料，分述如下：

(1) P1 剖面

由於 P1 剖面線上有 B-1、B-5 兩個自動監測站，由圖 11 可知 P1 剖面監測站相關位置圖，B-5 自動監測站位於 B-1 自動監測站之上；地質研判上 P1 剖面具有兩層可能滑動層存在，接近崩積土層的地方有一層弱風化至新鮮板岩層存在，文獻中提到可能為二次滑動的殘跡，經由比對的結果發現滑動面位置與剖面圖判識出之黏土層位置相符，上層滑動層由 B-5 滑動體向下延伸，B-1 測站位於剖面較中央的位置，因此其水位洩降將對安全係數的變化應會有較大的影響，因此先固定 B-1 測站地下水位，改變 B-5 測站地下水位進行試算；計算發現在 B-1 水位高程高等於 1892m 時，P1 剖面的 FS 僅與 B-1 監測站的水位升降變化有關，其安全係數大小，而 B-1 水位降至 1892m 以下後，FS 的變化才與 B-5 測站的水位變化相關。

(2) P2 剖面

P2 剖面線上有 B-4 與 B-5 兩個自動監測站，圖 12 為 P2 剖面監測站相關位置圖，與 P1 剖面比對頗有相似之處，亦具有兩層可能滑動面其接近崩積土層的地方也有一層弱風化至新鮮板岩層存在，推測 B-1 與 B-4 滑動土體在地質上可能具有相當程度的關連性。在滑動面的比對上發現滑動面位置與剖面圖判識出之黏土層位置大致相符，惟 B-5 測站之崩積土層較厚，約有 20m，有發生淺層滑動的疑慮，B-5 測站位於 P2 剖面之上，B-4 測站位於剖面較中央的位置，因此其水位洩降將對安全係數的變化應會有較大的影響，因此先固定 B-4 測站地下水位，改變 B-5 測站地下水位進行試算；進行邊坡穩定分析發現，B-5 測站地下水位變化對 P2 剖面之安全係數並無顯著的影響，因此 P2 剖面之 FS 僅與 B-4 的地下水位變化有

關。

(3) P3 剖面

P3 剖面線上僅有 B-9 自動監測站，P3 剖面滑動面位置經由岩心資料與自動監測的資料進行比對的結果發現，此區崩積土層頗厚約 15m 左右，最厚處應有快 20m，此區之滑動面位於地表下 20m 左右，監測資料顯示並無更深層之滑動面存在，地質判識上亦然。在地下水位上升至接近於滑動面時，FS 接近 1.00，且由剖面圖可得知，B-9 滑動土體崩積層頗厚，此區應較接近於較淺層滑動破壞的型式，是否具有較深層的滑動面存在，應再加以研判。

(4) P4 剖面

P4 剖面線上有 B-9、B-11 及 B-13 三個自動監測站，進行滑動面比對的結果發現，在 B-13 監測站的比對有符合的結果，而在新設置的 B-11 監測站，由於附近鑽孔較少距離較遠因此投影造成的誤差亦大，且監測站監測時間亦短，因此比對上較為不符合，大致上滑動面位置可能位於地表下 38 - 49m 處。B-9 位在剖面線的起點處，改變 B-9 地下水位計算後發現的該站水位升降對 P4 剖面之 FS 並無影響，而 B-11 測站位於 P4 剖面較中間的位置，其水位洩降將對安全係數的變化應會有較大的影響，因此先固定 B-11 測站地下水位，改變 B-13 測站地下水位進行試算，進行邊坡穩定分析後發現，P5 剖面即便地下水位降至基盤層之下，其安全係數也僅可達到 1.15 左右，由分析結果得知除了 C 區外，P5 剖面包含之 B-11、B-13 滑動土體也為較危險的部份，應持續進行監測。

(5) P5 剖面

P5 剖面線上有 C-1 與 C-2 兩個自動監測站，其中 C-2 測站位於剖面較中央的位置，因此其水位洩降將對安全係數的變化應會有較大的影響，因此先固定 C-2 測站地下水位，改變 C-1 測站地下水位進行試算；進行邊坡穩定分析發現，P5 剖面即便地下水位降至滑動面之下，其安全係數僅可達到 1.15 左右，為梨山地區較危險的區域。

2.4 地下水位與剖面安全係數之關係

地下水位的升降與安全係數的大小原本就具有相關性，一般而言，地下水位越高所求得之 FS 越小，隨著地下水位下降而 FS 漸增。

以 P1 至 P5 五個剖面進行試算，一般資料的整理上以地下水位高程進行做圖，但若以水位高程進行迴歸分析，將會造成迴歸分析方程式係數過小的情形，因此以各自動監測站之地表高程為地下水之基準面(地表為 0)，地下水

位將以負值表示。將地下水位定至基盤面起算，假設每個自動監測站的地下水位每上升 2 公尺分析一次，一直計算至 FS 小於 1.00 為止，而地下水位最低則計算至地下水位接近於基盤層為止，所計算之地下水位變化區間應大於自開始進行監測以來之地下水位變化，再者若考慮黏土層的阻水效應，則地下水的假設狀況將趨於複雜化，並可能會有人為主觀因素，因此不考慮黏土層造成之阻水效應對剖面安全性造成影響；若一個剖面包含兩個自動監測站，則先固定其中一者，對另一自動監測站水位進行升降，以求得相應兩者水位變化之複迴歸關係。

由所選定之 5 個剖面，計算 FS 與各自動監測站之地下水位變化相關性，可求得 FS 與地下水位高程的關係圖，發現地下水位與安全係數 FS 成反比，而關係圖曲線形式略呈多項式之線形，將所得到的試算結果以 SPSS 統計軟體進行迴歸方程式的計算，所推求出來的迴歸方程式，其 R-Square 均大於 0.9，具極高之相關性，所建立之迴歸方程式具有不錯的擬合品質；或許使用其他非線性回歸方法進行分析會有更佳的效果，但在 R-Square 已大於 0.9 的情況下，以其他非線性回歸方法所得到的 FS 與線性回歸方法所得 FS 差別並不大，因此以線性回歸方法求得的方程式進行系統的建構已然足夠。分析 P1 至 P5 剖面所得到的迴歸方程式及 R-Square 如表 16。

表 16 P1 至 P5 剖面迴歸方程與 R-Square

剖面名稱	迴歸方程	R-Square
P1($B1 \geq -32$)	$FS = 0.7731 - 0.0105[B1]$	0.953
P1($B1 < -32$)	$FS = 1.119 - 0.00445[B1] - 0.00195[B5]$	0.912
P2	$FS = 0.7531 - 0.0085[B4]$	0.988
P3	$FS = 0.7456 - 0.0125[B9]$	0.964
P4	$FS = 0.8000 - 0.008768[B11] - 0.002223[B13]$	0.988
P5	$FS = 0.690 - 0.006015[C1] - 0.01256[C2]$	0.992

(迴歸方程式所使用之地下水位，是以水位計的地表高程為 0 向下計算之地下水位)

2.5 地下水位基準值

由邊坡穩定分析與線性迴歸分析的結果得知，所選定危險度較高的五個剖面進行邊坡穩定分析的結果，當其地下水位下降至基盤時安全係數 FS 約在 1.15 至 1.3 左右不等，由於本研究建構之梨山地滑穩定性即時分析系統將與梨山即時監測管理系統進行整合成為一完整的專家系統，因此為求基準值危險分級的一致性，基準值危險分級將與梨山即時監測管理系統相同共分為四級：

正常、注意、警戒、疏散。訂定基準值危險分級相應之安全係數 FS 如表 17 所示。

表 17 基準值危險分級與相應安全係數 FS

基準值危險分級	正常	注意	警戒	疏散
安全係數	≥ 1.15	1.15~1.05	1.05~1.00	≤ 1.00

利用基準值危險分級與迴歸分析所得到的方程式，對 P1 至 P5 剖面進行危險地下水位的驗證與重新訂定；因為 P1、P2、P3 三個剖面的安全係數 FS 僅與一個自動監測站的地下水位相關，因此可直接定出基準值危險分級的地下水，而 P4 與 P5 剖面則參考先前訂定的危險地下水位進行危險地下水位訂定，各自動監測站的地下水位基準值如表 18。

表 18 自動監測站地下水位基準值

基準值危險分級	正常	注意	警戒	疏散
相應安全係數	1.15	1.10	1.05	1.00
B1 地下水位高程	1890	1892	1897	1902
B4 地下水位高程	1891	1897	1903	1908
B5 地下水位高程	-----	1948	-----	-----
B9 地下水位高程	1893	1897	1901	1906
B11 地下水位高程	1978	1982	1986	1990
B13 地下水位高程	2032	2040	2046	2052
C1 地下水位高程	1874	1878	1882	1885
C2 地下水位高程	1830	1832	1834	1837

由於 B5 自動監測站地下水位變化與 P1 及 P2 剖面的安全係數改變情形並不明顯，B5 危險地下水位並無法定出，而 B5 地下水位亦由於排水廊道的施工，造成水位降至可量測範圍以下，因此建議 B5 測站之“注意”地下水高程沿用先前之基準值，其他三種危險分級則不加以設定。先前的基準值是以各個自動監測站所得到的水位高程與滑動土體的排水能力進行訂定，藉由邊坡穩定的結果與迴歸方程式進行危險地下水位基準值訂定，可準確的定出各個監測站的危險地下水位基準值，並提供作為建立梨山地滑穩定性即時分析系統與梨山地滑穩定性即時分析系統的智識庫使用，建構成完整的專家系統，即時對自動監測的結果進行研判分析，提供管理者管理決策上的支援。

由於本研究之地質參數乃由反算分析求得，但地質條件與地質參數的不

確定性依然存在，因此將分析的結果以監測以來之最高地下水位代入迴歸方程式，由表 19 可發現 P1、P3、P4 剖面於歷史之最高地下水位狀態下，滑動土體之 FS 雖降至 1.00 以下，但並無地滑情形產生，因此本研究推估所得之迴歸方程式應偏向保守。

表 19 地下水位歷史高點相應之 FS

地下水位 歷史高點 (m)	B1	1906	B4	1903	B9	1905	B11	1987
	B5	1967	B5				B13	2043
監測站高 程(m)	B1	1923.92	B4	1937.70	B9	1924.70	B11	2008.03
	B5	1967	B5				B13	2070.65
安全係數 (FS)	P1	0.96	P2	1.04	P3	0.99	P4	0.99

*P5 為反算分析剖面，使用水位高點進行分析，再求 FS 並無意義

三、地表位移的基準值

預測邊坡破壞的時間，是國內外專家學者較難解決的問題之一，而由於地盤滑動屬於潛變行為，故可經由其潛變行為進行滑動破壞之研究。當土體發生潛變後，其應變和時間之關係可化分成三個階段，如圖 16 所示。

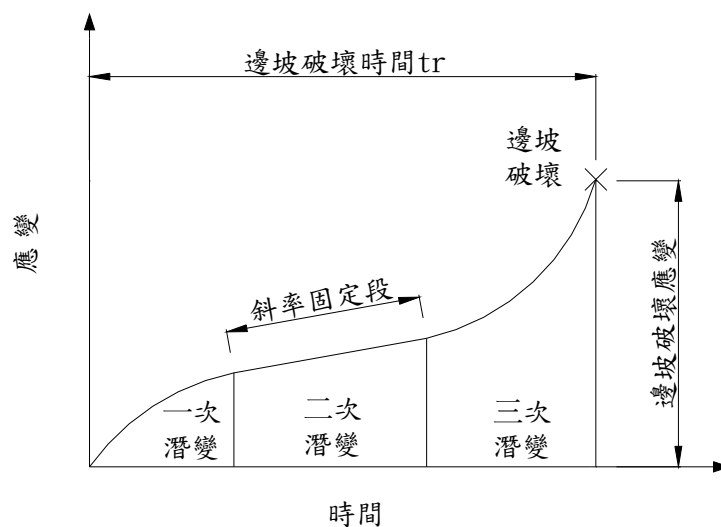


圖 16 潛變現象中應變(ϵ)與時間(t)之關係曲線(齋藤迪孝,1987)

此三階段即(1)一次潛變(Primary Creep)：在此階段內，應變速率逐漸降低。(2)二次潛變(Secondary reep)：應變速率在此階段中保持定值。(3)三次潛變(Tertiary Creep)：應變速率在此階段中逐漸增加直到破壞。目前有關地滑破壞的預測多由潛變方面著手。

3.1 以地表位移速率預測邊坡破壞時間

1.日本學者齋藤迪孝曾將世界各國曾經發表過的潛變破壞數據加以整理分析，求出二次潛變時，等應變速率與潛變破壞所需時間之關係，並將之繪於雙對數表上如圖 17。由圖可知所有數據皆落在一特定的線性帶狀範圍內，帶狀中央之表示公式為：

$$\log_{10} t_r = 2.33 - 0.916 \log_{10} (\dot{\varepsilon} \times 10^4 \pm 0.59) \dots \dots \dots (1)$$

其中 t_r = 潛變破壞時間(分)

$\dot{\varepsilon}$ = 等應變速率

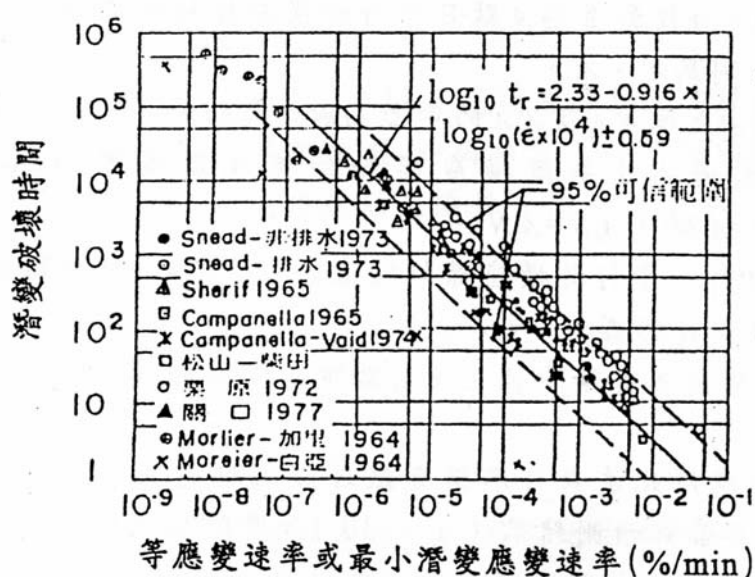


圖 17 二次潛變速率與潛變破壞時間之關係圖(齋藤迪孝,1987)

