

電腦輔助加勁擋土牆設計之研究

李宜珊²、蔡佩勳¹、賴柏緯²、林建翰²
¹朝陽科技大學營建工程系副教授
²朝陽科技大學營建工程系研究生

摘 要

加勁擋土牆穩定分析與設計是重複的繁瑣計算，如果能將這些繁瑣的計算以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準確性。本研究研發一個可進行加勁擋土牆分析與設計的軟體，為一個加勁擋土牆的電腦輔助工程計算軟體。本軟體以Visual Basic 6.0之程式語言撰寫，Visual Basic是一種以視覺化為主之程式語言，程式設計階段所看到的畫面幾乎就是程式執行時所看到的畫面。從加勁牆之尺寸設計開始，加勁材長度設計及擋土牆體之內、外部穩定分析，到設計與分析結果之輸出，均可藉此軟體來完成。本研究所設計的軟體，其功能將有圖形化的使用者介面，使用者以交談式視窗輸入土壤基本資料、擋土牆高度以及加勁格網的尺寸，經由本軟體分析計算，可將計算結果如加勁材料長度、每層間隔以及各項穩定檢核之安全係數等資料，以文件方式列印或存檔，並可將設計成果繪製成圖表，進一步的列印或存成圖形檔案。最後，本研究以一個案例來檢核程式之正確性，經由手算分析結果與本研究所開發之程式分析結果之比較發現，兩者結果相符，因此本程式有其正確性。

關鍵詞：加勁擋土牆、土工格網、邊坡穩定、電腦輔助計算。

The applications of computer-aided design in geosynthetic-reinforced earth wall

ABSTRACT

It is complicated to analyze stability of reinforced earth wall. If these calculating are finished by computer-aided analysis software, it could be an effective and accurate consideration. An object oriented programming is developed to analysis and to design a geosynthetics-reinforced earth wall in this study. The software package will be programmed by Visual Basic 6.0. Wall dimensions, included length and thickness, are designed in the beginning. Next, 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, interior stabilities, included breaking and pullout, will be checked, too. The foregoing design procedure will be programmed as Visual Basic code in this study. Finally, in order to evaluate the accuracy of the developed program code, a case study will be calculated by the program code and hand calculated in this study. From the results of this study show the developed program code for analysis of geosynthetics-reinforced earth wall is validated.

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

一、前言

台灣山坡地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 可建立對談式的輸入，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： $FS \geq 1.5$ 。

外部穩定之水平滑動檢核方面，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 以上，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 以上。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，進行加勁擋土牆整體滑動穩定分析。

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。

二、相關軟體程式之發展

計算機應用在邊坡穩定分析肇始於 1950 年代，自此以後邊坡穩定分析程式，如雨後春筍般地發展。部分邊坡穩定商業套裝軟體被應用在加勁擋土牆之穩定分析上，其中較知名的有 STABL6、MSEW 3.0。

STABL6 程式是一套採用二維極限平衡法分析邊坡穩定之電腦程式，由美國普渡大學所發展，經歷多次修改且加入加勁材的功能後，成為分析加勁邊坡問題的利器之一。目前該程式可用於分析加勁邊坡的方法有簡易 Bishop 法，可適用於圓弧破壞面情況；而簡易 Janbu 法則適用於一般破壞面情況。STABL6 可分析邊坡之外部穩定分析中整體滑動穩定性之安全係數，但對於局部張力破壞、拉拔破壞、底部滑動破壞、傾倒破壞等則無法分析。STABL6 最多可分析 40 層加勁材及 20 個不同土壤層次。

MSEW 3.0 是由 ADAMA 工程公司所設計，不僅與 STABL6 可進行整體穩定分析也可進行內部與外部穩定分析。此外，並可對地震與地下水情況加以考慮。破壞面為圓弧破壞面，非圓弧者無法分析。

