

앵커의 傾斜가 널말뚝의 舉動에 미치는 影響

Influence of the Anchor Slope on Behaviour of Sheet Pile

千 柄 植*
 Chun, Byung Sik
 姜 寅 成**
 Kang, In Sung

Abstract

The influence of anchor slope on behavior of sheet pile is analysed by results of model test. It can be seen that the larger inclination of anchor causes more increases of the horizontal and vertical deflection of wall, but the bending moment is less influenced by the inclination of anchor. The negative friction against vertical settlement of wall has the yielding point at the excavation level of 0.71-0.80 H. The redistribution of earth pressure on the sheet pile with dredging must be considered by soil-arching. The zero pressure point from the toe of wall is 20% higher than that of the Free Earth Support Method. It is also observed that the angle of failure planes to major principal plane is larger than the angle of $45^\circ + \phi/2$.

要 旨

本 研究는 앵커의 傾斜度가 널말뚝의 舉動에 미치는 影響을 模型實驗의 結果로부터 分析한 것이다. 앵커 傾斜의 增加는 널말뚝의 垂直·水平變位, 앵커의 荷重損失 및 維持된 모래의 沈下量에 크게 影響을 미치지만, 휨 모멘트의 크기에는 影響이 적은 것으로 나타났다. 또한 널말뚝의 垂直沈下에 대한 負摩擦力은 말뚝 길이의 0.71~0.80 倍인 掘鑿 깊이에서 降伏點을 가진다. 掘鑿으로 인한 土壓 再分布는 soil arching 現象을 고려해야 하고, 土壓이 0인 支點은 기존의 自由端支持設計方法에 의한 位置보다 약 20% 上部에 있고, 滑動面과 最大主應力面이 이루는 角은 $45^\circ + \phi/2$ 보다 크다는 것을 확인하였다.

1. 序 論

摩 擦을 일으키는 粗粒土로 된 地盤에서 傾斜진 앵커로 支持된 널말뚝의 施工은 어렵지 않으나, 그 支持機構는 水平 앵커와 달리 앵커의 引張力이 下

向으로 작용하는 垂直分力을 일으킨다. 그러나 傾斜진 앵커로 支持된 널말뚝에 대한 土壓의 크기나 分布에 影響을 주는 軸力은 設計에서 일반적으로 고려되지 않고있는 상태이다. 이 軸力은 널말뚝이 堅固한 地盤에 박히지 않거나 點抵抗이 낮을 때

*正會員·漢陽大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

**正會員·漢陽大學校 大學院 博士過程

安定성에 크게 영향을 준다. 앵커 引張力の 垂直分力은 앵커位置를 그림 1처럼 ΔS 만큼 낮추는 데, 이는 앵커 荷重을 減少하게 하고, 앵커의 傾斜變化를 일으키며, 널말뚝을 Δl 만큼 掘鑿面 方向으로 移動하게 한다. 柔軟한 널말뚝의 이러한 變位는 널말뚝의 土壓算定과 그 分布를 복잡하게 할 뿐만 아니라 地盤의 沈下量과 滑動面을 변하게 한다.

Browzin⁽¹⁾은 Coulomb 理論에 근본을 두고 널말뚝의 下向 움직임으로 인한 負摩擦을 취하여 傾斜된 앵커로 支持된 널말뚝을 分析하였는 데, 45° 傾斜의 앵커로 支持된 널말뚝의 貫入 깊이는 水平 앵커로 支持된 것 보다 약간 크게 하여야 한다고 제시하였다. Hanna⁽²⁾는 擁壁을 支持하는 앵커 傾斜는 가능한 작게하고, 이상적으로 20°로 할 것을 추천하였으며, Bang⁽³⁾은 tie-back의 傾斜角이 15° ~ 20°일 때 적합하다고 하였다. 또한 Bethel⁽⁴⁾은 引張 tie가 垂直과 45° 傾斜였을 때 상당히 큰 軸力이 단일 말뚝을 통해 基礎에 전달된다고 보고하였다.

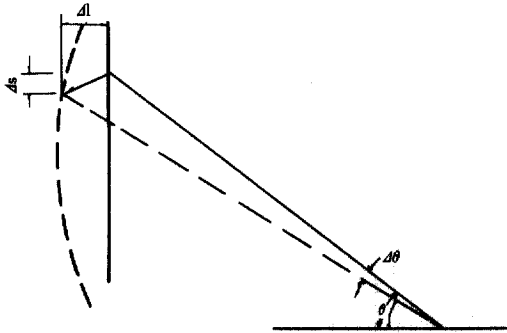


그림 1. The behavior of wall and anchor as construction progressed.

