

PRC 柱梁十字形部分架構における梁部材の
各種限界状態の解析的検討
(その2: 検討結果)

正会員 北山 和宏*
同 嶋田 洋介**

PRC 骨組み 梁 耐震性能
限界状態 残留変形 残留ひび割れ幅

1.はじめに

(その2)では、(その1)で説明した解析手法による解析結果と実験結果を比較、検討した。

2.荷重変形関係

実験と解析の梁モーメント - 梁部材角関係例を図 - 1 に示す。第 2,4 象限で実験値と解析値が大きく乖離したが、これは実験では十字形柱梁接合部パネルからの鉄筋の抜け出しが生じたが、解析ではこれを考慮できないためと考えた。除荷履歴が梁部材角 4% 付近から乖離したが、それまでは解析は実験を概ね良好に再現した。

3.残留変形と残留曲げひび割れ幅の最大値

解析による残留変形角 R_r を(その1)の式(6)に代入して残留曲げひび割れ幅の最大値 $w_{r,f}$ を求めた。比較のため、浜原らによる残留変形角推定式¹⁷⁾を式(6)に代入して得た式(7)によって $w_{r,f}$ を別途算定した。

$$w_{r,f} = \frac{1}{n_f} \alpha (D - x_n) \frac{0.3(1.1 - \lambda)(R_p \cdot 100)^{\frac{3+\lambda}{2}}}{100} \quad (7)$$

ここで、 λ はプレストレス率、 R_p は載荷ピーク時梁部材

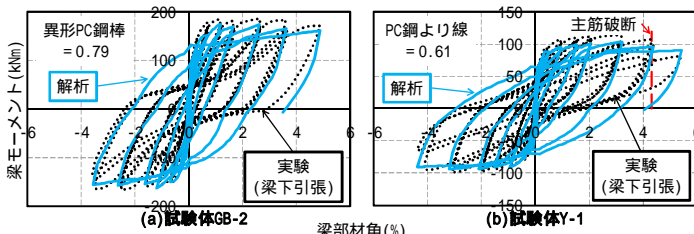


図 - 1 荷重変形関係

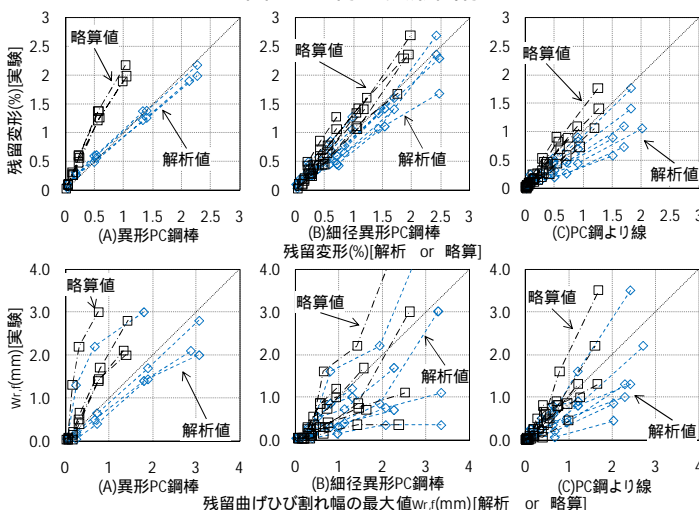


図 - 2 残留変形, 残留曲げひび割れ幅の最大値の比較

角である。ただし、実験では $w_{r,f}$ を引張側鉄筋位置で測定したため、式(6)、式(7)ともに $w_{r,f}$ 計算式内の梁せいを有効せいに置換して計算した。以降、解析に基づく結果を解析値、式(7)による算定結果を略算値と呼ぶ。

R_r と $w_{r,f}$ について、実験値と解析値、及び略算値の比較を図 - 2 に示す。同図は梁に用いた鋼材種(異形 PC 鋼棒, 細径異形 PC 鋼棒, PC 鋼より線)ごとに示す。

