

앵커로 支持된 널말뚝의 柔軟性에 관한 研究

A Study on the Flexibility of Anchored Sheet Piles

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

Abstract

This thesis studied the flexibility of anchored sheet piles and the behavior of it according to the levels of excavation. The results showed that the bending moment of sheet piles was reduced due to the displacement of walls and the load of anchor and also that Rowe's moment reduction curve was rational. It concluded that the displacement of anchored sheet piles and the soil settlement behind the walls can be reduce by suitable choice of anchor load and wall flexibility.

要 旨

本 研究는 앵커로 支持된 柔軟한 널말뚝에 대한 實驗研究로서, 掘鑿 깊이에 따른 舉動을 확인한 것이다. 柔軟性으로 인한 壁의 變位와 앵커 荷重의 增加에 따라 彎矩가 減少함을 알 수 있었고, Rowe의 모멘트 減少曲線이 合理的임을 확인하였다. 앵커로 支持된 널말뚝의 變位와 地盤沈下는 앵커 荷重과 壁의 柔軟性의 選擇에 의해서 減少시킬 수 있을 것으로 보인다.

1. 序 論

앵커로 支持된 널말뚝은 일시적이거나 영구적인 地盤掘鑿工事に 널리 이용된다. 앵커와 受動土壓에 의해서 支持되는 널말뚝은 擁壁에 비하여 큰 側方向變形을 일으킬 수 있는 柔軟한 構造物이다. Tsinker⁽¹⁾는 일반적으로 壁 높이가 18~20m를 초과하지 않고 흙의 狀態가 말뚝의 貫入을 허용할 때 앵커로 支持된 널말뚝이 擁壁 構造物중에서 가장 經濟적인 형태라고 하였다. 앵커로 支持된 널말뚝의 外的 安定과 內部應力

은 흙의 物理的性質, 흙과 構造物의 相互作用, 말뚝의 貫入 깊이, 말뚝의 相對剛性 및 앵커의 降伏크기 등에 의해 좌우된다. 특히 말뚝의 柔軟性으로 인한 境界變形條件 때문에 剛體擁壁構造物에서 이용되는 方法에 의해 合理的인 分析이 되지 않는다. 앵커로 支持된 널말뚝의 設計에 대해서 기초적인 理論은 있으나, 破壞는 일어나고, 이 破壞는 잘못된 設計, 부적당한 施工方法 및 흙특성의 판단 착오등에 기인된 것이다.

널말뚝에 대한 實驗은 처음 Tschebotarioff⁽²⁾에 의해 이루어 졌는데, 實驗結果중 가장 중요한 것은 널말뚝에 대한 土壓分布는 壁變形에 크

*正會員·漢陽大學校 工科學校 副教授, 土木工學科

**正會員·漢陽大學校 大學院 博士課程

게 영향을 받는다는 것이다. Rowe⁽³⁾는 그러한 결과를 확인하는 중간 규모의 模型實驗結果로 「모멘트 減少方法」을 제안하고, 이것은 壁의 柔軟性, 흙의 arching 및 앵커의 位置와 降伏點에 관계 된다고 하였다. 앵커로 支持된 널말뚝 設計에 自由端支持方法(Free Earth Support Method), 固定端支持方法(Fixed Earth Support Method)등 기존의 方法과 이를 개량한 方法^(1,4)이 있으며, 최근에는 模型實驗과 觀察을 主로한 方法^(2,5)이 점차 研究되고 있다. Turabi⁽⁶⁾는 널말뚝에 대한 柔軟性解法을 위해 分布係數方法을 개발했고, Halibuton⁽⁷⁾은 數值解析法에 의한 좀 더 실제적인 方法을 제안하였으며, Kurdi⁽⁸⁾는 3段階 앵커로 支持된 널말뚝에 대한 實驗을 하였다. 한편 Egger⁽⁹⁾, Nyby⁽¹⁰⁾등은 有限要素法을 도입, 널말뚝에 대한 研究를 한 바 있고, Browzin⁽¹¹⁾은 柔軟한 實驗板과 실제의 앵커로 支持된 널말뚝의 舉動을 비교하기 위하여 흙과 널말뚝의 材質의 特性을 고려한 無次元柔軟性數를 유도하였다.

이와 같은 기존의 研究를 바탕으로 本 研究는 앵커로 支持된 널말뚝 壁의 柔軟性에 대한 實驗結果를 分析한 것으로써 壁의 舉動에 영향을 주는 많은 要素들을 일정하게 하고 여러 가지 柔軟性을 가진 壁體에 대한 模型實驗으로 壁의 變位, 彎矩, 地表面의 沈下 및 앵커의 荷重變位를 地盤掘鑿段階에 따라 計測하여 壁의 柔軟性과 이들의 상관 關係를 分析하고자 한다.

