

外郭 PC ブレース付きボイドラーメン架構の計画 —銀座グランディアビルⅣ—

森田 明*1・森田 誠*2・縄田 雅己*3・杉山 誠*4

銀座地区は狭小地に飲食・店舗等が建ち並び、おのおのの建物は特徴のあるファサードをもつ建物が多くなっている。そこで、本建物のファサードを構成する菱形格子は支持構造という機能だけでなく、構造システムの美しさと力強さの造形の表現をテーマとし、構造部材の断面（外郭 PC ブレース）が建物の顔としての機能性をもつ計画とした。

構造形式にはボイドラーメン構造を採用した。ボイドラーメン架構は柱型や梁型がないため、内部空間にデッドスペースがなくシンプルな架構が可能である。また、将来の模様替えにフレキシブルに対応可能であるとともに、高い天井高の確保および外部および上下階間の遮音性能の向上などに有効である。また、建物高さを抑えながら内部空間を確保することができる。

キーワード：外郭 PC ブレース，ボイドラーメン架構

1. はじめに

本建物は新耐震設計法以前に建てられた既存建物を解体し、新飲食店を建設し、耐震性・快適性の向上を図る計画である。銀座地区は狭小地に飲食・店舗等が建ち並び、おのおのの建物は特徴のあるファサードをもつ。そこで、本建物の外郭を構成する菱形格子は支持構造という機能だけでなく、構造システムの美しさと力強さの造形の表現をテーマとし、構造部材の断面が建物の顔としてのファサードの機能性をもつ計画とした。菱形格子は3層ごとの基本ユニットであり、地震時の水平力を負担している（写真-1）。

また、菱形格子を構成する部材断面には主に圧縮と引張力、つまり軸力のみが作用している。軸力系の構造体は部材断面を小さくできるが、圧縮部材では座屈で強度・耐力が決まるため、部材計画では座屈に強い材料を採用した。

平面形状は、張間方向（X方向）は9.4 mの1スパン、桁桁方向（Y方向）は14.55 mの1スパンで構成しており、非常にシンプルな形状となっている（図-1）。

立面形状は、地上9階、地下1階で、軒高が29.80 mである。基準階階高は、3.3 mである。

架構形式は、X方向は中空梁と壁柱からなるボイドラーメン構造と正面および裏面に取り付くプレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造ブレースによって構成される外郭 PC プ

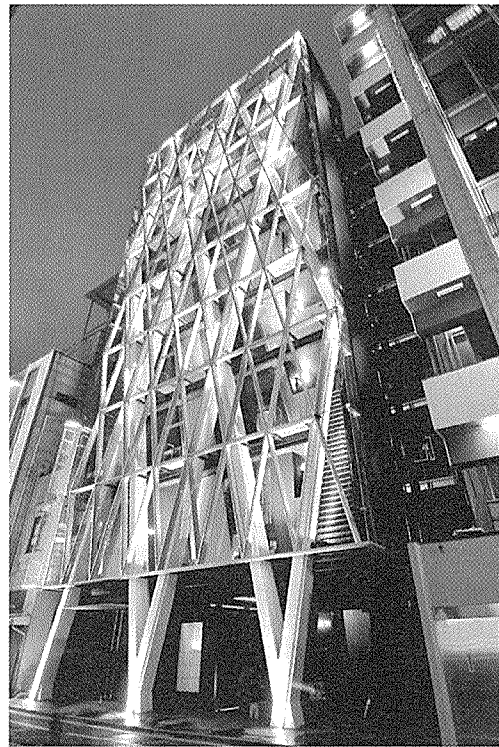
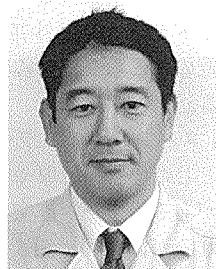


