

# 高水圧下での地盤凍結工法を用いた既設管渠との地中接合 ー此花下水処理場ポンプ場築造工事(その 10、11)ー

## Connecting New Pipe to Existing Underground Storm Sewer Using Ground Freezing Method under High Hydraulic Pressure

大久保 浩太郎\*1 藤田 剛志\*1 高橋 史峰\*1  
Kotaro Okubo Tsuyoshi Fujita Fumio Takahashi  
樋口 昌典\*2 桶川 宏司\*2 永井 久徳\*2  
Masanori Higuchi Koji Okegawa Hisanori Nagai

### 要旨

本工事は、ポンプ場内に設けた流入用立坑（アーバンリング工法、内径φ5400mm）と既設シールドトンネル（千島～此花雨水滞水池、内径φ3000mm）との20.7m間を連絡するため、凍結工法により円筒形状の凍土を造成し、内部に内径φ1800mmの接続管を敷設したものである。

施工箇所では高水圧（最大0.484MPa）が作用するため、接続管敷設工事の補助工法として凍結工法を採用した。本工法を採用するにあたっては、地盤を凍結する際に発生する凍結膨張圧により、既設シールドトンネルや流入用立坑への偏荷重の増加が予想された。また、凍結対象地盤の上半は洪積粘性土層であることから、凍上隆起や解凍沈下による直上の防潮堤への影響が懸念された。

ここでは、地盤凍結に対する適切な対策と管理を行い、防潮堤に対する影響を与えることなく、高水圧が作用する帯水地盤において、漏水のない接続管を敷設した工事について報告する。

キーワード：地中接合 凍結工法 立坑補強 セグメント補強 特殊先頭管 計測管理 近接施工 解凍沈下防止充填

## 1. はじめに

大阪市の正蓮寺川総合整備事業は、正蓮寺川下流部の北港大橋までを陸地化し、下部空間には河川ボックス、下水道ボックス、阪神高速道路淀川左岸線等を建設し、上部は“水と緑のオープンスペース”としての「総合的な公園整備」を行う計画である。この事業に伴い、正蓮寺川が暗渠化されることにより、これまで正蓮寺川に雨水を放流していた「北港抽水所」および「恩貴島抽水所」を廃止し、併せて此花区常吉地区の集水区域拡大、浸水対策のレベルアップを図ることを目的として、正蓮寺川河口付近に、新たに此花下水処理場ポンプ場が計画された。

本工事は、本ポンプ場に流入した雨水の一部を完成している千島～此花雨水滞水池（既設シールドトンネル）へ送水するための工事である（図1）。

## 2. 工事概要

本工事は、ポンプ場内に設けた流入用立坑（アーバンリング工法、内径φ5400mm）と既設シールドトンネル（千島～此花雨水滞水池、内径φ3000mm）との20.7m間を連絡するため、凍結工法により円筒形状の凍土を造成し、内部に内径φ1800mmの接続管を敷設したものである。



図1 現場位置図

工事概要を以下に示す（図2～3）。

工事名 : 此花下水処理場ポンプ場築造工(その 10、11)  
発注者 : 大阪市建設局下水道河川部  
施工者 : 鴻池・竹中土木・佐藤・三井住友・あおみ  
特定建設工事共同企業体  
工事場所 : 大阪市此花区西島5丁目、島屋2丁目  
工期 : 2013年3月11日～2016年3月31日  
本体築造工 : 躯体工(導水路および滞水池流入人孔) 1式  
場内管路工 : φ1800mm 接続管(下水道用鋼・コンクリート  
合成管、外径φ2120mm) 敷設工 L=22m

\*1 大阪本店 土木部 \*2 土木事業本部 技術部



に近似して考え、シールドセグメントの計算で用いる慣用計算法にて安全率  $F_s=2$  を満足する  $t=1.9\text{m}$  以上とした。

### 3.4 凍結管配列と造成凍土厚

掘削断面より  $1.0\text{m}$  離れた  $\phi 4.22\text{m}$  の円周上に約  $0.7\text{m}$  ピッチで 19 本の水平凍結管を流入用立坑から埋設し、この凍結管列から片側に凍土厚  $t=1.1\text{m}$  を造成することにより、造成凍土厚  $t=2.1\text{m}$  を確保した。

