

# シミズ Hy-ECOS・PS Hy-ECOS 構法の適用事例

金本 清臣 真瀬 伸治 山野辺 宏治 正藤 倫宏 西谷 隆之  
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (設計本部) (設計本部)

## An Application of SHIMIZU Hy-ECOS and PS Hy-ECOS structure system

by Kiyomi Kanemoto, Shinji Mase, Koji Yamanobe, Tomohiro Masato and Takayuki Nishiya

### Abstract

The hybrid structure consisting of reinforced concrete structure (hereinafter, RC) and steel structure (hereinafter, S structure) is effective to shorten construction periods and reduce costs in designing large span structures with high rigidity, by taking advantage of the characteristics of both structures. Particularly, the hybrid structures are now commonly used to reduce construction costs against the recent high rise of prices of steel materials. Under this circumstance, "SHIMIZU Hy-ECOS (Hybrid Economical & Ecological Structure) structure system" had developed. This is comprised of RC structure for columns and S structure for beams, which the ends of the steel beams are covered by RC. After that, authors were developed "SHIMIZU PS Hy-ECOS (Prestressed Concrete Hybrid Economical & Ecological Structure) structure system", which is to achieve larger spans than that of the Hy-ECOS structure by applying prestressed materials to the beam end RC. This report described an outline of both structure system and the large hospital which applied both structure system.

### 概要

鉄筋コンクリート(以下、RCと略記)造と鉄骨造(以下、S造と略記)からなるハイブリッド構造は、工期短縮、コストダウンのほか、両構造の特性を生かすことによって剛性の高い大スパン架構を実現できる等のメリットがある。特に、昨今の鋼材価格の高騰を背景にコストダウンを図る目的でハイブリッド構造が採用されてきている。このような状況を鑑み、筆者らは柱をRC造、梁をS造とし、鉄骨梁端部をRCで巻いた「シミズ Hy-ECOS 構法」を開発し、その後、この構法を大スパン架構に適用するために梁端のRC部分にプレストレスを導入した「シミズ PS Hy-ECOS 構法」を開発した。本報では、両構法の概要と本構法を適用した案件について紹介する。

### § 1. はじめに

RC造とS造からなるハイブリッド構造は、工期短縮、コストダウンのほか、両構造の特性を生かすことによって剛性の高い大スパン架構を実現できる等のメリットがある。特に、昨今の鋼材価格の高騰を背景にコストダウンを図る目的からハイブリッド構造がしばしば用いられている。

このような状況を鑑み、筆者らは柱をRC造、梁をS造とし、鉄骨梁端部をRCで巻いたハイブリッド構造「シミズ Hy-ECOS 構法<sup>1)</sup>(以下、Hy-ECOS 構法と略記)」を開発し、その後、Hy-ECOS 構法を大スパン架構に適用するために、梁端のRC部分にプレストレス(以下、PSと略記)を導入(以下この部分を材端PRC梁と呼称)した「シミズ PS Hy-ECOS 構法(以下、PS Hy-ECOS 構法と略記)」を開発した。

本報では、PS Hy-ECOS 構法を中心に両構法の概要

と本構法を適用した案件の設計と施工について紹介する。

### § 2. 建物概要

本建物の施工状況を写真-1に示す。

本計画は平成15年1月に東京都が策定した「都立病院改革実行プログラム」に基づき、都民の医療ニーズに適切に対応していくため都立病院再編整備事業の一環としてPFI(Private Finance Initiative)手法によって進められた。具体的には府中病院を多摩地域の医療拠点となる「多摩総合医療センター」として再整備し、清瀬小児病院、八王子小児病院ならびに梅ヶ丘病院の3つの小児病院を移転統合し、心から体に至る高度・専門医療を提供する「小児総合医療センター」として再編、整備したものである。



写真-1 竣工状況

建物概要は以下のとおりである。

所在地 東京都府中市武蔵台2丁目8番4他  
 所在地区 第1種中高層住居専用地域  
 近隣商業地域  
 建築主 多摩医療 PFI(株)  
 設計監理 (株)日建設計  
 (構造設計協力：清水建設(株))  
 施工 清水建設(株)  
 工期 2007年6月19日～2009年9月30日  
 敷地面積 180,256.96 m<sup>2</sup>  
 建築面積 21,487.50 m<sup>2</sup>  
 延床面積 129,590.36 m<sup>2</sup>  
 構造 X、Y方向とも耐震壁付きラーメン構造(6

