

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫暨子計畫：邊坡破壞引發土石流之機制研究-以土石
流源頭為對象(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2625-Z-002-022-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：陳榮河

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 19 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

坡地災害引起土石流發生機制之整合研究(1/2)

-子計畫：邊坡破壞引發土石流之機制研究-以土石流源頭為對象(1/2)

計畫編號：NSC 91-2625-Z-002-022

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：陳榮河 台灣大學土木工程學系

摘要

本年度研究接續先前研究，對台北縣瑞芳侯硐地區進行現地採樣與粒徑分析，並進行多項室內試驗，包括三軸透水試驗、土壤水分特性曲線試驗、飽和均向壓密不排水三軸試驗，以及土樣於不飽和狀態下之壓密排水三軸試驗，期望藉由不同試驗，能對土石材料之基本力學性質、透水性質以及保水特性更進一步的瞭解；此外，並對金山重和地區兩湖坑及三和坑、瑞芳侯硐地區昇福坑及大粗坑之崩塌邊坡進行穩定性分析，以了解現地之特性及影響因子。

粒徑分析結果顯示昇福坑土樣之礫石含量佔 52.4%，塑性指數 PI 為 23，依統一土壤分類法屬於 GC，而透水係數約 10^{-5} cm/sec。大粗坑土樣之礫石含量佔 73.4%，無塑性行為，依統一土壤分類法屬於 GW，而透水係數約 10^{-3} cm/sec。另外，由土壤水份特性曲線試驗結果顯示，昇福坑保持水分能力不佳，但排水速率十分緩慢，故現地之狀況對穩定性有很大的影響。而在飽和均向壓密不排水三軸試驗結果中，昇福坑土樣之有效剪力強度參數 c' 、 ϕ' 分別為 9.6kPa、 30.2° ，強度並不高，故會成為破壞最先發生處，與現地情況相符。

而在邊坡穩定性分析方面，降雨入滲對兩湖坑崩塌影響很大。而在三和坑方面，降雨入滲也會使其安全係數大幅下降，進而發生破壞。在應力變化與水壓變化之探討方面，目前已改進了水量流入土體之模擬方式，並引入土壤之不飽和性質，可以作為現地邊坡分析之基本模式。

關鍵詞：邊坡破壞、發生機制、土石流、力學特性

一、研究動機、目的與方法

土石流由於發生快速以及破壞力極強，往往造成重大的生命財產損失。為避免土石流的發生，必須對發生土石流之原因進行了解，才能選擇適當的防治工法。土石材料之特性是影響土石流發生的重要因子，而土石材料之特性又因地域之不同而顯示不同之特徵，本年度之研究乃接續前一年金山重和地區之研究，對研究區內域內另一地點—侯硐地區，進行相關之試驗，以對土石材料之基本力學性質、透水性質以及保水特性進行探討。

主要的試驗項目包括：

1. 土壤基本物理性質試驗—如粒徑分析、比重試驗、消散性試驗等。

2. 三軸透水試驗
3. 土壤水分特性曲線試驗
4. 飽和均向壓密不排水三軸試驗
5. 不飽和狀態下之壓密排水三軸試驗

另一方面，現地之邊坡雖然大多是處於不飽和狀態，但是一旦有降雨發生，雨水漸漸入滲至坡體內部後，邊坡會趨向飽和狀態，此時入滲之水也會累積形成超額的水壓，極易造成坡體之不穩定。故降雨入滲對土石流源頭邊坡穩定的影響，值得重視。

因此，本年度計畫除了藉由上述試驗了解土石材料之特性外，也利用試驗所得之各參數，對金山及侯硐兩地進行穩定性分析。

主要的分析項目包括：

1. 安全因數之探討—以極限平衡法，探討安全因數與入滲深度變化之關係，並對降雨延時及入滲深度進行比較。
2. 土體內應力變化與水壓變化之探討—以應力分析法，探討降雨入滲下之應力與水壓的變化機制。同時也探討土壤滲透性、降雨強度、降雨延時等因子對邊坡穩定的影響。

二、研究區域概述

侯硐大致位於基隆的東方，屬於台北縣之北部。此處早年採礦十分發達，故交通還算便利，現主要有省道台 2 線及縣道 102 及 106 可以前往。本研究區域位於基隆河流域，屬於中上游段；在地形上包括沉積岩之山地地形及火山岩之山地地形。在氣候方面，本區典型的特徵是全年有雨，年平均雨量約 4500 公厘，無特別的乾旱季節，但以冬季雨量較高，故野外工作以夏秋兩季較宜。

