

細粒分を含む様々な砂質土の非常な密な状態における液状化強度

東北大学 学 ○田丸元貴 正 河井正

1. はじめに

液状化現象は、土の圧縮性と関係するため、液状化強度は地盤の相対密度と大きく関係していると考えられる。相対密度はJISA1224に規格化されている最小密度・最大密度試験(以下、JIS法とする)によって求められる。しかし、現行のJIS法の適用範囲は細粒分含有率が5%以下であり、Kim¹⁾は適用範囲外の細粒分を含む砂にJIS法を用いた場合、最小間隙比を過大評価してしまうことを報告している。Hang²⁾ら、後藤³⁾ら、金ら⁴⁾の文献より、JIS基準の相対密度が100%を超える供試体であっても、著しく液状化強度が小さいものも存在する。また、榎本¹⁾は細粒分を含む砂に対して締固め度を95%に統一して液状化試験を行った。しかし、液状化強度にばらつきがあったことを報告している。したがって、JIS法により求めた相対密度や土の締固め度は、液状化を評価する際に指標として用いるのは不十分である可能性がある。

そこで、Kimは、中空ねじりせん断試験機を用いて、非排水繰返しせん断-排水により最小間隙比を求める方法を提案した。その後、富田・百間らが図1に示す小型繰返しせん断試験機を開発・改良し、最小間隙比を求めた結果、Kimが求めた値と同等の値を得た。

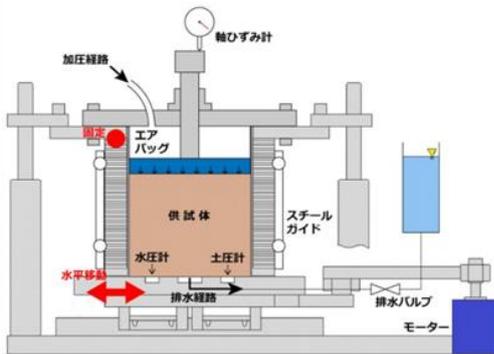


図1 繰返しせん断試験機概要

本研究では、地震時の液状化抵抗を評価するために必要な”最小間隙比”は、繰返しせん断試験によって得ら

れる最も密な状態の間隙比が、最も直接的で、適切であると考え、小型繰返しせん断試験機を用いて最小間隙比(以下、 $e_{min,cyclic}$ とする)を求めた。そして、供試体の初期間隙比(以下、 e_{test} とする)を $e_{min,cyclic}$ 付近まで非常に密に締め固め、三軸試験機で非排水繰返しせん断試験を行った。そして、 $e_{min,cyclic}$ を用いた相対密度と、液状化強度の関係について考察した。

2. 各種最小間隙比

小型繰返しせん断試験機、JIS法、JIS A1210に規格されている突固めによる土の締固め試験(以下、突固め試験とする)の3種類の手法により最小間隙比を比較する。JIS法は、適用範囲外の砂に対しても拡大適用し、突固め試験はすべての試料に対してA-a法で行った。JIS法、突固め試験による最小間隙比をそれぞれ $e_{min,JIS}$ 、 $e_{min,compaction}$ とする。図2は突固め試験の結果を示したものである。すべての試料において、 $e_{min,compaction}$ は $e_{min,cyclic}'$ より大きい値を示した。ここで $e_{min,cyclic}'$ とは $e_{min,cyclic}$ と e_{test} の小さいほうの値である。 $e_{min,compaction}$ は繰返しせん断によって得られる最も密な状態の間隙比と比較して、まだ締め固められる可能性があるため、液状化評価に必要な指標としては不十分な可能性がある。したがって、締固め度を95%に統一しても液状化強度にばらつきがあるのは、突固め試験では、繰返しせん断によって砂の最も締め固められる状態にはならないからである。

また、 $e_{min,cyclic}'$ 、 $e_{min,compaction}$ 、細粒分含有率の関係について考察を行った。図3は細粒分含有率(FC)と $e_{min,compaction}$ と $e_{min,cyclic}'$ の関係を示した図である。図3中の丸の点(●○)が、JISに規格化されているA-a法で行ったデータである。今回は、 $e_{min,cyclic}$ を推定する有意な関係は確認できなかった。図3中の三角の点(▲)は、近傍の●に対応する試料のA-a法の各層当たりの突固め回数を2倍にして行ったデータである。

キーワード 最小間隙比 液状化強度 非排水繰返しせん断 相対密度

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 地盤工学研究 TEL022-795-743

正規の A-a 法で求めた $e_{min,compaction}$ と $e_{min,cyclic}$ の差が小さい試料が、突固め回数を 2 倍にしたとき、より締まっていることが確認できる。このことより、砂の種類によって締まりやすさが異なり、締まりにくい試料は突固め回数を増やしても限界があり、締まらない可能性がある。

