

# 邊坡崩塌運動之觀測試驗

許淑玲<sup>(1)</sup> 游繁結<sup>(2)</sup> 吳仁明<sup>(3)</sup>

## 摘要

土石流溪谷邊坡崩場地所產生之土石為土石流之主要材料來源，當邊坡崩積土與雨水混合後，因為重力作用將順著地表斜坡移動，可形成大規模的土石流，常為致災的肇因。為了解崩塌土體如何轉變成土石流之流態，本觀測試驗使用二種不同底床材料、三種不同土砂組成之土體與五種不同含水量，在不同底床坡度條件下，以渠槽試驗觀測崩塌土體產生之運動與堆積現象。而試驗觀測結果顯示：

1. 3 組試驗材料下(分別為均勻粒徑之粗粒料的砂土、均勻粒徑之細粒料的砂質壤土、混合粒徑的壤質砂土)，每組進行 72 次之試驗中，砂土崩塌的次數為 69 次，砂質壤土崩塌的次數為 37 次，壤質砂土崩塌的次數為 44 次。顯示細粒料或混合粒徑的土體較安定。
2. 土體崩塌後堆積長度和堆積長度與堆積高度的比值 (L/H) 隨底床坡度增加而增加，而形狀係數和堆積傾斜角卻隨底床坡度增加而減少。
3. 三種土體中，壤質砂土之崩塌長度及 L/H 值較大，而砂質壤土之形狀係數、堆積傾斜角較大。
4. 土體崩塌後堆積長度及 L/H 隨含水量增加而減少，而形狀係數及堆積傾斜角隨含水量增加而增加。
5. 以粗糙度較小的壓克力板為底床時土體崩塌後堆積長度、形狀係數及 L/H 值皆大於粗糙度大之鋼板為底床材料的堆積結果；另以鋼板為底床時土體崩塌後堆積傾斜角大於以壓克力板為底床的堆積結果。

(**關鍵詞**：崩塌、含水量、崩積土、崩塌長度)

## An experiment on the movement of slope failure

*Shu-ling Hsu<sup>(1)</sup> Fan-chieh Yu<sup>(2)</sup> Jen-Ming Wu<sup>(3)</sup>*

Professor<sup>(2)</sup> and Graduate Students<sup>(1)</sup> respectively, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

---

(1) 國立中興大學水土保持研究所碩士班研究生

(2) 國立中興大學水土保持系教授

(3) 國立中興大學水土保持研究所博士班研究生

## ABSTRACT

The mixtures of sand, gravel, silt and water move down by gravity along the slope and become extensive accumulation in the downstream. In order to understand how the colluvial mass transfer into debris flow. The movement behaviors of landslide were observed by laboratory experiment. We used different condition as five kinds of water content, three kinds of grain size and two kinds of channel bed materials. The results were shown as follows:

1. The test used three test materials. One material has 72 trids. In 72 trids , the number of sand collapses is 69 sets. The Loam collapses is 37 sets. The mix collapses is 44 times. It is obvious that the fine particle or mix particle of soil is steady more than coarse particle of soil.
2. When the channel slope increases, landslide length (L) and area(A)increase. When the channel slop increases, form factor (A/L<sup>2</sup>) and deposition angle decrease.
3. The sand contained with fine particle has longer landslide length and higher L/H value. The loam has higher A/L<sup>2</sup> and deposition angle.
4. When water content increases, the landslide length, area and L/H value decrease. When water content increases, the A/L<sup>2</sup> and deposition angle increase.
5. When channel bed is made of acrylic board, the landslide length, A/L<sup>2</sup> and L/H value is higher than using steel board. When channel base is steel board, the deposition angle is bigger than using acrylic board.

(**Keywords** : Landslide, Water Content, Colluvial Mass, Runout Distance)

### 一、前言

近年來發生豪雨或地震時，常有崩塌與土石流災情傳出，而從現地調查發現土石流溪谷邊坡崩場地所產生之土石為土石流之主要材料來源，當邊坡崩積土與雨水混合後，因為重力作用將順著地表斜坡移動，可形成大規模的土石流，常為致災的肇因。為瞭解崩塌土體轉變為土石流流態之運動現象，本文擬以渠槽觀測崩塌土體於不同坡度、含水量、粒徑與不同底床材料條件下，在斜面崩塌時產生之運動與堆積現象，以進一步探討其性狀與運動特性之變化。

### 二、理論分析

有關邊坡土體之運動特，可從下列理論探討之，即：

#### 1. 下滑力分析

由圖 1 顯示分力  $X = W * \sin \theta$ ，當  $\theta$  增加時，X 分力隨角度增加而變大，表示隨著坡度增加，下滑力越大，塊體向前移動的距離越遠。

