

# 應用基因演算法求解擾動狀態概念最佳材料參數之研究

蔡佩勳、林佩君、黃秀雅

朝陽科技大學營建工程系

E-mail: phtsai@cyut.edu.tw

## 摘要

因 Desai 所提出的擾動狀態概念模式 (Disturbed State Concept, DSC) 可模擬土壤受剪時應變硬化與軟化的受剪行為, 其材料參數共有七個, 這些參數的決定一般皆由土壤三軸試驗結果來決定, 然而 Desai 建議的材料參數決定方法對體積應變-軸向應變的模擬卻不甚理想。本研究以實數型基因演算法來決定「擾動狀態概念模式」的材料參數, 並進行擾動狀態概念材料參數的敏感度分析。因 FLAC 分析軟體並未內建 DSC 模式供使用者使用, 因此本研究將以 Fish 語言撰寫成 FLAC 可執行之副程式。本研究也將進行壓密排水三軸試驗, 探討渥太華砂 (ASTM C-109) 在兩種不同的圍壓 (207kPa、345kPa) 之受剪行為, 比較 Desai 建議的方法所得到的 DSC 材料參數與本研究所採用的基因演算法所得到的 DSC 材料參數的結果, 由分析結果可發現 Desai 建議的材料參數在軸差應力-軸向應變曲線可得較佳的模擬, 然而體積應變-軸向應變的曲線模擬結果卻不佳; 而本研究所建議的基因演算法所得的最佳材料參數可較佳地模擬渥太華砂三軸試驗的試驗結果。

**關鍵詞:** 擾動狀態概念、數值分析、基因演算。

## 1. 前言

材料結構在外加載重及環境因素作用下將出現例如: 微裂縫的形成、擴展、空洞萌生等等微觀不可逆變化, 這些微觀變化造成材料宏觀力學性劣化, 即材料損傷。由於材料和構件可能存在初始微觀損傷, 並且隨著加載過程, 損傷會逐漸成長與累積, 最終導致構件的斷裂, 因此材料微觀損傷可運用於預測材料宏觀的力學行為之參考。

土壤材料的強度與變形性是重要的工程參數, 其影響因素也常為大地工程學研究的重要課題。一般而言, 內摩擦角與凝聚力常用以評估土壤之剪力強度, 而柏松比與楊氏係數常用以描述變形特性。Desai (2000) 【1】提出另一種土壤受剪行為之思考模式, 他認為土壤在受外力的過程中, 因承受外力使得土壤內部產生微觀擾動, 材料的強度等力學性能便會降低, 導致材料和力學性能產生宏觀變化。這種有關材料損傷的研究, 過去學者都曾在這領域進行過研究。Desai 在微觀上認為材料為兩種相態所組成, 一為相對完好 (relative intact state, RI state) 狀態, 一為完全調適狀態 (fully adjusted state, FA state), 真實的材料狀態是介於此兩者之間。它是將土壤在受剪時產生的力學反應以損傷的角度來探討, 是另一個研究土壤力學行為的方向, 本研究擬以 DSC 模式來評估土壤受剪時之損傷行為, 並建立一套

DSC 材料參數的決定方法。

本研究的目的主要分為以下三點:

1. 建立可在 FLAC 軟體使用一擾動狀態概念 (DSC) 組合律的 Fish 副程式, 作為發展評估損傷模式之用。
2. 針對擾動狀態概念七個材料參數包括:  $n$ 、 $\gamma$ 、 $\beta$ 、 $a_1$ 、 $\eta_1$ 、 $A$ 、 $B$  等進行參數敏感度分析。
3. 比較 Desai 所建議的材料參數決定方法與實數型基因演算法所得到的土壤 DSC 材料參數, 對渥太華砂三軸試驗結果之模擬差異。

本研究首先建立 Desai 【1】所提出有關評估材料損傷程度之「擾動狀態概念」—DSC 損傷模式的 Fish 副程式, 因為此模式並未內建於 FLAC 軟體供使用者使用, 故需以 Fish 語言 (FLAC 可辨識之程式語言) 將此模式撰寫成一外掛程式, 以便在進行 FLAC 分析時, 以呼叫方式代入主程式中進行分析。然後進行 DSC 材料參數之敏感度分析, 以討論這些參數對力學行為之影響, 並釐清其數據範圍。最後以 Desai 建議公式以及實數型基因演算法所得的 DSC 材料參數進行三軸試驗模擬再與試驗結果進行比較。

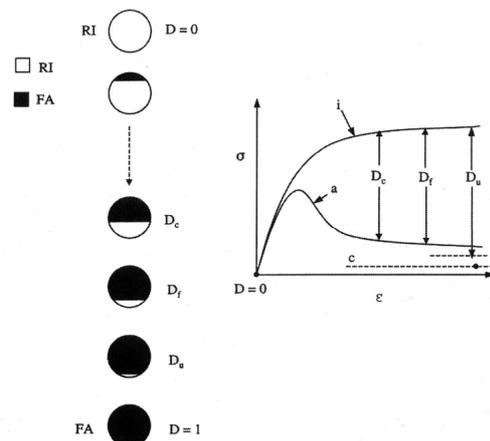


圖 1. 擾動狀態概念示意圖 (摘自 Desai, 2000 【1】)

