

補强土의 舉動特性和 그 利用에 관한 開發研究

Development Study on the Behavior Characteristics and
the Application of Reinforced Earth

秦 柄 益*

Jin, Byung-Ik

柳 然 吉**

Ryu, Yearn-Gil

Abstract

The use of reinforced earth is not new. But available information on basic properties like strength and deformation behavior of reinforced earth materials is not adequate.

Therefore, the purpose of this present investigation is first to research the frictional characteristics of the reinforcement and standard sand using a shear testing apparatus. The second purpose of this articles are to report the results of comparison test on the strength and stress-strain behavior of a dry sand reinforced with aluminium foils and geotextiles under different confining pressures. Finally, the paper explores the possibility of geotextile reinforced earth masonry walls.

It was observed that the stress-strain response of sand are considerably improved by the introduction of geotextiles. The results of tests are used in developing the geotextile reinforced earth masonry walls.

It is hoped that this paper will be helpful in providing the basic data for the rational design and construction methods of reinforced earth structures.

要 旨

補强土의 利用은 새로운 것이 아니지만, 補强土 材料의 強度 및 應力—變形特性和 같은 性質에 관한 資料는 充分하지 못한 實情이다.

本 研究에서는 標準모래와 補强材사이의 摩擦特性和 알루미늄 薄板 및 土木纖維로 補强한 乾燥모래의 強度 및 應力—變形 舉動特성을 比較 試驗한 結果이다. 또한 補强土 性質을 利用한 土木纖維 補强土 石築의 開發 可能性을 調査하는데 있다.

土木纖維에 의하여 相當한 程度의 모래에 대한 應力—變形 舉動特性이 改善되었다. 그 結果 土木纖維 補强土 石築이 開發되었다.

本 研究 結果로 補强土 構造物의 合理的 設計 및 施工方法에 관한 基礎的 資料로 活用이 期待 된다.

* 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

補強土(Reinforced Earth)는 흙의 性質을 改善하기 위하여 흙 속에 引張強度가 큰 線形의 材料인 補強材와 非粘性土로 構成된 複合築造材料이다. 補強土에서의 基本的인 現象은 흙과 補強材의 摩擦을 통하여 흙은 土體內에 生기는 應力을 補強材에 傳播하며, 그 結果 補強材는 引張力이 生진다. 이 引張力으로 흙은 補強材의 配置方向에 補強材의 引張強度에 比例하는 粘着力을 갖는 것과 같은 效果를 얻는다. 또한 補強土는 柔軟性이 있을 뿐만 아니라 높은 引張強度를 가질 수 있어 마치 鐵筋이 콘크리트와 結合하여 새로운 性質의 材料로 登場한 것처럼 補強土의 性質을 잘 利用한다면 土木材料 分野에 劃期的인 技術 發展이 이룩될 수 있다고 생각된다.

補強土에 관한 研究는 Vidal²⁵⁾이 처음으로 開發한 以來, 1967年 프랑스의 LCPC^{16, 18, 24)}에서 理論的 및 實驗的 研究가 本格的으로 始作되었다. 그後 世界 各國에서 이 材料에 관한 研究가 活發히 進行되었고, 國際學術會議¹⁶⁾가 여러 차례에 걸쳐 열린바 있다. 그 結果 많은 補強土 構造物이 築造되고 있고, 또한 安定성과 經濟性 및 施工의 簡便性이 입증되어 그 사용이 날로 增加되고 있는 實情이다.

이러한 趨勢로 미루어 土質工學 分野에서 最新의 土木材料로 등장하게된 補強土는 土木技術 發展에 크게 기대되는 分野인 동시에 將次 研究

開發의 必要性이 絶실히 要求된다는 것을 立證하는 것이다.

그러나 國內에서는 이 材料에 관한 研究^{1~5)}가 매우 不足하다.

이에 本 研究에서는 補強土의 性質 중 가장 基本的이며 重要한 흙과 補強材사이의 摩擦特性과 補強土의 強度 및 應力-變形 舉動特性을 實驗的으로 調査하고, 그 性質을 利用한 補強土 補造物의 開發 可能性을 檢討하는데 있다. 特히 國內에서 生産 市販되고 있는 上木纖維(Geotextile)를 補強材로 利用한 補強土石築(Reinforced Earth Masonry Walls) 또는 補強土블럭擁壁(Reinforced Earth Block Walls)의 開發 研究의 可能性에 主眼點을 두었다.

本 研究의 계기로 補強土에 관한 研究와 利用이 活性化되고 各種 補強土 構造物의 合理的인 設計 計算 및 施工에 관한 基礎的인 資料로 活用以 期待된다.

2. 補強土의 基本理論

2.1 基本概念

흙 덩이가 應力을 받으면 壓縮 또는 引張變形이 生진다. 이러한 흙의 缺點을 補完하기 위하여 考案된 材料가 補強土이다.

補強土의 基本概念과 補強材의 役割은 Fig. 2.1과 같은 간단한 모델을 利用하여 說明할 수 있다. Fig. 2.1 (a)와 같이 補強하지 않은 半無限 土體(Semi-infinite Soil Mass)內的 한 要素에

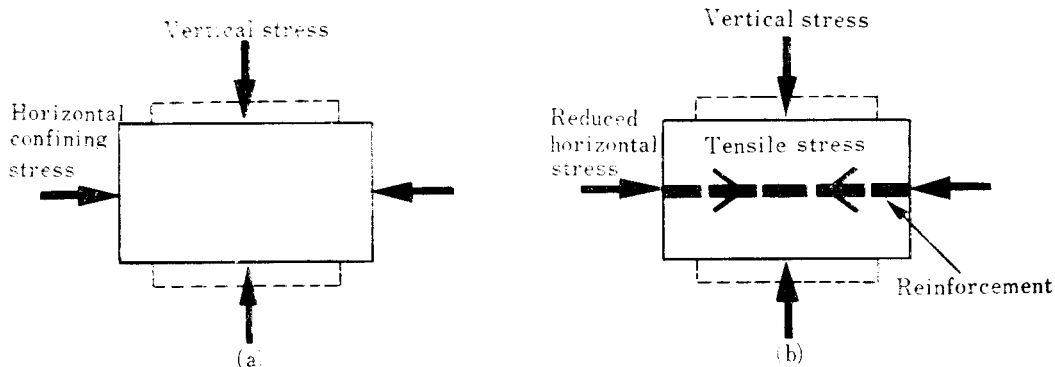


Fig. 2.1 Basic concepts of reinforced earth

垂直應력이 작용하면 이 垂直應力으로 半無限 土體는 橫方向으로 變形이 일어나게 되며, 이 半無限 土體가 橫方向으로 變形이 일어나지 않기 위해서는 半無限 土體 주위에 水平方向 應力이 作用해야 한다. 이 水平方向의 拘束應力의 크기는 半無限 土體가 橫方向으로 膨脹하는 것과 直接관계된다.

그러나, Fig. 2.1 (b)에서 보는바와 같이 Fig. 2.1 (a)와 같은 크기의 半無限 土體가 引張 伸度가 적은 補强要素를 水平하게 土體內에 設置하였을 경우 補强된 半無限 土體는 補强要素와 흙사이의 相互摩擦作用으로 引張抵抗力이 생기게 되고 橫方向의 變形이 일어나는 것을 抑制한다. 이것은 補强한 半無限 土體에 橫方向의 拘束力 또는 荷重이 作用하는 것과 같은 舉動을 한다.

