

花崗岩 風化土가 反復荷重을 받은 후의 變形舉動에 관한 小考

The Stress-Strain Behavior of Weathered Granite Soil
after Cyclic Loading

李 鍾 珪*¹
Lee, Chong - Kyu
金 周 漢*²
Kim, Joo - Han

Abstract

Increasing demand of rational analysis of dynamic soil behavior subjected to repetitive loading has evolved soil dynamics which is essential for proper design and/or analysis of dynamicaly loaded soil structure.

In this paper, the stress-strain behavior of weathered granite soil under cyclic loading is studied by measuring the strength and the strain before and after application of at least 11,000 cycles of repetitive load. Relationships are suggested for predicting results of soil dynamics from those of soil statics.

要 旨

本 研究는 花崗岩 風化土가 反復荷重을 받았을 때의 應力-變形舉動을 考察하기 위한 研究計劃의 一環으로 앞서 發表한 動彈性係數 推定研究의 後續研究이다.

즉 우리나라 中部地域 4 個所에서 採取된 花崗岩 風化土에 대하여 等方應力 및 異方應力の 몇가지 拘束應力狀態下에서 여러가지 크기의 反復荷重을 充分히 載荷除荷하여 그 永久變形이 最終平均狀態에 到達되었을 때의 強도와 變形舉動을 測定 考察하고, 이와같은 動荷重試驗의 結果를 靜荷重試驗의 結果로 부터 推定할 수 있는 關係式을 提案하였다.

*¹ 正會員, 檀國大學校 工科大學 土木工學科 教授

*² 正會員, 暎園大學校 工科大學 土木工學科 副教授

1. 序 論

흙 構造物의 安定問題는 흙이 外力을 받았을 때 內部에 일어나는 應力 變形의 關係로 解析한다. 反復荷重試驗에 있어서도 靜荷重試驗에서와 마찬가지로 動荷重의 여러가지 要素들에 의한 變形이 研究의 主對象이 되어 왔다.

動荷重을 받는 흙의 擧動과 그 解析은 靜荷重下에서와 같이 간단하지 않은데 그 까닭은 흙 構造物에 反復荷重이 作用하면 回復變形과 永久變形이 發生되기 때문이다. 즉, 荷重이 載荷되었을 때 發生된 變形중 一部가 荷重이 減少되거나 除荷되면 原狀態로 돌아가는데 이때 發生된 總變形중 原狀態로 돌아가는 變形을 回復變形(recoverable strain) 이라 하고, 荷重이 除荷되어도 變形으로 殘留되어있는 變形을 永久變形(permanent strain) 이라고 한다.

反復荷重을 받는 흙 構造物의 永久變形은 荷重의 反復回數가 增加함에 따라 增加하며 每回當 發生量은 初期에는 크고 後期에는 점점 작아져서 結果적으로 어떤 載荷回數 以上에서의 永久變形量은 一定값에 收斂하게 되는데, 이 狀態를 最終平均狀態(final equilibrium situation) 라고 한다.^{6),9),10),15)} 이와같은 永久變形이 平均値에 收斂하는데 필요한 載荷回數는 흙의 種類에 따라 다르다고 하며, 一般的으로 砂質土에서의 回數가 粘性土에서의 回數보다 작다고 한다. Stephen¹⁵⁾ 에 의하면 보통의 砂質土의 永久變形이 平均値에 收斂하는데 필요한 載荷回數는 7,000~10,000 회라고 한다. 永久變形의 發生에 직접적인 影響을 주는 主要素는 反

復荷重의 크기 (amplitude), 振動數, 反復回數, 拘束應力 및 기타 土性值 등으로서 永久變形 擧動은 이들 要素의 函數이다. 實際로 여러 研究에 있어서 永久變形을 荷重 反復回數의 函數 (Baladi)¹⁾, 反復荷重과 拘束應力の 函數 (Stephen)¹⁵⁾ 및 反復荷重과 靜荷重強度의 函數 (Lentz)⁸⁾ 등으로 나타내고 있다.

