

연약지반 대책기술

김주범¹, 천병식², 이문수³, 김영남⁴, 채영수⁵, 이승래⁶, 이우진⁷, 남순성⁸, 김승렬⁹

1. 서언

문명이 발달하고 개발이 급속도로 확산되면서 연약지반은 이제 더 이상 과거처럼 회피하거나 외면하여야 할 대상이 아니다. 확실히 연약지반의 존재는 지반기술자들의 능력을 드러내는데 크게 기여하기도 하였지만 동시에 지반기술자들 스스로에게 한계를 느끼게 하는 존재로 남아 있다. 이것은 연약지반이 구성의 복잡성과 변화의 다양성 및 시간과 응력이력에 대한 강한 의존 특성을 보유하고 있기 때문일 것이다.

지난 수십년 사이에 이 분야에 대한 기술은 장족의 발전을 이루었고 지금도 지속적으로 발전되고 있지만 연약지반을 완전히 정복했다고 할 수 없을 만큼 극복해야 할 과제는 아직도 많다고 할 수 있다. 연약지반의 문제가 많았던 지역일수록 이 분야에 대한 기술이 발전되었다. 우리나라는 방콕이나 멕시코시티, 상하이 등과 같은 지역처럼 연약지반으로 인해 크게 문제되었던 지역은 없었던 것 같다. 그러나 새천년에는 우리에게도 연약지반의 모습이 더 커 보일 것으로 예상되기 때문에 이 부분에 대한 우리의 기술이 어떻게 발전해 왔고 향후 어떠한 모습으로 우리 앞에 다가설 것인가를 간략히 전망해 보고자 한다.

¹ 정회원, 한국건설안전연구원 상임고문

² 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

³ 정회원, 전남대학교 농과대학 농공학과 교수

⁴ 정회원, (주)동아기술공사 전무이사

⁵ 정회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수

⁶ 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

⁷ 정회원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수

⁸ 정회원, (주)EJTECH 대표이사

⁹ 정회원, (주)에스코건설컨설팅 대표이사

2. 연약지반 대책 기술 변천사

우리 선조들은 지반침하가 없는 암반 위에 구조물을 축조하는 것이 가장 바람직한 방법임을 익히 알고 있었을 것이다. 그럼에도 불구하고 구조물 설치시에는 위치, 방향 및 주변조건들에 민감한 탓에 때로는 연약한 지반에 인위적으로 기초를 조성한 후 구조물을 축조한 사례들이 많이 발견되고 있다. 옛날에는 구조물의 규모도 작고 굴착장비가 발달되지 않은 탓인지는 알 수 없으나 특별히 지반을 파고 들어가 기초를 축조하지는 않았다. 조선시대 실학자인 서유구(1764~1845)가 저술한 임원경제지(林園經濟志) 내용에 집을 짓는 경우 큰 나무 절구(대목간 : 속칭 원달고)를 가지고 사방을 돌아다니며 땅을 두루 다진 후 주춧돌을 놓는다고 기록하였다. 이 방법 이외에도 고대(古代)부터 중요구조물 기초지반에 지반개량 및 보강공법으로 사용해 온 기법들은 판축(版築)기초(三國, 통일신라시대에 널리 시행된 공법), 보토(補土)다짐기초, 적심석(積心石)기초(오늘날의 stone column 공법), 장대석(長臺石)기초, 나무말뚝 기초, 목조확대기초, 입사(立砂)기초 등이 있다. 이에 대한 자세한 시공법과 대상구조물(사진 및 그림 포함) 및 특징에 관해서는 우리 학회 창립10주년 기념 한국지반공학 발자취, 제 1장 1절의 고대구조물의 기초공법에 관한 연구(정형식, 손형식) 내용을 참조하기 바란다.

연약지반의 간척사업도 일찍이 330년 김제 벽골지로부터 시작하여 인조 때 (1624년)부터 정조 (1800년) 때까지 강화도에 삼간포언(三間浦堰)의

9개 지구나 조성되었는데 그 당시는 거의 지게나 달구지를 이용하여 시공하였을 것이다.

대규모 간척사업의 시작은 1962년 제 1차 경제개발 5개년 계획 시 동진강과 영산강 유역에 실시한 간척사업이다. 1963년 3월 동진강 유역 간척사업이 착공되었는데 이 때는 토운차에 의한 성토작업과 지반개량은 세굴방지를 위한 솔가지나 가마니 깔기와 사석투하가 대부분이었다. 한편 국립건설시험소 토질과에서는 1964년도부터 흙-시멘트 안정처리 공법, 연약지반처리공법, 보강토공법 등 당시로는 국내의 신기술에 해당되는 연구 업무를 수행하였다.

1969년에는 부산 셀 주유탱크 부지에 국내 최초의 동다짐공법에 의한 지반개량을 시행하였으며 그 후 포항하수처리장 기초시공 등에도 이 공법을 적용하였다. 1971년 3월 남양방조제와 아산방조제가 착공되었는데 이 때 침하 및 세굴방지를 위하여 화확섬유(PP) 매트를 지면에 부설한 결과 큰 효과를 보았다. 거의 비슷한 시기에 착공된 금강사업지구 개발사업에서는 연약지반에 설치되는 암거, 관, 소교량 등의 기초공법으로 말뚝기초 대신 모래다짐기초를 적용하기도 하였다. 평택 장안 양수장기초를 쇠석기초로 처리하였는데 오늘날까지 큰 문제는 유발시키지 않고 있다.

우리나라는 해안지방을 따라 모래가 풍부하여서 1960년대부터 샌드드레인공법이 이용되기도 하였지만 1970년 정부의 공업화 정책에 의한 마산자유무역수출공단 현장에서 비교적 큰 규모의 샌드드레인공법에 의한 연약지반처리가 수행되었다.

마산공단에서 마주 보이는 적현공업단지는 1973년에 조성되기 시작했는데 먼저 PP 매트를 깔고 그 위에 준설토로 연약지반을 강제 치환하고 밀린 연약지반에 대해서는 일본제품의 드레인보드를 사용하여 밴드드레인(또는 paper drain)공법을 국내 최초로 적용하였다. 이 때 플라스틱 보드드레인(PBD) 제작기술을 국내에서 최초로 인수하여 PBD제작의 효시가 되었다. 1975년 계획도

간척지 현장 연약지반상에서 용수로와 배수로를 조정하는데 사면안정을 도모하기 위해 흙-시멘트 라이닝으로 사면보호를 한 예가 있다.

한편 지반보강이나 차수목적의 약액 주입공법인 JSP공법은 1979년에 도입되어 안산 갯벌땅에서 시험시공을 한 이래 1980년도 강릉 쌍용양회 싸이로 기초보강에 이용하기 시작했고 물유리계 지압 주입공법의 일종인 SGR공법은 1982년에 도입되었다.

샌드콤팩션파일공법은 광양제철단지 조성 때인 1983년에 대대적으로 시행되었고 그 후 적극적으로 이용되었다. 광양제철단지 지반에는 샌드콤팩션파일공법 이외에도 샌드드레인공법, 프리로딩공법 등을 이용하여 1990년에 지반개량 공사를 완료하였다.

