

剛性土留壁의 움직임에 따른 土壓分布

Earth Pressure Distribution with Rigid Retaining Wall Movements

姜 秉 熙*
Kang, Byung-Hee

蔡 勝 皓**
Chae, Seung-Ho

Abstract

Lateral earth pressure distributions due to the sandy soil backfill behind the rigid vertical walls for three different wall movement modes are obtained by the elasto-plastic finite element analysis of soil deformation, and these earth pressures are compared with both Rankine's and Dubrova's active earth pressures.

Thereby, the effects of the magnitude and the mode of wall displacement on the earth pressure distribution are investigated. Three different modes of wall movement considered in this study are the rotation about bottom, the rotation about top and the translation.

For the case of the wall rotation about top, the earth pressure distribution is shown as a reverse S-curve-shaped distribution due to the arching effect. Consequently, the point of application of the lateral thrust is much higher than one-third of the wall height from the base.

And, comparing the other modes of wall movement, the magnitude and the point of application of the lateral thrust for the wall rotation about top are larger and higher, respectively.

The wedge-shaped plastic zone in the backfill in active failure is developed only for the mode of wall rotation about bottom.

The lateral earth pressure distributions on the walls with inclined backfill of several different slopes are shown for the mode of wall rotation about bottom.

要 旨

본 論文에서는 砂質土를 뒷채움한 剛性鉛直壁에 작용하는 橫土壓의 分布를 有限要素法을 利用한 彈塑性解析에 의하여 구하고 壁體의 3 가지 變位形態(壁體頂部中心回轉, 壁體底部中心回轉 및 平行移動形態 및 變位の 크기가 土壓分布에 미치는 影響을 연구하였다. 그리고 이들 土壓을 Rankine 主動土壓 및 Dubrova 主動土壓과 比較하였다.

壁體頂部中心回轉하는 경우 아아칭 效果에 의하여 逆 S-型土壓分布를 나타내고 結果의으로 壁體 全 높이에 작용하는 總土壓의 作用點은 壁體底部로부터 벽체높이의 1/3 보다 훨씬 높을 뿐만 아니라 다른 형태의 壁體變位에 비하여 제일 높고 또한 크기도 가장 크다.

그리고 壁體變位가 증가하여 主動狀態로 破壞될 때 뒷채움地盤內에 發達하는 塑性領域은 壁體底

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學 土木工學科 教授

** 仁荷大學校 大學院

部中心回轉形態인 경우에만 췌기형태로 발달하고 다른 變位形態의 경우에는 췌기형태를 보이지 않는다. 또한 뒷채움이 傾斜地面인 경우 몇가지 傾斜度에 대한 底部中心回轉壁體의 土壓分布를 나타내었다.

1. 序 論

土留構造물은 그 種類와 設置場所, 그리고 현장조건 등에 따라서 變位形態가 달라지며 이 變位形態에 따라 土壓分布는 달라진다. 砂質土의 土壓分布가 응력의 변위에 따라 변화된다는 사실을 Terzaghi¹⁵⁾는 실제크기의 대규모옹벽모델 시험결과에 의해서 밝혔으며 이 土壓分布는 시간의 경과에 따라 변한다고 하였다. Tschebotarioff¹⁶⁾는 뒷채움地盤의 傾斜度 및 壁體變位는 橫土壓의 크기에 영향을 주며 특히 벽체가 회전하는 경우 橫土壓 分布는 拋物線형태이며 Coulomb 土壓과 比較하여 전벽체에 작용하는 總土壓은 상당히 增加한다고 하였다.

그리고 이러한 土壓問題는 有限要素法에 의해서 많이 연구되었다. 예를 들면 Clough와 Duncan³⁾은 境界要素(interface element) 概念과 非線形拋物線 應力—變形率 모델을 利用하여 壁體에 작용하는 主動 및 受動土壓을 해석하였다. Lee와 Herington⁸⁾은 地盤의 應力—變形率舉動을 Mohr-Coulomb 破壞基準으로 解析하는 것이 옳다고 밝히고 主動 및 受動土壓에 대하여 地盤舉動은 彈塑性 應力—變形率 關係를 적용할 것을 提案하였다.

또한 Ozawa와 Duncan¹²⁾은 Lade와 Duncan⁷⁾이 開發한 砂質土에 대한 彈塑性 應力—變形率 모델을 利用하여 受動土壓 問題를 解析하였다. 最近에는 Potts와 Fourie¹³⁾는 築造方式(掘鑿과 盛土) 및 築造되기 以前의 地盤應力狀態(K_0 狀態)가 土壓分布에 미치는 影響을 線形彈性—完全塑性 構成式(linearly elastic-perfectly plastic constitutive law)을 利用한 有限要素解析에 의해서 밝힌바 있다. 그리고 Nakai¹⁰⁾는 3次元應力空間下에서 地盤의 強度—變形特性을 묘사한 應力—變形率모델(spatially mobilized plane)의 概念을 導入하여 壁體摩擦과 壁體變位形態에 따른 土壓分布를 연구하였다.

