

曲げ変形が卓越する PC 梁部材の断面解析による性能評価 (その1 解析概要)

PCaPC 部材 PRC 部材 曲げ変形
断面解析 限界状態 性能設計

正会員 ○尹亨在*¹ 同 狩野芳規*¹
同 河野進*² 同 岸本一蔵*³

1. はじめに

日本建築学会「プレストレストコンクリート設計施工標準・同解説」¹⁾(以下、PC 規準)は昭和 36 年に刊行されて以来、多くの PC 建築物の設計に利用されてきたが、最後の改定からすでに 10 年以上経過しており、これまでの終局強度設計法から他の構造では既に取り入れられている性能設計法に移行すべく多くの検討が行われている。

性能設計に当たって、考えるべき建築物の基本構造的な性能として、「使用性」、「安全性」に加えて、損傷の修復のしやすさの確保を目的とする「修復性」がある。しかし、「修復性」を判断する適切な工学的判断基準は未だに確立されていないのが現状である。他の構造同様、PC 構造においても性能設計の考え方を取り入れた設計指針の作成が急務と考えられる。

そこで本論文では、断面解析により、PC 構造部材の性能を検証し、さらに実務設計においても、利用できるような性能判断条件を提案した。

2. 解析の手法

2.1 解析部材諸元

表-1 に解析部材断面諸元、図-1 に梁の断面図を示す。梁部材全てで、PC 鋼材にはより線を用いた。No.1~5 は

14 階建てプレキャスト(以下、PCa)PC 造の事務所ビルを想定しており、負担面積は 15m×7m である。PCa 部材では、普通鉄筋が目地部で不連続となるために、普通鉄筋が無いものとして解析した。No.6~8 は 7 階建て PC 造の事務所ビルを想定しており、負担面積は 15m×6m である。また、No.9~12 は現行 PC 規準¹⁾設計例の梁断面である。

2.2 解析プログラム

岸本ら²⁾によって開発された平面保持を仮定した断面解析プログラムを使用し、下端引張りとして解析した。ただし、PC 鋼材は完全付着ではなく、鈴木ら³⁾によるひずみ適合係数 F 値を用いて付着の度合いを表現しており、緊張材には平面保持が成立しない。なお、解析では、 F 値を 0.8 とした。

普通鉄筋、PC 鋼材、コンクリートの材料の応力-ひずみ関係は文献 4)および 5)に示された式を用いた。図-2 に、例として No.6 で用いた各材料の応力-ひずみ関係を示す。コアコンクリートの圧縮強度 f_{cc} は文献 5)の中塚らの拘束モデルを用いて 34.3MPa とした。

2.3 曲げ部材の限界状態に関する条件

表-2 は文献 6)を再掲したものである。既に鉄筋コンクリート(以下、RC)建築物の梁部材で一般的と考えられる判断基準を PC 梁部材にも適用できるように修正を加え

表-1 解析部材断面諸元

No	コンクリート			PC鋼材										普通鉄筋(SD345A)せん断補強筋(SD285A)				λ_c	q	σ_{sp}/F_c
	b mm	D mm	F _c N/mm ²	配筋			F _{py} N/mm ²	dp ₁ mm	dp ₂ mm	dp ₃ mm	q _{sp}	P _e kN	配筋		配筋					
				1段目	2段目	3段目							上端筋	下端筋						
1	600	1000	60	24-φ15.2	10-φ15.2	24-φ15.2	1600	150	500	850	0.36	7658	—	—	2-D13φ100	1.00	0.358	0.213		
2	600	1000	60	22-φ15.2	—	22-φ15.2	1600	150	—	850	0.27	5810	—	—	2-D13φ100	1.00	0.271	0.161		
3	600	1000	60	22-φ15.2	—	22-φ15.2	1600	250	—	750	0.27	5810	—	—	2-D13φ100	1.00	0.271	0.161		
4	600	1000	60	14-φ15.2	—	14-φ15.2	1600	250	—	750	0.17	3697	—	—	2-D13φ100	1.00	0.173	0.103		
5	600	1000	60	10-φ15.2	—	10-φ15.2	1600	250	—	750	0.12	2641	—	—	2-D13φ100	1.00	0.123	0.073		
6	700	1100	30	24-φ12.7	24-φ12.7	—	1580	420	710	—	0.32	5408	7-D25	7-D25	3-D13φ100	0.86	0.324	0.234		
7	700	1100	30	24-φ12.7	24-φ12.7	—	1580	650	850	—	0.32	5408	7-D25	7-D25	3-D13φ100	0.86	0.324	0.234		
8	650	1000	30	14-φ12.7	14-φ12.7	—	1580	430	660	—	0.22	3155	5-D25	5-D25	2-D13φ100	0.83	0.224	0.162		
9	550	1000	30	14-φ12.7	14-φ12.7	—	1580	320	680	—	0.26	3155	4-D25	4-D25	2-D13φ100	0.86	0.265	0.181		
10	550	1000	30	7-φ12.7	7-φ12.7	—	1580	320	680	—	0.13	1577	4-D25	4-D25	2-D13φ100	0.76	0.132	0.086		
11	550	1000	30	7-φ12.7	—	—	1580	680	—	—	0.07	789	4-D25	4-D25	2-D13φ100	0.61	0.066	0.048		
12	550	1000	30	10-φ12.7	10-φ12.7	—	1580	320	680	—	0.19	2253	2-D22	2-D22	2-D13φ100	0.91	0.189	0.137		

