

# 地下鉄建設における凍結工法の利用

——都営地下鉄における実施例——

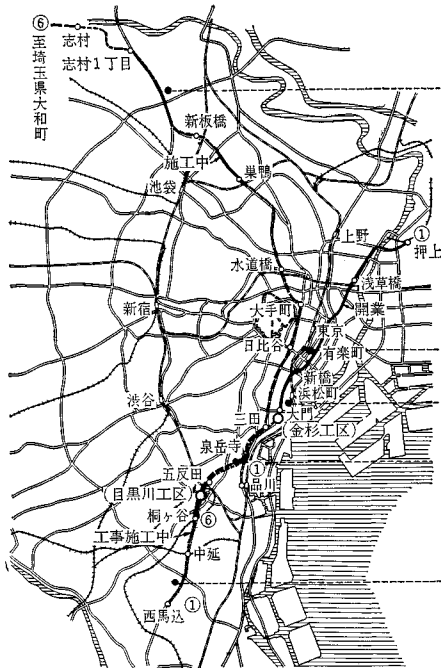
小 倉 宏 三\*

## 1. ま え が き

首都東京のふくそうする都市交通緩和策の一端を担い、東京都交通局では地下鉄1号線西馬込～押上間約18.9kmおよび6号線のうち泉岳寺～志村間約22.5kmを建設することになっているが、すでに1号線では大門～押上間の約8.9kmは開業しており、残区間10kmおよび6号線のうち巢鴨～志村間の約10.6kmを現在鋭意施工中で、いずれも昭和43年度開業を別途として

いる。これらの区間のうち1号線で港区芝浜松町3ノ5先の古川河底横断箇所(金杉工区)と、品川区西五反田2ノ22先の目黒川横断箇所(目黒川工区)に凍結工法を採用している(図-1参照)。

図-1 都営地下鉄路線および凍結工法施工位置図



\* 正会員 東京都交通局高速電車建設本部長

凍結工法は諸外国では主に北方の諸国で19世紀後半頃から利用されていたが、わが国では最近まで施工例がなかった。これはこの工法が土留と止水の有力な手段であることは認められてはいたが、わが国においてはその適用上の問題点の解明が遅れ、またこの工法採用の必要にせまられなかったのがそのおもな理由であろう。

しかし、最近の都市土木工事の施工法は衆知のとおり、路面交通の確保、公害防止、その他の立地条件の急激な変化による制約を大きく受けて急速に変化しつつあり、在来一般に行なわれていた開削工法やケーソン工法などでは施工不能に近いと考えられる箇所でも、建設工事を行なわなければならないところに凍結工法の開発採用の必然性が考えられる。

わが国における凍結工法は、実用的には昭和37年大阪府の守口市で橋梁下の水道管圧入工事に初めて適用されて以来、小口管の埋設工事その他に十数例行なわれているが、大断面トンネル工事への本格的適用は本稿で述べる金杉工区が最初であり、前述したような見地から今後本工法が各種工事に適用されるすう勢にある。

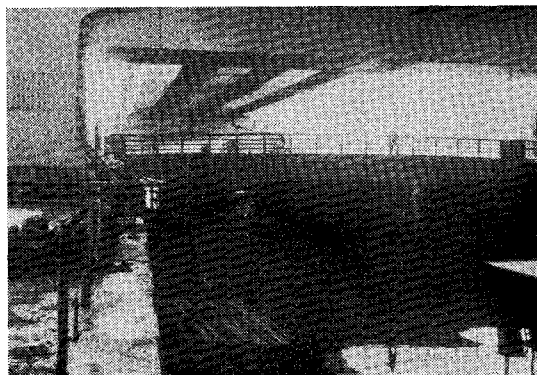
金杉工区では、計画当初では予測しかねた種々の難問題には遭遇したが、現在構築の周囲の土工の凍結は完了し、河底部の凍土掘削とトンネル構築コンクリート打設を続行中で、全体で約90%工事が進んでおり、一方目黒川工区では凍結開始の時期に入っているため、以下金杉工区における施工例を中心として説明する。

## 2. 凍結工法の採用までの経緯

金杉工区に例をとって凍結工法採用までの考え方を説明すると、金杉工区は45000台/日の交通量がある国道15号線(第一京浜国道)に沿い、この15号線は古川を金杉橋で横断しており、地下鉄はこの金杉橋の直下をと

おる。金杉橋は、鉄筋コンクリートの3径間連続桁橋で、昭和2年、中央部の旧橋(幅員16.1m)の両側に幅員10.25mの新橋をつけ足したものである。新旧部分では基礎構造が若干異なっているうえ、きわめて老朽化して

