

# 日本建築学会「プレストレストコンクリート造建築物の保有水平耐力計算指針（案）・同解説」の発刊について

谷 昌典\*

日本建築学会では2020年1月に「プレストレストコンクリート造建築物の保有水平耐力計算指針（案）・同解説」を発刊した。本指針案では、一次設計で中地震時の地震力に対して使用限界応力度を用いた損傷制御設計を行うとともに、二次設計で大地震時の安全性確保のために建築物の崩壊形に基づく保有水平耐力の確認を行う。既往のPC梁および柱部材を対象とした実験データを収集し、構築した実験データベースに基づいて現行の部材種別の判定基準の妥当性を示した。

キーワード：保有水平耐力，崩壊形，部材種別，使用限界

## 1. はじめに

日本におけるPC造建築物の構造設計では、1960年の建設省告示第223号および1961年の日本建築学会「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）<sup>1)</sup>の制定以降、荷重係数を用いた終局強度設計が行われてきた。1981年の改正建築基準法施行令の施行により二次設計が導入され、近年では、多くのPC造建築物において、一次設計を終局強度設計、二次設計を保有水平耐力計算で行うルート3bによる構造設計が行われている。日本建築センター「プレストレストコンクリート造設計施工指針1983年版」（以下、PC設計施工指針）<sup>2)</sup>では、構造特性係数 $D_s$ の判定基準となるPC部材の部材種別の判定基準も含めた保有水平耐力の計算方法が示された。その後、「2009年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例」（以下、PC技術基準解説）<sup>3)</sup>では、 $D_s$ 算定用の部材種別の判定基準を、それまでの曲げじん性に基づく指標である限界鋼材係数 $q_{cr}$ による基準から、曲げじん性だけでなくせん断応力や付着に基づく基準の必要性やRC部材との連続性も考慮して、RC部材の基準に準じたものに変更された。しかし、PC部材にRC部材の部材種別の判定基準を準用することの妥当性の検証が示されていないことや、地震時における許容応力度設計が行われていない点が、中地震に対する損傷制御の確認を行うRC造建築物の一次設計と整合しないことなど、現状のルート3bによる構造設計に関する課題が残されていた。

そこで、日本建築学会プレストレストコンクリート構造運営委員会では、傘下のPC耐震設計小委員会およびPC

部材構造性能小委員会を中心に、これらの課題について検討を行い、2020年1月に「プレストレストコンクリート造建築物の保有水平耐力計算指針（案）・同解説」（以下、本指針案）を発刊した。本指針案では、2016年に発刊された日本建築学会「鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説」（以下、RC保有耐力規準）<sup>4)</sup>と同様に、PC造建築物の構造設計では位置付けが曖昧となっている一次設計において損傷制御設計を行うとともに、二次設計では崩壊形に基づく4つの設計ルートと崩壊形の形成を保証する設計を行うこととする。併せて、既往の実験データを収集して構築したデータベースに基づき、現行のPC部材の部材種別判定基準の妥当性を検討した。

## 2. 全体構成および各章の概要

### 2.1 全体構成

本指針案は、全7章と付録の設計例2件から構成される。各章のタイトルと原案執筆担当を以下に示す。

1章：総則（丸田 誠）、2章：目標性能（深井 悟）、3章：材料および材料強度（傳 金華）、4章：一次設計（河本慎一郎）、5章：保有水平耐力の確認（馬上 恵）、6章：構造解析（二村有則）、7章：部材の剛性・耐力と変形性能（PC部材構造性能小委員会）、設計例1：プレキャストプレストレストコンクリート（PCaPC）造14階建事務所（佐藤 高）、設計例2：場所打ちプレストレスト鉄筋コンクリート造4階建事務所（山口 祥）

### 2.2 1章 総則

1章には本指針案の適用範囲および用語が示されている。本指針案は、PC造建築物を対象に、中地震動に対する損傷制御性の確認を使用限界応力度で行い、大地震動に対する建築物の安全性を保有水平耐力計算により確認することに用いるもので、一次設計に関する内容も含む。具体的には、図-1に示す設計フローに従い、仮定断面を設定した建築物に対して静的増分解析を行い、一次設計で各部材の応力が使用限界応力度以下となることを確認したのち、二次設計で崩壊形に基づいて算定した保有水平耐力が必要保有水平耐力以上となることを確認して、設計が完了する。

保有水平耐力算定時の適用ルートは、RC保有耐力規準



\* Masanori TANI

京都大学大学院  
工学研究科 准教授

に倣い、崩壊形と構造特性係数に応じた A ルート～D ルートの4つが設定されている(図-2, 3)。所定の条件を満足する全体崩壊形または部分崩壊形の建築物を適用範囲とし、落階を生じる危険性のある局部崩壊形は適用外である。各適用ルートの詳細および想定する崩壊形を確定させるための保証設計の詳細は5章に示されている。