階以上)

ラーメン構造(1～5階)

免震構造

基礎：直接基礎

柱：RC造

梁：RC造、S造、一部 Hy-ECOS 構法、  
PS Hy-ECOS 構法

床：RC造

規模 地下1階、地上11階、塔屋2階

建物高さ 56.9m

用途 病院

### § 3. 設計概要

#### 3.1 建物の設計概要

本建物は災害時に拠点病院として機能させ、収容物の保全を図る目的から免震構造を採用している。

柱、梁はRC造を基本とし、Hy-ECOS 構法は2階から5階のスパン12.0mと2階から4階のスパン14.2mの大梁に、PS Hy-ECOS 構法は5階のスパン14.2mの大梁に適用した。Hy-ECOS 構法とPS Hy-ECOS 構法の適用箇所を3階床伏図を例に図-1に、両構法の適用箇所を示した軸組図を図-2に、PS Hy-ECOS 構法の材端PRC梁断面を図-3に示す。

架構形式はX、Y方向とも地震時のホイッピング現

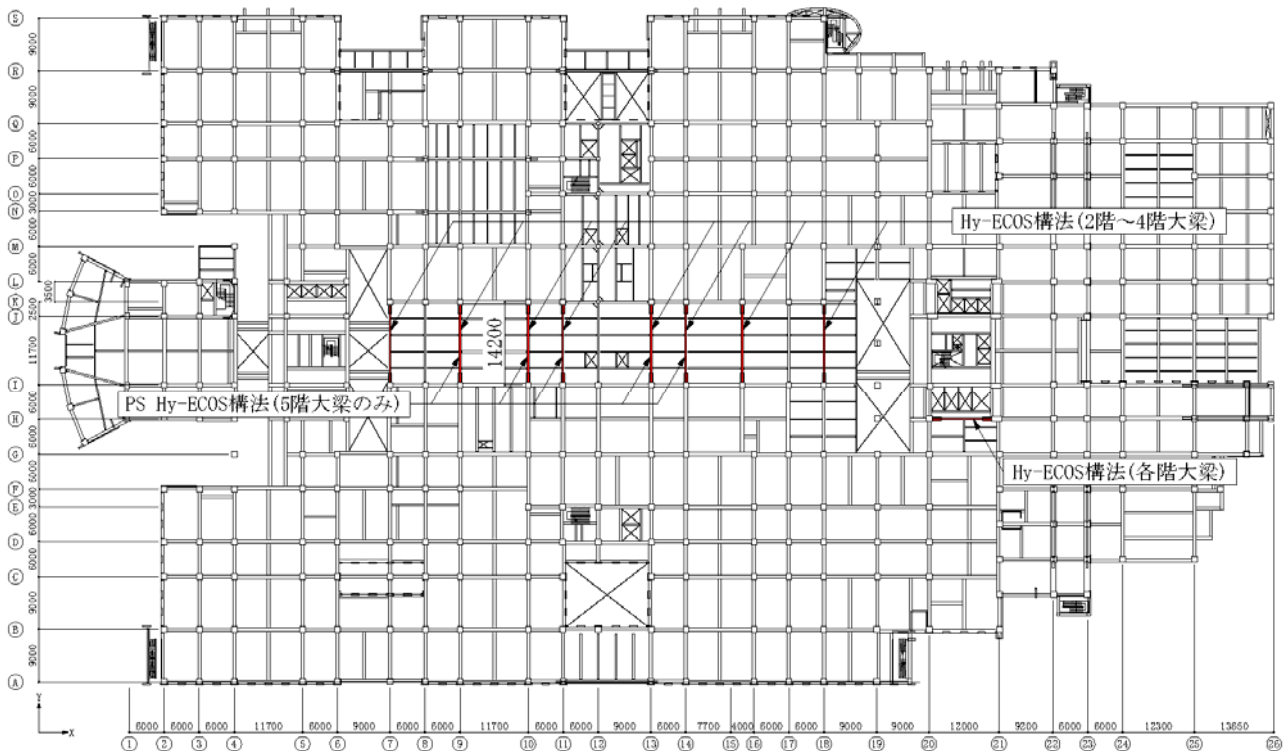


図-1 3階床伏図

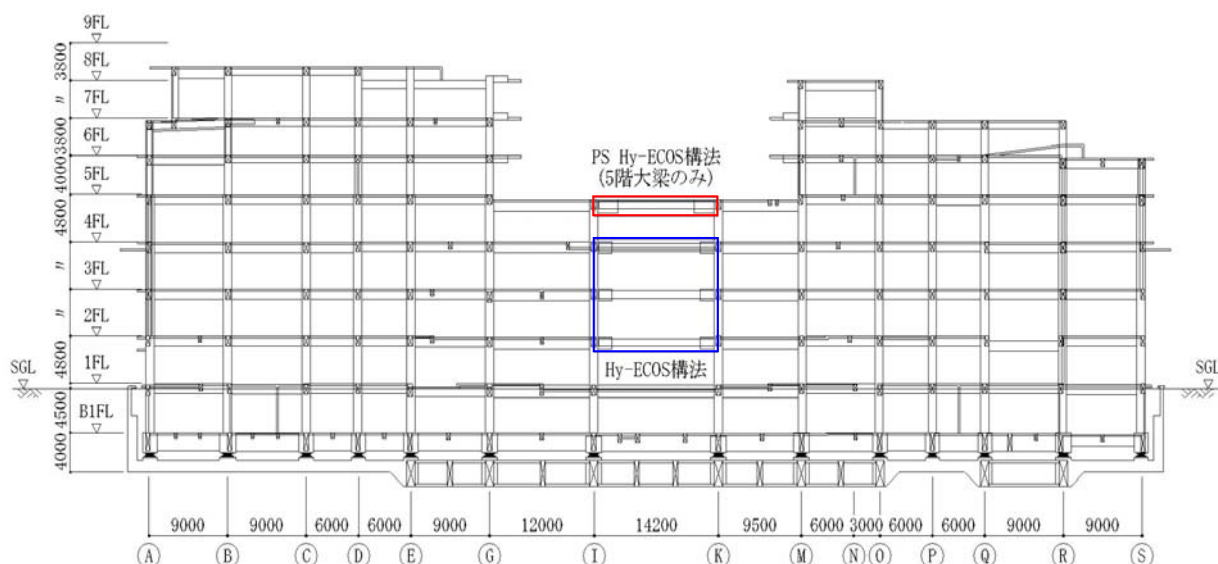


図-2 軸組図(13通り)

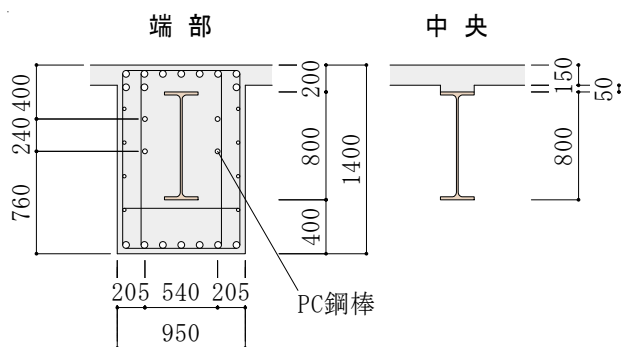


図-3 PS Hy-ECOS 構法の材端 PRC 梁断面

象(上層の柔構造部だけが激しく振動する現象)を抑えるために、6階以上の高層階は耐震壁付きラーメン構造として剛性を確保し、それ以外の1~5階は主な壁にスリットを設けたラーメン構造とした。

### 3.1.1 上部構造

平面は1階で196.25m(X方向)×113.7m(Y方向)の形状を有する。主要構造部材は、極めて稀に発生する大地震に対しても発生応力が短期許容応力度以下で、かつ各架構の負担せん断力が局所的に過大にならないように設計した。また、6階以上の耐震壁は建物がねじれないようにバランスに留意して配置した。

