

연약지반 (V-1)

도 덕 현*1
고 재 만*2

5. 연약지반 대책공법

5.1 개설

지금까지는 연약지반의 정의, 거동, 조사시험치의 설계에 적용하는 방법, 연약지반의 기초공 등에 대하여 기술하였으며, 앞으로 2회에 걸쳐 연약지반의 대책공법에 대하여 다루고자 한다. 앞에서 기술한 바와 같이 각종 건설공사 과정에서는 지반이 연약하여 시공상 많은 어려움이 있을뿐만 아니라 공사기간이 장기화되는 동시에 공사비가 크게 증대되는 경우가 많다. 그러나 공사시행상 연약지반의 대책공법이 선결되어야만 하고 이를 위해서는 대상지반의 특성에 대하여 충분히 인식해야 한다. 특히 연약지반을 대상으로 한 공사에서 검토해야 할 사항은 구조물에 발생하는 전침하 또는 부등침하, 기초지반의 지지력 부족으로 인한 성토의 파괴, 성토 또는 구조물의 하중에 의한 측방유동 진동에 의한 기초지반의 액상화 및 이로 인한 침하와 지지력 감소 등이다.

연약지반상에 축조되는 구조물에 대한 대책에는 침하, 안정, 지수 등이 있으며, 지반처리의 기본원리는

- ① 구조물의 접지압을 경감할 목적으로 하는 하중조절 방법

- ② 기초지반토의 성질을 개선, 강화, 지수 등을 목적으로 하는 지반개량공법
- ③ 상부구조물의 하중을 직접 지지할 수 있는 골격형성을 목적으로 하는 지중 구조 있다. (3, 4, 5, 16, 18)

5.2 대책공법의 분류

연약지반대책공법은 관점에 따라 표1과 같이 분류하고, 개량목적에 따라 표 2와 같이 분류하는 경우가 많으며 공법선정기준은 표3을 참고하는 경우가 많다.

이상의 대책공법 중 우리나라에서 많이 적용되는 주요 공법을 요약하여 정리하면 다음과 같다. (6, 7, 8, 9, 19, 22)

5.3 주요 대책공법

5.3.1 표층처리공법

표층처리공법은 지반의 표층부분이 매우 연약한 경우에 적용되고 표층의 강도증가와 균질화를 위하여 중장비의 시공성을 양호하게 함과 동시에 저성토 등에서 생기는 부등침하를 최소화하고자 할 때 많이 적용되고 있다.

그림1은 매립지반 연약점성토지반의 표층처리공법이, 그림과 같은 도로, 철도, 공항 등의

*1 정희원, 건국대학교 농과대학 농공학과 교수

*2 정희원, (주)대동 기술연구소 수석연구원

표 1. 연약지반처리에 대한 여러관점⁽¹¹⁾

분류법	항 목
1) 개량의 동기 : 지반개량을 하는 동기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조물의 규모나 위치를 변경할 수 없어 지반개량이 절대적으로 필요한 경우 ○ 구조물을 급속히 시공하기 위한 응급대책으로 지반개량이 필요한 경우 ○ 연약지반토를 개량해서 사용하는 것이 유리한 경우 ○ 구조물을 위해서 인접지의 지반개량이 요구되는 경우 ○ 기존의 기초나 구조물의 손상부수를 위해서 지반토의 성질을 개선할 필요가 있는 경우
2) 개량의 목적 : 흙의 기본적인 역학적 특성을 고려하는 경우	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지반지지력의 증대 ○ 변형(침하, 용기 등)의 방지 ○ 수압, 투수성의 감소 ○ 내구성의 유지 및 증진
3) 개량의 목표 : 개량공사내용을 시간적으로 고려하는 경우	<ul style="list-style-type: none"> ○ 잠정적 개량(기초 상부 굴착공사를 위한 웰 포인트 공법, 지하수위저하를 위한 과채하중 공법 등) ○ 전이적 개량(본성토에 대한 압성토) ○ 영구적 개량
4) 원 지반을 취급하는 방법	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연약지반토를 치환 ○ 원지반의 환경을 변경 ○ 원지반을 보호 ○ 원지반에 안정처리를 시행
5) 개량하는 지반토의 성질	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사질토와 점성토 ○ 비포화토와 포화토 ○ 천층지반과 심층지반 ○ 자연퇴적토와 인공매립토 또는 성토 ○ 평탄지와 경사지
6) 지반개량의 원리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 밀도증대(다짐, 탈수) ○ 고결화(물리적 반응, 화학적 반응, 전기적 반응)

노상, 노반(철도)재료의 안정처리에도 적용되고 있으나 전자는 대부분이 임시적인데 비하여 후자는 안정처리재가 그대로 영구구조물로 이용되는 점이다.

1) 표층배수공법

공사기간중에 실시하는 배수공과 공사 완성 후에 실시하는 배수공법으로 나눌 수 있다. 또 배수대상에 따라 연약지반 표층부의 트렌치배수공과 압밀공법 등에 대한 샌드매트내의 배수공도 있다.

시공시 지표에 트렌치를 굴착하여 지표수를

배제하고 지반표층부의 함수비를 저하시켜 시공기계의 트래피커빌리티(trafficability)를 확보한다. 성토를 시공할 때는 굴착한 트렌치를 시공중의 지하배수구로서 이용하기 때문에 투수성이 양호한 사질토 등으로 되메운다.

트렌치의 배치는 성토나 굴착의 평면형상의 지표구배, 기존도로등을 고려하여 병렬 또는 바둑판상으로 설치한다. 지하배수구의 간격은 샌드매트층 두께나 투수성에 따라 다르나 일반적으로 5~20m로 하여 트렌치의 일부가 절단되어도 전체의 배수에 지장이 없도록 가능한한 조밀한 간격으로 하는 것이 바람직하다. 트랜

표 2. 개량 목적과 적용지반에 의한 대책공법의 분류⁽¹¹⁾

구분	개량원리	주요 공법	개량 목적	적용 지반	
하중조절	경량화	경량자재	지반의 지지력 향상 지반의 전단변형억제 지반의 침하억제 활동파괴의 방지 시공기계의 트래피커빌리티 확보	점성토 지반 유기질토 지반	
	하중분산	압성토공법			
		침상공법			
		Sheet, Net 공법			
		Sand mat 공법			
표층혼합처리공법	점성토, 유기질토 지반				
지반개량	치환	굴착치환공법	활동파괴의 방지 침하의 감소 지반전단변형의 억제	점성토 지반 유기질토 지반	
		강제치환공법			
	탈수	Preloading		압밀침하촉진 지반의 강도증가 촉진 활동파괴의 방지	점성토 지반 유기질토 지반
		연직배수공법	Sand drain 공법		
			Paper drain 공법		
			Plastic drain 공법		
		지하수위저하공법	Well point 공법		사질토 지반
			Deep well 공법		점성토 지반
	생석회 말뚝 공법				
	다짐	Sand Compaction pile 공법		침하의 감소 액상화의 방지 활동파괴의 방지	점성토, 사질토, 유기질토
Vibroflotation 공법		사질토 지반			
Vibrotamper 공법		점성토, 사질토 지반			
쇄석 pile 공법		사질토 지반			
동압밀 공법					
고결	석회계 심층혼합처리 공법		활동파괴의 방지 침하의 감소 지반의 전단변형 방지 지반의 파이핑 방지	점성토지반	
	시멘트계 심층혼합처리공법				
	분사교반공법			점성토, 사질토 지반	
	동결공법				
지수	약액주입방법		측방유동방지 차수	사질토 지반	
	분사주입방법			점성토, 사질토 지반	
	지수널말뚝공법			사질토, 유기질토 지반	
지중구조	골격형성	체질성토공법	활동파괴의 방지 측방유동방지	점성토, 사질토 지반	
		Pile Cap, Pile Slab 공법		유기질토 지반	

표 3. 지반개량공법 선정시 고려해야 할 조건과 공법선정의 기준 (12)

