

防砂壩淤砂清除對邊坡穩定影響之試驗

吳克炯⁽¹⁾ 游繁結⁽²⁾ 林永欣⁽³⁾

摘要

本研究是根據坡面土體力學與庫倫邊坡之觀念，進行室內砂箱模擬試驗，以了解並探討防砂壩上游面淤砂之清淤方式對邊坡穩定之影響，及邊坡破壞後殘留坡度與內摩擦角、土體凝聚力、邊坡密實程度等各因子的相對關係，由試驗觀測結果顯示：

1. 當清淤長度或深度增加時，邊坡破壞長度會隨之增加。而清淤寬度則對於邊坡破壞長度影響不大。
2. 在原邊坡坡度與清淤方式相同的條件下，土體凝聚力或內摩擦角仍為控制邊坡穩定的主要因子，該等因子愈大時，邊坡破壞長度愈小。
3. 當土體密實愈高時，則邊坡之穩定度愈高，故邊坡破壞長度愈小。

(**關鍵詞**：破壞、清淤、破壞長度)

An Experiment on the Influence of Slope Stability with Dredging for Sabo Dam Sediments

Ko-Chiung Wu⁽¹⁾ *Fan-Chieh Yu*⁽²⁾ *Yung-Hsin Lin*⁽³⁾

Professor⁽²⁾ and Graduate students⁽¹⁾⁽³⁾ respectively, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C

ABSTRACT

This experiment used the slope of soil mechanics, and based on Coulomb slope to understand and discuss on the influence of slope stability with the way of dredging for sabo dam sediment and the residual slope after failure relation with the angle of friction, the cohesion of original slope, and compacted degree. The results were shown as follows:

1. When dredging length or dredging depth increases, the original slope failure length increases. In addition, the influence of the dredging width on the original slope failure length is small.

(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

2. With the same angle of original slope and the way of dredging, the cohesion of original slope and the angle of friction are still major factors to control slope stability, and when these factors increase, the original slope failure length decreases.
3. When the compacted degree increases, the slope stability increases, therefore the original slope failure length decrease

(**Keywords:** landslide, dredging, failure distance)

一、前言

防砂壩可攔蓄砂石，減少山坡地土砂流出之功能，但防砂壩淤滿土砂之後，往往被誤認為已失去功能，反而成為破壞生態的障礙物。實際上防砂壩的主要功能除了在淤蓄邊坡破壞所產生的土砂之外，更有減緩溪床坡度，調節流心，穩定溪流，及穩定兩岸坡腳，防止坡腳刷深而造成崩塌之可能，因此防砂壩的淤砂是否應該清淤。如何清淤，方不致於造成對兩岸邊坡破壞的問題，乃為本研究擬探討之對象。

目前對於防砂壩上游淤積，是否要進行清淤的動作，而清淤後是否會造成邊坡破壞範圍擴大之相關研究十分少見。有鑑於此，本研究以室內砂箱模擬淤積土砂清淤之試驗，並嘗試以清淤之幾何形狀，推導相關之理論，予以驗證之，同時探討清淤方式對上游邊坡穩定之影響。

二、理論分析

2.1、邊坡破壞發生機制與原因

邊坡在未破壞之前，其力學平衡由以下之分力支配：

(1)作用力：邊坡破壞土體本身重力產生之作用力。

(2)抵抗力：邊坡破壞體與破壞面之摩擦力與凝聚力，以及原坡腳土體之支撐力。

破壞發生乃是坡面土體失去力學平衡所導致，即邊坡破壞土體之支撐力消失後，若土體之作用力大於土體之抵抗力時，則邊坡上之土體因失去平衡而崩落。本文即是針對自然邊坡與其基腳淤積土受到清淤作用產生作用力大於抵抗力時，土體產生不穩定狀況，進而導致坡面破壞之擴大發展，探討其可能破壞產生與發展情形。

首先假設邊坡土體有一破壞面，在未破壞狀況之下，該土體能穩定而未破壞之原因是由土體內部抵抗力所支應，而土體抵抗力係由土體內摩擦角 ϕ 與凝聚力 c 來組成，可寫成土體抵抗力 F_r 為：

$$F_r = W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi + c \cdot \sqrt{\ell^2 (1 + \tan^2 \theta)} \quad (2-1)$$

式中 c 為土體凝聚力， W 為單位寬度邊坡破壞土體重， ϕ 為顆粒內摩擦角， $\tan \phi$ 為顆粒間摩擦係數， θ 為邊坡破壞面角度。邊坡破壞面

角度與抵抗力有著互相影響的關係，抵抗力會隨著邊坡破壞面角度增加而減小。

由圖 2.1 所示，其中原邊坡坡度 β 值，必須為該土體之 c 值與 ϕ 值所能維持之最大堆積坡度，因此在土體凝聚力降低至 0 時，邊坡維持穩定的坡度應相當於土體之內摩擦角 ϕ 。

