

# 사질토 및 점성토와 비교한 순수 실트의 응력-변형률 거동

The Stress-Strain Behavior of a Pure Silt Compared with Sand and Clay

정 상 섭\*

Jeong, Sang - Seom

---

---

## Abstract

The drained and undrained behavior of pure silt was investigated experimentally. Special attention was given to the stress-strain behavior of silt prior to failure and behavior at failure under monotonic and cyclic loading. A pure silica flour was chosen to form samples with two different densities of  $D_r=80\%$ ,  $e_0=0.68$  and  $D_r=35\%$ ,  $e_0=0.9$ . The isotropically consolidated samples were tested in the triaxial testing device under monotonic undrained, drained compression and extension conditions. Also samples were tested under cyclic undrained condition. Based on the experimental results, it was qualitatively identified that the overall behavior of silt is similar to that of sand. When compared with clay, silt shows a significantly different behavior due to its dilatant nature under both the monotonic and cyclic shear loadings.

## 요 지

본 연구에서는 실트흙의 거동에 대하여 자동화된 삼축시험기를 사용하여 정하중(monotonic loading)과 반복 동하중(cyclic loading)하에서 파괴전과 파괴상태시 응력 변형률 상태를 제시하였다. 시료성형을 위하여 순수 실트인 실리카 분말을 사용했으며 시료는 조밀한 경우( $D_r=80\%$ ,  $e_0=0.68$ )와 느슨한 경우( $D_r=35\%$ ,  $e_0=0.9$ )의 2종류로 만들어 등방 압밀후 배수, 비배수 상태에서 삼축압축과 인장시험을, 비배수 상태에서 반복 동하중 시험을 하였다. 해석 결과 전반적인 실트의 거동은 사질토와 비슷하지만 점토질흙에 비해서는 체적팽창(dilatancy)으로 인하여 정하중과 반복동하중하에서 상당히 다른 거동을 보임을 알 수 있었다.

---

---

## 1. 서 론

점토와 모래질 흙에 대한 거동은 1950년대 이후 실험실과 현장에서 비교적 많은 연구가 되어 왔지만 흙의 3대 구성요소의 하나인 실트

질 흙의 거동에 대해서는 연구가 미비하였다. 그러나 실트질흙을 과소평가 할 수 없는 것은 현재 국내에 현존하는 국토의 이용률이 점점 포화상태에 이르고 있어 이에 따른 부족한 부지확보를 위해 해안 연약층이나 육상 매립지등의 활용증대로 많은 실트질층과 접하는 것을

\* 정희원, 연세대학교 공과대학 토목공학과 박사 후 과정

볼 때 그 중요성을 간과할 수는 없다.

지반공학 측면에서의 최대의 관심사는 상부 구조물의 하중을 지반에 안전하고 효율적으로 전달시키는데 있다. 흔히 실트층으로 구성되어 있는 현장의 기초설계시 많은 경우에 있어 점토질이나 모래질 흙에서와 같이 구조물을 설계하고 있어 순수 실트의 거동 파악 없이는 많은 설계과오를 범할 수 있다. 지반의 구성요소를 볼 때 순수 실트질 층으로 구성된 경우는 흔하지 않고 대부분이 실트와 점토, 모래질흙으로 혼합 되어 있다. 지금까지 실트질에 대한 연구는 실트와 모래, 또는 실트와 점토질의 혼합에 대한 연구가 대부분이었으나, 순수 실트지반의 거동에 대한 체계적인 연구 없이는 그 효과가 없다고 하겠다.

일반적으로 실트질흙은 동결 융해에 민감하고 반복하중이나 지진, 바람, 발파등 무작위 동하중에 의한 액상화(liquefaction)로 불안정하고 기초 파괴를 유발하기 쉽다. 이와같은 실트의 거동에 대한 기존 연구는 모래와 점토의 연구에 비해 숫적으로는 비교가 되지않을 정도로 적지만 그 연구 결과를 보면 실트질흙의 응력-변형률 관계<sup>2, 3)</sup>, Alaska OCS 실트의 토질특성<sup>14)</sup>, 포화된 실트의 전단특성<sup>11)</sup>, Beaufort 바다 실트의 비배수 동적거동<sup>10)</sup>등이 있다. 그러나 대부분의 연구결과를 살펴볼때 실트에 어느 정도의 점토나 모래질이 섞인 흙의 거동이며 응력-변형률에 큰 영향을 미치는 응력레벨, 구속 압력, 상대밀도등과 같은 요인의 고려가 명확하지 않으며 주로 강도 측면에서의 연구가 대부분이었다.

본 연구에서는 강도측면에서 보다는 변형특성에 초점을 맞춰 파괴까지의 응력 변형률 경로나 파괴시 실트질흙의 거동 파악에 연구의 목적을 두었다. 따라서 정하중과 반복 동하중 작용시 순수 실트의 응력-변형률 거동과 파괴까지의 응력경로를 토대로 순수 모래질과 점토질 흙과의 거동을 비교 분석하고자 한다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1 시 료

본 연구를 위해 사용한 실트는 비소성 실리카 분말로 입경이 대부분 0.074mm~0.002mm 범위내에 있으며 시료로 사용한 실트에 대해 실시한 토성시험 결과는 표 1과 같다.

