

굴패각을 포함한 혼합토의 전단·변형 특성 평가를 위한 균질화법의 적용

Application of the Homogenization Method for Estimation of the Shear Characteristics in Composite Soil Including an Oyster Shells.

이 기 호¹⁾ Lee, Ki-Ho
박 준 범²⁾ Park, Jun-Beum

Abstract

In order to utilize mass of oyster shells for a partial substitute material for reclamation, the shear characteristics of dredged sludge mixed with oyster shells were investigated. The apparent modulus of elasticity of this mixture obtained from the triaxial compression tests and utilized to characterize the apparent modulus of elasticity of the oyster shells by carrying out some numerical analyses based upon the homogenization theory. From the test results, it is verified that modulus of elasticity of dredged clay is improved by mixing with oyster shells. The homogenization method for deducing apparent modulus of elasticity of oyster shells, which can consider micro-structure of mixed soil, is introduced. The elastic modulus is affected from the skeleton structure of oyster shell. The effect of 49kPa is bigger than that of 98kPa.

요 지

굴패각을 혼합한 해성점토를 매립재료로 활용하기 위한 기초 자료를 얻기 위해, 혼합토의 전단·변형특성을 검토했다. 또한 삼축압축실험과 균질화이론을 근거로 한 수치해석에 의해 혼합재(굴패각)의 겉보기 탄성계수를 구하기 위한 방법을 제안했다. 일련의 실험결과로부터, 굴패각의 혼합에 의해 점토의 전단·변형특성이 개선됨을 확인했고, 굴패각의 겉보기 탄성계수를 구하기 위해 미시구조를 검토할 수 있는 균질화법을 도입했다. 굴패각의 겉보기 탄성계수는 굴패각의 골격구조의 변화에 기인해 변화하고 선행압밀응력이 작은 경우에 그 영향이 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Keywords : Homogenization method, Mixed soil, Oyster shells, Triaxial compression test

1. 서 론

지반의 역학거동은 흙을 구성하고 있는 요소의 속성을 통해 예측이 가능한 것으로 취급되어져 왔다. 일반적으로, 흙은 점성토와 비점성토의 두 가지 형태로 구분되고 있다. 또한, 현장 기술자들은 소성지수와 같은 적당한 토질지수를 가지고 흙의 종류를 판단해왔다. 그

러나, 실제 현장에서는 점성과 비점성의 중간적 특성을 나타내는 경우가 적지 않다. 이러한 흙들은 중간(intermediate soil) 또는 혼합토(mixed soil)로 분리되고 있다. 성질이 다른 복수의 흙으로 구성된 혼합토는 입도분포에 의해 압축특성이나 다일러탄성(dilatancy) 특성이 변화한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그리고, 혼합토의 역학특성은 세립분 함유율 및 골격구조에 의해

* 정회원, 서울대학교 대학원 박사 후 연수과정
* 정회원, 서울대학교 공과대학 지구환경 시스템공학부 조교수

영향을 받기 때문에, 기존의 연구는 혼합토의 변형거동에 미치는 입도분포의 영향을 주로 고찰해 왔다. 또한 이같은 혼합토에 대한 기존의 연구는 모래, 점토 등과 같이 자연지반에 존재하는 흙의 범위에서만 수행되어 왔다. 그러나, 최근 건설 자원의 고갈, 건설비용의 상승, 환경보존 및 폐기물 활용에 대한 사회적 요구의 증가 등을 이유로 실제 자연 지반에 존재하지 않는 이물질(강체)을 포함한 혼합토가 발생하기 시작했다. 이러한 이물질들은 지금까지 대표적 혼합토로 취급되어 온 모래와 점토로 구성된 혼합토와는 달리 물리적, 역학적 특성의 차이가 큰 재료로 구성된 혼합토가 대부분이다. 또한, 자연지반과 비교해 불분명한 역학거동을 나타내는 경우가 많기 때문에, 이들의 역학특성에 관한 이해와 정량적 평가 방법을 확립하는 것은 지반분야에 있어 새로운 과제로 대두되고 있다.

이와같은 배경에서, 본 연구에서는 준설했던 해성점토와 굴폐각을 혼합하여 직접 매립하는 현장을 연구 대상으로 고려하였다. 해성점토는 비교적 파랑이나 해류가 거세지 않은 항내에 하천으로부터 실려 온 미세한 토립자가 침전하여 형성된 연약지반으로 항만구역의 항로를 매립시키기 때문에, 정기적으로 준설했고 있다. 또한, 점토에 혼합하는 이물질로써 어업계 폐기물인 굴폐각을 활용하고 있다. 일본 동북지역에는 굴폐각이 어업계 폐기물로써 다량으로 방치되어져 있고, 악취의 발생원이 되어 그 유효활용방법의 개발이 요구되어져 왔다. 현재, 굴폐각은 굴채묘 및 비료의 원료로 사용되고 있다. 특히, 지반분야에서는 SCP(sand compaction pile) 공법에서 샌드파일재로 모래와 혼합하여 사용되고 있지만, 그 양은 극히 제한적이기 때문에 좀더 다량의 굴폐

각을 안정적으로 활용하기 위한 방안으로 굴폐각을 준설했던 점토와 혼합하여 직접 매립하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 대형삼축압축시험에 의한 혼합토의 강도·변형특성을 검토하고, 혼합토의 미시구조의 비균질성을 반영할 수 있는 균질화법(Terada, 1996)에 의해 혼합재의 탄성계수를 정량적으로 평가하는 방법을 제안한다. 본 논문은 굴폐각을 매립재료로써 활용하기 위한 기초 자료획득을 목적으로 하고 있다. 특히, 굴폐각을 포함한 혼합토의 강도·변형특성이 순수 점토의 특성과 어떠한 점이 다른가를 중심으로 검토하였다.

