

현장계측을 이용한 호안의 침하 및 안정성의 평가 An Evaluation of the Settlement and Stability in the Reclaimed Revetment by Field Monitoring Method

김형주¹, HYBONG-JOO KIM 양태선², TAE-SEON YANG 최덕찬³, DOG-CHAN CHOI

¹ 정회원 부산대학교 해양공학과 전임강사, Professor of Ocean Eng., Kunsan University, Kunsan
² 정회원 서울시립대학교 토목공학과 박사과정, Researcher, Dept. of Civil Eng., Seoul City University, Seoul
³ 정회원 동아엔지니어링(주) 지반사업부, Researcher, Geotechnical Eng. Div., Dongah Engineering Co., LTD., Seoul

ABSTRACT

In case of construction of the final refuse disposal site on the ground where 20m soft clay layer is deposited, Sand Compaction Pile(SCP) was driven with a view to increase the strength and reduce the settlement when the reclaimed revetment intend to be constructed first in a short time.

Field monitoring method is carried out in order to overcome the problems of settlement and stability in the construction of the reclaimed revetment and the assumed problems in the design of composite ground. In this paper the observed data from monitoring sections are analysed, feedback to the design and field, and compared with FEM analysis.

Conclusions are as follows: in case of 70% replacement the use of modified soil parameters makes the FEM analysis of SCP possible. In case of 27% replacement, n (stress concentration ratio) = 0.2 - 0.3, β (measured settlement reduction coefficient) = 0.43 are evaluated. Also, horizontal displacement is remarkably happened around the ground.

1. 서론

연약지반상에 호안, 방파제, 도로, 구조물 등을 시공하는 경우 지력증가 및 침하축진의 목적으로 Sand-drain(SD), Sand Compaction Pile(SCP) 등을 이용하여 지반개량을 하고 있다. 일반적으로 해저지반에 호안을 건설하는 경우 SCP치환율은 70%이상으로 시공되고 있다. 그러나 치환율이 높은 70%이상인 경우 타설공기, 공사비, 주변지반 영향때문에 최근에는 치환율이 낮은 30%정도의 SCP공법이 적용되는 경우가 증가하고 있다. 이 경우 현재의 실제설계에서 호안의 사면안정문제는 Bishop법, Fellenius법 등에 의해, 압밀침하문제는 Terzaghi 이론, Barron 근사해²⁾를 이용하여 검토하고 있다. 그러나 이러한 실제설계법을 치환율이 낮은 복합지반에 적용하는 경우³⁾ 시공시 전압밀과정에 대해서 응력분담비 가정과 강도증가 특성등이 설계시와는 매우 상이하기 때문에 현장계측에 의해 설계변경 및 시공관리를 하지 않을 수 없다.

본 연구의 실제 대상은 일본 히로시마시의 해안지역으로서 연약층적 점토층이 20m 정도 퇴적되어 호안의 안정성 및 압밀침하량이 문제가 되므로 강도증가 및 침하감소를 목적으로 SCP를 호안의 외측에 치환율 70%, 내측에 치환율 27%를 타설한 후 현장계측을 실시하면서 단계별 성토에 의한 시공관리를 하였다. 이러한 실제공사를 통하여 얻어진 계측결과에 대한 feedback과 탄소성유한요소 해석에 의한 복합지반의 특성을 검토하였다.

2. 공사개요

본 연구에 관련된 매립사업은 히로시마시의 장기계획 및 항만계획에 의해 항만관련용지, 도시기반 시설, 최종폐기물 처리장 등의 확보를 목적으로 150 ha의 용지를 조성하는 공사이다. 설계업무의 내용을 크게 나누면 다음과 같다.

- 1) 호안 최적단면 설정
 - 2) 호안결정단면 실시설계
 - 3) 시공계획
 - ① 준비 ② 지반개량 ③ 기초 ④ 매립 ⑤ 토지조성 ⑥ 구조물 완성
 - 4) 환경영향 예측 평가
- 서술한 1) - 4)내용의 업무를 수행하기 위해 다음과 같은점에 유의하였다.
- ① 호안특성 ---- 폐기물 매립호안, 해안보호시설
 - ② 주변조건 ---- 주변환경보호, 인접항만시설과 관련된 장래계획

- ③ 지형 및 토질조건 ---- 층적 점성토의 퇴적
 - ④ 인공 간석지 조성 ---- 모래사면 조성에 의해 조류보호
- 호안의 시공은 최초에 Sand mat층 1m가 시공된 후 축조 성토하중에 대한 안정 및 침하저감을 목적으로 SCP 70%, 27%에 의해 지반개량을 한 후 기초사석, 배면성토가 이루어졌다. 그림 1 과 그림 2 에 매립호안의 일반평면도, 표준단면도를 표시하였다.

3. 지반개요

본 연구의 대상으로 하는 외호안(B호안)의 축조지점의 지반은 층적 점성토층이 20m 정도로 퇴적되고 그 아래로 실토질모래, 모래섞인 자갈층의 순서로 구성되었다.

