

모래말뚝 설치심도 및 치환율이 다른 SCP지반의 전단특성

Shear Characteristics of a SCP Ground with Different Length of Sand Pile and Replacement Ratio

이진수¹ Lee, Jin-Soo
이강일^{2*} Lee, Kang-Il
이영열³ Lee, Young-Yoel

ABSTRACT

This paper presents shear characteristics of a ground improved by sand piles. The sand piles have different length and diameter depending on the depth of a clayey layer. A series of CU triaxial compression tests are carried out on specimens covered with/without soft material which is similar to geotextile. The results show that the shear strength and stress ratio increase as the length and the diameter of the sand pile increase. In addition, covering the specimen with the soft material appears to affect those characteristics as well. The increase of cohesion seems to be more remarkable compared to internal frictional angle.

요지

본 논문은 연약지반에 모래말뚝의 설치심도를 달리하여 타설함으로써 모래의 사용량을 절감하기 위한 개량형식에 착안한 모래말뚝 설치지반의 전단특성에 대하여 연구하였다. 모래말뚝은 연약지반 깊이에 따라 설치심도 및 말뚝의 직경을 달리하고 또한 모래말뚝을 토목섬유 기능을 갖는 연성재료로 감싸 보강한 시료와 그렇지 않은 시료로 나누어 압밀비배수 삼축압축시험을 수행하였다. 그 결과 모래말뚝의 직경과 설치심도가 증가할수록 그리고 연성재료로 보강한 시료가 전단강도와 응력비등에 있어서 더 큰 증가를 보였으며 그중 내부마찰각 보다 점착력 요소의 증가가 더 두드러진 증가를 보였다.

Keywords : Sand piles, Triaxial compression tests, Geotextile, Internal frictional angle

1. 서론

연약한 점토나 유기질토에 성토나 구조물을 시공하면 그 하중에 의하여 지중의 간극수가 서서히 배출되어 장기간에 걸쳐 과도한 압밀침하가 일어나고 지지력이 부족하여 안정에 문제가 발생한다. 이러한 경우 지반강도의 증가 또는 침하의 억제를 위해 연약한 흙을 치환하거나 PBD (Plastic Board Drain)나 모래다짐말뚝(SCP, Sand Compaction Pile)과 같은 지반개량 공법을 사용한다. 이로 인해서 지지력 증가, 침하저감, 액상화 방지 및 수평저항 증

가 등과 같은 결과를 얻을 수 있으며, 특히 점성토 지반에서는 압밀시간을 단축하는 효과를 얻을 수 있다. 그 중에서도 SCP공법은 시공에 수반된 대량의 모래를 사용하는 것 때문에 근년의 모래부족의 영향을 크게 받고, 기존방식에 의한 시공이 갈수록 어렵게 되고 있다. 또한 건설비용 축소에 따른 SCP공법은 그의 설계·시공의 합리화가 절실히 요구되고 있다.

山本美 등(2000)은 모래다짐말뚝으로 개량된 사질지반이 미개량 지반보다 액상화에 대해 상당한 효과가 있다는 것을 보고하였으며, Hideo et al.(2002)은 모래 대신 슬래

1 비회원, 동신대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Non-member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongshin University)
2* 정회원, 대진대학교 공과대학 건설시스템공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Daejin University, E-mail: kilee@daejin.ac.kr)
3 비회원, 동신대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Non-member, Ph.D Course, Dept. of Civil Engineering, Dongshin University)

그를 이용하여 지반을 개량할 경우 실내시험과 현장시험 으로부터 지지력이 향상 된다고 제안하였다. Juran and Guermazi(1988)은 모래말뚝이 설치된 복합지반 위에 하중이 재하 된 경우 강성이 큰 모래말뚝 쪽으로 응력이 집중되어 점성토에 걸리는 응력이 상대적으로 작게 되므로 지지력 증대, 침하저감 등의 효과가 나타나게 된다고 하였다. 해양수산부(1999)에서는 점토지반에 모래다짐말뚝을 사용할 경우 지반개량 목적에 부합되는 적절한 치환율에 따른 응력분담비를 결정하기 위해 직접전단시험 및 삼축 압축시험을 실시하여 복합지반의 전단강도를 산정하였다. 또한 김병일 등(2000)은 모래다짐말뚝과 점성토로 이루어진 복합지반에서 모래와 점토가 받은 응력분담비를 수치해석을 통하여 모형시험과 비교하였고, 유승경(2003)은 저치환율 SCP공법에 의해 개량된 복합지반에서 수치해석을 통해 모형시험에 대한 재현성을 검증하였다. 정종범 등(1999)은 미관통 및 관통 SCP 개량지반에 일차원 압밀거동을 조사하기 위하여 실내모형시험을 실시하여 압밀침하량 및 응력분담비 등을 측정하였다.

본 연구는 SCP공법을 염두에 두고 경제적 또는 효과적인 타설방법 중 하나로 미관통 SCP와 관통 SCP를 상호교차 하면서 타설함으로써 모래의 사용량을 절약하기 위한 개량형식에 착안하여 연구를 시작한 것이다. 이를 위해 먼저 산토로 제작한 삼축공시체(직경 5.0cm) 시료에 모래말뚝을 타설심도에 따라 달리 설치하고 또한 모래말뚝을 토목섬유 기능을 갖는 연성재료(이하 연성재료)로 보강한 경우와 무보강한 경우로 나누어 모래말뚝을 직경별로 삼축 압축시험을 실시하였다. 이러한 실험결과로 부터 연성재료로 보강한 말뚝과 무보강된 말뚝으로 설치된 SCP지반의

전단특성과 재하중에 따른 효율적인 모래말뚝 설치심도를 연구하였으며 이로 인해 모래말뚝 설치시 시공기간 단축 및 공사비 절감의 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

2. 모래다짐말뚝 공법

2.1 등가원주

모래다짐말뚝공법은 점성토 지반에 모래말뚝을 타설하여 복합지반을 조성하는 공법으로 많이 이용되고 있다. 모래지반인 경우 조밀화에 의한 원지반 강도증가는 명확하지 않으며, 점성토에 적용되었을 때에는 점성토와 모래말뚝으로 이루어진 복합지반으로서의 효과를 고려한 이론에 의하여 설명되고 있다. 복합지반에 등분포 상재하중이 작용하면 복합지반내 모래말뚝과 말뚝에 의한 영향면적을 등가원주로 고려하여 복합지반 전체에 대한 해석이 이루어진다. 이때, 등가원주 바깥 주변의 전단응력은 0이고, 등가원주는 말뚝주위에 대칭으로 위치하여 마찰이 없는 강성 외벽을 가진 원주모양으로 모형화 할 수 있다. 등가원주의 직경은 다음 식으로 산정된다.

