

보강점토의 파괴거동에 관한 연구

A Study on the Failure Behavior of Reinforced Clay

유 한 규*
Yoo, Han-Kyu

Abstract

In order to investigate the effect of parameters such as orientation and surface roughness of a reinforcing material as well as the water content of the clay matrix on the stress-strain and failure behavior of reinforced clay, uniaxial compression tests were performed on clay samples reinforced with a steel inclusion. Test results showed that the increase or decrease in strength of reinforced clay samples was found to depend on the orientation of a steel inclusion as well as water content of clay samples. The possible weakening mechanism induced by reinforcement in clay samples was related to the development of cracks along the tips of interface between steel inclusion and clay matrix. A theoretical interpretation of failure behavior of reinforced clay was made by using fracture mechanics theory, and the experimental results were compared with the theoretical predictions. The predicted crack propagation direction obtained from fracture criteria for a material containing a closed crack with friction agreed reasonably well with the measured values obtained from tests.

요 지

보강재의 방향, 표면거칠기 그리고 점토의 함수비가 보강점토의 응력-변형률 거동 및 파괴거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 강으로 보강된 점토를 대상으로 일축압축시험을 실시하였다. 시험결과 보강점토 강도의 증가 또는 감소는 보강재의 방향과 점토의 함수비에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 보강재 설치방향에 따른 점토의 강도저하는 점토와 보강재의 경계면 끝에서 발생된 균열과 관련이 있는 것으로 판단된다. 파괴역학 이론을 적용하여 보강점토의 파괴거동에 대한 이론적인 고찰을 하였으며 시험결과를 이론적인 예측결과와 비교하였다. 폐합된 균열이 내재된 물질의 파괴기준을 적용하여 예측한 균열진행 방향은 시험으로부터 측정된 값과 비교적 잘 일치되었다.

Keywords : Uniaxial compression test, Reinforced clay, Failure behavior, Crack propagation, Fracture criteria

* 정희원, 한양대학교 공학대학 토목·환경공학과 전임강사

1. 서 론

최근 불안정한 사면, 옹벽의 배면지반 및 구조물아래 기초지반의 역학적 성질을 개선하고자 강봉이나 금속보강띠 또는 토목섬유를 이용하여 지반을 보강하는 방법이 널리 활용되어지고 있다. 이러한 지반의 인장저항 능력과 전단강도를 증대시키는 등 역학적인 성질을 개선·보강하기 위해서 연속적이거나 비교적 짧은 불연속 보강재료를 흙에 설치하는 것을 보강토라 하며 이때 사용되는 보강재료의 종류로는 강, 유리, 나일론, 폴리프로필렌 및 천연섬유 등이 있다.

보강토 공법의 현대적인 개념이 Vidal (1969)에 의해 체계화된 이후로 보강재의 물성, 기계적 성질, 그리고 재료가 갖는 성질이 흙의 역학적 거동에 미치는 영향을 조사하기 위한 실내시험 및 이론적인 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 사질토 지반을 대상으로 보강토 공법의 적용가능성을 평가하기 위하여 많은 실내시험들이 수행되었는데 보강재 재료의 특성, 방향 그리고 보강재와 흙사이의 부착강도 등이 사질토의 응력-변형률 거동에 미치는 영향을 조사한 결과, 일반적으로 보강재는 사질토의 전단강도를 증대시켰으며 전단강도의 증가량은 보강재의 설치방향과 부착강도에 따라 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

한편 점성토로 구성된 지반에 대한 보강재의 활용방안에 관련된 연구는 극히 미진한 실정이다. 보강점토와 관련된 연구는 주로 직접전단시험 및 일축압축시험을 통하여 보강재의 재료특성 및 설치방향이 점성토의 응력-변형률에 미치는 영향을 검토하였으며 보강재에 의한 점토의 전단강도 증대효과를 분석하기 위하여 비교적 단순한 한계평형방법에 따른

이론적인 모델이 제안되었다.

그러나 제한된 시험과 이론적인 분석결과를 볼 때 보강재가 점토의 역학적 거동에 미치는 영향을 검토하기 위해서는 점토와 보강재로 구성된 복합물질로서의 응력-변형률 거동과 파괴거동에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 강으로 보강된 점토를 대상으로 일축압축시험을 실시하여 보강재의 표면거칠기와 방향, 그리고 점토의 함수비가 보강점토의 응력-변형률 거동과 파괴거동에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 또한 점토와 강보강재로 이루어진 복합물질의 파괴거동 분석을 위해서 보강재와 모체(matrix)사이의 부착강도에 따른 물질의 파괴기준을 적용하여 시험결과와 비교분석 하고자 한다.

