

시료의 이동과 보관이 시료 교란에 미치는 영향에 관한 연구

김병일¹, 유완규^{2*}, 이승현³

A Study on the Effect of Transportation and Storage on Sample Disturbance

Kim Byoung-Il¹, Yoo Wan-Kyu^{2*} and Lee Seung-Hyun³

요약 이 연구에서는 시료의 이동과 보관이 시료교란에 미치는 영향을 파악하기 위하여 전라남도 광양시 ○○지역에서 채취한 불교란 시료에 대해 현장과 서울 실험실, 그리고 서울 실험실에서 4주간 보관한 후 일축압축, 압밀시험을 수행하였다. 시험결과 얻은 파괴변형률(ϵ_f), 체적변형률(ϵ_v), 간극비 변화량($\Delta e/e_0$)를 이용하여 시료교란도 평가를 수행하였고, 평가된 시료교란등급을 이용하여 이동과 보관에 대한 시료의 교란정도를 비교, 분석하였다. 연구결과 시료 이동과 보관이 시료교란에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Abstract This study aims to determine the effects of sample movement and storage on sample disturbance. To this end, non-disturbed samples collected from the ○○region, Gwangyang City, Jeonranam-do. Then, unconfined compression and consolidation tests were performed on the samples in the field, Seoul Lab and Seoul Lab after 4 weeks. Based on failure strain rate(ϵ_f), volume strain rate(ϵ_v), and void ratio change($\Delta e/e_0$) obtained from the test results, sample disturbance was evaluated. The sample disturbance level was used to compare and analyze the influences of transportation and storage on sample disturbance.

Key words : 불교란 시료, 시료의 이동과 보관, 시료 교란, 일축압축시험, 압밀시험

1. 서론

연약지반을 개량하여 부지를 조성하거나 구조물을 축조하기 위한 대규모 토목공사들이 많은 현장에서 진행되고 있다. 연약지반에서의 공사는 약한 지반강도로 인한 지반파괴와 큰 압축성으로 인한 장기압밀침하 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제에 적절히 대처하기 위해서는 원지반 응력, 강도특성, 응력변형특성, 압밀특성 및 지역적 특성 등을 고려하여 합리적인 토질 정수를 적용하여야 한다. 따라서 채취된 시료의 교란정도를 파악하는 것은 교란영향을 고려한 합리적인 토질정수 산정을 위하여 매우 중요한 작업이다.

지금까지 알려진 시료의 교란 원인은 크게 채취 시 응력변화, 시료채취장비의 기계적인 교란, 시료 채취후의 교란 등으로 나눌 수 있다[1]. 이 중 시료 채취후의

교란은 크게 ① 수분 손실에 의한 영향, ② 시료 내에서 수분 이동으로 인한 영향, ③ 동결의 영향, ④ 진동과 충격의 영향, ⑤ 화학변화로 인한 영향으로 분류할 수 있다[2]. 시료의 이동과 보관에 의한 시료교란은 이러한 요인에 의해 발생하는데 이에 관한 연구는 아직까지 국내에서 거의 이루어지지 않고 있다. 이 연구에서는 광양시 ○○지역의 매립지 점토지반에서 채취한 불교란 시료에 대하여 시료채취 후 시료 이동 및 보관 기간이 시료의 교란정도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실내시험 결과(일축압축, 압밀시험)를 이용해 시료교란도를 평가하여 비교, 분석하였다.

2. 시료교란도 평가

주어진 시료 채취 방법에 따른 시료 질을 평가하기 위해서 고려해야 할 요소가 많다. 특히, 함수비 변화, 시료 내 가스 용해와 방출, 시료의 화학적 변화, 온도 변화, 응력 이완 등의 요인들이 교란도에 영향을 주는 것으로 알

¹명지대학교 토목환경공학과 교수

²명지대학교 토목환경공학과 박사과정

³선문대학교 토목공학과 부교수

*교신저자: 유완규(lyu5553@mju.ac.kr)

