

凍結工による既設地下変電所への 管路の接続について

戸田 哲哉¹・小松 隆晴²

¹大成建設・五洋建設共同企業体（〒542-0081大阪府大阪市中央区南船場1-14-10）

²関西電力㈱ 電力システム技術センター（〒530-6691大阪府大阪市北区中之島6-2-27）

本報文は、道路幅員等の制約から直接シールド機を既設変電所に接続できない施工条件のもと、管路と既設変電所を繋ぐ接続部（ボックスカルバート構造）の構築を、稼働中の変電所構内から非開削で施工した事例について報告する。

接続部防護工として採用した凍結工法，造成された凍土内の閉鎖された空間での構造物構築の計画から施工について主に記す。

キーワード 管路，接続，非開削，凍結工法，セグメント切開き

1. はじめに

(1) 概要

本工事は、将来の電力需要に対応すべく、関西電力㈱が整備している送電事業の一環で、国土交通省が整備中である御堂筋共同溝の分岐立坑と、大阪市内の既設変電所を繋ぐ分岐管路を構築する工事である（図-1）。

管路は延長約200mで、管路外径1,800mmの泥土圧シールド工法で構築する。構築する管路内には電力ケーブル用配管を20孔配管する。

本工事では、管路到達部の道路幅員等の制約から新設管路を既設変電所に直接接続ができないため、新設管路と既設変電所を繋ぐ接続部（ボックスカルバート構造）を、稼働中である既設変電所構内から非開削で施工を行った。本報文は、接続部の防護工として採用した凍結工法，及び凍結工法施工下における構築工までの計画と施工について報告する。

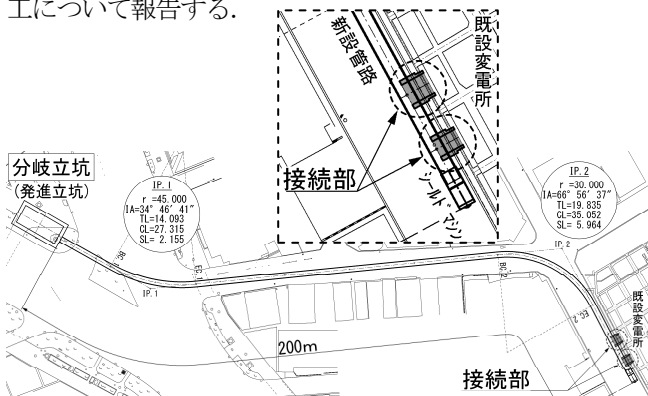


図-1 線形平面図

(2) 工事数量

- ・シールド機 : 1基（泥土圧シールド）
- ・一次覆工 : 200m（内径1,644mm）
- ・セグメント : 432R（スチールセグメント）
- ・発生土処理 : 741m³
- ・接続部防護工 : 1式（凍結工法，対象土量160m³）
- ・接続部構築 : 2箇所（ボックスカルバート構造）
- ・管内配管工 : 184m
- ・管内充填工 : 404m³

2. 施工箇所概要

(1) 接続部地上部

接続部構築箇所は、交通量の多い道路幅員約8.7mの市道直下に位置し、直上にはΦ1,060mm下水道管，Φ150mmガス管等の種々の埋設管が存在する（図-2）。

計画当初，既設変電所接続箇所へはシールド機を直接到達させる計画であったが，道路幅員が狭く変電所接続箇所に直角に接続する線形が確保できず，また線形を確保して斜めに接続させる際は，接続箇所の開口補強工が過大になり稼働中の変電所構内での施工に支障が生じる恐れがあった。

そのため，今回は管路を接続箇所に平行に構築し，管路途中の接続箇所のスチールセグメントを切開き，管路と既設変電所を繋ぐ接続部（ボックスカルバート構造）を現場打ちで構築した。