### 3.1.2 免震構造

免震層は地下1階床梁下と一部西側の地下のない部分に設け、東側の地下階に蓄熱槽がある部分は1階床下を基礎免震とした。

#### 1) 支承材

支承材は天然ゴム系積層ゴムアイソレータ、または鉛プラグ入り積層ゴムアイソレータとし、免震層のねじれを考慮し、かつ過大な引抜力が生じないように柱直下に1基ずつ(それぞれ計179基、計184基)配置した。

積層ゴムアイソレータの径は750~1400mmφで、外周クリアランスは免震材料の限界変位600mmに施工誤差を考慮し650mmとした。

#### 2) 減衰材

減衰材には積層ゴムアイソレータに内蔵された鉛プラグを採用した。

免震層は以下の事項に配慮して設計した。

- 各免震材料は初期状態、大変形時においても免震層の偏心率が小さくなるように、積層ゴム支承の剛心と上層階の重心を極力一致させ、免震層にねじれ変形が生じないように配置した。
- 鉛プラグ入り積層ゴムアイソレータは、免震層のねじれ変形に伴う水平変位の進行を抑えるために極力外周部近傍に配置した。

免震層ならびに直上階の柱、梁の耐力と剛性は、地震時に免震層が大変形することによって発生するP-δ効果を考慮した上で決定した。

### 3.1.3 基礎構造

基礎構造は免震構造建築物の基礎として十分な剛性と耐力を有するように計画した。設計水位は設計GL-11.0mとし土圧、水圧を考慮した。

基礎地業は、AP(Arakawa Peil: 荒川工事基準面)+71.0~73.0m付近から出現する武蔵野礫層を支持層とする直接基礎として計画し、マットスラブ下端より

支持層まではセメント系固化材を用いて地盤改良を行った。

### 3.2 設計概要

PS Hy-ECOS 構法の材端 PRC 梁は、文献<sup>2)</sup>に準拠し長期荷重と PS を組み合わせた荷重によって材端 PRC 梁に生じるひび割れ幅が 0.2mm 以下となることを確認した上で、断面の終局曲げ耐力および終局せん断耐力が、設計応力  $2.0(G+P)+1.6K$  (ここに、G：設計用固定荷重、P：設計用積載荷重、K：設計用地震荷重) を上回るように断面設計を行った。中央鉄骨梁および RC 柱は、それぞれ文献<sup>3)4)</sup>に準拠して設計した。

PS Hy-ECOS 構法の降伏ヒンジは、材端 PRC 梁の端部もしくは鉄骨梁内端部に計画することを許容している。本建物では鉄骨梁内端部に降伏ヒンジを計画した。この場合、当該部位に確実に降伏ヒンジを形成させるため、終局時までの間に材端 PRC 梁の端部に降伏ヒンジが形成されないようにする必要がある。そのため、材端 PRC 梁は鉄骨梁内端降伏時の材端 PRC 梁の端部応力に対し、鉄骨部分の耐力上昇を見込んで材端 PRC 梁の端部に降伏ヒンジが生じないよう所定の余裕度を見込んだ応力以上の耐力を発揮するように断面設計を行った。

## § 4. 構造概要

### 4.1 構造材料

PS Hy-ECOS 構法に用いた構造材料の仕様を以下に示す。

材端 PRC 梁コンクリート	設計基準強度 $F_c=36\text{N/mm}^2$ (PS 導入時圧縮強度 $F_{ci}\geq 27\text{N/mm}^2$ )
鉄筋	主筋：SD490 あばら筋：SD390
PC 鋼棒	4c-36φ (SBPR930/1080) 導入 PS 量：757kN/本 (軸応力度：3.79N/mm <sup>2</sup> )
鉄骨(梁)	SM490A

### 4.2 構法の特徴

Hy-ECOS 構法と PS Hy-ECOS 構法の概要を図-4 に示す。Hy-ECOS 構法は鉄骨梁の長さを RC 柱フェイスまでとし、鉄骨梁端部を RC で巻くことによってこの部分で鉄骨梁に作用する曲げモーメントとせん断力を RC 柱に伝達させ剛接合を満足させるものである。鉄骨梁縁端部は H 形鋼を切放しとしたタイプのほか、曲げモーメントの伝達を期待するためにアンカーボ

