

# 沉砂滯洪池之應力分析與參數研究

林群富<sup>(1)</sup> 馮正一<sup>(2)</sup>

## 摘 要

本研究以有限差分法 FLAC 程式進行二維沉砂滯洪池應力分析與參數研究，並定義兩個基線案例做為模擬分析的基準。本研究假設沉砂滯洪池啓用後水位抬升，故對地下水進行滲流分析，並將沉砂滯洪池頂板受車輛載重納入考量，一併進行應力分析。本研究針對各不同土壤與構造物條件進行參數研究，探討在不同條件下結構體的應力差異，提供水土保持工程設計者參考使用。

(**關鍵字**：應力分析、FLAC、沉砂滯洪池、界面元素)

## A Stress Analysis and Parametrical Study for Sediment and Retention Ponds

*Qun-fu Lin*<sup>(1)</sup> *Zheng-yi Feng*<sup>(2\*)</sup>

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

## ABSTRACT

This study applied the finite difference software, FLAC, to perform stress analyses and parametrical study of the two-dimensional sediment and retention ponds we assumed. Two baseline cases were defined and compared among the parametrical cases. This study assumed that the water rises after completion of the retention ponds; therefore, seepage analyses were carried out. Traffic loading was applied for part of boxed retention ponds for comparison. This study accomplished parametrical study for the various conditions of soils and structural members. We discussed the differences in stresses among the varied conditions to be a reference in soil and water conservation engineering.

(**Keywords** : Stress analysis, FLAC, sediment and retention pond, interface element)

---

(1)國立中興大學水土保持學系研究生

(2)國立中興大學水土保持學系教授(通訊作者 e-mail : tonyfeng@nchu.edu.tw)

## 前言

沉砂池與滯洪池有很多情況是共構，所以其深度可能達 3~4 公尺。其構件通常是以鋼筋混凝土做為材料，通常和土壤與地下水接觸，所以需要承受土壓與水壓。另外有些沉砂滯洪池為封頂，有時候會有車輛載重或其他加載(如花圃等)，故其頂板也須進行應力分析，方能進行鋼筋混凝土設計，完成經濟且安全的結構物。

本研究將針對常用形式沉砂滯洪池的應力分析進行研究，繪製剪力圖、彎矩圖與軸力圖，討論沉砂滯洪池的受力特性。

本研究對沉砂滯洪池應力分析所使用的程式為 FLAC 7.0 (Itasca, 2011)，並應用其中之樑元素(*beam element*)與土壤的網格進行互制，以求得沉砂滯洪池各項應力(剪力、彎矩與軸力)分布圖。這些分析所得的應力可做為沉砂滯洪池鋼筋混凝土設計的外力資料。

本研究僅考慮二維度的平面應變分析(不考慮動力分析與三維沉砂滯洪池角隅效應)，所計算而得的應力作成之設計，應屬於保守側。

本研究將針對各不同土壤與構造物條件進行參數研究，求取其不同條件下結構體的應力差異，提供水土保持工程設計者參考使用。

## 研究材料與方法

本研究以 FLAC 進行沉砂滯洪池平面應變條件下之應力分析。FLAC 是快速拉格朗日分析 (Fast Lagrangian Analysis of Continua)的簡稱，此程式由美國 Itasca 顧問公司開發，應用於工程力學計算上的有限差分程式。FLAC 軟體以拉格朗日差分為基本原理，以網格座標分析大變形課題的數值方法。此程式可模擬岩石、土壤等材料之力學行為。拉格朗日有限差分原理，以牛頓第二定律為基礎，可對連續介質進行非連續大變形分析，特別適用在大變形岩石及土壤工程的課題 (Itasca, 2011)。

土壤選用 FLAC 內建 Mohr-Coulomb 模式，而 FLAC 分析所需之土壤強度參數，則參考 Kulhawy and Mayne (1990)基礎設計土壤性質估算手冊(*Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*)後選用如表 1 所示，做為分析土壤結構與地下水位問題之基本工程性質。

表 1 土壤參數

Table 1 Parameters of soils

Soil Type	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Bulk Modulus (kPa)	Shear Modulus (kPa)	C (Pa)	Φ (deg)	Poisson's Ratio (nu)	Permeability (cm/s)
CL	1800	8.50×10 <sup>4</sup>	1.69×10 <sup>4</sup>	0	24	0.41	6×10 <sup>-8</sup>
SM	1900	4.80×10 <sup>4</sup>	1.82×10 <sup>4</sup>	0	31	0.33	4×10 <sup>-5</sup>

FLAC 中以達西定律(Darcy's law)來模擬滲流行為，其控制方程式如下 (Itasca, 2011)：

$$q_i = -k_{ij} \hat{k}(s) \frac{\partial}{\partial x_j} (P - \rho_w g_k x_k) \dots \dots \dots (1)$$

