

報告 原子力発電所建設工事の工期短縮, 省力化を図る鋼製型枠工法

田中 正良*¹・水瀬 和人*²・森川 淳*³

要旨: 近年原子力発電所建設工事の工期短縮要求と, プラント機器の先行搬入の一般化に伴い, スラブ型枠に支保工を必要としないデッキ型枠等の鋼製型枠が普及している。女川原子力発電所第3号機建設工事においては, 鋼製型枠のユニット化, プラント配管との一体化, 鉄筋との一体化の鋼製型枠工法を適用し, 工期短縮と共に工事の安全確保, 省力化に大きな効果を得た。

キーワード: 原子力発電所, 鋼製型枠, 工期短縮, 省力化, 安全

1. はじめに

女川原子力発電所は宮城県の北東に位置する女川町と牡鹿町にまたがる面積約 173 万㎡の敷地に立地する総電気出力 217.4 万 kw の発電所である。発電所は 1 号機, 2 号機, 3 号機と分けて建設され, 現在女川 3 号機が 2002 年 1 月末, 日本において 21 世紀に初めて運転を開始する原子力発電所として建設が進められている。

女川 3 号機は 2 号機と同出力の発電所でありながら, 主要工程を約 3 ヶ月短縮している。そのため建設工事に際して種々の工期短縮工法及び省力化工法を採用している。

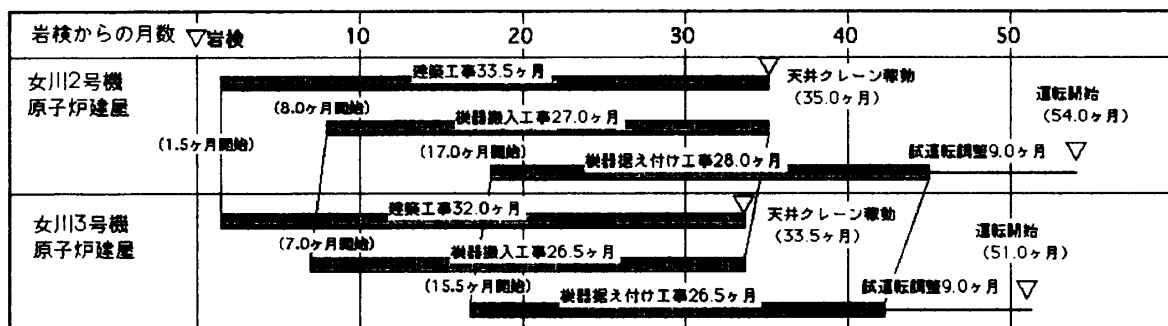
本稿では女川 3 号機の主要建屋 (原子炉建屋, タービン建屋, サービス建屋) の建設工事において, 工期短縮, 工事中の安全確保, 工事

の省力化を図る目的で採用した鋼製型枠工法について報告する。

2. 鋼製型枠工法の採用の経緯

女川 2 号機と女川 3 号機の原子炉建屋の主要工程を表-1 に示す。この表より女川 3 号機ではプラント機器の試運転調整期間は従来と同じ約 9.0 ヶ月を確保し, 搬入工程で約 0.5 ヶ月, 据え付け工程で約 1.5 ヶ月の工程短縮を図っている。これを可能とするために, 図-1 に示すようにスラブ完了後機器を搬入し, 据え付ける従来工法を見直し, プラント機器及び配管を建築工事と並行して搬入 (以下青塔という) する青塔工法を広範囲に採用し, 搬入工程を実質的に短縮している。女川 3 号機では女川 2 号機と比べこの青塔工法の範囲を約 2.5 倍に増やし,

表-1 原子炉建屋主要工程比較



* 1 鹿島建設 (株) 東北支店 女川原子力出張所 次長 (正会員)

* 2 東北電力 (株) 女川原子力発電所 建設所 建築課

* 3 鹿島建設 (株) 東北支店 女川原子力出張所 (正会員)

