

대심도 연약지반 연직배수재 설계시 고려사항



김 상 규
동국대학교
명예교수



김 윤 태
부경대학교
교수



김 재 홍
K-water 연구원
책임연구원
(kjhpkmk@kwater.or.kr)

1. 서론

최근 국가산업의 발전과 국민경제의 활성화에 따라 부족한 산업부지 확충과 새로운 건설부지 확보 차원에서 준설·매립된 인공지반 뿐만 아니라 해안 연약지반의 활용이 점차 증가하고 있다. 국내에서는 1972년 여수국가공업단지를 시작으로 그동안 해안을 매립하는 공사가 많이 시행되어져 왔다. 특히, 1990년대 초반부터 부산 신항만을 계기로 낙동강 델타지역의 개발이 이루어졌고 앞으로도 이 지역에서 계속적인 개발이 예상된다. 이렇게 부지조성을 위해 해안 연약지반을 매립할 경우 성토하중에 의해 압밀침하가 발생하고 이 압밀침하를 빨리 진행시키고 후속작업인 도시기반시설(도로, 상·하수 관로, 하천개수 등)의 안정된 작업을 추진하기 위하여 필히 지반개량을 수행하여야 한다.

지반개량 방법에는 여러 가지가 있으나 대부분 시

공의 편리성이나 경제성 등으로 기성품의 연직배수재(P.V.D)공법을 많이 적용하는데, 연직배수재 설계시 타설 심도를 지지층까지 도달하도록 설계한다. 연약지반이 불과 10~20m 정도의 얇은 곳은 크게 문제되지 않지만 50~60m 정도의 대심도 연약지반인 경우에도 지지층까지 설계를 적용하는 실정(표 1)이다. 그러나 대심도 연약지반 하부에 존재하는 피압대수층, 용탈효과, 횡방향 토압에 의한 통수능 감소현상, 시공장비의 연직도 관리 등을 고려할 때 과연 지지층까지 적용이 필요한가에 대하여 논의되어져야 한다(김재홍, 2013).

본고에서는 대심도 연약지반의 연직배수재 설계 시 스미어 존이나 Well Resistance 같은 일반적인 연직배수재 설계에서 고려할 사항은 언급하지 않기로 하고, 대심도 연직배수재의 개량깊이에 대해서만 논하기로 한다.

표 1. 낙동강델타지역 연직배수재 설계 현황

사업명	총공사기간	연약지반처리기간	연직배수재 간격(m)	처리심도(m)	부지조성면적(천㎡)
화전지구(1공구)	38개월	도로 12개월 단지 12개월 녹지 12개월	1.5m~2.0m	20~57	614
화전지구(2공구)	39개월	도로 15개월 단지 15개월 녹지 30개월	1.6m~2.0m	20~57	952
화전지구(3공구)	39개월	도로 12~16개월 단지/녹지 18개월	1.4m~2.0m	20~57	884
부산신항 배후국제산업 물류도시	48개월	도로/단지 19개월 녹지 무처리	1.1m~2.0m	15~48	5,600
명지지구	50개월	도로 12개월 단지 12개월 녹지 30개월	1.7m~3.0m	29~51	4,483

2. 지반조건

서해안 연약지반의 경우 연약점토가 지표면에 가깝게 형성되어 있지만, 낙동강하구 델타지역의 연약점토는 대부분 지표면에서 하부 약 10~15m는 사질토로 형성되어 있고, 그 하부에 연약점토가 두껍게 퇴적되어 있는 형상으로 이와 같은 퇴적특성은 해침 및 해퇴의 영향을 많이 받았다(그림 1). 이러한 지반조건은 대심도 연약지반의 연직배수재 설계 시 참고되어야 한다.

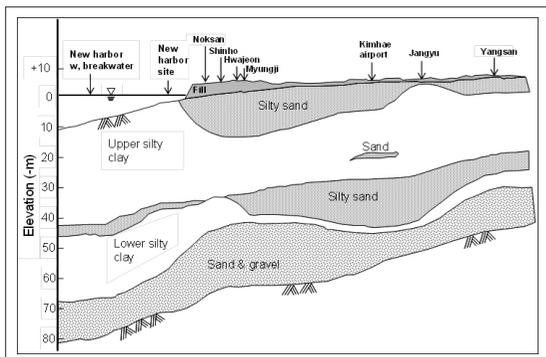


그림 1. 낙동강 하구 지층 단면의 개략도(김상규, 2010)

2.1 피압(분수압, Artesian pressure)

피압수압은 투수층내의 수압이 지표면의 지하수위보다 높은 수압이다. 피압을 받은 사질토 층내의 담수는 상방향으로 흐르며, 점토층의 염분을 용탈하는 작용을 한다.