由上可知，最近發展的加勁擋土牆分析設計軟體功能越來越強，而發展一個本土化的軟體，除了中文視窗化介面之親和性外，也可結合本土的規範與材料型號，因此有其必要性。

表 1 各邊坡穩定程式之比較

| | STABL6 | MSEW 3.0 | 本研究開發之軟體(RE Wall) |
|---------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 操作介面 | 英文 | 英文 | 中文 |
| 整體穩定 | 有 | 有 | 有 |
| 外部穩定 | 無 | 有 | 有 |
| 內部穩定 | 無 | 有 | 有 |
| 地下水 | 考慮 | 考慮 | 無考慮 |
| 地震 | 考慮 | 考慮 | 無考慮 |
| 整體穩定分析法 | 圓弧滑動面與不規則滑動面分析。 | 圓弧滑動面分析。 | 圓弧滑動與不規則滑動面分析。 |
| 破壞面之建立 | 坡趾、坡頂定出可能破壞之範圍，再依此與安全係數的大小決定最可能之破壞面。 | 於結構上方建立網格，利用網格與結構各邊界距離決定破壞圓半徑，再依最小安全係數設計加勁材。 | 坡趾、坡頂定出可能破壞之範圍，再依此與安全係數的大小決定最可能之破壞面。 |

三、研究方法與內容

3.1 研究方法

物件導向所設計的程式(OOP-object oriented programming)，與一般傳統程式的執行方式大不相同。傳統程式的執行從頭到尾都有一定的流程，雖然中間會應邏輯的判斷或其他副程式(或外部程式)的執行而又開，但基本上它還是在執行同一支程式，而且不執行到程式終了不會離開，也不會釋放出電腦的資

源，因此其他程式無法同時執行。而物件導向所設計的程式，是將程式的許多功能設計成一個個的小模組，稱之為物件(object)。設計程式時，就挑選合用的物件來加以組合。這種以物件組合方式來設計程式的觀念就是物件導向。物件導向之設計方式較傳統程式更接近現實世界的運作方式，也更接近人類之思考模式。它可以用一組基準類別來提供系統可重覆使用的軟體元件，並使用子類別來提升問題之處理能力，以縮短系統發展之時間與降低發展之費用。同時使資料結構的改變對整個軟體系統的影響，侷限於一個或數個類別之執行部分中，降低軟體維護之花費。因此，以物件導向開發之軟體具有易於維護、擴充性高與容易開發軟體之優點。微軟 Windows 視窗系統之所以取代 DOS 系統的主要因素之一，是讓使用個人電腦不再是那樣的困難，親切、易懂的圖形介面，讓使用者排除了使用電腦的恐懼感。使用者不必計憶文字指令或快速鍵，所有程式功能均顯示於螢幕上，利用主選單、快速功能表或工具列很快使用軟體之功能。使用者以交談式視窗輸入、輸出方式來控制軟體，使用者可以直線思考方式來操作電腦，容易操控。

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，也提供隨時可以測試的直譯功能，更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態下進行，測試程式要在執行模態下進行，除錯程式要在中斷模式下進行。

3.2 程式內容

目前有關加勁土壤結構之設計方法中，應用最為廣泛者為極限平衡法，加勁擋土牆之結構安全性分析，應考慮內部、外部與整體穩定。

1. 內部穩定分析：

此分析需根據加勁土體內之側向土壓力，故需對破壞面、側向土壓分佈作適當的假設。由過去研究與相關規範中規定，加勁材料如果使用地工合成材料時，側向土壓力可視為 Rankin 主動土壓力，而破壞面為主動破壞面，與水平面夾 $45^\circ + \frac{\phi}{2}$ 。再由內部穩定分析，即分別考慮各層加勁材之拉斷破壞與拉出破壞

