

PC 鋼より線を用いた梁曲げ破壊型 PRC 十字形骨組の力学特性に関する実験的研究

○矢島 龍人¹⁾・北山 和宏²⁾

1) 学生会員 首都大学東京大学院建築学専攻, 東京都八王子市南大沢1-1, yajima-ryuto1@ed.tmu.ac.jp

2) 正会員 首都大学東京大学院建築学域教授(工博), 東京都八王子市南大沢 1-1, kitak@tmu.ac.jp

1. はじめに

プレストレスト鉄筋コンクリート(PCRC)構造において、使用する鉄筋と PC 鋼材の組み合わせがその骨組の耐震性能を決める要因となる。そこで本研究では、梁の主筋と PC 鋼材の組み合わせを変数とした梁曲げ破壊型の PRC 十字形骨組に対し、静的載荷実験を行い、それらの耐震性能(復元力特性、破壊性状、ひび割れ幅)を調査した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

図-1 に試験体形状を示し、表-1 に試験体諸元、表-2 に使用鋼材材料特性を示す。試験体は平面十字形骨組 4 体で、試験体の柱断面を 350mm×350mm、梁断面を 250mm×400mm、柱芯から梁端支持点までを 1600mm、梁芯から上柱加力点および下柱支持点までをそれぞれ 1415mm、柱・梁コンクリート強度、グラウト強度、柱主筋種類・本数は共通とし、梁曲げ破壊が先行するように設計した。試験体 Y-1 は基準試験体であり、梁主筋として上下とも 2-D13 (SD295A)、PC 鋼材として 2-φ12.7(SWPR7BL)を使用した。試験体 Y-2 は Y-1 と PC 鋼材は同じで梁主筋として上下とも 2-D19(SD345)を使用し、試験体 Y-3 は Y-1 と梁主筋は同じで PC 鋼材として 2-φ15.2 (SWPR7BL)を使用し、試験体 Y-4 は Y-1 と梁主筋は同じで PC 鋼材として 4-φ12.7(SWPR7BL)を使用した。試験体のプレストレス率λは 0.45~0.79 である。

2.2 実験方法

試験体の梁の両端はローラー支持、下柱はピン支持とし、上柱加力点に東西方向、南北方向、鉛直方向の 3 基のジャッキを取り付けた。南北方向のジャッキは面外転倒防止用である。柱に一定圧縮軸力(軸力比 0.1)を導入後、東西に層間変形角 0.25%を 1 サイクル、0.5%を 2 サイクル、1・1.5・2・3・4%を 3 サイクルずつ載荷した後、5%を押切とする正負交番繰り返し載荷を行った。

3. 実験結果

3.1 ひび割れ状況

図-2 に最終的なひび割れ状況を示す。全試験体で梁に曲げひび割れが生じ、変形の増大とともに曲げからのせん断ひび割れが発生した。Y-2 と Y-3 は Y-1 より梁の曲げひび割れが広範囲に発生し、Y-2 は曲げひび割れが一番多く発生した。全試験体で梁の圧縮側コンクリートの損傷が激しく、梁主筋がむき出

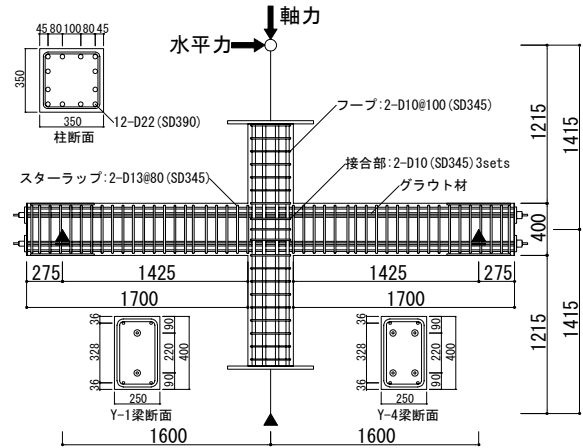


図-1 試験体形状

表-1 試験体諸元

試験体名	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4
コンクリート圧縮強度	68.8MPa			
コンクリート 割裂引張強度	3.1MPa			
グラウト圧縮強度	70.3MPa			
梁PC鋼材	2-φ12.7 (SWPR7BL)	2-φ12.7 (SWPR7BL)	2-φ15.2 (SWPR7BL)	4-φ12.7 (SWPR7BL)
緊張力/規格降伏荷重	0.73	0.74	0.73	0.72
梁上端筋	2-D13	2-D19	2-D13	2-D13
鉄筋材種	SD295A	SD345	SD295A	SD295A
梁下端筋	2-D13	2-D19	2-D13	2-D13
鉄筋材種	SD295A	SD345	SD295A	SD295A
鋼材係数 $q_{※1}$	0.08	0.12	0.10	0.13
プレストレス率 $\lambda_{※2}$	0.67	0.45	0.73	0.79
(共通因子)	軸力比(軸力) 0.1 (870kN)			