圖 17 中亦顯示出大多數的數據都落在此公式的 95% 可信範圍內(即誤差 5% 之範圍內)。由此公式得知當中的變數僅有應變速率，具有廣泛之應用性，在用於邊坡破壞的預測上非常方便。另外，式中 $\log_{10} \dot{\varepsilon}$ 之係數為 0.916，近於 1，顯示出等應變速率與潛變破壞時間之間約略成反比關係，只要能求得在二次潛變階段中之應變速率，就可預測其破壞時間，可說是相當的方便。而應變速率的決定，一般是根據地表伸縮計所測得的位移變化量來推算，如下式所示：

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{\Delta t} \cdot \frac{1}{L} \dots\dots\dots (2)$$

其中 Δl =在 Δt 時間內地表位移量 (mm)

L =樁間距離 (mm)

Δt =經過時間 (分)

(樁間距離建議為 10~20 公尺，由於 ε 經計算後所得到的值多為 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 因此樁間長度的長短對結果不會有太大影響)

當潛變行為進入第三階段時，愈接近破壞時刻，其應變速率愈大，而使 $\log t_r$ 與 $\log \varepsilon$ 不再保有直線關係。然而在此時段中的任一時刻 t ，土體之應變速率與該時刻到土體破壞為止所剩的殘存時間之間存在著反比例的關係；即應變速率愈大表示距土體破壞時間愈近。若 t_r 為土體發生潛變破壞的時刻，則其間的關係可用下列式子來表示(齊藤迪孝，1987)：

$$\varepsilon \propto \frac{1}{t_r - t} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = A \cdot \frac{1}{t_r - t} \dots\dots\dots (4)$$

$$\varepsilon = -A \cdot \log(t_r - t) + C \dots\dots\dots (5)$$

若以 $t=t_0$ 時之應變 ε_0 作基準採用相對變位的概念，則相對變位為：

$$\varepsilon - \varepsilon_0 = A \cdot \log\left(\frac{t_r - t_0}{t_r - t}\right) \dots\dots\dots (6)$$

此式經與現場實測值多次比較後，知其與三次潛變階段中之潛變曲線非常吻合，特別是當 $t \rightarrow t_r$ 時，可得 $\varepsilon \rightarrow \infty$ 。所以對潛變破壞無須做任何特別假設與定義，因式中 t_r 、 t_0 、 A 為三個常數，所以由三次潛變階段之 $\varepsilon - t$ 曲線上選取 3 組 (ε, t) 值，便可以計算出破壞時間 t_r 來。

然而此法亦可在潛變之 $\varepsilon - t$ 圖上直接以圖解法進行破壞時間 t_r 之預測。圖解法是依下列演算而得：

設在三次潛變曲線上選取 3 點 (ε_1, t_1) 、 (ε_2, t_2) 、 (ε_3, t_3) ，通常 (ε_3, t_3) 為最新測得之點，而 (ε_1, t_1) 為基準點，令 $\varepsilon_3 - \varepsilon_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ 即 $\varepsilon_3 - \varepsilon_1 = 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$ ，由(6)式可知：

$$\varepsilon_3 - \varepsilon_1 = A \cdot \log\left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_3}\right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = A \cdot \log\left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_2}\right) \dots\dots\dots (8)$$

$$\because \varepsilon_3 - \varepsilon_1 = 2(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

$$\therefore \log\left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_3}\right) = 2 \log\left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_2}\right) \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore \left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_3}\right) = \left(\frac{t_r - t_1}{t_r - t_2}\right)^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{即 } t_r = \frac{t_2^2 - t_1 t_3}{2t_2 - t_1 - t_3} \dots\dots\dots (11)$$

由(12)式又可得

$$t_r - t_1 = \frac{\frac{1}{2}(t_2 - t_1)^2}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)} \dots\dots\dots (12)$$

$$\therefore \frac{t_r - t_1}{t_2 - t_1} = \frac{\frac{1}{2}(t_2 - t_1)}{(t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1)} \dots\dots\dots (13)$$

所以如圖 18 所示，在三次潛變階段之 ε - t 曲線上選取三點， A_1 、 A_2 、及 A_3 ，且令 $\varepsilon_3 - \varepsilon_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ ，點出 $\overline{A_1 A_2}$ 之中點 M 使 $\overline{MA_2} = \frac{1}{2}(t_2 - t_1) = \overline{A_2 M'}$ 。再找出 N 點使 $\overline{NA_1} = \frac{1}{2}(t_3 - t_1)$ ，所以 $\overline{NA_2} = (t_2 - t_1) - \frac{1}{2}(t_3 - t_1) = \overline{A_2 N'}$ 。因此(13)式就成了：

$$\frac{t_r - t_1}{\overline{A_2 A_1'}} = \frac{\overline{A_2 M'}}{\overline{A_2 N'}} \dots\dots\dots (14)$$

由三角形相似原理可由圖 18 中訂出滿足(14)式之 t_r 值的位置，反覆進行上述選定 t_r 之步驟，即可逐漸逼近真正之破壞 t_r 值，以竟全功。

逼近預測法詳細的作圖步驟如下：

- (1) 在潛變之 ε - t 圖的第三階段潛變上選取兩段相對位移或潛變間距均等於 Δ 的 A_1 、 A_2 、及 A_3 三點，各點對應於橫座標上的時間分別為 t_1 、 t_2 、及 t_3 。
- (2) 把 A_1 、 A_3 投影至過 A_2 點且平行於橫座標軸的直線上，其投影點分別為 A_1' 、 A_3' 。
- (3) 在 $\overline{A_1' A_3'}$ 上取 $\overline{A_1' A_2}$ 與 $\overline{A_1' A_3'}$ 之終點 M 與 N 兩點。
- (4) 在通過 A_2 且垂直橫座標軸的直線取兩點 M' 與 N' ，使

$$\overline{A_2M} = \overline{A_2M'} \quad , \quad \overline{A_2N} = \overline{A_2N'} \quad .$$

- (5) 自 M' 作一平行於橫座標軸的直線並與 A_1' 、 N' 兩點連線之延長線交於 D 點。
- (6) D 點所對應於橫座標上之 t_r 即為所推測的地滑破壞時間。

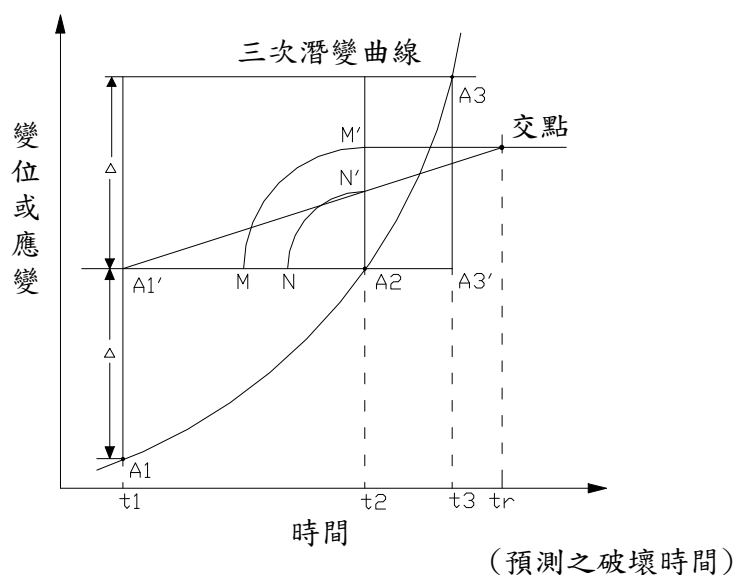


圖 18 迫近預測法之圖示解法 (齋藤 1987)

2. 日本學者福圓輝旗(1985)指出，由於邊坡地表移動速度多隨著破壞時刻的逼近而增快，亦即移動速度的倒數變小，在破壞時該倒數即趨近於 0。因此，以時間為橫座標軸，速度的倒數為縱座標軸，則由所得速度倒數-時間曲線至時間軸的距離及傾斜情形即可很容易的推測出邊坡的危險性，參考圖 19，其步驟如下：

- (1) 設 t_1 、 t_2 兩時刻之移動量分別為 x_1 、 x_2 ，則其間之平均速度倒數：

$$\frac{1}{V} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}$$

- (2) 將上述平均速度倒數點繪於 t_1 與 t_2 時刻之中點 $\frac{t_2-t_1}{2}$ 上。
- (3) 同理求出另一時刻之速度倒數。
- (4) 連接上述兩點之直線的延長線與時間軸之交點，即為推測之地滑破壞時刻。

此法亦成功的應用於日本長野縣地附山的邊坡破壞預測(參照圖 20)，且愈接近破壞時刻，所預測之準確性愈高。

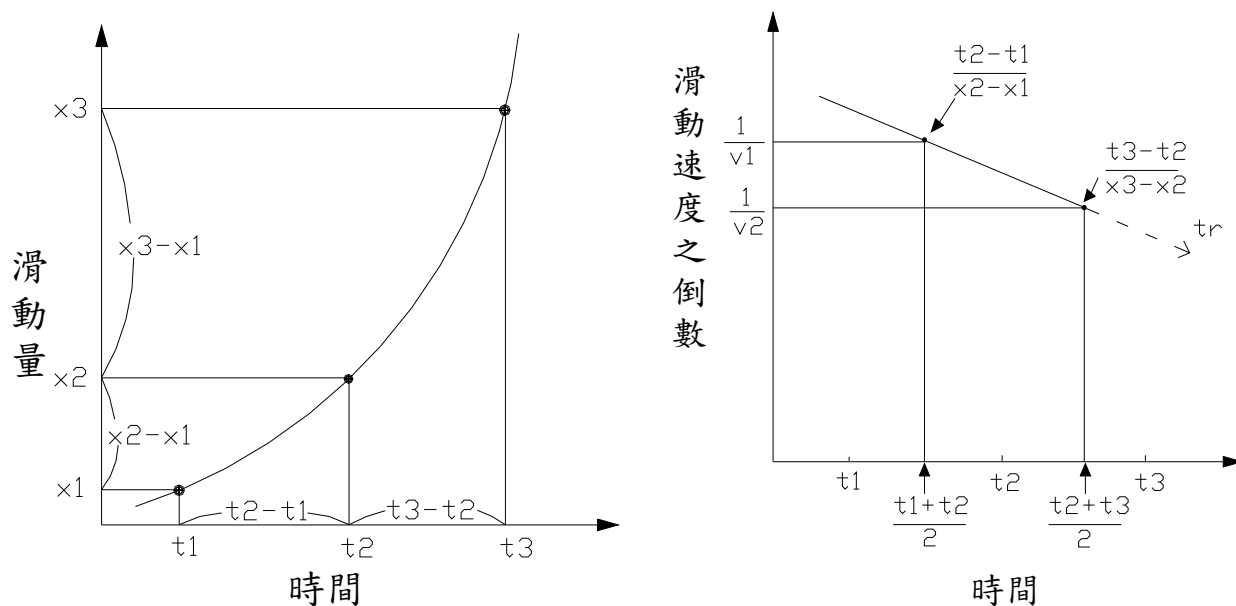


圖 19 滑動速度倒數曲線預測地滑破壞時刻求法

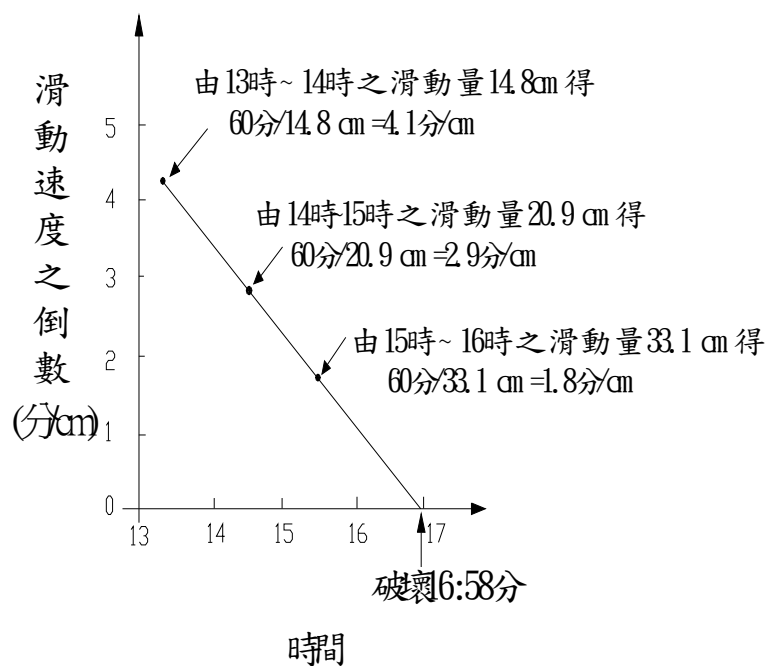


圖 20 日本長野縣地附山地滑地 1985 年 7 月 26 日破壞時刻預測 (福園輝旗, 1985)

