

중간토의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

Laboratorial Study for Mechanical Prosperities of Intermediate Soils

박 중 배*1
Park, Joong - Bai
전 몽 각*2
Jeon, Mong - Gag

Abstract

The purposes of this study are to investigate the mechanical properties of the intermediate soils through consolidation tests and triaxial compression shear tests. The intermediate soils used in this study are artificial soils which are composed of sea clay, sand and its crushed component. The relationship between plastic index and mechanical properties(permeability and compressibility) is investigated through series of consolidation tests. Strain hardening phenomenon under shearing is explored based on several overconsolidation ratios and strain rates in undrained shear tests. To make a comparative study difference of drain condition and strain rate, drain shear tests are performed with overconsolidation ratio.

요 지

본 논문은 소성지수 약30의 해성점토에 모래 및 모래로 제작한 실트분을 혼합하여 제작한 중간토의 역학적 성질을 파악하는데 그 목적을 두고 있다. 실험으로는 물리적 실험을 거친 후, 공학적 특성을 살피기 위해 압밀시험과 삼축압축전단시험을 하였다.

압밀시험에서는 소성지수의 변화에 따라 중간토의 압밀특성, 즉 압밀곡선의 형태와 투수성 및 압축성이 변화하는 것으로부터 중간토와 점토의 영역을 구분하였다. 한편, 삼축압축전단시험에서는 배수조건에 따른 각각의 시료의 압축전단특성을 밝히고, 특히 비배수조건하에서는 변형률속도가 전단특성에 끼치는 영향을, 그리고 변형률속도와 소성지수 및 시료의 과압밀비의 변화에 따른 변형률경화 현상의 특성과 그 원인을 전단 중에 측정된 간극수압의 거동으로부터 규명하였다. 아울러 중간토의 전단특성에 미치는 배수조건과 변형률속도의 영향을 비교 검토하였다.

1. 서 론

모래는 정적강도가 대단히 크다는 장점과

지진 시에 액상화하는 단점을 가지고 있으며, 점성토는 압축성이 크며 정적강도가 작다는 단점을 소유하고 있는 반면 액상화의 위험이

*1 정희원, (주)대우 건설기술연구소

*2 정희원, 성균관대학교 공과대학 토목공학과 교수

작다는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 지반의 재료가 분류되면 그 특성에 대응해서 설계 및 시공이 이루어진다. 그러나 지반의 구성재료에는 전형적인 모래나 점성토 뿐만 아니라 실제로는 소성이 매우 작은 점성토나 세립분을 다량 포함하고 있는 사질토, 즉 중간토도 많이 분포되어 있다. 이러한 종류의 흙은 모래와 점성토의 중간적 성질을 나타내며 양 토질의 장점 및 단점을 공유하고 있을 가능성을 가지고 있다. 그러나 상시에 행해지는 현행의 설계법에는 이러한 흙에 대한 특별한 기준이 없을 뿐만 아니라 안전측의 의미로서 점성토로 간주하여 비배수안정해석이 일반적으로 이루어지고 있다. 소성이 작은 이러한 중간토의 경우, 교란의 영향⁽¹⁾을 쉽게 받기 때문에 일축압축시험에서는 매우 작은 비배수 강도가 얻어져 현행의 설계법에 의하면 전형적인 점성토 지반보다 연약한 지반으로 평가되는 경우도 자주 있다.

점토나 비교적 입자가 고른 모래에 대해서는 다수의 실험적 및 이론적 연구가 진행되어, 많은 부분의 역사적 특성이 규명되어, Cam-Clay Model⁽²⁾, Sekiguchi-Ohta Model⁽³⁾, Granta Gravel Model⁽²⁾ 등의 구성모델이 제안되기까지 이르렀다. 그러나 모래와 점토의 중간적인 입도조성을 가진 즉, 중간토의 역학적 특성은 입도 조성의 영향^(4, 5)을 강하게 받는다는 점 등 정성적으로는 어느 정도 명확하게 되어있으나 정량적 평가까지는 이르지 못하고 있는 현상이다.

이러한 배경으로부터 입도 조성이 중간토의 역학적 특성에 크나큰 영향을 불러일으킨다는 점을 고려하여, 입도분포가 다른 중간토를 인공적으로 제작하여 물리실험 및 역학시험을 통해 중간토의 역학적 성상을 실험적으로 조사하였다.