写真-1 金杉橋付近景



いる。古川は就航があるうえ、降雨による出水が早く、いわゆる鉄砲水の状況を呈し、しばしばはんらんする感潮河川である。この古川の上には首都高速道路2号線が川に並行して走り、橋脚は橋をはさんで川の両側に立ち、ケーソン工法で地下鉄掘削基面より深く施工されている。このような状況のもとに、各種工法を比較検討した結果、現状河積をそこなわず、就航にも支障を与えず、なお現場付近で行なった試験くい打ち、土質調査などの結果から、安全性と確実性を主眼としてこの凍結工法を採用した。なおこの工法比較としては、(1) 河川の流水処理方式としては、バイパスによる切回し、樋による仮設的な通水および河床自体をコンクリートによりライニングする方法、あるいはこれらの組合せ、(2) 工事中の橋梁対策としては、橋梁中央部をとりこわして仮橋をつくって道路バイパスとする方式、橋梁はそのままでアンダーピニングする方式、(3) 土留、掘削および構築築造方式としては、くい打ち、薬液注入、ウェルポイント、凍結、開削、ケーソンあるいはトレンチ工法などである。本区間においては、前述したような特殊な条件に適合した現実性のあるものが要求されるわけであり、路面交通および河川に対する支障の程度が重要な問題点で、第一京浜国道という重要路線であるので交通の障害は極力避けねばならず、橋梁の一時撤去が許されるならば、施工は容易になるが、復旧および交通阻害の難点がある。また河川の締切は洪水期間中に施工し、豊水期はできるだけ現状の河積を侵したくない。それゆえ、締切工事はできるだけ避けるべきで、豊水期間中は河川の通水に支障なく工事を続行できるような工法を必要とする。工期、工事費などを考慮に入れて諸工法を検討した結果、おのおの一長一短はあるが、結局現状の河積を損なわず、橋梁はそのままで、舟航にも支障ないという利点、他の工法では土質その他でも現実的に困難であることから、本工事中の土留、しゃ水などに全面的に凍土を利用し、河水通路も全く阻害せず、掘削方式としても最も安全性の高いトレンチ掘削方式を採用することとしたものである。

### 3. 凍結工法適用上の問題点

先にものべたように、わが国における凍結工法の施工例が少ないため、本工法を土木工事に適用しようとする場合留意しなければならない問題がある\*。これを大別するとつぎのとおりである。

- (1) 凍結時および解凍後における土質力学上の問題
  - (2) 凍結機構における熱力学上の問題
  - (3) 低温におけるコンクリートおよびその他の問題
- これらの問題のうち、地中温度と、土の含水比は最も重要な要素であり、前者では約 30°C 以上\*\*、後者では約 8% 以下の場合には適用困難であろう。その他の問題点については適当な補助手段を講ずれば、本工法は適用可能と考えられる。

一般に用いられる凍結工法はブライン工法と呼ばれるもので、冷凍機を用い CaCl<sub>2</sub> 溶液を -20°C ~ -30°C 程度に冷却し、これを循環ポンプにより凍結管回路を循環させて周辺を冷却する方法である。ほかに液体窒素工法があるが、後者は前者に比し、凍結速度が早く、少々の地下水流や湧水があっても凍結可能であるという長所があるが、費用がきわめて割高につくという欠点があり、凍結土量が数 10 m<sup>3</sup> 以下の土を数日間凍結するとか、不意の出水を阻止するなど使用範囲に限度がある。凍結に要した熱量と冷却に費した総熱量の比を凍結効率と呼ぶと、凍結効率はブライン温度 -20°C ~ -30°C が最高で、地中温度 18°C、土の容積含水率 60% の場合約 55% 程度である。

その他の種々の問題点については、理論的、実験的にかなり究明されてきてはいるが、まだ十分とはいえない点があるので、事前に実験室あるいは現地で試験凍結を実施し、これらの資料に基づいて施工している。

事前に実施した試験のおもなものはつぎのとおりである。

- (1) 凍土の体積変化
- (2) 凍土の強度
- (3) 凍結下のコンクリートの受ける影響
- (4) 地下水流の速度と凍結範囲の相関関係
- (5) 凍土のクリープ
- (6) 断熱凍結板の効果

### 4. 凍結工法における配管方式と金杉工区と目黒川工区の主な相違点

地中に凍結管を配置する方法としては、ボーリングに

\* 村山他：地盤凍結工法における 2,3 の問題 (第 21 回年次学術講演会)

遠藤：凍結工法の概要と実際 (カラム No. 20)

\*\* 高志他：土壌凍結工法について (冷凍第 36~39 巻)

よる方法、鋼構体の中やケーソン本体にあらかじめ凍結管を埋込んでおいたものを地中や水底に沈設する方法などがある。ボーリングにより凍結管を配置する方法としては鉛直方式と水平方式があるが、金杉工区では水平方式、目黒川工区では鉛直方式を採用している。

水平方式ではボーリング時の止水や精度に難点があるが、凍土を連続して造成するのに好都合であり、一方垂直方式をとるべきであろう。

凍土の利用目的としては、大別してしゃ水用と土留用があるが、金杉工区では両者を合わせ利用するため掘削箇所を全面的に凍結させており、一方目黒川工区では、しゃ水を主目的とし、土圧に対しては土留ぐい、河水の荷重は鋼桁鋼ぐいで受けるように考え、凍結管は側部土留ぐいの外側に配置している。

目黒川工区では地形の関係で地下水の流速が 5 m/day 程度あり、試験の結果凍結の進行が阻害されることがわかったので、凍結部を包含してその外周に全面的に薬注をして、地下水の流速低減をはかっている。

### 5. 金杉工区における実施例

金杉工区においては、両端の立坑を含め、河底部 45 m のうち凍結区間は 28 m で、その工事内容は表-1 に示すとおりであり、また実施工程は表-2 のとおりとなっているが、以下順を追って工法の概要を述べる（図-2、3、4 参照）。

### (1) 断熱凍結板の設置

古川の流水断面の確保と、施工中凍土が川水（夏期には 25°C 以上となる）の影響により融解するのを防ぐた

表-1 金杉工区河底部工事数量

工 種	数 量
鉄く い 打	$l=18.0\text{ m}$ 128 本
路面 覆 工	
掘削 土 量	8 700 m <sup>3</sup>
凍土 掘削	3 000 m <sup>3</sup>
鉄筋コンクリート	1 540 m <sup>2</sup>
水平凍結管延長	$l=6.00\text{ m}$ , 14.500 m 208 本 2 720 m
凍結 土 量	

