

## 제 3 장 연 약 지 반

### 3.1 연약지반의 정의 및 판정기준

- (1) 연약지반은 일반적으로 강도가 약하고 압축되기 쉬운 연약토로 구성된 지반을 말한다.
- (2) 지반의 연약성은 연약지반에 축조되는 구조물의 종류, 규모, 하중강도 등에 대한 상대적인 의미로 해석 및 평가하여야 한다.
- (3) 도로 토공의 흙쌓기에서 연약지반 판정은 기초지반 흙의 종류, 두께에 따라 [표 3.1.1]과 같이 적용하는 것으로 한다.
- (4) 활동 및 침하에 대한 분석 결과로부터 상대적으로 조정할 수 있다.

[표 3.1.1] 연약지반 판정기준

구 분	점성토 및 유기질토 지반		사질토 지반
층 두께	10m 미만	10m 이상	-
N치	4 이하	6 이하	10 이하
$q_c$ (kPa)	800 이하	1,200 이하	-
$q_u$ (kPa)	60 이하	100 이하	-

주)  $q_c$  : 콘 관입저항,  $q_u$  : 일축압축강도

### 3.2 연약지반 조사

#### 3.2.1 일반 사항

- (1) 연약지반에 대하여는 하중에 의한 지반의 파괴와 침하에 관한 자료를 수집, 필요한 대책 공법을 선정하기 위하여 사운드, 시추조사, 자연시료채취, 토질시험 등 필요한 조사 및 시험을 실시하여야 한다.
- (2) 연약지반 조사시 연약지반의 규모, 역학적 특성, 연약층으로부터의 배수조건 등에 대하여 면밀히 조사하여야 한다.

#### 3.2.2 조사 기준

- (1) 연약지반 예상지역에서 핸드오거보링은 200m 간격 기준으로 현지 여건을 감안하여 시행한다.
- (2) 단면 변화 지점 및 지질상태가 급변하는 지점에 대해서는 추가 핸드오거를 실시한다.
- (3) 핸드오거 실시결과 연약지반이 발견되면 연약지반 연장이 200m 이상인 경우 피에조콘관입시험을 100m 간격, 피에조콘관입시험+간극수압소산시험을 200m 간격으로 시행한다.
- (4) 상기결과에 의거 연약지반 분포, 토질분류 등을 파악 후 그 결과를 이용하여 시추조사를 200m 간격으로 피에조콘 관입시험 위치에 시행한다.

- (5) 심도 5m 및 층이 바뀔 때마다 자연시료를 채취한다
- (6) 채취한 시료로 비중, 함수량, 삼축압축, 압밀시험 등의 토성시험 및 역학시험을 시행하여 상호 검증을 통해 지반의 안정검토 및 처리공법 등의 대책을 강구한다.
- (7) 또한 400m 간격으로 현장베인시험을 시행하여 연약지반의 비배수강도에 대한 신뢰도를 확보 하도록 한다.
- (8) 베인시험은 Borehole Field vane으로 심도 5m 및 층이 바뀔 때마다 연속적으로 수행하여야 한다.
- (9) 최소한 비교란 시료가 채취된 심도에 대해서는 반드시 수행하여 그 결과에 대한 비교분석이 이루어질 수 있도록 하여야 한다.
- (10) 단, 연약지반의 연장이 200m이내 존재하는 경우는 시추조사를 현장여건 맞게 시행하여 표준 관입시험 및 실내시험을 통하여 지반의 안정검토 및 처리공법등의 대책을 강구하여야 한다.

[표 3.2.1] 연약지반 조사빈도

조사항목	조사빈도	심 도	비 고
핸드오거	300m	3~5m	일반구간
핸드오거	200m	3~5m	연약지반
피에조콘관입시험	100m	필요 깊이까지	
시추조사	200m	지지층(중화암)확인	- 콘관입시험 위치
베인시험	400m	비교란시료 채취심도	- 시추조사 위치 - Borehole, Field vane식
간극수압소산시험	200m (1회/CPTu 2회)	비교란시료 채취심도	- 콘관입시험과 병행 - 시추조사 위치

