

뒷채움 모래의 다짐에 의한 透水異方性이 主動土壓에 미치는 影響

The Effects of Permeability Anisotropy on the Active
Earth Pressure in Compacted Sand Backfill

鄭 成 教*

Chung, Sung-Gyo

辛 鍾 甫**

Shin, Jong-Bo

田 溶 伯***

Jeun, Ryung-Beck

Abstract

To investigate the seepage effect on the compacted backfill of retaining walls, an experiment and an analytical study were carried out.

First, the experiment was performed with a two-way permeameter newly designed for the determination on the degree of permeability anisotropy of compacted soils. As a result, $e - \log(k_x/k_y)$ plot showed a linear relationship, where k_x and k_y were permeability coefficients for the normal and the parallel directions to the compaction. The degree of permeability anisotropy, k_x/k_y , was 2 to 4 at $D_r \geq 90\%$ for sands, regardless of the methods of compaction. The k_x/k_y of the fine sand was greater than that of the coarse sand.

Second, the experimental results were applied to the extension of Gray's theory for the investigation of the active thrust affected by the seepage of permeability anisotropy. The active thrust was decreased with the increase in the degree of permeability anisotropy, and it was a little effect on wall friction.

要 旨

뒷채움 다짐한 응벽에 대해 浸透水가 主動土壓에 미치는 影響을 관찰하기 위하여 實驗과 理論解析에 의하여 研究가 遂行되었다.

다짐방법이 모래의 透水性에 미치는 影響을 관찰하기 위하여 특별히 考案된 定水頭 透水試驗裝置와 電氣電導度 測定法에 의하여 實驗이 行해졌다. 實驗結果, 다짐方向에 直角인 方向과 平行한 方

* 正會員. 東亞大學校 工科大學 助教授, 土木工學科

** 正會員. 東義工業專門大學 講師, 土木工學科

*** 正會員. 大邱大學校 理工大學 副教授, 土木工學科

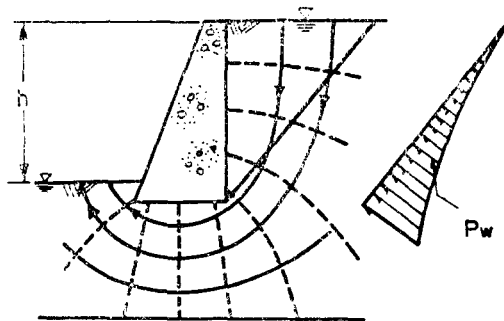
向의 透水係數의 比(k_x/k_y)는 空隙比와 半對數方眼紙에서 直線關係로 보이고, 相對密度가 90% 以上에서는 k_x/k_y 의 값이 2~4로 나타났다. 이 때 다짐方法은 透水係數에 별다른 影響을 주지 않았으며, 굵은 모래보다 가는 모래에서 異方性이 크게 나타났다.

異方性 浸透가 主動土壓에 미치는 影響을 관찰하기 위하여 擴張된 Gray 理論에 實驗結果를 適用하여 보았다. k_x/k_y 의 값이 클수록 主動土壓의 크기는 작아지고, 壁面摩擦의 影響은 크지 않았다.

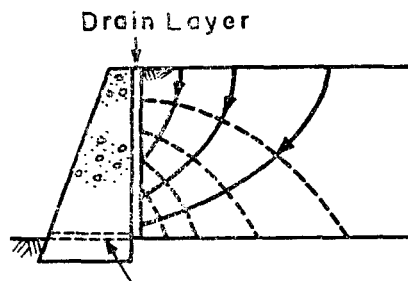
1. 序 論

暴雨 時에 옹벽의 뒷채움흙은 많은 量의 물을 含有한다. 이때에 排水를 充分히 하지 않으면 물이 뒷채움부분의 아래로 통하여 옹벽의 밑부분을 거쳐 앞으로 솟아오를 것이다. 이러한 흐름은 뒷채움흙의 포화로 인한 單位重量의 增加, 파괴면과 옹벽저판에 作用하는 上向力(uplift force)의 발생, 그리고 受動土壓의 감소를 유발할 것이다(Fig. 1. (a)). 일반적으로 浸透壓의 影響을 줄이기 위해서는 Fig. 1. (b) 및 (c)와 같이 砂質土로 뒷채움하고 아울러 排水層을 만든다.¹⁵⁾

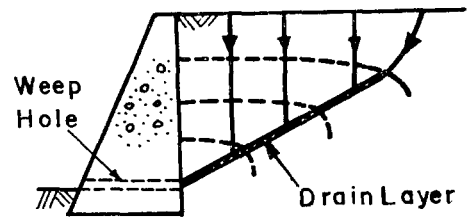
浸透水가 土壓에 미치는 影響을 밝히기 위한 解析은 Terzaghi(1936¹⁶⁾, 1943¹⁷⁾에 의한 流線網法으로부터 비롯되었으며 그후 Gray(1958)²⁾



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Seepage in Backfill

는 數學的인 技法을 도입하여 現在까지 널리 利用되고 있다. 그리고 最近에 Ichihara et al(1980, 1982)^{3,4)}은 數值解析에 의한 여러 경우의 浸透形態에 대해 解析함과 아울러 實驗的인 觀察을 시도하였다.

