

III-87 吸水-振動締固め効果に及ぼす有効拘束圧の影響

前田建設工業(株) ○ 飯島 健 嶋田 三朗
 同 上 石黒 健 清水 英樹
 (株) セントラルソイル 斉田 隆

1. はじめに

砂地盤の液状化対策工法のひとつに、H鋼を地盤に貫入・振動させて地盤を締固める振動棒工法がある。著者らは従来の振動棒工法をベースとして、振動棒の近傍に吸水装置を付加した新しい液状化対策工法「吸水-振動締固め工法」を提案し、研究・開発を行っている。そして「吸水-振動締固め工法」においては締固め時に発生する過剰間隙水圧を抑えることにより締固め効果が增大することを現場実験、室内試験等で確認してきた。室内試験では、中空ねじり試験装置を用いて振動締固めを模擬した繰返しせん断履歴を様々な有効応力状態の下で豊浦砂に与え、履歴後の液状化特性を調べる一連の試験を実施している。ここではその中の圧密圧力(初期有効拘束圧; 現場では初期有効土被り圧、深度に対応)をパラメータにした試験を取り上げ、現場実験との対応について考察する。

2. 実験方法(1) -室内試験(水圧制御方法の詳細は文献1)参照

- ①水中落下法により初期相対密度50%程度の中空供試体を作成し、 $\sigma_o' = 0.3 \sim 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ の下で圧密する。
- ②せん断応力振幅一定の繰返しせん断履歴($\tau_{pre} = 0.28 \text{ kgf/cm}^2$)を50回与える。履歴時には過剰間隙水圧の発生を制御し、 $\Delta u_{pre} / \sigma_o' = 0.0, 0.5, 0.75$ の3水準において履歴を与えた。
- ③履歴後、初期の圧密圧力の下で再圧密し液状化試験を実施する。液状化試験時には圧密圧力 σ_o' に応じて、せん断応力比が一定($\tau_{liq} / \sigma_o' = 0.40 = \text{Const.}$)となるように試験条件を設定した。これにより圧密圧力が異なることによる液状化抵抗の差異を試験結果から取り除いた。

3. 実験方法(2) -現場実験(詳細は文献2)参照

土質条件、地下水位等の異なる3つのサイトで、従来の振動棒工法(非吸水型)と、振動棒の周辺にあらかじめウェルポイントを設置しておき締固め時の水圧を除去する工法(吸水型)の2工法の比較試験を実施した。効果の違いは同一ピッチで施工した後の杭間の貫入試験値(ラムサンディング; Nd値)を用いて評価した。

4. 実験結果および考察

まず室内試験結果について述べる。図-1は横軸に圧密圧力を取り、縦軸に履歴時に発生するせん断ひずみ(履歴ひずみ)をとったものである。履歴時の過剰間隙水圧のレベルによらず、圧密圧力が大きいほど履歴ひずみは小さく、また同じ圧密圧力においては、履歴時の過剰間隙水圧が大きいほど履歴ひずみは大きくなる。圧密圧力から履歴時の過剰間隙水圧を差し引いた履歴時有効応力 σ'_{pre} を用いて整理し直すと(図-2)、履歴時のせん断応力が同じであれば、履歴時有効応力と履歴ひずみは良い相関を持つことが分かる。

図-3は横軸に圧密圧力を取り、縦軸に履歴後の液状化試験においてせん断ひずみが3%に至る繰返し回数をとったものである。液状化試験はせん断応力比が一定となるように条件を設定し、圧密圧力の影響を取り除いた形で実施しているので、縦軸の液状化に至る回数($N_{\tau=3\%}$)は繰返し回

