

# 補強擁壁開發研究

Study on the Development of Reinforced Earth Retaining Wall

柳 能 桓\*

Ryu, Neung-Hwan

---

## Abstract

The design of fabric reinforced retaining wall structure was discussed in this article. It was confirmed that the reinforced retaining earth wall which was designed by new theoretical formulae developed this time was stable structurally and economically.

The plastic fabric filter which was placed in layers behind the facing element reduced the lateral earth pressure on the wall elements in comparison with a conventional retaining earth walls.

The reinforcing characteristics of earth wall was governed by the spacing of fabric layers, effective length of fabrics, particle distribution and compaction, and thus it is essential that, in the construction field, the reinforcing strips should be selected in order to develop the maximum friction forces between soil and fabric filters.

The maximum tensile stress developed from the reinforcing strips was appeared at a little far distance from the back of skin element and it was not well agreed with the Rankine's theory but distributed well as a symmetrical shape against the point of the maximum tensile stress. The total length of the different layers should be sufficient so that the tension in the fabric strip could be transferred to the backfill material. Also the total stability of reinforced earth wall should be checked with respect to a failure surface which extended beyond the different layers.

## 要 旨

本 研究는 在來式 擁壁의 短點을 補完하여 skin element 로써 간단한 L-type concrete block 을 사용하고 reinforcing strip 材로써 plastic fabric strip 를 이용하며, back fill 材는 우리 주위에서 흔히 접하는 花崗岩風化土를 使用하여 만든 補強壁體를 通하여 몇가지 實驗을 한 結果 이들 緒般材料의 特性을 勘案하여 開發된 理論式에 의하여 決定한 壁體의 補強은 插入한 strip 의 간격, 층수, 뒷채움 재의 입도분포, 다짐상태 및 strip 의 引張強度에 左右되며 本補強擁壁體는 構造의으로 安定하고 經濟的인 施工이 可能함이 確認되었으며 우리나라 특히 江原道와 같은 山間地域에서는 보다 效果의으로 利用될 수 있을 것으로 判斷된다.

---

\* 正會員, 江原大學校 副教授.

## 1. 序 論

흙은 普通材料와는 달리 個個의 粒子가 獨立되어 서로 느슨하게 接觸되어 있으므로 不連續材로 看做되며 土粒子 사이의 接觸點에서 일어나는 摩擦力과 粘着力에 의하여 그의 強度를 發揮하고 있다. 이와같은 흙의 弱點을 補完하여 實用化하기 爲한 여러가지 方法이 오랜 옛날부터 研究되어 왔다. 舊約聖書(Exodus V: 6~9)에서도 파라오 왕은 이미 백성들에게 흙벽돌을 만들 때 벗짚을 섞어서 使用토록 勸獎하므로써 흙의 短點을 補強의 概念으로 誘導하였다.

흙의 補強은 Terre Armee 또는 強化土라고도 하며, 粒狀體로된 盛土材料와 그 內部에 挿入시킨 補強材사이의 作用하는 摩擦力과 補強材의 引張力에 의하여 材料가 一體로 되어 그의 自體自重이나 外力에 견딜 수 있도록 結合된 合成構造體이다.

自然狀態의 흙을 盛土한 境遇에는 安息角以上の 傾斜角으로 斜面을 形成하더라도 地震時에 水平力이 作用하면 崩壞를 일으키며, 또 盛土中에 補強材를 挿入하여 施工한 境遇에는 土粒子和 補強材사이의 摩擦力에 의하여 土粒子的 滑動이 拘束되고 補強材로부터 引張力이 發生되어 應力이 작을 때는 粘着力을 誘發시키고 應力이 클 때는 內部摩擦角을 增大시킴으로써 흙全體가 하나의 剛性體로 作用한다. 이와같이 材料의 合成에 의한 相互補強의 原理를 盛土工事나 壁體工事に 使用하면 構造的으로 安定하고 經濟性이 있는 施工을 할 수 있다는 것이 여러면에서 立證되었다. 補強土 工法에 必要한 要素로서는, 盛土材料, 補強材料 및 補強土端部の 壁面을 構成하는 部材로 構成되며, 盛土材料는 補強材와의 摩擦力을 確保하기 爲한 다짐工法의 施工性이나, 施工後의 排水性 등을 考慮해야 하며, 補強材는 強度, 耐久性, 市場性, 價格 등을 勘案하여, 最近에는 亞鉛塗金한 鐵板대신에 값싼 plastic 裝置를 開發하여 그의 代替材料로 使用하기 爲한 研究가 活發히 이루어지고 있다. 壁面材는 半圓型 鐵板이나 concrete 平板이 널리 使用되고 있다. 이들 外板材는 壁面に 作用하는

土壓을 支持하고 strip 사이에 있는 土粒子的 崩落을 防止하는 作用을 한다.

이와같이 補強土工法은 在來式工法에 比하여 여러가지 長點을 가지고 있을 뿐아니라, 外觀上으로도 美麗하여 自然景觀과 무리없이 調和시킬 수 있어 資源節約의 觀點에서도 本工法의 開發이 더욱 切實히 要求된다.

本工法의 起源은 아득한 옛날 phoenicians 에 의하여 시작되었다고 하며, 現代工學的 意味에서의 使用은 1930年에 Munster<sup>20)</sup>에 의하여 特許를 얻어낸 것으로 시작되며 Reed<sup>22)</sup> 등은 Dam의 安定性을 增大시키기 爲해서 콘크리트床板과 金屬材로 隔子型의 保護板을 製作하여 下流斜面 保護用 壁體를 쌓는 工法에 對한 特許를 얻은바 있다. 또 1957~1969年 사이에 Vidal<sup>21)</sup>은 해변 모래에 솔잎을 넣고 쌓아본 결과 순수한 모래만으로 쌓았을때 보다 더 높고 허물어지지 않고, 外力에도 잘 견딜 수 있음을 발견하였고, 이에 對한 特許를 得하였으며, 1967年에는 LCPC와 共同으로 Nic-Mento Autorowte를 主要構造物에 適用하기 爲한 設計를 完成한 바 있다. 따라서 補強壁體工法은 Vidal에 의하여 最初로 開發되었다고 할수 있으며 그後 여러 學者들에 의하여 美國을 위시하여 유럽 여러나라에서도 補強壁體에 關한 研究가 活發하게 이루어졌다.<sup>5,6,8,9,11,14,25,28,29)</sup>

1970年代 以後에 美國에서의 研究結果를 보면 Paratap<sup>21)</sup>에 의하여 처음으로 紹介되었고, 이어서 靜荷重下에서 모래속에 Aluminium tie를 挿入시켜서 tie pullout와 tie breaking에 對한 基礎研究<sup>15,17,23,24)</sup>가 廣範圍하게 이루어졌다.

1976年에는 Lehigh university에서 New Horizons in Construction materials 題下の 國際 Symposium이 開催되었고, 1978年에는 Pittsburgh에서 Earth Reinforcement에 關한 ASCE Spring Convention이 開催되었으으며 其他 유럽과 호주等地에서도 類似한 研究가 發表되었다.<sup>8,9,26)</sup>

우리나라에서도 1980年代初부터 이에 關한 研究가<sup>25)</sup> 시작되었으며, 最初의 現場試驗施工은 龍仁和 楊平에 設置한바 있으나 Reinforcing element를 亞鉛塗金한 剛板을 使用한 結果 곧 腐

蝕되어 實効를 거두지 못하였고, Skin element 로서는 鐵板을 使用한바 龜裂 및 腐蝕으로 여러 가지 問題點을 惹起시켰다. 또 農業振興公社에서도 防潮堤 基礎補強工事時에 一部 適用한바 있었다.

本 研究에서는 Skin element 와 Reinforcing strip 을 L-typed concrete block 및 plastic fabric filter 를 使用하여 補強壁體를 形成하고, 花崗岩 風化土로 뒷채움 한후 壁體上部에 載荷하였을 境遇 壁體의 舉動을 各種 gauge 를 使用하여 測定 하므로써 補強材와 흙사이의 strain-stress 關係를 究明하고, Soil-Skin element-Reinforcing strip 의 組合關係를 確立하여 構造的으로 安定하고 經濟的인 補強擁壁 施工法을 開發코져 試圖하였다.

## 2. 實驗材料的 測定 및 實驗裝置

本 研究는 補強壁體 뒷채움用 흙에 對한 實驗,

補強材에 對한 實驗, 흙과 補強材를 混合한 試片에 對한 三軸壓縮 試驗 그리고 本 試驗인 補強壁體에 對한 試驗의 順으로 實施하였다. 補強 工法에서 效果의인 뒷채움재는 摩擦力을 充分히 發揮할 수 있는 모래, 자갈 또는 모래와 자갈을 適當히 混合한 材料를 使用하는 것이 效果의이나 本 研究에서는 우리 周邊에서 接하기 쉬운 花崗岩風化土를 使用하였으며 이는 거의 砂質土에 가까운 흙이었고, 各種土質 試驗結果는 表-1 및 그림 1 및 2와 같았으며, 最近에는 粘着性土를 뒷채움 材料로 使用한 研究도 報告된 바가 있다

흙과 補強材의 補強特性에 對한 豫備試驗은 Wykeham Farrance 및 Marui triaxial testing machine 을 使用하였고, 이를 根據로 各種理論式을 開發하여 本試驗인 補強壁體 Model 을 設計 製作하여 壁體의 舉動 特性을 測定 觀察하였다.

