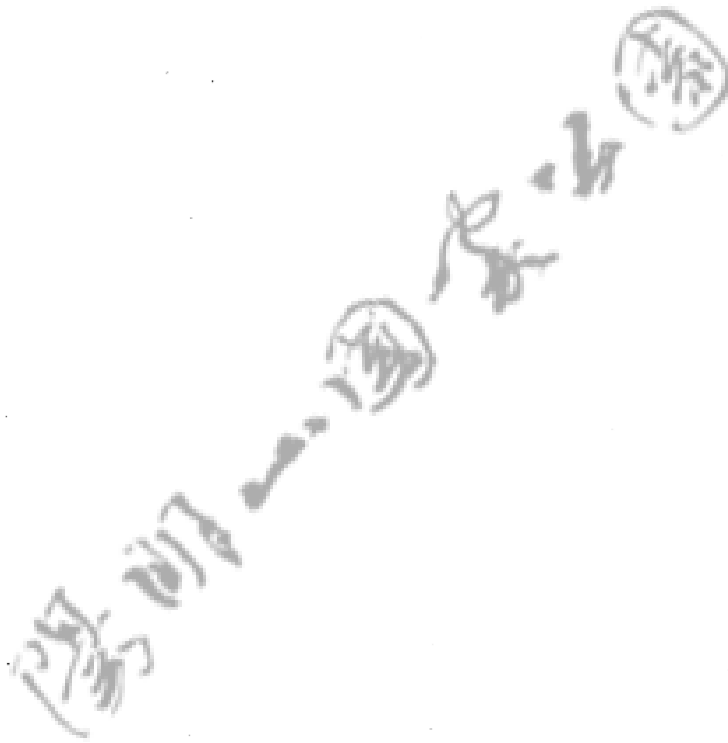


陽金公路大屯橋段上邊坡崩塌區 第二階段防災整治處理規畫設計



委託單位：內政部營建署陽明山國家公園管理處

受託單位：中華水土保持學會

計畫主持人：國立台灣大學農業工程學系 黃宏彬 教授

協同主持人：國立中興大學水土保持學系 段錦浩 教授

八十九年三月

目錄

一、計畫目的	P1
二、計畫範圍	P1
三、基本資料	P1
四、土石流防治措施	P3
五、施工方式	P9
六、土石量估算	P9
七、植生綠化	P9
八、土石流預警系統	P9
九、解說牌	P12

陽明山國家公園

圖目錄

- 圖一 陽明山國家公園地形圖
- 圖二 小由坑集水區域圖
- 圖三 河道各測點關係圖
- 圖四 河道縱斷面圖
- 圖五 河道橫斷面圖
- 圖六 空壩時土石流推擊示意圖
- 圖七 靜土堆積加最大地震狀態示意圖
- 圖八 壩體後方土石淤滿時土石流溢流示意圖
- 圖九 壩體後方土石接近淤滿時巨石撞擊示意圖
- 圖十 1 號梳子壩斷面正視圖
- 圖十一 1 號梳子壩配筋圖
- 圖十二 2 號梳子壩斷面正視圖
- 圖十三 2 號梳子壩配筋圖
- 圖十四 固床工示意圖
- 圖十五 固床工配筋圖
- 圖十六 梳子壩加輪胎保護示意圖

附錄目錄

附錄一 一號壩之設計

附錄二 二號壩之設計

陽明大學圖書館

一、計畫目的

陽明山國家公園由於幅員廣闊，又有陽金公路和其它大小不同等之產業道路或農路充斥其中，隨時會有土石流流出之危險，並對於道路交通、用路人和下游地區之居民等均造成極大的威脅。

其中，大屯橋上游之山溝在近幾年曾經發生土石流，不僅阻礙交通，甚至發生淹沒過往車輛之記錄，而目前部份土石堆積在於大屯橋上游兩側，隨時有形成土石流之疑慮並對交通和用路人造成不小的威脅。長期治本之方法宜以如馬槽橋之案例，於合適的地點構築高跨單跨之橋樑以保障交通不受土石流的影響。但於道路改道完成前則宜設置簡易之土石流攔截構造物和土石流之警告標誌，以維護交通順暢及保護用路人之生命財產安全。

二、計畫範圍

陽明山國家公園位處台北盆地北緣，東起磺嘴山、五指山東側，西至向天山、面天山西麓，北從竹子山、山地公嶺，南迄紗帽山南麓，面積約 11,455 公頃。行政區包括台北市士林區、北投區、台北縣淡水鎮、三芝鄉、石門鄉、金山鄉、萬里鄉等山區。海拔高度在 200 公尺至 1120 公尺之間。

三、基本資料

1.地形

計畫基地以山坡地為主要地形，山溝兩邊坡面為山嶺區之密植草生地，海拔高度 740 公尺~840 公尺，平均坡度 31.74%。

2.地質

根據經濟部中央地質調查所之記載，本區域範圍之地質應屬大屯火山群系第四紀更新世初期所噴發之安山岩流及凝灰角礫岩，在七星山及磺嘴一周圍尚有由後火山活動作用所造成之爆裂火口、硫氣孔、噴氣孔等為硫氣及溫泉水溢出之處。不過表層大部份為火山灰夾凝灰岩塊及安山岩塊堆積層，此區域易受地下水滲流之影響而造成沖刷破壞，於暴風雨時，應特別考慮此區域之排水及土壤特性對路基或相關設施之影響。

3.土壤

(1)崩積層之滲透性

本基地下之土層係屬於安山岩塊層夾砂質粘土層，其厚度由 10~45m 不等，一般粒徑約 5~80cm，此種崩積材料滲透性受制於岩屑之鬆緊度

($K=10^{-3} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$)，且因土壤成份中含有高塑性之粘土其亦影響土壤之滲流性質。由試驗結果顯示，本基地內之土壤屬於級配不良之塊石夾砂質粘土

層，土壤分類屬 GC，一般載重作用下土壤之承载力與沉陷量較無問題；而基地內地下水位於鑽孔期間量測其地下水位在高程 650~760m。

(2)崩積層之力學性質

根據收集及現場調查之資料及室內試驗之結果，可推估本基地下崩積之摩擦角 $\phi = 36^\circ \sim 43^\circ$ ，凝聚力 $C = 0.1 \sim 1.0 \text{ t/m}^2$ 。

(3)崩積層之壓縮性

塊石層夾粘土之緊密狀態隨著深度增加，其壓縮性有限，根據土壤力學及砂質粘土與卵礫路粒狀土壤之特性，當土壤承受載重時，產生立即壓縮而達成最大沉陷，而後繼所增加之沉陷值則微小可忽略之。

(4)崩積層之基礎承载力

綜合室內試驗結果，此基地岩石之單軸壓縮強度在變形量 0.4~0.8% 左右時為 80~2300 t/m^2 左右，以供結構物設計之參考。

4.水文

(1)集流時間之計算：

集流時間係指地表逕流自集水區最遠一點到達工程地點出水口所需時間，一般是採用 Rzhia 經驗公式、Kraven 公式，或是美國加州公式來估算，由於 Rzhia 經驗公式之估算結果較為保守，故本計畫採用 Rzhia 經驗公式來估算。

Rzhia 經驗公式如下：

$$v(\text{m/sec}) = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6}$$

$$t_c(\text{min}) = \frac{L}{v}$$

式中， v ：地表逕流速度（m/sec）

H ：溪流縱斷面平均高度（m）

L ：溪流長度（m）

t_c ：集流時間（min）

集流時間經計算結果如下：

H(m)	L(m)	V(m/sec)	t_c (min)
330	1039.6	10.05	1.72

(2)降雨量與降雨強度分析：

降雨量、降雨強度之推估依水土保持技術規範第二十二條和第二十三之規定辦理之。降雨強度依水土保持技術規範之規定，參照無因次降雨強度公式推估：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^C}$$

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2$$

式中，T：重現期距（年）

t：降雨延時（分）

I_{60}^{25} ：重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度（公釐/小時）。

P：年平均降雨量（公釐）

A、B、C、G、H：係數。

經參照中央氣象局之資料查得陽明山地區的各项係數其結果如下：

站名	A	B	C	G	H	P(mm)
竹子湖	10.17801	55	0.49434	0.54251	0.31795	4688.2

降雨強度經計算結果如下：

I_{60}^{25} (mm/hr)	I^{10} (mm/hr)	I^{25} (mm/hr)	I^{50} (mm/hr)
101.2	120.9	138.7	152.1

(3)開發前、中、後逕流係數推估（C）與逕流量分析：

本計畫區之逕流係數推估，根據水土保持技術規範中第二十六條之規定，有關逕流係數 C 值之決定，由於本計畫區山溝兩邊坡面為山嶺區之密植草生地，以安全因素為考量，並參考水土保持技術規範中之逕流係數 C 值選擇參考表，因此本計畫區之逕流係數 C 值可訂為 0.75。

逕流量分析，根據水土保持技術規範中第二十五條之規定，因為本計畫區面積小於 1000 公頃，故可採用合理化公式。

合理化公式如下： $Q_p = \frac{1}{360} CIA$

式中，Q：洪峰流量（ m^3/sec ）

C：逕流係數（無單位）

I：降雨強度（mm/hr）

A：集水區面積（hr）

經計算結果如下：

	C	I (mm/hr)	A (hr)	Q (m^3/sec)
Q25	0.75	138.7	10.85	3.13
Q50	0.75	152.1	10.85	3.44

四、土石流防治設施

本計畫區主要以防治土石流之危害為主，因此在水土保持設施上採用土石流攔阻工法來攔阻土石流以減少對下游地區的危害。水土保持攔阻工法分為透過性壩和非透過性壩兩類，本計畫內容將採用梳子壩（透過性壩）來加以處理。梳子壩構建在土石流可能發生之災害地區，可以將較大之巨石攔阻於上游，避免為害下游地區之安全。本計畫中擬由崩場地至大屯橋分別依據不同的狀況，

並依據現場實際狀況，擬由大屯橋至爆發口下游及中游處各設立兩座梳子壩，最上游處設置一座固床工。

(一) 設計假設

1. 不會有兩顆以上巨礫同時撞擊壩體，就算巨礫有可能同時撞擊壩體，但由於壩體接觸面裝設輪胎，所以一旦可能有兩顆以上巨礫同時撞擊壩體，也會因為輪胎內之填充物並非均質，導致撞擊力之傳導速率不同，而致使撞擊力同時到達柱子的時間也不會相同，故假設不會有兩顆以上巨礫同時撞擊柱子。
2. 撞擊之巨礫採用一號梳子壩採用 0.6m 之直徑之石礫來計算，二號梳子壩則採用 0.9m 直徑之石礫來計算。
3. 土石流平均推力依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，一號梳子壩及二號梳子壩處分別採用 6ton/m^2 、 12ton/m^2 兩種推力來計算。
4. 土石流流速= 5m/s （依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，由坡度 $10\%\sim 15\%$ ，可得流速約 $3\text{m/s}\sim 5\text{m/s}$ ，故流速採保守估計為 5m/s ）
5. 壩體檢算時依下列種狀況來討論：
 - (1) 空壩時土石流平均推擊
 - (2) 靜土堆積狀態（地震）
 - (3) 壩體後方土石淤滿時土石流溢流
 - (4) 壩體後方土石接近淤滿時巨礫撞擊

(二) 靜力檢算條件：依據水土保持技術規範第 216 條辦理之：

1. 傾倒檢算：以壩底下游端為軸，取合力矩使壩體不傾倒，即壩體自重及外力之合力點，應在壩底之中央 $1/3$ 以內。設合力作用點至壩趾版 G 點之距離為 S，則：

水平合力 R_h

垂直合力 R_v

$$R_v \times y = \text{total moment} \quad \Rightarrow \quad y = \frac{\text{total moment}}{R_v}$$

其中 y 為由端點 g 至合力作用點之距離

$$e = \frac{L}{2} - y, \quad \text{若 } e < \frac{L}{6} \text{ 則 O.K.}$$

$$\text{且傾覆安全係數 } F.S. = \frac{\sum M(+)}{\sum M(-)} \geq 1$$

2. 承载力檢算：即壩底趾部及踵部之垂直應力必須小於地質容許支承力，以防止壩基之沈陷，及壩體不發生張應力為原則。假設 B_{pu} 為上游承載

力，為 B_{pd} 下游承載力。因為基地之基礎承載力為 $80 \sim 2300 \text{ t/m}^2$ ，進而檢算時採用承載力為 40 t/m^2 ，使設計結果更趨保守，因此當 B_{pu} 及 $B_{pd} < 40 \text{ t/m}^2$ ，則 O.K.。

3. 滑動檢算：壩體內部任何一點均不能發生滑動，即摩擦抵抗力必需大於水平分力。其滑動安全係數 $F.S. = (\text{壩底摩擦力} / \text{作用力之水平分力})$ 。於水土保持技術規範 261 條中有關 $F.S.$ 之規定如下：滑動安全係數採用 1.1 到 1.5。

(三) 剪力檢算

1. 柱子、Key、種板、趾板分別依四種檢算狀況（空壩時土石流平均推擊、靜土堆積狀態、壩體後方土石淤滿時土石流溢流、壩體後方土石接近淤滿時巨礫撞擊）中最大剪力加以設計。

2. 計算步驟：(1) 先計算出各部份之總力矩 M

(2) 取單位寬 $b=100\text{cm}$ ，厚度為 d ， $R=14.1$ ， $k=0.336$ ， $j=0.888$

(3) 混凝土強度 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ ，鋼筋強度 $f_s=1680 \text{ kg/cm}^2$

(4) $bd^2 = \frac{M}{R}$ ，計算可得一 d 值

(5) 剪力檢算：

a. 剪應力 $Ph=P \times \cos \omega$

b. 抗剪力 $V_c = \frac{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d}{1000}$

取兩者較大者為 F ，再推得 d' 值

$d' = \frac{F \times 1000}{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b}$

所需要之鋼筋斷面積 $A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d'}$

實際混凝土厚度(取整數) = d' + 保護層 + 鋼筋直徑之半。

(四) 梳子壩設計

有關梳子壩之檢算請參考附錄一及附錄二。

一號壩之設計

- 1 經過靜力檢算後，以靜土堆積後單粒巨石撞擊之狀態最危險。

2. 剪力計算部份

- (1) 由於柱子所承受之力以靜土堆積後單粒巨石撞擊之力量為最大，所以柱子之配筋以此狀態來考慮。
- (2) 踵版於土堆積後單粒巨石撞擊時受力最大，所考慮之力包括推積之靜土壓力（垂直）、土之重量、踵版混凝土自重、承載力及上揚力，所以在踵版配筋之計算以土堆積後單粒巨石撞擊來考慮。
- (3) 趾版於空壩土時石流撞擊時受力最大，所考慮之力包括覆土重、

趾版混凝土自重、承載力，所以在趾版配筋之計算以空壩土時石
流撞擊來考慮。

3.所設計之一號壩形式

- (1) 柱高 4m
- (2) 柱子之面寬 2m
- (3) 柱子頂寬 1m
- (4) 開口寬 0.8m
- (5) 趾版覆土厚 0.3m
- (6) 梳子壩之長度 30m，若包括深入兩岸岩盤之翼牆則長度為 38m。
- (7) 梳子壩之尺寸如下：(面版頂端厚度 1m，Key、踵板、趾板頂端
厚度 0.3m)

	Stem(m)	Key(m)	heel(m)	toe(m)
長度設計	4.0	1.65	5.95	2.00
厚度設計	2.2	0.45	0.65	0.3

- (8) 梳子壩之配筋如下：

配筋設計				
	Stem	key	heel	toe
主筋	#8@14cm	#8@14cm	#8@6.5cm	#6@12cm
排數	3	1	1	1
握裹	90cm	90cm	90cm	50cm
副筋	#5@14cm	#5@14cm	#5@6.5cm	#3@12cm
握裹	35cm	35cm	35cm	30cm

- (9) 剪力鋼筋：

經剪力計算後可知，柱子之抗剪強度不足，故需加剪力鋼筋
(箍筋)，計算後可得剪力鋼筋之間距如下：

範圍 (柱子跟部為 0)	剪力鋼筋間距
0m~1.33m	#4@20cm
1.33m~2.4m	#4@20cm
2.4m~4m	#4@20cm

二號梳子壩之設計

由於二號壩處之巨石撞擊力甚大 (巨石粒徑 0.9 公尺，流速 5m/s，撞擊
力 279.4ton)，且壩之長度較窄 (16 公尺)，故欲使壩體於靜土堆積後單粒巨石
撞擊時仍能保持安定，則壩體之設計斷面甚大，且會使其他三種狀況下之上游
承載力產生負值，但由於靜土堆積後單粒巨石撞擊發生之機率甚小，故設計之
原則為使在其他三種狀況下承載力不產生負值，以此原則設計之壩體於靜土堆
積後單粒巨石撞擊時，傾倒之安全係數稍微偏小 (F.S.=0.96)。

1.經過靜力檢算後，以靜土堆積後單粒巨石撞擊之狀態最危險。

2.剪力計算部份

- (1) 由於柱子所承受之力以土堆積後單粒巨石撞擊之力量為最大，所以，柱子之配筋以此狀態來考慮。
- (2) 踵版於土堆積後單粒巨石撞擊時受力最大，所考慮之力包括推積之靜土壓力（垂直）、土之重量、踵版混凝土自重、承載力及上揚力，所以在踵版配筋之計算以土堆積後單粒巨石撞擊來考慮。
- (3) 趾版於土堆積後單粒巨石撞擊時受力最大，所考慮之力包括覆土重、趾版混凝土自重、承載力及上揚力，所以在趾版配筋之計算以土堆積後單粒巨石撞擊來考慮。

3.所設計之二號壩形式

- (1) 柱高 3m
- (2) 柱子之面寬 2m
- (3) 柱子頂寬 1m
- (4) 開口寬 1.5m
- (5) 趾版覆土後 0.3m
- (6) 梳子壩之長度 16m，若包括深入兩岸岩盤之翼牆則長度為 23m。
- (7) 梳子壩之尺寸如下：（面版頂端厚度 1m，Key、踵板、趾板頂端厚度 0.3m）

