

Cap Model 을 이용한 基礎地盤의 數值解析(I)

Numerical Analysis of The Foundation Based on The Cap Model(I)

—室內試驗에 의한 Cap Model 의 Parameter 決定—

朴 炳 基*

Park, Byong-Kee

鄭 鎮 燮**

Jeong, Jin-Seob

李 汶 樹***

Lee, Moon-Soo

姜 秉 宣****

Kang, Byung-Sun

梁 炳 貫*****

Yang, Byung-Kwan

Abstract

This study has been carried out as a basic course for the analysis of foundation deformations based on the Cap model using the finite element methods.

Material parameters should firstly be determined in order to use the Cap model for numerical solution.

Associated with the fact described above, a method determining the soil parameters is suggested using algorithm for numerical analysis from raw truly triaxial compression laboratory test data of Pueblo-Colorado sand by Zaman, et al. (1982) More specifically, the change of soil parameters is thoroughly examined by weighting the data obtained from CTC and RTE tests, respectively.

The main results obtained are as follows;

1. The obtained values of parameters (E, V and Z) are same irrespective of data obtained from various kind of tests.
2. The values of the other parameters ($\alpha, \theta, \gamma, \beta, R, D$ and W) are dependent on data used.
3. The determination of parameters is little affected by the weighting factor.

要 旨

本研究는 Cap model 을 사용하여 有限要素法에 의한 基礎地盤의 變形解析을 하려는 研究의 一環

* 正會員·全南大學校 工科學 教授

** 正會員·圓光大學校 工科學 副教授

*** 正會員·全南大學校 農科學 助教授

**** 正會員·松源實業專門大學 助教授

***** 正會員·東新實業專門大學 助教授

으로 이루어진 것이다.

Cap model에 의한 數值解析을 하기 위해서는 構成式과 結合될 여러가지의 土質材料의 媒介變數를 決定해야 한다. 本文은 이와 관련하여 Zaman 등 (1982)이 검토한 바 있는 Pueblo Colorado 모래의 室內三軸試驗資料를 利用하여 媒介變數를 電算處理하여 決定하는 方法을 檢討하고 이를 보다 더 쉽게 利用할 수 있는 알고리즘을 研究하는 過程에서 嚴密三軸試驗(Truley TC)인 一般三軸壓縮試驗(CTC), 靜水壓縮試驗(HC), 減壓三軸引張試驗(RTE)의 結果가 媒介變數를 決定하는데 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 加重值를 適用하여 媒介變數의 變化過程을 檢討한 것이다. 그 主要結果는 다음과 같다.

- 1) 土質媒介變數(E, ν, Z)는 使用하는 試驗資料에 關係없이 같은 값이다.
- 2) 한편 變數($\alpha, \theta, \gamma, \beta, R, D, W$)는 使用하는 資料에 따라 달라진다.
- 3) 變數決定에 있어서 加重值는 거의 영향을 미치지 않는다.

1. 序 論

最近에 이르러 地盤變形에 대한 土質材料의 舉動을 表現할 수 있는 構成 모델이 많은 注目을 끌어왔다. 당초 金屬材料를 中心으로 發達되었던 彈塑性理論이 土質材料에 適用된 것이므로 흙의 變形初期에 나타나는 塑性變形率의 관측이나 破壞直前의 體積變化, 破壞包絡線의 變化등의 特性을 설명하는데는 부족한 점이 많았다.

흙의 連續的인 降伏概念을 基本으로한 Weidlinger group에 의해 開發된 Cap model은 흙과 岩盤의 舉動을 modeling 하는데 가장 適合한 가능성을 지녔다.

本 研究의 目的은 이 Cap model에 利用되는 土質媒介變數를 數值解析을 通하여 決定하는 方法에 主眼點을 두고 장차 Cap model에 의한 基礎地盤의 應力—變形率 舉動을 實質的으로 解析하는데 基礎가 되고자 한 것이다. 언급한 바와 같이 Cap model은 岩盤을 包含하는 土質材料의 應力—變形率 舉動關係를 表現하는데 널리 使用된다. 이 모델은 限界狀態概念에 의한 Cam-Clay 理論(지금까지 一般的으로 흙에 대한 構成式으로 받아들여졌던)과는 달리 降伏面을 全塑性體積變形率(ϵ_v^p)의 함수로 보는 概念에 근거하고 있다. 歷史的으로 Cap model은 塑性體積變形率을 制御하기 위해 球形降伏面을 使用한 Drucker, Gibson과 Henkel(1955)의 理論이 그 始初가 된다. 以後 Cap model은 Dimaggio(1972), Sandler(1976)와 Baladi(1979)들에 의해서 더욱 精

巧하게 發展되었다. 그러나 Cap model 뿐만 아니라 現存하는 各種構成式 역시 實質的인 土質媒介變數의 決定問題가 重要視되고 있다. 地盤을 解析하는데 있어 Cap model은 室內試驗으로부터 決定되는 10個의 土質媒介變數($E, \nu, \alpha, \theta, \gamma, \beta, R, D, W, Z$)를 必要로 한다. 그러나 室內試驗에 의한 土質媒介變數의 直接的인 決定은 가끔 誤差가 發生할 수도 있으며 Cap model에 대한 만족할만한 變數를 求할 수 없는 경우가 있다. 따라서 本文에서는 最少自乘法을 利用한 數值計算을 通하여 Cap model에 必要한 土質媒介變數의 決定과 各種試驗條件(Case1~4 參照)으로부터의 媒介變數에 영향을 끼치는 要素를 檢討하였다. 土質媒介變數 決定을 위한 計算過程에 導入된 資料는 三軸試驗資料를 利用하였고 여기서 Pueblo Sand에 대한 HC, CTC 및 RTE 試驗(1982)에서 얻어진 應力經路위의 數個點을 선택하여 媒介變數를 決定하였다.

2. 構成法則

塑性理論을 基本으로 하는 Cap model은 土質材料의 應力—變形率 舉動을 表現하는데 기본개념으로 폭넓게 使用된다. 이 모델은 Drucker-Prager의 破壞包絡線과 全塑性體積變形率에 따라 달라지고 應力空間에서 膨脹될 수 있는 硬化降伏面으로 構成된다.

2.1. 固定降伏面(Fixed yield surface)

固定降伏面은 極限強度만을 나타내며 初期단

제에서는 Drucker-Prager의破壞規準과 같다.
즉,

$$f_{DP} = \sqrt{J_{2D}} - \alpha J_1 - k_1 = 0 \dots\dots\dots(2-1)$$

J_1 값이 클때는 Von Mises 면으로 이어지는形態가 된다.

$$f_{VM} = \sqrt{J_{2D}} - k_2 = 0 \dots\dots\dots(2-2)$$

여기서 J_1 은 第一應力不變量이고 J_{2D} 는 第二軸差應力不變量이다. 常數 k_1 과 k_2 는 粘着力의 強度成分이고 α 項은 흙의 內部마찰각과 直接關係되는 係數이며 Drucker-Prager(1952) 破壞面의 圓錐角을 나타낸다. Dimaggio 와 Sandler(1981) 는 固定降伏面을 다음식으로 表現하였다.

$$f_I = \sqrt{J_{2D}} + \gamma e^{-\beta J_1} - \alpha = 0 \dots\dots\dots(2-3)$$

여기서 α, β, γ 는 材料의 媒介變數이다.

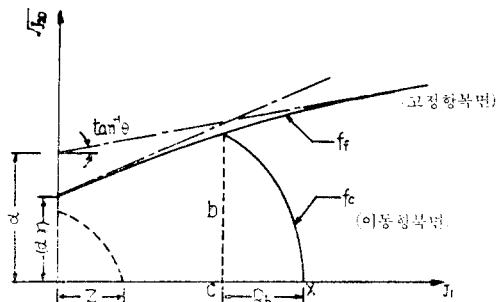


Fig. 1. Schematic of Cap Model

Desai et al(1979)은 J_1 이 큰값에서는 Von Mises 規準대신 第2의 Drucker-Prager 規準을 使用하여 修正降伏面式(Fig. 1)을 다음과 같이 表現하였다.

$$f_I = \sqrt{J_{2D}} + \gamma e^{-\beta J_1} - \theta J_1 - \alpha = 0 \dots\dots\dots(2-4)$$

여기서 θ 는 Fig. 1에서 修正 Drucker-Prager 面의 경사각을 나타내는 材料媒介變數이다.

2.2. 移動降伏面(Yield Cap)

移動降伏面은 同一한 塑性體積變形率의 狀態點을 連結한 線으로 다음과 같다.

$$f_c(J_1, \sqrt{J_{2D}}, k) = 0 \dots\dots\dots(2-5)$$

여기서 k 는 變形率履歷을 나타내는 것으로 一般적으로 塑性體積變形率 $\epsilon_v^p = \epsilon_{ii}^p = \frac{J_1}{3}$ 으로 表示한다.

Dimaggio 와 Sandler 는 粘着力이 없는 材料의 降伏面을 Fig. 1 과 같이 表現되는 橢圓形의 Cap 을 使用하여 다음식으로 나타냈다.

$$f_c = R^2 J_{2D} + (J_1 - C)^2 - R^2 b^2 = 0 \dots\dots\dots(2-6)$$

여기서 C 는 固定降伏面과 移動降伏面의 交叉點에서의 J_1 값이다. R 는 橢圓의 長軸과 短軸의 比이고 b 는 $J_1 = C$ 일때 $\sqrt{J_{2D}}$ 값이다. 等方應力 狀態에서의 X 와 C 는 다음과 같은 關係가 있다.

$$X = C + R(\alpha + \theta J_1 + \gamma e^{-\beta J_1}) \dots\dots\dots(2-7)$$

等方壓縮을 받는 材料의 體積應力變形率舉動에서 가끔 使用하는 硬化法則은 다음과 같이 定한다.

$$\epsilon_v^p = W[1 - e^{-DX}] \dots\dots\dots(2-8)$$

여기서 D 와 W 는 材料의 媒介變數이다.

3. 媒介變數 決定을 위한 알고리즘의 설명

3.1. 概要

土質材料의 應力-變形率關係를 表現하기 위하여 限界狀態와 塑性理論에 基礎를 둔 여러가지 構成모델 中에서 Cap model 은 Drucker 等(1955)이 처음 개발한 以來로 널리 使用되어왔다. 이들 構成式을 使用하여 境界問題를 數值解析함에 있어서는 室內實驗으로 부터 決定되는 材料媒介變數가 必要하다. 그러나 室內試驗자료를 이들 모두의 함수關係를 고려하면서 手動式計算으로 처리하게 되면 많은 時間손실과 큰 오차등 一관성이 없는 變數값이 얻어지는등 신뢰성이 저하된다. 따라서 室內試驗資料로 부터 妥當한 媒介變數를 얻을 수 있는 알고리즘을 檢討하고자 하는 것이 本章의 主要內容이다.

3.2. Cap model 에 使用되는 材料媒介變數

Fig. 1 은 本章의 알고리즘에 使用할 Cap mode의 模型圖이다. Cap의 硬化舉動은 다음식으로 表現된다.

$$X = -\frac{1}{D} \ln\left(1 - \frac{\epsilon_v^p}{W}\right) + Z \dots\dots\dots(3-1)$$

여기서 X 는 Cap 과 靜水壓軸의 交點에서의 J_1 값이며 ϵ_v^p 는 X 점에 對應하는 全體積塑性變形率이다. D, W, Z 는 Cap의 硬化舉動을 支配

하는 材料의 媒介變數이고 W 는 最大塑性體積變形率을 나타내며 D 는 初期荷重係數를 制御하는 全塑性體積變形의 初期值이다.

Cap model에 使用될 媒介變數를 要約하면 표 1과 같다.

Table 1. Parameters used in Cap model

變數	物理的인 意味
E	彈性係數
ν	Poisson 比
α β γ θ	<p>固定 파괴 포락선을 나타내는 變數</p> <p>특히 $(\alpha-\gamma)$는 材料의 粘着力을 나타낸다.</p>
D	全塑性體積變形率
W	最大塑性體積變形率
Z	靜水壓載荷條件에서의 塑性體積變形率의 初期值

3.3. 媒介變數의 計算

3.3.1. 彈性變數: E, ν

彈性媒介變數인 young 係數 E 와 Poisson 比 ν 는 一般三軸壓縮試驗(CTC)으로부터 決定된다. 이 試驗에서 σ_2 와 σ_3 는 常數인 反面에 σ_1 은 初期拘束壓力로부터 점차 증가한다. σ_2 와 σ_3 가 常數이기 때문에 應력과 變形率간의 微分形態는 다음 式으로 表示된다.

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_1} = E \dots\dots\dots(3-2a)$$

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_2} = -\frac{E}{\nu} \dots\dots\dots(3-2b)$$

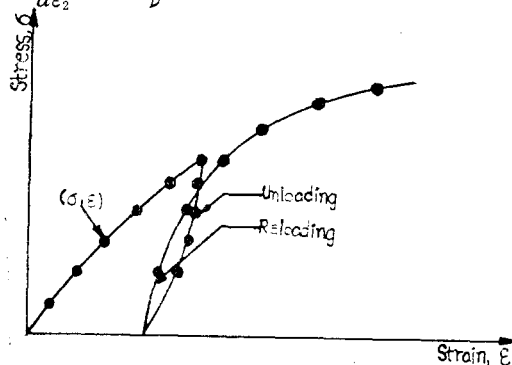


Fig. 2. Typical Stress-Strain Plot Showing Unloading and Reloading

윗식을 使用하여 E 와 ν 를 變數 혹은 常數로 決定할 수 있다. 또한 Fig. 2의 除荷—再載荷曲線의 기울기로부터 E 와 ν 의 常數값을 求할 수 있다.

3.3.2. 固定破壞面變數

固定破壞面에 관련된 媒介變數는 式 (2-4)와 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 4個의 變數 $\alpha, \beta, \gamma, \theta$ 이다. 이 變數들을 決定하기 위하여 Fig-1과 같이 各應力徑路에 대한 破壞應力을 $J_1 - \sqrt{J_{2D}}$ 空間에 나타냈다. 一般的으로 破壞點의 分散이

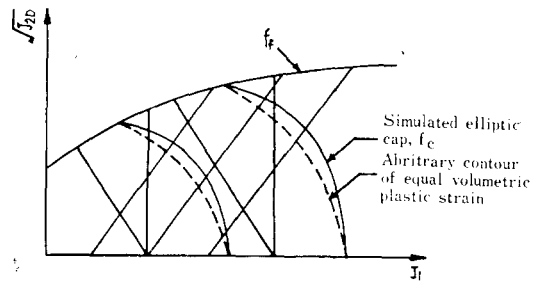


Fig. 3. Typical Stress Path Plots with Failure Envelope, f_f and Yielding Caps, f_c

일어나기 때문에 破壞包絡線은 最少自乘法으로 이 點들을 Smooth-Curve fit 하여 求한다. 이 包絡線과 $\sqrt{J_{2D}}$ 와 의 交點이 $(\alpha-\gamma)$ 이다. 式 (2-4)로부터 J_1 의 매우 큰 값에 대해서는 指數項은 무시하고 나머지항은 기울기가 θ 이고 $\sqrt{J_{2D}}$ 의 절편이 α 인 直線이 된다. Fig. 1에 나타낸 破壞包絡線의 解析的 表現은 指數變換曲線(exponential transition curve)으로 連結된 두개의 Drucker-Prager 型의 破壞包絡線의 結合을 意味한다. 變數 β 는 變換曲線上的 代表값을 선정하여 구한다. β 값을 改善하기 위하여 變換曲線에서 몇 개의 點을 選擇하고 이 값을 平均하면 된다.

3.3.3. 形狀係數變數와 硬化變數

硬化 Cap에 대한 形狀係數를 구하기 위하여 各應力徑路上的 選擇된 點에서 全體積塑性變形率을 計算한다. 最少自乘法으로 求한 等體積塑性變形率線을 그리면 이 等體積變形線들은 J_1 軸 및 破壞包絡線을 交叉하는 形態가 되고 이 等體積塑性變形率線은 橢圓形으로 修正(近似)할 수

있다. 各橢圓形 Cap 은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 J_1 과 破壞包絡線과의 交點이 對應하는 等體積塑性變形率線과의 交點과 一致한다. 이 橢圓形 Cap 은 J_1 軸과 直交하고 J_1 軸에 平行한 기울기로 破壞包絡線과 만난다. 形狀係數 R 은 각 Cap 의 短軸과 長軸의 比로 表示되므로 여러 Cap 에 대한 形狀係數를 決定하고 이들 平均値를 使用한다. Cap 과 관련된 硬化 Parameter D, W, Z 를 式 (3-1)에 나타낸다. 앞에서 말한 바와 같이 變數 Z 는 靜水壓載荷條件에서의 體積塑性變形의 初期値를 決定하는데 쓰인다. 大部分의 地盤은 극히 낮은 應力水準에서도 塑性變形을 나타낸다고 볼 수 있으므로 흙에 대하여 Z 값은 무시할 만큼 작다고 假定할 수 있다. 이 Algorithm 에서는 Z 는 0 으로 假定했다. 그러므로 式 (3-1)은

$$X_1 = -\frac{1}{D} \ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_1}^p}{W}\right) \dots \dots \dots (3-3a)$$

$$X_2 = -\frac{1}{D} \ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_2}^p}{W}\right) \dots \dots \dots (3-3b)$$

여기서 X_1 과 X_2 는 J_1 의 2 個의 任意의 값이며 $\epsilon_{v_1}^p$ 와 $\epsilon_{v_2}^p$ 는 ϵ_v^p 의 對應값이다. 式 (3-3a)와 式 (3-3b)를 使用하여 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{\ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_1}^p}{W}\right)}{\ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_2}^p}{W}\right)} \dots \dots \dots (3-4)$$

또는

$$g(W) = \frac{\ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_1}^p}{W}\right)}{\ln\left(1 - \frac{\epsilon_{v_2}^p}{W}\right)} - \frac{X_2}{X_1} = 0 \dots \dots \dots (3-5)$$

式 (3-5)에서 W 를 決定하기 위하여 여러가지 數值解析法이 使用된다. 이 章에서는 W 값을 求하고자 增分法을 使用했다. 이 技法은 W 값의 試行値를 假定하고 函數 $g(W)$ 가 改善되면 規定된 許容誤差와 比較한다. 만일 $g(W)$ 의 絕對値가 許容誤差보다 크면 새로운 W 의 試行値를 指定하고 이 過程에서 收斂値가 滿足할때 까지 反覆된다. W 의 값을 決定한 후에 D 값은 式 (3-3a) 및 式 (3-3b)에서 쉽게 求해진다. D 와 W 의 값은 J_1 軸의 選定點 位置에 依存하므로 몇개의 點들을 미리 選定하고 D 와 W 의 平均値를 計算하여 滿足할만한 값을 얻도록 한다.

4. 室內試驗에 의한 媒介變數 決定

4.1. 序 言

本章에 檢討한 알고리즘은 多様な 應力經路와 여러가지 拘束應力을 再現하기 위한 三軸試驗裝置에서 구한 室內試驗資料를 使用할 수 있도록 개량한 것이다. 보통 사용되는 應力經路는 一般

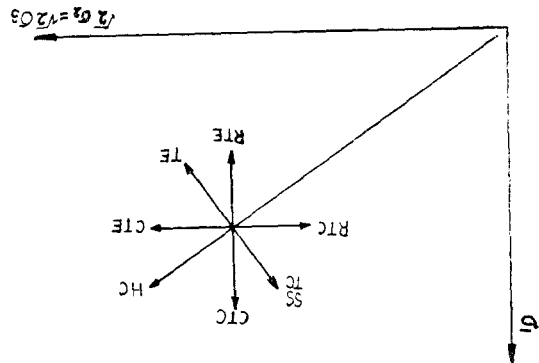


Fig. 4. Projections of Commonly Used Stress Paths on the Triaxial Plane

三軸壓縮試驗(CTC), 三軸壓縮試驗(TC), 減壓三軸壓縮試驗(RTC), 一般三軸引張試驗(CTE), 三軸引張試驗(TE), 減壓三軸引張試驗(RTE), 靜水壓縮試驗(HC), 單純剪斷試驗(SS)등에서 얻은 應力經路가 있다. 三軸平面에서의 이러한 應力經路들을 Fig. 4에 나타낸다. 위에서와 같이 보다 더 精密하고 多様な 應力經路를 얻기위한 試驗을 수행하려면 嚴密三軸試驗機(6面體試料 Desai et al 1982)를 使用해야 한다. 이와같은 試驗機가 없을때 圓筒試料의 試驗機가 대응될 수 밖에 없다. Cap model에 관한 媒介變數는 위의 여러가지 應力經路를 따라 試驗한 試驗資料를 모두 入力하여 決定하는 것이 가장 信賴性이 크다. 그러나 이와같이 多様な 資料를 入力할 수 없을때는 靜水壓縮試驗(HC)과 一般三軸壓縮試驗(CTC)의 應力經路에 대한 試驗資料의 代表値만이라도 利用하여 決定할 수 있다고 한다. (Zaman, Desai 1982) 그러나 본 연구에서는 이

것만으로는 불가능함이 밝혀졌다.

Fig. 2는 Fig. 4에서 어느 하나의 시험, 예컨대 CTC를 택한 일련의 재하시험 결과이다. 이 자료에서 곡선상의 여러점에 대한 (σ, ϵ) 좌표를 선정 입력하여 媒介變數를 계산한다. 本文에서는 表 2에서와 같이 Case 1~Case 4의 試驗種類를 擇하여 10개의 媒介變數를 決定하였다.

Cap model에서 解析에 必要한 變數는 10개가 所要되므로 이를 얻는데 試驗可能한 최소한의 種目を Case 別로 選定한 것이다.

4.2. 各種室內試驗 및 入力資料(Pueblo Sand 文獻 8)

Case-1, HC(1개), CTC(初期應力 7.7 및 19.25t/m² 2개)와 RTE(初期應力 7.7 및 19.25t/m²

2개)

Case-2, HC(1개), CTC(初期應力 7.7 및 19.25t/m² 2개)와 RTE(初期應力 7.7t/m² 1개)

Case-3, HC(1개) CTC(初期應力 7.7t/m²에 5의 加重值 부여 및 19.25t/m² 2개)와 RTE(初期應力 7.7t/m² 1개)

Case-4, HC(1개), CTC(初期應力 7.7 및 19.25t/m² 2개) RTE(初期應力 7.7t/m²에 5의 加重值부여 1개)

위의 試驗資料를 本 研究에서 改善한 Program에 入力하여 計算한 結果를 表-2에 나타낸다. 여기서 Case-3 및 Case-4의 加重值라 함은 各 各 CTC, 初期應力 7.7t/m²와 RTE, 7.7t/m²로 시행한 資料에 이들의 影響을 알아보기 위하여 5倍의 加重值를 주어 入力한 것이다.

Table 2. Material Parameters Calculated

Parameters	Case	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
		HC CTC(7.7) CTC(19.25) RTE(7.7) RTE(19.25)	HC CTC(7.7) CTC(19.25) RTE(7.7)	HC *CTC(7.7) CTC(19.25) RTE(7.7)	HC CTC(7.7) CTC(19.25) *RTE(7.7)
Elastic Moduli	E	0.684 E+4	0.684 E+4	0.684 E+4	0.684 E+4
	ν	0.4	0.4	0.4	0.4
Parameters associated with Fixed Failure Envelope	α	0.14344 E+2	0.16474 E+2	0.1647 E+2	0.16475 E+2
	θ	0.12680	0.9998 E-1	0.10001	0.99972 E-1
	γ	0.14344 E+2	0.16474 E+2	0.1647 E+2	0.16475 E+2
	β	0.24929 E-1	0.24929 E-1	0.24929 E-1	0.24929 E-1
Shape Factor and Hardening Parameters	R	0.11818 E-1	0.29537	0.29547	0.29534
	D	-0.34647 E-1	-0.62049 E-1	-0.62049 E-1	-0.62049 E-1
	W	-0.28079 E-1	-0.24965 E-3	-0.24965 E-3	-0.24965 E-3
	Z	0.0	0.0	0.0	0.0

() ; t/m², * 부분에 가중치 고려

5. 考察 및 結論

여러가지 室內試驗資料를 入力하여 媒介變數를 計算해야만 利用되는 Cap model을 實際地

盤에 適用하기 위해서는 必要한 精度內에서 可能한 試驗方法을 利用하여 必要한 媒介變數를 얻도록 하는 것이 實用的이고 經濟的이다.

현재까지 Cap model의 有用性에 대해서는 크게 평가를 받고 있음에도 이것이 이용되지 않는

것은 여러가지 應力狀態의 試驗에서 얻은 必要한 資料를 入力解析해야만 하기 때문이다. 本文은 이점을 개선하고자 이미 발표된 연구자료를 이용하여 土質媒介變數를 決定하는 Program을 개선하여 필요최소한의 시험종목과 서로 函數關係가 있는 이들 媒介變數가 어떻게 영향을 미치는가를 조사 연구한 것이다.

그 결과는 다음과 같다.

(1) $z=0$ 으로 가정하였을 때 E, ν 는 동일한 값을 갖는다.

(2) 기타 媒介變數 $\alpha, \theta, \gamma, \beta, R, D$ 및 W 는 應力經路를 나타내기 위한 載荷條件(Case-1과 Case-2) 및 加重值를 고려(Case-3과 Case-4)함에 따라 약간 차이를 보이고 있다.

(3) Case-1과 Case-2는 E, ν, β 와 Z 만을 제외하고는 시험자료 개수 선택에 따라 변수값에 차이를 나타낸다.

(4) Case-2, Case-3 및 Case-4에 관해서는 Case-2를 기준으로 하여 Case-3는 CTC에 加重值를, Case-4는 RTE에 加重值를 고려한 경우인데 이는 거의 同一한 값을 나타낸다.

이는 어떠한 試驗方法이나 加重值를 考慮한 경우에도 거의 같은 값의 土質媒介變數를 얻을 수 있다는 結論에 이른다.

(5) 現時點에서는 本文에서 구한 각종 Case의 媒介變數의 精度에 관하여 아직 判定이 不可한 실정이지만 Cap model을 土質地盤에 이용할 경우 必要한 媒介變數의 결정에 있어서 Zaman(1982) 등은 HC와 CTC 試驗만으로도 결정할 수 있다 하였으나 本文에서는 HC 試驗以外에 2種의 CTC와 하나의 RTE 등의 資料가 없으면 구할 수 없다.

(6) 또한 현재까지는 通常의 圓筒三軸壓縮試驗에서 얻은 資料만을 가지고는 Cap model에 必要한 媒介變數를 求할 수 없다고 판단된다.

그러나 圓筒三軸試驗의 實用性和 常用性을 감안할 때 이 試驗으로부터 얻은 資料를 이용하여 Cap model에 적용할 수 있는 媒介變數를 결정할 수 있도록 研究를 계속중이다.

謝辭 本 研究는 韓國科學財團 86年度 研究費(提目 “韓國軟弱地盤改良工法에 利用될 汎用 프로그램의 開發”)로서 이루어진 것으로 後援해주

신 同財團에게 깊은 感謝를 드리며 또한 本 研究遂行을 처음부터 끝까지 參與하여 도와주신 研究助員 李鎮洙君, 南宮玟君, 그리고 全南大土木工學科 大學院生 康權修, 車福南君에게 깊은 謝意를 포함합니다.

參 考 文 獻

- Desai, C.S. and Siriwardane, H.J. "Constitutive Laws for Engineering Materials", Prentice-Hall, Inc., 1984.
- Desai, C.S., Phan, M.V., and Sture, S., "Procedure Selection and Application of Plasticity Models for a Soil", Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., Vol. 5, 1981, pp. 295~311.
- Desai, S., Perampral, J., Sture, S., Phan, H., "Geometric and Material Non-linear Three-Dimensional Analysis of Structure Moving on Ground", Va. Polytech Ins. 1979 Report to NSF.
- Di Maggio, F.L., and Sandler, I.S., "Material Model for Granular Soils, J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 97, No. EM3, 1971, pp. 935~950.
- Drucker, D.C. and Prager, W, Soil Mechanics and Plastic Analysis of Limit Design, Quart. Appl. Math., Vol. 10, No. 2, 1952.
- Sandler, I.S., and Rubin, D., "An Algorithm and a Modular Subroutine for the Cap Model", Int. J. for Numer. Anal. Methods Geomech., Vol. 3, 1979, pp. 173~186.
- Sandler, I.S., DiMaggio, F.L., and Baladi, G.Y., "Generalized Cap Model for Geologic Materials", J. Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 102, No. GT7, July 1976, pp. 683~699.
- Siriwardane, M.J., and Desai, C.S., "Computational Procedures for Non-Linear Three-Dimensional Analysis with Some Advanced Constitutive Laws", Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., Vol. 7, 1983, pp. 143~171.
- Siriwardane, H.J., and Desai, C.S., "Evaluation of Constitutive Parameters for Geologic Media; Modified Cam Clay and Cap Model", Proc. Workshop Session, Symp. Implementation of Computer Procedure and Stress-Strain Laws in Geotech. Eng., Chicago, Aug. 1981.

10. Zaman, M.M., Desai, C.S., and Faruque, M.O.,
 "An Algorithm for Determining Parameters for
 Cap Model from Raw Laboratory Test Data",

Proc. 45th, Int. Conf. Numer. Methods Geomech., Edmonton, Canada, 1982.

附 錄

數值計算結果(Case-1)

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 GRADUATE—SCHOOL
 CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY

NO. OF TESTS USED=5

STRESS COMPONENTS AT FAILURE FOR DIFFERENT TESTS

SIGF-1	SIGF-2	SIGF-3
0.353E+02	0.720E+01	0.720E+01
0.576E+02	0.180E+02	0.180E+02
0.720E+00	0.144E+02	0.144E+02
0.288E+00	0.720E+01	0.720E+01

HYDROSTATIC COMPRESSION TEST

NO. OF POINTS TAKEN ON HC CURVE = 15
 UNLOADING MODULUS FOR EPSILON-1 = 0.21600E+05
 UNLOADING MODULUS FOR EPSILON-2 = 0.21600E+05
 UNLOADING MODULUS FOR EPSILON-3 = 0.28800E+05

MEAN PRESSURE AND STRAIN COMPONENTS

MEAN PRESSURE	EPSILON-1	EPSILON-2	EPSILON-3
0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.72000E+01	0.60000E-03	0.70000E-03	0.45000E-03
0.10800E+02	0.14000E-02	0.17500E-02	0.95000E-03
0.14400E+02	0.22500E-02	0.27500E-02	0.12500E-02
0.18000E+02	0.27500E-02	0.36500E-02	0.15000E-02
0.21600E+02	0.35000E-02	0.41500E-02	0.18500E-02
0.25200E+02	0.40000E-02	0.47500E-02	0.21000E-02
0.28800E+02	0.46000E-02	0.55000E-02	0.23000E-02
0.32400E+02	0.53500E-02	0.61500E-02	0.25500E-02
0.36000E+02	0.58500E-02	0.67500E-02	0.27500E-02
0.39600E+02	0.63000E-02	0.75000E-02	0.30500E-02
0.43200E+02	0.68500E-02	0.80000E-02	0.32000E-02
0.46800E+02	0.72500E-02	0.84000E-02	0.34000E-02
0.50400E+02	0.77000E-02	0.89000E-02	0.36000E-02
0.54000E+02	0.81500E-02	0.93500E-02	0.38500E-02

CTC TEST (CONFINING PRESSURE=7.7 T/M*M)

NO. DATA POINTS = 7
 UNLOADING MODULUS IN-DIR = 0.68400E+04
 UNLOADING MODULUS IN Y-DIR = 0.17280E+05
 UNLOADING MODULUS IN Z-DIR = 0.17280E+05

SIGMA-1	SIGMA-2	SIGMA-3	EPSILON-1	EPSILON-2	EPSILON-3
0.720E+01	0.720E+01	0.720E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.101E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.830E-03	-0.100E-03	-0.100E-03
0.130E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.187E-02	-0.320E-03	-0.320E-03
0.158E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.291E-02	-0.630E-03	-0.630E-03
0.187E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.369E-02	-0.940E-03	-0.940E-03
0.216E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.521E-02	-0.146E-02	-0.146E-02
0.274E+02	0.720E+01	0.720E+01	0.833E-02	-0.290E-02	-0.290E-02

PJ1	PJ2D	DI1P	DI2DP	TI1P
0.216E+02	0.829E-02	0.181E-03	0.395E-03	0.833E-03
0.245E+02	0.166E+01	0.171E-03	0.776E-03	0.138E-02
0.274E+02	0.333E+01	0.111E-03	0.880E-03	0.189E-02
0.302E+02	0.499E+01	0.241E-04	0.580E-03	0.222E-02
0.331E+02	0.665E+01	0.131E-03	0.168E-02	0.229E-02
0.360E+02	0.831E+01	0.215E-04	0.391E-02	0.268E-02

CTC TEST (CONFINING PRESSURE=19.25 T/M*M)

NO. OF DATA POINTS = 10
 UNLOADING MODULUS IN X-DIR = 0.14400E+05
 UNLOADING MODULUS IN Y-DIR = 0.41040E+05
 UNLOADING MODULUS IN Z-DIR = 0.41040E+05

SIGMA-1	SIGMA-2	SIGMA-3	EPSILGN-1	EPSILON-2	EPSILON-3
0.180E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.216E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.500E-03	-0.250E-04	-0.250E-04
0.252E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.120E-02	-0.750E-04	-0.750E-04
0.288E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.190E-02	-0.150E-03	-0.150E-03
0.324E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.280E-02	-0.300E-03	-0.300E-03
0.360E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.340E-02	-0.475E-03	-0.475E-03
0.396E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.410E-02	-0.675E-03	-0.675E-03
0.432E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.490E-02	-0.925E-03	-0.925E-03
0.468E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.580E-02	-0.130E-02	-0.130E-02
0.504E+02	0.180E+02	0.180E+02	0.690E-02	-0.180E-02	-0.180E-02

PJ1	PJ2D	DI1P	DI2DP	TI1P
0.540E+02	0.000E+00	0.125E-03	0.216E-03	0.561E-02
0.576E+02	0.208E+01	0.175E-03	0.476E-03	0.598E-02
0.612E+02	0.416E+01	0.158E-03	0.505E-03	0.651E-02
0.648E+02	0.624E+01	0.175E-03	0.822E-03	0.698E-02
0.684E+02	0.831E+01	0.585E-04	0.505E-03	0.751E-02
0.720E+02	0.104E+02	0.751E-04	0.649E-03	0.769E-02
0.756E+02	0.125E+02	0.751E-04	0.822E-03	0.791E-02
0.792E+02	0.145E+02	0.251E-04	0.108E-02	0.814E-02
0.828E+02	0.166E+02	0.848E-05	0.146E-02	0.821E-02

RTE TEST (CONFINING PRESSURE=19.25 T/M*M)

NO. OF DATA POINTS =8
 UNLOADING MODULUS IN X-DIR =0.18000E+04
 UNLOADING MODULUS IN Y-DIR =0.46080E+04
 UNLOADING MODULUS IN Z-DIR =0.46080E+04

SIGMA-1	SIGMA-2	SIGMA-3	EPSILON-1	EPSILON-2	EPSILON-3
0.144E+02	0.144E+02	0.144E+02	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.130E+02	0.144E+02	0.144E+02	-0.500E-03	0.400E-03	0.400E-03
0.115E+02	0.144E+02	0.144E+02	-0.100E-02	0.100E-02	0.100E-02
0.101E+02	0.144E+02	0.144E+02	-0.225E-02	0.225E-02	0.225E-02
0.864E+01	0.144E+02	0.144E+02	-0.400E-02	0.400E-02	0.400E-02
0.720E+01	0.144E+02	0.144E+02	-0.650E-02	0.625E-02	0.625E-02
0.576E+01	0.144E+02	0.144E+02	-0.925E-02	0.850E-02	0.850E-02
0.432E+01	0.144E+02	0.144E+02	-0.135E-01	0.110E-01	0.110E-01

PJ1	PJ2D	DI1P	DI2DP	TI1P
0.432E+02	0.156E-01	0.158E-03	0.245E-03	0.442E-02
0.418E+02	0.832E+00	0.292E-03	0.144E-04	0.489E-02
0.403E+02	0.166E+01	0.475E-03	0.160E-02	0.577E-02
0.389E+02	0.249E+01	0.642E-03	0.276E-02	0.719E-02
0.374E+02	0.333E+01	0.725E-03	0.420E-02	0.912E-02
0.360E+02	0.416E+01	0.642E-03	0.449E-02	0.113E-01
0.346E+02	0.499E+01	0.308E-03	0.651E-02	0.132E-01

RTE TEST (CONFINING PRESSURE=7.7 T/M*M)

NO. OF DATA POINTS =10
 UNLOADING MODULUS IN X-DIR =0.23040E+04
 UNLOADING MODULUS IN Y-DIR =0.57600E+04
 UNLOADING MODULUS IN Z-DIR =0.57600E+04

SIGMA-1	SIGMA-2	SIGMA-3	EPSILON-1	EPSILON-2	EPSILON-3
0.720E+01	0.720E+01	0.720E+01	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.648E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.100E-03	0.250E-03	0.250E-03
0.576E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.500E-03	0.100E-02	0.100E-02
0.504E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.125E-02	0.150E-02	0.150E-02
0.432E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.255E-02	0.275E-02	0.275E-02
0.360E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.360E-02	0.375E-02	0.375E-02
0.288E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.600E-02	0.550E-02	0.550E-02
0.216E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.100E-01	0.825E-02	0.825E-02
0.144E+01	0.720E+01	0.720E+01	-0.175E-01	0.130E-01	0.130E-01
0.720E+00	0.720E+01	0.720E+01	-0.310E-01	0.200E-01	0.200E-01

PJ1	PJ2D	DI1P	DI2DP	TI1P
0.216 E +02	0.829 E -02	0.154 E -03	0.101 E -03	0.833 E -03
0.209 E +02	0.416 E +00	0.387 E -03	0.823 E -03	0.130 E -02
0.202 E +02	0.831 E +00	0.104 E -03	0.938 E -03	0.246 E -02
0.194 E +02	0.125 E +01	0.421 E -03	0.244 E -02	0.277 E -02
0.187 E +02	0.166 E +01	0.337 E -03	0.186 E -02	0.403 E -02
0.180 E +02	0.208 E +01	0.387 E -03	0.429 E -02	0.505 E -02
0.173 E +02	0.249 E +01	0.521 E -03	0.729 E -02	0.621 E -02
0.166 E +02	0.291 E +01	0.687 E -03	0.136 E -01	0.777 E -02
0.158 E +02	0.333 E +01	0.187 E -03	0.232 E -01	0.983 E -02

ELASTIC PARAMETERS

YOONG S MODULUS = 0.68400 E +04
 POISSON S RATIO = 0.40

PARAMETERA FOR FIXED FAILURE ENVELOPE

ALPHA = 0.14344 E +02
 THETA = 0.12680 E +00
 GAMA = 0.14344 E +02
 BETA = 0.24929 E -01

SHAPE FACTOR AND HARDENING PARAMETERS

SHAPE FACTOR = 0.11818 E -01
 D = -0.34647 E -01
 W = -0.28079 E -01
 Z = 0.00000 E +00