

風化 花崗土와 loess 의 崩壞特性 比較

The Comparison of Collapsible Characteristics on Decomposed Granite Soil and Loess

都 德 鉉*

Doh, Duk-Hyun

Abstract

The structure of the collapsible soils, such as decomposed granite soil and loess, were examined by the oedometer test, SEM & XES analysis and static & cyclic triaxial test, and how this structure have influences upon the collapsible behaviour under static and cyclic load was investigated.

The study results obtained are as follows:

1. The macropores space of decomposed granite soil ($\gamma_d=1.50g/cm^3$) and loess ($\gamma_d=1.43g/cm^3$) used in this test were well developed, and showed the behaviour of collapsible soil.
2. Collapsible soil has high resistance on the strain under natural moisture content, however, the resistance on the strain was sharply decreased by the absorption and increasing load since its special structure was destructed.
3. Under the static load, the strain of collapsible soil was high by the viscous flow of the clay bonds with time lapse, but under the cyclic load, the strain of collapsible soil was low since the time needed to destruct the bonding force of clay was not enough.
4. The understanding about the cyclic behaviour of collapsible soil may be helpful to predict the elastic & residual strain of the foundations by the earthquake together with the damage by the additional failure.

I. 序 論

崩壞土란 增加荷重 하에서 혹은 增加荷重이 없
다하여도 吸水와 더불어 土粒子가 급격히 再配
列되고 體積이 減少되는 不飽和土로 정의할 수
있다.^{4,12)}

이와같은 性質을 가진 地盤에 構造物을 築造
할 경우에는 沈下나 變位로 因하여 여러가지 問
題點을 야기시킨다.

崩壞土는 ① 느슨하게 盛土한 地盤, ② 風積

土, ③ 花崗土 ④ 酸性火成岩 등에서 많이 볼 수
있다.⁵⁾

最近 産業의 發展에 따른 漸增하는 土地 利用
의 必要性으로 이와같은 地盤의 性質에 대한 研
究가 많이 이루어 지고 있다.^{2,3,8,15,16)}

崩壞土의 基本概念은 砂質 또는 실트 粒子 사
이에 存在하는 粘土 또는 실트덩어리의 局部的
인 剪斷破壞 때문으로 Dudley⁸⁾는 흙의 崩壞現象
을 Coulomb의 式 $S=C+\sigma\tan\phi$ 에서 吸水와 더
불어 粘着力(C)이 低下되거나 輕減되어 結果的
으로 剪斷強度(S)가 減少되는 것이라고 하였다.

* 正會員, 建國大學校 農科大學 副教授

여기서 粘着力의 主要因子는 毛管張力(capillary tension), 粘土 binder, 固結效果 등을 들 수 있다.

Booth³⁾, Dudley⁸⁾ 등은 崩壞가 잘 되는 條件은 흙의 構造가 느슨하고, 완전 飽和상태보다 약간 낮은 水分含量, 乾燥單位重量이 1.10~1.75 g/cm³의 범위이며 液性限界 혹은 活性度の 機能과도 關係가 있다고 하였다.

Krutov와 Bulgakov¹³⁾는 崩壞가 잘 되는 含水比는 塑性限界點에 가깝다고 하였다.

Clemence^{4,5)}는 母岩의 分解와 機械的인 變質로 崩壞가 잘되는 粒子構造로 되며, 이 때 可溶性 및 콜로이드 材料의 溶脫로 큰 空隙을 남기면서 不安定構造로 된다고 하였다.

한편 1920年代 中國의 Kansu地震에서 大規模의 沙汰가 發生한 예가 있으며 崩壞性地盤 상에 基礎를 한 構造物에 심각한 타격을 주었다는 증거들이 발견되었다.⁶⁾ 따라서 cyclic 荷重 하에서 崩壞土의 舉動을 理解한다는 것은 매우 重要하다.

cyclic 荷重 하에서의 崩壞原因은 흙의 自重과 外部荷重을 들 수 있다.

