

③ 基礎beam과 基礎底盤의 龜裂을 防止하기 위하여 prestress를 導入한다.

④ 管理限界를 超過하는 不等沈下를 修正하기 위하여 基礎beam과 1層床과의 사이에 jack up 機構를 設置한다.(그림-31참조)

⑤ 上部架構를 鐵骨造의 大span 架構로 하여 不等沈下에 의한 變形에 뒤를 따라 쫓아갈 수 있도록 한다.

5. 맺는말

지금까지의 經驗과 研究의 成果덕분으로 軟弱

地盤에 대한 對策의 種類나 數도 增加하고 또한 그 豫測의 精度도 向上되어 왔다. 日本의 지금까지의 軟弱地盤對策은 高度成長期에 가로막혀 힘들어 問題을 解決한다는 印象이 強했다.

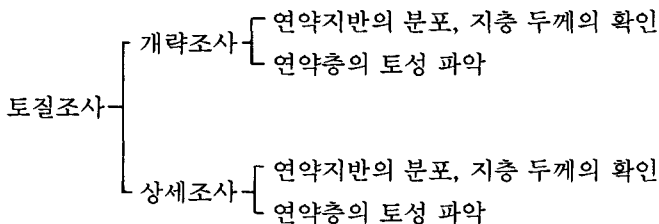
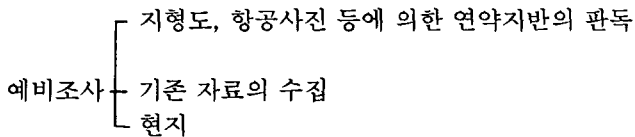
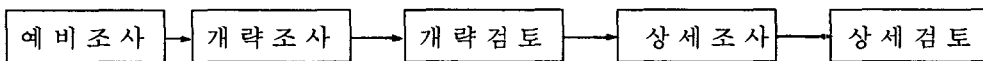
그러나 攻擊에만 치우치는 것이 아니라 때로는 逃亡쳐서 相對의 勢力을 減는다는 技術도 있어서는 좋을 것이다. 具體的으로는 地盤에 無理한 負擔을 주지 않는 것 같은, 例를 들면 發泡 styrol 등의 輕量材를 使用하는 것 같은 일도 今後 크게 檢討하여야 할 것이다.

또한 地域의 中小規模 工事에서는 보다 flexible하게 多樣한 對策을 檢討하여야 할 것이다.

軟弱地盤에서의 計測管理

東成엔지니어링(株) 理事 南 淳 星

연약지반상의 성토



개략검토 { 개략조사로부터 안정계산-개략의 안정 검토, 상세검토의 필요성 판단
 개략조사로부터 침하량 추정-침하량의 따른 상세검토 필요성 검토

상세검토 { 상세조사로부터 안정계산-상세한 안정 검토와 대책공의 필요성 검토
 상세조사로부터 침하량, 침하 시간을 확정하고 대책공의 필요성 검토

연약지반의 정의

연약지반은 주로 점토나 실트와 같은 미세한 입자의 흙이나 간극이 큰 유기질토, 또는 이탄(泥炭), 느슨한 모래 등으로 이루어진 토층으로 구성되어 있으며, 지하수위가 높고, 제체 및 구조물의 안정과 침하의 문제가 발생하는 지반을 말한다.

연약지반의 개략적인 판단기준은 표 12. 1 과 같다.

표 1 연약지반의 판단기준

구분	이탄질지반 및 점토질지반		사질토 지반
층두께	10m 미만	10m 이상	-
N치	4 이하	6 이하	10이하
qu (kg/cm ²)	0.6 이하	1.0 이하	-
qc (kg/cm ²)	8 이하	12 이하	40 이하

주)「qc」는 네덜란드식 삼중관 콘관입시험의 콘지수이다.

설계 및 시공의 기본개념

연약지반에서 흩쌓기의 문제는 파괴에 대한 안정성 및 과도한 침하 또는 변형으로 대별되며 설계 및 시공에 있어서는 제체의 안정 및 침하에 대한 검토와 주변지반에 미치는 영향에도 유의한다.

연약지반에서 흩쌓기의 설계·시공에 관한 기본사항은 아래와 같다.

- (1) 안정 대책은 완속 흩쌓기 시공을 우선적으로 검토한다.
- (2) 침하 대책은 충분한 방치 기간의 확보 등 시간효과를 유효하게 활용하고, 잔류 침하 대책으로서의 지반 처리공은 원칙적으로 실시하지 않는 것으로 한다.
- (3) 교대 및 횡단구조물에서는 원칙적으로 선행하중을 가한다.
- (4) 시공에 있어서는 동태 관측에 따라 안정 및 침하를 관리한다. 또, 연약지반의 규모가 커서 공사비 등에 큰 영향을 미친다고 추정되는 경우는 시험 흩쌓기 등을 실시하여 대책 공법을 검토하는 것이 바람직하다.