	Stem(m)	Key(m)	heel(m)	Toe(m)
長度設計	3.00	2.25	5.50	2.75
跟部厚度	1.90	0.65	0.65	0.40

- (8) 梳子壩之配筋如下：

配筋設計				
	Stem	key	Heel	toe
主筋	#8@8cm	#8@10cm	#8@6.5cm	#6@8cm
排數	4	1	2	1
握裹	90cm	90cm	90cm	50cm
副筋	#5@8cm	#5@10cm	#5@6.5cm	#6@8cm
握裹	35cm	35cm	35cm	30cm

- (9) 剪力鋼筋：

經剪力計算後可知，柱子之抗剪強度不足，故需加剪力鋼筋（箍筋），計算後可得剪力鋼筋之間距如下：

範圍（柱子跟部為 0）	剪力鋼筋間距
0m~1m	20cm
1m~1.8m	20cm
1.8m~3m	12.5cm

（五）固床工之設計

- 1.原本於計畫中擬作三座梳子壩，但經過實地測量後，決定將第三座梳子壩改作為固床工，其主要目的為防止河床繼續刷深，並防止兩岸崩

塌。

2.固床工之兩翼牆均深入兩岸岩盤當中，兩翼牆之坡度由原有河岸決定。

3.固床工尺寸如下

- (1) 底部厚度 2m
- (2) 翼牆厚度 1.5m
- (3) 平行河流流向之厚度為 1m
- (4) 固床工下底厚度為 2.75m
固床工上底厚 1.68m
- (5) 高度 7.1m

4.固床工之配筋如下：

配筋設計			
	底部	左翼牆	右翼牆
主筋	#6@21.67cm	#6@21.67cm	#6@21.67cm
排數	8	7	7
握裹	50cm	50cm	50cm

另外採用箍筋#3，每 30cm 一支。

五、施工方式

施工流程：

- (1) 於所選定之壩趾位置進行開挖工程，且因為覆土高 30 公分，所以壩體最低點之位置取為原斷面最低點下方 50 公分，如此設計較為安全。
- (2) 依設計尺寸開始為 key 排筋。
- (3) 排筋至適當長度時，由最左岸開始放置模版(木板)。
- (4) 木板鋪設置適當長度，回填土石之後開始灌漿。
- (5) 適當時間後，將木板抽起，重複利用木板再繼續進行剩餘部份之灌漿工程。
- (6) 因為灌漿時混凝土會滲入土壤之中，所以在灌漿時與土壤接觸部份，key 依原設計尺寸兩側多 10cm，如此設計較為安全。
- (7) 注意壩翼須嵌入兩岸，一號壩壩翼長 6 公尺。，二號壩壩翼長 5.5 公尺。
- (8) 固床工施工時先行開挖部份，開挖深度為配合架設模版，所以開挖深度較原設計深度多 20cm；至於兩側則多開挖 50cm 以方便模版之鋪設。
- (9) 固床工較陡之部分，由於現場坡度較陡，不宜直接回填，所以把現場挖方之土先放置於麻布袋內，再利用裝有土之麻布袋作為現場回填之材料於以利回填。

六、土石量估算

挖方	2735.52m ³
現場回填攤平	2735.52m ³

七、植生綠化

本計畫區位於國家公園內，所以防災設施儘量應以不破壞自然景觀為原則，因為本防災設施以梳子壩為主，所以擬在梳子壩之三面（除面向土石流之撞擊面外），予以貼石片以加強美觀。至於土石流之撞擊面因為有裝設輪胎以消能，所以在輪胎內緣填土並種植藤類植物。

八、土石流預警系統

本防災計畫除了在本地區構築兩座系列梳子壩，以實際保護下游道路行人車輛之安全外，為了防患於未然，擬於最上游之梳子壩及大屯橋兩側土石流設置即時預警系統。本系統包括利用雨量參數所控制之黃燈警戒措施，以及安裝於壩體上之鋼索斷電裝置，監測土石流實際之發生狀況，適時發布紅燈管制措施。整個預警系統作用流程如圖 1 所示。茲分述如下：

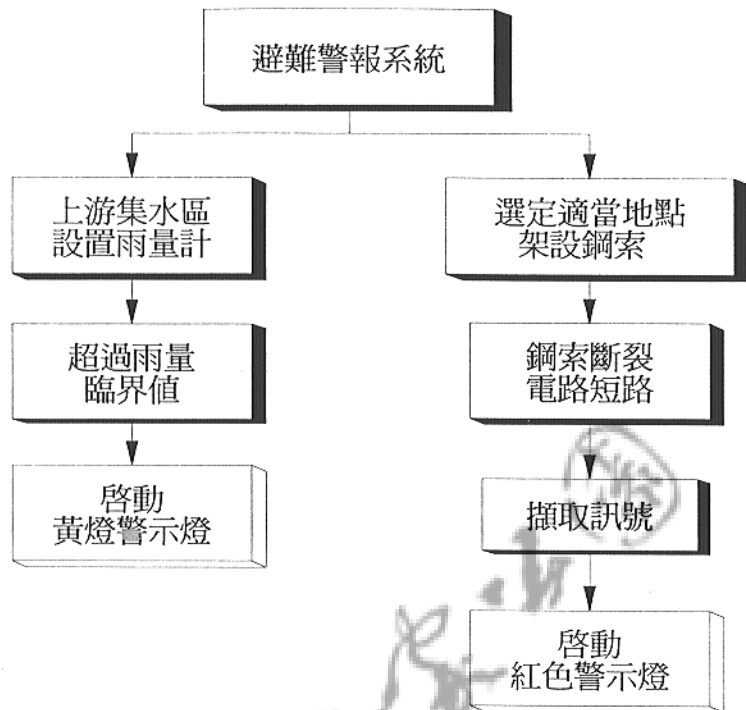


圖 1 土石流預警系統之建置流程圖

1. 黃燈警戒措施

黃燈警戒措施按其發布依據方式分為兩類，其一乃根據中央氣象局提供上游集水區降雨量進行判斷，若到達所預定之臨界值；或中央氣象局發佈豪大雨特報，立即對下游道路發布警訊；其二於上游集水區架設雨量計，並根據實測之降雨量值，當雨量超過預定臨界值，立即啟動燈號發布警訊，以警告經過大屯橋之車輛及民眾大屯橋。上述兩類參考依據，皆須訂定出雨量臨界值，一般可按照以下四項原則選定：

- (1) 降雨強度大於 20mm ，且持續降雨一小時以上。
- (2) 總降雨量大於 100mm ，且持續降雨時。
- (3) 局部地區的集中豪雨。
- (4) 因颱風而形成的集中豪雨。

根據以上原則，所訂定的雨量臨界值，作為黃燈警戒措施參考原則，方能在土石流發生之前，適時啟動燈號，提供下游道路來往車輛行人有效警戒訊息。

2. 紅燈管制措施

土石流發生後，其運動速度及所造成的衝擊力甚大，適時對下游提供有效的警示訊息，以降低土石流造成人員財產損失，是有其必要的。對於紅燈管制措施發布時機的選擇，本系統則是利用鋼索斷電器所量測的結果，作為發布的參考依據。針對鋼索斷電器系統及其設置方式，大致可分為下列三點：

(1) 鋼索斷電器

鋼索斷電器設置目的乃針對土石流已發生時，給予提供最迅速的警示，

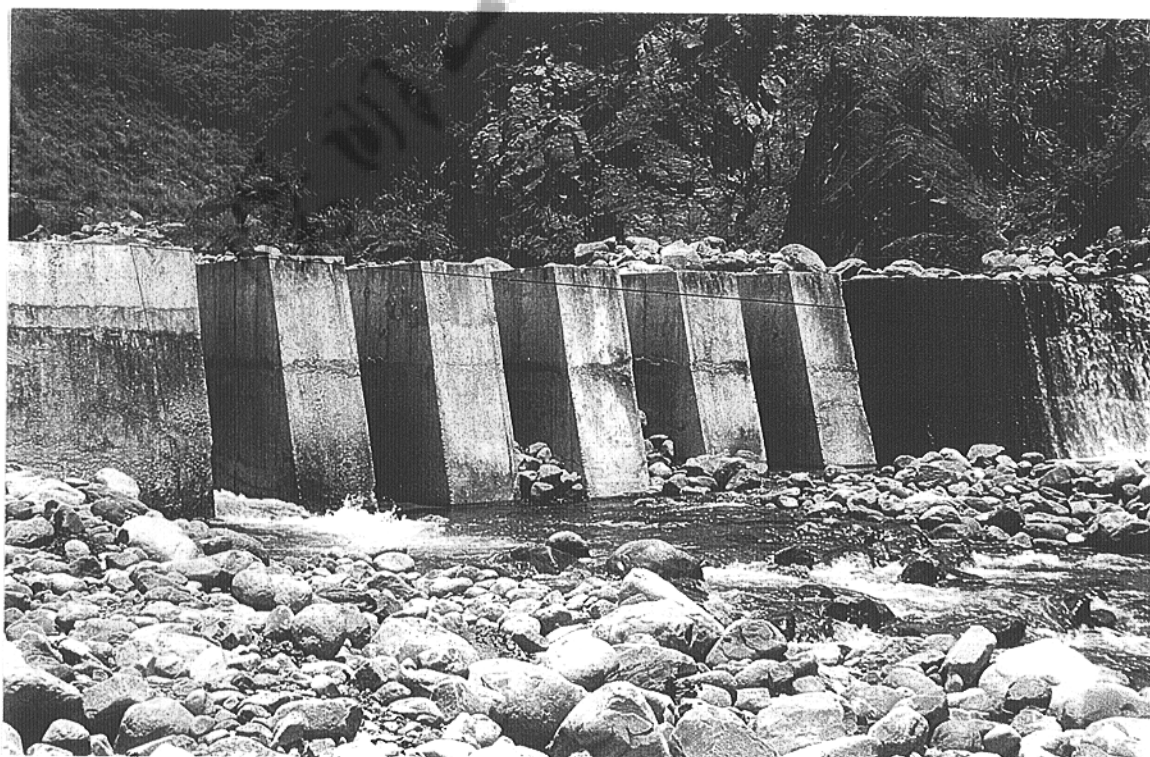
九、解說牌

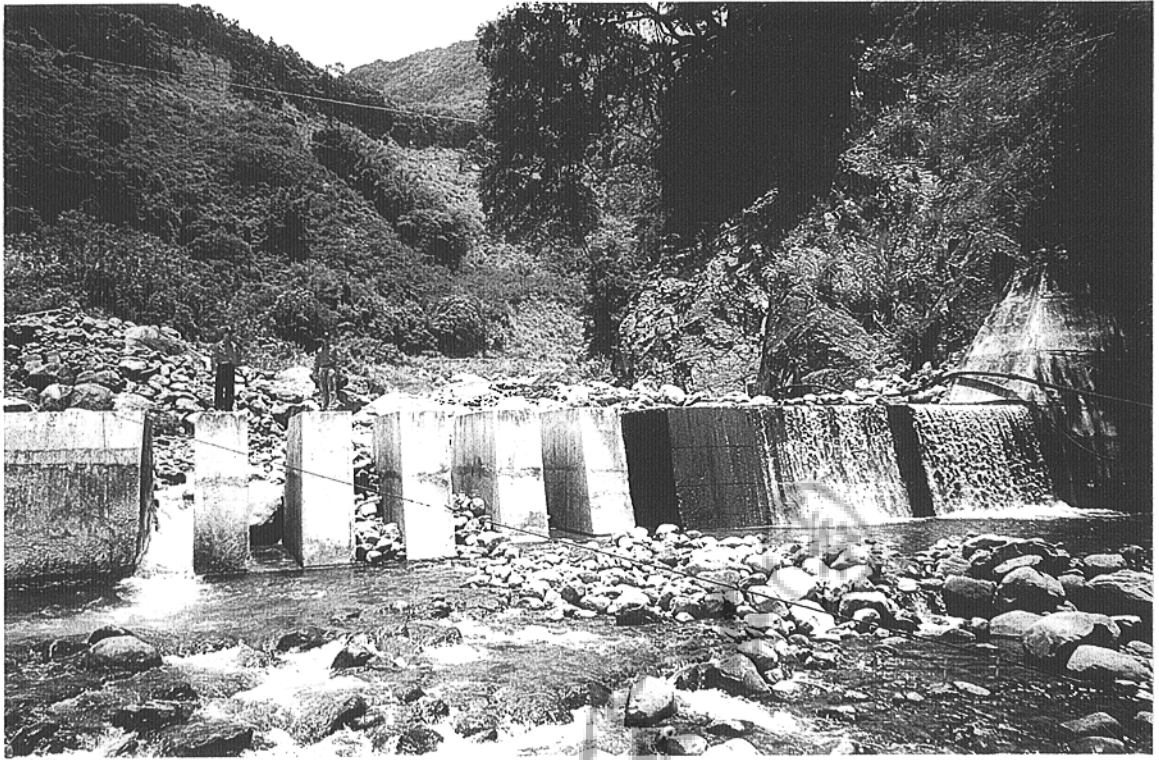
解說牌採用甲式來設計，其內文如下：

台灣地區由於地質脆弱、地形陡峻，加上坡地開發利用不當，每逢颱風豪雨發生時，便會有大量土砂移動現象發生，進而對下游地區之居民造成危害，這些常見土砂災害除了山崩與地滑之外，便是土石流災害。所謂土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物受重力作用後所產生的流體，撞擊力相當大，故危害也大。

陽明山國家公園內的小油坑，因為當地年降雨量相當大，且位於火山地形上，表面岩石鬆動，隨時會有土石流流出之危險。為避免土石流發生所造成的危害，通常對於土石流的防治以直接攔阻土砂之向下移動為主，目前較常見的便是「梳子壩」。

梳子壩，顧名思義，形狀像梳子，不同一般傳統的防砂壩，平常可讓水順利通過，土石流發生時則產生攔阻土砂的作用，並且可讓危險性較低的小石礫通過，直接對較具危險性之大石礫產生攔阻的功用，以達到安全上之目的，而在梳子壩之背面鋪設廢輪胎除可減少土石流撞擊力之能量，延長梳子壩之壽命；亦可達到廢物利用之功效。（字數共 399 字）。





附錄一 一號壩之設計

一 參數設計

1. 參數設定

- (1) 撞擊石頭最大粒徑=0.6m
- (2) γ_{sat} (飽和土土流單位重)=2.3t/m³(由於崩下土石鬆散，依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，故採保守估計值為2.3t/m³)
- (3) γ_s (土石流單位重)=1.85 t/m³
- (4) γ' (砂礫在水中之密度)=1.15
- (5) γ (水單位重)=1 t/m³
- (6) γ_c =混凝土單位重=2.4 t/m³
- (7) ω (被填土坡度)=10°
- (8) 土石流流速=5m/s(依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，由坡度 10%~15%，可得流速約 3m/s~5m/s，故流速採保守估計為 5m/s)
- (9) ϕ (土壤內摩擦角)=33°(依據民國八十八年六月陽明山國家公園大屯橋附近土石流災害地質鑽探工程「地質鑽探分析報告書」， $\phi=36^\circ \sim 43^\circ$ ，所以採 $\phi=33^\circ$ 較為保守。)
- (10) δ (牆與土壤之摩擦角)=21.8°
- (11) β (壩體背面與垂線之夾角)=0°
- (14) 水平地震係數 $k_h=0.1725$
- (15) 垂直地震係數 $k_v=0.0575$ (採用水平地震係數之 1/3)
- (16) 地震角 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right) = 10.37^\circ$
- (17) 浮力係數 C'' (參考水土保持技術規範，壩體基礎之浮力係數-鬆細砂 $C'=0.6$ ， C' 值取較大；其上揚力較大，對壩體設計較趨為保守)。

2. 計算主動土壓力係數 K_a

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \omega)}{\cos(\delta + \beta) \cos(\beta - \omega)} \right]} = 0.299$$

3. 計算被動土壓力係數 K_p

$$K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) = 3.392$$

4.計算地震時動態土壓力係數

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cos^2\beta \cos(\delta + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \omega - \theta)}{\cos(\beta - \omega) \cos(\delta + \beta + \theta)}} \right]^2} = 0.478$$

二 穩定分析

Case1 空壩時土石流推擊

(一) 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵版L1(m)	趾版L2(m)	Key長Z(m)
4	5.95	2	1.65

(二) 作用力檢算

1.土石流平均推擊力：根據民國八十六年九月「陳有蘭溪治山防災整體規劃報告」採用 $6t/m^2$ 。

2.土石流平均推力 P_h = 土石流平均推力 × 柱高

P_h 之力臂 = $0.5 \times$ 柱高

3.土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times r_{sat} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})^2 \times \tan\omega$

W_1 之力臂 = 頂寬 + 趾版長 + $\frac{2}{3} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

4.土石流之重量 (2) $W_2 = r_{sat} \times \text{柱高} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

W_2 之力臂 = 頂寬 + 趾版長 + $\frac{1}{2} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

5.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
P_h'	-24.00	2.00	-48.00
W_1	4.97	6.30	31.3
W_2	45.54	5.475	249.33

(三) 傾倒檢算

1.水平合力 $R_h = P_h'$

2.垂直合力 $R_v = W_1 + W_2$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 L = 踵版長 + 趾版長)

5.傾倒安全係數 $F.S = \frac{M(+)}{M(-)}$

6.傾倒檢算如下：

R_v	50.51
總moment	232.63
y	4.61
e	-0.63
$L/6$	1.33
F.S.	5.85
$e < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

B_{pu} (t/m ²)	9.38
B_{pd} (t/m ²)	3.33
$B_{pu} \text{ \& } B_{pd} < 40$	O.K.

(五) 滑動檢算

1.水平合力 $R_h = P_h'$

2.垂直合力 $R_v = W_1 + W_2$

3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$

4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$

5.被動土壓力 (1) $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$

6.被動土壓力 (2) $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$

7.主動土壓力之合力

$$P_P = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R1 = \frac{1}{2} \times \{ Bpd + [Bpu + \frac{(Bpd - Bpu)}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)] \} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R2 = \frac{1}{2} \times (Bpd + Bpu) \times L - R1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10 滑動安全係數 F.S. = (F_k / R_h)

11 滑動之檢算如下

Rh	-24.00	Pp	15.60
Rv	50.51	R ₁	11.23
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	39.28
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	38.6
是否加Key	加	F.S.	1.61
Z≤最大Key長	O.K.	F>1.15Rh	O.K.