심층혼합처리공법은 1986년도에 부산수영 하수처리장 기초처리에 처음 사용하였으며 팩드레인(pack drain)공법은 광양 콘테이너 기지 건설시 준설매립토에서 1994년에 사용되어 1995년에는 김해 인터체인지 부지 연약지반에 이용되었다.

3. 연약지반의 특성평가방법과 전망

연약지반상에 구조물을 시공하는 경우 일반적으로 안정성과 침하에 대한 검토가 필요하며 이를 위해 연약지반의 공학적 특성을 파악하는 것은 대단히 중요하다. 연약지반의 특성은 주로 현장시험과 실내시험을 통하여 측정 또는 추정된다. 실내시험의 경우에는 시료의 상태를 원지반의 상태와 동일하게 재현하는데 한계가 있음에도 불구하고 시험조건의 간편함과 조절의 용이성으로 인해 실내시험이 차지하고 있는 비중은 대단히 크다. 현장시험의 경우에도 여러 가지 제약사항이 따르지만 원지반의 상태나 응력조건이 보존된 상태에서 시험할 수 있고 시료채취가 불가능한 지반조건에서도 시험이 가능한 장점으로 인해 확고한 위치를 점하고

있다. 본 장에서는 연약지반 특성평가 방법을 조망해 보고 향후 방향을 전망해 보고자 한다.

3.1 시료의 채취방법

시험에 사용되는 시료에는 가능한 한 원지반의 상태가 그대로 보존되도록 하여야 한다. 그러나 최선의 노력을 기울인다 할지라도 응력 이완, 샘플러의 관입, 운반, 보관 및 시료 성형의 과정에서 발생하는 물리적 교란은 피할 수가 없다. 따라서 이러한 요인에서 기인되는 오차를 최소화하기 위한 노력이 끊임없이 경주되어 왔다. 국내의 시료 채취의 수준은 그다지 높은 수준이 못된다. 시료 채취에 직·간접적으로 관여하는 대부분의 기능 공들은 왜 이러한 시료를 채취하는지, 그리고 이것을 어떻게 활용하는지에 대한 정확한 지식을 가지고 있지 않다. 뿐만 아니라 어떻게 하면 교란을 줄일 수 있을지를 고민하지도 않는다. 그렇기 때문에 시료채취과정에서는 물론 밀봉하고 운반하는 과정에서 교란이 발생하게 된다. 특히 해상 작업시에 고정식 작업대를 사용하지 않거나 소구경의 샘플러를 사용하여 질이 아주 떨어진 시료를 채취하는 경우가 많은 실정이다. 모래, 자갈 또는 아주 연약한 점성토의 시료채취를 위해서는 특수한 종류의 샘플러를 사용하여야 한다. 외국의 경우 액화질소에 의한 동결법으로 모래자갈층의 샘플링에 성공한 사례가 있으며 화학적매질의 주입으로 시료를 고결하여 모래질 지반을 샘플링하는 방법도 연구된 적이 있다.

시료채취가 가능한 일반적인 지반에 대해서는 스플릿 스푼 샘플러나 튜브샘플러가 많이 이용된다. 피스톤샘플러는 현재 국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 연약점토층용 샘플러이며 튜브샘플러 보다 양질의 시료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 피스톤샘플러로 얻는 시료의 직경은 76mm가 일반적이나 최근에는 직경 100mm 이상의 시료도 채취하고 있다.

이외에도 블록샘플에 버금가는 양질의 시료를

얻을 수 있는 새로운 샘플러는 피스톤 샘플러에 비해 양질의 시료를 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 깊은 심도의 시료채취가 어려우며 경제성 때문에 외국에서도 대규모 프로젝트나 정밀한 실내시험결과를 요구할 때에만 제한적으로 사용된다. 외국에서 사용되는 대표적인 샘플러는 Laval 샘플러(La Rochelle et al., 1981)와 Sherbrooke 샘플러(Lefebvre & Poulin, 1979)가 있으며, 각각 coring tube에 의한 overcoring방법과 cutter에 의한 carving기술을 이용한다. 국내에서도 이들 장비와 유사한 샘플러를 개량하여 제작, 사용하고 있다.

국내에서도 이와 같은 고급샘플링 기술이 많이 사용될 전망이다. 시료의 교란정도는 동일한 샘플러를 이용하더라도 작업자의 숙련도 및 경험에 의해 크게 좌우되므로 앞으로 많은 경험이 누적되어야 한다. 또한 이들 장비가 북미나 유럽의 sensitive clay를 대상으로 개발된 것이므로 우리나라의 연약점토와 같이 예민비가 상대적으로 적고 overcoring이나 carving만으로도 상당히 교란될 것으로 예상되는 지반조건에서의 적용성에 대한 연구가 선행되어야 한다.

3.2 시료의 취급과 보관

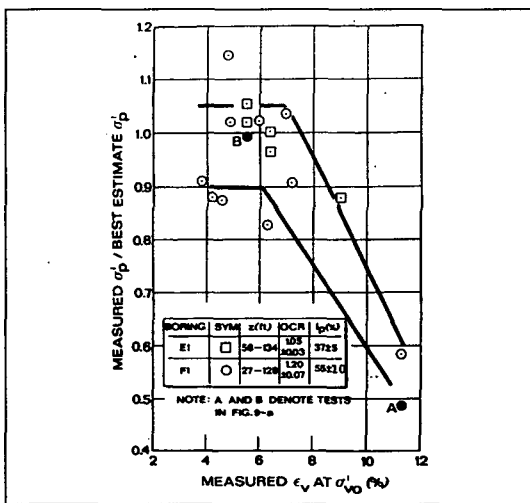
현장에서 채취된 시료는 튜브의 양단을 밀봉하여 운반 후 보관되는데 파라핀 또는 비닐에 의한 봉합으로는 함수비의 변화를 방지하기 어렵다. 따라서 시료의 상부는 회전식 밀봉캡과 같은 밀착형 봉합, 하부는 뚜껑식 캡으로 밀봉하여 수분이동을 방지하고 시료를 고정하는 기술이 사용되어야 한다. 시료의 보관도 항온·항습이 유지되는 장소에 보관하고 조심스럽게 운반하여야 하며 시료의 압출방법도 개선하여 교란이 적은 시료를 사용하여 지반의 특성을 파악하도록 하여야 한다.

3.3 시료 교란의 척도

채취된 시료의 교란정도, 즉 시료의 질을 정량적으로 추정하는 것은 매우 어려운 일이다. 이전에는

샘플링 튜브의 형상에 따라 직경과 단면적 등으로 시료교란의 척도를 표시하였으나, 샘플링 튜브의 형상이 동일하더라도 지반의 조건과 샘플러의 종류, 작업자의 숙련도에 의해 시료의 교란정도가 다르므로 시료교란의 정도를 면적비 등에 의해 직접적으로 표현할 수는 없다.