其中：

$q_i$ ：流體之流量、 $k_{ij}$ ：流動係數(mobility coefficient)、 $\hat{k}(s)$ ：相對滲透性，為飽和度(s)之函數、 $P$ ：流體壓力、 $\rho_w$ ：流體質量密度、 $g_i, i=1, 2$ ：為重力向量的兩個分量。

本研究以樑元素來模擬沉砂滯洪池之鋼筋混凝土側壁、底板與頂板，並假設鋼筋混凝土楊氏模數為 30 GPa，鋼筋混凝土構件(member)厚度均為 0.3 m，其中因鋼筋混凝土可能開裂，故慣性矩考慮折減為 80%。FLAC 中的樑元素為具有兩個端點的二維元素，每個端點都有三個自由度(X 方向位移、Y 方向位移和轉動)。樑元素計算後之結果可輸出剪力、彎矩與軸力等分布圖。

界面元素(interface element)沿介面允許滑動和分開，可用來模擬節理、斷層和摩擦

邊界等，如圖 1 所示 (Itasca, 2011)。界面 A 與 B 之間由剪力( $k_s$ )與正向( $k_n$ )勁度彈簧組成的界面，其中： $S$  為滑動面、 $T$  為張力強度、 $k_s$ 為剪力勁度、 $k_n$ 為正向勁度、 $L_N$ 為 N 點相關長度、 $L_M$ 為 M 點相關長度。本研究中以此界面元素模擬土壤元素與樑元素間的界面，以反應鋼筋混凝土構件與土壤間的可能滑動，並依逆時針方向設置界面元素點。本研究以庫倫剪力強度模式 (Coulomb shear strength model) 為界面間的接觸力計算方式，其方程式如下 (Itasca, 2011)：

$$F_{smax} = cL + F_n \tan \varphi \dots \dots \dots (2)$$

其中：

$c$ ：沿著界面的凝聚力、 $L$ ：有效接觸長度、 $\varphi$ ：界面之摩擦角，當條件( $|F_s| \geq F_{smax}$ )滿足時，則  $F_s = F_{smax}$ 。

### 2.1 基線案例(Baseline case)應力分析數值模型建立

本研究將典型沉砂滯洪池定義為兩個基線案例，進行相關參數條件之應力分析，並繪製兩個基線案例的剪力、彎矩與軸力

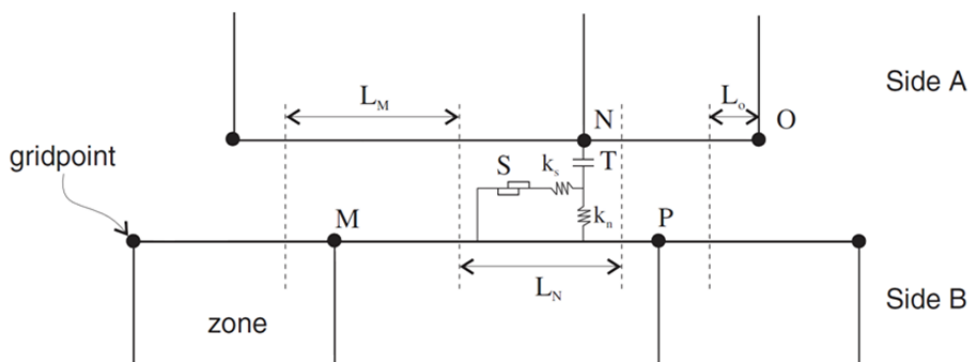


圖 1 界面元素互制圖 (Itasca, 2011)

Figure 1 Interaction of interface elements (Itasca, 2011)

圖，藉由數值模擬計算出結構物承受剪力、彎矩與軸力最大值的位置點，這些最大值點是沉砂滯洪池安全條件主要的考慮因素，藉此提供設計者參考。

本研究主要分析中小型沉砂滯洪池，沉砂池深度以 1.5 m 至 3.5 m 為原則（參考水土保持技術規範第九十三條），假設沉砂滯洪池長寬比為 1 比 10 以上，故僅以二維平面應變做為模型建立的原則，不考慮三維情況。本研究沉砂滯洪池之分析包含起始靜力平衡過程、穩態滲流分析與應力分析。