當邊坡土體，因清淤作用而造成一長度 a 與深度 h 之破壞時，坡腳淤砂對原邊坡土體支撐力完全消失，此時原邊坡上土體 B 可能因力學上失去平衡而產生坡度為 θ 角之破壞，而破壞面與原邊坡斜面之交點視為破壞頂點，如圖 2.1 中的 b' 點，若破壞之頂點對地面之投影點為 b ，則 \overline{ob} 為：

$$\overline{ob} = a \cdot \tan \theta / (\tan \theta - \tan \beta) \quad (2-2)$$

另外，破壞投影點至破壞邊緣之距離 $(b-a)$ 視為破壞投影長 l ，則 l 為：

$$l = (b - a) = a \cdot \tan \beta / (\tan \theta - \tan \beta) \quad (2-3)$$

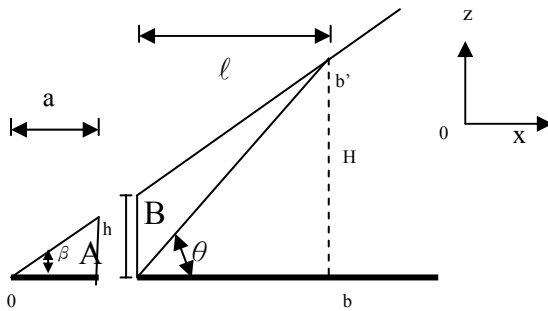


圖 2.1、平面破壞模式示意圖

Figure 2.1 Two-dimensional model diagram of landslide

由圖 2.1 可推出破壞土體之單位寬度重量 W 為：

$$= W = 1/2 \cdot h \cdot l \cdot \gamma \quad (2-4)$$

其中深度 h 視為淤積土砂清淤的深度為：

$$= h = a \cdot \tan \beta \quad (2-5)$$

此時邊坡破壞土體 B 之作用力，來自土體受重力所產生的力，即 F_d 為：

$$F_d = W \cdot \sin \theta \quad (2-6)$$

邊坡破壞土體產生的作用力與破壞面角度有相關性，若邊坡破壞面角度增大時，則土體產生的作用力會隨之減小。

當土體會產生破壞時，則表示土體內之作用力大於抵抗力，而可能破壞之最小坡度便可假設發生在推移力 P 最大值時之破壞面。當 P 為最大值時，土體得以在一最小坡度發生破壞。令此一推移力為 P ，即

$$P = F_d - F_r \quad (2-7)$$

代入整理後可得：

$$P = 1/2 \cdot (a \cdot \tan \beta)^2 \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\sin \theta - (\cos \theta \cdot \tan \phi)}{\tan \theta - \tan \beta} \right] - \frac{c \cdot a \cdot \tan \beta \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{\tan \theta - \tan \beta} \quad (2-8)$$

當影響邊坡土體破壞之因子均為已知時，代入式(2-8)中，則在原邊坡坡度 β 與 90 度之間可得推移 P 之最大值，此一最大值 P 所對應之 θ 即為可形成破壞之坡度。將破壞坡度 θ 代入式(2-2)及式(2-3)即可求得破壞最高點以及破壞投影長。

當破壞面坡度等於邊坡坡度時，則破壞面平行於邊坡坡面，其破壞投影長為無限大，若破壞坡度小於邊坡坡度時，其破壞投影長將發散，則其值為無意義，故破壞面坡度最小等於邊坡坡度。

由圖 2.1 可知清淤深度 $h = a \cdot \tan \beta$ ，則(2-8)式之推移力可改寫為

$$P = 1/2 \cdot h^2 \cdot \gamma \cdot \left[\frac{\sin \theta - (\cos \theta \cdot \tan \phi)}{\tan \theta - \tan \beta} \right] - \frac{c \cdot h \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \theta}}{\tan \theta - \tan \beta} \quad (2-9)$$

三、試驗材料與方法

3.1、實驗之假設條件

本試驗探討防砂壩淤積土清除對於原邊

坡是否會造成破壞現象。為避免試驗誤差太大，及為分析方便起見，本試驗有以下的假設：

1. 坡面為均勻斜坡，其土體為具凝聚性，且為均質之土壤。
2. 忽略降雨、坡面逕流水、地下滲流等外在因子之作用，只考慮重力作用而造成之破壞。
3. 邊坡破壞面屬直線形破壞。

3.2、試驗材料

本研究進行之破壞模擬試驗，以三種不同粒徑之均勻試料，配合不同邊坡坡度及清淤方式，分別觀測清淤是否對邊坡造成破壞。三種試驗之物理特性如表 1 所示。

表 1 試驗材料基本物理特性
Table1 Physical properties of materials

	試料 A	試料 B	試料 C
粒徑範圍 (mm)	2~2.38	1.26~1.51	0.11~0.15
內摩擦角 (°)	31.24	34.4	36.19
凝聚力 (g/cm ²)	0.02	0.07	0.13
安息角 (°)	32~35	33~36	34~37