Case2 靜土堆積狀態（地震）

（一） 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
4	5.95	2	1.65

（二） 作用力檢算

1. 土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

W_1 之力臂 = 頂寬 + 趾板長 + $\frac{2}{3} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

2. 土石流之重量 (2) $W_2 = \gamma' \times \text{柱高} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

W_2 之力臂 = 頂寬 + 趾板長 + $\frac{1}{2} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

3. 主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$

4. 主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$

P_{ah} 之力臂 = $\frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$

5. 主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$

P_{av} 之力臂 = 踵版長

6. 地震時的主動土壓力

$P_{ae} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_{ae}$

7. 地震時增加之主動土壓力 $\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a$

8. 地震時增加主動土壓力之水平分力 $\Delta P_{aeh} = \Delta P_{ae} \times \cos(\beta + \delta)$

ΔP_{aeh} 之力臂 = $0.6[0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版常} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$

9. 地震時增加主動土壓力之垂直分力 $\Delta P_{aev} = \Delta P_{ae} \times \sin(\beta + \delta)$

ΔP_{aev} 之力臂 = $(1/3) \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$

10. 後方之水壓力 $\Delta P_{wh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬})]^2$

P_{wh} 之力臂 = $(1/3) \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$

11. 上揚力 $U = 0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega] \times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$

上揚力之力臂 = $(2/3) \times (\text{踵版常} + \text{趾版長})$

12.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
W_1	2.48	6.30	15.65
W_2	22.77	5.475	124.67
P_{ah}	-4.28	1.72	-7.37
P_{av}	1.71	7.95	13.60
Δp_{aeh}	-2.16	3.10	-6.71
Δp_{aev}	0.86	7.95	6.87
P_{wh}	-13.38	1.72	-23.07
U	-12.34	5.30	-65.39

(三) 傾倒檢算

1.水平合力 $R_h = P_{ah} + \Delta P_{aeh} + P_{wh}$

2.垂直合力 $R_v = W_1 + W_2 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 L =踵板長+趾板長)

5.傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6.傾倒檢算如下：

R_v	15.49
總moment	58.25
y	3.76
e	0.22
$L/6$	1.33
F.S.	1.57
$e < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

$B_{pu} \text{ (t/m}^2\text{)}$	1.63
$B_{pd} \text{ (t/m}^2\text{)}$	2.26
$B_{pu} \text{ \& } B_{pd} < 40$	O.K.

(五) 滑動檢算

1. 水平合力 $R_h = P_{ah} + \Delta P_{ach} + P_{wh}$
2. 垂直合力 $R_v = W_1 + W_2 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$
3. 土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$
4. 土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$
5. 壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$
6. key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$
7. 主動土壓力之合力

$$P_P = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8. 反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \left\{ Bpd + [Bpu + \frac{(Bpd - Bpu)}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)] \right\} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (Bpd + Bpu) \times L - R_1$$

$$9. \text{摩擦力 } F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$$

$$10. \text{滑動安全係數 } F.S. = (F_k / R_h)$$

11 滑動之檢算如下

Rh	-19.82	Pp	15.60
Rv	15.49	R ₁	5.62
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	9.87
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	23.20
是否加Key	加	F.S.	1.17
Z ≤ 最大Key長	O.K.	F > 1.15Rh	O.K.

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

(一) 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
4	5.95	2	1.65

(二) 土石溢流情況之考慮

1. 土石流溢流厚度 (h)：根據水土保持技術規範第 73 條，土石流之流量為當地清水流量之 10 倍，且由水土保持技術規範第 222 條 $Q_{\text{土石流}} = 1.767bh^{3/2}$ (式中 b=壩頂寬土石；h=土石流溢流高度)，可求出溢流厚度為 77cm。

2. 每 m² 之土石流溢流重量(q)= $\gamma_{\text{sat}} \times \text{土石流溢流厚度} = 1.771(\text{ton})$

(三) 作用力檢算

1. 溢流口上方土石流重量之水平分量

$$D_h = q \times K_a \times \text{柱高}$$

$$D_h \text{ 之力臂} = 0.5 \times \text{柱高}$$

2. 溢流口上方土石流重量之垂直分量

$$D_v = \gamma_{\text{sat}} \times \text{溢流厚度} \times (\text{踵版長} - \text{頂寬})$$

$$D_v \text{ 之力臂} = \text{頂寬} + \text{趾長} + 0.5 \times (\text{踵版長} - \text{趾版長})$$

3. 堆積土石之重量 $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

- W_1 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{2}{3} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 4.堆積土石之重量 $W_2 = \gamma' \times \text{柱高} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 W_2 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{1}{2} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 5.主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$
 6.主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$
 P_{ah} 之力臂= $\frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$
 7.主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$
 P_{av} 之力臂=踵版長
 8.後方之水壓力 $P_{wh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]^2$
 P_{wh} 之力臂= $P_{wh} = \frac{1}{3} \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 9.上揚力 $U = 0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega] \times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$
 上揚力之力臂= $(2/3) \times (\text{踵版長} + \text{趾版長})$
 10.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
D_h	-2.12	2.00	-4.24
D_v	8.77	5.48	48.00
W_1	2.48	6.30	15.65
W_2	22.77	5.48	124.67
P_{ah}	-4.28	1.72	-7.37
P_{av}	1.71	7.95	13.60
P_{wh}	-13.38	1.72	-23.07
U	-15.44	5.30	-81.84

(三) 傾倒檢算

- 1.水平合力 $R_h = D_h + P_{ah} + P_{wh}$
- 2.垂直合力 $R_v = D_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$
3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$
4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 $L = \text{踵板長} + \text{趾板長}$)
- 5.傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6.傾倒檢算如下：

R_v	20.29
總moment	85.39
y	4.21
e	-0.23
$L/6$	1.33
F.S.	2.16
$E < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

B_{pu} (t/m^2)	3
B_{pd} (t/m^2)	2.1
$B_{pu} \text{ \& } B_{pd} < 40$	O.K.

(五) ..滑動檢算

1.水平合力 $R_h = D_h + P_{ah} + P_{wh}$

2.垂直合力 $R_v = D_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$

3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$

4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$

5.壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$

6.key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$

7.主動土壓力之合力

$$P_P = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \{ B_{pd} + [B_{pu} + \frac{(B_{pd} - B_{pu})}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)] \} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (B_{pd} + B_{pu}) \times L - R_1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10 滑動安全係數 $F.S. = (F_k / R_h)$

11 滑動之檢算如下

Rh	-19.78	Pp	21.2
Rv	20.29	R ₁	5.85
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	14.44
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	30.78
是否加Key	加	F.S.	1.56
Z ≤ 最大Key長	O.K.	F > 1.15Rh	O.K.

Case4 壩體後方土石接近淤滿時巨石撞擊

(一) 梳子壩設計之尺寸

1.設計壩體斷面 30 公尺

2.梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
4	5.95	2	1.65

(二) 巨石撞擊力之考慮

巨礫撞擊力=採用經驗公式 $P=50(\text{礫徑})^2 (\text{土石流流速})^{1.2}=124.18(\text{ton})$

(採用游繁結，1993，水土保持學報，25 卷第一期 p.24，妙高高原經驗式)

(三) 作用力檢算

1.巨礫水平方向撞擊力 $P_h = \left(\frac{\text{巨礫撞擊力}}{\text{斷面寬度}} \right) \times \cos \omega$

P_h 之力臂=柱高

2.巨礫垂直方向撞擊力 $P_v = \left(\frac{\text{巨礫撞擊力}}{\text{斷面寬度}} \right) \times \sin \omega$

P_v 之力臂=趾版寬+壩頂寬

3.土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

W_1 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{2}{3} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

4.土石流之重量 (2) $W_2 = \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石礫徑}) \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

W_2 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{1}{2} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

5.主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$

6.主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$

P_{ah} 之力臂= $\frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$

7.主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$

P_{av} 之力臂=踵版長

8.後方之水壓力 $P_{wh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2$

P_{wh} 之力臂= $(1/3) \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$

9. 上揚力 $U = 0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 $\times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$

U 之力臂 = $(2/3) \times (\text{踵版長} + \text{趾版長})$

10. 各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
P_h	-4.08	4.00	-16.31
P_v	0.72	3.00	2.16
W_1	2.48	6.30	15.65
W_2	21.06	5.48	115.32
P_{ah}	-3.79	1.62	-6.16
P_{av}	1.52	7.95	12.06
P_{wh}	-9.25	1.43	-13.25
U	-15.44	5.30	-81.84

(四) 傾倒檢算

1. 水平合力 $R_h = P_h + P_{ah} + P_{wh}$

2. 垂直合力 $R_v = P_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 $L = \text{踵板長} + \text{趾板長}$)

5. 傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6. 傾倒檢算如下：

R_v	10.34
總moment	27.63
y	2.67
e	1.30
$L/6$	1.33
F.S.	1.24
$e < L/6$	O.K.

(五) 承載力檢算

1. 上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2. 下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

Bpu (t/m ²)	0.02
Bpd (t/m ²)	2.58
Bpu & Bpd<40	O.K.

(六) 滑動檢算

- 1.水平合力 $R_h = P_h + P_{ah} + P_{wh}$
- 2.垂直合力 $R_v = P_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$
- 3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$
- 4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$
- 5.壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$
- 6.key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$
- 7.主動土壓力之合力

$$P_p = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \{Bpd + [Bpu + \frac{(Bpd - Bpu)}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)]\} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (Bpd + Bpu) \times L - R_1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10.滑動安全係數 F.S.=-(F_k/R_h)

11.滑動之檢算如下

R _h	-17.12	P _p	15.6
R _v	10.34	R ₁	5.62
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	4.72
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	F _k	21.14
是否加Key	加	F.S.	1.24
Z≤最大Key長	O.K.	F>1.15Rh	O.K.

三 剪力檢算

(一) 檢算原則

1.分別考慮柱子、踵版、趾版及 key 各部份所承受力來加以考慮。

2.計算步驟： (1)先計算出各部份之總力矩 M

(2)取單位寬 b=100cm，厚度為 d，R=14.1，k=0.336，j=0.888

(3)混凝土強度 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ ，鋼筋強度 $f_s=1680 \text{ kg/cm}^2$

(4) $bd^2 = \frac{M}{R}$ ，計算可得一 d 值

(5)剪力檢算：剪應力 $P_h = P \times \cos \omega$

$$\text{抗剪力 } V_c = \frac{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d}{1000}$$

取兩者較大者為 F，再推得 d'值

$$d' = \frac{F \times 1000}{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f_c'} \times b}$$

$$\text{所需要之鋼筋斷面積 } A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d'}$$

實際混凝土厚度(取整數)= d' +保護層+鋼筋直徑之半

(二) 柱子部份

1. 一根柱子所承受土石流平均推力的大小=土石流平均推力×柱子面積

$$= 6 \text{ (t/m}^2\text{)} \times 4 \times 2 = 48 \text{ (ton)}$$

而單一巨礫撞擊單一柱子所承受的力 $P = 50 \times (\text{礫徑})^2 \times (\text{土石流流速})^{1.2}$

$$= 50 \times 0.6^2 \times 5^{1.2} = 124.18 \text{ (ton)}$$

所以設計時採單一巨礫撞擊單一柱子所承受的力來考慮較為保守

2. 各作用力之計算如下：

(1) 巨石撞擊力之水平分力 P

$$P = \text{單一巨礫撞擊單一柱子所承受的力} \times \cos \omega$$

水平分力 P 之力臂=柱高

(2) 主動土壓力之水平分力 P_{ahl}

$$Palh = \frac{1}{2} \times \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬}) \times Ka \times \cos(\beta + \delta)$$

$$Palh \text{ 力臂} = \frac{1}{3} \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(3) 地震增加之土壓力 $\Delta Paelh$

$$\Delta Paelh = \frac{1}{2} \times \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬}) \times Kae \times \cos(\beta + \delta) - Palh$$

$$\Delta Paelh \text{ 之力臂} = 0.6 \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(4) 後方水壓力

$$Pwlh = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬})$$

$$Pwlh \text{ 之力臂} = \frac{1}{3} \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(5) 各作用力之計算結果如下

	作用力(t)	力臂(m)	彎矩(t-m)
P	122.29	4	489.16
Palh	6.13	1.23	7.55
$\Delta Paelh$	3.66	2.22	8.12
Pwlh	19.166	1.23	23.64

3. 柱子配筋之計算

d(cm)	136.89
Vc(t)	57.83
P(t)	75.62
f(t)	75.62
d'(cm)	179.01
As(cm ²)-3排	88.56
每公尺所需#8支數	18
鋼筋間距(cm)	13.96

柱子下游面設計為 1 : 0.3，故計算 As 時之 d' 採用 200cm，因此需要加箍筋。

4. 柱子底部之厚度=柱高×0.3+頂寬=220cm

5. 箍筋部份：

依據作用力之位置分為 a 巨石撞擊點（壩頂端）

b 靜態土壓力作用位置（具牆底 H/3 處）

c 動態土壓力增量作用位置（0.6H）

d 後方水壓力作用之位置（具牆底 H/3 處）

須由鋼筋彌補之強度=剪力強度－抗剪強度

$$\text{所需鋼筋間距} = \frac{0.55 \times 6 \times 1.27 \times f_s \times \text{撞擊點之有效深度}}{\text{須由箍筋彌補之強度}}$$

由壩頂至 0.6 柱高 (2.4m~4m)	抗剪強度Vc-1(t)	33.79
	剪力強度P-1(t)	61.14
	須由箍筋彌補之強度Vs-1(t)	27.35
	所需箍筋間距#4s-1(cm)	34.86
0.6 柱高至 1/3 柱高 1.33m~2.4m	抗剪強度Vc-2(t)	54.07
	剪力強度P-2(t)	62.97
	須由箍筋彌補之強度Vs-2(t)	8.90
	所需箍筋間距#4s-2(cm)	171.35
1/3 柱高至柱子底部 0m~1.33m	抗剪強度Vc-3(t)	67.59
	剪力強度P-3(t)	75.62
	須由箍筋彌補之強度Vs-3(t)	8.03
	所需箍筋間距#4s-3(cm)	237.44

由於箍筋最大間距不得大於 12in，各採間距為 20cm，箍筋排列方式請參閱「梳子壩斷面配筋圖」。

（三）踵版部份

分析踵版在 Case1~Case4 四種狀態下所受之剪應力 R_t ，及抗剪力 V_c 之大小，取兩者最大值為 $f(t)$ ，進而以計算踵版所需鋼筋量的力 F 。再比較四種狀態下最大的 $f(t)$ ，最大之 $f(t)$ 表示最危險值之狀態，所以，以四種狀態下最大的 $f(t)$ 為設計鋼筋量之依據，來設計較為安全。

Case1.空壩時土石流撞擊

1.作用力之計算

踵板	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
踵版本身重量 W_c	3.56	2.48	8.82
踵版上方土石流之重量 (1) W_1'	4.97	3.30	16.40
踵版上方土石流之重量 (2) W_2'	45.54	2.48	112.71
承載力 (1) B_{pr}'	-27.78	2.48	-68.75
承載力 (2) B_{pt}'	-9.32	3.30	-30.76

2..彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	38.42
$d(cm)$	52.20
$R_t(t)$	16.97
$V_c(t)$	22.05
$f(t)$	22.05

Case2 靜土堆積狀態

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量 W_c	3.56	2.48	8.82
踵版上方土石流之重量 (1) W_1'	2.48	3.30	8.20
踵版上方土石流之重量 (2) W_2'	22.77	2.48	56.36
承載力 (1) B_{pr}'	-8.08	2.48	-20.00
承載力 (2) B_{pt}'	-0.97	1.65	-1.61
主動土壓力之水平分力 P_{av}	1.71	4.95	8.47
地震增加土壓力之 水平分力 ΔP_{aev}	0.86	4.95	4.28
上揚力 (1) U_r	-5.80	2.48	-14.35
上揚力 (2) U_t	-4.78	3.30	-15.78

2..彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	34.38
$d(cm)$	49.38
$R_t(t)$	11.76
$V_c(t)$	20.86
$f(t)$	20.86

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量 W_c	3.56	2.48	8.82
踵版上方土石流之重量(1) W_1'	2.48	3.30	8.20
踵版上方土石流之重量(2) W_2'	22.77	2.48	56.36
承載力(1) B_{pr}'	-12.09	2.48	-29.92
承載力(2) B_{pt}'	-1.39	3.30	-4.57
主動土壓力之水平分力 P_{av}	1.71	4.95	8.47
上揚力(1) U_r	-5.80	2.48	-14.35
上揚力(2) U_t	-4.78	3.30	-15.78
壩頂上方溢流土石之重量 D_v	8.77	2.48	21.70

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	38.91
$d(cm)$	52.53
$R_t(t)$	15.24
$V_c(t)$	22.19
$f(t)$	15.24

Case4 壩體後方土石淤滿時巨石撞擊

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量 W_c	3.56	2.48	8.82
踵版上方土石流之重量(1) W_1'	2.48	3.30	8.20
踵版上方土石流之重量(2) W_2'	21.06	2.48	52.13
承載力(1) B_{pr}'	-0.11	2.48	-0.26
承載力(2) B_{pt}'	-3.94	1.65	-6.51
主動土壓力之水平分力 P_{av}	1.52	4.95	7.51
上揚力(1) U_r	-5.46	2.48	-13.52
上揚力(2) U_t	-4.51	3.30	-14.87

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	41.51
$d(cm)$	54.26
$R_t(t)$	14.61
$V_c(t)$	22.92
$f(t)$	22.92

3.所以經由上述四種狀態之檢算可得知壩體後方土石淤滿時巨石撞擊之 $f(t)$ 為最大，所以在踵版支配筋方面將採用此種狀態下予以踵版配筋之設計。

4.踵版配筋之設計

M(t-m)	41.51
d(cm)	54.26
Rt(t)	14.61
Vc(t)	22.92
f(t)	22.92
鋼筋有效深度d'(cm)	54.26
所需鋼筋面積As(cm ²)	51.28
每單位公尺所需#8筋之數	11
鋼筋間距	6.53

