

말뚝기초(X)

목 영 진*

10. 특수말뚝

본 강좌의 소재목은 “특수말뚝”이다. “특수”란 용어는 “별난”, “일반적이 아닌” 뜻일 뿐만 아니라 “기타 다른”의미도 내포하고 있다. 같은 맥락으로 특수말뚝은 일반 말뚝과 크기도 다르고 여러가지 다른 기능을 갖고 있는 별난 말뚝이다. 구경면에서, 대구경 현장타설 말뚝 (large diameter bored piles)과 소구경 말뚝 (micro piles)으로 대별 할 수 있다.

대구경 현장타설 말뚝은 지금까지 교량 피어 기초로 주로 사용된 케이슨 기초(우물통 기초)를 대체할 수 있는 기초 형식으로 건설장비와 공법이 발달함에 따라 점차 많이 쓰이고 있다. 이 현장 타설 말뚝의 구경은 1.5m 이상 길이도 40m이상 시공된 예가 있다. 이 대구경 말뚝은 1500ton 이상의 수직하중 지지능력이 있어, 경간 60~80m의 도로 및 철도교량의 하중을 4~5개의 무리말뚝 기초로 지지할 수 있다. (Engelhardt, 1982).

소구경말뚝은 구경 250mm 이하의 말뚝을 말한다. 기능 면에서도, 1) 기존 기초의 보강 (underpinning) 2) 사면보강 3) 지하 굴착 지반보강의 수단으로 쓰여, 일반 말뚝의 고유 기능인 상부하중 전달의 기능을 뛰어 넘고 있다.

사면보강의 “soil nailing”과 터널굴착의 “rock bolting”을 별도의 범주로 떼어내면 소구경 말뚝의 용도는 기존 기초의 보강에 주로 사용된다고 하겠다.

유감스럽게 필자는 대구경 말뚝을 소개할 자료나 지식이 준비 되지 않아 소구경 말뚝에 대해서만 언급 하고자 한다.

10.1 소구경 말뚝의 개요

과거, 말뚝이 전 하중을 지지하도록 설계하였고, 말뚝 캡(cap)과 말뚝 사이에 낀 지반이 기여하는 지지력은 무시하였다. 최근 말뚝을 상부하중 전달 기능외에, 사면안정이나 침하 방지를 위한 지반 보강의 용도로 말뚝의 기능을 확대 재조명하기에 이르렀다. 이러한 새로운 개념을 도입하면, 말뚝의 개수를 종전보다 줄일 수 있으며 지반 보강 용도의 말뚝은 자연히 소구경화 된다.

소구경 말뚝(micro pile)은 상기에 언급한 지반보강 용도에 사용하는 말뚝을 의미한다. Weltman(1981)은 구경 150~250mm를 “미니(mini)” 말뚝, 구경 150mm이하를 “마이크로(micro)” 말뚝으로 지칭하였다. 본 고에서는 마이크로 말뚝은 구경 250mm 이하의 소구경

* 정희원, 상지대학교 이공대학 토목공학과 교수

말뚝으로 정의한다.

소구경 말뚝은 1) 배토(displacement) 방법이나 2) 천공과 그라우팅 방법으로 시공한다. 콘크리트나 몰탈을 말뚝 주위로 주입(보통 압력 그라우팅)시켜 파일의 지지력 증가와 “매듭 효과(knot effect)”를 이루어 파일과 주변 지반이 일체가 되게 하여 명실상부한 보강토 구조를 형성한다.

소구경 말뚝의 대표적 활용 방법은 “뿌리 말뚝(root pile system)”이다. 30여년전에 소개된 이래, 뿌리말뚝은 주로 유적 구조물의 기초 보강(underpinning)용으로 사용하여 왔다. 그러나, 최근 경사말뚝으로 구성된 무리 말뚝을 연약 지반 보강 수단으로 사용하기 시작하였다. 이러한 “그물 모양 뿌리 말뚝(reticulated root piles)”을 사면안정이나 지하굴착의 지반 보강 수단으로 사용하게 되었다. 그림 1은 이

런 뿌리말뚝의 활용 예를 보여주고 있다.

