

(84) プレキャスト埋込み柱脚部試験と施工例

オリエンタル建設(株)本社技術部 正会員○小山内 裕  
 オリエンタル建設(株)技術研究所 正会員 今井 昌文  
 オリエンタル建設(株)建築支店工務部 正会員 大島 幸  
 同 上 正会員 木村 義男

1. はじめに

プレキャストRC造柱埋込み脚部の設計法を確立する為には埋め込まれた柱の固定度の評価、変形性能の確保さらに破壊形式の把握が必要である。また実際の設計のためには埋め込まれた柱とソケット部の力の伝達、ソケット部に発生する応力およびそれに対する効果的な補強筋の配置方法を明確にしなければならない。本研究では、柱を基礎に埋め込む(ソケット型)PCa柱の中柱および側柱について埋込み深さその他をパラメーターとした柱の変形性状を明確にすることを目的として実験を行い考察を加え、柱頭変位量を分析して、基礎部の挙動に左右される変位成分を抽出し、各パラメーターの影響を検討した。さらに基礎コンクリートの支圧応力算定式を提案し、基礎補強筋の応力について計算値と実験値を比較検討し、考察した。

また、当工法を採用した施工例を4章に示す。

表1 コンクリート

TYPE	部材	Fc	Ec $\times 10^{-6}$
1-4	柱	581	3.23
	基礎	217	1.81
11-17	柱	376	2.81
	基礎	187	1.93

表2 鉄筋

鉄筋	$\sigma_y$	$\sigma_b$	Es
D-13	3.140	4.720	1940
D-16	3.260	5.010	1890
D-22	3.820	5.730	1850
D-25	3.860	5.370	1880

表3 パラメーター

TYPE	へりあき幅 b	埋込み深さ De	補強筋D-22	
			上筋	下筋
中柱	1	30 cm	-	6
	2	30	75 cm	4
	3	30	62.5	4
	4	30	50	4
側柱	11	25	-	4-U
	12	25	75	3-U
	13	30	75	4-U
	14	20	75	4-U
	15	25	75	4-U
	16	25	62.5	4-U
	17	25	50	4-U

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体に使用した材料を表1,2に示す。試験体の大きさは実物の1/2相当とした。柱脚の固定度に影響を与える要素として、埋込み深さ、基礎補強筋量、へりあき幅、柱の挙動に影響のある柱軸力を変化させた試験体を製作した。試験体のパラメーターを表3に示す。

試験体の形状寸法および配筋を図1に示す。なお、表3中のTYPE-1およびTYPE-11は従来工法による一体打ちである。側柱試験体の基礎には表3に示すとおり、U字形の補強筋D22を配置した。柱と基礎の空隙40mmの部分には柱と同じコンクリート( $F_c=571\text{kgf/cm}^2$ )を充填した。

試験体は、柱脚に生じる曲げモーメントおよびせん断力に抵抗するためにスタブ部を異形PC鋼棒(32mm)4本で反力床に圧着した。

2.2 加力および測定

柱軸力(N)は、TYPE-15は10tonf、その他は120tonfを200tonfジャッキで柱頭に加力した。水平力(P)は50tonfの押し引きジャッキにより柱頭に正負交番荷重を加えた。加力サイクルを図2に示す。

