

資料

繰返し荷重を受けた有機質火山灰土の三軸圧縮試験

北 園 芳 人*
鈴 木 敦 巳**

Triaxial compression test of Organic Volcanic Ash Soils
under Repeated Loading

Yoshito KITAZONO
Atsumi SUZUKI

1. ま え が き

繰返し荷重を受けた粘性土は、硬化または疲労破壊を起こすといわれている。そこで今回は、阿蘇・九重を中心として中九州に広く分布する有機質火山灰土に対して、繰返し荷重試験を行ない、その影響について考察してみたい。有機質火山灰土は多量の有機物を含む火山灰質粘性土であり黒色を呈する。そして、有機物を比較的含まない火山灰質粘性土で褐色を呈する土と互層をなして堆積している。通常、前者を黒ボク後者を赤ボクと称している。これらの火山灰質粘性土は非結晶質で比表面積の大きいアロフェンという粘土鉱物を多量に含む¹⁾ため、高い含水比を示し、土質工学的な特異性も具体的には類似しているが、前者の方がその特異性を顕著に表わす。そこで今回は、特異性の顕著な黒ボクについて繰返し荷重試験を行ない、その結果について考察してみたい。

2. 試料および供試体

試料は熊本県阿蘇郡産山村で採取した有機質火山灰土〔通称・黒ボク(産山黒I)〕を用いた。試料I(昭和48年8月採取)、試料II(昭和47年7月採取)のそれぞれの物理的性質・試験前の供試体の諸元は表-1のとおりである。供試体は突固め試験(JISA 1210)²⁾相当

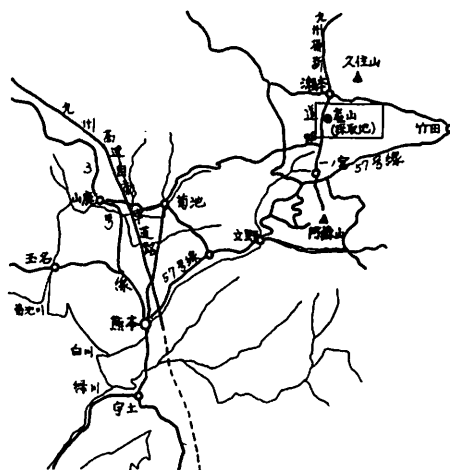


図1 試料採取地

のエネルギーで突固めて高さ 125 mm、直径 50 mm のものを作製し、ビニールでシールしたあと、養生室 (20 °C) で一週間以上養生を行なったあとを使用した。

試料Iと試料IIの物理的性質を見ると、試料Iは試料IIに比較して、それぞれ自然含水比 (w_n) が 50%、液性限界 (w_L) が 35%、塑性限界 (w_p) が 20% 低くなっているが、図-2 にプロットすると過去の産山黒Iのデータ¹⁾と大差はない。すなわち、供試体諸元の差は

* 助手 土木工学教室

** 助教授 工博 土木工学教室

表1 試料の物理的性質と供試体諸元

物理的性質	試料 I	試料 II
自然含水比	202%	250%
比重	2.47	2.37
液性限界	224%	258%
塑性限界	168%	186%
有機物		32%
供試体		
含水比	194~202%	235~241%
乾燥密度	0.39~0.41g/cm ³	0.33~0.34g/cm ³
間ゲキ比	5.02~5.38	5.93~6.08
飽和度	93.7~96.3%	92.8~95.3%

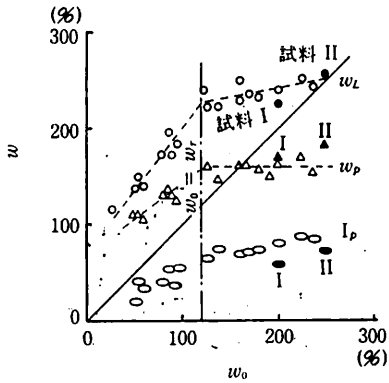


図2 乾燥に伴う w_L , w_p および I_p の変化

先行含水比 w_0 (ここでは自然含水比) の違いによるものと考えられる。

3. 試験装置と試験方法

試験装置は普通の三軸圧縮試験機を改良し、ペロフロムシリンダーを取付け、荷重は空気圧を用い、載荷・除荷は発信器を用いて、自動的に排気弁を開閉することによって行なう。載荷終了後、非排水三軸圧縮試験を行なう。

