

開削工事と近接した鋼製遮水壁改造工事の合理化

鹿島建設(株)	正会員	岡 史浩	鹿島建設(株)	正会員	瀬戸謙一郎
鹿島建設(株)	正会員	恒川 照康	鹿島建設(株)	正会員	石橋 康恭
鹿島建設(株)	正会員	○浅沼 大寿	鹿島建設(株)		横井 衛

1. はじめに

宮城県東部の牡鹿半島に位置する東北電力(株)女川原子力発電所では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)において震度6弱を観測し、津波は0.P.+13.0mまで達した(発電所工事用基準面0.P.は、東京湾平均海面T.P.に対し-0.74mである)。発電所内の重要施設は0.P.+14.8m以上の高さに設置してあったため、地震により半島全体が約1m沈下したものの、津波による大きな被害を受けることはなかった。その後、緊急安全対策としてセメント改良土盛土による高さ3mの防潮堤(0.P.+17.0m)を構築したが、新規制基準の適合性審査の過程で、津波高さの想定を0.P.+24.4mに引き上げ、防潮堤を0.P.+29.0mまでかさ上げすることが計画された。

防潮堤は、鋼管式鉛直壁(以下、鋼製遮水壁と称す)によるかさ上げ区間(延長約680m)と、セメント改良土による盛土の区間(延長約120m)に分けられる(図-1参照)。このうち鋼製遮水壁は岩盤部と一般部に分けられ、岩盤部では岩盤から遮水壁が突出する構造なのに対し、一般部は当初計画では一部のみ岩着した岩盤支持杭とし、その他は改良地盤に支持させた杭による構成としていた。30~40m間隔で設置される2本の岩盤支持杭の杭天端を結ぶ頂部梁を設置することで、岩盤ではなく改良地盤に支持される杭について下部の地盤が1m程度沈下した場合でも0.P.+29.0mまでの津波に抵抗できる設計思想であった。これらの工事は、鋼管杭および遮水壁の設置、改良土盛土などの大部分において完了間近であった。

