

日本建築学会「プレストレストコンクリート構造の設計・学びやすい構造設計シリーズ」の発刊について

福井 剛*

2017年9月に日本建築学会関東支部から発刊予定の「プレストレストコンクリート構造の設計・学びやすい構造設計シリーズ」は、同支部が定期的開催する講習会用のテキストである。このテキストは最新の技術的知見等を紹介する類いのものではないが、その結果内容はシンプルで、はじめてPC造建物を設計しようとする構造設計実務者が、回り道することなく1冊で、場所打ちPC造建物とプレキャストPC造建物の構造計算を進められるように構成されている。また近年、PC構造が既存建物の耐震補強に用いられるようになり、東日本および熊本の震災においてはその有効性が実証されている。本書では外付けPCフレームによる耐震補強についても設計例をとおして設計手法を示している。本解説では、本テキストの各章の位置付けと、その内容について、具体的な設計例の紹介とともに概説する。

キーワード：設計例、場所打ちPC造、プレキャストPC造、耐震補強、講習会テキスト

1. はじめに

本書は、日本建築学会関東支部（以降、関東支部と略称）の講習会用テキスト『学びやすい構造設計シリーズ』の10冊目として（このうちコンクリート系の構造では「鉄筋コンクリート構造」「合成構造」に続く3冊目として）発刊される。これらのテキストを用いる講習会は各テキストごとに隔年で実施されており、本書の発刊により、プレストレストコンクリート構造の実務設計に関する啓蒙活動が継続的に行われることになる。

プレストレストコンクリート（以降、PCと略称）建物の構造設計に関する関東支部の出版物としては、「プレストレストコンクリート構造の設計－構造計算のすすめ方・5－」¹⁾がある。PC構造の設計を行う実務者の間では、その設計手順のわかりやすさと使い勝手の良さが好評で、ソフトカバーの色から「赤本」と呼ばれて30年以上の長い間愛用されてきた。しかしこの間、建築基準法の改正と関連基規準の改定が行われ、実務設計での同書の使用に際しては読替えが必要な部分も増えてきた。また、建物には中長期的な用途の可変性が求められるようになってきたため、耐力壁を設けない平面プランが好まれる傾向にあり、同書の設計例には少々時代遅れの感があった。

本書は前述した『学びやすい構造設計シリーズ』への鞍替えと同時に上述の問題点に対処したもので、好評であっ

た前書「赤本」の構成を引継ぎ、淡々と構造計算を進めることができるわかりやすさに重点を置いてPC構造の設計を説明することを念頭に置いている。本書が対象としている技術者は、鉄筋コンクリート構造の基本的な構造計算の流れを理解しているがPC構造については未経験の学生および実務設計者、PC構造の設計手法は理解しているがプレキャストPC造に挑戦したい、またはPC構造の設計的な勘どころを掴みたいという実務設計者である。

本書の執筆は、2016年4月に関東支部内において組織された、講習会用構造テキスト委員会PC構造の設計改定WGにより行われた。同WG委員は、日常的に設計業務に携わっている20～40歳代の実務者とPC構造の設計を熟知したベテラン技術者の計28名から構成されており、各委員の所属は、設計事務所、ゼネコン、PC専業と多岐にわたる。本書は多様かつ多くの視点をもとに作られていることを付け加えておきたい。

本書による講習会は、2017年9月26日の東京会場（日本建築学会建築会館）を最初に、10月12日横浜、10月20日大阪の計3回、総計370名の動員を見込んでいる。関東支部の講習会は関東地区のみで行われるのが慣例であるが、今回は古くから多くのPC建物の施工実績がある関西地区でも開催することとなった。一人でも多くの設計者がPC構造の設計に触れる機会になれば幸いである。

2. 本書の全体構成と内容

本書は、第2章「場所打ちPC造建物の設計例」と第3章「プレキャストPC造建物の設計例」を中核とする全6章から構成されている。この2つの設計例は、単に構造計算書の流れを書き連ねたものではなく、PC構造特有の設計上の考え方やテクニックについてその都度解説を加えた構成になっている。これにより読者は、他書や本書の別章などを横にらみすることなく、一連の流れのなかでPC構造の設計を理解することが可能となっている。まずは2章でPC構造特有の設計手法を学び、続く3章でプレキャスト



