

PC構造建築物に関わる研究開発動向 — 共同研究プロジェクトの概要 —

加藤 博人*

1. はじめに

プレストレストコンクリート（PC）構造は、わが国ではこれまでも大スパン中低層建築物に広く利用されてきたが、高層建築物に使用された実績はほとんど報告されていない。その理由としては、高さ31m未満のPC建築物に対しては建設省告示1320号によって、比較的簡便な設計が可能となっているのに対して、高層PC構造に関する設計手法は未だ確立されておらず、設計の選択肢として考えにくいものと想定される。

近年、高強度材料を用いた鉄筋コンクリート（RC）構造の研究開発やプレキャスト構造に関する研究が盛んに行われ、それらの成果は設計指針などとしてまとめられている^{1,2)}。RC構造による高層建築物も既に実現しているが、一方で豊かな建築空間を求める社会的ニーズも高まっている。さまざまな用途に柔軟に対応でき、自由なプランニングを可能にするためには、従来のRC構造にはない大スパン架構の実現が求められる。コンクリート系構造物で大スパン架構を可能にする構造形式として、PC構造に対する期待が大きくなっている。また、施工の合理化を図るためには、プレキャスト化がますます促進されるものと予測されるが、その際にもPC構造は有効な解決策を与える手法の一つとなるものと期待される。

高層PC造建築物の実現によってもたらされる利点を

列記すれば、以下のような項目が挙げられよう。

- 1) 大スパン架構による自由な利用空間の実現
- 2) 事務所、商業ビルと住宅が一緒に入るような複合用途建築物への対応
- 3) 居住性、耐久性に優れ、メンテナンス経費の軽減につながる高品質建築物の実現
- 4) ライフサイクルに応じてフレキシブルな使用形態が可能な高規格住宅の実現
- 5) プレキャスト化による工期短縮、現場作業の低減、建設廃材の削減
- 6) 建設コストの低減

しかし、高層PC構造の実現までには、解明すべき課題が多く残されていることも事実である。また、現在のPC構造では部材の接合方法等においても適用しうる工法が限定されている面があり、今後はより一般化された、多様な工法によるPC構造の普及が望まれる。

このような背景から建設省建築研究所より共同研究「PC構造設計・施工指針の作成」（以下、PC共研と略記）が提案され、多くの協会・団体、研究者の参加を得て1996～1998年度の前年度で研究開発プロジェクトが実施されている。想定される共同研究の主たる最終成果物は、高さ60mまでのPC構造建築物を対象にした。

- ① 構造設計指針
- ② 施工・品質管理指針
- ③ 技術資料

である。

現在、1年目の作業が進んだ段階であり、最終成果がまとまるまでにはまだ時間が必要であるが、プロジェクトの概要について報告する³⁾。

2. 研究体制

PC共研は、建設省建築研究所、(社)建築業協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(社)日本建設業経営協会、(社)日本建築構造技術者協会、住宅・都市整備公団、(財)日本建築センターの参加の下に、(社)建築研究振興協会に組織された研究委員会で研究作業が進められている（図-1）。