2.2 等價拘束應力과 非等方性 粘着力理論

두께가 얇은 引張 補强材를 乾燥한 모래 供試體 속에 水平하게 넣고 三軸壓縮 및 平面變形壓縮試驗을 한 結果가 여러 研究者^{9,10,12,13,14,19,20}들에 의하여 報告된 바 있다. 이들의 研究 結果에 의하면 다음과 같이 두 가지 理論으로 說明된다.

2.2.1 等價拘束應力理論

이 理論은 흙과 補强材사이에서 생기는 摩擦力에 의하여 橫方向에 새로운 拘束應力($\Delta\sigma_3$)이 가해져 補强된 흙의 強度가 增加하는 것이라고 생각하는 理論으로 Yang¹⁴)에 의하여 提案되었다. 非粘性土의 Mohr-Coulomb 식에서 다음과 같이 補强된 모래의 破壞時 主應力(σ_{1f})_R을 구하였다.

$$(\sigma_{1f})_R = (\sigma_3 + \Delta\sigma_3) K_P \quad (1)$$

여기서, (σ_{1f})_R는 補强된 모래의 破壞時 主應力이고, σ_3 는 供試體에 가해진 拘束應力, $\Delta\sigma_3$ 는 增加된 等價拘束應力(Equivalent Confining Stress), K_P 는 受動土壓係數이다.

2.2.2 非等方性 粘着力理論

이 理論은 補强材가 ΔH 間隔으로 插入된 圓筒型의 補强 모래 供試體가 三軸壓縮을 받고 있는 경우 補强 모래의 壓縮強度가 增加하게 되는 것은 水平으로 設置된 補强材에 의하여 土體에

非等方性的 粘着力(Anisotropic Cohesion)이 생긴다는 理論으로 Schlosser와 Long²⁴)이 Coulomb의 理論을 適用하여 誘導하였다. 즉 非等方性的 粘着力은 補强材의 配置 間隔 및 引張強度와 函數 關係가 있다. 補强된 모래의 破壞時 主應力(σ_{1f})_R은 다음과 같이 誘導되었다.

$$(\sigma_{1f})_R = \sigma_3 K_P + 2C_R \sqrt{K_P} \quad (2)$$

여기서, C_R 은 非等方性 粘着力으로 힘의 平衡條件을 適用하여 다음과 같은 식을 誘導할 수 있다.

$$C_R = \frac{(T_f)_R \sqrt{K_P}}{2 \Delta H} \quad (3)$$

여기서, C_R 은 補强材를 水平하게 배치한 경우의 非等方性 粘着力, (T_f)_R은 補强材 單位幅當 破壞時의 引張抵抗力, ΔH 는 補强材의 垂直方向 配置間隔이다.

2.2.3 等價拘束應力과 非等方性 粘着力의 關係

(1)식과 (2)식에서 等價拘束應力($\Delta\sigma_3$)과 非等方性粘着力(C_R)의 關係를 比較하면 다음과 같은 非等方性 粘着力이 誘導된다.

$$C_R = \frac{\Delta\sigma_3 \sqrt{K_P}}{2} \quad (4)$$

또한 (3)식과 (4)식에서 等價拘束應力($\Delta\sigma_3$)은 다음과 같이 誘導된다.

$$\Delta\sigma_3 = \frac{(T_f)_R}{\Delta H} \quad (5)$$

따라서 補强材의 單位 引張抵抗力($\frac{(T_f)_R}{\Delta H}$)은 等價拘束應力($\Delta\sigma_3$)과 같다.

3. 補强土의 舉動特性實驗

3.1 實驗材料

3.1.1 흙

補强土는 흙과 補强材의 接觸에 의하여 그 機能을 발휘하는바, 本 實驗에서는 흙과 補强材사이의 摩擦特性과 補强土의 強度 및 應力—變形 舉動特性을 究明하기 위하여 補强土의 原理에 잘 接近된다고 생각되는 注文津産 標準모래를 試料로 사용하였다.

本 實驗에 사용된 標準모래 試料는 物理的 및 化學的으로 安定되어 있고 깨끗하며 均等한 中

Table 3.1 Properties of standard sand

Specific Gravity Gs	Effective Grain Size, D ₁₀ (mm)	Median Grain Diameter D ₅₀ (mm)	Coefficient of Uniformity Cu	Coefficient of Curvature C _c	Maximum Void Ratio, e _{max}	Minimum Void Ratio, e _{min}	Testing Void Ratio, e _{test}	Relative Density, Dr(%)	Angle of Internal Friction φ(°)	Soil Classification
2.64	0.37	0.5	1.43	1.03	0.899	0.561	0.640	77	40	SP

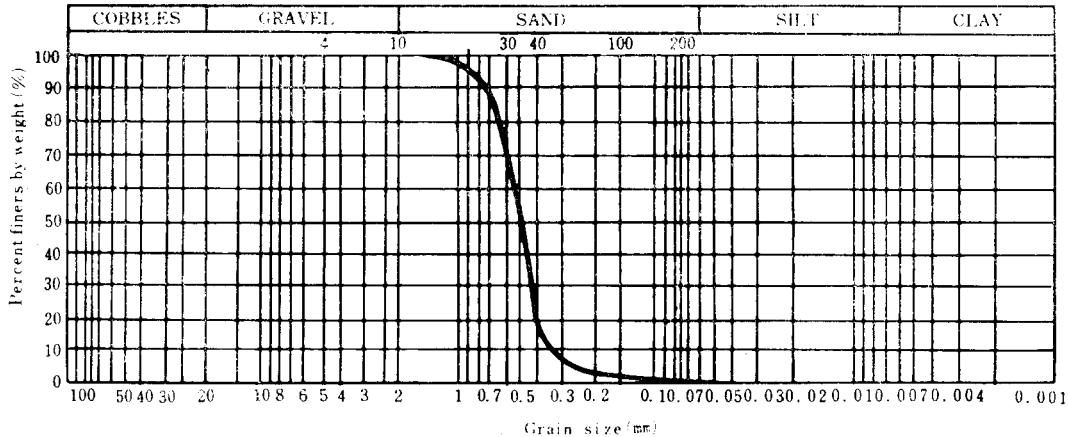


Fig. 3.1 Grain size accumulation curve of standard sand

間粒徑의 特性을 갖고 있다. 標準모래 試料의 性質을 要約한 것이 Table 3.1이며, 粒徑加積 曲線은 Fig. 3.1과 같다. 여기서 標準모래의 內部摩擦角은 三軸壓縮試驗에 의하여 測定된 것이다.

3.1.2 補强材

흙의 引張力에 대한 補强에 사용되는 補强材로는 合成纖維織物 또는 土木纖維와 같이 彈性係數가 比較的 작고 伸도가 큰 非金屬系通의 材料와 鋼材나 알루미늄 合金鋼과 같이 彈性係數가 크고 伸도가 작은 金屬系統의 材料로 나눈다. 특히 土木纖維로는 織布와 不織布가 있으며, 띠(Webbing), 網(Net), Mat, Geogrid 등의 特殊 土木纖維가 開發되어 사용되고 있다.