表-2 金杉工区工程表

工種	年月	40								41								42										
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
A立坑三田側	土留鉄ぐい打																											
	路面覆工																											
	掘削土量																											
B立坑大門側	土留鉄ぐい打																											
	路面覆工																											
	掘削土量																											
凍結管架設工	凍結管架設																											
	せん孔工																											
	凍結管架設																											
トンネル部	掘削土量																											
	掘削土量																											
	掘削土量																											

図-2 金杉工区平面図

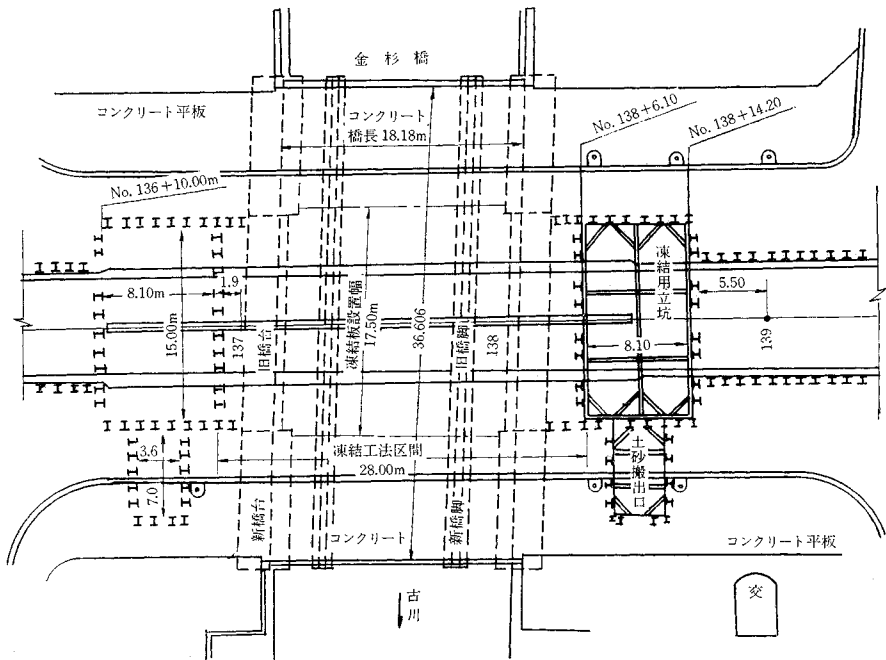


図-3 金杉工区側面図

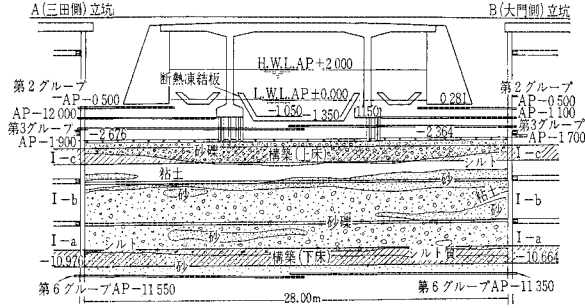


図-4 金杉工区横断面図

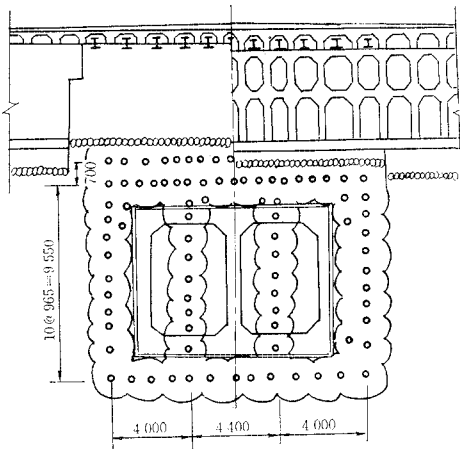


図-5 断熱凍結板

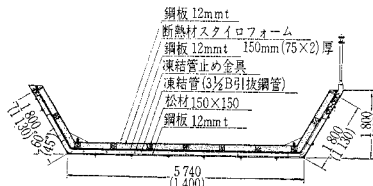
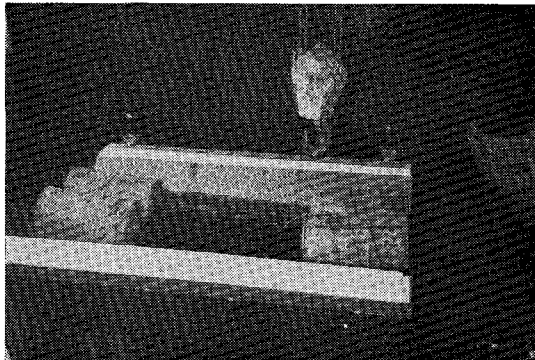


写真-2 フローティングによる断熱凍結板の設置



め、図-5 のように、上部で断熱、下部から凍結できる鋼構造の断熱凍結板を河底に設置し、設置完了後ただちに凍結を開始した。

古川は先に述べたような状況にあるため、流積の減少を避け、舟航に支障を与えないよう断熱凍結板の設置高さを中央径間部では A.P.-1.300 m、側径間部は A.P.-0.300 m とし、設置はフローティング方法によった(写真-2 参照)。