使用된 測定 Model Box 는 810×830×860mm

Table 1. Physical properties of soils used.

Test of item	Natural moisture content(%)	Specific gravity	Mechanical analysis(%)			
			gravel	sand	silt	clay
value	6.6	2.58	39	50	8	3

Test of item	Percent passing #200(%)	Coefficient of uniformity	Coefficient of curvature	Soil texture	U.S.C.S.
value	10.8	70	1.2	sand	SW-SM

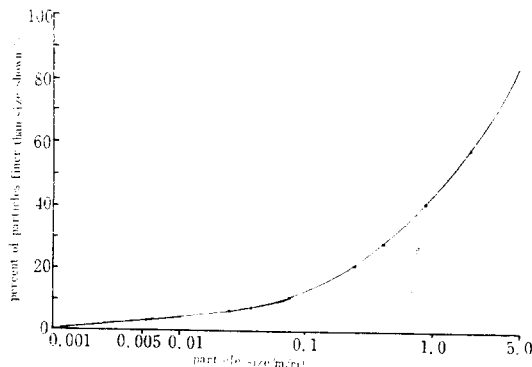


Fig. 1. Grain size accumulation curve of soil.

의 크기로 製作하여 한쪽면은 두께 15mm의 高强度 plastic 透明板을 鐵製 frame 으로 固定시켜서 strip의 變形舉動을 쉽게 觀察할 수 있도록 하였다.

Skin element 는 L-typed concrete block(150×100×40mm)을 使用하여 그의 隔字內에 reinforcing strip 을 단단하게 連結시켰으며 이때 使用된 strip 은 우리나라 J-社 製品과 美國 M-社 製品이며 그의 物理的 力學的 特性은 表-2와 같다.

또 strip의 垂直間隔은 150mm로 하고, Rankine의 破壞面에서 有效길이 100mm의 餘裕를 주어 設計하였으며, 各種 舉動測定 裝置로서는 흙의 內部應力을 測定하기 爲한 裝置(pressure

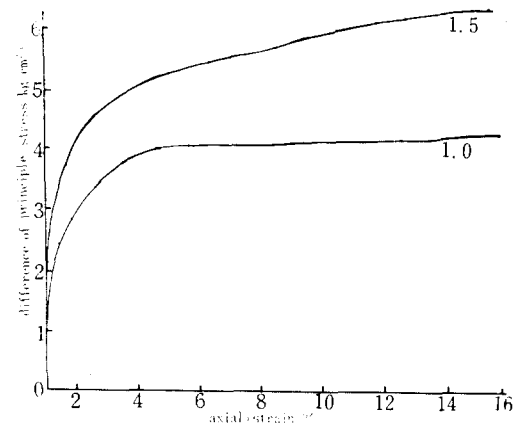
cell 및 Geokon M-3500), skin element 와 補强材에 發生되는 變形舉動測定裝置(SR-4 strain gauge system) 및 skin element 의 橫變位測定裝置(精密눈금테프 및 Transit)를 活用하였다. 壁體를 施工할때는 第2層의 흙을 布設하기 前에 補强材에 付着된 各種 gauge 를 保護하기 爲하여 조심스럽게 흙을 넣고, 시간과 經費의 節約을 爲하여 壁體의 中心線에 따라서 5, 10, 15, 25, 30cm 間隔으로 strip 의 上面과 下面에 strain gauge 를 2개씩 付着시켜서 直接 引張變形을 測定할 수 있도록 試圖하였으며 모든 gauge bridge 는 스위치를 通하여 SR-4 strain indicator 에 連結시키고 gauge factor 2.5를 使用하여 變形 gauge reading 에 의하여 應力을 計算하였으며, 引張應力은 變形量測定과 strip 의 彈性係數에 의하여 Hook's의 法測을 利用하여 計算하였다. 또

壁體의 水平移動은 壁體 中心線에 따라서 補强材와 同一位置에 付着된 精密눈금자와 10m 側方에 設置된 Transit 에 의하여 測定하였고 各層마다 同時에 skin element 의 變位量을 調査比較하였다.

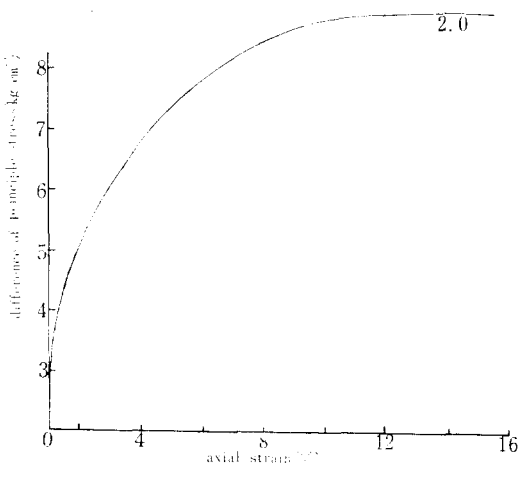
또 skin element 가 破壞된 後에 그 破壞舉動을 調査하기 爲해서 concrete block(개당 50kg)을 使用하여 壁體를 破壞시킨 後에 崩壞된 壁體의 傾斜角을 調査하니 40° 程度로써 뒷채움材의 內部摩擦角과 비슷한 값을 나타냈고, 제일 上부분의 skin element 는 100mm 程度 外側으로 移動하였는데, 最下端部の 要素는 거의 움직이지 않았다. 이는 破壞面의 一般의인 양상인 sliding 이라기 보다는 壁體가 剛性 block 狀態로 되고 toe 를 中心으로 土塊가 overturning 되는 現象으로 說明할 수 있었다.

Table 2. Properties of plastic fabric filter

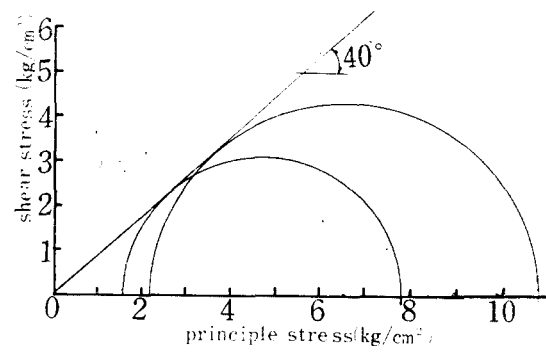
I.D. of fabrics I.D. of properties	A (Mat)	B (Cloth)	C (Mesh)	D (Tape)	E (Non-woven)
(a) Specific gravity	0.95	0.95	0.75	0.95	0.65
(b) Weight(g/m <sup>2</sup> )	244	244	406	135	135
(c) Effects of heats(°C)	140-165	140-165	115-137	115-137	110-132
(d) Percent of open area (%)	5% <	5% <	8% <	7% <	8% <
(e) Equivalent opening size (mm)	0.19~0.49	0.18~0.46	0.17~0.48	0.17~0.48	0.17~0.45
(f) Puncture strength (kg)	63	54	31	20	20
(g) Seam breaking strength (kg)	88	77	36	40	36
(h) Tensile strength (kg/20°C)	191 (88)	93 (93)	85 (42)	46 (54)	56 (42)
(i) Elongation (%/20°C)	22 (27)	24 (17)	27 (25)	11 (14)	10 (18)
(j) Bursting strength (kg/m <sup>2</sup> )	38	42	18	12	8
(k) Weight change in water (%)	1 <	1 <	1 <	1 <	1 <
(l) Effects of alkali(kg/20cycles)	175 (85)	129 (114)	88 (42)	41 (54)	62 (41)
(m) Effects of acid (kg/14 cycles)	194 (88)	99 (99)	94 (40)	95 (68)	69 (49)
(n) Abrasion resistance (450~500) (kg)	45 (31)	35 (30)	25 (10)	5 (4)	15 (10)
(o) Thickness(mm)	0.925	0.431	0.825	0.865	0.75



(a) axial deformation



(b) axial deformation



(c) failure envelope

Fig. 2. Triaxial test results of soil unreinforced

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1. Reinforcing strip 으로 補强된 흙의 舉動特性

補强土의 强度增加는 補强 및 非補强狀態에서 各種 土質試驗을 通하여 比較함으로써 究明할 수 있고, 이때에 補强된 흙의 强度增加는 흙속에 插入된 補强材가 合成體 内部에 非等方性 粘着力을 誘發시키는 現象으로 解析하는 方法과, 흙과 補强材사이에 일어나는 摩擦力 때문에 側方壓力에 새로운 拘束力(Fig. 3에서)이 發生되며 이에 따라 흙全體의 壓縮强度  $\sigma_R$ 가 增加되는 現象으로 解析하는 方法이 있다.

따라서 補强土가 等方等質材인 境遇에는 Mohr-coulomb의 破壞法則으로 解析할 수 있고, 이때 補强材는 이에 垂直方向의 應力때문에 일어나는 흙의 膨脹에 抵抗할 수 있는 能力을 提供하며, 또 흙속에 剪斷抵抗力을 誘發시킨다. Hausman은 이와같은 應力增加現象을 Sigma model과 Tau model로 區分하여 Modeling approach를 試圖한 바 있다.

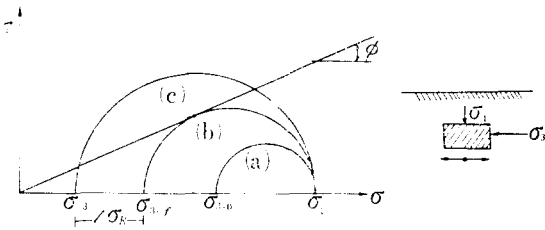


Fig. 3. Stress changes expanding soil mass.

