

## 第五章 邊坡穩定分析應用案例

### 5-1 分析工具

本章藉地工數值分析工具軟體FLAC執行研究場址案例之邊坡穩定分析，本節先簡介此分析工具。FLAC為美國Itasca Consulting Group INC. 所發展，係利用外顯差分法 (explicit finite difference method) 來求解基本運動方程式(basic equation of motion)，可以用來模擬土壤、岩石或其他降服後成塑性流動的材料之行為。FLAC分析中使用者可以用適當網格(grid)來代表被模擬的對象，並選定材料應遵循的應力-應變行為、破壞準則以及邊界束制條件，並且可以大應變模式(large-strain mode)，模擬材料受較大應力場而產生大變形之行為。圖5.1所示為FLAC程式運算概念。

FLAC 具備一特點為允許使用者依內定之程式語法，編寫成自訂所需之 FISH 程式與 FLAC 程式一起執行，因此增大 FLAC 的擴充性。

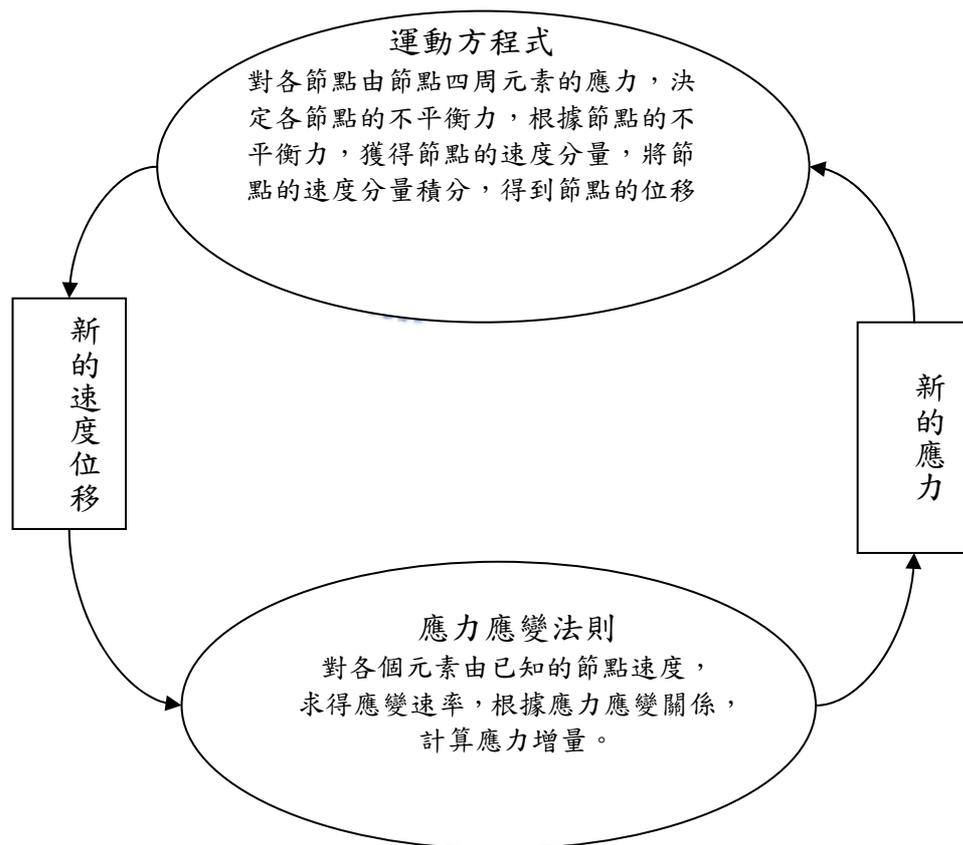


圖 5.1、FLAC 程式運算 (from FLAC manual)

本研究為模擬崩積層材料的力學模型，以第四章中討論之崩積層材料為對象，除了採用 FLAC 本身提供之材料模式，並且利用 FLAC 容許之 User-Defined Constitutive

Model (UDM) 來撰寫 FLAC 未提供之材料模式，本研究即利用 UDM 允許之功能，針對崩積層力學模式撰寫 UDM 子程式。UDM 的執行速度雖然通常比內建的模型來得慢。但是 UDM 可以依使用者給定的名稱及特性屬性(它的特性就好像是內建的模式一樣)，依使用者設計的特性以執行運算。UDM 子程式乃由一系列 FISH 函數所組成的，其中包含一些簡單的敘述以及參考一些特別的變數，以其能夠詳細符合 FLAC 內之每一個解析步驟下之單一網格區域。UDM 的任務就由輸入之原先應力狀態與應變增量去計算出新的應力狀態。無論如何，必須確定所有 UDM 要求之任務能夠依設定之力學模式正確執行，並追蹤所協定的工作全部完成。

## 5-2 模擬斷面簡化分層

邊坡穩定模擬分析中並不需要如同第三章一般將地層分得非常仔細，而有必要將實際地層加以簡化，可將類似地質條件及地質厚度很薄之同類薄層，適度簡化及合併。表 5.1 及表 5.2 列出 N-1 鑽孔及 N-2 鑽孔之地質地層剖面。

表 5.1、N-1 鑽孔地層種類及層差

深度(米)	層	層差(米)
0~2.2	BF	2.2
2.2~13.7	SY	11.5
13.7~15.7	SG	2
15.7~18.9	C	3.2
18.9~23.7	SG	4.8
23.7~26.2	SJ	2.5
26.2~27.1	C	0.9
27.1~30.85	SJ	3.75
30.85~40	SG	9.15

表 5.1 所示為 N-1 鑽孔地層，先以軟弱層(C)先做為分層之分界線。孔口處至第一層軟弱層，深度差有 15.7 米，SY 的深差高達有 11.5 米，所以將孔口處至第一層軟弱層之間視為同一層。第一孔之兩層軟弱層之間由於厚度僅 7.3 米，且由 SG 為地層主要的控制種類，因此把它合併為同一層。至於第二個軟弱層以下，厚度有 12.9 米深，由 SG 所佔的深度達 9.15 米，因此第二個軟弱層以下至孔底 40 米處，簡化為同一層，最後由於鑽孔深度只有 40 米深，40 米以下沒有資料做佐證，因此姑且假設 40 米以下仍為同一層。

表 5.2、N-2 鑽孔地層種類及層差

深度(米)	層	層差(米)
0~13.17	BF	13.17
13.17~17.75	SY	4.58
17.75~26.15	SG'	8.4
26.15~29.8	C	3.65
29.8~38.5	SG'	8.7
38.5~41.35	SJ	2.85
41.35~42.4	SG'	1.05
42.4~44.1	SJ	1.7
44.1~52.8	SG'	8.7
52.8~56.8	C	4
56.8~59.35	SG'	2.55
59.35~63.47	SJ	4.12
63.47~64.4	SG	0.93
64.4~66.75	SJ	2.35
66.75~67.8	SG	1.05
67.8~80	SJ	12.2

至於 N-2 鑽孔，一樣以軟弱層(C)作為分層之分界線。由表 5.2 可發現，與 N-1 鑽孔一樣，具有兩層軟弱層(C)。孔口處至第一層軟弱帶，厚度有 26.15 米，回填土(BF)佔有 13.17 米深，所以將孔口處至第一層軟弱層之間視為同一層。N-2 孔之兩層軟弱層之間，厚度有 23 米深，雖然有 SJ 存在，但是厚度僅有 4.55 米，其餘為 SG 所控制著，因此兩層軟弱層間設定為同一層。第二層軟弱層以下至 67.8 米之間，SG 及 SJ 相互穿插，因此視為同一個層。而 67.8 米以下至 80 米之間，屬於新鮮岩盤但具有節理面，因此 67.8 米以下歸為同一層。最後將 N-1 鑽孔及 N-2 鑽孔之分層深度範圍整數化並製成表 5.3。

