

## (二) 半屏山

民國50年6月4日，位於高雄市北部之半屏山發生山崩，下滑量約為一百四十萬立方公尺，此山崩除了造成42人死亡之外，也造成鐵路縱貫線被掩覆變形約1000公尺，當時鐵路是位於山腳與水泥廠之間，後來鐵路再重建外移至水泥廠東邊。這次山崩產生的主要原因是由於山腳下採礦引起。山崩後傾斜之石灰岩覆蓋於泥岩上，地層傾斜角度約為30度，由於石灰岩是強度及透水性相當高的岩層而其底下之泥岩是強度及透水性皆低的地層，因此下雨時雨水會下滲到石灰岩及泥岩之交界面再向下流動，使得泥岩表面由於吸水軟化而更弱，因此石灰岩與泥岩之交界面就容易形成山崩之滑動面，當山腳下之石灰岩被水泥公司逐漸採去做水泥原料之後，其底部之支撐漸漸減弱，終於無法負荷其上方之重量而下滑。自從那次山崩後，在取得軍方同意開放後水泥公司改變了採石方法，改採由上而下逐次開採，因此已無重大山崩事故再發生。目前石灰岩已幾乎全部採掉只剩下泥岩了，因此上述之山崩形式已不可能再發生。

上述之半屏山山崩型態在民國75年9月2日再度在高雄出現，不過出現的地點在壽山之東側，其產生之主要因素是和半屏山是相同的，也即是山之下半部的石灰岩不斷被採掉(由於山頂部份是軍事要塞禁止採礦卻允許山腰以下

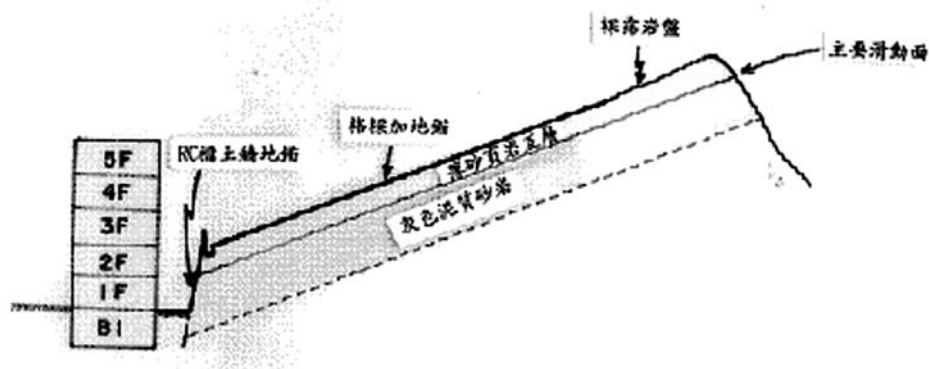
採礦)，終使其上方之石灰岩產生下滑現象。此地之地質剖面和半屏山類似，傾斜角20至40度之石灰岩地層覆蓋於泥岩上，唯其山頂上及山之西側的地質狀況是和半屏山不同的。壽山山崩之岩石下滑量也是一百多萬噸，但是死亡人數只有四人，主要因素是山腳下是水泥公司廠房，山崩時水泥公司之山上及廠區工作人員皆已下班，算是不幸中的大幸。壽山石灰岩採石場目前已停採多年，由於植生復舊工程很成功原來的採掘場及崩塌地已經長滿植物，一般人已不容易看出崩塌遺跡了。

### （三）中山高速公路八堵交流道工地山崩

民國63年9月28日，中山高速公路八堵交流道在豪雨後發生山崩，死亡人數為36人。此地屬於順向坡，地層傾斜角約為30度，地層則為厚層砂岩夾薄層頁岩。造成這個山崩的原因和半屏山之例子很類似，是為建造公路將順向坡之坡腳挖掉後使得上方之岩層變成不穩定，在雨季時雨水下滲軟化頁岩地層加上地下水水壓使得砂岩沿著地層交界面下滑。由於台灣山區順向坡很多，許多順向坡的走向又平行於山谷的方向，因此公路沿山谷建造時常常不可避免的切掉山坡的坡趾而造成山崩災害，只是八堵交流道工地山崩造成之災害特別大而令人印象特別深刻。

