

砕石の排水三軸試験および繰返し三軸試験における強度特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○黄 中原 張 磊

九州工業大学大学院 正会員 永瀬 英生 廣岡 明彦

1. はじめに

日本だけでなく世界の多くの国では、埋立てを行うことで新たな国土を創出し、特に、港や工業地域、空港などとして利用してきた。埋立て工事は外周に護岸を築造してから行われる。海底に自然的に堆積してきた軟弱地盤上に護岸を構築する場合には、地盤沈下および液状化対策として地盤を改良する必要がある。床掘置換工法は代表的な地盤改良工法の一つとして、確実に所期の目的を達成しやすいことから頻繁に使用されている。石材生成時に発生する砕石は排水性が高いことから液状化しにくく、床掘置換材として用いることができれば、経済性と安全性が確保できる。

本研究では、粒度調整した砕石を用いた排水三軸試験と繰返し三軸試験の結果を示し、砕石材料の静的強度特性と繰返し強度特性を調べ、静的強度と繰返し強度の関連性について検討した。

2. 試験材料

試料には、福岡県門司で採取された 0~300mm の砕石を用いた。試験装置の制約上、本試験では、最大粒径 53mm として原粒度を細粒側へ平行移動させる相似粒度と粒径の大きいものを除去した尖頭粒度に粒度調整を行った。図 1 には、試料の原粒度、相似粒度、尖頭粒度の粒径加積曲線を示す。また、粒子の材料特性として、粒径 2.0mm 以下の粒子の密度は 2.721 g/cm³ である。

3. 排水三軸せん断試験

本試験では、直径 15cm、高さ 30cm の円柱供試体を使用した。供試体は、厚さ 1mm のメンブレンを装着したモールド内で水中落下法により 3 層に分けて作製し

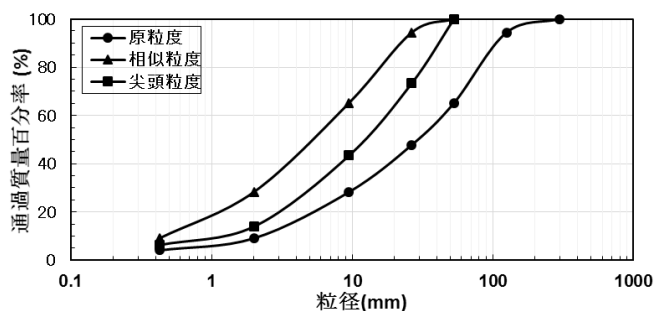


図 1 粒径加積曲線

た。また、供試体の密度は緩詰、中密詰、密詰 (Case1、2、3) の 3 種類のものである。実験では、側圧 98kPa、196kPa、294kPa (背圧はすべて 196kPa) で等方圧密した後、セル圧一定の排水条件で軸ひずみが 15%に達するまで排水三軸圧縮試験を実施した。

3.1. 排水三軸試験による砕石材料の静的強度特性

図 2 に軸差応力-軸ひずみ関係を示す。この図を見るとすべてのケースで拘束圧が高いほど軸差応力は大きくなるのが分かる。また、尖頭粒度の方が小刻みな変動を伴い不安定な形状であることが分かる。これは尖頭粒度の方が粗粒分を多く含むためであると考えられる。また、有効拘束圧の大小に関わらず相似粒度と尖頭粒度を比較すると軸差応力は尖頭粒度が上回っていることが分かる。この主たる要因としては、前に述べたように尖頭粒度の骨格構造は、相似粒度より粗粒分が多く、粒子間のかみ合わせ程度の影響がせん断特性に現れたものと考えられる。

表 1 はすべての試験ケースで得られた強度定数を示したものである。この表では、いずれの粒度とも内部摩擦角 ϕ_d は、密になるにつれて増加していることが分かる。また、強度定数の両方の値を見るとわずかながら尖頭粒度の方が上回る結果となっている。

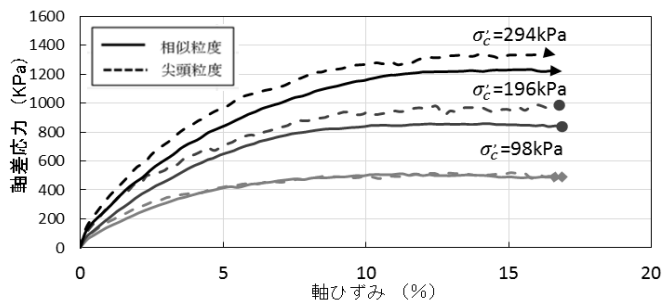


図 2 軸差応力-軸ひずみ関係

表 1 強度定数		
試験ケース	ϕ_d (°)	C_d (kN/m ²)
相似 Case 1	40.3	34.1
相似 Case 2	43.9	12.4
相似 Case 3	44.4	29.0
尖頭 Case 1	42.5	27.4
尖頭 Case 2	43.9	18.2
尖頭 Case 3	44.9	27.7