表 5.3、分層相對深度及種類

分層種類	第一孔分層(米)	第二孔分層(米)
崩積層(AA)	0~16	0~26
軟弱帶(BB)	16~19	26~30
風化板岩(CC)	19~26	30~53
軟弱帶(BB)	26~27	53~57
風化板岩(CC)	27~40	57~68
新鮮岩盤(DD)	40 以下	68~80 以下

### 5-3 數值模擬模型與結果

考慮力學分析網格之邊界條件，在網格之左右邊界上限制水平方向不可有位移發生，在網格底部邊界則限制其垂直與水平方向無位移。實際 N-1 孔及 N-2 孔高程差約 60 米左右，水平長約 90 米，為容納第一孔 40 米之鑽孔深，所以將深度延深至 60 米。為避免重力平衡時，邊界之垂直應力分佈較不均勻，在分析剖面之兩端再各再增加一段水平地層，因此實際模擬剖面範圍長 180 米，高 120 米(詳圖 5.2)。為避免運算時間過長，在規則網格的部分將模型中每一網格設為 2m\*2m。各層分區之位置詳圖 5.3，AA、BB、CC 及 DD 層數值模擬參數輸入值詳表 5.4。

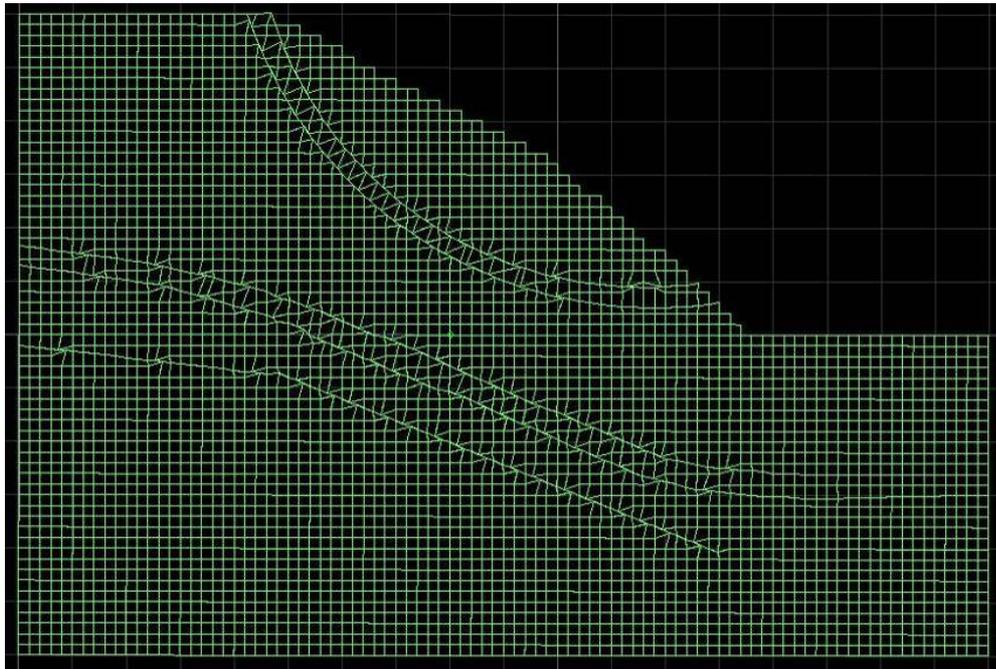


圖 5.2、模擬剖面網格

表 5.4、AA、BB、CC 及 DD 層數值模擬參數輸入值

分層種類	density (kg/m <sup>3</sup> )	elastic modulus E(GPa)	poisson's ratio	cohesion (KPa)	friction angle (deg)
AA	1600	1.000	0.25	19.0	28
BB	1800	1.000	0.25	19.0	20
CC	2500	0.395	0.28	44.0	30
DD	2884	36.500	0.29	200.0	33

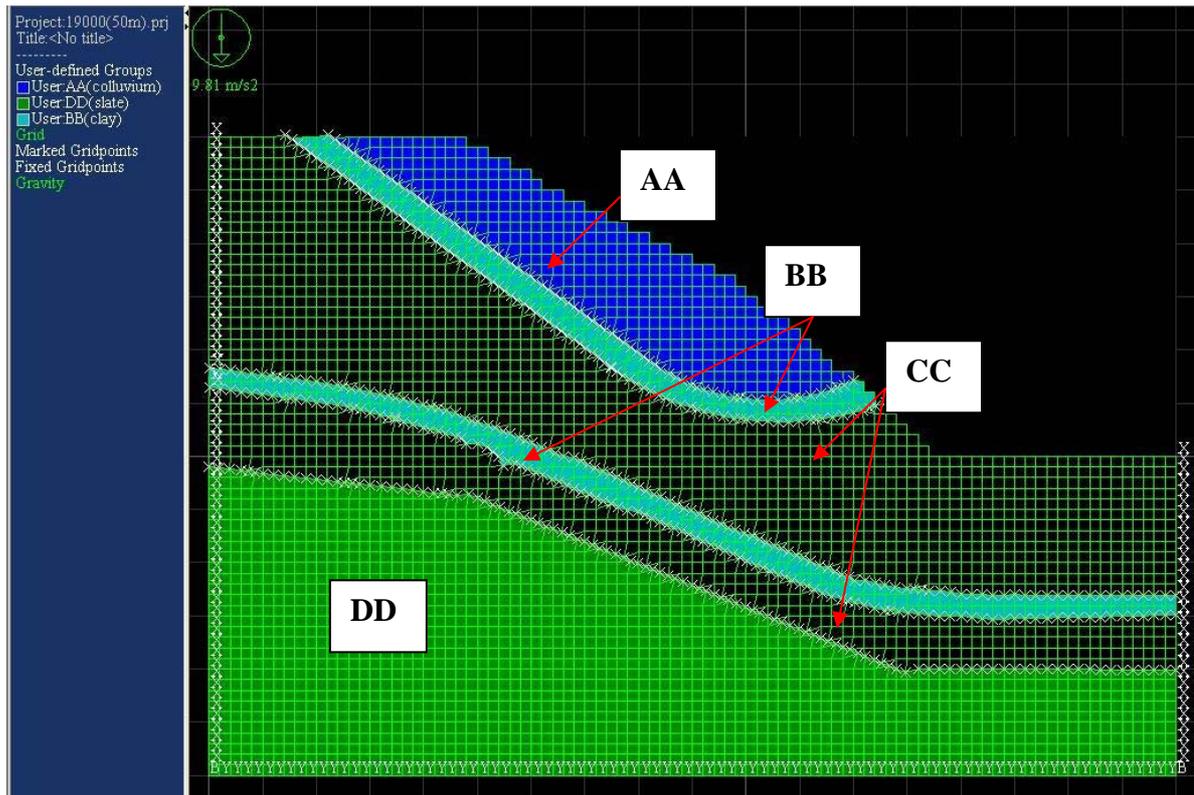


圖 5.3、各層分區圖

CC 及 DD 層的密度與彈性係數引自伴隨本論文同步進行之另二篇論文（黃玉麟，2006；劉盛華，2006）所完成之室外及室內試驗得到的參數值。AA 層之凝聚力  $c$  則引用工業技術研究院(1993)之  $c=0.1\sim 2.2(t/m^2)$  之值。其餘大部分的參數值則引用了林光敏(2003)年的參數，並作一些適度的調整。

將上述所得到的參數值，分別代入 FLAC 內設定之各地層內，觀察不平衡力、剪應變增量及位移圖，藉以判斷當此地層條件下，邊坡所發生的狀態。首先當模型進行重力平衡時，在不含地下水位的影響下，由於不平衡力無法讓它整個收斂至極小值，故改設疊代的方式，即設為 step 的步數，結果發現不平衡力呈現趨向一個穩定值，因此判定它趨近穩定了(圖 5.4)。由圖 5.5 發現到，主要位移均集中在邊坡上，從剪應變累積增量(圖 5.6)來看，其主要集中於邊坡之坡趾處，並朝向上邊坡的方向，形成一個帶狀的區域，為可能的弱面滑動區。

