

# ジオパスタ(GEOPASTA)工法を用いた液状化対策の効果確認

ケミカルグラウト株式会社 ○高橋 正光 館下 和行 桑川 政則  
独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部 菅野 高弘 中澤 博志

## 1. はじめに

液状化対策は、昭和 50 年代ころから広く行われるようになった。しかし、1995 年に発生した兵庫県南部地震では、人工埋立地をはじめとする広範囲において液状化現象による甚大な被害が発生した。また、埋立地の護岸の背後地が海側に大きく変位する流動化現象も生じ、これも臨海公共施設に大きな被害をもたらした。それにより、レベル 2 地震動での耐震設計が考慮されるようになった。

さらに、頻度の低い大きな被害をもたらす地震動に対して、多少の機能損傷が生じても許容できるような性能規定型の設計の考え方も生まれている。この考え方では、液状化を生じさせないというのではなく、対象となる構造物の本来の機能をどこまで確保出来るかということになる。すなわち、変位を許容し、経済性を考慮した設計法に移行しようとしている。

そうした中、近年のグローバル化に伴う人や物資の輸送の増大によって、港湾や空港施設の重要性がますます増大し、より信頼性が高く経済的な対策工法の開発が望まれている。

去る 10 月 27 日に石狩湾新港にて発破による人工的液状化時の地盤及び構造物の挙動を観測する目的で『実物大の空港施設を用いた液状化実験』が実施された。

その実験の一部として、高圧噴射攪拌工法 (GEOPASTA 工法) を用いて、擬似滑走路 (表層改良) 下に改良率の異なる 3 タイプの地盤改良を行い、発破による擬似液状化状態を再現した後の地盤改良を施した範囲と無対策範囲での挙動を計測した。

本報告は、その実験結果の一部速報およびその定性的な評価を行ったものである。

## 2. 工法概要

高圧噴射攪拌工法は、土中に挿入したロッドを介し先端の噴射装置から高い圧力を与えた固化材 (流体) を地盤中に噴射し、その強力なエネルギーによって地盤を切削破壊し、硬化材と土とを攪拌混合して地盤を固化する工法である。

特に今回適用する工法は従来工法と比較して、ジェットエネルギー効率を最大限にアップした小型の特殊モニターにより無駄のない高効率の施工と、施工機の小型化により大型揚重機を使用しない施工を実現した。



### 特長

- 狭い場所・低い空間でも施工が可能です。
- 任意の深さに任意の長さで造成可能です。
- 施工時の地盤変位もありません。
- 小さい穴から巨大な改良体を造成します。
- 既存構造物と確実に密着できます。
- 地中埋設物がある場所でも施工が可能です。
- 新技術で低価格・工期短縮が可能です。
- 対象施設を供用しながらの施工が可能です。

