

凍結工法を用いた既設管渠との地中接合 Plan and construction of the underground connection of new shield tunnel on existing tunnel with freezing method

森下 登功*

Takanori Morishita

要 約

本工事は、セグメント外径 $\phi 3,350$ mm、仕上がり内径 $\phi 2,950$ mm、 $L=401$ m の雨水幹線を泥土圧シールド工法にて築造するものであり、到達部において既設の外径 $\phi 5,100$ mm、仕上がり内径 $\phi 4,250$ mm 貯留管に直角に接続するものである。接続位置は、交通量の非常に多い幹線道路の交差点直下かつ土被り 30 m 位置である。

本報告では、補助工法にシールド機内からの凍結工法を用いた地中直角接合について、凍結膨張圧対策、開口補強構造の工夫、接合部の止水対策、凍上および解凍沈下対策について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 凍結工法による地中接合の課題
- § 4. 対策工の検討
- § 5. 施工結果
- § 6. まとめ
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

本工事は、名古屋駅周辺の浸水対策を目的として、仕上がり内径 $\phi 2,950$ mm のシールドトンネルを築造するものである。到達部は、内径 $\phi 4,250$ mm の既設貯留管との地中直角接合を行うものであり、補助工法として凍結工法を行った（図一1）。

凍結工法が採用された背景としては、土被り 30 m 下での施工であること、接合地点が片側 3 車線の主要道路の交差点であり地上の占有が困難であることから、シールド機内からの補助工法とする必要があったためである。

なお、凍結工法によるシールド地中接合についての事例は少なく名古屋市の下水道工事においては初めての試みであった。

本工事の凍結工は、シールド機内から既設貯留管に向かって放射状に凍結管を埋設し、零下 30℃ まで冷却したブライン（塩化カルシウム溶液）を、凍結管内に循環させることで凍土造成を行った。接続工完了後は、ブラインを 70℃ 近くまで温めて凍結管内を循環させ、凍土の解

凍を行った。

本稿では、凍結工法を用いたシールドの地中接合について、課題の抽出、課題に対する対策工の検討および施工結果について報告する。

実施施工工程表を表一1に、凍土造成範囲を図一2に、凍結機材配置を図一3に、凍土造成時の造成予想図を図一4に、凍結管仕様を表一2に、凍結状況写真を写真一1、2に示す。