之安全性。一般而言，最底層加勁材承受之土壓力最大故最有可能被拉斷；最頂層加勁材之握裹長度最短故最有可能被拉出。

2. 外部穩定分析：

此類分析是根據加勁擋土牆之側向土壓力、重量等，決定外部穩定之安全係數，即滑動破壞、傾倒破壞與承载力破壞之安全性。

3. 整體穩定分析：

此分析類似於一般邊坡穩定分析法，即考慮可能之破壞面，求出滿足加勁土體整體滑動穩定之安全係數。整體滑動主要的不同在於對破壞形狀及平衡條件的假設。

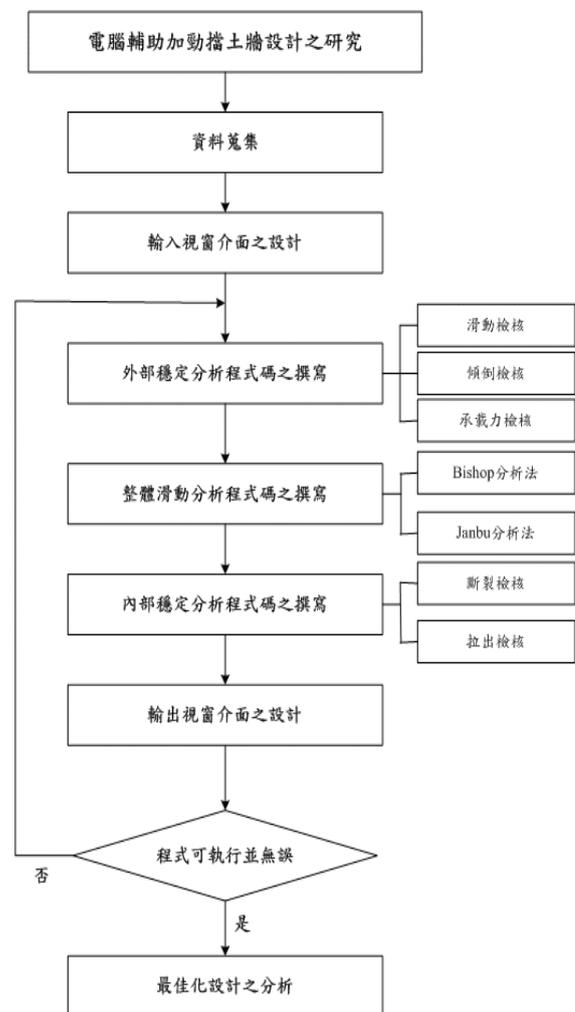


圖 1 研究流程圖

四、軟體介紹(RE Wall)與分析

本研究所發展之視窗化加勁擋土牆分析設計軟體(RE Wall)，主要針對地工格網而發展之加勁擋土牆

分析設計程式。在進行加勁擋土牆分析時計算最為繁複，因此需配合電腦程式始能完成。為了方便使用者使用，以主選單、工具列讓使用者在操作過程中，不必背誦任何指令或公式，便能輕鬆操作程式。螢幕輸出視窗、文件存檔與列印功能等介紹如下所述：

4.1 程式功能介紹

(1) 開新檔案

某一加勁擋土牆工程之分析設計於第一次使用本軟體，或另行輸入不同土壤資料或擋土牆尺寸，可利用本選項，如圖 2 所示。

(2) 開啟舊檔

開啟之前某一加勁擋土牆工程之分析設計所輸入資料且以完成存檔之動作者，若要修改其資料或繼續完成未了之分析工作，可利用本選項，如圖 2 所示。而本軟體之土壤資料與數據都是以文件檔(.txt)開啟、儲存。

(3) 儲存檔案

若欲儲存某一加勁擋土牆工程之輸入資料時可利用本選項，如圖 2 所示。

(4) 另存新檔

某一加勁擋土牆工程之輸入資料欲以其他檔名存檔，可利用本選項，如圖 2 所示。儲存的檔案資料類型為文字檔(.txt)。

(5) 關閉檔案

使用者只是要關閉視窗，但不想離開這個程式，可利用本選項，如圖 2 所示。之後電腦就會將此視窗關閉。

(6) 結束

使用者想要離開這個程式，可利用本選項，如圖 2 所示。之後電腦就會將關閉且離開此程式。

4.2 主選單視窗說明

本程式以交談式的視窗進行輸入與計算結果作螢幕輸出，並可選擇文件檔案輸出或是圖形檔案輸出，主要在主選單共分五個頁籤：

(1). 標題

其主要的用途是將專案的工程名稱及公司或機關的名稱鍵入，如圖 3 所示。

(2). 輸入資料

設計交談式的輸入視窗，其輸入項目將包括回填土之磨擦角 ϕ 、土壤單位重 γ ；基礎土壤的磨擦角 ϕ 、土壤單位重 γ 、凝聚力 c 與加勁擋土牆的高度與樣式、設計規範的選擇、加勁格網尺寸等，如圖 4 所示。