피압이 존재하는 연약지반의 유효응력은 피압만큼 작기 때문에 압밀침하량 계산 시 피압을 고려하지 않아 예상보다 큰 침하가 발생하는 사례가 있다. 또, 피압이 존재하는 지반에서는 연직배수재를 타설 시 상재 하중의 재하 전에 배수재 타설만으로도 압밀침하가 발생한 사례도 있다(김상규 등, 1999). 반면, 연직배수재가 피압 대수층의 관통 시에는 연직배수재 통수능을 초과하는 현상이 발생하여 압밀이 지연되는 사례도 있는 것으로 보고되고 있다.

장연수 등(2000)은 피압이 존재하는 연약점토에서의 연직배수재 타설깊이에 대해서 3차원 수치흐름 모델을 이용하여 피압대수층이 관통되었을 때 지하수량이 배수재를 통한 점토층내의 지하수 배수를 방해할 정도의 큰 수량이 아님을 시사하고 배수재의 관입깊이

는 피압대수층까지 1m 미만을 남길 정도로 근접시공 하여도 무리가 없다는 결과를 제시하였다.

또한, 피압수가 존재하는 연약점성토 지반내의 연직 배수재의 부분 및 완전관입에 따른 압밀거동을 관찰하기 위한 수치해석에서 연직배수재가 부분 관입된 경우는 일면배수형태로 압밀이 진행되고 과잉간극수압이 아주 늦게 소산되었다. 완전관입인 경우 양면배수형태로 안정적이고 압밀이 빠르게 진행된 것으로 나타났고, 부분관입인 경우 초기 피압의 소산으로 인하여 완전관입된 경우보다 침하량이 크게 발생한다고 하였다(진형식 등, 1998).

이러한 사유로 선행압밀하중의 정확한 분석은 매우 중요하다. 그러면, 피압수압의 존재를 어떻게 알수 있을까? 유효상재응력과 선행압밀응력과의 차이가 피압수압으로 고려하면 된다.

표 2는 낙동강하구 델타지역 내 피압 수두의 현황이다. 대심도 연약지반 연직배수재 설계시 피압을 고려하지 않으면 압밀침하량이 작게 계산되어 장기 압밀 침하면에서는 불리 할 것이다. 반면, 피압 고려 시에는 피압 대수층까지 연직배수재의 타설 연장이 증가됨에 따라 재료비 상승과 상재하중 증가로 토공물량에도 영향을 끼친다. 토공 물량은 대단위 토취장 개발과도 관련이 있다. 토취장 개발로 자연과파 및 관련기관 협의에도 많은 어려움이 따른다. 설계 구역의 피압수압에

대한 분석과 설계반영 여부를 고려할 필요가 있다.

2.2 용탈작용(Leaching)

연약지반은 주로 해침 시에 퇴적되었으므로 지반 내 염분이 포함되어 있다. 상기 피압에 의해 담수의 상향 침투로 염분의 용탈효과가 나타날 수 있다(Kim & Do, 2011). 지반 내 염도가 감소하면 액성한계가 감소하고 액성지수가 1보다 커지고, 예민비가 커지며, 전단강도는 감소한다.

그림 2는 낙동강 하구 델타지역의 탈염작용이 발생한 깊이를 추정한 것이다. 하부로 갈수록 탈염이 증대한다. 이는 역으로 이야기하면 하부지반으로 갈수록

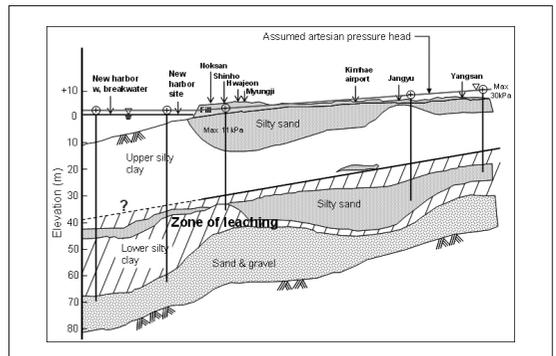


그림 2. 낙동강 하구 델타지역의 탈염작용이 발생한 깊이 (김상규, 2010)

표 2. 낙동강하구 델타지역내 피압 수두의 비교

위 치	GL. 아래 표고(m)	최대 피압수두(m)	참고 문헌
양산	33.0	3.02	대우 엔지니어링(1998)
	30.5	3.52	
	37.8	4.04	
부산 신항	57.0	2.96	허(2003)
가덕도 방파제	40.3	1.57	부산 신항(1998)
	26.5	1.35	
조정 경기장	34.5	1.58	대우 엔지니어링(1998)
신호	34.0	1.11	Chung et al.(2003)

탈염으로 인해 지반의 예민비나 민감도가 증가된다는 의미이다.