b: 部材断面の幅、D: 部材断面のせい、 F_c : コンクリートの圧縮強度、 f_{py} : PC 鋼材降伏応力、 d_{p1} 、 d_{p2} 、 d_{p3} : それぞれ 1~3 段目 PC 鋼材の梁上縁からの距離、 q_{sp} : PC 鋼材のみの鋼材係数(以下、PC 鋼材係数)(部材断面に作用する力のうち PC 鋼材が負担する力の割合)、 P_e : 有効プレストレス力、 λ_c : プレストレス率(全 PC 鋼材と引張側普通鉄筋を降伏とした引張力の和に対する全 PC 鋼材降伏時の引張力の比率)、 q : 鋼材係数(部材断面に作用する力のうち PC 鋼材と普通鉄筋が負担する力の割合)、 σ_{sp}/F_c : 緊張材によって生じる軸応力度をコンクリート圧縮強度 F_c で除した値で、柱部材では外力としての軸力は考慮していない。

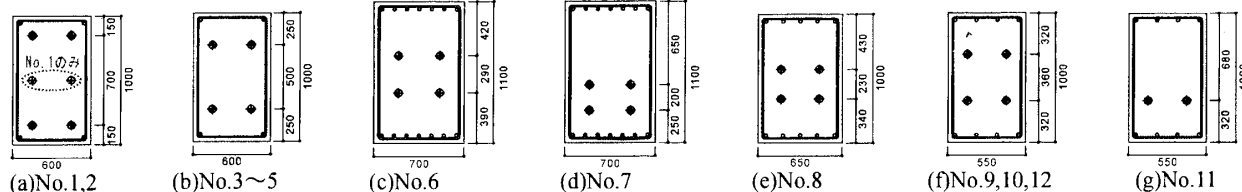


図-1 梁部材断面図(単位: mm)

Application of performance criteria to flexure dominant prestressed concrete beams by section analyses (Part1 Outline of analysis)

YOON Hyeong Jae, KARINO Yoshiki
KONO Susumu, KISHIMOTO Ichizo

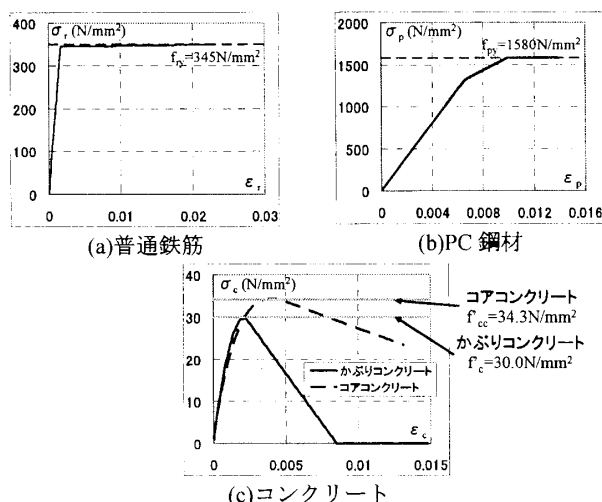


図-2 材料の応力-ひずみ関係 (No.6 の例)

たもので、現在日本建築学会で検討対象となっている。

表-2では普通鉄筋およびPC鋼材の基準に「僅かな降伏を許容」、残留ひび割れ幅に「0.2~1mm程度以下」など、判断基準に幅を持たせた部分があり、実際に性能設計をする場合には、設計者自身の判断に委ねられることになる。そこで、本論文では表-2を参考に、表-3に示す特定の条件を性能評価の基準として解析を行った。また、表-3では、表-2中の λ (PC鋼材と普通鉄筋による曲げモーメントの和に対するPC鋼材による曲げモーメントの比率)の代わりに、本論文で定める λ_1 を用いている。なお、残留変形Rの計算は、浜原らの提案式⁸⁾を用いた。残留ひび割れ幅 W_{cr} の計算は、文献7)および8)*1を参考にした。