표 1 실트 시료의 토성시험 결과

입경의 범위(직경, mm)	0.074~0.002
유효입경, $D_{10}$ (mm)	0.004
균등계수, Cu	6.25
비중, $G_s$	2.64
최대 건조밀도( $g/cm^3$ )	1.72
최소 간극비	0.53
최소 건조밀도( $g/cm^3$ )	1.24
최대 간극비	1.13
액성한계, L.L.(%)	19.9

성형한 시료는 높이 15cm 직경 7.5cm로 균등하고 균질의 시료성형을 위해 다짐과 작은 진동을 동시에 가하여 만들었다. 진동 테이블(vibrating table)위에 삼축 모울드를 올려 놓고 건조로에서 24시간 건조한 순수 실트를 깔대기(hopper)를 통하여 모울드 안으로 낙하고를 일정하게 유지하며 낙하시켰다. 각 층마다 나무봉(timber pestle)을 사용한 탬핑(tamping)과 진동 테이블에 의한 미소 진동으로 균등하고 균질인 시료를 만들었으며 본 실험을 위해 약  $D_r=80\%$ 의 조밀한 상태와  $D_r=35\%$ 의 느슨한 경우의 2종류의 시료를 만들었다.

### 2.2 실험 방법

시료 성형후 시료를 완전 포화시키기 위해 높은 진공의 부압을 가하였으며 본 연구를 위하여 사용한 자세한 시료의 포화 과정은 다음과 같다. 진공의 부압을 evacuation chamber를 통하여 시료에 작용함으로 공기 기포가 없는 종류수를

시료안으로 빨아 올리는데, 사용한 진공의 부압은 back pressure가 -1atm에 도달 할때까지 시료에 약 20kPa(15cm의 수은 높이에 해당)의 유효 구속압력을 유지할 수 있도록 점진적으로 증가시켰다. 시료를 포화 시킨후 삼축 cell을 하중 프레임으로 옮겨 설치후 back pressure와 구속압력을 점진적으로 증가시켜 Skempton의 간극수압계수, B값을 약 0.98~1.0을 유지하도록 했으며 일정한 B값의 확인후 시료를 본 연구를 위해 사용한 100kPa, 300kPa, 450kPa의 유효 구속압력까지 등방 압밀 시켰다. 다음으로 배수, 비배수 상태하에서 삼축압축과 인장시험을, 비배수 상태하에서 반복 동하중 시험을 하였다. 실험은 자동화된 삼축 시험기를 사용했으며 응력 또는 변형률을 제어하면서 여러가지 타입의 응력경로를 고려하였다.

표 2, 3, 4는 본 연구를 위해 수행한 총 28개의 삼축시험 결과를 보인다.

표 2 비배수 삼축압축, 인장 시험

P <sub>o</sub> (kpa)	하중타입	Dr <sub>o</sub> (%)	e <sub>o</sub>	Dr <sub>c</sub> (%)	e <sub>c</sub>
100	압축	36	0.91	38	0.90
300	압축	36	0.91	41	0.88
450	압축	37	0.90	44	0.84
100	압축	77	0.67	78	0.66
300	압축	75	0.68	79	0.64
450	압축	77	0.67	83	0.63
100	인장	36	0.91	40	0.89
300	인장	36	0.91	42	0.87
450	인장	36	0.91	44	0.84
100	인장	73	0.69	77	0.67
300	인장	77	0.67	79	0.64
450	인장	77	0.67	83	0.63

여기서 P<sub>o</sub>는 축차응력을 가하기전 상태의 유효 구속압력, Dr<sub>o</sub>는 시료를 성형한 후의 상대 밀도, Dr<sub>c</sub>는 등방 압밀한 후의 상대밀도, e<sub>o</sub>는 시료를 성형한 후의 간극비, e<sub>c</sub>는 등방 압밀한 후의 간극비를 의미한다.

표 3 배수 삼축압축, 인장 시험

시험방법	제어 방법	P <sub>o</sub> (kpa)	Dr <sub>o</sub> (%)	e <sub>o</sub>	Dr <sub>c</sub> (%)	e <sub>c</sub>
1:3 slope(압축)	변형률	300	36	0.91	40	0.89
1:3 slope(압축)	변형률	300	75	0.68	79	0.64
1:3 slope(인장)	변형률	300	36	0.91	41	0.88
1:3 slope(인장)	변형률	300	77	0.67	79	0.64
const P(압축)	응력	300	36	0.91	42	0.87
const P(압축)	응력	300	75	0.68	78	0.66
const P(압축)	응력	300	38	0.90	42	0.87
const P(압축)	응력	300	75	0.68	77	0.67

