

X-jet（クロスジェット）工法を用いた格子状改良による滑走路直下での液状化対策効果

港湾空港技術研究所

菅野 高弘 中澤 博志

クロスジェット協会（ケミカルグラウト）

初山 幸治 舘下 和行

クロスジェット協会（不動テトラ）

仁田尾 洋 ○鈴木 亮彦

1. はじめに

地震時の液状化対策として、地中に格子状の固化改良体を造成する方法があり、その効果は過去の巨大地震で実証されてきた。しかし、一般的に広く適用されている機械攪拌式深層混合処理工法では、空港滑走路等の構造物直下での施工は困難である。この課題を克服するために、① 施工機が小型、② 舗装面のダメージが少ない、③ 高圧噴射工法でありながら改良径が一定に保てる、といった特長を有する X-jet（クロスジェット）工法を用いる施工方法の検討を行ってきた。

石狩湾新港で行われた実大液状化実験で、X-jet 工法による格子状改良を港湾空港技術研究所とクロスジェット協会の共同研究として実施した。発破による模擬地震時の間隙水圧などから液状化防止効果を確認すると共に、施工性についても調査を行った。

本報告は現場で得られたデータから、X-jet 工法を空港施設の液状化対策として用いる際の適用性を検証したものである。

2. 工法概要

本工法は“格子状改良”を、“X-jet 工法”を用いて施工することを特長としている。それぞれの概要は以下の通りである。

2.1 格子状改良工法

格子状改良工法は、地盤中に格子状の固化改良体を造成することにより液状化を防止する工法である。固化改良体により拘束された地盤は、地震時のせん断変形が抑えられるので、過剰間隙水圧の上昇が抑制される効果が得られる。

改良体配置を格子状とすることで、全面改良と比べてコストを縮減することができる。

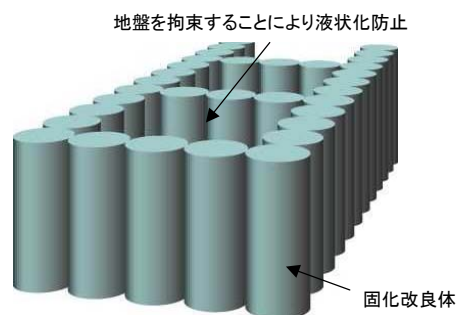


図-1 格子状改良による液状化対策

2.2 X-jet 工法

X-jet 工法は交差噴流（上下2段の高精度ノズルから交差するように噴射）により、主に改良径の制御（距離の限定）を行うことで硬化材、排出物の減量化を図り、均一な材質の改良体の造成を目的として開発された工法である。水に高い圧力を加えて得られる強力なエネルギーによって地盤の構造を破壊し、土塊の一部を切削スライムとして地上に排出すると同時に硬化材を充填して、強固な固化体をつくるものである。

X-jet 工法を滑走路直下の液状化対策に適用するメリットをまとめると、以下の通りとなる。

- ① 施工機が小型 : 施工機がボーリングマシン程度の大きさであるため、夜間施工時の搬入・搬出が容易となる。
- ② 舗装面のダメージが少ない : 施工時の周辺地盤変位が非常に小さい三重管タイプの高圧噴射工法であるため、舗装面の盛り等の影響を抑えられる。
- ③ 高圧噴射工法でありながら改良径を一定にできる : 上下2段の高圧噴流を交差させて切削エネルギーを相殺し、交差点より遠くの地盤は切削しないようにしている。これにより、改良径を一定に保つことができるため、格子状改良で重要となる改良体の重なり（ラップ）が確實となる。
- ④ 切削能力の向上 : 切削噴流が2本あり、交差するので非常に細かい単位で土が切削できる。
- ⑤ 工期短縮・コスト縮減 : 切削噴流を2本にするので、施工速度を速くすることができる。これはそのまま、工期の短縮と、コストの低減につながる。

