

# 火力発電所新設工事における重要構造物下部を 交差する放水路の施工 —上越火力発電所第 1 号機新設工事のうち 復水器冷却用水路他工事—

新海らいち\*<sup>1</sup> 松本壮太郎\*<sup>1</sup> 深田圭佑\*<sup>2</sup> 増原康布\*<sup>3</sup>

この工事は、2022 年 12 月の営業運転開始に向け建設が進められた火力発電所の新設工事である。発電所の取水口以外の 4 辺は他社施設に囲まれ、放水口を含めた放水路は他社の敷地内に配置されていた。放水路の一部は他社の既存重要構造物であるケーブルダクトの下部を交差して構築することになるため、ケーブルダクトに変位等の影響を与えない仮設計画を検討し、変位等の計測を確認しながら施工を行う必要があった。

本報告書は、放水路の設計・施工上の課題への対応、変位等の計測結果についての施工報告を行うものである。

キーワード：発電所建設、放水路、吊り防護、土留め、変位、地盤改良

## 1. はじめに

東北電力(株)上越火力発電所は、新潟県上越市直江津港湾内に位置し(Fig.1)、2022 年 12 月の営業運転開始に向け建設工事を進めた。発電所建設地は、取水口以外の 4 辺が他社に囲まれており、放水口を含めた放水路は他社敷地内に設置された(Fig.2)。

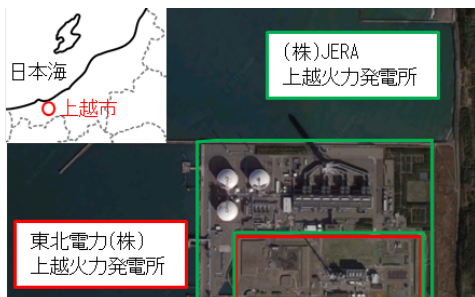


Fig.1 位置図

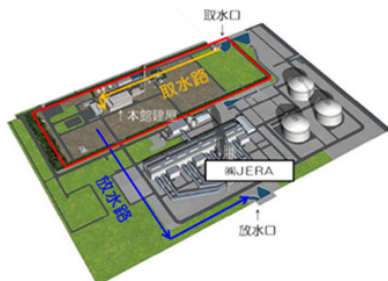


Fig.2 放水路等設備配置図

放水路はボックスカルバートであり、その一部は既に

- \*1 北陸支店 上越火力作業所
- \*2 北陸支店 土木部
- \*3 土木事業本部 土木設計部 原子力施設グループ

稼働中の他社既設重要構造物であるケーブルダクト(以下、CVダクトと記す)下を交差して構築される。よって、CVダクトに変位等の影響を与えない仮設計画を検討の上、施工を行った。本稿ではその概要について報告する。

## 2. 工事概要

- (1) 工事名：上越火力発電所第 1 号機新設工事のうち復水器冷却用水路他工事
- (2) 発注者：東北電力株式会社
- (3) 工期：2018 年 3 月 20 日～2023 年 6 月 30 日
- (4) 請負者：熊谷組(他 JV4 社)
- (5) 主な工事内容
  - ①取水池  
掘削工 3,088m<sup>3</sup>、コンクリート 710m<sup>3</sup>、鉄筋 9.5t  
型枠 1,040m<sup>2</sup>、鋼管矢板 φ1200 N=20 本  
φ900 N=49 本
  - ②循環水ポンプ室  
掘削工 15,582m<sup>3</sup>、コンクリート 1,843m<sup>3</sup>、鉄筋 133.8t  
型枠 2,092m<sup>2</sup>、支保工 1,056m<sup>3</sup>
  - ③取水管路  
掘削工 35,259m<sup>3</sup>、コンクリート 381m<sup>3</sup>、鉄筋 15.5t  
型枠 648m<sup>2</sup>
  - ④放水管路  
掘削工 5,590m<sup>3</sup>、コンクリート 110m<sup>3</sup>、鉄筋 26.9t  
型枠 286m<sup>2</sup>
  - ⑤放水路立坑  
掘削工 16,199m<sup>3</sup>、コンクリート 902m<sup>3</sup>、鉄筋 81.3t  
型枠 1,175m<sup>2</sup>
  - ⑥放水路暗渠  
掘削工 31,802m<sup>3</sup>、コンクリート 3,362m<sup>3</sup>  
鉄筋 255.4t、型枠 9,367m<sup>2</sup>、支保工 4,352m<sup>3</sup>

