

PC梁による大スパン屋根構造の設計と施工 「核融合科学研究所大型ヘリカル実験棟」

桐山 宏之*1・村山 松二郎*2・徳永 政之*3・原 稔*4

1. はじめに

核融合科学研究所は国立大学共同利用機関として設置され、岐阜県土岐市において建物等の整備が進められている。

本建物は大型ヘリカル実験装置が入る本体室とその周囲に実験をサポートするための諸施設を配した周辺室から構成され、核融合プラズマの諸現象を科学的に解明して、将来の実験炉へ向けた研究を強力に推進するための施設である。

本体室は、ヘリカル実験装置を組み立てるため、73 m (W)×43 m (D)×35.5 m (H) の内部空間を有し、かつ遮蔽性能を有する構造体とするため、床および壁が2 m、天井が1.3 mの厚さをもつ鉄筋コンクリート造となっている。

屋根スラブの構成のため、長さ45 mの中空プレキャストPC梁を地上で製作し、壁上までリフトアップするという工法については、発注者側である文部省大臣官房文教施設部名古屋工事事務所で検討・採用されたものである。

このPC梁の設計・施工については他に類似のない工事であり、また施工的にも良好な結果が得られたことなどからここに紹介する。

2. 建物概要

建物名称：核融合価額研究所大型ヘリカル実験棟
建設地：岐阜県土岐市下石町字西山 322-26
敷地面積：470 898 m²
建築面積：8 987 m²
延床面積：17 551 m² (H 5. 10 現在)
規模：本体室 地下2階、地上1階
周辺室 地下2階、地上1階一部2階

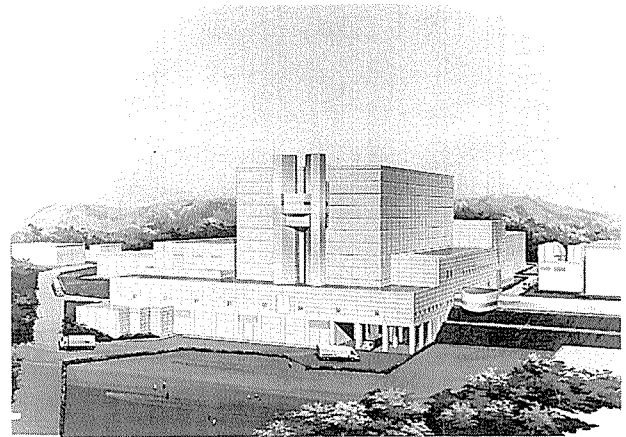


写真-1 完成予想図

建築主：文部省 大臣官房文教施設部
設計：(株)日建設計
基本設計監理：文部省 大臣官房文教施設部
名古屋工事事務所
施工：清水・大成・戸田・三井特定建設工事
共同企業体
PC部施工：オリエンタル建設(株)

3. 屋根スラブの設計概要

屋根スラブは、25台の中空プレキャストPC梁と10 cm厚のプレキャスト床版を交互に敷き並べ、この上に厚さ1.3 mのコンクリートを現場打ちする構造とした(図-1, 図-2)。

現場打ちコンクリートは、PC梁上端までを第1回コンクリート、残りを第2回コンクリートと分割し、第1回コンクリートは横締めケーブルによりPC梁との一体性を確保した(図-3)。

