

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

土工合成材加勁護岸之穩定性研究(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-002-009-

執行期間：93年08月01日至94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

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

地工合成材加勁護岸之穩定性研究(2/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC — 93 — 2211 — E — 002 — 009
執行期間： 93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳 榮 河
共同主持人：
計畫參與人員： 何 嘉 浚 、 謝 恩 賜

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位： 國立台灣大學土木工程學系

中 華 民 國 94 年 5 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

土工合成材加勁護岸之穩定性研究(2/3)

計畫編號：NSC 93-2211-E-002-009

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：陳榮河 台灣大學土木工程學系

摘要

近年來由於生態意識日益受到重視，因此河川護岸工程之設計除了考慮構造物的安全性之外，對現地生態環境的考量也是相當重要的一環，而土工合成材加勁護岸除了具有生態環境營造上的優點之外，亦具有頗佳之長期穩定性。然對於加勁護岸因水位變化，造成水流進出(承受雙向循環水流)，或長期浸泡於水中，相關設計參數之研究，目前仍付之闕如，故有待進一步研究。

本計畫主要以試驗的方式，分別於國內及法國的實驗室中以可模擬實際土工合成材加勁護岸承受雙向循環水流的設備進行一系列的試驗，國內試驗部份係採用第一年自行研發之雙向循環水流試驗儀，探討土工合成材加勁護岸於不同覆土載重作用下(即不同深度處)之沖蝕行為，並將試驗所得之初步成果配合法國之大型水槽試驗，藉此獲知其受力及變形機制，並建立適宜之分析模式及設計準則。

本報告為第二年之研究成果，主要研究內容為訂定雙向水流試驗準則，並提出初步試驗結論。

關鍵詞：土工合成材、護岸、過濾、雙向循環水流

Abstract

Scouring has been a severe problem of the riverbanks in Taiwan. Building high embankments is often adopted as a viable measure for this purpose. These concrete structures, however, may cause considerable impacts on the environmental and are not reliable under long-term scouring.

On the other hand, reinforced revetments using geosynthetics not only easily fit well with the environment but also have better long-term stability compared with conventional concrete structures. Yet, the design parameters for chronically submerged reinforced slopes subjecting to bi-directional cyclic flows are not known clearly.

In this project, a series of laboratory tests are performed in Taiwan and France, separately. In Taiwan, the apparatus that was developed in the first year of this project is used to study the erosion mechanism of a soil/non-woven system subjected to bi-directional cyclic flows. In France, a large-scale flume test is used to conduct experiment on a simulated model of reinforced revetment. From the results of the tests, appropriate analytical model and design criteria will be developed accordingly.

This report is the result of the second year study. It proposes the experiment standard for bi-directional flow test and presents preliminary results of the bi-directional flow test and the flume test.

Keywords: geosynthetics, revetment, filtration, bi-directional cyclic flow.

一、研究動機、目的與方法

土工合成材應用於河岸之保護，由於其兼具加勁及過濾的功能，又具有多孔性，可於護岸表面植生綠化，故對於景觀及生態環境之營造有其助益，因此於國內外之使用日益普及。

目前對於加勁護岸的設計大多僅考慮結構之穩定性，而忽略其過濾性能之影響；然護岸一旦喪失透水效果，土壤內部之滲流水壓將無法排除而累積於坡體，造

成水壓力增加，此可能導致加勁護岸之破壞；而且護岸內之滲流行為易使土壤顆粒產生移動，若土工合成材無法阻止土體流失，亦會造成護岸產生沉陷及變形。

本研究的目的是針對土工合成材應用於加勁護岸，進行綜合研究；配合適當的試驗結果，建議合理之設計參數，以期能將符合生態工法之土工合成材加勁護岸或土堤更適宜地運用於河岸之保護。

二、土工合成材過濾機制

一個良好且穩定的土壤—土工織物過濾系統，須有適當的土工織物開孔徑與土壤粒徑之配合方得形成。不當的組合可能造成下列兩項結果(吳朝賢，1990)：

1. 土工織物的開孔徑過大導致土粒的嚴重流失：土壤—織物間過濾層的形成過程中，部份粒徑較小的土壤將通過織物而流失；土壤之均勻係數(coefficient of uniformity)及平均粒徑常為設計過濾排水設施時，選取濾材的重要因素。
2. 土工織物的開孔徑過小形成嚴重的阻塞或遮蔽：當織物開孔徑和土壤粒徑不相配合時，土粒阻擋於織物前方之現象會相當嚴重，而導致織物滲透性降低，甚至低於原狀土壤，造成過濾系統喪失功能，並造成孔隙水壓的升高。