려져 있다[3]. 현재 교란도 분석 및 평가를 위해 널리 사용되고 있는 방법들은 잔류응력을 이용하는 방법, 현장유효 응력으로 재압축시 체적변형률을 이용하는 방법, 압밀 시험시 간극비 변화에 의한 방법, 시료 탄성계수를 이용하는 방법, 파괴 변형률에 의한 방법, 일축압축강도와 탄성계수를 이용하는 방법, 압밀곡선을 이용하여 판단하는 방법, X선 사진을 이용하여 교란도를 판단하는 방법[4], 시료에 나타난 지자기 방향의 변화를 분석하는 방법 등이 사용되고 있으며, 이 연구에서는 다음과 같은 방법을 이용하여 시료교란도를 평가하였다.

(1) 파괴변형률(ϵ_f)에 의한 방법

일반적으로 시료가 교란될수록 일축압축강도(q_u)와 50% 변형시의 탄성계수(E_{50})가 감소하고 파괴시의 변형률(ϵ_f)은 증가한다. 일축 또는 삼축압축시험시 파괴변형률에 따라 비교적 쉽게 시료의 교란여부를 판단할 수 있다. 양호한 자연시료의 경우 일반적 파괴변형률 범위는 2~4% 범위에 있으며, 파괴변형률이 6% 이상인 시료는 교란시료로 판단하게 되는데, 표 1과 같이 파괴변형률에 따라 시료를 5개 등급으로 분류할 수 있다.

표 1. 파괴변형률에 따른 시료의 등급[5]

파괴 변형률(ϵ_f , %)	시료 등급
< 2	1(매우 양호)
2~4	2(양 호)
4~6	3(보 통)
6~8	4(불 량)
> 8	5(매우 불량)

(2) 체적변형률(ϵ_v)에 의한 방법

이 방법은 압밀시험결과로부터 식 (1)과 같은 체적변형률(ϵ_v)을 계산하여 시료의 교란도를 평가하는 방법이 다. 그림 1과 같은 압밀곡선에서 시료가 교란되면 압밀곡선이 완만해지고, 원위치응력에 해당하는 응력에 도달할 때의 변형이 크다는 원리로부터 Andersen & Kolstad (1979)는 표 2와 같은 시료의 품질등급(Specimen Quality Designation, SQD)을 제안하였다. 표 2에서 체적변형률은 시료채취 심도의 유효상재응력에 해당하는 하중재하시까지의 체적변형률이다.

$$\epsilon_v = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, ϵ_v : 체적변형률, e_0 : 초기간극비,
 e_1 : 유효상재응력(σ'_{vo})에서의 간극비

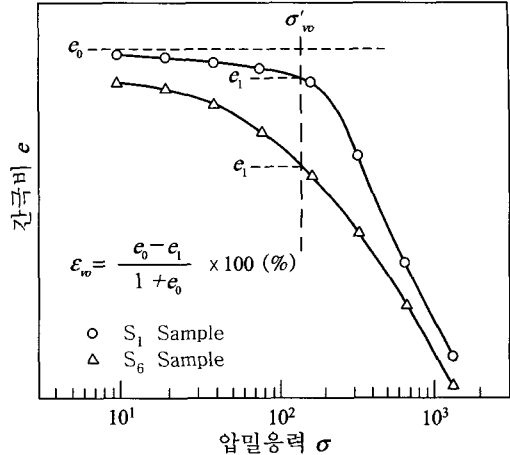


그림 1. 시료 보관기간에 따른 등급별 분포율 (압밀시험, 간극비 변화량)[6]

(3) 간극비의 변화($\Delta e/e_0$)에 의한 방법

Lunne et al.(1997)은 체적변형률과 유사한 개념으로써 압밀시험시 간극비 변화량($e_0 - e_1 = \Delta e$)과 초기간극비(e_0)의 비로써 표 3과 같이 시료의 품질을 4개 등급으로 분류하는 방법을 제안하였다.