図-1 特殊整流装置付きモニター

① 削孔

高圧ジェット水にて計画深度まで削孔する。

② 造成開始

削孔後、スチールボールを投入し、回転速度・引上げ速度を設定して、噴射テストをする。

③ GEOPASTA施工

硬化材を噴射しながら所定の引上げ速度及び回転速度により、パイルを造成する。

④ 施工完了

造成完了後、二重管ロッドを地上まで引上げ、管内を清水により洗浄する。

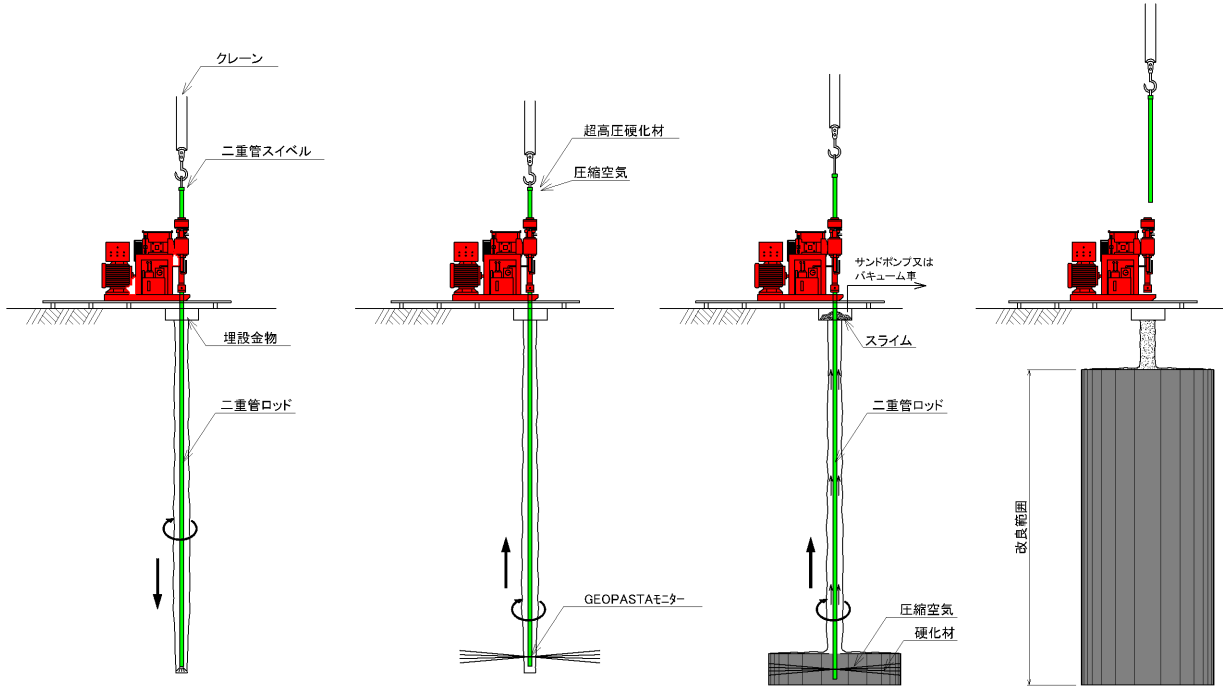


図-2 改良体施工フロー図

### 3. 実験概要

#### 3.1 実験目的

本実験における目的を以下に列記する。

- ① 人工的に再現された液状化地盤中で、高圧噴射攪拌工法 (GEOPASTA工法) により改良された地盤がどのようにその影響 (液状化による沈下) を防止または軽減するかを確認する。
- ② 図-5 に示す高圧噴射攪拌工法 (GEOPASTA工法) による3タイプの異なる改良率 (78.5%, 51.9%, 34.9%) の改良地盤を造成する。それぞれの液状化に対する効果を各計測器 (変位計・間隙水圧計・沈下計) から得られたデータにより分析し、合理的かつ経済的な液状化対策工の改良率および配置パターンを確認する。