本研究將第一個基線案例定義為「U 型」(“U” type)沉砂滯洪池，其寬度 4 m、深度 3.5 m，地下水位在地表下 1.75 m，構造物周圍的土壤由 0~-2 m 的黏土層與-2 m~-7 m 的砂土層所組成。樑元素材料參數方面，分別為楊氏模數 30 GPa、鋼筋混凝土橫斷面面積 0.3m<sup>2</sup>、慣性矩 1.8×10<sup>-3</sup> m<sup>4</sup>與鋼筋混凝土厚度 0.3 m，其中因混凝土開裂的問題，故慣性矩需經過折減，降為八成左右。鋼筋混凝土構件與土壤接觸面共有三面，interface 1、interface 2 和 interface 3 分別為數值模型之界面元素，其中牆面與土壤間的摩擦角需折減為 20 度，並設定界面可以相對移動。

第二個基線案例定義為「箱型」(“Boxed” type)沉砂滯洪池，其工程性質與土壤條件大部分與「U 型」沉砂滯洪池相同，其差別在於「箱型」沉砂滯洪池有鋼筋混凝土頂板，頂板上大多會放置車輛或花園等。本文在參數分析中亦針對車輛載重分析其應力分布情況。

上述兩種基線案例中，因沉砂滯洪池在啓用之後會有泥砂流入，本研究假設沉砂滯

洪池內部土壤已被清除，再進行分析。

## 2.2 參數分析設定

針對地層材料、沉砂滯洪池寬度、沉砂滯洪池深度、地下水位、車輛載重、鋼筋混凝土自重及牆面與土壤間的摩擦角等參數，進行參數分析。

### 2.2.1 鋼筋混凝土構件自重

將鋼筋混凝土構件自重從 2400 kg/m<sup>3</sup> 調降為 20 kg/m<sup>3</sup>，如圖 2 可看出構件側壁之軸力明顯降低，驗證鋼筋混凝土自重是影響構件側壁之軸力變化的條件之一，以確認分析是正確。

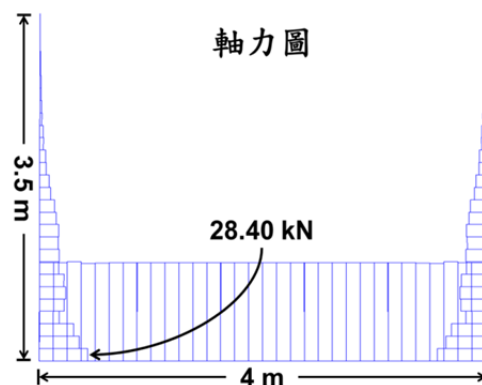


圖2 調降構件單位重為 20 kg/m<sup>3</sup> 後之軸力圖

Figure 2 The axial force diagram after reducing member unit weight to 20 kg/m<sup>3</sup>

### 2.2.2 牆面與土壤間的摩擦角

將牆面與土壤間的摩擦角從 20 度調降為 0 度，如圖 3 可看出構件側壁之軸力明顯降低，驗證牆面與土壤間的摩擦角亦是影響構件側壁之軸力變化的條件之一。

### 2.2.3 不同地層材料

分別模擬沉砂滯洪池建置在兩種地層材料的情況，第一種地層材料為低塑性黏土 (CL)，另一種地層材料上層 2 m 的低塑性黏土 (CL) 與下層粉土質砂土 (SM)。

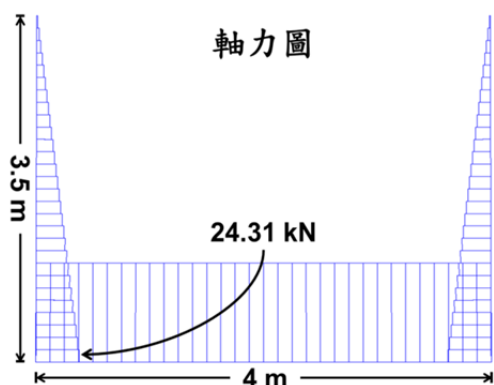


圖 3 牆與土壤界面的摩擦角調降為  $0^\circ$  後之軸力圖

Figure 3 The axial force diagram after reducing interface friction angle between members and soils to  $0^\circ$

#### 2.2.4 不同沉砂滯洪池寬度

建立斷面寬度 6 m 的沉砂滯洪池數值模型，並與斷面寬度 4 m (基線案例) 比較兩者剪力、彎矩與軸力之間的差異。

#### 2.2.5 不同沉砂滯洪池深度

建立沉砂滯洪池深度 2 m 的數值模型，並與沉砂滯洪池深度 3.5 m (基線案例) 比較兩者剪力、彎矩與軸力之間的差異。

#### 2.2.6 地下水位對沉砂滯洪池應力的影響

起始地下水水位面設定在沉砂滯洪池的底部，隨著時間的變化，地下水水位逐漸抬升至地表時，對構件會額外產生側向水壓力。當水位高達地表時，此時水壓力與側向土壓

力將對沉砂滯洪池產生較大的應力，亦是沉砂滯洪池最容易受破壞的情況。

#### 2.2.7 車輛載重對「箱型」沉砂滯洪池的影響

假設「箱」型沉砂滯洪池上端停放兩輛汽車，每輛汽車重量 2 噸且輪胎中心間距 1.5 m。在二維平面上，四個輪胎需承受汽車重量施加的力，故每個輪子承受 0.5 噸的力量，並且施加 0.5 噸的力量在鋼筋混凝土頂板上。