### 3.3 안정성 검토

#### 3.3.1 활동에 대한 안정성 검토

##### (1) 일반사항

- ① 연약지반 상에 흙쌓기를 할 때 지반의 예상활동면은 원호활동으로 가정한다.
- ② 연약지반의 분포특성, 인근지역의 활동사례 등을 고려하여 예상활동면을 조정할 수 있다.
- ③ 연약지반상 흙쌓기의 안정성 분석은 전응력해석을 적용하는 것으로 한다.
- ④ 지반이 과압밀 되었거나 단계 쌓기를 하는 경우에는 강도증가를 고려한 전응력해석 또는 유효응력해석을 적용하여야 한다.
- ⑤ 단계적인 흙쌓기에서는 강도증가율, 상재하중, 영항계수 및 압밀도에 의하여 성토체 부위별로 증가된 강도를 산정, 활동에 대한 안정분석에 적용하여야 한다.
- ⑥ 예정공기 내에 단계적인 흙쌓기를 하여도 활동에 대한 안정을 유지할 수 없을 경우에는 대책공법을 검토하여 설계에 반영하여야 한다.

(2) 설계적용기준

① 기준안전율

[표 3.3.1] 기준안전율

구 분	최소안전율	참 조
공용후	F.S>1.3	· 지하수위 원지반 지표 포화
시공중	F.S>1.2	· 지하수위 원지반 지표 포화
지진시	F.S>1.1	· 실제 측정된 원지반 지하수위
단 기	F.S>1.0~1.1	· 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

② 상재하중

가. 활동에 대한 안정성 분석은 흙쌓기 하중 뿐만 아니라 포장하중과 장비의 작업하중 또는 교통하중을 고려한다.

나. 교통하중은 13.0 kN/m<sup>2</sup>을 고려하여야 한다.

(3) 안정해석방법

[표 3.3.2] 안정해석방법

구 분	해 석 방 법	참 조
예비 안정검토 1단계 한계쌍기고 검토	· 지지력 이론식 방법 및 원호활동방법	· 두 방법 중 작은 값 적용
단계쌍기 및 공용 중 안정해석	· 원호활동해석	

(4) 안정계산에 이용되는 정수

① 1단계 한계쌍기고 결정시 적용되는 지지력 계수

[표 3.3.3] 지지력 계수

두꺼운 점토질 지반/점토	3.6 $C_u = q_d$
유기질토가 두껍게 퇴적된 이탄질 지반	
보통의 점토질 지반	5.1 $C_u = q_d$
얇은 점토질 지반 및 점토	7.3 $C_u = q_d$
유기질토가 끼지 않은 얇은 이탄질 지반	

② 단계쌍기고 검토시 적용되는 강도증가율

[표 3.3.4] 토질별 강도증가율 m의 범위

토질	강도증가율, m
점성토	0.30~0.45
실트	0.25~0.40
유기질토 또는 이토	0.20~0.35
피트	0.35~0.50

[표3.3.5] 강도증가율 산정 방법

산정 방법	산정 식
소성지수를 이용하는 방법	$m = \frac{C_U}{P} = 0.11 + 0.0037I_p$
일축압축시험 이용 방법	$m = \frac{C_U}{P} = \frac{K}{r}, \quad K = \text{심도별 기울기}$
삼축압축시험 이용 방법	$m = \frac{C_U}{P} = \frac{\sin\Phi_{cu}}{1 - \sin\Phi_{cu}}$
액성한계 이용 방법	$m = \frac{C_U}{P} = 0.45W_L(\%)$

가. 강도증가율은 물리시험(소성지수)에 의한 방법과 역학시험(삼축시험)에 의한 산출방법은 소성지수가  $30 \leq I_p \leq 60$  범위에서 양호한 상관관계를 보인다.

나. 그러나 소성지수 이용방법은 압축성이 큰 점성토에서 이용하는 값으로 국내 실트질 점성토에서는 적용이 곤란하다.

다. 압밀 비배수 삼축압축시험으로 강도증가율을 구하여 적용하는 것을 원칙으로 한다.