2. 시료의 제작

본 연구에 사용한 시료는 소성지수가 약 30인 해성충적점토에 모래와, 모래로 제작한 실

트로 구성되는 조정사를 소정의 비율로 혼합한 인공 혼합토이다. 본 연구에서는 소성지수와 조정사의 혼합비율(β)의 관계에 관한 齋田⁽⁶⁾의 연구 결과에 의해 시료를 제작하여 소성한 계시험 및 액성한계시험을 통해 얻은 결과 즉, 시료의 소성지수와 조정사혼합비율과의 관계를 그림1에 나타내며 이하 각 시료의 소성지수에 M을 붙여 시료를 구분하기도 한다. 이제까지의 중간토에 관한 연구에 사용된 시료는 점

표 1 시료의 공학적·물리적 특성

	M2	M5	M10	M20	M30
비중 Gs	2.65	2.65	2.66	2.68	2.69
액성한계 WL	19.2	20.5	27.0	40.0	54.0
소성한계 WP	16.7	16.5	15.8	20.2	25.5
소성지수 Ip	2	5	11.2	19.8	28.5
조정사혼합율 β	0.778	0.69	0.54	0.25	0
모래 (%)	79.0	72.8	62.2	41.1	23.0
실트 (%)	13.3	16.5	22.0	33.3	42.4
점토 (%)	5 μ 이하	7.7	10.7	15.8	25.9
	2 μ 이하	6.4	8.9	13.1	21.5
표준압밀 시험결과	e ₀	0.655	0.618	0.610	0.825
	c _c	0.095	0.115	0.160	0.239
	e _s	0.010	0.013	0.014	0.026

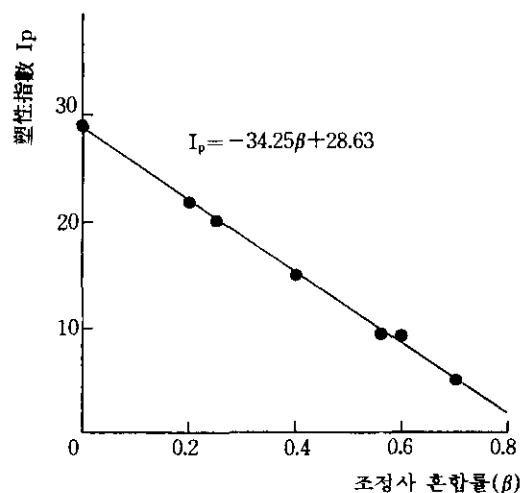


그림 1 소성지수와 조정사혼합률(β)

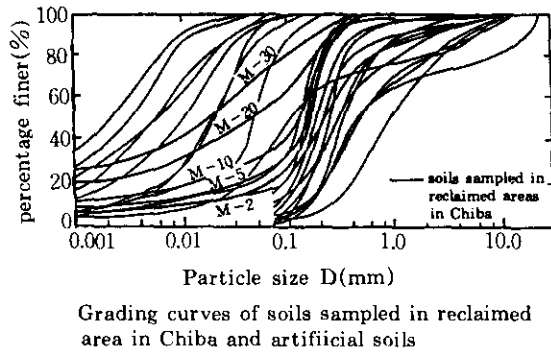


그림 2 입도분포 곡선

토와 모래의 혼합으로서 실제 지반과는 거리가 먼 극단적인 입도분포를 나타내는 문제점^(7, 8, 9)이 있었으나, 본 연구에서는 실트성분을 첨가 시킴으로서 그림2에 나타내는 바와 같이 실제 지반과 거의 동일한 배크러운 입도분포를 나타내고 있음을 알 수 있으며 이러한 시료의 물리적, 공학적 특성을 표1에 나타낸다.

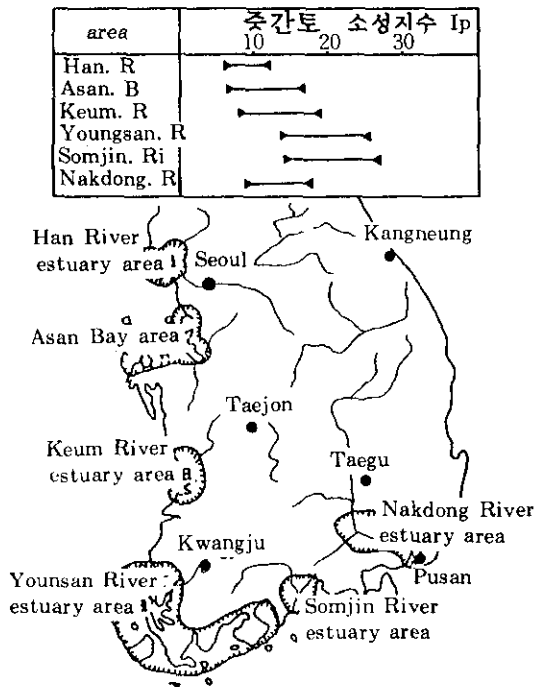


그림 3 주요개발대상지역의 소성지수 분포도

현재 많은 흙의 분류법이 제안되고 있으나 흙의 입자크기를 기준으로 분류하는 것이 일반적인 분류법이다. 그러나, 이러한 분류법은 전체 혹은 대부분이 동일 입자크기의 흙으로 구성되는 지반이외, 즉 중간토와 같이 점토, 실트, 모래 성분이 각각의 특성을 나타내는 구성비를 유지하고 있는 지반에서는 그 본래의 의미를 가지기는 쉽다고 할 수 없다. 이러한 원인으로부터 표2에 제시하는 일본항만기술연구소의 중간토의 자체 분류기준 이외에는 현재 중간토에 관한 명확한 분류기준은 없는 상태이나, 이 지표에 의하면 본 연구에서 사용한 시료중