Gibbs와 Bara⁹⁾는 캘리포니아 溪谷開發地區에서 0.3g의 地震이 作用하였을 때 10%의 剪斷強度 (強度定數 c, ϕ)가 低下되었다고 한다.

Barden¹⁾은 地下水位가 10m 이고, 深度가 4m 인 loess地盤에 震源이 8km 떨어진 距離에서 地震이 發生하였을 때 不規則한 沈下가 일어났다고 한다.

따라서 現代 構造物은 地震에 抵抗하는 設計를 하여 沈下나 損傷防止의 대책이 必要하다고 생각된다.

Xie¹⁷⁾는 cyclic 荷重試驗에서 彈性係數는 cyclic 數를 增加시킴에 따라 減少하며 이는 乾燥單位重量, 應力履歷, 含水比, 間隙比, 拘束應力에 좌

우된다고 하였다.

本文은 SEM, XES分析을 통하여 花崗土와 loess(黃土)試料의 基本性質을 調査하고 壓密試驗에 의한 靜的舉動과 三軸壓縮試驗 및 cyclic三軸, 試驗에 의하여 攪亂되지 않은 試料의 靜的cyclic舉動을 調査하였다.

II. 材料 및 方法

1. 材料

花崗土는 忠南 大田市 第2工業團地내에서 採取한 風化가 많이 進展된 試料이며, loess는 美國 南西部의 Mississippi江 堤防邊에서 採取하였다. 試料의 物理的性質은 Table.1과 같고, 粒度分布曲線은 Fig.1과 같다.

2. 試驗方法

1) 壓密試驗

Bishop型 Oedometer-Model# WF 24000으로 試驗하였다.

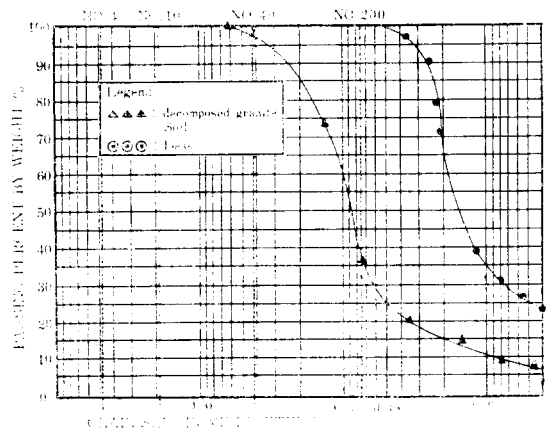


Fig.1. Grain size distribution curves

Table 1. Physical properties of soils used.

Test item	Specific gravity	NMC (%)	γ_d (g/cm ³)	Atterberg limit		Max. grain size (mm)	Mechanical analysis			Soil Classification (USCS)
				LL(%)	PI		Sand (2-0.074 mm)	Silt (0.074-0.005 mm)	Clay (below 0.005 mm)	
granite soil	2.65	6.6	1.50	—	NP	0.5	66.3	26.5	7.2	SM
loess soil	2.64	12.3	1.43	—	NP	0.05	—	78	22	ML

시험은 ① 初期飽和狀態, ② 自然含水比狀態, ③ 自然含水比狀態로 1kg/cm²까지 시험하고 그 다음 24시간동안 飽和시켜서 시험하는 등 3가지 條件으로 하였다.

供試體는 직경 6.35cm, 높이 2.54cm의 크기로 제작하여 시험하였으며 우선 0.125kg/cm²의 荷重으로 24시간 동안 載荷한 후 本 試驗을 시작하였다.

2) 三軸試驗

靜的 三軸試驗은 Wykeham Trarrance Engineering Limited Compression Test Machine 으로서 Model No.10000KGF의 變形制御型으로 試驗하였다. 供試體의 크기는 직경 3.35cm, 높이 6.66cm로 하였으며 拘束壓은 0.7, 1.4, 2.1 kg/cm²로 CU 試驗을 하였다.

變形率은 0.001mm/min로 측정하였다.