연약지반상의 설계·시공에서 유의해야 할 점

- 1) 안정문제
- 2) 침하문제
- 3) 장기침하문제

4) 주변지반 변형에 따른문제

5) 설계의 불확실성에 따른 문제와 동태관측

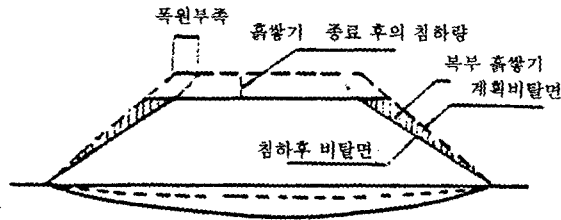


그림 1 제체의 침하에 따른 문제

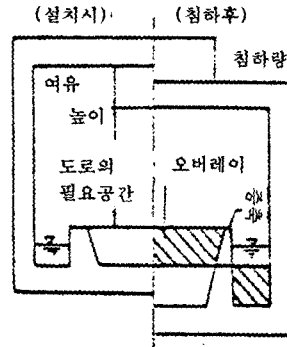


그림 2 횡단 구조물의 침하에 따른 문제

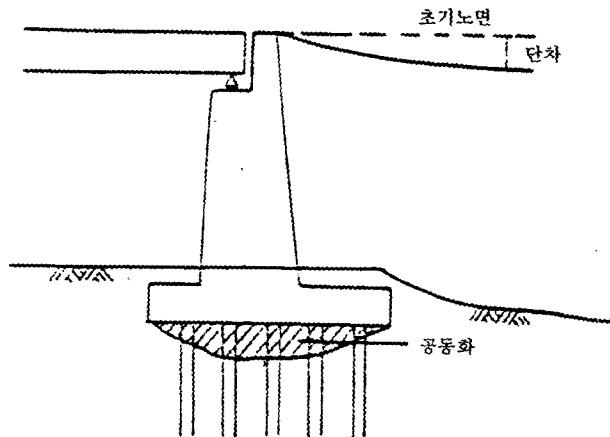


그림3 교대 접속부의 침하에 따른 문제

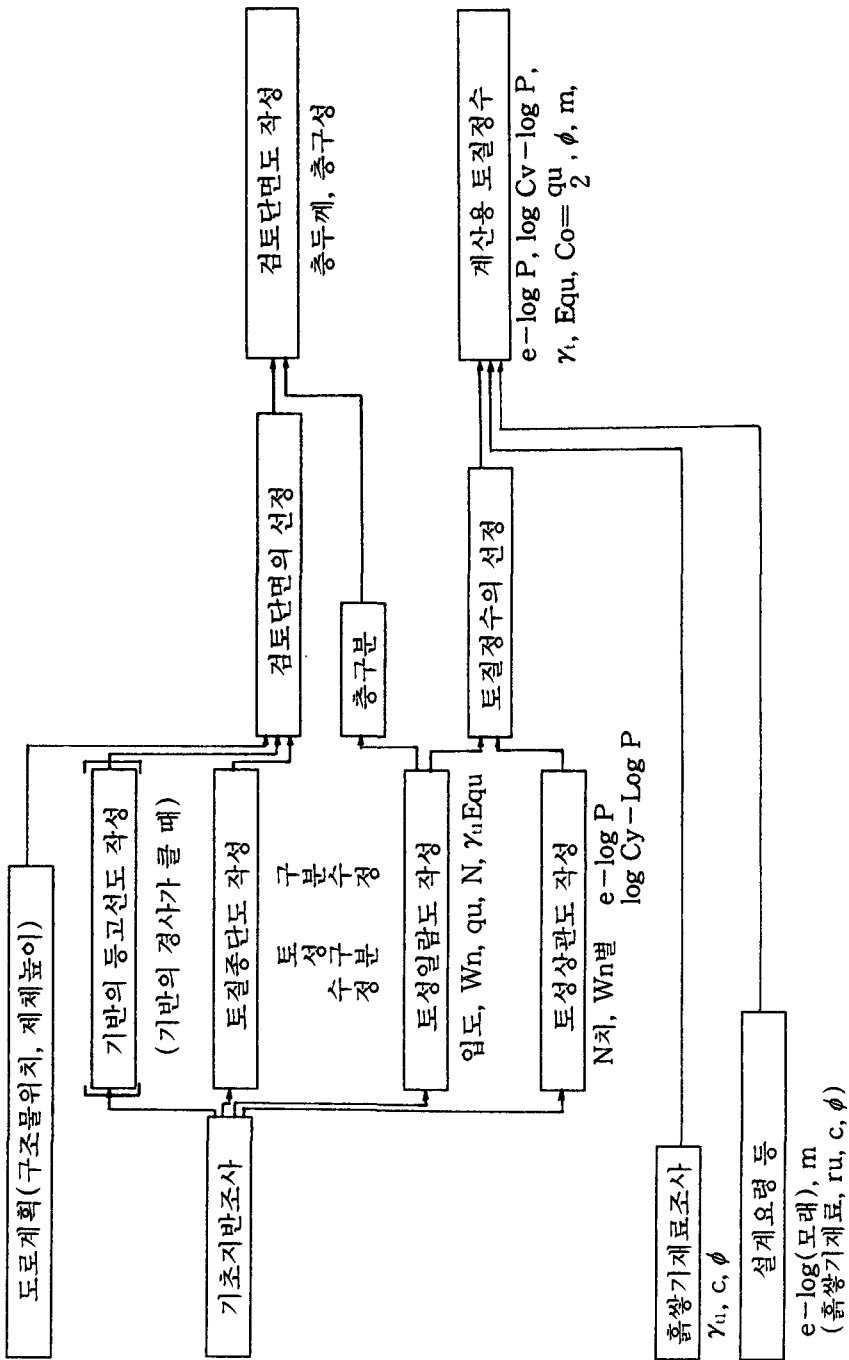


그림 4 조사결과와의 정리순서

표 2 토질시험결과 일람도의 기재 사항

기재 사항	사 용 목 적	주 의 사 항
(1)토질주상도	층 구분의 판단	이것은 육안판정으로 층이 구분된 것이지만, 층 구분에 있어서는 얇은 모래 층까지 주의하여 기입할 필요가 있다.
(2)입도	층 구분, 배수층의 판단 자료	당해 지점의 대표적인 심도의 입도 시험 결과를 기입한다.
(3)자연함수비 (Wn) 콘시스턴스 [액성한계(LL), 소성한계(PL)]	층 구분 매층의 Wn의 결정(다른 토질정수를 결정할 때의 파라메타로 된다)	피트층이 포함된 경우처럼 함수비의 폭이 큰 경우, 일률적으로 목표를 정하지 말고 고탍수 부분의 축척을 줄여서 보기 쉽게 한다
(4)단위체적중량 (γ_i)	층 구분의 판단자료 매층의 γ_i 의 결정	평균치가 아닌 시료마다의 값을 플로트하는 것이 바람직하다.
(5)일축압축강도 (q_u) 일축압축 파괴 변형(ϵ_f) 변형 계수(E_{50})	층 구분의 판단 자료 매층의 $C_{uo}=q_u/2$ 로 전단 강도를 결정	평균치가 아닌 매시료의 값을 플로트하여, 아주 낮은 강도를 보일 경우는 시료의 교란 등에 대해 점검한다.
(6)N치	층 구분의 판단 자료 모래층의 ϕ , e-lopP 곡선의 결정	기반, 중간 모래층에 특히 주의해서 플로트 한다.
(7)압밀항복응력 (P_c)	지반의 강도 증가의 추정 과압밀 상태의 판정	