先行假定加勁材長度與各層深度，再依這些尺寸進行內部、外部與整體穩定之安全檢核。如果均滿足穩定要求，則得到加勁擋土牆相關尺寸之設計。

(3). 外部穩定分析

主要是考慮可能之破壞方式，以求滿足加勁擋土牆穩定所需之加勁材尺寸。穩定檢核有傾倒檢核、水平滑動檢核、支承力破壞檢核等。使用者只要在「計算」按鍵上按下，即會顯現出抗傾倒安全係數、抗滑動安全係數及承载力安全係數，只要在「分析」按鍵上按下，就會顯現出是否為穩定。如果穩定就會顯現出 O.K；如果不穩定就會顯現出 N.G 的字樣出來，如圖 5。

(4). 整體穩定分析

本研究將使用微軟公司所發展的 Visual Basic 語言，使用者只要輸入切片數量、鍵入滑動面在坡頂之可能區域、鍵入滑動面在坡趾之可能區域，程式會顯示出其破壞圓弧之半徑建議範圍以提供參考。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，進行加勁擋土牆整體滑動穩定分析，如圖 6。

(5). 內部穩定分析

考慮各層加勁材之拉斷破壞及拉出破壞之安全性，而得加勁材所需之鋪設長度與間距。穩定檢核有加勁材斷裂破壞及加勁材拉出破壞等。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，就會顯現

出是否為穩定，如果穩定就會顯現出 O.K；如果不穩定就會顯現出 N.G 的字樣出來。如圖 7。在工具列上的「結果」，如圖 8 所示，有兩個下拉式功能，包含了「文件」及「圖形輸出」兩個功能。



圖 2 功能列—檔案



圖 5 外部穩定分析視窗



圖 3 標題輸入視窗

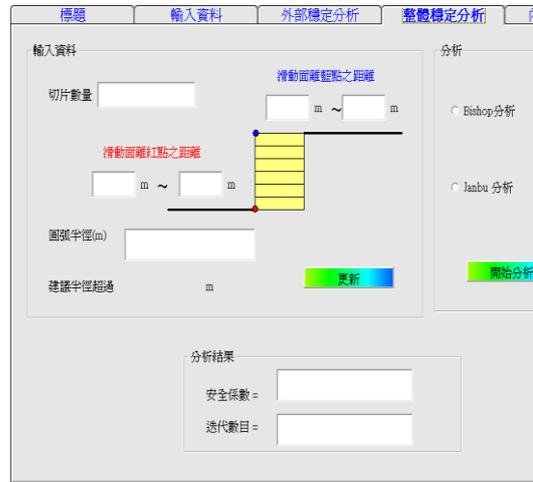


圖 6 整體穩定分析視窗



圖 4 輸入資料介面視窗



圖 7 內部穩定分析視窗



圖 8 功能列—結果



圖 9 功能列—結果—文件選項

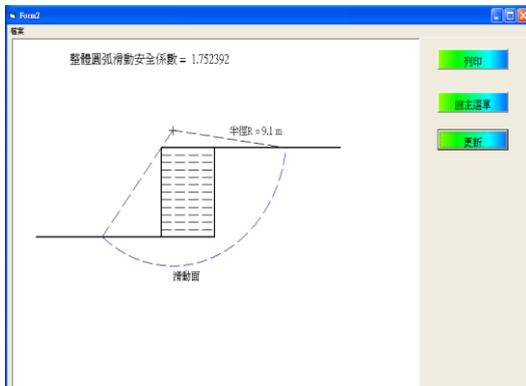


圖 10 整體圓弧滑動預覽圖



圖 11 文件輸出內容

在「文件」的部分，有文件輸出和文件存檔，如圖 9 所示。文件輸出可將所輸入的擋土牆資料及所有計算結果輸出在螢幕上，也可以印表機列印，輸出也可以選擇文件存檔(.txt)，文件列印之內容如圖 10 所示。列印時也可以改變字型及字型大小。