(2) 立坑

断熱凍結板の沈設作業に並行して図-2,3のように幅 15 m、長さ 8.5 m の立坑 2カ所を普通開削工法で掘り下げた。先にあげた問題点の一つに地下水

表-3 金杉工区凍結設備機器明細表

冷凍機 日立 115-FW-12 D (R-22, 50 ~) 標準付属品, 予備品, 特別付属品付	蒸発温度 -26°C, 凝縮温度 30°C, 回転数 965 rpm, 軸馬力 75 kW, 冷凍容量 130 000 kcal/hr	2台
凝縮器 日立 HcF-355 型	凝縮容量 170 000 kcal/hr	2台
冷却器 横型シェル, アンド, チューブ式	熱交換面積 120 m <sup>2</sup>	2台
冷凍機駆動用電動機 日立 S-CRI 型	3 000 V, 50~, 6p, 100 kW	2台
同上用起動抵抗器 日立 VC-SL, CAE-GS <sub>1</sub> FD 10B-OKMV 型		2台
冷却塔 (クロスフロー D-型)	100 RT (332 000 kcal/hr)	1台
冷却水循環ポンプ 日立小型渦巻	130 P <sub>4</sub> -511-11 kW-50~	1台
ブライン循環ポンプ 日立小型渦巻	130 R <sub>4</sub> -519-19 kW-50~	2台
冷凍機 日立 115-FW-6 R (R-22, 50 ~) 標準付属品, 予備品, 特別付属品付	蒸発温度 -26°C, 凝縮温度 30°C, 回転数 1 200 rpm, 軸馬力 50 kW, 冷凍容量 80 000 kcal/hr	1台
凝縮器 日立 HcF-180 (R-22)	凝縮容量 125 000 kcal/hr	1台
冷却器 横型シェル, アンド, チューブ式	熱交換面積 59.5 m <sup>2</sup>	1台
冷凍機駆動用電動機 日立 EFOU-KK 型	3 000 V, 50~, 6p, 55 kW	1台
同上用配電函 日立 FD 10B-OMVI 型		1台
同上用補償抵抗器 日立 GH-15-JI 型		1台
冷却塔 日立 HTC-406 型	128 000 kcal/hr	1台
冷却水循環ポンプ 日立 OV-MH 型	80 φ-3.7 kW-50~	1台
ブライン循環ポンプ 日立 OV-CH 型	80 φ-5.5 kW-50~	1台
配管長さ	○ブライン配管 1 364 m	
○凍結管	2 717.6 m ○ " ヘッダー部 240 m	
○RC板凍結管	545 m ○測温管 619 m	

表-4 目黒川工区凍結設備機器明細表

冷凍機 日立 HMC-115 φF-8 R-50~ 標準付属品, 予備品付	E.T -26°C 1 500 rpm C.T 30°C 軸馬力 75 kW 冷凍容量 113 300 kcal/hr	5台
蒸発式凝縮器	伝熱面積 105 m <sup>2</sup>	5台
冷凍機駆動用モーター 日立 SO-CYI	3 000 V, 50~, 6p, 75 kW	5台
ブライン冷却器	横型シェルエンドチューブ式 60 m <sup>2</sup> ×6台, 120 m <sup>2</sup> ×2台	8台
冷凍機用起動抵抗器	A-GI-100-日立 200 V, 190 A	5台
ブラインポンプ 渦巻式	日立 OV-CH, 5.5 kW, 50~	5台
冷却ポンプ	" 2.2 kW, 50~	5台
冷凍機用配電函	FD 10B-OMVI	5台
冷媒乾燥器	2/台	5台
受液器 (エバコンを含む)	216.8 l	5台
エバコン用モーター (〃)	200 V, 50~, 4p, 3.7 kW	8台
配管長さ	○ブライン配管 2 500 m	
○凍結管	2 920 m ○ブライン配管ヘッダー 900 m	
○RC板凍結管	820 m ○測温管 36本	

があるが、ブライン方式を採用すると2段圧縮機を用いても、ブライン温度は $-45^{\circ}\text{C}$ 程度までしか低下できないので、地下水の流速が大きいと凍結速度の進行に重大な影響を与える。また掘削にともない水をしばり出すことは凍結土の強度に関係する。このため立坑の周囲および底面に止水用薬注を施したが、この注入による止水効果は期待したほどではなかった。支保工は長期にわたるため、万一の出水に備え鋼製支保工を採用している。

### (3) 橋梁補助桁の架設

土を凍結することにより、これに含有されている水が氷結する。この時に土は体積膨張を生ずるが、これは霜柱現象にみられる凍上とは分けて考えられるべきものと思う。これを凍結膨張とよぶことにすると、凍結膨張は土の含水率、間げき率に関係があると考えられるが、実験データもほとんどないので、その量を推定することは非常にむづかしい\*\*\*。したがって本工法を適用する場合は、できるだけ霜柱現象をさけるように凍結配管、凍結順序に考慮を払うとともに、構造物のある場合、その安全策を講じておく必要がある。

金杉工区では、施工に先立って現地の粘土層から資料を採取し、これを三方向とも拘束せずに $-30^{\circ}\text{C}$ の $\text{CaCl}_2$ ブライン中に120時間浸して測定した結果最大1%の線膨張があり、解凍後は0.28%の収縮を認めている。この結果から金杉工区の場合地層の状況から、30mm程度の凍結膨張があると考えられたのと、工事中の不測の事故を防ぐために $\text{H-650}\times 450\times 12\times 32$ を橋台間を支間とする単純はり構造として架設し、鉄筋コンクリートばりをこれで受けた。架設は側径間部、中央径間部の3本に加工したものをひき潮時に船台に載せ、上げ潮時に側径間部の桁をまず押し込み、ついで中央径間部の桁をハイテンションボルトで接合した。