試験方法は、拘束圧 (σ_3) を 0, 0.5, 1.0, 1.5kg/cm² の4種類とし、繰返し荷重強さ (σ_r) は、非排水三軸圧縮強度 ($\sigma_1 - \sigma_3$)_r との比 $\sigma_r / (\sigma_1 - \sigma_3)$ _r で表わす。載荷周期は載荷0.5秒・除荷0.5秒の1.0秒で行ない、載荷回数は $N = 10^3, 10^4, 8 \times 10^4$ 回の3種類について行なった。

4. 試験結果

4.1 非排水三軸圧縮試験

繰返し載荷試験を行なうにあたって、その効果を明確にするために、非圧密非排水三軸圧縮試験を行なった。その結果は図-3のとおりである。試料Iと試料

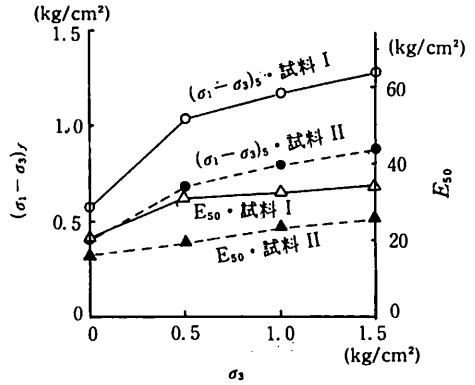


図3 非排水三軸圧縮試験の破壊強度・変形係数

IIにおいて破壊強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$, 変形係数 E_{s0} に差がある。しかし、拘束圧 (σ_3) の増加による $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$, E_{s0} の増加を考えると、両者とも同じような傾向を示している。この強度差は同じ産山黒Iではあるが、採取場所・採取時期が異なるため、採取時の自然含水比が異なる(表-1)。すなわち、自然含水比の差が試料の物理的性質や供試体の諸元に差が現われている。しかし、過去のデータ³⁾と比較すると大きな違いはみられず(図-4), 両試料において、力学特性に本質的な相違があるとは考えられない。すなわち、先行含水比 (ここでは試料

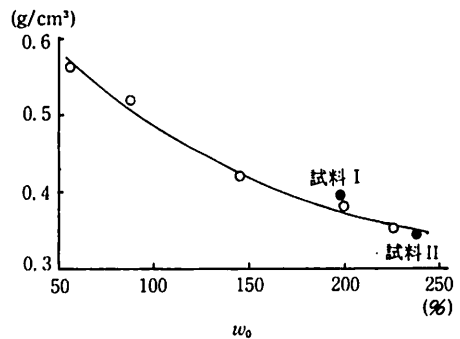


図4 乾燥に伴う r_a の変化

採取時の自然含水比)に約50%の差が見られるが、土の強度(特に粘着力)に最も強く影響していると思われる拘束水・準拘束水¹⁾の量にはわずかな差しかみられないことから両試料の力学特性に本質的な相違を与えるとは思えない。

4・2 非排水繰返し載荷試験

試料Iについて繰返し載荷試験を行ない、その後非排水三軸圧縮試験を行なった。

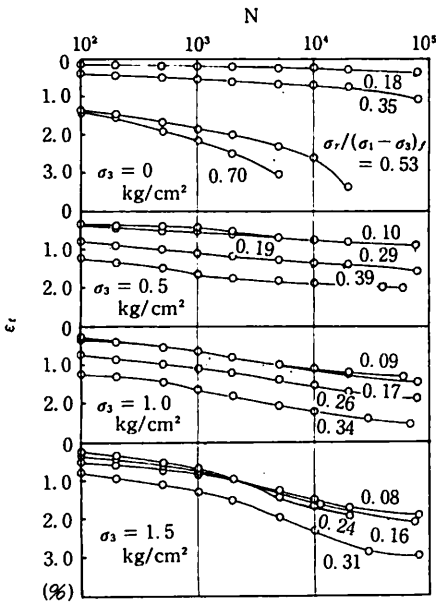


図5 載荷回数全ヒズミ曲線

$\sigma_3 = 0 \text{ kg/cm}^2$ については、一軸繰返し載荷試験とみなされる。載荷回数 (N) が8万回における全ヒズミ-載荷回数曲線 ($\epsilon_t - \log N$ 曲線) は図-5 のようになる。繰返し荷重強さ $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.18$ ではほとんど一定の曲線勾配 (γ_c) で全ヒズミ (ϵ_t) が進行しており、繰返し載荷後の非排水三軸圧縮試験においても、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ 、 E_{50R} の両者が N の増加に従ってゆるやかに増加している (図-6)。 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.35$ では、8万回では破壊に至っていないがかなり疲労が進んでいるものと考えられる。すなわち、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ 、 E_{50R} を見ると $N = 10^3$ 、 10^4 回の $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ 、 E_{50R} よりも低下しており、繰返し載荷しない供試体の $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 、 E_{50} とほぼ同じ値を示している。 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.53$ では $N = 2 \times 10^4$ 回、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.70$ では $N = 5 \times 10^3$