PC梁の大きさは、図-3に示すように成3.05 m、幅1.5 m、中空部の幅は中央で0.9 m、端部で0.6 mとし

*1 Hiroyuki KIRIYAMA：(株)日建設計 名古屋事務所構造部

*2 Matsujiro MURAYAMA：オリエンタル建設(株) 名古屋支店建築チーム

*3 Masayuki TOKUNAGA：オリエンタル建設(株) 名古屋支店建築チーム

*4 Minoru HARA：オリエンタル建設(株) 名古屋支店工事チーム

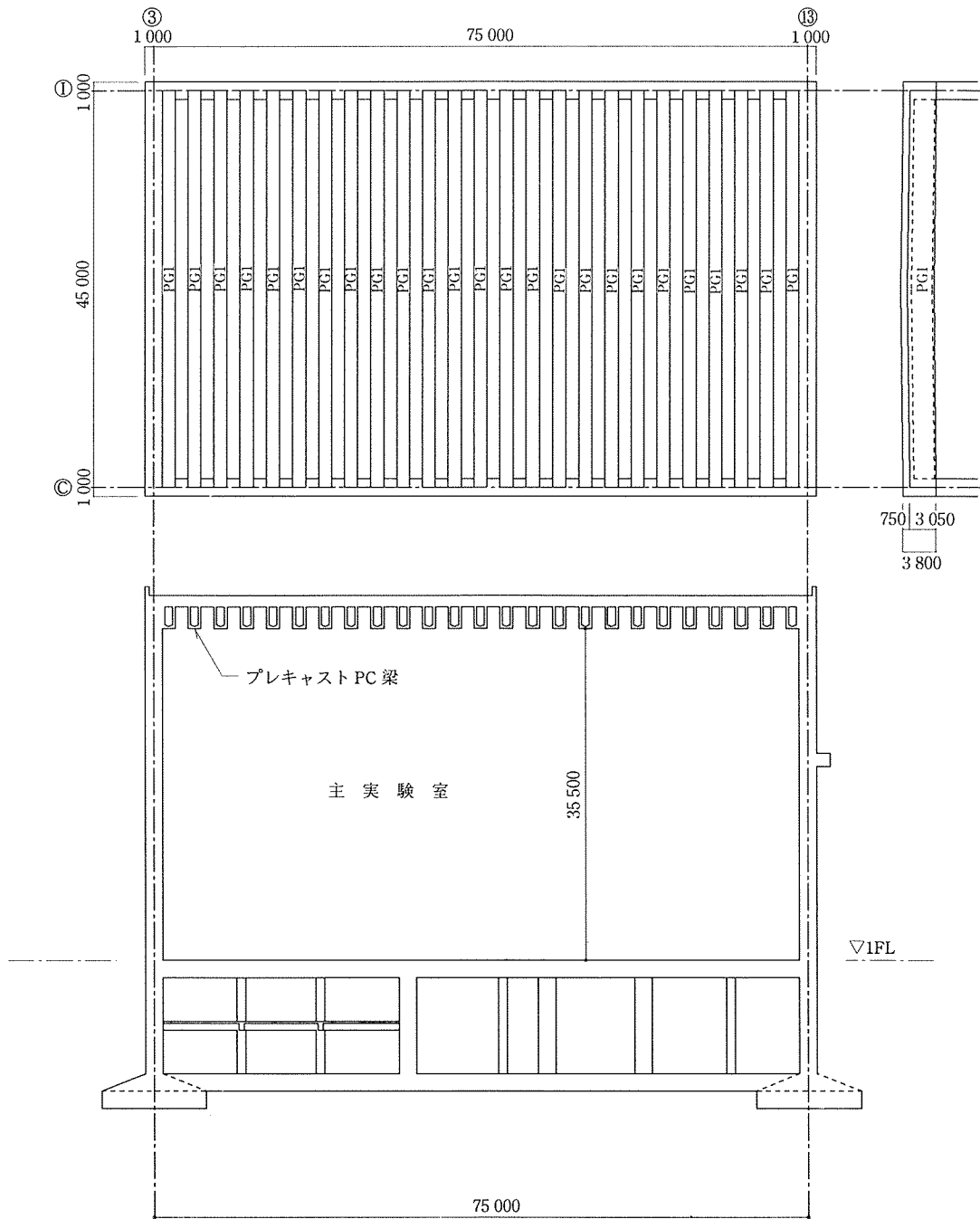


図-1 屋根伏図・建物断面図

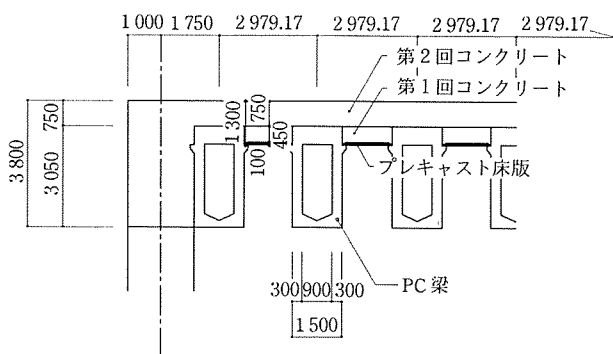


図-2 PC梁屋根断面図

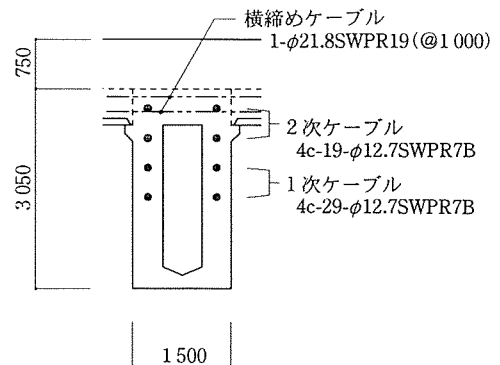


図-3 PC梁配線断面図

◇工事報告◇

た。中空形状にした理由は、梁の自重を軽くすることと、施工時の移動に際し安定度の高いこと。また、外見上同一形状にした方が見栄えがよいと判断したことである。

PC 梁は、第 2 回コンクリートまでの荷重に対しては単純梁とし、仕上・積載・地震・積雪等の荷重に対しては下部の壁とラーメン構造として働くよう設計した。

使用材料

コンクリート

PC 梁	$F_c=400 \text{ kgf/cm}^2$
第 1 回コンクリート	$F_c=400 \text{ kgf/cm}^2$
第 2 回コンクリート	$F_c=240 \text{ kgf/cm}^2$
プレストレス導入時	360 kgf/cm^2 300 kgf/cm^2 (横締め)

鉄 筋 SD 345 (D 19 以上)
SD 295 A

PC 鋼材

1 次ケーブル	29- ϕ 12.7 SWPR 7 B
2 次ケーブル	19- ϕ 12.7 SWPR 7 B
横締めケーブル	1- ϕ 21.8 SWPR 19

4. PC 梁の設計

PC 梁の設計方針は、施工手順を考慮し、次のようにした。

- 1) 導入プレストレス力は、施工に伴う荷重増加に合わせ 2 段階導入とする。
- 2) 1 次ケーブルでは、PC 梁自重および第 1 回コンクリートまでの重量に対し、プレストレス力を導入する。
- 3) 2 次ケーブルでは、第 2 回コンクリートの重量に対し、プレストレス力を導入する。この時、第 1 回コンクリートは、PC 梁と T 形断面を形成する有効断面と見なす。
- 4) 各荷重段階でフルプレストレス状態とする。