한편으로, 工學的인 要求에 의해 뒷채움 흙을 다지는 경우로서 옹벽, 地下壁, 橋臺, 鐵筋콘크리트 暗渠 등의 뒷채움 시에 흙의 強度를 增加시킬 目的으로 다짐을 한다. 이때의 土壓分布는 다짐으로 유발된 간류응력 때문에 Rankine(1857)과 Coulomb(1776)에 의해 제안된 土壓分布와 다르다. (Broms, 1971¹¹⁾; Ingold, 1979⁹⁾; 鄭成教, 1985²⁰⁾) 이러한 뒷채움 다짐의 影響은 乾燥狀態에서 土壓分布의 變化는 물론 透水性에서도 異方性을 나타낸다.

이에 대해 Livneh et al(1970)⁸⁾은 道路基層의 다짐으로 인한 異方性透水性, Moodie(1970)¹⁰⁾는 댐을 건설할 때 다짐에 의한 異方性透水性을 각각 觀察하였다. 그리고, 다짐하며 뒷채움한 옹벽에 대하여 浸透水에 의한 土壓의 增加는 Rehnman & Broms(1972)¹⁴⁾에 의해 現場實驗에서 觀察되었지만 解析的인 方法으로 分析하지 는 않았다.

따라서 뒷채움 다짐에 의한 異方性透水性은 물론이고 이에 따라 浸透水가 土壓에 미치는 影響을 觀察할 必要가 있을 것이다. 本 研究은, 먼

저 보편적인 뒷채움재로 추천되는 砂質土에 대해 다짐 効果에 따른 透水의 異方性を 實驗적으로 관찰하고, 다음으로 主動破壞 時에 異方性 浸透가 土壓에 미치는 영향을 解析하기 위하여 Gray 理論을 異方性 地層에 對하여 擴張하여 展開하고, 이 結果를 實際例에 適用하여 보고자 한다.

2. 다짐 効果와 透水의 異方性

壁體의 뒷채움, 道路盛土 등의 경우에 沈下를 줄이고 地盤의 支持力을 增加시키기 위하여 다짐을 한다. 다짐의 결과 흙 組織의 變化를 가져오며,¹³⁾ 이 組織의 變化는 흙의 力學的 特性 뿐만 아니라 透水에도 異方性を 나타낸다.⁹⁾

다짐에 따른 透水의 異方性에 관하여 Livneh et al(1970)⁸⁾이 道路基層의 경우에 CBR 물드를 이용하였으며, 또 Moodie(1970)¹⁰⁾는 fill DAM. 에 대하여 實驗적으로 관찰하였다. 最近에 Witt et al(1984)¹⁸⁾은 粒子모양이 透水係數의 크기 및 異方性에 미치는 영향을 加工된 렌즈모양의 粒子를 사용하여 究明하였다.

그러므로 應變의 뒷채움다짐에 있어서 다짐방법, 다짐의 程度 및 粒子의 크기 등이 透水의 異方性에 어떻게 영향을 미치는가를 實驗적으로 관찰할 필요가 있을 것이다.

2.1 實驗裝置 및 方法

實驗裝置는 두가지 目的을 위하여 製作되었다. 하나는 다짐 方向에 直角인 方向과, 동일한 方向에 대한 透水係數를 測定하기 위한 것이다. 이것은 試料를 넣은 方向에 垂直한 두 方向에 대한 異方性透수를 測定하는 Moore(1979)¹¹⁾의 方法에 비하여 훨씬 까다롭고 어렵다. 다른 하나는 組織의 變化에 따른 異方性透수를 間接적으로 測定하기 위한 것으로서 이 장치는 Mulilis et al(1975)¹²⁾이 행한 方法과 같이 電解質을 통하여 온 電流를 測定하기 위하여 試料箱子의 上下面과 兩側面에 부착된 電導版과 電流測定器이다(Fig. 2). 透水試驗은 定水頭法으로 하였고, 이 實驗을 위한 裝置의 요약도는 Fig. 3 과 같다. 그리고 電流를 測定하기 위하여 사용된 電解質

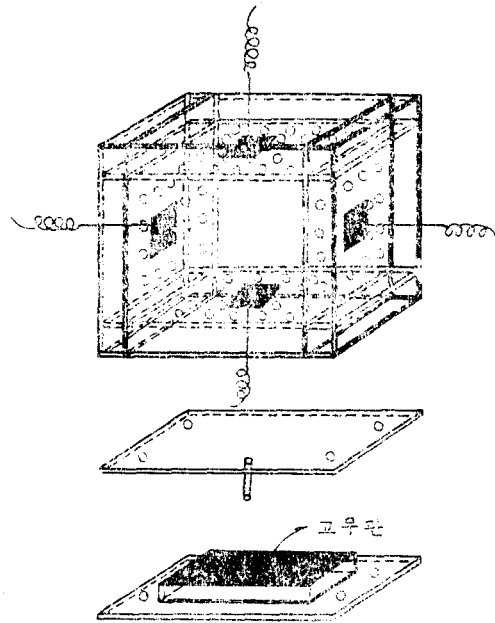
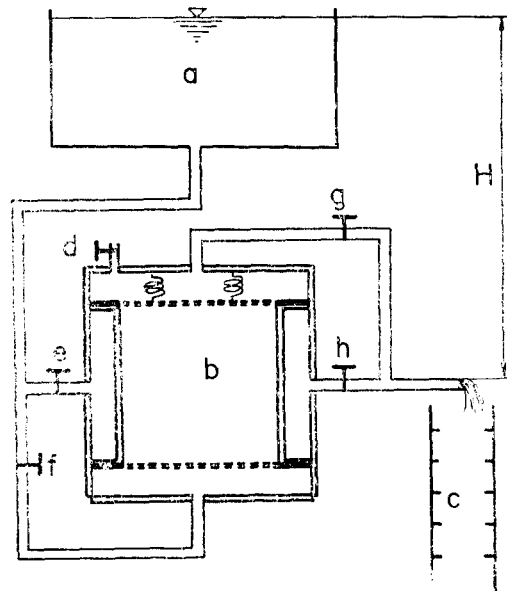