$$\text{정삼각형 배치일 때, } D_e = 1.05 S \quad (1)$$

$$\text{정사각형 배치일 때, } D_e = 1.13 S \quad (2)$$

여기서, S는 말뚝 중심 간격이다. 말뚝직경을 D라고 하면, 등가원주 내에서 간격비 $n=D_e/D$ 이고 치환율 $a_s=A_s/A$ 로 표현되며 그림 1은 등가원주의 개념도를 나타낸 것이

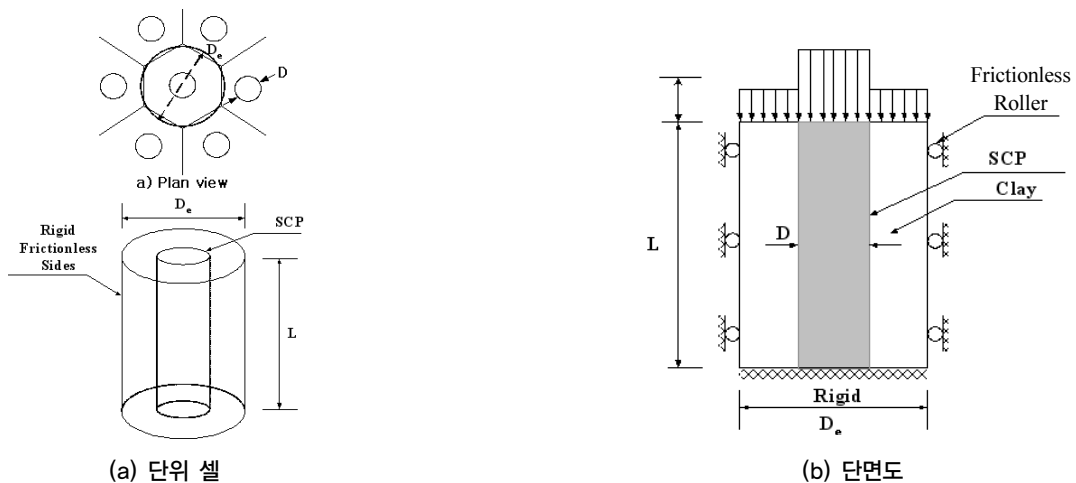


그림 1. 등가원주 개념도

다. 여기서, A_s 는 모래다짐말뚝 단면적, A 는 모래말뚝 1개가 분담하는 면적이다.

등가원주 개념은 등가원주 내에서 원지반과 모래말뚝은 같이 침하하고, 등가원주 윤변에서 수평방향 변위는 구속되고 연직방향으로만 변위가 발생한다. 또한 등가원주 저면은 강성지반에 놓여 있으며, 강성이 큰 모래말뚝이 점성토에 비하여 상대적으로 큰 응력이 발생하고 이 응력은 말뚝 전 길이에 따라 균등하게 분포된다 라는 가정을 두고 있으며, 이러한 응력의 분담개념은 SCP 복합지반거동(지지력, 안정해석, 침하)에 매우 중요한 요소이다.

2.2 응력분담비 특성

모래말뚝이 설치된 복합지반이 다른 배수공법들과 구분되는 특징은 모래 및 점토에 작용하는 응력집중 즉, 응력분담의 차이 때문이다. 모래말뚝과 원지반의 복합작용에 의한 복합강도 발현으로 지지력 증대, 침하감소 등이 기대되며 복합지반의 전단강도는 모래말뚝과 원지반 사이의 응력분담비에 주로 의존한다. 복합지반에서 모래말뚝은 연약한 원지반보다 상대 강성이 크므로 상재하중이 재하되는 경우에 모래말뚝과 원지반의 변형특성이 달라서 모래말뚝 사이에 아칭(arching)현상이 발생하게 된다. 변형이 작은 모래말뚝에 더 큰 응력이 집중하게 되고, 연약층이 그 나머지를 분담하게 되는데 이 응력의 비를 응력분담비(m)라 한다. 응력분담비에 영향을 미치는 요소로는 모래의 내부마찰각, 점성토의 강도, 치환율, 점토와 모래의 강성비 그리고 재하하중 등을 들 수 있는데, 이들 요소들에 대한 명확한 응력분담의 값을 얻어내기가 어려운 실정이다. 특히, 연약층의 압밀이 진행됨에 따라 응력분담비가 달라지게 되어 이때 미치는 영향인자에 대한 확실한 정해가 없으므로 그 값은 현장 경험에 의존하여 2~6(보통 3)의 범위 안에서 결정하고 있다. 표 1은 현재 실무에서 적용하고 있는 응력분담비를 치환율에 따라 나타내었다.

2.3 미관통 SCP공법

미관통 SCP공법은 개량 대상지반인 연약점토층 밑에 존재하는 지지층까지 모래말뚝을 관통시키지 않고 미관통 상태 그대로 SCP를 지반중에 조성하는 공법이다. 또한 미관통 SCP를 조성하는 형식은 다양하게 존재한다(그림 2

표 1. 치환율과 응력분담비(日本土質工學會, 1988)

치환율(a_s)	모래말뚝의 내부마찰각(ϕ_s) [°]	응력분담비(m)
0~0.4	30	3
0.4~0.7	30	2
0.7 이상	30~35	1

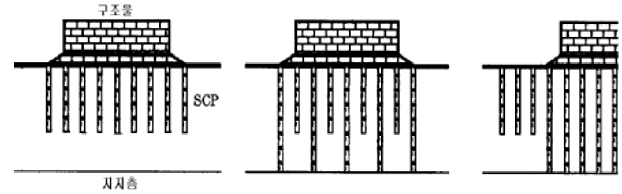


그림 2. 미관통 SCP공법의 적용 예

참조). 그러나 이 공법에 의한 개량효과는 아직 상세히 해명되어 있지 않고 기술자의 경험적인 예측에 의존하여 시공되고 있는 것이 현실이다. 본 공법이 적용되는 이유로는 시공기계의 시공가능심도의 제약성, 경제적 제약, 하부 모래자갈층에서 SCP로 지하수의 유입방지, SCP로부터 지하수의 오염물질 유입방지 등을 들 수 있다(平林岳樹, 2001).

