

조립토 다짐말뚝의 침하량 산정기법

A Estimation Method of Settlement for Granular Compaction Pile

김홍택¹⁾, Hong-Taek Kim, 황정순²⁾, Jung-Soon Hwang, 박준용³⁾, Jun-Yong Park, 윤창진⁴⁾, Chang-Jin Yoon

¹⁾ 홍익대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hongik University

²⁾ (주)한국철도기술공사 지반팀 과장, Section Chief, Korea Railroad Technical Corporation

³⁾ LG건설(주) 토목TK설계팀 대리, Assistant Manager, LG Engineering & Construction Corp

⁴⁾ 농업기반공사 용수관리처 과장, Section Chief, Korea agricultural & Rural Infrastructure Corporation.

개요(SYNOPSIS) : In soft ground the settlement criterion usually governs. Therefore, it is very important not only reasonable assessment of the allowable bearing capacity of the soil but also reasonable assessment of settlement. In the previous studies by many other researchers, load concentration ratio and settlement reduction factor are usually proposed for estimating the settlement of granular compaction piles. In the previous studies, the reinforced ground with granular compaction piles is simplified as composite ground and the analysis is performed with in the basis of this assumption. However, the lateral deformation of granular compaction pile could not be considered and only the relative vertical strength between pile and soils could be considered in the analysis. In this study, a method adapting the Tresca failure criterion is proposed for calculating settlement of granular compaction pile. Proposed method can be considered the strength of pile material, pile diameter, installing distance of pile and the deformation behavior of vertical and horizontal directions of pile. In the presented study, large-scale field load test is performed and the results are described. Also, predictions of settlements from the proposed method are compared with the results of the load test. In addition, a series of parametric study is performed and the design parameters are analyzed.

주요어(Key words) : granular compaction pile, Tresca criterion, settlement, lateral deformation

1. 서 론

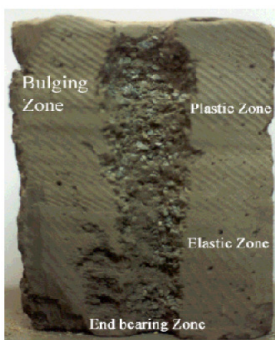
기초공학적인 측면에서 구조물과 지반의 안정성 평가에는 두 가지 중요한 문제가 존재한다. 그 중 하나가 구조물의 축조로 인해 야기되는 하중을 지반이 안정적으로 지지할 수 있는지의 여부를 고려하는 허용지지력 측면의 문제이며, 다른 하나는 주어진 하중조건에 대해 산정되는 기초의 침하량이 허용치 이내로 수렴하는지의 여부를 고려하는 침하량 산정 측면의 문제이다. 일반적으로 느슨한 퇴적지반이나 연약한 점성토 지반의 경우에는 주로 침하기준에 의해 구조물의 안정성 여부가 지배되므로 침하기준을 만족할 경우 지지력도 만족하는 것으로 간주할 수 있다. 주로 연약지반에 설치되는 조립토 다짐말뚝의

경우, 통상적으로 침하량이 설계지배인자가 되므로 합리적인 침하량 산정이 매우 중요하다. 조립토 다짐말뚝의 침하량 예측에 대한 현재까지의 연구성과들은 주로 응력분담비와 치환율을 토대로 한 침하저감계수의 평가를 위주로 수행되어 왔다. 침하저감계수란 미개량 지반의 침하량에 대한 개량지반 침하량의 비를 의미하며, 이 값을 추정하는 방법들로는 경험적인 방법(Greenwood, 1970 ; Throrburn, 1975), 해석적인 방법(Priebe, 1976 ; Aboshi 등, 1979) 등이 있다. 그러나, 현재까지 제시된 방법들은 말뚝에 의해 치환된 지반을 복합지반으로 단순화하여 분석을 수행함으로써 조립토 다짐말뚝의 변형시 주로 발생하는 상부영역의 횡방향 거동을 반영하지 못하고 응력분담비로 표현되는 연직방향의 상대강성 차이와 치환율 만을 고려한다는 제약점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 제약점들을 극복하고 보다 합리적으로 침하량을 예측하기 위해 말뚝의 형상과 재료강성, 지반의 연직방향 강성과 함께 Tresca 파괴규준에 부합하는 지반의 횡방향 변형을 고려한 침하량 산정기법을 제시하였으며, 제시된 침하량 평가기법을 현장 재하시험 결과와의 비교를 통해 타당성을 입증하였다. 또한 조립토 다짐말뚝의 침하에 영향을 미치는 설계변수들에 대한 분석을 시행하였으며, 이를 토대로 조립토 다짐말뚝의 설계시 주요고려사항 및 설계의 방향을 제시하였다.