- ⑦放水路ゲート室  
掘削工 3,305m<sup>3</sup>, コンクリート 549m<sup>3</sup>, 鉄筋 46.0t  
型枠 1,107m<sup>2</sup>, 支保工 124m<sup>3</sup>
- ⑧放水池  
掘削工 4,892m<sup>3</sup>, コンクリート 502m<sup>3</sup>, 鉄筋 7.2t  
型枠 847m<sup>2</sup>, 鋼管矢板 φ700 N=59 本, φ900 N=13 本
- ⑨用水路配管基礎  
掘削工 1,624m<sup>3</sup>, コンクリート 200m<sup>3</sup>, 鉄筋 19.6t  
型枠 339m<sup>2</sup>, プレキャストブロック 188 基
- ⑩サービスビル・給排水処理建屋  
地盤改良工 49,432m<sup>3</sup>
- ⑪構内排水設備  
掘削工 3,630m<sup>3</sup>, コンクリート 99m<sup>3</sup>, 鉄筋 7.9t  
型枠 377m<sup>2</sup>, ヒューム管 φ1,350 114.4m,  
φ1,200 87.5m
- ⑫社員駐車場他工事  
掘削工 1,447m<sup>3</sup>, 下層路盤工 3,957m<sup>3</sup>,  
上層路盤工 3,561m<sup>2</sup>, 表層工 3,740m<sup>2</sup>
- ⑬道路工事  
下層・上層路盤工・表層工 19,246m<sup>2</sup>

### 3. 仮設計画の設計方針

交差する CV ダクトは、大ダクト ( $w \approx 180\text{kN/m}$ ) と小ダクト ( $w \approx 85\text{kN/m}$ ) の 2 つ (Photo. 1, Fig. 3) で、放水路施工時に変位等の影響を与えないよう設計方針を立てた。

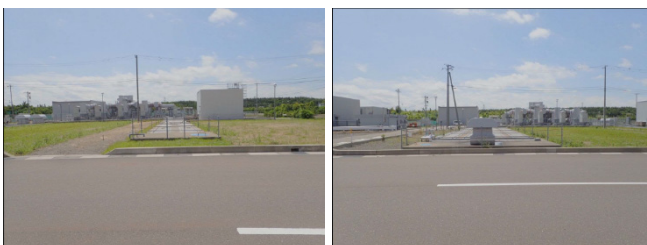


Photo. 1 CV ダクト施工前全景 (左-小ダクト 右-大ダクト)

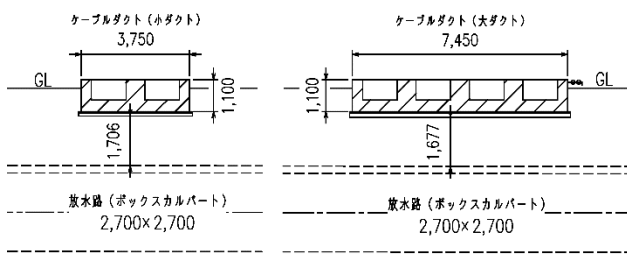


Fig. 3 CV ダクト断面図 (横断面図)

なお、当該箇所の施工は、上部障害クリア工法によるクリアパイラー (低空頭対応機) を使用した鋼矢板圧入により CV ダクトの支持と山留の機能を切り分けることも考えたが、CV ダクトや既設杭との離間が不足するため同工法の採用は見送った。よって CV ダクトを支持する杭に親杭

横矢板式土留めの機能を付加させる方針とした。

#### 3. 1 CV ダクトの変位および損傷防止

放水路施工時の CV ダクト直接基礎部の沈下および水平変位を防止すること、ならびに CV ダクトの損傷を防止する観点から、以下のとおり設計した。

- ① CVダクトの直接基礎部の沈下防止の観点から、吊り防護により CVダクトを支持する。
- ② 大ダクトは両サイドを吊ることによる縦断方向の破断 (縦割れ) が懸念されるため、受桁を配してダクト荷重を受ける。荷重は受桁を介して親杭にて支持するため、親杭は土留めとして必要な深さに加えて支持層まで到達する支持杭とする。
- ③ 掘削によって従来期待される地盤の水平方向の受動抵抗が低下する。CVダクトの地震時の横滑り防止のため、同等のせん断抵抗を有する治具 (鋼製) を設置する。
- ④ CVダクトに変位が生じた場合は、ジャッキアップにより原型復旧させる。

#### 3. 2 地下水位対策

当初は、ディーブウェル (以下、DW と記す) によって地下水位を低下させ掘削範囲の施工性を向上させる計画であったが、周辺地盤の低下抑止の観点から地下水位の強制低下は行わないこととした。掘削範囲で生じる湧き水は、盤下げ中は複数箇所での釜場排水による水替えにより施工性を維持する。