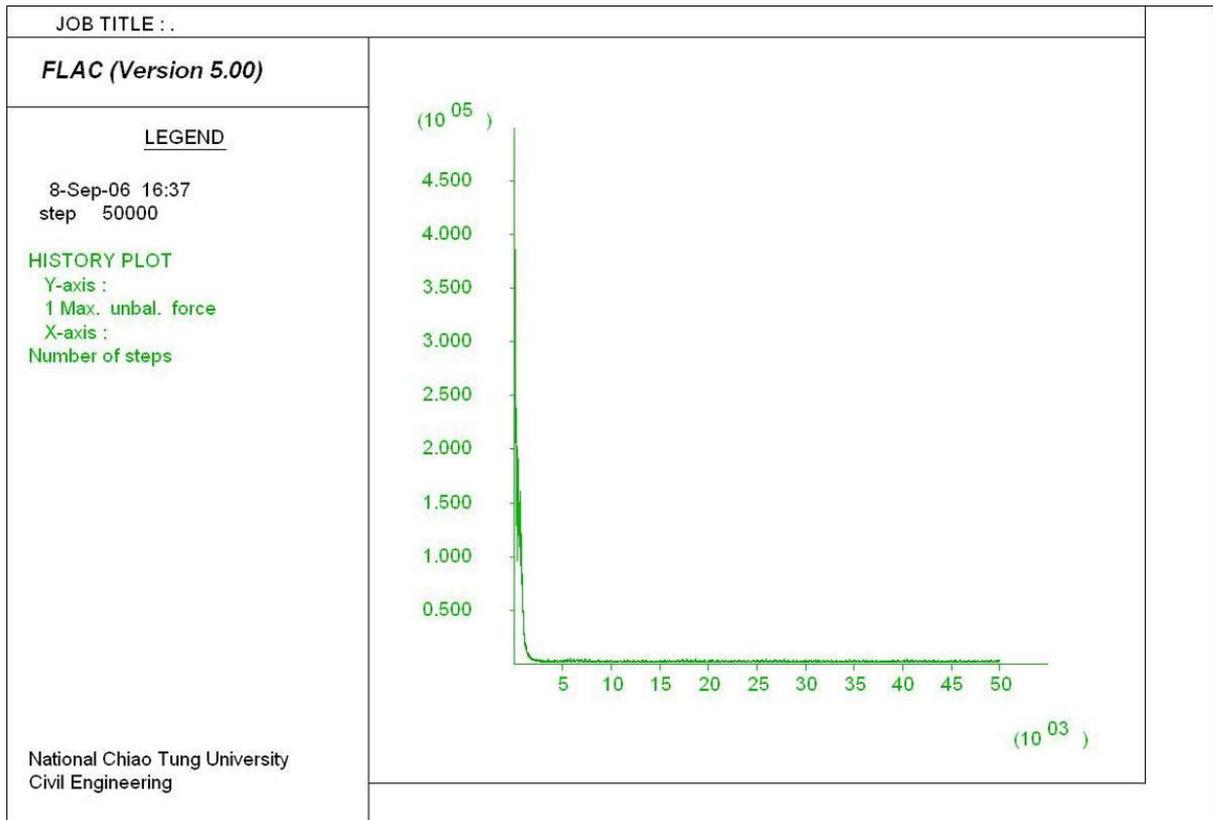


圖 5.4、重力平衡時之不平衡力圖

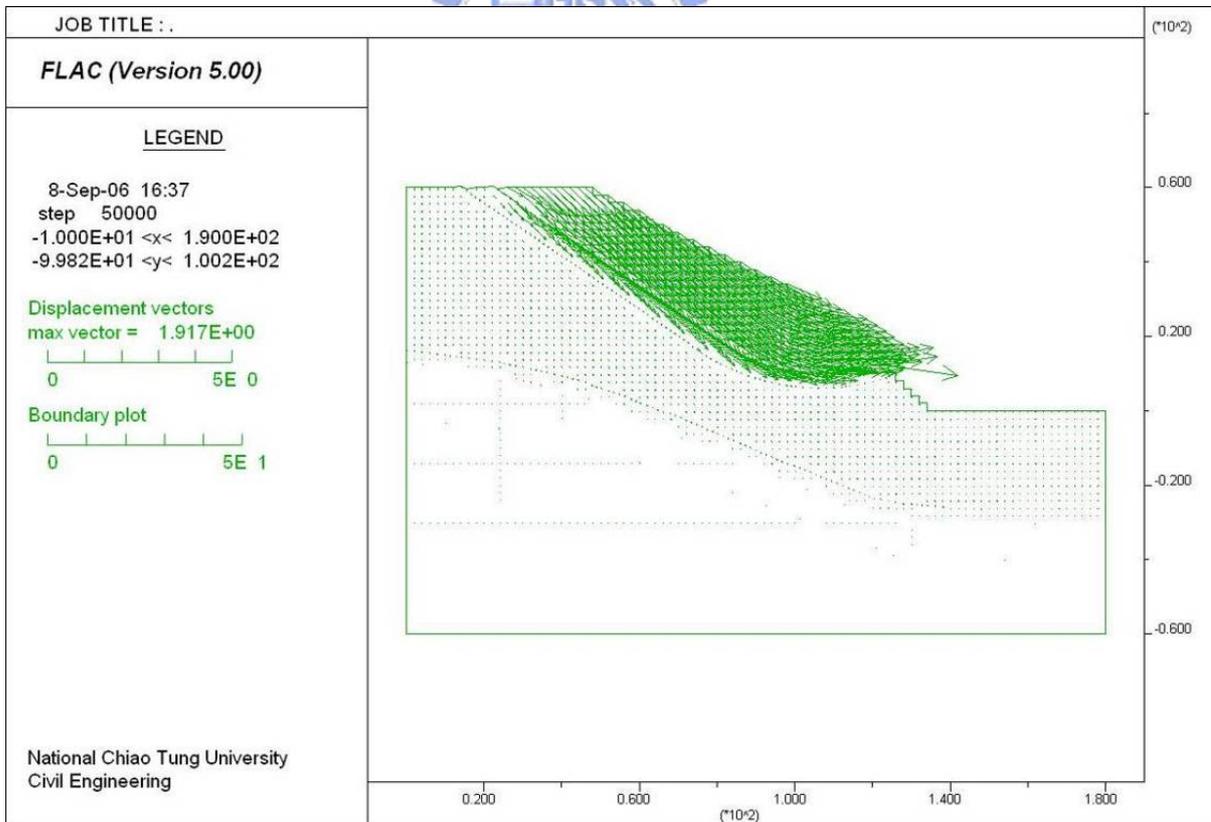


圖 5.5、重力平衡時之位移分佈圖

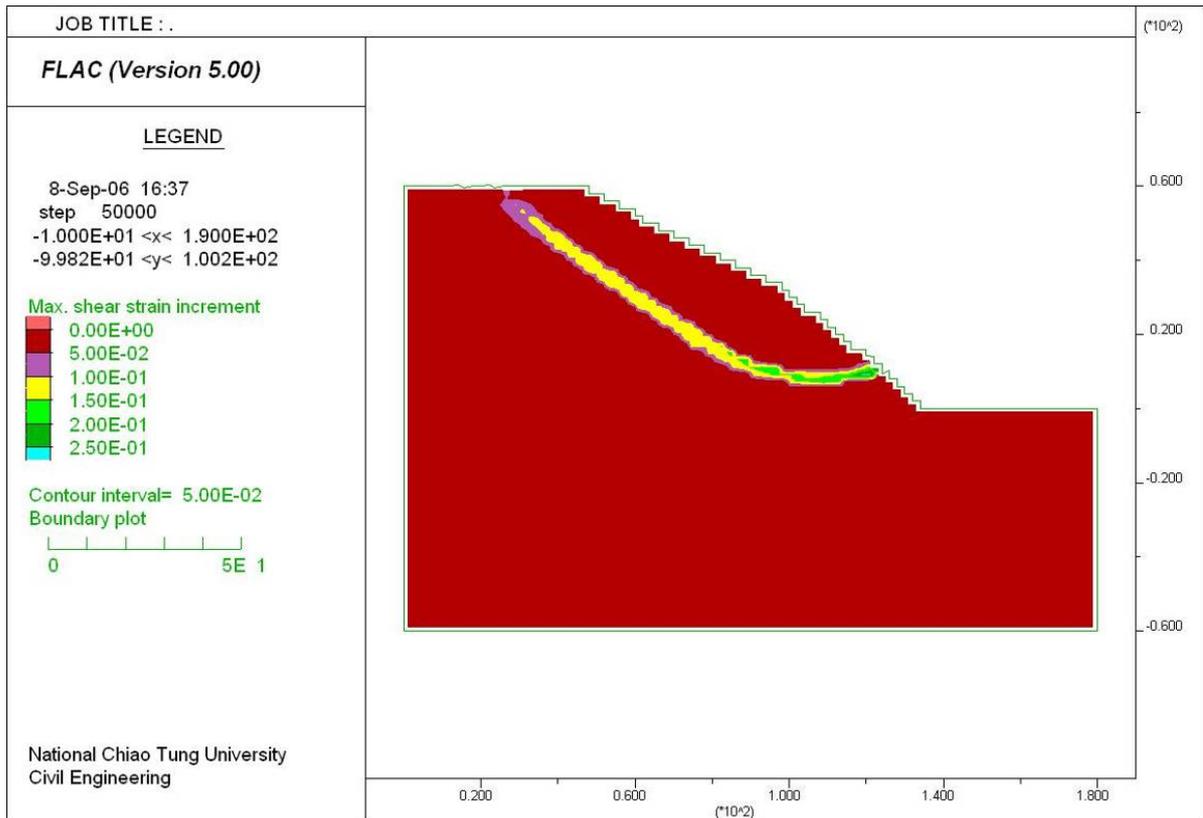


圖 5.6、重力平衡時之剪應變累積增量圖

在此現有的地質條件下，進行邊坡穩定分析，因此嘗試提出在不同的情況下安全係數的評估。此階段乃是藉由折減之觀念，先假定其安全係數值，再利用下面折減之公式(5.1 及 5.2)，可獲得折減後之剪力強度參數(凝聚力與摩擦角之正切值)，利用此值進行模擬分析，並同時觀察不平衡力，以判斷邊坡是否不穩定了。當所設的安全係數值越高的時候，表示折減後的剪力強度值越低，則邊坡破壞的機率越高。直到破壞的時候，表示內部之應力已不能維持平衡了，這時候的安全係數，則稱為臨界安全係數。

$$c_r = c / FS \quad (5.1)$$

$$\varphi_r = \varphi / FS \quad (5.2)$$

