

日本建築学会「プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説」の発刊について

菅田 昌宏*

2014年度に日本建築学会から新しく発刊される予定の、「プレストレストコンクリート（PC）造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説」は、近い将来に設計手法の主流になると考えられている性能評価型設計の思想を取り入れたものである。同指針（案）は、材料・施工、常時設計、耐震設計、部材構造性能評価、設計例からなる5つのパートによって構成されている。それぞれのパートでは、PC造建築物の設計および施工に関わる最新の知見を取り入れて詳細な解説を加えているので、PCの技術資料すなわちハンドブックとしても活用できる。さらに、豊富な設計例によって、新しい設計法や施工法に関する具体的な運用・活用方法が丁寧に解説されており、PC構造についての知識や経験が少ない設計者や初学者に対する参考図書としても十分に活用できる内容となっている。本解説では、同指針（案）が発刊されるに至った歴史的背景を述べるとともに、その内容について、特筆すべき項目を取り上げて概説する。

キーワード：プレストレストコンクリート、性能評価、限界耐力計算

1. はじめに

日本建築学会（以下、AIJ）に設置されているプレストレストコンクリート構造運営委員会では、過去十数年に渡って「PC造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説（以下、PC性能指針案）」の発刊に向けた議論を行い、その内容の精査とブラッシュアップを重ねてきた。PC性能指針案は要旨に述べたように5つのパートから構成されており、それぞれ、I. PC造建築物の性能評価型材料施工指針（案）II. PC造建築物の性能評価型常時設計指針（案）III. PC造建築物の性能評価型耐震設計指針（案）IV. PC部材の構造性能評価指針（案）V. 設計例、である。これらが一つの冊子に取りまとめられて、互いに深く関連しながら新しい性能評価型設計施工指針の体系を構成している。5つのパートに大別されているのは、4章で詳述するようにPC構造設計の特徴をより鮮明に示すためである。この十数年間に、上述する各パートを、主として担当する3つの小委員会と1つのWGが設置され、そのなかで具体的なPC性能指針案の内容を検討しさまざまな議論を重ねてきた。さらに、各担当小委員会・WGを統括する、PC規準指針小委員会が設けられて、各パート間での整合性を確保するための調整がなされてきた。これらの各委員会では、学識者、官公庁、PC専門家、PC鋼材メーカー、設計

事務所、ゼネコンなどから多彩な専門性を有する人材を集めて、じっくりと時間を掛け、多角的な観点からより使い勝手のよい指針の作成を目指してきた。そのために、多くの執筆担当者が膨大な時間をかけて、多大な努力を払ってきた成果であるということはこの場を借りて申し述べておきたい。以下では、まず上述したように丹念に作り込まれ、磨き上げられてきたPC性能指針案の発刊に関わる背景ならびに性能評価型設計法の狙いについて述べる。

2. 既刊 PC 規準の終局強度設計法について

終局強度設計法が採用されている日本建築学会の「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」（以下、PC規準）が発刊されたのは、今から半世紀以上前の1961年のことである。同じくAIJから発刊されていた「鉄筋コンクリート造計算規準・同解説」が許容応力度法によるものであったことと比較すれば、部材の破壊に対する安全率を明らかにすることができる画期的な設計法であった。

PC規準に終局強度設計法が取り入れられた背景には、当時、諸外国では許容応力度設計法に代わって、終局強度設計法が主流となりつつあった点や、大地震時に終局強度設計を行って破壊に対する安全性を確保しておけば、中小地震に対しても、PC部材の高い復元性によって、ひび割れや変形などが残らない、ということをも満足できるからであるといわれている¹⁾。

しかしながら、PC規準の解説にも示されているように、当時は部材の塑性化を考慮できる解析技術が発展途上であったことから、暫定的に弾性解析による応力を係数倍して用いるといった手法が採用されている。この方法によれば弾塑性解析による応力を用いた場合よりも安全側の設計となるが、その一方で部材の塑性化に伴う応力再配分などが考慮されないために、各断面間の鋼材量が平準化されず、結果として鋼材量が増える設計となる可能性があることを否めない。また、PC規準の終局強度設計法は、簡便では