3.3、砂箱模擬之試驗設備

本試驗設置一長度 150cm，寬度 40cm，高度 80cm 之砂箱，其底床為鋼板，並於砂箱前端設置一高為 11cm 的模擬防砂壩，如圖 3.1 所示。

由防砂壩之基腳往上游延伸之堆積坡面視為邊坡坡面，而以防砂壩前之水平堆積部份視為防砂壩之淤砂部份，本研究即就該淤砂部份之清淤方式，進行對邊坡坡面破壞之量測。

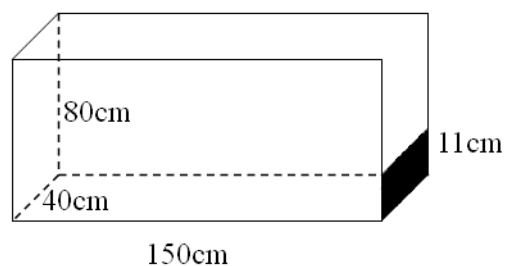


圖 3.1 砂箱示意圖

Figure 3.1 Sand box diagram

3.4、攝影設備

使用錄影機與照相機，錄製並拍攝試驗過程與結果。

3.5、試驗方法與步驟

在不同的邊坡坡度條件下，配合不同清淤方式，對三種不同粒徑之土砂進行試驗，試驗步驟如下：

將土砂(試料 A)置入砂箱中，使土砂堆積成坡度為 20° 之斜坡，並視之為原邊坡。於防砂壩與邊坡土體之間水平鋪設土砂(無夯實)，將其視之為防砂壩之淤積土砂，如圖 3.2 所示。

首先進行垂直式清淤，如圖 3.3 所示將淤積土體(1)清除，其一次清淤長度為 2cm，深度 11cm，若無破壞現象即再進行淤積土體(2)至(4)之清淤，由下游側往上游側逐一清除，並在清淤過程中觀察與紀錄土體破壞長度。

上述試驗完成後，即改變邊坡之堆砂坡度 (25°、30°)，重複步驟(1)。

上述三種邊坡坡度之試驗完成後，改採另一試料(試料 B、試料 C)，並分別重複步驟(1)~步驟(4)。

上述三種試料之試驗完成後，改採平行式清淤，如圖 3.4 所示將淤積土體(1)清除，深度為 2cm，若無破壞現象，然後逐次將淤積土體(2)至(3)，由上至下逐層清除，每次清淤土體量相同，並在清淤過程中觀察與紀錄土體滑動長度與破壞長度。

上述試驗完成後，進一步進行邊坡土體夯

實後之清淤試驗。首先，將土砂(試料 A)置入砂箱中，使土砂堆積成坡度為 20° 之斜坡，在此視之為原邊坡，並以垂直於斜坡的方向施予相同的力，此動作完成後重複步驟(2)~步驟(6)。

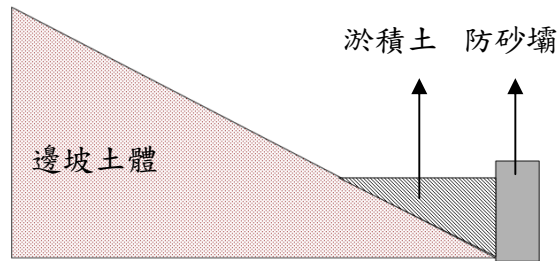


圖 3.2 清淤前示意圖
Figure 3.2 Before dredging diagram

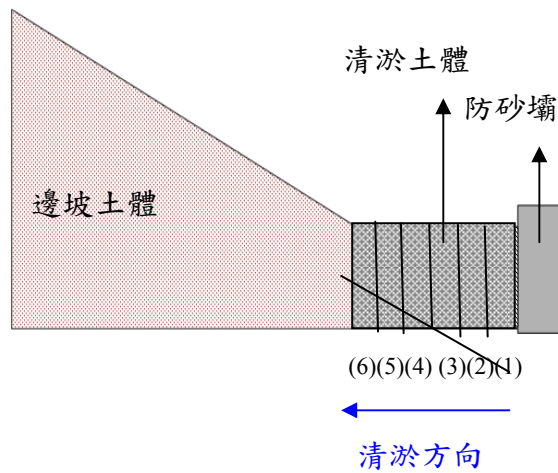


圖 3.3 垂直式清淤後示意圖
Figure 3.3 After erect dredging diagram

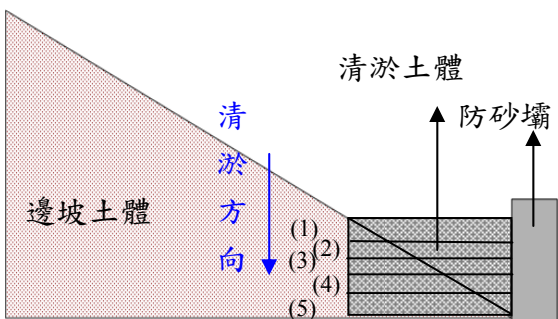


圖 3.4 平行式清淤後示意圖
Figure 3.4 After parallel dredging diagram

四、結果與討論

由試驗結果顯示，不同清淤方式會導致防砂壩淤砂對邊坡有不同的破壞，茲分別將觀測結果並討論如下：

4.1、清淤方式對原邊坡破壞之關係

為瞭解不同清淤方式對邊坡破壞長度之影響，故本試驗在均勻土石材料及坡度變化的條件下進行不同清淤方式。

4.1.1、垂直式清淤對原邊坡破壞之影響

進行垂直式清淤，比較不同清淤長度對邊坡破壞長度之觀測結果如圖 4.1~4.3 所示，由該等圖可知，邊坡破壞長度會隨著向上游之清淤長度增加而增加。由式(2-3)顯示清淤長度與破壞投影長應有線性關係，由圖 4.1~4.3 所示觀測結果應有線性關係，但在邊坡坡度較緩時，理論值與實驗值為較相近，當邊坡坡度增加時，破壞投影長之試驗值則有小於理論值之情形。

