

変形に立脚した PC 部材コンクリート圧縮縁応力の使用限界状態に関する一考察

正会員 菅田 昌宏 *1
正会員 北山 和宏 *2

プレストレス コンクリート 使用限界
残留変形 M- 断面解析 短期許容応力度

1. はじめに

従来、我が国における PC 部材設計は建築学会 PC 規準に示された終局強度法に基づいて行われてきたので、コンクリートの短期許容応力度を直接意識することは無かった。しかし、内山・中塚¹⁾は、使用限界を短期許容応力度で規定する限界耐力法を設計に用いる場合、初期導入されたプレストレスの影響により、部材の曲げ耐力に対して比較的小さな曲げ応力で、圧縮側コンクリートが短期許容応力度 ($2/3 \cdot F_c$) に到達することから、使用限界時の必要耐力を確保するためにより多くのコンクリート断面と PC 鋼材が必要になり合理的な断面設計が妨げられる場合があると指摘している。

他方、使用限界を材料の許容応力度によって規定する前述の考え方に対して、部材変形によって使用限界を規定する方法も考えられる。一時的に、コンクリートが短期許容応力度を越えても除荷後、部材の構造特性や変形の程度が初期の状態に戻る高復元型 PC 部材の場合では、使用限界を超えていないと考えることも可能であろう。

本報では、部材の変形性状に着目しプレストレス率を種々変化させた断面解析の結果から、RC と同程度の最大経験変形が生じる時の圧縮縁応力度を調べて、これをそれぞれのに対する使用限界として適用することを提案する。

2. 解析概要

プレストレス率の変化に伴ない骨格曲線上に出現する各種特性点の位置関係を調査する目的で、図 1 に示す曲げ終局耐力がほぼ等しい RC から PC 断面の M - (曲率) 解析を行った。解析に用いた材料モデルを図 2 に示す。また、普通鉄筋は完全付着とし、PC 鋼材は完全付着と丸鋼程度の付着 (ひずみ適合係数 F 値=0.35) の 2 ケースとした。コンクリート強度は $F_c=30(N/mm^2)$ とし鋼材も含めて正負交番繰返し解析が可能なモデルを使用した。

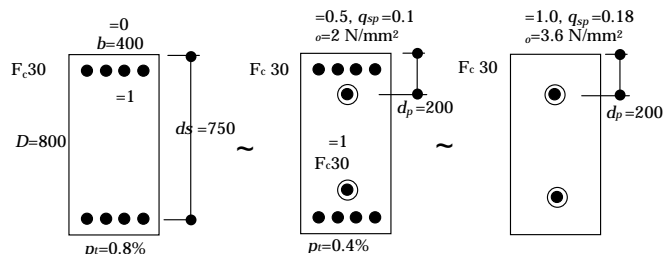


図 1 解析の対象断面

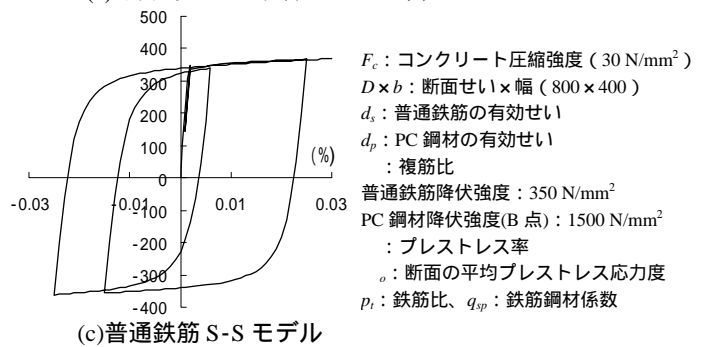
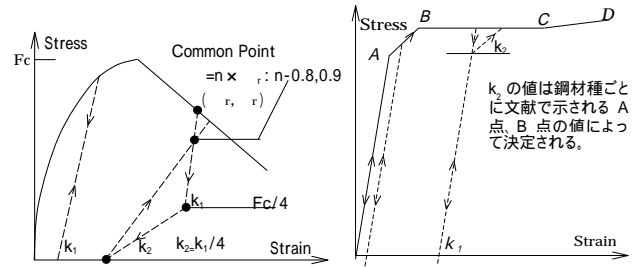