PC 梁の各荷重による応力を図-4 に、プレストレス力との組合せ応力度を表-1 に示した。また、PC 梁と第 1 回コンクリートとの合成効果を向上させるため、

- 1) 横締めケーブルによる圧着力を 10 kgf/cm^2 以上とする。
- 2) シアーコッターを 1 m 間隔に設ける ($20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, 深さ 3 cm)。
- 3) シアー筋を設ける (D 16 @ 333)。

などの処置を行い、打継面のせん断抵抗を高めた。

合成梁では、PC 梁と床版のクリープ・乾燥収縮差によって PC 梁に生じる断面力が比較的大きくなる場合がある。本設計では PC 梁断面に対する床版断面の割合が大きいのでこれらを下式により算定して考慮した。

表-1 施工段階別の縁応力度図

検討箇所	施工区分 断面	①一次ケーブル緊張時	②第 1 回コンクリート打設	③二次ケーブル緊張変化分	④二次ケーブル緊張時	⑤第 2 回コンクリート変化分	⑥第 2 回コンクリート打設
㉔ (端部)		35.5 32.1	35.5 32.1	33.4 26.3 -5.9	68.9 33.4 26.3 26.2	0 0	68.9 33.4 26.3 26.2
		47.6 38.7	58.6 25.9	17.6 19.6 28.6	76.2 17.6 54.5 19.6	18.7 9.7 -31.0	94.9 36.3 29.3 23.5
㉕ (1/8 点)		49.7 39.1	68.6 17.2	4.0 12.8 52.9	72.6 4.0 70.1 12.8	32.0 16.6 -53.2	104.6 36.0 29.4 16.9
		49.4 39.2	73.1 11.9	-5.1 8.0 67.3	68.0 -5.1 79.2 8.0	40.1 20.9 -66.5	108.1 35.0 28.9 12.7
㉖ (中矢)		47.6 37.5	72.5 9.6	-9.1 5.5 72.0	63.4 -9.1 81.5 5.5	42.7 22.2 -70.9	106.1 33.6 27.7 10.7

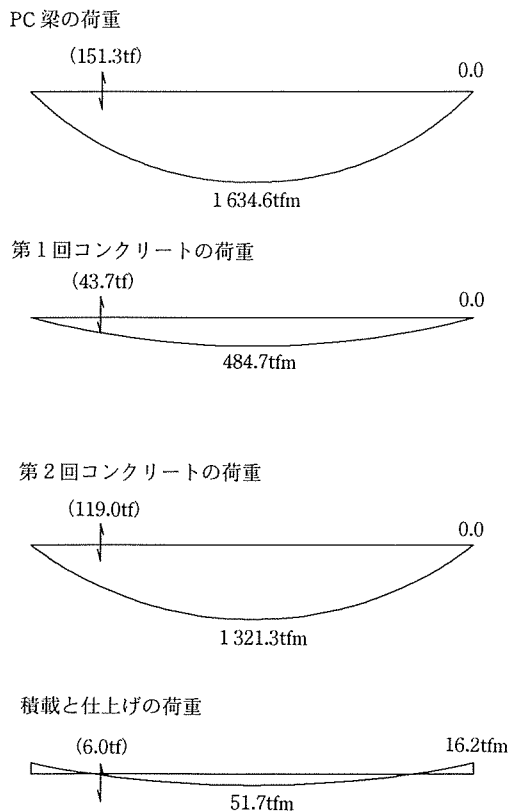


図-4 施工過程による PC 梁の応力

(1) コンクリートのクリープ差により生じる断面力

$$N_\phi = -\frac{K'}{C^2 - BF} [P\{B(y_1' \cdot e_{p1} - r_{c1}^2) - C \cdot e_{p1}\} + M_{d1}(C - B \cdot y_1')] - \frac{K}{C^2 - BF} M_{d2}(C - B \cdot y_1')$$

$$M_\phi = -\frac{K'}{BF - C^2} [P\{C(y_1' \cdot e_{p1} - r_{c1}^2) - F \cdot e_{p1}\} + M_{d1}(F - C \cdot y_1')] - \frac{K}{BF - C^2} M_{d2}(F - C \cdot y_1')$$

ここに、

$$B = 1 + m \quad C = y_1' - m y_2$$

$$F = y_1'^2 + r_{c1}^2 + m r_{c2}^2 + m y_2^2$$

$$m = E_{c1} \cdot I_{c1} / E_{c2} \cdot I_{c2}$$

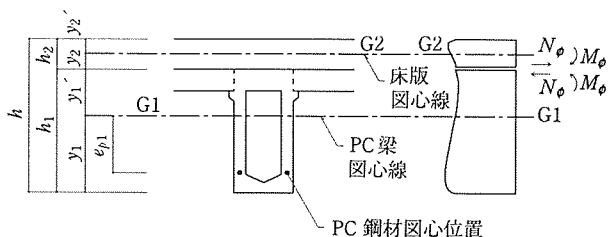


図-5 断面形状寸法および断面力

$$K = \frac{\phi_\infty}{1 + \phi_\infty} \quad K' = \frac{\phi_t}{1 + \phi_\infty}$$

(2) コンクリートの乾燥収縮差により生じる断面力

$$N_s = \epsilon_s \cdot E_{c1} \cdot I_{c1} \cdot \frac{B}{BF - C^2} \cdot \frac{1}{1 + \phi_\infty}$$

$$M_s = \epsilon_s \cdot E_{c1} \cdot I_{c1} \cdot \frac{C}{C^2 - BF} \cdot \frac{1}{1 + \phi_\infty}$$