시료의 질을 추정하는 방법으로는 방사선을 이용하는 방법, 시료내의 잔류 유효응력을 측정하는 방법, 압밀곡선으로 추정하는 방법, 현장 유효응력까지의 압밀시 발생하는 체적변화 등을 이용하여 측정하는 방법 등이 제안되었으나 이들을 측정하여 정량화하기 어렵다는 문제가 있다. 아래의 <그림3.1>은 원위치의 유효상재하중까지 압밀시 발생하는 연직변형률과 선행압밀하중의 변화를 도시한 것으로 재압밀시 체적변형이 클수록 선행압밀하중이 과소평가됨을 알 수 있다. 따라서 재압밀시 발생하는 변형률의 크기로 시료의 교란정도를 판단할 수 있으며 일정크기 이상의 체적변화가 발생한 시료에 대한 시험결과는 신뢰도에 의문이 있는 것으로 판단해야 한다. 이 외에도 응력 변형을 관계로부터 최대응력이 작용되는 시점의 변형률이 5%를 초과하고 있다면 교란의 정도가 심한 것으로 판단하여야 한다.



<그림3.1> 재압축 변형률에 대한 선행압밀하중

3.4 전단강도 특성

연약지반상의 구조물의 안정검토를 위해 필요한 지반의 전단강도는 주로 일축 또는 삼축압축시험, 콘관입시험(CPT, CPTU), 베인전단시험 등에 의해 측정되고 있다. 삼축압축시험은 시험조건 조절의 용이함과 장비사양의 제한으로 인해 등방압밀 비배수 압축시험(CIUC)이 주로 실시되어 왔으나 대규모 프로젝트나 정교한 시험결과가 요구되는 경우에는 Ko압밀 비배수 압축시험(CKoUC)시험이 실시된다. 대체적으로 퇴적 점성토지반은 강도의 이방성을 나타내고 응력 경로 또는 전단속도 시험기의 경계조건에 따라 각각 다른 강도 특성을 나타내기 때문에 이의 영향이 반영된 강도 특성을 파악하는 기술이 필요하다.

3.4.1 응력 경로와 시험장치

정규압밀된 점성토는 일반적으로 유효상재하중이 클수록 간극비나 함수비가 감소하므로 비배수 전단강도는 깊이에 따라 증가하며, 강도정수중 C 값은 0이거나 아주 작고 값은 일정한 것이 일반적이다. 지반의 강도정수는 흙 요소에 작용하는 응력 상태에 따라 영향을 받기 때문에 초기응력상태와 응력경로를 고려해야만 주어진 지반의 전단강도를 정확히 평가할 수 있다. 지반의 초기응력상태와 응력경로는 구조물의 종류 및 고려되는 흙 요소의 상대적 위치 등에 따라 달라지며 실내시험시 이를 재현하기 위해 압밀응력과 하중작용방향을 조절한다. 현장시험은 응력경로가 실제상황과 무관한 경우가 일반적이며 시험결과를 경험식을 이용하여 비배수 전단강도로 환산하므로 응력경로를 고려한 설계입력치를 산정하기 어렵다.

삼축시험은 점성토의 전단강도 정수를 산정하는데 널리 사용되고 있는 실내시험이며 현장조건을 근접하게 모사할 수 있는 장점이 있다. 실린더 형상의 시료를 시험하는 삼축시험기는 현장의 초기 응력상태 및 시료의 초기상태를 재현하기 위해 등방 또는 Ko조건하에서 압밀이 가능하고 응력경로

를 모사하기 위해 압축 또는 인장시험을 실시할 수 있다. 그러나 특별한 제어장치가 없으면 K_0 압밀을 수행하기가 어렵고 대부분의 경우 압밀시 축방향 변형률이 체적변형률과 같도록 조절하는 방법으로 K_0 압밀을 실시한다. 응력경로 제어시험은 여러 가지 장점이 있으나 진삼축시험(true triaxial test)장치와 같은 고가의 장비에 의해서만 완벽히 수행될 수 있고 비용이 많이 들어 실무적인 차원에서의 적용이 어렵다. 평면 변형률 시험은 삼축 시험보다 수행하기가 어렵고 비경제적이라 거의 사용되지 않으며, 직접 전단시험은 응력상태를 정확히 알 수 없다는 단점이 있다. 비틀전단시험(torsional shear test)은 응력 경로를 제어하는데 매우 효율적인 시험이며 점토의 이방성 연구에 유용하게 사용되고 있다.

현장시험시 표준관입시험(SPT)이나 콘관입시험(CPT)은 재하속도가 상대적으로 빠른 상태에서 측정된 현장시험값(N , q_c)을 얻으며, 이를 정적하중에 대한 안정성 검토를 위해 비배수전단강도로 환산한다. 따라서 상이한 배수조건과 응력경로하에서 얻은 현장시험의 결과를 환산하는 과정에서 상당한 오차가 발생할 수 있다. 딜라토미터(DMT)나 공내재하시험(PMT)의 경우처럼 횡방향 응력증가에 대한 지반의 거동에서 추정되는 특성치는 횡방향 토압계수나 응력이력을 추정하기 위한 좋은 방법이나, 연직방향으로 작용하는 하중에 대한 안정성 검토시 사용될 비배수전단강도의 추정에는 많은 오차가 결부될 수 있으므로 앞으로 많은 연구가 필요한 분야이다.

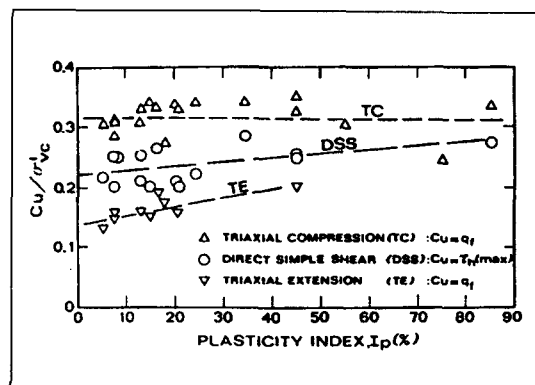
안정검토를 위해 사용되는 한계평형 해석방법들은 초기응력상태는 고려하지만 하중변화에 의해 파괴에 도달할 때까지의 응력경로를 고려할 수 없고 이때의 응력이나 변형을 해석할 수 없다는 문제가 있다. Ladd(1991)는 다단계 재하로 인한 압밀 효과를 고려하여 비배수강도해석(undrained strength stability analysis)방법으로 연약지반 상 성토에 대한 안정성 검토를 실시하는 방법을 제

안하였다. 반면에 유한요소해석법은 초기응력상태 및 응력경로를 고려할 수 있고 응력과 변형에 대한 해석이 가능하다는 장점이 있는 반면 입력 특성치 및 해석모델에 의해 해석의 정확도가 좌우된다.

