

建築事業部における混合構造の開発

Development of Composite Structure at Building Construction Division of Nippon Steel

中村 秀司^{*(1)} 吉川 秀章^{*(2)} 大矢 俊樹^{*(3)} 丸山 栄^{*(4)}
 Hideji NAKAMURA Hideaki YOSHIKAWA Toshiki OHYA Sakae MARUYAMA
 穂 苺 實^{*(5)}
 Minoru HOKARI

抄 録

新日本製鐵 建築事業部における建築構造での技術開発は、これまで超高層事務所ビルや産業施設分野をターゲットとした鋼構造中心であったが、中規模であるが一流の技術を有する本格的な建設業を目指し住宅分野でのRCや鋼を用いた混合構造の技術開発を行うようになった。その代表的なものに、新都市プロジェクトの成果であり現在注目されているコンクリート充填鋼管柱、超高層 RC 住宅用に独自に工夫開発した鋼板巻き RC 柱、中高層住宅用に開発したコンクリートと平鋼から構成される十字型の柱をした PLRC 構造がある。

Abstract

Efforts of the technical development on building structures at the Building Construction Division of Nippon Steel had been so far laid stress on steel structures targetting the field of high-rise office buildings or industrial installations. However, the division shifted its course to the development of a composite structure with using reinforced concrete (RC) and steels in the field of housing, aiming at a full-scale constructor with a construction technology of the first standing even though being mesoscale. The representative results developed are those such as concrete filled tube drawing public attention at present, RC column confined with steel plates originally, designed for high-rise RC apartment, a PLRC structure having cross-shaped columns consisting of concrete and flat steel bars developed for medium multi-story housings, and so, which are the products obtained in the Shintoshii project.

1. はじめに

新日本製鐵 建築事業部は、1974年、標準建築事業部の名前で発足し、H型鋼の利用技術及び鉄骨加工技術をベースとした事業展開を図ってきた。そして1985年頃から本格的な建築総合工事を始めるに至り、超高層事務所ビルや産業施設を中心に建設を行うことにより拡大発展し、新日本製鐵における複合経営の一翼を担うところまできた。

技術開発においてもそれまで鋼構造に偏っていたが、ゼネコンとしての総合的な技術を持つことを目指し、RC(鉄筋コンクリート)分野の技術開発も手掛けるようになった。このことにより事業部内にコンクリートの専門家も育ててきており、本格的なゼネコンに向かって第二のスタートを切ったといえる。

新日本製鐵の建築事業部としてはあくまでも鉄素材の良さを活かすことを前提として混合構造の技術開発を行ってきており、その結果として集合住宅等の RC 建築物の建設にも携わるようになった。最近では、超高強度コンクリート(F_c 600kgf/cm²)の施工技術などの

純 RC 構造の技術開発も行うようになってきている。

建築センターの評定には、設計のみならず施工技術も審査対象となるものがあり、コンクリート充填鋼管柱(CFT)の一般評定をはじめ、高層 RC 技術検討委員会の技術評価を取得しゼネコンとして実力を着実につけるのと同時に業界の評価も得てきた。当初はゼネコンとして認知されていなかったため、評定においても建築事業部そのものの説明が必要であったが徐々に認知されるようになりその必要がなくなってきた。

本稿ではこれまで行ってきた混合構造の技術開発の中から、CFT 構造、鋼板巻き RC 柱、PLRC(プレートコンクリート) 構造について紹介し、建築事業部が行ってきた鋼構造以外の技術開発について報告する。

2. コンクリート充填鋼管柱(CFT)の開発

2.1 鋼管コンクリートの種類

鋼管コンクリートの種類として鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準(社)日本建築学会)には、図1のように被覆形、充填形、充填

*⁽¹⁾ エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部
部長代理

*⁽²⁾ エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部

*⁽³⁾ エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築工事部 室長

*⁽⁴⁾ エンジニアリング事業本部 建築事業部 調整部 掛長

*⁽⁵⁾ エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部 部長

被覆形の3種類が適用されると記述されている。

CFTとはこの中の充填形の鋼管コンクリート構造の断面構成を持つ柱のことであり、角形又は丸形鋼管の中にコンクリートを充填し、鉄とコンクリートのそれぞれの良さを持ち合わせた優れた構造性能を持つ構造部材であり注目されるものである。

