

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高職組 土木科

091201

廢輪胎擋土牆在工程上之研究

學校名稱：國立永靖高級工業職業學校

作者：  職一 顏堂宇  職一 曾伊伶  職一 吳宜靜  職一 洪苡瑄	指導老師：  廖長志  吳順正
---	-----------------------------

關鍵詞：廢輪胎、擋土牆

## 摘要

我國每年約產生 13 萬噸廢輪胎，經年累月堆置於掩埋場、回收場及棄置於空地或山谷，可能高達百萬噸，不僅造成掩埋場負擔，環境衛生(如蚊、蟲鼠類滋生)嚴重破壞，並引發公共安全(如堆置廢輪胎引發火災)。為解決廢輪胎造成日益嚴重之環境及公安問題，產、官、學、各方面皆思考如何使廢輪胎再生或再利用，如輪胎翻新，做為燃料、防波體、公路防撞護欄及路堤等，其中以土木工程中之邊坡工程所消耗量最大。

本文首先對擋土牆種類介紹並進行廢輪胎擋土牆穩定分析，利用 STABL6 軟體進行穩定分析並做廢輪胎擋土牆之模型且透過成功案例進行驗證及對混凝土擋土牆及廢輪胎擋土牆進行合理經濟分析，以期對廢輪胎擋土牆在工程上之應用有更深一層的瞭解，進而提供未來設計廢輪胎擋土牆之參考。

關鍵詞: 廢輪胎、擋土牆。

## 壹、研究動機

邊坡工程已經是近年來國內土木工程重要課題之一，大規模之整地工程，隨處可見，所以擋土牆設計必須考慮周詳且安全性質佳之成功案例，但整體破壞或擋土穩定效用欠佳之失敗案例，少之又少。希望日後擋土牆設計應用上能降低類似疏失所引發之災害，所以對擋土牆型式之選擇與設計之考慮，以做為提供工業界於擋土牆設計時之參考。目前國內傳統擋土牆之所需石料、混凝土、砂石來源嚴重缺乏，由於國內經濟發展快速增加、物價提高，所以利用廢棄物在工程上應用，大量使用可以減少廢棄物再堆積及土地分配部分，也符合生態工程。

有鑑於此本研究係以廢輪胎在擋土牆工程進行探討，盼有助於廢輪胎之應用，如此一來既可達成資源再利用又能減廢，更可節省工程成本。我國學者對於廢輪胎在擋土牆工程之研究和運用較為少見，若能以廢輪胎做為擋土牆，不但能直接利用又可使用大量廢輪胎，因此利用 STABL6 軟體作穩定分析及案例計算進行穩定分析及驗證，並對廢輪胎擋土牆進行經濟分析，使廢輪胎擋土牆更具可行性。

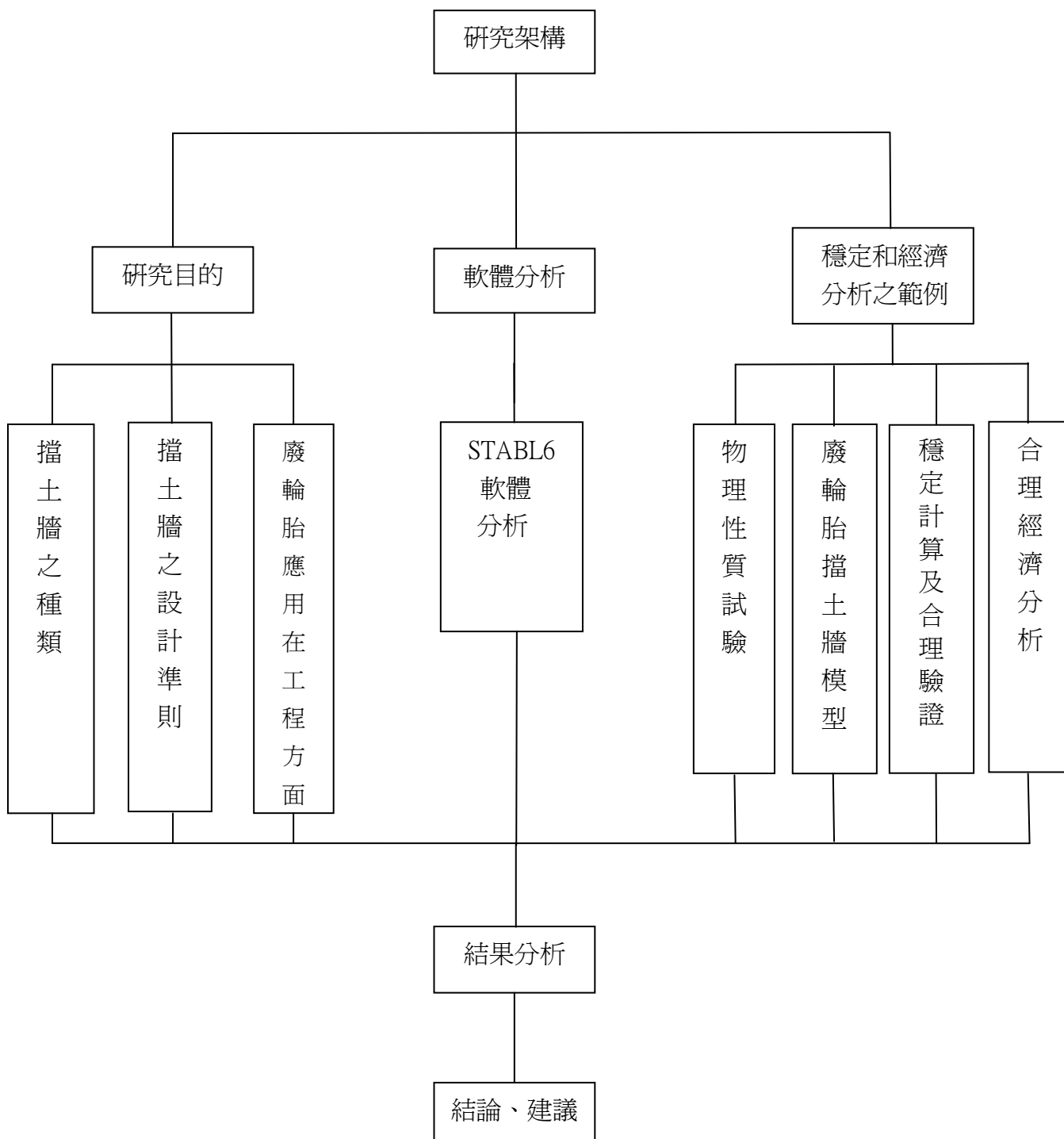


圖 1 研究架構

## 貳、研究目的

對於廢輪胎相關研究，包括廢輪胎橡膠瀝青之性質、焚化污染特性、廢輪胎碎片在不同相對夯實度下之大地工程性質、資源回收處理方式及環境衝擊與成本效益分析[1]，已有不少研究報告發表。本研究僅將有關擋土牆之種類及設計準則和廢輪胎應用在工程方面，介紹如下。