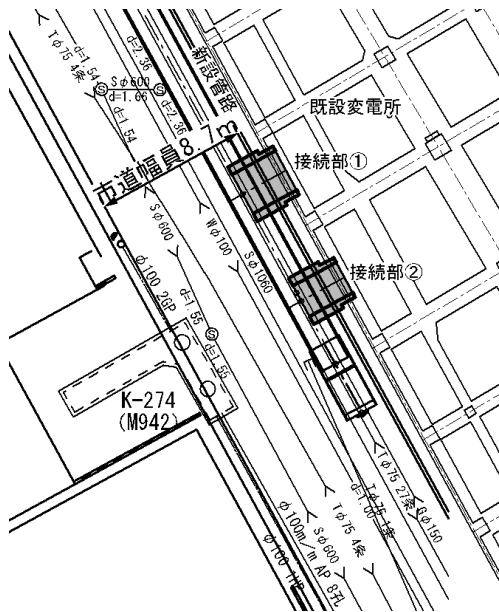


図-2 接続部地上部平面図

(2) 地質条件

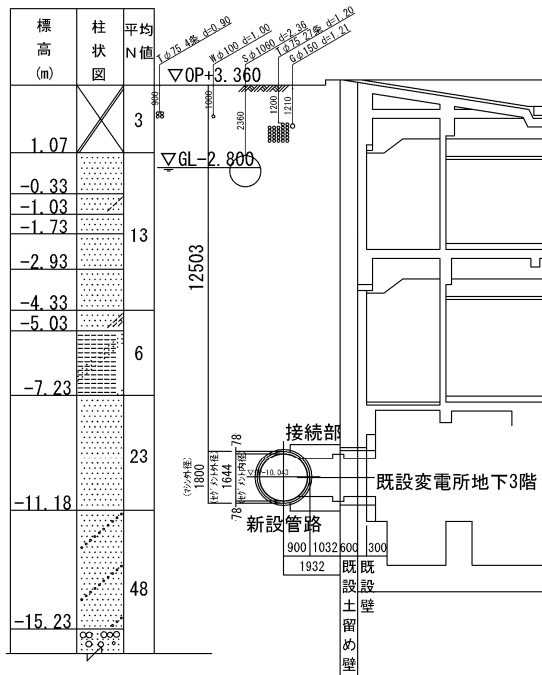


図-3 地質柱状図

接続部構築箇所の地質柱状図を図-3に示す。

接続部の土被りは12.5mであり、第二沖積砂質土層（As2槽、N値23程度）に位置する。設計で設定した土質条件は表-1に示す通りである。

表-1 接続部地質条件

地層区分	平均N値	γ [kN/m ³]	C [kN/m ²]	ϕ [°]	λ	k [kN/m ³]
B	3	20	0	30	0.55	4700
As1	15	18	0	34	0.55	7300
Ac1	6	18	58	0	0.60	7500
As2-1	23	20	0	36	0.50	28000
As2	48	20	0	40	0.40	50000
Ac3	9	17.5	141	0	0.55	11200
As3	33	20	0	40	0.35	50000
Ac3	12	17.5	141	0	0.55	11200
Dg1	60	21	0	40	0.35	50000

3. 接続部構造概要

(1) 接続部形状寸法

接続部の形状は、将来引き込まれる電力ケーブルの最小曲げ半径と、通路幅を考慮して必要内空寸法を決め、構造計算の結果、図-4、5に示す形状に決定した。尚、引き込まれる電力ケーブルの本数、最小曲げ半径より、接続部は2箇所構築した。