写真-1 全景



*1 Akira MORITA

(株) 松田平田設計 構造設計部



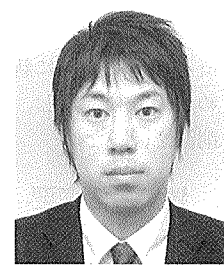
*2 Makoto MORITA

戸田建設(株) 東京支店
建築工事事部



*3 Masami NAWATA

オリエンタル白石(株) 建築支店
施工・技術部



*4 Makoto SUGIYAMA

カローズ建築構造研究所

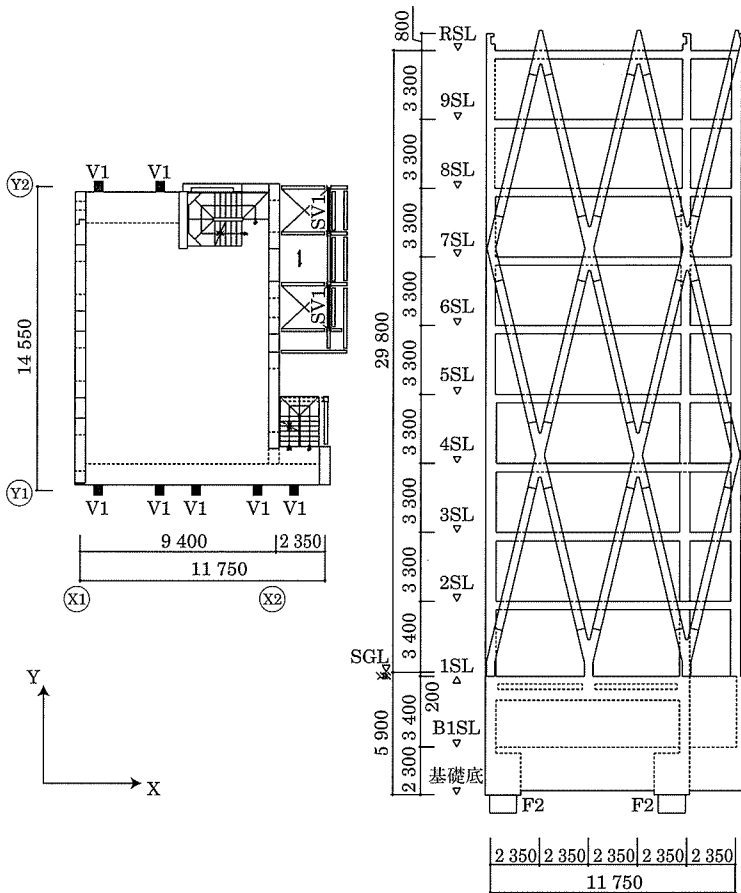


図-1 伏・軸組図

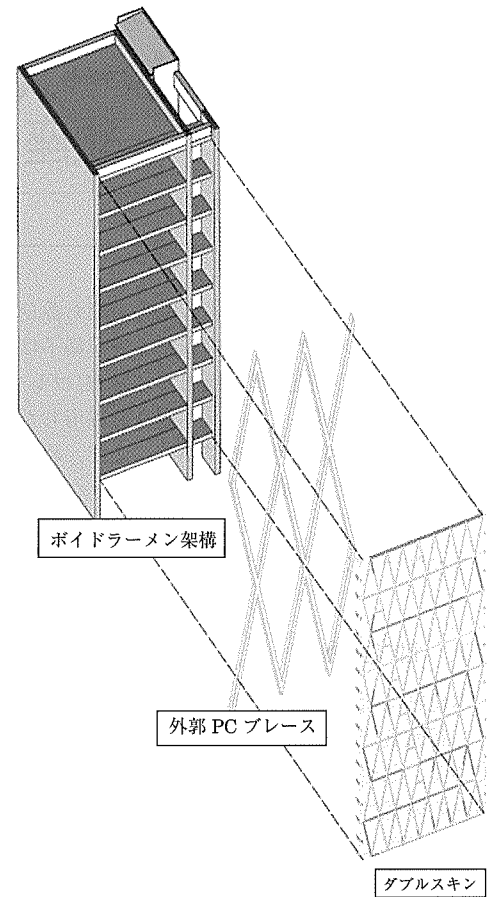


図-2 パース

レース付きボイドラーメン架構，Y方向は耐震壁付きラーメン架構である（図-2）。

構造計画を進めるにあたり，一般的に柱梁のラーメン構造を考えることが多い。容積率の有効利用を考えると，柱・梁のラーメン構造とした場合，地上8階・地下2階の建物となり，工事費が高くなるとともにテナント誘致力が低く，事業性がなくなる。そこで，本建物はボイドラーメン構造を採用することで，地上9階・地下1階が可能となり，工事費の削減・容積率の最大限の利用が可能となった。

ボイドラーメン架構は柱型や梁型がないため，内部空間にデッドスペースがなくシンプルな架構が可能である。また，将来の様様替えにフレキシブルに対応可能であるとともに，高い天井高の確保および外部および上下階間の遮音性能の向上などに有効である。また，建物高さを抑えながら内部空間を確保することができる。

既存の躯体を極力残した形で平面計画を行った。具体的には既存躯体の内部に新築の外壁を設け，既存躯体外壁を山留め代わりに使用し，解体および仮設時の工期短縮とコスト削減を図った。

2. 建築計画概要

下記の建築概要を示す。

名称：銀座グランディアIV
 発注者：(株)グランディア
 所在地：東京都中央区銀座8丁目5番18

敷地面積：224.76 m²
 建築面積：168.22 m²
 述べ面積：1,499.12 m²
 階数：地下1階・地上階9階（最高高さ31 m）
 設計・監理：松田平田設計
 施工：戸田建設
 用途：飲食店
 工期：2007年6月～2008年9月（A工事）
 PC製作・工事：オリエンタル白石
 鉄骨製作：コスゲ

3. 構造計画概要

3.1 構造計画

本建物は鉄筋コンクリート造とし，作用する地震力を張間方向は中空梁（ボイドスラブを用いる）と壁柱よりなるボイドラーメンと外郭PCブレースにより，桁桁方向は耐力壁のみからなる耐震壁付きラーメン構造により負担している。

1スパンのボイドラーメン架構は剛性・耐力を確保しようとした場合，壁厚やスラブ厚が想定以上に大きくする必要がある。また，直交方向にそで壁等を設ける方法も考えられるが，今回は意匠性も考え，直交方向に外郭PCブレースを取り付け，剛性・耐力を確保した。