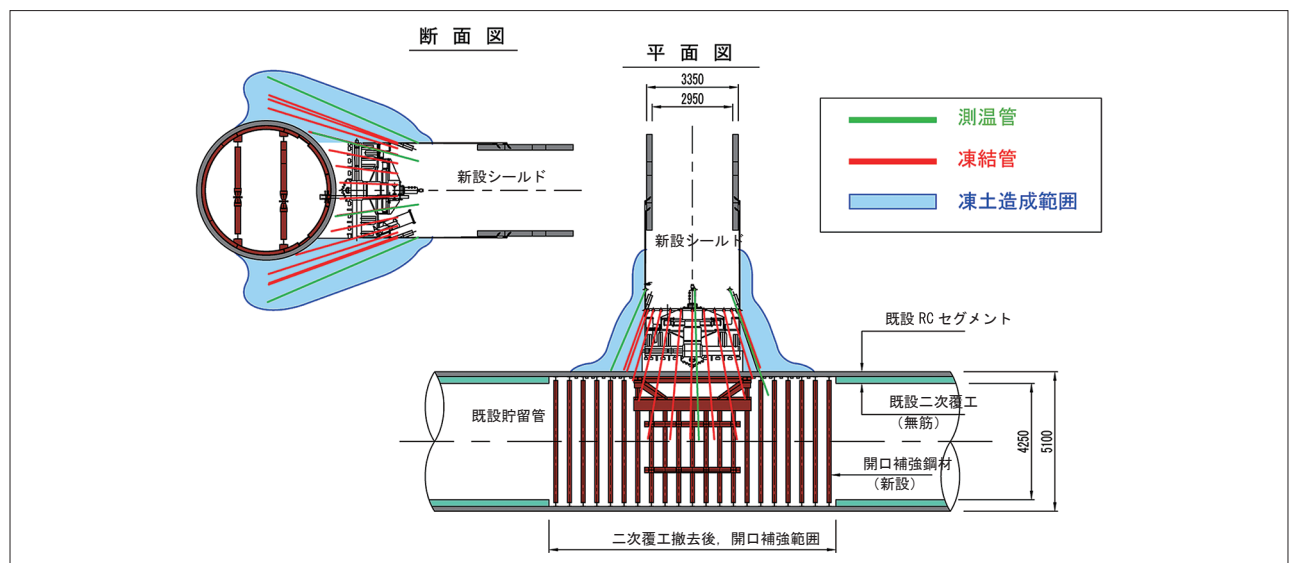


図一1 施工位置

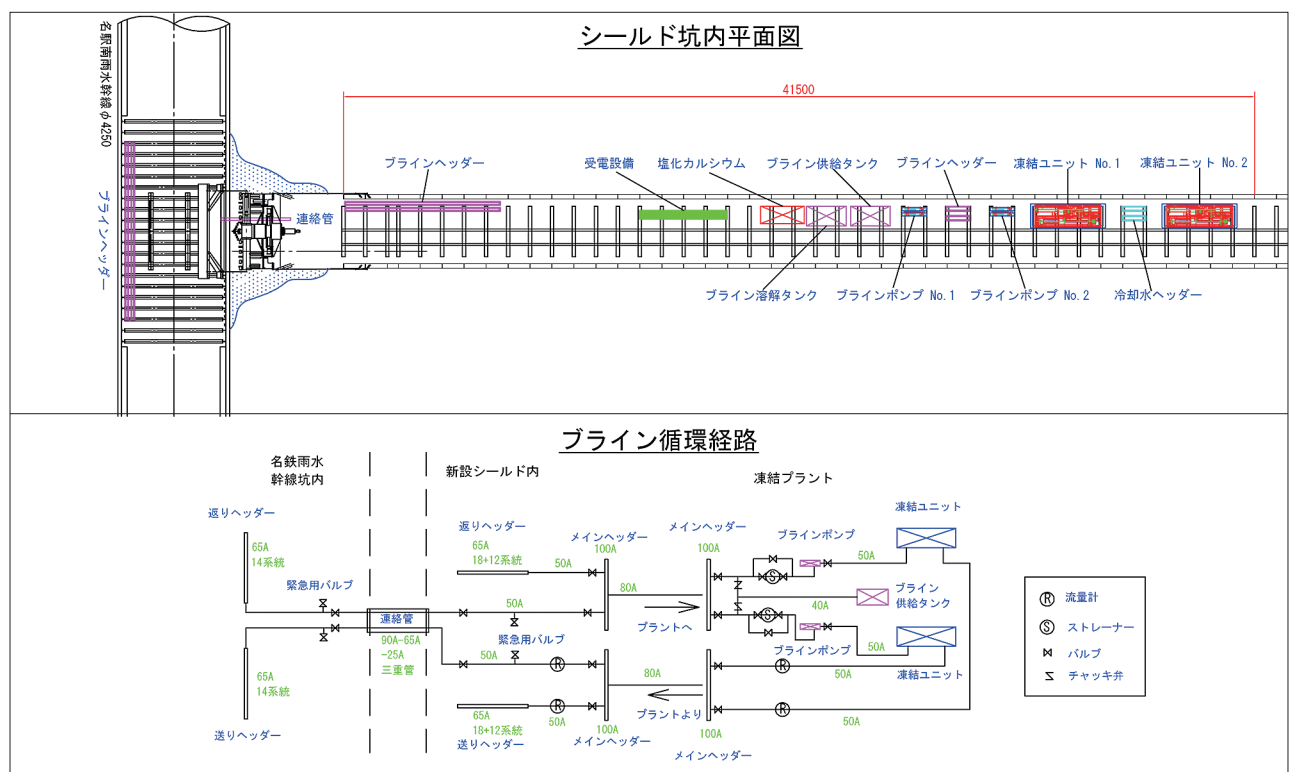
* 西日本（支）中村東（出）

表一1 实施工程表

工 程 工 種		平成24年		平成25年					
		11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
既設管坑内からの施工									
二次覆工はつり (V=37 m ³)									
開口補強リング組立									
新設坑内からの施工									
凍結準備工			11/30	凍結管26本、測温管6本穿孔	1/28				
運転管理					2/14	3/11	3/11	5/8	6/10
マシン解体、凍土はつり、既設セグメント取壊し						3/11	4/11		
補足注入									6/14
撤去工									6/18