표 3. 간극비의 변화에 따른 시료등급[8]

$\Delta e/e_0$	시료 등급
< 0.04	1(매우 양호)
0.04~0.075	2(양 호)
0.075~0.14	3(보 통)
> 0.14	4(불 량)

3. 시료채취현장 및 연구방법

3.1 지반조사현장 위치 및 지층구조

연구대상지역은 전라남도 광양시 OO지역이며 지층은 상부로부터 심도 6m 지점까지는 준설토로 이루어진 매우 연약한 매립층이며, 그 밑으로 심도 15m 지점까지 점토층(CH)이 그 아래로 실트질 점토층과 풍화토, 풍화암 순으로 구성되어있다. 또한, 이 지역에서 채취되어 연구에 사용된 시료의 물리적 특성을 표 4에 정리하였다.

표 4. 연구에 사용된 시료의 물리적 특성

공번	채취심도 (m)	w_n (%)	G_s	e	LL (%)	PI (%)	USCS	적용 시험
1	2.0-2.8	77.7	2.69	2.104	64.1	35.3	CH	일축 압축, 압밀 시험
	4.0-4.8	42.0	2.67	1.180	43.0	19.8	CH	
	6.0-6.8	84.3	2.71	2.339	95.8	60.7	CH	
	8.0-8.8	61.8	2.71	1.706	73.5	48.4	CH	
	10.0-10.8	64.3	2.71	1.770	91.5	59.9	CH	
	12.0-12.8	56.6	2.70	1.552	73.5	49.9	CH	
2	14.0-14.8	59.7	2.71	1.649	72.7	44.9	CH	일축 압축 시험
	3.5-4.3	78.4	2.70	2.140	77.2	48.8	CH	
	5.5-6.3	63.1	2.69	1.721	55.3	27.6	CH	
	7.5-8.3	74.7	2.70	2.049	85.7	59.1	CH	
	9.5-10.3	81.7	2.71	2.249	89.4	60.8	CH	
	11.5-12.3	76.2	2.70	2.073	79.7	53.5	CH	
	13.5-14.3	76.4	2.71	2.105	77.3	49.2	CH	
	15.5-16.3	65.1	2.70	1.765	67.2	40.8	CH	
3	17.5-18.3	55.4	2.69	1.498	65.9	39.8	CH	일축 압축 시험
	2.0-2.8	95.3	2.71	2.585	87.2	57.5	CH	
	4.0-4.8	77.6	2.70	2.098	81.3	52.5	CH	
	6.0-6.8	65.7	2.69	1.786	42.3	20.2	CL	
	7.0-7.8	70.8	2.71	1.937	80.1	49.7	CH	
8.0-8.8	64.7	2.72	1.773	78.9	50.1	CH		

3.2 연구방법

이 연구에서는 시료 이동과 보관기간이 시료의 교란에 미치는 영향을 파악하기 위하여 불교란 시료를 같은 위치의 동일 심도에서 3개씩 채취하여 각 시료를 아래와 같은 조건과 같이 일축압축시험 및 표준압밀시험을 실시하였고, 그 결과를 이용하여 교란정도를 비교, 분석하였다.

- ① 이동에 의한 교란을 최소화한 상태에서 현장 일축 압축시험을 실시
- ② 서울로 이동하여 실내시험(일축압축시험, 압밀시험)을 실시 : 시료의 이동은 차량을 이용하였으며, 시료채취관은 충격을 최소화하기 위하여 스티로폼 커버를 사용
- ③ 서울로 이동한 시료를 실내에서 4주간 보관 후 시험(일축압축시험, 압밀시험)을 실시 : ②에서 일부 시료를 추출하여 시험을 실시한 후 파라핀으로 다시 밀봉하여 시험실내에서 4주간 보관

4. 시험결과 및 분석

4.1 시료 이동에 따른 교란도 비교

이 연구에서는 현장과 서울의 시험실에서 각각 일축압축시험을 실시하였으며, 시험결과를 표 5 및 그림 2와 3

에 나타내었다.