3. 실험

3.1 시료준비 및 제작

본 연구에서 사용된 시료는 산토(CL-ML)와 표준사(SP)이다. 삼축압축시험에 사용된 공시체는 그림 3에 나타낸 바와 같이 직경 $d_e=5.0\text{cm}$ 이고, 높이 $H=12.5\text{cm}$ 이다. 실내 삼축압축시험용 공시체의 모래말뚝은 모래에 비해 강성이 작은 산토를 하버드 다짐시험기를 이용하여 일정한 단위 중량으로 성형한 다음, 치환율과 모래말뚝 깊이에 따라 본 연구를 위해 제작한 천공기로 중앙에 구멍을 내어 모래를 투입하는 방식으로 모래말뚝을 설치하였다. 그리고 모래

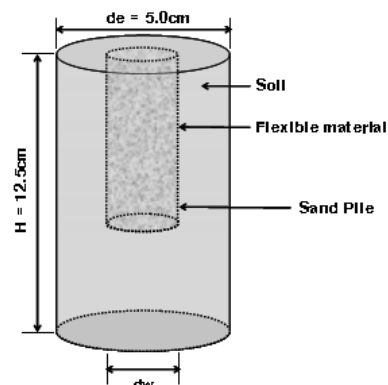
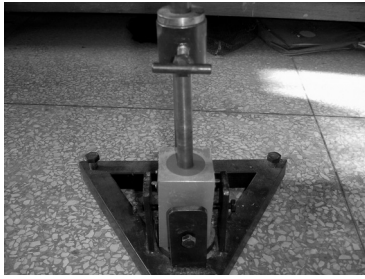
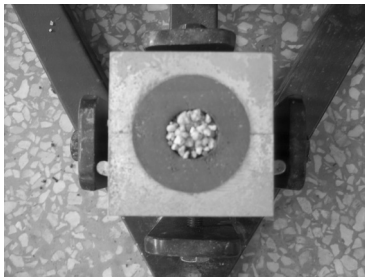


그림 3. 시험용 공시체 모식도



(a) 모래말뚝 설치를 위한 천공



(b) 모래말뚝 설치 후 모습

그림 4. 삼축압축 시험용 공시체 시료제작

말뚝을 토목섬유 기능을 하는 연성재료로 감싸 보강한 공시체는 천공기에 의한 구멍에 연성재료의 양단을 접합한 보강재를 구멍에 설치하고, 그 구멍에 모래말뚝을 설치하였다. 그림 4는 삼축압축시험용 공시체를 제작하는 과정을 나타낸 것이다.

3.2 시험내용 및 방법

본 연구에서는 연성재료로 모래말뚝을 감싸 보강한 모래-산토 복합시료와 보강하지 않은 시료에 대하여 압밀배수 삼축압축시험을 실시하였다. 삼축압축시험(CU)은 구속압력(σ_3)을 100, 200, 300kPa의 3단계로 나누고 각각의 시료에 대해 포화과 압밀의 과정을 거친 후 0.5mm/min으로 전단하였다. 삼축압축 시험내용은 표 2와 같고 모래말뚝에 사용된 모래의 건조밀도는 13.72kN/m^3 이며, 각각의 시료에 대하여 모래말뚝을 보강하지 않은 시료와 모래말뚝을 연성재료로 보강한 시료에 대하여 치환율과 모래말뚝 심도를 달리하여 시험을 실시하였다.

3.3 시료의 물리적 특성

본 연구에서 사용된 시료는 전남 나주 지역에서 채취한 산토(CL-ML)와 주문진 표준사(SP)를 사용하였다. 시료의 입경가적곡선은 그림 5와 같고 시료의 물리적 특성은

표 2. 삼축압축시험 내용

시료조건	시험 No.	시료 직경 (cm)	모래 말뚝 직경 (d_e , cm)	치환율 (a_s)	간격비 (n)	모래말뚝 심도 (H_s , %)	구속압 (kPa)
산 토 + 모래말뚝 (무보강)	SC1	5.0	1.5	0.09	0.3	50	100
	SC2					75	
	SC11					100	
	SC3	5.0	2.0	0.16	0.4	50	
	SC4					75	
	SC21					100	
	SC5	5.0	2.5	0.25	0.5	50	
	SC6					75	
	SC31					100	
	SC7	5.0	3.0	0.36	0.6	50	
	SC8					75	
	SC41					100	
산 토 + 모래말뚝 (보강)	SR1	5.0	1.5	0.09	0.3	50	300
	SR2					75	
	SC51					100	
	SR3	5.0	2.0	0.16	0.4	50	
	SR4					75	
	SC61					100	
	SR5	5.0	2.5	0.25	0.5	50	
	SR6					75	
	SC71					100	
	SR7	5.0	3.0	0.36	0.6	50	
	SR8					75	
	SC81					100	

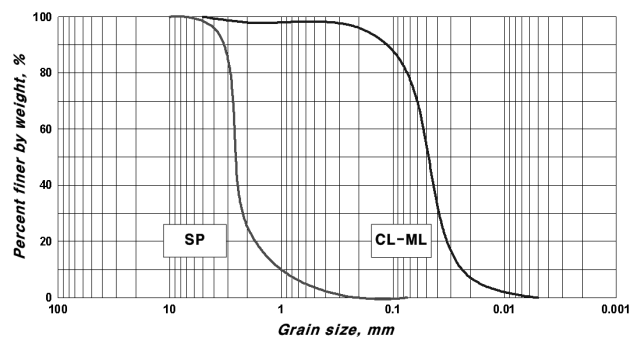


그림 5. 시험시료의 입경가적곡선

표 3. 시료의 물리적 특성

구분	Gs	ω (%)	LL(%)	PI(%)	#4체 통과량(%)	#200체 통과량(%)	USCS
모래	2.65	건조	-	-	100.0	0.21	SP
산토	2.70	28	28.4	6.7	100.0	55.5	CL-ML

표 3에 나타내었다.

