

報告 原子力発電所建設工事の工期短縮を図る大規模鉄筋プレハブ工法

桜井 一雄*¹・尾形 芳博*²・志村 英典*³

要旨：女川原子力発電所第3号機建設工事は、女川2号機と同出力の発電所でありながら建設工期が約3ヶ月間短縮されている。そのため建設工事においては、工程上のクリティカルパスである基礎版、耐震壁、タービン架台等の「鉄筋工事」において、大規模な鉄筋のプレハブ化を行い工期短縮を図った。また本工法は工事の省力化、作業の安全確保にも大きな効果を得る事ができた。

キーワード：原子力発電所、鉄筋プレハブ、工期短縮、省力化、安全

1. はじめに

女川原子力発電所第3号機は、主要建屋（原子炉建屋、タービン建屋、サービス建屋）から成り、平成8年9月に着工し、平成14年1月の営業運転開始に向けて現在建設中である。

女川3号機は同出力の2号機に比較して主要工程を約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のための工法を採用している。

本稿では女川3号機主要建屋の建設工事の中で、工期短縮、作業の安全確保を図る目的で採用した大規模な鉄筋プレハブ工法について報告する。

2. 女川3機の鉄筋プレハブ工法の概要

原子力発電所は鉄筋コンクリート構造を主体としており、使用している鉄筋にはD29～D38、D51の太径鉄筋も使われている。そのため建設工程に占める鉄筋工事の割合は一般建築物に比較して多くなっており、工程上のクリティカルパスとなる部位の鉄筋工事を効率よく行う事が工期短縮上有効である。

表-1に女川3号機で採用した鉄筋プレハブ工法の概要を示す。原子炉建屋で3種類、タービン建屋で4種類採用した。鉄筋のプレハブ重量の合計は約2,500tであり、この数量は主要建屋総鉄筋量の約5%となっている。

表-1 女川3号機で採用した「鉄筋プレハブ工法」

no.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
建屋	原子炉建屋	原子炉建屋	原子炉建屋	タービン建屋	タービン建屋	タービン建屋	タービン建屋
部位	基礎版 (床)	耐震壁 (インナー部)	耐震壁 (制御室)	タービン架台 (1層柱)	タービン架台 (2層柱)	タービン架台 (2層梁)	1階柱
仕様	配筋 下筋D38 5段	縦筋D38 横筋D35	縦筋D32 横筋D29	主筋D51 フープD25	主筋D51 フープD25	主筋D38 帯筋D19	主筋D38 帯筋D16
寸法 (最大)	半径24m 角度60°	10mx10m 高さ10m	8mx11m	3.6mx4.3m 高さ17m	3.6mx4.3m 高さ10m	2.9mx4.0m 長さ11.7m	1.6mx2.4m 高さ10.5m
プレハブ数量	30セット	10セット	42セット	10セット	10セット	6セット	48セット
プレハブ最大重量	約40 t	約60 t	約10 t	約110 t	約50 t	約60 t	約30t (鉄筋のみ)
総プレハブ鉄筋重量	約630 t	約410 t	約380 t	約520 t	約240 t	約80 t	約130t
下地鉄骨総重量	約10 t 吊治具重量	約160 t	約60 t	約240 t	約30 t	約200 t	本設鉄骨を利用
備考	プレハブ最大重量には下地鉄骨、吊治具の重量を含む					鉄筋プレハブ重量合計 約2,500t	

* 1 鹿島建設（株）東北支店 女川原子力出張所 工事課長（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

3. 原子炉建屋の「鉄筋のプレハブ化」

3. 1 概要

女川3号機の原子炉建屋は地下3階、地上3階の建物で、図-2に示す様に基礎部分の基礎版、原子炉格納容器が設置されるインナー部、それを取り囲むアウター部、及び発電所を制御する中央制御室の4つの部分に分ける事ができる。この原子炉建屋の工程上のクリティカルパスとなる部位は、最下部基礎版、機器工事と取り合うインナー部、中央制御室部の3つの部分である。「鉄筋のプレハブ化」はこれら3箇所について採用している。

