

土工格網鋪設的長度與間隔對加勁擋土牆穩定性之影響

李宜珊¹、蔡佩勳¹、賴柏緯¹

¹朝陽科技大學營建工程系

E-mail: s9811642@cyut.edu.tw

國科會計畫編號: NSC 98-2622-E-324-006-CC3

摘要

本研究利用一個自行研發的加勁擋土牆分析與設計的軟體 REWALL 來分析土工格網鋪設的長度與間隔對加勁擋土牆穩定性之影響。REWALL 具有圖形化的使用者介面，使用者在輸入視窗中輸入土壤與擋土牆基本資料，然後進行擋土牆之內部、外部及整體穩定分析，再將分析結果輸出。由本研究分析結果顯示，當地土工格網鋪設的長度與擋土牆高度的比值(L/H)等於 0.5 時，抗傾倒安全係數已經符合規定值 $F.S \geq 2.0$ 。當牆底土壤為砂(摩擦角 $\phi=30^\circ$)且 L/H 等於 0.75 時，抗滑動安全係數已經符合規定值 $F.S \geq 1.5$ ；若牆底土壤為粘土且 $\phi=0^\circ$ 、凝聚力 $c=5 \text{ t/m}^2$ ，則 L/H 需取 0.75 以上，若 $\phi=0^\circ$ 、 $c=10 \text{ t/m}^2$ ，L/H 需取 0.5 以上，抗滑動安全係數可符合規定值。當 $\phi=30^\circ$ 或 $c=5 \text{ t/m}^2$ 時，承载力安全係數可符合規定值 $FS \geq 2.0$ 。當加勁材料的間隔小於 0.5m 時，抗斷裂安全係數及抗拔出安全係數都可滿足 $FS \geq 1.5$ 之要求。

關鍵詞：加勁擋土牆、土工格網、邊坡穩定、電腦輔助計算。

1. 前言

台灣山坡地有愈來愈多的坡地社區或別墅，由於受限於地形高低起伏，如果要開發成社區必須進行大規模之挖填方，以整出較為平坦且可供建築之用地來。在坡地開發或其整治中，常輔以擋土結構以增加其穩定性，而加勁擋土牆可說是其中的一種設計工法。加勁土壤結構，主要觀念是在土壤中加入可提供張力之加勁材料，藉土壤與加勁材料之互制作用，將土壤所承受之張力傳遞給加勁材料，以束制土體之變形，進而達到加勁及整體穩定效果。近年來，由於土工合成材料在品質與技術上的提昇，使得土工合成材的應用範疇更加廣泛。其中土工格網在加勁工程應用上，因其施工簡單、造價低廉、具柔性吸能耐震能力，且能達到安全之要求，為國內外土木工程界所接受。

在現今的社會中，資訊的發展帶動各行各業的進步，土木工程亦是如此。加勁擋土牆設計是一些繁複之計算過程，且需專業能力與知識的工程師才能勝任的，設計人員在進行分析與設計的時間花費頗多，所以對於加勁擋土牆設計多少都會產生苦惱，可能是設計者無大地專業背景，對土壤力學不是很熟悉；也可能是設計者之經驗不足在繁瑣計算中對計算結果無信心；重複的繁瑣計算，就算專業人員有時也會出錯。如果能將這些繁瑣的計算利用程式語言寫成電腦軟體，將加勁擋土牆之設計標準化，甚至程式化，不僅設計人員不必具備大地專業背景，將加勁擋土牆之設計交由電腦處理，也能快

速運算、節省人力，並可建立標準化之設計步驟，使計算結果可靠，也能大大提升設計工作的效率與精確性。在眾多之程式語言中，以 Visual Basic 最容易撰寫，且易於偵錯，尤其是 Visual Basic 可建立對話式的輸入，輕易建立使用者介面，使用者能輕鬆地在對話視窗中完成輸入，並且所需具備之專業知識亦可減至最低。同時 Visual Basic 程式語言具繪圖功能，尚可將計算出來的物理量圖形化，計算之結果即可用圖表顯示，可節省人力與時間。Visual Basic 是一個設計、測試與除錯三合一的工具軟體。它不但提供工具箱讓設計者設計出視窗程式，也提供了許多好用的除錯的工具。Visual Basic 在使用時，分為三個模式：設計模式、執行模式與中斷模式。設計程式要在設計模式下進行，測試程式要在執行模式下進行，除錯程式要在中斷模式下進行。