2. 일축압축시험

2.1 시험시료

본 시험에 사용되어진 흙은 분말 Kaolinite 점토로서 액성한계가 58%이고 소성한계가 28%이었다. 보강재로는 길이가 2.54cm, 너비가 2.29cm이고, 두께가 0.09cm인 스테인레스강을 사용하였으며 보강재 표면의 거칠기에 따른 영향을 조사하기 위하여 표면에 모래를 붙여 만든 거칠은 표면(rough surface)을 갖는 보강재와 매끄러운 표면(smooth surface)을 갖는 보강재 두종류를 시험에 사용하였다. 보강재의 물리적 성질을 표 1에 요약 수록하였다.

시료는 건조된 분말 Kaolinite 점토를 함수비가 약 35% 정도로 하여 잘 반죽한 후 길이가 7.62cm, 너비가 7.62cm이고, 두께가 2.54cm인 plexiglass 몰드에 넣어 성형하였다. 몰드에 있는 점토시료의 중앙에 설치 방향에 따라 보강재를 삽입시키고 다공판을 올려 놓은

표 1. 보강재의 물리적성질

보강재의 재질	길이(cm)	너비(cm)	두께(cm)	인장강도 (kg/cm ²)·10 ⁴	탄성계수 (kg/cm ²)·10 ⁶
스테인레스강	2.54	2.29	0.09	4.08~5.62	2.04

후 15kg의 무게로 24시간 동안 하중을 가하였다. 하중을 제거한 후 보강점토를 모울드로 부터 분리하여 공기중에 건조시켜 시료를 제작하였다.

2.2 시험방법

일반적인 일축압축 시험장비를 사용하여 시험을 실시하였으며 보강재의 설치방향이 점토 시료의 역학적 거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 그림 1과같이 보강재를 하중을 가하는 축방향으로 부터 15°, 30°, 45°, 60°, 75° 및 90°로 변화시켜 가면서 시험을 수행하였다. 또한 점토 시료의 함수비 변화에 따른 영향을 고려하기 위해서 2.81~3.10%의 함수비를 갖는 취성 상태의 시료와 22.17~23.98%의 함수비를 갖는 연성상태의 시료를 사용하였다. 시험동안 하중과 변위를 기록하였으며 보강점토의 파괴거동 고찰을 위하여 시료에서 균열이 시작될때 하중과 파괴하중 그리고 균열의 진행방향에 대한 조사를 실시하였다.

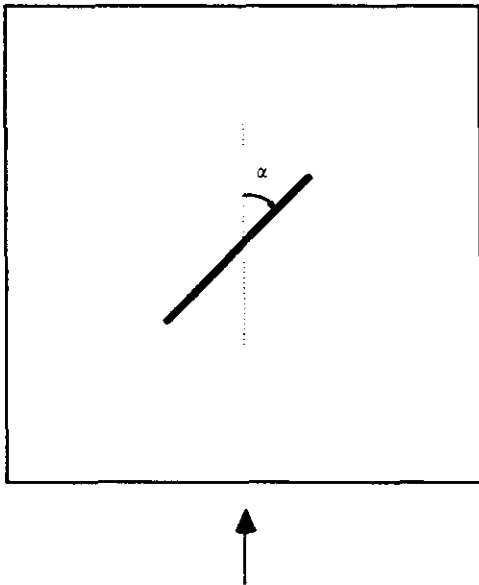


그림 1. 일축압축을 받는 보강점토 시료

3. 파괴역학이론의 적용

3.1 섬유보강 복합물질의 파괴기준

Gdoutos(1981)는 일축압축하에서 강성이 큰 섬유보강재를 함유한 복합물질의 파괴거동을 연구하였다. 제안된 이론에서는 모체(matrix)와 보강재가 완전히 부착된 것으로 가정하였으며, 그림 2에서와 같이 길이가 $2a$ 인 보강재를 함유한 탄성체가 일축압축응력 σ 하에 있을때 보강재 끝에서의 응력 σ_r , σ_θ 및 $\tau_{r\theta}$ 는 아래와 같다.