本指針案の適用範囲は、高さ60m以下のPC建築物で、プレキャスト部材を圧着したPCaPC架構、RC構造の一部にPC部材を有する架構や、アンボンドPC鋼材やプレグラウトPC鋼材を用いた場合も含まれる。また、本指針案は、整形なフレーム構造への適用を前提としており、基本的には梁曲げ降伏による全体崩壊形を推奨している。

そのほか、PCaPC造建築物への適用、低層建築物の保有水平耐力、高層建築物の時刻歴応答解析、部分崩壊形の保有水平耐力、ピロティ構造の取扱い、部材種別判定、柱梁接合部に関する規定について、留意事項が示されている。

2.3 2章 目標性能

2章には耐震性能の目標および構造計算の基本事項が示されている。

本指針案では、耐震性能の目標を中地震、大地震の2つのレベルに対して設定する。中地震に対しては、構造体が損傷しないことを最低レベルとして設定し、具体的には、中地震時に建築物の各部材に生じる力が使用限界耐力以下であることを確認する。大地震に対しては、建築物の安全性の確保を最低レベルとして設定し、具体的には各階の保有水平耐力が必要保有水平耐力以上であることを確認する。これらの具体的な検討方法は、それぞれ4章および5章に詳述されている。また、地震力の設定方法や剛性分布の評価などの構造計算に関する基本事項が示されている。

2.4 3章 材料および材料強度

3章には、コンクリート、PC鋼材、鉄筋などの種類や品質、材料定数、材料強度に関する規定がまとめられている。

本指針案では、コンクリートの種類、品質および使用材料はPC規準とJASS5<sup>5)</sup>によることを原則としている。併せて、目地、PCグラウトの品質および強度についても記載している。PC鋼線、異形PC鋼線およびPC鋼より線は、原則としてJIS G 3536、PC鋼棒はJIS G 3109を満足するもの、またはこれらと同等以上の性能をもつものを用いることとしているが、異形PC鋼棒は適用外である。アンボンドPC鋼材およびプレグラウトPC鋼材は使用可能であり、それぞれ前述のJISを満足するPC鋼材を使用することとしている。普通強度鉄筋はJIS G 3112を満足するもの、またはこれらと同等以上の性能をもつものを用いることとしているが、異形鉄筋では呼び名D41以下、丸鋼では径19mm以下としている。また、SD490を超える高強度鉄筋については、国土交通大臣認定を取得したものを用いてもよいこととしている。

PC鋼材のヤング係数はPC規準に、鉄筋およびコンクリートのヤング係数は日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(以下、RC規準)<sup>6)</sup>にそれぞれ倣うとしている。コンクリート設計基準強度 $F_c$ は、PC規準に基づき、コンクリートの引張りひび割れを許容しない場合は、プレテンション方式の場合で35 N/mm<sup>2</sup>以上、ポストテンション方式の場合で30 N/mm<sup>2</sup>以上とし、引張りひび割れを許容する場合は、日本建築学会「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」(以下、PRC指針)<sup>7)</sup>に基づき、プレテンションの場合で35 N/mm<sup>2</sup>以上、ポストテンション方式の場合で24 N/mm<sup>2</sup>以上とし