#### (四) 林肯大郡

民國86年8月18日，颱風造成台北縣汐止鎮林肯大郡社區後方山坡地滑動，並使擋土牆斷裂，大量土石衝入山坡下方五樓公寓內，造成28人死亡之慘劇，由於事件發生不久大家記憶猶新。此邊坡也是順向坡。和前面幾個順向坡滑動例子不同處是，此邊坡產生大規模破壞前已做了擋土牆及岩錨等保護工程，只是工程設計時少考慮到一些因素(例如雨水下滲所產生之地下水壓)，加上施工時又有偷工減料之嫌，因此不幸地在豪雨來臨時產生崩塌，再加上公寓離開擋土牆太靠近使得崩壞的擋土牆及下滑之土石得以大量衝入住宅內而造成大量傷亡。



#### (五) 九份二山

民國八十八年921集集大地震造成之大山崩是以第一個例子草嶺為最大型，其次則為九份二山。九份二山山崩下滑量約為3千6百萬立方公尺，造成39人死亡。九份二山

也是一個順向坡，地層之傾斜角約為20-30度，坡面之平均傾斜角約為23度。

由以上五個例子，可看到台灣死亡最慘重之山崩有幾個特性。一是這些山崩之邊坡全都是順向坡。筆者認為產生這個現象之原因是順向坡在台灣尤其是西部丘陵地及海拔不高之山區普遍存在，許多順向坡之坡度不陡，除非把坡腳切掉，通常也不會有大災難，因此會有不少人口聚集在山腳下甚至山坡上。以草嶺為例，由於山坡之傾角只有十餘度，因此在坡面上以農牧為生甚至居住的人不少。民國30年的大山崩奪走不少人命（傳說十二戶七十四人），山崩後滑掉的地方是沒人敢居住，但是崩塌地上方之山坡上仍有四戶二十多人長期居住，農忙時暫時居住的人更多，以致在921地震這塊地方下滑時又產生重大傷亡。第二特性是同樣的現象會重複產生，例如民國50年高雄半屏山，由於山腳被人工開挖失去支撐而下滑產生大悲劇，民國63年同樣的事發生在中山高速公路八堵交流道工地。民國75年類似的事件發生於高雄壽山，民國86年再發生於林肯大郡。歷史是重複的，後人很難記起前車之鑑，或者每個人都自認為藝高人膽大，自己會小心卻一再重蹈覆轍。

## 伍、水土保持（防砂、其他）

### 一、日本現況介紹

日本位於亞洲大陸東邊太平洋中，由本州（Honshu）、四國（Shikou）、九州（Kyushu）和北海道（Hokkaido）四大島和五百個次要島嶼及三千個小島組成，全國面積約377,873平方公里。因位於歐亞大陸板塊跟太平洋海盆的接觸線上，經造山運動，一部分露出海面成為群島，一部分下沉為海溝，各島雖然相隔，其實是一脈相連。由於地殼尚未穩定，斷層特別多，以致於地震常年不絕。

日本全國土地約70%為山地及丘陵地，可居住面積僅佔32.3%，且日本又是人口密度相當最高的國家，都市發展不得不需往山麓及丘陵地的周邊開發。地震頻繁造成地質脆弱，加上颱風經常帶來豪大雨，伴隨而來的就是造成人民生命、財產損失相當嚴重的土砂災害。因此日本土石災害的防治工作較我們台灣早，台灣近年來除了重視颱風所造成的水災外，也漸漸重視土砂災害，尤其921大地震後，防治土石砂災害工作更顯重要。