Fig. 2. Sample Box



a : 수조
b : 시료상자
c : 유출량측정비커
d : 기포제거용 밸브
e, f : 유입밸브
g, h : 유출밸브

Fig. 3. Setup for Constant Head Permeability Test

(NaCl)의 濃度는 0.3N 이었다.

粒子의 크기 및 형상에 따른 영향을 관찰하기 위하여 本 實驗에서는 두가지의 試料가 사용되

Table 1. Soil Properties

| Description | Coarse Sand | Fine Sand |
|------------------|-------------|-----------|
| Specific Gravity | 2.655 | 2.643 |
| D_{10} | 0.323 | 0.082 |
| Cu | 1.950 | 1.866 |
| γ_{dmax} | 1.720 | 1.673 |
| γ_{dmin} | 1.484 | 1.444 |

었다. 粒子的 크기 및 特性은 Fig. 4 와 Table 1 에 나타나 있다.

本 試料를 위해 사용된 標準다짐시험은 A-1 方法이었다. 가는모래(fine sand)의 最適含水比는 12%, $\gamma_{dmax}=1.673t/m^3$, $\gamma_{dmin}=1.44t/m^3$, $e_{max}=0.58$ 이었다. 굵은모래(coarse sand)의 最適含水比는 8%, $\gamma_{dmax}=1.7t/m^3$, $\gamma_{dmin}=1.48 t/m^3$, $e_{max}=0.776$ 이었다.

다짐方法이 透水的 異方性에 미치는 영향을 조사하기 위하여 두가지 方法이 사용되었다. 實驗을 위한 試料箱子는 크기가 25×25×25cm 인 아크릴로 제작되어서 다짐을 하는데 상당한 注意를 요하였다. 다짐 方法으로서 Plate-Impact Compaction(이하 PIC라 함)과 Roller Compaction(이하 RC라 함)의 두가지 方法을 채택하였다. 前者는 試料箱子의 一面크기의 鋼板을 各層 5cm 두께의 試料 위에 놓고 2.6kg의 램마를 15cm 높이에서 均등하게 낙하하면서 다지는 것이다. 그리고 後者는 直徑 5cm, 길이 24.5cm, 무게 3kg인 롤러를 만들어 前者와 같은 條件으로 다짐회수를 조절해가며 다짐을 하는 것이다.¹⁹⁾

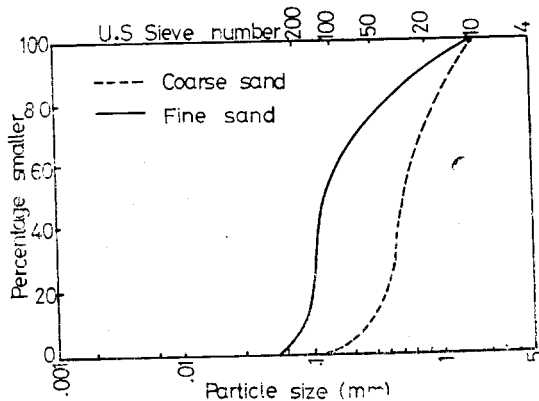


Fig. 4. Particle Size Distributions

2.2 實驗結果

一般的으로 透水係數는 空隙比의 函數이다. Fig. 5는 사용된 흙의 種類와 다짐방법에 따라 異方向에서 測定된 透水係數를 空隙比에 대하여 나타낸 것이다. 여기서 x 方向은 다짐방향에 垂直한 方向이고, y 方向은 다짐과 同一한 方向을 나타내고 있다. 이 결과는 다짐방법에 關係없이 흙의 種類에 따라 空隙比와 透水係數는 半對數方眼紙에서 直線的으로 나타나고, 鉛直과 水平 方向의 透水는 같은 空隙比 하에서 다른 크기로 나타난다.