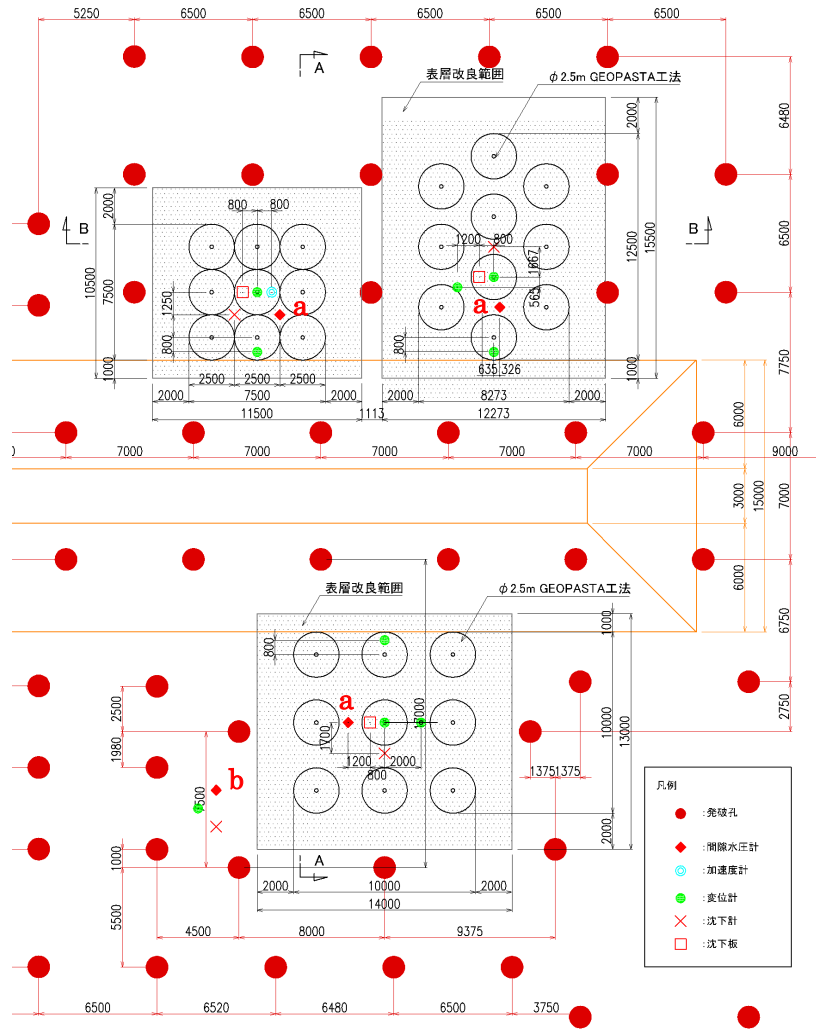


図-3 GEOPASTA 工法 改良体，計測器および発破孔平面配置図

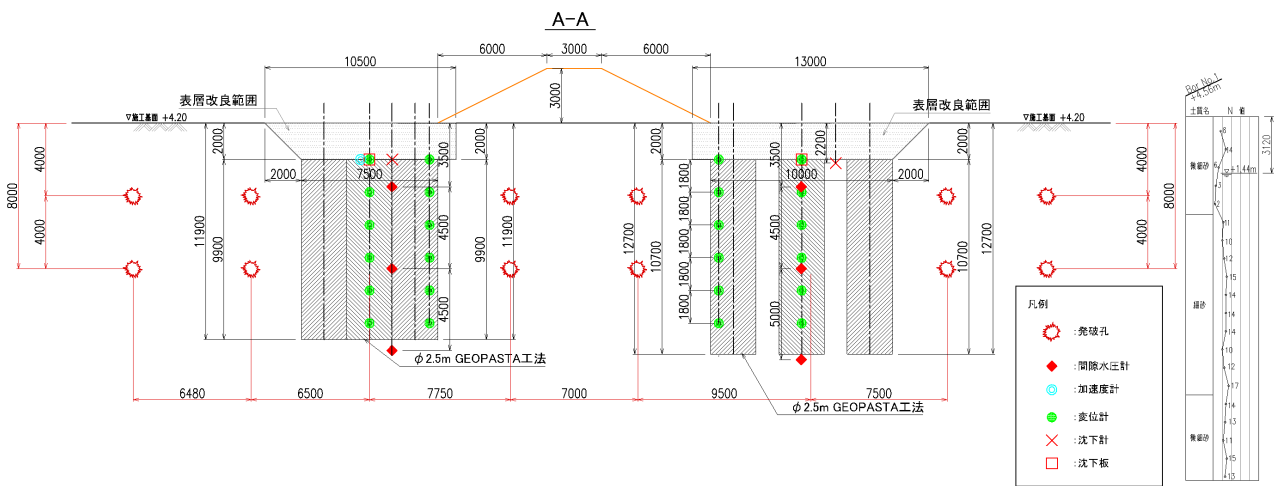


図-4 GEOPASTA 工法 改良体，計測器および発破孔断面配置図

### 3.2 実験内容

本実験における高圧噴射攪拌工法（GEOPASTA 工法）の配置計画および計測器の目的・設置方法について記す。（図-3, 4）

計測器については、計測項目ごとに目的・設置方法を記す。

#### 3.2.1 改良率

経済性および安定性を考慮して、本実験における検証改良率( $\alpha$ )は、 $\alpha = 78.5\%$ （接円配置）、 $\alpha = 51.9\%$ （千鳥配置）、 $\alpha = 34.9\%$ （柱列配置）の3タイプとした。配置図を図-5に示す。