#### 3. 3 土留めの崩落防止

放水路施工時に想定される被災で最も重大な事象である土留めの崩落を避けるため、以下のとおり設計した。

- ① 地震時の掘削面の崩落防止の観点から薬液注入による地盤改良により掘削面の地盤を自立させ、土圧を低減させるとともに、地震時の滑りを生じない設計とする。
- ② 薬液注入の不確かさに配慮し、親杭・横矢板による土留めを併用する。親杭・横矢板の背後の地盤は薬液注入による強度発現が無いものと仮定して設計し、保守性を担保する。
- ③ DWによる地下水位低下工を取りやめることに伴い、掘削底盤に作用する水圧による盤ぶくれ (ボイリング・パイピング) により土留め設計で期待する仮想支点 (受動側) が喪失しないよう、薬液注入の深さ方向の範囲を定める。

#### 3. 4 CV ダクト支持杭の露出防止

放水路施工時に CV ダクト支持杭の露出を防止するため、以下のとおり設計した。

- ① CVダクト杭頭部周辺の地下水位以深への薬液注入による改良は、杭の露出防止および掘削背面の安定性を

確保するために施す。その幅は地震時の滑りに対して有効な幅とする。

- ② CVダクト杭頭部周辺の地下水位以浅に対しても地盤改良を行い、上記①と同様に杭の露出防止に配慮する。

以上の方針に基づき各部位、部材について設計を行った。

## 4. CVダクト部の施工

### 4. 1 設計・施工上の課題

CVダクト部施工における設計および施工の課題は以下の3点であった。

- ① CVダクト支持の方法
- ② 土留めの方法
- ③ CVダクト直接基礎部の不等沈下対策

### 4. 2 課題への対応

#### 4. 2. 1 CVダクト支持の設計

大ダクトは吊り防護による縦断方向の破断に対処するため、ワイヤーを受桁外周に通しCVダクトと併せて吊る構造とした。受桁はCVダクト直角方向に推進機(Photo. 2)にて鋼管推進を行った。鋼管内にH形鋼を挿入し、モルタル充填(Photo. 3)により一体化させて強度の向上と鋼管のサイズダウンを図った。



Photo. 2 鋼管推進機



Photo. 3 モルタル充填状況

小ダクトは横断方向のスパンが短く、計算上縦割れの恐れがないため、ダクト側面にアンカーを打設し、H形鋼

を介して直接吊る構造とした (Photo. 4)。



Photo. 4 吊り防護状況 (左-小ダクト 右-大ダクト)

#### 4. 2. 2 薬液注入範囲の設計

滑り安定計算においては、注入範囲外の地盤のせん断強度は見込まず保守的評価を行った。土留め背面に滑り破壊が生じないように、薬液注入によりせん断抵抗の向上を図った。注入の範囲は、地震時 ( $K_h=0.3$ ,  $K_v=0.15$ ) にも安定性が確保できる水平方向幅  $B=4.00m$  とした。薬液注入でCVダクトの支持杭を巻き込むことにより杭の露出防止も図った (Fig. 4, Fig. 5)。また、親杭・横矢板とシートパイルの接合部をラップして薬液注入を行うが、改良範囲とそれ以外の範囲では地盤の剛性差により地震時のCVダクト軸方向の挙動が異なり、空隙ができ構造上の弱部となる可能性がある。このことへの配慮として、取り合い部を矢板欠損部と仮想して背面を薬液注入により改良した。

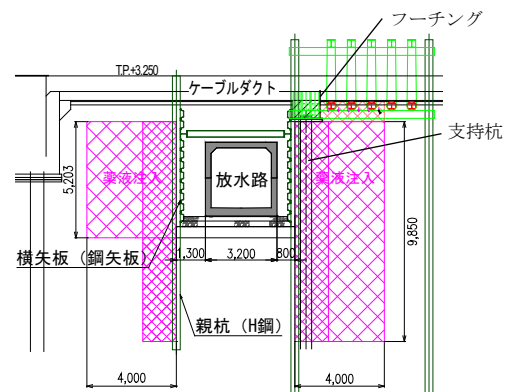


Fig. 4 仮設計画図 (大ダクト断面図)

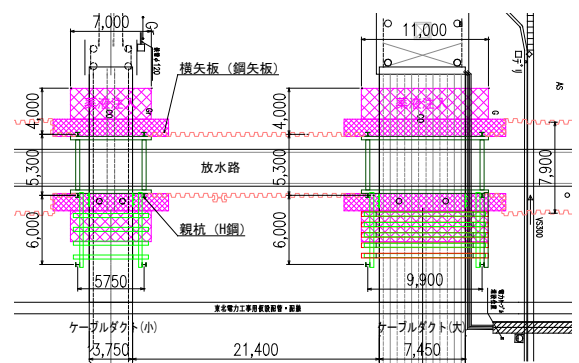


Fig. 5 仮設計画図 (平面図)