3.2 由地表位移曲線預測邊坡破壞

由於地盤滑動屬於潛變行為，故可經由其潛變行為進行滑動破壞之研究。當土體發生潛變後，其應變和時間之關係可劃分成三個階段，如圖 16 所示。但梨山目前階段的現況是屬於三個階段中的哪個階段，可由梨山歷年來的地表

位移曲線來研判，圖 21~5-26 為梨山歷年來的地表位移曲線扣除掉 921 大地震所造成的突然間的大量位移後，所重繪出來的地表位移曲線圖，而綠色的曲線為此地表位移曲線整體趨勢的回歸曲線，以下分別就各個監測站觀測結果做說明。

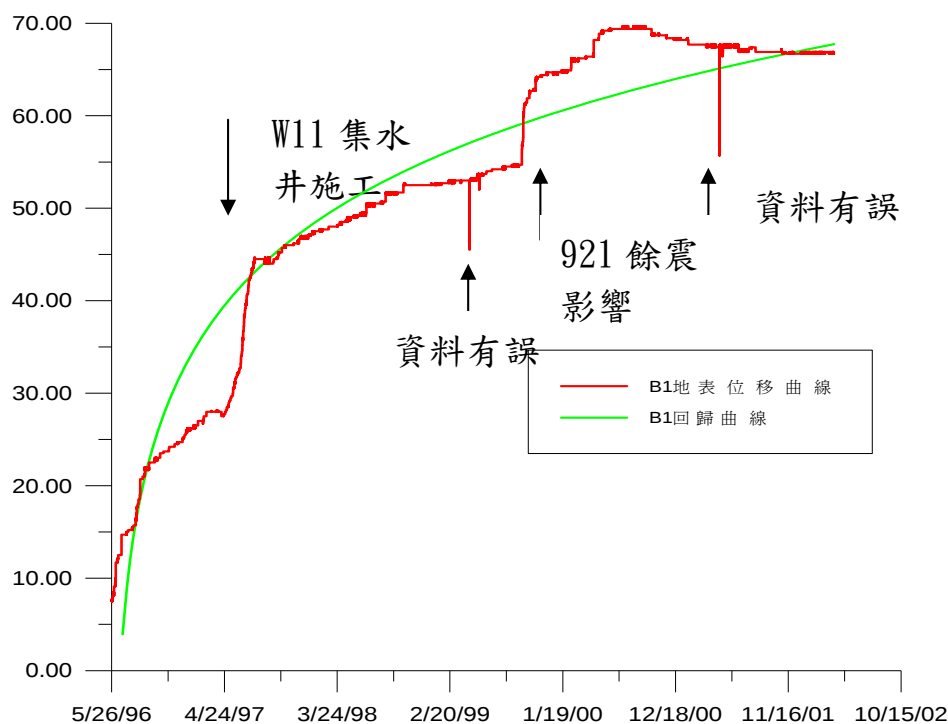


圖 21 B1 區地表位移及其回歸曲線

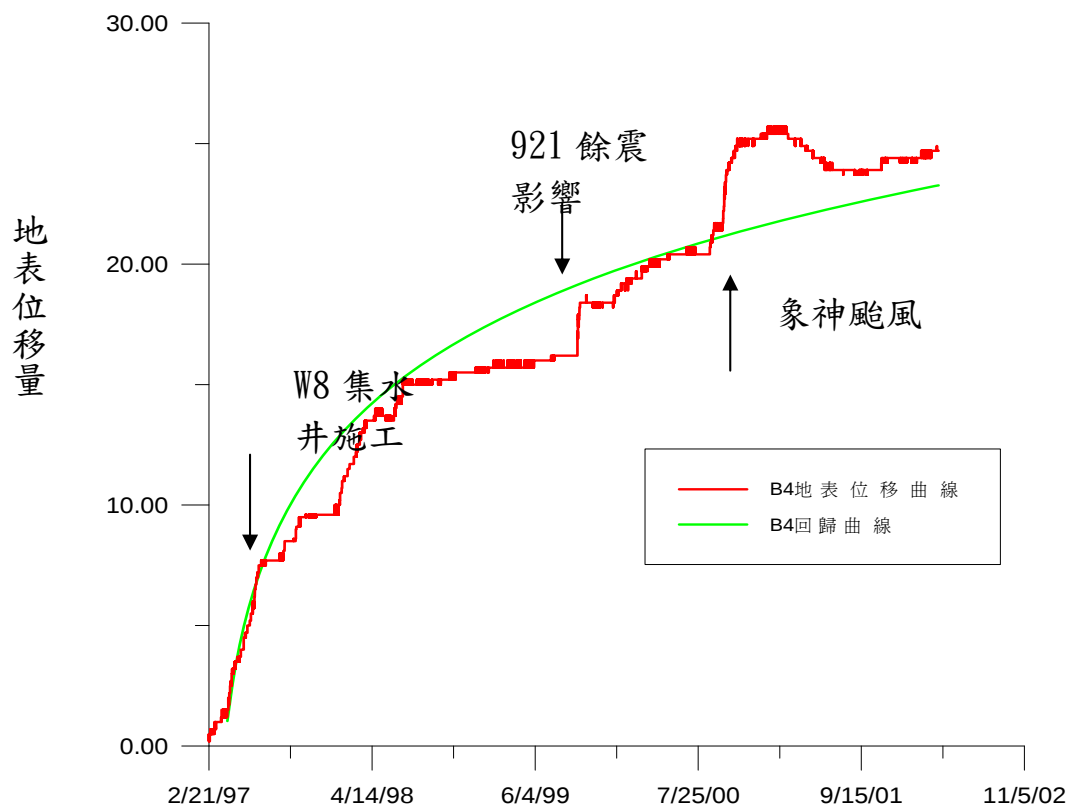


圖 22 B4 區地表位移及其回歸曲線

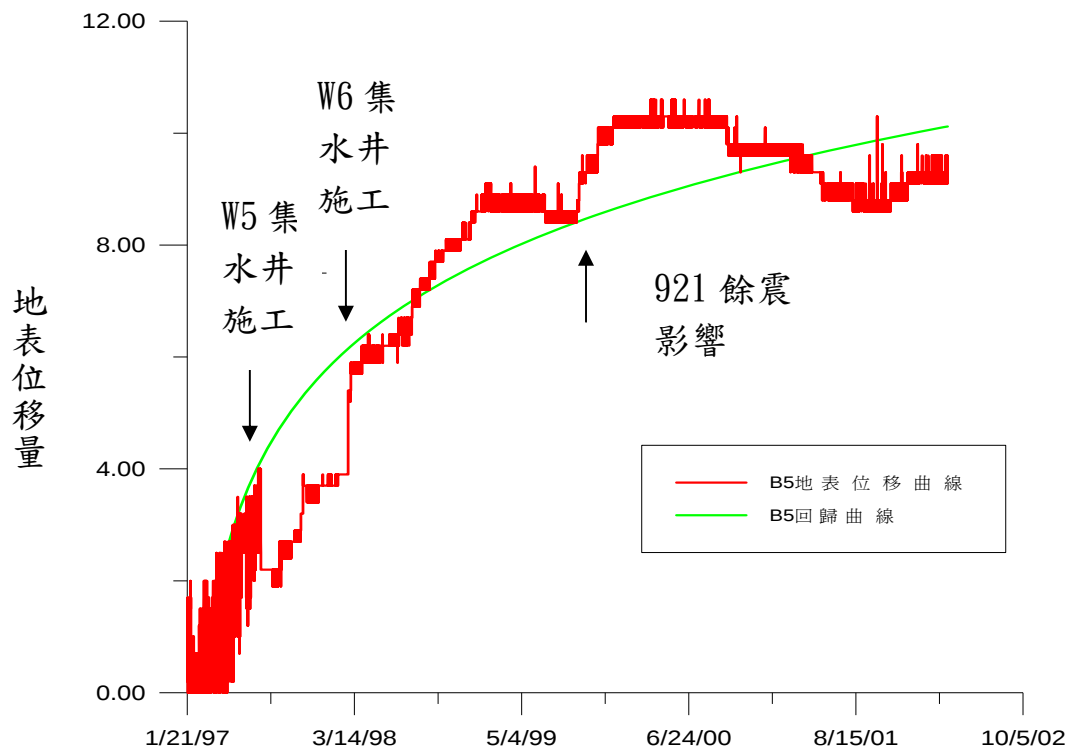


圖 23 B5 區地表位移及其回歸曲線

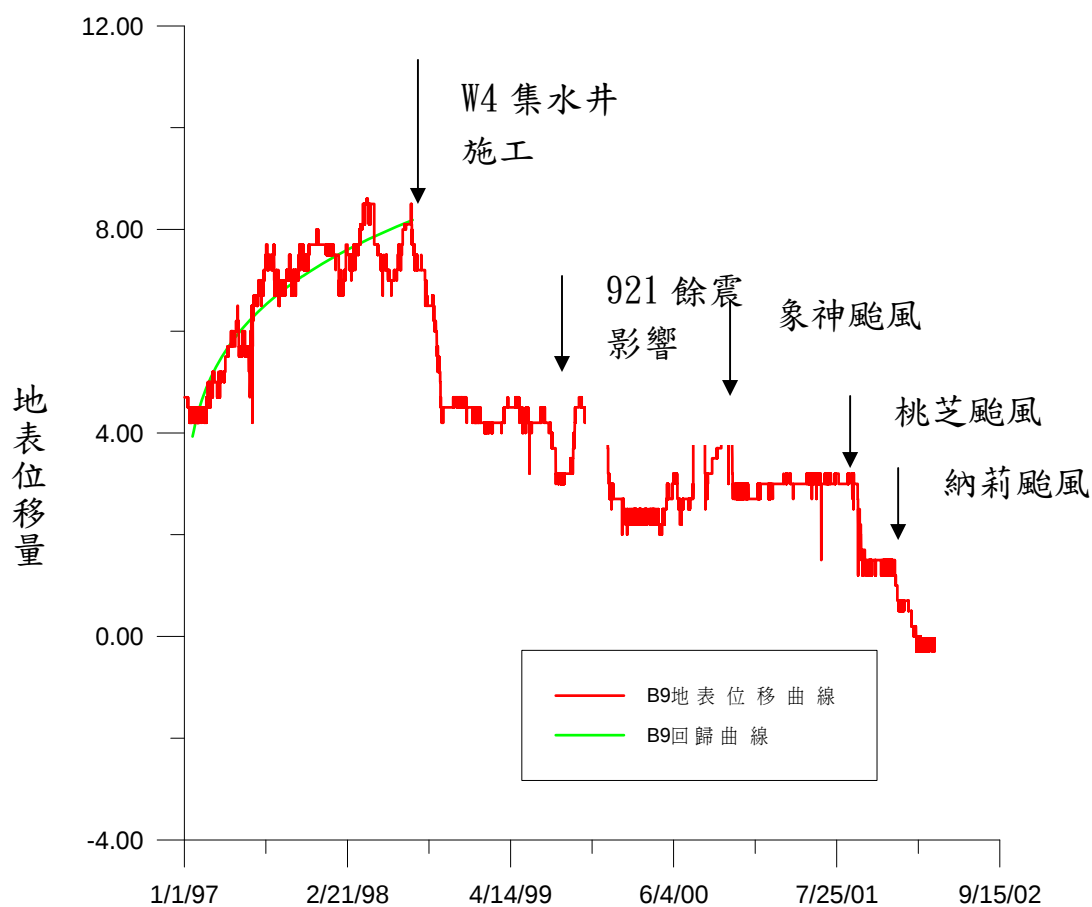


圖 24 B9 區地表位移及其回歸曲線

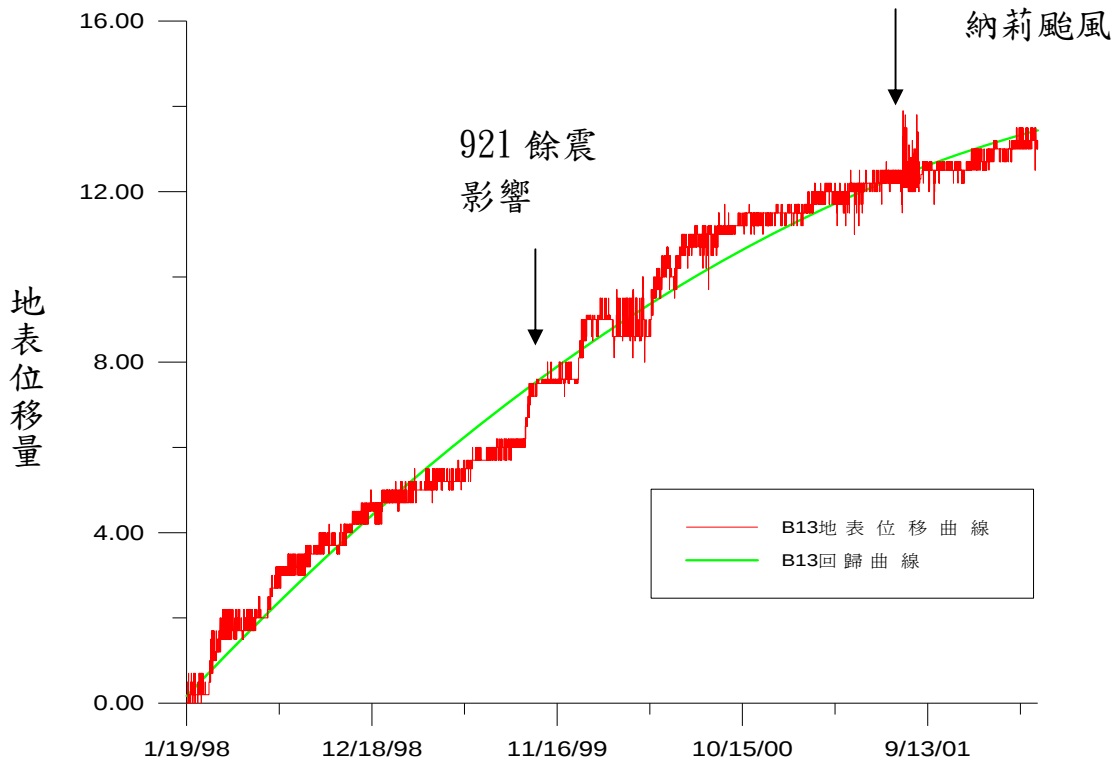


圖 25 B13 區地表位移及其回歸曲線

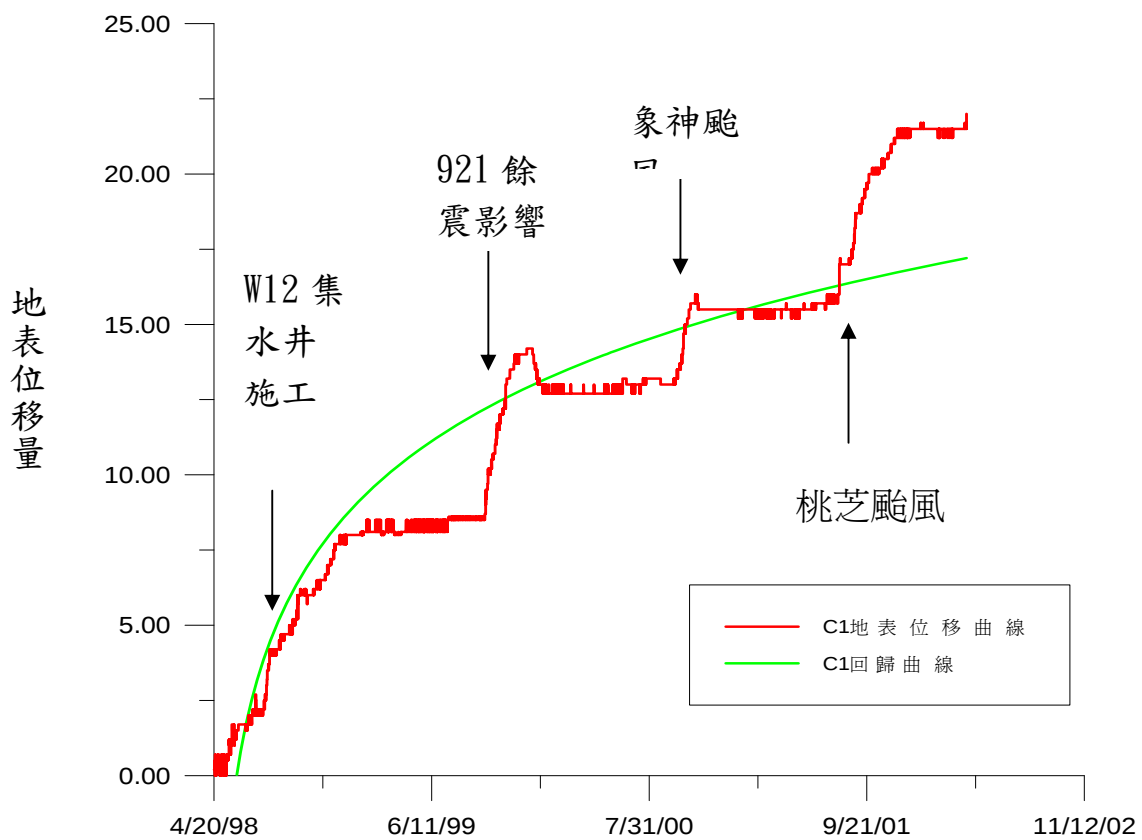


圖 26 C1 區地表位移及其回歸曲線

(1) B1 監測站

由圖 21 中可以明顯的看出，B1 滑動區的地表位移曲線大致走向都非常符合圖 16 中的情形，在初期有明顯的滑動產生，情況類似一次潛變，而後滑動的現象漸趨緩和，進入了二次潛變，但由圖中可看出於 1999 年九月間雖然扣除了 921 大地震當時的影響，但由於地震後仍餘震不斷，因此仍對地表位移造成一定的影響，而形成了一明顯的滑動段，而至於其餘兩次突然間的跳動，因為地表伸縮計於下一小時立即恢復至原處，且經調查並無大量降雨或是地下水位忽然升高等情形發生，當天也無地震的紀錄，因此判定是人為碰撞所導致。

(2) B4 監測站

由圖 22 中可看出 B4 區的地表位移曲線與 B1 區的地表位移曲線非常類似，在監測的初期地表位移曲線有明顯的變動，爾後漸趨平緩，而在 2000 年 8 月間由於碧利斯颱風侵台，造成暴雨，地下水位於短時間內上升了 12 公尺，地表位移曲線也因此出現了一明顯的變動，但稍後又恢復了平緩，至 2002 年 3 月間未曾再出現明顯的變動，地表位移曲線以極為平緩的幅度向上增加。

(3) B5 監測站

由圖 23 中看出 B5 區的地表位移曲線，於觀測初期震盪非常激烈，經調查可能是由於其過高的地下水位所導致，B5 區的地下水位面於觀測初期其地下水位只低於地表下 5 公尺，於集水井施工後地下水位降低，劇烈震盪之情形也因此消失，而其地表位移曲線基本上也是大致符合圖 16 的，地表位移曲線一開始有明顯的變動，而後漸趨平緩，至 2002 年 3 月期間均無明顯的變動。

(4) B9 監測站

由圖 24 中看出 B9 區於集水井開挖完工前，其趨勢與圖 16 大致上是符合的，但集水井完工後地表位移曲線的走勢由朝上轉變為朝下，可能是因為地表伸縮計原本的固定端因為施工而造成地表的滑動，使得原本的固定端滑動而接近滑動端，使得地表位移量呈現負的成長，而直至 2002 年 3 月為止的資料顯示，這個情形仍然持續發生，甚至使得地表位移的值到達零以下，這表示地表伸縮計的兩根樁間距已比當初埋設時更接近了，因此接下來 B9 區地表位移曲線的走向，值得繼續追蹤與探討。

(5) B13 監測站

由圖 25 可看出 B13 區的地表位移曲線由觀測初期至 2002 年 3 月最後一筆觀測資料，期間並無特別明顯的變動，地表位移是以一極為緩慢而穩

定的速度慢慢的移動，很明顯的是處於圖 16 中的二次潛變階段，而且其移動速度還有減緩的跡象。

(6) C1 監測站

由圖 26 中可以發現 C1 區的地表位移曲線呈現了階梯狀，但時其趨勢與圖 16 還是大致符合的，而此階梯狀的位移曲線，說明了 C1 區到目前為止還是處於不穩定的狀態，這個發現與 C1 區的現地情況非常符合，因 C1 區內沿路不時可見到崩坍的痕跡，也因如此，目前幾個滑動區就屬 C1 較有可能會進入三次潛變階段，而關於這一點，往後更多的觀測資料，是不可或缺的。

3.3 地表位移速率基準值建立

由於梨山地滑地的管理準則，在邊坡滑動破壞這個方面，都以日本的規範當作標準，而這些標準都建立於地表位移的大小上，而忽略了土體變形的連續性，當土體由一次潛變進入二次潛變時，土體在各方面上都達到一個暫時的平衡，而由於降雨，地下水位升高等等的影響，此種平衡又會漸趨的破壞，當當這種破壞的能量蓄積到了土體無法承受的狀態時，土體則開始產生破壞，而進入危險的三次潛變，因此由地表位移曲線，判斷土體將要進入三次潛變，並提前發出警訊，將是此節的重點。

1. 以齋藤法分析地表位移

齋藤(1989)整理全世界曾經發生過的邊坡破壞而得到一經驗公式，由於此公式具有泛用性，適合各種不同的邊坡，因此我們就將梨山歷年來的地表位移資料代入此公式，並畫上齋藤所訂出的警戒與疏散值(表 20)，作為比較，如圖 27~5-32。