記号の説明

N, M : 結合面に作用する軸方向力および曲げモーメント

ϕ_t : 床版を合成してから後のクリープ係数

P : PC 鋼材の引張力

M_{d1} : 梁の自重によるモーメント

M_{d2} : 場所打ち床版の自重によるモーメント

A_{c1} : 梁の断面積

I_{c1} : プレキャスト梁の断面二次モーメント

r_{c1}^2 : I_{c1} / A_{c1}

E_{c1} : 梁のヤング係数

A_{c2} : 場所打ち床版の断面積

I_{c2} : 場所打ち床版の断面二次モーメント

r_{c2}^2 : I_{c2} / A_{c2}

E_{c2} : 場所打ち床版のヤング係数

社団法人「日本道路協会」道路橋示方書・同解説より

5. 施工概要

PC 梁は建物敷地内の製作ヤードで製作し、建物までの横移動、屋根面までのリフトアップ、屋根面での横移動により所定の位置にセットしたので、各工程について以下説明する。

表-2 PC 梁製作サイクル工程表

	No.1 製作台	No.2 製作台
鉄筋組立て	下筋 → 上筋	
中型枠取付け		
PC シース取付け		
外型枠取付け		
PC 鋼線挿入		
コンクリート打設		
コンクリート養生		
外型枠脱型		
PC 緊張		
ジャッキアップ		
横移動		

5.1 PC 梁の製作

PC 梁製作は、1 サイクル 15 日で行った。

(1) 製作ベースおよびストックヤード

製作ベースは、全体工程との関係で 2 基とした。製作ベースはストックヤードおよび建物との関係は図-7 に示す。製作ベース、移動用レールの基礎は重量物を支え

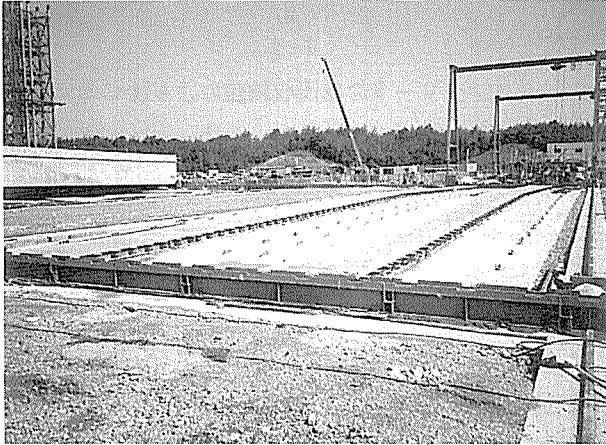


写真-2 PC梁の製作ベース

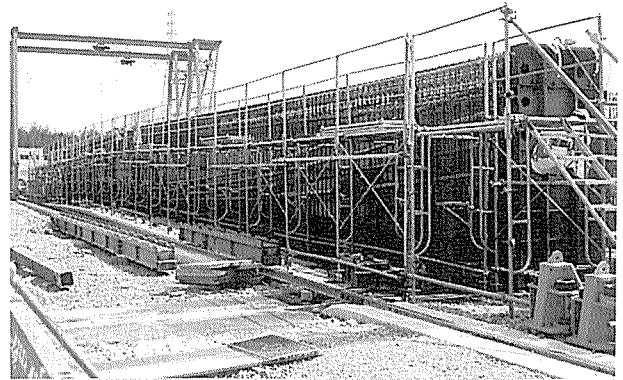


写真-4 PC梁の配筋

るということで杭基礎にし、一部埋設地下構造物があるところは、地中梁にプレストレスを導入した。

(2) コンクリート

コンクリートは、早強セメントを使用し、スランプ 12 cm・最大骨材寸法 25 mm とし、混和剤は高性能 AE 減水剤を用いた。冬期の養生はシートで覆い、ジェットヒーターにて温度を一定に保ち、夏期は防湿マットと散水にて養生した。

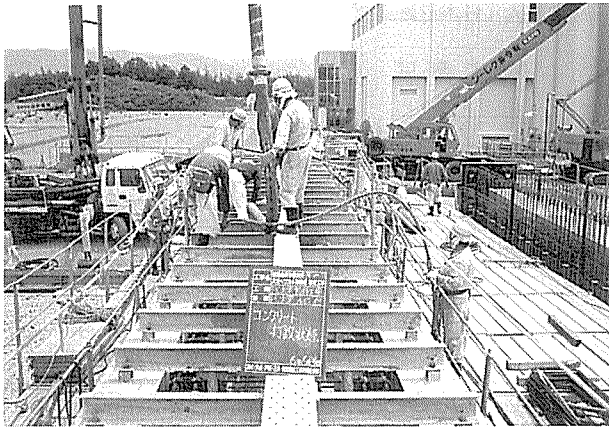


写真-3 PC梁のコンクリート打設

(3) 型 枠

転用回数の多い外型枠は変形が少なく、外振バイブレーターにも耐える鋼製型枠とし、中空部の内型枠は木製の埋めこり型枠を使用した。内型枠はコンクリート打設時に浮き上がらないよう外型枠に固定した。

