

鉄道営業線直下での凍結工法の施工

Execution of Freezing Work under Running Railway

吉田 征男*
Yukio Yoshida

赤川 孝生**
Takao Akagawa

要 約

凍結工法は遮水性と高強度を併せ持つため、高水圧下におけるシールド発進防護工、シールド地中接合防護工、鉄道横断部防護工、重要構造物の近接防護工等で採用されている。大深度地下利用等の進展により、凍結工法の需要が今後増えることが予想される中で、凍結工法の技術蓄積を進めることは重要である。

本報は、鉄道営業線軌道下で土留擁壁基礎を改造する工事に採用された凍結工法について、凍上・解凍沈下現象に着目し、施工時に発生した諸問題とその対策に関して得られた知見をまとめたものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. 凍結工法の長所と短所
- § 4. 営業線近接作業における諸問題と想定される事故および対策
- § 5. 計測工
- § 6. 凍土造成に伴う凍上・解凍沈下の考察
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

本工事は、船橋市都市計画下水道処理幹線整備事業の一部である葛飾2号幹線シールド(φ4,200mm)が、西船橋駅付近にてJR総武線(緩行、快速)および営団東

西線の営業鉄道線軌道下を横断するため、シールド通過に支障となるコンクリート土留擁壁基礎杭を事前に切断・撤去し、箱型鉄筋コンクリート基礎に置き換える工事である。工事は船橋市から東日本旅客鉄道株式会社へ委託されており、当社は東日本旅客鉄道株式会社から工事を受注している。また、シールド工事も別途、船橋市から当社が受注している。

JR側、営団側ともに、コンクリート土留擁壁側面に立坑を設け、角型鋼管を圧入し、コンクリート土留擁壁を仮受する。既設土留擁壁を活かした状態で施工することが条件であることから、擁壁を仮受けした狭隘な作業空間の下で、掘削、基礎杭切断・撤去、箱型鉄筋コンクリート構築等を行う計画であった。

ボーリング調査の結果、地下水位が高く、対象地盤が流動性のある細砂層であることから、施工時の地盤変状はもとより、地下水の流入による営業線軌道下の地盤のゆるみが懸念された。

JR線、営団線共に首都圏通勤の重要路線であり、軌

* 関東(支)青梅道路(出)所長

** 東関東(支)東金(出)工事係長

道の陥没、架空線損傷等、列車運転に支障する事故は絶対に許されないため、施工時の止水および土留めを目的として、遮水性と高強度を併せ持つ凍結工法が採用された。本凍結工は、箱型鉄筋コンクリート基礎を囲むように凍土壁を造成し、コンクリート土留擁壁下で所定の施工が完了するまでの間、土留めおよび止水を行うものである。

本報は、凍結工法を中心に、施工時に発生した諸問題と対策について報告する。

§ 2. 概要

2-1 工事概要

工事名：西船橋駅付近横断下水道防護工

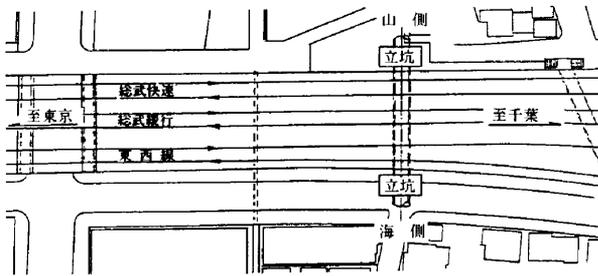


図-1 施工位置平面図

企業先：東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
 工事場所：千葉県船橋市本郷町～船橋市西船
 工期：平成3年12月25日～平成5年11月24日

2-2 主要工事数量

- ①立坑（鋼矢板締切り） 2箇所
 - ・ 5.2m×12.0m×11.5m（山側）
 - ・ 5.2m×12.0m×11.0m（海側）
- ②鋼管圧入（角型鋼管 600mm×600mm×19mm）
 - ・ L=10.0m～10.5m 15本
- ③アースアンカー
 - ・ φ=135mm, L=17.5m 4本
- ④薬液注入 480m³
- ⑤凍結工
 - ・ 水平凍結管 95本
 - ・ 鉛直限定凍結管 14本
 - ・ 測温管 30本
 - ・ 凍結土量 1,370m³
 - ・ 凍土掘削 300m³
 - ・ 沈下防止注入 25m³
- ⑥箱型鉄筋コンクリート工
 - ・ 鉄筋コンクリート 102m³
 - ・ 中詰エアームルク 230m³