표 3 검토단면 기재 사항

		침 하 검 토	안 정 검 토	비 고
기 반 의 경 사 小	제 체	제체 형상 γ_i	제체 형상 γ_i, c, ϕ	지표, 기반, 층 경계는 수평으로 검토
	지 반	토성 주상도 층 두께, 층구성 γ_i, N, C_c	토성형(중)단도 층 두께, 층구성 γ_i, C_o, m, ϕ	
지 반 의 경 사 大	제 체	제체 형상 γ_i	상 동	기반의 경사, 층 두께의 변화를 고려해서 검토
	지 반	토성형(중)단도, 층 두께, 층구성 γ_i, N, C_c	상 동	

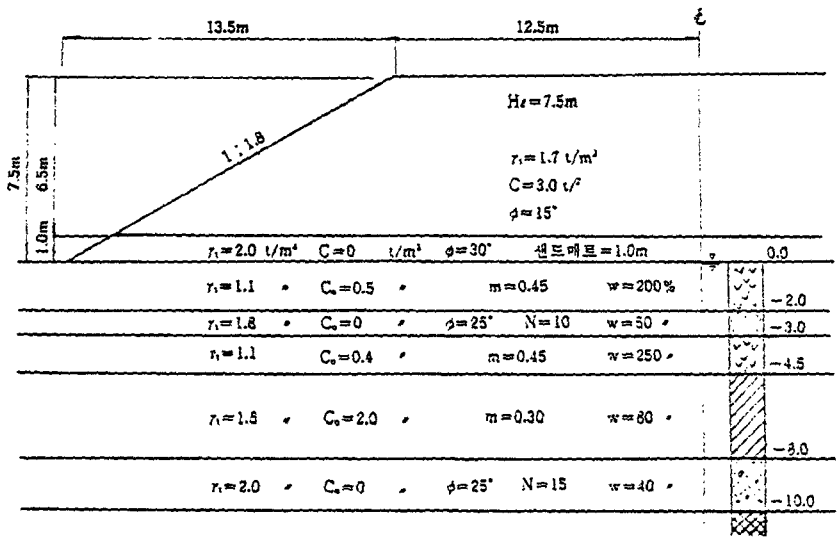


그림 5 검토 단면도의 작성예

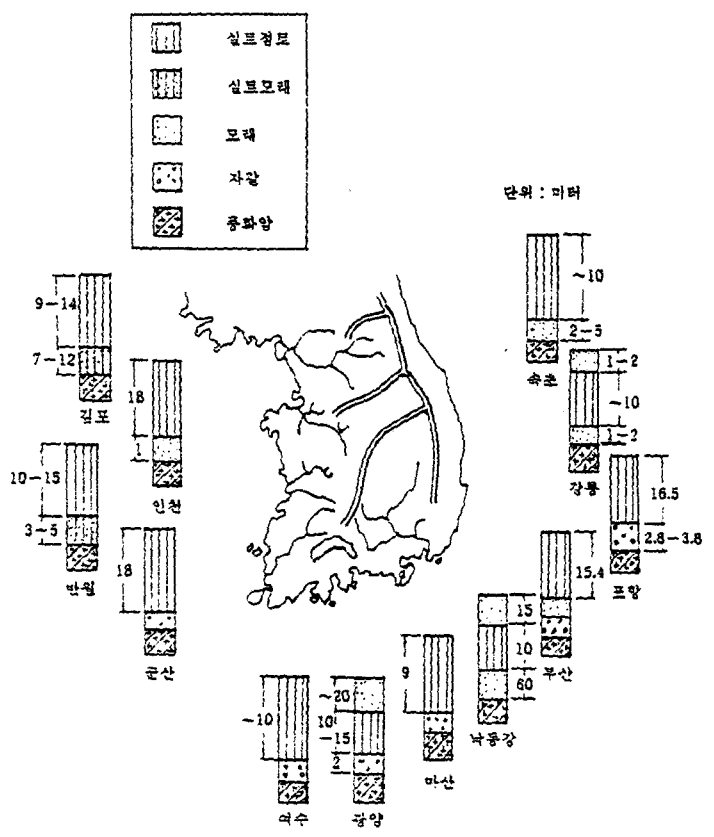


그림 6 한반도 연안부근의 대표적 지층구조

침하 검토의 기본 개념

연약지반상에 있는 제체의 침하를 검토하는 경우에는 시간 효과를 활용하여 공용 후의 도로에 미칠 침하를 예측하여 계획, 설계 및 시공하는 것을 기본으로 한다.

침하 검토란 아래 항목에 대해서 검토하는 것을 말한다.