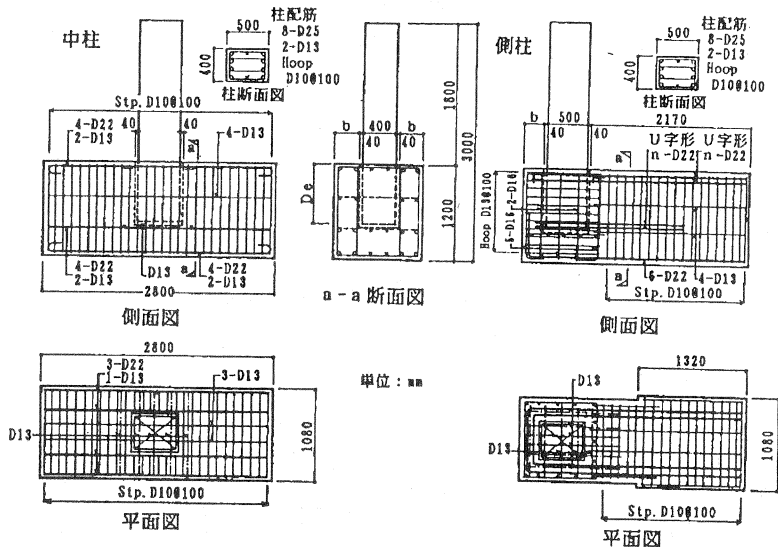


図1 試験体の形状寸法・配筋図

加力点位置と変位計の位置を図3に示す。変位計は不動点に固定したポストを基準として測定した。これによりスタブの回転変位を含まない変位を測定することができる。

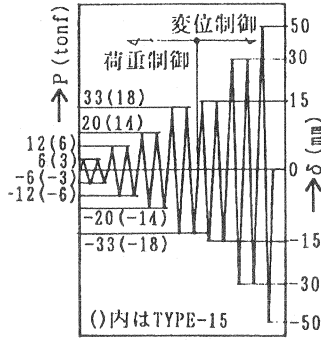


図2 加力サイクル図

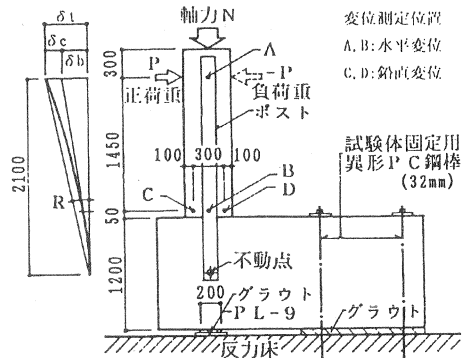


図3 加力装置・変位計位置図

### 3. 実験結果

#### 3.1 柱頭変位量

各種耐力の計算は、中柱・側柱毎の材料試験の実測平均値を使用し、日本建築学会「鉄筋コンクリート終局強度に関する資料」による。中柱においては、負荷重によるP- $\delta t$ 曲線は正荷重の場合と同形状を示すので省く。

全ての試験体は柱の曲げ破壊により終局荷重に至った。図4に実物と同プロポーションの試験体(TYPE-13)の履歴曲線を示す。復元力特性は良好な紡錘型で、 $\delta t = \pm 50\text{mm}$ に達するまで水平力の低下はなかった。

a. 中柱：P- $\delta t$ 曲線(図5)によればP=0~21.2tonfでは、TYPE-2, 3, 4の剛性はほぼ等しいのに対してTYPE-1はやや小さい。P=21.2~38.8tonfではTYPE-4, 3, 2, 1の順に変位量 $\delta t$ が小さく、埋込み深さとの相関性があり、埋込み深さは柱の剛性に影響する。終局荷重はTYPE-1, 2, 3, 4と

もほぼ同じで埋込み深さの影響はない。

b. 側柱：正荷重のP- $\delta t$ 曲線(図5)では軸力の低いTYPE-15を除き各試験体の曲線は同一形状を示しており、一体打ち(TYPE-11)と埋込み式の差異はない。負荷重時(図6)は埋込み深さが柱脚固定度に与える影響は大きく、埋込み