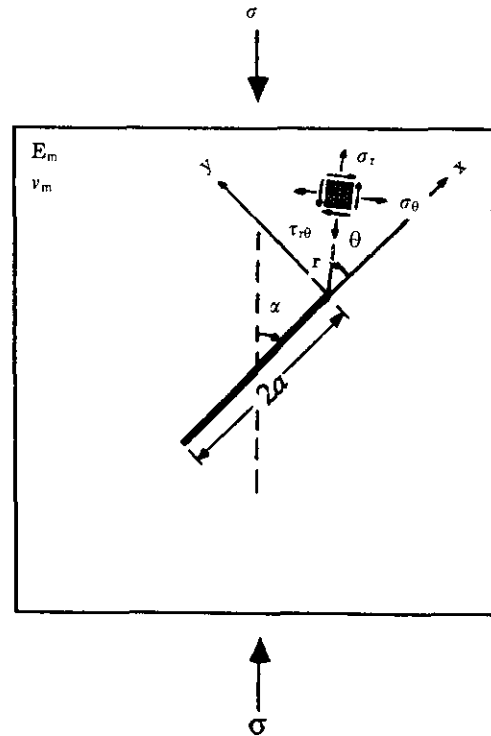


그림 2. 일축압축하에서 보강재를 함유한 탄성체의 응력상태

$$\sigma_r = \frac{1}{4\sqrt{2r}} \left\{ K_1 \left[5\cos\frac{\theta}{2} + (2k+1)\cos\frac{3\theta}{2} \right] - K_1 \left[5\cos\frac{\theta}{2} + (2k-1)\sin\frac{3\theta}{2} \right] \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{4\sqrt{2r}} \left\{ K_1 \left[3\cos\frac{\theta}{2} - (2k+1)\cos\frac{3\theta}{2} \right] \right\}$$

$$-K_{\parallel} [3\sin\frac{\theta}{2} - (2k-1)\sin\frac{3\theta}{2}] \quad (2)$$

$$\tau_{\theta} = \frac{1}{4\sqrt{2r}} \{ K_{\perp} [\sin\frac{\theta}{2} - (2k+1)\sin\frac{3\theta}{2}] - K_{\parallel} [\cos\frac{\theta}{2} - (2k-1)\cos\frac{3\theta}{2}] \} \quad (3)$$

여기서, K_{\perp} 과 K_{\parallel} 는

$$K_{\perp} = \frac{\sigma\sqrt{a}}{2k} \left[\frac{k-1}{2} + \cos 2\alpha \right] \quad (4)$$

$$K_{\parallel} = \frac{\sigma\sqrt{a}}{2k} \sin 2\alpha \quad (5)$$

위 식으로 부터 모체의 Poisson비 ν_m 을 포함하고 있는 k 는 아래와 같다.

$$k = \frac{3-\nu_m}{1+\nu_m} \quad (6)$$

보강물질의 균열은 보강재 끝부분에서 최소 변형률에너지에 의해 시작된다는 가정에 따라 탄성론으로 부터 유도된 단위 체적당 변형률 에너지는 아래와 같다.

$$\frac{dw}{dv} = \frac{1}{4\mu} \left[\frac{(k+1)(\sigma_r + \sigma_{\theta})^2}{4} - 2(\sigma_r\sigma_{\theta} - \tau_{\theta}^2) \right] \quad (7)$$

여기서 μ 는 전단 탄성계수이며 아래와 같다.

$$\mu = \frac{E_m}{2(1+\nu_m)} \quad (8)$$

변형률 에너지 밀도계수 S 를 정의하면 다음과 같다.

$$S = r \frac{dW}{dV} \quad (9)$$

따라서 식 (1), (2), (3)의 σ_r , σ_{θ} , τ_{θ} 를 식 (7)에 대입하면 S 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = a_{11}K_{\perp}^2 + 2a_{12}K_{\perp}K_{\parallel} + a_{22}K_{\parallel}^2 \quad (10)$$

여기서 계수 a_{ij} 는

$$a_{11} = \frac{1}{16\mu} [2(K-1)\cos^2\frac{\theta}{2} + k^2 + 2(K+1)\cos^2\theta] \quad (11)$$

$$a_{12} = -\frac{1}{16\mu} [(K-1) + 2k\cos\theta] \sin\theta \quad (12)$$

$$a_{22} = \frac{1}{16\mu} [2(K-1)\sin^2\frac{\theta}{2} + k^2 - 2(K-1)\cos^2\theta] \quad (13)$$

여기서 균열은 정의된 S 가 최소값을 갖는 방향에 법선방향으로 진행된다는 가정을 수학적으로 표현하면 아래와 같다.

$$\frac{dS}{d\theta} = 0, \quad \frac{d^2S}{d\theta^2} > 0 \quad (14)$$

윗식으로 부터

$$[(k-1) + 2(2k+1)\cos\theta] \sin\theta K_{\perp}^2 + 2[(k-1)\cos\theta + 2k\cos 2\theta] K_{\perp}K_{\parallel} + [-(k-1) - 2(2k-1)\cos\theta] \sin\theta K_{\parallel}^2 = 0 \quad (15)$$

$$[-(k-1)\cos\theta - 2(2k+1)\cos 2\theta] K_{\perp}^2 + 2[(k-1) + 8k\cos\theta] \sin\theta K_{\perp}K_{\parallel} + [(k-1)\cos\theta + 2(2k-1)\cos 2\theta] K_{\parallel}^2 > 0 \quad (16)$$

부등식 (16)의 조건을 만족하는 식 (15)의 해로 부터 축방향으로 가해지는 하중에 따라 보강재의 끝으로부터 진행되는 균열의 방향 θ 를 결정할 수 있다. 본 시험에서 사용된 보강되지 않은 점토시료의 Poisson비는 취성상태의 시료인 경우 0.15이고 연성상태의 시료는 0.44로 측정되었다. 따라서 측정된 Poisson비를 식 (15)에 대입하여 구한 균열의 진행방향과 보강재의 방향과의 관계를 그림 12와 13에 나타내었다.