在「圖形輸出」的部份，如圖 11 所示，將會顯示出整體圓弧滑動的圖形以及安全係數，可將其輸出在螢幕上或以印表機列印或儲存成(.bmp)檔。

4.3 案例分析

為了確認軟體計算的正確性，本研究將以一個案例經由手算與軟體計算的結果來比較。

【案例說明】一道路邊坡之崩塌地，今擬於下邊坡建造一 6m 高之地工格網加勁擋土牆，土工格網之極限抗拉強度 $T_{ult}= 100\text{kN/m}$ ，(回填土與基礎土壤之材料性質相同， $c=15\text{kN/m}^2$ ， $\gamma=17.1\text{kN/m}^3$ ， $\phi=30^\circ$ ，牆後地表水平 $\beta=0^\circ$)

先假設加勁材料長度 $L=4.2\text{m}$ ，各層深度 0.5m
側向土壓力(F_T)

$$\text{主動土壓係數 } K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = 0.33$$

$$F_T = \frac{1}{2} \times 0.33 \times 17.1 \times 6^2 = 101.6 \text{ kN/m}$$

基底垂直應力(σ_v)

$$\text{加勁區土壤重量 } V_1 = 17.1 \times 6 \times 4.2 = 430.9 \text{ kN/m}$$

基底合力之偏心 e

$$e = \frac{L}{2} - \frac{M_r - M_o}{R} = \frac{4.2}{2} - \frac{430.9 \times 2.1 - 101.6 \times 2}{430.9} = 0.47\text{m}$$

計算所得之 e，需小於 $\frac{L}{6}$ ，否則加勁材鋪設長度需加

長，而 $e=0.47 < \frac{L}{6}=0.7\text{m}$ ，故加勁材長度不用放寬。

$$\sigma_v = \frac{430.9}{4.2 - 2 \times 0.47} = 132.2 \text{ kN/m}^2$$

1. 外部穩定

(1) 抗水平滑動安全係數($FS \geq 1.5$)

$$FS = \frac{\mu_b \gamma HL + CL}{F_T} = \frac{0.462 \times 17.1 \times 6 \times 4.2 + 15 \times 4.2}{101.6} =$$

2.57 > 1.5, 故 OK。

(2) 抗傾倒安全係數 (FS ≥ 2.0)

$$FS = \frac{V_1 \times \frac{L}{2}}{F_T \times \frac{H}{3}} = \frac{430.9 \times 2.1}{101.6 \times 2} = \underline{\underline{4.45 > 2.0, 故 OK。}}$$

(3) 承载力安全係數 (FS ≥ 2.0)

$$q_{ult} = cN_c + \frac{1}{2} \gamma (L - 2e) N_\gamma = 15 \times 30.14 + 0.5 \times 17.1 \times (4.2 - 2 \times 0.47) \times 18.08 = 956 \text{ kN/m}$$

$$FS = \frac{q_{ult}}{\sigma_v} = \frac{956}{132.2} = \underline{\underline{7.2 > 2.0, 故 OK。}}$$

2. 内部穩定

加勁材容許張力強度 T_a

$$T_a = \frac{T_{ult}}{(RF_{ID} + RF_{CR} + RF_{CD} + RF_{BD})}$$

$$= \frac{110}{1.1 \times 2.0 \times 1.1 \times 1.0} = 45.5 \text{ kN/m}$$

其中, RF_{ID} = 施工損耗折減係數, RF_{CR} = 潛變折減係數, RF_{CD} = 化學侵蝕折減係數, RF_{BD} = 生物分解折減係數。

(1) 抗斷裂安全係數 (FS ≥ 1.5)

加勁材之最大張力 $T_{S,12}$ (最底層, 第 12 層)

$$T_{S,12} = K_a \gamma_1 Z S_v = 0.33 \times 17.1 \times 6 \times 0.5 = 16.93 \text{ kN/m}$$

$$FS = \frac{T_a}{T_{S,12}} = \frac{45.5}{16.93} = \underline{\underline{2.7 > 1.5, 故 OK。}}$$

(2) 抗拉出安全係數 (FS ≥ 1.5)

$$L_e = L - (H - Z) \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

最上層加勁材之握裹長度 $L_{e,1}$

$$L_{e,1} = 4.2 - (6 - 0.5) \tan \left(45 - \frac{30}{2} \right) = 1 \text{ m}$$

$$P_r = 2\mu_b \gamma Z L_{e,1}$$

$$= 2 \times 0.462 \times 17.1 \times 0.5 \times 1 = 7.9 \text{ kN/m}$$

$$T_{S,0.5} = K_a \gamma_1 Z S_v$$

$$= 0.33 \times 17.11 \times 0.5 \times 0.5 = 1.41 \text{ kN/m}$$

$$FS = \frac{P_r}{T_{S,0.5}} = \frac{7.9}{1.41} = \underline{\underline{5.6 > 1.5, 故 OK}}$$