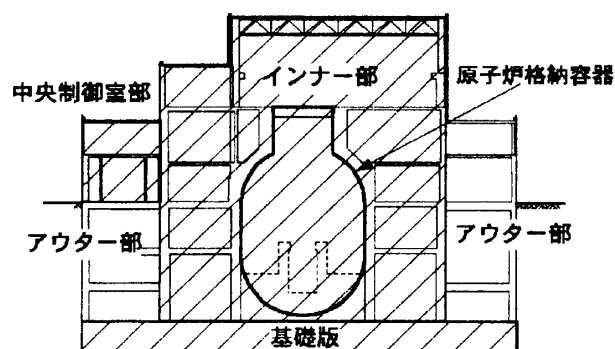


図-2 原子炉建屋断面図

3. 2 基礎版鉄筋プレハブ工法

原子炉建屋の基礎版は約81m×77m 厚さ6mで、コンクリート数量約37,200 m³、鉄筋量約4,000tに及ぶ工事である。基礎版の鉄筋工事は中央部ではD38の鉄筋を下端筋で5段、上端筋で3段配筋する。また基礎版の中央部は原子炉格納容器のアンカーボルトと鉄筋との干渉を回避するため、半径約25mの放射状筋と円周筋の配筋となっている。この基礎版工事の工程を確保する上で考慮すべき条件を以下に挙げる。

- (1) 放射状鉄筋と円周筋の配筋は、通常の格子状の配筋作業と比較して配筋効率が落ちる。
- (2) 中央部の下端鉄筋は5段になるため、鉄筋上の作業床の確保、精度の確保が必要である。

以上の条件を考慮し工期短縮を図るために、女川3号機では中央部の放射状筋と円周筋のプレハブ化¹⁾を計画した。施工にあたっては以下の事項について技術的検討を行った。

- (1) 専用の吊り治具を使用して、吊り位置を固定し、ねじれを防止する。
- (2) 吊り込み現場に定規を設置して現場での据付精度管理を行う。
- (3) 女川2号機では9分割であったユニットを大型化し、今回初めて6分割としてさらに効率化を図る。

本工法の効果として、基準となる中央部の配筋が女川2号機(約20日)と比較して約7日工期短縮されたため、外周部の配筋工程の確保に有効であった。また、プレハブ筋のガイド使用による配筋精度の確保、配筋効率の向上の効果があつた。

吊り込み状況を写真-1に示す。



写真-1 基礎版プレハブ吊り込み状況

3. 3 耐震壁十字プレハブ工法

原子炉建屋のインナー部は約 50m×50m の大きさで、厚さ 1.0m～1.8m の耐震壁で囲まれている。この耐震壁の最も配筋の多い地下 2 階では縦筋 D38、横筋 D35、200 ピッチの 6 段配筋となっておりインナー部耐震壁の鉄筋全体で約 1,600t になる。インナー部の工程を確保する上で考慮すべき条件を以下に挙げる。

- (1) 機器側の原子炉格納容器組み立て開始前に、耐震壁の工事を他の部位に先駆けて 2 フロアー(B3F, B2F)先行で完了する必要がある。
- (2) 耐震壁交差部の配筋工事は、配筋手順の関係上、壁内足場を組み替えながら行うため、配筋効率が落ちる。

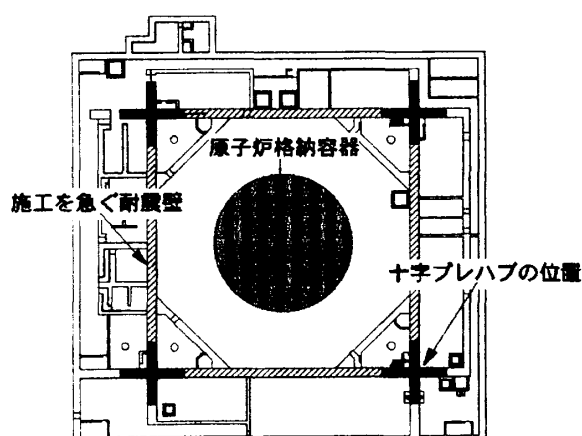


図-3 耐震壁プレハブ位置図

以上の条件を考慮し工期短縮を図るために、図-3 に示す地下部の耐震壁の交差部の鉄筋を十字にプレハブ化¹⁾²⁾し、配筋工事の起点とする事とした。この工法は、女川 3 号機で初めて採用したものである。施工にあたっては以下の事項について技術的検討を行った。

