

原位置繰返しプレッシャメータ試験とそれを模擬した室内三軸試験

東北大学 学 ○石井辰実 正 加村晃良 フ 風間基樹

1. 研究背景と目的

原位置サンプリング試料を三軸試験の供試体に用いる場合、試料採取時・運搬時の乱れや試験法自身の問題に起因して、結果には一定の不確実性が含まれる。一方、原位置の力学特性を取り出す手法の一つとしてプレッシャメータ（以下、PMと表記）を用いた孔内水平載荷試験が利用されている¹⁾。しかし、この試験法は一般に単調載荷による静的特性を取り出すものであり、繰返し載荷による動的特性への適用事例は殆ど見られない。サンプリングに伴う乱れの影響等を排除できる原位置試験によって地盤の繰返し載荷挙動が評価できれば、運搬時の乱れがないことや礫質地盤に適用可能といったメリットがある。

本研究では、まず通常のPMを利用した孔内水平繰返し載荷試験を実施し、繰返しに伴う剛性低下を確認した。なお、その際、間隙水圧は同時に測定していないため、PMによる原位置繰返し載荷試験に対応する片押しでの繰返し三軸試験を行い、この載荷条件で過剰間隙水圧上昇に伴う剛性低下挙動を評価すると共に、液状化発生の有無が判定可能かどうかを検証した。また、再構成試料についても同様の載荷条件による室内三軸試験を行い、密な砂において軟化挙動に違いが生じるかも評価した。

2. 原位置繰返し載荷試験

原位置繰返し載荷試験については、福島県小名浜港湾内の埋立地（海浜砂のポンプ浚渫・圧送による埋立地盤）で実施されたデータを用いる²⁾。試験条件を図-1に、PMによる繰返し載荷の入力履歴（注入水量によるPM体積変化制御）を図-2に示す。本稿ではP3の載荷結果に着目するが、図-3のように、繰返し載荷によってPMの圧力反力値が小さくなり、軟化していることが分かった。

3. 室内繰返し三軸試験

本研究ではPMによる原位置試験の載荷を三軸試験の鉛直方向の載荷履歴として与え、原位置試験と三軸試験を比較する（図-4）。試料は、上述の原位置試験を実施した際に、同一孔内・同一深度においてトリプルチューブサンプリングで採取された乱れの少ない試料を用いた。再構成試料については豊浦砂の相対密度が85%の供試体（T-85）の結果について論じる。実験ケースを表-2にまとめた。入力変位履歴は原位置試験のPMの実際の載荷履歴を用いた。拘束圧は地盤深度に応じた値を設定した。

PM試験のP3の挙動を模擬した三軸試験の平均有効応力時刻歴を図-5に、過剰間隙水圧時刻歴を図-6に、平均有効応力と軸ひずみの関係を図-7に示す。原位置試験と同様に、繰返し載荷が進むにつれて、過剰間隙

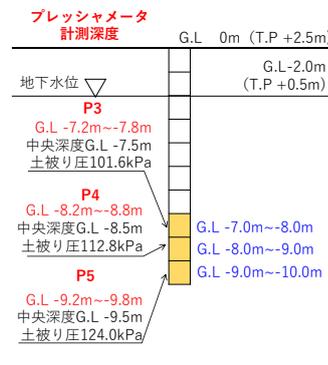


図-1 原位置繰返し載荷試験の試験条件

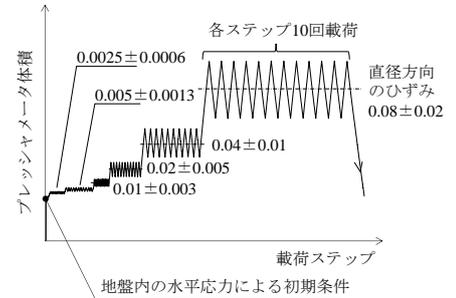


図-2 PMによる繰返し載荷の入力履歴

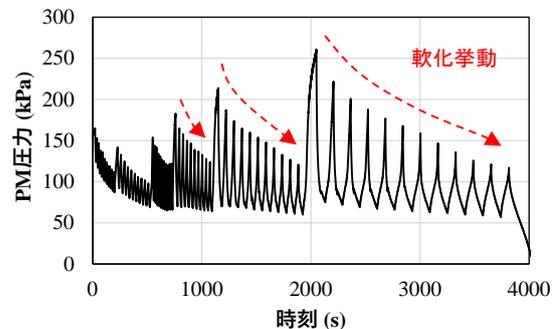


図-3 PM圧力時刻歴 (P3)