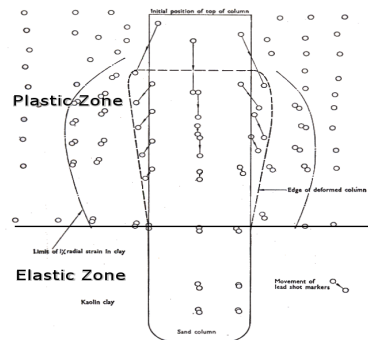
2. 말뚝의 횡방향 거동을 고려한 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정식의 제안

2.1 침하량 산정기법의 체계화

본 연구에서는 조립토 다짐말뚝이 설치된 지반의 침하량을 즉시침하와 장기침하로 구분하여 산출하는 기법을 제안하였다. 또한 기존의 제안식들이 반영하지 못하는 즉시 침하량 산정시 하중재하에 의해 발생하는 말뚝의 수평방향 변형거동을 반영하기 위하여, 말뚝과 지반의 강성, 원지반의 비배수 전단강도, 말뚝의 직경 및 지반 치환율 등과 함께 지반의 횡방향 거동을 종합적으로 고려할 수 있는 새로운 침하량 산정식을 제안하였다. 조립토 다짐말뚝의 거동평가를 위한 다수의 실험들에서 그림 1과 같은 하중재하에 따른 조립토 다짐말뚝의 변형거동이 관찰되어 보고된 바 있다. 그림 1에 도시된 바와 같이 조립토 다짐말뚝에 하중이 작용하는 경우 상부영역은 말뚝의 횡방향 변형이 발생하는 소성구역과 횡방향 변형이 구속되고 연직방향의 변형만이 발생하는 탄성구역으로 구분이 가능하다. 따라서, 동일하게 조립토 다짐말뚝에 의한 보강이 이루어진 영역일지라도 소성구역과 탄성구역의 침하량 산정방식은 서로 달라진다. 그림 2는 본 연구에서 제안한 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정에 대한 개요이며, 하중재하와 동시에 발생하는 말뚝의 즉시침하는 그림 2에 도시된바와 같이 말뚝의 횡방향 변형이 발생하는 상부보강 영역(upper reinforced region)의 소성구역(plastic zone)에 한정되어 발생하는 것으로 가정하였다.



(a) 배우석(2001)



(b) Hughes 등(1974)

그림 1. 조립토 다짐말뚝의 실험결과

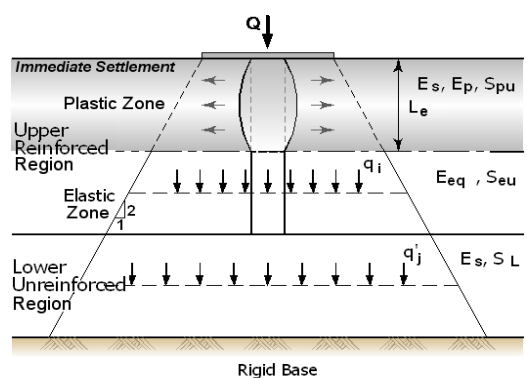


그림 2. 침하량산정을 위한 구역구분 개요

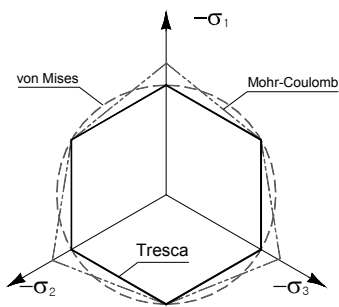
2.2 침하량 산정의 가정사항

본 연구에서는 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정을 위해 다음과 같은 사항들을 가정하였다.

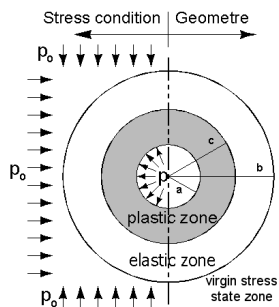
- ① 기초의 재하하중은 지반과 말뚝에 의해 분담된다.
- ② 유효깊이(L_e)를 가상의 지지지반으로 가정하여 상부영역의 침하량을 독립적으로 산정하며, 총 침하량은 유효깊이 이하의 탄성구역(그림 2의 elastic zone)과 하부 비보강영역(upper unreinforced region)에 대해 별도로 산정된 침하량과 상부영역에 대해 산정된 침하량의 합으로 정의한다.
- ③ 말뚝의 인접지반은 Elastic-Perfectly Plastic material이며, Tresca 파괴규준이 성립한다.
- ④ 지표면에서 말뚝 침하량(S_i)과 지반의 침하량(S_g)은 동일하다.
- ⑤ 말뚝의 체적은 하중재하시 일정하게 유지되며, 횡방향 팽창에 의한 체적증가량과 연직방향침하에 의한 손실량(S_{pu1})은 일정하다.
- ⑥ 말뚝은 하중재하시 연직방향으로 S_{pu2} 만큼 압축한다.
- ⑦ 조립토 다짐말뚝의 즉시 침하량(S_i)은 $S_{pu1} + S_{pu2}$ 이다.