將上述案例的資料輸入本研究所開發之軟體 RE Wall 中, 得到相關之穩定安全係數, 如圖 12~15 所示。



圖 12 資料輸入畫面



圖 13 外部穩定分析結果



圖 14 內部穩定分析結果

| 字型 | 大小 | 更新 | 回主選單 |
|-----------|----------------------|----|------|
| 標楷體 | 14 | | |
| 基礎土壤資料 | | | |
| 單位重 | 1.71t/m ³ | | |
| 抗剪角 | 30度 | | |
| 上層土壤凝聚力 | 1.5t/m ² | | |
| 加勁材性質 | | | |
| 極限抗拉強度 | 110kN/m | | |
| 施工損耗折減係數 | 1.1 | | |
| 潛變折減係數 | 2 | | |
| 化學侵蝕折減係數 | 1.1 | | |
| 生物分解折減係數 | 1 | | |
| 加勁擋土牆幾何尺寸 | | | |
| 高度 | 6m | | |
| 加勁材長度 | 4.2m | | |
| 加勁材層數 | 12 | | |
| 加勁材間隔 | .5m | | |
| 加勁材回包長度 | 1m | | |
| 計算結果: | | | |
| 外部穩定檢核 | | | |
| 抗傾倒安全係數 | 4.40999950107777 | | |
| 抗滑動安全係數 | 2.55393187692409 | | |
| 承載安全係數 | 7.19077881285591 | | |
| 內部穩定檢核 | | | |
| 抗斷裂安全係數 | 2.70964370254482 | | |
| 抗拔出安全係數 | 5.67876179558018 | | |

圖 15 分析結果資料列印

表 2 手算與軟體計算之結果比較

| | 手算 | 軟體計算 |
|---------|-----|------|
| 外部穩定 | | |
| 抗傾倒安全係數 | 4.4 | 4.4 |
| 抗滑動安全係數 | 2.5 | 2.5 |
| 承載力安全係數 | 7.2 | 7.2 |
| 內部穩定 | | |
| 抗斷裂安全係數 | 2.7 | 2.7 |
| 抗拉出安全係數 | 5.6 | 5.7 |

將上述結果整理成表 2 以供比較，由結果發現 RE Wall 軟體與手算的結果吻合，說明了本軟體有其正確性。

五、結論

本研究開發了一個可應用在加勁擋土牆分析設計之軟體—RE Wall，它可進行抗水平滑動、抗傾倒、承載力、抗斷裂、抗拔出等安全係數的計算以及整體滑動穩定分析等功能。並且它可將分析結果列印或存成電子檔案，因此提升加勁擋土牆分析設計工作的效率與準確性。在軟體使用方面，因圖形化之輸入視窗及分析結果之輸出畫面，讓分析與設計工作能有一致性與方便性。

誌謝

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。

參考文獻

- [1]. 台北市土木技師公會，加勁擋土結構設計及施工手冊，1998。
- [2]. 謝榮宗、李咸亨、張錦火，加勁格網之極限拉力，第六屆大地工程學術研究討論會，第489-498頁，1995。
- [3]. 林永森，Visual Basic 6.0 視窗程式設計經典-實物篇，2004。
- [4]. 黃順隆，地工格網在土壤圍壓下之力學行為，碩士論文，中原大學土木工程研究所，1995。
- [5]. 李咸亨、芮嘉航，圍壓下柔性不織布之拉出破壞行為，中國土木水利工程學刊，第三卷，第三期，第195-201頁，1991。
- [6]. 李咸亨、謝宗榮，柔性加勁擋土牆之全非線性分析設計原理，國立台灣工業技術學院研究報告書，GT96002，台北，1996。
- [7]. Transportation Research Board, "Reinforcement of Earth Slopes and Embankments," NCHRP290, 1987.