本 實驗에서는 摩擦特性實驗과 補强土의 強度 및 應力-變形 舉動特性實驗에 각각 다른 性質의 補强材를 사용하여 補强土의 舉動特性을 調査하였다.

먼저 흙과 補强材의 摩擦特性實驗에는 鋼板과 Paraweb의 2種의 補强材를 사용하였다. 鋼板은 比較的 材質이 均質하고 引張強度가 좋다고

생각되는 것을 Fig. 3.2와 같이 두께가 9.4 mm 이고 直徑이 59.4 mm 인 크기의 圓形으로 加工한 것 3種이다. 특히, 補强材의 表面狀態가 摩擦係數에 미치는 影響을 조사하기 위하여 補强材의 表面을 凹凸 및 山形으로 加工한 것 2種과 매끈한 것 1種으로 나누어 준비하였다. Paraweb (Grade 50)는 K社 製品의 補强土 擁壁用 Belt 로 사용되는 것으로 Fig. 3.3과 같다. Paraweb 를 構成하고 있는 基本材料는 Polyester 와 Polyethylene 으로 그 性質은 Table 3.2와 같다. Paraweb 는 한 묶음으로된 數 많은 Polyester 纖維 가닥을 촘촘하게 십자로 배치하고 이 補强纖維 주위를 Polyethylene 으로 被服하여 10 묶음을 이루고 있다. 여기서 Polyester 纖維의 主要 分解作用濟는 물로 이의 保護 外裝用으로 黑色 等級의 Polyethylene 을 사용한다. 이것을 사용하면 햇빛에 노출되거나 축축한 條件의 흙 속에서 變質되지 않고 微生物에 대한 抵抗力이 優秀하다. Paraweb의 摩擦特性을 調査하기 위하여 두께가 3.5 mm 이고 直徑이 59.4 mm 인 圓形으로 加工하여 준비하였다.

또한 補强土의 强度 및 應力—變形 舉動特性 實驗에 사용된 補强材는 알루미늄 薄板과 D社 製品의 土木纖維인 不織布를 直徑 50 mm 로 加工하여 준비하였다. 알루미늄 薄板의 두께는 0.05 mm 이고 引張强度는 7 kg/cm 이다. 土木纖維의 性質을 要約하면 Table 3.3 과 같다.

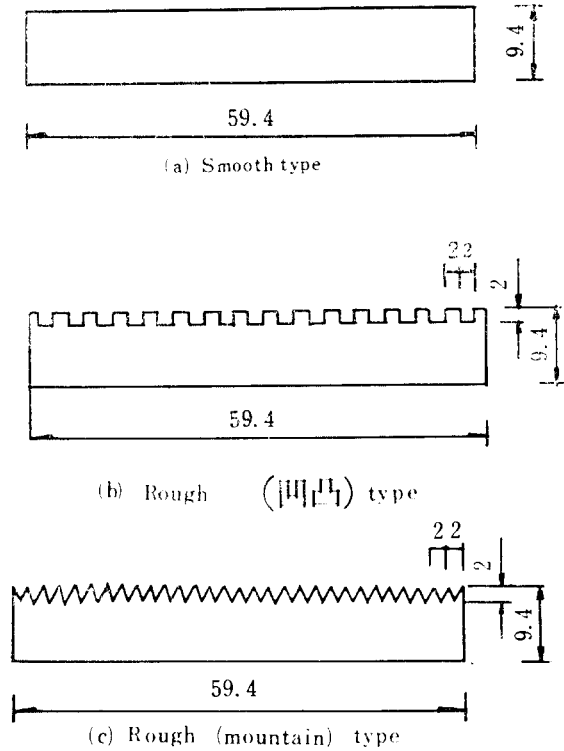


Fig. 3.2 Shape and size of steel plate(mm)

Table 3.2 Properties of paraweb

Grade	Minimum short-term breaking load (KN)	Minimum long-term breaking load (KN)	Maximum design load (KN)	Nominal width (mm)	Nominal thickness (mm)	Nominal weight per coil (kg)	Nominal coil length (m)
50	50	37.5	12.5	90	3.5	23.8	100

Table 3.3 Properties of geotextile

Fabric composition	Filament	Fabrication process	Nominal thickness (mm)	Fabric weight (g/m ²)	Tensile strength (kg/in)	Elongation at break (%)
100% Polypropylene	Continuous multifilament	Needlepunched, Nonwoven	1.6	140	6.4	72.5

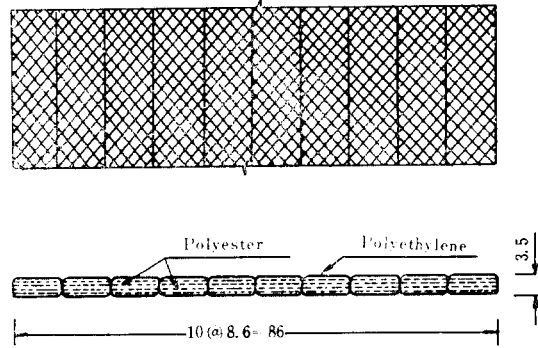


Fig. 3.3 Shape and size of paraweb(mm)

3.2 實 驗

補强土의 舉動特性을 究明하기 위한 室內試驗 方法들이 여러 研究者들에 의하여 提案되어 있으나, 國內으로는 아직 標準化된 試驗方法이 없는 實情이다.

따라서 本 研究에서는 現在 널리 사용되고 있는 土質實驗用 試驗機를 사용하여 補强土의 舉動特性이 研究되었다.

3.2.1 흙과 補强材의 摩擦試驗

흙과 補强材 사이의 摩擦係數를 구하기 위한 室內 試驗方法에는 剪斷箱子가 큰 大型의 直接 剪斷試驗機를 사용하여 다음의 3 가지 試驗方法이 주로 채용되고 있다^{15,17,21}.

- (1) 固定 剪斷箱子試驗法
- (2) 自由 剪斷箱子試驗法

(3) 引拔試驗法

또한 現場試驗方法에는 實際構造物를 築造하여 引拔試驗에 의하여 測定하고 있다.

本 研究에서는 이들 여러 試驗方法中 室內 土質實驗用 直接剪斷試驗機의 剪斷箱子(直徑 59.4 mm 인 圓形)를 Fig. 3.4 와 같이 下部 剪斷箱子를 改良하여 固定 剪斷箱子試驗法에 의하여 摩擦係數를 測定하였다. 下部 剪斷箱子 속에는 같은 크기의 나무板 위에 Fig. 3.2 와 Fig. 3.3 의 補強材 試片을 強力接着劑로 附着하여 設置하고 試片의 높이가 下部 剪斷箱子의 높이와 일치되는가를 確認한 後 上部 剪斷箱子를 조립하였다. 上部剪斷 箱子의 內部속에는 흙 試料를 空隙比와 含水比를 變化시켜 적당한 높이를 채워 넣었다. 흙 試料의 空隙比는 Table 3.1 값을 채용하였으며, 含水比는 0, 16.2 및 飽和狀態의 含水比 22.3%로 變化시켜 摩擦角을 測定하였다. 實驗時 剪斷速度는 1 mm/min 로 하여 實驗하였다.