#### 2. 能量不滅定律

由能量不滅定律得知：

$$\frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = m g h_0 - m g h$$

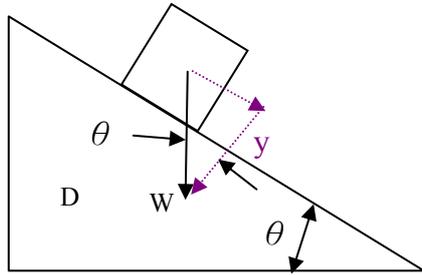


圖 1. 下滑力分析圖

Figure 1. downslope sliding force analyzer

由上式顯示當坡度越陡 h 值越大動能就越大，塊體跑的越遠(如圖 2 所示)。

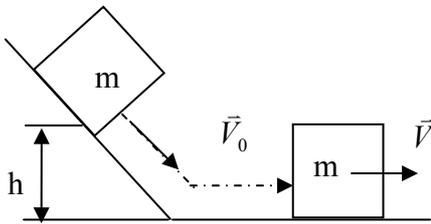


圖 2. 塊體運動圖

Figure 2 . kinematic movement

### 三、材料與方法

#### (一) 試驗材料

本試驗所使用土石材料係採用砂土、砂質壤土與壤質砂土等三種不同質地之土砂，其外觀如相片 1 所示。材料之基本物理特性與粒徑分布曲線分別如表 1 與圖 3 所示。由表 1 與圖 3 顯示砂土為均勻粒徑之粗粒料、壤質砂土為均勻粒徑之細粒料與砂質壤土為混合粒徑之材料。

#### (二) 試驗設備

為觀測不同底床對崩塌土體運動之影



相片 1. 砂土、砂質壤土與壤質砂土等

試驗土體

Photo1. the text material

表 1. 試驗土體基本物理性質

Table 1. physical properties of the test materials

基本性質	砂土	砂質壤土	壤質砂土
中值粒徑 ( $d_{50}$ , mm)	0.99	0.11	0.23
特徵粒徑 ( $d_{90}$ , mm)	1.15	0.15	1.33
最大粒徑 ( $d_{max}$ , mm)	1.68	0.15	1.68
總體密度 ( $g/cm^3$ )	1.31	1.41	1.66
顆粒密度 ( $g/cm^3$ )	2.60	2.70	2.65
細粒比例 (%)	1.82	7.47	6.26
孔隙度 (f)	0.49	0.46	0.36
空孔比 (e)	0.98	0.84	0.57

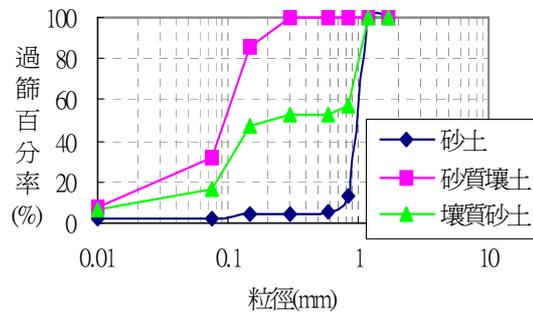


圖 3. 試料粒徑分佈圖

Figure 3. particle size distribution of material

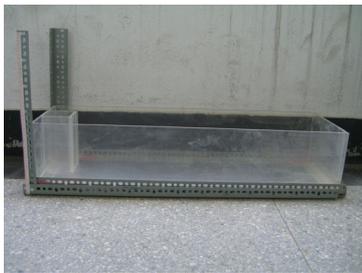
響，因此以鋼板及壓克力板兩種粗糙度不同之底床，配合攝影器材進行試驗。此外，因為啓動崩塌現象之閘門與試驗渠槽連接在一起，所以隨渠槽坡度增加，閘門也隨之傾斜，在此忽略閘門傾斜對土體崩塌作用的影響。

### 1. 以鋼板為底床之試驗設備

為觀察邊坡土體崩塌後形成流動之演變現象，設置一長度 200cm，寬度 30cm，高度 40cm 之流槽，其底床為鋼板，並於流槽最上端設置一 10cm(長)×10cm(寬) × 40cm(高)的壓克力箱，於箱之下游面設計活動閘門，當閘門開啓時，土體產生自然崩塌，並沿底床斜面產生流動與堆積，另外於底座台設計可調整坡度之鐵架。

### 2. 以壓克力板為底床之試驗設備

設備與實驗 1 相同，唯其流槽的底板為壓克力板（如相片 2 所示）。



相片 2. 試驗設備

Photo 2. experimental equipment

### 3. 攝影器材

使用錄影機與照相機，錄製並拍攝崩塌結果。

#### (三) 試驗方法與步驟

##### 1. 以鋼板為底床之試驗方法與步驟

以坡度分別為 0%、4%、8%、12%、16%、20%、24%、28%、32% 之渠槽配合含水量分別為 0%、10%、20%、30% 之三種土體進行試驗，試驗步驟如下所示：

(1) 將 1000 g 之土體裝入 10cm(長)×10cm(寬) ×40cm(高)的壓克力箱內。[如圖 4(上)所示]

(2) 開始錄影

(3) 將壓克力箱活動門瞬間開啓 [如圖 4(下)所示]，土體開始崩落至渠槽底，沿渠槽流動與堆積(如圖 5 所示)，並觀測及拍攝崩塌的型態。

(4) 改變不同土壤材料(土壤種類：砂土、砂質壤土、壤質砂土)與含水量，重複進行(1)~(3)試驗步驟。

(5) 利用 Windows Movie Maker 及 Image Tool 兩軟體截取影像並進行量測數據的工作。量測的單元為體堆積長度(L)、寬度(B)、堆積面積(A)、堆積高度(H)、堆積角度( $\alpha$ )等(如圖 6 所示)。(L<sub>0</sub>=10cm, H<sub>0</sub>=20cm)

##### 2. 以壓克力板為底床之試驗方法與步驟

以坡度分別為 0%、5%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%、55% 之渠槽，配合含水量分別為 0%、10%、20%、30%、40% 之三種土體進行試驗。試驗步驟如下所示：

(1) 將 1000 g 之土體裝入 10cm(長)×10cm(寬) ×40cm(高)的壓克力箱內。[如圖 4(上)所示]

