

III-A 41

粗粒材料のせん断強度特性に及ぼす供試体端面拘束の影響

東洋建設（株） 正 鶴ヶ崎和博 （株）鴻池組 正 山口 充  
 （株）クボタ 芦田 徹夫 神戸大学大学院 学 野並 賢  
 神戸大学工学部 正 軽部 大蔵

はじめに：これまで、相似粒度に調整した流紋岩質の粗粒材料を用いて三軸圧縮試験を行い、粒径、試料の形状、供試体寸法を考慮して、その強度特性および破砕性について検討してきた<sup>1)</sup>。その結果、側圧、密度、および粒子形状等の影響により、破壊時の強度が異なることが明らかとなったが、せん断抵抗係数 $M$ 、ダイレイタンス係数 $D_f$ 、およびダイレイタンス補正されたせん断抵抗係数 $M_T$ により整理するとその強度差を $D_f$ の差として、ある程度説明できることが明らかとなっている。一方、供試体の（高さ/直径比）を $(h/d)=2.0$ から $2.4$ へ大きくすると、上述の関係は認められず、クロムメッキ $D_f$ は大きいかわるいはほぼ同一にもかかわらず、強度は低い傾向を示し、それまで一様性を示していた $M_T$ は異なる傾向を示す結果となった。この傾向は特にひずみ軟化傾向が著しく、粒子破砕の少ない低側圧領域で顕著であった。今回はこの供試体形状の違いによる強度差を供試体端面の拘束条件（端面摩擦）の違いによるものと考え、端面摩擦を軽減した試験を行い、これまで得られた結果も含めて比較検討した。

試料および試験方法：試料は2種類の相似粒度試料で、均等係数 $U_c=1.4$ 、平均粒径 $D_{50}=7.5\text{mm}$ および $2.7\text{mm}$ である。なお試験に際しては、ゴムスリーブの破損を防ぐためにロサンゼルス試験機によりあらかじめ角張りを落とした試料を用いた。今回、供試体の端面摩擦の影響について調べるために、中型三軸試験装置（供試体直径 $10\text{cm}$ 、高さ $20\text{cm}$ ）の形状比 $(h/d)$ が $2.0$ の供試体の上下端面に摩擦軽減層を施した。図1にその概略図を示す。特徴としては、キャップおよびベDESTALにクロムメッキを施したドーナツ型のスチール盤が設置されており、供試体との間にはシリコングリースを薄く塗布し、ろ紙を挟み込んだ厚さ $0.2\text{mm}$ のラバーシートが2枚挿入してある。試験はひずみ制御方式（ひずみ速度 $0.4\%/\text{min}$ ）の側圧一定三軸CD試験であり、供試体の初期乾燥密度 $\rho_d=1.51\text{g}/\text{cm}^3$ になるよう調整している。試験方法の詳細については、参考文献を参照されたい<sup>2)</sup>。

結果および考察：①強度特性：破壊時において、 $M$ 、 $M_T$ 、 $D_f$ はエネルギーの釣合いより、以下の関係を満たしている<sup>3)</sup>。

$$M = D_f + M_T \quad (1)$$

ここで、

$M$ ：せん断抵抗係数 $(q/p)_f$

$D_f = (-\Delta\epsilon_v/\Delta\epsilon)_f$ ：ただし、 $\Delta\epsilon_v$ は圧縮を正とする。

$M_T$ ：ダイレイタンス補正したせん断抵抗係数

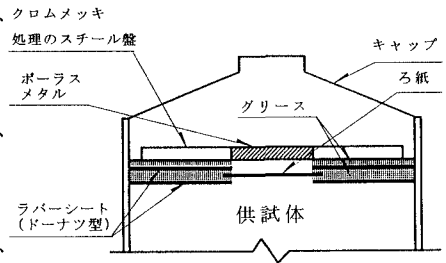


図1 供試体の端面摩擦除去方法（模式図）

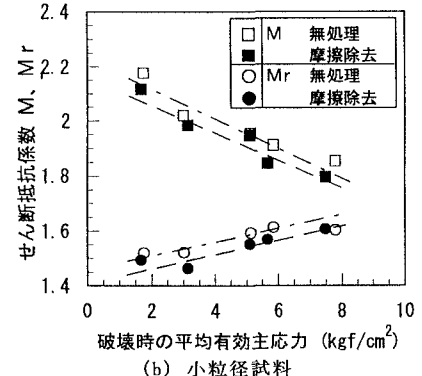
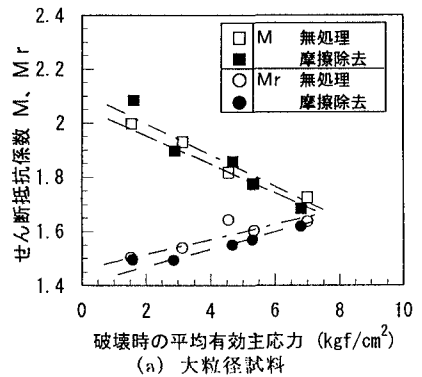