그림 3은 Sigma Model에서 水平方向으로 膨脹됨을 Mohr의 應力圓으로 表示한 것이고<sup>12)</sup> 應力圓(a)는 靜的狀態를, (b)는 非補强土의 破壞條件을 表示한 것이고, 이때  $\Delta\sigma_R$ 은 補强土가 破壞條件에 到達되기 전에 水平土壓을 減少시키는 量이며 그림 (c)에 該當된다.

補强土에 荷重이 作用하면 흙과 補强材의 接觸面에서는 두 재료의 相互内部作用에 의하여 補强材에는 剪斷應力( $\tau_R$ )이 發達되고, 이에 반하여 補强材의 수직방향에는 흙의 팽창변형에 抵抗하는 수직應력( $\sigma_R$ )이 作用하며, 이 두 힘은

相互平衡을 維持하게 된다. Fig. 4는 이와 같은 概念下에서 三軸壓縮試驗한 試料의 應力 狀態를 表示한 것이며 cell pressure ( $\sigma_3$ )를 一定하게 하고  $\sigma_1$ 을 變更시켰을때 拘束力 ( $\sigma_R$ )은  $\Delta\sigma_3$ 와 같게 된다[그림 4-(d), (e)], 따라서 이와 같은 狀態에서는 補強試料(補強土)가 破壞狀態[그림 4-(f)]에 도달하기 전에 이미 側方向의 壓力(土壓)을 減少시키는 作用이 發達된다.

이와같은 理論的 背景下에 大型 三軸壓縮試驗

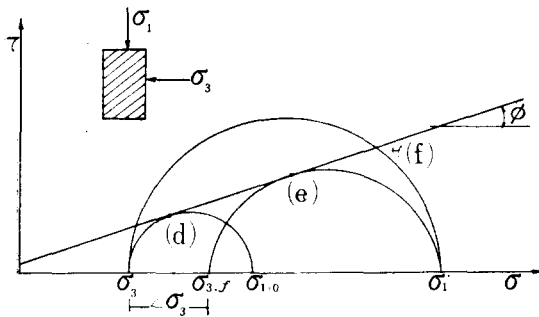


Fig. 4. Stress changes in triaxial test for specimen 器(Wykeham Farrance, Marui)를 利用하여, reinforcing strip의 補強狀態를 4가지 경우로 變更하여 실험한 結果를 그림 5 및 그림 6에 表示하였다.

Strip과 흙사이에 最大 剪斷力이 作用할 때에는 Cylinder의 接觸面에 沿하여 摩擦力  $\sigma_v \cdot \tan\phi$ 가 作用하며 이때 單位要素  $dr$ 에 作用한 全 摩擦力은  $2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot \sigma_v \cdot \tan\phi$ 로 되고, 側方向의 壓力은  $\frac{2 \cdot \sigma_v \cdot dr \cdot \tan\phi}{D}$ 로 表示된다. 載荷時에는 이 2개의 힘이 同時に 作用하므로 垂直應力의 增加重은 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$d\sigma_v = \frac{2 \cdot \sigma_v \cdot dr \cdot \tan\phi}{D \cdot K_b} \dots\dots\dots(1)$$

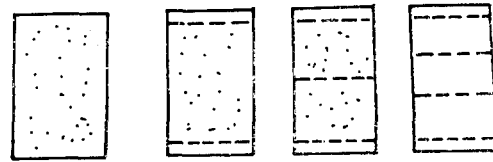
또 試料가 破壞狀態에 到達되면 (1)式은 다음과 같이 表示된다.

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_h} = \left[ \frac{\sigma_v}{\sigma_h} \right]_0 e^{\frac{2 \cdot \tan\phi \cdot (r_0 - r)}{D \cdot K_b}} \dots\dots\dots(2)$$

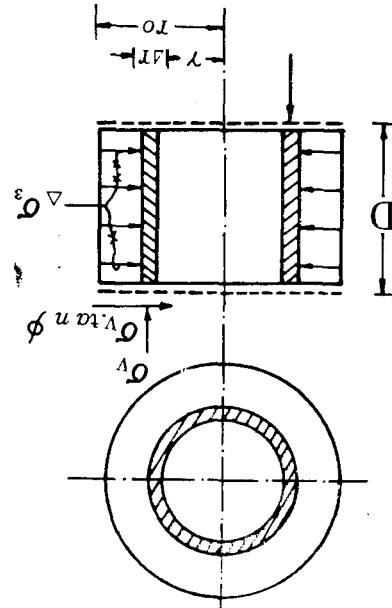
따라서 試料에 作用하는 軸方向의 全體 힘은 다음과 같이 表示된다.

$$P = \int_0^{r_0} 2 \cdot \pi \cdot \sigma_v \cdot r \cdot dr \dots\dots\dots(3)$$

위의 식으로부터



(a) sample reinforced with filter



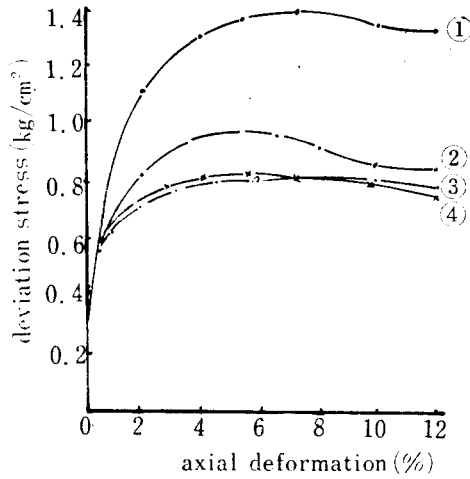
(b) stress distribution

Fig. 5. Stress distribution of specimen reinforced with plastic fabric filter.

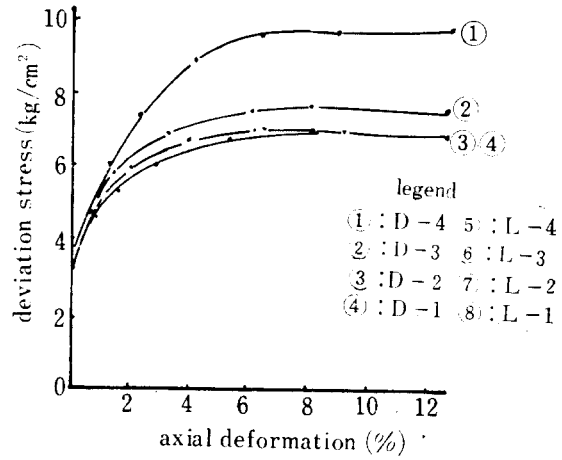
$$P[\sigma_h] = \frac{\sigma[\sigma_h] \cdot \pi \cdot K_b \cdot D^2}{2 \cdot \tan^2\phi} \left\{ e^{\frac{2 \cdot \tan\phi \cdot r_0}{D \cdot K_b}} - \frac{2 \cdot \tan\phi \cdot r_0}{D \cdot K_b} - 1 \right\} \dots\dots\dots(4)$$

그림 6은 reinforcing의 間隔, 흙의 다짐狀態 및 拘束應力을 變化시켜서 三軸壓縮 시험한 結果이며, 흙의 體積變化는 strip의 間隔이 좁을 수록 減少되는 傾向을 보였고, 試料가 破壞狀態에 到達되면 急速한 變化를 일으켰다. 이는 Dilatancy 現象에 超因하는 것으로서 作用荷重이 클 수록 變形量도 크고, dense한 狀態가 loose한 狀態보다 破壞에 對한 抵抗性이 훨씬 크게 나타났고 역시 Strip의 數가 많을수록 이와같은 傾向은 顯著하게 나타났다.

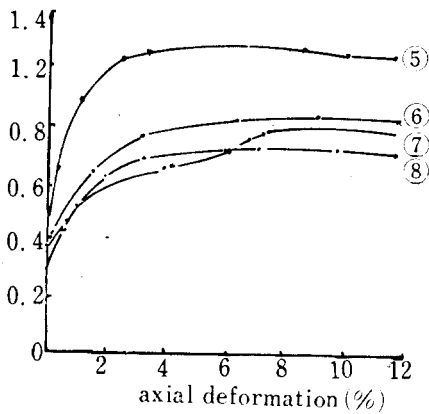
loose한 狀態下에서는 試料自體의 間隙水壓에



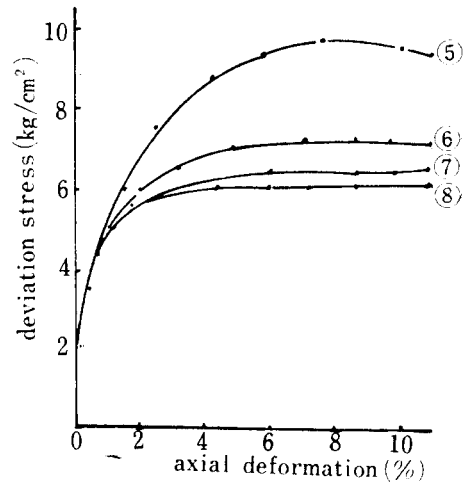
(a)  $\sigma_3 = 0.4 \text{ kg/cm}^2$  under dense state



(c)  $\sigma_3 = 4 \text{ kg/cm}^2$  under dense state



(b)  $\sigma_3 = 0.4 \text{ kg/cm}^2$  under loose state



(d)  $\sigma_3 = 4 \text{ kg/cm}^2$  under loose state

Fig. 6. Relationship between stress and deformation

의하여 土粒子 周邊에 張力이 發生되어 剪斷應力을 增加시키기 때문에 試料가 破壞에 對한 抵抗力이 弱화된다고 할 수 있다.