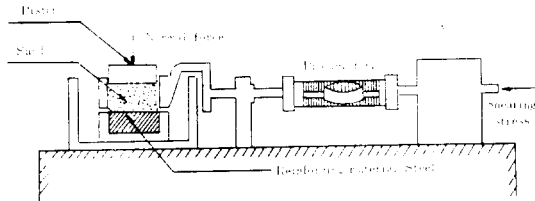


Fig. 3.4 Modified direct shear box for determining skin friction angle between sand and reinforcing material.

3.2.2 三軸壓縮試驗

補強土의 強度 및 應力—變形 舉動特性은 現在 널리 利用되고 있는 土質實驗用의 三軸壓縮試驗機를 사용하여 研究하였다.

本 研究에서 사용된 三軸壓縮試驗用 供試體의 크기는 直徑이 50 mm 이고 높이가 100 mm 인 圓筒型이며, 供試體의 種類는 非補強供試體와 補強供試體로 나누어 준비하였다. 補強供試體에서 補強材는 알루미늄 薄板과 土木纖維를 사용하였으며, 三軸壓縮試驗用의 供試體 直徑과 같게 50 mm 로 하였다. 補強材의 配置間隔은 Fig. 3.5 에서 보는바와 같이 供試體 높이의 $\frac{1}{2}$ 또는 $\frac{1}{3}$ 로하여 補強層數가 1層인 것과 2層인 것으로 나누어 水平하게 配置하였다. 供試體 製作은 모

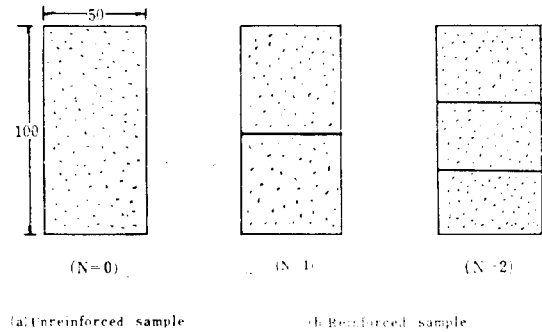


Fig. 3.5 Reinforcement layer positions in triaxial test specimens

래 成型用 몰드를 사용하여 만들었으며, 供試體의 다짐은 무게가 1.4 kg 인 다짐棒을 사용하여 다졌다. 이때의 平均 相對密度 값은 77%로 충분히 密한 상태의 供試體이다.

三軸壓縮試驗은 變形制御試驗으로 非排水 剪斷試驗을 實施하였고, 拘束壓力는 0.5, 1.0, 1.5 kg/cm² 을 가하여 軸差應力 및 變形을 測定하였다. 平均 變形速度는 3 mm/min 로 하였다.

3.3 實驗結果 및 分析

3.3.1 흙과 補強材의 摩擦特性

흙과 補強材사이의 摩擦特性은 補強材의 設計 引張強度를 誘發시키는데 있어서 매우 重要한 因子가 된다. 本 研究에서는 補強材의 種類 및 表面狀態, 흙 試料의 密度 및 含水比 變化에 따른 흙과 補強材사이의 摩擦特性을 比較 分析하였다.

3.3.1.1 흙의 相對密度와 空隙比의 影響

흙의 密度變化에 따른 흙과 補強材사이의 摩擦角을 測定한 結果는 Table 3.4 와 같고, 이 結果를 相對密度로 換算하여 그림으로 나타낸 것이 Fig. 3.6이다.

Fig. 3.6 에 나타낸바와 같이 相對密度가 增加함에 따라 흙과 補強材사이의 摩擦角은 增加되고 있다. 이는 흙 試料의 다짐狀態가 충분히 密한 試料에서는 흙 粒子가 密集되어 있어 咬合(Interlocking)의 效果가 크게되어 흙과 補強材사이의 摩擦角이 큰 것으로 判斷된다. 그리고 補強材와 모래가 합쳐지는 結果에 의하여 剪斷面은 補強材의 上端을 連結하는 面을 따라 생긴

Table 3.4 Values of skin friction angle by density

Samples		Skin friction angle, (°)		
		e_{max} (0.899)	e_{test} (0.561)	e_{min} (0.640)
Standard sand		28	37	38
Steel plate	Smooth	20	27	28
	Rough (凹凸)	23	34	35
	Rough (Mountain)	27	34	36
Paraweb		22	29	29

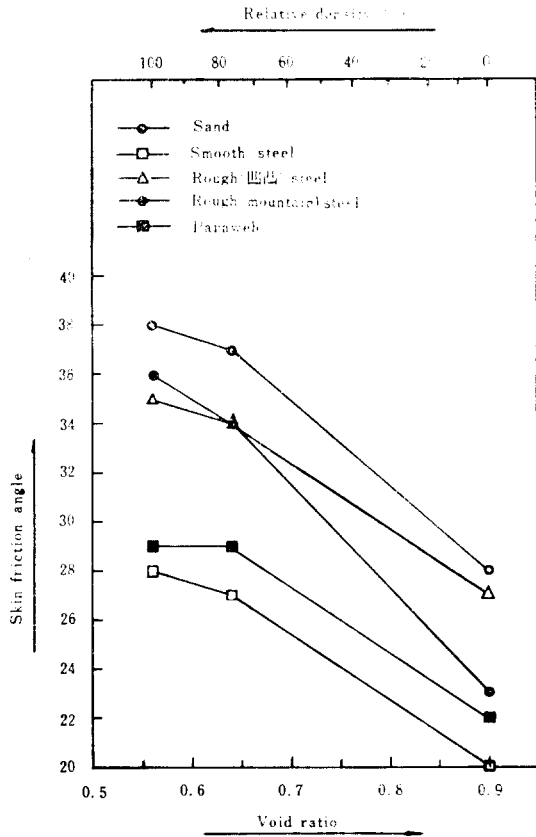


Fig. 3.6 Relationships between void ratio, relative density and skin friction angle

다고 볼 수 있다.

또한 Table 3.4의 결과를 空隙比로 換算하여 흙의 空隙比變化에 따른 흙과 補强材사이의 摩

擦角變化 關係를 그린 것이 Fig. 3.6이다. Fig. 3.6에 나타난 바와 같이 空隙比가 增加함에 따라 흙과 補强材사이의 摩擦角은 減少하고 있다.

