

모래-벤토나이트 혼합물의 지반 공학적 특성에 관한 기초 연구

Fundamental Study on Geotechnical Properties of Sand-Bentonite Mixtures

권 무 남* · 유 태 향**
Kwon, Moo Nam · Yu, Taek Hang

Summary

The study was conducted in order to investigate the basic geotechnical properties of sand-bentonite mixtures with the various bentonite contents.

The results obtained are as follows :

1. Optimum moisture content of sand-bentonite mixtures was approximately 17.10~18.52% corresponding to the maximum dry density of 1.58~1.64gf/cm³.

As the bentonite contents and curing period increased, both the maximum dry density and optimum moisture content of sand-bentonite mixtures increased.

2. The unconfined compressive strength of sand-bentonite mixtures increased as the increase of bentonite content, but it did not change along the curing period.

3. The sand-bentonite mixtures ruptured at 8~15% of the axial strain and the maximum shearing stress was about 0.70kgf/cm².

4. According to the increase of bentonite content, the cohesion intercept and internal friction of the sand-bentonite mixtures increased slightly in the shear test, while the cohesion intercept increased largely, and the internal friction angle decreased largely in the triaxial test.

5. Both the initial void ratio and swelling of the sand-bentonite mixtures were very low with respect to the consolidation pressure increase.

6. The swelling and shrinkage of sand-bentonite mixtures increased slightly according to the increment of bentonite content.

*경북대학교 농과대학
** 한국도로공사 도로연구소

키워드 : 벤토나이트, 모래-벤토나이트 혼합물
지반공학적성질, 최적함수비, 최대건조
밀도, 차수재, 팽창수축, 일축압축강도,
압밀

I. 서 론

벤토나이트는 다른 점토와 같은 화학적 성분을 가지고 있는 천연 점토 광물로서 물 속에서 그 중량의 수배의 물을 흡수하는 특수한 분자 구조를 가지고 있다. 이러한 현상에 의하여 벤토나이트는 완전히 습윤되었을 때 그 건조 중량의 약 15배 정도까지 팽창하며, 이러한 습윤작용으로 건조와 재팽창이 무한히 반복된다. 벤토나이트의 물에 대한 흡수성과 팽창성은 물의 통과를 저지하는데 강점이 있다. 팽창된 벤토나이트 입자는 흙입자 사이의 간극을 채워 물과 유체의 흐름을 차단하고, 습윤상태를 유지한 벤토나이트는 경화되지 않고 water bound 상태를 영원히 유지한다.

따라서 벤토나이트는 토목공사에서 고펡창 흙 첨가제로서 또는 콜로이드 슬러리를 만들기 위하여 물과 혼합한 형태의 두 가지 목적으로 많이 이용되고 있다. 그리고 벤토나이트의 친수성(親水性)과 팽창능력은 흙 속에서 물의 흐름을 차단하고, 유연성이 좋아 지반의 거동에 저항하며, 흙과 혼합하여 슬러리로서 지하 침투수를 차단할 수 있는 성능이 있기 때문에 폐기물 매립지의 바닥과 측면 차폐재, 담수호의 바닥재, 슬러리 트렌치 및 산업 폐기물의 저장시설 등 각종 토공 구조물 공사에 많이 사용되고 있다.

특히 폐기물 매립지에서 흙(점토 또는 모래)과 혼합하여 차폐재로 사용될 때, 폐기물에서 발생하는 침출수의 침투속도를 줄이고, 투수성을 감소시켜 주는 역할을 하여 지하수 및 지반 환경오염 방지에 유용하게 사용될 수

있으며, 흙-벤토나이트 혼합물의 경제성도 입증되고 있어 앞으로 많이 사용될 전망이다.

이와 같이 벤토나이트가 다양한 용도로 사용되고 있으나, 흙-벤토나이트 혼합물의 지반공학적 특성에 관한 기초 연구는 국내·외적으로 매우 적은 편이고, 특히 흙-벤토나이트 혼합물이 지반속에서 구조체로서 하중지지의 역할을 필요로 할 때에는 강도상의 문제를 고려할 필요가 있을 것으로 판단되므로 이에 대한 역학적 특성을 포함한 여러 가지 지반공학적 특성의 규명이 요구되는 실정이다. 그리고 모래-벤토나이트 혼합물의 사용에서 그 적합성의 평가는 벤토나이트의 함량, 함수량 및 건조밀도의 결과가 중요하고, 구조체로서의 성능평가 연구도 매우 중요하다고 판단된다.