4. 繰返し三軸試験

本試験では、供試体の作製方法が前述の排水三軸試験と同様である。水中落下方法を用い、供試体密度はかなり低めの設定となった。これらの密度は前述の排水三軸試験でケース1の密度と同程度である。また、供試体は飽和度を高めるため、試験基準 (JGS0530) により脱気水を通し、 B 値を 0.96 以上になるように飽和させた。なお、供試体には、98KPa の有効拘束圧 (背圧 196KPa) を作用させた。この試験は、等方圧密した供試体の軸方向に一樣振幅の繰返し荷重を非排水条件のもとで作用させ、各試験条件について繰返しせん断応力比を変えて4回の試験を実施した。本試験では、荷重振幅制御により周波数 0.01Hz の正弦波形を用い、連続で载荷した。また、三軸試験装置の制限により、両振幅軸ひずみ 5% をもって試験の終了条件とした。

4.1. 繰返し三軸試験による碎石材料の繰返し強度特性

図3は尖頭粒度におけるせん断応力比、軸ひずみおよび過剰間隙水圧比の時刻歴を示したものである。この図では、繰返し载荷によりひずみ振幅が増大しながら累積ひずみは伸張側に進行する傾向を示している。図3は尖頭粒度の結果のみを示しているが、相似粒度においても同様の結果が観測されている。また、松本ら¹⁾の密な碎石材料の繰返し三軸試験結果も同様の結果

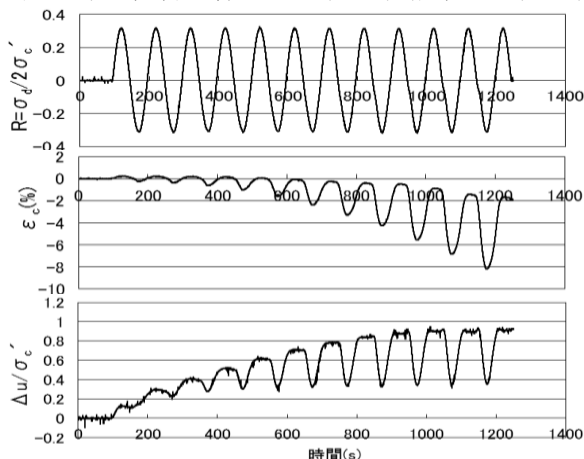


図3 尖頭粒度の時刻歴、 $R=0.3$

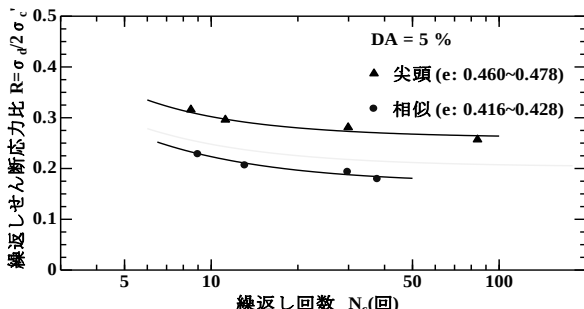


図4 液状化強度曲線

となっており、碎石材料の非排水繰返し三軸試験では、

供試体が密詰および緩詰のいずれも等方圧密の場合、累積ひずみは伸張側に進行するものと考えられる。

次に、過剰間隙水圧比は繰返し载荷に伴い上昇して最大値が 1.0 近くに達し、その後はほぼ一定値になり、緩い砂の液状化のような過剰間隙水圧比の急増は見られない。なお、尖頭粒度での最大過剰間隙水圧比は 0.95 以上にならないことがあることも観測された。これは非排水繰返し三軸試験では、間隙水圧が上昇しながらメンブレン貫入量が減少しようとするため、減少部分に間隙水圧が流入し、間隙水圧が消散して非排水状態を保てなくなるからと考えられる。また、その結果として液状化強度を過大評価すると考えられる。図4には液状化強度曲線を示している。この図を見ると尖頭粒度の間隙比が相似粒度より大きく、メンブレン貫入による影響が大きいのではないかと考えられる。

また、この図において20回の繰返し回数で、両振幅軸ひずみが5%に達するときの繰返しせん断応力比 R_{20} を求め、それらの値を液状化強度比 R_{L20} とした。その結果、 R_{L20} は尖頭粒度の方が相似粒度の場合より1.4倍大きいことが分かる。これは礫分含有率が尖頭粒度の方が大きく、緩い状態においても礫のような粗粒状体では粒子間のかみ合いが強く、せん断抵抗が強くなったものと考えられる。ただし、前述のごとくメンブレン貫入による液状化強度の過大評価を考慮すると、この比率は多少小さくなるものと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見は次のとおりである。

- (1) 繰返し三軸試験による液状化強度比 (繰返し強度) と排水三軸試験による強度定数 (静的強度) について、いずれも尖頭粒度の方が大きいため、実務設計上で相似粒度を使用することは安全側の設計になることが分かる。
- (2) 碎石材料の非排水繰返し三軸試験では、供試体の密度に関わらず等方圧密の場合、軸ひずみは伸張側に進行することが分かる。
- (3) 碎石の強度特性を評価する上で、粗粒分の含有率は重要な影響要因の一つである。

参考文献

- 1) 松本 徳久ら: ロック材料の三軸試験およびねじり単純せん断試験による非排水動的強度、土木学会論文集 NO.554/III-37, pp.173-184. 1996.