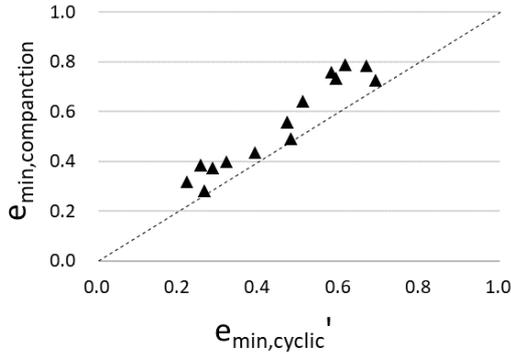


図2 突固め試験結果

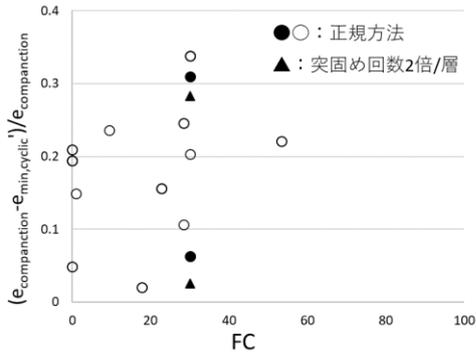


図3 FC, $e_{min,cyclic}$, $e_{min,compaction}$ の関係

3. 非常に密な状態での液状化強度

上述のように既往の文献によると、JIS 基準の相対密度で 100% を超えている供試体でも液状化強度が著しく弱いものが存在する。そこで $e_{min,cyclic}$ 基準の相対密度で 100% 付近まで密に締め固めた砂質土の液状化強度を求め、 $e_{min,cyclic}$ との関係性を検討するために三軸試験機で非排水繰返しせん断試験を行った。試験は初期等方圧力 100Pa, 繰返しせん断応力 0.5 の条件に統一し、行った。図 3 は液状化試験の結果を示したものである。すべての試料で液状化強度は 0.5 より大きい値となった。したがって、 $e_{min,cyclic}$ 付近まで締め固めることであらゆる砂の液状化強度は 0.5 以上になり得る可能性がある。その中でも、繰返し回数の大小が存在する。そこで図 4 に FC ごとに区別した相対密度繰返し回数の関係を示す。しかし、今回は、液状化強度の大小と FC には有意な関係は得られなかった。

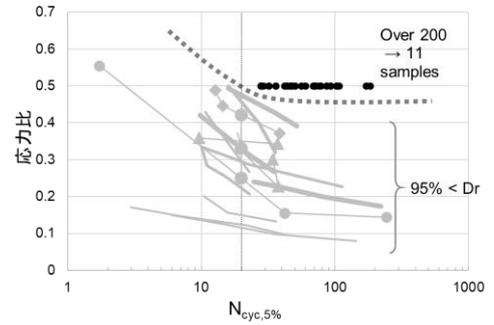


図3 液状化試験の結果

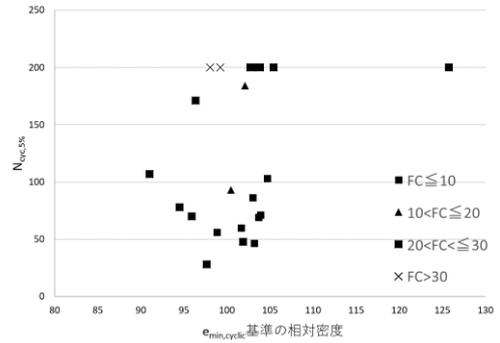


図4 FC と相対密度, 繰返し回数の関係

4. 結論

- 1) 既往の JIS 法や突固め試験では、繰返しせん断時より砂が締まらず、最小間隙比が過大評価されてしまい、液状化を評価する指標としては、不十分である。
- 2) 供試体の初期間隙比を $e_{min,cyclic}$ 付近まで近づけ、非常に密な状態まで締め固めたあらゆる砂質土の液状化強度は、強くなる可能性がある。

参考文献

- 1) Jonkwan KIM : Deformation Properties of Liquefied Soils with Fines
- 2) Tadao Enomoto : Liquefaction and post-liquefaction properties of sand-silt mixtures and undisturbed silty sands
- 3) Huang,A.B. and Huang,Y.T. : Undisturbed Sampling and Laboratory Shearing Tests on a Sand with Various Fines Contents
- 4) 後藤茂, 東畑郁生 : 排水条件下の繰返しせん断履歴や高温環境での圧密によって年代効果を付与した砂質土試料の液状化特性
- 5) 金佑泰, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正, 野田翔兵 : まさ土の非排水繰返しせん断強度と相対密度の評価に及ぼす細粒分の影響