3.3.1.2 흙의 含水比의 影響

흙의 含水比에 따른 흙과 補强材사이의 摩擦角

Table 3.5 Values of skin friction angle by water content

Samples		Skin friction angle, (°)		
		$w=0\%$	$w=16.2\%$	$w=22.3\%$
Standard sand		39	37	32
Steel plate	Smooth	27	24	22
	Rough (凹凸)	33	30	29
	Rough (mountain)	36	32	30
Paraweb		29	25	25

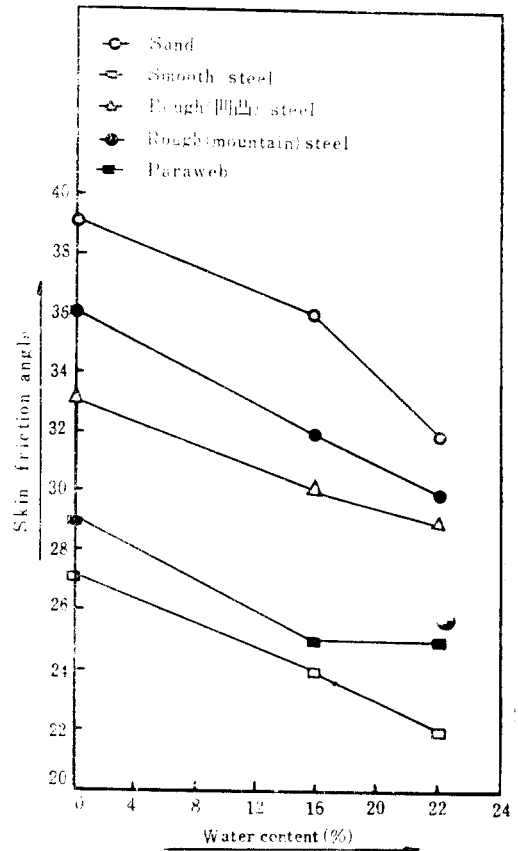


Fig. 3.7 Relationships between water content and skin friction angle

을 調査한 結果는 Table 3.5와 같고 이 結果를 나타낸 것이 Fig. 3.7이다.

Fig. 3.8에 나타난바와 같이 含水比가 增加함에 따라 모든 試料에 있어서 摩擦角은 減少하였다. 特히 모래가 乾燥한 狀態에서 飽和狀態로 옮길때 摩擦角은 약 10~15% 程度 減少하였다. 이러한 傾向은 물이 어느 정도 흡수속에서 潤滑作用하는 것으로 判斷되며, 흙과 各種 建設材料 사이에 潤滑作用으로 摩擦抵抗角이 減少된다는 여러 研究者들(6,7,8,23)의 發表 結果와 一致한다.

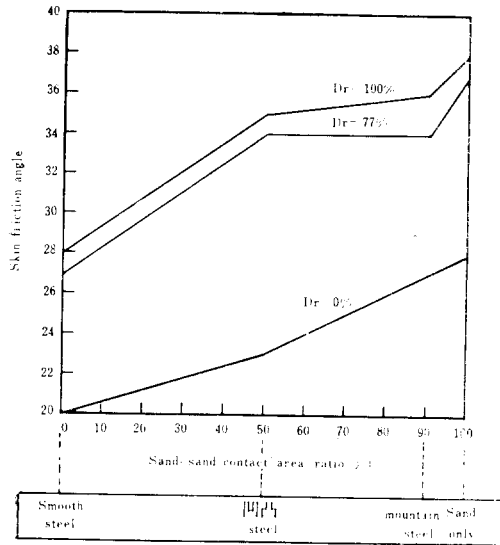


Fig. 3.8 Relationships between sand-sand contact area ratio and skin friction angle

3.3.1.3 補强材의 表面狀態의 影響

Fig. 3.8은 相對密度에 따른 破壞面중 모래와 모래의 接觸面積比와 摩擦角의 關係를 나타낸 것이다. 이 그림에서 摩擦角은 모래의 相對密度와 모래와 모래의 接觸面積比에 比例하는 정도는 되지 못하지만 相對密度가 增加함에 따라 摩擦角은 증가함을 알 수 있다.

Table 3.4와 Table 3.5에서 나타난바와 같이 補强材의 表面을 凹凸 또는 山形으로 加工한 것이 加工하지 않은 것보다 摩擦抵抗角이 더 크게 나타났다. 또한 이들 測定된 값들은 모래의 内部摩擦角보다 작게 나타났다. 이러한 結果는 補强材의 表面이 매끈한 것은 摩擦抵抗이 主로 回轉과 滑動에 의한 것이고, 補强材의 表面을 凹凸

또는 山形으로 加工한 것은 흙과 補强材의 表面의 粗度에 따른 역물림에 의한 抵抗이라 생각된다. 補强材의 表面을 山形으로 加工한 것이 凹凸로 加工한 것보다 더 크게 나타난 것은 역물림에 의한 構造的 抵抗의 값이 回轉과 滑動에 의한 抵抗값보다 더 크기 때문이라 생각된다. 이러한 傾向은 含水比가 增加하여도 그 精度에는 差異가 있으나 같은 傾向이라 判斷된다.

3.3.2 補强土의 強度 및 應力-變形特性

3.3.2.1 應力-變形特性

Fig. 3.9는 非補强土의 軸差應力과 軸方向 變形率을 나타낸 것이고, Fig. 3.10 및 Fig. 3.11은 土木纖維와 알루미늄 薄板으로 補强한 모래의 供試體에 대한 軸差應力과 軸方向 變形率의 關係를 나타낸 것이다.

土木纖維로 補强한 모래의 供試體에서 剪斷破壞는 軸方向 變形率값이 5~6%일 때 일어났다. 그러나 알루미늄 薄板으로 補强한 모래의 供試體는 4~5%의 軸方向 變形率값에 일어났다. 이러한 傾向은 모래를 補强하는데 사용한 補强材의 性質이 다르기 때문이라 判斷되며, 특히

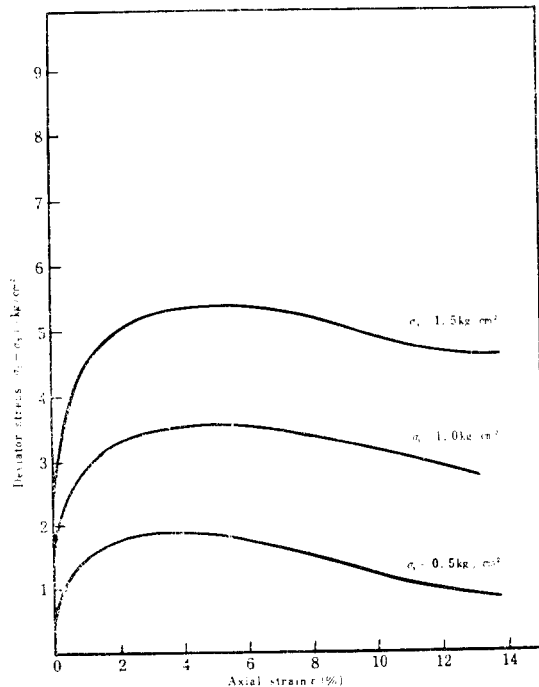


Fig. 3.9 Stress-strain relationships from triaxial compression tests on unreinforced sand

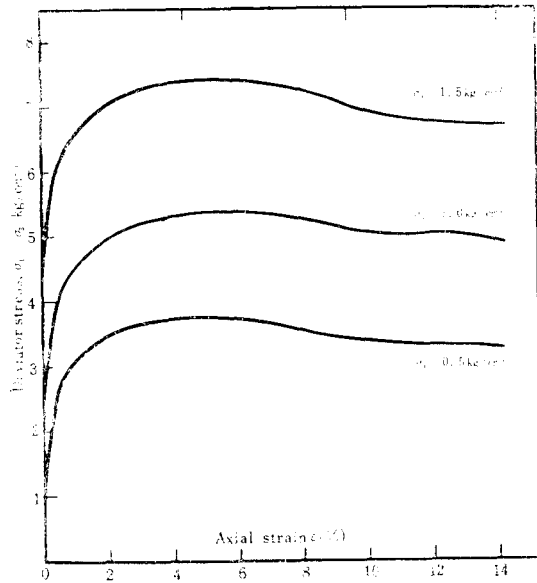


Fig. 3.10 Stress-strain relationships from triaxial compression tests on geotextile reinforced sand ($N=2$)