2. 혼합토의 강도·변형특성

2.1 삼축 실험

2.1.1 실험 재료

삼축실험에 사용한 점토와 굴폐각의 물리적 특성은 표 1에 정리하였다.

점토는 일본 미야기현의 시오가마항(塩釜港)에서 준설했던 것이고, 초기함수비는 90%, 입도분포는 실트분이 52.5%로 가장 많이 함유되어 있다.

굴폐각은 삼축실험기의 공시체크기의 제약 때문에 2-9.5mm 범위에 분포하도록 파쇄하였고, 입도분포를 균등하게 하기 위해서 2-4.75mm범위 50%와 4.75-9.5mm 범위 50%를 각각 혼합하였다. 혼합방법은 점토의 건조중량을 기준으로 굴폐각 입자를 혼합하였으므로, 혼합률이 증가하면 혼합토의 함수비는 낮아지나 점토의 함수비는 일정하게 유지된다. 그림 1은 파쇄한 굴폐각의 모습을 보여준다. 파쇄한 굴폐각은 박편화 되고, 타원형의 형태를 나타낸다. 또한, 파쇄한 굴폐각 입자층을 통

표 1. 실험재료의 물리적 성질

실험항목		점토	굴폐각
토립자밀도(g/cm ³)		2.538	2.430
액성한계(%)		87	—
소성한계(%)		33	—
소성지수(%)		54	—
최대간극비		—	0.809
최소간극비		—	0.693
입도분포(%)	점토	28.0	(2.0~9.5)mm
	실트	52.5	
	모래	16.5	
	자갈	3.0	

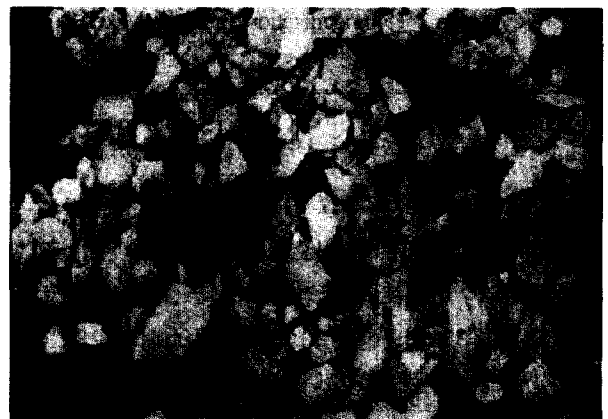


그림 1. 굴폐각의 형상

과시킨 배출수의 수질 실험을 실시한 결과 환경에 유해한 화학성분이 발견되지 않아 매립재로 활용하는데 문제가 없다고 판단된다(미야기현 이시마키시 수산과, 1998).

2.1.2 실험 방법 및 실험 장치

그림 2는 본 연구에 사용한 삼축실험기의 개략도이다. 삼축실험장치는 유압에 의해 제어되는 정적 및 동적실험이 동시에 가능한 실험장치이다. 또한 공시체의 크기는 직경이 100mm, 높이가 200mm이다. 삼축실험과정에서 재하방법은 공시체 하부를 고정된 상태에서 공시체 상부가 상하로 움직이도록 재하하였다. 간극수압계는 공시체 상부 및 하부 2곳에서 측정되도록 제작하였다.

선행압밀을 종료한 공시체를 압밀몰드로부터 꺼내 삼축셀 내에 설치하였다. 선행압밀응력은 49kPa와 98kPa의 2종류로 하였다. 그 이유는 본 실험에서는 매립지반이 받는 하중을 지중 5-15m 정도의 상재하중을 받는 현장을 대상으로 했기 때문이다. 또한, 선행압밀하중을 변화시킨 것은 선행압밀응력과 굴폐각의 혼합비율에 따라 굴폐각 혼합토의 골격구조가 다르게 형성되기 때문에 혼합토의 강도·변형특성이 영향을 받아 다른 거동특성을 나타낼 것이라고 판단되었기 때문이다.

혼합한 굴폐각의 비율은 점토의 건조중량을 기준으로 0, 20, 40, 60, 80%의 5종류를 제작하였다. 실험조건은 등방압밀비배수(\bar{c}_u)이며, 삼축셀에 공시체를 설치시 등방압밀은 19.6kPa, 전단속도는 0.5%/min로 하였다.