應用於加勁土壤結構之加勁材料，依材質可分為金屬(主要為鋼材)與土工合成材料(主要為土工織物、土工格網)兩大類，不同材質之加勁材料，其強度及耐久性之設計考量及要求皆有所不同。本研究將以土工合成材料為研究對象，並自行開發加勁擋土牆分析軟體 REWALL 讓使用者先確立牆體幾何樣式與高度、地表載重、土工格網型號與土壤參數(γ, c, ϕ)，及設定加勁材料之施工、化學、疲勞、生物之折減係數。然後軟體將依加勁材料長度與牆高，計算牆背側向土壓力和牆底之垂直應力分布。如果以土工格網或土工織物為加勁材料，它們屬延展性加勁材料，延展性的加勁材料因破壞前可發生較大之變形，故破壞面較深，一般皆假設牆背破壞面為 Rankine 主動破壞面。

加勁擋土牆應進行六種穩定性檢核，包括外部破壞(破壞面未經過加勁區)檢核：傾倒破壞、滑動破壞、支承力破壞、整體滑動破壞，以及內部破壞(破壞面經過加勁區)檢核：各層加勁材料斷裂破壞及各層加勁材料拉出破壞等。一般而言，水平滑動破壞安全係數 $FS \geq 1.5$ ，傾倒破壞安全係數 $FS \geq 2.0$ ，支承力破壞安全係數 $FS \geq 2.0$ ，整體滑動破壞安全係數 $FS \geq 1.3$ ，加勁材料斷裂安全係數： $FS \geq 1.5$ ，勁材拉出安全係數： $FS \geq 1.5$ 。

外部穩定之滑動檢核方面，由牆體的土壤重量 γHL 產生牆底與土壤間摩擦阻抗 $\mu_b \gamma HL$ 以及凝聚力 cL 為抵抗滑移的力，而產生滑移的力 F_T 為作用在擋土牆面之主動土壓合力之水平分量。為阻止移動發生，抵抗滑移的力必需超過產生滑移的力，通常假設此安全係數為 1.5，即

$$FS = \frac{\mu_b \gamma HL + cL}{F_T} \geq 1.5 \quad (1)$$

式中， μ_b 為加勁材料與牆底土壤間之摩擦係數(土工格網 $\mu_b = 0.8 \tan \phi$ ，土工織物 $\mu_b = 0.67 \tan \phi$)。第二種外部穩定分析為傾倒檢核，牆體對牆趾 O 點作整體傾覆(overturning)，此時傾覆力矩為主動土壓力合力之水平分量對 O 點之力矩，而抵抗傾覆力矩為牆體重量及主動土壓力合力之垂直分量對 O 點之力矩。為阻止傾覆發生，抵抗傾覆的力矩必需超過產生傾覆的力矩，通常此安全係數為 2.0。第三種外部穩定檢核為承载力檢核，必需確知牆底的壓力不超過該處土壤的容許承载力。

整體滑動檢核類似於一般邊坡穩定極限平衡分析法，即先假設一個可能之破壞面，求出加勁擋土牆對滑動面之安全係數。考慮破壞面為圓弧形或不規則面，並使用切片法進行分析，在進行這個分析時計算最為繁複，因此需配合電腦程式始能完成。安全係數之定義為，土壤在滑動面上的剪力強度及加勁材料張力強度兩者所提供之抵抗滑動力矩，與土體重量產生之驅動力矩的比值。近年來，由於物件導向程式語言之普遍性，及後續功能增加之簡便性，因此新近發展軟體常以此語言來開發新電腦程式，所以本研究將使用微軟公司所發展的 Visual Basic 語言，以簡易 Bishop 切片法(圓弧滑動面)與 Janbu 切片法(不規則滑動面)為分析方法，進行加勁擋土牆圓弧滑動穩定分析。

內部穩定分析中加勁材料斷裂破壞分析係考慮加勁材料因強度不足以抵抗水平土壓力，導致加勁材料斷裂破壞。此步驟需計算各層加勁材料之受力以得到最大值，再與加勁材料之容許拉力強度相比較，以得到其安全係數。另外，加勁材料拉出破壞分析中，將計算土壤與加勁材料界面之剪力阻抗及水平土壓力，以求加勁材料自土壤中拉出破壞的安全係數。