3.4.2 전단강도의 이방성

지반의 이방성은 흙구조의 차이에 의한 초기이방성과 전단시의 응력체계에 의해서 발생하는 유도이방성으로 구분된다. 아래의 그림은 동일한 시료를 삼축압축시험(CKoUC), 삼축인장시험(CKoUE), Direct Simple Shear(DSS)로 시험하여 얻은 점토의 비배수 전단강도를 나타내고 있다. 이 <그림3.2>에 의하면 축방향압축, DSS, 축방향 인장의 순서로 전단강도가 크며 그 차이는 소성지수가 커지면서 감소한다. 이러한 이방성은 변형계수, 간극수압의 발생 특성, 비배수 전단강도 및 강도정수에 영향을 미친다. 점성토의 안정성 검토시에는 실내시험 또는 현장시험에서 구한 전단강도에 전단 속도, 강도의 이방성, 진행성 파괴 등을 고려하여 설계강도를 산정해야 한다. Ladd(1975, 1991)는 진행성파괴를 고려하기 위한 strain compatibility technique을 제안하였고 강도의 이방성을 고려하여 비배수강도해석을 실시하는 과정을 소개하였다.

연약지반의 개량을 위한 연직배수공법중 비교적 개량직경이 큰 SCP공법은 치환율이 비교적 크



(그림3.2) 소성지수에 따른 비배수 전단강도의 이방성

고 모래가 모래/연약지반 복합체의 전단강도에 미치는 효과가 크므로 안정검토시 전단강도의 정확한 평가가 어렵다. 압밀로 인한 강도증가 및 복합체 거동으로 인한 강도증가효과를 효율적으로 검토할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하며, 이방성 및 배수조건이 고려된 강도의 평가가 이루어져야 한다.

3.4.3 시료교란 영향의 배제

실내 삼축시험은 현장 조건을 그대로 모사할 수 없고, 시료 교란의 영향을 받는 단점이 있다. 과압밀 점토의 경우에는 시료교란으로 인하여 삼축시험으로 구한 전단강도가 과소평가 되며, 정규 압밀 점토의 경우에는 현장응력에 대한 압밀시 과도한 체적변화가 발생하여 전단강도가 과대평가 된다. 이러한 시료 교란의 영향을 배제하기 위한 실내시험 기법이 꾸준히 연구되어 왔으며, 점토 시료의 교란 효과는 원지반 응력보다 훨씬 큰 응력하에서는 소멸되며, 또한 점토의 강도는 압밀응력에 대한 정규화거동을 나타낸다는 사실에 근거하여 SHANSEP 방법 (Ladd & Foot, 1974) 및 재압축 기법 (Bjerrum, 1973) 등이 개발되었다. 그러나, 이 기법 활용시에는 시료내의 원지반 구조 특성을 소멸시키기 때문에 실제지반의 대변하는 정확한 강도값이 될 수 없다는 점이 지적되고 있음을 잊어서는 안된다. 또한 샘플러의 형상이 샘플링 과정에서 발생하는 변형에 미치는 영향을 평가하기 위한 변형률 경로(strain path)기법이 Baligh(1984)에 의해 제안되었다.

3.5 변형 특성

연약점토지반의 변형은 하중재하 즉시 발생하는 즉시 침하, 압밀 침하, 2차 압밀 등에 의해 주로 발생한다. 즉시침하는 비배수상태에서 발생하므로 비배수 탄성계수(E_u , M_u)등이, 압밀침하량 및 소요기간의 산정에는 C_c , C_s , C_α , C_v 등의 특성치가 필요하다. 압축특성에 관련된 이러한 파라

미터들은 주로 삼축시험과 압밀시험에 의해 평가되거나 현장시험의 결과로부터 추정되기도 한다. 현장시험방법중 지중에 연직방향으로 압입되거나 타격관입되어 시험을 실시하는 SPT나 CPT는 과압밀효과에 상당히 둔감하여 비배수 탄성계수를 상당히 과소평가할 수 있으며, 과압밀된 지반의 E_u/cu 값이 정규압밀 지반에 비해 적은 것으로 알려져 있다. 압밀소요기간을 지배하는 압밀계수는 실내압밀시험과 피에조콘의 간극수압 소산시험에서 얻을 수 있으나, 피에조콘으로 얻은 압밀계수가 실제하중으로 인한 응력증가 수준에 상응하는 것인지에 대한 논란이 있고 이방성 투수특성으로 인한 압밀계수의 변화에 관한 많은 데이터의 축적이 필요하다.

3.5.1 즉시 침하 현상

즉시 침하란 외부하중이 가해지자마자 즉시 발생하는 침하로 모래지반에서는 하중 증가와 동시에 물이 배수되기 때문에 즉시 침하가 전체 침하량과 같다고 볼 수 있다. 점성토의 경우에도 하중증가에 따라 국부적인 전단파괴가 발생하여 일정량의 즉시 침하가 발생하므로 침하량 검토시에는 압밀 침하뿐만 아니라 즉시 침하도 고려해야 한다.

3.5.2 압밀 침하 현상

가. 변형률·속도의 영향

일정변형률 압밀시험(CRS)을 통한 연구결과는 점토의 압밀거동이 변형률 속도의 영향을 받으며, 변형률 속도가 증가할수록 선행압밀하중의 크기도 증가하며 압축성은 작아지는 것으로 지적하고 있다. 이러한 결과에 근거하여 Leroueil 등 (1985)은 변형률 속도에 따른 선행압밀하중의 크기와 변형률 속도에 대한 정규화 압밀곡선의 관계를 이용하여 응력-변형률 속도의 유동학적 모델을 제안하였으며, 최근에는 변형률 속도뿐만 아니라 온도의 영향을 고려한 유동학적 모델도 제안되었다.

표준압밀시험에서 유발되는 변형률 속도는 보통 10^{-7} s^{-1} 내외이나 CRS 시험에서 수행되는 변형률 속도는 이보다 크므로 CRS 시험에서 선행압밀하중이 크게 산정되는 것이 일반적이다.

나. 1차 압밀

1차 압밀은 하중 증가에 따른 과잉간극수압의 소산이 완료되는 시점을 기준으로 한다. 실내 압밀 시험에서 1차 압밀종료(EOP) 압밀시험과 하중제하 24시간을 기준으로 하는 표준압밀시험결과를 비교한 결과 EOP 압밀시험으로 측정된 압축성이 작은 것으로 알려져 있으며 이는 표준압밀시험시 일정량의 2차 압밀이 발생하기 때문이다. 또한 EOP 압밀시험시 과잉간극수압 측정으로 산정한 압밀계수는 표준압밀시험에서 $\log t$ 법 또는 \sqrt{t} 법과 같은 도해법을 이용하여 산정된 압밀계수보다 큰 것으로 알려져 있다.

다. 2차 압밀

2차 압밀에 대한 정의는 1차 압밀 종료 후에 발생한다는 가설 A와 1차 압밀중에도 발생한다는 가설 B의 논란이 계속되고 있다. 가설 A에 근거하여 1차 압밀은 점토의 두께와 관계없이 특정한 관계를 보이며 1차 압축지수와 2차 압축지수의 비가 하중단계에 관계없이 일정하다는 주장이 제기되었다. 한편 가설 B에 근거하여 점토의 1차 압밀은 점토의 두께에 영향을 받으며 변형률 속도의 영향을 고려한 유동학적 모델이 제시되었다.