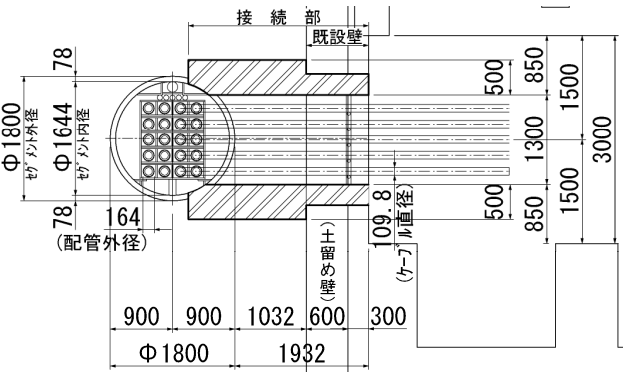


図-4 接続部側面図

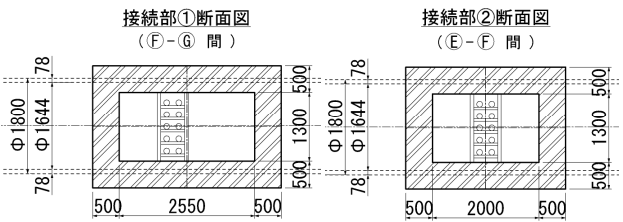


図-5 接続部断面図

(2) 接続部セグメント切開き部構造検討

接続部セグメント切開き部の発生断面力は、切開き後Cリングモデルの支点条件を固定端として検討した。端部に発生する断面力を図-6に示す。

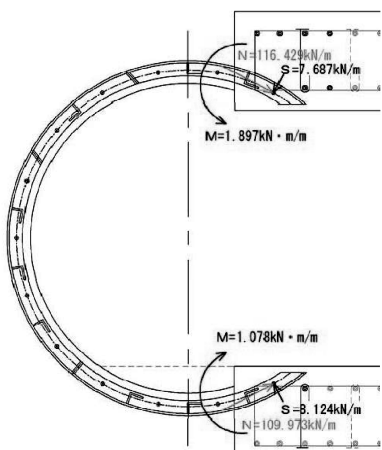


図-6 セグメント切開き部発生断面力

セグメントに作用する軸力をコンクリートに伝達するシアコネクタとして、セグメントの縦リブ（または主桁）を50mm残置する構造とした。1m当たりの軸力を6

枚のシアコネクタ（3リング分）で負担させた。また、端部に発生する曲げモーメントとせん断力に対する補強として、U字鉄筋を配置した（図-7）。

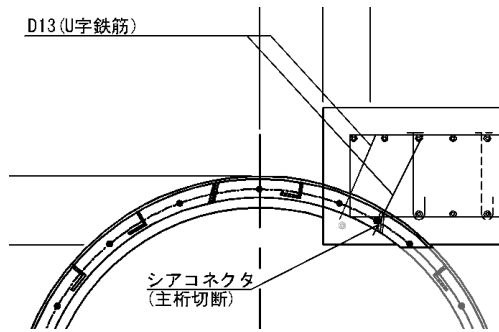


図-7 端部補強U字鉄筋

4. 接続部防護工

(1) 防護工工法選定

接続部地上部は、交通量の多い幅員の狭い市道で、且つ、埋設管が多く存在するため、防護工の施工も稼働中の既設変電所構内から施工でき、地盤強度が確保できる工法として、MJS工法（高圧噴射攪拌工法）と凍結工法を候補とした。

施工箇所となる既設変電所は大阪繁華街の電気を供給する重要な変電所であることから、止水性の信頼性が高く、高い地盤強度を確保できる工法として凍結工法を採用した。接続部の土被りは12.5mであるが、構築する接続部は砂層に位置することから、凍結に伴う膨張圧の発生による凍上や解凍沈下等による既設変電所、路上に与える影響も軽減できると判断した。

(2) 凍結範囲の決定

図-8に凍結工計画図を示す。

凍結範囲は、変電所壁と管路セグメントとで固定された両端固定梁と考え、必要凍土厚を算出し決定した。尚、設計で用いた凍土（砂質土）の強度は、塩分濃度0%、凍土平均温度-10℃の時の値として、表-2に示す値を使用した。

表-2 凍土の設計強度

	σ_u
圧縮強度 σ_{uc} (kN/m^2)	4,500
曲げ強度 σ_{ub} (kN/m^2)	2,700
剪断強度 $\sigma_{u\tau}$ (kN/m^2)	1,800