過去國內外的學者曾對加勁擋土牆進行過分析與研究，大致可分為數值模擬與實驗方法。如 Bassett 等人(1978)【1】即指出，具有加勁材料之土體其可能破壞面係自牆角起約 45 度延伸某一高度後，再向上垂直發展，而非 Rankine 主動壓力破壞線。Juran 等人(1988)【2】及 Koerner(1990)【3】指出，對於土工織物而言，效率因子的範圍從 0.6 至 1.0 之間。土工格網的效率因子大於土工織物。Jewell(1984)【4】指出土壤與土工格網互制能力的發揮，使其產生拉出阻抗，其主要來自以下兩種機制為土壤與格網接觸表面之摩擦阻抗與土壤作用於橫向肋條之被動土壓力阻抗。Chang 等人(1977)【5】從金屬加勁材料(steel strip)之現場拉出試驗發現，整個拉出行為可分為降伏、尖峰及殘餘三個階段。降伏載重前，位移與拉力成正比，此階段之加勁材料尾端並未產生位移。過了降伏點後，加勁材料尾部開始產生位移，拉力即迅速達到尖峰，此時所表現的方式是土壤與加勁材料之間的拉出行為。而越過尖峰後，加勁材料尾部之位移速率逐漸增大，直至與受力端相同，此時拉力值不再增加，加勁材料之拉出行為乃進入殘餘階段。黃毓棋(2004)【6】利用微軟公司所發展的 Visual Basic.NET 語言，使用簡易 Bishop 法及改良 Bishop 法發展一套視窗化邊坡穩定分析軟體，研究中將分別討論各影響參數對邊坡穩定安全係數之影響，他發現在自然邊坡的整治方法中，如果以減緩邊坡角度或將邊坡分階

並增加平台寬度兩種整坡方式來提昇邊坡之穩定性時，此兩種整坡方式所得之效益近乎相同。另外，他也討論在邊坡中埋設加勁材料後對邊坡穩定之影響，影響參數包括加勁材料間距、長度與配置方式。由其分析結果顯示，加勁材料間距較加勁材料長度對邊坡穩定性之影響為大。而在加勁材料的配置方式中，下層加勁材料的長度對邊坡穩定性的影響大於上層加勁材料長度的影響。因此建議當加勁材料配置較緊密時，在不增加加勁材料的配置總長度下，可增加下層加勁材料長度，適度減少上層加勁材料長度的方式，可將安全係數再予以提昇。

2. 電腦輔助加勁擋土牆設計(REWALL)軟體

本軟體以圖形化視窗輸入與計算結果之螢幕輸出，或可選擇文件檔案輸出或是圖形檔案輸出。主選單共分五個頁簽：

(1) 標題

其主要的用途是鍵入專案的工程名稱及公司或機關的名稱，如圖 1 所示。

圖 1 標題介面

(2) 輸入資料

設計圖形化輸入視窗，所需輸入項目包括土壤的摩擦角 ϕ 、土壤單位重 γ 、凝聚力 c 與加勁擋土牆的高度 H 與加勁材料長度與間隔、土工格網極限強度以及加勁材料之施工、化學、潛變、生物之折減係數等，如圖 2 所示。

圖 2 輸入資料介面

(3) 外部穩定分析

主要是考慮可能之破壞方式，以求出滿足加勁擋土牆穩定所需之加勁材料尺寸。穩定檢核有

傾倒檢核、滑動檢核、支承力破壞檢核等。使用者只要在「計算」按鍵上按下，即會顯示抗傾倒安全係數、抗滑動安全係數及支承力安全係數。只要在「分析」按鍵上按下，就會顯示是否為穩定，如果穩定就會顯示 O.K.；如果不穩定就會顯示 N.G.的字樣出來，如圖 3 所示。



圖 3 外部穩定分析介面

型大小；文件存檔係以(.txt)檔案型式儲存。在「圖形輸出」的部分，如圖 7 所示，將會顯示出整體滑動的滑動面圖形以及安全係數，可將其輸出在螢幕上或以印表機列印或儲存成(.bmp)檔。



圖 5 內部穩定分析介面

(4) 整體穩定分析

使用者只要輸入切片的數量、鍵入滑動面離牆底 A 之距離、鍵入滑動面離牆頂 B 之距離，按下圓弧半徑，程式會顯示出最小的滑動圓弧半徑提供使用者參考。選擇簡易 Bishop 切片法(圓弧滑動面)或 Janbu 切片法(不規則滑動面)為分析方法，進行加勁擋土牆整體滑動穩定分析，如圖 4 所示。