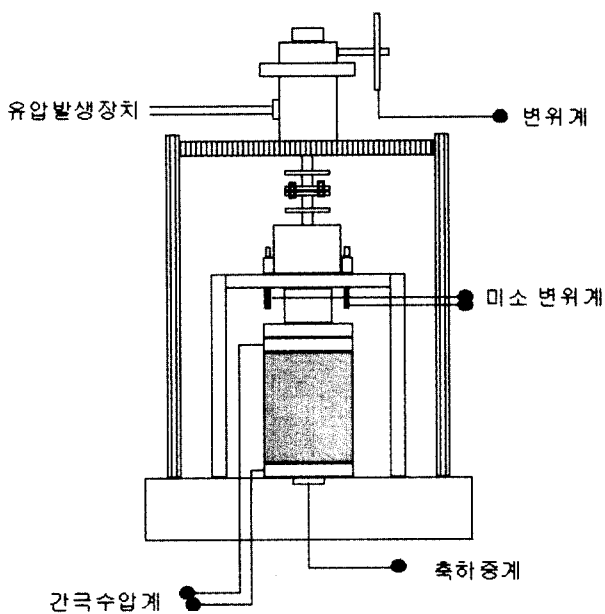
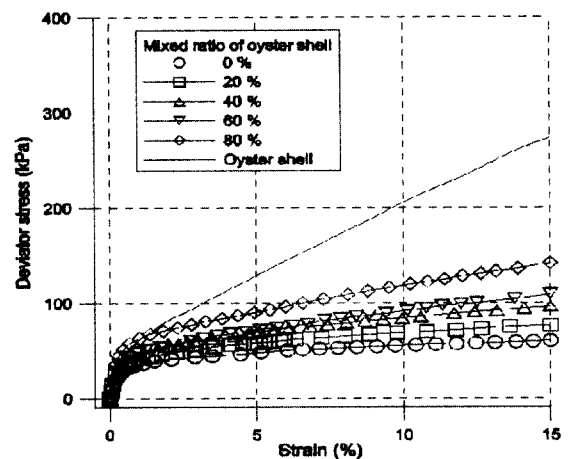


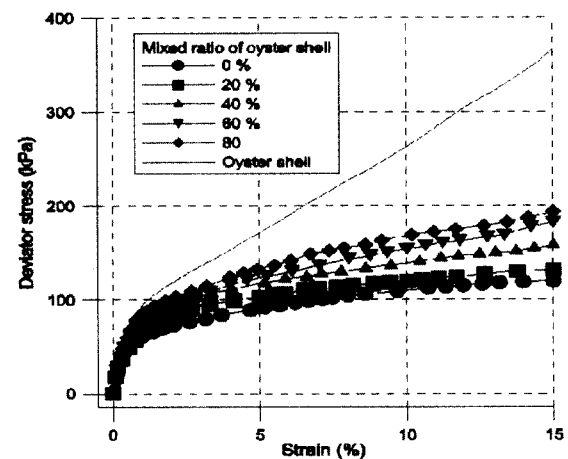
그림 2. 삼축압축실험 장치

2.2 삼축실험의 결과

본 논문에서 혼합토의 전단특성을 구하는 목적은 흙의 안정문제에 있어 여러가지의 응력조건하에서 혼합토가 발휘하는 전단저항이나 변형상태를 정량적으로 고찰하고 혼합물에 따른 변화거동을 예측하려는 데 있다. 또한, 토질 실험규준에 따라 축변형 15%에서의 응력을 혼합토의 강도로 평가하였다. 그리고, 전단초기부터 파괴까지 굴폐각 혼합물에 따른 변형특성을 정량적으로 평가하였다. 그림 3은 선행압밀응력 49kPa와 98kPa의 삼축압축실험으로부터 구한 점토, 굴폐각, 혼합토의 응력-변형 관계를 나타낸 것이다. 혼합토와 점토의 변형곡선을 비교하면, 굴폐각 혼합물이 증가하면 같은 축변형에서 축차 응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 굴폐각만의 응력-변형관계의 변화 경향도 점토 및 혼합토의 변화경향과 유사하지만, 굴폐각만의 전단강도는



(a) 선행압밀응력이 49 kPa인 경우



(b) 선행압밀응력이 98 kPa인 경우

그림 3. 응력-변형 관계

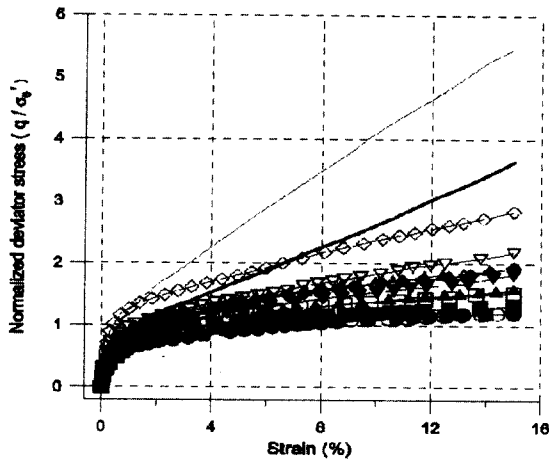


그림 4. 정규화된 응력-변형관계
(범례는 그림 3과 동일)

점토의 강도보다 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 그리고, 선행압밀응력의 차이가 혼합토의 응력-변형관계에 미치는 영향을 조사하기 위해 초기의 등압 선행압밀응력으로 정규화한 응력-변형관계는 그림 4에 나타내었다. 점토의 응력-변형관계는 초기압밀응력으로 정규화하면 하나의 선으로 일치하는 모습을 보여준다. 이와는 다르게, 굴폐각 및 혼합토의 경우를 보면 선행압밀응력이 작은 경우(49kPa)가 축차응력이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이 관계로부터 굴폐각을 포함한 혼합토는 순수 점토와 달리 선행압밀응력으로 인한 구속압에 의해 발생하는 토립자의 마찰 저항에 지배되지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 굴폐각 입자에 의해 형성된 골격구조의 저항에 의한 영향인 것으로 판단된다. 또한, 이 결과를 공학적 관점으로 판단할 때, 준서점토를 굴폐각 입자와 혼합해 매립하는 경우, 매립심도가 얕은 지반일수록 혼합에 의한 전단강도의 증대효과를 기대할 수