### 二、個案分析

本次考察在日本砂防協會有二天的課程，以10月26日

東京農工大學共生科學技術研究部石川芳治教授所上的『土石流概論』及神奈川縣須澤砂防工程，做為本組本次出國考察的心得報告的主題。

### （一）石川芳治教授講授：「土石流概論」

#### 1、土石流的成因

山坡地表面的岩石或土壤，因地震、風化（豪雨、融雪）作用而崩落堆積於山凹處，經連續降雨或集中豪雨，造成堆積於山凹處的土壤產生液化，要產生液化需要相當大的含水量，且要造成流動也需要很大的能量產生推力才能造成流動，且又是混合土、石（含巨石）及雜木一起流動，故形成相當大的體積、產生的相當大的衝擊力、造成的損失對相的也相當大。

#### 2、土石流的防治對策

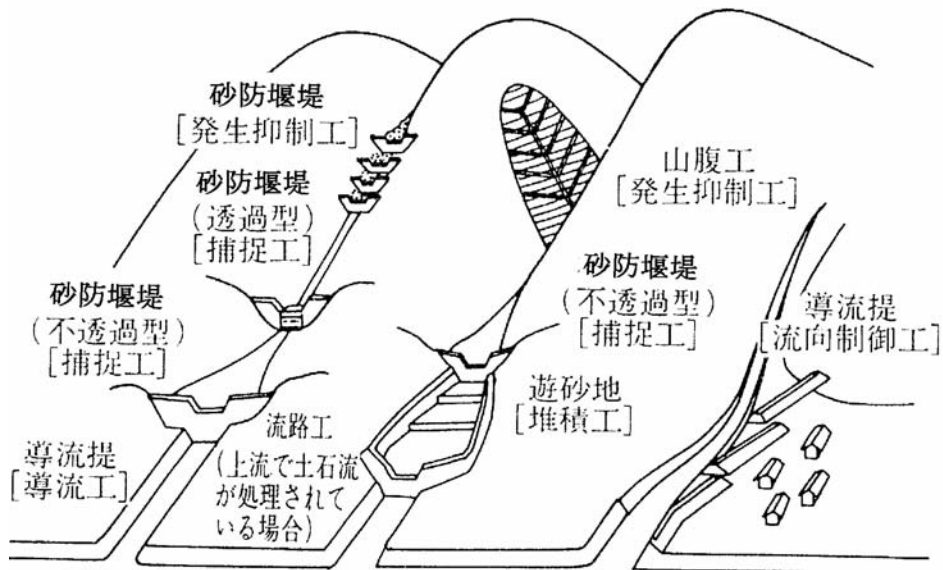
（1）控制土石流發生對策工：又稱為山腹工，為山坡地的植栽及水土保持工法有山地造林、不穩定邊坡的打樁編柵工法、防砂堰堤工法等。

