

熊本大学 工学部 正員 ○ 北園芳人
 “ “ “ 鈴木敦己

まえがき

火山灰質粘性土(黒ぼく・赤ぼく)は非晶質のアロフェンを主成分としているため、高含水比で間げき比が大きい。さらに透水性係数が小さいため、圧密を行なった場合、一次圧密に長時間必要であり、また二次圧密量が大い。そのため、火山灰質粘性土の場合、圧密時間の短縮が重要である。一方、圧密することによって間げき比の減少や、含水比の低下による強度増加が期待される。そこで、今回は、圧密時間の短縮と強度増加を明確にするため、圧密方法、圧密荷重、圧密時間を変えて三軸圧縮試験を行ない、その結果について考察を行なった。

試料及び試験方法

表-1 試料の物理的性質

	黒ぼく	赤ぼく
自然含水比	220 (%)	101 (%)
比重	2.454	2.791
液性限界	252.0 (%)	118.1 (%)
塑性指数	51.1 (%)	36.9 (%)
日本統一分類法	OV	VH ₂

試料の黒ぼく・赤ぼくは熊本県阿蘇郡産山村で採取したものである。試料の物理的性質を表-1に示す。供試体はJIS A1210の安定め試験とほぼ等しいエネルギーで、高さ25mm、直径50mmに安定めて作製し、一週間以上恒温で養生したあと試験に供した。試験方法は三軸圧縮試験機を用いてまず24時間 α 等方圧密を行ない、その後、それぞれ静的等方圧密、静的異方圧密、繰返し圧密を 5×10^3 , 10^4 , 10^5 (σ_v 回)載荷したあと、非排水三軸圧縮試験を行なった。供試体の試験前と24時間等方圧密(拘束圧 $\sigma_c = 1.0 \text{ MPa}$)後の諸元を表-2に示す。圧密荷重(σ_v)は $(\sigma_v - \sigma_h)_{\sigma_0}$ との比で表わし荷重比($R_L = \sigma_v / (\sigma_v - \sigma_h)_{\sigma_0}$)とし、 $R_L = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ の4種類とした。なお、静的等方圧密の場合は拘束圧 $\sigma_c = \sigma_h = \sigma_v$ とした。繰返し周期は1.0s(載荷0.5s, 除荷0.5s)である。

表-2 供試体の諸元

		$W(\%)$	$R_L(\%)$	e	$S_r(\%)$	$(\sigma_v - \sigma_h)_{\sigma_0}(\text{MPa})$	$E_{50}(\text{MPa})$
黒ぼく	試験前	213.4	0.380	5.46	95.9	$(0.736)^*$	$(20.6)^*$
	24h 等方圧密後	192.7	0.407	4.74	99.8	1.801	78.2
赤ぼく	試験前	96.6	0.706	2.95	91.3	$(1.199)^*$	$(20.7)^*$
	24h 等方圧密後	90.3	0.783	2.56	98.3	2.304	41.2

*は非圧密非排水三軸圧縮試験結果(拘束圧 $\sigma_c = 1.0 \text{ MPa}$)

試験結果

図-1, 2でこれまでの試験結果より、破壊強度の増加率は約7割が最高で、変形係数の増加率に比較して、小さい。そこで、図-1, 2では、増加率の大きい変形係数について示した。(■印は繰返し圧密の破壊強度比 $(\sigma_v - \sigma_h)_{\sigma_0} / (\sigma_v - \sigma_h)_{\sigma_0}$)。図-1は、黒ぼくの載荷時間・載荷回数と強度比の関係を荷重比ごとに示したものである。等方圧密の場合、変形係数が大きくなるのは $R_L \geq 0.6$ ・ $\sigma_v = 10^5$ である。異方圧密の場合は、 $R_L \geq 0.4$ ・(σ_v, N) $\geq 5 \times 10^3$ (σ_v 回)で2倍以上となるが、静的載荷と動的載荷の差はほとんどない。また、変形係数は $R_L = 0.8$ になると、 $R_L = 0.4 \sim 0.6$ より小さくなり、異方圧密効果が減少する。

赤ぼくは図-2に示す。静的等方圧密の場合は、黒ぼくと同様である。静的異方圧密の場合、 $R_L = 0.4$ ・ $\sigma_v = 10^5$, $R_L \geq 0.6$ ・ $\sigma_v \geq 5 \times 10^3$ (σ_v 回)で3~5倍と大きく増加し、繰返し圧密の場合、 $R_L \geq 0.4$ ・ $N \geq 5 \times 10^3$ (σ_v 回)で5倍以上に増加している。すなわち、静的載荷と動的載荷の差はほぼ2倍前後あり、繰返し圧密の効果が明確である。

図-3は繰返し載荷時の弾性回復ひずみ(E_e)と載荷回

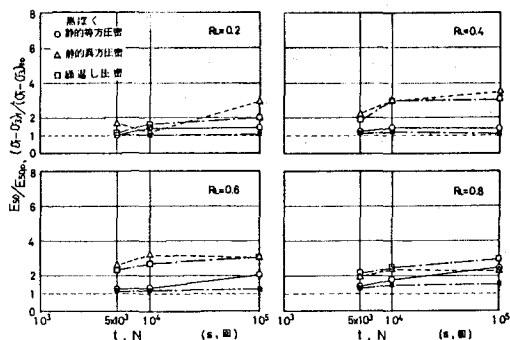


図-1 黒ぼくの載荷時間・載荷回数-強度変化

数の関係であるが、載荷回数が増加に伴ない、 E_{ϵ} は減少しほぼ一定の値を示す。これは一定の応力に対し、一定の弾性ひずみが生じるということであり、応力に対して一定の骨格構造が形成されたことを示す。荷重比が小さいほど、落ち着くのが早く、 $R_{\epsilon}=0.2$ で $N=2 \times 10^3$ 回、 $R_{\epsilon}=0.8$ で $N=10^4$ 回となる。これは軸方向異方性の発達に荷重比の大きいものほど大きく、透水係数が小さく圧密の進行が遅いため、大きい荷重比では時間がかかると思われる。