일반적으로 실내시험에서 추정된 압밀거동이 현장에서 실제 관측된 거동과 상이한 경우가 많은데 이는 현장지반과 실내시험 시료의 두께 차이로 인한 변형률 속도의 차이와 시료의 전체지반에 대한 대표성 결여를 주원인으로 지적할 수 있다. 따라서 실제 연약지반의 거동을 보다 정확히 예측하기 위해서는 변형률 속도에 의존하는 연약지반의 압밀거동해석과 역해석 기법 적용 및 관측된 자료를 이용한 지반특성치의 최적화에 대한 연구가 필

요하다.

3.6 현장관측을 통한 지반의 특성평가

실내 및 현장시험 결과, 즉 대부분의 요소시험(element test) 또는 현장의 지점시험(spot test)을 가지고 실제지반의 거동을 예측하는 데에는 공학적인 한계가 있다. 사업의 규모가 클수록 이러한 현상은 두드러지게 된다.

현장관측의 일차적인 목표는 주어진 여건 하에서 지반의 거동을 추적하는 변위관찰이다. 다른 말로 표현하면 연직방향의 변위인 침하와 수평방향의 변위관찰이다. 경시성 변위의 추이가 증가하는 경우에는 지반의 불안정성을 나타내게 되고 그 추이가 서서히 감소하는 경우에는 지반이 점진적으로 안정화되고 있는 것을 의미한다. 특별히, 지반 속의 과잉간극수압을 지속적으로 관찰함으로써 어느 정도의 변위를 유발하게 될 것인가 그에 따른 지반의 불안정성 등은 어떻게 될 것인가 등을 평가하게 된다. 지반 속의 과잉간극수압의 발생현상으로부터 지반의 응력이력을 추정할 수 있다. 즉, 지반이 크게 과압밀(heavily overconsolidated state) 되어 있을 경우 부(-)의 과잉간극수압이 발생하고 지반이 정규압밀 되었거나 약한 과압밀상태(lightly overconsolidated state)에 있을 경우에는 정(+)의 과잉간극수압이 발생되게 된다.

연약지반상의 공사시 과거에 비하여 계측관리의 중요성이 상당히 인식되어 계측항목 및 수량이 많아지기는 하였으나 아직은 필요한 만큼의 항목들을 모두 수용하지는 못하고 있다. 또한 발주처에 따라 계측기의 배치간격 및 수량, 측정빈도에 대한 기준들이 상이하여 공사중 문제 발생시 이에 따른 계측관리비 정산이나 설계변경에 유연하게 대처하지 못하여 계측관리의 목적을 합리적으로 달성하지 못하고 있는 실정이다.

3.7 연약지반 특성 평가 방법에 대한 전망

그 동안 국내에서 수행되어 온 연약지반의 특성

평가 방법으로는 실내시험으로서 물리적인 시험(index property test)과 표준압밀시험, 표준1축 또는 3축시험, 실외시험으로서는 표준관입시험과 콘관입시험 또는 배인전단시험 등이 주를 이루어 왔다. 이러한 시험들은 아주 기본적인 것이기 때문에 앞으로도 지속되어질 것이다. 또한, 시료의 질(quality)에 대한 관심이 더욱 강조되어 샘플링의 기법이 개선되고, 샘플러의 개발 등이 활성화되면서 이에 대한 비용계상도 개선될 것으로 보인다. 이 사항들은 조속히 추진되어야 할 사항이며 이 부분의 개선이 이루어지지 않는 한 국내의 기술발전과 기술경쟁력은 기대하기 어려울 것이다.

실내시험에서도 삼축시험기의 활용이 다양화되어 지반의 응력경로에 의존하는 특성들이 많이 연구될 것이다. 또한 이러한 실내의 요소시험 이외에도 모델시험(model test)이 더욱 활성화 될 것이다. 특히 현장의 실물크기 시험이 각광을 받게 될 것이며 실내모델시험으로는 centrifuge model test가 다음 세대의 시험기법으로 부상되고 정보화 전산화된 새롭고 편리한 시험 기자재의 발전도 가시화될 것이다. 이와 더불어 현장의 관찰특성 파악도 보편화되고 질적인 면에서도 상당히 진보될 것으로 내다보인다.

4. 연약지반의 대책기술과 전망

4.1 대책기술

연약지반은 압축성이 크고 전단강도가 작아서 이러한 지반위에 구조물 등을 축조할 때 지지력 및 활동에 대한 문제, 침하로 인한 문제, 말뚝에 작용하는 부마찰력으로 인한 문제 및 지반의 액상화문제 등을 유발시킨다. 지반의 연약성에 대한 평가는 연약지반에 가해지는 힘에 의해서 결정되며 연약지반상에 축조되는 구조물의 규모 및 특성과 하중강도 등에 따라 다를수 있으므로 연약지반은 종종 이용 목적에 따른 상대적 평가에 의해 정의되기도

한다.

그러나 실제 공학적인 관점에서는 구조물에 따른 상대적 개념의 연약지반 판정은 현실적으로 제한이 많으며 지반조사 계획단계에서부터 적합한 조사방법 및 장비가 투입되어야 되며 또는 구조물 형식선정에 따라 전체계획이 조절되므로 구조물의 설계에 앞서 지반조사 단계에서부터 판정이 필요하다. 이러한 관점에서의 연약지반은 대체적으로 점성토에서는 N치 4~6이하인 지반, 사질토 지반에서는 N치 10이하인 지반을 연약지반이라고 한다.

이러한 연약지반은 구조물의 특성을 고려하여 경제적이고 효율성 있게 개량하고자하는 많은 노력들이 계속되어 왔으며 현재에도 발전을 하고 있다. 특히 산업의 발달에 따라 새로운 소재가 개발되고 이를 지반공학에서 활용하고자하는 노력이 많이 시도되고 있는 실정이다. <표 4.1>은 연약지반 대책기술의 원리와 개발경위 및 적용되고 있는 추세를 나타낸 것이다.

이 표에서 주목할만한 사항은 느슨한 지반위에 세워진 구조물이 지진이나 폭파, 기타 진동으로 인한 충격을 받았을 때 액상화 현상으로 파괴되고 있는 것을 방지하기 위해 드레인파이프 또는 자갈말뚝(gravel drain)등으로 대책을 수립하여야 되는 부분이다. 국내에서 내진설계가 의무화되고 있는 현시점에서 지반공학 기술자들이 보다 관심을 가져야 될 부분이다.

또 새로운 소재를 지반개량에 활용하고 있는 발포스티롤, 플라스틱드레인, 약액주입(물유리계, 고분자계), 안정제 혼합교반(예로서 DWM공법), 지오신스텍스 등은 신소재의 활용측면과 아울러 보다 혁신적인 개량효과가 기대되는 공법들이다.