지난 20여년간 다양한 시공방법이 개발되어 전문업체에 의해 소구경 말뚝이 상업화되었다. Koreck(1978)은 현장 철근콘크리트 말뚝, 앵커식 말뚝, Tubfix 소구경 말뚝, Dywidag-Gewi 말뚝과 같은 여러가지 “소구경 현장 주입 말뚝”을 기술하였다. Weltman(1981)은 배토형(displacement-type) 소구경 말뚝을 첨가하여 기술하였다. 최근의 말뚝사례로는 원유 저장 탱크의 말뚝 보강기초(Abbs, 1984), 산사태 안정(Aste, 1984; Dash, et. al., 1981), 앵커 지지(Aste and Messin, 1984), 교량 피어기초(Blondeau, 1984), 제방기초(Korfiatis, 1984), 철도 선로 기초지반(Pitt and Rohde, 1984), 연약한 압축성 지반위의 슬래브 보강(Munfakh and Soliman, 1986) 등이 있다.

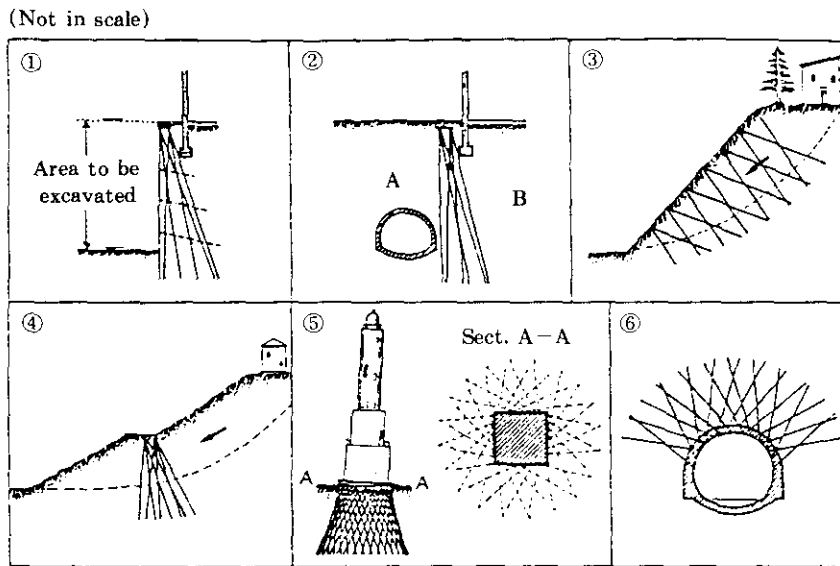


그림 1. 그물모양 소구경 말뚝의 예(Lizzi, 1983)

10.2 시공방법

소구경 말뚝도 일반 말뚝과 마찬가지로 다음 두 방법으로 시공한다.

1) 천공-그라우팅

2) 배토방법(displacement method).

천공-그라우팅 방법에서는 케이싱을 설치하며 소정의 깊이까지 천공한다. 벤토나이트

泥液을 사용하여 굴착된 흙(cutting)을 제거한다. 철봉(또는 철망이나 강관 사용)을 천공 케이싱 내에 설치하고 시멘트비가 큰 세골재 콘크리트 그라우팅을 타설한다. 이 그라우팅은 보통 물/시멘트 비가 0.4에서 0.5이고 골재의

최대입경은 7mm이다. 케이싱을 인발하며 추가 콘크리트를 펌프나 압축공기를 이용하여 주입한다. 압력 그라우팅을 주입함으로써 주면 지반과 말뚝을 잘 밀착시키고 천공직경보다 큰 직경의 말뚝을 만들 수 있다.(그림 2참조).