#### 4. 2. 3 親杭・横矢板の設計

親杭・横矢板の設計においては、薬液注入工の不確実性



を考慮して、土留め背面の地盤を従来地盤として設計した。また、親杭・横矢板の上部が掘削側にたわむことで杭頭部周辺の地盤が緩み、露出杭に類似した状態となることを避けるため、上部に切梁を設置した。なお、土留めの設計で仮定する下部の仮想支点は、掘削底面に施す地盤改良(セメント系)による強度発現は考慮せず、親杭の受動側の崩壊に対する保守性に配慮した。

**4. 2. 4 地下水位以深の沈下対策**

上記、4. 2. 2, 4. 2. 3の記載のとおり、滑り安全率、盤ぶくれ対策および矢板接合部への対策として必要となる薬液注入範囲を定めた。これに加えて、CVダクト直接基礎部の不等沈下を避けるため、床付け高以深の砂層の未改良部についても全幅(B=4.00m)で薬液注入した。

**4. 2. 5 地下水位以浅の不等沈下対策**

CVダクト直下地盤の空隙を充填し、杭頭部を周辺地盤の沈下で露出させないことを目的に、CVダクト直接基礎部の地下水位以浅にGRPボルトを挿入してウレタン発泡剤を充填し、地盤の空隙を解消した(Fig. 6, Photo. 5)。

施工中はファイバースコープにより当該範囲の空隙状況を目視で確認し、沈下への影響が懸念される空隙が確認された場合は、GRPボルトを追加挿入し再度空隙を充填する計画とした。

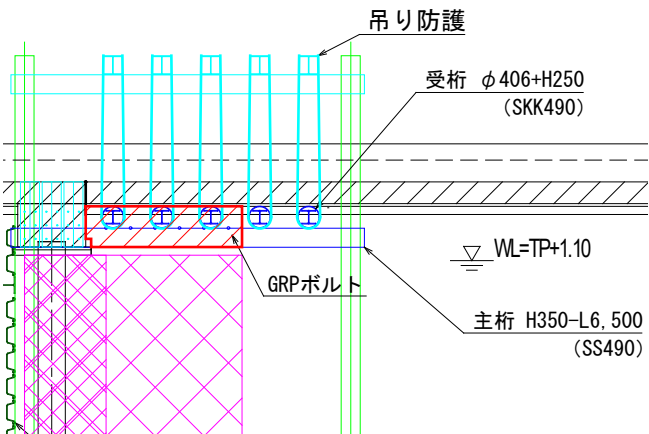


Fig. 6 GRPボルト位置図



Photo. 5 GRPボルト挿入状況

前述のようにDWを取り止め、滑り安定性を確保できる幅を薬液注入幅としたが、施工においては釜場排水による水替えを行う。よって沈下対策を施す範囲外の右岸側CVダクト(直接基礎)の沈下による健全性の確保が必要である。そこで、保守的に従来地盤の透水係数を用いて沈下範囲を予測し、受桁と健全地盤にて支持されるCVダクトを模擬して断面計算を行い、CVダクトの健全性を確認した(Fig. 7)。

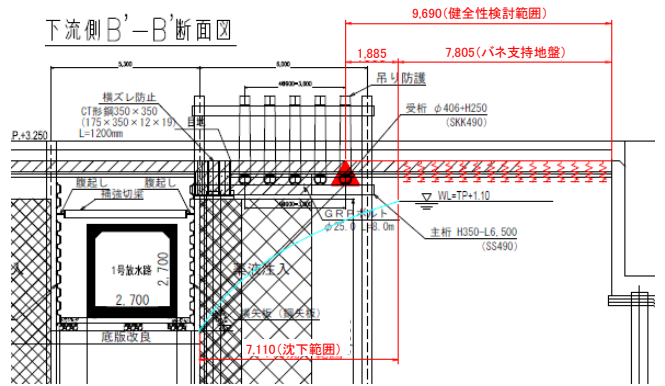


Fig. 7 沈下範囲の予測

**4. 3 その他対策**

**4. 3. 1 横矢板背面空洞のウレタン注入**

CVダクト直下の横矢板は薬液注入後の盤下げ時に随時設置していくため、薬液注入範囲と横矢板の凹部に空隙が生じる(Fig. 8)。

横矢板は施工後も残置させる予定であり、空隙が残った状態であると、将来的に薬液注入の改良体に緩みや崩れが生じた場合、CVダクト下部の地盤が沈下し、CVダクトに影響を与えることが懸念される。また、掘削時および、躯体施工時の止水性および地山安定性の観点からも空隙の存在による影響が懸念されるため、空隙に対してウレタン注入による裏込めを行うこととした(Photo. 6)。

