

技術報文

# 実物大実験によるポリエチレン管の液状化時挙動

高耐圧ポリエチレン管協会 柴尾 優一  
 高耐圧ポリエチレン管協会 山田 潤  
 (独)港湾空港技術研究所 中澤 博志

## 1. はじめに

わが国において、阪神淡路震災をはじめとする大地震によるライフラインの被害は多発しており、管路システムの耐震性は、地震国日本における重要な課題といえる。特に、液状化に伴う地盤の変状に対し、管路システムがどの程度の被害や損傷程度を定量的に把握し、対策に役立てることは重要な課題の一つであると考えられる。

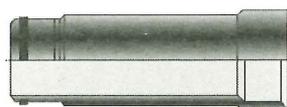
そこで、北海道小樽市銭函の石狩湾新港西地区(写真-1)において、大口径の高耐圧ポリエチレン管(以下、埋設管)を埋設し、制御発破により実際に地盤に液状化を生じさせ、同管に生じた変状および性能調査を実施した。なお、本実験で用いた埋設管は、ISOに規格化されており、一般に「とう性管」と呼ばれ、地盤等の変形によく追従できるという性能を有している。主にヨーロッパやアメリカ等で耐震管路材料として幅広い用途に使用され、わが国においてもガス管、下水道管、パイプライン等のライフラインとして市場導入されている。

本報では、施工時および地盤の液状化前後に発生する埋設管のたわみ量や応力状態の把握による性能評価するとともに、埋設管周辺地盤の地盤改良を施工したケースにより、液状化の有無による埋設管挙動への影響について報告する。

## 2. 実験用埋設管の特徴および施工状況

### 2.1 使用管材

本実験で使用した埋設管は、直径φ1000mmで、1本の長さL=5mである。使用した管の形状は、表面形状が異なるF形管とR形管である。



(a) F形管



(b) R形管

図-1 実験用埋設管の種類



写真-1 実験サイトの様子(石狩湾新港西地区)

表-1 埋設管の材料特性

密度	0.96	g/cm <sup>3</sup>
引張強さ	27	N/mm <sup>2</sup>
曲げ強さ	32.4	N/mm <sup>2</sup>
ヤング係数	980	N/mm <sup>2</sup>
ポアソン比	0.4	

り、図-1に示すとおりである。また、管の材料特性を表-1に示す。

## 2.2 管材の配置

図-2に管の配置を示す。管の周辺地盤は、地盤改良が施されていない未改良部と浸透固化処理工法による地盤改良が施された領域にそれぞれNo.1、No.2として、2系統の埋設管を配置した。なお、1系統の管の総延長はL=55mである。また、管の端部の一方にはマンホールを設置し、反対側端部は閉止板を用いて管断面を閉塞している。

## 2.3 管材の埋設

管埋設断面は図-2に示すように、GL-2.0m程度の土被りで、管底はGL-3.0m程度の位置となるように設置し、管半分がGL-2.5mである地下水以下となるようにした。なお、実験時には管の上部には滑走路を模擬したアスファルト舗装が施工されており、埋設管設置の後で施工されたため図-3では省略したが、その構造は約1m、密度は2.3g/cm<sup>3</sup>である。

埋設管の施工時には、地盤を掘削後、ウェルポイントにより地下水位を埋設管底面よりも下げ、設置後には埋設管周辺部を再生骨材により埋戻した。再生骨材の粒径加積曲線を図-4に示す。また、埋戻し時には、一層仕上がり厚さ20cm以下となるように左右均等にランマー等により転圧作業を実施したが、特に管底および管側部の埋戻しに関しては、一般的に管周辺の地盤が空洞になるケースが懸念されるため、突き棒を用いて入念に突固め施工を行なった。写真-2に埋設管の据付状況を示す。

## 3. 実験方法および計測項目

### 3.1 地盤概況

写真-1に示した石狩湾新港西地区は、現在造成中であり、石狩湾からの浚渫砂で埋め立てられている。地盤は表層から約5mの埋立て層（Fs層）とそれ以深は旧海岸である砂質土層（As1層、As2層）で構成されている<sup>1)</sup>。埋設管周辺の地盤であるFs層では、