施工位置平面図、縦断面図、横断面図を図-1～3に、全体施工順序図を図-4に、実施工程表を図-5に示す。

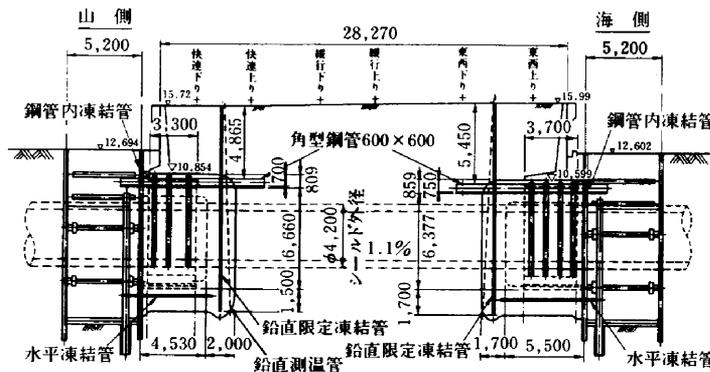


図-2 施工位置縦断面図

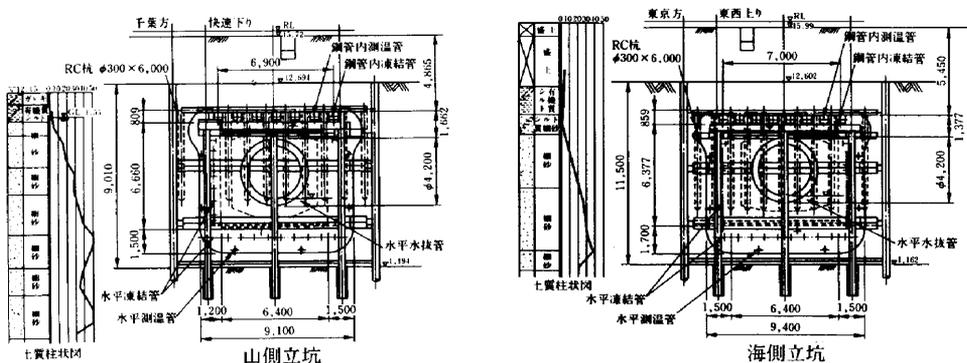
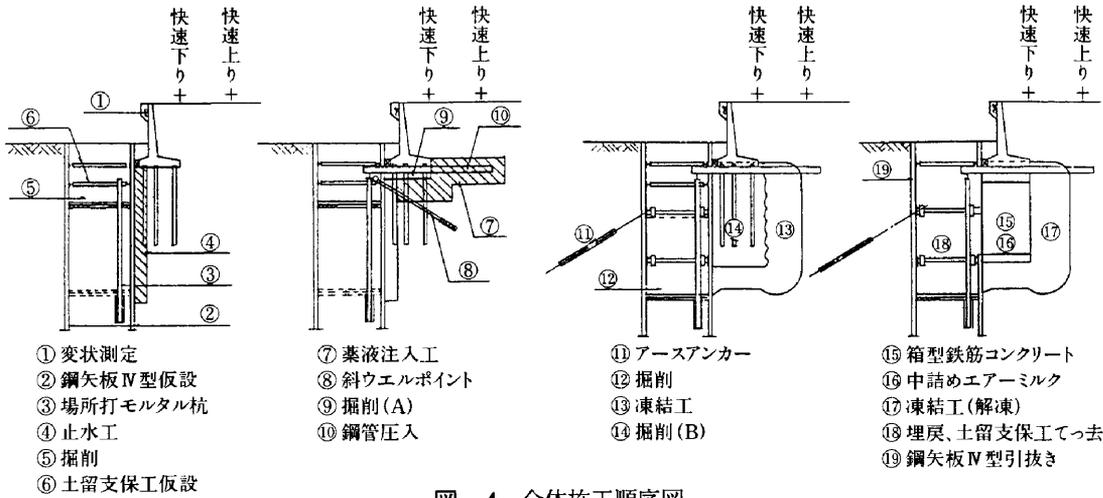