在不考慮河床兩側之摩擦力與凝聚力之影響因素下，在清除淤積土過程中，邊坡則處於較不穩定的狀態，然而在逐次清淤的過程中，當淤積土破壞後，於基角處會產生一堆積土體，並且對邊坡產生一支撐力，故破壞坡度的試驗值較理論值小。

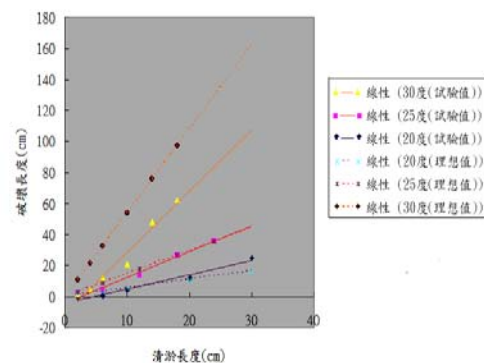


圖 4.1、試料 A 清淤長度與破壞長度之關係
Figure 4.1 Relationship between dredging length and failure length with material A

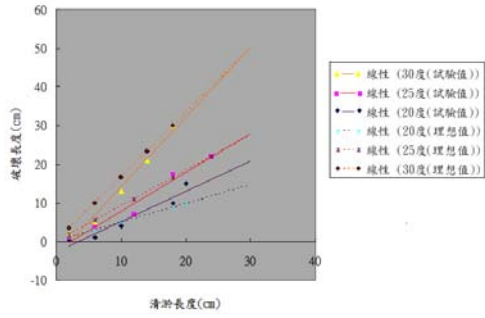


圖 4.2、試料 B 清淤長度與破壞長度之關係
Figure 4.2 Relationship between dredging length and failure length with material B

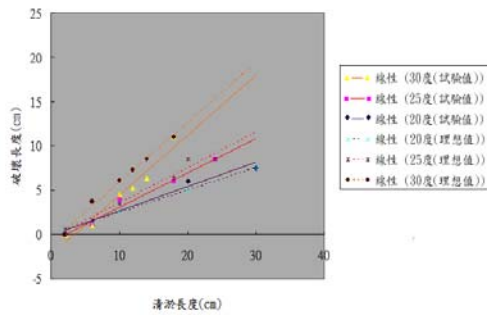


圖 4.3、試料 C 清淤長度與破壞長度之關係
Fig. 4.3 Relationship between dredging length and failure length with material C

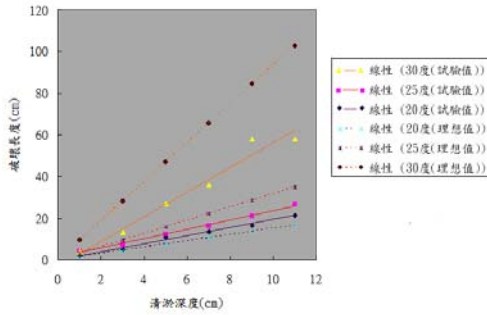


圖 4.4、試料 A 清淤深度與破壞長度之關係
Figure 4.4 Relationship between dredging depth and failure length with material A

4.1.2、平行式清淤對原邊坡破壞之關係

比較平行清淤深度對邊坡破壞長度之觀測結果如圖 4.4~4.6 所示，由該等圖可知，邊坡破壞長度亦會隨著由上往下之清淤深度增加而增加。由式(2-3)顯示清淤長度與破壞投影長應有線性關係，然而由圖 4.4~4.6 所示觀測結果亦有線性關係，但在邊坡坡度較緩時，理

論值與實驗值為較相近，當邊坡坡度增加時，破壞投影長之試驗值則有小於理論值之情形。

不考慮河床兩側之摩擦力與凝聚力之影響因素下，在清除淤積土過程中，邊坡則處於較不穩定的狀態，然而在逐次清淤的過程中，尚未清除的淤積土施予邊坡一抵抗力，故破壞投影長之試驗值會小於理論值。

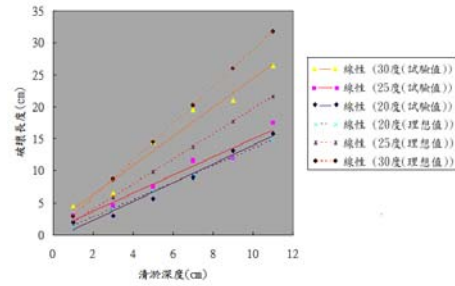


圖 4.5、試料 B 清淤深度與破壞長度之關係
Figure 4.5 Relationship between dredging depth and failure length with material B

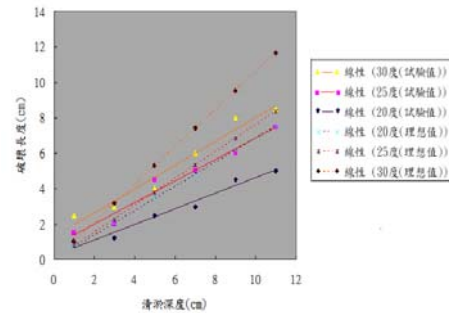


圖 4.6、試料 C 清淤深度與破壞長度之關係
Figure 4.6 Relationship between dredging depth and failure length with material C

4.1.3、清淤寬度對原邊坡破壞之關係

爲了瞭解清淤寬度(相對於砂箱寬度)對邊坡是否影響，本試驗採用平行清淤的方式，在相同之土砂材料與坡度下，採取不同清淤寬度(相對於砂箱寬度)，其結果示於圖 4.7~圖 4.15。