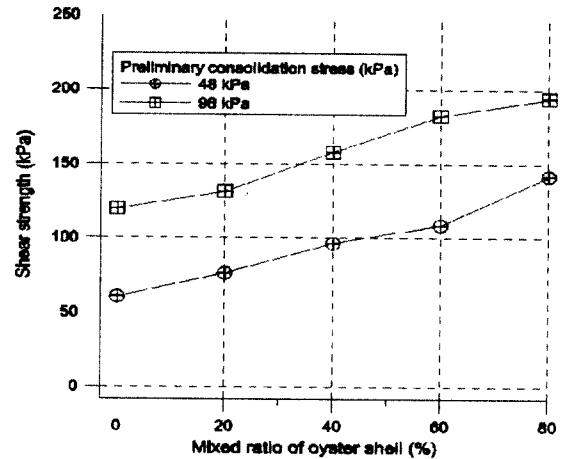


그림 5. 굴폐각의 혼합률과 전단강도

있다는 것을 의미한다.

그림 5는 전단강도(축변형 15%에서의 축차응력)와 굴폐각의 혼합률의 관계를 나타낸 것이다. 굴폐각의 혼합률로 정리한 이유는 혼합토내에서 굴폐각의 골격구조가 혼합토의 전단강도에 미치는 영향을 파악하기 위함이다. 그림 5에서 점토와 혼합토의 전단강도를 비교하면, 굴폐각 혼합에 의해 혼합토의 전단강도가 점토의 강도보다 크게 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 굴폐각의 체적이 증가할수록 혼합토의 전단강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 굴폐각 혼합률이 증가하면 굴폐각 입자와 점토입자의 마찰이 증가하게 되는 것과 굴폐각 골격구조 형성에 의한 저항력 증가등의 메카니즘에 기인한 것이라고 사료된다. 특히, 압밀응력 49kPa에서 혼합률 80%경우, 전단강도의 증가량이 급격히 커지는 것을 통하여 이 혼합토에서 가장 현저하게 골격구조가 형성되는 것을 알수가 있다. 그림 6은 축변형이 15%일 때,

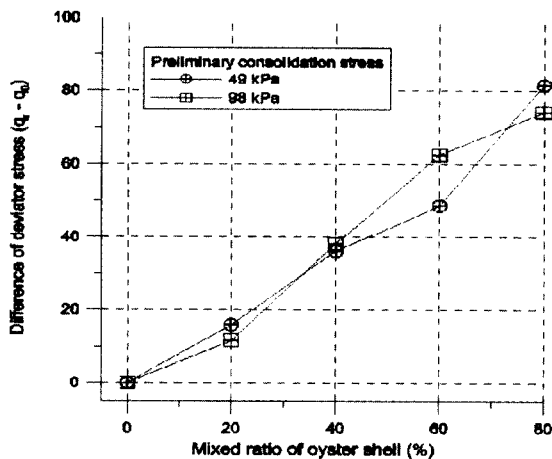


그림 6. 굴폐각의 혼합률과 응력증가량과의 관계

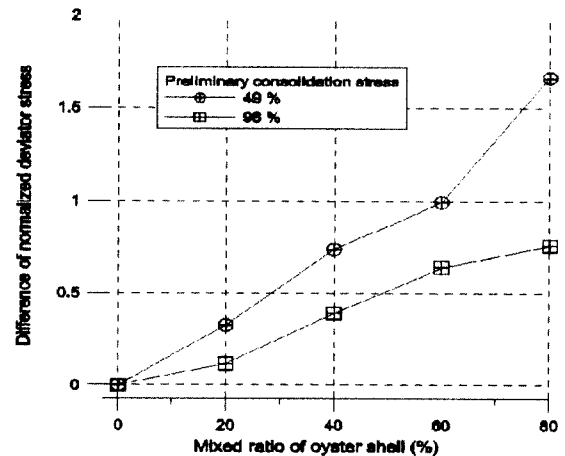


그림 7. 굴폐각의 혼합률과 정규화된 응력증가량과의 관계

혼합토의 전단강도와 점토의 전단강도의 차를 나타낸 것이다. 전단 강도의 차는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta q = q_r - q_0 \quad (1)$$

여기서, q_r 은 혼합토의 전단강도, q_0 는 점토의 전단 강도를 나타낸다.