Cyclic 三軸試驗은 photo. 1과 같이 應力制御型으로 載荷裝置는 Pneumatic 型으로 하였다.

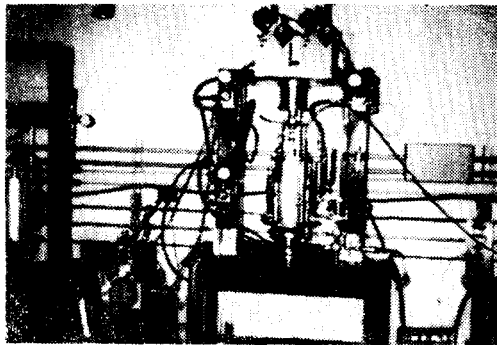


Photo. 1. Cyclic triaxial apparatus.

供試體는 直徑 3.35cm 높이 6.66cm의 크기로 다듬어 使用하였다.

試驗成果는 load cell을 통하여 Hewlett Parkard X-Y Recorder-Model#7128A-03에 기록된다.

試料의 變位는 Transtek Inc. of Ellington (Connecticut)製品인 Linear Variable Displacement Transducer로 測定하며 Hewlett Parkard Strip chart recorder의 channel에 기록된다. 사용된 진동수는 6 cycle/sec 정도로 하였다.

3) SEX 및 XES 分析

土粒子의 構造를 확인하기 위하여 Scanning electron Microscope 및 X-ray Energy Spectrometer 分析을 美國 Syracuse 大學校에서 하였다.

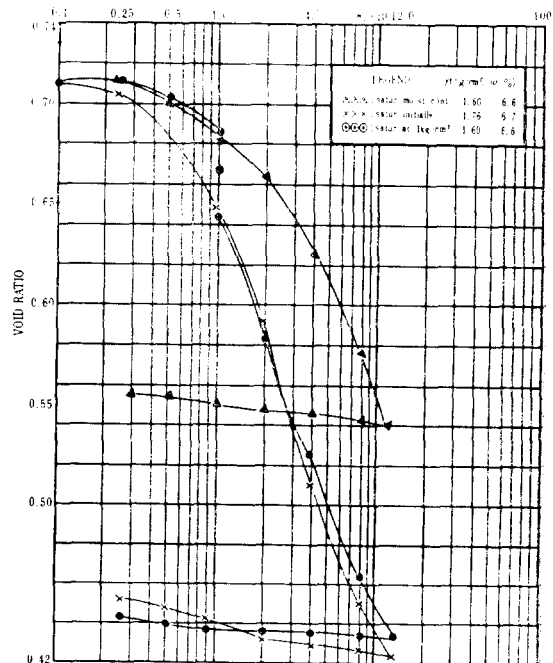
III. 結果 및 考察

1) 壓密

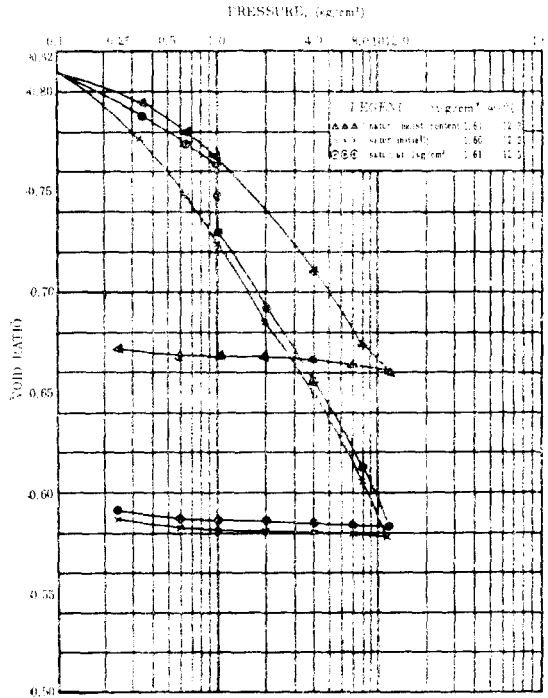
風化花崗土와 loess 試料를 對象으로 自然含水比狀態, 初期飽和狀態, 그리고 自然含水比狀態에서 降伏荷重에 가까운 1kg/cm²까지 載荷하고, 이 荷重에서 24시간 동안 飽和시켜서 壓密試驗을 한 結果, e-logp 曲線은 Fig. 2와 같다.