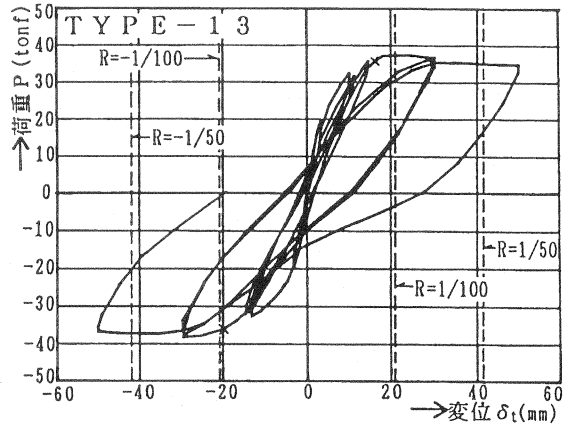


図4 P- $\delta t$ 履歴曲線

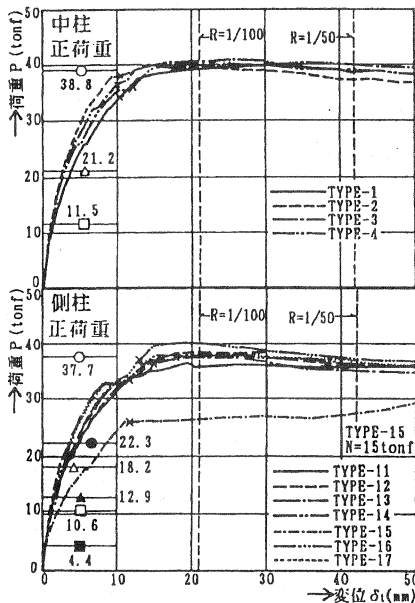


図5 柱のP- $\delta t$ 曲線

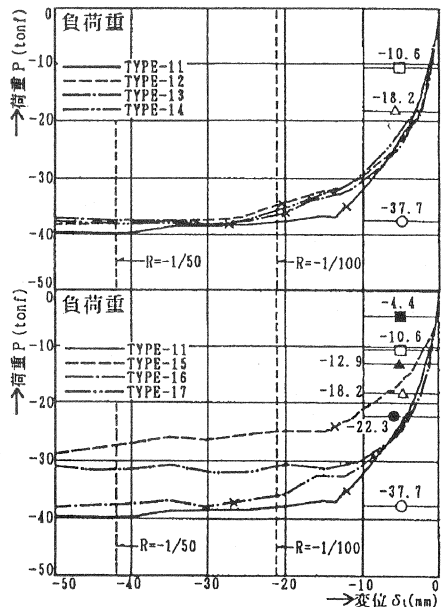


図6 側柱のP- $\delta t$ 曲線

深さ1.0D(TYPE-17)では柱頭の変位が大きい。TYPE-17はP=-30tonfを越えると、変位量が著しく大きくなっている。P=約-32tonfで終局荷重となり柱の保有する終局耐力に達してない。その他のTYPEではすべての試験体が柱の保有する終局耐力に達しており、部材角R=1/50radを越えても耐力の低下はなかった。またTYPE-12,13,14の曲線で見られるように、埋込み深さが十分であればへりあき幅は柱の荷重-変位関係には影響しない。

### 3.2 埋込み部の変形

$\delta c$ は図7の柱脚固定の場合の、基礎より上部の柱のみの変形による柱頭変位量である。 $\delta \theta$ は2点ピン支持の場合に柱脚に生じる回転角 $\theta$ による柱頭変位量である。 $\delta R$ はピン・バネ支持の場合に生じる柱脚の水平変位に起因する柱頭変位量である。

図8に柱頭の全変位( $\delta t$ )に対する $\delta c$ の曲線を示す。 $\delta c$ は全ての試験体において概ね $\delta = \delta t/2$ 以下であり、埋込み部の変形の影響が大きいことを示す。

TYPE-17では $\delta t=15\text{mm}$ 以降は柱変形が進まず、埋込み部の変形のみが進展しており、柱の保有する水平耐力に達していない(図6参照)。すなわち柱脚の拘束が不十分であると思われる。

柱脚部の変形による柱頭変位量を $\delta b = \delta R + \delta \theta$ として $\delta t - \delta b, \delta R$ 曲線を図8に示す。図9によれば、埋込み深さが75cmの試験体(TYPE-12~15)では $\delta R$ は補強筋の少ないTYPE-12が最も大きく、基礎補強筋量は $\delta R$ に影響する。 $\delta b, \delta R$ は、TYPE-16,17は他の試験体と比べて大きく、埋込み深さと相関性がある。すなわち埋込み深さは埋込み部分の変形に影響する。図10にTYPE-12~14の荷重-基礎補強筋ひずみ曲線を示す。補強筋量の少ないTYPE-12はひずみ量が大きく、鉄筋による引き戻し力(図7のバネの剛さ)が小さいことを示している。

