

粘性土地盤속 柱列式 흠막이벽의 設計法

A Design Method of Earth-Retaining Structure Constructed
by a Row of Bored Piles in Cohesive Soils

洪 元 杓*

Hong, Won-Pyo

權 禹 龍**

Kwon, Woo-Yong

高 正 桑***

Ko, Jung-Sang

Abstract

A design method is presented for the earth-retaining structure constructed by a row of bored piles, which has such merits as low-vibration and low-noise during construction. And utility of the design method is investigated by performing a design example.

First, theoretical equations to estimate the resisting force of a row of earth-retaining piles in cohesive soils are established for grounds above and below bottom of excavation, respectively. The characteristics of soils and the effect of pile's interval can be considered logically in the theoretical equations. Then, the method for stability-analysis is presented for the earth-retaining piles by applying the theoretical equation of resisting forces on a row of piles.

Finally, the design of earth-retaining piles is performed within the ranges which can satisfy the stabilities of both piles and soils. On investigation of the soil-stability, the stability for bottom heave in cohesive soils is also investigated.

要 旨

都市內 地下굴착工事に 低振動, 低騒音의 장점이 있어 많이 使用될 수 있는 柱列式 흠막이벽用 말뚝의 設計法이 提案되며, 그 實用性이 設計例를 통하여 검토된다. 먼저 粘性土地盤 속에 設置된 柱列式 흠막이말뚝의 抵抗力 算定式이 굴착 저면을 기준으로 上部와 下部地盤에 대하여 각각 제시된다. 이 算定式의 특징은 地盤特性和 말뚝의 設置間隔을 合理的으로 고려할 수 있다는 점이다. 이 저항력 算定式을 활용하여 흠막이 말뚝의 安定解折法이 확립된다. 흠막이 말뚝의 設計는 말뚝의 安定性和 地盤의 安定性을 동시에 만족시키는 범위에서 實施되며, 地盤의 安定性 검토시에는 굴착 低部에서의 粘土地盤 湧기현상에 대한 안전검토도 實施된다.

* 正會員, 中央大學校 工科大學 土木工學科, 副教授

** 正會員, 東部建設 特殊事業部

*** 正會員, 金剛綜合建設 土木部

1. 序 論

直徑이 300~1,200mm 인 圓柱形의 現位置콘크리트말뚝을 一定間隔으로 일렬로 現場에서 地中に 設置한후 이들 말뚝을 띠장으로 연결시켜 흠막이벽을 만들어 버팀보나 앵커로 이 흠막이벽을 지지시키면서 地盤굴착을 실시하는 柱列式 흠막이벽工은 低振動, 低騒音의 利點이 있고 周邊地盤이나 隣接構造物에 미치는 惡影響이 적은 이유로 인하여 최근에 많이 채택되고 있다.

柱列式흠막이벽用말뚝의 合理的 設計法을 確立시킬 것을 目的으로 말뚝의 低抵抗力算定式이 유도되고 말뚝設置間隔比의 決定法이 이미 제시된바 있다.⁸⁾ 말뚝의 抵抗力算定式 유도시 말뚝사이 地盤의 arching 現象을 고려함으로써 地盤의 특성과 말뚝의 設置狀態를 보다 合理的으로 고려할 수 있었다. 또한, 말뚝의 設置間隔은 Peck의 安定數,⁹⁾ 側壓係數¹¹⁾ 및 내부마찰각을 고려하여 決定될 수 있게 하였다.

本 論文은 柱列式흠막이벽 設計法에 관한 일련의 연구결과로서 이전 論文⁸⁾이 발표된 이후의 연구성과를 정리한 것이다. 특히 本 論文에서는 말뚝根入部의 地盤과 말뚝의 安定 해석법을 設定한후 흠막이벽의 設計法을 確立시켜보고자 한다.

2. 흠막이말뚝의 抵抗力

2.1 굴착부의 抵抗力⁸⁾

그림 1은 직경이 d 인 RC말뚝을 現場에서 D_1 의 中心間隔으로 일렬로 설치한 柱列式흠막이벽의 정면도와 평면도이다. 경우에 따라서는 RC말뚝대신 직경 d 의 穿孔內에 H말뚝과 시멘트 몰타르를 사용하기도 한다. 말뚝을 設置한후 굴착이 進行됨에 따라 흠막이벽 전후면에 작용하는 토압의 불균형으로 인하여 말뚝사이의 地盤은 말뚝결과 직각방향으로 이동하려 한다. 이때 말뚝이 앵커 혹은 버팀보와 띠장으로 충분히 支持되어 있다면 말뚝사이의 地盤에는 그림 1(b)에서 보는바와 같이 arching 現象이 發生하게 되며 이로 인해 말뚝에는 地盤移動에 저항하려는 抵抗力이 發生하게 된다.²⁾ 柱列式흠막이벽

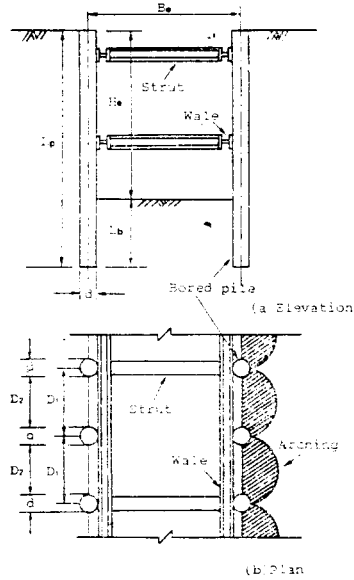


Fig. 1 Braced earth-retaining wall constructed by a row of bored piles

에 사용된 흠막이말뚝의 設計에 있어서는 이 말뚝의 抵抗力을 적합하게 算定하여야 함이 무엇보다도 중요할 것이다. 왜냐하면 이 抵抗力이 過小하게 算定되면 공사비가 過多하게 들것이며 저항력이 過大하게 산정되면 말뚝사이의 地盤이 移動하여 흠막이벽의 崩壞를 초래하기 때문이다.

