

V-48

軸方向鉄筋の破断に関する一考察

北武コンサルタント(株) ○正会員 斉藤 聡彦
北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 谷村 幸裕

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材の正負交番載荷実験等で、部材の水平変位が大きな領域で、軸方向鉄筋が破断して水平抵抗を失う状況が観察されることがある。

このような現象は、鉄筋コンクリート部材の破壊形態を検討する上で、ひとつの破壊形態に分類されるものと考えられるが、軸方向鉄筋の破断に対する検討は十分に行われていないのが現状である。

そこで、正負交番載荷実験で、軸方向鉄筋が座屈後に破断した供試体の実験結果を用いて軸方向鉄筋の破断に関する基礎資料を得ることを目的として既往の載荷試験結果を用いて検討を試みたので以下にその概要を示す。

2. 実験¹⁾

2.1 実験概要

供試体は、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱の実物大モデルとした。断面は 800×800mm、柱下端から載荷点までの高さは 3.0m とした。供試体の配筋状況を図 1 に示す。実験のパラメータは、軸力の有無としている(表 1 参照)。なお、これらはいずれも曲げ破壊となるように設計されたものである。

載荷は、定変位正負交番繰り返し載荷とした。載荷サイクルは、図 2 に示すように降伏荷重以降は、降伏変位の整数倍の変位を各変位ステップで 3 回繰返した。実験から得られた荷重・変位の関係を図 3 に示す。

表 1 実験ケース一覧

試験体	主鉄筋比 (%)	帯鉄筋量	帯鉄筋比 (%)	軸力 (kN)	V _y /V	θ lim (rad)	累積エネルギー (kN・mm)
No.1	2.5	D13ctc80	0.79	2352	2.54	0.59	1713905
No.2		D13ctc80	0.79	0	3.02	0.67	2259427

* V=Mud/la

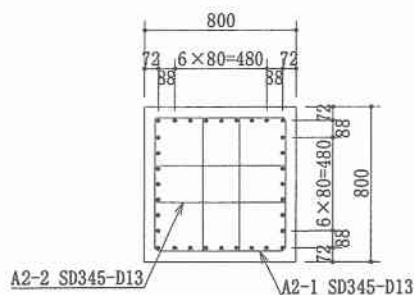


図 1 供試体形状

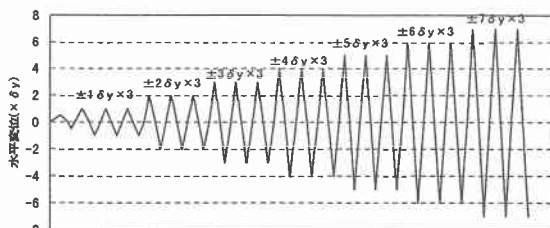


図 2 載荷サイクル

A Study on Breaking of Axial Reinforcement

by Akihiko Saito, Tadatomo Watanabe, Yukihiro Tanimura

2.2 考察

2.2.1 破断時の部材角

載荷試験における荷重変位曲線から得られた軸方向鉄筋が破断した時点での部材角を表 1 に示す。

軸力比と軸方向鉄筋破断時の部材角の関係を図 4 に示す。

なお、各供試体の配筋および作用軸力の関係は、供試体No.1 および 2 は、配筋詳細は同様で作用軸力のみが異なる供試体であり、供試体No.2 は供試体No.1 に比べて軸方向力が小さい供試体である。軸方向力が大きい方が軸方向鉄筋が破断した時点の部材角は小さくなっている。

2.2.2 エネルギー吸収量

載荷試験における水平荷重と変位の関係から、水平荷重×変位をエネルギーと定義して各供試体の軸方向鉄筋の破断までの累積エネルギー吸収量の比較を行った。

累積エネルギー吸収量の算定結果を表 1 に示す。ここでいう累積エネルギー吸収量は、荷重変位履歴の 1 サイクルのループが囲む面積とした。軸力比と累積エネルギー吸収量の関係を図 5 に示す。

