

せん断破壊型の RC 柱部材に対する正負交番載荷試験

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○丸山 哲郎
 東日本旅客鉄道(株) フェロー会員 小林 將志
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 醍醐 宏治

1. 目的

鉄筋コンクリート部材の地震時の破壊形態や変形性能についてはこれまで多くの研究が行なわれてきた。しかし、曲げせん断耐力比が 0.9 未満の RC 部材の変形性能を定量的に評価した事例は少ない。今回、破壊形態がせん断破壊と曲げ降伏後のせん断破壊の境界付近の曲げせん断耐力比 ($V_y/V_{mu}=0.7 \sim 0.9$) を有する RC 柱部材について、RC 柱を模擬した試験体において正負交番載荷試験を実施するとともに、既往の実験データと併せて、破壊形態および変形性能について確認を行ったので報告する。

2. せん断破壊型の RC 柱部材に対する正負交番載荷試験

2.1 実験概要

表 - 1 に試験体の諸元を示す。2 体の試験体の断面寸法は $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 、せん断スパン比 (l_a/d) は 3.0、曲げせん断耐力比 (V_y/V_{mu}) はそれぞれ 0.74、0.78 である。なお、N - 1 試験体については帯鉄筋を配置していない。

載荷方法は、一定の軸力 0.98N/mm^2 を作用させた状態での静的正負交番載荷とした。試験は最外縁の軸方向鉄筋のひずみが材料試験の結果から定まる降伏ひずみに達するまでは荷重制御により行い、その時の正側、負側の荷重の平均値を降伏荷重 (P_y)、載荷点変位の平均値を降伏変位 (δ_y) とし、 $2\delta_y$ 以降は降伏変位の整数倍となる変位を変位制限にて与えて行った。なお、各変位における載荷の繰り返し回数は 3 回とした。

表 - 1 試験体諸元

試験体 番号	断面寸法 $B \times H$	有効 高さ d	せん断 スパン l_a	せん断 スパン比 l_a/d	軸方向 鉄筋	帯鉄筋	帯鉄筋 ピッチ	軸力	曲げせん 断耐力比 V_y/V_{mu}	材料強度		
										コンク リート f'_{ck}	軸方向 鉄筋 f_{sy}	帯鉄筋 f_{sy}
	(mm)	(mm)	(mm)		(径×本数)	(径×組数)	(mm)	(N/mm^2)		(N/mm^2)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
N - 1	600×600	550	1650	3.00	D22×16	—	—	0.98	0.74	25.3	375.7	—
N - 2	600×600	550	1650	3.00	D29×20	D10×1組	125	0.98	0.78	28.0	385.9	403.5

2.2 実験結果

(1) 損傷状況

図 - 1 に軸方向鉄筋の降伏時および載荷点の荷重が $P_y/2$ を下回った時の試験体の損傷状況を示す。N - 1 試験体については、 $1\delta_y$ で曲げひび割れが発生したが、斜めひび割れは微小であった。 $2\delta_y$ では載荷点から圧縮縁基部にかけての斜めひび割れが急激に進展し、耐力が大きく低下した。N - 2 試験体については、 $1\delta_y$ で載荷点から基部の圧縮縁にかけての斜めひび割れが多く発生したが、N - 1 試験体と比較して、斜めひび割れが分散していた。また、軸方向鉄筋の降伏に先行して帯鉄筋が降伏したが、軸方向鉄筋の降伏まで荷重が増加した。 $2\delta_y$ では載荷点から基部の圧縮縁にかけての斜めひび割れが拡大し、耐力が低下した。

(2) 載荷点における荷重と変位の関係

図 - 2 に載荷点における荷重 - 変位関係を示す。帯鉄筋を配置していない N - 1 試験体は、 $2\delta_y$ の正側の載荷で最大荷重に達したが、 $2\delta_y$ の変位に達する前に急激に耐力が低下して P_y

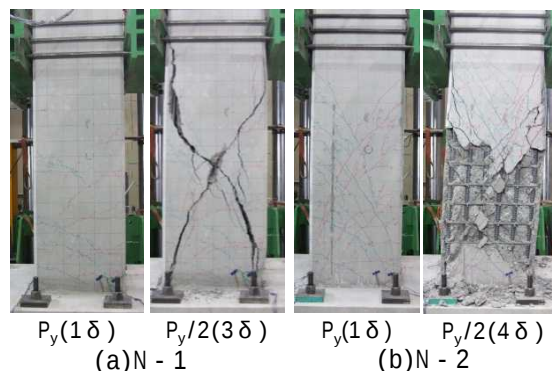


図 - 1 損傷状況

キーワード RC 柱部材、曲げせん断耐力比、破壊形態、曲げ降伏後のせん断破壊、変形性能

連絡先 〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL 03-5334-1288

を下回った。なお、 $2\delta_y$ の負側の載荷では P_y を上回らなかった。N - 2 試験体は、 $2\delta_y$ の正側の載荷で最大荷重に達したが、N - 1 試験体と同様に、 $2\delta_y$ の変位に達する前に耐力が低下して P_y を下回った。なお、 $2\delta_y$ の負側の載荷では P_y を上回らなかったが、 P_y 付近まで荷重は増加した。 $3\delta_y$ 以降は耐力の低下が大きかったが、N - 1 試験体と比較すると、耐力の低下は小さかった。