表 20 齋藤以應變速率訂定的基準值

	警戒(%/分)	疏散(%/分)
應變速率 ε/t (%/分)	10^{-6}	10^{-5}

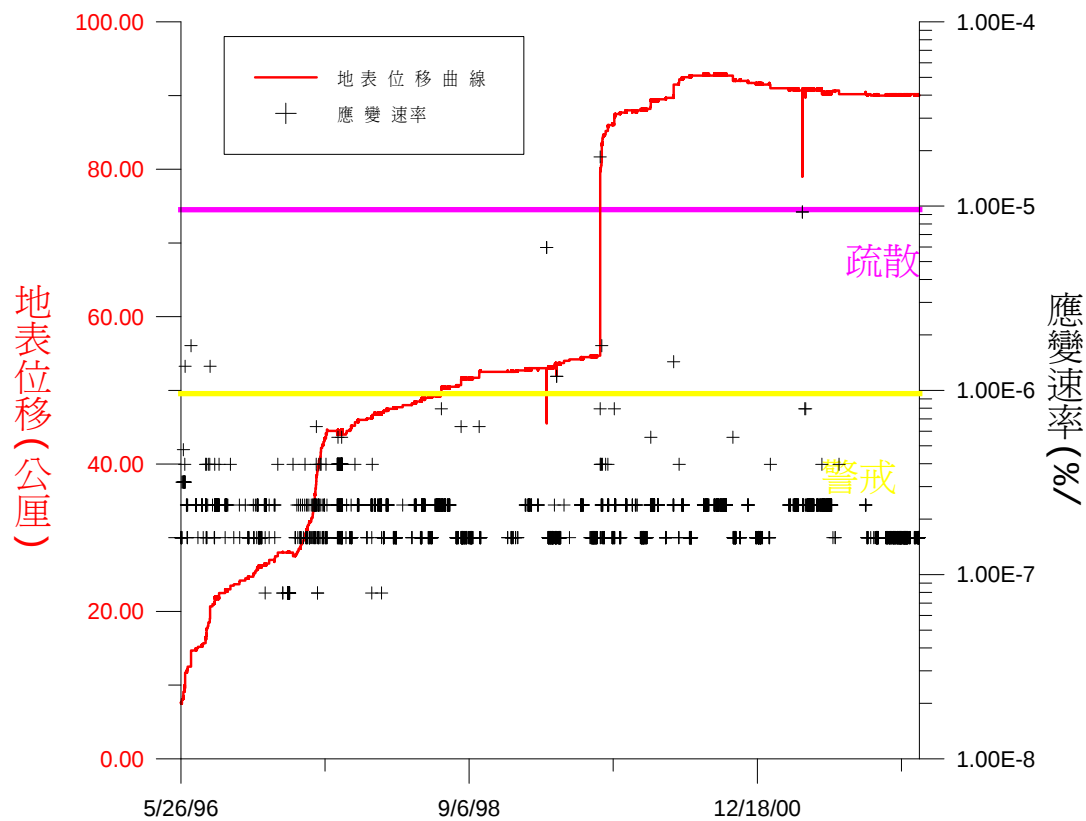


圖 27 B1 地表位移與應變速率

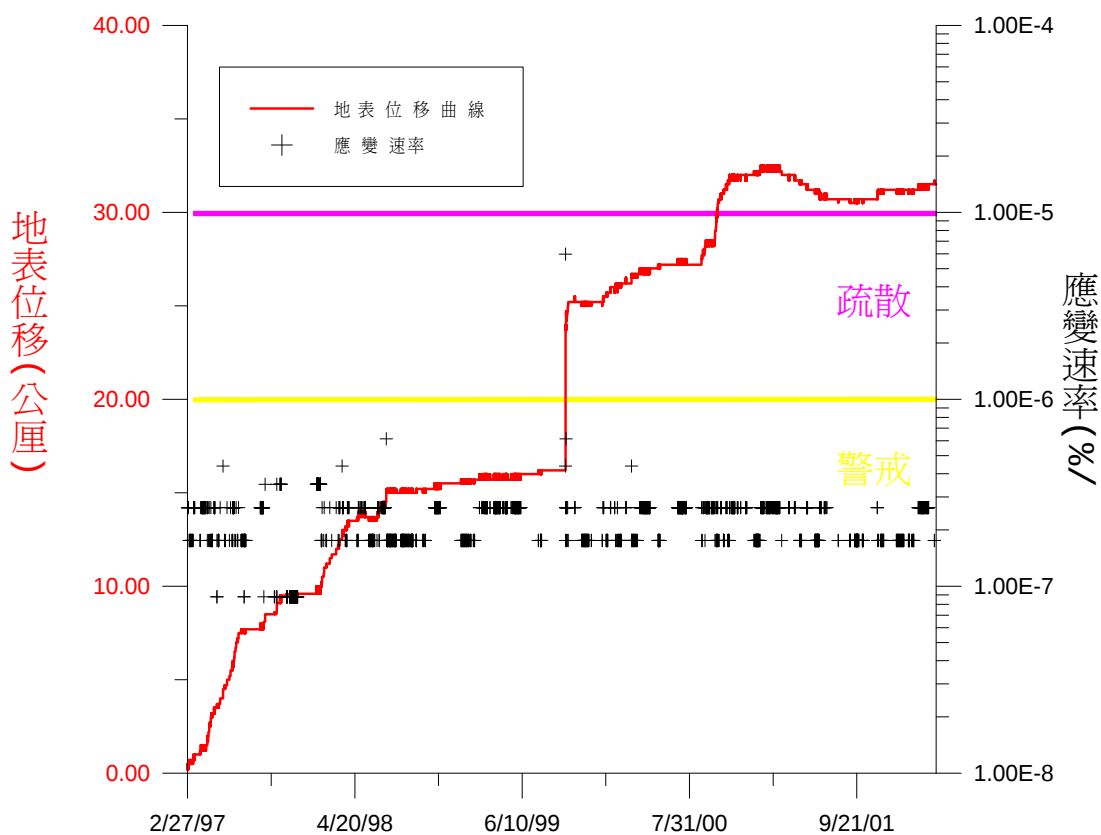


圖 28 B4 地表位移與應變速率

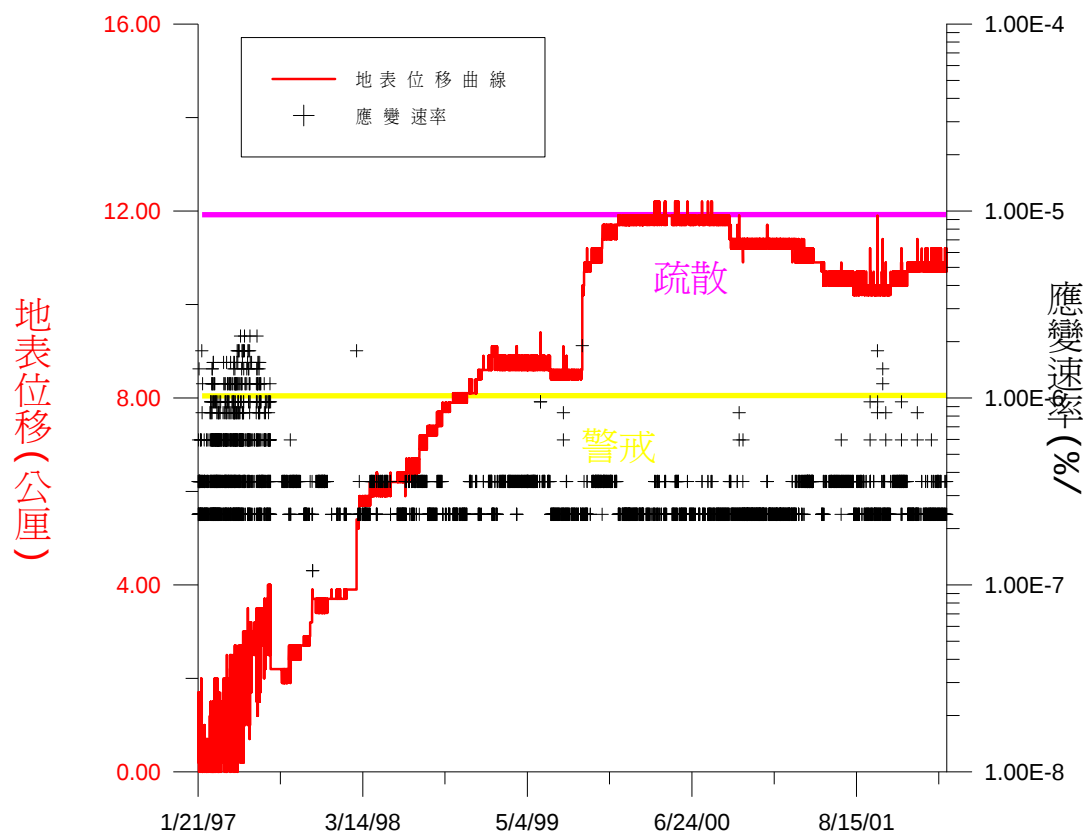


圖 29 B5 地表位移與應變速率

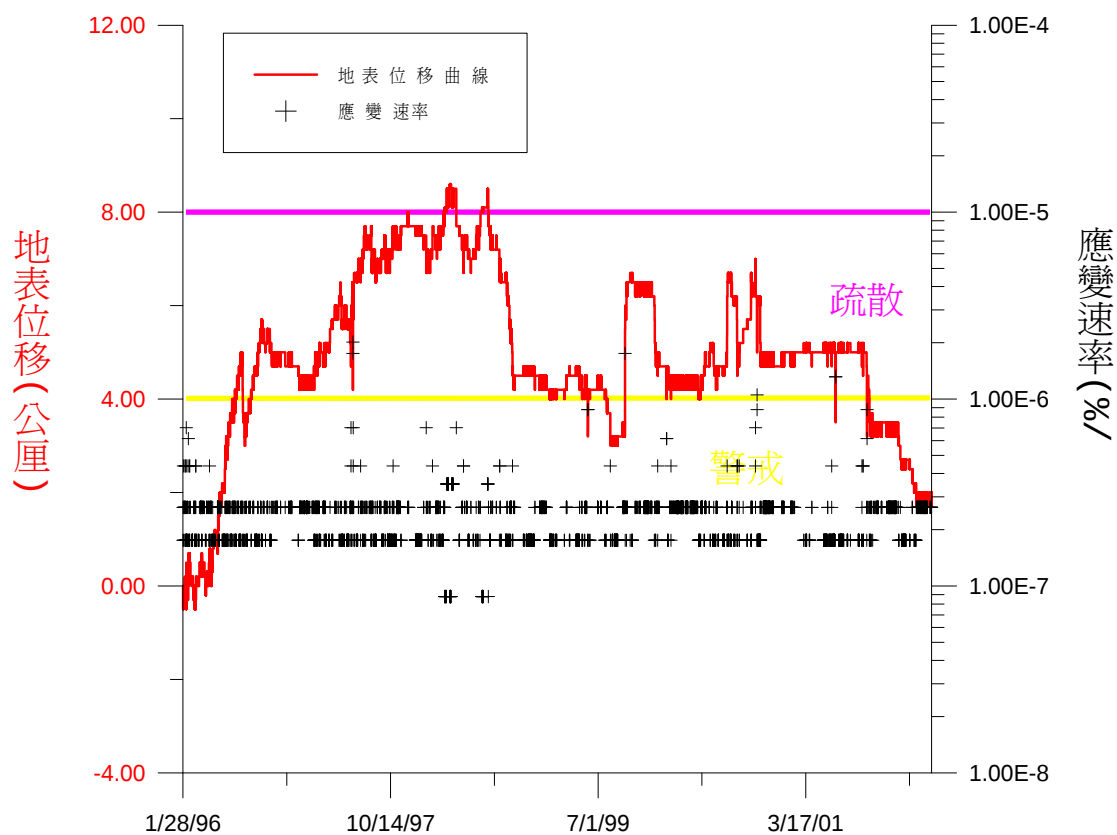


圖 30 B9 地表位移與應變速率

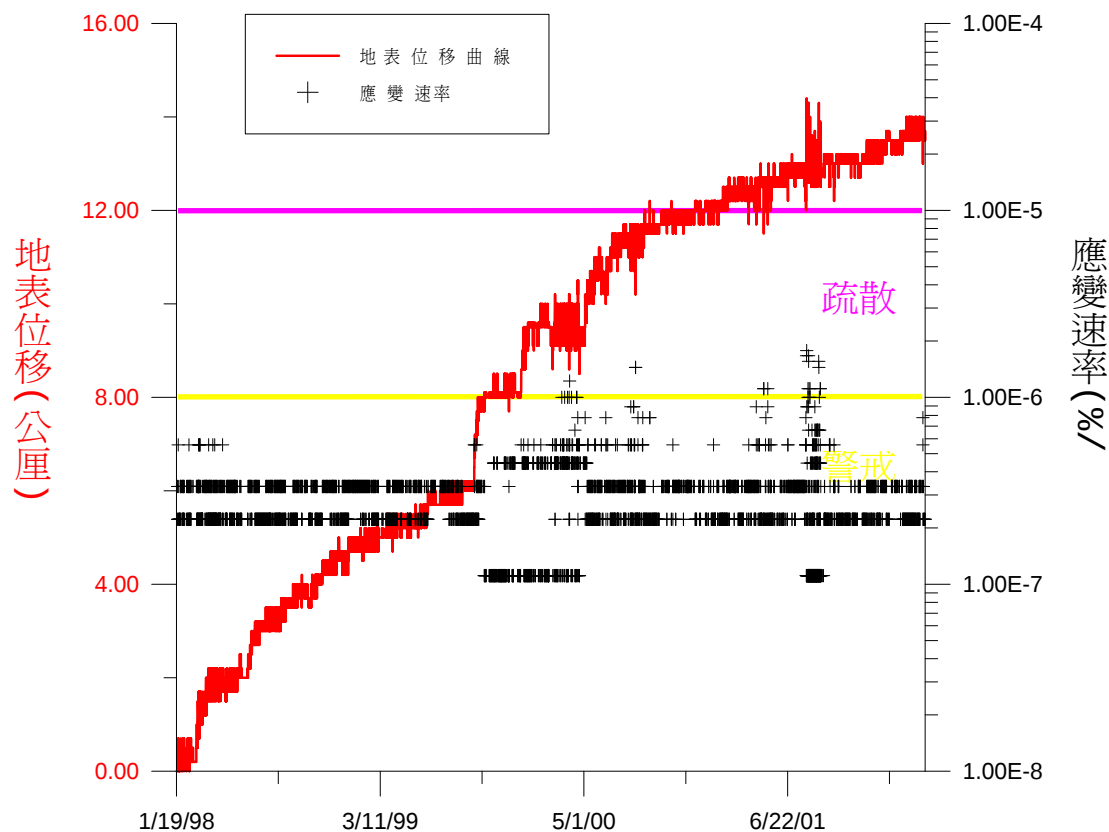


圖 31 B13 地表位移與應變速率

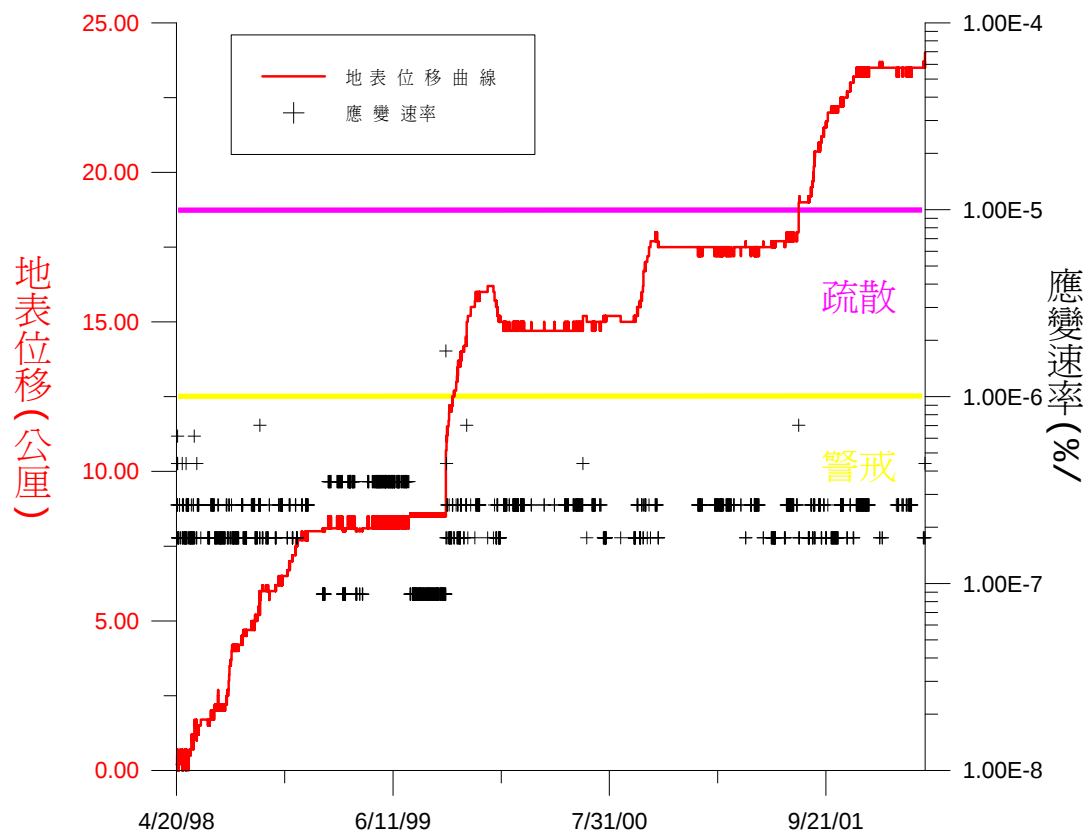


圖 32 C1 地表位移與應變速率

由圖 27 可以看出除了 921 所引起的地表變位應變速率達到疏散的標準外，其餘皆在標準以下，而 921 所引起的災害，實目前所無法預知與預防的，因此此處也不加以討論，至於 921 地震之後還有一次到達疏散標準的紀錄，而此處在先前就已討論過極有可能是人為的碰撞所引起，由此處可看出對於地表伸縮計，周圍的保護措施是很重要的，因為人為的碰撞或是動物的碰撞都極有可能會對監測系統所擷取的資料造成重大的影響，進而導致決策者誤判的嚴重後果，因此伸縮計周圍的保護實為當務之急。

由圖 28 中發現，此區除了在 921 地震當時有出現警戒的情況外，其餘的時間都沒有警戒的紀錄出現，由此可知 B4 區現地的情況應是屬於穩定的狀態。

由圖 29 中可以看出在監測站架設初期，由於此區地下水位偏高造成此滑動區的不穩定，使得地表位移曲線有劇烈的震盪情形，也使得地表位移的應變速率屢次超過警戒值，但此情況在即水井完工後大為改善，除了 921 地震之外沒有超過警戒值的紀錄，值得注意的是在 2001 年的一月二月間，此時的地表位移應變速率好幾次超過警戒值，判斷在這段時間內，此滑動區可能有不穩定的情形發生，好在這種現象在稍後已經消失，應不至於有危險發生。

由圖 30 中可看出 B9 區的應變速率除了偶而有超過警戒值外並無達到疏散標準的紀錄，而由圖中可看出 B9 區在集水井施工前的地表位移曲線起伏不小，判斷此滑動區的滑動情形仍頻，而在集水井施工後地表位移曲線的斜率有由正轉負的情形發生，這表示地表伸縮計的鋼鋼線已由先前的拉伸轉為收縮了，也就是說滑動的形式已與先前不同了，關於這個現象值得繼續的追蹤與探討。