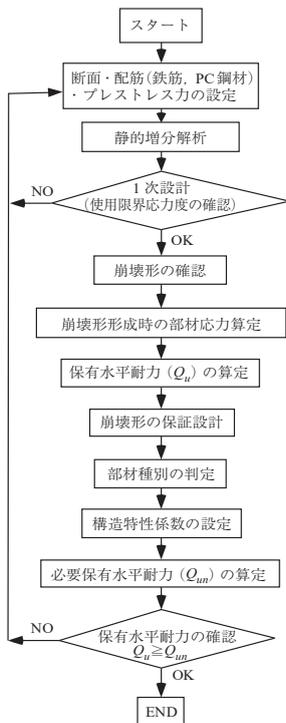


図-1 設計フロー

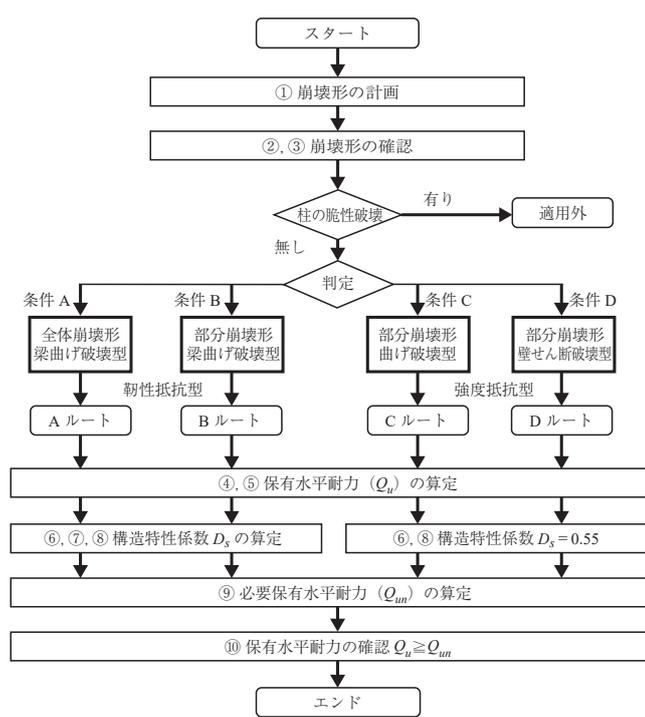


図-2 適用ルート

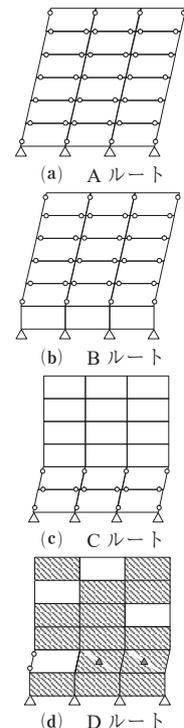


図-3 想定する崩壊形

ている。一次設計で用いる使用限界応力度は、コンクリートについては日本建築学会「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」（以下、PC性能評価指針<sup>8)</sup>）の使用限界状態に相当するプレストレス率 $\lambda$ の関数として表される値（表-1）、PC鋼材および鉄筋については、それぞれ $0.9\sigma_{py}$ および $\sigma_y$ （ $\sigma_{py}$ 、 $\sigma_y$ ：PC鋼材および鉄筋の規格降伏強度）としている。

2.5 4章 一次設計

4章には、一次設計における長期および短期に生じる力に対する設計方法が示されている。

常時に生じる長期の力および、地震時に生じる短期の力はそれぞれ $G+P+X+ [0.7S]$  および  $G+P+X+K+ [0.35S]$ （ $G, P, X, K, S$ はそれぞれ固定荷重、積載荷重、プレストレス力、地震荷重、積雪荷重（多雪区域においてのみ考慮）によって生じる力）により求めることとしている。短期については、RC規準の中地震時に対する損傷制御のための短期設計用せん断力と同様に、地震荷重 $K$ の荷重係数は1.0である。

長期荷重とプレストレス力を組み合わせた長期に生じる断面力に対しては、プレストレス導入時から常時荷重載荷後に至る各段階の断面力の組合せに対して、断面縁応力度が材料の長期許容応力度を超えないように断面寸法、導入緊張力およびPC鋼材の配置を決定することとし、その詳細はPC規準およびPRC指針による。

短期に生じる曲げモーメントに対しては、部材のコンクリート、PC鋼材および鉄筋の応力度は使用限界応力度以下とする。部材の使用限界曲げモーメントは、材料の線形弾性およびひずみの平面保持を仮定し、コンクリート、PC鋼材、鉄筋それぞれの使用限界応力度から決まる使用限界曲げモーメントのうち、最小の値とする。ただし、曲げ解析等の精算解により算出される使用限界曲げモーメントを使用してもよい。解説には、材料の線形弾性を仮定した2つの方法と、材料の非線形にも対応した詳細法の3つの使用限界曲げモーメントの算出方法が詳述されている。

短期に生じるせん断力に対しては、RC規準の短期許容せん断耐力 $Q_{AS}$ と、主応力度に基づくせん断ひび割れ耐力 $V_c$ の大きい方の値を部材の使用限界せん断耐力とし、これが短期設計用せん断力以上となることを確認する。

2.6 5章 保有水平耐力の確認

5章では、本指針で適用範囲とする建築物の崩壊形、必要保有水平耐力および保有水平耐力の算定方法、保証設計の方法についてまとめている。

前述のとおり、本指針案では、RC保有耐力規準に倣い、次に示すAルート～Dルートの4つの適用ルートを設定している。Aルートは、原則として、梁曲げ降伏型などの全体崩壊形（図-3(a)）や連層耐震壁の壁脚が曲げ降伏して生じる全体崩壊形に適用できる。全体崩壊形において塑性ヒンジを許容する部位は、原則、各階の梁端部、最下階の柱脚、最上階の柱頭、連層耐震壁の脚部とし、引張軸力を受ける柱やせん断耐力に十分余裕のある連層耐震壁を有する架構の柱などにも条件付きで塑性ヒンジを許容している。Bルートは全体崩壊形と同等とみなしうる部分崩壊形