* Masahiro SUGATA

(株) 竹中工務店
技術研究所 主席研究員

あるものの、積極的な損傷制御といった昨今の社会ニーズに応えることが難しくなりつつある。以下では、近年の趨勢となりつつある性能評価型設計法について述べる。

3. 性能評価型設計法について

1981年に施行された、いわゆる新耐震設計基準によって建築物の耐震性能は飛躍的に向上し、地震によって倒壊したり大きな被害を受けたりする建物は少なくなった。人命を守るという耐震設計の狙いがここにはほぼ達成できたといえるわけであるが、その次の段階として、経済的な観点から地震後に建物の早期復旧を図り、いち早く建物の再使用を開始したいという要望が強くなってきた。建物が倒壊しないことを最低条件とする旧来の仕様規定では、地震後に建物がどのような状態になっているのかが不明であり、上述した、いち早い復旧と再使用といった、社会的要求との間のずれが大きくなってきている²⁾。このような背景から2000年には、建築基準法に性能規定の考え方が導入され限界耐力計算が施行されている。性能評価型設計法は各種の限界状態に対して建物に求められる性能を明確にしたうえで、その性能が満足されるように架構および部材の設計を行う手法である。先述したように、PC構造はひび割れやたわみ、残留変形などの積極的な制御を特徴としており、性能規定化や損傷制御という近年の社会ニーズに的確に応えることのできる構造システムであるため、今後さらにその活用拡大がおおいに期待されている。

4. PC性能指針案の概要

前章では、PC性能指針案の歴史的背景および性能設計の意義について述べた。本章では、同指針案の具体的な内容を概観するとともに、各パートにおいて、PC性能指針案を特徴づける重要な項目を取り上げて、その概要を示す。

4.1 PC材料施工指針案

PC材料施工指針案では、部材の性能評価を行ううえで重要となる、使用材料の荷重-変形関係を強く意識した解説をおこなうとともに、躯体に求められる品質を材料的な観点から定義し、同品質を施工時に確保するための管理方法が示されている。PC材料施工指針案は、3つの編から構成されている。図-1は、同指針案の章立てを示したもので、I編では構造体と部材について、主として材料施工面からの要求性能が規定されている。

続くII編では、使用する材料の品質およびその確認方法が示されている。とくに、近年の関心事である塩化物イオン量の考え方については紙面を割いて詳細な記述を行うとともに、同イオン量許容値の目安についての提案がなされている。さらに、PC構造における緊張力の品質確保上、重要であるPC鋼材のリラクセーション特性については、各種の要因がリラクセーションに与える影響を詳しく解説するとともに製造や施工上の留意点が述べられている。

III編では、近年その使用が増えているプレキャスト工法について、部材製造から施工までに渡る一連の流れと、それらの詳細が解説されている。PC建築物各部材の応力は、施工順序によって大きく変わることがあるため、構造設計

と施工計画とを分離して考えることは危険であり、相互の関連を考慮しながら検討を進める必要がある。すなわち、構造設計者は、PC構造の設計を実施するうえで、材料特性や施工方法を十分に理解しておく必要がある³⁾。本パートは、構造設計者が、材料や施工を理解するためのよきバイブルになるばかりでなく、PC構造の初学者にとってもよい教科書といえる。これら構造設計上とくに注意が必要な事項は、“III編1章1.8節 プレストレストコンクリート造特有の注意すべき事項”としてまとめられている。

I 編 総 則
1 章 総 則
2 章 構造体および部材の要求性能
2.1 節 総 則
2.2 節 耐 久 性
2.3 節 耐 火 性
(中略)
2.9 節 施工時における地震に対する安全性
II 編 材 料
1 章 材料の品質
2 章 品質の確認
III 編 施 工
1 章 場所打ちPC造の施工
1.1 節 総 則
1.2 節 施工計画
(中略)
1.8 節 PC造特有の注意すべき事項
2 章 プレキャストプレストレストコンクリート造の施工
2.1 節 総 則
2.2 節 施工計画
2.3 節 プレキャスト部材の製造
2.4 節 プレキャスト部材の出荷
2.5 節 プレキャスト部材の組み立て
3 章 現場での品質管理および試験・検査
3.1 節 総 則
3.2 節 品質管理
付録 1 緊張材の強度に関する特性値の分布範囲
付録 2 疲労特性の調査結果の例
付録 3 PC鋼材の高温時の強度について
付録 4 PC鋼材の低温時の強度について
付録 5 施工方法
付 5.1 節 施工方法の分類
付 5.2 節 場所打ちプレストレストコンクリート造
付 5.3 節 プレキャストプレストレストコンクリート造
付録 6 定着部試験方法など