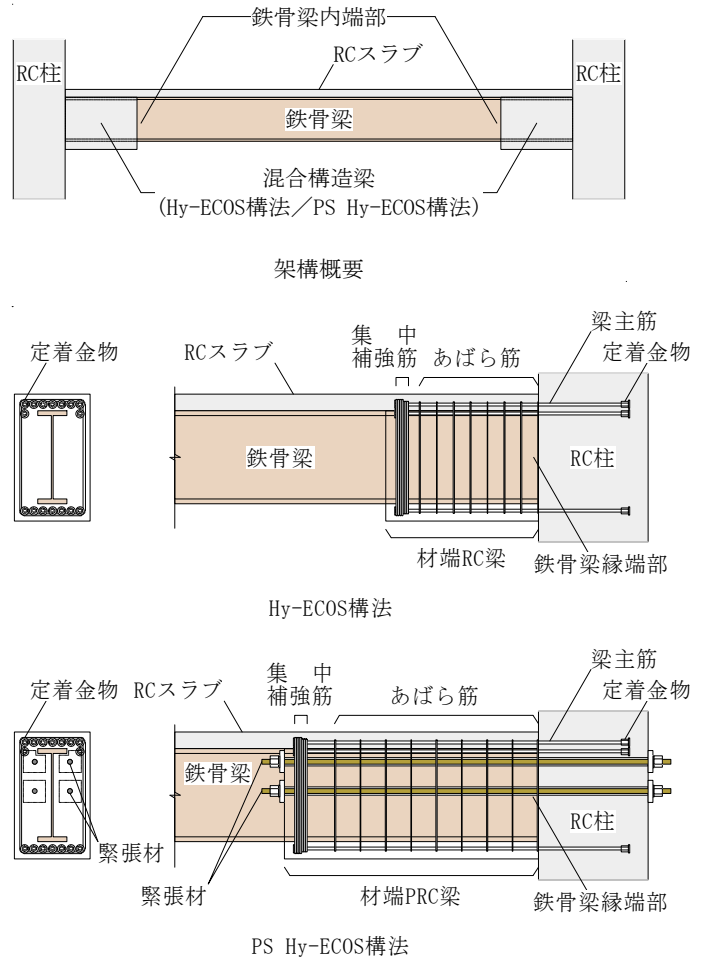


図-4 Hy-ECOS 構法と PS Hy-ECOS 構法の概要

トや三角リブプレートを設けるタイプもあり、条件に応じて鉄骨梁と材端 RC 梁の応力分担の割合をコントロールできるようにしている。

一方、PS Hy-ECOS 構法は大スパン架構において卓越する長期荷重によるせん断力に対処するために、緊張材(PC 鋼棒または PC 鋼より線)により Hy-ECOS 構法の材端 RC 梁に PS を導入したもので、鉄骨梁縁端部などその他のディテールは Hy-ECOS 構法と同様である。

PS Hy-ECOS 構法を用いた混合構造は、RC 造、鉄骨鉄筋コンクリート造のほか、耐震壁、ブレース架構との併用も可能である。また、柱梁接合部内に鉄骨梁が貫入しないため、柱梁接合部において他方向の鉄骨梁と干渉することがなく在来あるいはプレキャスト (以下、PCa と略記) 工法の特徴を十分に生かした施工も可能となる。

### 4.3 構造実験

Hy-ECOS 構法の設計は文献<sup>1)</sup>に準拠して行った。PS Hy-ECOS 構法は本建物への適用が初めてであったことから、設計に先立ち、本構法の構造性能と設計

