# 国内初となる 9 室囲型基礎構造を有する RC 地中連続壁の施工実績

鹿島建設(株)　正会員○田中　恵祐　　正会員　半澤　光洋
天野　栄二　　正会員　内田　拓史
正会員　山口　鎮雄
日本原子力発電(株)　正会員　増田　崇治　　濱野　翔太

## 1．はじめに

原子力発電所施設の安全性向上対策工事の一環として，発電所を囲む防潮堤のうち既設放水路と交差する特殊区間を建設している．防潮堤（**図-1**）の一般区間は支持層まで打ち込んだ鋼管杭を巻き立てる RC 造である．一方，特殊区間である放水路交差部は，基礎施工後に新設する放水路と一体となった RC 防潮壁であり，その基礎構造は 9 室囲型基礎構造を有する RC 地中連続壁（以下，連壁と称す）基礎である．しかし，連壁基礎の長い歴史の中でこのような断面形状で施工された連壁基礎の例は無く，連壁で囲われている非掘削部（以下，中の島と称す）の面積が小さいことが本工事の特徴である．施工に際しては，地山掘削中の中の島の安定性確保や複雑な形状の鉄筋籠の組立および建込み方法等が課題であった．本報では，これらの課題を解決するための施工計画と施工実績について報告する．

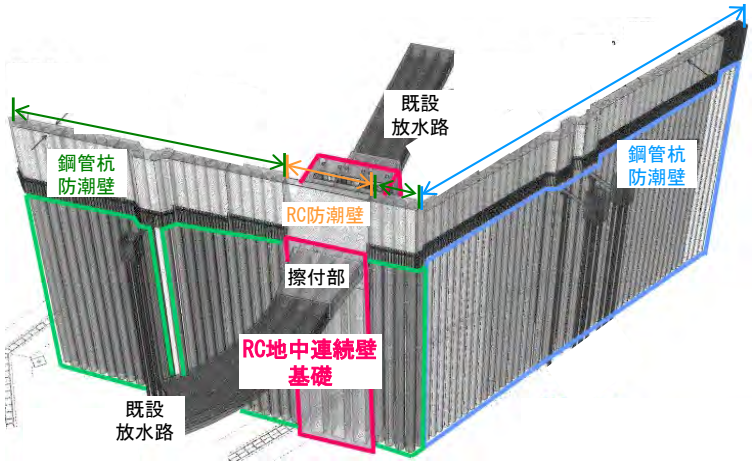



**図-1　防潮堤鳥観図**

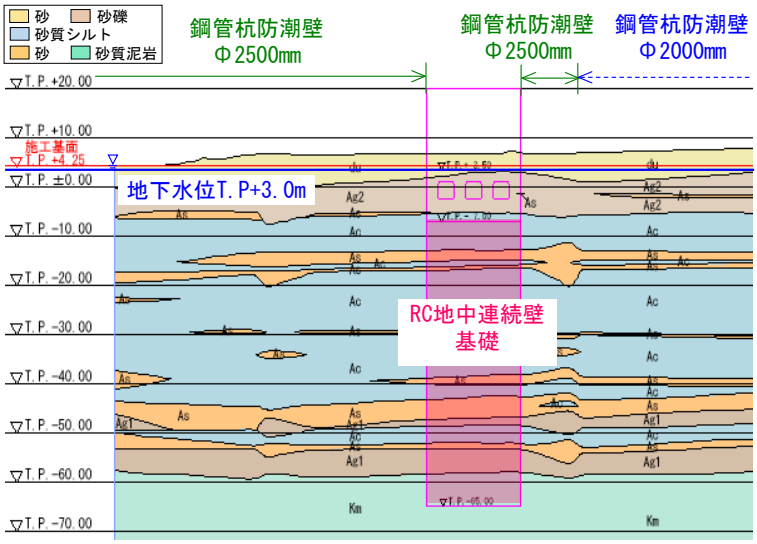



**図-2　土層構成図**

## 2．工事概要

### (1) 地盤条件

**図-2**に土層構成図を示す．表層からTP±0.0m付近まで砂層（du層）が，その下位に層厚約5mの砂礫層（Ag2層）が堆積している．そのさらに下位には，砂層（As層）と砂質シルト層（Ac層）が互層に堆積しており，TP-50.0m付近とTP-60.0m付近で砂礫層（Ag1層）を挟んだ後，支持層である砂質泥岩層（Km層）が出現する．地下水位はTP+3.0m付近である．