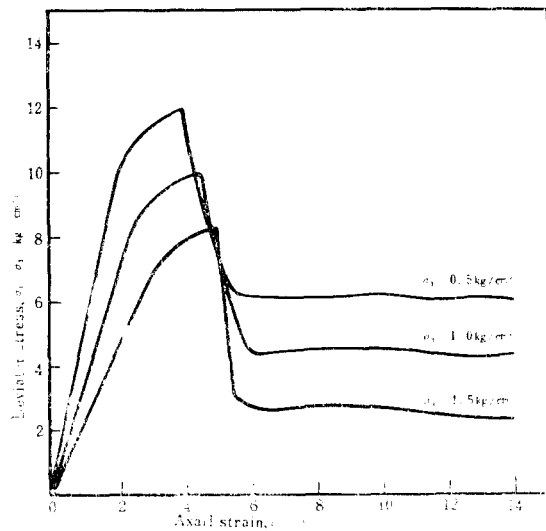


Fig. 3.11 Stress-strain relationships from triaxial compression tests on aluminium foil reinforced sand ($N=2$)

土木纖維로 補強한 경우 剪斷破壞가 급격히 일어나지 않고 완만하게 일어난 것은 土木纖維의 彈性係數가 작고 伸度가 커서 破壞時 時間依存性에 의한 塑性變形이 일어나기 때문이라 생각

된다. 반면에 알루미늄薄板으로 補強한 供試體는 일단 剪斷破壞가 일어나면 補強材의 破斷으로 剪斷破壞面에서 補強材의 抵抗은 거의 없어지고 모래에 의해서만 剪斷抵抗을 함을 알 수 있다.

軸差應力과 軸方向 變形率 關係에서 拘束壓力이 一定하게 增加함에 따라 軸差應力도 一定하게 增加됨을 알 수 있다.

3.3.2.2 強度 및 破壞包絡線

Fig. 3.12는 非補強모래의 Mohr의 應力圓과 破壞包絡線을 나타낸 것이고 Fig. 3.13 및 Fig. 3.14는 土木纖維와 알루미늄 薄板으로 補強된 모래의 Mohr의 應力圓과 破壞包絡線이다.

補強모래의 破壞包絡線은 非補強모래의 破壞

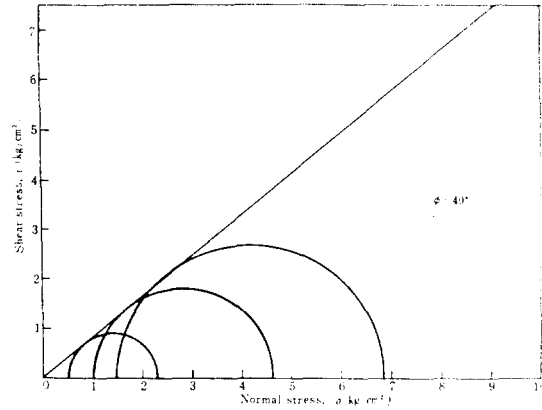


Fig. 3.12 Mohr's circle and failure envelope on unreinforced sand

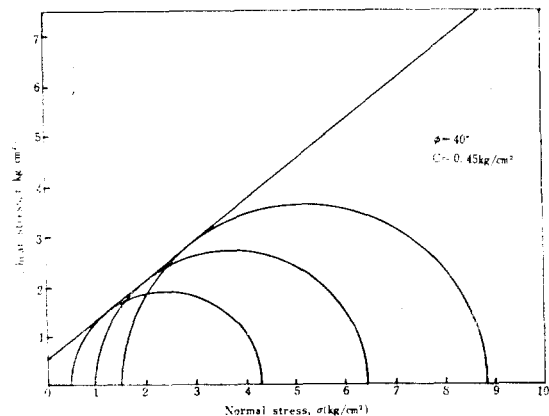


Fig. 3.13 Mohr's circle and failure envelope on geotextile reinforced sand ($N=2$)

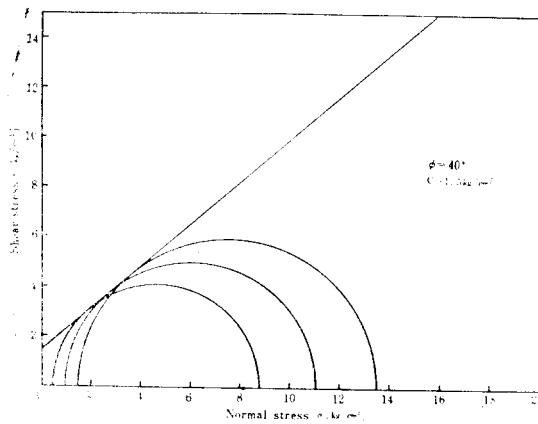


Fig. 3.14 Mohr's circle and failure envelope on aluminium foil reinforced sand ($N=2$)

包絡線의 위에 위치하며 非補強모래의 破壞包絡線에 나란하다. 이 結果 모래의 內部摩擦角은 補強材에 의해 影響을 주지 않음을 알 수 있다. 또한 補強層의 數가 增加함에 따라 比例하여 增加되고 剛性이 큰 알루미늄 薄板으로 補強한 경우 強度 增加가 뚜렷하다. 그러나 土木纖維로 補強한 모래의 경우 極限強度는 增加되지만 剛性은 減少하려는 傾向이 있다.

三軸壓縮試驗에서 구한 等價拘束應力($\Delta\sigma_3$)과 非等方性粘着力(C_R)을 理論値와 比較한 것이 Table 3.6이다. 여기서 土木纖維로 補強한 모래의 供試體 경우 實驗値는 理論値의 約 55.3%이고, 알루미늄 薄板으로 補強한 모래의 供試體의 경우에는 約 69%로 나타났다. 實驗値가 理論値에 비하여 신뢰성이 떨어지지만 等價拘束應力과 非等方性粘着力이 생김을 確認하였다.

3.3.2.3 供試體의 破壞와 補強材의 破斷模樣

土木纖維 또는 알루미늄 薄板으로 補強한 모

래의 供試體 破壞模樣은 補強層사이로 橫方向으로 부풀어 破壞되어 非補強모래의 供試體破壞模樣과는 전혀 다른 樣相을 보이고 있다. 이것은 補強材의 配置數와 間隔에 따라 다를 것이며 補強材의 配置間隔이 좁은 경우 局部的인 破壞가 예상된다.

三軸壓縮試驗에 의해 觀察된 알루미늄 薄板의 破斷形狀은 Fig. 3.15와 같이 剪斷應力은 補強材 中心에서 外側으로 向해서 作用하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 Schlosser와 Long²⁴⁾은 三軸壓縮試驗에 의한 補強材의 破斷은 補強材 中心과 外側 方向을 향하여 剪斷應力이 作用하고 破斷된다고 하였다. 本 實驗에서 이러한 現象은 거의 確認되지 않았다. 이것은 補強材의 直徑이 작아서 觀察이 어려웠다고 判斷된다. 土木纖維의 경우 알루미늄 薄板과 같은 破斷現象은 일어나지 않았으며, 이것은 土木纖維의 材料的 性質이 알루미늄 薄板과 아주 다르기 때문이라 생각된다.