3.2 폐합된 균열이 내재된 물질의 파괴기준

Swedlow(1976)는 일축압축하에서 폐합된

균열이 내재된 물질의 파괴기준에 관하여 연구하였다. 제안된 이론에서는 물질이 압축을 받는 경우 균열이 폐합되면서 균열면사이에서 발생하는 내부마찰을 고려하였다. 길이가 $2a$ 인 균열이 내재된 물체가 일축압축응력 σ 하에 있을 때 균열끝에서의 응력 σ_y , σ_θ 및 $\tau_{\theta\theta}$ 는 아래와 같다.

$$\sigma_y = \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left\{ \sin \frac{\theta}{2} [1 - 3\sin^2 \frac{\theta}{2}] + \sigma (\sin^2 \theta - f \sin 2\theta) \sin^2 \alpha - \sigma (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \cos^2 \theta \right\} \quad (17)$$

$$\sigma_\theta = \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left\{ -3\sin \frac{\theta}{2} \cos^2 \frac{\theta}{2} \right\} + \sigma (\cos^2 \theta + f \sin 2\theta) \sin^2 \alpha + \sigma (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \sin^2 \theta \quad (18)$$

$$\tau_{\theta\theta} = \frac{K_{II}}{4\sqrt{2\pi r}} \left\{ \cos \frac{\theta}{2} [1 - 3\sin^2 \frac{\theta}{2}] \right\} + \sigma (\sin \theta \cos \theta - f \cos 2\theta) \sin^2 \alpha - \sigma (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \sin \theta \cos \theta \quad (19)$$

여기서 K_{II} 와 마찰계수 f 는 아래와 같다.

$$K_{II} = \sigma \sqrt{\pi a} (\sin \alpha \cos \alpha - f \sin^2 \alpha) \quad (20)$$

$$f = \tan \phi \quad (21)$$

여기서 ϕ 는 균열면의 내부마찰각으로 인발 시험결과(유한규, 1994) 취성상태의 시료일 경우 13.7° 이고 연성상태의 시료인 경우 6.75° 로 측정되었다. 따라서 보강재와 점토 사이의 마찰계수 f 는 취성상태인 경우 0.24이고 연성상태인 경우 0.12이다.

윗식으로부터 균열은 식 (18)에 주어진 σ_θ 가 최대값을 갖는 방향에 법선방향으로 진행된다는 가정을 수학적으로 표현하면 아래와 같다.

$$\frac{d\sigma_\theta}{d\theta} = 0, \quad \frac{d^2\sigma_\theta}{d\theta^2} < 0 \quad (22)$$

식 (22)을 만족하는 해에 보강재 길이의

$1/2$ 인 $a=1.27\text{cm}$ 와 보강재 끝으로부터의 거리 $r=0.00508\text{cm}$ 를 대입하여 구한 균열의 진행 방향과 보강재 방향과의 관계를 그림 12와 13에 나타내었다.

4. 결과분석 및 고찰

4.1 보강점토의 응력-변형률 거동

매끄러운 표면을 갖는 보강재를 사용하여 제작된 시료에 대한 일축압축시험 결과를 그림 3과 4에 나타내었다. 시료의 함수비는 취성상태인 경우 3.10%이고 연성상태인 경우는 23.98%이었다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 취성상태의 시료인 경우는 선형적인 응력-변형률 거동을 나타내고 있으며 보강재의 방향이 시료의 응력-변형률 거동에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 보강된 점토시료는 보강되지 않은 점토시료(intact sample)에 비하여 낮은 압축강도를 나타내었다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 연성상태의 시료인 경우는 비선형적인 응력-변형률 거동을 나타내고 있으며 보강재의 방향에 따라 시료의 응력-변형률 거동이 달라지고 있음을 알 수 있었다. 보강재의 효과를 살펴보면 축방향으로부터 15° 와 45° 로 배치된 보강재만이 점토시료를 약화시켰으며 다른 방

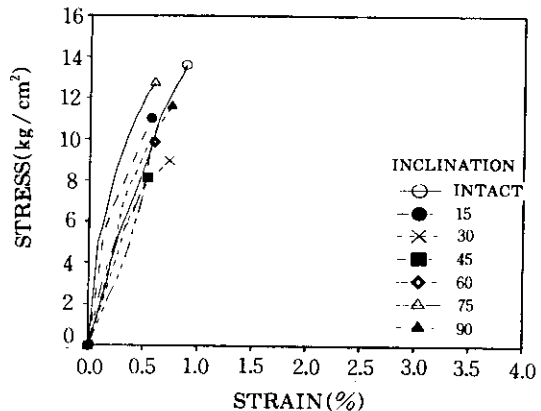


그림 3. 응력-변형률 곡선($w=3.10\%$, Smooth Surface)

