

Ⅲ-A114

薬液注入による低強度改良砂の動的挙動

奥村組 正会員 日下部 伸 森尾 敏

1. まえがき

既設構造物の直下や周辺地盤の液状化防止工法として、薬液の浸透注入による対策工法の開発が進められている^{1)・2)}。これらの研究では、改良材の浸透性や耐久性を考慮し、恒久グラウトである溶液型の超微粒子シリカが用いられている。現時点での改良体の目標値は、一軸圧縮強さ q_u でおよそ 0.8kgf/cm^2 であり、 0.25kgf/cm^2 以上を薬液の浸透範囲とする事例もある。

著者は、応力振幅一定および、ひずみ振幅漸増方式の非排水繰返しせん断試験により超微粒子シリカによる低強度改良砂の液状化抵抗について調べてきた³⁾。本研究では、仮動的実験手法であるオンライン地震応答実験⁴⁾により低強度改良砂の動的挙動を検討した。

その結果、①相対密度60%の未改良砂が完全に液状化に至り、せん断抵抗力がほぼゼロまで低下し流動化の発生が危惧される地震動入力（150 gal）に対しても、 q_u が $0.16\text{ (kgf/cm}^2)$ の改良砂は十分な液状化抵抗を有すること、② q_u が $0.16\text{ (kgf/cm}^2)$ あれば、地震動入力（150 gal）により3%程度の両振幅せん断ひずみ履歴を受けても、その後の再地震動入力（300 gal）における液状化抵抗と変形挙動は前回以上に改善されることが確認された。

すなわち、超微粒子シリカの改良砂は、たとえ低強度であってもその液状化抵抗と耐震性能は極めて優れていることが明らかになった。

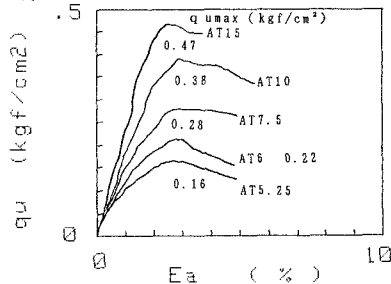


図-1 改良砂の一軸圧縮強さ

表-1 実験ケース

配合*	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	オンライン実験	
		①150 (gal)	②300 (gal)
AT 0	未改良砂	○	---
AT 5.25	0.16	○	○
AT 6	0.22	○	○
AT 7.5	0.28	○	○
AT 10	0.38	○	○
AT 15	0.47	○	○

* 数値は、水 60 (g)あたりの超微粒子シリカ原液 ATの質量を示す。

2. 実験内容

(1)供試体：空中落下法を用い型枠内に相対密度約60%の豊浦砂の供試体を作製後、飽和度を高めるため $-0.95\text{ (kgf/cm}^2)$ の負圧を作用させた状態で超微粒子シリカを浸透注入させ改良砂を作製した。ゲル化後の改良砂の強度は、一軸圧縮強さ q_u で $0.16\sim0.47\text{ (kgf/cm}^2)$ の範囲で5種類設定した。改良砂の $q_u\sim\varepsilon$ 関係を図-1に示す。供試体寸法は q_u が $\phi=3$, $H=6\text{cm}$ でオンライン地震応答実験用の単純せん断では $\phi=6$, $H=2\text{cm}$ である。

(2)仮動的実験：低強度改良砂の動的挙動を把握するため、オンライン地震応答実験を行った。加えて、低強度改良砂の耐震性能を検証する目的で1回目のオンライン実験（150 gal入力）後に間隙水圧を消散させ、同一の条件で2回目のオンライン実験（300 gal入力）を実施し再液状化抵抗と変形挙動の変化を調べた。異方圧密（ $\sigma'_v=0.630$ 、 $\sigma'_h=0.315\text{kgf/cm}^2$ ）後、軸方向の変位を固定し、オンライン実験を実施した。表-1に実験ケースの一覧を、表-2に解析条件を示す。用いた入力加速度波形は、図-2に示す1964年新潟地震川岸町タイプ⁵⁾である。試験装置は任意の応力状態可能な簡便型単純せん断装置である（写真-1）。

3. 低強度改良砂の動的挙動

オンライン地震応答実験で得られた $\tau\sim\gamma$ 関係と $\tau\sim\sigma'_m$ 関係の一例を図-3に示す。未改良砂(a)の場合、両振幅せん断ひずみが2.5%程度発生以降、流動的な液状化に至り、復元力（せん断応力）をほぼ完全に喪失している。これに対し、 q_u が 0.16kgf/cm^2 の改良砂(b)では同様なひずみ履歴を受けても流動的な液状化は発生しない。加えて、復元力の低下も顕著ではない。図-4は τ の時系列を

表-2 解析条件

深度 (m)	土層分割	湿潤密度 (t/m ³)	せん断剛性 G (kgf/cm ²)
0~1	(1) M1	1.8	218
1~2	(2) M2	1.8	218
2~4	(3) M3	1.9	428
4~6	(4) S2	1.9	オンライン
6~9	(5) M4	1.9	850
9~12	(6) M5	1.9	650
12~15	(7) M6	1.9	1111
15~18	(8) M7	1.9	1111

