

뒷채움의 다짐에 의한 橫方向 土壓

Compaction Induced Lateral Earth Pressures

鄭 成 教* · 鄭 寅 駿** · 金 明 模***
Chung, Sung Gyo · Chung, In Joon · Kim, Myoung Mo

Abstract

To evaluate the compaction-induced lateral earth pressure acting on retaining structures such as retaining walls, abutments, culverts, underground walls, etc., a new equation is developed using the newly proposed hysteretic model simulating soil's loading-unloading behaviour under Ko-condition. The lateral pressures calculated by the new equation are found to agree well with those of field tests previously performed by other researchers.

要 旨

擁壁, 橋臺, 地下壁, 暗渠 暗渠 等の 뒷채움 다짐으로 誘發되는 土壓을 算定하기 위하여 Ko條件 下에서 應力履歷을 고려한 多週期 履歷模型을 提案하고, 이 模型을 사용하여 새로운 다짐誘發土壓算定 理論式을 開發하였다. 새로이 개발한 理論式을 두 現場實驗 結果에 適用한 結果 좋은 一致를 보여 주었다.

1. 序 論

壁體에 作用하는 土壓을 구하는 問題는 壁體 構造物의 合理的인 設計를 위한 必須的인 사항으로서 土質工學의 核心을 이루고 있다. 현재 널리 이용되고 있는 土壓理論으로는 흙의 塑性平衡狀態에서 解析된 Rankine 理論과 壁面摩擦을 고려하여 極限平衡狀態로 解析한 Coulomb의 흙쇄기 理論 等이다. 壁體 構造物을 築造하여 뒷채움을 할 때에 뒷채움에 地盤의 用途에 따라서는 다짐을 하는 경우가 있는데, 이때 壁體에 作用하는 土壓은 다짐장비

의 종류와 다짐方法에 따라 차이가 있겠으나, 일반적으로 適用되는 Rankine과 Coulomb에 의한 土壓과는 상당한 差異가 있을 것이다.

뒷채움 다짐에 의한 土壓의 算定問題에 대해서는 일찌기 Terzaghi⁽⁵¹⁾의 實驗研究를 필두로 하여 많은 理論 및 實驗的 研究가 시도되었다. 理論的 研究로서 Broms⁽⁶⁾, Spotka⁽⁵⁰⁾等에 의한 解析의 方法에 관한 論文들^(24, 38, 49, 61, 64)과 Aggour & Brown⁽²⁾과 그의 많은 學者들에 의한 數值解析方法들^(1, 17, 28, 35, 43, 46, 52)이 있다. 實驗 研究로서는 擁壁과 橋臺 等에 대한 現場計測 및 室內實驗들이 Sims et al⁽⁴⁷⁾

* 정회원 · 동아대학교 공과대학 토목공학과 부교수
** 정회원 · 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수
*** 정회원 · 서울대학교 공과대학 토목공학과 부교수

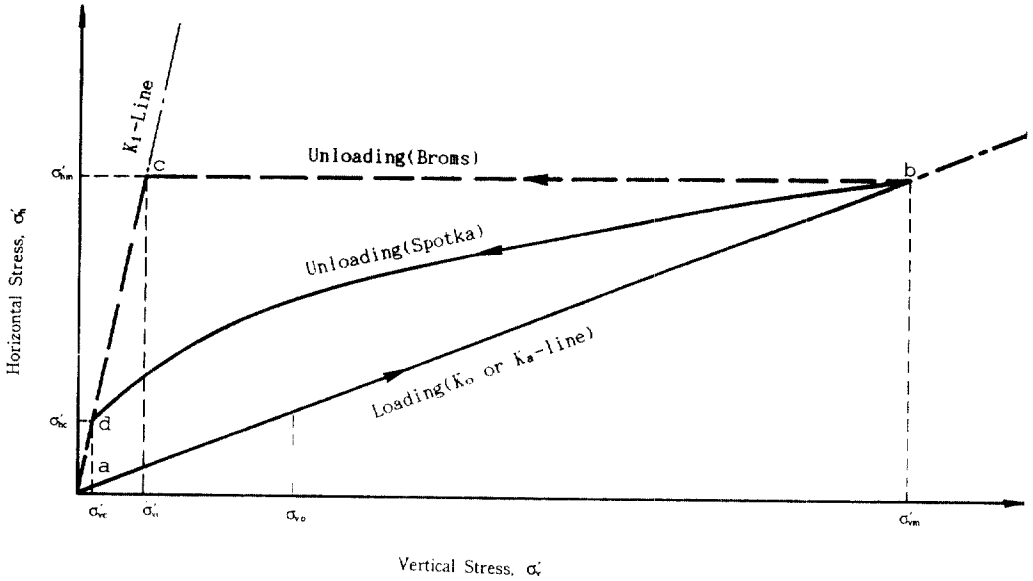


그림 2.1 Hypothetical Stress Path

과 그의 다수의 學者들^(10, 12, 15, 16, 21, 27, 44, 41, 45)에 의해 遂行되었다.

이와같이 많은 理論 및 實驗的 研究가 遂行되었음에도 불구하고 뒷채움 地盤의 다짐을 필요로 하는 道路用 擁壁 및 橋臺, 地下 構造物의 設計時 이용할 수 있는 客觀性있는 研究結果가 아직까지 미비한 형편이다. 國內의 경우, 建設部가 제정한 道路橋 標準示方書⁽⁵⁷⁾와 構造物 基礎設計基準⁽⁵⁸⁾ 등에서 보면 擁壁과 橋臺의 作用土壓는 條件에 따라서 主動 또는 靜止土壓로 計算한다고만 되어있고, 각각의 適用範圍 역시 밝혀져 있지 않아서 보통 壁面 摩擦을 고려한 主動土壓로 設計는 不安全側의 誤差를 갖게 되므로 이에 대한 補完이 시급한 실정이다. 美 海軍省의 設計指針書⁽³¹⁾에서는 簡便 解析法의 하나인 Ingold理論을 실무에 사용하도록 規定하고 있고, 英國에서는 Ingold理論을 약간 修正補完한 Murray理論을 사용하고 있다.

本 論文에서는 뒷채움 다짐으로 인한 土壓를 算定하기 위하여 먼저 既存의 많은 K_0 三軸壓縮試驗 및 壓密試驗 結果를 종합하여 K_0 狀態 下에서 適用할 수 있는 多週期 履歷模型을 提案하고, 그 履歷模型과 既存에 提案된 다짐誘發 土壓理論들을 종합하여 實務利用에 편리하도록 合理的이고 간단한 理論式을 提案하고자 하였다. 그리고 提案한 다짐誘

發 土壓算定式의 妥當性을 檢討하기 위하여 既存의 實驗結果와 比較分析하였다.

2. 文獻考察

뒷채움 다짐으로 誘發되는 殘留土壓를 구하기 위한 理論的인 接近은 먼저 Rowe⁽³⁹⁾에 의해서 시도되었는데, 그는 直接剪斷試驗 結果로부터 微小變形으로 誘發되는 應力弛緩은 무시할 수 있을 정도라는 사실에 根據를 두고, 過載荷重으로 인한 最大應力(peak stress)이 過載荷重의 제거 후에도 그대로 殘留한다고 가정하였다.

Sowers et al⁽⁴⁹⁾은 흙粒자를 非壓縮性이라고 가정하고, 다짐시에 土塊의 破壞面에서 載荷에 따르는 變形으로 인한 粒子 相互間的의 움직임이 發生한다는 概念으로 解析하였다. 그러나 이 解析은 자신들이 수행한 室內 및 現場實驗結果와 잘 맞지 않는다는 이유로 거의 사용되지 않았다.

Broms⁽⁸⁾은 Rowe⁽³⁹⁾의 假說을 根據로 成立된 것으로서 그림 2.1에서 경오 經路 a→b→c→d로 보아 解析한 것이다. 다짐을 載荷 및 除荷의 反復課程이라고 생각하여 載荷 時에는 K_0 線 a→b에 따르며, 時에는 經路 b→c→d線을 따른다고 假定하였다. 여기서 $K_1=1/K_0$ 이다. 그러므로 다짐에 의한 殘留土壓는 그림 2.1에서 c點을 基準로 하여 c點

에 도달할 때까지는 $\sigma'_h = K_o \sigma'_c$ 로 일정하며, 그 이후로는 $\sigma'_h = K_o \sigma'_c = K_{1/2}$ 로 깊이에 따라 변한다. 여기서 振動다짐기로 다짐 경우의 荷重強度는 自重의 2배를 사용하여 換算한 靜荷重이 半無限하게 펼쳐진 경우로 생각하였으며, 鉛直應力은 Boussinesq公式으로 직접 計算하였고, 그리고 水平應力은 그 값에 靜土壓係數 K_o 를 곱하여 算出하였다.

Ingold^(25, 26)는 Broms理論⁽⁶⁾과 비교하여 근본적인 差異는 없다. 단지 다짐 중에 壁體의 變形이 수반되는 것을 감안하여 그림 2.1에서 K_o 線대신에 K_a 線으로 교체하였고, $K_1 = K_o$ 로 하였으며, 振動다짐기로 인한 最大荷重을 다짐기의 自重과 振動機에 誘發되는 遠心力의 合으로 보아 解析 하였다.