### 一、擋土牆之種類[2]

#### (一) 三明治式擋土牆

牆面為混凝土砌塊石，在背填混凝土及卵石。

#### (二) 重力式擋土牆

構身以無筋混凝土或卵(塊)石混凝土澆置而成，藉其厚重之牆身抵抗土、水壓力，稱之為重力式擋土牆。

##### 1. 卵石混凝土擋土牆

以卵石混凝土灌成。

##### 2. 混凝土擋土牆

以混凝土灌成。

#### (三) 半重力式擋土牆

半重力式擋土牆擋土原理與重力式相同。

#### (四) 懸臂式擋土牆

本型式擋土牆係由牆之自重與牆基正上方之土重，提供其擋土能力。

#### (五) 扶壁式擋土牆

包括前撐型(Buttress)及後扶型(Counterfort)兩種，其擋土原理與懸臂式擋土牆相同。

#### (六) 柔性自重式擋土牆

當工址之地下水較豐富，或地層條件較差，易生較大沉陷現象時，此類擋土牆較為適用。

##### 1. 蛇籠擋土牆:

係以巨積卵礫石堆砌而成。

##### 2. 箱型網籠擋土牆:

以鉛絲編成箱型網籠，裝填塊石疊築而成。

##### 3. 格籠擋土牆:

由預鑄鋼筋混凝土桁條組合成，框箱內疊砌卵塊石而成。

##### 4. 加勁土壤構造物:

此型式擋土牆係藉助加勁材，將牆面版與回填土結合為一體，以其重量發揮擋土功能。通常加勁材之長度約為牆高之 0.8~1.2 倍。加勁土擋土牆應用於高填土之擋土，極為經濟。

#### 5. 條框式擋土牆

一般採用之牆面傾斜為 1:6(水平:垂直)，牆身高度不得高於牆底寬度之兩倍。

#### (七) 板樁式擋土牆

##### 1. 懸臂板樁擋土牆:

以木質、鋼質或混凝土等材料之板樁打入地下而成。

##### 2. 錨繫板樁擋土牆:板樁上緣以繫條連結錨座而成。

##### 3. 錨拉式幕牆擋土牆

此型式擋土牆係由場鑄或預鑄鋼筋混凝土幕牆(或格樑)與錨定於較堅實地層之地(岩)錨所組成。

##### 4. 錨拉式排樁擋土牆

錨拉式排樁擋土牆與錨拉式幕牆擋土牆很類似，係以打設成排之鋼樁、預力混凝土樁或場鑄混凝土樁替代幕牆而成。

#### (八) 錨定擋土牆

鋼筋混凝土柱或板，每隔適當間距，以鋼索連結錨座，並施預力而成。適用於岩層破碎帶，節理發達或地滑地區。

### 二、擋土牆之設計準則[3]

#### (一)擋土牆設計應依照下列設計準則。

1.滑動:安全係數採用 1.1~1.5。

2.傾倒: 安全係數採用 1.5~2.0，穩定力矩必須大於傾倒力矩。

3.作用於基礎合力的偏心矩(e)，必須在下列限度內:

(1)岩盤基礎:合力作用點必須在基礎底寬的 1/2 中段內。即  $e \leq 1/4d$  (d 為基礎底寬)。

(2)堅實土層基礎:合力作用點必須在基礎底寬的 1/3 中段內。即  $e \leq 1/6d$ 。

(3)容易壓縮的土層基礎:合力作用點必須在基礎底寬的中點或中點與牆踵之間。

(4)基礎趾端的土壤壓力  $P_t$  及踵端應力  $P_h$  必須在容許限度以內。

(5)牆身所受各種應力：必須在各種材料容許應力範圍內。

#### (二) 擋土牆所受各作用力[4]

1.牆身自重:單位面積乘以斷面積作用在重心上而得。

2.土壓力：

土壓力的計算有庫倫(Coulomb)及郎金(Rankine)兩派學說，就這兩種土壓理論言，牆背為

平面或近似平面的重力式及半重力式擋土牆，以庫倫(Coulomb)理論較適合;若牆背不為平面的懸臂式或扶臂式擋土牆則以郎金(Rankine)理論較適合。這些理論的根據，都假定土壤不是粘性，故擋土牆回填土以砂、礫石為佳。土壓有主動土壓，靜止土壓及被動土壓之別。

(1)主動土壓力:擋土牆向外略移動，接觸面附近土壤即膨脹，其水平壓力則將減少，此水平壓力減到最小時稱為主動土壓力，亦即向擋土牆方向作用之土壓力。

(2)庫倫(Coulomb)土壓公式

$$P=1/2C_a \gamma_s H^2 \dots\dots(1)$$

式中  $C_a$ =庫倫主動土壓係數

$$C_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \delta \cos(\delta + \alpha) \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\phi + \alpha) \cos(\beta - \alpha)} \right]^2}$$

$P$ :主動土壓力( $t/m^3$ )， $\gamma_s$ :土壤之單位重量( $t/m^3$ )， $H$ :擋土牆之高度， $\phi$ :土壤內摩擦角  
 $\delta$ :擋土牆背面與土之摩擦角， $\alpha$ :擋土牆之背面與垂線之夾角。

背面垂直者  $\alpha$  為"0"(如下圖 a)，牆背外斜者  $\alpha$  為"-"(如下圖 b)

牆背外斜者  $\alpha$  為"+"(如下圖 c)