이러한 점들을 고려하여 앵커로 支持된 널말뚝에 대한 일련의 研究⁽⁵⁾로서 本 研究의 목적은 水平과 傾斜된 앵커로 支持된 여러 柔軟性의 널말뚝에 대한 模型實驗을 통하여 앵커의 傾斜 정도가 널말뚝의 水平과 垂直變位, 앵커의 荷重變化, 地盤沈下, 滑動面, 휨 모멘트 및 土壓分布등에 미치는 영향을 分析하는 데 있다. 특히 設計土壓 分布와 실제 作用土壓分布를 比較하며, Rowe의 모멘트 減小曲線과 本 實驗結果를 比較하여 앵커의 傾斜가 널말뚝의 舉動에 미치는 영향을 究明하는 것이다.

2 理論的인 背景

흙에 의해 支持된 보의 휨에 대한 方程式은

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + P(x, y) = 0 \quad (1)$$

과 같다. 이 式은 앵커로 支持된 널말뚝 構造物에도 적용할 수 있는 데 Rowe⁽⁶⁾에 의한 이 式의 해법은 흙의 強度係數는 깊이에 대해 線形函數라는 그의 理論을 이용 하였다. 즉

$$P(x, y) = P_a - P_b \quad (2a)$$

$$\text{이고 } P_a + \kappa H \gamma \kappa_a \quad (2b)$$

$$P_b = m \cdot y \quad (3c)$$

이다. 여기서 E : 彈性係數, I : 單位幅당 斷面 2次 모멘트, H : 널말뚝의 길이 P_a : 掘착位置에서의 主動土壓, P_b : 變形에 비례하는 壓力, x : 掘착位置에서 부터의 깊이, y : x 支點에서의 水平變形, κ : 維持된 흙 높이와 널말뚝 길이 의 比, κ_a : 主動土壓係數 즉

$$m_x = \frac{x}{(1-K)H} m = \frac{x}{D} \cdot m \quad (4)$$

이고 D : 貫入 깊이, m : 말뚝 下端에서 強度係數이다. 그러므로 式(1)은

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + P_a - m \cdot x \frac{y}{D} = 0 \quad (5)$$

로 된다. Rowe⁽⁶⁾는 m 를 稠密한 모래 地盤에서 3×10^6 , 느슨한 모래 地盤에서 10^5 이라 하고 變形을 $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$ 의 3次式으로 가정하여 變形角 $(\theta_x) = \frac{dy}{dx}$, 휨 모멘트 $(M_x) = EI \frac{d^2y}{dx^2}$ 및 剪斷力 (S_x)

$= \frac{d^3y}{dx^3}$ 를 구하였다. 그러나 傾斜된 앵커의 引張으

로 인한 軸力 (P) 를 고려할 때 式(5)는

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + P \frac{d^2y}{dx^2} + P_a - m \cdot x \frac{y}{D} = 0 \quad (6)$$

로 된다. Haliburton⁽⁷⁾은 이를 해석하는 데 地盤彈性係數가 非線形임을 고려한 有限要素法을 이용하였다.

3 實 驗

模型實驗의 實驗裝置, 使用材料 및 實驗方法 등에 관한 상세한 사항은 발표된 일련의 研究⁽⁸⁾와 같으며 특별히 달라진 사항과 보완 사항은 다음과

같다. 模型試驗機는 Sheffield 大學의 擁壁에 관한 研究⁶⁾에 사용된 것을 本 研究의 목적에 맞도록 變形하여 製作한 것이다. 使用試料는 含水比가 1~3 %인 모래로서 密度는 1.51 t/m³로 하였는데, 이때의 內部摩擦角은 28°이고, 모래와 試驗機의 壁(아크릴)面과의 摩擦角은 16°이며, 모래와 彈性係數가 0.8×10^6 kg/cm²인 試驗板(알루미늄)과의 摩擦角은 19°이다. 이 壁面과 모래의 摩擦角은 直接剪斷試驗機에 아크릴 또는 알루미늄板을 剪斷箱子下部에 맞도록 제작하여 넣고 上部에는 소정의 密度로 試料를 넣은 뒤 剪斷試驗을 하여 구하였다. 試驗板은 길이가 70 cm이고 두께가 0.1~0.4 cm인 5 개로 하여 柔軟性數를 $\log \rho = -6.25 \sim -4.44$ 로 하였다. 軸力으로 인한 試驗板의 沈下를 測定하기 위하여 試驗機의 上部에 dial gage를 設置하였으며, 掘鑿중 試驗板의 비틀림을 예상하여 板에 350 Ω 의 strain gage를 2열로 20개 附着하였다. 또한 앵커의 位置는 地表面에서 0.14 H이고, 앵커 設置는 추가의 뒷 채움으로 인한 앵커 rod의 휨을 방지하기 위하여 試驗機의 양면을 관통한 3 개의 고정 핀을 사용하였으며 試驗前에 이를 제거하였다. 앵커의 荷重은 proving ring 속의 dial gage와 여기에 附着한 strain gage로 測定하였다. 앵커 荷重變化는 각각의 初期값에 대한 變化量의 百分率은 平均한 것인데, 實驗중 또는 동일 實驗을 반복했을 때의 計測상 오차는 8 %하였다. 앵커의 傾斜角(α)은 水平面과 0°, 15°, 30°, 45°로 하고 앵커의 荷重은 水平力이