在三種試料的試驗中，當改變清淤寬度(相對於砂箱寬度)分別爲 1/3 砂箱寬與 1/2 砂箱寬時，破壞投影長並沒受到清淤寬度(相對於砂箱寬度)不同而有所影響，推測因上游邊

坡土體土壓力施予的驅動力與土體間施予邊坡的抵抗力並未有所改變，若忽略兩岸邊坡給予的支撐力，改變清淤寬度(相對於砂箱寬度)並不會造成破壞投影長的變化，並符合式(2-3)之二維關係。

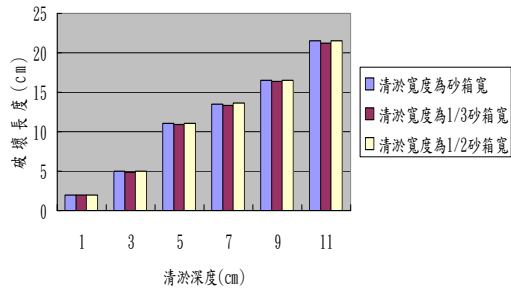


圖 4.7、試料 A 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 20 度)

Figure 4.7 Relationship between dredging width and failure length with material A (the angle of original slope 20°)

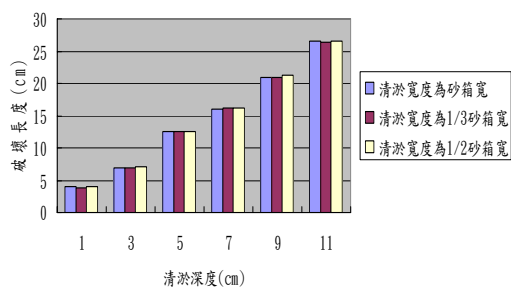


圖 4.8、試料 A 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 25 度)

Figure 4.8 Relationship between dredging width and failure length with material A (the angle of original slope 25°)

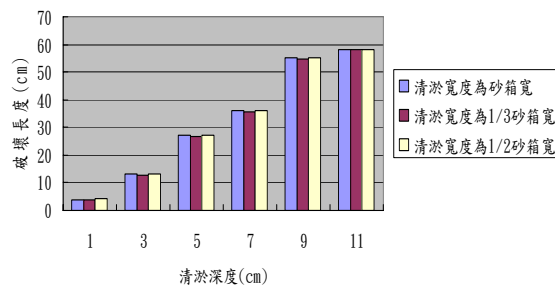


圖 4.9、試料 A 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 30 度)

Figure 4.9 Relationship between dredging width and failure length with material A (the angle of original slope 30°)

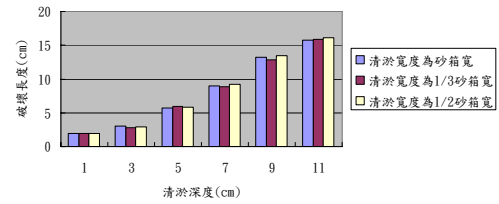


圖 4.10、試料 B 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 20 度)

Figure 4.10 Relationship between dredging and failure length with material B (the angle of original slope 20°)

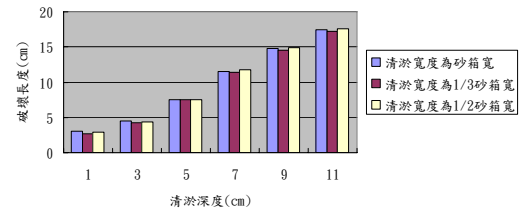


圖 4.11、試料 B 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 25 度)

Figure 4.11 Relationship between dredging width and failure length with material B (the angle of original slope 25°)

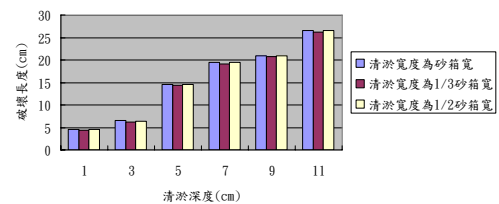


圖 4.12、試料 B 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 30 度)

Figure 4.12 Relationship between dredging width and failure length with material B (the angle of original slope 30°)

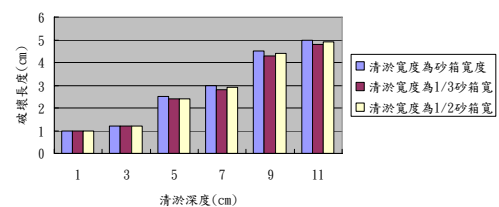


圖 4.13、試料 C 清淤寬度與破壞長度關係 (邊坡坡度 20 度)

Figure 4.13 Relationship between dredging width and failure length with material C (the angle of original slope 20°)

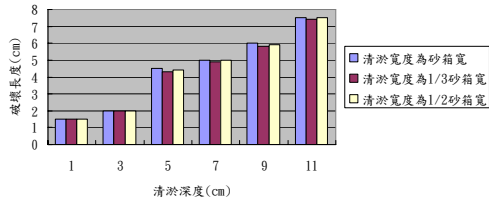


圖 4.14、試料 C 清淤寬度與破壞長度關係
(the angle of 邊坡坡度 25 度)

Figure 4.14 Relationship between dredging width and failure length with material C
(the angle of original slope 25°)