柱・梁接合部の形式としては図2のように通しダイヤフラム形式(内ダイヤフラム形式も含む)と外ダイヤフラム形式が一般的である。通しダイヤフラム方式の場合には特にダイヤフラムの下面でのコンクリートの充填性が施工上の問題点となる。

2.2 行政上の取扱い

被覆形、充填被覆形はSRC(鉄骨鉄筋コンクリート)造柱として取り扱われているのでさほどの問題はないが、充填形は鋼管の外側に5.0cm以上の被りコンクリートがないため、SRC造ではなくなる。また、S造として取り扱うとコンクリートの剛性は評価できるが耐力を評価できないことになってしまう。行政上も次第に認めていこうという動きはあるものの依然としてCFTのようなハイブリッド構造は認められていないのが現状である。従って、CFT構造を設計しようとするとは個別評価が必要になってしまう。

2.3 新都市プロジェクト参加と一般認定

新日本製鐵は1992年に一般認定を取得し、確認申請レベルで設計施工が可能になったが、それまでの経過の概要を説明する。

CFTは新都市ハウジングプロジェクトの参画した5社により短柱圧縮試験(48体)軸力曲げせん断実験(38体)合計86体にも及ぶ数多くの構造実験を行い、1989年度に(財)建築センターの躯体構造部会にて性能評価(以下CFT評価と呼ぶ)を得た。

CFT評価をベースに参画した5社はそれぞれの会社で充填性の確認のための施工実験等の実績を踏んだ上で個別評価を経験し、更にそれぞれ独自研究を重ね一般認定を取得している。

新日本製鐵の通しダイヤフラム方式柱梁接合部のトレミー管方式での施工実験の例を示す。図3、写真1のようにダイヤフラム下面位置での充填性について確認している。充填率としては柱断面全体を100%とすると90%以上の結果を得ている。また充填性に問題とならないが特に水セメント比40%以下を目安としている。

5社の認定内容はCFT評価をベースにしているので大きな差はないが新日本製鐵の一般認定を要約すると以下のとおりである。

- ・新日本製鐵の設計施工を原則とする。
- ・コンファインド効果によるコンクリート強度の上昇を期待した設計ができる。

$$F_c \leq 600 \text{ kgf/cm}^2$$

F_c : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

- ・SM570 まで鋼材が使用できる。

$$F \leq 4100 \text{ kgf/cm}^2$$

- ・鋼材の基準強度F値 $F \leq 4100 \text{ kgf/cm}^2$

$$\text{幅厚比の緩和 (図4参照)} \quad B/t \leq 55 \quad (\text{角形鋼管})$$

$$D/t \leq 67 \quad (\text{丸形鋼管})$$

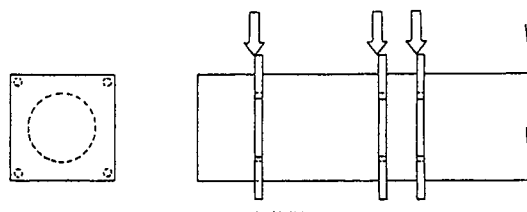
- ・保有水平耐力計算時の変形性能の評価として有利なCFT評価式を使う。

- ・保有水平耐力計算時の柱軸力比の制限が大幅の緩和される。

$$N \leq 0.7 \cdot N_u$$

N : 保有水平耐力計算時の柱軸力(t)

N_u : 中心圧縮耐力(t)



カット位置

図3 カット位置

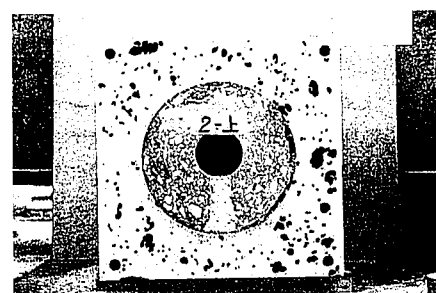
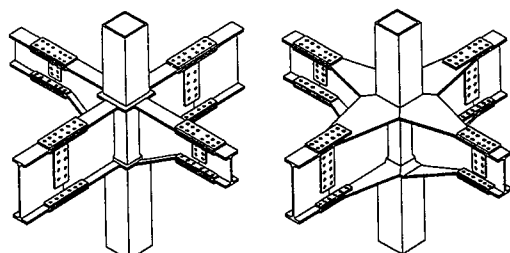