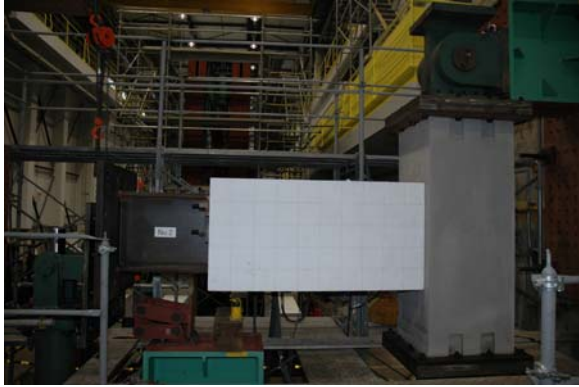


写真-2 構造実験状況

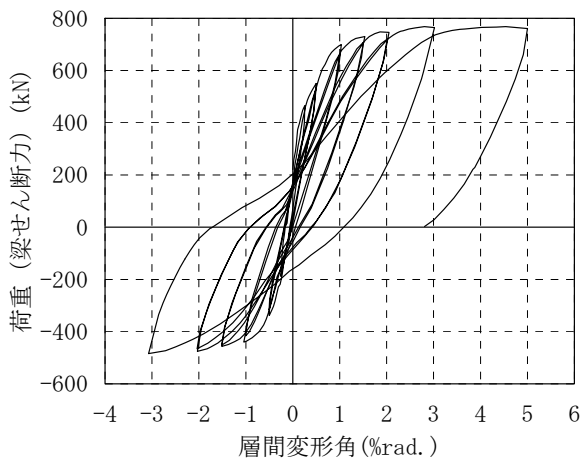


図-5 荷重-変形角関係

法の妥当性を確認するために構造実験を行った。

実験は、本建物に採用した PS Hy-ECOS 構法の柱梁ト形接合部および梁を対象として行った。試験体は 1/2 スケールで、梁主筋量、あばら筋量、PS 導入量、緊張材の種類 (PC 鋼棒、PC 鋼より線) および工法種別 (在来工法、PCa 化による圧着工法) を実験パラメータとした。柱梁ト形接合部を模擬した試験体 (在来工法) による構造実験状況を写真-2 に示す。加力点は長期荷重と地震荷重によって生じる曲げモーメントの反曲点位置相当とし、設計で想定した長期荷重を載荷した状態から正負交番繰返し加力を行った。

実験から得られた荷重-変形角関係の一例を図-5 に示す。本試験体では梁主筋の曲げ降伏が先行し、層間変形角  $R = \pm 1.0\% \text{rad}$  で材端 PRC 梁にせん断ひび割れが発生し、 $R = \pm 3.0\% \text{rad}$  で最大耐力に至った。最終サイクルの  $R = +5.0\% \text{rad}$  においても耐力低下はほとんど見られず、梁主筋の曲げ降伏によるエネルギー吸収能の高い復元力特性を示し、曲げ耐力は文献 4) の終局曲げ耐力式によって評価できることを確認した。

PS Hy-ECOS 構法において、材端 PRC 梁の H 形鋼

(鉄骨梁) のフランジおよびウェブによって囲まれたコンクリート部分には PS が作用することによってアーチ機構が形成されるものと考えられる。そこで、材端 PRC 梁の終局せん断耐力および付着割裂耐力は、PS による耐力上昇効果を実験で確認した上で、文献 5) の梁のせん断強度式および付着破壊の影響を考慮したせん断信頼強度式に PS によって当該部分に形成されるアーチ機構の負担せん断力を累加した強度式で評価した。ただし、トラス機構は材端 PRC 梁幅から鉄骨フランジ幅を控除した有効幅 (有効幅のとり方は文献 5) に準拠する) において形成され、材端 PRC 梁断面に作用する入力せん断力の反力 (せん断力) は、鉄骨フランジとコンクリート間の付着力および摩擦力を考慮し、柱フェイスと集中補強筋開始位置に作用するものとした。なお、集中補強筋とは、材端 PRC 梁先端部に集約配筋したせん断補強筋の一群を指す (図-4)。

実験の結果、各試験体の最大荷重 (梁せん断力) 実験値はいずれも計算値を上回っており、評価式の妥当性を確認した。

## § 5. 施工概要

### 5.1 全体計画概要

本建物は地域の総合医療センターであるため規模が大きく、躯体工事にはコンクリート数量  $106,550\text{m}^3$ 、型枠数量  $230,200\text{m}^2$ 、鉄筋数量  $16,200\text{t}$ 、鉄骨数量  $2,060\text{t}$  と多くの材料が使用され、建物の工事範囲も X 方向  $196.25\text{m}$ 、Y 方向  $113.7\text{m}$  と広大である。

このような大規模な工事を 27 カ月という短工期で施工しなければならないことから、鉄筋先組工事、サイト PCa 工事のほか、型枠先組工事、柱鉄筋型枠同時先組工事、外装 PCa 版工事を組み合わせた工業化工法を積極的に採用した。

### 5.2 鉄筋先組工事

柱先組鉄筋の建込状況を写真-3 に、大梁および壁先組鉄筋の配筋状況をそれぞれ写真-4、写真-5 に示す。本建物の柱、大梁は断面が大きく高強度で太径の鉄筋が多数使用されていることから、鉄筋労務の平準化を図るとともに工期短縮に有効な地上での鉄筋先組工法を採用した。

### 5.3 サイト PCa 工事

柱、壁、大梁に対して小梁は比較的軽量であることから、より高い精度で施工できる PCa 造とし、サイト PCa 工法を採用した。サイトで製作した PCa 小梁の架設状況を写真-6 に示す。



写真-3 柱先組鉄筋の建込状況



写真-4 梁先組鉄筋の配筋状況



写真-5 壁先組鉄筋の配筋状況



写真-6 サイト PCa 小梁の架設状況

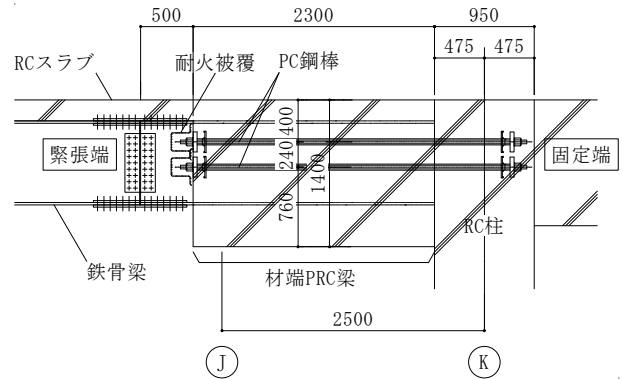


図-6 PS Hy-ECOS 構法の納まり図

#### 5.4 PS Hy-ECOS 構法の施工方法

本建物に適用したPS Hy-ECOS構法の納まり図(材端PRC梁の配筋図は省略)を図-6に示し、本工事で採用したPS Hy-ECOS構法の施工手順を写真-7と併せて以下に述べる。

- 1) コンクリート打設に先立ち、鉄骨梁仮設受けブラケットを取り付けるためのインサートを型枠にセットし、材端PRC梁下レベルまで柱コンクリートを打設する(写真-7①)。
- 2) 鉄骨梁に先付けしておいた仮設治具にPC鋼棒を仮留めし、同時に吊足場を設置する(同②)。
- 3) 柱に取り付けた仮設受けブラケットに2)で準備した鉄骨梁の建方を行う(同③)。
- 4) 地上にて先組した梁鉄筋を配筋する(同④、⑤)。
- 5) PC鋼棒を所定の位置にセットし、一端を柱側へ定着させる(同⑥)。
- 6) せん断補強筋、集中補強筋、腹筋を配筋する(同⑥)。
- 7) 材端PRC梁の底型枠および側型枠をセットする(同⑦)。
- 8) スラブ筋を配筋する。
- 9) コンクリート打継部の処理、グラウトホースの養生を行う(同⑧)。
- 10) 材端PRC梁と柱梁接合部のコンクリートを打設する(同⑨)。
- 11) 材端PRCの型枠を脱型する(同⑩)。
- 12) 材端PRC梁のコンクリート圧縮強度が $27\text{N/mm}^2$ 以上であることを確認した後、PC鋼棒に所定のPSを導入する(同⑪)。

- 13) PC鋼棒のシース管内にグラウト材を充填する(同⑫)。
- 14) 中央鉄骨梁の接合ボルトを本締めする。
- 15) 鉄骨梁にデッキプレートを敷設した後、スラブコンクリートを打設する。