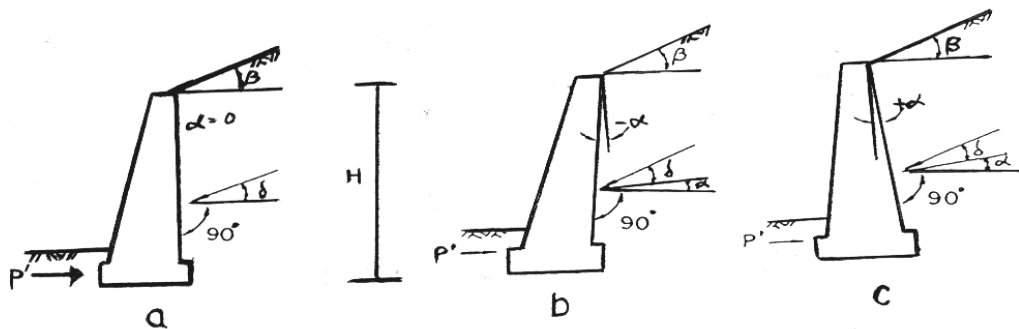


圖 2 土壓力分佈情形

(3)郎金(Rankine)

$$P=1/2C_a \gamma_s H^2$$

式中  $C_a$ =郎金主動土壓係數

$$C_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$P$ ， $\gamma_s$ ， $H$  同上(1)式

擋土牆背不垂直，牆與土壤間之摩擦角  $\delta$  不適用本式。

(4) 施工及維護注意事項:

設計施工若基礎土壤承载力小於允許承载力時，將牆後回填材料應以砂、礫石為主。其高度應高於牆頂 20 公分以上。

- A. 牆背回填土若下陷或低於牆頂時，應立即回填土。
- B. 牆面裂損應立即補強。
- C. 隨時注意排水管排水效用。
- D. 每 20~40m 應加設伸縮縫一處。

三、廢輪胎應用在工程方面: [5]

(一)廢輪胎擋土牆：

廢輪胎再利用是因為孔隙大，排水性強是目前研究的方向，利用廢輪胎填土夯實後，或者灌入混凝土後，成為重力式擋土牆，以便作為擋土支撐的功能，必須考慮擋土型式以及擋土的穩定效果，(圖 3 至圖 8)。

1. 廢輪胎雖然沒有直接應用在公路，但可利用廢輪胎構造擋土牆，以做為保護路肩和穩定公路的邊坡與路基，在國外都曾使用廢輪胎構築擋土牆。在台灣山區公路常因連續幾日降雨，路基遭受雨水侵蝕而破壞，山坡崩滑，造成交通嚴重阻斷，此時需要投入大量人力、物資來搶修公路，但於偏遠山區，人力、物資匱乏是可想而知，以致延誤救援及修復，美國加州公路單位即是以廢輪胎築造擋土牆來穩定山區公路之邊坡和路基，主要係利用下列特點
2. 廢棄輪胎取得容易，成本低廉。
3. 體積小質輕施工容易，不需大型施工機具，不受地形限制。
4. 以廢輪胎為工程材料，不但能保護環境又能減少污染。
5. 廢輪胎構築擋土牆不僅可應用於路堤的穩定、路基的穩固、路肩的防雨水沖蝕，亦可作為山崩緊急處理對策之一，以便迅速恢復交通。

(二)施工步驟

1. 清除工地雜草、樹根等，基地整平，以便放置廢輪胎。
2. 鋪設一層加勁材料，以防輪胎中土砂流失或土管中細粒侵入輪胎砂土，以妨礙排水，但若無此現象則可免設。
3. 輪胎需串連並平行排列，以繩索或鐵夾連結，固定相鄰輪胎，以防止錯動。
4. 於第一層輪胎內倒入砂土，若作為穩定路時，填土需高出輪胎 30cm，同時加以夯實。
5. 擺置其餘輪胎層，直至所需高度為止。
6. 可種植草樹木於廢輪胎擋土牆上，以美化環境。



圖 3 彰化縣廢輪胎堆積場[5]



圖 4 廢輪胎蝕溝控制工程[6]



圖 5 廢輪胎邊坡穩定工程[6]



圖 6 廢輪胎擋土牆(新竹市衛生掩埋場)[12]



圖 7 鋼軌輪胎壩施工前[6]



圖 8 鋼軌輪胎壩施工後[6]



## 參、研究設備及器材

本研究首先進行廢輪胎之物理性質試驗，並做廢輪胎之模型，作為軟體分析之重要參數值，以期本研究之分析結果具有參考價值。並利用 STABL6 軟體進行穩定分析，國內目前對此研究之文獻不多，所以採用柔性擋土牆結構作穩定分析之模式。本研究僅對於廢輪胎擋土牆之總體外穩定(Global Stability)安全係數分析，而廢輪胎之內穩定分析不在本研究範圍內，但有參考文獻作為驗證。

## 肆、研究過程及方法

### 一、廢輪胎之物理性質試驗

為了進行廢輪胎擋土牆之穩定分析，進行廢輪胎之物理性質試驗，以作為軟體分析之重要參數值，以期本研究之分析結果更有參考價值。

(一)體積重量性質進行之試驗項目：

- 1.重量試驗:由各種磅秤量測試體之重量。
- 2.單位體積重。

廢輪胎填充土壤，土壤為彰化地區一般表層土。製作過程為準備廢輪胎、填土夯實試體，共取九個輪胎，以供試驗之需要，如圖 9-11 所示。



圖 9 廢輪胎



圖 10 廢輪胎填充土壤



圖 11 廢輪胎擋土牆

### (二) 試驗進行項目

本研究進行廢輪胎填土壤並夯實及計算試體體積重量比：

- 1.重量試驗

以平台式電子秤秤之，其量測之最大重量為 200 kg，最小讀數為 0.01 kg。

- 2.單位體積重

表 1 填土廢輪胎單位體積重量表

試樣	直徑 (cm)	高度 (cm)	重量 (kg)	廢輪胎體積 (cm <sup>3</sup> )	單位體積重(kg/m <sup>3</sup> )
1	58.2	18.6	92.69	49482	1873
2	57.4	18.8	85.62	48648	1759
3	57.6	18.7	88.72	48727	1820
平均	57.7	18.7	89.01	48952	1817

