

Ⅲ-168

粗粒材料のせん断強度に及ぼす供試体形状の影響と粒子破碎特性について

神戸大学工学部 正 鶴ヶ崎 和博 神戸市役所 坂井逸作
 神戸大学大学院 学 山口 充 日本道路公団 徳田尚器
 神戸大学工学部 正 軽部 大蔵

はじめに：これまでに2種類の相似粒度試料を用いて、三軸CD試験を行い、粗粒材料の強度推定方法を検討してきた¹⁾。本報では、供試体形状による強度特性への影響と粒子破碎特性について報告するものである。

試料および試験：試料は流紋岩を母岩とする2種類の相似粒度試料で、 $U_c=1.4$ 、 D_{50} はそれぞれ7.5mm、2.7mmで(それぞれA、B試料)、試験はひずみ制御方式(ひずみ速度約0.4%/min)の側圧一定三軸CD試験である。表1に試験名、試料および供試体サイズを、表2に試験中の側圧条件と初期間隙比を示す。また、試験後に粒子破碎量を算定する目的で、再度粒度試験を行った。なお、試験の詳細は参考文献¹⁾を参照されたい。

試験結果および考察：①供試体形状の影響：今回2種類の供試体形状(供試体の高さ/直径比： $h/d=2.0$ および 2.4)の試験を行った。図1, 2にそれぞれ粒径ごとの側圧とせん断抵抗角 ϕ_d 、 ϕ_r の関係を示す。ここで、 ϕ_r は、 ϕ_d に対してダイレイタンス補正を行ったせん断抵抗角である。全体的な傾向として、側圧の増加に伴い、 ϕ_d の低下が認められる。供試体形状による比較を行うと、MA、M'Aの結果以外は、全てにわたり、低側圧部分で、“ $h/d=2.0$ ”の強度が大きくなる傾向が見られる(図中白抜きのマーク)。ここで、試料別の側圧とダイレイタンス係数Dの関係を図3, 4に示す。図よりDは“ $h/d=2.4$ ”が大きいかあるいはほぼ同一の値を示している。これは図1, 2の結果とは矛盾するものであり、その結果、補正された ϕ_r は、“ $h/d=2.4$ ”の試験結果が全体的に小さくなっている。つまり、Dと比較して、強度が小さいことになる。これは強度算定の基本パラメータである ϕ_r が供試体の形状が変化することにより異なることを示す。この傾向は特に大型試験で著しい(図1, 2のLA, L'Aの関係およびLB, L'Bの関係)。 ϕ_r は粒子破碎、粒子の再配列運動といった成分も含んでおり、したがって、供試体形状が異なることにより、その成分が変化したともいえる。②粒子破碎特性：粒子破碎は石井の提案したBM²⁾と最小ふるい通過率³⁾で評価しており、前者は、試験前後の粒度曲線の移動量を面積で表すことにより、後者は、試料を調整する際に使用した最小の目幅のふるい(今回は、大粒径:4.75mm、小粒径:1.70mmのふるい目を採用)を用いて、当初用意した試料と試験後にそのふるいを通過する試料の割合より、評価するものである。また、これとは別に、一定の側圧下($\sigma_3=3.0\text{kgf/cm}^2$)で試験時の最終軸ひずみを変化させて粒子破碎量の変化を調べた。図5に軸ひずみと破碎量との関係を示す。ただし、過去の研究⁴⁾より、今回の試験範囲における側圧レベルならば、試験初期の等方圧縮時における破碎量は無視できるものと考えている。これより、破碎量は軸ひずみのほぼ2/3乗に比例しているものとみなせる。これについては三浦ら⁵⁾が高压下で豊浦標準砂を用いて行った試験結果と類似しており、破碎特性はひずみの関数であることを示唆するものである。

表 1. 試験シリーズ

試験名	供試体寸法 直径d×高さh	試料
L A	d30cm×h60cm	A
L' A	d25cm×h60cm	
M A	d10cm×h20cm	
M' A	d10cm×h24cm	
L B	d30cm×h60cm	B
L' B	d25cm×h60cm	
M B	d10cm×h20cm	
M' B	d10cm×h24cm	