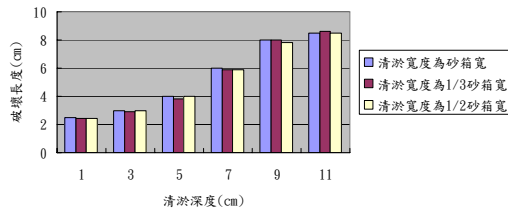


圖 4.15、試料 C 清淤寬度與破壞長度關係
(邊坡坡度 30 度)

Figure 4.15 Relationship between dredging width and failure length with material C
(the angle of original slope 30°)

4.2、邊坡破壞後殘留之破壞面坡度與原邊坡坡度之關係

為瞭解邊坡破壞後殘留之破壞面坡度與原邊坡坡度之關係，由試驗結果示如於圖 4.16。

在相同鋪砂長度(參照圖 2.1 中之 \overline{ob} 長)下，固定清淤深度(參照圖 2.1 中之 h 長)，此時，破壞投影長與原邊坡坡度有一函數關係

$$\ell = f(\beta) = \frac{\ell \cdot a \cdot \tan \beta}{\left(\frac{(a + \ell)h}{a} - \ell \tan \beta \right)}, \text{ 根}$$

據此函數關係，當邊坡坡度 β 逐漸增大時，相對的破壞投影長 ℓ 會隨之增加。

在固定堆砂長度條件下，發現堆砂坡度逐漸增加時，其破壞投影長有增加之現象，其原因推測土體不易維持大於安息角之坡度，因此破壞殘留之角度大於安息角時不易維持住，且土體呈現不穩定狀態，使破壞殘留之坡度降低至安息角左右，因此破壞後殘留之坡度有隨原坡度

增加而減少之趨勢。

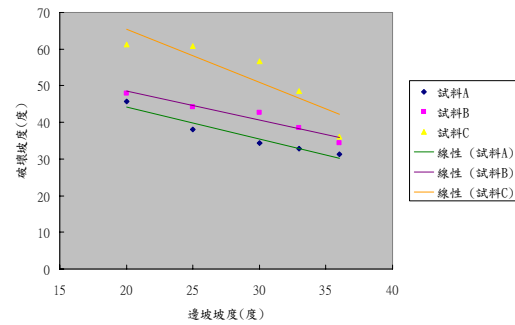


圖 4.16、破壞後殘留之坡度
與邊坡坡度之關係

Figure 4.16 Relationship between the angle of failure slope and the angle of original slope

4.3、內摩擦角對原邊坡破壞之關係

在清淤方式及坡度相同的條件下，將三種試料直接剪力試驗分析所得之內摩擦角與所得之破壞後之坡度繪成關係圖，如圖 4.17 所示。由圖中可發現，具有較大內摩擦角之土體(如圖中之試料 C)，當破壞產生後，土體殘留坡度較高。

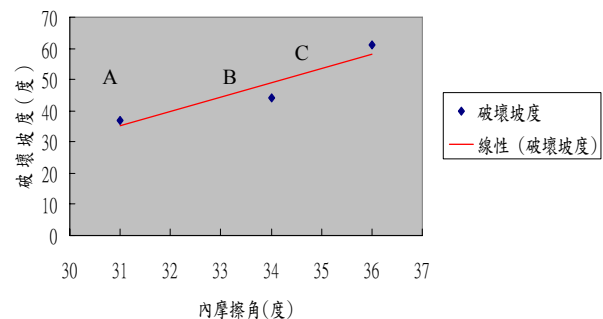


圖 4.17、破壞坡度與內摩擦角之關係

Figure 4.17 Relationship between the angle of failure slope and the angle of friction

分別對三種試料所鋪設的邊坡進行夯實，並測量三種試料夯實後的內摩擦角如圖 4.18 所示。隨著夯實次數越多，內摩擦角會逐漸增加，而對於粒徑較小的土砂(如圖中試料 C)增加幅度則較大。

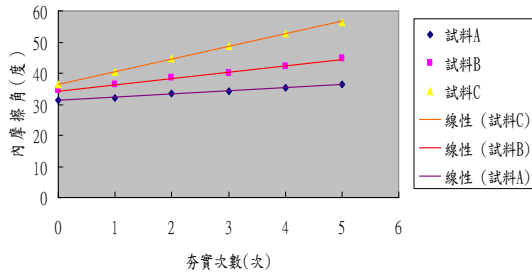


圖 4.18、夯實次數與內摩擦角關係圖

Figure 4.18 Relationship between the number of compaction and the angle of friction

由圖 4.17 可知，破壞後之殘留坡度有隨內摩擦角之增加而增加之趨勢，本研究所使用三種乾燥試料，在忽略凝聚力之影響下，則三種試料在相同試驗條件下其破壞行為之差異可視為不同因內摩擦角之差異所造成。由試驗所得，三種不同之內摩擦角之試料，在相同之堆砂坡度下，代入相同之清淤條件下，則內摩擦角較高者可以得到較高之破壞之殘留坡度。由圖 4.1~4.6 中顯示，內摩擦角較大之 C 試料，其破壞投影長確實比試料 A 與試料 B 來的較小。