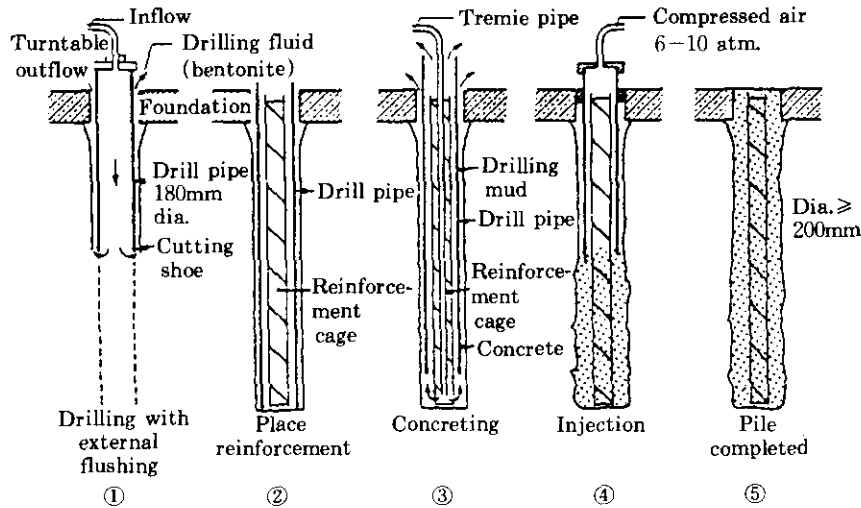


그림2. 현장 타설 콘크리트 파일 시공(Koreck, 1978)

Koreck(1978)은 철콘크리트 말뚝, 앵커식 말뚝, Tubfix 말뚝, Dywidag-Gewi 말뚝에 쓰이는 재료와 시공방법을 기술하였다.

배토방법(displacement method)에서는 소구경 말뚝을 일반 말뚝과 마찬가지로 항타나 진동으로 타입한다. 이 시공방법은 진동과 소음을 수반하므로, 인접 시공시 민원 야기의 우려가 있다. 또한 파일 구경이 호박돌/자갈에 비해 상대적으로 작아 호박돌/자갈을 포함한 지반에서는 항타에 어려움이 있다. 그러나, 이러한 약점을 보완하는 시공법을 개발하여 배토 말뚝 시공법을 발전시켰다(그림 3참조; Weltman, 1981).

Lizzi(1980)는 “선단 확대 뿌리말뚝(root pile with expanded base)” 시공과정을 기술하였다. 기본원리는 보강재 끝을 확대하여 말뚝 선단에 구근을 형성하여 압축 하중 지지력이나 인발 저항 능력을 증가시키는 것이다.

10.3 말뚝 설계

10.3.1 지반-말뚝 상호작용

말뚝간격이 넓고 연직하중이 작용할 때, 소구경 말뚝도 일반 말뚝처럼 거동한다. 선단 지지면적이 작아 말뚝의 선단 지지력은 무시할 정도이고 하중은 주로 주변 마찰저항에 의해 지지된다. 말뚝의 단면적이 작기 때문에 말뚝 재질의 지지능력(이하 내부 재질 지지력이라 부름)이 설계를 지배하는 요인이 될 수 있다. 이 내부 재질 지지력은 철근과 콘크리트의 강도, 철근 이음 시공상태, 콘크리트와 철근의 부착상태와 관련된다.

콘크리트나 시멘트 그라우팅을 주입(압력을 가해)시키므로, 주변 마찰저항은 일반 말뚝보다 크다. 이렇게 마찰저항을 증진 시킴으로써, 압축과 인발 하중을 다 감당할 수 있다. 그러나 휨모멘트에 대한 저항은 그리 크지 않다. 소구

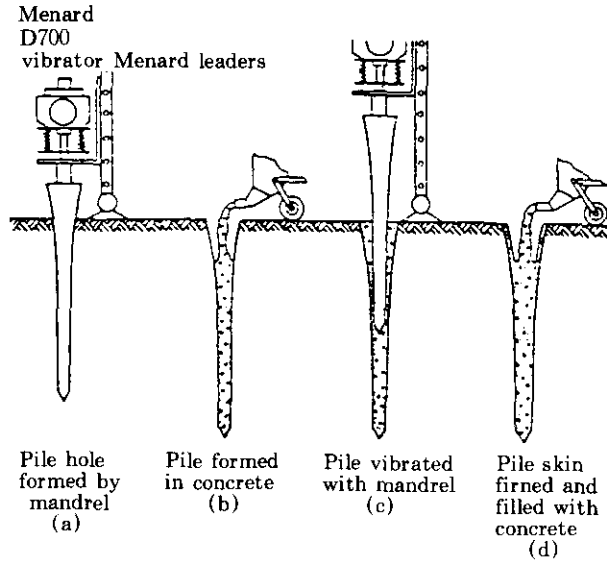


그림3. 배토 마이크로 말뚝-메나드 말뚝(Weltman, 1981)

경 말뚝이 매우 연약한 점성토 지반(갯벌같은)이나 수중에 시공되거나, 보강재(철근, 철망, 강관 등)가 벤토나이트 이액에 둘러 싸일 때에는 말뚝의 좌굴이 문제가 될 수 있다.