또 Strip의 間隔이 좁을수록 極限強度는 增加되는 傾向을 나타냈고, 3겹으로 設置했을 때는 非補強에 比하여 30%程度의 強度增加를 보였으며 試料의 兩端部에 密着시켜서 設置한 Strip은 載荷板에서 作用하는 摩擦力때문에 極限強度에는 別影響을 미치지 못한 것으로 思料된다.

또 試驗의 終了後에 破壞된 試料의 形態를 觀察한 結果 非補強 試料에서는 試料의 中間部分

에서 물항아리처럼 外側으로 膨張되었고, Strip의 數가 增加될수록 이와같은 傾向은 減少되었다. 이와같은 現象은 Strip과 흙의 相互補強作用에 의하여 側方向變形을 抑制함을 뜻하며, dense한 狀態下에서는 흙의 內部 摩擦角이  $40^\circ$ 이고 loose한 狀態下에서는  $36^\circ$ 로써 10%程度 增加되었다.

그림 7은 reinforcing strip을 水平方向으로 設置한 試料에 對한 三軸壓縮試驗 結果이며, Mohr의 envelope는 그림 2에서와 같이 典型的인 모양을 나타냈고, 強度增加는 reinforcing의 最大

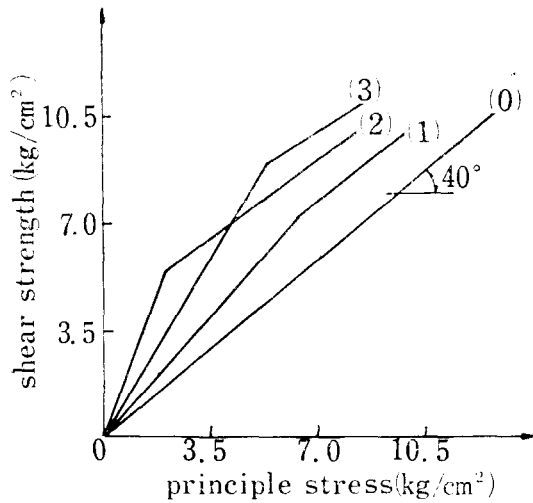


Fig. 7. Traxial test results reinforced with filters

引張強度를 基準으로 하여 計算한 값보다 약간 작은 값을 나타내는 傾向을 보였으나 補強狀態에 따라서 약간의 차이가 나타났고 이는 reinforcing strip의 兩橫斷面의 接觸點의 異方性에서 오는 複雜한 應力狀態로 說明할 수 있고, 本實驗結果에서는 strip의 間隔과 內部摩擦角사이에는 특별한 關係가 나타나지는 않았으나 이는 載荷狀態에 따라 그의 影響을 받는다.<sup>4)</sup>

그림 8은 試料에 作用하는 힘(水平 및 垂直力)과 Reinforcing strip의 間隔과의 關係를 表示한 것으로 理論式은 實驗値와 잘 一致되었고 Coulomb의 主動土壓 係數에 보다는 대체로 30% 程度 크게 나타났다.

이와같은 一連의 實驗結果에서 觀察하면 補強材의 間隔은 應力과 變形特性에 影響을 미치며 Broms<sup>4)</sup>에 의한  $K_b$  값 推定은 fabric으로 補強된 흙의 應力計算에 使用할 수 있음을 의미한다.

### 3.2. 補強 Model 試驗

一般的으로 補強作用은 合成材料의 複雜한 內部作用을 考慮할 必要가 없는 等方等質 材料에서 Coulomb type 解析이 效果의으로 評價되며 이때 強度增加는 Mohr의 應力圓을 使用하여, 그림 9와 같이 표시하였다. (a)는 非補強狀態이고 (b)는 補強後 強度增加를 뜻한다. 즉 補強

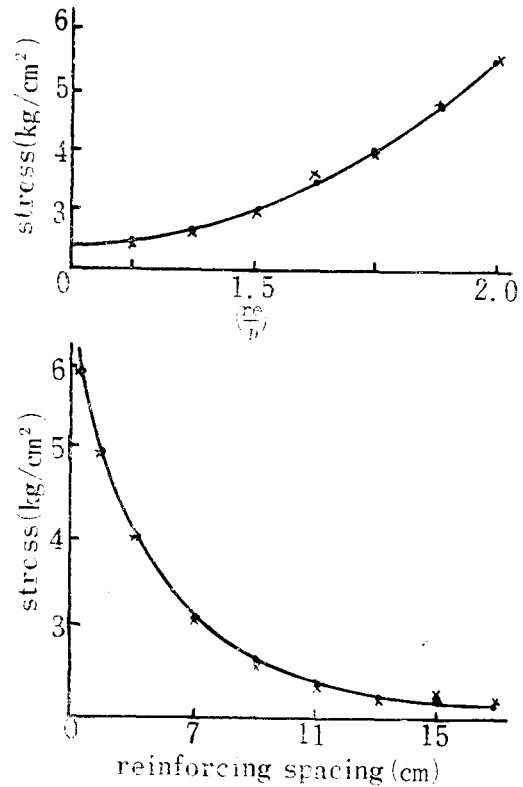


Fig. 8. Relationship between ultimate stress and spacing of fabric filter.

材를 插入한 후 荷重을 加한 結果 試料가 破壞狀態에 도달되었을 때 主應力은  $\sigma_R$ 로 增加되고 이로 因하여 흙內部에서는  $\sigma_R$ 에 해당되는 拘束力이 發達되어 全體的인 흙의 強度가 增加되는 것이다.

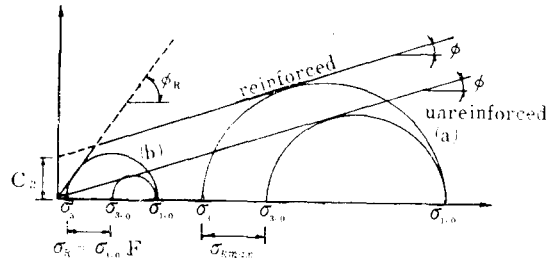


Fig. 9. Strength increment due to the reinforcing strip

이때  $\sigma_R$ 의 값이 一定하면  $C_R$ 의 값은 다음과 같이 表示된다.

$$C_R = \sigma_R \times \frac{1}{2\sqrt{Ka}} \dots\dots\dots(5)$$



또  $\sigma_R$  은 壓縮力에 比例하므로 다음과 같이 表示된다.

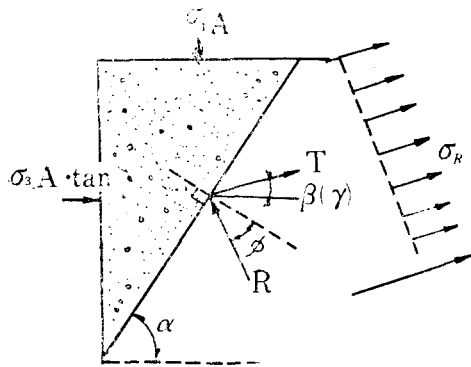
$$\sigma_R = \sigma_1 \cdot F \dots\dots\dots(6)$$

$$\phi_R = \sin^{-1} \left[ \frac{1+F-K_a}{1-F+K_a} \right] \dots\dots\dots(7)$$

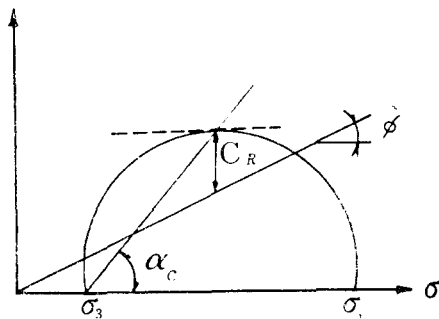
$F$  는 補强材에 의한 影響值로서 다음과 같이 表示된다.

$$F = \frac{2 \cdot B' \cdot L'}{B \cdot H} \cdot \tan \phi \cdot e_s \dots\dots\dots(8)$$

이상의 結果는 Reinforcing strip이 主應力面에 水平하게 挿入되었을 때의 理論式이며, 이에 反하여 그림 10은 破壞狀態에 있는 reinforced earth wedge의 傾斜에 對한 影響을 表示한 것으로 그의 應力狀態는 다음과 같이 表示된다.



(a) wedge theory concept



(b) concept of cohesion

Fig. 10. Theory of inclined reinforcement of coulomb type.