4.4、凝聚力對原邊坡破壞之關係

為了解凝聚力對原邊坡破壞之關係，在相同清淤條件下進行試驗，試驗結果如圖 4.19~4.21 所示。

具有凝聚力之邊坡土體，在相同之原邊坡坡度及清淤條件下，凝聚力增加可使土體內抗剪強度增加，使破壞面維持一個較大之坡度。所以當邊坡坡度、清淤深度、內摩擦角為定值時，破壞坡度會隨著凝聚力的增加而增加。

由圖 4.19~4.21 可知，具有凝聚力與無凝聚力之土體在坡度較小時，破壞投影長較接近，然而凝聚力之影響有隨著坡度增加之趨勢。由 4.2 節可知，在相同鋪砂長度(圖 2.1 中之 \overline{ob} 長)下，邊坡坡度越大，破壞投影長越長，破壞坡度則越小。三種不同凝聚力之試料，在相同坡度條件下，具有凝聚力之土體與無凝聚力之土體相比，具有凝聚力之土體破壞投影長較短，破壞後殘留坡度也較高。

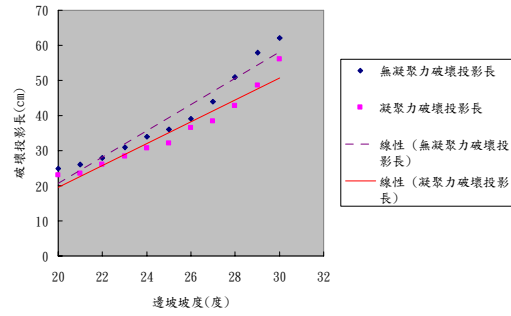


圖 4.19、試料 A 破壞投影長比較

Figure 4.19 Comparison of failure length with material A

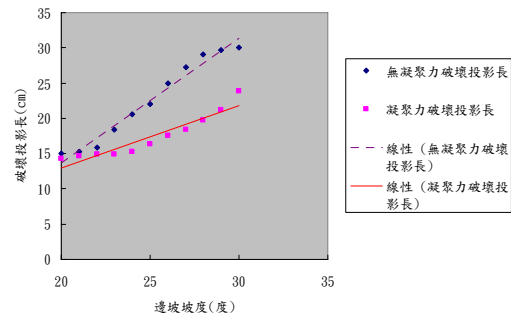


圖 4.20、試料 B 破壞投影長比較

Figure 4.20 Comparison of failure length with material B

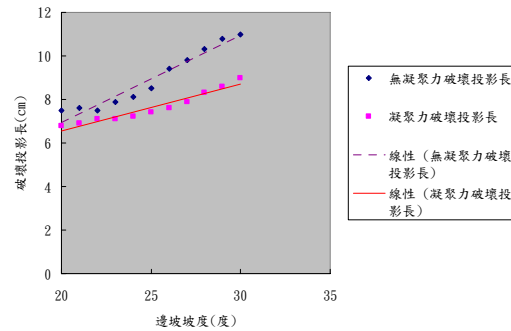


圖 4.21、試料 C 破壞投影長比較

Figure 4.21 Comparison of failure length with material C

4.5、邊坡土體密實程度對原邊坡破壞之關係

為了解邊坡土體密實程度是否影響邊坡破壞程度，分別對不同邊坡坡度進行夯實，且固定夯實次數，並測量淤積土清除後邊坡破壞長度。比較夯實後對邊坡破壞長度之觀測結果如圖 4.22~4.27 所示。

因邊坡土體密實程度愈高，內摩擦角與凝聚力愈大，則抗剪強度越強，邊坡破壞之驅動力變小。故夯實過後的原邊坡土體，即使因坡腳清淤而造成破壞，其破壞後坡度較陡相對破壞投影長亦較短。將圖 4.22~4.27 與圖 4.1~4.6 比較，在相同清淤條件下，可發現夯實後之邊坡土體比未夯實之邊坡土體，邊坡破壞程度較小且可維持較高的邊坡穩定性。

而具有較高的內摩擦角與凝聚力之土體，清淤之後，邊坡可維持較高破壞坡度，破壞型態也會有所不同。具有較大內摩擦角與凝聚力之試料 C，邊坡破壞運動型態屬於傾覆型；而具有較小內摩擦角與凝聚力之試料 A，邊坡破壞運動型態屬於滑動或流動型。

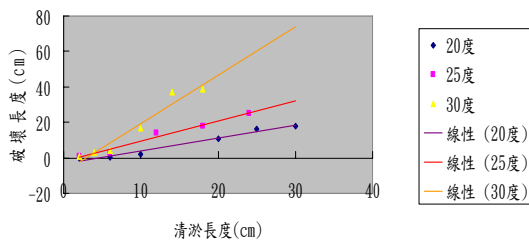


圖 4.22、試料 A 夯實後清淤長度與破壞長度之關係

Figure 4.22 Relationship between dredging length and failure length with compacted material A

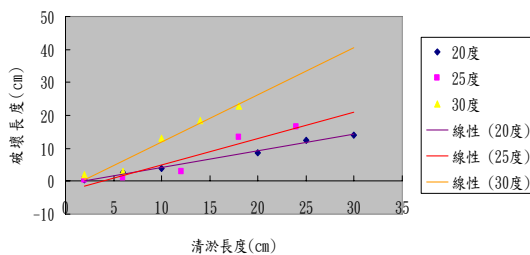


圖 4.23、試料 B 夯實後清淤長度與破壞長度之關係

Figure 4.23 Relationship between dredging length and failure length with compacted material B