外郭PCブレースは鉄骨鉄筋コンクリート造によりプレキャスト部材（計画段階ではPCaPC部材としてPC鋼棒に

表 - 1 目標耐震性能

		検討レベル	
		一次設計	二次設計
上部構造		<ul style="list-style-type: none"> 各部材に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。 各階の重心位置の最大層間変形角が1/400以下であることを確認する。 中空梁に曲げひび割れ・せん断ひび割れが生じない。 	<ul style="list-style-type: none"> 各部材の塑性率が4.0を超えないことを確認する。 各階の重心位置での最大層間変形角が1/200以下であることを確認する。 各部材および接合部の曲げ・せん断強度の余裕率(1.0～1.2)を確保する。
ブレース		<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が終局強度以内であることを確認する。 曲げ・せん断強度の余裕率(1.2)を確保する。
地下構造		<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。
基礎構造	基礎梁	<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 部材に生じる応力が終局強度以内であることを確認する。 せん断強度の余裕率(1.2)を確保する。
	杭	<ul style="list-style-type: none"> 杭に作用する軸力が短期許容応力度以内であることを確認する。 杭に生じる応力が短期許容応力度以内であることを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭に作用する軸力が終局支持力以内であることを確認する。 杭に生じる応力が終局強度以内であることを確認する。

より引張力を処理していたが、引張力が大きいため鉄骨断面に変更した。)とし、本体の躯体完成後にスラブ側面に圧着することで地震力の伝達を行っている。また、プレキャスト部材とすることで、工場製作による品質向上、建方作業の低減、さらに、構造骨組をファサードとして見せるためのPCa部材の精度や納まりの確保が可能である。

長期荷重時応力は躯体自重に対してはブレースがない状態で、仕上げ荷重および積載荷重に対してはブレースがある状態で検討を行い、外郭PCブレースは主に地震荷重に対して計画を行った。

外郭PCブレース架構は、斜め柱と床組から三角形を単位(3層分)とする軸組の構成とし、各層の床位置で圧着接合を行う。

3.2 基礎構造

地下部分は、すべての構面に耐震壁を配置し十分な耐力と剛性を確保している。建物の根入れ深さは地下部を含め約5.7m(建物高さの約19%)と十分な深さを確保している。

基礎形式は設計GL-15mのN値50以上の細砂層を支持地盤とする杭基礎を採用した。杭種は場所打ちコンクリート杭で工法はアースドリル拡底杭工法とした。杭径は軸径φ1300mm、拡底径φ1800mmとしている。

3.3 耐震・耐風設計方針

常時・耐震設計方針を下記に示す。

(1) 常時の設計

固定荷重と積載荷重に対して、基準法施行令82条による「許容応力度設計」を行う。

ボイドスラブのたわみ量は、長期たわみの変形増大係数を8倍(梁とした場合)とし、 $\delta/L = 1/250$ 以下とする。また、たわみ計算用積載荷重は架構用とする。

(2) 耐震設計

建築基準法施行令第88条に基づきAi分布形を採用し、一次設計時の標準せん断力係数は $C_0 = 0.25$ とした。

二次設計時の保有水平耐力は、Ai分布に基づく荷重分布形の静的弾塑性解析を実施し①建物全体崩壊系となり不安

定架構となった場合、②いずれかの層で層間変形角が1/200に達した時点の耐力、③ブレース接合部が最大耐力に達した時点、④杭に曲げ降伏が生じた時の小さい方とする。

地下の地震荷重も同じく「建築基準法施行令第88条第4項」に基づき、一次設計時は水平地震 $K = 0.1$ 、二次設計時は $K = 0.2$ を決定した。目標耐震性能は表-1に示す。

3.4 解析モデル

(1) 鉛直荷重時応力解析モデル

壁柱および中空梁は、壁および床開口等も考慮し板要素でモデル化した。なお、中空梁はボイドによる断面欠損を考慮し、断面2次モーメントが等価となるような中実断面でモデル化し、ブレースは、曲げせん断および軸剛性を考慮する線形要素でモデル化した。

(2) 水平荷重時応力解析モデル

壁柱および中空梁は、線形要素でモデル化した。なお、中空梁はボイドによる断面欠損を鉛直荷重時応力解析モデルと同様に考慮する。ブレースは曲げせん断および軸剛性を考慮する線形要素でモデル化した(図-3)。

3.5 断面設計

本敷地は3方向隣地に接し前面道路も幅員8mで、夜間工事のみ道路使用が可能である。工場製作の鉄骨やPCa部材を使用した場合、重機の制約と部材断面の制約があった。また、本工事では、ボイドラーメンが完成したあとでブレースを取り付ける必要があり、ブレース断面を小さく抑えた部材断面で設計を行っている。

外郭PCブレースの断面は1階からR階まで同断面400×360mm(鉄骨断面PL-200×40)とした。外郭PCブレースとボイドラーメンを圧着するPC鋼棒はφ26(SBPR1080/1230)～φ36(SBPR930/1230)を使用し、2～8本(圧着面1箇所)とした。PC鋼材の緊張端定着体は外郭PCブレース内に、固定端定着体はボイドスラブ内に埋め込んだ。外郭PCブレースは鉄骨をボルト接合で、鉄筋を機械式継手を用いて接合する。壁厚は400から500mm、スラブ厚は400mm(ボイド径250mm, 400mm

