

# 補強土擁壁에 대한 模型實驗

## Model Test of Reinforced Earth Retaining Walls

秦 柄 益\*

Jin, Byung-Ik

柳 然 吉\*\*

Ryu, Yurn-Geer

---

### ABSTRACT

An experimental study was carried out in the laboratory on a model of a reinforced earth retaining wall to provide the empirical data for the rational design and the construction methods on a reinforced earth retaining wall.

Observed measurements included the variation of tension in the aluminium foil reinforcing strips was monitored by electrical resistance strain gauges pasted on its at different stages of construction. In addition, the lateral movement of the wall was measured by dial gauges and the mode of collapse of the wall was investigated.

The measured values are discussed in comparison with the results of the existing studies of the reinforced earth retaining wall.

A significant result of the experiments is that the variation of tension in reinforcing strips is non-linear with the maximum tension occurring close to wall face. Attachment of reinforcement to wall increases the stability against overturning.

### 要 旨

補強土擁壁에 대한 合理的인 設計 및 施工方法에 관한 經驗的인 資料를 提供하기 위하여 室內 模型實驗이 實施되었다.

本 模型實驗에서는 各 築造 段階에서의 補強材의 引張力 變化를 補強材上에 附着된 스트레인 게이지에 의하여 計測되었다. 또한 다이알 게이지에 의하여 補強土擁壁의 水平移動이 測定되었고, 壁體의 崩壞形態가 調査되었다.

模型實驗에서 測定된 값들은 補強土擁壁에 대한 既存 研究 結果와 比較·論議하였다.

本 模型實驗의 重要한 結果는 補強材의 引張力이 壁面가까이에서 最大가 되어 非線形的으로 變化하며, 壁體에 連結된 補強材가 轉倒에 대한 安定성을 增加시킨다.

---

\* 正會員：漢陽大學校 教授

\*\* 正會員：漢陽大學校 大學院 博士課程

## 1. 序 論

흙을 補強하는 方法은 引張力, 壓縮力, 剪斷力, 휨력 등에 抵抗할 수 있는 要素를 흙 속에 넣어 變形이나 破壞 등에 抵抗하여 흙의 性質을 改善하는 方法이 大部分이다. (7, 22, 24, 28)

이들 흙의 補強方法 중에서 흙 속에 引張력이 큰 스트립(Strip) 模樣的 補強材를 넣어 흙과 補強材 사이의 相互 摩擦作用에 의하여 內的으로 安定시킨 것을 補強土라 한다. 補強土는 프랑스語로 Terre Armée로 表記하며, Terre란 흙을 意味하고 Armée란 補強한다는 뜻이다. 英語로는 Reinforced Earth라 하며, 日本과 우리나라에서는 補強土 또는 強化土라 한다. 또한 補強土의 原理를 土留構造物의 築造에 利用한 것을 補強土擁壁(Reinforced earth retaining wall)이라 한다.

補強土擁壁은 前面板(Skin), 補強材, 뒷채움 흙, 前面板과 補強材의 連結部로 構成되어 있다. 外觀上 補強土擁壁은 從來의 鐵筋콘크리트 擁壁이나 石築 또는 블록擁壁과 類似하나 設計 및 施工方法, 安定機構 등이 전혀 다르다. 補強土擁壁의 土壓에 抵抗하는 基本的인 原理는 뒷채움 흙과 補強材 사이의 摩擦力이다. 一般的으로 뒷채움 흙은 內部摩擦角이 큰 非粘性土가 사용되며 前面板은 補強材를 固定시키고 흙이 흘러 내리는 것을 防止하는 役割을 한다.

補強土工法은 프랑스의 Vidal(1963)<sup>31, 32</sup>이 처음으로 開發하여 特許를 取得한 後 프랑스의 LCPC에서 本格的으로 그 利用에 관한 研究가 始作되었다. 그 後 美國, 英國, 日本 등 世界各國에서 이와 類似한 研究가 活潑히 進行되었으며, 또한 補強土工法에 관한 國際 심포지움<sup>20</sup>이 열렸다. 이와 같은 研究結果 補強土工法의 原理를 利用한 各種 土木構造物이 相當數 築造되었으며, 특히 土留構造物의 築造에 많이 利用되었다. (10, 17, 23, 30)

우리 나라에서는 補強土工法의 原理를 利用한 補強石築에 대한 模型實驗<sup>1)</sup>과 補強土工法에 관한 研究<sup>2)</sup>가 發表된 바 있다. 그러나 이 工法에 관한 認識의 不足과 特許관계로 몇 군데에 試驗

施工한 補強土擁壁에 관한 施工報告書<sup>3, 4)</sup>가 있을 뿐이다.

지금까지 補強土擁壁에 관한 研究<sup>5, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 25, 27, 29, 32)</sup>는 理論式 및 模型實驗, 現場의 原型實驗 등을 통하여 이루어져 왔으나 Composite model에 의한 補強土擁壁의 舉動問題가 完全히 究明되지 않고 있다.

本 論文에서는 模型 補強土擁壁內的 補強材上에 Strain gauge를 附着하여 補強材의 引張力을 計測하였으며, 이 計測한 結果에 의하여 補強土擁壁의 內部 舉動特性을 分析하였다. 또한 壁體의 水平移動과 崩壞形態도 調査하였다.