지반 조건		구조물 조건		시공 조건		환경 조건	
항목	공법선정의 기준	항목	공법선정의 기준	항목	공법선정의 기준	항목	공법선정의 기준
토질	점성토지반	다짐공법의 일부를 제외한 모든 공법이 적용 가능하다.	교통하중에 상응하는 하중 이상의 파쇄중이 효과적이다. 또 지하수의 상승을 차단하기 위해 샌드매트나 지하 배수를 설치하거나 정토나 연약층 상층부의 강성을 높이기 위해 보강토공법이나 표층토질 안정처리공법을 적용하는 것도 효과적이다. 교통신공을 줄이기 위해 생석회 파일공법 등을 적용하는 것도 있다.	공기	공기가 충분하면 특별한 대책을 채용할 필요가 없고 인속재하공법이나 재하중공법으로 충분히 대응할 수 있다. 공기가 어느 정도 길면 적당한 규모의 연직배수공법 등과 연속재하공법을 병용한다. 공기가 짧은 경우에는 다짐공법이나 고결공법 또는 구조물에 의한 공법의 적용을 검토한다.	주변지반의 변형	측방유동, 압밀에 의한 인입 침하, 허빙 등에 의한 주변지반의 변형을 방지하기 위해서는 널말뚝공법 샌드컴팩션 파일공법, 고결공법, 구조물에 의한 공법이 효과적이다.
	이탄지반	진투침하 대책으로써 재하중 공법, 안정대책으로써 압박성토공법이나 샌드컴팩션공법을 적용하고 여기에 연속재하공법을 병용하는 것이 바람직하다. 또 지표에 가까운 부분에 구부적으로 강도가 약한 층이 추정되는 경우는 치환공법이 효과적이다.	부동침하나 측방유동을 정감시킬 목적으로 재하중공법, 샌드컴팩션 파일공법, 고결공법, 하중중점공법 등을 적절하게 조합하여 적용한다.	용지	용지에 여유가 있으면 연직배수공법이나 압박성토공법의 적용이 가능하다.	지하수 변동	지하수 재하공법을 적용하는 경우에는 주변에 미치는 영향을 가능한 한 줄이기 위해 차수벽, 물의 제위임 공법의 병용을 검토한다. 또 고결공법 등에서는 지하수의 차단에 따르는 영향을 사전에 충분히 체크해 두어야 한다.
연약	얇은 경우	간단한 표층처리공법이나 굴착처리공법을 적용한다. 모래층의 경우에는 둔얇은 연약층이나 재하중공법이 적당하다.	진투침하 대책으로써 재하중공법, 단면의 여유 확보, 캠버 등을 시공한다.	대체공법에 이용하는 재료의 수의 용이	샌드매트공법, 성토재하중공법, 샌드레이프공법 등에서는 재료로 사용하는 모래나 성토재료를 쉽게 얻을 수 있는지의 여부가 중요하다. 또 치환공법에서는 굴착토의 사토장 확보, 성토 재하중공법에 사용하는 사용후 재료의 전용가능성을 검토해 두어야 한다.	지하수의 오염	석회파일공법, 약액주입공법 등에서는 지하수의 오염에 유의한다.
	두터운 경우	침하대책으로써 연직배수공법이나 재하중공법, 안정대책으로써 압박성토공법, 샌드컴팩션 파일공법, 고결공법 등을 적용한다. 구조물의 중요도에 따라서는 구조물에 의한 공법도 검토한다. 어떠한 경우에는 표층처리공법은 필요하다.	구조물 및 제방 등	시공 심도	시공가능 심도는 굴착처리공법에서 3m 이내, 강체처리공법에서 7~10m 이내, 연직배수공법이나 샌드컴팩션 파일공법, 고결공법 등에서 20~30m이다.	시공중의 소음·진동	샌드컴팩션 파일공법, 동압밀공법과 같은 다짐공법이나 연직배수공법의 일부에서는 시공중의 소음, 진동이 큰 것이 있으므로 적용장소가 한정된다.
지반구성	지반이 경사진 곳	안정대책에 특히 유의해야 하며 샌드컴팩션 파일공법, 고결공법 등을 적용한다. 연약층이 많은 경우에는 굴착치환공법이 효과적이다.	조절지 및 제방 등	시공기계의 트래커, 래피커, 빌리터	모든 공법의 채용시에는 시공기계의 트래커, 빌리터 등을 확보하기 위해 표층처리공법이 필요하다.	공사용도로의 교통혼잡 등	대량으로 흙을 운반해서 시공할 경우에는 교통혼잡을 일으키지 않고 흙의 운반이 가능한 공사용 도로를 확보하는 것이 중요하다.

치는 폭 0.5m, 심도 0.5~1.0m 정도로 하는 것이 일반적이다.

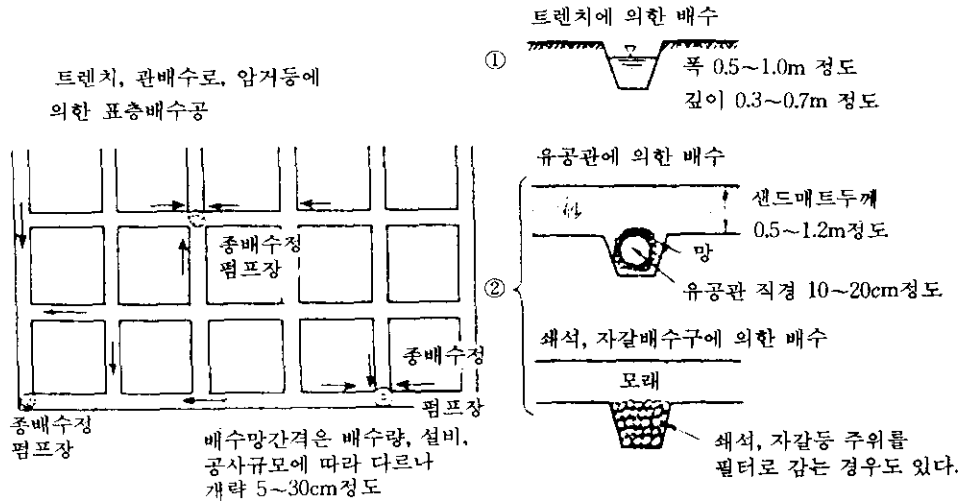


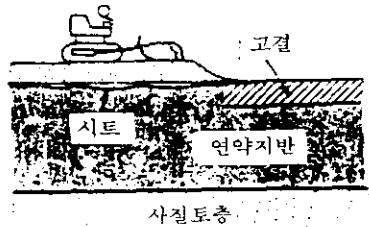
그림 1. 표층배수공법

2) 표층 혼합처리공법

연약한 표층의 점성토에 석회계, 시멘트계, 석고계 등의 첨가재를 혼합하여 안정처리하고 중장비의 트래피커빌리티 확보, 저성토 기초, 도로노상부의 개량 등을 하는 것이다. 첨가재와 혼합법의 결정에 대해서는 흙의 물리·화학 특성, 다짐특성, 강도특성 등 및 시공성, 재료

의 공급, 환경, 시공시기 등에 대해서 충분히 검토해야 한다. 일반적으로 모래의 함유량이 많을수록 첨가재가 유효하지만 유기물이 많이 함유된 흙은 효과를 기대할 수 없는 경우가 많다. 가장 적절한 첨가재의 종류와 첨가량에 대해서는 사전에 시험배합을 하여 결정한다.⁽¹⁴⁾

㉔ 매립지반, 진입도로, 가설안정처리



㉕ 도로, 철도, 공항의 노상, 노반의 안정처리, 영구구조물 (석회, 시멘트안정처리)

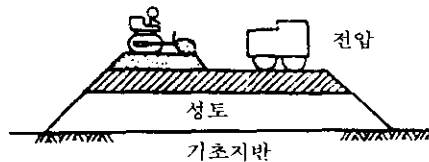


그림 2. 표층처리공법

연약지반상에서 대형기계를 사용하여 첨가재를 혼합하는 것은 일반적으로 곤란하므로 안정처리의 가능 두께도 0.5~1.0m 정도로 제한된다. 첨가재에 의한 안정처리는 가급적 심층까지 균일하게 혼합하여 동일한 단위중량으로 개량하는 것이 중요하다.

이밖에 sheet, net에 의한 표층처리공법이 최근 많이 활용되고 있다.^(8, 11, 12)

5.3.2 치환공법

치환공법은 연약지반토를 양질토로 치환하는 것이므로 시공적으로는 확실하지만 중요한 것은 심도, 폭, 단면형상, 재료, 경제성 등이 합리적이고 치환 후의 토성이 소요효과를 만족시켜야 하는 것이다. 공사기간은 단축할 수 있으나 양질의 토사확보 및 사토처리가 곤란한 경우에는 공사비가 많이 소요되며, 주위 환경조건에의 제약으로 채용이 어려운 경우도 있다.⁽¹⁰⁾

1) 굴착치환공법

연약지반토의 일부 또는 전부를 굴착제거한 후 양질의 토사로 치환하고 저성토 노면의 변형이나 치환성토상에 시공하는 성토 또는 구조물의 침하를 감소시켜 장기간에 걸쳐 안정을 도모하는 공법이며, 구조물의 안정조건에 맞추는 경우와 굴착수단에 의한 경우로 나눌 수 있다. 연약지반에서는 지하수위가 높고 지표의 지지력이 작으므로 드레그라인, 슬렉라인, 드레그스크레이퍼 등의 굴착기계나 샌드펌프 등의 준설기계를 사용하는 것이 유리하다. 이 경우 굴착깊이는 도로나 철도 등의 성토 등에서는 3m정도를 일단 경제한도로 하고 있지만, 간척제방등에서는 준설선동의 성능에 따라 10~20m정도의 깊이까지 굴착치환이 가능하다.

양질의 토사선정은 성토고, 연약층의 두께, 구조물의 종류 및 지하수위 등을 고려하여 재료로서 가급적 배수성이 양호하고 장래 지하수위 이하가 되더라도 충분히 지지력을 확보할 수 있는 모래, 자갈 그 외의 조립토를 선택하는 것이 바람직하다.

시공시에는 굴착토를 성토상에 방치하지 말고 굴착과 동시에 연약토를 반출사토한다. 또 굴착부의 경사면의 붕괴를 막기 위해 굴착의 진행에 따라서 조속히 치환재료를 반입하는 것도 중요하다. 또한 구조물에 근접하여 치환할 때는 특히 굴착경사면 보호를 위한 토류벽 등의 처리를 해야한다.

2) 강제치환공법

성토의 자중에 의해 연약층을 강제적으로 밀어내거나 연약층에 폭약을 설치하여 폭파에 의해 연약층을 밀어내고 양질의 성토재료로 치환, 성토의 침하를 감소시키고 안정을 확보하는 공법이다.