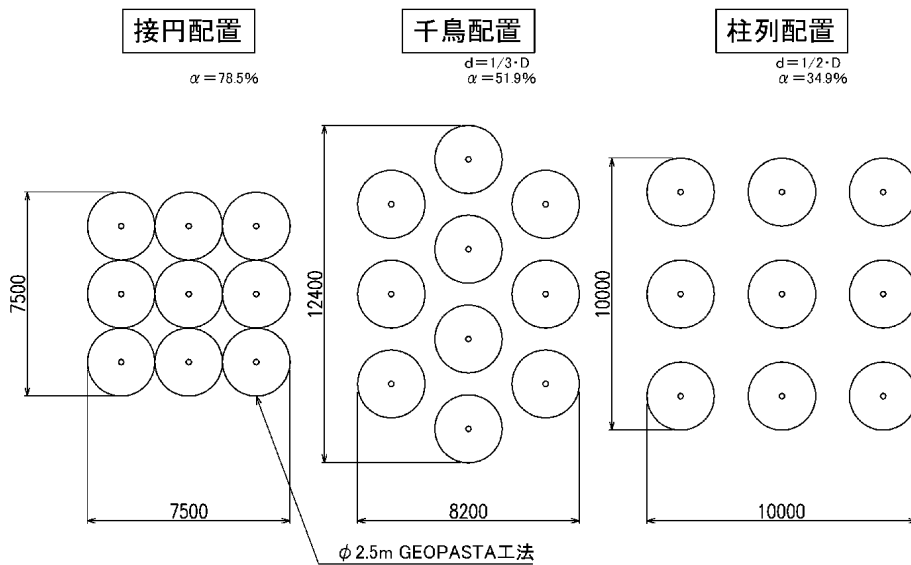


図-5 GEOPASTA 工法 改良率毎の平面配置図

#### 3.2.2 設置計測器

設置する計測器は、変位計・加速度計・間隙水圧計・沈下計・沈下板の5種類とした。

各計測器の設置目的と設置位置は以下の通りとなる。

- (1) 変位計：液状化により発生する外力に対する改良体および周辺地盤の変位の測定を行う。

さらに、発破による衝撃力に対する改良体の影響（損傷状況）の確認を行う。

- (2) 加速度計：発破による衝撃波の加速度の測定を行う。および、2度積分により算出された変位と変位計による計測値との比較を行う。

- (3) 間隙水圧計：改良地盤内部および無改良地盤の間隙水圧の比較を行う。その結果から改良による液状化防止の効果確認を行う。

- (4) 沈下計（沈下板）：改良体配置部における上部改良盤（滑走路想定）の沈下の測定を行う。

同時に無改良部の沈下測定も行い、改良による効果の有無を確認する。

### 3.2.2.1 間隙水圧の計測

以下に間隙水圧計の設置目的等について記す。

間隙水圧計の設置位置は、平面については図-3 に示した通りで、深度方向については、無改良地盤で2深度のみ（図中b）の測定とし、改良地盤内では、改良体下端部の液状化状態を把握する為、改良深度内2深度、改良下端深度に1深度、計3深度の間隙水圧計（図中a）を設置した。

また、設置目的は、以下の通りとなる。

#### ①擬似的液状化状態の成立の確認（図-3内b）

無改良（無対策）地盤内での間隙水圧の上昇の確認により、擬似的な液状化状態が成立したかどうかの確認を行う。

#### ②改良地盤内における間隙水圧上昇の抑制効果の確認（図-3内a）

無改良地盤と改良地盤内（改良体間の地山部分）での間隙水圧の上昇の違いを確認することにより、改良地盤内における間隙水圧の上昇は抑制され、改良効果があったことを実証する。

### 3.2.2.2 改良体およびその周辺地盤の沈下計測

改良体およびその周辺地盤の沈下を測定するため、設置箇所に応じた2種類の沈下計を採用した。

#### ①改良体の沈下計測

周辺地盤の液状化の影響による改良体の沈下を改良体天端の沈下を測定することにより確認する。

#### ②改良地盤内の改良体間地盤の沈下計測（電磁波による深度探査）

無対策範囲および改良地盤内の地山部分での液状化による地盤沈下の状況の把握、および、発破による衝撃波が地盤に及ぼす影響を確認する。今回、埋設型の沈下計を用い沈下を計測する。

## 4. 実験結果と考察

間隙水圧計および沈下量の測定結果を以下に記す。

### 4.1 間隙水圧

図-6は無改良部における過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。

無改良部（無対策範囲）における過剰間隙水圧の上昇のピーク時（発破直後）で、水圧計深度における有効拘束圧との比（過剰間隙水圧比）が1.0を上回ることから、液状化と同等の現象が改良地盤周辺の地盤で発生していると判断できる。

改良地盤における改良率毎の過剰間隙水圧の経時変化は図-7～図-9に示す通りとなった。

改良体に囲まれた地盤内の間隙水圧の上昇は、初期値では非常に小さいものとなった。これについては、改良体で囲まれた地盤が発破の衝撃による圧縮力を受けなかったといえる。しかし、時間の経過と共に徐々に間隙水圧が上昇し、改良下端深度以浅に設置した水圧計の値に近くなってしまった。本実験では、改良下端以深にも液状化層が続き、下端からの水の出入りが自由となっており、さらに、千鳥・柱列配置は、接円配置と異なり側方からの影響も受けやすく、その結果、改良体下端部および側部からの水圧の伝播（周辺の影響）で徐々に改良体内部の水圧も上昇し、その度合は改良率が低くなるほど大きくなったと考える。