- (1) 일반제체부
 - (a) 침하도량
 - (b) 토공 여분량(여성토)
 - (c) 토공폭원 여유
- (2) 횡단 구조물
 - (a) 여분량
 - (b) 단면여유
- (3) 부속구조물의 구조
- (4) 포장 구조(잠정 포장)

침하 검토에서는 침하의 발생은 다음 식으로 고려하는 것을 원칙으로 한다.

$$S = S_i + S_c + S_s$$

여기서,

S_i : 즉시 침하량

S_c : 압밀 침하량

S_s : 장기 침하량

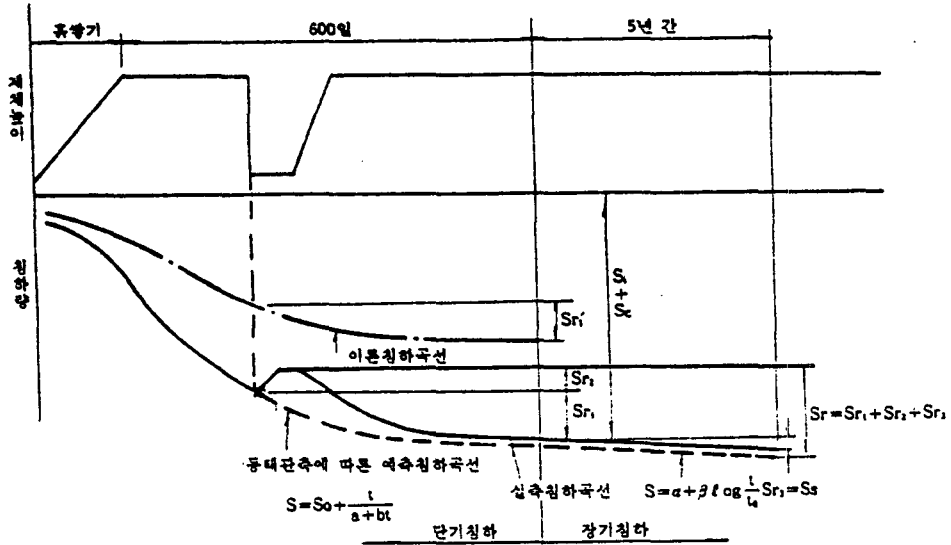


그림 7

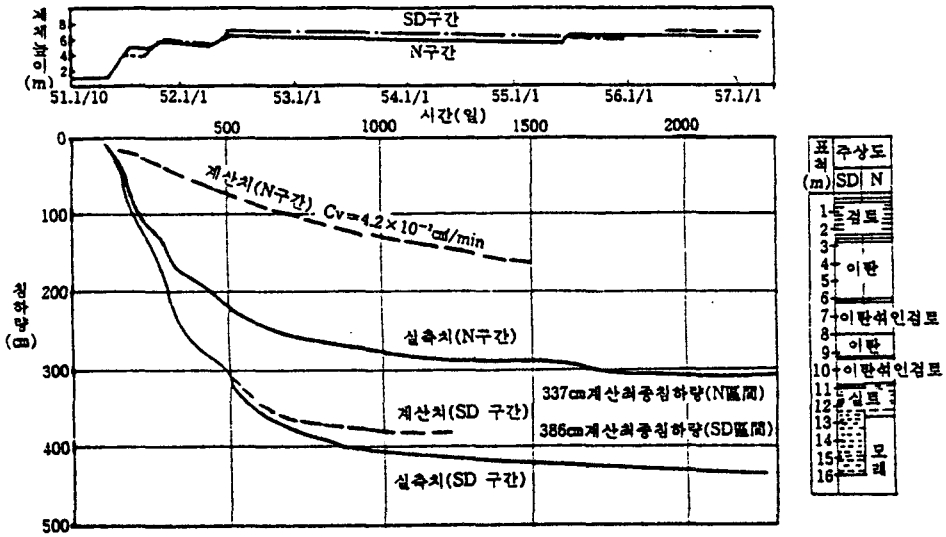


그림 8 침하곡선의 계산치와 실측치의 비교(일본)

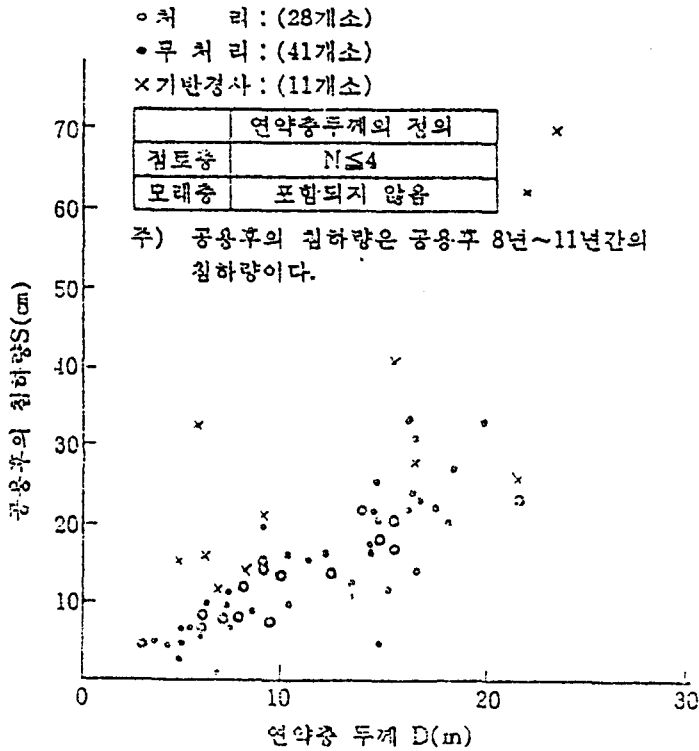


그림 9 공용후의 침하량과 연약층 두께의 관계(일본)

침하의 추정 방법

연약지반의 침하량은 다음 식에 의해 계산한다.

(1) 설계시

(가) 즉시 침하량 S_i (cm)

$$S_i = \frac{1}{100} \cdot A \cdot \gamma_{IE} \cdot H_E$$

(나) 압밀 침하량 S_o (cm)

$$S_o = \sum_{i=1}^m \frac{e_o - e}{1 + e_o} H_i$$

(다) 장기 침하량 S_s (cm)

$$S_s = \alpha + \beta \log \frac{t}{t_0}$$

(2) 시공시

$$S = S_o + \frac{t}{a + bt}$$

여기서,

A : 지반의 즉시 침하정수(cm^2/g)

γ_{IE} : 흙쌓기재료의 단위체적중량(g/cm^3)

H_E : 제체 높이(cm)

e_o : 연약층이 초기 간극비

e : 연약층의 초기 간극비이며, 중압 심도의 $P_o + \Delta p$ 에 대한 설계 $e - \log P$ 곡선으로부터 구한다.