因此將土工織物運用於過濾功能時，除了要考量土體內的水是否能順利排出之外，亦須考量是否能有效的阻擋土壤，不使其隨著水流而排出，進而產生管湧的現象。

Rollin et al.(1988)曾就土工織物埋置於土中，土壤顆粒隨著水流移動所造成的現象說明如下：

1. 阻塞(clogging)：小於織物孔徑的土粒隨著水流進入織物內部，堆積於纖維之孔隙中，造成有效排水斷面減少或拉長排水路徑，致使流量減少，降低排水功效(詳圖 1)。
2. 堵塞(blocking)：當土粒等於或略大於織物孔徑時，土粒會嵌入織物的表層，阻礙水流順利排出。此現象通常發生於較薄的織布或熱熔不織布(詳圖 2)。

3. 遮蔽(blinding)：當粗顆粒受到織物的阻擋而堆積於織物表層時，便遮住了細顆粒向織物流動的通路，造成細顆粒在粗顆粒後方堆積，並逐漸形成一低滲透性的薄層，進而阻斷了水流；另外，土壤細顆粒因水流的帶動而逐漸填塞於粗顆粒間之孔隙，致使土壤之滲透性降低，亦稱之為遮蔽(詳圖 3)。

三、試驗設備

本研究所進行之試驗分為二部份，第一部份於台灣大學進行雙向水流試驗儀試驗，另一部份於法國進行大型水槽試驗。茲分別說明試驗設備如下：

1. 雙向水流試驗儀：主要由汲水泵浦、蓄水槽、壓克力試體室及加壓系統四大部份所組成。(1)汲水幫浦主要為打水及抽水功能，以模擬雙向水流的情形，其最大功率須足以於短時間將蓄水槽內的水送至試體室內，並完全淹沒試體後，再於短時間內將試體內的水抽出模擬快速排水的情形。同時，幫浦加壓的速度需可以控制，以模擬不同水流速度。(2)蓄水槽最主要的功能為蓄存試驗時所需的水量，並蒐集被水流帶出之土壤顆粒。(3)壓克力試體室則為裝填試體之用，試體室內逐層填入粗粒料、土工合成材及土壤，並分別於四個不同高度處裝設閥門，以量測不同位置之水壓變化情形。(4)加壓系統則採用油壓加壓設備。試驗儀器詳圖 4。
2. 大型水槽試驗：主要設備為一大型鋼製水槽，其尺寸為：長 8m×寬 1m×高 1.5m(詳圖 5)。水槽的一端配有造波器，可產生不同能量及頻率之波浪，以模擬河川之實際情況。水槽的另一端則設有變形量測系統，係採用三個鈹鋼捲線器，分別連接於可前後左右滑動之滑桿及可上下伸縮之量測管。試驗時將量測管末端接觸於量測點之後，按下自動記讀系統之開關，便可記錄三方向鈹鋼線伸長之長度，藉此量得該量測點之座標，試驗時對同一量測點進行多次量測，便可記錄其變形情形。

四、試驗材料

本研究主要的試驗材料包括土壤及土工合成材。兩試驗所採用材料之基本特性如下：

1. 雙向水流試驗：採用越南砂，並控制其相對密度為 30%，所對應之乾單位重 $\gamma_d = 14.7 \text{ kN/m}^3$ ，摩擦角 $\phi = 30^\circ$ ，及滲透係數 $k = 14.6 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ ；土工合成材則採用針軋不織布，材料之基本特性詳表 1 之不織布 A。
2. 大型水槽試驗：土壤為河岸沖積土壤，粒徑分佈詳圖 6，土壤分類屬 SM，其乾單位重 $\gamma_d = 16.1 \text{ kN/m}^3$ ，摩擦角 $\phi = 24^\circ$ ，凝聚力 $c = 0.87 \text{ kPa}$ 。採用之土工合成材為雙層針軋不織布，其基本特性詳表 1 之不織布 B。另為模擬現地加勁護岸之回包施工方式，故於試驗前先將土工合成材加工成一袋狀，再將袋內土壤回填並夯實。

五、雙向水流試驗規劃

控制越南砂之相對夯實度為 30%，並採水中實降的方式，逐層填築越南砂於試體室內，以確保試體之飽和度(詳圖 7)，隨後於試體頂部施加垂直荷重，即分別施加 375kg、500kg 及 750kg，以模擬於不同覆土深度處土工合成材之沖蝕行為。