표 5. 시료 이동에 따른 교란도 분석결과 (일축압축시험의 ϵ_f 이용)

ϵ_f (%)	등급	현장 시험실		서울 시험실	
		개수	백분율(%)	개수	백분율(%)
< 2	1등급	0	0.0	0	0.0
2~4	2등급	12	60.0	8	42.1
4~6	3등급	5	25.0	6	31.6
6~8	4등급	1	5.0	2	10.5
8 >	5등급	2	10.0	3	15.8
총 계	-	20	100.0	19	100.0

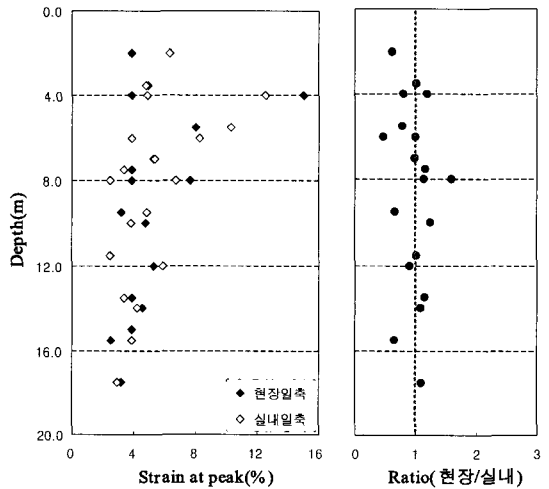
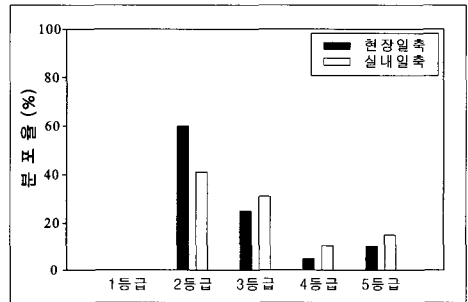


그림 2. 시료 이동에 따른 등급별 분포율

그림 2는 시료 이동에 따른 등급별 분포율을 나타내고 있는데, 그림 2에서 보는 것처럼 교란 정도가 양호한 2등급 이상인 시료의 비율에 있어 현장일축이 실내일축에 비해 다소 높게 나타났다. 그림 3의 심도에 따른 파괴변형률과 비율(‘현장 ϵ_f /실내 ϵ_f ’) 값을 나타내며 1보다 작을 경우 현장에서의 시험결과가 서울 시험실의 시험결과에

비해 파괴변형률이 작게 나타났음을 의미)을 볼 때도 전반적으로 비슷하기는 하나 현장일축시료의 경우 실내일축시료에 비해 교란정도가 작아 시료 등급이 우수한 시료를 더 많이 포함하는 것을 알 수 있다.

4.2 시료 보관기간에 따른 교란도 비교

이 연구에서는 시료의 보관기간이 시료 교란에 미치는 영향을 파악하기 위하여 동일지점에서 채취한 시료를 서울로 이동하여 일축압축시험 및 압밀시험을 실시하고 또한 4주간 실내에서 보관한 후 같은 시험들을 실시함으로써 보관기간에 따른 시료의 교란정도를 비교하였다.

(1) 일축압축시험의 파괴변형률(ϵ_f) 이용

일축압축시험결과를 이용하여 시료의 보관기간에 따른 교란도를 평가하여 정리하면 표 6 및 그림 4, 5와 같다. 표 6 및 그림 4에서 보는 것처럼 서울 도착 후 바로 시험을 실시한 경우가 4주간 보관 후 시험을 실시한 경우에 비해 교란정도에 따른 시료등급이 더 양호한 것으로 나타났으나, 그림 5의 각 심도별 파괴변형률 비를 볼 때 각각 3군데 심도에서 상대조건에 비해 파괴변형률이 작은 것으로 나타나 별다른 차이점을 발견할 수 없었다. 하지만 4.1절(이동에 따른 비교)에서 비교한 시험회수에 비해 상대적으로 시험회수가 많지 않아 정확한 비교는 어렵다고 판단된다.