Spotka⁽⁵⁰⁾는 Brooker & Ireland⁽⁹⁾, Alpan⁽⁴⁾, Schmidt⁽⁴⁰⁾, Bellotti et al⁽⁶⁾ 등의 試驗結果를 參考하여 보다 실제적인 應力經路를 도입한 解析法을 提案하였다. 이 應力經路는 그림 2.1에서 經路 a → b → d로서 Schmidt⁽⁴⁰⁾의 模型에 약간의 修正이 가해진 것이다. 이 解析法에 사용된 除荷 時의 土壓係數 $K_{ou} = K_o(OCR)\alpha$ 이었다. 여기서 OCR은 過壓密比이고, 指數 α 는 Hendron⁽²²⁾의 試驗結果를 參考하여 모래의 種類에 따라 決定하였다.

간단한 解析의 方法의 發達과 병행하여 有限要素 解析이 Sims & Jones⁽⁴⁶⁾, Aggour & Brown^(1, 2), 英國의 TRRL⁽⁵²⁾, Katona⁽²⁸⁾, Duncan & Jeyapalan⁽⁴⁷⁾ 등에 의하여 수행되었다. 1983年 Seed & Duncan⁽⁴³⁾은 흙의 應力-變位 關係를 나타내기 위하여 Duncan et al⁽¹⁹⁾이 提案한 雙曲線模型을 사용하고, 흙의 應力經路를 나타내는 進一步된 多週期履歷模型을 提案하였다. 또한 Ou⁽³⁶⁾는 특별히 考案된 壓密試驗器에 의한 試驗結果를 이용하여 Seed & Duncan의 履歷模型을 修正 補完하고, 構造體를 위한 非線形 模型을 提案하여 새로운 解析을 시도하였다.

3. 土壓理論式的 提案

3.1 多週期 履歷模型

다짐應力의 除荷에 따르는 殘留應力의 算出은 應力歷史를 충분히 고려한 정교하고 간편한 履歷模型이 필요하지만, 이를 위한 反復 載荷-除荷한 K_o 試驗 結果는 상당히 制限되어 있다.

靜止狀態에서 應力歷史에 따르는 水平應力을 測

定하기 위하여 Wright⁽⁵³⁾, Edil & Bhowian⁽³⁶⁾, Bishop⁽⁷⁾, Al-Hussaini⁽³⁾, Feda⁽²⁰⁾, Hsieh⁽²³⁾ 등에 의한 三軸壓縮試驗과 Ofer^(32, 33, 31, 35), Hendron⁽²²⁾, Brooker & Ireland⁽⁹⁾ 등에 의해 수행된 壓密試驗 結果들이 있지만 여전히 試驗方法上의 問題點을 상당히 內包하고 있다⁽³⁸⁾.

이와 같은 試驗結果들과 Mayne & Kulhawy⁽²⁹⁾, Seed & Duncan⁽⁴³⁾ 등의 履歷模型들을 綜合하여 그림 3.1과 같은 多週期 履歷模型을 提案하고자 한다. 아래에 사용된 記號의 定義를 그림 3.1에 나타난 바와 같이 σ'_{vm} 및 σ'_{hm} 은 最大鉛直 및 水平應力, σ'_{oh} 및 σ'_{oh} 는 處女除荷 時의 最小值의 鉛直 및 水平應力($\sigma'_{oh} \geq \sigma'_c$ 및 $\sigma'_{oh} \geq \sigma'_c$), σ'_c 및 σ'_c 는 $(K_{ou})_{lim}$ 의 狀態에서 處女除荷 時의 鉛直 및 水平應力으로 臨界應力이라 定義한다. 그리고 σ'_{vm} 은 再載荷 時의 最大鉛直應力이고, σ'_{vm} 은 直線의 處女再載荷線이 K_o 線과 만나는 點에서의 鉛直應力을 뜻한다.

(1) 處女 載荷: 先行應力을 超過하는 鉛直應力이 作用할 경우를 定義하며, 이때의 應力經路는 式(3.1)과 같이 K_o 線을 따른다.

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_c \quad (3.1)$$

여기서

$$K_o \approx 1 - \sin \phi'$$

處女載荷 時의 應力比인 K_o 는 많은 試驗結果에서 약간의 差異를 보이지만 대체로 Jaky의 試驗式으로 代表될 수 있다.

(2) 處女 除荷: 處女載荷 후에 鉛直應力을 除去하는 경우로서 그림 3.1에서 A點으로부터 B點까지 이르는 曲線經路이다. 이때의 水平應力은 Rowe⁽³⁹⁾의 二方向 直接剪斷試驗 結果와는 다르게 Schmidt⁽⁴⁰⁾, Alpan⁽⁴⁾, Andrawes & El-Sohby⁽⁵⁾ 등 170餘 種類의 試驗結果에서 應力歷史의 函數로 나타났다. Mayne & Kulhawy⁽²⁹⁾는 이때의 水平應力을 式(3.2)와 같이 提案하고 있다.

$$\sigma'_h = K_{ou} \sigma'_c \quad (3.2a)$$

여기서

$$K_{ou} = K_o(OCR)^\alpha \quad (3.2b)$$

$$OCR = \frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_c} = \text{過壓密比} \quad (3.2c)$$

式(3.2c)에서 σ'_{vm} 은 最大先行鉛直應力이다. 指數 α 의 決定에는 약간의 異見이 있는데, Spotka⁽⁵⁰⁾는 Hendron⁽²²⁾ 등의 試驗結果를 통하여 흙 種類에 따

라 결정되는 값으로 보았으며, OKochi & Tatsuo-ka⁽⁵⁵⁾는 $\alpha \approx \sin\phi$ 와 같이 정의하였으나 ϕ 를 間隙比의 函數로 나타내었고, Seed & Duncan⁽⁴³⁾은 試驗結果들을 統計處理하여 그림 3.1과 같이 $\alpha=f(\phi)$ 로 나타내었으며, 그리고 Ou⁽⁶⁶⁾는 특별히 考案한 壓密試驗器에 의하여 약간의 試驗을 하였으나 Seed & Duncan에 의한 平均値보다 약간 작은 값들을 얻었다.

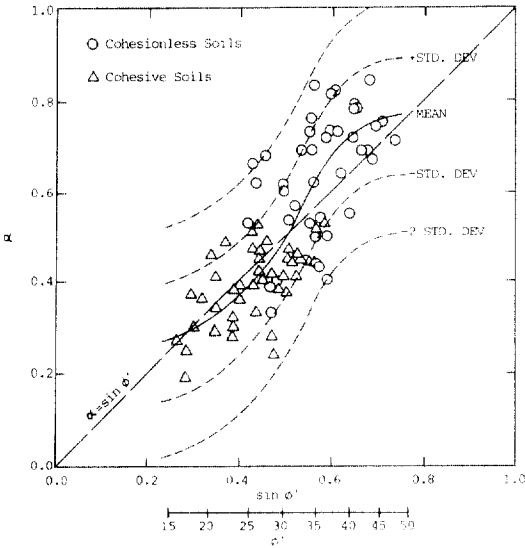


그림 3.1 α VS. $\sin\phi'$ Relationship suggested by Seed (1983)

結果의으로 α 값은 흙의 종류, 間隙比, 内部摩擦角 (ϕ)등에 의존적으로 단순히 결정할 수 없으나 그림 3.1을 사용하든지 또는 Mayne & Kulhway⁽²⁹⁾가 提案한 $\alpha \approx \sin\phi$ 를 近似的으로 사용할 수 있다.

그리고 K_v 의 極限值를 Seed & Duncan은 Mohr-Coulomb의 破壞條件으로 부터 定義하였으나 일반적인 目的으로 이용할 수 없으므로 Mayne & Kulhway⁽²⁹⁾는 Youd & Craven⁽⁵⁶⁾의 單統剪斷試驗, Skempton⁽⁴⁸⁾의 現場測定, Feda⁽²⁰⁾의 三軸壓縮試驗 結果를 이용하여 K_v 의 極限值의 Rankine의 受動土壓係數와 같이 定義하여 式(3.3)으로 나타내었다.

$$(K_{ou})_{lm} = K_p = \frac{1 + \sin\phi'}{1 - \sin\phi'} \quad (3.3)$$

(3) 處女 再載荷: 處女除荷 이후에 載荷를 하는 경우로서 그림 3.1에서 B→C→R의 經路를 따르며, K_o 線과 만난 후에는 K_o 線의 經路에 따르도록 定義하였으며, 이때 B→C→R의 기울기 m_r 은 Mayne & Kulhway⁽²⁹⁾의 經驗式을 補完하여 式(3.4)와 같이 提案한다⁽⁶⁵⁾.

$$m_r = K_o \frac{3(\sigma'_{hm} - \sigma'_{hu})}{4(\sigma'_{hm} - \sigma'_{hc})} \quad (3.4)$$

여기서 사용된 記號 σ'_{hm} 및 σ'_{hc} 는 그림 3.2에서 볼 수 있고, σ'_{hu} 는 除荷 時의 임의의 水平應力이다.

