

大深度・高水圧下での大規模凍結工法を用いた セグメントの地中拡幅工事

ENLARGING UNDERGROUND JUNCTION IN HIGH WATER PRESSURE DEEP UNDERGROUND USING THE FREEZING METHOD

重野 達史¹

Tatsushi SHIGENO¹

The Sumida-gawa Sewer Main is a shield tunnel of 3.11km in length and an outer diameter of 5,500mm constructed with a slurry shield TBM in order to convey the stormwater from two existing pumping stations to a newly- constructed pumping station with the aim of improving stormwater drainage capacity and reconstructing pumping facilities in the Senju District. At a point approximately 1.2km from the launching shaft, it was necessary to connect this to a shield tunnel of 6,350mm in diameter which conveys stormwater from two pumping stations at the station and the shield tunnel was enlarged at the junction with the freezing method. This report contains an outline of the widening works and the freezing works which were an auxiliary method for enlarging.

Key Words : freezing method,enlarging,junction,sewer

1. はじめに

隅田川幹線流域の事業は，東京都足立区千住地区 410.70ha のうち 292.85ha の雨水を收容し，浸水被害の軽減と近隣ポンプ所（千住ポンプ所，千住西ポンプ所，隅田ポンプ所）の再構築を目的に行うものである。

隅田川幹線は図-1に示すとおり，都道墨堤通り直下に，内径φ4750mm，外径φ5500mmの二次覆工一体型セグメント（鋼製セグメント区間を除く）による延長3.11kmのシールドトンネルを泥水式シールド工法で施工したものである。

この幹線の発進立坑側からと到達立坑側から流れてきた雨水は，発進立坑から約1.2kmのところでは合流し，セグメント内径φ5500mm，外径φ6350mm，延長270mのシールドトンネルで千住関屋ポンプ所へ流入する。このトンネルは千住関屋ポンプ所から発進する外径φ6500mmのシールドにより地中接合する。

外径φ5500mmの隅田川幹線に外径φ6500mmのシールド

を接続するために，隅田川幹線を拡幅する必要がある。

本文は，隅田川幹線の拡幅工事と補助工法である凍結工事の施工について報告する。



図-1 隅田川幹線流域の概要

キーワード：凍結工法，拡幅，接続部，下水道管

¹非会員 東京都 下水道局 第一基幹施設再構築事務所 工事第一課長

Tokyo Metropolitan Government, Bureau of Sewerage, First Core Facilities Reconstruction Office, Chief of Construction Section

(Tatsushi_Shigeno@member.metro.tokyo.jp)

2. 工事概要

本工事は、図-2および図-3に示すとおり、延長19.7mにわたる拡幅部分を覆うように左右対称に、放射状に地盤を凍結した後、外径φ5500mmの鋼製セグメントを外径φ9500mmに拡幅する。

近接構造物は、地中接合部直上に都道墨堤通り、2本の下水道幹線、ガス、電力、水道、NTTがあり、さらに、接合部の南側約20.5mの地上部に京成本線がとっている。

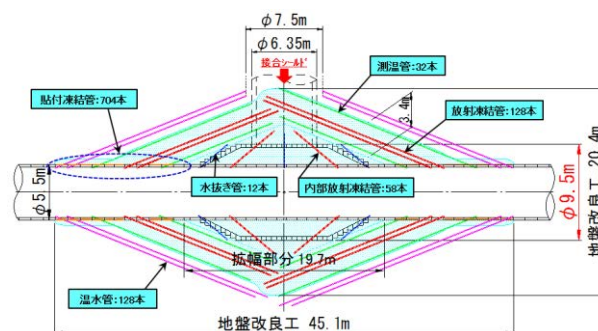


図-2 拡幅部概要図 (2D)

3. 凍結工事

凍結工事はセグメント拡幅工事の補助工法として行うものである。

凍結工法¹⁾は本工事においては、既設鋼製セグメントの撤去、凍土掘削、拡幅鋼製セグメント組立などの作業を、安全かつ確実に施工するため、接合部周辺地盤に優れた遮水性と強度を併せ持っているため採用した。