#### 5.5 免震基礎工事

本建物は基礎全体が免震構造となっており、多数の免震装置(積層ゴム)が採用されている。

多数のアンカーが取り付けられた免震装置のベースプレートを取り付ける際、ベースプレートと輻輳する上下それぞれの基礎梁鉄筋や補強筋と干渉することが予測された。そのため、これらの取り合いを十分に検討した上で、下部では写真-8に示す免震装置縦補強筋取付架台を製作し補強筋の取付け精度を高めることで、上部では写真-9に示す上部ベースプレートと梁鉄筋を一体化した鉄筋先組工法により効率よく施工した。

#### § 6. おわりに

大スパン架構を有する大型医療施設にHy-ECOS構法とPS Hy-ECOS構法を適用した。PS Hy-ECOS構法はHy-ECOS構法の材端RC梁にPSを導入することで、25m程度の大スパン架構をプレストレスト鉄筋



①柱コンクリート打設

②鉄骨梁段取り

③鉄骨建方

④梁先組鉄筋



⑤梁先組鉄筋  
鉄骨梁セット



⑥PC 鋼棒セット  
あばら筋等配筋



⑦型枠セット



⑧コンクリート打継部処理  
グラウトホース養生



⑨コンクリート打設



⑩型枠脱型



⑪PS 導入



⑫グラウト注入

写真-7 PS Hy-ECOS 構法の施工手順



写真-8 免震装置縦補強筋取付架台



写真-9 上部ベースプレートと梁鉄筋の一体化

コンクリート梁よりも経済的に施工できるところに大きなメリットがある。

PS Hy-ECOS 構法を適用する建物を設計するにあたり、従来の Hy-ECOS 構法の耐力式と異なることから構造実験を行い、実験結果に基づいて本構法の終局せん断および付着割裂耐力式を構築し、その妥当性を確認した。

本工事では一貫した鉄筋先組工法の採用や様々な部材のサイト PCa 化など積極的な施工合理化の推進で所定の品質確保と工期短縮に努め、本建物は 2009 年 9 月に無事竣工を迎えた。

<参考文献>

- 1) 日本建築センター編：“シミズ Hy-ECOS 構法(BCJ 評定-ST0119-01)”，2005.
- 2) 日本建築学会編：“プレストレスト鉄筋コンクリート(Ⅲ種 PC)構造設計・施工指針・同解説”，丸善，2003.
- 3) 日本建築学会編：“鋼構造設計規準—許容応力度設計法—”，丸善，2005.
- 4) 日本建築学会編：“鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説—許容応力度設計法—”，丸善，1999.
- 5) 日本建築学会編：“鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説”，丸善，1999.
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課ほか監修：“2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書”，全国官報販売協同組合，2008.
- 7) 中澤春生，金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治：“鉄筋コンクリート柱への接合端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能 その1. 構法および実験の概要”，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1,構造Ⅲ,pp.1219~1220,2008.
- 8) 金本清臣，中澤春生，真瀬伸治，山野辺宏治：“鉄筋コンクリート柱への接合端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能 その2. 耐力の評価”，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1,構造Ⅲ,pp.1221~1222,2008.
- 9) 有田康正，金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治，正藤倫宏，久保山寛之：“鉄筋コンクリート柱への接合端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能 その8. PC 鋼材を併用した場合”，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1,構造Ⅲ,pp.1279~1280,2010.
- 10) 正藤倫宏，金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治，有田康正，久保山寛之：“鉄筋コンクリート柱への接合端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能 その9. PC 鋼材を併用した場合の緊張力の影響”，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1,構造Ⅲ, pp.1281~1282,2010.
- 11) 久保山寛之，金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治，正藤倫宏，有田康正：“鉄筋コンクリート柱への接合端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能 その11. PC 圧着接合した場合”，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1,構造Ⅲ,pp.1284~1285,2010.
- 12) 金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治：“鉄筋コンクリート柱に接合する鉄骨梁端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の構造性能”，コンクリート工学年次論文集，Vol.31,No.2,pp.1129~1134,2009.
- 13) 金本清臣，真瀬伸治，山野辺宏治：“鉄筋コンクリート柱に接合する鉄骨梁端部を鉄筋コンクリートで巻いた混合構造梁構法の耐力評価”，日本建築学会構造系論文集，第76巻,第659号,pp.205~211,2011.