2. 널말뚝의 柔軟性

흙을 物理的으로 모델화 하기는 매우 어렵다고 알려져 있다. 앵커로 支持된 널말뚝의 縮小된 柔軟한 板은 모델로서 보다는 작은 構造物로서 간주 된다. 일반적으로 흙의 彈性的, 塑性的인 要素는 實驗室에서나 現場에서 同一한 반면, 널말뚝의 彈性的 性質은 實驗室 板과 본질적으로 다르다. 앵커로 支持된 널말뚝의 실제 舉動과 板에 대한 實驗結果를 비교하기 위해 Rowe⁽³⁾는 다음과 같은 比를 柔軟性數로서 이용하였다.

$$\rho = \frac{L^4}{EI} \quad (1)$$

여기서, E : 材料의 彈性係數(kg/cm^2)

I : 單位幅당 斷面=二次모멘트

(cm^4/m)

L : 板의 길이(m)

그러나 이 柔軟性數는 不定靜인 固定端支持의 實驗板을 비교하는 데에는 적용될 수 없다. Rowe⁽³⁾에 따르면, 固定端支持与 自由端支持를 구분하는 즉, 不定靜에서 定靜構造物을 구분하는 柔軟性數는 느슨한 모래에서 $\log \rho = -6.54$ 이고 稠密한 모래에서 $\log \rho = -7.17$ 이다. Lasebnik⁽¹²⁾는 稠密한 흙에서 柔軟性數에 대한 式(1)의 L 를 掘鑿된 壁의 길이로 보았다. Browzin⁽¹¹⁾은 柔軟性數를 無次元으로

$$\rho_d = -\frac{\gamma BL^4}{EI} \left(1 - \frac{2C}{\gamma L} K_a^{-\frac{1}{2}}\right) \quad (2)$$

로 나타내었으며, 모래地盤에 대해서는 다음과 같이 나타내었다.

$$\rho_0 = \frac{\gamma BL^4}{EI} \quad (3)$$

즉 柔軟性數는 널말뚝의 型狀과 흙의 密度에도 영향을 받는 것으로 나타냈는데, Rowe⁽³⁾가 제시한 限界柔軟性數는 느슨한 모래($\gamma = 1.442t/\text{m}^3$)에 대해서는 $\rho_0 = 5.0$, 稠密한 모래($\gamma = 1.762t/\text{m}^3$)에 대해서는 $\rho_0 = 1.0$ 이다. 단, 이 때 말뚝의 幅 B 는 0.5m이다. Turabi⁽⁶⁾는 柔軟性數를

$$\alpha = \frac{H^4 m_s}{EI} \quad (4)$$

로 보았다. 여기서 m_s 는 말뚝 下端에서 흙의 剛性係數이다.

3. 實 驗

3.1 模型試驗機와 試驗材料

그림 1은 사용된 模型試驗機의 斷面圖와 平面圖이다.

試驗機의 兩面은 試料를 均質하게 채울 수 있도록 5cm 간격으로 線을 그은 두께 1cm의 투명 아크릴 板으로 되었으며, 土壓에 의한 變形을 방지하기 위하여 鋼棒으로 보강하였다. 또한 實驗 중 試驗板과 아크릴面 사이에 摩擦과 試料가 끼는 것을 최소화 하기 위해 板의 양모서리에 최소 두께 1mm의 스폰치를 接着 시켰다. 試驗機 뒷면의 45° 傾斜는 불필요한 土量을 줄이고 앵커固定을 용이하게 하기 위한 것이다. 試驗機

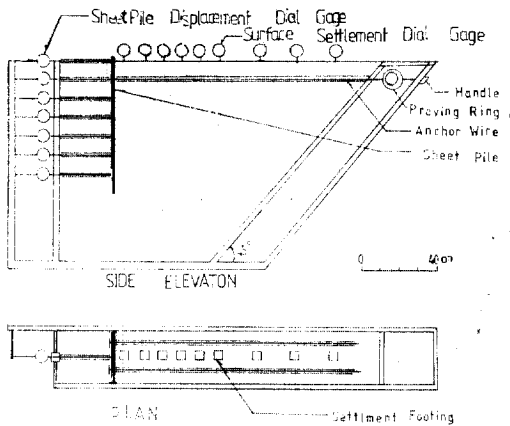


그림 1. Plan and Sectional of Test Apparatus

의 윗면 한 쪽에는 地盤의 垂直變位를 測定하기 위해 dial gage 를 附着하였으며, 뒷면에는 앵커 荷重을 測定하기 위해 strain gage 가 附着된 proving ring 을 固定하였으며, 앞면은 각 段階로 掘鑿되어지는 現場施工을 고려하여 10cm 또는 5cm 幅을 가진 두께 1cm 의 아크릴板이 중첩되어 있다. 試驗機의 위에는 前後로 移動이 가능한 도르래를 設置하여 板의 自重을 相殺하고 板의 移動을 자유롭게 하였으며, 試驗機내에 試料을 채울 때 板의 移動을 방지하기 위하여 板의 下部固定핀과 上部固定보가 사용 되었다.