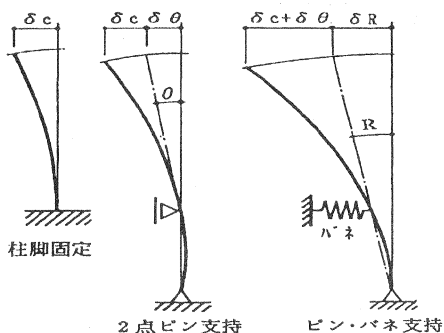


図7 柱変形の概念図

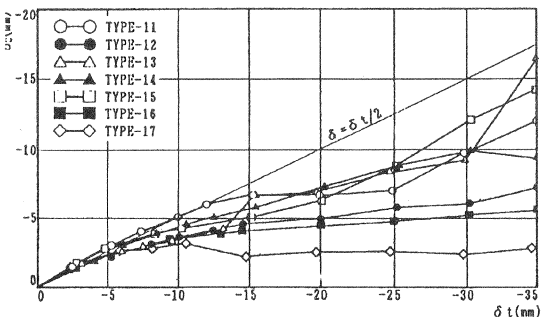


図8 柱のみの変形による柱頭変位  $\delta c$

#### DIN 1045による計算式

埋込み部の摩擦が大きい場合

$$H_{O1} = \frac{6 \cdot M}{5 \cdot D_e} + \frac{6 \cdot Q}{5} \quad \dots (1)$$

埋込み部の摩擦が小さい場合

$$H_{O2} = \frac{3 \cdot M}{2 \cdot D_e} + \frac{5 \cdot Q}{4} \quad \dots (2)$$

#### 鋼管構造設計指針による計算式

$$M = T_u \cdot \left( \frac{3 \cdot M}{2 \cdot D_e} - d_t \right) + C_c \cdot \left( \frac{d_c}{2} - \frac{d_c}{2} \right) \quad \dots (3)$$

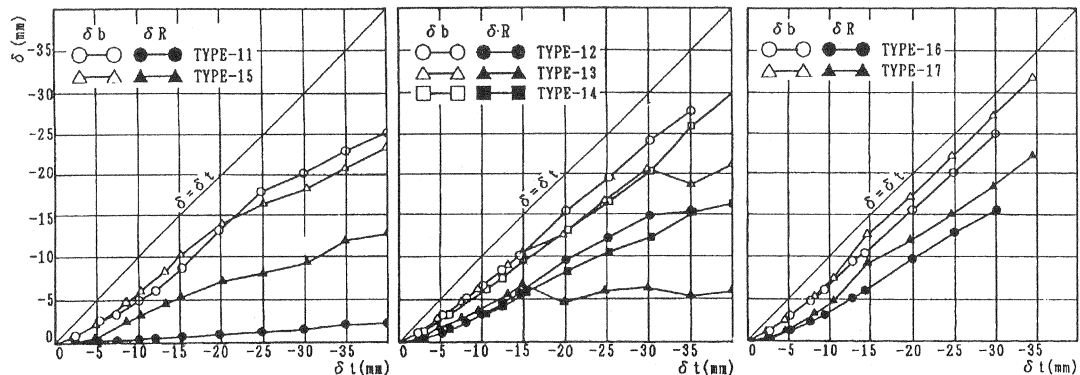


図9 基礎部変形による柱頭変位

提案式

$$C_1 = A \cdot Q_1 + Q_a \dots (4)$$

$$\mu = 0 \text{ then } {}_0C_1 = C_1$$

$$\mu = 1 \text{ then } {}_1C_1 = C_1$$

$$A = \frac{h + Y_1/2 - D_e/6}{5/6 \cdot D_e + \mu \cdot D - Y_1/2}$$

$$Q_a = \frac{D/2 - X_1}{h_1} \cdot N, \quad Q_1 = Q - Q_a$$

$$Y_1 = \frac{2 \cdot C_1}{3 \cdot \sigma_0 \cdot B}, \quad X_1 = \frac{N}{2 \cdot B \cdot \sigma_0}$$