2.3 말뚝의 횡방향 변형을 고려한 상부 소성영역의 즉시 침하량 산정 및 장기 침하량 산정

본 연구에서는 조립토 다짐말뚝의 즉시 침하량 산정을 위한 지반의 횡방향 변형 거동평가를 위해 주변지반의 항복조건으로 그림 3(a)에 도시된 Tresca 파괴규준을 적용하였으며, 그림 3(b)에 도시된 $r=c$ 인 소성영역과 탄성영역 경계면에서의 응력 및 변위의 연속조건을 경계조건으로 하여 평면변형을 조건을 가정한 극좌표계의 응력-변형을 조건 및 극좌표계의 접선 및 법선방향 변형을 정의를 이용하여 조립토 다짐말뚝의 횡방향 변위량 산출식을 식 1과 같이 유도하였다. 또한, 식 1을 하중재하시 조립토 다짐말뚝의 수평방향 팽창에 대한 체적변형율로 정리하면 식 2와 같다.



(a) Tresca Yield surface



(b) 공동주위의 응력 및 기하조건

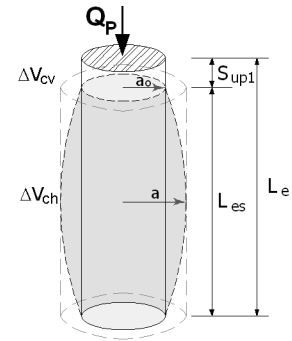


그림 3. 조립토 다짐말뚝의 횡방향 거동 평가를 위한 파괴규준 및 조건 그림 4. 횡방향 변형에 의한 침하량 산정개요

$$\frac{p-p_o}{Y} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{2G_s}{Y} \left[1 - \left(\frac{a_o}{a} \right)^2 \right] + \left(\frac{a_o}{a} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

$$\epsilon_{vp} = 1 - \left(\frac{a_o}{a} \right)^2 = \frac{S_u}{G} \cdot \exp \left\{ \frac{p-p_o}{S_u} - 1 \right\} \quad (2)$$

$$Y = \sigma_\theta - \sigma_r \quad (3)$$

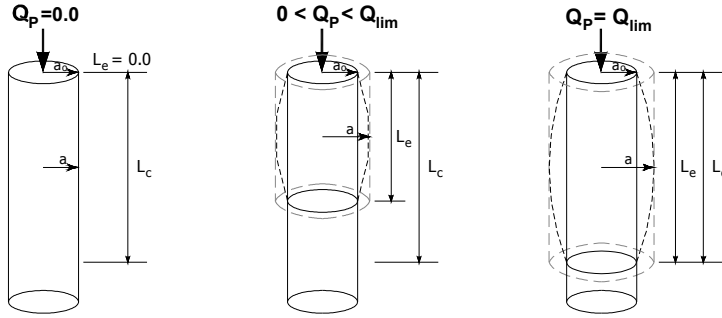
여기서, p 는 공벽에 작용하는 응력이며, p_o 는 원지반에 작용하는 응력, a_o 는 하중작용이전의 공반경으로 조립토 다짐말뚝의 초기반경, a 는 하중작용 이후의 반경을 의미한다. 또한, S_u 는 지반의 비배수전단강도, G_s 는 인접지반의 전단탄성계수를 의미하며, Y 는 Tresca yield condition으로서 식 3과 같다.

그림 4는 조립토 다짐말뚝의 횡방향 변형에 의한 침하량 산정 개요도이다. 2.2절의 가정사항 ⑤가 유효하다면, 말뚝의 횡방향 변형에 의한 즉시 침하량은 식 2를 적용하여 식 4와 같이 정리된다.

$$S_{up1} = \epsilon_{vp} \cdot L_e \cdot f_e / \{ (1-f_e)(a_o/a)^2 + f_e \} \quad (4)$$

여기서, $a = a_o / \sqrt{1 - \epsilon_{vp}}$ 이며, f_e 는 파괴면의 형상가정에 따른 저감계수며, L_e 는 즉시 침하량 산정을 위한 유효깊이로서 가상의 지지지반까지의 거리를 의미한다.