5.踵版之厚度=有效深度 d'+0.5×8 號筋直徑 2.54cm+保護層 8cm=65cm

三.趾版部份

分析踵版在 Case1~Case4 四種狀態下所受之剪應力 R_t 及抗剪力 V_c 之大小，取兩者最大值為 $f(t)$ ，進而以計算踵版所需鋼筋量的力 F 。再比較四種狀態下最大的 $f(t)$ ，最大之 $f(t)$ 表示最危險值之狀態，所以，以四種狀態下最大的 $f(t)$ 為設計鋼筋量之依據，來設計較為安全。

Case1.空壩時土石流撞擊

1.作用力之計算

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.44	1.00	-1.44
趾版上方覆土重量 (1) $W1'$	-1.11	1.00	-1.11
承載力 (1) Bpr'	6.66	1.00	6.66
承載力 (2) Bpt'	1.52	0.67	1.01

2..彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	5.12
d(cm)	19.06
Rt(t)	5.63
Vc(t)	8.05
f(t)	8.05

Case2 靜土堆積狀態

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.44	1.00	-1.44
趾版上方覆土重量 (1) $W1'$	-1.11	1.00	-1.11
承載力 (1) Bpr'	4.21	1.00	4.21
承載力 (2) Bpt'	0.16	1.33	0.21
上揚力U	0.78	0.67	0.52

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	2.39
d(cm)	13.03
Rt(t)	2.60
Vc(t)	5.50
f(t)	5.50

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量Wc	-1.44	1.00	-1.44
趾版上方覆土重量 (1) W1'	-1.11	1.00	-1.11
承载力 (1) Bpr'	4.20	1.00	4.20
承载力 (2) Bpt'	0.23	0.67	0.15
上揚力U	0.78	0.67	0.52

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	2.33
d(cm)	12.84
Rt(t)	2.66
Vc(t)	5.43
f(t)	5.43

Case4 壩體後方土石淤滿時巨石撞擊

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量Wc	-1.44	1.00	-1.44
趾版上方覆土重量 (1) W1'	-1.11	1.00	-1.11
承载力 (1) Bpr'	3.87	1.00	3.87
承载力 (2) Bpt'	0.64	1.33	0.86
上揚力U	0.74	0.67	0.49

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	2.67
d(cm)	13.77
Rt(t)	2.70
Vc(t)	5.81
f(t)	5.81

3.所以經由上述四種狀態之檢算可得知空壩時土石流撞擊之 f(t)為最大，所以在趾版支配筋方面將採用此種狀態下予以趾版配筋之設計。

4.趾版配筋之設計

M(t-m)	5.12
d(cm)	19.06
Rt(t)	5.63
Vc(t)	8.05
f(t)	8.05
鋼筋有效深度d'(cm)	19.06
所需鋼筋面積As(cm ²)	18.01
每單位公尺所需#6筋之數	7
鋼筋間距	12.36

4.踵版之厚度=有效深度 d'+0.5×6 號筋直徑 1.91cm+保護層 8cm=30cm

四.Key 部份

由於 Key 所受的力在四種狀況下都是一樣的，所以在此部份之配筋設計並不於以分項考慮。

1.作用力之計算

$$P_{z1} = K_p \times \gamma \times (\text{覆土高} + 0.3) \times \text{key長} = 6.21(\text{ton})$$

$$P_{z2} = 0.5 \times K_p \times \gamma \times (\text{key長})^2 = 8.54(\text{ton})$$

$$M = \frac{1}{2} \times P_{z1} \times \text{Key長} + \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times (P_{z2} - P_{z1}) \times \text{Key長} = 14.52(\text{ton})$$

2.剛筋之配筋

M(t-m)	14.52
d(cm)	32.09
Pp(t)	14.76
Vc(t)	13.56
f(t)	14.76
d'(cm)	34.93
As(cm ²)	27.87
所需#8支數	6
所需鋼筋間距間距	14.12

3.踵版之厚度=有效深度 d'+0.5×8 號筋直徑 2.54cm+保護層 8cm=45cm

五 設計之一號壩形式

- (1) 柱高 4m
- (2) 柱子之面寬 2m
- (3) 柱子頂寬 1m
- (4) 開口寬 0.8m
- (5) 趾版覆土厚 0.3m
- (6) 梳子壩之長度 30m，若包括深入兩岸岩盤之翼牆則長度為 38m。
- (7) 梳子壩之尺寸如下：(面版頂端厚度 1m，Key、踵板、趾板頂端厚度 0.3m)

	Stem(m)	Key(m)	heel(m)	toe(m)
長度設計	4.0	1.65	5.95	2.00
厚度設計	2.2	0.45	0.65	0.3

- (8) 梳子壩之配筋如下：

配筋設計				
	Stem	key	heel	toe
主筋	#8@14cm	#8@14cm	#8@6.5cm	#6@12cm
排數	3	1	1	1
握裹	90cm	90cm	90cm	50cm
副筋	#5@14cm	#5@14cm	#5@6.5cm	#3@12cm
握裹	35cm	35cm	35cm	30cm

- (9) 剪力鋼筋：

範圍 (柱子跟部為 0)	剪力鋼筋間距
0m~1.33m	#4@20cm
1.33m~2.4m	#4@20cm
2.4m~4m	#4@20cm

附錄二 二號壩之設計

一 參數設計

1. 參數設定

- (1) 撞擊石頭最大粒徑=0.9m
- (2) γ_{set} (飽和土土流單位重)=2.3t/m³ (由於崩下土石鬆散，依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，故採保守估計值為 2.3t/m³)
- (3) γ_s (土石流單位重) =1.85 t/m³
- (4) γ' (砂礫在水中之密度) =1.15
- (5) γ (水單位重) =1 t/m³
- (6) γ_c =混凝土單位重=2.4 t/m³
- (7) ω (被填土坡度)=10°
- (8) 土石流流速=5m/s (依據民國八十六年九月之陳有蘭溪治山防災整體治理規畫報告第九章，由坡度 10%~15%，可得流速約 3m/s~5m/s，故流速採保守估計為 5m/s)
- (9) ϕ (土壤內摩擦角)=33° (依據民國八十八年六月陽明山國家公園大屯橋附近土石流災害地質鑽探工程「地質鑽探分析報告書」， $\phi=36^\circ \sim 43^\circ$ ，所以採 $\phi=33^\circ$ 較為保守。)
- (10) δ (牆與土壤之摩擦角)=21.8°
- (11) β (壩體背面與垂線之夾角)=0°
- (12) 水平地震係數 $k_h=0.1725$
- (13) 垂直地震係數 $k_v=0.0575$ (採用水平地震係數之 1/3)
- (14) 地震角 $\theta = \tan^{-1}(\frac{k_h}{1-k_v})^\circ = 10.37^\circ$
- (15) 浮力係數 C' (參考水土保持技術規範，壩體基礎之浮力係數-鬆細砂 $C'=0.6$ ， C' 值取較大；其上揚力較大，對壩體設計較趨為保守)。

2. 計算主動土壓力係數 K_a

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \omega)}{\cos(\delta + \beta) \cos(\beta - \omega)}}]} = 0.299$$

3. 計算被動土壓力係數 K_p

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) = 3.392$$

4. 計算地震時動態土壓力係數

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \omega - \theta)}{\cos(\beta - \omega) \cos(\delta + \beta + \theta)}}]^2} = 0.478$$

二 穩定分析

Case1 空壩時土石流平均推擊

(一) 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵版L1(m)	趾版L2(m)	Key長Z(m)
3	5.6	2.7	2.25

(二) 作用力檢算

1. 土石流平均推擊力：根據民國八十六年九月「陳有蘭溪治山防災整體規劃報告」採用 12t/m^2 。

2. 土石流平均推力 P_h = 土石流平均推力 $\times$ 柱高

P_h' 之力臂 = $0.5 \times$ 柱高

3. 土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times r_{\text{sat}} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

W_1 之力臂 = 頂寬 + 趾版長 + $\frac{2}{3} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

4. 土石流之重量 (2) $W_2 = r_{\text{sat}} \times \text{柱高} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

W_2 之力臂 = 頂寬 + 趾版長 + $\frac{1}{2} \times (\text{踵版} - \text{頂寬})$

5. 各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
P_h'	-36.00	1.50	-54.00
W_1	4.29	6.77	29.03
W_2	31.74	6	190.44

(三) 傾倒檢算

1. 水平合力 $R_h = P_h'$

2. 垂直合力 $R_v = W_1 + W_2$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 L = 踵版長 + 趾版長)

5. 傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6. 傾倒檢算如下：

R_v	36.03
總moment	165.47
y	4.59
e	-0.44
$L/6$	1.38
F.S.	4.06
$e < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

B_{pu} (t/m ²)	5.73
B_{pd} (t/m ²)	2.95
B_{pu} & $B_{pd} < 40$	O.K.

(五) 滑動檢算

1.水平合力 $R_h = P_h'$

2.垂直合力 $R_v = W_1 + W_2$

3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$

4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$

5.被動土壓力 (1) $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$

6.被動土壓力 (2) $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$

7.主動土壓力之合力

$$P_p = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \left\{ B_{pd} + \left[B_{pu} + \frac{(B_{pd} - B_{pu})}{L} \times (\text{踵板長} - 0.6) \right] \right\} \times (\text{趾板長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (B_{pd} + B_{pu}) \times L - R_1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10 滑動安全係數 $F.S. = (F_k / R_h)$

11 滑動之檢算如下

Rh	-36.00	Pp	25.20
Rv	36.03	R ₁	11.56
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	24.47
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	42.50
是否加Key	加	F.S.	1.18
$Z \leq \text{最大Key長}$	O.K.	$F > 1.15 R_h$	O.K.

Case2 靜土堆積狀態 (地震)

(一) 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
3	5.6	2.7	2.25

(二) 作用力檢算

1.土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

- W_1 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{2}{3} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 2.土石流之重量 (2) $W_2=r' \times \text{柱高} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 W_2 之力臂=頂寬+趾板長+ $\frac{1}{2} \times (\text{踵板}-\text{頂寬})$
 3.主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$
 4.主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$
 P_{ah} 之力臂= $\frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$
 5.主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$
 P_{av} 之力臂=踵版長
 6.地震時的主動土壓力
 $P_{ae} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_{ae}$
 7.地震時增加之主動土壓力 $\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a$
 8.地震時增加主動土壓力之水平分力 $\Delta P_{aeh} = \Delta P_{ae} \times \cos(\beta + \delta)$
 ΔP_{aeh} 之力臂= $0.6[0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版常}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 9.地震時增加主動土壓力之垂直分力 $\Delta P_{aev} = \Delta P_{ae} \times \sin(\beta + \delta)$
 ΔP_{aev} 之力臂=踵版長+趾板長
 10.後方之水壓力 $\Delta P_{aew} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長}-\text{頂寬})]^2$
 ΔP_{wh} 之力臂= $(1/3) \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 11.上揚力 $U = 0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 $\times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$
 上揚力之力臂= $(2/3) \times (\text{踵版常} + \text{趾版長})$
 12.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
W_1	2.15	6.77	14.52
W_2	15.87	6	95.22
P_{ah}	-2.70	1.37	-3.70
P_{av}	1.08	8.3	8.97
Δp_{aeh}	-1.37	2.47	-3.37
Δp_{aev}	0.55	8.3	4.53
P_{wh}	-8.45	1.37	-11.58
U	-10.24	5.53	-56.64

(三) 傾倒檢算

- 1.水平合力 $R_h = P_{ah} + \Delta P_{aeh} + P_{wh}$
- 2.垂直合力 $R_v = W_1 + W_2 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$
3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

$$4. e = \frac{L}{2} - y \quad (\text{式中 } L = \text{踵板長} + \text{趾板長})$$

$$5. \text{傾倒安全係數 } F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$$

6. 傾倒檢算如下：

R_v	9.40
總moment	47.94
y	5.10
e	-0.95
$L/6$	1.38
F.S.	1.64
$e < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1. 上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2. 下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3. 承載力檢算如下：

$B_{pu} \text{ (t/m}^2\text{)}$	1.91
$B_{pd} \text{ (t/m}^2\text{)}$	0.36
$B_{pu} \text{ \& } B_{pd} < 40$	O.K.

(五) 滑動檢算

1. 水平合力 $R_h = P_{ah} + \Delta P_{ach} + P_{wh}$

2. 垂直合力 $R_v = W_1 + W_2 + P_{av} + \Delta P_{aev} + U$

3. 土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$

4. 土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$

5. 壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$

6. key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$

7. 主動土壓力之合力

$$P_p = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8. 反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \{ B_{pd} + [B_{pu} + \frac{(B_{pd} - B_{pu})}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)] \} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_1 = \frac{1}{2} \times (B_{pd} + B_{pu}) \times L - R_1$$

9. 摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10. 滑動安全係數 $F.S. = (F_k / R_h)$

11 滑動之檢算如下

Rh	-12.52	Pp	25.20
Rv	9.40	R ₁	2.20
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	7.21
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	29.51
是否加Key	加	F.S.	2.36
Z ≤ 最大Key長	O.K.	F > 1.15Rh	O.K.

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

(一) 梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
3	5.6	2.7	2.25

(二) 土石溢流情況之考慮

1. 土石流溢流厚度 (h)：根據水土保持技術規範第 73 條，土石流之流量為當地清水流量之 10 倍，且由水土保持技術規範第 222 條 $Q_{\text{土石流}} = 1.767bh^{3/2}$ (式中 b=壩頂寬土石；h=土石流溢流高度)，可求出溢流厚度為 144cm。
2. 每 m² 之土石流溢流重量(q)= $\gamma_{\text{sat}} \times \text{土石流溢流厚度} = 2.622(\text{ton})$

(三) 作用力檢算

1. 溢流口上方土石流重量之水平分量

$$D_h = q \times K_a \times \text{柱高}$$

$$D_h \text{ 之力臂} = 0.5 \times \text{柱高}$$

2. 溢流口上方土石流重量之垂直分量

$$D_v = \gamma_{\text{sat}} \times \text{溢流厚度} \times (\text{踵版長} - \text{頂寬})$$

$$D_v \text{ 之力臂} = \text{頂寬} + \text{趾長} + 0.5 \times (\text{踵版長} - \text{趾版長})$$

3. 堆積土石之重量 $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

$$W_1 \text{ 之力臂} = \text{頂寬} + \text{趾板長} + \frac{2}{3} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$$

4. 堆積土石之重量 $W_2 = \gamma' \times \text{柱高} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

$$W_2 \text{ 之力臂} = \text{頂寬} + \text{趾板長} + \frac{1}{2} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$$

5. 主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$

6. 主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$

$$P_{ah} \text{ 之力臂} = \frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$$

7. 主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$

$$P_{av} \text{ 之力臂} = \text{踵版長}$$

8. 後方之水壓力 $P_{wh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2$

$$P_{wh} \text{ 之力臂} = P_{wh} = \frac{1}{3} \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$$

9.上揚力 $U=0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長}-\text{頂寬}) \times \tan \omega]$
 $\times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$

上揚力之力臂 $= (2/3) \times (\text{踵版長} + \text{趾版長})$

10.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
D_h	-2.35	1.50	-3.53
D_v	12.06	6.00	72.37
W_1	2.15	6.77	14.52
W_2	15.87	6.00	95.22
P_{ah}	-2.70	1.37	-3.70
P_{av}	1.08	8.30	8.97
P_{wh}	-8.45	1.37	-11.58
U	-10.61	5.53	-58.69

(三) 傾倒檢算

1.水平合力 $R_h = D_h + P_{ah} + P_{wh}$

2.垂直合力 $R_v = D_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 $L = \text{踵板長} + \text{趾板長}$)

5.傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6.傾倒檢算如下：

R_v	20.55
總moment	113.57
y	5.53
e	-1.38
$L/6$	1.38
F.S.	2.90
$E < L/6$	O.K.

(四) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

$B_{pu} \text{ (t/m}^2\text{)}$	4.94
$B_{pd} \text{ (t/m}^2\text{)}$	0.01
$B_{pu} \text{ \& } B_{pd} < 40$	O.K.

(五) ..滑動檢算

- 1.水平合力 $R_h = D_h + P_{ah} + P_{wh}$
- 2.垂直合力 $R_v = D_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$
- 3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$
- 4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$
- 5.壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$
- 6.key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$
- 7.主動土壓力之合力

$$P_p = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \left\{ Bpd + [Bpu + \frac{(Bpd - Bpu)}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6)] \right\} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (Bpd + Bpu) \times L - R_1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10 滑動安全係數 F.S.=-(F_k/R_h)

11 滑動之檢算如下

Rh	-13.51	Pp	29.06
Rv	20.55	R ₁	3.27
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R ₂	17.28
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	38.10
是否加Key	加	F.S.	2.82
Z ≤ 最大Key長	O.K.	F > 1.15Rh	O.K.