(5) 안정계산시 유의사항

- ① 연약층 아래의 지반이 경사져 있는 지반 위에 흩쌓기를 하는 경우, 연약층의 두꺼운 쪽의 침하가 많이 되어 활동도 그 방향으로 발생할 위험이 크다.
- ② 설계에서는 사운딩 조사 등에 의해 지반 경사의 상황을 충분히 파악하여 활동 파괴에 대해 가장 위험한 단면에 대한 안정 검토가 필요하다.
- ③ 강도 저하가 현저하고 강도 회복이 늦은 지반은 표층에 이탄토층이 있고 그 바로 밑에 점성토층이 있는 지반에서는 설계안전율이 높아도 불안정하게 되는 경우가 많다.
- ④ 일반적으로 이러한 지반에서 안정설계를 하면 이탄토층과 점성토층의 경계를 통과하는 활동 원의 안전율이 최소가 되지만, 실제로 활동이 발생하는 것은 그 밑의 점토층인 경우가 많다.
- ⑤ 점토층은 함수비가 액성한계보다 크거나 같은 경우로 예민한 것이 많고, 점토층의 강도가 떨어져서 붕괴가 발생한다.
- ⑥ 따라서, 이와 같은 지반에서는 흩쌓기 초기에는 서서히 시공하여 측방 변형이 가능한 한 일어나지 않도록 하는 것이 중요하다.
- ⑦ 예민한 해성점토는 강도 회복에 장시간이 필요하므로 주의한다.

- ⑧ 제체재료의 전단강도 및 단위체적중량은 안정계산 결과에 미치는 영향이 크므로 실내 및 현장시험 결과 등을 검토하여 적절한 값을 사용하도록 한다.

### 3.3.2 침하에 대한 안정성 검토

#### (1) 일반사항

- ① 연약지반 상에 흠뻑기에 대한 침하분석에는 예상되는 침하량과 침하기간에 대한 분석이 포함되어야 한다.
- ② 연약지반에 대한 침하분석 결과 침하가 계획 공기 내에 목표 압밀도 또는 침하량에 이르지 못할 경우에는 압밀촉진공법 등 대책공법을 검토하여 설계에 반영하여야 한다.
- ③ 설계 침하량은 연약지반에 대한 조사 및 시험과정과 침하 이론의 한계로 인한 추정 값이므로 시공 중 계측을 통하여 확인하고 필요시 수정, 보완하여야 한다.
- ④ 허용 잔류침하량은 연약층 두께, 구조물의 성격, 경제성, 유지단계에서 처리가능범위를 감안하여 결정하여야 한다.

#### (2) 설계적용기준

##### ① 흠뻑기 속도

- 가. 흠뻑기 속도는 연약지반 개량공기에 미치는 영향이 크므로 아래와 같이 지반종류에 따른 흠뻑기 속도를 준용하는 것을 원칙으로 한다.
- 나. 기초지반을 보강한 경우(모래다짐말뚝 등)에는 뿡기 속도를 상향 조정하여 적용할 수 있다.

[표 3.3.6] 흠뻑기 속도

지반의 종류	흠뻑기 속도
두꺼운 점토지반 및 유기질토가 두껍게 퇴적된 이탄질 지반	30mm/day
보통의 점토질 지반	50mm/day
얇은 점토질 지반 및 유기질토가 거의 끼지 않은 얇은 이탄질 지반	100mm/day

##### ② 상재하중

- 가. 잔류침하량을 최소화하기 위하여 상재하중은 흠뻑기하중, 포장하중, 침하토하중, 교통하중( $13.0\text{kN/m}^2$ )을 고려하여 침하량을 분석한다.

##### ③ 잔류침하량

- 가. 잔류침하량은 구조물의 사용목적, 중요도, 공사기간, 지반의 특성, 포장종류, 경제성 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- 나. 현재 국내 도로공사에 적용되는 개략적인 기준은 아래 표와 같다.

[표 3.3.7] 허용잔류침하량

조 건	허용잔류침하량(mm)	비 고
포장공사 완료후의 노면 요철	100	연약지반의 지질특성상 장기침하 발생가능
BOX CULVERT 시공시의 더울림시	300	
배 수 시 설	150~300	

다. 연약지반을 통과하는 도로는 포장의 종류, 잔류침하량의 크기 등에 따라서 다소의 차이는 있다.

(가) 연성포장의 경우에는 침하가 발생되며 아스팔트 등의 덧씌우기 공법 등으로 보수가 가능하다.

(나) 강성포장의 경우에는 침하량이 커지면 치명적인 손상을 주므로 주의가 요망된다.