図-10は、深度GL-3.5mにおける改良率による間隙水圧の上昇の比較を示したものである。図か

ら改良率が高くなるほど、過剰間隙水圧の上昇（改良地盤の周辺地盤からの影響）が抑制できることが確認できる。

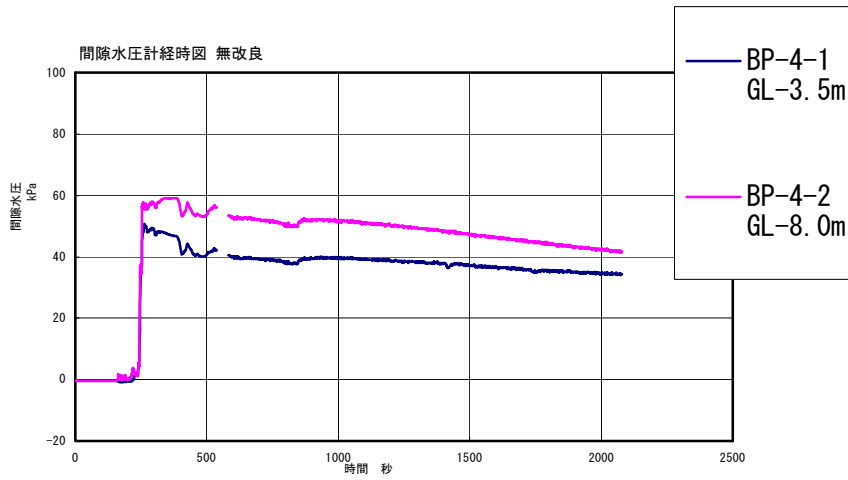


図-6 過剰間隙水圧計測結果（無対策範囲）



写真-1 無改良部（無対策範囲）水圧計位置 発破直後の状況

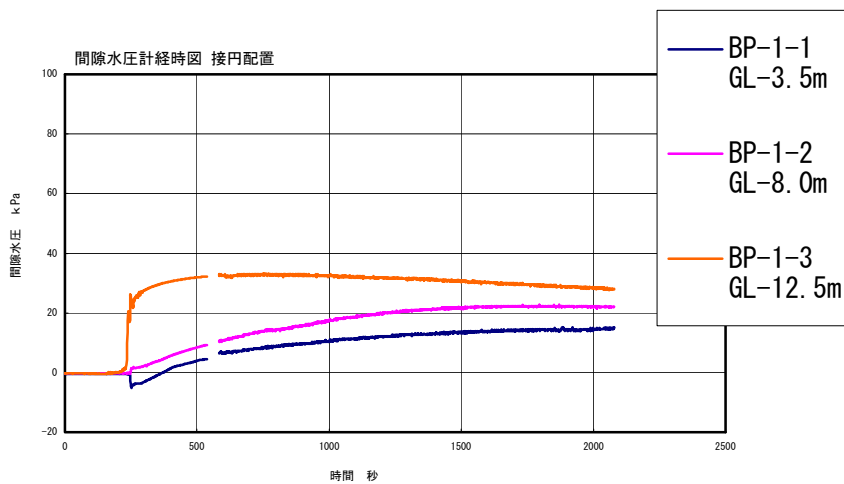


図-7 過剰間隙水圧計測結果（地盤改良範囲：接円配置）

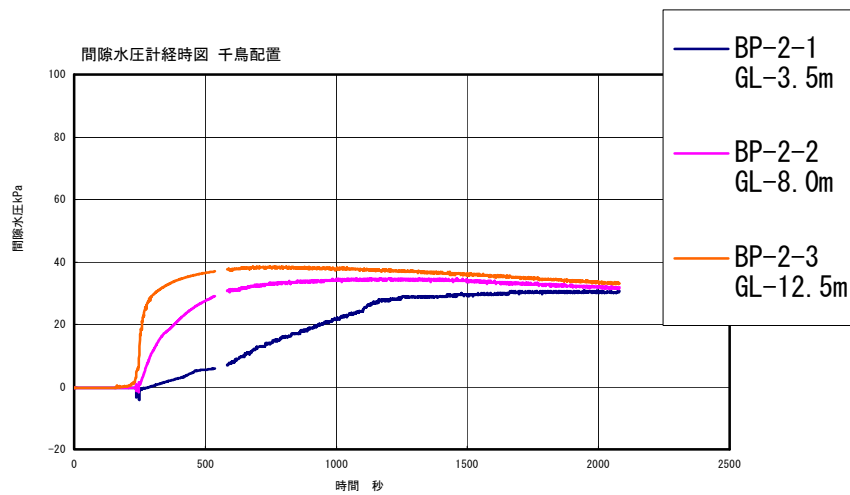


図-8 過剰間隙水圧計測結果（地盤改良範囲：千鳥配置）

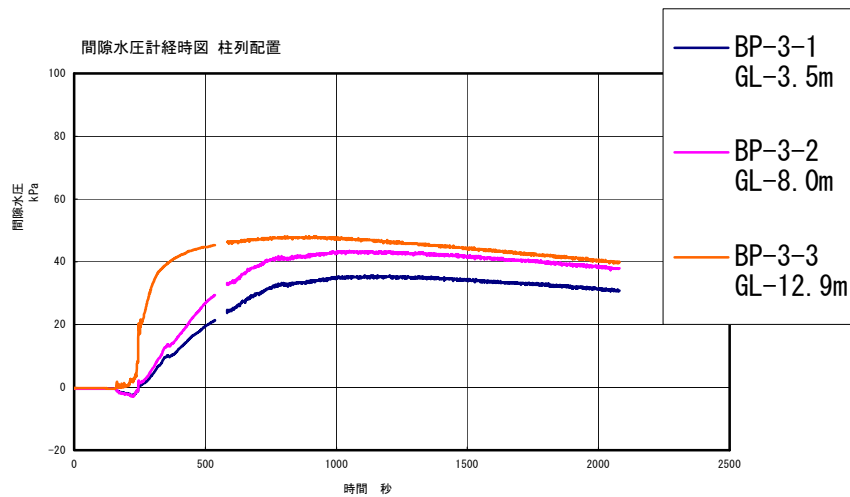


図-9 過剰間隙水圧計測結果（地盤改良範囲：柱列配置）