式中  $C_r$ ：折減後之凝聚力

$C$ ：原本之凝聚力

$\varphi_r$ ：折減後之摩擦角

$\varphi$ ：原本之摩擦角

$FS$ ：安全係數

當假定安全係數為  $FS=1.01$  時，則邊坡岩體內之應力已幾乎無法達到平衡，觀察圖 5.7 我們可看到此狀態下，不平衡力跳動非常劇烈。在此邊坡地質條件下，邊坡發生整體性破壞，同時處於臨界狀態，而此時的安全係數則為臨界安全係數。

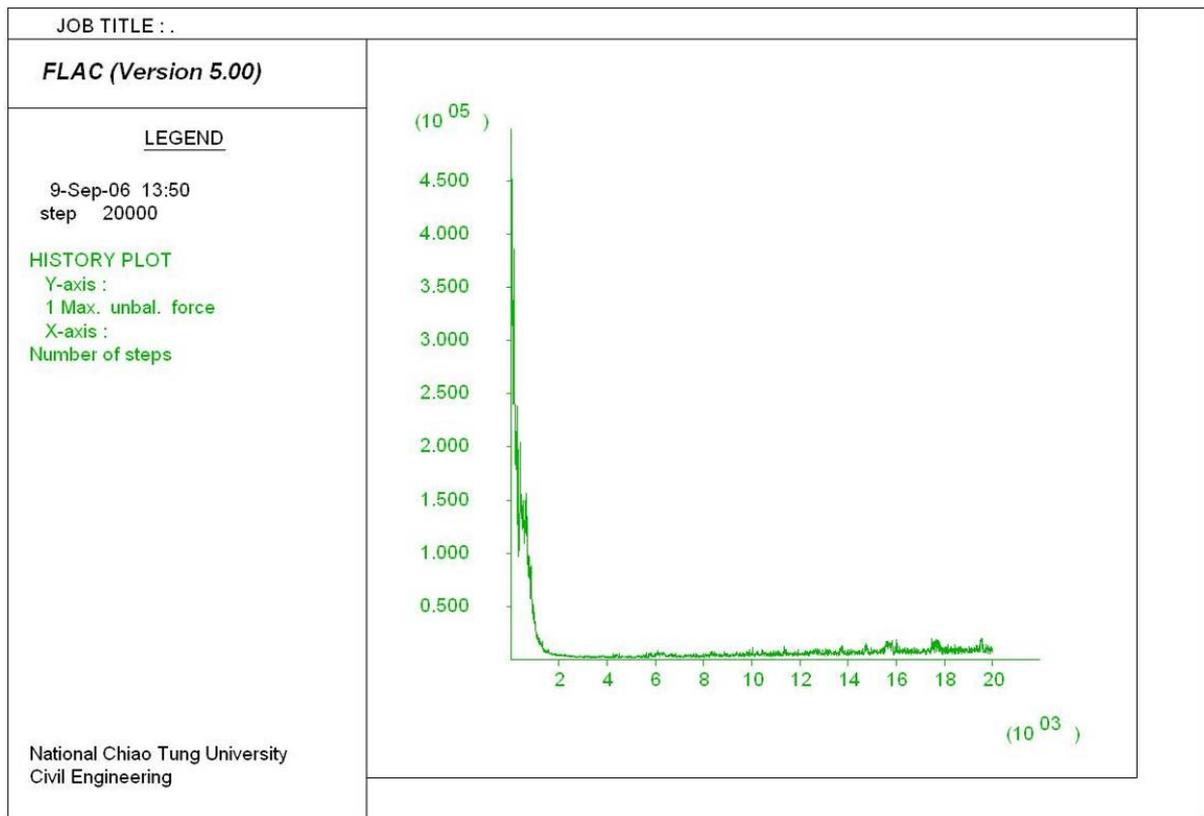


圖 5.7、FS=1.01 時之不平衡力圖

在邊坡穩定分析的過程當中，水的因素佔有很高的比例，也最為複雜。地下水位的上升，會使靜態水壓力增加，有效應力降低，還會潤滑邊坡的地質，地質內的填充物也因此軟化、膨脹，均間接降低了剪力強度，這也就是當有下大雨時，邊坡會滑動的最大因素。本研究分兩部份，首先針對邊坡各地質的剪力強度參數值，予以提升，求取在含有地水位下臨界狀態之安全係數；另外一部份，則探討地下水位高程變動的影響，以求取臨界狀態下之地水位高程。

