■ 질문1. 시공된 말뚝내부에 물이 들어가도 되는가 ?

<답변>

말뚝의 손상에 의한 경우가 아니면 물이 들어가도 문제없음.

<해설>

말뚝에 물이 들어가는 경우는 항타시 선단부의 철판사이로 물이 들어가거나(대부분의 경우임), 용접이 완전하지 않아 말뚝 이음부에서 물이 들어가는 경우, 말뚝이 항타 도중 손상되어 균열 틈 사이로 물이 들어가는 경우 등이 있음.

일단 물이 들어가 있으면 물이 들어간 원인을 분석하고, 말뚝의 손상여부를 확인하며, 결함이 있을 경우 손상 정도 및 손상된 말뚝의 개수에 따라 원인별로 보수·보강을 검토하여야 함.

물이 들어가 있는 말뚝의 개수가 전체 말뚝에 비해 작고 손상이 심하지 않은 경우에는 주위 말뚝이 지지해 주기 때문에 별 문제는 없으며 별도의 보수·보강이 필요 없고 물도 빼낼 필요가 없음. 동절기에 지표부근 까지 물이 차면 말뚝이 동파될 수 있으나 보통은 물이 지표에서 상당히 아래에 차 있는 경우가 대부분이며 동결심도 이하이기 때문에 물도 지열에 의해 얼지 않음.

물이 들어가 있는 말뚝의 개수가 많고 특정 부위에 집중되어 있을 때는 동재하시험을 실시하여 말뚝의 손상 정도를 조사하여야 하며(건전도평가), 말뚝이 심각하게 손상되었다면 보강타 시공을 하여야 하며, 균열에 의해 물이 찼을 경우는 다짐에 의한 콘크리트 속채움 및 철근보강이 바람직할 것으로 판단됨.

<참고자료>

- 동재하시험에서 건전도평가시 확인항목 : BTA (장비· PDA,미국), BETA(장비 TNO,네덜란드)
- 말뚝손상기준 (Rausche & Goble, 1979)

BTA	손상정도
1.0	손상되지 않음
0.8-1.0	미세한 손상
0.6-0.8	손상
0.6이하	부러짐

* BTA = 손상되지 않는 단면적 / 원래 단면적

* BTA 수치가 80% 이하면 손상되거나 부러진 것이므로 보수·보강을 검토하여야 함.

■ 질문2. 항타시 주변 흙의 솟아오름을 고려하여 터파기시 더파도 되는가?

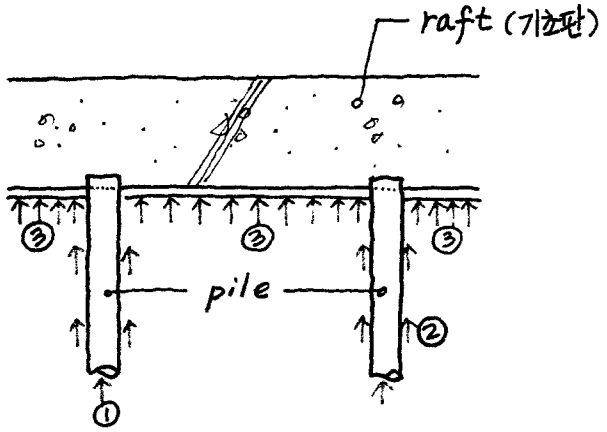
<답변>

더파지 않는 것이 지지력 향상 및 침하감소에 유리하나 재하시험 결과 소요지지력이 확인될 시는 더파도 문제없음.

<해설>

말뚝기초에서 연직하중은 말뚝이 모두 지지하는 것으로 설계하지만 기초판의 지지효과도 있음을 고려시 기초판 하부의 지반이 흐트러지지 않게 하는 것이 지지력향상 및 침하감소에 유리함. 재하시험 결과 소요지지력이 확인될 시는 더파도 문제없으며, 말뚝 설계시는 항타시 주변 흙이 솟아오르지 않게 말뚝 중심간 거리를 충분히 유지함이 중요.

* piled raft 기초의 개념



o 지지력 = ① + ② + ③
(계산시 ③은 무시함)

① : 선단지지력
② : 주면마찰력
③ : raft에 의한 지지력

<참고자료>

* 구조물 기초설계기준(건교부, 1997) 내용
말뚝기초의 연직하중은 말뚝에 의해서만 지지되며 기초판의 지지효과는 무시함
(말뚝의 침하와 지반의 침하가 일치하지 않는 경우가 많으므로)

* piled raft 기초에 대하여는 현재 이론적, 실험적 연구가 계속 진행 중에 있음

■ 질문3. 항타말뚝에서 시간경과효과란 무엇인가 ?

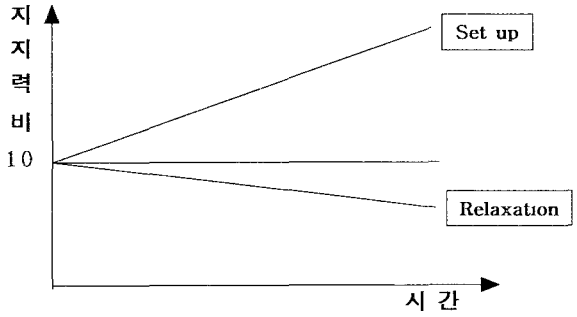
<답변>

시간경과효과란 항타 후에 일정시간이 경과하면서 말뚝의 지지력이 증가(Set up) 또는 감소(Relaxation)하는 현상을 말하며 개요 및 특성은 다음과 같음.

- 주로 시간경과에 따라 지지력 증가현상이 발생하며 항타시 교란된 지반이 여러 가지 원인에 의해 강도를 회복하므로서 주로 마찰지지력이 증가함.

- 점성토 뿐만 아니라 사질토 지반에서도 지지력 증가현상이 나타남.
  (원인 : 과잉간극수압의 소산, 틱소트로피(점토), Aging 현상 등)

- 지지력이 감소하는 현상은 대표적으로 포항의 이암층에서 발생.

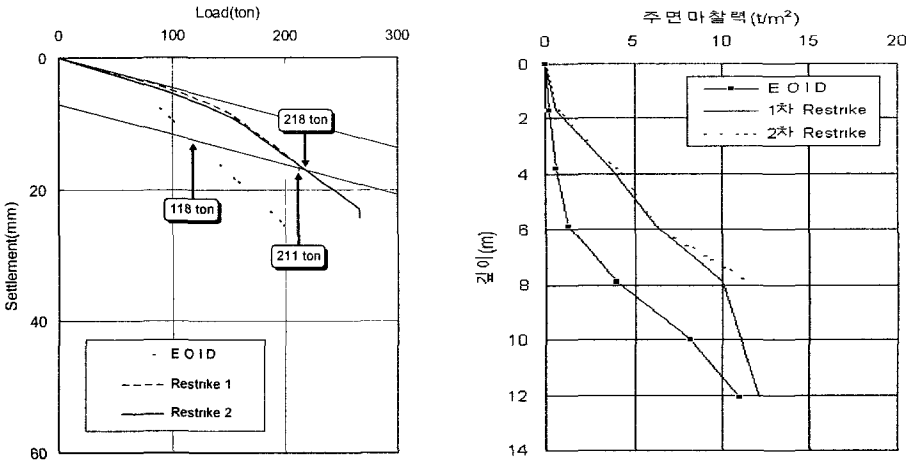


시간효과의 발생

<해설>

(1) 지지력 증가현상(Set up)

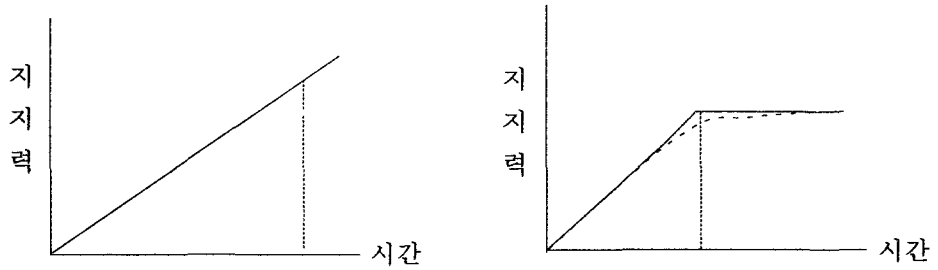
지지력의 증가현상(Set up)은 항타시공중 이완되었던 지반이 강도를 회복하는 현상으로 일반적으로 많이 나타나고 있다. [그림1]은 Set up 현상이 발생한 말뚝에 대한 재하 시험결과를 나타낸 것이다.