라. 연약지반구간에서는 일반적으로 설계시와 시공시의 오차가 발생되고 있으므로 연성포장을 원칙으로 하되,

마. 허용잔류침하량 문제는 침하량으로 결정할 것이냐, 압밀로 결정할 것이냐 등은 다소 논란이 되고 있으나 외국의 사례를 보면 대부분 침하량으로 결정되고 있으며, 허용침하량은 100~200mm 로 한다.

④ 배수조건

가. 배수조건은 연약지반의 개량공기에 절대적인 영향을 미치므로 배수층의 조건은 물론 연약지반 층두께 및 상재하중조건 등을 검토하여 결정하여야 한다.

나. 특히 연약층 상·하부에 위치한 지층의 배수층으로서의 역할유무를 파악하기 위한 시험(입도 및 투수시험 등) 및 현장조사(현장투수 및 CPT 등)를 사전에 계획하여 그 결과를 활용하여 결정하여야 한다.

(3) 침하의 추정방법

[표 3.3.8] 토성별 발생 침하형태

구 분	발생 침하형태	비고
사질토	즉시침하	모래층이 두껍고 큰 하중이 작용할 경우 적용
점성토	압밀침하+(즉시침하)+(2차압밀 침하)	즉시 침하와 2차압밀침하는 필요시 적용

① 점성토 즉시 침하의 경우는 불포화상태에서 체적 변화 없이 형상이 변화하는 조건으로 지하수위 없는 조건에서 반영한다.

② 2차압밀의 경우에는 고소성점성토(CH) 혹은 압축성이 큰 유기질토 등에는 필히 고려하는 것을 원칙으로 한다.

③ 즉시침하 산정

[표 3.3.9] 즉시침하 산정

구분	이론	적용식
사질토	B.K HOUGH 제안식	$S_i = \frac{C_s}{1 + e_o} \cdot H_s \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$
	De Beer 제안식- $q_c$ 이용	$S_i = 1.53 \frac{P_o}{q_c} \cdot H_s \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$
	De Beer 제안식-N이용	$S_i = 0.4 \frac{P_o}{N} \cdot H_s \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$
	Schmertmann 제안식	$S_i = C_1 \cdot C_2 (q' - q) \sum \frac{I_z}{E_s} \cdot \Delta z$
점성토	Janbu, Bjerrum, Kjaernsli 제안식	$S_i = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \frac{qB}{E}$
	도로설계요령(일본자료)	$S_i = \frac{1}{100} \cdot A \cdot \gamma_{tE} \cdot H_E$

여기서,  $C_s$  : e-logP곡선의 기울기

$e_o$  : 연약층의 초기 간극비

$P_o$  : 유효상재응력(kgf/cm<sup>2</sup>)

$\Delta P$  : 제체하중에 따른 연직응력의 증분(kgf/cm<sup>2</sup>)

$H_s$  : 연약층 각 층의 두께(cm)

$q_c$  : Cone 지수

$N$  : 평균 N치

$C_1 = 1 - 0.5[q/(q' - q)]$

$C_2 = 1 + 0.2 \log(t/0.1)$  (t:년수)

$q$ : 토피하중

$q'$  : 접지압

$I_z$  : 변형율 영향계수

$E_s$  : 지반의 탄성계수

$\mu_1, \mu_2$  : 침하영향계수(H/B,  $D_f/B$ 의 함수)

$B$  : 기초폭

$D_f$  : 기초근입깊이

$A$  : 지반의 즉시 침하정수(cm<sup>2</sup>/g)

$\gamma_{tE}$  : 흙쌓기재료의 단위체적중량(g/cm<sup>3</sup>)

$H_E$  : 제체 높이(cm)

④ 압밀침하량

[표 3.3.10] 압밀침하량

구분		조건	적용식
1차 압밀	과소압밀	$P_o > P_c$	$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c}$
	정규압밀점토	$P_o = P_c$	$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$
	과압밀점토 ( $P_o < P_c$ )	$P_o + \Delta P \leq P_c$	$S_c = \frac{C_r}{1 + e_o} H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$
		$P_o + \Delta P > P_c$	$S_c = \frac{C_r}{1 + e_o} \cdot H \cdot \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c}{1 + e_o} \cdot H \cdot \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c}$
2차압밀			$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e} H' \cdot \log \frac{t_p + t}{t_p}$

여기서,  $S_c$  : 1차 압밀 침하량(m)

$C_c$  : 압축지수(무차원)