由圖 31 中可看出 B13 區的地表位移曲線以非常穩定且緩慢的速度向上攀升，其應變速率除了於 2000 年 4 月間有數次超過警戒值外，其餘都在警戒值以下，而 2000 年 8 月間碧利斯颱風降下豪雨，也使得應變速率數次超過警戒，不過此現象在颱風過後也已消失，應無安全上的問題。

由圖 32 中可看出 C1 區的地表位移曲線呈現階梯狀，一到某一時間就會有連續的變動產生，但每次變動的應變速率皆沒有達到警戒的標準，表示雖然有變動產生，但僅止於小型的變動，並不會有大規模崩塌的危險，雖然如此仍須對此區多加注意。

由以上的分析看來，梨山各個滑動區除了 921 地震的影響外，並沒有達到過疏散標準的紀錄，而梨山從觀測以來也都未曾出現過需要疏散的情形，可見其基準值頗適合梨山現地之情形。

2. 以福圓法分析地表位移

此法之原理是由於邊坡地表位移速度多隨著破壞時刻的逼近而增快，亦即移動速度的倒數變小，在破壞時該倒數則趨近於 0，此法越接近破壞時刻準確度越高，然而梨山自從架設監測站以來並未觀測到邊坡破壞的情形，因此我們就從歷年來的觀測資料中挑選出有明顯邊坡滑動的資料，並以福圓法加以分析，找出歷年來最具有危險性的代表，來作為確定基準值的依據。而挑選資料的標準如下：

- (1) 有明顯的連續變位產生。
- (2) 位移曲線有明顯的加速段產生。
- (3) 連續變位的總變位量需大於 2MM 以上。

(如果總變位量無法超過 2MM，則其應變速率最大也只有 1.58×10^{-6} ，並不足以影響邊坡之穩定性，只能視為土體於一般正常情況下的潛變)

各滑動區的挑選圖繪於 33~38，而資料經由挑選後，以福圓法做圖，求出其破壞的時間，如圖 39。由圖中可以看出若斜線往上代表邊坡的滑動速度倒數越來越大，也就是滑動的速度越來越小，沒有加速的狀態因此破壞的時間也無法估計，反之斜線向下代表滑動速度有增加的趨勢，因此斜線與橫座標軸相交處，也就是預測的破壞時間，經由計算得之，歷年來最短的破壞時間也就是歷年來曾發生過最危險的情況，發生在 C1 區的 2000/9/19~10/16，也就是 C1-3，其預測破壞時間距最後觀測時間只有 208 個小時，雖然地表位移曲線往後的走勢漸趨平緩，而沒有破壞的情形發生，但如果滑動速度在當時沒有減緩而是持續增加，則很有可能會產生破壞。

3.4 地表位移之基準值

地表位移速率基準值的建立，是為了提供決策者於地表位移速率超過某一基準值時，應如何做出適當處置的標準，當地表位移速率超過警戒值時，其往後的地表位移速率便應該密切的加以注意，如果往後的地表位移速率漸趨緩和直至低於警戒值，則無破壞之虞，反之如果地表位移速率在超過警戒值之後，又繼續向上攀升，而超過基準值的疏散標準，決策者在此時就有發布警訊疏散當地民眾的必要，由上一節裡得知，以福圓法分析地表位移，最危險的情況為預測破壞時刻與最後觀測時刻之差距(tr)為 208 小時，將此時間代入齋藤的經驗公式反推其應變速率(ϵ)得到應變速率為 1.18×10^{-6} ，與齋藤所訂的警戒值 10^{-6} 頗為符合，因此就以齋藤所訂的值當作基準值中的警戒值，而由於梨山目前並無任何發生破壞時的資料能夠用來作為參考，因此我們就