표 6. 시료 보관기간에 따른 교란도 분석결과 (일축압축시험의 ϵ_f 이용)

ϵ_f (%)	등급	실내 일축		실내 일축-4주간 보관	
		개수	백분율(%)	개수	백분율(%)
< 2	1등급	0	0.0	0	0.0
2~4	2등급	2	28.6	0	0.0
4~6	3등급	3	42.8	4	57.1
6~8	4등급	1	14.3	2	28.6
8 >	5등급	1	14.3	1	14.3
총 계	-	7	100.0	7	100.0

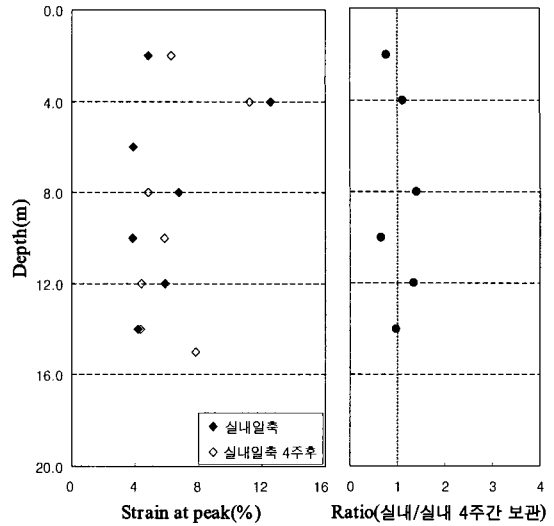
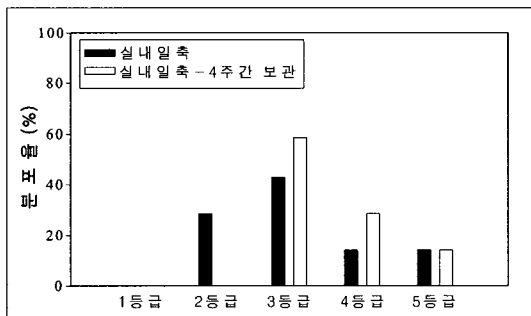


그림 4. 시료 보관기간에 따른 등급별 분포율

(2) 압밀시험의 체적변형률(ϵ_v) 이용

압밀시험의 체적변형률을 이용하여 시료의 보관기간에 따른 교란도를 비교하여 정리하면 표 7, 그림 6, 그림 7과 같다. 표 7 및 그림 6에서 보는 바와 같이 보관을 하지 않고 바로 시험을 실시한 시료가 4주간 보관 후 압밀시험을 실시한 시료에 비해 교란등급이 더 양호한 것으로 나타났다. 그러나 두 조건 모두 교란등급이 매우 낮게 나타났다. 또한, 그림 7에서 보는 바와 같이 보관을 하지 않고 바로 시험을 실시한 시료는 4주간 보관 후 시험을 실시한 시료에 비해 모든 심도의 시료에서 교란이 덜 일어난 것을 확인할 수 있으며, 비율(보관 전후의 체적변형률 비교값)을 살펴봐도 모든 심도에서 1보다 작은 값을 나타내어 모든 시료에 있어 보관을 하지 않고 바로 시험을 실시한 경우 시료 교란이 덜 발생한 것을 확인할 수 있다.

표 7. 시료 보관기간에 따른 교란도 분석결과 (압밀시험의 ϵ_v 이용)

ϵ_v (%)	등급	표준 압밀		표준 압밀-4주간 보관	
		개수	백분율(%)	개수	백분율(%)
< 1	A	0	0.0	0	0.0
1~2	B	0	0.0	0	0.0
2~4	C	0	0.0	0	0.0
4~8	D	7	100.0	1	14.3
8 >	E	0	0.0	6	85.7
총 계	-	7	100.0	7	100.0