그림 3은 해성점토와 염분이 용탈된 점토에 대한 압밀시험을 수행한 결과이다. 염분이 용탈되면 점토의 미세 흡구조, 선행압밀하중에 영향을 줄 뿐만 아니라 압축지수와 팽창지수가 증가 하는 것으로 나타났다. 따라서 염분은 용탈이 점토의 압축성에 악영향을 주는 것으로 나타났다(Kim & Do, 2011; 김윤태, 2008). 연약지반 개량시 용탈효과가 지반의 압축성, 선행압밀하중, 침하량 등에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2.3 Sand seam

현장에서 연직배수재 타설후 연직배수재를 통해 하부 연약지반의 물이 배출되는 현상이 확인되는데, 동일구간에서도 어떤 구간에서는 지반내 물이 전혀 배출되지 않는 현상이 종종 나타난다. 이런 현상이 발생할 경우 시공시 간극수 배출이 원활한 곳과 별다른지 않게 시공하였는데도 발생한다. 원인 분석을 위해 간극수압계, 지하수위계, 강우일자 등을 고려하여도 이런 현상에 대해서 마땅히 원인을 찾지 못하는 게 현실이다.

여러가지 원인이 있을 수 있으나 하부지반에 Sand

Seam이 존재하는 것으로 추측한다. 그러나, 국내에서는 Sand seam의 효과에 대한 연구는 거의 전무한 실적으로 실내실험이나 수치해석을 시행하더라도 경계조건 설정이 상당히 어려운 실정이다.

낙동강 델타 구역은 Sand Seam이 많이 발달해 있다. Sand Seam의 확인은 일반 시추조사가 아닌 피에조 콘이나 Sampler를 4~5m 간격으로 채취하는 것이 아닌 전 구간에 대하여 Sampler를 적용하면 가능하다. 물론, 공사비가 상당히 증가하므로 필요한 구간에서만 적용하도록 한다.

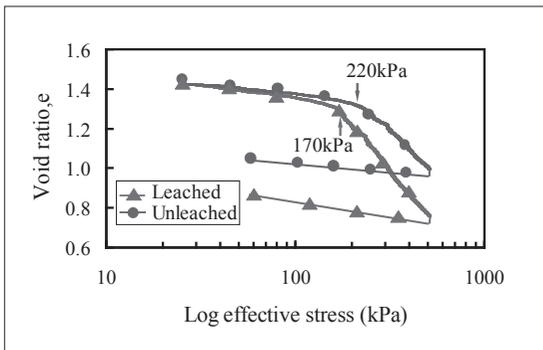
상기와 같은 조사로 Sand Seam의 존재여부가 확인되면 Sand Seam이 수평배수층으로서 역할이나 설계 반영방법에 대한 연구를 진행하여야 한다.

3. 연직배수재

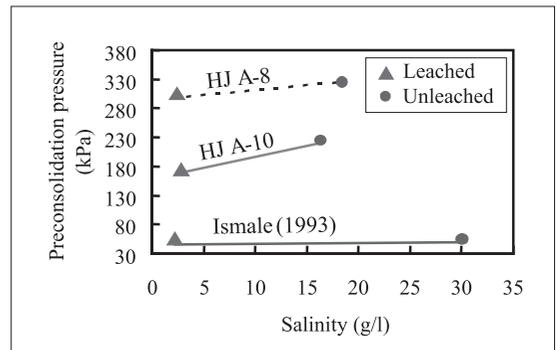
3.1 구속압에 의한 통수능

연직배수재 설계시 영향인자들 가운데 여러 가지가 있으나 가장 중요한 것이 통수능이다. 특히 심도가 깊어질수록 구속압이 커지고, 증가된 구속압은 배수재의 통수능에도 영향을 미친다.

구속압력이 클 경우, 필터재의 변형이 매우 크게 발



(a) 염분용탈에 따른 압축성의 변화



(b) 염분용탈에 따른 선행압밀하중의 변화

그림 3. 탈염작용이 점토의 압축성(a)과 선행압밀하중(b)에 미치는 영향(Kim and Do, 2011)

생하여 구속압력에 의해 필터가 코어쪽으로 밀려들어
가 배수재의 통수능을 크게 저하시키게 된다. 국내에
서는 통수능 시험시 구속압력에 대한 특별한 고려없이
일률적인 값을 적용하고 있다. 시방기준외 현장조건
이 반영된 구속압력을 적용하여 시험을 실시하여야 하
는 것으로 밝혔다(백원진 등, 2008).

