



## 연약지반상 구조물의 문제점과 대책공법

류 기 송

(농어촌진흥공사 농공기술연구소 재료토질시험실장)

### 1. 서 언

건설부 발행 토목용어사전에 의하면 연약지반은 “표준관입시험치가 0~4 정도이고 압축성이 큰 점토, 실트, 이탄토 등으로 되어 있어 구조물기초지반으로서 충분한 지지력을 갖지 못하는 지반”, 일본토질공학회의 토질공학용어사전에서는 “구조물기초지반으로서 충분한 지내력을 갖지 않는 지반”으로 정의되어 있는데 연약지반은 흙의 강도보다도 구조물과의 상대적인 관계에서 정의되는 것이 바람직하다고 본다.

해안, 소택지, 계곡부의 충적지, 매립지 등에서 많이 볼 수 있는 연약지반의 토질은 점토, 실트, 유기질토, 느슨한 사질토 등으로 구성되어 있어 지지력이 작고 압축성이 크며, 연약지반 상의 주요 농업토목 구조물을 열거하면 다음과 같다.

#### 가. 방조제, 배수문

방조제의 형상은 과력에 저항하는 전면부와 해수 및 누수를 차단하고 월파에 견디는 후면부로 구분되어 있는데 옛부터 앞면에는 돌을 직립으로 쌓아 반복되는 파도의 월파를 최상부에서 방지하고 성토는 현지토를 사용하는 경우가 대부분이었으나 그 후 제방을 완경사로 하여 월파를 후면의 피복공을 지나 조류지로 흐르게 하는 형식이 많아 졌고, 최근 외국에서는 전면 소파공 등을 설치하여 지구 내에 해수를 유입시키지 않는 형식도 채용되고 있으며, 방조제에서는 시공시에 침하와 활동과괴가 문제점으로 되고 있다.

한편 배수문은 일반적으로 자연의 조석에너지를 이용한 자연배수방식이 대부분이며, 최근에는 하천 유량이 감소하여 배수문 부근에 이토의 퇴적이 많아져 배수문을 개폐할 수 없는 경우가 많으므로 펌프배수방식을 채택해야만 되는 곳도 생기고 있다.

#### 나. 농도와 교량

연약한 간척지에는 교량과 관계시설이 산재되어 있는데 수로, 농도 이외의 구조물은 물뚝 기초형식이 많으며, 지지말뚝의 경우는 지반침하에 따른 작용하중의 증가로 그 기능이 저하되는 경우도 있다. 농도는 일반적으로 산토를 운반하여 노상으로 사용하고 있으나 최근에는 수로와 병설하는 도로가 많으므로 수로의 안정을 기하기 위하여 시멘트 등의 개량재로 지반을 개량해야만 하는 경우도 있다.

교량의 경우는 교대 뒷면에 성토를 하여 도로와 연결하는데 이때 교대의 이동, 성토의 침하, 활동과괴 등이 발생하는 예가 많으므로 한계성토고까지 교량부를 1경간 연장하여 안정을 시키는 경우도 있다.

#### 다. 용·배수로와 매설관

연약한 간척지반에 시공한 용배수로는 사면 활동과 침하가 문제로 되고 있으며, 지중에 설치한 매설관은 되메움흙의 무게, 널말뚝 흙막이공법으로 매설관 시공시에 널말뚝을 인발할 때 생기는 지반의 공동 등에 의한 부등침하로 새로운 문제가 발생할 우려가 있다.

#### 라. 배수장 등 시설의 기초

연약한 간척지반 위의 건물은 전면기초 또는 말뚝기초가 많고, 주택은 전면기초, 창고

및 공동이용시설에서는 말뚝기초가 많으며, 이들 구조물에서는 부등침하와 부마찰력이 문제로 되고 있다.