試驗板의 幅은 28.1cm 이고 길이는 上部를 固定시킬 수 있는 3cm 를 포함하여 73cm(L=0.7 cm)이다. 두께는 $\log \rho$ 가 $-6.25 \sim -4.44$ 되는 4mm~1mm 사이의 알미늄板이고 彈性係數는 $8.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 이다. 設計 앵커 荷重으로 降伏點에 달하지 않을 直徑의 2mm 로 된 앵커는 흙과 摩擦을 없애고 추가 荷重에 의해 생기는 附加荷重으로부터 보호하기 위해 그림 2와 같이 直徑 6mm 의 plastic 保護管속에 넣고 약 1cm 의 屈曲을 두었다.

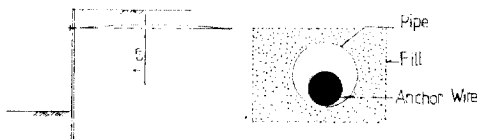


그림 2. Placement of Tie Rod

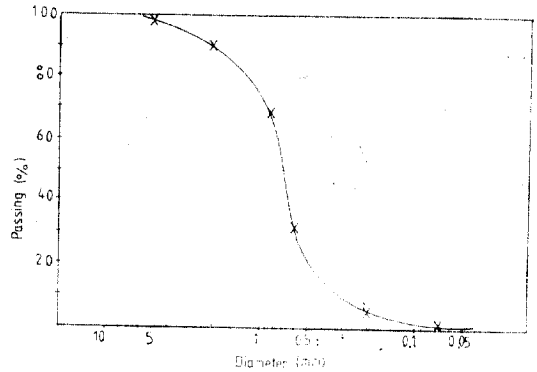


그림 3. Grain Size Accumulation Curve

試料土는 그림 3의 粒度曲線을 가진 모래로서 比重은 2.66 이고 實驗중 含水比는 1~3% 이었다. 密度는 1.51 t/m^3 으로 하여 채웠으며 이때의 内部摩擦角은 28° 이다. 모래와 아크릴面과의 摩擦角은 16° 이며, 모래와 알미늄板 사이의 摩擦角은 19° 이다.

3.2 實驗方法

앵커로 支持된 壁의 舉動에 영향을 미치는 많은 變數가 있다. 本研究에서는 대부분의 變數를 일정하게 하고 기본적인 變數 즉 앵커의 初期荷重과 壁의 柔軟性에 대하여 자세히 實驗하였다.

먼저 試驗板의 水平變位測定裝置를 試驗機의 正面 中間에 板과 1cm 거리에 縱列 10cm 간격을 두고 設置한다. 7cm 간격으로 120Ω의 Strain gage 가 附着된 試驗板을 模型試驗機의 固定시키고 앵커는 느슨하게 設置하며 소정의 密度로 試料을 완전히 채운 후 上下部 固定을 해체한다 維持될 地表面에는 板에서 5cm 떨어진 支點부터 1.2H 되는 支點까지 10~20cm 간격으로 沈下板을 設置하여 dial gage 를 附着 시켰다.

實驗은 試驗機의 正面 아크릴板을 1段階(10 cm) 제거한 뒤 變形이 끝난 20분 후에 計測한다. 2段階는 앵커 引張으로 荷重은 自由端支持 設計方法에 의한 $0.8H(56\text{cm})$ 를 掘鑿할 때의 設計荷重 $T_d=40\text{kg/m}$ 와 이 값의 75% 인 $T=30\text{kg/m}$ 이다. 3段階 부터는 1段階와 같은 方法으로 $0.86H(60\text{cm})$ 까지 掘鑿을 계속, 計測하여 많은 資料를 얻는다. 단, 柔軟性이 가장 큰(log

$\rho = -4.44$) 壁의 $0.86H$ 掘整은 壁의 變位가 計測機의 限界이상이어서 本 試驗機로는 計測이 불가능하다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1 壁體의 變位

地盤을 掘整하는 동안 앵커로 支持된 널말뚝의 變位는 그 柔軟한 정도에 따라서 큰 차이가 있다. 壁體가 變位를 일으키면 周邊地盤은 沈下되며 隣接建物は 피해를 입게 된다.

그림 4는 $\log \rho = -5.64$ 壁에 대해 掘整 깊이에 따른 變位를 나타낸 것이다. 예상했던 바와 같이 壁의 最大變位는 물론 掘整面에서의 變位는 掘整 깊이에 비례하여 增加함을 보여주었으며, 地表面에 있어서의 壁變位는 掘整 깊이의 增加에 따라 維持된 地盤 쪽으로 移動하여 受動土壓이 발생되는 반면, 掘整 깊이가 $0.8H$ 일 때 앵커 位置에서의 壁變位는 없으나 掘整이 계속되는 동안 앵커의 伸張, 앵커 사이의 휨 등으로 인하여 外側으로 變位가 일어난다. 掘整 깊이에 따른 壁 바닥의 位置를 관찰할 때 $\log \rho = -5.64$ 壁의 自由端支持와 固定端支持의 限界가 $0.8H$ 의 掘整 깊이를 알 수 있다. 즉, 限界貫入 깊