（2）控制土石流流下對策工：為防止山坡地鬆落的土石流下的工程，可分為捕捉土石流工程及堆積土石流工程，捕捉土石流工程為防砂堰堤又可分為不透過

型堰堤及透過型堰堤兩種。堆積土石流工程有堆積土石滯流池、土石流樹林緩衝區等方法。

(3)控制土石流氾濫工程：為防止土石流流向人口密集或重要且需保護地區的一種導流工或堰堤。

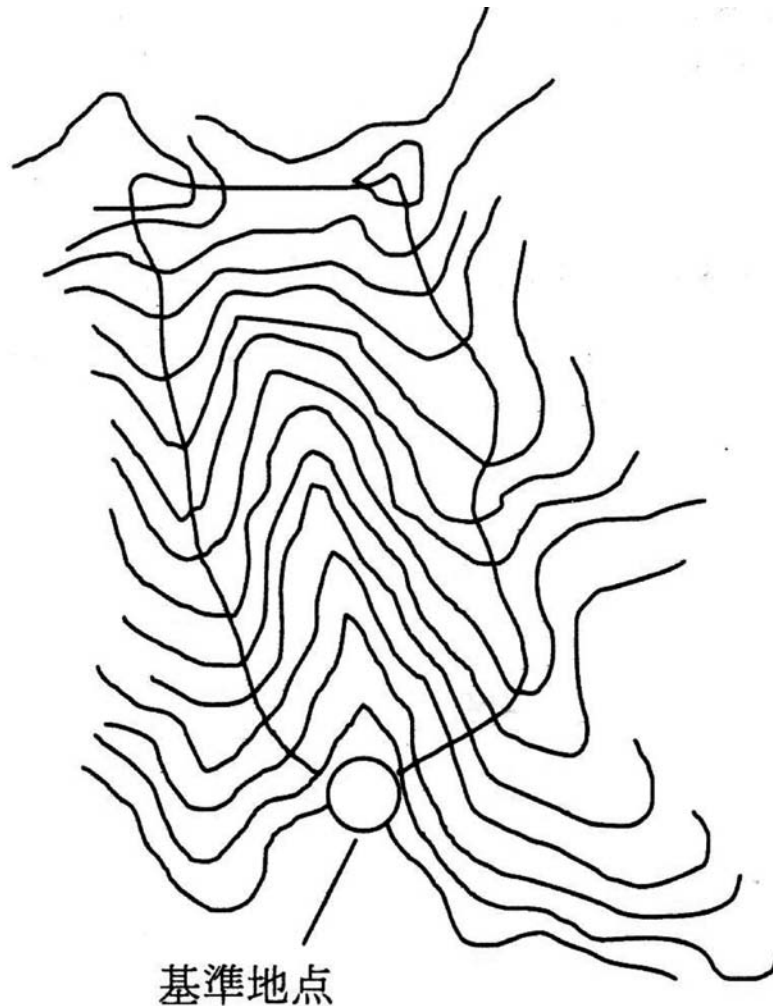
土石流各種防治對策如下圖所示



防治土石流各種對策工法示意圖

### 3、土石流對策的基本條件

- (1) 流域面積：基準地點上流的流域面積。為計算土石流流量及土砂量的基礎。
- (2) 基準地點：計劃土石流對策決定截取土砂量的地點。也是計劃保護區域的上游。
- (3) 計劃的規模：以100年降雨機率的降雨量為設計原則。



基準地點的流域面積



#### 4、土石流區域流出土砂量處理計劃

土石流區域計劃流出的土砂量須適切有效的運用土砂流對策施設如：捕捉工、堆積工及控制發生工等，處理流出土砂量。

$$Q - E = C + D + B$$

Q：計劃土砂流出量。 E：計劃允許土砂流下量。

C：計劃土砂捕捉量。 D：計劃土砂堆積量。

B：計劃土石流發生抑制量。 E：值一般採用0。

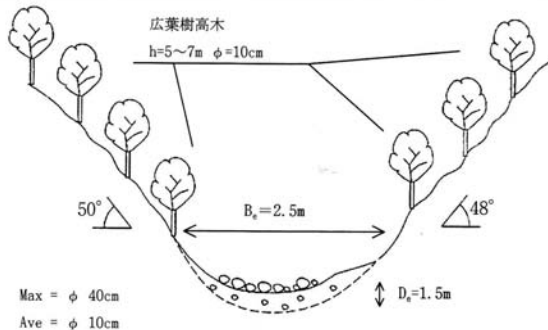
#### 5、土石流區域土砂流出量(Q)的計算

區域(流域)可能移動土砂量的計算：

$$V_e = V_1 (\text{可能移動溪床堆積土砂量}) + V_2 (\text{可能搬運的土砂量})$$

$$V_1 = A_1 (\text{溪床堆積物的平均斷面積}) \times L_1 (\text{基準點至最上流點的距離})$$

$$A_1 = B (\text{平均浸蝕寬度}) \times D_1 (\text{平均浸蝕深度})$$



$$V_2 = 10^3 \times R_r \times A \times f_r \times \{C_d / (1 - C_d)\} \div (1 - \lambda)$$