解析値は異形 PC 鋼棒を用いた試験体では R_r , $w_{r,f}$ ともに精度良く評価し、その他の鋼材種を用いた試験体ではやや安全側に評価した。式(7)による略算値は異形 PC 鋼棒を用いた試験体では R_r , $w_{r,f}$ ともに危険側に評価し、その他の鋼材種を用いた試験体では解析値と同等の精度であるが、わずかに危険側に評価した。ただし、細径異形 PC 鋼棒を用いた試験体の $w_{r,f}$ は解析値、略算値ともに大きな分散が見られ、実験値を過大評価した場合もあった。

4.各種限界状態

4.1 損傷状況の定義

PRC 梁部材の各種限界状態を規定する損傷状況の提案例¹⁸⁾を表 - 1 に示す。実験でのコンクリートの損傷状況は文献 1)と同様に評価し、解析ではそれぞれ、かぶりコンクリート圧縮縁がコンクリート圧縮強度に達する点を「軽微なかぶりコンクリートの圧壊を許容」、コアコンクリート圧縮縁がコンクリート圧縮強度に達する点を「コアコンクリート部分が健全であること」、コアコンクリート圧縮縁が補強筋による拘束効果を考慮したコンクリート圧縮強度に達する点を「コアコンクリートに圧壊が生じないこと」と定義した。

4.2 実験, 解析による各種限界状態

実験及び解析を用いて検討した各種限界時の梁部材角とそれを決定した要因を表 - 2 に、梁モーメント - 梁部材角関係例(包絡線)と各種限界状態を図 - 3 に示す。実験, 解析ともに使用限界のほとんどが主筋のひずみによって、修復限界(,)のほとんどが残留変形角で決定された。使用及び修復 , の各限界時における梁部材角は実験ではそれぞれ 0.25~0.65%, 0.69~1.66%, 1.06~2.22%, 解析では 0.39~0.54%, 1.02~1.53%, 1.33~1.95% となり、実験と解析の比(実験値/解析値)の平均値がそれぞれ 0.98, 0.89, 1.03, 標準偏差がそれぞれ 0.33, 0.16, 0.15 と精度良く評価出来た。

解析では全試験体で安全限界が決定されなかった。これは、実験では PC 鋼材が圧縮力を負担することは無いが、解析では圧縮側 PC 鋼材が圧縮力を負担するためコンクリートがあまり損傷しないこと、主筋の座屈・破断や PC 鋼材の破断を評価できないこと等が原因である。

5.まとめ

梁曲げ破壊した PRC 柱梁十字形部分架構における梁部材の実験結果と、平面保持を仮定した梁断面解析の結果を検討し、以下の知見を得た。
 (1). 平面保持を仮定した断面解析と隅田・岸本等が提案する等価塑性ヒンジ長さを組み合わせることにより、PRC 梁部材の荷重変形関係を概ね良好に評価できた。
 (2). 断面解析および式(6)、若しくは式(7)によって、定数の同定と精度に課題は残るが、PRC 梁部材の残留曲げひび割れ幅 - 部材角関係を評価することができる。

(3). PRC 梁部材の限界状態を規定する損傷状況が実験、解析ともに、使用限界は主筋のひずみによって、修復限界は残留変形角によってそれぞれ決定され、その時の梁部材角も解析で概ね良好に評価できた。
 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金・基盤研究 C(研究代表者：北山和宏)により行った。また、日本建築学会 PC 部材性能設計法小委員会の各委員から貴重なご意見を頂いた。ここに記し謝意を表す。