※1 $q = (a_p \sigma_p + a_b \sigma_b) / (bd \sigma_p)$. ここに、 a_p : 普通鉄筋断面積、 σ_p : 普通鉄筋降伏応力度
 a_b : PC鋼材断面積、 σ_b : PC鋼材降伏応力度、 b : 梁幅、 d : 梁せい、 σ_b : コンクリート圧縮強度
 ※2 $\lambda = M_p / (M_p + M_c)$. ここに、 M_p : 曲げ終局耐力におけるPC鋼材の負担分
 M_r : 曲げ終局耐力における普通鉄筋の負担分

表-2 使用鋼材材料特性

鋼材	降伏応力度 MPa	ヤング係数 GPa	降伏ひずみ %	弾性限界ひずみ %
PC鋼材φ12.7	1742	213	1.02	0.68
PC鋼材φ15.2	1746	210	1.03	0.69
D10 (SD345)	379	180	0.21	
D13 (SD295A)	357	187	0.19	
D13 (SD345)	349	180	0.19	
D19 (SD345)	397	194	0.20	
D22 (SD390)	469	196	0.24	

※PC鋼材の降伏応力度・降伏ひずみは0.2%オフセット法により定めた

しになるまでコンクリートが剥落した。

3.2 層せん断力-層間変形角関係

図-3 に層せん断力-層間変形角関係を示す。層せん断力は軸力による P- δ 効果の補正を加えたものである。図中の●は正方向と負方向の最大層せん断力時を示し、点線は平面保持を仮定した梁断面の曲げ解析(梁主筋・PC 鋼材は完全付着)¹⁾により求めた梁曲げ終局時の層せん断力である。Y-1 と Y-2 は層間変形角 3%時、Y-3 と Y-4 は層間変形角 2%程度で最大層せん断力に達した。Y-1、Y-3、Y-4 は、最初は原点指向型の履歴で、変形が進むにつれて紡錘形の履歴を示し、最大層せん断力以降に梁のコンクリートの圧壊と梁主筋の座屈・破断により耐力が低下し、

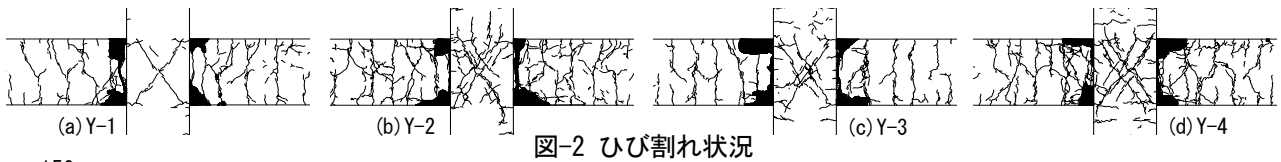


図-2 ひび割れ状況

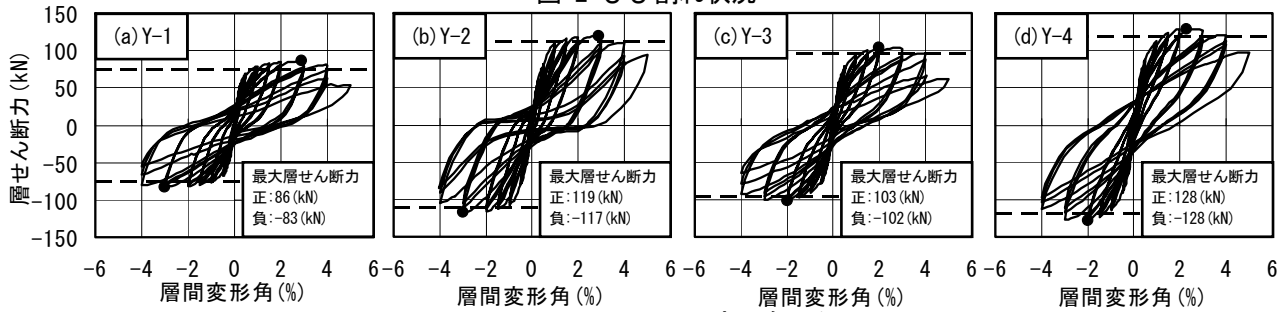


図-3 層せん断力-層間変形角関係

3 体とも似た履歴ループを描いた。Y-2 は層間変形角 0.5%まで原点指向型の履歴で、それ以降 RC 造に見られる除荷剛性の高い履歴ループを描き、最大層せん断力以降にはスリップ性状を示した。全試験体で最大層せん断力の実験値は解析値を上回った。