정승용 등(2005)은 PBD와 FD 제품에 대하여 구속
압과 재하응력에 따른 배수재별 통수능 변화를 측정
하여 FD의 경우에는 통수능 감소 속도가 PBD에 비해
더욱 크고 구속압에 의해서 통수능이 저하하는 사실을
제시하였다.

심도는 구속압으로 가정하여 계산하면 가능하다. 향
후, 낙동강 델타지역의 연약지반 심도를 고려한 구속
압으로 연직배수재 통수능 실험을 시행하여 대심도에
따른 통수능 저하에 따른 효율성으로 경제적인 연직배
수재 타설길이 산정이 필요할 것으로 사료된다.

3.2 연직배수재 종류

연직배수재는 지반에 설치후 압밀과정에서 휘어지
거나(Bending), 접히거나(Folding)하여 이로 인한 배
수성능이 저하된다(박영목, 1996). 하모니커 코어를
가진 배수재가 요철형보다 통수능이 좋은 것으로 제시
하였는데(신은철 등, 2005), 대심도 연직배수재 설계
시 유리한 연직배수재 종류에 대해서 논하고자 한다.

설계 연직배수재의 종류에 따라 대심도 연약지반 개
량에 차이를 줄 수 있다. 연직배수재 종류에 관한 의견
은 연구자별로 차이가 있다.

대심도 연약지반의 지반개량에 적합한 배수재를 선
정하고자 시행한 통수능 시험 결과 단일코어 PBD보
다 이중코어 PBD가 효과적인데, 이중코어의 경우 중
앙유로의 확보로 클로킹에 유리한 것으로 확인되었다
(변오섭 등, 2009).

연직배수재의 통수능이 대심도 연약지반의 압밀거
동에 미치는 영향을 평가하기 위해 횡방향 토압에 의
한 통수능 감소현상을 고려하여 통수능을 향상시킨 이

중코어 PBD를 시험구역에 설치하고 기존 단일코어
PBD와 계측 비교를 위해 수치해석으로 연직배수재의
통수능에 따른 압밀 거동양상을 비교 분석한 결과 단
일코어와 이중코어 연직배수재의 배수능 차이는 미미
하다고 밝혔다(최항석 등, 2008).

연직배수재 종류에 대한 연구는 구속압에 따른 통수
능 연구처럼 대심도 적용에 따른 연구가 필요하다.

3.3 타설 장비 연직도 신뢰성

연직배수재 타설시 Mandrel에 Anchor Plate를 정
착하여 타설하기전 아무리 완벽하게 연직도를 확보하
여 타설하더라도 Mandrel이 지반내 관입후에 타설과
정에서 정확한 연직성 확보가 어려운 실정이다. 연직
배수재가 연직도를 확보하지 못하면 압밀 지연이 발생
한다.

연직배수재 타설장비에 배수재의 시공 심도, 압력,
수직도를 자동측정하여 작업자가 실시간으로 모니
터링 할 수 있고 시공결과를 자동 저장하는 시스템을
개발하여, 실제로 현장에 적용되고 있다(김민호 외,
2011).

하지만, 이에 대한 검증시스템은 아직 개발되지 않
은 실정으로 많은 논란이 되고 있다. 가령, 말뚝기초처
럼 말뚝기초를 설치후 말뚝의 설계마찰력이나 건전성



사진 1. 연직배수재 타설 기록 장치(김민호 외, 2011)



사진 2. 지표면 침하판 변형 광경

등을 확인하는 말뚝재하시험처럼 연직배수재를 지반 내 타입한후 연직도를 확인할수 있는 방법은 아직까지 개발이 되지 않은 상태로 이에 대한 추가적인 연구개발이 필요하다.

3.4 지반 변형

연직배수재를 설계에 맞게 설치하더라도 성토에 의한 압밀침하 과정에서 발생하는 지반 변형으로 연직배수재의 연직도가 유지되기 어렵다. 이는 지표면 침하판을 보더라도 쉽게 알수 있다(사진 2). 지표면에서 불과 몇 m 안 되는 성토과정에서도 압밀침하와 작업차량 및 다짐장비 운행의 영향등으로 강재 재료로 설치한 지표면 침하판도 연직도가 변하는데 하물며 하부지반 몇십 m의 플라스틱 재료의 연직배수재 연직도 확보는 더욱 불리해진다. 대심도 연직수재 설계시 지반 변형으로 연직도 확보가 어려운 것을 감안하여 설계하여야 한다.