自由端支持設計方法에 의한 設計荷重(0.04 t/m)으로 하였으므로 각 傾斜角에 대한 引張力(T)는 $0.04 \sec \alpha$ 이다. 滑動面을 觀測하기 위하여 앵커의 傾斜角이 15°일 때 모래의 1층 두께(10cm) 마다 약 0.5 cm 두께의 색 모래층을 두었고 각 掘鑿 깊이 마다 사진 촬영을 하였다. 한 번 實驗하는 데 소요 시간은 약 8시간이며 각 實驗을 3번 실시하여 휨 모멘트 曲線으로 有意性을 檢定한 결과 有意하지 않을 경우 再實驗을 하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1 壁體의 變位

壁 變位에 대한 앵커의 傾斜와 壁 柔軟性의 影響을 分析하기 위하여 그림 2를 이용 하였다. 앵커의 位置까지 掘鑿하는 동안 壁은 掘鑿方向으로 움직인다. 앵커의 도입은 壁의 움직임을 두 가지 형태로 일으키는 데, 첫째 壁은 維持된 地盤으로부터 멀리 움직이고 柔軟한 壁일수록 그 크기가 증가한다. 둘째 앵커 荷重은 壁을 앵커의 位置 근처에서 維持된 모래 地盤 쪽으로 움직임을 일으키게 한다. 이러한 變位는 土壓係數를 감소시키면서 土壓의 再分布를 일으키는 soil arching과 관계가 있다. 앵커의 傾斜는 그림 1 처럼 掘鑿하는 동안 θ 의 角 만큼 감소 되는 데, 이 감소는 壁을 水平 또는 垂直으로 움직이고 있음을 의미한다. 그림 2d)는 앵커의 傾斜角이 45°이고 掘鑿 깊이가 0.8 H일 때, 壁의 頂點은 원래의 掘鑿部分으로 移動 하였음

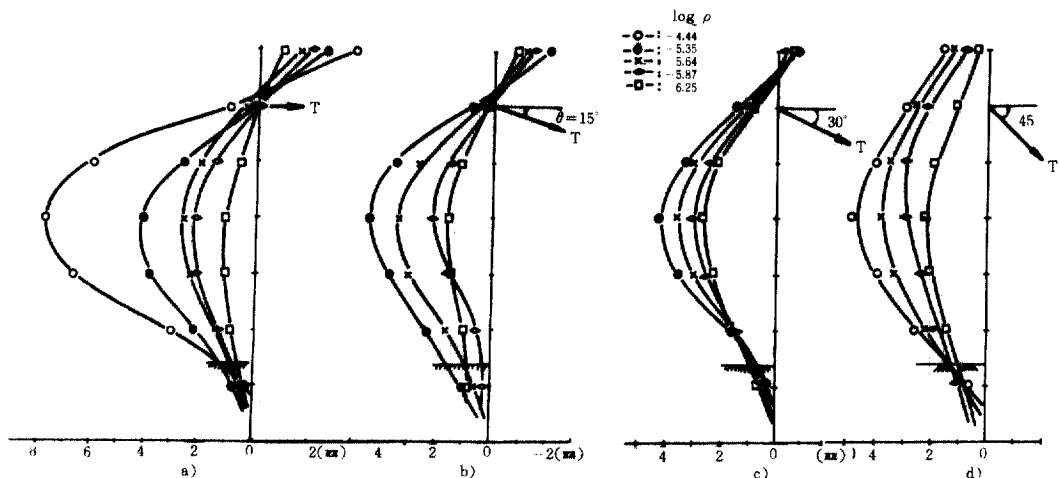


그림 2. Measured horizontal sheet pile deflections (Excavation depth = 0.8H)

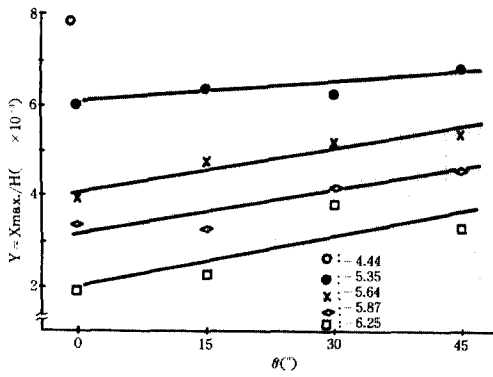


그림 3. Measured max. deflection change with anchor wire inclination (Excavation level=0.80 H)

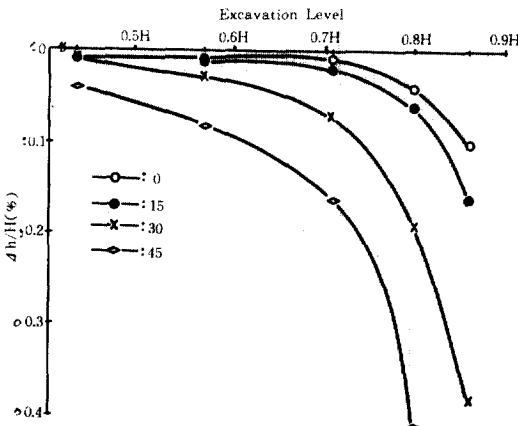


그림 4. Comparison of vertical movements of walls for various anchor wire inclination ($\log \rho = -5.35$)

