

広範な応力域におけるまさ土のせん断特性とその粒子破碎特性

山口大学 工学部 村田 秀一
山口大学 工学部 安福 規之
山口大学 大学院 ○浅上 洋一
復建調査設計(株) 渡辺 哲也

1. まえがき

まさ土は、破碎性に富む材料であり、かなり低い応力域から粒子破碎が生じている。¹⁾ そのため、まさ土の力学特性の詳細を解明していく上で、粒子破碎の定量的な評価は不可欠なものであると言えよう。特に、高い応力域におけるまさ土の挙動は、粒子破碎に強く依存していると考えられる。そこで本報は、広範な応力域において圧密排水および圧密非排水試験を適用し、まさ土のせん断特性を明らかにするとともに、その結果を粒子破碎に関連づけて考察したものである。

2. 試料および実験方法

試料は、宇部市郊外で採取したまさ土で、その指数的性質を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示した。

実験は、相対密度が75% ($e=0.74$) になるように締固めた $\phi=5\text{cm}$, $h=12.5\text{cm}$ の供試体について行った。まず、供試体に炭酸ガスを供給し空気と置換した後、供試体下部より脱気水を浸透させて飽和状態にした。この方法によると、まさ土の場合でも飽和度はほぼ100%になることが分った。次に、この飽和供試体を所定の圧力 ($\sigma_3=0.5\text{--}150\text{kgf/cm}^2$) で圧密し、排水および非排水条件下で三軸圧縮せん断試験を実施した。この際、ひずみ制御方式を適用し、ひずみ速度は0.15%/minで行った。なお、粒子破碎を定量的に表わす尺度として表面積増加量を用いた。ここで、表面積増加量は実験後の供試体の表面積と飽和終了時の供試体の表面積との差で与えられる。

3. 実験結果および考察

CD試験より得られた応力比-ひずみ関係を図-2に示した。任意の軸ひずみにおける応力比の値は、拘束圧に伴い低くなっている。また、破壊時の体積ひずみは $\sigma_3=30\text{kgf/cm}^2$ で最大値を示し、それ以上の拘束圧では再度減少している。これは、拘束圧の増加に伴う圧密量および粒子破碎量の増加に起因すると考察される。

図-3は、破壊時の主応力比、ダイレイタンスー指数と拘束圧の関係である。破壊時の主応力比は、CD、CU試験とも $\sigma_3=10\text{kgf/cm}^2$ まで急激に減少し、この応力以上ではその減少はわずかである。また、ダイレイタンスー指数についても同様の結果を示した。この両者の一致した挙動は、粒子破碎の進行と密接な関係があると考えられる。CD、CU試験結果の差異は、ダイレイタンスー効果に加えて粒子破碎の発生状況の違いによって生じたものと解釈される。

図-4は、表面積増加量と拘束圧の関係である。等方圧縮応力下においても、拘束圧の増加に伴い粒子破碎はかなり生

表-1 指数的性質

比重 G_s	2.623
強熱減量 (I)	8.31
50%粒径 $D_{50}(\text{mm})$	0.87
均等係数 U_c	9.82
乾燥密度 $\gamma_d (\text{g/cm}^3)$	1.50-1.52