소구경 말뚝을 현장 보강 용도로 사용할 때, 말뚝간격은 좁아지고 하중은 철근 콘크리트처럼 지반-말뚝 복합체에 의해 지지된다. Lizzi (1978)는, 모형실험을 통해, 말뚝간격과 배열 형식에 따른 지지력 증감을 보여 주었다. 무리 말뚝은 보강지반 일체로서 하중에 저항하고, 파괴도 개개의 말뚝에서 일어나기보다는 지반-말뚝 복합체의 파괴 양상으로 나타난다고 결론지었다.

말뚝과 흙이 일체가 되어 저항하려면 구조물에 작용하는 응력이 말뚝에만 전달된다는 개념보다는 지반과 말뚝에 동시에 전달된다고 가정할 필요가 있다. 이 가정이 실현되려면 “매듭 효과(knot effect)”가 전제되어야 한다. 이 매듭 효과에 의해 한 말뚝에 작용하는 응력이 치밀하게 밀착된 지반과 말뚝의 상호 작용에 의해 인접 말뚝에 부분적으로 전이된다. 이 “매

듭 효과”는 현장 실험과 모델에 의해 확인되었다(Lizzi, 1978; Plumelle, 1984; Korfiatis, 1984).

10.3.2 지지력에 영향을 미치는 요인

말뚝-지반구조체의 지지력은 말뚝의 종류, 배열상태, 시공방법은 물론 지반의 토성, 조밀한정도, 강도, 포화도에 의해 영향을 받는다. Guilloux(1984)는 지반과 보강재(소구경 말뚝, 지반네일)사이에서 작용하는 마찰력을 해석하였다. 여러가지 보강재와 지반에 대한 현장 실험 결과로부터, 지반토성치와 횡방향 마찰력 측정치의 상관관계를 설정하였다. 지지력에 미치는 요인이 너무 많기 때문에, 지반 앵커와 비슷한 현장 인발 시험을 통해서만 정확한 지지력 예측이 가능하다고 결론지었다.

Lizzi(1980)는 소구경 말뚝의 종류와 시공방법이 지지력에 미치는 영향을 연구하였다. 현장 타설 콘크리트말뚝(뿌리 말뚝)과 금속 재질 소규모 말뚝(지반에 박힌 두꺼운 강관이나 보)을 같은 지반에서 시험하여 하중-침하량 곡선

을 그렸다. 금속 재질의 소구경 말뚝이 높은 지지력을 보이거나 현장 타설 콘크리트 말뚝보다 7배의 큰 침하량을 보였다. 금속 재질 말뚝의 내부재질 지지력은 크나 주변 마찰 저항이 상대적으로 작아 동일 하중에 의해 큰 침하가 발생하고 있다. Plumelle(1984)는 말뚝의 배열상태가 소구경 말뚝로 보강된 지반의 지지력에 미치는 영향을 실제 크기(full scale) 시험으로 조사하였다. 같은 개수의 말뚝을 그물모양으로 배열하였을 때 일반 무리 말뚝 배열보다 높은 지지력을 보이고 있다(그림 4 참조).

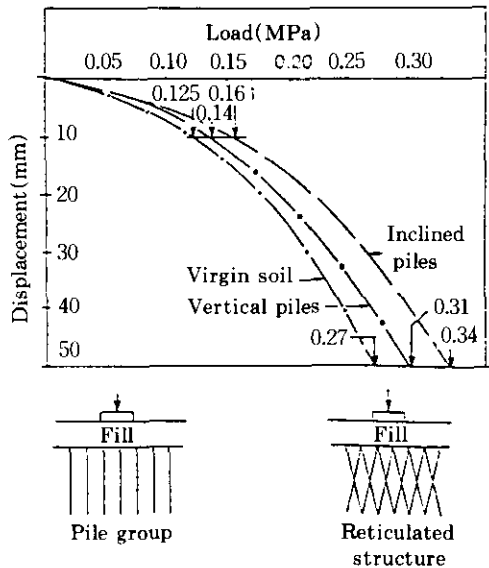


그림4. 일반 무리말뚝과 그물모양 뿌리말뚝의 지지력 재하시험 (Plumelle, 1984)