写真1 コンクリート充填状況

	被覆形	充てん形	充てん被覆形
(a) 円形鋼管			
(b) 角形鋼管			

図1 鋼管コンクリートの断面構成



柱・はり (通しダイヤフラム)

柱・はり (外ダイヤフラム)

図2 ダイヤフラムの形式

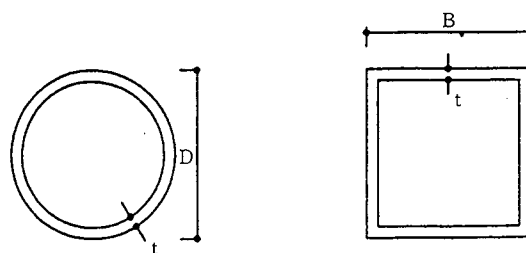


図4 幅厚比

・設計式 詳細な記述はしないがCFTの短期・終局曲げ耐力はそれぞれ一般化累加式を用いることができる。

2.4 CFTの利用技術及び新日本製鐵の実績

CFTの最大の利点は、大きな圧縮力に対して小さな断面で設計できることであり、耐火被覆をいれてもRCに比べて効率のよい断面構成となる。分かりやすくいうと圧縮力をコンクリートが負担し、曲げモーメントを鋼管が負担すると考えて良い。超高層事務所ビル、超高層住宅、重層倉庫等、長期短期を問わず柱軸力の大きなところに利用すると大きなメリットが生まれるのである。



写真2 リパブリックプラザホテル

新日本製鐵の建築事業規模(年間1300億円程度)からいっても分かるように数多くの実績があるわけではないが国内ではエニコム・ハイコムステーション(S造6F)や森永ビル新築工事(S造7F)、海外においてはリパブリックプラザホテル(写真2参照)、世界広場(上海、写真3参照)、深圳貿易中心ビル等に適用した。深圳貿易中心ビルを例にとるとCFTを使うことによって柱の鋼重が約半分減っており、経済的な設計ができています。

2.5 CFTの今後の展開

5社が独占している一般認定をオープン化する動きはあるがまだ多少の時間がかかるかと思われる。オープン化されれば、地震に強いCFT構造は急速に普及していくのはまず間違いないことであろう。新日本製鐵は80キロ鋼(780MPa級鋼)をCFTに使うことの可能性や、超微粉末高炉スラグを用いたハイパフォーマンスコンクリートを充填用に用いることを検討している。

3. 鋼板巻きRC柱を用いた超高層集合住宅の開発

3.1 新日本製鐵の超高層集合住宅

この10数年ほどの間に、20階を超える建築物に鉄筋コンクリート造を採用する事例が数多く見られるようになってきている。これは、高強度コンクリート(F_c 480kgf/cm²)、高強度太径鉄筋(SD390, D41)をはじめとする鉄筋コンクリートに関する材料技術の発展、構造設計技術並びに施工技術の進歩が背景にある。

このような超高層RC建物を設計施工するには、(財)日本建築センターの技術評価を取得する必要がある、既に20数社のゼネコンが取得している。新日本製鐵も建築事業部が主体となり鋼構造開発センターの協力(材料)のもと、1990年から約3年間の準備期間、10か月間の審査期間を経て1993年12月に“新日鉄超高層RC構法<NS35システム>”の技術評価を取得し、超高層集合住宅分野への技術的な基盤を固めた。

