

## マイクロスフェアを用いた新しい液状化対策工法の開発

(株)大林組 正会員 ○望月 勝紀 正会員 伊藤 浩二  
 同上 正会員 山田 宏  
 東京大学 フェロー会員 古関 潤一 正会員 清田 隆

### 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震により、多くの構造物が液状化被害を受けた。また、南海トラフ地震ではそれを上回る規模で液状化被害を生じるとされ<sup>1)</sup>、対策が急がれる。しかし、工事費用が高いため、重要構造物を除いて対策が進んでいない。そのため、供用中構造物直下に適用できる廉価な対策工法が求められている。また、液状化対策工法の中でも比較的廉価である不飽和化工法は、ポンプアップやモニタリングといったランニングコストがかかってしまう。そこで、我々はマイクロスフェアと呼ばれる中空粒状体を地盤に注入することで地盤を不飽和化する新たな液状化対策工法を開発した。

### 2. 工法概要

液状化対象地盤にマイクロスフェア(以下、MSと称す)と呼ばれる直径約10 $\mu$ m程度の日本ファイライト製の中空粒状体を注入して地盤を不飽和化する(図-1)。MSは圧縮性を有しているため、地震時に過剰間隙水圧が増加しようとするときに変形して圧縮する(図-2)。そのため、過剰間隙水圧の発生を抑制でき、液状化しにくくなる。

### 3. 室内実験による効果検証

#### (1) 目的と方法

本工法の効果を検証するために、表-1 に示した条件で繰返し非排水三軸試験(JGS-0541-2009)を実施した。ケイ砂6号(図-3)を用いて相対密度50%の供試体を作成し、二重負圧法で飽和した。その後、MSを5vol%混合した水を供試体下部より注入し、供試体を不飽和化した。その際、B値が0.98から0.15程度へ低下していることを確認した。試験完了後、強熱減量試験(JIS A 1226:2009)を実施し、MS充填率(砂の間隙に対するMSの体積占有率)を測定した。

#### (2) 結果

MSを注入した供試体は無対策と比較して液状化強度が約1.3倍に増加した。道路橋示方書のFL法<sup>2)</sup>によって、地表面から10mの深さにおけるレベル1地震動に対する液状化の有無を判定すると、無対策の供試体は液状化するが、MSを注入した場合は液状化しないと判定された(図-4)。また、図-5より繰返しせん断に伴う間隙水圧の上昇が抑えられていることがわかる。なお、MS充填率は、約30%であった。

### 3. 数値解析による効果検証

#### (1) 目的と条件

MSを注入した場合の地盤の液状化特性を推定するため、2次元有効応力解

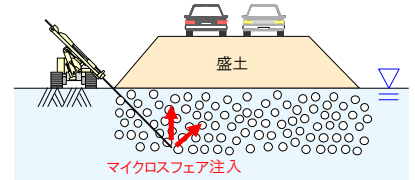


図-1 工法概要

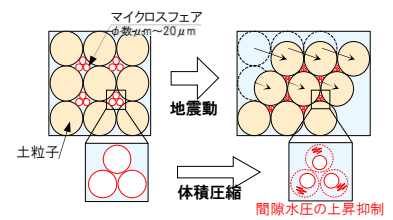


図-2 液状化防止メカニズム

表-1 繰返し非排水三軸試験条件

土質材料	ケイ砂 6号
相対密度	50 %
供試体寸法	$\phi$ 50mm×H100mm
初期有効拘束圧	100 kPa
背圧	100 kPa

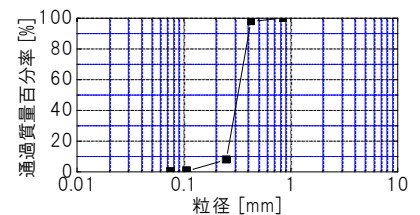


図-3 ケイ砂6号粒度分布

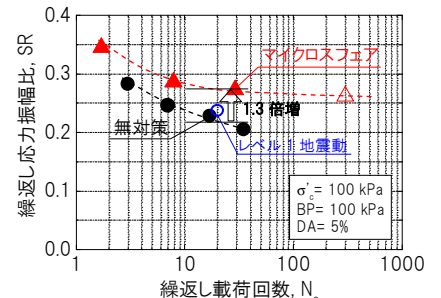


図-4 繰返し非排水三軸試験結果

※スフェア有りのSR=0.262は液状化せず

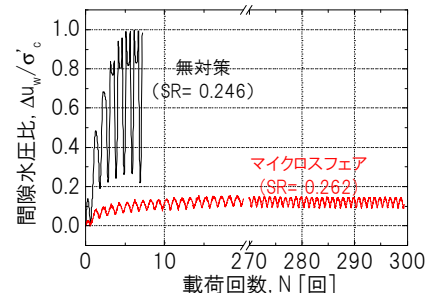


図-5 間隙水圧比の上昇傾向

キーワード 液状化対策、不飽和化、マイクロスフェア

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 (株)大林組生産技術本部 TEL 03-5769-1302