PC 梁にプレストレスを導入したとき、全体に均等に分布していた梁自重による反力が、両端の支点へ移動するので、端部より 4.0 m の範囲の底版は鋼板 2 枚重ねにより補強した。また PC 梁が縮むときの移動を拘束しないよう 2 枚の鋼板の隙間にグリスを塗布した。

(4) 鉄 筋

鉄筋の組立は製作ベース上で山形鋼を用いた組立用治

具を使用し行った。

(5) PC 鋼材の緊張

定着工法は、1次ケーブル・2次ケーブルを VSL 工法、横締めケーブルを CCL 工法とし、緊張は両引きにて行った。

各ケーブルの緊張力は次のとおりである。

1 次ケーブル	$P_0=391.9$ tf
2 次ケーブル	$P_0=256.8$ tf
横締めケーブル	$P_0= 42.0$ tf

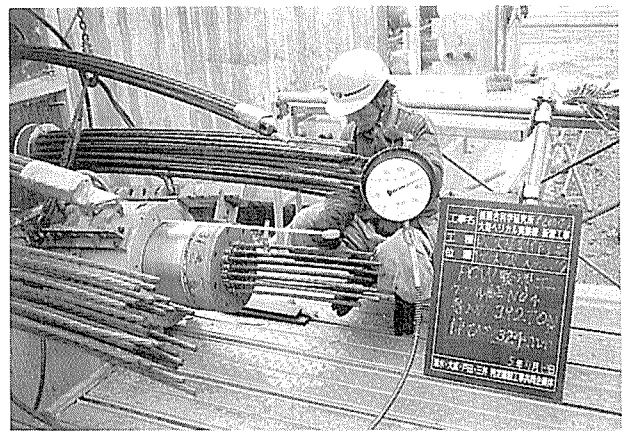


写真-5 PC梁の1次ケーブル緊張

5.2 PC 梁の移動

(1) PC 梁のジャッキアップ

PC 梁の横移動に先立ち、ジャッキアップによって横移動のレール上に梁をセットした。ジャッキアップに際しては、梁が傾かないよう細心の注意を払った。

(2) PC 梁の横移動

PC 梁の横移動は押しジャッキ方式とした。反力点は写真-7 に示したように、ガイドレールのくぼみを利用した。横移動はテフロンとステンレス間の摩擦係数が 0.1 以下ということで、テフロン版とステンレス版のすべりに対応させた。ジャッキは 30 t センターホール