図5は、35階建て約40,000m²の試設計集合住宅であり、技術審査ではこれをモデルとした、設計・施工システムに関して審査が行わ

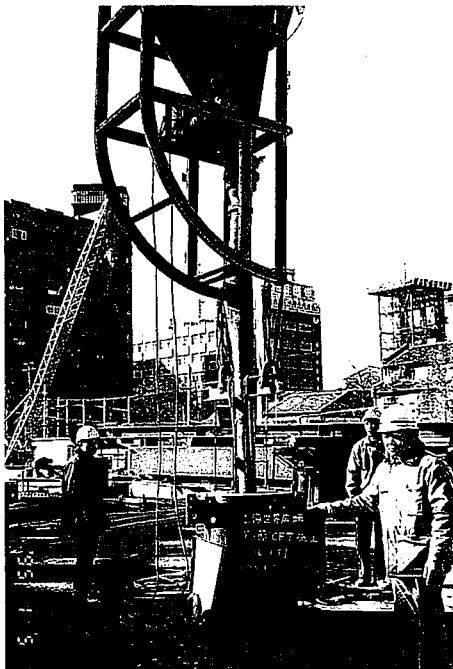


写真3 世界広場

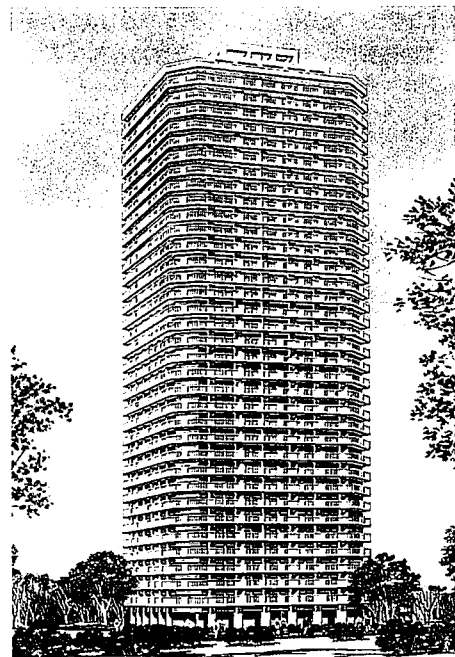


図5 NS35(35階建集合住宅)

れた。

3.2 鋼板巻き RC 柱

超高層 RC 構法では、大地震時に発生する大きなエネルギーを部材の塑性変形で吸収させるため、架構形式として純ラーメン構造を採用している。また、メカニズム形式として梁曲げ降伏先行型の全体崩壊形を前提としているために、梁には塑性ヒンジ発生後も十分な靱性が必要とされる。同様に、高軸力下の複雑な応力の下でも降伏ヒンジの発生を許容している 1 階の外柱及び隅柱において新日本製鐵では鋼板巻き RC 柱を開発し、高軸力下でも高い靱性を確保しようとしている。

鋼板巻き RC 柱は、通常の RC 柱の周囲を溶接により閉鎖断面にした鋼板で巻き、コンクリートを平面的に拘束して補強する柱である(図 6 参照)。この鋼板は、施工時に型枠としての役割もしている。CFT とは違い、鋼板を補強材としてのみ作用させるために、鋼板の上下端と梁との間に隙間を設けて、鋼板に軸方向力が伝達しないようにしている。開発当初は、鋼板によるコンクリートの拘束によって、コンクリート圧壊後の軸耐力の低下が少なくなるということを期待したものであったが、構造実験を行った結果、鋼板を巻いていない柱と同様の初期剛性を有していることがわかり、鋼板巻き RC 柱の設計手法が非常に簡便になった。

3.3 鋼板巻き RC 柱の性能

鋼板巻き RC 柱の開発に関する実験は現在までに 3 度行われている。第一番目は、技術評価への準備期間である 1991 年 12 月から試設計建物に用いる鋼板巻き RC 柱 2 体(軸力比*0.65 と 0.70) と比較用の RC 柱 2 体(鋼板を巻かない以外は、同じ条件)に関する曲げせん断実験(写真 4 参照)である。この実験と次の実験は、鉄構海洋事業部 相模原技術センターにおいて行われた。

図 7 は、軸力比 0.70 における荷重-変形曲線包絡線である。正加力時は圧縮軸力(軸力比 0.70)、負加力時は軸力 0 としている。初期剛性が両試験体で変化せず、また、鋼板を巻いた柱は圧縮軸力下での耐力低下がないことが確認できる。実験終了後に鋼板を剥がすと、中のコンクリートにほとんどひび割れが確認されず、圧壊・せん断破壊が起きていないことがわかる(写真 5 参照)。この実験で、柱成に対する上下の隙間の比が 1/30 であったため、部材角 1/50 以上にな