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot K_1 + \sigma_R \cdot K_2 \dots\dots\dots(9)$$

$$K_1 = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha - \phi)} \dots\dots\dots(10)$$

$$K_2 = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \alpha} \cdot \left[ \frac{\cos \beta}{\tan(\alpha - \phi)} + \sin \beta \right] \dots\dots\dots(11)$$

$\alpha_c$  는 臨界狀態의 破壞平面을 表示하며  $\beta=0$  일때는 다음과 같다.

$$\alpha_c = 45 + \frac{\phi}{2} \dots\dots\dots(12)$$

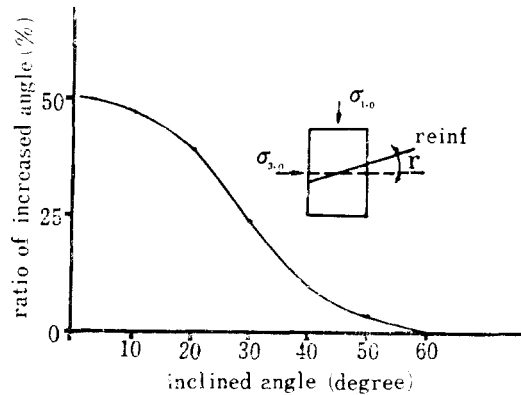
$$K_1 = K_2 = K_p$$

$\beta \neq 0$  일때에는 上記式에서  $\phi, \sigma_3$  및  $\sigma_R$ 의 값을 求할 수 있고  $\sigma_R$ 은 다음과 같이 求한다.

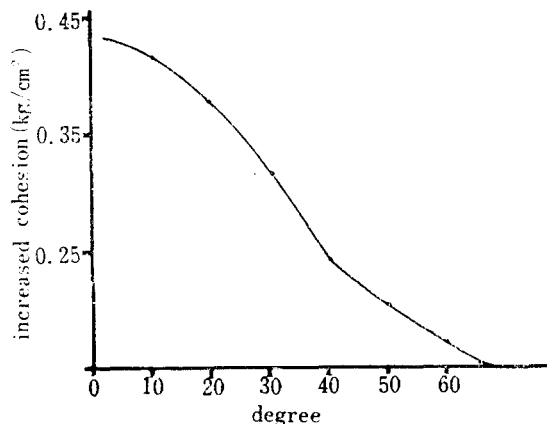
$$\sigma_R = F \cdot \sigma_\beta \dots\dots\dots(13)$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \left[ \frac{K_1 + F(\sin^{-2} \beta) K_2}{1 - F(\cos^2 \beta) K_2} \right] \dots\dots\dots(14)$$

이에 反하여 土壓問題에서 Rankine type의 破壞條件을 分析하는 方法은 Coulomb type와는 달리 非補强土의 破壞應力을  $\sigma_{3.0}$  및  $\sigma_{1.0}$ 라고 했



(a) Effects of reinforcing strip inclination on friction angle.



(b) Effects of reinforcing strip inclination on cohesion

Fig. 11. Effects of inclination on reinforcing strip.

을때 이들 主應力 方向에 對한 傾斜角을  $r$ 로 하면 다음과 같은 式이 成立된다.

$$\sigma_{1,0} = K_p \cdot \sigma_{3,0} \dots\dots\dots(15)$$

$$\sigma_R = F \cdot \sigma_3 \dots\dots\dots(16)$$

$$\phi_R = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{K_3^2 + 2F \cdot K_4 + F^2}}{2 - F - K_4} \right\} \dots\dots(17)$$

$$K_3 = \frac{2 \cdot \sin \phi}{1 + \cos 2r \cdot \sin \phi} \dots\dots\dots(18)$$

$$K_4 = K_3 \cdot \cos 2r$$

그림 11은 水平面에 對하여  $r$ 만큼 傾斜되도록 reinforcing strip을 設置했을때 内部摩擦角의 變化를 表示한 것으로 reinforcing strip의 傾斜가  $60^\circ$  以上으로 되면 補强效果는 전혀 나타내지 못하였고 主應力面과 水平으로 設置했을때에 補强材와 흙사이에 接觸面이 最大로 되며 따라서 垂直應力の 傳達效果도 크게 되기 때문에 傾斜角이 흙 自體의 内部摩擦角 以上으로 되면 補强效果의 減少도 純化됨을 보였다.

이와같은 現象은 摩擦角의 增加와 粘着力의 變化에 共히 비슷한 傾向을 보였다.

### 3.3. 補强壁體 Model 試驗

補强壁體는 Rankine에 의한 potential failure plane을 境界로 하여 그림 12와 같이 zone(I)과 zone(II)로 區分되고 이 두 zone은 構造上으로는 同一體이나 zone(I)은 流動狀態로써 構造物의 安定을 破壞하는 不安定 zone이고, zone(II)는 reinforcing strip의 도움으로 두 zone을一體로 連結시켜 安定을 維持시키려는 作用을 한다.

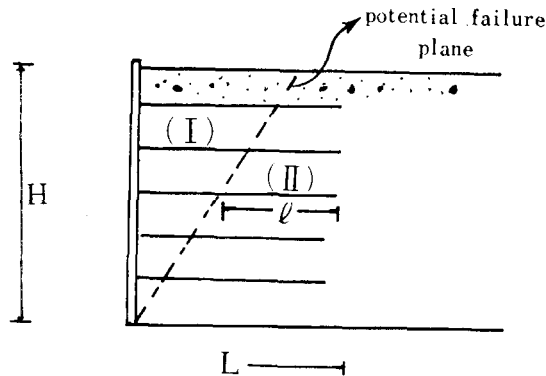


Fig. 12. Schematic reinforced earth wall

本 補强 Model에서는 破壞面을 넘어서 設置한 補强材의 全長 L에 作用하는 tie pullout re-

sistance에 의하여 壁體에 作用하는 土壓과 均衡을 取하도록 하였고, 壁面體를 L-형 콘크리트 block으로 設置하여 補强材와의 連結를 원활하게 하고, arching 現象을 抑制시켜 土壓의 發生을 減少시키도록 試圖하였다.

#### 3.3.1 補强壁體에 作用하는 壓力

本 實驗에 使用된 補强壁體는 그림 13과 같이 L-형 콘크리트 block과 보강재와 뒷채움재 및 이에따른 各種 測定裝置로 構成되었다.

이때 fabric filter가 側方土壓의 一部를 받아주기 때문에 L-형 block에 作用하는 土壓은 比較的 작게 되고, 補强材에 의한 側方壓力의 減少와 拘束力은 두개의 fabric strip層사이에 있는 흙의 單位 要素에 作用하는 힘의 平衡으로부터 求할 수 있으며, fabric strip表面에 作用하는 摩擦力은 有效 垂直應力에 比例하므로 그림 14에서 다음과 같이 求할 수 있다.

$$f = \sigma'_v \cdot \tan \phi \dots\dots\dots(19)$$

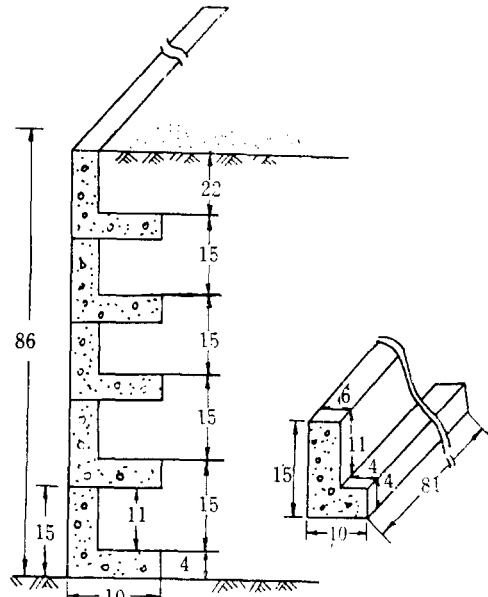


Fig. 13. Fabric reinforced retaining wall.

벽체로부터 X만큼 떨어져 있는 부분의 垂直壓力이  $\sigma'_v$  일때 側方變位는 最大摩擦力인  $\sigma'_v \cdot \tan \phi$ 와 密接한 關係가 있으며,  $X + \Delta X$ 의 거리에서 Bearing Capacity는 fabric의 接觸面에서 일어나는 摩擦抵抗 때문에  $\sigma'_v + \Delta \sigma'_v$ 로 增加되며 理論上으로는 壁體의 背面距離 X와  $X + \Delta X$ 사이의 摩擦力을 勘案한 側方拘束力인  $2 \cdot \sigma'_v \cdot \Delta X \cdot$

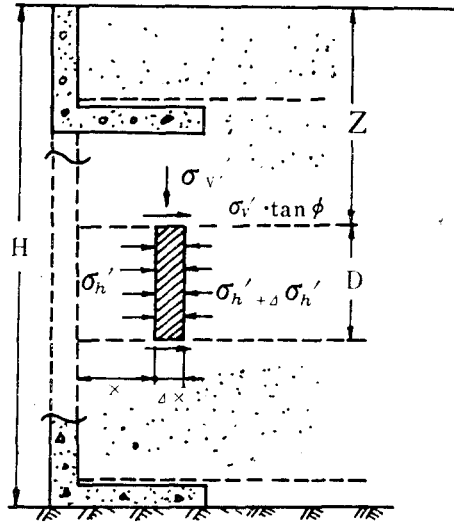


Fig. 14. Stress distribution in back fill.

$\tan\phi$  값을 두 reinforcing strip 사이의 수직거리  $D$  로 나눈 값과 같으며, 따라서 最大摩擽力이 reinforcing strip 한 層의 兩端面에서 發生된다고 假定할 때 bearing capacity 增加量  $d\sigma_v'$  는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$d\sigma_v' = \frac{2 \cdot \sigma_v' \cdot \Delta X \cdot \tan\phi}{D \cdot K_b} \dots\dots\dots(20)$$

또 摩擽抵抗은 側方土壓에 따라서 增加되므로  $X$ 의 距離에서  $\sigma_h'$  라면  $X + \Delta X$ 에서는  $2 \cdot f \cdot \Delta X = D \cdot \Delta\sigma_h'$ 의 關係가 成立된다.