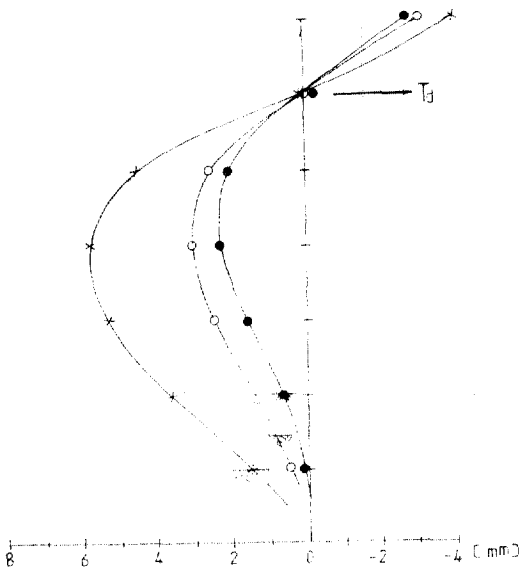


그림 4. Lateral Movements of Anchored Sheet Pile ($\log \rho = -5.64$)

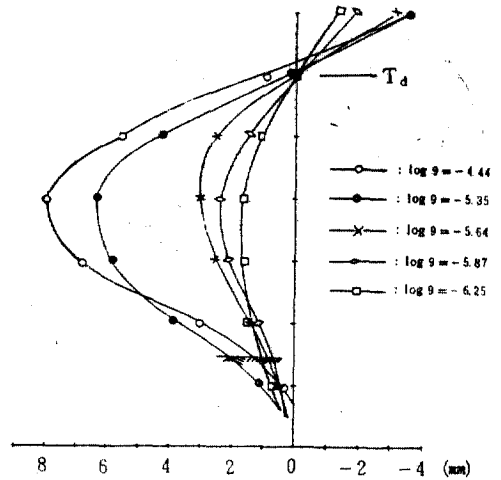


그림 5. Lateral Movement of Anchored Sheet Piles (Excavation Level = $0.8H$)

이는 $0.2H$ 이다. 그림 5는 $\log \rho = -5.64$ 壁의 限界掘整 깊이인 $0.8H$ 를 掘整했을 때 壁變位를 壁의 柔軟한 정도에 따라 비교한 것이다. 壁의 最大變位는 일반적으로 柔軟성에 관계없이 $0.45H$ 정도에서 발생하였고, 壁의 傾斜는 柔軟한 壁일수록 심하다. 掘整面 이하에서의 壁變位는 柔軟한 壁일수록 급히 작아지며, 특히 壁 바닥에서 回轉이 되지 않는 가장 柔軟한 壁($\log \rho = -4.44$)의 限界掘整 깊이는 $0.8H$ 이상임을 추정할 수 있다. 그림 6은 掘整 깊이와 壁의 最大變位點의 關係를 圖示한 것으로 掘整初期인 $0.43H$ 에서는 最大變位가 $0.35H$ 부근에서 발생

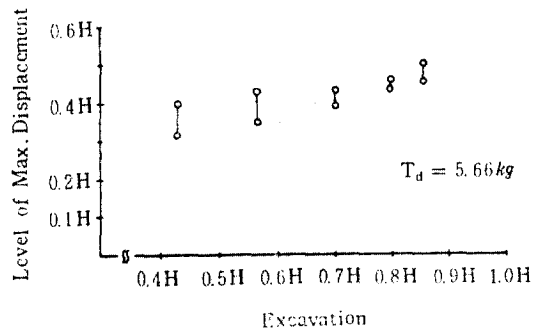


그림 6. Relationship of Excavation Level and Points of Max. Lateral Movement of Sheet Pile

하고 最大掘鑿 깊이인 $0.86H$ 에서는 $0.5H$ 부근에서 발생하였다. 그림 7 에서와 같이 掘鑿初期에는 앵커 荷重이 클수록 壁이 維持된 地盤쪽으로 기울어져, $0.43H$ 掘鑿에서 앵커 荷重 $4.22kg$ 일 때의 最大變位가 $5.66kg$ 일 때의 것 보다 크다. 그러나 掘鑿 깊이가 크면, 剛體의 壁에서는 앵커 荷重이 클수록 變位가 작지만, 柔軟한 壁일수록 큰 變位가 발생한다. 또한 $0.43H$ 掘鑿에서는 $x_{max}/H=0.3 \times 10^{-3}$ 이하에서 收斂하지만 그 이상의 곳에서는 壁의 柔軟性的의 增加에 따라 變位の 정도가 심하다. 이는 壁의 柔軟한 정도에 따라 제 2의 앵커 位置를 결정해야 함을 뜻하는 것으로써 앞으로 研究해야 할 과제이다.