凡例 $\circ \sigma_3 = 0 \text{ kg/cm}^2$ $\bullet \sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
 $\circ \sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ $\bullet \sigma_3 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

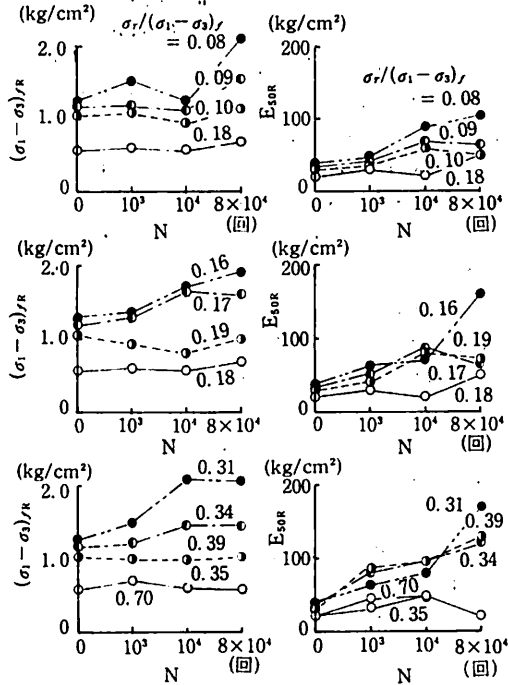


図6 N の変化に伴う $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ 、 E_{50R} の変化

回で破壊にいたる。これを他の土と比較すると、飽和粘性土⁴⁾の場合、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.40$ 、 $N = 250$ 回で破壊に至る。また締固めた不飽和ローム⁵⁾の場合は、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.80 \sim 0.90$ 、 $N = 10^3$ 回以前で破壊するが、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.70$ 以下では $N = 10^5$ 回でも破壊しない。すなわち、締固めた不飽和ロームは水の表面張力が吸着水層を介して土粒子を結合させているため土粒子間力が増加する。また、過剰間ゲキ水圧の発生が少ないため、有効応力が大きくなり、土粒子構造の破壊には大きい応力が必要となる。しかし、飽和粘性土の場合は、過剰間ゲキ水圧が増加し、有効応力が低下するために低い応力で破壊する。有機質火山灰土の場合、95%と高飽和度であるが、含有水分の大部分が拘束水・準拘束水と考えられ、自由水は少ない。そのため飽和粘性土と異なり、載荷回数が増加すると比較的自由水化しやすい準拘束水が自由水へ転化し、土粒子間力が低下し、破壊するものと考えられ、多くの載荷回数が必要となる。また弾性ヒズミ (ϵ_e) は $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ が大きくなるほど大きくなる。しかし、載荷回

数の増加に伴う ϵ_e の減少は少なく、破壊を起こす繰返し荷重強さでは減少がみられない。

$\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ の ϵ_t - $\log N$ 曲線は $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.10 \sim 0.19$ の間では ϵ_t 残留ヒズミ (ϵ_p) の両者共にほとんど差がない。さらに $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$, E_{50R} にも大きな差はみられない。そして $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.29$ 以下ではほとんど一定の γ_e で ϵ_t が増加しており、 ϵ_e の減少も小さい。 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.39$ になると ϵ_t - $\log N$ 曲線に変化が現われ、 $N = 2 \times 10^3$ 回前後で γ_e が減少してくる。この変化は、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ には影響がみられないが、 E_{50R} には $N = 10^3$ 回でわずかに変化が現われていると考えられる。しかし、 $N = 8$ 万回における $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.29, 0.39$ の E_{50R} を考えた場合、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.8$ の γ_e の減少はばらつきとも考えられる。そして、この E_{50R} の増加は ϵ_t の最終ヒズミ量や ϵ_e の減少、すなわち締固りによる増加と考えられる。