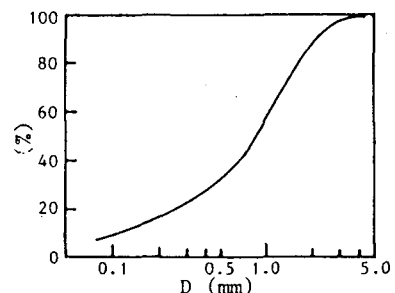


図-1 粒径加積曲線

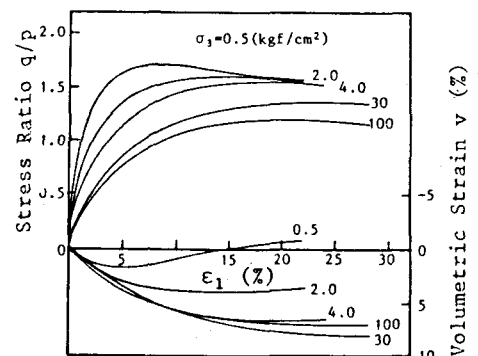


図-2 応力比-ひずみ関係

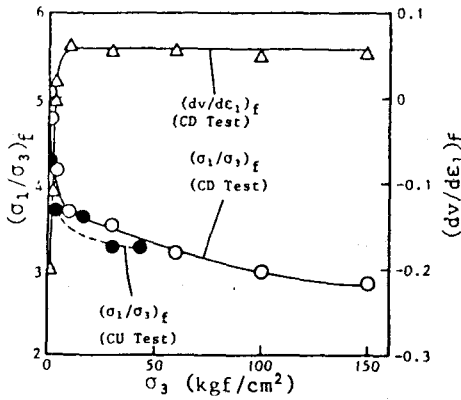


図-3 破壊時の主応力比, ダイレイ
タンシー指数~拘束圧関係

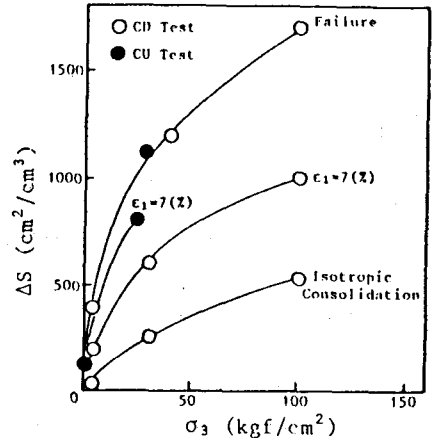


図-4 表面積増加量~拘束圧関係

じている。なお、等方圧縮試験結果(e - $\log P$ 関係)より、本試料の圧密降伏応力 P_y は 2 kgf/cm^2 であり、この応力以上におけるまさ土供試体の挙動は、正規圧密粘土と類似したものであることも明らかにしている。さらに、せん断時において粒子破碎は顕著になり、 $\sigma_3 = 100 \text{ kgf/cm}^2$ の破壊時では、豊浦標準砂における破碎量のほぼ2倍に達している。しかし、拘束圧の増加に伴い、粒子破碎の増加率は減少を続けている。これは、他の破碎性材料でも指摘されている²⁾と同様、まさ土粒子の破碎にも限界が存在することを示唆している。ここで、CD, CU試験の $\epsilon_1 = 7\%$ の粒子破碎量が異なるのは、応力履歴すなわち外力によってなされた仕事量の差によるものと考えられる。

図-5は、図-3に附随してセカントアングルおよび破壊時のダイレイタンシー指数を表面積増加量に関連づけたものである。 $\Delta S = 800 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ($\sigma_3 = 10 \text{ kgf/cm}^2$) 付近から、ダイレイタンシー指数はほぼ一定の値を示す。また、 ϕ_s は粒子破碎の進行に伴い直線的に低下している。すなわち粒子破碎はダイレイタンシー効果の低減を導き、その結果 ϕ_s の低下がもたらされたと理解される。

図-6は、表面積増加量と外力によってなされた仕事量の関係を示したものである。砂における表面積と塑性仕事量の関係は、破壊に至るまでは応力経路によらずユニークに決定されると報告されている³⁾が、まさ土においても同様の結果が得られた。CD, CU試験にかかわらず、両者の関係はほぼ一本の曲線となっている。しかし、破壊を過ぎてさらに変形が進んだ領域では、変形に伴い仕事量は増加するものの、粒子破碎はさほど増加せず一本の曲線から逸脱する傾向にある。これは、図-4同様、粒子破碎の限界の存在を示唆するものである。

<参考文献>

- 1) 村田・安福・近藤：低圧下におけるまさ土の力学特性，山大工学部研究報告，Vol.35，No.2，1985。
- 2) 田中：限界値を考慮した粉碎機構の新しい考え方，化学工学，Vol.48，No.4，1954。
- 3) 三浦・山内：砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響，土木学会論文報告集，No.260，1977。

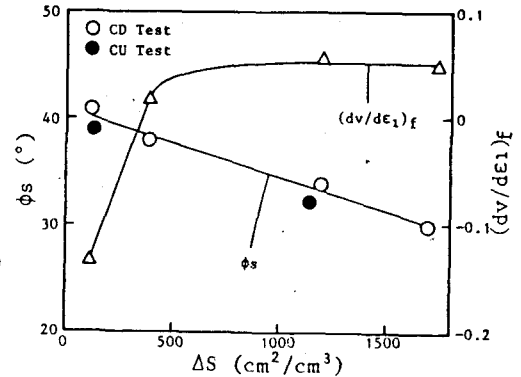


図-5 セカントアングル, 破壊時のダイレイ
タンシー指数~表面積増加量関係

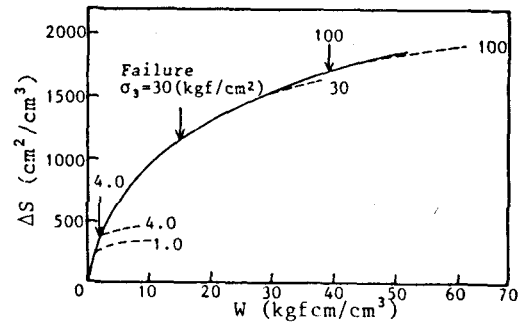


図-6 表面積増加量~全仕事関係