（図-3(b)）に適用でき、非崩壊層の数が全層数の1/3以下、かつ崩壊層の大半の部分が崩壊して部分崩壊率が十分に高いことが条件となる。一部の層が未崩壊層のままである全体崩壊形や、一部の層が非崩壊層となる部分崩壊形も、大半の層が梁曲げ降伏型などの崩壊形になっている場合は、全体崩壊形とはほぼ同様とみなして適用範囲とする。崩壊層と非崩壊層の境界にある耐震壁や剛強な梁に接続された柱の端部の降伏も許容している。Cルートは、図-3(c)のように一部の複数層で梁端部や柱頭・柱脚が曲げ降伏して崩壊する部分崩壊形に適用できる。本ルートでは、全層において法令で定める $D_s$ の最大値の0.55以上の値を用いて必要保有水平耐力を算出し、それを上回る保有水平耐力を確保する必要がある。ただし、崩壊層が1層のみとなるピロティ形式は適用範囲外である。Dルートは図-3(d)に示す耐震壁がせん断破壊して層崩壊する部分崩壊形に適用でき、Cルート同様、全層で $D_s \geq 0.55$ の値を用いて算出した必要保有水平耐力を上回る保有水平耐力を確保する必要がある。増分解析において最初に耐震壁にせん断破壊が生じた時点の層せん断力を保有水平耐力とし、柱のせん断破壊が先行する局部崩壊形は適用範囲外としている。

各階、各方向の必要保有水平耐力 $Q_{um}$ は、RC保有耐力規準と同様に、構造特性係数 $D_s$ 、形状係数 $F_{es}$ 、地震力によって各階に生ずる水平力 $Q_{ud}$ の積として求める。なお、 $D_s$ はRC保有耐力規準に準じて算定することとする。また、 $D_s$ の判定に用いる部材種別は、PC造の梁部材および柱部材についてはPC技術基準解説に示される表-2に基づいて判定することとし、PC造の耐震壁部材についてはRC保有耐力規準に倣うこととしている。なお、表-2に示す判定基準については、既往の実験データに基づき、変形性能と判定指標の関係について検討を行い、現行の判定基準で問題

表-1 使用限界応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

プレストレス率 $\lambda$	使用限界応力度： $c\sigma_a$
$\lambda \leq 0.5$	$2F_c/3$
$0.5 < \lambda < 0.75$	$(14/15\lambda + 0.2)F_c$
$0.75 \leq \lambda \leq 1.00$	$0.9F_c$

[注]  $\lambda = M_{PC} / (M_{PC} + M_{RC})$ 、 $M_{PC}$ ：PC鋼材による曲げ終局耐力、 $M_{RC}$ ：鉄筋による曲げ終局耐力

表-2 PC造部材の部材種別

条件	部材種別			
	FA	FB	FC	FD
破壊の形式	せん断破壊、付着割裂破壊および圧縮破壊その他の構造耐力上支障のある急激な耐力低下のおそれのある破壊を生じないこと			
柱	$h_0/D$	2.5以上	2.0以上	-
	$\sigma_0/F_c$	0.35以下	0.45以下	0.55以下
	$p_t$ (%)	0.8以下	1.0以下	-
	$\tau_u/F_c$	0.1以下	0.125以下	0.15以下
はり	$\tau_u/F_c$	0.15以下	0.2以下	-

[注]  $h_0$ ：柱内法高さ (mm)、 $D$ ：柱せい (mm)、 $\sigma_0$ ：柱断面に生ずる軸方向応力 (有効プレストレス力も考慮) (N/mm<sup>2</sup>)、 $p_t$ ：引張鉄筋比 (%)、 $F_c$ ：コンクリート設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $\tau_u$ ：柱またははりの断面に生ずるせん断応力 (N/mm<sup>2</sup>) (応力中心間距離は0.8Dとしてよい)、各記号の詳細な定義は本指針案を参照のこと。

無いことを確認しており、その詳細は7章に示されている。

保有水平耐力  $Q_u$  は、崩壊形形成時における各階の柱や壁などの鉛直部材が負担するせん断力の和として算定し、これが必要保有水平耐力  $Q_{min}$  以上となることを確認する。なお、本指針案では、構造耐力上主要な梁、柱、耐震壁および柱梁接合部には脆性破壊を生じさせないことを原則とするが、脆性破壊を生じる部材を含む場合は、原則として部材の脆性破壊が初めて生じた時点での層せん断力を保有水平耐力とする。ただし、脆性破壊した部材の鉛直支持能力が喪失されない場合は、脆性破壊した部材を無視して増分解析を行い、保有水平耐力を算定することを認めている。