凍結工事の内容は以下のとおりである (図-2)。

- ・放射凍結管 (φ65mm) : 186本 (長さ5.0m~17.2m)
- ・測温管 (φ65mm) : 32本 (長さ10.8m~20.0m)
- ・温水管 (φ65mm) : 128本 (長さ20.2m~22.50m)
- ・貼付凍結管 (100mm×50mm) : 704本 (1.0m)
- ・運転期間 凍土造成163日+
- ・凍土維持507日=670日
- ・凍土量 約3,700m³
- ・強制解凍期間 強制解凍142日
- ・強制解凍充填量 (CB注入量) 536m³

凍結工事の施工フローを図-4に示す。

これらのうち、主な工種について以下に述べる。

(1) 凍結管埋設工

放射凍結管128本と測温管32本の埋設にあたっては、凍結管の抜去を行わない部分についてはケーシング掘り、千住関屋ポンプ所からのシールドの到達のために凍結管を一部抜去する部分については凍結管掘りを採用した。

ケーシング掘りは、ケーシングにより所定の位置まで削孔を行ったあと、ケーシング内に凍結管を設置し、ケーシングと凍結管との隙間にモルタル充填を行うものである。

凍結管掘りは凍結工法で一般的に用いられるもので、配管用炭素鋼鋼管 (SGP) 90Aを使用している。本工事では放射凍結管26本、測温管6本、内部放射凍結管58本および内部放射測温管12本を凍結管掘りにより施工している。

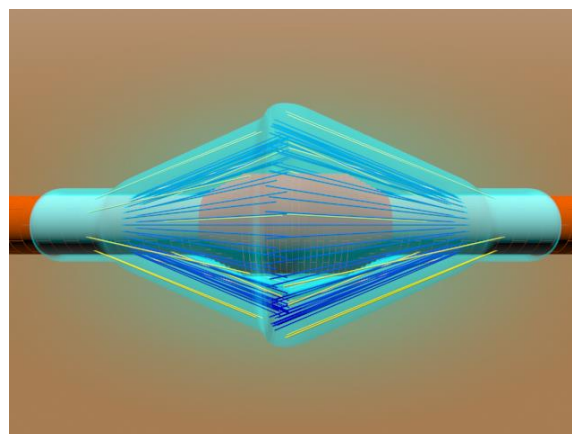


図-3 拡幅部概要図 (3D)

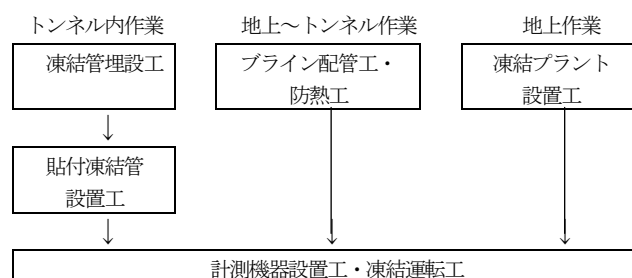


図-4 凍結工事施工フロー

本工事では、図-2に示すとおり、凍土とセグメントとの間の未凍結部の地盤崩落防止を目的として内部放射凍結管58本と内部放射測温管12本も施工している。

さらに、近接する京成本線への影響を最小限に抑えるため、凍土維持運転期間中の凍土成長を抑制する目的で温水管を128本設置した (図-2)。

(2) ブライン配管工・防熱工

ブライン管は内径φ155.2mm (外径φ165.2mm) で、地上凍結プラントから坑内拡幅部凍結管まで送られてくるブライン用に2本、坑内拡幅部凍結管から地上プラントまで送られるブライン用に2本、計4本を地上からトンネル坑内までは発進立坑壁沿いに配管した。また防熱のためにスチロール材を取り付けた。

(3) 貼付凍結管設置工

貼付凍結管は、凍土とセグメントとの凍着部からの地下水の浸入を防止する目的で使用した。空圧テストを行い、空気漏れがないことを確認して、既設セグメントスキンプレートにアングルピースを溶接し固定した。

(写真- 1)

(4) 凍結運転

凍結プラント各機器を運転し、運転状況を確認した後、計画凍土厚になるまで 163 日間連続運転し、凍土造成判定を行った。

凍土造成判定は、測温管の温度下降をもとにどこまで凍土ができていないかを計算²⁾し、図-5に示す7断面の凍土予想図を作成して各断面所定の凍土厚になったことで確認した。

