

超大型クローラクレーンによる大ブロック・モジュール工法の推進

—原子力発電所構造物・機器の据付け—

館 鼻 学・野村修一・白石徳光

北陸電力株式会社志賀原子力発電所2号機の建設工事では、世界最大級の超大型クローラクレーン（吊上げ能力930t×45m）を活用し、構造物・機器を大ブロック・モジュール化して据付け箇所に搬入する工法を採用している。

本工法のメリットとしては、現地据付け作業量減少によるコスト低減と品質向上、並行作業拡大による工期短縮、安全管理及び工程管理の容易化等があり、先行原子力プラントと比較して大幅に大ブロック・モジュール化を拡大しており、その概要と特徴について報告する。

キーワード：クローラクレーン、IT技術、大ブロック化、モジュール化、地盤改良

1. はじめに

北陸電力株式会社志賀原子力発電所は、能登半島の中央部西海岸に位置する石川県羽咋郡志賀町にあり、志賀町中心部から北西へ約7km離れた富来町との境界に位置する。2号機は、運転中の1号機（出力54万kW）の北側に隣接して設置するものであり、出力135万8千kWの沸騰水型軽水炉（改良型BWR）である。

発電所の位置及びレイアウトを図-1に示す。

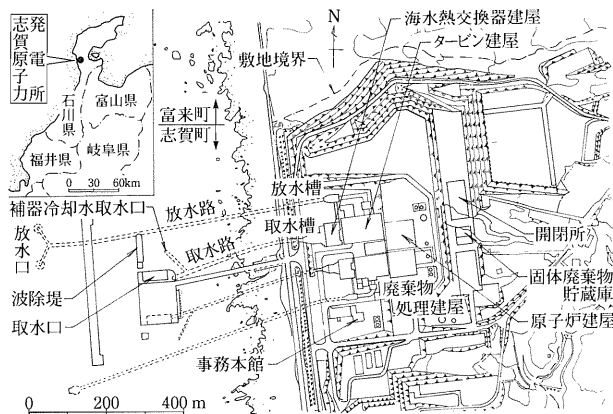


図-1 発電所の位置及びレイアウト図

平成11年8月に着工し、平成18年3月の運転開始を目指して鋭意工事を進めている。現在（平成15年6月末）の進捗は約65%であり、機器・電気設備工事及び建屋工事が最盛期を迎えている。

2. 超大型クローラクレーンの採用

揚重機計画については、ピーク時に十数基のタワークレーンとクローラクレーン等の移動式クレーンを組

合せる計画としており、更にコスト低減、工期短縮等の観点から構造物・機器を大ブロック・モジュール化して据付ける工法を採用することとし、このための揚重機として超大型クローラクレーンを別に用いることとした。吊上げ能力は単体機器で最大重量となる原子炉圧力容器（重量約820t）の据付けを考慮し、930t吊りとした。

3. 超大型クローラクレーンの概要

本建設で使用している超大型クローラクレーンは世界に数台しかないクレーンであり、平成13年3月より使用を開始し、平成16年春頃まで使用する計画である。

(1) 主な仕様及び特徴

超大型クローラクレーンの仕様と特徴を以下にまとめる。

- 最大吊り能力：930t（モードB，作業半径45m）
- 最大作業半径：100m（主ブーム）
- 本体全幅：12.2m
- ブーム長さ：103.6m（主ブーム）
- 重量：本体 約1,800t
カウンタウエイト 約1,660t
（最大積載時）
- クローラ中心距離：モードA 24.4m
モードB 36.6m
- ワイヤロープ：径41.3mm，42.0mm，
総延長約13km（主巻，ジブ起伏及び補巻）
- 使用原動機：178kW×4台（前後クローラ走行用）
340kW×2台（巻上げ，起伏用）
- 製造者：Lampson社（米国）

特徴は以下のようである。

- ① 全荷重を前後に設置した2台のクローラで分散することから、旋回安定度が高い。
- ② 前後のクローラの距離は伸縮可能であり、主ブームで大型重量物を吊る場合はモードBで行う。
- ③ フレキシブル機構を有しており、路面の凹凸の影響が少なく走行安定度が高い。