Fig. 6은 異方透水係數比와 空隙比가 半對數方眼紙에서 直線的으로 變化하고, 相對密度가 90% 以上에서는 2~4 倍의 異方性을 나타내고 있다. 그리고 相對密度가 같더라도 粒子가 커질 수록 異方性의 크기는 약간 작아진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 透水係數의 間接的인 測定方法의 하

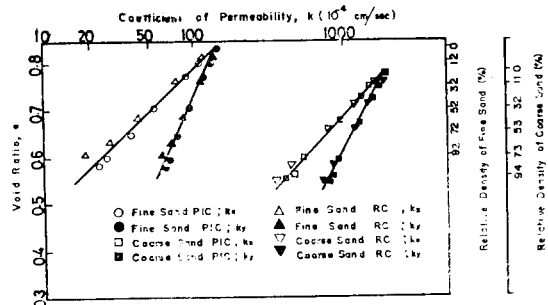


Fig. 5. Void Ratio and Permeability

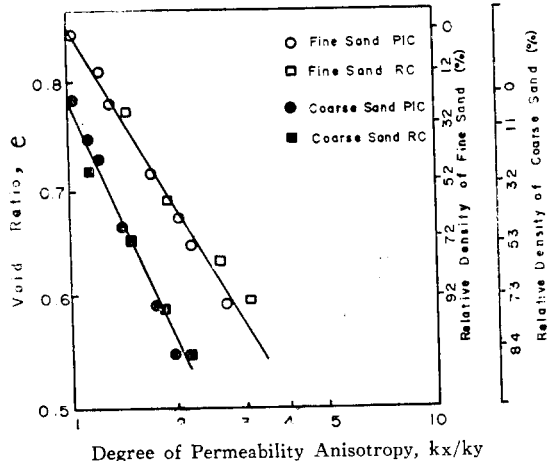


Fig. 6. Void Ratio and Degree of Permeability Anisotropy

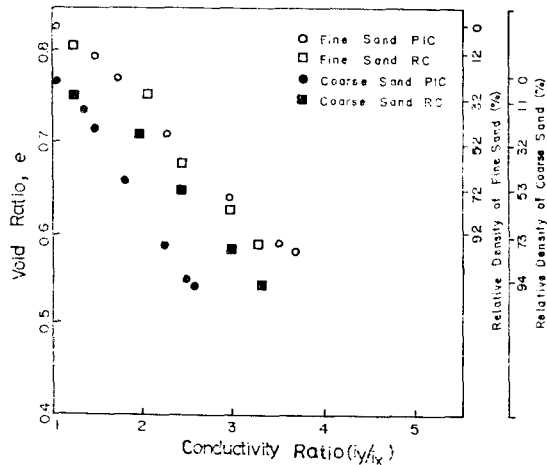


Fig. 7. Void Ratio and Conductivity Ratio

나인 電氣電導法을 사용한 결과이다. 이 결과에서, Fig. 6의 透水係數의 異方性에 비해 同一한 空隙比 또는 相對密度에서 異方性의 크기는 透水係數보다 電導度比(conductivity ratio)가 조금 큰 값으로 나타난다.

3. Gary 理論의 擴張

異方性透水的 浸透效果가 土壓에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 Gray 理論을 擴張하고자 한다. 序論에서 언급한 바와 같이, Terzaghi(1936, 1943)^{16,17)}는 流線網의 作圖法으로부터, 또 最近에는 컴퓨터의 발달과 함께 Ichihara et al(1980, 1982)^{3,4)}이 有限差分法에 의하여 土壓에 미치는 浸透水의 영향을 解析하였다. 그런데 Gray (1958)²⁾는 數學的인 方法으로 空隙水壓을 유도하였는데 간단하면서도 정확하게 解析할 수 있다는 長點이 있어 여기서는 이 方法을 택하기로 하였다.

Fig. 8에서 x 軸은 砂質로 된 뒷채움부분의 水平軸을 나타내고, y 軸은 鉛直排水層과 뒷채움의 境界線과 일치하며, 뒷채움 부분의 흐름은 Darcy의 法則이 成立한다고 假定하자. 그리고 다짐에 의한 뒷채움은 異方性透수를 나타내므로 異方性의 程度에 따라 x 方向의 縮尺을 變換시켜 x_1 로 표현하여 물의 連續性을 만족하는 Laplace 方程式으로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

여기서 h 는 全水頭이고, $x_1 = x \sqrt{k_y/k_x}$ 로서 縮尺係數(scale factor)이다. 흐름의 特定領域 내에서 이 方程式을 만족하는 特別解를 구하기 위하여 境界條件이 필요하다. 이 境界條件은 Fig. 9에서 볼 수 있는 바와같이 다음의 3가지로 규정지을 수 있다.

- 1) $y=H$ 인 不透水層의 表面을 통과하여 물이 흐르지 않는다. 즉, $y=H$ 에서 $\partial h/\partial y=0$
- 2) 浸透水가 排水層을 완전히 포화시키지에는 不充分할 것이므로 透水性이 매우 좋은 排水層을 통할 때는 水壓이 없이 아래로 흐를 것이다. 따라서 排水層의 表面에서는 水壓이 大氣壓과 같고, 排水層에서 全水頭는 位置에 比例한다. 즉, $h=h_c=H-y$, 그러므로 $x_1=0$ 일때 $h=H-y$.
- 3) 地表面에서의 全水頭 $h=H$ 이다. 즉, $y=0$ 일때 $h=H$.

