

シリカ薄液による液状化対策工法の開発

－改良体内のシリカ量と液状化強度および再載荷時の靱性－

奥村組 技術研究所 正会員 日下部伸・情報システム室 正会員 森尾敏
技術開発部 正会員 高橋一成・山本史士
土木設計部 正会員 古賀明

1. まえがき

恒久グラウトである溶液型超微粒子シリカを用い、既設構造物を対象とした液状化対策工法が開発されている¹⁾。著者らは室内の配合実験から、シリカ薄液による改良砂は一軸圧縮強さが 13kPa もあれば相当な液状化抵抗と耐震性能を有することを明らかにしてきた²⁾。また、現場注入実験を行い施工後、比抵抗コーンにより推定された改良体内（直径 3 m と 4 m）から多数の不攪乱供試体を採取し、液状化強度の分布を調査した。その結果、(1)シリカ濃度が 4.5% の原液を用いた注入では浸透距離に応じて液状化強度が低下すること、(2)原液を 2 倍希釈したシリカ薄液の注入では浸透距離による液状化強度の変化が認められず、改良体内ではほぼ同程度の液状化強度が得られること、(3)未改良砂に比べ液状化強度がさほど大きくない改良部においても、その靱性は極めて優れており、いわゆる液状化による流動的な破壊には至らないことを確認した³⁾。

本稿では、シリカ薄液注入による改良体内のシリカ量と液状化強度の関係について述べる。さらに液状化強度で評価すると最小の値を示す改良部分について、その再載荷過程での靱性について検討を加える。

2. 試料と実験内容

現場注入後、改良体の上端から 1 m 下がりまで開削し、内径 6 cm 高さ 4 cm のカッターリングで不攪乱供試体を採取した。直径 6 cm 高さ 2 cm の供試体を用い、簡易単純せん断装置により応力振幅一定方式の液状化試験を行った。初期の有効拘束圧は、有効土被り圧相当の $\sigma'_{vo}=65\text{kPa}$ 、 $\sigma'_{ho}=32.5\text{kPa}$ とした。装置と試験方法の詳細は文献 3), 4) を参照されたい。液状化強度比は載荷回数 20 回で両振幅せん断ひずみが 7.5% となる繰返しせん断応力を初期平均有効応力 $\sigma'_{mo} = (\sigma'_{vo} + 2\sigma'_{ho}) / 3$ で除して算定した。

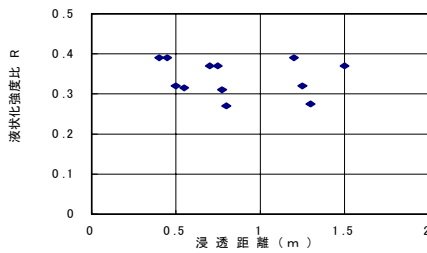
改良体内の乾燥砂 1 g 当りのシリカ検出原子の質量は、ICP (Inductively Coupled Plasma: 誘導結合プラズマ) 分析により、改良砂と未改良砂との差分として求めた。

3. 液状化強度比とシリカ検出量

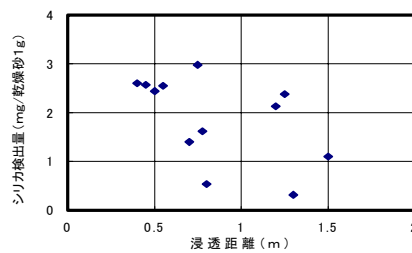
図－1 はシリカ薄液の浸透距離と液状化強度比 R の関係を示している。 R の値は概ね 0.33 ± 0.06 の間に分布しており、浸透距離の増大による R の低下は認められず、改良体内ではほぼ同一とみなせる。図－2 はシリカ薄液の浸透距離とシリカ検出原子の質量 m_{ICP} (乾燥状態の改良砂 1 g 当り) との関係を示している。 m_{ICP} の値に若干のバラツキがあるものの、浸透距離の増大に伴い m_{ICP} は減少している。この希釈のメカニズムとしては、(1)超微粒子シリカが土粒子へ吸着することによる薬液濃度そのものの希釈、(2)移流分散による希釈、(3)浸透距離の増大による動水勾配の減少が引き起こす中小の間隙における水と薬液の浸透置換の阻害によるもので、土塊内の平均値として評価した場合の希釈が考えられる。図－3 はシリカ検出原子の質量 m_{ICP} と液状化強度比 R の関係を示している。 m_{ICP} の変動にかかわらず R はほぼ一定である。この理由は文献 3) でも検討を加えたように以下のことが考えられる。室内の配合実験結果から、シリカの希釈倍率が 6 倍から 16 倍の範囲では液状化強度比がほとんど低下しないことが確認されている。そして 2 倍希釈液を用いた現場注入で直径 3 m 程度の改良体を施工した場合、6 倍前後の希釈液に相当する R になっている。したがって、

キーワード：シリカ薄液注入、浸透距離、液状化強度、シリカ量、靱性

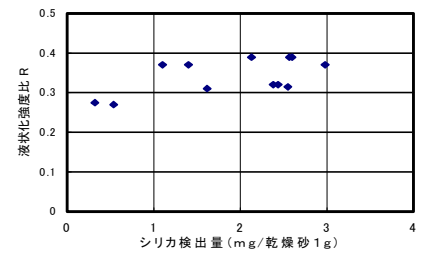
連絡先：〒300-2612 つくば市大砂 387 奥村組技術研究所 電話 0298-65-1521 FAX 0298-65-1522



