

特集：PC建築

—PC構造設計・施工指針—

PC構造設計・施工指針作成のための研究成果

岡本 伸*1・渡邊 史夫*2

1. はじめに

ここでは、PC構造設計・施工指針作成のために実施された共同研究(PC共研)の位置づけと研究成果の概要について説明する。詳しくは、本章に続く研究報告を参照されたい。

2. PC技術の現状と特徴

プレストレストコンクリート(以下、PC)構造は、ヨーロッパおよびアメリカを発祥とする技術であるが、わが国においても、昭和16年運輸省鉄道技術研究所で開始されたプレテンション工法に関する研究、戦後の余剰軍需物資を活用するために昭和21年に商工省鉱山局に設けられた鋼弦コンクリート小委員会の研究、および昭和20年代後半から30年代初頭における高強度より線(PC Strand)および高強度棒鋼(PC Bar)の材料開発と構造への応用研究等を経て実用化された。

建築の分野では、昭和32年5月に建設省告示が出され、さらに、昭和36年に日本建築学会より「PC設計施工規準・同解説」が学術的研究成果を盛り込んで出版され(現在は改訂を重ね1998年版となっている)、法的および学術的基盤が整備された。これを受けて、PCの実際構造への応用が進められ、昭和30年代には、大スパンを必要とするボーリング場建物がPCによって次々に建設された。その後、PCの典型的応用である大スパンの構造のみでなく、テンション構造、テンションリング構造、ポストテンション工法によるプレキャスト構造(圧着接合)、パーシャルPC構造(わが国ではプレストレストRC構造(PRC)と呼ばれており、日本建築学会より「設計施工指針」が出版されている)およびPC床板等に幅広く応用されている。とくにプレキャスト構造に用いられる圧着接合は、通常の鉄筋コンクリート(以下、RC)プレキャスト構造の接合部と比べて単純明快な接合方法で

あり、現場でのコンクリート打設がないことと接合面応力伝達機構の合理性のゆえに幅広く用いられている。

このように、現在のPCに関する技術水準は極めて高く、とくに耐震構造の開発に関しては、世界をリードする立場にあり、故坂 静雄 京都大学名誉教授、六車 熙 京都大学名誉教授および鈴木計夫 大阪大学名誉教授等、多くの先人の努力の賜物であると感謝している。PCの優秀性は、計らずも、兵庫県南部地震時に激震地区に多くのPC造建物があつたにもかかわらず、ほとんど無被害であったことより証明された。

このように発展してきたPC構造の特徴について若干の所見を述べ、それらを実際建物に適用するためのものとして本研究の位置づけを行ってみたい。

2.1 弾性高復元性

PCの一つの特徴は弾性高復元性であり、地震などの外力によって変形した後も外力が取り除かれるとひび割れが再び閉合し、残留変形がほとんど生じない性質を有している。しかし、そのゆえにエネルギー消費能力が小さく、耐震性能に劣ると言われてきた。米国では地震荷重の最も大きいゾーン4でPCの利用が制限されている理由の一つでもある。

この考えは単に建物のエネルギー消費能力の観点のみからの考えであり(蛇足であるが、エネルギー消費能力が大きいということは材料および部材に生じる損傷が大きいことを意味する)、耐震性をもっと幅広い意味をもっていることを考えると正しくない。地震が去った後の残留変形を最小にし、補修および補強なしに建物を再使用できる可能性を考えると、PC構造は極めて優れた構造形式といえる。エネルギー消費を必要とする場合には、普通強度の鉄筋を配置するPRC構造や高強度鋼材と普通鋼材をより合わせた混合ストランドを用いるなどの策があり、弾性高復元性とエネルギー消費能力の両者を最も合理的な組合せで実現できる。

現在米国の国立科学技術研究所(NIST)では、普通鋼材とアンボンド鋼材を併用した、高復元性とエネルギー消費を両立させたプレキャスト構造形式が開発されている。すなわち、PCの弾性高復元性が性能設計における長所として見直されつつあり、それを有効利用するための設計手法の開発が望まれる。要は、弾性高復元性を取り入れた構造設計法の開発いかんで、PCの特徴を最大限発揮できるか否かが決まる。ここに本共同研究の大きな意味がある。