4. 미관통 효과

연직배수재 설계시 연약지반 전 심도를 관통한 설계와 일정부분에 대해서만 관통한(미관통) 설계효과

에 대해서 SCP 개량지반에 대하여 실내모형실험을 통하여 모뎀점토지반에 간극수압계, 토압계, 다이얼계 이지등을 설치하여 개량효과에 대한 압밀침하량과 응력분담비등을 측정하여 미관통 지반의 압밀침하량은 관통 지반의 압밀 침하량 보다 더 크게, 응력분담비는 적었음을 확인하였다(정종범 등, 1999). 또한, 압밀도에 따른 미관통 SCP공법과 관통 SCP 공법을 병용한 복합지반의 압밀침하 거동을 수치해석을 통해 미관통 SCP의 하단부에는 응력집중효과가 발휘되지 않았으며 응력분담비는 압밀도에 관계없이 거의 일정한 양상을 보인 것으로 나타났다(이강일 등, 2012).

연직배수재의 응력집중 및 압밀도를 고려하여 지지층까지의 설계시 고려할 사항이다.

단, 다짐말뚝에 대해서는 다짐말뚝이 어느 정도 규격이 있지만 불과 폭 10cm, 두께 0.5cm 정도의 PBD 제품에서 미관통 효과의 신뢰성을 확보하기 위하여 수치해석이나 실내실험이 가능한지에 대해서는 많은 연구가 필요할 것이다.

5. 2차 압밀

1990년 초반에 매립을 시작한 부산신항만 배후부지의 경우 오래 기간에 걸친 침하로 일부도로에서는 국부적으로 침하에 따른 변형이 나타난 부분도 있다. 그러면, 2차 압밀에 대한 장기침하량과 이에 따른 연직배수재 설계시 고려할 사항은 무엇일까?

이론적으로는 1차 압밀후 Creep에 의한 2차 압밀이 진행된다고 하나 실질적으로는 현장에서는 1차압밀과 2차 압밀은 동시에 발생되며 명확히 구분하기 어렵다. 2차 압밀을 판단할 자료는 성토후 침하계측자료인데 영구적인 토목 구조물과 달리 도로나 단지 성토에서 국내에서는 준설매립지반을 제외하고 퇴적연약지반의 경우 1,000여일이 넘게 침하계측은 거의 이루어지지 않는 실정이다(준설매립지반의 경우 고함수비에 의한 압밀지연으로 약 1,000~1,500일 가량 계측 기록

이 있음).

압밀침하량을 계산하기 위한 방법에서 가장 중요하면서도 의견이 분분한 사항은 2차압축 침하를 어떻게 산정할 것인가에 있다. 2차압축량을 산정하는 방법에 따라 압밀침하 해석방법은 표 3과 같이 가정 A(Hypothesis A)와 가정 B(Hypothesis B)로 나뉘어 진다(Ladd 등, 1977; Jamiolkowski 등, 1985; 김윤태 & Leroueil, 2001).

가정 A에서는 1차압밀(primary consolidation)이 끝난 후에 2차압축이 일어난다고 가정하고, 1차압밀과 2차압축을 구분하여 침하량을 개별적으로 산정한다. Mesri & Choi(1985a, b)는 일차압밀 종료시(end of primary consolidation, EOP)에서 변형은 유일하다고 보고하였다. 즉 크리프는 과잉 간극수압이 완전히 소산된 후에만 유발된다고 가정하고, 점토의 거동을 간극비와 유효응력에 대한 $e-\log\sigma'_v$ 의 관계식으로 표현하였다. 반면 가정 B에서 2차압축은 1차압밀과 관계없이 압밀 전체 과정 동안에 일어난다고 가정하여 압밀침하량을 계산한다. EOP 응력-변형률 곡선은 시료두께에 의존하고, 일차압밀 동안에도 크리프 변형이 유발된다. 또한 선형압밀하중의 크기는 압밀속도에 의존한다. 따라서 현장에서 구한 응력-변형률과 압밀실험에서 구한 응력-변형률 거동이 차이나며, 현장침하량은 실내압밀실험에서 예측한 침하량보다 일반적으로 크다. Leroueil 등(1985)은 실험실에서 구한 EOP 곡선은 현장침하량을 과소평가하고, EOP 응력

변형관계는 유일하지 않으며 일차압밀기간에 의존한다고 보고하였다.

가정 A의 경우, 침하량은 2차압축을 고려하는 시점 차이로 인하여 배수재가 설치된 지반의 침하량이 항상 무처리 지반의 침하량보다 크을 알 수 있다. 그러나 가정 B를 바탕으로 계산된 침하량은 과잉 간극수압이 모두 소산된 이후에는 배수재 설치유무에 관계없이 동일함을 알 수 있다. 따라서 연직 배수재의 강성도를 무시하는 경우 가정 B를 바탕으로 해석한 결과가 타당하다(김윤태, 2005).