성토의 자중에 의해 연약토를 측방으로 밀어내어 양질의 성토재료로 치환하는 자중치환공법이 있으며, 이는 성토의 측방으로 압출된 연약토는 제거하거나 압성토로 방치하여 이용하는 경우도 있다. 연약층의 압출을 촉진 조장함과 동시에 성토사면의 잔류침하를 적게 하기 위해서는 측방용기도를 제거할 뿐만 아니라 적극적으로 성토측방부를 굴착제거하면 된다. 또 연약층 중에 사수를 하여 지반을 연화하거나 성토에 자중이상의 여성을 하는 것도 연약층의 압출촉진 효과가 있다.

한편 지반개량공법 선정시 고려해야 할 조건과 공법 선정의 기준은 표 3과 같다.

3) 폭파치환공법

연약층내에 폭약을 설치하여 폭파에 의해 연약층을 밀어내는 공법이며, 이탄지반에 효과적이나 특히 느슨한 사질토지반의 경우에는 폭파에 의한 연약층의 다짐효과도 기대할 수 있다.

그러나 치환공법은 강제적으로 연약토와 성토를 치환하므로 완성된 성토가 균일하게 양호한 다짐이 된다는 보장이 없고 또 성토재료가 부족한 현장에는 부적당하다. 따라서 표4와 같은 치환공법의 문제점이 있다.

표 4. 치환공법에 관한 문제점

공법	문제점
전체굴착	일반적으로 연약층의 심도가 3m 이상되면 곤란하며 굴착토의 처리, 굴착부위의 사면안정, 굴착방법, 양질의 반입 등의 문제가 있다.
부분굴착	연약층의 심도가 깊은 경우 지지력보강대책으로 사용되며 문제점은 전체굴착공법과 동일하며 적정치환심도를 결정하는 것도 중요하다.
성토에 의한 자연압밀	치환심도를 정확히 결정하기 어려운 것이 큰 결점이며 시공시에는 효과의 확인이 필요하다.
흡입펌프에 의한 굴착치환	수면하의 연약지반토굴착에 이용된다. 굴착심도가 균일하게 되기 곤란하므로 시공관리를 철저히 해야한다.
폭파에 의한 치환	폭약을 사용하는 것이므로 장소에 따라서 제약을 받고 토성에 따라 폭약사용량을 조절해야 하며 시공효과에 대한 확인이 필요하다.

5.3.3 탈수공법

1) 지하수위 저하공법

투수계수가 작은 점토지반의 지하수위를 저하시키는 것은 일반적으로 곤란하지만, 도중에 모래나 자갈층과 같은 얇은 층이 존재할 때 배수층으로 잘 이용하면 매우 광범위하게 지하수위를 저하시킬 수 있다. 투수성이 좋은 사질지반이나 니탄질지반의 배수는 용이하지만 도로에 점성토층이 존재할 때 특별한 주의를 요하므로 배수공법의 적용에 있어서는 사전에 충분한 토질조사를 해 두는 것이 필요하다.

(1) 중력배수공법

집수장 배수공, 암거 배수공 및 깊은 우물공 등이 포함된다. 집수장 배수는 굴착저면의 물을 집수정이라고 부르는 집수장소에 자연유입시켜 수중펌프 등을 사용하여 배수시키는 것이다. 굴착의 진행에 따라 집수정을 순차적으로 파내려가는 것보다 깊은 우물을 당초부터 최종 굴착 저면까지 굴착하는 것이 유리하다. 암거 배수공은 그림 3에 나타낸 것과 같이 굴착저면에 트렌치를 미리 시공하여 사전에 지하수위를 저하시킨 후 굴착을 진행하는 공법이다. 그림

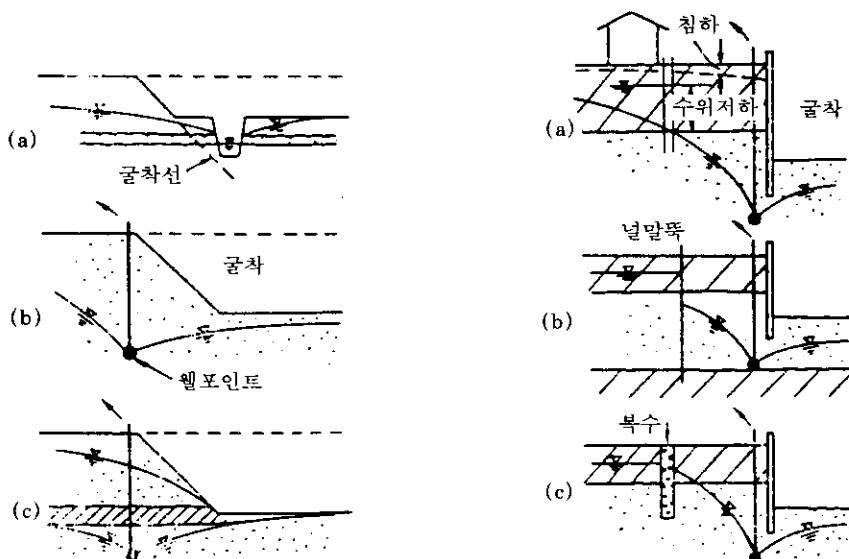


그림 3. 배수방법 및 지하수위저하대책

과 같이 모래층 등의 배수층이 존재할 때는 넓은 범위의 지하수위를 저하시킬 수가 있어 유리하다. 암거배수에는 유공관을 사용하는 지하 배수구가 포함되어 있어 지하수위를 저하시키는데 광범위하게 사용된다.

2) 연직배수공법

(1) 특징 및 시공범위

연약지반상에 축조물을 재하한 경우에는 재하압력을 받아 연약층의 압밀이 진행되어 강도가 증가한다. 그러나 압밀에 필요한 시간은 연약층의 배수거리의 제곱에 비례하기 때문에 연약층의 두께가 크면 압밀에 장기간이 소요된다. 압밀시간을 단축시키기 위해서는 배수거리를 짧게하는 것이 가장 효과적이므로 연약층에 연직방향으로 많은 배수기둥을 설치하여 수평방향의 배수거리를 단축시키고 배수기둥을 통해서 배수하여 압밀을 촉진시키는 공법이 연직 배수공법이다. 따라서 연약지반층이 투수계수가 낮은 점토층으로 구성되어 있으면 매우 효과적인 공법이다.

연직배수공법은 연직배수기둥에 사용하는 재료에 따라 샌드드레인과 카드보드(card board) 또는 플라스틱(plastic board)을 사용한 페이퍼드레인으로 나눌 수 있다. 페이퍼 드레인은 샌드드레인에 비해 시공능률이 크므로 공기를 단축할 수 있고, 재질이 일정하고 공급이 안정되어 있어 경제적이다 할 수 있으며 프리패브 드레인(pre-fab drain) 또는 심지드레인(wick drain) 등 다양하다.

(2) 시공범위

연직배수의 시공범위는 대상으로 하는 축조물의 안정성 보다는 소요 강도증가의 범위에서 결정되며, 연직배수의 시공심도는 침하속도와 강도증가 속도 및 축조물의 시공 후에 잔류침하량의 허용한도에서 요구되는 범위까지로 한다. 연직배수의 효과는 재하압력에 따라 발휘되는 것으로 재하범위 외에 샌드파일 이나 카드보드를 사용하더라도 그다지 의미가 없다. 또 부분재하를 받는 기초지반에서는 재하면의

단부 부근의 연약층은 큰 전단응력을 받게 되므로 재하와 동시에 현저한 형상변형을 일으켜 효과적인 압밀을 연직배수에서 기대할 수 없는 경우가 많다. 샌드파일의 깊이는 일반적으로 20m 정도가 한도여서 그 이상이 되면 시공이 곤란해지고 또 공비도 급격히 증가한다.

3) 프리로딩공법

연직배수를 시공한 연약층에 압밀을 일으키게 하는 것은 연약층에 가해지는 재하압력이다.

도로, 철도 또는 제방 등과 같이 축조물 자체가 굴곡성인 성토의 경우는 안전하게 소정의 높이까지 성토를 시공할 수가 있다면 시공중 또는 시공후의 침하가 매우 크더라도 특별히 지장이 없으므로 재하중으로는 성토자체를 이용할 수가 있다. 이에 대해서 건축, 호안 등과 같이 축조물이 강구조인 경우에는 시공중에 큰 침하를 허용할 수 없으므로 프리로딩공법에 의해 사전에 성토하중 등을 이용하여 압밀시킨 후 성토를 굴착제거하여 구조물을 시공하고 구조물 시공개시 후의 안정을 유지함과 동시에 잔류침하량을 구조물에 대한 허용량 이하로 해야한다. 제거된 성토의 유용이 곤란한 경우는 진공공법 또는 웰포인트공법 등에 이용하면 경제적이다.⁽²⁾

성토의 시공속도는 완속시공법의 경우와 같다. 즉 원지반의 초기강도에 의해 재하할 수 있는 성토를 1단계 시공하고, 압밀에 의한 강도증가를 기다려 다음 단계의 성토를 하는 것이다. 단, 이 경우 샌드파일을 타설함에 따라서 지반의 교란과 강도의 저하 또는 간극수압의 발생 등에 대해 충분한 고려를 해야 하며 부분재하를 할 경우에는 소성변형의 영향도 검토하여 충분히 안전한 설계를 하는 것이 중요하다.

또 지반 내에 있는 흙은 선행압밀을 받고 있는 경우가 많으므로 선행압에 이르기까지의 하중은 지반의 강도증가에 거의 영향을 주지 않는 점 등도 잊지 말아야 한다.