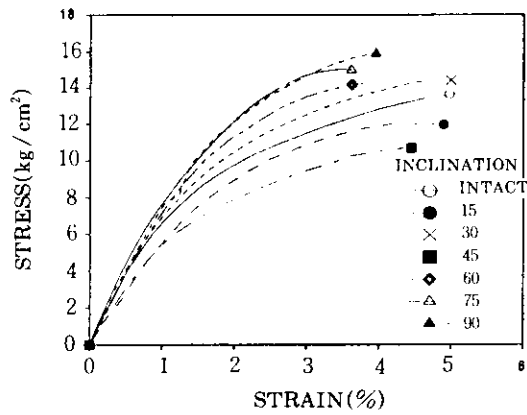


그림 4. 응력-변형률 곡선(w=23.98%, Smooth Surface)

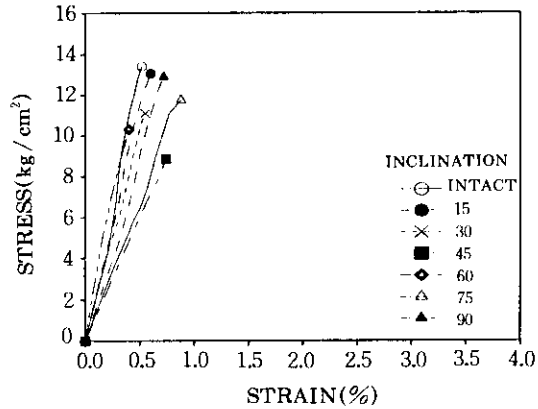


그림 5. 응력-변형률 곡선(w=2.81%, Rough Surface)

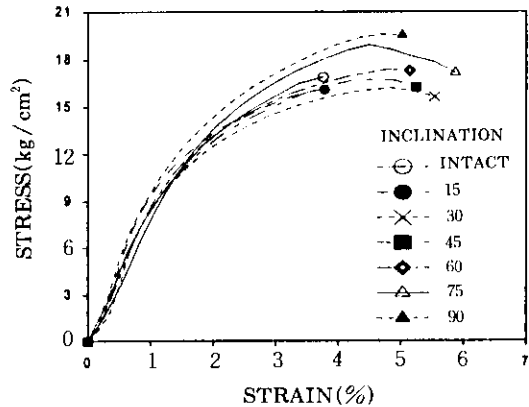


그림 6. 응력-변형률 곡선(w=22.17%, Rough Surface)

향으로 배치된 보강재는 점토시료의 강도를 증대시켰다.

거칠은 표면을 갖는 보강재를 사용하여 제작된 시료에 대한 일축압축시험 결과를 그림 5와 6에 나타내었다. 시료의 함수비는 취성상태인 경우 2.81%이고 연성상태인 경우는 22.17%이었다. 그림 5와 6에서 볼 수 있듯이 시험결과는 매끄러운 표면을 갖는 보강재로 제작된 시료의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다.

4.2 보강점토의 파괴거동

4.2.1 보강점토의 균열 및 파괴형상

보강재에 의한 취성상태 점토시료의 압축강도 저하는 보강재로 인한 점토시료의 균열과 관련이 있는 것으로 판단된다. 그림 7은 하중을 가하는 축방향으로부터 30°로 배치된 보강재를 함유한 점토시료에서의 균열에 따른 파괴상태를 나타내고 있다. 보강재와 점토경계면의 끝에서 균열이 시작되어 하중이 증가됨에 따라 하중을 가하는 축방향과 같은 방향으로 균열이 진행되었다. 균열이 시료의 상단부와 하단부까지 진행되었을 때 시료는 두조각으로 분리되어 파괴상태에 이르렀다.