自然含水比狀態로 試驗한 供試體는 沈下量이 작으나, 初期飽和狀態의 供試體는 同一荷重에서의 沈下量이 현저히 컸으며 1kg/cm² 지점에서 飽和시킨 供試體는 荷重을 增加시키지 않아도 飽和 도중에 沈下를 일으켰고, 이 때 最終荷重에서의 沈下量은 初期飽和供試體와 비슷하였다.

이는 供試體가 荷重 1kg/cm²에서 吸水和 더불어 砂質土 또는 실트質土 사이의 粘土 bond가 급격히 破壞되기 때문에^{2,10,12)} 本 試驗에 사용된 風化度가 높고, 粒度分布가 不良(gap



a) granite soil



b) loess

Fig. 2. Comparison of Different Test Procedure on Soils with Oedometer Test

graded)한 花崗土, loess 등과 같은 地盤에 灌溉用水路를 비롯한 各種 構造物을 施設할 경우에는 吸水 또는 增加荷重에 따른 地盤의 崩壞에 의한 沈下量을 고려해야 할 것이다.

2) 崩壞土의 構造

Photo. 2의 a)는 壓密試驗 전의 花崗土와 loess를 對象으로 倍率을 달리 하였을 때 粒子의 構造를 보인 것이다.

花崗土의 構造는 일반적으로 物理·化學的으로 風化變質된 長石 또는 雲母粒子가 溶脫되고 남은 粘性土分이 砂質 또는 실트質인 石英粒子를 감싸면서 macropore 空隙이 많이 發達되어 있는 것으로 추정되며,^{7,14)} loess 역시 Fig. 3에서 보는 바와 같이 砂質土 또는 실트質土 사이에 粘土 또는 실트가 結합(bond)이나 연결(bridge) 역할을 하고 있는 것으로 생각된다.^{5,11,12)}

Photo. 2의 b)는 1kg/cm²에서 飽和시켜 壓密試驗을 實施한 후의 粒子構造의 變化를 보인 것

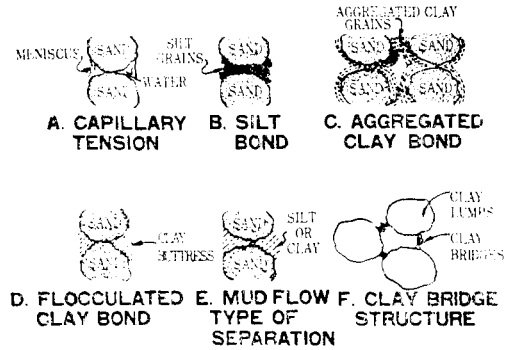
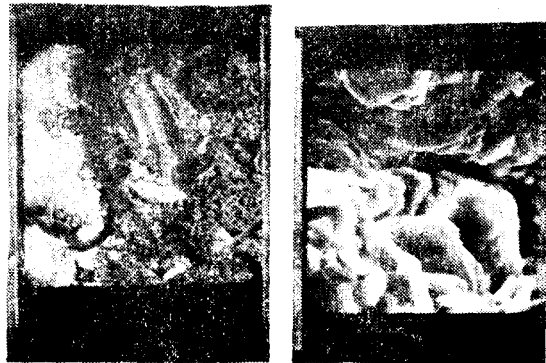


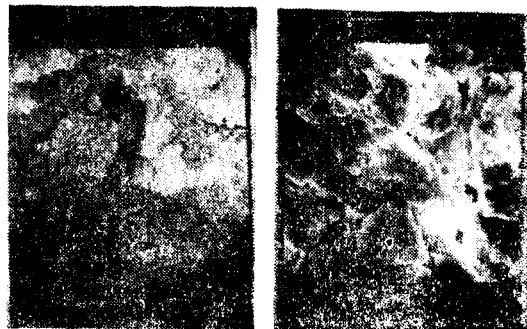
Fig. 3. Typical collapsing soil mechanisms which hold loose, bulky grains in place.