3.傳統擋土牆施工步驟：

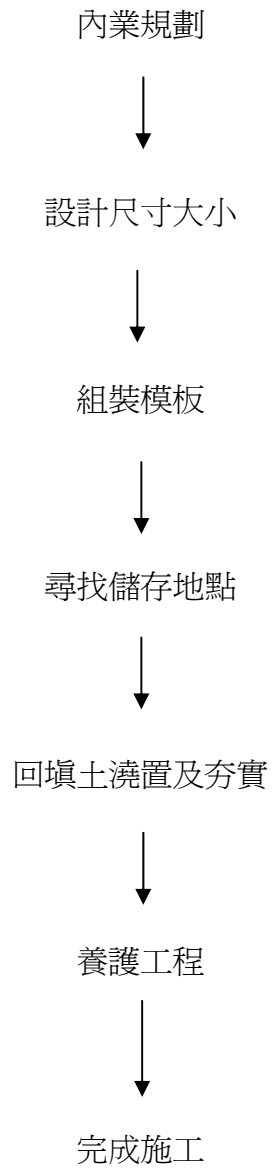


圖 12 擋土牆施工步驟

表 2 傳統結構物與柔性結構物之比較[5]

項目	傳統結構物	柔性結構物
建造成本	新台幣 5000-8000/m <sup>2</sup> 隨結構物之高度升高，單價上漲頗鉅	新台幣 5000-6000/m <sup>2</sup> 單價不因結構物高度而有太大變化
外觀	混凝土一般變化較少，品質不易掌握	可依幾何形狀、顏色、紋理及材料上作靈活的變化，能和其所在環境相配合，以增加美感
施工方式	需要開挖基礎，打設基樁，施工較慢	施工簡易快速，不需打設基樁，為精確度要求較高
設計理念	外穩定結構物牆面須與基礎連結成一體，提供穩定力矩	內穩定藉柔性材料提供穩定的來源，結構物牆面提供部分支撐力量
耐震性	地震時因背填土無抗張，而牆面較背填土堅硬	牆面之柔軟性提供高度阻尼，可吸附地震所釋放的大量能量，且抗結構體無破裂之虞
容許沉陷能力	一般以 2.5 公分為設計準則，以 5.0 公分為最大容許沉陷量	最大容許沉陷量達 30 公分，常用預壓法或二次工法，以消除施工後可能之沉陷
耐久性	一般大約有 30-50 年壽命	耐久性依使用柔性材料而異
土壓力	呈三角形分佈，當結構物高度增加時，土壓力迅速增加	柔性結構物其土壓力較小，且分佈略呈長形，並未隨結構物高度而增加

## 二、廢輪胎擋土牆模型製作過程

### (一)準備材料:

- 1.廢輪胎(以腳踏車內胎代替)。
- 2.鋼筋(以鐵絲代替)。
- 3.排水設施(以吸管代替)。
- 4.濾網，礫石。
- 5.土壤(1.背填土以砂土，2.基礎土壤以凝聚性之黏土，3. 廢輪胎內填砂土並夯實)。
- 6.水族箱(方便觀看)。

### (二)模型製作步驟

- 1.規劃，設計尺寸大小。
- 2.準備鐵絲網並設計基礎支架。
- 3.進行廢輪胎填土並夯實。
- 4.將廢輪胎利用綁好的鐵絲，以串聯方式排列輪胎，並於廢輪胎與廢輪胎間放入吸管當成排水設施，且在每層空隙中填土夯實。
- 5.將基礎土壤放入水族箱內並夯實。
- 6.放置濾網及濾石，以利排水。
- 7.將廢輪胎擋土牆放入於水族箱中。
- 8.製作最臨界破壞面及地下水位線於水族箱中。
- 9.將背填土放入水族箱中並夯實。
- 10.最後於廢輪胎擋土牆上種植草皮及背填土設計遊憩設施。

步驟一：

準備一水族箱做為模型試體。



步驟二：

準備鐵絲網並設計基礎支架。



步驟三：

廢輪胎填土並夯實。



步驟四：

廢輪胎填土並夯實。



步驟五：

廢輪胎擋土牆組立鋼筋。



步驟六：

填土夯實，放置排水管。



步驟七：

組立鋼筋，製作排水濾網。



步驟八：

放入濾石，以利排水。



圖 13-20 廢輪胎擋土牆模型製作過程

步驟九：

廢輪胎擋土牆逐層夯實過程。



步驟十：

完成廢輪胎擋土牆模型。



步驟十一：

放入基礎土壤並夯實。



步驟十二：

放入廢輪胎擋土牆。



步驟十三：

放入濾網並夯實。



步驟十四：

填入地下水位線及可能破壞面。



步驟十五：

填入背填土並夯實。



步驟十六：

廢輪胎擋土牆種樹木及背填土遊憩設施



圖 21-28 廢輪胎擋土牆模型製作過程

### 三、廢輪胎擋土牆穩定分析

本研究利用 STABL6 軟體作穩定分析，考慮一般地下水位、加載及地震力狀況下來設計廢輪胎擋土牆，採用雙層或多層串聯方式而成的填土式廢輪胎擋土牆取代內填鋼筋混凝土廢輪胎擋土牆，不但能將廢輪胎大量使用於工程上，便能減少廢棄物處理問題如垃圾場之壽命，丟棄場再設置及土地利用分配等問題且能減少混凝土用量與施工成本，更可以紓解更多之廢輪胎。再透過案例計算作進一步驗證並對混凝土擋土牆與廢輪胎擋土牆進行經濟分析，使廢輪胎擋土牆更具可行性。

#### (一) STABL6 軟體分析

廢輪胎設計尺寸為高 3 公尺，底寬 5 公尺，頂寬 3 公尺，廢輪胎內填土砂土，背填土為砂土，基礎土壤為凝聚性土壤，利用 STABL6 程式隨機產生可能破壞面，採用 Spencer 分析方法，程式會自動尋找十個最可能的破壞面的位置，以及滿足平衡條件之最臨界之安全係數並利用軟體分析以求得廢輪胎擋土牆外在影響因素狀況下之可行性。圖 29 為分析 STABL6 程式分析流程圖。