Case4 壩體後方土石接近淤滿時巨石撞擊

(一) 梳子壩設計之尺寸

1.設計壩體斷面 16 公尺

2.梳子壩設計之尺寸

柱高H(m)	踵板L1(m)	趾板L2(m)	Key長Z(m)
3	5.6	2.7	2.25

(二) 巨石撞擊力之考慮

巨礫撞擊力=採用經驗公式 $P=50(\text{礫徑})^2 (\text{土石流流速})^{1.2}=124.18(\text{ton})$

(採用游繁結，1993，水土保持學報，25 卷第一期 p.24，妙高高原經驗式)

(三) 作用力檢算

$$1. \text{巨礫水平方向撞擊力 } P_h = \left(\frac{\text{巨礫撞擊力}}{\text{斷面寬度}} \right) \times \cos \omega$$

P_h 之力臂=柱高

$$2. \text{巨礫垂直方向撞擊力 } P_v = \left(\frac{\text{巨礫撞擊力}}{\text{斷面寬度}} \right) \times \sin \omega$$

P_v 之力臂=趾版寬+壩頂寬

3.土石流之重量 (1) $W_1 = 0.5 \times \gamma' \times (\text{踵板} - \text{頂寬})^2 \times \tan \omega$

W_1 之力臂 = 頂寬 + 趾板長 + $\frac{2}{3} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

4.土石流之重量 (2) $W_2 = \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石礫徑}) \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

W_2 之力臂 = 頂寬 + 趾板長 + $\frac{1}{2} \times (\text{踵板} - \text{頂寬})$

5.主動土壓力 $P_a = \frac{1}{2} \times \gamma' \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2 \times K_a$

6.主動土壓力之水平分力 $P_{ah} = P_a \times \cos(\beta + \delta)$

P_{ah} 之力臂 = $\frac{1}{3} \times (\text{堆積土高})$

7.主動土壓力之垂直分力 $P_{av} = P_a \times \sin(\beta + \delta)$

P_{av} 之力臂 = 踵版長

8.後方之水壓力 $P_{wh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times [0.3 + \text{踵版厚} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]^2$

P_{wh} 之力臂 = $(1/3) \times [\text{柱高} + 0.3 + (\text{踵版} - \text{頂寬}) \times \tan \omega]$

9.上揚力 $U = 0.6 \times \gamma_w \times [0.3 + \text{柱高} + (\text{踵版長} - \text{頂寬}) \times \tan \omega] \times (\text{踵版長} + \text{趾版長}) / 2$

U 之力臂 = $(2/3) \times (\text{踵版長} + \text{趾版長})$

10.各作用力之大小及力矩計算結果如下

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
P_h	-17.20	3.00	-51.59
P_v	3.03	3.70	11.22
W_1	2.15	6.77	14.52
W_2	13.49	6.00	80.94
P_{ah}	-2.14	1.22	-2.61
P_{av}	0.86	8.30	7.11
P_{wh}	-5.45	1.10	-5.99
U	-10.61	5.53	-58.69

(四) 傾倒檢算

1.水平合力 $R_h = P_h + P_{ah} + P_{wh}$

2.垂直合力 $R_v = P_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$

3. $y = \frac{\text{總moment}}{R_v}$

4. $e = \frac{L}{2} - y$ (式中 $L = \text{踵板長} + \text{趾板長}$)

5.傾倒安全係數 $F.S. = \frac{M(+)}{M(-)}$

6.傾倒檢算如下：

R_v	8.92
總moment	-5.10
y	-0.57
e	4.72
$L/6$	1.38
F.S.	0.96
$e < L/6$	O.K.

(五) 承載力檢算

1.上游之承載力 B_{pu}

$$B_{pu} = \frac{R_v}{L} \left(1 - 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

2.下游之承載力 B_{pd}

$$B_{pd} = \frac{R_v}{L} \left(1 + 6 \times \frac{e}{L} \right)$$

3.承載力檢算如下：

B_{pu} (t/m ²)	-2.59
B_{pd} (t/m ²)	4.74
B_{pu} & $B_{pd} < 40$	O.K.

(六) 滑動檢算

1.水平合力 $R_h = P_h + P_{ah} + P_{wh}$

2.垂直合力 $R_v = P_v + W_1 + W_2 + P_{av} + U$

3.土壤與土壤間之摩擦係數 $\mu_1 = \tan \varphi$

4.土壤與牆面間之摩擦係數 $\mu_2 = \tan \delta$

5.壩趾前方之主動土壓力 $P_{zath} = \gamma \times 0.3 \times K_p$

6.key 前方之主動土壓力 $P_{zs} = \gamma \times (0.3 + 0.3 + \text{key 長}) \times K_p$

7.主動土壓力之合力

$$P_P = \frac{1}{2} \times (P_{zath} + P_{zs}) \times (\text{key 長} + 0.3)$$

8.反作用力

$$R_1 = \frac{1}{2} \times \left\{ B_{pd} + \left[B_{pu} + \frac{(B_{pd} - B_{pu})}{L} \times (\text{踵版長} - 0.6) \right] \right\} \times (\text{趾版長} + \text{頂寬} - 0.4)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \times (B_{pd} + B_{pu}) \times L - R_1$$

9.摩擦力 $F_k = \mu_1 \times R_1 + \mu_2 \times R_2 + P_p$

10.滑動安全係數 $F.S. = (F_k / R_h)$

11.滑動之檢算如下

R_h	-24.78	P_p	25.20
R_v	8.92	R_1	10.84
土-土摩擦係數 μ_1	0.65	R_2	-1.92
土-牆摩擦係數 μ_2	0.40	Fk	31.47
是否加Key	加	F.S.	1.27
$Z \leq$ 最大Key長	O.K.	$F > 1.15R_h$	O.K.

三 剪力檢算

(一) 檢算原則

1.分別考慮柱子、踵版、趾版及 key 各部份所承受力來加以考慮。

2.計算步驟：

- (1)先計算出各部份之總力矩 M
- (2)取單位寬 $b=100\text{cm}$ ，厚度為 d ， $R=14.1$ ， $k=0.336$ ， $j=0.888$
- (3)混凝土強度 $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ ，鋼筋強度 $f_s=1680 \text{ kg/cm}^2$

$$(4) \quad bd^2 = \frac{M}{R}, \text{ 計算可得 } d \text{ 值}$$

(5)剪力檢算：

$$a. \text{剪應力 } Ph = P \times \cos \omega$$

$$b. \text{抗剪力 } V_c = \frac{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d}{1000}$$

取兩者較大者為 F ，再推得 d' 值

$$d' = \frac{F \times 1000}{0.55 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} \times b}$$

$$\text{所需要之鋼筋斷面積 } A_s = \frac{M}{f_s \times j \times d'}$$

實際混凝土厚度(取整數)= d' +保護層+鋼筋直徑之半

(二) 柱子部份

1.一根柱子所承受土石流平均推力的大小=土石流平均推力×柱子面積
 $= 12 \text{ (t/m}^2) \times 4 \times 2 = 96 \text{ (ton)}$

而單一巨礫撞擊單一根柱子所承受的力= $P=50 \times (\text{礫徑})^2 \times (\text{土石流流速})^{1.2}$
 $= 50 \times 0.9^2 \times 5^{1.2} = 279.4 \text{ (ton)}$

所以設計時採單一巨礫撞擊單一根柱子所承受的力來考慮較為保守

2.各作用力之計算如下：

(1) 巨石撞擊力之水平分力 P

$$P = \text{單一巨礫撞擊單一根柱子所承受的力} \times \cos \omega$$

水平分力 P 之力臂=柱高

(2) 主動土壓力之水平分力 P_{ah}

$$P_{ah} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬}) \times K_a \times \cos(\beta + \delta)$$

$$P_{ah} \text{ 力臂} = \frac{1}{3} \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(3) 地震增加之土壓力 ΔP_{aelh}

$$\Delta P_{aelh} = \frac{1}{2} \times \gamma' \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬}) \times K_{ae} \times \cos(\beta + \delta) - P_{alh}$$

$$\Delta P_{aelh}\text{之力臂} = 0.6 \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(4) 後方水壓力

$$P_{wlh} = \frac{1}{2} \times \gamma_w \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})^2 \times (\text{開口寬} + \text{柱面寬})$$

$$P_{wlh}\text{之力臂} = \frac{1}{3} \times (\text{柱高} - 0.5 \times \text{巨石粒徑})$$

(5) 各作用力之計算結果如下

	作用力(t)	力臂(m)	彎矩 (t-m)
P	275.15	3	825.45
Palh	3.64	0.85	3.09
ΔP_{aelh}	2.17	1.53	3.32
P_{wlh}	11.38	0.85	9.67

3. 柱子配筋之計算

總M(ton-m)	841.54
d(cm)	172.75
Vc(t)	72.97
P(t)	146.17
f(t)	146.17
d'(cm)	346.03
As(cm ²)-4排	171.02
每公尺所需#8支數	34
鋼筋間距(cm)	8.13

柱子下游面設計為 1:0.3，故計算 As 時之 d' 採用 200cm，因此需要加箍筋。

4. 柱子厚度=柱高×0.3+頂寬=19cm

5. 箍筋部份：依據作用力之位置分為

- a 巨石撞擊點（壩頂端）
- b 靜態土壓力作用位置（具牆底 H/3 處）
- c 動態土壓力增量作用位置（0.6H）
- d 後方水壓力作用之位置（具牆底 H/3 處）

須由鋼筋彌補之強度=剪力強度－抗剪強度

$$\text{所需鋼筋間距} = \frac{0.55 \times 6 \times 1.27 \times f_s \times \text{撞擊點之有效深度}}{\text{須由箍筋彌補之強度}}$$

由壩頂至0.6柱高 (1.8m~3m)	抗剪強度 $V_c-1(t)$	31.65
	剪力強度 $P-1(t)$	137.58
	須由箍筋彌補之強度 $V_s-1(t)$	105.93
	所需箍筋間距 $\#4s-1(cm)$	12.65
0.6柱高至1/3柱高 0.9m~1.8m	抗剪強度 $V_c-2(t)$	46.86
	剪力強度 $P-2(t)$	138.66
	須由箍筋彌補之強度 $V_s-2(t)$	91.81
	所需箍筋間距 $\#4s-2(cm)$	21.60
1/3柱高至柱子底部 0m~0.9m	抗剪強度 $V_c-3(t)$	56.99
	剪力強度 $P-3(t)$	146.17
	須由箍筋彌補之強度 $V_s-3(t)$	89.18
	所需箍筋間距 $\#4s-3(cm)$	27.05

由於箍筋最大間距不得大於 12in，柱子根部至柱高 1.8m 各採間距為 20cm；由 1.8m 至頂端則間距採 12.5cm，箍筋排列方式請參閱「梳子壩斷面配筋圖」。

二 踵版部份

分析踵版在 Case1~Case4 四種狀態下所受之剪應力 R_t 及抗剪力 V_c 之大小，取兩者最大值為 $f(t)$ ，進而以計算踵版所需鋼筋量的力 F 。再比較四種狀態下最大的 $f(t)$ ，最大之 $f(t)$ 表示最危險值之狀態，所以，以四種狀態下最大的 $f(t)$ 為設計鋼筋量之依據，來設計較為安全。

Case1.空壩時土石流撞擊

1.作用力之計算

踵板	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
踵版本身重量 W_c	3.31	2.30	7.62
踵版上方土石流之重量 (1) $W1'$	4.29	3.07	13.16
踵版上方土石流之重量 (2) $W2'$	31.74	2.30	73.00
承載力 (1) B_{pr}'	-19.28	2.30	-44.34
承載力 (2) B_{pt}'	-3.54	3.07	-10.86

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	38.58
$d(cm)$	52.31
$R_t(t)$	16.53
$V_c(t)$	22.10
$f(t)$	22.10

Case2 靜土堆積狀態

1.作用力及其彎矩計算如下：

踵板	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量Wc	3.31	2.30	7.62
踵版上方土石流之重量 (1) W1'	2.15	3.07	6.58
踵版上方土石流之重量 (2) W2'	15.87	2.30	36.50
承载力 (1) Bpr'	-8.78	2.30	-20.20
承载力 (2) Bpt'	1.98	1.53	3.03
主動土壓力之水平分力Pav	1.08	4.6	4.97
地震增加土壓力之 水平分力 ΔPa_v	0.55	4.6	2.51
上揚力 (1) Ur	-5.06	2.30	-11.63
上揚力 (2) Ut	-3.14	3.07	-9.64

3.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	19.74
d(cm)	37.41
Rt(t)	7.95
Vc(t)	15.80
f(t)	15.80

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量Wc	3.31	2.30	7.62
踵版上方土石流之重量 (1) W1'	2.15	3.07	6.58
踵版上方土石流之重量 (2) W2'	15.87	2.30	36.50
承载力 (1) Bpr'	-10.16	2.30	-23.37
承载力 (2) Bpt'	-6.28	3.07	-19.26
主動土壓力之水平分力Pav	1.08	4.6	4.97
上揚力 (1) Ur	-5.06	2.30	-11.63
上揚力 (2) Ut	-3.14	3.07	-9.64
壩頂上方溢流土石之重量Dv	12.06	2.30	27.74

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	19.50
d(cm)	37.19
Rt(t)	9.83
Vc(t)	15.71
f(t)	15.71

Case4 壩體後方土石淤滿時巨石撞擊

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂(m)	moment(t-m)
踵版本身重量 W_c	3.31	2.30	7.62
踵版上方土石流之重量(1) $W1'$	2.15	3.07	6.58
踵版上方土石流之重量(2) $W2'$	13.49	2.30	31.03
承载力(1) Bpr'	3.80	3.62	13.76
承载力(2) Bpt'	-1.23	0.56	-0.68
主動土壓力之水平分力 P_{av}	0.86	4.6	3.94
上揚力(1) U_r	-4.50	2.30	-10.36
上揚力(2) U_t	-2.80	3.07	-8.59

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	43.29
$d(cm)$	55.41
$R_t(t)$	15.07
$V_c(t)$	23.41
$f(t)$	23.41

3.所以經由上述四種狀態之檢算可得知壩體後方土石淤滿時巨石撞擊之 $f(t)$ 為最大，所以在踵版支配筋方面將採用此種狀態下予以踵版配筋之設計。

4. 踵版配筋之設計

$M(t-m)$	43.29
$d(cm)$	55.41
$R_t(t)$	15.07
$V_c(t)$	23.41
$f(t)$	23.41
鋼筋有效深度 $d'(cm)$	55.41
所需鋼筋面積 $A_s(cm^2)$	52.37
每單位公尺所需#8筋之數	11
鋼筋間距	6.51

5.踵版之厚度=有效深度 $d'+0.5 \times 8$ 號筋直徑 2.54cm+保護層 8cm=65cm

三.趾版部份

分析踵版在 Case1 ~ Case4 四種狀態下所受之剪應力 R_t 及抗剪力 V_c 之大小，取兩者最大值為 $f(t)$ ，進而以計算踵版所需鋼筋量的力 F 。再比較四種狀態下最大的 $f(t)$ ，最大之 $f(t)$ 表示最危險值之狀態，所以，以四種狀態下最大的 $f(t)$ 為設計鋼筋量之依據，來設計較為安全。

Case1.空壩時土石流撞擊

1.作用力之計算

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.94	1.35	-2.62
趾版上方覆土重量 (1) W_1'	-1.50	1.35	-2.02
承載力 (1) B_{pr}'	7.97	1.35	10.76
承載力 (2) B_{pt}'	1.22	0.90	1.10

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	7.21
$d(cm)$	22.61
$R_t(t)$	5.75
$V_c(t)$	9.55
$f(t)$	9.55

Case2 靜土堆積狀態

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.94	1.35	-2.62
趾版上方覆土重量 (1) W_1'	-1.50	1.35	-2.02
承載力 (1) B_{pr}'	0.96	1.35	1.30
承載力 (2) B_{pt}'	0.68	0.90	0.61
上揚力 U	1.08	0.90	0.97

3.彎矩及抗剪力之計算結果如下

$M(t-m)$	1.76
$d(cm)$	11.17
$R_t(t)$	-0.71
$V_c(t)$	4.72
$f(t)$	4.72

Case3 壩體後方土石淤滿時土石流溢流

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.94	1.35	-2.62
趾版上方覆土重量 (1) W_1'	-1.50	1.35	-2.02
承載力 (1) B_{pr}'	0.03	1.35	0.05
承載力 (2) B_{pt}'	2.16	0.90	1.95
上揚力 U	1.08	0.90	0.97

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	1.68
d(cm)	10.91
Rt(t)	-0.16
Vc(t)	4.61
f(t)	4.61

Case4 壩體後方土石淤滿時巨石撞擊

1.作用力及其彎矩計算如下：

	作用力(ton)	力臂 (m)	彎矩(ton-m)
趾版本身重量 W_c	-1.94	1.35	-2.62
趾版上方覆土重量 (1) W_1'	-1.50	1.35	-2.02
承載力 (1) B_{pr}'	6.36	1.35	8.58
承載力 (2) B_{pt}'	3.22	1.80	5.80
上揚力U	0.96	0.90	0.87

2.彎矩及抗剪力之計算結果如下

M(t-m)	10.60
d(cm)	27.42
Rt(t)	7.10
Vc(t)	11.58
f(t)	11.58

3.所以經由上述四種狀態之檢算可得知靜土堆積時巨石撞擊之 $f(t)$ 為最大，所以在趾版支配筋方面將採用此種狀態下予以趾版配筋之設計。

4.趾版配筋之設計

M(t-m)	10.60
d(cm)	27.42
Rt(t)	7.10
Vc(t)	11.58
f(t)	11.58
鋼筋有效深度 d' (cm)	27.42
所需鋼筋面積 $A_s(\text{cm}^2)$	25.91
每單位公尺所需#6筋之數	10
鋼筋間距	8.06

5.趾版之厚度=有效深度 $d'+0.5 \times 8$ 號筋直徑 1.91cm+保護層 8cm=40cm

四.Key 部份

由於 Key 所受的力在四種狀況下都是一樣的，所以在此部份之配筋設計並不於以分項考慮。

1.作用力之計算

$$P_{z1} = K_p \times \gamma \times (\text{覆土高} + 0.3) \times \text{key長} = 8.47(\text{ton})$$

$$P_{z2} = 0.5 \times K_p \times \gamma \times (\text{key長})^2 = 15.88(\text{ton})$$

$$M = \frac{1}{2} \times P_{z1} \times \text{Key長} + \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times (P_{z2} - P_{z1}) \times \text{Key長} = 33.36(\text{ton})$$

2.剛筋之配筋

M(t-m)	33.36
d(cm)	48.64
Pp(t)	20.55
Vc(t)	24.36
f(t)	24.36
d'(cm)	57.66
As(cm ²)	38.78
所需#8支數	8
所需鋼筋間距間距	9.93

3.Key 之厚度=有效深度 $d'+0.5 \times 8$ 號筋直徑 2.54cm+保護層 8cm=70cm

五 設計之壩尺寸

經過以上討論所設計之壩尺寸如下所示

- (1) 柱高 3m
- (2) 柱子之面寬 2m
- (3) 柱子頂寬 1m
- (4) 開口寬 1.5m
- (5) 趾版覆土後 0.3m
- (6) 梳子壩之長度 16m，若包括深入兩岸岩盤之翼牆則長度為 23m。
- (7) 梳子壩之尺寸如下：(面版頂端厚度 1m，Key、踵板、趾板頂端厚度 0.3m)