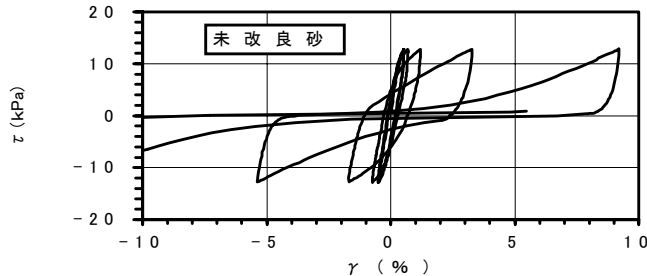
図－１ 浸透距離と液状化強度比



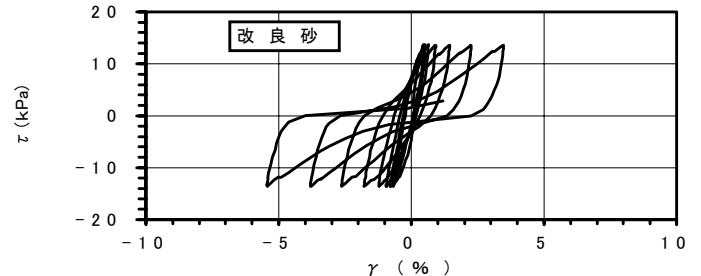
図－２ 浸透距離とシリカ検出量



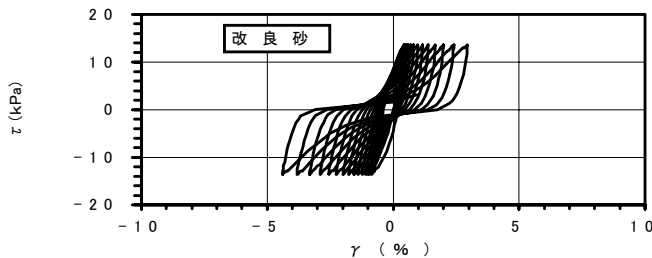
図－３ シリカ検出量と液状化強度比



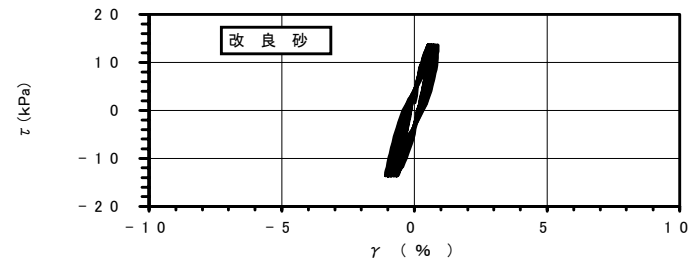
図－４ $\tau - \gamma$ 関係（７サイクル載荷）



図－５ $\tau - \gamma$ 関係（載荷一回目：８サイクル載荷）



図－６ $\tau - \gamma$ 関係（載荷二回目：１４サイクル載荷）



図－７ $\tau - \gamma$ 関係（載荷三回目：２０サイクル載荷）

２倍希釈液を用いた現場注入では結果的に希釈の程度が液状化強度比に影響をおよぼさない範囲であったことがその原因として考えられる。

４．再載荷過程での靱性

図－４は未改良砂の、図－５は液状化強度比が最小の改良砂のせん断応力 τ ～せん断ひずみ γ 関係を示している。未改良砂が７サイクル目にはいる過程で液状化による流動的な変形を呈しているのに対し、改良砂では同一の７サイクル目でのひずみの進展は三分の一程度に留まっており明らかに靱性が優れている。この改良砂への８サイクル目の載荷直後に試験を打ち切り、初期の有効拘束圧で再圧密後、再載荷（載荷二回目）した場合の τ ～ γ 関係を示したのが図－６である。同様に載荷三回目を図－７に示す。この改良砂を一軸圧縮強さで評価するとわずか 15kPa 程度であり、従来の静的強度からの類推によると大変不十分な改良程度と判断されかねない。しかし、図－５、６、７が示す様に、大ひずみ履歴により損傷を受けることはなく、逆に靱性が著しく向上している。文献 2)の室内配合実験から得られたシリカ薄液改良砂の優れた耐震性能が、現場での実施工でも実証された。

５．まとめ

改良体内のシリカ量と液状化強度比の関係および、最小の液状化強度比を示す改良部分の再載荷過程での靱性について検討を加えた。その結果、薬液コストを半減できる２倍希釈のシリカ薄液を用いることにより、経済的でありかなり均一な液状化強度と優れた靱性を有する改良体の施工が可能となることが明らかになった。

参考文献：1)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対策工法一新潟実証実験報告一，第 32 回地盤工学研究発表会，pp. 2347～2348，1997. 2)日下部伸，森尾敏：大ひずみ履歴がシリカ薄液改良砂の液状化抵抗に与える影響，土木学会第 54 回年次学術講演会，III－A80，pp. 160～161，1999. 3)日下部伸，森尾敏，高橋一成，山本史士，古賀明：現場注入によるシリカ薄液改良体の液状化抵抗，第 35 回地盤工学研究発表会，2000。（投稿中）4)日下部伸，森尾敏，岡林巧，藤井照久，兵動正幸：簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用，土木学会論文集，No.617／III-46，pp. 299～304，1999.