표 4 비배수 반복 동하중 시험

제어 방법	하 중	P <sub>o</sub> (kpa)	Dr <sub>o</sub> (%)	e <sub>o</sub>	Dr <sub>c</sub> (%)	e <sub>c</sub>
변형률	$\epsilon_1=1.0\%$	400	75	0.68	79	0.64
변형률	$\epsilon_1=1.0\%$	400	36	0.91	44	0.84
변형률	$\epsilon_1=0.5\%$	300	77	0.67	79	0.64
변형률	$\epsilon_1=0.5\%$	300	36	0.91	43	0.85
응력	q <sub>max</sub> = +100, -50kpa	300	36	0.91	42	0.87
응력	q <sub>max</sub> = +150, -75kpa	300	75	0.68	79	0.64
응력	q <sub>max</sub> = +162, 0kpa	390	36	0.91	44	0.84
응력	q <sub>max</sub> = +162, 0kpa	390	75	0.68	79	0.64

### 3. 실험결과 및 분석

#### 정적 삼축압축과 인장 거동

실트의 거동특성을 위해 수행한 일련의 시험을 토대로 p'-q 평면상에서 도시한 조밀한 실트와 느슨한 실트의 전형적인 유효 응력 경로(p'-q)는 그림 1과 같으며 응력변형률 관계(q- $\epsilon_1$ )는 그림 2와 같다. 여기서 p'는 유효 구속압력(effective mean confining pressure)으로  $(\sigma'_1+2\sigma'_3)/3$ 에 해당하고 q는 축차응력(deviatoric stress)으로  $(\sigma_1-\sigma_3)$ 를 의미한다. 비배수와 배수상태하의 정적 삼축압축( $\sigma_3$ =일정,  $\sigma_1$ 증가)과 인장거동( $\sigma_3$ =일정,  $\sigma_1$ =감소)은 다음과 같다.

- ① 서로 다른 초기 유효 구속압력(100, 300, 450)을 갖는 응력 경로지만 모든 시료의 극

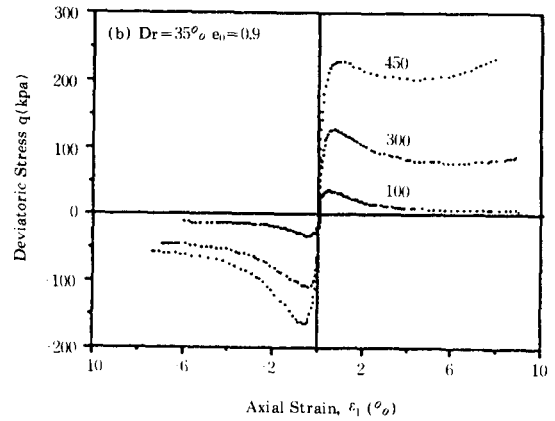
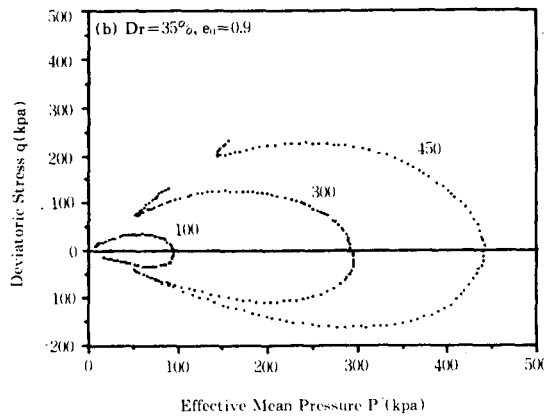
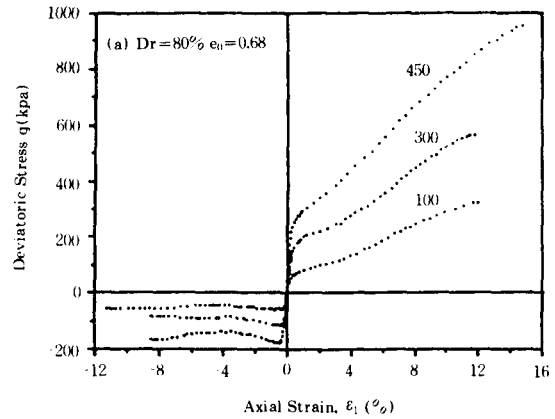
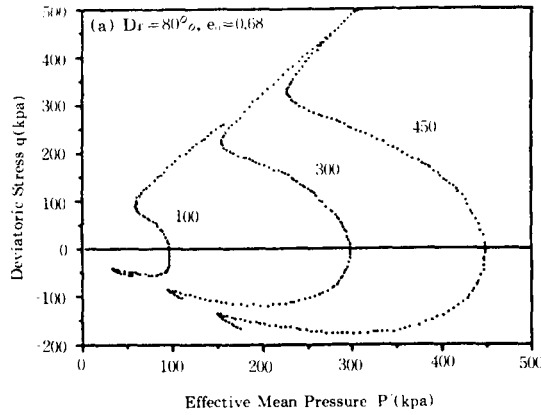