降雨量(mm) × 流域面積(km<sup>2</sup>) × 流出係數 × {土石流  
中土砂與水之比} ÷ 土砂的實體積率

$$C_d = \rho \tan \theta / \{(\sigma - \rho)(\tan \psi - \tan \theta)\}$$

$\sigma$  : 礫石的密度

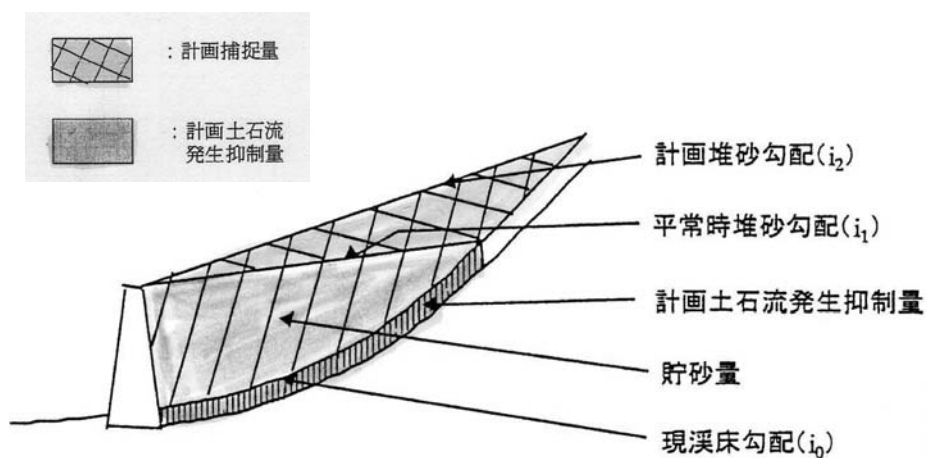
$\rho$  : 水的密度

$\theta$  : 溪床的坡度

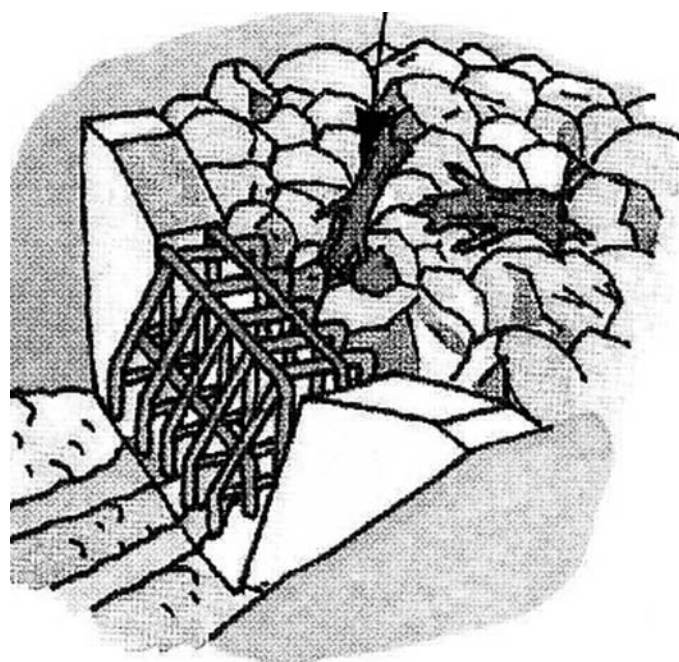
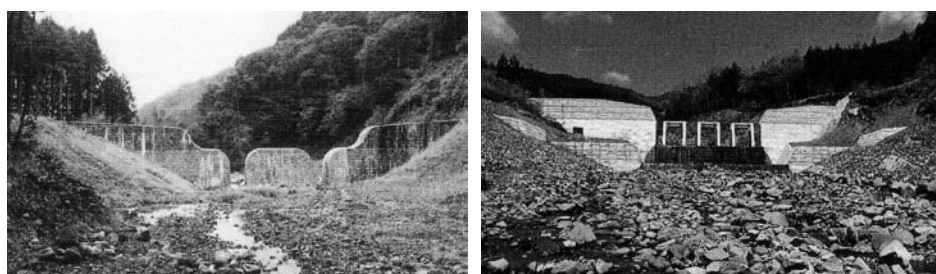
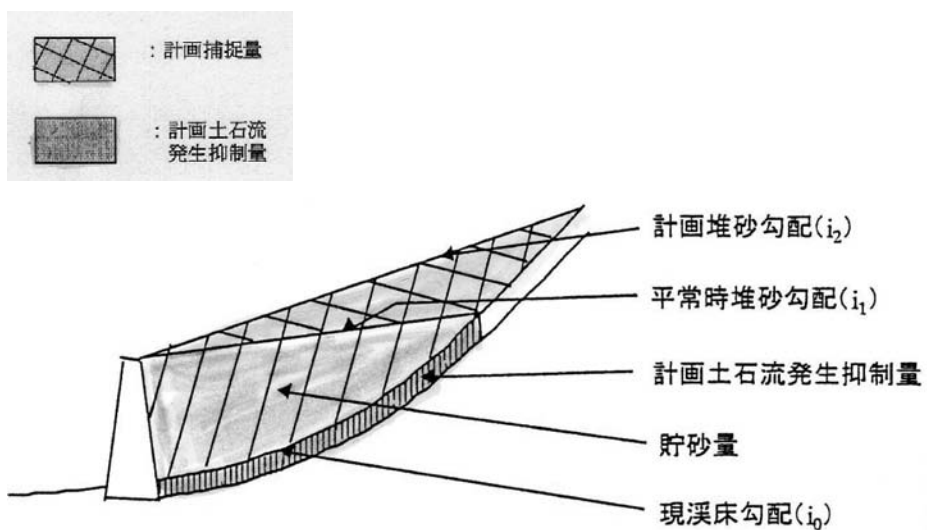
$\psi$  : 砂礫的內部摩擦角