* Tsuyoshi FUKUI

日本大学理工学部
海洋建築工学科 准教授

ト工法特有の設計手法を学ぶことで、場所打ち PC 構造とプレキャスト PC 構造の設計を無理なく理解できるように構成した。この構成は、前書「赤本」が設計者に支持された理由の一つであり、本書もこれを踏襲している。以下に、全体目次を示す。

- 1 章 プレストレストコンクリート構造を設計するにあたって
- 2 章 場所打ちプレストレストコンクリート造建物の設計
- 3 章 プレキャストプレストレストコンクリート造建物の設計
- 4 章 アンボンド PRC 部材の設計
- 5 章 プレストレストコンクリート合成床の設計
- 6 章 プレストレス技術の応用例
- 付 1 PC 鋼材各種定着工法
- 付 2 特記仕様書と監理項目

本書における各章の位置付けは以下のとおりである。

1 章は、初めて PC 造建物を設計しようとする設計者に対して、構造計算に入る一歩手前までのアプローチを示している。具体的には、PC 構造に関する基礎的な知識から構造計画に必要な仮定断面の設定方法までについて解説している。

2 章は、場所打ち PC 造建物の設計例をとおして構造計算の流れを示したものである。構造計算ルートは保有水平耐力を確認するルート 3b、長期応力に対する設計はパーソナルプレストレスング（Ⅱ種 PC）とした。

3 章は、プレキャスト PC 造建物の設計例をとおして構造計算の流れを示したものである。構造計算ルートは PC 構造独自の終局強度型設計を行うことで保有水平耐力の確認を不要としたルート 3a、長期応力に対する設計はフルプレストレスング（Ⅰ種 PC）とした。

4 章は、長期においてひび割れの発生を許容するプレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種 PC）部材の設計手法を、アンボンド PC 鋼材を用いたスラブ、小梁、フラットスラブの 3 つの設計例により示している。

5 章は、プレキャスト PC 板の上部に場所打ちコンクリートを打設することで、両者を一体の構造床として用いるプレキャスト PC 合成床の設計手法を示している。

6 章は、プレストレス技術の応用事例を紹介したものである。PC 部材を用いた PC フレームを既存建物の外側に取り付けることにより耐震補強を行う、プレキャスト PC 外付け耐震補強の設計手法を設計例をとおして紹介している。PC 外付け耐震補強を計画するうえでの留意事項などにも言及しているので、工法比較の際に参考になる。そのほか数例のプレストレス技術の応用事例が紹介されている。

付録では、PC 鋼材を定着するために必要な PC 定着具各種工法が紹介されている。また、PC 構造特有の特記仕様書へ記載すべき事項と工事監理上の監理項目および注意点を示した。

3. 各章の内容

ここでは前述の 6 つの章について、順に各章の内容を概説する。

3.1 「1 章 プレストレストコンクリート構造を設計するにあたって」

- | |
|-------------------------------|
| 1. プレストレストコンクリート構造を設計するにあたって |
| 1.1 プレストレストコンクリートの基礎知識 |
| 1.1.1 プレストレストコンクリート構造を使うメリット |
| 1.1.2 プレストレストコンクリート構造の分類 |
| 1.1.3 プレストレストコンクリートの原理 |
| 1.1.4 プレストレストコンクリートの特性 |
| 1.2 プレストレストコンクリート構造の工法と使用材料 |
| 1.2.1 プレストレスの導入方式 |
| 1.2.2 場所打ち PC 工法とプレキャスト PC 工法 |
| 1.2.3 プレストレストコンクリートの材料 |
| 1.2.4 材料の許容応力度 |
| 1.3 プレストレストコンクリート構造の設計 |
| 1.3.1 構造設計フロー |
| 1.3.2 応力の組合せ |
| 1.3.3 仮定断面寸法の決定方法 |
| 1.3.4 設計上の留意点 |