*1 Hiroto KATO
建設省建築研究所
第4研究部

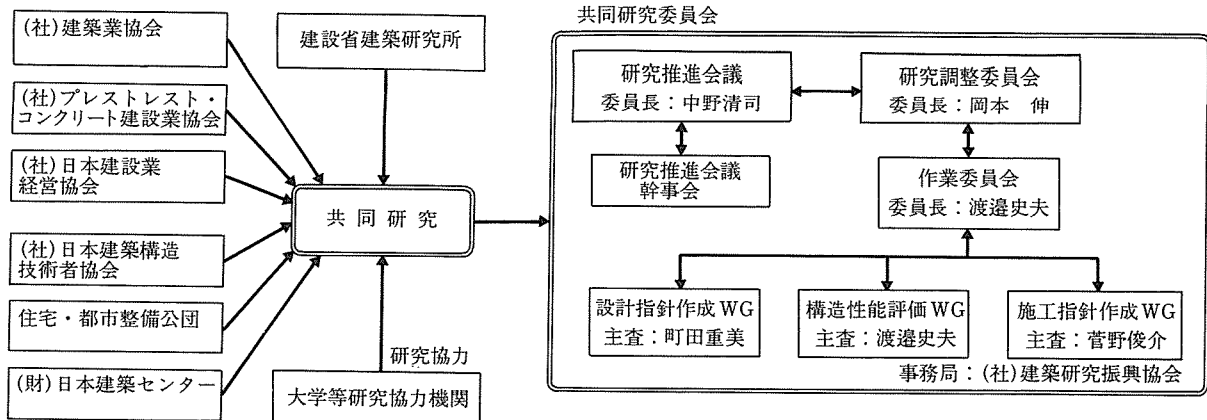


図-1 共同研究実施体制

具体的な研究作業は、研究調整委員会（委員長：岡本伸、(社)日本建設業経営協会中央技術研究所長）の下の作業委員会（委員長：渡邊史夫、京都大学工学部建築学科教授）、さらにその下に設けた設計指針作成WG、構造性能評価WG、施工指針作成WGにおいて行われている。研究作業の実施にあたっては、共研参加各団体からの委員、大学等の研究者の広範な協力を得ている。

3. 研究課題

以下に各WGで進めている研究テーマについて示す。

3.1 設計指針作成WGでの研究項目

最終成果物となる指針の作成に向けて、以下のテーマについて検討を進めている。

- (1) 構造設計指針の作成
- (2) 設計クライテリアの解析的検討

PC構造物では、純PC造からRC造に近い部材までプレストレスレベルに応じて履歴性状が大きく変化し、地震時挙動を適切に評価することが重要となる。本テーマでは、建物高さ、構造形式、部材の履歴復元力モデルをパラメーターにモデル建物の地震応答解析を行い、設計クライテリアを定めるための基礎資料を得ることを目的としている。

- (3) 設計例の作成

試設計を通して設計指針の妥当性を検証することが目標である。当面は、想定する試設計モデルを他の構造形式で設計した場合との比較を行い、PC構造の特徴・利点等について把握することを目標に作業を行っている。

- (4) 接合部（部材）要求性能の検討

3.2 構造性能評価WGでの研究項目

構造設計指針を作成する際に必要となる構造特性の解明、性能評価法の提案を目標に、下記の7テーマについて研究を進めている。研究の進め方としては、特にプレキャスト化する場合を想定し、PC構造として未解明である課題に的を絞って実験研究を実施し、最終的には

既往の研究成果と併せて性能評価法を提案しようとするものである。

- (1) 履歴復元特性の標準モデル構築

PC造からRC造まで表現可能な標準的復元力特性モデルの提案を目指す。

- (2) 柱梁接合部の設計法

柱梁接合部のせん断設計法の提案を目指す。

- (3) 部材接合面の性能評価

プレキャスト部材圧着接合面のせん断力伝達性状の把握と設計法の提案を目指す。

- (4) 梁のせん断特性

PC梁、並びにPC有孔梁のせん断抵抗機構のモデル化とせん断強度式の提案を目指す。

- (5) 塑性ヒンジ領域の回転変形能力

圧着接合型PC梁の平均圧着応力と横補強筋量が、梁の回転変形能力に及ぼす影響の解明と合理的な補強方法の提案を目指す。

- (6) 導入時不静定応力と終局時での考慮

導入時不静定応力が終局時の崩壊機構、架構水平耐力に及ぼす影響に関する基礎資料を整備する。

- (7) PC鋼材のS-S特性および付着特性

初期緊張力を与えられた状態のPC鋼材が、正負繰返し応力を受ける場合の付着特性に関する基礎資料を整備する。

3.3 施工指針作成WGでの研究項目

構造設計で要求される施工品質を確保し、建築物に求められる性能を保證するための指針を作成することを目標に、下記の研究作業を行っている。

- (1) 施工・品質管理指針の作成

指針作成の基本方針は、要求品質を明らかにし、それを実現するための施工・品質管理計画について記述する第I編と、具体的な施工法、試験・検査法を記述する第II編に分けて作成する予定である。

- (2) ディテール集の作成

特にプレキャストPC構造では、接合部のディテールが構造性能に大きく影響を及ぼすことが明らかである。そこで、設計者が適切なディテールを選択できるよう、既往の構法を力学的な視点から分類整理し、カタログ的な資料を作成する。

4. 構造設計指針に関する検討概要

4.1 指針作成の基本方針

初年度は、最終成果物となる構造設計指針の基本的な方向性、考え方について検討を行った。現在、建築基準法を改定するための作業が進められており、従来の仕様規定的な性格から性能規定的な性格を持った基準に改変される見通しである。改訂される建築基準法がどのようなものになるのかは明らかではないが、本共研で提案される設計指針も新しい基準法の考え方に合致したものとなっていなければならない。また、建築基準法の改訂作業と呼応して実施されている、建築構造設計の性能規定化へ向けた建設省の総合技術開発研究プロジェクト「新構造体系の開発」の研究動向にもらみ、他構造との整合性を図ることに留意しながら作業を進めている。