析を実施した。供用中の盛土直下の改良を想定し、厚さ 10m の緩い砂層の上に高さ 5.6m の盛土が構築されている状態をモデル化した(図-6、表-2)。なお、地下水位をGL.-1.0mと設定し、MS 充填率を 50%と仮定した。入力地震波は、レベル 2 地震動(プレート境界型、最大加速度 350gal、ランダム波)とした(図-7)。

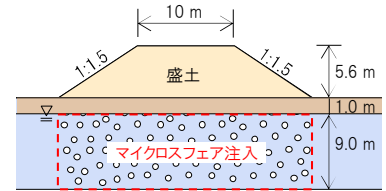


図-6 解析モデル

(2) 結果

無対策では盛土基礎地盤が液状化し、盛土天端が約 3m 沈下しているが、MS を充填した場合では液状化が抑制され、盛土天端沈下量も 1m 以下に収まっている(図-8、9)。また、MS を充填した場合の盛土が沈下した原因は、液状化によるものではなく、加振中の揺すり込み沈下と考えられる。

表-2 解析条件

解析手法	・2次元有効応力解析
基礎地盤	・砂質土 ・N値= 10 ・地下水位= GL.-1.0m ・MS充填率= 50%
既設構造物(盛土)	・盛土高さ= 5.6m ・湿潤重量= 19kN/m <sup>3</sup>
入力地震動	・レベル2(タイプI)

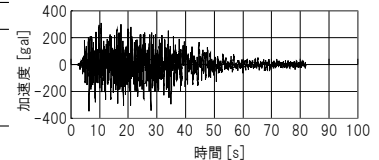


図-7 入力地震波

4. 注入性検証

(1) 目的と方法

地盤に対するMSの注入性を検証するため、直径 100mm、高さ 1,000mm の円筒容器内にケイ砂 6 号を相対密度 50%となるように詰め、飽和させた。その後、容器下部よりMSを 5vol% 混合した水を注入した(図-10)。注入状況を見やすくするため、MS 混合水を食紅(青色 1 号)で着色した。注入完了後、供試体を凍結して 10 分割し、それぞれ強熱減量試験を実施して MS 充填率を測定した。

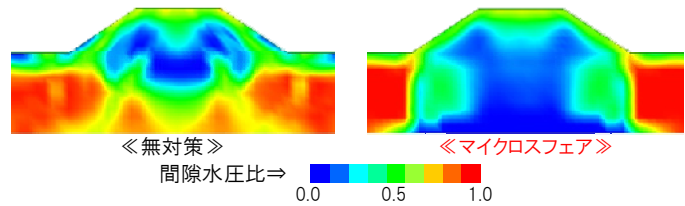


図-8 解析結果(間隙水圧の分布)

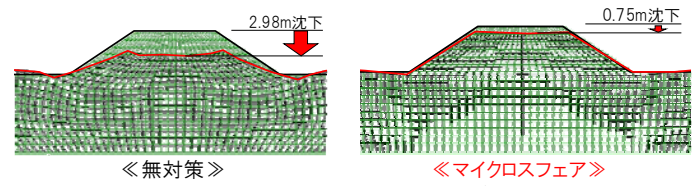


図-9 解析結果(加振 5 時間後の変位)

(2) 結果

写真-1 は、実験完了後の状況である。これより、供試体全体にスフェア混合水が充填出来ていることが分かる。また、MS 充填率は下部より 700mm 以下で 20~30%、それより上部では 5~10%となった。

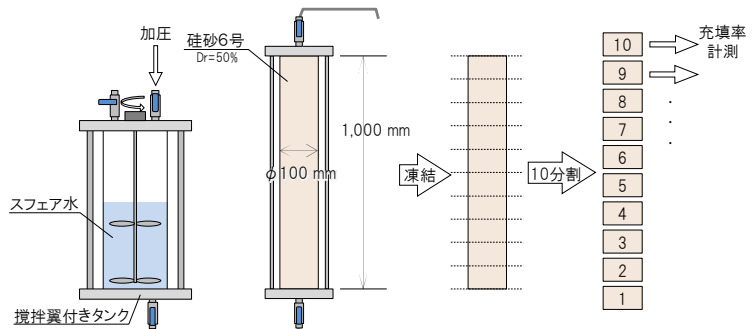


図-10 注入性検証実験

5. まとめと今後の課題

MS を地盤に注入(充填率 30%)すると、液状化強度が増加し、レベル 1 地震動に対して液状化を防止できることが示された。MS の充填率を 50%程度まで高めれば、レベル 2 地震動においても変形を抑制できる可能性が示された。一方、注入に関しても薬液注入工法の汎用機で施工できる可能性があることが分かった<sup>3)</sup>。今後、さらに充填率を向上できる施工方法を検討する。また、コストに関しては、従来の薬液注入工法に対して約4割のコストダウンを実現できる見込みである。現在、これらの結果を踏まえ、振動台実験にてMS混合水の浸透範囲、実地震動に対する挙動や変形特性を詳細に検証中である。



写真-1 注入性検証実験

参考文献

- 1)内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），平成 25 年 3 月 18 日、2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成 24 年 3 月、3)阿部智彦，松本伸，新村亮，金沢智彦：海水を使用した地盤注入工法の開発，第 67 回土木学会年次学術講演会，pp. 651-652，平成 24 年 9 月