

台北盆地砂性土壤不排水與部分排水情況之 液化特性行為研究(四)

The Study of Liquefaction for Sandy Soils under Undrained and Partially drained Condition in Taipei Basin(4)

【精簡報告】

吳偉特*、詹松儒**

計畫編號： NSC 88-2611-E-002-037

執行期間： 87年10月1日至88年10月30日

* 國立台灣大學土木工程學系 教授

**國立台灣大學土木工程學研究所 博士班研究生

摘要

關鍵詞：排水效果、基本第一類型曲線形狀函數、基本第二類型曲線形狀函數、動態孔隙水壓係數

本研究主要內容在探討研究試驗採用之計量閥排水系統物理意義與排水效果之相互關係，並探討靜態水壓消散之分布現象，同時提出孔隙水壓激發模式，並與試驗結果進行比較。

初步分析結果顯示，本研究建議之基本第一類型曲線形狀函數 $\bar{f}(t)$ 及基本第二類型曲線形狀函數 $f(t)$ ，與動態孔隙水壓係數 A_d 關係式，可分別合理模擬出具有基本第一類型與基本第二類型曲線形狀函數之土壤試體孔隙水壓發展曲線；亦即本研究建議之孔隙水壓激發模式可合理模擬在不排水或部分排水狀態下，土壤承受反覆震動作用力時之孔隙水壓變化情形。

Abstract

Keyword : relative drainage effect、dynamic porewater pressure coefficient、the basic first

curve shape function、the basic second curve shape function

This paper is to investigate that the philosophical meaning of metering valve in dynamic triaxial shear tests, and to define the relative drainage effect (RDE) with relative permeability of metering valve. And also the study is to develop the porewater pressure development model of dynamic porewater pressure coefficient A_d to analyze porewater changes of sandy soils, and compare the numerical result with test data of remolded sandy soils in Taipei Basin.

The preliminary results show that the basic first curve shape function $\bar{f}(t)$ 、the basic second curve shape function $f(t)$ and dynamic porewater pressure coefficient A_d can all be successfully used to simulate numerically porewater changes of sandy soils with the basic first and second curve shape function respectively. Therefore, whether in the undrained or partially drained conditions, this study can use the porewater pressure development model of A_d to analyze dynamic porewater changes and estimate the liquefaction potential of sandy soils.

一. 前言

本研究主要內容在承續前三年國科會研究計畫，進一步探討本研究所採用之排水系統(計量閥)物理意義與排水效果之相互關係，並探討靜態水壓消散之分布現象，同時，根據試驗資料加以整理分析，提出孔隙水壓激發模式，並與試驗結果進行比較，用以探討本研究所提出之孔隙水壓模式是否可合理地模擬在不排水狀態與部分排水狀態下，土壤承受反覆震動作用力時之孔隙水壓變化情形。

二. 排水控制系統之物理意義

本研究在考慮排水狀態時所採用之排水控制系統，係為可調整式計量閥，其格數大小之物理意義與土壤土體內之孔隙可排水程度，根據研究分析結果顯示，當計量閥格數M為6以上時，排水性能視為良好；計量閥格數M為5以下時，排水性能開始進入透水性較差之範圍；計量閥格數M為0時，視為不透水性，茲將研究所得結果彙整如表1所示。

依本研究之結果(吳偉特、詹松儒，1999)顯示，當計量閥格數控制為5之情況下，土壤試體在不同之反覆剪應力比作用下會產生40%之孔隙水壓消散率，而計量閥格數2情況下，則會產生5~15%之孔隙水壓消散率；因此，為瞭解不同計量閥格數所產生的排水效果，可以相對排水效果(Relative Drainage Effect) RDE(%)加以定義之。

本研究依據相對密度之定義方法，可定義出計量閥格數對土體產生部分排水作用所產生之相對排水效果(Relative Drainage Effect，簡稱 RDE)，用以區分在排水

條件下所造成之土壤試體排水效果之相互關係：

$$RDE(\%) = \frac{RP - RP_{\min}}{RP_{\max} - RP_{\min}}$$

本研究分析結果顯示，當計量閥格數M為1時，平均排水效果最差，約11.5%；計量閥格數M為2時，平均排水效果稍差，約28.5%；計量閥格數M為3時，平均排水效果中等，約45.5%；計量閥格數M為4時，平均排水效果中等良好，約62.5%；計量閥格數M為5時，平均排水效果良好，約80.0%；計量閥格數M為6以上時，排水效果最佳，約為93.0%~100%。

三. 靜力狀態下孔隙水壓消散分布

依本研究國科會第三年度研究報告(吳偉特與詹松儒，1999)中，曾提出砂性土壤在承受反覆剪應力作用時，在不同排水效果下，試體內部動態孔隙水壓變化分布與傳統土壤試體在靜態狀態下所得孔隙水壓值消散分布，兩者有所差別，並假設在靜力狀態下所得之水壓值消散分布係呈三角形分布。

本年度之研究，採用第三年度計畫所使用之砂性土壤作為重塑土壤試體材料(吳偉特與詹松儒，1999)，並選取含砂量80%與細料量20%之級配組合，控制試體壓密前乾密度為1.44g/cm³，並利用CKC動力三軸剪力儀進行靜態試驗，量測在不同程度排水效果下土壤試體內部之孔隙水壓消散變化情形。本研究主要採用計量閥格數1，排水效果差(RDE < 33%)，以及計量閥格數3，排水效果中等(33 < RDE ≤ 67%)之兩種條件下，量測在不同排水方向下土壤試體內部水壓歷時變化。

由圖1可知，當頂部排水時，頂部之

水壓值可視為零，而試體內部由底部量起之8公分處、4公分處與底部之殘餘孔隙水壓值大小分布分別為底部水壓值最高，4公分處水壓值次之，而8公分處水壓值最小。當底部排水時，同樣地底部之水壓值可視為零，而試體內部在各個時段中，水壓值分布大小分別為頂部水壓值最高，8公分處水壓值次之，而4公分處水壓值最小。

綜合分析之結果，本研究認為無論透水效果為差或佳之狀態，隨著時間之增加，土壤內部各部位之水壓值連線分布皆接近呈三角形分布，故本研究所曾提出砂性土壤在靜力狀態下水壓消散分布之假設係為正確。

四. 本研究發展之孔隙水壓數值模式

有關孔隙水壓變化之數值分析之研究，目前已發展出之相關理論式如下列所示：

(一) 相關孔隙水壓數值分析關係式

(1) Skempton 模式 [Skempton (1954)]

$$\Delta u = AB \cdot \Delta \sigma = A \cdot \Delta \sigma$$

(當土壤飽和時， $B=1.0$ ；而圍壓保持定值)

(2) Henkel 模式 [Henkel (1960)]

$$\Delta u = B(\Delta \sigma_{oct} + a \Delta \tau_{oct}) = \Delta \sigma_{oct} + a \Delta \tau_{oct}$$

(當土壤飽和時， $B=1.0$)

(3) Martin et al. 模式 [Martin et al. (1975)]

$$\Delta u = E_d \cdot \Delta \epsilon_{vd}$$

(4) Seed et al. 模式 [Seed et al. (1976)]

$$r_u = 0.5 + 1/\pi \cdot \sin^{-1}(2r_N^{1/\alpha} - 1)$$

(5) Ishibashi et al. 模式 [Ishibashi et al. (1977)]

$$\Delta u_N = H \cdot \hat{N} \cdot I; u_N = u_{N-1} + \Delta u_N$$

(6) 應力路徑模式 [Ishihara et al. (1975、1980)、黃俊鴻(1990)]

(7) 砂土之剪應力比與膨脹率關係模式

[李崇正(1987)、Ueng & Lee(1990)、吳銘哲(1997)、林俊佑(1998)]

上述之各種模式理論，先後從應力、應變、正規化處理、應力函數、應力路徑與組構膨脹特性等觀點作為基礎，發展出相關之孔隙水壓模式。由於各個孔隙水壓模式自有其適用性或限制性，或多或少皆有其缺點存在。

綜合言之，一個理想的孔隙水壓激發模式，應能完全反應出激發孔隙水壓與作用應力之相互關係，故除能反應出孔隙水壓平均值之激發趨勢外，亦應能反應出因反覆剪應力震動所產生之孔隙水壓震盪特性；此外，模式亦應能反應出土壤性質特性、部分排水情況之影響等因素，此即為本研究所欲探討與發展較理想模式的原因。

(二) 本研究建議採用之孔隙水壓值計算理論式與理由

本研究擬建議採用Skempton(1954)所提之靜態孔隙水壓係數模式之基本觀念，進而考量反覆剪應力對孔隙水壓影響之關係，發展出動態孔隙水壓模式。基於動力三軸剪力試驗儀器之特性，並考量可直接利用反覆軸差應力與土壤內部因反覆軸差應力作用而產生孔隙水壓之兩者關係，建立本研究之孔隙水壓理論模式。

本研究考慮反覆剪應力作用時，採用Skempton(1954)所提之靜態孔隙水壓係數模式之基本觀念，衍生定義動態孔隙水壓係數 $A_{d,i}$ ，計算土壤內部孔隙水壓變化值，亦即：

$$u_i = A_{d,i} \cdot B \cdot \Sigma_i |\Delta \sigma_d| = A_{d,i} \cdot \Sigma_i |\Delta \sigma_d|$$

式中係假設土壤完全飽和時， $B=1.0$ ；並且在進行動力液化試驗時，圍壓係保持定

值。 $A_{d,t}$ 為作用時間 t 時所得之動態孔隙水壓係數； $\sum_i |\Delta \sigma_d|$ 代表在時間 t 內，作用在土壤之各時間段(Δt_n)反覆軸差剪應力絕對差值($|\Delta \sigma_{d,\Delta t_n}|$)之累積值。本研究考量採用反覆軸差剪應力絕對差值之累積值($\sum_i |\Delta \sigma_d|$)理由，係基於能量累積觀念，亦即砂土在承受反覆剪應力作用時，土體係為累積承受反覆剪應力所作用之能量，故致使孔隙水壓呈反覆之累積激發逐漸上升形態。

(三) 假設條件

- (1) 在單層或多層土壤中，各層土壤之力學性質為均質性與均向性；
- (2) 土壤顆粒為不可壓縮者；
- (3) 排水現象只限於垂直方向產生，僅考慮滲透係數 k_z 效應；
- (4) 土壤內部孔隙水壓反應值，僅與動態孔隙水壓係數及反覆剪應力累積絕對值有關；
- (5) 土壤試體係為飽和土體，即 Skempton 孔隙水壓係數 B 等於 1.0；
- (6) 在施加反覆剪應力之前，土壤內部淨殘餘孔隙水壓初始值為零；
- (7) 在施加反覆剪應力之前，動態孔隙水壓係數 A_d 初始值為零。

(四) 動態孔隙水壓係數(A_d)關係式之建立

圖2為以試驗資料所繪之動態孔隙水壓係數 A_d 與作用時間 t 之關係圖形示意圖，圖2顯示動態孔隙水壓係數(A_d)隨時間歷程呈現震盪衰減趨勢，即初期第一週反覆剪應力作用後， A_d 尖峰值達至最高值，隨著孔隙水壓逐漸累積升高，造成土壤土體勁度軟化，致使之後每週反覆剪應力作用在砂土上所產生之孔隙水壓增值呈逐漸減少趨勢，遂造成 A_d 之尖峰值呈反覆震盪衰減

變化形態，直至土壤產生液化現象。

由於 A_d 值隨時間歷程呈現震盪衰減趨勢，依據數學理論，該震盪衰減曲線可採用反覆震盪函數、衰減函數與曲線形狀函數等數學式之組成表示，亦即：

$$A_d(t) = \frac{e^{-\alpha t}}{1+t} \cdot (a \sin 2\pi f t + b \cos 2\pi f t + c) + f(t)$$

式中之反覆震盪函數為 $\sin 2\pi f t$ 與 $\cos 2\pi f t$ ， f 為頻率；衰減函數為 $e^{-\alpha t}/(1+t)$ ；曲線形狀函數為 $f(t)$ ； a 、 b 、 c 分別為各函數之試驗常數值； a 與 b 影響到振幅大小， c 影響反覆震盪函數之位置， $f(t)$ 之曲線形狀函數影響 A_d 值整體位置之變化， α 影響到衰減速率。有關關係式之設定與各參數之求取方法，茲分別解說如下：

4.1 動態孔隙水壓係數(A_d)數學關係式之說明

- (1) 在試驗初期，當時間 $t = 0$ 時，動態孔隙水壓係數應為零，即 $A_d = 0$ 。
- (2) 在試驗期間，當時間 $t > 0$ 時，動態孔隙水壓係數(A_d)關係式，可假設如下：

$$A_d = \frac{e^{-\alpha t}}{1+t} (a \sin 2\pi f t + b \cos 2\pi f t + c) + f(t)$$

或者，

$$A_d = \frac{e^{-\alpha t}}{1+t} (a \sin 2\pi f t + c) + f(t) \quad ; [b = 0]$$

由於本試驗之反覆剪力型態為正弦 $\sin$ 函數，故可假設參數 b 等於 0。

- (3) $f(t)$ 係為 A_d 曲線中各谷谷底點連線所形成之關係函數(圖2)，其數學式將隨曲線形狀種類而異。依據本研究之試驗資料整理得知， $f(t)$ 函數大致可分為四種型態，依隨土壤試體種類之不同而有變化。
- (4) 有關動態孔隙水壓係數 A_d 關係式中各參數之求解流程圖，如圖3所示。

4.2 曲線形狀函數 $f(t)$ 之定義與討論

為進一步瞭解曲線形狀函數 $f(t)$ 之意義，本研究針對所有試驗結果繪製動態孔隙水壓係數 A_d 歷時曲線，並將各個反覆震動之谷點值予以連線，即可得所有試驗資料曲線形狀函數 $f(t)$ 之歷時曲線；依其曲線形狀，無論在不排水狀態與部分排水狀態下，本研究可歸納為兩種基本類型：基本第一類型與基本第二類型(圖4)，並且由該基本類型各自發展出衍生第一類型與衍生第二類型(圖5)。

圖4與圖5之曲線形狀函數 $f(t)$ 與土壤級配種類、受力大小、排水條件(排水效果)有關，亦即綜合本研究之試驗結果，可得無論排水條件為不排水或部分排水，或者為不同大小之反覆作用應力，本研究所得之土壤所得曲線形狀函數變化曲線可劃分為兩組主要類型(圖6)。

在本研究中，先初步考慮選用基本第二類型之曲線形狀函數 $f(t)$ ，進行孔隙水壓數值模擬分析；選用基本第二類型曲線形狀函數 $f(t)$ 之理由，係因其代表性數學式為目前既有使用之雙曲線函數，故數學式之建立方法較清楚明瞭。並以此關係式分析具有基本第一類型、基本第二類型、衍生第一類型與衍生第二類型之相關土壤試體，在承受反覆震動剪應力所發展之孔隙水壓變化，加以探討比較所採用之基本第二類型曲線形狀函數的適用性程度。

五. 數值分析結果與討論

本研究先進行模擬不排水狀態之孔隙水壓發展情形，利用第二年與第三年國科會研究計畫所使用之重塑土試驗資料(吳偉特、詹松儒,1998、1999)作為比對基準

資料，有關孔隙水壓數值之分析流程圖示於圖7，茲將所得結果分析如下：

(一)不排水狀態下孔隙水壓數值分析與試驗資料之比對結果

圖8與圖9係為在不排水狀態下動態孔隙水壓係數(A_d)與孔隙水壓所得數值分析與試驗資料之比較，由圖中曲線之重合程度，可知本研究所建議之動態孔隙水壓係數 A_d 關係式，可提供相當程度符合之模擬效果，無論曲線震盪變化或整體水壓發展歷時變化，數值分析與試驗資料皆有相當良好之吻合度。

圖8之曲線形狀類型，係為基本第二類型，圖10則為基本第一類型。由孔隙水壓數值分析曲線(圖9與圖11)可知，利用基本第二類型之曲線形狀函數進行模擬分析時，可合理模擬出具有基本第二類型曲線形狀函數之孔隙水壓發展曲線(圖9)，而用以模擬具有基本第一類型曲線形狀函數之孔隙水壓發展曲線(圖11)時，由於曲線形狀函數 $f(t)$ 不能完全與實際曲線配合，亦即孔隙水壓在反覆震盪之谷點附近不能完全與試驗資料吻合。

為能分析具有基本第一類型曲線形狀函數土壤之孔隙水壓發展曲線，遂針對基本第二類型曲線形狀函數 $f(t)$ 加以修正，

考慮再增加衰減函數關係式 $\frac{1}{1+at}$ ，可得修正曲線形狀函數 $\overline{f(t)} = \frac{t}{S_1 + S_2 t} + \frac{1}{1+at}$ ，

其中參數 a 值與土壤試體條件有關，在本分析案例中，當採用 a 值為10時，即可滿足分析要求；而參數 S_1 與 S_2 之定義與求法可如前所述，但須利用 $\frac{t}{S_1 + S_2 t} = \overline{f(t)} - \frac{1}{1+at}$ 之關係式計算之。

本研究遂再利用修正曲線形狀函數 $\overline{f(t)}$ 針對試驗編號co6進行數值分析，所

得分析結果如圖12與圖13，並與圖10及圖11之結果進行比較，顯示採用修正曲線形狀函數 $\bar{f}(t)$ 所得之數值結果具有良好之模擬效果，且大幅提高吻合程度。雖然在第二週期中之谷點處孔隙水壓試驗值之吻合度較不理想，但由於研究土壤液化潛能之重點，主要在於觀測接近液化階段時之水壓變化與發生時間，故該部分之模擬誤差本研究建議可予以忽略之。綜合言之，本研究建議採用之修正曲線形狀函數 $\bar{f}(t)$ 應可作為基本第一類型代表性曲線形狀函數，並可得到良好之數值模擬結果。

(二)部分排水狀態下孔隙水壓數值分析與試驗資料之比對結果

為瞭解在不同排水效果下，本研究初步發展之不排水狀態下孔隙水壓模式之適用性，本研究係採用前述所提之基本第一類型曲線函數 $\bar{f}(t)$ 與基本第二類型曲線函數 $f(t)$ ，針對試驗編號 bomy 系列之土壤試體，進行在不同排水效果(28.5%與45.5%)下之孔隙水壓變化數值分析。由圖14與圖15之孔隙水壓數值分析結果與試驗資料比較，無論在孔隙水壓震盪變化或整體水壓歷時發展變化資料上，皆顯示數值分析與試驗資料具有相當高之符合程度，可知本研究所提之動態孔隙水壓係數關係式亦可提供良好之模擬效果。

綜合言之，動態孔隙水壓係數歷時曲線中各谷點連線之曲線形狀類型，圖14係為基本第一類型，圖15係為基本第二類型。由孔隙水壓數值分析曲線結果可知，利用本研究所發展之基本第一類型曲線函數 $\bar{f}(t)$ 與基本第二類型曲線函數 $f(t)$ 進行模擬分析時，可分別合理模擬出具有基本第一類型與基本第二類型曲線形狀函數的土壤試體之孔隙水壓發展曲線，亦即本研究所發展之孔隙水壓模式，亦適用於分析土壤試體在不同排水效果下之孔隙水壓變化。

六. 結論與建議

本研究綜合歸納之結論與建議如下：

- (1) 本研究建議之基本第一類型曲線函數 $\bar{f}(t)$ 及基本第二類型曲線函數 $f(t)$ ，與動態孔隙水壓係數關係式，可分別合理模擬出具有基本第一類型與基本第二類型曲線形狀函數之土壤試體孔隙水壓發展曲線，亦即本研究所發展之孔隙水壓模式應可適用於分析砂性土壤在不同排水效果下之動態孔隙水壓變化。
- (2) 本研究採用之計量閥排水控制系統，所提供之排水效果分別為計量閥格數 M 為1、2、3、4與5時，平均透水效果依次為11.5%、28.5%、45.5%、62.5%與80.0%；計量閥格數 M 為6以上時，排水效果為93.0%~100%。
- (3) 為提高孔隙水壓數值分析之精度，若能採用更佳之曲線形狀函數，應將有效助於提高數值分析精度，此有待本研究進一步之探討。

參考文獻

1. Casagrande, A., and Fadum, R.E., "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes," Harvard University Graduated School of Engineering Publish, No.8, pp.74, 1940
2. Henkel, D. J., "The Shear Strength of Saturated Remolded Clays," Proceedings of the ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, pp.533-554, 1960
3. Ishibashi, I., Sherif, M. A., and Tsuchiya, C., "Pore-Pressure Rise Mechanism and Soil Liquefaction," Soils and Foundations, Vol.17, No.2, pp.17-27, 1977

4. Ishihara, K., Tatsuoka, F., and Yasuda, Sand Under Cyclic Stresses," Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.29-44,1975
5. Ishihara, K. and Yamazaki, "Cyclic Simple Shear Tests on Saturated Sand in Multi-Directional Loading," Soils and Foundations, Vol.20, No.1,pp.45-59,1980
6. Martin, G.R., Finn, W.D.L., and Seed, H.B., "Fundamentals of Liquefaction under Cyclic Loading," ASCE, J. of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 101, No. GT5, pp.423-483,1975
7. Seed, H.B., Martin, P.P., and Lysmer, J., "Pore Water Pressure Changes During Soil Liquefaction," ASCE, J. of the Geotechnical Engineering Division, Vol.102, No.GT4,pp.323-346,1976
8. Skempton, A.W., "The Pore-Pressure Coefficients A and B," Geotechnique, Vol.4, pp.143-147,1954
9. Ueng, T. S. and Lee, C. J., "Deformation Behavior of Sand Under Shear – Particulate S., "Undrained Deformation and Liquefaction of Approach," ASCE, J. of Geotechnical Engineering Division, Vol.116, No.11, pp.1625-1640,1990
10. 李崇正,"砂受剪變形行為之研究", 國立臺灣大學土木工程學研究所博士論文,1987
11. 黃俊鴻,"水平地盤受震反應分析之研究", 國立臺灣大學土木工程學研究所博士論文,1990
12. 吳銘哲,"砂土受反復荷重下孔隙水壓激發模式之研究", 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文,1997
13. 林俊佑,"單剪應力作用下砂土孔隙水壓激發行為之研究", 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文,1998
14. 吳偉特、詹松儒,"台北盆地砂性土壤不排水與部分排水情況之液化特性行為研究", 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, NSC-86-2611-E-002-033, 1998 年 5 月
15. 吳偉特、詹松儒,"台北盆地砂性土壤不排水與部分排水情況之液化特性行為研究", 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, NSC-87-2211-E-002-048, 1999 年 4 月

表 1 計量閥格數大小與滲透係數、排水性和滲透性分類之關係

滲透係數 k 值(m/sec)		10^{-5}		10^{-6}		10^{-7}		10^{-8}	
				6.7×10^{-7}	3.4×10^{-7}				
排水性 (Drainage characteristics)	良好 (good)	微差 (fairly poor)	較差 (medium poor)	甚差 (very poor)	不透水性 (impervious)				
滲透性分類 (Permeability classification)	中等 (medium)	低 (low)				極低 (very low)			
計量閥格數,M	10 以上,10,9,8,7,6			5,4	3	2,1	0		

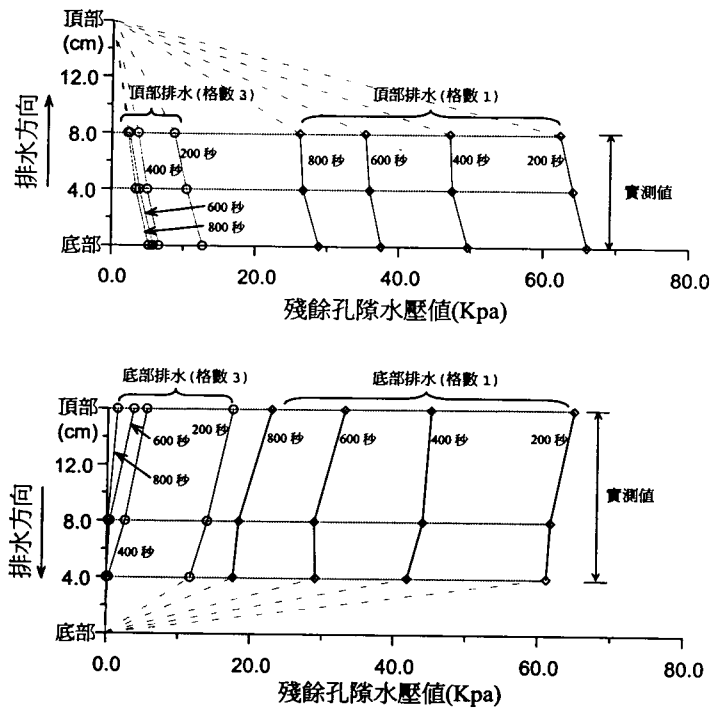


圖 1 在不同排水效果下，土壤內部殘餘孔隙水壓歷時分布

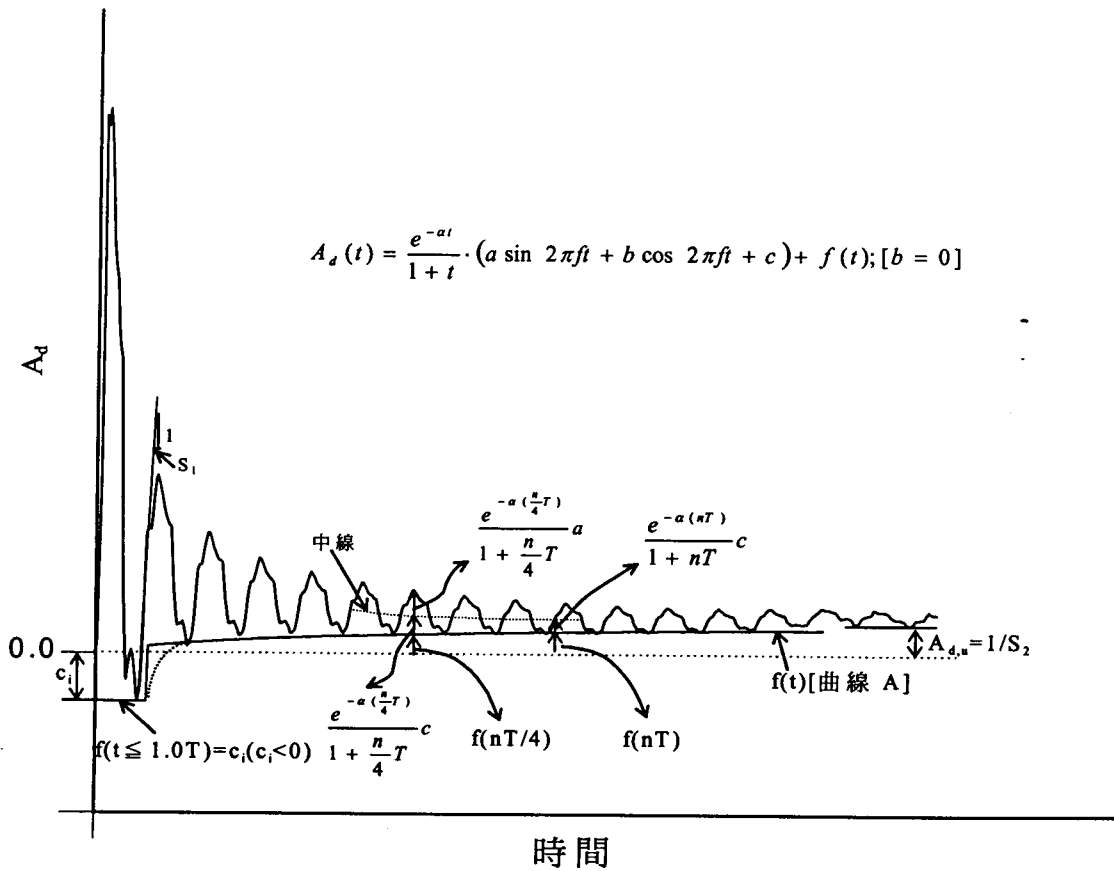


圖 2 動態孔隙水壓係數(A_d)關係式中之參數求取與其物理意義

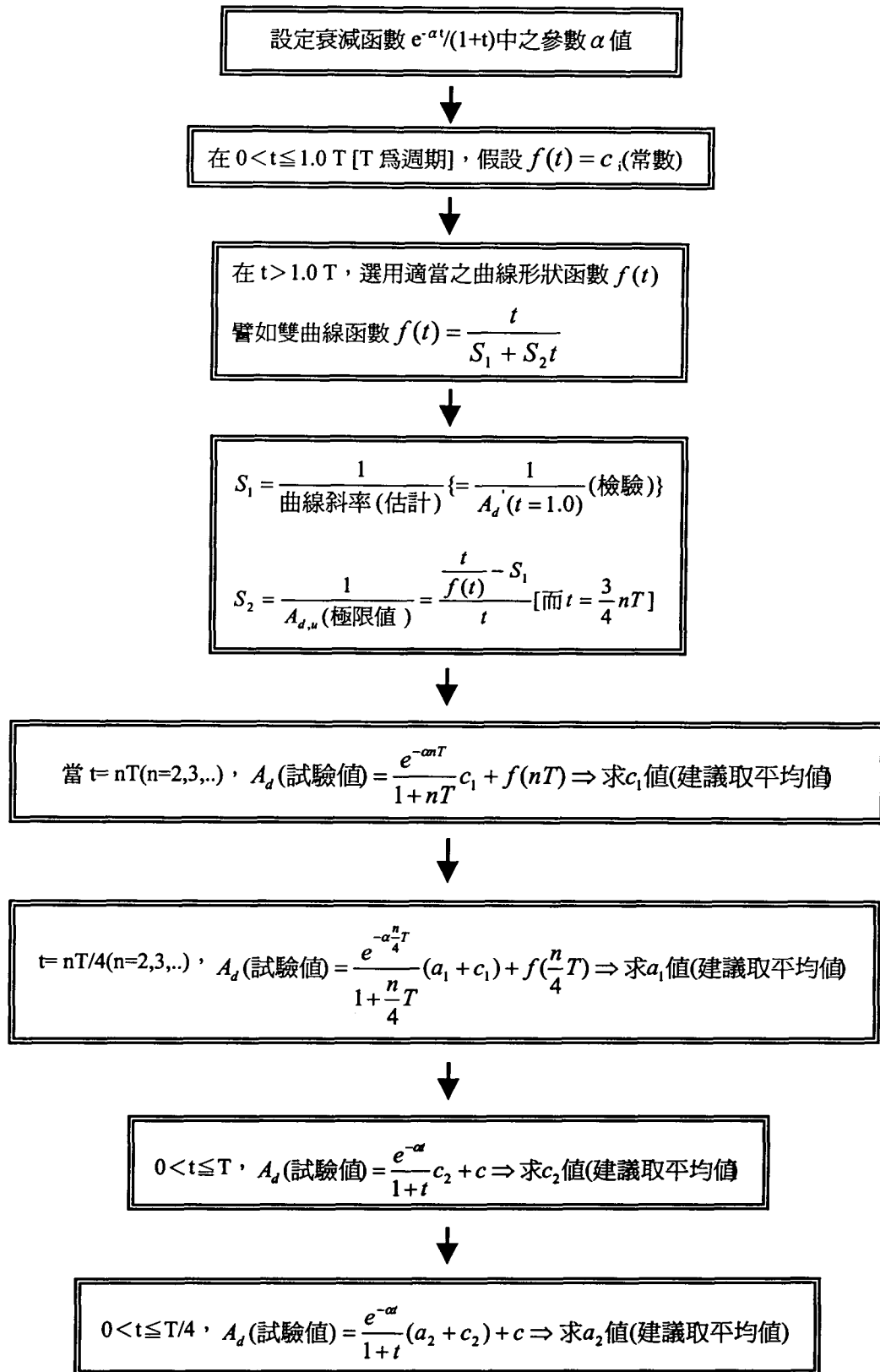


圖 3 動態孔隙水壓係數 A_d 關係式中之各參數求解流程圖

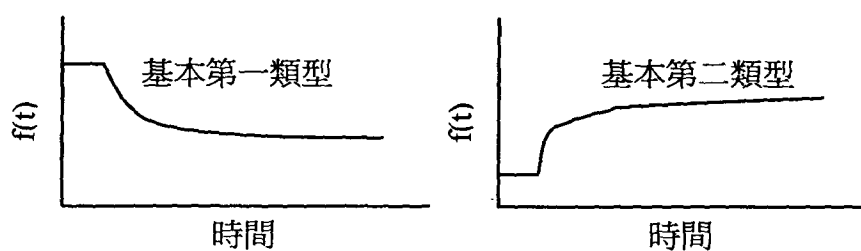


圖 4 基本第一類型曲線與基本第二類型曲線

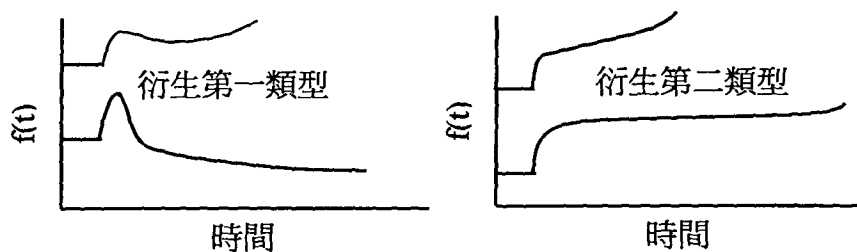


圖 5 衍生第一類型曲線與衍生第二類型曲線

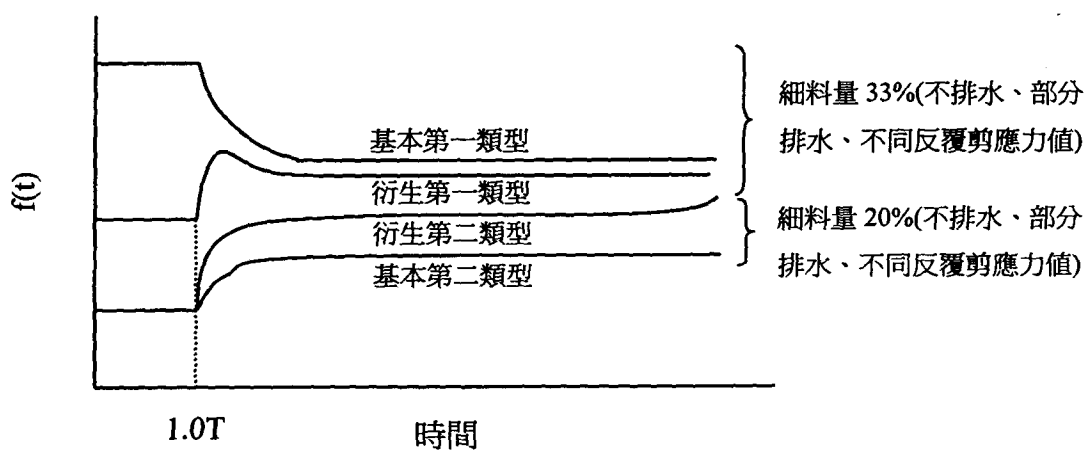


圖 6 土壤細料量與曲線形狀函數曲線變化趨勢關係

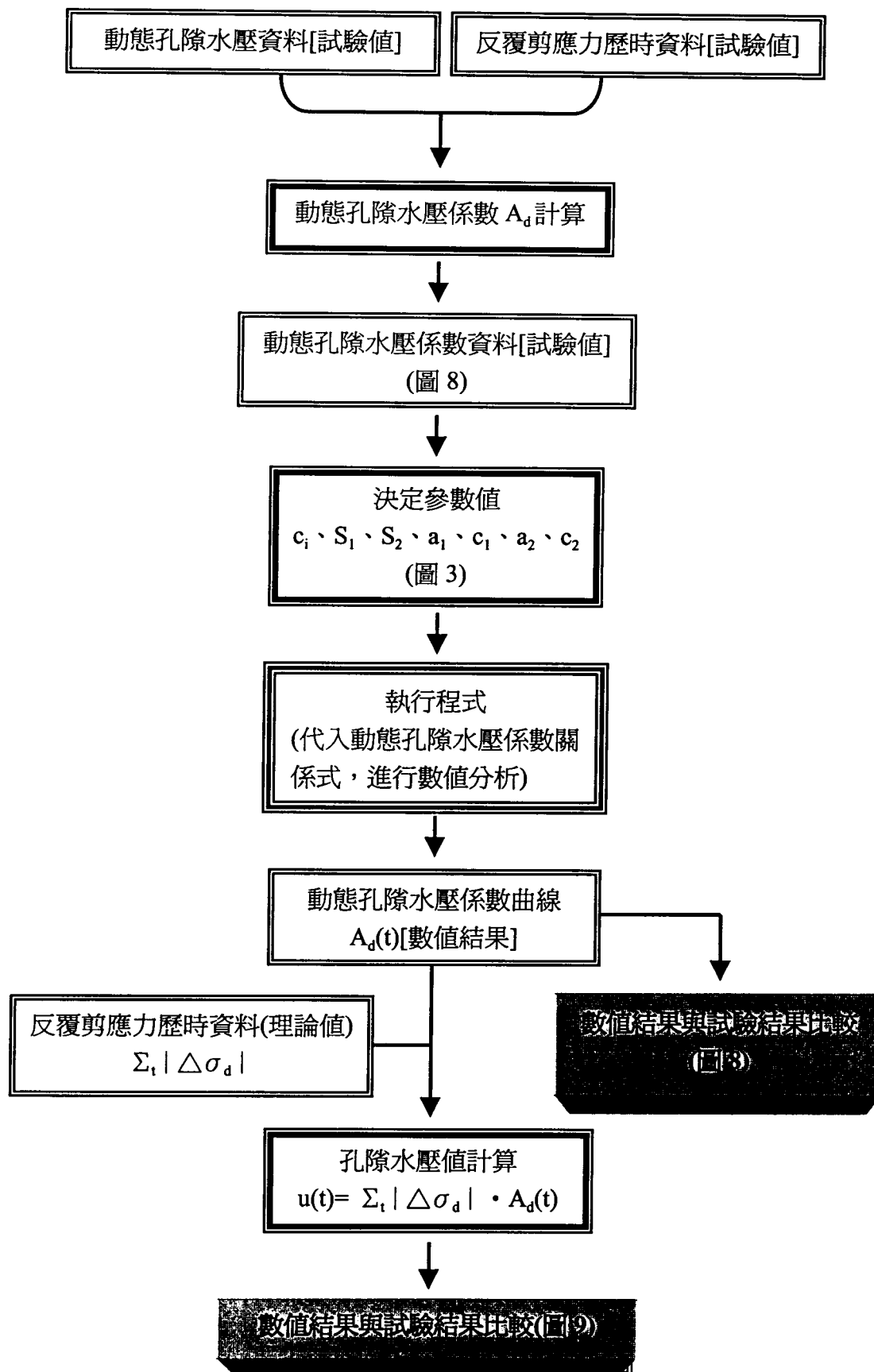


圖 7 動態孔隙水壓數值分析流程圖

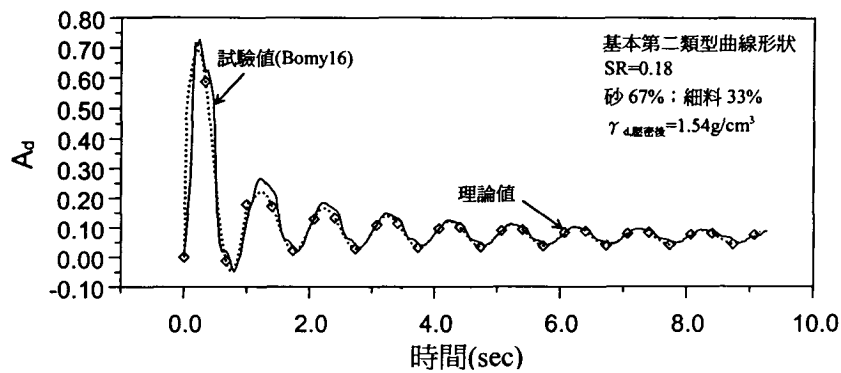


圖 8 動態孔隙水壓係數 A_d 數值分析結果與試驗資料之比較[不排水狀態]

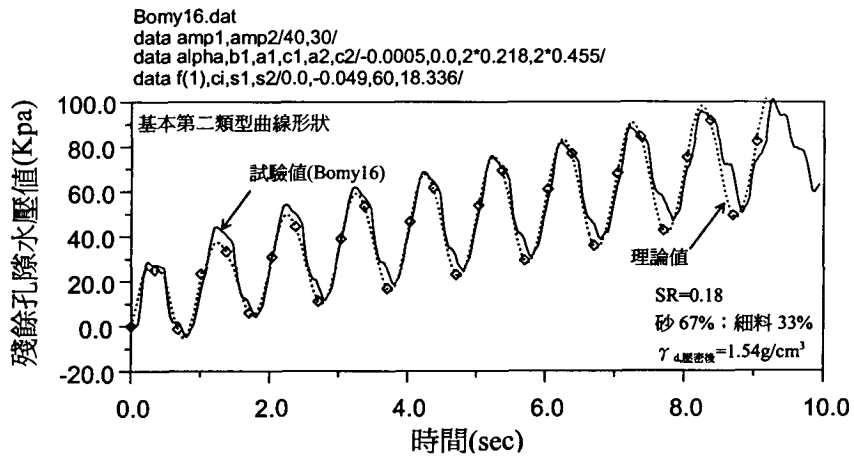


圖 9 動態孔隙水壓數值分析結果與試驗資料之比較[不排水狀態]

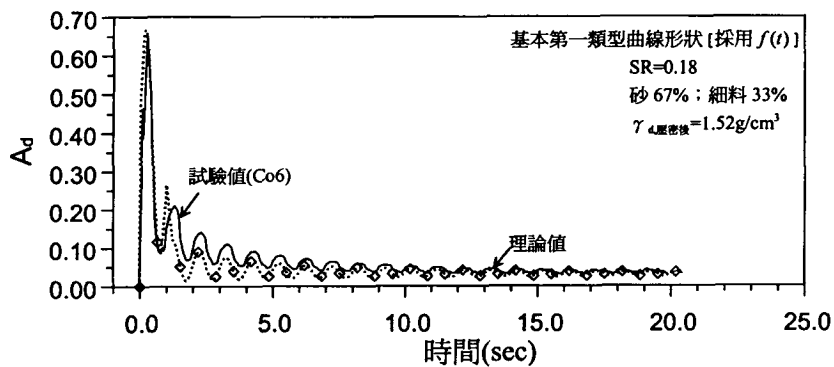


圖 10 動態孔隙水壓係數 A_d 數值分析結果與試驗資料之比較[不排水狀態]