また、上記凍結管列により造成した凍土と流入用立坑および既設シールドトンネルを密着させるため、流入用立坑壁面(内面)および既設シールドトンネル内面に貼付凍結管を設置した。

### 3.5 凍土の造成日数

本工事における凍結パターンは、凍結管理設時(ボーリング時)の施工誤差等を考慮して、凍結管を  $0.8\text{m}$  ピッチで列状に埋設した凍結管列の凍結とした。

管列凍結の凍結速度および凍結負荷は、凍結開始から隣接凍結管の凍土とつながるまでは単管凍結理論を、凍土壁が形成されたあとは、凍結管列の平均温度を冷却温度とした平板凍結理論を用いて計算した。

初期地中温度を  $+18.0^\circ\text{C}$  で計画していたが、実施工では  $+22.0^\circ\text{C}$  と高かったため、工期延長を避け、冷凍機能力も考慮して、冷却温度を  $-27.5^\circ\text{C}$  から  $-30.0^\circ\text{C}$  に変更した。この結果、土の容積含水率を  $p=0.6\text{m}^3/\text{m}^3$ 、土の凍結温度を  $-0.7^\circ\text{C}$  (塩分濃度  $1.0\%$ ) とし、凍結管列  $0.8\text{m}$  の片側に凍土厚  $t=1.1\text{m}$  を造成するために必要な凍結日数は、3日(クールダウン)  $+52\text{日}=55\text{日}$  となった(図4)。

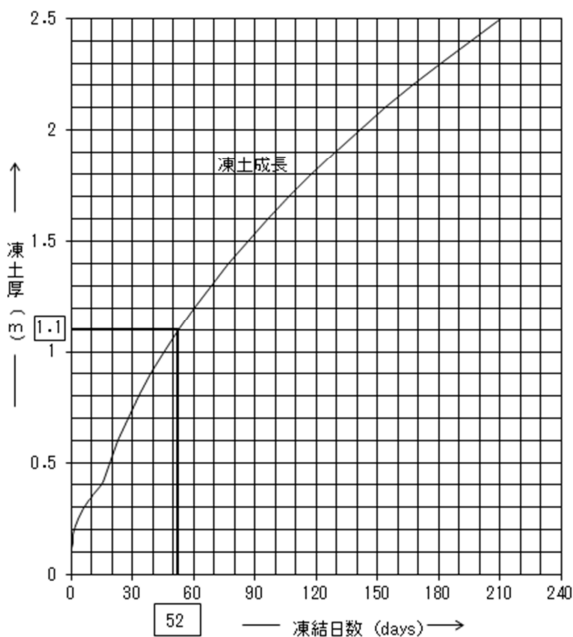


図4 凍結成長曲線

## 4. 施工上の課題と対策

### 4.1 施工上の課題

#### 4.1.1 既設シールドトンネル開口に対する課題

既設シールドトンネルの接合部分には、開口補強型のコンクリート中詰鋼製セグメントが設置されており、開口径  $\phi 2.9\text{m}$  を想定した開口補強梁が内蔵された構造となっていた。しかし、計画の見直しにより、実工事の開口径は  $\phi 2.3\text{m}$  と小さくなったため、片

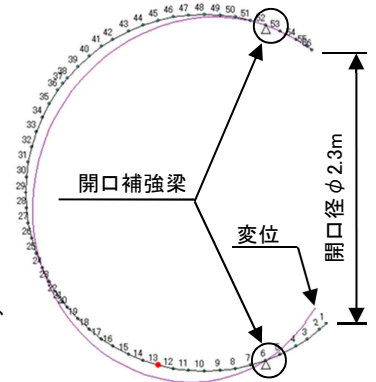


図5 セグメント変形イメージ

持ち状態となる開口端部が開口補強梁から離れてしまい、開口切断時にセグメントの応力や変形が増大して安全性が損なわれることが懸念された(図5)。

また、完成時(開口接合時)においても、増大した開口反力が接続管に作用した場合、接続管の耐力を超過することが懸念された。

#### 4.1.2 凍結膨張圧に対する課題

土水圧に加え、地盤を凍結する際に発生する凍結膨張圧が作用している状態で開口切断を行った場合、既設シールドトンネルや流入用立坑の変形により、凍土との付着が切れ、出水や土砂の流入が懸念された。

#### 4.1.3 防潮堤に対する課題

凍結対象地盤の上半は洪積粘性土層であり、この粘性土を凍結および解凍する際に凍結膨張および解凍収縮が起こることは避け難く、これにより凍上隆起および解凍沈下が生じ、凍結域の直上の防潮堤への影響が懸念された。

### 4.2 課題に対する対策

#### 4.2.1 既設シールドトンネルの補強対策

開口端部を支持し、凍結膨張圧や開口切断によるセグメントの応力や変形の増加を抑制するため、内部支保工を設置した。内部支保工には、耐荷力、作業性等から RoRo 支柱を採用した(図6~7、写真1)。

また、完成時(開口接合時)において、開口反力を接続管で負担させるように接続管をセグメント内に押し込む構造としているが、開口反力の増大により接続管の耐力を超過することが判明したため、開口反力に耐え得る特殊先頭管(鋼製の補強主桁を応力部材とし、管内側をコンクリートで充填したもの)を製作した(図8)。

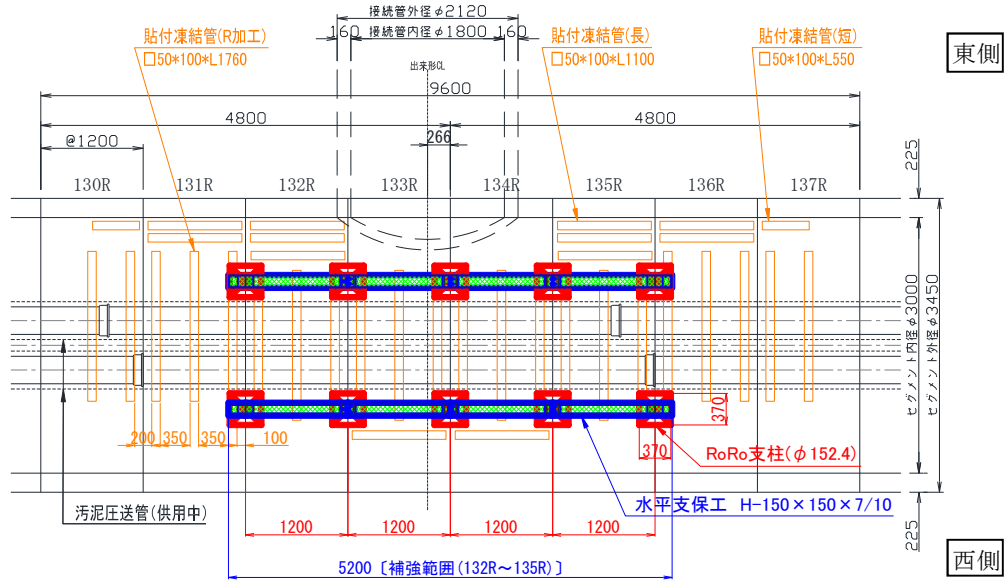


図6 既設シールドトンネル補強 平面図

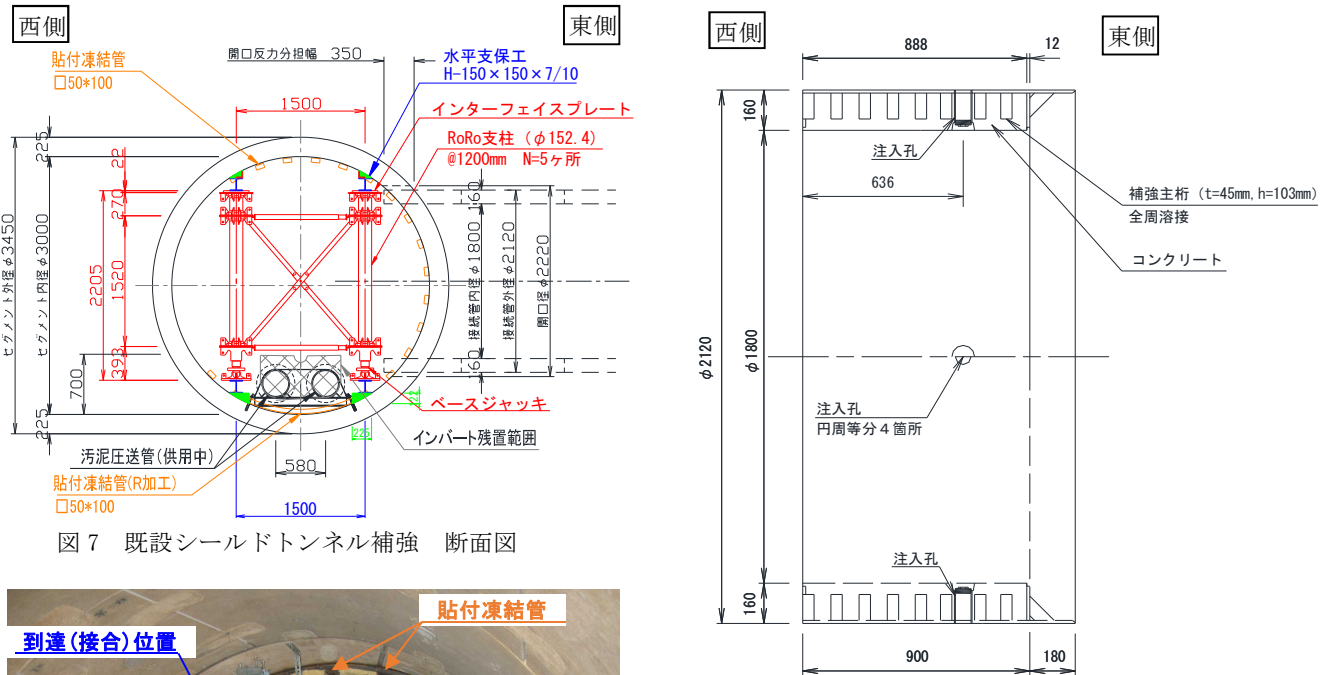


図7 既設シールドトンネル補強 断面図

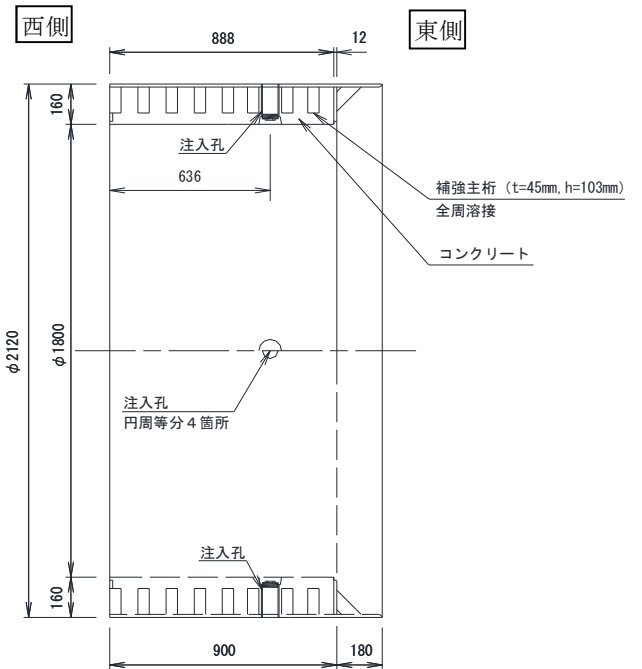


図8 特殊先頭管 構造図

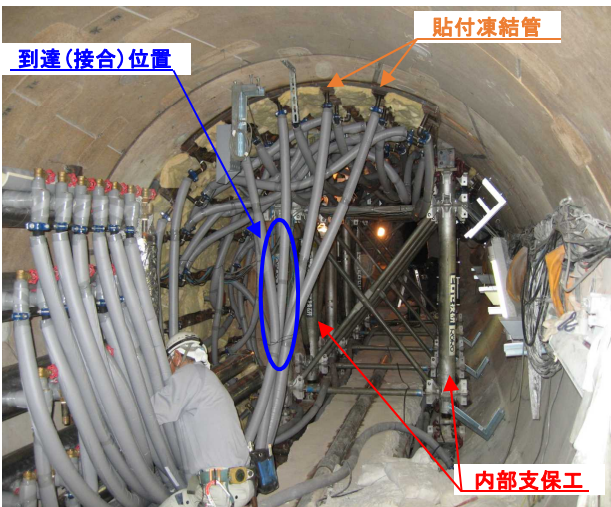


写真1 セグメント内 内部支保工(RoRo 支柱) 設置状況 および 貼付凍結管 設置状況

#### 4.2.2 流入用立坑の補強対策

流入用立坑の開口切断に対しては、開口部のアーバンリング部材に開口補強内蔵型を設置し、対応済みであった。