을 보여 준다. 그림 3은 벽의 변위에 대한 앵커傾斜의 영향을 보여주는 것으로 세로軸은 벽의 最大變位(X_{max})에 대한 벽의 총 길이(H)의 비로 나타낸 것이다. 앵커傾斜의 증가는 벽을掘鑿方向으로 더 큰變位를 일으키는 데, 이러한舉動은 벽의柔軟性이 증가할 수록 감소 된다. 그림 4는 벽의垂直沈下量(dh)에 대한 앵커傾斜의 영향을 나타낸 것으로 예상한 바와 같이 앵커의傾斜가 클수록 침하량은 크다. 그런데 이曲線들의降伏點은掘鑿깊이 0.71H~0.80H에 있으므로 벽의沈下를 막는 벽과 흙의負摩擦력이 이掘鑿 깊이에서 급격히 감소함을 의미한다.

4.2 앵커荷重의變化

앵커로支持된 널말뚝을施工할 때設計 앵커荷重變化를 크게 네가지로 구분할 수 있다. 첫째

앵커引張중에 일어나는荷重損失, 둘째 앵커의引張이 끝나고 더 이상의掘鑿이나攪亂이 없는靜止狀態에서도損失되는初期損失, 셋째 이웃 앵커의引張으로 인한變化, 넷째掘鑿이進行함으로써 발생하는荷重變化이다. 앵커의引張중에 일어나는荷重損失은本實驗機에서計測할 수 없고 하나의 앵커를引張하는 데의所要時間은 보통 30초이다. 그림 5는 2개의 앵커를 모두引張한 후 첫번째 앵커의時間經過에 따른荷重損失과初期損失을 나타낸 것이다. 앵커引張 후荷重變化의 대부분이初期에 일어나는 데, 그 영향은 앵커傾斜角이 클수록 크며掘鑿중에도 거의 같은 경향을 보여 준다. 이는 이웃 앵커引張으로 인한變化, 앵커의引張速度 및壁의變位로 인한壁과 흙의摩擦角(δ)變化등의 영향을 포함한 것이다. Kovacs 등⁽⁹⁾은壁과 흙의摩擦角이 0°에서 흙의内部摩擦角(ϕ)에接近함에 따라 거의直線의으로 앵커荷

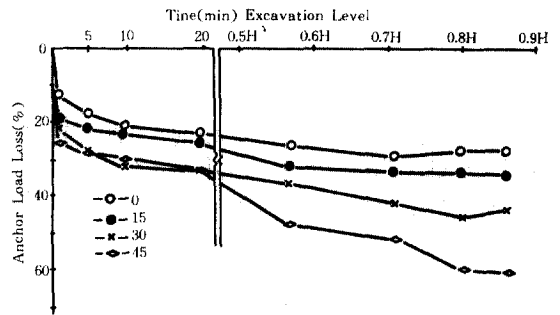


그림 5. Relation between anchor load loss and construction stage for various anchor wire inclinations ($\log \rho = -5.87$)

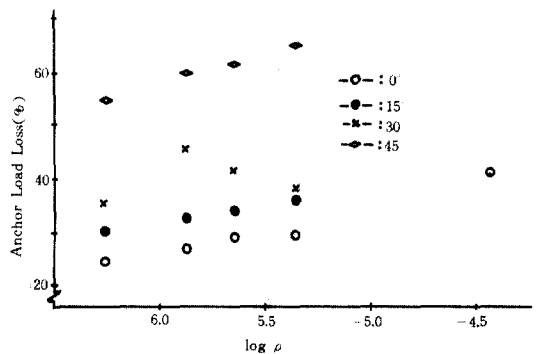


그림 6. Relation between anchor load after initial loss and wall flexibility for various anchor wire inclination (Excavation level=0.80 H)

重이 감소한다고 하였다. 그림 6은 벽의柔軟性이 증가 할수록 앵커 荷重의變化가 크다는 것을 의미하는 데 이는 이 전에도 언급(5)한 바 있다. 그러나 앵커의傾斜가 클수록 그 영향은 더욱 커서 앵커의傾斜角이 45°이고 設計掘鑿 깊이가 0.80 H일 때의 앵커 荷重損失은 50% 이상이다.