當材料在受到載重或環境外力時, 會對材料的微觀結構造成改變或擾動, 部分的材料會從相對完好狀態逐漸調整到完全調適狀態以平衡此載重或環境外力, 圖 1 為擾動狀態概念的示意圖。初始狀態為相對完好狀態 (RI state), 而完全調適狀態 (FA state) 則為破壞狀態或極限狀態, 材料的行為則是介於此兩者之間。材料的

行為端看材料中有多少比例處於 RI 狀態，多少比例處於 FA 狀態。而此比例稱為損傷函數 (disturbance function)  $D$ ，其值介於 0~1 之間，當  $D=0$  時表示材料完全處於 RI 狀態，材料行為完全由 RI 狀態的行為控制，當  $D=1$  時表示材料完全處於 FA 狀態，其行為完全由 FA 的行為控制。

RI 狀態和 FA 狀態則分別可以套用不同的組合律，以模擬材料不同的非線性行為。本研究以 HISS- $\delta_0$  model (Desai, 【1】) 作為 RI 狀態，以臨界狀態來當作 FA 狀態。

Desai (1996) 【2】以 DSC 模式及其有限元素軟體模擬與材料的週期和時間有關的行為。他認為 DSC 模式能被用於模擬彈塑性問題、熱黏塑性問題、與時間有關的疲勞和退化之問題、及因溫度弱化之問題，還可模擬接合處和介面行為的特性，在其研究也提出有關材料剩餘壽命和微裂縫密度的計算，他利用水泥和砂混合製成的土壤水泥試體和陶瓷二種材料，透過數值模擬與試驗結果做比較，由其結果顯示出 DSC 模式可有效模擬材料損傷後之行為。

Varadarajan 與 Sharma 等人 (2003)、(2006) 【3】

【4】兩篇文章中提到，從壩址得到石材並進行大型三軸試驗求得應力應變與體積應變關係，再利用 Desai 所撰寫的擾動狀態概念來模擬兩種石材的材料行為，模擬結果可得到良好的預估行為。他們認為擾動狀態概念可用於固體材料，如顆粒狀材料、混凝土等材料。

## 2. 三軸排水試驗與試驗結果

本研究使用的砂樣為渥太華砂，為美國材料試驗標準砂之一 (ASTM C-109)，渥太華砂為均勻的石英砂。渥太華砂的顆粒形狀接近圓形，因此以其當實驗材料，以剔除顆粒形狀之影響。

本研究中的砂土三軸試驗之主要目的在於求得一個合理且通用的應力-應變模式以計算 DSC 的材料參數。圍壓選擇 207kPa、345kPa，在進行三軸試驗時，為避免砂土於試驗過程中顆粒被壓碎，採用砂土皆不重複使用，資料的擷取及計讀由電腦自動記錄 (圖 2)。

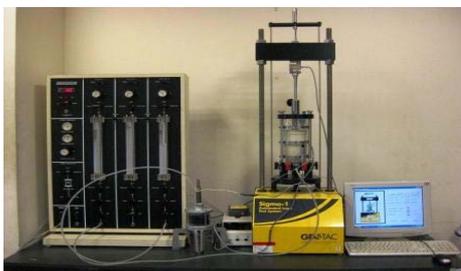


圖 2. 三軸試驗儀器及計讀系統

本研究共進行 2 組三軸試驗，各試驗之結果與圖 3、4 所示。由這些試驗結果中發現鬆砂的軸差應力隨著圍壓與軸向應變率增加而增加，當軸差應力達到定值時會趨近穩定。

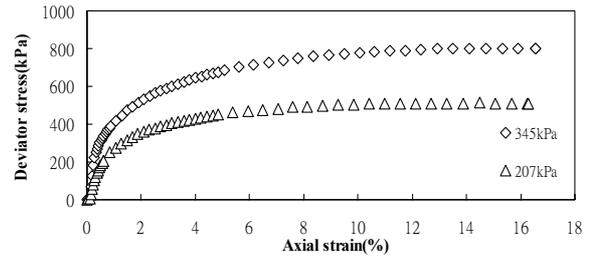


圖 3. 不同圍壓下飽和砂相對密度  $D_r=20\%$  之三軸應力-應變行為

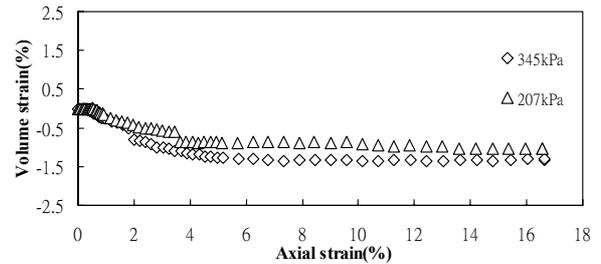


圖 4. 不同圍壓下飽和砂相對密度  $D_r=20\%$  之三軸體積-應變行為

## 3. 數值分析方法

本研究主要是以 FLAC 程式結合 Fish 語言所撰寫之 DSC 模式副程式，模擬三軸試驗試體受到圍壓及剪動後之應力-應變變化情形，利用 Desai 【1】所提出的公式進行 DSC 參數運算，再運用基因演算法得到 DSC 材料參數之最佳值，然後比較此兩種方法模擬三軸試驗之結果。以下將分別就本研究所採用的 FLAC 程式，DSC 運算程序之分析方法分別說明。