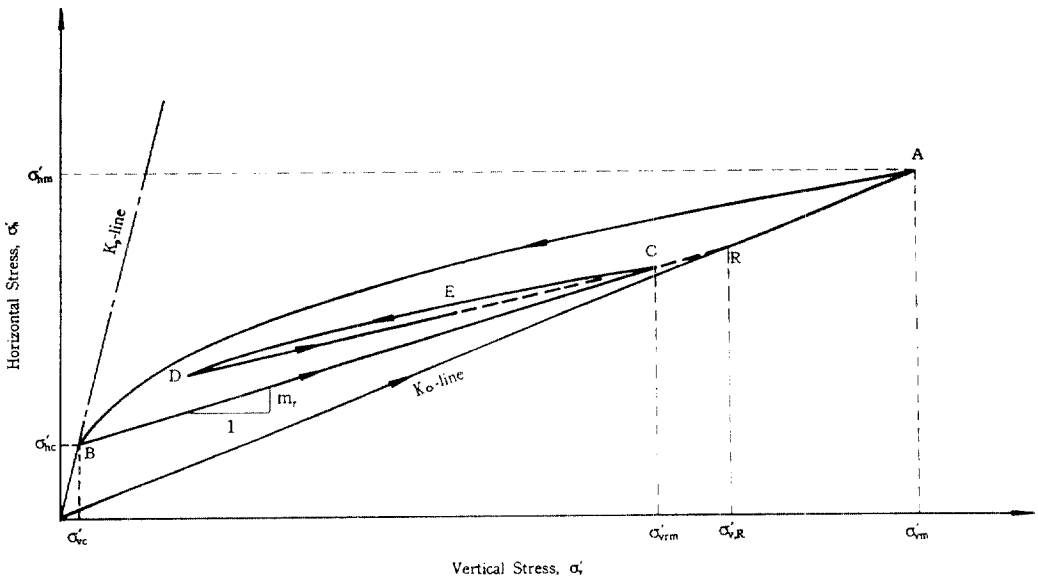


그림 3.2 Suggested Hysteretic K_o -Loading/Unloading Model.

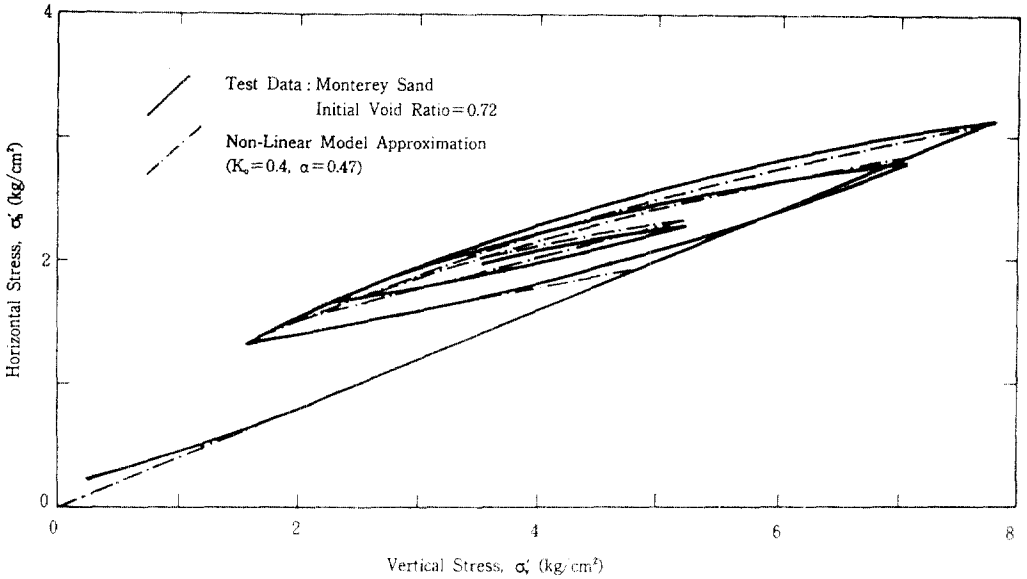


그림 3.3 Non-linear Model VS. K_0 -Testing Result of Wright(1969)

(4) 反復 除荷 處女除荷가 아닌 모든 除荷狀態로 定義하며, 再載荷에 이은 鉛直應力 除去를 뜻한다. 이 경우는 다시 最終 除荷點을 座標軸의 原點으로 간주하며 處女再載荷線을 基準으로 하여 反復除荷線을 아래와 같이 處女除荷의 경우와 類似한 形態로 하여 係數들을 變形하였다.

이 때 反復除荷는 다음의 두 경우를 생각할 수 있다. 즉, 再載荷 時의 最大鉛直應力 α'_{vm} 보다 α'_{vr} 이 작은 경우와 큰 경우이다. 여기서 α'_{vr} 은 그림 3.2에서 幾何學的인 關係로부터 얻을 수 있다.

$$\alpha'_{vr} = \frac{(\sigma'_{hu} - m_r \sigma'_{vu})}{(K_0 - m_r)} \quad (3.5)$$

(i) $\sigma'_{vr} \geq \sigma'_{vm}$ 의 경우

이 경우의 水平應力은 處女除荷때에 式(3.2)를 구하던 方法과 비슷하게 하여 구할 수 있다.

$$\sigma'_h = \sigma'_{hu} + m_r \frac{\sigma'_{vrm} - \sigma'_{vu}}{\sigma'_v - \sigma'_{vu}} (\sigma'_v - \sigma'_{vu}) \quad (3.6)$$

式(3.6)을 자세히 說明하기 위하여 $\sigma'_h = \sigma'_{h1} + \sigma'_{h2}$ 로 나타내면, 여기서 σ'_{h1} 은 移動된 座標의 原點에 해당하는 σ'_{hu} 이고, σ'_{h2} 는 式(3.6)의 右側 두번째 項으로 式(3.2)와 類似한 形態이다. 式(3.2)를 $\Delta\sigma'_h = K_0$ (OCR)로 $\Delta\sigma'_v$ 로 表示하면, 여기서 K_0 와 α 와 座標軸의 移動에 따라 각각 m_r 과 α' 로 바뀌었으며, OCR과 $\Delta\sigma'_v$ 는 각각 $((\sigma'_{vm} - \sigma'_{vu})/(\sigma'_v - \sigma'_{vu}))$ 와 $(\sigma'_v - \sigma'_{vu})$ 에 해당하

는 것이고, 指數 α' 는 式(3.7)과 같이 假定하였다⁽⁶⁾.

$$\alpha' = \frac{m_r}{K_0} \alpha \quad (3.7)$$

(ii) $\sigma'_{vr} < \sigma'_{vm}$ 의 경우

이 경우는 式(3.6)에서 m_r 대신에 最終 處女除荷點과 最終 再載荷點을 잇는 기울기 m_{r1} 適用한다.

$$m_{r1} = \frac{(\sigma'_{hrm} - \sigma'_{hu})}{\sigma'_{vrm} - \sigma'_{vu}} \quad (3.8)$$

그리고 式(3.7)은 式(3.9)와 같이 變形한다.

$$\alpha' = \frac{m_{r1}}{K_0} \alpha \quad (3.9)$$

따라서 $\sigma'_{vr} < \sigma'_{vm}$ 인 反復除荷狀態에서 應力은 式(3.10)과 같이 表現될 수 있다.

$$\sigma'_h = \sigma'_{hu} + m_{r1} \frac{\sigma'_{vrm} - \sigma'_{vu}}{\sigma'_v - \sigma'_{vu}} \cdot (\sigma'_v - \sigma'_{vu}) \quad (3.10)$$

만약 위의 두가지 경우 모두 反復除荷의 水平應力이 處女除荷의 水平應力을 超過할 때에는 反復除荷線을 處女除荷線과 같게 한다. 여러번의 反復除荷에서도 역시 座標軸의 移動에 의한 方法으로 쉽게 구할 수 있을 것이다.

(5) 反復 再載荷: 反復除荷에 이은 鉛直應力의 增加를 뜻한다. 이 때에 $\sigma'_v < \sigma'_{vm}$ 및 $\sigma'_v > \sigma'_{vm}$ 의 두 경우가 발생될 것이다.