表 2. 試験条件

試験名	側圧 (kgf/cm ²)	初期間隙比 e_0
L A	0.5	0.672
	1.0	0.682
	1.8	0.679
	3.0	0.665
L' A	0.5	0.661
	1.0	0.670
	1.8	0.678
	3.0	0.633
	5.0	0.653
M A	0.5	0.666
	1.0	0.623
	1.8	0.599
	3.0	0.588
	5.0	0.617
M' A	0.5	0.613
	1.0	0.601
	3.0	0.586
L B	0.5	0.708
	1.0	0.709
	1.8	0.711
	2.2	0.699
L' B	0.5	0.672
	1.0	0.681
	1.8	0.700
	3.0	0.670
M B	0.5	0.667
	1.0	0.687
	1.8	0.682
	3.0	0.657
	5.0	0.716
M' B	0.5	0.638
	1.0	0.644
	3.0	0.659

ここで、せん断中の供試体の単位体積当たりの塑性仕事量と破砕量との関係を図6, 7に示す。塑性仕事の算定については、せん断中の供試体内のエネルギー収支式より、消散エネルギー成分 W は、

$W = \int q d\varepsilon + \int p d\varepsilon_{vp} - \int p d\varepsilon_e$ で表される。ここで、 q :主応力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$)、 ε :せん断ひずみ ($\varepsilon_1 - \varepsilon_3/3$)、 p :平均主応力 ($(\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$)、 ε_{vp} :塑性体積ひずみ、 ε_e :弾性体積ひずみである。これまでの結果より⁴⁾、右辺第2項以下は、第1項と比較して、非常に小さいことが明らかとなっている、よって今回は、塑性仕事量の算定として右辺第1項のみを用いることにする。また、せん断ひずみについては、その弾性成分は当初より考慮していない。結局 W は、右辺第1項のみで算定した。図6, 7より、大粒径については供試体の状態(サイズおよび形状)にかかわらず、粒子破砕量は塑性仕事量と一意的な関係が認められるようである。一方、小粒径試料については供試体の状態が同一であれば、ほぼ一様性が認められる。また、大粒径試料は小粒径に比べ、全般的に破砕量が多い傾向が認められた。

おわりに：今回の試験において、供試体形状は強度特性に影響を与えること、また、粒子破砕特性は、せん断中の塑性仕事量と一意的な関係があることが明らかとなった。供試体形状の問題については、破砕特性と供試体形状はほとんど関係がないことから、粒子再配列運動と関係があるものと思われる。

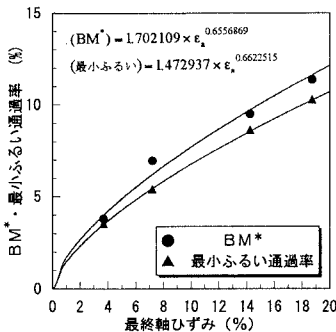


図5. 軸ひずみと破砕率の関係

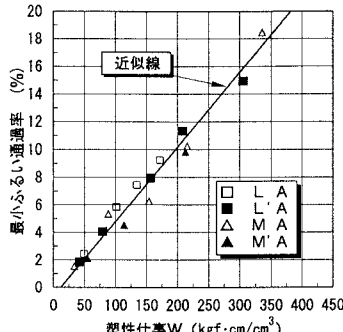


図6. 大粒径の W と破砕率の関係

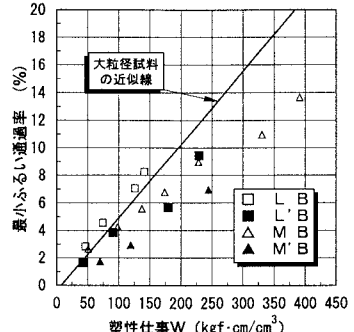


図7. 小粒径の W と破砕率の関係

参考文献：1) 例えば、平野他：粗粒材料のせん断強度に及ぼすダイレイタンスーと粒子破砕の影響、第29回土質工学研究発表会講演要集pp501～502, 1994, 2) 石井：粗粒材料の粒子破砕と強度特性、粗粒材料の変形・強度特性とその試験法に関するシンポジウム発表論文集pp141～148, 1985, 3) 軽部他：粗粒材料の三軸試験について、建設工学研究所報告第34号, pp101～119, 1992, 4) 平野勝義：粗粒材のせん断強度に及ぼすダイレイタンスーと粒子破砕の影響、神戸大学大学院修士論文, 1994, 5) 三浦他：砂のせん断特性に及ぼす粒子破砕の影響、土木学会論文集, No260, pp109～118, 1977. 4