P_o : 유효상재응력(kg/cm^2)

Δp : 제체하중에 따른 연직응력의 증분(kg/cm^2)

H_i : 연약층 각 층의 두께(cm)

S_o : 초기 침하량($t=0$)(cm)

t_0 : $S - \log t$ 곡선에서 침하량이 직선이 되는 시간

α : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수

a : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수($1/\text{cm}$)

b : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수($1/\text{cm} \cdot \text{day}$)

β : 실측 침하 곡선으로부터 구해지는 정수($1/\text{cm} \cdot \text{day}$)

표 4 침하 추정 방법의 적용

추정목적	추정시기		정 보	추 정 방 법	적 용	
	설계	시공				
일반 흙쌓기	침하토량	○ ○	토질조사 토질시험 동태관측	설계 : $S=S_i-S_c$ 시공 : 침하판에 의한 관측	침하량의 횡단분포는 그림 12.37 참조	
	토공 더쌓기량		○	동태관측	$S=S_0+\frac{t}{a+bt}$	포장에 인계할때 토공계획높이(P.H.E)를 지키는 것이 원칙
	토공폭원여유	○		기존자료	$S=\alpha+\beta \log \frac{t}{t_0}(=S_s)$	· 공용개시후 5년간의 침하량으로 검토 · β 는 그림 12.36참조
횡단구조물	더쌓기량	○ ○	동태관측	$S_r=S_{r1}+S_{r2}+S_{r3}(S_s)$ ($S_{r1}: S_0+\frac{t}{a+bt}$ 로 추정)	· 공용개시후 5년간의 침하량으로 검토 · β 는 그림 12.36참조	
	단면여유	○		토질조사 토질시험	$S_r=S_{r1}+S_{r2}+S_{r3}(S_s)$	· 설계요령 「제 7-1편 철근콘크리트 암거」참조 · S_{r1}, S_{r2} 는 실측치
	선행하중 제거시기		○	기존자료 동태관측	$S_0+\frac{t}{a+bt}$	· 선행하중의 방지기간은 원칙으로 6개월이상 단, 연약층두께가 10m이하일 때는 무방. (12.10.3제체의 침하관리참조)
포장노면	계획높이(P.H)		○	수준측량	--	
	잠정포장	○ ○		자료자료 동태관측	설계 : $S=\alpha+\beta \log \frac{t}{t_0}$ 시공 : $S=S_0+\frac{t}{a+bt}$	공용개시 후 5년간의 침하량으로 검토
부속시설	방소색, 통 신관로등의 구조	○ ○		토질조사 토질시험 기존자료 동태관측	시공시기에 따라 판정하기로 한다.	

주 : ()는 설계시에는 단면여유 검토에만 사용한다.

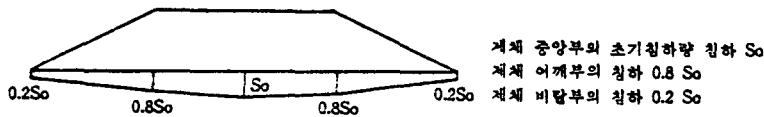


그림 10 침하량의 횡단분포

동태관측

연약지반상의 흙쌓기 시공은 동태 관측(動態觀測)에 의한 제체의 안정 및 침하 관리를 원칙으로 한다.

- 1) 제체의 안정관리
- 2) 제체의 침하관리

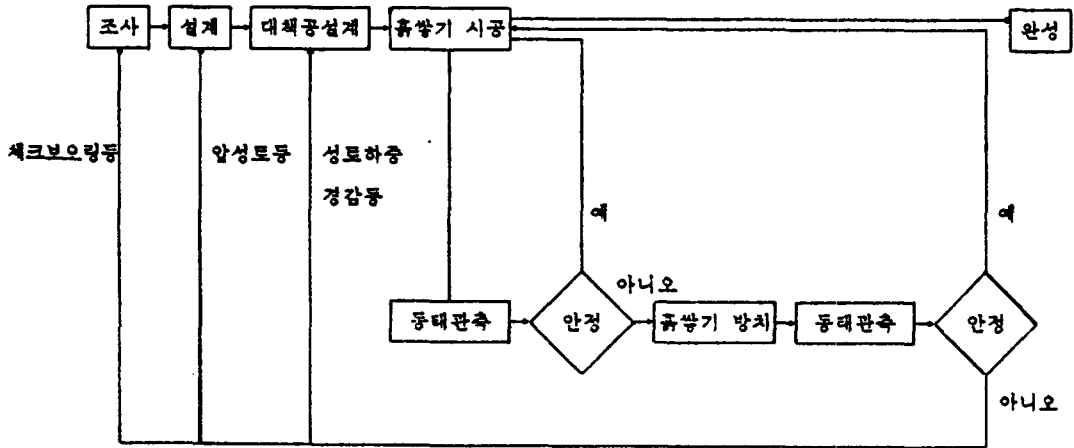
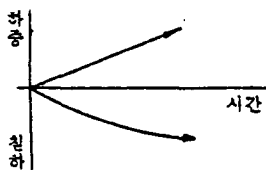


그림 11 동태관측결과를 활용한 흙쌓기 시공방법

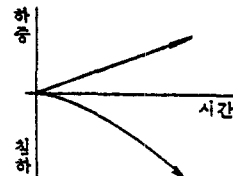
1) 제체의 안정관리

연약지반상의 흙쌓기 시공중에는 기초지반의 현저한 변형이나 파괴를 미연에 예측하기 위해 동태 관측을 하여 제체를 올리는 속도를 관리하고, 항상 기초 지반을 안정된 상태로 유지하면서 시공해야 한다. 이를 위해서는 관측 체제를 확립하여 관측 결과는 신속히 시공에 반영시킬 수 있어야 한다.