### 分析結果與討論

本研究的鋼筋混凝土側壁底部類似懸臂擋土牆，故推測剪力及彎矩會是最大值。並分別針對兩個基線案例中，鋼筋混凝土側壁底部之剪力、彎矩與軸力圖，其沉砂滯洪池受力變形情況、應力正負值變化、應力集中區域與彎矩反曲點位置，其分析結果作一說明。

#### 3.1 「U 型」沉砂滯洪池與各項參數條件之關係

分析結果顯示，「U 型」沉砂滯洪池剪力集中於構件側壁底部如圖 4 所示，構件側壁底部之剪力為 59.72 kN，構件底板中央為剪力正負值之交界點。因為鋼筋混凝土構件與土壤在受重力的情況下產生滑動，使界面元素間產生分離 (部分鋼筋混凝土構件沒有與土壤接觸)，故剪力呈現鋸齒狀的情況。

彎矩圖如圖 5 所示，越接近構件底部，鋼筋混凝土構件承受的彎矩會越大，構件承受的彎矩皆呈現負值 (順時針)，且構件側壁底部之彎矩為 53.53 kN-m (順時針)。在此基

線案例中，並沒有出現彎矩反曲點。

軸力圖如圖 6 所示，軸力集中於鋼筋混凝土構件底板，因為構件兩側的土壤與水造成的側向力往構件底板中央推擠，故軸力最大值同樣位於構件底板。構件側壁軸力在參數分析設定中得知，影響軸力變化主要是鋼筋混凝土構件自重及牆面與土壤間的摩擦角。

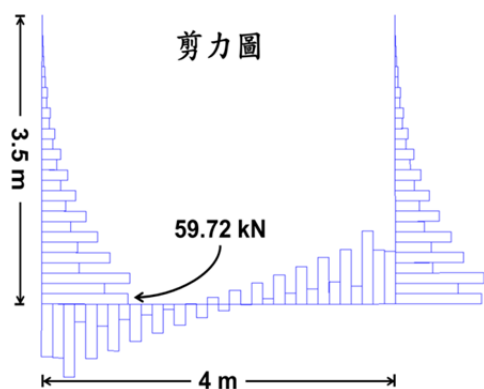


圖 4 「U 型」沉砂滯洪池剪力圖

Figure 4 The shear force diagram of “U type” sediment and retention pond

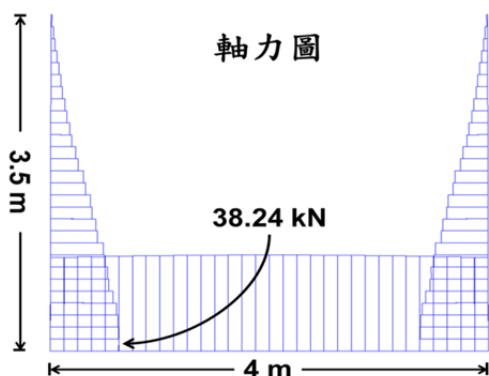


圖 5 「U 型」沉砂滯洪池彎矩圖

Figure 5 The moment diagram of “U type” sediment and retention pond

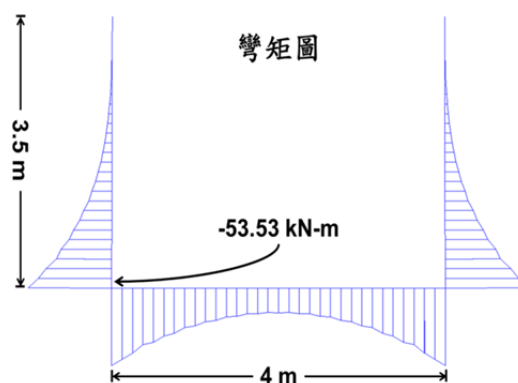


圖 6 「U 型」沉砂滯洪池軸力圖

Figure 6 The axial force diagram of “U type” sediment and retention pond

以下為「U 型」沉砂滯洪池與各項參數間的關係，並針對構件側壁底部之剪力、彎矩與軸力進行分析，其各項數值詳見表 2。

### 3.1.1 「U 型」沉砂滯洪池與地層材料參數之關係

如圖 7 所示，因為基線案例模型下層為砂土層(SM)，砂土層之側向土壓力大於黏土層，故黏土層的剪力及彎矩會比基線案例還小。至於軸力的部分，因為分析應力的點位在構件側壁底部，不同底層土壤材料會有不同的容積模數(Bulk modulus)、剪力模數(Shear modulus)及柏松比(Poisson's ratio)，故軸力會有些微差異。兩種參數之軸力最大值位於構件底板，此時基線案例之軸力最大值會大於砂土層。