図-3 施工位置横断面図



図一4 全体施工順序図

工種	単 位	月 年	平成4年												平成5年												
			数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
準備工				■																							
立坑鋼矢板打込み	m	3139		■																							
場所打モルタル杭(鋼管受)	本	6		■																							
止水工(立坑矢板の止水)	m ²	238		■																							
立坑掘削	〃	1470		■																							
土留支保工	式	1		■																							
薬液注入工(埋戻部)	m ²	162		■																							
ウエルポイント工	式	1		■																							
掘削(A)杭位置確認	m ²	73		■																							
鋼管圧入	本	15		■																							
アースアンカー工	〃	4		■																							
凍結工	式	1		■																							
掘削(B)杭撤去含む	m ²	315		■																							
箱型鉄筋コンクリート	〃	103		■																							
薬液注入工(A)シールド防護	〃	70		■																							
強制解凍工、沈下防止注入	式	1		■																							
埋戻、土留支保工撤去	〃	1		■																							
鋼矢板撤去、空隙注入	〃	1		■																							
道路復旧	〃	1		■																							
変状測定	〃	1		■																							

図一5 施工実施スケジュール

表一1 当工事の凍土設計強度

凍土平均温度(℃)	-8(前面部)		-10(側壁, 下床部)	
	粘性土	砂質土	粘性土	砂質土
圧縮強度(kgf/cm ²)	22.5	45.0	30.0	
曲げ強度(kgf/cm ²)	15.0	27.0	18.0	
剪断強度(kgf/cm ²)	12.5	18.0	15.0	

§ 3. 凍結工法の長所と短所

(1) 長所

①高強度である(当現場で採用した凍土設計強度を表一

1に示す).

②遮水性に富む.

③地中温度の測定によって、地中温度分布、凍土造成範囲、凍土強度分布等が把握できる.

④凍結工法そのものは、温度の出入りだけで地盤内に異物を注入しないため、公害性がない.

(2) 短所

①凍上・解凍沈下を生じる. 一般的に砂質土の場合は生じ難く、粘性土の場合は生じ易い.

②比較的工期が長く、高価である.

③凍結設備が大きく、ヤードを必要とする.

表-2 営業線近接作業における諸問題と想定される事故および対策

工種, 問題点	想定される事故	対策
1) 立坑鋼矢板打抜き (サイレントパイラーウォーターージェット併用)	・クレーンで鋼矢板を建込む時、鋼矢板が振れて架空線(トロリー線、起電線)または列車と接触し、列車運行支障事故を起こす。 ・クレーンで鋼矢板およびサイレントパイラーを吊り掲げる時、玉掛けワイヤーの切断、またはクレーンの横転により、列車運行支障事故を起こす。	・鋼矢板は2枚継ぎとした。 ・架空線離隔表示機および列車監視台を設置した。 ・重機作業中は列車見張員を配置し、列車進来時は作業を一旦中止した。 ・アウトリガーは全部張り出して作業を行った。また、鉄板等で養生をした。 ・吊荷の重量を確認し、定格荷重以上吊り揚げないように徹底した。
2) 掘削 (A) 擁壁下部に鋼管を圧入し仮受けするが、擁壁の基礎杭と鋼管の離隔が小さいため擁壁下部を掘削し、杭の位置を確認しなければならない。	・作業中、掘削箇所からの土砂の流出により、軌道陥没沈下による列車脱線事故を起こす。	・薬液注入により地盤改良を行った。 ・薬液注入後、ボーリングにより効果確認試験を行ったが、水の出る部分があったため、立坑側より斜めのウェルポイントを打設し、水位を下げてから掘削を行った。 ・基礎杭(RCφ300)の位置を確認し、圧入する鋼管に当たる杭は受け替えを行った。
3) 水平凍結管ボーリング作業による砂の流出。	・軌道沈下による列車脱線事故。	・口元に削孔時の土砂流出を防止するためにパッカーを取付け、削孔式凍結管をロータリーボーリングマシンを使用して埋設した。
4) 鉛直凍結管埋設ボーリング作業 (夜間線路閉鎖時間帯 1:00 ~ 4:00)	・ボーリングマシン転倒による触車事故。 ・凍結管等によるレール短絡事故。 ・鉛直凍結管によるトロリー線接触事故。	・軌道内にボーリングマシンを引き込むため、横引き、縦引き移動用レールを設置し、ボーリングマシンを台車に乗せ、ボーリング位置に安全に移動した。 ・凍結管をトロリー線との離隔を取れる長さ、2mとして溶接継ぎとした。 ・レールの短絡事故防止のため、作業時はゴムマットにてレールを養生した。
5) 凍結 凍土造成に伴う軌道の凍上。	・軌道凍上変位による列車脱線事故。	・軌道面の変位状況を計測し、軌道整備を行った。 ・凍結範囲を必要最小限にする。测温管により凍結範囲を管理し、必要に応じて凍結管の間引き運転、断続運転、冷却液の温度調整を行い、凍結範囲を調整した。
6) 解凍 強制解凍による軌道の沈下。	・軌道沈下による列車脱線事故。 ・鋼矢板開口部と躯体との間隙から土砂が流出し、軌道が陥没・沈下して、列車脱線事故を起こす。	・軌道面の変位状況を計測し、軌道整備を行った。 ・強制解凍に合わせて沈下量を測定しながら、沈下防止注入を行った。 ・箱型鉄筋コンクリートを鋼矢板まで延長し、鉄板を溶接して止水を行った。
7) 箱型鉄筋コンクリートの凍害	・凍害によりコンクリートが崩壊し、軌道沈下による列車脱線事故を起こす。	・凍土掘削面に断熱材(グラスウール: t=50mm)を取り付けた。 ・上床面については圧密沈下防止のためにグラスウールは取り付けず、上床は防凍コンクリートとした。
8) レールレベルの測量	・列車と接触し、労災および列車運転支障事故を起こす。	・監督員立会いの上、列車見張員を上り下り線両側に配置し、一線ずつ測定した。 ・保安員の安全教育、作業前の打合せ、安全指示を確実にを行った。