4) 샌드드레인 및 페이퍼 드레인

(1) 원리

샌드드레인 또는 페이퍼 드레인 공법은 지반의 압밀에 의해 모인 간극수를 조속히 배수할 수 있는 통수단면을 가져야 한다. 샌드파일은 직경이 너무 크면 설치가 곤란해지고 반대로 너무 작으면 도중에 파일이 절단되거나 측면에서 세립토가 침입하여 배수불량이 되는 경우가 많으므로 종래는 주로 시공면에서 직경 30~35cm의 샌드파일을 사용하기도 하였다.⁽²⁰⁾

투수성이 양호한 모래의 확보가 용이하지 않기 때문에 샌드드레인의 공사를 차지하는 비용이 큰 요소가 되고 있다. 동일한 압밀효과를 갖도록 설계할 경우, 사용모래량에서 보면 간격을 좁혀 사용분수를 늘려도 직경을 작게 하는 것이 경제적이다. 이 때문에 가늘어지거나 절단되어 도중에 배수능력을 상실하는 위험을 제거하기 위해 단단한 특수포대에 모래를 채워 직경 12cm 정도의 샌드드레인공법도 이용되어 왔다. 또 모래 대신에 입경 38.1mm 이하, 74 μ 체 통과량 5% 이하의 잡석을 사용한 예도 있다.

페이퍼드레인에 사용하는 카드보드는 일반적으로 두께 3mm, 폭 100mm를 대상 원지반 속에 세로방향으로 연속된 10개의 통수공을 설치한 것으로 압밀배수에 대해서는 카드보드의 폭을 적당히 조절하여 직경 5cm의 샌드파일과 같은 효과를 가지도록 설계하는 경우가 많다. 카드보드는 지반의 압밀에 따라 좌굴하거나 재질의 변화에 따라 특수능력이 극단적으로 저하되는 일이 없도록 특히 주의해야 한다.

최근 카드보드는 그 재질상 투수성, 강도를 포함한 내구성에 난점이 있다고 하여 여러가지로 개량이 되고 있으며, 고분자 재료를 소재로 한 배수재가 개발되어 실용에 이용되고 있다.

샌드파일의 간격은 압밀시간과 그 시간까지에 도달된 압밀도에 따라 결정된다.

성토를 몇 층으로 나누어 시공할 경우, 각 단계마다 압밀도를 너무 크게 하면 압밀에 필요한 시간이 많이 소요되고, 그 반대일 경우에는 각 단계마다 성토증가고가 작아진다. 일반적으로

로는 80~90% 정도를 각 단계의 압밀도로 하는 경우가 많다. 샌드파일의 간격은 샌드파일을 시공한 연약층의 압밀도 U_k 가 소정의 값에 도달하기까지에 필요한 시간 t 를 다음식으로 구할 수 있다.

$$t = \frac{T_k}{C_{v\alpha}} \cdot d_v^2 \quad (1)$$

여기서,

T_k : 방사류의 경우 압밀도, U_k 에 대응하는 시간계수(그림 4 참조)

$C_{v\alpha}$: 연약층 흙의 수평방향 압밀계수, 일반적으로는 표준압밀시험에서 구한 수직방향압밀계수, C_v 값

d_v : 샌드드레인의 유효지름으로 샌드파일 1본당 물의 집중범위를 직경 d_v 의 원통형으로 치환한 값이며 샌드파일의 중심간격을 d 라 할 때 유효경 d_v 와의 사이에는 다음 관계가 있다.

정사각형 배치일 때 $d_v = 1.13d$

정삼각형 배치일 때 $d_v = 1.05d$ (2)

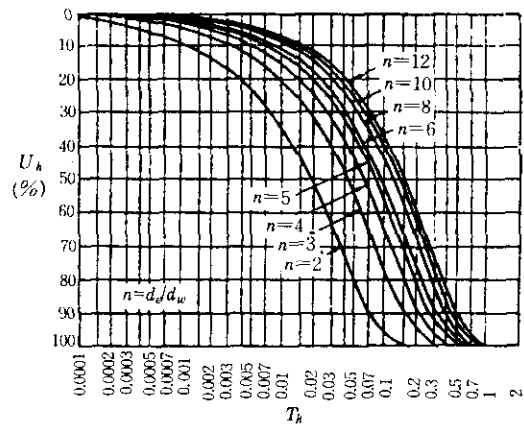


그림 4. U_k 와 T_k 의 관계⁽¹⁶⁾

연직배수를 시공한 지반의 압밀도 U_k 와 시간계수 T_k 의 관계는 유효경 d_v 와 파일직경 d_w 의 비 $n = d_v/d_w$ 에 따라 달라지고 그림 4에 나타난 것과 같다.

또 원 식에서 주어진 압밀시간은 샌드파일을 향한 수평방향의 배수에 의한 압밀만을 고려한

것이다. 실제로는 이 외에 수직방향을 향한 배수에 의한 압밀도 동시에 진행되므로 시간 t 에 있어서의 연약층 전체의 압밀도 U 는 같은 시간에 대한 수평방향의 압밀도 U_h 와 동시에 수직방향의 압밀도 U_v 를 구하여 계산한다.

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v) \quad (3)$$

그러나 일반적으로 샌드파일의 간격에 비해 연약층의 두께가 크므로 수직방향의 압밀을 무시해도 되며 그 차이는 미소하기 때문에 실용적으로는 안전측의 결과를 준다. 카드보드드레인의 경우도 카드보드의 직경 d_w 를 5cm(또는 3.3cm)로 하여 샌드드레인과 같은 순서로 적절한 간격을 구할 수가 있다.

(2) 설계, 시공상의 유의점

① 모래말뚝

모래말뚝은 연약층에서 압밀탈수된 간극수를 장기간 집수하여 배출하는 통로의 역할을 하는 것이다. 따라서 필터로는 장기간 효과를 발휘할 수 있는 재료로 채워야 한다. 이 때문에 입도는 적어도 중량백분을 15%의 입경 D_{15} 가 모래말뚝에 접하고 있는 연약층의 가장 굵은 흙의 입경 D_{15} 의 4배 이상의 크기이고 또 모래말뚝에 접하고 있는 연약층의 가장 세립인 흙의 입경 D_{85} 의 4배 이하가 바람직하다. 그러나 이와같은 입도의 재료를 구입하기 어려운 경우는 투수성이 양호한 모래이면 모래말뚝 재료로서 사용해도 지장이 없다.

② 모래말뚝의 설치

모래말뚝을 설치할 때 연약층의 토질, 모래말뚝의 지름, 간격 및 길이 등을 고려하여 시공능률이 양호하고 또 모래말뚝의 설치시에 주변의 흙을 교란시켜 투수성이나 강도의 저하가 적은 방법을 선택해야 한다. 모래말뚝은 샌드드레인의 가장 중요한 부분이기 때문에 시공시 절단된 곳이 없도록 소정의 깊이까지 확실하게 설치하는 것이 중요하다. 이 때문에 시공시 다음과 같은 점에 유의하여, 가능하면 시공전에 시험시공을 실시하여 직접 작업에 종사하는 사람에게 대해 주지시켜 두는 것이 바람직하다.

가) 설치위치는 모래말뚝의 타설예정 위치

에 빨간말뚝, 타설이 완료된 위치에는 파란말뚝을 박아 설계서에 표시된 대로 의 간격으로 모래말뚝이 설치될 수 있도록 한다.

나) 타입 방향과 타입심도는 맨드렐의 가이드가 항상 수직으로 유지시킨다. 만일 가이드가 조금만 기울어져도 지반 심부의 파일위치에 큰 오차가 생긴다. 파일의 타설깊이는 시방서 등에 정해져 있는데 모래층, 자갈층 등의 연약층 기반까지 모래말뚝을 타입하는 설계인 경우에는 설계심도를 확인하는 의미에서 파일의 타입 마지막 양을 규정하여 확실하게 자갈층까지 타입한다.

다) 타입속도와 인발속도는 타입속도를 빨리 할 수가 있으나 맨드렐의 인발속도는 모래의 충전 및 송풍 등의 속도와 관련하여 충분히 여유를 둔 속도로 파일이 끊어진 곳 없이 시공할 수 있도록 주의 를 기울인다.

라) 모래의 충전과 모래양의 관리는 벨트컨베이어로 연속적으로 투입하는 방법과 1회의 투입량과 일단 버킷에 넣어서 양을 잰 후 버킷으로 투입하는 방법 등이 있는데 모래양을 확실하게 확인하기 위해서는 후자의 방법이 좋다.

③ 카드보드의 설치

모래말뚝에 비해 카드보드의 설치간격은 일반적으로 작은 경우가 많으므로 설치 간격은 특히 신중하게 관리해야하며 이를위해 설치시 기준선을 넓혀서 충분한 규정을 함과 동시에 설치를 끝낸 카드보드는 샌드매트상면보다 약 30cm 위쪽으로 절단되어 있기 때문에 타설위치 간격 및 본수를 확인해 둔다.

또 카드보드 설치장비에 있어서는 카드보드를 정확히 설치하지 않아 도중에서 맨드렐만이 삽입되거나 설치한 카드보드를 맨드렐 인발시 중도에서 뽑혀지는 경우가 있기 때문에 확실하게 카드보드가 설치되었는지 카드보드 사용량을 항상 체크해야한다.

④ 성토

성토의 단계에서는 지반에 발생하는 침하, 성토측방 지반의 융기 혹은 연약층의 간극수압 등을 측정하여 예정된 압밀이 이루어져 성토의 안정성이 항상 확보되고 있는지 어떤지 충분히 확인해 두는 것이 중요하다.