B호안건설지점에 대한 토성은 고함수비, 고소성, 고압축성을 가진 연약 해저지반으로 전단강도가 작고 압축성이 극히크고 투수성이 작은 토질이다. 표 1에 토질시험결과 및 설계 토질정수를 요약하여 표시하였다.

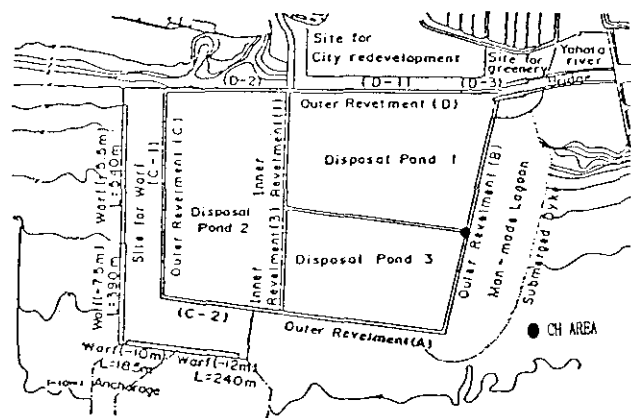


그림 1 매립호안의 평면도

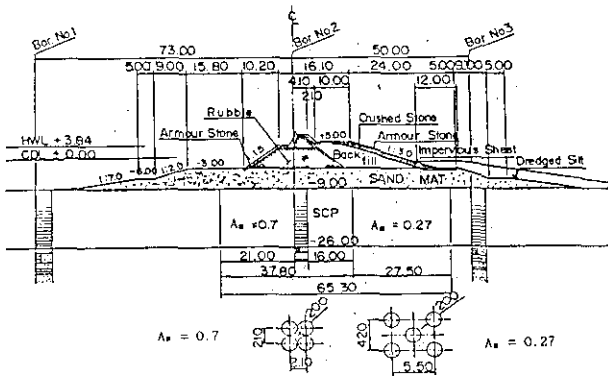


그림 2 매립호안의 포준단면도

4. 현장 계속관리 계획

본 연구의 계속관리 계획은 연약 지반개량 공사에 있어서 미해결된 문제점을 설계시에 가정하여 그 가정을 현장으로부터 얻어지는 계속 정보에 의해서 수정하여 다음단계 시공에 반영하여 호안을 안전하게 시공하기 위한 것으로 장래에 문제를 남기지 않고 우수하게 공사를 완성함에 있다. 본 연구의 호안공사에 대한 계속항목으로서의 다음과 같이 두종류로 나눌 수 있다.

1) 안정관리

설계시에 예측할 수 없는 호안의 불안정동 시공중 예측하지 않은 사태에 대처하여 안전한 시공을 하고 지반의 변형(수직, 수평방향) 상황에 따라 시공속도를 조절한다. 또한 조건에 따라서는 설계를 수정한다.

2) 침하관리

호안형태관리와 여성토량을 결정하고 조건에 따라 설계를 수정한다. 계속결과를 시공에 feed-back 하기 위해 계속관리 장소로서는 조기 착공하는 공사구역에 집중관리 지역을 다음과 같은 목적으로 설정하였다.

- ① 공사에 의한 지반의 응력 - 변형특성에 의한 공사지침
 - ② 토공관리의 기본자료
 - ③ 지반개량효과를 파악하여 설계에대한 비교 및 수정을 위한 자료
 - ④ 현장의 상황에 따라 안정, 우수한 시공을 하기위함
- 이상과 같은 목적으로 집중관리 지역은 B호안(그림 1의 표시)에 설정하였다. 그림 3 은 각종계측기를 SCP타설 직후 설치한 단면도 및 평면도로서 지반개량동안을 제외하고는 호안건설의 초기상태로부터 지반변형을 파악할 수 있다.

4.1 계측방법 및 관리항목

4.1.1 사전토질조사

일반적으로 토질조사는 가장 기본이되는 현장계측 이라고 할 수 있고 목적으로는 토층확인, 토질정수 파악, 투수성조사, 피암수조사, 염소 이온농도 조사등으로 있고 이러한 조사에서 얻어지는 값을 근거로 지반개량설계가 이루어진다.