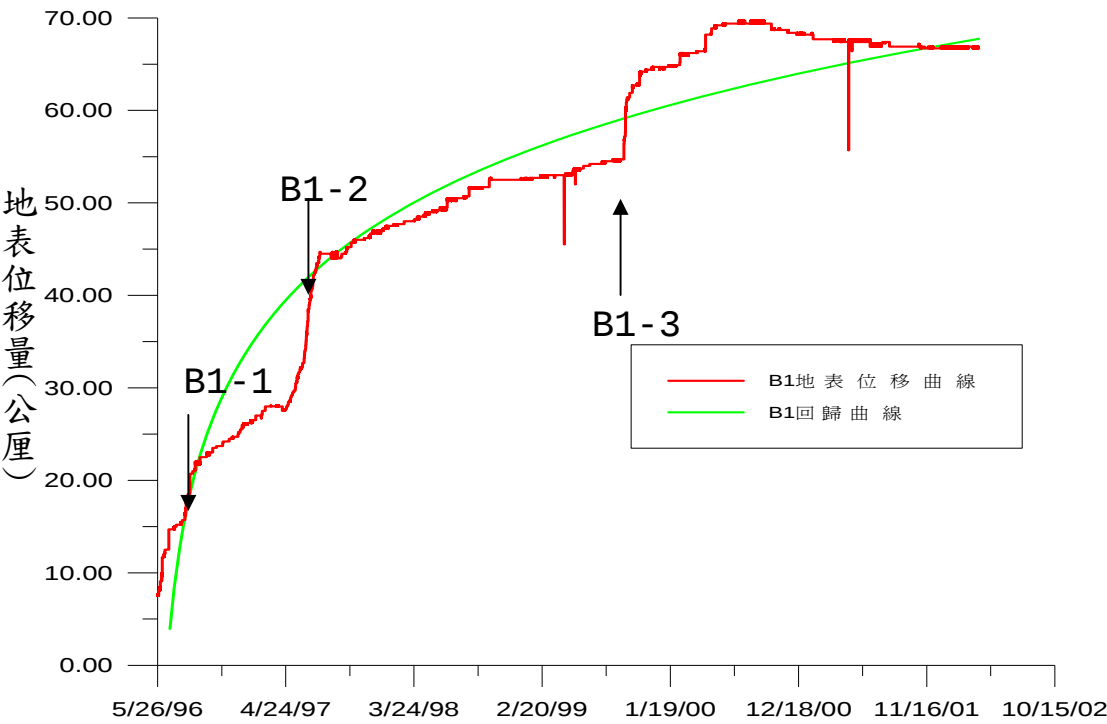


圖 33 B1 區地表位移曲線挑選圖

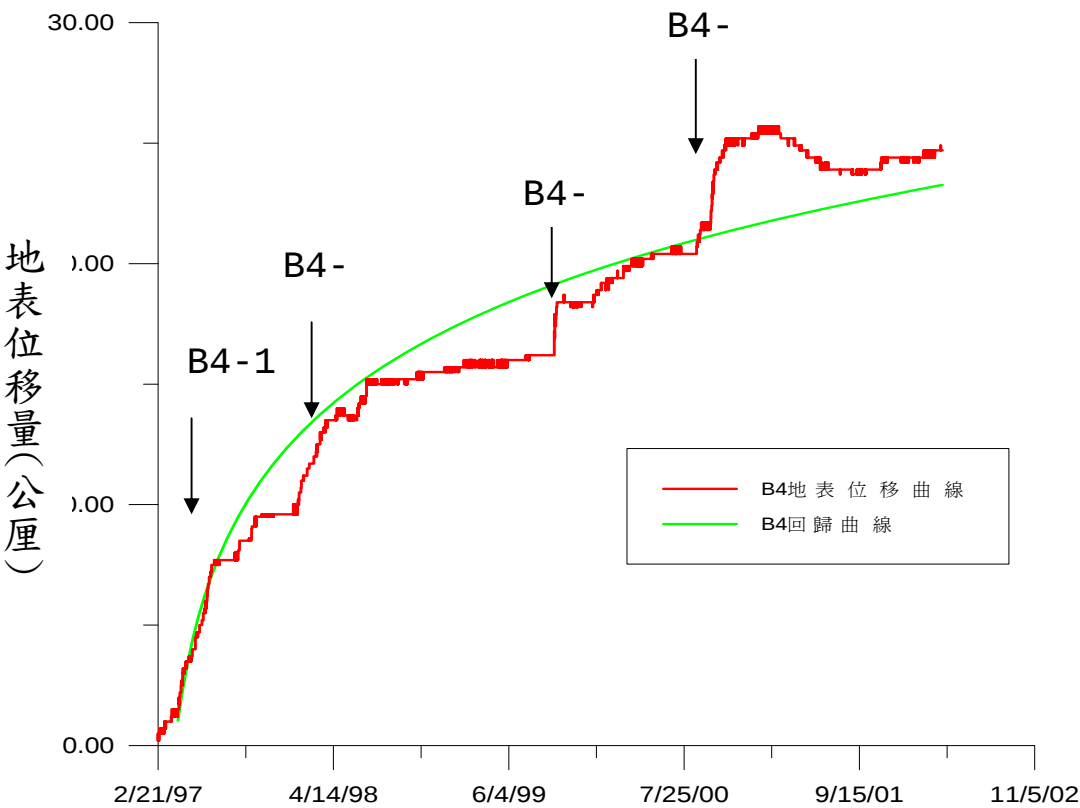


圖 34 B4 區地表位移曲線挑選圖

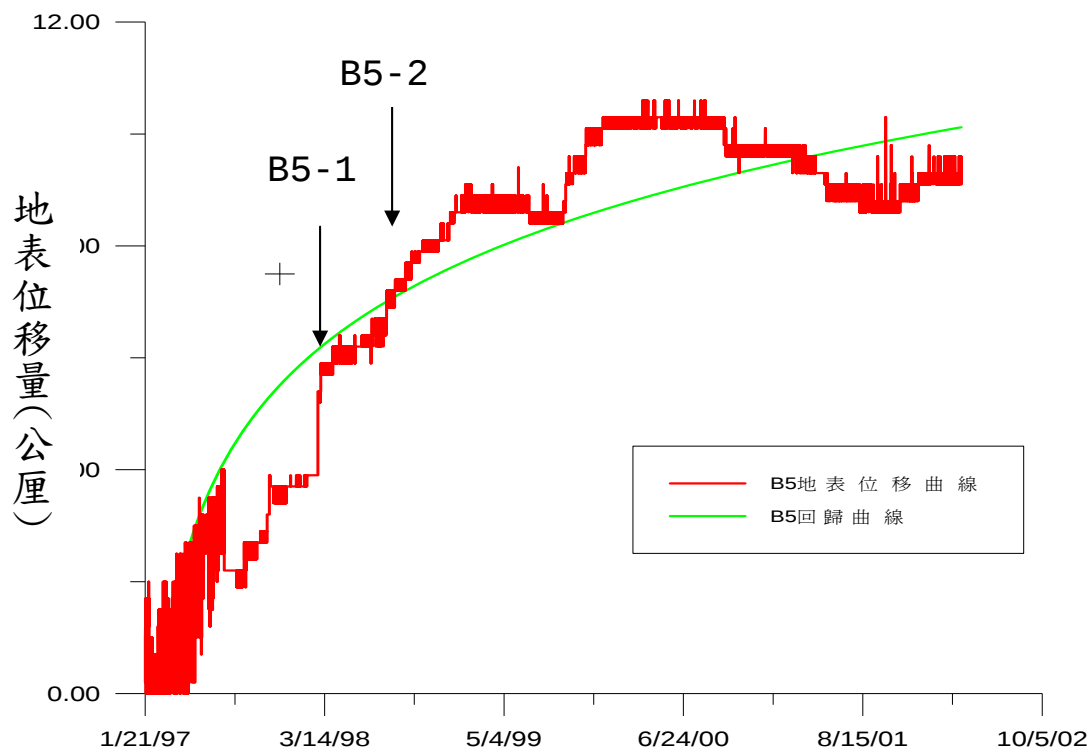


圖 35 B5 區地表位移曲線挑選圖

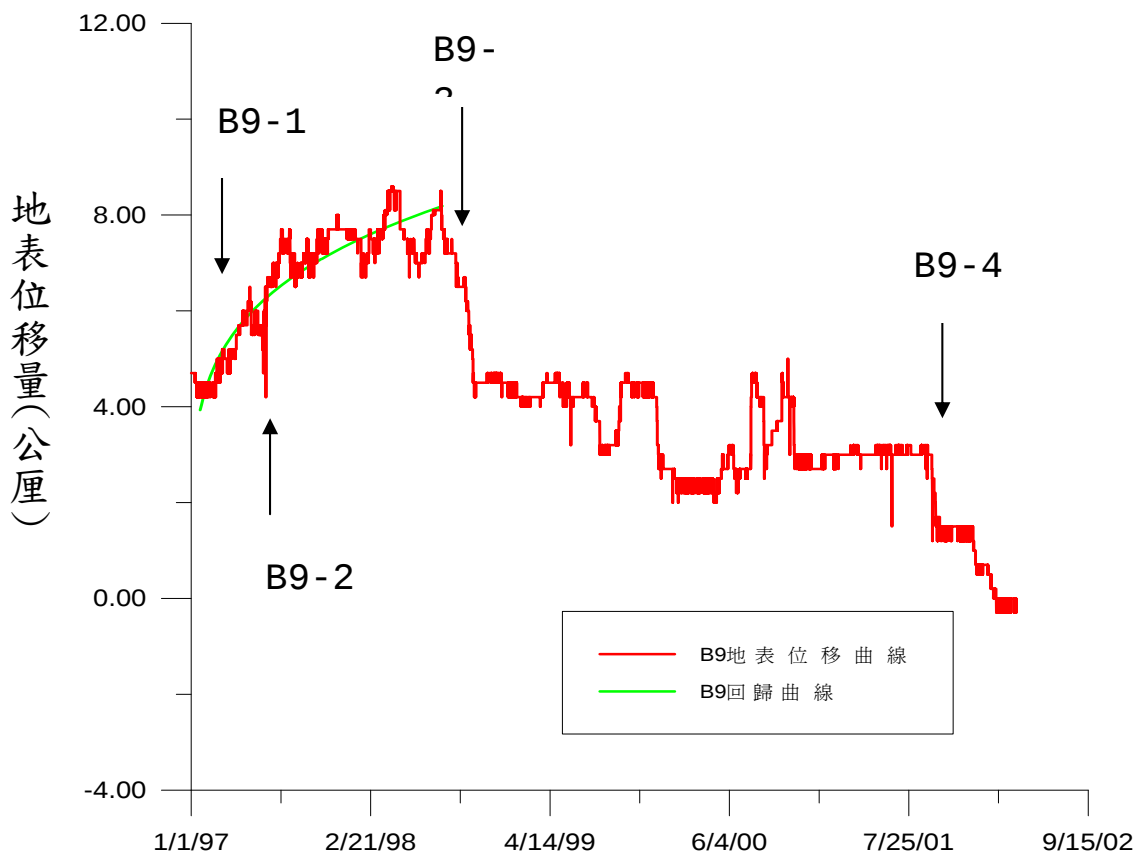


圖 36 B9 區地表位移曲線挑選圖

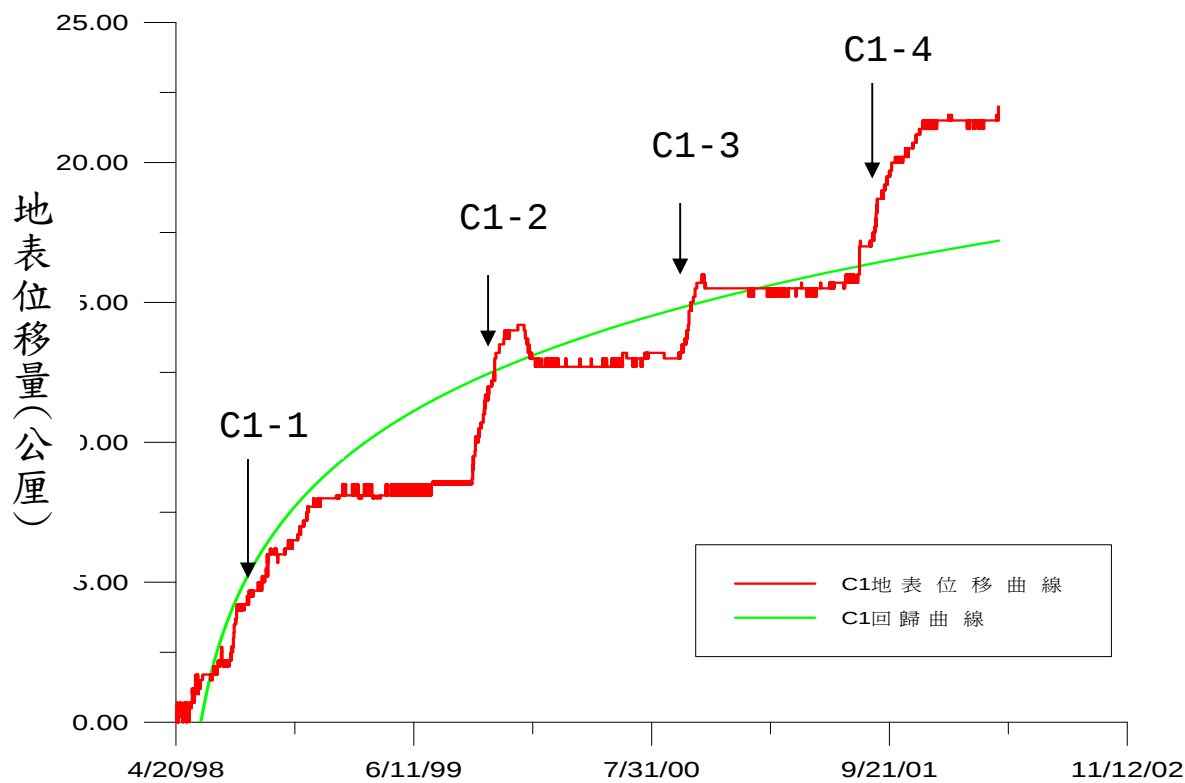


圖 37 B13 區地表位移曲線挑選圖

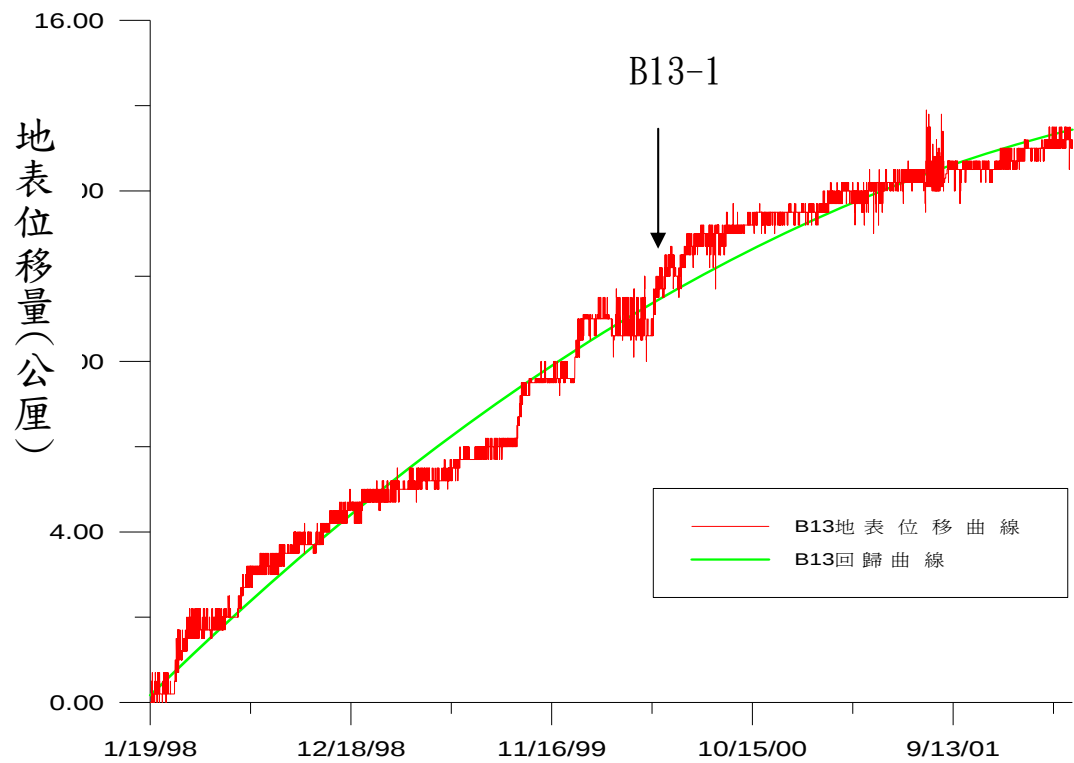
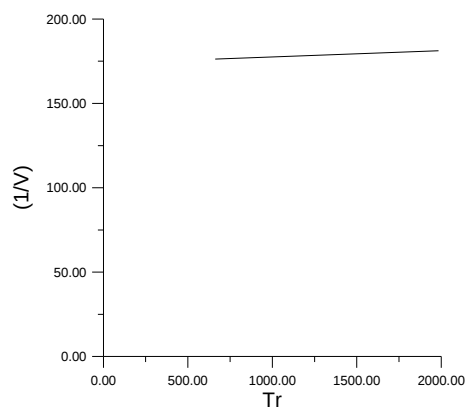
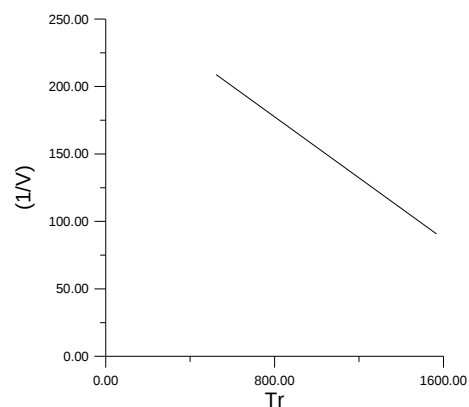