한편 動荷重試驗은 靜荷重試驗에 비하여 高價의 精密裝備와 熟達된 技能人力 및 많은 經費가 所要됨으로 그 管理 運營에 있어서 많은 어려움이 있다. 따라서 靜荷重試驗의 結果로부터 動荷重試驗의 結果를 推定하려는 研究努力도 함께 이루어져 왔다.⁵⁾⁷⁾⁸⁾

本 研究에서는 우리나라 中部地域 4 個所 (安養, 利川, 서울 및 天安) 에서 採取된 花崗岩 風化土에 대하여 等方應力 및 異方應力の 몇가지 拘束應力狀態下에서 여러가지 크기의 反復荷重을 充分히 載荷除荷한 後 그 強度와 變形擧動을 測定 考察하고, 이와 같은 動荷重의 試驗結果를 靜荷重試驗 結果로부터 推定 할 수 있는 關係式을 提案하고자 하는바, 이는 現在 國內外的으로 鋪裝設計에 있어서 設計基本式의 路床土 支持力值을 動彈性係數로 代替하고 있는 趨勢에 있어서 動彈性係數 및 흙의 動的擧動을 理解하는데 必要한 基礎가 되리라고 思料된다.

2. 實 驗

2.1 試 料

本 實驗에 使用된 花崗岩 風化土로서의 試料는 中部地域을 網羅하기 위하여 京畿 忠淸 일원의 4 個所에서 地表로부터 대체적으로 1.5m

表 2.1 各 試料의 土性值

| 採取地 | 記號 | 最適含水比(%) | 最大乾燥密度(g/cm ³) | 比重 | #200 通過分(%) | 統一分類法 |
|-------------|----|----------|----------------------------|------|-------------|-------|
| 京畿道安養市石水洞 | A | 10.3 | 1.94 | 2.63 | 4.2 | SW |
| 京畿道利川邑중 1 리 | I | 11.9 | 1.84 | 2.66 | 4.86 | SW |
| 서울 中浪區面牧洞 | S | 14.6 | 1.79 | 2.69 | 7.81 | SW-SM |
| 忠南天安市 안서동 | C | 13.5 | 1.81 | 2.72 | 7.73 | SW-SM |

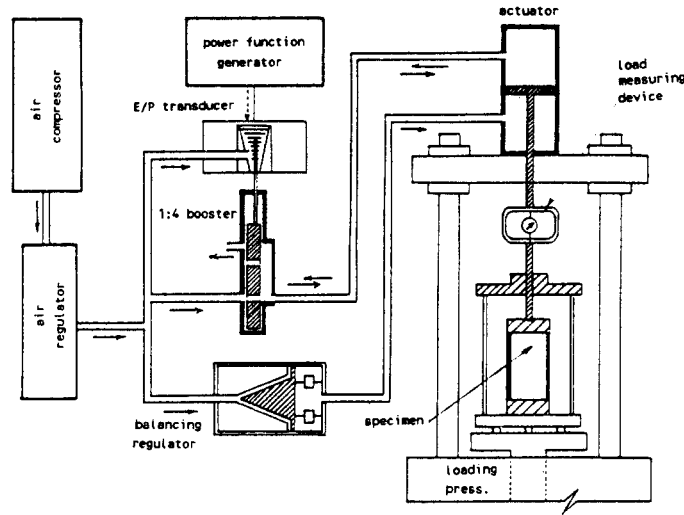


그림 2.1 反復荷重載荷裝置 系統圖

깊이에서 採取하였으며 各 試料의 採取地域 및 土性值등은 表 2.1과 같다.

2.2 試驗裝備

本 實驗에 使用된 主 裝備는 1988年 Norway의 GEONOR社에서 製作組立된 反復三軸壓縮試驗機 (cyclic triaxial compression tester)로서, 그 一般의 機能은 在來의 三軸壓縮試驗機와 같으나 特記할 것은 動荷重試驗을 할 수 있는 反復荷重 載荷裝置가 附着되어있는 것이다. 反復荷重 載荷裝置의 系統圖는 그림 2.1과 같고 이를 參考로하여 各 機能을 略述하면 다음과 같다.

이 試驗機의 發生 可能한 波形은 三角波 (triangular), 梯形波 (trapezium), 正弦波 (sinusoidal) 및 四角波 (squareform) 등으로서, 動力函數發振機 (power function generator)를 操作하여 必要로 하는 波形과 필요로 하는 振動數의 電流를 트랜스듀서 (E/P transducer)에 보내면 트랜스듀서는 空氣 壓縮機에서 供給된 一定壓의 空氣를 제시된 波形과 振動數로 變調하여 부스터 (booster)에 보낸다. 부스터에서는 供給된 壓縮空氣를 增幅하여 作動機 (actuator) 피스톤 上部에 供給 또는 遮斷한다. 그러

면 피스톤은 供給된 壓縮空氣의 波形과 振動數대로 供試體에 必要로 하는 反復荷重을 載荷 또는 除荷하게 된다. 이때 平均調整器는 로드셀과 피스톤의 무게를 零點調整한다.