§ 4. 営業線近接作業における諸問題と想定される事故および対策

今回のような重要幹線に極めて近接した線路間および線路下では、軌道陥没、架空線切断、埋設ケーブル切断、接車、短絡など、列車運転支障事故と隣り合わせであるため、細心の注意を払って工事管理をしなければならない。そこで、事前に工種毎に想定される事故を洗い出し、その対策を講じた。

表-2に示すように、掘削、ボーリング作業時における土砂の流出防止対策、凍土造成に伴う軌道の凍上抑制対策、凍土解凍に伴う軌道の沈下抑制対策、それらに対する計測管理が、当現場を無事故で遂行するためのポイントであった。本工事では、軌道の凍上・沈下状況を常に把握すると共に、凍上・沈下の予測を立て計測管理を行った。

§ 5. 計測工

5-1 計測計画

凍上・沈下の計測は下記の方法で行った。

①自動計測記録装置

- ・沈下計、傾斜計、カント計

②水準機(レベル)による軌道の計測

- ・凍結運転時 ; 1回/日の計測とした。
- ・凍結維持運転時; 2回/週の計測とした。
- ・凍結解凍運転時; 1回/日の計測とした。

③目視による軌道状況の確認; 2回/日とした。

変状計測設置位置図を図-6に示す。

5-2 計測管理

列車運行の安全確保のため、軌道、コンクリート擁壁の変位状況を、素早く的確に確認することが不可欠である。ここでは、異常発生時に瞬時に確認できるパソコンをベースとした自動計測記録装置を導入した。また、企業先工事詰所、西松建設現場事務所および協力会社現場事務所に警報ブザーを設置して、異常発生時には異常を即時に告知するシステムとした。

軌道管理基準値を表-3に示し、異常発生時の対応方法を以下に記す。

①目標値を越えた場合

目視によるチェックを行う。

②限界値を越えた場合

直ちに現場作業を中止して、工法の検討、軌道整備を

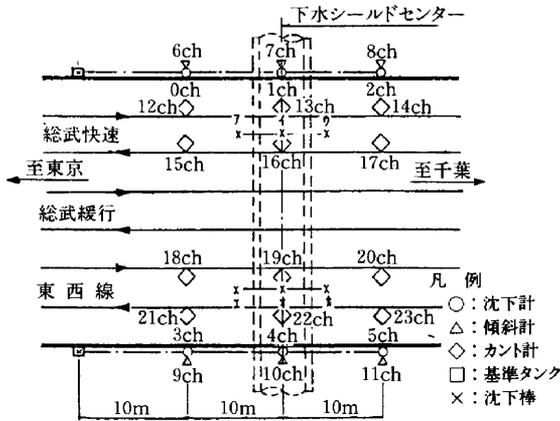


図-6 変状計測設置位置 (平面図)

表-3 軌道管理基準値

	管理目標値	管理限界値
沈下計	6mm	8mm
傾斜計	6mm	8mm
カント計	6mm	8mm

行う。

5-3 凍上・沈下の変位

平成4年3月に現地において調査ボーリングを行い、不攪乱試料を採取した。含水量試験、開放型凍上・沈下室内試験を行い、凍結膨張率、解冻収縮率を設定し、凍上・沈下予測計算を行った。その結果、凍上15~16mm、沈下28mmとなり、軌道管理基準値を超えているため、企業先と打合せを行い、軌道面の変位状況を確認しながら軌道整備を行い対応することにした。これは、凍結、解冻による変位量は1日当たり最大1~1.5mmと緩やかであるため、軌道の変状管理を的確に行えば、夜間の線路閉鎖時間帯における軌道整備で対応できると考えたためである。