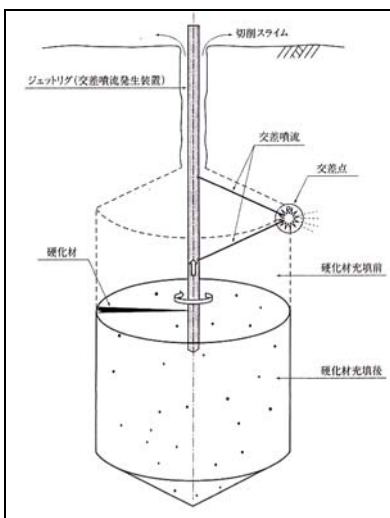


図-2 X-jet 施工概念図

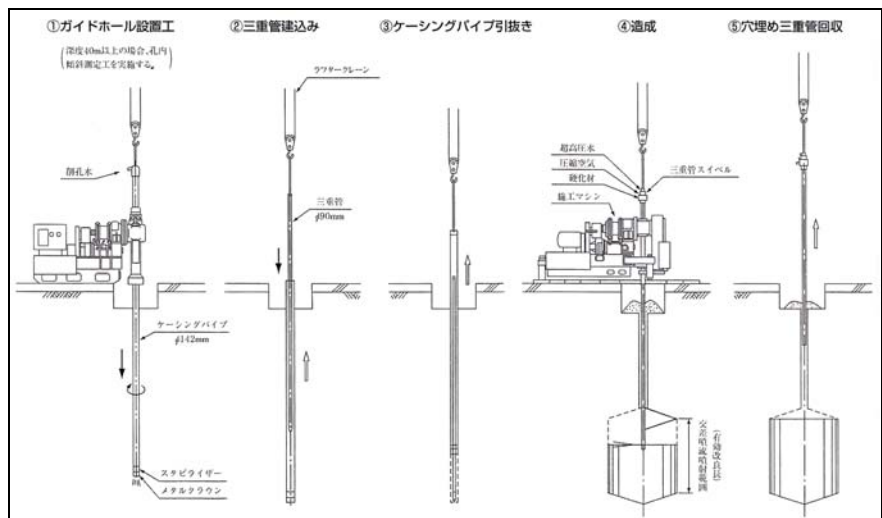


図-3 X-jet 施工手順

3. 実験内容

石狩湾新港で行われた実験の内容を以下に示す。現場では舗装に見立てた表層処理工を最初に施工し、その後 X-jet 工法の施工を行った。

3.1 施工概要

場所 : 石狩湾新港西地区埋立地 (小樽市銭函地内)

施工時期 : 平成 19 年 8 月～10 月 (発破 10 月 27 日)