粘土地盤속 굴착低面 上部에서 柱列式흠막이벽用 말뚝의 水平抵抗力 P_r 을 단위폭당으로 환산한 말뚝의 抵抗力 P_r/D_1 은 다음과 같이 제안된 바 있다.⁸⁾

$$P_r/D_1 = c \cdot K_r \quad \dots\dots(1)$$

여기서, D_1 은 말뚝中心間거리, c 는 地盤의 粘着力 혹은 비배수 전단강도, K_r 은 말뚝抵抗力係數이며 式(2)와 같다.

$$K_r = 3 \cdot \ln(D_1/D_2) + (D_1/D_2 - 1) \times \tan(\pi/8) \quad \dots\dots(2)$$

2.2 말뚝根入部の 抵抗力

그림 1(a)의 말뚝의 根入部에서는 흠막이벽 背面的 (H_2 높이만큼의) 흙의 重量에 의한 편재하중으로 인하여 흠막이벽 배면의 흙이 根入部の 말뚝사이로 빠져나오려 하며, 이로 인하여 말뚝은 土壓을 받게 된다. 만약 말뚝이 이 土壓에

충분히 견딜 수 있다면 이 흙막이말뚝들은 地盤移動에 抵抗하는 기능을 발휘할 수 있게되어 말뚝에 作用하던 土壓만큼의 말뚝抵抗力을 기대할 수 있게 된다.

이 根入部에서의 말뚝抵抗力으로는 受動말뚝에 作用하는 側方土壓算定式을 적용시킬 수 있다.^{9~11)} 왜냐하면 이 算定式은 地盤이 側方移動時 말뚝의 前後面에 作用하는 土壓의 差로 인하여 말뚝의 주변지반이 Mohr-Coloumb의 항복기준을 만족하는 소성상태에 도달하기 직전까지의 토압을 의미하므로 말뚝이 이 土壓에 견딜 수 있다면 이는 地盤이 소성과괴가 發生됨이 없이 地盤의 側方移動에 抵抗할 수 있는 말뚝의 抵抗力이 될 수 있기 때문이다. 따라서 粘土地盤에 設置된 흙막이말뚝의 말뚝根入部에서 發生되는 단위폭당 抵抗力 P_{ru}/D_1 은 다음과 같다.

$$P_{ru}/D_1 = c \cdot \{3 \cdot \ln(D_1/D_2) + (D_1/D_2 - 1) \times \tan(\pi/8) - 2(1 - D_2/D_1)\} + \gamma \cdot h(1 - D_2/D_1) \quad \dots\dots(3)$$

여기서, P_{ru} 는 말뚝의 저항력, γ 는 흙의 단위체적중량이고 h 는 굴착底面에서부터 말뚝根入部の 임의의 位置까지의 길이이다.

3. 말뚝 根入長 算定

이전 研究⁸⁾에서는 柱列式흙막이말뚝을 設置할 경우 굴착底面上部 즉 굴착부분에서 말뚝의 抵抗力과 말뚝에 作用하는 側壓이 同一하게 되도록 하므로써 말뚝의 設置間隔을 決定하는 方法에 대하여 서술하였다. 本章에서는 말뚝의 根入長 算定法에 대하여 說明하기로 한다. 흙막이말뚝의 근입장은 말뚝의 安定성과 지반의 安定성을 동시에 만족시키는 범위에서 결정해야 한다. 말뚝의 근입부에서 지반 및 말뚝의 安定解析 및 굴착底面部에서의 粘土地盤 湧기현상에 대한 安全 검토는 다음과 같이 실시된다.

3.1 地盤의 安定解析

굴착地盤安定解析시 말뚝에 作用하는 土壓은 굴착底面上부와 下部로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 굴착底面上부에서는 土壓이 그림 2(a)와 같이 말뚝背面側에 作用하게 된다. 굴착으로 인

하여 흙막이 벽에 변위가 발생하게 되면 굴착前 地盤의 應力狀態는 靜止土壓狀態에서 主動土壓으로 변하게 된다. 그러나 도시내의 굴착工事에서는 굴착으로 인하여 周邊地盤의 變形을 防止하기 위하여 흙막이벽의 변위가 發生하지 않도록함이 바람직하다. 따라서 말뚝背面地盤의 應力狀態가 굴착前과 同一한 상태를 유지하도록 말뚝의 變位가 완전히 구속된다면 이 地盤의 應力狀態는 K_0 狀態가 될 것이며, 굴착底面上部の 흙막이 말뚝에 作用하는 側方土壓은 식(4)를 使用한다.

$$P = K_L \gamma H \quad \dots\dots(4)$$

여기서, K_L 은 側方土壓係數이며, γ 는 地盤의 單位體積重量이고 H 는 굴착깊이이다.

식(4)에서 側方土壓係數 K_L 은 K_0 를 사용함이 바람직하다. 그러나 흙막이벽의 변위가 다소 발생하여도 무방한 경우는 主動土壓係數 K_a 를 사용하여도 좋다.

한편, 굴착底面下部에 作用하는 土壓은 수동 말뚝에 作用하는 側方土壓算定理論式을 利用하여 구한 말뚝근입부의 抵抗力인 식(3)을 말뚝前面側에 作用시킬 수 있다. 왜냐하면 산정이론식은 말뚝전후면에 作用하는 土壓의 差로 인하여 地盤이 말뚝사이를 빠져 나가려는 순간까지의 土壓을 의미하며, 이는 地盤이 말뚝사이에서 소성과괴됨이 없이 견딜 수 있는 最大抵抗力값이라 할 수 있기 때문이다. 그림 2에서 보는바와 같이 굴착의 安全率 (F_s)exc.은 말뚝의 하중 P 와 저항력 P_{rd} 가 最下段支持工設置位置 A 를 중심으로 한 말뚝의 저항모멘트 M_r 과 활동모멘트 M_a 의 비로써 구할 수 있다.

$$(F_s)exc. = M_r/M_a \quad \dots\dots(5)$$

여기서 安全率 (F_s)exc.은 所要安全率 以上이 되어야 한다.