前者는 그림 3.2에서 D點과 R點을 잇는 應力經

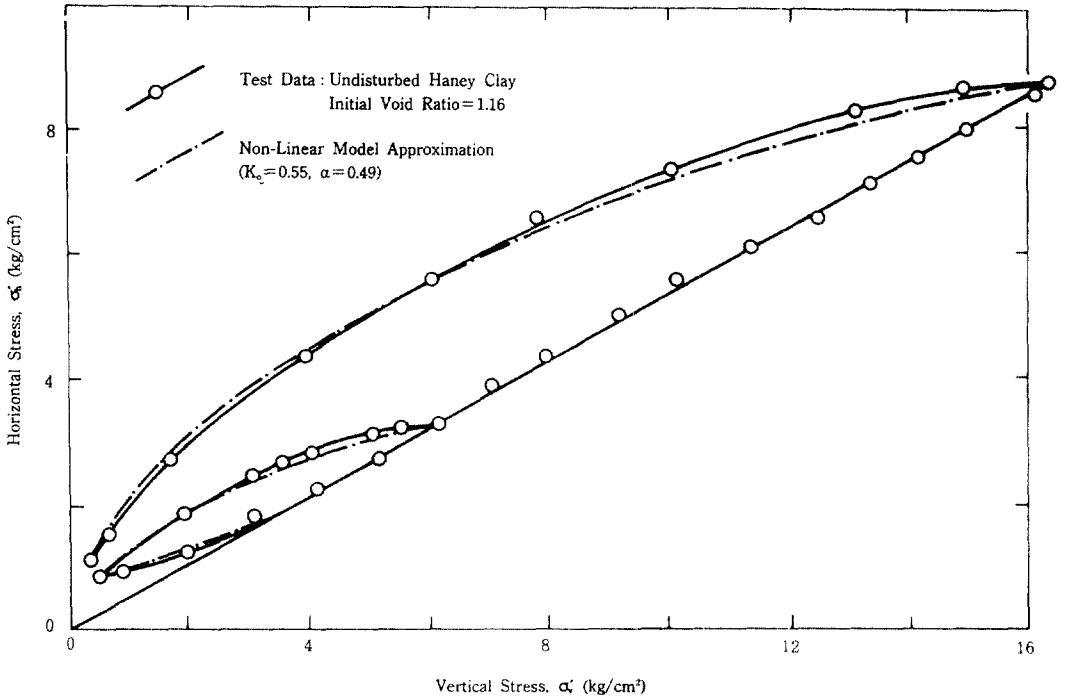


그림 3.4 Non-linear Model VS. K_0 —Testing Result of Campanell and Vaid

路로 하고, 後者は 反復再載荷에 의한 鉛直應力이 R點을 超過하는 경우는 處女除荷에 따르도록한다.

그림 3.3 및 3.4은 앞에서 提案한 多週期 履歷模型에 모래 및 粘土에 대해 각각 三軸試驗한 結果에 適用한 例이다. 그림 3.3은 Wright⁽⁵³⁾가 모래를 사용하여 三週期 三軸試驗한 結果를 實線으로, 提案한 履歷模型에 $K_0=0.4$, $\alpha=0.47$ 을 代入하여 推定한 應力經路를 一點鎖線으로 그려서 比較한 것이다. 위의 두 試驗結果에서 K_0 値는 載荷線의 기울기로 하였으며, α 値는 $K_{0m}=K_0(OCR)^\alpha$ 로부터 逆으로 計算하여 구하였다. 逆으로 구한 α 치는 그림 3.1과 같이 ϕ 値에 따라 一定範圍를 갖기 때문에 상기의 試驗結果에 맞도록 選擇하였다. 두 例에서 볼 수 있는 바와 같이 提案한 履歷模型에 의한 應力經路는 α 値의 調整으로 試驗結果와 좋은 一致를 보여 주고 있으나, 앞으로 履歷模型에 대해 더 나은 研究가 기대된다.

3.2 다짐誘發 土壓 算定方法

다짐으로 誘發되는 土壓을 靜止狀態하에서 荷重이 反復하여 載荷 및 除荷하는 경우에 壁體와 뒷채움 接觸面에 發生하는 水平應力으로 생각할 수 있

다.

振動다짐기로 부터 誘發되는 地盤의 水平應力을 구하는 問題는 쉽지 않다. 지금까지의 研究結果는 振動다짐기에 의하여 地盤에 傳達하는 鉛直振動力을 구하는 問題에 거의 局限되어 있다. 이 振動力역시 振動다짐기의 複雜性과 動的土質常數의 推定에 대한 어려움 등으로 쉽게 구할 수 없었다. 따라서 本 研究에서는 擁壁의 뒷채움 다짐에 사용되는 振動롤러와 振動다짐기에 의하여 誘發되는 振動力을 롤러 또는 다짐기의 自重과 振動機에서 發生하는 遠心力을 롤러 또는 振動板의 幅으로 나눈 有效 길이의 線荷重으로 생각하였다⁽⁶⁾.

過載荷重으로 인하여 壁體에 作用하는 水平應力은 Boussinesq理論으로 직접 水平應力을 計算한 값은 기존의 實測値와 比較적 잘 一致하지만, Boussinesq理論으로 鉛直應力을 구한 값에 靜止土壓係數를 곱하여 換算한 水平應力($K_0\Delta\sigma_v$)은 實測値와 상당한 差異가 있다⁽⁶⁾. 따라서 線荷重의 載荷에 의한 水平應力을 Boussinesq理論의 點荷重에 대한 水平應力 公式을 有限길이로 積分하여 구할 수 있으며, 그리고 壁體가 固定된 것을 감안하면

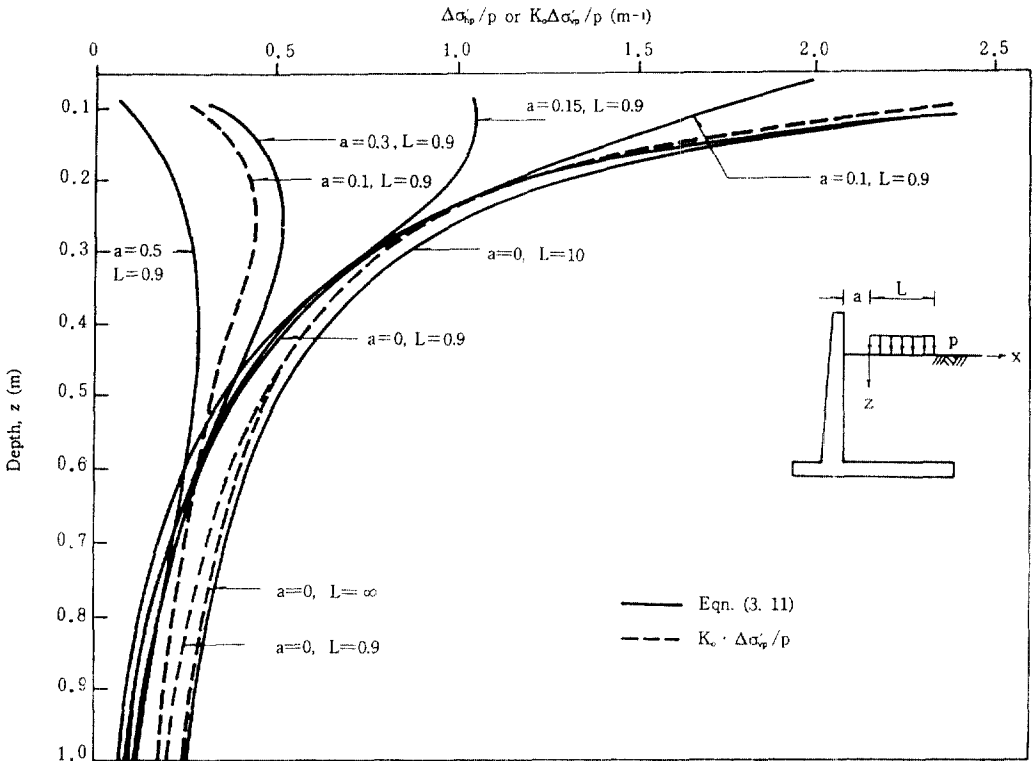


그림 3.5 Peak Lateral Pressures Under Surface Loadings

벽체에 작용하는 水平應力은 積分値의 2배가 되므로 式(3.11)과 같이 구할 수 있다⁽³⁰⁾.

$$\Delta\sigma'_{hp} = \frac{p}{\pi z} \left[\left(\frac{x}{R} \right)^3 - \frac{(1-2\nu)x}{R+Z} \right] \frac{a+L}{a} \quad (3.11)$$

여기서 p=線荷重 強度

a=壁體와 다짐기 사이의 距離

L=다짐기의 幅

z=地表面으로 부터의 깊이

x=壁體 뒷면으로 부터의 水平距離

$R = \sqrt{x^2 + z^2}$

ν =Poisson比

그리고 ν 는 Seed⁽⁴²⁾의 提案에 따라 式(3.12)와 같이 適用한다.

$$\nu = \nu_0 + 1/2(0.5 - \nu_0) \quad (3.12)$$

여기서

$$\nu_0 = \frac{K_0}{1+K_0}$$

그림 3.5는 $\phi=39^\circ$ 일 때에 式(3.11)을 사용하여 壁체에 작용하는 水平應力을 計算한 結果이다. 그림에서 橫軸은 式(3.11)로부터 計算된 水平應力

을 線荷重 強度로 나눈 값($\Delta\sigma'_{hp}/p$)과 Boussinesq 理論으로 計算한 鉛直應力에 靜土壓係數 K_0 을 곱하여 線荷重 強度로 나눈 값($K_0\Delta\sigma'_{hp}/p$)으로, 그리고 縱軸은 깊이를 나타내었다. 그림에서 보면, 線荷重의 길이 $L(=\sqrt{x_2-x_1})$ 이 0.9m인 경우에 위의 두 方法에 의한 結果는 모두 線荷重의 길이에 거의 無關하고, 단지 壁體와 線荷重 사이의 距離 a에 따라 地標面 아래 얇은 깊이에서는 대단히 敏感하게 變함을 알수 있다. 그리고 地表面에 가까운 깊이에서는 위의 두 方法으로 구한 結果가 심한 差異를 보여 준다. 例로서 $a=0.1m, L=0.9m$ 인 경우, $\Delta\sigma'_{hp}$ 및 $K_0\Delta\sigma'_{hp}/p$ 의 最大値는 각각 2.0 및 0.5정도로 큰 差異가 있다. 단, $a \rightarrow 0$ 경우에는 그림 3.5에서 볼수 있는 바와 같이 두가지 方法에 의한 結果에 큰 差異가 없었다.