### 3.1.2 「U 型」沉砂滯洪池與寬度參數之關係

如圖 8 所示，兩者土壤材料相同，但構件底部剪力卻不相同，因為鋼筋混凝土構件與土壤在受重力的情況下產生滑動，導致界面元素間產生分離，故土壤受力並不一致。

表 2 「U 型」沉砂滯洪池各項應力參數分析結果(針對構件側壁底部)

Table 2 Parametrical stress analysis results at the bottom of sidewall member of “U type” sediment and retention ponds

參數	Shear Force (kN)	Moment (kN-m)	Axial Force (kN)
「U 型」沉砂滯洪池	59.72	-53.53	38.24
黏土層(CL)	53.24	-49.08	40.75
橫斷面寬度 6 m	55.24	-48.79	41.41
沉砂滯洪池深度 2 m	19.74	-10.43	18.62
地下水位在地表下 3.5 m	31.71	-42.30	40.73
地下水位在地表	103.5	-94.89	46.20
鋼筋混凝土構件自重(單位重 20 kg/m <sup>3</sup> )	65.08	-48.88	28.40
牆面與土壤間摩擦角( $\Phi=0$ )	64.39	-53.40	24.31

當沉砂滯洪池寬度增加為 6 m 時，此時構件底板出現兩個彎矩反曲點，故構件側壁底部之彎矩會小於基線案例(寬度 4 m)。而軸力同樣受容積模數(Bulk modulus)、剪力模數(Shear modulus)及柏松比(Poisson's ratio)的影響，故軸力會有些微差異。

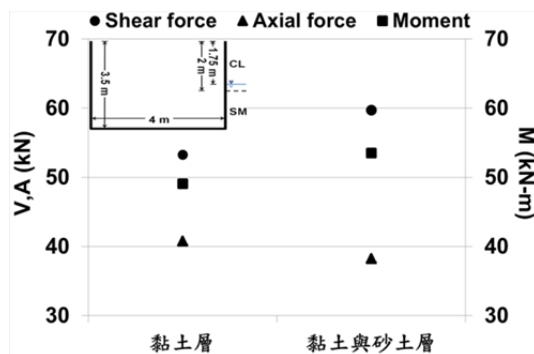


圖 7 「U 型」沉砂滯洪池構件內力與地層材料參數之關係

Figure 7 The relationship between internal forces of “U type” sediment and retention pond and soil properties

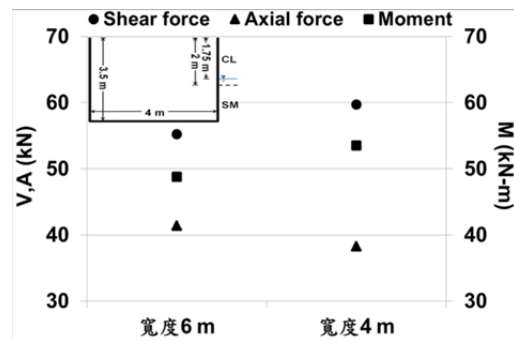


圖 8 「U 型」沉砂滯洪池構件內力與寬度參數之關係

Figure 8 The relationship between internal forces of “U type” sediment and retention pond and width

### 3.1.3 「U 型」沉砂滯洪池與深度參數之關係

如圖 9 所示，可看出側向力與深度成正比，故隨著沉砂滯洪池深度增加剪力、彎矩與軸力會有明顯的增加。

### 3.1.4 「U 型」沉砂滯洪池與地下水位參數之關係

如圖 10 所示，隨著地下水抬升，剪力及彎矩均呈現明顯增加的趨勢。地下水位在地表下 3.5 m，此時軸力最大值位於構件側壁底部，故軸力會略高於基線案例之軸力值。此參數分析中可看出地下水位對沉砂滯洪池的影響明顯高於其他參數。

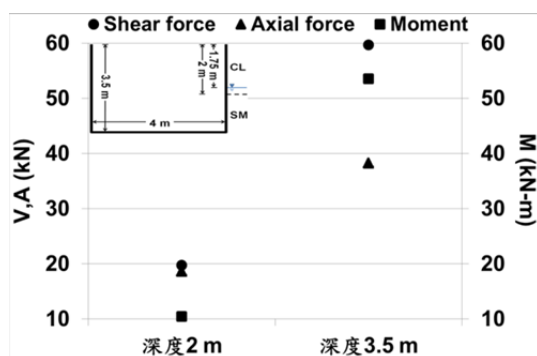


圖 9 「U 型」沉砂滯洪池構件內力與深度參數之關係

Figure 9 The relationship between internal forces of “U type” sediment and retention pond and depth