凍結管の配置は、熱的条件等を考慮して掘削面より40cm離れた外側に80cm間隔で埋設することを基本とし、掘削面から壁厚12mの凍土を造成できるよう配列した。

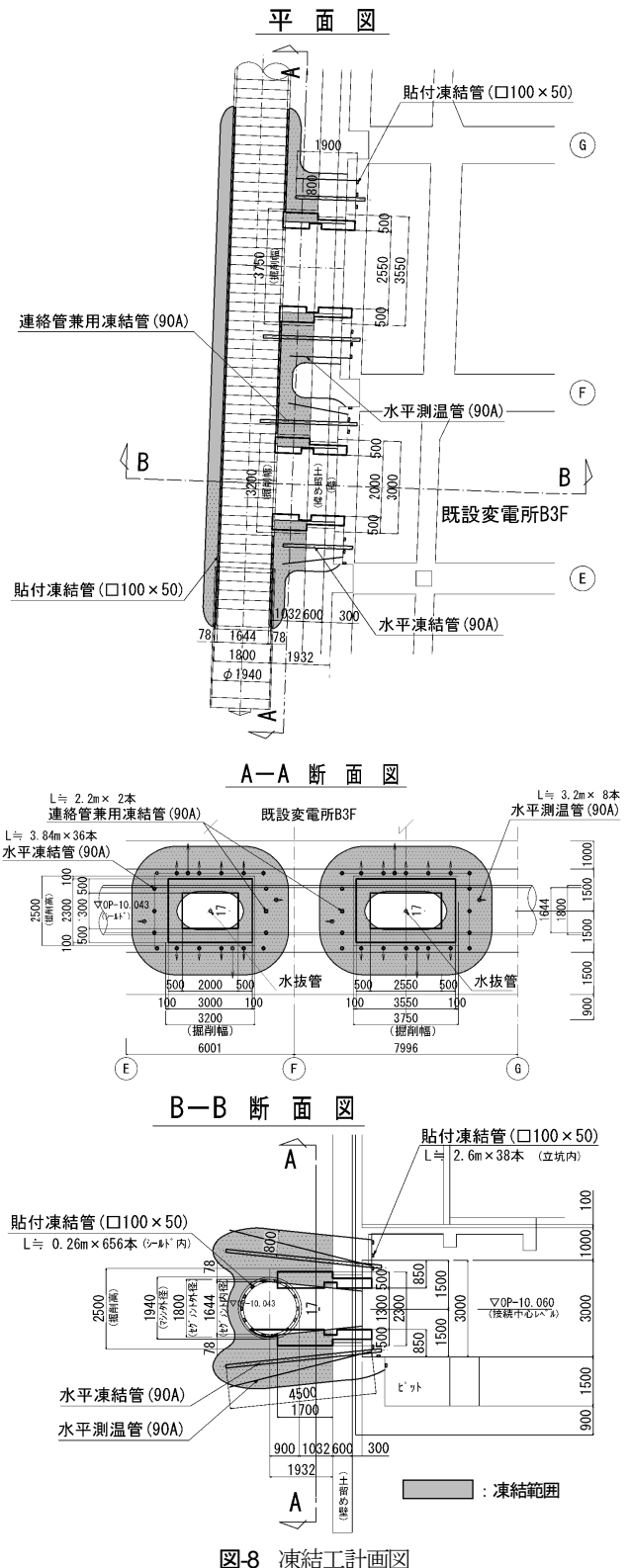


図-8 凍結工計画図

掘削部の上・下部は、埋設位置の制限から掘削面からの離れを最小となる位置で20cm、管路部中心位置で40cmとなるように斜めに凍結管を埋設し、掘削面から最小壁厚1.0mの凍土を造成できるよう配列した。また、接続部外周に造成する凍土壁と、既設変電所及び管路との凍着は、既設変電所内面、管路内に設置した貼付凍結管により確保した。

(2) 凍結工数量及び諸元

- ・水平凍結管 (90A, L≒3.84m) ×36本
- ・水平凍結管 (90A, L=2.2m, 連絡管兼用) ×2本
- ・貼付凍結管 (□100*50, 管路内) 168m
- ・貼付凍結管 (□100*50, 変電所内) 99m
- ・測温管 (90A, L≒3.2m) ×8本 (測温点3点/本)
- ・水抜き管 (90A) ×2本
- ・凍結装置 100型 (75kW) 凍結ユニット×1台
- ・運転日数 造成27日+維持60日=87日
- ・凍結土量 凍土造成完了時 約160m³
- ・強制解凍 7日間
- ・コンクリート養生 断熱材 (t=50mm) 41m²
- ・コンクリート養生 温床線 (500W) 280m
- ・コンクリート養生 温水管 (20A) 125m

(3) 凍結管理

a) 地中温度計測管理

耐力壁として凍土厚の安全率が2.0を下回らないよう地中温度を設定し、測温管に設置した測温素子の温度を計測し、設定値との比較を行い管理した。地中温度計測結果の一例を図-9に示す。

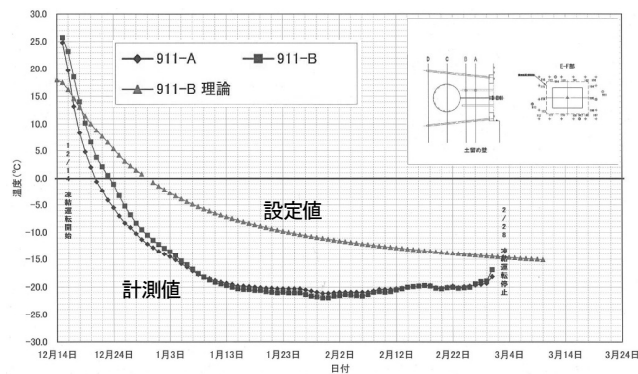


図-9 地中温度計測結果 (一例)