그림 1 조밀한 시료와 느슨한 시료의 유효응력 경로(삼축압축과 인장시험)

그림 2 조밀한 시료와 느슨한 시료의 축차응력과 축변형률 관계(삼축압축과 인장시험)

- 한 상태를 연결하면 유일한 선인 파괴선(failure line)<sup>12)</sup>에 도달한다. 따라서, 압축 파괴선  $q/p' = M_c = 1.55$ 와 인장파괴선  $-q/p' = M_c = 0.87$ 은 시험한 구속응력이나 배수 상태, 상대밀도등에 상관없이 유일하게 존재하는 실트 고유의 물성값이다(그림 3, 4).
- ② 삼축압축과 인장시험 결과 파괴선에 도달하기 전에 체적 팽창경향(volume dilation tendency)을 나타내는 상태 변형선(phase transformation line)<sup>7)</sup>이 존재한다. 이 상태 변형선을 전후하여 체적감소 경향이 체적 팽창 경향으로 바뀐다.
  - ③ 삼축 압축 영역에서가 인장영역에서 보다

- 파괴선(failure line)과 상태 변형(dilation) 선 사이의 거리가 더 멀다.
- ④ 조밀한 시료를 제외한 느슨한 모든 시료의 응력경로는 최고강도,  $q_{max}$ 를 넘어서 상태 변형선까지 응력이 감소한다.
  - ⑤ 시료의 상대밀도가 증가함에 따라 강도 증가를 가져오는 다이러턴시의 크기는 증가한다.
  - ⑥ 파괴 근처의 유효응력 경로는 느슨한 시료에 있어서는 파괴선 밑에서 파괴선에 접근하지만 조밀한 시료는 파괴선을 넘었다가 파괴선에 접근한다(그림 3).

#### 비배수 동적 반복하중시 거동

비배수 동적 반복하중 하에서의 변형률 제어

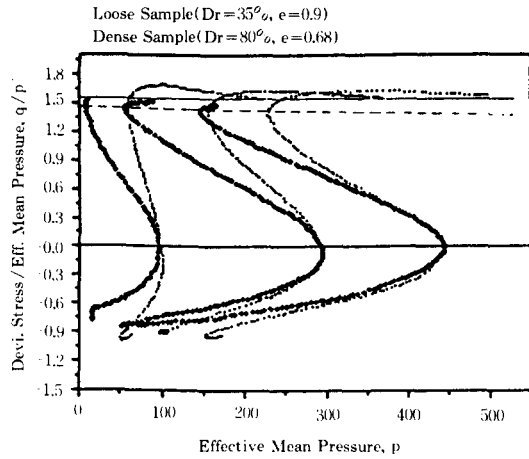


그림 3 파괴선과 상태변형선(비배수 상태)

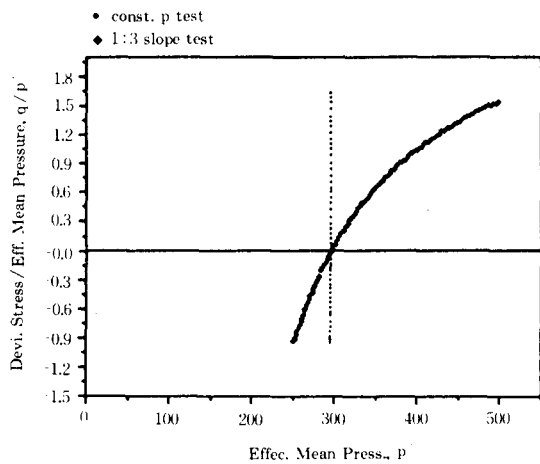


그림 4 배수 상태에서 파괴선

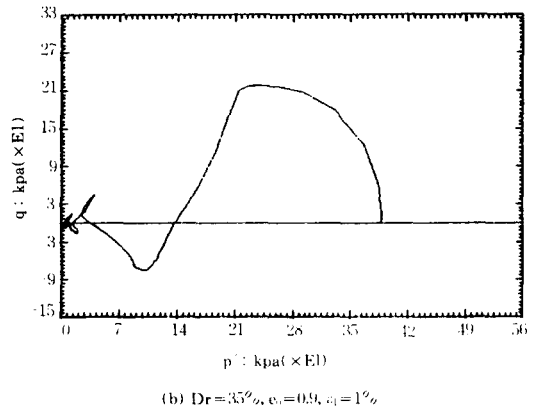
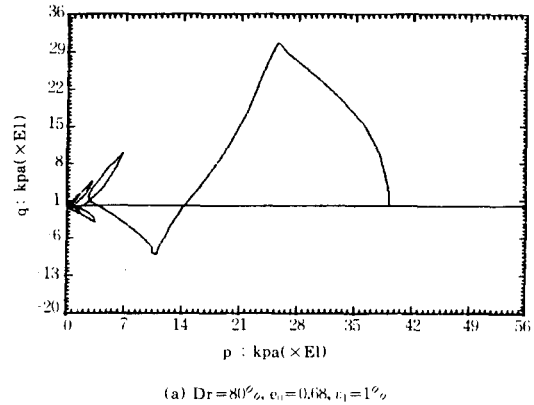