대심도 연약점토의 압밀특성과 장기적인 압밀특성을 파악하기 위하여 낙동강 하구 부산점토를 대상으로 연직 및 수평배수 방향의 CRS 시험과 장기간의 하중 단계 압밀시험을 실시한 결과(김윤태 등, 2005)에 의하면, 부산점토에 대한 정규압밀영역에서의 이차압축지수와 압축지수의 관계는 선형적이며 C_{α}/C_c 는 평균 0.0363으로 Mesri와 Castro(1987)가 제안한 비유기질 점토에 대한 값 $C_{\alpha}/C_c = 0.04 \pm 0.01$ 과 유사한 결과를 나타내었다. 정규압밀지반의 C_{α}/C_c 의 개념과 동일하게 과압밀영역의 이차압축지수와 재압축지수(또는 팽창지수)의 관계도 선형적이며 $C_{\alpha(o)}/C_s$ 는 0.051의 값을 가진다. 또한 $C_{\alpha(o)}/C_s$ 는 0.006의 값을 가진다.

따라서, 부산점토의 장기적인 거동특성을 보다 정확히 분석하기 위해서는 가정B를 바탕으로 응력수준(정규압밀영역과 과압밀영역)에 따른 물성치를 바탕으로 압밀해석을 수행할 필요가 있다.

표 3. 가정 A와 B의 비교(김윤태, 2005)

구분	Hypothesis A	Hypothesis B
크리프 변형 유발 시점	1차압밀이 완료된 후 2차압축 유발	압밀 전과정 (1차압밀 동안에도 유발)
응력-변형률 관계	EOP(end of primary consolidation)에서 유효응력-변형률 곡선은 일정함	압밀기간(시료두께)에 의존
침하량에 대한 시료두께의 영향	없음	시료두께가 커지면 침하량 커짐
침하량 계산	전체침하량=1차압밀 침하량+2차 압축 침하량	수치계산 필요

6. 수평배수층(Sand Mat or Gravel Mat)

낙동강델타 지역의 대심도 연직배수재 설계시 연직 배수재의 직접적인 문제와 별개로 상부 수평배수층과 P.E.T mat 설치에 대해서도 고려하여야 한다.

서해안 연약지반의 경우 그림 4(a)와 같이 대부분 연 약점토가 지표면에 노출되었거나 지표면 직하부에 위 치한 경우와 달리 낙동강델타 지역의 특성은 그림 4(b) 와 같이 10~15m 퇴적사질토 지반 아래에 연약지반이 존재하여 수평배수층과 작업 차량 진행의 원활한 주행 성 목적으로 설치하는 P.E.T mat의 설치에 대해서 검 토하여야 한다.

서해안 과압밀 연약지반에서 P.E.T mat의 상재 하중에 따른 지지력 실험(박민철 등, 2013)과 종전의 Sand mat 설치에서 재료공급의 한계성과 단가 상승 에 따른 Gravel mat의 대체설치로 상부성토층과 수 평배수층의 재료혼입 방지를 위한 P.P mat설치에 따 른 통수능 연구(김재홍 등, 2013)에 대해서 낙동강 델 타지역에서도 동 연구가 필요한 실정이다.

연직배수재에서 상부 수평배수층으로 이동시 이미 퇴적사질토 지층에서 자연적으로 배수가 되는데 굳이

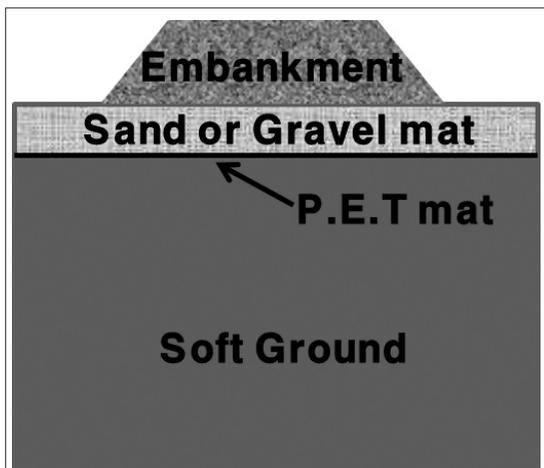
수평배수층과 P.E.T mat 설치가 필요한가에 대한 검 토가 필요하다. 특히, 환경 문제로 인하여 불필요한 토 목섬유 설치에 대해서 다시 한번 고려하여야 할 사항 이다.