## 2. 模型實驗

### 2.1. 使用材料

本 模型實驗에 使用한 各 材料는 前面板과 補強材, 뒷채움 흙 및 前面板과 補強材의 連結部로 그 性質은 다음과 같다.

#### 2.1.1 前面板

前面板은 5×5×5 cm 크기의 Cement mortar block을 實驗室에서 製作하여 使用하였으며, Block의 平均單位重量은 1.73 g/cm<sup>3</sup>이다. 여기서 模型 補強土擁壁의 崩壞 樣相을 觀察하기 위하여 Block의 各 面은 Grinder로 갈아서 平滑하게 하여 Block面에서의 摩擦을 적게 하였다.

그런데 模型實驗에서 前面板의 模樣과 크기는 實際 補強土擁壁의 原型을 縮小하여 使用하여야 하나, 그 縮小가 매우 어렵고 또한 鉛直으로 築造되고 있기 때문에 本 模型實驗에서는 Fig. 5(d)와 같이 選擇하였다.

#### 2.1.2 補強材

補強材는 原理的으로 引張力이 크고 適當한 摩擦係數와 耐蝕性을 갖는 板狀, 棒狀, 網狀, 帶狀의 模樣이 使用되며, 材質은 鋼板, 亞鉛鍍金鋼板, 合成纖維 등이 使用된다.

本 模型實驗에서는 比較的 材質이 均質하고 本 模型實驗에 적당한 引張強度와 摩擦係數를 가진 알루미늄薄板을 사용하였다. 補強材의 引張應力과 變形率 關係는 補強材 두께 약 0.05 mm의 것을 幅 1 cm, 길이 50 cm로 만들어 스트레인 게이지를 附着하고, 纖維引張強度試驗機

(Shimadzu Autograph Type S-500)를 사용하여測定하였다. 補强材의 引張應力과 變形率 曲線은 Fig. 1과 같다. 여기서 補强材의 引張破壞強度는 약  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 彈性係數는  $3,100 \text{ kg/cm}^2$ 임을 알 수 있다.

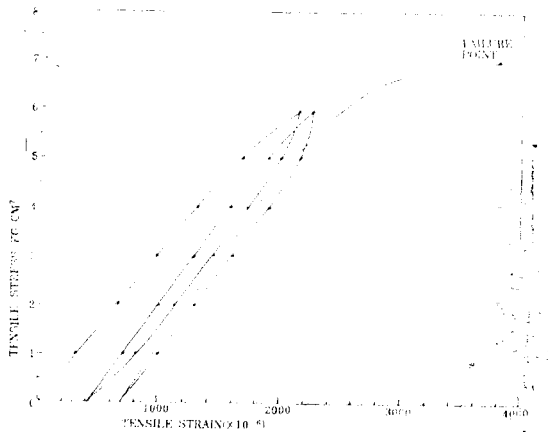


Fig. 1 Relationship between Tensile Stress-Strain Curve of Aluminium Foil Strips

### 2. 1. 3 珝채움 흙

補强土에 使用되는 흙은 原理的으로 모든 自然에 存在하는 흙 중에서 物理的·化學的으로 처리된 흙이 가능하지만, 실제로는 充分한 摩擦力이 생기는 모래, 자갈, 모래와 자갈의 混合, 碎石 등의 非粘性土가 主로 사용되며 粘性土의 利用<sup>19,20)</sup>에 관한 研究도 進行되고 있다.

本 模型實驗에서는 補强土의 原理에 가장 接近하기 위하여 漢江의 모래를 No. 4 號로 사용하여 물로 깨끗이 씻고, 2週 동안 室內에서 空氣 乾燥시켰다.

本 實驗에 사용된 모래의 性質과 實驗條件은 Table. 1과 같고 粒徑加積曲線은 Fig. 2와 같다.

Table 1. Soil Properties of Backfill Sand in Model Test

| Coefficient of Uniformity | Specific Gravity | Void Ratio | Relative Density | Unit Weight (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|------------------|------------|------------------|----------------------------------|
| 3.0                       | 2.65             | $e_{max}$  | 0.176            | $\gamma_{dmax}$                  |
|                           |                  | $e_{test}$ |                  | $\gamma_{dtest}$                 |
|                           |                  | $e_{min}$  |                  | $\gamma_{dmin}$                  |
|                           |                  | 0.902      |                  | 1.79                             |
|                           |                  | 0.827      |                  | 1.45                             |
|                           |                  | 0.477      |                  | 1.39                             |