### (2) 連壁基礎仕様と施工フロー

本工事で構築する連壁基礎は，9 室の中の島を有する囲型断面となっており，隔壁および側壁厚さが 2.4m，掘削深度は約 70m と過去に類を見ない壁厚と掘削深度で計画されていた．**表-1** に詳細な施工数量を，**図-3** に連壁基礎工の施工フローを示す．また，**図-4** に連壁基礎のエレメント割付図と施工順序を示す．

キーワード　RC 地中連続壁基礎，EMX 工法，高流動コンクリート，地下水位低下工法，溝壁防護，CRM 工法
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　ＴＥＬ042-489-1111

## ３．補助工法

連壁の出来形と施工時の安全性を確保する上で掘削時およびコンクリート打設時に中の島と基礎外周部の原地盤の不安定化を防止することが重要である．そのため，連壁の施工に先立ち，補助工法として地下水位低下工法（ディープウェル工法：DW 工法）と溝壁防護工（掘削土再利用連壁工法：CRM 工法）を実施した（**図-5**）．

### (1) 地下水位低下工法

地山を崩壊させないためには，周辺地下水位を安定液位以下に保つことが重要と考え，安定液と周辺地下水の水位差を確保するため，地下水位低下工法として DW 工法を適用した．適用に際しては，事前に実施した透水試験から得られた揚水対象層の透水係数を用い，2m の水位差を確保するために必要なディープウェルの配置および設置本数，揚水量を求めた上で，ポンプ仕様を決定した．DW 工法は連壁基礎内に 4 本，外周に 2 本配置し，その削孔深さは 64.0m（TP-60.0m）とした．使用するポンプは必要揚水量 0.58m$^3$/min，揚程高 30.0m を満足できる 7.5kW 級とした．ポンプの設置深度は地下水位低下検討の結果から連壁基礎外側（DW①・DW②）では TP-17.0m とし，全長をストレーナ管とした．また，連壁基礎内側（DW③~DW⑥）のポンプ設置深度およびストレーナ管長は TP-26.0m，それ以深は連壁掘削時に撤去することを考慮し，珪砂の充填のみとした．中の島の地下水位に関しては，観測井に残水ポンプを設置することにより，水位調整を実施した．

### (2) 溝壁防護工

9 室ある中の島について，1 室あたりで整理すると，連壁基礎施工中に周囲 2~4 面が掘削され，かつ小型クレーンや鉄筋籠を支持するための上載荷重が作用する．これらの影響で，掘削面が主働崩壊することが懸念されたことから，溝壁防護工を施工した．当該施工エリアの岩盤着底深度は GL-63.0m であるため，溝壁防護工として，大深度でも施工可能な CRM 工法[1)]を

**表-1　施工数量**

| 項目c | 数量 | 単位 | 備考 |
|---|---|---|---|
| 掘削壁厚 | 2.4 | m | |
| 掘削深度 | 70 | m | |
| 鉄筋かご重量 | 4827.5 | t | |
| エレメント数 | 16 | EL | 先行エレメント：4<br>片押エレメント：11<br>後行エレメント：1 |
| 掘削土量 | 22190.4 | m$^3$ | |
| コンクリート打設量 | 20186.0 | m$^3$ | 設計強度：40N/mm$^2$<br>呼び強度：58N/mm$^2$ |