### (4) 凍結設備

金杉工区の凍結設備は表-5のとおりである。

### (5) 凍結配管

断熱凍結板の冷却開始にともなって、河床が50cm程度凍結した後、両側の立坑より凍結管を埋込むための

\*\*\* Gerge J. Low: Soil freezing to reconstruct a railway tunnel(Proceedings of the A.S.C.E. 11-1960).  
岡本他:凍結法の地下鉄工事への応用(建設の機械化199号)

水平ボーリングを開始した。凍結管の設置精度は凍結速度に大きく影響するため、金杉工区ではこの誤差を土

表-5 目黒川工区河底部工事数量

工 種	数	量
鉄 路	$l=16.0$	285 本
く い 打		133 $\text{m}^2$
面 覆 工		14780 $\text{m}^3$
掘 削 土 量		15 本
河 底 設 置 桁		12 枚
凍 結 板		2470 $\text{m}^3$
凍 結 土 量		2650 $\text{m}^3$
鉄 筋 コ ン ク リ ー ト		

写真-3 鉗研式水平ドリル (FS 1型)

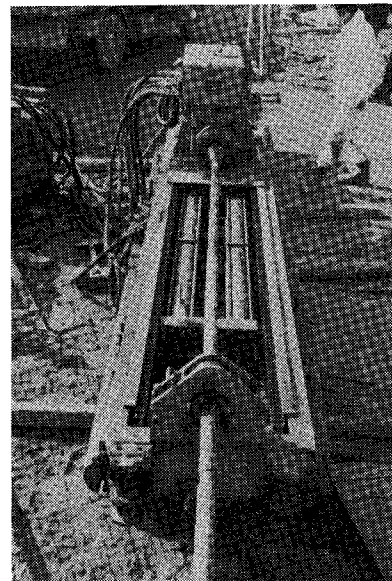
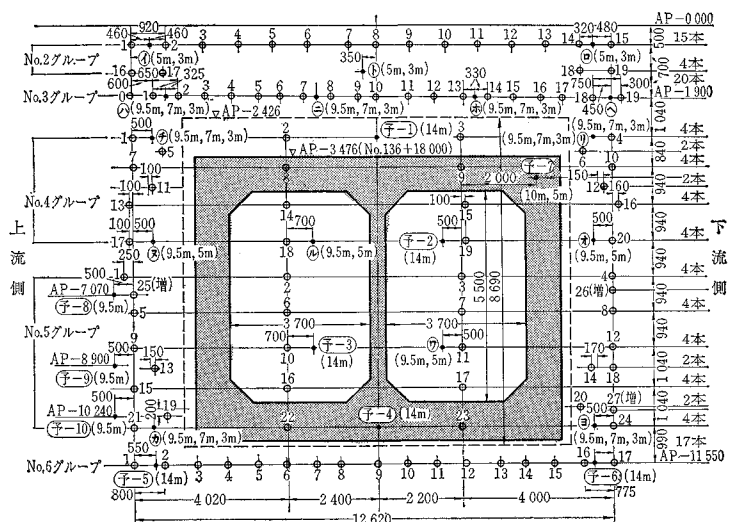
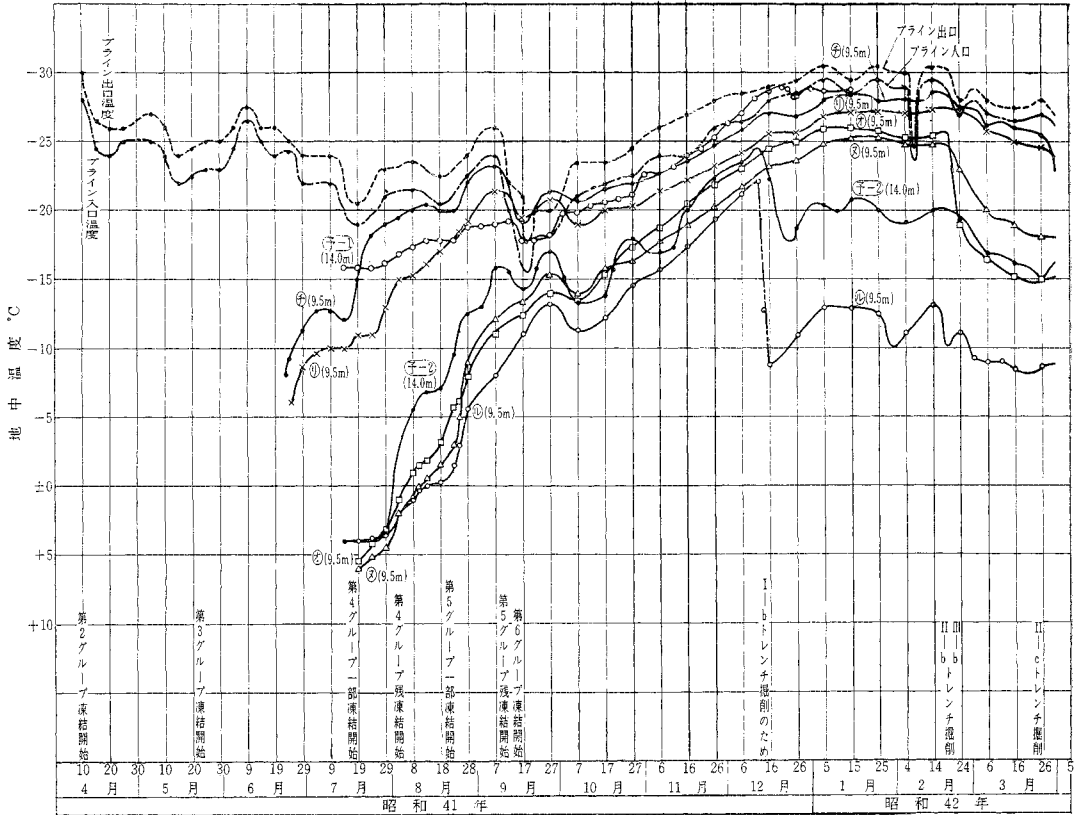