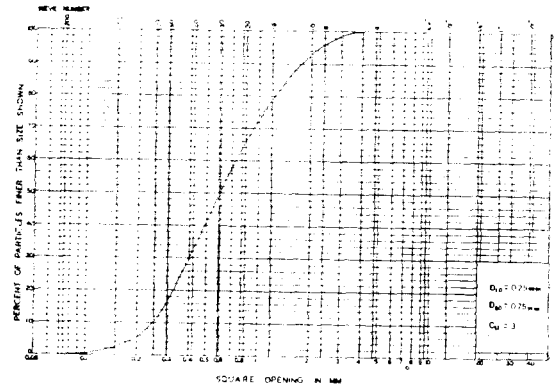


Fig. 2 Particle Size Accumulation Curve of Sand Used in Model Test

또한 本 模型 實驗條件과 같은 느슨한 狀態의 낮은 垂直應力下에서 一面剪斷試驗機를 使用하여 測定한 空氣 乾燥시킨 모래의 内部摩擦角과

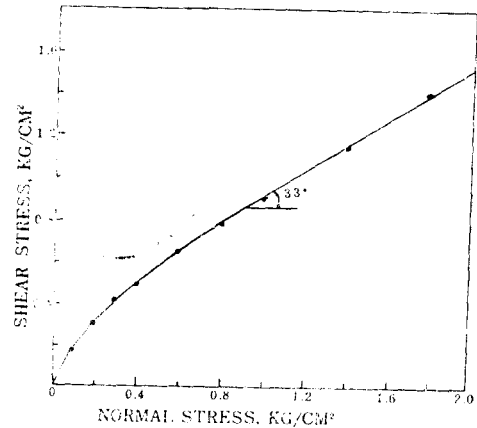


Fig. 3 Results of Direct Shear Test for Backfill Air-Dried Sand Under Low Normal Stress.

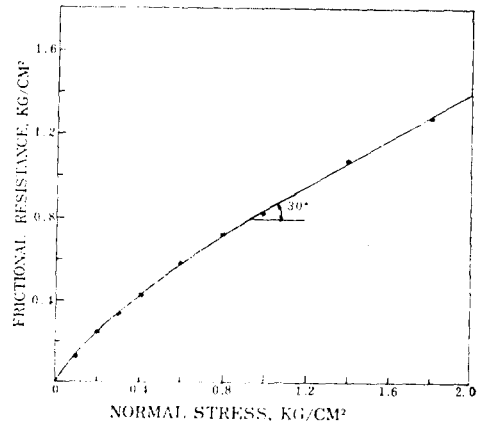


Fig. 4 Friction Resistance between Aluminium Foil and Backfill Air-Dried Sand Under Low Normal Stress.

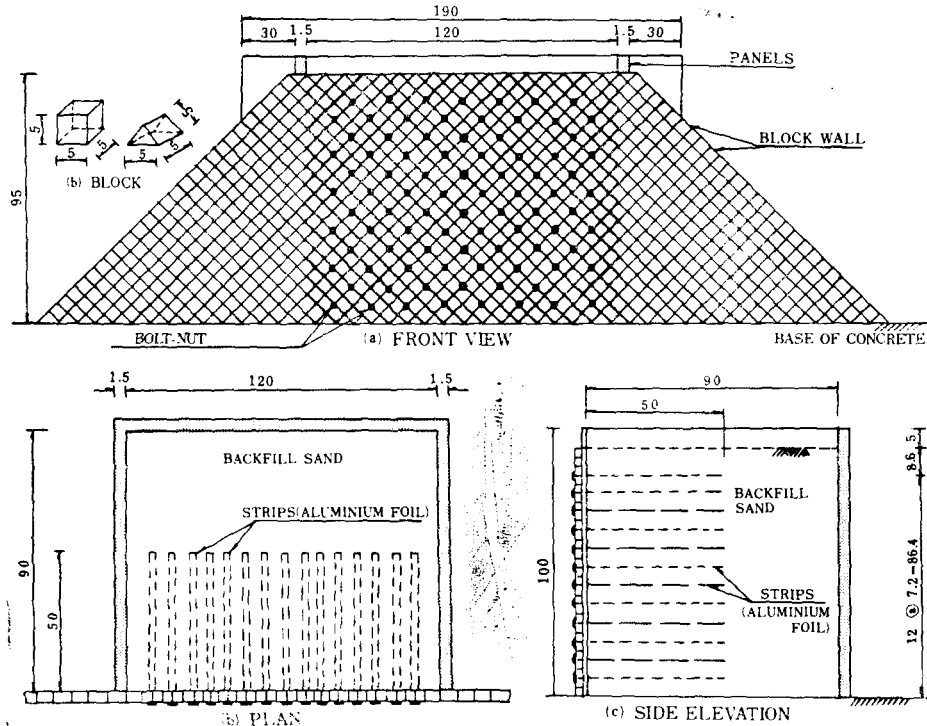


Fig. 5 Model Test Apparatus of Reinforced Earth Walls, Cm

모래와 補强材 사이의 摩擦角은 Fig. 3 및 4와 같다.

#### 2.1.4 前面板과 補强材의 連結部

前面板과 補强材의 連結部는 Fig. 6과 같이 製作하여 사용하였다.

#### 2.2 實驗裝置 및 測定器具

模型 補强土擁壁의 크기는 破壞面의 位置, 補强材의 配置間隔 및 길이, 作業量, 側面摩擦(Side friction)의 影響<sup>13)</sup> 등을 고려하여 Fig. 5와 같이 擇하였다. 模型의 크기는 幅 120 cm, 길이 90 cm, 높이 100 cm로 두께가 1.5 cm인 板材를 사용하여 견고히 만들었다.

補强土擁壁內의 補强材에 생기는 引張應力과 變形量은 日本의 Shinkok 會社의 Static Strain Meter와 Swiching and Balancing Box를 사용하여 測定하였다. 또한 補强材에 附着하여 사용한 Strain gage는 型式이 KFC-5-C1-11, Gage 길이 5 mm, 抵抗 120 Ω(ohms), Gage factor 2.12±1%인 Kyowa 製品을 사용하였다.