이에 본 연구는 벤토나이트 함량을 변화시켜 제조한 5종류의 모래-벤토나이트 혼합물에 대한 여러가지 지반공학적 성질을 측정, 분석하여 이를 토목공사용 재료로 사용할 때 설계 및 시공에 필요한 기초자료를 제시하기 위하여 수행되었다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

가. 벤토나이트(Bentonite)

본 실험에 사용한 벤토나이트는 경북 경주 지방에서 생산되는 Ca계-벤토나이트를 Na계-벤토나이트로 이온 치환한 것을 사용하였으며, 그 구조는 전자 현미경으로 6,000배 및 20,000배로 확대 촬영하여 분석한 결과 Photo 1과 같이 판상구조인 것으로 판명되었

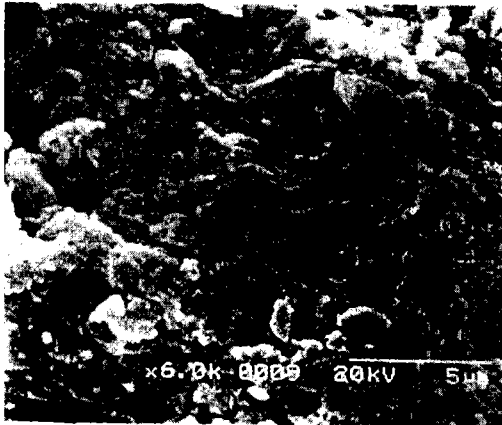
Table 1. Physical properties and chemical components of bentonite

Physical properties	Sepecific gravity			Swell index(ml/gr)			Liquid limit (%)			
	2.60			13.5			400			
Chemical components (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Others	Total	pH
	63.60	17.00	2.78	2.63	3.43	0.76	3.75	6.05	100	11

고, 그 물리적 성질과 화학적 성분은 Table 1과 같으며, Table 2는 벤토나이트 제조회사에

Table 2. Testing items criteria of bentonite for civil engineering works

Testing items	Criteria values
Water content(%)	8~12
Minimum dry density(gf/cm^3)	0.75~0.85
Passing percent by No. 200 sieve (%)	Min. 75
pH	8.5~10.5
Concentration(kg/m)	45
Marsh funnel viscosity(s)	Min. 38
Filtrate loss(cc/30min)	Max. 15



(a) (times 6,000)



(b) (times 20,000)

Photo 1. Electron photomicrographs of structure of bentonite used

서 제시한 토목공사에 사용하기 위한 벤토나이트의 시험 항목의 기준을 소개한 것이다.

나. 모래

모래-벤토나이트 혼합물 조제용 모래는 경북 성주 부근의 낙동강 하상에서 채취하였으며, 그 입도 분포곡선은 Fig. 1과 같이 비교적 입도가 균등한 편에 속하여 간극이 큰 것으로 분석되어 모래속으로 벤토나이트의 침입이 용이할 것으로 생각되며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

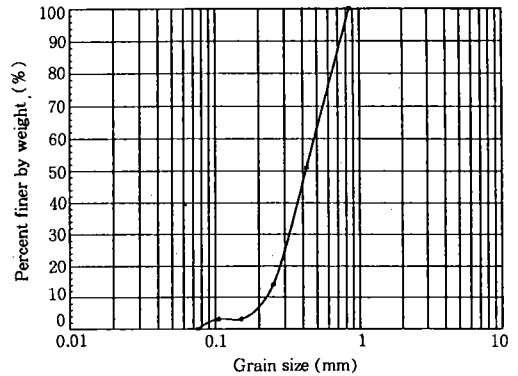


Fig. 1. Grain size distribution curve of sand used

Table 3. Physical properties of sand used

Specific gravity (G_s)	Dry density (gf/cm)	Coefficient of permeability (cm/sec)	Coefficient of uniformity (C_u)	Coefficient of curvature (C_c)
2.61	1.59	1.8×10^{-2}	2.3	1.0

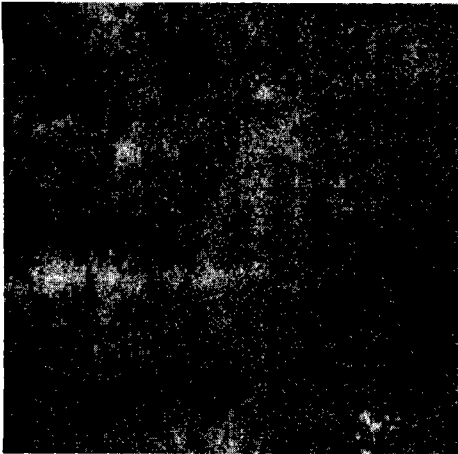
2. 실험방법

가. 모래-벤토나이트 혼합물의 제조

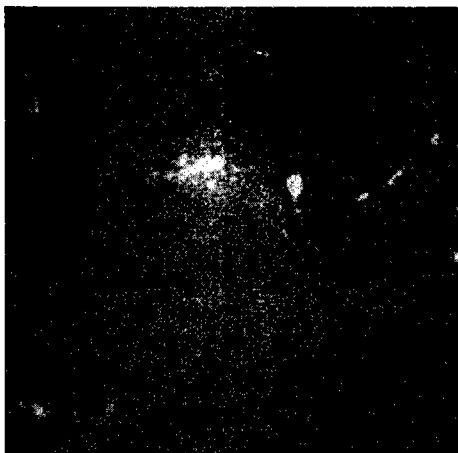
모래-벤토나이트 혼합물의 제조 방법은 건조한 모래와 벤토나이트를 중량비로 혼합한 후 물을 가하여 혼합하는 방법과 습윤한 모래에 건조한 벤토나이트를 혼합하면서 물을 가하는 방법이 있으며, 두 방법 모두 다짐시험

결과가 같다는 Kenny²⁰⁾의 연구 결과에 따라 본 연구에서는 전자의 방법을 이용하여 증량 비로 각각 4, 8, 12, 16 및 20%의 벤토나이트를 모래에 혼합한 5종류의 시료를 제조하여 실험에 사용하였다.