表-2 曲げ部材の限界状態の目安

限界状態	具体的な損傷の状態(以下のすべてを満足)							
	λ	普通鉄筋	PC 鋼材		コンクリート(σ_B :設計基準強度)		残留変形	残留ひび割れ幅
			付着が 良い	付着が 悪い	一般の曲げ部材	その他		
使用限界	1~0.75	僅かな降伏 を許容	弾性範囲	弾性 範囲	0.9 σ_B 以下	0.75 σ_B 以下	ほぼゼロ	0.2 mm程度以下
	0.2%オフセット 耐力点以下		(14/15 λ +0.2) σ_B 以下					
	0.5<	弾性範囲	2/3 σ_B 以下					
修復限界Ⅰ	降伏を許容		僅かな降伏 を許容	弾性 範囲	軽微なかぶりコンクリートの圧壊を許容		1/400 程度以下	0.2~1 mm程度以下
修復限界Ⅱ	主筋が座屈しないこと		降伏許容	僅かな降伏 を許容	コアコンクリート部分が健全であること		1/200 程度以下	1~2 mm程度以下
安全限界	主筋が破断しないこと		破断しないこと	降伏を許容	コアコンクリートに圧壊が生じないこと		—	

表-3 本論文での曲げ部材の限界状態

限界状態	具体的な損傷の状態(以下のすべてを満足)				
	普通鉄筋	PC 鋼材(付着が悪い)	コンクリート	残留変形	残留ひび割れ幅
使用限界	弾性範囲	弾性範囲	$\lambda_1 > 0.75$ では、 $0.9 \sigma_B$ 以下 $0.75 > \lambda_1 > 0.5$ では、 $(14/15 \lambda + 0.2) \sigma_B$ 以下 $0.5 > \lambda_1$ では、 $2/3 \sigma_B$ 以下	1/2000 程度以下	0.2 mm程度以下
修復限界Ⅰ	降伏を許容	弾性範囲	かぶりコンクリートの圧縮強度時ひずみを超えないこと	1/400 程度以下	1.0 mm程度以下
修復限界Ⅱ	主筋が座屈しないこと	降伏を許容	コアコンクリートの圧縮強度時ひずみを超えないこと	1/200 程度以下	2.0 mm程度以下
安全限界	ひずみが10%以下	ひずみが5%以下	コアコンクリートの $k_1 k_2$ が最大となるひずみを超えないこと	—	—

k_1, k_2, k_3 : (コンクリート圧縮縁ひずみが終局ひずみ ϵ_{cu} に到達したときの平均応力を表す係数)と
 k_3 (標準シリンダー試験で得られた圧縮強度と部材内圧縮強度の違いを表す係数)の積

3. おわりに

日本建築学会で検討中の性能評価条件の適用性の検証を目的として、岸本ら²⁾による断面解析プログラムを用い、対象断面15体の解析を行った。結果はその2に記す。

謝辞

本報は、日本建築学会PC部材性能設計法小委員会および同PC耐震設計小委員会における活動の一環として行った解析について考察したものである。両委員会各委員から、貴重な意見を頂いた事を感謝致します。

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年改定
- 2) 岸本一蔵，大野義昭：断面解析を用いたプレストレストコンクリート梁部材のエネルギー吸収能に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，24巻，2号，pp.643-648，2002.6
- 3) 鈴木計夫，中塚信：繰返し荷重をうける高靱性PCはりの曲げモーメント-曲率関係についての解析的研究，日本建築学会近畿支部梗概集，pp.153-156，1979.6
- 4) 日本建築学会：コンクリート構造(PC，PRC)部材の靱性設計手法と耐震機構への応用，2.3.7項 図2.3-10 pp.72-80，1997.9
- 5) 日本建築学会：プレストレスト(鉄筋)コンクリート構造部材の設計法-現状と将来-，1.2.1項 表1.2.1 pp.10，2000.4
- 6) 日本建築学会PC部材性能設計法小委員会：PC部材の構造性能評価指針(案)・同解説(2010年8月版) 6章 各種限界状態，委員会資料，2010.8
- 7) 日本建築学会：プレストレスト(鉄筋)コンクリート部材の終局性能評価法-考え方の基礎から最前線まで-，式(3.2.5) pp.59，2005.1
- 8) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説，*1(解5.12式) pp.156，*2表7.2.1 pp.63，2004
- 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，9.4.1項 pp.288，1997

*1 京都大学 大学院生
 *2 京都大学 准教授・Ph.D.
 *3 近畿大学 教授 工博

*1 Graduate Student, Kyoto University
 *2 Associate Professor, Kyoto University, Ph.D.
 *3 Professor, Kinki University, Dr. Eng.