(a) 하중침하곡선 (b)주면마찰력의 변화

[그림 1] 지지력이 증가된 말뚝의 동재하시험결과

지지력의 증가 양상은 다양하게 나타나서 대개 1주일 정도면 수렴한다고 보고 있지만 5주 후 까지도 지속적으로 증가되는 경우도 있다[그림 2 참조]. 아직 토질별로 이러한 증가양상에 대한 자료가 축적되지 않아서 지지력 증가양상에 대한 예측이 어려운 실정이다. 그러므로 시간효과가 최대한 발휘되기를 기다리기보다는 시간을 정하여 재항타 동재하시험을 실시하고 이때 목표 지지력이 얻어지는지를 확인하는 것이 공정상 유리할 것이다.



5주 1주

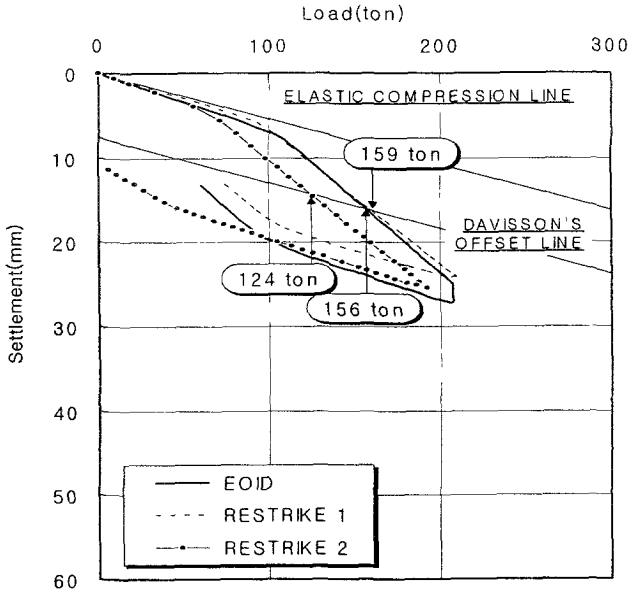
[그림 2] 시간경과에 따른 Set up효과의 양상

(2) 지지력 감소현상(Relaxation)

[그림 3]의 지지력 감소현상은 말뚝의 지지력이 시간이 경과하면서 감소되는 현상으로 시공직후에는 설계지지력을 만족하다가 실제 구조물이 축조될 시점에서 지지력이 감소되어 설계조건을 만족시키지 못할 경우 심각한 문제를 발생시킨다.

국내에서 가장 대표적으로 지지력 감소(Relaxation) 현상이 일어나는 곳은 포항의 퇴적이암층인데(천병식, 1997) 최근에는 포항 퇴적이암 지반뿐만 아니라 전국적으로 보고되고 있다.

그러므로, Relaxation 현상에 대비하기 위해서는 재항타 동재하시험을 반드시 실시하여 지지력의 증감을 조사하는 것이 필요하다.



[그림 3] Relaxation 현상

<참고자료>

■ 질문4. 말뚝의 관입깊이는 최소 얼마만큼은 되어야 하나 ?

<답변>

소요지지력이 확보될 경우 관입깊이는 문제되지 않음.

<해설>

말뚝의 최소 관입깊이를 규정하는 기준은 현재 국내·외에 없으며 재하시험을 통해 연직 및 수평지지력(수평저항력이 필요한 경우)이 설계값을 만족하면 말뚝길이는 문제가 되지 않을 것으로 사료됨

주택공사에서는 최소관입길이를 말뚝지름의 10배 정도로 하여 설계적용하고 있으며, 현장 시공시 관입깊이가 10D(D:말뚝직경)에 부족하더라도 재하시험결과 지지력이 확보될 경우 무리가 없을 것으로 판단하고 있음.

<참고자료>

o 기초설계·시공 핸드북(일본, 건설문화사 발행)
말뚝 관입깊이는 말뚝지름의 10배 이상은 되어야 수평하중 및 수직하중에 효과적임.

o 기초설계기준(건교부, 1997)
짧은 말뚝에서는 횡방향의 외력에 의한 움직임이 휨보다는 회전에 가까워지며, 극단의 경우 전도의 위험이 있으며, 크리프나 반복하중에 대하여도 불리함.

■ 질문5. 말뚝시공시 이음을 하여 사용해야하는 긴 말뚝의 경우 말뚝길이 조합은 어떤 것이 유리한가? (예 : 20M--> 10+10, 12+8, 15+5)

<답변>

이음부 시공이 제대로 될 경우 구조안전상 문제가 없으므로 현장여건을 고려하여 결정하면 됨. (공사비 차이는 거의 없으며, 발주시는 1/2위치에서 조합하는 것으로 적용중임)

<해설>

말뚝이음은 어떤 길이 조합이라도 이음부 시공이 제대로 될 경우 구조안전상 문제가 없으므로 현장여건을 고려하여 결정하면 되며 말뚝운반 및 취급시 출렁거림에 의한 인장균열 방지를 위해 가능한 긴 말뚝을 사용하지 않는 것이 유리함.

■ 질문6. P.H.C.말뚝에서 균열은 어느 정도까지 허용되는가?

<답변>

P.H.C.말뚝의 허용균열폭은 0.1mm이하가 바람직함.

<해설>

P.H.C. 말뚝의 허용균열폭에 대한 명확한 기준은 현재 없으며, 여러 가지 관련 기준들을 조사·검토한 결과 0.1mm이하로 관리함이 바람직한 것으로 판단됨.

<참고자료>

(관련자료 발췌 및 검토내용)

o 구조물 기초설계기준(건교부, 1997) 3.4.9 말뚝시공성 검토

나. 기성콘크리트말뚝

(1) 사전검사

말뚝의 품질에 대하여는 한국공업규격의 관련규정을 이용하여 사용 전에 면밀히 조사해야 한다. 금이간 곳 부서진 곳, 또는 부식된 곳 등의 유무를 조사한다. **0.3mm 폭 이하의 잔금은 허용될 수 있다.**

o KSF 4306-88 "프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝"

3. 품질

3.1 겉모양

고강도말뚝은 해로운 흠, 균열 등의 결점이 없어야 한다.

3.2 몸체의 휨강도

고강도말뚝의 몸체는 8.1에 규정하는 휨강도시험을 하고 표1의 균열휨모멘트를 가했을 때 균열이 생기지 않아야 한다.

o 콘크리트 구조설계기준(건설교통부, 1999)

4.2.3 허용균열폭

(1) 허용균열폭은 구조물의 사용목적, 소요내구성, 환경조건, 부재의 조건 등을 고려하여 정하여야 한다.

(2) 강재의 부식에 대한 콘크리트의 허용균열폭은 일반적으로 피복두께 및 강재의 종류에 따라 표4.2.2에 따라야 한다. 다만.....

(3) 물을 저장하는 수조 등과 같은 구조의 허용균열폭은 0.1mm이하이어야 한다.

* [표 4.2.2] 허용균열폭 Wa (mm)

강재의 종류		강재의 부식에 대한 환경조건			
		건조환경	습윤환경	부식성환경	고부식성환경
철근	건물	0.4mm	0.3mm	0.004tc	0.0035tc
	기타구조물	0.006tc	0.005tc		
프리스트레싱 긴장재		0.005tc	0.004tc	-	-

여기서 tc는 최외단 철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소 피복두께(mm)

* 기성콘크리트말뚝 검토(위 표 4.2.2의 프리스트레싱 긴장재, 습윤환경으로 검토함)

- 대 상 : ϕ400 P.H.C.말뚝
  - · A종 : t=65, P.C.강봉직경=7.4, tc=(65-7.4)/2 =28.8
  - · B종 : t=65, P.C.강봉직경=9.2 tc=(65-9.2)/2 =27.9
  - · C종 : t=65, P.C.강봉직경=11.0, tc=(65-11.0)/2 =27.0

- 허용균열폭(wa) : · A종 : 0.004 * 28.8 = 0.1152 mm
  - · B종 : " * 27.9 = 0.1116 mm
  - · C종 : " * 27.0 = 0.108 mm

■ 질문7. P.H.C.말뚝에서 A,B,C종의 차이는 무엇인가?