4.1.2 침하측정

잔류침하량과 압밀도의예측 및 설계정수를 수정하기위한 침하량의 측정은 토질조사와 마찬가지로 가장 기본적인 관리방법중 하나이다. 그림 3에 표시한것처럼 침하판 7개, 층별침하계 (Anchor rod식) 4개를 설치하였다. 침하판의 측정방법은 측상에 설치한 가설BM을 기준으로 하여 1급트랜시트를 이용한 간접수준측량에의해 측정한다. 침하판에 의한 측정결과는 계획고까지 여성토량을 결정하기위해서 이론압밀 침하해석 및 장래침하예측해석에 적용시킨다. Anchor rod식 침하계는 점토층중간 및 점토층하단에 설치하여 이동량에 의해 임의 점토층의 침하를 측정하는 것으로 측정방법은 Ring상의 마그네트소자를 지반중

표-1 토질시험 결과 및 설계정수

항 목	시험결과	설계정수
G_s	2.605 - 2.675	
ω (%)	60.43 - 86.85	
γ_t (t/cm ²) (주1)	1.481 - 1.684	1.40
c'	1.105 - 2.285	3.25
입도		
모래(%)	1 - 4	
실트(%)	32 - 46	
점토(%)	50 - 68	
LL (%)	72.01 - 127.85	
PL (%)	29.35 - 36.65	
PI	42.67 - 91.40	
I_c	0.271 - 0.526	
q_u (kg/cm ²)	0.4 + 0.34Z	
C (kg/cm ²)	0.2 + 0.17Z	0.2 + 0.17Z
P_c	1.349 - 1.560	
C_c	1.184 - 1.262	1.7
C_v cm ² /day (주2)	6.25×10^4 - 1023×10^2	80
C/P	0.32 - 0.50	0.3

(주1) $\gamma' = 0.4$ t/cm²

(주2) $P' = 2$ kg/cm² 이상

에 개방시켜 측정관내에서 자력선 검출기용 디지털 지시계로 측정하는 것이다. 측정결과로는 각종의 압밀침하량, 재하시 Rebound량 및 구조물시공시 변형등을 파악하기위한 것이다.

4.1.3 간극수압측정

간극수압측정은 그림 3과같이 SCP사이의 점토층에 매설된 간극수압계가 나타내는 값을 차동트랜스형 지시계로 측정하였다. 또한 과잉간극수압은 측정시의 조위로부터 정수압을 이용하여 구했다 측정목적은 과잉간극수압의 소산에 따라 유효상재하중및 지반개량 효과를 확인하는 것이다.

4.1.4 측방변위 측정

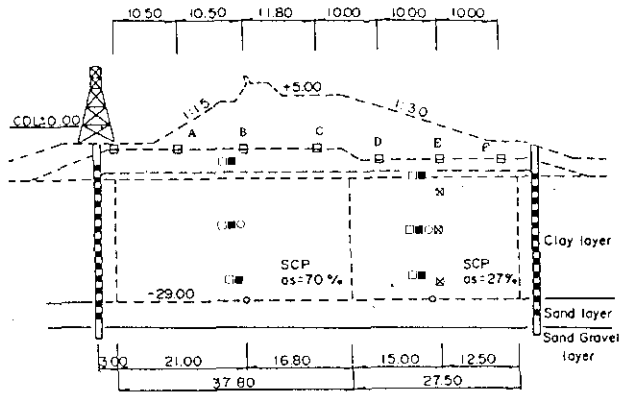
Roller 형 경사계를 이용하였고 수평변위 측정용 측정관은 75mm x 75mm x 2mm 의 스텐레스관으로 직각 2방향(X, Y방향)의 수평변위를 독립으로 검출한다. 스텐레스계 측정관은 표면가공과 재료의 강도등에 의해서 Negative friction에 견디어낼 수 있도록 되어 있고 상부에 모래층이 분포하는 장소에서는 별도의 부동점으로 한후 측정관내에 Roller 형 경사계를 설치하여 2.0m간격으로 경사각을 측정하여 수평 변위량을 구했다. 계속목적은 성토에의한 전단변형을 파악하기위한 것으로 그림3에서와 같이 SCP 70%, 27% 치환구역 외측2개소에 심도방향 2.5m간격으로 설치하였다.

4.1.5 토압측정

유효응력 측정은 SCP 점토 및 SCP안에 매설된 토압계가 나타내는 값을 차동트랜스형 지시계로 측정한다. 지중의 토압계가 받고있는 전응력을 측정하는 동시에 수위변화로부터 구한 정수압을 이용해 전응력과 정수압차에 의해 유효응력을 구한다. 계속목적으로는 SCP와 원지반과의 연직응력을 구해 응력집중현상을 파악하여 응력분담비 및 침하저감계수를 구해 설계수정을 하기 위한 것이다. SCP 70% 및 27% 치환지역 심도방향3개소, SCP와 SCP사이의 점토층과 SCP중심에 각각 2개소로서 전체 12개를 설치하였다.

4.1.6 토질조사 (Check boring)

지반개량공사후, 즉, SCP타설후에 Check boring을 실시하여 SCP타설지반 및 주변지반에대한 강도증감을 파악하여 호안안정 및 압밀기간등의 대책을 세워 급속하고 안정된 시공을 할 수 있다.