b) 凍着部温度管理

既設変電所壁面と凍土、新設管路と凍土と接触面の温度を計測し管理した。

c) 凍土面目視管理

造成完了後、露出した凍土面は外気や管路内の換気の熱により肌落ち等が生じるため、目視で確認し管理した。

d) 地表面計測

凍結運転開始後は、定期的に地表面の変状確認のため水準測量を実施した。

e) 管路内変位計測

凍土造成に伴う膨張圧の発生による管路の変形を確認するため、管路坑内の内空変位を計測し管理した。2箇所ある接続部のそれぞれセンターに位置する箇所はレーザー距離計を用いた自動計測を行い、他の測点については手動で内空を測定した。内空変位計測は、接続部構築に伴うセグメント切開き時にも計測値を用い管理した。測点位置を図-10に示す。

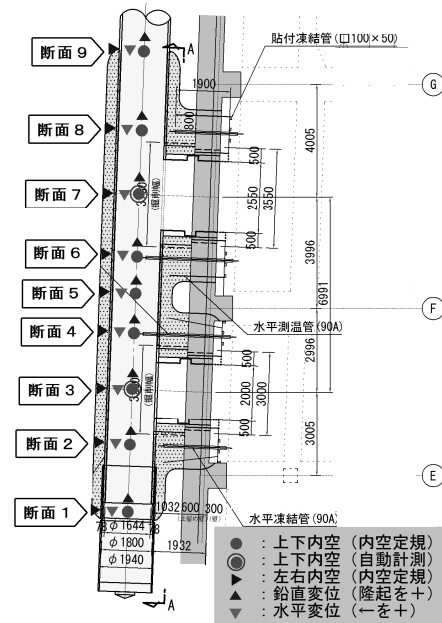


図-10 管路内空測定測点位置図

(4) 凍結プラント配置

凍結工のプラントは、地上部は交通量の多い市道部は道路使用による交通影響が懸念されたため使用せず、関西電力株敷地の一部に受電設備とクーリングタワーを配置し、冷凍機他の設備は全て接続部施工箇所となる既設変電所地下3階に配置した。

6. 接続部構築

(1) 接続部構築施工フロー

接続部構築の施工フローを図-11に示す。

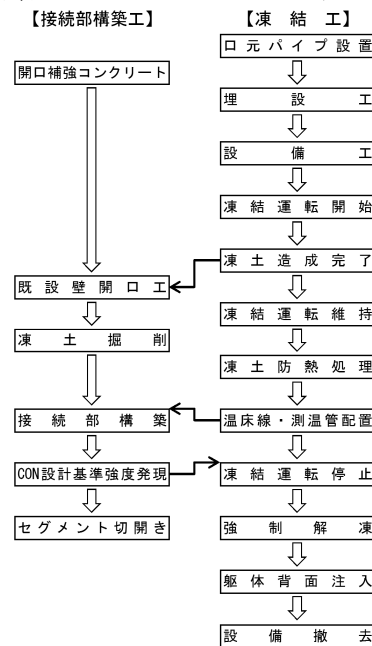


図-11 接続部構築施工フロー

尚、凍土の掘削は、ブレーカ、エアチッパーを使用した人力掘削を行った（写真-1）。



写真-1 凍土掘削

(2) コンクリート配合の決定

a) コンクリート打設リフトの決定

稼働中の変電所構内におけるコンクリート打設となるため、打設回数減らすため底版部と側壁・頂版部の2回に分けるリフト割りとした。

b) 高流動コンクリートの選定

接続部側壁・頂版部は凍土で覆われた閉鎖された空間におけるコンクリート打設となること、セグメント切開き部のため過密配筋になることから、振動締め作業ができない。そのため、振動締めを行わなくても、材料分離を生じさせることなくコンクリートを型枠の隅々まで充填させることができる自己充填性を有する高流動コンクリートを選定した。

高流動コンクリートは、試験練りを行い、流動性確認のためのスランプフロー試験（設計値60cm、実測値62.0*60.4cm）、U形充填装置を用いた間隙通過性試験（実測値349mm）を実施した（写真-2、3）。表-3に本工事で使用した高流動コンクリートの配合を示す。凍害防止としてのセメントの発熱を期待し、普通セメントを使用した。