<답변>

프리스트레스량(量) 및 균열휨모멘트에 따라 A,B,C종으로 구분함

구분	A종	B종	C종	비고
프리스트레스량 (kgf/㎠)	40	80	100	
균열휨모멘트 (tf-m)	5.5	7.5	9.0	ϕ400의 경우
가격비교	1.0	1.2-1.3	1.4-1.5	자재비기준

<해설>

파일은 길이가 5~15m 까지 다양한 길이로 제작되어 공급되므로 휨에 대한 저항력이 없으면 운반이나 취급이 어려우며, 또한 시공시에 발생하는 휨응력이나 인장응력, 시공이 종료된 뒤에 발생하는 수평력이나 휨에 의하여 말뚝에 가해지는 휨응력에 저항하는 힘인 휨강도를 필요로 함.

이렇게 말뚝이 필요로 하는 휨강도는 말뚝내부에 배치되어 있는 P.C.강봉의 긴장력에 의하여 주어지는 프리스트레스량에 따라 결정되며 프리스트레스량이 클수록 휨에 저항하는 힘이 크게 되며 휨강도가 커짐.

말뚝에 수평력이 크게 작용하는 경우 및 연약지반 등에서 항타시 인장응력이 크게 발생하는 경우는 주로 B, C종이 사용되며, 건축구조물의 경우는 특별한 경우를 제외하고 경제성을 고려 거의 A종이 사용되고 있음

<참고자료>

- 프리스트레스(prestress) 란?

  P.C.강봉을 긴장한 후 양측을 고정시켜 말뚝에 미리 가하는 압축응력을 말하며 기성콘크리트말뚝은 압축응력이 미리 가해져서 생산이 됨.

■ 질문8. P.H.C.말뚝의 선단부는 왜 편편하거나 오목한가?

<답변>

Pencil형 선단부의 경우 몸체와 일체제작이 어려우며, 분리 제작하여 부착할 경우, 큰 타격에너지로 시공시 선단부가 파손되기 쉬우므로 P.H.C.말뚝에서는 특별한 경우를 제외하고는 Pencil형 슈를 사용하지 않음.

<해설>

선단부의 형태가 뾰족(Pencil 형)한 것이 관입성에는 유리하나 P.H.C.말뚝의 선단은 편평(flat형) 또는 오목(mammilla형) 형태를 채용하고 있음. 그 이유는 Pencil형 선단부는 말뚝의 몸체와 일 체되게 동일한 공정에서 제작하기가 어려워서 대부분 사전에 제작된 선단부를 몸체에 부착하여 제작하게 되는데, 이 경우 선단부와 몸체의 콘크리트 강도를 동일하게 하기가 어렵고, 또 연결부위가 취약하여 큰 타격에너지로 시공시 선단부가 쉽게 파손(주로 전단파괴)되기 때문임. 선단부가 편편하거나 오목하여도 항타시 말뚝 단면하부의 흙이 단단해지면서 자연적인 돔(Dome)형태의 shoe를 형성하여 관입을 용이하게 하므로 실용적인 관입성에는 문제가 없음.

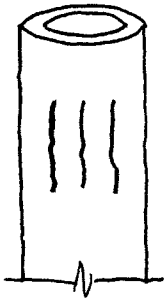
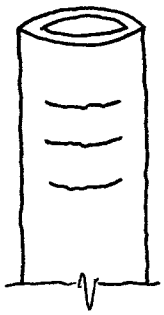
<참고자료>

구분	선단부 형태	콘크리트 압축강도	지지층(N치)	타격에너지
P.C.말뚝	뾰족(Pencil형)	500 kgf/㎠	40~45 정도	中
P.H.C.말뚝	편평(flat형) 혹은 오목(mammilla형)	800 kgf/㎠	50 이상	大

■ 질문9. 시공시 기성콘크리트말뚝에 생기는 균열의 종류 및 균열발생시의 보강요령, 합리적인 두부정리 요령은?

<답변>

1. 균열의 종류, 원인 및 대책

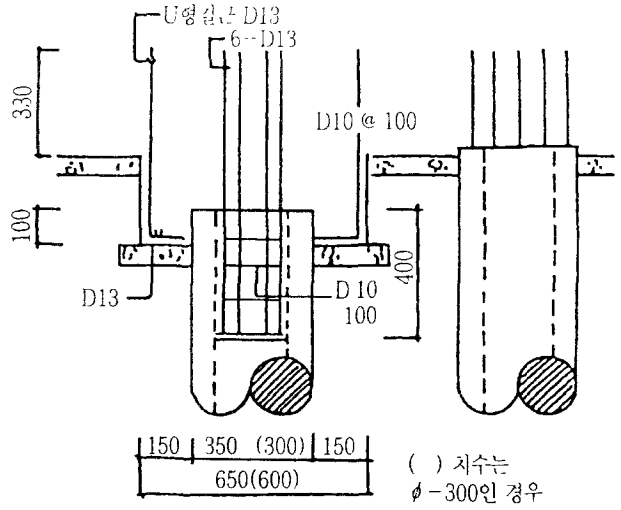
종류	형태	주요발생원인	대책
종균열	 *말뚝의 길이 방향으로 발생	- 타격시 편타나 말뚝머리 절단시의 충격에 의해 주로 발생	- 항타시 마모가 없는 쿠션재 사용 및 편타방지 - 두부정리요령 준수
횡균열	 *말뚝의 둘레 방향으로 발생	-과다한 휨응력 발생시나 프리스트레스량 부족시 발생 -주로 연약지반에서 타격시 인장응력에 의해 발생	- 쿠션재를 늘리거나 항타시 낙하고를 낮추어 항타응력을 줄임 - 프리스트레스량이 큰 B,C종 말뚝으로 변경

2. 시공된 말뚝에 유해한 균열 발생시 보강요령

o 방법1

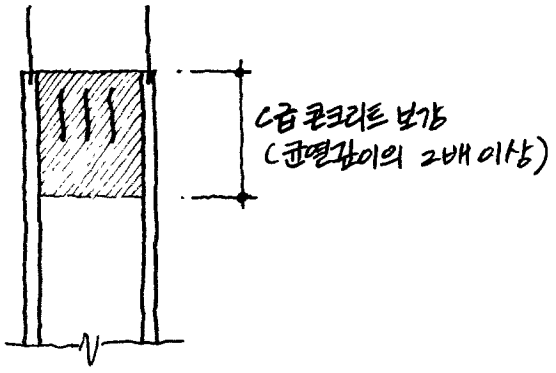
균열부 하단까지 재절단 후 내림시공

<보강요령예시>



o 방법2

항두막이 C종 콘크리트의 깊이를 증가시킴(균열깊이의 2배이상)



3. 합리적인 두부정리 요령

가. 항타가 완료된 말뚝은 말뚝에 cutting선, 버림 콘크리트 상단면, 지반조성면의 3개의 높이를 표시하고, cutting을 둥글게 전면에 표시하여 1cm이상 깊이로 cutting실시 (cutting 위치의 오차를 줄이기 위해)

나. cutting선 상단 30cm상부를 해머 및 유압식 파쇄기를 사용하여 콘크리트를 파쇄 후 30cm 여장길이를 확보하여 철선을 절단하고 두부정리 실시 전 철선을 수직으로 세운다 (두부정리 후 철선을 바로 세울 때 말뚝에 균열 발생 유의)

다. 두부정리는 말뚝의 파손이나 균열을 방지하기 위하여 날망치나 넓적한 정을 사용하고 P.H.C.말뚝의 경우 수직균열이 다수 발생하므로 강재band를 설치하여 조이고 두부정리 시행(강재band의 밀착을 위하여 말뚝과 강재band 사이에 고무판 부착)

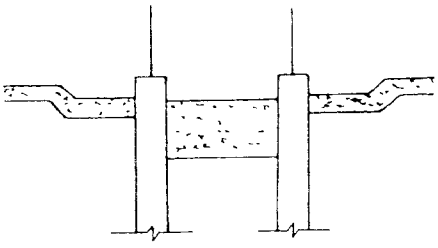
라. 말뚝의 두부절단 및 정리시에 종균열이 발생치 않도록
① 절단부분의 15cm 밑에 강재band를 설치하여 말뚝을 단단히 보강
② 말뚝커트를 사용하여 절단면에 구멍을 뚫는다.
③ 해머로 절단면을 파괴하여 P.C.강선을 노출
④ P.C.강선을 절단하기 전에 절단상부 잔여말뚝의 콘크리트를 완전히 파쇄한다.
⑤ 절단된 P.C.강선을 바르게 세운 후 길이 30cm 이상 되게 정리
⑥ 절단면을 정 또는 날망치를 사용하여 평활하게 마무리

마. 두부정리는 바닥면과 수평지게 하고 파손된 콘크리트가 붙어 있거나 오염되지 않도록 할 것

바. 정의 끝을 내부 및 위로 향하게 하여 보강철선 내부 콘크리트가 파손되지 않도록 한다.