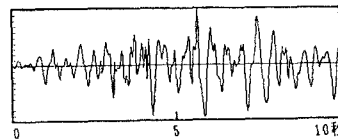


図-2 入力加速度波形（川岸町）

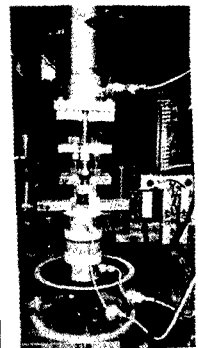


写真-1 簡便型
単純せん断装置

キーワード：液状化、単純せん断、砂、薬液注入、オンライン実験、動的挙動

連絡先：〒300-2612 つくば市 大砂 387 奥村組 技術研究所 電話 0298-65-1521 FAX 0298-65-1522

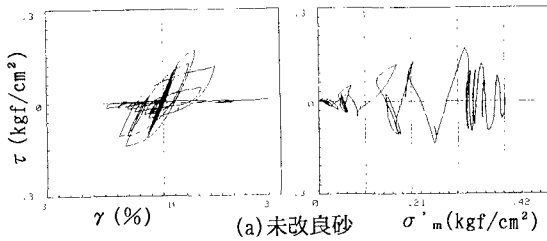


図-3 $\tau \sim \gamma$ 関係と $\tau \sim \sigma'_m$ 関係 (150 gal 入力)

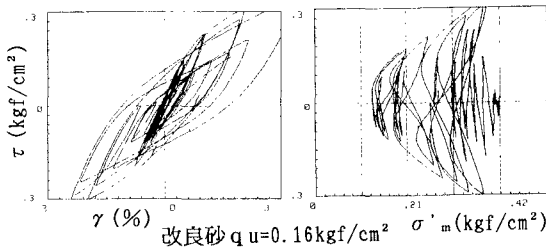


図-6 $\tau \sim \gamma$ 関係と $\tau \sim \sigma'_m$ 関係 (300 gal 入力)

示したものである。未改良砂(a)の場合、地震発生後7.5秒前後で復元力を喪失している。一方、 q_u が0.16kgf/cm²の改良砂(b)では、地震が終了するまで復元力を十分保持している。図-5は応答加速度の時刻歴を示している。同図において、地震発生後7.5秒付近で液状化に至った未改良砂(a)と十分な復元力を保持している改良砂(b)の7.5秒以降の挙動には歴然とした差がある。

4. 低強度改良砂の耐震性能

150gal入力後の300gal入力の実験で得られた $\tau \sim \gamma$ 関係と $\tau \sim \sigma'_m$ 関係を図-6に示す。同図と図-3(b)の比較より以下のことが指摘できる。①150gal入力の最大せん断ひずみ γ_{150max} 時のせん断応力に対し、300gal入力時に最初に γ_{150max} 相当のひずみが発生した時のせん断応力は、約1.5倍である。②300gal入力の最大せん断ひずみは150gal入力の約2倍であるにもかかわらず、有効応力の減少は両者で差が無い。すなわち、 q_u が0.16kgf/cm²もあれば、150gal入力により3%程度の両振幅せん断ひずみ履歴を受けても、その後の300gal入力における変形挙動と液状化抵抗は前回以上に改善されることが確認できる。

この実験結果は、地震によるせん断ひずみ履歴を受け

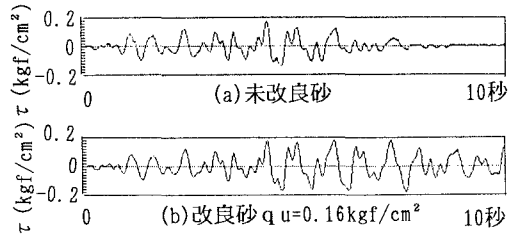


図-4 τ の時刻歴 (150 gal 入力)

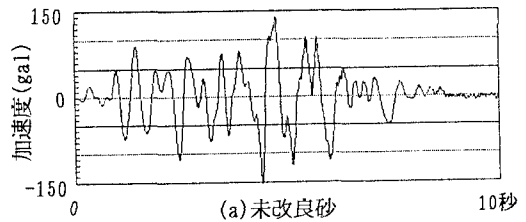


図-5 応答加速度の時刻歴 (150 gal 入力)

ても低強度改良砂の耐震性能は劣化せず、逆に向上することを示唆している様に思われる。

5. まとめ

超微粒子シリカによる低強度改良砂の動的挙動を仮想的実験手法であるオンライン地震応答実験で調べた。その結果、改良砂の q_u が0.16kgf/cm²もあれば、その液状化抵抗と耐震性能は極めて優れていることが明らかになった。

参考文献

- 善 功企・山崎 浩之・林 健太郎・吉川 立一・藤澤 伸行・名越 崇:薬液注入による液状化防止工法-新潟実証実験報告-、第32回地盤工学研究発表会、pp. 2347-2348、1997
- 前田 健一・善 功企・山崎 浩之・林 健太郎:現場薬液注入実験における改良土の液状化特性、土木学会第52回年次学術講演会、第3部(A)pp. 196-197、1997
- 日下部 伸・森尾 敏:薬液注入による低強度改良砂の液状化抵抗、第33回地盤工学研究発表会、1998 (投稿中)
- Kusakabe, S. and Morio, S.: The Development of a Substructure On-Line Testing System for Seismic Response Analysis of a Geotechnical System, Soils and Foundations, Vol. 35, No. 2, pp. 117-125, 1995.
- (社) 土質工学会:地盤と土構造物の地震時の挙動に関する研究委員会、ソイル・シラメント論文集、pp. 50-61, 1989.