### 3.1 擾動狀態概念之組合律模式

當彈性階段進入塑性階段，必須滿足降伏準則 (yielding criterion)；材料在未降伏前仍滿足線彈性之虎克定律且降伏函數小於零，若進入塑性，則降伏函數等於零，且產生塑性變形與塑性應變。因此，總應變增量可分為彈性應變增量與塑性應變增量之總和，如下式：

$$d\varepsilon = d\varepsilon^e + d\varepsilon^p \quad \text{式(1)}$$

其中

$d\varepsilon^e$ ：彈性應變增量， $d\varepsilon^p$ ：塑性應變增量

HISS- $\delta_0$  降伏函數之定義為：

$$F = \frac{J_{2D}}{P_a^2} - \left[ -\alpha \left( \frac{J_1}{P_a} \right)^n + \gamma \left( \frac{J_1}{P_a} \right)^2 \right] (1 - \beta S_r)^{-0.5} = 0 \quad \text{式(2)}$$

$$n = \frac{2}{1 - \left( \frac{J_{2D}}{J_1^2} \right) \frac{1}{F_s \gamma}} \quad \text{式(3)}$$

$$F_s = (1 - \beta S_r)^{-0.5} \quad \text{式(4)}$$

$$S_r = \frac{\sqrt{27}}{2} \frac{J_{3D}}{J_{2D}^{3/2}} \quad \text{式(5)}$$

$$\alpha = \frac{a_1}{\xi^{\eta_1}} \quad \text{式(6)}$$

$$\xi = \int (d\varepsilon^p \cdot d\varepsilon^p)^{1/2} \quad \text{式(7)}$$

$$J_1 = \sigma_{ii} = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33} \quad \text{式(8)}$$

$$J_2 = \frac{1}{2} \sigma_{ij} \sigma_{ji} \quad \text{式(9)}$$

$$J_3 = \frac{1}{3} \sigma_{ik} \sigma_{km} \sigma_{mi} \quad \text{式(10)}$$

$$J_{2D} = J_2 - \frac{J_1^2}{6} \quad \text{式(11)}$$

$$J_{3D} = J_3 - \frac{2}{3} J_1 J_2 + \frac{2}{27} J_1^3 \quad \text{式(12)}$$

式中

- $J_1$ 、 $J_2$  和  $J_3$  為應力不變量
- $J_{2D}$ 、 $J_{3D}$ ：偏差應力不變量
- Pa：大氣壓力
- F：HISS- $\delta_0$  模式之降伏函數
- $d\varepsilon^p$ ：塑性應變增量
- $\xi$ ：累積塑性應變
- $a_1$ 、 $\eta_1$ 、 $n$ 、 $\gamma$ 、 $\beta$  為 DSC 材料參數

$$P_1 = \left[ \sqrt{\gamma} (1 - \beta)^{-1/4} \right]_E = \frac{2}{3} \left( \frac{\sin \phi_c}{3 - \sin \phi_c} \right) \quad \text{式(13)}$$

$$P_2 = \left[ \sqrt{\gamma} (1 + \beta)^{-1/4} \right]_E = \frac{2}{3} \left( \frac{\sin \phi_E}{3 + \sin \phi_E} \right) \quad \text{式(14)}$$

其中

$$p' = \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{-4} \quad \text{式(15)}$$

$$\beta = \frac{1 - p'}{1 + p'} \quad \text{式(16)}$$

- $\beta$ 、 $\gamma$  為 DSC 材料參數
- 下標 C、E 分別為受壓力及張力作用

在目前的分析中， $\phi$  角在壓縮和伸張降伏面假設為相同，即  $\phi_c = \phi_E$ 。

一般彈塑性材料之應力增量與應變增量之關係可寫為下式：

$$d\sigma = C^{ep} \cdot d\varepsilon \quad \text{式(17)}$$

如果材料的降伏函數等於塑性潛能函數即滿足諸和流法則 (associative flow rule)，此時  $C^{ep}$  如下式所示：

$$C^{ep} = C^e - \frac{C^e \frac{\partial F}{\partial \sigma} \left( \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right)^T C^e}{\left( \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right)^T C^e \frac{\partial F}{\partial \sigma} - \frac{\partial F}{\partial \xi} \left[ \left( \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right)^T \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right]^{1/2}} \quad \text{式(18)}$$