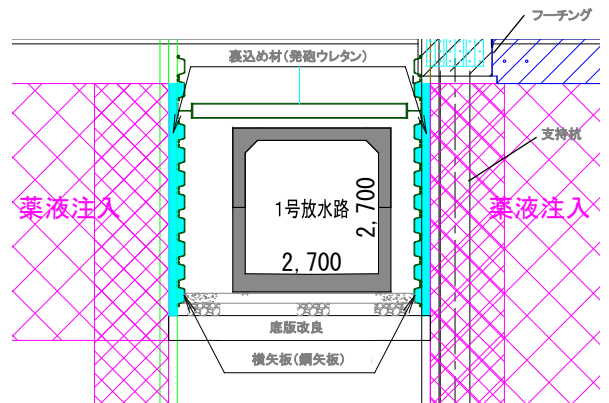


Fig. 8 横矢板の背面(断面図)

**4. 2. 6 CVダクトの健全性確認**

Photo. 6 ウレタン系注入完了全景



### 4. 3. 2 CVダクト横ズレ防止

CVダクトと杭フーチング基礎は結合されていないため、地震時のCVダクトの横ズレが懸念された。そのため、フーチング側面に横ズレ防止として形鋼を取り付けた (Fig. 9, Fig. 10)。

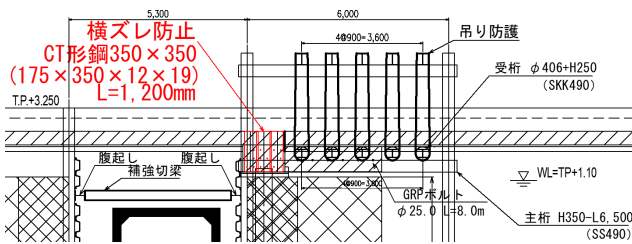


Fig. 9 大ダクト横ズレ防止

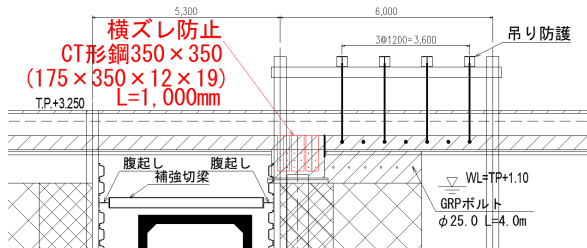


Fig. 10 小ダクト横ズレ防止

### 4. 4 CVダクト変状計測

施工時のCVダクト周辺の変状を早期に把握するため、CVダクト上にプリズムを等間隔で設置し、トータルステーションによる自動計測で管理した。CVダクト変位の計測値により対応を定めた管理フローおよびリカバリー手法を策定し、早期に対策が図れる現場体制のもとで施工に臨んだ (Fig. 11, Table 1)。

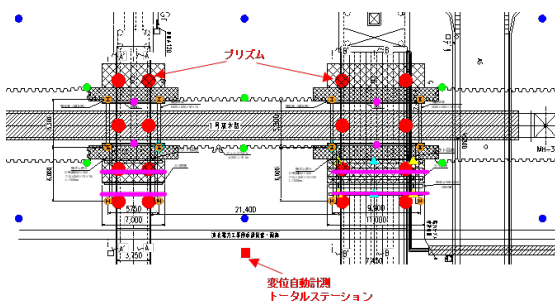


Fig. 11 計測設備配置箇所 (平面図)

Table 1 計測設備詳細

図面表示	計測項目	計測頻度
● (Blue)	トータルステーション 原地盤 (掘削外)	2回/日
● (Green)	トータルステーション シートパイル	2回/日
● (Orange)	トータルステーション 親杭	2回/日
◆ (Blue)	挿入傾斜計 軸力計測	2回/日
● (Pink)	トータルステーション 横矢板 (はらみ)	1回/日
— (Pink)	ファイバースコープ 空隙目視観測	1回/週
▲ (Yellow)	荷重計 吊り防護張力	2回/日
▲ (Blue)	ひずみゲージ 受桁応力	2回/日