식 4의 유효깊이 L_e 의 결정방법은 다음과 같다. 일반적으로 말뚝에 하중이 재하될 경우 재하 하중의 대부분은 먼저 주면 마찰력에 의해 지지되며 지속적으로 변형이 증가되는 경우 선단으로 작용하중이 전이된다. 이를 말뚝의 하중전이현상이라 한다. 따라서, 침하량 산정을 위한 유효깊이는 작용하중과 조립토 다짐말뚝의 주면마찰력의 비에 의한 식 5에 의해 결정하였으며, 극한 하중 작용시 팽창파괴발생 깊이를 의미하는 한계깊이를 한계값으로 설정하였다. 그림 5는 유효깊이의 개요이다.



(a) 재하이전 (b) 극한하중 이전(재하중) (c) 극한하중단계(파괴)

그림 5. 조립토 다짐말뚝의 유효깊이

$$L_e = Q_p / 2 a_o \alpha_{ch} S_u \quad (5)$$

여기서, Q_p 는 말뚝에 작용하는 하중을 의미하며, α_{ch} 는 점착력 계수로서 Tomlinson 등(Bowles, 1988 참조)에 의해 제안된 값을 적용한다. 말뚝의 축방향 변형으로 인한 침하량은 말뚝을 단순한 축방향 부재로 가정하여 식 6과 같이 간단하게 산정 가능하다.

$$S_{up2} = \frac{Q_p L_e}{A_p E_p} \quad (6)$$

여기서, A_p 는 조립토 다짐말뚝의 단면적을 의미하며, E_p 는 말뚝 재료의 탄성계수를 의미한다. 식 4, 5 및 6에 의해 말뚝의 횡방향 변형을 고려한 즉시 침하량 산정식은 식 7과 같이 정의된다.

$$S_i = S_{up1} + S_{up2} = Q_p \cdot \left[\frac{\epsilon_{vp} \cdot f_e}{2 a_o \alpha_{ch} S_u \{(1 - f_e)(a_o/a)^2 + f_e\}} + \frac{L_e}{A_p E_p} \right] \quad (7)$$

그림 2의 상부 탄성구역과 하부 비보강 영역의 침하량은 식 8과 같은 일반적인 장기 침하량 산정식에 의해 결정한다. 이때, 조립토 다짐말뚝에 의해 보강이 이루어지는 영역의 경우 등가 체적압축계수를 적용하였으며, 각 층의 작용하중은 Boussinesq의 방법이나 혹은 2:1분포법 등에 의해 산정한다.

$$S_c = \sum_{k=1}^n q_k m_{vk} \Delta h_k \quad (8)$$

여기서, k 는 장기 침하량 산정을 위해 세분한 층의 개수, q_k 는 k 번째 지층의 중앙에 작용하는 하중이다. 또한, Δh_k 는 k 번째 지층의 두께이며 m_{vk} 는 k 번째 지층의 체적압축계수이다.

2.4 말뚝에 인접한 지반의 침하량 산정방법

지반에 작용하는 하중, q_s 에 의한 인접 지반의 즉시 침하량은 식 9와 같이 산정된다.

$$S_{is} = \mu_o \mu_1 \frac{q_s B}{E_s} \quad (9)$$

여기서, B 는 기초의 폭이고, E_s 는 지반의 변형계수, μ_0 와 μ_1 은 침하량 산정을 위한 수정계수이다.

제안된 기법에 의해 침하량을 산정하는 과정을 정리하면 다음과 같다.

- ① 먼저 지반과 말뚝의 초기 응력분담비 m_i 를 1.0으로 가정하여 q_s 와 q_p ($q_p = Q_p/A_p$)를 결정한다.
- ② 식 5를 이용하여 유효깊이를 결정한 후, 식 2에 의해 수평방향 팽창에 대한 체적변형율을 결정한다.
- ④ 산정된 m_i , L_e 와 ε_{vp} 를 이용하여 식 7에 의해 즉시 침하량을 산정한다.
- ⑤ 식 9에 의해 지반의 침하량을 산정한다.
- ⑥ 식 7과 식 9에 의해 산정된 말뚝과 지반의 침하량의 차이가 허용치를 만족하지 못하는 경우 응력분담비를 일정한 규칙에 의해 변화시켜 q_s 와 q_p 를 재산정한다.
- ⑦ ②~⑥의 과정을 산정된 말뚝과 지반의 침하량의 차이가 허용치 이내로 수렴할 때까지 반복하여 조립토 다짐말뚝의 즉시 침하량을 결정한다.
- ⑧ 식 8에 의해 장기 침하량을 결정한 후, 산정된 즉시 침하량과의 합으로 총 침하량을 결정한다.