(2) 開始錄影

(3) 將壓克力箱活動門瞬間開啓[如圖

4(下)所示]，土體開始崩落至渠槽並沿渠床流動與堆積(如圖 5 所示)，觀測並拍攝崩場的型態。

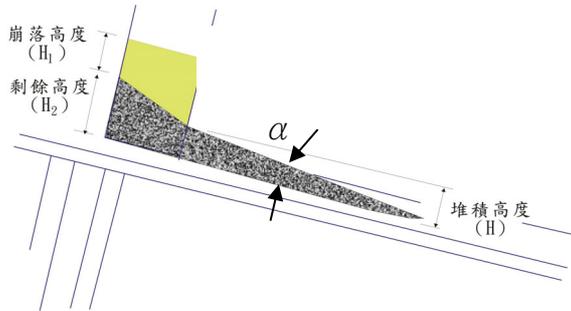
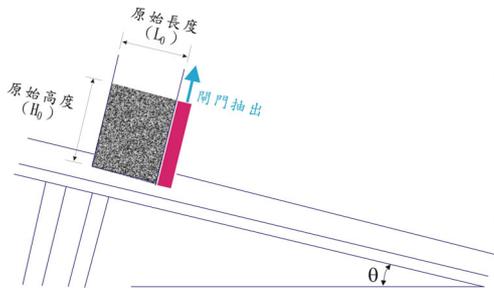


圖 4. 試驗方法示意圖(上：閘門開啓前，下：閘門開啓後)

Figure 4 . experimental method (Top: before gate opened; bottom: after gate opened)

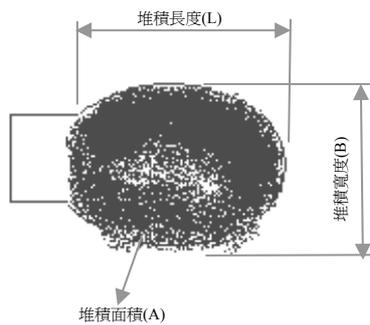


圖 5 開啓後土體堆積平面示意圖

Figure 5 material accumulation condition

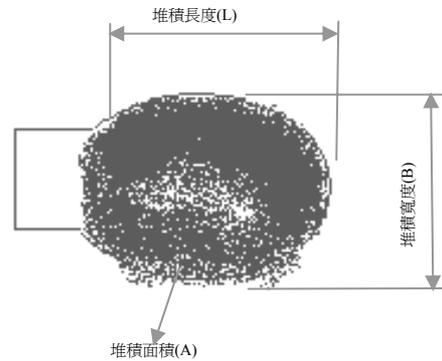


圖 6. 測定單元介紹

Figure 6. elements of measurement

(4)改用不同土壤(土壤種類：砂土、砂質壤土、壤質砂土)與含水量，重複進行(1)~(3)試驗步驟。

(5)利用 Windows Movie Maker 及 Image Tool 兩軟體截取影像並且進行量測數據的工作。量測的單元為體堆積長度(L)、寬度(B)、堆積面積(A)、堆積高度(H)、堆積角度( $\alpha$ )等(如圖 6 所示)。

## 四、結果與討論

由試驗結果顯示，影響堆積長度(L)、形狀係數( $A/L^2$ )、堆積長度與堆積高度之比值( $L/H$ )與土體堆積傾斜角( $\alpha$ )的因子有底床坡度、土體種類、含水量與底床材料等變化，茲將觀測結果討論如下：

### (一)底床坡度對崩塌土體運動的影響

#### 1. 底床坡度(s)與堆積長度(L)的關係

為了解底床坡度與堆積長度的關係，以底床坡度為 X 軸，並以堆積長度為 Y 軸繪製關係圖(如圖 7 所示)，由圖 7 顯示，當底床坡度

增加，堆積長度隨底床坡度增加而增加。

上述觀測結果，可由能量守恆定理與下滑力的觀點加以闡述。由能量守恆定理可得知土體在坡度高的時候位能高，落下時轉換成動能也大，所以當底床坡度增加，堆積長度隨底床坡度增加而增加。再者，由理論分析可得知下滑力隨底床坡度增加而增加，所以塊體向前移動的距離越遠。但是，因為顆粒間碰撞和摩擦力損耗土體前進的能量，所以崩塌長度一定是有限的，不會是無限延伸的。本試驗因為裝置長度的限制，當底床坡度為 30 度以上時，堆積長度已超過了裝置的長度，所以圖 7 僅顯示出 0~30%底床坡度範圍內與堆積長度的關係。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為( $L = 1.2543S + 2.1614$ )， $n=7$ ， $F=12.997^*$ (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

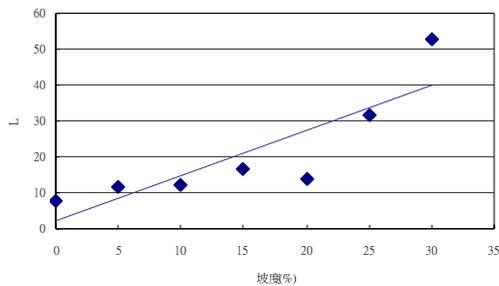


圖 7. 乾砂土時崩落試驗之 L 與底床坡度關係

Figure 7. Correlation between L and channel slope for avalanche experiment on dry sand