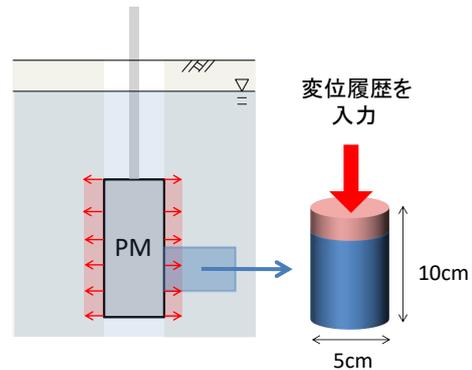


図-4 原位置試験の室内三軸試験への適用方法

表-2 室内繰返し三軸試験の試験条件

| | P3 | T-85 (再構成) |
|----------|--------------------|-------------|
| 実験条件 | 圧密後に非排水繰返しせん断 | |
| 試料 | 小名浜浚渫埋立砂 (原位置採取試料) | 豊浦砂 (再構成試料) |
| 制御方法 | 変位制御 (図-2の変位波形入力) | |
| 拘束圧(kPa) | 100 | 60 |
| 相対密度 | - | 85 |
| B値 | 0.87 | 0.95 |

水圧の上昇と共に各ステップの有効応力のピーク値が小さくなり、供試体が軟化挙動を示していることがわかる。過剰間隙水圧比が1.0に至っていることも踏まえると、PMによる原位置繰返し载荷においても、同様の液状化に至っていた可能性が示唆される。

図-8にはP3の等価初期剛性比と軸ひずみの関係を示す。ここで、等価初期剛性比は各ステップの10回目の载荷の割線剛性を初期割線剛性で除した値とした。軸ひずみが大きくなるにつれて等価初期剛性比が小さくなっていることがわかる。また、後半のステップではほとんど剛性が失われており、これらのことから、ステップ5以降は有効応力が完全に失われ、液状化しているといえる。

以上の結果より、PM原位置試験においても、液状化が生ずるような繰返し载荷が実現されたこと、およびひずみレベルに応じた地盤の軟化特性が原位置の情報として得られたものと推察できる。

次に、T-85の平均有効応力と軸ひずみの関係を図-9に、等価初期剛性比と軸ひずみの関係を図-10に示す。T-85のような密な砂ではサイクリックモビリティによる剛性回復挙動が見られるとともに、さらに载荷ステップが進み平均有効応力がゼロとなることになっても、先に定義した剛性は残存していることがわかる。以上から、原位置の繰返しPM試験によって、液状化するような地盤を含め、剛性低下を定量的に評価可能である可能性が示された。

4. まとめ

- PMを用いた原位置繰返し载荷試験の载荷条件を模擬した三軸試験により、土の繰返しせん断特性が得られた。また、室内試験による再現評価から、原位置試験においても液状化が生ずるような繰返し载荷が実現されたことが確認できた。
- 繰返し载荷の各ステップにおいて、原位置の情報としてひずみレベルに応じた軟化特性が得られた。
- 再構成試料の実験結果から、密な砂ではサイクリックモビリティによる剛性回復が見られ、さらに、残存剛性が定量的に評価できる可能性が示された。

参考文献

- 1) R J Mair & D M Wood (1987) : Pressuremeter Testing methods and interpretation
- 2) Kamura, A. & Kazama, M. (2019) : Assessment of stiffness degradation of soil by in-situ cyclic loading using pressuremeter (submitted to 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization)