本指針案で求められている保証設計は、架構のじん性確保のための保証設計（部材の脆性破壊の防止、梁曲げ降伏型崩壊形形成の確認、および圧着接合部の保証設計）、非崩壊層の保有水平耐力の確認、柱梁接合部破壊に対するせん断余裕度の確認、および層崩壊する架構の脆性的落階に対する安全余裕度の確認である。

部材の脆性破壊の防止のための保証設計では、部材のせん断終局耐力が表-3に示す設計用せん断力以上となることを確認する。なお、 $Q_M$ の割増係数はRC構造とは異なる点に注意する。また、後者は、崩壊形形成時の軸力に対して、塑性ヒンジ許容位置での軸耐力が確保されていることを、PC鋼材や有効プレストレス力を考慮した式(1)によって確認する。

$$-(A_g \sigma_y + A_{pg} \sigma_{py}) \leq N_c + P_e \leq 0.67 A_c F_c \quad (1)$$

ここで、 $N_c$ ：崩壊形形成時の軸力（圧縮正）、 $P_e$ ：有効プレストレス力、 $A_c$ ：柱の断面積、 $A_g$ ：柱断面内の引張に有効な主筋の断面積、 $A_{pg}$ ：柱断面内の引張に有効なPC鋼材の断面積、 $F_c$ ：コンクリートの設計基準強度、 $\sigma_y$ ：柱主筋の規格降伏点強度、 $\sigma_{py}$ ：PC鋼材の規格降伏点強度である。

表-3 部材じん性確保のための設計用せん断力

部材	部材の両端にヒンジが生じる状態	左欄に掲げる状態以外の状態
はり	$Q_{Su} \geq Q_G + Q_P + (0.35 Q_S) + 1.3 Q_M$	$Q_{Su} \geq Q_G + Q_P + (0.35 Q_S) + 1.4 Q_M$
柱	$Q_{Su} \geq 1.3 Q_M$	$Q_{Su} \geq 1.4 Q_M$
耐震壁	-	$Q_{Su} \geq 1.4 Q_M$

[注]  $Q_M$ ：地震力によって生じるせん断力（崩壊形形成時のせん断力）、 $Q_{Su}$ ：PC部材のせん断耐力、 $Q_G$ 、 $Q_P$ 、 $Q_S$ ：固定荷重、積載荷重、積雪荷重によって生じるせん断力

梁曲げ降伏型崩壊形形成の確認では、全体崩壊形および部分崩壊形（A・Bルート）の梁曲げ降伏型崩壊層において、非ヒンジ柱の曲げ耐力や柱曲げ降伏時層水平耐力が、崩壊形形成時の応力や層せん断力に対してそれぞれ余裕をもって確保されていることを確認を行う。

圧着接合部の保証設計では、目地モルタルの落下防止を確保したうえで、摩擦係数  $\mu = 0.5$  として算定したせん断耐力が崩壊形形成時応力の1.1倍以上となることを確認する。

非崩壊層の保有水平耐力の確認は、部分崩壊形・梁曲げ破壊型のBルートを計画する場合に、部分崩壊形形成時に非崩壊層に作用する層せん断力に対して、非崩壊層の保

有水平耐力が余裕度をもって確保されていることを確認するものである。このときに用いる余裕度は1.4を基本とし、 $D_s = 0.55$ の必要保有水平耐力を超えない値としている。

柱梁接合部破壊に対するせん断余裕度の確認では、柱梁接合部のせん断耐力が崩壊形形成時応力の1.1倍以上となることを確認する。

層崩壊する架構の脆性的落階に対する安全余裕度の検討では、強度抵抗型のC・Dルートで、層せん断力が要求値 ( $D_s = 0.55$ ) を満足したあとや耐震壁のせん断破壊後も解析を続行し、直後に柱がせん断破壊しないことを確かめる。

## 2.7 6章 構造解析

6章では、構造解析の基本条件および解析条件、構造物のモデル化がまとめられている。

PC部材の使用比率は建築物によって異なることから、構成される部材の特徴を適切に考慮した構造解析が必要となる。構造解析に関する基本的な考え方はRC保有耐力規準と共通する部分も多く、本指針案ではPC構造に特有な項目を加えた構造解析上のポイントのみ記述しており、各事項の詳細な説明はRC保有耐力規準に委ねるとしている。