凍土造成に伴う凍上・沈下経時グラフを図-7、凍土成長予想図(平成5年1月11日)を図-8に示す。前図は図-6に示すイ、オの位置における沈下棒の測定結果である。なお、レールレベルでの測定結果も、ほぼ同様の変位量であった。

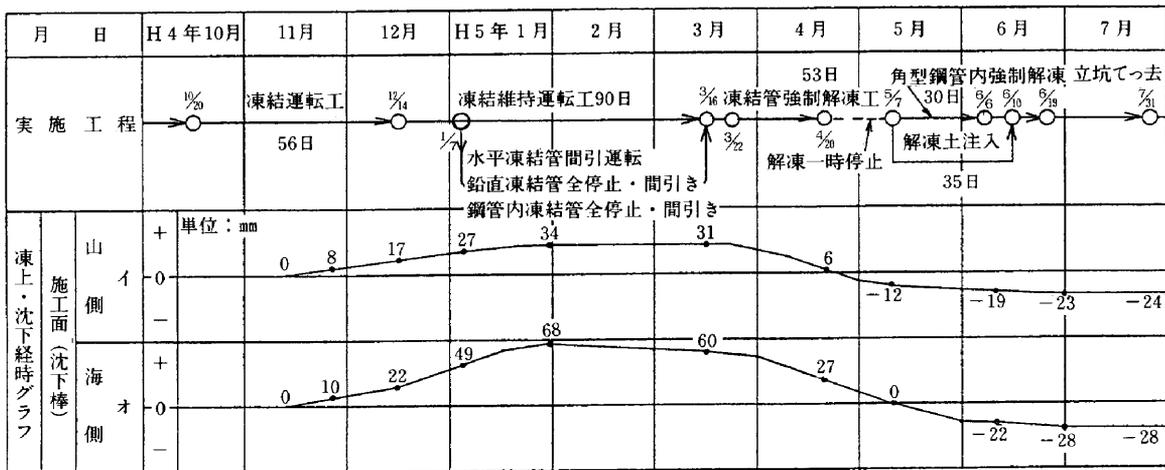


図-7 凍土造成に伴う凍上・解凍沈下経時グラフ

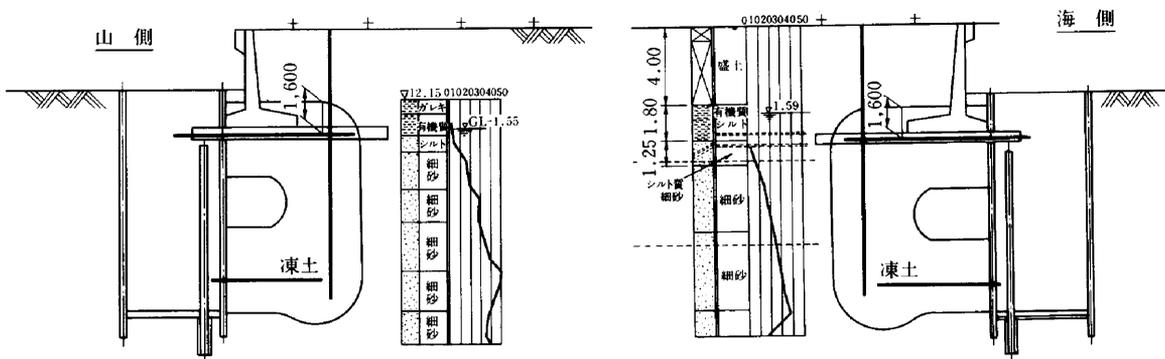


図-8 凍土成長予想図 (平成5年1月11日)

§ 6. 凍土造成に伴う凍上・解凍沈下の考察

6-1 凍上について

(1) 凍上量の増大

上床部（角型鋼管部）の凍結は止水が目的であるため、周囲の凍土と閉塞させるよう、B部掘削（図-4参照）開始時点で片側0.7mの凍土を造成する計画であった。しかし、実施工では片側1.6mの凍土が造成され、凍土量の増大に伴い凍上量が当初の予測値を大きく上回ってしまった。平成5年1月中旬時点では、軌道面において山側快速下り線で+30mm、海側東西線上り線で+56mmの凍上量が計測された（図-7参照）。