施工数量 : 表層処理工 545m³

X-jet 工 改良径 $\Phi 2500\text{mm}$

削孔長 $L = 10\text{m}$

造成長 $l = 8\text{m}$

打設本数 $n = 16$ 本



図-4 現場位置図

3.2 実験仕様

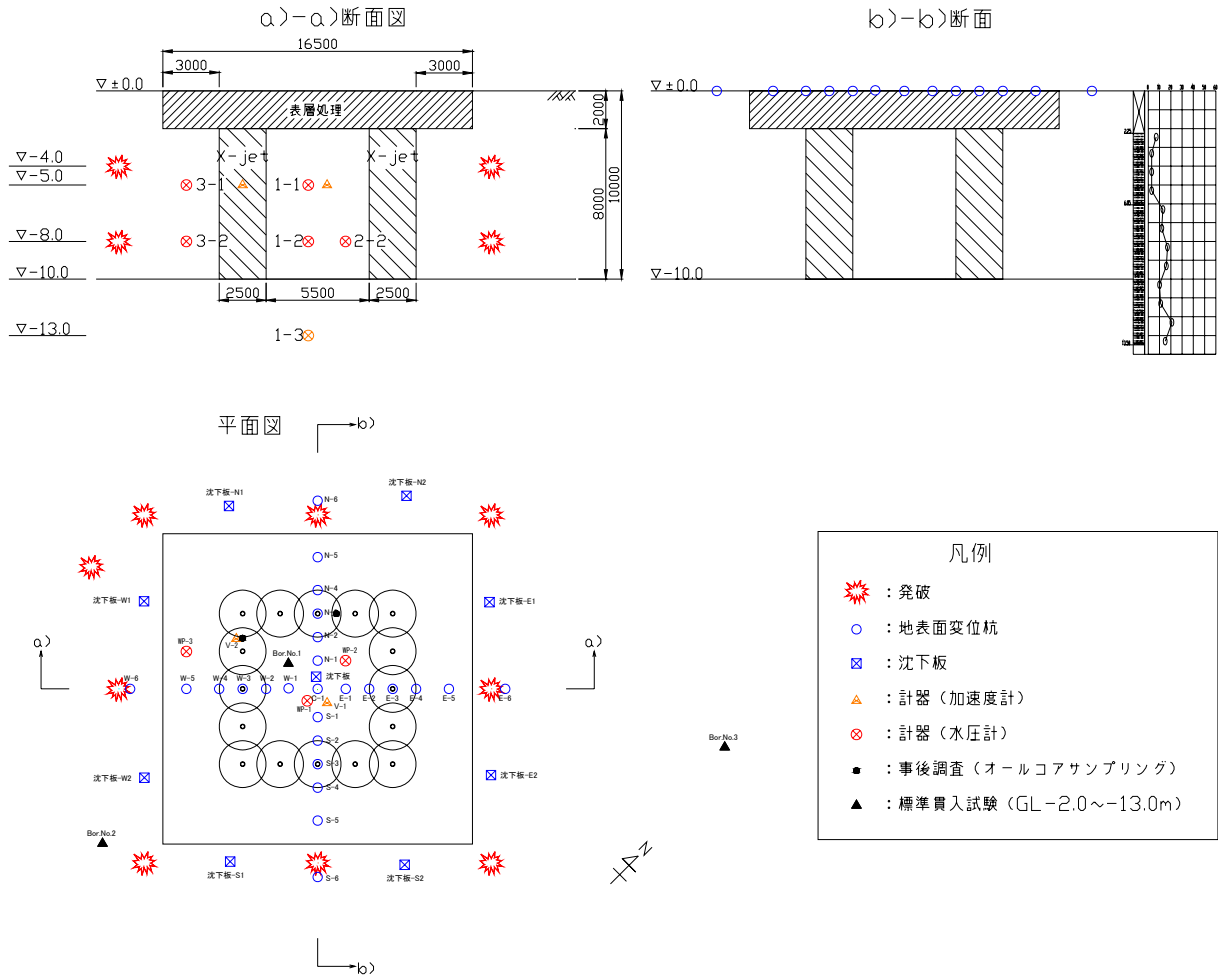


図-5 計器設置位置図

表-1 計測項目および目的

時期	計測項目	目的	分類
施工前	地盤調査ボーリング	原地盤土性の把握	d
施工中	地表面変位	施工による既存施設の変位影響の確認	a
施工後	改良体コアボーリング	改良体の品質確認	b
発破中 発破後	過剰間隙水圧	格子内外の応答値比較による改良効果の確認	c
	加速度		
	地表面変位	改良後の地盤変状（主に沈下）の計測による改良効果の確認	
	地中沈下量		

計測項目の分類

a. 施工性	・・・ 空港（滑走路）での施工を想定した時の施工性、安全性
b. 品質	・・・ 改良体の強度等の品質
c. 効果	・・・ 液状化対策工法としての効果
d. その他	・・・ 事後の解析等に用いる基礎データ

4. 実験結果

現時点での取りまとめ成果を、以下に示す。

4.1 施工性

施工時に地表面で計測した地盤の鉛直変位は下図の通りであり、施工による有為な変位は認められなかった。なお、施工は9月1日～6日の期間に行われ、変位を計測した地点は9月6日前後の施工エリアである。実際の施工条件を想定し、排泥ピット（排泥を溜めるために地表面に掘る空穴）を必要としない“ケーシング残置施工”を、本現場で行っている。