## 6、土石流捕捉工程(防砂堰堤)的捕捉量計算

(1) 不透過型的堰堤：

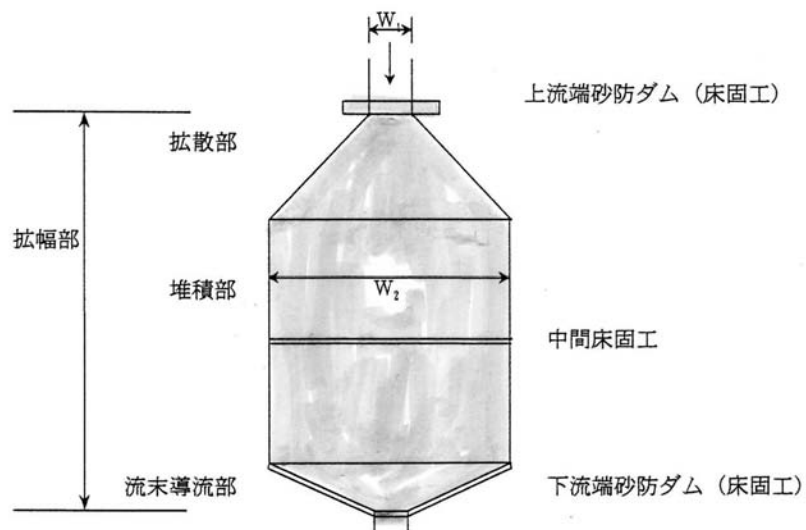
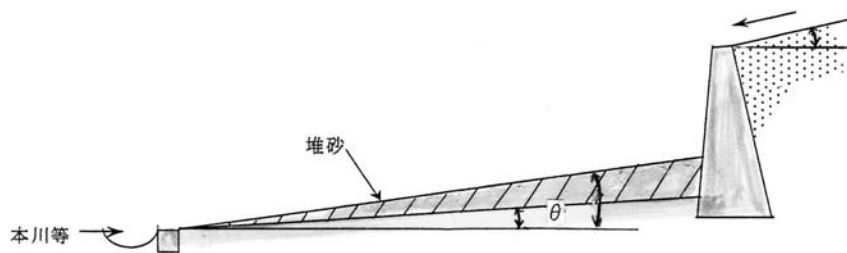