概要図を図-2に、また全景写真を写真-1に示す。

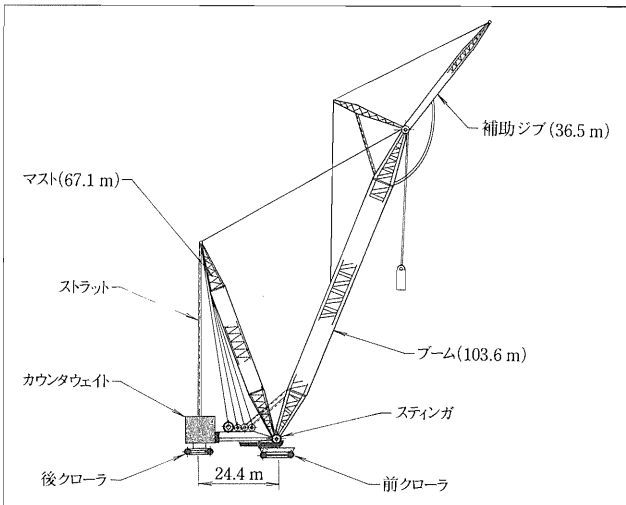


図-2 大型クローラクレーン概要図



写真-1 クレーン全景写真

(2) 使用実績

本機はこれまでに他電力の建設工事及び蒸気発生器取替え工事等において使用されている。

(3) クレーンの搬入、組立て

クレーン機材は平成12年4月に貨物船9船にて分割輸送し、平成13年1月にかけて整備、組立てを行い、平成13年2月末の関係官庁による検査の後、使

用を開始した。

(4) クレーン稼働エリアの整備

クレーンの稼働は原子炉建屋北側の約5,400m²(80m×67m)のエリアとし、次のような整備を行った。

- ① 50cmの鉄筋コンクリート製スラブ
- ② 20mmの鉄板養生

なお、地耐力90~47tf/m²を確保するため、セメント系固化材で地盤改良を行った。

(5) クレーン使用のカバーエリア

クレーンの最大作業半径は主ブームで100m、補助ジブ使用で130mであり、吊上げ可能なエリアはクレーン稼働エリアを移動し、大ブロック・モジュール化ヤードである原子炉建屋の東側50万V開閉所用地及び北側用地をカバーする。なお、吊降ろし可能なエリアは原子炉建屋とタービン建屋の大部分をカバーしている。クレーンの使用可能エリアを図-3に示す。



図-3 クレーン使用可能エリア

4. 大ブロック・モジュール化

(1) メリット

大ブロック・モジュール化により、次のようなメリットが期待できる。

- ① 現地組立て作業及び建屋内作業の低減によるコスト低減
- ② 作業制約条件の少ない工場あるいは現地組立て作業が増大し、作業制約条件を受ける建屋内作業が減少するための品質向上

- ③ 並行作業の拡大，取合い条件減少による工期短縮
- ④ 前記による安全管理，工程管理の容易化

(2) 適用範囲の拡大

建設に当って，大ブロック・モジュール化の適用拡大を推進するため，次のような方策を行った。

(a) 設計早期からの推進

設計の早期段階から大ブロック・モジュール化主導でレイアウト設計及び建築構造物も含めた配置計画を行った（例：配管等のブロック単位の設計・製作及び機器先行納入可能な建屋スラブのデッキプレート化の拡大）。

(b) IT 技術の積極的導入

設計・生産管理，据付け管理の全エンジニアリングへの大幅な IT 導入による設計合理化及び設計・施工管理情報の共有化，精度向上並びに伝達の高速化を図った（3D-CAD 及び CG の導入）。