표 2 중간토의 판단기준(일본항만기술연구소)

기 준	모 래	중간토	점 토
모래함유량 (%)	80이상	50~80	50이하
소성지수 Ip	NP	NP~25	25이상
투수계수 k(cm/s)	10 ⁻⁴ 이상	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ 이하
압밀계수 Cv(cm ² /min)	10이상	10 ⁻¹ ~10	10 ⁻¹ 이하

M2에서 M20까지가 그 범위에 들어감을 알 수 있으며 이러한 저소성점토지반은 그림3에 나타내는 바와 같이 우리나라의 주요 개발대상 지역을 중심으로 넓게 분포되어 있음을⁽¹⁰⁾ 알 수 있다.

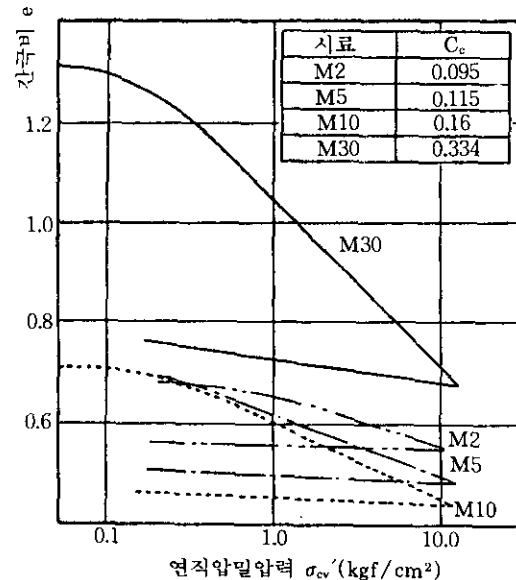


그림 4 e-log p

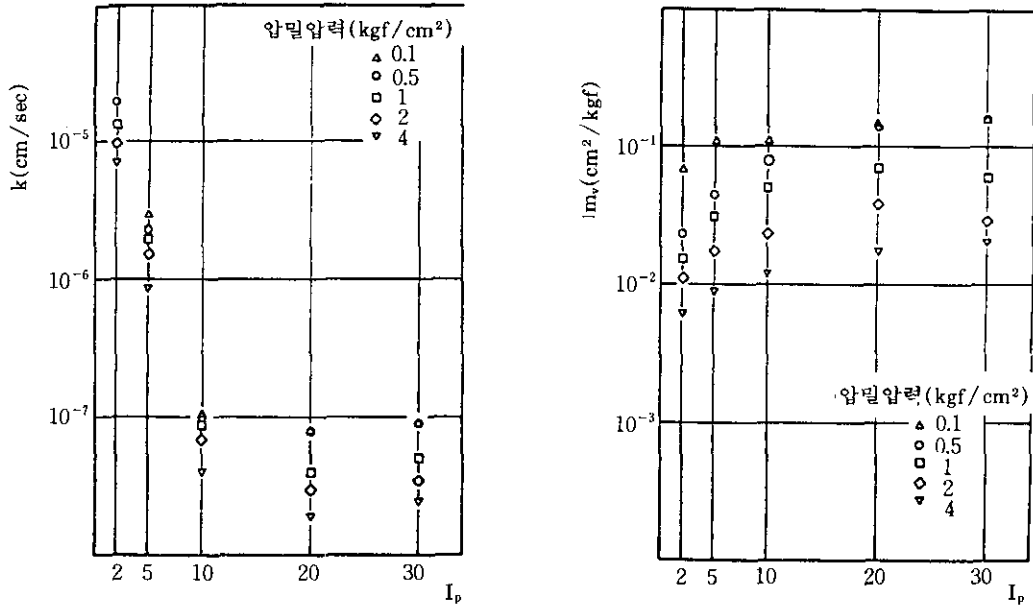


그림 5 압밀시험 결과

3. 압밀특성

중간토와 같이 압밀계수가 큰 재료에서는, 압밀계수에 비하여 상대적으로 배수장이 짧아, 압밀시간이 매우 빠른 시간에 종료하여, 통상의 표준적인 압밀시험에 의하면 압밀계수가 과소평가될 가능성이 있기 때문에 배수장이 긴 압밀시험기 혹은 정도가 높은 측정기에 의해 압밀계수를 구하는 것이 장려되고 있다⁽¹¹⁾. 본 연구에서는 M30, M20 및 M10에 대해서는 통상의 표준압밀시험기를 이용하고, M5, M2는 통상의 표준압밀시험기보다 직경 및 높이가 2.5배 큰 중형압밀시험기를 이용하여 시험을 하였다. 시험으로부터 얻은 $e - \log p$ 관계를 그림 4에 나타낸다. 그림으로부터 M10이하의 시료에서는 전반적으로 뚜렷한 직선부가 나타나지 않고 모래와 유사한 완만한 곡선형태를 유지하고 있으며, 소성지수 10이하의 시료는 M30, M20의 시료와 비교해 간극비가 매우 작은 특징을 가지고 있다. 또한 하중의 증가에 대한 간극비의 변화량, 즉 처너재하곡선의 기울

기는 소성지수가 작을 수록 작게 나타나고 있어 소성지수가 작을수록 압축성도 감소한다는 것을 알 수 있다. 한편 압밀압력과 투수계수 k 및 체적압축계수 m_v 와의 관계를 그림 5에 나타낸다. 그림으로부터 소성지수가 10부터 30의 범위에서는 투수계수의 변화는 작지만, 소성지수 10을 기점으로 소성지수의 감소에 따라 투수계수는 급격하게 증가한다. 이에 대해 체적압축계수는 소성지수의 증가에 따라 완만하게 증가하고 있어, 투수계수와 비교하면 소성지수에 의한 변화량은 아주 작음을 알 수 있다.