이때  $\sigma_h'$ 는  $K_b$ 와 密接한 關係가 있고 이 값은 Rankine의 主動土壓 係數보다 약간 크게 된다. 왜냐하면 嚴密한 의미에서  $\sigma_h'$ 나  $\sigma_v'$ 는 reinforcing strip의 表面에 따라서 일어나는 摩擽力 때문에 主應力이라고 할 수 없으며, 粘着力이 없을 때  $K_b$  값은  $\frac{1}{1 + 2 \cdot \tan^2\phi}$ 로 表示된다.

(20)式에서 垂直應力의 增加量은 壁體의 背面 距離에 比例하므로 本 方程式을 풀어서 다음 式으로 表示한다.

$$\sigma_v' = \sigma_{v_0}' \cdot e^{\frac{2 \cdot X \cdot \tan\phi}{D \cdot K_b}} \dots\dots\dots(21)$$

$$\sigma_h' = \sigma_{h_0}' \cdot e^{\frac{2 \cdot X \cdot \tan\phi}{D \cdot K_b}} \dots\dots\dots(22)$$

위의 (21)式과 (22)式에서 本 研究에 使用된 材料의 諸特性을 適用하여 다음과 같은 實用式을 誘導하였다.

$$\sigma_v' = 0.844 \cdot e^{\frac{4 \cdot 6 \cdot X}{D}} \dots\dots\dots(23)$$

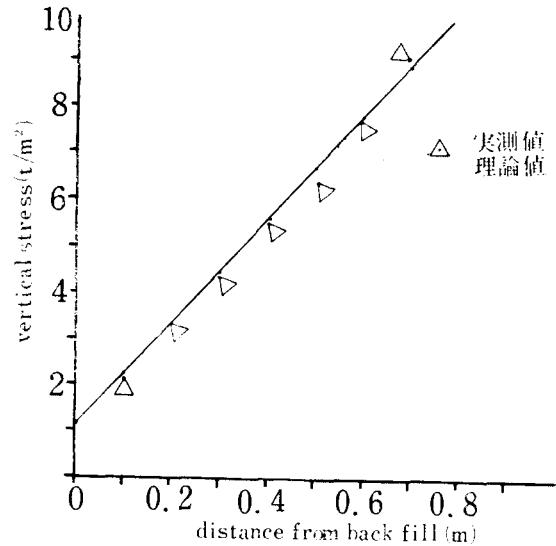


Fig. 15. Relationship between vertical stress and distance from back fill.

$$\sigma_h' = 0.308 \cdot e^{\frac{4 \cdot 6 \cdot X}{D}} \dots\dots\dots(24)$$

그림 15에서와 같이 壁體 뒷면에서 距離가 增加됨에 따라서 fabric의 拘束力에 의한 摩擽面積이 增加되므로 逆으로 壓力은 增加되고, 벽체 바로 뒷면에는 主動土壓보다 훨씬 작은 土壓이 作用하며 이때 L型 block에 作用하는 土壓은 微

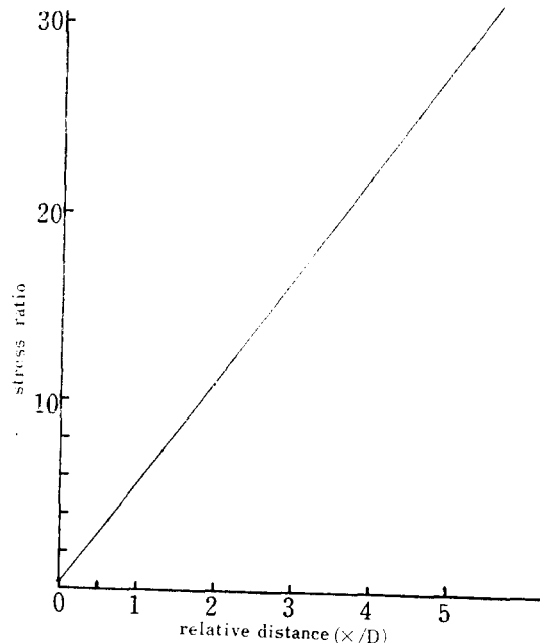


Fig. 16. Relative lateral resistance capacity ratio of wall reinforced with back fill.

少하며, 理論値와 實測値와는 理論測가 약간 크게 나타났으며 이는 土粒子的 粒度分布와 뒷채움재의 다짐에 의한 影響으로 思料된다.

그림 16은 背面距離에 따른 應力比를 나타낸 것으로  $\frac{X}{D}=1$  일때 應力比는 5.8程度로 되었다. 卽, 背面距離와 reinforcing strip의 間隔을 같게 取했을 때 L-typed concrete block 補強壁體에서는 非補強 壁體에 比하여 5.8培의 壓力에 抵抗할 수 있음을 意味하며 따라서 實際의 設計에는 20% 程度의 壓力에 抵抗할 수 있도록 設計하면 力學的으로 可能함을 알 수 있다.

兩面이 reinforcing strip으로 補強된 혹은 그의 拘束力에 의하여 兩接觸面에서 剪斷 抵抗力

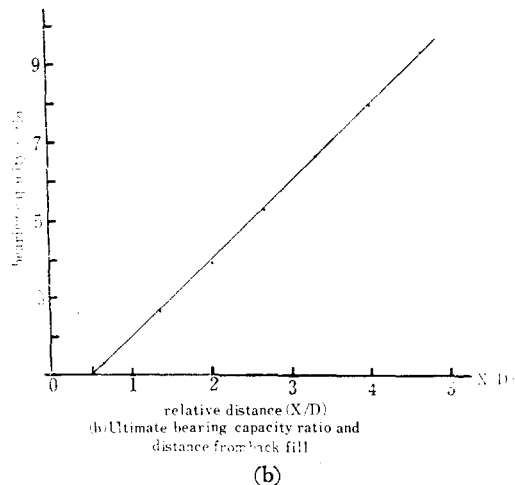
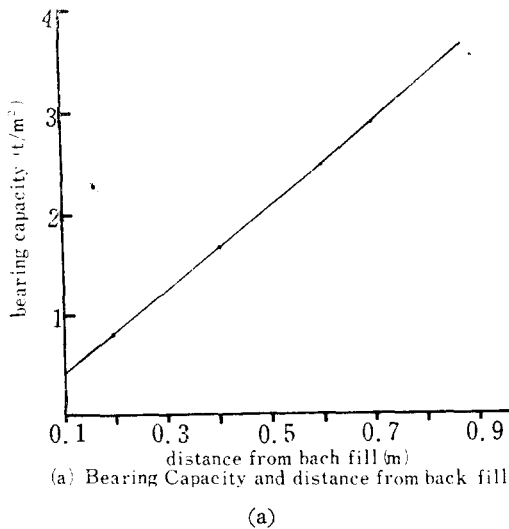


Fig. 17. Relationship between bearing capacity and back fill distance.

이 强하게 發揮되고, 이는 壁體 背面으로부터 距離가 增加됨에 따라서 bearing capacity는 漸次 增加되며 그림 17과 같이 同一斷面 위에서 fabric의 間隔과 壁體背面 距離를 같게 取했을 때, bearing capacity는 2倍程度되므로 L-型 補強壁體에서는 50% 程度의 水平應力에 抵抗할 수 있도록 設計해도 可能하다.

따라서 本 研究에서는 L-型 block의 下端에서  $0.308t/m^2$ 의 壓力에 抵抗될 수 있도록 設計되었으므로  $\frac{X}{D}=1$  일때 그의 支持力은  $1.7t/m^2$ 에 該當하며, 이는 1m 높이의 壁體와 같고, 壁體가  $0.308t/m^2$ 에 抵抗할 수 있도록 設計했을 때 壁體높이가 1m 以下인 경우에는 恒常 安定이 維持된다고 할 수 있다.

그러나 實際 施工現場에서는 間隙水壓이 作用되지 않도록 注意해야 하며 back fill材는 透水性이 높은 材料가 要求되며, Broms<sup>3)</sup>에 의하면 clay(<0.06mm)의 粒子가 10% 以下로 함이 理想的이라고하며, fabric filter 自身도 排水機能을 어느程度 가지고 있으나 長期間에 걸쳐 地下에 물이 스며들거나, 地下水 湧出의 念慮가 있는 곳에서는 (23)과 式(24)보다 약간 크게 取해야 할 것으로 思料된다.

### 3.3.2 L-型 Skin element를 사용한 補強壁體의 strip의 間隔

補強材의 間隔은 壁體 뒷면에 作用하는 土壓分布와 그의 크기 및 creep 強度에 따라 決定되며 이 때의 土壓分布는 1941 年에 Terzaghi-peck가 提案한 壓力圖를 修正하여 使用하고 있다.

工事의 目的으로 地中에 開渠를 파기가 곤란하거나 工事費를 節約할 目的으로 버팀기등을 設置했을때 이에 作用하는 荷重은 正確하게 求하기가 곤란하여 그림 18과 같은 略式 壓力圖를 使

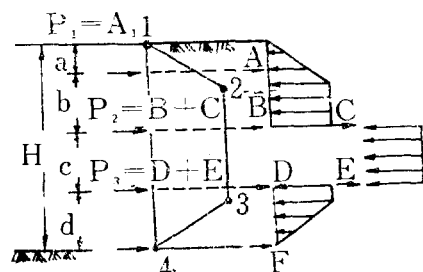


Fig. 18. Envelope of apparent earth pressure diagram.