(c) 大ブロック・モジュール化専用工場の利用

受注メーカーが大ブロック・モジュール化した機器を直接船積みし，海上輸送可能な専用埠頭に工場を設けた。

上記対策により，先行改良型 BWR プラントと比較して飛躍的に大ブロック・モジュール化の拡大（約 2.5 倍）が図れた。

(3) 主な大ブロック・モジュール化

主な大ブロック・モジュール化した構造物・機器は表一のとおりである。

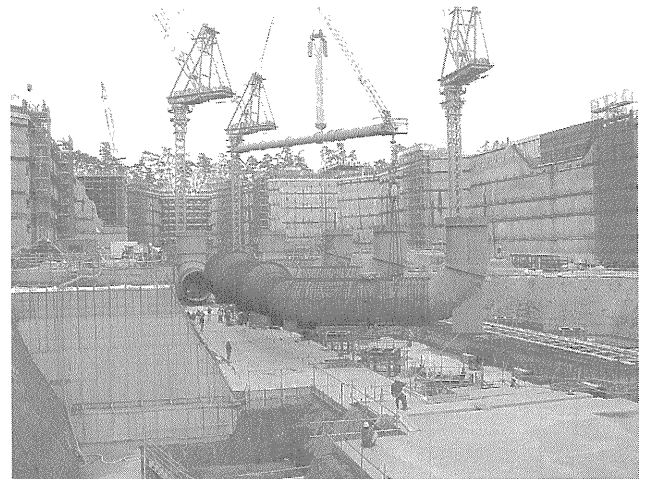
5. 大ブロック・モジュール化の施工例

(1) 循環水管の大ブロック化

循環水管とは，ポンプで汲上げた圧力蒸気冷却用海水を復水器まで導水し，冷却後，放水槽まで送水する管であり，今回の大ブロック化はタービン建屋に埋設される部分である。循環水管の大ブロックは 10 ブロック（合計約 750 t，単体最大約 135 t）あり，原子炉建屋東側の 50 万 V 開閉所用地で組立て，超大型クローラクレーンの補助ジブ（最大作業半径 130 m）で吊上げて移動し，吊降ろした。

循環水管の大ブロック工法により，据付けを 2.5 か月で施工し，通常工法での工期の約 1/2 と大幅に短縮できた。

吊荷姿の一例を写真一に示す。



写真一 管吊荷姿写真

表一 主な大ブロック・モジュール化構造物・機器

名称	主な仕様	重量	吊込み時期
循環水管	径 4.4 m 延長，約 430 m	約 750 t (10 分割)	平成 13 年 3 月～平成 13 年 4 月
原子炉建屋中央マット	基礎マット鉄筋，機器アンカボルト：直径約 42 m，高さ約 3.5 m	約 690 t (単体)	平成 13 年 11 月
タービン架台柱	柱鉄筋：3.7 m×5.1 m，高さ 17 m	約 67 t (単体)×24 基	平成 13 年 12 月～平成 14 年 5 月
原子炉格納容器下部ライナ	直径約 29 m，高さ約 21 m	約 630 t (単体)	平成 14 年 1 月
原子炉建屋中央制御室屋根鉄骨	鉄骨，機器ダクト：長さ 29 m，幅 17 m，高さ 3 m	約 210 t (単体)×2 基	平成 14 年 2 月
タービン架台梁	梁鉄筋：3 m×4 m，長さ 12 m	約 73 t (単体)×9 基	平成 14 年 5 月～平成 14 年 10 月
復水器下部胴	幅 6 m，高さ 11 m，長さ 18 m	約 320 t (単体)×6 基	平成 14 年 6 月
復水器上部胴	幅 10 m，高さ 10 m，長さ 18 m	約 330 t (単体)×3 基	平成 14 年 7 月
原子炉格納容器上部ドライウェル	直径約 23 m，高さ約 9 m	約 650 t (単体)	平成 15 年 2 月
湿分離加熱器	直径約 4 m，長さ約 33 m	約 43 t (単体)×2 基	平成 15 年 2 月
タービン屋根鉄骨	屋根鉄骨：長さ 42 m，幅 12 m，高さ 8 m	約 310 t (単体)×6 基	平成 15 年 4 月～平成 15 年 5 月予定
原子炉格納容器トップスラブ	鉄筋，内張りライナ：直径 24 m，高さ 4 m	約 510 t (単体)	平成 15 年 6 月
排気筒	排気筒筒身：直径 8 m，高さ 10 m	約 100 t (単体)×5 基	平成 15 年 6 月～平成 15 年 8 月予定
原子炉圧力容器	容器：内径約 7 m，高さ約 22 m	約 820 t (単体)	平成 15 年 9 月予定

(2) 原子炉建屋中央マットモジュール化

原子炉建屋中央マットとは、図-4に示す原子炉格納容器を支える基礎マットであり、今回モジュール化した部分はマット部上筋と原子炉本体基礎のアンカボルトである。大きさは直径約42m、高さ約3.5mであり、重量は約690tである。吊込み状況を写真-3に示す。