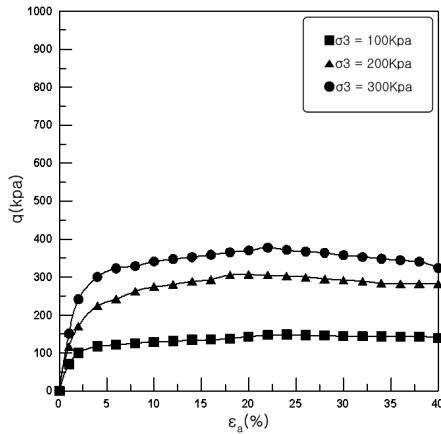
또한 본 연구에 사용된 토목섬유 기능을 갖는 연성재료

는 삼축압축시험 공시체와 같이 매우 작은 시료의 모형실험에서는 축력을 가할시 보강재료 자체가 축력강도에 영향을 미칠 만큼 단단한 재료를 사용해서는 안 되기 때문에 배수기능 및 모래기둥을 잡아줄 수 있는 보강재이면 토질재료의 강도에 영향을 주지 않을 것으로 판단하여 일반 전(형짚)을 사용하였다.

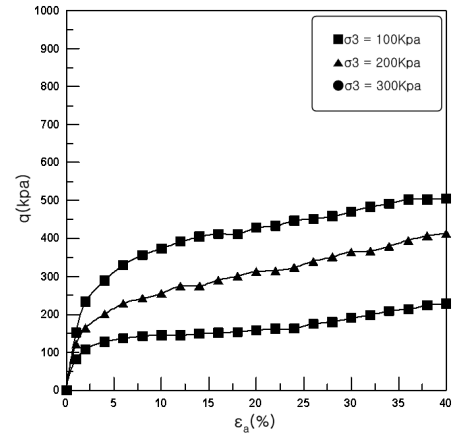
4. 실험결과

4.1 축차응력-축변형을 관계

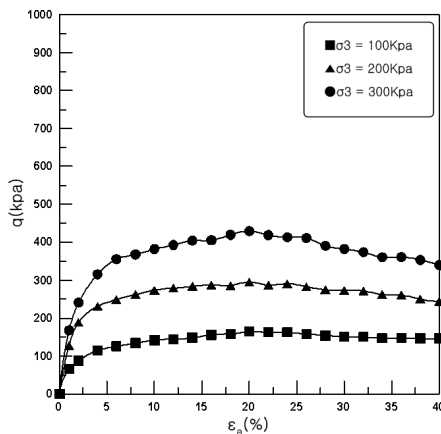
그림 6은 시료의 직경이 5.0cm이고 모래말뚝의 직경이 3.0cm인 경우에 국한하여 대표적으로 삼축압축시험 결과로



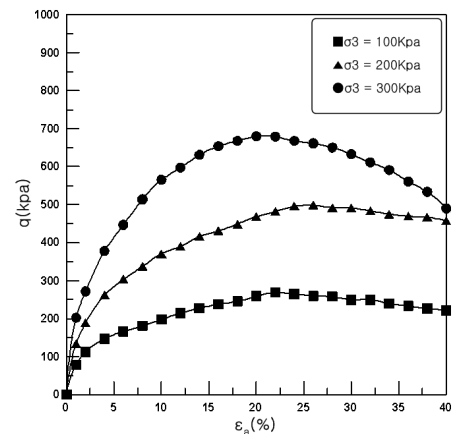
(a) 모래말뚝 무보강(SC7, H=50%)



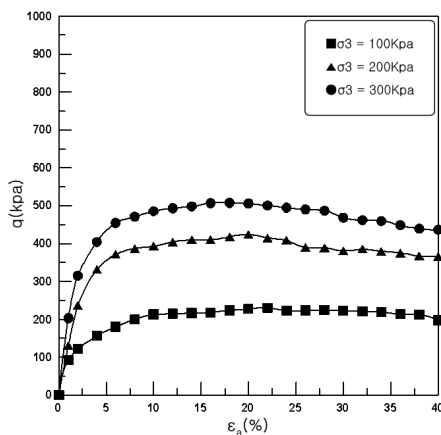
(b) 모래말뚝 보강(SR7, H=50%)



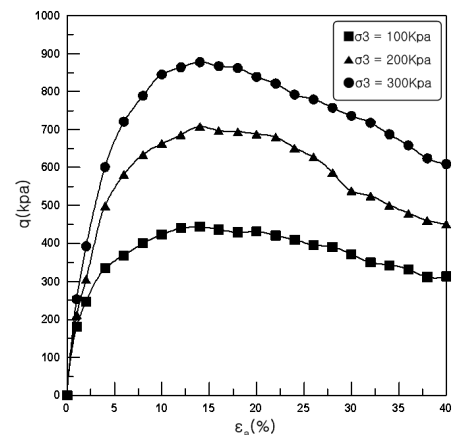
(c) 모래말뚝 무보강(SC8, H=75%)



(d) 모래말뚝 보강(SR8, H=75%)



(e) 모래말뚝 무보강(SC41, H=100%)

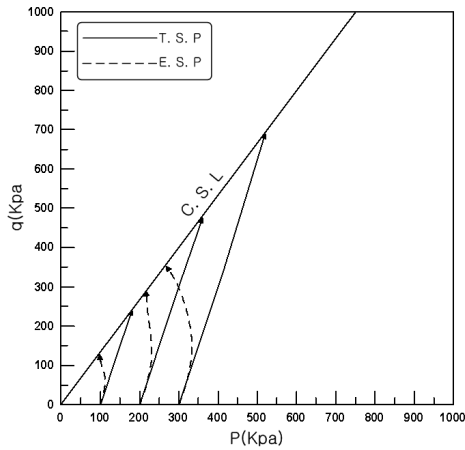


(f) 모래말뚝 보강(SC81, H=100%)

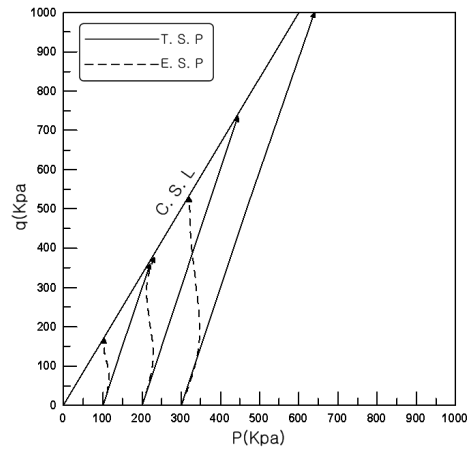
그림 6. 모래말뚝 직경이 3.0cm인 경우 축차응력과 축변형을 관계

부터 축차응력과 축변형률 관계를 나타낸 것이다. 본 그림의 경우는 치환율이 0.36으로 저치환율에 해당하며, 그림 6(a), (c)와 (e)의 경우는 모래말뚝을 토목섬유재인 연성재료로 보강하지 않은 경우에 해당하며, 그림 6(b), (d)와 (f)는 모래말뚝을 연성재료로 보강한 실험결과에 해당한다.