用하고 있다.

Terzaghi-peck 에 의하면 그림 19 와 같이 決定된 荷重으로 設計가 可能하며 이는 strut 에 發生可能한 最大값의 25%를 最確值로 보며 壁體의 높이는 10m 以下일 때에 限한다.

地表面에 等分布荷重 ( $q$ )가 作用한다면 그림 19-(b)를 利用하여 다음과 같이 表示할 수 있다

$$\sigma_a = 0.65 \cdot K_a \cdot H \cdot (1.5q + r_z) \dots\dots\dots(25)$$

이때 全側方土壓은 fabric filter 와 壁體의 바닥에서 일어나는 摩擦力에 抵抗되므로 fabric 의 間隔은 다음과 같다.

$$D = \frac{T_a}{0.65K_a(1.5q + r_z \cdot H) - B \cdot r_z \cdot \tan\phi} \dots\dots\dots(26)$$

L-型 補強壁體의 fabric filter 의 間隔은 fabric filter 의 creep 強度, 壁體의 높이, 層數 및 back fill 材料에 따라 決定되며 本 研究에서는 1.5cm 로 計算되었다.

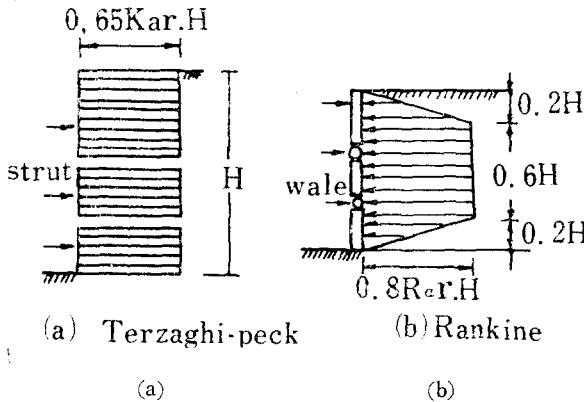


Fig. 19. Suggested apparent earth pressure diagram for design of strut in open cut.

### 3.3.3 壁體의 anchor length

reinforcing strip 의 길이는 그의 張力을 周邊 흙에 傳達할 수 있도록 充分히 길러야하며 이때 張力은 壁體背面的 距離에 比例하고, 理論上 fabric filter 의 破壞點에서 最大값을 나타내며, 剪斷力의 方向도 이 點에서 變化되며 이때의 破壞面의 傾斜角은  $45 + \frac{\phi}{2}$  가 된다.

그림 20 에서  $L_{n-1}$  層의 滑動에 對한 抵抗力은 全體의 上載荷重( $r_z \cdot D_{n-1}$ )에 比例하고  $L_n$  層에서의 anchor length 는 그의 active zone 을 超過한  $L_{n-1}$  의 길이만이 有效하며, 이때 fabric filter 의

張力을  $T_a$  라 할때, 흙의 周邊 接觸面에서 일어나는 張力變化 要因때문에 30% 程度의 餘裕를 加하여야 하고 이 값은 모두 周邊을 둘러싸고 있는 흙속에 傳達되어야 하며 다음과 같이 表示할 수 있다.

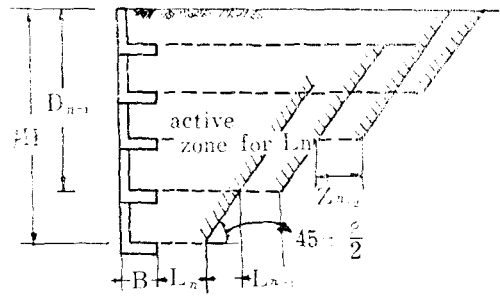


Fig. 20. Required anchor length of fabric filter for L-typed concrete block wall.

$$L_{n-1} = \frac{1.3 \cdot T_a}{r_z \cdot D_{n-1} \cdot \tan\phi} \dots\dots\dots(27)$$

따라서 anchor 의 길이는 壁體下部로 내려갈 수록 짧아지게 된다.

그러나 모든 fabric filter 가 式(27)에 指示된 條件을 모두 滿足시킬 必要는 없고, 다만 壁體背面에 作用하는 全側方土壓이 全體 fabric 層에 의하여 抵抗될 수만 있다면, 地表面에 가까운 層은 要求된 길이보다 약간 짧아도 可能하며, 만일 全體 各層의 fabric filter 의 길이를 同一하게 取했을 때에는 補強 block 體는 bottom 層에 따라서 sliding 이 發生되므로 이때의 길이는 다음과 같이 表示된다.

$$L_n = \frac{0.65 \cdot K_a (1.59 - r_z \cdot H)}{r_z \cdot \tan\phi} - B \dots\dots\dots(28)$$

本 研究에서는 全體길이  $L+B=0.21 \cdot H$  로 計算되었고 따라서 fabric filter 의 길이는 壁體높이의  $\frac{1}{5}$  보다 약간 길게 取해야 한다.

### 3.3.4 壁體의 變形舉動

15cm 間隔으로 설치한 수평이동 측정자에 의하여 過載荷重 50kg/cm<sup>2</sup> 마다 벽의 變形量을 測定하였고, 그림 21 에 나타난 바와같이 壁體의 側方移動은 서서히 일어났고, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 에 到達할때까지는 거의 비슷한 變化를 보였으나 이 荷重을 超過하면 完全破壞가 發生할때까지 急速度로 變化되었고, 이때의 變形度는 1.2% 이었고 非補強에 比하여  $\frac{1}{1.8}$  의 減少를 보였으며, 이와

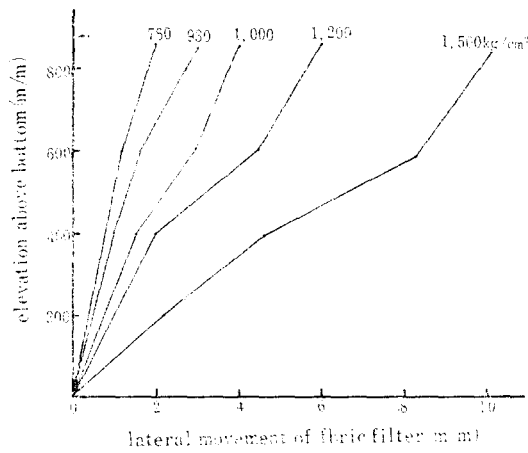


Fig. 21. Deformation of skin element due to surcharge load.

같은 현상은 補强地域이 한개의 剛性 block을 形成하기 때문이다.

그림 22에서 最大의 引張力은 벽체의 바로 뒷면에서 일어나지 않고 壁體에서 15cm 정도 떨어져서 發生하였고, fabric의 間隔과 비슷하였으며, 이들사이에서는 어느 特徵의인 相關關係는 보이지 않았으나 破壞形狀은 Rankine의 理論과 거의 一致되었고, 破壞時의 應力狀態를 調査한 結果 垂直破壞應力에 의하여 fabric의 引張應力이 크게 誘發되고 있음을 確認할 수 있었다.

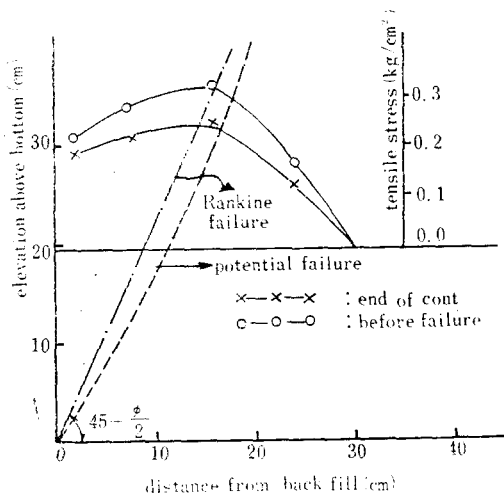


Fig. 22. Tensile stress distribution along the instrumented reinforcing ties at the time at the completion of constuction and before failure.

그림 23은 壁體에 設置한 gauge에 의하여 測定된 土壓의 分布狀態를 表示한 것이며 Rankine의 理論值보다 약간 작게 나타났고 壁體의 바닥 부분에서는 實際壓力은 減少되었다.

이와같은 一聯의 現象은 補强材의 引張應力이 흙속에 傳達되어 하나의 剪斷強度을 誘發시켜 側方土壓을 減少시키고 또 壁體아랫부분에서는 Model Box 바닥의 粗度, 過度한 拘束力, 壁體의 摩擦程度 및 應力—變形舉動의 非線型性等에 基因하는 것으로 推測된다.

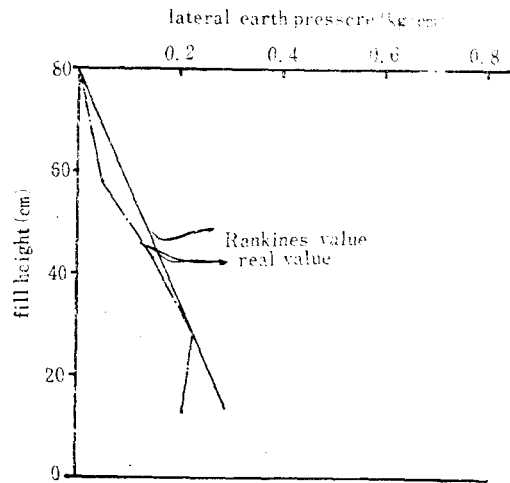


Fig. 23. Earth pressure distribution.