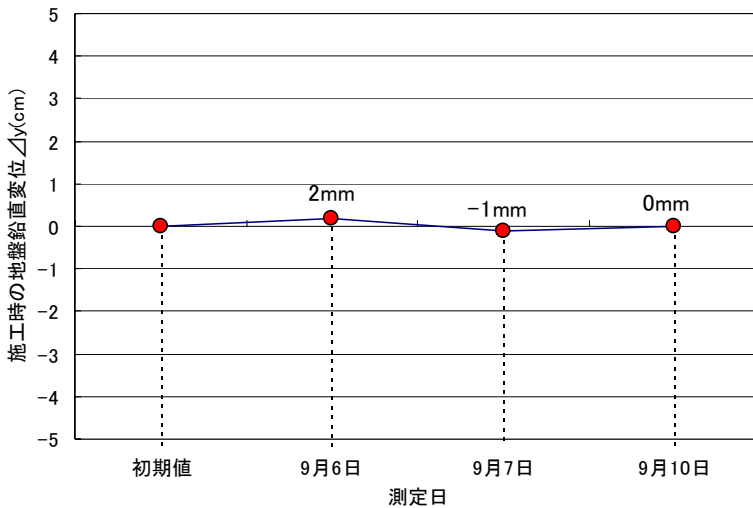
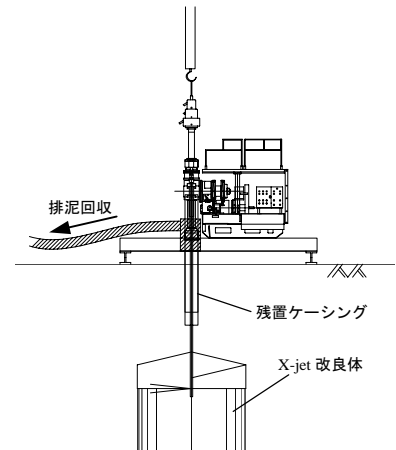


図-6 施工時の地盤鉛直変位



参図 ケーシング残置施工

4.2 品質

施工後、改良体の品質を確認するため、2箇所（図-5 参照）で改良体コア採取ボーリングを行った。採取コアによる一軸圧縮試験の結果は下図の通り、十分な強度となっていた。