其中

- $d\sigma$ ：應力增量
- $d\varepsilon$ ：應變增量
- $C^{ep}$ ：彈塑性勁度矩陣
- $C^e$ ：彈性勁度矩陣

式(18)中之  $C^e$  彈性勁度矩陣在平面應變的情形下為：

$$C^e = \begin{bmatrix} K + \frac{4}{3}G & K - \frac{2}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K + \frac{4}{3}G & K - \frac{2}{3}G & 0 \\ K - \frac{2}{3}G & K - \frac{2}{3}G & K + \frac{4}{3}G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2G \end{bmatrix} \quad \text{式(19)}$$

式中

- K：體積模數
- G：剪力模數

FA 狀態之勁度矩陣  $C^c$  如式(20)所示，式(21)~式(23)中的  $C_{ij}$  是指 RI 狀態的彈塑性矩陣  $C^{i(ep)}$  的第 i 行第 j 列的值。

$$C^c = C^{i(ep)} = \begin{bmatrix} \bar{C}_1 & \bar{C}_2 & \bar{C}_3 & 0 \\ \bar{C}_1 & \bar{C}_2 & \bar{C}_3 & 0 \\ \bar{C}_1 & \bar{C}_2 & \bar{C}_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{式(20)}$$

$$\bar{C}_1 = \frac{C_{11} + C_{21} + C_{31}}{3} \quad \text{式(21)}$$

$$\bar{C}_2 = \frac{C_{12} + C_{22} + C_{32}}{3} \quad \text{式(22)}$$

$$\bar{C}_3 = \frac{C_{13} + C_{23} + C_{33}}{3} \quad \text{式(23)}$$

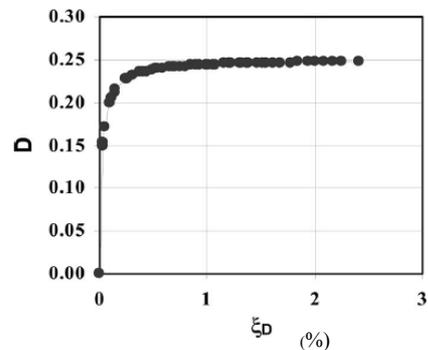


圖 5. 偏差塑性應變-損傷函數之關係曲線

損傷函數也隨著累積偏差塑性應變  $\xi_D$  而改變

【1】，當材料參數  $A=0.10$ 、 $B=4$  時，可由圖 5 看出  $\xi_D$  與  $D$  之關係。

損傷函數  $D$  如下所示：

$$D = \frac{\xi_D}{A + B\xi_D} \quad \text{式(24)}$$

其中

$A$ 、 $B$  為材料參數

$\xi_D$ ：累積偏差塑性應變

$$\xi_D = \int (dE_{ij}^p dE_{ij}^p)^{1/2} \quad \text{式(25)}$$

$$E_{ij}^p = \varepsilon_{ij}^p - \frac{1}{3} \varepsilon_{ii} \delta_{ij} \quad \text{式(26)}$$

DSC 模式中的應力增量  $d\sigma^a$  可用 HISS- $\delta 0$  的應力增量  $d\sigma^i$  與臨界狀態的應力增量  $d\sigma^c$  及本時階所計算的損傷函數計算出來，即

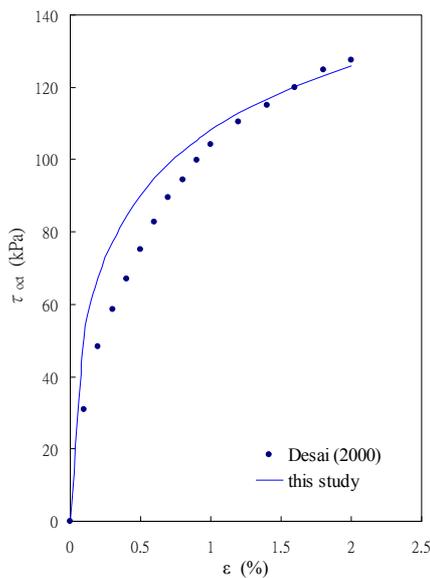
$$d\sigma^a = (1 - D_n) \cdot d\sigma_{n+1}^i + D_n \cdot d\sigma_{n+1}^c + dD_n (\sigma_{n+1}^c - \sigma_{n+1}^i) \quad \text{式(27)}$$

其中

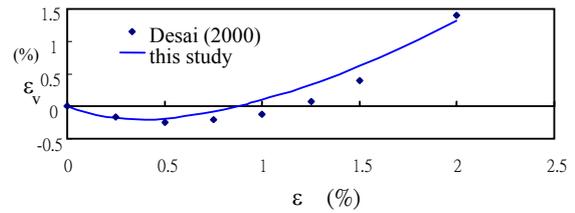
$$dD_n = D_{n+1} - D_n \quad \text{式(28)}$$