図 2 解析に使用した材料の応力-ひずみモデル

3. 解析結果の概要および考察

図 3 は解析から得られた荷重 - 変形関係の例を示したものである。同図によれば、 F_c が小さく RC 造に近い断面での部材降伏点と、圧縮縁コンクリートの応力度が $2/3 \cdot F_c$ となる点とは近接しているが、 F_c が大きくなるに従って $2/3 \cdot F_c$ 点は、より荷重の小さな段階で生じるようになる。

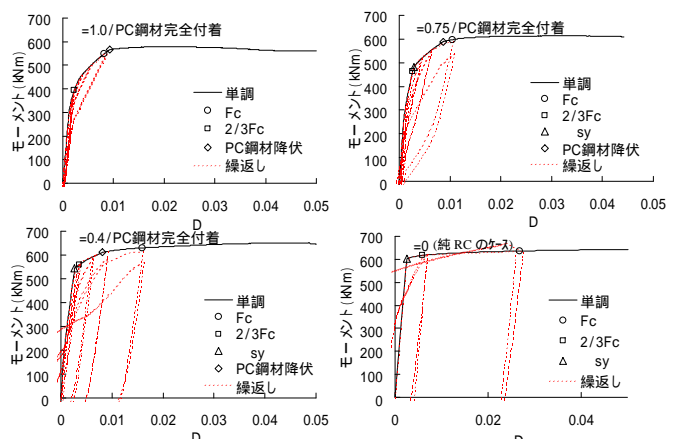


図 3 荷重-変形関係の例 (PC 鋼材完全付着のケース $=0$ を除く)

図 4 (a) ~ (d) は、図 3 に示す正負交番繰返しの M - 解析結果を用いて、縦軸に変形角 (D) 横軸に F_c を取り、部材の最大経験変形角および残留変形角に及ぼす

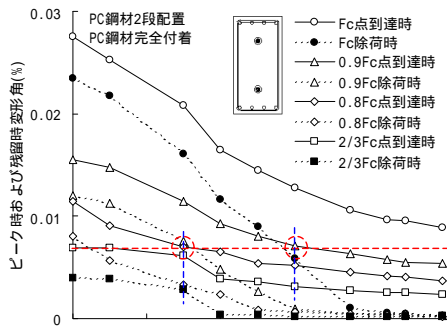


図 4(a)

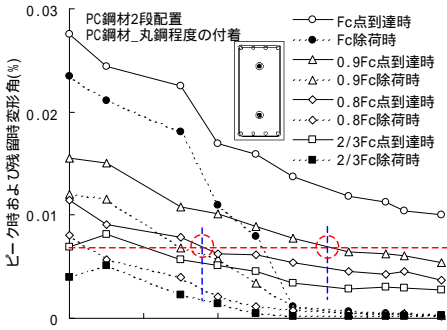


図 4(b)

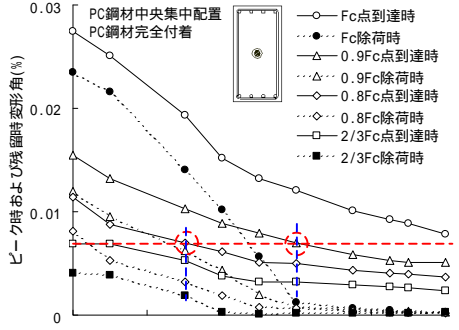


図 4(c)

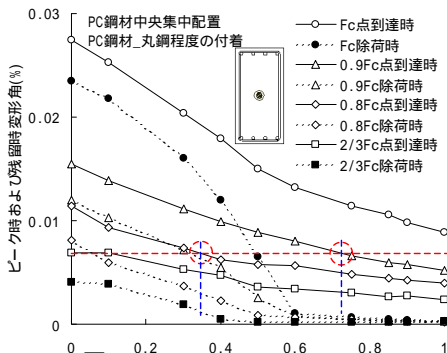


図 4(d)

図 4 が変形角におよぼす影響

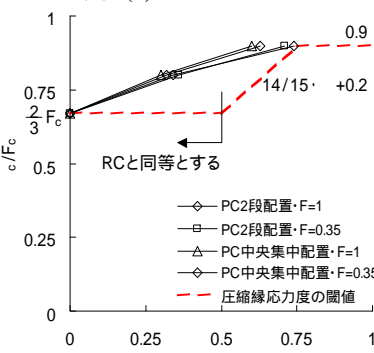


図 5 使用限界閾値- 関係

ならびにコンクリート圧縮縁応力 σ_c の影響を示したもので、最大経験変形角と除荷時の残留変形角とをそれぞれ実線と鎖線で示している。同図中に併記した赤鎖線は、 $\sigma_c = 0$ つまり純RC造の場合における $2/3 \sigma_{Bc}$ 点到達時の変形角を示している。ここで、赤鎖線で示した同変形角を短期 σ_c における損傷程度の基準と考える（以下、基準変形角と呼ぶ）。すなわち、赤鎖線以下の変形角であれば、部材損傷 σ_c に関してもRC（ $\sigma_c = 0$ ）の場合と同等程度以下であると考えことにする。なお、図4には図1で示した解析対象断面に加えて、PC鋼材を断面中央に集中配置したケースの解析結果も示している。