3.2 말뚝의 安定解析

말뚝安定解析시 말뚝에 作用하는 土壓은 地盤安定解析시 말뚝에 作用시킨 抵抗力과 그 크기는 같고, 作用方向은 반대로 한다. 地盤의 安定面에서 생각할때 식(3)으로 구한 말뚝근입부에서의 말뚝의 저항력은 굴착低部の 붕괴를 막아 주는 역할을 하게 되지만 말뚝의 安定面에서 생

각할때 말뚝은 저항력에 해당하는 하중에 충분히 견딜 수 있어야 하므로 이 저항력을 말뚝에 작용하는 荷重으로 생각할 수 있다. 따라서 말뚝에 작용하는 하중으로 굴착 底面 上部에서는 말뚝 背面側에 식(4)로 구한 側方土壓이 작용하고, 굴착 底面 下部에서는 말뚝 背面側에 식(3)으로 구한 말뚝의 抵抗力이 작용한다. 그림 2(b)는 말뚝 安定解析시 말뚝에 작용하는 側方土壓의 分布를 나타내고 있다. 즉 굴착 底面 上部의 土壓은 식(4)로 表示되며 地盤 安定解析시와 同一하게 굴착 底面 下部의 土壓은 식(3)으로 표시된 값을 말뚝이 地盤으로부터 받게 된다. 단 말뚝 安定解析시 側方土壓은 식(3) 및 식(4)의 값에 말뚝의 設置間隔을 곱한값을 使用한다. 말뚝 安定解析은 最下段 支持工 設置位置 A를 지지점으로 하고 관입된 말뚝의 最下段部 C점을 또다른 가상지지점으로 하는 단순보로 解析하거나 A점을 지지점으로 한 캔틸레버보로 해석할 수 있다.³⁾ 말뚝의 安全率 (F_s)pile은 이들 側方土壓으로 인해 말뚝에 發生되는 말뚝의 最大 彎應力 σ_{max} 와 말뚝의 許用 彎應力 σ_{allow} 와의 比로써 구해진다.

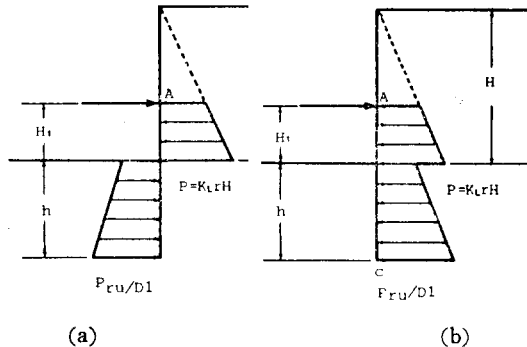


Fig. 2. Earth pressure distributions for (a) soil stability analysis (b) pile stability analysis

$$(F_s)_{pile} = \sigma_{allow} / \sigma_{max} \quad \dots\dots(6)$$

여기서 (F_s)pile은 所要安全率 以上이 되어야 한다.

3.3 용기에 대한 安定檢討

굴착 底面 線 上部 흙의 重量은 굴착 底面 線 아래 地盤에 대하여 偏載 荷重으로 작용하게 된다. 이 하중의 크기가 地盤의 支持力을 넘으면 흙은 소성상태가 되어 地盤에 소성유동現象이 發生하게

되고 흙막이 말뚝 背面의 흙이 안쪽으로 물입하게 되며 굴착 底面이 용기하는 現象이 發生하게 된다. 특히 軟弱粘土 地盤에서의 굴착시에는 항상 주의해야 할 現象이다. 이 지반용기의 검토方法은 크게 두가지로 구분된다. 하나는 支持力概念에 의한 方法이며, 또 하나는 모멘트 평형개념에 의한 것이다. 즉, 지반의 抵抗力 혹은 저항모멘트와 용기토괴의 滑動力 혹은 滑動모멘트와의 比로써 계산된다. 먼저 지지력개념에 의한 方法으로는 Terzaghi-Peck 方法⁶⁾, Bjerrum-Eide 方法¹⁾ 및 Peck의 方法⁵⁾이 있으며 모멘트평형개념에 의한 方法으로는 日本建築學會方法⁴⁾, Tchebotarioff 方法⁷⁾ 등이 있다. 그러나 이들 方法에는 공통적으로 말뚝이 지반용기에 抵抗할 수 있는 기능이 전혀 고려되어 있지 않다. 즉 이들 方法은 단지 지반용기 發生 여부만 판정할 뿐이지 이에 대한 安定대책으로 根入長을 얼마로 할 것인가 하는 算定法으로는 使用될 수 없고, 지반용기에 抵抗할 수 있는 抵抗力이 전혀 고려되어 있지 않다. 그러나 식(3)으로 표현되는 말뚝근입부의 抵抗力을 이용하면 地盤용기 現象에 대하여서도 흙막이 말뚝을 고려하여 安定檢討를 할 수 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 地盤용기에 대한 저항력은 地盤 파괴면을 따라 發生하는 전단저항력과 말뚝의 抵抗力으로 생각할 수 있고, 지반의 활동력은 굴착 底面 上部의 무게가 될 것이다. 따라서 이들 관계식은 다음과 같다.