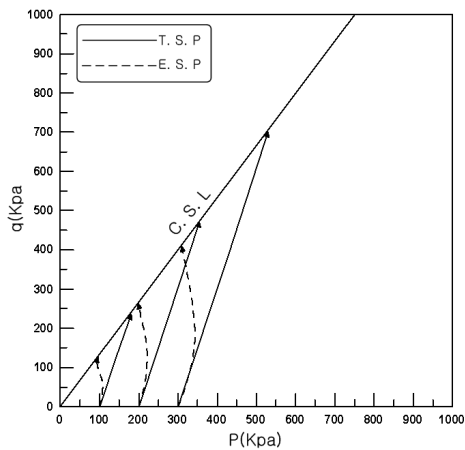
실험결과에 의하면 모래말뚝의 설치심도(50, 75, 100%)가 증가할수록 축차응력이 점점 증가하고 있으며, 무보강 말뚝의 경우는 전체적으로 파괴점이 분명히 잘 나타나지 않지만 보강된 말뚝의 경우는 모래말뚝의 설치심도가 50%인 경우를 제외하고는 파괴현상이 명확히 나타나고 있



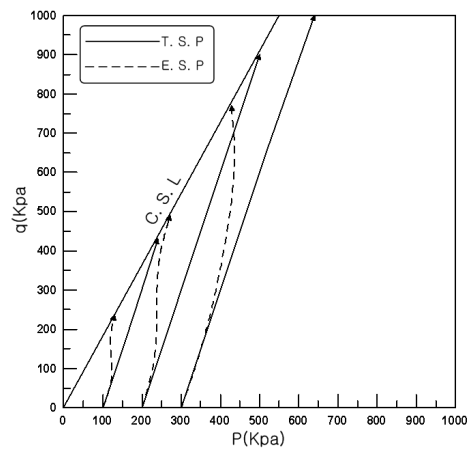
(a) 모래말뚝 무보강(SC7, H=50%)



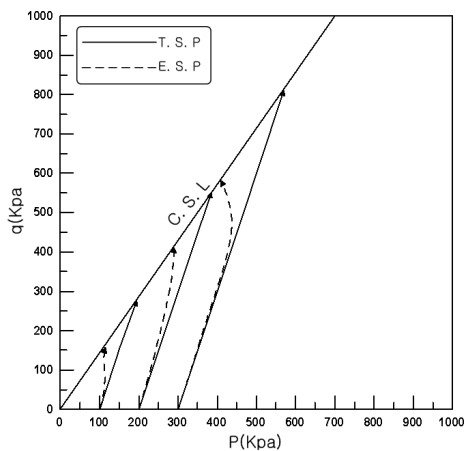
(b) 모래말뚝 보강(SR7, H=50%)



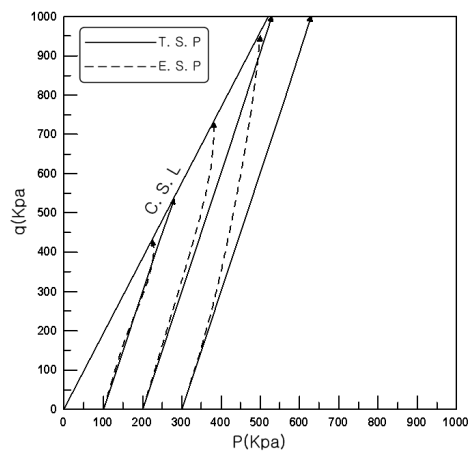
(c) 모래말뚝 무보강(SC8, H=75%)



(d) 모래말뚝 보강(SR8, H=75%)



(e) 모래말뚝 무보강(SC41, H=100%)



(f) 모래말뚝 보강(SC81, H=100%)

그림 7. 모래말뚝 직경이 3.0cm인 경우 응력경로 비교

다. 이러한 현상은 전단시 변형이 발생하면 연성재료로 보강된 모래말뚝에 응력집중현상이 변형율이 증가하면서 점진적으로 크게 받고 있기 때문으로 판단된다.

4.2 응력경로

그림 7은 모래말뚝의 직경이 3.0cm이고 모래말뚝 설치심도에 따라 연성재료로 보강된 시료와 그렇지 않은 시료에 대한 응력경로를 나타낸 것이다. 모래말뚝 설치심도가 커질수록 즉, 모래의 접촉면이 커질수록 점점 직선적인 형태가 뚜렷하게 나타나고 연성재료로 감싸 보강한 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 강도증가 효과도 크다. 또한 연성재료로 인해 전반적인 전단거동특성에 지배적인 영향을 미치는데 이는 하중 재하시 재하된 하중이 모래말뚝을 감싸고 있는 토목섬유재의 구속에 의해 모래말뚝에 응력 집중이 배가되고 이러한 현상이 파괴시의 변형까지 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 분석고찰

5.1 간극수압계수

그림 8은 토목섬유 기능을 갖는 연성재료로 보강한 모래말뚝 시료와 보강하지 않은 모래말뚝 시료의 모래말뚝 직경별 설치심도 따른 간극수압계수(A_v)를 나타낸 것이다. 실험결과에 의하면 모래말뚝의 직경이 커질수록 모래말뚝의 설치심도가 증가할수록 간극수압계수는 각각의 구속압에 관계없이 전반적인 경향은 감소하고 있으며 연성재료로 보강하지 않은 시료보다 보강한 시료의 간극수압계수가 더 적게 나타났다.