$$C_c = T_u - Q, \quad h = h_1 + D_e$$

C1: 基礎コンクリートの支圧応力  
 M: 柱脚に作用する曲げモーメント  
 Q: 柱に作用するせん断力 (= P)  
 P: 水平荷重 N: 柱軸力  
 Tu: 基礎補強筋の引張り応力  
 $\sigma_c$ : コンクリートの支圧応力度  
 D: 柱径 B: 柱幅  
 De: 柱の埋込み深さ  
 dt: 補強筋の重心位置  
 dc: コンクリートの支圧抵抗深さ  
 h1: 基礎上面から加力点までの高さ  
 $\mu$ : 柱と基礎の摩擦係数

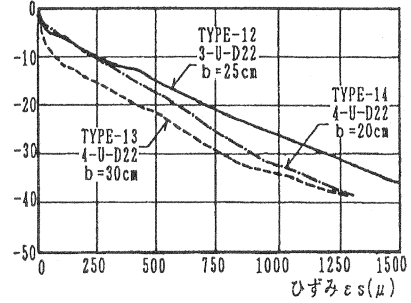


図10 基礎補強筋のP-εs曲線

3.3 基礎補強筋の応力

図11にDIN 1045(式(1)、(2))、鋼管構造設計施工指針(式(3))、提案式(式(4))による基礎補強筋応力の計算値および実験値を示す。全ての試験体において、Ho1、Ho2、Tu、 ${}_0C_1$ は実験値に比べて大きい、 ${}_1C_1$ は実験値との適合性が高い。

Tuは柱軸力が考慮されていない。Ho1、Ho2は埋込み深さを決定するときに軸力を考慮するか応力算定では考慮しない。Ho2、Tu、 ${}_0C_1$ は計算式に摩擦を考慮していないか $\mu=0$ としている。Ho1は柱埋込み部とソケット内面に意図的に凸凹を形成した場合の算定式である。 ${}_1C_1$ は柱軸力を考慮しかつ $\mu=1$ として柱の埋込み部とソケット内面で摩擦力が生じるとしたもので、軸力、摩擦を考慮した計算値は実験値とよく一致している。 ${}_1C_1$ はTYPE-15の実験値と比較すると低荷重域では差が大きい、終局時は一致している。低荷重域では断面性能の影響が大きく、荷重が大きくなるにつれて鉄筋の影響が大きくなるものと思われる。

3.4 実験結果および計算値のまとめ

この実験範囲内での結果をまとめると次の様になる。

- (1)埋込み深さは柱脚の剛性に影響し、深さの深いものほど剛性が高いが、中柱の終局耐力は $De=1.0D \sim 1.5D$ の範囲では埋込み深さの影響を受けない。
- (2)側柱はTYPE-17を除き終局荷重は計算値に達した。
- (3)埋込み式は一体式と同様に十分な変形能力があり $R=1/50$ radを越えても耐力の低下はなかった。