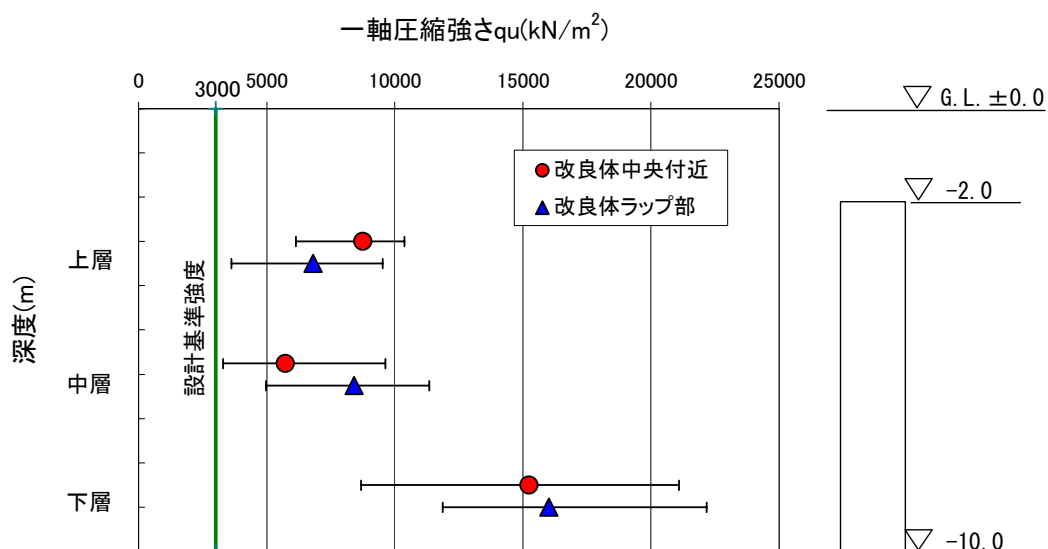


図-7 改良体一軸圧縮試験結果

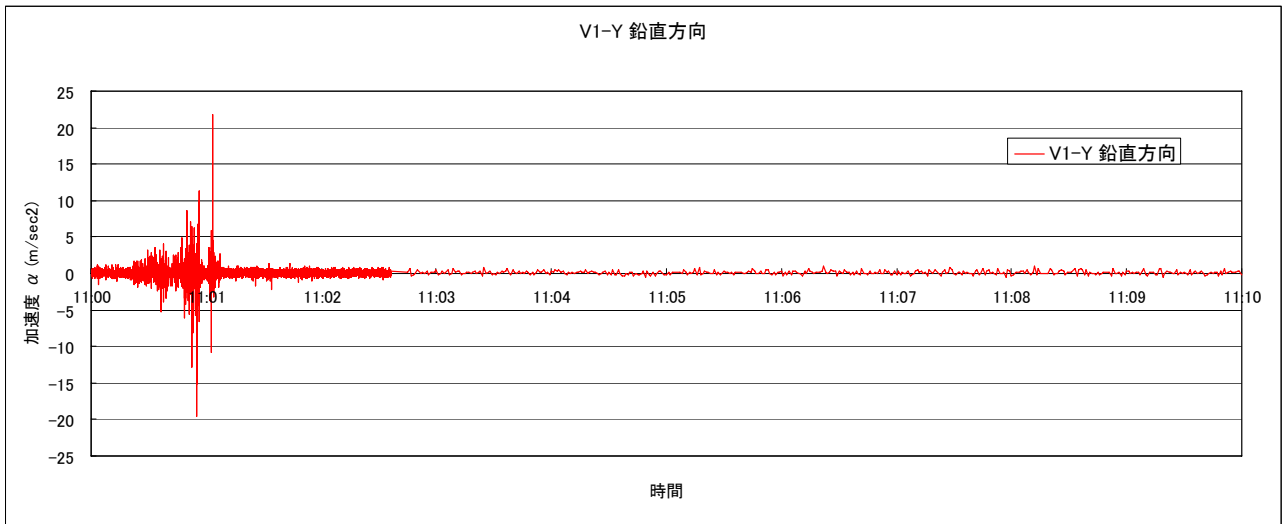
4.3 計測結果

発破前後に行った各計測結果を次ページより示す。

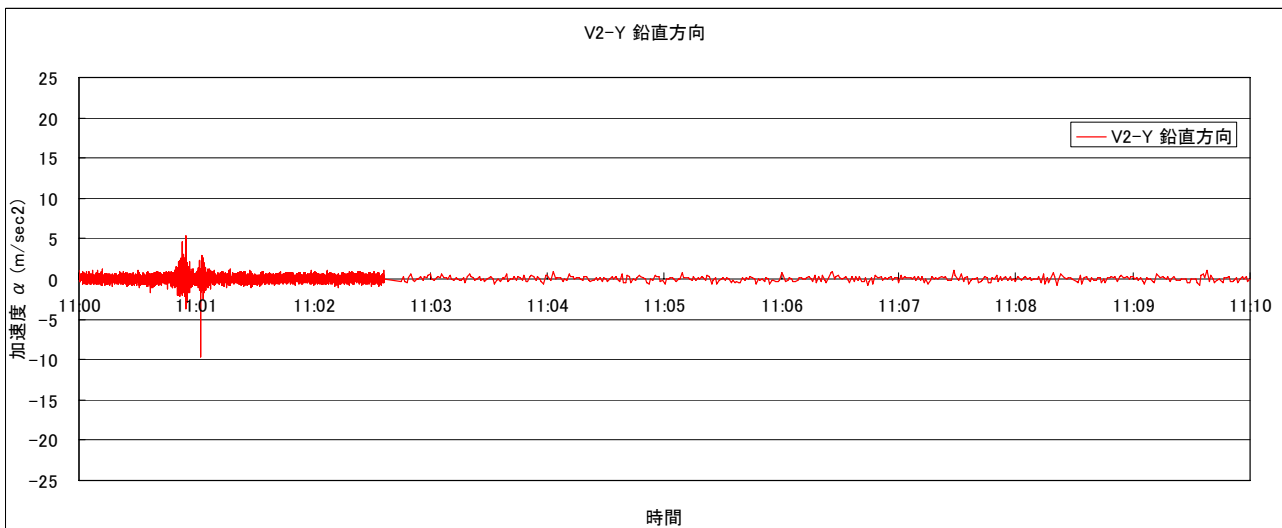
各項目についての内容は下表に示す通りである。

表-2 計測項目と内容

図番	項目	内容	評価
図-8	応答加速度	格子改良の内側および改良体内部の応答加速度	格子改良の内側地盤が最大 2000gal 程度の加速度であったのに対して、改良体内部の応答値は最大 1000gal 程度であった。
図-9	間隙水圧	格子改良の内外での間隙水圧の経時変化	格子改良の外側の水圧が大きく上昇しているのに対して、内側の水圧上昇は小さかった。 また、改良体よりも下層に設置した間隙水圧計 (WP1-3) でも水圧上昇が見られ、その影響により、発破後に周囲に水圧上昇が伝播した結果が確認されている。 その後の観測で間隙水圧は発破 1 日後にほぼ収束していることが確認されている。
図-10	沈下量	地表面沈下および沈下板の計測結果	発破時の衝撃により表層処理盤が損傷を受けたため不規則なデータもあるが、改良域内の沈下が周囲の地盤と比べて非常に小さいことが確認された。 改良体よりも下層の水圧上昇により、改良域全体が沈下している。 沈下は発破 1 日後にほぼ収束している。