接續上述的模擬，當模型進行重力平衡時，並考慮地層中存在地下水位時，假設在相同的地層強度參數下，由圖 5.8 發現到，圖的前半部為不含地下水的影響，不平衡力仍然保持穩定的一個趨勢，後半部則加入地下水位的影響，很明顯的發現到不平衡力跳動的很劇烈。接著為探求邊坡在含地下水的穩定分析，也就是求當邊坡發生整體性破壞，同時處於臨界狀態下，求其安全係數，也就是臨界安全係數。因尚未得知臨界安全係數的真正確切的值，故本例於初始狀態的時候，即先假設很低的 FS=0.5，根據此值再判斷此狀態下之不平衡力的穩定度，若仍然呈現不穩定時，則 FS 持續往下降。如果穩定了，利用內插的方式取中間值，此時 FS=0.75，再判定是否穩定。依此方式，即可很快的求取臨界之安全係數。藉由上述評估臨界安全係數的方法，在含有地下水位之影響下，將整體安全係數往下調整至 0.74 時，發現到圖 5.9 之後半部不平衡力呈現穩定了。

也就是說因為加入地下水位時，造成有效應力降低，產生不平衡了，因此將整個地層之剪力強度值往上調整，直至安全係數為 0.74 時，邊坡呈現穩定的狀況。圖 5.10 為在受地下水位影響下，受重力平衡後，不平衡力達穩定時之位移圖，其主要位移發生在邊坡上。圖 5.11 則為剪應變累積增量圖，由圖可發現主要集中於邊坡之坡趾處，漸漸的往上邊坡方向發展。