2.2 耐久性と空間の柔軟性

高度成長期において、わが国では社会的・経済的要請に応じて数多くの建物が建設された。それら建物の多くは、諸外国にも誇れるような都市形成に貢献しているとはいいたい劣悪なものが多かった。形成された都市が将来に対



*1 Shin OKAMOTO

(社)日本建設業経営協会
中央技術研究所 所長



*2 Fumio WATANABE

京都大学 工学研究科
建築学専攻 教授

する資本蓄積となり新たな歴史形成に役立つものでなければいけない。高度成長期は経済ばかりでなく、建築に対しても資源やエネルギーの節約、環境保全および社会資本の蓄積といった観点からの教訓を残した。

これらを踏まえて、歴史性・連続性のある街並みを形成していかなければならず、建物の材料的、構造的および機能的側面からの耐久性(長寿命化)が求められている。

PC構造はこれらの諸問題を解決する工・構法と位置づけられる。材料面からの耐久性に関しては、高耐久(塩害、中性化、凍結融解等)高強度コンクリートの使用が、構造的側面からの耐久性に関しては、PCのひび割れ制御性能、超過荷重に対するひび割れ閉合性能および高復元性能が、機能的側面からは、スパン長さに制約されない空間創造の柔軟性が解決策となる。この空間創造の柔軟性は、社会の変化に伴って生じるであろう空間利用形態の変更に対応できるものとしてPCを位置づけるものである。

2.3 合理的プレキャスト接合法

建築業における熟練技術者の減少は避けがたく、それを解決し高品質の建物を継続して社会に供給していくためには、プレキャスト構造に頼らざるを得ない。プレキャスト工法の特徴は、合理的な工法による工期短縮と現場人件費の削減、容易な品質管理による高品質の建物の建設にある。プレキャスト工法のキーは、接合部に要求される強度、剛性およびじん性をいかにして実現するかにあり、RC構造では一体打ちと同等の構造を実現すべく数多くの複雑な工法が開発されているが、ほとんどは現場コンクリート打設を用いるウエットジョイントである。一方、PCで広く用いられているのは、ポストテンションによる圧着接合であり、接合面での応力伝達が摩擦(接合面せん断力が接合面摩擦強度以下であれば滑りは一切発生しない)によって行われるという単純明快なものである。複雑な接合鉄筋、接合金物および現場打設コンクリートを必要とするRCプレキャスト接合に対する優位性は明確である。

圧着接合は、建物のいかなる部位またいかなる形態のものでも接合可能な剛接合工法であり、建築形態創造の自由度が極めて高い。すなわち、多様な意匠デザインや自由で快適な大空間を実現することが可能になるので、意匠設計者がこのような工・構法に精通することにより、さらに魅力的なPC建築が創造される。

3. PC共同研究の背景

RCでは実現不可能な大スパンを可能とするPC構造は先に述べた多くの特徴を有しており、その有効利用が期待される。現在まで、建築基準法施行令、告示および通達に基づいて、高さ31m以下の建物には数多く利用されている。

しかし、高さ31mを超える建物に対する適用が可能となれば、高強度、高品質の材料を効率よく用いた質の高い高層PC建物を社会に供給できることになり、社会資本形成に一役買うことになる。対象となる建物は、PCの空間創造性の高さのゆえに限定されたものとはならず、事務所ビル、集合住宅および複合施設建物等幅広い自由度をもつ。このような高層PC建築に関する研究の蓄積はあるものの、一

の設計体系としては確立されていないのが現状である。また、通常のPC建物の構造設計をより合理化するための研究も求められている。

このような背景のもとで、元建築研究所所長 中野清司博士および岡本 伸博士の発案により、建設省建築研究所よりPC構造設計・施工指針作成のための共同研究(PC共研)が提案された。この提案に対して、建設省建築研究所、(社)建築業協会、(社)PC建設業協会、(社)日本建設業経営協会、(社)日本構造技術者協会、住宅・都市整備公団、(財)日本建築センターの諸組織が参加し、PC共研が実施された。初年度は、問題点の抽出のためのフィージビリティスタディが実施され、その後2年間メインスタディが実施され、平成10年度に終了した。

4. 研究体制と成果

PC共研は、研究成果の活用を推進するための研究推進会議(委員長:中野清司)、研究全般を調整する研究調整委員会(委員長:岡本 伸)、研究作業に直接かかわる作業委員会(委員長:渡邊史夫)、および作業委員会のもとに設置された設計指針WG(委員長:町田重美)、構造的評価WG(委員長:渡邊史夫)、施工指針WG(委員長:菅野俊介)において実施された。