ると軸圧縮によるコンクリートの縮みが加算され鋼板が上下の梁に接触して鋼板に軸力が伝達し始めた。

そこで、梁と当たらないだけの間隔に隙間を広げるために、隙間の耐力に対する影響を確認するため審査期間中の 1993 年 9 月に中心

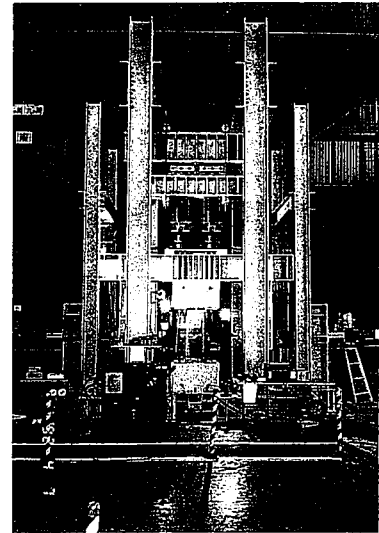


写真4 加力フレーム

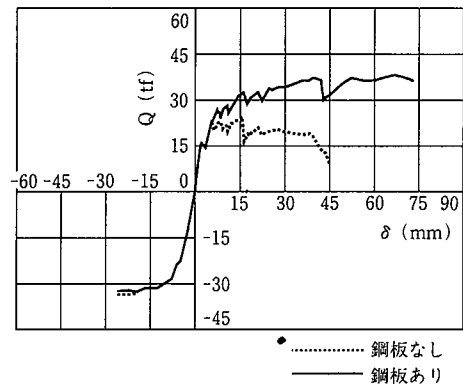


図7 荷重-変形包絡線(軸力比0.70)

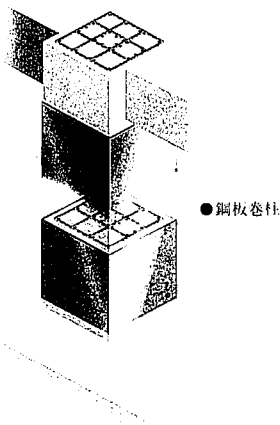


図6 鋼板巻柱



写真5 鋼板を剥ぎ取った状態

* 軸力比: 柱の終局軸耐力に対する柱軸力の比

圧縮試験を行った。この実験では、コンクリートが鋼板により拘束されることにより圧縮耐力が上昇するコンファインド効果を確認し、設計式が有効な隙間の間隔を求めた。

これらの実験により以下のことが確認された。

- (1) 鋼板巻き RC 柱は、鋼板を巻かない RC 柱に比べて曲げ耐力が約 1.5 倍上昇し (図 8 参照)、せん断破壊も起こさなかった。
- (2) 鋼板巻き RC 柱は、優れた変形性能を有しており部材角 1/50 を過ぎても耐力低下が見られなかった。
- (3) 鋼板巻き RC 柱の最大耐力は、コンクリートの応力-歪み関係にコンファインド効果と耐力低下がないことを仮定すると計算できることが分かった。
- (4) 鋼板巻き RC 柱の剛性は、鋼板を巻かない RC 柱の剛性と同等の値になることが分かった。
- (5) 鋼板巻き RC 柱の設計式が成立する隙間の範囲が分かった。
- (6) 上記性能により、1 階の柱に使用する場合の軸力比* を鋼板を巻かない RC 柱の 0.65 から 0.70 とできることが確認できた。

3.4 鋼板巻き RC 柱の他分野への応用

このような鋼板巻き RC 柱の性能は、超高層 RC 集合住宅の分野のみならず他の RC 構造にも活用が可能であろう。例えば、中層の住宅の場合でも平面が板状タイプで 1 階がピロティー形式、2 階以上が耐震壁付きの場合、1 階の剛性率が小さくなり変形が集中して通常の RC 柱では設計が困難になり、断面が過大になる。このような建物でも、鋼板巻き RC 柱の大きな耐力と高い変形性能により比較的小さい柱断面を用いても設計が可能であろう。

また、鋼板を何らかの方法で RC 柱に後から巻くことにより、今回の阪神大震災で多数の建物が被害を受けたような、新耐震施行以前に建てられて現在の基準ではせん断耐力が不足している柱の補強も考えられる。この場合に他の補強手段と比べて、鋼板巻き RC 柱は既存の補強前の柱と比較して剛性が変化しないので建物の応力バランスが現設計と変わらず、補強の検討が容易である。