同一の配筋詳細の場合、軸方向力が大きいほど軸方向鉄筋の破断時の累積エネルギー吸収量が減少している傾向が認められる結果となった。

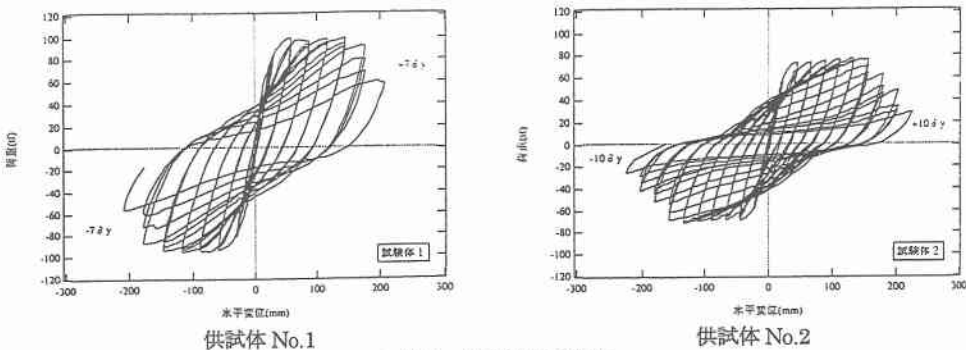


図 3 荷重変位の関係

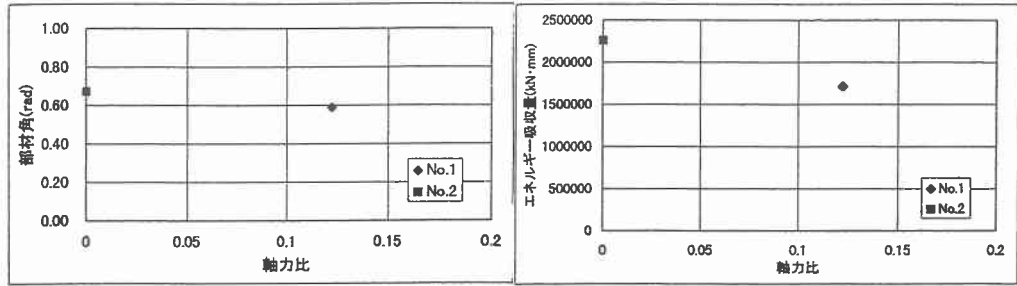


図 4 軸力比と軸方向鉄筋の破断時の部材角の関係

図 5 軸力比と累積エネルギー吸収量の関係

3. 実験 2¹⁾

3.1 実験概要

供試体は、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱の実物大モデルである。断面は 900×900mm、柱下端から載荷点までの高さは 3.0m とした。供試体の配筋状況を図 6 に示す。実験のパラメータは、横方向補強鉄筋量とした（表 2 参照）。なお、これらはいずれも曲げ破壊となるように設計されたものである。

載荷は、定変位正負交番繰り返し載荷とした。載荷サイクルは、実験 1 と同様、降伏荷重以降は、降伏変位の整数倍の変位を各変位ステップで 3 回繰返した。実験から得られた荷重・変位の関係を図 7 に示す。