また、PC架構の地震時応答を実験によって確認するために、地上11階建て、高さ45mのプロトタイプ事務所建築を想定し、その下層2階分を取り出した1/2.7スケールモデルに対する擬似動の実験が建築研究所(実施者:加藤博人)において実施され、本共同研究で示す設計法の妥当性が検証された。

(1) 設計指針WG

ここでは、耐震設計にかかわる設計法を研究し設計指針を作成した。

耐震設計の方法は、等価線形化手法を用いた変位制御設計となっている。対象とする建物は60m以下の略整形なもので、構造法としては、PCおよびPRC構造による純フレーム構造、連層耐震壁構造であり、一体打ち工法および圧着によるプレキャスト工法の両者を対象としている。示されている設計手法は、現在検討されている改正された建築基準法の施行令に示される「新検証法」に対応したもので、法を先取りした形となっている。設計法は性能設計となっており、目標構造的な性能は、「安全性」、「修復性」および「使用性」という3つの範疇に分類され、それぞれに対する指定性能実現の手法が示されている。地震に対する設計法は、想定地震に対するキャパシティースペクトルを用いて、建物最大応答層間変位、部材応答変形、材料応答値等が予測可能なものとなっており、施主と設計者の間で合意された指定性能、すなわち「安全性や修復性のレベル」を容易に実現することができる。

設計に必要な曲げ、軸力およびせん断に対する部材強度とじん性評価法、等価線形化手法において必要な等価粘性減衰定数、プレキャスト接合部強度評価法および動的時刻歴解析で用いる履歴復元力特性モデルなどは、構造的評価WGにおける研究成果より得られている。

(2) 構造性能評価WG

ここでは、PC建物を構成する各種部材の強度および変形能力、PC部材の履歴復元力特性、接合面のせん断強度および不静定2次応力等が研究された。得られた成果は設計指針に反映されているが、付随して多くの貴重な学術的成果が得られている。成果の主なもの、

- ① PC部材の履歴復元力特性モデル
- ② PC梁および梁開口部のせん断強度算定式
- ③ 圧着接合面のせん断伝達性能評価法
- ④ 高強度材料を用いた接合面のせん断強度
- ⑤ PC建物における柱梁接合部のせん断強度と設計法
- ⑥ PC部材の変形能力確保法
- ⑦ 不静定2次応力の終局状態への影響

などである。

これらの成果は、本共研の設計指針に反映されたのみでなく、広くPCに関する学術的基盤をさらに強固にしたものと評価されている。

(3) 施工指針WG

より品質の高いPC建物を供給するための、施工・品質管理指針作成が行われた。指針は、第1編「要求品質と施工・品質管理計画」および第2編「施工と試験・検査」から構成されている。コンクリートは「JASS 5」に準拠しており、プレテンション部材に対しては35 N/mm²以上、ポストテンション部材に対しては21N/mm²以上と上限が定められている。とくに上限は示されていないが、現状ではおおよそ

60N/mm²前後が上限となろう。構法としては、現場打ちPC構造とプレキャストPC構造(主として圧着工法)の両者を対象としている。

第1編には、総則、プレキャストPC構造の構法計画、施工計画および品質管理計画、材料および部材の要求品質が詳細に記述されている。

第2編には、総則、材料、コンクリートの調合、PC鋼材およびプレストレスング、プレキャスト部材の製造、貯蔵、出荷、運搬、現場における部材の組立てと接合、各種試験法が詳細に記述されている。

なお、この指針のプレキャスト工法に関する部分は、過去に実施された「プレキャストフレーム構造に関する共同研究 PRESSS」の成果物である「プレキャストRC部材を用いる建築物の施工品質管理指針(案)」に準拠している。

一方、プレキャストPC構造には多くの接合方法があり、それらを取りまとめて一般的な形でプレキャストPC接合部のディテール集の作成が行われた。これは、工・構法を選択する際に構造設計者のよい参考となるものである。

5. おわりに

最後に、本共同研究にご協力いただいた多くの方々および組織に深く感謝するとともに、将来に対して大きな期待を抱かせる構造法としてPC構造を位置づけ、誇りをもって今後の発展に尽力されるよう希望する。

【1999年5月20日受付】