図 - 1 1 章の目次

1 章（図 - 1）では、PC 構造の原理をはじめ、PC 造建物を設計する際の勘どころを掴むための情報をコンパクトにまとめて紹介している。

1.1.1 項では、PC 構造を使うことにより得られるメリットを列記して解説した。計画する建物のなかで PC 構造を有効に使うためのヒントにして欲しい。PC 構造というと二言目にはコスト高が語られるが、これは PC 構造の良い点を十分に引き出せていないことが原因の一つである。1.1.2 項では、Ⅰ～Ⅲ種に分類される各種 PC 構造の特徴と用途、および設計上の取扱いについて概説している。1.1.3 項、1.1.4 項では、PC 構造が外力に抵抗する原理と、力学的特性を示した。仕様規定型の設計では表に現れない PC 構造の優れた力学的特性の一面をご理解いただきたい。

1.2.1 項、1.2.2 項では、設計者も理解しておくべき PC 構造の施工に関する最低限の基礎知識を示した。1.2.3 項は PC 構造に用いる材料について、建築基準法や関連する基規準との対応が示されている。さらに、1.2.4 項では後述する設計例で用いられるコンクリートと PC 鋼材の許容応力度を示した。

1.3.1 項、1.3.2 項では、PC 構造特有の構造設計フローと応力の組合せについて概説されているが、2 章および 3 章の設計例のなかでも解説されているので読み流す程度で問題ない。設計者にとって重要なのはこれに続く 1.3.3 項の仮定断面寸法の決定方法である。本書の執筆に併せて実施した近年の PC 建物調査の結果との適合性が比較的高かった JSCA 式²⁾が紹介されている。

3.2 「2章 場所打ちプレストレストコンクリート造建物の設計」

2. 場所打ちプレストレストコンクリート造建物の設計
- 2.1 一般事項
 - 2.2 準備計算
 - 2.3 応力算定
 - 2.4 層間変形角, 剛性率, 偏心率
 - 2.5 断面設計
 - 2.6 梁の長期たわみに対する検討
 - 2.7 保有水平耐力計算
 - 2.8 その他の設計

図 - 2 2章の目次 (抜粋)

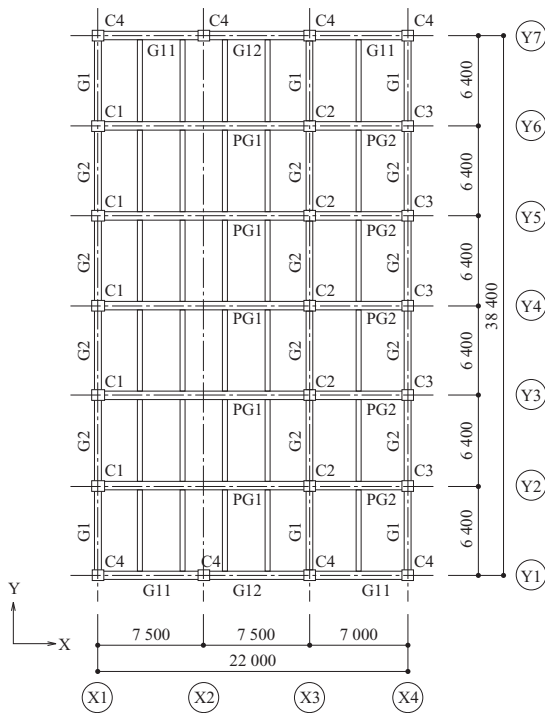


図 - 3 伏 図

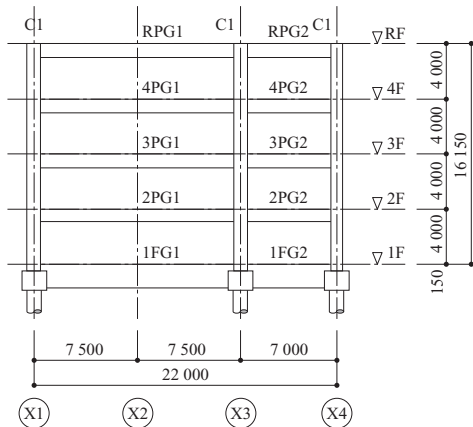


図 - 4 軸 組 図

図 - 2 に 2 章の目次を, 図 - 3, 4 に本設計例建物の伏図と軸組図を示す。2 章では, スパン方向 15 m と 7.5 m の梁を場所打ち PC 造, 桁行方向 6.4 m の梁と柱を RC 造とした, 両方向ともに純ラーメン構造で計画された 4 階建て事務所ビルを設計対象としている。15 m および 7.5 m スパンの PC 梁断面は, それぞれ 600 × 1 000 mm, 500 × 800 mm とした。