3.5 今後の課題

鋼板巻き RC 柱が定性的に非常に優れた部材であることが分かつ

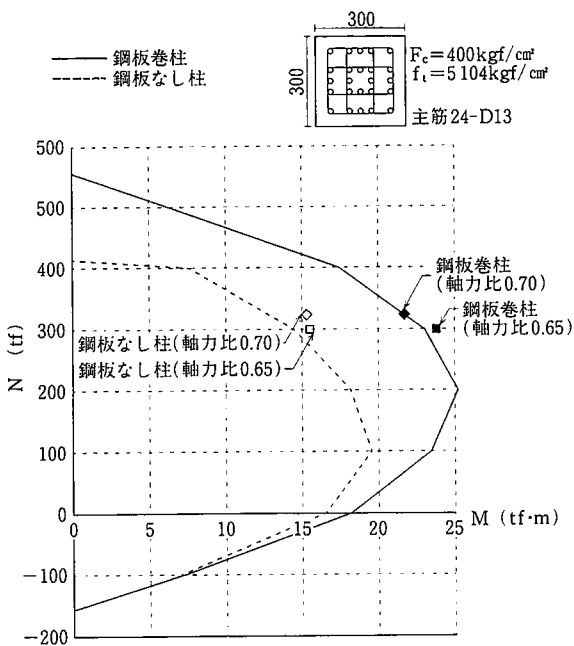


図8 柱のM-N相関曲線

た。鋼板の曲げ耐力に関する影響は、ほぼ解明され設計手法も確立された。今後は鋼板のせん断耐力に対する影響及び、応力伝達のメカニズムを解明することによって、より精度の高い経済的な設計が可能になるであろう。現在、1994年6月よりせん断に関する応力伝達メカニズムを対象とした構造実験を行っている。更に、数値解析を行いその解明をめざしている。

4. PLRC 構法

4.1 PLRC 構法開発の背景

数年前のパブル最盛期に、建設活動の活発な都市部を中心に住宅生産供給を担う技能労働者の不足が深刻化した。今後もこのような状況となる可能性は十分考えられる。

また、建物のハード、ソフト面で、各構成要素の耐久性が整合化されていず、建物としての機能が長期的に発揮できない状況がある。例えば、建物の構造的寿命が残っているのに設備が老朽化したり、建物利用者のニーズが変わってしまうなどの経済的価値の低下が起きることのないよう安定した機能の確保が必要である。

これらの問題を解決すべく新日本製鐵では、建設業の過度な労務の浪費性を解決する手法となる生産工程の複合・システム化のニーズに合致し、センチュリーハウジングシステムを取り入れた工業化手法“NS-flex”を新たに提案してきた。PLRC 構法は、その構造システムであり矢作建設(株)と共同で(財)日本建築センターの構造評定を1990年に2階建て事務所、1994年に7階建て集合住宅において取得してきた。

4.2 PLRC 構法の概要

構造上の特徴は、柱断面を十字型とし柱幅と梁幅を一致させ、柱、梁による純ラーメン構造としたことである。プレートとコンクリートの複合構造で、RC 構造の主筋とせん断補強筋がなく、その役目をプレートがしている。各部材(柱、梁、床)をPCa(pre-cast)化して工業化生産を行い、また、各部材の接合も溶接を使わないボルトのみの単純な接合方式を採用する。

その結果、熟練工の必要な型枠工事、鉄筋工事が大幅に減少し、タイル等をPCa部材に打ち込めば仕上げ工事も大幅に減少する。また、PCa化による躯体品質、耐久性の向上が図れ、工期短縮にもつながる。更に、柱型が現れないので室内空間を最大限利用でき、純ラーメン構造のため将来の間取り変更等が可能なフレキシブル空間が実現できる。

4.3 PCa 部材

柱、梁部材の断面を図9、10に示す。柱部材は、十字コンクリート断面中央部に十字型のプレートを配置し、各ウィング部の4箇所にも平プレートを配置する。また、内柱、外柱とも部材形状は同様

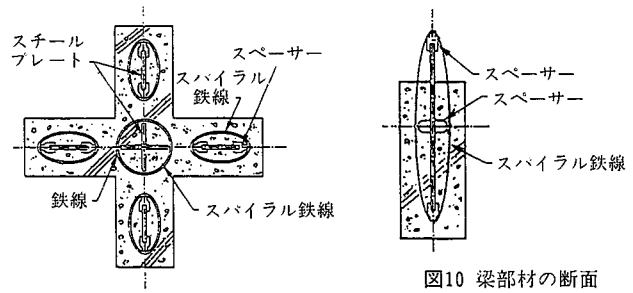


図9 柱部材の断面

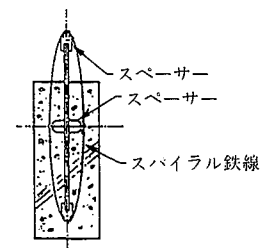


図10 梁部材の断面

な十字型断面の柱とする。梁部材は、矩形のコンクリート断面にフルウェブの1枚プレートを設置する。また、各部材とも各々のプレートの周囲に、楕円のスパイラル筋（6φ-40ピッチ程度）を巻く。