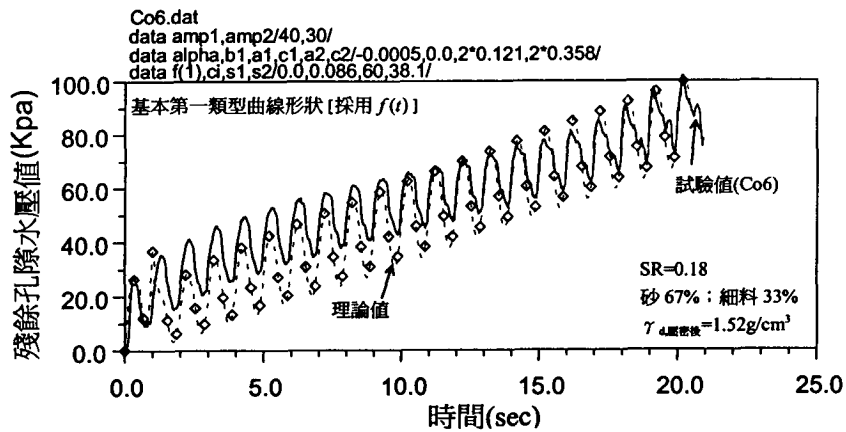


圖 11 動態孔隙水壓數值分析結果與試驗資料之比較[不排水狀態]

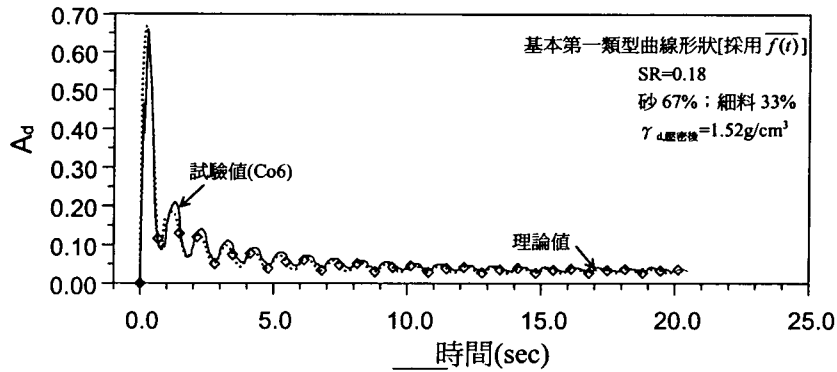


圖 12 採用修正曲線形狀函數 $f(t)$ 之 A_d 數值分析結果[不排水狀態]

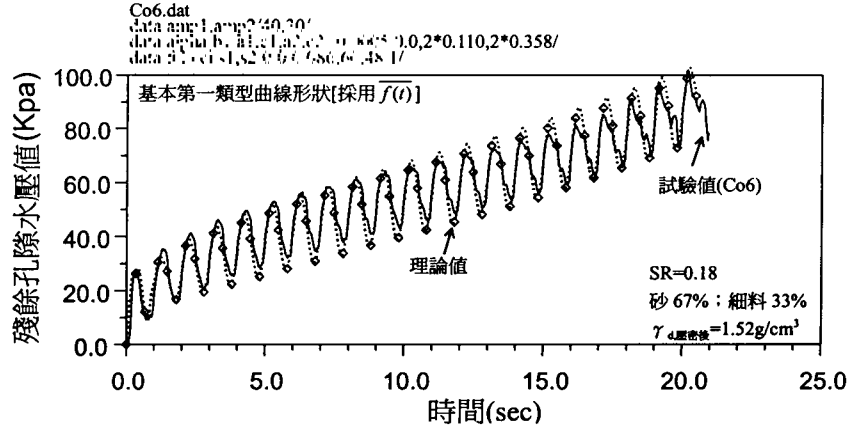


圖 13 採用修正曲線形狀函數 $f(t)$ 之動態孔隙水壓數值分析結果[不排水狀態]

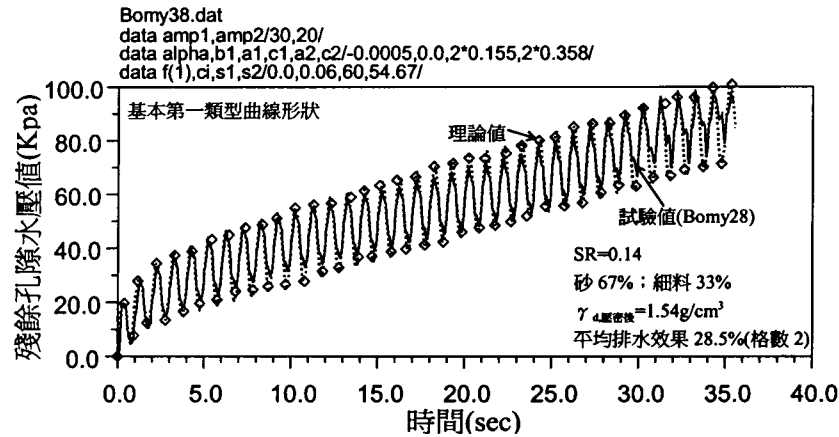


圖 14 採用修正曲線形狀函數 $f(t)$ 之動態孔隙水壓數值分析結果[28.5%排水效果]

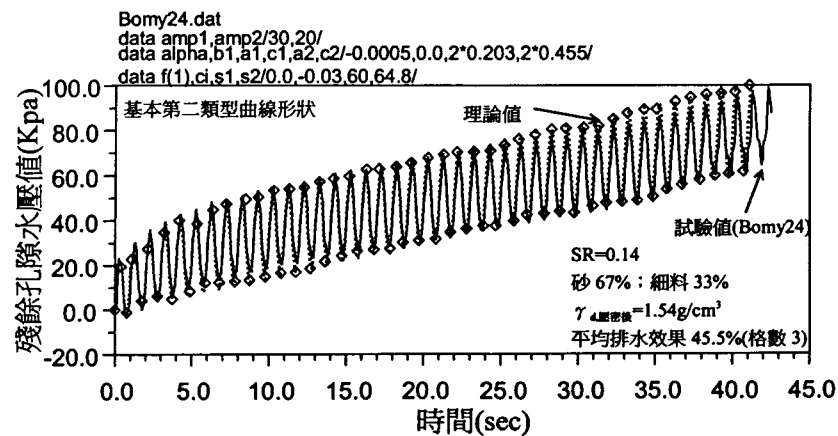


圖 15 採用修正曲線形狀函數 $f(t)$ 之動態孔隙水壓數值分析結果[45.5%排水效果]