- ☒ : 간극수압계
- : 증발침하계 (Anchor Rod식)
- : 고정형 경사계
- : SCP중심의 토압계
- : 점토층의 토압계
- ▲ : Check Boring
- △ : 침하판
- ▢ : 수압식 침하계

그림 3 계측기 설치단면도 및 평면도

5. 유한요소법에 의한 탄소성

5.1 해석모델 및 경계조건

비배수조건에 있어서 전단변형특성과 배수조건에 압밀변형특성이 계통적으로 해석할수 있는 Modified Cam clay이론에 근거한 FEM탄소성해석모델을 이용하였다. 그림 4 에 표시한 것처럼 해석영역의 주변 경계조건으로 양단부는 X방향만을 구속하고 연직방향은 변형 및 비배수상태, 최하단부는 X,Y방향만을 고정하여 비배수상태로 하였다. 하중 재하방법으로서 Sand mat층은 선형탄성체로 하중은 강성을 고려한 요소자중으로서 작용시킨다. 또한 2단계 이후의 모래성토, 사석성토에 대해서는 요소절점에 분포하중으로서 작용시켰다.

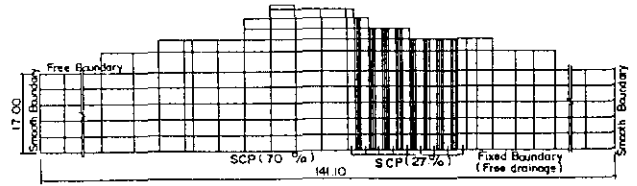


그림 4. 유한요소해석 MESH

표-2 FEM 해석시 입력 토질정수

토층	γ	κ	M	Go t/m ²	ν	Ko	σ_{vo} t/m ²	γ'	e_o	γ_k	Ko (m/day)
점토	.738	.074	1.42	16 ~116	.371	.589	$\sigma_{vo} = \gamma' Z$	.40	3.25	.738	cm ³ /day Cv _o = 80
모래 사석	-	-	-	262	.333	.500	-	1.0	-	-	-
SCP 70% 환산토	.221	.022	1.42	228 ~189	.371	.589	$\sigma_{vo} = \gamma' Z$	.82	3.25	.221	Cv = 17.6Cv _o
SCP 27% 모래	-	-	-	82 ~180	.333	.500	-	1.0	-	-	-
SCP 27% 점토	.505 ~ .538	.051 ~ .054	1.42	82 ~180	.371	.589	$\sigma_{vo} = \gamma' Z$	.40	3.25	.505 ~ .538	cm ³ /day Cv _o =114

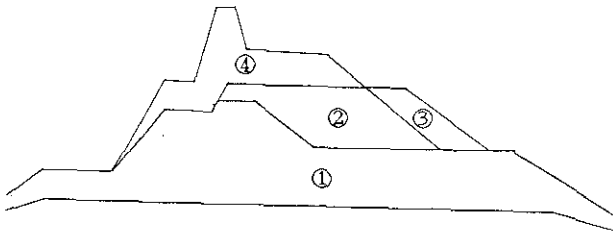
그림5에 재하순서 및 기간을 표시하였다. 하중은 순간하중으로 하고 모래층은 배수층으로 하였다. 요소수는 지반부 305요소(개랑부포함), Sand mat층의 요소자중수를 59개로하여 전체 364개의 사각형요소로 이루어져있다. 본 연구에서 탄소성모델을 표현하는 토질정수로서 17개가 필요하므로 먼저 압밀시험으로 얻어지는 e-log p, e-log k 및 Pc - σ_z - Z(심도) 관계로부터 압축지수(λ), κ (팽창지수), Pc, σ_z , λ_k (무수성변화지수)⁴⁾, Ko등을 구할 수 있다. 표 2에 해석에 사용된 토질정수값을 요약하여 표시하였다.

5.2 환산투수계수(SCP 70%)

본 연구에서 중점적으로 다루고자하는 부분은 치환율이 작은 SCP 27%지역이므로 70%의 경우는 SCP를 요소로서 분할하면 요소수가 많기 때문에 요소수를 줄이기 위해 SCP 치환지역을 환산평균배수면으로 변환하여 압밀속도를 수정한 환산투수계수를 이용하였다. 이 수정방법은 Terzaghi 1차원압밀이론해와 Barron의 2차원 방사형배수를 고려한 근사해를 이용하였다. 다음 두이론에 이용되는 시간계수관계식을 나타내면 다음과 같다.

$$t_h = \frac{T_h d_o^2}{C_h} \quad (\text{Barron}) \quad (1-1)$$

$$t_v = \frac{T_v (H/2)^2}{C_v} \quad (\text{Terzaghi}) \quad (1-2)$$



- * ① : 1단계 재하(t = 0 - 220일)
- ② : 2단계 재하(t = 221 - 310일)
- ③ : 1단계 재하(t = 311 - 550일)
- ④ : 1단계 재하(t = 551 - 900일)