4. 전단특성

中野⁽¹²⁾는 Kaolin 점토와 모래를 혼합한 시료를 이용해서 단면을 배수조건으로 하여 재하속도를 변화시켜 삼축압축전단시험을 하였다. 그는 재하속도가 전단강도에 미치는 영향을 요소시험이 아닌 초기치, 경계치 문제로 레올로 키컬한 특성의 하나로서 삼축시험을 하였다.

그 결과, 배수속도에 대하여, 재하속도가 작으면 공시체는 배수거동을 하고, 배수속도에 비하여, 재하속도가 충분히 클 경우에는 비배수 거동을 하며, 양 속도의 중간적인 재하속도일 경우에는 부분배수거동^(13, 14)을 한다고 보고하고 있다. 실지반의 안정문제에서도, 재하속도와 배수속도의 크기에 따라 지반의 비배수조건을 가정하는 단기문제도 취급할 것인가, 아니면 배수조건을 가정한 장기문제도 취급할 것인가가 판단된다.⁽¹⁵⁾ 따라서 본 연구에서 다루는 중간토지반은 재하속도에 의해 단기문제로서도, 장기문제로서도 취급될 가능성을 가지고 있다. 또한, 비배수상태의 요소시험에 의해서도 점성토의 강도는 비배수 크리프⁽³⁾나, 간극수의 migration⁽¹²⁾ 등에 의해 재하속도에 의존하는 것이 된다.

본 연구에서는 삼축압축전단시험을 정규 및 과압밀시료에 대하여 배수 및 비배수조건하에서 실시하고, 특히, 비배수 시험에서는 변형률 속도가 전단특성에 미치는 영향을 조사하였다.

3.1 실험조건 및 방법

소성이 아주 작은 중간토는 압밀압력이 작을 경우 자립하지 않으며, 트리밍에 의해 공시체를 제작할 경우 공시체가 변형하여 교란의 영향을 크게 받는다⁽¹⁾. 이러한 이유로 본 연구에서는 다음과 같은 순서의 실험 방법을 사용하였다. ① 예비압밀 몰드(내부 : $\phi 5\text{cm} \times 12\text{cm}$) 내에서 시료를 소정의 응력으로 압밀시킨다. ② 공시체를 몰드와 함께 -20°C 에서 24시간 이상 냉동시킨다. ③ 공시체를 몰드에서 빼낸 후 냉동상태의 공시체를 삼축기에 세팅시킨 다음 공시체를 해빙시킨다. ④ K_0 압밀시킨다. ⑤ 압밀 과정을 수행한 후 전단을 실시한다. 압밀 과정은 최대선행압밀압력을 392kPa로 삼축셀 내에서 K_0 압밀시켰으며, 특히 M10 이하의 과압밀 공시체는 축압 392kPa로 압밀 후 재하하여 제작하였으나, 재하시의 팽창률이 매우 작아 정확한 K_0 상태의 유지가 곤란하여 Mayne