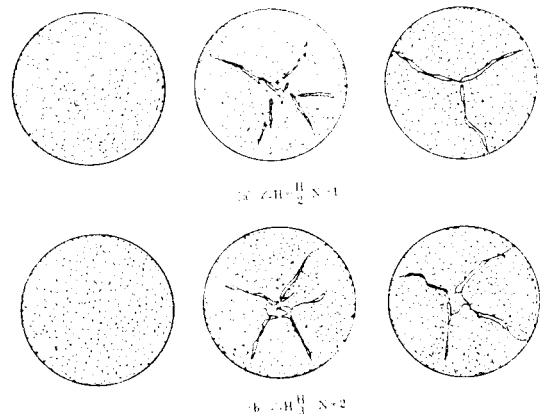


Fig. 3.15 Shape of fissures in the aluminium foil of a reinforced sand in triaxial test

Table 3.6 Comparison between theory and experimental results

Reinforcement types	Equivalent confining stress increase ($\Delta\sigma_3$, kg/cm ²)		Anisotropic cohesion (C_R , kg/cm ²)	
	Calculated values	Measured values	Calculated values	Measured values
Geotextile	0.76	0.42	0.81	0.45
Aluminium foil	2.10	1.45	2.25	1.50

4. 補强土石築의 開發

4.1 概 說

全 世界的으로 相當數의 補强土 擁壁이 築造되었지만 그것은 鋼材나 알루미늄 合金鋼과 같이 彈性係數가 큰 補强要素를 사용한 것 以外는 거의 없다. 특히 土木纖維와 같은 材料를 利用하여 築造한 補强土 擁壁은 거의 없고, 있다해도 주로 實驗室 研究^{17, 20)}가 대부분이다.

補强土 施工에 사용되는 補强要素로서 土木纖維의 利用은 다른 補强要素에 비하여 값이 더 싸고 가벼우며 耐久性이 크다. 또한 높은 摩擦係數와 加工 및 貯藏, 運搬이 쉬운點 등 몇 가지의 長點을 갖고 있다. 그러나 彈性係數가 작고 伸度가 커 補强土에 사용될 경우 問題가 된다.

本 研究에서는 在來의 石築을 構造的으로 補强하기 위하여 土木纖維를 利用한 補强土 石築의 開發 可能性을 模型實驗을 통하여 確認하였다.

4.2 模型實驗

4.2.1 實驗材料

本 模型實驗에 사용한 각 材料는 前面 壁體와 補强材, 뒷 채움흙으로 그 性質은 다음과 같다.

前面 壁體는 5×5×5 cm 크기의 Cement Mortar Block 을 實驗室에서 製作하여 사용하였으며, Block 의 平均單位重量은 1.73 g/cm³이다. Block 의 各 面은 매끈하게 갈아서 Block 面에서의 마찰을 적게하였다.

補强材는 Table 3.3 과 같은 土木纖維를 사용하였고, 補强材의 幅은 5 cm 로 하여 補强材의 길이만 石築 높이를 기준으로 변화시켜 준비하였다. 즉 補强材의 길이를 30, 25, 20, 15 cm 로 하였다.

뒷 채움 흙은 Table 3.1 과 같이 標準모래를 사용하였다.

4.2.2 實驗裝置

模型 補强土 石築의 크기는 Fig. 4.1 과 같이 택하였다. 模型의 크기는 幅 20 cm, 길이 70 cm, 높이 50 cm 로 두께가 1.5 cm 인 板材로 견고하게 만들었다. 模型箱子의 한쪽면은 高强度 아크

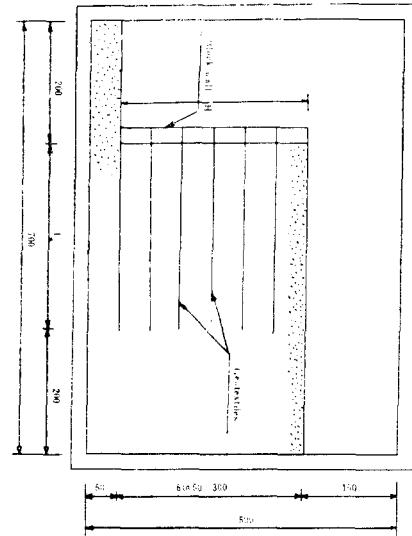


Fig. 4.1 Model test apparatus of geotextile reinforced earth masonry walls(mm)

릴板을 대어 載荷重으로 인한 補强土 石築의 破壞面을 觀察할 수 있게 透明한 아크릴板에 모눈을 놓았다.

4.2.3 實驗方法

模型實驗은 다음과 같은 順序로 進行되었다. 먼저 標準모래를 基礎地盤 材料로 사용하기 위하여 두께 50 mm 되게 정확히 깔고 그 위에 볼트와 너트로 連結¹⁾한 幅이 5 cm 인 土木纖維 補强材를 일정한 간격을 유지하면서 水平하게 깔았다. 그런후 載荷重에 의한 破壞面 觀察이 용이하게 색깔있는 모래를 아크릴板 근처에 부었다. 보강재의 연직간격이 5 cm 될때 까지 標準모래를 부어 한층의 補强土 層을 형성하였고, 前面에 Block 을 쌓았다. 이와같은 方法을 계속하여 소요의 높이까지 축조한 후 補强土 石築 背面위에 土荷重을 걸어 파괴면 만을 관찰하였다.

4.3 實驗結果 및 分析

Fig. 4.2 는 補强土 石築의 破壞面을 觀察한 것을 나타낸 것이다. 補强土 石築의 最下端部에서 壁體의 移動은 거의 나타나지 않았고 壁體 頂部로 올라갈 수록 壁體의 移動이 더 많이 생겼지만 급격히 파괴는 일어나지 않았다. 이러한 현상은 보강재로 사용한 土木纖維의 伸度가 비교적 커 逆性變形이 일어나는 것으로 생각된다. 補强土 石築은 壁體의 下部先端을 回轉 中心으로

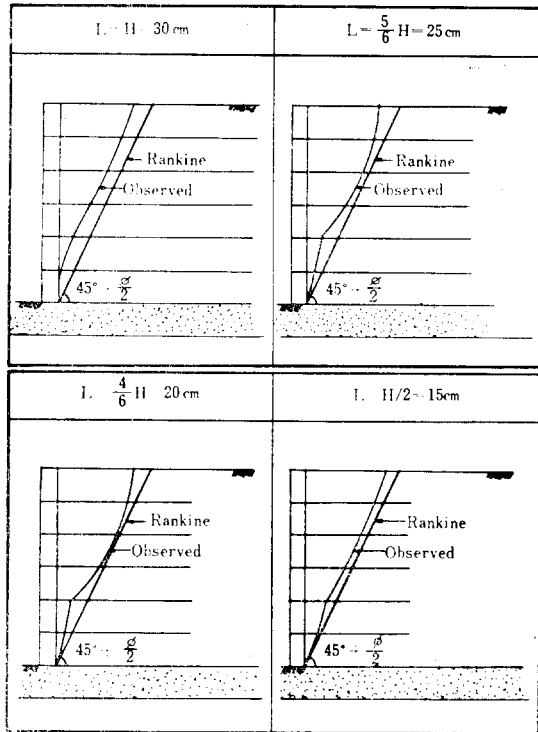


Fig. 4.2 Observed failure surface of geotextile reinforced earth masonry walls

顛倒되어 파괴되는 것으로 判斷되며, 파괴면도 Rankine의 파괴면과는 달리 벽체 쪽으로 약간 이동하여 파괴면을 형성하고 있는 것이 관찰되었다. 이것은 土木纖維의 引張伸度와 어떤 관계가 있다고 생각된다.