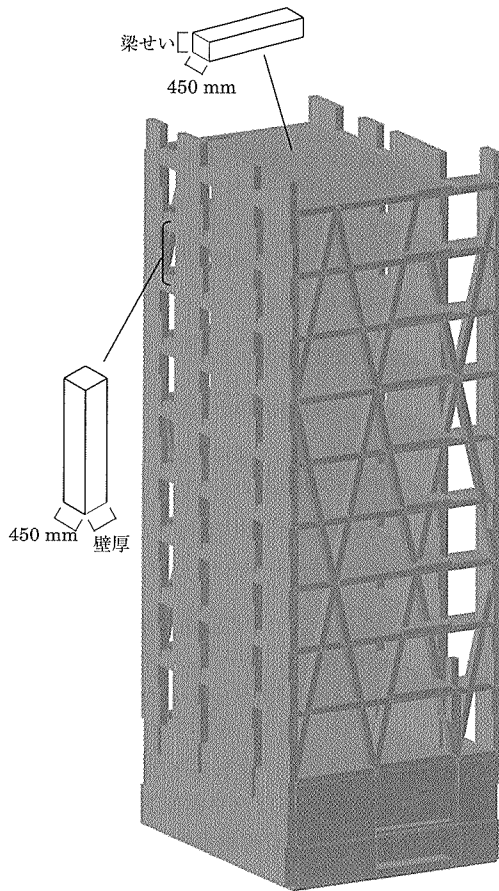


図 - 3 水平荷重時応力解析モデル

ピッチ)とした(写真-2)。

コンクリート強度は圧着面の支圧応力で決まり、33~45 N/mm²となっている。



写真 - 2 ボイドスラブ状況

3.6 圧着面の設計

圧着面の伝達せん断力は、設計緊張力 (P) × せん断力伝達係数 (μ) とし、参考文献 1) に基づき $\mu = 0.6$ を設定した。また、プレストレスによる有効率 η は、PC 規準より $\eta = 0.85$ とする²⁾。

$$Q_u = \eta P \cdot \mu$$

ここに、 Q_u : 圧着面の伝達せん断力

P : 設計緊張力

μ : せん断力伝達係数

各 PC 鋼棒の支圧板の形状は、支圧応力度が必要保有水平耐力時に許容値以下であることを確認した。また、保有水平耐力時において、各層に配置した PC 鋼棒の圧着面の耐力を計算し、PCa ブレースと建物本体との圧着面に生じるせん断力 (Q ブレース) が、圧着耐力以下であることを確認した。図 - 4 に外郭 PC ブレースの詳細図を示す。

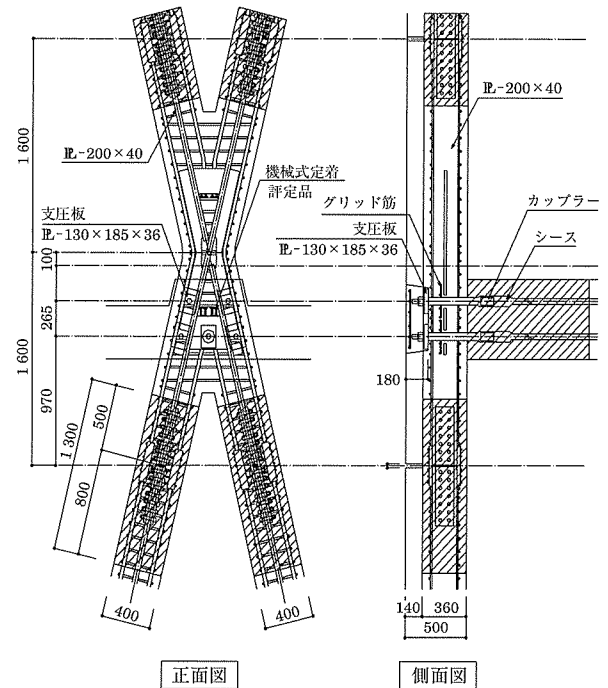


図 - 4 外郭 PC ブレース詳細図

4. 外郭 PC ブレース概要

図 - 5 に外郭 PC ブレースの概要を示す。外郭 PC ブレースは建物外郭となる前面と裏面に菱形に配置されている。この外郭 PC ブレースは、コンクリート強度 $F_c = 48 \text{ N/mm}^2$ のプレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート造であり、長さ約 7 m の斜材、X、V 型の計 39 ピースに分割して工場製作した。

部材間の接合は、鉄骨をボルト接合により、鉄筋を機械式継手により接続し、プレキャスト部と同じ圧縮強度のコンクリートを現場にて打設して一体化した。また、外郭 PC ブレースは建物本体と PC 鋼棒によって圧着接合されブレースとして機能する構造となっている。この PC 鋼棒は躯体内に埋め込みであるが、精度確保および施工性の面から、接合部が壁や柱となる部分は先打ちとし、スラブ面に接合する部分は、梁部分にシースのみを埋め込んでから PC 鋼棒の固定端部分をあと施工とする方法とした。

5. 外郭 PC ブレース製作概要

表 - 2 に外郭 PC ブレースの使用材料表を示す。

工場製作した製品の精度が現場での組立て精度に直接影響するため、下記項目に重点を置いて検査および管理を行った。

- ① 鉄骨本体の精度

表 - 2 主要材料

材料名	仕様	備考
コンクリート	$F_c = 48 \text{ N/mm}^2$	工場製品
鉄骨	1F ~ 3F (SM520) 4F ~ RF (SM490)	PL-200 × 40
鉄筋	D10, 13, 16 (SD295) D25 (SD390)	
PC 鋼棒	$\phi 26$ (SBPR1080 / 1230) $\phi 36$ (SBPR930 / 1080) $\phi 36$ (SBPR1080 / 1230)	圧着用