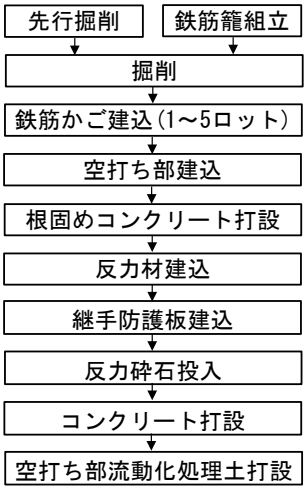



**図-3　施工フロー**

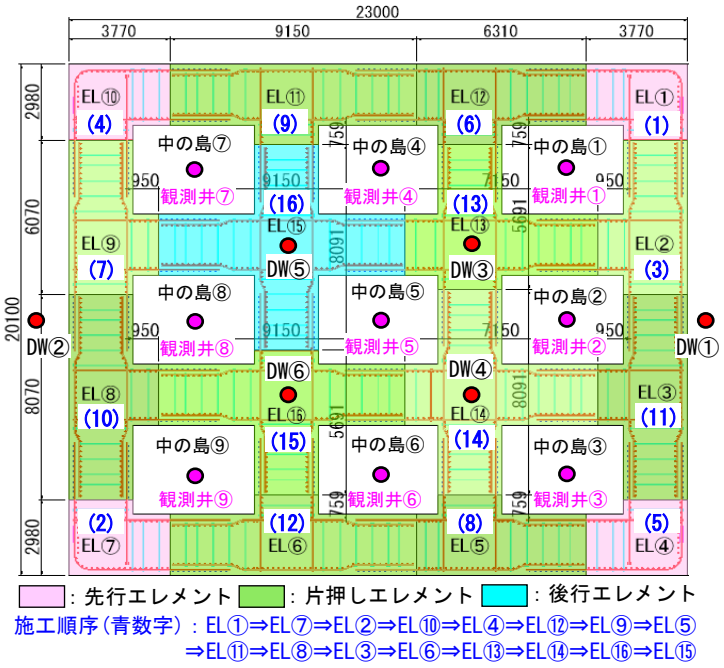



**図-4　エレメント割付図**

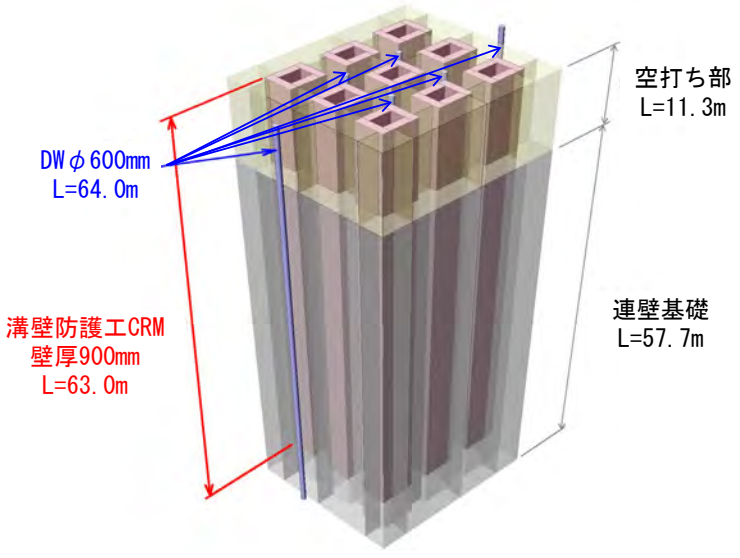



**図-5　補助工法**

選定した．また，安定液より比重の大きい高流動コンクリートを打設する際に，中の島に偏圧が作用し，安定性を損なう可能性がある．そのため，事前にコンクリート打設時の溝壁安定性検討とコンクリートの側圧試験[2)]を実施し，CRM 工法で使用する流動化処理土の一軸圧縮強さを設定した．本工事では，連壁の掘削構築時に中の島の変形挙動をリアルタイムに監視するため，CRM 工法の施工と併せて光ファイバを設置し，連壁施工中に生ずる深度方向のひずみ分布を計測した．