4.2 대책기술의 발전전망

1990년대 이후의 지반대책기술의 특징은 토양 감소를 위한 방법의 개발 및 환경친화성을 감안한 자원재활용(recycle)에 기초를 둔 공법 및 저소음

〈표 4.1〉 각종공법 원리와 개발경위 및 원리와 적용되고 있는 추세

기본원리	방법 및 재료	공법에	년도							비고
			1930년	1940년	1950년	1960년	1970년	1980년	1990년	
치환	굴착치환									경향 감소
	압출치환									최근실시에 거의 없음
	발파치환									사례 거의 없음
	강제치환	만모스폼포자, SSP, NTK Compaction								치환율70%강, 저치환율증
배수 (압밀)	자연압밀	Preload공법, Surcharge공법								
	드레인에의한 압밀촉진	팩드레인, 샌드드레인								
		플라스틱드레인(또는 Paper Drain)								새로운 소재가 개발되고 있음
	펌프배수	Deep Well, Well Point								보조적 공법
		진공압밀								시공에 매우 적음
	전기침투	전기침투공법								실험단계
	화학적배수	생석회말뚝공법								
역침투공법(MAIS공법)									실험단계	
배수촉진	드레인파이프공법, Gravel Drain공법								액상화대책공법	
압축	다짐 모래말뚝 공법	동적 Sandcompaction Pile공법 (Vibro Composer, SSP, NTK, OFB등)								
		정적 SAVE공법, 정적다짐 말뚝공법, Compaction pile공법								
	방상진동기	Vibroflotation, SVS등								
	이형Rod	KF Compaction, Pipe Rod								
	중추낙하	동압밀공법								
	약액 주입	물유리계	DCC, DDS, MG-ROCK							
	실리카졸계	Silicalizer, Hybrid-Silicasol								
	우레탄계	Aqua-Lock, PUIF								
화학적 고화 (열처리)	안정재 교환혼합	각종 표층혼합처리								
		심층혼합처리(DLM, CMC, CDM, DJM 등)								
		사전혼합처리공법(Premix공법)								매립재의 전처리
		유동화처리								공동충진 실적많음
	관중(管中)혼합처리								혼합방법이 특징	
안정재 분사주입	CCP, 제트그라우팅, JSP, RJP, SIG, MM등								주입보다 치환에 가까움	
열적처리	소결공법								시공에 없음	
	동결공법								일시적 개량	
보강	가요성 안장재료	복토공법(조립토 포설)								
		Geotextile(Mat), Rope Mat, 대나무매트								복토 보조공법
		각종 Geotextile 및 Geogrid의 신소재보급								새로운 소재보급
		보강토공법(Strip식, Geogrid식등)								성토등의 보강
압축재료	샌드컴팩션파일, 고화토								복합지만 형성	
하중경감	부산물등	툽법, 패각 등								
	발포Styrol	발포Styrol, 발포폴리스틸렌(EPS)공법							새로운소재 적극적이용	
	경량혼합토	경량혼합처리토공법								

과 지진동공법들의 개발과 액상화대책 및 지반공학에 이용되는 신소재(즉, 신지반재료)의 개발 등이다.

특히 환경친화성에 대한 고려를 할 때 7가지의 전형적인 공해 즉 소음, 진동, 지반침하(광역지반침하), 대기오염, 수질오염, 토양오염, 악취를 배제시켜야 될 것이다. 특히 시공중에 발생하는 소음 및 진동은 동적하중(동다짐, 진동을 수반하는 다짐, 연직배수재의 시공 등)에 의해서 발생하는 것으로 이제까지는 저소음 및 저진동의 시공기계를 개발하는데 주력하였으나 최근에는 정적다짐 말뚝 공법 및 모래를 혼합하여 슬럼프 값이 작은 그라우트재를 압입하는 컴팩션 그라우팅공법들이 개발되고 있다. 향후에는 이들 공법의 기계적 개발과 병행하여 합리적 설계방법과 품질관리 방법 등이 체계화되는 노력이 시행될 것이다.

통칭 페이퍼 드레인공법이라고 칭하며 현재 적용되고 있는 플라스틱공법은 최초 개발당시 지제품을 사용하고 그후 수지제품을 사용한 특징으로 인해 아직까지도 내구성 등에 대한 의구심을 갖고 있으나 이러한 의구심은 기우인 상태이다. 일본 등에서는 마와 야자잎을 이용한 환경친화적 파이버 드레인(fiber drain)을 개발하여 일정시간이 지나면 흙으로 회귀되는 제품이 실용화되고 있는 상태이다.

지진에 의한 재해는 피해지역의 사회적 기능저하 및 경제적 손실뿐만 아니라 국가와 사회 전체의 기능을 마비시킬 수 있을 정도의 재난을 초래할 수 있다. 최근 인접국가들에서 발생된 지진으로 인한 심각한 재난을 우리 모두가 기억하고 있으며 내진구조물 구축의 중요성을 아무리 강조해도 지나치다고 할수 없을 것이다.

우리나라에도 각종 국가기반시설들의 지진시의 피해를 최소화하기 위하여 1995년 12월에 제정된 자연재해 대책법에 내진대상 시설물을 정하여 내진설계를 시행할 것을 규정하고 있다. 이러한 여건상 변위 및 변형률을 제안하는 구조물에서 그라벨

드레인 및 파이프드레인에 대한 합리적이고 체계적인 적용이 개발될 것이다.

자원재활용 관점에서는 산업 및 건설현장의 부산물을 이용한 시멘트 안정처리공법으로 국내의 경우 광양항 개발사업에서는 제강슬러그의 활용방안에 대한 시도가 진행되고 있으며 연구를 통하여 활용방법이 체계화될 것이다. 또 최근 신기술로 지정되어 있는 DWM(Deep Wing Mixing) 공법 등은 탁월한 환경친화성을 갖는 공법으로 초연약한 준설매립지(hydraulic fill)에서 효과적인 적용이 이루어질 전망이다.

5. 연약지반에 대한 이론적 접근방법과 전망

주변환경이나 조건의 변화에 많은 영향을 받고 또한 많은 불확실성을 포함하는 지반공학 문제의 경우 경험이 매우 중요하다는 것은 누구나 인지하고 있다. 그러므로 이러한 조건변화 및 불확실성 등에 따른 거동특성 변화를 실제로 경험함으로써 알고있다는 것은 실로 매우 중요한 것이 아닐 수 없다. 따라서 실제 공사 시 겪는 많은 시공사례로부터 얻어지는 경험들은 지반공학자들이 습득해야만 하는 필수 불가결한 것임에 틀림이 없다.