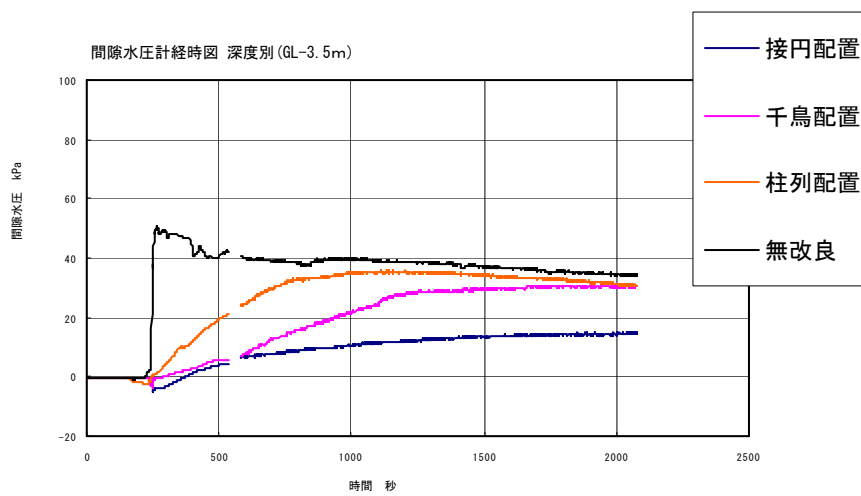


図-10 過剰間隙水圧計測結果（GL-3.5m：改良率による比較）

## 4.2 沈下量

図-11は、改良率毎の沈下板による改良体天端の沈下量の経時変化を示したものである。今回の計測結果では、改良体の天端の沈下量は、図に示す通り非常に小さく、改良率による大きな差異もみられなかった。したがって、改良効果はあったと判断できる。

図-12は、改良地盤内における改良体間の地盤の沈下と無対策範囲での沈下の経時的変化を示したものである。改良地盤内における改良体周辺地盤の沈下量は、無改良部(無対策範囲)の沈下量29cmに対して非常に小さいものとなった。また、改良体間の地盤の沈下については、1cmオーダーでの改良率の差が現れており、その大きさは、(接円配置) < (千鳥配置) < (柱列配置)と改良率が低くなるほど大きくなっている。その大きさは最大で20mmであった。したがって、改良体による拘束効果があったと判断できる。