柱は上下の梁部材とのジョイント部分を除いて全てPCa化した部材であり、梁はスラブ下まで部分PCa化した部材とし、小梁も同型状の部材とする。床は合成床板用PCa板（ハーフPCa床板）を使用する（図11参照）。また、プレートの構成図を図12に示す。

4.4 部材の構造性能

図13に梁部材の片持梁加力実験の試験体、図14に荷重-変形曲線を示

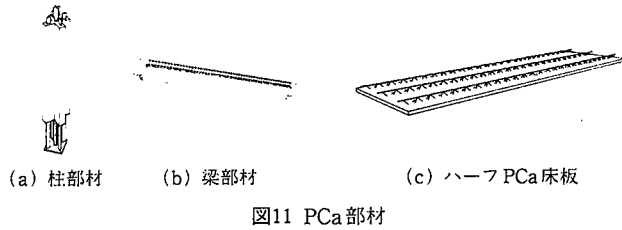


図11 PCa部材

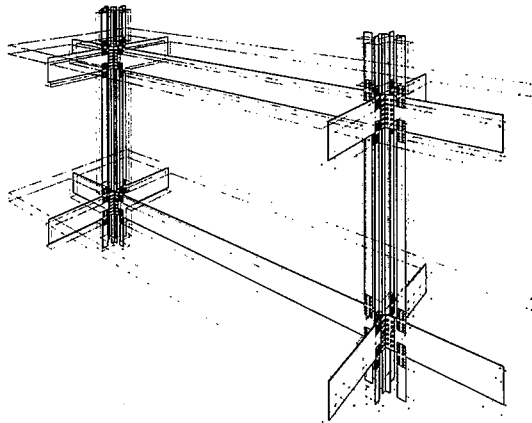


図12 プレートの構成図

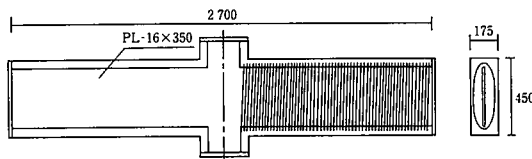


図13 梁試験体

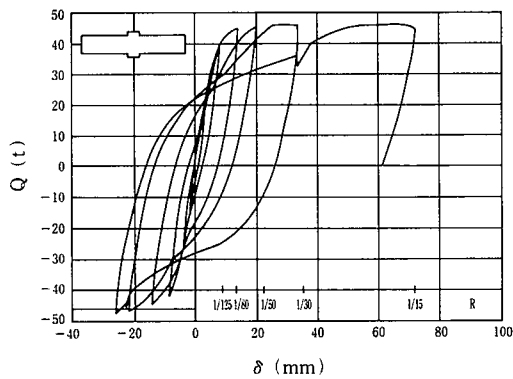


図14 梁の荷重-変形曲線

す。最大耐力後も部材角が1/15に達するまで耐力が低下せず、靱性が非常に優れており、履歴ループも紡錘形で、エネルギー吸収能力が高いことが確認できる。

図15に柱部材の逆対称加力実験の試験体を示す。試験区間中央部のPL-9は、柱の靱性を向上させるために中央の十字プレートとウィング部の平プレートを連結するタイププレートである。図16にタイププレートがない試験体、図17にタイププレートがある試験体の荷重-変形曲線を示す。タイププレートがない試験体では、部材角1/200で十字ブ