参考文献

1). 嶋田洋介, 北山和宏: PC 柱梁十字形部分架構の梁部材における各種限界状態の検討, 日本地震工学会大会梗概集, pp.22-23, 2009 2). 矢島龍人, 北山和宏: 梁曲げ破壊型プレストレストコンクリート十字形部分骨組みの耐震性能に関する研究, JCI, Vol.32, No.2, pp.511-516, 2010 3). 北山和宏, 田島祐之, 矢島龍人: PRC 柱梁十字形部分架構の耐震性能評価に関する実験的研究(その 1), AIJ, 構造 IV, pp.157-158, 2008 4). 北山和宏, 岸田慎司, 田島祐之, 宮崎裕ノ介: 付着性能に着目したプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)柱梁十字形部分架構の復元力特性に関する研究(その 1, 2), AIJ, 構造 IV, pp.1-4, 2006 5). 中塚 信: コンクリートの応力度 - ひずみ度特性とコンクリート曲げ部材の終局特性に関する基礎的研究, 大阪大学大学院博士論文, 1989 6). 下村健太郎, 中塚 信, 前川元伸: 定ひずみ繰返し単軸圧縮応力を受けるコンクリートの応力度 - ひずみ度関係の履歴則, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系(38), pp.33-36, 1998 7). 飯塚宗文, 野口 博: 正負交番荷荷時の高強度鉄筋コンクリートの構成モデル, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, pp.49-54, 1991 8). 藤井俊二, 青山博之, 梅村 魁: 材料特性より求めた鉄筋コンクリート断面のモーメント - 曲率関係, AIJ, 構造系 48(構造), pp.1261-1262, 1973 9). 北島英樹, 福原武史, 陳静, 孫 玉平: 高強度 RC 部材の耐震性能評価法の提案 その 1 材料の繰返し応力 - 歪関係のモデル化, 日本建築学会九州支部研究報

表 - 1 各種限界状態を規定する損傷状況の提案例

各種限界状態	具体的な損傷状況						
	普通鉄筋	PC鋼材		コンクリート		残留変形角	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 0.2% オフセット 耐力点以下	弾性範囲	0.9 _a 以下 (14/15 +0.2) _a 以下	0.75 _b 以下	ほぼゼロ
	0.75~0.5	弾性範囲					0.2mm程度以下
	0.5以下	弾性範囲				2/3 _a 以下	
修復限界	降伏を許容	僅かな降伏を許容	弾性範囲	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	0.2~1mm程度以下
修復限界	主筋が座屈しないこと	降伏を許容	0.2% オフセット 耐力点以下	弾性範囲	コアコンクリート部分が健全であること	1/200程度以下	1~2mm程度以下
安全限界	圧縮筋の座屈 引張筋の破断	破断しないこと	降伏を許容	弾性範囲	コアコンクリートに 圧壊が生じないこと		-

表 - 2 各種限界状態の検討結果

		使用限界		修復限界		修復限界		安全限界	
		梁部材角(%)	要因	梁部材角(%)	要因	梁部材角(%)	要因	梁部材角(%)	要因
GB-2	実験	0.35	主筋	1.12	残留変形角	1.51	残留変形角	3.65	コンクリート
	解析	0.39	PC鋼材	1.27	残留変形角	1.59	残留変形角	-	-
SB-3	実験	0.35	主筋	1.09	残留変形角	1.55	残留変形角	5.19	コンクリート
	解析	0.39	PC鋼材	1.27	残留変形角	1.61	残留変形角	-	-
GBS-4	実験	0.47	主筋	1.15	残留変形角	1.64	残留変形角	2.60	PC鋼材
	解析	0.54	主筋	1.53	残留変形角	1.95	残留変形角	-	-
M-2	実験	0.38	主筋	0.69	残留変形角	1.06	残留変形角	2.62	PC鋼材
	解析	0.51	主筋	1.02	残留変形角	1.33	残留変形角	-	-
M-5	実験	0.63	主筋	0.96	残留変形角	1.40	残留変形角	3.83	コンクリート
	解析	0.41	主筋	1.05	残留変形角	1.38	残留変形角	-	-
N-4	実験	0.65	主筋	1.07	残留変形角	1.54	残留変形角	3.66	コンクリート
	解析	0.42	主筋	1.14	残留変形角	1.46	残留変形角	-	-
N-5	実験	0.47	主筋	0.91	コンクリート	1.89	残留変形角	3.06	PC鋼材
	解析	0.41	主筋	1.27	残留変形角	1.63	残留変形角	-	-
Y-1	実験	0.25	主筋	1.01	残留変形角	1.60	残留変形角	4.32	主筋(座屈)
	解析	0.49	主筋	1.20	残留変形角	1.56	残留変形角	-	-
Y-2	実験	0.50	主筋	0.96	残留変形角	1.39	残留変形角	-	-
	解析	0.52	主筋	1.03	残留変形角	1.37	残留変形角	-	-
Y-3	実験	0.33	主筋	1.45	残留変形角	2.10	残留変形角	4.15	主筋(座屈)
	解析	0.49	主筋	1.32	残留変形角	1.66	残留変形角	-	-
Y-4	実験	0.40	主筋	1.66	残留変形角	2.22	残留変形角	3.96	主筋(座屈)
	解析	0.39	主筋	1.39	残留変形角	1.73	残留変形角	-	-