#### 2.3 實驗方法

模型實驗에 앞서 本 模型實驗에 사용된 Block의 크기의 영향을 알기 위하여 補强材를 넣지 않고 뒷채움 모래를 조심스럽게 부어 다지지 않은 상태에서 Block 擁壁을 쌓았을 경우 崩壞 높이와 破壞樣相을 觀察한 結果, 築造 높이 약 25.2 cm에서 擁壁 底面 先端을 回轉 中心으로 하여 순간적으로 崩壞되었다.

補强土擁壁에서는 補强材의 幅과 길이 및 配置間隔에 따라 補强效果가 달라질 것이 예상되며, 補强材의 幅이 크고 길이가 길수록 配置間隔이 좁을수록 補强效果가 클 것으로 예상된다.

本 模型 補强土擁壁은 콘크리트 바닥면 위에 Fig. 5와 같이 다름포말로 하여 모르터를 바르지 않고 鉛直으로 쌓았다.

補强材는 垂直 7.2 cm, 水平 14.4 cm의 間隔으로 配置하였다. 補强材의 引張力을 計測하기 위하여 Fig. 5와 같이 Strain gage를 附着하고 溫度와 濕度의 영향을 제거할 수 있는 接着劑를

얇게 받았다. 그리고 側面摩擦(Side friction)의 영향을 고려하여 Strain gauge가 附着된 2種의 補强材를 擁壁 中央部에 水平하게 깔기 위하여 세심한 注意를 하였으며 모래면을 잘 고른 다음 端部를 약간 잡아당겨 모래를 조심스럽게 부어 다지지 않고 厚度 約 7.2 cm 쌓았을 때마다 補强材의 變形을 測定하였다. 여기서 模型 實驗裝置 內部的 兩側面은 비닐을 사용하여 防止 側面摩擦을 될 수 있는 한 적게 하였다.

또한 Stress Level이 낮은 模型實驗에서 strain gage에 연결된 wire가 內部舉動에 영향을 미칠 것으로 예상되나 本 模型 實驗에서는 고려하지 않았다.

壁體의 移動과 水平變位는 다이알 게이지를 壁 中央部の 前面에 設置하여 測定하였다.

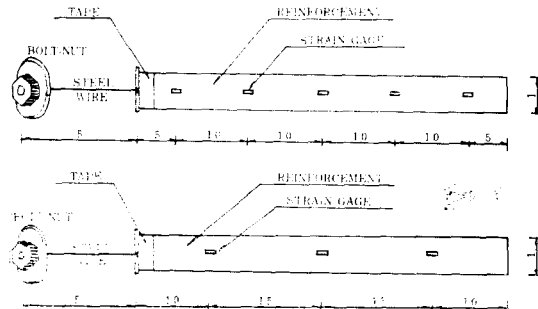


Fig. 6 Schematic Showing Location of Strain Gage on the Aluminium Foil Reinforcing Strips, Cm

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 흙과 補强材의 摩擦

補强土擁壁이 內部的으로 安定하기 위해서는 흙과 補强材 사이에는 充分한 摩擦力이 생겨야 한다. 즉 흙과 補强材의 摩擦係數는 土壓에 대한 補强材의 抵抗力算定 및 安定檢討에 매우 重要한 設計 要素이다. 또한 補强土擁壁의 設計에 있어서 摩擦係數는 補强材上的 平均 垂直應力에 대해 發生한 最大剪斷應力의 比로 表示되는 結果기 摩擦係數(Apparent friction coefficient,  $f^*$ )<sup>28)</sup>가 사용된다. 이 摩擦係數를 구하기 위한 實驗方法<sup>24), 28)</sup>은 直接剪斷試驗과 引拔試驗(Pull-out test) 등의 方法이 사용되는데, 이들 두 試驗方

法中 引拔試驗이 實際 構造物의 條件과 비슷하고 直接剪斷試驗에 비해 더 正確한 摩擦係數를 얻을 수 있다. 그러나 試驗方法이 간단하지 않아 一般的으로 直接剪斷試驗에 의하여 求한 값이 設計에 많이 利用되고 있다.