## 2. 연약지반의 문제점

연약지반을 구성하고 있는 층적층은 강도가 낮고 고압축성을 나타내므로 이러한 지반 위에 성토, 건물, 수로 등을 시공하면 여러 가지 문제점이 생기는데 이들 문제의 정도는 지반 조건, 구조물의 목적, 기능, 규모 등에 따라 다르다. 즉, 구조물이 작아 지반반력보다 지지력이 충분하면 문제는 없으나 구조물이 커서 그 기능에 장애를 주는 침하·변형이 크고, 지반과괴가 예측될 때는 연약지반 대책이 필요하며, 연약지반의 토질공학적인 문제점은 안정문제와 침하문제로 크게 나눌 수 있다.

### 가. 안정문제

안정문제에는 굴착사면이나 성토사면의 안정, 기초의 지지력, 널말뚝 및 옹벽에 작용하는 토압, 말뚝의 횡저항 등 흙의 강도부족으로 발생하는 문제점이 있으며, 이러한 안정문제에서 가장 위험한 상태는 시공 중에 발생하는 경우가 많으므로 이를 해결하기 위해서는 상부구조물의 경량화와 사전조사를 충분히 해야 한다.

### 나. 침하문제

침하문제는 압밀침하, 말뚝에 작용하는 부마찰력 등 흙의 압축성이 크기 때문에 생기는 문제점이 있는데 이에 대처하기 위해서는 다소 광역적인 검토를 해야 하며, 지하수 양수 등에 의한 새로운 침하현상을 고려해야만 하는 경우도 있다.

이 외에 지진시에 지반에 액상화, 도로의 분니(噴泥) 등의 동적인 문제점과 킁샌드, 파이핑과 같은 흙의 특수성에 관한 문제점도 있다. 한편 이들 문제점은 대상 토질 및 구조물 종류 등에 따라서 다르며, 연약지반 위에 성

토 등의 구조물에 의한 재하와 굴착에 의한 하중제거로 크게 구분하여 안정과 침하의 양면에서 발생하는 문제점을 정리하면 표-1과 같다.

## 3. 연약지반 대책공법

연약지반 대책공법의 원리는 하중조절, 지반개량 및 지중구조물 구축방법 등이 있는데 여기서 하중조절은 지반에 작용하는 하중을 저감, 분산 또는 균형을 유지시켜 지반의 침하를 억제, 안정을 도모하는 방법이며, 지반개량은 지반을 치환, 탈수, 다짐, 고결, 지수, 보강 등으로 개량하여 압축성감소, 압밀촉진, 강도증가를 도모하는 방법인데 대책공법 중에는 복수의 원리를 가진 것도 있으며, 주요 대책공법의 특징은 다음과 같다.

### 가. 표층처리공법

연약지반의 표층 일반적으로 심도 3m 정도를 대상으로 지반을 개량하여 중장비 또는 차량 주행성을 확보하거나 경량구조물의 지지력을 얻을 목적으로 실시하는 경우가 많다. 현재 많이 적용되는 공법은 표층배수공법(드레인, 샌드매트), 토목섬유 부설공법, 표층토와 시멘트(또는 석회) 혼합처리에 의한 표층혼합처리공법이 있다.


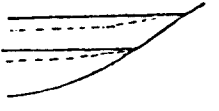


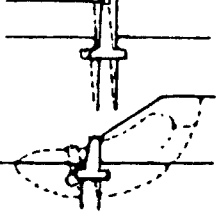
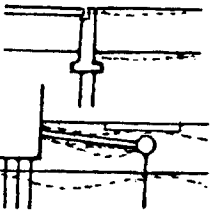
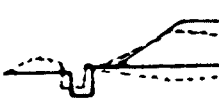

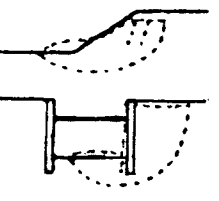
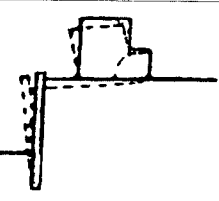
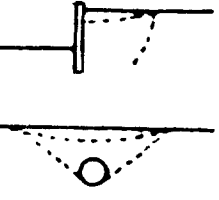
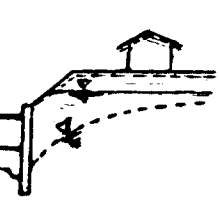
### 나. 치환공법

연약토를 제거하고 양질토를 넣어 치환하는 공법으로 시공방법은 굴착치환, 성토자중에 의한 강제치환 등이 있으며, 제거한 연약토 처리와 저렴한 양질토 확보 여부에 문제가 된다.