図2 M、Mrと平均主応力 $p$ の関係

図2 (a), (b)に破壊時の $M$ 、 $M_T$ と平均主応力 $p$ の関係を示す。また、図3に $D_f$ と $p$ の関係を示す。これらの図より、 $D_f$ は摩擦軽減層を施したケースの方が大きいあるいはほぼ同一の値を示しているにもかかわらず、 $M$ および $M_T$ は無処理の場合のほうがいずれも大きくなっている。この結果は昨年度までの供試体形状比( $h/d$ )が2.4の結果と類似しており、形状比の異なりによる強度特性の差は、端面拘束の違いによるものであるといえる。これまで $M_T$ は密度、粒径、粒子形状に拘わらず一定値を取るものとしてきたが、供試体の形状あるいは端面の拘束条件により変化するといえる。図4は $M$ と $D_f$ の関係（ストレス-ダイレイタンスー関係）を示している。これより、無処理の供試体の結果に比べてその傾きは若干緩くなっている。ちなみに大型試験装置（直径25cm、高さ60cm、高さ/直径比:2.4）の場合はかなりその傾きは低下しており、形状比を変化させたことによる、 $M$ - $D_f$ 関係の差が如実に表れていることが分かる。しかし今回行った摩擦除去供試体の場合はそれほど差は大きくなく、後藤ら<sup>4)</sup>が調べているように、供試体のスケールの問題も含めて検討する必要がある。

②破砕特性：これらの強度差は、せん断試験中に生じた粒子破砕の影響とも考えられる。図5に各シリーズの破砕特性を示す。破砕については、最小ふるい通過率<sup>1)</sup>により定量化し、それを軸ひずみ20%時に換算して求めている。同図より、ダイレイタンスーが大きい摩擦除去した供試体の方が、むしろ破砕率は大きく、今回の側圧レベルにおいては、破砕の影響は少ないものと考えられる。

おわりに：粗粒材料の三軸圧縮試験においては、供試体の形状比が2.0以上であっても、供試体端面の拘束条件により強度特性が異なり、これまで強度の基本パラメータとして扱ってきた $M_T$ は変化することが明らかとなった。今後は供試体のスケールの問題も含めて検討する必要がある。

参考文献：1) 例えば、鶴ヶ崎他：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砕特性について、第50回年次学術講演会講演概要集pp336~337, 1995。2) 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概要集pp501~502, 1994。3) 軽部他：粒状土の力学的特性と土粒子の性状の関係、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, 1986。4) 後藤 聡, 龍岡文夫：砂と礫の三軸圧縮試験における各種実験要因の影響, 土と基礎, Vol. 36, No. 9, pp13~18, 1988。

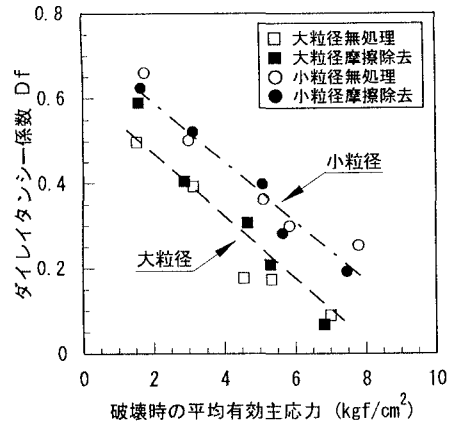


図3 ダイレイタンスー係数と平均主応力の関係

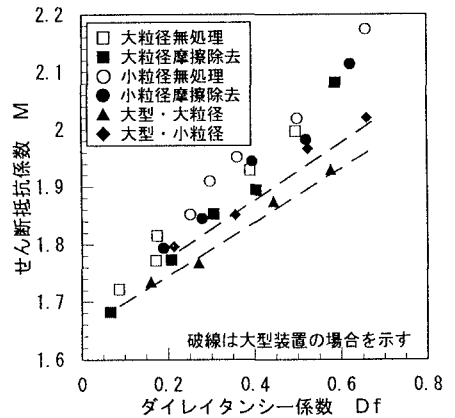


図4 破壊時のストレス-ダイレイタンスー関係

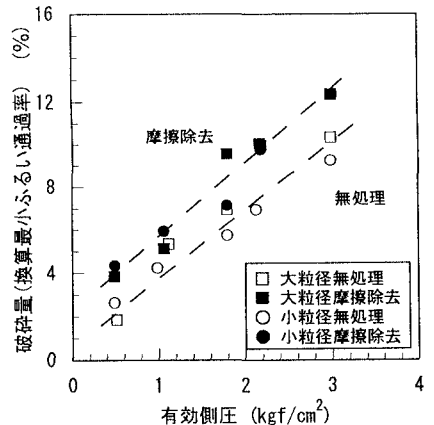


図5 側圧と粒子破砕の関係