3. 현장시험

3.1 현장시험 개요

현장시험은 제안된 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정식의 적절성 여부를 평가하기 위한 목적으로 수행되었다. 현장시험은 경기도 화성시 송산면 전곡리 인근의 시화 대송공구 대단위 간척사업 건설현장에서 수행되었으며, 원지반 조성 및 조립토 다짐말뚝의 구성을 위한 시료는 간척지 현장의 해성점토와 사석을 사용하였다.

3.2 현장시험의 방법 및 순서

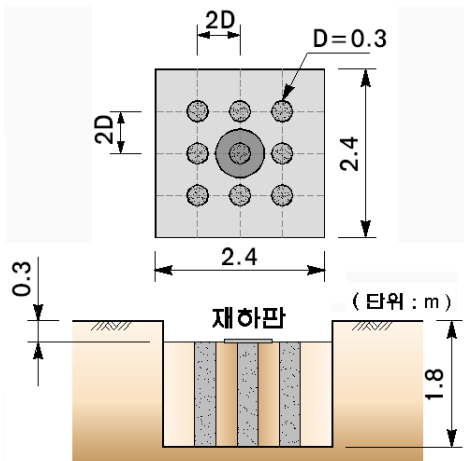


그림 6. 현장시험 개요

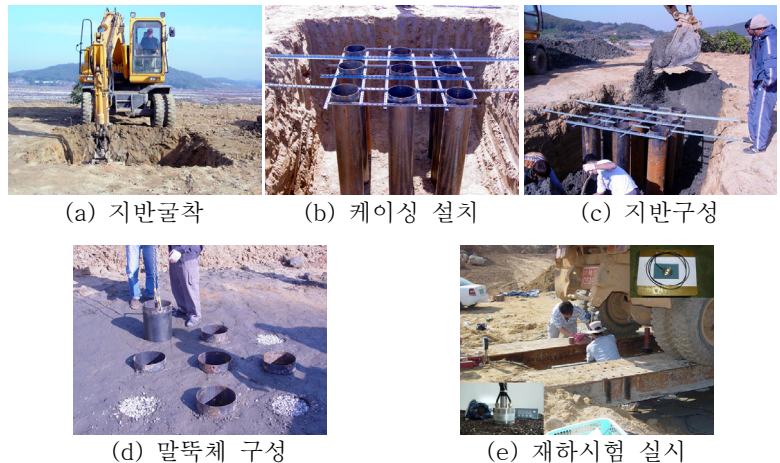


그림 7. 현장시험 방법 및 순서

그림 6은 제안된 침하량 산정식의 적절성 여부를 평가하기 위한 목적으로 수행된 현장시험의 개요도이다. 현장시험은 조립토 다짐말뚝에 대하여 실내모형시험에 사용된 해성점토를 이용하여 균말뚝의 형태로 조성하여 시험을 수행하였다. 현장시험을 위한 부지는 그림 7과 같이 3.0×3.0×1.8m로 굴착 후 케이싱(D=30cm)을 3×3(2D간격)으로 설치하고 연약토사를 투기한 후 60kgf의 원통형 추를 이용하여 조립토 다짐말뚝의 주변을 다짐하였다. 케이싱 설치 완료 후 조립토를 케이싱에 삽입하면서 굴삭기를 이용하여 60kg의 추를 낙하시켜 말뚝체를 형성하고 케이싱을 인발하였다. 재하시험은 지반 조성 이후 1일이 경과한 시점에 재하를 시행하였다. 시험시 재하판 하부의 지반과 말뚝의 작용하중은 load cell에 의해, 침하량은 LVDT와 반도체형 침하계를 동시에 사용하여 data logger에 의해 수집하였다.

4. 현장재하시험 결과와 제안식에 의해 산출된 결과값의 비교 · 분석

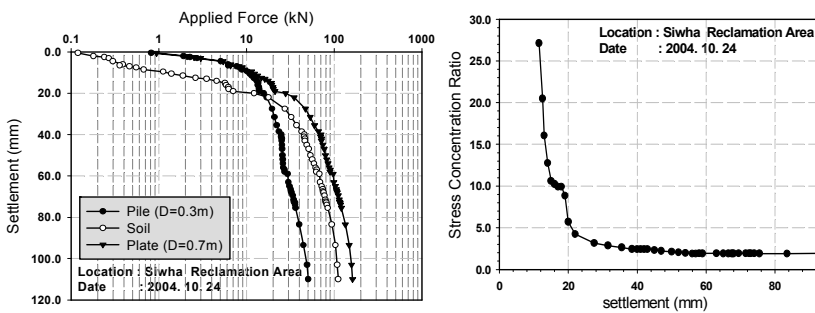
4.1 현장재하시험 시료의 강도정수

원지반은 경기도 화성시 송산면 전곡리 인근의 (주)현대건설 시화 대송공구 대단위 간척사업 건설현장에서 채취한 해성점토를 사용하였으며, 시험직후 비교란 시료를 위치별로 채취하였다. 역학시험을 통해 획득한 현장시료의 특성값은 표 1과 같다.