待試體達到飽和並壓密完成，土體內部無殘留超額孔隙水壓之後，便可開始進行雙向循環水流試驗：利用汲水幫浦加壓將水打入並淹沒試體後，隨即解壓使水流出試體，此稱之為一循環水流週期，本試驗採用固定之循環水流速率為 90 秒一週期，並持續進行 1500 週期；或試體頂部於連續 500 週期作用下無沉陷量發生時，便停止試驗。

試驗過程中採用自動記讀系統，連續記錄不同位置之水壓力變化，同時監測試體頂部發生之沉陷量。試驗結束後，則分別採取試體底部，中間及頂部之土樣，進行粒徑分析，以瞭解土壤受雙向循環水流作用的顆粒移動情形，並蒐集被淘刷而停留在水槽內之土壤，以記錄沖蝕量。

雙向水流試驗結果如下：

1. 沉陷歷時曲線：由圖 8 可得知，試驗週期數達到 1500 次，沉陷量便不再有明顯的變化，此時土壤-土工織物過濾系統即達到穩定狀態。三種不同荷重的作用下，所造成的最終沉陷量均約為 0.3mm，且具有相似之沉陷歷時曲線，即約前 50 個週期數便已經發展近 95% 以上的沉陷值。
2. 水壓力歷時曲線：由圖 9 可得知於試驗過程中，水壓力隨著反覆循環水流的作用而產生規律的變化，表示於試驗過程中，土壤顆粒的移動並不明顯，即沒有造成阻塞、堵塞及遮蔽現象，因此試驗內部之滲透係數均維持定值，水壓力便隨著孔隙水的流入與流出產生規則的變化。
3. 粒徑分佈情形：圖 10 為不同荷重作用下，不同位置取樣之粒徑分佈曲線圖。比較試驗前後之粒徑分佈曲線可以得知，試驗後的粒徑分佈曲線幾乎與初始曲線一致，表示不論荷重大小，越南砂在雙向循環水流試驗過程中均沒有產生顆粒移動的情形，此現象與水壓力歷時曲線所得之結果相同。
4. 沖蝕量：經蒐集被淘刷而停留於水槽內之土壤數量：當荷重為 375kg 時，沖蝕量為 0.9g；荷重為 500kg 時，沖蝕量為 1.1g；荷重為 750kg 時，沖蝕量為 0.5g。由試驗結果可以發現沖蝕量均相當少。

六、大型水槽試驗規劃

為模擬實際河川護岸之外觀，故於試驗水槽內預先填築一 2:1 之穩定邊坡，坡面則以混凝土塊保護，以模擬現地之消坡塊或拋石，並將預先加工成長 1m x 寬 1m x 高 0.4m 之土工合成材砂袋放置於坡頂後，將土壤以最佳含水量 ($OMC = 18.6\%$)，及最大乾密度 ($\gamma_{d,max} = 17.5 \text{ kN/m}^3$) 的原則，逐層於袋內填土並夯實(詳圖 11)，並於護岸頂部擺置混凝土塊，以模擬地表載重。

砂袋填築完成之後，於水槽內注滿水並靜置 48 小時，使土壤達到飽和。隨後啟動造波器，造波器之頻率固定為 10Hz，並改變造波器能量，使其分別產生 150mm、

250mm 及 350mm 之波高，以模擬不同浪高拍打護岸之情形。

試驗過程中啟動自動記讀系統，記錄埋置於土體內部不同位置之兩水壓計讀數，同時於固定時間量測護岸之變形，並在靠近護岸面處取水，進行水中混濁度分析，以瞭解試驗過程中，土壤被淘刷的情形。本試驗採用 Hach 公司所製造之濁度儀來測定水中混濁度，並以 FTU(Formazin Turbidity Units) 為混濁度單位，若水中含愈多之懸浮物質，則 FTU 值愈高。試驗完成後，分別取不同位置之土壤進行粒徑分析試驗，以瞭解試驗前後顆粒之分佈變化情形。