圖一2 凍結範圍



図一3 凍結機材配置

表-2 凍結管仕様

名称	規格	数量	備考
凍結ユニット	22 kW	2 台	新設坑内
放射凍結管	SGP90A	26 本 (平均 3.6 m)	シールド機内
放射測温管	SGP90A	6 本	〃
貼付凍結管	SKTP100×50 [□]	71 本 (平均 0.83 m)	〃
〃	SKTP75×45 [□]	14 本 (平均 0.80 m)	〃
貼付凍結管	SKTP100×50 [□]	80 本 (平均 1.82 m)	既設管内
〃	SKTP75×45 [□]	4 本 (平均 4.40 m)	〃



写真-1 凍結管削孔状況

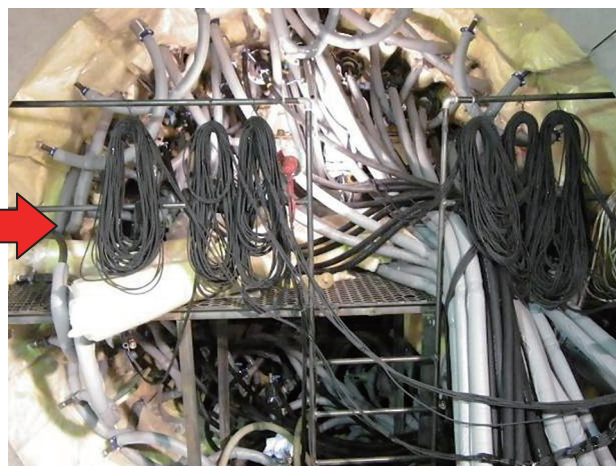


写真-2 ブライン循環状況

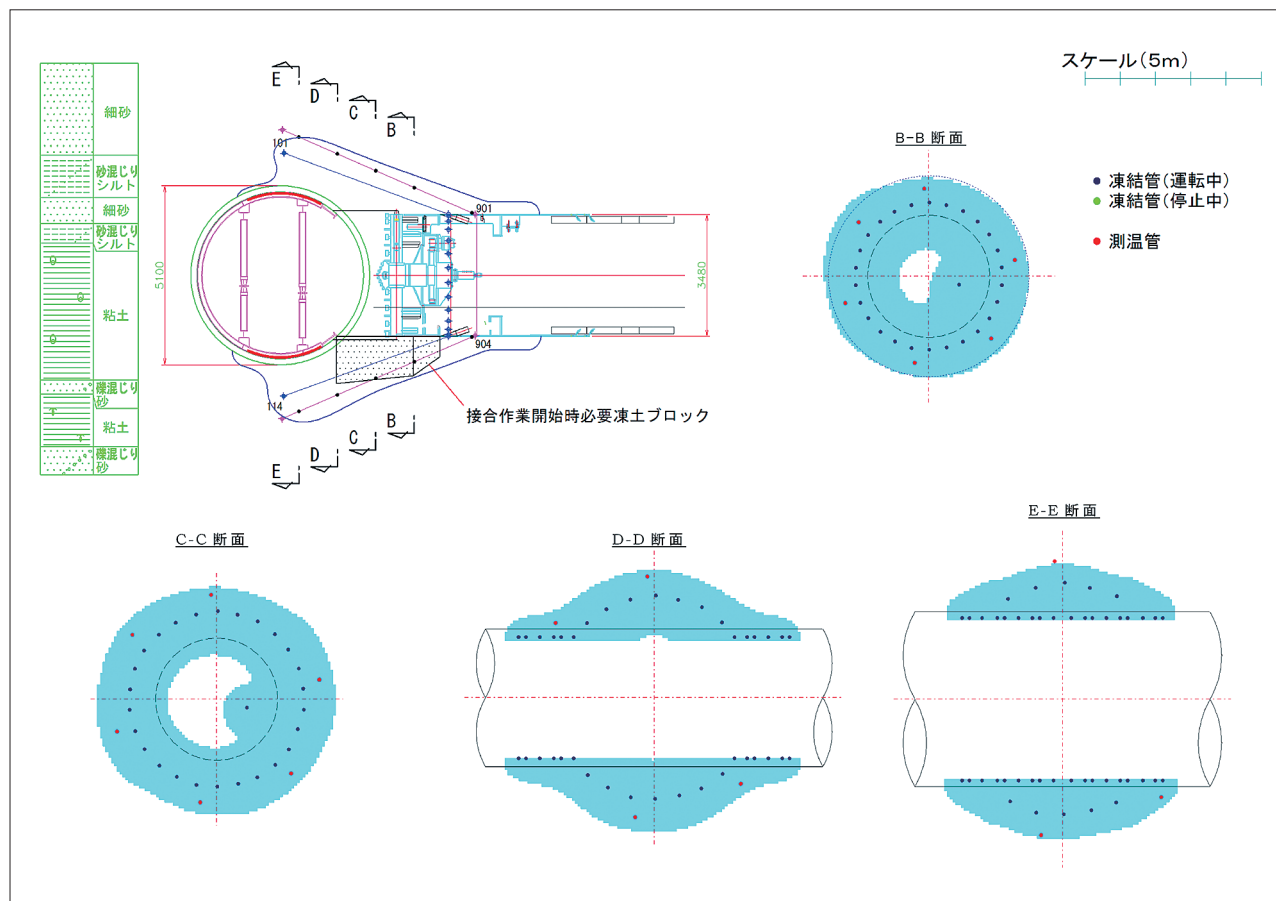


図-4 凍土予想図

§2. 工事概要

工事名：権現通第2雨水幹線下水道築造工事（その2）

発注者：名古屋市上下水道局

工期：平成23年2月2日～平成25年8月30日

施工者：西松・昭建・安井特別共同企業体

延長：401.498 m

トンネル施工法：泥土圧シールド工法

トンネル仕様：セグメント外径 $\phi 3,350$ mm

セグメント内径 $\phi 2,950$ mm

二次覆工一体型 RC セグメント

§3. 凍結工法による地中接合の課題

a. 凍結膨張圧による影響

既設貯留管が RC セグメントにより構築されていることから、万一、凍結膨張圧によりクラックが入った場合、長期にわたり漏水することで既設管の耐久性低下が懸念される。凍結膨張圧による既設貯留管への影響を詳細に検討したところ、貯留管に許容値以上の応力が発生することが判った。

b. 開口補強構造

原設計の計画では、既設貯留管シールドの二次覆工を撤去した後、新設開口に合わせた配筋を行い、再度二次覆工を鉄筋コンクリート構造として打設するものであった。この場合、開口作業は、鉄筋コンクリートによる二次覆工打設後となることから、開口作業時のセグメントの変形により二次覆工にクラックが発生することが懸念された。さらに、凍結膨張圧により二次覆工鉄筋コンクリートにクラックが発生することも懸念された。

c. 接合部の止水方法

既設貯留管との接合後に解凍を行った際、止水工が不十分であると、漏水による地下水位低下および地盤の緩みにより、管路の変位、変形および周辺地盤の変状が懸念される。そこで、接続部の止水構造について詳細に検討し、対策工を計画、実施することとした。

d. 凍上および解凍沈下

地盤を凍結すると地中の水分が体積膨張を生じ、その結果、地盤の隆起および解凍後の沈下を引き起こす可能性がある。特に砂質土地盤に比べて、粘性土地盤は体積変化率が大きく、凍上および解凍沈下量も大きくなる。

今回の凍結工位置は、土被りが大きいため、地表面への影響は小さいと予想されるが、解凍後の沈下により既設貯留管および新設幹線の沈下が懸念される。

§4. 対策工の検討

a. 凍結膨張圧対策工

既設貯留管内の二次覆工 ($t=250$ mm) を $L=10.5$ m 区間撤去し（写真—3）、本設開口補強リング材 H-150 を 500

mm ピッチで設置した。その内部に凍結膨張圧対策として、縦・横方向に支保工材（リース材 H-200）を設置した（写真—4）。

b. 開口補強構造の工夫

鉄筋コンクリートによる開口補強構造は、凍結膨張圧作用時にクラックの発生が懸念されたため、開口補強を変形追従性の高い鋼材にて行う計画とした。

なお、凍結膨張圧は、凍結期間中のみ作用することから、この期間中のみ鉛直および水平の内部支保工を設置することとした。

また、一般に鋼材にて開口補強を行う場合、図—5 に示す開口補強桁が大きな部材となる。この対策として、開口補強桁を支持する部材を八の字として支持スパンを低減することで、補強桁部材の低減を図った（写真—5）。