그림 5 조밀한 시료와 느슨한 시료의 변형률 제어 반복 동하중시험

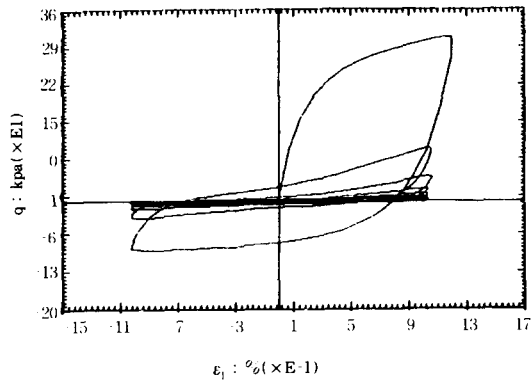
(그림 5, 6)나 응력제어(그림 7, 8)를 통한 실트의 거동은 다음과 같다.

- ① 변형률제어 반복 동하중 시험(그림 5)에서 간극수압의 발생률은 상태변형선에 도달하기 전에는 조밀한 시료나 느슨한 시료가 거의 일정하다.
- ② 비배수 상태에서 반복 동하중으로 양(+)  
의 간극수압의 누적(accumulation)을 가져오며 반복횟수의 증가로 시료의 강성이 감소한다.
- ③ 큰 전단변형하에서 실트의 체적 팽창 결과로 응력 경화가 일어난다(그림 8).

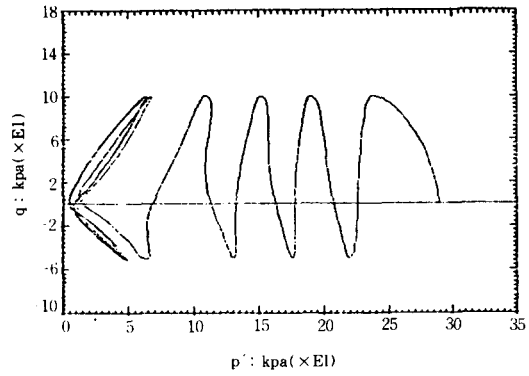
#### 4. 사질토 및 점성토와 비교한 실트의 거동

##### 비배수 정하중 상태

그림 9는 실트와 사질토, 정규압밀 점토의 비배수 삼축압축 시험결과이다. 그림 9-a에서 모든 시료는 초기에는 체적 감소 경향을 보이나 실트와 사질토의 거동은 상태 변형선(phase transformation line)을 넘어서는 점토질 흙에서는 볼수 없는 체적 팽창경향(dilation tendency)을 보인다(사질토는 아주 느슨한 상태를 제외하고는 상태 변형선을 갖는다.). 실트와 사질토의 비교(그림 9-c)에서는 실트가 전단 초기상태에서는 더 많은 체적 감소경향