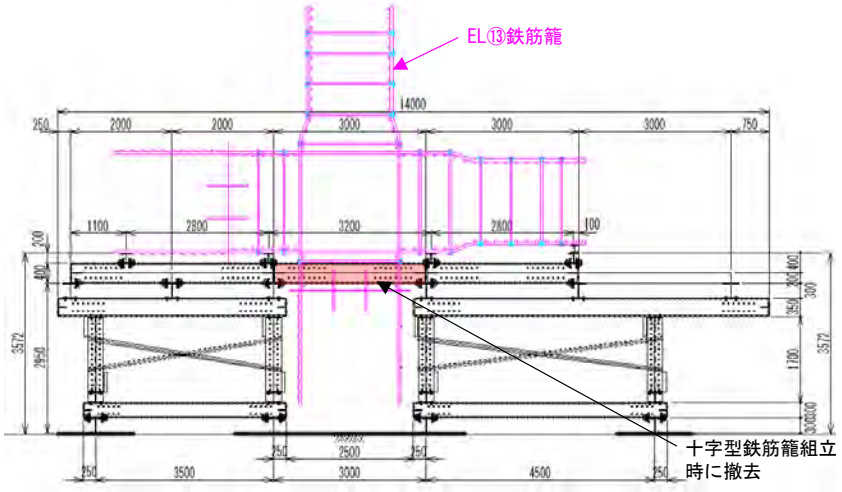
## ４．仮設計画

### (1) 鉄筋籠組立構台

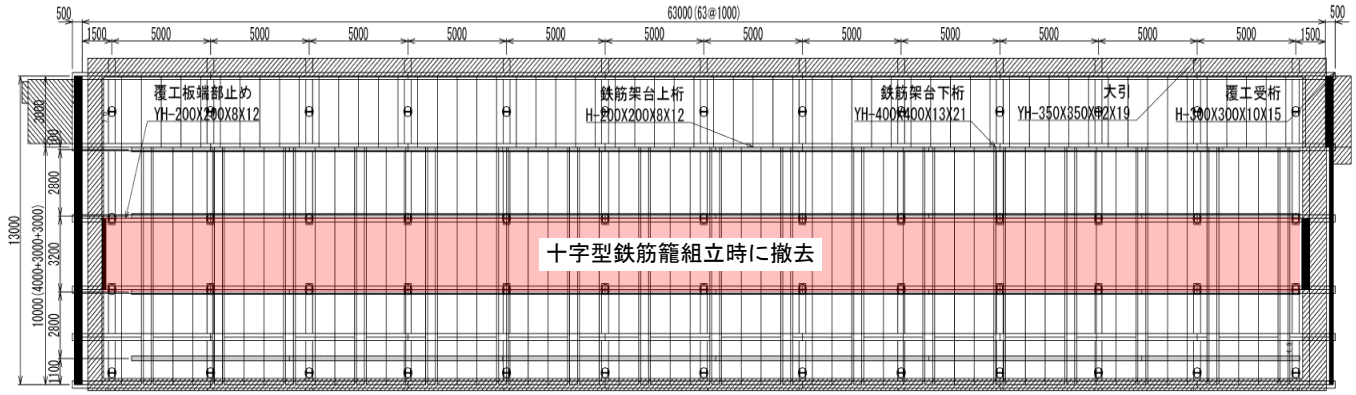
鉄筋籠組立架台は，一般的には H 形鋼を水平に並べたものが用いられるが，本工事で用いる鉄筋籠は平面形状が L 型および T 型，十字型の 3 種類があり，全長も約 58m と長い．また，鉄筋籠組立ヤードの広さも限られているため，鉄筋受鋼材の移動と覆工板の取り外しのみで 3 種類の鉄筋籠の組立ができるように**図-6** に示す鉄筋籠組立構台を設けた．十字型鉄筋籠を組み立てる際は，構台床面を構成している覆工板のうち，中央部のものを取り外して，構台下方でも配筋作業を行えるようにした．

### (2) 作業床・ガイドウォール

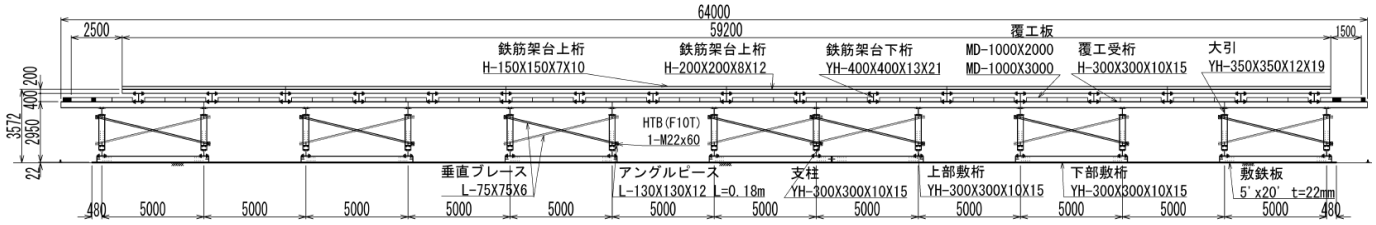
連壁掘削機や鉄筋籠の建込みで使用する 750t クローラクレーンの安定性が懸念された．また，溝壁の出来形や建込み精度を確保する上で，重機足場の平坦性確保も重要と考えられた．これらの理由から，連壁外周部に厚さ 250mm の作業床を，中の島および連壁基礎外周部に厚さ 200~500mm のガイドウォールを構築した．作業床とガイドウォールの詳細を**図-7** に示す．作業床は D13 鉄筋を 200mm ピッチ, ガイドウォールは D16 鉄筋を 200mm ピッチで配筋し，設計基準