혼합토의 전단강도는 굴패각 혼합물이 커질수록, 큰 값을 나타내지만 그 증가폭은 선행압밀응력의 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 즉, 이 결과는 점토만을 매립하는 경우와 굴패각과 혼합해 매립하는 경우에 대한 전단강도의 증가율관계를 나타내고 있다. 강도증가의 정도는 선행압밀응력이 작다하더라도 축차응력의 차에는 변화가 없기 때문에 매립심도가 얇은 지반일수록 지반 개량의 효과가 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 선행압밀응력으로 정규화한 그림 4으로도 설명이 가능하다. 그러나, 그림 5와 그림 6에 나타난 결과는 굴패각이 형성하는 골격구조에 의해 발생하는 전단강도에 굴패각 혼합물만이 영향을 미치고, 선행압밀응력은 전혀 영향을 주지 않는다는 것을 의미하지는 않는다. 그림 7에서 알 수 있듯이 축차응력을 선행압밀응력으로 정규화하면 선행압밀응력이 작은 경우가 축차응력이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 같은 굴패각 혼합물이라도 선행압밀응력이 다르면 혼합토의 공시체에 발생하는 침하량이 동일하지 않다. 따라서, 굴패각의 체적비율(V_0/V)이나 점토부분의 간극비가 상이한 것은 당연한 현상이다. 이같은 결과로부터 혼합토의 전단강도는 단순히 선행압밀응력만에 의해 지배되는 것이 아니라 굴패각의 골격구조와 점토부분의 전단강도의 상호작용에 의해 결정된다는 것을 확인할 수 있다.

3. 균질화법에 의한 혼합토의 강도·변형특성의 검토

기존의 많은 연구자들은 혼합토의 강도·변형특성을 파악하기 위해 거시적 탄성계수를 산정하고 고찰하였다. 그러나, 혼합토의 탄성계수가 거시적인 강도·변형 특성을 파악하는 중요한 변수이기는 하지만 미시구조의 변화로 인한 특성까지 규명하기에는 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 삼축실험과 균질화 이론을 조합한 기법을 사용하여, 미시구조가 혼합토의 강도·변형특성에 미치는 영향을 검토하였다. 혼합토

는 비선형적인 강도·변형특성을 나타낸다. 그러나 실험에서 얻어진 혼합토의 비선형성을 균질화 계산에 직접 적용하는 것은 용이하지 않다. 따라서, 본 수치해석에서는 계산상의 간략화를 위해 혼합토를 탄성체로 가정하고 해석을 수행하였다. 전단강도는 축변형 15 %에서의 할선탄성계수(secant modulus)를 구하여 사용하였다. 아울러, 미소 변형 상태에서의 특성을 검토하기 위한 방안으로 축변형 1%에서의 할선탄성계수를 사용하였다. 문장을 단순화하기 위해 할선탄성계수를 이하 탄성계수로 표기한다. 균질화이론에 관한 상세한 내용은 Babuska(1976)에 제시되어 있다.

3.1 해석방법

굴패각 혼합토의 탄성계수는 혼합토를 구성하는 굴패각과 기질부분의 탄성계수 그리고 이들이 구성하는 골격구조로부터 결정된다. 따라서, 굴패각의 겉보기 탄성계수를 산정하기 위해서는 혼합토의 미시구조와 각 구성요소의 계수가 필요하다. 이들 계수 중에서 굴패각의 탄성계수를 직접 실험을 통하여 산정하는 것은 현실적으로 문제점을 내포하고 있다. 따라서, 본 해석에서는 일단 점토의 계수, 혼합토의 미시구조, 그리고, 가정된 굴패각의 탄성계수를 이용하여 수치계산에 의해 혼합토의 탄성계수를 산정하였다. 그 다음, 수치해석과 삼축 실험으로부터 구한 혼합토의 탄성계수가 서로 일치하도록 굴패각의 탄성계수를 변화시켜가며 반복계산을 수행하였다. 최종적으로 얻어진 굴패각의 탄성계수를 본 연구에서는 굴패각의 겉보기 탄성계수로 정의하였

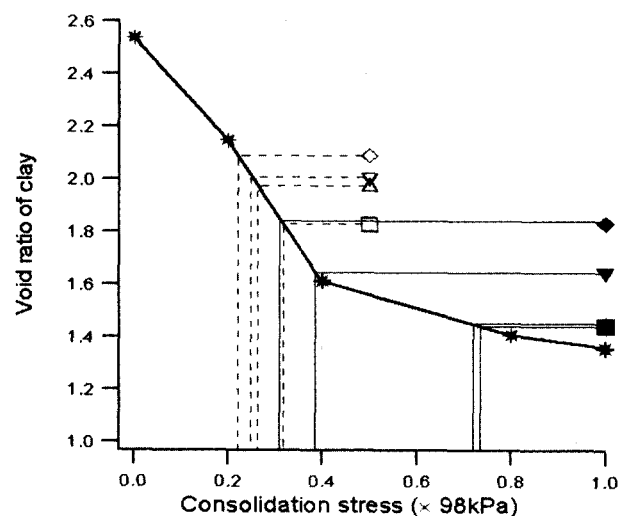


그림 8. 간극비-압밀응력의 관계(그림 3의 범례와 동일)