図-6 凍結管および測温管配置図



凡 例 ●(9.5m, 5m) ( )内は測温点の立坑からの水平距離を示す。  
○は水平ボーリングによる凍結管位置を示す。  
注; No.1グループは河底凍結板で本図には記入してない。

図-7 地中温度降下状況図



100 mm とした。水平ボーリングの精度をあげるため、水平ボーリング機械は鉋研式ホリゾンタルドリル F.S.-1 型(写真-3 参照)を特別に製作のうえ使用した。当初計画では、凍結管 28 m を 1 サイド ボーリングで行なうことも考えたが、検討の結果両立坑から 14.5 m ボーリングし、中央でラップさせる方法で実施した。

凍結管の設置精度は、粘土、シルト、砂層では ±50 mm 以内であった。しかし、砂れき層では 4~6 m 掘削したときにケーシングの回転が不能になったり、折損することがしばしばあり、せん孔ができても誤差が大きかった。これはれき(25~30 mm)がケーシングの下にたい積したためケーシングがわん曲したためであろう。このため注入やオーガーを併用して掘進したが、後者による精度は良好であった。また、砂および砂れき層のボーリングの際、当然のことながら出水があったが、この水が河川水か地下水かによってその処置方法が異なる。前述した試験深礎掘削の結果約 60 l/min 程度の出水があることが知られていたため、この程度の出水の場合は凍結管設置完了後瞬結剤を注入して止水した。折損あるいは回転不能になったために廃孔としたものについては、セメントミルクなどを填充し、精度の悪い場合は凍結管の増打をした。

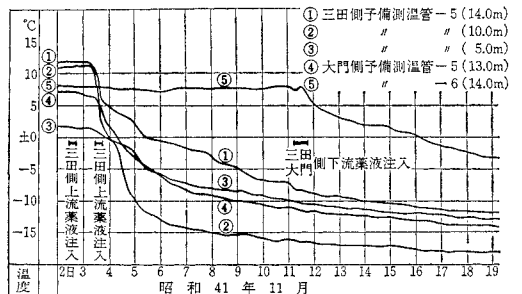
凍結管の配置は図-6 に示すとおりで、外管としては 101.6 mm (外径)の S.T.K.M 鋼管を用い、内管には 48 mm のポリエチレンパイプを使用している。

凍結管先端の閉鎖方法は、当初パッカー方式を考えていたが、この場合ゴムなどでは低温時に漏洩のあることがわかったのであらかじめ溶接して密閉したパイプを挿入した。挿入後、炭酸ガスにより耐圧テスト(10 kg/cm<sup>2</sup> 15 時間以上)しチェックした。

(6) 凍 結

凍結管の配置が完了したら順次上部グループより凍結

図-8 薬液注入後の地中温度降下状況図

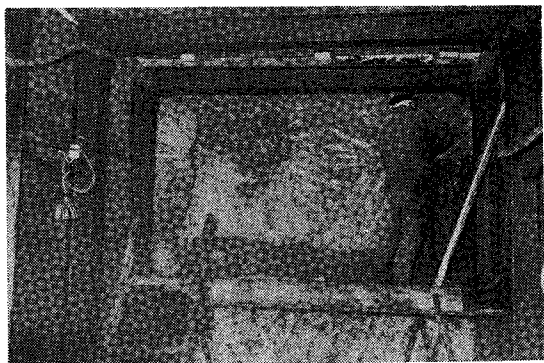


を開始した。No. 3 グループの凍結時までの地中温度の降下は左岸のほうが右岸のほうがより早かったが、一般的にみると、凍結速度はほぼ理論値どおりで、むしろそれより早く進んでいた。しかし、局部的に温度降下が凍結後間もなく定常状態（図-7 参照）になっているのがみられたが、これは凍結管の周囲から立坑へのろう水があったためで、薬注により止水したら、急激に温度の降下がみとめられた（図-8 参照）。

### (7) 凍土掘削

掘削はトレンチ工法で施工し、掘削順序は図-13 に示すように、まず中央部最下段、ついで中段、上段を掘り進む。中央部の構築が完了したら両側部を同様に掘削し、継なぎ部分は逆に上段から掘り進むようにしている。掘削開始を当初は最終凍結から 50 日後と予定して