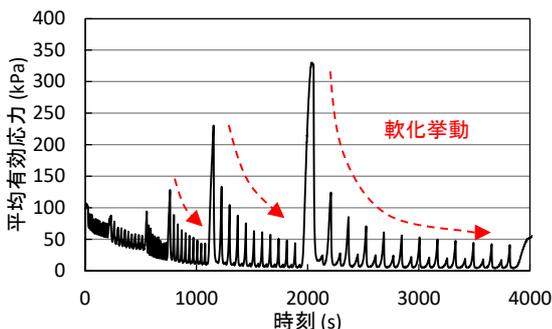


図-5 平均有効応力時刻歴(P3, 室内試験)

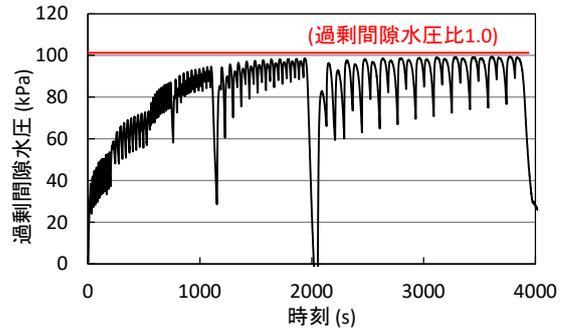


図-6 過剰間隙水圧時刻歴(P3, 室内試験)

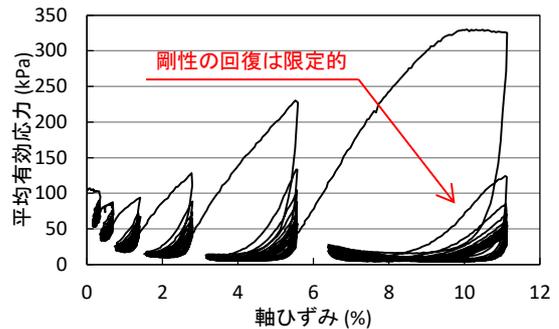


図-7 平均有効応力-軸ひずみ関係(P3, 室内試験)

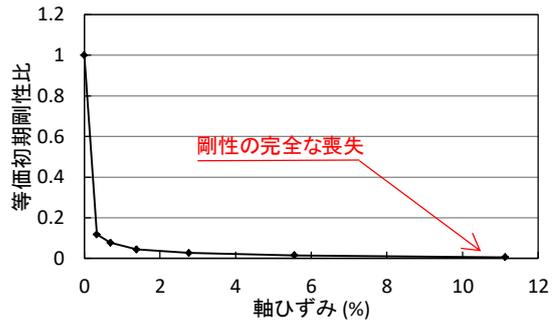


図-8 等価初期剛性比-軸ひずみ関係(P3, 室内試験)

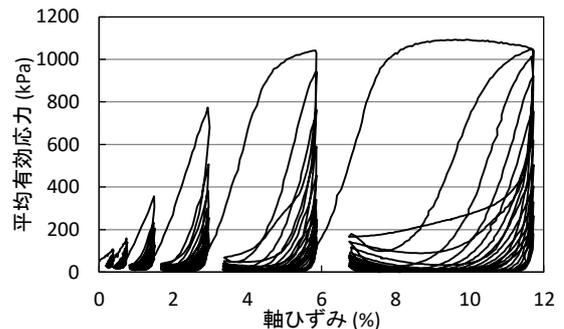


図-9 平均有効応力-軸ひずみ関係(T-85)

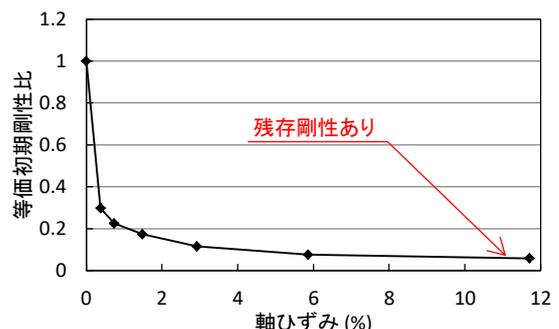


図-10 等価初期剛性比-軸ひずみ関係(T-85)