民國 89 年象神颱風在此地區帶來豪雨，10 月 31 日及 11 月 1 日兩天之累積雨量高達 600 公厘以上，造成了一支流小集水區(昇福坑)之崩塌，崩塌之土石阻塞了大粗坑主流河道，形成堰塞湖。至 11 月 5 日時，堰塞湖潰決，觸發土石流宣洩而下，造成下游處侯硐國小及民宅的重大災害。

三、土樣之基本物理性質

現地採樣地點包括昇福坑及大粗坑兩地。所得之基本物理性質如下—

昇福坑土壤之現地密度為 2.05 t/m^3 ，含水量為 12 %，土樣之平均比重為 2.70；礫石(4 號篩以上)含量為 52.4 %，孔隙比為 0.47；由於土樣具有塑性，故細料之塑性指數 PI 為 23，屬 CL 類；而依統一土壤分類法(USCS)，屬於 GC 類。

大粗坑土壤之現地密度為 1.78 t/m^3 ，含水量為 8 %，土樣之平均比重為 2.65；礫石含量為 73.4 %，孔隙比為 0.61；土樣並無塑性，而由統一土壤分類法(USCS)，屬於 GW 類。

兩地之土壤都具有消散性，由消散性試驗，得昇福坑土壤之消散耐久指數為 0.82，屬中等耐久性；大粗坑土壤之消散耐久指數為 0.94，屬中高耐久性。

四、目前之研究結果與討論

本研究之試驗結果包括昇福坑及大粗坑兩處，分述如下：

1. 昇福坑已獲得之試驗結果包括—

- (1) 飽和均向壓密不排水三軸試驗
- (2) 三軸透水試驗
- (3) 土壤水分特性曲線試驗

在飽和壓密不排水三軸試驗中，昇福坑土樣受剪後整體而言呈現膨脹之行爲；而由應力與應變的關係曲線(如圖 1)，材料並無明顯的尖峰強度，進入塑性區後之強度仍持續緩慢增加，呈現出應變硬化(strain- hardening)的情況。經由數組試驗，可得剪力強度參數之有效內摩擦角及有效凝聚力分別爲 30.2°、9.6kPa。

若與先前各土石流源頭發生處之土石材料強度比較，昇福坑之強度明顯偏低(如表 1)，而昇福坑爲侯硐地區最先破壞處，故材料強度較低與現地相符。

三軸壓密透水試驗之結果顯示，隨著有效圍壓之增加，材料孔隙比降低介於 0.47~0.38)，但透水係數變化不大(介於 $8.1 \times 10^{-6} \sim 1.6 \times 10^{-5}$ cm/sec)，如表 2 所示。故可推論現地堆積土石厚度對材料透水性質影響有限。

與前期研究金山三和坑之土壤材料相比較，由於昇福坑土樣之黏土含量較高，故透水性明顯較低，兩者相差約 100 倍；昇福坑土樣約屬於中低透水性之材料。

土壤水分特性曲線試驗結果顯示，其保持水分之能力不佳，空氣易進入孔隙中使水分排出，如圖 2 所示。在基質吸力大於 100kPa 時，飽和度之略爲下降會造成基質吸力大幅增加。

同樣地，與三和坑之土樣進行比較，兩者的保水能力皆不佳，曲線也十分相似，兩者最大的差異處在於排水之速度：由於昇福坑之細料含量較高，故透水係數低，也造成其排水速度十分緩慢。因此，可推論現地的含水量與飽和度的狀況並不容易改變，而現地的初始狀況對穩定性影響很大。由於現地之含水量爲 12%，飽和度約 66%，故所能提供之基值吸力僅約 10kPa，對邊坡的剪力強度提升有限。

2. 大粗坑已獲得之試驗結果包括—

- (1) 三軸透水試驗

三軸壓密透水試驗結果顯示，隨著有效圍壓之增加，材料孔隙比降低(介於 0.61~0.57)，透水係數大致上也隨之降低(介於 $2.4 \times 10^{-3} \sim 1.8 \times 10^{-3}$ cm/sec)，如表 2 所示。整體而言，圍壓對孔隙比與透水係數的影響仍然不大；故現地堆積土石厚度對透水性之影響也十分有限。