이와 같은 결과는 축차응력의 경우 모래말뚝의 직경과 설치심도가 증가할수록 응력은 증가하지만 간극수압은 크게 증가하지 않는다는 일반적인 경향과 일치하며 더불어 모래말뚝의 직경과 설치심도가 커질수록 모래의 투입량이

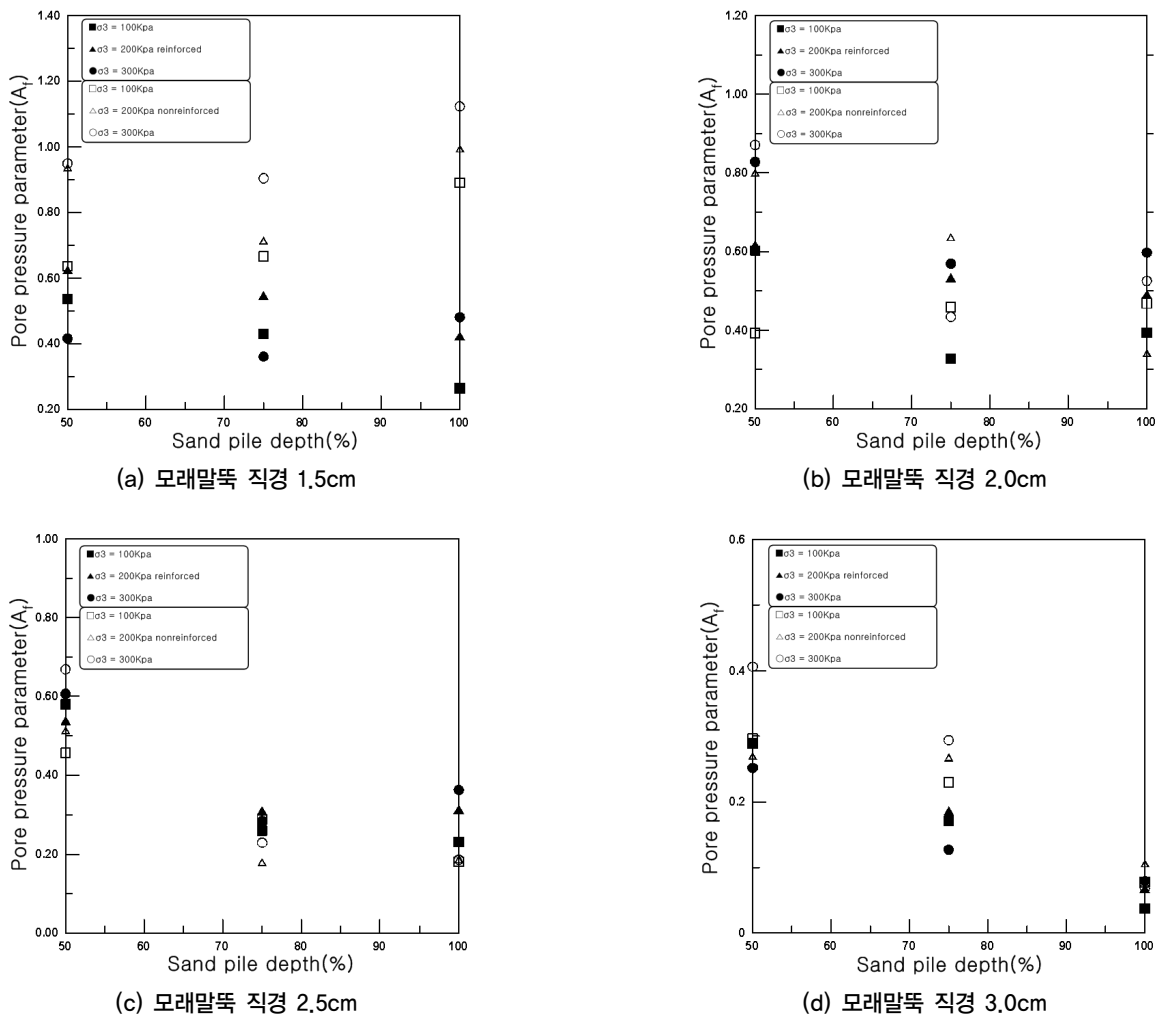
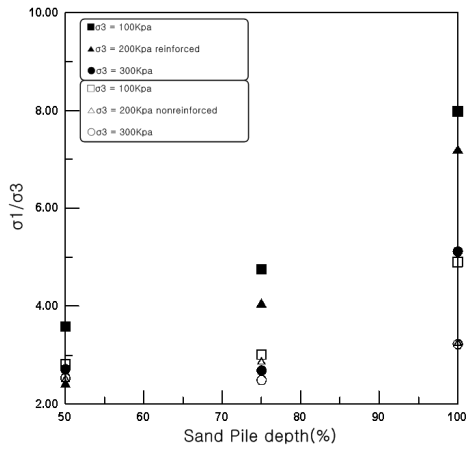
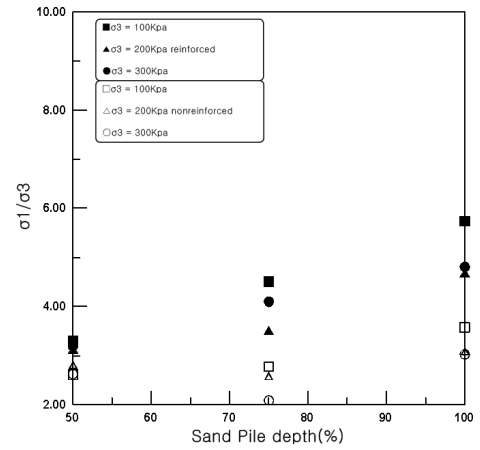


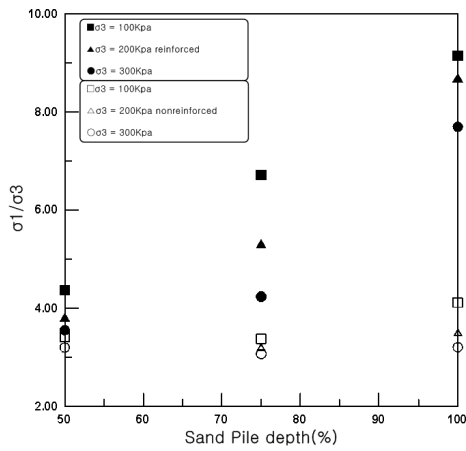
그림 8. 모래말뚝 직경에 따른 간극수압계수(A_v)와 모래말뚝 설치심도의 관계



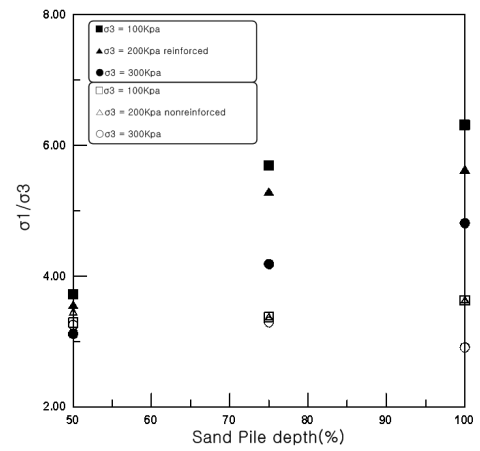
(a) 모래말뚝 직경 1.5cm



(b) 모래말뚝 직경 2.0cm



(c) 모래말뚝 직경 2.5cm



(d) 모래말뚝 직경 3.0cm

그림 9. 모래말뚝 직경에 따른 응력비(σ_1/σ_3)와 모래말뚝 설치심도의 관계

많아지고 투수계수도 커지므로 압밀비배수 삼축압축시험 시 압밀단계에서 간극수의 소산이 커지고 전단파괴시 받는 간극수압의 영향을 적게 받기 때문에 판단된다.

