

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1: 試験体諸元と解析概要)

正会員 ○嶋田 洋介*
同 北山 和宏**

PRC 骨組み 梁 耐震性能
残留変形 残留ひび割れ幅 等価塑性ヒンジ長さ

1.はじめに

プレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)構造の耐震設計は、性能評価型耐震設計法への移行に向けて、様々な研究が行われている。性能評価型の耐震設計法を確立するためには、要求性能に対応した各種限界状態を材料のひずみや、ひび割れ幅等の物理量を用いて明確に規定することが必要である。既往の PRC 柱梁十字形部分架構における梁部材を対象とした研究¹⁾²⁾では、ほとんどの試験体の修復限界が残留変形角によって決定され、残留変形角を精度よく評価することの重要性が再確認された。

部材の損傷を解析的に検討する場合、平面保持を仮定した断面解析によるのが簡便である。有限要素法によって精度よく部材損傷を検討することが可能だが、解析手法が複雑であり実務設計には向いていない。

本稿では PRC 造梁部材の各種限界状態を、平面保持を仮定した断面解析結果を用いて検討した。また、各種限界状態を規定する損傷状況である残留変形角、残留ひび割れ幅の評価手法についても考察した。

2.試験体概要

既往の正負交番載荷する実験²⁾³⁾⁴⁾より、梁曲げ破壊した一体打ち試験体 11 体を検討対象とする。試験体形状例(試験体 GB-2)を図-1、試験体諸元を表-1 に示す。梁幅 250(mm)、梁せい 400(mm)、梁せん断スパン比 3.56、柱断面 350×350(mm)、柱せん断スパン比 3.47 は共通である。

コンクリート圧縮強度 σ_B は 58.8~77.2(MPa)、PC 鋼材は異形 PC 鋼棒、細径異形 PC 鋼棒、PC 鋼より線をそれぞれ用い、試験体 GBS-4 の梁断面中央に配置した細径異形 PC

鋼棒のみアンボンドである。部材の曲げ終局耐力に対する PC 鋼材の寄与率であるプレストレス率 λ は 0.34~0.79、PC 鋼材の降伏時張力 T_{py} に対する有効導入張力 T_{pe} は 50.1~60.5%、PC 鋼材の有効導入張力による梁断面全体に対する軸力比(プレストレスレベル)は 0.9~5.9%である。

3.解析概要

3.1 平面保持を仮定した断面解析

本稿では平面保持を仮定した断面解析に、ファイバー法(せい方向分割数 400)を用いた。材料の履歴モデルは、コンクリートでは圧縮側包絡線及び除荷を中塚モデル⁵⁾⁶⁾、引張側包絡線及び除荷を飯塚・野口モデル⁷⁾とした。鉄筋では Ramberg-Osgood 式に基づき、バウジニング効果を考慮した履歴モデル⁸⁾、PC 鋼材では Menegotto-Pinto 式に基づく履歴モデル⁹⁾とした。

解析では、コンクリートと鉄筋は完全付着とし、コンクリートと PC 鋼材はひずみ適合係数 F 値¹⁰⁾を用いて付着性状を間接的に考慮した。既往文献¹¹⁾より、異形 PC 鋼棒では $F=1.0$ とした。細径異形 PC 鋼棒と PC 鋼より線では、異形 PC 鋼棒と丸鋼の中間程度の付着性状と考え、 $F=0.8$ とした。なお、試験体 GBS-4 の梁断面中央のアンボンド PC 鋼材では $F=0.03$ ¹²⁾とした。