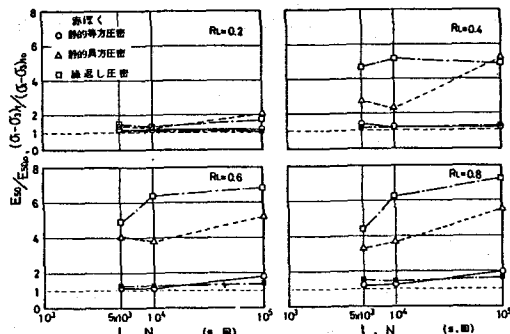


図-4は軸ひずみ(E_{ϵ})と体積ひずみ(E_v)の比をとったものである。図-3と図-4の繰返し圧密から、 E_{ϵ} と E_v/E_{ϵ} の落ち着く載荷回数がほぼ等しいことから、 E_{ϵ} と E_v/E_{ϵ} の変化は対応しており、 E_{ϵ}/E_v が一定の値を示すことは図-3でも述べたが、一定の骨格構造が形成されたと考えられる。ここで、

$$E_{\epsilon} = \frac{1}{E} (\Delta \sigma'_x - 2\nu \Delta \sigma'_r) \dots \textcircled{1} \quad E_v = \frac{1}{E} (1-2\nu) (\Delta \sigma'_x + 2\Delta \sigma'_r) \dots \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{より、} E_{\epsilon}/E_v = (\Delta \sigma'_x - 2\nu \Delta \sigma'_r) / \{ (1-2\nu) (\Delta \sigma'_x + 2\Delta \sigma'_r) \} \dots \textcircled{3}$$

異方圧密 ($\Delta \sigma'_x = \Delta p$, $\Delta \sigma'_r = 0$) のとき $\textcircled{3}$ 式は

$$E_{\epsilon}/E_v = -p / (1-2\nu) \Delta p = 1 / (1-2\nu) \dots \textcircled{4}$$

となり、ポアソン比(ν)が決まれば、 E_{ϵ}/E_v は一定となる。このことから、上記のことが説明される。実験結果から、 $\nu=0.1 \sim 0.25$ となり、火山灰質粘性土は非晶質を少量に含んでいるが、土粒子の骨格構造に異方性が発達することを示し、小さいひずみでの強度増加、つまり変形係数の増加につながると考えられる。次に、静的等方圧密の場合には図-4より $E_{\epsilon}/E_v = 1/3$ となるが、

等方圧密 ($\Delta \sigma'_x = \Delta \sigma'_r = \Delta p/3$) のとき $\textcircled{3}$ 式は

$$E_{\epsilon}/E_v = (1-2\nu) \Delta p/3 / (1-2\nu) \Delta p/3 = 1/3 \dots \textcircled{5}$$

となり、実験結果とよく一致している。

以上のことから次のことが明らかになった。

①異方圧密によって、土粒子の骨格構造に異方性が発達する。

②非晶質を少量に含むため、異方性が発達しても、ひずみの小さい範囲(変形係数)では強度が増加するが、ひずみが大きくなると異方性が消失し、破壊強度には顕著な増加はみられない。また有機物を少量に含む黒土については異方性が弱く変形係数の増加も小さい。

③黒土の場合、静的載荷と動的載荷は変わらず、繰返し効果はない。また最も強度増加の大きい荷重レベルは、 $R_{\epsilon}=0.4 \sim 0.6$ で、 $t=10^4$ (s)でほぼ最高に近くなる。

④赤ぼくの場合、繰返しによる効果が顕著で、 $R_{\epsilon} \geq 0.4$ で $N=5 \times 10^3$ (回)程度で、静的異方載荷の $t=10^5$ (s)に相当する効果がある。

最後に、本研究は昭和56年度科学研究費補助金を受けたことを記し、本研究を手伝ってくれた卒研生諸君へ謝意を表す。

(参考文献) 1) 北岡・鈴木:「火山灰質粘性土の非排水強度に及ぼす圧密効果」, 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集 S.55.9

2) 北岡・鈴木:「火山灰質粘性土の圧密効果」, 昭和55年度西部支部研究発表会講演集 S.56.2

図-2 赤ぼくの載荷時間-載荷回数-強度変化

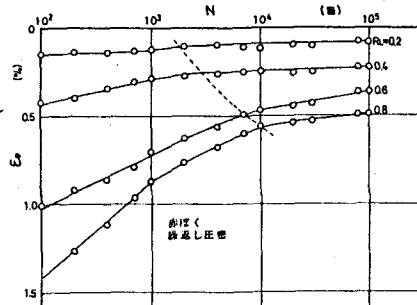


図-3 載荷回数-弾性回復ひずみ

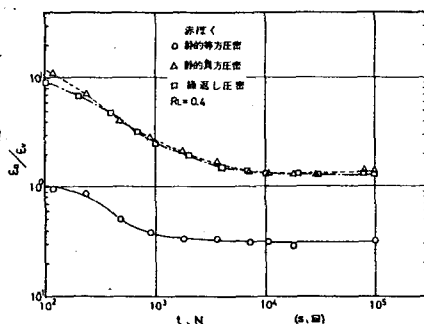


図-4 載荷時間-載荷回数-(軸ひずみ/体積ひずみ)