그러나 1920년대 Terzaghi는 토질역학에 대한 이론적 접근방법을 제시함으로써 토질역학이 한 걸음 나아갈 수 있는 진보를 이루었고 이로 인해 그는 누구도 부인할 수 없는 토질역학의 아버지라 일컬어진다. 그럼에도 불구하고 많은 지반공학 문제의 경우 이론적인 접근이 어렵다는 것은 사실이다. 이는 주어진 지반재료의 거동특성이 매우 특이하며 여러 요소들에 의해 영향을 받으므로 이들을 이론적으로 모두 고려하여 해를 구하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 더욱이 지반재료는 그 특성상 과거의 응력이력이나 그간 경험하였던 여러 주변 환경변화들을 모두 기억할 뿐만 아니라 그 이후에 나

타나는 조건의 변화 시 과거에 지녀왔던 그 특성들이 차후에 나타나는 거동에 크게 영향을 미친다. 이로 인해 특히 자연지반의 경우 현재상태 그대로의 특성을 이해하지 못하고는 그 이후에 나타나는 거동특성 또한 예측이 거의 불가능하다.

이러한 지반재료 자체의 복잡한 거동특성 때문에 과거의 이론적 접근방법들은 문제를 단순화하기 위해 대부분 많은 가정사항들을 포함할 수밖에 없었다. 그러나 최근에는 컴퓨터의 발달로 인한 여러 수치해석 기법들이 발달하여 과거에 가정할 수밖에 없었던 가정사항들의 많은 부분을 해결하였다. 하지만 그렇다 하더라도 지반재료의 거동특성에 영향을 미치는 요소들을 모두 고려하기는 아직 역부족 상태에 있다고 할 수 있다.

아무튼 우리 지반공학자로서 해결해야 할 당면한 문제들이 대부분 명백한 해답을 얻기가 매우 어려운 문제들이라는 것은 지반공학자들에게 더욱 가치를 부여한다고도 할 수 있다. 그러나 진정으로 훌륭한 가치 있는 지반공학자인가 아닌가는 이러한 어려운 문제들을 얼마나 타당성 있게 논리적으로 추론한 후 그 문제에 대한 가장 적절한 해를 얻을 수 있는가에 달려 있다고 할 수 있다. 이것은 여러 지반공학과 관련된 이론들을 정확히 습득하여 이해하고 이들을 실제 문제에 응용할 수 있는 정도의 능력을 가졌을 경우에만 가능하다고 할 수 있다.

특히 연약지반의 경우 가장 크게 대두되는 문제들은 대부분 과도한 침하와 연약한 강도에 기인된다고 할 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 요구되는 필수조건은 이러한 과도한 침하와 연약한 강도를 나타내는 연약지반에 대한 아주 기본적인 거동특성에 대하여 먼저 이해가 선행되어야 한다는 것이다. 이에 대해서는 여러 저명한 지반공학자들이 참으로 꾸준한 각고의 노력 끝에 많은 연구를 수행하여 훌륭한 결과들을 많이 발표하여 왔다. 또한 그들은 단순한 이론적 연구에 그치지 않고 이를 실제 현장에 적용함으로써 오늘날

우리가 유용하게 사용할 수 있는 많은 반경험적인 상관관계들을 제안하였다.

그러나 여기서 우리가 또한 짚고 넘어가야 하는 사항은 그들이 제안한 매우 널리 이용되는 많은 경험식들은 단순한 경험을 바탕으로 이루어진 상관관계가 아니라는 것이다. 그 바탕에는 토질역학의 기본 이론들이 함축되어 있으며 그들의 바탕이 되는 이론적 논리의 도움으로 우리는 어떻게 그러한 상관관계들이 이루어 질 수 있는지를 이론적으로 추론하는 것이 가능하다는 것이다. 이러한 튼튼한 이론적인 바탕이 없이 이루어진 경험식들은 물론 그 사용성에 있어 매우 제한되고 있으며 그 유용성이 점점 쇠퇴할 수밖에 없는 것이다.

따라서 우리 지반공학자들은 그들을 단순히 적용하는데 그치지 않아야 한다. 지반공학자로서 그러한 경험적인 상관관계들이 적용될 수 있는 당면한 문제를 해결하고자 할 때 그 바탕에 있는 이론적인 배경들을 반드시 숙지할 필요가 있다. 이러한 때 그 적용성이 더욱 뛰어나게 될 뿐만 아니라 약간의 수정 및 보완이 요구되는 경우에도 응용력을 발휘하여 훌륭하게 대처할 수 있는 것이다.

한편 최근에는 매우 눈부신 컴퓨터의 발달로 인해 누구나 쉽게 컴퓨터에 접근이 가능하다. 지반공학 문제들 또한 해결이 가능한 많은 컴퓨터 프로그램이 개발되어 적용되어 오고 있다. 이는 우리 지반공학자에게도 당면한 문제를 해결하기 위한 매우 편리한 방안이 될 수 있기에 그 사용이 날로 증가하고 있는 추세이다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 지반공학 문제는 일반인이 생각하듯이 그렇게 단순한 경우가 드물다. 물론 당면한 문제를 해결하기 위해 컴퓨터 프로그램을 이용하는 경우 그 문제를 해결할 수 있다고 생각되는 하나의 답을 얻을 수는 있다. 그러나 이렇게 얻어진 해결책이 진정으로 우리가 실제 문제에 적용하였을 경우 우리가 당면한 문제를 훌륭하게 해결할 수 있다고는 생각하지 않아야 한다. 그 이유는 컴퓨터 프로그램을 이용하여 당면한 문제를 해결하고자 하더라도 모

든 조건과 주변환경 및 초기상태 등을 완벽하게 모사할 수 있는 컴퓨터 프로그램은 아직 개발되어 있지 않고 그것은 아직도 매우 어려운 당면한 문제이기 때문이다.

연약지반과 관련된 문제를 예로 들어보자. 연약지반 상에 주어지는 각종 하중변화 또는 주변환경 변화로 인한 압밀침하 문제를 해결하고자 할 경우에도 먼저 앞서 기술한 바와같이 현재 주어진 상태를 먼저 정확히 모사하는 것이 이후의 변화에 대한 거동특성을 얻는데 필수적인 요건이다. 따라서 현재 주어진 연약지반 상태(응력상태, 지층조건, 배수조건, 간극수압 및 피압수 조건 등)를 먼저 모사하여야 하지만 과거 수천 수만년 동안 이루어진 자연상태를 재연하여 모사하는 것은 쉽지 않고 현장상태를 정확히 파악하는 것 또한 많은 노력과 경비가 요구된다. 이로 인해 기존의 몇몇 실제 현장에서 수행되었던 진정한 예측결과들(결과를 전혀 모르는 채 예측한 결과들)은 실제 현장에서 나타난 결과와 매우 상이한 것이 대부분이었다.

뿐만 아니라 이러한 초기조건 등의 문제를 해결한다고 하더라도 주변 환경 및 조건변화에 대한 연약지반 재료의 거동특성을 모사하는 것 또한 쉬운 일이 아니다. 이에 대해서도 많은 연구가 진행되어 매우 적절하게 모사가 가능한 몇몇 모델들이 개발되어 실제 그 적용성이 검증되었지만 관련된 변수들 추정에 대한 문제점 또한 적지 않다. 이러한 사항들은 보다 다양한 문제를 해결할 수 있는 여러 수치해석 방법이 적용된 컴퓨터 프로그램을 이용하고자 할 때에도 단순한 적용으로 인해 얻어지는 해결책은 큰 도움이 되지 않을 수도 있다는 것이다.