(1) 침하량 측정에 의한 판단



(a) 안정한 상태
(침하량의 일정한 속도로 수렴)



(b) 불안정한 상태
(침하량이 급격히 증가)

그림 11 침하량의 시간적 변화에 따른 기초지반의 안정

(2) 수평 변위량의 측정에 의한 판단



그림 12 수평변위의 시간적 변화

(3) 수직 변위량의 측정에 의한 판단

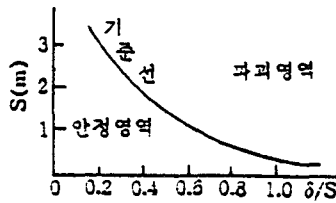


그림 13 수직변위의 시간적 변화

활동파괴의 징후

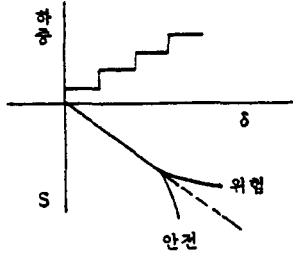
동태관측 자료에 근거를 두고 파괴를 예측하는 방법으로는 다음과 같은 방법이 있다.

- (1) 제체의 비탈끝의 수평 방향 측방 변위 δ 와 제체 중앙부 직하의 침하량 S 를 이용하여 $S \sim \delta$ / S 의 관계를 구하고, 참고그림 1에 나타난 기준선에 가까운지 어떤지를 조사하여 파괴를 예측한다.



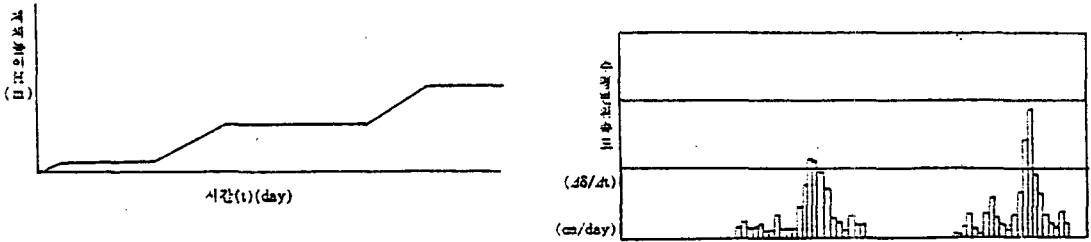
참고그림 1 파괴예지의 예(1)

- (2) 제체 비탈기슭 수평 방향 측방 변위 δ 와 제체 중앙부의 침하량 S 를 이용하여 $S \sim \delta$ 의 관계를 구해, 상재하중이 작은 구간의 $S \sim \delta$ 관계를 이용하여 파괴에 가까운지 어떤지를 예지한다.



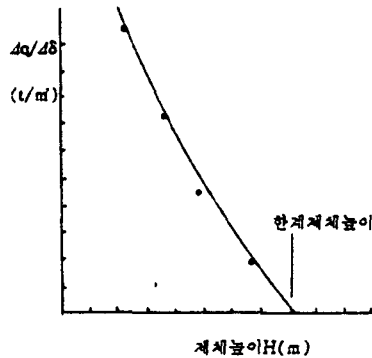
참고그림 2 파괴여지의 예(2)

- (3) δ 의 1일 변위량 즉, 수평변위 속도 $\Delta\delta / \Delta t$ 의 시간적 변화를 그래프화 하여 ($\Delta\delta / \Delta t \sim t$ 관리도) 안정관리에 사용한다.(참고그림 3)



참고그림 3 $\Delta\delta / \Delta t \sim t$ 관리도

- (4) 제체하중 q 의 증가분 Δq 와 수평 변위량 δ 의 증가분 $\Delta\delta$ 의 비 $\Delta q / \Delta\delta$ 와 제체 높이 H 의 관계에서, q 의 증가분 $\Delta q / \Delta\delta$ 가 0에 가까우면 파괴에 가까운 것을 이용하여 한계 제체를 추정한다.(참고그림 4)



참고그림 4 $\Delta q / \Delta\delta \sim H$ 관리도

2) 제체의 침하관리

연약지반상의 흙쌓기 시공에서는 동태 관측 결과에 근거한 실측 침하량으로부터 설계시에 예측되는 침하량을 수정하여 침하량의 파악, 장기 침하량의 추정 및 대책을 세워야 한다.

또, 구조물 시공 장소에 선행하중을 가할 경우, 동태 관측 결과에 근거를 두고 제거시기를 결정하도록 한다.

(1) 침하 관리의 검토 항목은 다음과 같다.

- ① 지반 각 층의 침하량을 구하여 압밀의 진해 상황을 조사한다.
- ② 장래 침하량을 예측하여 토량이나 제체 형태의 수정, 토공 마무리 높이, 암거 등의 더듬기나 포장 구조를 결정한다.
- ③ 상재하중, 선행하중의 재하 시기를 결정한다.
- ④ 장기 침하량을 추정하여, 교대와 제체와의 접촉부의 단차 대책, 암거나 배수구조물의 침하대책을 검토한다.

(2) 침하량의 검토 방법은 표 4와 같다.

(3) 선행하중 제거의 검토

本學會發刊書籍

ANFO 爆劑新發破學, 東亞出版社

新火藥發破學, 機電研究社

新火藥發破學解說, 寶晉齋

서울地下鐵工事 3,4號線發破工法. (非賣品)