図 - 1 PC材料・施工指針案の目次 (抜粋)

4.2 PC常時設計指針案

PC構造の特筆すべき特徴は、部材断面に導入されるプレストレスによって、積極的にひび割れ幅やたわみの制御を行うことで、大スパンへの適用を可能にするとともに、使用性や耐久性に富んだ構造システムを提供できることである。よって、PC構造にとっての常時設計は非常に重要であることから、常時荷重時の設計法を独立させて記述している。ここで、常時荷重とは建物が常時受けている荷重のことで、固定荷重、積載荷重、風荷重、多雪地域での積雪荷重が含まれている。同指針案は、その目次を図-2に示すように、全18章で構成されている。

まず、1章では、従来とは異なる、新しいPC構造の分類法が提示されている。PC構造にとって、ひび割れの有

無は、剛性、たわみ、耐久性などに大きく影響し、ひび割れの有無によってこれらの評価方法も異なる。そこで、ひび割れの発生を許容するか、しないかでFPCとPRCの二つに分類した。このように分類することで、それぞれの種別に対して必要な検討評価手順を明瞭に区分して示すことができるようになった。

4章および5章では、材料ならびに材料応力制限に関する規定が示されている。従来と大きく異なる点としては、使用できるコンクリート圧縮強度の上限を100 N/mm²にまで拡張したことで、これまでよりもスレンダーで軽快な部材の設計が可能となっている。

9章では、断面設計やひび割れ幅算定についての新しい手法が示されている。前者は、プレストレス力 P をRC柱の軸力 N と読み替えて、既存のRC柱断面の $M-N$ 相関関係を準用した、 $M-P$ 相関関係を用いるFPC～PRC梁断面の統一的長期曲げ設計法である。後者は、中・大型PC梁の実験結果に基づいて導かれたもので、従来のひび割れ幅算定手法との比較も行われている。さらに、たわみの算定に関しても、RC造からPC造までを統一的に取り扱うことができ、ひび割れ、クリープ、乾燥収縮、端部からの鉄筋抜け出しを考慮した新しい手法が提案されている。

1章	総則
2章	構造性能の設定
3章	構造性能の検証方針
3.1節	限界状態の規定
3.2節	限界状態に対する検証方針
4章	材料の定数
5章	応力の制限
5.1節	コンクリート
5.2節	鋼材
6章	緊張材の引張り
7章	架構解析
8章	荷重の組合せ
9章	曲げモーメントと軸方向力に対する検証
10章	せん断力に対する検証
11章	引張材の検討
12章	座屈に対する検証
13章	柱梁接合部の設計
14章	部材接合部の検証
14.2節	せん断摩擦鉄筋がある合成部材の接合部の検証
14.3節	せん断摩擦鉄筋がある合成部材の検証方法
14.4節	ブラケットの検証
15章	局部応力の検証
15.1節	定着部の検証
15.2節	定着部以外の局部応力の検証
16章	アンボンドPC部材の検証
17章	梁の開口部の設計
18章	構造細則
付1	FPC～PRC梁断面の統一的長期曲げ設計法
付2	PRC部材の曲げひび割れ幅算定法
付3	荷重釣合い法による設計
付4	長期たわみ設計例

図 - 2 PC 常時設計指針案の目次 (抜粋)