식 (1)의 特別解는 위의 境界條件에서 Fourier

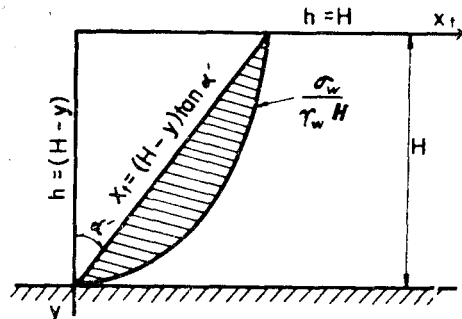


Fig. 8. Dimensions of Backfill and Water Pressure on Lower Boundary of Earth Wedge

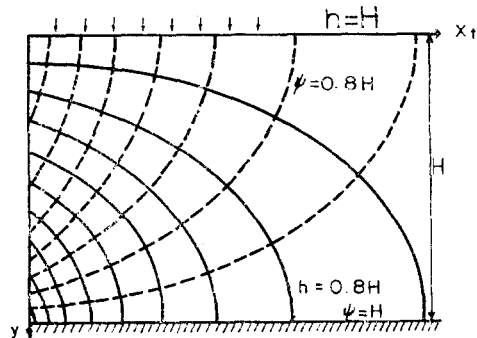


Fig. 9. Equipotentials and Stream Line.

series 의 도움으로 $x_i > 0$ 이고, $0 < y < H$ 내의 어떤 점에서 全水頭를 구할 수 있다. 즉,

$$h = H \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)^2} \cdot \exp \left[-(2m+1) \frac{\pi x_i}{2H} \right] \cdot \sin(2m+1) \frac{\pi y}{2H} \right\} \quad (2)$$

Fig. 9 는 式 (2) 에 의하여 그려진 等水頭線이다. 역시 이에 일치하는 流線도 $\phi = \text{const}$ 로써 式 (3) 과 같이 표현될 수 있다.

$$\phi = H \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)^2} \cdot \exp \left[-(2m+1) \frac{\pi x_i}{2H} \right] \cdot \cos(2m+1) \frac{\pi y}{2H} \right\} \quad (3)$$

式 (2) 와 (3) 에 의하여 서로 直交하는 流線網을 얻을 수 있을 것이다.

Fig. 8 에서 $x_i = (H-y) \tan \alpha'$ 이다. 이것을 式 (2) 에 代入하면

$$h = H \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)^2} \cdot \exp \left[-(2m+1) \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{y}{H} \right) \tan \alpha' \right] \cdot \sin(2m+1) \frac{\pi y}{2H} \right\} \quad (4-1)$$

이 된다.

그러나 이 그림은 x 좌표를 x_i 로 변환하여 그려진 것이므로 토압계산시의 가상파괴면은 Fig. 10 에서처럼 $x = (H-y) \tan \alpha$ 인 면이고 이때 $\tan \alpha' = \sqrt{\frac{k_y}{k_x}} \cdot \tan \alpha$ 이므로 토압계산시의 가상파괴면에서의 수두의 크기는 式 (4-1) 의 $\tan \alpha'$ 대신 $\sqrt{\frac{k_y}{k_x}} \tan \alpha$ 를 代入하여 구할 수 있다.

$$h = H \left\{ 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)^2} \cdot \exp \left[-(2m+1) \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{y}{H} \right) R \tan \alpha \right] \cdot \sin(2m+1) \frac{\pi y}{2H} \right\} \quad (4-2)$$

여기서 $R = \sqrt{k_y/k_x}$ 이다.

어떤 점에서 壓力水頭는 $h_p = h - h_e$ 여기서 位置水頭는 $h_e = H - y$. 그러므로, 假想파괴면의

임의 點에 작용하는 空隙水壓은

$$\begin{aligned} \sigma_w &= \gamma_w (h - H + y) \\ &= \gamma_w \left\{ y - \frac{8}{\pi^2} H \sum_0^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m+1)^2} \cdot \exp \left[-(2m+1) \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{y}{H} \right) \cdot R \tan \alpha \right] \cdot \sin(2m+1) \frac{\pi y}{2H} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

임의의 假想破壞面에 따라 作用하는 全體의 壓力은 式 (5) 의 積分으로부터 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} P_w &= \int_0^{H \sec \alpha} \sigma_w dl = \sec \alpha \int_0^H \sigma_w dy \\ &= \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \left[\sec \alpha - \frac{32}{\pi^3} \sec \alpha \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^3} \cdot \frac{R \tan \alpha + (-1)^m \exp \left\{ -(2m+1) \frac{\pi}{2} R \tan \alpha \right\}}{(1 + R^2 \tan^2 \alpha)} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

式 (6) 에서 $P_w / \frac{1}{2} \gamma_w H^2$ 은 角 α 의 函數이고, 이것을 $F(\alpha)$ 로 쓰면,

$$F(\alpha) = \sec \alpha - \frac{32}{\pi^3} \sec \alpha \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^3} \cdot \frac{R \tan \alpha + (-1)^m \exp \left\{ -(2m+1) \frac{\pi}{2} R \tan \alpha \right\}}{(1 + R^2 \tan^2 \alpha)} \quad (7)$$