2.3 試驗方法

2.3.1 反復荷重에 의한 永久變形 試驗

中部地域 花崗岩 風化土가 反復荷重을 받아 그 變形이 平均狀態에 到達하였을 때의 永久變形, 變形係數 및 強度등의 舉動을 究明하기 위하여 安養, 利川, 서울 및 天安 등 4個 地域에서 採取된 試料에 대하여 다음과 같은 同一한 試驗을 遂行하여 그 結果值를 算術平均하였다.

1) 供試體의 製作

供試體의 直徑과 높이는 50mm×119mm였고 單位重量은 最大密度의 95%가 되도록 最適 含水比에서 三層 靜的다짐을 하였다. 三層靜的다짐이란 最終적으로 成形된 供試體의 單位重量이 最大密度의 95%가 되는데 필요한 무게의 乾燥試料에 最適 含水比가 될 물을 加하고 칼라가 連結된 몰드에 三회에 나누어 넣으면서 잭키로 필요한 體積이 되도록 壓縮成形하는 것이다.¹⁹⁾

表 2.2 拘束應力과 反復荷重應力 組合에 따른 試驗名稱

| kg/cm ² σ ₃ | kg/cm ² σ _d =0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 |
|--------------------------------------|--|------|----------|------|------|------|------|
| 0.25 | 111A | 112A | 113A | 114A | | | |
| 0.5 | | 211A | 212A | 213A | 214A | | |
| 1.0 | | 311A | 312A0.75 | 312A | 313A | 314A | |
| 2.0 | | | | 411A | 412A | 413A | 414A |

2) 反復荷重의 振動數

本 實驗에서의 反復荷重은 모두 1 Hz의 正絛波(sinusoidal)를 使用하였다.

3) 拘束應力과 反復荷重

本 實驗에서는 拘束應力을 0.25kg/cm² - 2.0kg/cm² 範圍로 하고 反復荷重을 0.25kg/cm² - 3.0kg/cm² 範圍로 하였는바 이는 各 反復荷重應力이 各 拘束應力下에서 供試體 靜荷重強度의 10% - 70%가 되도록 하기 위함이었다. 그 拘束應力과 反復荷重強度의 組合은 表 2.2 와 같다.

4) 異方應力狀態에서의 試驗

反復荷重을 받기 前 異方應力狀態가 되는데 必要한 異方壓縮은 壓力室의 피스톤軸에 死荷重을 上載함으로써 遂行되었다. 즉 必要로 하는 橫方向土壓係數가 되도록

$K = \sigma_h / \sigma_v = \sigma_3 / (\sigma_3 + \Delta\sigma)$ 의 關係에서

$\Delta\sigma$ 를 死荷重으로 피스톤軸에 上載하였다. 이 試驗에서도 拘束應力과 反復荷重應力의 組合및 試驗番號는 表 2.2와 같다.

3. 結果 및 討議

3.1 平均狀態에서의 永久變形

安養, 利川, 서울및 天安 4 個 地域 試料의 供試體가 表 2.2의 應力組合과 같은 拘束應力下에서 여러가지 크기의 反復荷重을 11,000回 以上 받아 그 永久變形이 最終 平衡值에 收斂되었다고 思料될 때의 永久變形을 測定하여 그 永久變形度를 計算하였다. 이중 天安試料의 永久變形度와 反復荷重應力과의 關係가 그림 3.1 이다.

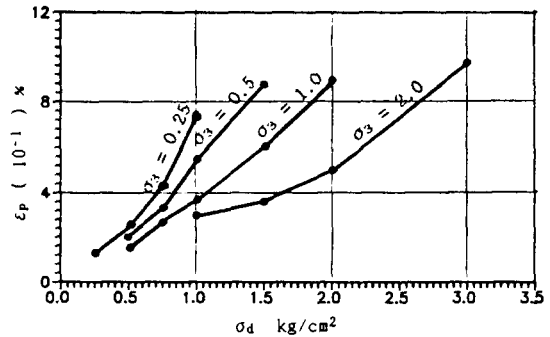


그림 3.1 天安試料의 σ_d-ε_p 關係

그림 3.1에서 拘束應力의 影響을 考察하면 拘束應力이 0.25kg/cm²과 같이 작을 때에는 反復荷重應力의 增加에 따라 永久變形은 急激히 增加한다. 그러나 拘束應力이 2.0kg/cm²와 같이 큰 경우에는 反復荷重應力의 增加에 따른 永久應力의 增加는 緩慢하여진다. 이것은 拘束應力 增加에 따라 높은 보다 많은 壓縮이 先行되어 反復荷重에 의한 永久變形은 相對적으로 減少되는 現象 때문이라고 說明될 수 있다. 安養, 利川및 서울試料의 永久變形度와 反復荷重應力의 關係도 天安試料의 結果와 거의 같은 傾向을 나타낸다.^{21), 22)}