### 다. 압성토공법

성토의 활동피괴에 대한 소요 안전율을 얻을 수 없을 경우 성토 본체의 측방을 성토하중으로 눌러서 안정을 도모하는 공법이다. 성토 부폭이 증가하므로 비탈면 기울기를 완만하게 하는 경우와 같은 효과가 있으며, 넓은

표-1. 연약지반에서의 공사와 주요 문제점

구분	전 단(안 정)	압 밀(침 하)		
성 토 · 구조물의 재하	기초지반 전단에 의한 성토의 변형 또는 파괴		과대한 침하 또는 부등침하에 의한 성토의 변형	
	기초의 지지력 부족에 의한 구조물의 변형 또는 파괴		과대한 침하 또는 부등침하에 의한 구조물의 변형	
	편재하중 또는 토압에 의한 구조물 및 기초의 변위, 경사 또는 파괴		구조물과 성토, 각 구조물 사이에 생기는 부등침하 등에 의한 단차, 변형	
	성토 또는 구조물 하중에 의한 측방 지반의 유동, 용기		성토 또는 구조물 하중에 의한 측방 지반의 압밀침하와 변형	
지 표 · 지 중 굴 착	전단에 의한 굴착 사면의 붕괴와 굴착 저면의 허빙		팽창, 기타에 의한 토압변화에 따른 굴착사면, 흙막이벽의 변형	
	굴착시의 응력해제, 측방 또는 상방지반의 이완에 의한 변형		굴착시의 배수에 따른 지하수위저하에 의한 주변지반의 침하	

용지와 여분의 성토재를 필요로 한다. 이 공법은 신뢰성이 높으며, 활동파괴된 성토의 복구대책에 효과적이다.

라. 재하중공법

구조물 시공에 앞서 구조물하중과 같거나 그 이상의 하중을 가하여 기초지반의 압밀침하 촉진과 강도증가를 동시에 도모하여 침하량 및 강도가 기대 이상으로 된 것을 확인 한

후 하중을 제거하고 구조물을 시공하는 공법이다. 재하방법은 대상지반 위에 성토를 하여 전응력을 증가시키는 재하성토공법, 지하수위를 저하시켜 유효응력을 증가시키는 웰포인트 공법 및 심정호공법, 지표면에 샌드매트를 부설하고 기밀시트로 밀폐시킨 후 부압을 가하여 그 안의 공기와 물을 배제하여 유효응력을 증가시키는 공법 등이 있는데 이 공법에서는 지반조건 및 지하수위저하에 따른 주변지반의 영향을 충분히 고려해야 한다.

**마. 버티컬 드레인공법**

점토층 중에 배수용 모래기둥 또는 드레인 페이퍼를 연직으로 설치하여 점토층의 압밀을 촉진하는 공법인데 압밀시간을 단축시키는데 목적이 있으며, 이 공법과 병용하여 지반에 하중을 재하하면 침하를 촉진시켜 강도증가를 신속히 도모할 수 있다.