모래말뚝 타설시 연약지반을 교란시키거나

성토에 의해 큰 소성유동을 일으키기 때문에 모래말뚝이 절단된 곳이 있거나 소요압밀이 이루어지지 않았음에도 불구하고 성토를 계속하여 큰 사고를 초래하거나 과도한 부등침하를 잔류시키는 경우도 많다.

한편, 배수공법은 표5와 같은 문제점이 있다.

표 5. 드레인 공법의 문제점

문제점이 있는 장소	문제가 되는 사항
1. 이론에 직접 관련되는 사항	1) 지반의 불균일성 2) 퇴적층의 방향성 3) 압밀시험곡선과 이론곡선의 불일치
2. 압밀계산에 필요한 여러가지 수치의 결정방법	1) 압밀층과 배수층의 구분을 결정하는 기준 2) 압밀시험으로부터 구한 체반 수치의 정밀도 3) 성토하중, 상재하중, 유효하중 등의 계산치의 정밀도 4) 하중분포 산정의 적합성
3. 드레인의 조성	1) 모래 기둥의 연속성 2) 모래기둥 주변오염과 단면이 일정하지 않음. 3) 주변토층의 교란(강도저하, 투수성 감소)
4. 압밀촉진효과의 판정방법	1) 계산치와의 비교치로 효과 판정 2) 측방유동에 의한 침하 추정 3) 간극수압을 정확히 측정

위 표에서 드레인 조성에 대한 문제는 시공 장치, 계기에 관련된 것이며, 공법자체의 문제이다.

5) 대기압 재하공법

그림 5는 저성토의 재하와 동시에 대기압을 재하하여 구조물 시공을 위해 선행하중효과를 주는 사례이며, 연직배수를 시공하고 필터층인 샌드매트내에 경질염화비닐 파이프를 이용한 흡입관을 부설한 후, 그 표면을 기밀막으로 입혀 어디에서도 공기가 유입되지 않도록 한다. 그리고 진공펌프를 이용하여 공기를 배제하면 막의 내외에 기압차 $-u_s$ 가 생기므로 그 양만큼 하중이 되어서 지반에 재하된다. 이 공법에서 등방응력의 증가에 따라 압밀이 진행되므로 지하수위 저하공법과 같이 전단응력의 증가가 없기 때문에 지반에 활동 파괴가 일어나지 않는 장점이 있다.^(1, 21)

진공펌프를 사용하지 않는 대기압 $-u_s$ 는 일반적으로 $5\sim 6t/m^2$ 이므로 가급적 높은 대기압을 확보하기 위한 기밀막의 설치와 유지에 유의할 뿐 아니라 대수층을 통해서 주변에서 대량의 지하수가 유입 할 때에는 기대한 부압이 얻어질 수 없으므로 사전에 충분한 토질조사를 하여 연직배수로나 누수벽의 필요성 등을 검토해야 한다.

대기압 재하(또는 지하수위의 저하)는 이상과 같이 압밀을 촉진시켜 선재하(또는 여성)의 효과를 지반에 줄 뿐 아니라 성토자체의 안정에도 좋은 효과가 있다.

현재 K_0 압밀상태에 있는 지반내의 임의 위치에 어떤 흙요소의 초기응력이 그림 6에 나타난 응력경로의 a 점으로 표시된 σ_{m0} , σ_{z0} 였다고 하면 지반상에 소정의 높이까지 성토를 함에 따라서 흙요소의 이방응력이 생기고, $\Delta\sigma_n$, $\Delta\sigma_z$

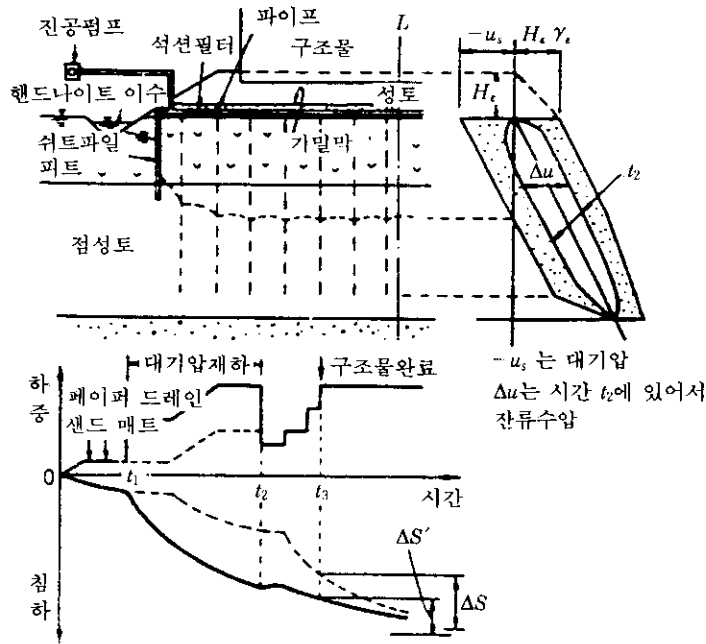


그림 5. 대기압 재하공법

의 응력 증가가 보인다고 하면 전응력은 a점에서 b점으로 변한다. 이 이방응력의 증가에 따라 과잉간극수압 Δu_e 가 발생하게 되지만, 재하중 배수가 되므로 성토가 소정의 높이에 이르렀을 때의 잔류과잉간극수압이 Δu 였다고 하면 유효응력 경로는 ac로 표시되고 c점에서 파쇄선 K_f 와 교차할 때 흙요소는 전단파괴를 일으킨다.

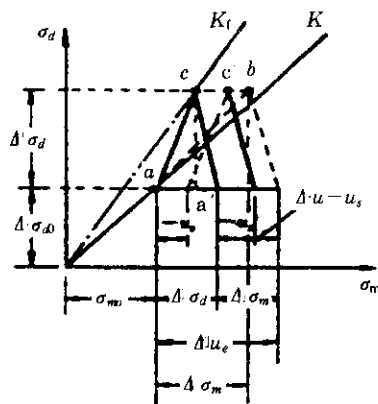


그림 6. 대기압이 성토 안정에 미치는 효과

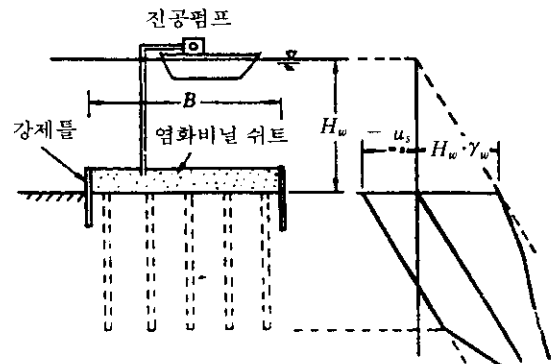


그림 7. 해저에서의 대기압 재하공법의 예

만약 성토의 재하와 동시에 대기압 $-u_s$ 가 재하 되었을 때는 성토가 소정의 높이에 이르렀을 때의 과잉간극수압은 $\Delta u - u_s$ 로 표시되기 때문에 유효응력의 경로는 $aa'c$ 로 나타내지고 흙요소의 파괴에 대하여 충분한 안정성이 확보될 수 있다.

이 공법을 해저 등의 연약지반에 적용했을

때는 그림 7과 같이 대기압 $-u_w$ 뿐만 아니라 수심 H_w 에 의한 수하중 $H_w \cdot \gamma_w$ 는 지표면의 재하압력이므로 재하의 면적 또는 폭 B에 의해 심부의 응력이 저하함에 주의해야 한다.

이밖에 생석회 말뚝 공법도 탈수공법의 원리를 이용한 것이다.

6) 강제배수공법

강제배수공법으로 가장 많이 쓰이는 웰포인트공법은 굴착부분의 양측 또는 주변에 웰포인트를 설치하여 지하수를 양수하여 지하수위를 저하시키는 것이다.

특히 주의할 점은 불투수 점성토층이 있는 지반에 웰포인트공법을 적용했을 경우 점성토 상층의 상부지하수에는 웰포인트가 효과가 없으므로 웰포인트를 하고 나서도 굴착사면의 붕괴를 막을 수가 없었던 예도 있다.

연약지반의 지하수위를 저하시킴으로서 굴착작업이 용이하며, 투수성이 양호한 사질지반에서는 건조작업이 가능해진다. 굴착토를 성토로 사용할 경우 흙의 함수비를 저하할 수 있으며 굴착토를 사토할 때도 작업이 용이하다. 굴착사면의 간극수압을 저하시키고 점성토 지반에서는 사면의 활동과파나 굴착면에 생기는 히빙을 막고 토류벽 등에 작용하는 과대토압을 억제한다. 또 사질지반에서는 보일링 또는 킷샌드나 파이핑등에 따른 사면의 변형을 방지한다. 수위저하에 따른 재하중 증가에 의해 보다 아래의 연약층의 압밀을 촉진시킬 수 있으며 성토 아래의 지하수위를 저하시키면 연약한 사질지반의 지진시에 생기는 액상화를 방지할 수 있다.