本 模型實驗에 사용된 補强材와 모래 사이의 摩擦角은 느슨한 상태의 모래를 낮은 垂直應力下에서 測定된 것으로 Fig. 3 및 4에서 보는 바와 같이 모래의 內部摩擦角보다 작게 나타나고 있다. 實驗後 알루미늄 薄板의 表面을 調査한 結果 水平變位의 方向으로 無數한 線이 보였다. 이것은 剪斷時 體積變化 등에 의하여 土粒子가 알루미늄 薄板의 表面을 滑動하였다고 생각된다. 또한 垂直應力이 增加함에 따라 알루미늄 薄板의 表面은 剪斷抵抗에 의하여 一部分이 구멍이 난 곳과 금이 간 것이 觀察되었다. 이와 같은 現象은 剪斷抵抗時 粒子가 回轉과 滑動의 조합으로 粒子面의 Interlocking에 의한 것이라 생각된다. 島田,<sup>5)</sup> 石堂,<sup>6)</sup> Alimi,<sup>9)</sup> Potyondy<sup>26)</sup> 등의 實驗結果에 의하면 흙과 콘크리트, 鐵板, 木材 등의 建設材 사이의 摩擦角은 흙의 內部摩擦角보다 작으며, 흙의 含水比, 密度, 建設材의 表面狀態, 材種 등에 의하여 영향을 받는다고 報告되어 있다. 특히 含水比가 增加하면 흙과 建設材 사이에는 半潤滑作用으로 摩擦抵抗이 減少된다. 이것은 水量의 영향보다 水膜(Thin films of water)에 의한 것이라 하였다. 따라서 흙과 補强材 사이의 摩擦抵抗을 增加시키기 위해서는 補强材의 表面을 凹凸로 加工하여 사용할 必要가 있다고 보며, 이에 의하여 補强材의 所要 斷面積이 작아져 經濟的인 補强土 構造物이 築造될 수 있다.

Fig. 3과 4의 實驗結果에서 垂直應力이 작은 初期 部分에서는 曲線으로 나타나고 있다. 이러한 事實은 垂直荷重의 크기와 密度의 크기에 따라 剪斷變形의 過程에서 모래의 Dilatancy 現象에 관계되는 것으로 생각된다. 특히 낮은 垂直應力下에서는 흙의 內部摩擦角이 크게 나오며, 이 實驗結果는 Hansen<sup>18)</sup>의 實驗結果와도 잘 一致한다. Beer<sup>11)</sup>에 의하면 모래의 剪斷特性은 모래의 密度에 매우 敏感하고 平均垂直應力의 값에 따라서도 變한다. 그런데 平均垂直應力의 값을 매우 적게 하여 剪斷試驗한 結果를 模型의

크기가 작은 實驗의 解析에 사용하는 것은 問題가 있다고 하였다.

따라서 補强土擁壁의 設計 및 安定解析에 剪斷實驗의 結果를 사용할 경우 初期 曲線部分의 값을 擇한다는 것은 매우 위험한 일이며, 그 값의 선택에 慎重을 期해야 할 것이다. 또한 大型의 剪斷箱子를 사용하여 直接剪斷試驗을 한 경우의 값을 利用하는 것이 實際와 거의 같은 結果를 얻을 것이라 생각된다.

### 3.2 補强材의 引張應力과 變形

補强土에서 흙과 補强材間의 摩擦作用으로 인한 補强材에 생기는 引張 抵抗力을 理論적으로 正確히 구하기는 어렵다.

Fig. 7은 補强土擁壁 底面에서 14.4 cm 에 位置한 補强材에 생기는 引張應力을 盛土 높이에 따라 測定한 例를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 補强材의 引張應力은 盛土 높이가 增加함에 따라 각각의 Strain gauge가 位置하는 곳에 생기는 引張應力은 거의 直線의 增加한다. 또한 어느 높이에 이르러서는 引張應力의 增加가 鈍化되었다가 다시 增加하고 있다. 이와 같은 事實은 補强材가 盛土 높이가 增加함에 따라 滑動에 抵抗하는 힘이 弱화되어 補强材에 생기는 引張應力은 減少하는 것으로 推定된다. 또한 引張應力의 增加 鈍化現象은 補强材의 滑動으로 補强土擁壁이 破壞가 일어날 것이다.

따라서 補强土 構造物의 設計에 있어서 補强材의 附着缺陷으로 인한 破壞에 관계되는 흙과 補强材 사이의 摩擦係數는 매우 重要한 設計要素이므로 正確한 測定과 뒷채움 흙의 充分한 다

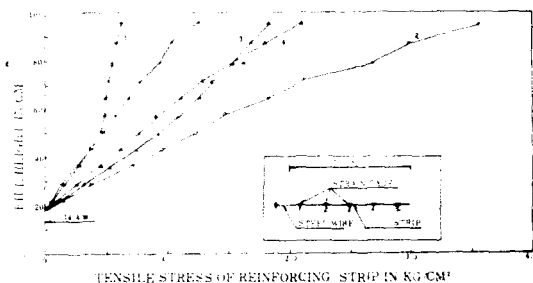


Fig. 7 Relationship between Fill Height and Tensile Stress in Aluminium Foil Reinforcing Strip at 14.4 cm

집이 要求된다.

Fig. 8과 9는 補强土擁壁 底面에서 14.4 cm 에 位置한 補强材에 생기는 引張應力과 變形 分布를 나타낸 例이다. Fig. 8에서도 盛土 높이가 增加함에 따라 補强材의 引張應力은 增加함을 알 수 있다. 또한 最大引張應力은 擁壁背面에서 約 15 cm 程度 떨어진 位置에서 생겼으며, 이 位置에서 兩端으로 向하여 非線形的으로 減少하고 있다. 이러한 要素는 最大引張應力이 생기는 位置에서 補强材의 引張破壞가 일어날 것이다.

따라서 補强土擁壁의 破壞樣相은 補强材의 滑動으로 인한 흙과 補强材의 附着缺陷에 의한 破壞와 補强材의 破斷으로 인한 引張破壞로 일어날 수 있다고 생각된다.