4.2 앵커의 荷重減少

앵커 荷重變化의 공통적인 특징은 앵커 荷重損失의 일부가 앵커를 引張하는 동안 일어난다. 하나의 앵커를 設置하고 그것에 prestress 함으로서 荷重損失은 일정한 상태에 도달할 때 까지 계속된다. 隣接 앵커의 引張으로 인한 앵커 荷重損失은 壁의 柔軟性에 따라 약간의 차이가 있으나 12~15% 정도로 減少한다. 초기에 두개의 앵커에 동일한 荷重을 주었음에도 掘鑿에 의한

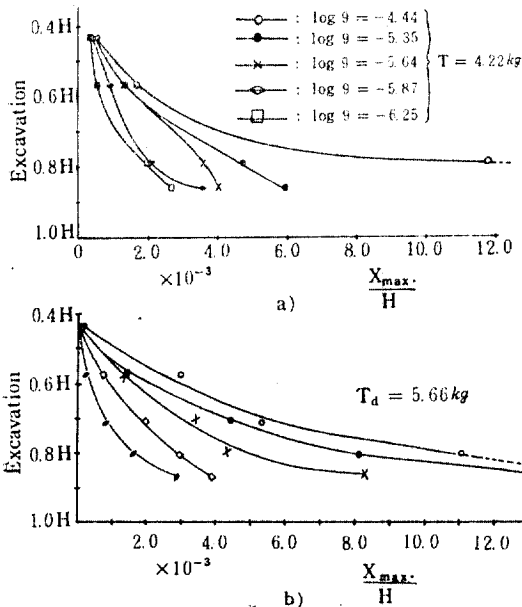


그림 7. Influence of Excavation Level on Maximum Lateral Movement of Sheet Piles

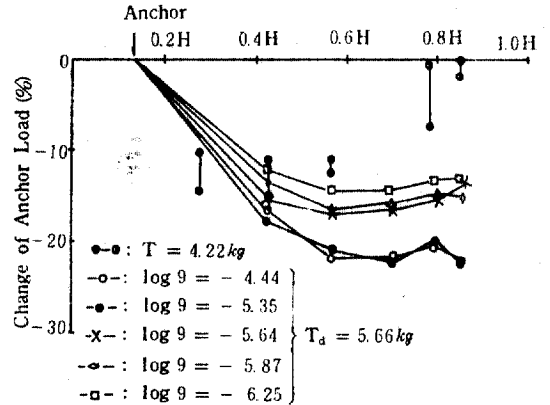


그림 8. Change in Anchor Load Value with Construction Progress for Sheet Piles of Different Flexibilities

壁 變位の 增加에 따라 두개의 앵커 荷重變化가 불규칙하다. 이와같은 隣接 앵커 사이의 荷重變化는 앵커의 荷重引張順序, 壁 뒤 모래의 arching 및 側壁과 모래의 摩擦등에 원인이 있는 것으로 사려된다.

그림 8은 掘鑿 깊이에 따른 두 앵커 荷重變化의 百分率을 平均한 값이다. 앵커 荷重이 $5.66kg$ 일 때, 앵커 荷重減少가 壁의 柔軟性에 대해 비교적 뚜렷한 차이를 보인다. $4.22kg$ 일 때 掘鑿 깊이가 $0.28H \sim 0.43H$ 에서 최고의 荷重損失을 보이며 $0.8H \sim 0.86H$ 에서는 거의 初期 값으로 상승한다. 그러나 $5.66kg$ 일 때는 $0.57H$ 掘鑿 깊이에서 최고의 荷重損失이 있으며 그 이상의 掘鑿에는 큰 영향이 없는 것으로 관찰 되었다. 앵커는 앵커 支點에서 壁을 흠 속으로 당기는데, 이 힘은 剛體의 壁인 경우에 壁의 下部로부터 전달되는 힘에 의해 抵抗을 받지만 柔軟한 壁의 경우에는 그러한 抵抗力的의 전달이 壁의 柔軟性이 增加할수록 약하게 된다. 더구나 剛體의 壁인 경우에 모래속의 應力은 앵커 荷重 때문에 앵커 周圍에 分布 되지만, 柔軟한 壁의 경우에 이 應力은 앵커 位置에 集中되고 모래속의 더 큰 局部應力이 발생되는 데에 원인이 있다고 보여진다. Egger⁽⁹⁾는 앵커의 荷重이 작을 때 앵커의 反力은 빠르게 增加하고, 앵커의 荷重이 클

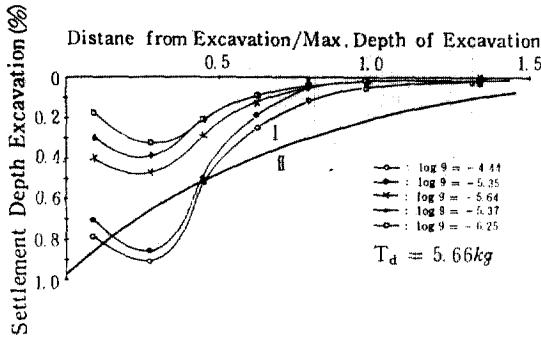


그림 9. Combined Parameter Influence on Settlements behind Sheet Piles (Excavation Level = 0.8H)

때 이 증가하는 큰 변화가 없다고 이론적으로 밝혔다.