10.3.3 설계법

소구경 말뚝의 개당 지지력은 8-50톤이다. (Mitchell, 1981). 내부 재질 지지력(structural capacity)과 외부(말뚝과 지반 마찰에 의한 지지력) 지지력 산정 방법은 일반 말뚝 설계 과정과 같다. 말뚝이 구속응력이 작은 지반에 설치될 때, 말뚝 좌굴을 검토하여야 한다. 그러나 보통 지반에서는 좌굴이 문제가 되지 않는다.

Abbs(1984)는 말뚝으로 보강한 연약지반의 탱크 기초를 수치 해석적 방법으로 해석하였

다. 말뚝 캡은 잘 다져진 사질토 층으로 대신하였다. 이 수치 해석에서 하중이 말뚝과 말뚝 사이에 낀 지반에 동시에 전달되는 것으로 가정하였다. “다진 사질토층 말뚝캡”은 아칭(arching)효과에 의해 하중을 인접 말뚝에 전이시키는 역할을 한다. 이 아칭효과의 정도는 말뚝 간격과 배열 상태, 사질토 말뚝 캡속의 말뚝 머리 깊이에 따라 달라진다. 이 해석에 사용한 유한차분 전산 프로그램은 Abbs와 Sinclair (1979)를 참조할 수 있다.

Lizzi(1978)는 사면 안정용도 “그물 모양 뿌리 말뚝”설계 과정을 기술하였다. 이 뿌리 말뚝을 옹벽 구조물이나 사면의 네일링 시스템(nailing system)으로 간주하였다. 해석의 기본 개념은, 자연 지반의 전단저항에 뿌리 말뚝의 전단 저항을 첨가시키는 것이다. 안전율은 다음과 같이 계산한다.

$$F' = \frac{R + R'}{A}$$

여기서,

F' = 안전율

R = 임계 파괴면의 전단 저항력

R' = 말뚝이 발휘하는 추가 전단 저항력

A = 임계 파괴면을 따라 유발되는 활동력

R' 는 말뚝 단면의 콘크리트와 철근의 허용 응력이나 활동체에 의해 뿜히는 말뚝 부위 주변 지반의 전단 저항중 작은 값에 임계 파괴면에 있는 말뚝의 개수를 곱한 값이다. 이 방법은 말뚝과 지반 사이에 생기는 “매듭 효과”를 고려하지 않았기 때문에 안전측인 해석 방법이다.

중력식 옹벽 용도로 설치한 그물 모양 뿌리 말뚝 설계 방법은 Lizzi(1983)의 수치 해석 방법을 따라 제시하였다. 그러나 이 계산 방법은 경험과 직감에 의존한 실제 말뚝-지반 상호 작용에 근거한 것이다.

10.4 재하 시험

소구경 말뚝의 지지력을 확인하는 가장 중요

한 방법은 현장 재하 시험을 수행하는 것이다. 이 재하 시험은 필요한 재하 하중이 작기 때문에 용이하다. 지반앵커의 일반 시험과 비슷한 인발 시험을 하여 소구경 말뚝의 실제 마찰 저항력을 결정할 수 있다. 전문 업체에 의해 각 전문 업체의 말뚝 재하 시험 방법이 개발 되었다.

10.5 사례

이 사례는 소구경 말뚝을 구조물 기둥 기초로 사용할 때 설계 방법을 소개하고자 대한 토목학회 보고서(1988)에서 발췌한 것이다. 자세한 내용은 이 보고서를 참조하기 바란다. 이 소구경 말뚝 기초 설계 방법은 일반 말뚝 기초 설계 방법과 같다.

10.5.1 말뚝제원

영등포역 선상 역사 기둥의 기초에 그림 5에 도시된 소구경 말뚝을 800mm간격으로 말뚝 배열은 (2×3)이나 (2×2)로 설치할 예정이었다. 채택된 말뚝 제원은 다음과 같다.