$$(F_s)_{heav.} = (M_{rs} + M_{rp}) / M_d \quad \dots\dots(7)$$

여기서, M_{rs} 는 最下段 支持工 設置位置에서 地盤破壞面을 따라 發生되는 剪斷抵抗力의 抵抗모

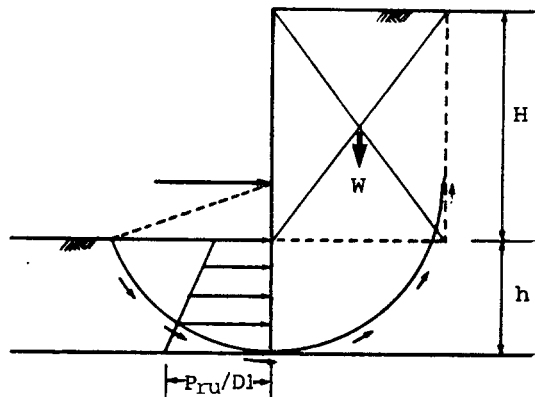


Fig. 3. Stability analysis for bottom of excavation

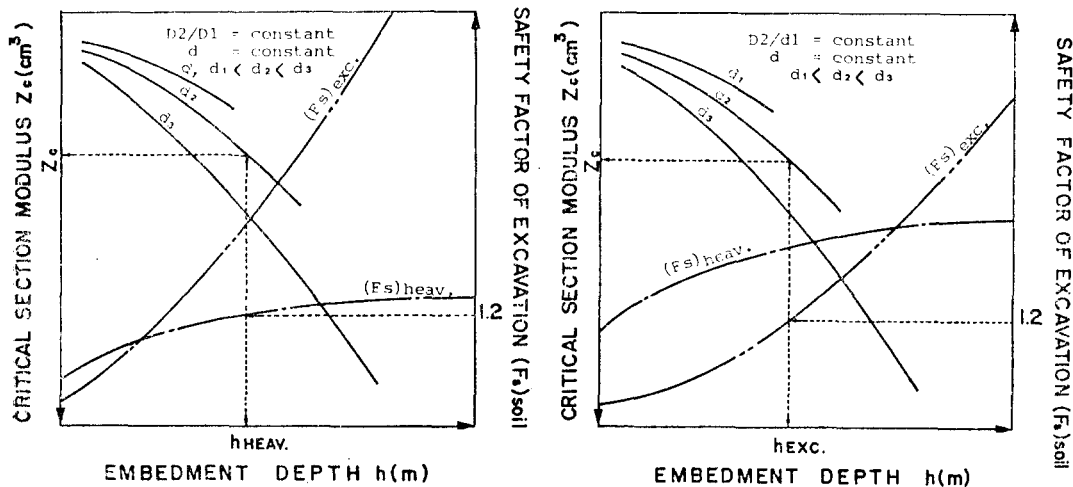
멘트이고, M_r 는 말뚝抵抗力의 抵抗모멘트이며 M_a 는 地盤土壤의 滑動모멘트이다. M_r 算定시에는 식(3)을 이용한다. 이 安全率 $(F_s)_{heav.}$ 도 所要安全率 以上이 되어야 한다.

3.4. 根入長算定

흙막이말뚝은 굴착저면부에서 土壓에 의한 地盤崩壞 및 지반응기에 安全하게 흙막이 말뚝으로서의 機能을 다하도록 적절한 根入長을 算定하여야 한다. 흙막이말뚝의 根入長算定方法으로 말뚝의 安定性和 굴착지반의 安定성을 동시에 만족시키는 근입장 h 를 결정하는 방법은 앞에서 이미 거론된 바 있다. 이 방법은 3.1절 및 3.2절에서 구한 地반의 安全率 $(F_s)_{exc.}$ 와 말뚝의 安全率 $(F_s)_{pile}$ 이 동시에 所要安全率 以上되도록 하여 根入長 h 의 범위가 일차적으로 決定되고 地盤응기에 대한 安全檢討를 실시하여 다시 이차적으로 根入長 h 의 범위가 限定된다. 根入長算定시의 이러한 번거로움을 해소하기 위하여 根入長 h 를 決定짓게 하는 地반의 安全率과 地반응기에 대한 安全率 및 말뚝의 강성(限界斷面係數)을 같은 도면에 함께 나타내 根入長算定法을 결정하면 그림 4와 같다. 그림 4는 임의로 가정된 말뚝직경 d 와 말뚝간격비 D_2/D_1 을 갖는 경우 根入長을 산정하기 위한 概略圖이다. 이 그림에서 횡축은 말뚝의 근입깊이 h 로 하고 좌측종축은 말뚝의 안전율을 1.0으로 하였을 때 말

뚝의 限界斷面係數를 Z_c 로 하며 우측종축은 굴착地盤의 安全率 $(F_s)_{soil}$ 로 하였다. 여기서 실선은 $h-Z_c$ 의 관계이며 일점쇄선은 地반응기에 대하여 $h-(F_s)_{heav.}$ 와의 관계이고 이점쇄선은 地반의 安定에 대한 $h-(F_s)_{exc.}$ 관계도이다.

그림중 점선은 地반의 安全율 $(F_s)_{soil}$ 의 所要安全率이 얻어질 수 있는 말뚝의 根入長 h 와 말뚝의 강성을 나타내는 限界斷面係數를 결정하기 위한 徑路를 나타내고 있다. 그림 4(a)는 동일 근입장에 대하여 굴착에 대한 安全율 $(F_s)_{exc.}$ 이 地반응기에 대한 安全율 $(F_s)_{heav.}$ 보다 큰 경우이다. 이 그림에서 보는 바와같이 $(F_s)_{soil}$ 의 所要安全율이 1.2인 경우 굴착저면지반의 安全率 $(F_s)_{exc.}$ 와 地반응기의 安全율 $(F_s)_{heav.}$ 를 비교하여 볼때 각각 所要근입깊이는 $h_{exc.}$ $h_{heav.}$ 가 되고 두값중 큰값을 선택해야 되기 때문에 所要근입깊이 h_c 는 $h_{heav.}$ 로 결정된다. h_c 가 결정되면 限界斷面係數 Z_c 는 그림 4(a)에서 말뚝직경에 따라 실선으로 표시된 $h-Z_c$ 의 관계도에서 지정된 직경에 대한 곡선으로부터 h_c 에 해당하는 Z_c 가 결정된다. 이때 말뚝직경 d 가 d_1 으로 가정된다면 결정된 h 값을 만족시키는 Z_c 값이 결정될 수 없다. 따라서 직경 d 를 d_2 나 d_3 로 다시 가정하면 h_c 값을 만족시키는 Z_c 값이 결정될 수 있게 된다. 이렇게 결정된 Z_c 는 鋼材表를 참고하여 Z_c 에 해당하는 적절한 鋼材를 선택하면 되고 근입장 h 는 선택된 鋼材의 허용응력



(a) (b)
Fig. 4 Schematic diagrams to decide pile embedment and stiffness

내에서 h_c 값보다 큰값으로 결정하면 된다. 그림 4(b)는 말뚝의 한계근입깊이 h_c 가 h_{exc} 가 되는 경우이다. 즉 지반 용기에 대한 지반의 안전율 $(F_s)_{heav}$ 가 지반굴착에 대한 안전율 $(F_s)_{exc}$ 보다 큰 경우이다. 이는 지반의 내부마찰각이 존재하거나 지반용기현상이 發生할 확률이 희박한 경우에 나타난다.