	Stem(m)	Key(m)	heel(m)	Toe(m)
長度設計	3.00	2.25	5.50	2.75
跟部厚度	1.90	0.65	0.65	0.40

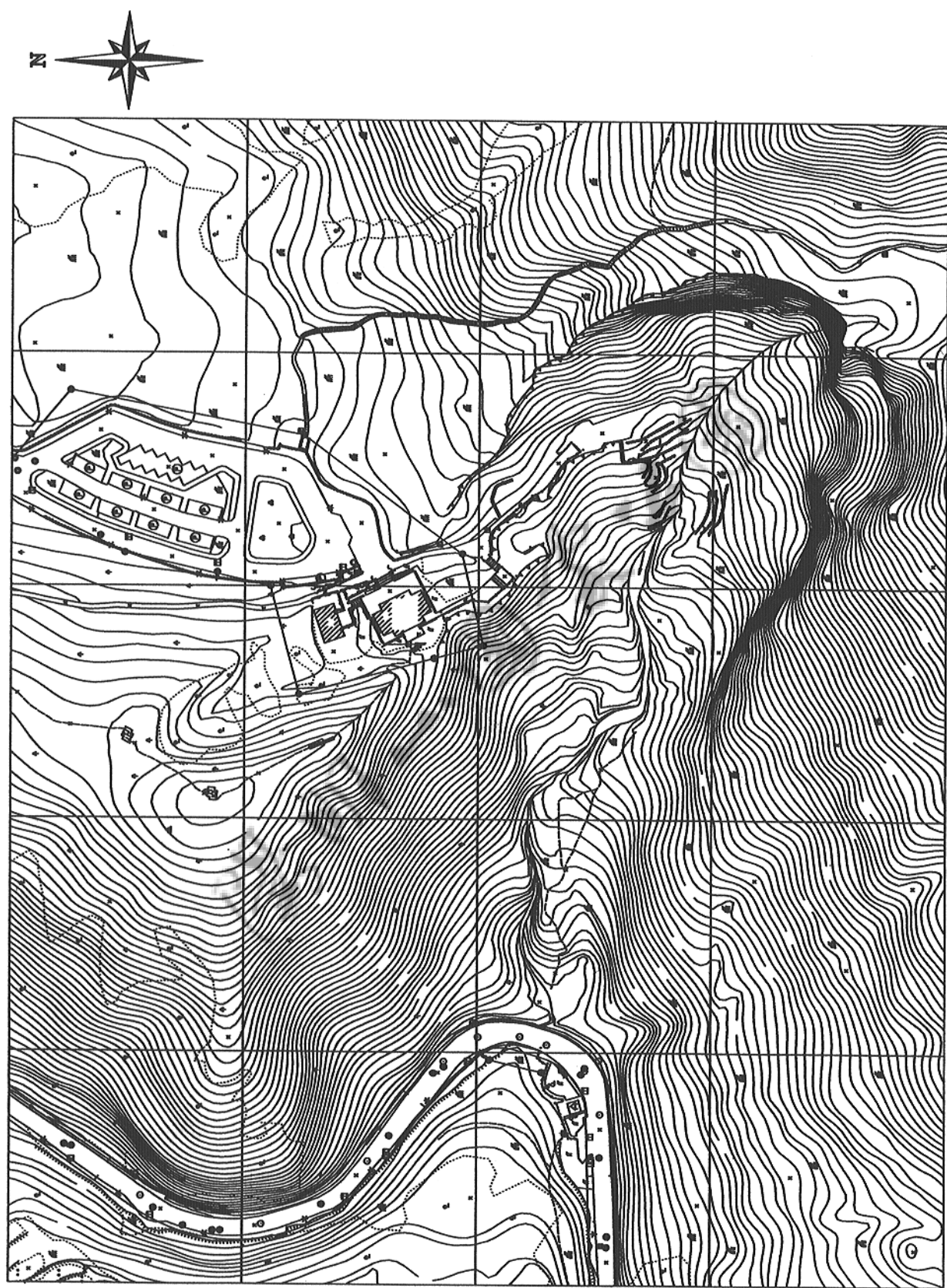
- (8) 梳子壩之配筋如下：

配筋設計				
	Stem	key	Heel	toe
主筋	#8@8cm	#8@10cm	#8@6.5cm	#6@8cm
排數	4	1	2	1
握裹	90cm	90cm	90cm	50cm
副筋	#5@8cm	#5@10cm	#5@6.5cm	#6@8cm
握裹	35cm	35cm	35cm	30cm

(9) 剪力鋼筋：

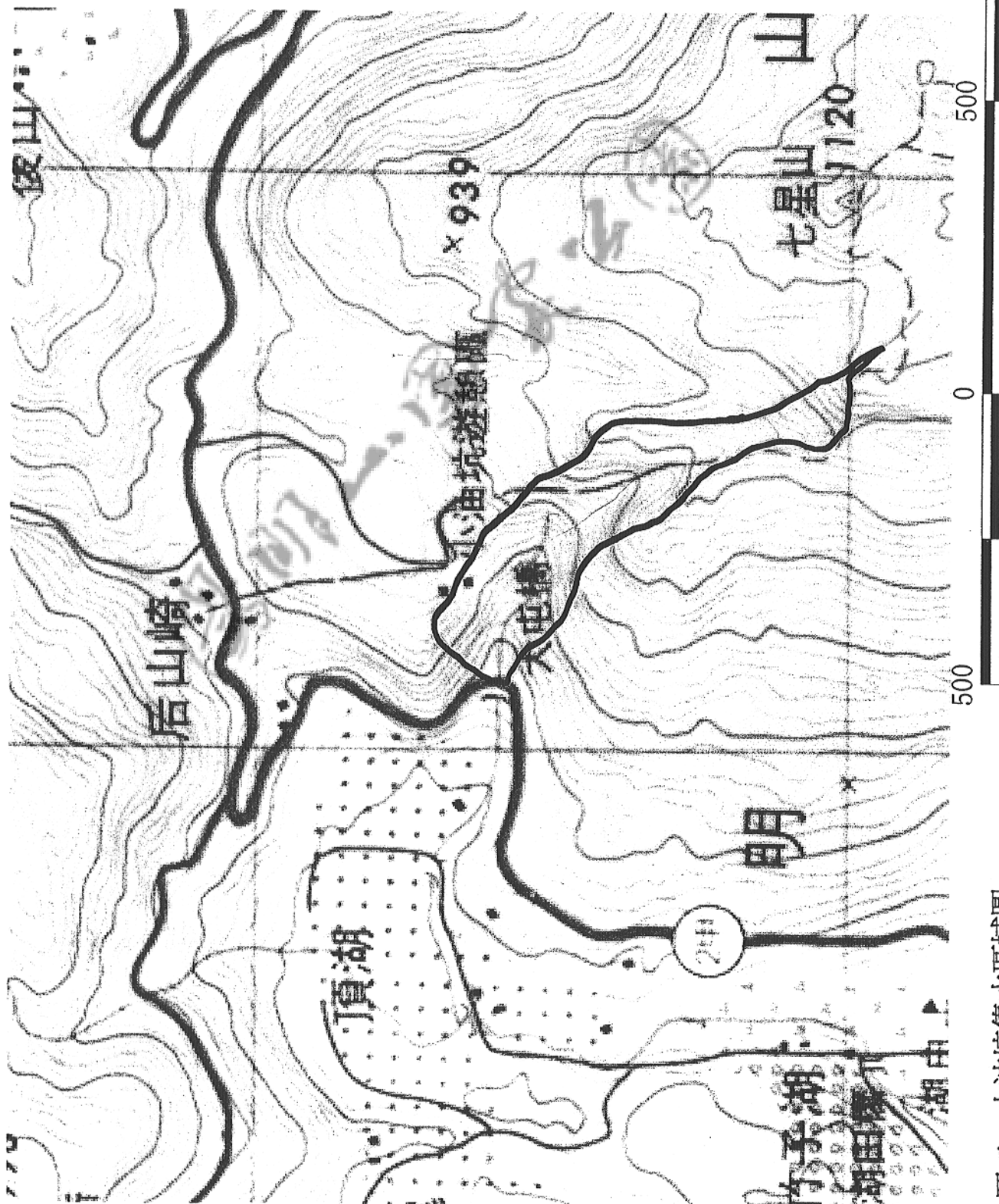
範圍（柱子跟部爲 0）	剪力鋼筋間距
0m~1m	20cm
1m~1.8m	20cm
1.8m~3m	12.5cm

陽明大學圖書館

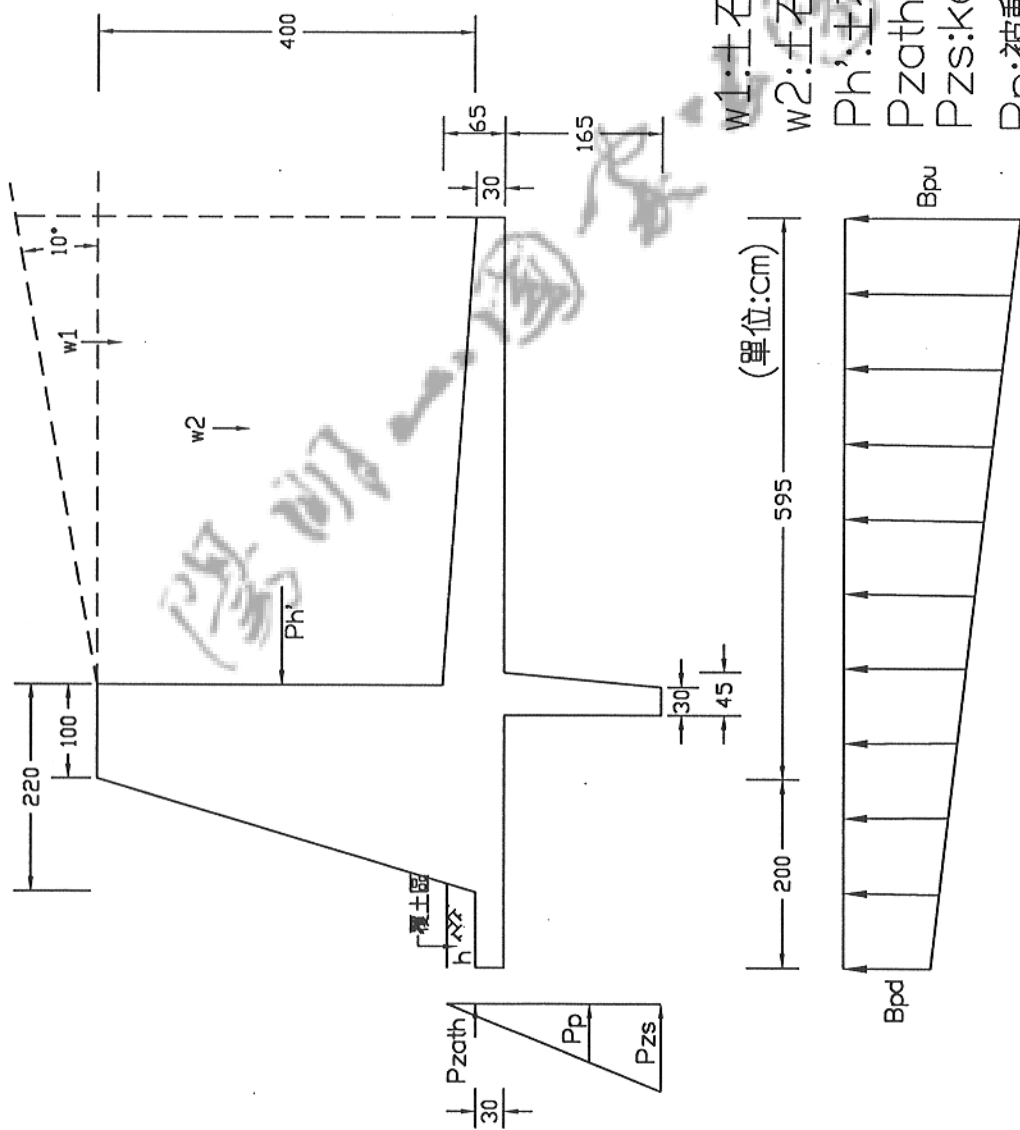


圖一 陽明山國家公園地形圖

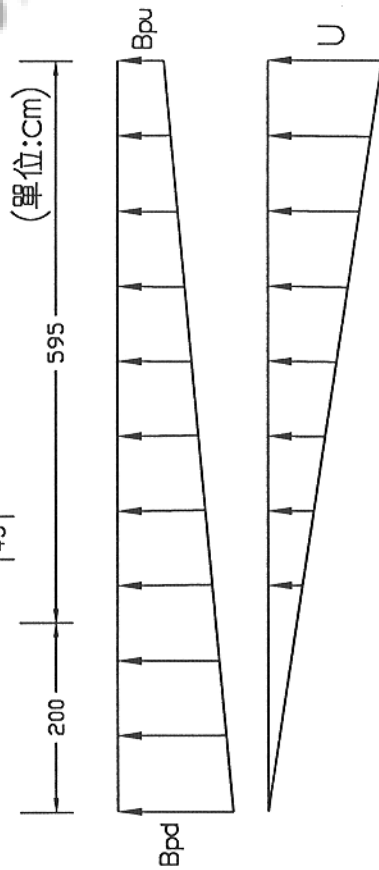
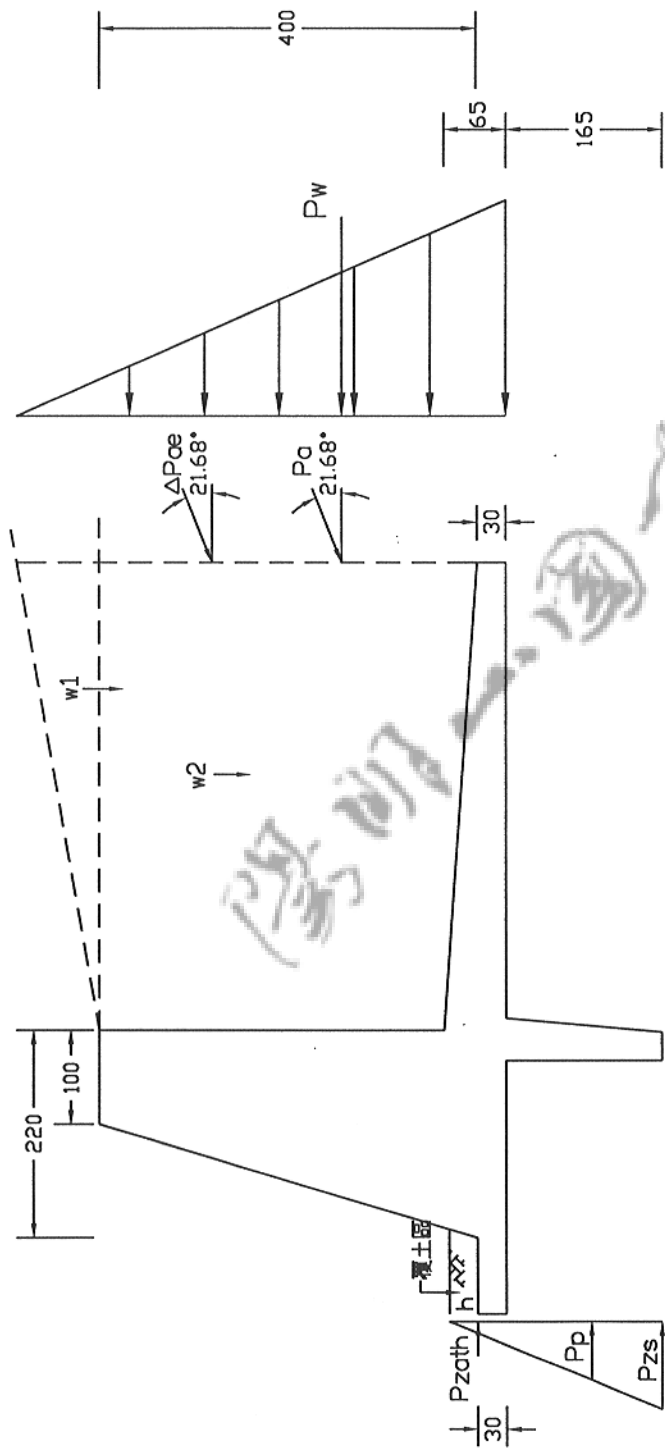
S=1:2500