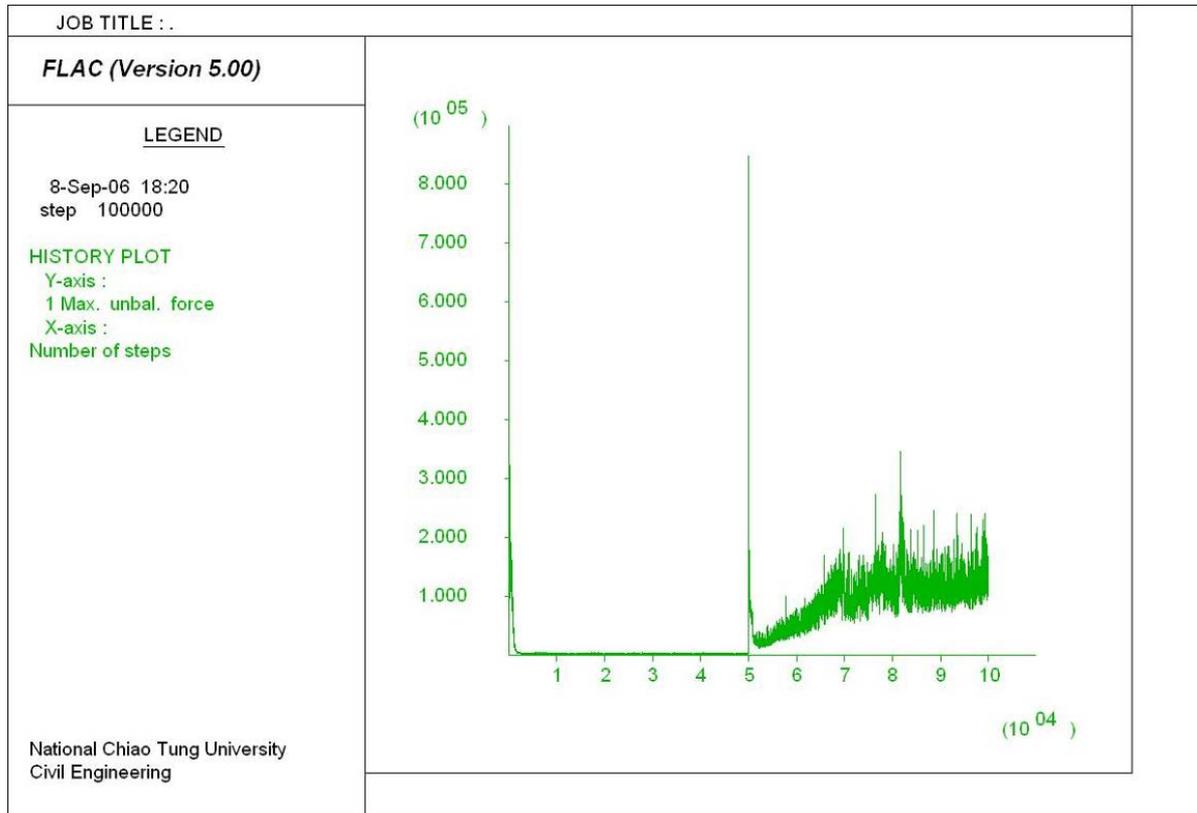


圖 5.8、加入地下水位影響後之不平衡力圖

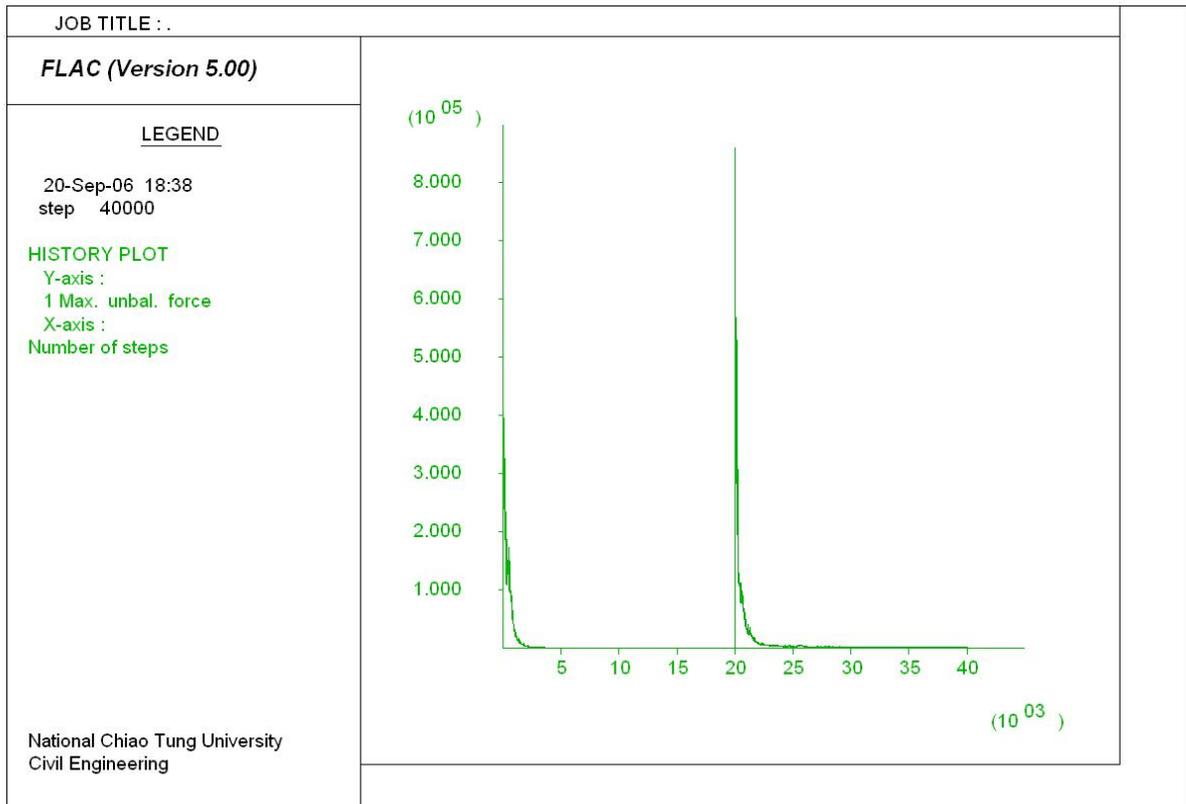


圖 5.9、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之不平衡力圖

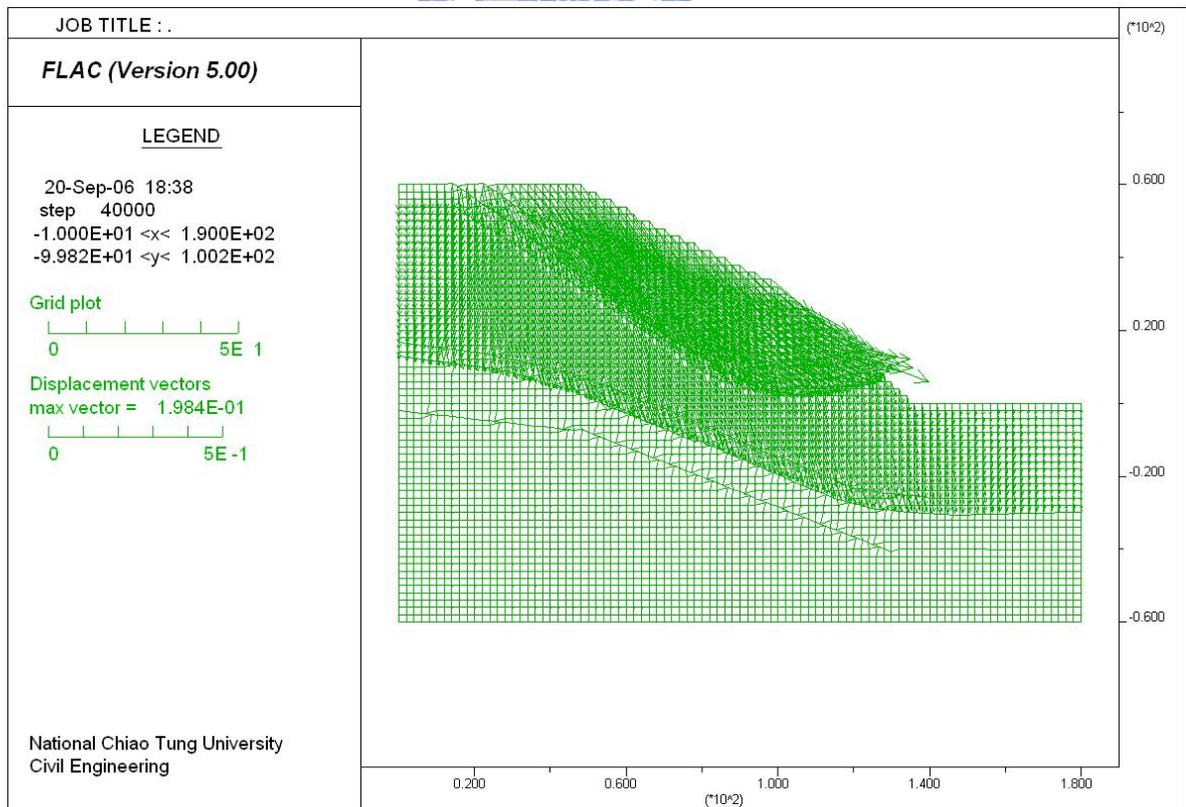


圖 5.10、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之位移圖

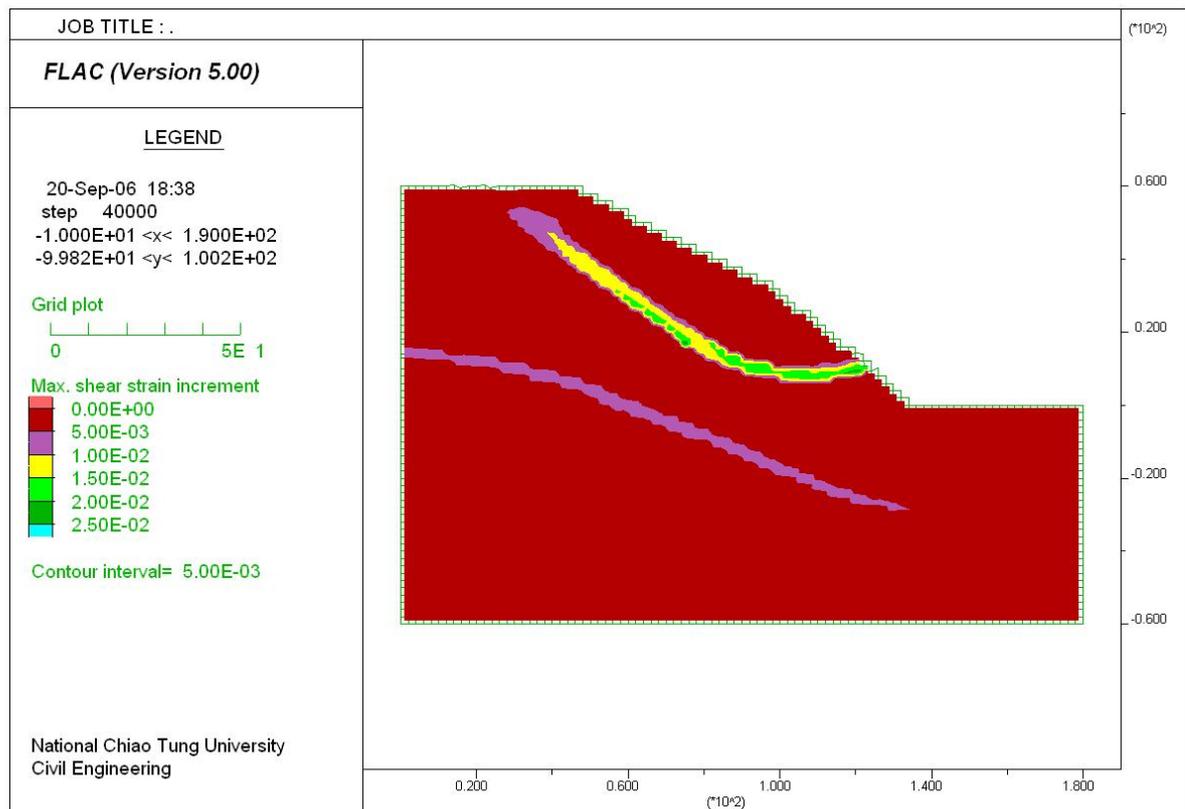


圖 5.11、將整體安全係數調至 FS=0.74 時之剪應變累積增量圖

FLAC 模擬程式中，地下水位之建立，乃是利用指令 WATER TABLE 將它串聯起來，其中(x, y)代表其相對應水位高低座標位置，座標中的 y 值，代表高程。分析的方法是採用有效應力分析法，並同時定義土體的單位重。如果岩體位於地水位線以下為濕單位重，反之位於水位線以上時則為乾單位重。

接著探討地層中地下水位高程變動的影響。假設在相同的地層強度參數下，發現到當地下水位位於地表下 10 米時，有效應力降低，造成在重力平衡下，不平衡力無法趨向穩定(圖 5.12)。當地下水位位於地表下 25 米時，不平衡力仍然呈現不穩定，不過有發現到不平衡力變小了(圖 5.13)，直到地下水位降至地表以下 33m 處，則不平衡力穩定了(圖 5.14)。圖 5.15 及 5.16 分別代表在此穩定狀態下之位移量及剪應變累積增量。顯示說當地下水位高於地表下 33m 時，邊坡會呈現不穩定的狀況。