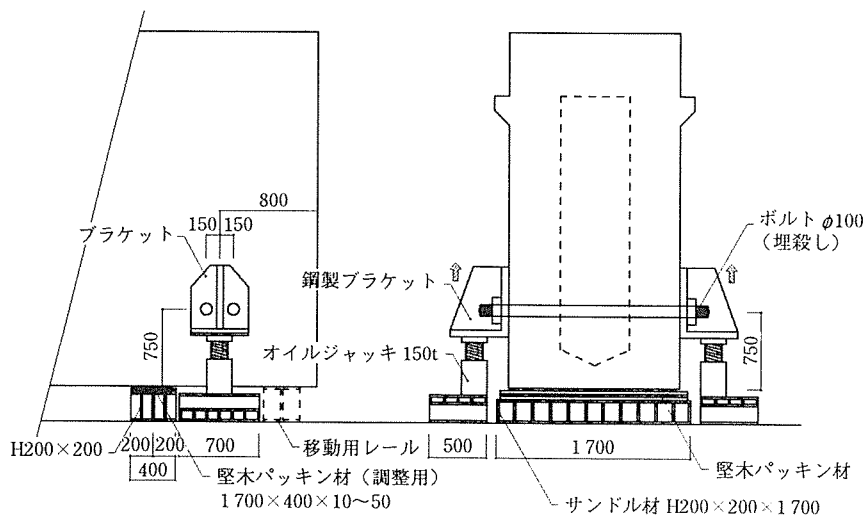


図-6 PC梁ジャッキアップ要領図

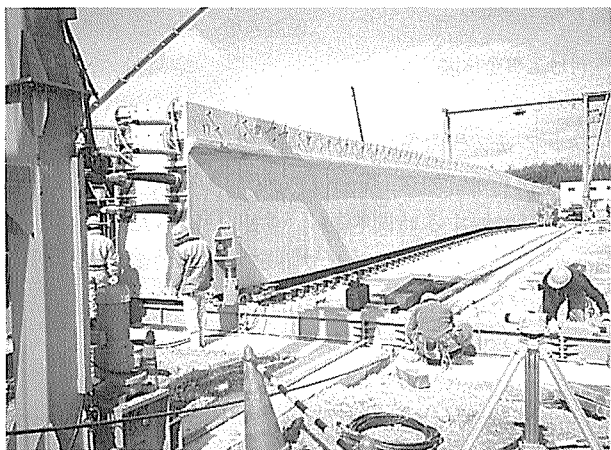


写真-6 PC梁のジャッキアップ

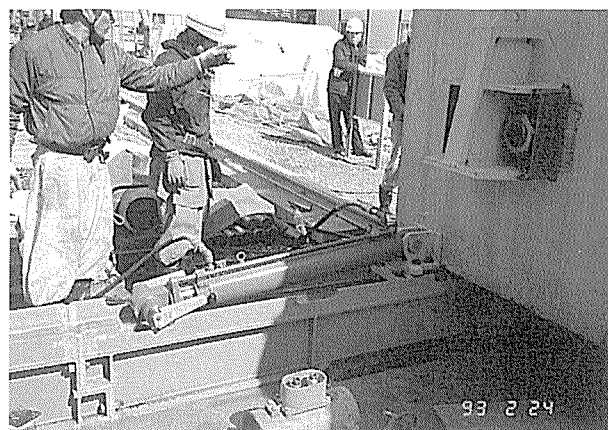


写真-7 PC梁の横移動

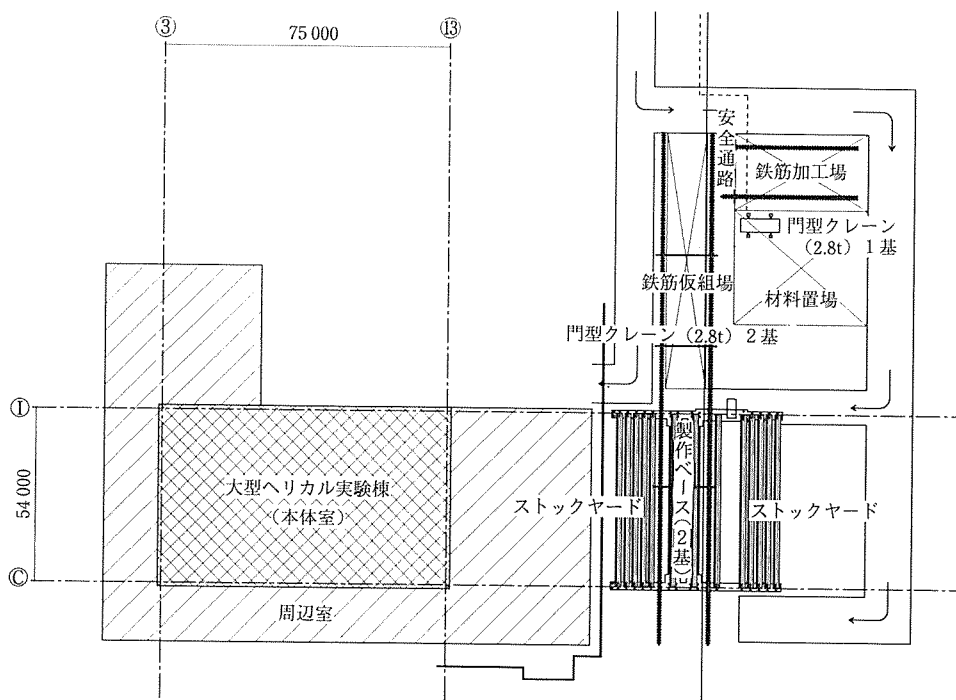


図-7 製作ベースおよび建物の配置

◇工事報告◇

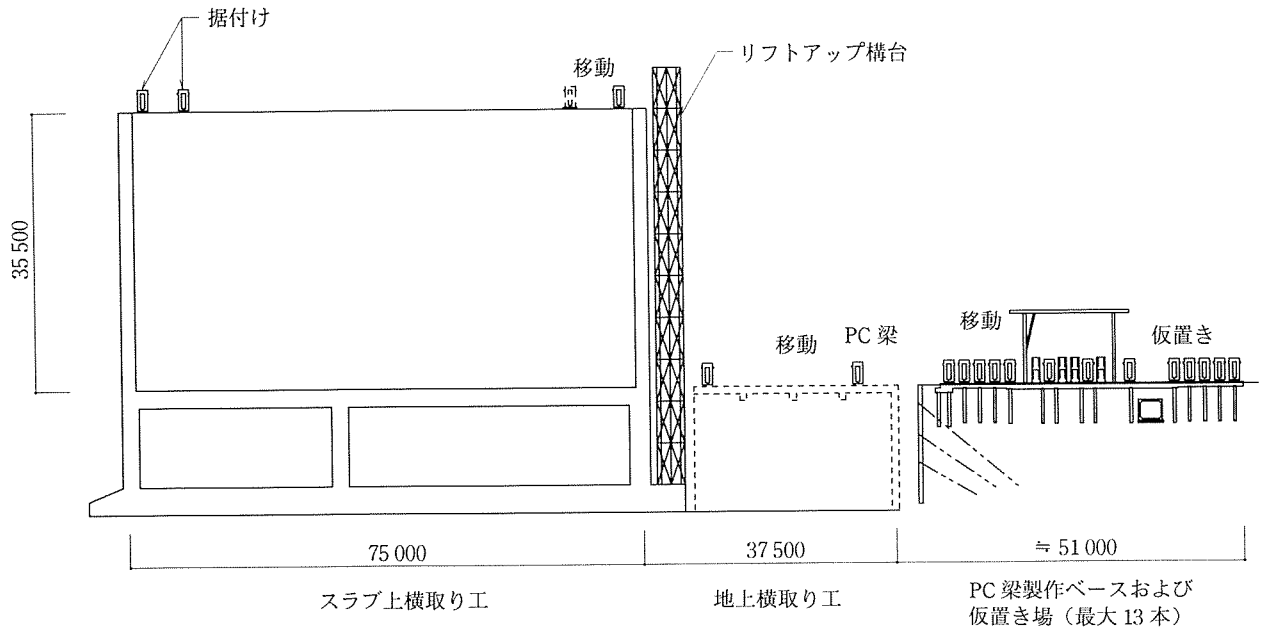


図-8 PC 梁製作・移動据付け工事全体図

ジャッキを使用した。

(3) PC 梁のリフトアップ

PC 梁 (重量約 310 t) のリフトアップ工法は、重量物の揚重で実績が多いステップロッドとセンターホール油圧ジャッキを組み合わせた方式とした。油圧ジャッキは 150 t 型を片側 2 台ずつとし地下レベルから組み立てた