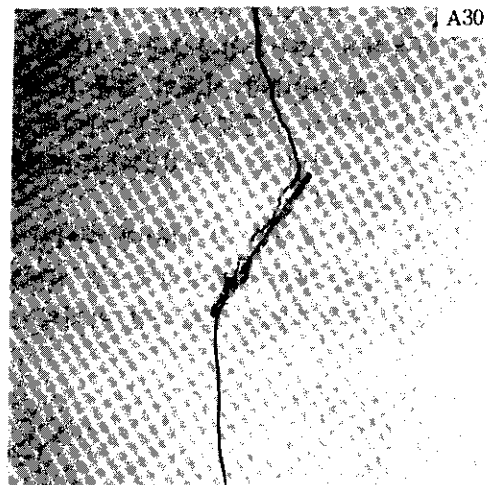


그림 7. 취성상태의 보강점토 파괴현상

연성상태 시료의 경우 취성상태의 시료와 같이 보강재와 점토경계면의 끝에서 균열이 시작되어 축방향으로 균열이 진행되었다. 하중이 증가함에 따라 계속적으로 균열이 진행되었으나 시료의 상단부와 하단부까지는 균열이 진행되지 않고 시료의 측면에 발생된 전단면을 따라 파괴가 되었다. 따라서 본 시험결과로부터 취성상태의 시료와 연성상태시료의 파괴거동은 서로 차이점이 있음을 알 수 있었다. 만약 점토시료와 보강재 사이의 부착강도가 매우 작을경우 보강재와 점토시료의 경계면은 균열을 발생시킬 수 있는 취약한 면으로 작용할수 있는 것으로 사료된다.

4.2.2 보강재 방향의 영향

그림 8은 취성상태의 시료에 대한 일축압축 시험 결과중 균열 발생시 압축응력과 보강재 방향과의 관계를 나타낸 것이다. 보강재가 축방향으로부터 30°, 45°, 60°로 배치된 시료는 15°와 75°로 배치된 시료보다 낮은 응력에서 균열이 발생되었다. 이와 같이 보강재의 방향이 균열발생시 압축응력에 미치는 영향은 폐합된 균열이 내재된 물질의 파괴기준에 따라 설명될 수 있다. 파괴기준에 따르면 시료에 가한 압축 응력으로 인하여 경계면 끝에 응력집중을 발생

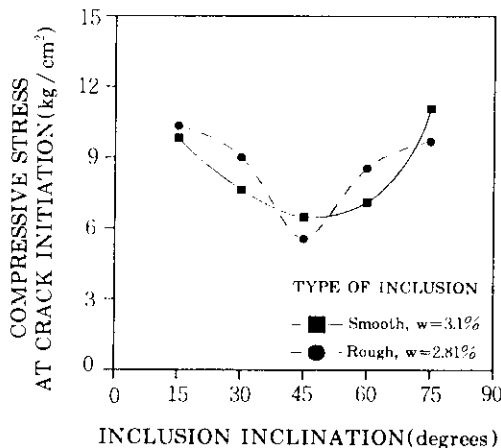


그림 8. 취성상태 보강점토의 균열발생시 압축응력-보강재 방향의 관계곡선

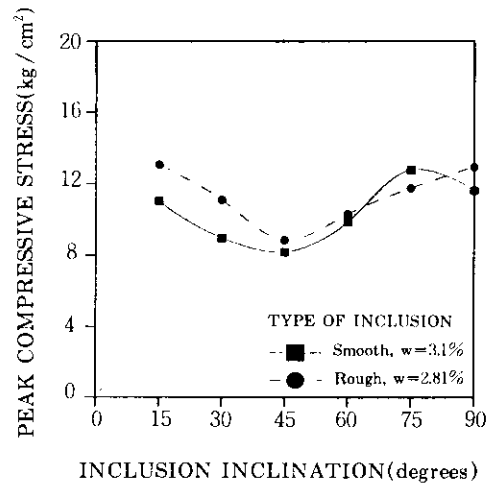


그림 9. 취성상태 보강점토의 최대압축응력-보강재 방향의 관계곡선

시킨다. 이러한 응력집중은 압축응력 또는 인장응력으로 작용하게 된다. 점토는 인장응력에 취약하기 때문에 최대인장응력 작용방향과 수직으로 균열이 진행된다. 따라서 30°, 45°, 60°로 보강재가 배치된 시료는 15°, 75°로 보강재가 배치된 시료보다 시료에 가한 압축으로 발생된 인장응력이 상대적으로 크며 점토시료의 강도를 저하시키는 요인으로 판단된다.

그림 9는 취성상태의 시료에 대한 압축시험 결과중 최대압축응력과 보강재 방향과의 관계를 나타낸 것이다. 이것은 균열발생시 압축응력과 보강재 방향의 관계에 대한 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

4.2.3 점토 함수비의 영향

그림 10과 11은 연성상태 시료에 대하여 균열시작시 압축응력 및 최대압축응력과 보강재 방향관계를 나타낸 것이다. 취성상태시료와 비교해보면 점토의 함수비가 증가함에 따라 보강점토의 균열시작시 응력과 최대압축응력이 증가함을 알 수 있었다.