- (1) 壁の主筋にネジ筋を使用し、下地鉄骨と鉄筋の固定には U 字ボルト及びロックナットを使用し主筋の落下防止及び脱落防止を行う。
- (2) 現場の差筋とプレハブ筋とは重ね継手とし、定規を使用し差筋の精度を確保する。

プレハブ化は B3F, B2F の 8 箇所、B1F の 2 箇所について行った。

本工法の効果として、基礎版コンクリート打設完了後 4 面の壁配筋を同時に開始する事ができ、2 号機(約 4 ヶ月)と比較して約 1 ヶ月の工期短縮になった。さらに下地鉄骨を使用する事により、配筋精度の確保が容易となった。吊り込み状況を写真-2 に示す。

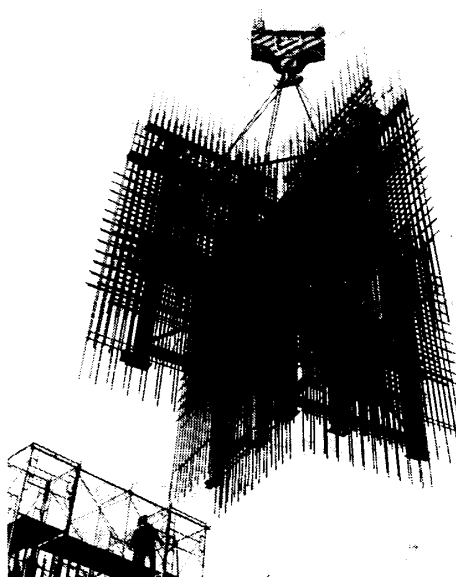


写真-2 十字プレハブ筋吊り込み状況

3. 4 中央制御室部耐力壁プレハブ工法

中央制御室部は原子炉建屋の南側に位置し、機器工事側への早期引き渡しに対応するため同じフロアーの他のエリアよりも約 6 ヶ月早く躯体工事を完了する必要がある。そのため中央制御室部は「S+RC 構造」³⁾、「SC 構造」²⁾³⁾を採用するなど設計面での配慮がなされている。この中央制御室部の工程を確保する上で考慮すべき条件を以下に挙げる。

- (1) 作業エリアが狭いため、同時期に作業員を大量に入れる事ができない。
- (2) 中央制御室の床には制御盤にケーブルを通すための特殊な形状の床工事がある。この工事を躯体工事と同時に進める必要がある。

以上の条件を考慮して工期短縮を図るために、3号機では初めて図-4に示すインナー部との取り合いの耐震壁と、外部耐震壁について鉄筋をプレハブ化し、1階の床のコンクリート打設完了後、2フロアー分（1、2階壁）の鉄筋を吊り込む工法とした。施工にあたっては以下の事項について技術的検討を行った。

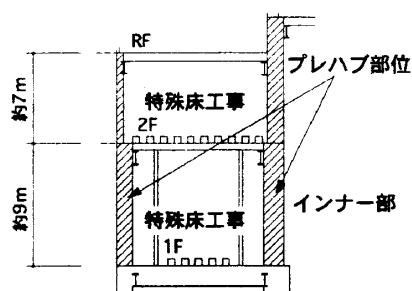


図-4 中央制御室プレハブ位置図

- (1) プレハブ筋の大きさは鉄骨の柱間とし、プレハブ筋のおさえを本設の鉄骨梁から取る事とする。
- (2) プレハブ化にあたっては、通常シングル配筋とする所を、鉄筋と鉄筋の間に鉄筋の落下防止を兼ねた仮設鉄骨を組み込み、ダブル配筋を1ユニットとして効率化を図る。

本工法の効果として、壁配筋作業が鉄骨建方完了後すぐに完了し、鉄筋工と他の職種との混在作業がなくなり、特殊な形状の床工事の工程を確保する事が可能となると共に、従来工法（約1ヶ月）と比較して約2週間の工程短縮となった。吊り込み状況を写真-3に示す。