결론

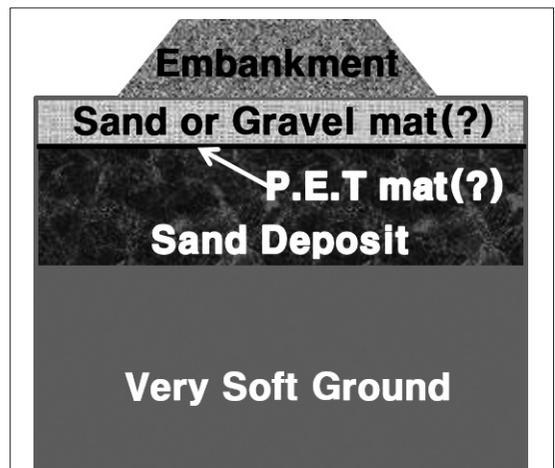
연직배수재에 대해서는 그동안 수많은 연구가 시행 되었으나, 대심도 연약지반에 설치되는 연직배수재에 대한 보다 정확한 설계와 해석을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 낙동강 델타지역은 국내 최고의 초 연약지반 지역으로 동지역에 대단위 부지조성시 필요 한 연직배수재 설계를 일반적인 연직배수재 설계 관점 이 아닌 대심도에 설계시 고려할 사항에 대한 결론은 다음과 같다.

지표면에서 약 30m를 기준으로 지반현황이 상이함 에 따라 피압수, 용탈, Sand Seam등에 대한 정확한 규명이 필요하고 설계반영 방법에 대한 연구가 필요하 다.

대심도에 따른 구속압의 영향과 연직배수재를 지지



(a) 서해안



(b) 낙동강 하구 델타

그림 4. 연약지반 분포 현황(Scale : None)

층까지 설계하지 않더라도 관통하였을 경우와 유사한 효과를 나타내는 미관통효과도 고려하여야 한다.

현재는 연직배수재 타설후 연직도 확인을 위한 방법이 개발되지 않아 연직도 신뢰성에 많은 의문점이 있다. 이론적 연구의 향상만큼 신뢰성 있는 시공을 위하여 장비개발도 필요하다.

낙동강델타 지역의 지반조건과 여러가지 여건에 의해서 하부 지지층까지 연직배수재를 설계하더라도 예산 투입을 고려하면 지반개량 효과는 미미하다 할 수 있으므로 향후, 동지역의 연직배수재 설계시 적절한 경제적이고 신뢰성 있는 타설심도를 적용하여야 할 것이다.

향후 과제

국내의 연약지반 분포를 위한 지반연대도 작성이 시급한 실정이다. 해안연약지반 뿐만 아니라 하천을 따라 발달된 연약지반에서도 현재까지 시행된 각종 국가 기반시설 설계나 수없이 조사된 자료를 기반으로 지반에 대해서도 지질연대도처럼 지반의 퇴적 및 생성에 대한 연대도를 작성하여 각 지반의 지층조건, 지하수위, 피압분포 및 압밀상태를 쉽게 파악하여 향후 국가 시설물 계획수립시 기준으로 활용되게 하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 김민호, 문상돈, 김항영, 김태영(2011), 연약지반 개량을 위한 PBD 시공품질 자동측정시스템 개발, 한국산학기술학회논문집, Vol. 12, No. 2 pp. 605~610.
2. 김상규(2010), 연약지반의 공학적 이해, 청문각.
3. 김상규, 김호일, 홍병만, 김현태(1999), 피압수압을 고려한 연직배수공법의 압밀해석, 한국지반공학회 연약지반처리위원회 '99 학술발표회, pp. 62~69.
4. 김윤태(2005), 배수재가 설치된 연약지반의 2차압축을 고려한 축대칭 비선형 압밀해석, 한국지반공학회논문집 제 21권 3호, pp. 133~140.
5. 김윤태, 조상찬, 조기영(2005), 부산점토의 변형률 속도 의존적인 압밀특성, 한국지반공학회, 제 21권, 제6호, pp.127~135.
6. 김윤태(2008), 고화준설토의 역학적 특성에 대한 염분의 영향, 한국지반공학회논문집 제 27권 9호, pp. 47~53.
7. 김재홍(2013), 대심도 연약지반 연직배수재 설계 닥터 컨퍼런스 결과 보고서.
8. 김재홍, 임은상(2013), 토목섬유 적용에 따른 통수능 평가, 대한토목학회 학술발표회, pp.2806 ~2810.
9. 박민철, 임은상, 김재홍, 한희수(2013),쇄석배수층에 적용된 토목섬유의 효율성에 대한 실험적 검증, 한국지반공학회논문집, 제 29권 11호, pp.17~27
10. 박영목(1996), 현장조건을 고려한 플라스틱 보드 드레인의 성능평가, 토목섬유학술발표회 논문집, pp. 91~99.
11. 변요셉, 안병제, 천병식(2009), 대심도 연약지반에 적용되는 PBD의 통수능에 관한 연구, 한국지반공학회논문집, 제 25권 9호, pp.67~76.
12. 백원진, 김주현(2008), 연직배수재의 통수능 산정시 주요영향 인자에 대한 분석, 한국지반공학회지, 제 24권 9호, pp.62~66.
13. 신은철, 박정준, 김종인(2005), 영향인자를 고려한 연직배수재의 통수능 평가, 한국지반공학회지 제 21권 9호, pp. 13~23.
14. 이강일, 이재욱, 임은상, 주경원(2012), 압밀도 및 치환율 변화에 따른 미관통 SCP 지반의 압밀해석, 한국토목섬유학회논문집 제11권 2호 2012년 6월 pp. 11~20.
15. 장연수, 강영우(2000), 3차원 수치흐름모델을 이용한 피압이 존재하는 연약 점성토에서의 연직배수재 타설깊이에 관한 연구, 한국지반공학회논문집, 제20권 제1호, pp. 39~46.
16. 정승용, 한상재, 신현영, 김수삼(2005), 현장조건을 고려한 연직배수재의 통수능 시험, 대한토목학회 논문집, Vol.25 No.5C pp. 313~321.
17. 정종범, 이강일, 강권수, 박병기(1999), 미관통 및 관통 샌드 컴팩션 파일 지반의 압밀거동에 관한 실내 모형 실험 한국지반공학회, 15권 3호, pp.3~16.
18. 진현식, 정성교, 김문규, 허대영, 유갑용(1998), 피압수가 존재하는 연약점토지반내에 연직배수재의 부분 및 완전관입에 따