5.3.4 다짐공법

1) 사질지반의 일반적 다짐공법

느슨한 사질토지반은 지표면에서 진동이나 충격하중을 가하여 다지는 것이 다짐효과가 크다. 바이브로플로테이션을 이용하여 다짐할 때 지면 지표에서 약 2m 깊이까지 유효하며, 탬퍼를 강화시키면 4m심도까지의 효과가 있는 것

으로 알려져 있어 건축구조물등의 기초지반개량에 이용되는 경우가 많다. 또, 개량범위를 깊게 하기 위해서는 지표면에 큰 충격하중 등을 주면 좋다. 동압밀공법은 중량 10~20t, 저면적 2~4m²의 철풀을 10~30m 높이에서 낙하시켜 그 충격력에 의해 지반을 다지는 것이다. 진동의 영향이 주변에 넓게 미치게 되므로 환경조건 등에 따라 적용이 한정되지만 임계매립지의 탱크기초 및 그 외의 대책공법으로 이용되고 있다.

느슨한 사질토지반을 다지는 방법은 지반에 봉상의 진동기를 넣어 진동부분에서 물을 분출하면서 지반을 진동시켜 진동수 물다짐 효과에 따라 지반을 다지는 공법이다. 이 진동다짐 공법중 바이브로플로테이션공법은 수평방향의 진동을 이용하고 있지만 십자 바이브로공법 등은 상하방향의 진동을 이용하고 있다. 모든 공법도 지하수위의 고저에 영향을 받지 않고 시공할 수 있고 일반적으로 짧은 공기로 지반을 균일하게 다져 지내력을 증가시켜 모래지반의 액상화를 방지한다. 그러나 시공이 가능한 지반의 N값은 20정도까지이고 개량깊이는 모두 8m 정도로 제한된다.

또한 해머낙하공법에서는 기계의 대형화가 이루어지고 있으며 폐기물지반을 개량하는 사례도 증가하고 있다.

이 공법의 효과는 지반을 구성하는 흙의 입도와 밀접한 관계가 있으며 그림 8은 이공법의 적용범위를 나타낸 것이다. 그림 중에 최소 N치는 정삼각형 배치에서 다짐 경우의 세 개의 관입점에서 가장 먼 동심위치에서의 표준관입 시험의 타격회수이다.

최근 대규모 매립지반이나 시가지 주변에서 시공할 수 있는 디프 바이브로(deep vibro)공법이나 쇠석드레인공법과 같은 새로운 다짐공법과 시공관리의 시스템개발이 되고 있다.

디프바이브로공법은 바이브로 플로테이션공법과 같이 룯드의 선단을 진동시켜 다지는 공법으로서 기진력을 대폭 증가시킬 수 있다.

쇠석드레인공법은 날카로운 봉으로 쇠석을

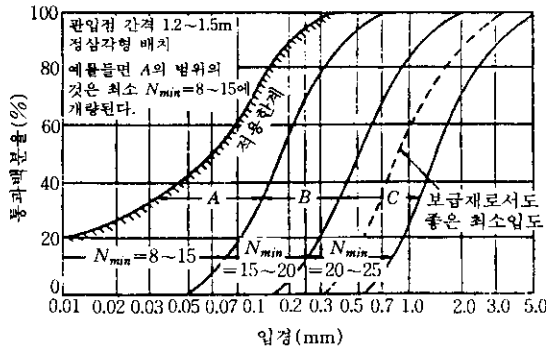


그림 8. 원지반의 입도와 다짐후의 최소 N치의 관계

다져서 조밀한 드레인 기둥을 형성시키는 동시에 주변지반을 N치 10정도의 고밀도로 다질 수 있는 저진동·저소음의 배수공법으로서 최근 개발되고 있다.

2) 샌드컴팩션 파일공법

(1) 공법적용

이 공법은 진동(컴포저공법) 또는 타입(샌드컴팩션 파일)에 의해 진동하중을 이용하여 연약지반속에 모래를 압입하여 직경이 큰 압축된 모래기둥을 조성함과 동시에 모래기둥 주변의 지반을 다짐하여 개량하는 공법이며 각 지반에 대한 적용효과는 다음과 같다.

느슨한 모래 또는 사질토지반에 대해서는 진동에 의한 모래의 진동압입에 의해 지반을 한계간극비 이하로 다짐할 수가 있고 지진시나 진동시의 액상화를 방지할 수 있으며 다져진 모래기둥과 함께 지반의 전단강도를 증가시켜 기초의 지지력을 향상시키는 동시에 전침하량을 억제하고 불균질 지반을 균일하게 하여 부등침하를 감소시킬 수 있다.

점성토지반에 대해서는 모래의 진동압입에 의해 직경이 큰 모래기둥이 조성되어 복합지반이 형성되므로 지반의 전단강도가 증가하고 지지력의 증가, 활동과피의 방지에 필요하고 또 전침하량, 부등침하량의 감소에도 기여할 수 있다.

해성지반과 같이 사질토에 가까운 점성토로

구성되고 얇은 모래층이 끼인 지반 또는 점성토층과 사질토층의 토층으로 구성된 지반에서는 거의 사질토지반과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

(2) 샌드 컴팩션 파일의 설계

① 사질토의 경우

직경 30~50cm의 케이싱을 연약지반의 지지력 개량목표에 따라 1.2~2.0m간격으로 타입하여 진동 또는 충격에 의해 모래를 연약층속에 압입하여 직경 60~80cm의 모래기둥을 시공한다.⁽²³⁾ 사질토로는 지반 내에 압입된 말뚝의 모래와 같은 체적만큼 지반이 압축되므로 이 체적에 해당하는 밀도의 증가와 이에 따른 지반의 강도증가가 모래의 압입과 동시에 이루어진다.

설계시에는 그림9의 N_0-N_1 관계를 이용하여 원지반의 N 값 N_0 와 요구되는 개량후의 말뚝간 N 치 N_1 에서 필요로 하는 모래의 압입률 a_s 를 구한 후 모래말뚝의 간격 d 를 1.2~2.0m로 가정하여 다음 수식에서 모래말뚝의 배치에 대응하는 말뚝지름 d_s 를 구한다.

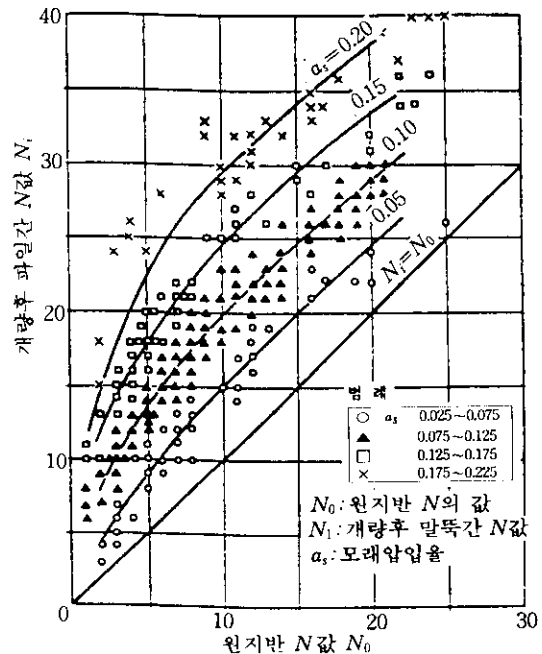


그림 9. 사질토 N_0-N_1 의 관계

$$a_s = C(d_s/d)^2 \quad (4)$$

여기서, C : 0.785(정사각형 배치), 0.907(정삼각형 배치)

② 점성토의 경우

점성토로 된 연약지반에 샌드콤팩션파일공법을 시공할 경우에는 타설간격을 일반적으로 1.2~1.6m 정도로 취하는 것이 보통이지만 사질토와 같이 순간적으로 달성되는 개량효과를 기대하는 것은 무리이다.

사질토의 경우는 투수성이 크므로 충격 또는 진동으로 모래를 압입함과 동시에 압입모래량에 의한 체적압축을 생기게 할 수가 있지만 점성토는 투수성이 낮으므로 모래의 압입에 따라 생기는 간극수의 탈수에 동반되는 체적변화는 매우 적게 일어나고 나머지는 점성토를 축방으로 이동시키는 작용밖에 하지 못하기 때문이다.

그러나 파일타설에 따라 주변의 점성토를 균질화함과 동시에 강화 할 수가 있고 지반을 개량부분과 그 아래 심도의 미개량부분의 복합지반으로 재형성하고 복합지반으로서의 지지력을 발휘할 수 있다.

㉠ 활동파괴 또는 지내력에 대한 검토

모래를 압입함에 따라 연약층 중에는 높은 간극수압이 발생하고 서서히 탈수가 시작된다. 압입된 파일이 점성토에 주는 외력은 흙의 압밀이 진행됨에 따라서 감소하지만 이 사이에 샌드파일주변에 있는 연약층의 강도는 서서히 증가한다.

그림 10은 샌드콤팩션파일을 시공한 지반의 토질조사 결과이다. 그림에서도 깊이 6~10m에 있는 점성토층의 함수비는 파일의 타입에 따라 감소하는 동시에 강도는 증가하고 있다.

또 파일의 타설에 의해 주변흙은 매우 교란되고 지반내의 과잉간극수압이 증가하여 일시적으로는 심한 강도저하를 초래하지만, 재하중을 더해 샌드드레인과 같은 경우로 압밀하는 단계에서는 주변토의 강도가 이전보다 오히려 향상하고 있다고도 생각된다.

잘 다져진 콤팩션파일과 연약한 주변토의 압

축성에는 현저한 차이가 있다. 이 때문에 샌드콤팩션파일공법에 의한 지반에 구조물이나 성토를 재하한 경우 그림 10에 나타난 것처럼 재하중이 파일에 집중되어 주변의 연약토가 받는 하중을 경감시키는 효과가 있다.