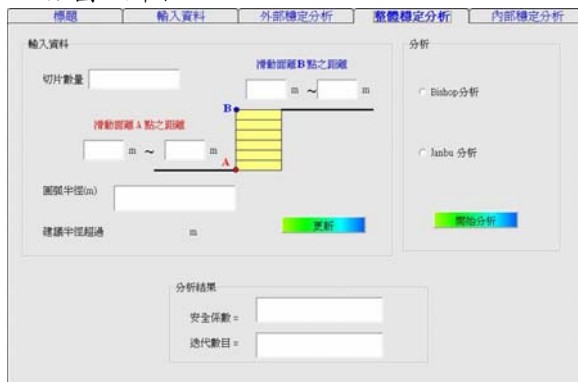


圖 4 整體穩定分析介面



圖 6 文件輸出內容

(5) 內部穩定分析

分析各層加勁材料斷裂破壞及拉出破壞之安全性，得到加勁材料所需之鋪設長度與間隔。穩定檢核有加勁材料斷裂破壞及加勁材料拉出破壞等，使用者只要在「計算」按鍵上按下，即會顯現出抗斷裂安全係數及抗拔出安全係數，只要在「分析」按鍵上按下，就會顯示是否為穩定，如果穩定就會顯示 O.K.；如果不穩定就會顯示 N.G.的字樣出來，如圖 5 所示。

在工具列上的「結果」，具有兩個下拉式功能，包含了「文件」及「圖形輸出」兩個功能。在「文件」中，可選擇文件輸出或文件存檔。文件輸出可將擋土牆資料及所有計算結果輸出在螢幕上，也可用印表機列印，文件列印之內容如圖 6 所示，列印時也可以改變字型及字

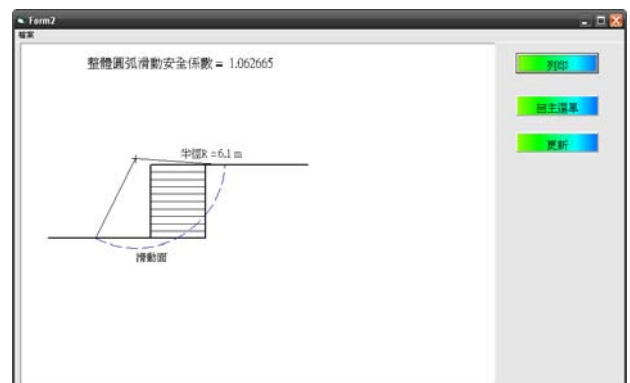


圖 7 整體圓弧滑動預覽圖

3. 分析結果與討論

在外部穩定分析中需計算抗傾倒安全係數、抗滑動安全係數、支承力安全係數及整體滑動破壞安全係數。本研究將討論加勁材料長度 L 與擋土牆高度 H 的比值，以及不同牆底土壤材料參數來改善其安全係數。藉

由討論 L/H 及土壤材料參數對安全係數之影響，以找出最符合安全性及經濟效益之配置方式。

影響邊坡穩定之主要參數有凝聚力 c，摩擦角 ϕ ，擋土牆高 H，長度 L，土壤單位重 γ 等。本研究固定 H 為 5m，並假設 L 分別為 H 的 0.5、0.75、1、1.25 倍，土壤摩擦角 30° ，加勁材料間隔為 0.5m，加勁材料資料如表 1，加勁材料為土工格網時，因施工、化學、潛變、生物之折減係數參考值如表 2。

表 1 加勁材料資料

加勁材料資料	
回填土土壤單位重	2t/m ³
加勁材料極限強度	110 kN/m
施工損耗折減係數 (RF _{ID})	1.1
潛變折減係數 (RF _{CR})	2.0
化學侵蝕折減係數 (RF _{CD})	1.1
生物分解折減係數 (RF _{BD})	1.0

3.1 抗傾倒安全係數分析

為考慮加勁材料最佳配置方式，本研究將改變加勁材料的配置方式，以便節省工程經費，求出最經濟之加勁材料配置方式。

本研究假設土壤單位重為 2t/m³，摩擦角 $\phi=30^\circ$ ，凝聚力 c=10 t/m²，加勁材料長度 L 分為 0.5、0.75、1、1.25 倍的擋土牆高度 H=5m 來作比較，其結果如圖 8。由圖 8 可發現，抗傾倒安全係數隨著 L/H 的增加而增加，抗傾倒安全係數的提升的效果非常明顯。由此可知，可以藉由增加加勁材料的配置長度，來提高抗傾倒安全係數。L/H=0.5 時，安全係數已經符合規定值 F.S \geq 2.0，為求節省工程經費，建議在滿足抗傾倒安全係數下，可使用 L=0.5H 之配置來設計。