### 4. 4. 1 計測項目

(1) トータルステーションを用いた変位自動計測により、仮設備の各種変状を把握した (Photo. 7)。



Photo. 7 自動計測機設置

CVダクト躯体、原地盤、シートパイルおよび親杭の任意点とする。

(2) 各種計測機器を用いた適宜計測により、仮設備の各種変状を把握した (Photo. 8)。

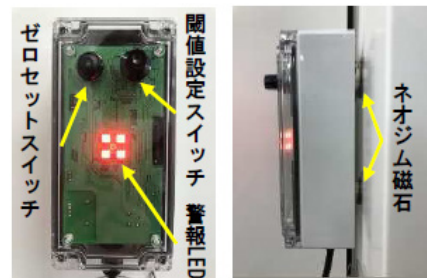


Photo. 8 KMLAセンサーによる親杭計測

- ① 挿入式傾斜計による親杭の変状確認
  - ② 軸力計測およびひずみゲージによる親杭の軸力および応力計測
  - ③ ひずみゲージによる受桁の応力計測
  - ④ 荷重計による吊り防護ワイヤーの張力計測
- (3) 工業用ファイバースコープを用いた目視により適宜空隙を確認した。
- ① CVダクト直下の空隙確認
  - ② 横矢板背面の空隙確認
  - ③ その他目視確認を要する箇所
- (4) (1) ~ (2) の項目を計測し、下記に示す許容値内であることを確認した。

- ①原地盤の許容変位量は、土木工事共通仕様書における検査基準値より 25mm とする。
- ②シートパイル、親杭、鋼矢板の許容変位量は、道路土工指針における許容変位量より 150mm とする。
- ③受桁応力の許容値は 140N/mm<sup>2</sup> とする。  
277.5 (許容曲げ応力) ÷ 2 (安全率) = 140N/mm<sup>2</sup>
- ④CV ダクトの許容値は、発注者と協議を行い、決定した (Table 2) 。

Table 2 CVダクト 管理基準と安全管理体制

管理レベル	管理体制	沈下 (mm)	水平変位 (mm)	対応・対策
	通常体制			常時計測 (管理レベル1基準値による発報)
管理レベル1	注意体制	5.0	6.0	現場点検、周辺事業退出、AGF油加施工
管理レベル2	嚴重注意体制	10.0	12.0	変位要因・傾向の解析補強の検討 (切梁追加)
閾値 (要求管理値)		12.5	15.0	作業取りやめ埋戻しによる原形復旧