特に既往の設計法では同じコンクリート系構造物でありながらPC造とRC造で異なった考え方に基づく設計法となっていた経緯もあり、統一した設計法の実現が強く望まれてきたところである。一般にPC造建築物は、RC構造部材である柱や耐震壁とPC梁とから構成されることが多く、架構全体としての挙動は、それぞれの構造部材の特性を反映したものとなる。PC部材自体も、配筋される鉄筋量との関係で純PC造からPPC造、さらにRC造に近いものまで特性が大きく変化する。本共同研究では、PC造からRC造まで多様な復元力特性をカバーできる設計手法の提案を目指している。

指針作成の基本方針として、下記の項目を定めた。

- 1) 設計外力・荷重（特に地震動）に対して、PC建築物の応答（損傷度）を明確にする。
- 2) 部材の損傷（変形）を、材料の歪レベルの物理量と関係づける。

4.2 指針の範囲

(1) 検討の範囲

構造設計指針としては長期荷重、風荷重、雪荷重、その他の荷重に対する設計法の提案も必要であるが、とりあえず耐震設計のための指針作成を目指している。部材断面の設定法から規定するのではなく、耐震設計の目標値を満足していることを確認する手順を示すものとなるかもしれない。非線形荷重増分解析を設計の標準とすることもありうる。

(2) 対象とする構造種別

PC造（プレキャスト構造も含む）からRC造までを対

象とする。

(3) 対象とする架構形式

純ラーメン架構、耐力壁ラーメン架構、耐力壁架構を対象とする。

4.3 耐震設計に対する考え方

想定する地震動に対する目標耐震性能としては、たとえば地震動のレベルとして3種類を設定すれば以下のようになるであろう。

(1) 中小地震動に対する設計

中小地震動では、建築物の継続使用が可能な状態であること。居住系建築物であれば地震後もそのまま居住可能であり、業務施設系あるいは生産施設系であれば、それぞれ目的とする活動が継続できること。

(2) 大地震動に対する設計

財産の保全がはかれるものとする。ただし、大地震後、構造体、2次部材および設備機器系に対して、大規模な補修が必要となる可能性はある。大地震の設定とそれに応じた損傷レベルに関しては、建築主および社会的な合意が必要であろう。

(3) 極大地震動に対する設計

人命の保全が最低条件であり、人命に直接危害を及ぼすような建築物の崩壊（建築物をつぶさない）、および外装材の落下、飛散等を避ける。

ここで、地震動としては法律で定められる最低値以上のもので、小地震から極大地震まで設計者が自由に地震動を設定できることを前提とする。地震動は、スペクトルで与えられることが望ましい。

4.4 地震動に対する設計法（案）

設計法として、非線形漸増載荷解析によらない方法（弾性解析などによる）の開発も検討テーマであるが、例えば、非線形漸増載荷解析を行う場合の設計法は、以下のようなものとなるであろう。ただし、設計法として実用に供されるためには、解決すべき課題が多く含まれている。各項に併せて示す。設計フローのイメージは、図-2に示す。

- 1) 建築物の構造種別、構造形式を設定する。
- 2) 目標耐震性能に応じた部材の許容損傷度を設定する。目標耐震性能と部材損傷度の対応関係を予め与える必要がある。
- 3) 許容損傷度に対応する各部材の歪および変形を求める。部材の損傷度と部材の歪および変形の対応関係を予め与える必要がある。
- 4) 各部材の歪および変形から建築物の変形を求める。各部材の歪、および変形から建築物の変形を算定する方法を示す必要がある。
- 5) 部材配置・部材断面を設定する。
部材配置・部材断面の設定方法は、設計者が任意