- ② 型枠の精度
- ③ 接合部の鉄骨, 鉄筋の精度

5.1 鉄骨材の精度確保

鉄骨は PL-200 × 40 と厚さがあり, X 形・V 型は鉄骨が斜めに取り付け, 溶接する面が非常に広がることから, 入熱による部材のひずみが懸念された。そのため, 仮止め用の治具を付けて溶接し, その後ひずみ取りを行う製作方法とした。また, 運搬中の変形を防止するために仮止め用治具は取り付けられた状態で PC 工場に搬入した。写真 - 3 に鉄

骨材の搬入時仮固定状況を示す。

5.2 型枠の精度確保

PC 製品の精度は型枠の精度に左右されるため, 型枠の精度管理にはとくに注意した。製品の出来形管理値が長さ ± 5 mm, 幅および高さは ± 3 mm であるため, 型枠の精度を長さ ± 3 mm, 幅および高さは ± 2 mm とし厳しい値を設定した。型枠の検査にあたっては, 部材の全長や幅に加えて, 部材の角度も測定した。写真 - 4 に型枠検査状況を示す。

また, 外郭 PC ブレースの現場取付けにおいて, 接合部の鉄骨および鉄筋の先端の精度が重要となる。そのため, 接合部となる鉄骨の先端に位置固定治具を設けて固定した。この固定治具と鉄骨のクリアランスは 2 mm とした。また, 鉄筋の出入りには先端にストッパーを付けて管理した。写真 - 5 に鉄骨および鉄筋の先端固定状況を写真 - 6 に完成部材を示す。