2. 底床坡度(S)與形狀係數( $A/L^2$ )之關係  
 形狀係數為堆積面積與堆積長度平方之

比值，為了解底床坡度與形狀係數之關係，以底床坡度為 X 軸並以形狀係數為 Y 軸繪製關係圖(如圖 8 所示)，由圖 8 顯示，當底床坡度增加，形狀係數隨底床坡度增加而減少，由圖 8 與試驗相片 3 皆顯示崩塌形狀隨著底床坡度的增加從扇形變為橢圓形，形狀越來越為細長形。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為( $A/L^2 = -0.0331S + 1.4687$ )， $n=7$ ， $F=10.12^*$ (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

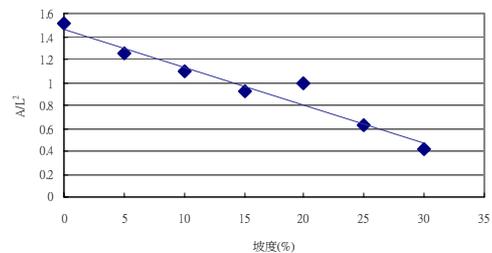
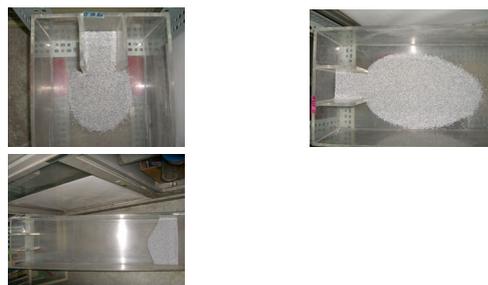


圖 8. 乾砂土時崩落試驗之  $A/L^2$  與底床坡度關係

Figure 8. Correlation between  $A/L^2$  and Channel slope for experiment at the sand



相片 3. 坡度(左)0%(中)25%(右)55%

Photo 3. Slope(left)10%(middle)25%(right)55%

3. 底床坡度(S)與  $L/H$  之關係  
 $L/H$  為堆積長度與堆積高度的比值，為

了解底床坡度與 L/H 之關係，以底床坡度為 X 軸並以 L/H 為 Y 軸繪製關係圖（如圖 9 所示），由圖 9 顯示，隨底床坡度增加 L/H 的值增加，表示底床坡度增加時，除了試體本身的崩落長度外，又加上沿著底床斜面滑動的長度，在相同的高差狀態下，崩塌的距離較遠。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為  $(L/H = 0.3754S - 0.6089)$ ， $n=7$ ， $F=9.133^*$ （\*代表該式達 5% 之顯著水準）。

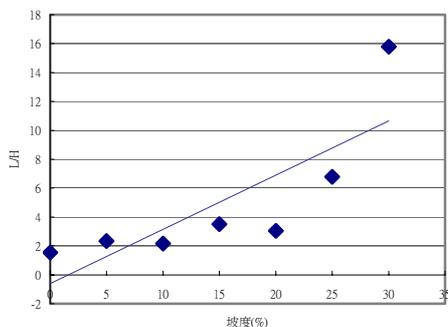


圖 9. 乾砂土時崩落試驗之 L/H 與坡度關係  
Figure 9. Correlation between L/H and slope for avalanche experiment on dry sand

#### 4. 底床坡度(S)與堆積傾斜角( $\alpha$ )之關係

為了解坡度與堆積傾斜角的關係，以底床坡度為 X 軸並以堆積傾斜角為 Y 軸繪製關係圖(如圖 10 所示)，由圖 10 顯示隨著底床坡度增加堆積傾斜角越小，底床坡度為 0% 時，土體沿斜面僅發生崩落現象，因此堆積角度即為實驗數據顯示崩落之安息角約 25 度，當底床坡度為 15~30% 時，土體沿斜面同時發生崩落與滑動現象，此時的堆積傾斜角為土體經滑動後之角度，因此堆積傾斜角隨底床坡度的增加而減少。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為  $(\alpha = -0.517S + 22.056)$ ， $n=7$ ， $F=9.87^*$ （\*代表該式達 5% 之顯著水準）。

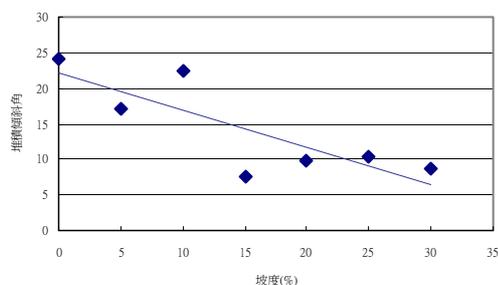


圖 10. 乾砂土底床坡度與堆積傾斜角的關

Figure 10. Correlation between deposition angle and channel slope for avalanche test on dry sand

#### (二) 土壤種類對崩塌土體運動的影響

##### 1. 土壤種類與堆積長度(L)的關係

為比較三種土體在底床坡度相同時堆積長度之差異，因此以底床坡度為 X 軸並以堆積長度為 Y 軸繪製關係圖(如圖 11 所示)，由圖 11 顯示，隨著底床坡度的增加，壤質砂土的崩落長度高於砂土與砂質壤土，顯示粗顆粒的下滑力效應高於本身顆粒間的碰撞力，加以細粒料提供適當的潤滑作用，使得壤質砂土的堆積長度大於砂土與砂質壤土。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其砂土之迴歸式為  $(L = 0.1254S + 0.2161)$ ，砂質壤土之迴歸式為  $(L = 0.1142S + 0.35)$ ，壤質砂土之迴歸式為  $(L = 0.1558S + 0.1954)$ ， $n=7$ ，砂土之  $F=12.997^*$ ，砂質壤土之  $F=22.089^*$ ，壤質砂土之  $F=24.146^*$ （\*代表該式達 5% 之顯著水準）。