**바. 다짐모래말뚝**

모래 또는 점토로 구성된 연약지반에 모래를 압입, 대구경의 다짐모래말뚝을 조성하여 지반을 개량하는 공법으로서 모래지반의 경우는 충전재료와 원지반이 함께 다져지며, 점성토지반에서는 모래말뚝이 지지력을 증강하는 동시에 충전재료가 투수성이 크므로 토중수가 배수되어 압밀촉진효과를 얻을 수 있다. 시공시에 진동, 소음 및 지반의 측방변형에 유의해야 하며, 이 공법은 케이싱 파이프를 모래를 압입공급하는 샌드컴팩션과일공법, 봉상 또는 말뚝형태의 진동체를 지중에 삽입하고 지표에서 모래, 쇄석 등을 보급하면서 진동에 의하여 지반을 다짐하는 바이브로플로테이션 공법이 있다.

**사. 생석회말뚝공법**

생석회를 연약지반 중에 말뚝형태로 타설하여 토중수를 급격히 탈수함과 동시에 말뚝자체를 2배로 팽창시켜 지반을 강제로 압밀시키는 공법인데 강제로 케이싱을 압입하므로 측방유동, 용기 등의 지반변위를 일으키며, 경작

지 부근에서 시공을 할 경우는 개량제가 직접 경작토나 관개용수에 접촉되지 않도록 주의해야 한다.

**아. 심층혼합처리공법**

석회, 시멘트 등의 고결재를 연약지반의 심층에서 균일하게 혼합하여 고결작용에 의하여 연약층을 강화하는 개량공법으로서 연약층의 강도증가와 침하방지의 효과가 있다. 이 공법은 연약지반과 개량제를 균일하게 교반, 혼합할 수록 개량효과가 좋아지며, 시공방법은 개량제를 입상체 또는 물과 혼합하여 슬러리상태로 연약지반과 교반하는 방법과 시멘트밀크등을 고압으로 분사하여 교반하는 방법이 있다.

**자. 주입공법**

그라우트재를 주입관을 통하여 지중에 압력으로 압입하는 공법으로서 지중의 간극, 공동, 균열부 등을 채워서 불투수성과 강도증가를 도모한다. 주입재는 지하수오염방지의 관점에서 시멘트계와 물유리계로 제한되어 있다.

**차. 동압밀공법**

크레인 등으로 해머를 높은 곳에서 반복 낙하시켜 충격력과 진동에 의하여 지반을 압축강화하는 공법인데 압부스러기, 사력, 모래, 폐기물 등의 광범위한 토질에 적용할 수 있으며, 진동, 소음 발생이 문제점이다.

**카. 경량성토공법**

성토자체를 경량으로 하여 하중을 경감하는 공법으로서 재래의 성토보다 지반에 미치는 영향이 적다. 경량성토재료는 천연재료, 인공재료, 폐기물 등이 있으며, 성토중에 속이 빈 파형강관 등을 설치하여 성토하중을 감소시키는 공법도 있다.

**타. 보강토공법**

성토 또는 지반 위에 보강재를 설치하여 보강재를 포함한 지반전체의 안정을 도모하는 공법으로서 테르아르메공법, 토목섬유시트공법, 로프네트공법 등이 있다.

파. 말뚝공법

구조물의 하중을 말뚝을 통하여 기초지반에 전달하여 지지력확보 또는 침하를 억제하는 공법이다. 말뚝머리처리방법에 따라서 파일슬래브공법, 파일캡공법 및 파일네트공법이 있다.

4. 연약지반 대책공법의 선정

연약지반 대책공법 선정시는 표-2를 참고로 현지반의 성상을 충분히 조사하고 대책의 목적과 요구되는 효과를 명확히 규명하여 풍부한 경험을 토대로 대책공법의 복합효과를 고려하여 선정을 해야 하며, 주요 검토사항은 다음과 같다.