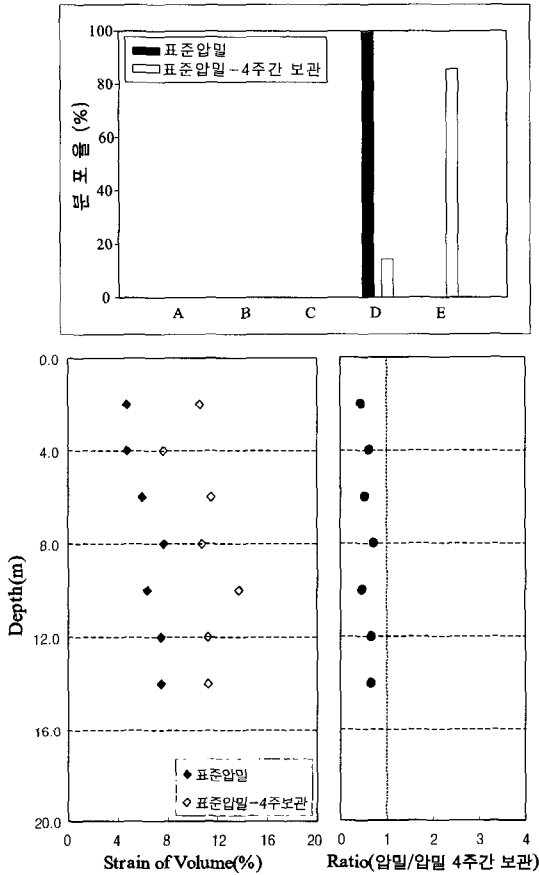


그림 6. 시료 보관기간에 따른 등급별 분포율 (압밀시험, 체적변형률)

(3) 압밀시험의 간극비 변화량($\Delta e/e$) 이용

간극비 변화량에 의해 교란정도를 분석하고 그 결과를 표 8과 그림 8 및 9에 정리하여 나타내었다. 표 8 및 그림 8에서 보는 바와 같이 서울로 이동 후 바로 시험을 실시한 시료의 교란정도에 따른 시료등급이 4주간 보관 후 압밀시험을 실시한 시료에 비해 매우 좋은 것으로 나타났다. 그림 9의 깊이에 따른 간극비 변화량 비에서도 바로 시험을 실시한 시료가 모든 깊이에서 4주간 보관 후 시험을 실시한 시료에 비해 교란이 덜 발생했음을 알 수 있으며, 이러한 결과는 체적변형률(ϵ_v)을 이용한 시험결과와 경향이 매우 유사한 것으로 나타났다.

일축압축시험과 압밀시험결과를 이용하여 시료 교란 정도에 따른 시료등급을 분석한 결과 모든 시료교란도 평가방법에서 시료의 보관이 시료의 교란에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히 일축압축시험결과에 비해 압밀시험결과가 시료의 보관기간에 따른 시료교란에 더 큰

영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 같은 압밀시험결과를 이용하더라도 시료 교란정도를 판단하는 기준에 따라 시료교란등급이 다소 차이를 나타내는 것으로 나타나 시료의 교란을 고려한 설계정수 산정시 목적에 맞는 적절한 시료교란도 평가방법을 선택해야 할 것으로 판단된다.

표 8. 시료 보관기간에 따른 교란도 분석결과 (압밀시험의 $\Delta e/e$ 이용)

$\Delta e/e$	등급	표준 압밀		표준 압밀-4주간보관	
		개수	백분율(%)	개수	백분율(%)
<0.04	1(매우양호)	0	0.0	0	0.0
0.04~0.075	2(양호)	1	14.3	0	0.0
0.075~0.14	3(보통)	6	85.7	1	14.3
>0.14	4(불량)	0	0.0	6	85.7
총 계	-	7	100.0	7	100.0