一方、凍結膨張圧に対しては、アーバンリングの応力や変形の増加を抑制するため、鋼材 (H-150) による補強を行った (図9~10)。開口上部の補強は、昇降設備等との干渉を避けるため、図9のような形状とし、開口下部の補強は、リング材とした。





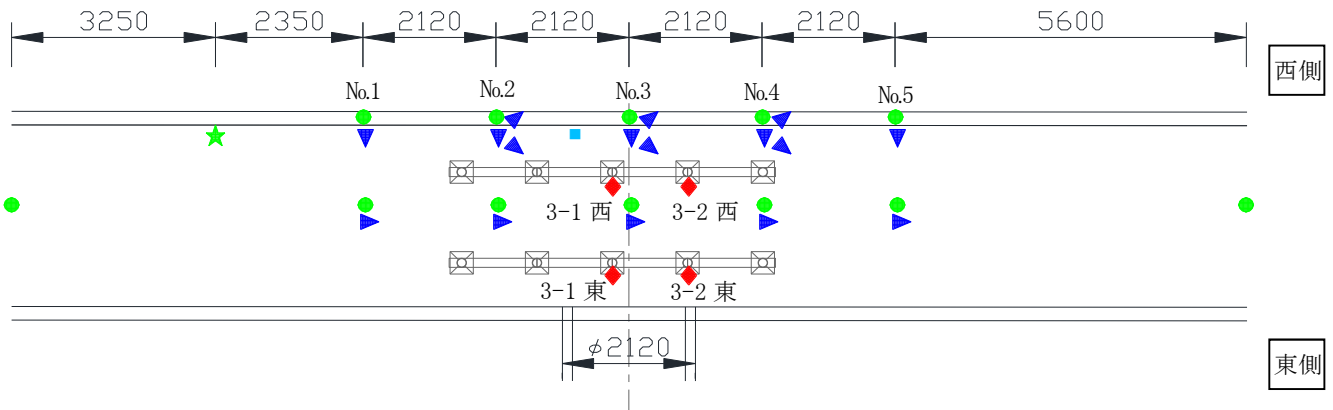


図 13 既設シールドトンネル計測位置（平面図）

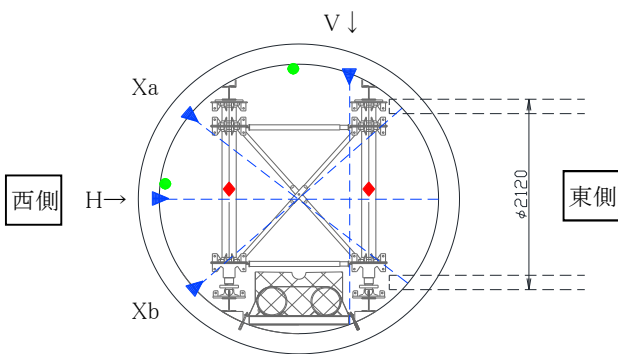


図 14 既設シールドトンネル計測位置（断面図）

## 5. 地中接合の施工

### 5.1 凍土造成

はじめに、流入用立坑壁面に、スリーブ管、バルブ、パッカーを取り付け、ボーリングマシンを使用して既設シールドトンネルへの連絡管(80A)の削孔・貫通の作業を行い、立坑と既設シールドトンネルとの位置・離れを測定した。