이러한 결과는 연성상태시료의 파괴거동 및 보강재와 점토사이의 부착강도와 관련이 있는

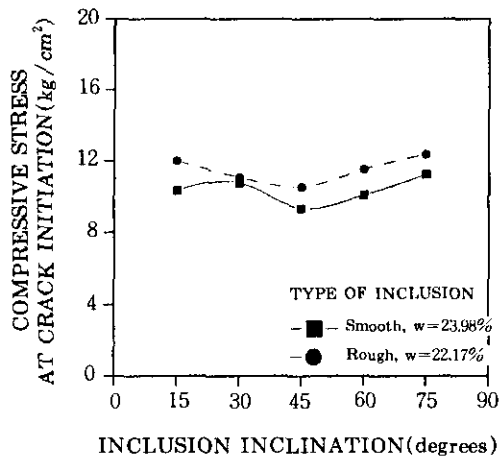


그림 10. 연성상태 보강점토의 균열발생시 압축응력-보강재 방향의 관계곡선

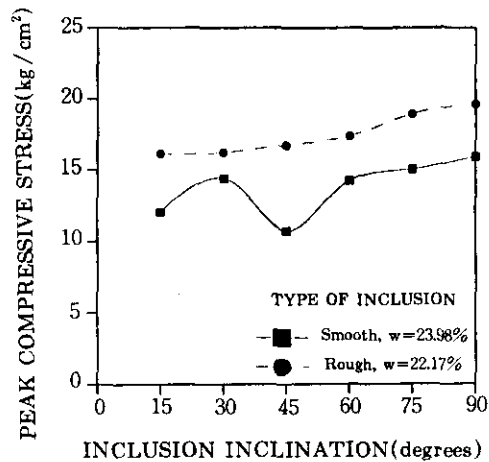


그림 11. 연성상태 보강점토의 최대압축응력-보강재 방향의 관계곡선

것으로 사료된다. 취성상태의 시료와는 다르게 연성상태의 시료는 보강재와 점토시료 경계면에서 균열이 발생되었으나 시료의 옆면에 발생된 전단면을 따라 파괴되었다. 따라서 경계면에서 발생하는 균열은 점토시료의 강도저하에 취성상태의 시료만큼 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 또한 인발시험 결과(유한규, 1994), 점토의 함수비가 증가할수록 점토시료와 보강재 사이의 부착강도가 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 증가된 부착강도는 보강재와

점토경계면에서의 균열을 억제하고 전단면에 발생된 전단응력에 저항하여 점토시료의 강도를 증대시킨 것으로 판단된다.

4.2.4 보강재 표면 거칠기의 영향

그림 8과 9에서 볼 수 있듯이 보강재의 표면 거칠기는 취성상태시료의 균열시작시 압축응력과 최대압축응력에 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 연성상태 시료의 경우 그림 10과 11에서 볼 수 있듯이 거칠은 표면을 갖는 보강재가 함유된 시료의 균열시작시 응력과 최대압축응력이 매끄러운 표면을 갖는 보강재가 함유된 시료의 경우보다 큰 경향을 나타내었다. 기 수행된 인발시험결과, 거칠은 표면을 갖는 보강재의 경우가 매끄러운 표면을 갖는 시료의 보강재와 점토의 부착강도보다 상대적으로 크게 나타났다. 따라서 증가된 부착강도로 인하여 균열의 발생이 억제되고 시료의 압축강도가 증가된 것으로 사료된다.

4.3 파괴역학 이론에 따른 결과와의 비교

보강점토의 파괴거동에 대한 이론적인 고찰을 위하여 일축압축시험 결과와 파괴역학이론에 따른 결과를 비교 검토하였다. 그림 12는 취성상태시료에 대하여 보강재의 방향에 따라 시험결과로부터 측정된 균열의 진행방향을 파괴역학이론에 의해 예측된 결과와 비교하였다. 본 연구에서는 모체(matrix)와 보강재가 완전히 부착된 복합물질(composite)에 대한 파괴기준과 모체와 보강재 경계면에 폐합된 균열(closed crack)이 내재된 물질에 대한 파괴기준을 적용하였다. 그림 12에서 볼 수 있듯이 시험결과로 측정된 값들은 폐합된 균열이 내재된 물질에 대한 파괴기준을 적용하여 예측한 값들과 비교적 일치되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 점토와 보강재 사이의 경계면이 하중증가에 따라 균열이 발생할 수 있는 원인이 될 수 있음을 나타내고 있다. 그림 13에서 볼 수 있듯이 연성상태시료의 경우도 취성상태시료의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