4. 4. 2 変位計測結果

トータルステーションを用いて計測を行った箇所と沈下計測結果を Fig. 12~Fig. 16 に示す。

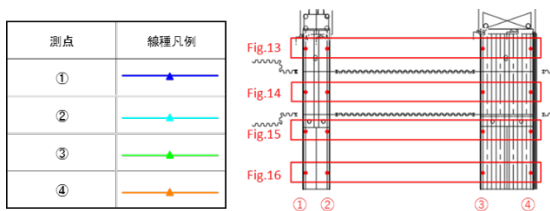


Fig. 12 測定箇所位置図

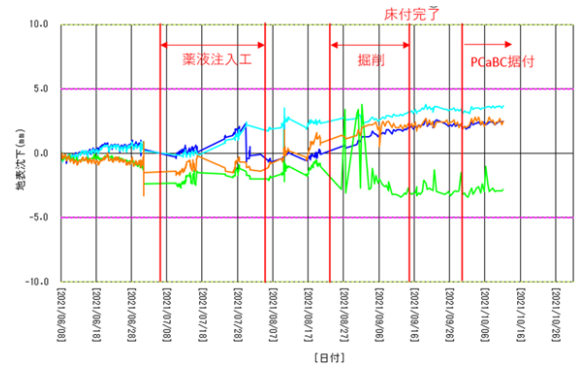


Fig. 15 沈下計測結果

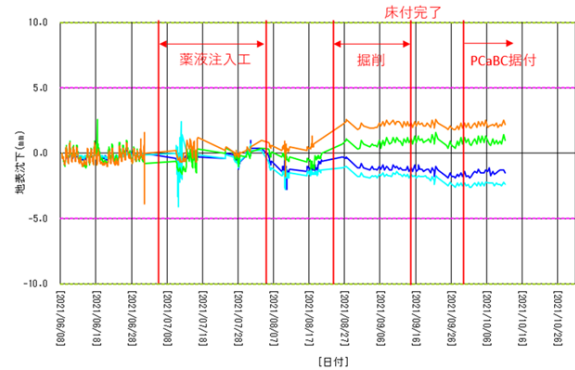


Fig. 16 沈下計測結果

Fig. 13~16 から、薬液注入工と掘削作業を行っている期間において CV ダクトの沈下と隆起が読み取れるが、Table 2 に示した許容値内であった。

4. 4. 3 受桁応力計測結果

大ダクトの計測箇所と受桁応力計測の結果を Fig. 17~Fig. 19 に示す。

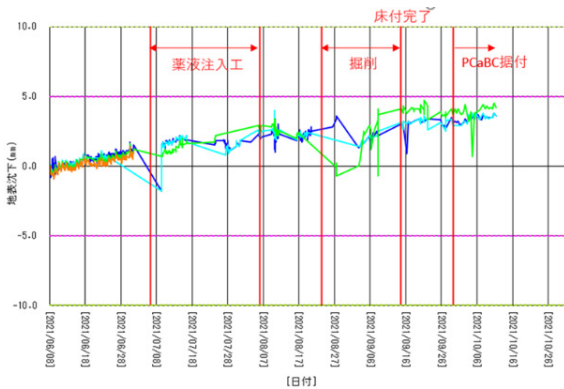


Fig. 13 沈下計測結果

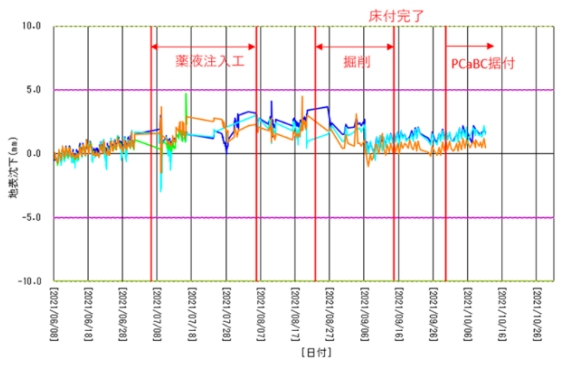


Fig. 14 沈下計測結果

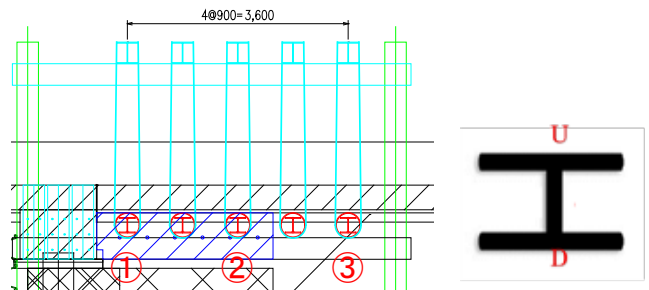


Fig. 17 測定箇所位置図

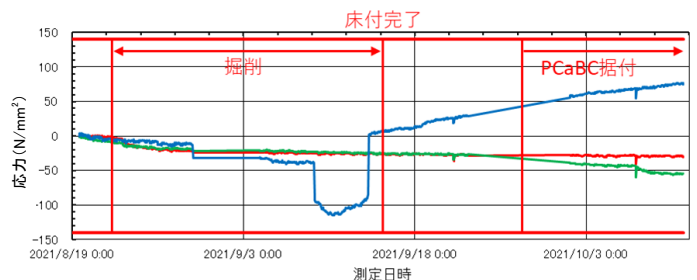


Fig. 18 受桁応力計測結果 (U)



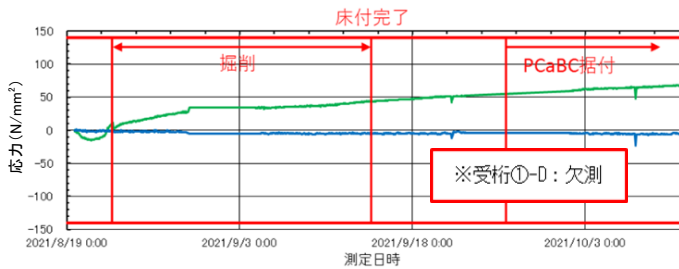


Fig. 19 受桁応力計測結果 (D)

Fig. 18, Fig. 19 を読み取ると、掘削作業をすることで変位量が増加している事が分かるが、許容値である  $140\text{N/mm}^2$  以内に収まっている。

#### 4. 4. 4 親杭応力算定結果

親杭の傾斜計の変位データに基づき、軸力を受ける親杭に生じている部材応力度を算定した。荷重として自重、受桁反力、強制変位を考慮した結果、鋼材の発生応力は  $50\text{ (N/mm}^2\text{)}$  程度と算定された。