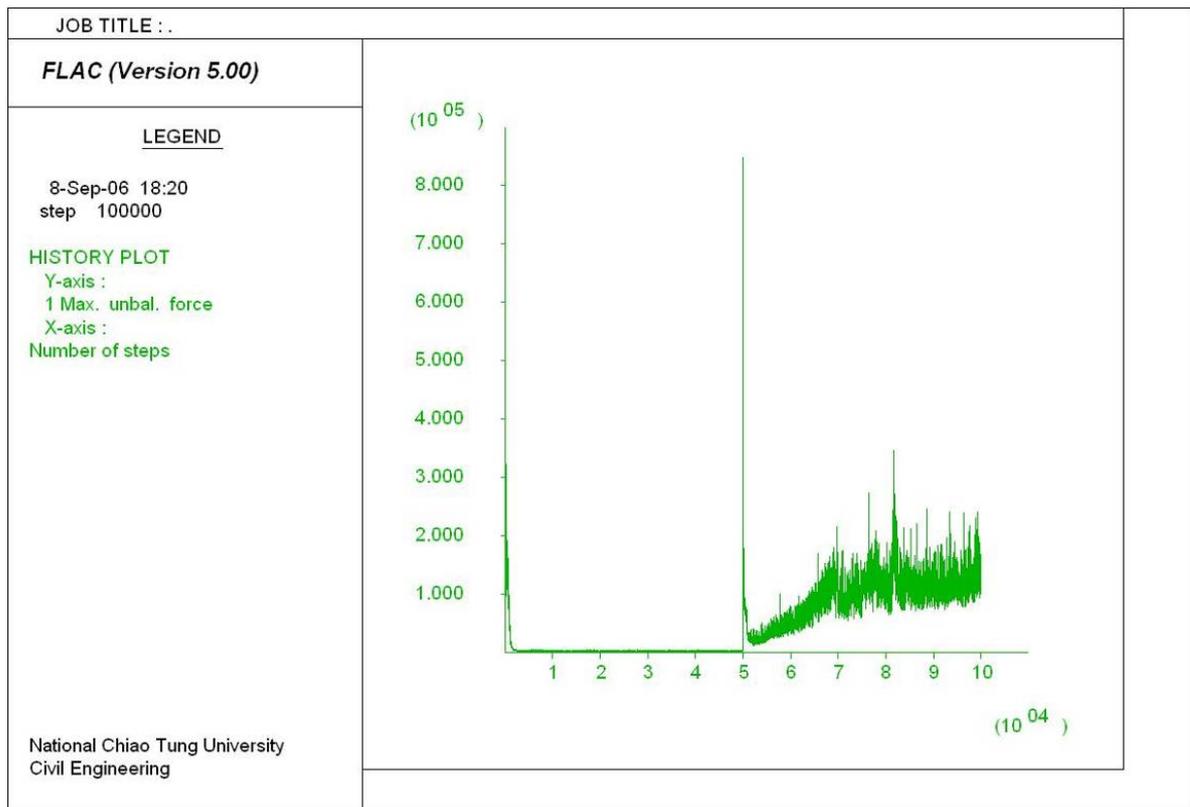


圖 5.12、地下水位位於地表下 10m 之不平衡力圖

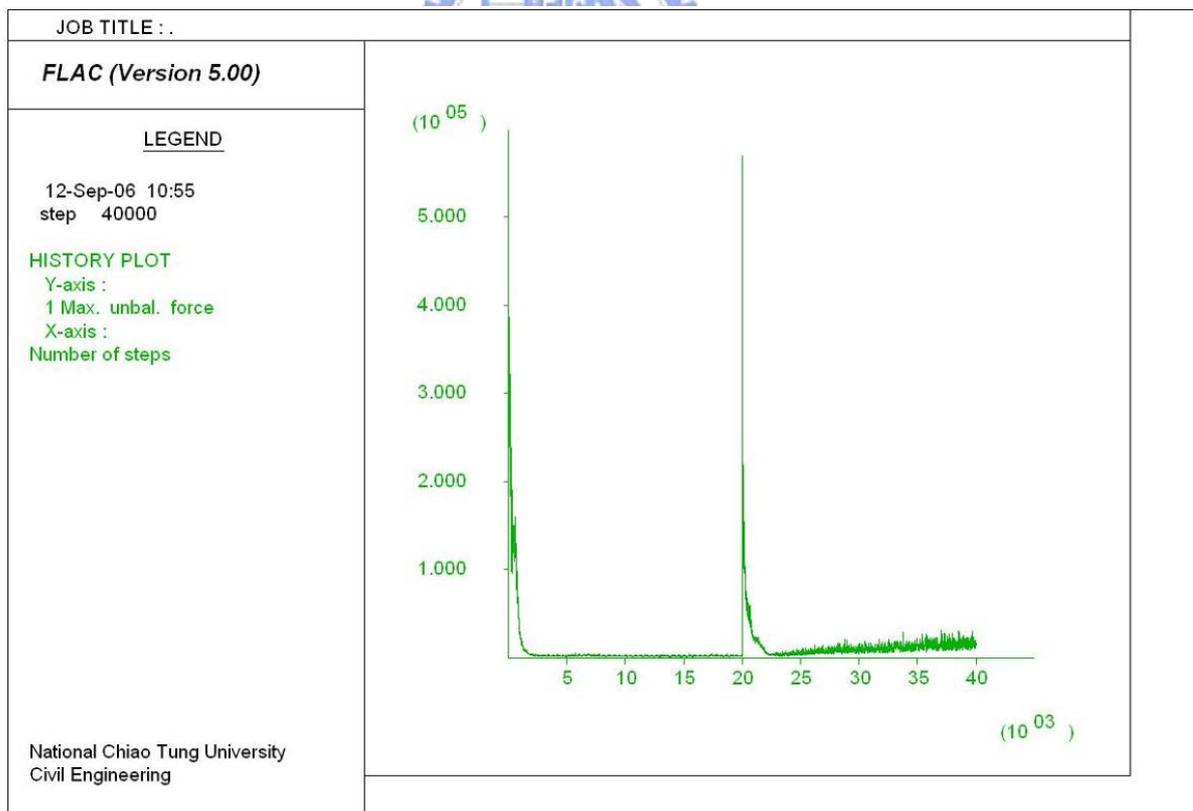


圖 5.13、地下水位位於地表下 25m 之不平衡力圖

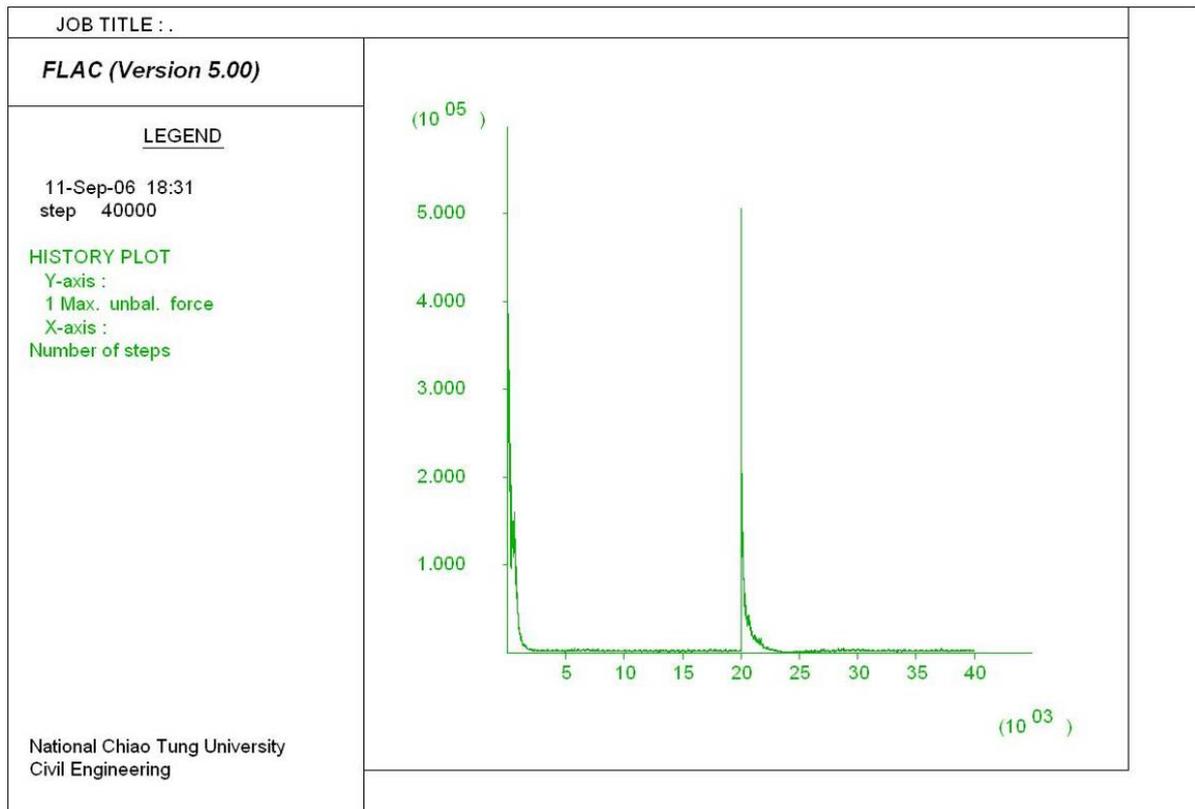


圖 5.14、地下水位位於地表下 33m 之不平衡力圖

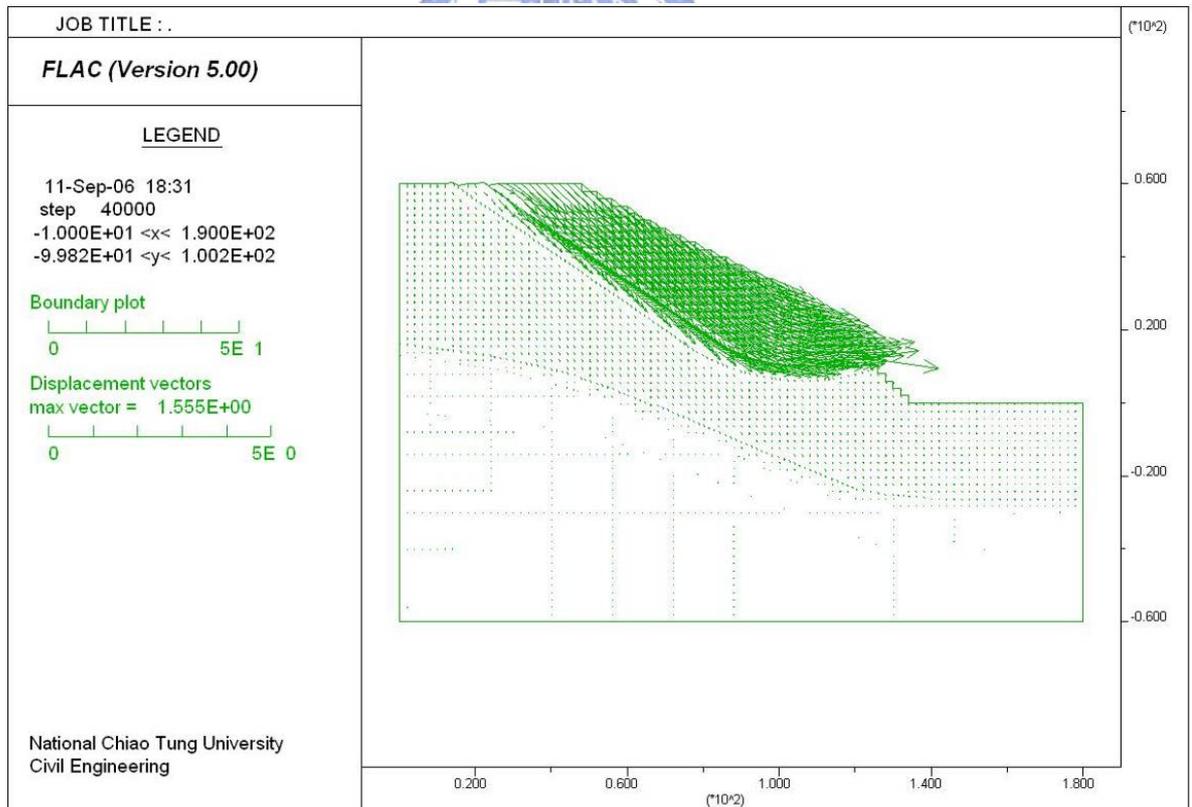


圖 5.15、地下水位位於地表下 33m 之位移圖