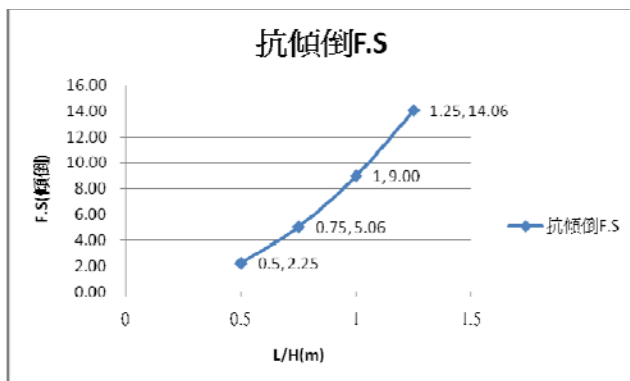


圖 8 L/H 參數對抗傾倒安全係數之影響

3.2 抗滑動安全係數分析

為分析不同牆底土壤對抗滑動安全係數的影響，本研究假設土壤分成砂(c=0)與粘土($\phi=0^\circ$)，來進行 L/H 對抗滑動安全係數影響的分析。

假設砂的土壤單位重為 2t/m³，摩擦角 $\phi=30^\circ$ ，凝聚力 c=0，加勁材料長度 L 分為 0.5、0.75、1、1.25 倍的擋土牆高度 H=5m 來作比較，其結果如圖 9 所示。由圖 9 可發現，抗滑動安全係數隨著 L/H 的增加而增加，抗滑動安全係數的提升其效果非常明顯，由此可知，可以藉由增加加勁材料的長度，來提高抗滑動安全係數。如果抗滑動安全係數為 F.S \geq 1.5，而 L/H=0.75 時，安全係數已經符合規定值，為求節省工程經費，當牆底土壤為砂時，加勁材料長度建議為 L=0.75H。

假設粘土的土壤單位重為 2t/m³，摩擦角 $\phi=0^\circ$ ，凝聚力 c 分為 1.25、2.5、5、10 t/m² 四種不同數值來做分析，加勁材料長度 L 分為 0.5、0.75、1、1.25 倍的擋土牆高度 H=5m 來作比較，其結果如圖 10 所示。由圖 10 可發現，抗滑動安全係數隨著 L/H 的增加而增加，抗滑動安全係數的提升效果，除了 c<5 t/m² 的情形外，也非常明顯。由此可知，可以藉由增加加勁材料的長度來提高抗滑動安全係數。若抗滑動安全係數為 F.S \geq 1.5，而在凝聚力 c=5 t/m²、L/H=0.75，以及凝聚力 c=10 t/m²、L/H=0.5 時，安全係數已經符合規定值，為求節省工程經費，牆底土壤為粘土時，加勁材料長度建議為 L=0.75H。

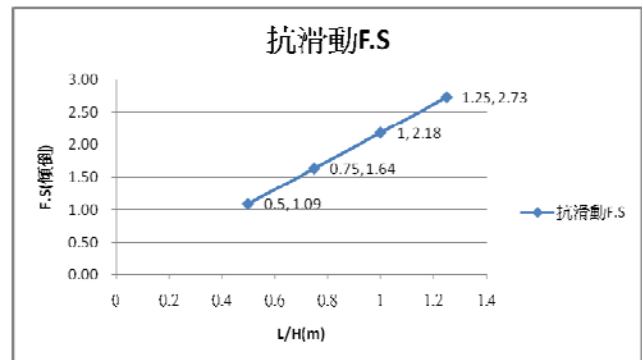


圖 9 L/H 參數對抗滑動安全係數之影響(牆底為砂)

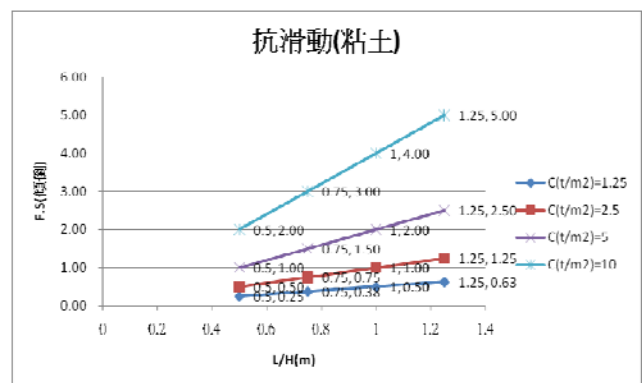


圖 10 L/H 參數對抗滑動安全係數之影響(牆底為粘土)