(a)　断面図




(b)　平面図




(c)　側面図

**図-6　鉄筋籠組立構台**

強度 24N/mm$^2$ のコンクリートを使用した．

## ５．施工実績

### (1) 掘削工

今回の掘削で使用した EMX-240（**写真-1**）は，本工事で計画されている壁厚 2.4m に対応可能な水平軸回転式掘削機であり，軟弱層から硬岩まで幅広い地層に対応できる．掘削状況を**写真-2** に，各エレメント施工時のガット割図を**図-8** に示す．各エレメントにおいて中抜き（例えば，EL①の場合，4G と 5G がこれに該当）の崩壊が懸念されたため，ベンチカット（**図-9**）で掘削を進めた．掘削中は，適宜，超音波測定とリーミング（溝壁整形）を繰り返し行い，掘削精度を確保した．

### (2) 鉄筋籠組立工

鉄筋籠は 5 ロットに分割して組み立てた．鉄筋籠の配筋図を**図-10** に，組立状況を**写真-3** に示す．鉄筋は，D51（SD490）を水平方向に 150mm 間隔，鉛直方向に 200mm 間隔で配筋した．また，せん断補強筋として D38（SD345）を 600mm×300mm 間隔で配筋した．各ロット間を 4 段継ぎで，鉛直方向鉄筋は主に機械式継手とし，水平方向鉄筋のエレメント間は接合鋼板+重ね継手の剛結継手とした．**写真-4** に示すように，鉄筋籠が過密配筋であるため，せん断補強筋にはネジ式プレート定着型せん断補強鉄筋を使用した．また，L 字型の鉄筋籠については，プレート型ナットを用いた定着鉄筋を使用することで水平鉄筋交差部の干渉を回避した．これらの機械式継手および定着材は，施工性に優れており，鉄筋籠組立の簡素化に繋がった．

### (3) 鉄筋籠建込工

鉄筋籠の建起こし状況を**写真-5** に，建込み状況を**写真-6** に示す．掘削完了後，350t クローラクレーンと 750t クローラクレーンを用いて鉄筋籠を建起こし，順次ガイドウォールに仮受けした後，次ロットの鉄筋籠を先行ロットに接続していく要領