圧縮側縁応力が最大経験変形角時に $0.9 \sigma_{Bc}$ となるケース（印実線）をみると、 σ_c が $0.6 \sim 0.7$ 程度を超えると基準変形角以下の変形角となっていることから、この範囲では縁応力が $0.9 \sigma_{Bc}$ まで経験した場合であっても、RCと同等以下の部材損傷 σ_c であると判断できる。同様に、圧縮側縁応力が σ_c 時に $0.8 \sigma_{Bc}$ となるケース（印実線）についてみた場合、 σ_c が $0.3 \sim 0.5$ 程度を超えると基準変形角以下の変形角となっている。図5は、基準変形角に到達する時点における、 σ_c と圧縮縁応力 σ_c を F_c で除した値をそれぞれのケースについてまとめて示したものである。同図によれると付着の程度や鋼材配置の違いによって若干異なる値をとるものの、 σ_c/F_c は σ_c が大きくなるに従って増大する傾向を有している。一方、図4によれば σ_c が 0.5 以下になると、残留変形率が急増する傾向を示すようになる。このように、RC的な性質が卓越する σ_c が 0.5 以

下の場合にはRC造と同等と考えて、使用限界における圧縮縁応力の閾値を $2/3 F_c$ とした。次に、 σ_c が 0.75 を越える場合は、図4に示すように変形角は一定値に収束する傾向を示すことから閾値 σ_c/F_c も同様に収束傾向を示すことになる。そこで、 σ_c が 0.75 となるとき σ_c/F_c を 0.9 としてこれを上限値とし、 σ_c が 0.5 から 0.75 の範囲については σ_c/F_c を比例的に漸増させることとした。

一方、使用限界時の閾値を圧縮強度 F_c に

近い高応力まで許容する場合、地震時における多数回繰返し時の耐力劣化について十分な注意が必要である。蔡²⁾は、塑性ヒンジ部をコンファインド補強した曲げ部材に対して多数回の繰返し載荷を行い、かぶりコンクリートに圧壊が生じ始める部材角 $1/100$ 程度までであれば耐力低下に及ぼす繰返し数の影響は明確ではないと述べている。他方、小阪³⁾らは、 100 コンクリートシリンダーを対象とする繰返し数 200 の低サイクル疲労試験を行い、上限応力が $0.83 \sigma_{Bc}$ の水準で加力中に疲労破壊する試験体があったが、上限応力が $0.75 \sigma_{Bc}$ 以下の場合では破壊する試験体はなかったと報告している。そこで、軸力が卓越する部材の損傷は架構にとってリスクが高いため曲げ部材よりも閾値を厳しく設定した。これら閾値を表1にまとめて示す。

表1 圧縮縁 CON 応力の使用限界状態の提案

	圧縮コンクリート応力	
	一般の曲げ部材	軸力卓越部材
使用限界	1 ~ 0.75	$0.9 \sigma_{Bc}$ 以下
	0.75 ~ 0.5	$(14/15 + 0.2) \sigma_{Bc}$ 以下
	0.5 <	$2/3 \sigma_{Bc}$ 以下

4. まとめ

断面解析の結果から、残留変形に立脚したPC部材のコンクリート圧縮応力の使用限界状態を提案した。

【参考文献】

- 1) 内山、中塚、"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
- 2) 蔡健："高靱性・高復元性PRC円形柱部材の設計法に関する基礎研究"、大阪大学大学院博士論文、1987年12月
- 3) 小坂、山中："高強度コンクリートの高応力下の低サイクル疲労について"、高強度コンクリート構造物の構造性能研究委員会報告会・シンポジウム論文、2006年7月20日

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 博士(工学)

*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科建築学専攻准教授 工博

*1 Takenaka Research and Development Institute, Dr.Eng.

*2 Associate Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng.