

接合要素를 利用한 複合基礎地盤의 變形解析

朴 炳 基 (全南大學校 工科大學 教授)
鄭 鎮 燮 (丹光大學校 工科大學 副教授)
李 汶 樹 (全南大學校 農科大學 助教授)

Abstract

In this study, a numerical analysis on the deformation of foundation layer was carried out by introducing joint element. The method using the joint element between adjacent different materials has been originally developed for rock behavior (Goodman, et al. 1968). The application of this method to the interface between the footing and soil layer proved satisfactory (Ghaboussi, et al. 1973).

Authors tried to obtain the deformation of "compound foundation layer", which vertically or horizontally or both consists of the natural (or intact) soft clay layer and the layer improved artificially in order to get high stiffness with replacement or chemical treatment to reduce the excessively detrimental settlement or lateral displacement in case of banking or building the civil structure on the soft layer. The joint conditions were classified into three categories: contact, sliding and separation.

By coupling "JOINT" as a subroutine into multi-purpose code for the finite element method of the foundation developed by authors on the assumption that shearing and normal displacement can not be coupled, which terms "non-dilatant" and by selecting modified Cam-clay model, the deformation analysis was performed. The results using joint element were compared with those secured without introduction of joint element

Main results analyzed are as follows:

1. For the prediction of settlement and lateral displacement, the result due to joint element was evaluated larger, which was regarded safe.
2. For the determination of ultimate bearing capacity, the value using joint element appeared smaller by 20%, which was also safe.

要 旨

本 研究는 接合要素 (JOINT ELEMENT)를 導入하여 複合地盤變形에 關한 數值解析을 遂行한 것이다.

接合要素는 岩盤과 岩盤사이 또는 地盤과 構造物에 對한 各기 不同한 材料가 相異한 경우에 假想의 要素를 導入하여 地盤 또는 構造物 全体로서의 數值解析을 통해 만족스러운 結果를 求할수 있는 방법이다.

(Goodman 等 1968, Ghaboussi 等 1973, Arya 等 1982)

筆者들은 이와같은 接合要素를 導入하여 軟弱地盤에 盛土나 構造物을 축하한 경우에 有害로운 次下나 水平 變位를 減小하기 爲하여 自然地盤에 鉛直 및 水平方向 으로 처한이나 化學的處理를 시행하여 剛性を 크게 만든 複合地盤의 變形解析을 遂行한 것이다.

이 解析에 있어서는 筆者들이 對한 中의 多目的 地盤 變形 解析 프로그램에 subroutine으로서 "JOINT"를 導入하여 이 JOINT와 Biot理論에 基礎한 圧密 프로그램을 結合한 것이며 構成式으로서는 修正 Cam-clay model을 選定했다. 그리고 接合要素를 使用하지 않는 경우의 解析結果와 比較分析되었으며 主要한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 複合地盤의 變形을 구한 결과, 接合要素를 利用한 解析이 利用하지 않은 경우에 비하여 더 크게 나타난다. 그러므로 前者에 의한 解析이 더 安全側이라고 判斷된다.

2. 極限支地力推定에 있어서 前者의 경우가 后者보다 작게 나타나므로 (本 解析에서는 20% 정도) 接合要素에 의한 解析이 더 安全側이 될 것이다.

1. 序 論

接合要素를 利用한 基礎地盤의 變形解析은 Goodman 등(1968)에 의해서 岩盤內에 設置한 構造物이나 TUNNEL等에 대해 有限要素解析을 試圖한 以來 Heuze 등(1980)이 더욱 發展시켜 最近에는 岩盤의 Joint 部分의 解析뿐만 아니라 土質地盤이 복합층으로 構成되어 있거나 地盤위에 土質構造物을 築造한 경우에, 土盛土를 하는 경우 有害로운 沈下나 隆起 또는 側方變位를 減小하기 위하여 複合地盤을 用いた을 때의 解析에도 適用되고 있다.

처음에는 接合要素(JOINT ELEMENT)를 導入한 有限要素解析이 岩盤解析에만 利用한 目的으로 研究 發展되어 왔으나 그후에 Ghabeussli 등(1973)은 地盤과 構造物의 接合面(境界面: INTERFACE)과 같이 인접한 材質이 다른 경우에도 適用할 수 있다는 事實을 代表한 이래 土質工學에 利用되고 있다.

이와같은 연구결과를 基礎로 하여 本 文에서는 軟弱地盤의 沈下부를 置換 또는 化學的 처리를 하여 剛性を 늘린 複合地盤의 變形解析에 JOINT ELEMENT 技法을 導入하여 妥當한 結果를 얻을 수 있는 可能性을 提示하고자 하는 것이다. 即 複合地盤上

에 盛土할 경우에 剛性을 높인 部分과 自然地盤
사이에 Joint Element를 設置하여 變形解析을 하므
로써 沈下와 側方變位에 대한 영향을 밝히고자 한
것이다.

2. 接合要素

2-1. 序言

둘 또는 그 이상의 物体가 相互接觸한 狀態의 挙動을 解析하는 方法은 크게 2가지로 나눌 수 있다.

그 하나는 두 物体의 接合面上에서 對峙하는 節點向의 接觸條件을 고려해서 이미 만들어진 系全體의 剛性方程式을 修正하는 方法이 있고 다른 하나는 接觸面에 特殊한 要素를 添加하는 方法이다. 이때 接觸條件에 따라 特殊要素의 剛性重複部分만 變化되므로 演算이 容易하다.

한편 (滑動狀態의 接觸條件의 別개는 特殊要素의 附加的인 節點力을 고려할 필요가 있지만 演算하러는 아무런 問題가 되지 않는다. 그러므로 本文에서 特殊要素의 剛性を 變化시키는 方法을 使用하여 滑의 接觸問題를 다루었다.

또한 Joint와 관련된 材料特性은 joint의 剪斷特性과 垂直剛性(normal stiffness)으로 이뤄지는데, 이들 特性은 物理的으로 滑의 강성과 強度에 상관되고 joint의 조도(roughness)에도 영향을 받으며 joint가 확장되거나 收縮을 일으키면 "dilatant"라고 부르고 剪斷과 垂直變位向에 관련성이 없으면 "non-dilatant"라고 한다.

位者を 数学的に modeling 하는 것은 어렵지 않다.
 그것은 剪断变形率에 의해 体積变位가 없으며
 变形의 剪断成分과 垂直成分이 結合되지 않기 때문이다.
 本 研究에서는 non-dilatant joint의 假定 아래
 刚性 matrix를 유도한 것이다

2-2. 接合要素의 刚性 matrix

解析에 利用하는 接合要素는 Goodman 등이
 제안하였던 4 節點 4 角形要素를 選擇하여 數式化한다.

이 要素는 稜이 4

L이고 폭은 b 이다.

(初期에 節點 1과

4, 2와 3은 同一

座標이다)

要素의 中央을 原點

으로 하고 稜이 方

向으로 x 軸을 設

局部座標系를 使用

한다.

이 要素의 貯藏 energy ϕ 는 다음식으로 求할 수
 있다.

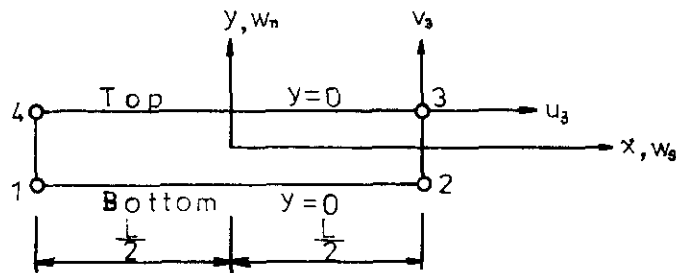


Fig. 2-1

$$\phi = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} W_i P_i dx \quad (2.1)$$

L ; Joint의 길이

W_i ; i 節에서의 相對變位 Vector

P_i ; 單位길이당의 힘의 Vector

式(2.1)은 $\{W\}$ 와 $\{P\}$ 를 다음과 같이 表現 하고 代入하면 matrix 形으로 表現된다.

$$\{W\} = \begin{Bmatrix} W_s^{top} - W_s^{bottom} \\ W_m^{top} - W_m^{bottom} \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

여기서 W_s^{top} ; 윗부분의 接線方向 變形

W_s^{bottom} ; 아랫부분의 接線方向 變形

W_m^{top} ; 윗부분의 垂直方向 "

W_m^{bottom} ; 아랫부분의 " "

$$\text{또 } \{P\} = \begin{Bmatrix} P_s \\ P_m \end{Bmatrix} = [K] \{W\} \quad (2.3)$$

여기서 P_s ; 接線力

P_m ; 垂直力

$[K]$; 單位接合要素剛性

$$\{k\} = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_m \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

그러므로 式(2.1)은 다음과 같이 表現된다

$$\phi = \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{w\}^T \{p\} dx \quad (2.5)$$

式(2.4)를 式(2.5)에 代入하면 다음식이 求해진다.

$$\phi = \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{w\}^T [K] \{w\} dx \quad (2.6)$$

變位 w 는 線型補間函數를 使用하여 節點變位 Vector $\{u\}$ 로 나타낼 수 있다. u_1 과 u_2 를 각각 接合要素의 底面을 따라는 節點 i 에서의 接合方向과 垂直方向의 變位라고 하면 變位 w 는 다음과 같이 表現된다.

$$\begin{Bmatrix} w_s^{\text{bottom}} \\ w_m^{\text{bottom}} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - \frac{2x}{L} & 0 & 1 + \frac{2x}{L} \\ 0 & 1 - \frac{2x}{L} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_2 \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

그리고 接合要素의 頂面은 다음과 같이 表現된다.

$$\begin{Bmatrix} w_s^{\text{top}} \\ w_m^{\text{top}} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 + \frac{2x}{L} & 0 & 1 - \frac{2x}{L} & 0 \\ 0 & 1 + \frac{2x}{L} & 0 & 1 - \frac{2x}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

그러므로 接合要素에서의 相對變位 $\{w\}$ 는 다음 式으로 表現된다

$$\begin{aligned} \{w\} &= \begin{Bmatrix} w_s^{\text{top}} - w_s^{\text{bottom}} \\ w_m^{\text{top}} - w_m^{\text{bottom}} \end{Bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A & 0 \\ 0 & -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } A &= 1 - \frac{2X}{L} \\ B &= 1 + \frac{2X}{L} \end{aligned}$$

式(2.9)은 다음과 같이 간단하게 表現할 수 있다

$$\{w\} = \frac{1}{2}[D]\{u\} \quad (2.10)$$

式(2.10)을 式(2.6)에 代入하여 다음식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \{w\}^T [K] \{w\} dx \\ &= \frac{1}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{1}{4} \{w\}^T [D]^T [K] [D] \{u\} dx \quad (2.11) \end{aligned}$$

式(2.11)의 $[D]^T [K] [D]$ 에 관한 matrix 演算을 하여 다음 式을 얻는다.

$$[D]^T [K] [D] = \begin{pmatrix} -A & 0 \\ 0 & -A \\ -B & 0 \\ 0 & -B \\ B & 0 \\ 0 & B \\ A & 0 \\ 0 & A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A & 0 \\ 0 & -A & 0 & -B & 0 & B & 0 & A \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

$$= \begin{pmatrix} K_s A^2 & 0 & ABK_s & 0 & -ABK_s & 0 & -AK_s & 0 \\ 0 & A^2 K_m & 0 & ABK_m & 0 & -ABK_m & 0 & -AK_m \\ ABK_s & 0 & B^2 K_s & 0 & -B^2 K_s & 0 & -ABK_s & 0 \\ 0 & ABK_m & 0 & B^2 K_m & 0 & -B^2 K_m & 0 & -ABK_m \\ -ABK_s & 0 & -B^2 K_s & 0 & B^2 K_s & 0 & ABK_s & 0 \\ 0 & -ABK_m & 0 & -B^2 K_m & 0 & B^2 K_m & 0 & ABK_m \\ -AK_s & 0 & -ABK_s & 0 & ABK_s & 0 & AK_s & 0 \\ 0 & -AK_s & 0 & ABK_s & 0 & ABK_s & 0 & AK_s \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

그런데 식 (2.11)에서 x 에 따라 변하는 유한항은 $(1 - \frac{2x}{L})$ 과 $(1 + \frac{2x}{L})$ 의 곱으로 이루어져서 A^2, B^2, AB 뿐이다. 이들 값을 적분하여 다음과 같이 구한다.

$$A^2 = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left(1 - \frac{2x}{L}\right)^2 dx = \frac{4}{3} L \quad (2.14)$$

$$AB = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left(1 - \frac{2x}{L}\right) \left(1 + \frac{2x}{L}\right) dx = \frac{2}{3} L \quad (2.15)$$

$$B^2 = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left(1 + \frac{2x}{L}\right)^2 dx = \frac{4}{3} L \quad (2.16)$$

이 결과를 사용하여 식 (2.11)을展開하면 다음과 같다.

$$\phi = \frac{1}{2} L \{u\}^T [K] \{u\} \quad (2.17)$$

여기서

$$[K] = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} 2ks & 0 & ks & 0 & -ks & 0 & -2ks & 0 \\ 0 & 2km & 0 & km & 0 & -km & 0 & -km \\ ks & 0 & 2ks & 0 & -ks & 0 & -ks & 0 \\ 0 & km & 0 & 2km & 0 & -km & 0 & km \\ -ks & 0 & -ks & 0 & 2ks & 0 & ks & 0 \\ 0 & -km & 0 & -km & 0 & 2km & 0 & km \\ -2ks & 0 & -ks & 0 & ks & 0 & 2ks & 0 \\ 0 & -2km & 0 & -km & 0 & km & 0 & 2km \end{bmatrix}$$

여기서 $[K]$ 는 단위 결이랑의 接合要素의 剛性 matrix 이다.

2.3 剛性의 接觸問題

剛性의 두 物体 사이에 接合要素가 存在되어 있는 경우 이 두 物体가 固着되어 있으면 接合要素의 剛性 matrix를 求하여 應答의 방향으로 有限要素解를 求하면 된다. 그러나 두 物体間에 滑動이 分難 등이 生길때 特殊한 取扱이 필요하며 反復計算을 하여야 한다. 接合要素를 使用하여 地盤의 挙動解析을 할때는 Mohr-Coulomb의 파괴기준에 따라서 다음과 같이 나눌 수 있다.

(1) 固着狀態 (contact)

$\sigma'_n > -c_a'$ 혹은 $\tau < c_a' + \sigma'_n \tan \phi_a'$ 일때는 固着狀態이며 여기서 σ'_n 은 有效수직응력이고, τ 는 せん断응력이다. 또한 c_a' 과 ϕ_a' 는 두 物体 사이의 有效粘着力과 摩擦角이다. 이 경우에는 剛性係數 k_s 및 k_n 을 決定할 필요가 있다.

(2) 滑動狀態 (sliding)

σ'_n 의 $-c_a' < \sigma'_n < 0$ 일때 $\tau \geq c_a'$ 혹은 $\sigma'_n > 0$ 일때 $\tau \geq c_a' + \sigma'_n \tan \phi_a'$ 이면 滑動이 일어난다므로 $k_s \neq 0$ 로 하고, 反面에 $-c_a' < \sigma'_n < 0$ 에서는 抵抗力을 $f = c_a'$ 로 하고 $\sigma'_n > 0$ 이면 $f = c_a' + \sigma'_n \tan \phi_a'$ 로 하여 滑動의

方向은 逆方向으로 作用한다.

(3) 分離狀態 (Separation)

$\sigma_m < -c_a$ 인 경우에 分離現象이 일어나고 이때는 $k_s \approx 0$, $k_m \approx 0$ 으로 한다. 以上에서 살펴본 바와 같이 接合要素의 特性을 나타내는 parameter로서 c_a , d_h , k_s , k_m 의 4개가 필요하다.

本文에서는 Joint Element에 수직방향의 變位를 허용하지 않도록 하기 위하여 k_m 을 接合要素의 두께 變化를 무시할 수 있을 정도의 充分히 큰 값을 취했다.

또 固着狀態에서는 接合要素 自体의 變形은 생지 않도록 하기 위하여 k_s 를 充分히 큰 값으로 두었다. 두 物體사이의 剪斷變形은 滑動에 의해서만이 생긴다고 보고 이 때의 現象은 滑動狀態로 表現할 수 있도록 하였다.

3. 接合要素를 考慮한 有限要素 PROGRAM

3-1. 基本有限要素 Program

粘土地盤에 盛土를 하게되면 地盤의 變形은 時間經過와 더불어 증가하게 되므로 이와같은 現象을 說明하기 위해서 圧密理論을 適用해서 아래 지금까지 實驗結果를 理論構成上 粘土의 變形 形態로 誘導한 것이 Biot (1941)의 圧密理論이다.

Biot의 實驗結果는 聯立偏微分方程式으로 提案되어 있으므로 地盤條件이나 境界條件이 복잡한 경우에 解析적으로 解를 求할 수 없다.

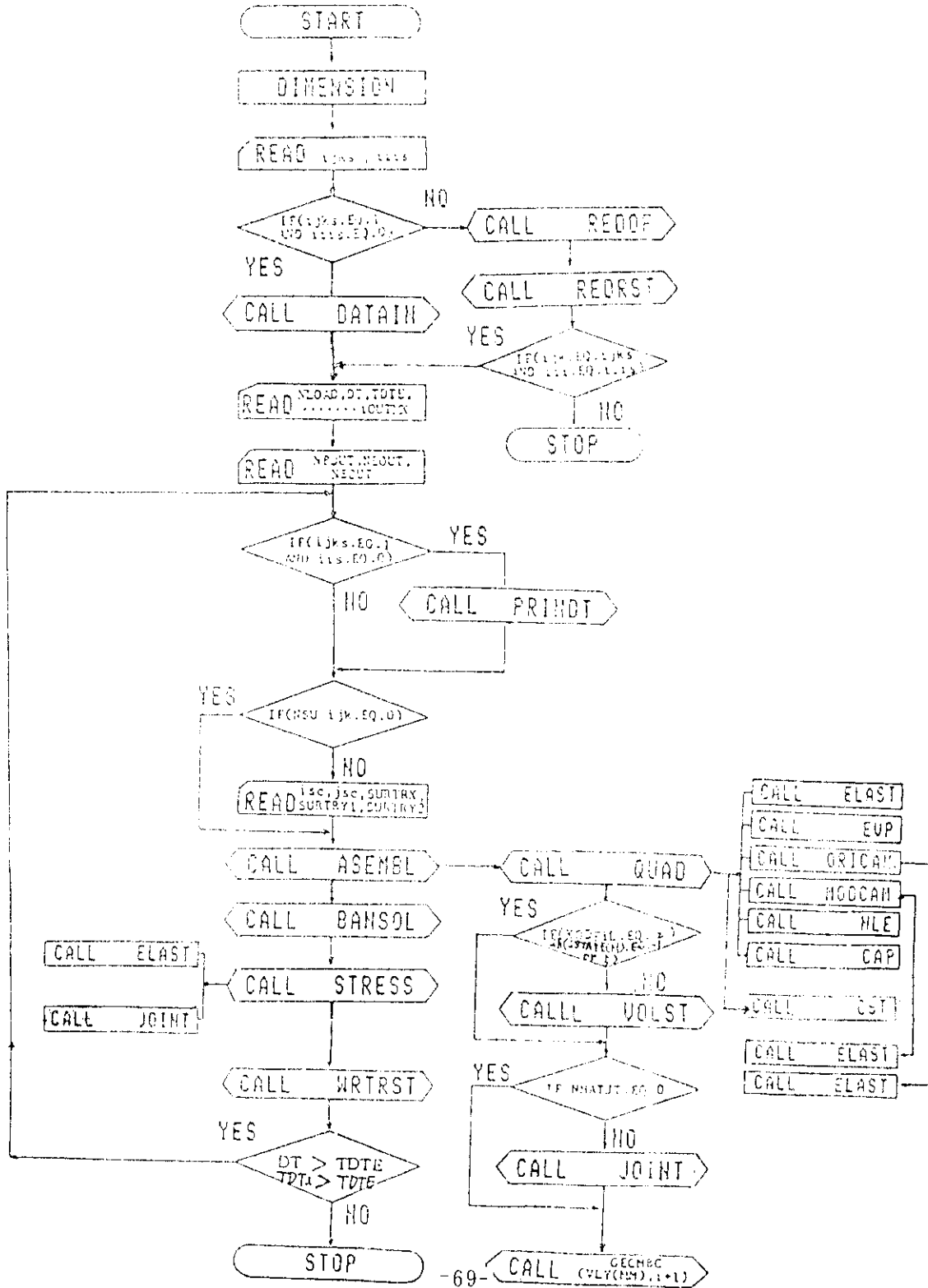
一般的으로 自然地盤은 圧密特性이 相異なる 여러 층으로 構成되는 경우가 많고 또한 粘土 變形特性은 応力履歴이나 含水量에 따라 變하게 되는 含水量에 따라 彈性係數가 크게 變化하여 代表値를 決定하기 困難하다. 이러한 理由 때문에 解析解의 適用은 극히 制限된 경우에만 可能하다.

이 Program의 內容은 Biot의 多次元圧密方程式에 彈塑性構成式으로 修正 Cam-clay model을 使用하여 有限要素解析을 한 것으로서 다음과 같은 假定 및 條件으로 構成되어 있다.

- i) 使用次元: 平面變形率와 軸對稱問題를 選擇的으로 卷 入 了.
- ii) 使用刊 構成關係式: 彈性(線型와 非線型) model에 全心力解析과 有效心力解析을 選擇的으로 卷 入 了으며 彈塑性 model로 修正 Cam-Clay model을 使用了.
- iii) 多次元元密有限要素解析: Christian-Boemher 方法에 의 了 了으며 이 基本 program에 不連續部分處理가 可能하도록 Joint Element를 補完了.

3.2 接合要素를 考慮한 Program의 Flow chart
 複合地盤 解析에 使用한 program의 樣상의 多次元元密解析에 接合要素를 添加한 것으로서 "JOINT"라고 하는 subroutine에서 各各의 接合要素에 對한 接合要素剛性 matrix를 만들어 系全體의 剛性 matrix에 合하여 全體剛性方程式의 만들어 진다 이 方程式을 풀어서 節點의 變位量을 求한 다음 "STRESS"라고 하는 subroutine에서 心力變形等이 計算되고 이 後에 의하여 2.3 節에서 論議한 바와 같은 接合要素의 狀態가 決定되고 이 狀態에 따라 剛性이 變化 되도록 한 것으로서 그 유형은 다음과 같다.

FLOW CHART



3.3 PROGRAM의 檢証

3.3.1 接合要素의 挙動解析

(1) 模型要素 및 境界条件

接合要素에 따른 挙動을 說明하기 위하여 Fig. 3.1 과 같은 載荷狀態의 模型에서 平面變形率條件을 假定하여, 表 3.1과 같이 境界條件을 変更하면서 變形에 關한 有限要素解析을 하였다.

(2) 數值解析結果와 理論値와의 比較 ($\nu=0$)

Poisson의 $\nu=0$ 일 때, Fig. 3.2에서와 같이 條件에 대하여 數值解析結果와 理論値가 充分一致를 나타내었다.

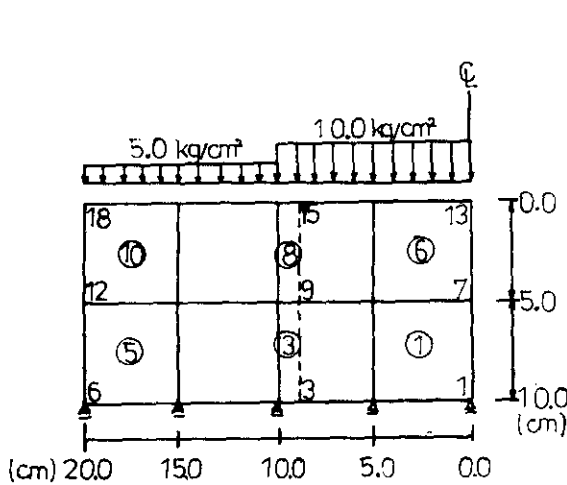


Fig. 3-1 FEM Representation

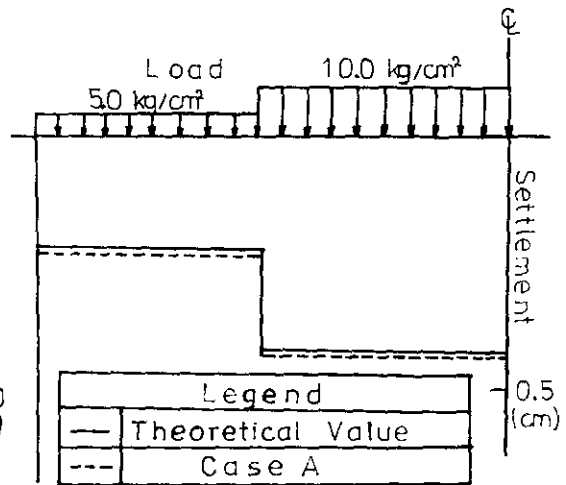


Fig. 3-2 Comparison of settlement by FEM and Theoretical Analysis

Table 3.1 Im-put Data Dependent om Boundary Conditions

Material parameter Case	Interface Element						Soil		Remarks
	K_s	K_m	Z_{m0}	V_{m0}	C_a	$\phi_a(^{\circ})$	$G(\text{kg/cm}^3)$	V	
A	—	—	—	—	—	—	200.0	0.0	
B	900.0	900.0	0.0	0.0	0.0	0.0	200.0	0.3	
C	900.0	900.0	0.0	0.0	0.0	35.0	200.0	0.3	
D	—	—	—	—	—	—	200.3	0.3	

(3) 接合要素使用에 따른 解析結果의 改善
 接合要素의 省略여부가 解析에 及한 影響을 나타내듯이
 Fig. 3.3이다.

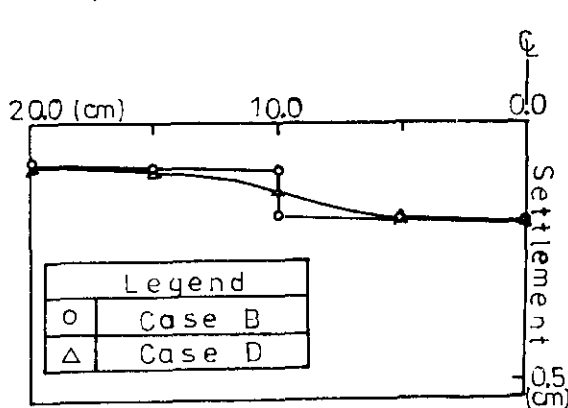


Fig. 3-3 Comparison of Settlement between the Joint Element Analysis and that without Joint Ele.

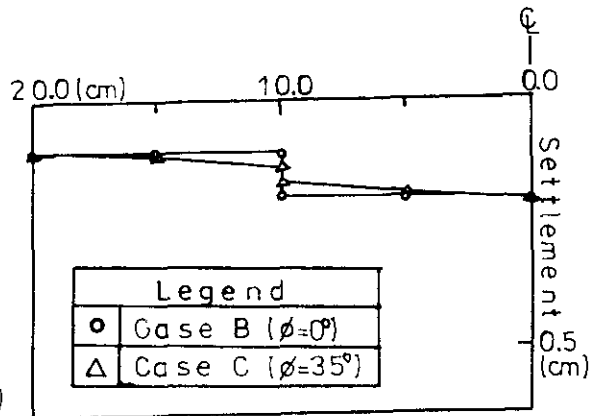


Fig. 3-4 Settlement with the Variation of ϕ_a

接合要素에 의한 解析結果는 境界面에서 不連續現象이 發生하여 實際와 關係하여 볼때 妥當함을 알 수 있으며 接合要素를 使用하지 않으면 境界面에서 完全連續이 되어 실제의 상황과 크게 달라지게 된다.

(4) ϕ 값의 變化에 따른 FEM 結果의 영향

ϕ 값의 變化(0° 와 35°)에 따라 數值結果를 檢討하기 위하여 沈下를 plot한 것이 Fig. 34이다. Poisson 비를 0.3으로 入力하였을때 $\phi = 0^\circ$ 인 경우는 境界面에서 完全不連續이 되어 결과현상과 關係하여 볼때 실제와 큰차이 結果라고 생각되며 $\phi = 35^\circ$ 인 경우에는 沈下는 역시 不連續이지만 그 程度가 前者에 비해 크게 나타난다.

이는 予見된 바와 같이 接觸境界面(Interface)에서 마찰의 영향이 發揮되고 있어 筆者들이 제시하고 있는 program의 만족도를 立證하여 주고 있으며 나아가서는 擁壁背面의 變形解析에도 이 program을 利用할 수 있는 可能性을 示唆하고 있다.

4. 複合基礎地盤의 變形解析

4-1. 序 言

앞 節에서 記述한 弱層界面(Interface)에 Joint Element를 導入하여 解析할 수 있는 예를 보았는데 Fig. 4-1에서는 軟弱地盤에 盛土할 경우 側方流動과 沈下를 抑制을 目的으로 深層混合處理한 경우, 地表面의 沈下와 心層기준 구조물에 유리한 側方變位를 予測하고, 또 단계별 載荷에 의한 沈下를 予測하여 地盤의 極限支持力을 推定하는 방법을 소개하고자 한다.

전 節에서와 똑같이 構成式으로서 修正 Cam-clay Model을 채택하고 같은 program에 의하여 時間에 따른(載荷后 0, 100, 300日) 各層의 경우의 側方變位와 地表面의 沈下量을 求하여 比較檢討했다.

4-2. 接合要素의 影響

4-2-1. 地表面沈下와 側方變位

Fig. 4-1과 같은 模型地盤에 있어서 剛性이 크게 다른 두 接合面사이의 接合要素를 使用하여 解析한 結果와 接合要素를 使用하지 않고 解析한 경우와의 變形의 差異를 Fig. 4-2, 4-3 및 4-4에 나타낸다. 또한 接合要素를 使用한 경우 ϕ_a' 값을 5° 와 35° 의 變化를 주면서

解析하였다. 이 결과를 圧密進行時間別로 沈下와 側方變位에 關한 徑時變化를 $t=0, 100, 300$ 日에 따라 나타낸 것이다

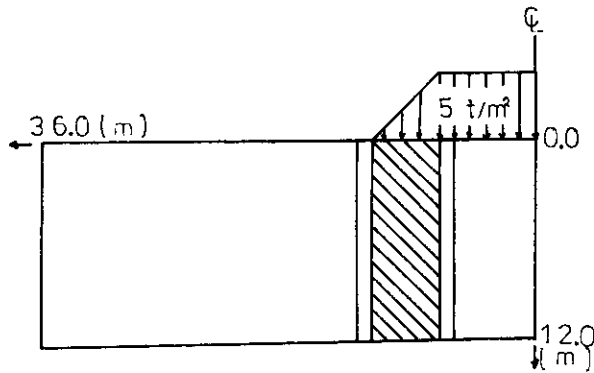


Fig. 4-1 FEM Representation with Reinforced Material

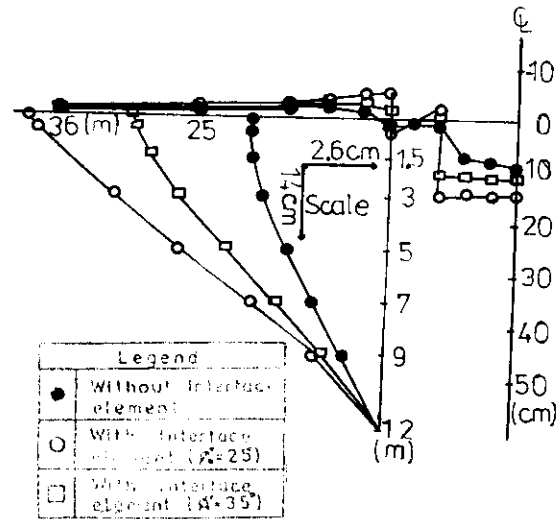


Fig. 4-2 Comparison of Settlement and Lateral Displacement between the Method with Joint Element and that without at $t=0$

Fig 4.2 ($t=0$)에서는 即時沈下가 接合要素를 考慮 否는 對의 境界面에서 不連續인 點과 考慮하지 否는 對의 沈下를 對해 smooth하게 連續이 되므로 解析이 平滑스럽게 나타났다고 判斷되며, 隆起의 경우는 큰 差異가 나타나지 않고 矣다.

Fig. 4.3 ($t=100$ 日), Fig 4.4 ($t=300$ 日)에서도 接合要素를 使用한 경우가 使用하지 否는 경우에 比하여 差異

큰 값을 나타내며 이는 실제의 模型地盤과 같은 경우에 이러한 不連續이 存在할 것이므로 接合要素를 考慮하여 沈下를 予測하는편이 더 實測値에 近接할 것으로 判斷된다. 또 接合要素를 使用한 경우 α 의 影響을 檢討하여 본 結果, Fig 42, 43 및 44에 나타낸 바와 같이 $\alpha = 25^\circ$ 인 경우가 35° 에 比較하여 더 큰 값을 주고 있으므로 이는 실제와 같 無量하다고 하겠다.

이제 接合要素內側 境界面에서의 側方變化를 살펴보면 $J=0$ 인 경우, 接合要素를 使用하지 않으면 $5 \sim 4 \text{ cm}$ 사용하면서 $\alpha = 35^\circ$ 일때 10 cm , $\alpha = 25^\circ$ 일때 14.2 cm^2 를 보이고 있어 위의 結果를 잘 說明하고 있으며, 圧密時間經過 $J=100\%$ 과 300% 의 경우에도 거의 같은 側方變位量을 나타내고 있다.

따라서 沈下와 함께 側方變位에 관해서도 接合要素를 考慮하지 않게 되면 變位가 過小評価될 可能性이 있으며 실제의 경우가 이와같은 計算 要素를 사용하는 것이 해석상 타당하다고 볼때 간과해서는 안될 문제라고 생각된다.

4.3 極限支持力 推定

이節에서는 接合要素使用 有無에 따른 極限支持力 推定에 관하여 살펴본다.

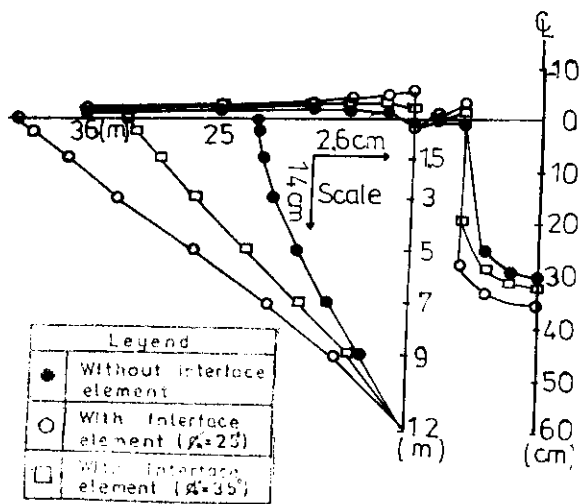


Fig. 4.3 $t=100$ days

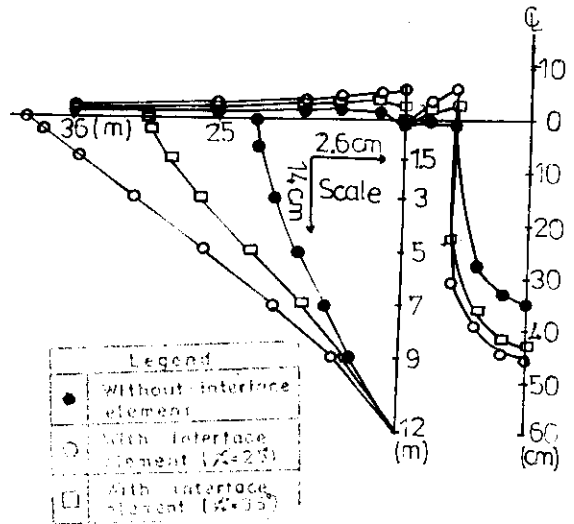


Fig. 4.4 $t=300$ days

Fig. 4.5 및 Fig. 4.1의 模型地盤에 荷重을 載荷하든 경우 地表面沈下가 最大로 일어나고 此 點의 荷重-沈下曲線이다.

Fig. 4.5에서와 같이 接合要素를 使用하지 않으면 同 大小의 荷重에 대한 沈下量이 接合要素를 使用한 경우에 比하여 작게 나타나고 極限支持力은 크게 推定될 수 있다. 또한 廣口(1980)가 提議한 方法을 利用해서 極限支持力을 求한 것이 Fig. 4.6이다. 이 경우에도 接合要素를 使用하지 않은 推定値가 使用한 後에 比하여

20% 정도 크게 評價된다.

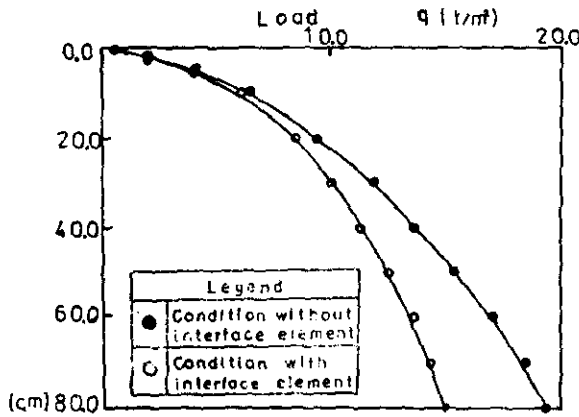


Fig 4-5. Load versus Settlement

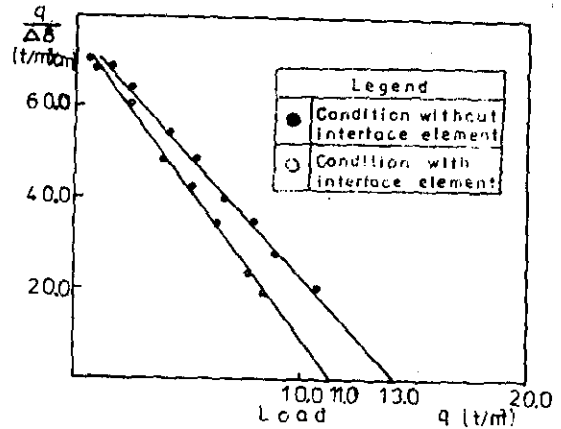


Fig 4-6. Load versus Displacement

이와 관련 接合要素를 使用하지 않은 従来の 支持力 推定은 약간 크게 評價된다고 볼수 있다. 따라서 接合要素를 導入하여 支持力を 算定하는 것이 安全側 이라고 생각된다.

以上에서 沈下 및 側方変位 그리고 極限支持力推定 등을 考慮하였으나 이런 解析이 餘의 故에 더 接近하는 가에 대하여는 實測値를 中心으로 檢討 가 필요하다고 하겠다.

5. 結 論

剛性が 크게 다른 두材質사이의 接觸條件을 解析할 수 있는 有限要素 program을 開發하여 이 program의 精度를 확인하고 模型基礎地盤에 適用한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 接合要素를 導入한 有限要素 program에 對해서 模型地盤의 變形을 求하고 이를 理論値와 比較한 바, 誤차가 좋은 一致를 보이고 있어 結果적으로 이 program의 精度가 높다는 것을 確認하였으며 實用의 可能性이 있다고 판단된다.
- 2) 複合基礎地盤의 變形解析의 경우 接合要素를 使用하지 않은 경우에 地表面沈下 및 側方變位 등이 接合要素를 使用한 경우보다 작게 나타나고 있어 實際複合基礎地盤의 變位에 對하여 이와 같은 接合要素의 導入이 타당하다면 (해석상으로는 타당) 과소평가될 可하고 볼 수 있으며 이는 실제 觀측結果와 비교 검토할 可하다.
- 3) 基礎地盤의 極限支持力推定에 對해서도 複合基礎地盤에서 接合要素를 考慮하지 않은 경우가

考慮한 경우에 비하여 더 크게 나타나므로 従来の
方法은 2)와 같은 이유로 문제점으로 남아있다.

4) 또 하나의 유의해야 할 사항은 joint element
要素를 利用할 경우 剛性(k_m, k_s)을 假定하는데
現場實測資料를 中心으로 正確한 값을 선정하는
문제가 남아있다.

참 고 문 헌

- 1) Goodman, R. E., Taylor, R. L., and Brekke, T. L., A Model for the Mechanics of Jointed Rock, J. of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 94, No. SM3, 1968, pp. 651-669.
- 2) Ghaboussi, J., Wilson, E. L., and Iseuberg, J., Finite Element for Rock Joint and Interface, J. of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 99, No. SM10, 1973, pp 833-848.
- 3) Arya, S. K., and Hegemier, G. A., Finite Element Method for Interface problems, J. of the Structural division, ASCE, Vol. 108 No. ST2, 1982, pp. 337-342.
- 4) Desai, C. S., phar, H. V., and perumpral, J. V., Mechanics of three-dimensional Soil structure Interaction. J. of the Engineering Mechanics division, ASCE, Vol. 108, No. EM5, 1982, pp. 731-747.
- 5) Heuze, F. E., and Borkour, T. G., NEW Models for Rock Joints and Interface, J. of the Geotechnics Engineering, ASCE, Vol. 108. No. GT5, 1982, pp. 751-776.
- 6) Shibata, T, and Sekiguchi, H., A Method of Predicting Failure of Embankment Foundation Based on Elasto-Viscoplastic Analysis Proceedings of JSCE Vol 301, 9, 1980, pp. 93-104