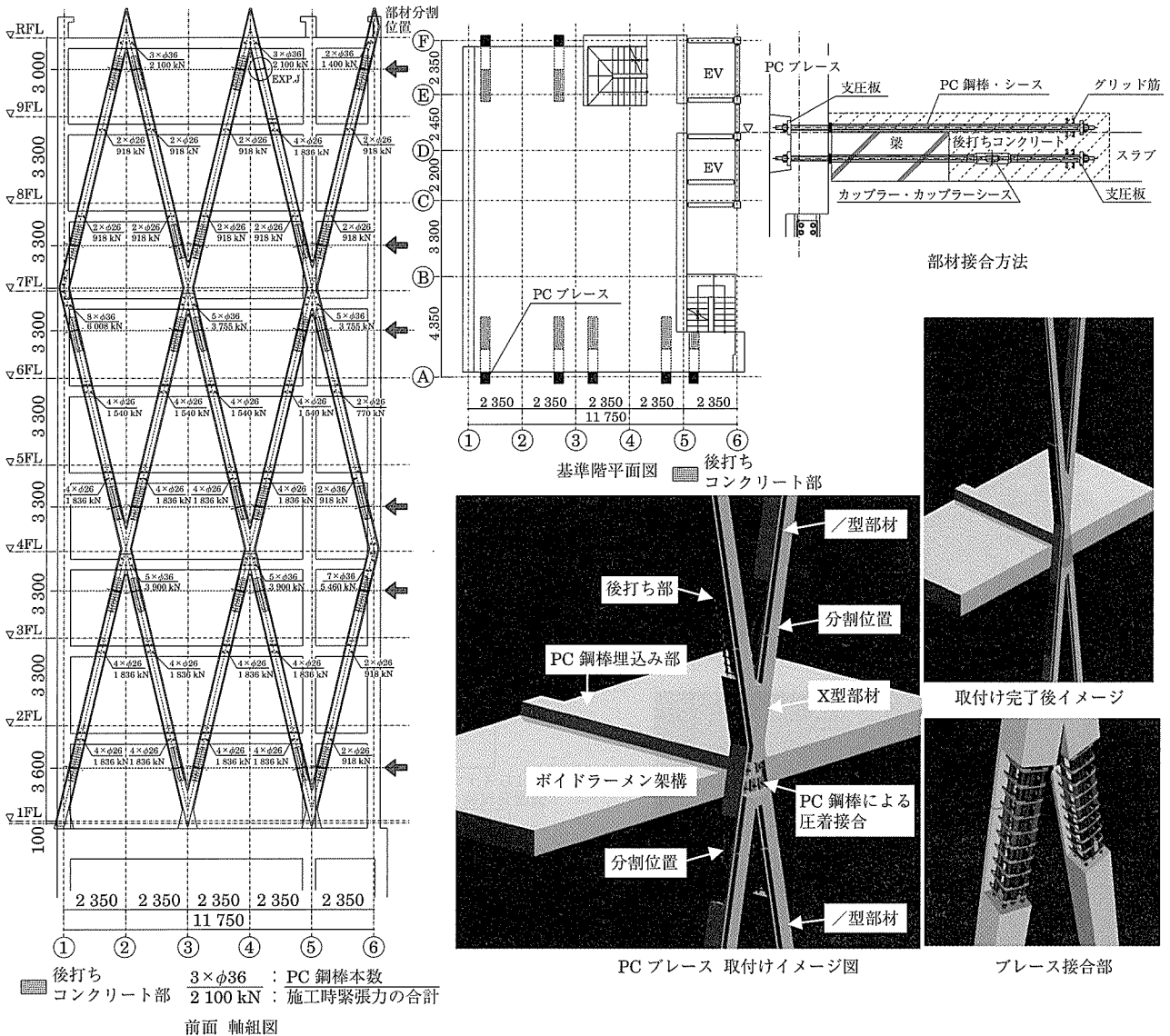


図 - 5 PC ブレース概要

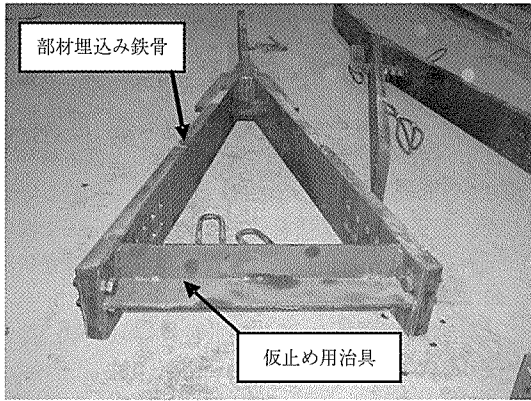


写真 - 3 鉄骨材搬入時仮固定状況

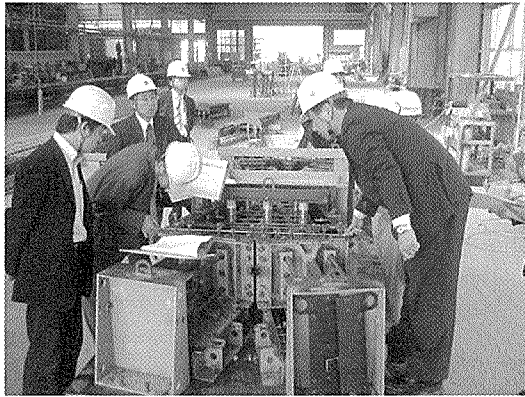


写真 - 4 型枠検査状況

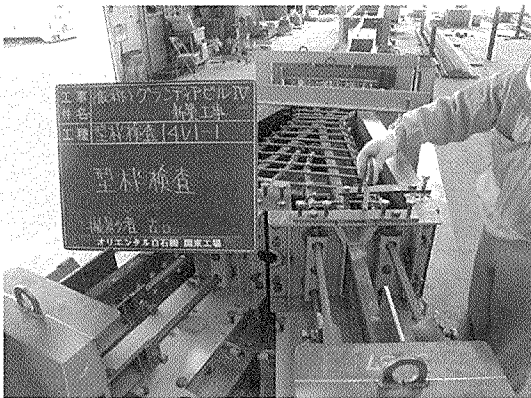


写真 - 5 鉄骨・鉄筋先端固定状況

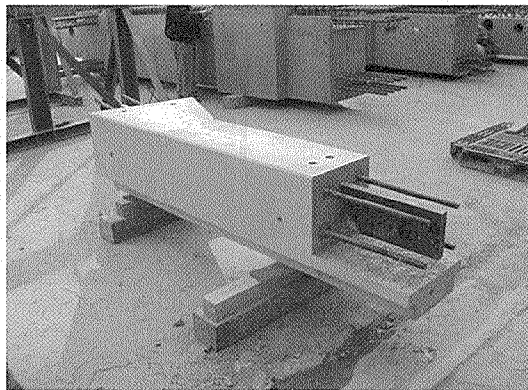


写真 - 6 完成部材

6. 外郭 PC ブレース施工概要

6.1 施工フロー

施工フローを図 - 6 に示す。最下段外郭 PC ブレースは基礎工事後の 1F 梁コンクリート打設前に、上部外郭 PC ブレースは躯体上棟後に架設を行った。

ブレースと躯体の圧着用 PC 鋼棒は、施工性および精度の向上を目的に、接合位置により躯体工事中に埋め込む部分と架設完了後にあと施工する部分とに区分した。あと施工部は、PC 鋼棒固定端部とし、梁型部のシースのみを躯体工事中にセットし、部材架設後に PC 鋼棒・定着具の取付けを行った。PC 鋼棒の緊張は、後打ち部コンクリートのプレストレス導入時強度発現の確認後に実施した。

また、ブレース間接合部は、部材架設時に鉄骨のスプライスを取り付け、部材調整完了後に本ボルト締め、機械式継手のグラウト注入を行い、PC 鋼棒緊張後に接合部のコンクリート打設を行った。

6.2 施工の概要

(1) 最下段部材の架設

最下段ブレース取付け完了状況を写真 - 7 に示す。外郭 PC ブレースの最下段は 1F 梁に接合され、かつ、外部鉄骨が外壁に埋込みとなるため、VH 分離工法とした。基礎梁打設、下部鉄骨建方、V コン打設後に外郭 PC ブレースを