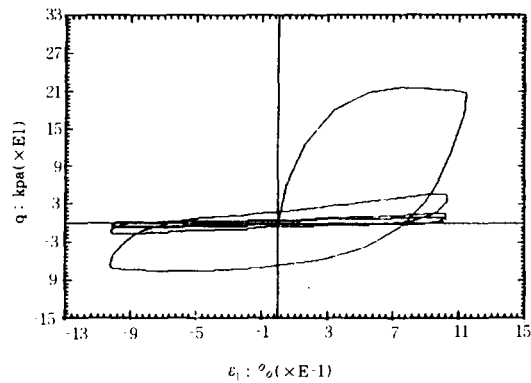


(a)  $Dr=80\%$ ,  $e_0=0.68$ ,  $e_1=1\%$

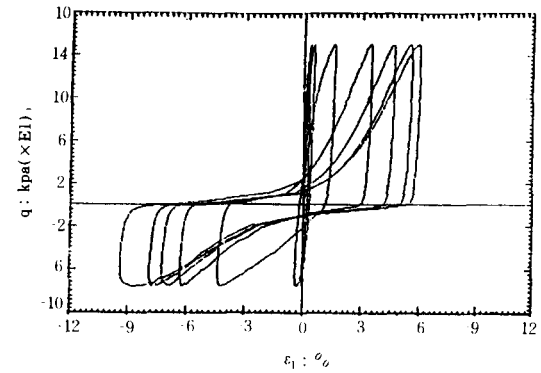


(b)  $Dr=35\%$ ,  $e_0=0.9$ ,  $q_{c,max}=100kpa$ ,  $q_{E,max}=50kpa$

그림 7 조밀한 시료와 느슨한 시료의 응력제어 반복 동하중시험

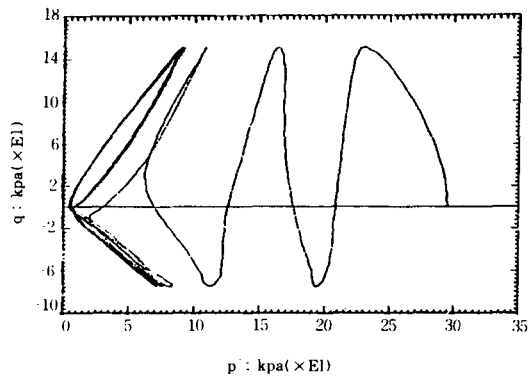


(b)  $Dr=35\%$ ,  $e_0=0.9$ ,  $e_1=1\%$

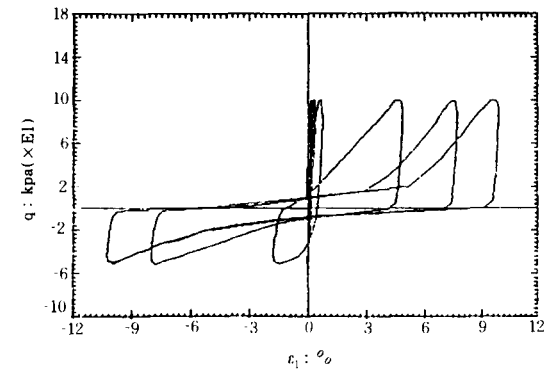


(a)  $Dr=80\%$ ,  $e_0=0.68$ ,  $q_{c,max}=150kpa$ ,  $q_{E,max}=75kpa$

그림 6 변형률제어 반복 동하중 작용시 축차응력과 압축변형률



(a)  $Dr=80\%$ ,  $e_0=0.68$ ,  $q_{c,max}=150kpa$ ,  $q_{E,max}=75kpa$



(b)  $Dr=35\%$ ,  $e_0=0.9$ ,  $q_{c,max}=100kpa$ ,  $q_{E,max}=50kpa$

그림 8 응력제어 반복 동하중 작용시 축차응력과 압축변형률

(volume contraction tendency)으로 사질토에 비해 높은 간극수압의 발생을 보인다. 따라서 파괴선의 경사는  $p'-q$  평면상에서 사질토에 비

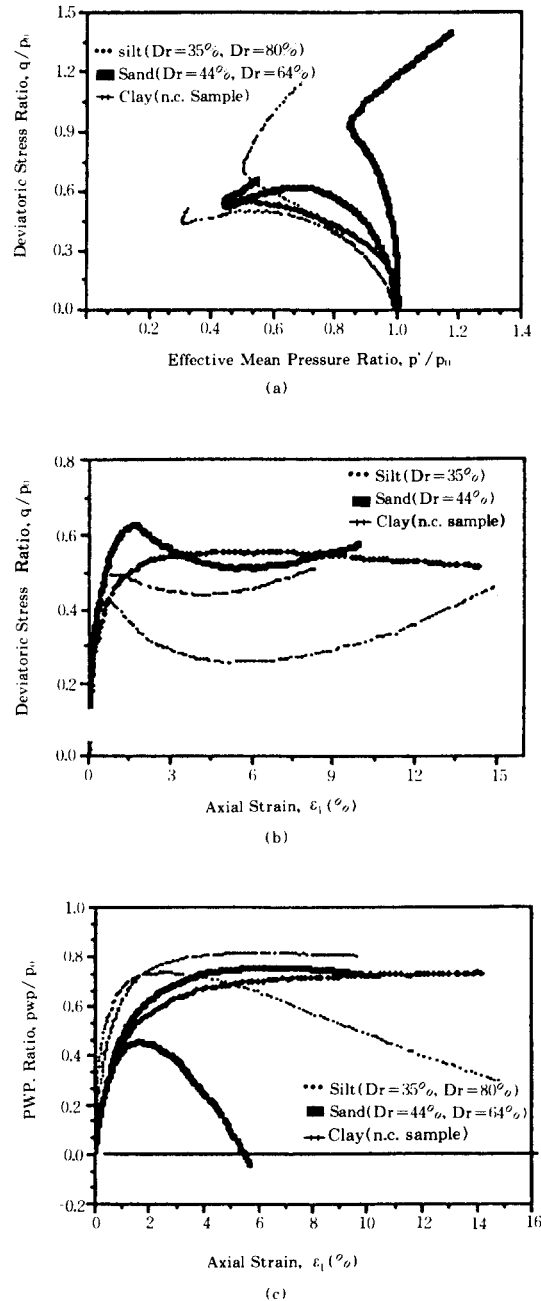


그림 9 실트질, 사질토, 점토의 비배수 삼축압축거동

해 급하다. 또한 상태변형선을 넘어서는 체적 팽창경향(volume dilation tendency)이 사질토에 비해 작으므로 조밀한 시료에 있어서는 사질토에 비해 간극수압의 감소율이 느리다. 이와같은 배경에서 실트의 삼축압축과 인장사이의 파괴 상태에서  $p'/q$ 율은 사질토에서는 일반적으로 0.7보다 크나 실트에서는 0.7보다 작다. 이와같은 차이점은 실트가 파괴시 압축보다는 인장에 더 민감하며 이와같은 이유로 현장 실트의  $K_0$ 값은 현장 실트층의 안정성(stability)과 액상화 가능성(liquefaction potential)을 결정하는 중요한 인자이다.

