

丸鋼鉄筋を用いた RC ラーメン高架橋柱の履歴モデルに関する一考察

JR 東日本コンサルタンツ株式会社
東日本旅客鉄道株式会社

正会員 ○桑木野 耕介
正会員 大郷 貴之

1. 目的

現在の RC 構造物には異形鉄筋を用いられることが一般的であるが、1970 年代以前までに建設された RC 構造物は、丸鋼を用いている場合がある。既往の研究^{例えば 1)~2)}では、丸鋼を用いた RC 部材の交番載荷試験の結果、異形鉄筋を用いた RC 部材と比較してひび割れが少なく、変形性能が高いことが報告されているものの、丸鋼の履歴特性に関する研究は少ない。そこで本研究では、これまで実施した丸鋼を用いた試験体による交番載荷試験結果を用いて、丸鋼の履歴モデルを Takeda-slip モデル等を参考に検討したので報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体

本研究に用いた試験体の緒元を表 1 に示す。No2, No5 は柱断面寸法が 450 mm×450 mm の縮小試験体である。No8 は 1954 年に建設された既往高架橋を模擬した実物大の試験体である。

2.2 試験結果と骨格曲線

No8 の部材端の曲げモーメントと部材角の関係について図 1 に示す。図中に異形鉄筋として計算した骨格曲線の部材降伏点 (Y 点)、最大耐力点 (M 点)、終局点 (N 点) を併記するが、N 点以降も急激な損傷や耐力低下が生じていない。なお No2, No5 も同様の傾向を示した。よって柱部材に軸短縮が発生しない最大変形点 (J 点) を終局状態と定義し図 2 のように 4 折れ 5 勾配の骨格曲線でモデル化することとした。また、図 1 に本試験結果の Y 点、M 点、N 点、J 点を併記した。

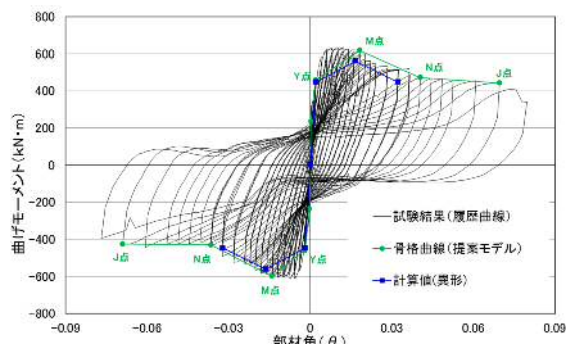


図 1 M-θ 関係 (No8)

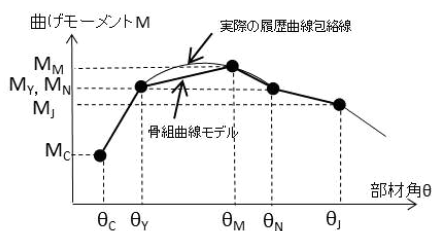


図 2 丸鋼の骨格曲線

3. 履歴モデルの検討

3.1 履歴モデル

図 3 に No8 の Y, M, N, J の各点での曲げモーメント及び部材角のピーク値で正規化した履歴曲線を示す。Y, M 点では紡錘型の挙動を示すが、N 点以降はスリップ型の挙動を示した。そこで履歴ルールを N 点までは紡錘型となる Takeda モデルを参考に、N 点以降はスリップ型となる Takeda-slip モデルを参考とし、図 4~7 のように定義した。Y 点~N 点での除荷勾配 K_r , K_b を式 (1), 式 (2) で、N 点~J 点でのスリップ勾配 K_s , 立ち上がり勾配 K_p を式 (3), 式 (4) で算出する。