Photo 2는 모래-벤토나이트 혼합물의 입자 구조를 전자현미경으로 촬영한 것으로 혼합물의 건조상태(a)의 경우는 벤토나이트의 matrix(미세한 입자)에 의하여 분리된 각형(角形)의 석영모래와 가는 모래 입자이고, 수분



(a) Dried sand-bentonite mixture



(b) Compacted sand-bentonite mixture with water

Photo 2. Electron photomicrographs of structure of sand-bentonite mixtures

을 가한 후 다진 상태(b)의 경우는 벤토나이트가 팽창하여 모래의 간극을 채운 채움재로서의 역할을 한 것으로 보인다.

나. 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐 시험 방법

모래-벤토나이트 혼합물의 다짐시험은 벤토나이트 함량별로 KSF 2312의 표준 다짐 시험방법으로 실시하였다. 시험용 모래-벤토나이트 혼합물 공시체는 다짐을 95%이상으로 최적 함수비보다 2~3% 습윤측에서 제조하였으며, 성형된 공시체는 최소 7일의 양생기간이 지난 후 실험을 실시하였다.

다. 모래-벤토나이트 혼합물의 일축압축강도 시험 방법

모래-벤토나이트 혼합물의 일축압축 강도 시험은 직경 5cm, 높이 10cm의 시료를 제작하여 KSF 2314의 방법에 의하여 변형을 1%/min로하여 7, 14 및 24일 간 양생한 후 실시하였다.

라. 모래-벤토나이트 혼합물의 전단시험방법

전단시험 방법은 다짐시험에서 얻은 최적함수비 상태의 시료를 직경 6cm, 높이 2cm로 성형하여 KSF 2343의 방법에 따라 1mm/min의 전단속도로 실험을 하였다.

마. 모래-벤토나이트 혼합물의 삼축압축시험 방법

삼축압축시험은 다짐시험에서 얻은 최적함수비 상태의 시료를 KSF 2346의 방법에 따라 직경 3.5cm, 높이 7cm로 성형하여 UU-시험으로 실시하였다.

바. 모래-벤토나이트 혼합물의 압밀시험 방법

압밀시험은 다짐시험에서 얻은 최적함수비 상태의 시료를 KSF 2316의 방법에 따라 벤토나이트 함량을 4%, 12% 및 20%로 한 3가지 시료에 대하여 직경 5cm, 높이 2cm로

성형하고, 압밀하중을 0.5kgf/cm^2 부터 9kgf/cm^2 까지 증가시키면서 실험을 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐 특성

Fig. 2는 5종류의 모래-벤토나이트 혼합물 시료에 대한 다짐곡선으로서 벤토나이트 함량의 증가에 따라 최대 건조밀도 $1.58\sim 1.64\text{g/cm}^3$ 에 상당하는 최적함수비는 약 $17.10\sim 18.52\%$ 로 추정되었다. 그리고 최대건조밀도와 최적함수비는 Table 4 및 Fig. 3에서와 같이 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 벤토나이트 함량 20%에서 최대 건조밀도의 값이 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 벤토나이트 입자가 많아지면 느슨한 모래의 간극을 채워주는 벤토나이트의 양이 많아지고, 동시에 수분을 흡수한 벤토나이트

이트의 팽창성에 의하여 벤토나이트의 체적이 증가하기 때문에 생기는 현상에 따라 혼합물의 건조밀도가 증가한 것으로 분석된다. 즉 벤토나이트 함량의 증가에 따라 모래의 간극 속에 미세한 벤토나이트 입자가 채워지고 벤토나이트가 물을 흡수하여 팽창하므로 조밀해지기 때문에 생기는 현상이라고 추정된다. Garlanger¹²⁾ 등의 연구에서도 본 연구와 비슷한 결과를 제시하고 있으며, Kenny²⁰⁾는 벤토나이트 함량이 20% 이상이 되면 벤토나이트의 체적 팽창이 과대하게 되어 최대 건조밀도의 값은 점차로 감소하는 현상을 보인다고 하였다. 즉 20% 이상의 벤토나이트 함량은 혼합물의 다짐특성에 크게 영향을 주지 않는다는 것으로 해석할 수 있으므로 모래-벤토나이트 혼합물의 다짐특성이 지반 재료로의 이용 가

