

プレストレストコンクリート建築物に関する告示 1320号改正にまつわる問題点

西山 峰広*

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下 PC と略記）に携わる技術者としては、世間一般で PC がどのように受け止められているのかということも多少は気になるものであろう。業界紙ではない一般新聞紙上に「プレストレストコンクリート」の文字を見かけることがあるが、そこには PC とは何か？という解説が通常付記される。短いものでは、「強化コンクリート（PC）」、少し長くなると、「PC は、高強度の鋼材によって支えられたコンクリートで、鉄筋コンクリートより耐久性が数倍高い」（いずれも、朝日新聞）。鉄筋コンクリート（以下 RC と略記）構造と比べて高性能な構造であることは「一般に」認められているようである。

では、建築分野においてもっと利用されてもよいのではないか、という疑問をもたれるはずである。一方、土木の橋梁では、その 4 割程度が PC 橋となっている。

このような状況を打開するひとつの糸口として、PC 建築技術者に待ち望まれていた告示 1320 号（PC の構造方法並びに構造計算について国土交通大臣が定める技術基準）の改正が 2007 年に行われた。しかしながら、告示が改正されたからといってすぐに PC 建築の設計が円滑に行えるようになるわけではない。一般の RC 構造についても同様であるが、克服されなければならないさまざまな問題点が存在する。このような問題点はこれまで設計者の「工学的判断」によって安全側となるように手当てされてきた。しかし、設計者のこのような良識的「判断」に信頼が置けなくなったとき、すべての細目を規定することが必要となった。

拙稿では、この告示改正を中心に、PC 建築構造設計にまつわる問題点をあげ、現在行われている議論をいくつか概説する。

本解説には、「(仮称)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(2008年版)」(日本建築センター内に編集委員会を設置)に関する記載がある。同書は現在執筆・編集作業中であり、今後の審議によってはこ

での記載とは異なる内容となることもあるので、ご注意いただきたい。

2. 告示 1320 号改正

PC に関する告示の改正については、すでに、加藤が文献 1)～3) において解説している。繰返しにはなるが、旧告示から変更となった点をあげると下記ようになる。

- ・限界耐力計算への対応
- ・主要構造部材へのアンボンド PC 鋼材の利用
- ・後硬化型 PC 鋼材の使用
- ・圧着接合の規定の明確化
- ・使用上の支障が起こらないことに関する検討
- ・PC 鋼材を法第 37 条の規定に基づき、平成 12 年建設省告示第 1446 号に規定
- ・PC 鋼材の品質については、平成 13 年国交省告示第 1024 号に規定
- ・最新の JIS 規格等への対応と SI 単位化

建築基準法、施行令および告示だけで設計を行うことは不可能であり、運用上、告示の規定をどのように扱えばよいのかが示される必要がある。また、耐力評価式などの設計式には、関係学会や協会の諸基規準および指針類を用いることになる。1983 年に告示 1320 号が制定されたときには、日本建築センターから「プレストレストコンクリート造設計施工指針(1983年版)」が出版され、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」および、のちに出版された日本建築学会「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」とともに PC 建築設計と施工の拠り所となってきた。次章では、日本建築センター内に設置された「(仮称)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(2008年版)」編集委員会での議論を紹介する。

3. 「(仮称)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(2008年版)」

1983 年に告示 1320 号が制定されたときの「プレストレストコンクリート造設計施工指針(1983年版)」に対して、2007 年の告示改正では、日本建築センター内に設置された「(仮称)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(2008年版)」編集委員会において、「指針」ではなく、「技術基準解説書」という形で対応することになった。記述形式は、従来の指針を踏襲し、「告示本文」、「規定の主旨」、「運用」、「解説」に階層化されている。