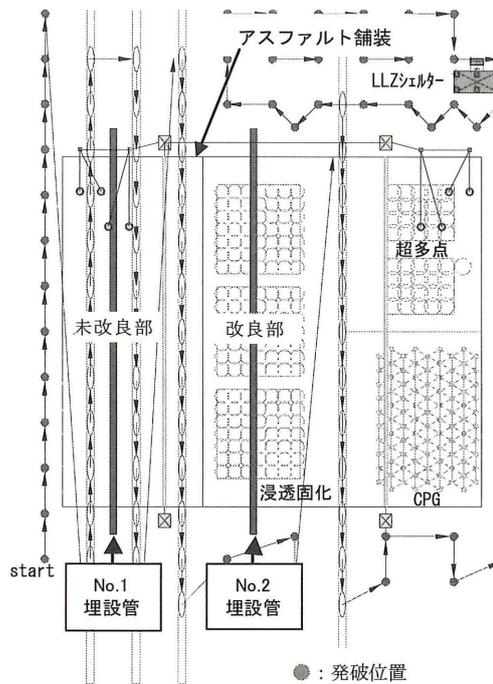


図-2 埋設管設置平面図

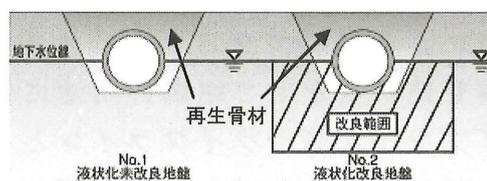


図-3 埋設管断面の模式図

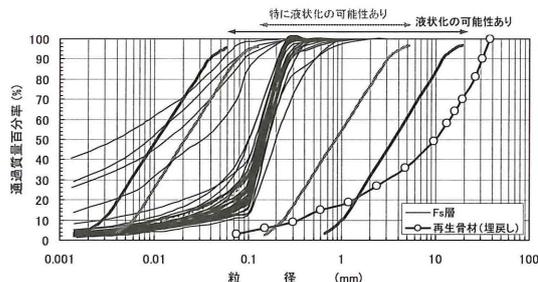


図-4 粒径加積曲線



写真-2 埋設管の据付状況

細粒分含有率  $F_c = 20\%$ 、 $N$ 値が 1 ~ 8 程度で

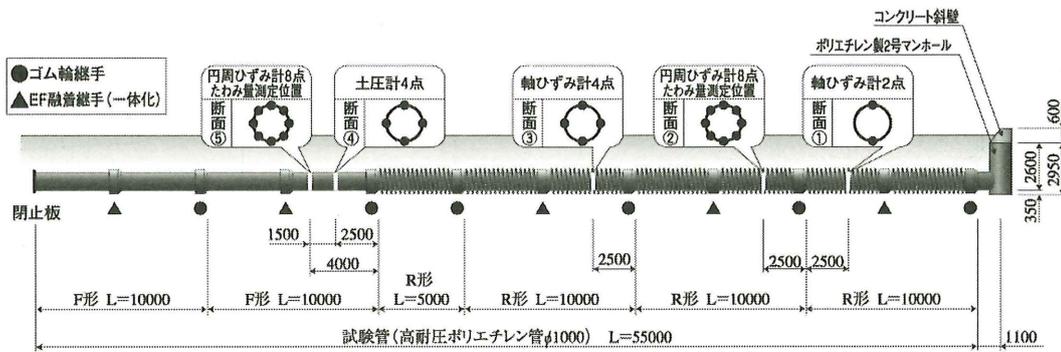


図-5 埋設管の計測箇所

あり、図-4に示す様に液状化しやすい性質を示している。

### 3.2 実験方法

地盤の液状化挙動を観察するため、図-2に示す個所で制御発破を実施し、強制的に液状化を発生させた。なお、図中に示されている矢印は、発破の順序を示している。実験時の発破孔間隔、装薬深度、装薬箇所数(段数)、1段当りの装薬量などの発破仕様は、過去の実績<sup>2)</sup>を参考に設定した。本実験では、液状化層をGL-10mとしたため、基本的な装薬パターンとして、GL-4.5m、GL-9.0mの上下方向2段、水平方向6.5m間隔として、上段の爆薬は2kg、下段は4kgのエマルジョン系含水爆薬を秒時差200msで段発発破した。

### 3.3 計測項目

埋設管の計測項目および計測位置を表-2、図-5にそれぞれ示す。高耐圧ポリエチレン管には土圧計を直接設置し、液状化前後に高耐圧ポリエチレン管に作用する土圧を計測した。また、液状化前後で高耐圧ポリエチレン管に生じる円周方向ひずみをひずみゲージを用いて計測した。さらに円周方向変位量(管の内空変位)、軸方向変位量の計測は、レーザー変位計を用いて行った。また、発生した液状化の状況を確認するため、別途高耐圧ポリエチレン管周辺の未改良地盤、改良地盤の間隙水圧も計測した。