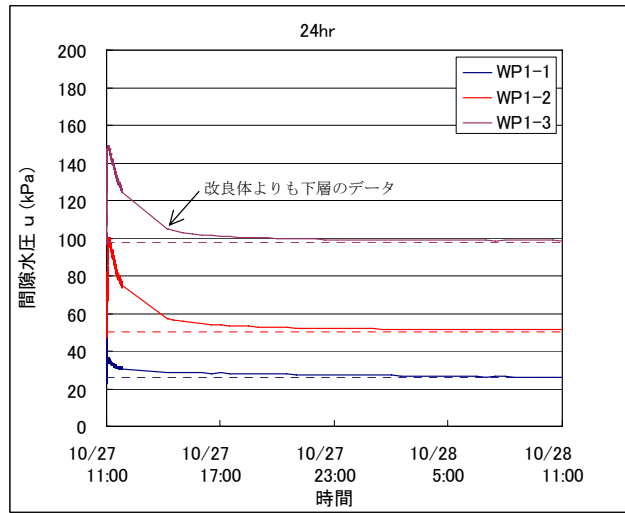
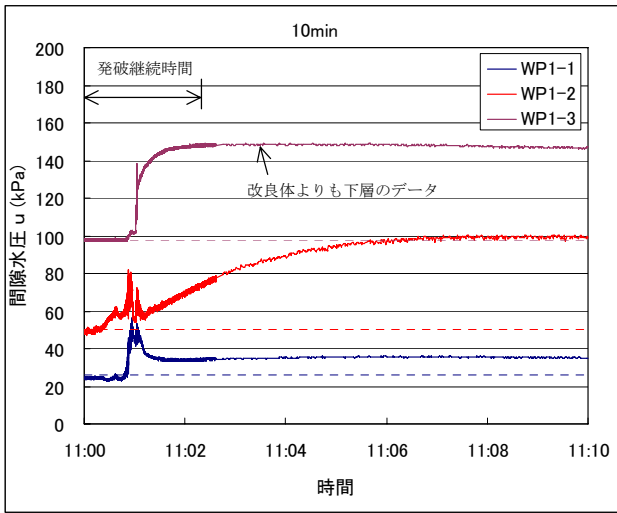


(a) 格子内地盤の鉛直加速度

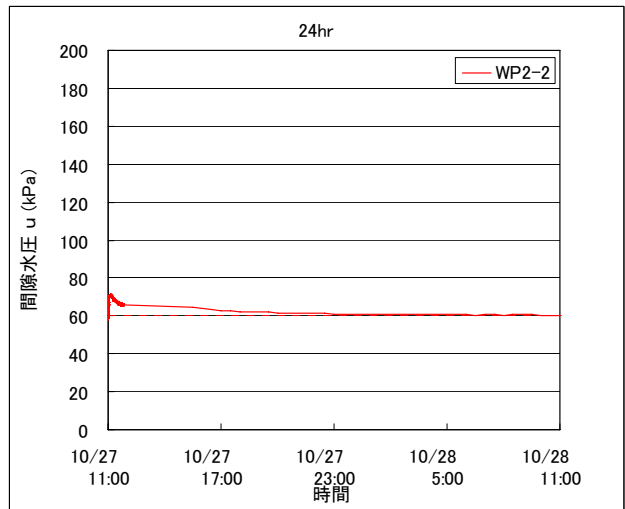
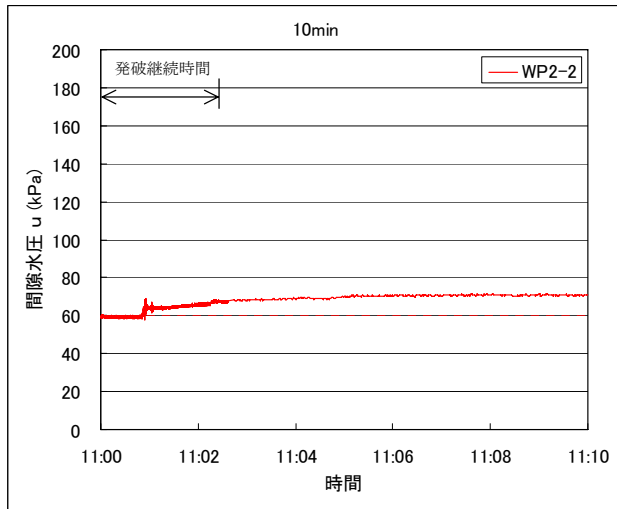