표 1. 현장시료의 비배수 전단강도 및 변형계수

구 분	시료 1	시료 2	시료 3	시료 4	시료 5	시료 6	평균값	단위
비배수 전단강도	35.35	36.69	35.48	40.99	35.83	54.37	39.80	kPa
변형 계 수	2800.0	2902.0	3489.3	2459.5	3973.5	3178.3	3133.8	kPa

4.2 현장시험 결과분석 I (하중-침하 및 응력분담 특성)



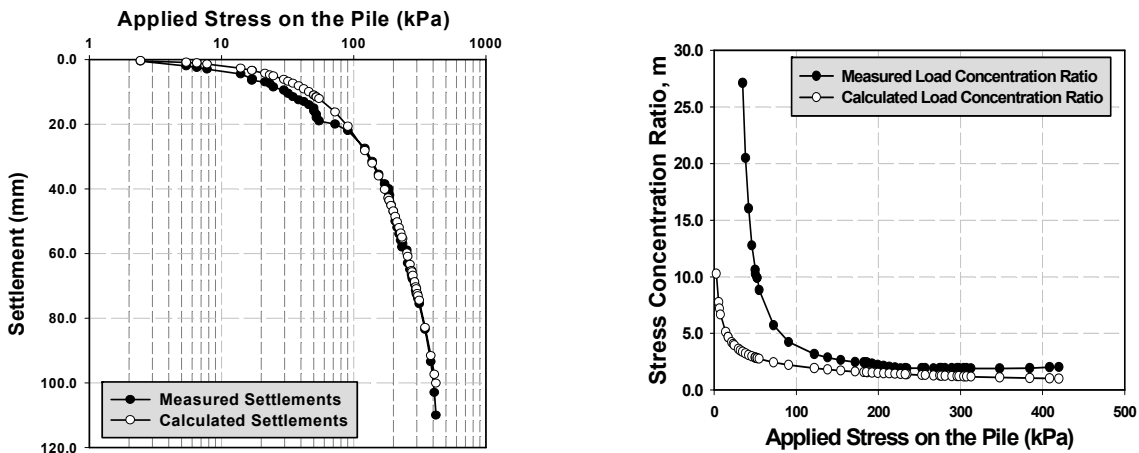
(a) 재하시험에 의한 하중-침하 곡선 (b) 응력분담비 변화경향

그림 8. 현장재하시험 결과

그림 8은 현장시험 조립토 다짐말뚝의 재하시험 결과이다. S-log p법을 이용하여 극한하중을 산정해 본 결과 그림 8(a)와 같이 극한하중은 150kN 이상으로 평가되었으며 조립토 다짐말뚝과 지반에 의한 분담하중은 각각 약 50kN, 100kN가량인 것으로 나타났다. 또한 응력분담비는 그림 8(b)와 같이 재하 초기에는 약 27 정도이나 침하

의 진행에 의해 점차 감소하여 파괴시에는 약 2 정도인 것으로 나타났다.

4.3 현장시험 결과분석 II (제안식과의 비교검토)



(a) 응력-변형 곡선의 비교 (b) 응력분담비 변화경향

그림 9. 현장재하시험 결과와 제안식에 의해 산출된 값의 비교

현장시험을 통해 계측된 하중-침하관계 및 응력분담비를 제안식에 의해 산정된 값과 비교한 결과는 그림 9와 같다. 제안식에 의한 침하량 및 응력분담비 산정은 현장시험 결과 계측된 총 재하응력 단계

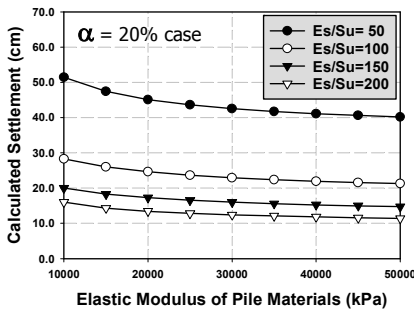
를 입력값으로 하여, 각 단계별로 침하량 및 응력분담비를 산정하였다. 그림 9에 도시된 바와 같이 제안식에 의한 산정값과 계측값이 재하초기에 다소의 오차가 발생할 뿐 매우 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 재하시험에 의한 침하량은 다소 불규칙한 경향을 보이는 것에 반하여 이론식에 의해 산정된 값들은 일정한 경향을 보이고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 현장시험의 경우, 일정 정도의 침하가 진행되기 이전에는 재하판과 지반의 접촉부의 불균일성이 계측값에 영향을 미치기 때문으로 판단된다. 그러나 지반의 침하량이 약 2cm 가량 발생한 재하압력 100kPa 정도의 단계 이후부터는 재하시험 결과 역시 일정한 경향을 보이는 것으로 확인하였다. 본 분석을 통해 본 연구에서 제안한 지반의 수평방향 거동을 반영한 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정기법은 매우 효과적인 결과를 보임을 확인하였다.