사. 두부파손 및 균열발생(세로균열)의 경우 균열부 하단까지 재 절단하여 내림시공을 할 경우는 내림바닥면을 정리하고 바닥에 버림 콘크리트를 선 시공하여 BOX를 설치하고 기초 버림 콘크리트 타설시 일체로 시공.

- 내림시공 한계는 말뚝두부가 버림 콘크리트 하단보다 낮게 시공되었을 때로 하고 그 이외의 경우는 버림 콘크리트를 경사지게 시공



아 항두막이 C급 콘크리트는 P.V.C.캡을 고정시키고 C종 콘크리트를 타설하되, 상단을 매끈하게 하고 콘크리트가 항두에 덮히지 않도록 시공한다

-P.V C 캡 결속시 3곳 이상 결속시켜서 타설 중 P.V C 캡이 탈락하여 말뚝 두부상단부분 콘크리트가 함몰하여 하부가 부실하게 되지 않도록 한다.

<참고자료>

말뚝 두부정리 시공사례

1) 항타가 완료된 말뚝은 말뚝에 보조(수직균열방지) 커팅선, 커팅선, 버림콘크리트 상단면 등 3개의 높이를 G.L라인과 수평으로 표시
   - 보조 커팅선을 컷팅선 상단 100㎜정도에 둠으로써 종균열 예방 효과

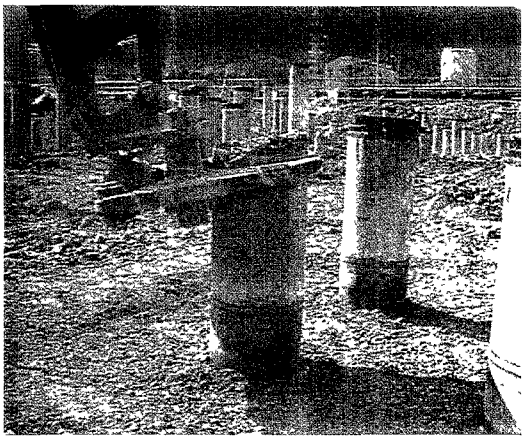
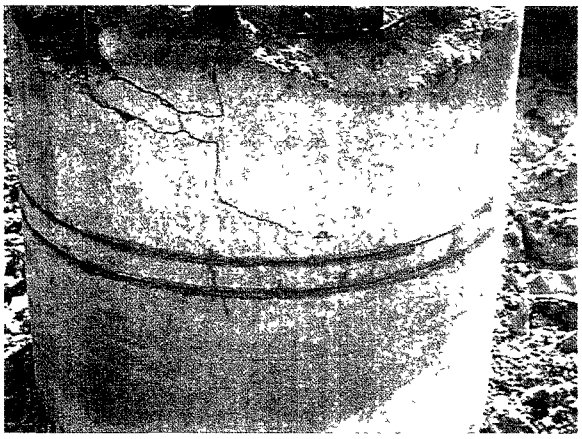
<사진은 보조컷팅선, 컷팅선, 버림콘크리트 상단면, 지반조성면의 4개의높이 표시>

2) 보조커팅선 및 커팅선을 파일강선이 절단되지 않도록 1cm이상 깊이로 커팅을 실시한다.

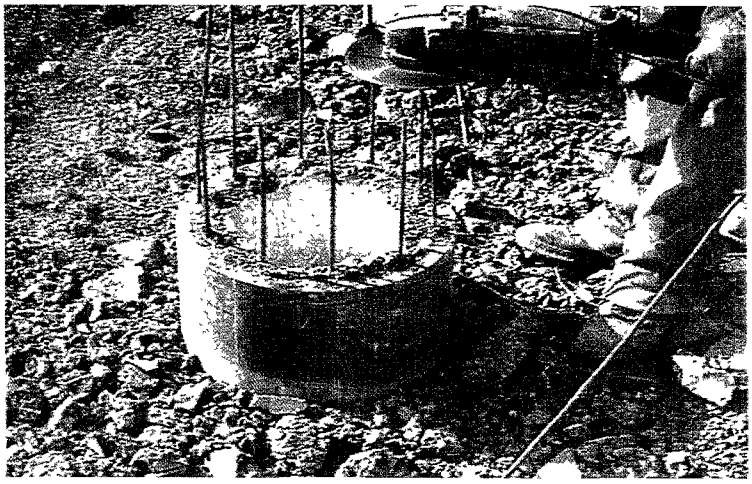
<표시선을 따라 커팅>

<보조커팅선과 커팅선 커팅완료후>

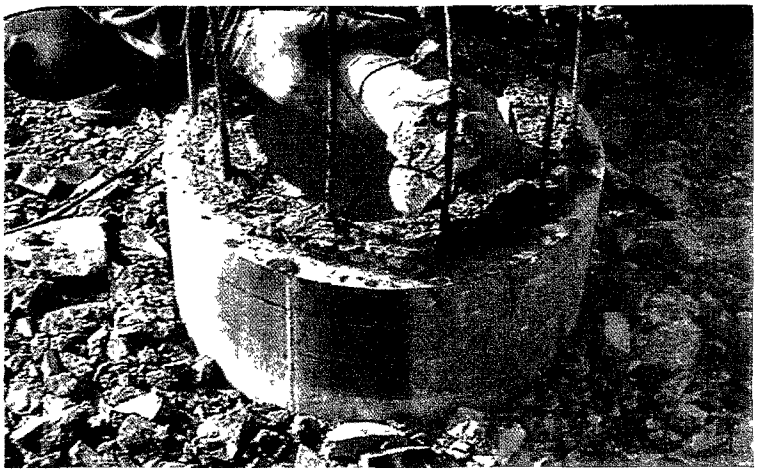
3) 커팅 완료후 유압식 파쇄기 등으로 콘크리트를 파쇄 후 보조커팅선 상부 20㎝정도의 여장길이를 확보하여 철근을 절단한다.
(파쇄시의 종균열을 보조컷팅에서 흡수할 수 있도록 함)

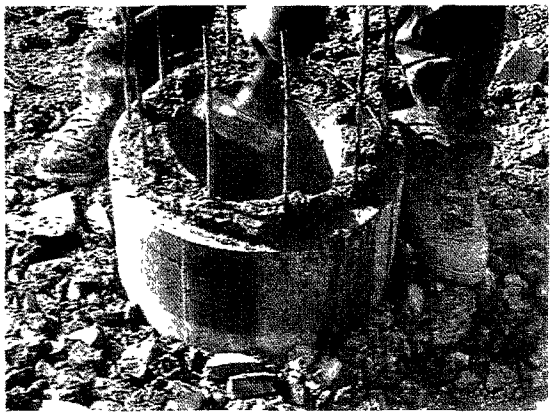
4) 여장길이(30cm)를 확보한 후 커팅선까지의 정다듬 시행전 강선펴기 시행
(커팅선까지 정다듬을 완료 후 철근을 바로 세울 경우 말뚝에 균열발생)

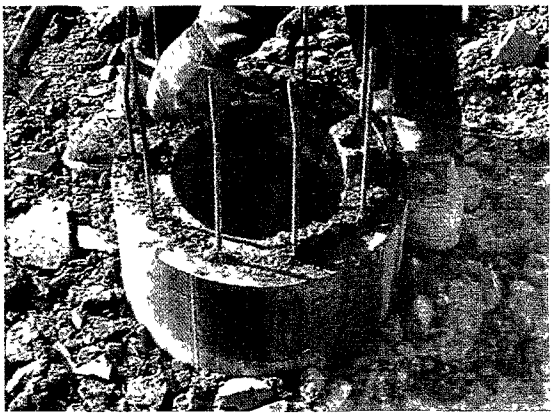


5) 커팅선까지의 두부정리시 균열 등이 우려될 경우에는 내부 수직균열 방지 등을 위해 위해 소형컷팅기를 사용, 내부커팅을 할 수도 있다.**(생략가능)**