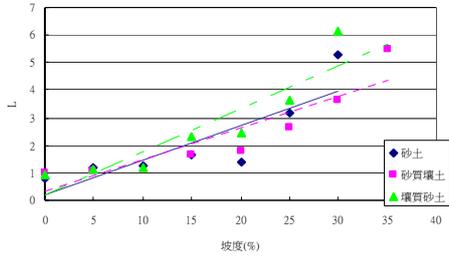


圖 11. 三種試驗材料崩落試驗之 L 與坡度關係

Figure 11 . Correlation between L and channel slope for avalanche experiment for the three materials

### 2. 土壤種類與形狀係數(A/L<sup>2</sup>)之關係

為比較三種土體在相同底床坡度情況下形狀係數之差異，因此以底床坡度為 X 軸並以形狀係數為 Y 軸繪製關係圖(如圖 12 所示)由圖 12 顯示砂質壤土形狀係數大於砂土與壤質砂土。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.0331S + 1.4687)，砂質壤土的迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.0243S + 1.3565)，壤質砂土的迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.033S + 1.4081)，n=7，砂土之 F=11.882\*，砂質壤土之 F=20.071\*，壤質砂土之 F=19.876\* (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

### 3. 土壤種類與 L/H 的關係

為了解三種土體在相同坡度情況下與 L/H 之關係，以底床坡度為 X 軸並以 L/H 為 Y 軸繪製關係圖(如圖 13 所示)，由圖 13 顯示壤質砂土的 L/H 值高於砂土和砂質壤土。表示均勻顆粒如砂土，當他們滑動時碰撞效

應消耗了較多的能量，所以 L/H 值較小。

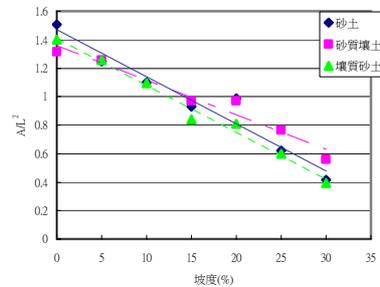


圖 12. 三種試驗材料崩落試驗之 A/L<sup>2</sup> 與底床坡度關係

Figure 12 . Correlation between A/L<sup>2</sup> and channel slope for avalanche experiment for the three materials

而將此等觀測資料以迴歸分析得砂土之迴歸式為(L/H = -0.0331S + 1.4687)，砂質壤土之迴歸式為(L/H = -0.0243S +

1.3565)，壤質砂土的迴歸式為(L/H = -0.033S + 1.4081)，n=7，砂土之 F=9.133\*，砂質壤土之 F=9.842\*，壤質砂土之 F=17.8\* (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

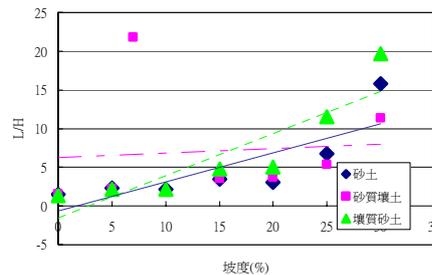


圖 13. 三種試驗材料崩落試驗之 L/H 與底床坡度關係

Figure 13 . Correlation between L/H and channel slope for avalanche experiment for the three materials.

#### 4. 土壤種類與堆積傾斜角( $\alpha$ )之關係

為了解三種土體在相同底床坡度情況下與堆積傾斜角之關係，以底床坡度為X軸並以堆積傾斜角為Y軸繪製關係圖（如圖 14 所示），由圖 14 顯示隨著底床坡度增加堆積角減少，而砂質壤土的堆積角度高於壤質砂土與砂土，可見細料比粗顆粒的空隙小，凝聚力好，顆粒與顆粒間向下滑動時碰撞劇烈，所以崩塌距離短，堆積傾斜角大。

而將此等觀測資料以迴歸分析得砂土之迴歸式為( $\alpha = -0.5128S + 21.941$ )，砂質壤土之迴歸式為( $\alpha = -0.4321S + 21.96$ )，壤質砂土之迴歸式為( $\alpha = -0.5171S + 23.116$ )， $n=7$ ，砂土之  $F=9.87^*$ ，砂質壤土之  $F=56.99^*$ ，壤質砂土之  $F=6.958^*$  (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

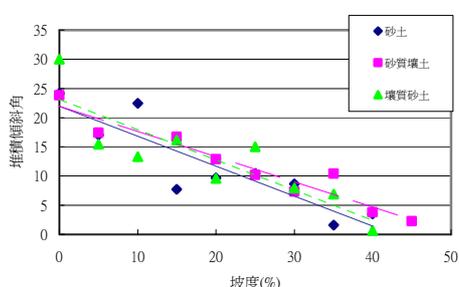


圖 14. 三種土體底床坡度與堆積傾斜角的關係

Figure 14 . Correlation between deposition slope angle and channel slope for avalanche experiment for the three materials

#### (三)含水量對崩塌土體運動的影響

##### 1. 含水量與堆積長度(L)之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同含水量與堆積長度之關係，以底床坡度為X軸並以堆積長度為Y軸繪製關係圖（如圖 15 所示），由圖 15 顯示土體在潮濕情況下，受凝聚力影響，堆積距離隨含水量增加而減少。