4.3 地盤의 沈下와 滑動面

앵커로 支持된 널말뚝 背面의 地盤沈下는 벽의 頂點으로 부터 水平距離, 벽의 움직임, 掘鑿 깊이, 벽의 柔軟性 및 앵커의 傾斜에 의해 영향을 받는다. 그림 7은 掘鑿 깊이가 設計掘鑿 깊이인 0.80 H

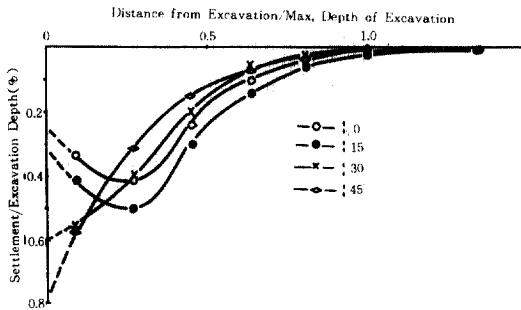


그림 7. Influence of anchor wire inclination on settlements behind sheet pile (Excavation level=0.8 H log $\rho = -5.64$)

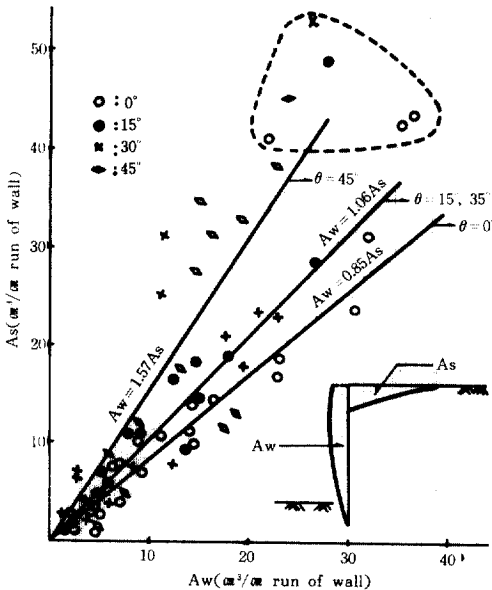


그림 8. Relation between wall movement and sand subsidence.

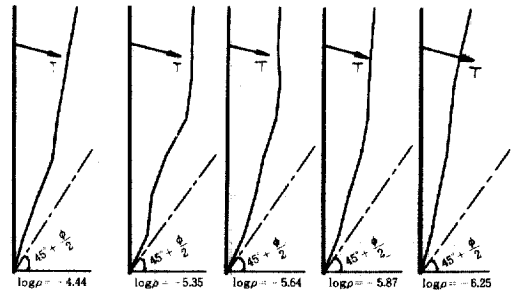


그림 9. Relation failure surface and flexibility of sheet piles ($\theta = 15^\circ$)

이고 벽의 柔軟性이 log $\rho = -5.64$ 일 때 維持된 아래의 沈下에 대한 앵커 傾斜의 영향을 나타낸 것이다. 앵커 傾斜가 0°, 15°일 때는 掘鑿 깊이의 약 0.28배인 支點에서 最大沈下가 발생하지만 30°, 45°일 때는 壁面 바로 뒤에서 발생한다. 이는 그림 2에서와 같이 0°, 15°일 때 벽의 頂點이 維持된 아래 地盤 쪽으로 移動되고 30°, 45°일 때는 掘鑿 깊이가 커짐에 따라 벽의 頂點이 掘鑿 方向으로 移動되기 때문이다. 그림 8은 벽의 變位量과 沈下된 아래의 體積을 나타낸 것인데, 전체적으로는 $A_w = A_s$ 線에 가깝지만, 앵커의 傾斜角의 클수록 아래 沈下量 보다 벽의 變位量이 커짐을 알 수 있다. 단 이 그림에서 壁變位量이 40 cm^3/cm 이상일 때는 제외되었는데 이는 原點을 지나는 回歸直線의 有意性檢定이 낮아지기 때문이다. 그림 9는 앵커의 傾斜角이 15°이고 掘鑿 깊이가 0.9H 이상일 때 모래층 10 cm 마다 成層한 色모래의 絶斷支點을 觀測하여 연결한 滑動面이다. 最大主應力面과 滑動面 사이의 角은 벽의 柔軟性에 관계없이 모두 $45^\circ + \phi/2$ 보다 크지만, 벽의 柔軟性이 작을수록 그 角은 더욱 크고 滑動面은 直線에 가깝다.

4.4 휨 모멘트의 減少

앵커로 支持된 널말뚝 構造物에서 掘鑿 깊이가 클수록 掘鑿 底面 부근의 壁變位는 壁下端의 背面 側土壓과 掘鑿面 아래의 受動土壓 증가로 인하여 時計方向의 모멘트가 발생하게 되는데, 이는 構造物에 발생하는 最大 휨모멘트를 감소 시킨다. 그림 10은 測定된 휨모멘트와 Rowe에 의해서 추천된 휨모멘트 減少曲線과의 비교를 나타낸 것으로 세로軸은 計測된 모멘트와 自由端支持方法에 의해 計算된 휨모멘트의 比이다. 앵커의 傾斜角에 따른

휨모멘트의 차이는 뚜렷하지 않고, Rowe의 모멘트 감소곡선과 비슷한 경향은 보이거나 약 15% 정도의 휨모멘트가 작게測定되었다. 또 다른 관찰은掘鑿底面 아래의 휨모멘트가 0인 支點이 앵커의傾斜에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않고 壁의柔軟性에 따라 表 1의 15°일 때와 비슷하다.掘鑿 깊이가 0.80H, 0.86H에서 가장柔軟한 壁(log ρ = -4.44)의 舉動에 대해서 그 變位置이 本 模型試驗機로 計測하기엔 너무 크다.