200×

2000×

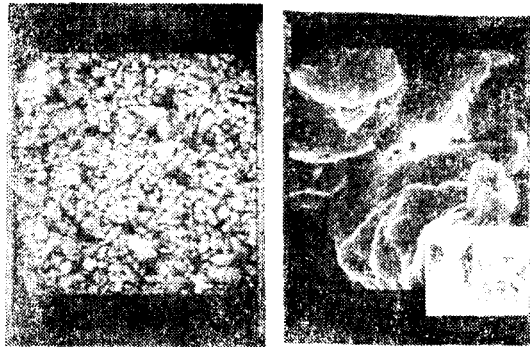
i) before consolidation



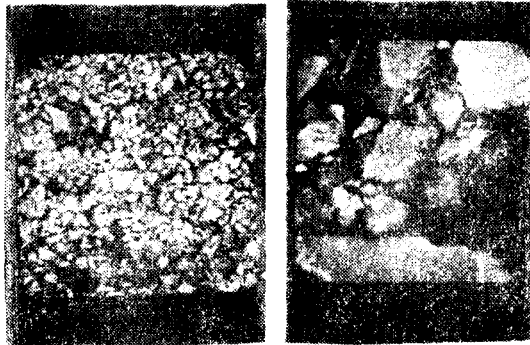
200×

1400×

ii) after consolidation
a) decomposed granite soil



200× 3000×
i) before consolidation



200× 1300×
ii) after consolidation
b) loess

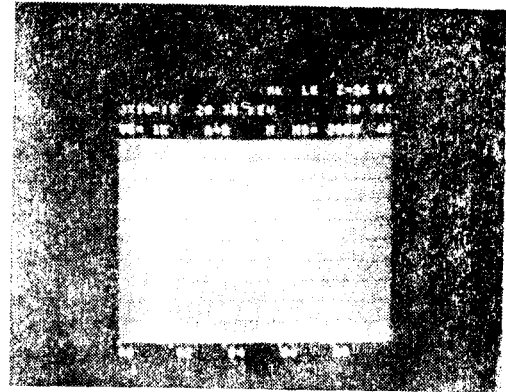
Photo. 2. Scanning Electron Microscope of soils

으로 吸水 또는 增加荷重에 의하여 崩壞되었음을 알 수 있다.

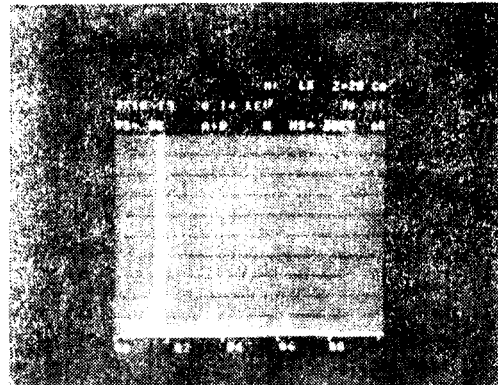
Photo. 3은 XES分析에 의하여 定性的인 化學成分을 나타낸 것이다. 花崗土의 主要 化學成分은 Si, Al, Ca, Fe, K 등의 順序로 많았으며, Al을 제외하고는 loess도 비슷한 順序의 化學成分을 지니고 있었다. 그러나 化學成分의 構成비가 다르고, 異質構造를 이루고 있으므로 이들 두 試料는 崩壞舉動에 약간의 差異가 있을 것으로 생각된다.