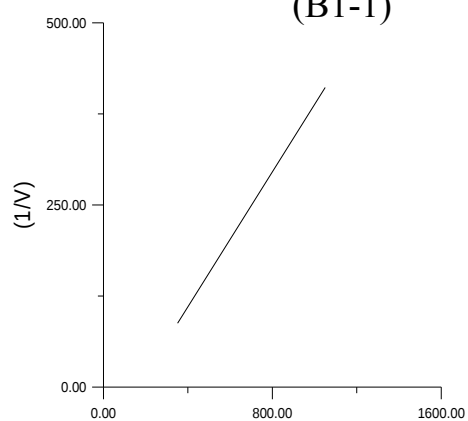
圖 38 C1 區地表位移曲線挑選圖



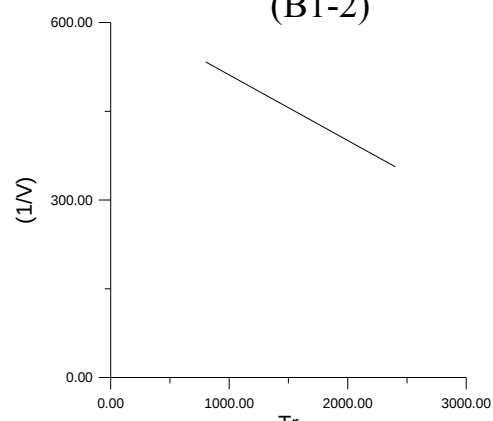
(B1-1)



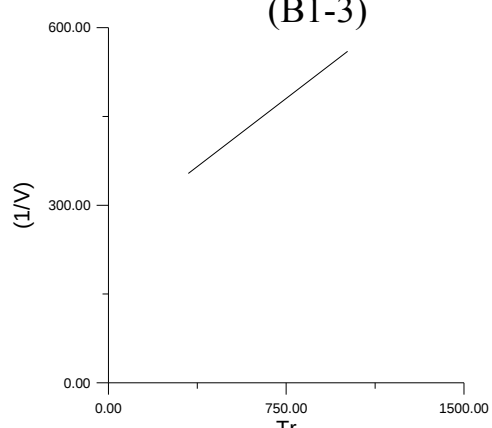
(B1-2)



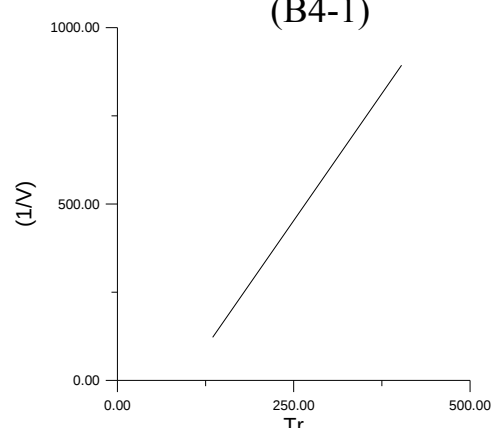
(B1-3)



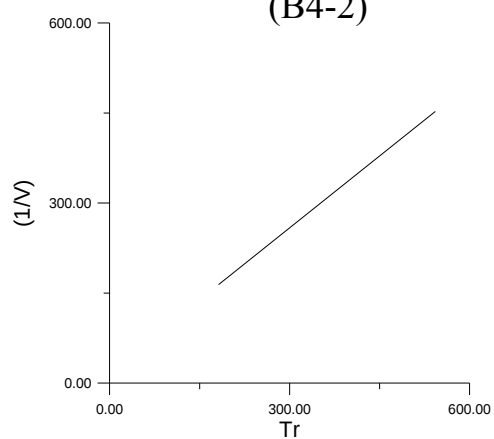
(B4-1)



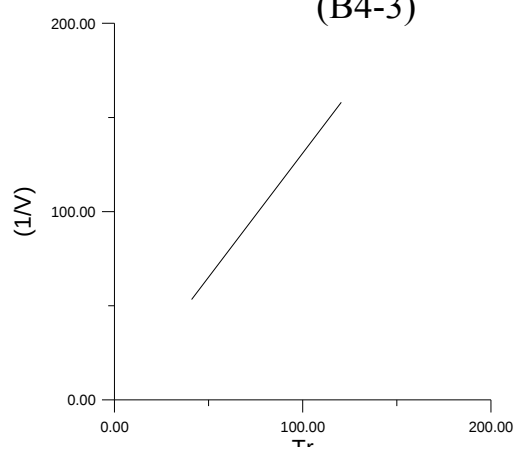
(B4-2)



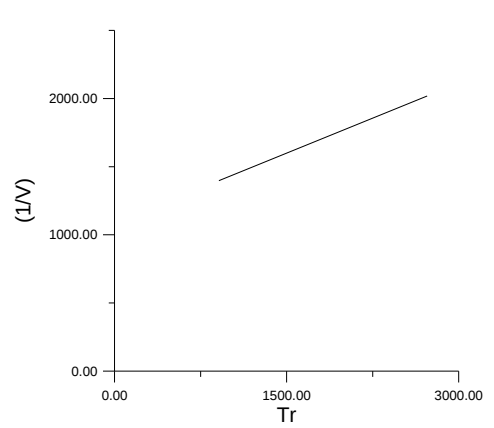
(B4-3)



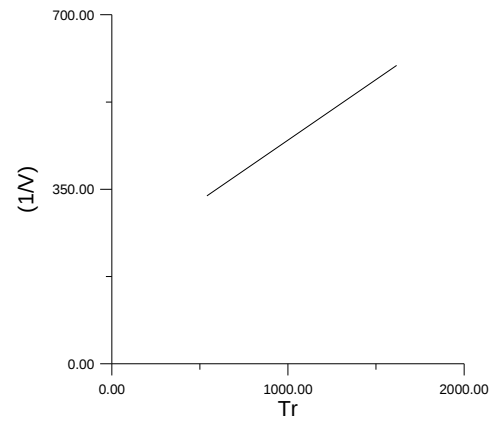
(B4-4)