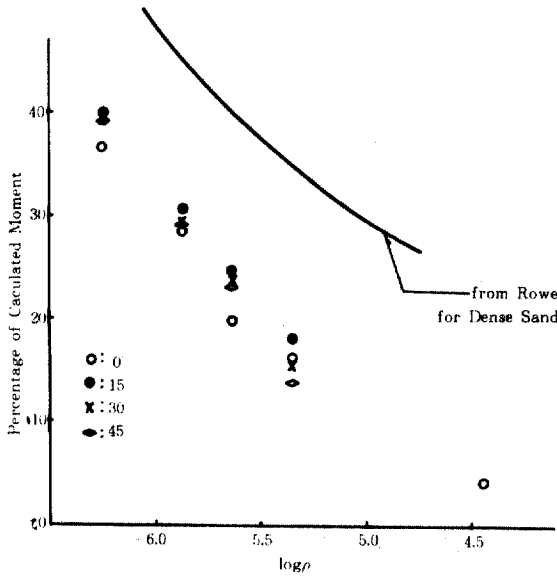


그림 10. Flexibility-Moment reduction curve for various anchor wire inclinations (Excavation level=0.80H)

表 1. Level of M=0 (θ=15°)

Ex. Depth log ρ	0.57H	0.71H	0.80H	0.86H
-4.44	0.55H	0.70H	?	?
-5.35	0.55H	0.64H	0.76H	0.86H
-5.64	0.60H	0.69H	0.78H	0.87H
-5.87	0.59H	0.71H	0.78H	0.89H
-6.25	0.63H	0.72H	0.96H	1.00H

4.5 土壓의 再分布

縮小된 模型實驗에서 試驗板에 작용하는 작은 土壓과 널말뚝의 휨으로 인하여 일반 土壓機로는 土壓의 計測이 어렵고, 土壓의 分布를 式으로 나타

내고자, 本 節에서는 strain gage에 의해서 計測된 휨모멘트를 7次項의 圓錐式으로 선택한 위 式 (7)과 같이 土壓을 換算하였다.

$$\frac{d^2M(x)}{dx^2} = P(x) \quad (7)$$

여기에서 x는 널말뚝의 頂點을 原點으로한 깊이 방향을 나타낸 것인데, 모멘트 곡선이 앵커의 位置에서 不連續하므로 이 位置를 中心으로 上部의 下部로 나누어 計算하였다. 이러한 方法이 합리적인가를 확인하고자 自由端支持方法의 Coulomb 土壓分布를 式 (7)과 같이 計算과 土壓分布와 비교하였으나, 그림 11에서 처럼 앵커 位置 바로 밑 두 支點을 제외하고 큰 차이가 없다. 그림은柔軟性이 가장 작은 壁(log ρ = -6.25)의 掘鑿 깊이가 0.80H일 때 앵커의 傾斜角에 따른 計測된 土壓分布를 Coulomb, Terzaghi-Peck⁽¹⁰⁾ 등이 추천한 것과 수정한 Dubrova⁽¹¹⁾ 이론에 비교한 것이다. 수정한 Dubrova의 土壓分布는 앵커로 支持된 널말뚝을 3개의 鋼體壁으로 간주하여 Dubrova 이론을 적용한 것이다. 즉 0~0.28H의 壁은 0.14H인 앵커의 位置를 중심으로 하여 時計方向으로 回轉하고, 0.28H~0.80H의 壁은 掘鑿面側으로 水平移動하며, 0.8H~1.0H의 壁은 壁의 下端을 중심으로 하여 掘鑿面側으로 回轉하며 Coulomb의 土壓分布와 같다. 그림에서 앵커 位置의 上部土壓分布는 計測點이 3곳 뿐이고 有意性檢定이 낮아 생략하였다. 앵커 位置 아래의 計測된 土壓分布는 앵커의 位置 부근에서 크고 下端으로 내려감에 따라 급격히 감소되며 掘鑿位置 上部에서 약간 증가함을 보여준다. 또한 壁의 下端部分에서 土壓分布는 受動土壓側으로 급격히 커지는 데, 이는 Coulomb 土壓分布와 비슷하지만 약간 작게 計測되었다. 掘鑿 깊이가 낮은 0.71H 이하일 때의 土壓分布는 이 그림에 있지는 않지만 壁의 下端에서 主動側에 分布되어있다. 또한 土壓이 0인 支點은 기존의 自由端支持設計方法에 의한 位置 보다 약 20% 上部에 있다. 앵커로 支持된 널말뚝에 작용하는 土壓分布는 여러 학자^(8, 12)에 의해서 설명된 soil-arching을 고려해야 하고, 여기에 비교된 3이론 중에서 수정된 Dubrova 이론이 비교적 합리적인 것으로 보이지만, 앵커 位置 부근에서의 土壓과 壁下端 부근에서의 受動土壓은 너무 과소하게 평가되었다. 式(8)은 式(7)