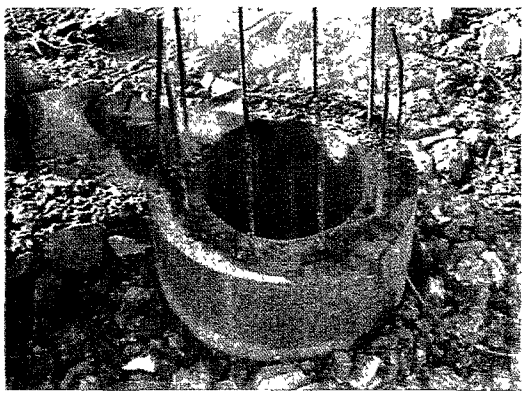


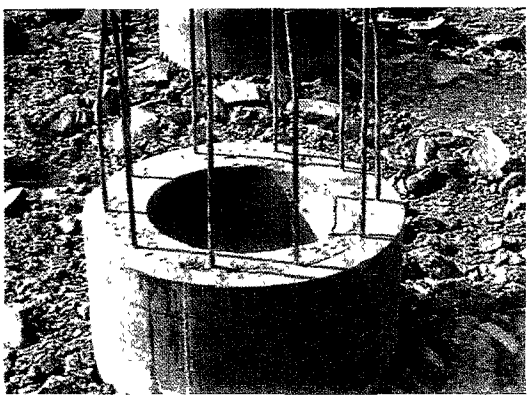
6) 파일 커팅선까지 날망치나 넓적한 정을 사용하여 후속 철근배근이나 피복두께에 영향이 없을 정도의 정다듬 시행



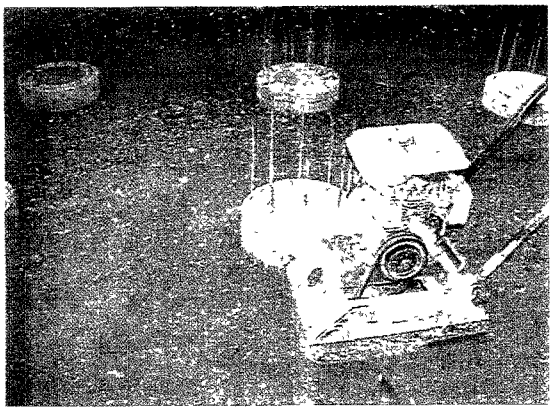
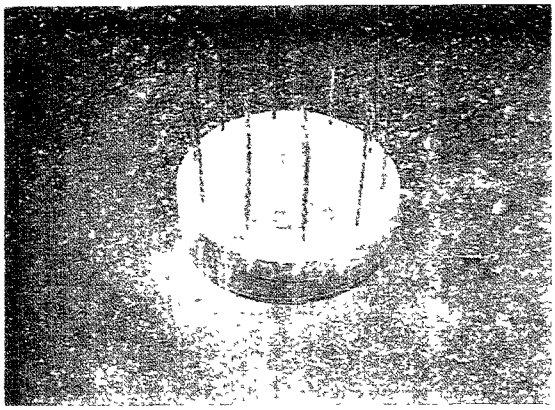


* 아래사진은 파일상부 다듬 완료후 평활도 유지를 위해 연마기를 사용하였음.

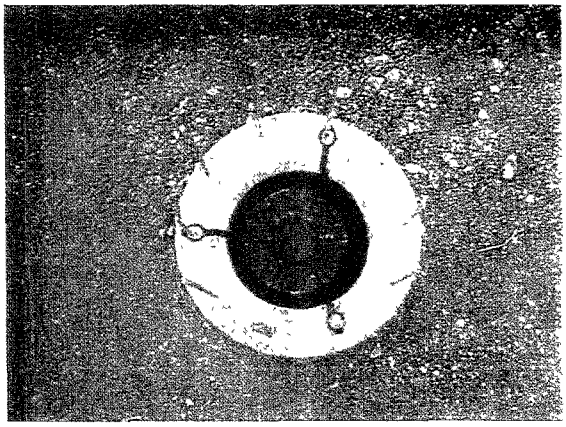
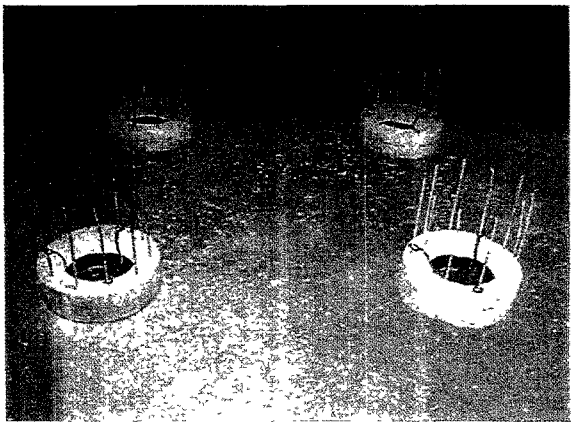




7) 바닥정지후 소형다짐기를 이용, 바닥다짐 시행

8) 항두막이 C종 콘크리트는 P.V.C. 캡을 고정시키고 C종 콘크리트를 타설하되, 상단을 매끈하게 하고 콘크리트가 항두에 덮히지 않도록 시공한다.
   - P.V.C.캡 결속시 3곳 이상 고정시켜서 타설 중 PVC 캡이 탈락하여 말뚝 두부상단 부분 콘크리트가 함몰하여 하부가 부실하게 되지 않도록 한다

<자료제공>

- 김해장유 현장
- 홍천갈마곡 현장

■ 질문10. 연약지반에서 항타기의 진입, 이동이 곤란한 경우의 대책은?

<답변>

부분적으로 연약한 경우는 연약한 부분을 혼합골재나 양질토사로 치환하거나, 그 부분을 두꺼운 철판 등을 깔아 항타기 진입 및 항타시행하며,

점성토지반처럼 전체적으로 연약한 경우는 두께 60cm정도의 혼합골재 또는 두께 80cm정도의 양질토사로 표면을 치환하여 다진 후 장비진입 및 항타시행

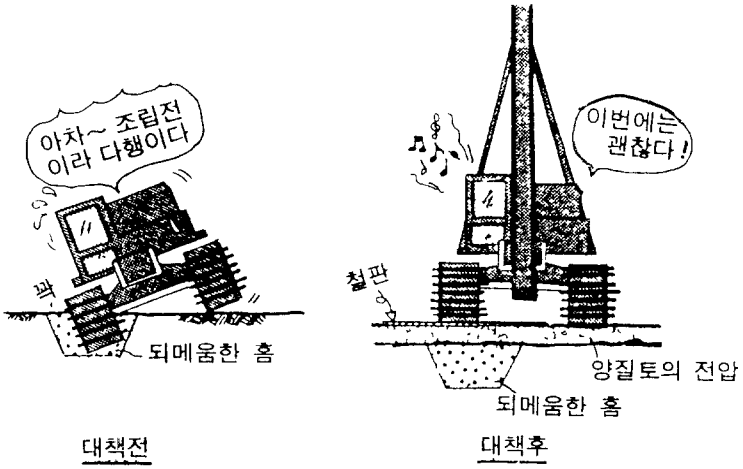
<해설>

지반의 지지력은 대략 N치와 콘지수로 알 수 있으며, 항타시는 항타기의 접지압을 고려하여 침하나 전도가 되지 않도록 지반의 보강대책을 수립 시행하여야 함.

특히 주의해야 할 점은 되메우기를 한자리, 반복주행으로 흐트러진 부분, 물을 흡수하여 연약화된 흙, 굴착한 부분에 가까운 장소 등이며

일반적인 보강대책은 다음과 같음

- o 두꺼운 철판의 긴 변 방향이 항타기의 주행방향과 직각이 되게 깐다.
- o 표층지반개량을 하거나 자갈과 쇄석 등의 양질토를 표면에 깐다.
- o 배수구를 설치하고 지표면의 배수를 잘한다.
- o 굴착에 근접한 장소는 출입제한을 하거나, 흙막이나 지반개량으로 보강한다.



<참고자료>

항타기의 무한궤도(cater-pillar) 평균접지압은 6~15 tonf/㎡ 정도로, 중간정도의 점성토에서 침하하는 무게임. 항타기가 만재상태에서 회전하면 접지압이 부분적으로 평균접지압의 2~3배 정도가 되므로 이를 고려한 항타계획 및 지반대책이 필요함.

■ 질문11. 독립기초 또는 줄기초에서 기초판과 기초판 사이의 슬래브 하부에 되메움흙 대신 매립거푸집이나 E.P.S.로 시공해도 되는가?