4. 말뚝근입부의 安定에 영향을 미치는 요소

말뚝 근입부의 안정에 영향을 미치는 요소로는 말뚝의 安定, 굴착의 安定, 지반용기에 대한 안정에 영향을 미치는 요소들을 생각할 수 있다. 즉, 이들 요소로는 말뚝의 설치간격비, 지반의 점착력 및 단위중량, 최하단지지공의 위치를 생각할 수 있다. 그림 10의 현장예를 기본으로 하여 말뚝근입부의 안정에 영향을 미치는 요소를 조사하여 보면 다음과 같다.

4.1 말뚝設置間隔比

그림 5(a)는 횡축을 말뚝의 간격비로 종축을 말뚝의 안전율로 하고 근입장 h 를 0.5~3.5m 까지 변화시키면서 말뚝간격과 말뚝의 안전율 사이의 관계를 조사한 그림이다. 근입장 h 가 일정할 경우 말뚝의 안전율은 間隔比가 커질수록 어느정도까지는 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 말뚝의 안전율을 算出할 때 단일말뚝이 받는 側方土壓의 幅은 말뚝의 中心間隔 D_1 만큼 받는 것으로 하기 때문에 말뚝간격이 넓어지면 말뚝의 저항력은 작아지지만 D_1

이 상대적으로 커지기 때문이다. 한편 그림 5(b)는 間隔比의 變化에 따른 根入長과 $(F_s)_{exc}$ 와의 관계를 나타낸다. 근입장 h 가 일정할 경우 D_2/D_1 이 작을수록 굴착지반의 安全率은 높아지며 동일한 $(F_s)_{exc}$ 에 대하여 D_2/D_1 이 클수록 즉 말뚝간격이 넓을수록 소요근입장은 길어짐을 알 수 있다. 그림 5(c)는 D_2/D_1 의 變化에 따른 굴착저면지반의 용기現象에 대한 安全率 $(F_s)_{heav}$ 와 근입장의 관계를 보여준다.

근입장이 일정할 경우 D_2/D_1 이 작을수록 $(F_s)_{heav}$ 은 커지고, $(F_s)_{heav}$ 가 동일한 경우 D_2/D_1 이 클수록 소요근입장은 길어지는 경향을 보이고 있다.

4.2 地盤점착력

그림 6은 점착력 c 값의 變化에 따른 말뚝 및 地盤의 安全率과 根入長 h 의 관계를 나타낸 그림이다. 그림 6(a), (b)에서 보는 바와같이 $(F_s)_{pile}$ 과 $(F_s)_{exc}$ 는 서로 반대의 경향을 보이고 있다. 즉 根入長이 일정할 경우 점착력이 작아질수록 $(F_s)_{pile}$ 는 커지고 $(F_s)_{exc}$ 는 작아진다. 또한 점착력이 일정할 경우 根入長이 길어지면 말뚝의 安全率은 감소하는 반면 地盤의 安全率은 증가하는 경향을 보인다. 동일한 安全率을 얻기 위하여는 점착력이 작을수록 말뚝안정과 地盤安定을 위한 소요根入長은 모두다 길게 하여야 한다. 그림 6(c)는 점착력의 변화에 따른 지반용기의 安全率과 根入長의 영향을 보여주고 있다. 즉 점착력이 큰 지반일수록 근입장이 길수록, 地盤 용기에 대한 安全性은 높아짐을 알 수 있다.