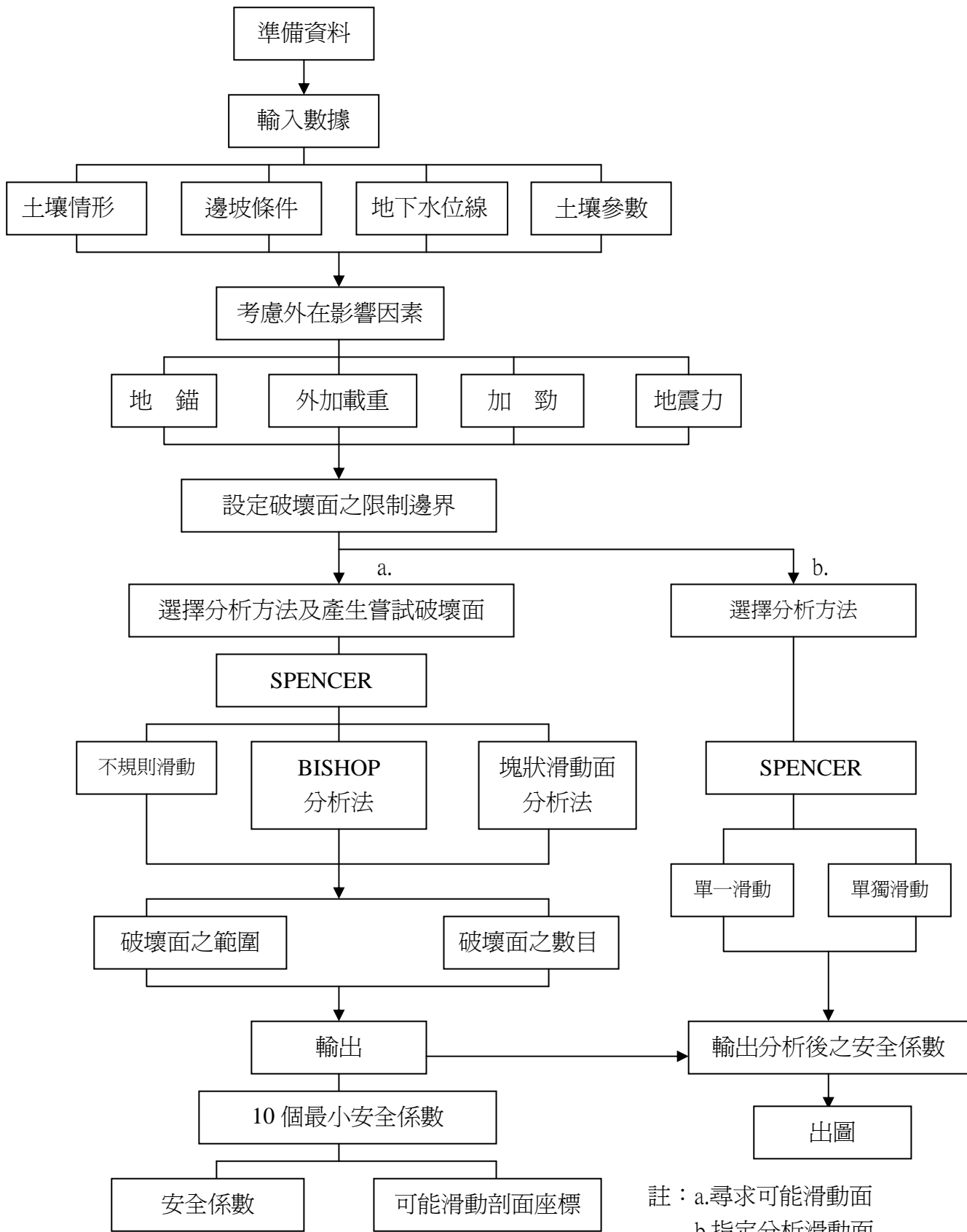


圖 29 STABL6 分析流程圖[7]



## 伍、研究結果

### 一、STABL6 軟體分析

利用軟體分析考慮地下水位於一般狀況其最臨界安全係數為 2.47，介於文獻[8][9]安全係數 1.3-2.6 間，均屬穩定狀態，如圖 30 所示。

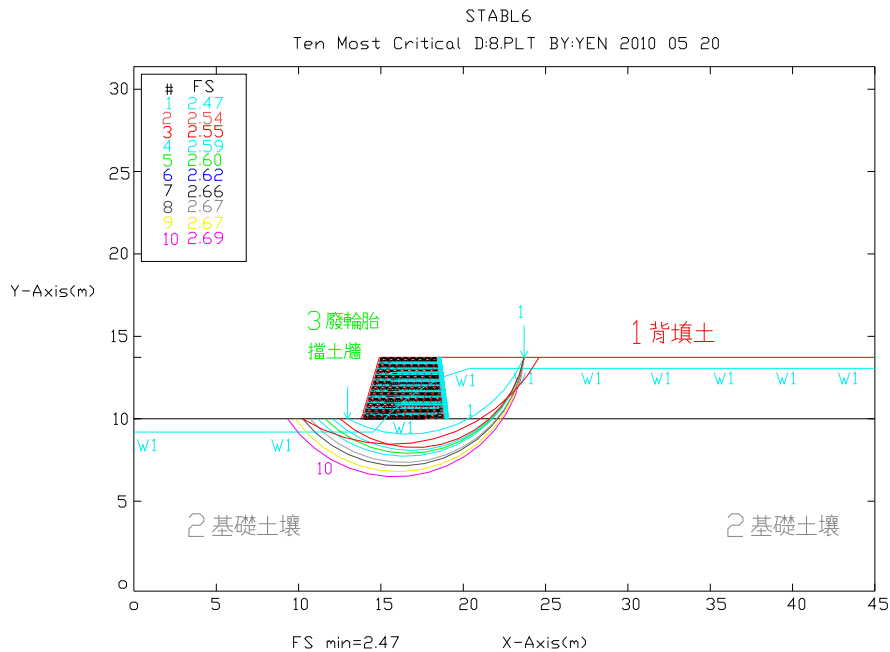


圖 30 考慮地下水位於一般狀況

考慮地下水位於地表利用軟體分析結果最臨界安全係數為 2.27 比地下水於一般狀況之最臨界安全係數約略降低，依據「建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範」之規定地表時其整體滑動之安全係數需大於 1.1[10]，本研究結果其廢輪胎擋土牆仍屬於穩定，如圖 31 所示。