5. 조립토 다짐말뚝의 설계변수 분석

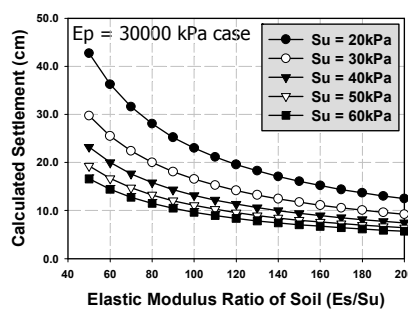
본 분석에서는 조립토 다짐말뚝의 침하량 산정을 위한 제안식에 의해 지반조건, 말뚝조건 및 말뚝의 설치형태들을 변화시켜가며 설계인자들이 조립토 다짐말뚝의 침하에 미치는 영향에 대한 다양한 분석을 수행하였다. 가정된 입력 특성치들을 정리하면 표 2와 같으며, 분석결과는 그림 10에 도시하였다.

표 2. 조립토 다짐말뚝의 변수분석에 적용된 입력 특성치

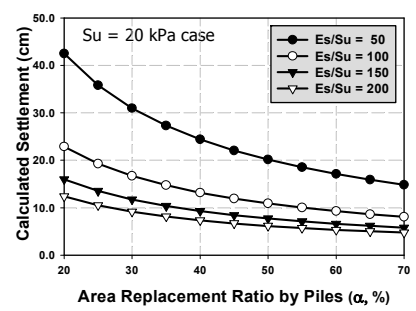
구 분	원지반의 강도정수			말뚝 재료의 강도정수			구 분	기타 분석조건		
	범 위	대표값	단위	범 위	대표값	단위		범 위	대표값	단위
단위중량	18.0		kN/m^3	23.0		kN/m^3	말뚝길이	4.0~10.0	8.0	m
내부마찰각	0.0		°	30.0		°	말뚝직경	1.0		m
점 착 력	20~60	20	kPa	0.0		kPa	지층두께	4.0~10.0	10.0	m
변형계수	1.0~1.2	4.0	MPa	10~50	30	MPa	작용하중	10~300	200	kN/m^2
포이슨비	0.4		-	0.3		-	치 환 율	20~70	20	%



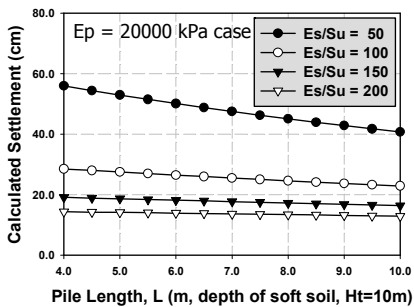
(a) 말뚝의 변형계수 변화에 따른 침하



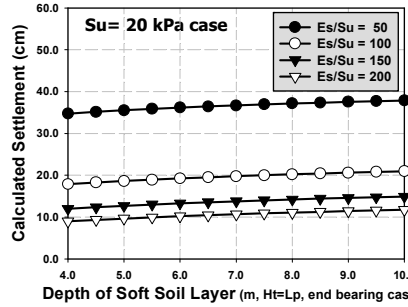
(b) 지반 변형계수비 변화에 따른 침하



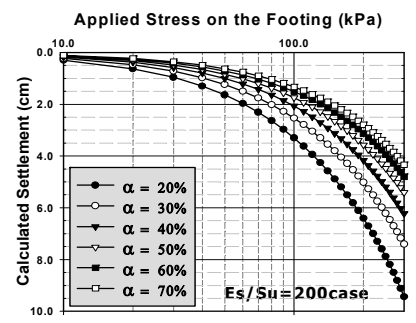
(c) 치환율 변화에 따른 침하



(d) 말뚝의 설치길이 변화에 따른 침하



(e) 원지반의 두께 변화에 따른 침하



(f) 작용응력 변화에 따른 침하

그림 10. 분석조건에 따른 침하거동

말뚝 변형계수의 변화에 따른 분석결과(그림 10(a)), 말뚝재료 강성의 감소에 따라 침하량이 다소 증가하나 비교적 미소한 범위에 제한되는 결과를 보였다. 그러나, 지반 변형계수의 변화에 따른 분석결과

(그림 10(b))는 침하 발생량의 변화가 매우 큰 결과를 보여 조립토 다짐말뚝의 침하는 주변지반의 강도에 보다 크게 영향을 받는다는 것을 확인하였다. 또한, 치환율에 따른 침하량 변화 역시 큰 것으로 나타났다(그림 10(c)). 이를 토대로 조립토 다짐말뚝으로 보강된 지반의 침하량은 말뚝의 재료선정이나 다짐정도 보다는 설치간격에 더 크게 영향 받는다는 사실을 확인하였다.