凍上量が増加した原因としては、以下のようなことが考えられる。

①擁壁周囲の薬液注入が不十分であったため、擁壁下A部を掘削した際に漏水を生じたが、追加薬液注してもこの漏水を止めきれなかった（山側3.5l/分、海側2.5l/分）。このため、漏水による熱供給で漏水箇所での凍土の成長が遅れて凍結運転が20日間延びてしまったことから、漏水箇所以外で余分な凍土が造成されて全体の凍土量が増大してしまった。

②余分な凍土が造成された上床部の土質が、凍結膨張率の高い有機質シルトであったことから、凍上量の増加をさらに促進させてしまった。

維持運転期間中（掘削、構築時）は、凍土造成抑制対策（凍結管間引き運転、断続運転）を行ったが、凍上量がさらに加算され、最終的に軌道面において山側34mm、海側68mmの凍上を生じた（表-4参照）。

海側に比べ山側の凍上量が少なかったのは、掘削A部（擁壁下掘削部）に薬液を充填しなかったため、その部分に変位が吸収されたことが原因と考える。

(2) 凍上量の出現傾向

凍上の出現範囲は、鉛直凍結管の位置より立坑方向にかけて、凍土の直上が大部分であった。凍土域をはずれた場所では、凍上量が激減している。このことから、当

初、凍上変位は凍土範囲から地表に向かって斜め45°方向に広がって分布すると考えていたが、列車通過の振動により凍土範囲を外れた凍上変位は圧密されてしまい、凍土直上の凍上変位だけがそのまま残ったと推察される。

(3) 軌道整備

凍結運転期間中の軌道の凍上に対しては、企業先と綿密に連絡を取って軌道整備で対応し、列車の安全運行を確保した。凍上に対しての軌道整備実施回数は、山側快速下り線で3回、海側東西線上り線で7回であった。

6-2 解凍沈下について

凍上量が当初計画を大幅に上回ったため、解凍沈下量を計算し直した結果、当初計画された予測沈下量28mmに対して山側45mm、海側70mmと約1.5~2.5倍の値となり、軌道への影響が懸念された。そこで、凍土の強制解凍と並行して沈下防止注入を行い、沈下量の抑制に努めるものとした。

(1) 強制解凍

自然解凍では周辺環境からの熱の供給が極めて緩慢であるため、自然解凍が終了するまでの期間は、地下水流を考慮しても1年以上を要する。したがって、自然解凍とする場合には、長期間に渡って軌道の沈下管理が必要となる。そこで、本工事では、電気ヒーター(150kw)を加熱装置として使用し、凍結管内に温水(60℃)を循環させる方法で、約2ヶ月で強制解凍を行うことにした。

強制解凍の場合、沈下の発生が急激であるため、軌道整備のみで対応するのは危険であると予想された。本計画では、安全性、工期、経済性を勘案し、鉛直管で15~25日、水平管で55日、鋼管内凍結管で30日間の強制解凍を行い、沈下防止注入を行った。

(2) 解凍沈下防止注入

解凍と並行して解凍土中に注入を行うことで、急激な解凍沈下を防止し、沈下量を測定しながら軌道整備を行い、列車運行の安全を確保した。

解凍沈下防止注入の目的は、凍土の解凍に伴う解凍収縮分の充填であるため、注入剤の特性としては、体積収縮が少ないこと、公害性がないこと、充填性に優れていることが要求される。本工事ではこれらの点を重視し、浸透性に比較的優れていて、体積収縮のないデンカESを選定した。

注入方法はロッド注入方式とした。φ40.5mmロッドで擁壁を貫通して解凍土部まで削孔し、先端よりステップバックしながら注入を行った。

強制解凍による凍土の解凍進捗状況および変位計測結果に応じて、注入量を設定して注入を実施した。注入率は注入対象土量の30%、注入量は25m³であった。

表-4 凍上・解凍沈下予測値と実測値

	凍上・沈下予測値				実測値	
	当初予測		最終予測		山側	海側
	山側	海側	山側	海側		
軌道面の凍上量	16mm	15mm	50mm	68mm	34mm	68mm
軌道面の沈下量	-28mm	-28mm	-45mm	-70mm	-24mm	-28mm
擁壁下面の凍上量	—	—	23mm	23mm	6mm	21mm
構築物の沈下量	-7mm	-8mm	—	—	-7mm	-14mm