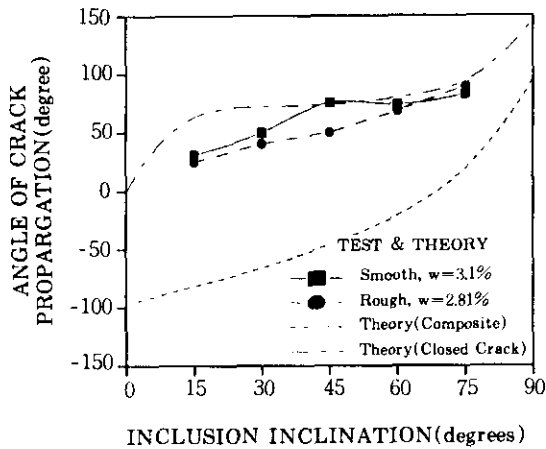


그림 12. 취성상태 보강점토의 균열진행방향-보강재 방향의 관계곡선

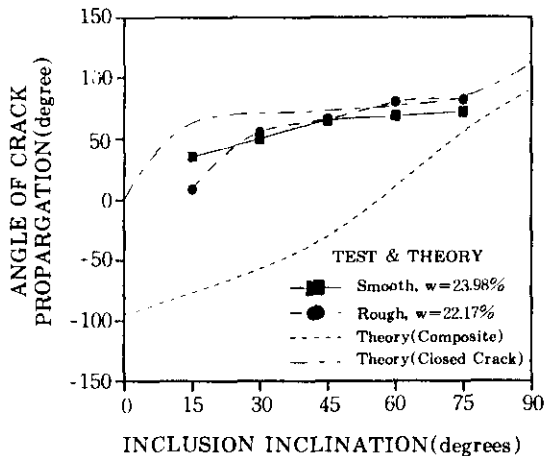


그림 13. 연성상태 보강점토의 균열진행방향-보강재 방향의 관계곡선

5. 결 론

보강점토의 파괴거동 연구를 위하여 수행된 일축압축시험 결과와 파괴역학 이론을 적용하여 시험결과를 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 함수비가 낮은 취성상태 시료의 경우 보강재와 점토의 경계면 끝에서 발생된 균열이 진행되어 시료가 파괴되었으며 함수비가 비교적 높은 연성상태 시료의 경우는 균열이 일부

진행되었으나 시료의 측면에서 발생된 전단면을 따라 파괴되었다.

2) 보강재의 설치방향에 따른 보강점토의 강도변화는 보강재와 점토의 경계면 끝에서 응력 집중으로 인하여 발생된 인장응력의 상대적인 크기에 따른 것으로 판단된다.

3) 보강점토의 일축압축강도는 점토의 함수비가 증가할수록 그리고 보강재의 표면이 거칠수록 증가되는 경향을 나타내었다. 이러한 강도증가는 보강재와 점토사이의 부착강도 증가에 따른것으로 판단된다.

4) 시험결과로부터 측정된 보강점토의 균열진행방향은 폐합된 균열이 내재된 물질의 파괴기준을 적용하여 예측된 결과와 비교적 잘 일치되는 경향을 나타내었다.

5) 본 연구에서는 제한된 실내시험 결과를 근거로 보강점토의 파괴거동에 대한 고찰을 하였으므로 향후 보강재의 재료와 함유량 등이 점토의 강도특성과 파괴거동에 미치는 영향을 검토하기 위한 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 공학기술연구소 신입교수 연구비(HRN 95-3) 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 유한규(1994), "직접전단을 받는 보강점토의 거동에 관한 연구", 한국지반공학회지 제10권, 제4호, pp.67-81.
2. Al-Omari, R. R., Al-Dobaissi, H. H., Nazhat, Y. N., and Al-wadood, B. A. (1989), "Shear Strength of Geomesh Reinforced Clay", Geotextiles and Geomembranes 8, Elsevier Science Publishers Ltd, England, pp.325~336.
3. Freitag, D. R. (1986), "Soil Randomly Reinforced with Fibers", Journal of Geote-

- chnical Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 8, pp. 823~826.
4. Gdoutos, E. E. (1981), "Failure of a Composite with a Rigid Fiber Inclusion", *Acta Mechanica* 39, Springer-Verlag, pp.251~262.
 5. Gray, D. H. and Ohashi, H. (1983), "Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 109, No. 3, pp.335~353.
 6. Ingold, T. S. (1981), "A Laboratory Simulation of Reinforced Clay Walls", *Geotechnique* 31, No.3, pp.399~412.
 7. Ingold, T. S. and Miller, K. S. (1983), "Drained Axisymmetric Loading of Reinforced Clay", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 109, No. 7, pp.883-898.
 8. Jewell, R. A. and Jones, C. J. F. P(1980), "Reinforcement of Clay Soils and Waste Materials Using Grids", *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden*, Vol. 3, pp.701~706.
 9. McGown, A., Andrawes, K. Z., and Al-Hasani, M. M. (1978), "Effect of Inclusion Properties on the Behavior of Sand", *Geotechnique* 28, No. 3, pp.327~346.
 10. Swedlow, J. L. (1976), "Criteria for Growth of the Angled Crack", *Cracks and Fracture, ASME STP 601*, pp.506~521.
 11. Vidal, H. (1969), "The Principles of Reinforced Earth", *Highway Research Record*, No. 282, pp.1~16.

(접수일자 1996. 12. 9)