3.1 保有水平耐力計算における部材種別判定

今回の告示改正では、新たな耐震設計法である限界耐力



* Minchiro NISHIYAMA
京都大学大学院 都市環境工学専攻

計算が前面には出ているが、実務では従来の許容応力度等計算に基づく設計が多く行われている。必要保有水平耐力算定時には、部材種別を判定しなければならない。この種別判定は告示本文に記載されているわけではなく、現在は、「プレストレストコンクリート造設計施工指針(1983年版)」に記載の部材曲げじん性に基づく規定が利用されている。この規定は、PC部材断面において、コンクリート圧縮ひずみが0.2%に達すると同時に引張側PC鋼材が降伏ひずみに達するという、つり合い破壊時の鋼材係数 q_{cr} を基準にしている。ただし、コンクリートの横拘束によるじん性の向上、PC鋼材の実降伏点と規格降伏点の比、コンクリート圧縮強度上昇によるじん性の低下が考慮されている。

上記判定基準は、理論的な考察に基づくものではあるが、曲げじん性のみを対象としていること、実際には部材の曲げじん性を適切に評価できていないこと、軸力の影響が考慮されていないこと、圧縮側に配置されたPC鋼材の影響が考慮されていないこと、部材種別と必要となる曲げじん性の関係が陽に示されていないこと、などを検討し、かつ、RC部材との連続性も考慮し、編集委員会ではこの種別判定法を下記のようにRC部材に対する判定と同様のものに見直す案を検討中である。

表 - 1 PC柱の部材種別

部材種別	FA	FB	FC	FD
共通条件	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			FA, FB, またはFCのいずれにも該当しない場合
h_0/D	2.5以上	2.0以上	—	
σ_o/F_c	0.35以下	0.45以下	0.55以下	
p_t (%)	0.8以下	1.0以下	—	
τ_{cd}/F_c	0.1以下	0.125以下	0.15以下	

表 - 2 PC梁の部材種別

部材種別	FA	FB	FC	FD
共通条件	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			FA, FB, またはFCのいずれにも該当しない場合
τ_{cd}/F_c	0.1以下	0.125以下	0.15以下	

ここで、

h_0 : 柱の内のり高さ (cm)

D : 柱のせい (cm), または、梁せい (cm)

σ_o : D_s (構造特性係数: 建物の減衰性とじん性に応じて決まる係数) を算定しようとする階が崩壊形に達する場合の柱の断面に生ずる軸方向応力度 (N/mm²)。部材断面に配置されたPC鋼材の有効プレストレスも軸力として考慮する。

p_t : 引張鉄筋比 (%)。鉄筋比には、原則として普通強度引張鉄筋のみを算入する。ただし、PC鋼材に異形鋼棒やより線が使用されており、かぶりが小さい場合には、PC鋼材も引張鉄筋比に適宜算入することとする。

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

τ_{cd} : D_s を算定しようとする階が崩壊形に達する場合の柱または梁の断面に生ずるせん断応力度 (N/mm²)。せん断応力度算定に必要な応力中心間距離は、コンクリート圧縮合力位置と、普通強度鉄筋とPC鋼材の合力位置間の距離とする。ただし、簡略には0.8Dとしてよい。

骨組が崩壊形に達する場合に、柱の上端または下端に接続する梁に

おいて、塑性ヒンジが生ずることが明らかな場合にあっては、表中の h_0/D に代えて $2M/(Q \cdot D)$ を用いることができるものとする。このとき、 M は崩壊形に達する時の当該柱の最大曲げモーメントを、 Q は崩壊形に達する時の当該柱の最大せん断力を表す。

上に示す表が、RC部材に対する部材種別判定に用いられるものと異なるのは、条件を算定する際に、PC鋼材が配置されていること、および、プレストレス力が導入されていることを考慮する点である。

部材アスペクト比 h_0/D は、短柱を避けて、せん断破壊に関わる塑性変形能力を評価する指標であり、PC柱においてもRC柱と同様に判定できるものと考えられる。

軸力比 σ_o/F_c の大きな柱では、圧縮側コンクリートによってその破壊形態が支配されることになり、変形能力は小さくなる。本来は、鉄筋引張力も圧縮側コンクリートによって負担されることになるが、通常、柱では、対称配筋されるので、鉄筋引張力は圧縮鉄筋によって負担されると考えることができる。よって、外力としての軸力のみが考慮される。PC柱でも軸力比が大きな場合、RC柱と同様に変形能力は低下する。ただし、もともとプレストレス力が導入されているので、この有効プレストレス力からの増減は、引張側PC鋼材と圧縮側PC鋼材間で相殺されるとし、有効プレストレス力分だけ外力としての軸力に加算されるとしている。