<답변>

o 지내력기초 : 지지력이 저하되므로 곤란

o 말뚝기초 : 말뚝에 의해 지지력이 확보된 경우는 매립거푸집이나 E.P.S.로 시공하여도 무리 없음.

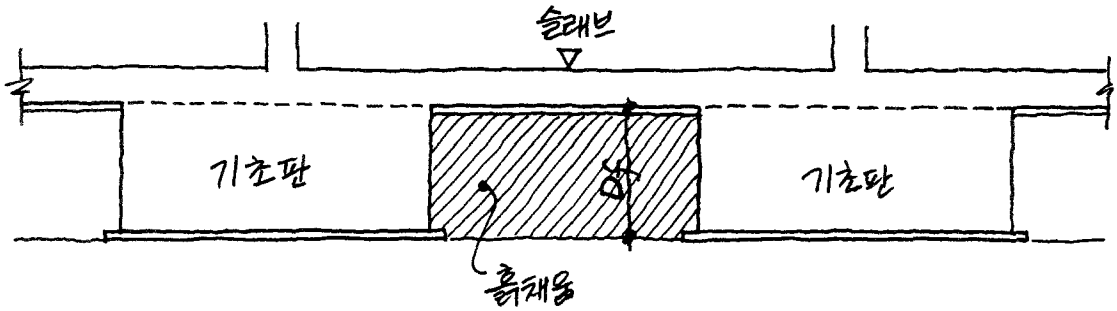
<해설>

o 지내력기초

기초판과 기초판 사이의 슬래브 하부에 되메움흙 대신 매립거푸집이나 E.P.S.로 시공시는 향후 물의 이동에 따라 기초판 저면의 흙이 유실되거나 또는 매립거푸집 하부의 동결, 융해 등으로 인해 기초판 저면의 흙에 체적변화가 생길 수 있어 지지력이 저하됨.
또한 누름 부위의 재질이 변화(흙 → 빈 공간 또는 E.P.S.)됨에 따라 누름효과(Df효과)가 감소되어 지지력이 저하됨.

o 말뚝기초

말뚝의 선단지지력 및 주면마찰력에 의해 지지력이 확보된 경우에는 매립거푸집이나 E.P.S.로 시공하여도 무리 없음



<참고자료>

o 지내력기초 지지력 산정식 (수정Terzaghi식 기준)

$$qa = 1/3 \left(ac \cdot Nc + \beta \cdot \gamma_1 \cdot Nr + \gamma_2 \cdot Df \cdot Nq \right)$$

qa : 지지력 / 1/3 : 안전율 / ac·Nc : 지반점착력에 지배되는 항 / β·γ1·Nr : 기초폭에 좌우되는 항 / γ2·Df·Nq : 근입깊이 Df에 비례하는 항

o E.P.S. · Expanded Poly Styrene의 약자 흔히 스티로폼으로 알려져 있으며 주로 토목공사 성토재로 많이 사용됨. E.P.S 블럭(표준규격:0.6×0.9×1.8m)을 벽돌 쌓듯이 겹겹이 쌓아 시공

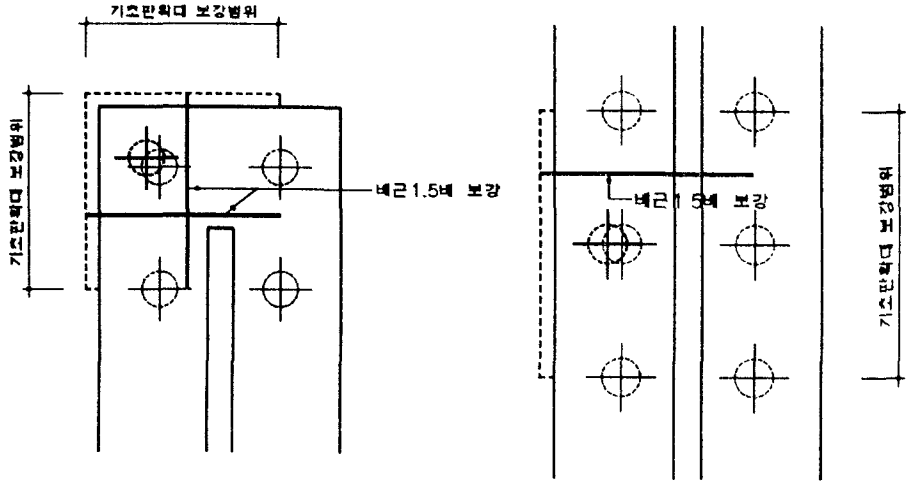
■ 질문12. 말뚝박기시 허용오차 및 오차발생시 조치요령은?

<답변>

설계위치에서 벗어난 경우, 수직시공이 안된 경우, 중파된 경우 등에 대하여는 일반적으로 다음과 같은 보강조치를 함. 단, 정밀한 구조검토에 의할 경우는 별도 방침에 따름.

1. 설계위치에서 벗어난 경우

- 설계위치에서 벗어난 거리가 150mm를 초과한 경우에는 구조검토를 하여 추가항타 및 기초를 보강
- 독립기초, 줄기초, 매트기초의 외곽말뚝이 외측으로 75~150mm 벗어난 경우에는 말뚝중심선에서 벗어난 만큼 기초를 확대하고 철근을 1.5배 보강



2. 수직으로 시공되지 않은 경우

항타완료 후 각도기 등으로 계측하여 수직에 대한 기울기가 말뚝길이의 1/50 이상일 경우에는 구조검토 후 보강여부를 결정함

* 위의 1/50은 현장시공시 수직도 관리를 위하여 정한 임의기준이며, 말뚝이 기울어져도 지지력에 문제가 없으면 그냥 써도 무방함. 단 휜 말뚝은 구조적인 문제를 유발할 수 있기 때문에 보강을 하여야 함.

3. 항타 중 말뚝이 중파된 경우

항타완료 후 거울로 비춰보거나 다림추 등으로 중파여부를 확인하여 중파시 보강말뚝을 설계위치에 인접하여 추가 항타하고, 말뚝중심선 외측으로 벗어난 만큼 기초를 확대하고 철근을 1.5배 보강하여 배근하며, 내측으로 벗어난 경우는 철근만 1.5배 보강하여 배근함.

■ 질문13. 말뚝기초에서 연직말뚝의 경우 적정 이격거리는 얼마인가?

<답변>

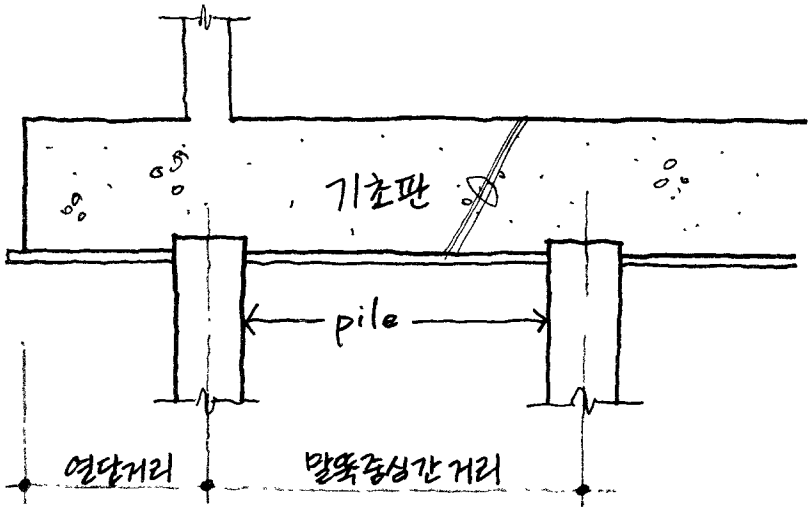
지반조건, 말뚝길이, 말뚝의 형태 등을 고려하여 적정 말뚝간격을 결정하여야 하며 연직말뚝의 경우 일반적인 기준은 다음과 같음.

o 말뚝중심간거리 2.5D이상(주택공사.3D이상을 원칙으로 하고 배치상 곤란시는 2.5D이상)
o 연단거리 : 기성말뚝 - 1.25D이상
현장타설말뚝 - 1.0D이상

* 주) D : 말뚝직경
연단거리 : 말뚝중심에서 기초판 끝선까지의 거리

<해설>

말뚝기초에서 여러개의 말뚝을 인접하여 시공시는 말뚝이 서로 밀려서 소정의 위치에 시공이 어렵고 군말뚝 효과에 의해 지지력이 감소됨.
따라서 지반조건, 말뚝길이, 말뚝의 형태 등을 고려 적정 말뚝간격을 결정하여야 함.