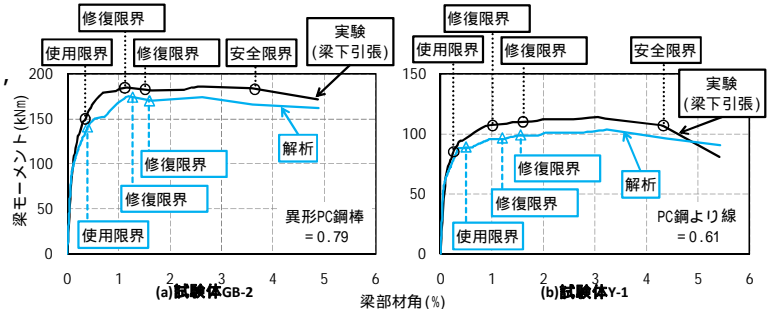


図 - 3 各種限界状態と荷重変形関係 (包絡線)

告九州支部.1, 構造系(44), pp.349-352, 2005 10). 六車 熙, 渡辺史夫, 西山峰広: アンボンド PC 部材の曲げ終局耐力に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.26, pp.10-16, 1984 11). 柴田祐丞, 岸本一蔵: 鋼材種および変形量を考慮した PC 梁部材の終局曲げ耐力算定法, 第 17 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.165-170, 2008 12). 嶋田洋介, 北山和宏: PRC 十字形部分架構における梁部材のひずみ適合係数に関する考察, AIJ, 構造 IV, pp.811-812, 2009 13). 内田龍一郎, 浜原正行, 末次宏光, 佐藤信夫, 大崎寛義: 接合部の影響を考慮した PC 梁の復元力特性, 日本建築学会構造系論文集, No.575, pp.105-112, 2004 14). 田島祐之, 北山和宏: 梁曲げ破壊するプレストレスト鉄筋コンクリート柱梁十字形部分架構の梁部材における等価粘性減衰定数の定量評価, 日本建築学会構造系論文集, No.644, pp.1831-1840, 2009 15). 隅田寛, 岸本一蔵, 李 德基, 大野義昭: PC 梁部材の残留変形率算定式, プレストレストコンクリート, Vol.49, pp.80-89, 2007 16). 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, 日本建築学会, 2004 17). 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-, pp.55-60, 2005 18). 日本建築学会: PC 構造研究の現状, 新 PC 基準へ向けての活動およびプレストレスト技術を有効利用した建物例, 日本建築学会大会 PD 資料, pp.22-38, 2007

「日本建築学会大会学術講演梗概集」を「AIJ」と、「コンクリート工学年次論文集」を「JCI」と略す

*首都大学東京大学院建築学域教授 工博

* Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng

** (株)アール・アイ・エー 修士(工学)

** Research Institute of Architecture, Mr.Eng.