3.3 支承载力安全係數分析

為分析牆底土壤對支承载力安全係數的影響，本研究假設土壤為砂或粘土，加勁材料長度取前述最佳長度 L=0.75H。牆底土壤為砂時，取凝聚力 c=0，進行不同摩擦角 ϕ 對安全係數之影響分析；牆底土壤為粘土時，取 $\phi=30^\circ$ ，分析不同凝聚力 c 對支承载力安全係數之影響。

假設砂的土壤單位重為 $2t/m^3$ ，凝聚力 $c=0$ ，摩擦角分別為 $\phi=20^\circ、25^\circ、30^\circ、35^\circ$ 四種不同角度做分析，加勁材料長度 L 為 0.75 倍的擋土牆高度 $H=5m$ 來作比較，其結果如圖 11 所示。由圖 11 可發現，支承力安全係數隨著摩擦角的角度增加而增加，支承力安全係數的提升效果非常明顯。由此可知，可以藉由增加牆底土壤之摩擦角來提高支承力安全係數。如果牆底土壤之 $\phi=30^\circ$ 時，支承力安全係數已經符合規定值 ($FS \geq 2.0$)，故牆底土壤為砂時，摩擦角 ϕ 應在 30° 以上為宜。

假設粘土的土壤單位重為 $2t/m^3$ ，摩擦角 $\phi=30^\circ$ ，凝聚力 c 分為 1.25、2.5、5、 $10t/m^2$ 四種不同數值做分析，加勁材料長度 L 為 0.75 倍的擋土牆高度 $H=5m$ 來作比較，結果如圖 12 所示。由圖 12 可發現，支承力安全係數隨著凝聚力 c 的增加而增加，支承力安全係數的提升效果非常明顯。由此可知，可以藉由增加牆底土壤之凝聚力 c ，來提高支承力安全係數。當 $c=5 t/m^2$ 時，安全係數已經符合規定值，故牆底土壤為粘土時，凝聚力 c 應在 $5 t/m^2$ 以上為宜。

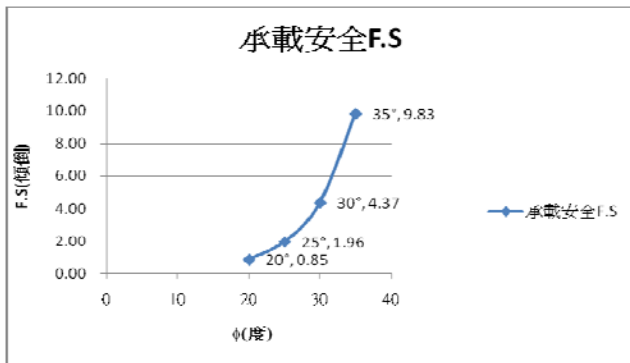


圖 11 摩擦角 ϕ 對的支承力安全係數之影響

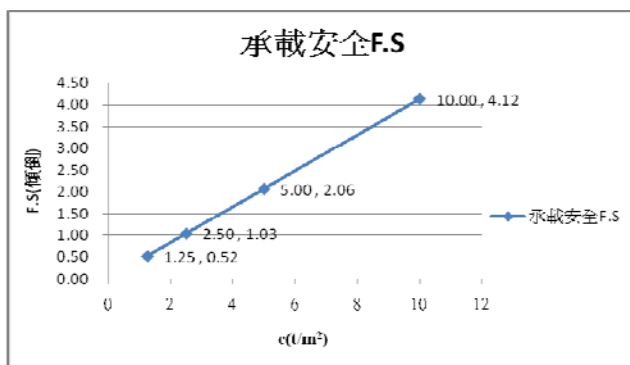


圖 12 凝聚力 c 對的支承力安全係數之影響

3.4 整體滑動穩定分析

凝聚力對整體滑動穩定分析之影響，如圖 13 所示。本研究設定切片數量為 10，擬定牆底土壤之凝聚力 c 為 1、2、3、4、 $5t/m^2$ 五種不同數值做分析，每次分析以 4 種不同滑動面位置，用簡易 Bishop 切片法(圓弧滑動面)與 Janbu 切片法(不規則滑動面)為分析方法，進行加勁擋土牆整體滑動穩定分析，以找出最小整體滑動穩定安全係數，分析結果如表 3 所示。發現滑動面離牆底 A 點之距離為 2~4m、滑動面離牆頂 B 點之距離為 5~7m 的安全係數為最小，並將每個不同凝聚力之最小

安全係數來做分析，如表 4 所示。而整體滑動穩定分析之安全係數在常時應大於 1.5，當牆底土壤之凝聚力 $c=3 t/m^2$ 時滿足其最小安全係數 $FS \geq 1.5$ 的要求，故整體滑動穩定分析時，牆底土壤之凝聚力應在 $3 t/m^2$ 以上為宜。