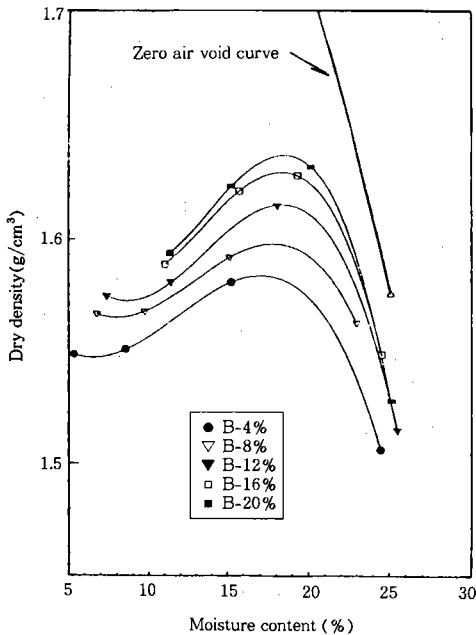


Fig. 2. Compaction curves of various sand-bentonite mixtures

Table 4. Compaction test results of sand-bentonite mixtures

Bentonite content (%)	Maximum dry density (g/cm^3)	Optimum moisture content (%)
4	1.584	17.10
8	1.598	17.88
12	1.615	18.40
16	1.629	18.44
20	1.637	18.52

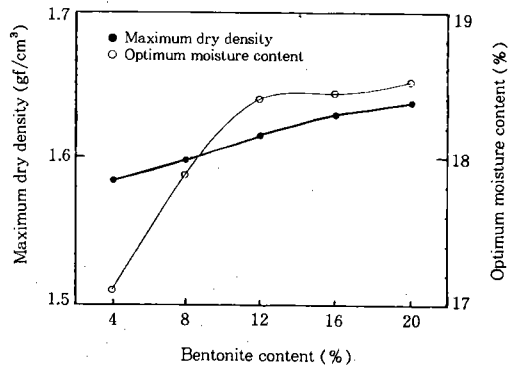


Fig. 3. Variations of maximum dry density and optimum moisture content of sand-bentonite mixtures

능성을 고려한다면 모래-벤토나이트 혼합물의 사용에 벤토나이트 함량은 20%를 초과하지 않는 것이 좋을 것으로 판단된다.

2. 모래-벤토나이트 혼합물의 일축 압축강도 특성

모래-벤토나이트 혼합물의 일축 압축강도의 변화특성은 Fig. 4와 같이 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 일축 압축강도가 거의 비례적으로 크게 증가하는 경향을 보였으나, 양생기간(curing period)에 따라서는 별 차이가 없었으며, 벤토나이트 함량의 증가에 따라 7일 양생에서 $0.27 \sim 1.26 \text{ kgf/cm}^2$, 28일 양생에서 $0.22 \sim 1.49 \text{ kgf/cm}^2$ 로 측정되었다. 이것은 벤토나이트의 텍스트로피(Thixotropy) 현상에 의한 영향인 것으로 판단된다.

그리고 벤토나이트 함량에 따른 일축 압축강도의 평균치와의 관계는 Fig. 5와 같다.

모래-벤토나이트 혼합물의 벤토나이트 함량에 따른 축변형률과 일축 압축강도의 변화는 Fig. 6과 같이 모든 혼합물이 축변형률 1~2%

부근에서 일축압축강도의 최대치가 발현되었으며, 축변형률 2% 이상에서는 일축압축강도의 값이 점차적으로 감소하여 0에 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 혼합물의 탄성이 증가된다고 추정할 수 있다. 그리고 벤토나이트 함량이 증가함에 따라 변형률 1~2%에서는 일축압축강도의 값에 다소 큰 차이가 있었으나, 변형률이 증가할수록 일축압축강도의 값은 0에 수렴하는 것으로 측정되었다.

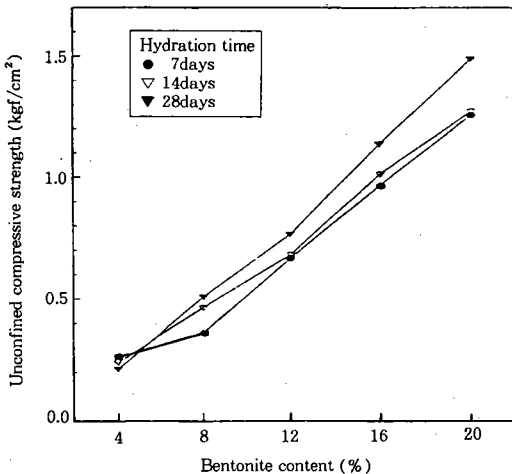


Fig. 4. Variations of unconfined compressive strength of sand-bentonite mixtures according to curing period

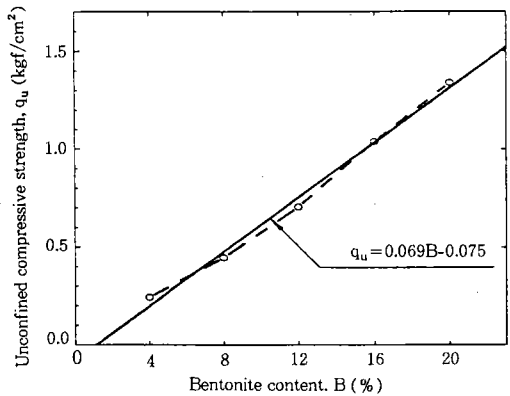


Fig. 5. Relationship between average unconfined compressive strength of sand-bentonite mixtures and bentonite contents