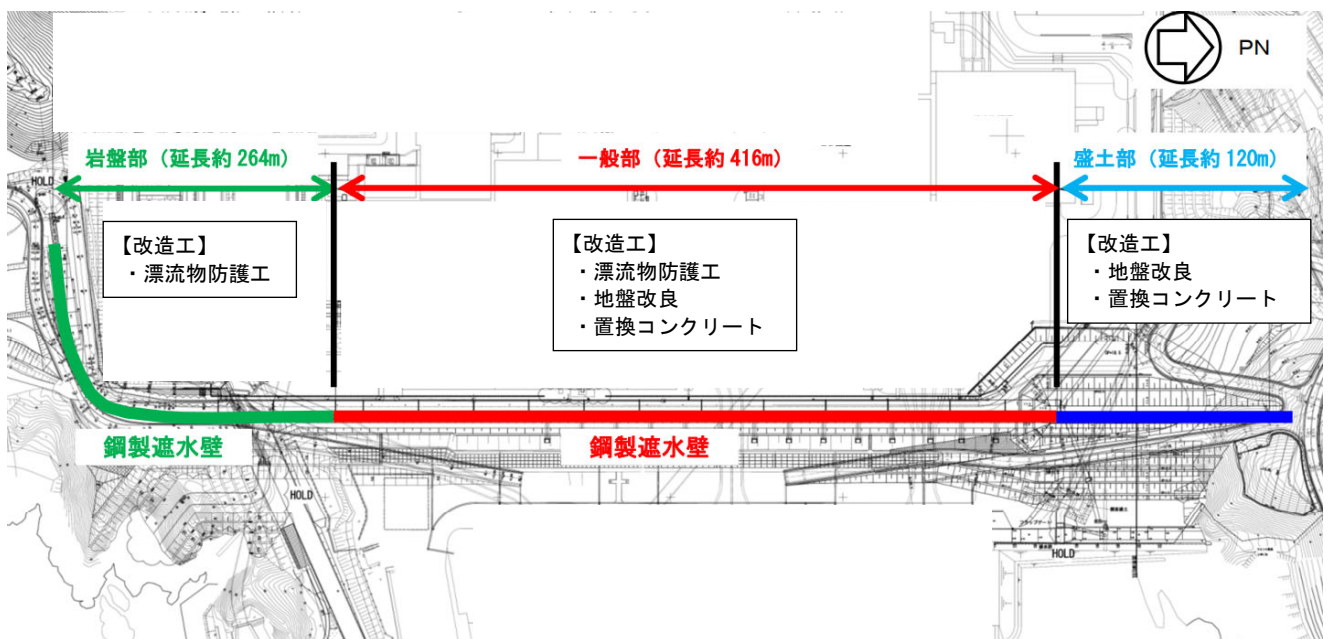


図-1 防潮堤かさ上げの全体平面図

しかしながら、新規制基準の適合性審査において、原子力規制委員会から排除可能なリスクは極力排除すべきとの指摘があり、以下の観点を考慮した設計の見直しが必要となった。

- ・杭直下の未改良の盛土層、旧表土層の存在による当初想定以上の沈下
- ・鋼管杭前面の盛土層、旧表土層にすべり面が形成された場合の転倒
- ・津波漂流物(車両、船舶等)が鋼製遮水壁前面に衝突することによる遮水壁の損傷

キーワード 女川原子力発電所、防潮堤、漂流物防護、ワイヤーソー切断、溶接、一体架設

連絡先 〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町1-27 鹿島建設株式会社東北支店 TEL022-261-7111

その結果¹⁾、杭直下の未改良部の地盤改良工（JETCRETE、以下 JC 工）、杭前面の盛土および旧表土のコンクリートへの置換、鋼製遮水壁前面への漂流物防護工の設置が追加となった（図-2、3 参照）。また、追加の JC 工により全杭の沈下を防止できること、加えて漂流物防護工設置の支障になることから、頂部梁は撤去することになった。

これらの工事は互いに干渉してしまうため、発電所の早期再稼働に向けた工期短縮を実現するためにはできるだけ並行して進める工夫が求められた。また、新設構造物ではなく大部分が完成している構造物の改造のため種々の工夫が求められた。本稿では、鋼製遮水壁の改造に着目し、頂部梁撤去から漂流物防護工設置までにおける工夫とそれによる大幅な工期短縮効果について述べる。

2. 工事概要

(1) 全体工事概要

工事名：女川原子力発電所防潮堤かさ上げ工事

発注者：東北電力(株)

施工者：鹿島建設(株)

工事場所：宮城県牡鹿郡女川町塚浜字前田 1

工期：2011. 5. 20～2024. 3. 29

主要工事数量

当初工事数量

- ・地盤改良工（JC 工） 45,000m³
- ・鋼管式鉛直壁 168本
(下杭φ2,500mm、上杭φ2,200mm)
- ・背面補強工 40,000m³
(鉄筋コンクリート 30N/mm²、最大鉄筋径 D51mm)
- ・盛土防潮堤（セメント改良土） 140,000m³
- ・南側造成工（硬岩・中硬岩掘削） 140,000m³

改造工事数量

- ・追加地盤改良工（JC 工） 68,000m³（φ5,500、20本）
- ・置換コンクリート工 149,000m³
- ・頂部梁撤去工 898t（13本）
- ・漂流物防護工 4,329t（架台 2,038t 1,048基、防護工 2,291t 1,131本）