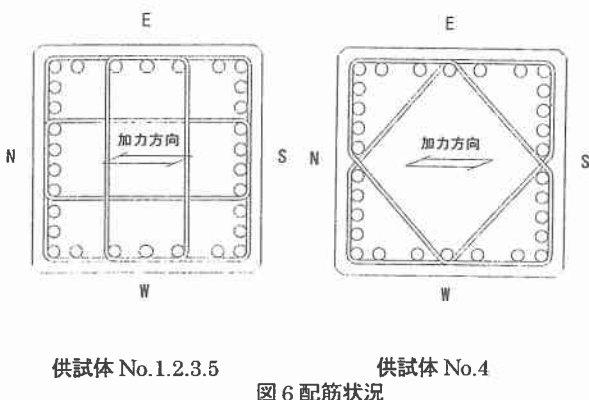
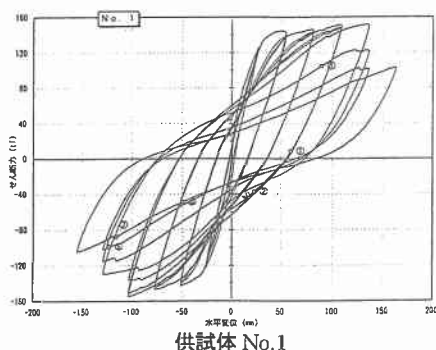
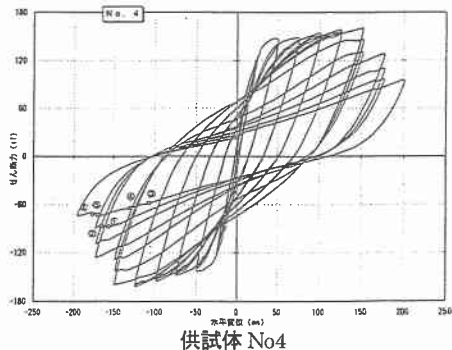


図 6 配筋状況



供試体 No.1



供試体 No.4

図 7 荷重変位の関係

3.2 考察

3.2.1 破断時の部材角

載荷試験における荷重変位曲線から得られた軸方向鉄筋が破断した時点での部材角を表 2 に示す。軸方向鉄筋が破断しなかった供試体 No.1, 2 および 5 については、終局時（降伏荷重を下回らない最大応答部材角）の部材角を用いて図示した。軸方向鉄筋の座屈に伴う破断には、種々の影響因子があるものと考えられるが、帯鉄筋比と鉄筋破断時の部材角の関係を図 8 に示す。

なお、各供試体の配筋および作用軸力の関係は、供試体 No.1～4 は、作用軸力が同様に横方向鉄筋のみが異なる供試体であり、供試体 No.5 は供試体 No.1 に比べて軸方向力が小さい供試体である。軸方向鉄筋が破断した供試体 No.3 および 5 は、他の供試体に比べて部材角が大きくなっている。

3.2.2 エネルギー吸収量

載荷試験における水平荷重と変位の関係から、水平荷重×変位をエネルギーと定義して各供試体の軸方向鉄筋の破断までの累積エネルギー吸収量の比較を行った。

累積エネルギーの算定結果を表 2 に示す。ここでいう累積エネルギーは、荷重変位履歴の 1 サイクルのループが囲む面積とした。せん断補強鉄筋比と各供試体の累積エネルギーとの関係を図 9 に示す。

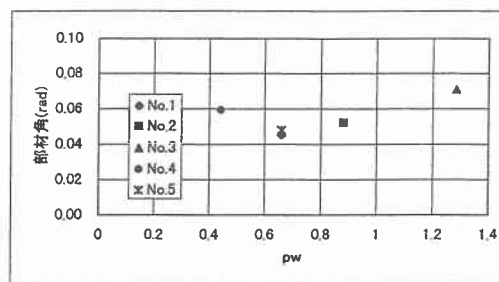


図 8 帯鉄筋比と軸方向鉄筋の破断時の部材角の関係

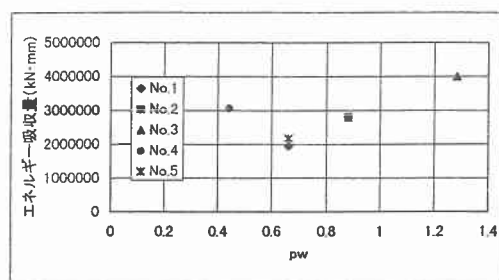


図 9 せん断補強鉄筋比と累積エネルギー吸収量の関係

表 2 試験体一覧表

試験体	b×D (mm)	M/QD 脚部	コンクリート 圧縮強度 (N/cm ²)	主筋 主筋比	帯 筋			軸 力	θ lim (rad)	累積 エネルギー (kN・mm)
					脚 部		一般部			
					帯筋 補強筋比	中間帯筋 補強筋比				
No.1	900× 900	3.3	2685.2	SD345 30-D32 (2.94%)	SD345 D16@100 (0.44%)	SD345 D16@200 (0.22%)	SD345 D16@100 (0.44%)	定軸力 3136kN (387.1N/cm ²)	0.045	1959814
No.2			2822.4		SD345 D16@100 (0.44%)	SD345 D16@100 (0.44%)	SD345 D16@100 (0.44%)		0.052	2812061
No.3			2920.4		SD345 D19@100 (0.64%)	SD345 D19@100 (0.64%)	SD345 D19@100 (0.64%)		0.071	4006230
No.4			3087.0		SD345 D16@100×2組(クロス筋) (0.44%)		SD345 D16@100 (0.44%)		0.060	3068723
No.5			3067.4		SD345 D16@100 (0.44%)	SD345 D16@200 (0.22%)	SD345 D16@100 (0.44%)	定軸力 784kN (97.0N/cm ²)	0.048	2193152

なお、軸方向鉄筋が破断した供試体No.3, 4については、軸方向鉄筋が破断に至るまでのエネルギーを、軸方向鉄筋が破断していない供試体No.1, 2および5については試験終了時までのエネルギーを用いて図示した。

供試体No.1～3は、帯鉄筋の加工形状および配置間隔が同一で、帯鉄筋径を増加させることにより帯鉄筋比を増加させた供試体である。帯鉄筋比の増加により部材の変形性能が向上するためエネルギー吸収量は増加している。しかし、それに伴い帯鉄筋比が最も大きい供試体No.3は軸方向鉄筋が破断している。

また、供試体No.4は、帯鉄筋比は供試体No.1と同様であるが、帯鉄筋の加工形状が異なる供試体である。供試体No.4の帯鉄筋は、1本ものを用いて中間帯鉄筋の効果も得られるように配慮したものであり、供試体No.1の通常の加工形状に比べて軸方向鉄筋の拘束効果が高くなると考えられるものであるが、この供試体は、帯鉄筋比が小さいにもかかわらず軸方向鉄筋が破断する結果となっている。

これより、帯鉄筋による軸方向鉄筋の拘束効果が增大するほど変形性能は向上し吸収エネルギーは増加するもの、軸方向鉄筋の破断が発生しやすくなる傾向があることが分かる。なお、本実験では、累積エネルギー吸収量が $2.9 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{mm}$ 以上で軸方向鉄筋の破断が生じている結果となった。

4. 実験³⁾

供試体は、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱の実物大モデルである。断面は $900 \times 900 \text{ mm}$ 、柱下端から荷点までの高さは 3.0 m とした。供試体の配筋状況および諸元を表 3 に示す。なお、断面の配筋状況は、実験 2 の供試体No.1と同様である。この実験は、損傷した部材を補修後の性能に着目したものであり、供試体No.6'は供試体No.6の試験後に帯鉄筋の再配置および断面修復を行ったものであり、軸方向鉄筋は塑性化までの履歴を受けているものである。供試体No.6は実験 1 と同様な荷重サイクルとした。供試体No.6'の履歴サイクルを図 10 に示す。両供試体の荷重変位の関係を図 11 に示す。

累積エネルギーを表 3 に示す。限界変位を、降伏荷重を下回らない最大変位とした場合のエネルギー吸収量は、供試体No.6'はNo.6 に比べて低下している(図 12)。また、供試体No.6'の軸方向鉄筋破断時までのエネルギーは $4.2 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{mm}$ であり、小さいエネルギー吸収量で破断に至っている。これは、損傷した部材の補修方法には、補修後に想定する地震力(エネルギー)の想定が重要であることを示唆しているものと考えられる。