이와같이 土留壁에 작용하는 土壓은 많은 研究者(Terzaghi,¹⁵⁾ Tschesbotarioff,¹⁶⁾ Matsuo,⁹⁾ Bang¹¹⁾ 등)에 의해서 理論的으로나 實驗的으로 연구되었으나 壁體變位の 形態뿐만 아니라 뒷채움지반의 傾斜를 考慮한 一般的인 경우를 綜合的으로 解析한 경우는 드물다. 따라서 본 연구에서는 이들 要因들이 土壓分布에 미치는 影響을 연구하고자 여러가지 형태의 壁體變位에 대한 土壓分布를 有限要素法을 利用한 彈塑性解析에 의해서 나타내고 기존 土壓理論과 比較하고자 한다.

2. Dubrova 理論

Dubrova가 提示한 地盤과 壁體와의 相互作用에 의한 力學的 關係를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 上部 AD區間은 壁體가 흠쪽으로 밀려옴으로써 受動狀態에 이르게 되고 마찬가지로 壁體下部는 흠으로부터 멀어져 主動狀態에 이르게 된다. 그래서 壁體의 上部에서는 限界受動狀態가 되고 下部에서는 限界主動狀態가 동시에 일어난다고 假定하였다. 따라서 壁體의 底面을 지나서 일어나는 破壞面 BC에 作用하는 摩擦抵抗力과 垂直力의 合力 R은 垂直面에 대하여 $+\phi$ 만큼 傾斜져 作用하고 上部의 限界受動破壞面에서는 垂直面에 $-\phi$ 의 傾斜角으로서 合力이 作用한다. 이때 실제로 發揮되는 흠의 內部摩擦角 Ψ 의 크기는 그림 1(c)와 같이 變位の 크기에 比例한다고 假定하였다. 壁體가 그림 1과 같이 中央點을 中心으로 回轉하는 경우 壁體頂點으로부터 z 인 깊이에서 發揮되는 內部摩擦角 Ψ 의 分布는 아래의 식(1)과 같이 표시된다.

$$\Psi = 2\phi z/H - \phi \dots \dots \dots (1)$$

뒷채움이 수평인 鉛直壁인 경우 壁體가 破壞될 때 즉 主動 및 受動狀態에서 壁體에 작용하는 總土壓은 Coulomb 土壓理論으로부터 식(2)와 같이 나타내어진다.

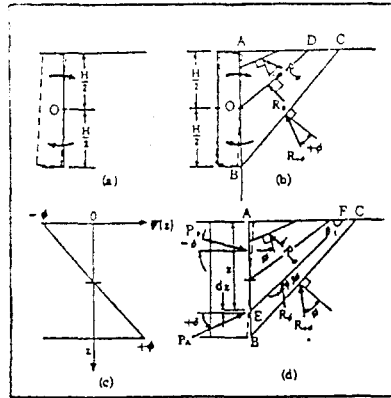


Fig. 1 Description of Dubrova's method for determining earth pressure distributions

$$P = \frac{\gamma}{2\cos\delta} \left[\frac{z}{(1/\cos\Psi) + \sqrt{\tan^2\Psi + \tan\Psi \tan\delta}} \right]^2 \dots (2)$$

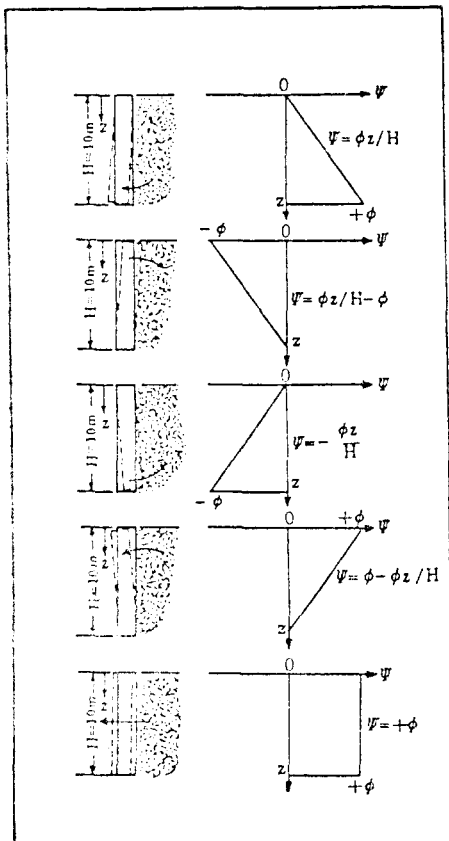


Fig. 2 Mobilized internal friction angle due to the various modes of wall movement

식중에서 P 는 破壞시의 總土壓(主動 및 受動), γ 는 흙의 단위중량, δ 는 흙과 벽사이의 마찰각 Ψ 는發揮된 흙의 내부마찰각이다. 식(2)에서 $z=H$, $\Psi=\pm\phi$ 를代入하면 Coulomb의 主動土壓(+ ϕ)과 受動土壓(- ϕ) 공식을 각각 구할 수 있다.