大型水槽試驗結果如下：

1. 水中混濁度歷時曲線：由圖 12 可以得知，當波浪衝擊能量愈大，水中混濁度 (FTU) 愈高，表示對護岸之侵蝕情形愈嚴重，且侵蝕的時間也愈長。一般而言，於試驗剛開始時之侵蝕情形最嚴重，而隨著試驗時間的增長，侵蝕情形有漸趨於穩定的現象。然於 FTU 值已達穩定之後，若提高波浪衝擊能量，則水再度變得混濁，FTU 值快速增加，表示土工合成材內之土壤再度被濾出；但同樣隨著時間的增加，FTU 值愈來愈低，水愈來愈清澈。在較大的波浪衝擊能量作用下，FTU 下降至穩定時所需的時間較長，且所達到之穩定值亦較高。
2. 土中水壓力歷時曲線：量測結果如圖 13，第一組水壓計 (Press-01) 的埋設位置為牆後 20cm，袋底上方 15cm；第二組水壓計 (Press-02) 為牆後 5cm，袋底上方 10cm。由試驗結果可知，Press-02 之水壓力振幅大於 Press-01，此表示愈靠近牆面之水壓力受潮汐變化之影響愈大；而隨著波浪能量的增加，水壓力的振幅亦隨之提高，使 Press-01 與 Press-02 之振幅愈接近，顯示潮汐變化對水壓力的影響範圍增大：當 $E=350\text{mm}$ 時，Press-01 與 Press-02 之水壓力振幅近乎相等。由 Press-02 之水壓力分佈圖發現其振幅相當穩定，顯示於牆面處之土工合成材過濾行為良好，即無阻塞或堵塞

的現象發生；而 Press-01 於低能量 ($E=150\text{mm}$) 作用下，水壓力有逐漸增加的趨勢，表示土壤有遮蔽的現象發生，而且水壓力呈現跳動的趨勢，表示該遮蔽行為並非十分穩定，一但能量提高，則有可能破壞遮蔽現象，而下降至與試驗前相當之水壓力。同時，在高能量作用下，遮蔽現象不易發生。

3. 牆體變形行為：土工合成材加勁護岸牆之牆頂佈設有二十點沉陷觀測點 (T01~T20)，牆面亦佈設二十個變形觀測點 (F-01~F-20，詳圖 14)。由圖 15 可知，波浪作用初期產生較大沉陷量，且隨著作用時間的增加而漸趨於緩和，但波浪衝擊能量增加，則沉陷亦會增加。整體而言，最大沉陷量發生於牆面處，距離牆面愈遠則沉陷量愈小，且幾乎不受波浪衝擊能量的影響。同時，牆體兩側由於角隅效應的影響，沉陷小於牆中央附近之變形量。圖 16 顯示牆面之水平位移，其變形行為較複雜，原因在於牆面的變形除了水平方向的位移之外，亦伴隨著產生垂直方向的變形，故其變形歷時曲線較不規則。然由實驗結果亦可發現，隨著試驗時間的增長，變形有增加的趨勢，且漸趨平緩；而愈高的波浪衝擊能量，產生的變形量愈大，由圖中可以得知，最大變形量發生於牆底處附近。
4. 粒徑分佈：分別取牆面處 (S01) 及距離牆面處 10cm (S02)、20cm (S03) 及 30cm (S04) 處之土壤進行篩分析 (詳圖 17)，由圖中可知粗顆粒土壤之粒徑分佈曲線大致相同，表示粗顆粒土壤大都停留於土壤內部，並未被濾出或移動。另取細粒土壤進行粒徑分析 (詳圖 18)，可以得知位於牆面處 (S01) 之細顆粒含量較少，顯示細顆粒土壤遭到沖蝕並濾出；而距離牆面 10cm 以後的細顆粒土壤粒徑分佈曲線與試驗前大致相同，顯示細顆粒土壤並未遭到濾出。然是否產生移動的現象？尚待進一步之試驗證實。