(2) 鋼製遮水壁改造のフロー

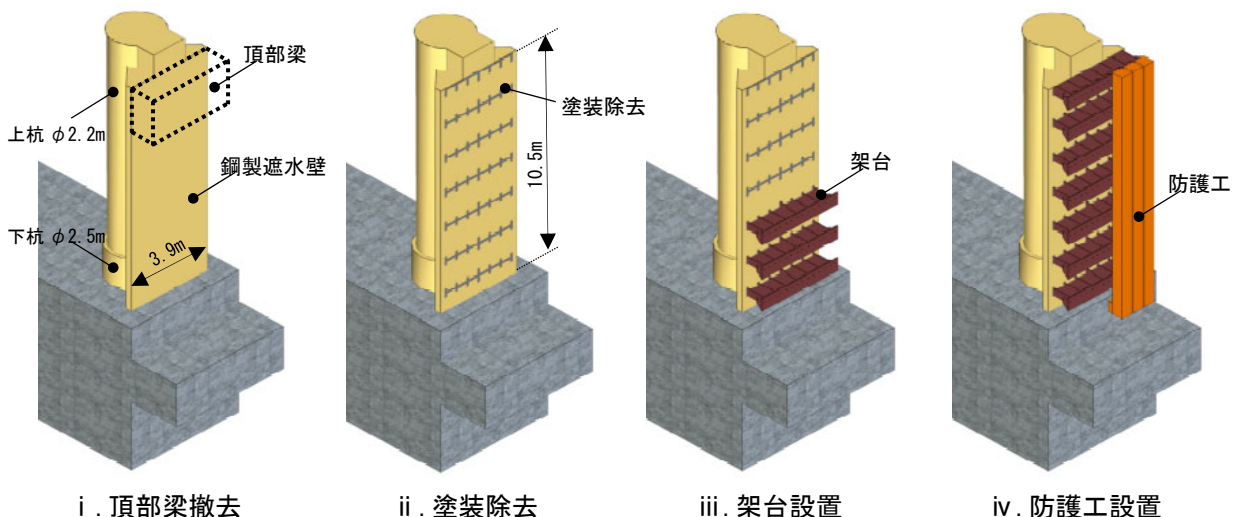


図-4 鋼製遮水壁改造のフロー

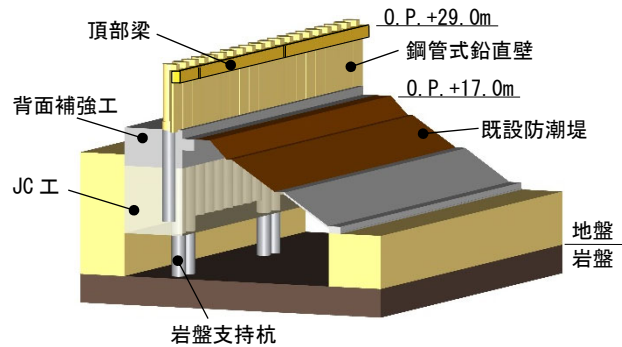


図-2 当初計画された防潮堤の概要

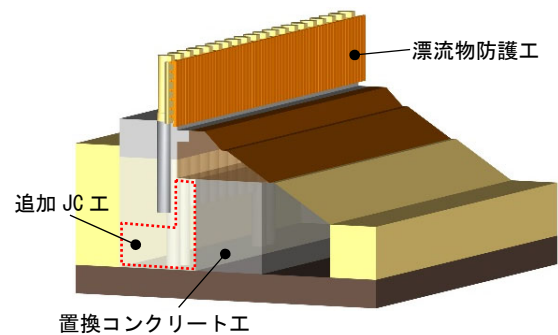


図-3 防潮堤の改造概要

鋼製遮水壁改造のフローを図-4 に示す。まず、設置されている頂部梁を解体、撤去する。次に、鋼製遮水壁表面の塗装を除去した後、漂流物防護工のうち架台を現場溶接により設置する。その後、架台前面に防護工をボルト固定して完成となる。あわせて、鋼製遮水壁と架台の現場溶接部は塗装復旧の必要がある。また、これらの各作業に必要な足場・支保工の組立、解体が必要となる。

3. 鋼製遮水壁改造における問題点

(1) クレーンヤードの制約

改造工事の一つである置換コンクリート工は、既設防潮堤の一部撤去、土留杭打設の後に岩盤表面まで掘削し、O. P. +8.4m までコンクリートを打設する工事であり、コンクリート打設完了まで 3 年を要する。また、打設完了後の置換コンクリート上には改良土を盛土するため、置換コンクリート上にクレーンを設置して鋼製遮水壁の改造工事を行うと改良土盛土に着手できない問題があった。本工事は発電所の再稼働に向けて工程短縮が必須であったことから、鋼製遮水壁改造に用いるクレーンは鋼管杭より敷地側に設置し、海側で施工する置換コンクリート工、改良土盛土工と並行して実施する必要がある。敷地側のヤードは図-5 のように幅員が 6.5m で大型のクレーンが設置できず、最大揚重量の制限がある中で頂部梁撤去、漂流物防護工設置の施工計画を立てる必要がある。また、敷地側のヤードは、その他発電所設備と近接しており、作業制限を受ける可能性が高く、作業は最小限に留める必要がある。