$n$ ：時階(timestep)

完成之擾動狀態概念 DSC 模式 Fish 副程式與 FLAC 分析方法的正確性需加以驗證，本研究將以 Desai (2000) 【1】中之三軸試驗的數值模擬結果來進行驗證。其試驗為三軸壓縮試驗，模擬材料為渥太華砂，單位重為  $1730 \text{ kg/m}^3$ ，所用圍壓為  $68.9 \text{ kPa}$  進行試驗，以應變控制的方式逐步施加载重使試體產生應變，而 DSC 模式所需之材料參數則參考 Desai (2000) 【1】等人模擬此試驗時所使用之參數，本研究之數值模擬結果與 Desai 模擬結果如圖 6 所示。



(a) 八面體剪應力與軸向應變之關係曲線圖



(b) 體積應變與軸向應變之關係曲線圖

圖 6 三軸壓縮試驗結果(數值模擬結果)

由圖 6 顯示，Desai 有限元素法模擬結果與本研究 FLAC 數值模擬之軸向應變與八面體剪應力關係曲線大致吻合，軸向應變與體積應變之關係曲線也大致符合，又 Desai 的數值模擬是和其試驗結果加以比較及驗證，所以，本研究所開發的 DSC 模式 Fish 副程式與 FLAC 分析方法是具有其正確性。

### 3.2 數值模型建立步驟

本研究將針對三軸試驗中 DSC 材料參數，用於 FLAC 數值分析時之 Desai 公式計算方式及實數型基因演算法兩種方法求得材料最佳參數組合的分析步驟及基本設定介紹。

為探討模擬三軸試驗求得其 DSC 材料參數，所進行數值分析之基本假設如下：

1. 建立網格，網格尺寸為  $1 \times 1$  單元(砂土直徑為  $0.07\text{m}$ 、長度  $0.17\text{m}$ )。
2. 輸入砂土材料之力學參數包括有土壤單位重、剪力模數、體積模數、圍壓等資料。
3. 確定束制的邊界條件，包括土體上下端為滾支承，且因軸對稱的關係，對稱軸為滾支承。
4. 執行初始應力平衡，平衡後之初始應力。
5. 輸入 DSC 模式之力學參數包括  $n$ 、 $\eta_1$ 、 $a_1$ 、 $\gamma$ 、 $\beta$ 、 $A$ 、 $B$ 。
6. 記錄土體內部的應力—應變關係以便後續繪圖。
7. 最後求得砂土軸差應力—軸向應變、體積應變—軸向應變等曲線關係。
8. 改變圍壓設定，重複(5~7)的步驟與實驗值做比較。
9. 若為實數型基因演算法，改變其每組不同的 DSC 材料參數，重複相同之步驟即可建立實數型基因演算法之 DSC 材料參數表。

### 4. DSC 材料參數分析方法比較

本研究將針對 DSC 模式之材料參數選擇方法做一說明，其中包括以 Desai 公式計算方法和實數型基因演算法求最佳參數組合，茲將其說明如下：

以三軸排水試驗結果包括兩種不同圍壓其軸差應力—軸向應變、體積應變—軸向應變之關係圖，來做為 DSC 材料參數反算後之比較，最後得到渥太華砂在不同圍壓下的 DSC 材料參數。

### 4.1 以 Desai 公式訂定材料參數

以 Desai 公式計算 DSC 材料參數前必須先利用式(8)~式(10)以及式(11)、式(12)把  $J_1$ 、 $J_2$  和  $J_3$  的應力不變量以及  $J_{2D}$  和  $J_{3D}$  的偏差應力不變量計算出來以便代入公式計算。

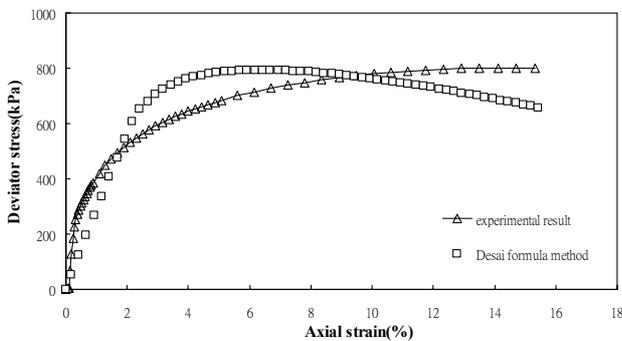
本研究求 DSC 參數之計算方法說明如下:

1. 由排水三軸試驗的實驗結果計算出軸差應力-軸向應變及體積應變-軸向應變的關係曲線並求  $\phi$  角等參數。
2. 使用式(13)、式(14)代入步驟 1 所得的  $\phi$  角, 求得  $P_1$ 、 $P_2$ 。
3. 將  $P_1$ 、 $P_2$  兩個值代入式(15)計算出  $P'$ , 由式(16)算出  $\beta$ , 然後由式(13)反算出  $\gamma$  值。
4. 從三軸試驗求出的體積應變增量與軸向應變增量減去彈性應變增量的部分得到塑性應變增量, 再由累加計算出  $\xi$  與  $\xi_0$ 。
5. 損傷函數  $D$  與累積偏差塑性應變  $\xi_D$ , 以線性迴歸方式表示成式(24)計算出材料參數  $A$ 、 $B$ 。
6. 計算相對應的不變量以式(5)求得  $S_r$ , 再將  $S_r$  代入式(4)、(3)算出  $n$  值。
7. HISS- $\delta_0$  降伏函數  $F=0$ , 將各對應參數代入式(2)求得  $\alpha$  值。
8. 由  $\alpha$ 、 $\xi$  經數值迴歸成式(6)求出  $a_1$ 、 $\eta_1$  值。

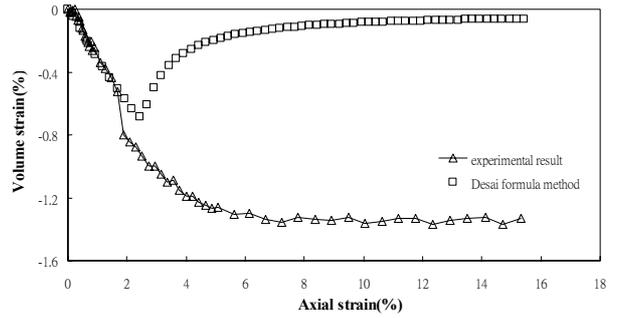
接著利用 FLAC 建立的 DSC 運算模式, 將表 1 中 DSC 參數代入以進行數值模擬, 並將試驗結果以及數值模擬結果進行比較。本試驗為三軸試驗, 模擬的試驗材料為渥太華砂其相對密度  $D_r=20\%$ 、單位重為  $1700\text{kg/m}^3$ 。相對密度  $D_r=20\%$  的軸差應力-軸向應變與體積應變-軸向應變關係之數值模擬結果與三軸試驗結果, 如圖 7 與圖 8 所示。

表 1.  $D_r=20\%$  時之 DSC 所需參數

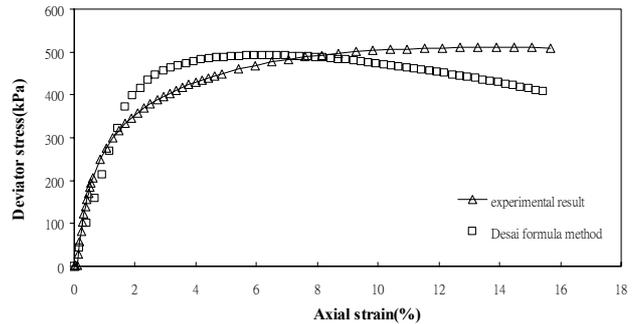
圍壓 (kPa)	$\phi$	$\beta$	$\gamma$	$n$	$a_1$	$\eta_1$	A	B
345	32.64	0.62	0.2	7.93	$6.08 \times 10^{-10}$	0.86	0.37	0.13
207	32.71	0.63	0.2	7.62	$2.02 \times 10^{-8}$	0.92	0.38	0.07



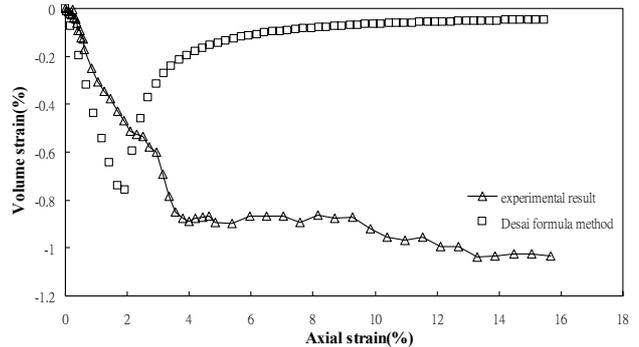
(a)  $D_r=20\%$ 、 $\sigma_3=345\text{kPa}$  之軸差應力-軸向應變



(b)  $D_r=20\%$ 、 $\sigma_3=345\text{kPa}$  之體積應變-軸向應變  
圖 7. DSC 模式模擬曲線與三軸試驗結果比較 ( $D_r=20\%$ ,  $\sigma_3=345\text{kPa}$ )



(a)  $D_r=20\%$ 、 $\sigma_3=207\text{kPa}$  之軸差應力-軸向應變



(b)  $D_r=20\%$ 、 $\sigma_3=207\text{kPa}$  之體積應變-軸向應變  
圖 8. DSC 模式模擬曲線與三軸試驗結果比較 ( $D_r=20\%$ ,  $\sigma_3=207\text{kPa}$ )