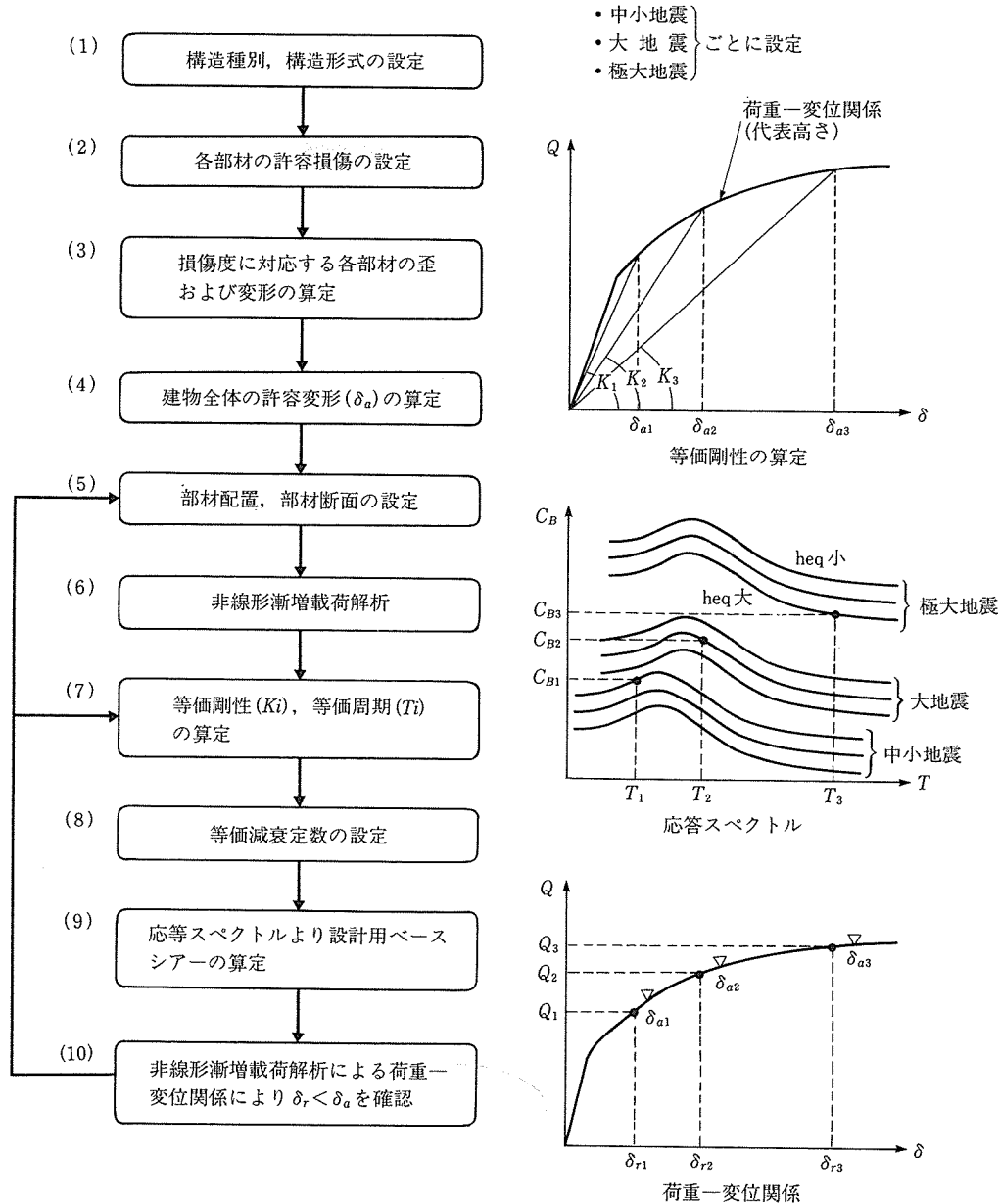


図-2 設計フロー案(非線形漸増増載荷解析を行う場合)

- に定める。
- 6) 非線形漸増増載荷解析を行い、荷重-変位関係を求める。非線形漸増増載荷解析の標準化が求められるかもしれない。
 - 7) 等価剛性(K_i)および等価周期(T_i)を算定する。荷重-変位(代表的な)関係から各許容変形(δ_{ai})に対応する等価剛性(K_i)および等価周期(T_i)を算定する。代表変位の定義方法(多質点系→1質点系への置換)を定めなければならない。
 - 8) 等価減衰定数を設定する。
構造種別、構造形式および変形レベルに応じた適切な等価減衰定数の設定法を定めなければならない。
 - 9) 応答スペクトルから等価周期(T_i)を用いて設計用ベースシアアを算定する。
地震種別(直下型、海洋型、長周期型)に応じた応答スペクトルの設定が求められる。
 - 10) 耐震安全性を確認する。
非線形漸増増載荷解析の荷重-変位曲線上で、設計用せん断力に対応する変位が、許容変形以下であることを確認する。

4.5 今後の方向性

構造設計指針の方向性については、種々議論が重ねられている段階であり、未だ定まったものではないが、いずれにしても設計者が建物に付与する性能を設定し、それが実現できるような自由度の高いものとする必要があ