한편 砂質土의 荷重에 의한 變形 舉動은 拘束應力의 影響을 크게 받으므로 永久變形度와 反復荷重應力과의 關係에 있어서도 拘束應力 또는 靜荷重強度를 標準化의 要素(normalizing factor)로 취하는 것은 充分히 妥當하다고 하며 Lentz¹⁷⁾와 Baladi²⁾ 등은 그들의 研究에서 靜荷重強度를 標準化의 要素로 使用한 바 있다. 本 研究에서도 試算結果 靜荷重強度를 다음과 같

이 標準化의 要素로 使用하였다. 즉, 反復荷重應力을 靜荷重強度의 平方根으로 나눴으므로 拘束應力의 影響을 消去하였다. 縱軸에 永久變形度를 잡고 橫軸에 靜荷重強度의 平均根으로 나눈 反復荷重應力을 잡아 天安試料의 試驗結果를 圖示하면 各 點들은 그림 3. 2와 같이 어떤 線形으로 分布된다. 이 點들의 適合曲線 (fitting curve line)을 式 (3.1)과 같은 形式으로 나타내고, 係數 a 및 b를 最小自乘法으로 구하면 8.66과 1.17이 된다. 이때 a와 b는 σ_a 와 S_s 의 單位를 kg/cm^2 로 취하였을 때 常數이다.

$$\epsilon_p = a(\sigma_a/\sqrt{S_s})^b \quad (3.1)$$

表 3. 1 各 試料의 係數 (a, b)

| | a | b |
|------|------|------|
| (A) | 7.80 | 1.57 |
| (I) | 6.76 | 1.25 |
| (S) | 7.47 | 1.37 |
| (C) | 8.66 | 1.17 |
| (平均) | 7.67 | 1.34 |

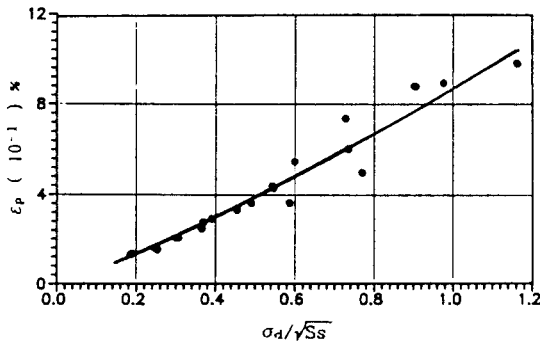


그림 3. 2 天安試料의 $\sigma_a/\sqrt{S_s} - \epsilon_p$ 關係

安養, 利川 및 서울試料의 試驗結果도 天安試料과 같은 舉動을 나타내는바 各 試料의 係數는 表 3.1과 같다.

式 (3.1)을 利用하면 拘束應力에 關係없이 中部地域 花崗岩風化土가 많은 回數의 反復荷重을 받아 그 永久變形이 最終 平衡值에 收斂되었을 때의 永久變形을 推定할 수 있다고 思料된다.

3. 2 平衡狀態에서의 變形係數

花崗岩 風化土가 여러가지 크기의 拘束應力下에서 反復荷重을 받아 그 永久變形이 最終 平衡值에 收斂되었을 때 變形係數를 靜荷重強度로 부터 推定하기 위하여 永久變形이 最終 平衡值에 收斂되었을 때 荷重의 反復을 中止하고 靜荷重強度 試驗을 施行한 結果중 天安試料에 대한 結果가 그림 3. 3이다.²²⁾ 이때 拘束應力과