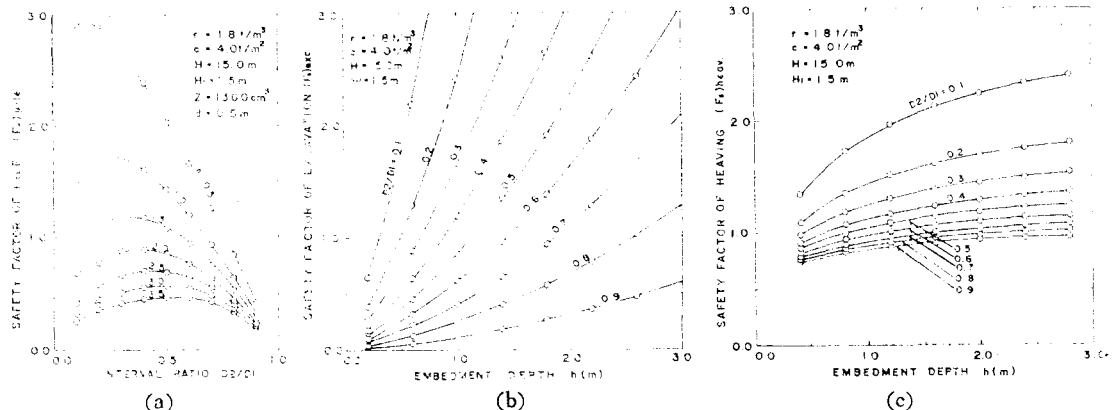


Fig. 5 Effect of pile interval

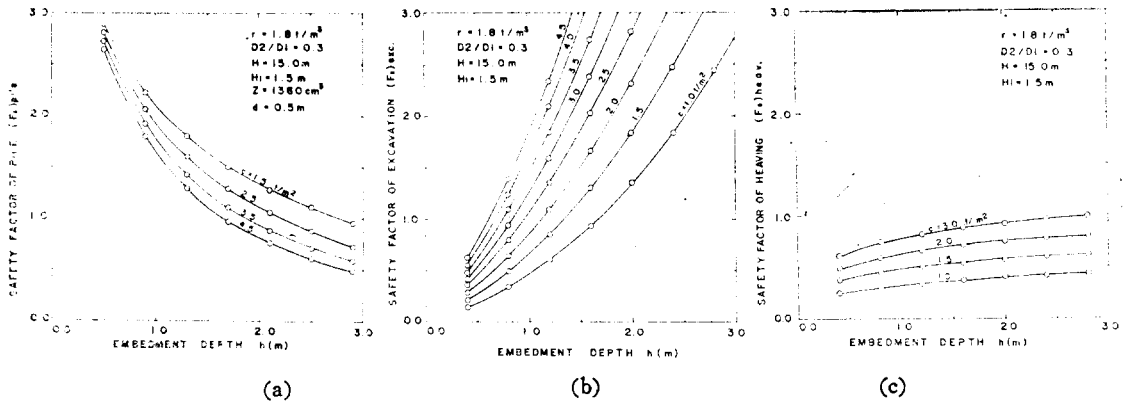


Fig. 6 Effect of cohesion of soil

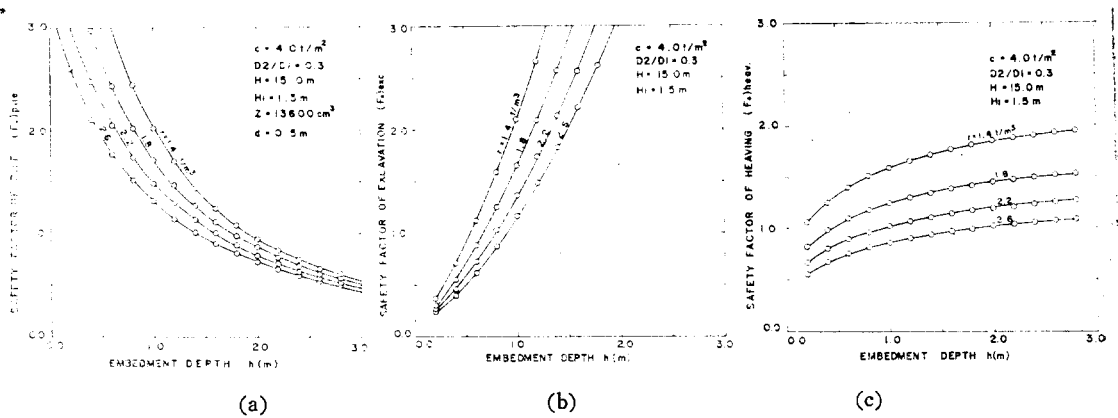


Fig. 7 Effect of unit weight of soil

4.3 地盤의 單位體積重量

그림 7은 地盤의 單位體積重量의 변화에 따른 각 부분에 있어서 安全率과 根入長의 變化를 나타낸 그림이다. 그림 7(a), (b)에서 알 수 있듯이 根入長 h 가 一定한 경우 γ 값이 클수록 말뚝의 安全率은 작아지고 굴착底面部的 安全率 역시 작아지는 경향을 보이고 있다. 또한 동일한 안전율을 얻기 위하여는 γ 값이 클수록 말뚝안정을 위한 소요근입장은 짧게 할 수 있는 반면에 굴착底面部的 安定을 위한 소요근입장은 길게 하여야 한다. γ 값이 일정할 경우 근입장이 길어질수록 말뚝의 安全率은 작아지지만 상대적으로 굴착저면부의 安全率은 커짐을 알 수 있다. 그림 7(c)는 γ 값의 변화에 따른 지반용기 安全率의 變化를 나타낸다. 이 그림에서도 보는 바

와 같이 γ 값이 작을수록, h 가 길어질수록 (F_p) heav. 은 높게 나타난다.

4.4 最下段支持工位置

그림 8은 최하단지지공설치위치 H_1 의 변화에 따른 말뚝의 안전율, 지반의 안전율, 지반용기에 대한 안전율과 根入長 h 와의 관계를 보여주고 있다. 그림 8(a), (b), (c)에서 알 수 있듯이 根入長 h 가 一定할 경우 H_1 값이 작을수록 (F_p) pile, (F_{exc}) 및 (F_{heav})는 증가한다. 또한 각 경우의 동일한 安全率을 얻기 위하여는 H_1 값이 클수록 말뚝안정을 위한 소요근입장은 작아지지만 반면에 굴착의 安定과 지반용기의 安定을 위한 소요근입장은 길어지는 경향을 보이고 있다.

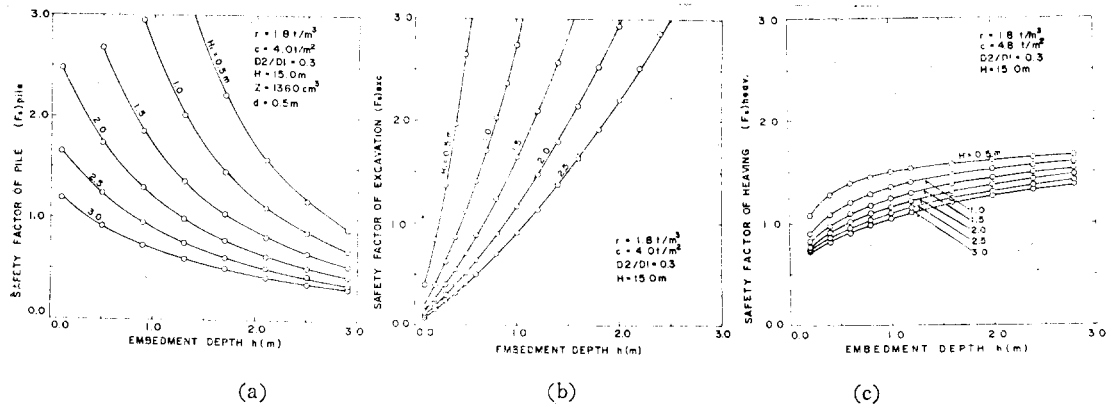


Fig.8 Effect of supporting position, H_1

5. 흠막이벽의 設計

5.1 設計法

그림 9는 주열식 흠막이말뚝을 체계적으로 설계하기 위하여 제시된바 있는 흐름도이다.⁸⁾ 주열식 흠막이벽을 合理的으로 設計하기 위해서는 지반조건, 굴착규모 및 말뚝조건이 적합하게 고려되어야만 한다. 따라서 앞장의 고찰로부터 알 수 있는 바와 흠막이말뚝의 設計時 고려될 수 있는 요소로는 지반의 점착력, 단위체적중량과 같은 지반조건이외에 側壓係數, 굴착깊이, 말뚝경 및 말뚝간격을 들 수 있다. 이밖에도 굴착下部地盤의 붕괴를 防止시키기 위한 말뚝根入長과 말뚝剛性を 들 수 있다. 그림 9에 제시된 주열식 흠막이벽용 말뚝의 設計法에는 이들 요소가 體系的으로 고려될 수 있도록 되어 있다. 자세한 設計과정 및 設計法에 대하여는 이전 論文¹⁾을 참고하기로 하고 여기서는 생략한다.