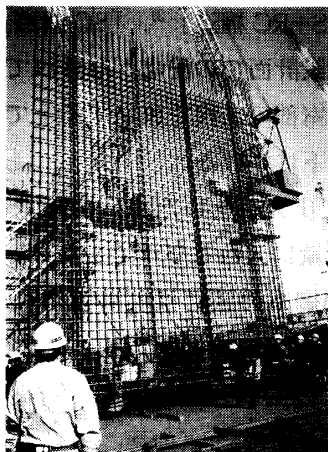


写真-3 壁筋プレハブ吊込み状況

4. タービン建屋の「鉄筋プレハブ化」

4. 1 概要

女川原子力発電所第3号機のタービン建屋は地下3階、地上1階の建物で、工程上のクリティカルパスは図-5に示す建屋の中央に位置するタービン架台の工事である。

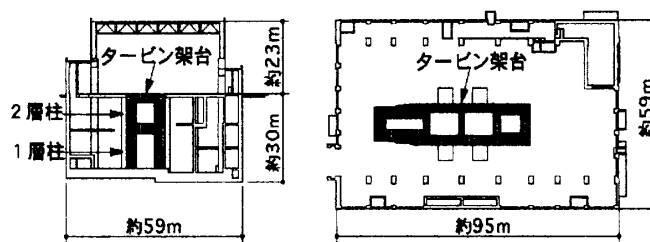


図-5 タービン建屋断面、平面図

タービン架台は蒸気タービン及び発電機が設置される2層のラーメン構造の機械基礎で、大きさ約54m×14m、高さ約24mで、建屋とは構造的に分離されている。「鉄筋のプレハブ化」はこのタービン架台について採用している。

4. 2 タービン架台、柱プレハブ工法

大きさが最大で約3.6m×4.3mで、使用される鉄筋は柱の主筋がD51、フープがD25、200ピッチである。梁は最大で約3m×4mで、鉄筋の配筋は主筋がD38、スターラップがD19、200ピッチである。鉄筋の総重量は約1,000tとなっている。タービン架台の工程を確保する上で考慮すべき条件を以下に挙げる。

- (1) タービン架台がタービン建屋躯体と近接しているため、タービン架台躯体工事を先行施工しなければならない。
- (2) 鉄骨建方工事時はタービン架台躯体工事の施工ができないため、全体の工程に影響が出てしまう。

以上の条件を考慮し工期短縮を図るために、3号機では初めてタービン架台の1層部分の柱⁴⁵⁾と2層部分の10本の柱をプレハブ化する事とした。1層部分の柱をプレハブ化するにあたっては、以下の事項について技術的検討を行っ

た。

- (1) 図-6 に示すように主筋にネジ筋を使用し、プレハブ筋の骨組にあたるH鋼に腕木を出し、その腕木にチャンネルで吊下げられた主筋を設置し、主筋の落下防止とする。

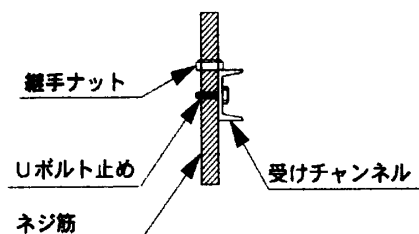


図-6 主筋固定方法詳細図

- (2) 中間部の振れを止めるために、下地鉄骨にUボルトで固定する。
 (3) 下地鉄骨の形状はプレハブ筋の転倒防止と、足場を一体化して吊り込むために図-7 に示す構造とした。

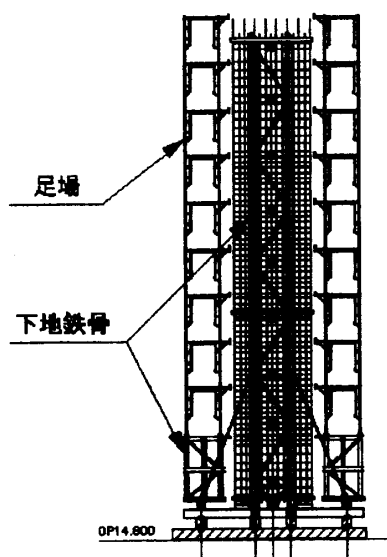


図-7 プレハブ筋組立状況

- (4) 現場には取付精度を確保するために据付用受架台を設置する。

本工法の効果として、1層部分の柱については、基礎版工事の下端筋配筋完了時にプレハブ筋を吊り込み、基礎版のコンクリート打設完了時には柱配筋を完了させる事ができ、従来工法

(約3.5ヶ月)と比較して約1ヶ月工期短縮となった。その結果基礎版工事完了後、すぐに鉄骨建方工事を開始する事が可能となった。又、女川3号機ではプレハブ組立時に使用した足場とプレハブ筋を一体化し、吊り込む事で、足場組立の工期も短縮した。