그림 5. FEM 해석의 경우 단계성로 재하 순서 및 기간

임의 압밀도 U(본 연구에서 80%)에 대한 시간계수를 Barron근사해와 Terzaghi이론해는 동일하다고 가정하면 $t_h = t_v$ 관계에 의해 Terzaghi 식의 T_v 가 얻어진다. 여기서 Barron근사해의 수명압밀계수 C_h 는 실측침하량에 의해 직접구하는 Menden⁵⁾법을 이용한결과 $C_h=12.2\text{cm}^2/\text{day}$ 이다. SCP 70%지역의 $\phi 200\text{cm}$ 사각형배치의 경우 Barron이론에 의해 $d_w=1.13\text{d}=2.373\text{m}$, $d_w=2\text{m}$ $n=d_w/d_w=1.187$ 이므로 압밀도 U에 대해 시간계수 T_h 를 다음과 같은 Barron근사해에 의해 구할 수 있다.

$$U = 1 - \exp\left[-\frac{8T_h}{F(n)}\right] \quad (2-1)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \quad (2-2)$$

여기서 압밀도 80%에 대한 압밀소요시간 $t_{scp} = 12.71\text{day}$ 이다. SCP 70%지역에 대한 배수거리를 6.3m의 선배수로 가정하면 $H=6.3/2=3.15\text{m}$ 이므로 설계압밀계수 $C_v=80\text{cm}^2/\text{day}$, $t_v = 703.3\text{day}$ 이고 Barron해에 의하면 $t_{scp}=15.7\text{day}$ 이다. $U=80\%$ 대응관계에 의해 $t_v/t_{scp} = 17.6$ 이므로 해석에 사용하는 투수계수는 $K=17.6K_0$ (K_0 : 현지반)로 하는 SCP의 Barron해석해를 1차원 압밀로 근사시킬 수 있다. 표 3에 SCP 70% 개랑지반의 압밀도(U)-시간계수(T_h)를 나타냈다.

표-3 SCP 70% 치환지반의 압밀도-시간관계

압밀도 U	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
t _{scp} (day) (Barron)	1.1	2.3	3.7	5.3	7.2	9.5	12.5	15.7	23.9
t(day) (Terzaghi)	9.9	38.5	88.1	196.3	244.3	355.9	499.9	703.3	1051.8
t/t _{scp}	9.0	16.7	23.8	29.5	33.9	37.5	40.0	42.1	44.0

5.3 환산강도정수

SCP 개랑지역의 침하량과 강도에 관계되는 토질정수는 다음과 같이 근사식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = (1 - a_s)\lambda_c \quad (3-1)$$

$$\kappa = (1 - a_s)\kappa_c \quad (3-2)$$

$$G_o = (1 - a_s)G_{co} + a_sG_{so} \quad (3-3)$$

여기서 λ, κ, G_o 는 수정된 압축지수, 팽창지수, 초기강성율, $\lambda_c, \kappa_c, G_{co}$ 는 원지반 점성토의 토질정수, G_{so} 는 SCP의 강성율, a_s 는 SCP의 치환율을 나타낸다.

6. 현장계측결과 및 FEM 해석

6.1 응력분담비(n)

연약점토층에 SCP를 타입하면 점성토의 점착력이나 관입직경의 크기에 따라 SCP가 형성된다. 점성토와 SCP로 형성되는 복합지반상에 구조물이 재하될 때 점성토와 압축된 SCP와는 물리적, 역학적 성질이 다르기 때문에 각각 분담하는 응력이 다르고 일반적으로 SCP에 응력이 집중하는 것으로 알려져 있다. 그림 6과 같이 원지반 점성토와 SCP로 형성되는 복합지반상에 응력 σ 가 재하되는 경우 각 면적범위에서 응력이 일정하다고 가정하면 응력분담비⁶⁾(n) 및 응력저감계수(μ_c)는 다음과 같다.

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (4-1)$$

$$\mu_c = \beta = \frac{\sigma_c}{A} = \frac{1}{1 + (n-1)a_s} \quad (4-2)$$

여기서 치환율 $a_s = \sigma_s/A$ 이고 β 는 침하 저감계수이다.

치환율 27% 지역에 대한 토압계의 측정결과 및 FEM 계산결과를 그림 7에 표시하였다. 토압계는 그림 3에 표시한 것과 같이 심도방향으로 3개소(C, D, L -8.0m, -15.3m, -22.5m)에 SCP중심과 점토층(SCP와 SCP 사이)에 전체 6개를 설치하였다. 성토하중의 증가에 따라 지반내부의 유효응력이 증가하고 있음을 계측결과 및 FEM 해석결과에서 알 수 있다. 또한 응력분담비는 실측치 및 FEM 해석결과에서 $n = 0.2 \sim 3$ 의 값을 나타내고 있다. 또한 심도가 깊어짐에 따라 응력분담비가 변화하는데 이것은 SCP의 응력전달과정과 역학적인 불확실성 및 탄성체로 가정된 결과에 의한 것으로 생각할 수 있다. 일반적으로 침하검토시 및 안정검토시에는 응력분담비 또는 응력분담비와 치환율에 의해 구하는 침하 저감계수 β (즉 응력저감계수 μ_c)는 압밀층의 깊이