표 3 삼축압축전단시험의 조건

배수조건	시료	과압밀비 (OCR)	최종연직 압력 (kPa)	변형률속도 $\dot{\epsilon}$ (%/min)		
비배수	M2	1	392	0.007		
		1	392	0.073		
		2	196			
		4	98			
		1	392	0.737		
	M5	1	392	0.741		
				5.45		
				0.021		
				0.083		
				0.212		
				1.09		
				4.43		
	6.01					
	M10	1	392	0.008		
				0.076		
					2	196
					4	98
				1	392	0.268
	M20	1	392	1.06		
				9.44		
0.079						
0.226						
1.13						
M30	1	392	4.41			
			0.083			
			0.404			
			1.159			
배수	M2	1	392	4.85		
				2	196	0.049
				4	98	
	M5	1	392	0.0216		
M10	1	392	7 × 10 ⁻⁴			
			2	196		
			4	98		

(16)의 제안식 $K_{0(OC)} = K_{0(NC)} \times OCR^{n_{OC}}$ 에 의해 재하 과정의 축압을 결정하였으며 모든 전단시험은 변형률제어 방식을 취하였다. 또한 배수시험의 변형률속도 결정법에는 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 Thurairajah(17)의 제안과 關口(13)의 안에 기준하여 수회의 예비실험을 통해 이들 제안식보다 안전한 변형률속도를 선택하였다. 그 자세한 조건은 표3과 같다.

3.2 시험결과

3.2.1 축차응력과 변형률 관계

그림6은 M2부터 M30까지의 정규압밀한 공시체에 대하여 약 0.07(%/min)의 변형률 속도로 행한 압밀비배수 삼축압축시험의 결과로, 축차응력과 축변형률 및 과잉간극수압과 축변형률의 관계이다. 세로축은 축차응력 q 및 과잉간극수압 Δu 를 최대선행압밀압력으로 정규화시킨 것이다. M20과 M30의 축차응력-변형률 관계는 축변형률이 약 5% 정도에서 항복점이 나타나며 그 후는 변형률 증가와 함께 축차응력은 약간 감소하거나 거의 변화가 없는 전형적인 점토의 거동을 보여주고 있으나, 중간토의 M10이하의 시료에서는 0.1~0.2%의 극히 작은 축변형률에서 일단 피크(이하 초기피크라한다)가 나타난 후 축차응력은 일단 감소하여 다시 증가하는 변형률경화 현상이 나타나고 있다. 이러한 현상들은 소성지수가 작을수록 초기피크의 축변형률이 작고, 후반부 곡선의 기울기 즉 변형률경화의 정도가 크다. 이러

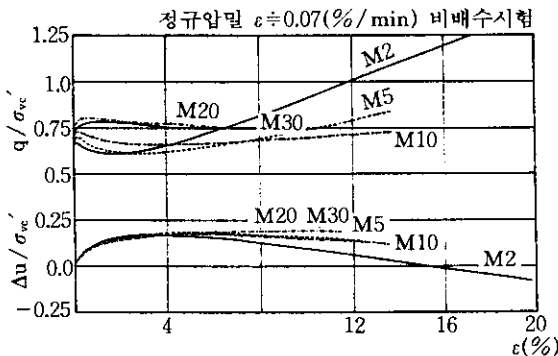


그림 6 축차 응력 · 과잉간극수압과 변형률 관계 (정규압밀시료)

한 현상의 원인으로서는 재하 초기부분에서는, 모래입자가 점토와 점토사이에 떠 있는 불안정한 골격구조에서 재하가 진행됨에 따라 입자와 입자와의 맞물림이 일단 풀려 또 다시 안정상태의 모래입자들이 맞물린 안정된 골격구조로 변화해 연화로부터 경화에로의 거동변화가 나타나는 것으로 생각되어진다. 한편, 과잉간극수압의 거동은 축변형률 5%정도까지의 전후반에는 시료에 의한 차이가 거의 나타나지 않는다. 그러나 축변형률이 크게 되면 M20, M30에서는 거의 변화가 없으나 M10이하의 시료에서는 감소하며 그 감소정도는 소성지수가 작을수록 크게 나타난다. 특히, M2는 다른 시료와 비교하여 간극수압의 감소 경향이 현저하고 축변형률 16%이상에서는 부압이 발생하고 있다. 중간토에서는 이 후반부에서의 간극수압의 감소에 의한 유효응력의 증가가 변형률경화 현상을 불러일으킨 것이라 사료된다. 그림7은 과압