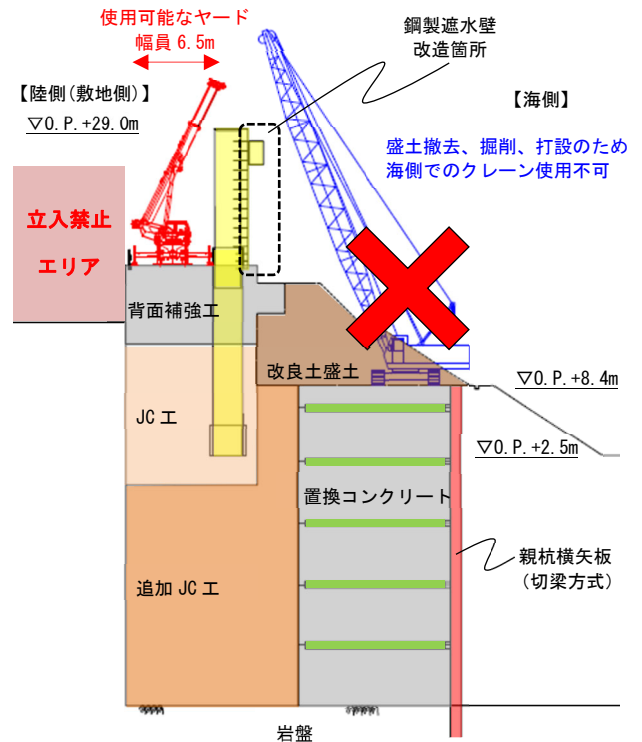


図-5 クレーンヤードの制約

(2) 品質的課題

漂流物防護工の架台は現場溶接により鋼製遮水壁に固定するものである。架台前面に設置する防護工は架台にボルトで固定するため、架台の設置精度が非常に重要である。各段の架台の水平位置や高さがずれたり、全段の架台が平行でなかったりすると、防護工が設置できない可能性がある。鋼製遮水壁自体が施工誤差を有し、鋼材類が日照により変形することもあり、それらも考慮した上で施工精度を確保できる施工方法が必要であった。

4. 施工計画

(1) 支保工兼足場計画

前述のクレーンヤードの制約により、約 80t/本の頂部梁は 1 ブロック 13t 以下になるように切断して撤去することとしたため、頂部梁下部には支保工を設置する必要が生じた。一方で、次工程の漂流物防護工設置においては作業足場を設置する必要があった。支保工解体の後に作業足場を組み立てると工程が延伸してしまうため、図-6 のように支保工と足場は分離した構造とし、頂部梁撤去後は一部を解体して残置足場をそのまま漂流物防護工設置で使用できるよう計画した。

(2) 頂部梁撤去

前述のように頂部梁は分割して撤去する必要があるが、切断面は 94 断面あった。頂部梁の断面は図-7 のように 1.2m × 2m で、最大板厚 47mm、梁内部には板厚 22mm のリブが設置されており、ガスによる溶断はかなりの時間を要する