七、試驗初步結論

1. 雙向水流試驗儀可以施加荷重，故可用

於模擬地工合成材加勁護岸位於不同深度處之沖蝕情形，且由於試驗規模較小，故準備試體之時間短，且試體夯實密度容易控制。

2. 雙向水流試驗所採用之越南砂，其粒徑較大且大小均勻，故不易被淘刷，因此試驗前後之水壓力或粒徑分佈，均不受影響。
3. 由於越南砂不易被淘刷，故不論所施加之荷重值大小，試驗結果均不會受到影響，因此若欲得知荷重對地工合成材淘刷的影響，應採用各尺寸顆粒分佈平均之現地土壤進行試驗。
4. 大型水槽試驗採用現地土壤，其各尺寸之顆粒分佈平均，而細顆粒土壤因反覆水流的作用被淘刷析出，因此產生沉陷及牆面變形。
5. 大型水槽試驗時，離牆面較遠之水壓計(Press-01)其水壓力振幅變化不大。然在低衝擊能量作用下，近牆面之水壓計(Press-02)其水壓力有提高的現象，但並非持續提高，而是呈現上下起伏的情形，經研判應為土壤產生遮蔽(blinding)的現象，然該遮蔽現象並非十分穩定，一旦被破壞，水壓力便會下降，土壤顆粒又產生移動，再重新形成遮蔽，使水壓力又再次提高。然隨著波浪衝擊能量的增加，此遮蔽現象形成不易，便不再發現有因遮蔽而產生水壓力增加的情形。
6. 愈靠近牆面處，細顆粒含量降低，顯示細顆粒有被濾出的現象；然愈深入牆體，粒徑分佈曲線並不因試驗而產生改變，顯示細粒料較不易被濾出。
7. 由雙向水流試驗及大型水槽試驗均可發現，於試驗初期便會產生大部份的沉陷量，且隨著時間，此沉陷量會趨於緩和。

八、未來研究方向

1. 本研究未來預計採用數種不同級配的現地土壤來進行雙向水流試驗，藉此研判不同粒徑分佈土壤在不同荷重作用下之沖蝕情形。
2. 選取數組不同性質之地工合成材，並分

別進行雙向水流試驗及大型水槽試驗，以獲知不同地工合成材承受雙向水流作用下之沖蝕行為，藉此評估適用於河川護岸之地工合成材種類及材料特性。

3. 依據試驗數據整理及歸納結果，進行分析與討論，藉此研判地工合成材加勁護岸之受力及變形機制。
4. 進行數值分析，同時藉由數值分析所得的結果，建立適合的材料組成律，及進行參數分析。
5. 綜合整理試驗及數值分析所得的結果，評估地工合成材加勁護岸之受力及變形機制，同時藉由參數分析結果提出相關設計參數之建議，最後，彙整三年來之研究成果及心得，提出研究報告。

九、參考文獻

- [1]. 吳朝賢(1990)，地工織物過濾功能之應用考量，地工技術雜誌，第32期，41-45頁。
- [2]. 吳朝賢、蔣克成(1999)，反覆水流對土壤—地工不織布過濾系統行為之研究，第八屆大地工程學術研究討論會論文集，1979-1992頁。
- [3]. 單信瑜、周廷彰、王屋樑(1997)，滲流條件對地工織物濾層行為之影響，第七屆大地工程學術研究討論會論文集，681-688頁。
- [4]. ASTM D4491-92 (1992), *Standard test method for water permeability of geotextile by permittivity*, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04, 08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. 803-807
- [5]. ASTM D4716-87 (1993), *Standard test method for constant head hydraulic transmissivity (in-plane flow) of geotextiles and geotextiles related products*, ASTM Standards on Geosynthetics, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. 53-56.
- [6]. Cazzuffi, D., Mazzucato, A., Moraci, N., Tondello, M. (1999), *A new test apparatus for the study of geotextiles*

behavior as filters in unsteady flow conditions: relevance and use, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 17, pp. 313-329.

- [7]. Koerner, R. M. (1997), *Designing with Geosynthetics - Fourth Edition*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [8]. Rollin, A., Andrel, L. and Lombard, G. (1988), *Mechanisms Affecting Long-Term Filtration Behavior of Geotextile, Geotextiles and Geomembranes*, Vol.7, pp.119-145.

十、計畫成果自評

1. 訂定最佳之試驗準則及規範

依據所選用之材料性質及蒐集資料之心得，訂定最佳之試驗準則及規

範，包括：試體準備方式、最佳試驗流程、試驗項目、試驗時間、水流週期、水頭高度、荷載大小等。

2. 雙向度水流試驗進行

遵循前述訂定之最佳試驗準則及規範，進行雙向度水流試驗，並於試驗過程中觀察各試驗細節，並進行試驗設備的修改或試驗流程及項目的更動。

3. 試驗數據整理及歸納

依據試驗所得結果進行試驗數據整理及歸納，並提出初步研究成果。

綜合評估本研究第二年工作項目已完成預期之研究內容，且研究時程亦符合要求。

表 1 土工合成材之基本特性

	單位	符號	不織布 A	不織布 B
特徵開孔徑(Characteristic opening size)	μm	O _{90,w}	60	80
正向導水係數(Permeability normal to the plane)	m/s	VI _{H50}	0.08	0.06
伸長率(Elongation)	%	ε _{max}	88.8	85
CBR 穿刺阻抗(CBR puncture resistance)	kN	P _s	—	2
落錐試驗值(Dynamic perforation - cone drop test))	mm	P _d	—	13
抗張強度(Tensile strength)	kN/m	T _{max}	12	23
平面水流能力(Water flow capacity in the plane)	m ² /s	Q/I	—	7.0×10 ⁻⁶
質量(Mass)	g/m ²	μ _{GT}	300	400
厚度(Thickness, 2kPa)	mm	t _{GT}	2.5	3.5