다짐기가 壁體에 인접하지 않는 경우

이 경우 水平應力은 式(3.11)로서 직접 구하고, 다짐력에 의한 最大鉛直應力 σ'_{vm} 은 Duncan & Seed⁽¹⁸⁾가 提案한 荷重鉛直應力 $\Delta\sigma'_{vp}$ 로 代置하였다.

$$\Delta\sigma'_{vp} = \frac{\Delta\sigma'_{hp}}{K_o} \quad (3.13)$$

그러므로 다짐기의 除去에 따르는 殘留水平應力은 $\sigma'_h = K_{ou} \sigma'_v = K_{ou} \gamma z$ (3.14a)

여기서

$$K_{ou} = K_o (\text{OCR})^a = (1 - \sin\phi') (\text{OCR})^a \quad (3.14b)$$

$$\text{OCR} = \frac{\Delta\sigma'_{hp}}{\sigma'_v} = \frac{\Delta\sigma'_{hp}}{K_o \gamma z} \quad (3.14c)$$

또한 K_{ou} 의 極限值는 K_p 로 定義했으므로 最大過壓密比 OCR_m 은 式(3.3)과 (3.2b)로 부터 얻을 수 있다.

$$\text{OCR} = (K_p/K_o)^{1/a} = \left[\frac{1 + \sin\phi'}{(1 - \sin\phi')^2} \right]^{1/a} \quad (3.15)$$

結果的으로, 示方規定에 따라 일정한 다짐方法에 의하여 所定의 成層두께로 다졌을 때, 壁體에 作用하는 殘留土壓은 다음과 같은 方法에 의하여 求解할 수 있을 것이다⁽⁸⁾.

(1) 다짐기의 諸元으로 부터 線荷重 強度를 算出한 후, 다짐條件에 따라 式(3.11)로 를 計算한다.

(2) 式(3.13)으로 다짐기에 의한 最大等價鉛直應力을 구한다.

(3) 式(3.14)로 過壓密比를 구한 후, 式(3.14a)와 (3.14b)로 부터 다짐력에 의한 殘留水平應力 σ'_h 를 計算하다.

(4) $\sigma'_{hc} (= K_p \gamma z)$ 線을 긋고, 위의 (3)에서 구한 σ'_h 分布를 깊이에 따라 그린다. σ'_{hc} 線 바로 아래의 깊이에서 $\sigma'_h < \sigma'_{hc}$ 이면, σ'_h 線과 σ'_{hc} 線이 만나는 點에서 地標面까지 깊이를 臨界깊이 z_c 로 定義하며, 이때는 $\sigma'_h = \sigma'_{hc}$ 이다. 만약 $\sigma'_h > \sigma'_{hc}$ 이면, 殘留水平應力의 最大值에 해당하는 깊이를 z_c 로 한다.

(5) 臨界깊이 z_c 아래에서는 反復되는 成層다짐으로 인한 再載荷狀態에 해당하므로 깊이에 따라 式(3.4)인 再荷係數를 m_r 를 곱하여 土壓分布를 決定한다. 處女載荷인 $K_o \gamma z$ 와 反復다짐에 의한 再載荷線이 만나는 깊이는 그림 32에서 R點으로 履歷模型의 幾何學的인 關係로부터 式(3.16)과 같이 求解진다.

$$h_c = \frac{(\sigma'_{hu} - m_r \sigma'_{vu})}{\gamma (K_o - m_r)} \quad (3.16)$$

여기서 σ'_{m} 는 履歷模型에서 σ'_m 에 해당하는 鉛直應力이다.

다짐기가 壁體와 隣接된 경우

뒷채움 다짐으로 誘發되는 殘留土壓은 다짐기가 壁體에 隣接하여 다짐할 때 最大가 된다. 그림 35에서 보면, 얇은 깊이에서는 $a=0, L=0.9$ 인 경우 式(3.11)로서 직접 水平應力을 計算한 값과 $a=0, L=\infty$ 인 경우에 計算된 鉛直應力에 K_o 를 곱한 수평應력이 거의 비슷하다. $a=0, L=\infty$ 인 경우 Boussinesq 公式에서 구한 鉛直應力은 式(3.17)과 같다.

$$\Delta\sigma'_{vp} = \frac{2p}{\pi z} \quad (3.17)$$

그러므로 $\Delta\sigma'_{vp} = 2pK_o/\pi z$ 된다.

受動土壓에 해당하는 最大殘留水平應力을 나타내는 臨界깊이 z_c 는 過壓密比의 極限值인 OCR_m 에 해당하는 깊이이다. $\text{OCR} = (\gamma z + \Delta\sigma'_{vp})/\gamma z$ 에서 $\gamma z < \sigma'_{vp}$ 이므로 γz 는 무시할 수 있다. 그러므로 式(3.14c)와 式(3.17)에서

$$\text{OCR}_m = \frac{2p}{\pi \gamma z_c^2} \quad (3.18)$$

式(3.18)을 式(3.15)에 代入하면 臨界깊이 z_c 는

$$z_c = \sqrt{\frac{2p}{\pi \gamma} \left(\frac{K_o}{K_p} \right)^{1/a}} \quad (3.19)$$

이다.

臨界깊이 z_c 는 水平土壓의 크기는

$$\sigma'_{hc} = K_p \gamma z_c \quad (3.20)$$

이다.

式(3.19)를 式(3.20)에 代入하면

$$\sigma'_{hc} = K_p \sqrt{\frac{2p\gamma}{\pi} \left(\frac{K_o}{K_p} \right)^{1/a}} \quad (3.21)$$

가 된다.

臨界깊이 아래에서는 上向으로 계속되는 成層다짐에 의한 再載荷狀態이므로 殘留土壓은 臨界깊이 h_c 까지 式(3.22)로 表示된다.

$$\sigma'_h = \sigma'_{hc} + m_r \gamma (z - z_c) \quad (3.22)$$

여기서 m_r 은 式(3.4)를 사용하여 구한다.

이상의 두 경우에 土壓分布는 그림 3.6과 같다.

4. 適用例

4.1 TRFL 試驗擁壁(英國)

Carder et al⁽¹³⁾은 뒷채움 다짐한 擁壁의 土壓을 測定하기 위하여 높이가 3m, 幅과 길이가 각각 6m인 TRRL試驗擁壁을 이용하여 模型實驗을 하였다.

壁體와 롤러 사이의 거리 a 를 15cm以上으로 하고, 成層 두께를 15cm씩으로 다짐한 후 모래의 平

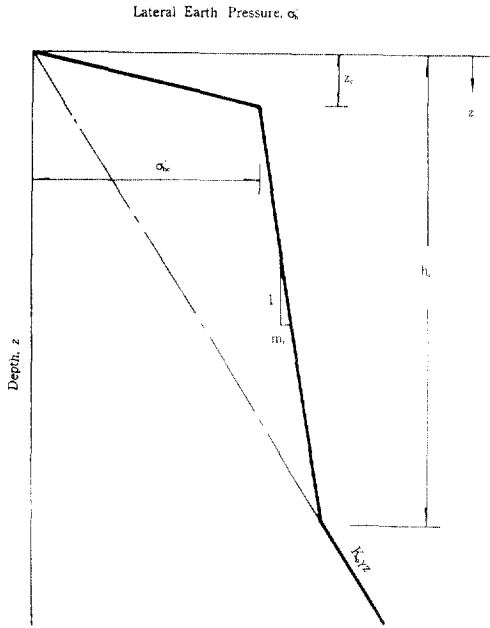


그림 3.6 Compaction-Induced Residual Lateral Pressure Distribution

均單位重量은 1.96t/m³함수비는 약10% , 그리고 흙의 内部摩擦角 ϕ 는 39° 이었다. 물러의 길이 L이 0.9m, 自重 1.18톤, 다짐기의 遠心力이 5.98톤인 二輪 振動물러이었다.