위의 結果를 主動土壓狀態에 적용시켜 보고자 한다. 다짐으로 인하여 土壓分布는 사다리꼴 모양이 되지만, 微量의 傳倒 또는 滑動($H/500$)만 일으키면 主動狀態로 되고 土壓分布는 포물선 형태로 되어진다고 한다. (Ingold, 1979)⁶⁾ 이러한 主動狀態에서 Coulomb 理論을 적용하여 角 α 로

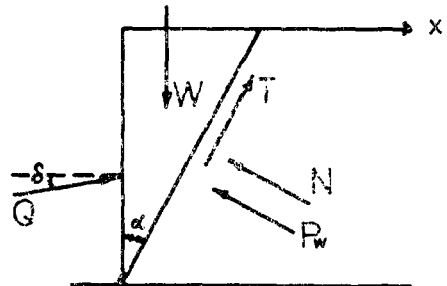


Fig. 10. Forces on Sliding Wedge

정의되는 假想破壞面에 따라 썰기의 平衡狀態로부터 土壓의 크기를 구할 수 있다. 여기서 N 과 T 는 有效應力의 頂들이다. 힘의 平衡狀態는 Fig. 10 으로부터

$$Q \cos \delta = P_w \cos \alpha + N \cos \alpha - T \sin \alpha \quad (8)$$

그리고

$$\begin{aligned} W &= Q \sin \delta + P_w \sin \alpha + N \sin \alpha + T \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} \gamma_w \frac{G + Se}{1 + e} H^2 \tan \alpha \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $T = N \tan \phi$ 를 代入하여 정리하면

$$\begin{aligned} \frac{Q}{\frac{1}{2} \gamma_w H^2} &= \left\{ \frac{G + Se}{1 + e} \tan \alpha + F(\alpha) \cdot \right. \\ &\quad \left. (\cos \alpha \cdot \tan[\alpha + \phi] - \sin \alpha) \right\} / \\ &\quad \left\{ \sin \delta + \cos \delta \cdot \tan(\alpha + \phi) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

4. 浸透水가 土壓에 미치는 影響

Gray 理論의 擴張으로 異方性透水的 浸透水가 土壓에 미치는 크기를 구할 수 있었다.

式 (6)에서 알 수 있는 바와 같이 假想破壞面에 작용하는 水壓은 파괴각이 이루는 角 α 의 函數이다. Fig. 11 은 角 α 에 따라 假想破壞面에 작용하는 水壓의 크기를 透水異方性의 比率에 따라 나타내었다. 여기서는 $\phi = 30^\circ$, $G = 2.65$, $e = 0.65$, 그리고 $S = 1$ 을 代入하여 구하였다. 이 결과 파괴각 α 가 커지면서 水壓은 增加하고, 異方性透水的 比率이 커질수록 水壓 P_w 는 작아진다는 것을 보여준다. 특히 等方性 透水($k_x/k_y = 1$)에 비하여 異方性透水的 比率이 2인 경우에 큰 폭으로 水壓이 감소함을 알 수 있다.

浸透水가 主動土壓에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 式 (10)을 이용하여 Table 2 와 같이 나타내었다. 여기서는 2章의 實驗에서 얻어진 異

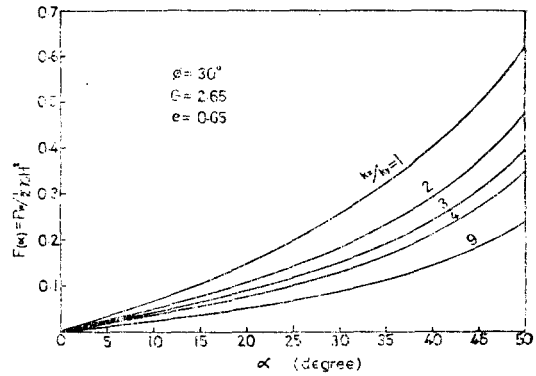


Fig. 11. $F(\alpha)$ and α

方性의 범위로 국한되었다. 式 (10)에서 알 수 있는 바와같이 主動土壓은 파괴각 α , 벽마찰각 δ , 그리고 흙의 내부마찰각 ϕ 의 函數이다.

Table 2 는 $\delta = 0$ 일때 내부마찰각 ϕ 에 따른 最大크기의 土壓을, 그리고 이 때의 臨界破壞角 α_{crit} 을 나타내었다. 臨界破壞角 α_{crit} 은 ϕ 가 클수록 또 異方性透水的 比率이 클수록 작아지고, 더불어 主動土壓도 작아진다는 것을 알 수 있다. 이와같은 사실은 靜水狀態(no seepage)의 土壓에 비하여⁷⁾ 異方性에 의한 浸透의 경우에도 같은 傾向이다. 例로서 $\phi = 35^\circ$ 이고 $k_x/k_y = 1$ 일 때, 靜水狀態에 비해 土壓의 增加率은 약 30% 증가했지만, 異方性透水비가 커질수록 이 增加率은 작아짐을 알 수 있다. 물론 同一한 異方性透水비일지라도 ϕ 가 클수록 이 增加率은 增加한다.