壁體에 作用하는 土壓의 分布를 구하기 위해 식(2)를 깊이 z 에 대하여 微分하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$P(z) = \frac{dP}{dz} = \frac{\gamma z \cos\Psi}{(1+m\sin\Psi)^2 \cos\delta} \left[\cos\Psi - \frac{z(\sin\Psi+m)}{(1+m\sin\Psi)} \frac{d\Psi}{dz} \right] \dots (3)$$

$$\text{여기서 } m = [1 + (\tan\delta/\tan\Psi)]^{1/2}$$

壁體回轉中心의 位置가 頂點이나 底面인 경우에도 위에서 說明한 바와 같은 理論的 概念으로부터 土壓分布를 구할 수 있다. 여러가지 壁體의 變位形態에 대한 發揮된 흙의 내부마찰각 Ψ 는 그림 2에서 나타내었다.

3. 解析方法

뒷채움地盤이 水平이고 壁體摩擦이 없는 10m 높이의 鉛直壁이 3가지의 變位形態로 最大變位가 0, 1, 3 및 5cm 일어날때 壁體에 作用하는 橫土壓을 彈塑性 應力-變形率 關係로 假定하여 有限要素法에 의해서 解析하였다. 여기에서 考慮한 3가지의 變位形態는 壁體頂部中心回轉, 壁體底部中心回轉 및 平行移動 형태이다. 그리고 뒷채움지반의 傾斜도가 土壓分布에 미치는 影響을 알기 위하여 경사도가 10°, 20° 및 30°인 경우 底部中心回轉壁體의 土壓分布를 구하였다.

본 해석에서는 平面變形條件의 地盤을 그림 3에서와 같이 160개의 要素로 나누었다. 壁體의 높이는 10m이고 壁體背後面에는 壁體와 地盤사이의 相對變位를 허용하고 接合面을 통해 應力이 傳達될 수 있도록 接合要素(bond element) 10개를 설치하였다. 底面境界는 固定이고 側面境界는 鉛直方向으로는 自由移動할 수 있도록 하였다. 뒷채움흙은 砂質土로서 내부마찰각이 30°, 단위중량이 1.58t/m³으로서 初期靜止土壓係數는 0.49로 假定하였다. 그리고 뒷채움地盤의 降伏條件式은 흙이나 岩石 등에서 주로 使用

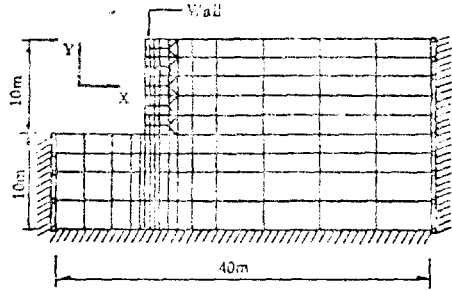


Fig. 3 Finite element mesh for analysis of earth pressure

되고 있는 Mohr-Coulomb 基準을 適用하고, 彈性變形 以後 塑性狀態에서의 應力-變形率舉動은 變形率硬化가 없는 完全塑性狀態(elastic-perfect plastic)로 假定하고 解析하였다.

4. 解析結果 및 考察

4.1 變位形態에 따른 土壓分布

3 가지 變位形態에 대하여 有限要素解析에 의한 土壓, Rankine 主動土壓, 靜止土壓(K_0) 및 Dubrova 主動土壓의 分布를 그림 4, 6, 8에서 比較하였다.

그림 4에서는 壁體底部를 中心으로 回轉하는 경우 變位の 크기가 0, 1, 3, 5cm 일 때의 土壓分

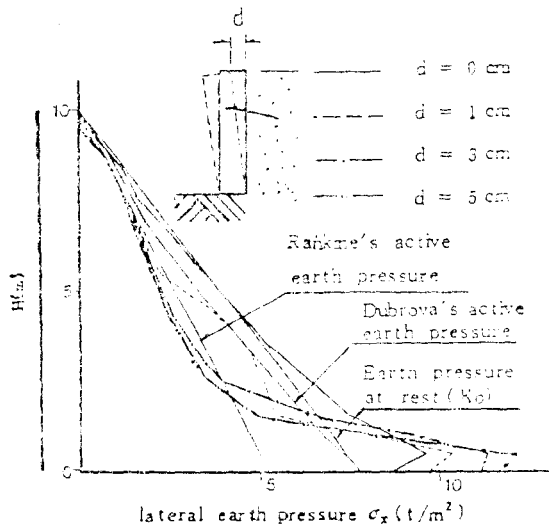


Fig. 4 Distributions of the lateral earth pressures in the mode of rotation about bottom