3) 三軸試驗

靜的三軸試驗에 의하면 花崗土와 loess 모두 塑性流動을 보이면서 적은 變位(2.5~4.0mm)에서 塑性破壞를 일으키는 樣相을 나타냈으며, 強



Al Si K Ca Fe
20KV-100X
a) decomposed granite soil

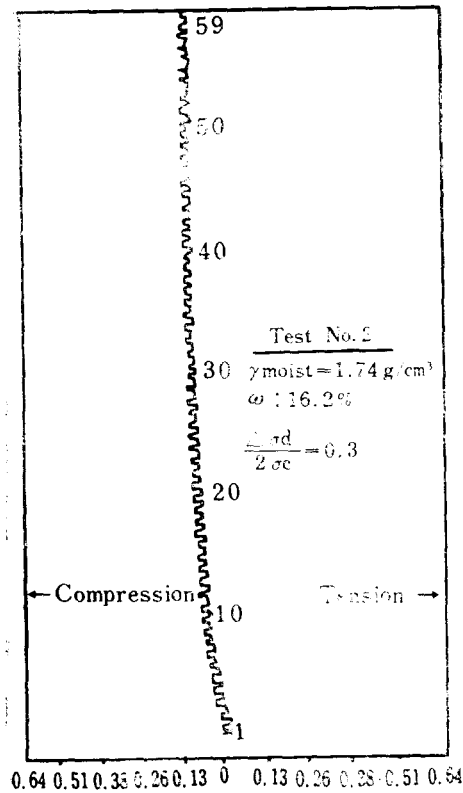


Si K Ca Fe
b) loess

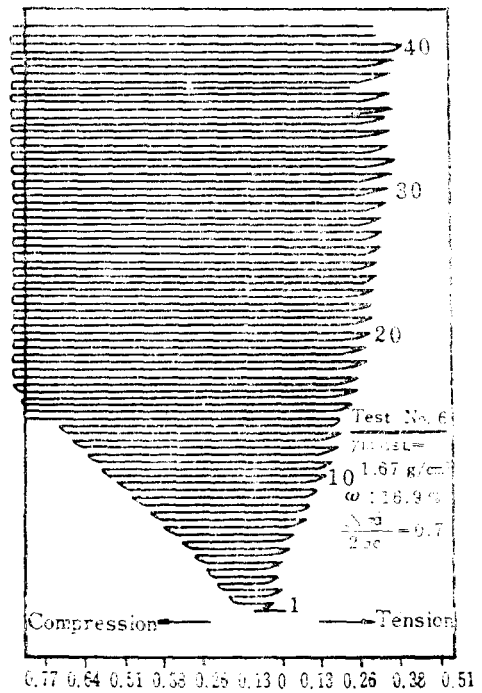
Photo. 3. X-ray energy spectrometry analysis

度定數는 花崗土 $c=0.25 \text{ kg/cm}^2$, $\phi=19.6^\circ$, loess $c=0.28 \text{ kg/cm}^2$, $\phi=14.5^\circ$ 로 나타났다.

cyclic 三軸試驗에서는 使用試料의 性質과 부합되도록 cyclic 軸差應力比($\Delta\sigma_a/2\sigma_c$)를 3-7의 범위로 하고 적용 진동수는 6 cycle/min 정도로 하여 總 70cycle 까지 試驗하였다. 이 試驗의 결과는 Table. 2와 같다. Fig. 4는 花崗土의 cyclic 軸差應力比 0.3, loess는 0.7에서의 cyclic 變位를 나타낸 것이며 Fig. 5는 累積 cyclic 軸變位와 cyclic 軸差應力比와의 關係를 30 및 50cycle에 대하여 나타낸 것이다. Fig. 5에서 本試驗에 사



cyclic axial deformation (cm)
a) decomposed granite soil



cyclic axial deformation (cm)
b) loess

Fig. 4. Cyclic strain of soils under cyclic deviator stress ratio of 0.3 and 0.7

Table 2. Results of Cyclic Triaxial Tests

Test	Soil type	moisture unit weight (g/cm³)	$\Delta\sigma_d/2\sigma_c$	Strain		
				Cycles		
				10	30	50
1	granite soil	1.75	0.4	0.035	0.080	> 0.25
2	"	1.74	0.3	0.031	0.040	0.050
3	loess	1.69	0.4	0.012	0.014	0.015
4	"	1.70	0.6	0.022	0.024	0.034
5	granite soil	1.75	0.5	0.16	> 0.25	> 0.25
6	loess	1.67	0.7	> 0.25	> 0.25	> 0.25