写真-4 凍土の掘削状況



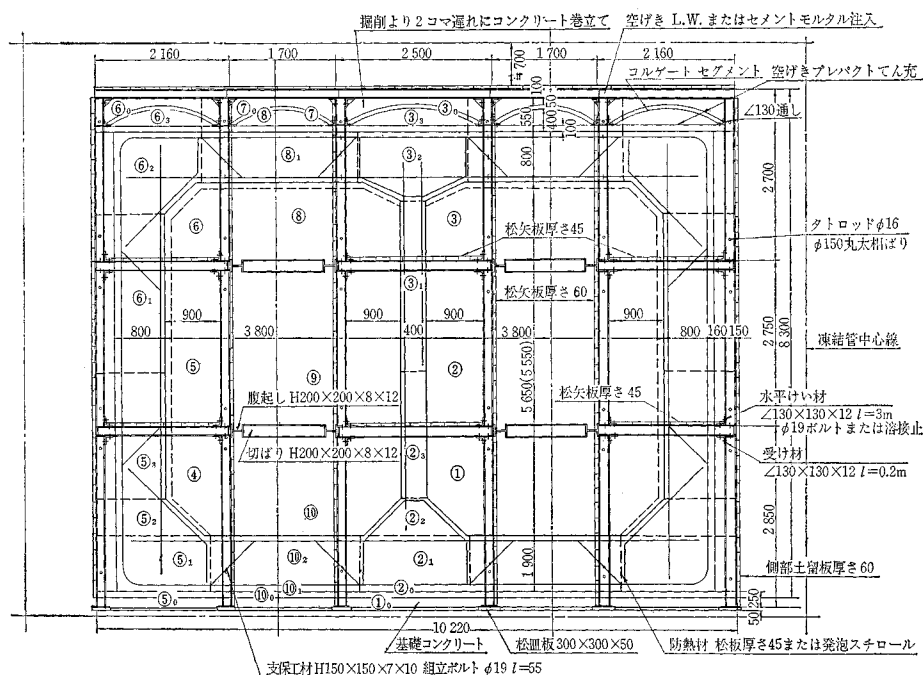
いたが、一部ろう水があったので、このろう水がなくなるまで待つことにした。さらに慎重を期するため、最初の掘削箇所である中央下段部の出水の有無および凍結確認のためのボーリングを行ない、昭和 41 年 11 月 20 日から掘削に入った。

凍土が非常に堅いため、掘削方法に熱を利用する方法などを検討し、現地で試験をした結果ピックハンマーが最も効果的であることがわかったので、ピックハンマーを使って掘削している。現在は、中央と両側の計 3 本

写真-5 粘土の凍結状況（縞状になっているのは氷である）



図-9 トレンチ支保工施工順序図



および上床つなぎ部分のトレンチ掘削が完了している。  
土留の基本的な考え方は、凍土で外力に抵抗させる

写真-6 ブレーサーによる上床コンクリートの打設状況

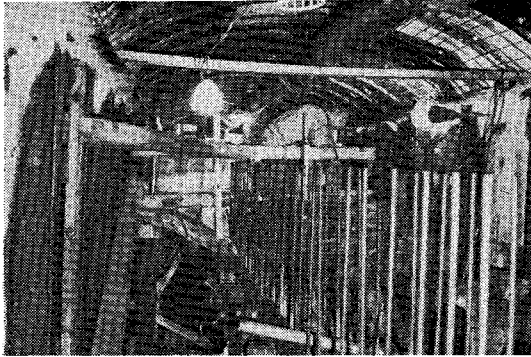


図-10 コンクリートの温度変化図

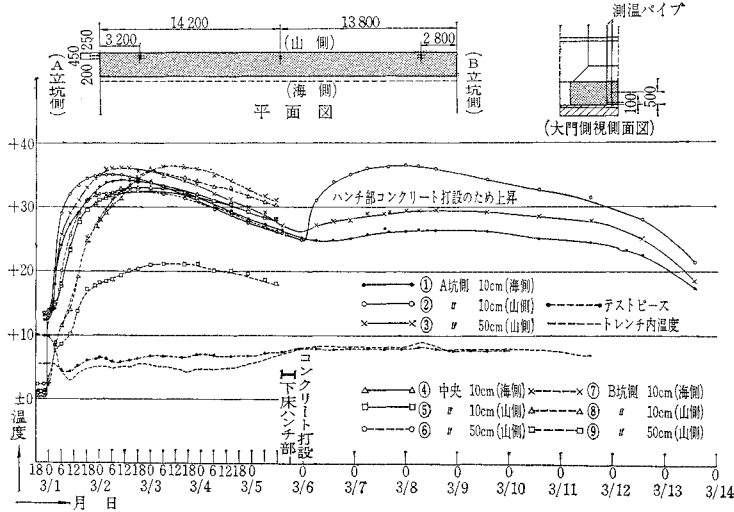
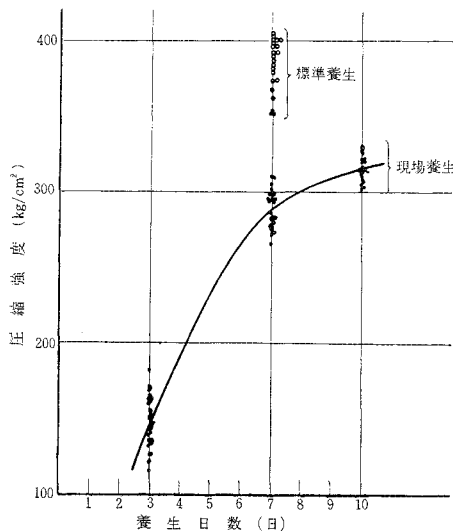


図-11 コンクリートの強度



が、凍土のクリープなどを考慮に入れ慎重を期するため鋼製支保工を使用し(図-9参照)、埋殺している。掘削は両立坑より掘進し、1坑口平均1.4m/dayの進行であるが、鋼製支保工はもう少し簡単にできると考えられる。

### (8) 構築

坑内が狭く、特に天端では河床との関係でクリアランスをほとんどとれないので異形鉄筋を使い配筋方法も簡便化し、上床筋の継手は鍛造ねじによるスリーブジョイントを用いている(写真-6参照)。