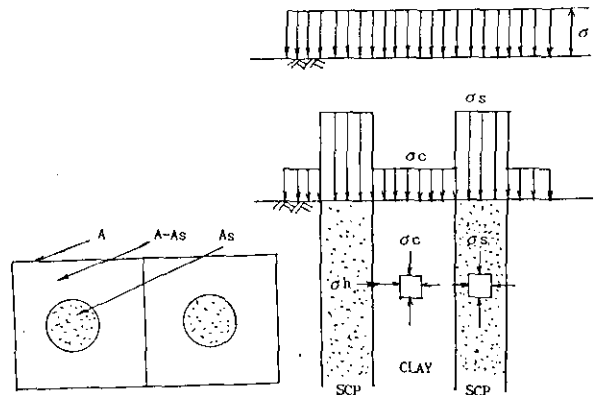
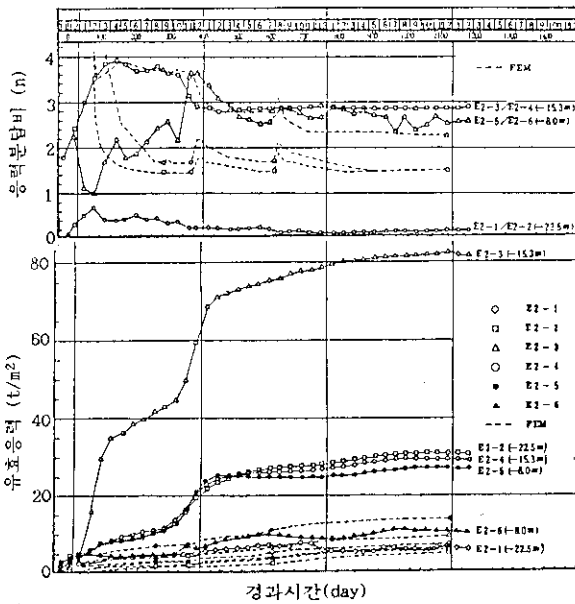


그림 6 복합지반의 응력상태

대해 일정한 값을 채용하고 있지만 현장계측 및 FEM 계산결과에 의하면 n의 값은 변화하고 있음을 알 수 있다. 그리고 단계별로 성토재 시 재하 순간에 최대값을 나타내고 시간에 따라 감소하고 장시간이 경과하면 일정한 값에 수렴하고 있다. 이것은 재하시 SCP에 하중이 집중되고 SCP의 허용지지력범위 안에서 압밀이 증가함에 따라 점성토에 강도가 증가하고 있음을 알 수 있다.



* E2-1, E2-3, E2-5 : SCP중심
E2-2, E2-4, E2-6 : SCP와 SCP사이의 점토층

그림 7 유효응력, 응력분담비(n)와 경과시간(SCP 27%)

6.2 침하특성

그림 8은 침하판에 의한 측정결과 및 FEM해석결과를 경시변화도로서 나타냈다. 또한 침하판 및 층별 침하계(Achor Rod식)의 측정결과는 압밀 침하 해석(Terzaghi, Barron 이론) 및 장래 침하예측해석(쌍곡선법 Hoshino법, Asaoka법, Monden법)에 의해 여성토량 및 잔류침하량을 결정한다.

그림 8에서 실측치와 계산값을 비교한결과 FEM해석값은 실측치에 어느정도 근접하는 경향임을 알 수 있다. 그러나 SCP 70%지역에서 침하가 과대평가되는 원인은 SCP와 점토의 복합탄산강성계수가 작게 평가된 영향으로서 생각할 수 있다.

압밀침하해석방법은 다음과 같은 방법에 의해 결정하였다.

$$S_r = \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left(1 + \frac{\Delta P}{P_0} \right) \quad (5-1)$$

$$S_\beta = S_r \beta \quad (5-2)$$

$$S_t = S_\beta U \quad (5-3)$$

여기서 S_r : 원지반의 최종침하량
 S_β : 복합지반의 최종침하량
 S_t : 압밀도 $U(=80\%)$ 의 침하

또한 침하 속도의계산은 Barron의 근사해인 식(2)를 이용하였다. 장래 침하예측 해석 방법인 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법, Monden법은 문헌7)을 참고로 하고 여기서는 생략하고자한다.