3. 試験結果と既往試験データの整理

破壊形態および変形性能については、今回実施した2体の試験体に加え、文献^{1), 2)}から収集した既往の実験データを用いて検討を行った。表 - 2 に既往試験の試験体諸元を、表 - 3 に今回実施した試験の結果と、既往試験の結果を示す。表 - 3 の実験値の終局変位 (δ_{uexp}) は実験から得られる荷重 - 変位曲線の包絡線において、試験体の水平荷重が P_{yexp} を下回らない最大の変位とした。

3.1 破壊形態

破壊形態はいずれの試験体も曲げ降伏後のせん断破壊であった。なお、N - 2 試験体については、軸方向鉄筋に先行して一部の帯鉄筋が降伏したが、軸方向鉄筋の降伏まで荷重が増加していることから、曲げ降伏後のせん断破壊と判断した。

3.2 変形性能

変形性能については、今回、じん性率 (μ) で評価する。表 - 3 に示すじん性率は、終局変位の実験値 (δ_{uexp}) を降伏変位の実験値 (δ_{yexp}) で除した値である ($\mu = \delta_{uexp}/\delta_{yexp}$)。この結果より、曲げ降伏耐力とせん断耐力の比 (V_y/V_{my}) に着目すると、 V_y/V_{my} が 1.0 未満の N - 1, N - 2 試験体においては、じん性率が 1.0 を若干上回っている程度であるが、 V_y/V_{my} が 1.0 以上の No.1, No.2 試験体においては、じん性率が 2.0 以上となっており、また V_y/V_{my} の値が高いほどじん性率も高くなる傾向を示した。

表 - 2 既往試験の試験体諸元

試験体 番号	断面寸法 B × H	有効 高さ d	せん断 スパン la	せん断 スパン比 la/d	軸方向 鉄筋	帯鉄筋	帯鉄筋 ピッチ	軸力	コンクリート 強度 f'_{ck}	曲げせん 断耐力比 V_y/V_{mu}
	(mm)	(mm)	(mm)		(径 × 本数)	(径 × 組数)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
No.1 ¹⁾	400 × 400	360	1150	3.19	D19 × 16(SD345)	D6 × 1組(SD345)	200	1.00	26.7	0.80
No.2 ²⁾	650 × 650	600	1850	3.08	D22 × 20(SD345)	D6 × 1組(SD295)	200	0.98	30.3	0.85

表 - 3 試験結果

試験体 番号		計算値					実験値					破壊形態
		V_{my}	V_{mu}	せん断 耐力 V_y	V_y/V_{my}	V_y/V_{mu}	降伏 荷重 P_{yexp}	最大 荷重 P_{uexp}	降伏 変位 δ_{yexp}	終局 変位 δ_{uexp}	じん性率	
		(kN)	(kN)	(kN)			(kN)	(kN)	(mm)	(mm)		
新規 試験	N - 1	317.5	405.9	299.2	0.94	0.74	396.6	419.5	7.46	9.35	1.25	曲げ降伏後のせん断破壊
	N - 2	596.7	756.1	591.5	0.99	0.78	744.0	774.7	12.91	15.37	1.19	曲げ降伏後のせん断破壊
既往 試験	No.1	197.8	250.4	202.8	1.03	0.80	217.1	263.6	6.25	14.45	2.31	曲げ降伏後のせん断破壊
	No.2	369.0	482.0	418.4	1.09	0.85	384.5	499.5	9.10	33.60	3.69	曲げ降伏後のせん断破壊

4. まとめ

今回行った試験の結果は以下の通りである。

- ・ V_y/V_{my} で 1.0 程度、 V_y/V_{mu} で 0.8 程度の RC 柱部材の破壊形態は、曲げ降伏後のせん断破壊となった。
- ・ V_y/V_{my} が 1.0 程度以上になると、曲げせん断余裕度の増加に従って変形性能が増加する。

参考文献

- 1) 小林 薫, 石橋忠良: RC 柱の一面から施工する耐震補強工法の後挿入鉄筋の補強効果に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.683, V-52, pp.91-102, 2001.8
- 2) 菅野貴浩, 石橋忠良, 松尾伸二, 幸田和明: 補強鋼材を斜めに配置した鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強効果に関する実験的研究, 土木学会論文集 E, Vol.65, pp.45-62, 2009.2

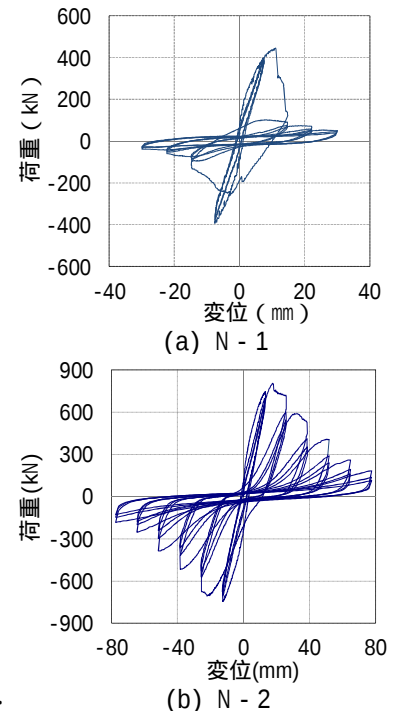


図 - 2 荷重 - 変位関係