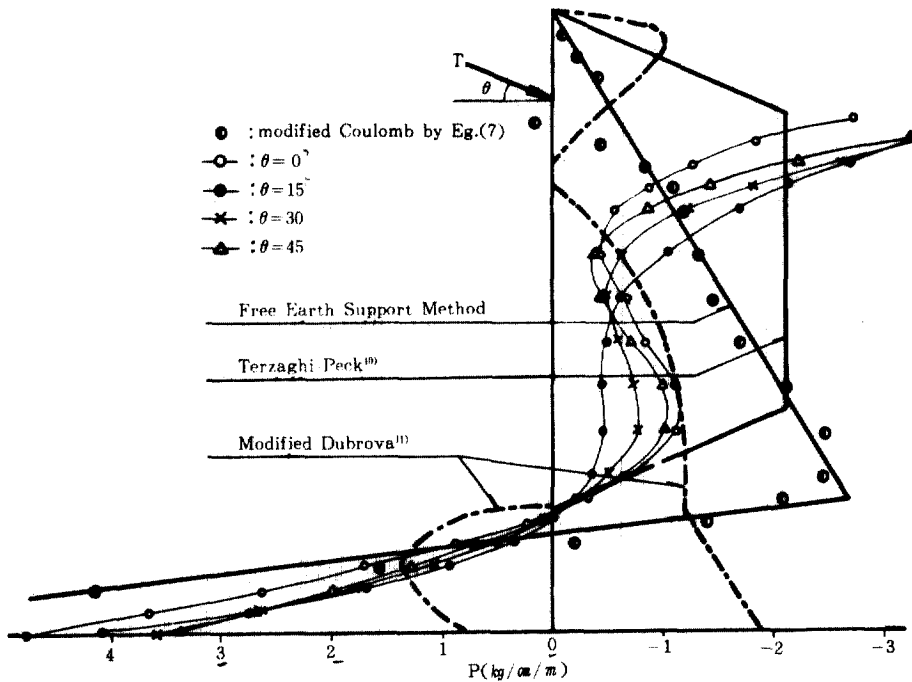


그림 11. Redistribution of earth pressure for various anchor wire inclinations. ($\log \rho = -6.25$, Excavation level = $0.80H$)

表 2. Coefficients of Eq. (8)

$\log \rho$	θ	Ex. Depth	a_0	a_1	$a_2 (\times 10^{-2})$	$a_3 (\times 10^{-5})$	$a_4 (\times 10^{-6})$	$a_5 (\times 10^{-9})$
-5.35	0°	0.71H	-21.20	2.22	-7.65	7.77	5.72	-9.91
		0.80H	-15.15	1.49	-5.02	6.25	-1.23	-1.42
		0.86H	-8.87	0.73	-1.93	1.39	0.58	-0.27
	15°	0.71H	1.47	-0.31	1.42	-3.17	4.67	-3.30
		0.80H	-2.62	-0.08	1.07	-2.22	0.55	1.29
		0.86H	5.74	-0.94	4.03	-5.65	-0.18	3.83
	30°	0.71H	-5.42	0.46	-1.52	1.35	2.41	-3.46
		0.80H	-10.37	0.95	-3.25	4.72	-2.86	0.81
		0.86H	10.19	-1.36	5.24	-5.59	-5.21	9.14
	45°	0.71H	-1.77	-0.01	-0.20	3.02	-7.52	5.43
		0.80H	2.56	-0.49	1.65	0.56	-8.12	7.81
	-5.64	0°	0.71H	-4.62	0.52	-3.24	9.74	-0.13
0.80H			-6.86	0.46	-1.42	3.33	-5.76	4.39
0.86H			-5.19	0.25	-0.58	2.48	-6.94	6.22
15°		0.71H	-12.56	1.39	-5.43	6.98	1.80	-6.12
		0.80H	-6.44	0.59	-2.16	3.32	-2.19	0.88
		0.86H	2.46	-0.48	2.14	-3.27	-0.02	2.66
30°		0.71H	-0.41	0.31	-1.39	2.80	-1.52	-0.57
		0.80H	-7.21	0.55	-1.85	3.49	-4.35	2.92
		0.96H	-0.28	-0.35	1.85	-1.90	-3.56	5.39