#### 배수 정하중 상태

조밀한 실트는 조밀한 사질토나 과압밀 점토와 거동이 거의 같고 느슨한 실트는 느슨한 사질토나 정규압밀 점토와 거동이 거의 같다. 그러나 최대강도에 도달하는데 요구되는 변형률은 점토질(10%), 실트(8%), 사질토(5%)순이다.

#### 비배수 동하중 상태

그림 10은 실트와 사질토, 점토의 비배수 동하중하에서의 거동에 유사점과 차이점을 보인다. 일반적으로 파괴 상태까지 모든 시료는 간극수압의 누적 현상을 보이는 반면 실트와 사질토의 응력 변형률은 점성토에선 볼 수 없는 큰 강도저하를 보인다. 느슨한 실트와 사질토의 비교에 있어서는 느슨한 사질토에서는 액상화 현상으로 큰 강도 저하를 보이나 실트에 있어서는 유효응력이 거의 0에 접하지만 cyclic mobility가 있다.

## 5. 요약

본 연구에서는 정하중과 동하중하에서 비소성 실트의 거동에 대한 연구를 하였다. 실트의 거동을 기존의 사질토 및 점성토의 거동에 대한 연구결과와 비교하여 요약하면 다음과 같다.

### 5.1 실트와 사질토의 거동

#### 유사점

- ① 파괴선  $q/p' = M_c$ 와  $-q/p' = M_c$ 가 시험한 구속응력, 상대밀도, 배수상태에 상관없이

유일하게 존재한다.

② 상태 변형선(phase transformation line)

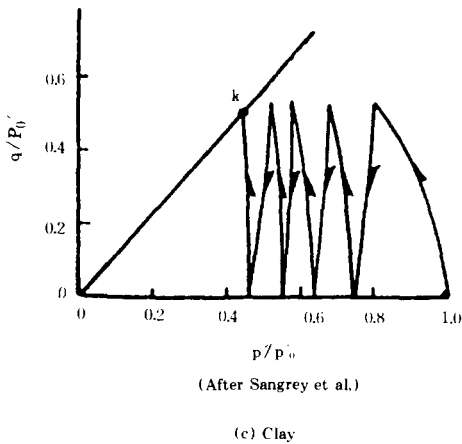
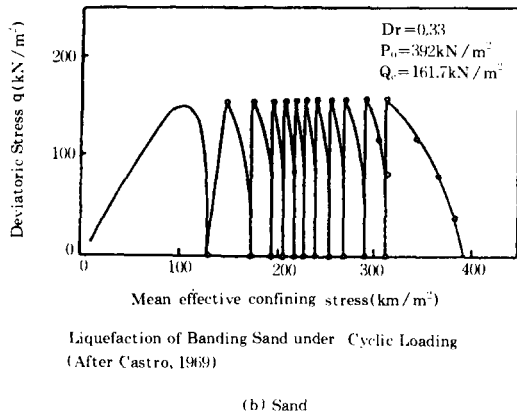
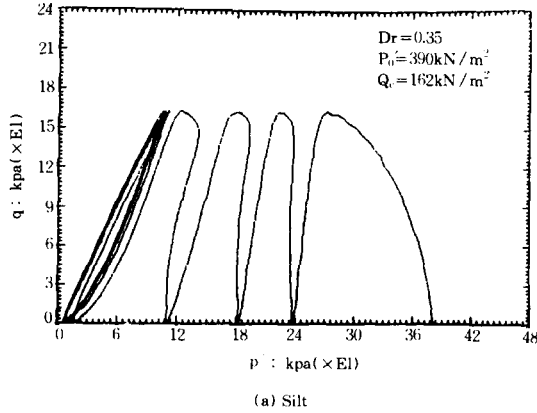


그림 10 비배수 반복 동하중 작용시 실트질, 사질토, 점토의 유효응력경로

$q/p' = M_{pc}$  와  $-q/p' = M_{pc}$ 가 존재한다.

③ 파괴선(failure line)과 상태 변형(dilation) 선 사이의 거리가 삼축 인장영역이 압축영역에서보다 더 가깝다.

차이점

- ① 조밀한 시료의 응력경로를 제외한 모든 느슨한 시료의 응력경로는 최고치,  $q_{max}$ 를 넘어서 상태변형선까지 감소한다. 그러나 사질토에서는  $D_r < 15\%$  경우에서나 응력이 감소하는 현상을 볼수 있다.
- ② 실트의 삼축압축과 인장사이의 파괴시  $p'/q$ 율은 0.7보다 작다. 그러나 사질토에서는 일반적으로 0.7보다 크다.
- ③ 느슨한 사질토에서는 액상화 현상으로 큰 강도저하를 보이나 느슨한 실트에 있어서는 유효응력이 거의 0에 접하지만 cyclic mobility가 있다.
- ④ 전단 초기에는 실트는 사질토에 비해 큰 체적 감소현상으로 빠른 간극수압의 발생을 보이나 상태변형선을 넘어서는 사질토에 비해 작은 체적 팽창현상으로 간극수압의 감소율이 느리다.