異方透水係數비가 主動土壓에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 $\delta = 0$, $\phi = 30^\circ$ 일 때 k_x/k_y 의 크기에 따라 Fig. 12 와 같이 나타내었다. 均等한 透水에 비하여 $k_x/k_y = 2$ 에 이르러 主動土壓은 큰폭으로 감소하고, $k_x/k_y \geq 2$ 에서는 主動土壓의 감소폭이 훨씬 줄어들어든다는 것을 볼 수 있다. 이 傾向은 Fig. 11 에서 나타난 水壓의 감소

Table 2. Maximum Earth Pressures and Critical Angles

| ϕ | No seepage | | $k_x/k_y = 1$ | | | $k_x/k_y = 2$ | | | $k_x/k_y = 3$ | | | $k_x/k_y = 4$ | | |
|------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------|------------------------------|------------|-----------------|------------------------------|------------|
| | α_{crit} | $Q/\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ | α_{crit} | $Q/\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ | Increase % | α_{crit} | $Q/\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ | Increase % | α_{crit} | $Q/\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ | Increase % | α_{crit} | $Q/\frac{1}{2} \gamma_w H^2$ | Increase % |
| 30° | 30° | 0.667 | 36° | 0.829 | 24.3 | 34.4° | 0.782 | 17.2 | 33.6° | 0.760 | 13.9 | 33.2° | 0.747 | 12.0 |
| 35° | 27.5° | 0.542 | 33.6° | 0.705 | 30.1 | 32° | 0.657 | 21.2 | 31° | 0.635 | 17.2 | 30.6° | 0.622 | 14.8 |
| 40° | 25° | 0.435 | 30.6° | 0.594 | 36.6 | 29.4° | 0.546 | 25.5 | 28.8° | 0.525 | 20.7 | 28.4° | 0.512 | 17.7 |

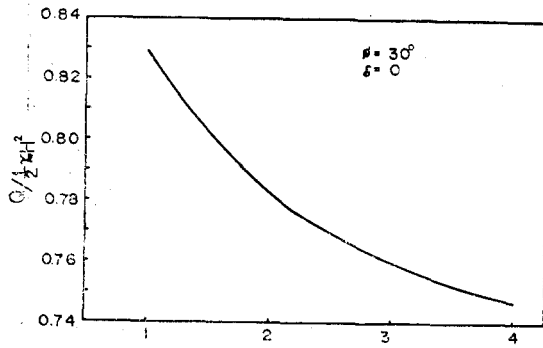


Fig. 12. Earth Pressure and Degree of Permeability Anisotropy

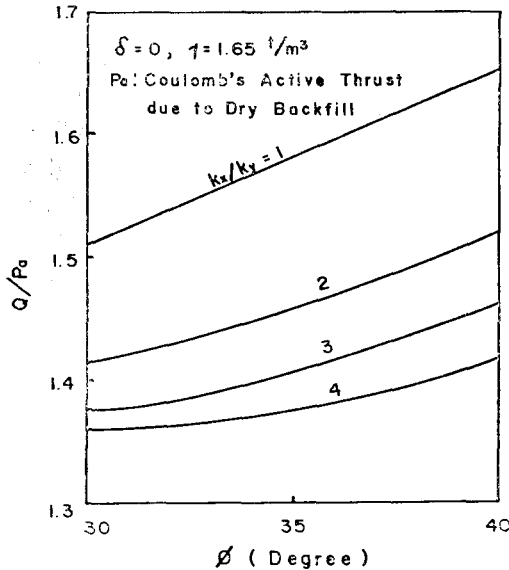


Fig. 13. Earth Pressure and Friction Angle

현상과 유사하다.

식 (10)에서 알 수 있는 바와 같이 浸透時의 主動土壓 역시 흙의 內部摩擦角에 관계된다. Fig. 13은 내부마찰각에 대하여 主動土壓을 나타내었다. 여기서 主動土壓의 크기는 乾燥狀態에 대한 浸透狀態 때의 土壓의 比率로서 無次元으로 표시하였다. 내부마찰각이 커지면 土壓비도 커지며 또한 異方性透水的 比率이 커질수록 작아진다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14는 壁面摩擦이 浸透時 主動土壓에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 여기서는 等方性透수($k_x/k_y=1$)이고 $\phi=35^\circ$ 일 때의 壁面마찰각에 따라 主動土壓의 크기를 보인 것이다. 壁面

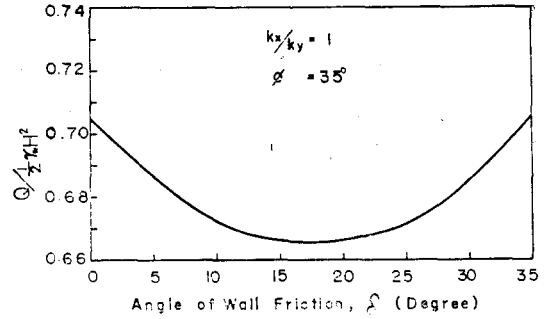


Fig. 14. Earth Pressure and Wall Friction

마찰각에 따라 主動土壓의 크기는 아주 작은 폭으로 변한다. 즉, 最大와 最小値는 약 5%의 범위 내이다. 그러나 壁面마찰각이 零일 때와 흙의 내부마찰각과 같을 때가 主動土壓의 크기는 最大이고, 그 중간에서 最小値로 된다는 것이 특이하다.