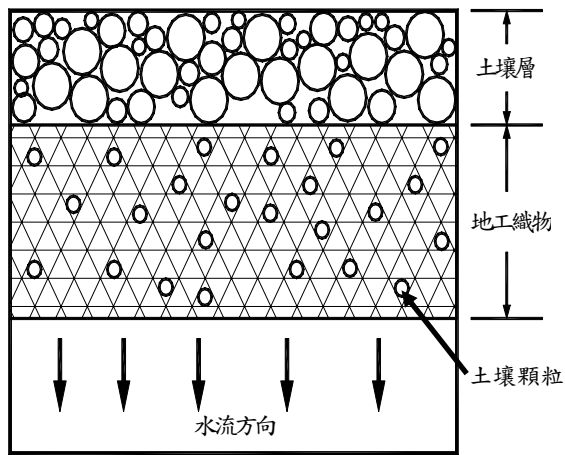


圖 1 阻塞(clogging)機制示意圖

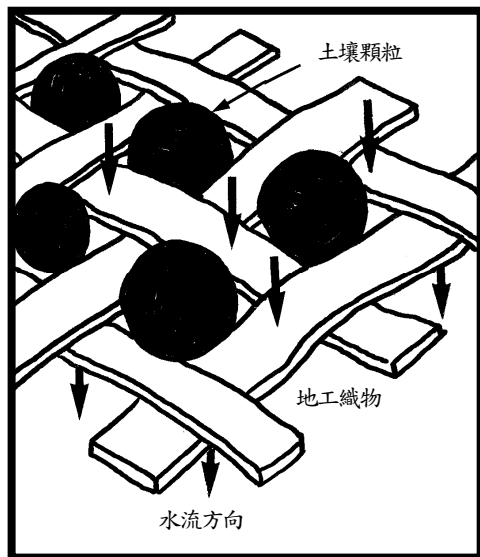


圖 2 堵塞(blocking)機制示意圖

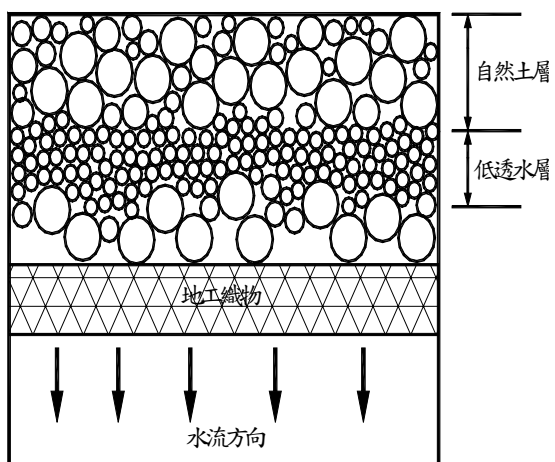


圖 3 遮蔽(blinding)機制示意圖



圖 4 雙向水流試驗儀



圖 5 大型水槽照片

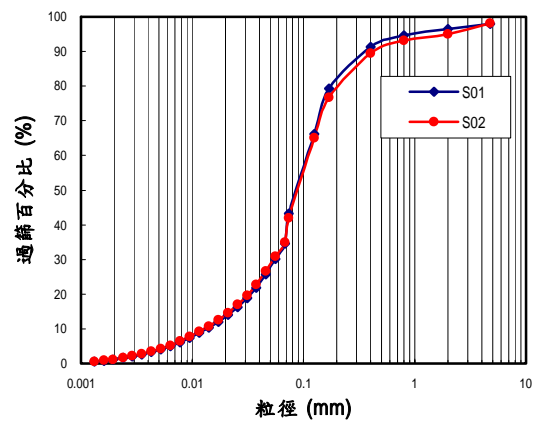


圖 6 大型水槽試驗土壤粒徑分佈圖



圖 7 雙向水流試驗之試體填築情形

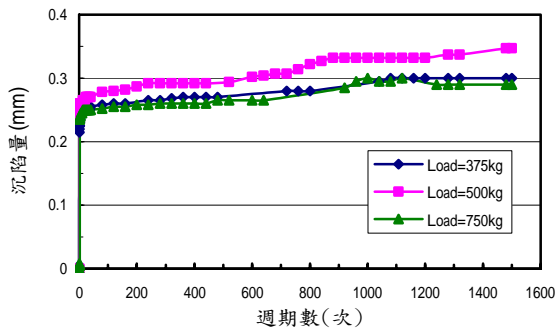