3.3 梁主筋のすべり性状

図-4に Y-1 と Y-2 の梁主筋接合部中央すべり-層間変形角関係を示す。梁主筋中央に溶接したネジ棒の直近のコンクリートに対する移動量をすべり量とした。層間変形角 4%時に、主筋に D13(SD295A)を使用した Y-1 ではすべりが 0.02mm 以下であるのに対し、主筋に D19(SD345)を使用した Y-2 では 0.75mm すべり、層間変形角 3%から 4%で急激にすべり量が増加した。主筋に D13(SD295A)を使用した Y-3, Y-4 も Y-1 と同様にすべりが 0.02mm 以下であった。

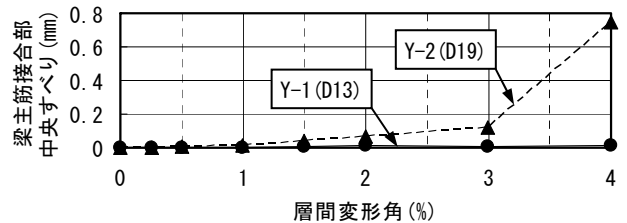


図-4 梁主筋接合部中央すべり-層間変形角関係

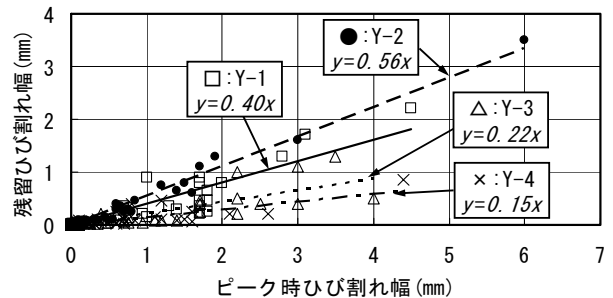


図-5 残留ひび割れ幅-ピーク時ひび割れ幅関係

3.4 破壊性状

全試験体で梁主筋は層間変形角 0.25%~1%の間に降伏した。本実験では PC 鋼材のひずみを測定できなかったが、最大層せん断力の実験値が解析による終局耐力を上回ったことから PC 鋼材は降伏したと判断した。全試験体で、梁主筋と PC 鋼材が降伏して最大耐力に達し、最大耐力以降 Y-1, Y-3, Y-4 は梁のコンクリートの圧壊と梁主筋の座屈・破断により耐力が低下し、Y-2 は柱梁接合部パネル内の梁主筋が付着劣化し、それが梁のコンクリートの圧壊を誘発し、耐力低下に至った。

3.5 残留ひび割れ幅とピーク時ひび割れ幅

図-5に各加力サイクルで測定した全ての曲げひび割れの荷重ピーク時と除荷時におけるひび割れ幅の関係を示す。図中の直線はプロットした点を試験体ごとに線形近似したものである。ひび割れ幅はクラックスケールを用い、梁主筋位置で測定した。RC 造では残留ひび割れ幅はピーク時の 0.5 倍²⁾とされるが、プレストレス率 λ が最小の 0.45 である Y-2 では残留ひび割れ幅がピーク時の 0.56 倍で RC 造での関係と近い値を示すが、プレストレス率 λ が最大の 0.79 である Y-4 では残留ひび割れ幅がピーク時の

0.15 倍で、プレストレス率 λ が大きくなるほど、ピーク時に対する残留ひび割れ幅の比が小さくなった。

4. まとめ

梁主筋として付着の良い D13 を使用した試験体 Y-1, Y-3, Y-4 は紡錘形の復元力特性を示し、梁のコンクリートの圧壊と梁主筋の座屈・破断により耐力が低下した。梁主筋として付着の悪い D19 を使用し、プレストレス率 λ が 0.45 の試験体 Y-2 は RC 造に似た復元力特性で、接合部内の梁主筋の付着劣化により、履歴ループのピンチ化と梁のコンクリートの圧壊を誘発した。プレストレス率 λ が 0.45 では、荷重ピーク時に対する除荷時の曲げひび割れ幅の比は RC 造と同様の 0.5 程度であったが、プレストレス率 λ の増加とともにその比は小さくなり、プレストレス率 λ が 0.79 ではその比は 0.15 であった。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科学研究費補助金・基盤研究 C により行った。本研究の実施にあたり、東京鐵鋼(株)に鉄筋を提供して頂いた。また、(株)ピーエス三菱および見波進先生(首都大学東京)にご指導・ご協力を頂いた。ここに記し謝意を表す。

参考文献 1) 嶋田洋介, 北山和宏: 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-算出したひずみ適合係数を用いた断面解析と各種限界状態の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.811-812, 2009 年 2) 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, 2004 年