写真-2 間隙通過性試験



写真-3 スランプフロー試験

表-3 高流動コンクリート配合

セメント種類	呼び強度 N/mm ²	水セメント比 W/C %	単位量 kg/m ³					
			水	セメント	細骨材			粗骨材
普通	36	44.0	175	398	海砂	砕砂	石灰石砕砂	石灰石
					264	264	367	839

※混和剤にグレニウム6500（高性能AE減水剤）を使用

c) 温度応力解析

コンクリートの配合決定後、凍土に接してのコンクリート打設となるため、コンクリートの温度応力解析を行った。解析モデルを図-12に示す。

解析での凍土条件は、凍土を設定するのに断熱材から0.5m離れた位置で-15℃に固定し、打設前における断熱

材表面の温度を0℃、背面を-6℃とした。またコンクリート打設後1週間で固定を解除することとした。解析結果を表-4及び図-13、14に示す。表-4に示す通り、底版部、側壁・頂版部共にひび割れ確率5%以下の結果を得た。

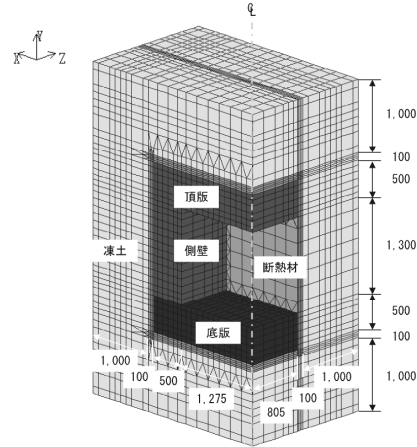


図-12 温度応力解析モデル

表-4 応力解析結果

部位	セメント 種類	打設 温度 (℃)	温度 (℃)	材齢 (日)	最小ひび 割れ指数	応力 (N/mm ²)	材齢 (日)	ひび割れ 発生確率 (%)
底版	N	11.3	42.9	1.8	5.18	0.69	22.3	5.0 以下
側壁+頂版	N	11.8	34.2	1.5	3.32	1.13	55.0	5.0 以下

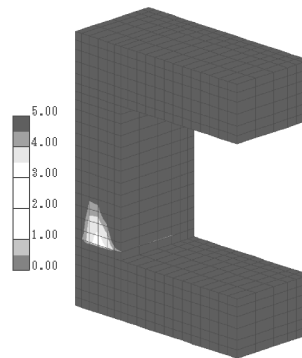


図-13 ひび割れ指数分布図

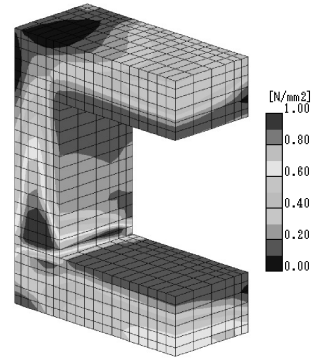


図-14 応力（σ1）分布図

(3) 止水対策

接続部構築に当たり、想定した漏水経路と止水対策を図-15に示す。

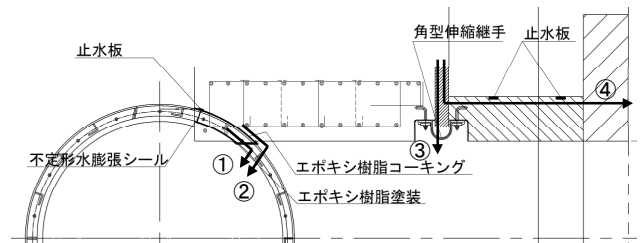


図-15 想定漏水経路と止水対策

セグメントリング継手面からの漏水（図中①）に対しては、管路構築時にセグメント切開き部を定め、予め端部にセグメントシールを法線方向に貼り付け止水対策と

した。セグメント外周から回り込む漏水（図中①），及び既設変電所躯体と接続部の水平打継ぎ部からの漏水（図中④）は，水膨張性の止水板を設置した。また，既設変電所壁と接続部の鉛直打継ぎ部からの漏水（図中③）は，角型伸縮継手（可とう継手）により止水した。