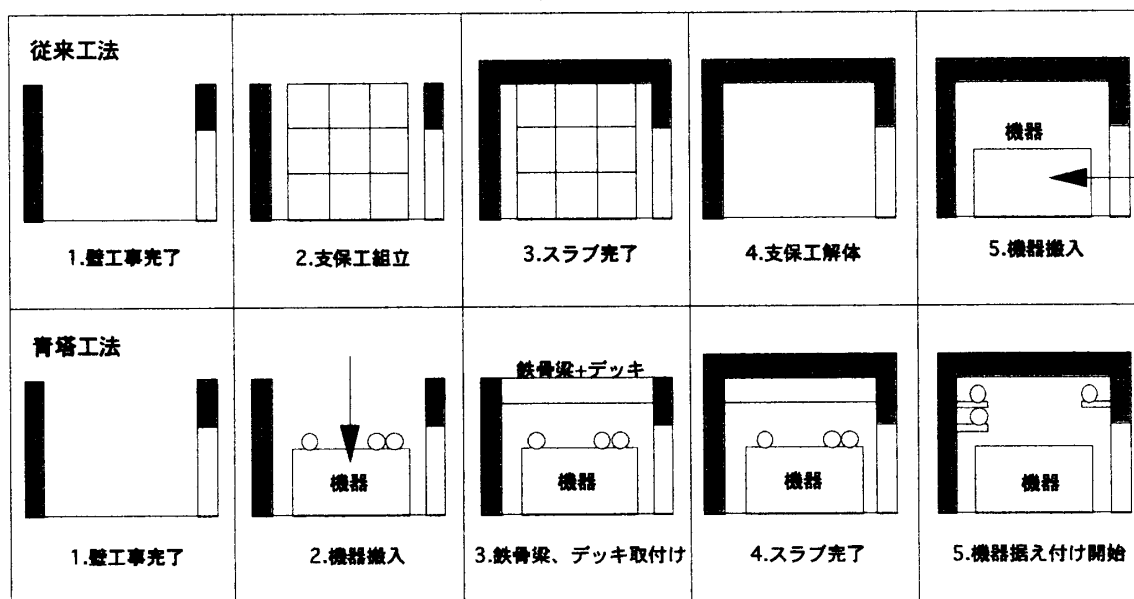


図-1 従来工法と青塔工法の比較

その結果、従来と比べ長大化した配管等を搬入すること、機器に取りつく配管を予め設置することが可能となり、現場作業の削減、品質の安定性はもとより、据え付け工程の短縮が可能となっている。このような工期短縮に対する考え方はタービン建屋においても同様である。

このプラント工事（機器搬入工事及び機器据え付け工事）側の工法に対応するために建築工事においては、以下の事項を解決する必要がある。

- (1) 機器の青塔の増加により、デッキプレートエリアが増大するため、デッキプレートの敷き込み工程を十分に考慮して工事を進める必要がある。
- (2) 建築工事中に、プラント工事との混在作業が多くなり、作業員の動線確保が重要である。
- (3) 機器の据え付け工程を確保するため、建築工事の工程を約 1.5 ヶ月短縮する必要がある。

女川 3 号機ではこれらの問題点を解決するため鋼製型枠工法を検討し、以下の対策をとった。

- (1) デッキプレートをユニット化し、作業効率を改善する。

- (2) 作業員の動線上重要な階段室等の通路について鉄板型枠を使用し、工事の初期の段階から通路を確保する。
- (3) クリティカルパスになるタービン架台及び最上階の壁に対し鋼製型枠を使用し、工期の短縮を図る。

以下に各工法の概要を報告する。

3. 鋼製型枠工法の採用事例

3. 1 床デッキプレートユニット工法

原子力発電所は放射線の遮蔽上の要求により、建物を構成する壁、スラブが 1m から 2m と厚い。そのため使用されるデッキプレートは一般建築で使用されるフラットデッキとは異なり、厚さ 2.3mm から 6.4mm、高さ 100mm の重量デッキプレートが使用される。

従来この種のデッキプレートの作業手順は、10 枚ほどのデッキプレートの束を現地に搬入後、作業員が 1 枚ずつ設置し、小口部分のコンクリート止めを行い完了する。女川 3 号機においてこの作業手順で作業を行うと、デッキプレートエリアが増大しているため、デッキプレートの敷き込みが所定の工程内で完了しないことが予想された。