천공직경 : 160~200mm

강관 : $\phi 141.3 \times 9.53t$

고압 송유관 API 5LX - X42

$\sigma_y = 2,590 \text{ kg/cm}^2$

단면적 = 39.42cm^2

철근 : D-32

$\sigma_y = 4,000\text{kg/cm}^2$

단면적 = 7.429cm^2

그라우팅 : INJECTION 그라우팅

몰탈강도, $\sigma_{ck} = 200\text{kg/cm}^2$

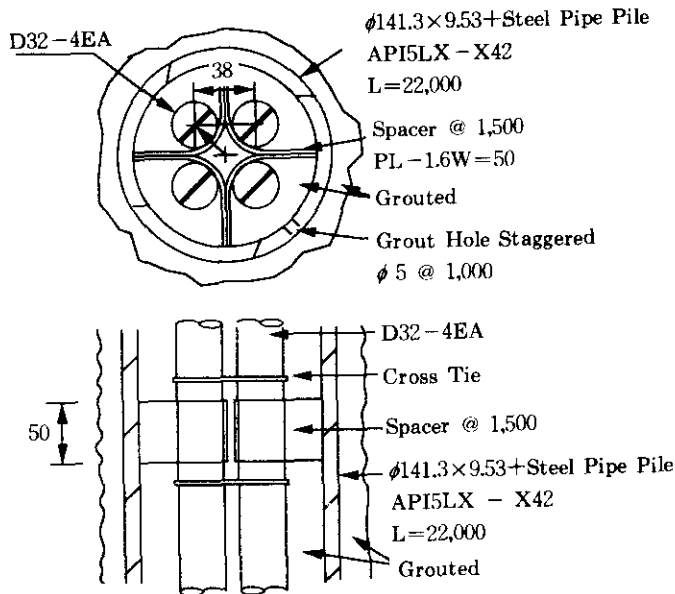


그림5. Micro Pile의 개요도

10.5.2 설계 지반

소구경 말뚝 지지력 검토는 지반 조사 보링 공 B-3의 지반 조건에 대해 검토하였다. 말뚝과 지반조건은 그림 6과 같다.

10.5.3 설계 방안

채택된 말뚝 간격(800mm)과 말뚝 배열(연직파일 2×2 이나 2×3)은 일반 말뚝 설계 방법을 적용하는데 무리가 없다. 재질의 허용 압

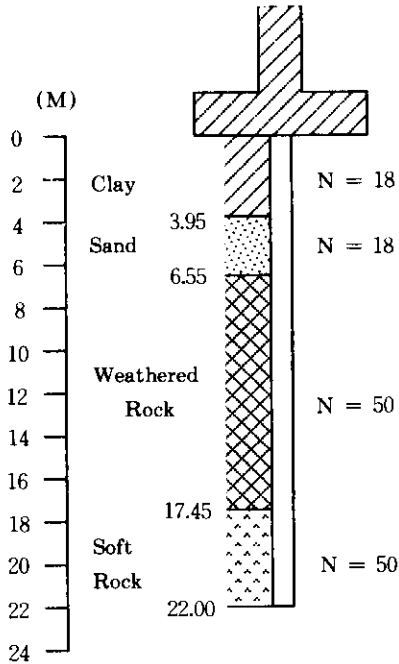


그림6. 설계 지반 조건

축력, 지지력 산정(외부 지지력), 말뚝의 좌굴 하중을 검토하였다.

10.5.4 말뚝 구조 해석

(1) 재료 허용 압축력

강관 밖의 그라우팅은 무시하여 다음과 같이 계산하였다.

표 1. DIN-4128설계 기준의 한계 표면 마찰력

지 반	한계 표면 마찰력, ton/cm	적용 안전율
자갈층	20.4	2
모래, 자갈섞인 모래	15.3	2
점성토	10.2	2
연암	25.5	2

말뚝 간격은 800mm로 (말뚝간격/구경)비 = $S/D=800/180=4.4$ 로 무리 말뚝 효율이 1로 단일 말뚝의 지지력만 검토하기로 한다. 그라우팅 피복은 무시하고 계산하였다.