此外，砂質壤土只有當含水量高於 30%時，有土體前方局部滑動外，多半只有土體傾斜，顯示細粒料之團粒化現象可使土體不致立刻發生破壞，僅產生變形（如相片 4）；壤質砂土仍具有部份砂質壤土的特性。砂質壤土的半固態或塑態範圍，在含水量 20~30%時產生，當再緩慢加水時並未發現土體流體化。因此顯示在相同含水量條件下，細粒料會加速土體流體化現象發生。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其含水量(0%)時的迴歸式為( $L= 1.2543S + 2.1614$ )，含水量(10%)時的迴歸式為( $L = 0.4667S + 5.3314$ )，含水量(20%)時的迴歸式為( $L = 0.6243S + 1.3077$ )，含水量(30%)時的迴歸式為( $L = 0.3814S + 5.3762$ )，含水量(40%)時的迴歸式為( $L = 0.3809S + 7.6082$ )， $n=7$ ，含水量(0%)之  $F=12.997^*$ ，含水量(10%)之  $F=37.741^*$ ，含水量(20%)之  $F=10.026^*$ ，含水量(30%)之  $F=115.12^*$ ，含水量(40%)之  $F=14.44^*$  (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

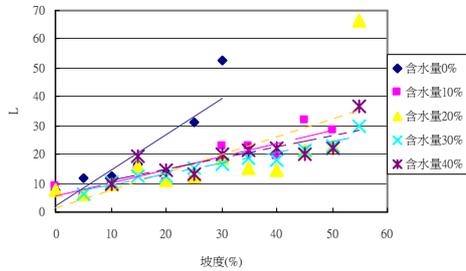


圖 15. 乾砂土之 L 與含水量關係

Figure 15 . The water content and slope for avalanche test on dry sand



相片 4. 砂質壤土的土體傾斜與前端滑動現象

photo 4. slope and slide of loam

## 2. 含水量與形狀係數(A/L<sup>2</sup>)之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同含水量與形狀係數之關係，以底床坡度為 X 軸並以形狀係數為 Y 軸繪製關係圖（如圖 16 所示），由圖 16 顯示在土體潮濕狀態下，受凝聚力影響，堆積距離隨含水量增加而減少，顯示細粒土壤之團粒化影響形狀係數。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為含水量(0%)時的迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.0331S + 1.4687)，含水量(10%)時的迴歸式為(= -0.0194S + 1.3851)，含水量(20%)時的迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.0184S + 1.3696)，含水量(30%)時的迴歸式為(A/L<sup>2</sup> = -0.0145S + 1.2456)，含水量(40%)時的迴歸式為(A/L<sup>2</sup>

= -0.0103S + 1.0465)，n=7，含水量(0%)之 F=7.5\*，含水量之(10%)F=12.3\*，含水量(20%)之 F=5.78\*，含水量(30%)之 F=7.21\*，含水量(40%)之 F=6.62\* (\*代表該式達 5% 之顯著水準)。

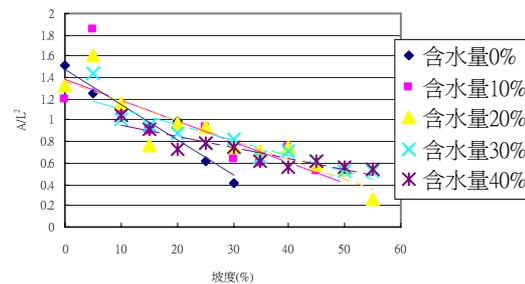


圖 16. 濕砂土時底床坡度與形狀係數的關係

Figure 16 . Correlation between soil water content and A/L<sup>2</sup> for avalanche test on dry sand

## 3. 含水量與 L/H 之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同含水量與 L/H 之關係，以底床坡度為 X 軸並以 L/H 為 Y 軸繪製關係圖（如圖 17 所示），由圖 17 顯示含水量越高 L/H 值越小，表示含水量高土壤團粒化的影響，使得堆積距離變短，堆積高度變大的關係。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為含水量(0%)時的迴歸式為(L/H = 0.3754S - 0.6089)，含水量(10%)時的迴歸式為(L/H = 0.1294S - 0.0013)，含水量(20%)時的迴歸式為(L/H = 0.201S - 1.5023)，含水量(30%)時的迴歸式為(L/H = 0.1088S - 0.0662)，含水量(40%)時的迴歸式為(L/H = 0.1384S - 0.4809)，n=7，含水量(0%)之 F=9.133\*，含水量(10%)之 F=35.616\*，含

水量(20%)之  $F=9.538^*$ ，含水量(30%)之  $F=98.89^*$ ，含水量(40%)之  $F=25.524^*$ (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

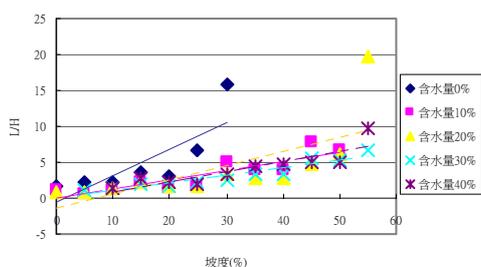


圖 17. 濕砂土時底床坡度與 L/H 的關係  
Figure 17. Correlation between soil water content and L/H for avalanche experiment at the sand