リフトアップ構台を使用して屋根面まで持ち上げた。

リフトアップのスピードは約 10 m/時間で 35.5 m 上昇するのに要する時間を約 3.5 時間であったが、梁受架台への PC 梁の引込み、リフトアップ後の躯体上への引込みおよび架台のダウンの一連の作業を含めるとリフトアップの 1 サイクルは 2 日～3 日であった。

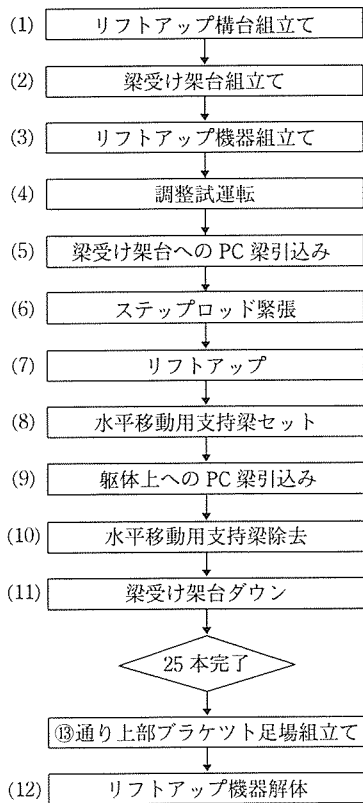


図-9 PC 梁リフトアップ施工手順

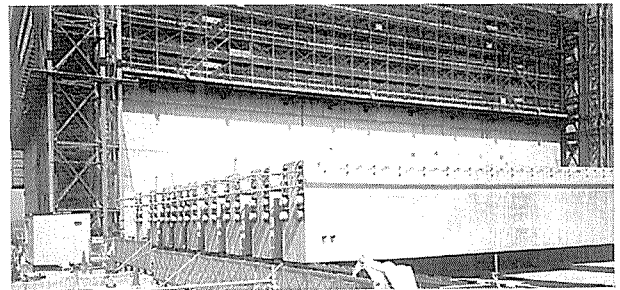


写真-8 PC 梁の仮置き

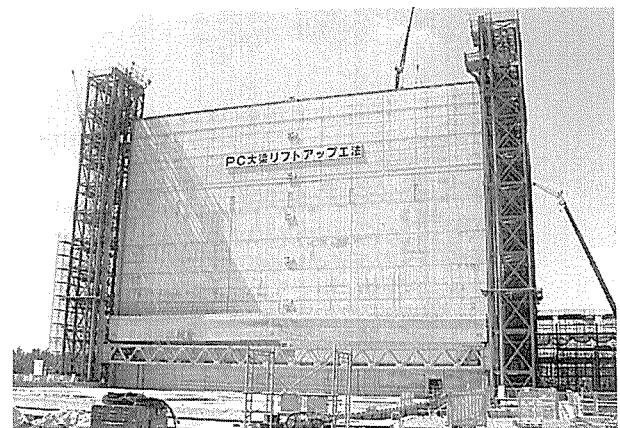


写真-9 PC 梁のリフトアップ

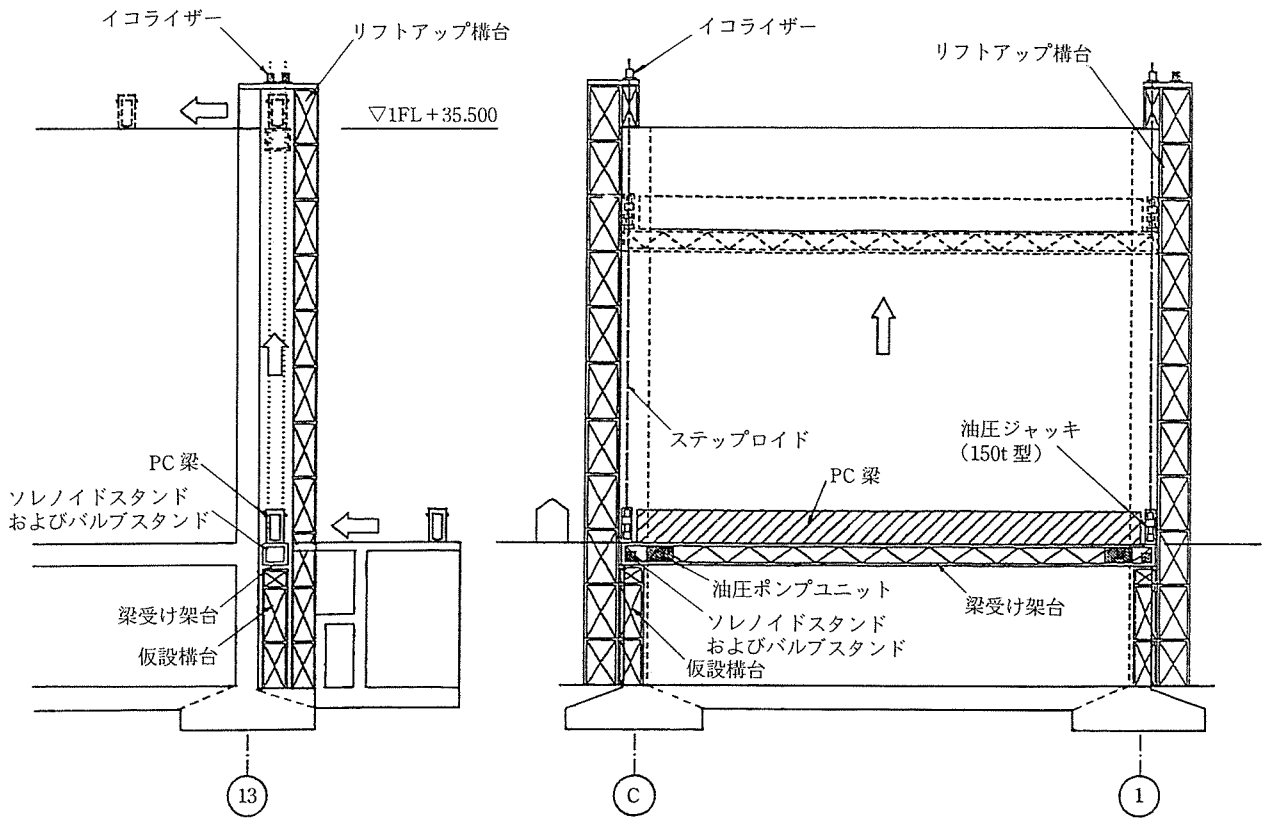


図-10 リフトアップ工事概略図

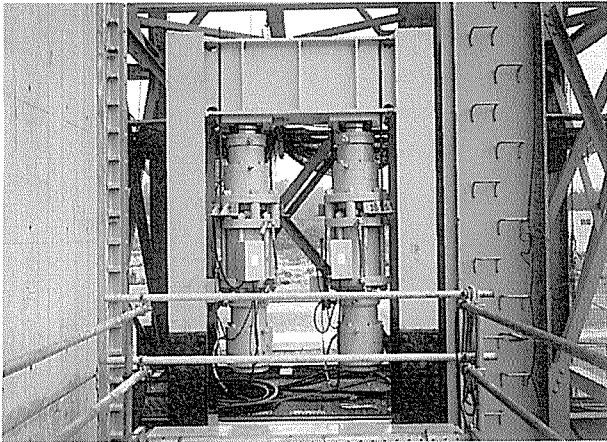


写真-10 リフトアップ用のセンターホールジャッキ

5.3 屋根スラブ工事

屋根スラブの第1回コンクリート部分は乾燥収縮によるひび割れを低減する目的で膨張剤を混入した。

コンクリートの強度が 300 kgf/cm^2 発現した時点で横締めケーブルを緊張した。