表-2 計測項目

計測項目	計測方法	数量	設置位置
土圧	壁面土圧計	4点×1断面×2系列	④
円周方向ひずみ	ひずみゲージ	8点×2断面×2系列	②⑤
円周方向変位	レーザー変位計	4点×2断面×2系列	②⑤
軸方向変位	レーザー変位計	11点×2系列	継手部



写真-3 発破後に生じた液状化の様子  
(中央はNo.1埋設管マンホール)

## 4. 計測結果

### 4.1 液状化発生状況の確認

発破直後間もなく、写真-3に示す様にアスファルト舗装周辺では、未改良部脇

の地下埋設管マンホール周辺に激しい噴砂が生じ、かつ明瞭な舗装の変状の様子

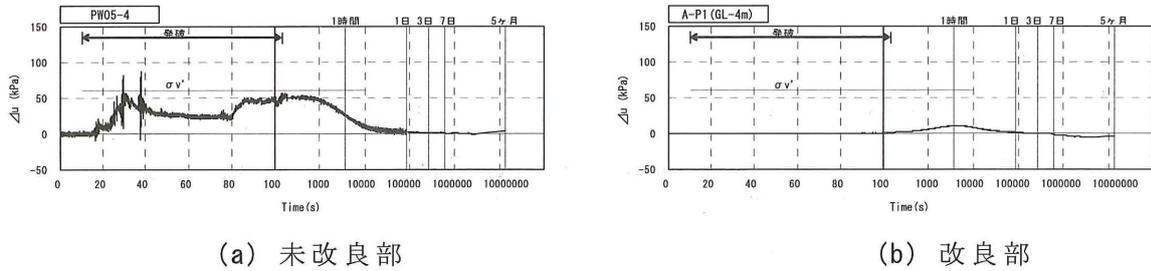


図-6 過剰間隙水圧の時刻歴

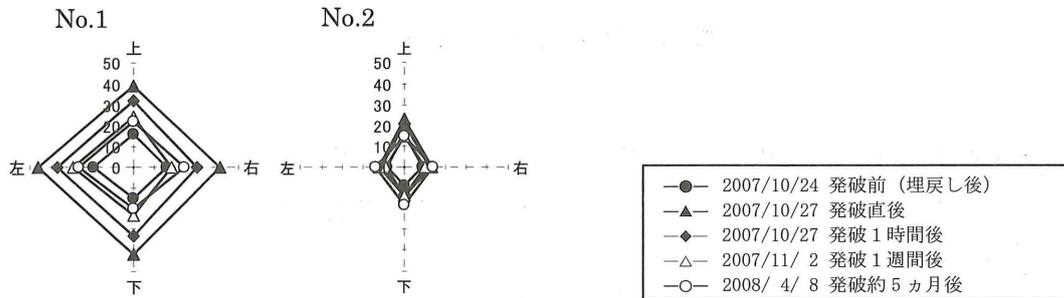


図-7 高耐圧ポリエチレン管に作用する土圧増分の分布 (kPa)

が目視により確認できた。

図-6にG.L-4mに設置した発破による過剰間隙水圧 $\Delta u$ (kPa)の時刻歴変化を示す。なお、(a)は未改良部、(b)は改良部である。未改良域における $\Delta u$ は、発破直後に初期有効土被り圧 $\sigma_v'$ (kPa)相当まで急増し、液状化に至る様子がわかる。また、発生した $\Delta u$ の消散過程は、未改良地盤で一時間後に $\Delta u/\sigma_v'$ が概ね0.5、一日後には完全に消散する結果を示している。一方、改良部では、発破による $\Delta u$ の上昇は見られないことから、埋設管の周辺地盤は液状化していないと考えられる。発破終了後から $\Delta u$ が上昇し、 $\Delta u/\sigma_v'$ は約0.2を示しているが、これは、改良部周辺の未改良部に発生した過剰間隙水圧が改良部へ伝播し、その後、未改良部と同様な過剰間隙水圧の消散傾向を示している。