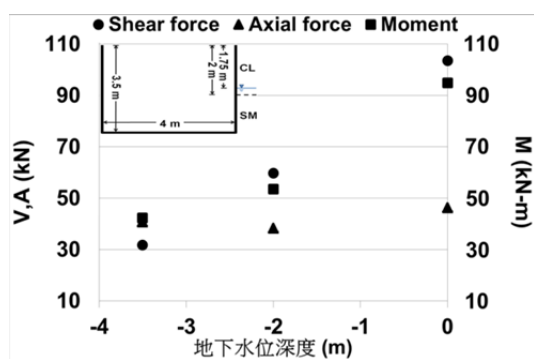


圖 10 「U 型」沉砂滯洪池構件內力與地下水位參數之關係

Figure 10 The relationship between internal forces of “U type” sediment and retention pond and groundwater table

### 3.2 「箱型」沉砂滯洪池與各項參數條件之關係

分析結果顯示，「箱型」沉砂滯洪池剪力集中於構件側壁底部如圖 11 所示，構件側壁底部之剪力為 42.09 kN，同樣呈現鋸齒狀。分別在構件頂板、側壁及底板中央為剪力正負值之交界點，其中構件側壁之剪力沒有呈現對稱分布主要是受到構件頂板載重的影響。

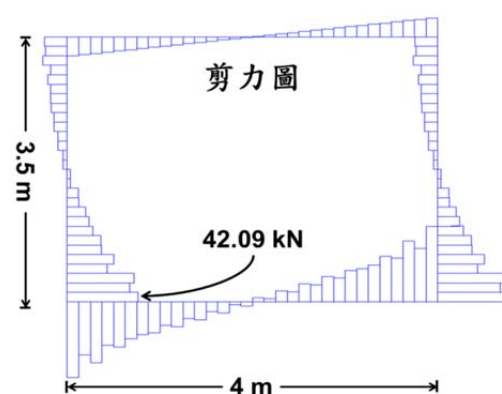


圖 11 「箱型」沉砂滯洪池剪力圖

Figure 11 The shear force diagram of “Boxed type” sediment and retention pond

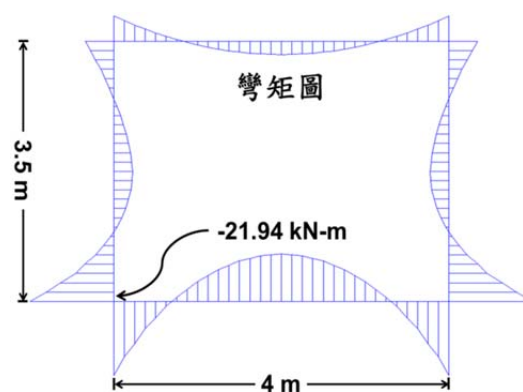


圖 12 「箱型」沉砂滯洪池彎矩圖

Figure 12 The moment diagram of “Boxed type” sediment and retention pond



彎矩圖如圖 12 所示，越接近構件底部，鋼筋混凝土構件承受的彎矩會越大，構件側壁底部之彎矩為 21.94 kN-m (順時針)。在此基線案例中，共有 8 個彎矩反曲點(力矩為零)，配筋在此點之後需加上鋼筋發展長度方予截斷。

軸力圖如圖 13 所示，軸力集中於鋼筋混凝土構件底板，同樣受側向力往構件底板中央推擠，此時位於構件側壁底部之軸力最大值为 54.09 kN，主要的原因為「箱型」沉砂滯洪池多出頂版的載重。

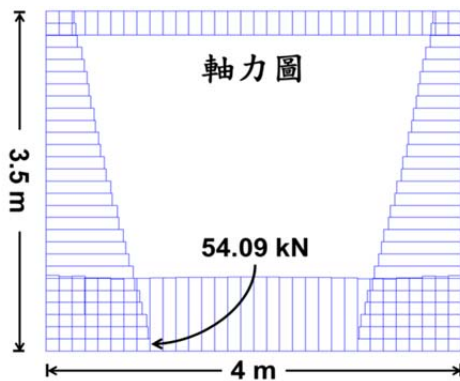


圖 13 「箱型」沉砂滯洪池軸力圖  
Figure 13 The axial force diagram of “Boxed type” sediment and retention pond