以上の 모든 材料를 綜合하여 Sliding 및 Overturning에 對한 安定計算에서 모두 安全側에 있었고 Broms<sup>3)</sup>의 安全診斷에서도 合力의 作用點이 logarithmical spiral의 center의 左側에 位置하므로 充分한 安全을 維持할 수 있음을 確認하였다.

#### 4. 結 論

大規模切盛土工事, Sliding이 발생할 위험지구, 일반도로, 교량공사 및 산간벽지의 도로등에 사면보호용으로 가장 많이 사용되고 있는 응벽구조물은 施工이 까다로울뿐아니라 工事費도 過多하게 消費되어 非經濟的이다.

이와같은 在來式 擁壁의 短點을 補完하기 위해서 本 研究에서는 skin element로써 간단한 L-type concrete block을 사용하고, reinforcing

strip 재료써 값싼 plastic fabric filter 를 사용하고 우리 주위에서 자주 접하는 花崗岩風化土를 back fill 材로 利用하여 構造的으로 安定되고 經濟的인 實用 擁壁構造物을 開發하기 爲한 몇가지 實驗을 通하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 開發된 理論式에 의하여 決定한 補強擁壁은 構造的으로 安定되었고 經濟的인 面에서도 安價로 施工이 可能함이 確認되었다.

2. 豫備試驗과 本試驗 結果에 의하면 strip 의 層數와 摩擦角과는 特別한 關係가 成立되지 않았고, strip 의 設置는 主應力面에 平行하게 設置하는 것이 最良 效果의이다.

3. 壁體에 作用하는 側方土壓은 reinforcing strip 과 흙의 摩擦抵抗에 의하여 상당히 減少시킬 수 있고, Rankine 의 破壞線과의 交叉되는 點의 延長以上部分만이 有效하게 作用하므로 實際 施工時에는 이點에 注意할 必要가 있다.

4. 壁體의 補強特性은 主로 reinforcing strip 의 垂直間隔, 有效長, 뒷채움材의 粒度分布 및 다짐특성에 左右되기 때문에 實際施工現場에서는 뒷채움材의 特性에 따라서 補強材를 適切히 選擇하여 最大의 摩擦抵抗을 發揮할 수 있도록 選別해야한다.

5. 補強材에서 發生되는 引張應力은 壁體背面에서 若干떨어진 位置에서 最大값을 가지며 施工與件에 따라서 Rankine 의 理論値와는 正確하게 一到되지 않으나 兩端部를 向하여 大略 對稱型으로 分布되었다.

6. 開發된 理論式에 의하여 設置한 Model에서 壁體의 破壞는 非補強의 境遇에 比하여 1.8 培의 效果가 나타났고, 主로 흙과 補強材의 相互補強效果에 의하여 Overturning 에 의한 破壞로 나타났고, 破壞後의 흙의 傾斜度는 大略 back fill 材의 内部摩擦角과 거의 一到되는 興味있는 現象을 보였다.

本 研究는 1985~1986 年度 韓國科學財團의 研究費支撥에 의하여 이루어졌음.

#### 參 考 文 獻

1. Al-hussaini, M.M., Perry E.B., Effect of Horizontal Reinforcement on Stability of Earth Masses, Soils and Pavement Lab. US Army En-

gineers, WES, Technical Report, 1976.

2. Banerjee, P.K., Principles of Analysis and Design of Reinforced Earth Retaining Walls, Jour. of Inst. Highw. Engr. Vol. 22, No. 1, pp. 13~18, 1975.

3. Broms, B.B., Polyester fabric as Reinforcement in Soil, C.R. Coll. Int., Soils Textile, Paris, pp. 132~138, 1977.

4. \_\_\_\_\_, Design of fabric Reinforced Retaining Structures, Proc. of Symposium on Earth Reinforcement, pp. 282~304, 1978.

5. Concrete units reduce Earth Wall Construction Engineering News Record, Vol. 191, pp. 26~28, 1973.

6. Consedine, R.R., Cost-cutting Technique Succeed on Quebec City Autoroute, Engineering and Contract Record Vol. 16, pp. 48~50, 1973.

7. Chang, J.C., Earth Work Reinforcement Techniques, California Division of HTR Report, CA-Dot-T-2115-9-74-37, 1974.

8. Darbin, M., The Reinforced Earth for The Construction of Road and Motor Roads, Revue Geerale des Routes of Aerodromes, No. 457, pp. 118~127, 1970.

9. French Build Vertical Earth Retaining Walls, Engineering News, Record, Vol. 182, pp. 26~28, 1969.

10. 星埜和; 新版テロツアギ・ベック土質工學, 應用編, pp. 315~321, 1970.

11. Hausman, M.R., Lee I.K., Strength Characteristics of Reinforced Soil, Intl. Cont. on New Horizons in Construction Materials, Vol. 1, pp. 165~176. 1975.

12. \_\_\_\_\_, Strength of Reinforced Soils, Proc. 8th Aust. Road Resea. Conf. Vol. 8, Sec. 13, pp. 1~8, 1976.

13. 市原松平, 矢板岩壁の設計について, 土と基礎, Vol. 8, No. 4, pp. 15~28, 1970.

14. Kratochvill, L., New Trends in Improving physical Qualities of Rocks, Civil Engineering, Vol. 2, No. 6, pp. 241~258, 1971.

15. Lee, K.L. Adams, B.D., Vagneron, J.J., Reinforced Earth Retaining Walls, Jour. of SMFD, Vol. PP. No. SM10, pp. 745~764, 1973.

16. \_\_\_\_\_, Reinforced Earth

- Walls. Rep. No. UCLA-Eng-7233, 1972.
17. Lee, K.L., Richardson, G.N., Seismic Design of Reinforced Earth Walls, ASCE, National Meeting on Water Resource Engineering at LA., pp.105~119, 1974.
  18. Lee, K.L., Reinforced Earth-An Old idea in a New Setting, New Horizons in Const. Mat., Pen. Env. pub., Vol.1, pp.655~682, 1976.
  19. Lee, I.K., Hausman, M.R., Strength Characteristics of Reinforced Sol, Intl. Sym. on New Horizon in Const. mat., Lehigh univ., Vol.1, pp.165~176, 1976.
  20. Munster, A., United States Patent No.1762~243, 1930.
  21. Paratap, V.D., Stress Distribution in Reinforced Earth, M.S. Dissertation, Univ. of Cincinnati, pp.47~51, 1970.
  22. Reed, F.H., United States Patent No.776799, 1904.
  23. Richardson, G.N., the Response of Reinforced Earth Walls to Vibratory Loading, MS Dissertation, Univ. of CA., pp.123~129, 1973.
  24. Richardson, G.N., Response of mould Reinforced Earth Walls to Seismic Loading Conditions, Rep. No. UCLA-Eng-7412.
  25. Ryu N.H., 補強土 工法에 관한 研究, 韓國農工學會誌, Vol.25, No.2, pp.54~66, 1983.
  26. Schlosser, F., Vidal, H., Reinforced Soil, Bulletin No.41, pp.101~144, 1969.
  27. Schlosser, F., La terre armée-récherches et réalisations, Bull. de Liasis, LCPC, No.62, pp.79~92, 1972.
  28. Schlosser, F., Long, N.T., Behaviour of Reinforced Earth for Retaining Structures, Proc. 5th European conf., on SMFE, Vol.1, pp.299~306, 1972.
  29. Schlosser, F., Reinforced Earth Structure on loose Soils, Proc. 8th Int'l. Conf. on SMFE, Vol. 2, No.2, pp.201~205, 1973.
  30. Terzaghi, K., Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edi., Wiley Int'l., Edition, pp.402~403, 1967.
  31. Vidal, H., La terre armée Annles Inst. Tech. du Batim. Suppl., Vol.19, No.223~224, Serie Materiaux 30, 1969.
  32. \_\_\_\_\_ The Principle of reinforced earth, Highway Res. Record, No.282, pp.1~16,
  33. \_\_\_\_\_ Reinforced Earth Retaining Walls, Jour. of SMFE, Divi, Proc. ASCE, SMIO, pp.745~764, 1973.
  34. Yang, Z, Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Sand, Ph. D. Dissertation, UCLA, LA, pp.235~38, 1972.

#### Symbol explanation

1. Triaxial test results
  - (1) D-4 : Dense state, 4layers of strip included
  - (2) L-4 : loose state, 4layers of strip included
  - (3)  $\sigma_R$  : Increased stress
  - (4)  $D$  : Depth of sample for triaxial test
  - (5)  $r_s$  : Radius of sample
  - (6)  $T$  : Tensile stress
  - (7)  $\alpha$  : Inclination angle of failure plane
  - (8)  $\beta(r)$  : Inclination angle of strip inserted in sample.
  - (2)  $C_R$  : increased cohesion
2. Model wall test results.
  - (1)  $\sigma_h'$  : Effective horizontal pressure in wall
  - (2)  $\sigma_v'$  : Effective vertical pressure in wall
  - (3)  $D$  : Vertical spacing of strips
  - (4)  $X$  : Distance from wall face
  - (5)  $K_b$  : Coefficient of friction for cohesionless
  - (6)  $F$  : influence value of strip