4.3 PC 耐震設計指針案

PC耐震設計指針案は6つの章と設計例によって構成されている(図-3)。1章では、設計方針が述べられると

ともに図-4に示す設計フローが示されている。本指針案では、性能評価型の設計とするために、従来のPC規準で採用されていた終局強度設計法ではなく、建物の動的特性を考慮して得られる応答値を用いて設計を行うことが特徴となっている。この応答値算出には、前出の限界耐力計算(等価1自由度系による応答計算)によってもよいし、多質点系モデルや、可能であれば立体フルモデルによる動的解析を用いてもよい。次いで、このようにして得られた応答値を用いて建物各々が、設計で設定する使用限界や修復限界といった各種の限界状態を満足しているかどうかの検証を行う。本指針案で提案されている設計法は、豊富な設計例によって、その運用方法を詳しく知ることができる。

1章	総則
2章	材料
3章	設計方針と構造計画
3.1節	設計方針
3.2節	構造計画の原則
3.3節	柱および梁の計画
3.4節	耐震壁の計画
3.5節	基礎と地下階
3.6節	非構造部材
4章	応答値算定法
4.1節	応答値算定法の原則
4.2節	地震荷重
4.3節	構造物の静的非線形解析
4.4節	等価1自由度系による応答値の算定
5章	性能評価
5.1節	評価の原則
5.2節	性能評価項目(使用限界状態、修復限界状態、安全限界状態)
5.3節	層、建物全体および部材の耐震性能評価
6章	部材の耐震性能の評価と各部材性能評価法
6.1節	柱・梁部材の曲げ性状に関わる性能
6.2節	柱部材の曲げ性状
6.3節	柱および梁部材のせん断性状に関わる性能
6.4節	柱梁接合部のせん断性状に関わる性能
6.5節	アンボンド部材
6.6節	耐震壁
付6A	曲げ部材に対する性能評価の例
付録1	地震応答解析法
付録2	設計・評価例
付2.1	設計例1 14階建PCaPC建築物
付2.2	設計例2 14階建PCaPC建築物の制振化・免震化

図 - 3 耐震設計指針案の目次 (抜粋)

4.4 PC 部材構造性能評価指針案

PC部材構造性能評価指針案は、PC部材の構造性能評価を行うことを目的とし6つの章で構成されている。図-5に同指針案目次の抜粋を示す。2章では構造性能評価に必要な材料特性が示されている。とくに、PC鋼材の強度特性に関しては、広範な統計データを用いて信頼強度と上限強度を定めており、さらにPC部材の構造性能に影響をおよぼすPC鋼材付着に関する最新の知見も示されている。

3章では、柱および梁部材の終局曲げ強度やそのときの変形を比較的精緻に評価することができる新しい推定式を提案するとともに、前述の動的応答計算に必要な部材の復元力特性の規定や、限界耐力計算で必要となる部材の