c. 接続部の止水対策

原設計では、シールド機と既設貯留管の接続部に $t=19$ mm の小分割した鋼板をリング状に溶接接合し、土水圧に抵抗する構造であった。しかし、低温下での溶接では、強度不足になる可能性があること、溶接不良により将来的に十分な止水性を確保できなくなることが懸念された。そこで、鋼板に代えて、止水シールを貼り付けた鋼製セグメントを現地にて組み立てる計画とした（写真—6、図—5）。セグメントは手組みとなるため、1 ピースあたり約 30 kg 程度となるよう、1 リングを 10 分割とし、セグメント幅は位置調整のため 300 mm、275 mm の 2 種類を使用して、計 7 リングを組み立てた。

既設貯留管との接合箇所については、止水のみを目的として、既設管に設置した開口補強リングと鋼製セグメント間に鉄板を溶接することで対応した（図—5）。溶接サイズは、将来の漏水リスク低減のため、余裕を持ったサイズとした。さらに、溶接箇所の背面、すなわち既設管の RC セグメント切断面と鋼製セグメントの間および連絡部の鋼製セグメントと地山の空隙部には、低温環境下でも流動性および充填性に優れる裏込め材（狭克郎）を注入した。

裏込め注入に際し、凍土表面の霜により、注入材の充填が不十分となることが懸念された。注入不足が生じると、解凍後に空隙が生じ、地山の緩みや止水性の低下が懸念される。このため、セグメントのグラウトホールよりホットドライヤにて温風を流し込み、凍土表面の霜の撤去後に充填した。

d. 凍上および解凍沈下対策

本工事で予想される凍上および解凍沈下量について、粘性土主体である本地盤の条件から事前に推定した結果を表—3 に示す。

凍結範囲は、凍結運転期間中、徐々に広がることになり、これに伴い凍上量も増加する。このため、必要凍土造成完了後は、凍結管の運転本数の調整を行うことで凍上量が過大とならないように管理した。