そのため女川 3 号機ではデッキプレートの

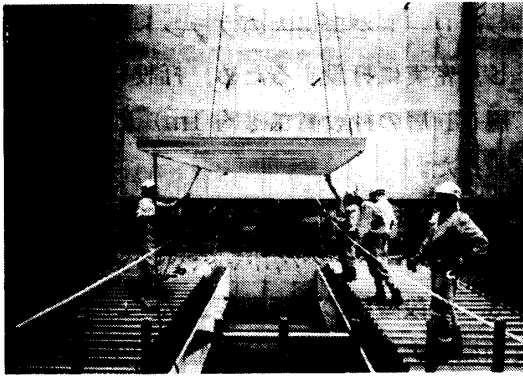


写真-1 ユニットの吊り込み状況

小口に9mmの鉄板を工場で溶接し、設置する鉄骨のスパンの大きさを一体化するユニット化工法を採用し、作業の効率化を図った。この工法はクレーンを使用してデッキプレートを設置するだけで工事が完了するため、現場敷き込みの作業効率は女川2号機と比較して約3倍に上がり、所定の工程内で完了することができた。しかし本工法はデッキプレートの輸送効率が落ちるため、現場近傍にユニット製作ヤードを確保できることが条件となる。

写真-1 にデッキユニットの吊り込み状況を示す。

写真-2 は床デッキプレートのユニット化の応用例である。原子炉格納容器（以下PCVという）まわりの配管及び配線トレイを鉄骨製作工場にて鉄骨梁に取り付け、デッキプレートと一体化して吊り込む工法である。本工法は女川2号機においても採用した工法であるが、配管の継手位置及び配置位置の調整により、取り付ける配管類を約1.5倍に増やし、PCV組立工程を女川2号機と比較して約0.5ヶ月短縮し約6ヶ月とした。

表-2 タービン架台工事工程の比較

	0	5ヶ月	10ヶ月	12ヶ月
女川2号機 タービン架台工事	1層柱	2層柱	1層梁 2層梁(支保工)	支保工解体
女川3号機 タービン架台工事	1層柱 (プレハブ筋使用)	2層柱 (プレハブ筋使用)	2層梁 (流支保工) 2層梁 (支保工)	支保工解体
		鉄骨工事 (1.0ヶ月)	維持費等 (2.0ヶ月)	

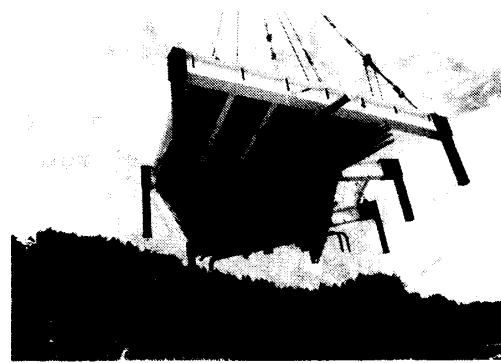


写真-2 配管類と一体化

3. 2 無支保工化工法

タービン架台は蒸気タービンと発電機を支持する基礎で、この工事はタービン建屋工事のクリティカルパスである。女川3号機では、女川2号機と違い、表-2 に示すように、タービン架台工事中に鉄骨工事及び蒸気タービンと発電機にからむ機器の青塔をする必要があった。そのため工事は図-2 に示すように建築工事が2層目の柱躯体工事完了後、機器の青塔を行い、最上階の梁については、下階からの支保工を必要としない無支保工化工法¹⁾を採用した梁を設置することとした。無支保工化工法の概要は以下の通りである。

- (1) 図-3 に示すように梁の内部にコンクリート荷重をうける仮設鉄骨を設置し、底型枠及び側型枠を厚さ9mmの鉄板と接合した。
- (2) 仮設鉄骨は構造体の鉄筋、及び機器のアンカーボルト類と干渉を避けて設置した。