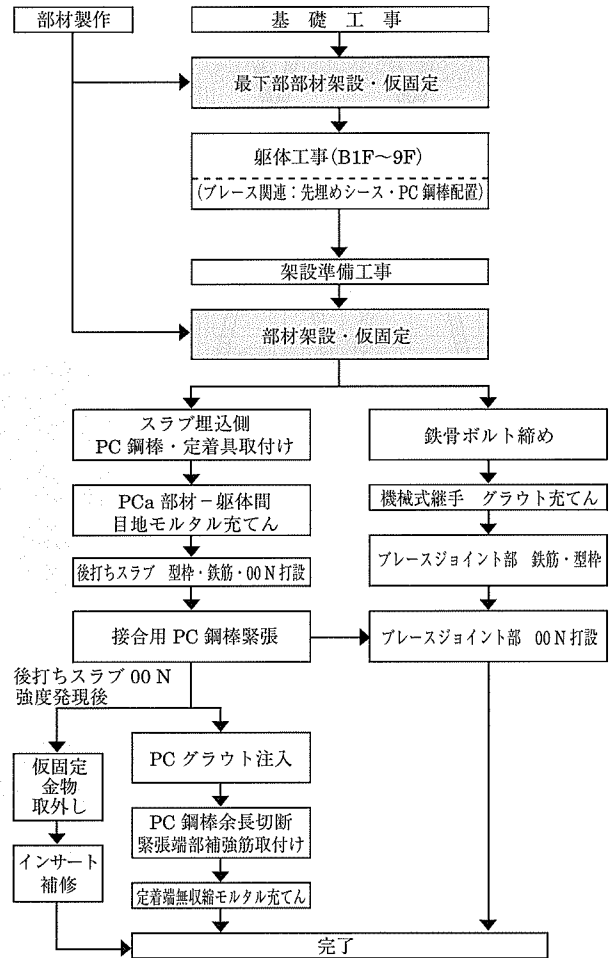


図 - 6 施工フロー



写真-7 最下段外郭 PC ブレース取り付け完了状況

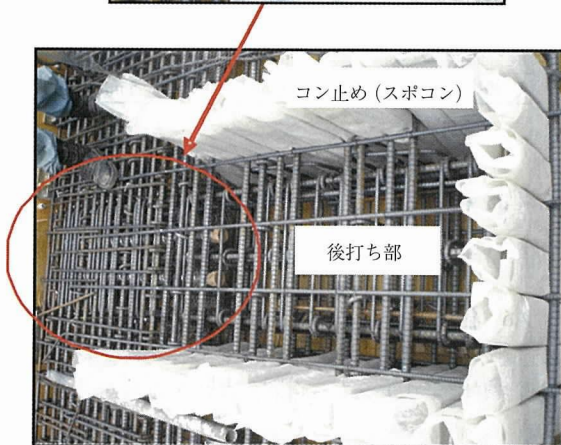
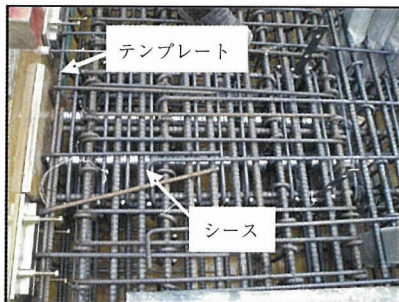


写真-8 接合部シース設置状況

架設し、位置決め後、1F梁・床のコンクリートを打設した。

(2) PC 鋼棒の配置

接合部シース設置状況を写真-8に示す。菱目状のブレースのため、PC 鋼棒の位置が各階にて異なる。そのため、各階ごとにテンプレートを作成して位置調整を行い、PC 鋼棒の精度を確保した。また、PC 鋼棒が先埋めとなる部分は PC 鋼棒が型枠から 500 mm ほど飛び出するため、型枠部だけでなく、鋼棒先端部分にもテンプレートを設置し、打込み精度の向上を図った。

(3) クレーン・足場計画

最下段部材の架設は、50 t ラフタークレーンによる夜間架設とし、上部ブレースは、上棟後に建物屋上に取り付けたクレーン (作業半径: 15 m 定格荷重 3.5 t) により架設した。また、部材の取付けに使用する外部足場は、躯体・外郭 PC ブレース・塗装・カーテンウォールを 4 種類の工

事に対応するため、躯体から 1 300 mm 離れた位置に枠組足場を設置し、工事ごとに寸法を変更して対応する計画とした。

(4) 外郭 PC ブレースの架設

架設状況を写真-9, 10に、固定状況を写真-11に示す。架設は、足場と本体建物の狭い間の架設作業であることから最大 4 ピース / 日とし、前面 6 日間、裏面 3 日間で行った。部材の支持方法は、スラブ面に打ち込んだあと施工アンカーに吊り用金物を取付け、チェーンブロックにより吊り下げる方法とし、躯体にあらかじめ設置した仮設の位置決め金物を利用して仮取付けを行った。調整順序は、まず



写真-9 架設状況 1

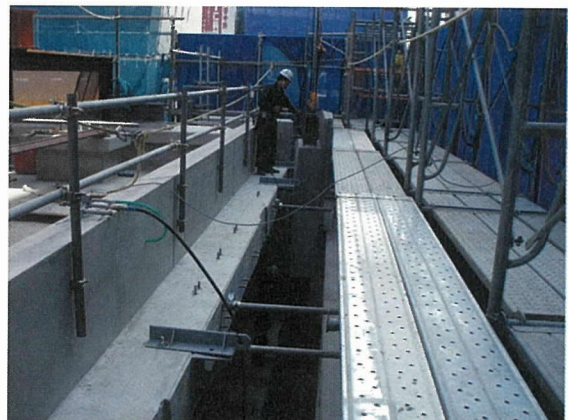


写真-10 架設状況 2



写真-11 部材固定状況

ブレース同士が交差する部分の X 型部材 (4, 7, RF) の位置を調整・固定した後に、X 型にはさまれている直線部材の調整・固定する順に行い精度向上を図った。