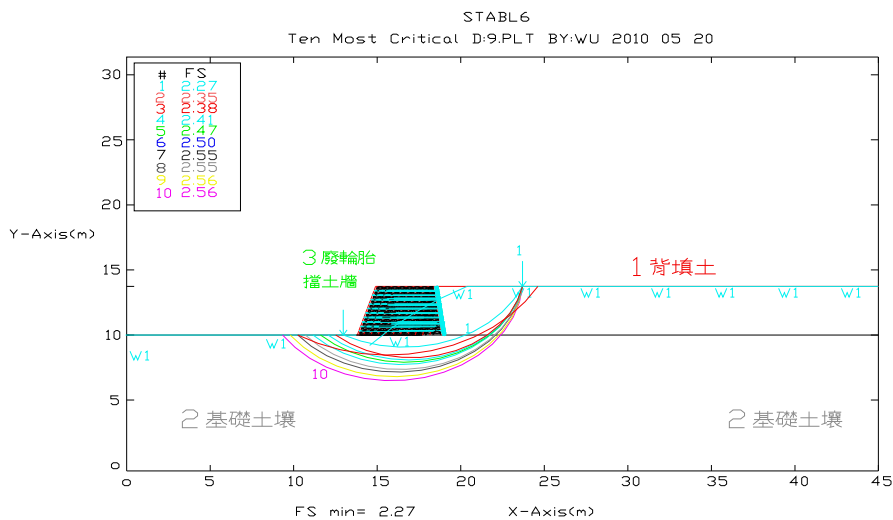


圖 31 考慮地下水位於地表面狀況

依建築技術規則建築構造篇耐震設計規範與解說，本研究考慮水平地震力 0.33g，及垂直地震力 0.15g 相當於地震甲區，並考慮地下水位於一般狀況時且有加載 300kpa 狀況下經軟體分析其最臨界安全係數為 1.05，如圖 32 所示得知，在此狀況下廢輪胎擋土牆仍然穩定。

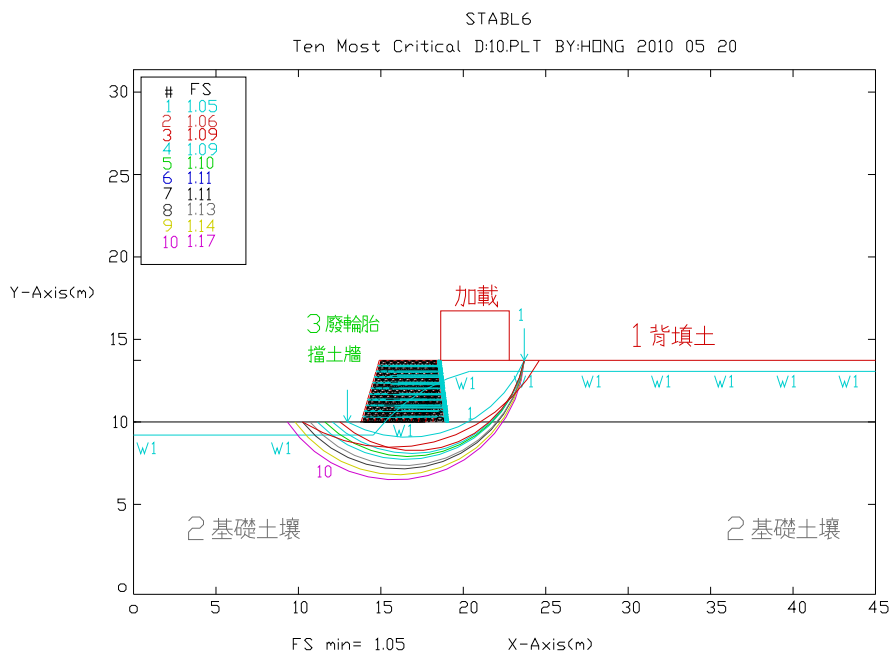


圖 32 考慮地震力及加載狀況

考慮地下水位於一般狀況且加載 300kpa 於廢輪胎擋土牆上方，其最臨界安全係數為 1.83，有大幅提高。如圖 33 所示得知，在此狀況下廢輪胎擋土牆更加穩定。

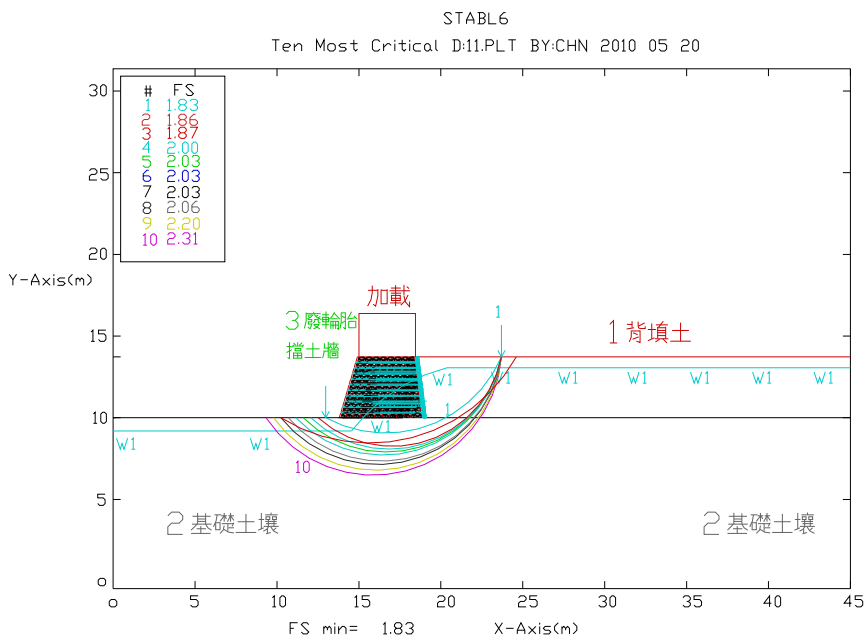


圖 33 考慮地下水位於一般狀況且有地震力及加載狀況

擋土牆後方為背填土，廢輪胎擋土牆本身牆體並沒有比較大的錯動變形，本研究發現填土、夯實之廢輪胎擋土牆造成變形主要是由廢輪胎與廢輪胎之間堆疊之接觸面錯動所造成與廢輪胎之間交接處之剪力強度與廢輪胎擋土牆內部材料穩定性有密切關係，所以本研究將設計廢輪胎擋土牆採用雙層或多層串聯方式而成的填土、夯實廢輪胎擋土牆取代內填鋼筋混凝土廢輪胎擋土牆，便能解決使用混凝土擋土牆的問題。