5.2 응력비

그림 9는 연성재료로 보강한 시료와 보강하지 않은 시료의 모래말뚝의 직경에 따른 응력비(σ_1/σ_3)와 모래말뚝 설치심도와와의 관계를 나타낸 것이다.

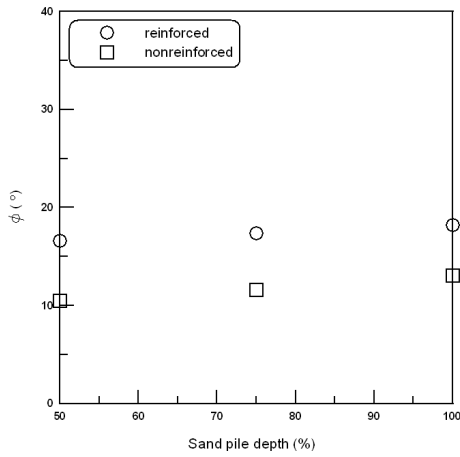
그림의 실험 결과에 의하면 각 모래말뚝 직경별로 모래말뚝의 설치심도가 증가함에 따라서 응력비는 선형적으로 증가하고 있으며 더불어 연성재료로 보강한 모래말뚝 시료쪽이 보강하지 시료보다 응력비가 더 크게 나타났다. 그러나 무보강 말뚝 시료의 응력비는 구속압의 크기 및 모래말뚝의 설치심도에 상관없이 응력비의 증가는 크게 나타나지 않았지만 모래말뚝을 연성재료 보강한 시료의 시험 결과는 구속압 및 모래말뚝설치심도가 증가하면 응력비의

증가가 매우 크게 나타났다. 특히, 모래말뚝의 직경이 2.5cm인 경우부터 응력비의 크기가 더 크게 증가하였다. 이는 모래말뚝을 연성재료로 보강함으로써 복합지반의 보강효과를 더 크게 볼 수 있다는 것을 알 수 있다.

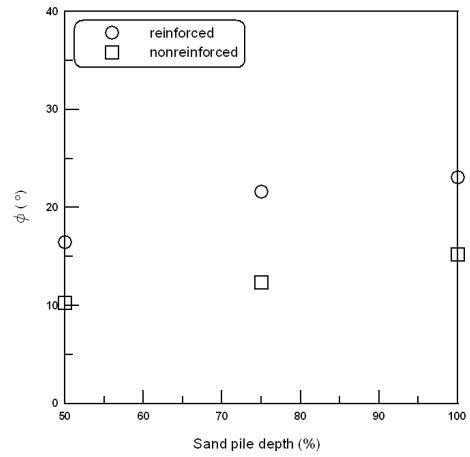
5.3 전단강도

그림 10과 그림 11은 Mohr-Coulomb의 파괴포락선에 의한 모래말뚝 직경별 내부마찰각과 점착력의 관계를 나타낸 것으로서 모래말뚝 설치심도가 증가할수록 내부마찰각과 점착력 역시 커지며, 연성재료로 보강한 시료의 강도정수가 보강하지 않은 시료에 비해 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 강도정수가 증가한다는 것은 전단강도의 증가와 같은 의미이며, 특히 연성재료로 보강한 경우에 그 증가는 더욱 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

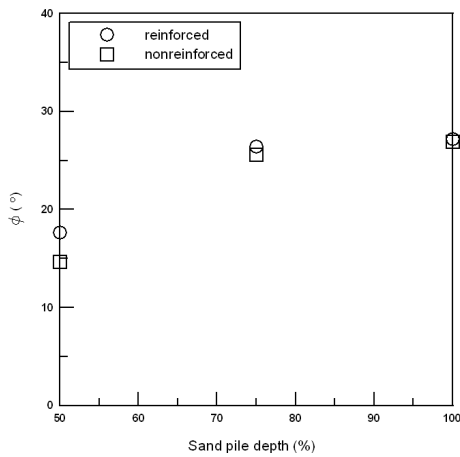
또한 전반적으로 무보강시료의 경우 내부마찰각은 약 $10.3^\circ \sim 27.1^\circ$ 정도, 점착력의 경우는 $8.5\text{kPa} \sim 65.0\text{kPa}$ 에



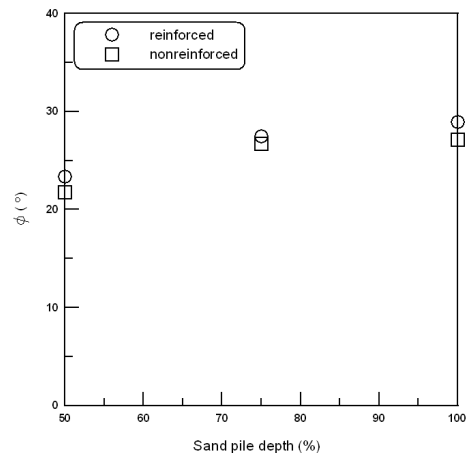
(a) 모래말뚝 직경 1.5cm



(b) 모래말뚝 직경 2.0cm



(c) 모래말뚝 직경 2.5cm



(d) 모래말뚝 직경 3.0cm

그림 10. 모래말뚝 직경에 따른 내부마찰각(ϕ)과 모래말뚝 설치심도의 관계

분포하지만 보강시료의 경우 내부마찰각은 $16.5^{\circ} \sim 28.9^{\circ}$, 점착력은 $9.9\text{kPa} \sim 69.8\text{kPa}$ 에 분포하고 있다. 그리고 모래말뚝의 직경이 2.0cm를 기준으로 설치심도가 50%, 75%, 100%일 경우 무보강시료에 비해 보강된 시료쪽의 내부마찰각이 6.2° , 8.2° , 7.9° 정도, 점착력의 경우는 1.5kPa , 3.8kPa , 4.4kPa 정도 더 큰 강도증가현상이 나타났다.