용된 花崗土와 loess 試料은 큰 變形을 일으키지 않고, 높은 軸差應力을 나타내는 특징을 보였다. 여기서 靜的 三軸壓縮試驗에서는 漸增荷重을 받으면 初期 結合劑로, 作用하던 粘土는 viscous

舉動을 하면서 流動하므로⁵⁾ 이 粘土의 結合力은 變位에 대하여 抵抗하는데 이용되지 못하며 그 결과 崩壞性土 自體의 構造가 破壞된다. 그러나 cyclic 荷重下에서는 純壓縮荷重이 계속적으

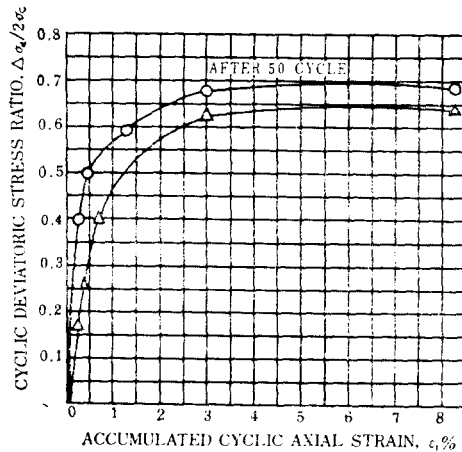
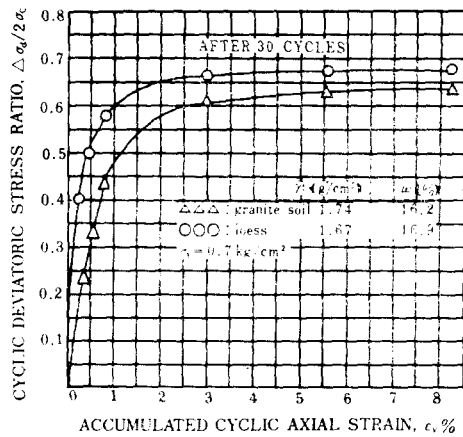


Fig. 5. Cyclic Deviatoric Stress Ratio vs Accumulated Cyclic Axial Strain

로 증가 또는 감소하므로粘土가流動하는데 충분한 시간을 허용하지 않으므로 崩壞性土의構造는 그대로 保存되는 것으로 생각된다.

따라서 適用荷重의 진동수는 崩壞性土의 變位에 아주 重要的 의미를 갖는다. 이상과 같이 崩壞性土의 cyclic 舉動에 대한 理解는 地震시 彈性 變位와 殘餘變位, 그리고 이에 따른 追加的 피해를 예측하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

IV. 結 論

本文은 壓密試驗, SEM 및 XES 分析, 靜的 및 cyclic 三軸試驗 등을 통하여 花崗土, loess 등과 같은 崩壞性土의 構造를 調査하고 이 構造가 靜的 및 cyclic 荷重에서 崩壞거동에 어떠한 영향을 미치는가를 調査하였으며 그 結果는 다음과 같다.

1. 本試驗에 使用된 風化가 進展된 花崗土($\gamma_d = 1.50 \text{ g/cm}^3$)와 loess($\gamma_d = 1.43 \text{ g/cm}^3$)는 macropore 空隙이 많이 發達되어 있어 崩壞性土의 거동을 나타내었다.

2. 崩壞性土는 自然含水 狀態에서는 變位에 대한 抵抗性이 크나 吸水와 增加荷重에 의하여 그 特殊構造가 파괴되므로 變位에 대한 抵抗性이 급격히 減少되었다.