5.2 設計例

앞에서 제시된 주열식말뚝의 設計法에 따라 간단한 設計例를 다루어보고자 한다. 例題의 設計條件 및 設定方法은 다음과 같다.

5.2.1 設計條件

그림 10과 같이 흙의 單位重量이 $1.8t/m^3$, 흙의 점착력이 $4.0t/m^2$ 가 되는 均質한 점토지반을 폭 10m, 굴착깊이(H)가 15m 되도록 連續굴착하고자 한다. 이때, 상재하중은 없고 주열식

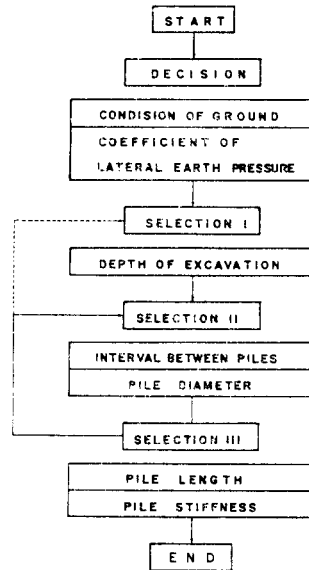


Fig.9 Procedure of design for earth-retaining piles for excavation

흠막이벽용 現位置 원형말뚝의 휨응력은 콘크리트나 몰타르속의 H형강만이 받는 것으로 하며 支持工이나 띠장(wale)과 같은 흠막이말뚝을 위한 補助部材의 構造的인 計算은 完壁하여 굴착底面上部에서 흠막이말뚝의 變形은 전혀 發生하지 않는 것으로 생각한다.

5.2.2 흠막이말뚝의 設計

흠막이말뚝의 設計는 그림 9의 흐름도의 순서에 따라 실시된다. 먼저, 지반조건으로부터 흠막이말뚝에 作用하게 될 土壓과 側壓係數를 決定한다. 말뚝의 축방변형이 완전히 구속되어

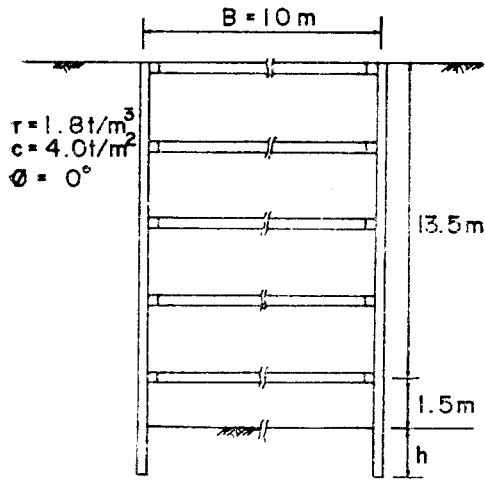


Fig. 10 Design example

있으므로 굴착底面上部에서 側壓係數는 靜止土壓係數 K_0 를 사용하고 말뚝의 근입장 산정시 말뚝에 作用하는 側壓은 Rankine-Resal 公式를 이용한다. 다음은 Peck의 안정수를 구하여 $K_r = K_L N_s$ 이므로 그림 11의 좌측에서 $K_L = 0.66$ 인 경우 K_r 값을 구하면 $K_r = 4.5$ 이고, 이 값에 대응하는 말뚝간격비 D_2/D_1 값을 구하면 0.31이 된다. 여기서 결정된 D_2/D_1 값은 한계근입비이므로 이보다 작은 값이 되도록 말뚝의 間隔比 D_2/D_1 을 정하면 0.3으로 결정할 수 있다. 다음은 말뚝길이를 결정하기 위하여 말뚝의 근입장을 구하고 말뚝의 강성을 구하면 된다.

말뚝의 근입장을 결정하기 위해 5.4절에서 설명한 바와 같이 식(5)와 식(7)로부터 굴착底面部에서 側壓에 대한 굴착의 安全率과 지반용기에 대한 안전율을 구하여 根入長 h 에 대하여 도시하면 그림 12에서 각각 이 점쇄선과 점선으로