與金山三和坑之土壤比較，大粗坑土樣之透水性與其十分接近，約屬於中等透水性之材料。

3. 極限平衡分析

本研究目前已對金山重和地區之兩湖坑及三和坑之安全因數進行探討，分析剖面如圖 3、圖 4 所示；主要係利用極限平衡程式 STABL，探討不同入滲深度對邊坡穩定的影響，如表 3~表 4 所示。結果顯示，兩湖坑之穩定性主要由淺層破壞面控制，且降雨入滲對安全係數影響很大。

在三和坑方面，其在降雨入滲前有較高的安全係數，係數爲 1.85，當有降雨入滲行爲，安全係數大幅降低 0.84，受入滲影響更爲明顯。由滑動面可發現其爲淺層破壞，屬無限邊坡破壞模式。

4. 土體內應力變化與水壓變化分析

主要在改進水量流入土體之模擬方式，並將邊坡之不飽和性質引入，以作為現地模擬之依據；主要係利用有限元素程式 ABAQUS 進行分析。水壓變化之模擬採用流速 v 的方式來分析—

$$v = k_s * i$$

k_s 為滲透係數， i 為水力坡降；而現地之降雨資料，可直接引入，較為方便。

另外，由於現地之邊坡是屬於不飽和狀態，故必須將土壤之不飽和性質引入；因此，利用土壤水份特性曲線，定義飽和度與負水壓之關係。此時，在程式中可使用有效應力的觀念，定義不飽和土壤之應力狀態—

$$\sigma_{eff} = \sigma - [\chi u_w + (1 - \chi) u_a]$$

σ_{eff} 為土壤之有效應力， σ 為總應力， χ 為飽和度， u_a 為孔隙氣壓， u_w 為孔隙水壓；如此即可得到應力與水壓之關係；未來在進行現地邊坡之模擬時，可以作為分析之基本模式。

五、結論

1. 飽和壓密不排水試驗

昇福坑土樣之力學行為受剪後整體而言呈現膨脹之行為，有效內摩擦角及凝聚力分別為 30.2° 、 9.6kPa ，剪力強度較低，故成為破壞最先發生處，與現地相符。

2. 三軸透水試驗

昇福坑透水係數約 10^{-5} cm/sec ，大粗坑透水係數約 10^{-3} cm/sec ，昇福坑由於黏土含量較高，故透水性低；而兩地之現地堆積土石厚度對材料透水性質影響皆有限。

3. 土壤水分特性曲線試驗

土壤之飽和度由基質吸力所控制，但當達到某一基質吸力後，土壤之飽和度就不會再改變，試驗結果顯示昇福坑土樣在基質吸力達 25kPa 後，飽和度之變化已漸趨平緩。而由於其透水係數低，排水速度慢，故現地之狀況為穩定與否之關鍵。

4. 安全因數之探討

降雨入滲對兩湖坑崩塌前之安全係數影響很大。而在三和坑方面，降雨入滲也會使其安全係數大幅下降，進而發生破壞。

5. 土體內應力變化與水壓變化之探討

在經過水流入土體之模擬方式之改進，並引入土壤之不飽和性質後，在進行現地邊坡之分析時，應會有較佳之結果。

六、未來進度

1. 完成昇福坑之不飽和狀態下之壓密排水三軸試驗。
2. 完成金山三和坑之應力變化與水壓變化之探討。
3. 完成侯硐地區之穩定性分析。

表 1 土石流源頭處材料參數之比較

	c' (kPa)	ϕ' (°)
花蓮銅門	0.0	38.6
南投豐丘	0.9	41.0
南投神木	1.1	37.8
金山三和坑	4.0	36.9
侯硐昇福坑	9.6	30.2

表 2 三軸透水試驗結果

昇福坑			大粗坑		
有效圍壓 (kPa)	孔隙比 e	透水係數 k(cm/s)	有效圍壓 (kPa)	孔係比 e	透水係數 k(cm/s)
39.2	0.47	8.1×10^{-6}	49.0	0.61	2.2×10^{-3}
78.4	0.44	1×10^{-5}	98.0	0.59	2.4×10^{-3}
156.8	0.38	1.6×10^{-6}	147.0	0.58	2.0×10^{-3}
			196.0	0.57	1.8×10^{-3}