#### 4.2 液状化時の埋設管周面の土圧変化

埋設管敷設時を初期値とした土圧履歴を図-7に示す。No.1を見ると、発破前(●)の土圧は等方的に作用しておりその大きさは約15kPaである。発破直後(▲)の土圧は等方的に約45kPaとなり、その後土圧は減少した。図-6に示したように発破後1日経過すると過剰間隙水圧は完全に消散したのに対し、発破後5ヶ月(○)経過しても土圧は発破前の大きさに戻っていないことが分かる。一方、No.2では、発破前(●)の土圧からやや発破直後の土圧(▲)は大きくなるが、その大きさは5kPa程度とわずかであり、その後の土圧履歴も変化が見られなかった。

#### 4.3 円周方向ひずみ

高耐圧ポリエチレン管布設時を初期値とした円周方向ひずみの推移を図-8に示す。管敷設前を初期値としたもので、計測位置は、図-5の断面②(R形管)と断面⑤(F形管)である。図中の+ (プラス) 方向は引張側であり、- (マイナス) 方向は圧縮側である。No.1 (未改良部) を見ると、埋戻しに伴い、R形管では最大で約1000 $\mu$ 、F形管では最大で約2000 $\mu$ のひずみが発生していることが分かる。発破

直後では、R形管では最大で約500 $\mu$ 、F形管では最大で約2000 $\mu$ のひずみが発生している。また、発破後5ヶ月経過しても、円周方向に発生したひずみは発破前のひ

ずみ分布に戻らない傾向を示している。

圧縮・引張のひずみの円周方向での分布については、統一的な解釈が難しいので、ここでは計測された最大ひずみから管の安全性について、応力度として、次式により評価する。

$$\sigma = E_s \times \mu \times 10^{-6} \quad (1)$$

ここに、 $\sigma$ : 応力度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $E_s$ : 材料のヤング係数 (980N/mm<sup>2</sup>)、 $\mu$ : 計測されたひずみを示す。

円周方向の最大ひずみは、埋設管布設時から見ると、No.1のF形管で概ね4000 $\mu$ である。式(1)から、このひずみを応力度に換算すると発生応力度は3.92 (N/mm<sup>2</sup>)となる。埋設管の降伏応力度は、表-1に示したように27 (N/mm<sup>2</sup>)であるので、この場合の発生応力度では安全率6.8となり、液状化後においても埋設管として使用上安全な状態である。No.2(改良部)では、最大ひずみが4000 $\mu$ 未満であることから、No.2の管も使用上安全であると言える。

#### 4.4 管体の内空変位

埋設管断面の変形量を把握するため、レーザー変位計により内空変位量を計測した。No.1(未改良部)およびNo.2(改良部)の埋設管に対し、それぞれF形管とR形管の鉛直方向と水平方向の内径をまとめ図-9に推移を示す。なお、初期値は管内径1000mmである。図-9を見ると、埋戻し施工により、管の種類、地盤改良の有無によらず内径は変化し、内径1000mmから発破前で約995mmとなっ

ている。発破によりNo.1、No.2ともに内径は、管種によらず最大で約15mm変化しているが、No.1と比べNo.2の方が内径の変化は小さい傾向を示している。

次に、管体の許容たわみ率を5%として、内空変位から埋設管の使用評価を行ってみる。たわみ率から変位量に換算すると、1000mm(1本長さ)×5%=50mmとなり、これに対し、実験で確認された最大内径変位量は、No.1のR形管の20mm(内径が

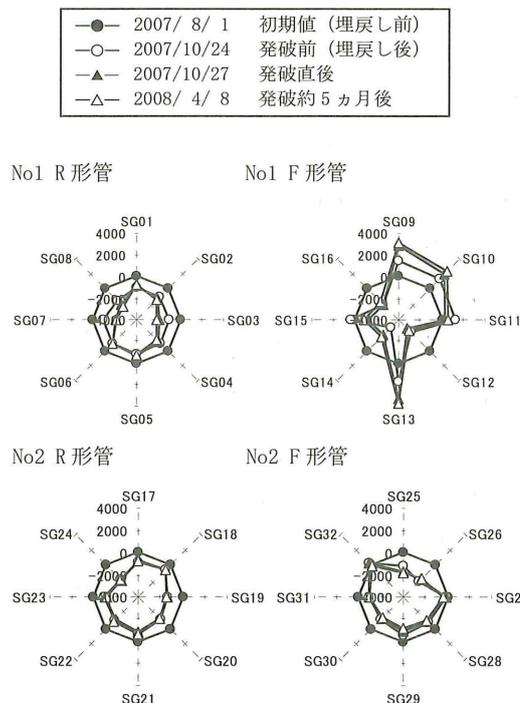
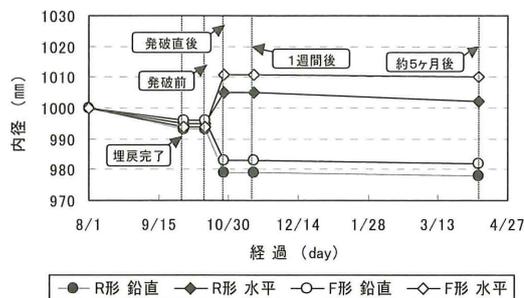
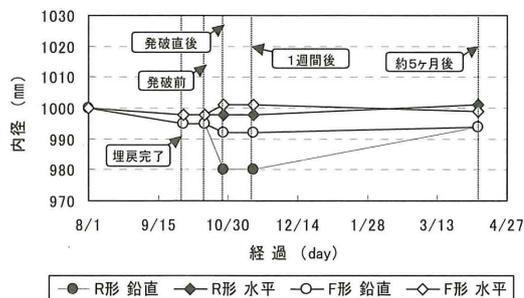