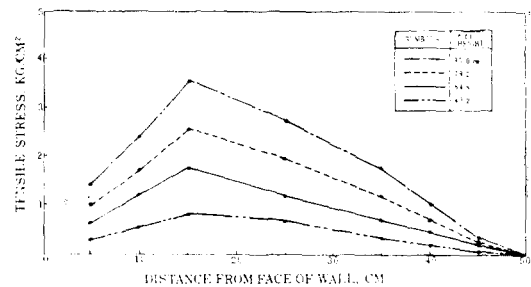


Fig. 8 Typical Examples of Distribution of Tensile Stress along the Aluminium Foil Reinforcing Strip at 14.4 cm

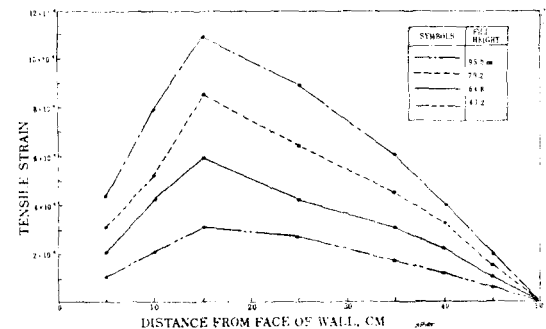


Fig. 9 Typical Examples of Distribution of Tensile Strain along the Aluminium Foil Reinforcing Strip at 14.4 cm

### 3.3 最大引張應力의 位置와 破壞面

흙 속에 補强材가 存在한다는 것은 보통 土質 構造物과는 달리 그 變形形態가 다르며, 또한

破壞面의 形態도 다를 것이다. 그것은 지금까지 이分野에 대한 模型 및 原型의 補強土擁壁에 대한 實驗結果에서 알 수 있으며, 補強材의 破斷으로 인한 實際 破壞面의 形態도 아직 統一된 見解가 不足한 實情이다.<sup>26)</sup>

Chang<sup>16)</sup>과 Schlosser<sup>27)</sup>의 補強土擁壁에 대한 模型實驗의 結果에 의하면 補強材上의 最大引張應力이 생기는 位置는 Tie Rod로 Anchor한 土留構造物과 달리 壁 背面에서 약간 떨어진 位置에서 생기며, 最大引張應力이 생기는 點이 假定한 Coulomb의 破壞面과 大略 일치한다고 하였다. 그러나 많은 室內 模型實驗과 實際 原型의 補強土擁壁<sup>12, 28)</sup>에서는 最大引張應力이 생기는 位置를 連結한 線은 直線이 아니고 螺旋으로 나타나며, 假定한 Coulomb 또는 Rankine의 破壞面과 一致하지 않는다고 報告되어 있다. 그리고 이 最大引張應力이 생기는 位置를 基準으로 補強材에 作用하는 剪斷應力의 方向은 反對이며, 이 位置에서 補強材의 引張에 抵抗하는 領域, 즉 抵抗領域과 壁面을 向하여 移動하려는 主動領域으로 나누어 設計하고 있다. 또한 最大引張應力點을 連結한 線은 壁上部에서는 壁面에서

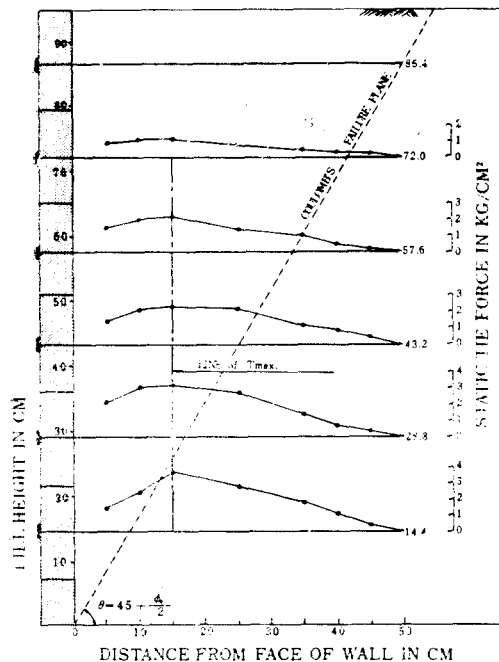


Fig. 10 Static Tie Forces Measured during Construction of Reinforced Earth Walls

大略 擁壁 높이 的 0.3 만큼 떨어진 位置에서 擁壁 높이 的  $\frac{1}{2}$  깊이까지 鉛直이고, 擁壁 높이 的  $\frac{1}{2}$  以上의 깊이에서는 破壞面과 水平面이 이루는 角은 約  $59^\circ$  의 角度로 이루는 直線으로 假定하여 設計한다.

Fig. 10은 模型 補強土擁壁의 築造 높이에 따라 각각의 補強材 位置에서 補強材上에 生기는 引張應力의 分布模樣을 나타낸 것이다.