圖 8 雙向水流試驗之沉陷歷時曲線

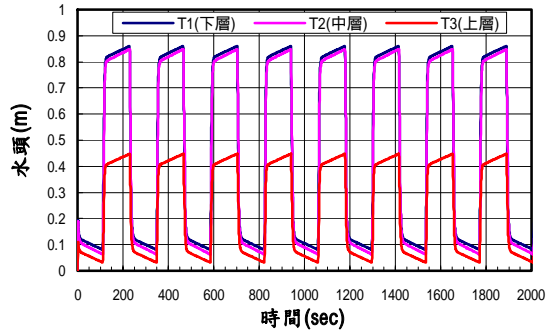


圖 9 雙向水流試驗之水壓力歷時曲線

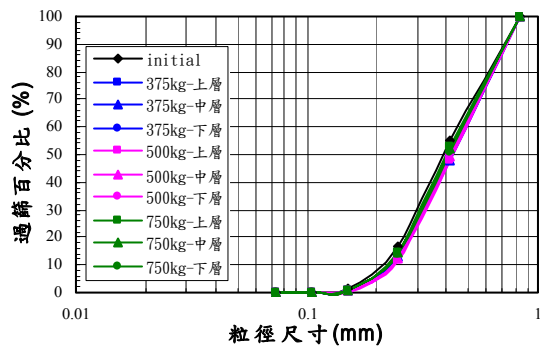


圖 10 雙向水流試驗之粒徑分佈曲線

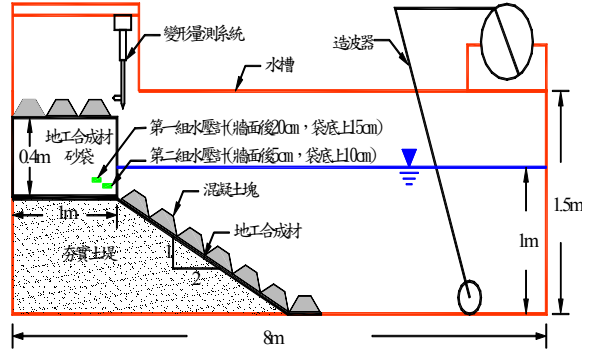


圖 11 水槽試驗設備示意圖

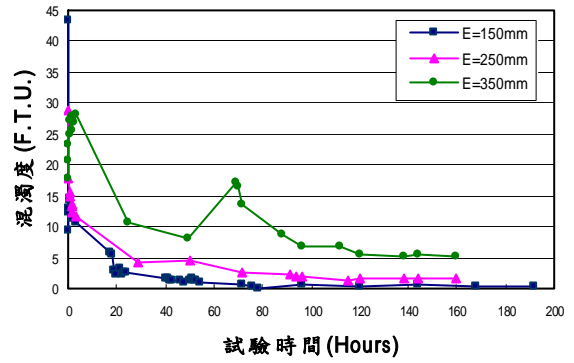


圖 12 水槽試驗之水中混濁度歷時曲線

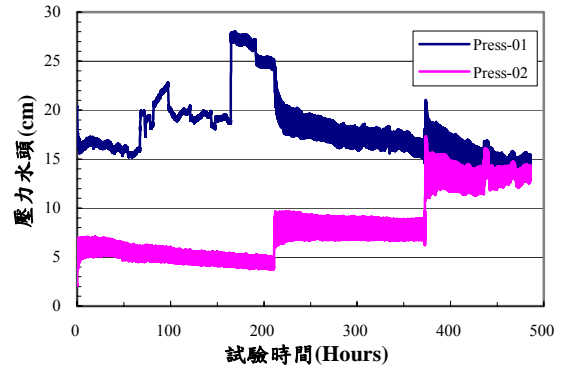