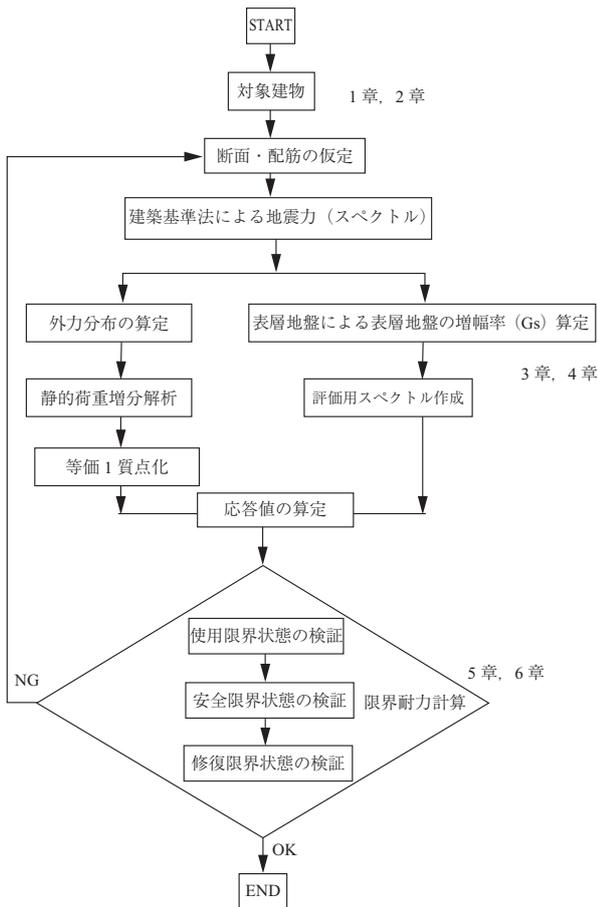


図 - 4 耐震設計のフロー

等価粘性減衰定数に関する最新の知見に加えて、梁部材の残留変形および残留ひび割れ幅に関する定量的な評価手法が示されている。

4章ではPC部材の各種せん断強度についての評価手法が示されており、これらの推定精度を既往の実験結果によって検証している。さらに、曲げ降伏後のせん断終局時変形性能の評価や、PC圧着接合面目地部の性能評価手法についても最新の知見が示されている。

5章では、これまで議論されることが少なかったPC部材柱梁接合部についての性能評価手法が示されている。PC梁部材は、プレストレスによって、コンクリート断面の圧縮領域が大きくなる傾向がある。とくに、この圧縮領域が梁せいの1/2を超えると、接合部パネルの中央部に水平に圧縮力の流れる応力場が形成されるため、接合部入力せん断力の算定には特別の注意が必要になることなどが詳しく解説されるとともに、同接合部の各種強度ならびに変形の推定手法が示されている。

6章では、PC曲げ部材ならびに接合部の各種限界状態における、断面構成材料閾値の目安が示されている。PC部材はプレストレス率 λ によって、その性状が大きく異なるため上記の閾値についても λ に応じた値を設定している。たとえば、使用限界状態（いわゆる短期）でのコンクリート圧縮応力限界値は、 λ が1～0.75の場合に $0.9F_c$

1章 総則
2章 材料の基本特性
2.1節 コンクリート
2.2節 PCグラウトおよび目地モルタル
2.3節 鋼材
2.4節 PC鋼材の付着
3章 曲げと軸力を受ける部材
3.1節 適用範囲
3.2節 梁部材の復元力特性
3.3節 梁部材の残留変形角および残留ひび割れ幅算定
3.4節 梁部材の等価粘性減衰定数
3.5節 梁部材の復元力特性モデル
3.6節 柱部材の復元力特性
4章 せん断および圧着に関する性能
4.1節 適用範囲
4.2節 せん断ひび割れ強度
4.3節 せん断終局強度
4.4節 曲げ降伏後のせん断終局時変形性能の評価
4.5節 有孔梁のせん断終局強度
4.6節 圧着接合部
5章 柱梁接合部パネル
5.1節 適用範囲
5.2節 入力せん断力
5.3節 せん断ひび割れ強度
5.4節 せん断終局強度
5.5節 梁降伏後の柱梁接合部せん断終局時の骨組の変形性能の評価
5.6節 横補強筋の役割と必要量
5.7節 PC鋼材および普通鉄筋の付着性状
5.8節 柱梁接合部の復元力特性
5.9節 せん断ひび割れ幅と柱梁接合部パネルの損傷状況
6章 各種限界状態
6.1節 柱・梁部材の各種限界状態
6.2節 柱梁接合部パネルの各種限界状態

図 - 5 部材性能評価指針案の目次（抜粋）

としているなどと、新しい規範の導入を試みている。

5. おわりに

PC性能指針案は十数年の歳月をかけてようやく発刊される運びとなった。本性能指針案が契機となって、建築物へのPC活用が大いに進展することを期待したい。

謝辞

本解説を執筆するに当たりご協力をいただいたAIJ・PC構造運営委員会の日建設計・深井 悟主査、PC規準指針小委員会の京都大学教授・西山峰広主査、ならびに指針案の執筆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「プレストレスコンクリートの設計法について考える」、2013年度日本建築学会大会パネルディスカッション資料、2013年8月、pp.1～6
- 2) 上記1)の資料の、pp.18～23
- 3) 日本建築学会「プレストレスコンクリート建築物性能設計・施工指針（案）制定に向けて」、2011年度日本建築学会大会パネルディスカッション資料、2011年8月、pp.1～14

【2014年4月30日受付】