本 實驗結果에서도 Coulomb의 破壞面과 最大引張應力이 생기는 位置를 連結한 線과는 一致하지 않았으며, 또한 이들을 連結한 線도 螺旋이 아니다. 이것은 補強土擁壁이 築造 높이가 增加함에 따라 一體性的 缺如로 壁體가 水平으로 移動하고, 이에 따라 補強材의 滑動이 일어났다고 생각된다. 一部 實驗結果에서도 擁壁 築造 높이고 補強材의 길이 的 比가 約 0.5 以下인 경우의 主動領域은 거의 直四角形의 形態로 나타난다고 報告되어 있다. 또한 最大引張應力이 生기는 位置를 連結한 線에 依하여 定義된 主動領域은 補強材의 長이가 築造높이에 비해 매우 작은 경우 좁아진다고 하였다.<sup>25)</sup>

따라서 剛性이 있는 壁體를 부여하기 위해서는 補強材의 配置間隔과 長이를 合理的으로 配置하고 뒷채움 흙의 充分한 다짐이 要求된다.

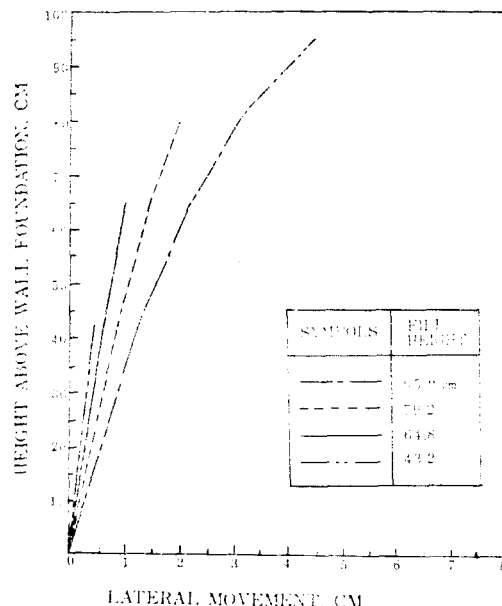


Fig. 11 Lateral Movements of Reinforced Earth Walls

### 3.4 壁體의 變位와 崩壞

土壓에 의한 壁體의 變位形態는 壁體의 剛性과 稜性에 따라 다르며, 또한 뒷채움 흙의 種類, 上載荷重의 有無와 種類, 다짐狀態와 方法, 含水狀態, 地盤條件, 壁面摩擦 등에 영향을 받는다.

Fig. 11은 補強土擁壁의 變位를 築造 높이에 따라 測定한 것을 나타낸 것이다. 本 模型 補強土擁壁의 壁體의 變位는 壁 頂部에서 築造 높이의 約 6~7%까지 進行되다가 壁體가 매우 不安하게 되어 一部 破壞가 일어났다. 여기서 模型 補強土 擁壁의 崩壞形態를 觀察한 結果, 壁 底面의 先端을 回轉 中心으로 轉倒되어 崩壞되었다.

따라서 模型 補強土擁壁의 뒷채움 흙이 砂質土인 경우 崩壞는 圓形 滑動에 의하여 일어나는 것이 아니고 轉倒에 의하여 일어남을 確認하였다.

## 4. 結 論

本 模型 補強土擁壁의 實驗에서 究明되지 않은 것은 많으나, 그 研究 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 補強土擁壁의 內部的 安定을 增大시키기 위해서는 補強材의 表面加工과 補強領域內의 補強材의 長이가 더 길어져야 한다.

(2) 補強土擁壁內의 補強材에 생기는 最大引張應力은 壁面에서 약간 떨어진 位置에 생기며, 兩端部를 向하여 非線形的으로 減少하여 分布한다.

(3) 壁體의 變位는 壁 頂部에서 높이의 約 6~7%까지 進行되다가 壁 底面 先端을 回轉中心으로 轉倒하여 崩壞되었다.

(4) 補強土擁壁內의 補強材上에 생기는 最大引張應力點을 連結한 線은 螺旋이 아니고 鉛直線이며, 또한 Coulomb 이나 Rankine 의 破壞面의 位置와 一致하지 않는다.

(5) 補強土擁壁의 舉動特性은 設計 및 施工方法에 매우 重要하므로 各種 條件에 따른 더 많은 實驗과 計劃이 必要하다.

## 參 考 文 獻

1. 鄭寅峻, 申永琦, 黃忠鉉, “補強石築에 대한 模型 實驗”, 大韓土木學會誌, 第23卷, 第3號, 1975, pp. 91~104.
2. 정인준, 강병희, 백영식, 이종규, 신광식, 조중재, “79년 보강토공법에 관한 연구”, 건설연구소 자료 No. 397, 건설부, 국립건설연구소, 1979, pp. 1~87.
3. 신광식, 도덕현, 강창구, “보강토공법연구”, 건설연구소 자료 No. 402, 건설부, 국립건설연구소, 1980, pp. 45~139.
4. 최내형, 강창성, 백상현, 김기태, “81 보강토공법 연구”, 건설연구소 자료 No. 421, 건설부, 국립건설연구소, 1981, pp. 74~121.
5. 島田俊介, 星谷勝, “テルアルメー(補強土工法)に於けるストリップと土との摩擦特性について”, 土木學會 第27回 年次學術講演會 講演概要集, 第3部, 日本土木學會 III-174, 10月 1972年, pp. 547~550.
6. 石堂稔, 閃直三郎, 野開日 明義, “壁面摩擦特性について”, 土木學會 第27回 年次學術講演會 講演概要集 第3部, 日本土木學會 III-117, 10月 1972年 pp. 369~372.
7. Andrawes, K.Z., McGown, A., Mashhour, M.M., and Wilson-Fahmy, R.F., “Tension Resistant Inclusions in Soils, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 106, No. GT12, Proc. Paper 15928, December, 1980, pp. 1313~1326.
8. Al-Hussaini, M. and Perry, E.B., “Field Experiment of Reinforced Earth Wall, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*. ASCE, Vol. 104, No. GT 3, Proc. Paper 13596, March, 1978, pp. 307~322.
9. Alimi, I., Bacot, J., Lareal, P., Long, R.T., and Schlosser, F., “Etude de l'Adhérence “Sol-Armature” (Adherence between Soil and Reinforcements),” *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol. 1, Session 1/3, 1977, pp. 11~14.
10. Bartos, M.J., “101 Uses for Earth Reinforcement.” *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 49, No. 1, January, 1979, pp. 51~57.