$C_\alpha$  : 2차 압축지수

$p_o$  : 원위치 유효응력(kg/cm<sup>2</sup>)

H : 점토층의 두께(m)

$\Delta p$  : 유효응력의 증가량(kg/cm<sup>2</sup>)

$t_p$  : 1차 압밀 소요시간

$S_s$  : 2차 압밀 침하량

$C_r$  : 팽창지수(무차원)

$e_o$  : 초기 간극비(무차원)

$p_c$  : 선행압밀하중(kg/cm<sup>2</sup>)

H' : 1차 압밀후 점토층 두께

e : 1차 압밀후 간극비

t : 1차압밀후 시간

(4) 침하계산시 고려사항

① 압밀계수 적용방안

가. 압밀계수( $C_v$ )가 각 지층마다 다른 경우 층두께 환산법에 따라 구한 환산두께(D') 및 압밀계수( $C_v'$ )를 이용하여 전 층의 평균압밀도(U)를 구하고, 그 산정식은 다음과 같다.

$$D' = D_1 \left( \frac{C_v'}{C_{v1}} \right)^{\frac{1}{2}} + D_2 \left( \frac{C_v'}{C_{v2}} \right)^{\frac{1}{2}} + \dots + D_n \left( \frac{C_v'}{C_{vn}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{[식 3.3.1]}$$

여기서, D' : 환산층 두께(m)

$D_n$  : 환산전의 각 층의 두께(m)

$C_v'$  : 기준으로한 임의의 압밀계수(cm<sup>2</sup>/sec)

$C_{vn}$  :  $D_n$  층에 대응하는 압밀계수(cm<sup>2</sup>/sec)

나. (참고) 층두께 환산법의 적용상 유의점

(가)  $C_v$ 가 다른 다층 지반의 압밀도를 예측할 경우 층두께 환산법이 간편하며, 이것으로부터 얻은 평균압밀도가 많이 이용되어 왔다.

(나) 그러나 이 방법으로는 지반의 성층상태가 고려되지 않아 층의 순서가 변화해도 같은 결과를 얻을 수 있으므로 이탄질 지반과 같은 압밀계수와 체적압밀계수가 크게 다른 복수의 토층으로 압밀층이 구성되고 있는 경우에는 각 층 마다의 압밀도를 이용하는 것이 바람직하다.

- ② 점성토층의 압밀도( $U$ )의 계산은 연약층 전체두께에 대한 평균압밀도( $U_w$ )에 대하여 계산한다.

## 3.4 연약지반개량 공법

### 3.4.1 연약지반 개량공법의 목적

(1) 강도 및 변형특성의 개선

- ① 지반의 강도라는 것은 지반의 파괴에 대한 저항성이다.
- ② 지반의 파괴에 대한 저항성은 흙의 전단 강도에 의존하고 있으므로 전단강도 및 전단변형계수를 증대시킨다.

(2) 배수성의 개선

- ① 압밀속도가 느린 점성토지반에 재하중 증가 및 연직배수재 타설 등으로 배수촉진을 유도하여 개량기간을 단축시킨다.

(3) 지수성의 개선

- ① 공사 중 또는 공사 완료 후에 토층수가 이동하면 유효응력의 변화에 의해서 여러 가지 문제가 생기게 된다.
- ② 이 문제는 지반의 지수성 개선에 의해서 방지될 수 있다.

(4) 동적 특성의 개선

- ① 느슨한 사질토의 지반에서는 지진이나 지반의 동적거동에 의해서 간극수압이 상승하여 유효응력 감소에 의한 액상화 현상이 일어날 수 있다.
- ② 이에 대한 저항을 증대시키기 위해서는 과잉간극수압의 신속한 소산, 주변에서의 과잉간극수압의 공급차단, 지진시의 전단변형을 감소하는 방법이 있다.

(5) 연약지반 개량공사 필요 유무의 판단은 구조물의 기능, 기초형식, 공기 등을 고려하여 종합적인 판단을 한 후 결정하여야 한다.

### 3.4.2 개량공법의 종류

(1) 최근에 환경훼손 문제 등으로 모래의 구득이 어려워 고가의 모래를 대체하며 동일 기능이상을 발휘할 수 있는 쇄석, 재생골재 및 천연 섬유재료 등을 이용한 공법의 적용이 증가되고 있다.