TRRL의 試驗擁壁에 대하여 3.2절에서 提案한 方法을 適用하면 線荷重 強度(p)는

$$P = (1.18 + 5.98) / (2 \times 0.9) = 3.98 \text{ t/m}, \sin\phi = 0.63$$

그리고 式(3.12)로부터

$$\nu = 0.270 + 0.5(0.5 - 0.270) = 0.385$$

이다. 式(3.11) 및 式(3.13)의 計算結果를 式(3.14)에 代入하여 깊이에 따라 σ'_e 의 分布를 그려서 $K_0\gamma z$ 線과 比較한 結果 $z_c = 0.2\text{m}$ 에서 最大値의 殘留應力 $\sigma'_{em} = 1.157 \text{ t/m}^2$ 를 얻을 수 있었다. 여기서 $\Delta\sigma'_{em} = 3.92 \text{ t/m}^2$, $\sigma'_{vm} = 10.6 \text{ t/m}^2$ 이었다. 이때 m_c 는 式(3.17)부터 $\text{OCR}_m = 51.0$, $z_c = 0.2\text{m}$ 에서 $\sigma'_{vc} = K_0(\text{OCR}_m)^\alpha = 4.4 \times 51^{0.65} = 0.077 \text{ t/m}^2$, $\sigma'_{vc} = \sigma'_{em} / K_0 = 2.08 \text{ t/m}^2$ 이므로, 式(3.4)로부터 $m_c = 0.2$ 이다. 따라서 土壓分布는 式(3.22)을 使用하면 $\sigma'_e = 1.157 + 0.2 \times 1.96(z - 0.2) / (t/m^2)$. 이렇게 구한 土壓分布를 그림 4.1에서 A線으로 나타내었다.

다짐기가 壁體와 인접한 경우($a=0, L=\infty$)를 假定하면 計算課程이 다음과 같다. 式(3.19)에서 $z_c =$

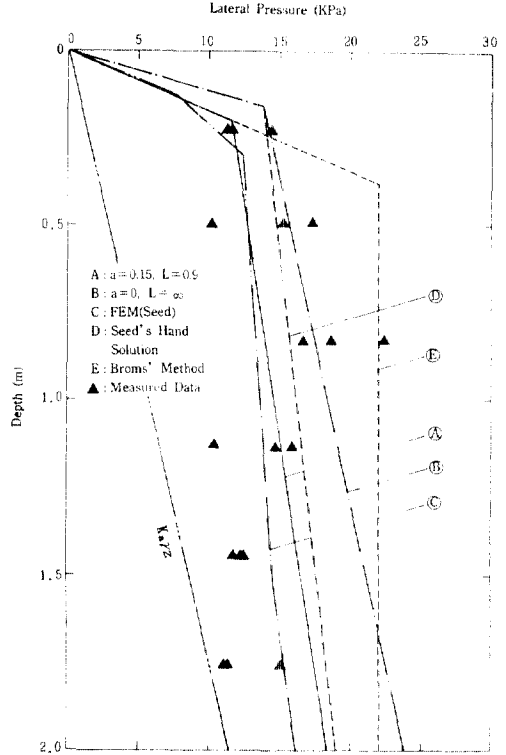


그림 4.1 Comparison of Calculated and Measured Lateral Earth Pressures TRRL Retaining Wall

0.16cm. 式(3.20)으로부터 $\sigma'_{vc} = K_0\gamma z_c = 1.38 \text{ t/m}^2$, $\sigma'_{vc} = \gamma z_c = 0.31 \text{ t/m}^2$ 이다. 式(3.17)로부터 $\Delta\sigma'_{vp} = 2p/\pi z_c = 15.84 \text{ t/m}^2 (= \sigma'_{vm})$, $\Delta\sigma'_{vp} = K_0\Delta\sigma'_{vp} = 5.86 \text{ t/m}^2$ 이고, 式(3.4)로부터 $m_c = (3/4) \times 0.37 = 0.2775$ 이다. 따라서 土壓分布는 式(3.22)로부터 $\sigma'_e = 1.38 + 0.2775 \times 1.96(z - 0.16) / (t/m^2)$ 가 되며, 이 土壓分布를 그림 4.1에서 B線으로 나타내었다. 같은 그림의 C와 D線은 Seed⁽⁴²⁾의 有限要素法 및 簡易法에 의한 結果이고, E線은 Broms方法⁽⁸⁾에 의한 것이다.

그림 4.1에서 보면, 3章에서 提案한 方法에 의하여 計算된 結果는 測定値와 좋은 一致를 보였으며, Seed의 有限要素解析에 의한 結果와도 비슷하였다. 근사적으로 計算된 B線은 壁體의 上部 세 위치에서의 測定値와 잘 一致하였지만 下部로 갈수록 큰 차이를 보이고 있다. Broms方法에 의하여 計算된 E線은 實測値에 비하여 가장 큰 차이를 보였는데, 그것은 鉛直力을 無限長의 線荷重으로 생각하

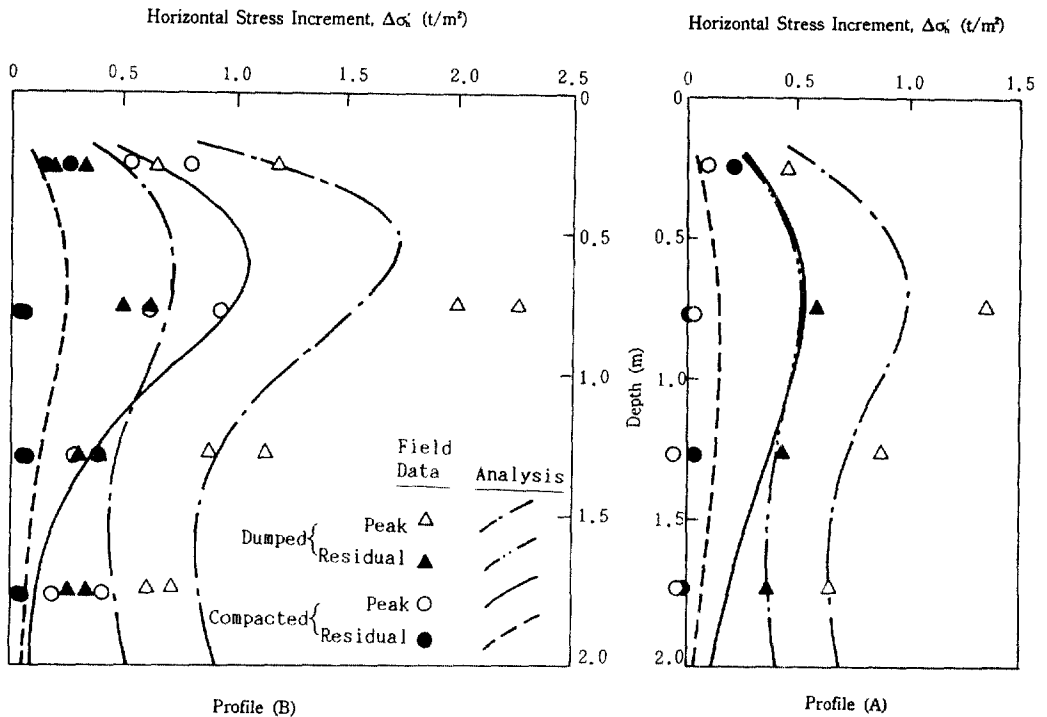


그림 4.2 Calculated and Measured Values of Peak and Residual Stress Increases Due to Point Loads on Loose Dumped and Compacted Gavelly Sand Backfill: Stockholm Test Wall

여 계산된鉛直應力에 K_0 을 곱하여 水平應力을 구한點, 除荷에 의한 水平應力의 減少를 고려하지 않고 最大應力으로 생각한點, 再荷條件을 고려하지 못한點 等의 理論的인 缺畧인 것으로 생각된다.

아울러, 다짐을 수행하지 않고 느슨하게 뒷채운 한 경우와 比較하기 위하여 뒷채움 흙을 $\phi=30^\circ$, $\gamma=1.75\text{t/m}^3$ 로 가정하여 Rankine理論에 의해 計算한 主動土壓分布를 그림 4.1에 나타내었다. 이 結果, A線의 土壓合力은 느슨하게 뒷채운 것에 比較하여 245%이며, 壁體의 모멘트比는 299%이었다. 따라서 뒷채움 다짐한 경우에 擁壁 標準圖를 이용한 設計는 危險을 초래할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 Stockholm 試驗擁壁(스웨덴)

Rehman & Broms⁽³⁷⁾는 砂質土로 뒷채운한 擁壁에 대하여 다짐 및 過載荷重에 의한 土壓를 觀察하기 위하여 높이 2.5m, 길이 6m인 試驗擁壁에서 現場模型實驗을 遂行하였다.