$\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の ϵ_t - $\log N$ 曲線は、 $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 以下の ϵ_t - $\log N$ 曲線と異なり、圧密時間沈下曲線 (ϵ - $\log t$ 曲線) と類似した曲線を示している。 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の増加に伴う ϵ_t - $\log N$ 曲線の形状の変化はほとんどなく、 ϵ_t の増加がみられるだけである。すなわち、 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ になると σ_3 の圧縮によるヒズミが大きくなり、 ϵ_t - $\log N$ 曲線の形状が ϵ - $\log t$ 曲線に類似してくると考えられる。また ϵ_e の減少が大きくなり、 $N = 10^2$ 回の50%以下にまで減少している。 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ は、 $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 0.34$ の場合、 $N = 10^4$ 回で $N = 8$ 万回とほぼ等しい強度を示しているが、 E_{50R} はまだ増加の傾向にある。すなわち、有機質火山灰土の飽和度が高いため、繰返しによる硬化現象は、非排水三軸圧縮試験において、ひずみが大きくなると、繰返しの影響が消えてしまうために、 E_{50R} には増加がみられるが、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ にはみられないと考えられる。

$\sigma_3 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ の ϵ_t - $\log N$ 曲線は $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ のときと同様な形状を示し、 γ_e が $N = 10^3 \sim 2 \times 10^3$ 回と $10^4 \sim 2 \times 10^4$ 回の2ヶ所で大きく変化している。 ϵ_e も $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ と同じ傾向にある。また N が増加した場合、 E_{50R} は $N = 10^4$ 回ではまだ増加していないが γ_e の変化点 $N = 2 \times 10^4$ 回以後では大きく増加しているが、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ は N の増加に従って徐々に増加している。すなわち、有機質火山灰土の場合は、間ゲキ比が大きいため、 σ_3 による圧縮 (締固り) が生じ、これ $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$, E_{50R} を繰返し硬化に加えて増加させていることが ϵ_t - $\log N$ 曲線と ϵ - $\log t$ 曲線とが類似していることから考えられる。また、硬化現象が E_{50R} よ

りも $(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$ に現われにくいのは、飽和度が高いため、ひずみが大きくなり変形が進むと、過剰間ゲキ水圧が増加し有効応力の増加が少なくなるためである。

5. ま と め

以上の試験結果をまとめると次のようになる。

- 1) 試料 I, 試料 II の供試体諸元や非排水三軸圧縮強度の差は、試料採取時の自然含水比によるもので、力学特性に本質的な相違を与えるとは思われない。
- 2) 繰返し荷重強さ $\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ が大きくなるほど全ヒズミ、残留ヒズミが大きくなる。
- 3) 繰返し載荷回数の増加に従って弾性ヒズミが減少する。
- 4) 一定の繰返し載荷回数に対する許容繰返し荷重強さは、不飽和ロームに比較して小さい。
- 5) 静的な拘束圧が大きいと全ヒズミ量が大きくなり、全ヒズミ-載荷回数曲線にも拘束圧の影響が大きいと考えられる。

記号一覧表

$E_{50} \cdot E_{50R}$: 変形係数 (kg/cm^2)
I_p : 塑性指数 (%)
N : 繰返し載荷回数
w_n, w_0 : 自然含水比, 先行含水比 (%)
w_L : 液性限界 (%)
w_p : 塑性限界 (%)
γ_d : 乾燥密度 (g/cm^3)
γ_e : 曲線勾配 ($\epsilon_t/\log N$)
ϵ_e : 弾性ヒズミ
ϵ_t : 全ヒズミ
ϵ_p : 残留ヒズミ
ϵ - $\log t$: 圧密時間沈下曲線
ϵ_t - $\log N$: 載荷回数全ヒズミ曲線
σ_3 : 拘束圧 (kg/cm^2)
σ_r : 繰返し荷重強さ (kg/cm^2)
$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$: 非排水三軸圧縮強度 (kg/cm^2)
$(\sigma_1 - \sigma_3)_{fR}$: 繰返し載荷後の非排水三軸圧縮強度 (kg/cm^2)
$\sigma_r/(\sigma_1 - \sigma_3)_f$: 繰返し荷重比

参考文献

- 1) 鈴木敦巳：有機質火山灰土の土質工学的性質に及ぼす含有水分の影響，S. 49. 10
- 2) 土質工学会：土質試験法
- 3) 押川定俊：黒ボクの突固め特性及び透水性，卒業論文，S.42
- 4) 西勝・中村潤一，近藤茂：繰返し荷重を受ける飽和粘性土の硬化および劣化現象について，第8回土質工学研究発表会S. 48. 6
- 5) 河上房義・小川正二：くり返し応力を受けた締固め土の力学的性質，土木学会論文集第96号，S. 38. 8