(b) 改良体内部の鉛直加速度

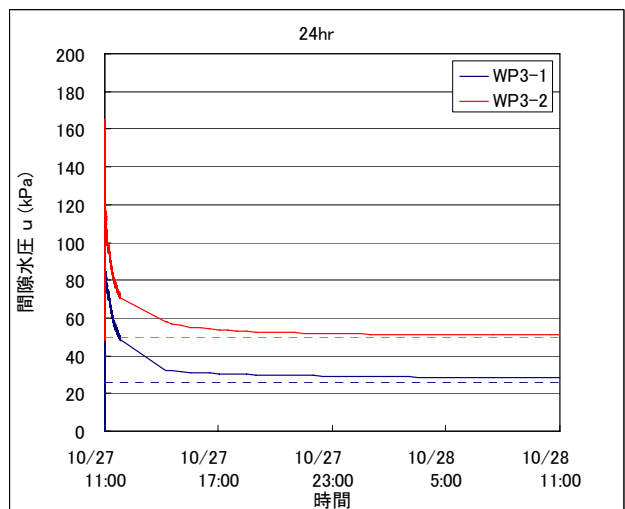
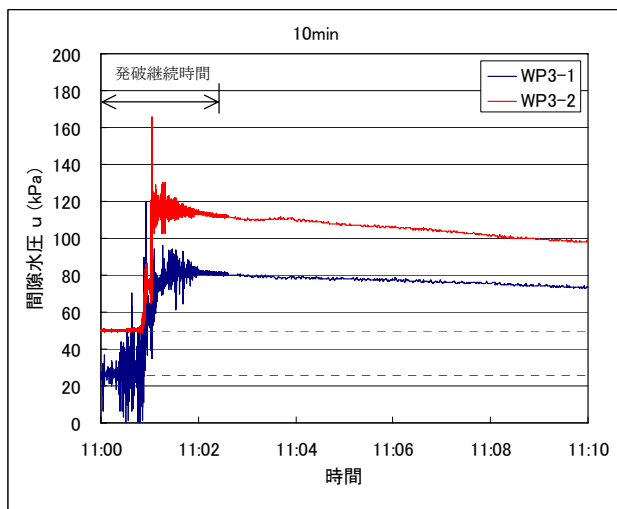
図-8 加速度計の応答値（発破時刻 AM11:00）