5.2 실트와 점성토의 거동

유사점

- ① 배수상태시 조밀한 실트는 조밀한 과압밀 점토와 거동이 거의 같고 느슨한 실트는 정규압밀 점토와 거동이 거의 같다.

차이점

- ① 실트에 있어 비배수 정적 삼축 압축강도는 전단하에서 체적팽창으로 계속 증가한다. 이 현상은 점토질에서는 볼수 없는 현상이다.
- ② 실트의 응력 변형률은 사질토와 거의 같아 반복 동하중 작용시 간극수압의 누적으로 점성토에선 볼수 없는 큰 강도저하를 보인다.

6. 결 론

본 연구에서는 실트의 거동에 대하여 사질토 및 점성토와 비교하여 알아보았다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.



1. 파괴선  $q/p' = M_c$  와  $-q/p' = M_e$  가 시험한 구속응력, 상대밀도, 배수상태에 상관없이 유일하게 존재한다.
2. 사질토에서처럼 상태 변형선(phase transformation line)  $q/p' = M_{pc}$  와  $-q/p' = M_{pe}$  가 존재한다.
3. 사질토에서처럼 시료의 상대밀도가 증가함에 따라 강도 증가를 가져오는 다이러턴치의 크기는 증가한다.
4. 실트에 있어 비배수 정적 삼축 압축강도는 전단하에서 체적팽창으로 계속 증가한다. 이것은 점토질에서는 볼 수 없는 현상이다.
5. 반복 동하중 작용시 실트의 응력-변형률 거동은 거의 같아 간극수압의 누적으로 점성토에선 볼 수 없는 큰 강도저하를 보인다.

### 감사의 글

본 연구를 위하여 연구비를 지원하여 주신 National Science Foundation(Grant Number NSF-ECE 85-07402)에 감사의 마음을 전합니다.

### 참고 문헌

1. Bernard, D. Alkire, (1984), "Changes in Strength of Silt due to Freeze-Thaw", Journal of Technical Topics, Vol.110, No.1
2. Borgesson, L. (1978), "Stress-Strain Relationships for Silty Soils", Interdisciplinary Conference on Mechanisms of Deformation and Fracture, Lulea, Sweden, pp.343~350.
3. Borgesson, L. (1982), "Shear Strength of Inorganic Silty Soils", Interdisciplinary Conference on Mechanisms of Deformation and Fracture, Lulea, Sweden, pp.567~572.
4. Castro, G. (1969), "Liquefaction of Sand", Harvard Soils Mechanics Series, No.81, Harvard University, Cambridge, Mass.

5. Charles C. Ladd, Jeffrey S. Weaver, John T. Germaine, David P. Sauls. (1985), "Strength-Deformation Properties of Arctic Silt", Journal of Civil Eng. in Arctic Offshore, pp. 820~829.
6. Hirschfeld, R.C., Poulos, S.J., (1963), "High-Pressure Triaxial Tests on a Compacted Sand and an Undisturbed Silt", ASTM, STP No. 361.
7. Ishihara, K. Tatsuoka, F. and Yasuda, S., (1975), "Undrained Deformation and Liquefaction of Sand under Cyclic Stresses", soils and foundations, Vol.15, No.1, pp.29~44.
8. Ishihara, K., Shigeru Okada, (1978), "Yielding of Overconsolidated Sand and Liquefaction Model under Cyclic Stresses", Soils and foundation, Vol.18, No.1, pp.57~72.
9. Jafroudi, S., (1983), "Experimental Verification of Bounding Surface Plasticity Theory for Cohesive Soils", Ph. D Thesis of University of California, Davis.
10. Konrad, J.M., (1985), "Undrained Cyclic Behavior of Beaufort Sea Silt" OTC No.3887, pp.830~837.
11. Penman, A.D.M., (1953), "Shear Characteristics of a Saturated Silt, Measured in Triaxial Compression", Geotechnique, Vol.3, No.4, pp.312~328.
12. Schofield, A. and Wroth, P., (1968), "Critical State Soil Mechanics", McGraw Hill, London.
13. Schultze, E. and Horn, A., (1965), "The Shear Strength of Silt", Proceedings, 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. Vol. 1, pp.350~353.
14. Wang, J.L., Vivatrat, V. and Ruster, J.R., (1982), "Geotechnical Properties of Alaska OCS Silts", Proceedings, Offshore Technology Conference, Houston, Tx. Vol.4, pp.415~420, OTC No. 4412.
15. Wood D.M., (1982), "Laboratory Investigations of the Behavior of Soils under Cyclic Loading", Soil Mech. Transient and Cyclic Loads, John Wiley & Sons.

(접수일자 1993. 7. 14)