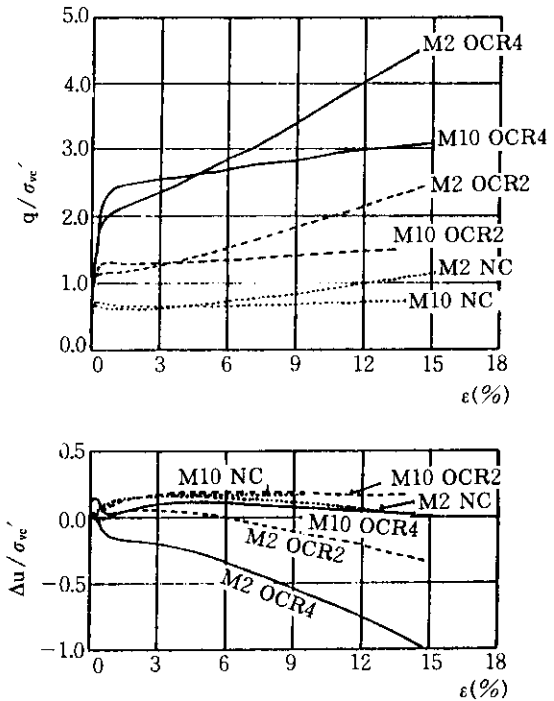


그림 7 축차 응력 · 과잉간극수압과 변형률 관계 (과압밀시료)

밀시료에 대한 결과로서 최대선행압밀하중 (σ_{vc}')으로 정규화한 축차응력 및 과잉간극수압과 축변형률의 관계이다. 초기강성 및 축차응력은 과압밀비의 증가와 함께 증대하고 있다. 또 곡선의 후반부에서의 기울기 즉, 변형률경화 현상의 정도는 과압밀비가 클 수록 현저하게 나타나고 있으며, 과압밀비가 클 수록 그리고 소성지수가 작을수록 간극수압의 값은 작게 나타나고 있다. 축변형률 5%이하의 초기부분에서의 축차응력은 M10이 M2보다 크지만 축변형률이 크게 되면 M2에는 현저한 변형률경화현상으로 그 값이 역전하고 있다. 특히 과압밀비의 증가와 함께 정규압밀공시체에서 나타났던 초기피크 후의 축차응력의 저하 즉 변형

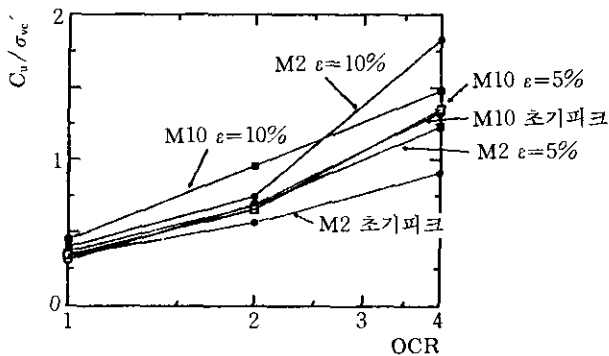


그림 8 C_u/σ_{vc}' 와 OCR의 관계

를 연화현상은 보이지 않게 된다. 그림8은 초기피크시와 축변형률 5%, 10%시의 축차응력을 비배수강도의 대표치 c_u 로서 비배수강도증가율 c_u/σ_{vc}' 와 과압밀비의 관계를 나타내고 있다. 과압밀비의 증가와 함께 강도증가율은 증가하고, 과압밀비가 큰 범위에서 현저하게 나타나고 있다. 또 과압밀비의 증가와 함께 강도증가율의 증가비율은 초기피크에서는 M10이 M2보다 크고, 축변형률 10%에서는 M2가 크게 나타나고 있어, 과압밀상태로 함에 따라 M2에서는 후반부에서 변형률강도증가가, M10에서는 초기강도증가가 발현되는 것을 알 수 있다.

3.2.2 중간토의 전단특성과 변형률속도

그림9는 정규압밀공시체에 대해 변형률속도를 변화시켜 시험한 비배수전단시험으로서 M2의 축차응력 및 과잉간극수압과 변형률의 관계이다. 그림으로부터 M30, M20의 시료는 변형률속도가 클 수록 축차응력은 크며, 변형률속도에 의한 축차응력의 차이는 초기피크까지는 나타나지만 그 이후에는 그다지 나타나지 않는다. M10이하의 시료에서는 초기피크까지는 동일한 현상이 나타나지만 변형률의 증가와 함께 축차응력의 대소관계가 역전하는 경우가 있어 후반부에서는 변형률속도에 의한 명확한 차는 없어진다. 이러한 현상은 초기에는 변형률속도의 영향을 받는 점착력에 의해, 재하가 진행됨에 따라 입자와 입자의 엉물림과 마찰에 의해 강도가 발현되기 때문이라 생각되어진다.

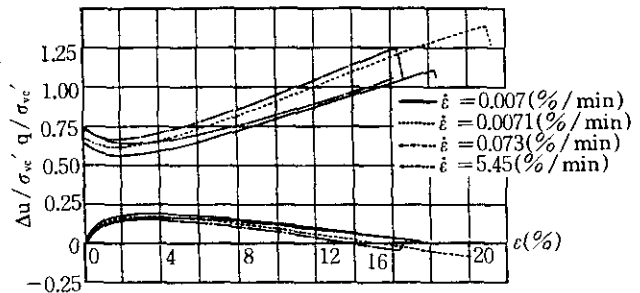


그림 9 축차응력 과잉간극수압과 변형률 관계

한편, 과잉간극수압은 전체적으로 변형률속도가 클 수록 크지만, 축차응력만큼 변형률속도의 영향을 받지 않는다.