(2) 개량원리 및 목적별 개량공법의 종류

[표 3.4.1] 개량원리 및 목적별 개량공법의 종류

개량원리	공법의 명칭	개량목적	적용지반	
다짐	샌드 컴팩션 파일 공법	· 액상화 방지 · 침하감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 사질토, 유기질토	
	쇄석 다짐 말뚝 공법			
	붕다짐 공법		사질토	
		바이브로플로테이션 공법	· 침하감소 · 액상화 방지	사질토
		중추낙하다짐공법		
		폭파다짐, 전기충격공법		
		동압밀 공법		
고결 열처리	표층혼합처리 공법	· 도로의 노상, 노반의 안정처리	점성토, 사질토, 유기질토	
	심층혼합처리 공법	· 활동파괴 방지 · 침하저지 및 감소 · 전단변형 방지 · 이빙 방지		
	약액주입 공법			
	소결 공법			
	동결공법			
보강	복토공법	· 도로의 노상, 노반의 안정처리	점성토, 유기질토	
	표층피복공법(시트, 매트, 필타)	· 국부파괴, 국부침하 방지		
경량화	경량자재	· 지반의 지지력 향상 · 지반의 전단변형 억제 · 지반의 침하억제 · 활동 파괴의 방지 · 시공기계의 주행성 확보	점성토, 유기질토	
이중균형	압성토 공법			
이중분산	침상 공법			
	시트넷 공법			
	샌드매트 공법			
	쇄석 매트 공법			
	화이버 매트 공법			
	표층혼합처리 공법			
치환공법	굴착치환 공법	· 활동파괴방지 · 침하의 감소 · 지반 전단변형 억제	사질토, 점성토, 유기질토	
	강제치환 공법			
	폭파치환 공법			

개량원리	공법의 명칭		개량목적	적용지반
압밀배수	프리로딩 공법		· 잔류침하의 감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 유기질토
	연직배수 공법	샌드드레인 공법		
		쇄석드레인 공법		
		페이퍼드레인 공법		
		팩드레인 공법		
	지하수위 저하공법	웰포인트 공법	· 잔류침하의 감소 · 지반의 강도 증가	사질토
		깊은우물 공법		
	진공압밀공법		· 압밀촉진 · 잔류침하감소 · 지반의 강도 증가	점성토, 유기질토
	생석회 말뚝공법			
	전기침투공법			
반투막공법				
쇄석말뚝공법		· 액상화 방지	사질토	
표층 배수공법		· 표층지반강도 증가	점성토, 유기질토	

### 3.4.3 연약지반 개량공법의 선정

- (1) 지반개량공법의 선정에 있어서는 개량의 목적을 명확히 하여야 한다.
- (2) 대상토 지반의 성질, 하중조건, 시공여건, 공사기간, 주변 자연환경과 주변에 미치는 영향 등 제 조건을 감안하여 개량목표와 원활한 시공, 경제성을 고려한 적합한 공법을 수립하여야 한다.
- (3) 개량공법 선정시 고려사항

[표 3.4.2] 개량공법 선정시 고려사항

고려 사항	내 용
· 구조물 특성	구조형식, 규모, 기능, 중요도
· 연약지반의 특성	연약층의 종류, 연약층의 범위, 심도, 지반전체의 지층상태, 지지층의 심도와 경사, 각 층의 공학적 특징
· 개량의 필요성	가설적 개량, 영구적 개량
· 개량 목적	강도증가, 침하촉진, 침하 및 액상화 방지, 지수
· 지반개량공법의 특성	설계의 정도, 시공능력, 시공의 난이도, 시공기계나 재료입수의 난이도, 효과판정의 난이도
· 공기나 환경에 따른 제약	공기, 오염, 진동, 소음
· 종합적인 경제성	기타 공법과 비교
· 기타	설계 변경의 난이도, 장래계획의 연계성