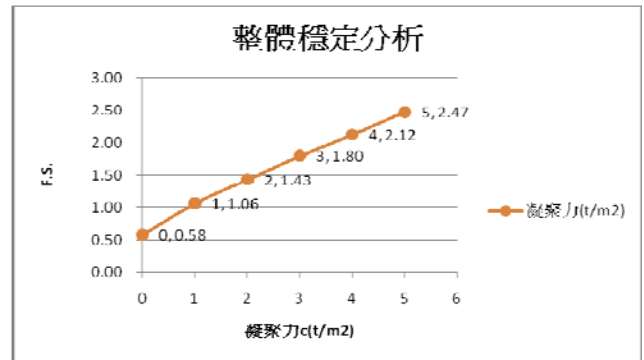


圖 13 凝聚力對整體穩定分析之影響

表 3 不同凝聚力之最小安全係數結果

	凝聚力 (t/m^2)	滑面離 A 點 距離(m)	滑面離 B 點 距離(m)	最小安全係數	迭代數目		
1	1	2	4	5	7	1.06	6
2	1	2	4	6	7	1.20	6
3	1	2	4	8	10	1.68	5
4	1	3	5	8	10	1.56	5

註：邊坡穩定安全係數在常時： $FS \geq 1.5$

表 4 不同凝聚力對整體穩定分析之影響

凝聚力 (t/m^2)	0	1	2	3	4	5
最小安全係數	0.58	1.06	1.43	1.80	2.12	2.47

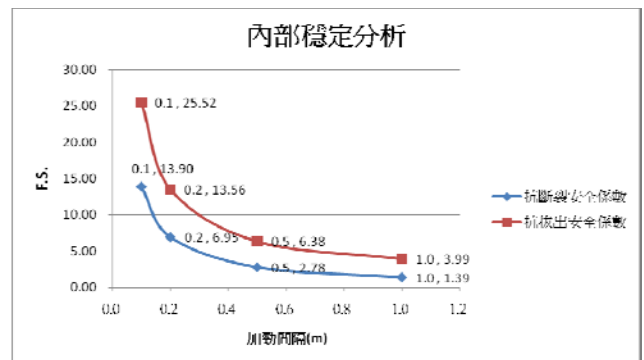


圖 14 加勁材料間隔對抗斷裂、抗拔出安全係數之影響

3.5 內部穩定分析

加勁材料間隔對內部穩定分析之影響，分為抗斷裂安全係數分析及抗拔出安全係數兩種，安全係數皆須滿足 $FS \geq 1.5$ 。擋土牆高度 H 假設為 5m，將加勁材料間隔分別取 $S=H/5、H/10、H/25、H/50$ 四種狀況加以討論，結果發現加勁材料間隔為 1.0m ($S=H/5$) 時，抗斷裂安全係數不滿足 $FS \geq 1.5$ 要求，而加勁材料間隔為 0.5m ($S=H/10$) 時，抗斷裂安全係數及抗拔出安全係數結果都

滿足 $FS \geq 1.5$ ，如圖 14 所示。由圖 14 中可以發現，當加勁材料間隔較為緊密時，到達 0.5m 後安全係數明顯提升，安全係數隨著加勁材料間隔減少而增加。由上述分析可得知，當加勁材料間隔過大時，由於加勁材料所提供之整體應力不足，無法有效提升安全係數，當加勁材料較為緊密時，可適度提升安全係數。為求節省工程經費，在內部穩定之要求下加勁材料間隔應在 $S=H/10$ 以下為宜。