今回のモジュール化により4.5カ月で施工でき、先行機ベースより2カ月と大幅に工期短縮できた。

(3) 原子炉格納容器上部ドライウェルモジュール化

原子炉格納容器上部ドライウェルとは、図-4に示す鉄筋コンクリート製格納容器の上部ドライ部分であり、ここに設置される原子炉遮蔽壁、配管、弁、架台等をIT技術(3D-CAD)によりモジュール化した。大きさは直径約23m、高さ約9mで、重量が約650tである。今回のモジュール化には原子炉格納容器内配管の約6割が組込まれている。図-5はドライウェルモジュールの3D-CAD図であり、吊込み状況を写真-4に示す。

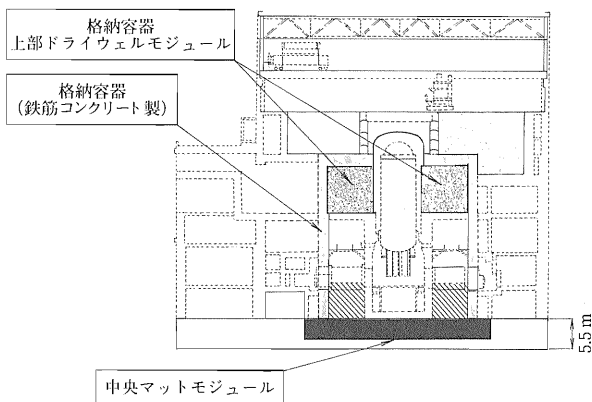


図-4 原子炉建屋の断面図

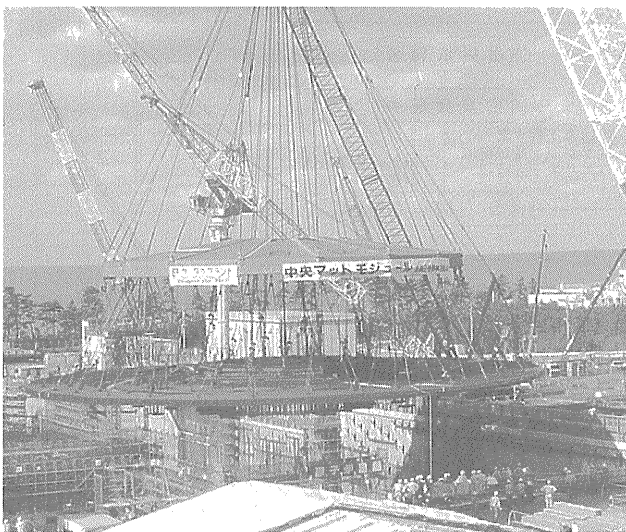


写真-3 中央マットモジュール吊込み

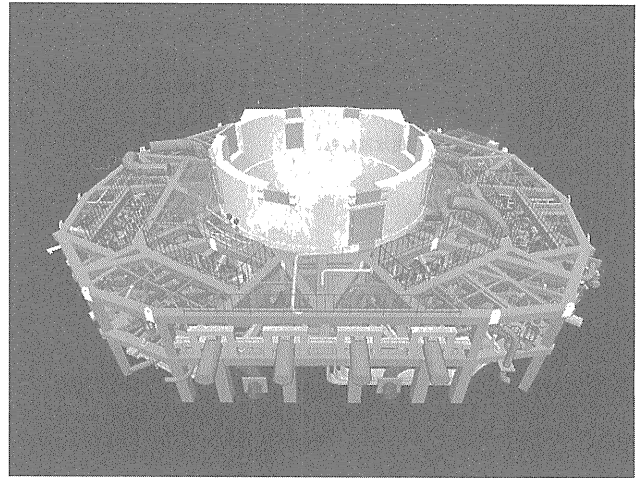


図-5 ドライウェルモジュールの3D-CAD



写真-4 ドライウェルモジュール吊込み

(4) 復水器の大ブロック化

復水器とは、発電に利用した蒸気を海水を利用して熱交換し水に戻す装置である。復水器全体は図-6に示すように3胴で構成されており、全長が約35mである。各胴は細管を内蔵した下部胴と給水加熱器を内蔵した上部胴等で構成されている。従来、下部胴は数個のブロックを現地で組立て、その後細管をブロックに挿入していたが、志賀2号機では下部胴を2分割のブロックで組立て、細管挿入まで工場にて実施し貨物船で現地へ輸送した。したがって、下部胴は全部で6ブロックとなり、1ブロックの大きさは幅約6m、高さ約11m、長さ約18mで、重量は約320tである。