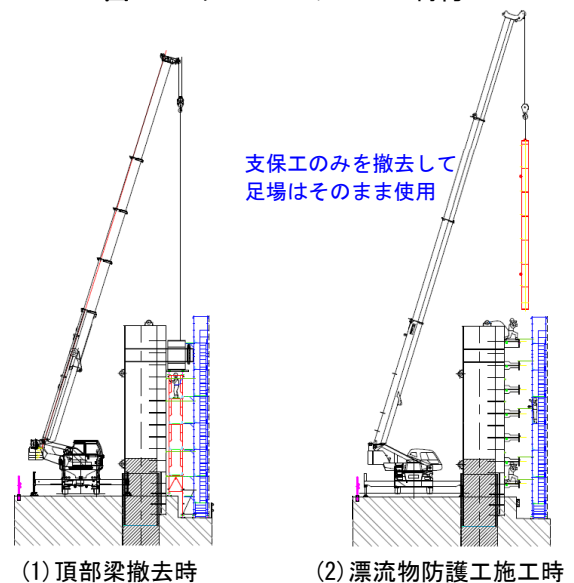


図-6 支保工兼足場計画

と考えられた。そこで、ワイヤーソーによる切断を検討するために、実大模型を用いた試験施工を実施した（写真-1、2）。数断面の試験施工により回転数やワイヤー張力などの適切な設定を求め、1班で2.5日/断面の施工速度が得られ全体工程の目標を達成できる見込みとなったことから、ワイヤーソーによる切断を採用することとした。

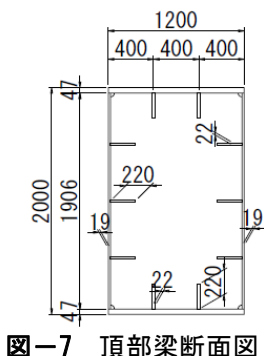


図-7 頂部梁断面図



写真-1 試験施工状況

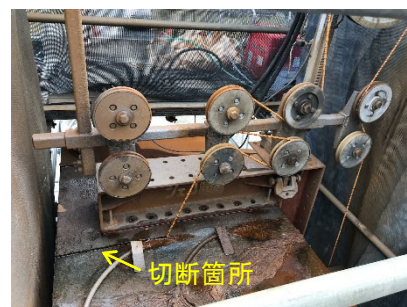


写真-2 試験体切断状況

(3) 塗装除去

鋼製遮水壁表面には超厚膜エポキシ塗装が施されており、漂流物防護工の架台を溶接するために1,483㎡除去する必要がある。塗装仕様は2.5mm以上で、実測で5mm程度の厚さの箇所もあった。塗装除去作業は施工ヤードなどの制約を受けないものの、後工程に与える影響は大きく、できるだけ早く終える必要があった。塗装除去方法として、まずはディスクグラインダーで何層も繰り返して削り取る方法を試みたが、十数種の研削砥石で試しても除去速度が遅く、全体工程が遅延する可能性があった。そこで、写真-3のように平ノミを取り付けたエアハンマーで除去する案を検討し試験施工を実施した。その結果、2.5倍程度除去速度の改善が見られたため、本手法を用いることとした。



写真-3 平ノミでの塗装除去

(4) 架台設置方法の工夫

a) 一体架設による設置精度の確保

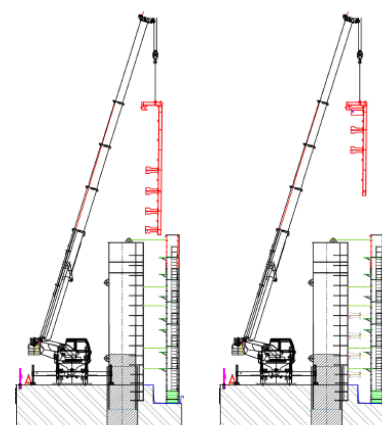
品質的課題でも述べたように、架台海側には防護工をボルト固定するため、架台の水平位置や高さの精度が重要である。また、施工誤差を有する鋼製遮水壁に対して垂直で、かつ各段が平行な必要がある。さらに、鋼材類は日照による温度変化で変形してしまうため、1基ずつ施工すると各架台間の距離や平行性を確保できない可能性が高い。そこで、本工事では写真-4のような定規材を製作して複数の架台を一体として架設する方法を採用した。これにより架台前面の通り、架台間のピッチなどを地組段階で精度確保できるとともに、鋼製遮水壁に対して垂直に設置できると考えた。



写真-4 定規材の使用

b) 分割施工による狭隘箇所での施工の工夫

写真-4は鋼管杭海側にクレーンを設置して施工が可能な岩盤部での状況写真である。クレーンを敷地側にしか設置できない一般部の場合はさらに検討が必要であった。杭1本分の架台7基を一体架設する場合、定規材等を含めて合計17.7トンとなり、鋼管杭敷地側に設置するクレーンでは施工することができない。そこで、図-8のように下段4基と上段3基に分割してそれぞれクレーン能力内で施工できるようにした。