吊り込み状況を写真-4に示す。



写真-4 1層柱プレハブ筋吊込み状況図

1層柱のプレハブ筋は下地鉄骨に約100本のD51の鉄筋を配筋し、高さが約17m、吊り重量は最大で約110tである。

2層部分の柱のプレハブ化にあたっては以下の事項について技術的検討を行った。

- (1) 2層柱は1層柱と違いプレハブ筋自体を自立させる必要がないため、チャンネル材で製作したプレハブ筋の形状を維持するだけの下地鉄骨とし、合理化を図る。
 (2) 下地と主筋の固定には継手ナットとU字ボルトを使用し、プレハブ筋の剛性を高める。
 (3) 1層柱との主筋の接合はグラウト式機械継手とする。

本工法の効果として、2層部分の柱については、梁の工事の完了後プレハブ筋を吊り込む事により、鉄筋組立工期短縮、型枠工事の早期着工が可能となり、従来工法（約2ヶ月）と比較して約1ヶ月の工期短縮となった。

2層柱のプレハブ筋の高さは約10m、吊り荷重が最大で約50tとなった。

吊り込み状況を写真-5に示す。

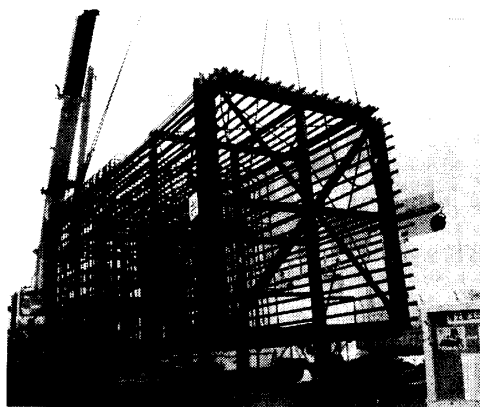


写真-5 2層柱プレハブ筋吊込み状況

女川3号機ではタービン架台の2層の梁についても鉄板型枠と一体化し鉄筋のプレハブ化⁵⁾を行っている。その結果タービン架台の鉄筋の約80%がプレハブ化されている。

本工法の採用により、工期短縮はもとより、現場での高所作業の削減、他職との上下作業の回避をする事ができ、工事現場の安全確保にも大きな効果があった。

5. まとめ

以上女川3号機で採用した代表的な鉄筋プレハブ工法について報告した。これらの事例に共通している事は、建屋の工程上のクリティカルになる部位に対して、効率良くプレハブ工法を採用する事により、作業を並行して進める事ができ、品質の確保を容易にし、また安全に施工ができる事である。

近年、原子力発電所の建設工事は青塔と呼ばれるプラント機器の先行搬入の増大により、プラント側で大型クレーンを設置する例が増えて

いる。そのため従来と比べプレハブ化した鉄筋をより大型化する事が可能となっている。プレハブ化にあたっては、工程上の要求、機器側との取合調整、ヤードの確保等の施工条件を良く検討する必要があるが、今後は鉄筋だけに限らず、他の工種の作業を組合せた形でプレハブを複合化する事により品質、安全、工程の確保はもとより、作業の省力化によるコスト削減が期待できる工法として発展させていく必要がある。

参考文献

- 1) 菊池 健二ほか：女川原子力発電所第3号機原子炉建屋の建設工事における、鉄筋および型枠のプレハブ工法について、pp.427-pp.430, 日本建築学会東北支部研究発表会, 1999.6
- 2) 石川 和也ほか：女川原子力発電所第3号機建設工事におけるプレハブ化工法について（その2）原子炉建屋建設工事におけるプレハブ化工法, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2 構造Ⅱ pp.1173-1174, 1999.9
- 3) 丹治 郁夫ほか：女川原子力発電所3号機建築工事における工期短縮工法について, コンクリート工学, Vol.37, No.12, pp.34-37, 1999.12.
- 4) 水瀬 和人ほか：女川原子力発電所第3号機建設工事におけるプレハブ化工法について（その1）蒸気タービン基礎工事における大型プレハブ化工法, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2 構造Ⅱ pp.1171-1172, 1999.9
- 5) 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-pp.434 日本建築学会東北支部研究発表会, 1999.6