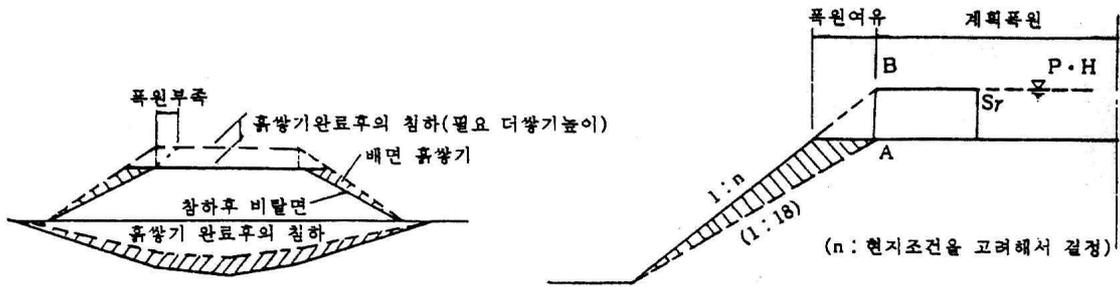
(4) 개량공법 선정시 유의사항

- ① 시공장비의 주행성을 확보하고 연약지반의 전단변형 억제를 위한 표층처리공법으로는 배수 공법, 토목섬유공법, 수평매트공법, 안정처리공법 등을 검토하여 시공성, 경제성, 안정성 등에 적합한 공법을 선정하여야 한다.
- ② 수평매트는 장비의 주행성 확보 및 배수를 목적으로 하므로 원지반 연약도와 혼합을 방지하기 위하여 토목섬유와 병행하여 시공하도록 한다.
- ③ 수평매트만으로 배수능력이 부족하거나 충분한 효과를 기대할 수 없는 경우는 지하 배수공 등의 보조공법을 적용할 수 있다.
- ④ 표층처리공법으로 수평매트의 대체공법을 적용하고자 할 때에는 간극수의 배수와 시공장비의 주행성 확보가 가능한 방법을 적용할 수 있다.
- ⑤ 계획 공기 내에 목표 침하량 또는 압밀도에 이르지 못할 경우에는 압밀촉진을 위하여 샌드 드레인, 보드드레인 등 연직배수공법을 검토하여야 하며, 연약지반의 분포특성, 시공성, 경제성, 현장여건 등을 고려하여 적합한 공법을 선정하여야 한다.
- ⑥ 지반의 강도가 작고 흩쌓기 높이가 높아 압밀촉진공법과 단계적인 흩쌓기 공법만으로 공기 내에 활동 침하에 대한 안정성을 확보할 수 없으면 고강도 매트, 압성토, 샌드(쇄석)콤팩션 파일 등을 조합하여 설계하여야 한다.
- ⑦ 활동방지를 위하여 샌드(쇄석)콤팩션파일공법을 적용할 경우에는 압밀촉진 기능도 유지하는 것으로 고려하여야 한다.
- ⑧ 연약지반의 두께가 얇고 양질의 재료를 입수하기 용이하며, 사토장이 가까운 경우는 연약층의 일부 또는 전부를 양질의 재료로 치환하는 공법을 검토하여야 한다.
- ⑨ 측방유동에 대하여 불안정한 경우는 프리로딩공법, 압성토공법, 치환공법, 경량재 뒷채움공법, 구조물에 의한 안정공법 등을 검토하고 시공성, 경제성, 안정성, 현장여건 등에 적합한 공법을 선정하여야 한다.

3.4.4 장기침하대책

(1) 제체 구조

- ① 잔류 침하량이 큰 구간의 여유폭의 확보
  - 가. 공용후 잔류침하가 큰 구간에서는 흩쌓기 종료시 제체 형상을 계획 단면 그대로 마무리 하면 흩쌓기 완료 후 침하에 따른 덧씌우기에 의한 폭원 부족이 생긴다.
  - 나. 따라서, 제체의 시공 폭은 침하를 고려한 폭원의 여유를 확보하되 폭원 여유는 아래 그림과 같이  $S_r$ (공용 후 5년간의 침하량)에 해당하는 폭으로 한다.
  - 다. 그러나 국내의 경우 대부분 허용잔류침하를 100mm이하로 적용하여 설계하므로 설계시 폭원여유의 확보여부는 인근지역의 유지관리 사례를 참고하여 결정하는 것이 바람직하다.