PC 梁の長期に対する設計は, 断面の引張縁に引張応力の発生を許容するがひび割れの発生を想定しない, パーシャルプレストレッシング (Ⅱ種 PC) とした。構造計算ルートは, 他構造のルート 3 にあたるルート 3b とした。図 - 5 に構造計算ルート図を示す。

図 - 2 の目次は構造計算書に必要な項目を示しているだけのように見えるが, 構造計算と並行して記述されている解説部分では, 梁断面の仮定方法, PC 鋼材量と PC 鋼材配置の仮定方法, PC 緊張力の計算方法, PC 不静定応力の計算方法, PC 梁のスケルトンカーブの設定方法, PC 部材の部材種別の判定方法が示されており, そのほかにも設計の勘どころが多く記述されている。

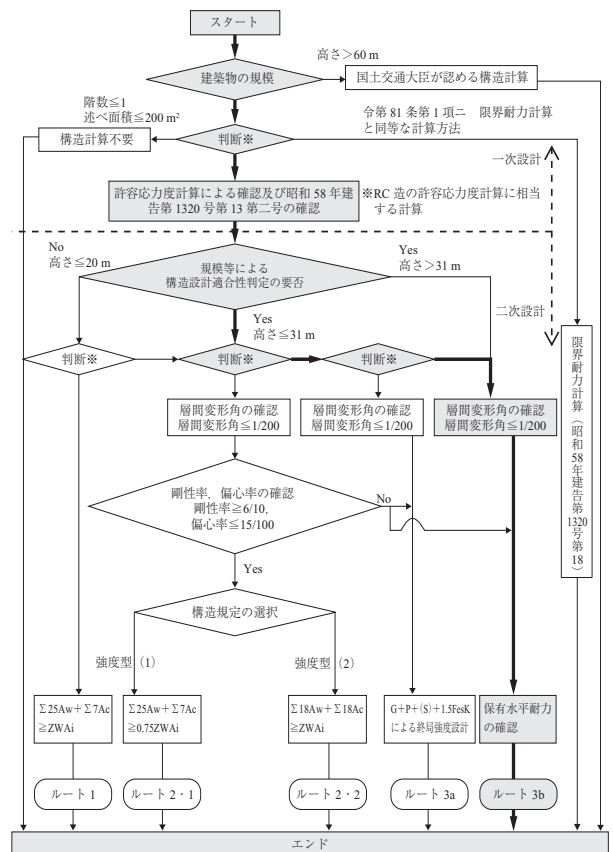


図 - 5 構造計算ルート図

3.3 「3章 プレキャスト PC 造建物の設計」

3. プレキャスト PC 造建物の設計
3.1 一般事項
3.2 準備計算
3.3 応力解析
3.4 層間変形角, 剛性率, 偏心率
3.5 断面算定
3.6 その他の設計
3.7 保有水平耐力計算 (ルート 3b) にて設計する場合

図 - 6 3章の目次 (抜粋)

