

III-144 火山灰質粒状体の粒子破碎に及ぼす応力系の影響

室蘭工業大学工学部 正員 磯崎 真一
室蘭工業大学工学部 正員 三浦 清一
室蘭工業大学工学部 正員 新田 登

1. まえがき 破碎性粒状体である火山灰粗粒土では、粒子が多孔質で脆弱であるために粒子破碎の問題を無視してその土質工学的特性を議論することは意味がない。そこで筆者らは、圧密・せん断によってもたらされる粒子破碎について種々の検討を加えてきている。今回は、火山灰土の粒子破碎に及ぼす応力系の影響を調べてみた。具体的には平面ひずみ条件と軸対称条件の相違による粒子破碎性の変化を検討した結果について述べる。

2. 試料、供試体寸法および作製法

試験に用いた試料は北海道内の3種類の火山灰粗粒土で、その採取地点は茅部郡森町字姫川（森火山灰土(MORI VOLCANIC SOIL)）、沙流郡門別町富川（富川火山灰土(TOMIKAWA VOLCANIC SOIL)）および苫小牧市柏原（柏原火山灰土(KASHIWABARA VOLCANIC SOIL)）である。その堆積層は各々駒ヶ岳、樽前山、支笏の降下生成物で形成されている。各火山灰土および比較のための豊浦標準砂および俱知安粘土の物理的性質を表-1に示す。火山灰粗粒土については軸対称三軸試験（AS試験）および平面ひずみ試験（PS試験）を実施しているが、その供試体寸法は各々φ150×360mmの円柱供試体と、高さ（ $\sigma_z = \sigma_1$ ）=100mm、長さ（ $\sigma_y = \sigma_2$ ）=80mm、幅（ $\sigma_x = \sigma_3$ ）=50mmの角柱供試体である。供試体はすべて乱した試料を用いており、MSP法により作製した。

3. 試験方法 火山灰粗粒土の試験方法は以下の通りである。供試体作製後、二酸化炭素CO₂、脱気水を通して飽和させ、その後196kPaのバックプレッシャーを供給している。なお、この方法によりB値は0.96以上の値を得ている。引続き、所定の有効拘束圧のもとで1時間以上等方圧密し、せん断を加えた。せん断方法はAS試験では、排水および非排水三軸圧縮試験を側圧一定（ひずみ制御： $\dot{\epsilon}_a = 0.30\%/min$ ）の条件で行った。また、PS試験においては σ_z 方向のひずみを拘束し、圧縮試験を排水条件、ひずみ制御（ $\dot{\epsilon}_1 = 0.25\%/min$ ）で行った。

4. 試験結果と考察 図-1は破碎性粒状体である火山灰粗粒土の排水試験結果から得られた細粒分Fc（ $\leq 74\mu m$ ）の増加量 $\Delta Fc(\%)$ と破壊時の平均有効主応力 $p'f$ の関係¹⁾をPS試験とAS試験で比較したものである。森火山灰土は他の試料に比べ土粒子が硬質であったため、平面ひずみおよび軸対称条件にかかわらず、この程度の応力レベルでは粒子破碎は顕著ではないが、富川・柏原両火山灰土においては、両者の関係は $p'f$ の増加とともに ΔFc 値が著しく増加し、粒子破碎量が大きくなることが示されている。等しい拘束圧で試験を行った場合、両試験による変形条件の違いから、PS試験での $p'f$ がAS試験よりも大きくなり粒子破碎量も大きくなることから、PS試験においてはAS試験よりも粒子破碎がせん断特性に及ぼす影響は顕著となっている。また注目すべきは、平面ひずみ条件、軸対称応力条件のいかに関わらず ΔFc を $p'f$ で整理すると、一つのライン上に表せるユニークな関係が存在することである。このことは、 ΔFc がせん断に伴う粒子破碎を示す指標として有効であることを示している。このように、火山灰粗粒土の粒子破碎特性はせん断時の p' に大きく依存し、せん断中の p' の増加とともに粒子破碎が進行することが認められる。

ところで、通常の砂のような粒状体のダイレ

Table 1

Sample		Volcanic Soil			Sand	Clay
Sampling Site		Mori	Tomikawa	Kashiwabara	Toyoura	Kutsuchan
Specific Gravity		2.82	2.22	2.34	2.65	2.72
Dry Density (g/cm ³)	Maximum	1.589	0.549	0.623	1.631	—
	Minimum	1.249	0.433	0.462	1.362	—
Gradation	D ₅₀ (mm)	0.64	1.10	1.25	0.17	0.0015
	U _c	2.3	2.8	3.1	1.6	—
Finer Fraction ($\leq 74\mu m$)		0.2 (%)	1.0 (%)	1.3 (%)	0 (%)	95.3 (%)