<그림3.4.1> 제체의 침하에 따른 제체폭의 부족 <그림3.4.2> 제체폭의 여유를 잡는 방법

② 일반 제체부의 더돋기

- 가. 공용 초기에는 잔류침하의 발생이 크게 되므로 더돋기에 의해 유지보수 빈도의 저감을 유도 하는 것이 바람직하다.
- 나. 더돋기량은 연약층의 규모, 연장(구조물, 원지반간의 거리) 등을 고려하여 결정하여야 한다.
- 다. 더돋기 높이는 공용후 발생하는 2주간의 침하량에 상응하는 높이로 하고 구조물과의 접촉부에 서는 경사 1:10, 연장 20m 정도의 완화구간을 설치한다.
- 라. 더돋기의 추정 자료는 선행하중 등의 흙쌓기의 동태 관측 결과를 이용하도록 한다.

(2) 잠정 포장

- ① 잔류 침하량이 클 것으로 예상되는 구간에서는 잠정 포장을 검토하는 것이 바람직하다.
- ② 잠정 포장은 원칙으로 계획높이(P.H)는 변하지 않고, 노상 마무리 높이(P.H.E)는 잠정 포장과 완성 포장의 두께 차이만큼 높게 하도록 한다.

(3) 구조물

① 암거의 더돋기 및 여유 단면의 확보

- 가. 도로 전용 암거
  - (가) 기본적으로 더돋기로 대처한다.
  - (나) 더돋기만으로 대처할 수 없는 경우에는 그 부족분을 단면 여유로 보충한다.
- 나. 수로 암거 및 수로 병설 암거
  - (가) 기본적으로는 단면 여유로 대처한다.
  - (나) 가능한 범위에서 '더돋기' 를 한다.
  - (다) 또, 토피로 인해 더돋기 시공 및 여유 단면의 확보가 곤란한 경우에는 배수경사를 고려한 후에 접속 도로를 절단하여 늘어뜨리는 등의 대책을 세운다.
- 다. 교대, 암거의 옹벽은 침하에 대응할 수 있는 구조로 한다.
- 라. 조인트부의 지수 구조
  - (가) 암거 조인트부에는 모든 주변에 지수판을 넣고, 저판에는 슬립바를 넣는다.
  - (나) 지수판은 부등침하에 대응할 수 있는 구조로 한다.

② 말뚝 기초를 가지는 기초 저면의 공동화 대책

- 가. 말뚝기초나 케이싱기초를 시공한 교대의 기초 저면에는 장기침하로 인한 공동이 생기는 경우가 있다.
- 나. 이와 함께 교대 접속부의 단차 외에 노면이나 비탈면의 함몰이 생기는 경우도 있다.

다. 현재 대책공법으로 확립되어 있는 것은 없으나 건조모래, 발포 콘크리트 등을 채우는 방법이 사용되는 예가 있다.

라. 따라서, 장기침하에 의한 공동화가 예상되는 구조물에는 건설시에 충전재를 채워 넣을 수 있는 파이프 등을 설치해 두는 것도 중요하다.

(4) 부속 구조물

① 배수 구조물

가. 연약지반상에 설치할 경우 어느 정도의 침하에 대응할 수 있어야 하며, 보수가 용이한 구조로 한다.

나. 중앙분리대의 배수 구조물은 증축, 재설치 등의 유지보수를 고려하여 오픈 타입으로 한다.

다. 부등침하에 의한 노면 침수 처리를 위한 배수구의 배치 검토

(가) 침하와 함께 물이 고일 염려가 있는 교대 접속부나 암거, 절성경계부 및 침하가 크게 예상되는 구간에는 미리 도랑을 배치해 둔다.

(나) 또한, 횡단관의 경사도 일반부보다 크게 하여 침하에 따라 배수불량을 초래하지 않도록 한다.

② 방호책

가. 공용 후의 부등침하에 의한 단차조정, 종단조정 및 덧씌우기로 소요높이가 부족해지므로 미리 보수를 전제로 한 구조로 설치할 필요가 있다.

나. 이 때 이용되는 방호책의 부재는 증축에 견딜 수 있는 것으로 한다.

③ 통신관로 등

가. 절성경계, 교대 접속부 등 커다란 단차가 발생하기 쉬운 장소에서의 지하 매설관의 사용은 적극 피한다.

나. 부득이하게 통신관로 등을 매설할 경우에는 침하 대책을 강구해 둔다.

④ 그 외의 구조물

가. 제체의 침하에 수반하는 방음벽이나 문형식 표지의 표주도 침하하기 때문에 부등침하가 예상되는 장소에서 지주 간격을 고려하고 증축하기 쉬운 구조로 한다.