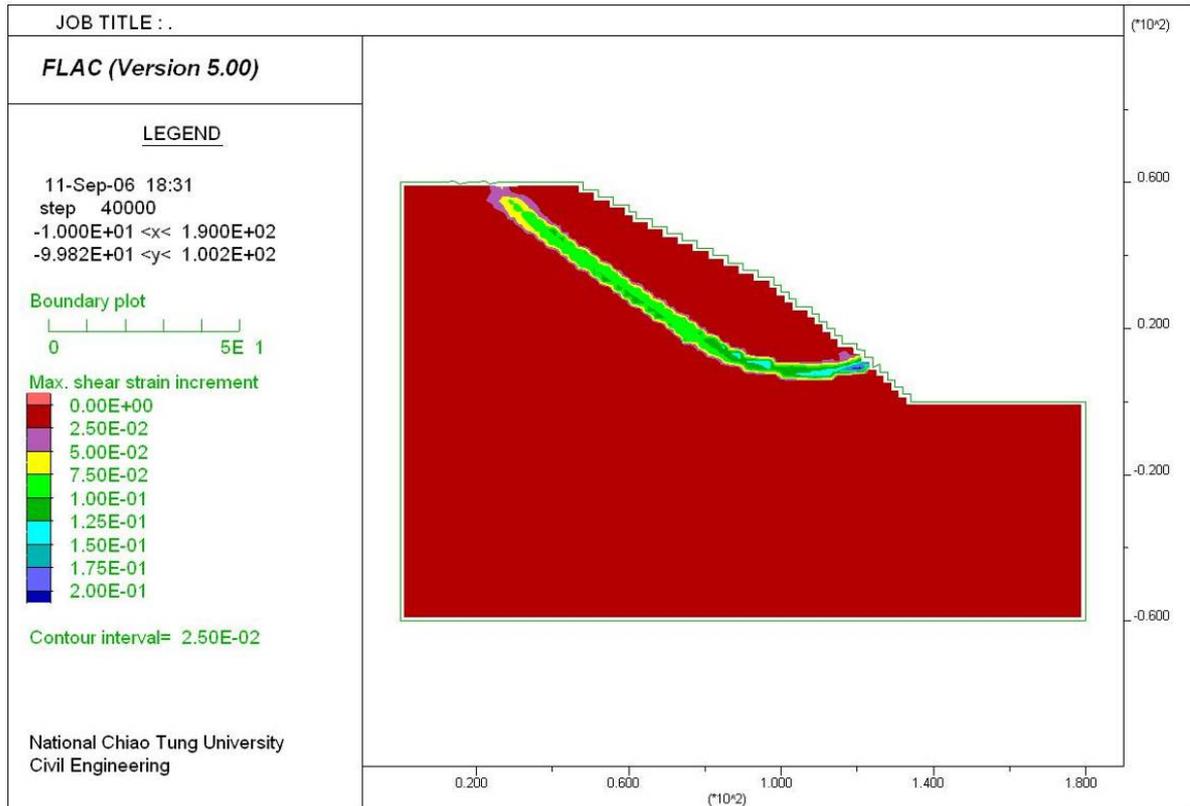


圖 5.16、地下水位位於地表下 33m 之剪應變累積增量圖

#### 5-4 結果討論

當模型在重力平衡，沒有受地下水位之影響下，邊坡穩定之安全係數為 1.01。若此時加入地下水時，有效應力降低，調整整體之剪力強度值，往上調整 1.35 倍時，則呈現穩定了。另外考慮地下水位高低之影響，發現在低於地表下 33m 時，則不受影響了。梨山現場所量測到的地水位，接近地表下 30m 處，所以現在假設之地層參數下，則推測現地是處於臨界的狀況。