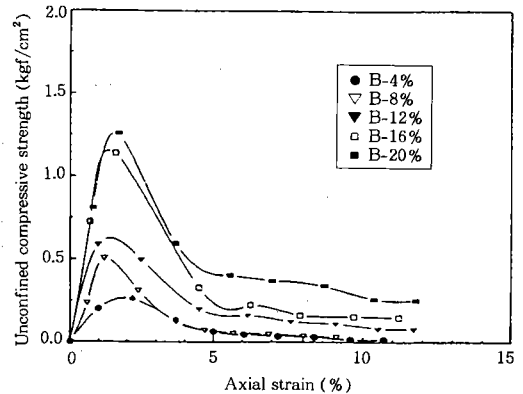


Fig. 6. Relation between unconfined compression strength and axial strain of sand-bentonite mixtures

3. 모래-벤토나이트 혼합물의 전단 특성

모래-벤토나이트 혼합물에서 연직응력을 1.0 kgf/cm²으로 하였을 때 벤토나이트 함량에 따른 축변형율과 전단응력의 관계는 Fig. 7과 같이 벤토나이트의 함량에 거의 관계없이 축변형율 8~15% 정도에서 파괴되었고, 그 때 전단응력의 최대치는 약 0.70 kgf/cm²로 추정되었다. D'Appolonia⁸⁾의 연구에서 흙-벤토나이트 혼합물에 대한 비배수 전단시험 결과 축변형율 약 5~10%에서 파괴된다고 보고한 내용과 비슷함을 알 수 있다.

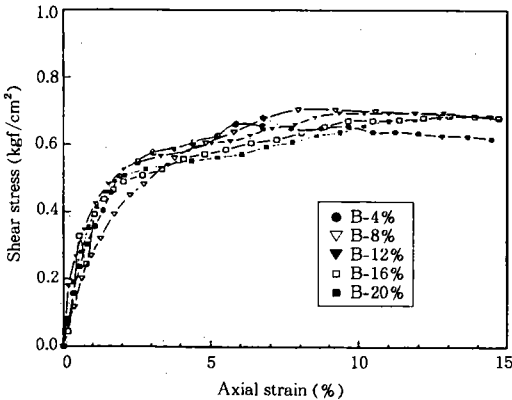


Fig. 7. Relation between shear strength and axial strain of sand-bentonite mixtures

구속응력의 증가에 따른 축차응력의 변화는 Fig. 8과 같이 벤토나이트 함량에 거의 관계없이 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 벤토나이트가 모래속에서 점착력을 증가시키기 때문에 발생하는 현상으로 사료된다.

4. 모래-벤토나이트 혼합물의 강도정수

직접 전단시험과 삼축 압축시험에 의하여 모래-벤토나이트 혼합물의 강도정수를 구한 결과 Fig. 9와 같이 벤토나이트의 함량이 증가

함에 따라 전단시험시 점착력은 조금씩 증가되고, 내부마찰각은 조금씩 감소하는 현상을 보이고 있으나, 삼축압축 시험시는 점착력은 크게 증가되고 내부마찰각은 크게 감소되는 경향을 보이고 있다.

즉 직접 전단시험과 삼축압축시험에 의한 결과 벤토나이트 함량이 4%일 때, 점착력은 각각 0.00 kgf/cm², 0.036 kgf/cm², 내부마찰각은 각각 35.3°, 32°이었으며, 벤토나이트 함량

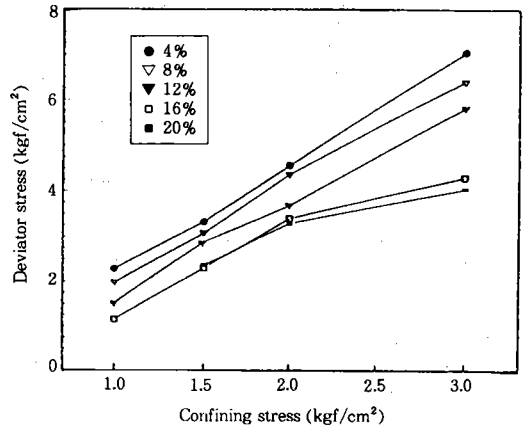


Fig. 8. Relation between deviator stress and confining stress of sand-bentonite mixtures

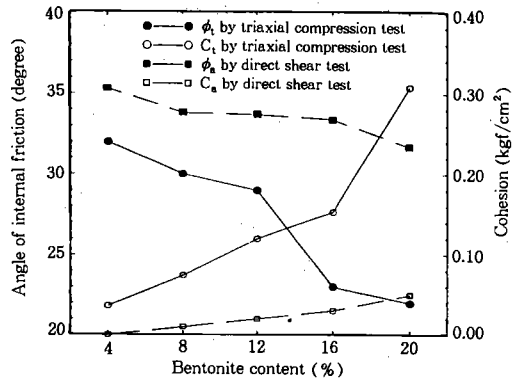


Fig. 9. Variations of strength parameters of sand-bentonite mixtures by direct shear test and triaxial compression test

이 20%일 때 점착력은 각각 0.05kgf/cm^2 , 0.31kgf/cm^2 , 내부마찰각은 각각 31.7° , 22° 로 측정되었으며, 삼축압축 시험결과 내부마찰각이 $30\sim 35^\circ$ 라고 보고한 D'Appolonia⁸⁾의 연구결과와 거의 비슷하게 측정되었다.