る。併せて、使い易く、出来るだけ簡便な手法が提案される事が強く望まれている。

5. 構造性能に関する検討概要

構造性能評価WGでは、先に述べた7つのテーマについて研究を進めているが、その内の2つについて途中経過を紹介する。

5.1 柱梁接合部に関する実験

PC造建築物の接合部の設計法については、これまで特に規定されたものはなく、実務においても特別な検討が行われることは少ないと想定される。また、この点に着目した研究も少なく、プレストレス力が接合部の性状に与える影響についても明確な評価はなされていない。本共研で目標とする高層建築物においては、柱・梁接合部の応力状態が中低層建物に比べて厳しくなることも想定され、適切な評価法を構築する必要がある。

そこで、柱・梁接合部のせん断破壊先行型で設計した試験体に対する加力実験が行われた⁴⁾。試験体パラメータは、導入プレストレス力、グラウトの有無、等である。

本実験から、以下の事項が指摘される。

- 1) プレストレス導入力を増加すると、接合部せん断ひび割れの形成には影響を及ぼすが、接合部せん断終局強度の上昇にはほとんど寄与しない。
- 2) PC鋼棒をアンボンドにすると、接合部せん断強度はやや低下する傾向が見られた。
- 3) プレストレス力を与えても接合部のせん断変形は抑制されず、層間変形が大きくなるとせん断変形をむしろ増幅させる傾向が見られる。
- 4) 圧着接合方式による試験体では、接合目地部でのPC鋼棒の拔出し、および梁の曲げ圧壊が顕著であった。

5.2 導入時不静定応力に関する検討

PC構造物の設計における特有の項目の一つが、導入時不静定応力に対する検討である。本研究テーマでは、プレストレス導入時不静定応力、およびクリープ不静定応力の計算法の再評価、建物規模による影響の評価を行うことを目的としている。また、構造物が終局状態に到ったときに不静定応力が、降伏機構の発生や終局耐力にどのような影響を及ぼすかについての検討も併せて行うこととしている。

スパン長さ、スパン数、階数などをパラメータにしたモデル建物を設定し、解析的な検討を行っている。

導入時不静定応力の検討からは、下記のような事項が指摘されている。

- 1) スパン長さ、階数、スパン数が大きくなると柱脚、梁端の不静定モーメントおよび不静定軸力が大きく

なる。柱頭の不静定モーメントは、スパン長が一定であれば、階数の変化による影響は小さい。

- 2) 施工段階を考慮しない解法を用いると、柱頭で過小評価、柱脚で過大評価する可能性がある。

クリープ不静定応力が架構に及ぼす影響に関しても、同様に解析的な検討を行っている。その結果、クリープ不静定応力は1層の柱頭、柱脚、および2層の柱脚において大きく、それ以外の箇所では非常に小さくなる事が認められた。また、建物使用状態で考慮される応力（長期応力と導入時不静定応力の和）に対するクリープ不静定応力の比率は、1層の柱頭では最大60%程度、1,2層柱脚では最大40%程度と無視できないほどに大きいという結果が得られている。

6. おわりに

性能設計法の構築に向けた研究開発が盛んに行われている。本プロジェクトも、PC構造に対する性能設計法の提案を明確に意図したものである。

本来、PC構造は高度な復元性により地震後の残留変形を小さくできることや、常時使用状態におけるひび割れ制御（たわみ制御）が可能であることなど、設計者が意図する性能を実現しやすい構造形式である。一方で、PC構造に固有の性質により、RC構造では必要とされない検討が要求される面もある。ともすれば、PC構造は一部の專業者によらなければ実現できない特殊な構造である、というイメージをもたれてきた嫌いがある。その理由はさまざま議論されているところであるが、PC構造は一般の設計者にとってはなじみがなく、自由に選択できる対象になりにくかったことも事実であろう。

本プロジェクトが目指すPC構造からRC構造まで同じ考え方に基づいた設計法の提案によって、PC構造が建物の用途、目的に応じて設計者が容易に選択できる構造の一つとなることを期待する。

参 考 文 献

- 1) 岡田恒男, 村上雅也, 勅使川原正臣: 高強度鉄筋コンクリート造 (New RC) の構造設計法, コンクリート工学, Vol.32, No.10, 1994.10, pp.36~44
- 2) 中田慎介: プレキャスト鉄筋コンクリート構造の現状—PRESS成果物から—, コンクリート工学, Vol.32, No.5, 1994.5, pp.5~12
- 3) 岡本伸, 他4名: PC構造設計・施工指針の開発 (研究概要), 日本建築学会学術講演梗概集C 構造IV, 1997年9月
- 4) 紅谷信行, 柏崎隆志, 野口博: プレストレスコンクリート柱・梁接合部のせん断性状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.19, No.2, 1997

【1997年5月21日受付】