## 二、範例及分析

設有一廢輪胎重力式擋土牆，則廢輪胎設計尺寸為高 3 公尺，底寬 5 公尺，頂寬 3 公尺，廢輪胎內填砂土，背填土為砂土，基礎土壤為凝聚性土壤，為如圖 34 所示土壤單位重  $20\text{kN/m}^3$ ，依國內文獻得知[11]廢輪胎填砂土壤狀況下  $c=0.388\text{kpa}$ ， $C_u=0\text{kpa}$ ， $\phi=38.8^\circ$ ， $\delta=22^\circ$ ， $\alpha$  為牆背與土之夾角為  $18^\circ$ ， $\beta$  為背填土與水平面之夾角為  $0^\circ$ ，其中背填土  $c=0$ ， $\phi=40^\circ$ ，廢輪胎土壤單位重  $18.17\text{kN/m}^3$ ，廢輪胎擋土牆填土壤重為  $215\text{kN}$ ，其重心距牆後  $1.375\text{m}$ 。試檢核此擋土牆之穩定性並估計基礎下之最大土壓力。

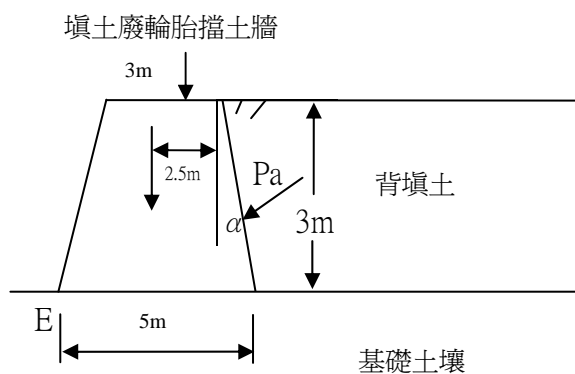


圖 34 廢輪胎擋土牆

### 1. 牆背主動土壓力計算

- (1) 依水土保持技術規範（第一百十三條）規定，節制壩中的輪胎壩規定壩高以 1.5 公尺以下為原則。
- (2) 依水土保持技術規範（第二百五十九條）規定，重力式、半重力式擋土牆、高度為 3 公尺為原則。
- (3) 依水土保持手冊（工程篇）規定擋土牆設計以庫倫主動土壓力係數居多。
- (4) 參考加拿大期刊本研究廢輪胎擋土牆設計高度為  $4\text{m}$ [8]。
- (5) 參考國內文獻得知廢輪胎土壤內剪力強度參數  $c=0.388\text{kpa}$ ， $C_u=0\text{kpa}$ ， $\phi=38.8^\circ$  [11]。

$$k_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\beta - \alpha)} \right]^2} = 0.35$$

$$P_a = \frac{1}{2} k_a \gamma_s H^2 = 31.50 \text{ kN/m}^3 \quad \text{其中 } \tan \alpha = 0.176$$

$$\because \alpha = 18^\circ \quad \lambda = \alpha + \delta \quad \beta = 10^\circ \quad \therefore \lambda = 18^\circ + 22^\circ = 40^\circ$$

$$\begin{aligned} \sin \lambda &= 0.643 & V_a &= 31.50 \times 0.643 = 20.255 \text{ KN/m} \\ \cos \lambda &= 0.766 & H_a &= 31.50 \times 0.766 = 24.129 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

2. 牆前被動土壓力計算：

在一般實務中，若無止滑樁常假設  $P_p = 0$

3. 穩定分析：

(1) 抗滑動穩定分析

$$F_s = \frac{F_r}{F_d} = \frac{W \tan \delta + CuL}{H_a} = \frac{215 \times \tan 22^\circ}{24.129} = 3.6 > 1.5 (ok)$$

(2) 抗傾倒穩定分析（對牆趾 E 點取力矩）

$$F_s = \frac{M_r}{M_d} = \frac{215 \times 2.5}{24.129 \times 1.375} = 16.201 > 2.0 (ok)$$

三、廢輪胎擋土牆經濟分析

利用填土於廢輪胎作為擋土牆進行經濟分析，其尺寸如圖 34，本研究利用混凝土擋土牆及廢輪胎回填混凝土、土壤形成擋土牆，進行經濟分析如表 3、表 4、表 5。

(一) 混凝土擋土牆經濟分析：計算擋土牆其每單位長總體積為  $12 \text{ m}^3/\text{m}$ 。

表 3 混凝土擋土牆經濟分析表[13]

工程項目	單位	工料數量	單價 (元/m)	複價 (元/m)
預拌混凝土	( $\text{m}^3$ )	12	2950	35400
面層處理	( $\text{m}^2$ )	12	600	7200
PVC 洩水管	式	1	1000	1000
技術工	工	7	2500	17500
小工	工	4	2200	8800
零星工料	式	2	500	1000
總計				70900

故一般擋土牆建造經費總計為 70900 元/m

(二)廢輪胎擋土牆經費計算：（廢輪胎填入混凝土）

- 1.廢輪胎填入混凝土大約需要 148 個廢輪胎。
- 2.每一輪胎填混凝土約  $0.06m^3$ 、工料約 10 元，故成本為  $2500 \times 0.06 + 10 = 160$  元。

表 4 廢輪胎填混凝土經濟分析表[12]

工程項目	單位	工料數量	單價（元/m）	複價（元/m）
填混凝土	( $m^3$ )	148	160	23680
PVC 洩水管	式	1	500	500
技術工	工	7	2500	17500
小工	工	4	2200	8800
零星工料	式	2	500	1000
總計				51480