4.3 地盤의 沈下

掘鑿 깊이의 증가에 따라 점차 증가하는 地盤 沈下는 壁으로부터 0.7H 거리 이상에서는 작지만 1.2H 까지 계속된다. 그림 9는 剛體壁의 限界掘鑿 깊이 0.8H를 掘鑿했을 때의 地盤沈下量을 모든 壁體에 대해 Peck⁽¹³⁾이 제안한 無次元座標에 나타낸 것으로 거의 모든 沈下曲線이 좋은 조건에 해당하는 地域 I에 포함 되지만, 柔軟한 壁(log ρ = -4.44, -5.35)으로 支持된 모래 地盤의 沈下狀態는 보통의 조건에 해당하는 地域 II에 포함된다. 維持된 地盤의 最大沈下는 壁에 接해 있는 地盤에서 일어나지 않고 壁에서

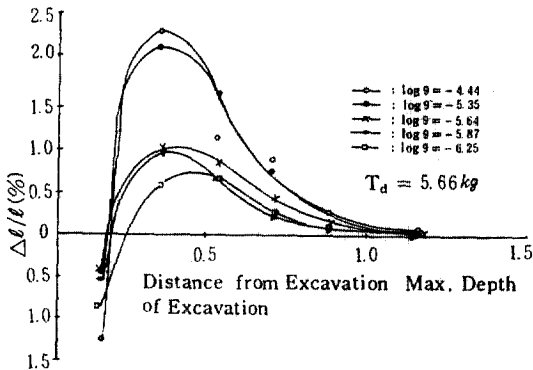


그림 10. Different Settlement behind walls for Sheet Piles of Different Flexibilities (Excavation Level = 0.8H)

最大掘鑿 깊이의 0.26 배 정도 떨어진 支點에서 일어난다. 특히 柔軟性이 큰 壁일수록 그러한 현상이 뚜렷하고 柔軟性이 작은 壁에서는 沈下上曲線이 비교적 緩慢하다. 이것은 그림 10에서도 확인할 수 있는데, 그림 10은 隣接建物の 損傷에 큰 영향을 주는 地盤의 不等沈下를 나타낸 것으로 세로 軸은 두 支點 사이의 沈下差(Δδ)를 두 支點의 水平距離(L)로 나눈 百分率이다. 最大의 不等沈下는 掘鑿 깊이의 0.3~0.4배인 支點에서 일어나는데, 掘鑿面에서 가까운 不等沈下曲線의 傾斜는 급하여 地表面이 內側으로 급히 기울어짐을 의미하며 掘鑿面에서 먼 地表面의 傾斜는 掘鑿面을 향하여 緩慢하게 기울어짐을 의미한다. 결론적으로 稠密한 정도가 중간인 모래 地盤에서 앵커로 支持된 널말뚝을 이용하여 掘鑿하면 地盤의 最大沈下와 最大不等沈下는 掘鑿面에서 掘鑿 깊이의 0.26~0.4 배 떨어진 支點에서 일어나고 壁의 柔軟性이 크면 그 정도가 심하지만 沈下條件의 상태로 볼 때 비교적 양호한 構造物이라 할 수 있다.

4.4 휨모멘트의 減少

앵커로 支持된 널말뚝 設計의 自由端支持方法에서 널말뚝은 完全剛體이고 土壓分布는 靜水壓力分布라고 가정한 것이다. 그러나 실제로 널말뚝은 柔軟하고 土壓分布는 靜水壓力分布로부터 상당한 차이가 있다. 앵커로 支持된 널말뚝의 휨모멘트는 土壓, 널말뚝의 柔軟性, 掘鑿 깊이, 貫入 깊이 및 앵커의 位置와 傾斜 등에 의해 영향을 받는다.

그림 11은 自由端支持方法에 의해 設計되는 Coulomb 土壓으로부터 計算된 휨모멘트와 여러 柔軟한 壁으로부터 計算된 휨모멘트를 비교한 것이다. 앵커 位置에서의 모멘트, 最大 휨모멘트 및 最大 휨모멘트 발생 位置등이 상당한 차이를 보이고 있으며, 널말뚝 下部에서 -휨모멘트는 柔軟한 壁(log ρ = -4.44, -5.35, -5.64)에서 만 발생되고 그 크기는 어느 경우에서든지 항상 +휨모멘트 보다 작다. 그림 12는 掘鑿 깊이에 따른 最大 휨모멘트의 發生位置를 나타낸 것으로 앵커 荷重이 4.22kg일 때 剛體壁에서는 掘鑿 깊이가 깊을수록 最大 휨모멘트 發生位置가 깊지만, 柔軟性이 큰 壁에서는 掘鑿 깊이에