圖 13 水槽試驗之水壓力歷時曲線

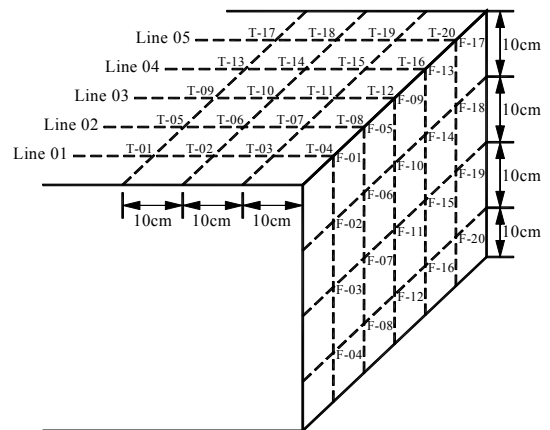


圖 14 土工合成材砂袋牆變形觀測點佈設圖

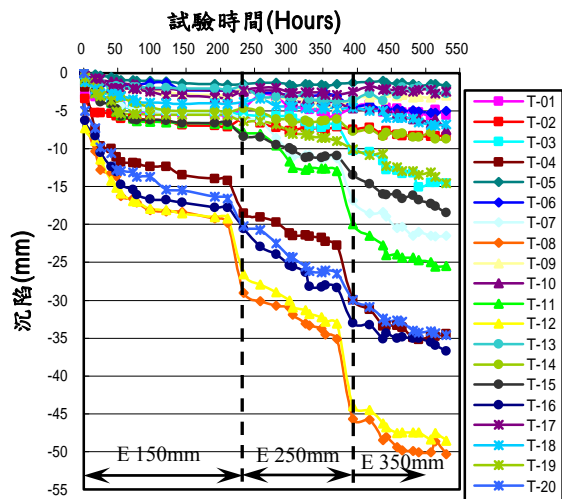


圖 15 水槽試驗之沉陷量歷時曲線

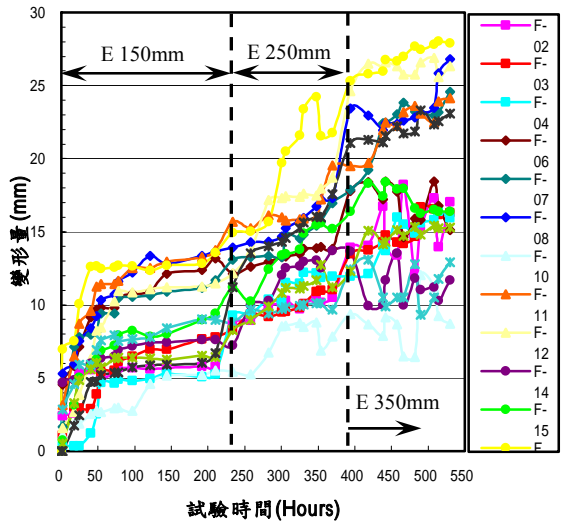


圖 16 水槽試驗之牆面變形歷時曲線

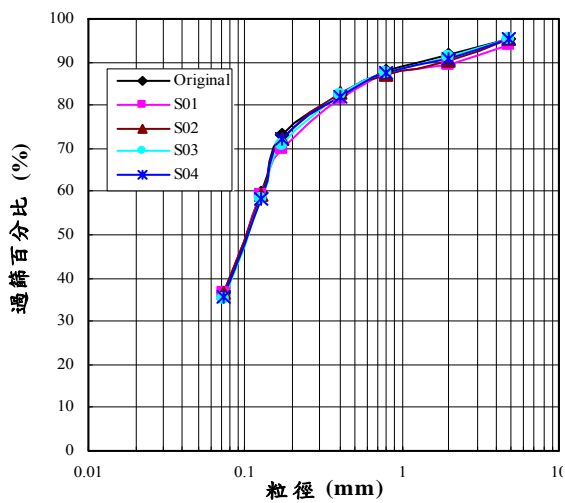


圖 17 水槽試驗前後之粗粒土壤篩分析結果

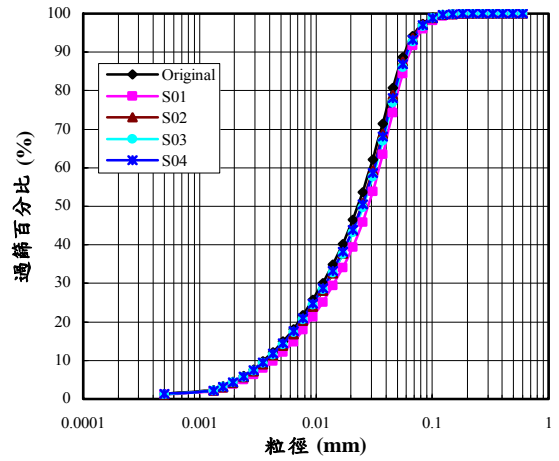


圖 18 水槽試驗前後之細粒土壤粒徑分析結果