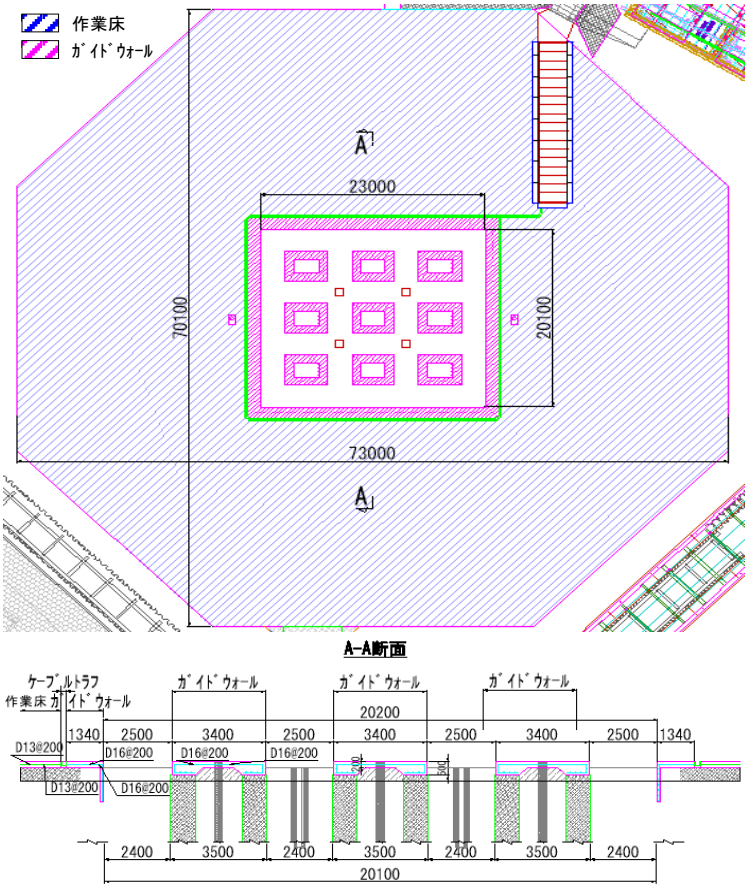



**図-7　作業床とガイドウォール**




**写真-1　EMX-240**




**写真-2　掘削状況**




**図-8　掘削時ガット割図**

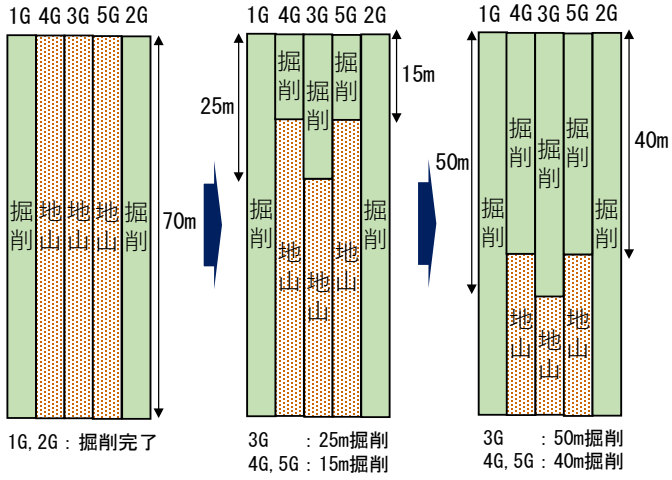



**図-9　ベンチカット掘削**

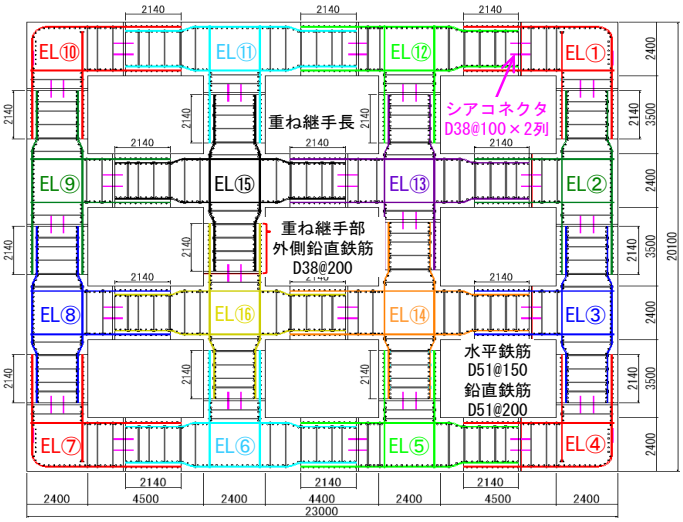



**図-10　鉄筋籠配筋図**

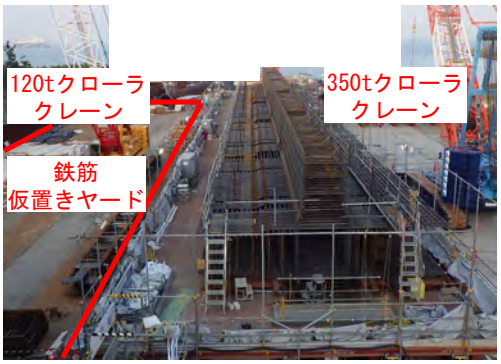



**写真-3　鉄筋籠組立状況**

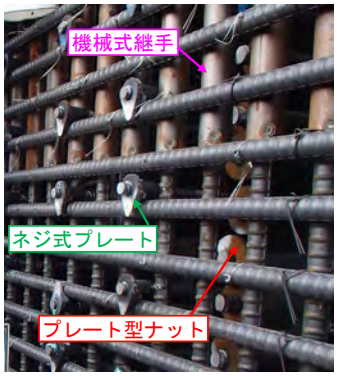



**写真-4　機械式継手と定着材**

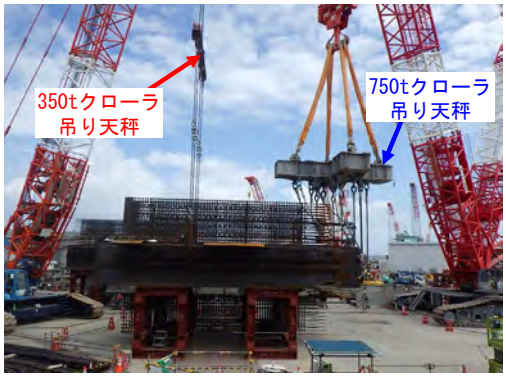



**写真-5　鉄筋籠建起こし状況**

で建て込んだ．本工事の場合，重ね継手部の延長が非常に長いため，建込み誤差やねじれによって，後行の鉄筋籠が先行鉄筋籠と接触して引っ掛かり，建込みが不能となることが懸念された．そのため，鉄筋籠建込み時に**図-11** に示す対策を行った．先行の鉄筋籠上端と後行の鉄筋籠下端に鋼材で製作した干渉防止材（**写真-7**）を取り付けることで建込み初期の鉄筋籠同士の干渉を防いだ．また，重ね継手部には，φ25mm の丸鋼を外側に配置することで，先行の鉄筋籠に接触した場合でも丸鋼が引っ掛かりを防ぐようにした．