以下為「箱型」沉砂滯洪池與各項參數間的關係，並針對構件側壁底部之剪力、彎矩與軸力進行分析，其各項數值詳見表 3。

### 3.2.1 「箱型」沉砂滯洪池與地層材料參數之關係

如圖 14 所示，此基線案例同樣受界面元素錯動影響，呈現鋸齒狀，且砂土層之側向土壓力大於黏土層，使得黏土層的剪力及

彎矩會比基線案例還小。不同土壤材料會有不同的容積模數(Bulk modulus)、剪力模數(Shear modulus)及柏松比(Poisson's ratio)，故軸力會有所差異。

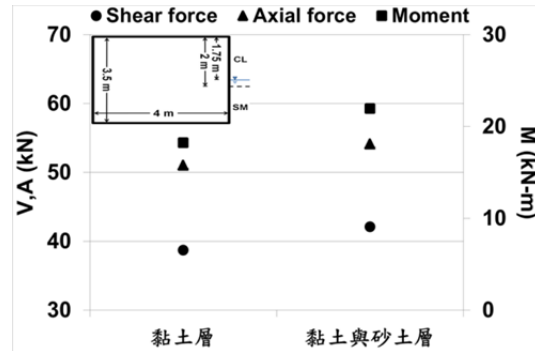


圖 14 「箱型」沉砂滯洪池構件內力與地層材料參數之關係

Figure 14 The relationship between internal forces of “Boxed type” sediment and retention pond and parameter of soil properties

### 3.2.2 「箱型」沉砂滯洪池與寬度參數之關係

如圖 15 所示，因為構件兩側的土壤均相同，所以改變寬度並不會使剪力發生變化。而構件頂板與頂板彎矩沒有產生太大變化，主要的差異在於寬度 6 m 的沉砂滯洪池，其構件側壁沒有出現彎矩反曲點所致。軸力會增加的原因為鋼筋混凝土頂板載重增加所致。

### 3.2.3 「箱型」沉砂滯洪池與深度參數之關係

如圖 16 所示，因為側向力與深度成正比，故隨著沉砂滯洪池深度增加，剪力、彎矩與軸力亦會有明顯的增加。

表 3 「箱型」沉砂滯洪池各項應力參數分析結果(針對構件側壁底部)

Table 3 Parametrical stress analysis results at the bottom of sidewall member of “Boxed type” sediment and retention ponds

參數	Shear Force (kN)	Moment (kN-m)	Axial Force (kN)
「箱型」沉砂滯洪池	42.09	-21.94	54.09
黏土層(CL)	38.73	-18.22	51.02
橫斷面寬度 6 m	41.98	-37.88	63.05
沉砂滯洪池深度 2 m	14.72	-10.03	31.21
地下水位在地表下 3.5 m	22.24	-11.56	42.01
地下水位在地表	85.80	-31.91	59.01
車輛載重	39.58	-23.56	63.78

### 3.2.4 「箱型」沉砂滯洪池與地下水位參數之關係

如圖 17 所示，隨著地下水抬升，剪力、彎矩與軸力都呈現明顯增加的趨勢。圖中可看出，當地下水位在地表時，剪力、彎矩與軸力都比其他參數影響來的大，故判定地下水位是沉砂滯洪池設計上最重要的參數。

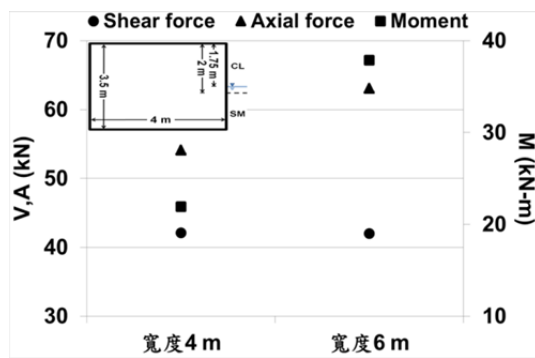


圖 15 「箱型」沉砂滯洪池構件內力與寬度參數之關係

Figure 15 The relationship between internal forces of “Boxed type” sediment and retention pond and width

### 3.2.5 「箱型」沉砂滯洪池與車輛載重參數之關係

如圖 18 所示，剪力與彎矩大致上沒有什麼改變，剪力同樣受到界面元素影響，故呈現鋸齒狀。軸力有明顯的增加主要是因為車輛載重的影響，使軸力產生最大值。

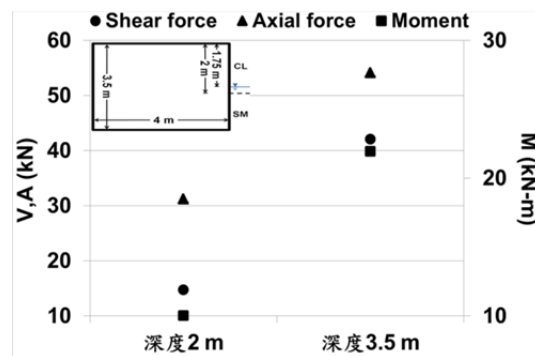


圖 16 「箱型」沉砂滯洪池構件內力與深度參數之關係

Figure 16 The relationship between internal forces of “Boxed type” sediment and retention pond and depth