圖二 小油坑集水區域圖



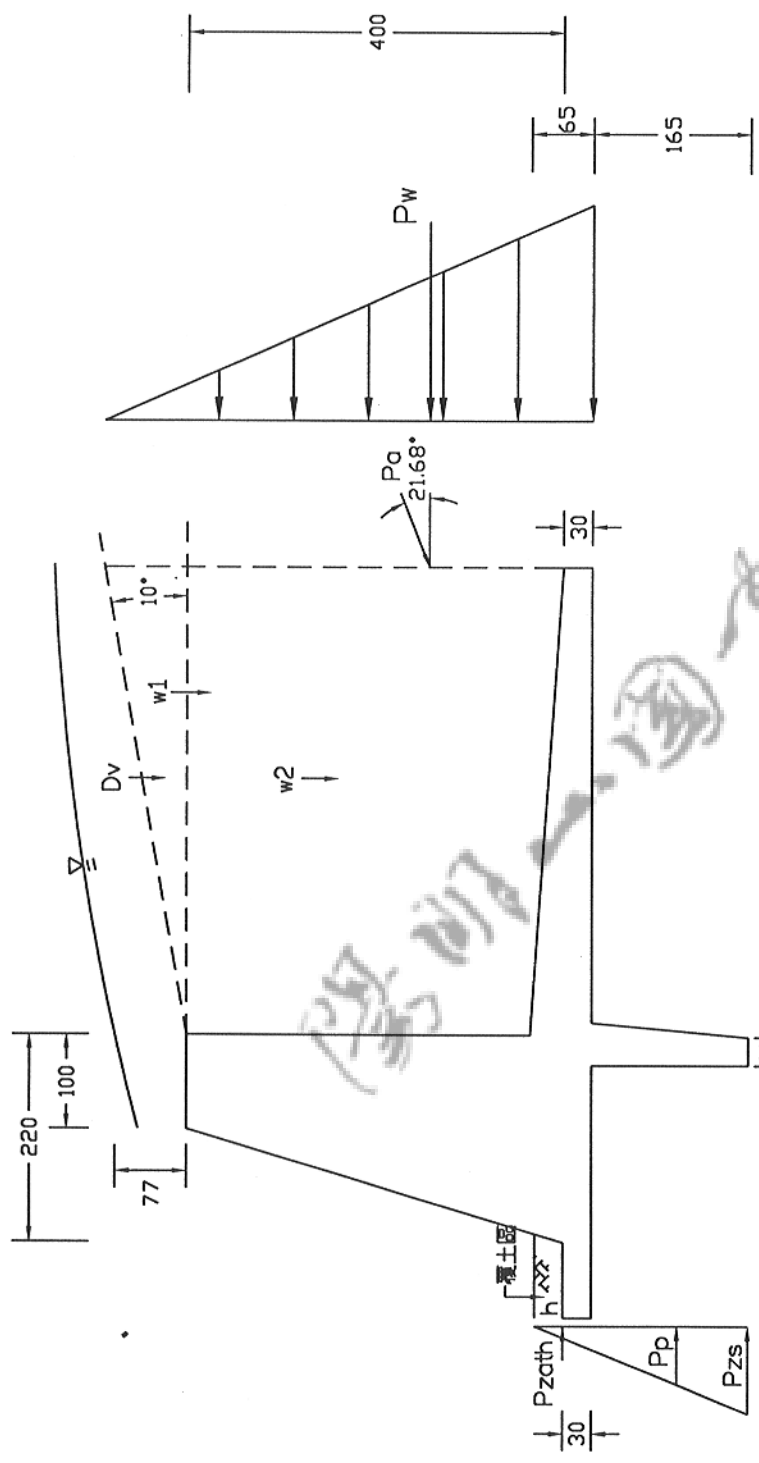
圖六 空壩時土石流推擊示意圖
 $S=1:80$



- w_1 : 淤積土石之重量 (1)
 w_2 : 淤積土石之重量 (2)
 P_w : 水壓力
 P_a : 主動土壓力
 ΔP_{ae} : 地震增加之主動土壓力
 B_{pu} : 上游之承載力
 B_{pd} : 下游之承載力
 P_{zath} : 壩趾前方之被動土壓力
 P_{zs} : key 前方之被動土壓力
 P_p : 被動土壓力之合力
 U : 上揚力

圖七 靜土堆積加最大地震狀態示意圖

$S=1:80$

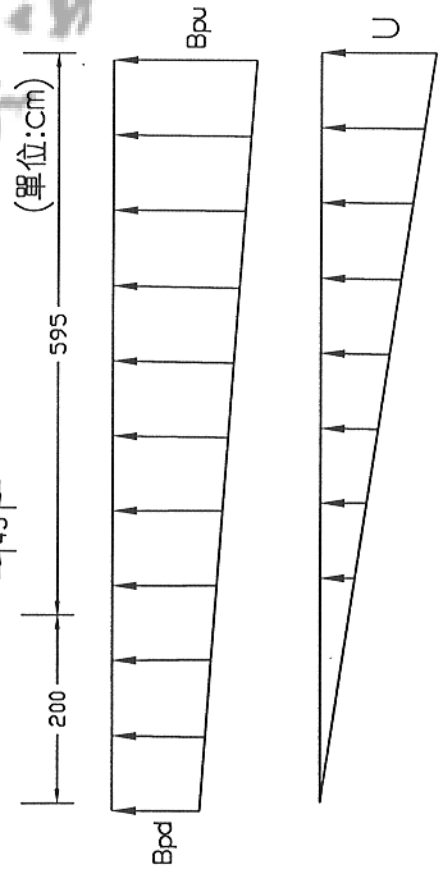


w1:淤積土石之重量(1)
w2:淤積土石之重量(2)

Dv:溢流口上方土石流之重量
Pw:水壓力

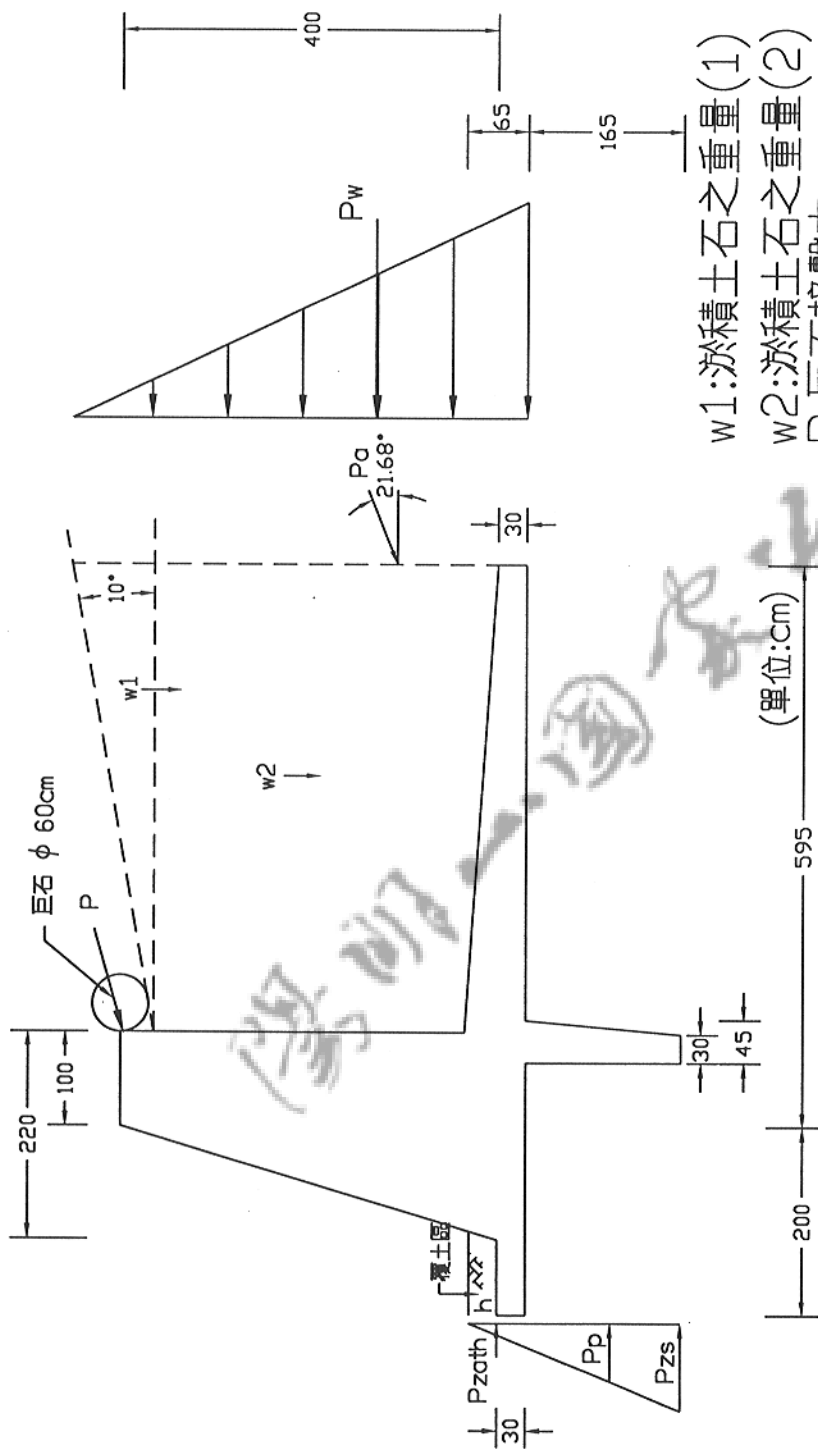
Pzath:壩趾前方之被動土壓力
Pzs:key前方之被動土壓力
Pp:被動土壓力之合力
Pa:主動土壓力

Bpu:上游之承載力
Bpd:下游之承載力
U:上揚力



圖八 壩體後方土石淤滿時土石流溢流示意圖

S=1:80



w1:淤積土石之重量(1)

w2:淤積土石之重量(2)

P:巨石撞擊力

P_w :水壓力

P_a :主動土壓力

B_{pu} :上游之承載力

B_{pd} :下游之承載力

P_{zath} :壩趾前方之被動土壓力

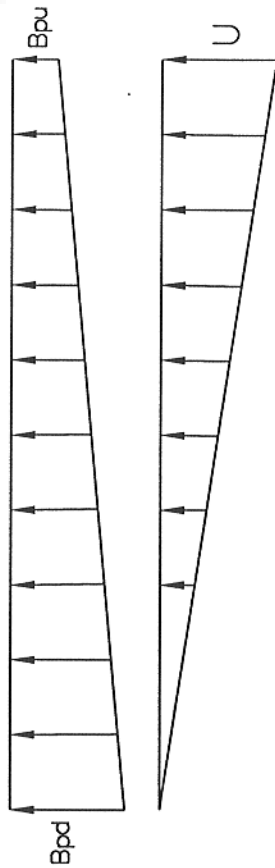
P_{zs} :key前方之被動土壓力

P_p :被動土壓力之合力

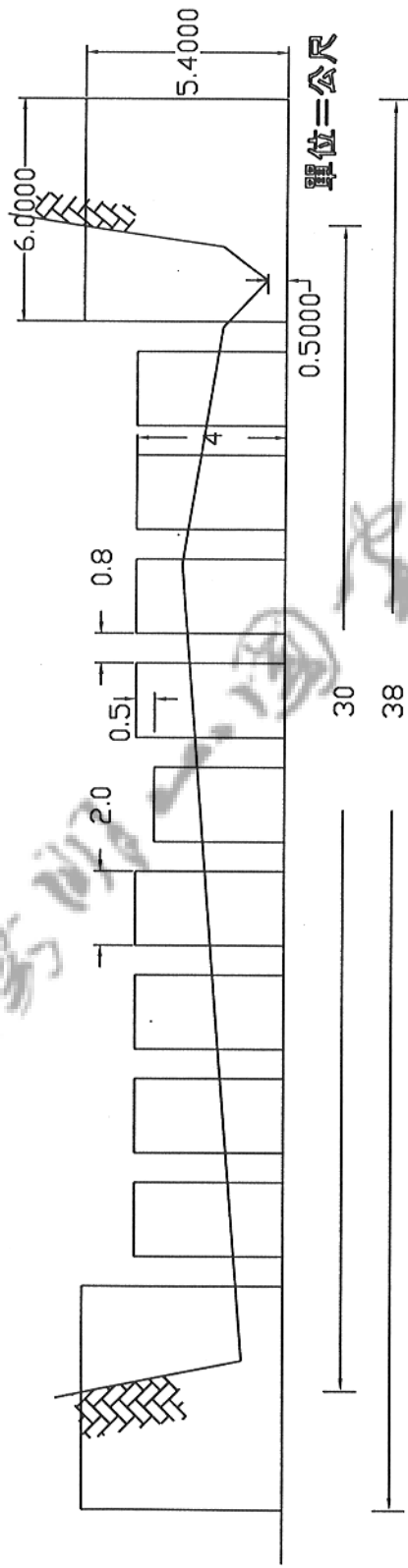
P_{zs} :key前方之主動土壓力

P_p :被動土壓力之合力

$S=1:80$ U:上揚力

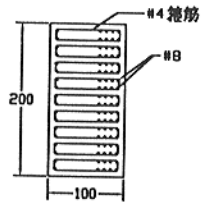


圖九 壩體後方土石接近淤滿時巨石撞擊示意圖



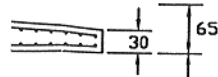
圖十 1 號梳子壩斷面正視圖

$s=1:200$

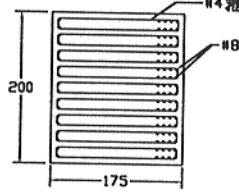


A-A'剖面圖

#8@6.5cm
#5@20cm

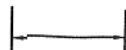
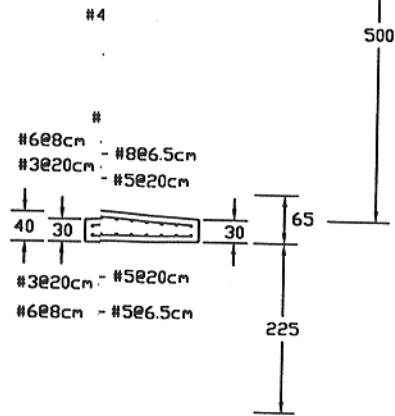


#5@20cm
#5@6.5cm

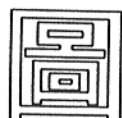


B-B'剖面圖

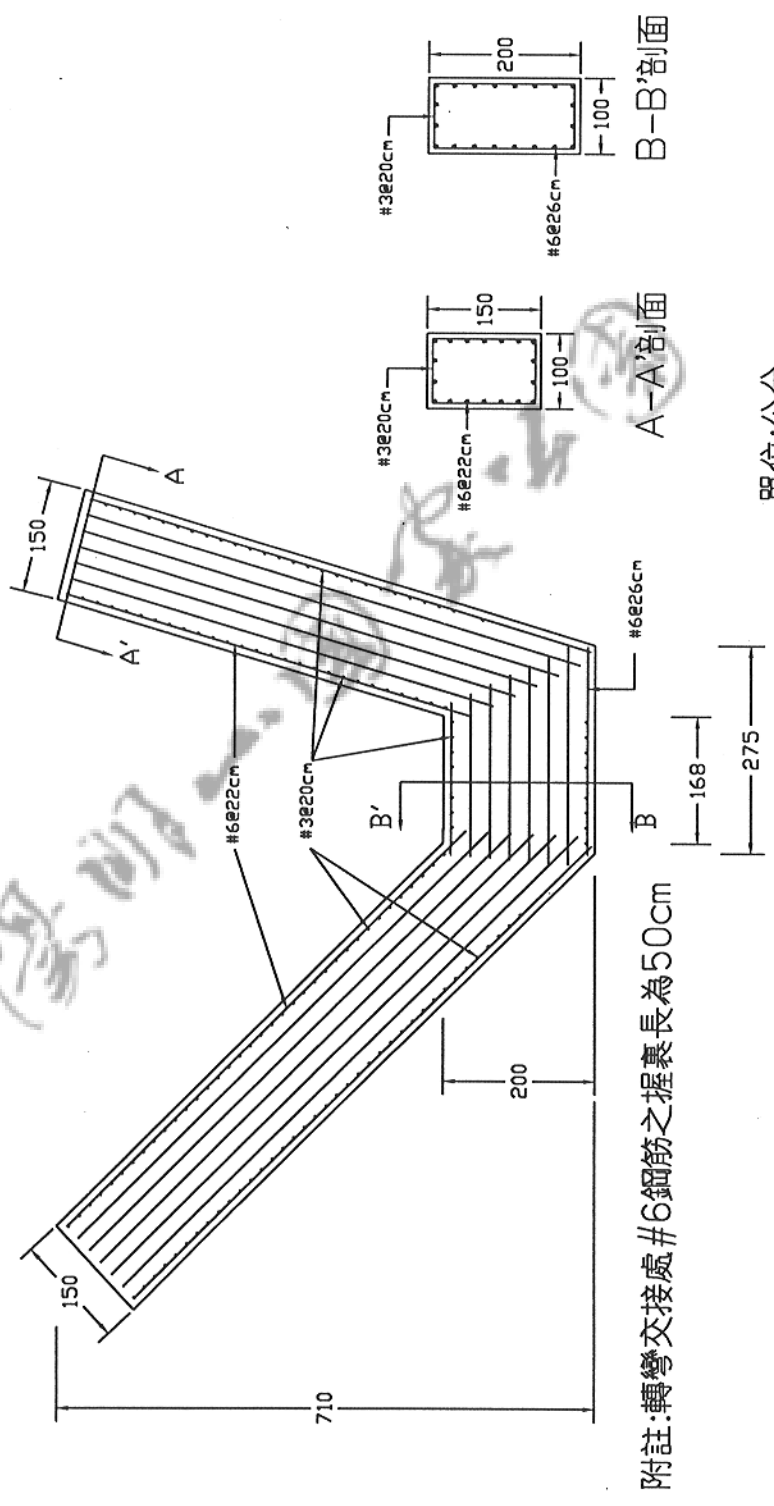
cm)



:cm)