さらに，鉄筋籠の水平方向の回転を防ぐための導枠（ねじれ防止材）を重ね継手部のガイドウォール上に設置（**写真-8**）して，設置精度を確保した．建込み時の位置修正に関して，継手部に挿入する修正ガイド（**写真-9**）を製作し，接合鋼板を油圧ジャッキで押すことで建込み後の平面位置の修正も行えるようにした．上記の方法により，高い精度での鉄筋籠の建込みを実現した．

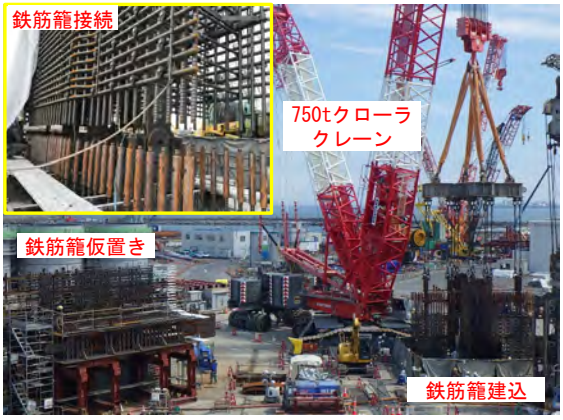



**写真-6　鉄筋建込み状況**

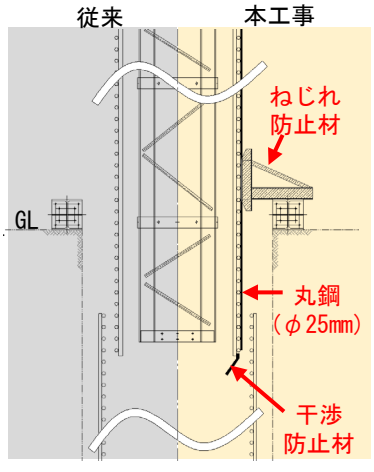



**図-11　鉄筋籠建込時の対策**

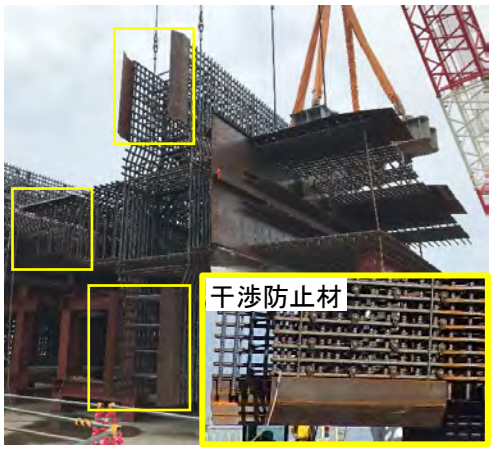



**写真-7　干渉防止材**

### (4) コンクリートエ

鉄筋籠建込み完了後，接合鋼板を固定し，継手部へのコンクリート漏出防止のため，根固めコンクリート（58-65-20N）を打設した．根固めコンクリートの打設完了後，接合鋼板と地山の隙間に，反力材および継手防護板を設置し，継手防護板背面に砕石を投入（**図-12**）した後に，本体コンクリート（58-65-20N）を打設した．コンクリート工の概要を**表-2** に，打設状況を**写真-10** に示す．打設量が非常に多いため，最大 4 プラントからコンクリートを供給し，昼夜連続打設を行った．