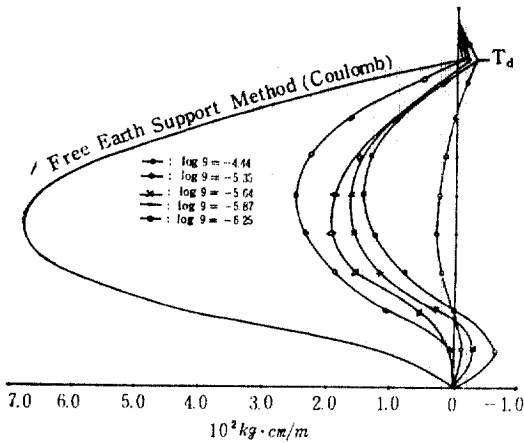


그림 11. Bending Moment Curves for Sheet Piles of Different Flexibilities(Excavation Level=0.8H)

관계없이 거의 일정한 위치에서 발생한다. 앵커荷重이 設計荷重(5.66kg)일 때는 4.22kg일 때의 剛體壁과 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 自由端支持方法에 의한 0.8H 掘鑿 깊이에서 計算된 最大 휨모멘트의 發生位置는 0.57H 인데, 計測된 位置는 그 位置 보다 上部에 있다. 또한 앵커 荷重을 4.22kg 으로 하였을 때 計算된 發生位置는 0.5H 인 데, 이 位置는 $\log \rho = -5.87$ 벽을 0.79H 掘鑿했을 때의 發生位置와 같다. 그림 13은 앵커로 支持된 널말뚝 設計에서 널말뚝의 斷面決定에 사용되는 Rowe⁽³⁾의 모멘트 減少曲線과 本實驗에서 얻어진 값을 비교한 것이다. 세로 軸은 計測된 最大 휨모멘트를 自由端 支持方法에 의해 計算된 最大 휨모멘트로 나눈

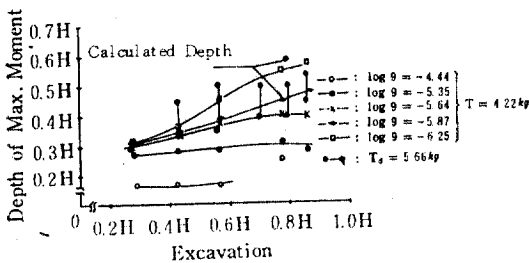


그림 12. Relationships of Excavation Level and Points of Maximum Moment

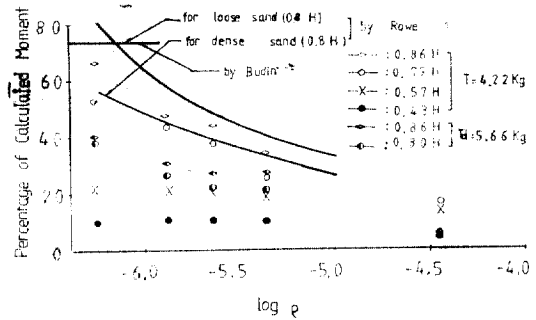


그림 13. Flexibility-Moment Reduction Curve

百分率이다. 앵커 荷重이 4.22kg, 掘鑿 깊이가 0.79H일 때 計測된 結果는 Rowe의 稠密한 모래 地盤에 대한 모멘트 減少曲線과 매우 유사하다. Budin⁽⁴⁾ 등은 Coulomb에 의해 計算된 最大 휨모멘트의 74%를 취하라고 하였는데, 計測된 값은 전부 이 값에 미달하고 있다. 또한 設計荷重으로 앵커를 引張하였을 때 計測된 結果는 Rowe 曲線과 비슷한 경향은 있지만 이 曲線에 약 20% 정도 미달되고 있는데, 이 값은 本試驗機의 아크릴 壁面과 모래의 摩擦에 의한 원인

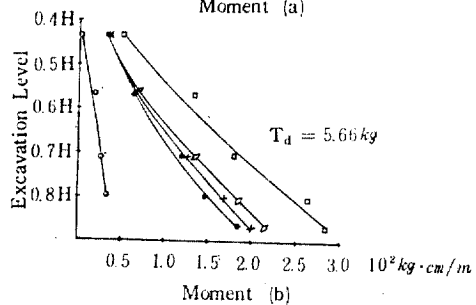
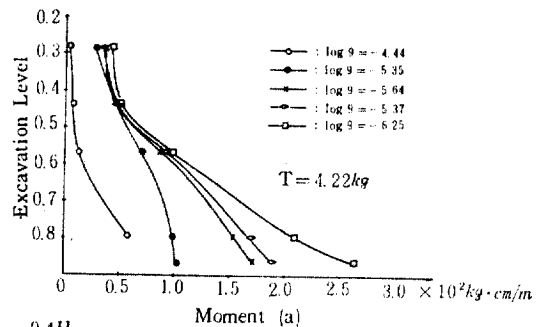