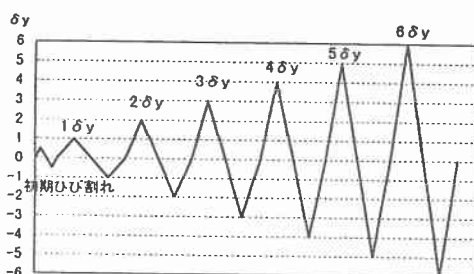


図 10 荷重サイクル

表 3 試験体一覧表

試験体	b×D (mm)	M/QD 脚部	コンクリート 圧縮強度 (N/cm^2)	主筋 主筋比	帯 筋			軸 力	累積 エネルギー ($\text{kN} \cdot \text{mm}$)
					脚 部	一般部			
					帯筋 補強筋比	中間帯筋 補強筋比	補強筋比		
No.6	900×900	3.3	3175.2	SD345	SD345	SD345	SD345	定軸力 3136kN (387.1 N/cm^2)	1789137
No.6'			柱 :3253.6 補修部:2871.4	30-D32 (2.94%)	D16@100 (0.44%)	D16@200 (0.22%)	D16@100 (0.44%)		415961

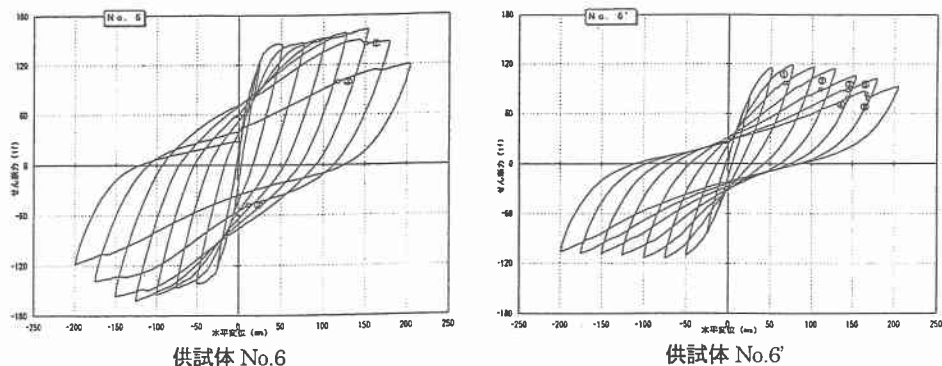


図 11 荷重変位の関係

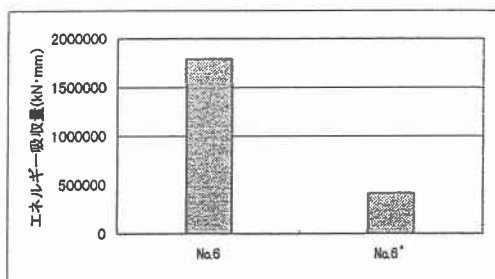


図 12 エネルギー吸収量の比較

5. あとがき

既往の実験結果を用いて、軸方向鉄筋の破断に関する検討を行った。その結果、以下の事項が明らかになった。

- 1) 軸方向鉄筋の破断に対しては、軸方向力が影響を与えており、軸方向力が大きいほど破断に至るエネルギー吸収量が小さくなること。
- 2) 軸方向鉄筋の拘束硬化が大きくなると、エネルギー吸収量は増加するものの軸方向鉄筋の破断が生じ易くなる。
- 3) 軸方向鉄筋が塑性化するような履歴を受けた柱を補修した場合、小さなエネルギー吸収量で軸方向鉄筋の破断が生じる。

なお、軸方向鉄筋の破断に着目した実験が極めて少ないため本報告においては十分な考察および検討は出来なかった。しかし、軸方向鉄筋の破断がせん断補強鉄筋（横方向鉄筋）量によっては、部材の変形性能の照査指標になりうると考えられる結果が得られた。今後、この種の現象に関して解明していくことが新設構造物の耐用期間中の耐震性能や合理的な耐震補強工法の検討を行う上で、検討事項と考える。

参考文献

- 1) 瀧口、渡辺、佐藤：RC 部材の変形性能の評価、鉄道総研報告、Vol.13, No.4, 1999.4