

RC 柱部材の交番載荷試験における軸方向鉄筋破断評価

九州旅客鉄道(株)

正会員 ○瀧口 将志

九州大学大学院工学府

学生会員 池永 貴史

九州大学大学院工学研究院

フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

RC 柱部材の交番載荷試験において、軸方向鉄筋が座屈後、低サイクル疲労により早期に破断する場合がある。その場合耐荷力が急激に低下するため、部材の終局状態をさだめる重要な点であると考えられる。しかしながら耐震設計においてよく用いられる $M-\phi$ モデル、 $P-\delta$ モデルでは、破断点を計算で求めることが困難なため、特に照査を行っていないのが実情である。そこで本検討では、鉄筋の低サイクル疲労に着目した交番載荷試験¹⁾を行い、鉄筋破断に関する考察を行うとともに、破断点の算定を試みた。

2. 実験概要

試験体は RC 橋脚を模した縮小模型であり、断面は $400\text{mm} \times 400\text{mm}$ の正方形、せん断スパンは 2.56m である。引張鉄筋比は 0.426% 、帯鉄筋比は 0.528% であり、いずれの試験体も曲げ破壊型である。試験体緒元を表-1、試験体形状を図-1 に示す。パラメータは、軸力の有無と側方鉄筋の有無である。載荷パターンは $1\delta_y$ ごと 3 回繰返しの交番漸増載荷で、基準変位は 4 試験体の降伏変位計算値のほぼ平均である 15mm に統一した。

表-1 試験体諸元

	断面 $B \times D$ (mm)	軸方向 鉄筋	帯鉄筋	軸力 N (kN)	軸力比 η	側方鉄筋
No. 1	400×400	SD295 16-D13	SD295 D6@60	0	0	なし
No. 2				960	0.126	なし
No. 3				0	0	あり
No. 4				960	0.123	あり

3. 実験結果

図-2 に荷重-変位関係を示す。図中には、鉄道耐震標準による計算値および軸方向鉄筋の座屈開始時期、破断時期をあわせて示した。表-2 に、軸方向鉄筋の座屈・破断載荷サイクルを示す。座屈が遅い場合は破断も遅い傾向が見られ、また破断は座屈の 2~4 δ_y 後に生じている。

表-2 軸方向鉄筋の座屈時期と破断時期

	No.1	No.2	No.3	No.4
座屈(実験)	$+6\delta_y * 1 \rightarrow -6\delta_y * 1$	$-5\delta_y * 2 \rightarrow +5\delta_y * 3$	$-8\delta_y * 1 \rightarrow +8\delta_y * 2$	$+5\delta_y * 2 \rightarrow -5\delta_y * 2$
破断(実験)	$+9\delta_y * 1 \rightarrow -9\delta_y * 1$	$+8\delta_y * 2 \rightarrow -8\delta_y * 2$	$+10\delta_y * 3 \rightarrow -10\delta_y * 3$	$+9\delta_y * 1 \rightarrow -9\delta_y * 1$
破断(計算)	$9\delta_y * 1$	$8\delta_y * 3$	$10\delta_y * 2$	$8\delta_y * 3$

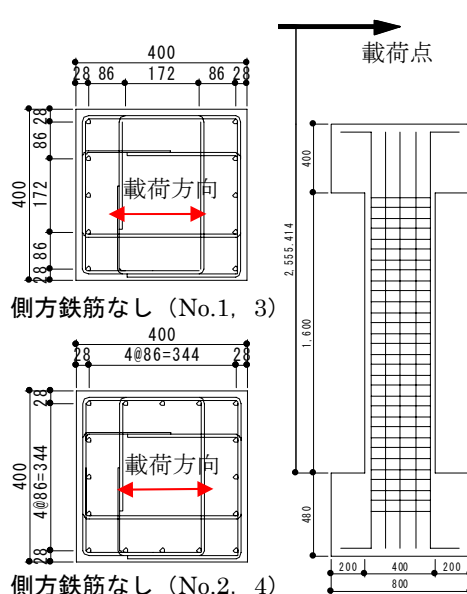


図-1 試験体形状 (単位: mm)