#### 4. 含水量與堆積傾斜角( $\alpha$ )之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同含水量與堆積傾斜角之關係，以底床坡度為 X 軸並以堆積傾斜角為 Y 軸繪製關係圖(如圖 18 所示)，由圖 18 顯示在土體潮濕狀態下，受水體凝聚力影響，堆積距離隨含水量增加而減少，所以隨著含水量增加堆積傾斜角相對的增加。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為含水量(0%)時的迴歸式為( $\alpha = -0.5128S + 21.941$ )，含水量(10%)時的迴歸式為( $\alpha = -0.6276S + 33.231$ )，含水量(20%)時的迴歸式為( $\alpha = -0.2866S + 38.41$ )，含水量(30%)時的迴歸式為( $\alpha = -0.4051S + 44.07$ )，含水量(40%)時的迴歸式為( $\alpha = -0.3347S + 39.318$ )， $n=7$ ，含水量(0%)之  $F=9.87^*$ ，含水量(10%)之  $F=80.627^*$ ，含水量(20%)之  $F=150.96^*$ ，含水量(30%)之  $F=21.085^*$ ，含水量(40%)之  $F=47.659^*$ (\*代

表該式達 5%之顯著水準)。

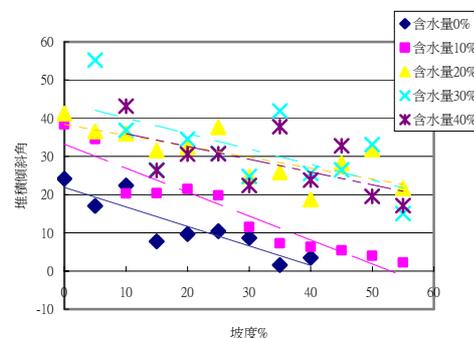


圖 18. 濕砂土底床坡度與堆積傾斜角的關係

Figure 18. Correlation between deposition slope Angle and slope for avalanche experiment on dry sand

#### (四)底床材料對崩塌土體運動的影響

##### 1. 底床材料與堆積長度(L)之關係

實驗 1 使用的底床為鋼板，實驗 2 底床則為壓克力板，為了解在相同底床坡度情況下，不同底床材料與堆積長度之關係，以底床坡度為 X 軸並以堆積長度為 Y 軸繪製關係圖(如圖 19 所示)，由圖 19 顯示壓克力板底床砂土堆積距離較鋼板底床大，因此底床粗糙度也是影響崩塌性狀重要因子，壓克力的粗糙度小，所以堆積長度堆積面積都較大。

而將此等觀測資料以迴歸分析得鋼板之迴歸式為( $L = 1.2543S + 2.1614$ )，壓克力板之迴歸式為( $L = 0.4121S + 16.138$ )， $n=7$ ，鋼板之  $F=12.997^*$ ，壓克力板之  $F=58.676^*$ (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

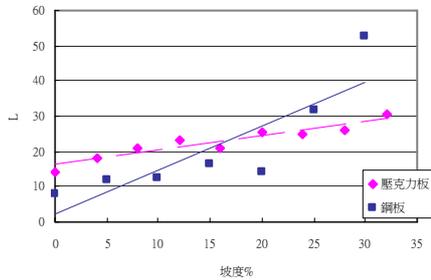


圖 19. 不同底床材料時底床坡度與崩塌長度  
的關係

Figure 19. Correlation between L and  
channel slope for avalanche experiment at the  
different base

## 2. 底床材料與形狀係數(A/L<sup>2</sup>)之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同底床材料與形狀係數之關係，以底床坡度為 X 軸並以形狀係數為 Y 軸繪製關係圖（如圖 20 所示），由圖 20 顯示使用壓克力板底床之形狀係數比使用鋼板底床的形狀係大。因為壓克力板的粗糙度小，所以堆積面積較大。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為鋼板的迴歸式為  $(A/L^2 = -0.0006S + 0.2966)$ ，壓克力板的迴歸式為  $(A/L^2 = -0.0005S + 0.2966)$ ， $n=7$ ，鋼板之  $F=9.87^*$ ，壓克力板之  $F=4.173^*$  (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

為了解在相同底床坡度情況下，不同底床材料與 L/H 之關係，以底床坡度為 X 軸並以 L/H 為 Y 軸繪製關係圖（如圖 21 所示），由圖 21 顯示底床為壓克力板的 L/H 值高於底床為鋼板的 L/H 值。因為壓克力板的粗糙度比鋼板小，堆積長度比較長。

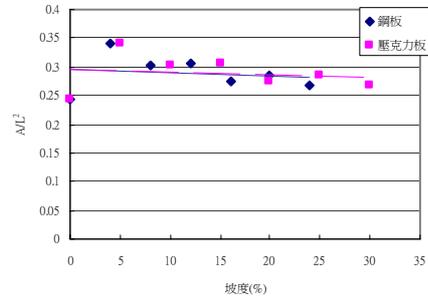


圖 20. 不同底床坡度與形狀係數的關係

Figure 20. Correlation between  $A/L^2$  and  
channel slope for avalanche experiment at the  
different base

## 3. 底床材料與 L/H 之關係

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為鋼板的迴歸式為  $(L/H = 0.3754S - 0.6089)$ ，壓克力板的迴歸式為  $(L/H = 0.1222S + 5.7593)$ ， $n=7$ ，鋼板之  $F=9.87^*$ ，壓克力板之  $F=4.173^*$  (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