5. 結 論

本 研究는 補强土의 性質 중 가장 基本的이며 重要한 흙과 補强材사이의 摩擦特性과 補强土의 强度 및 應力—變形 舉動特性을 實驗的으로 調査하고 그 性質을 利用한 補强土 石築의 開發 可能性을 模型實驗을 통하여 檢討하였다. 本 實驗을 통하여 연구된 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 흙과 補强材의 摩擦係數는 相對密度가 增加함에 따라 增加하였다. 또한 含水比가 增加함에 따라 減少하였고 補强材의 表面을 加工함에 따라 흙의 内部摩擦係數에 接近하였다.

2. 補强材로 補强한 供試體의 경우 非補强供試體에 比하여 비교적 높은 變形度에서 强度가 增加하였으며 補强材의 數가 增加함에 따라 比例하여 强度가 增加되었다.

3. 알루미늄 薄板과 土木纖維로 補强한 모래의 供試體는 軸差應力과 變形度에서 많은 相異點이 發見되었으며, 알루미늄 薄板으로 補强한 경우 破壞 以後의 强度가 급격히 떨어졌다. 반면에 土木纖維로 補强한 경우 非補强 모래 供試體와 비슷한 형태의 應力—變形 舉動을 하고 있다.

4. 알루미늄 薄板과 土木纖維로 補强한 모래의 破壞包絡線은 非補强 모래의 破壞包絡線에 나란하다.

5. 補强供試體의 破壞模樣은 補强層사이로 橫方向으로 부풀어 파괴되었다. 또한 補强材의 破斷形狀은 補强材 中心部에서 外側方向으로 破斷되었다.

6. 補强土 石築의 模型實驗을 통하여 土木纖維를 利用한 補强土 石築의 開發 可能性이 確認되었다.

補强土 石築에 대한 設計는 다음 機會로 미룬다.

本 研究는 1986~1987 年度 韓國科學財團의 研究費 支援에 의하여 이루어 졌음.

參 考 文 獻

1. 秦柄益, 柳然吉, “補强土 應力에 대한 模型實驗”, 大韓土質工學會誌, 第2卷, 第1號, 1986年, pp. 45~54.
2. 정인준, 강병희, 백영식, 이종규, 신광식, 조중재, “79年 補强土工法에 관한 研究”, 建設研究所資料 No. 397, 建設部, 國立建設研究所, 1979, pp. 1~87.
3. 신광식, 도덕현, 강창구, “補强土工法研究”, 建設研究所資料, No. 402, 建設部, 國立建設研究所, 1980, pp. 45~139.
4. 최내형, 강창성, 백상현, 김기태, “補强土工法研究”, 建設研究資料, No. 421, 建設部, 國立建設研究所, 1981, pp. 74~121.
5. “Geotextile 및 補强土工法에 관한 研究”, 研究報告書, 韓國建設技術研究院, 1985.

6. 橋本良昭 “補強土(テルアルメ)壁に用いるハウ付キストルツウの摩擦特性にワいで” 土と基礎, 9月, 1983, pp.41~46.
7. 石堂稔, 関直三郎, 野開日 明義, “壁面摩擦特性について” 土木學會 第27回年次學術講演概要集, 第3部, 日本土木學會 III-117, 10月, 1972年, pp.369~372.
8. 鳥田俊介, 星谷勝, テルアルメ(補強土工法) に於けるストリツ, 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 IV-174, 10月, 1972年, pp.547~550.
9. Andrawes, K.Z, McGown, A & Al-Hasani, M. M., “Alternation of Soil Behavior by the Inclusion of Materials with Different Properties”, *Grounding Engineering*, Vol. 11, No. 6, 1978, pp.35~44.
10. Andrawes, K.Z., McGown, A. Mashhour, M.M. and Wison-Fahmy, R.E., “Tension Resistant Inclusions in Soils”, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 106, No. GT 12, 1980, pp.1313~1326.
11. Batos, M.J., “101 Uses for Earth Reinforcement”, *Civil Engineering, ASCE*, Vol. 49, No. 1, Jan., 1979, pp.51~57.
12. Gray, D.H., Athanasopoulos, G. and Ohashi, H., “Internal/External Fabric Reinforcement of Sand”, 2nd ICG, Las Vegas, USA, Vol. III, 1982, pp.611~616.
13. Gray, D.H. and Ohashi, H., “Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand”, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 109, No. 3, 1983, pp.335~353.
14. Gray, D.H. and Al-Refeai, T., “Behavior of Fabric-versus Fiber-Reinforced Sand”, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 112, No. 8, 1986, pp.804~820.
15. Ingold, T.S., “A Laboratory Investigation of Soil-Geotextile Friction”, *Ground Engineering*, Vol. 17, No. 8, 1984, pp.21~24, 26~28.
16. Ingold, T.S., “Reinforced Earth”, Thomas Telford Ltd, London, 1982.
17. Koerner, R.M. and Welsh, J.P., “Construction and Geotechnical Engineering Using Synthetic Fabrics”, Wiley and Sons, N.Y., 1980.
18. Lee, K.L., Adams, B.D. and Vagneron, J.J., “Reinforced Earth Retaining Walls”, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE*, Vol. 99, No. SM 10, 1973, pp.745~764.
19. Mandal, J.N., “A Goal for Geotextiles”, 3rd ICG, Vienna, Austria, Vol. III, 1986, pp.747~750.
20. McGown, A., Andrawes, K.Z. and Al-Hasani, K.M., “Effect of Inclusion Properties on the Behavior of Sand”, *Geotechnique*, Vol. 28, No. 3, 1978, pp.327~346.
21. Miyamori, T., Iwai, S. and Makiuchi, K., “Frictional Characteristics of Non-Woven Fabrics”, 3rd ICG, Vienna, Austria, Vol. III, 1986, pp.701~705.
22. Murray, R.T., “Fabric Reinforced Earth Walls; Development of Design Equations”, *Ground Engineering*, Vol. 13, No. 7, 1980, pp.29,31~36.
23. Potyondy, J.G., “Skin Friction between Various Soils and Construction Materials” *Geotechnique*, London, England, Vol. II, No. 4, Dec, 1961, pp.339~353.
24. 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, Paper 10800, March, 1974, pp.223~237.
25. Vidal, H., “The Principle of Reinforced Earth”, *Highway Reserch Record*, No. 282, 1969, pp.1~16.

(접수일자 1987.12.5)