布를 나타내었다. 이러한 變位形態인 경우 土壓은 靜水壓分布形態를 나타낸다고 一般的으로 알려져 있으나¹⁴⁾ 그림에서 볼 수 있는 바와같이 어느 깊이까지만 靜水壓分布를 보이나 壁體下部에서는 갑자기 增加한다. 그리고 變位가 零일 때 土壓의 크기는 [靜止土壓(K_0)]과 거의 一致하나 變位가 增加하면 主動土壓과 비슷한 크기로 減少됨을 볼 수 있다. 이와같은 分布는 Fang 와 Hibashi¹⁵⁾의 實驗結果와도 一致한다. 그리고 Dubrova 主動土壓은 벽체상부에서는 Rankine 主動土壓分布를 따르다가 壁체하부로 내려갈수록 점점 더 급히 增加하여 마침내는 靜止土壓(K_0)과 같게 된다. 이는 Dubrova 主動土壓계산에서 흙의 내부마찰각이 壁체의 變위크기에 따라 조정되기 때문이다.

그림 5에서는 壁體底部中心回轉의 경우 變位가 1cm 와 5cm 일때의 各 要素의 破壞接近程度를 나타내는 塑性接近度 R_p 를 나타내었다. 塑性接近度는 아래 식(4)와 같이 정의된다.

$$0 \leq R_p = \frac{l_2}{l_1} \leq 1 \dots\dots\dots(4)$$

여기서,

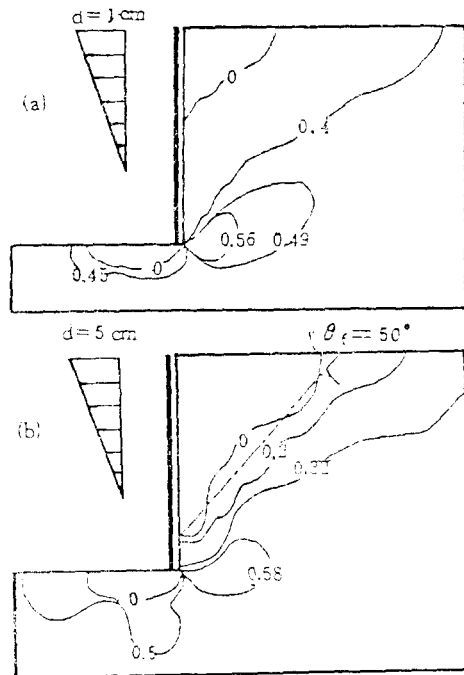


Fig. 5 Contours of the plastic approach in the mode of rotation about bottom

$$l_1 = \left[c \cot \phi + \frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2} \right] \sin \phi$$

$$l_2 = l_1 - l_3$$

$$l_3 = \frac{\sigma_{1m} - \sigma_{3m}}{2}$$

첨자 f, m : failure 및 mobilized

變位가 1cm 인 경우에는 塑性領域은 變位가 큰 壁體上部에만 發達하나 變位가 커짐에 따라 塑性領域은 점차 壁體下部로 擴大되어 썩기형태의 塑性領域으로 發展된다. 變位가 5cm 인 경우 塑性接近도가 零인 等高線 즉 破壞面은 水平面과 대략 50°의 각도를 이루고 있으며 이는 Rankine의 主動破壞面인 경우의 60°보다 작다.

그림 6에서는 壁體頂部中心回轉의 變位形態에 대한 土壓分布를 나타내었다. 彈塑性解析에 의한 土壓은 壁體上部에서는 靜止土壓(K_0)보다 큰 土壓을 보이다가 變位가 커지면 壁體中央部에서 급격히 減少되어 Rankine 主動土壓보다 훨씬 적게 되나 壁體下部에서는 다시 Rankine 主動土壓의 크기로 증가하는 逆 S-型分布를 나타낸다. 이러한 傾向은 變位가 클수록 더 뚜렷하다. 이러한 형태의 土壓分布는 壁體底部의 變位로 인한 아아칭效果 때문인 것으로 생각된다. 이러한 아아칭效果는 모델시험^{5,14,15})에서도 나타났으며 砂質土의 密度 또는 내부마찰각이 클수록 이 효과는 크다고 하였다.⁵⁾ 그리고 Dubrova 主動土壓分布는 壁體中上部에서 最大가되는 拋

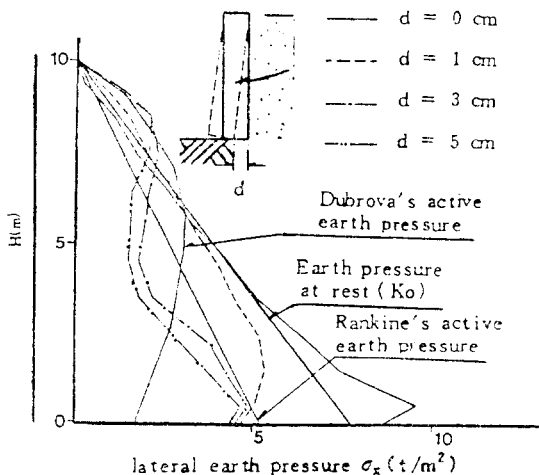


Fig. 6 Distributions of the lateral earth pressures in the mode of rotation about top