(1) 下段4基設置 (2) 上段3基設置

図-8 分割施工

(5) 防護工設置

防護工1本は重量が2.3トン/本で、500mm×500mm×11,400mmの長尺物であることからトレーラで搬入することとした。なお、防護工設置も図-8のように鋼管杭敷地側にクレーンを設置して作業を行うこととした。

5. 施工実績

(1) 支保工兼足場の施工実績

支保工兼足場は、計画どおり頂部梁撤去用の支保工と漂流物防護工設置用の足場を分離しやすい構造で施工した。頂部梁撤去時の状況を写真-5、支保工のみを撤去した状況を写真-6に示す。このように足場計画を合理化したことで、次工程に影響を与えることなく作業を終えることができた。また、足場を継続的に残置できたことは、下部で作業中の置換コンクリート工に対する飛来・落下災害の防止対策としても有用だった。



写真-5 支保工兼足場



写真-6 支保工解体後の足場

(2) 塗装除去の施工実績

平ノミでの塗装除去は順調に推移したが、試験的に架台を溶接したところ、塗装最下層のジンクリッチペイントが少しでも残っていると、溶接時に発生するガスによりピンホールなどの溶接不良が多く見られた(写真-7)。不良部の補修に時間を浪費してしまうため、除去の最後にディスクグラインダーで研磨して仕上げることにした(写真-8)。



写真-7 溶接不良の例

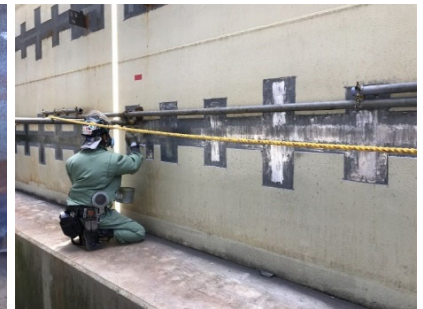


写真-8 研磨仕上げの例

(3) 頂部梁撤去の施工実績

頂部梁の切断状況を写真-9、10に示す。頂部梁撤去は表-1のような実績で、試験施工の2.5日/断面に対し作業進捗は平均で1.5日/断面であった。本施工を実施しながらも改善を重ねた成果であり、工程を短縮できた。さらに、雨天でも施工可能で、確実に進捗できたことも大きい。なお、表-1に記載したガス溶断の速度は当初の業者見積を参考にしたものであるが、ワイヤーソーの適用効果は非常に大きかった。ただ、錆汁対策に手間がかかるため、この点が課題として挙げられる。



写真-9 頂部梁切断状況

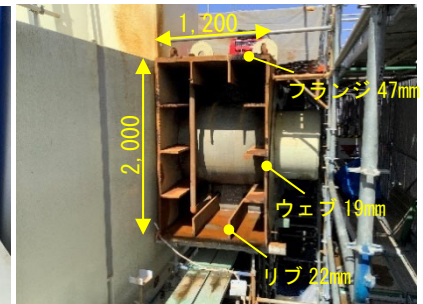


写真-10 切断後の断面

表-1 頂部梁切断の施工実績

	施工速度
試験施工	2.5日/断面
本施工	1.5日/断面
ガス溶断(参考)	3.0日/断面

表-2 架台設置の施工実績

1班		2班	
荷下ろし	1.0 h	下段設置 (仮溶接)	3.5 h
下段地組	2.5 h		
上段地組	2.0 h	上段設置 (仮溶接)	3.0 h
運搬	0.5 h		

本溶接	18m/人・日
-----	---------

(4) 架台設置の施工実績

架台設置は作業班を「地組み・運搬班」と「設置・仮溶接班」の2班に分けて施工した。2班のそれぞれの時間配分は表-2のとおりで、設置は強風時を除き予定どおり1日に杭1本分の施工を実現した。設置箇所と地組み箇所は完全に分離し、正確性が求められる地組み作業は広いヤ-