解析における断面の降伏点は内田・浜原等の研究¹³⁾に於いて、モーメント-曲率関係における接線剛性が初期剛性の 6%以下¹⁴⁾になる点とした。

3.2 梁部材角の算定

断面解析により求めた曲率 ϕ を用いて梁部材角を算出した。断面降伏以前は部材軸に沿った曲率分布を三角形

表-1 試験体諸元・梁断面図

試験体名	GB-2	SB-3	GBS-4	M-2	M-5	N-4	N-5	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	
PC鋼材	2-D22		3- ϕ 12.6	2- ϕ 9.2	2- ϕ 12.6	4- ϕ 10.7		2- ϕ 12.7	2- ϕ 12.7	2- ϕ 15.2	4- ϕ 12.7	
	異形PC鋼棒		細径異形PC鋼棒				PC鋼より線					
グラウト圧縮強度 (MPa)	65.3		56.4				70.3					
梁普通鉄筋 (主筋)	梁上端筋	2-D13	3-D13	3-D13	2-D19	4-D13	2-D13	2-D13	2-D19	2-D13	2-D13	
	梁下端筋	2-D13	3-D13	3-D13	2-D19	2-D19	2-D13	2-D13	2-D19	2-D13	2-D13	
鉄筋材種	SD295A		SD490	SD345	SD345	SD345	SD295A	SD295A	SD345	SD295A	SD295A	
コンクリート圧縮強度 (MPa)	77.2		58.8				63.4		68.8			
プレストレス率 λ	0.79	0.79	0.40	0.34	0.41	0.49	0.70	0.61	0.39	0.69	0.76	
有効導入張力 T_{pe} 降伏時張力 T_{py} (%)	51.5	51.1	52.9	60.5	54.1	54.9	50.1	59.5	59.5	59.5	59.5	
プレストレスレベル ($T_{pe}/bD\sigma_B$) (%)	5.4	5.3	3.5	0.9	1.6	1.2	1.1	3.0	3.0	4.2	5.9	
梁断面												

Analytical study on limit states of prestressed reinforced concrete beam in cruciform beam-column subassemblages (Part I Test specimens and outline of analysis)

SHIMADA Yosuke and
KITAYAMA Kazuhiro

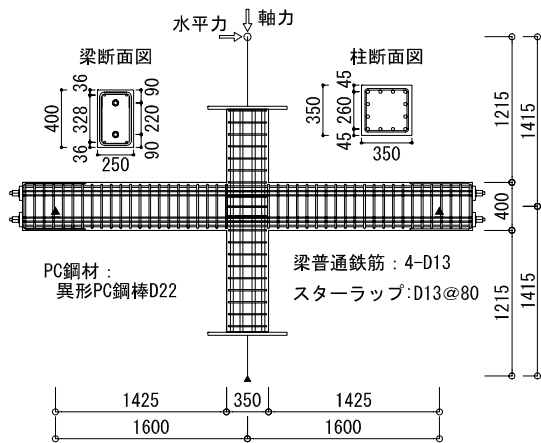


図-1 試験体全体図例(試験体 GB-2)

と仮定し、曲率を積分することにより梁部材角を算出した。断面降伏以後は等価塑性ヒンジ長さ leq を仮定して、式(1)を用いて梁部材角 R を算出した。

$$R = \phi \times leq$$

等価塑性ヒンジ長さ leq は隅田・岸本等が提案する式(2), 式(3)¹⁵⁾を用いた。

$$leq_p = \left(\frac{A}{R_p} + 0.42 \right) D \quad (2)$$

$$A \times 10^4 = \begin{cases} 114 - 88\eta P_e / T_{py} & \dots \text{異形 PC 鋼棒} \\ 95 - 61\eta P_e / T_{py} & \dots \text{PC 鋼より線} \\ 45 & \dots \text{丸形 PC 鋼棒} \end{cases}$$

$$leq_r = 0.5D \quad (3)$$

ここで、 leq_p, leq_r はそれぞれ荷重ピーク時、除荷時の等価塑性ヒンジ長さ、 $\eta P_e / T_{py}$ は PC 鋼材の降伏時張力に対する有効導入張力(η はプレストレス有効率、 P_e は初期プレストレス導入力)、 R_p は荷重ピーク時部材角、 D は梁せいである。ただし、本稿では有効導入張力は実測値を用いた。式(1)~(3)より、荷重ピーク時、除荷時の部材角はそれぞれ式(4), 式(5)によって算出される。

$$R_p = \frac{0.42D + \sqrt{(0.42D)^2 + \frac{4AD}{|\phi|}}}{2} \phi \quad (4)$$

$$R_r = 0.5D\phi \quad (5)$$

ここで、 R_r は除荷時の部材角(残留変形角)である。

ただし、式(2), 式(3)はそれぞれ荷重ピーク時、除荷時の値である。そのため、荷重及び除荷途中の leq は後述するルールを仮定し、曲率の関数として定めた。 leq/D 曲率関係の説明図を図-2 に示す。同図内の点 a~h は荷重履歴の順番を示す。 leq/D 曲率関係の履歴は下記に示すルール A(同図内、実線)、ルール B(破線)、ルール C(一点鎖線)によって定めた。