表 3 兩湖坑(象神颱風前)分析結果

淺層滑動分析	
入滲深度	安全因數
5 m	0.95
10 m	0.93
15 m	0.89
20 m	0.83
25 m	0.77

表 4 三和坑(象神颱風後)分析結果

降雨入滲深度	安全因數
0 m	1.85
約 10 m	1.21

約 15 m	1.01
約 20-30 m	0.90

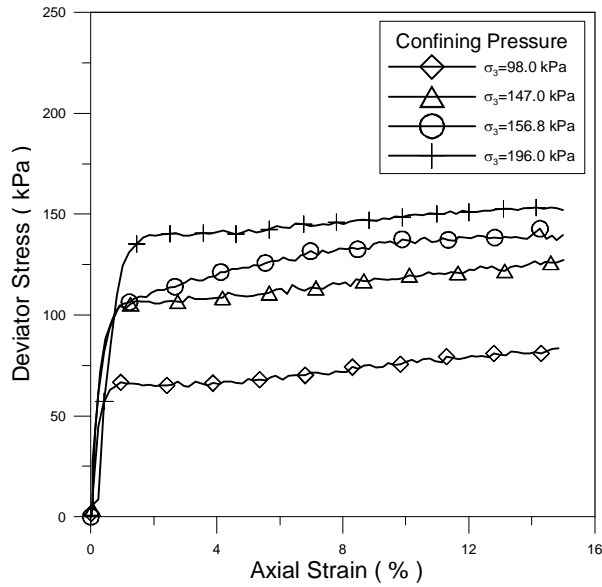


圖 1 應力與應變關係曲線

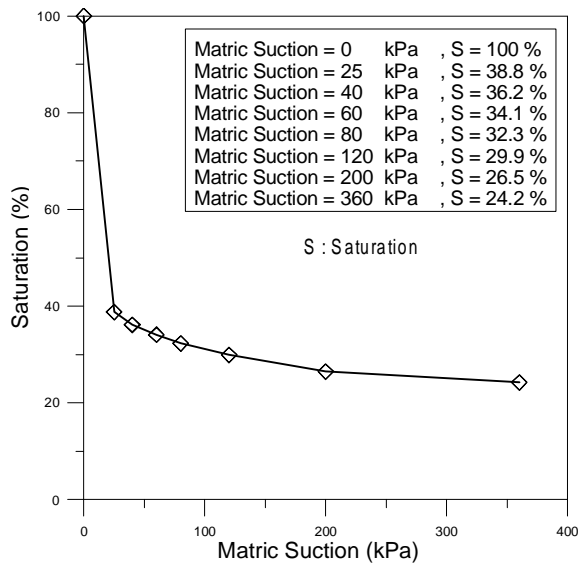


圖 2 土壤水分特性曲線試驗結果

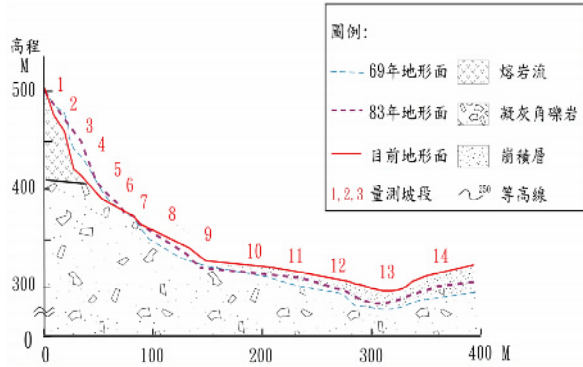


圖 3 分析時所使用之兩湖坑剖面

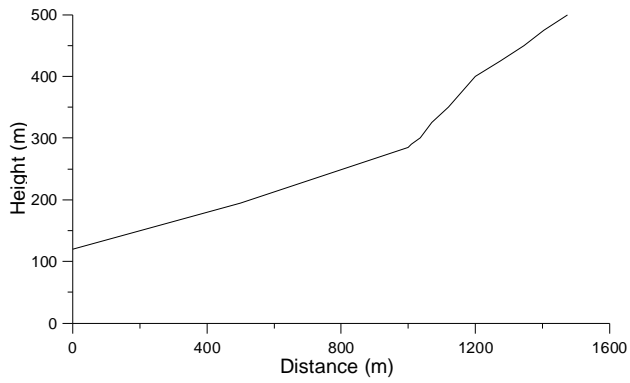


圖 4 分析時所使用之三和坑剖面