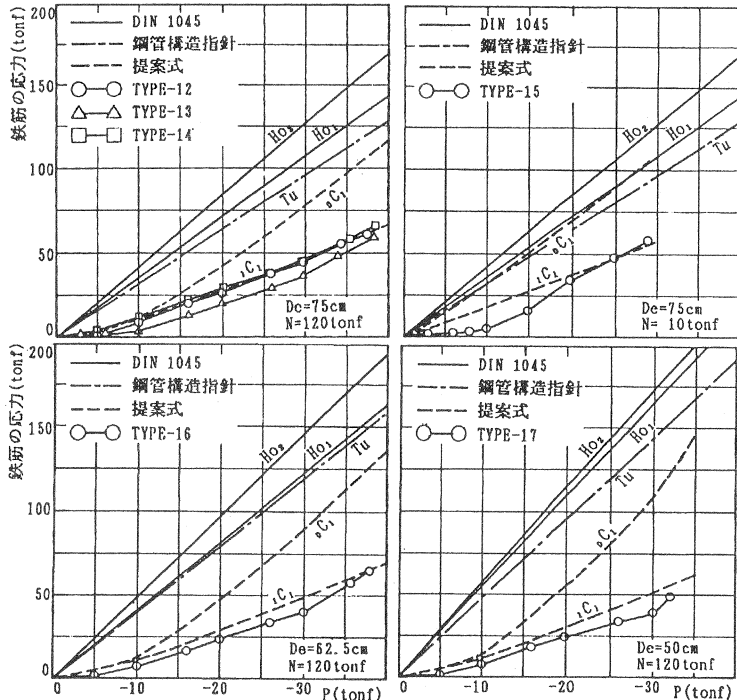


図11 基礎補強筋の応力曲線

- (4)へりあき幅は荷重-変形関係に影響しない。
- (5)この実験では、柱自身の変形より埋込み部の変形の方が、柱頭変位に対する影響が大きく、 $\delta b$ 、 $\delta R$ は埋込み深さと相関性があり、埋込み部の変形および柱脚の固定度に影響する。
- (6)基礎補強筋は基礎コンクリートが受ける支圧力の伝に有効で、 $\delta R$ の拘束に対し影響大きい。
- (7)基礎補強筋応力の実験値に対し、DIN 1045、鋼管構造設計施工指針、摩擦 $\mu=0$ とした提案式の計算値は大きい、提案式で摩擦と軸力を考慮した場合は、実験値との適合性が高い。

4. 施工例

過去の実績を表4に示し、最近の例について述べる。

4.1 小松製作所(株)平塚電子機器工場

本建物は、電子部品などのハイテク製品を生産し、製品チェック、組立保管出荷までを行う施設である。施設の特徴上施工主側から次の要求が出された。

- 1) 建築工期を短縮し工場の稼働を早める。
- 2) 労務事情や材料不足等で竣工が遅れないこと。
- 3) 構造体がそのまま仕上げ材となる。
- 4) 製造ラインは建物のどこにも設置できること。
- 5) 躯体の振動を少なくする。

以上の要求を満足させるため十分な検討を行い、プレキャストPC工法を採用するに至った。建物の構造概要図を図12~14に示す。構造体の品質については、製品検査、現場測定、強度試験などで確認がなされた。また仕上げ材としても、均質なコンクリート表

表4 埋め込み柱の施工例

件名	施工期間 (建方日数)	建物規模	建築面積 延床面積	柱部材数 梁部材数
中部電力(株) 一宮営業所	S 44.4- S 45.3 (51日)	地下1階	1183.7m <sup>2</sup>	22ピース
		地上3階	3779.7	33
コクヨ(株) 府中配送センター OKK福岡工場	S 49.1- S 49.11 (49日)	地上4階	4852.4	120
		地上1階	4356.4	66
小松製作所 平塚電子機器工場	H 2.4- H 3.1 (30日)	地上1階	3932.4	142
		地上3階	1495.6	24
エムズゴルフクラブ	H 3.4- H 4.5 (130日)	地下1階	4057.4	307
		地上1階	2607.0	109
			4897.0	311

面と十分な品質を確保できた。場所打ちRC造に比べ、工期が正確で建ち上がりが早く、軒高が15mくらいの建物で建て方のスペースがある場合は非常にメリットのある工法であることが確信でた。そのほか設備工事に早く入れることや、躯体工事の搬入資材が少ないため他の運搬作業との安全面でのメリットが大きいことなどが評価された。