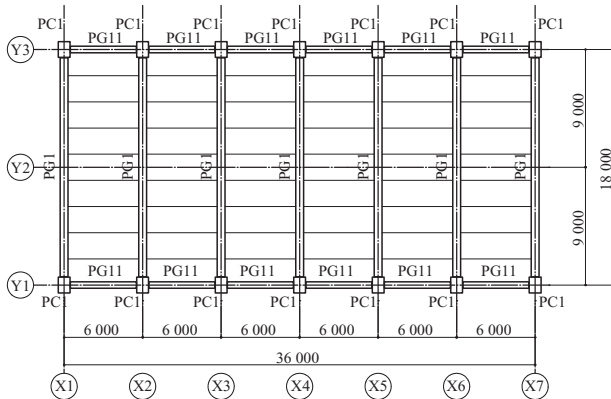


図 - 7 伏 図

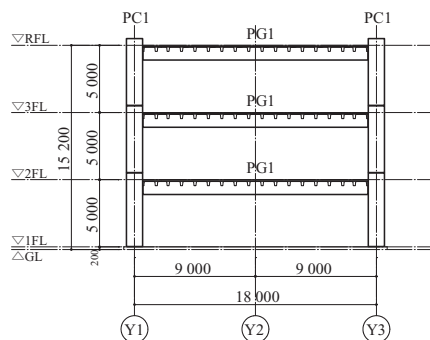


図 - 8 軸 組 図

図 - 6 に 3 章の目次を, 図 - 7, 8 に本設計例建物の伏図と軸組図を示す。3 章では, スパン方向 18 m の梁, 桁行方向 6.0 m の梁と柱のすべてをプレキャスト PC 造とした, 両方向ともに純ラーメン構造で計画された 3 階建て倉庫を設計対象としている。18 m スパンの PC 梁断面は, プレキャスト部材単体時で 600 × 950 mm, トッピングコンクリートとの合成梁時で 600 × 1 100 mm とした。

PC 梁の長期に対する設計は, 断面の引張縁に引張応力の発生を許容しない, フルプレストレスング (I 種 PC) とした。構造計算ルートは, 終局強度型の PC 特有な設計ルートであるルート 3a としたが, 比較のために 3.7 節においてルート 3b の計算を行った。

上述のとおり, 本設計例のフレーム構成部材はすべてプレキャスト PC 造である。施工順序は, 柱建方→柱 PC 鋼棒緊張→梁架設→PC 合成床板敷設→梁 PC 鋼材の一部を

緊張→トッピングコンクリート打設→残りの梁 PC 鋼材を緊張→PC グラウト注入→〈上層階へ〉という一般的なものとしたが, 組立に伴う架構形状の変化とトッピングコンクリート打設に伴う部材断面の変化を適切に構造計算に反映すれば, 多様な施工順序に対処することが可能である。

3.4 「4章 アンボンド PRC 部材の設計」

4 アンボンド PRC 部材の設計
4.1 アンボンド PRC 部材の設計
4.1.1 アンボンドスラブの設計
4.1.2 アンボンド小梁の設計
4.2 アンボンドフラットスラブ工法

図 - 9 4章の目次 (抜粋)

4 章 (図 - 9) では, アンボンド PC 鋼材を緊張材に用いた PRC 部材の設計例を示している。4.1.1 項のアンボンドスラブの設計は集合住宅の床への適用例で, プレストレスによる効果をスラブ内に放物線状に配置された PC 鋼材による持ち上げ力とみなし, 鉛直荷重の一部をこれで打ち消すロードバランシング法を採用している。4.1.2 項のアンボンド小梁は, プレストレスの導入による不静定応力を無視できない小梁の設計方法を示したものである。4.2 節のフラットスラブ工法は, XY の 2 方向にアンボンド PC 鋼材を配置し, プレストレスを与えることで, RC フラットスラブのたわみとひび割れを制御する手法を示している。

3.5 「5章 プレストレストコンクリート合成床の設計」

5 章では, プレキャスト部材製作工場においてプレストレスが与えられた PC 床板に対してトッピングコンクリートを打設する PC 合成床板の設計例を示している。PC 合成床工法は, 施工時には PC 床板がスラブの型枠となり, 完成時にはトッピングコンクリートとともに合成部材となり外力に抵抗するものである。ここで示す PC 床板は, 3 章設計例の倉庫の床に用いられることを想定しており, 施工時においても支保工が不要となるようにした。これにより設計例の倉庫は建設中に支保工を使用する必要が無いことになる。倉庫のように階高が高い建物にはとくに有効な手法である。

3.6 「6章 プレストレス技術の応用例」

6. プレストレス技術の応用例
6.1 PC 部材を用いた耐震補強
6.2 プレキャスト PC 外フレームの設計
6.3 その他の応用例

図 - 10 6章の目次 (抜粋)

6 章 (図 - 10) では, プレキャスト部材を用いた建物の耐震補強方法について紹介している。代表的なものとしては, プレキャスト PC 外フレーム工法, 斜め PC 鋼材付き外フレーム工法, プレキャストブレース工法, プレキャ

スト壁工法が挙げられる。集合住宅では、採光・通風を妨げず、工期が短く、さらに施工時に建物内部工事を必要としないプレキャスト PC 外フレーム工法の採用が多くなっている。

6.2 節では、3 階建ての庁舎建物をモデルとしてプレキャスト PC 外フレーム工法の設計例を示している。本設計例では、PC 外フレームは既存建物にプレストレスにより圧着接合する工法を選定した。図 - 11 に PC 外フレームの立面配置図を、図 - 12 に PC 外フレーム断面図をそれぞれ示す。