今回のように大深度かつ大断面を有する連壁では，高流動コンクリートが適用されることが増えている．高流動コンクリートは，普通コンクリートと比較して打込み時の側圧が大きくなる傾向にあるため，接合鋼板やタイロッド等の仮設材料や周辺地盤の改良などの仕様を決定する上で，その影響を考慮する必要がある．しかし，連壁の構築における高流動コンクリートの側圧に関する知見は少ない．そこで，室内実験 [2] によって，高流動コンクリートの側圧について検討を行い，現場での打ち上がり速度を 4m/時間以下に制限した．前述の通り，高いコンクリートの打設能力を確保する必要があったが，その一方で打設作業に使用できるヤードの広さが制限された．この問題に対応するため，**写真-11** に示す立体分岐管を考案し，1 台のコンクリートポンプ車から 3 本のトレミー管にコンクリートを供給できるようにするなどの工夫によって，この問題に対応した．



**写真-8　導枠（ねじれ防止材）**

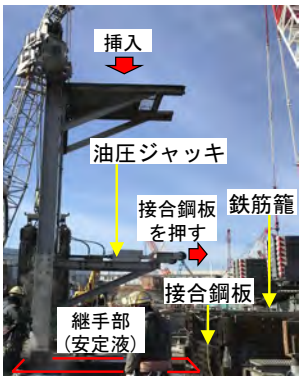



**写真-9　修正ガイド**

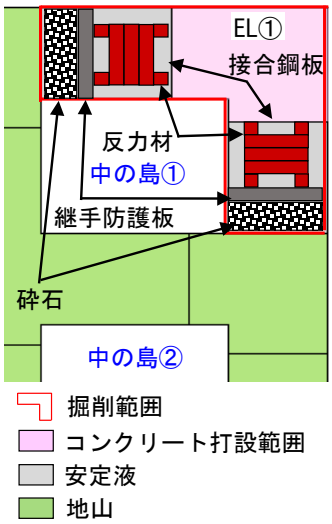









**図-12　コンクリート打設前の仮設工**

**表-2　コンクリート工の概要**

| EL | 打設量 ($m^3$) | トレミー管（本） | ポンプ車（台） | EL | 打設量 ($m^3$) | トレミー管（本） | ポンプ車（台） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 573.8 | 2 | 1 (2) | ⑨ | 943.5 | 4 | 2 (2+2) |
| ② | 960.5 | 4 | 2 (2+2) | ⑩ | 578.0 | 2 | 1 (2) |
| ③ | 1130.5 | 5 | 2 (3+2) | ⑪ | 1300.5 | 5 | 2 (3+2) |
| ④ | 590.8 | 2 | 1 (2) | ⑫ | 901.0 | 4 | 2 (2+2) |
| ⑤ | 935.0 | 4 | 2 (2+2) | ⑬ | 1343.0 | 6 | 2 (3+3) |
| ⑥ | 1258.0 | 5 | 2 (3+2) | ⑭ | 1661.8 | 7 | 2 (4+3) |
| ⑦ | 569.5 | 2 | 1 (2) | ⑮ | 1955.0 | 8 | 2 (4+4) |
| ⑧ | 1139.0 | 5 | 2 (3+2) | ⑯ | 1602.3 | 7 | 2 (4+3) |

※ポンプ車台数の（）内は1台当りのトレミー管の分担本数







**写真-10　コンクリート打設状況**　**写真-11　立体分岐管**

## 5．まとめ

国内初の 9 室囲型基礎構造を有する連壁基礎の施工実績について紹介した．大断面・大深度の連壁基礎を施工するに当たり、様々な工夫をすることで懸念された事象の発生を防ぐことができた．また，光ファイバにより中の島の挙動をリアルタイムに監視しながら施工を進め，無事，連壁基礎を完成させることができた．光ファイバによる計測の結果，施工中，中の島に発生したひずみは僅かであり，溝壁防護工が有効に機能したと考えている．

## 参考文献


1)　CRM 工法研究会：掘削土再利用連壁工法設計・施工マニュアル，2005.

2)　山口鎮雄，田中恵祐，内田拓史，水野浩平，橋本　学，渡邉　賢三，柳井　修司：RC 地中連続壁に用いる高流動コンクリートの側圧に関する検討，土木学会年次学術講演会，No.77，V-113，2022.