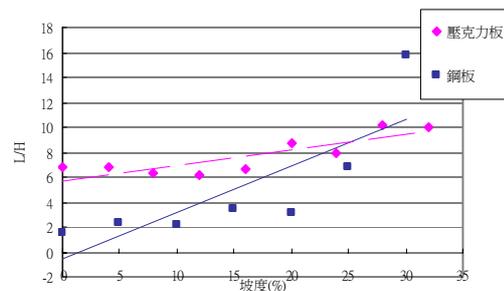


圖 21. 不同底床坡度與 L/H 值的關係

Figure 21. Correlation between L/H and  
slope for avalanche experiment at the different  
base

## 4. 底床材料與堆積傾斜角(α)之關係

為了解在相同底床坡度情況下，不同底

床材料與堆積傾斜角之關係，以底床坡度為 X 軸並以堆積傾斜角為 Y 軸繪製關係圖（如圖 22 所示），由圖 22 顯示以鋼板為底床堆積角變化範圍比較小，以壓克力板為底床堆積角隨坡度增加，降幅較大，以鋼板為底床堆積角較大於以壓克力板為底床的堆積傾斜角，則因壓克力的粗糙度小於鋼板，所以堆積距離長，堆積角小。

而將此等觀測資料以迴歸分析得其迴歸式為鋼板的迴歸式為( $\alpha = 0.1187S + 16.977$ )，壓克力板的迴歸式為( $\alpha = -0.517S + 22.056$ )，其  $n=7$ ，鋼板之  $F=7.71^*$ ，壓克力板之  $F=6.066^*$  (\*代表該式達 5%之顯著水準)。

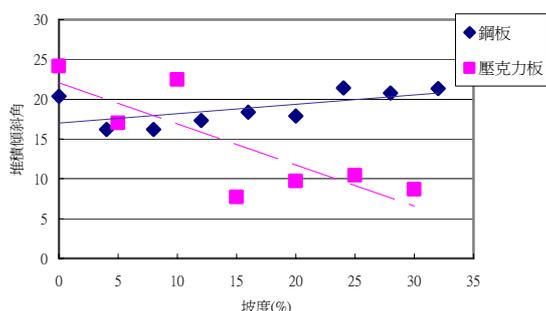


圖 22. 不同底床坡度與堆積傾斜角的關係  
Figure 22. Correlation between deposition slope angle and channel slope for avalanche experiment at the different base

## 五、結論與建議

1. 本試驗在 3 組試驗材料(分別為均勻粒的砂土、均勻粒徑的砂質壤土、混合粒徑的壤質砂土)下，每組進行 72 次試驗，在 72 次試驗中砂土崩塌的次數為 69 次，砂質壤土崩塌的次數為 37 次，壤質砂土崩塌的次

數為 44 次，顯示含細粒料或混合粒徑的土體比粗粒料或均勻粒徑的土體來得穩定。

2. 三種土體在不含水的情形下，堆積形狀隨著底床坡度的增加從扇形變化到橢圓形。
3. 在觀測底床坡度對崩塌土體運動影響方面而言，觀測結果為土體崩塌後堆積長度和 L/H 值隨底床坡度增加而增加，而形狀係數和堆積傾斜角卻隨坡度增加而減少。
4. 在觀測土壤種類對崩塌土體運動影響方面而言，觀測結果為壤質砂土之崩塌長度大於砂土與砂質壤土、砂質壤土之形狀係數大於砂土與壤質砂土、砂質壤土之 L/H 值大於壤質砂土與砂土、砂質壤土之堆積傾斜角大於砂土與壤質砂土。
5. 在觀測含水量對崩塌土體運動的影響方面而言，觀測結果為土體崩塌後堆積距離與堆積面積隨含水量增加而減少又以砂土為最明顯，壤質砂土次之，砂質壤土再次之、形狀係數隨含水量增加而增加、L/H 值隨含水量增加而減少、堆積傾斜角隨含水量增加而增加。
6. 在觀測不同底床材料對崩塌土體運動的影響方面而言，觀測結果為以壓克力板為底床時土體崩塌後堆積長度、形狀係數及 L/H 值皆大於以鋼板為底床為材料的結果，而堆積傾斜角的觀測結果則為以鋼板為底床之堆積傾斜角大於以壓克力板為底床的情形。

## 六、參考文獻

1. 林朝榮(1957) 「台灣地形」，台灣省文獻委員會，第 231-246 頁。
2. 何春蓀(1986) 「台灣地質概論」，經

- 濟部中央地質調查所出版,第 11-100 頁。
3. 游繁結,陳重光(1990) 土石流之基礎研究(II)土石流流速之初步探討,興大農林學報, 21&22:115-142。
  4. 游繁結(1987) 「土石流之基礎研究 ( I ) 土石流發生機制之研究」, 中華水土保持學報, 18(2):p28~40。
  5. 高橋保(1977) 土石流の發生と流動に關する研究, 京大防災研究所年報, No.20B-2, pp.405-435。
  6. 蘆田和男、江頭進治(1983) 山腹崩壞土の流動機構に關する研究, 京大防災研究所年報, No.26B-2, pp.1-13。
  7. 林拙郎等(2001) 1999 年台灣の地震に伴って發生した山地災害の調査, 日本文部省海外學術調查研究成果報告書, 第 101~107 頁。
  8. Aronne Armmanini & Masanori Michiue(1997) Recent Developments on Debris Flows, Department of civil Environmental Engineering University of Trent, Italy .
  9. Tamotsu Takahashi (1991) Debris Flow, International Association for Hydraulic Rese

---

96 年 8 月 20 日 收稿

96 年 11 月 02 日 修改

96 年 11 月 15 日 接受