(5) 凍土の膨張

凍結施工場所の地質は図-6に示すとおり、一部砂礫層を除いて粘性土分を含んだ土質であった。

凍結工法においては、地盤を凍らすことにより粘性土地盤は膨張する。このため、セグメントとの凍着部は、セグメントに凍結膨張圧³⁾が作用し、またトンネルおよび地盤については凍上することとなる。

これらの影響に対して以下の対策を行った。

a) 凍結膨張圧の影響

凍結膨張圧が作用する凍着部のセグメントについては、通常の土水圧に追加してセグメントリングに荷重として凍結膨張圧を作用させてセグメント部材厚を決定した。

また、このセグメントは凍結の影響を受けるため、凍着部だけでなく凍結部を含む前後 10 リングずつ(当初計画)計 60.9m 区間に使用した。

表-1は、一般部と凍結膨張圧作用部の鋼製セグメントの各部材を比較したものである。

b) トンネルおよび地盤の凍上の影響

図-6の土質柱状図より、トンネル中心位置および地表面と京成本線部の凍上予測を三次元凍上計算式⁴⁾により計算した。

セグメントリングは、リング継手の剛性低下を評価した等価剛性はモデル⁵⁾に、三次元凍上計算式より得られたトンネル軸方向中心位置での凍上変位を強制変位として与えて検討を行い、主桁の面外変形による部材厚とリング継ぎボルトのサイズおよび鋼種を決定した。周辺地盤の凍上については、計測を行って管理することとした。計測項目は、軌道変位(京成本線軌道)、橋台、擁壁、電柱柱の変位(京成本線構造物)および周辺地盤の鉛直変位と水平変位である。

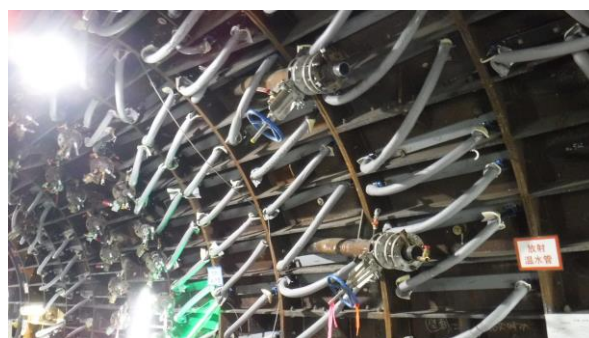


写真- 1 貼り付け凍結管

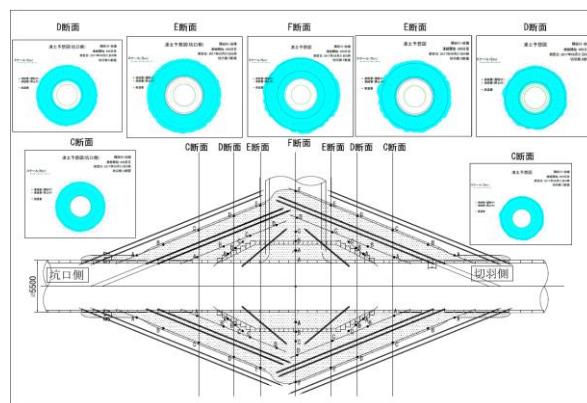


図- 5 凍土予想図

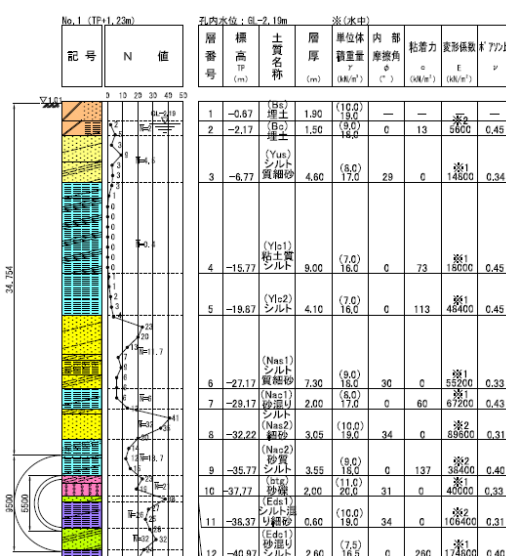


図- 6 土質柱状図

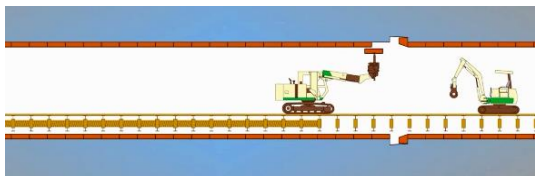
表- 1 鋼製セグメント部材圧比較表

部材	凍結部	一般部
スキンプレート	19mm	4mm
主桁	22mm	22mm
継手板	22mm	22mm
縦リブ	22mm	9mm
セグメント継ぎボルト	M36 (10.9)	M24 (4.6)
リング継ぎボルト	M52 (10.9)	M24 (4.6)