### 4.2 以實數型基因演算法訂定材料參數

本研究為實數型基因演算法, 首先在主視窗中先輸入需模擬的材料參數範圍; 其 DSC 所需之材料參數則參考 Desai (2000) 【1】而材料參數範圍, 如表 2 所示。輸入由 FLAC 程式中所計算出的軸差應力與體積應變以及上一代的染色體; 接著執行完基因演算後, 記錄其最小誤差函數、平均誤差函數及該代之誤差函數值並產生下一代染色體基因字串。子代染色體基因字串代入到 FLAC 重新進行運算, 得到軸差應力與體積應變再輸入 VB 基因演算程式進行下一代染色體運算, 重複上述步驟直到最小誤差函數收斂為止。

以三軸排水試驗結果之軸差應力-軸向應變、體積應變-軸向應變數據與 FLAC 分析結果對實數型基因演算法進行比對, 得到  $D_r=20\%$  時之 345kPa、207kPa 求得

最佳的 DSC 材料參數。實數型基因演算法每一代之 30 組的最小誤差函數，圖 9 以及圖 10 為每一世代所記錄之最小誤差值。經過 10 代演算後每代之最小誤差函數，並未出現更佳參數值，就將此組參數視為最佳解而中止演算，如表 3 所示。三軸試驗結果，Desai 建議方法之模擬結果與實數型基因演算法之模擬結果比較，如圖 11 與圖 12。由圖可看出實數型基因演算法求得之 DSC 最佳材料參數解比 Desai 建議公式所得的參數更能模擬出三軸壓縮試驗之結果。

表 2 實數型基因演算法 DSC 參數範圍表

DSC 參數	n	$\gamma$	$\eta_1$	$\beta$	$a_1$	A	B
上限	6	0.7	0.5	0.756	$2.50 \times 10^{-3}$	0.2	200
下限	2	0.2	0.1	0.001	$0.10 \times 10^{-3}$	0.003	120

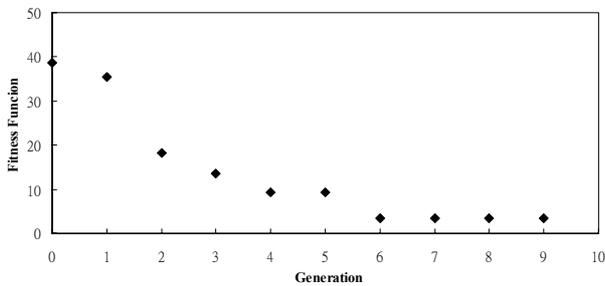


圖 9 最小誤差值( $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=345\text{kPa}$ )

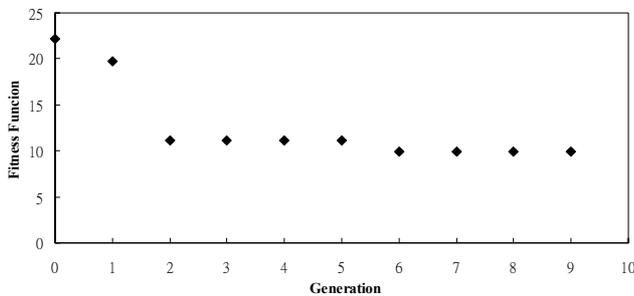
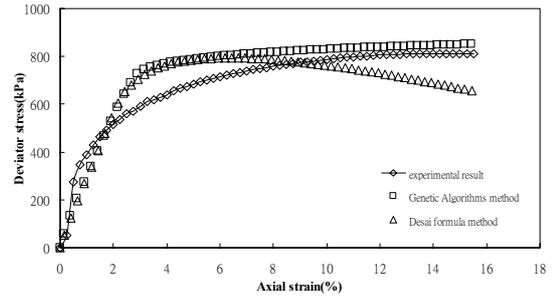


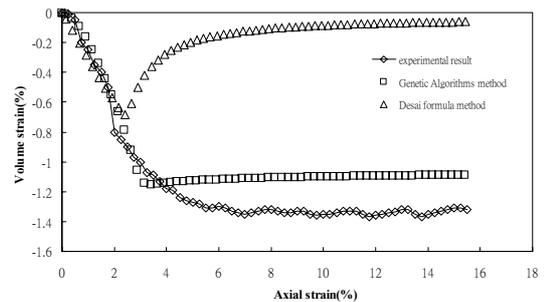
圖 10 最小誤差值( $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=207\text{kPa}$ )

表 3 實數型基因演算 DSC 參數最佳解

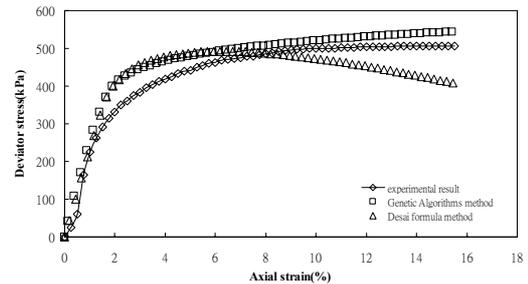
DSC 參數	參數最佳解( $D_f=20\%$ )	
	$\sigma_3=345\text{kPa}$	$\sigma_3=207\text{kPa}$
n	4.21	4.22
$\gamma$	0.48	0.31
$\eta_1$	0.10	0.20
$\beta$	0.73	0.43
$a_1$	$9.92 \times 10^{-4}$	$1.04 \times 10^{-3}$
A	$7.98 \times 10^{-2}$	$1.67 \times 10^{-1}$
B	177.22	136.83