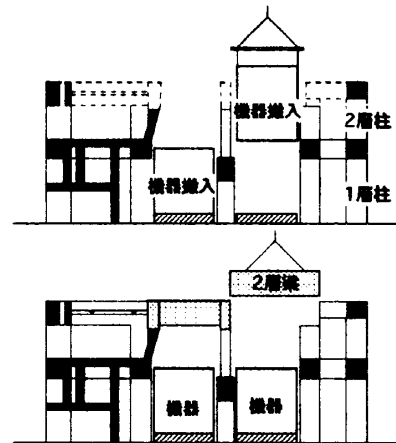


図-2 タービン架台施工計画

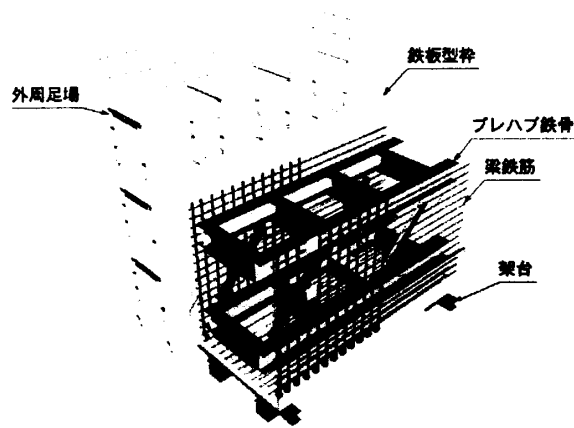


図-3 無支保工組立概念図

表-3 調合表

材令 (日)	設計基準強度 (N/mm ²)	スランプ 流動化 (cm)
91	33	12 → 18
空気量 (%)	骨材寸法 (mm)	フライアッシュ セメント使用
4.0	20	

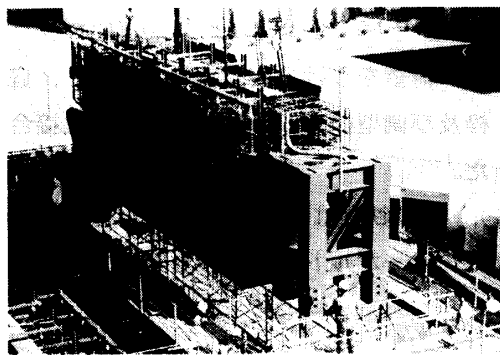


写真-3 無支保工梁吊り込み状況

- (3) 無支保工化する梁は、青塔される機器と干渉する 6 本とし、ヤードにて鉄筋、アンカーボルトを一体で組み込み、現場での作業は仕口部分の調整とコンクリート打設のみとした。
- (4) アンカーボルト、鉄筋、仮設鉄骨のお互いの空きを 60mm 以上確保し、コンクリートの充填性を確保した。
- (5) 打設にあたっては表-3 に示す調合のコ

ンクリートを現場内のプラントにて流動化し、密実に打設するため、打設レベルは4層（1層の打設高さは約 1m）に分けて打設した。

写真-3 に無支保工梁の吊り込み状況を示す。

3. 3 階段型枠の鉄板型枠工法

女川原子力発電所の支持地盤は中生代の岩盤で、その深さは地上から約 30m になる。そのため原子力発電所建設工事を円滑に進めるためには、地上部から地下 30m までの作業員の動線を如何に安全に確保するかが重要となる。原子力発電所は一般に放射線の遮蔽上の制約から外壁に開口がないため、その作業動線は建屋内の階段室に集中することになる。

原子力発電所の階段室の壁は一般に RC 構造で設計される。女川 1 号機では階段室の壁躯体工事を先行し、躯体工事で使用した仮設材を搬出後、鉄骨階段を設置した。そのため階段室は工事終盤まで通行に支障がある状況が続いた。女川 2 号機では工事の早い段階でも本設階段を使用できるよう、建屋内のいくつかの直通階段を図-4 に示すような「柱付き鉄骨階段」として躯体工事に先行して組み立て、階段室の通行を確保した。しかしこの工法は以下の施工上の問題点を含んでいた。

- (1) 壁工事は従来の木製ベニヤを使用した型枠工事となるため、当該部分の躯体工事中は内部の足場等により通行に支障がある。
- (2) 躯体工事完了後に行われるコンクリート面の仕上げ作業、塗装工事中に通行が規制される。