<참고자료>

■ 질문14. 말뚝항타 중에는 설계심도에 도달하여도 초기항타 동재하시험 결과 소요내력이 부족하며, 동일심도에서 일정시간이 경과한 후 시행한 재항타동재하시험 결과 소요내력이 나올 경우 시공관리를 어떻게 해야 하는가?

<답변>

시간경과에 따른 효과를 고려하여 관리하여야 함.

<해설>

말뚝은 항타한 후 시간이 경과함에 따라 지지력이 변화되는데 주로 주면마찰력의 증가로 지지력이 증가하는 경우가 많음**(set up효과)**. 이러한 효과를 효율적으로 활용하여야 과다한 항타에 의한 공사비 낭비요인을 방지할 수 있으며, 적절히 고려하지 못할 경우 시공과정이 매우 어려운 조건이 되거나 불필요한 과다시공이 되어 말뚝재료의 손상 또는 공사비의 낭비, 더 나아가서는 기초의 부실화까지도 초래할 수 있음

지지층에서 타격시 설계심도에 도달하여도 소요지내력이 미달되고 최종관입량이 크게 나타나며 계속 관입이 되는 경우가 종종 있는데 이 경우 set up 효과를 고려 지지력 확보를 위한 최종관입량을 결정하여 관리하는 것이 매우 중요함.

주공에서는 시간경과 효과를 효율적으로 고려하기 위하여 재항타 동재하시험을 시행하고 있음.

<참고자료>

* 사례 (연구결과발표, 파일테크 이명환 박사)

o 내용

○○지구의 경우 말뚝이 풍화암으로 표기된 지층에 관입된 후에도 최종관입량이 20mm정도로 계속 관입 됨 (설계조건 : ϕ400 P.H.C PILE , Ra=70톤/본)

o 시간경과에 따른 효과 검토

구분	최종관입량	허용지지력(P.D A.)
항타시	18 mm	28 톤
1시간경과후	**7.7 mm**	**81.5 톤**
22시간 경과후	3.5 mm	88 톤

o 조치내용

항타시의 최종관입량을 20mm정도로 관리함

■ 질문15. 직항타공법에서 합리적인 시공관리 요령은 ?

<답변>

합리적인 항타시공관리를 위해서는 말뚝재료의 구조적 특성, 해머의 특성, 항타부속장비의 특성, 최종관입량, 지반조건에 따른 시간경과효과, 무리말뚝 시공조건 등 여러 가지 영향요소들을 적절히 고려하여 시공관리기준을 설정하며, 다음을 참고하여 시행

1. 항타장비의 선정

설계단계에서 WEAP 전산해석을 통하여 대략적으로 선정하여 현장에 해당장비를 반입시킨 뒤 시항타시에 동재하시험으로 항타장비의 적합성을 검토하여 최종적으로 선정

* 항타장비의 적합성 검토시 체크항목
  - 설계지지력 만족여부
  - 말뚝의 건전도(압축 및 인장 항타응력 ≤ 허용값)
  - 항타관입성

2. 적정 타격에너지 결정

WEAP해석 및 동재하시험에서의 항타응력이 허용항타응력보다 작은지를 검토하여 적정타격에너지를 결정함.

같은 타격에너지면 가급적 무거운 램을 사용하고 낙하고를 적게 하는 것이 말뚝손상 방지에 유리함.

* 말뚝두부의 항타응력은 램의 중량과는 관계없고, 낙하고에만 관계됨

(σ =E/C $\times\sqrt{(2\cdot g\cdot h)}$)

3. 시간경과효과를 고려한 항타종료시기 결정

동재하시험(초기항타 동재하시험, 재항타 동재하시험) 및 정재하시험을 통해 설계지지력 및 최대지지력을 확인하고 최적설계가 만족되는 지점에서 항타를 종료함.

* 최종지지력은 재항타동재하시험 및 정재하시험 결과에 의함.
* 동재하시험 및 정재하시험 결과를 바탕으로 항타관리기준을 설정 함.

<참고자료>

* 말뚝재료에 따른 허용항타응력, 적정 타격회수 및 최종관입량

구분	PC 말뚝	**P.H.C.말뚝**	강관말뚝
최대허용압축항타응력 (kgf/㎠)	300 (A종)	**480 (A종)**	2,160 (SS400)
최대허용인장항타응력 (kgf/㎠)	57 (A종)	**62 (A종)**	2,160 (SS400)
총타격회수	2,000회 이내	**3,000회 이내**	3,000회 이내
최종 1m의 타격회수	100회 이내	**200회 이내**	200회 이내
최종관입량	8mm 이상	**5mm 이상**	2mm 이상

주)1. 최대허용압축항타응력:

콘크리트말뚝 - $0.6\ \sigma_{ck}$,　　강관말뚝 - $0.9\ \sigma_y$

2. 최대허용인장항타응력 :

콘크리트말뚝 - $0.025\sqrt{\sigma ck} + \sigma_{pe}$ ①, 강관말뚝 - $0.9\ \sigma_y$

* σ_{ck} (압축강도) - P.C.말뚝 : 500 , P.H.C.말뚝 : 800
  σ_{pe} (유효프리스트레스) - A종 : 40, B종 : 80, C종 : 100
  σ_y (항복강도) - SS400 : 2400
* ①식 적용시 유의사항
  - 단위에 주의할 것 (계산시 tonf/㎡ 로 하여야 함)
  - P.H.C.말뚝 A종의 경우

$$0.025\sqrt{0.8} + 0.04 = 0.02236 + 0.04 = 0.0623\ \text{tonf/㎡}$$
$$= 62\ \text{kgf/㎠}$$

3. 동재하시험에서 말뚝손상 확인 항목 (P.D.A. 기준)

* 건전도 : B.T.A.
  최대압축응력 : C.S.X.(전체), C.S.B.(선단)
  최대인장응력 : T.S.X.

* 단위에 주의할 것

4. P.H.C.말뚝 최종관입량 5mm이상이라 함은 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11mm, ...등을 의미하며 과다한 항타응력에 의한 재료의 파손방지를 위하여 설정한 기준임.

■ 질문16. P.H.C.말뚝 항타시공시 말뚝이 휠 경우의 대책은?

<답변>

다음의 사례를 참고하여 시행

1. 시공개요

o 지구명 : ○○○○지구 ○○블럭

o 지질 및 토질
- 기반암인 편마암과 화강암이 풍화된 지반으로 입도는 세밀함
- 지지층(N:50/15정도)까지의 풍화토층의 두께가 비교적 두껍고(약10~12M) 점진적으로 N치도 증가하는 양호한 토층이나,
- 터파기면 관찰결과 지층이 경사지고 위치별 차별풍화 및 불규칙한 절리가 발견되었으며, 일부구간은 풍화심도가 낮아 기반암이 노출됨

o 항타 제원
- 해머종류 : 유압햄머(DKH-7) - 램의 무게 : 7tonf
- 낙 하 고 : 0.5~0.7m - 최종관입량 : 8~10mm

o 항타결과
- 직항타로 시공중 파일 휨 또는 밀림(20~30cm)현상 발생으로 항타 중단

2. 말뚝 휨발생의 일반적 원인

가. 항타시 수직도 관리 미흡 및 타격에너지 과다에 의한 경우
- 편타에 의한 두부파손 및 중파 또는 균열발생

나. 항타시 말뚝 관입에 의한 주변의 지반이동으로 기시공된 말뚝이 휘는 경우
- 지반이 치밀하고 세립의 포화된 지반에 말뚝을 타입시
- 항타순서가 맞지 않을 때 등

다. 지반의 특성(장애물, 지반의 불균질, 지지층의 경사 등)에 의한 경우 등
- 차별풍화 및 지층 경사 등에 의한 수직도 관리곤란

3. 말뚝 휨 발생에 대한 대책

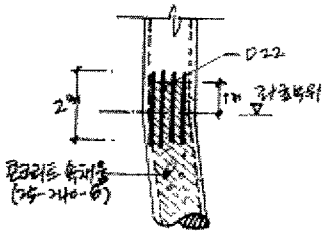
가. 항타기의 수직도(alignment) 및 효율(타격에너지) 확인

나. 말뚝의 항타순서 및 재질변경(소구경→대구경, A종→B,C종) 검토

다. 공법 변경 : 흙의 이동이 적고 관입성이 좋은 S.I.P.공법 또는 H-PILE 공법으로 시공

라. 기 항타된 말뚝에 대한 보강방안

① 휜 파일 보강 : 좌굴부위 콘크리트 다짐 속채움+철근보강
② 기초판 강성 증대 : 줄기초 → 매트기초



■ 질문17. S.I.P.공법 적용시 P.H.C. 말뚝의 선단은 반드시 폐쇄형으로 해야 하는가?