뒷채움은 자갈질 모래와 실트질 가는 모래를 사용하여 다짐않고 쏟아놓는 方法과 成層 다짐 方法

으로 수행되었다. 자갈질 모래의 다짐은 140kg과 400kg의 Dynapac板振動다짐기로 각각 20cm와 40cm의 成層마다 4회씩, 실트질 모래의 다짐은 400kg의 板振動다짐기로 20cm씩의 成層마다 4회씩 실시하였다. 자갈질 모래의 느슨한 狀態에서는 $\phi=34^\circ$, $\gamma=1.74\text{t/m}^3$ 이었으며, 다짐후의 狀態에서는 $\phi=42^\circ$, $\gamma=2.02\text{t/m}^3$ 이었다. 그리고 실트질 가는 모래의 느슨한 條件에서 $\phi=32^\circ$, $c=0$, $\gamma=1.50\text{t/m}^3$ 였으며, 다져진 狀態에서는 $\phi=37^\circ$, $c=0$, $\gamma=1.84\text{t/m}^3$ 이었다. 뒷채움 地盤위의 過載荷重으로 앞바퀴에 각각 7.5톤의 集中荷重을 갖는 Michigan 175A-Series1을 壁體로부터 1.0m位置에 놓았다⁽³⁷⁾.

그림 4.2와 그림 4.3은 각각 자갈질 모래와 실트질 모래를 느슨하게 또는 뒷채움 다짐한 후 상기와 같은 條件의 過載荷重으로 인한 最大 및 殘留土壓(載荷 및 除荷 時의 土壓)의 增分에 대한 測定値와 3.1節에서 제안한 履歷模型을 적용하여 計算한 값을 收錄한 것으로, 두 그림에서 測定値와 計算値는 비교적 近似한 一致를 보여 주었다. 불행하게도 다

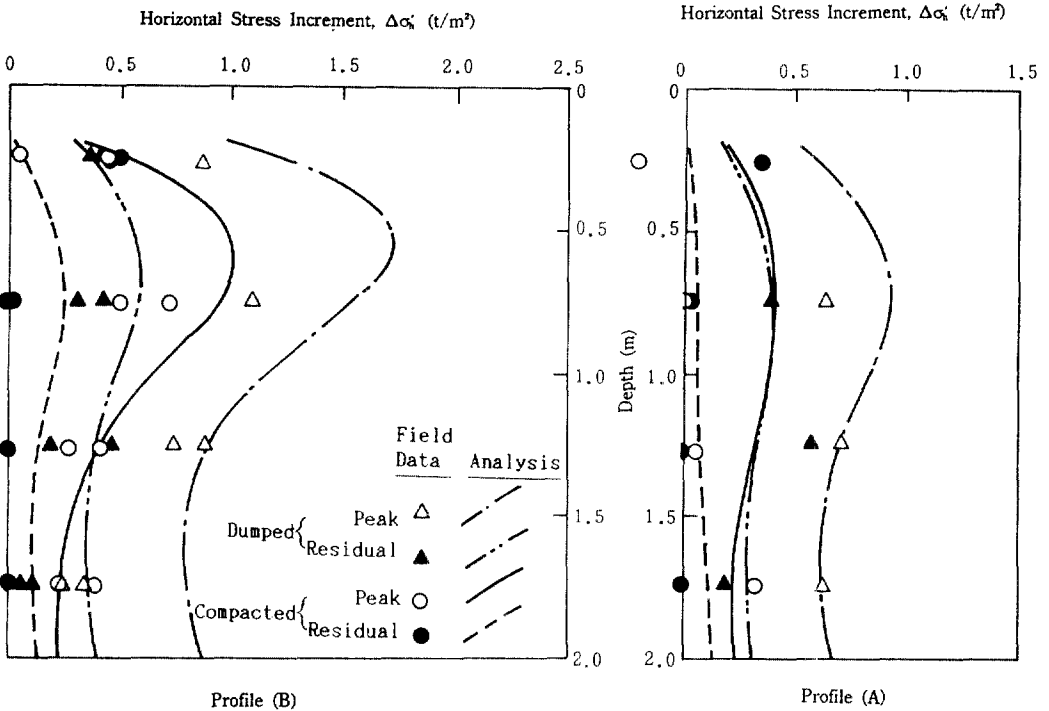


그림 4.3 Calculated and Measured Values of Peak and Residual Stress Increases Due to Point Loads on Loosely Dumped and Compacted Silty Sand backfill: Stockholm Test Wall

짐기의 諸元 및 다짐方法에 대한 구체적인 資料가 없어서 $a=0.1m$, $L=0.5m$, 그리고 $p=0.28t/m$ 로 假定하여 다짐에 의한 殘留土壓을 算定하였다. 두 그림에서 測定値와 計算値 사이에는 약간의 差異를 나타내는데, 이것은 뒷채움 다짐으로 인하여 자갈질 모래의 경우에 $0.0003rad$, 실트질 모래의 경우에 $0.0008rad$ 의 壁體回轉이 발생하였기 때문으로 생각한다. 3.1과 3.2節에서 提案한 方法들을 적용한 計算値는 다짐 條件에 대한 精確한 資料의 不足과 壁體의 變位에도 불구하고 實測値와 比較의 좋은 一致를 보여 주었다.

5. 結論

뒷채움 다짐한 壁體에 誘發되는 土壓을 計定하기 위하여 理論的인 接近과 比較를 修行한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 靜止狀態下에서 應力歷史에 따른 應力經路를 類推하기 위하여 그림 3.2와 같은 多週期 履歷模型을 提案하였고, 이 模型을 既存의 三軸壓縮試驗 結

果에 適用한 結果 實測値는 理論値와 좋은 一致를 보였다.

2. 擁壁, 地下壁, 橋臺, 暗渠 등과 같이 뒷채움 다짐으로 壁體變位가 비교적 작은 경우에 適合한 다짐誘發 土壓의 理論式을 式(3.21)과 (3.22) 등으로 提案하였다.

3. 提案한 履歷模型과 다짐誘發 土壓의 理論式을 既存의 現場實驗들에 適用한 結果 理論値와 實測値는 비교적 잘 一致하였다.

4. TRLL 試驗擁壁에 提案한 다짐誘發 土壓理論式을 適用한 結果는 느슨하게 뒷채움한 例와 比較하여 土壓合力이 약 250%, 轉倒모멘트가 약 300%로 크게 算出되었다. 그러므로 뒷채움 다짐한 경우에 擁壁 標準圖를 이용한 設計는 危險을 초래할 수 있다.

本 論文은 주로 모래 뒷채움인 鉛直한 固定壁에 適用할 수 있는 理論的인 接近이나, 앞으로 合理的인 多週期 履歷模型의 開發과 아울러 現場에서 發生하는 諸 要素를 감안할 수 있는 土壓理論의 開發

이 要求된다.

참 고 문 헌

1. Aggour, M. S. & Brown, C. B., "Analytical Determination of Earth Pressure Due to Compaction," *3rd International Conf. on Numerical Methods in geomechanics*, Aachen, 2-6, 1979, pp. 1167-1174.
2. Aggour, M. S. & Brown, C. B., "The Prediction of Earth Pressure on Retaining Walls Due to Compaction," *Geotechnique* 24,(4), 1974, pp. 489-502.
3. Al-Hussaini, M., "Comparison of Various Methods for Determining K_0 ," Laboratory Shear Strength of Soil, ASTM STP 740, 1981, pp. 78-93.
4. Alpan, J., "The Empirical Evaluation of the Coefficient K_0 and K_{or} ," *Soils and Foundations*, 7, (1), 1967, pp. 31-40.
5. Andrawes, K. Z. & El-Sohby, M. A., "Factors Affecting Coefficient of Earth Pressure K_0 ," *JSMFD*, ASCE, 99, (7), 1973, pp. 527-539.
6. Bellotti, R. et al., "Remarks on the Coefficient of Overconsolidation on the Coefficient of Earth Pressure at Rest," *Proc. 1st Baltic Conf. on Soil Mechanics*, Vol. 2, 1975, pp. 59-71.
7. Bishop, A. W., "Test Requirements for Measuring the Coefficient of Earth Pressure at Rest," *Conf. on Earth Pressure Problems*, Brussels, Vol. 1, 1958, pp. 2-14.
8. Broms, B., "Lateral Earth Pressures Due to Compaction of Cohesionless Soils," *Proc. 4th European Conf. on Soil Mech.*, Budapest, 1971, pp. 373-384.
9. Brooker, E. W. & Ireland, H. D., "Earth Pressure at Rest Related to Stress History," *Canadian Geotech. J.*, 2, (1), 1965, pp.1-15.
10. Bruner, R. F., "Cantilever Retaining Wall Design," Ph. D. Thesis, Texas A & M University, 1983, 180p.
11. Campanella, R. G. & Vaid, Y. P., "Simple K_0 Triaxial Cell," *Canadian Geotechnical J.*, Vol. 9. No. 3, 1972, pp. 249-260.
12. Carder, D.R. & Krawczyk, J. V., "Performance of Cells Designed to Measure Soil Pressure on Earth Retaining Structure," *Transport and Road Research Laboratory*, Report No. LR 689,1975.
13. Carder, D. R., Pocock, R. G. & Murray, R. T., "Experimental Retaining Wall Facility-Lateral Stress Measurements with Sand Backfill," *TRRL Report* No. LR 766, 1977.
14. Clayton, C. R. I. et al., "Lateral Pressures Induced by Compaction of Clay Backfill," *8th CPMSIF-PCSMFE*, 1987, pp. 473-483.
15. Colye, H. M., Cartoskewitz, R. E., Milberger, L. J. & Butler, H. D., "Field Measurement of Lateral Earth Pressures on a Cantilever Retaining Wall," *TRR Record* 517, 1974, pp. 16-29.
16. Colye, H. M. & Bartoskewitz, R. E., "Earth Pressure on Precast Panel Retaining Wall," *JGED*, ASCE, Vol. 102, GT 5, 1976, pp. 441-456.
17. Duncan, J. M. & Jeyapalan, J. K., "Deflection of Flexible Culverts Due to Backfill Compaction," *TRB, Symposium on Soil Structure Interaction of Subsurface Conducts*, 1981.
18. Duncan, J. M. & Seed, R. B., "Compaction-Induced Earth Pressures under K_0 -Conditions," *JGED*, ASCE, 112(1), 1986, pp. 1-22.
19. Duncan, J. M. et al., "Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses," *Geotechnical Engineering*, Report No. UCB/GT/80-01, Univ. of California, Berkeley, 1980, 77p.
20. Fedaa, J., " K_0 -Coefficient of Sand in Triaxial Apparatus," *JGED*, ASCE, Vol. 110, No. 4, pp. 519-524.
21. Fukuoka, M. et al., "Earth Pressure Measurements on Retaining Walls," *9th ICSMFE*, Vol. 4, Tokyo, 1977, pp. 237-296.
22. Hendron, A. J., "The Behavior of Sand in One-Dimensional Compression," Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois, 1963.
23. Hsieh, H., "An Automated Triaxial Device for