この問題点を解決するため、女川 3 号機では階段室の内側型枠に鉄板型枠を使用し、図-5 に示すような「壁付き鉄骨階段」を使用頻度の高い直通階段の 10 ヶ所について採用することとした。

壁付き鉄骨階段の概要は以下の通りである。

- (1) 内側の鉄板型枠は厚さ 6mm の鉄板を裏側で 12mm のリブプレートで補強し、

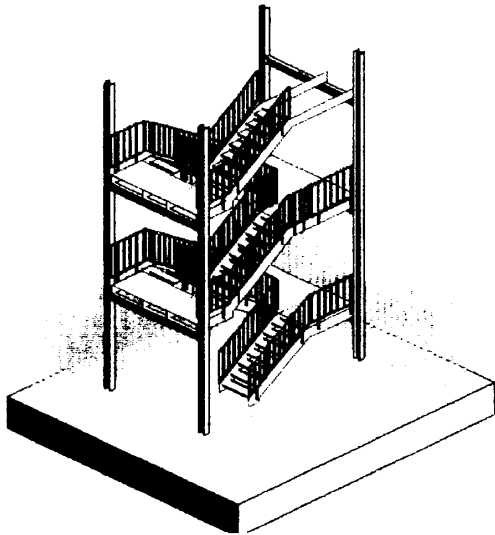


図-4 柱付き鉄骨階段

コンクリートの側圧に耐える構造とした。

またリブ下へのコンクリートの充填性を確保するため、400ピッチに空気穴を設けた。

- (2) 鉄板は JISH8641「熔融亜鉛メッキ」2種 HDZ55 の仕様でメッキを行い、最終仕上げとして現場に設置した。
- (3) 組立ヤードで階高分の鉄骨階段をボックス状に地組を行い、スラブコンクリート打設後直ちに下階の階段に積木を積み上げるように設置し、作業員の通路を確保した。
- (4) コンクリートは設計基準強度 33 (N/mm²)、ベーススランプ 12cm を 18cm にした流動化コンクリートを使用した。

写真-4 に階段ユニットの吊り込み状況を示す。

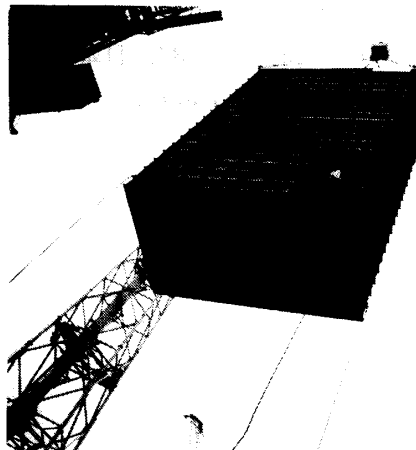


写真-4 階段吊り込み状況

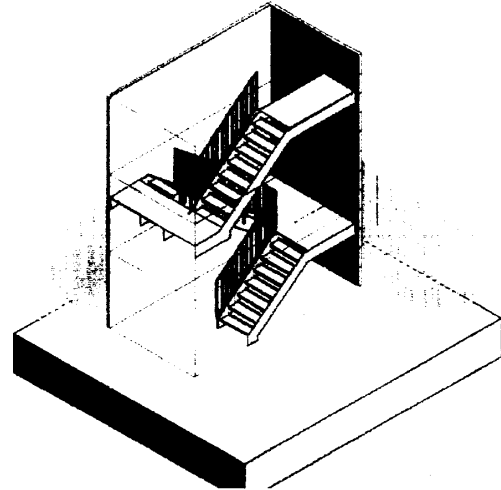


図-5 壁付き鉄骨階段

3. 4 壁型枠の鋼製型枠工法

原子力発電所建設工事の工程上のクリティカルパスの一つに、原子炉建屋、タービン建屋の最上階に設置される天井クレーンの稼働時期がある。女川 3 号機では、女川 2 号機と比較して約 1.5 ヶ月天井クレーンの稼働時期が早まった。