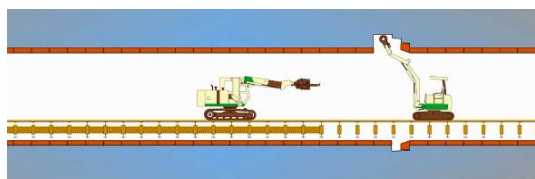
4. 拡幅工事

凍土造成開始から1ヶ月後より拡幅工事の準備工を行い、凍土が計画凍土厚以上になり維持運転に移行後、セグメントの拡幅を行った。施工概要図を図-7に示す。

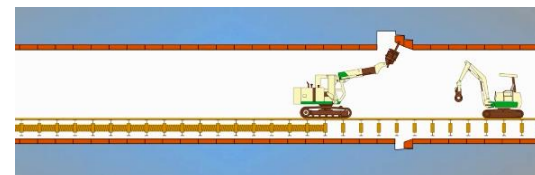
①既設セグメント撤去



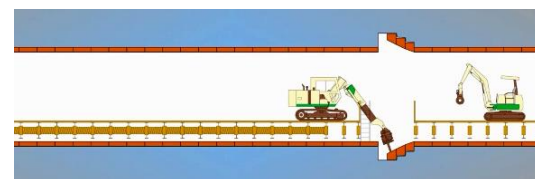
②拡幅掘削



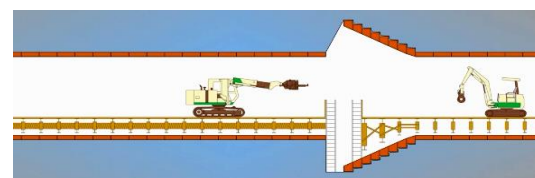
③拡幅セグメント組立（上半）



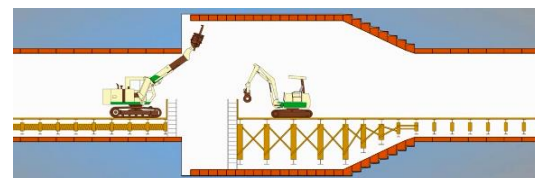
④拡幅セグメント組立（下半）



⑤拡幅（段差部）セグメント組立完了



⑥拡幅セグメント組立完了



⑦拡幅部施工完了

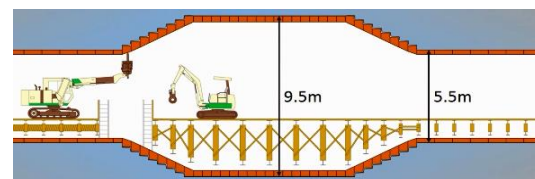


図-7 セグメント拡幅工事概要図

(1) 既設セグメント撤去工

既設セグメントの撤去は、継手板のガス切断が必要となる。本工事では、作業順序と安全性・作業性を考慮してスプリングラインセグメントの撤去から始めた。セグメントの撤去にはセグメントハンドリング機を使用し幅1mのセグメントを1リングずつ撤去した。上半、下半ともそれぞれ0.5日（昼夜作業）で撤去できた。

(2) 拡幅掘削工

a) 凍土掘削実験

凍土掘削機を使用して凍土を掘削するにあたり、掘削機の性能、適切な切削用アタッチメント、最適なビット形状などを確認するため、地上での凍土掘削実験を行った。（写真-2）。

切削用アタッチメント（シングルヘッド、ツインヘッド、エクセルカッター）とビット（アスファルト用、コンクリート用、コンクリート・硬い岩盤用）をあらかじめ選定し、掘削凍土については山砂およびNac2層とEdc1層の模擬土を用いた。