解凍沈下対策としては、解凍期間中の管路沈下状況に

合わせて、既設貯留管および新設幹線下部にCB注入を行った。CB注入は、図-6に示すように、新設シールド機内から管路下に斜めに削孔した注入管より行った。

表-3 凍上および解凍沈下の予測値

項目	地表面	シールド位置
凍上隆起量	0.4 mm	33.8 mm
解凍沈下量	-0.9 mm	-33.8 mm

※解凍沈下量は、凍結工事前からの変位量を示す



写真-3 二次覆工斫り状況

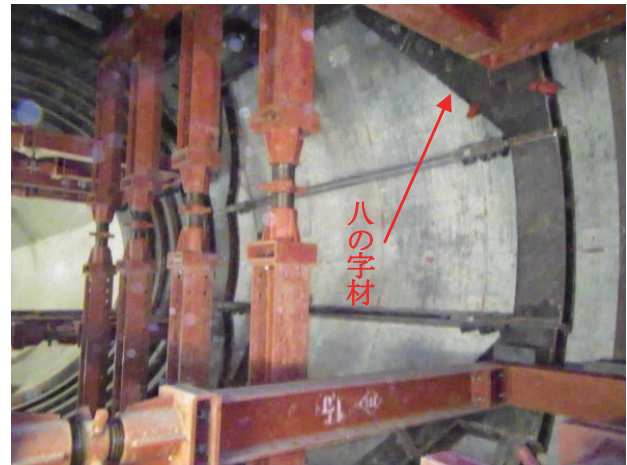


写真-5 開口補強構造



写真-4 内部補強鋼材

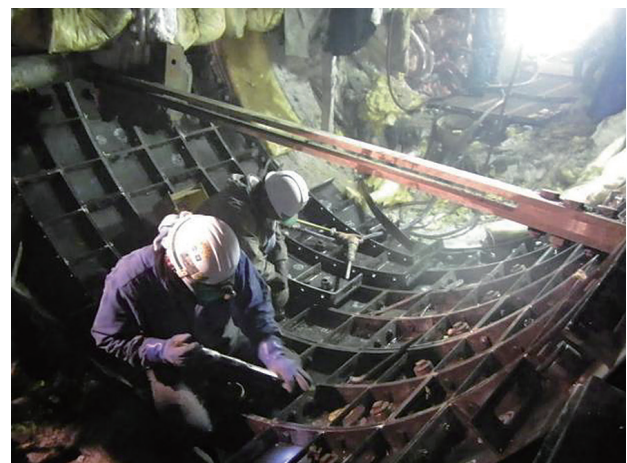


写真-6 接続部の鋼製セグメント

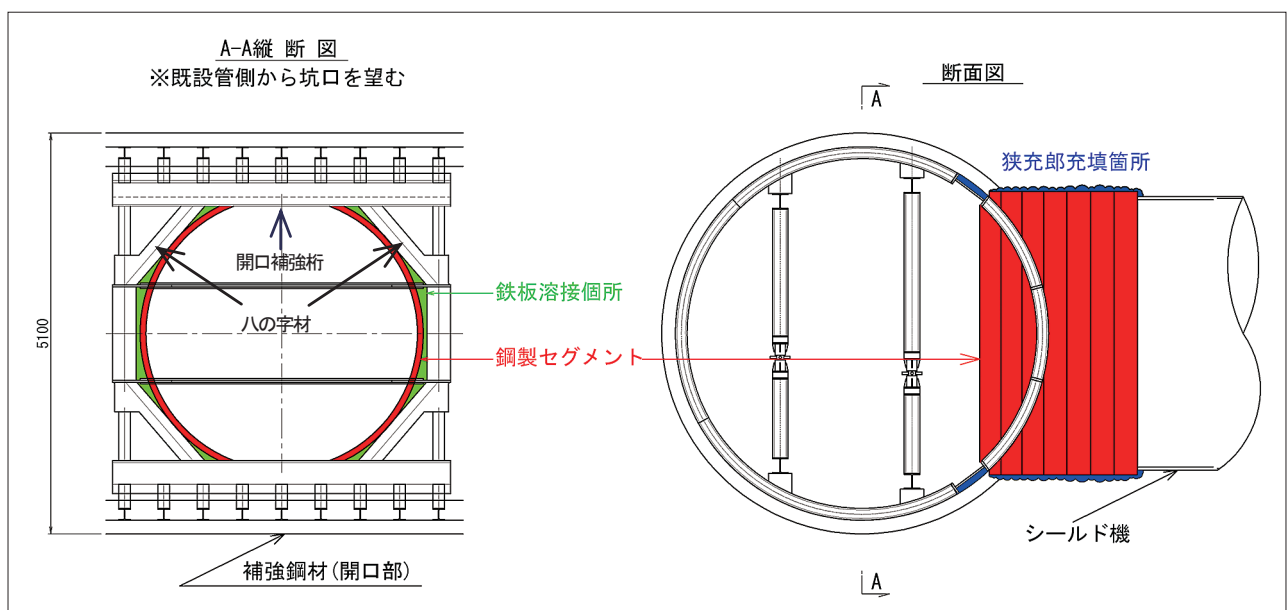
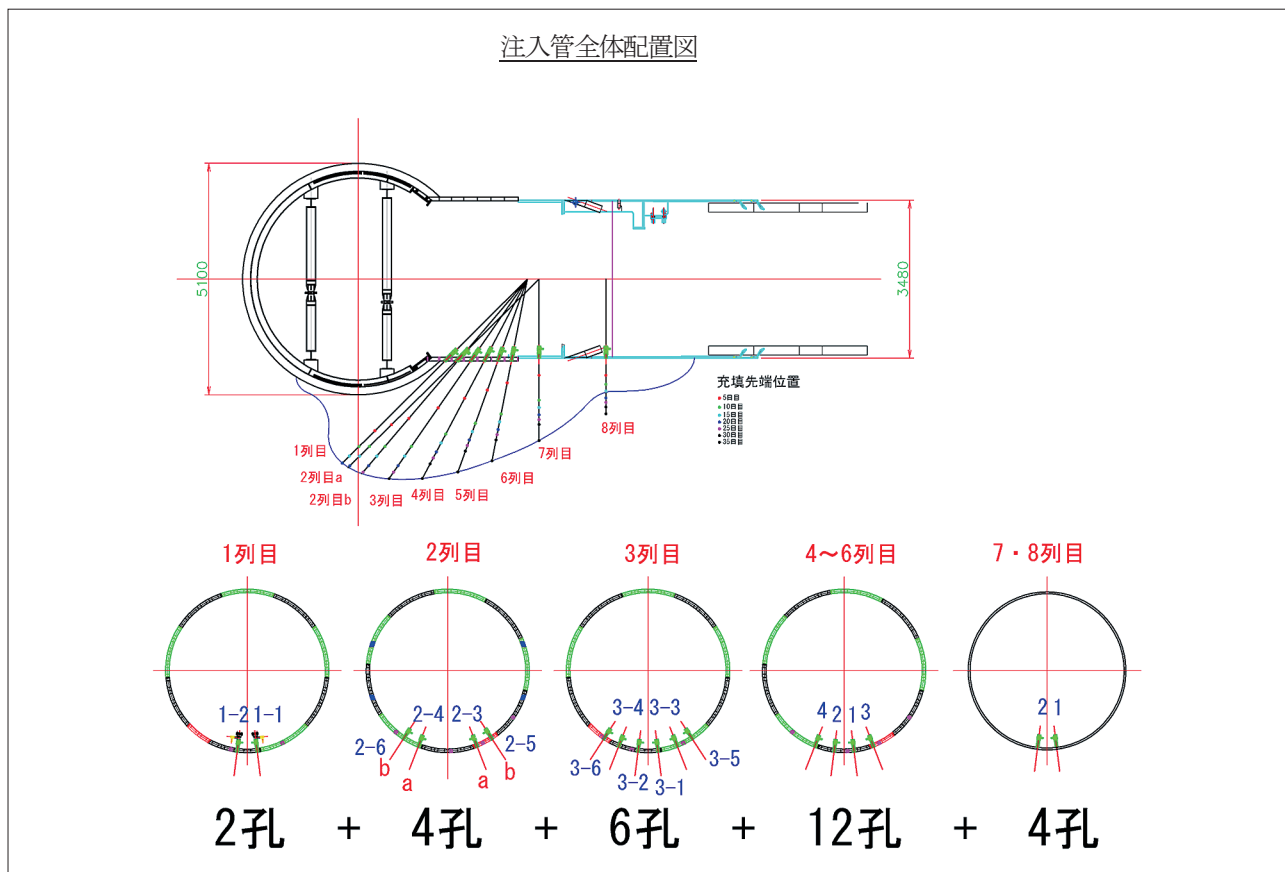