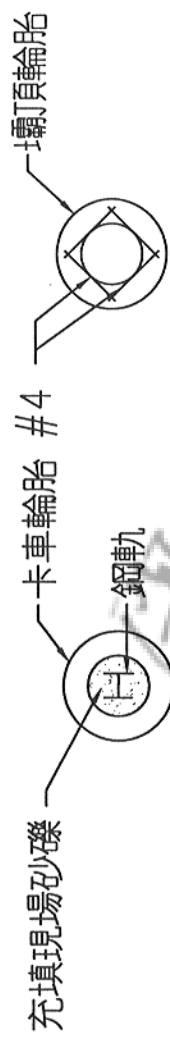
: 100



附註:轉彎交接處#6鋼筋之握裹長為50cm

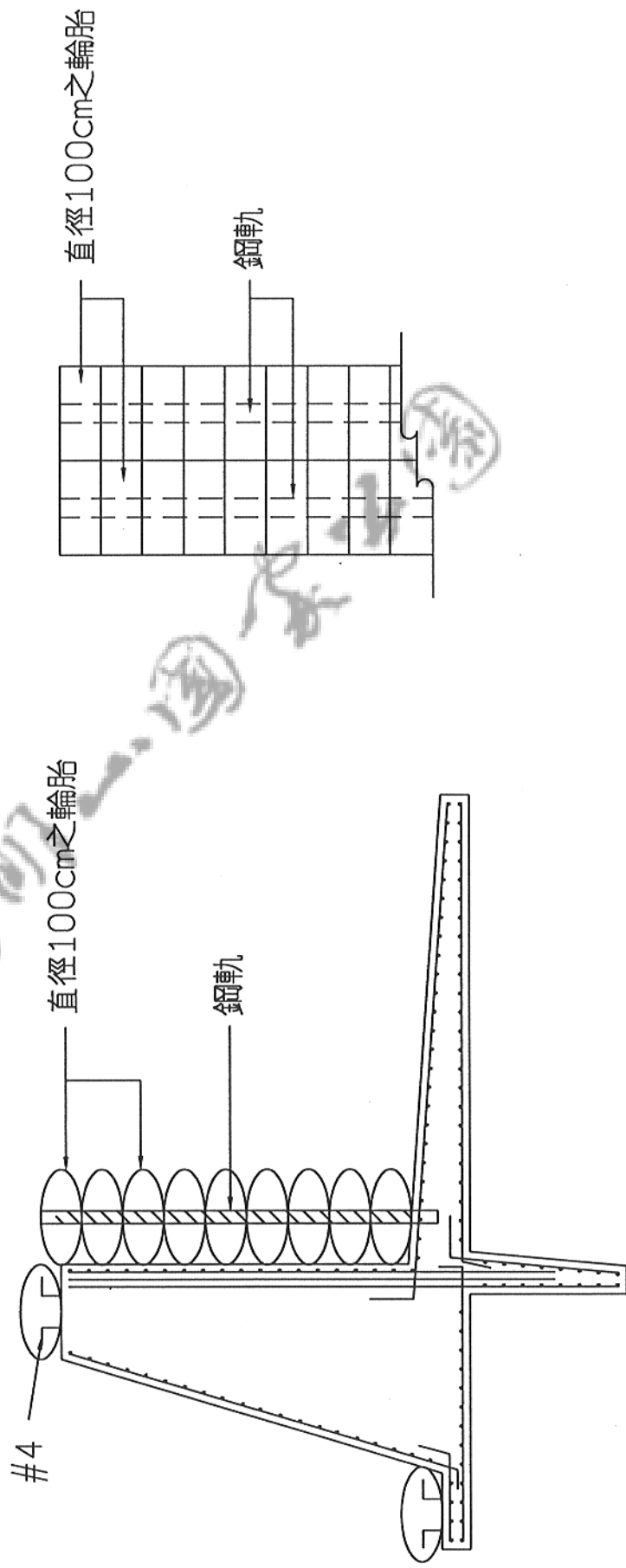
單位:公分

圖十五 固床工配筋圖 S=1:100



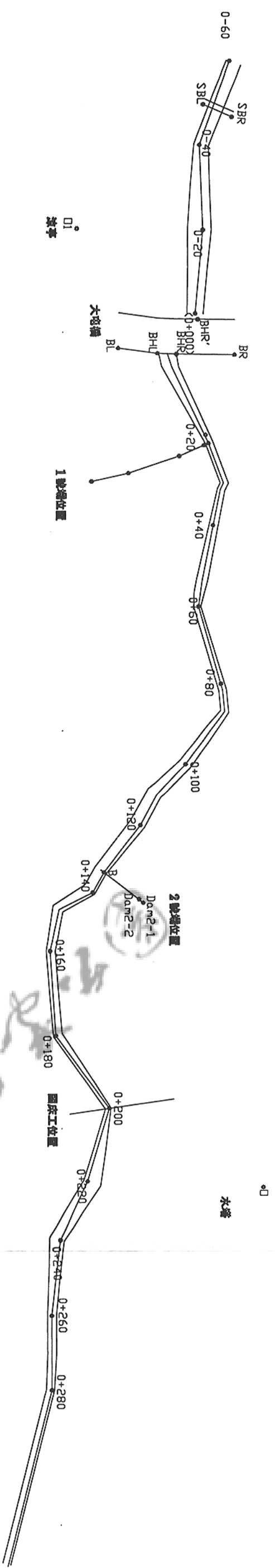
壩前鋼軌輪胎橫剖面圖

壩頂輪胎橫剖面圖



側視圖

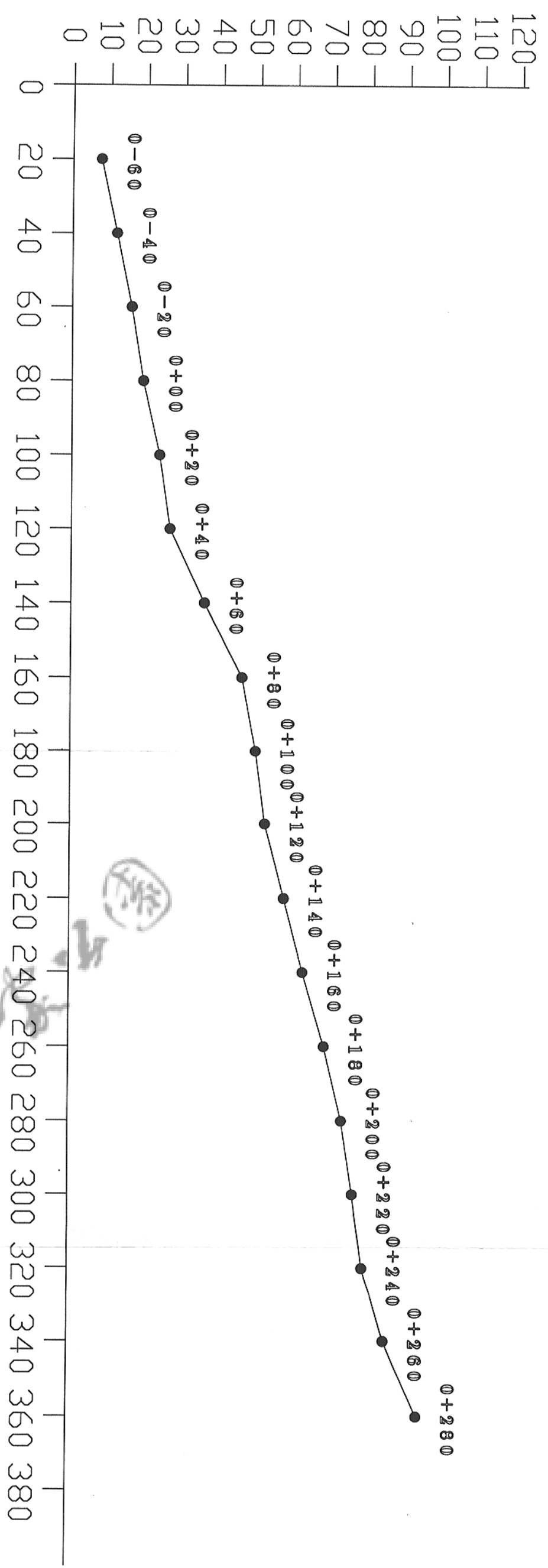
正視圖



圖三

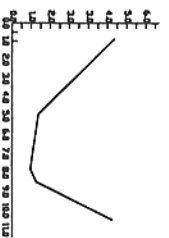
河道各測點關係圖

S=1:1000

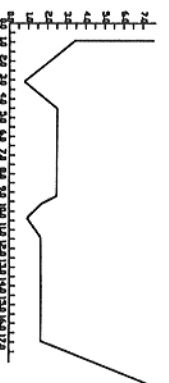


圖四 河道縱斷面圖

單位：公尺
S=1:1200



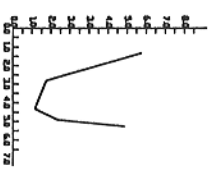
0-60



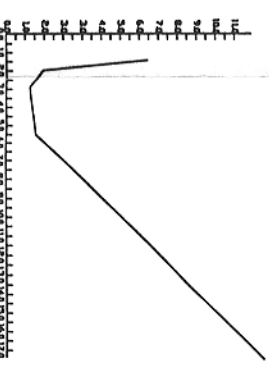
0+20



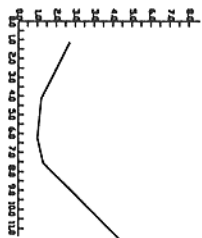
0+100



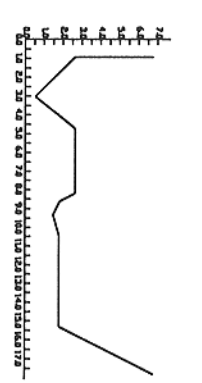
0+180



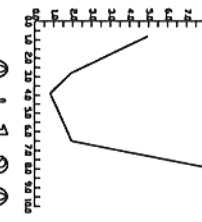
0+240



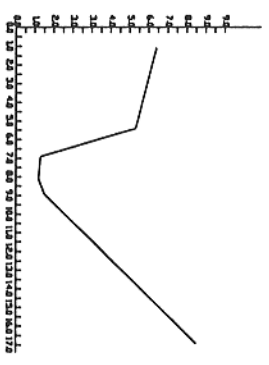
0-40



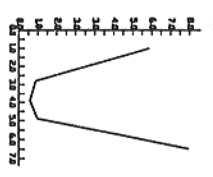
0+40



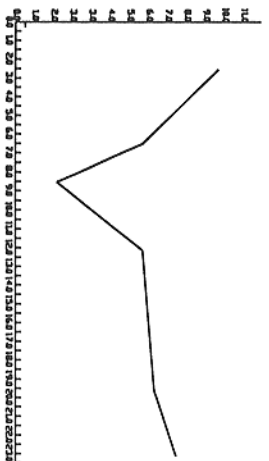
0+120



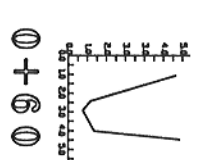
0+200



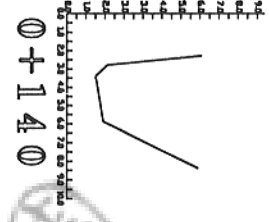
0+260



0-20



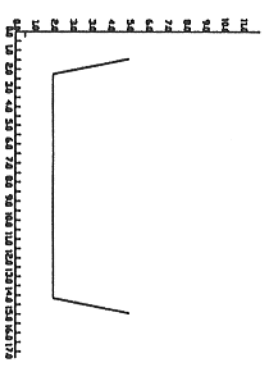
0+60



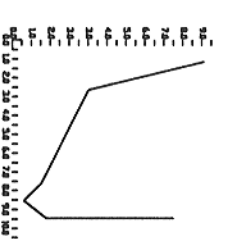
0+140



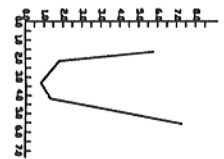
0+200



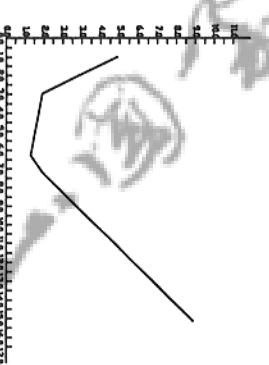
0+000



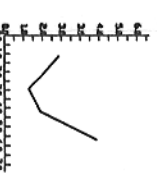
0+80



0+160



0+220

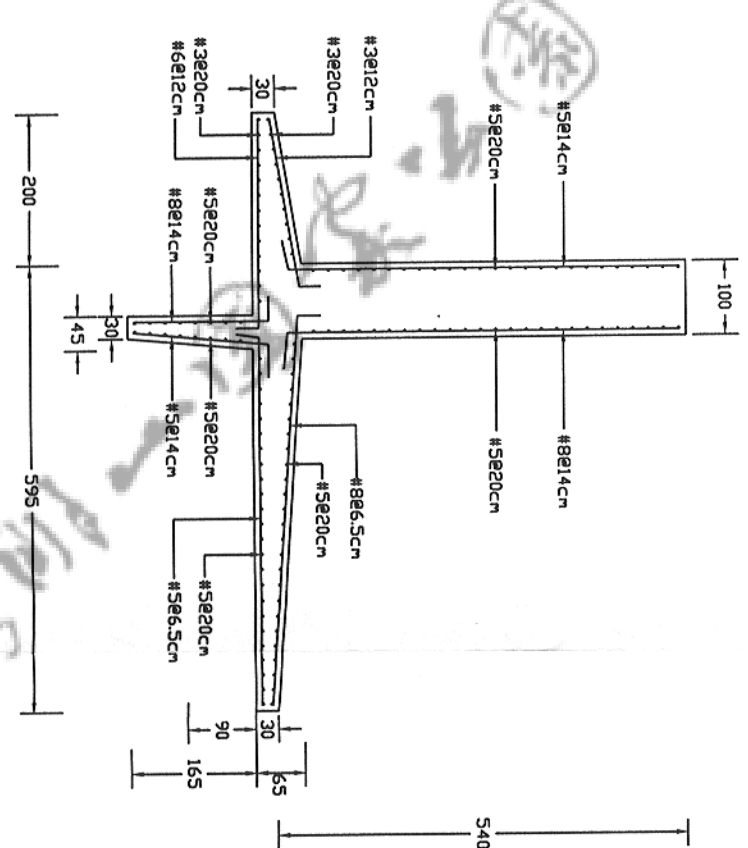
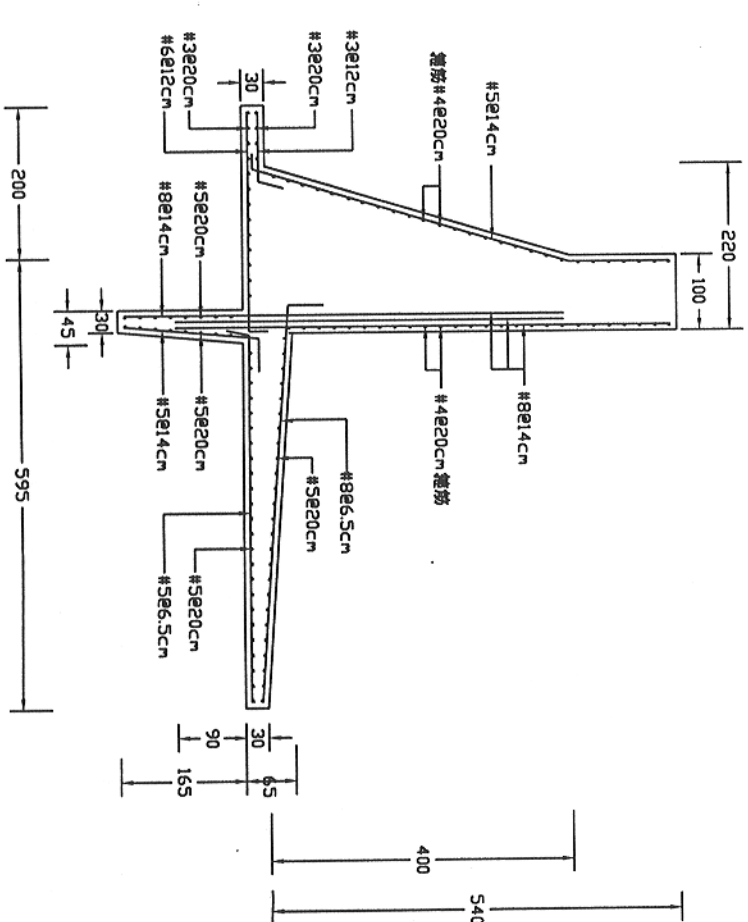
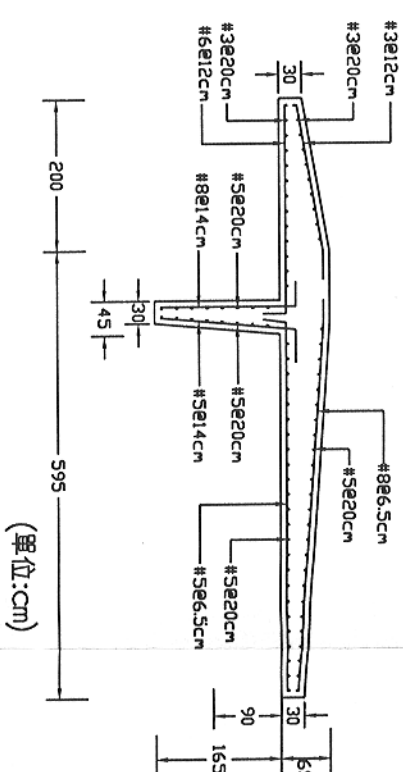
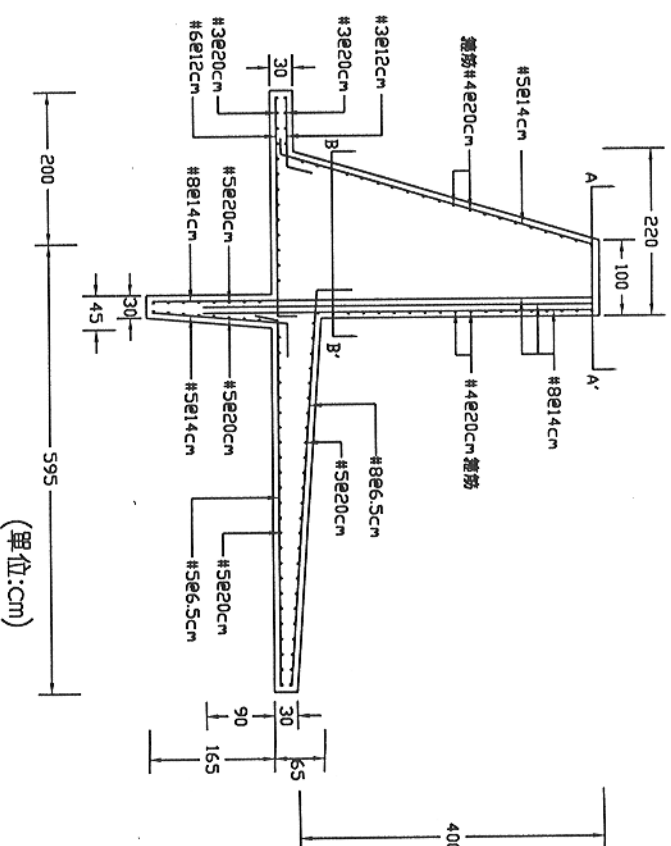
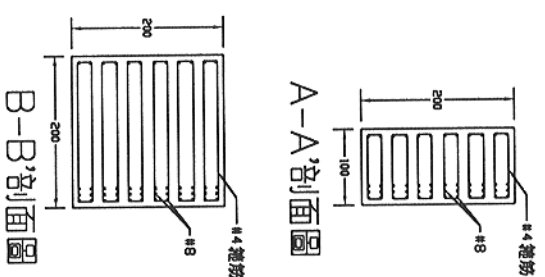


0+280

圖五 河道橫斷面圖

S=1:400

單位=公尺



突出兩岸之翼牆斷面配筋圖

坎入兩岸之翼牆斷面配筋圖