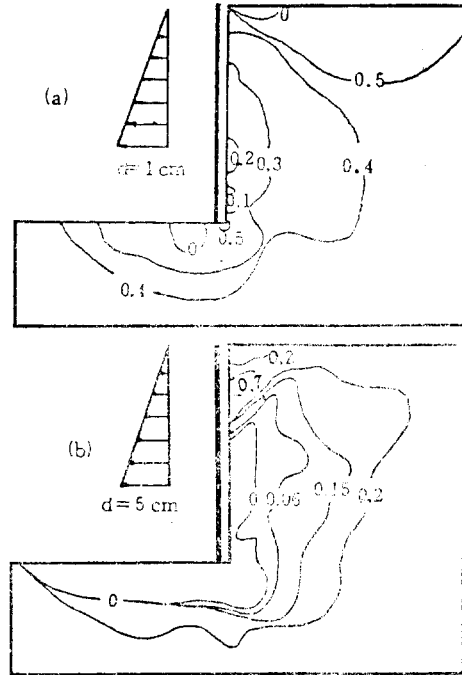


Fig. 7 Contours of the plastic approach in the mode of rotation about top

物線形態를 보인다.

그림 7에서 頂部中心回轉하는 壁體의 變位가 1cm 인 경우에는 壁體주위에서는 塑性狀態가 일어나지는 않았으나 變位가 커짐에 따라 壁體底部에서 塑性狀態가 發達하기 시작하여 壁體에 沿해서 上部로 擴散되어 壁體가 破壞됨을 볼 수 있다.

그림 8에서는 平行移動하는 壁體의 土壓分布를 나타내었다. 土壓分布는 變位の 크기에 관계없이, 靜水壓分布形態를 나타내고 變位가 1cm 인 경우에는 Rankine 主動土壓으로 減少하나 變位가 增加하게 되면 Rankine 主動土壓보다 작아져서, 變位가 5cm 에 이르게 되면 土壓分布의 平均値는 Dubrova 主動土壓에 接近하게 된다. 이와 같은 土壓分布形態는 Fang 과 Ishibashi⁵⁾의 모델시험 結果와 一致한다.

그리고 그림 9에서는 壁體가 平行移動하는 경우 變位가 1cm 및 5cm 일때의 塑性接近도를 나타내었다. 壁體에 平行移動變位가 일어나면 壁體에 沿해서 破壞가 局部的으로 일어나기 시작

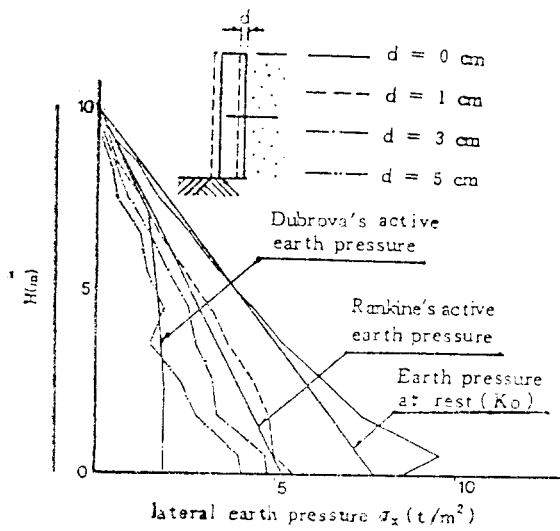


Fig. 8 Distributions of the lateral earth pressure in the mode of translation

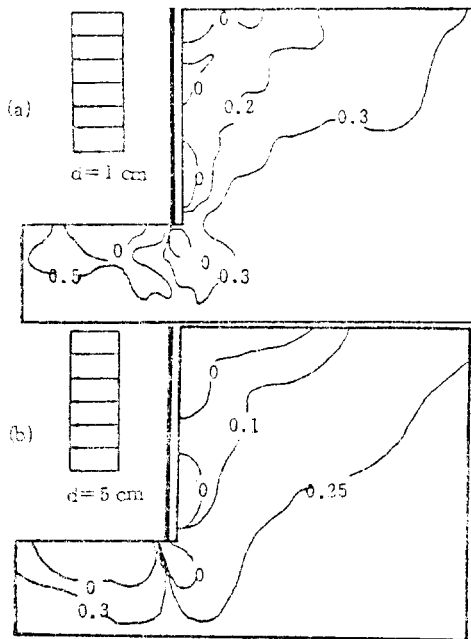


Fig. 9 Contours of the plastic approach in the mode of translation

하여 변위가 커짐에 따라 조금씩 擴散되어 감을 볼 수 있으나 썩기형상의 파괴는 보이지 않는다.