(4) コンクリート凍害対策

接続部コンクリートは凍土で覆われた箇所でのコンクリート打設となるため，凍土熱によるコンクリートの凍害対策として次の対策を行った。

a) 既成品コンクリート板の使用

凍土上での均しコンクリートは厚みも薄く氷結してしまうことが懸念された。また凍害防止として断熱材（グラスウール）を設置すると，軟質なため上部にコンクリート自重が载荷された際に沈下が生じる。そのため，均しコンクリート代替として，既製品コンクリート板（ $t=45\text{mm}$ ， $\sigma=24\text{N/mm}^2$ ）を使用した。

b) 温床線の設置

コンクリートの初期凍害を防止するため，凍土面に接する側部，頂部は断熱材を設置すると共に，断熱材前面に温床線を配線した。底部の既製品コンクリート板上も同様に温床線を配線した。温床線の配列は，コンクリートの養生温度を7日間 5°C 以上確保できるよう施工条件に応じた熱計算を行い， 30W/m の温床線を 40cm 間隔以下で配線した（図-16，写真-4）。

c) 温水管の設置

既設変電所壁開口箇所は凍害対策として温水管を配管した（図-16，写真-5）。コンクリート温度を7日間 5°C 以上確保できるよう熱計算を行い，打設するコンクリート内面から 25cm の位置に， 20cm 間隔で温水管（20A）を配管し， 20°C 以上の温水を循環した。

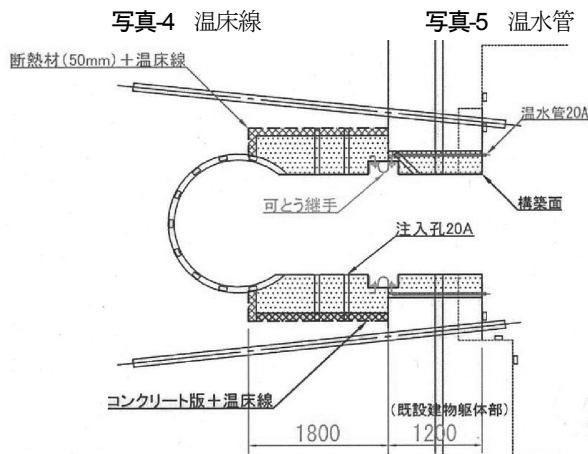
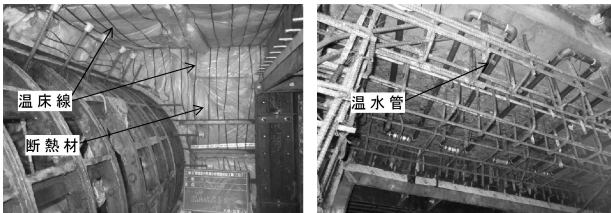


図-16 コンクリート養生概要図

(5) 強制解凍，背面注入

接続部コンクリートの設計基準強度確認後，躯体周りの空隙を可能な限りなくすため，強制解凍を行った。強制解凍は凍結造成時に使用した凍結管を温水管として転用し，約 60°C の温水を7日間連続して循環した。

強制解凍施工後，解凍により生じる躯体外周の空隙を充填するため，背面注入を行った。背面注入は，構築時に底版，側壁，頂版に予め設置した注入孔（20A）から，強度を確保でき，流動性を持った材料を注入した。

7. まとめ（施工結果）

(1) 地表面計測結果

凍結工施工開始前から接続部構築完了後2ヶ月の間，施工箇所直上部の地表面沈下計測を実施した結果，各施工段階での急激な変状はなく，20測点の最終計測結果は -1mm から $+2\text{mm}$ の範囲で，凍結工による地上の変状はほぼ生じることなく施工できた。

(2) 管路内内空計測結果

凍土造成中の膨張圧，セグメント切開き時のセグメントの変状を確認するため，管路内の内空変位計測を実施した結果，凍土造成中，セグメント切開き時ともに内空変位は最大で 2mm 程度であった。

(3) 止水性確認

構築完了1ヶ月後の時点で，構築した接続部コンクリートからの漏水はなく，漏水対策として施工した止水の効果を確認できた。写真-6，7に確認時点の接続部状況を示す。



写真6 接続部（変電所側）



写真7 接続部（管路側）

謝辞：万が一でも出水，陥没を生じさせてしまうと，大阪の繁華街の電力供給に支障を及ぼし，多大な社会的損害に直結する重要な変電所構内で施工した本工事にに対し，計画段階から多大なご指導とご協力を賜った関西電力（株）関係者の皆様，計画・施工に尽力して頂いた専門工事業者関係者各位に心より感謝を申し上げる次第である。