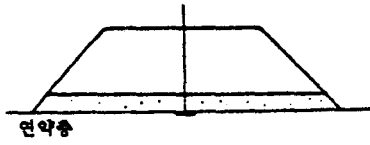
岩石 力學, 機電研究社

岩石 力學解說 同上

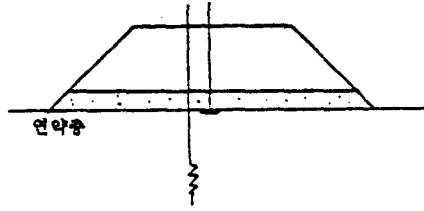
智山許填博士回甲記念集

참고표 1 측정계기의 종류

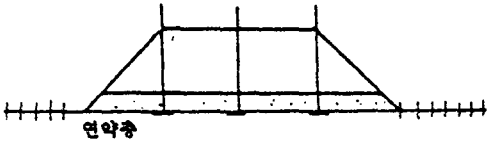
계 기	측 정 항 목	항 목
지표면 침하계	지표면 침하량	안정관리(파괴예측에 따른 흩쌓기 속도의 관리) 및 침하관리 (장래 침하예측에 의한 선행하중 제거시기나 더돋기량의 결정, 잔류 침하량의 추정)에 이용한다. 침하량을 예측하는 데도 이용한다.
심층 침하계	층별 침하량	연약층이 두꺼운 부분에 주로 문제가 되는 상부층과 주로 장기 침하가 문제되는 하부층의 침하량을 나누어 측정하기 위하여 이용된다. 자료는 안정 관리, 침하 관리에 이용된다.
지표면 변위말뚝	지표면 수평 변위량 지표면 연직 변위량	안정 관리에 이용한다. 제체 주변 지반의 변형 조사에 이용한다.
지표면 신축계 (활동계)	지표면 수평 변위량	안정 관리에 이용한다. 토층별 변위량의 파악, 활동면의 추정에 이용한다.
간극 수압계	간극수압	간극수압의 소산도에 따른 대책공(샌드 드레인, 선행하중 등)의 효과 판정에 이용한다. 대규모 연약지반의 대표 단면이나 시험 쌓기 외의 특수한 목적을 가진 공사에 이용하는 예는 적다.



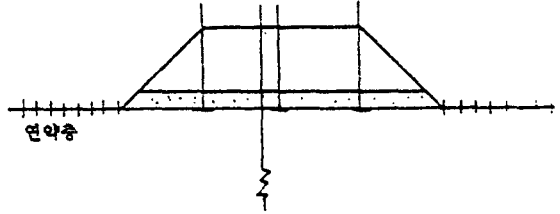
(a) 침하가 문제(연약층두께가 얇다)



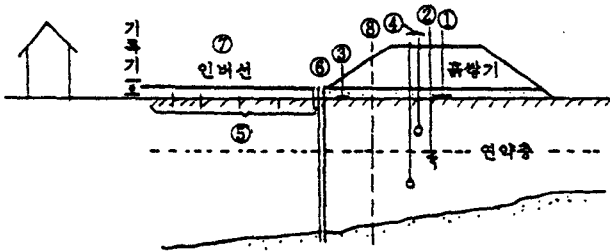
(b) 침하가 문제(연약층두께가 두껍다)



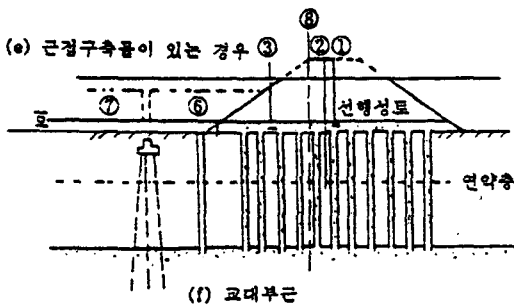
(c) 안정이 문제(연약층두께가 얇다)



(d) 안정·침하가 문제(연약층두께가 두껍다)



- 주) — 지표면영심화계
 — 심층영심화계
 ≡≡≡ 지표면면외압력 또는 신축계
 (기반확장계)



(f) 교대부근

- ① 지표면영심화계(중앙부)
- ② 심층영심화계
- ③ 지표면영심화계(비탈면부)
- ④ 간극수압계
- ⑤ 지표면면외압력
- ⑥ 지층면외계(우면류보 등)
- ⑦ 지표신축계(자기식 지반확장계 등)
- ⑧ 보결조사용 위한 지표척취위치

참고그림 5 동태관측용 계기의 배치

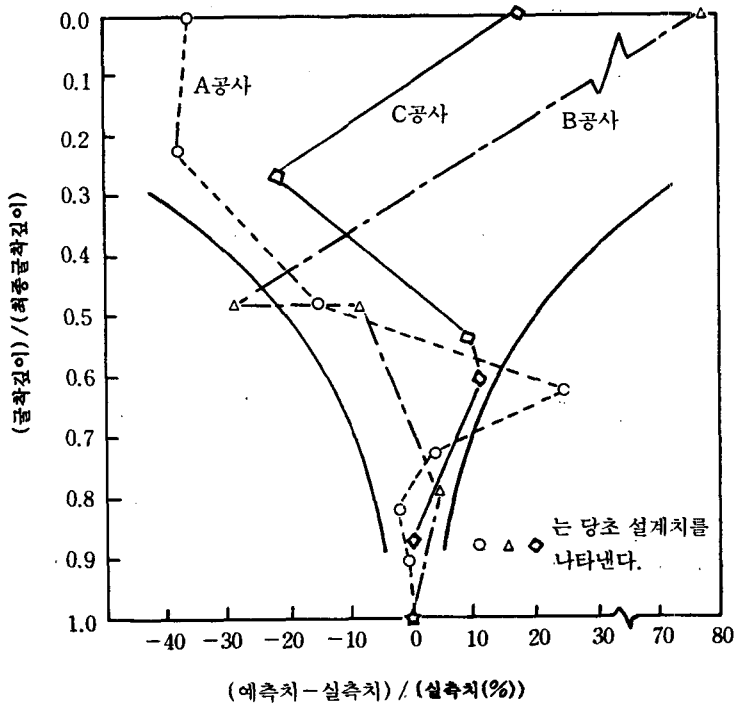


그림 1.3 현장계측에 의한 실측치의 추이

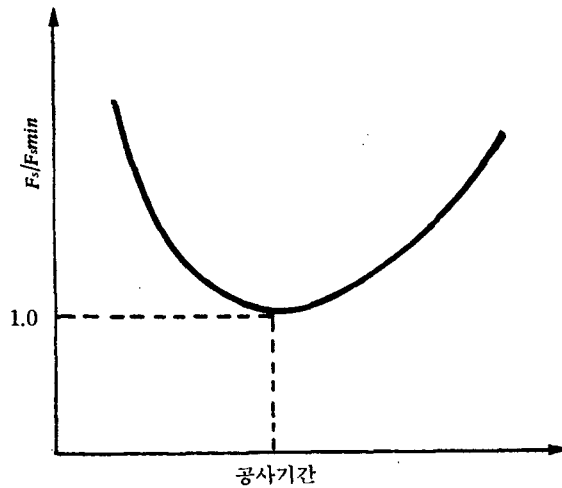


그림 1.5 공사중 안전율의 추이

표 - 1.1 공정별로 본 계측 목적(단위% 항목수)