성토저면에 접하는 콤팩션파일 상면과 그 주변지반면에 설치한 토압계에 의한 많은 측정예에 의하면 콤팩션파일에는 주변토의 2~10배 정도의 응력집중이 일어나는 것을 알 수 있다.

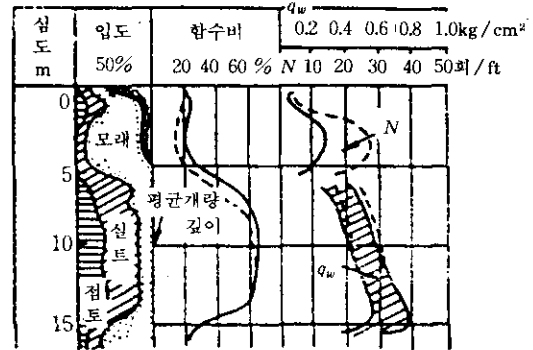


그림 10. Sand Compaction Pile 공법에 의한 개량효과

점성토지반의 경우는 이상의 효과를 통해서 활동 파괴에 저항하는 지반의 전단강도를 구할 때 파일에는 주변토의 3~5배의 수직응력이 증가하는 것으로 계산하는 시도도 최근에 진행되고 있다.

즉, 그림 11에 있어 폭 d의 세편내(細片内)에 생긴 활동면에 따라서 평균 전단강도 \bar{s} 는 다음 식으로 구한다.

$$\bar{s} = a_s \left(\gamma' z + \frac{\sigma \cdot n}{1 + (n-1)a_s} \right) \cos^2 \alpha \cdot \tan \psi + (1-a_s) \left\{ C_u + m \left(p_0 + \frac{\sigma}{1 + (n-1)a_s} - p_c \right) U \right\} \quad (5)$$

여기서,

σ : 면적 A에 작용하는 평균연직재하압력

γ' : 모래말뚝의 수중단위중량

ϕ : 전단저항각

- C_s : 점성토의 초기점착력
- m : 강도증가율
- p_0 : 토피압
- p_c : 선행압밀압
- U : 점성토부분의 압밀도

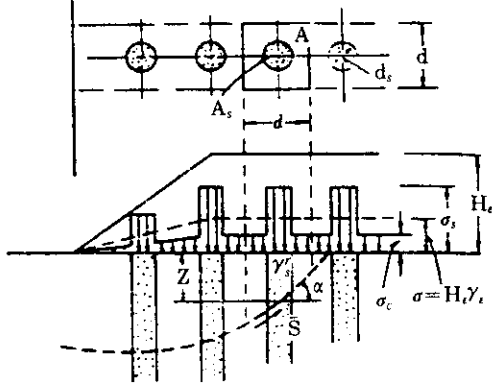


그림 11. 파일의 응력집중

㉑ 침하에 대한 검토

연약토내에 대량의 모래를 압입하므로 모래에 의한 치환효과도 크지만 주변토의 응력분담비에 의해 재하량을 압축성이 작은 모래기둥에 집중시키므로 재하량에 의한 침하를 감소시킬 수 있으므로 점성토의 응력저감계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{1+(n-1)a_s} \quad (6)$$

지반에 발생하는 최종침하량이 점성토에 작용하는 응력에 비례한다고 하면 무처리시에 생기는 최종침하량이 S 인 지반에 샌드컴팩션파일을 타설했을때의 최종침하량 S_c 는 다음과 같다.

$$S_c = \mu \cdot S \quad (7)$$

샌드컴팩션공법은 메카트로닉스 콘솔리데이션(mechatronics consolidation)이라는 새로운 시스템의 개발로 시공관리를 보다 효과적으로 할 수 있게 되었다. 이 시스템으로 투입한

재료의 양과 모래말뚝의 강도를 센서로 계측하여 지반의 확폭에 따라 모래의 투입량을 조절하고 인발속도를 자동제어할 수 있으며 기록된 시공데이터로부터 해석작업을 효과적으로 할 수 있다.

3) 사질지반의 개량

그레이블 드레인(gravel drain)공법은 액상화 대책공법 중의 하나이며, 발생한 과잉간극수압의 조기소산을 도모하는 것으로 원지반보다 훨씬 큰 투수계수를 가진 채석으로 배수층을 형성하는 공법이고, 최근 시공실적이 늘어나고 있다.

다짐말뚝 공법은 말뚝을 타설할 때의 진동과 타입에 따라 지반토사가 측방으로 압박하여 지반을 다지는 것이다.

한편 로드 콤팩션 공법은 특수한 로드를 바이브로 해머로 소정의 심도까지 관입시켜 로드를 진동시키면서 모래를 보급하고 지반을 다지는 것이다. 샌드컴팩션파일 공법이나 바이브로 플로테이션 공법에 비해서 시공이 간편하기 때문에 최근에 적용사례가 증가하고 있다.

5.3.5 보강토공법

1) 공법개요

보강토공법은 성토나 절토면 또는 지반상에 보강재를 설치하여 보강재를 포함한 지반전체의 안정을 위한 공법이다. 일반적인 지반개량 공법은 지반자체를 직접개량하여 강도나 압축성, 지수성의 개선을 꾀하는데 비하여 보강토 공법은 지반자체의 개량을 할 뿐만아니라 보강재의 인장강도를 기대하므로써 보강재를 포함한 보강토전체의 전단강도 증가를 꾀하는 것이다.

따라서 연약지반대책으로서의 보강토공법은 성토나 절토사면에 있어서는 요구되는 급경사나 고성토 또는 깊은 절토에 대하여 성토나 절토지반이 강도부족으로 인해 보강토공법을 필요로 하며, 또 지반상 또는 표층부에 보강재를 설치하여 성토를 하는 보강공법에 있어서는 기

초지반강도의 부족을 시트등의 보강재강도로 보완하는 것이다. 그림12는 성토, 절토 및 기초

지반에 대한 보강토공법의 개념도를 나타낸 것이다.

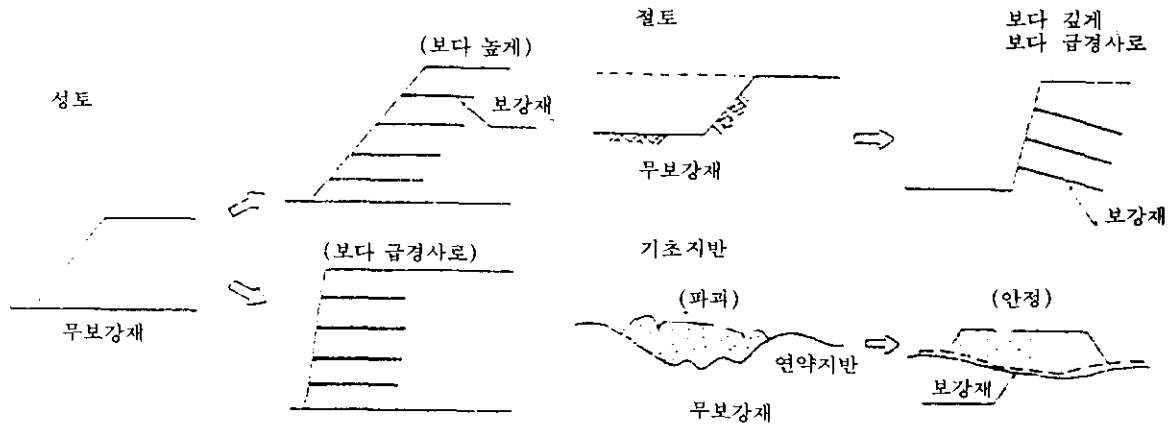


그림 12. 보강토공법의 개념도

2) 보강토공법의 종류

그림13은 보강토공법의 종류를 성토, 절토, 지반 및 기초지반으로 나누어 나타낸 것이다.

그림14는 성토의 보강토공법의 개요도를 나타낸 것이다.

보강토는 스트립(strip)과 사질성토재의 마찰력에 의하여 흙과 보강재가 일체로 된 보강토를 형성하는 것이며, 다수의 앵커공법은 앵커플레이트의 인장저항력에 의해 벽면재와 성

토의 일체화를 꾀하는 것이다. 토목섬유를 이용한 보강성토공법은 보강재로서 지오그리드나 지오네트등의 토목섬유를 이용한 보강토공법이며, RRR공법은 철도 성토 등에 적용되고 있는데 벽면에 강성콘크리트를 설치하므로 성토의 침하나 안정성의 향상을 꾀하고 있다. 또, 텔아메공법은 사질토와 연속장섬유를 뽑아 붙여 혼합보강토공법이다.⁽¹⁷⁾