引張鉄筋比 p_t は付着割裂破壊に関連する指標である。PC柱では、PC鋼材として丸鋼が使用されることが多い。これは、異形PC鋼棒がJIS化されていないため(ただし、本稿執筆時点でJIS化に向けて作業中)であることや、丸鋼の方がいくつかの点で施工性に優れているためである。丸鋼の付着機構は、膠着や摩擦によるもので異形鋼のようなリブが機械的にかみ合うような機構ではないため、丸鋼の付着強度は異形鋼と比べて非常に小さい。したがって、鋼材周辺のコングリートに割れやひびくことによる、異形鋼では、コンクリートを割れやひびくことにより、付着応力が低下し、鋼材張力を発揮できないという付着割裂破壊に至る。丸鋼の場合には、もともと付着強度が低いために、周囲のコングリートに損傷を与えることはないが、設計において期待される鋼材張力が発揮されないことがある。

上記のような、いわゆる部分的なアンボンド化は単に付着が悪いからという指摘でこれまで終わっていたが、以下のような定式化も可能である。材長が短く、せいの大きな部材では、曲げモーメント勾配が大きくなり、緊張材とグラウト間に生じる付着応力が大きくなる。部材端で緊張材が降伏応力 f_{py} に達し、部材反曲点位置で鋼材の応力が有効プレストレス f_{pe} となると、緊張材の直径を d 、材端から反曲点位置までの距離を l とすると、平均付着応力度 τ_{av} は次式で与えられる。

$$\tau_{av} = \frac{\pi(d/2)^2(f_{py} - f_{pe})}{\pi dl} = \frac{d}{4l}(f_{py} - f_{pe})$$

距離 l を材端モーメント M と、せん断力 Q で表現すると

次式が得られる。

$$\tau_{av} = \frac{d}{4} \frac{M}{Q} (f_{py} - f_{pe})$$

表 - 1 中の h_0 / D に代えて $2M / (Q \cdot D)$ を用いることができるので、平均付着応力と $2M / (Q \cdot D)$ の関係を求めると、

$$\frac{2M}{QD} = \frac{(f_{py} - f_{pe}) d}{2\tau_{av} D}$$

となる。緊張材として丸鋼を使用する場合、付着強度は 2 ~ 3 N/mm² 程度しか期待できない。概算として $f_{py} - f_{pe} \approx 300$ N/mm², $\tau_{av} = 2$ N/mm², $d / D = 32 / 1000$ とおくと、

$$\frac{2M}{QD} = \frac{300 \times 32}{2 \times 2 \times 1000} = 2.4$$

したがって、付着に対する検討からも $2M / (Q \cdot D)$ すなわち h_0 / D に対する制限値の妥当性が裏付けられることになる。

せん断応力 τ_{cd} / F_c は、柱と梁両方に規定されているせん断耐力確保に関する指標である。PC 部材に適用する際に問題となるのは、 τ_{cd} を算出する際の応力中心間距離である。コンクリート圧縮合力位置と、普通強度鉄筋と PC 鋼材の合力位置間の距離としているが、プレキャスト PC 部材の使用も考慮して、簡略には $0.8D$ としてもよいこととした。

以上のような RC 部材に対する検討を準用する方法に加

えて、従来の曲げじん性を直接評価する方法も利用できるようにしている。しかしながら、部材種別と必要変形能力との関係が明確には与えられておらず、たとえ曲げじん性を適切に評価できたとしてもこれを部材種別に反映させることは難しい。