표-2. 공법선정시의 검토사항

검토사항	내 용
구조물 특성	구조, 규모, 기능, 중요도
연약지반 특성	연약토의 종류, 연약층범위, 심도, 지반 전체의 구성상태, 지지층심도와 경사, 각 토층의 공학적특성, 배수층의 유무
대책의 필요성	일시적 개량, 영구적 개량
대책 목적	강도증가, 침하축진, 침하억제, 지수
대책공의 특성	설계의 정밀도, 시공능력, 시공난이, 시공심도, 공사기간, 시공장비, 재료의 입수난이, 효과관정방법
환경 제약	공사기간, 오락, 진동, 소음, 지하수, 주변지반이 변동, 주변환경
경제성	타공법과의 비교
기 타	설계변경난이, 장래계획과의 적합성

가. 지반조건과 구조물특성

대책공법은 대상 토질에 따라 그 효과가 다르며, 연약지반 중에 배수층이 협재되어 있는 경우는 재하공법만으로 압밀이 촉진되는 경우도 많다. 한편 드레인공법은 배수조건이 좋아야 하므로 재하공법과 병용하면 개량효과를 높일 수 있으며, 시멘트, 석회를 사용하는 혼합처리공법은 흙의 유기물함량, pH가 개량효과와 배합량에 큰 영향을 준다.

구조물의 특성은 대책공법의 규모, 목적 및 효과를 설정할 때의 큰 요인으로서 구조물에 대한 안전율 및 허용침하량, 허용기울기로 표시하는 경우가 많다.

나. 대책공법의 특성

대책공법의 설계방법, 신뢰성, 시공의 난이, 확실성, 효과의 확인, 공사기간 등은 공법적용시에 중요한 조건이며, 경제성도 크게 영향을 준다. 예를 들면 용지와 공사기간이 충분하면 압성토공법이나 하중재하공법을 적용하여 충분한 방치기간을 가질 수 있다.

한편 공사기간에 제약을 받으면 드레인공법을 병용한 하중재하공법, 다짐모래말뚝공법을 선정할 수 있으며, 더욱이 몇 주간에 효과를 기대할 수 있는 심혼혼합공법을 적용하는 방법도 있다.

다. 환경조건

최근의 건설공사에서는 환경을 충분히 배려하여 인접 기존 구조물에 나쁜 영향을 주지 않아야 하며, 아울러 진동, 소음, 지하수 등의 영향도 검토를 해야 한다. 예를 들면 현지반을 강제로 굴착하거나 다짐공법, 생석회말뚝공법은 타설방향에 따라서 기존 구조물의 변형을 초래시킬 수 있고 압밀에 의한 공법은 침하에 따른 주변지반의 침하에 유의해야 하며, 지하수위저하공법은 주변 우물의 수위저하를 유발시키므로 사전에 조사를 충분히 해야만 한다.

5. 결 론

이상으로 연약지반상 구조물의 문제점과 그 대책공법에 대하여 간단히 기술하였는데 지금까지의 많은 연약지반 대책공법은 현장에서 시행착오를 계속하여 얻은 결과란 것을 명심하고 대책공법선정시는 지반의 불균일성, 구조물의 용도별, 기능별로 각각 설계조건이 다르므로 이를 유의하여 환경공해문제를 해결할

수 있는 공법을 선정하면 좋다고 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. 김영남(1995) : “연약지반 토질정수”, 연약지반, 한국지반공학회, pp.127~183.
2. 中村六史(1995) : “農業土木と軟弱地盤對策(その1), 農業土木技術と軟弱地盤對策”, 農業土木學會誌, 62-9, pp.55~61.
3. 長坂勇二, 永妻眞治, 加藤 誠(1995) : “農業土木と軟弱地盤對策(その4), 軟弱地盤對策公法とその選擇”, 農業土木學會誌, 62-12, pp.63~68.
4. 高山昌照(1995) : “農業土木と軟弱地盤對策(その3), 軟弱地盤の設計·施工”, 農業土木學會誌, 62-11, pp.57~62.
5. 土質工學會 編(1988) : “第3章 軟弱池畔對策公法のための土質調査”, 土質工學會, pp.33~57.
6. 日本道路協會 編(1990) : “2章 土質調査と結果の定理, 3章 軟弱地盤の檢討”, 軟弱地盤對策工指針, pp.13~18.