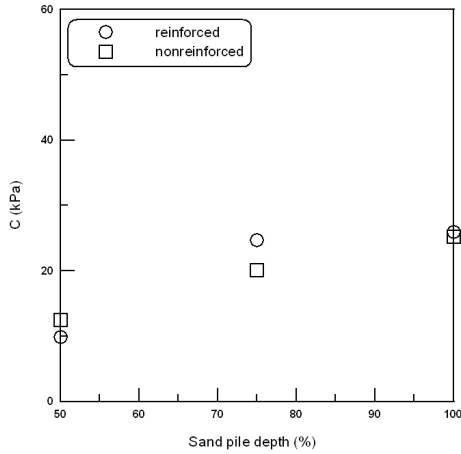
6. 결론

모래말뚝의 직경 및 설치심도 그리고 보강유무를 달리 한 SCP 복합시료에 대한 삼축압축시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

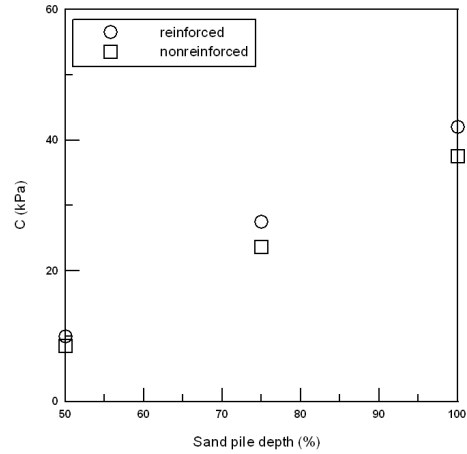
- (1) 축차응력 및 응력비는 모래말뚝의 직경과 설치심도가 증가하고, 토목섬유 기능을 할 수 있는 연성재료로 보강한 모래말뚝의 경우에 증가가 두드러지며

응력경로에서도 모래의 전단거동과 유사한 직선적인 경향을 나타내었다.

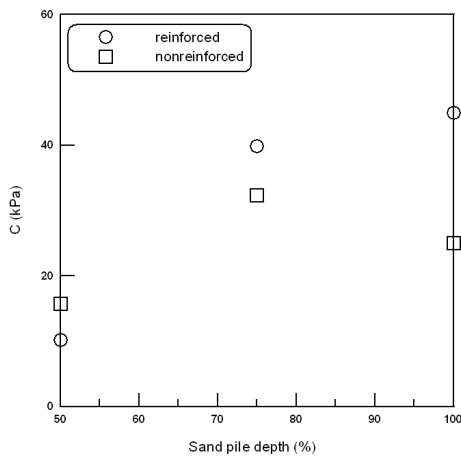
- (2) 간극수압계수는 모래말뚝을 연성재료로 보강한 경우와 그렇지 않은 경우에 모래말뚝의 직경과 설치심도가 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보였다. 이는 모래말뚝의 직경과 설치심도가 커질수록 모래의 투입량이 많아져서 압밀단계에서 간극수의 소산이 커져 전단시 받는 간극수압의 영향이 적기 때문으로 판단된다.
- (3) 전단강도는 모래말뚝의 직경과 설치심도가 증가할수록 증가하는 일반적인 경향을 나타내었으며, 특히 모래말뚝의 직경이 2.0cm를 경계로 그 증가현상이 더 크게 나타났다. 그리고 모래말뚝 보강시료의 전단강도는 내부마찰각 요소보다 점착력 요소가 전단강도 증가에 더 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.



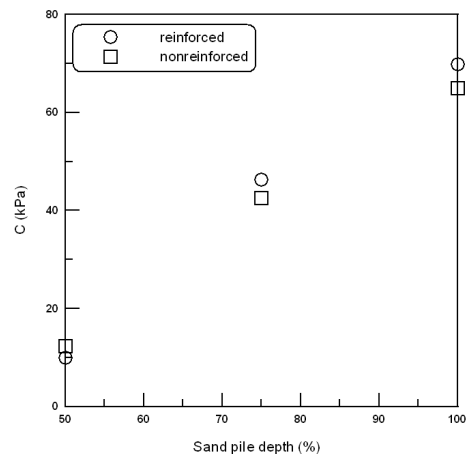
(a) 모래말뚝 직경 1.5cm



(b) 모래말뚝 직경 2.0cm



(c) 모래말뚝 직경 2.5cm



(d) 모래말뚝 직경 3.0cm

그림 11. 모래말뚝 직경에 따른 점착력(C)과 모래말뚝 설치심도의 관계

감사의 글

이 논문은 2011학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1. 김병일, 박용원, 윤길림, 조성환 (2000), “모래다짐말뚝 (SCP)으로 개량된 연약 지반의 유한요소 해석”, *대한토목학회논문집*, 제20권, 제4-C호, pp.357-466.
2. 유승경 (2003), “저치환율 SCP에 의한 복합지반의 압밀 과정중에 발생하는 응력분담거동과 그 메커니즘”, *한국지반공학학회논문집*, 제19권, 제5호, pp.301-310.
3. 정종범, 이강일, 강권수, 박병기 (1999), “미관통과 관통 SCP지반에 대한 압밀 거동의 실내모형실험”, *한국지반공학학회논문집*, 제15권, 제3호, pp.3-16.
4. 해양수산부 (1999), *대수심 방파제 및 연약지반 관련 기술 (II)*, 한국해양연구소, pp.5-56.
5. 山本美, 原田建二, 野津光夫 (2000), “締固め砂杭工法を用いた緩い砂質地盤の液狀化對策の新しい設計方法”, *土と基礎*, Vol.48, No.11, pp.17-20.
6. 平林岳樹 (2001), *未貫通 SCPを含む複合地盤の壓密沈下予測法に関する研究*, 碩士卒業論文, 廣島大學大學院.
7. 日本土質工學會 (1988), “軟弱地盤對策工法, 調査・設計・施工”, pp.127-128.
8. Hideo, T., Kenji, H. and Yasuo, T. (2002), “Considerations for Judging the Suitability of Substitute Filling Materials for Compaction Pile Methods”, *International Offshore And Polar Engineering Conference*, Vol.2, pp.598-603.
9. Juran, I. and Guermazi, A. (1988), “Settlement Response of Soft Soil Reinforced by Compacted Sand Columns”, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.114, No.8, pp.930-949.

(논문접수일 2011. 7. 24, 심사완료일 2011. 9. 7)