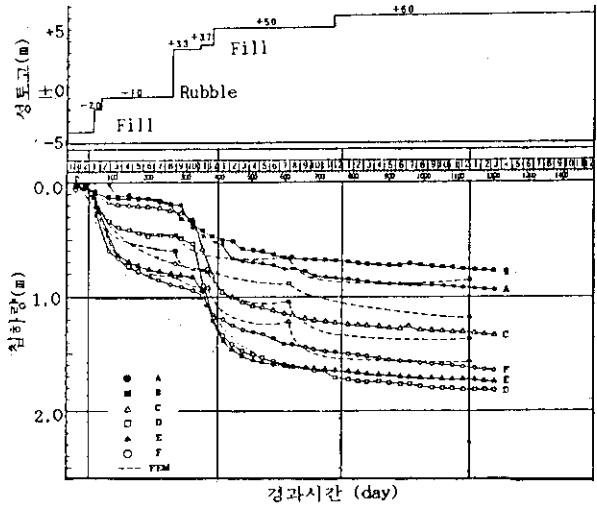


그림 8 침하량과 경과시간

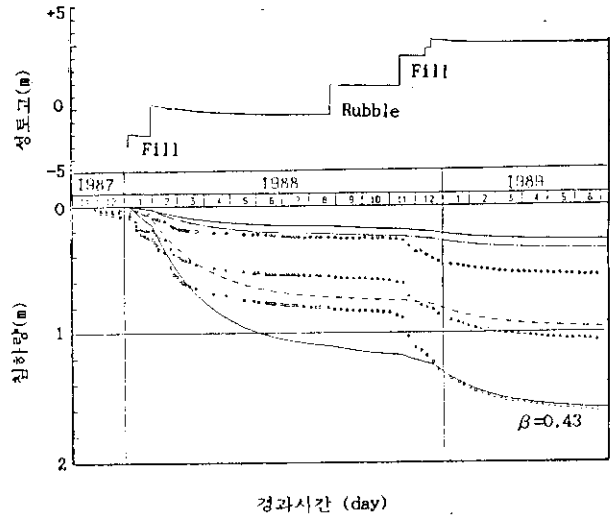


그림 9 층별침하 계측결과에 의한 압밀침하 예측곡선(설계변경후)

Achor Rod식 침하계에 의한 계측 결과 및 위에서 설명한 압밀 침하 해석 방법에 의한 결과(실선)를 그림9에 표시하였다. SCP 27%지역에 대해 설계치는 $\beta=0.73$ 을 설정하였지만 계측결과는 Curve fitting에 의해 $\beta=0.43$ 으로 평가되어 설계침하량보다 과소값을 나타내고있다.

6.3 간극수압특성

간극수압계에 의한 계측결과를 이용하여 전수압의 측정값 및 과잉간극수압(=전수압-정수압), 그리고 FEM해석 결과를 그림10에 표시하였다. 전수압의 경우 성토하중증가에 의한 영향보다 조위변동에 의한 영향을 크게 받고 있지만 전체적으로 시간경과와 함께 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 과잉간극수압의 경우에는 Sand Mat, 기초사석, 배면사석등의 각시공단계에는 과잉간극수압이 상승하고 압밀방치 기간중에는 어떠한 깊이에서도 소산되고 있다. 이것은 압밀현상에 의해 SCP사이의 점토층의 과잉간극수압이 SCP의 Drain효과에 의해 감소하고 역으로 유효응력이 증가하고 있는 것을 의미하고 있다. FEM해석과 비교하면 성토초기에는 실측값의 상승이 작다. 이것은 SCP주변지역의 교란에 의한 투수계수 감소와 Time Lag등의 원인으로 생각할수있으며 압밀종료 과정에서는 실측값과 계산값이 일치하고 있음을 알수 있다.

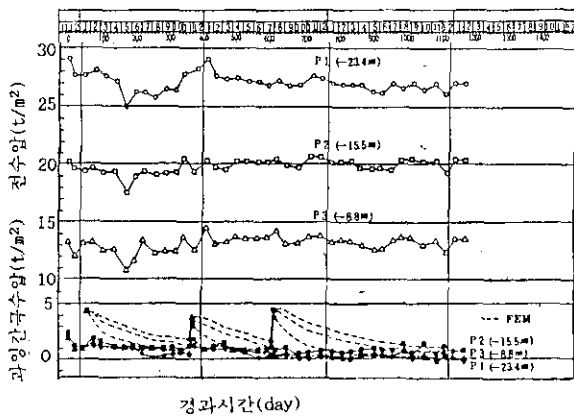


그림 10 전수압, 과잉간극수압과 경과시간

6.4 축방 변형 특성

그림 3과 같이 설치한 고정형 경사계에 의한 축방 변형계측 결과 및 FEM 해석결과를 그림 11에 표시하였다.

Sand Mat, 기초사석, 배면사석이 단계적으로 시공되었지만 최대 축방 변위는 현장계측 및 해석결과 모두 점토층 상부에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 사면 원호 활동이 일어난 부근 즉 점토층 중앙에서 파괴활동을 하는 것에 비해 본 지역의 호안은 지표면 부근에서 축방유동적인 거동을 하고 있다. 이것은 SCP 관입에 의해 평창된 지표면부근의 고소성 점토층의 형성 영향으로 볼 수 있다.