(a) 格子内地盤（中央）の間隙水圧

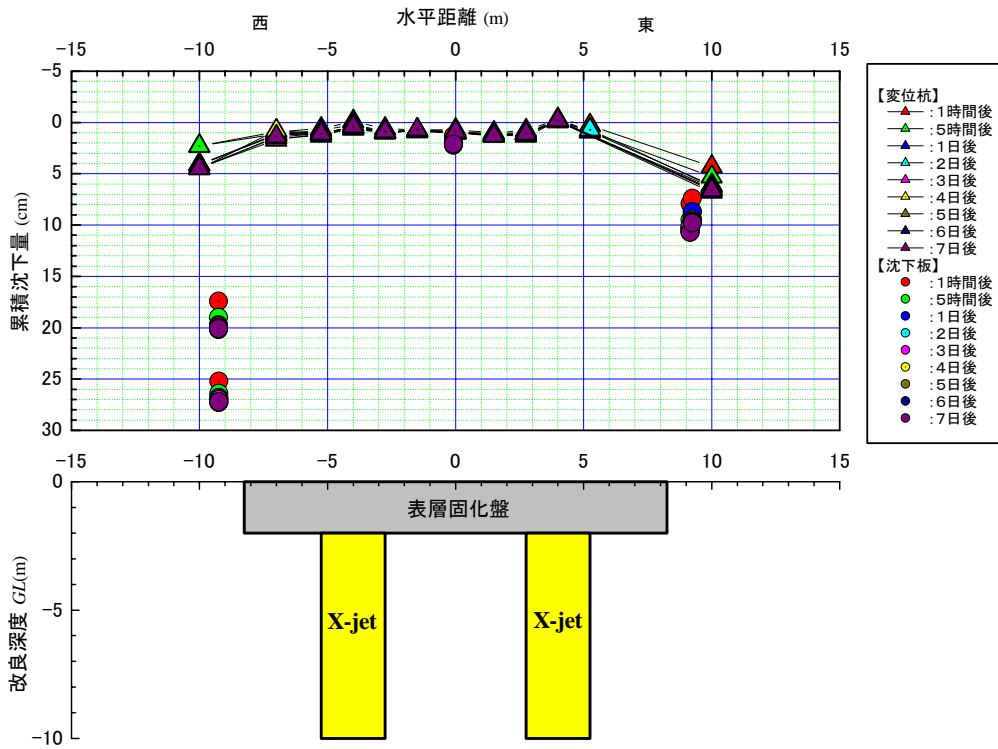


(b) 格子内地盤（端部）の間隙水圧

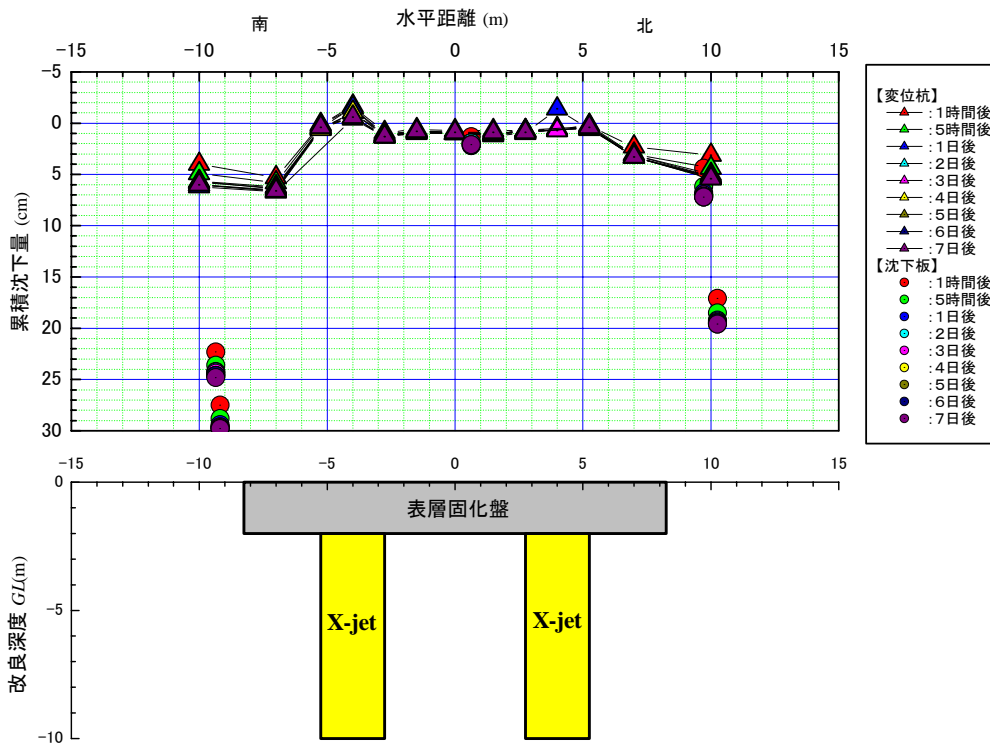


(c) 改良域外の間隙水圧

図-9 間隙水圧計の応答値（発破時刻 AM11:00）



(a) a)-a)断面方向 (図-5 参照)



(b) b)-b)断面方向 (図-5 参照)

図-10 沈下計測結果

5. まとめ

今回の実験の結果、X-jet 工法の施工性や品質について、満足のいく結果が得られた。
また、格子状改良の液状化防止効果についても、間隙水圧及び変位の抑制効果が顕著に確認された。
今後は測定データについて解析を行い、より詳細な取りまとめを行う予定である。