確認後、水平凍結管・測温管の埋設を行った。当初は、管径 90A を埋設する計画であったが、埋設長が平均 21.9m と非常に長いことから、埋設精度を確保するために、ケーシング(100A)にて削孔完了後、そのケーシング内へ水平凍結管・測温管(65A)を設置した。その後、貼付凍結管の設置およびその他の仮設作業を完了させ、凍結運転を開始した。凍結基地内に設置した冷凍機で冷却されたブライン(塩化カルシウム溶液)を凍結管内に循環して、所定の凍土壁を造成した。

なお、既設シールドトンネルのインバートに設置されている汚泥圧送管は供用中であったので、万一の凍結に備えて、断熱材で養生を行った。

凍結造成期間中には、既設シールドトンネルや流入用立坑の内空変位や補強部材に作用する応力を計測するとともに、測温管に挿入した測温素子により得られる地中温度を

管理室で集中監視し、閉塞された凍土内部の圧抜きによる凍結膨張圧の低減や計測結果を踏まえた冷凍機の運転管理および冷却ブラインの循環管理等を行った。

### 5.2 凍土掘削

凍土の造成確認後、ガス切断により立坑の鏡切りを行い、その後、凍土掘削を開始した。掘削径は、接続管外径φ2120mmに余掘り100mmを考慮したφ2220mmとし、外周はブレイカーを使用し、内部は電動式バックホウによる粗掘削後、ハンマーピックにより人力掘削を行った(写真2)。

凍土掘削中は、凍土表面温度が管理値を超えた場合等における職員の携帯電話への自動警報システムの採用、避難救護体制の確立、予備凍結プラントの確保、停電時対策としての予備発電機の常設、断水対策としての緊急冷却水の確保などの万全の緊急時対策を実施した。



写真2 電動式バックホウによる凍土掘削状況

### 5.3 既設シールドトンネル側開口切断

凍土掘削完了後、凍土内に送り込み架台を設け、既設シールドトンネル(コンクリート中詰鋼製セグメント)の開口作業を立坑側から行った。セグメントの主桁を残した状

態で蜂の巣状にコア削孔し、部分切込みにて変状の無いことを確認後、主桁を切断し、その後、残りの部分を研り除去した。

#### 5.4 接続管敷設

接続管敷設は、立坑側から、次の作業手順により行った。

1 本目の特殊先頭管を所定の位置に設置後、2・3本目の接続管を近傍まで搬入した。推進時の反力確保のため、3本目の立坑側に反力鋼材を設置し、2本目と3本目の間に設置した推進ジャッキにより、2本目を1本目に押し込んだ。以後、この手順を繰り返した。

既設シールドトンネル側接合部については高水圧が作用することから、解冻後の漏水防止のため、下記の止水対策を行った（図15）。

- ①到達側開口に先立ち、セグメント外面と止水器を溶接。
- ②立坑側から、止水器と特殊先頭管外面の鋼殻を鉄板溶接（裏込注入時に、止水器と特殊先頭管との空隙を充填）。
- ③セグメント側から、特殊先頭管外面の鋼殻とセグメントを鉄板溶接。

※A部詳細図

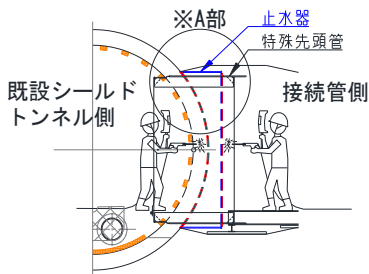
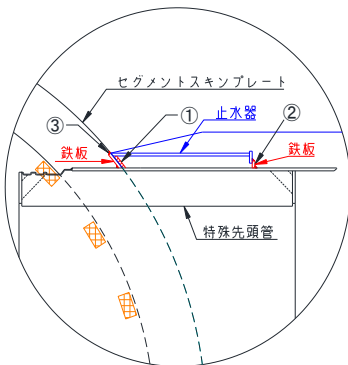