5. 모래-벤토나이트 혼합물의 압밀 특성

Fig. 10은 벤토나이트 함량이 4, 12 및 20%인 3가지의 모래-벤토나이트 혼합물에 대한 압밀곡선으로 압밀압력이 0.5kgf/cm^2 일 때 초기 간극비는 $0.668\sim 0.686$ 이었으나, 압밀시험 완료 후 하중 제거시 팽창성에 의하여 간극비는 $0.60\sim 0.65$ 로 매우 적은 것으로 나타났다. Fig. 10으로부터 구한 모래-벤토나이트 혼합물의 압축계수와 압축지수의 값도 Table 5와 같이 벤토나이트의 함량이 증가함에 따라 미소하게 증가하는 것으로 나타났다.

모래-벤토나이트 혼합물의 압밀압력과 간극

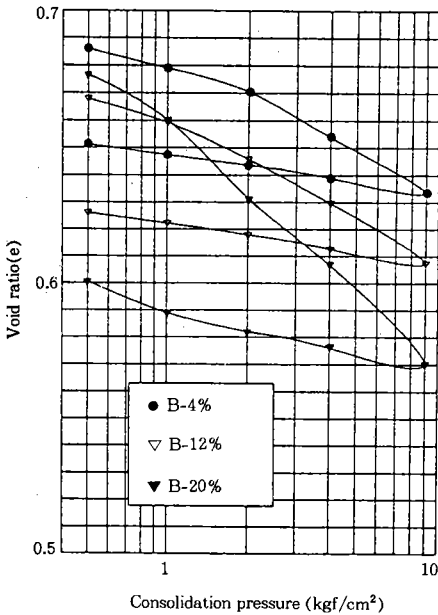


Fig. 10. Consolidation curves of various sand-bentonite mixtures

비 변화는 Fig. 11과 같이 벤토나이트 함량은 그 변화에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다, 압밀압력과 $\frac{e}{e_0}$ 의 값은 서로 높은 상관성을 가지고 있으며, 압밀압력이 증가함에

Table 5. Coefficient of compressibility and compression index of sand-bentonite mixtures

Bentonite content (%)	Classification	Coeff. of compressibility (cm^2/gf)	Compression index (C_c)
4		1.3×10^{-5}	0.057
12		1.5×10^{-5}	0.059
20		2.9×10^{-5}	0.089

Table 6. Equations of consolidation pressure and void ratio according to bentonite content

Bentonite content (%)	Equation	
4	$\frac{e}{e_0} = 0.9917 - 0.0087 \log p$	$r = 0.96$
8	$\frac{e}{e_0} = 0.9845 - 0.0099 \log p$	$r = 0.94$
12	$\frac{e}{e_0} = 0.9768 - 0.0172 \log p$	$r = 0.91$

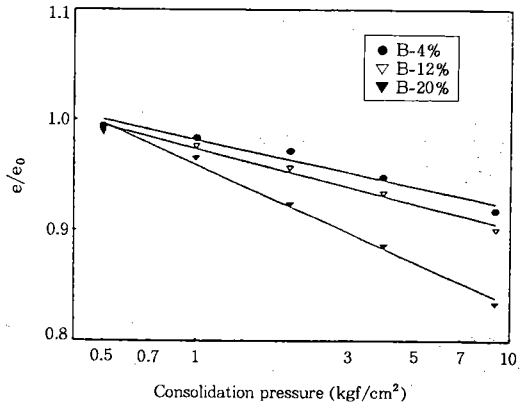


Fig. 11. Relation between generalized state parameter and consolidation pressure of sand-bentonite mixtures

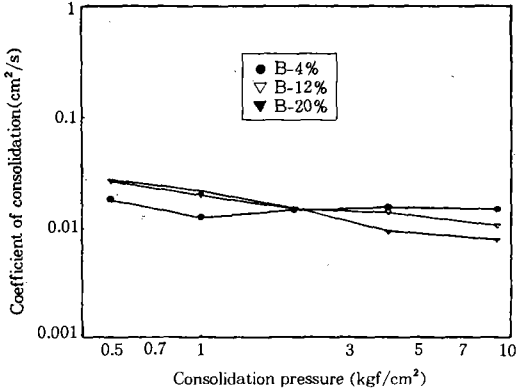


Fig. 12. Relation between coefficient of consolidation and consolidation pressure for sand-bentonite mixtures

Table 7. Coefficient of consolidation of sand-bentonite mixtures according to consolidation pressure

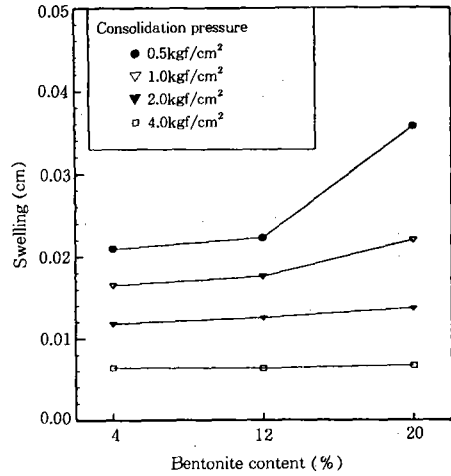
Consolidation pressure (kgf/cm ²)	Classification	Coefficient of consolidation (cm ² /s)		
		Bentonite content (%)		
	4%	12%	20%	
0.50		0.0180	0.0264	0.0275
1.00		0.0124	0.0199	0.0218
2.00		0.0455	0.0148	0.0152
4.00		0.0153	0.0138	0.0094
9.00		0.0148	0.0105	0.0078

따라 $\frac{e}{e_0}$ 의 값은 직선적으로 감소하는 경향을 보였고, 그 관계식은 Table 6과 같다.