前述での間隙水圧の上昇の仕方を考慮すれば、改良地盤内の沈下は、液状化現象によるものだけとは考えにくく、発破の衝撃力による締固め効果による影響も大きかったのではないかと考える。その結果、衝撃力の直接的な影響が全くない接円配置内での地盤の沈下量が0mmとなっていると考える。

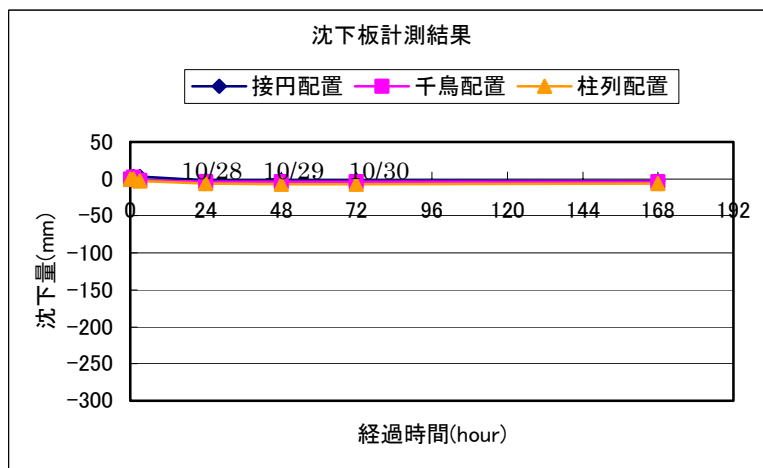


図-11 沈下量計測結果 (改良体天端位置)

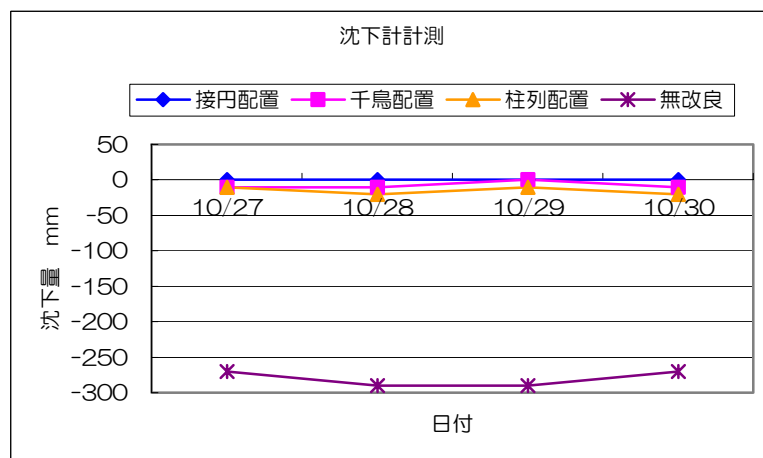


図-12 沈下量計測結果 (改良体周辺地盤および無改良部)



今回の3種類の異なる改良率の改良地盤は、盛土を挟んだ配置とした。図-13は、改良地盤に挟まれた盛土部天端の水平変位を示したものである。

改良地盤に挟まれた箇所の盛土天端部は下方へ落ち込むような変位を示し（測点 m3, m4）、それ以外の測点については、地盤改良の施されていない地盤方向へ大きな変位を起している。

このことから、改良体配置による盛土の水平方向（盛土法肩から法尻方向）への変位の抑制効果はあるとの判断が出来、改良率の低い柱列配置（改良率  $\alpha = 34.9\%$ ）においても効果があったといえる。ただし、配置の関係上、改良率による変位抑制効果の差は定性的に評価できない結果となった。