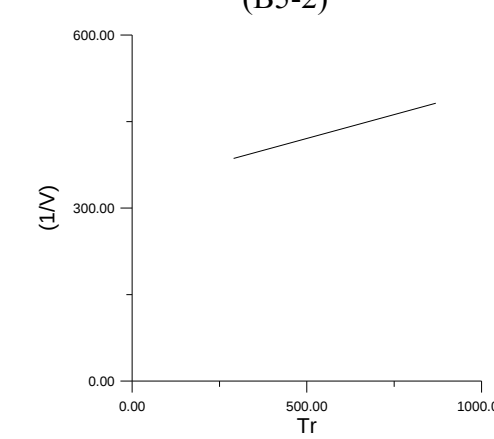
(B5-1)



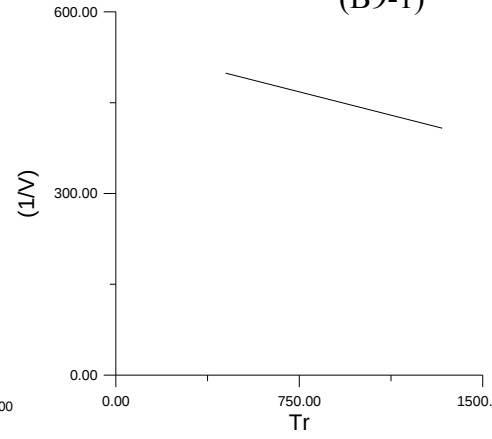
(B5-2)



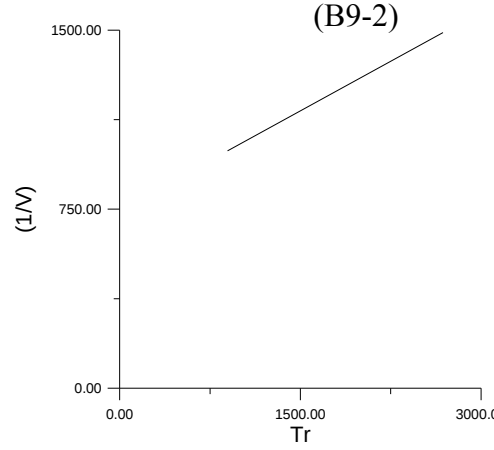
(B9-1)



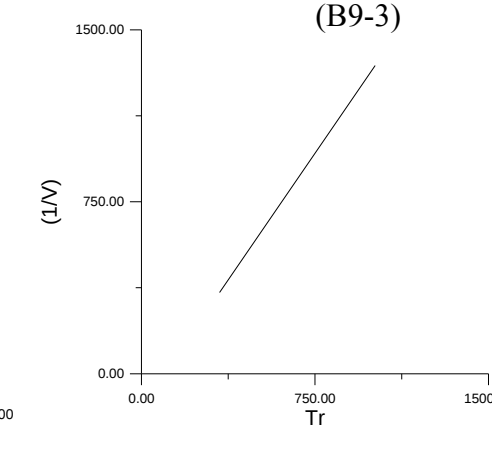
(B9-2)



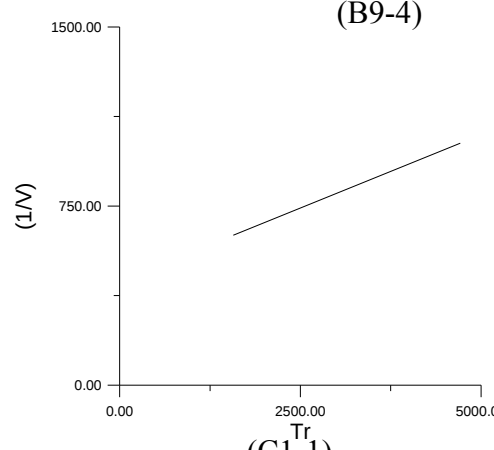
(B9-3)



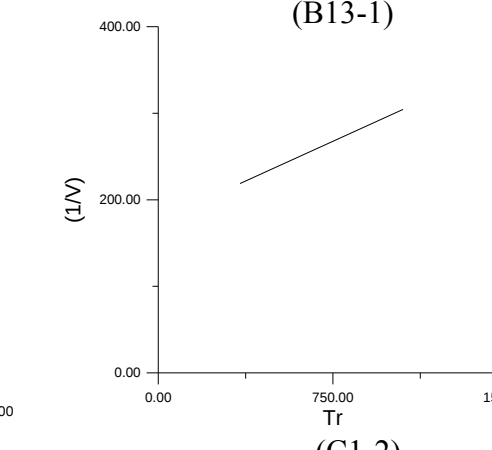
(B9-4)



(B13-1)



(C1-1)



(C1-2)

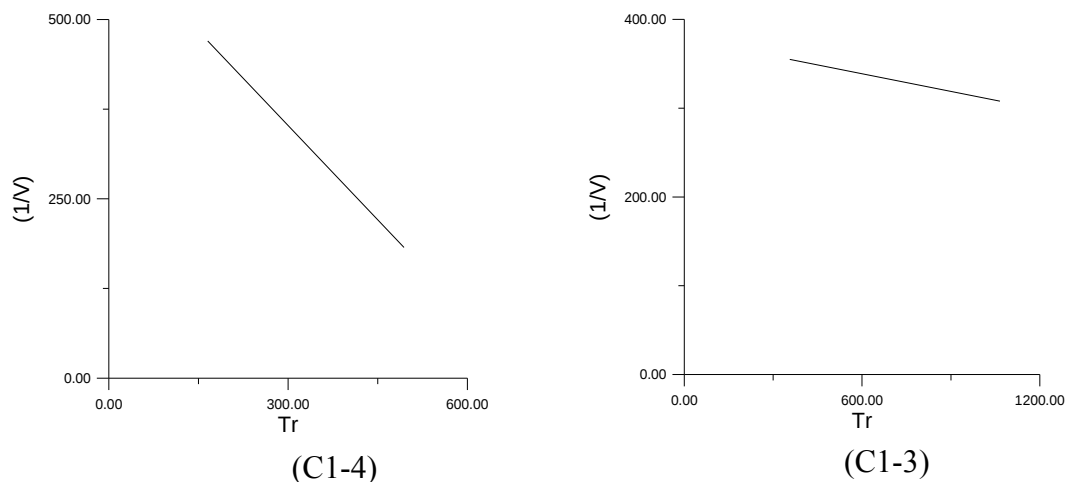


圖 39 福圓法之分析 $\frac{1}{V}$ vs. t_r 的結果

以福圓的理論，設定當破壞時間為距最後觀測時間 5 小時時為疏散，因此我們現在有了新的基準值如表 21。而此基準值的運作過程如下：一開始以齋藤的理論分析地表位移，如果地表應變速率超過警戒值則開始以福圓法分析地表位移速率，一但分析結果 t_r 小於 5 則發布疏散，而如果分析所得的直線朝上表示地表位移速率並未加速，因此又回到齋藤的理論分析。

表 21 以地表位移速率所建立之基準值

	警戒(%/分)	疏散(小時)
地表位移速率基準值	10^{-6}	$Tr < 5$

四、結論與建議

4.1 結論

梨山地滑區位於中橫公路台 8 線與宜蘭支線(台 7 甲線)交會處之梨山村一帶。本區域自開闢為高山農業區以來，山坡時常發生沖蝕及崩塌之情事，尤其以民國 79 年 4 月間所發生之地滑災害最為嚴重。此次地滑除了造成台 7 甲線路基下陷，交通因而中斷外，在其崩塌地上緣之台 8 線公路、國民旅社、梨山賓館、台灣汽車客運車站、梨山管理所及活動中心等處均有嚴重下陷或龜裂的情形發生。為了防止地滑現象的惡化及擴大，當時的台灣省政府乃委託工研院能源與資源研究所進行「梨山地區地層滑動調查與整治方案規劃計畫」擬定對策進行整治，奉行政院 83 年 6 月 25 日台八十三經二四三 0 九號函，自 84 年度起實施「坡地災害整治計畫」。

由於地滑地的安定程度受許多因素影響，也隨著治理工程的進行而會有所改變，為了有效掌握梨山地區的安全性，避免突發的狀況，造成人民生命財產的損失，應用地滑監測站的即時觀測結果，研擬有效的基準值，作為長期安全維護的依據，因此實施本梨山地滑地管理基準值訂定的計畫。本計畫經由現場水文地質調查結果、模式分析、各種地滑監測資料之整理、分析以及各種地滑預測方法之探討，制定梨山地滑區地滑管理基準及監測系統管理方法，提供管理權責單位或工程人員在接收到現地觀測結果時，可據以研判現地的情況，災害是否緊急，而擬定相關之處理對策及有效的長期管理整體監測系統，並經由即時系統顯示警示與研判的結果，供作各級人員於反應與處置時有所依循。計畫歷經四個年度，每年依調查分析結果，訂定了適用的管理基準值，並對實施之工程處理與監測系統做成評估與建議，順利完成了施工期間的任務。最後一年度的工作，則集中於整體工程成效的評估與管理準則的確立，除了加強深入對全程施行成果作檢討外，並應與相關單位協商，就長期的整體管理準則與實施方法，及其權責畫分作協調與確立的工作，終而能建立完善的管理體系。

全程工作之完成，大致得以下之結論：

- 1.地滑地管理之基準值建立，有賴於現地調查與監測結果的彙整與分析，完善的資料彙整方式及資料庫的建立為首要之工作，依此建議梨山地滑治理之推動，應同步建立架構於地理資訊系統下之資料庫，除了可以提供後續查詢分析之使用外，並可以用作管理及治理工程成效評估之依據。
- 2.地滑地之監測工作，可大致區分為(1)事前的調查監測，(2)治理工作進行中的安全監測及(3)完工後為管理與維護的監測，如何針對不同階段所需，擬定適當的監測項目，正確有效的實施，並對監測結果做適當的研判為成功之礎石，計畫進行中，將監測之項目定為區域的降雨量，各滑動土體所在之地下水位變化量與地表及地下之變位量三個主要項目，有效的發揮其監測的功能。
- 3.由監測結果之分析發現，梨山地滑區內，降雨與地下水位關係在部份監測站極為密切，透過時間序列分析及轉換函數的求取，再運用類神經預測，可以很正確的由降雨量預測邊坡內部地下水位的變位，經過長期觀測資料的驗證，為穩定性變化預測建立了良好的關係。
- 4.降雨量的基準值訂定採用梨山長期雨量觀測結果做分析，由其不同回歸暴雨頻率為基礎，結合觀測期間的雨量紀錄檢討依一小時降雨，累積 24、48、72 小時降雨等資料，綜合評定出雨量的基準值，分別為小時降雨的注意基準值為 20mm，累積 24 小時降雨的

注意基準值為 100mm，而警戒基準值為 150mm，另外累積 48 小時的警戒基準值則為 200mm，與過去幾場颱風暴雨在梨山地區造成的影響，這些基準值應為適當。

5. 對於梨山地滑地的監測地下位的基準值利用邊坡穩定分析的結果與回歸方程式以及監測數據分析結果綜合來作為危險地下水位基準值的依據。針對梨山地區的潛在滑動面進行分析，建立地下水位與安全係數的關係式，以進行即時系統的構建，並利用 ARCVIEW 進行空間分析後，所得到的剖面情況，以 SLIDE 進行邊坡穩定分析，並由地層判識的結果配合自動監測的資料，進行地質參數之反算與回歸方程式之建立，最後配合監測數據分析之總體研判訂出地下水之基準值。分析結果除了可以持續掌握邊坡穩定性變化，也可作為治理工作實施前後的安定性比較，當做治理成效評定的依據。
6. 邊坡發生滑動為受力狀態下無法維持平衡的後果，針對地表位移的長期觀測，計算其位移量與應變的速率，可以提供做其邊坡穩定程度的評估及邊坡破壞時間的預測，針對地表位移的基準值，採用監測站所觀測得過去的地表位移量記錄，分段計算其位移速率，並與齋騰 1987 年的理論相比較，確定採用應變速率達 $10^{-6} \%$ /分為警戒的基準值，而在變化持續變大，預測邊坡破壞時間距離少於 5 小時的時候，應發佈疏散的警報，這樣的基準值經比對長期觀測資料，應適用於梨山地滑地區的管理。
7. 梨山即時觀測管理系統，應用了上述的結論，結合降雨量、地下水位變化與地表變形量的即時數據，應用分析，評定出相關剖面的安全性，針對各個監測站、各個滑動剖面及整體的安定性，做成評斷，並經由設計完成 Window 視窗下的操作畫面，將監測資料與安全性評定的結果，即時顯示在電腦螢幕與顯示看板上，使用者可以有有效的執行，發揮地滑災害預警的功效。

4.2 建議

全程工作之進行，已大致完成原定之項目，除了結論一節中所述之成果，並有以下幾點建議事項，供往後之參考。

1. 地滑地的治理工作中，必需有監測系統來作為調查階段，施工階段及完工後的觀測作業，對監測結果的分析討論進而建立管理所需之各項基準值實屬必要。相關的坡地或集水區治理工作應儘量涵蓋監測與基準值建立的概念，以強化防災工作之效能。

2. 監測系統與基準值建立為一災害地區長期必要進行之項目，災害的危險性隨著治理工作及天然或人為條件的改變而有所變化，應持續進行檢討與修正的工作，才能真正發揮有效管理與災害預警之功能。
3. 本計畫進行中所建立的各項分析方法與基準值，已經驗證其可行性，往後國內實施類似工作，可以參考使用經驗及成果的傳遞，並擴大檢討的範圍，長期可以提昇其適用性與準確度，尤其監測觀念的重要性，應值得推廣。相關的水土保持與防災的工作應將監測納入考量。