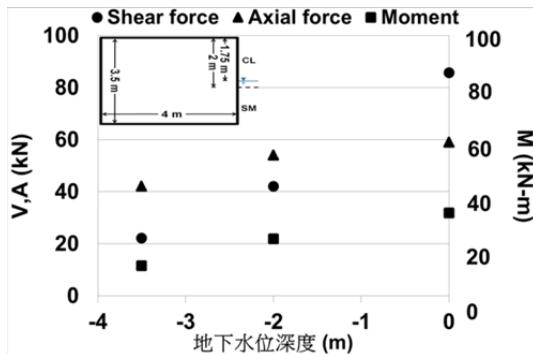


圖 17 「箱型」沉砂滯洪池構件內力與地下水位參數之關係

Figure 17 The relationship between internal forces of “Boxed type” sediment and retention pond and parameter of groundwater table

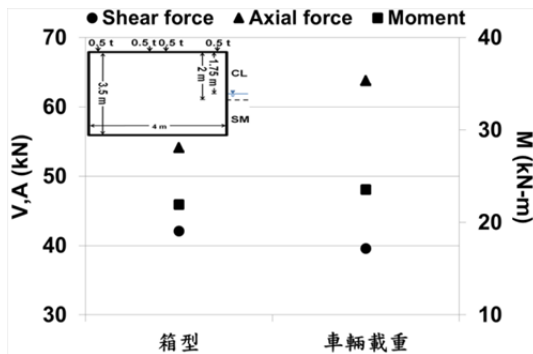


圖 18 「箱型」沉砂滯洪池與車輛載重之關係

Figure 18 The relationship between “Boxed type” sediment and retention pond and vehicles weight

## 結論與建議

本研究計算 11 個典型的沉砂滯洪池結構應力分析，考量不同的土層參數與構造形式進行一系列的數值計算，並將基線案例計算結果之剪力、彎矩與軸力圖加以分析討

論。本文僅對於本文所假設的沉砂滯洪池幾何形狀進行應力分析。如果沉砂滯洪池的形式與本論文差異甚大者，亦可參考本論文的數值模擬與參數假設方式，以 FLAC 進行應力分析後，再進行其鋼筋混凝土構件之設計。

1. 依據分析結果，我們認為地下水位對沉砂滯洪池影響甚巨，故進行沉砂滯洪池之水土保持工程設計者需特別注意。
2. 分析結果顯示，「箱型」沉砂滯洪池出現較多的彎矩反曲點(彎矩為零)，故配筋在此點之後需加上鋼筋發展長度方予截斷。
3. 影響軸力變化主要是鋼筋混凝土構件自重及牆面與土壤間的摩擦角。因混凝土抗壓强度高，故構件承受軸力沒有強度不足的問題。
4. 鋼筋混凝土構件與土壤在受重力的情況下產生滑動，使界面元素間產生分離使得部分鋼筋混凝土構件沒有與土壤接觸，故剪力會呈現鋸齒狀。
5. 土壤材料亦是影響軸力的另一項原因，不同的土壤材料會有不同的容積模數 (Bulk modulus)、剪力模數 (Shear modulus) 及柏松比 (Poisson's ratio)，故軸力會有所差異。
6. 車輛載重會使鋼筋混凝土側壁軸力值增加，並且達到本研究中軸力最大值。

後續研究建議在未來製成鋼筋配筋設計圖表，以供水土保持工程設計者進行沉砂滯洪池之鋼筋混凝土構件設計之參考。又因為本研究是以二維平面應變進行分析，所以

水土保持學報 44(3) : 189 – 200 (2012)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (1) : 189 - 200 (2012)

是屬於較為安全的設計，如為經濟考量可以將配筋量予以酌減，至於酌減的百分比建議再進行一系列的三維數值模擬後，歸納提出之。

### 參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局 (2011) , 「水土保持技術規範」, 台灣。
2. Itasca. (2011), Fast Lagrangian Analysis of Continua, version 7.0, User's Manual, Itasca Consulting Group, Inc. , Minneapolis, Minn.

3. Kulhawy, F. H. , and Mayne, P. W. 1990. Manual on estimating soil properties for foundation design, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif. , Report EL-6800.

---

101 年 05 月 21 日收稿

101 年 05 月 25 日修改

101 年 08 月 16 日接受