그림 10(d)는 연약층 두께를 10m로 고정시킨 후 말뚝의 설치길이를 변화시켜가며(floating pile case) 분석한 결과이며, (e)는 말뚝의 길이와 연약층의 두께를 동일한 길이로 변화시켜가며(end bearing pile case) 분석한 결과이다. 본 분석을 통해 지반의 강성이 약한 경우에는 말뚝의 길이변화에 따른 침하량의 차이가 다소 발생하나 일정도 이상으로 지반강도가 증가한 경우에는 말뚝의 설치길이 증가에 따른 침하량의 감소효과가 급격히 감소함을 확인하였으며, 조립토 다짐말뚝을 선단지지 형식으로 설치함에 따른 침하 저감효과는 미미한 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 현재의 설계관행과 같이 조립토 다짐말뚝의 선단지지효과를 유발하기 위해 지지층까지 길이를 연장하는 것은 비경제적이라는 것을 확인하였다. 그림 10(f)는 작용응력 변화에 따른 조립토 다짐말뚝의 침하거동으로서 통상적인 경향을 보였다.

6. 결론

조립토 다짐말뚝의 침하거동에 대한 현재까지의 연구성과들은 주로 응력분담비와 치환율을 토대로 한 침하저감계수 평가를 위주로 수행되어 왔다. 그러나, 현재까지 제안된 기법들은 조립토 다짐말뚝에 의해 치환된 지반을 복합지반으로 단순화하여 분석을 수행하므로, 조립토 다짐말뚝의 변형시 주로 발생하는 상부영역의 횡방향 거동을 반영하지 못하는 제약점이 있다. 본 연구에서는 이러한 제한점들을 극복하고자 말뚝재료의 강성과 직경 그리고 지반의 연직방향 강성과 함께 지반의 횡방향 변형을 종합적으로 고려한 침하량 산정기법을 제시하였으며, 제시된 침하량 평가기법을 현장 재하시험 결과와의 비교를 통해 타당성을 입증하였다. 또한, 제시된 기법을 이용한 설계변수 분석을 통해 조립토 다짐말뚝의 침하거동에 영향을 미치는 인자들에 대한 평가를 수행하였다. 이상의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 지반의 횡방향 변형을 종합적으로 고려한 침하량 산정기법을 제시하였다.
- 2) 현장 재하시험과의 비교를 통해 제안된 침하량 산정기법의 효율성과 정확성을 입증하였다.
- 3) 다양한 변수분석을 통해, 조립토 다짐말뚝으로 보강된 지반의 침하량은 말뚝의 재료선정이나 다짐정도 보다는 설치간격에 더 크게 영향 받는다는 사실을 확인하였으며, 선단지지 형식을 적용하는 것에 따른 침하량 저감 효과는 매우 미미하다는 결과를 통해 조립토 다짐말뚝의 선단지지효과를 유발하기 위해 지지층까지 설치길이를 연장하는 것은 비경제적이라는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. 배우석 (2001), "쇄석말뚝으로 개량된 기초시스템의 지지력 및 침하 특성," 박사학위 논문, 충북대학교
2. Aboshi, H., Ichimoto, E., Enoki, M., and Harada, K. (1979), "The Compozer, a Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of LargeDiameter Sand Columns," Proceeding of International Conference on Soil Reinforcement, Paris, France, Vol. 1, pp. 211~216.
3. Bowels, J. E. (1988), "Foundation Analysis and Design," International Edition", McGraw-Hill, New York.
4. Greenwood, D. A. (1970), "Mechanical Improvement of Soil below Ground Surface," Proceeding of Ground Engineering Conference, Institute of Civil Engineers, pp. 9~20.
5. Hughes, J. M. O., and Withers, N. J.(1974), "Reinforcing Soft Cohesive Soil with Stone Columns," Ground Engineering, Vol. 7, No. 3, pp. 42~29.
6. Priebe, H. (1976), "Estimating Settlements in a Gravel Column Consolidated Soil," Die Bautechnik 53, pp. 160~162.
7. Thorburn, S. (1975), "Building Structures Supported by Stabilized Ground," Geotechnique, Vol. 25, No. 1, pp. 83~94.