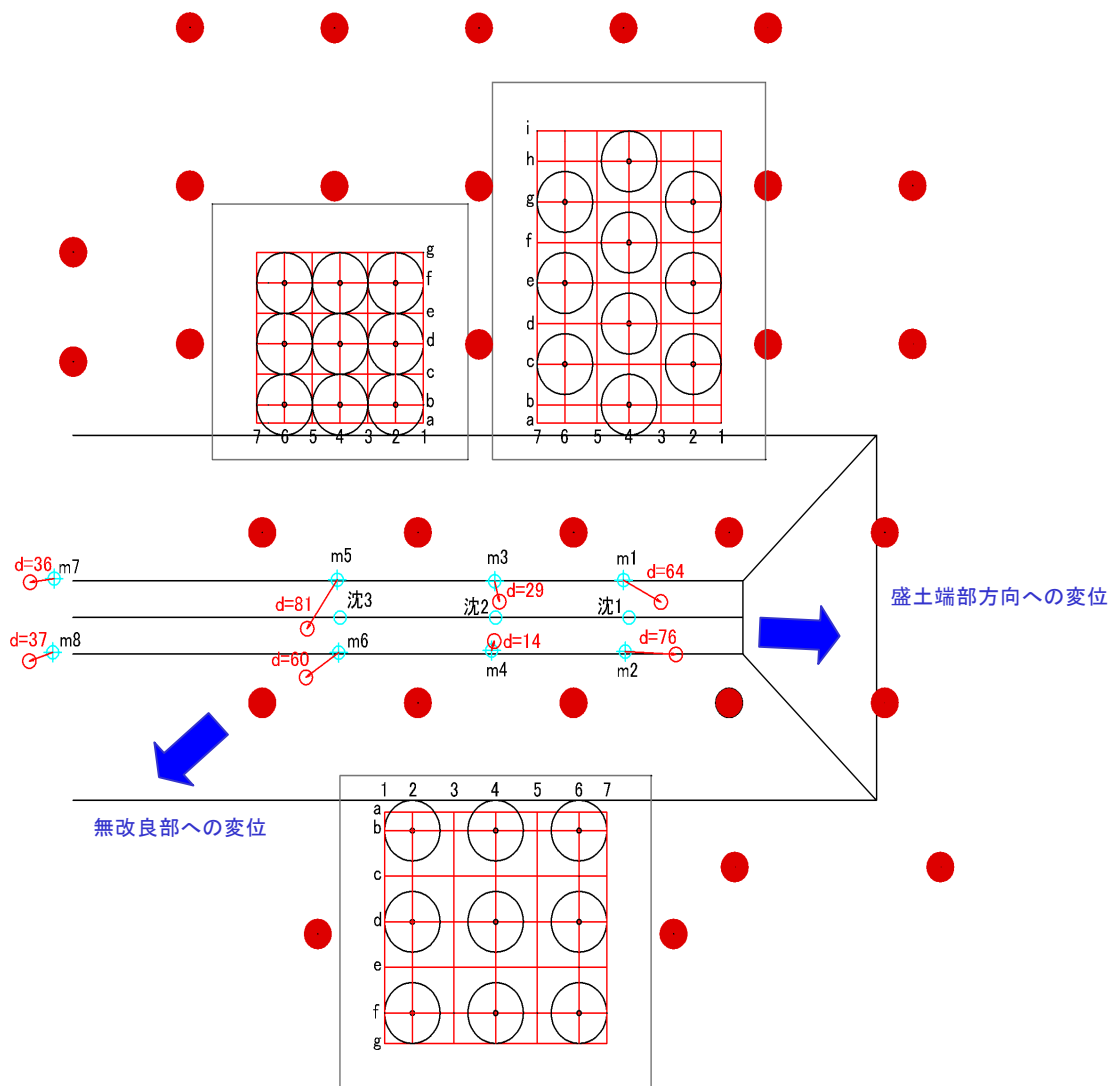


図-13 盛土部の水平変位量測定結果

## 5. まとめ

今回の実験によって、高圧噴射攪拌工法（GEOPASTA 工法）による液状化対策工が、液状化時における擬似滑走路の沈下およびその直下における間隙水圧の上昇を抑制することが出来ることが確認できた。今回、3種類の異なる改良率の改良地盤にて実験を行ったが、最も改良率の低い柱列配置（改良率 $\alpha = 34.9\%$ ）においても、その効果を確認できた。

また、側方流動に対しても改良率の低い柱列配置（改良率 $\alpha = 34.9\%$ ）で効果が確認できた。

今回の実験では、地盤改良の改良率を上げれば、改良地盤内の間隙水圧の上昇と未改良部（改良体間の地盤）の沈下を抑制できるという定性的な結果は得られたものの、今後、経済性を考慮した液状化対策の設計を行う上で、定量的な評価が必要となる。

今後、残りの計測結果を精査して、定量的な評価に繋がるかどうかを検討していく。