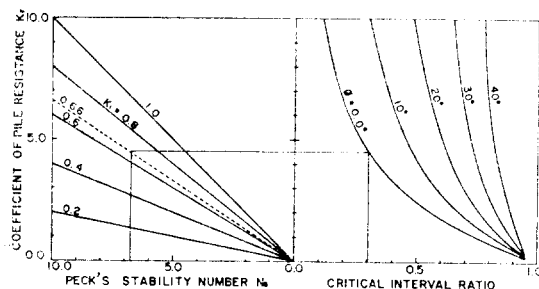


Fig. 11 Decision of critical pile interval ratio

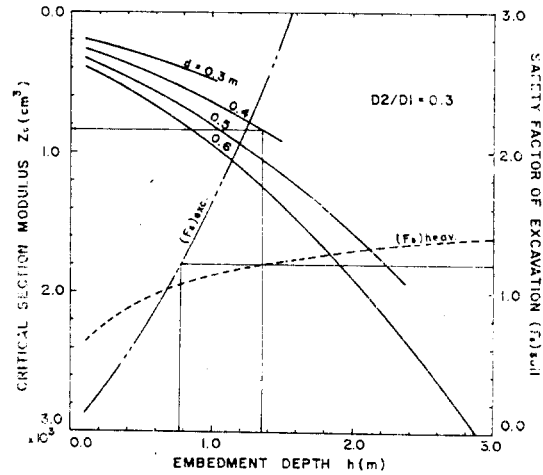


Fig. 12 Decision of pile embedment depth

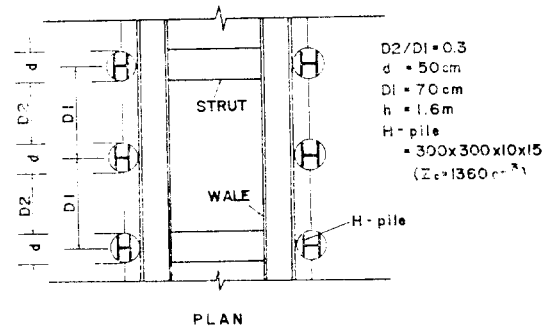


Fig. 13 Design result

표시된다. 이들의 소요안전율을 1.2라 하면 근입장 h 는 굴착안정에 대하여는 0.78m이고 지반용기에 대하여는 1.36m로 결정한다. 이 근입장에 대한 말뚝의 직경과 H형강의 한계단면계수를 결정하면 다음과 같다. 즉 그림 12에서 실선으로 표시된, 말뚝직경의 변화에 따른 $h-Z_c$ 의 관계도는 식(6)에서 말뚝의 안전율이 1.0인 경우 구해지며 이곡선에서 말뚝직경이 0.3m인 경우는 根入長 $h = 1.36m$ 로 될 때 말뚝의 안정을 만족시키는 단면계수값을 결정할 수 없으며 말뚝직경이 0.4m인 경우는 $Z_c = 0.86 \times 10^3 \text{cm}^3$ 로 된다. 따라서 이 말뚝직경에 내접하는 H-pile로는 H-250×250×19×14 ($Z = 0.78 \times 10^3 \text{cm}^3$)가 채택될 수 있다. 그러나 실제 여유를 생각하여 결정하는 것이 바람직하므로 말뚝의 근입장은 20%의 여유를 보아 $h = 1.6m$ 로 하고 말뚝직경은 50cm로 하여 이에 내접하는 H말뚝은 H-300

$\times 300 \times 10 \times 15 (Z=1.36 \times 10^3 \text{cm}^3)$ 을 선택하여 70 cm 간격으로 設置함이 바람직하다. 이 결과에 의해 말뚝을 설치한 평면도는 그림 13 과 같다.

6. 結 論

주열식흙막이벽용말뚝을 利用하여 地盤을 굴착할 경우 이들 말뚝의 직경, 설치간격, 根入長 등에 대한 設計方法을 확립시킬 목적으로 실시한 研究로 다음과 같은 結果를 얻을 수 있었다.

1) 측방변형지반속에 設置된 수동말뚝에 作用하는 側方土壓 算定理論式을 응용하여 주열식흙막이벽용 말뚝의 저항력산정식을 확립시킬 수 있었다. 이 산정식에는 말뚝사이지반의 arching 現象이 고려되었으며 굴착底面上部와 下部의 地盤 특성과 말뚝의 설치간격이 합리적으로 고려되어 있다.

2) 굴착용 흙막이말뚝의 底抗力은 굴착 底面上部(굴착부)에서 굴착깊이와 관계없이 항상 일정한 矩形分布를 나타내며 굴착底面下部(根入部)에서는 근입깊이에 따라 증가하는 사다리꼴 분포를 나타낸다.

3) 굴착底面에서 지반의 측압으로 인한 굴착지반의 安定 및 굴착底面의 지반용기에 대한 안정을 만족시킬 수 있는 말뚝의 근입장과 말뚝의 강성을 결정할 수 있었고 말뚝의 근입장은 지반용기 및 측압으로 인한 지반안정에 따라 최소값으로 말뚝강성에 따라 최대값으로 한정된다.

4) 말뚝設置間隔比가 클수록 말뚝의 安全率은 증가하나 어느 한계 이후에는 감소하였다. 그러나 地盤의 安全率은 감소하는 傾向만을 보였다. 또한, 말뚝根入長 및 지반용기 現象에 대한 安全率은 점착력, 단위체적중량, 最下段支持位置, 말뚝의 설치간격에 따라 영향을 받는다.

5) 지반특성이 알려진 지반에 대하여 이미 제안된 設計法의 實用性이 設計例를 통하여 입증되었다.

感謝의 말

本 研究는 1989 년도 한국과학재단지원(과제

번호 : 881-1306-012-2) 研究結果의 一部임을 밝히며 同財團에 謝意를 表하는 바이다.

參 考 文 獻

1. Bjerrum, L. and Eide, O.: "Stability of Struted Excavations in Clay," Geotechnique, London, England, Vol. 6, No. 1, 1956, pp. 32~47.
2. Bowles, J.E.: Foundation Analysis and Design, 3rd Ed., McGraw-Hill, Tokyo, 1982, pp. 516~547.
3. Department of the navy naval facilities Engineering Command, DESIGN MANUAL Soil Mechanics, Foundation, And Earth Structures, NAVFAC DM-7, U.S. Naval Publications and Forms Center, Philadelphia, 1971, pp. 7-10-1~7-10-28.
4. 日本土質工學會: 構造物基礎의 設計計算演習, 1982: pp. 241~271.
5. Peck, R.B.: "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground," Proc., 7th ICSMFE State-of-the-Art Volume, 1969, pp. 225~290.
6. Terzaghi, K. and Peck, R.B.: Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc. New York, 1967, pp. 394~413.
7. Tschebotarioff, G.P.: Foundation, Retaining and Earth Structure, 2nd Ed., International Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1973, pp. 415~457.
8. 洪元杓: "柱列式흙막이벽의 設計에 관한 研究", 大韓土木學會論文集, 第5卷, 第2號, 1985, pp. 11~18.
9. 洪元杓: "粘土地盤속의 말뚝에 作用하는 側方土壓", 大韓土木學會論文集, 第2卷, 第1號, 1982, pp. 45~52.
10. 洪元杓: "側方變形地盤속의 斜말뚝에 作用하는 土壓", 大韓土木學會論文集, 第4卷, 第1號, 1984, pp. 59~63.
11. 洪元杓: "受動말뚝에 作用하는 側方土壓", 大韓土木學會論文集, 第4卷, 第2號, 1984, pp. 77~88.

(접수일자 1989. 7. 30)