점토층 :

$$R_d = \sigma_{ap} A_{sp} + \sigma_{ab} A_{sb} + \sigma_{am} A_m$$

σ_{ap} : 강관의 허용 압축 응력

σ_{ab} : 철근(bar)의 허용 압축 압력

σ_{am} : 몰탈(mortar)의 허용 압축 응력

A_{sp} : 강관 단면적 = 39.45cm^2

A_{sb} : 철근 총단면적 = 31.77cm^2

A_m : 시멘트 몰탈 단면적 = 85.59cm^2

$\sigma_{ap} : 0.4\sigma = 1.18\text{t/cm}^2$

$\sigma_{ab} : 0.4\sigma = 1.6\text{t/cm}^2$

$\sigma_{am} : 0.25\sigma = 0.05\text{t/cm}^2$

$$R_d = 1.18 \times 39.45 + 1.6 \times 31.77 + 0.05 \times 85.59$$

$$\approx 100\text{ton}$$

본 소구경 말뚝 재료의 허용 압축 응력은 약 100ton이다.

(2) 지지력 산정

지지력 산정법은 1) 마이어호프(Meyerhof : 1976)법과 2) DIN-4128(1983)방법을 제시하였다. 마이어호프 방법은 Bored Pile 지지력 산정에 적용하고, DIN-4128은 그라우팅 주입 시공이 확실할 경우 적용하는 것이 바람직하다. 이 계산에서는 마이어 호프법 계산치는 약 60톤 정도로 여기서는 생략하고 DIN-4128법만 소개한다. DIN-4128설계 기준에서 말뚝의 한계 표면 마찰력은 표 1과 같다.

$$R_{sc} = \pi \times 0.1413 \times 3.95 \times 10.2 = 17.89\text{ton}$$

모래층 :

$$R_{ss} = \pi \times 0.1413 \times 2.6 \times 15.3 = 17.66\text{ton}$$

풍화암 :

$$R_{s(WR)} = \pi \times 0.1413 \times 10.9 \times 20.4 = 98.71\text{ton}$$

연 암:

$$R_{s(SR)} = \pi \times 0.1413 \times 4.55 \times 25.5 = 51.50 \text{ ton}$$

극한 지지력=

$$R_{SU} = R_{SC} + R_{SS} + R_{S(WR)} + R_{s(SR)} = 185.76 \text{ ton}$$

허용 지지력=

$$R_{SA} = R_{SU} / F_S = 185.76 / 2 = 92.88 \text{ ton}$$

여기서 선단 단면적이 작아 선단 지지력을 무시하고 허용 지지력은 약 90ton으로 본다.

(3) 좌굴하중

마이크로 말뚝의 좌굴 하중 산정은 두가지로 구분하여 산정한다. 첫째 방법은 말뚝 주변 마찰이 전달되지 않은 경우로 생각하고 두번째 방법은 마찰저항을 고려하는 경우이다. 전자에서는 Timoshenko식과 Davisson식 및 Francis et al. 식을 사용하며 후자의 경우는 Reddy & Valsangka식을 사용한다(Poulos & Davis).

좌굴 검토용 말뚝 길이는 말뚝 머리와 풍화암까지의 말뚝 길이만을 고려하였다. 이는 풍화암에서는 수평 방향 구속이 치밀하여 좌굴이 발생하지 않을 것으로 예상되기 때문이다.

앞에서 언급한 바와 같이 이와 같은 지반에서는 좌굴이 문제가 되지 않는다. 참고로 계산된 좌굴 하중은 약 750~800ton 정도이다. 계산에는 생략하였다.

10.5.5 설계 하중 추정

이상에서 외부 지지력이 내부 재질 지지력과 좌굴 하중보다 작아 외부 지지력이 설계 하중 결정을 지배하고 있다. 외부 지지력은 그라우팅 시공 상태에 따라 60ton(마이어 호프식 적용)부터 120ton(DIN-4128 적용, 그라우팅 피복 상태 양호)로 injection 그라우팅이 충분치 못할 경우를 감안해 안전측으로 50ton으로 보고하였다. 또한 이 설계 하중에 대한 말뚝 침하 검토가 필요하다.

10.6 맺음말

본 고에서는 개괄적인 소구경 말뚝 활용 방안과 기초 설계 적용사례를 살펴보았다. 국내에서도 점차 절토 사면 안정 공법으로 소구경

말뚝을 적용하기 시작하고 있다. 이러한 목적의 마이크로 말뚝의 설계 방법 정립이 필요하고 시공 사례 정리가 시급하다. 본문에서 언급한 바와 같이 기존의 설계개념(말뚝만이 하중을 부담)을 탈피하여 보강토 개념에 입각한 설계방법을 제시할 수 있도록 외국연구 결과와 시공사례, 국내 시공 사례를 정리 검토할 필요성이 있다.