3.2 せん断設計

RC 部材の設計では、2007 年版「建築物の構造関係技術基準解説書」に記載されているように、短期許容耐力式としては日本建築学会「鉄筋コンクリート計算規準・同解説 (1999)」(RC 規準) の短期許容耐力式を、また、せん断終局強度算定には荒川 mean 式を用いることとなった。また、設計用せん断力算定時に地震荷重効果に乗ずる割り増し係数も明確にされた。一方、現在、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)」には、RC 規準短期許容耐力式にプレストレス力の効果を加算した式 (A 式) と、トラス・アーチに基づくせん断耐力式 (B 式) が併記されている。従来、プレストレス力の効果のみ異なるほぼ同じせん断耐力式を、RC 部材に対しては短期許容耐力式として、かたや PC 部材では終局強度式として使用してきた。表 - 3 には、旧告示、改正告示、および RC 造に対する改正告示をまとめて示す。グレーで示した欄は現在検討中の案と、その問題点を示している。

3.3 その他

ここでは項目のみをあげるが、上記のほかにも、アンボ

表 - 3 ルート 3 における PC 建築物と RC 建築物のせん断設計法比較 (グレーの領域が検討中の内容を示す)

設計ルート	部材	旧告示 1320 号 *1		改正 PC 告示 1320 号 *2 (2007 年)	改正 RC 造告示 593 号 *3 (2007 年)			
		設計用せん断力	せん断耐力式	設計用せん断力	せん断耐力式	設計用せん断力	せん断耐力式	
3a 終局強度設計	梁	$Q_u \geq G + P + 1.2 Q_M$ または、 $Q_u \geq G + P + 2.25 F_{cs} K$	A 式 または B 式	【PC 部材】旧告示と同じ。 【RC 部材】旧告示では、短期許容応力度に対する検討を省略し、終局強度設計すればよいことになっていた。改正告示でも同様に、終局強度設計することになる。 【問題点】旧告示では、RC 部材に終局強度設計を行っておけば、短期許容応力度に対する検討は省略されたが、改正 RC 造告示では、短期と終局時検討用耐力式が異なるので、同様の扱いが可能かは、荷重条件などによって異なる。	【PC 部材】旧告示と同じ。 【RC 部材】D 式を用いる。 【問題点】旧告示では、RC 部材には、C 式を用いることにより、A 式の PC 部材耐力式と連続性があった。RC 部材に D 式が適用されることになり、せん断耐力式として A 式、B 式ともに RC 部材との連続性がなくなる。	規定なし	規定なし	
	柱	$Q_u \geq 1.2 Q_M$ または、 $Q_u \geq G + P + 2.5 F_{cs} K$						
	耐力壁	$Q_u \geq 1.2 Q_M$ または、 $Q_u \geq 2.5 F_{cs} K$						
3b 保有水平耐力	梁	規定なし	規定なし	【PC 部材】改正 RC 造告示における RC 部材に対する規定と同じとするが、右記のような理由により現在検討中。 【RC 部材】改正 RC 造告示における RC 部材に対する規定と同じ。	【PC 部材】B 式を使用する。 【RC 部材】改正 RC 造告示における RC 部材に対する規定と同じ。 【問題点】B 式によって保証される変形能力は 1 / 50 程度であり、D 式による変形能力 1 / 30 と異なる。したがって、B 式使用時には、荷重係数を大きくする必要があると考えられる。	$Q_u \geq Q_u + 1.1 Q_M$ 非ヒンジ部材では、 $Q_u \geq Q_u + 1.2 Q_M$	終局せん断強度式 (D 式)	
	柱							$Q_u \geq 1.1 Q_M$ 非ヒンジ部材では、 $Q_u \geq 1.25 Q_M$
	耐力壁							

表中に示した設計式は、告示自体に記述があるのではなく、告示を受けて出版された、あるいは、出版予定の下記指針および解説書による：

- *1 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)」
- *2 (仮称) 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 (2008 年版)」
- *3 「2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書」

PC 部材のせん断耐力式

- A 式：RC 規準短期許容耐力式にプレストレス力の効果を加算した式 (日本建築学会 PC 規準)
- B 式：トラス・アーチに基づくせん断耐力式 (日本建築学会 PC 規準)