図-5 接続部の止水方法



図一6 解凍沈下対策のCB注入工概要図

§ 5. 施工結果

十分な対策工を行って、地中接合を行った結果、既設貯留管 RC セグメントに有害な変形、クラックを生じることなく、施工を完了することができた。

凍土解冻直後に、接合部から、にじみ程度の漏水が見られたが、漏水箇所への TAP 注入により追加止水を行うことで、漏水を止めることができた。

凍上および沈下計測として、凍結膨張圧対策用の鉛直支保工下端の台座部にてレベル測量を行った。計測の結果、予測隆起量 33.8 mm に対して、最大 20 mm 凍上隆起が生じた。解冻時の沈下量については、凍結前に比べて、解冻期間中に一時的に最大 5 mm の沈下を生じた。

沈下状況に応じて CB 注入を行った結果、CB 注入を行わない場合の予測沈下量 33.8 mm に対して、凍結前に比べて最終的に 1 mm の隆起に抑えることができた。CB 注入量は、凍結ボリューム約 90 m³ に対して、約 11 m³ となった。

地表面への影響については、深度が 30 m と深いこともあり、施工中および施工完了後についても隆起、沈下は観測されなかった。

§ 6. まとめ

大深度下での地中接続工事では、止水対策が重要である。凍結工法は、十分な計画および管理を行えば、施工中の止水性に優れた工法であり、効果的な対策工である。

凍結工法は、安定した地山の保持効果が得られること、造成期間および造成量についての予想がたてやすいという点で優れた工法である。しかし、工費および工期について効率化できないか検討の余地があると考ええる。

§ 7. おわりに

本工事は、土被り 30 m 位置における大深度での凍結工法を用いたシールドの地中直角接合を行う工事であったが、大きな問題もなく、工事を完了することができた。

本稿が、今後の地中接合工事の参考になれば幸いである。

最後に、今回、凍結工法を行うにあたり関係各社の方による御協力および、投稿作成にあたりご協力いただきました各位に感謝申し上げます。