<답변>

폐쇄형을 원칙으로 함.

<해설>

말뚝선단의 역할은 말뚝에 전달되는 축방향력을 지지층에 확실히 전달하고, 타입하는 동안 말뚝을 보호하고 관입을 쉽게 하는 데 있음.

선단지지력은 폐쇄형이 개방형보다 우수하며, 선단지지력 산정시는 내부구멍을 포함한 전단면적으로 설계되는데 이것을 만족시키는 조건은 선단이 폐쇄형이거나 또는 폐쇄한 것과 같은 효과(폐색효과)가 발휘되어야 함.

S.I.P.공법에서 말뚝선단을 개방형으로 할 경우 폐색효과를 고려하기 위해서는 잘 교반된 soil cement가 일정한 깊이만큼 말뚝내부에 충전되어야 하나 현장여건상 확실치가 않음

<참고자료>

o 폐색효과(閉-닫을폐, 塞-막을색, 변방새)란?

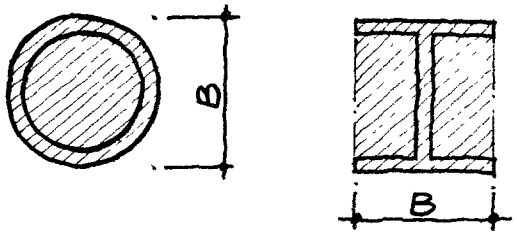
닫아서 막히는 효과라는 뜻으로 H말뚝, 개단강관말뚝 등에서 나타나는 효과임.

H말뚝이나 개단강관말뚝을 관입시 말뚝의 선단이 완전히 막힌 것은 아니지만 지중에 관입시 선단의 토사가 H말뚝의 경우는 양쪽 빈공간에, 강관말뚝의 경우는 내부로 채워지며 다져지는 효과에 의하여 말뚝선단의 단면적이 전 원형부에 해당하는 효과를 보이며 이로 인하여 선단지지력이 증가하는 효과을 말함.

o 선단개방말뚝에서 폐색효과를 충족시키는 조건

개단강관말뚝의 경우 지지층 속으로 5B이상 타격에 의해 관입한 경우 폐색된 것으로 볼수 있음(구조물 기초설계기준)

* B : 강관말뚝 - 직경(외경), H형강말뚝 -flange 폭



o S.I.P. 공법에서 부압발생시 처리요령

선단부 슈에 구멍을 뚫어 줌(직경 5cm정도)

■ 질문18. S.I.P.공법 적용시 동절기공사 가능여부 및 관리방안은 ?

<답변>

S.I.P.공법은 물을 사용하므로 동절기공사 시행시는 동절기 물공사 관리지침을 준용하여 관리 하여야 함.

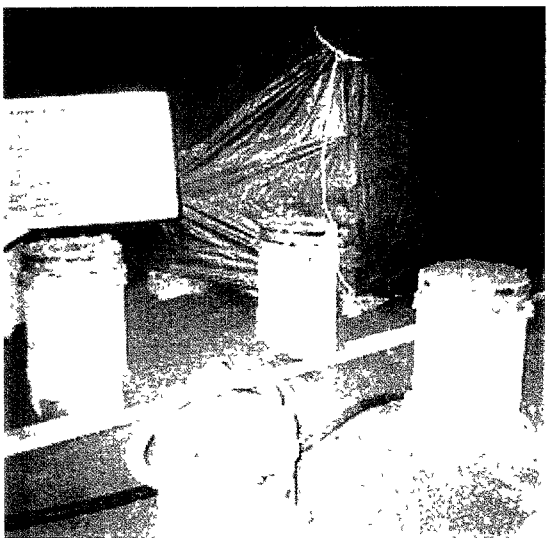
<해설>

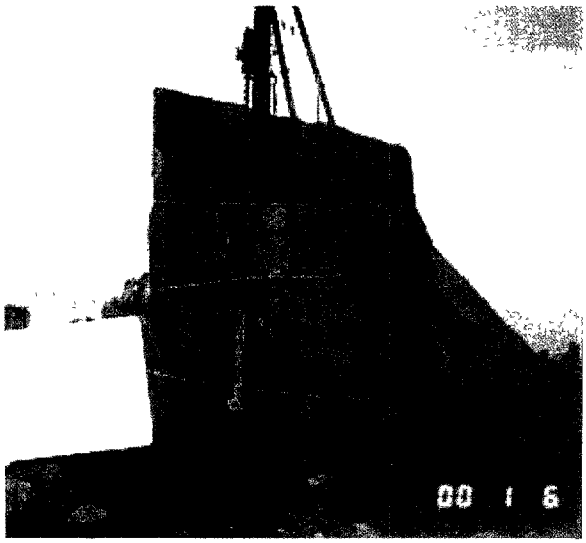
S I P.공법에서 천공시 천공직경은 말뚝직경보다 보통 5~10cm정도 큰 것을 사용하며 말뚝과 주면의 틈은 주면고정액으로 채워져야 하는데 만약 동절기 공사시 이 부분이 얼어있다가 녹을 경우 공극이 생김으로 인해 주면마찰력이 감소되고 수평변위 허용범위를 초과할 수 있음.

통상 동결심도(보통 1m)까지는 얼 수 있다고 보아야 하며 따라서 동절기 공사 시행시는 시공후 휘장막, 열원 등을 설치하여 주면고정액이 얼지 않도록 조치하여야 함.

<참고자료>

o 동절기 공사 말뚝보양 전경 예시 (외부 -비닐천막, 내부-열원)





■ 질문19. S.I.P.공법에서 천공시 천공심도 결정을 위한 기준으로 전류치를 사용해도 되는가?

<답변>

전류치는 보조적인 수단으로 사용함

<해설>

천공심도 결정은 기초설계자료에 표시된 천공선 위치, 배토된 흙의 슬라임, 장비특성, 굴착시 부하(전류치) 등을 종합적으로 고려하여 결정하여야 함. 전류치는 보조적인 수단으로 사용하며 아래내용을 참고할 것.

- o 일반오거 : 풍화암 상단(50/15)에서의 표준전류치는 100HP시 150-250A정도를 기준으로 관리, 용량은 100HP이상을 사용토록 하고, 특히 밀실한 풍화토 지반에서는 가능한 용량이 큰 오거를 사용토록 할 것.

- o T4 오거 : 전류치로 관리가 곤란하므로 기초설계자료상의 천공선 위치, 배토된 흙의 슬라임 등을 고려하여 관리.

- o 케이싱오거 : 굴착시 케이싱 오거에 의해 굴착용 오거의 마찰력 감소로 동일 전류치에서도 일반오거보다 훨씬 깊이 들어감을 감안 전류치를 일반오거보다 하향 조정하여 관리함이 바람직 함.

현장시공시 기초설계자료에 표기된 위치보다 깊이 들어가는 경우는 **일단 기초설계자료에 표기된 천공선 위치에서 재하시험 시행하여 내력을 확인**하여야 하며, 내력부족시 더깊이 천공하는 방법으로 관리를 하여야 함.

<참고자료>

■ 질문20. S.I.P.공법에서 토층별 천공장비 적용기준은?

<답변>

o 천공장비 적용기준

천공장비 적용의 일반적인 기준은 다음과 같음

- 일반오거 : 일반토층에 적용 (보통 N치 50/15정도 내외까지 굴착 가능)
  * 상부 토층의 구성 및 두께, 장비효율 등에 따라 차이 있음

- T4 오거 : 일반오거로 굴착이 곤란한 토층(풍화암, 밀실한자갈, 호박돌, 전석, 연암 등)이 있는 경우에 적용

- 케이싱오거 : 오거 인발시 공벽이 붕괴되는 토층(모래층, 자갈층 등)이 있는 경우에 적용

<해설>

<참고자료>

o 천공장비 형상

< 오거 > < T-4 > < 케이싱 >