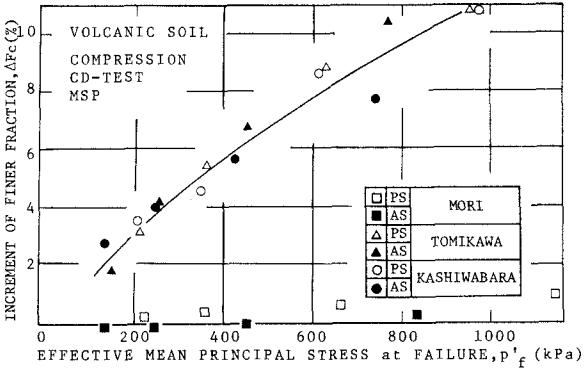


Fig. 1

イタンシー特性はせん断にともなう体積変化特性とも言い換えられるが、これは排水せん断では体積変化として、非排水せん断では平均有効主応力 p' の変化として現れ、体積変化特性と有効応力特性は一對一に対応する。ここでは、このことを破碎性粒状体について調べてみた。図-2は、AS試験から得られた等しい軸ひずみレベルでの排水せん断での体積ひずみ ε_v と非排水せん断での過剰間隙水圧 Δu の関係を示したものである。図には、破碎性粒状体として富川火山灰土の拘束圧 $\sigma_c' = 49, 98, 196 \text{ kPa}$ の関係と比較のための豊浦砂の $\sigma_c' = 98 \text{ kPa}$ ($D_{rc} = 78\%$) および倶知安粘土の $\sigma_c' = 280 \text{ kPa}$ (正規圧密) の関係を示した。図から正規圧密粘土の ε_v と Δu の関係は若干下に凸の傾向があるもののほぼ直線関係に近く、体積変化特性と有効応力特性は一義的な対応を示していることがわかる。このことは、この程度の応力レベルでは破碎が生じない豊浦砂でも同じである。しかしながら、富川火山灰土においては図に示されるような上方に急に折れ曲がった曲線状となり、せん断の進行とともに過剰間隙水圧がそれほど変化しないのに対し、体積収縮は著しく進行していく。つまり、火山灰粗粒土においては排水条件でのせん断の進行とともに、粒子破碎も進行し体積が減少し続けるのに対し、非排水条件においてはせん断による正の過剰間隙水圧が最大値を持ちその後正のダイレイタンシー挙動を示すようになるため、必ずしも体積変化特性と有効応力特性が対応している形にはならない。この火山灰粗粒土特有のダイレイタンシー挙動の出現には、排水条件と非排水条件での粒子破碎量の差、言い換えれば排水試験と非排水試験でのせん断試験の有効応力経路の違いが大きな支配因子となっているといえよう。図-3は富川火山灰土における排水試験と非排水試験での有効応力経路を示したものである。図から、非排水試験においては先に負のダイレイタンシー挙動を示し、その後正のダイレイタンシー挙動に転じているものの、破壊は負のダイレイタンシー領域で生じている。このことは、非排水試験においては破壊がせん断前の等方圧密圧力よりも小さな有効応力レベルで生じていることを意味し、せん断により有効応力が増加し続ける排水試験とは、破壊時の有効応力に大きな差が生じている。先にも示した通り、粒子破碎はせん断中の有効応力の大きさ（変化）に大きく依存することから、非排水せん断は排水せん断に比べ粒子破碎がかなり小さくなると考えられ、このことが先に示した破碎性粒状体特有の ε_v と Δu の関係に表れたものと思われる。

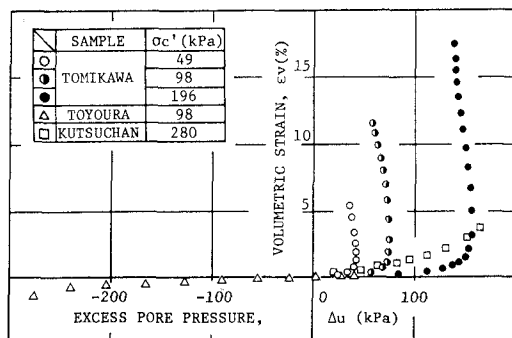


Fig. 2

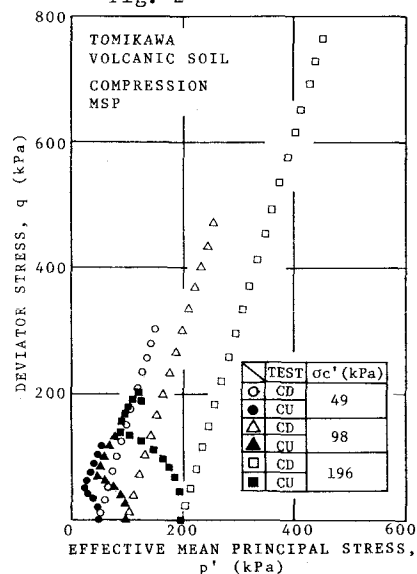


Fig. 3

5. まとめ

- 1) 細粒分 F_c の増加量 ΔF_c を破壊時の平均有効主応力 p'_f で整理すると、平面ひずみ条件、軸対称応力条件のいかに関わらず一つのライン上に表せるユニークな関係が存在する。
- 2) 通常の砂のような粒状体とは異なり、火山灰粗粒土の排水せん断での体積変化特性と非排水せん断での有効応力変化特性とは対応せず、粒子破碎の影響を受けている。すなわち、排水・非排水条件の差だけで粒子破碎性に大きな違いが生じていることになる。

倶知安粘土のデータは北大工学部三田地利之教授に提供していただいたものである。また、福田文彦助手の手をわずらわせた。本研究には平成2,3年度文部省科学研究費（一般研究C, No.02650341）の補助を受けた。記して深甚なる謝意を表します。

参考文献 1) 磯崎・新田：火山灰粗粒土の粒子破碎指標，第26回土質工学研究発表会講演集，pp.689-692, 1991