참고 문헌

1. Abbs, A.F.(1984) "A Pile Reinforced Earth Foundation for an Oil Storage Tank", In-Situ Soil and Rock Reinforcement, Paris, 13-18.
2. Abbs, A.F. and Sinclair(1979), "Computer Modelling Beneath the Edge of an Oil Storage Tank", Proc. of the Institution of Civil Engineers, September.
3. Aste, J.P.(1984), "Stabilisation d'un Glissement de Terrain Affectant le CD915 a la Perriere, en Savoie, par une Dalle sur Micropieux", In-Situ Soil and Rock Reinforcement, Paris, 19-23.
4. Aste, J.P. and Messin M.(1984), "Foundations Speciales en Haute Montagne-Construction de Telepherique de la Cime de Caron (+3192m) a Val-Thorens(Savoie)", In-Situ Soil and Rock Reinforcement, Paris, 25-31.
5. Blondeau, F.(1984), "Reinforcement de Talus Provisoires pour l'Execution d'un Passage Sous Voies Ferrees", In-Situ Soil and Reinforcement, Paris, 39-44.
6. Costa nunes, A.J. Da, and Dringenberg, G.E. (1984), "Increase in the Bearing Capacity of Piles by Soil Precompression Through the Use of Grouting", In-Situ Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, 45-50.
7. Engelhardt, K.(1982), "Large Diameter Bored Piles", Symposium on Soil & Rock Improvement, Techniques Including Geotextiles, Reinforced Earth and Monder Piling Methods.
8. Gilloux, A.(1984), "Evaluation de Frottement Lateral Soil-Inclusion dans le Clouage des Soils", In-Situ Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, 66-70.

9. Koreck, W.(1978), "Small Diameter Bored Injection Piles", *Ground Engineering*, Vol. II, No. 4., May, 14-20.
10. Korfiatis, G.P.(1984), "Field Testing of Short Pile Systems for Floor Support", In-Situ Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, 71-75.
11. Lizzi, F.(1978), "Reticulated Root Piles to Correct Landslides", ASCE Convention, Chicago.
12. Lizzi, F.(1980), "The Use of Pali Radice(Root Pattern Piles) in the Underpinning of Monuments and Old Buildings and in the Consolidation of Historic Centers", English version of an article published in "L'Industria Delle Costruzioni", Nr. 110, Rome, December.
13. Lizzi, F.(1983), "The Reticoldo Di Pali Radice (Reticulated Root Piles) for the Improvement of Soil Resistance, Physical Aspects and Design Approaches", English European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, A. A. Balkema, Helsinki, 521-524.
14. Meyerhof, G. G., "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation", ASCE, Vol. 102, No. gt3, 1976, pp. 197-228.
15. Mitchell, J.K.(1981), "Soil Improvement Methods and their Applications in Civil Engineering", Sixteenth Henry M. Shaw Lecture in Civil Engineering, North Carolina State University.
16. Munfakh, G.A. and Soliman, N.N.(1986), "Rehabilitation of an Industrial Facility Built on Marginal or Deteriorated Land, Thomas Telford, Ltd., London, 1986.
17. Pitt, J.M., and Rohde, J.R.(1984), "Fly Ash Micro-Piles-An Alternative for Railway Substructure Reinforcement", In-Situ Soil and Rock Reinforcement, Paris, 91-96.
18. Plumelle, C.(1984), "Amelioration de la Portante d'un sol par Inclusions de Groupe et Reseaux de Micropieux", In-Situ and Rock Reinforcement Conference, Paris 83-98.
19. Poulos, H.G. & Davis, E.h., *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons, pp. 323-335.
20. Weltman, A.(1981), "A Review of Micro Pile Types", *Ground Engineering* Vol. 14, No. 4, May, 43-49.
21. 대한 토목학회(1988), "Micro-Pile의 설계 및 시공기술에 관한 연구", 보고서, 주식회사 도화지질
22. DIN, "Small Diameter Injection Piles(Cast-in-Place Concrete Piles and Composite Piles)", DIN-4128 Engl., April, 1983, pp. 2-7.