RC 部材のせん断耐力式

- C 式：RC 規準短期許容耐力式 (日本建築学会 RC 規準)
- D 式：荒川 mean 式 (2007 年版 建築物の構造関係技術基準解説書)

ンド PC 鋼材利用時の部材の挙動（剛性、履歴復元力特性、限界変形、せん断耐力の評価）、PC 柱の挙動（履歴復元力特性、限界変形、せん断耐力、軸力がある場合のプレストレス率の算定）、限界耐力計算利用における部材減衰特性から建物全体の減衰特性を算定する方法など、多くの解決すべき点が残されている。

4. 日本建築学会「プレストレストコンクリート性能評価型設計・施工指針」

一方、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、1961 年に出版された現行の「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」を存続させながら、40 年以上の間に蓄積された知見を加えて新たな指針を作成すべく活動を行っている。「プレストレストコンクリート性能評価型設計・施工指針」と仮称されるこの指針には、最新の研究成果が反映され、また、限界耐力計算に基づく耐震設計法が示される予定である。

ここで部材設計における議論の中心となっているのが、コンクリートの短期許容応力度である。コンクリート短期許容圧縮応力度は、設計基準強度の $2/3$ と定められている。短期設計用荷重に対して、この許容応力度以上の応力が部材に生じることは許されない。PC 部材では、とくに柱の場合、軸力に加えてプレストレス力がコンクリートにさらなる圧縮応力を生じさせる。このため、計画上適切と考えられる部材断面では、生じる圧縮応力を許容圧縮応力度以下に抑えることが難しい場合がある。内山・中塚は、文献 4) において詳細な検討を報告している。

可能ならば設計基準強度 F_c まで使えるようにしたいという実務からの希望や、あるいは、部材としての残留変形で判断すれば $0.9 F_c$ までは損傷は残らないなどの解析例に対する議論が、日本建築学会 PC 関係委員会などで行われている。短期許容応力度には根拠がないと切ってしまうのではなく、損傷の定義、材料レベルでの損傷と部材レベルでの損傷の関係などを設計に反映させることも重要であり、議論は慎重に行われるべきであると考えられる。

5. おわりに

本稿が協会誌に掲載される頃には、ここであげたような問題点も解決され、あるいは、先送りされ、技術解説書が発刊されているものと思われる。そのときには、ここでの議論も意味がないものとなるかもしれない。しかし、そこにたどり着くまでにここで記載されたような議論があったということをおまえて、最終的な決定事項を見ていただくのも今後の設計に役立つはずである。

ここにあげた以外にも解決しなければならない問題は多い。実務者の方々からは、構造計算適合性判定の点からも、曖昧な表現なくすべて明確に記述してほしいとの要望がある。これに対して、細かな点まで決めてしまうと、設計者の手足を縛ることになるのではないかと、自由な発想の設計を阻害することになるのではないかとという危惧もある。

PC の設計や施工については、プレストレストコンクリート技術協会をはじめとして、日本建築学会、日本建築センター、PC 建設業協会、日本コンクリート工学協会などさまざまなチャンネルでの議論を通して設計・施工指針作りが進められている。もともと PC 建築に携わる技術者は少なく、少ない資源を分散させてしまっているともいえない。しかしながら、RC 建築の技術者も巻き込みながら、作業することにより、RC 構造には熟達しているが、PC 構造に対しては初心者という設計者・技術者に対する啓蒙ともなることを期待している。

参考文献

- 1) 加藤博人「プレストレストコンクリートの改正告示の概要」、コンクリート工学、Vol.42, No.11, 2004 年 11 月, pp.3~8
- 2) 加藤博人「建築構造物における耐震技術」、プレストレストコンクリート、Vol.44, No.6, Nov. 2002, pp.40~47
- 3) 加藤博人「限界耐力計算と PC 建築」、プレストレストコンクリート、Vol.43, No.4, Jul. 2001, pp.10~16
- 4) 内山執樹、中塚信「限界耐力計算における PC 構造の損傷限界に関する解析的検討」、プレストレストコンクリート、Vol.48, No.1, Jan. 2006, pp.34~40

【2008 年 5 月 12 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版