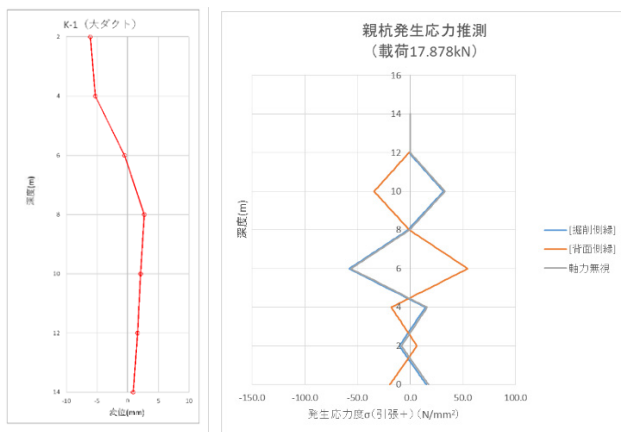


Fig. 20 親杭応力算定結果

上記のことから、CV ダクトの施工で行った対策が有効に働いたと考えられる。

## 5. CV ダクト部放水路の施工

延長  $662.1\text{m}$  の放水路ボックスカルバートは現場打ちコンクリートによる施工を基本とした。しかし CV ダクト交差部の約  $50\text{m}$  は、CV ダクトへの影響を極力少なくすること、発注者との協議が難航し着工時期に遅れが生じたことなどのため、CV ダクトへの影響の低減、および工程短縮を図れるプレキャスト構造とした。

手待ちのない効率の良い施工を行うため、施工班員の増員やクリティカルな工種の施工エリアから施工を開始し、順次引き渡して別施工をラップさせる計画とした。上部障害物のある場所での移動、据え付けに有効なボックスベアリング横引き工法を採用し、近接作業や上下作業等の危険作業が生じないように細かな打ち合わせ、工程修正を都度行い、施工を進めた。

### (1) 横引き用レールの設置

プレキャスト設置用に横引きレールを敷き、均しコンクリートに巻き込んで固定させ、レールの凹型にベアリングを敷設した。高さはベアリングの径を考慮した上でミリ単位の精度とした (Photo. 9)。



Photo. 9 横引きレール設置

### (2) ボックスカルバート据え付け・横引き

レール上にプレキャストを据え付け、横引きを行った。プレキャストを切梁の間から吊り降ろすため親綱をプレキャストの両側に巻き付け、2人で介錯しながら慎重に吊り降ろし、荷降ろし後は、バックホウにてプレキャストを所定の位置まで横引きした (Photo. 10)。

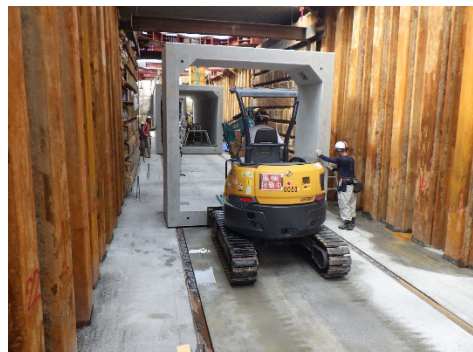


Photo. 10 プレキャスト横引き

### (3) 緊張工、充填工、防水工

設置完了したプレキャストを縦締め緊張した (Photo. 11)。

緊張後は、均しコンクリートとプレキャストの隙間にモルタルポンプにてセメントミルクを充填し、継手部に防水工(プライマー塗布)を行った (Photo. 12)。



Photo. 11 縦締め緊張状況



Photo. 13 完了全景



Photo. 12 プライマー塗布完了全景

## 謝辞

この工事では、計画段階から頭を悩ませることが多くあった。しかしながら、一つ一つの課題を分析し、関係者一丸となり課題を克服して無事計画通りの 2022 年 12 月の営業運転開始、2023 年 6 月の竣工に至ることが出来たのは、この工事に携わった多くの関係者の皆様の多大なご尽力の賜物と改めて深く感謝する次第である。

最後に発注者である東北電力株式会社の皆様、また、ここに携わった多くの関係者の皆様に、多大なご協力を頂きましたこと、この場をお借りし、厚く御礼申し上げる次第である。

## 6. まとめ

CV ダクトの施工で行った対策により、変位、変状など構造物に影響を生じることなく安全に工事を終えることが出来た。また、CV ダクト部をプレキャスト構造とすることで、期日までに施工を終えることが出来た (Photo. 13)。

---

## Construction of a tailrace that passes under important structures as part of the construction of a new thermal power plant : Construction of a condenser cooling water channel and related structures as part of the construction of Unit 1 of Joetsu Thermal Power Station

Raichi SHINKAI, Sotaro MATSUMOTO, Keisuke FUKADA and Yasunobu MASUHARA

The construction of a new thermal power plant was underway towards the launch of its operation in December 2022. The site was surrounded by facilities belonging to other companies on all sides, except for the power plant water intake. The tailrace, including the outlet, was to be laid on the premises of another company. A part of the tailrace was to pass under cable ducts, which were important existing structures belonging to another company. We therefore needed to plan temporary construction that would have no adverse effects on the cable ducts (e.g., displacement) and continually take measurements to check for displacement, etc. during construction. This paper reports on the measures taken to solve challenges in the design and construction of the tailrace and on measurement results for displacement and other parameters.

Keywords:

Power plant construction, tailrace, suspension type protection, earth retaining, displacement, soil improvement

---