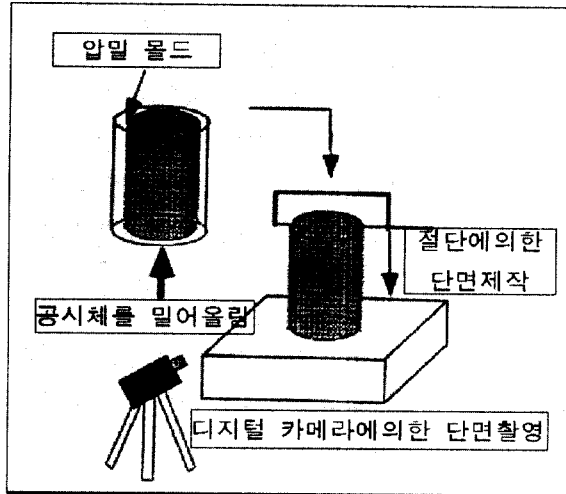


그림 9. 촬영단면의 제작과정

다. 여기서 “겉보기”의 용어를 사용하는 이유는 실제의 3차원구조를 2차원구조의 계산 모델로 설명한 점, 해석상 탄성영역의 문제로서 취급한 점, 점토와 굴패각 경계에서의 역학 변화를 고려하지 않은 점 등 실제의 매카니즘과는 약간의 차이를 갖고 있기 때문이다. 해석상에서 점토의 탄성계수는 실제 점토가 분담해 받고 있는 응력을 고려해서 산정하였다. 굴패각의 혼합비율이 증가하면 점토부분의 체적변화가 적어진다. 이것은 압밀응력의 일부를 굴패각 골격구조가 분담하기 때문이다. 본 연구에서는 예비압밀실험에서 구한 점토의 최종간극비로부터 응력분담율을 구하는 기법을 그림 8과 같이 제안하였다. 한편, 혼합토의 탄성계수는 삼축실험으로부터 구한 응력-변형관계(그림 3)로부터 구할 수 있다. 수치해석으로부터 산정되는 균질화 탄성계수는 식(2)와 같이 구해진다.

$$E^H = \begin{bmatrix} E_{xx} & E_{xy} & E_{xz} \\ & E_{yy} & E_{yz} \\ & & E_{zz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, E^H 는 균질화 탄성계수, E_{xx} 는 수평방향 탄

성계수, E_{yy} 는 상하방향 탄성계수를 나타낸다. 삼축실험의 재하방향이 상하방향이기 때문에 실험에서 얻어지는 탄성계수는 E_{yy} 에 해당된다. 즉, 매트릭스의 E_{yy} 와 삼축실험에서 구한 혼합토의 탄성계수가 일치할 때까지 계산을 반복 수행하였다.

3.2 미시구조의 모델화 및 해석조건

균질화계산에는 직교 2차원으로 계산 모델을 제작하였다. 이것은 3차원 구조를 반영한 모델의 계산이 현실점에서는 기술적 제약이 따르기 때문이다. 말하자면, 3차원구조를 정확히 형상화하는 것이 곤란하며, 재현이 가능하여도 계산기의 제약 때문에 실용적으로 3차원 유한요소계산이 어렵다는 것이다. 그림 9는 공시체 절단 방법 및 사진촬영 방법에 대한 개략적인 모습을 보여주고 있다.

모델의 제작방법은 우선, 압밀이 종료한 공시체를 압밀몰드로부터 꺼내, 그 공시체를 와이어로 절단한 뒤, 그 종단면을 디지털 카메라로 촬영하여, 디지털영상을 얻는다. 공시체를 절단할 때는 굴패각의 배열구조나 각도가 변화하지 않도록 약 5cm 정도 상부로부터 절단하고, 그 절단부분으로부터 손으로 신중히 절단해 나갔다. 이러한 방법으로 얻은 디지털영상은 DIB-modeling 기법에 의해 모델화하였다(이기호, 2000).

그림 10은 DIB-modeling수법에 의한 단위구조(unit cell)의 제작방법을 나타낸 것이다. 모델제작은 단면사진을 근거로 하여 미국보건기구의 NIH image program을 이용하여 그 단면을 디지털화한다. 그리고, 각 구성재료의 분포비율에 의해 굴패각과 기질부분(점토)부분으로 분리한다(thresholding). 이것을 바이너리화해서 계산에 이용하였다. 한편, 완성된 바이너리 데이터가 구성재료의 분포비율과 일치하지 않는 경우는, VFCHG program을 이용하여 조정하였다. Unit cell의 크기는 200