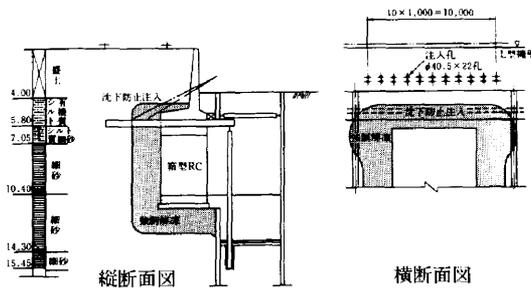


図-9 解冻による沈下防止のための注入範囲

解冻沈下防止注入範囲を図-9に、デンカESの配合を表-5に示す。

(3) 解冻沈下の経緯

軌道の変状を小さく抑えるためには、強制解冻と沈下防止注入を強制解冻開始から並行して行うことが理想である。しかし、凍結範囲の土被りが小さいため、解冻土の空隙が少ない段階で注入すると、注入圧力がこもって地盤隆起を引き起こす可能性があることから、軌道への影響が大きい上床部凍土を除いて、強制解冻を先行させることにした。

平成5年3月15日に凍結運転を停止し、3月22日から鉛直限定凍結管、一部を除く水平凍結管(図-2参照)に温水を循環させて、上床部を除く凍土の強制解冻を開始した。角型鋼管内凍結管、一部水平凍結管への温水の循環は、鉛直限定凍結管の抜去後、5月8日より開始した。

角型鋼管内凍結管、残りの水平凍結管への温水の循環を5月8日から開始し、同時に解冻土へ沈下防止注入を行った。その結果、10日目位から沈下防止注入の効果が出て、軌道面レベルが安定してきた。

6月2日の凍土测温データ、探査ボーリングの結果では凍土が融解しており、軌道レベルの経日変化もほとんど無いことから、解冻完了と判断し、6月7日に強制解冻運転を停止した。

(4) 軌道整備

この間、軌道の沈下に対しては、軌道レベルの測定を綿密に行い、軌道整備で対応し、列車の安全運行を確保した。沈下に対しての軌道整備の回数は、山側快速下り線で5回、上り線で3回、海側東西線上り線で6回、下り線で3回実施した。

6-3 凍結膨張軽減対策および解冻沈下軽減対策

(1) 凍結膨張軽減対策

凍結膨張軽減対策の主なものを以下に示す。

①所要凍結範囲を越える凍土成長の抑制

a. 凍結運転による制御

测温管による温度管理で確実に凍結範囲を把握し、必要に応じて凍結管の間引き運転、断続運転、冷却液の温

表-5 デンカES配合表 (1m³当り)

A 液		B 液	
デンカES	75kg	セメント	300kg
ESセッター	1.0~1.5kg	水	400ℓ
水	475ℓ		
計	500ℓ	計	500ℓ
合計		1000ℓ	

度調整を行い、余分な凍土の成長を抑制する。

b. 限定凍結管の使用

所要凍結範囲外の凍結管に、断熱材の被覆またはヒーター管の添接を行い、凍結管の有効範囲を限定する。

c. 温水管の使用

所要凍結範囲外周に温水管を循環させて、余分な凍土の成長を抑制する。

②凍結膨張量の吸収

凍土域、または未凍土域に、地山抜き取り等で変位を吸収できる空間を設けて、凍結膨張による変位の影響が近接構造物に及ばないようにそこで吸収する。

③吸水膨張の抑制

水は水結する際体積膨張を生じる。したがって、土粒子間の空隙が大きい砂質地盤では、凍結の過程で間隙水が水に押されて排水される。ところが、土粒子間の空隙が小さい粘性土地盤では、地盤の膨張によって毛管圧が増大するため、凍結の過程で周囲の水を吸水する。

砂質地盤は含水量が少ない上、排水しながら凍土が造成されていくため凍結膨張率が低い。粘性土地盤は含水量が多い上、吸水しながら凍土が造成されていくため凍結膨張率が高い。

したがって、粘性土地盤を凍結する際には、遮水壁、薬液注入等によって、周囲からの吸水を抑制する対策が効果的である。

④凍結膨張率の低減

凍結膨張率は地盤内の氷結水量に比例するため、凍結膨張率を低減するためには、余分な含水を排除、もしくは化学反応で分子内に結合させてしまうことが効果的である。この対策工としては、地盤内含水の吸引、セメント系の薬液注入等が挙げられる。セメント系の薬液注入では、透水係数の低減により周囲からの給水が抑制されるばかりでなく、地盤内の含水が水和反応で結合水となり、氷結合水量が減ることで凍結膨張率が低減される。