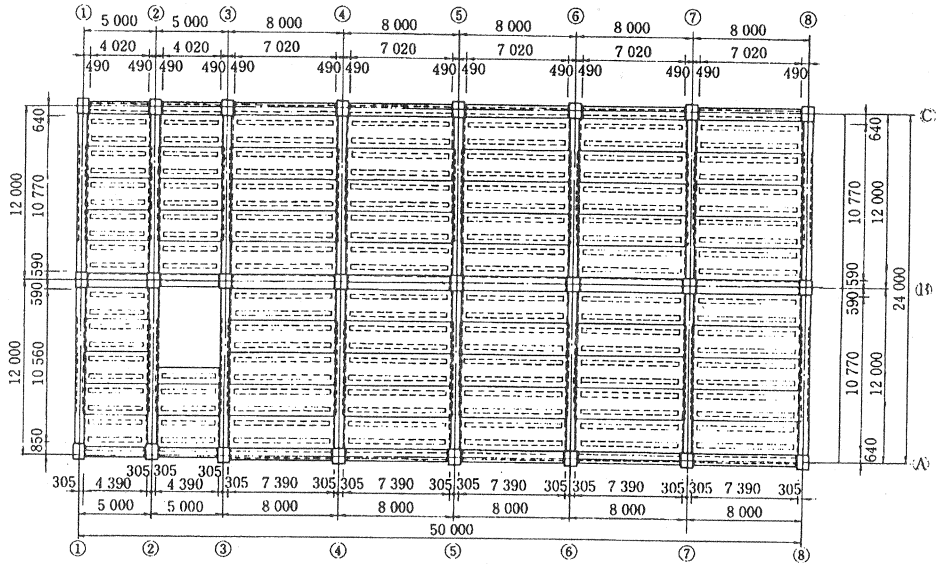


図12 R階平面剖付図

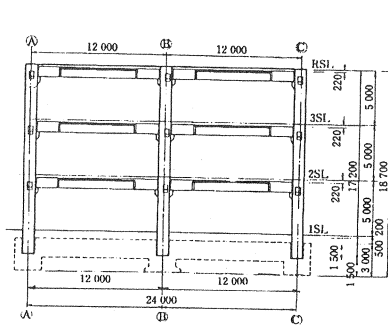


図13 軸組図

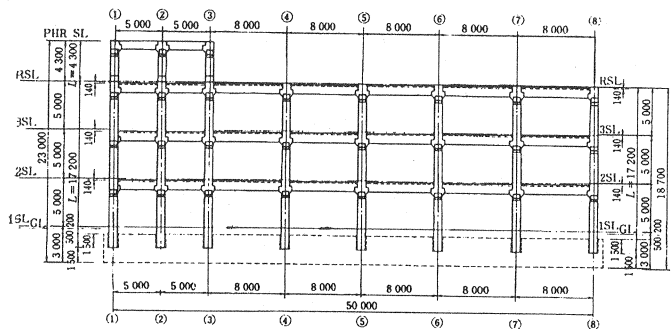


図14 軸組図

4.2 エムズゴルフクラブクラブハウス

この建物は平成4年6月にオープンしたゴルフクラブ(18ホール、6868y、パー72)のクラブハウスである。プレキャスト組立ラーメン工法の採用においては一般に同一部材の多量生産が必要条件である。その結果として工期短縮、高品質の確保、仮設材の省略と省力化等の効果が得られる。本建物では梁が曲線部材であるため、場所打ち工法では鉄筋工、型枠工に非常に困難が予想された。そこでプレキャスト組立ラーメン工法を採用して高精度のプレファブ製品、高難度の組立工法のシステム化に取り組み、困難な現場作業の省力化に努めた。構造概要図を図15、16に示す。また柱脚埋め込み部詳細図を図17に示す。(この方式は小松製作所(株)平塚電子機器工場でも使用されている。)

フレームが円形であることに加え、陸屋根と斜め屋根の組み合わせで部分的な高低差があるなど複雑なフレーム構成となり、部材の種類も多く精度も要求された。施工図の検討期間が短いなかで難しい納まりが随所にあったが想定どおりに納めることができ、関係者一同大きな自信となった。また意匠的に特徴のある建物をプレキャスト組立ラーメン工法によって施工できたことは構造技術者として大きな喜びであった。