構造解析の基本条件として、解析は増分解析によることを原則とし、建築物を構成する架構の力学挙動および部材の復元力特性を適切に表現しうるモデルを用いて、「力の釣合条件と変形の適合条件」および「材料の非線形性と部材モデルにおける非線形構成則」を満足する方法で行うこととしている。とくに、後者については、PC部材特有の材料特性を適切に設定する必要があることや、プレストレスの影響によるPC部材特有の復元力特性を適切にモデル化する必要がある。

また、長期荷重に加えて、プレストレス力を構造体に与えることで発生する不静定応力を、解析では考慮することを原則としている。不静定応力は長期荷重と同時に載荷して解析を行うことが一般的である。このとき、プレストレス導入順序を含めた施工過程を考慮した検討を行い、不静定応力を適切に評価する必要がある。とくに、使用限界レベルでは初期応力の影響が大きくなるため注意が必要となる。

構造物のモデル化については、解析方法、地震力、剛床仮定、支持条件、部材モデルおよび部材の復元力特性の考え方が概説されている。基本的な考え方はRC保有耐力規準と共通する部分も多く、その詳細な説明はRC保有耐力規準に委ねられている。ただし、PC部材のモデル化に関しては、復元力特性の各特性値がプレストレスの影響によってRC部材とは異なるため、7章に従って、適切に評価する必要がある。

## 2.8 7章 部材の剛性・耐力と変形性能

7章には、部材の性能評価の原則、梁、柱および接合部の耐力や部材種別などの評価のほか、RC部材、耐震壁、地盤・基礎構造の取り扱いがまとめられている。

部材の剛性・耐力算定と変形性能評価の原則として、PC部材の耐力や剛性の算定には、コンクリート、鉄筋およびPC鋼材の非線形性を適切に考慮する必要がある。また、曲げ剛性および曲げ耐力の算定においては、鉄筋およびコンクリートに平面保持仮定を適用し、PC鋼材とコンクリ

ートとの付着すべりは、PC 鋼材のひずみ適合係数  $F$  値などを用いて適切に評価する。鉄筋の応力とひずみの関係は、圧縮および引張ともに規格降伏点強度までは線形弾性とし、材料強度に達するひずみを超える場合には、鉄筋の応力はこの強度に等しいものとする。PC 鋼材の応力とひずみの関係は、0.2% オフセット耐力までは線形弾性とし、これを超える場合は、PC 鋼材の引張力は耐力に等しいものとする。部材耐力の算定に際して地震動による変動軸力を適切に考慮すること、PC 鋼材定着部が十分な定着性能を保有していなければならないことを併せて示している。

梁部材および柱部材の復元力特性は、PC 性能評価指針に倣い、曲げひび割れ、曲げ降伏、曲げ終局耐力を折れ点とする 4 折れ線で評価する。曲げおよびせん断の初期剛性は弾性理論により算出し、曲げひび割れ耐力は、一体打ちと圧着接合の場合で異なるコンクリート曲げひび割れ強度を用いて算出する。曲げ降伏点については、耐力は曲げ終局耐力の 0.9 倍とし、割線剛性は PC 鋼材やプレストレスの影響を考慮した降伏点剛性低下率  $\alpha_y$  を用いて求める。曲げ終局耐力は、圧縮側コンクリートの応力状態をストレスブロック係数により評価し、普通鉄筋および PC 鋼材が降伏状態にあることを仮定して、断面内における力の釣合いを基に得られる評価式による。ただし、中立軸より圧縮側に位置する PC 鋼材を圧縮側 PC 鋼材と定義して、その引張力を梁の場合は有効緊張力、柱の場合は PC 鋼材深さや鋼材係数や軸力比による指標から算定される値として、それぞれ曲げ終局耐力を算定する。また、アンボンド PC 部材への対応として、曲げ終局耐力時の PC 鋼材応力増分の算定式が示されている。

せん断ひび割れ耐力は、日本建築学会「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」(以下、RC 靱性指針)<sup>9)</sup> の引張主応力度に基づく評価式により算定する。無開口の梁部材および柱部材のせん断終局耐力評価式は、PC 性能評価指針に倣い、RC 規準の短期許容せん断力の設計式に平均プレストレスの効果を考慮した評価式、PC 規準に示される塑性理論に基づいたトラス機構とアーチ機構の和として評価する評価式、RC 靱性指針に示されるヒンジ部の塑性変形に応じた耐力低下を考慮するトラス機構およびアーチ機構に基づく評価式の 3 式を採用している。なお、アンボンド PC 部材の場合はトラス機構が形成されないとし、トラス機構とアーチ機構に基づく 2 式のアーチ機構による負担せん断力のみで耐力を求めることとし、圧着工法については、使用する PC 鋼材の種類に関係無く、各式においてせん断補強筋比  $p_w$  を実際の値の半分として、それぞれ耐力を算定する。有開口梁のせん断終局耐力は、PC 性能評価指針に倣い、開口上下の圧縮弦材と引張弦材における傾斜角 45 度のトラス機構によるせん断終局強度の和とする PC 規準の式を採用している。また、円形開孔周囲に斜め筋を配置した場合のせん断終局耐力式として、RC 規準の提案式とそれにプレストレスの寄与を考慮した式、RC 靱性指針による式の 3 式のいずれかを使用してよいこととしている。