3.2.3 강도증가율과 변형률속도

그림10의 (a)는 초기피크시의 c_u 를 최종압밀압력으로 나눈 비배수강도증가율과 변형률속도의 대수 관계를 나타낸 그림이다. 그림으로부터 동일한 변형률속도에서는 소성이 작을수록 강도증가율이 작으며, 변형률속도에 대한 강도증가율은 거의 직선적으로 증가하고 있으며, 모든 시료에 있어서 변형률속도에 대한 강도증가율의 증가율, 즉, 그림에서의 기울기는 점토함유율이 큰 시료일 수록 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 그림(b)는, 세로축은

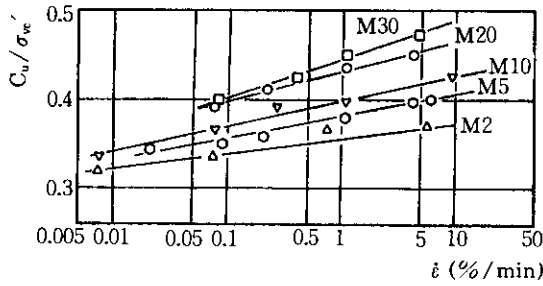


그림 10 (a) 비배수강도증가율과 변형률속도 관계

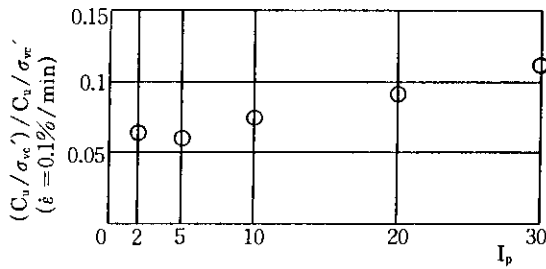


그림 10 (b) 변형률속도 10배증가시의 강도증가율

변형률 속도가 10배 증가함에 따른 비배수강도 증가율을 나타내며, 가로축은 소성지수를 나타낸 그림으로서, 변형률속도가 증가함에 따른 비배수강도증가율은 소성지수가 클 수록 크게 나타나며, M2는 약 5~6%, M10은 약 7~8%의 비배수강도가 증가한다.

3.3 배수전단특성

그림11은 M10, M5, M2의 정규 및 과압밀 시료에 대한 축차응력과 변형률의 관계이며, 그림12는 M10, M5, M2의 정규압밀시료에 대한 체적변형률과 축변형률의 관계이다. 그림10 즉, 비배수시험에 나타났던 축차응력의 초기피크 현상과 그 후의 응력저하 현상이 나타나지 않고, 특히 M2에서 현저했던 변형률경화현상이 과압밀비에 관계없이 나타나지 않으며, 시료의 종류에 따른 곡선 형태의 차이는 그다지 보이지 않는다. 이러한 현상은 비배수시험에서 나타난 부압이 배수시험에서는 발생하지 않기 때문이다. 따라서 소성지수가 작은 시료일 수록 배수조건의 영향을 더 많이 받는다고 할 수 있다. 또한 과압밀비의 증가와 함께 축차응력

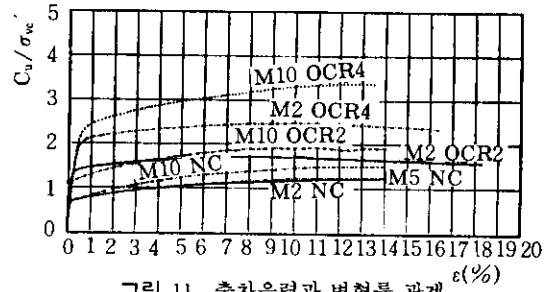


그림 11 축차응력과 변형률 관계

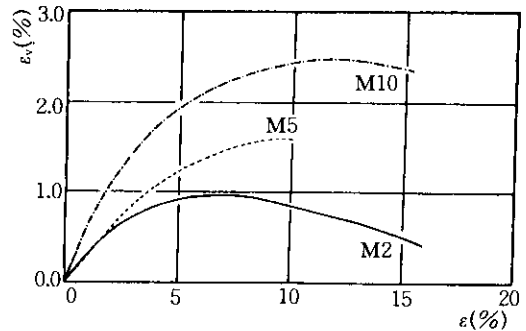


그림 12 체적변형률과 축변형률 관계

이 크게 되고 증가비율은 고소성 시료일 수록 크다. 한편 그림12에서의 정(+)의 값은 전단시의 체적감소를 나타낸 것으로서, 시료에 관계없이 완만한 피크를 나타내고 있으며, 전단이 끝날 때까지 압축성이 큰 시료일 수록 체적 변형률도 증가하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