最後に第2回目のコンクリートを打設し壁と一体化した。第2回コンクリート部の壁縦筋とPC大梁の主筋は



写真-11 Pca 床版の敷並べ

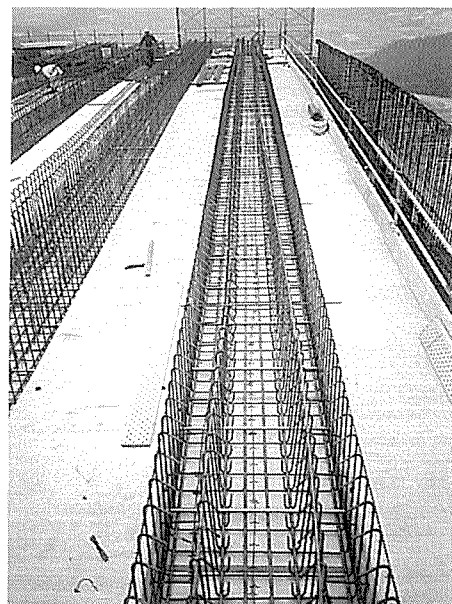


写真-12 第1回コンクリート部分の配筋

◇工事報告◇

横移動および緊張時作業の妨げになるので機械式継手を用い接続した。

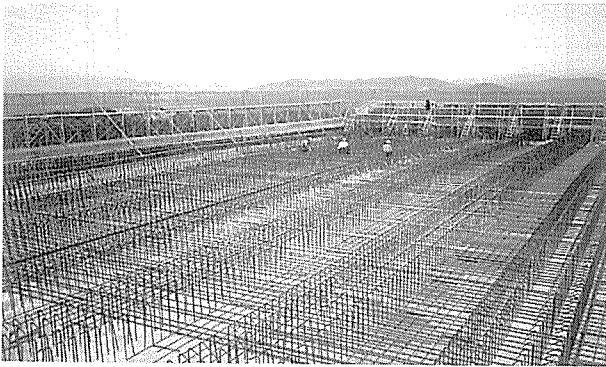


写真-13 第2回コンクリート部分の配筋

6. おわりに

本工事は、自重 310 t の PC 梁を 25 台製作し横移動・リフトアップするという規模的には土木でも例の少ない大型 PC 梁の建築工事となった。

最後に本工事の計画から施工まで御指導をいただいた文部省名古屋工事事務所の皆様、無事工事を完成させていただいた森尾所長はじめ共同企業体の皆様、技術的に助力をいただいた黒沢建設（株）、および関係各位の皆様のご協力に対して誌上を借りて謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 坪井・谷口・渡辺・河辺：核融合科学研究所大型ヘリカル実験棟，施工，1993，No. 337

【1994年8月10日受付】