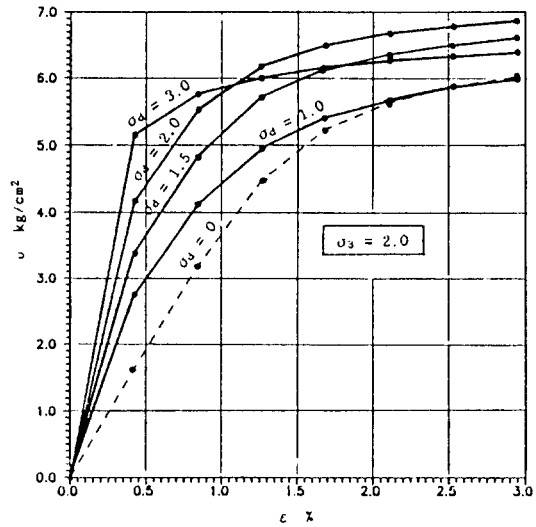


그림 3. 3 天安試料의 $\sigma - \epsilon$ 關係

反復荷重應力의 組合은 表 2. 2와 같고 11,000回 以上の 反復荷重을 載除荷하였다. 그림 3. 3에 있어서 點線은 反復荷重을 받기 前의 供試體의 強度試驗에서 얻은 應力-變形度 曲線으로서 그 頂點이 最大強度 즉 靜荷重強度 (S_s)이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 拘束應力의 增加에 따라 (參考文獻 22 附錄 參照) 또 反復荷重應力의 增加에 따라 初期接線의 기울기가 增加한다. 이것은 供試體가 큰 拘束應力을 받을수록 또 큰 反復荷重應力을 받을수록 더 많은 다짐이 進行되어 彈性的性質을 나타내는 區間이 增加되는 것으로서 Bowles²⁾의 理論과 잘 一致한다. 拘束應力이 다른 경우의 應力-變形度關係도 이와 비슷하다.^{21), 22)}

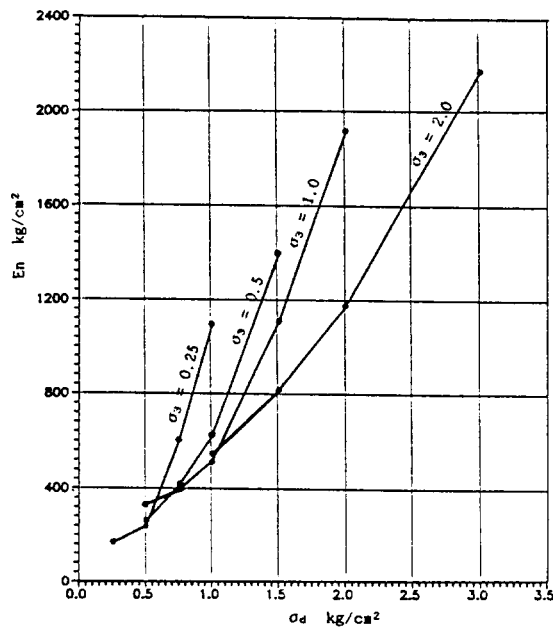


그림 3.4 天安試料의 $\sigma_d - E_n$ 關係

그림의 각 應力-變形度 曲線에서 原點과 最大強度의 1/2되는 點을 잇는 直線의 기울기를 變形係數(切弦係數)로 하고 反復荷重을 받기 前의 供試體의 變形係數를 E_s 로 表記하고 反復荷重을 받은 後의 變形係數를 E_n 로 表記하여 그 關係를 考察하면 다음과 같다. 그림 3.4는 反復荷重을 받은 天安試料의 變形係數와 反復荷重應力과의 關係($E_n - \sigma_d$)를 나타낸 것이고 그림 3.5는 天安試料가 反復荷重을 받았을 때와 反復荷重을 받지 않았을 때의 變形係數의 比와 反復荷重應力과의 關係($E_n/E_s - \sigma_d$)를 나타낸 것이다.

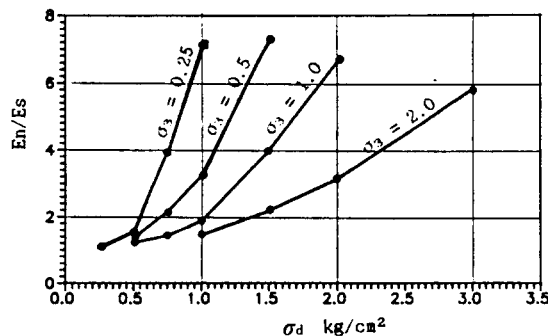


그림 3.5 天安試料의 $\sigma_d - E_n/E_s$ 關係

그림 3.5의 $E_n/E_s - \sigma_d$ 의 關係에서 標準化의 要素(normalizing factor)로서 反復荷重을 받지 않은 供試體의 最大強度 즉 靜荷重強度(S_s)의 使用을 試圖하였다. 天安試料의 σ_d/S_s 와 E_n/E_s 의 關係는 그림 3.6에 나타난 바와 같이 어떤 線形으로 分布된다. 이 點들의 適合 曲線式을 식(3.2)와 같은 形式으로 나타내고 係數 m 및 n 을 最少自乘法으로 구하면 33.67과 2.55가 된다. 安養, 利川 및 서울試料의 試驗 結果도 天安試料와 같은 傾向을 나타내는 바 各試料의 係數는 表 3.2와 같다.