そのため建屋最上階の壁の内側部分に図-6 に示す鋼製型枠を採用することで工期短縮を図り、表-4 に示すように天井クレーンの稼働時期の前倒しを行った。

鋼製型枠には厚さ 2.3mm、高さ 100mm の重量デッキプレートとチャンネル材で補強したパネルを使用した。さらにプレハブ鉄筋と鋼製型枠をスタッドボルトにて一体化し、吊り込み

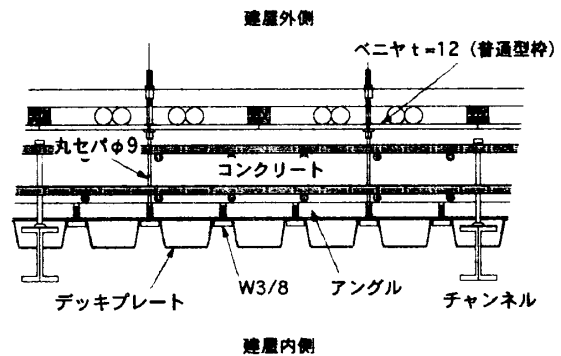


図-6 鋼製型枠概要図

表-4 最上階壁（内側）工事工程の比較

	1	2	3	4	5	6	7ヶ月
女川2号機 最上階壁（内側） 工事工程		壁躯体工事	壁型枠解体	仕上げ工事	足場解体	天井クレーン組立	天井クレーン稼動
女川3号機 最上階壁（内側） 工事工程	0.5ヶ月短縮	壁躯体工事（鉄筋と一体化）	足場解体	天井クレーン組立	天井クレーン稼動	1.5ヶ月短縮	

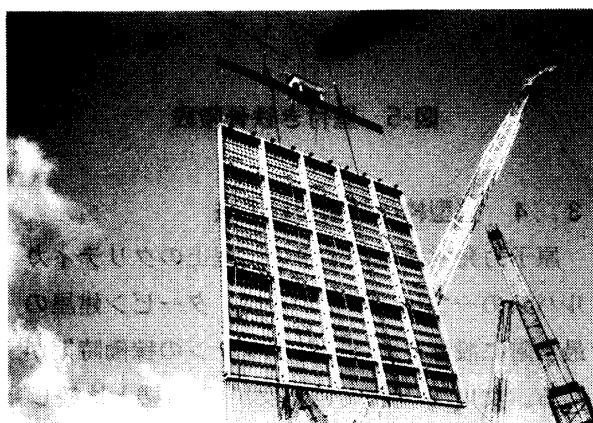


写真-5 デッキ型枠吊り込み状況

の作業効率を上げることにした。

本工法による工期短縮の概要は以下の通りである。

- (1) 鋼製型枠と壁筋を一体化して現場に吊り込むことにより、躯体工事の配筋工事期間を約0.5ヶ月短縮した。
- (2) 建屋内側において解体作業を軽減することで約0.5ヶ月、またデッキプレート面を仕上げ面として使用できるため、仕上期間を削減することで約0.5ヶ月、あわせて約1ヶ月短縮することが可能となった。

最上階の壁に使用したコンクリートは、設計基準強度 33 (N/mm²)、ベーススランプ 12cm を 18cm にした流動化コンクリートである。

鋼製型枠の吊り込み状況を写真-5 に示す。

またこの最上階の壁については建屋外側の型枠はベニヤ型枠を使用し、コンクリートの充填性の確認ができるようにしているが、目視確認できない建屋内側の充填性を確実にするため、

モックアップ試験を実施し、実物と同様の打設条件下において密実な打設が可能であることを確認している。

4. まとめ

以上女川3号機において床、梁、壁に採用した鋼製型枠工法の事例について報告した。本工法採用により現在原子力発電所に求められている経済性、安全性、信頼性等のニーズの確保に大いに貢献できたと考えている。

鋼製型枠はコンクリート打設完了後の作業を省力化できること、異なる職種の作業をユニット等で一体化できること、建設廃材の排出が少ないこと等の利点を生かし、今後とも原子力発電所の工事はもとより、一般建築においても使用範囲が拡大していくと考える。

参考文献

- 1) 尾形 芳博ほか：女川原子力発電所第3号機蒸気タービン基礎工事における大型プレハブ化工法について、pp.431-434, 日本建築学会東北支部研究発表会, 1999.6