一方、上部胴は、底面が開放された台形状の箱構造であり、ブロック吊込み時には2基の給水加熱器を含めたものとした。1ブロックの大きさは幅約10m、高さ約10m、長さ約18mで、重量は約330tである。

吊込み状況を写真-5及び写真-6に示す。

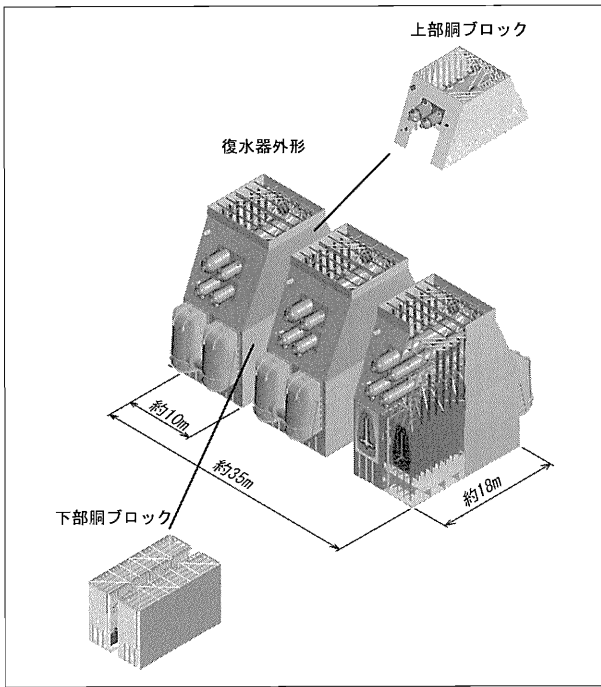


図-6 復水器鳥瞰図

6. クレーンの運転・維持管理

(1) 作業の指揮命令

大部分の機器吊込みは、クレーン管理者と吊搬依頼者は同じであるが、異なる場合は次のような指揮命令系統で実施している（図-7）。

(2) 作業規制

吊込み作業は、次の規制に基づいて実施した。

- ① 夜間の作業は原則として行わない。
- ② 悪天候時の作業中止判断基準

区 分	基 準 値
降 雨 量	50 mm/h 以上
降 雪 量	25 cm/h 以上
霧 量	視界 100 m 以上
雷	半径 20 km 以内に落雷
地 震	地震発生