$$E_n/E_s = m (\sigma_d/S_s)^n + 1 \quad (3.2)$$

表 3.2 各試料의 係數(m, n)

| | m | n |
|------|-------|------|
| (A) | 15.03 | 1.82 |
| (I) | 17.34 | 1.98 |
| (S) | 14.32 | 2.06 |
| (C) | 33.67 | 2.55 |
| (平均) | 20.09 | 2.10 |

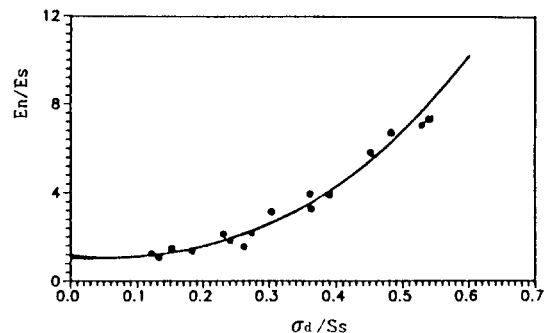


그림 3.6 天安試料의 $\sigma_d/S_s - E_n/E_s$ 關係

式(3.2)를 利用하면 拘束應力에 關係 없이 中部地域 花崗岩 風化土가 많은 回數의 反復荷重을 받아 그 變形이 最終 平衡值에 收斂되었을 때의 變形係數를 靜荷重強度와 靜荷重 變形係數로 부터 推算할 수 있으리라고 思料된다.

3.3 平衡狀態에서의 強度

花崗岩 風化土가 여러가지 크기의 拘束應力

하에서 反復荷重을 받아 그 變形이 最終 均衡值에 到達하였을 때의 強度를 考察하기 위하여 表 2. 2의 應力組合과 같은 拘束應力하에서 反復荷重을 11,000회 이상 載除荷한 후 靜荷重強度 試驗을 遂行하였다. 그림 3. 7은 利川試料의 平衡狀態에서의 強度와 反復荷重應力과의 關係이다. 그림 3. 7에 나타난 바와 같이 平衡狀態에

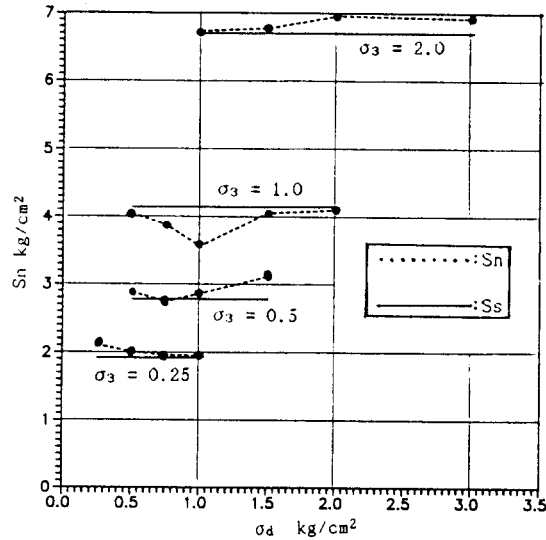


그림 3.7 利川試料의 關係

서의 強度는 靜荷重強度와 비슷하고 反復荷重應力の 增減에 따라 特定한 性向의 變化를 하지 않는다. 安養, 서울 및 天安試料의 試驗 結果도 이와 비슷한 性向이었다. 本 試驗에 使用된 反復荷重應力은 靜荷重強度의 10-70% 範圍였는 바 反復荷重應力の 크기가 이 範圍일때 反復荷重應力の 크기는 平衡狀態의 強度에 큰 影響을 미치지 않는다고 思料된다.