写真-11 場内運搬状況



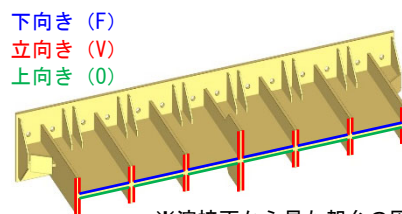
写真-12 半自動溶接

ドで実施し、その後に設置箇所までトラックで輸送した（写真-11）。広いヤードを確保できたことで作業性が増して地組み作業が先行し、他作業に人員を回すことで省力化でき、かつ安全な作業ができたと考えている。架台設置単体としては1日に杭1本分という計画からの短縮効果はないが、置換コンクリート工と並行で作業できたこと自体に大きな効果があり、全体工事としては4か月短縮できたと考えている（図-10）。

本溶接は設置、仮固定の後、1か月程度経過してから着手した。総延長が13kmに及ぶため、施工速度の増加と溶接品質の安定を目的に半自動溶接機を用いた（写真-12）。作業期間全体で平均すると18m/人・日程度で、4～5人を配置する結果となった。図-9のように溶接種別が下向き、立向き、上向きが混じっており、このうち立向き、上向きについては有資格者が少なく、作業員を確保できず進捗が低下する場合もあった。また、天候の影響を受けやすく、強風や降雨により溶接品質が低下し、補修に要する時間が多く進捗が低下する場合もあった。特に降雨の影響は大きく、進捗が50%以下まで低下する月もあった。次工程の防護工設置の工程に影響が及ばないように、一時的に作業員を増員するなどの対応をとって調整を図った。

(5) 防護工設置の施工実績

防護工設置は計画どおり1日にトレーラ1台分（防護工9本）の設置を実現した。設置時はトラブルなく施工でき、架台設置を高精度で実施できていたことによると考えている。各作業の内訳は表-3のとおりで、トレーラ1台分は4～5時間で設置可能であったため、1日にトレーラ2台分の施工も可能と考えられた。しかしながら、工場製作工程の限界でこれ以上の工程短縮とはならず、最後まで計画どおりのトレーラ1台分の施工とした。間に休工日が生まれ、日々の作業でも余剰時間が発生したため、その間は他作業に従事させることで工事全体の省力化に貢献した。写真-13に防護工設置完了状況を示す。



※溶接面から見た架台の図

図-9 架台の溶接種別

表-3 防護工の施工実績

作業内容	所要時間
荷下ろし	0.75 h
翌日分設置準備	1.0 h
設置(仮締め)	1.5 h
ボルト本締め	1.0 h

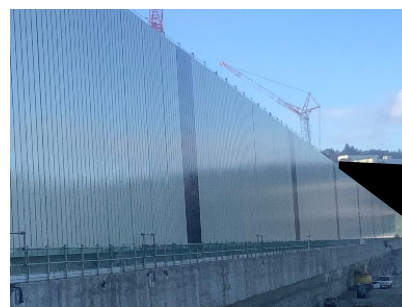


写真-13 防護工設置完了状況

年	2019		2020				2021				2022				
	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	
足場・支保工									組立						
頂部梁撤去									支保工解体						
塗装除去									切断・撤去						
架台設置									塗装除去・仕上げ						
架台本溶接															
防護工設置															
置換コンクリート工	盛土撤去工								掘削						
改良土盛土															盛土

切断せずに海側から撤去すると置換コンクリート完了が+3か月

この合間に架台設置を海側で実施すると盛土完了が+4か月

図-10 本工事の実績工程表

6. おわりに

本工事の実績工程表を図-10に示す。今回、女川原子力発電所の防潮堤かさ上げ工事において、開削を伴う置換コンクリート工と漂流物防護となる鋼製遮水壁改造工を並行で施工することにより、大幅な工期短縮を図った。遮水壁の改造は狭隘なエリアでの作業となったが、仮設材の工夫や試験施工を実施することで、より実現性の高い施工につながり、安全面、品質面での大きなトラブルもなく、工程短縮、省力化を実現することができた。

参考文献

- 1) 岩館 礼・橋本 澄明・田村 雅宣：女川原子力発電所における防潮堤の設計、電力土木 No. 418、P69、2022