그림 14. Influence of Excavation Level on Maximum Moment of Different Sheet Piles

도 일부 포함된 것이다. 그림 14는 여러 종류의柔軟한壁에 대해掘鑿 깊이에 따른 휨모멘트를 나타낸 것이다. 가장柔軟한壁을 제외하고 $0.43H$ 이하의掘鑿 깊이에서는壁의柔軟性に 관계없이 것의 일정한 휨모멘트 값을 유지하고 있지만, 그 이상의掘鑿에서는 모멘트 크기에 상당한 차이를 보이고 있다.壁의柔軟성이 클수록掘鑿 깊이에 따른 모멘트의增加率이 작으며 특히 앵커荷重을 $4.22kg$ 으로引張하였을 때 그경향은 뚜렷하다.일반적으로 깊은掘鑿에서 앵커荷重이 클수록 휨모멘트 값은 크다.

5. 結 論

本 研究는 앵커로 支持된 널말뚝의柔軟성과 앵커 荷重에 대한 模型實驗結果를 分析한 것으로 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 限界掘鑿 깊이인 $0.8H$ 를 掘鑿했을 때 壁의 最大變位는 $0.43H$ 정도에서 發生하며, 壁의 曲率은 柔軟한 壁일수록 심하여 壁의 柔軟성과 앵커 荷重을 고려 제 2의 앵커 位置를 결정해야 한다.

(2) 모든 널말뚝은 掘鑿 정도와 初期 앵커의 引張力에 따라 앵커 荷重變化가 다른 데, 設計 荷重으로 引張하였을 때 $0.57H$ 의 掘鑿 깊이에서 最大荷重損失이 일어나며, 壁이 柔軟하고 初期 荷重이 클수록 荷重損失이 크다.

(3) 地盤掘鑿에서 앵커로 支持된 널말뚝을 이용할 경우 地盤沈下는 비교적 양호한 상태이며 最大沈下와 最大不等沈下는 掘鑿面에서 掘鑿 깊이의 $0.26\sim 0.4$ 인 支點에서 일어난다.

(4) 壁의 最大變位點과 最大 휨모멘트의 發生 支點은 거의 일치하며 壁의 柔軟성이 클수록 掘鑿 깊이에 따른 휨모멘트 增加率이 작고, 負의 모멘트가 발생한다. 또한 휨모멘트 減少曲線은 Rowe 曲線과 비슷한 경향이지만 약 20% 정도 작다.

參 考 文 獻

1. Tsinker, G.P., "Anchored Sheet Pile Bulkheads; Design Practice", *Journal of Geotechnical Division*, Vol. 109, GT8, 1983, pp.1021~1037,
2. Tschebotarioff, G.P., "Large Scale Earth Pressure Tests with Model Flexible Bulkheads,"

Princeton Univ., Princeton, N.J., 1949

3. Rowe, P.W., "Anchored Sheet-Pile Walls", *Proceedings, Institution of Civil Engineers*, Vol. 1, No. 1, Jan., 1952, p.27.
4. Nataraj, M.S., Hoadley, P.G., "Design of Anchored Bulkheads in Sands," *Journal of Geotechnical Division*, Vol. 110, GT4, 1984, pp.505~515.
5. Rowe, P.W., "A Theoretical and Experimental Analysis of Sheet Pile Walls," *Proceedings, Institution of Civil Engineers*, London, Part 1, Vol. 4, Jan, 1955, pp.32~69.
6. Turabi, D.A., Balla, A., "Distribution of Earth Pressure on Sheet, Piles Walls," *Journal of Geotechnical Division*, Vol. 94, SM 6, 1968, pp.1271~1301.
7. Haliburton, T.A., "Numerical Analysis of Flexible Retaining Structures," *Journal of Geotechnical Division*, Vol. 94, SM6, 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. Egger, P., "Influence of Wall Stiffness and Anchored Prestressing on Earth Pressure Distribution," *Proc., 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundation*, Madrid Spain, 1972, pp.259~264.
10. Nyby, D.W., "Finite Element Analysis of Soil-Sheet Pile Interaction," Ph.D. Thesis, Utah State Univ. 1981.
11. Browzin, B.S., "Anchored Bulkheads; Horizontal and Sloping Anchors," *Journal of Geotechnical Division*, Vol. 107, GT. 5, 1981, pp.629~645.
12. Lasebnik, G.Y., "Investigation of Anchored Sheet-Pile Bulkheads," Ph. D. Thesis, the Kiev Politechnical Institute, at Kiev, Russian, 1961.
13. Peck, R.B., "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground," *Proc. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*, State-of-the-Art-Volume, 1969, pp. 225~290.
14. Budin, A.Y., Demina, G.A., "Quays Handbook", Moscow, 1974.

(接受: 1988. 4 25)