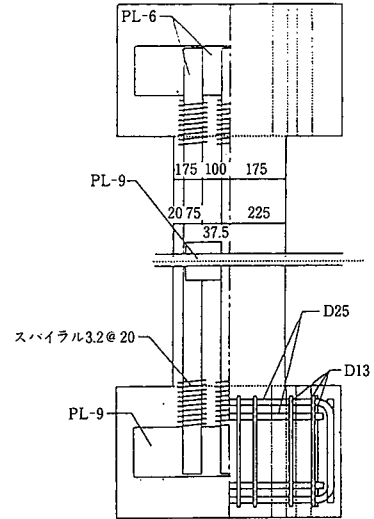


図15 柱試験体

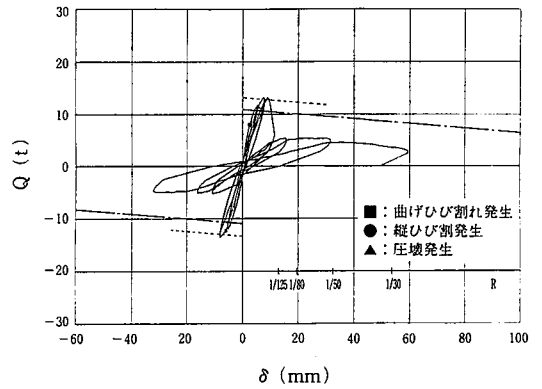


図16 柱の荷重-変形曲線(タイププレート無し)

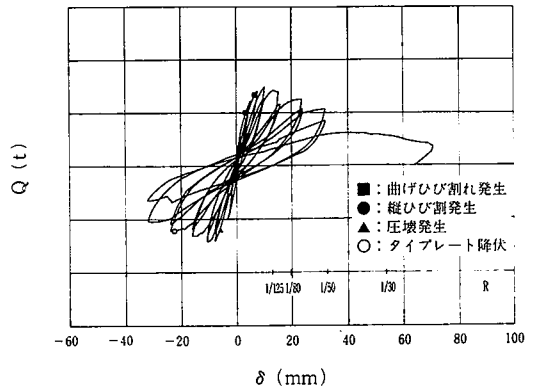


図17 柱の荷重-変形曲線(タイププレート有り)

レートと平プレートとの間に縦方向のひび割れが発生し始め、やがて縦ひび割れが柱の上端から下端までつながると急激な耐力低下を起す。この時、十字断面が一体に変形していたものから中央と両ウイング部の3枚におろされた変形モードに移行している。一方、タイプレートがある試験体では、発生した縦ひび割れをタイプレートが柱中央位置で寸断するので、部材角1/150で最大耐力となった後、十字断面から3枚おろしへの変形モードへの移行が徐々に行われ、部材角1/67まで耐力の低下があまり見られない。

4.5 7階建て集合住宅の設計

構造実験により得られた結果から7階建て集合住宅の設計を行った。

1階の柱梁の幅は28cm、柱成、梁成はそれぞれ120cm、60cm。基準階では、幅25cm、柱成、梁成は105cm、60cmとなった。1階の最大応答層間変形角についての耐震判定基準は、レベル1 (20cm/sec) 地震応答解析時に柱の縦ひび割れ発生時変形角(1/200)以下の1/300、レベル2 (40cm/sec) 地震応答解析時に縦ひび割れがつかって最大耐力となる時の変形角(1/150)以下の1/200と定めている。

4.6 今後の課題

建築事業部では、1994年6月に富津総合技術開発センターの敷地内に7階建て集合住宅の基準階部分の断面を用いてNS-flexモデル住宅を実施した(写真6参照)。構造先行型で進んできたNS-flexの開発が仕上げ、設備、施工面でも充実してきた。

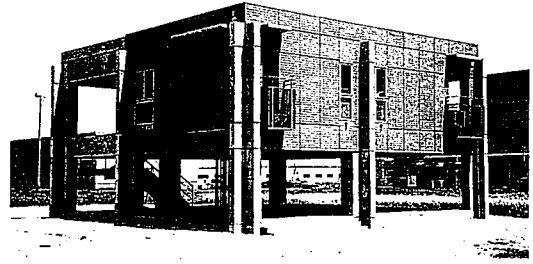


写真6 NS-flexモデル住宅

今後、構造面では中高層の住宅(14階建て、高さ45m程度)を目指し、柱の縦ひび割れによる耐力低下を改善するなど、耐力、変形性能により優れた構造の開発を行っていく予定である。

5. おわりに

以上、建築事業部におけるCFT、鋼板巻きRC柱、PLRC構造の混合構造の技術開発について紹介した。これらは主に住宅分野での利用を前提に開発したものである。これからも新日本製鐵 建築事業部の特徴である鉄素材の良さを活かした混合構造の技術開発を継続していく予定である。