11. Beer, D.E., "Influence of the Mean Normal Stress on the Shearing Strength of Sand." *Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, Montreal, Canada, 1965, pp. 165~169.
12. Bolton, M.D. and Pang, P.L.R., "Collapse Limit States of Reinforced Earth Retaining Walls," *Geotechnique*, Vol. 32, No. 4, December, 1982, pp. 349~367.
13. Bransby, P.L., and Smith, I.A.A., "Side Friction in Model Retaining-Wall Experiments," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers Vol. 101, No. GT 7, Proc Paper 11447, July. 1975, pp. 615~633.
14. Broms, B.B., Schlosser, F., Floss, R., Tornaghi, R., Murray, R.T., Brady, K., and Carder, D.R., Discussion of "Design Parameters for Artificially Improved Soils," *Design Parameters in Geotechnical Engineering*, B.G.S., London. Vol. 4, Session 8, 1980, pp. 277~313.
15. Chang, J.C., Forsyth, R.A., and Beaton, J.L., "Performance of a Reinforced Earth Fill," *Transportation Research Record, No. 510*. Soil Mechanics Transportation Research Board. National Research Council. Washington. D.C., 1974, pp. 56~68.
16. Chang, J.C., and Forsyth, R.A., "Design and Field Behavior of Reinforced Earth Wall," *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 103, No. GT 7, Proc. Paper 13034, July. 1977, pp. 677~692.
17. Finlay, T.W. and Sutherland, H.B., "Field Measurements on a Reinforced Earth Wall at Granton," *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo, Vol. 1, Session 2/30, 1977, pp. 511~516.
18. Hansen, J.B., "Some Empirical Formulae for the Shear Strength of Molsand," *Proceeding of the Geotechnical Conference*. Oslo, Norway, Vol. 1, 1967, pp. 175~178.
19. Ingold, T.S., "A Laboratory Simulation of Reinforced Clay Walls," *Géotechnique*, Vol. 31, No. 3, September, 1981, pp. 399~412.
20. Ingold, T.S., "Reinforced Earth," Thomas Telford Ltd, London, 1982, pp. 1~141.
21. Lee, K.L., Adams, B.D., and Vagneron, J-M, J., "Reinforced Earth Retaining Walls." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 99, No. SM 10, Proc, paper 10068, Oct., 1973, pp. 745~764.
22. McGown, A., "Discussion Sessions 8 : Design Parameters for Artificially Improved Soils," *Design Parameters in Geotechnical Engineering*, BGS, London, Vol. 4, 1980, pp. 285~287.
23. Mitcheal, B.J., "Earth Reinforcement, New Methods and Uses," *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 49, No. 1, 1979 pp. 51~57.
24. Mitchell, J.K., "Soil Improvement-State-of-the-Art Report," *Proc., of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Vol. 4, Session 12, June, 1981, pp. 509~565.
25. Narain, J., Saran, S., and Talwar, D.V., "Laboratory Behaviour of a Reinforced Earth Wall," *Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Vol. 3, Session 12, June, 1981, pp. 753~756.
26. Potyondy, J.G., "Skin Friction between Various Soils and Construction Materials," *Géotechnique*, London, England, Vol. II, No. 4, Dec., 1961, pp. 339~353.
27. Schlosser, F. and Long, N-T., "Recent Results in French Research on Reinforced Earth," *Journal of the Construction Division*, ASCE, Vol. 100, No. CO 3, Proc, Paper 10800, March, 1974, pp. 223~237.
28. Schlosser, F., and Juran, I., "General Reports Design Parameters for Artificially Improved Soils," *Design Parameters in Geotechnical Engineering*, BGS, London, Vol. 5, Session 8, 1981, pp. 197~225.
29. Smith, A.K.C. and Bransby, P.L., Technical Notes of "The Failure of Reinforced Earth Walls by Overturning," *Géotechnique*, Vol. 26, No. 2, June, 1976, pp. 376~381.

30. Steiner, R.S., "Reinforced Earth Bridges Highway Sinkhole." *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 45, No. 7, July, 1975, pp. 54~56.
31. Vidal, H., "The Principle of Reinforced Earth," *Highway Research Record*, No. 282, 1969, pp. 1~16.
32. Vidal, H., "Reinforced Earth Steel Retaining Wall," *Civil Engineering*, ASCE, Vol. 40, No. 2, February, 1970, pp. 72~73.