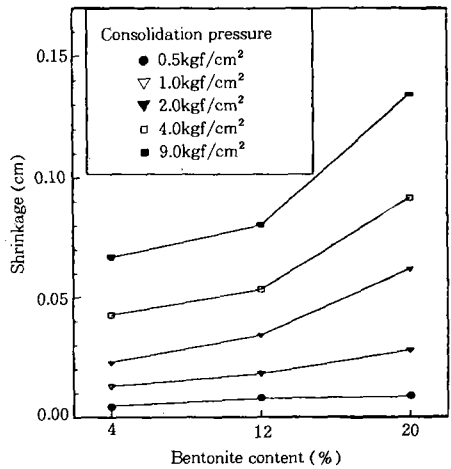
압밀압력과 압밀계수의 관계는 모래-벤토나이트 혼합물의 압밀계수를 \sqrt{t} -법에 의하여 계산한 결과 Fig. 12와 같이 압밀압력의 증가에 따라 압밀계수의 값은 대체로 감소하는 경향을 보였으며, 벤토나이트 함량의 증가에 따라서는 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

6. 모래-벤토나이트 혼합물의 팽창 수축 특성

모래-벤토나이트 혼합물의 팽창, 수축 특성은 벤토나이트 함량의 증가에 따라 Fig. 13과



(a) Variations of swelling



(b) Variations of shrinkage

Fig. 13. Variations of swelling and shrinkage of sand-bentonite mixtures by bentonite content

같이 대체적으로 미소하게 증가하는 현상을 보였으며, 압밀압력이 0.50~1.00kgf/cm²으로 낮은 경우에는 팽창, 수축에 거의 변화가 없었으나, 압밀압력이 2.00~9.00kgf/cm²으로 높은 경우에는 그 변화의 폭이 다소 증가하는 경향을 보였다. 그리고 압밀하중이 증가함에 따라 압밀계수는 미소하게 감소하는 경향을

보이고 있으나, 이것은 벤토나이트가 안정화되는 과정에서 생기는 일시적인 현상으로 추정된다.

이 연구는 1995년도 경북대학교 공모 과제 연구비 지원에 의한 것임

IV. 결 론

벤토나이트 함량에 따른 5종류의 모래-벤토나이트 혼합물에 대한 역학적, 지반공학적 특성을 조사하기 위하여 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모래-벤토나이트 혼합물의 최대 건조밀도와 최적 함수비는 벤토나이트 함량의 증가와 양생기간에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 최대 건조밀도 $1.58 \sim 1.64 \text{g/cm}^3$ 에 상당하는 최적 함수비는 약 17.10~18.52%이었다.

2. 모래-벤토나이트 혼합물의 일축 압축강도는 벤토나이트 함량의 증가에 따라 현저히 증가되며, 양생기간에 따라서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

3. 모래-벤토나이트 혼합물의 전단특성은 벤토나이트 함량에 거의 관계없이 축변형률 8~15% 정도에서 파괴되었으며, 전단응력의 최대치는 약 0.70kgf/cm^2 이었다.

4. 모래-벤토나이트 혼합물의 강도정수는 벤토나이트 함량의 증가에 따라 전단시험에서 점착력과 내부마찰각은 미소하게 감소하는 경향을 보였으며, 삼축압축시험에서는 점착력은 크게 증가되고, 내부마찰각은 크게 감소하는 경향을 보였다.

5. 압밀압력의 증가에 따른 모래-벤토나이트 혼합물의 초기 간극비는 0.668~0.686으로 거의 변화가 없었으며, 팽창성의 변화도 0.60~0.65로 매우 적었다.

6. 모래-벤토나이트 혼합물의 팽창, 수축 특성은 벤토나이트 함량의 증가에 따라 미소하게 증가하는 현상을 보였다.