梁部材および柱部材の部材種別については、既往の実験

データを収集して構築されたデータベースに基づく検討に基づき、表 - 2 に示した PC 技術基準解説の判定基準で判定することとしている。なお、表 - 2 の判定基準は RC 部材の基準を準用したものであり、この妥当性を検証するために、1976 ~ 2015 年に国内で刊行された論文集などから抽出した、PC 梁試験体 187 体、PC 柱試験体 70 体の実験結果を対象に、変形性能と判定指標の関係について検討を行った。なお、PC 部材の履歴吸収エネルギーの性状はプレストレス力が大きくなるに従って RC 部材とは異なるものとなることから、RC 部材と同一の部材種別が与えられた場合に、PC 部材に要求される変形性能については検討の余地があるが、現状では十分な知見が無いこともあり、RC 部材の「FA と同等の変形性能を有する部材」の目安とされている限界変形角 2.5% (梁部材)、2.0% (柱部材)<sup>4)</sup> を基準とした。図 - 4、5 に実験で得られた梁部材および柱部材の限界変形角  $R_u$  とせん断余裕度  $Q_{su}/Q_{mu}$  の関係を、図 - 6 に梁部材の限界変形角  $R_u$  とせん断応力度比  $\tau_u/\sigma_B$  の関係を、図 - 7 に柱部材の限界変形角  $R_u$  とプレストレスレベルと軸力比の和  $\eta_p + \eta_N$  の関係をそれぞれ示す。梁部材では、せん断余裕度の増加に伴って、限界変形角の下限値が増加する傾向が見られたが、梁部材すべての試験体がせん断破壊防止に対する保証設計 ( $Q_{su}/Q_{mu} \geq 1.3$ ) によって FA 部材または FD 部材と判定され、せん断応力度比によって FB 部材、FC 部材と判定された試験体は存在しなかった。鋼材係数  $q_{pr}$  が 0.4 を上回る試験体やせん断補強筋比が 0.3% を下回る一部の試験体を除き、大半の試験体で限界変形角 2.5% を上回った。柱部材では、せん断余裕度の減少およびプレストレスレベルと軸力比の和の増加に伴って、限界変形角が徐々に減少する傾向が見られ、一部のプレストレスレベルと軸力比の和が大きな試験体やせん断補強筋比が小さい試験体を除いて、大半の試験体で限界変形角 2.0% を上回った。以上より、表 - 2 による PC 梁部材および柱部材の FA 部材の大半が、RC の「部材種別 FA と同等の変形性能を有する部材」の下限以上の変形性能を有することが示されたことから、本指針案でも表 - 2 によって部材種別判定を行うこととした。なお、RC 保有耐力規準に示される、せん断補強指標等による部材種別の格上げは、検証に用いる実験データが十分ではないことから、本指針案では採用を見送ることとした。ただし、今後の検討によっては、判定基準を修正する可能性も残されていることに注意されたい。

柱梁接合部の部材種別については、建築物の崩壊形形成時に柱梁接合部がせん断破壊を生じる場合に、柱梁接合部に接続する柱および梁の部材種別を FD とする。また、柱梁接合部のせん断破壊防止の保証設計に用いるせん断終局耐力  $V_{ju}$  は、PC 性能評価指針に示される RC 柱梁接合部の耐力式を準用した評価式により算定する。そのほか、PC 鋼材をアンボンドとした場合のシースなどによる体積欠損、水平二方向入力、PC 鋼材の付着や定着具の設置位置がせん断終局耐力に及ぼす影響についても概説している。なお、RC 保有耐力規準で取り上げられた接合部曲げ降伏破壊に対する設計については、PC では知見が少なく、柱梁曲げ耐