다음에는 변위량의 변화경향을 파악하기 위해 1990년 3월 13일의 데이터를 기준으로 할때 점토층상부의 전면 및 배면측의 최대 축방 변위는 각각 33cm, 45cm이다. 또한 1년 경과한 1991년 3월 19일의 최대 축방 변위는 전면 및 배면측 각각 35cm($\Delta\delta=2\text{cm}$), 63cm($\Delta\delta=18\text{cm}$)이므로 축방 변위 속도는 전면에서 $\Delta\delta/\Delta t=0.3\text{cm/day}$, 배면에서 $\Delta\delta/\Delta t=0.4\text{cm/day}$ 이다. 또한 축방 변위량 (δ) - 침하량 (s) 관계는 전면측에서 $\delta=0.45s$, 배면측에서 $\delta=0.45s$ 로 1년간의 축방 변위량 및 축방 속도는 매우 작고 압밀침하가 상대적으로 크므로 개량된 지반은 충분히 안정화 되었다고 판단된다.

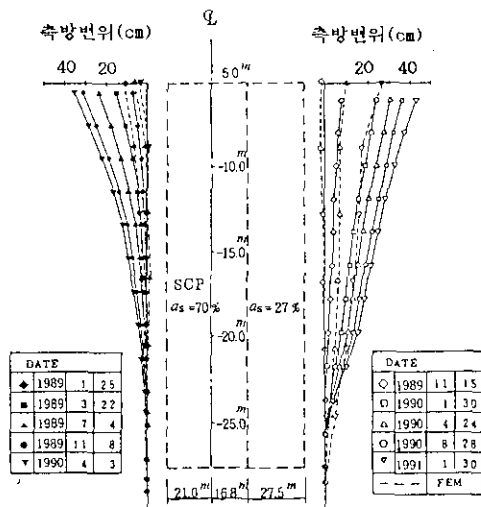


그림 11 축방 변위 (SCP 70%, 27%)

7. 결론

해상연약 점토층에 호안을 건설하기 위해 점토층의 침하저감을 목적으로 SCP를 타설하였다. 복합지반의 안정문제와 설계시의 가정문제를 극복하기 위해 현장계측을 실시 하였다. 이 현장계측에 의해 얻어진 결과 즉, 침하, 간극수압, 응력분담비, 축방 변위 등을 이용하여 가정된 설계정수를 수정하여 실제 현장 상황에 Feed back하므로써 안정하고 경제적인 시공이 가능한 것을 알 수 있었다.

본 연구는 SCP로 개량된 연약지반의 거동을 현장계측 결과와 FEM해석에 의해 비교분석, Feed back방법을 소개 한 것으로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 환산 토질 정수를 이용하므로써 간편하게 SCP치환율 70%지역에 대한 FEM해석이 가능하다.
- 2) 응력 분담비(n)는 시간 및 심도에 따라 변화하고 SCP 27%의 경우 n=0.2~3 으로서 설계정수에 타당성이 있음을 알 수 있다.
- 3) 압밀 침하곡선을 현장침하계측 결과값에 curve fitting한 결과 실제 침하 저감계수(β)은 0.43으로 평가 되어 설계침하량을 변경하였다.
- 4) 축방 변위는 지표면 부근의 평창된 고소성 점토의 영향으로 지표면 부근에서 현저한 변형을 하고있다. 일반적으로 일어난 부근에서 축방 변위가 최대가 되는 것과는 대조적이다.
- 5) 집중관리지역에서의 축방 변위는 전단 변형보다 압밀 변형이 상대적으로 크게 증가하므로 안정된 시공 속도이다.

8. 참고 문헌

- 1) 一本英三郎 (1981) : Sand Compaction Pile 工法の 實用設計と 實施設計, 第36回日本土木學會年次學術講演會, PP.51 - 55.
- 2) Barron, R.A. (1948) : Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells, A.S.C.E., PP.113 - 118.
- 3) 室田博文, 金亨柱 (1991) : 高置換と低置換を併用したS.C.P工法により改良された地盤の特性, 第26回日本土質工學會研究發表會, PP.1971-1972.
- 4) 金亨柱, 吉國洋 (1991) : 擴散二重層理論により超軟弱粘土の壓縮性および透水性の評價, 日本土質工學會論文報告集, Vol.31, No.3, PP.175-184
- 5) Monden, H. (1963) : A new Time-Fitting Method for the Settlement Analysis of Foundation on Soft Clay, Memorial Faculty of Engng, Hiroshima Univ., Vol.1, PP.20-30.
- 6) 曾俄部隆久 (1981) : Sand Compaction Pile 工法の設計, 施工の技術的課題, 第36回日本土木學會年次學術研究講演會研究討論資料, PP.39-50.
- 7) 송정락, 여유현 (1991) : Personal Computer를 이용한 沈下安定管理技法, 91年度 地盤工學會秋季學術發表會論文集, PP.332-347.