4.2 뒷채움地盤의 傾斜度에 따른 土壓分布

뒷채움地盤의 傾斜度가 10°, 20°, 30° 인 경우

底部中心回轉하는 壁體에 작용하는 土壓分布를 그림 10, 11, 12에서 각각 나타내었다. 뒷채움地盤이 水平인 그림 4와 위의 3 그림을 함께 比較해 보면 뒷채움地盤의 傾斜度가 적은 경우 변위가 조금만 일어나더라도 土壓은 Coulomb 主動土壓에 近接하나 傾斜度가 클수록 일정한 변위에 대한 土壓分布는 Coulomb 主動土壓보다 훨씬 크게 된다. 그러나 傾斜度가 큰 경우라도 변위가 커지게 되면 土壓은 Coulomb 主動土壓에 接

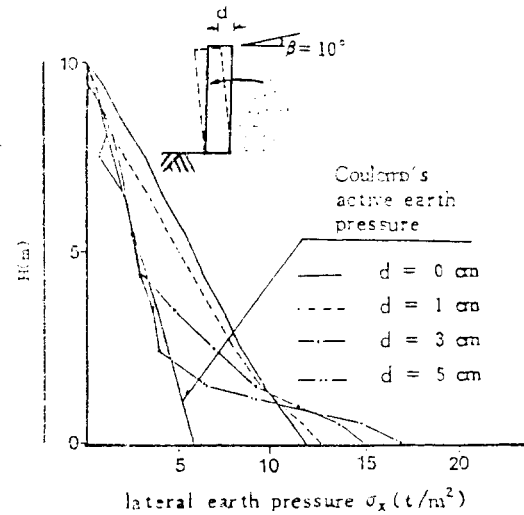


Fig. 10 Distributions of lateral earth pressure for the inclined backfill with slope (10°)

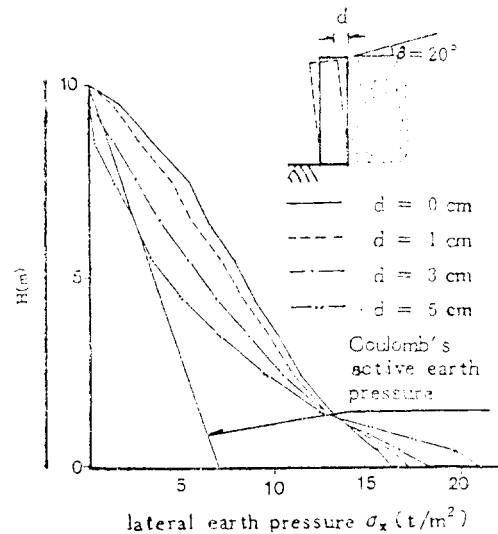


Fig. 11 Distributions of lateral earth pressure for the inclined backfill with slope (20°)

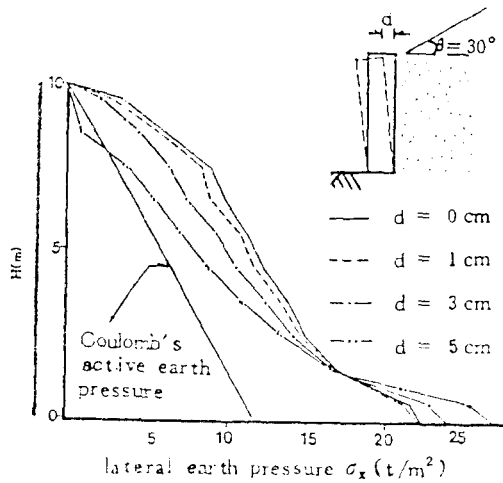


Fig. 12 Distribution of lateral earth pressure for the inclined backfill with slope (30°)

近하는 傾向을 보이고 있으며 Coulomb 主動土壓에 이르기까지는 뒷채움 地盤의 傾斜度가 클수록 더 큰 變位가 要求되고 있음을 알 수 있다. 또한 同一한 變位에 대한 土壓分布는 뒷채움 地盤의 傾斜度가 클수록 훨씬 더 크다.

4.3 全壁體에 대한 總土壓과 作用點

뒷채움地盤이 水平인 壁體에 作用하는 不規則한 橫土壓의 合인 總土壓을 靜水壓分布로서 나타내어 그 크기를 아래 식(5)와 같이 定義한 等價土壓係數 K_h 로서 나타내고자 한다.

$$K_h = \frac{P_h}{1/2\gamma H^2} \dots\dots\dots(5)$$

여기서 P_h : 벽체에 작용하는 總土壓

γ : 뒷채움흙의 단위중량

H : 벽체 높이

그림 13에서 3가지 형태의 벽체변위에 대한 等價土壓係數를 변위의 크기에 따라 나타내었다 等價土壓係數는 壁體變位形態에 관계없이 變位가 커짐에 따라 減少함을 볼 수 있다. 變位가 5cm 인 경우에 完全塑性狀態에 도달하였다고 假定하고 Rankine의 主動土壓係數와 比較하면 壁體底部中心回轉하는 경우에는 거의 一致한다. 그러나 壁體頂部中心回轉의 경우에는 Rankine 주 동토압계수보다 약 25%정도 크며 平行移動의 경우에는 훨씬 작다. 그리고 각 壁體變位形態에 있