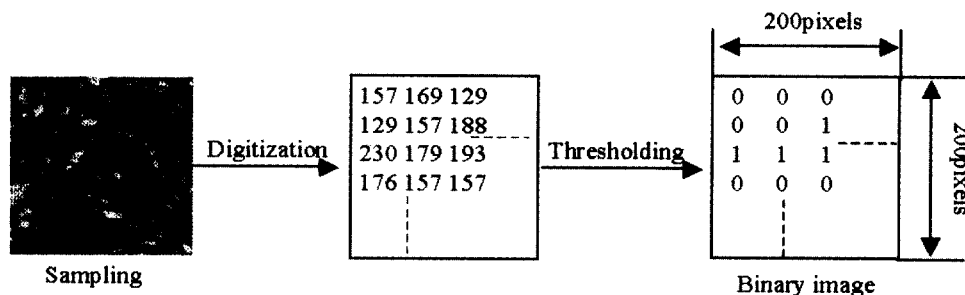


그림 10. Unit cell의 제작방법

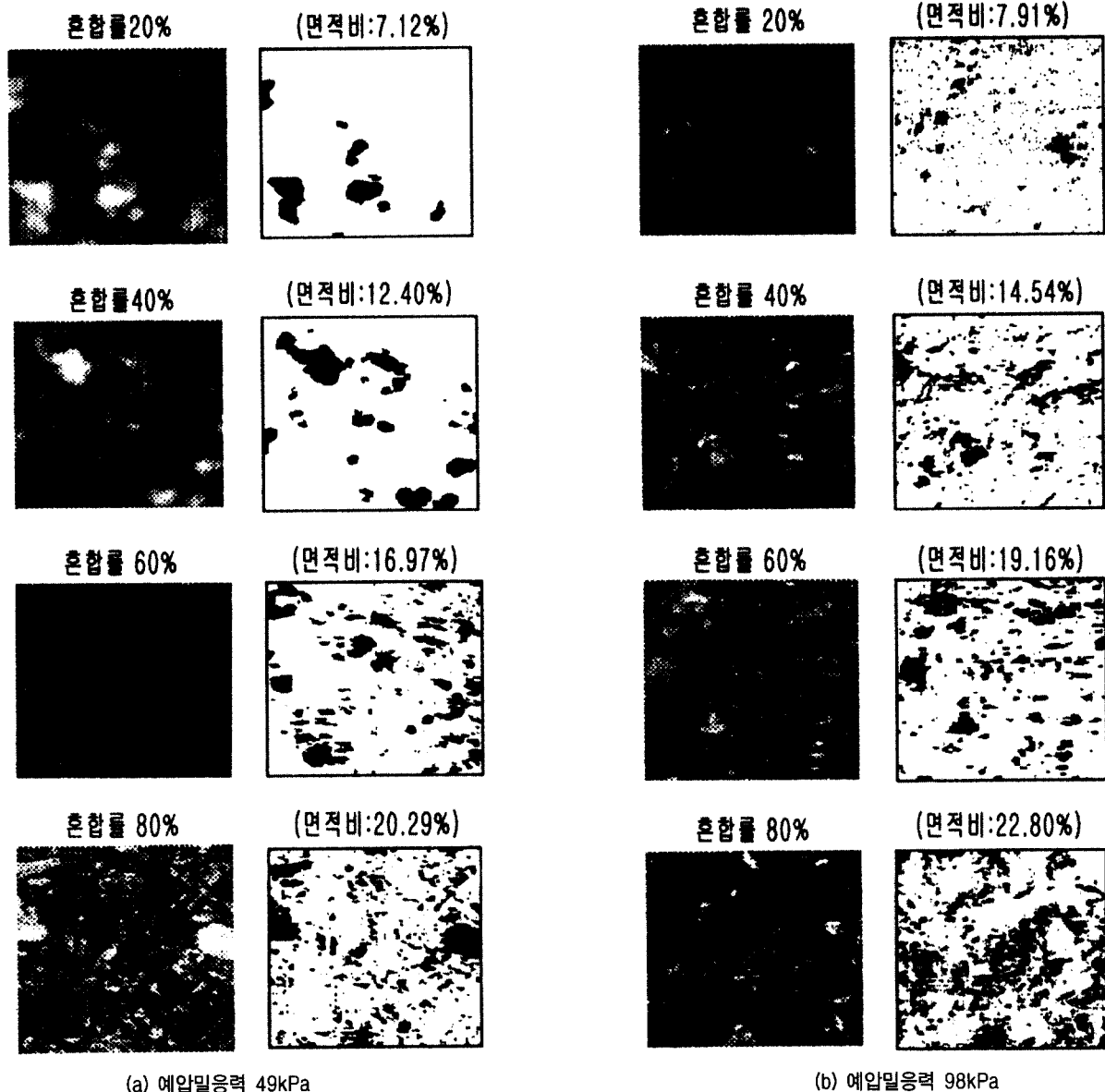


그림 11. Unit cell의 구조

×200 pixel(1 pixel이 1요소에 대응하는 유한요소)의 크기로 모델화하였다(Terada, 1997). 그림 11은 수치해석에 사용한 unit cell구조를 나타낸 것이다.

3.3 균질화법으로부터 구한 굴패각의 겉보기 탄성계수

그림 12는 제안한 기법으로부터 구한 굴패각의 겉보기 탄성계수를 굴패각의 체적비와의 관계로 정리한 것이다. 우선, 변형 15%에서의 겉보기 탄성계수는 굴패각 혼합률이 증가하면, 같이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 그 증가 경향은 선행압밀응력에 따라 많은 차이를 보였다. 압밀응력이 49kPa의 경우 혼합률이 증가하면 탄성계수는 산술적으로 증가하나 혼합률이 60%를 넘으

면 그 증가폭은 더욱 현저하다.

한편, 선행압밀응력이 98kPa의 경우는 굴패각 혼합률이 20%에서 60%까지는 순차적으로 증가하고 60%에서 80%사이에서도 급격한 탄성계수의 변화는 보이지 않는다. 이와 같은 결과는 선행압밀응력에 의해 형성된 굴패각의 골격구조가 다르기 때문이라고 판단된다. 즉, 선행압밀응력 98kPa의 경우 굴패각 혼합률이 20%에서 40%까지는 확실한 굴패각 골격구조가 형성되지 않은 것으로 판단된다. 또한 굴패각의 겉보기 탄성계수는 선행압밀응력이 49kPa의 경우가 98kPa인 경우보다 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 수치해석상의 수렴치인 삼축실험으로부터 구한 혼합토의 탄성계수들간의 차이에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 이와 같은 결과는 삼축