- 른 압밀거동, 대한토목학회 1998년도 학술발표회 논문집(II), pp.319~322.
19. 최항석, 이우진, 양정훈, 홍성진, 김형섭(2008), 연직배수재의 통수능이 대심도 연약지반의 압밀거동에 미치는 영향 평가, 대한토목학회 2008년도 정기 학술대회 논문집, pp.2139~2142.
20. 최항석, 양정훈, 김태훈, 윤지남, 최은석(2009), 하부 피압수가 존재하는 연약지반 상에 도로확장을 위한 연직배수재 공법의 적용성 평가, 대한토목학회 2009년도 정기 학술대회 논문집, pp.1916~1919.
21. 최항석, 이우진, 양정훈, 홍성진, 김형섭(2008), 연직배수재의 통수능이 대심도 연약지반의 압밀거동에 미치는 영향 평가, 대한토목학회 학술발표회, pp. 2139~2412.
22. Kim, Y.T. and Do, T.H. (2011), Experimental Evaluation Of Leaching Effects On The Compressibility Of Marine Clay And Its Strain Rate Dependency, Marine Georesources & Geotechnology 29(1) 16~29.1.
23. Kim, Y.T. and Leroueil S. (2001), "Modeling the viscoplastic behavior of clays during consolidation: application to Berthierville clay in both laboratory and field conditions," Canadian Geotechnical J., Vol. 38, No. 3, June 2001, pp. 484~497.
24. Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. and Lancelotta, R. (1985). "New developments in field and laboratory testing of soils," General report, Proc. 11th ICSMFE, San Francisco, Vol.1, pp57~153.
25. Ladd, C.C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F. & Poulos, H.J. (1977). "Stress-deformation and strength characteristics," Proc. 9th ICSMFE, Tokyo, pp421~494.

회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있사오니, 홈페이지에 로그인 하시어 연회비 및 미납회비 확인 후 납부하여 주시기 바랍니다. 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다, 문의 사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

- 은행 무통장(타행) 입금 국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : (사)한국지반공학회
 - 카드결제 홈페이지 하단 "회비납부"로 들어가서 결제하시기 바랍니다. (본인정보필수)
 - 지로용지 기입시 유의점
 - 지로 장표상의 금액과 납부자 관련정보(회원번호, 성명, 납입금 종류 등)는 흑색볼펜으로 글씨체는 정자로 표기해 주시기 바랍니다.
 - 납부금액란에는 정확한 위치에 정자로 아라비아 숫자만 기입합니다.
납부금액 앞뒤에 특정기호(w, -, * 등)를 표시 할 수 없습니다.
- ※ 지로용지가 필요하신 분은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/박소영)으로 전화주세요