계측목적 공종	(a) 시공관리	(b) 안전관리	(c) 설계범 의 확인	(d) 사전조사	(e) 유지관리	(f) 기타	평균계측 목적수
① 굴착 1	34.8	91.1	58.9	0	12.5	25.9	2.2
② 굴착 2	34.0	74.0	64.0	2.0	28.0	22.0	2.2
③ 성토	53.8	10.3	28.2	0	7.7	2.6	1.0
④ 받	62.5	0	0	0	12.5	37.5	1.1
⑤ 매립	18.8	6.3	18.8	0	18.8	37.5	1.0
⑥ 시설기초	15.2	21.7	37.0	0	6.5	19.6	1.0
⑦ 터널	31.4	59.0	67.6	0	10.5	42.9	2.1
⑧ 철도	28.2	31.8	14.5	2.7	11.8	10.9	1.0
⑨ 교량	52.4	0	66.7	0	19.0	0.0	1.4
⑩ 기타	35.6	17.8	40.0	6.7	4.4	22.2	1.3
전 체	33.2	46.9	44.9	1.3	12.3	22.8	1.6

주) 답은 복수 회답이기 때문에 합계가 100%를 넘는다.

전체는 전공사 수의 계측 목적의 분포이다.

굴착 1은 기초·굴착(Excavation)등

굴착 2는 관로매설 등이다.

표 - 1.2 계측 비용과 그부담

공종	공사비에서 계측 비용이 차지하는 비율	발주자가 부담하는 계측 비용의 비율			
		하드 : 소프트	평균 부담률	75% 이상 25% 이하	합계
① 굴착 1	1.68%	62 : 38	51.4%	46 : 18 : 36	100
② 굴착 2	2.19%	81 : 19	46.7%	38 : 23 : 38	100
③ 성토	1.10%	20 : 80	62.2%	56 : 11 : 33	100
④ 댐	0.13%	100 : 0	46.3%	25 : 50 : 25	100
⑤ 매립	7.21%	84 : 16	75.3%	75 : 0 : 25	100
⑥ 시설기초	1.59%	88 : 12	72.8%	67 : 22 : 11	100
⑦ 터널	2.31%	69 : 31	70.1%	68 : 24 : 8	100
⑧ 철도	1.24%	82 : 18	41.4%	33 : 14 : 52	100
⑨ 교량	1.17%	84 : 16	98.3%	100 : 0 : 0	100
⑩ 기타	1.35%	43 : 57	45.6%	47 : 6 : 47	100
평 균	2.00%	71 : 29	61.0%	56 : 17 : 27	100

주) 평균은 표에 기재되어 있는 수치들의 평균을 의미하며, 전공사 금액과 계측 비용의 합계로부터 산출한 것은 아니다.

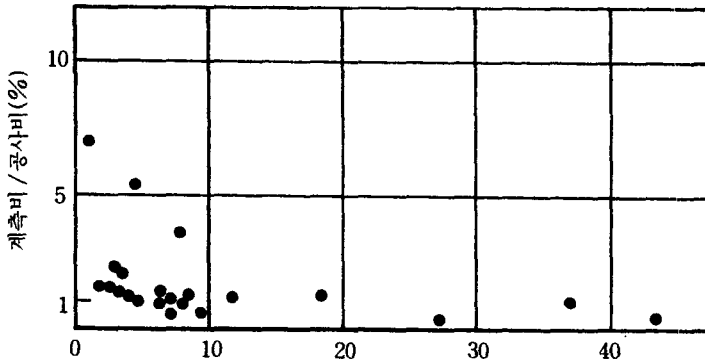


그림 1.6 현장 계측 공법의 비용과 공사비

계측관리비 : 구미의 경우 총 공사비의 0.25 ~ 3%, 보통 1% 이내
 국내 최근 도심지 NATM 터널계측 및 댐계측시 - 총 공사비 0.4 ~ 0.8% 정도
 『한국도로공사, 도로설계요령 제 4권터널 8. 2 계측계획 P162.』

표 - 3.3 공공별 계기의 고장률(단위 : %)

계측목적 공종	(a) 토압 수압	(b) 침하 층별침하	(c) 응력 축력	(d) 변위 변형율	(e) 위치 경사	(f) 온도	(g) 기타	공종별 고장률
① 굴착 1	7.0	14.0	3.9	4.6	1.3	16.7	0	4.2%
② 굴착 2	26.8	5.0	1.4	2.9	31.8	0	10.2	4.9%
③ 성토	2.1	5.3	0	1.9	14.3	0	0	4.1%
④ 뱀	0	25.0	0	10.3	0	0	10.0	7.4%
⑤ 매립등	2.8	5.0	0	11.7	3.9	0	0	5.6%
⑥ 사설기초	0	2.2	0	7.2	6.7	1.5	7.1	3.2%
⑦ 터널	2.7	1.0	2.7	3.2	0.2	5.6	0	2.1%
⑧ 설드	55.0	3.2	8.2	7.4	18.6	0	50.0	9.8%
⑨ 교량	25.0	0	3.4	1.4	0	14.3	0	3.2%
⑩ 기타	0	0	6.0	10.3	33.3	5.0	5.0	6.5%
전 체	9.2	3.0	3.0	1.8	1.8	4.6	7.4	3.6%

주) 고장률은 각 항목에 대해 점수의 비율(고장점수/계측점수)를 산출하고 있다.
전체는 전공사수의 고장점수와 계측점수로부터 산출하고 있다.