참 고 문 헌

1. Arnold M.(1965) : The Effect of Surface-Ion Attractive Forces on the Permeability of Bentonite, Proc. of the 6th ICSMFE, Vol. 1, pp. 12-16.
2. Boonsinsuk P., Pulles B. C., Kjartanson B.H., and Dixon D. A. (1991) : Prediction of Compactive Effort for a Bentonite-Sand Mixture, 44th Canadian Geotechnical Conference, Vol. 2, pp. 64-1~64-12.
3. Bucher F. and Mayor P. A. (1989) : Medium-scale experience on highly-compacted bentonites, Proc. of the 12th ICSMFE, Vol. 1, pp. 583-585.
4. Chan Wah-Tak and Daniel C. Hsu(1994) : Design and construction of Soil-Bentonite slurry Wall, First Geotechnical Congress on Environmental geotechniques, pp. 161-166.
5. Chapuis Robert P.(1990) : Sand-bentonite liners : field control methods, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 2, pp. 216-223.
6. Chapuis Robert P.(1990) : Sand-bentonite liners : predicting permeability from laboratory tests, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, No. 1, pp. 47-57.
7. Chapuis Robert P., Jacques Lavoie, and Doris Girard(1992) : Design, construction, performance, and the soil-bentonite liners of two lagoons, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 29, pp. 638-649.

8. D'Appolonia David J.(1980) : Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoffs, J. of the Geotechnical Eng. Division, ASCE, Vol. 106, No. GT4, pp. 399-417.
9. Dixon D. A., Wan A. W. L., Graham J., and Kjartanson B. H. (1991) : Assessing Pressure-Volume Equilibrium in Bentonite-based Materials, Canadian Geotechnical Society, 44th Canadian Geotechnical Conference, Vol. 2, No. 61 pp. 61-1~61-7.
10. Edil Tuncer B. and Muhanna Ahmed S. H. (1992) : Characteristics of a Bentonite Slurry as a Sealant, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 15, No. 1, pp. 3-13.
11. Edil Tuncer B. and Erickson Allan E. (1985) : Procedure and Equipment Factors Affecting Permeability Testing of a Bentonite-Sand Liner Material, ASTM STP 874, pp. 155-170.
12. Garlanger John E., Cheung Francis K., and Tannous Bishar S. (1987) : Quality Control Testing for a Sand-Bentonite Liner, Geotechnical Special Publication, Vol. 9, No. 13, pp. 488-499.
13. Graham J., Saadat F., Gray M. N., Dixon D. A., and Zhang Q. Y. (1988) : Strength and Volume Change Behavior of a Sand-Bentonite Mixtures, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 26, pp. 292-305.
14. Haug M.D. and Kozicki P. (1983) : Selection criteria for slurry trench cutoffs, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 527-537.
15. Haug M. D., Barbour S. L., and Pierre Longval(1988) : Design and construction of a prehydrated sand-bentonite liner to contain brine, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 15, pp. 955-963.
16. Haug M. D., Barbour S. L., and Tang R. (1990) : Hydraulic Performance of slurry Trench backfill in Brine Environments, Canadian Society for Civil Engineers Annual Conference.
17. Haug M. D. and Lionel C. Wong(1991) : Impact of molding water content on hydraulic conductivity of compacted sand-bentonite, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 29, pp. 253-262.
18. Haug M. D. and Brigitte Boldt-Leppin (1993) : Symposium on Hydraulic Conductivity and Contaminant Migration.
19. Hermann J. G. and Elsbury B. R. (1987) : Influential factors in soil liner for waste disposal facilities, Geotechnical Special Publication, Vol. 9, No. 13, pp. 522-536.
20. Kenney T. C., Veen W. A., Swallow M. A., and Sungaila M. A. (1991) ; Hydraulic Conductivity of Compacted bentonite-Sand, Canadian geotechnical Society, 44th Canadian Geotechnical Conference, Vol. 2, pp. 63-1~63-10.
21. Kozicki Paul, Steven Harty, and John P. Kozicki(1994) ; First Int'l Congress on Environmental Geotechnics, pp. 713-719.
22. Leroueil S., Le Bihan J. P., and Bouchard R. (1992) : Remarks on the design of clay liners used in lagoons as hydraulic barriers, Canadian geotechnical Journal, Vol. 29, pp. 512-515.
23. Narasimha Raju P. S. R., Pandian N. S., and Nagaraj T. S. (1995) : Analysis and Estimation of the Coefficient of Consoli-

- ation, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 18, No. 2, pp. 252-258.
24. Pandian N. S., Nagaraj T. S., and Raju P. S. R. N. (1995) : Permeability and Compressibility Behavior of Bentonite-Sand/Soil Mixtures, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 18, No. 1, pp. 86-93.
25. Reschke A. E. & Haug M. D. (1991) : The physicochemical properties of bentonites and the performance of Sand-bentonite mixtures, Canadian Geotechnical Society 44th Canadian Geotechnical Conference, Vol. 2, pp. 62-1~62-10.
26. Sridharan A., Prakash K., and Asha S. R. (1995) : Consolidation behavior of soils, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 13, No. 3, pp. 179-187.
27. Stark T. D. and Poeppl A. R. (1994) : Landfill Liner Interface Strengths from Torsional-Ring-Shear Tests, Journal of geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 3, pp. 597-615.
28. Van Ree C. C. D. F., Weststrate F. A., Meskers C. G., and Bremmer C. N. (1992) : Design aspects and permeability testing of natural clay and sand-bentonite liners, Geotechnique, Vol. 42, No. 1, pp. 49-56.
29. Wan A. W. L., Graham J., and Gray M. N. (1990) : Influence of Soil Structure on the Stress-Strain Behavior of Sand-bentonite Mixtures, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 13, No. 3, pp. 179-187.