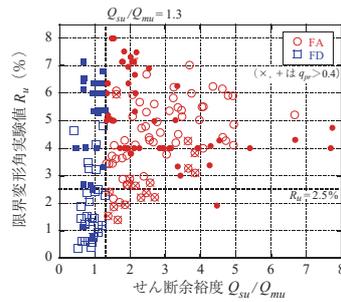


図 - 4 梁部材の  $R_u - Q_{su}/Q_{mu}$  関係

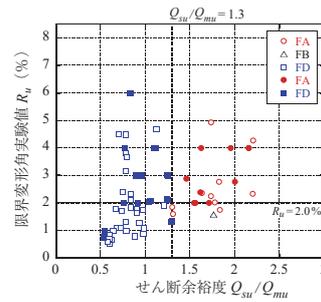


図 - 5 柱部材の  $R_u - Q_{su}/Q_{mu}$  関係

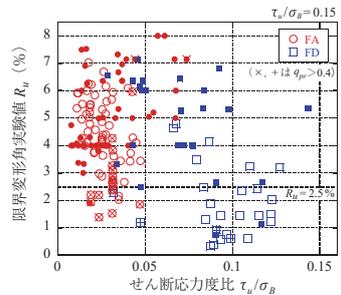


図 - 6 梁部材の  $R_u - \tau_u/\sigma_B$  関係

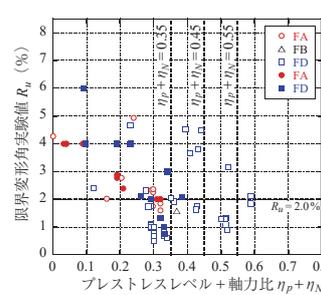


図 - 7 柱部材の  $R_u - \eta_p + \eta_N$  関係

力比との関係についても研究途上であるため、本指針案では柱梁接合部の曲げ降伏耐力を評価するには至らなかった。

耐震壁を含む RC 部材および RC 造の基礎構造部材については、それぞれ RC 保有耐力規準および日本建築学会「鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説」<sup>10)</sup>に基づいて設計することとしている。PC 造の耐震壁や基礎梁については、現状では研究事例が少なく、本指針案では具体的な設計法を提示するには至らなかった。

### 2.9 付録（設計例）

付録には PCaPC 造 14 階建事務所（設計例 1）と場所打ち PRC 造 4 階建事務所（設計例 2）の設計例 2 例を示している。

設計例 1 は、柱および梁を PCaPC 造とした純ラーメン構造で、高さ 57.7 m、桁行方向 6 m × 5 スパン、梁間方向 14 m × 2 スパンの整形な建築物である。設計例 2 は、梁間方向の梁が PRC 造、桁行方向の梁およびすべての柱が RC 造の純ラーメン構造で、高さ 16.7 m、桁行方向 6 m × 4 スパン、梁間方向 12 m × 2 スパンの整形な建築物である。

いずれの設計例も、長期荷重およびプレストレスによる不静定応力を作用させた後、増分解析を行っている。一次設計として、中地震により建築物の各部に生じる力が使用限界耐力以下であることを確認することで、中地震に対して構造体が損傷しないことを検証し、二次設計として、A ルートの梁曲げ降伏型の全体崩壊形を考慮した  $D_s (=0.3)$  を用いて、保有水平耐力が必要保有水平耐力以上となることを確認した。また、部材の脆性破壊防止および層崩壊防止のための保証設計により、建築物の崩壊形を保証し、十分な変形性能を有することを確認した。

## 3. おわりに

本指針案は、PC 建築物の保有水平耐力計算に関する最新の知見を集約しており、実務設計において活用していただければ幸いである。ただし、RC 構造に比べて実験データが圧倒的に少なく、RC 保有耐力規準で新たに取上げ

られた部材種別の格上げや接合部曲げ降伏の概念など、本指針案では採用できなかった課題が残されている。また、依然としてアンボンド PC 部材に関する知見も不足している。著者が主査を務める PC 耐震設計小委員会およびアンボンド PC 部材性能 WG をはじめ、各小委員会および WG で更なる検討を行い、その成果を次回の改定に反映していきたいと考えている。

## 謝 辞

本指針案は、日本建築学会・プレストレストコンクリート構造運営委員会、PC 耐震設計小委員会、PC 部材構造性能小委員会の委員の皆様のご尽力により刊行されました。本解説記事の執筆にあたり、丸田 誠・静岡理工科大教授（前プレストレストコンクリート構造運営委員会主査）、島崎和司・神奈川大教授（前 PC 耐震設計小委員会主査）をはじめ、関係者各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、1998
- 2) 日本建築センター：プレストレストコンクリート造設計施工指針、1983 年版、1983
- 3) 国土技術政策総合研究所、建築研究所監修：2009 年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例、2009
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説、2016
- 5) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018、2018
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018
- 7) 日本建築学会：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、2003
- 8) 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、2015
- 9) 日本建築学会：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、1999
- 10) 日本建築学会：鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針（案）・同解説、2017

【2020 年 4 月 30 日受付】