(2) 透過型堰堤：



### 7、土石流堆積工

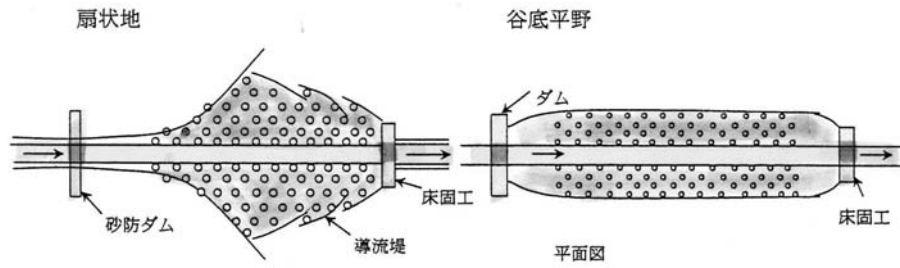
(1) 土石滯流池：在河流流路中選擇坡度較平緩、河床寬度較寬廣的河段設置土砂堆積的沉土砂池。



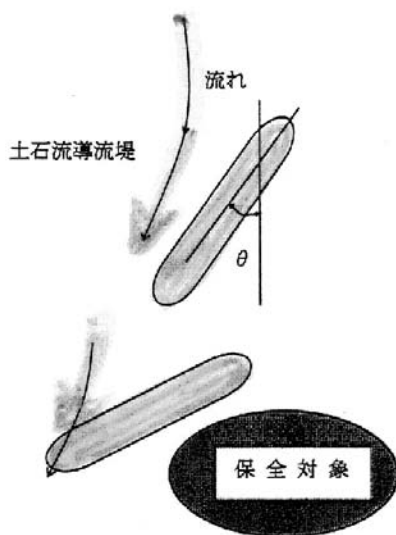
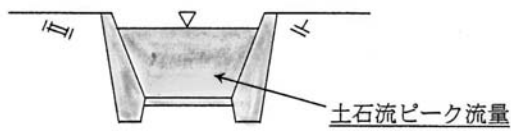
E-2 扇頂部に施工された砂防施設



(2) 土石流樹林緩衝區：樹林可以抵抗土石流的衝擊力，使土石流停止，並堆積於樹林區。



(3) 土石流導流工：將土石流導入預設的河道排入安全的地方，河道的斷面寬度要考慮土石流流量。



(4) 土石流流向控制工：

為保護人民生命、財產，設置巨大堰堤，將土石流導向至其他安全的方向。

## （二）神奈川縣須沢的砂防工程

須沢溪的源頭為早雲山，早雲山為爆裂火山口，為破碎的山坡地，崩塌相當嚴重。於昭和28年（1953）7月26日，早雲山破碎、崩塌的土石，形成土石流沿著須沢溪以每秒7公尺的速度流出，衝至強羅橋下流2公里遠，帶下的土石量約80萬立方，埋沒了17座埧堤、觀光自動車專用道路140公尺、林地7公頃、遊客10人死亡、15人受傷。



災害發生後的航空照片

災害發生後立即進行復舊工程，從昭和28年到昭和33年3月，共花費4年8個月的時間，在源頭清除不穩定土石約10萬立方，鑿30個排氣孔，上游興建7座高6公尺長120公尺的砂防堰堤，中游地區設置5座、下游設置4座堰堤，總長574公尺的土石滯流區，總經費3億5,000萬元，為第一期工程。



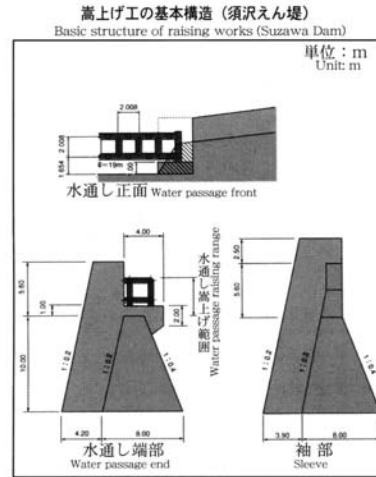
第一期完成的4座堰堤

昭和59（1984）年第二期工程，完成59座排氣孔，上游14座砂防堰堤，中游2座導流堤及流路工513公尺。

第三期工程以土石流災害防止為目標，從昭和61（1986）年著手開始，計劃捕捉土石流量約40萬立方，興建6座砂防堰堤，增設2座導流堤，加高4座即有的導流堤及植栽等工程，經費40億元，於平成5年（1993）完成。以前工程僅重視防災面的機能，忽略了自然環境的景觀及休憩功能，因須沢溪位於國家公園範圍內，所以本期工程有將自然環境、景觀及休憩等因素列入設計考量。