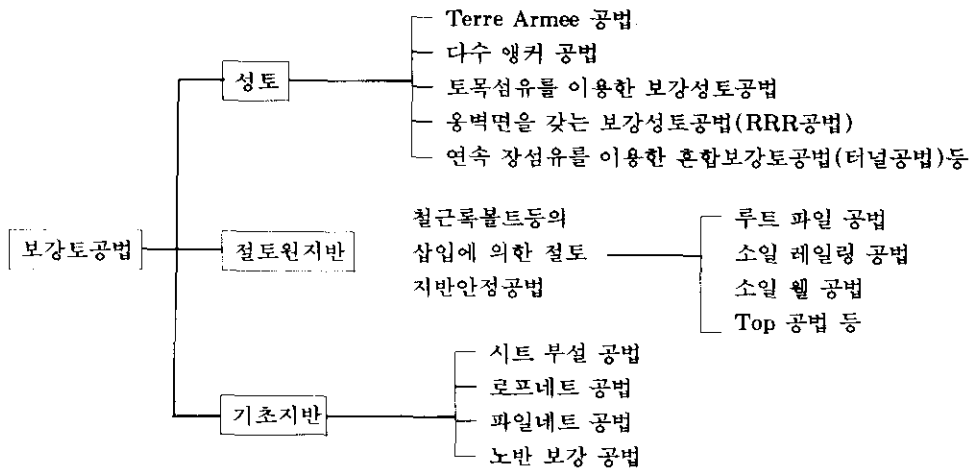


그림 13. 주요 보강토공법의 종류

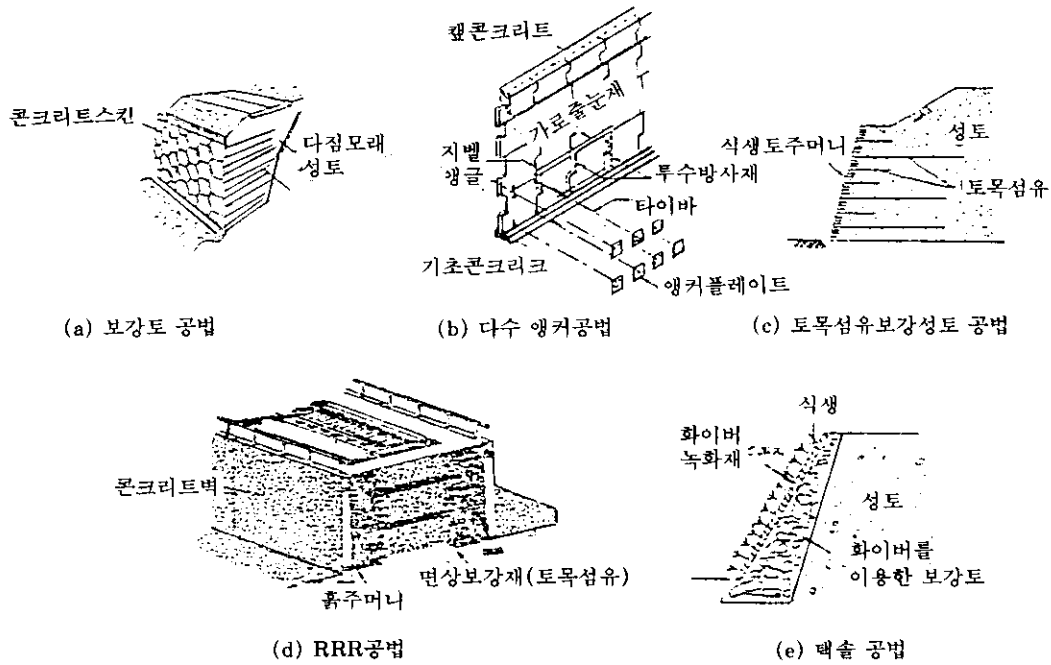


그림 14. 성토 보강공법

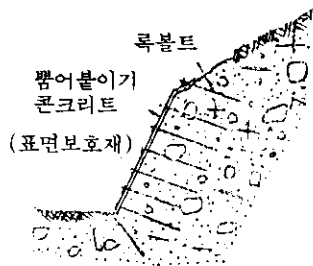


그림 15. 절토, 지반안정공법

그림 15는 철근록볼트등의 삽입에 의한 절토, 지반안정공법의 개요도이며, 일반적인 시공순서는 그림 16과 같다. 설계개념은 그림 17과 같이 록볼트, 표면보호재 및 록볼트로 보강된 사면표층부가 일체화한 이른바 의사용벽이 형성되어 록볼트타설후의 활동선은 타설전의 활동선보다 깊게 이동하여 그 만큼 사면의 안정성이 증대한다.

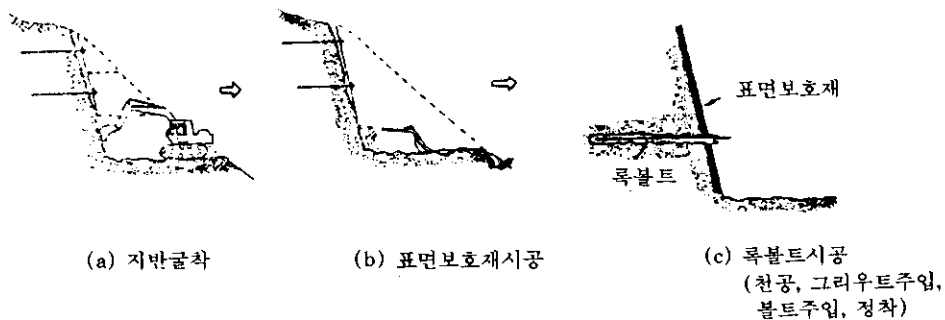


그림 16. 시공순서

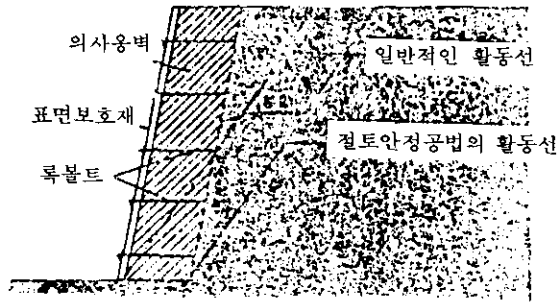


그림 17. 절토안정공법의 설계

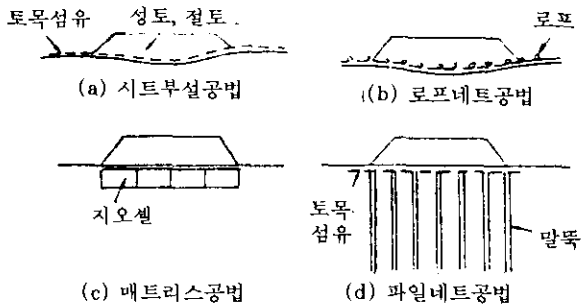


그림 18. 기초지반보강토공법

기초지반의 보강토공법에는 로프네트공법, 시트부설공법등이 있으며, 그림 18과 같다. 또 도로의 노반침하나 노반중에 보강재를 부설하여 노면의 자국이나 부등침하를 제어하는 보강토공법도 연구되고 있다.

참고 문헌

1. Cognon J.M., and Juran I.,(1994). "Vacuum Consolidation Technology - Principles & Field Experience", Vertical & Horizontal deformations of Foundation & Embankments, Geotechnical Special Publication No. 40. ASCE, pp. 1237~1248.
2. Choa, V.(1985). "Preloading and Vertical Drains". Third International Geotechnical Seminar, Soil Improvement Methods, Singapore, Nov. 1985, pp. 87~99.
3. Fang, H.Y.(1991), Foundation Engineering Hand Book, Van Nostrand Reinhold, pp. 75~85, pp. 324~337.
4. Kitsugi, and Azakami,(1982), "Lime - Column techniques for the improvement of clay

- ground", Proceedings of the International Symposium on Recent Development Techniques, Bangkok 1982.
5. Kravetz G. A.(1958), "Cement and Clay Grouting of Foundations : The Use of Clay in Pressure of Grouting", Proc. of ASCE, J. of SMFE, SMI, pp. 1546-1~30.
6. Moseley M.P.(1993), Ground Improvement, CRC Press, INC.
7. Terash, and Tanaka,(1981), "Ground improved by deep mixing method", Proceedings of 1981 ICSMFE Vol.3.
8. Varaksin S.(1981), "Recent Development in Soil Improvement Techniques and their Practical Applications", SOLS SOILS No 38/39, pp. 7~32.
9. 강예목 외 7인(1994), 최신기초공학, 형설출판사, pp. 325~353.
10. 건설부, 구조물기초설계기준 1986
11. 日本土質工學會, 軟弱地盤對策工法 1988.
12. 村上順雄 & 三木博士, (1995), "연약지반 대책 공 지침의 해설", 토목기술, 통권 제23호 Vol. 03 No.7, pp. 28~36.
13. 地盤の安定/假設構造物, 鹿島建設, 1993
14. 한국건설기술연구원, 연약지반천층안정처리연구 보고서 1988
15. 한국지반공학회(1995) 연약지반(강습회 시리즈 6)
16. 建設産業調査會, 最新軟弱地盤ハンドブック 偏執委員會, pp. 287~299.
17. 券内勝彦, 最近の軟弱地盤工法と施工例, 2.1 ジオテキスタイルの種類, 特徴, 機能および 選定基準. 日本建設機械化協會(1991年 4月)
18. 藤田 圭一(1993), "實用軟弱地盤對策技術總覽 (株)産業技術サービスセンター", 東京, pp. 640~645.
19. 藤田 圭一(1993), "土木・建設技術者のための實用軟弱地盤對策技術總覽 (株)産業技術サービスセンター", 東京, pp. 429~430, pp. 436~437, pp. 690~695, pp. 773~806.
20. 日本土質工學會, 土質工學ハンドブック, 1982, pp. 995~1076.
21. 佐佐木伸, "진공압밀의 재특성에 관해서(제 2보), 제10회 토질공학연구발표회, pp.105~106.
22. 中瀬明男, 今村僚平外(1993), "實用軟弱地盤對策技術總覽, 産業技術, pp.655~660.
23. 稱田倍總著, 박병기 외 2인 공역(1995) : 軟弱地盤에서의 土質工學, 도서출판 새론, pp. 363~389.