故廢輪胎填混凝土之擋土牆建造經費總計為 51480 元/m。

(三)廢輪胎擋土牆經費計算：（廢輪胎填入土壤）

表 5 廢輪胎填土壤經濟分析表[12]

工程項目	單位	工料數量	單價（元/m）	複價（元/m）
輪胎成本	( $m^3$ )	148	10	1480
填土夯實	( $m^3$ )	12	500	6000
PVC 洩水管	式	1	500	500
技術工	工	9	2500	22500
小工	工	7	2200	15400
零星工料	式	2	500	1000
總計				46880

故廢輪胎填入土壤擋土牆建造經費總計為 46880 元/m。

(四) 結果比較：將上列結果分析結果列於表 6 以作為比較：

表 6 廢輪胎擋土牆結果比較

擋土牆種類	建造經費（元/m）	經濟差額（元/m）
混凝土擋土牆	70900	0
填混凝土擋土牆	51480	少 19420
填土、夯實 廢輪胎擋土牆	46880	少 24020

## 陸、討論

廢輪胎的應用已經研究多年了，本研究得知有很多優點且在環境上確實可以減廢，使資源再利用，若將廢輪胎應用在工程方面，不但符合生態工程且落實生物多樣性保育及永續發展為基礎，工程安全為目的，減少對生態造成傷害的永續工程所以廢輪胎在土木工程上應用，是有參考價值的。以下幾點建議，便可使廢輪胎成為更具經濟價值：

- 一、本研究利用 STABL6 軟體分析廢輪胎擋土牆高度為 3m，尚須考慮地下水位是否為一般狀況，並對水位觀測及排水狀況均應加以注意。
- 二、本研究利用 STABL6 軟體分析時考慮一般地下水位，垂直及水平地震力及背填土加載重則最臨界安全係數值為 1.05，則將設計廢輪胎擋土牆採用雙層或多層串聯方式而成的填土式廢輪胎擋土牆取代內填鋼筋混凝土廢輪胎擋土牆，以防止廢輪胎擋土牆發生錯動狀況，增加穩定性。
- 三、本研究利用 STABL6 軟體分析時廢輪胎擋土牆、基礎土壤及背填土之剪力強度參數值極為重要，僅限地質穩定地區，地質不穩定或水溝護岸應填入鋼筋混凝土，並配合混凝土底座以防傾倒。
- 四、本研究廢輪胎擋土牆之土壤為砂土，其剪力強度參數值是參考國內做實驗求出參數值對廢輪胎擋土牆之穩定性能更符合國內之狀況，所以本研究是有參考價值。
- 五、在廢輪胎擋土牆設計中，可針對不同地質條件或地震與地下水條件狀況下，及不同工程上用途採用各種類型廢輪胎擋土牆，設計出符合各種地形變化之擋土牆且具施工性與經濟性，更可融入加勁材料或鋼軌樁等材料，以期望增加廢輪胎擋土牆之穩定性。
- 五、廢輪胎在各種工程上應用時，建議當配合植草及懸垂型植物，最上層可覆土植栽，本研究之廢輪胎擋土牆模型也符合設計原則，既可美化又可增加穩定性。

## 柒、結論

本研究結果，可歸納如下之結論：

- 一、利用軟體分析廢輪胎擋土牆在地下水位於一般狀況下分析 3m 是可行的，依據內政部營建署「建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範」之規定安全係數大於 1.1，本研究之安全係數分析結果為 2.47，廢輪胎擋土牆仍屬穩定，本研究可作為未來設計廢輪胎擋土牆之參考。

- 二、利用軟體分析時，考慮一般地下水位及地震力及背填土加載狀況則廢輪胎擋土牆，分析時安全係數為 1.05，所以地震力及加載作用對廢輪胎擋土牆仍屬穩定。
- 三、填土夯實廢輪胎擋土牆成本比混凝土擋土牆成本低很多，將廢輪胎擋土牆應用於土木工程上不但有助於大量減少處理問題，也符合生態工程是值得推廣。
- 四、廢輪胎擋土牆需注意夯實及透水性問題，均應設  $\phi 5\sim 7.5\text{cm}$  之洩水孔，每  $4\text{ m}^2$  至少一處，並設有濾水設施。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應在牆後置特別排水設施。
- 五、廢輪胎擋土牆宜配合設置沉陷板長期追蹤觀測其沉陷變形。

## 捌、參考資料及其他

- 一、黃秋燕，廢棄物的處理談我國廢輪胎回收再利用問題，台灣經濟研究月刊第十六卷第十一期，p.112-115，民 82。
- 二、李文勳，基礎工程學，第十七版，台北市，科技圖書公司，p388-p399，民 85。
- 三、施國欽，大地工程學（二），第四版，台北市，文笙出版社，p.1-66-1-68，民 93。
- 四、施國欽，大地工程學（二），第四版，台北市，文笙出版社，p.1-30，民 93。
- 五、黃正義等，廢輪胎原型利用之結構安全及環保效益研究，行政院環境保護署，民 89。
- 六、林辰雄，民 92，「廢棄輪胎在水土保持工程的應用」，碩士論文，國立東華大學自然資源管理研究所，p70-p72。
- 七、葉時清，民 91，「岩石邊坡穩定之斷裂力學分析」，碩士論文，國立成功大學資源工程學系，p36-p39。
- 八、Tire-reinforced earth fill, Part1 : Construction of a test Fill, performance, and retaining wall design, 2000 NRC Canada, pp.70-90.
- 九、Imad A. Basheer, Yacoub M, Najjar, Robert W. Day, “Slope Stabilization Using Old Rubber Tires and Geotextites” , Journal of Performance of Constructed Facilities, Feb 1996, pp.40-50.
- 十、內政部營建署，建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範，民 87。
- 十一、戴志光，民 91，原型廢輪胎剪力強度參數之研究，碩士論文，國立台北科技大學土木工程與防災研究所，p11-p86。
- 十二、楊新乾，營建工程工料單價分析手冊，初版，台北市，詹氏書局，p.4-60-4-64，民 92。

## **【評語】 091201**

- 1.主題與環保再生資源相符。
- 2.建議於熟稔應用程式之運用後，探討不同尺寸擋土牆，可驗證其經濟性與實用性。