$\log \rho$	θ	Ex. Depth	a_0	a_1	$a_2(\times 10^{-2})$	$a_3(\times 10^{-4})$	$a_4(\times 10^{-6})$	$a_5(\times 10^{-8})$
-6.25	0°	0.71H	-18.40	2.07	-7.61	8.81	3.04	-7.65
		0.80H	-11.21	1.01	-2.96	2.10	2.26	-2.14
		0.86H	-2.66	0.05	0.67	-3.11	3.98	-1.14
	15°	0.71H	-4.04	0.22	-1.31	5.13	-8.83	5.52
		0.80H	-9.83	0.65	-1.91	3.77	-5.65	4.07
		0.86H	-21.21	1.94	-6.68	9.91	-5.20	-0.14
	30°	0.71H	-17.02	1.65	-6.01	8.72	-3.01	-1.80
		0.80H	-16.98	1.40	-4.04	4.14	-0.36	-0.78
		0.86H	-15.47	1.30	-3.97	4.69	-1.24	-0.68
	45°	0.71H	-17.45	1.83	-6.89	9.86	-2.39	-3.19
		0.80H	-18.54	1.60	-4.44	2.79	4.28	-4.25
		0.86H	-9.44	0.59	-0.84	-1.20	2.92	-1.00

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (8)$$

에 의해서 計算된 土壓을 5次式으로 나타낸 것인데, 각 項의 係數는 表 2와 같다. 이 回歸式은 柔軟性數가 $\log \rho = -5.64, -5.87$ 의 앵커 傾斜角이 45°일 때를 제외하고 相關係數가 0.95 이상이며 有意性 檢定이 매우 높은 것으로 나타났다.

5. 結 論

1) 앵커 傾斜의 증가는 널말뚝을 掘鑿面方向으로 더 큰 變位를 일으키는 데 이러한 舉動의 영향은 壁의 柔軟性이 증가 할수록 감소되며, 壁의 垂直沈下는 0.71H~0.80H에서 降伏點을 갖는다.

2) 앵커의 荷重變化는 대부분 초기에 일어나고 柔軟한 壁일수록 크나, 그 영향은 앵커의 傾斜度에 비례한다.

3) 앵커의 傾斜角이 클수록 掘鑿에 따른 앵커의 位置가 掘鑿面側으로 移動하며, 모래의 沈下量과 壁體의 變位量을 다르게 한다.

4) 滑動面은 壁의 柔軟性에 관계없이 最大主應力面과의 角이 $45^\circ + \phi/2$ 보다 크다.

5) 앵커의 傾斜度가 휨모멘트의 크기에 큰 영향을 주지않는 것으로 보이며 Rowe의 모멘트 減少曲線과 비슷한 경향을 나타내고 휨모멘트가 0인 支點은 壁의 柔軟性 증가에 따라 상승한다.

6) 掘鑿에 따른 土壓再分布를 5次的 回歸式으로 分析한 결과 soil-arching 현상을 확인할 수 있었으며, 土壓이 0인 支點은 기존의 自由端支持設計

에 의한 位置 보다 약 20% 上部에 있다.

參 考 文 獻

1. Browzin, B. S., Discussion of "Failure of Anchored Sheet Pile Walls," by Bengt Broms and Haken Stille, *Proc. ASCE*, vol. 103, No. GT4, Apr. 1977, pp. 350-353.
2. Hanna, T. H., "Design and Behaviour of Tie-Back Retaining Wall," *3rd Budapest Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1968, pp. 423-431
3. Bang, S. C., "Analysis and Design of Lateral Earth Support System," PH. D. Thesis, the Univ. of California, at Davis, Calif. 1979.
4. Bethel, R., "Rock Anchors for the Midwest Federal Packing Ramp," *18th Annual Soil Mechanics and Foundation Engineering Conf.*, Univ. of Minnesota, Marth, 1970.
5. 千柄植, 姜寅成, "앵커로 支持된 널말뚝의 柔軟性에 관한 研究," *大韓土木學會論文集*, 第8卷, 第2號, 1988, 6, pp. 197-204.
6. Rowe, P. W., "A Theoretical and Experimental Analysis of Sheet-Pile Walls," *Proc. Institution of Civil Engineers*, London, Part 1, Vol. 4, Jan., 1955, pp. 32-69
7. Haliburton, T. A., "Numerical Analysis of Flexible Retaining Structures," *Proc. ASCE*, Vol. 94, No. SM6, Nov., 1968, pp. 1233-1251
8. Kurdi, I. I., "Studies on Tied-Back Flexible Retaining Walls in Sand," PH. D. Thesis, Univ. of Sheffield, England, 1973.

9. Kovacs, W. D., Martin, J. H. and Gerig, F. A., "Sheet Pile Design with Variable Soil Parameters," *Proc. ASCE*, Vol. 100, No. GT2, Feb., 1974, pp. 200-205
10. Terzaghi, K., Peck, R. B., "Soil Mechanics in Engineering Practice," 2nd Edition, J. Wiley & Sons, New York, 1967
11. Dubrova, G. A., "Interaction of Soil Structures," Izd. "Rechnoy Transport," Moscow, 1963.
12. Handy, R. H., "The Arch in Soil Arching," *Proc. ASCE*, Vol. III, No. 3, Mar., 1985, pp. 302-318

(接受: 1988. 10. 25)