この実験により、掘削機の掘削能力（時間あたり掘削量、アタッチメント回転数など）、掘削機の挙動、アタッチメントとビットの選定、掘削方法の違いによる進捗などのデータを当事者間で共有することができた。

b) 拡幅掘削

拡幅部の掘削は、開始時には既設セグメントを1リング撤去したあと、拡幅セグメント1リング分（幅500mm）、円周方向は外径+200mm（余掘り100mm）の範囲を掘削して拡幅セグメントを組み立てた。既設セグメントの解体と掘削を1mずつ行い、凍土面が解放される最大幅は1.5mであった。

掘削作業開始時は既設鋼製セグメントの内径がφ4950mmであり、機械の取り回しに苦労したため掘削は上下半それぞれ昼夜間で4.5日間要していたが、セグメントが徐々に拡幅していく中、上下半それぞれ2日間で掘削完了することができた。



写真-2 凍土掘削実験状況

(3) 凍土面防熱工

前述したように、凍土面が解放される最大幅は1.5mで、凍土が露出する最大厚さは2.1mであった。凍土の露出時間は最大で約3日間(約72時間)である。このことから、露出凍土の解凍による凍土崩落防止のため、写真-3に示すような凍土面防熱材を凍土露出面に設置した。

(4) 拡幅セグメント組立工

a) ハンドリング機実証実験

セグメントハンドリング機は、鋼材ハンドリング機の鋼材把持部にセグメント把持用のアタッチメントを新規に製作して取り付けただけのものである。

実証実験は、地上に既設セグメント内空断面と拡幅断面を再現した空間を作り(写真-4)、ハンドリング機がセグメント組立専用のエレクターと同様な動きができるかどうか、どのような制約があるか、拡幅セグメントを組み立てることができるかを確認した。

実験の結果、アタッチメント改良の必要性はあったものの、安全で確実な施工ができることを確認できた。

b) 拡幅セグメント組立

拡幅セグメントは、拡径・縮径部については外径 ϕ 5500mm～ ϕ 9500mmまで500mmずつ外径が大きくなり、拡幅部セグメントは外径 ϕ 9500mmである。それぞれのセグメント幅は500mmである。分割数はハンドリング機の把持能力を考慮して、11分割とした。

また、Kセグメントはインバート部に設置し、組立は逆半径方向挿入型とした。これは、半径方向挿入型Kセグメントを用いた場合、土かぶり約40mの高水圧下にて設置されるため、Kセグメント脱落の危険性がある。そのため、Kセグメント設置部の凍土を若干深く掘削してKセグメントをセグメント外面側から挿入することとした。

(5) 真円保持工、裏込注入工

セグメントを真円に組むために、上部セグメント組立後に鋼製の真円保持装置を使用し、真円を保持した状態でセグメントの固定を行なった。

本工事の裏込注入は、シールド工事における裏込注入とは異なり、セグメント組立面が解放されているため、通常どおり裏込注入を行うと裏込材が漏洩してしまう。そこでEバッグを1リングおきに設置し、Eバッグに裏込充填して堰をつくり、手前のリングの裏込注入を行って2リング分の裏込注入を完了する。これを繰り返した。



写真-3 凍土面防熱防熱材設置状況



写真-4 ハンドリング機実証実験

5. おわりに

本工事においては、前述のとおり様々な検証を実施し、対策を行ったことで大きなトラブルもなくセグメント拡幅の施工を完了することができた。凍土の解凍についても、特に強制解凍時には慎重な施工が求められ、また、シールドマシンの地中接合もある。

これまで通り、計測管理を継続し監視を強化しながら、今後も安全を最優先に努め、工事を無事完了させたいと考える。

参考文献

- 1) 株式会社精研：地盤凍結工法パンフレット。
- 2) 戸部ら：凍土内温度分布計算式とその応用，冷凍，第54巻，第622号，pp.3～11，1979年8月。
- 3) 高志 勤：凍結膨張による未凍結領域内の土圧と変位の経時変化，土木学会論文集，第200号，pp.49～62，1972年4月。
- 4) 戸部ら：凍土変位計算法（三次元），土木学会第34回年次学術講演会概要集Ⅲ-123，pp.243～244，1979年10月。
- 5) (社)日本下水道協会：下水道施設耐震計算例—管路施設編—後編2015年版，pp.4-10-3～4-10-13，2001