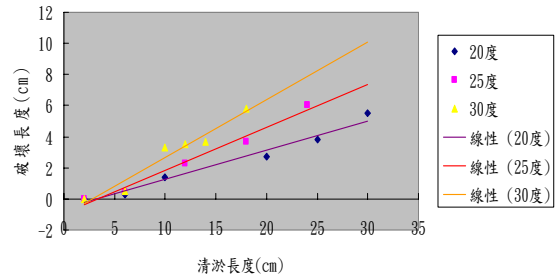


圖 4.24、試料 C 夯實後清淤長度與破壞長度之關係

Figure 4.24 Relationship between dredging length and failure length with compacted material C

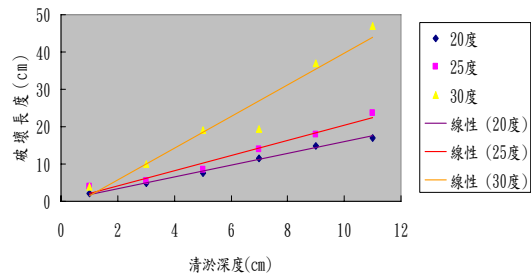


圖 4.25、試料 A 夯實後清淤深度與破壞長度之關係

Figure 4.25 Relationship between dredging depth and failure length with compacted material A

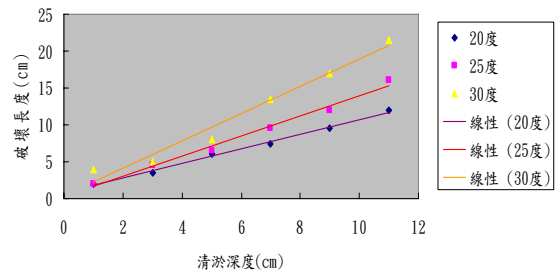


圖 4.26、試料 B 夯實後清淤深度與破壞長度之關係

Figure 4.26 Relationship between dredging depth and failure length with compacted material B

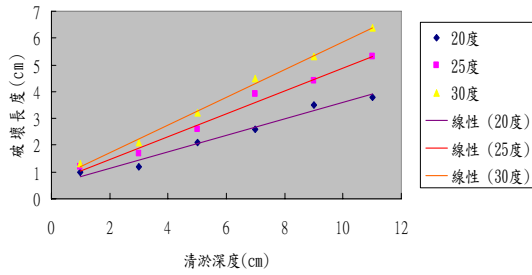


圖 4.27、試料 C 夯實後清淤深度與破壞長度之關係

Figure 4.27 Relationship between dredging depth and failure length with compacted material C

五、結論與建議

在相同土體試料與固定清淤方式的條件下，當清淤的長度與深度愈大時，則殘壁會愈高，邊坡上不穩定之土石也愈多，破壞投影長與破壞量亦有逐漸增加的趨勢。然而清淤寬度(相對於砂箱寬度)則對於邊坡破壞投影長度影響不大。

在原邊坡坡度與清淤方式相同的條件下，在較高的內摩擦角與凝聚力下，抗剪強度愈強，較陡的邊坡可維持較高穩定度，使破壞坡度能維持較高的坡度，邊坡破壞投影長度也愈小。

在相同鋪砂與清淤條件相同下，當原邊坡坡度增加時，破壞投影長也隨之增加，然而破壞後殘留之破壞面坡度會逐漸減少。

在相同清淤條件與坡度下，當土體密實愈高時，土體抗剪強度變大，邊坡破壞之驅動力愈小，故邊坡破壞投影長度愈小。

當邊坡破壞後，會在基腳處堆積一土體會給予原邊坡一支撐力，使原邊坡破壞長度變小。

六、參考文獻

- 1、潘國樑(1966)，『山坡地地質分析』，科技圖書有限公司，p.26~33。
- 2、萬鑫森(1991)，『基礎土壤物理學』，茂迪圖書有限公司，p.341~371。
- 3、李正義(1978)，『崩塌地滑動面位置之預測模式』，國立中興大學碩士論文，p.3~8。
- 4、吳偉特(1989)，『邊坡穩定之分析與應用』，現地營造雜誌社，p.32~86。
- 5、陳信雄(1995)，『崩塌地調查與分析』，渤海堂書局，p.425~557。
- 6、許淑玲、游繁結、吳仁明(2007)，『邊坡崩塌運動之觀測』，水土保持學報，39(3)，p.319~332。
- 7、游繁結、吳仁明、翁緯明(2006)，『未飽和和飽和土體崩塌特性之探討』，水土保持學報，37(4)，p.389~398。
- 8、王文能、尹承遠、黃鎮臺、董倫道、柳志錫、胡國興、陳式千、楊韶(1992)，崩塌地調查規劃與設計手冊(地滑篇)，工業技術研究院能源與資源研究所，p.214。
- 9、趙世照(1992)，『天然土石壩漸進破壞過程之探討』，p.35~57。
- 10、周毅、洪明瑞(1998)，『大地工程原理』，高力圖書有限公司，p.585~599。
- 11、謝豪榮(1997)，『坡地之泥砂災害與其治理法』，水土保持學報，29(2)，p.125~135。
- 12、蔡元喆(1993)，『棄土堆積邊坡之可能破壞機制研究』，國立中興大學碩士論文，p.18~51。