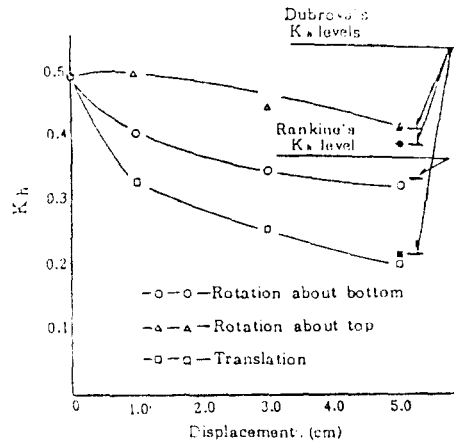


Fig. 13 Equivalent coefficient of earth pressure for the whole wall versus wall displacement

어서 Dubrova 主動土壓에 대한 等價土壓係數와 比較해 보면 壁體底部中心回轉하는 경우에만 Dubrova의 等價土壓係數 보다 16% 정도 작을 뿐 나머지 두가지의 변위형태에 대해서는 Dubrova의 等價土壓係數와 一致함을 볼 수 있다.

그림 14에서는 3가지 형태의 벽체변위에 대한 總土壓의 作用點의 位置를 壁體底部로부터의 거리(h)와 壁體높이(H)의 比로 나타내어 벽체의 변위량에 따라 圖示하였다. 總土壓의 作用點은 變位の 크기에 관계없이 壁體頂部中心回轉, 平行移動 및 壁體底部中心回轉의 순으로 낮아짐을 볼 수 있다. 그리고 壁體頂部中心回轉의 경우에는 變位가 커짐에 따라 總土壓의 作用點은 높아지나 壁體底部中心回轉의 경우에는 변위가 일어나면 作用點은 약간 낮아지지만 변위가 1cm

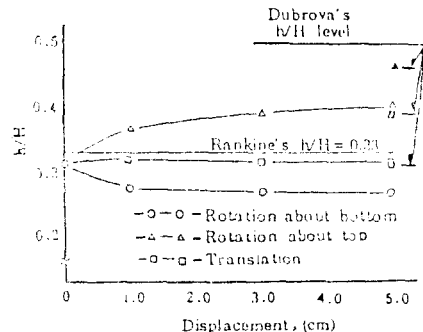


Fig. 14 Relative height of the application of the lateral thrust

보다 크게 되면 거의 일정하게 된다. 그리고 壁體가 平行移動하는 경우에는 作用點의 位置는 變位の 크기에 관계없이 거의 一定하다. 모든 壁體變位形態에 대하여 變位の 크기가 5cm 일때 主動狀態에 도달하였다고 假定하고 Rankine의 總主動土壓이 作用하는 位置와 比較해 보면 다소간의 차이는 있지만 3가지의 壁體變位形態에 대한 h/H 비가 0.27~0.40 으로서 Rankine 主動土壓의 경우인 1/3 은 거의 平均值에 해당됨을 볼 수 있다. 그리고 各 變位形態에 대해서 구한 Dubrova의 總主動土壓의 作用點은 모든 變位形態에 대해서 彈塑性解析한 總土壓의 作用點보다 훨씬 높다.

5. 結 論

鉛直土留壁에 作用하는 橫土壓의 分布를 壁體의 變位形態 및 크기에 따라 線形彈塑性 應力—變形率 關係를 利用하여 有限要素法으로 解析하고 이를 Rankine 및 Dubrova의 主動土壓과 比較하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 底部中心回轉壁體에 作用하는 橫土壓分布는 壁體下部를 除外하고는 變位가 零인 경우에는 靜止土壓(K_0) 分布와 一致하며 變位가 증가하게 되면 土壓이 감소되어 Rankine 主動土壓分布와 비슷하게 된다. 그리고 完全塑性狀態에 도달한 것으로 간주되는 5cm 정도의 비교적 큰 벽체변위의 경우 全壁體에 作用하는 總土壓의 크기는 Rankine의 總主動土壓의 크기와 비슷하다.

2) 壁體底部中心回轉하는 變位形態로 主動破壞될 때 塑性領域은 翹기形態로 發達한다.

3) 壁體頂部를 中心으로 回轉하는 變位形態의 경우 變位가 커질수록 壁體上部에서는 土壓이 增加하여 靜止土壓(K_0)보다 커지나 壁體中央部에서는 크게 減少하여 Rankine 主動土壓보다 훨씬 적게 되며 또한 壁體下部에서는 Rankine 主動土壓에 近接하는 逆 S-型의 土壓分布를 나타낸다. 그리고 Dubrova 主動土壓의 分布는 壁體中上部에서 最大值를 나타내는 拋物線形態의 分布를 보인다. 따라서 頂部中心回轉壁體의 主動土壓分布는 Rankine 土壓理論이나 Dubrova 土壓理論으로서는 적절하게 나타낼 수 없다.