5. 結 論

뒷채움 다짐한 옹벽의 경우에 浸透水가 主動土壓에 미치는 영향에 대하여 研究한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

(1) 다짐방법이 모래의 透水性에 미치는 影響에 대하여 特別히 考案한 定水頭 透水試驗裝置와 電氣傳導率 測定法으로 實驗한 結果 鉛直方向 透水係數에 대한 水平方向 透水係數의 比, 即 透水係數의 異方性比는 空隙比와 半對數方眼紙에서 直線關係로 나타났으며, 相對密度 D_r 이 90% 이상일 때는 k_x/k_y 의 값이 2~4의 값을 나타냈다. 이 때 다짐방법은 透水係數에 별다른 影響을 주는 것 같지 않았으며, 굵은 모래보다 가는 모래에서 異方性이 크게 나타났다.

(2) 透水係數가 異方的인 뒷채움 흙에서 옹벽에 미치는 浸透水의 影響을 관찰하기 위하여 擴張된 Gray 理論에 實驗에서 얻어진 2~4의 異方透水係數比를 적용하여 얻어진 결과는 아래와 같다.

i) 浸透水로 인해 假想破壞面에 생긴 水壓은 假想破壞角 α 에 따라 커지며, 異方透水係數比가 커질수록 水壓의 크기는 작아진다.

ii) 異方透水係數比 k_x/k_y 의 값이 클수록(또 흙의 마찰각이 클수록) 臨界破壞角 α_{crit} 과 主動

土壓의 크기가 작아진다.

iii) 壁面摩擦角 δ 가 主動土壓에 미치는 영향이 크지는 않지만 $\delta=0$ 와 $\delta=\phi$ 일 때 最大의 主動土壓이 된다.

參 考 文 獻

1. Broms, B.B., "Lateral Earth Pressure due to Compaction of Cohesionless Soils," Proc. 4th European Conf. on Soil Mechanics, 1971, pp. 373~384.
2. Gray, H., "Contribution to the Analysis of Seepage Effects in Backfills," Geotechnique, Vol. 8, 1958, pp. 166~170.
3. Ichihara, M., Kawamura, M. and F. Ito, "Calculation of Active Earth Pressure during Heavy Rainfall," Proc. of JSCE, No. 295, pp. 65~79 (in Japanese)
4. Ichihara, M., et al, "Influence of Seepage Flow on Earth Pressure against Retaining wall," Soils and Foundations, Vol. 22, No. 2, 1982, pp. 15~28.
5. Ingold, T.S., "Retaining Wall Performance during Backfilling," JGED, ASCE, Vol. 105, GT5, 1979, pp. 613~626.
6. Ingold, T.S., "The Effects of Compaction on Retaining Walls," Geotechnique, Vol. 29, No. 3, 1979, pp. 265~283.
7. Lambe, T.W. & Whitman, R.V., Soil Mechanics, Wiley, New York, 1969, pp. 335~337.
8. Livneh, M. & Shklarsky, F., "Permeability Test for Direction of Flow Parallel and Perpendicular to the Direction of Compaction," 2nd Southeast Asian Conf. Soil Eng., Singapore 1970, pp.
9. Michell, J.K., Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, 1976, pp. 135~252.
10. Moodie, A.R., "Permeability Anisotropy Effects in Rolled Earth and Earth-Rock Dams," M. Eng. SC. thesis, Department of Civil Engineering, Univ. of Melbourne, Australia, 1970.
11. Moore, P.J., "Determination of Permeability Anisotropy, in a Two-way Permeameter," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 2, No. 3, 1979, pp. 167~169.
12. Mulilis, J.P., Chan, C.K. and Seed, H.B., "The Effects of method of Sample Preparation on the Cyclic Stress-strain Behavior of Sands," Report No. EERC 75-18, Univ. of California, Berkeley.
13. Oda, M., "Initial Fabric and Their Relations to Mechanical Properties of Granular Material," Soils and Foundations, Vol. 12, No. 1, 1972, pp. 17~37.
14. Rehnman, S.E. & Broms, B.B., "Lateral Pressures on Basement Wall, Results from Full-scale Tests," 5th European Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 1972, pp. 189~197.
15. Teng, W.C., Foundation Design, Prentice-Hall, 1962, pp. 86~88.
16. Terzaghi, K., "The Effect of the Type of Drainage of Retaining Walls on the Earth Pressure," Proc. 1st Int. Conf. Soil Mech., Vol. 1, 1936, pp. 215~216.
17. Terzaghi, K., Theoretical Soil Mechanics, Wiley, New York, 1943, pp. 247~253.
18. Witt, K.J. and Brauns, J., "Permeability-Anisotropy due to Particle Shape," JGED, ASCE, Vol. 109, No. 9, 1984, pp. 1181~1187.
19. 辛鍾甫, "砂質土의 다짐 효과와 異方性透수에 관한 研究", 工學碩士學位論文, 東亞大學校, 1985.
20. 鄭成教, "다짐에 의한 土壓", 研究報告, Vol. 9, No. 2, 東亞大學校, 1985, pp. 27~34.