3.4 異方으로 載荷된 試料의 平衡狀態에서의 永久變形

等方應力狀態가 아닌 異方應力狀態에서 反復荷重을 받아 그 變形이 最終 平衡值에 到達하였을 때의 永久變形을 考察하기 위하여 安養試料의 供試體를 橫方向土壓係數가 $K=1$ 인 等方應力狀態외에 $K=0.85$, $K=0.7$ 및 $K=0.55$ 등의 異方應力狀態에서 各기 다른 여러가지 크기

의 反復荷重을 11,000회 이상 載除荷시켜 永久變形이 最終平衡值에 收斂되었다고 思料될 때의 永久變形을 測定하였다. 이때 拘束應力은 모두 1.0 kg/cm^2 이었다. 그림 3. 8은 이 結果의 反復荷重應力과 永久變形度와의 關係이며 橫方向土壓係數 (K)의 影響이 잘 나타나있다. 그림 3. 8에 나타나 있는 바와 같이 K 값이 작아질수록 같은 反復荷重應力에서 永久變形의 發生은 적어진다. 이것은 反復荷重이 作用하기 前 異方壓縮에 의하여 이미 縱方向의 다짐效果(變形)가 발생되었음을 뜻한다.

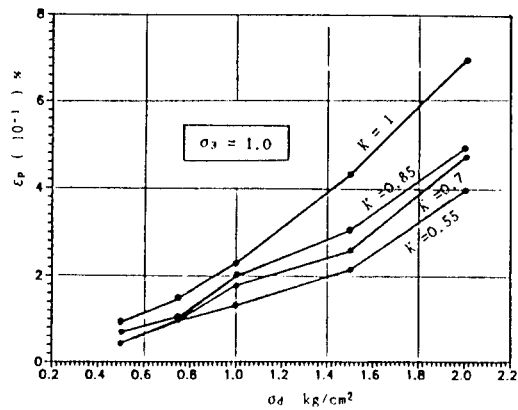


그림 3.8 異方應力狀態에서 安養試料의 $\sigma_d - \epsilon_p$ 關係

本 研究에서는 橫方向土壓係數를 標準化의 要素로 使用함을 試圖하였다. 즉, 永久變形率을 橫方向土壓係數로 나눔으로서 橫方向土壓係數의 影響을 消去하였다. 橫軸에 反復荷重應力을 잡고 縱軸에 永久變形率을 橫方向土壓係數로 나눈 값을 잡아 그 關係를 圖表化하면 그 點들은 그림 3. 9와 같이 어떤 線形으로 分布된다. 이 點들의 適合曲線을 最少自乘法으로 구하면 다음과 같이 된다.

$$\epsilon_p / K = 2.25 \sigma_d^{1.50} \quad (3.3)$$

式(3.3)을 利用하면 安養試料의 供試體가 各기 다른 異方應力으로 壓縮된 後 拘束應力이 1.0 kg/cm^2 에서 많은 回數의 反復荷重을 받아

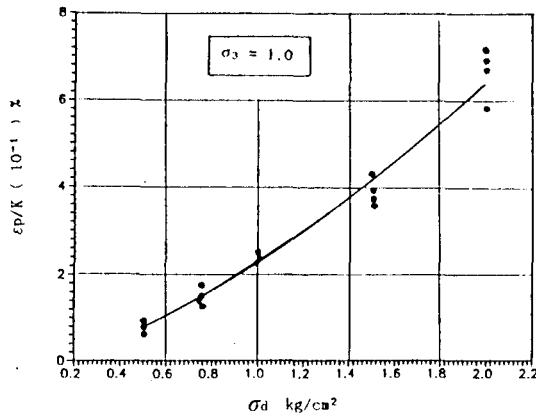


그림 3.9 異方應力狀態에서의 安養試料의 σ_d kg/cm² 關係

그 永久變形이 最終 平衡值에 收斂되었을 때의 永久變形을 推定할 수 있으리라고 思料된다.

4. 結 論

中部地域 花崗岩 風化土가 充分히 많은 回數의 反復荷重을 받아 그 永久變形이 最終平衡狀態에 到達하였을 때의 強度定數를 구하고, 이들을 靜荷重試驗의 結果로부터 推定하기 위하여 遂行한 實驗의 結果를 綜合하면 다음과 같다.

1) 平衡狀態에서의 永久變形은 反復荷重應力 및 反復荷重을 받지 않은 경우의 靜荷重強度로부터 推定할 수 있으며 이들의 關係는 指數函數의 形態로 나타낼 수 있다.

2) 平衡狀態에서의 變形係數는 反復荷重應力, 反復荷重을 받지 않은 경우의 靜荷重強度 및 靜荷重變形係數로부터 推定할 수 있으며 이들 역시 指數函數의 關係에 있다.

3) 反復荷重應力이 靜荷重強度의 10%~70% 範圍일 때 平衡狀態에서의 強度는 反復荷重應力の 크기에 큰 影響을 받지 않고 靜荷重強度와 비슷하다.