A) 荷重の途中において、曲率が経験最大部材角時曲率を超えた場合は式(4)を用いた。(a→b, d→e, g→h)

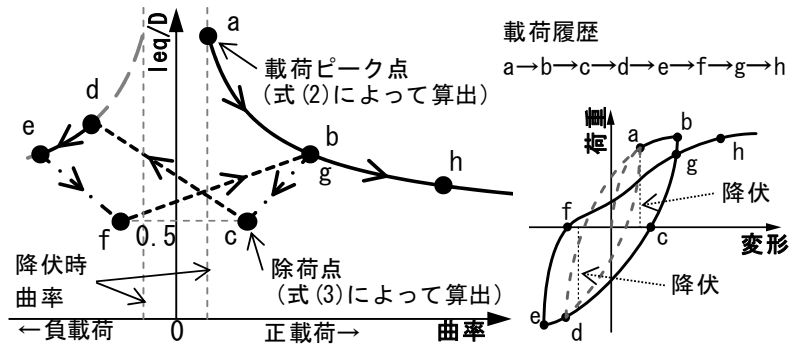


図-2 等価塑性ヒンジ長さ/梁せい-曲率関係

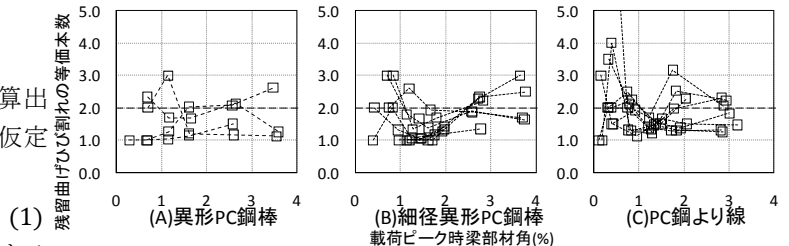


図-3 曲げひび割れの等価本数-荷重ピーク時梁部材角関係

- B) 除荷後の逆方向荷重の途中において、曲率が経験最大部材角時曲率を超えない場合は、経験最大部材角時の点を目指す直線とした。(c→d, f→g)
- C) 除荷の途中は、荷重ピーク時の点と式(5)により定まる除荷点を結ぶ直線とした。(b→c, e→f)

3.3 残留曲げひび割れ幅の最大値

PRC 部材の曲げひび割れ幅と部材角の関係を定量的に評価する方法は無い。そこで本稿では RC 梁部材の場合の評価手法¹⁶⁾を準用した[式(6)]。ただし、通常の PC 梁では RC 梁と比較してスパンが長い場合が多く、RC 梁と同等の変形機構を示すかどうかは今後検討の余地が残る。

$$w_{r,f} = \frac{1}{n_f} \alpha (D - x_n) R_r \quad (6)$$

ここで、 $w_{r,f}$ は残留曲げひび割れ幅の最大値、 n_f は曲げひび割れの等価本数、 α は部材の全変形に対する曲げひび割れによる変形の割合、 D は梁せい、 x_n は断面の圧縮縁から中立軸までの距離である。

図-3 に実験より求めた曲げひび割れの等価本数 n_f -荷重ピーク時梁部材角関係を示す。曲げひび割れの等価本数 n_f は各梁の曲げひび割れ幅の合計を最大曲げひび割れ幅で除して算定した。PRC 梁の n_f は同図のようにばらつくものの、RC 梁部材と同様に 2 とした。部材の全変形に対する曲げひび割れによる変形の割合 α は、暫定的に 0.95(一定)とした。 x_n は断面解析の結果(ただし、文献¹⁶⁾に従い $x_n \geq 0.2D$ とした)を用い、残留変形角 R_r については断面解析により求めた曲率を用いて式(5)によって算出した。

4.まとめ

(その1)では検討対象とした試験体概要、及び解析手法について説明した。(その2)で検討結果を示す。

* (株)アール・アイ・エー 修士(工学)

** 首都大学東京大学院建築学域教授 工博

*Research Institute of Architecture, Mr.Eng.

**Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr.Eng