図15 既設シールドトンネル側接合部 止水対策

流入用立坑側接合部についても、下記の止水対策を行った（図16）。

- ①最終2本の接続管敷設に先立ち、立坑外側からアーバンリング外面と止水器を溶接。

- ②立坑内側から、止水器と接続管外面の鋼殻を鉄板溶接（裏込注入時に、止水器と接続管との空隙を充填）。

※B部詳細図

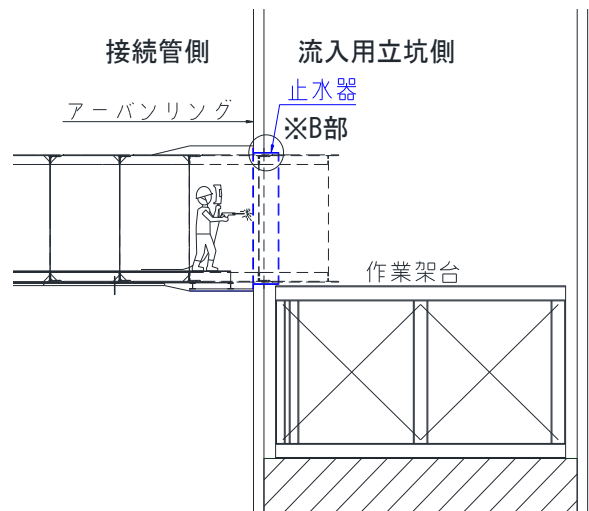
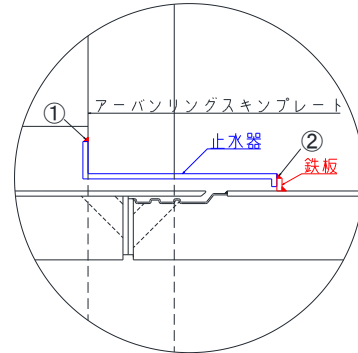


図16 流入用立坑側接合部 止水対策

#### 5.5 裏込注入

接続管背面の裏込注入材については、-10℃の凍土内でも強度発現を促進する耐寒促進剤「ノンフリーズ」を採用し、接続管に浮力が作用しないように下部より3分割で充填を行った。

#### 5.6 計測結果

セグメントおよび立坑の各計測項目に関しては、許容値あるいは設計計算値を管理基準値（2次管理値）とし、管理基準値の80%を1次管理値と定めた。また、防潮堤の鉛直変位に関しては、許容値の60%を1次管理値、許容値の80%を2次管理値と定めた（表2）。