謝辞：この実験は(社)建築研究振興協会「プレキャスト柱埋込み柱脚部の性能に関する委員会」により行われました。御指導下さった委員の方々に深く御礼申し上げます。またプレキャスト組立ラーメン工法の採用および施工管理において、深い御理解と幾多の助言を頂いた(株)久米建築事務所、三井建設(株)の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説(日本建築学会)
- 2)鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説(同)
- 3)プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工(同)
- 4)鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 1990.3(同)
- 5)鋼管構造設計施工指針同解説 1990.1(同)
- 6)Deutscher Beton-Verein E.V. BEISPIELE ZUR BEWESSUNG NACH DIN 1045
- 7)中部電力(株)一宮営業所の構造設計と施工  
プレストレスとコンクリートVol.13, No.2, 1971
- 8)コクヨ(株)府中配送センター新築工事の設計と施工について  
コンクリート工学Vol.16, No.6, 1974
- 9)プレキャストPC工法による工場建築 -小松製作所平塚電子機器工場-  
コンクリート工学Vol.29, No.5, 1991
- 10)プレキャスト組立建築における埋込み柱脚の試験と実績  
プレストレスとコンクリートVol.34, No.3, 1992
- 11)プレキャストRC造柱の埋込み接合部の挙動に関する実験的研究  
コンクリート工学年次論文報告集Vol.14-2 1992
- 12)プレキャストRC造柱脚部の埋込み接合部の挙動に関する実験的研究  
日本建築学会大会学術講演会梗概集(北陸)1992.8月

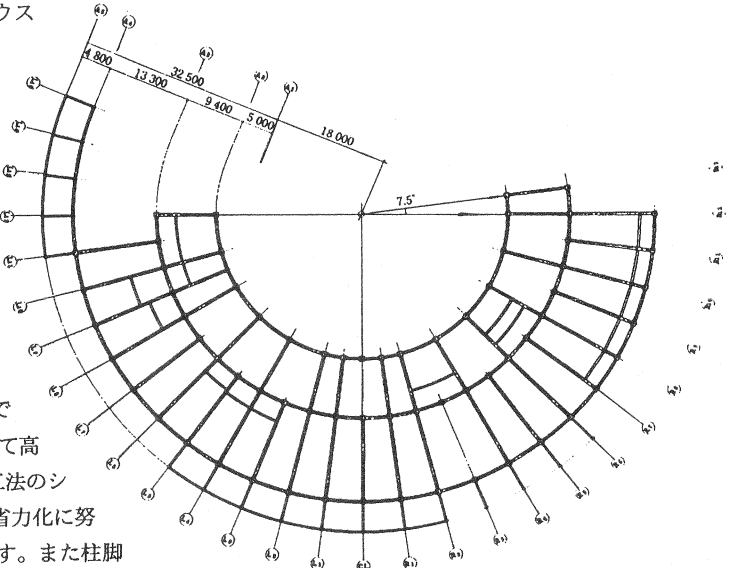


図15 1階平面

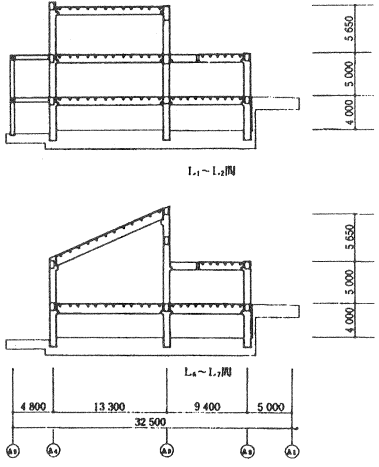


図16 断面図

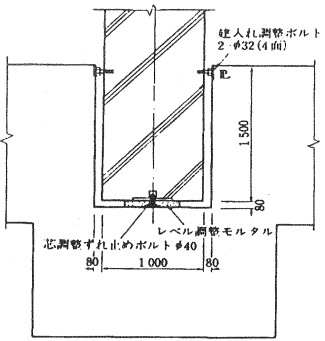


図17 埋め込み部詳細図