3. 靜荷重下에서는 時間의 경과와 더불어 흙속의 粘土본드의 점성유동으로 붕괴토는 變位가

크게 일어나나 cyclic 荷重에서는 粘土의 結합력을 파괴하는데 필요한 時間여유가 없기 때문에 變위가 적게 일어났다.

4. 崩壞性土의 cyclic 거동의 이해는 지진시 構造物基礎地盤의 탄성변위와 殘餘變位 그리고 이에 따른 追加的 崩壞의 被害를 豫測하는데 도움이 된다.

參 考 文 獻

1. Barden, L., McGown, A. and Collins, K. (1973), "The Collapse Mechanism in Partly Saturated Soil," Engineering Geology, 7, pp. 49~60.
2. Bhatia, S.K. and Quast, D. (1984), "The Behaviour of Collapsible Soil Under Cyclic Loading," Fourth Australia-New Zealand Conference on Geomechanics, Perth, pp. 73~77.
3. Booth, A.R. (1975), "The Factors Influencing Collapse Settlement in Compacted Soils," Sixth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, South Africa, pp. 57~63.
4. Clemence, S.P. (1981), "Design Considerations for Collapsible Soils," Journal of the Geotechnical Eng. Division, ASCE, Vol. 107, No. GT3, pp. 305~317.
5. Clemence, S.P. (1985), "Collapsible Soils: Identification, Treatment and Design Consideration,"

- ns," Current Practices in Geotech. Eng. 1, pp. 17~33.
6. Close, U. and McCormick, E.(1922).: "Where the Moutains Walked", The National Geographic Magazine, Vol. XII, No. 5.
 7. Collins, K. and McGown, A.(1974), The Form and Function of Microfabric Features in a Variety of Natural Soils," Geotechnique, Vol. 24, No. 2, pp. 223~254.
 8. Dudley, John H. (1970), "Review of Collapsing Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 96, No. SM3, pp. 925~947.
 9. Gibbs, H. J. and Bara, John P.(1967), "Stability Problems of Collapsing Soil," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 93, NO. SM4, pp. 577~594.
 10. Jennings, J.E. and Knight K.(1975), "A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to Collapse of Grain Structure," Proceedings, Sixth Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, South Africa, pp. 99~105.
 11. Knight, K. (1962), "Collapsing of Partially Saturated Soils of South Africa," (Unpublished Thesis, University of Witwatersand, Johannesburg, South Africa).
 12. Knight, K. (1961), "The Collapse of Structure of Sandy Subsoils on Wetting," Ph. D. Thesis, University of Witwatersand, Johannesburg, South Africa.
 13. Krutov, V.I., Bulgakov, V.I. and Korotkova, O.N. (1980), "Effect of the Degree of Increase of Water Content on the Relative Slumping, and Consolidation of Loess Soils," Translated from Osnovaniya, Fundamenty; Mekhanika Gruntov, No.1, pp. 19~21.
 14. Minkov, M. and Stoilov, K. (1966). "Role of Macropores in the Slumping of Loess," Translated from Osnovaniya, Fundamenty; Mekhanika Gruntov, No. 1, pp. 10~12.
 15. Musaelyan, A.A. (1972), "Settlement Deformation of Soils in Dynamic Loading," Translated from Osnovaniya, Fundamenty; Mekhanika Gruntov, No. 4, pp. 9~10.
 16. Rabinovich, I.G. (1971), "Slump like Deformation of Loess Soils Acted on by Simulated Earthquakes," Translated from Osnovaniya, Fundamenty; Mekhanika Gruntov, No. 4, pp. 24~26.
 17. Xie, Ding Yi, Zhi, Huei Wu and Guo, Yiao Tang (1980), "Preliminary Research on Undisturbed Yellow Soil under Dynamic Conditions," Hydraulic Department of West North Agriculture College, Sian. (in Chinese).