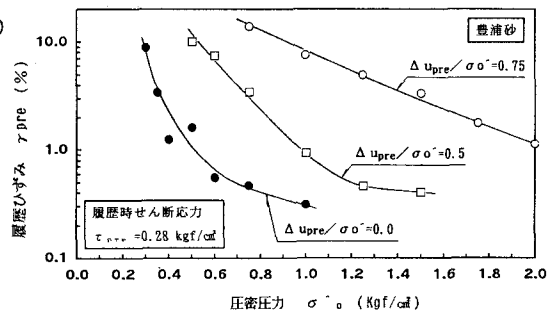


図-1 圧密圧力と履歴ひずみの関係

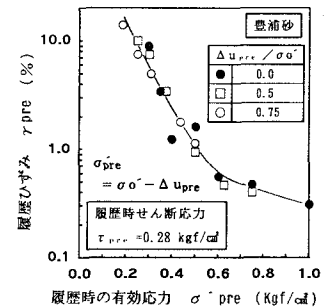


図-2 履歴時有効応力と履歴ひずみの関係

数20回に対するせん断応力比で定義される液状化強度と定性的に同じものと考えられる。

履歴後の液状化試験で液状化に至る回数（以後「履歴後の液状化強度」という表現をする）は圧密圧力と履歴時の過剰間隙水圧の組合わせにより様々なものとなるが、履歴時の過剰間隙水圧が同じ条件のものについて見ると、どの場合も山型のラインが描かれる。またピークの値は履歴時の過剰間隙水圧を抑えた場合ほど大きい。図-2に示したように履歴ひずみは履歴時の有効応力状態を表す良い指標となるので、この履歴ひずみに対し履歴後の液状化強度をとったものを図-4に示す。履歴後の液状化強度を最も高める最適な履歴ひずみはこの場合1～数%といったレベルに存在するようである。また同じ最適ひずみを与えた場合では、履歴時の過剰間隙水圧を抑えた場合ほど履歴後の液状化強度は大きくなり、「吸水－振動締固め」の優位性を示唆している。

次に、中空ねじり試験で明らかになったこのような事実を踏まえ、これまでに3つのサイトで実施してきた現場実験結果の解釈を試みる。なお振動締固めに用いた起振機は3サイトで同じであり、締固め履歴時のせん断応力は一定であったと考えられる。図-5は横軸に初期有効土被り圧、縦軸にN1値（有効拘束圧の影響を排除した正規化N値）の増分量を取り、3サイトの現場実験結果をまとめてプロットしたものである。吸水型と非吸水型のプロット範囲は明瞭に区分でき、室内試験結果（図-3）と非常によく似た傾向を見せている。

締固め履歴時の過剰間隙水圧を抑えた吸水型においては、現在用いている起振機相当のせん断応力に対して、初期有効土被り圧5～6 tf/㎡付近において締固め後のN1値を最も高める履歴ひずみが発生していると考えられる。それより初期有効土被り圧が高い場合は履歴ひずみが小さすぎ、低い場合は履歴ひずみが大きすぎるためにいずれも改良効果は低下し、山型のカーブ上に計測データがプロットされる。

一方、非吸水型における初期有効土被り圧5～6 tf/㎡付近は、過剰間隙水圧の影響で締固め履歴時の有効応力が低下し履歴ひずみ

が過大となる領域となるため改良効果が上がっていない。また、これより初期有効土被り圧が高くなると履歴ひずみの発生が抑えられるため、改良効果が増加する傾向が見られる。実データはプロットされていないが、さらに初期有効土被り圧が高くなると、最適ひずみ以下の履歴ひずみしか発生しない領域となるため改良効果はまた低下し、吸水型と同様、山型のカーブが描かれると予想される。

5. おわりに

「吸水－振動締固め」を模擬した室内試験と現場実験を通して、有効拘束圧がその効果に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。今後は今回得られた知見をもとに、起振力を可変とした最適施工といった方向へアプローチしていきたい。

＜参考文献＞1)飯島他(1992)「繰返しせん断履歴時の有効応力状態が履歴後の液状化特性に及ぼす影響」

2)清水他(1992)「吸水－振動締固め工法に関する現場実験」 1), 2)とも第27回土質工学研究発表会

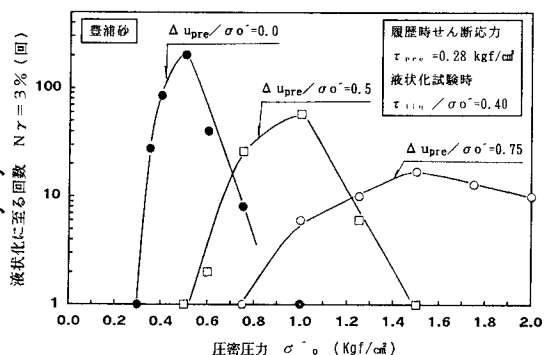


図-3 圧密圧力と履歴後の液状化強度の関係

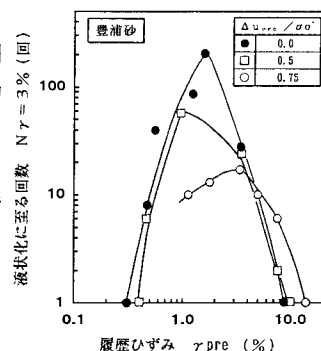


図-4 履歴ひずみと履歴後の液状化強度の関係

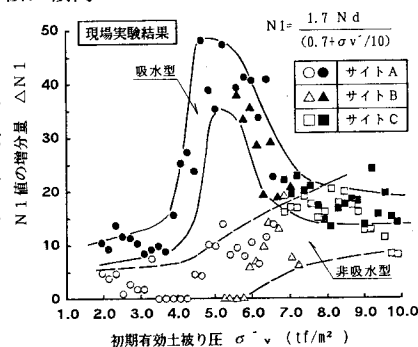


図-5 初期有効土被り圧と改良効果の関係