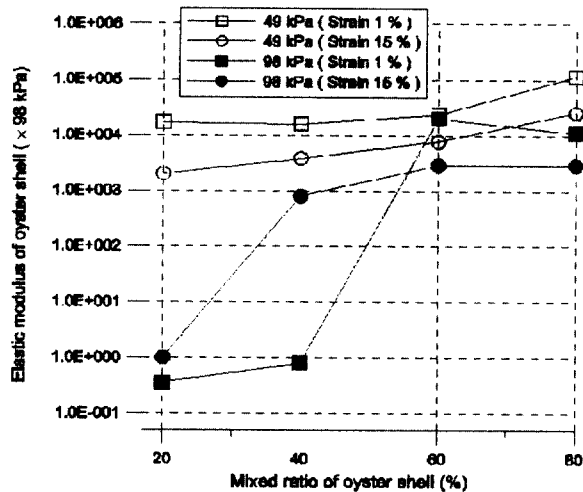


그림 12. 굴패각의 혼합률에 따른 겔보기 탄성계수

실험의 응력-변형관계에서도 설명될 수 있다. 그림 12를 통해서 알 수 있듯이 49kPa인 경우, 1% 변형과 15% 변형에서의 굴패각의 겔보기 탄성계수의 변화가 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나 98kPa의 경우는 굴패각 혼합률 60%에서 최대값을 나타내고, 이후 거의 일정한 값을 유지하였다.

4. 결 론

- (1) 삼축압축실험에 의해, 굴패각 혼합에 의한 점토의 강도증가 특성을 평가하였다. 순수한 점토와 비교해서 굴패각 혼합률이 증가함에 따라 혼합토의 강도도 증가하는 결과를 얻었다.
- (2) 굴패각 혼합에 의한 강도개선 효과는 선형압밀응력이 작은 49kPa에서 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이것은 혼합토의 전단강도 발현 메커니즘이 보통 흙과 같이 구속압에 기인한 마찰력에만 의존하지 않는다는 것을 의미한다. 그리고, 이 결과를 공학적으로 판단하면, 준설점토를 굴패각과 혼합해서 매립할 경우, 얇은 지반일수록 혼합에 의한 전단강도의 증가효과를 기대할 수 있음을 의미한다.
- (3) 삼축압축실험과 균질화법을 조합한 기법으로 굴패각의 겔보기 탄성계수를 평가하였다. 그 결과 굴패각 혼합률이 증가하면 삼축압축실험의 결과를 설명하기 위한 굴패각의 겔보기 탄성계수도 증가하는 것을 알 수 있다.
- (4) 굴패각의 겔보기 탄성계수의 증가경향은 선형압밀응력에 의해 다른 경향을 나타내고 있음을 알 수

있다. 49kPa의 경우는 혼합률이 증가하면 탄성계수는 산술적으로 증가하고 혼합률이 60%넘었을 때의 증가폭은 더욱 크게 나타난다. 한편 98kPa의 경우 굴패각 혼합률이 20%로부터 60%까지는 탄성계수가 선형적으로 증가하고, 혼합률 60%에서 80%사이에서는 큰 변화가 확인되지 않았다. 이 결과로부터 49kPa의 경우가 98kPa의 경우보다 굴패각의 골격구조가 혼합토의 강도·변형특성에 미치는 역할이 크다는 것을 예측할 수 있다. 굴패각의 혼합에 의해 혼합토의 전단강도가 증가하는 결과를 얻었지만, 본 연구의 범위만으로는 이러한 메커니즘의 해명까지는 미치지 못하였다. 그러므로, 본 연구로부터 다음과 같은 새로운 과제에 대한 연구의 필요성이 인식되었다. 혼합토의 강도·변형 특성은 골격구조에 크게 좌우된다. 그리고, 이 구조는 선형압밀과정이나 전단과정에서 변화하는 특성이 있다. 이러한 변화과정에서의 미시구조변화를 고찰할 수 있는 기법개발이 필요하다. 또한, 굴패각 혼합토의 전단 특성은 구속압이 주요한 역할을 하는 마찰특성만에 의해 지배되지 않는다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 그 원인을 인터로킹현상에서 찾고 있지만, 전단 저항의 출현 메커니즘을 완전히 해명하였다고는 말할 수 없다. 금후, 이점에 대한 더욱 명확한 규명이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이기호(2000), "폐기물 혼합토의 역학특성의 평가법에 관한 기초적 연구", 박사학위논문, 일본동북대학.
2. 미야기현 이시마키시 수산과 (1998), "암거소수재료로서의 굴패각 이용에 대하여", 일본농림토목학회지, 제58권, 8호.
3. Babuska, I.(1976), "Homogenization Approach in Engineering, in Computing Methods in Applied Sciences and Engineering", Lecture Note in Economics and Mathematical Systems 134, J. L. Lions and R. Glowinskieds, Springer: Berlin: pp.137-153.
4. Terada, K.(1996), "Global-Local Modeling for Composites by The Homogenization Method", Paper for Degree of Doctor of Philosophy in Michigan University.
5. Terada, K., Miura, T. and Kikuchi, N. (1997), "Digital Image-Based Modeling Applied to The Homogenization Analysis of Composites Materials", Computational Mechanics, Vol.20, pp.331-346.

(접수일자 2001. 2. 19)