반면 연약지반의 강도와 관련하여 나타나는 문제들은 그간의 많은 노력으로 인해 어느 정도 적용성이 뛰어난 해결책들이 제시되어 있다. 물론 이 경우에도 단순한 적용을 통하여 얻어진 해법을 실제 현장에 그대로 적용함으로써 인해 실제 현장에서 많은 문제들이 야기되기도 한다. 그러나 앞서 기술

한 바와 같이 충분한 이론적인 배경을 갖춘 훌륭한 지반공학자들은 비교적 이러한 문제들을 당면할 때 실제 적용이 가능한 훌륭한 가치 있는 해결책을 제공할 수 있다.

결과적으로 모든 학문은 그 학문의 바탕을 이루는 이론적 배경들이 있으며 그러한 기본적인 이론적 배경들은 그 학문의 발전에 없어서는 안될 필수 불가결한 요소라 아니할 수 없다. 하나님에 의해 창조된 자연적인 지반 재료는 참으로 복잡한 재료이기에 인간으로서는 이해하기 힘든 많은 미지의 세계가 있다. 그러나 하나님께서는 연약지반 또한 우리 인간이 살 수 있도록 허락하셨을 것이다. 다만 어떻게 주어진 환경에서 행복한 삶을 영위할 것인가는 우리 인간의 선택에 달려있다.

앞으로는 당면한 문제를 해결하고자 더욱 복잡하고 다양한 해석기법들이 더욱 많이 개발될 것은 자명한 일이다. 문제는 그러한 방법들이 정말로 진정한 해결책이 되기 위해서는 아무리 단순한 방법이라 하더라도 그 안에 함축된 기본적인 이론적 기초와 논리들이 우선적으로 이해되어야 한다는 것이고 그렇게 될 때에만 더욱 유용성과 응용성이 뛰어난 방법으로 발전될 수 있다는 것이다.

그리고 컴퓨터의 활용은 다른 분야보다도 훨씬 그 진보가 빠르게 이루어지고 있으므로 지반공학에서도 그의 활용은 앞으로도 더욱 활발해질 것이다. 이러한 컴퓨터를 활용한 방법들은 이용하는 사람에게는 매우 편리한 방법이 될 수도 있고 지금까지 우리가 해결하지 못하였던 많은 문제를 해결해 줄 것이다. 그러나 그것을 이용하여 얻어진 해답은 그 컴퓨터를 작성한 사람과 그를 이용하는 사람에 따라 매우 달라질 수 있다. 그 이유는 그 안에 이용된 여러 가지 수치 해석적 방법들의 적용성과 당면한 문제를 모사하기 위하여 적용할 수 있는 모델링 방법에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있기 때문이다.

그러므로 이용하는 사람이 본인이 원하는 바람직한 결과를 얻기 위해서는 그 안에 함축된 여러

가지 모델링 방법이나 해석방법이 얻어지는 결과에 미치는 영향 등에 대하여 반드시 숙지하여야 할 것이다. 이를 위해서는 단순한 경험들과 눈부신 컴퓨터 프로그램의 발달로 인해 점점 간과하기 쉬운 진 지반공학에 대한 기본적인 이론들이 바탕이 되어야 한다.

현대는 모든 분야에서 더욱 편리한 삶의 방편들을 제공하고 있다. 물론 지반공학에서도 그러한 편리한 방편들이 제공되어야 할 것이다. 그러나 이론적으로 잘 확립되지 못한 그러한 방편들은 결과적으로 우리들의 삶을 더 끈고하게 만드는 원인이 될 수도 있을 것이다. 새 천년에는 무엇보다도 기초가 확립되고 이론적 배경이 확고한 보람된 결실들이 지반공학자들 간의 진정한 논리적인 사고 방법과 토론에 의해 풍성하게 이루어질 수 있기를 기원한다.

6. 결론

지반지술자라면 점성토를 연약지반을 대표하는 흙으로 지목하는데 주저하지 않을 것이다. 이 만큼 점성토 지반은 우리에게 문제를 안겨 주었고 우리는 이것을 해결하려는 노력을 오랜 기간 동안 기울여 오고 있다. 그 결과로 점성토에 한해서는 시험결과로부터 이론에 이르기까지 나름대로 잘 체계화된 지식체계를 이루어 내었다고 할 수 있다. 그러나 지반은 워낙 다양한 특성을 보유하고 있기 때문에 아직도 우리 기술자들이 극복하여야 할 과제가 많아 이제 막 시작한 새천년에도 우리가 새로운 모습으로 도전하고 극복하여야 할 기술 분야가 될 것이다.

국내의 연약지반 기술은 기초연구에 대한 투자가 미흡하여 선진외국의 기술에 비해 많이 뒤떨어져 있다고 할 수 있다. 연약지반에 대한 대책을 수립하기 위해서는 먼저 대상이 되는 연약지반에 대한 특성파악이 전제되어야 하는데도 그 동안 이 부

분에 보여왔던 우리의 관심은 놀라울 정도로 미약하다고 해도 과언은 아니다. 향후 이 부분에 대한 깊은 관심과 재원이 투자되지 않는다면 합리성, 효율성, 경제성 등을 갖춘 연약지반 대책을 수립할 수 없음을 잊어서는 안될 것이다.

연약지반기술의 특집을 마감하며 향후의 연약지반 대책기술에 대한 전망을 몇 가지의 제안과 함께 언급하면 다음과 같다.

연약지반 특성파악을 위해 그 동안 국내에서 수행되어 온 방법 이외에 기술적으로 발전되고 보다 합리적인 방법이 보편화될 것이다. 우선 양질의 시료채취를 위한 노력의 비중이 커지고 삼축시험기를 통한 다양한 경계조건을 시료에 모사함으로써 다양한 응력경로상의 지반특성파악을 시도하게 될 것이다.

실험실 시험의 다양화 및 고급화에 발맞추어 현장시험의 질이 향상되고 실제규모의 현장모델시험이나 centrifuge model 시험기 등을 활용한 모델 시험의 비중이 커지게 될 것이다. 따라서 이에 대한 체계적인 접근을 계획하고 추진하는 노력이 필요하다.

압밀현상에서 강도와는 별개의 문제로 취급되어 왔던 연약지반의 변위문제가 강도문제와 결합되어 하나의 학문체계에서 불가분의 관계로 가르쳐지고 연구되게 될 것이다. 이러한 추이는 연약지반의 고급이론교육의 필요성을 심화시키게 되고 연약지반의 거동특성이 하나의 통일된 뼈대로 조명되는 연구가 수행되게 될 것이다.

또한 연약지반 기술에서의 환경친화성 추구가 크게 가시화될 뿐만 아니라 신소재의 활용이 증가될 것이다 아울러 연약지반 대책기술의 실제적인 효과의 확인부분이 강조되어 시험시공과 현장관측부분의 중요도가 새롭게 인식되고 이에 대한 의존도도 높아지게 될 것이다.