6.3 節では、その他のプレストレス技術の応用例として、外ケーブル工法による床組の補強事例、免震レトロフィット工事における軸力の仮受け事例、PC スラブを介して 2 棟の建物を連結した事例、地下水位上昇に伴う建物の浮き上がり対策としての地盤アンカー工法について紹介している。写真 - 1 は免震レトロフィット工事における柱軸力を仮受けする工事の状況写真である。

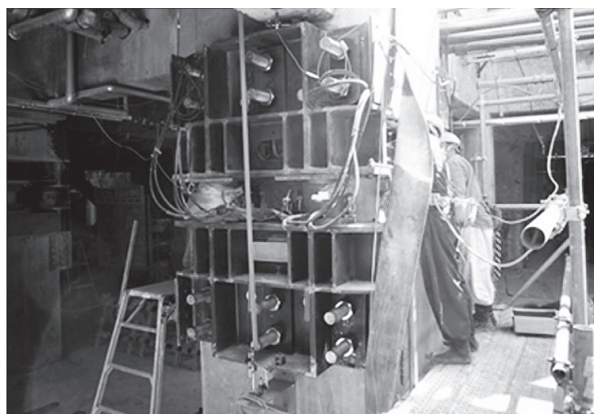


写真 - 1 免震レトロフィット仮受け工事状況

4. おわりに

冒頭でも述べたが、本テキストの発刊により日本建築学会において PC 構造の設計講習会が定期的に行われることになる。新入社員や RC の構造設計をマスターした学生をはじめ、多くの技術者に PC 構造の設計を理解してもらいたい。また、PC 構造にしかできない魅力的な建物が多く生み出されることを期待したい。本テキストは、PC 構造の普及を願う 28 名の委員により執筆されている。本テキストが前書「赤本」のように永く技術者に愛されることを望む。

謝 辞

本解説を執筆するにあたりご協力いただきました、日本建築学会関東支部講習会用構造テキスト委員会 PC 構造の設計改定 WG の早野裕次郎幹事（山下設計）、今村雅泰幹事（ピーエス三菱）、染谷俊章 SWG リーダー（建研）、中村昌弘 SWG リーダー（黒沢建設）、竹下 修 SWG リーダー（富士ピー・エス）、鳥屋隆志 SWG リーダー（オリエンタル白石）、塙 亨 SWG リーダー（戸田建設）ならびに本書の執筆および査読に携わっていただいたすべての関係者に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会関東支部：プレストレスコンクリート構造の設計 - 構造計算のすすめ方・5 - 第 2 版, 1988
- 2) 日本建築構造技術者協会：PC 建築 - 計画から監理まで, 2002

【2017 年 5 月 10 日受付】

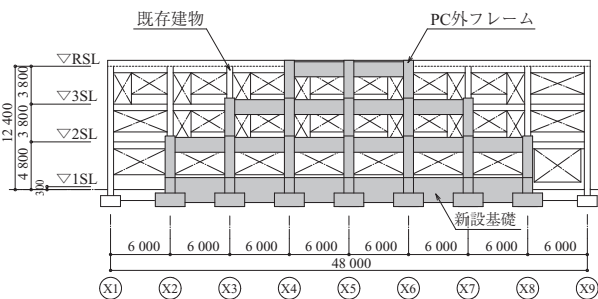


図 - 11 PC 外フレームの立面配置図

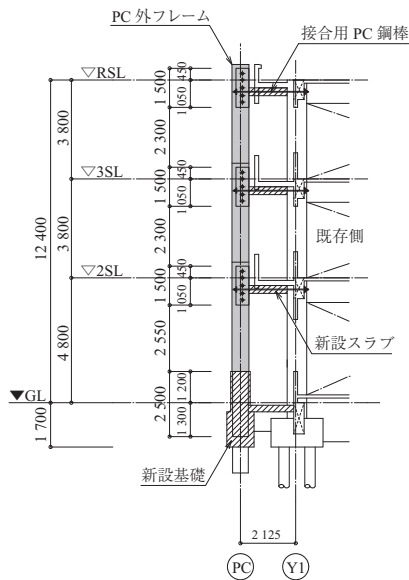


図 - 12 PC 外フレームの断面図