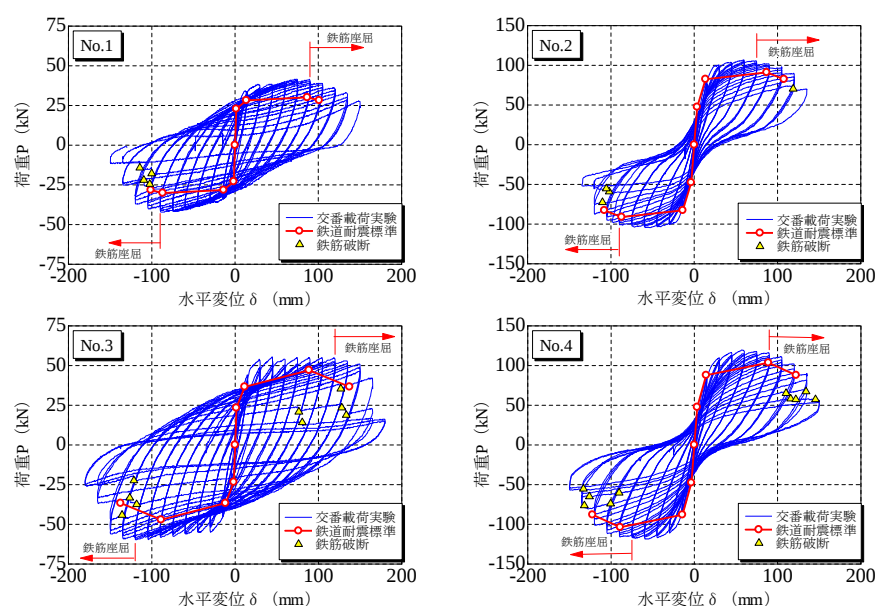


図-2 荷重-変位曲線

キーワード RC 柱, 鉄筋破断, 低サイクル疲労, 交番載荷, 鉄筋座屈

連絡先 〒812-8566 福岡市博多区博多駅前 3-25-21 九州旅客鉄道(株) 施設部保線課 TEL 092 - 474 - 2449

4. 破断時期の算定

中村ら²⁾によると、鉄筋単体での破断までの繰返し回数 N は、以下で与えられる。

$$N = \frac{1.5 \times 10^{-3} (\ell / r) + 1.0 \times 10^{-2}}{(\varepsilon_{\min} - \varepsilon_{\max})^2} + 1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 ℓ : 座屈長さ (= $k_w \cdot \ell'$ とする ℓ' は交番載荷試験での座屈長さ、 k_w は固定条件補正係数)、 r : 鉄筋径、 $\varepsilon_{\min}$: 平均最小ひずみ、 $\varepsilon_{\max}$: 平均最大ひずみ。なお式(1)は両端固定での実験式であり、実際には帯鉄筋の伸びや移動等により両端固定と条件が異なるため、係数 k_w (仮に $k_w=1.0$ とする) を導入した。

式(1)を $M-\phi$ モデル、 $P-\delta$ モデルで用いるには、これを曲率あるいは変位と N との関係に変換する必要がある。図-3 に、ファイバーモデルを用いて漸増交番載荷により算定した $\varepsilon-\phi$ 関係を示す。本試験体では軸圧縮応力下では断面曲率 ϕ と鉄筋引張ひずみ ε_t には線形関係が見られ、これに断面有効高さ d を考慮すると、

$$\phi = 3.75 \varepsilon_t = 1.4 \varepsilon_t / d \quad \dots \dots \dots (2)$$

また変位 δ と等価塑性ヒンジ曲率 ϕ_p には以下の関係がある。ここでは ϕ_p は鉄筋伸び出しを含むものとし、さらにせん断スパン比が大きい場合には、

$$\delta = \phi_p \cdot L_p (L - L_p / 2) \div \phi_p \cdot L_p \cdot L \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 L_p : 等価塑性ヒンジ長、 L : せん断スパン

さらに塑性ヒンジ部分の変位のうち、軸方向鉄筋座屈長さでの変位の割合を k_d (仮に $k_d=0.6$ とする) とし、さらに式(2)の断面曲率—鉄筋引張ひずみ関係が、座屈区間の曲率—平均鉄筋引張ひずみ関係にも成立すると仮定すると、

$$\varepsilon_t = k_d \cdot \delta \cdot d / (1.4 k_w \cdot \ell' \cdot L) \quad \dots \dots \dots (4)$$

図-3 より鉄筋圧縮ひずみは引張ひずみと比較して小さいことより、式(1)は、

$$N = \{ 2.94 \times 10^{-3} (k_w \cdot \ell' / r) + 1.96 \times 10^{-2} \} \frac{(k_w \cdot \ell' \cdot L)^2}{(k_d \cdot \delta \cdot d)^2} + 1 \quad \dots \dots (5)$$

写真-1 より、本実験での座屈長さは概ね帯鉄筋間隔 2 本分であるので、 $\ell' = 120\text{mm}$ とし、マイナー則を適用して算定した破断時期計算値を表-2 に示す。計算値は概ね妥当に算定されているものと考えられる。

5. まとめ

鉄筋の低サイクル疲労破断に着目した交番載荷試験を行った結果、(1) 座屈が遅い場合は破断も遅いこと、(2) 本実験の範囲内では破断は座屈の 2~4 δ_y 後に生じることが分かった。さらに鉄筋単体でのひずみ振幅—破断までの繰返し回数との関係式を $P-\delta$ 関係に拡張することにより、本実験の範囲内では破断時期を概ね妥当に評価できた。このことよりパラメータを適切に定めることにより、 $P-\delta$ モデル、 $M-\phi$ モデルにおいて鉄筋破断時期を算定できる可能性があることが分かった。

今後は、(1) 曲率—引張鉄筋ひずみ関係式の適用性の確認、(2) 鉄筋径・帯鉄筋間隔・断面寸法等の異なる試験体での破断時期算定式の適用性の確認、が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 大塚久哲, 瀧口将志, 池永貴史, 山崎智彦: 軸力と側方鉄筋の有無が RC 柱部材の変形性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, 2008 (投稿中)
- 2) 土木学会コンクリート技術シリーズ 48: コンクリート構造物の耐震性能照査技術—現状と将来展望—, pp.36-37, 2002.12



写真-1 鉄筋破断状況 (No.1)

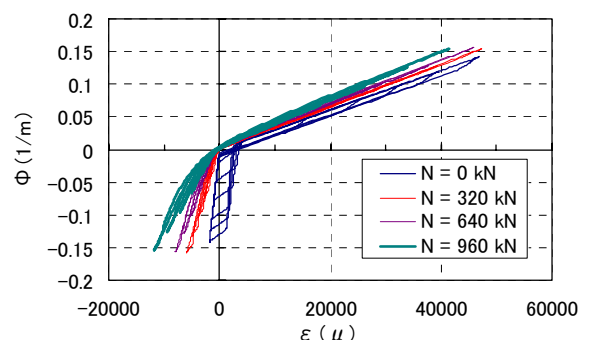


図-3 鉄筋 $\varepsilon-\phi$ 関係 (側方鉄筋なし)