4) 異方應力으로 壓縮된 試料의 平衡狀態에서의 永久變形은 反復荷重應力 및 橫方向土壓係數에 支配된다.

參考文獻

- Baladi, G. Y. "Soil Behavior under Dynamic Loadings," Int. Conf. Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics, Vol. 1, 1981, pp. 192~133.
- Bowles, J. E. "Physical and Geotechnical Properties of Soil," McGraw-Hill Book. New York. 1984, pp.476~497.
- Brickman, A. M. "An Overview of Resilient Modulus Test System," Workshop on Resilient Modulus Testing, Oregon State University, Corvallis, Oregon. March, 1989.
- Cardoso, S. H. "Resilient Modulus Predictive Equation Based on Permanent Deformation Test," Proceeding of the Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Vol. 1, pp. 21~23, Rio De Janeiro, August, 1989.
- Dwight A. Sangray, "Peak Strength of Clay Soils after a Repeated Loading History," Proc. of Int. Symp. on Soil under Cyclic and Transient Loading, Swansea. Rotterdam Vol. 1, pp.421~430. 1980.
- Hain, S. J. "An Application of Cyclic Triaxial Testing to Field Model Tests," Int. Symp. on Soil under Cyclic and Transient Loading, Swansea, Rotterdam, Vol. 1, pp. 23~31. 1980.
- Kavazanjian, Jr. "Estimating Dynamic Properties from Static Tests," Int. Conf. Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics, Vol. 1, pp. 3~6. 1981.
- Lentz, R. W. et.al. "Simplified Procedure to characterize Permanent strain in Sand subjected to Cyclic Loading," Proc. Symp. on Soil under Cyclic and Transient Loading, Swansea, Rotterdam, Vol. 1, pp. 23~31. 1980.
- McVay, M. and Taesiri, Y. "Cyclic Behavior of Pavement Base Materials," Jour. of Geotech. Eng. ASCE. Vol. III, No. 1, pp. 1~17. 1985.
- Ramamurthy, C. P. et.al. "Mechanical Re-

- response of Cement Stabilized Soil under Repeated Triaxial Loading," Proc. Int. Symp. on Soil under Cyclic and Transient Loading, Swansea. Rotterdam. Vol. 1, pp. 187~199. 1980.
11. Richart, F. E. Jr. et.al. "Vibration of Soil and Foundation," Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 171. 1969.
 12. Robert, K. H. Ho, "Repeated Load Tests on untreated Soils a Florida Experience," Workshop on Resilient Modulus Testing, Oregon State University Corvallis, Oregon, March, 1989.
 13. Rosenfarb, J. L. "The Cyclic Loading Behavior of Grouted Sand," Int. Conf. Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dynamics, Vol. 1, pp. 81~86. 1981.
 14. Shosuke, T. et.al. "Cyclic undrained Triaxial Strength of Sand by a Cooperative Test Program," Jap. Soils and Foundations Vol. 26, No.3, pp. 117~128. 1986.
 15. Stephen, F. Brown. "Repeated Load Testing of a Granular Materials" Jour. GED. ASCE. Vol. 100, No. GT. 7, pp. 825~841. 1974.
 16. Tatsuoka, F. et.al. "Cyclic undrained Triaxial and Torsional Shear Strength of Sand for Different Sample Preparation Method," Jap. Soils and Foundation, Vol. 26. No. 3, pp. 23~41 / 1986.
 17. Thompson, E. J. "Factors affecting the Resilient Moduli of Soils and Granular Materials," Workshop on Resilient Modulus Testing, Oregon State University, Corvallis, March, 1989.
 18. Yoder, E. J. and Witczak, M. W. "Principle of Pavements Design." Second Edition, John Wiley and Son Publishing Company, Nwe York. 1975.
 19. 建設部, "道路鋪裝構造設計 指針書," 1988.
cf. "Guide for Design of Pavement Structure," AASHTO. 1986
cf. "Interim Guide for Design of Pavement Structure," AASHTO. 1972, 1981.
 20. 建設技術研究院, "道路鋪裝設計法 比較研究," 1988.
 21. 李鍾珪, 金周漢, "花崗岩風化土의 動彈性係數에 관한 研究,"
大韓土質工學會誌, 第 6 卷, 第 1 號, pp. 35-42. 1990.
 22. 李鍾珪, 金周漢, "反復荷重을 받는 花崗岩 風化土의 應力-變形度 舉動" 檀國大學校 博士學位論文 1991.

(접수일자 1991. 6. 10)