4. 結論

- (1) 本研究發展的加勁擋土牆分析設計軟體除了可提供圖形介面讓使用者方便輸入外，也提供圖表及文件檔案的輸出功能，提高本軟體在工程界上的接受度。
- (2) 假設抗傾倒安全係數應達 $FS \geq 2.0$ ，當 L/H 等於 0.5 時，安全係數可符合規定值，為求節省工程經費，建議為滿足抗傾倒安全係數要求時，使用 $L=0.5H$ 之配置。
- (3) 假設抗滑動安全係數應達 $FS \geq 1.5$ ，當 L/H 等於 0.75 時，安全係數已經符合規定值。為求節省工程經費，若牆底土壤為砂時，加勁材料長度建議為 $L=0.75H$ 。若牆底土壤為粘土，且凝聚力 $c=5 \text{ t/m}^2$ 、 L/H 應為 0.75；若牆底土壤之凝聚力 $c=10 \text{ t/m}^2$ 、 $L/H=0.5$ 時，安全係數可符合規定值，為求節省工程經費，若牆底土壤為粘土，加勁材料長度仍建議為 $L=0.75H$ 。
- (4) 在支承载力破壞 $FS \geq 2.0$ 要求下，當牆底土壤為砂時，其摩擦角 ϕ 宜在 30° 以上，若小於此值建議以地盤改良方式提升其承载力。當 $c=5 \text{ t/m}^2$ 時安全係數可符合規定值，當牆底土壤為粘土，凝聚力以 5 t/m^2 以上為宜，若小於此值宜以地盤改良方式提高其承载力。
- (5) 整體滑動穩定分析之安全係數在常時應大於 1.5，當凝聚力 $c=3 \text{ t/m}^2$ 滿足其最小安全係數 $FS \geq 1.5$ 要求，為滿足整體穩定，凝聚力應在 3 t/m^2 以上為宜，若小於此值宜以地盤改良方式提高其穩定性。
- (6) 抗斷裂安全係數及抗拔出安全係數應滿足 $FS \geq 1.5$ ，當加勁材料的間隔小於 $S=H/10$ 時，安全係數明顯地提升，隨著加勁材料的間隔的增加而安全係數減少，為求經濟以節省工程經費且符合內部穩定分析之要求，加勁材料的間隔應在 $S=H/10$ 以下為宜。

5. 致謝

感謝國科會(計畫編號 NSC98-2622-E-324-006-CC3)與嘉盛工程顧問有限公司提供研究經費，使本研究得以順利完成，特此致謝。

6. 參考文獻

- [1] Bassett, R. H., and Last, H. C., "Reinforced Earth Below Footings and Embankments," Proceeding, Symposium on Reinforced Earth, ASCE, Pittsburgh, pp. 202-231, 1978.

- [2] Juran, I., Knochenmus, G., Acar, Y. B. and Arman, A., "Pull-Out Response of Geotextiles and Geogrids," Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, No. 18, pp. 92-111, 1988.
- [3] Koerner, R. M., Designing with Geosynthetic, New Jersey: Prentice-Hall Inc., U.S.A., 1990.
- [4] Jewell, R. A., Millilgan, G. W. E., Sarsby, R. W., and Dubois, D., "Interaction Between Soil and Geogrids," Proc. Symp on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering, Science and Engineering Research Council and Netlon Limited, March 22-23, 1984.
- [5] Chang, J. C., Hannon, J. B. and Forsyth, R. A., "Pull Resistance and Interaction of Earthwork Reinforcement and Soil," Transportation Research Record 640, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 1-7, 1977.
- [6] 黃毓棋，加勁邊坡之分析與電腦程式之開發，朝陽科技大學碩士論文，2004。

Effect of Length and Space of Geogrid on the Stability of Reinforced Earth Wall

Yi-Shan Lee¹, Pei-Hsun Tsai¹, Bo-Wei Lai¹

¹ Department of Construction Engineering
Chaoyang University of Technology

ABSTRACT

It is complicated to analyze the stability of reinforced earth wall. If these calculating are finished by computer-aided calculation software, it could be an effective and accurate method. The main purpose of this research is to study the influence of length and space of geogrid on the stability of geosynthetics-reinforced earth wall by using self- developmental software, REWALL. The dimensions of wall, included length and space, are designed at the start of analysis. Next, the factor of safety of exterior stabilities, included slide along the base, overturning, and bearing capacity, will be checked. Then, the deep failure analysis which is a complicated process will be performed. And then, the factor of safety of interior stabilities, included breaking and pullout, will be checked, too. The foregoing design procedure will be programmed as Visual Basic code in this study. The results of this study shows that factor of safety of overturning is greater than 2.0 when the ratio between the length of geogrid and the height of wall, L/H , equal to 0.5. The factor of safety of sliding is greater than 1.5 when $L/H=0.75$ for friction angle of wall-base soil, ϕ , is equal to 30° . If the cohesion, c , of wall-base soil is equal to 5.0 t/m^2 , the value of $L/H=0.75$ is necessary. When $\phi=30^\circ$ and $c=5.0 \text{ t/m}^2$ of wall-base soil, the factor of safety of bearing capacity is

greater than 2.0. If the space of geogrid is equal to $0.1H$, the factor of safety of interior stabilities, included breaking and pullout, are greater than 1.5.

Keywords: reinforced earth wall, geogrid, slope stability, computer-aided calculation.