写真 - 12 に埋込み PC 鋼棒の配置状況を示す。PC 鋼棒は、隣地との空間がないことから、分割した鋼棒をカップラーにて接続した。

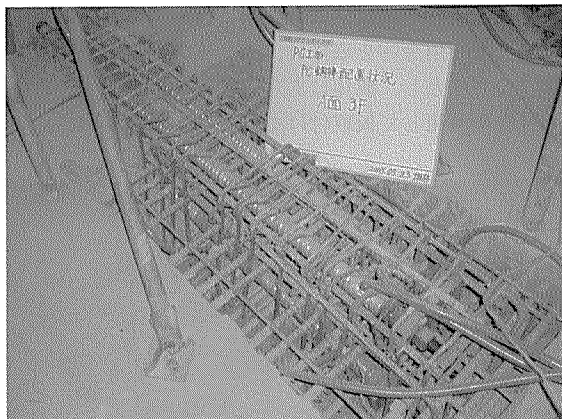


写真 - 12 あと施工部 PC 鋼棒配置状況

(5) ブレース接合部の施工

ブレース間接合部を写真 - 13 に示す。ブレース間接合部は、鉄骨プレートの接続と鉄筋の機械式継手が小断面の中で取り合うため、部材製作前に鉄筋、ボルト位置、作業方法など入念に検討を行った。そのため、施工時には問題なく施工を完了できた。

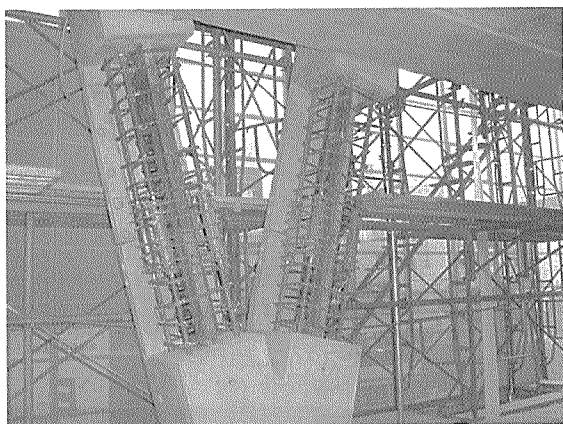


写真 - 13 ブレース間接合部

(6) PC 鋼棒の緊張・グラウト

一般的な PC 鋼材の緊張管理は、PC 鋼材の伸び量と電動ポンプの圧力計の示度により行う。しかし、本工事の PC 鋼棒は約 2.5 m と長さが短いため、伸び量が小さく測定誤差の影響が大きくなることから、圧力計のみによる緊張管理とし、伸び量は参考値として測定した。また、伸び量が

小さくなじみなどの影響による緊張力の減少が考えられるため、2 度引きを行った。緊張は、軽微なひび割れもなく無事完了することができた。

PC グラウトは注入が不完全であると鋼棒の破断等の原因となるため、重点管理項目とした。グラウト管理には流量計を使用して注入量を確認する方法があるが、本工事では、1 本あたりの注入量が極少であることから、使用セメントの空袋管理と注入後のホース内充てん状況の全数確認により管理を行った。

(7) 定着端部処理

PC 鋼棒の緊張端部は、緊張ジャッキを取り付けるため、大きな欠込みがあり、この部分に緊張完了後に無収縮モルタルを充てんする。この欠込みに M 8 ボルトおよびメッシュ筋を取り付け、無収縮モルタルのはく落防止を行った。

6.3 建て方精度

外郭 PC ブレースは意匠部材でもあり、建て方精度に重点をおき、取付け時の精度は管理値に対してより厳しい管理目標値を設定して検査・管理を行った。本工事における建て方精度の管理値・管理目標値を表 - 3 に示す。

表 - 3 建て方精度

測定箇所	管理目標値	管理値
部材の出入り	5 mm	10 mm
部材のレベル	5 mm	10 mm
部材同士のズレ	3 mm	5 mm

7. おわりに

本建物は PC 部材を耐震性の向上だけではなく、ファサードとしての魅力を可能にした事例だと考えている。

本プロジェクトを設計・施工するにあたり、建築主の皆様へ感謝の意を表します。また、PC 製作・鉄骨製作・工事を担当されたオリエンタル白石、コスゲの方々に感謝します。

また、全工期を通じて綿密な工程管理を確立し、工期内に高品質・高精度な建物を実現した戸田建設の関係者の皆様には深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 小山内裕・渡辺史夫・勅使河原正臣・小幡学・大島幸・木村義男：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する実験的研究 その 6 柱梁接合部のせん断実験の結果 日本建築学会学術講演梗概集 (近畿), 1996.9
- 2) 松戸正士・三瓶昭彦・佐々木仁・内田伸二：プレキャスト鉄骨鉄筋コンクリート梁に関する実験的研究 コンクリート工学年次論文報告集, 1991

【2009 年 4 月 28 日受付】