図-8 円周方向ひずみの推移 (単位:  $\mu$ )



(a) No.1 (未改良部)



(b) No.2 (改良部)

図-9 管断面の内径の推移

980mm) であることから、液状化時に埋設管としての機能は十分保持しているこ

とが確認できた。

#### 4.5 管軸方向の沈下

発破による埋設管の軸方向（延長方向）の沈下分布を図-10に示す。X軸はポリエチレン製2号マンホールからの距離を示し、計測地点は管の継手である。No.1（未改良部）を見ると、発破により管軸方向に100mmから350mm程度の沈下が発生したことが分かる。一方、No.2（改良部）を見ると、発破により管軸方向に最大50mmの沈下量が発生し、No.1に比べ、埋設管は延長方向にほぼ同程度に沈下する傾向を示し、最大沈下量は15%程度に低減された。

発破前後におけるアスファルト舗装面と埋設管上面との相対変位量を図-11に示す。なお、Y軸の正はアスファルト舗装面と管との距離が近くなったことを示す。No.1を見ると、アスファルト舗装面と埋設管との相対変位が概ね20mm、一方、No.2では、相対変位がほとんど見られない。No.1については、地盤の液状化により、密度の高いアスファルト舗装の沈下が最大350mm程度と埋設管よりも大きく沈下したためである。

#### 5. まとめ

発破を用いた現場液状化実験に大口径の高耐圧ポリエチレン管を埋設し、液状化による高耐圧ポリエチレン管の性能を調査した。その結果、液状化した地盤内であっても高耐圧ポリエチレン管の断面性能は許容範囲内であること、また、周囲に地盤改良を施すことで管に作用する土圧や管の断面変形を低減させることが確認された。

#### 謝 辞

実験の実施、高耐圧ポリエチレン管の施工にあたり、国土交通省北海道開発局、石狩湾新港管理組合および佐藤工業株式会社の協力を得た。関係者各位に敬意を表します。

#### 参考文献

- 1) 中澤博志，菅野高弘：空港施設の液状化挙動に関する実物大実験概要，第43回地盤工学研究発表会，pp.1827-1828，2008.
- 2) 菅野高弘，小濱英司，三藤正明，塩崎禎郎：発破を用いた港湾・臨海部都市機能の耐震性向上に関する十勝港における実物大実験，日本地震工学シンポジウム論文集11巻，pp.901-906，2002.

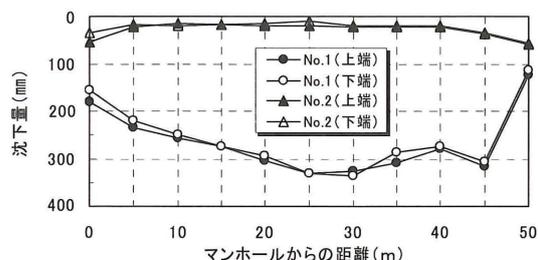


図-10 発破による管軸方向の沈下

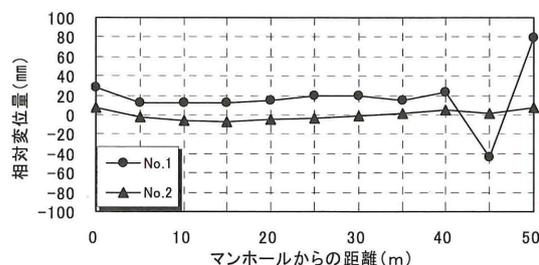


図-11 舗装表面と埋設管との相対変位