- 1) 소성지수가 약 30인 해성점토와 입도 조정된 모래를 혼합하여 제작한 소성지수가 약 2부터 10까지의 인공시료는 실지반의 중간토와 거의 같은 매끄러운 입도분포를 가진다.
- 2) 소성지수가 30부터 10까지의 시료에서는 투수계수는 그다지 차이가 없으나 소성지수가 10이하가 되면 그 값은 현저하게 증가한다. 한편 체적압축계수는 소성지수와 함께 연속적으로 감소하나 그 변화량은 투수계수에 비해 극히 작다.
- 3) 정규압밀된 중간토의 비배수전단에서, 전

단초기에 축차응력의 피크가 나타난 후 일단 응력의 저하현상이 생기고 변형률이 증가하면 응력이 증가하는 변형률경화현상이 일어난다. 전단시의 변형률속도가 클 수록 초기피크 강도는 크게 되지만 전단 후반부에는 변형률속도의 영향은 그다지 나타나지 않는다. 이러한 현상은 전단 초기에는 변형률속도의 영향을 받는 점착력에 의해, 재하가 진행되면 입자들의 맞물림과 마찰에 의해 강도가 발현되기 때 문이라 생각되어진다.

- 4) 전단후반에 발생하는 변형률경화현상은, 소성지수가 작을 수록, 과압밀비가 클 수록 현저하게 나타나며, 이 변형률경화현상의 원인은 모래입자의 정(+)의 전단팽창특성에 의한 유효응력의 증가에 의한 것이다.
- 5) 배수조건하에서는 비배수전단서에 보였던 소성지수에 의한 차는 보이지 않고, 거의 같은 응력-변형률 관계가 되며, 또 과압밀상태에 있어서의 강도증가는 소성지수가 클 수록 크게 된다.

참 고 문 헌

1. Kimura, T. and Saitoh, K.(1982), "The Influence of disturbance due to sample preparation on the undrained strength of saturated cohesive soil, "Soils and Foundations, Vol. 22, No.4, pp.110~120
2. Schofield, A and Wroth, P.(1968), "Critical state soil mechanics", Mac-GRAW HILL
3. Sekiguchi, H. and Ohta, H.(1977), "Induced anisotropy and time dependency in clay", Proc. of specialty Session 9, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp.229~238
4. Lupini J.F. Skinner A.E. and Vaughan P.R. (1981), "The drained residual strength of cohesive soils", Geotechnique, Vol.31, No.2, pp. 181~213
5. 大嶺聖(1992), "中間土の壓縮および強度特性に関する基礎的研究",九州大學 學位論文.
6. 倉田藤井(1961), "砂と粘土の混合土の工學的性質に関する研究", 港灣技術研究報告, Vol. 11, No.9, pp.389~424.
7. Georgiannou, V.N., Hight, D.W. and Burland, J.B.(1991a), "Undrained Behaviour of natural and Model Clayey Sands, "Soil and Foundation, Vol. 31, No.3, pp.17~29
8. Georgiannou, V.N., Hight, D.W. and Burland, J.B.(1991b)", Behaviour of clayey sands under undrained cyclic triaxialloading", Geotechnique, Vol.41, No.3, pp.383~393
9. 落合英俊, 大嶺聖(1993): 砂よ粘土の混合土の壓縮および強度特性, 土と基礎, Vol.41, No.7, pp11~16.
10. 최인걸, (1989), "Country Report(Korea)", Japan International Cooperation Agency, pp.7~8
11. 土質試験の方法と解説(1991): 日本土質工學會
12. 中野正樹(1993), "粘土の非排水, 部分排水舉動の解析と軟弱地盤上の盛土設計への應用に関する研究", 名古屋大學土木工學科學位論文
13. 關口秀雄(1980), "部分排水三軸試験の彈粘塑性解析とその適用", 第15回土質工學研究發表會, pp.789~792.
14. 中野・淺岡, (1991), "飽和粘性土のせん斷強度に及ぼす載荷速度效果に関する非排水・配分排水三軸試験", 土木學會第45回年次學術講演會, pp. 204~205.
15. Asaoka, A. Nakano, M. and Matsuo, M. (1992), "Prediction of the partially drained behaviour of soft clays under embankment loading", Soil and Foundation, Vol.32, No.1, pp.41~58.
16. Mayne, P.W. and Kulhawy, F.H.(1982), "K₀-OCR interrelationship in Soils", Proc. ASCE, Vol. 108, No.GT6, pp.851~872.
17. Thurairajah, A. and Balasubramaniam, A. S. (1977), "Prediction on strain rate for drained triaxial tests", Proc.9th, ICSMFE, pp.329~332.

(접수일자 1995. 5. 18)