これらのうち本工事中に適用が可能であったものは、凍結運転による制御、鉛直凍結管への限定凍結管の使用、掘削A部(擁壁下掘り部)での凍結膨張量の吸収、凍

結範囲周辺への止水注入による吸水膨張の抑制である。

(2) 解凍沈下軽減対策

解凍沈下量は、凍結膨張量の戻り分と、地盤内部の乱れによる圧密沈下量を加えたものであるため、当然のことながら、凍結膨張量の軽減が解凍沈下量の軽減につながる。解凍沈下を強制的に抑制する方法としては、強制解凍と並行した解凍土内への薬液注入が挙げられる。

§ 7. おわりに

本工事では、最終的な凍上量が当初予測値を大幅に上回ってしまったが、解凍沈下量は凍結膨張量が大きかったにも拘らず、慎重な沈下計測管理の下で、強制解凍と沈下防止注入を並行することで、当初の予測値に近づけることができた(表一 4参照)。凍上・解凍沈下量が大きかったが、毎日の計測管理、企業先との密なる打合せ、軌道整備によって列車の安全は確保できた。

凍上・解凍沈下は緩やかに生じるため、今回は企業先の意向で経済性を優先させて、基本的に軌道整備で対応するものとしたが、「6-3 凍結膨張軽減対策および解凍沈下軽減対策」をうまく組み合わせれば、凍上・解凍沈下量をもっと小さく抑えることができたと考える。

凍結工法について、今回の工事で得られた知見を以下に示す。

①列車等振動荷重下における凍上特性

通常、凍上の影響範囲は、凍土域から地表に向かって斜め45°方向に広がると言われている。しかし、今回の工事では、凍土範囲の直上のみ大きな凍上量が生じ、凍土域を外れた位置ではほとんど凍上の影響はみられなかった。したがって、軌道下の工事のように列車等の振動荷重が加わる施工条件下では、凍上量の分散は期待できないと考えられる。軌道のたわみのように局所的な凍上量の発生が施工上問題となる場合、この点注意を要する。

②凍上・解凍沈下に対する土質調査の重要性

凍上・解凍沈下量は土質に大きく左右されるため、施工箇所毎に調査ボーリングを行い、凍結範囲の土層構成を明確にすると共に、各土質の凍結膨張率、解凍収縮率は、室内含水量試験、室内凍上・沈下試験等を基に設定する必要がある。

③凍上に対する変位吸収孔の有効性

漏水が原因で、山側、海側共に、凍結運転を20日間延

長したが、山側の凍上量は海側よりも3割程度少なかった。これは、海側では掘削A部(擁壁下掘削部)を追加止水注入で充填してしまったが、山側では掘削したまま放置していたため、凍土造成の過程でこの空間が変位吸収孔として有効に作用したものと考えられる。

④解凍沈下に対する強制解凍・沈下防止注入の有効性

凍結膨張量が当初計画を大きく上回ったにも拘らず、解凍沈下量は、強制解凍と沈下防止注入を並行することで、当初の予測値に近づけることができた。このことから、解凍沈下に対して強制解凍・沈下防止注入が有効に作用したものと考えられる。

⑤凍土の成長に対する地下水流、漏水の影響

地盤中の地下水流は凍土の成長を妨げるため、地下水流の事前調査、施工中の漏水への対応等に留意し、計測管理に努める必要がある。

⑥閉合された凍土域における凍土成長特性

今回の箱型に囲まれた凍土造成では、内側の凍土は外側に比べて約3割多く成長した。これは、凍土壁に囲まれた内側の凍結負荷の減少によるものと考えられる。また、コーナー部は凍結管相互の干渉により、面が取れる形で成長し、未凍土が円筒状となって、凍土掘削量が増える結果となった。以上より、今後、閉合された範囲を凍結する場合には、凍結管列を外側に移動して凍結運転日数を短くする工夫が必要と考える。

⑦凍結運転停止～解凍時における出水対策

凍結運転停止～解凍時に、鋼矢板開口部と躯体との間隙、鋼矢板の切断箇所、凍結管施工部の穴あき箇所等からの出水が想定される。本工事では問題はなかったが、凍結運転中に十分手当てを講じておく必要がある。

鉄道営業線軌道下という特殊条件下での工事であったが、特に問題もなく無事竣工することができた。凍結工法を中心に施工状況について報告したが、今後の同様な工事に対し、少しでも役立てれば幸いである。

最後に、当工事の施工にあたり御指導頂いた関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 社団法人 日本建設機械化協会；地盤凍結工法 -計画・設計から施工まで-，1982。
- 2) 社団法人 土質工学会；土の凍結 -その制御と応用-，1982。