写真-5 復水器下部胴吊込み

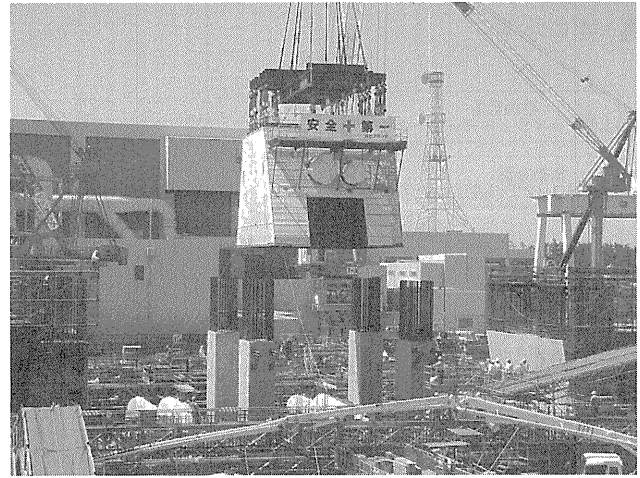


写真-6 復水器上部胴吊込み

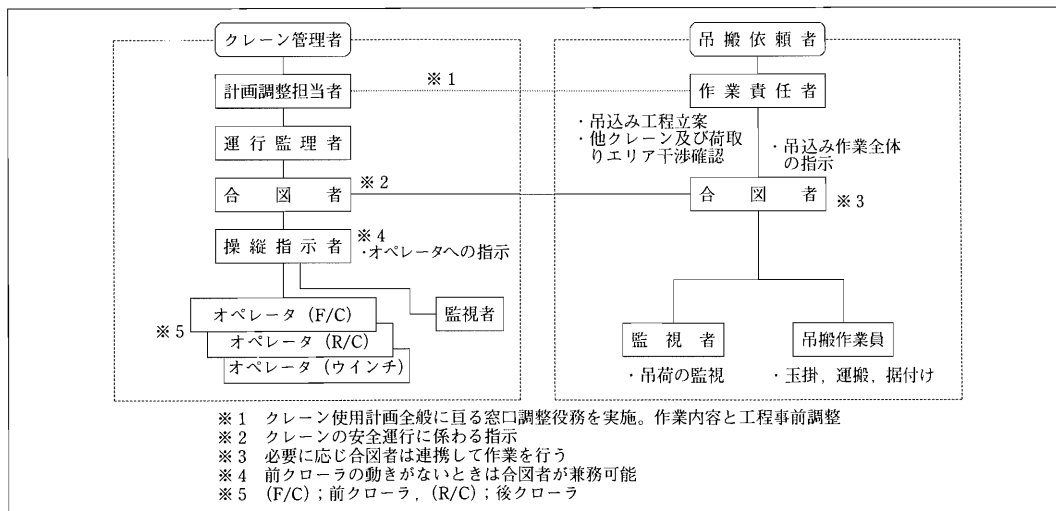


図-7 作業の指揮命令

③ 風による判断基準

時 期	基 準 値	判 断
作業開始前	平均風速 10 (5) m/s 以下	作業開始
作 業 中	瞬間風速 15 (7) m/s 以下	作業継続
	瞬間風速 15~20 (7~13) m/s 未満	作業中断
	瞬間風速 20 (13) m/s 以上	中 止

注：()内基準は風の影響を受けやすい大物製品の吊搬基準

(3) 地盤の挙動監視

原子炉建屋の基礎掘削は垂直掘削工法で施工しており、高さ約 26 m の掘削面は親杭とグラウンドアンカで固定、支持している。クレーンが原子炉建屋掘削箇所に接近（最短離隔約 10 m）するため、重量物吊込み時は親杭、グラウンドアンカの挙動を監視しながら作業を実施している。

(4) クレーン稼働エリアの漏油対策

超大型クローラクレーンの燃料タンク 6 個の内、1 個 (350 L) 程度の油が漏洩した場合を想定し、エリア排水設備末端にオイルセパレータを 2 箇所（捕獲能力 200 L/箇所）設置した。

(5) クレーン衝突防止システム

本建設では、超大型クローラクレーン、建築用タワークレーン、クローラクレーンを多く使用するため、GPS を用いたクレーン衝突防止システムを採用し、超大型クローラクレーンにもセンサを取付けシステムに組込んでいる。本システムはツインアンテナ GPS をクレーンタワーの先端に設置し、無線でデータ伝送のうえコンピュータで 3 次元監視するシステムである。クレーン同士の接近状況を距離に応じて警報、減速、停止の 3 段階で管理しており、その状況を 3-D モデル画面表示し、表示灯、ブザーでオペレータに知らせ

ると共にクレーンに対し減速、停止の制御を行っている。

7. おわりに

北陸電力株式会社志賀原子力発電所 2 号機建設工事では、

「Get the Dream Together,

一人一人が英知を絞り安全で信頼される発電所を建設しよう」

のスローガンのもと、工事関係者一丸となって信頼される発電所づくりに取り組んでいる。今後も品質、安全確保を最優先すると共に更なるコスト低減につながる創意工夫をしながら、工事を進めていきたい。

最後に工事の推進にあたり、ご協力を頂いている関係各位並びに工事関係者に対し、誌上を借りて厚く御礼を申し上げます。

JCMA

【筆者紹介】



館鼻 学 (たちばな まなぶ)
北陸電力株式会社
志賀原子力発電所建設所
機械課
副課長



野村 修一 (のむら しゅういち)
北陸電力株式会社
志賀原子力発電所建設所
建築課
副課長



白石 徳光 (しらいし とくみつ)
北陸電力株式会社
志賀原子力発電所建設所
土木第一課
副課長