4) 頂部中心回轉壁體인 경우 主動狀態破壞는 翹기형태로 破壞되지 않고 變位の 增加에 따라 塑性領域은 壁體底部에서 發達하여 壁面に 沿해서 上向으로 확대되어 간다.

5) 壁體가 平行移動하는 경우 變位の 크기에 관계없이 靜水壓分布形態의 土壓分布를 보이며 變位가 커지면 土壓은 감소하여 Rankine 主動土壓 보다 적게 되고 塑性狀態에 도달했다고 간주되는 5cm의 변위의 경우에는 전벽체에 作用하는 主動土壓의 合은 Dubrova 主動土壓의 合과 비슷하다.

6) 뒷채움地盤이 傾斜地面이고 壁體가 底部中心回轉하는 경우 변위가 커지게 되면 土壓은 Coulomb 主動土壓分布에 接近하는 傾向을 보인다. 그리고 이러한 경우에 있어서 뒷채움지반의 傾斜度가 클수록 土壓은 커지고 또한 Coulomb 主動土壓에 이르게 되는 變位の 크기도 증가하게 된다.

7) 壁體에 作用하는 土壓의 分布는 壁體의 變位形態에 따라 다르나 壁體 전 길이에 대한 總土壓의 크기는 變位の 크기에 관계없이 頂部中心回轉形態, 底部中心回轉形態 및 平行移動形態의 順으로 작으며 이 總土壓의 作用點은 頂部中心回轉形態, 平行移動形態 및 底部中心回轉形態의 順으로 낮다.

參 考 文 獻

1. Bang, S.C., "Active Earth Pressure Behind Retaining Walls," J.GED, ASCE, Vol. 111, GT3, March, 1982, pp. 407~412.
2. Chen, W.F., *Limit Analysis and Soil Plasticity-In Developments in Geotechnical Engineering* 7. Elsevier, Amsterdam, 1975.
3. Clough, G.W. and Duncan, J.M., "Finite Element Analysis of Retaining Wall Behavior," J. SMFD, ASCE, Vol. 97, SM12, Dec., 1971, pp. 1657~1673.
4. Desai, C.S. and Siriwardane, H.J., *Constitutive Laws for Engineering Materials-with Emphasis on Geologic Materials*, Prentice-Hall, 1984.
5. Fang, Y.S. and Ishibashi, I., "Static Earth Pressure with Various Wall Movements," J. GED, ASCE, Vol. 112, GT3, March 1986, pp.

- 317~333.
6. Harr, M.E., *Mechanics of Particular Media-A Probabilistic Approach*, McGraw-Hill, New York, 1977.
 7. Lade, P.V. and Duncan, J.M., "Elastoplastic Stress-Strain Theory for Cohesionless Soil," J. GED, ASCE, Vol.101, GT.10, October 1975, pp.1037~1053.
 8. Lee, I.K. and Herington, J.R., "Effect of Wall Movement on Active and Passive Pressure," J. SMFD, ASCE, Vol.98, SM6, June 1972, pp. 625~640.
 9. Matsuo, M., Kenmoch, S. and Yagi, H., "Experimental Study on Earth Pressure of Retaining Wall by Field Tests," Soils and Foundations, Vol.18 No. 3, 1978, pp.27~41.
 10. Nakai, T., "Finite Element Computations for Active and Passive Earth Pressure Problems of Retaining Wall," Soils and Foundations, Vol. 25, No. 3, 1985, pp.98~112.
 11. Owen, D.R.J. and Hinton, E., *Finite Elements in Plasticity*, Pineridge Press, 1980.
 12. Ozawa, Y. and Duncan, J.M., "Elasto-plastic Finite Element Analysis of Sand Deformations," Proc. 2nd Int. Conf. for Numerical Methods in Geomechanics, 1976, pp.243~265.
 13. Potts, D.M. and Fourie, A.B., "The Behavior of a Propped Retaining Wall: Results of a Numerical Experiment." Geotechnique. 34, No. 3, 1984, pp.383~404.
 14. Sherif, M.A., Fang, Y.S. and Sherif, R.I., " K_A and K_0 Behind Rotating and Non-Yielding Walls," J. GED, ASCE, Vol.110, No.1, Jan., 1984, pp.41~56.
 15. Terzaghi, K., "Large Retaining Wall Tests. Part I. Pressure of Dry Sand," Engineering News Record. Vol.3. Feb., 1934, pp.136~140.
 16. Tschebotarioff, G.P., *Foundations, Retaining and Earth Structures*, McGraw-Hill. Kogakusha, 1973. (접수일자 1989. 2. 24)