表-7

セメント : 401 kg/m <sup>3</sup>	水 : 171 l/m <sup>3</sup>
細骨材 : 661 ♪	AE剤 : 100 cc/m <sup>3</sup>
粗骨材 : 1115 ♪	w/c : 42.5%
	$\sigma_c$ : 270 kg/cm <sup>2</sup>

コンクリートの配合はw/cを小さくすることにつとめ、また短期間に凍害を受ける心配のない強度を発現させることを考え早強セメントを用いている。配合は表-6のとおりである。

養生は凍土壁に接する面のみを温床線(500W/60m)で保温しており、コンクリートの温度をサーミスターで測定するとともに、坑内で養生したテストピースの3日、7日、10日強度から構造物のコンクリートの強度を推定しているが、7日強度はすべて設計強度の270kg/cm<sup>2</sup>以上となっている(図-10, 11参照)。

### (9) 現状

施工途中に種々の障害に出会い工事は難航したが、現在(42年6月)金杉工区では側部トレンチの掘削と構築が完了し、上床部分の構築がつながり、7月下旬には凍結区間のトンネルが完成する予定である。

### 6. 目黒川工区の概要

目黒川工区の施工計画概要はつぎのとおりである(図-12, 13参照)。

- (1) 垂直ボーリングによる凍結管の設置
- (2) アースオーガーを使っての土留ぐいの建込み
- (3) 地下水の流速を減少させるための薬液注入
- (4) 垂直凍結管による凍結
- (5) 河水荷重を受けるための桁の架設
- (6) 断熱凍結板の設置および橋台下の扇形凍結管の



図-12 目黒川工区平面図

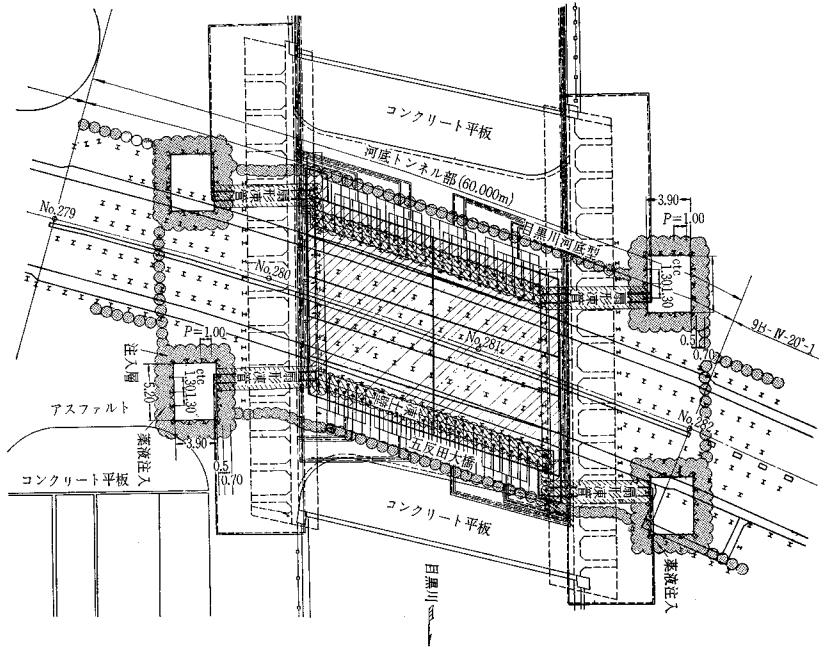
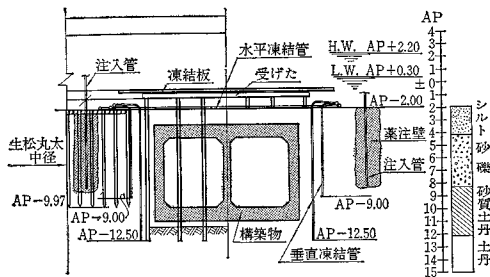


図-13 目黒川工区断面図

7. 結 び



ボーリングと管の設置

- (7) 断熱凍結板および扇形凍結管の凍結
- (8) トレンチ内の薬液注入
- (9) トレンチの掘削および構築打設
- (10) 解凍および凍結設備の撤去

目黒川工区の工事内容および凍結設備は表-4.5に示すとおりである。

凍結工法の古い歴史は、三国志をひもどけば、約 1750 年前の西暦 211 年に、魏の曹操と北夷の馬超が渭水を境に初夏より対戦して勝負がつかず、曹操の軍師夢梅の進言によって氷の城を造って北夷を討ったという記録の中に、夢梅の言は「秋から冬にかけて北風が強くなります。土石で築地を構築して夜半に水をかけておけば一夜にして凍りつき、火、水にも潰えない城ができ、春までには敵を打ち負かせます」とある。

おわりに本工法の検討段階および試験の実施などにあたり、ご審議、ご指導、ご協力を戴いておる東京都高速電車建設技術委員会の諸先生、京都大学教授 村山博士、当局関係職員と施工業者西松建設(株)、飛島建設(株)および精研冷機(株)の関係各位に深く謝意を表するとともに、今後のご指導、ご批判をお願いする次第である。

トンネル工学  
シリーズ 4

わが国シールド工法の実施例・第 1 集

標記の図書は、昨年 11 月に行なわれた第 3 回トンネル工学シンポジウムに使用したもので、本書には昭和 41 年 3 月までに実施されたわが国でのシールド工事 158 件の実施例が詳細にとりまとめてありますのでぜひご利用下さい。

体 裁：B5判 338 ページ・表 117・図 218  
定 価：2200 円 会員特価：1800 円  
送 料：100 円