施工にあたっては、各管理値を超えた場合の対策をあらかじめ定めておき、それに基づいて管理した。

代表的な計測結果を図17に示すが、表2に示すとおり、全ての計測値は1次管理値を超えることはなかった。

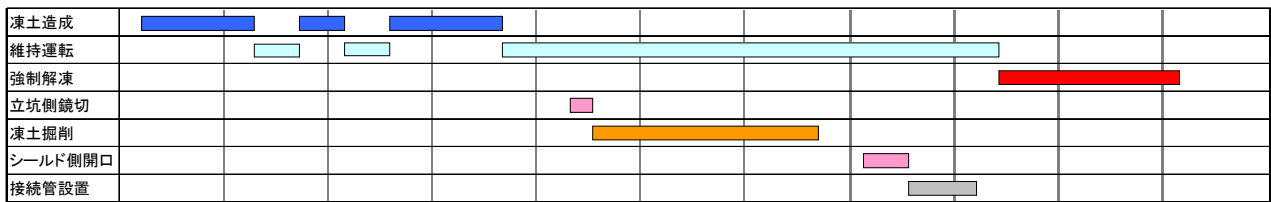
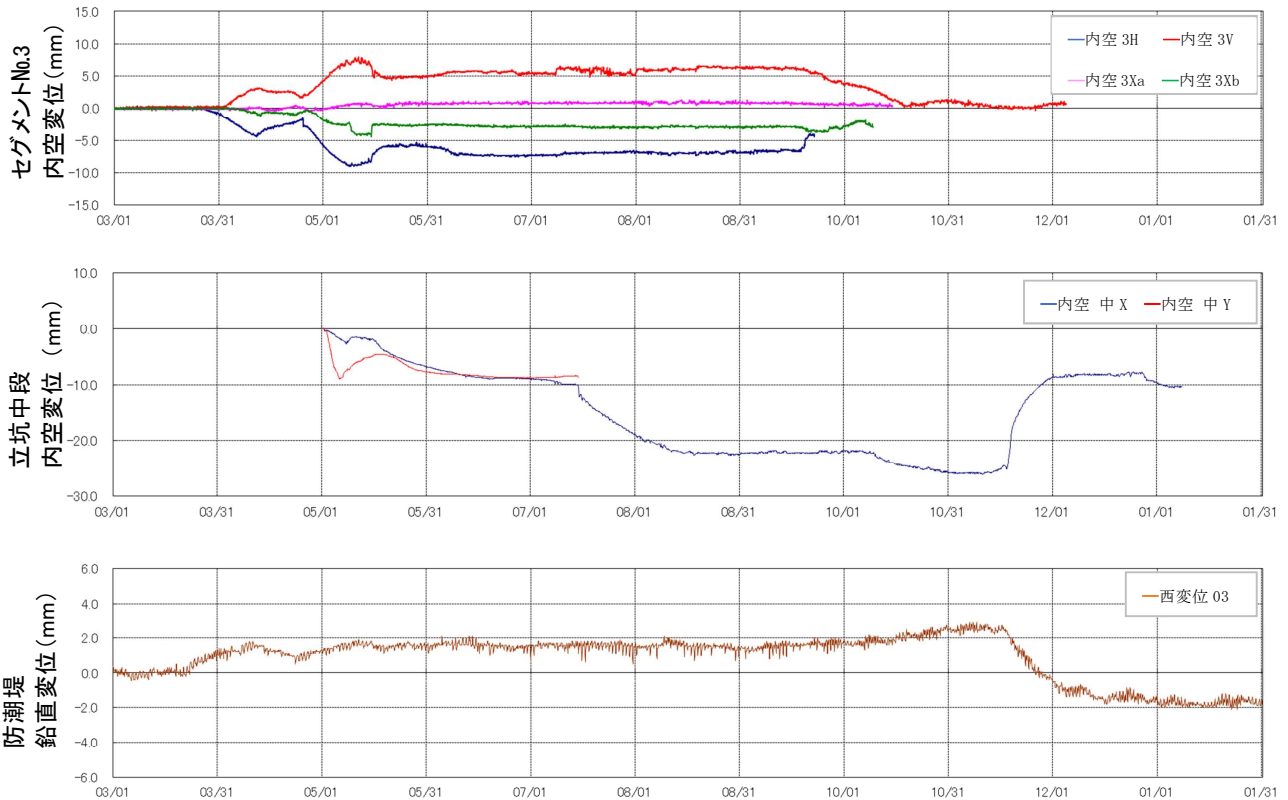


図 17 計測結果

表 2 計測結果と計測管理値

測定項目	測定箇所	計測最大値 (mm)	1次管理値 (mm)	2次管理値 (mm)	備考(管理基準値)	
セグメント	内空変位 (開口前)	No.3V: 7.9	8.2	10.3	設計計算値	
		No.3H: -9.0	-10.0	-12.6		
立坑	内空変位 (開口後)	No.3V: 1.4	1.7	2.2	設計計算値	
	内空変位 (開口前)	中段X: 9.1	11.4	14.3		許容値
		中段Y: 8.9	14.0	17.5		
内空変位 (開口後)	中段X: 26.1	43.8	54.8	許容値		
防潮堤	鉛直変位 西変位 03	2.9	±6.0	±8.0	許容値 ±10.0mm	
		-2.1				

## 6. まとめ

高水圧が作用する帯水地盤において、地盤凍結に対する適切な対策と管理を行い、防潮堤に影響を与えることなく、漏水のない接続管を敷設することができた (写真 3)。

最後に、大阪市建設局下水道河川部下水道部をはじめとする関係各位の皆様方の多大なるご協力ならびにご指導、ご鞭撻を頂いたことに心より御礼申し上げます。また、本工事が今後の計画・設計・施工の一助となれば幸いです。



写真 3 既設シールドトンネル側接合部 工事完了