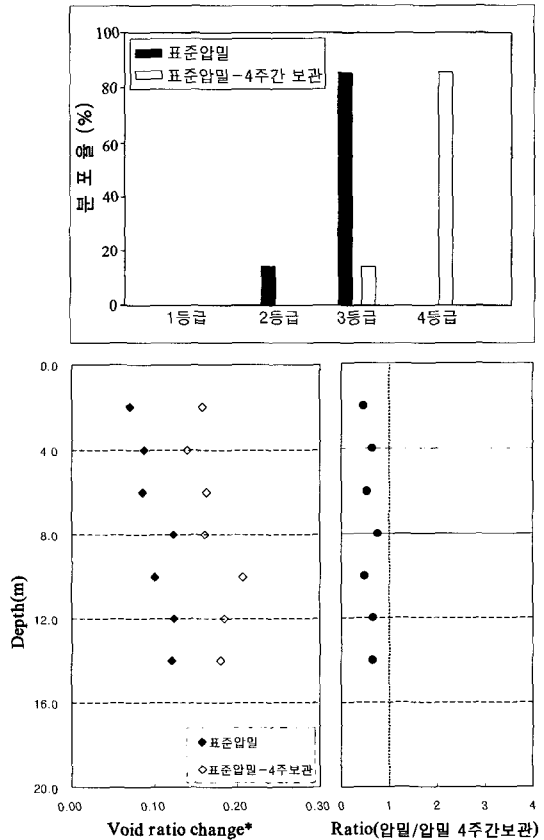


그림 8. 시료 보관기간에 따른 등급별 분포율 (압밀시험, 간극비 변화량)

5. 결론

이 연구에서는 시료 이동과 보관기간이 시료 교란에 미치는 영향을 파악하기 위하여 전라남도 광양시 ○○ 지역에서 채취한 불교란 시료를 이용하여 일축압축시험 및 압밀시험을 실시하였고, 시험결과로부터 여러 가지 방법으로 교란정도에 따른 시료등급을 산정하여 비교, 분석하였다. 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- 1) 일축압축시험결과 얻어진 파괴변형률(ϵ_f)를 이용하여 시료의 교란등급을 비교한 결과 현장일축시료가 실내일축시료에 비해 시료등급이 우수한 시료를 더 많이 포함하는 것으로 나타나 시료이동이 시료교란에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 2) 일축압축시험과 압밀시험결과를 이용하여 시료 교란정도에 따른 시료등급을 분석한 결과 검토한 3가지 방법 교란도 평가방법에서 모두 시료의 보관기간이 시료교란에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 일축압축시험결과에 비해 압밀시험결과가 시료의 보관기간에 따른 시료교란의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.
- 3) 시험방법, 판단기준 등에 따라 시료교란등급이 차이를 보이는 것으로 나타나 시료 교란을 고려한 설계정수 산정시 목적에 맞는 적절한 시료교란도 평가방법을 선택해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. and Lancellotta, R., "New developments in field and laboratory testing of soils", Proceeding of 11th ICSMFE, San-Francisco, Vol. 1, pp. 57-153, 1985.

[2] Clayton, C.R.I., Matthews, M.C. and Simons N.E., Site Investigation, Halsted Press; New York, 1982.

[3] Okumura, T., "The variation of Mechanical properties of clay samples depending on its degree of disturbance", Proceedings of the Special Sessions on Quality in Soil Sampling, 4th Asian Conference, International Society for Soil Mechanics and Foundations Engineering, Bangkok, pp. 73-81, 1971.

[4] ASTM D4452-06 : Standard Practice for X-Ray Radiography of Soil Samples

[5] Horiuchi, T., Eiki, A. and Funahashi M., "Evaluation of Sample Quality by thin-wall Sampling Tube", Proceeding of the 8th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 1987.

[6] Shogaki, T. and Kaneko, M., "Effects of sample disturbance on strength and consolidation parameters of soft clay", Soils and Foundations, Vol. 34, No. 3, pp.1-10, 1994.

[7] Andresen, A. and P. Kolstad, "The NGI 54-mm Samplers for Undisturbed Sampling of Clays and Representative Sampling of Coarser Materials.", Proceeding Int. Symp. on Soil Sampling, Singapore, pp. 1-9, 1979.

[8] Lunne, T., Berre, T. and Strandvik, S., "Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay", Symp. on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Rio de Janeiro, pp. 81-102, 1997.

김 병 일(Byoung-Il Kim)

[정회원]

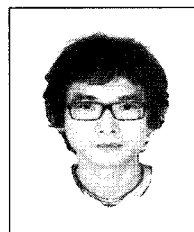


- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

유 완 규(Wan-Kyu Yoo)

[정회원]



- 2004년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 박사과정

<관심분야>
토질역학, 기초공학

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학