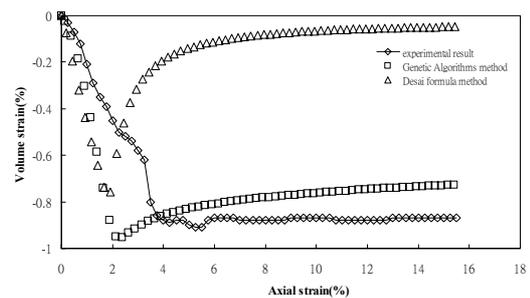
(a)  $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=345\text{kPa}$  之軸差應力-軸向應變



(b)  $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=345\text{kPa}$  之體積應變-軸向應變  
圖 11 實數型基因演算法及 Desai 公式計算法與三軸試驗結果比較



(a)  $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=207\text{kPa}$  之軸差應力-軸向應變



(b)  $D_f=20\%$ 、 $\sigma_3=207\text{kPa}$  之體積應變-軸向應變  
圖 12 實數型基因演算法及 Desai 公式計算法與三軸試驗結果比較

## 5. 結論

本研究以 DSC 模式為主軸，並配合 FLAC 數值分析軟體進行 DSC 材料參數最佳值之研究。以 Desai 公式以及實數型基因演算法來求得三軸試驗之 DSC 材料最佳參數值，並討論此兩方法所模擬三軸試驗的差異。經由上述分析結果，歸納以下之結論：

1. 以擾動狀態概念 DSC 模式來模擬土壤之三軸試

驗，分析結果與 Desai 的數值分析結果大致相符，因此本研究所自行撰寫的 DSC 模式 Fish 副程式與 FLAC 分析方法有其正確性。

2. 本研究以 Desai 建議公式來計算三軸試驗所需的 DSC 材料參數，在經過模擬後發現軸差應力-軸向應變曲線與試驗值相符，但體積應變方面之預測不佳。
3. 本研究建議以實數型基因演算法求得 DSC 材料參數，在經過 10 代演算後，求出之最佳參數解，與三軸試驗結果比較大致相符合。

## 6. 參考文獻

- [1] C. S. Desai., *Mechanics of Materials and Interface the Disturbed State Concept*, CRC Press, Boca Raton, Florida; 2000.
- [2] C. S. Desai and J. Toth., "Disturbed State Constitutive Modeling Based on Stress-Strain and Nondestructive Behavior," *International Journal Solids Structures*, vol. 33, No.11, pp. 1619-1650, 1996.
- [3] A. Varadarajan, K. G. Sharma, K. Venkatachalam and A. K. Gupta., "Testing and Modeling Two Rockfill Materials," *International Journal of Geomechanics*, vol. 129, No. 3, 2003.
- [4] A. Varadarajan, K. G. Sharma, S. M. Abbas and A. K. Dhawan., "Constitutive Model for Rockfill Materials and Determination of Material Constants," *International Journal of Geomechanics*, vol. 6, No. 4, 2006.

necessary to use the Fish language to compile this model into a subprogram which can be implemented by FLAC. The study implemented some Consolidated Drained Triaxial Test to understand the stress-strain behaviors of Ottawa sand (ASTM C-109) in two confining pressures (207kPa, 345kPa) with relative density  $D_r=20\%$ . The difference of predicting stress-strain behavior was discussed between the past procedure for the determination of DSC material parameter and Genetic Algorithms. From the results of this study, we can find that it would be better for the simulation of deviator stress-axial strain relationship by using the past procedure by Desai for the determination of DSC material parameter. However, the predicting result of volumetric strain-axial strain is not satisfied enough. The determination of DSC material parameters by using Genetic Algorithms in this study can obtain the less difference between the predicting result of the triaxial test and the experiment results.

**Keywords:** Disturbed State Concept, Numerical Simulation, Genetic Algorithms

## The Optimal Material Parameters Estimation for Disturbed State Concept Model by Genetic Algorithms

P.H. Tsai, P.C. Lin and H. Y. Huang

Department of Construction Engineering  
Chaoyang University of Technology

### ABSTRACT

The Disturbed State Concept (DSC) by Desai is a powerful tool for the simulation of the shear behaviors of strain hardening or softening of soil. There are seven material parameters in this model. Those material parameters can be decided by the results of the triaxial test of soil. However, there are some unsatisfied simulation results on volumetric strain by using the past procedure by Desai for the determination of DSC material parameters.

In this study, the material parameters of Disturbed State Concept (DSC) were determined by Real-Parameter Genetic Algorithms and the sensitivity analysis of material parameters of Disturbed State Concept were performed. Because the DSC model has not been built in FLAC, it is