第三期完成的土石流堆積工程

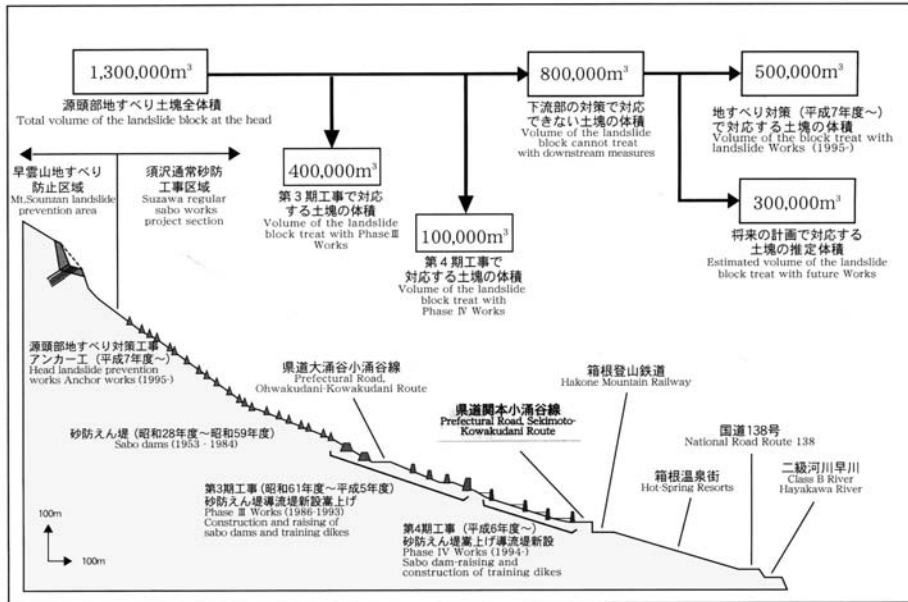


透過型堰堤設計圖

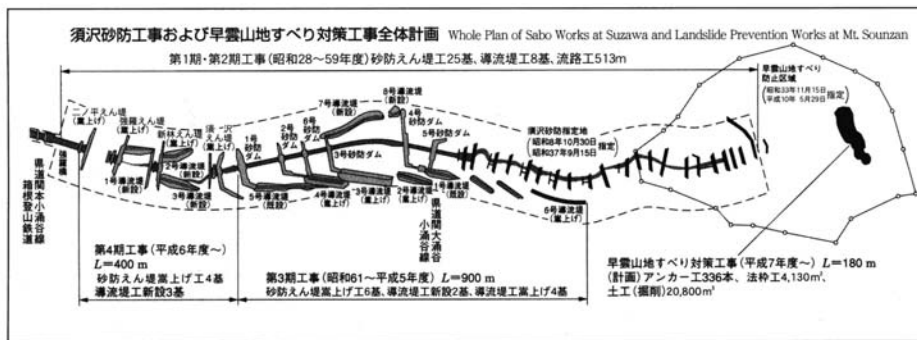
於平成元年第三期工程實施初期，源頭發生新的崩塌，於是第四期工程，為增加捕捉土石量10萬立方，於昭和28年第一期興建完成的砂防堰堤袖部加高2.5~3.0公尺，並為考慮自然景觀於原完成的堰堤表面附貼石塊。



須沢縦断面図  
Suzawa Vertical-section



須沢砂防工程分年分期計劃圖



須沢砂防工程計劃配置圖