- Measuring the At-Rest Earth Pressure Coefficient*,"Engineer's Degree Thesis, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, 1985.
24. Ingold, T. S., "Retaining Wall Performance during Backfilling," *JGED*, ASCE, 105, GT5, 1979, pp. 613-626.
 25. Ingold, T. S., "The Effects of Compaction on Retaining Walls," *Geotechnique* 29, No. 3, 1979, pp. 265-283.
 26. Ingold, T. S., "Lateral Earth Pressures," Civil Engineering, London, 1980, pp. 45-58.
 27. Jones, C. J. F. P., "Current Practice in Designing Earth Retaining Structures," *Ground Engineering*, Vol. 12, No. 6, 1979, pp. 40-45.
 28. Katona, M. G., "Analysis of Long-Span Culverts by the Finite Element Method," *Transportation Research Record*, No. 678, 1978, pp. 59-66.
 29. Mayne, P. W. & F. H. Kulhawy., "K₀-OCR Relationships in Soil," *JGED*, ASCE, 108,GT 6, 1982, pp. 851-872.
 30. Murray, R. T., "Discussion: Retaining Wall Performance during Backfill, Ingold, T. S. (1979)," *JGED*, ASCE, Vol. 106, No. GT 9, 1980, pp. 1062-1068.
 31. NNAVFAC DM-7.2, *Foundations and Earth Structures*, Dept. of The Navy Naval Facilities Eng. Command, 1982, 253 p.
 32. Ofer, Z., "Instruments for Laboratory and In Situ Measurement of the Lateral Swelling Pressure of Expansive Clays," *Proc. 4th Intl. Conf. on Expansive Soils*, Denver, USA, 1981, pp. 45-53.
 33. Ofer, Z., "Laboratory Instrument for Measuring lateral Soil Pressure and Swelling Pressure," *Geotechnical Testing Journal*, *GTJODJ*, Vol. 4, No. 4, 1981, pp. 177-182.
 34. Ofer, Z., "Laboratory K₀ Testing of Cohesionless Soil," *The Civil Engineering in South Africa*, Vol. 24, No. 10, 1982, pp. 533-545.
 35. Ofer, Z., "Laboratory Determination of K₀ and Comparison with Prototype Soil Observations," *4th Australia-New Zealand Conf. on Geomechanics*, Perth, 1984, pp. 14-18.
 36. Ou, Chang-Yu, "Finite Element Analysis of Compaction-Induced Stresses and Deformation," Ph. D Thesis, Stanford Univ., 1988, 415 p.
 37. Rehman, S. E. & Broms, B. B., "Lateral Pressures on Basement Wall. Results from Full-Scale Tests," *Proc. 5th European Conf. on SMFE*, Vol. 1, 1972, pp. 189-197.
 38. Rowe, P. W., "The Distribution of Lateral Earth Pressure on a Stiff Wall Due to Surcharge," *CE & PWR*(45), London, 1950, pp. 590-592, 654-657.
 39. Rowe, P. W., "A Stress-Strain Theory for Cohesionless Soil with Applications to Earth Pressures at Rest and Moving Walls," *Geotechnique* 4, No. 2, 1954, pp. 70-88.
 40. Schmidt, B., "Discussion: Earth Pressures at Rest Related to Stress History," *Canadian Geotech. J.*, Vol. 3, No. 4, 1966, pp. 239-242.
 41. Schuppener, B., "Der Erddruck einqser Rolligen Hinterfullung auf eine Unverschiebliche Stutzwand Infolge der Verdichtung," *Mitt. B. Bundesant. Wasserbau Karlsruhe* Nr. 38, 1975, pp. 1-10.
 42. Seed, R. B., "Soil-Structure Interaction Effects of Compaction Induced Stresses and Deformations," Ph. D. Thesis, Univ. of California at Berkeley, 1983, 425 p.
 43. Seed, R. B. & Duncan, J. M., "Soil-Structure Interaction Effects of Compaction-Induced Stresses and Deflections," *Geotechnical Engineering Research Report* No. UCB/GT/83-06, Univ. of California. Berkeley, CA, 1983.
 44. Seed, R. B. & Duncan, J. M., "FE Analyses: Compaction-Induced Stresses and Deformation," *JGED*, ASCE, 112(1), 1986, pp. 23-43.
 45. Sherif, M. A. & Mackey, R. D., "Pressures on Retaining Wall with Repeated Loading," *JGED*, ASCE, 103(11), 1977, pp. 1341-1345.
 46. Sims, F. A., Forrester, G. R. & Jones, C. J. F. P., "Lateral Pressures on Retaining Wall," *J. of Inst. of Highw. Engrs*, 1970, pp. 19-30.
 47. Sims, F. A., & Jones, C. J. F. P., "Comparison

- between Theoretical & Measured Earth Pressures Acting on a Large Motorway Retaining Wall," *J. of Inst. of Highw. Engrs*, 1974, pp. 26-29.
48. Skempton, A. W. L., "Horizontal Stresses in an Overconsolidated Eocene Clay," *Proc. 5th ICSMFE*, Vol. 1, Paris, 1961, pp. 352-357.
49. Sowers, G. F. et al., "The Residual Lateral Pressures Produced by Compacting Soils," *Proc. 4th ICSMFE*, 1957, pp. 243-247.
50. Spotka, H., "Einfluss der Bodenverdichtung Mittels OberflächenRüttler auf den Erddruck einer Stützwand Bei Sand," *Baugrund Institute Stuttgart*, 1977, 120 p.
51. Terzaghi, K., "Large Retaining Wall Tests (I): Pressure of Dry Sand," *Engineering News Record*, Vol. 112, 1934, pp. 136-140.
52. TRRL, "Finite Element Analysis of the Stress against Retaining Walls," TRRL Leaflet LF 631, England, 1976.
53. Wright, S. G., "A Study of Slope Stability and Undrained Shear Strength of Clay Shales," Ph. D. Thesis, Univ. of California at Berkeley, 1969.
54. Wroth, C. P., "In-Situ Measurement of Initial Stresses and Deformation Characteristics," *Proc. In-Situ Measurement of Soil Properties, ASCE*, Vol. 2, North Carolina State University, Raleigh, N C., 1975, pp. 181-230.
55. Yasuhiko Okochi & Fumio Tatsuoka., "Some Factors Affecting Ko-Values of Sand Measured in Triaxial Cell," *Soils and Foundations* Vol. 24, No. 3, 1984, pp. 52-68.
56. Youd, T. L. & Craven, T. N., "Lateral Stress in Sands during Cyclic Loading," *JGED, ASCE*, Vol. 101, GT2, 1975, pp. 217-221.
57. 建設部, 道路橋 標準示方書, 1983, 1317 p.
58. 建設部, 道路橋 標準示方書, 1986, 609 p.
59. 李萬烈, "過載荷重으로 擁壁에 作用하는 水平土壓," 工學碩士 學位論文, 東亞大學校, 1986, 54p.
60. 鄭成教, "다짐에 의한 土壓," 研究報告, 東亞大學校 韓國資源開發研究所, 第8券, 第2號, 1985, pp. 27-34.
61. 鄭成教, 鄭寅峻, "뒷채움 다짐에 의한 靜止土壓," 學術發表會概要集, 大韓土木學會, 1986, pp. 611-616.
62. 鄭成教 外 2人, "뒷채움 다짐한 擁壁에 作用하는 過載荷重의 影響," 學術發表會概要集(I), 大韓土木學會, 1987, pp. 421-422.
63. 鄭成教, "뒷채움 다짐에 의한 土壓," 工學博士 學位論文, 서울大學校, 1989, 130 p.

(接受: 1990. 5. 3)