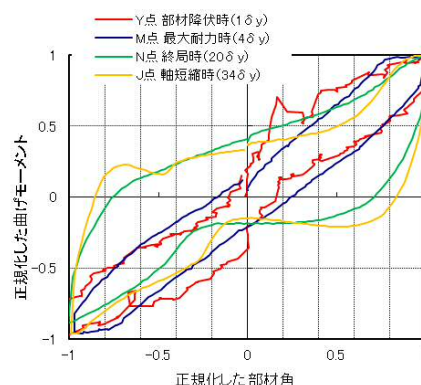


図-3 正規化した荷重変位曲線 (No8)

3.2 除荷剛性, スリップ剛性, 立ち上がり剛性

No8 の試験結果から Y 点以降の除荷剛性 K_r を求めると図 8 のようになった。この結果と、式 (1) により求める K_r の計算値との残差を取り、その合計が最も小さくな

表 1 既設高架橋柱、試験体の緒元

	断面 寸法	a/d	軸方向鉄筋				帯鉄筋		材料強度 [※]			曲げ せん断 耐力比
			径・本	間隔 D	D/φ	ρ _t	径・間隔	ρ _w	コンク リート	鋼材		
										軸方向 鉄筋	帯鉄筋	
[mm]		mm・本	[mm]		[%]	[mm]	[%]	[N/mm ²]				
試験体No2	450×450	3.0	φ25×3	160.0	6.40	0.85	φ9etc150	0.19	28.3	304.1	372.6	1.41
試験体No5	450×450	3.0	φ19×3	160.0	8.42	0.49	φ9etc150	0.19	20.8	318.0	372.6	1.83
試験体No8	700×700	2.5	φ22×4	193.3	8.79	0.34	φ9etc150	0.07	28.9	293.4	372.6	1.62
既設高架橋(1954年)【参考】	760×760	3.7	φ22×6	160.0	6.40	0.37	φ9etc150	0.11	21.0	200.0	200.0	1.76

※材料強度はコンクリートが圧縮強度を、鋼材が引張降伏強度を示す。既設高架橋の引張降伏強度は文献⁴⁾より、圧縮強度は同時期に建設された近傍の高架橋の反発硬度の測定結果に基づく推定値である。

るように係数 α を求めると $\alpha = 0.69$ となった。

また、M 点以降のスリップ剛性 K_s 、立ち上がり剛性 K_p を求めると、図 9、図 10 のようになった、この結果と式 (3)、式 (4) より求まる K_s 、 K_p の計算値との残差を取り、その合計が最も小さくなるように β 、 γ の値を求めると $\beta = 0.41$ 、 $\gamma = 0.90$ となった。

No2, No5 についても同様な処理を行い、 α 、 β 、 γ の実験値を求めると表 2 のとおりとなった。本試験体の範囲では、 α 、 γ については、ばらつきが少なく、それぞれ 0.7, 0.9 程度の値となった。スリップ剛性 K_s の係数である β については、各試験体にばらつきが見られた。

$$K_b = \frac{M_c + M_y}{\theta_c + \theta_y} \quad (1)$$

$$K_r = K_b \left| \frac{\theta_{\max}}{\theta_y} \right|^{-\alpha} \quad (2)$$

$$K_s = \frac{M_{\max}}{\theta_{\max} - \theta_0} \left| \frac{\theta_{\max}}{\theta_{\max} - \theta_0} \right|^{\beta} \quad (3)$$

$$K_p = \gamma \frac{M_{\max}}{\theta_{\max}} \quad (4)$$

3.3 履歴モデルの検証・まとめ

本研究で提案する骨格曲線、履歴モデルを用いて No8 の正負交番載荷試験のシミュレーションを行い、履歴吸収エネルギーを算出し、実験値と比較を行った。この結果を図 11 に示す。計算値は紡錘型となる 20δ 付近まで概ね一致し、スリップ型に変化する 20δ 以降はやや過小評価するが概ね傾向は一致した。No2, No5 についても同様の結果となった。以上より、N 点以降履歴モデルを紡錘型からスリップ型に変化させる本履歴モデルを適用することで、安全側に履歴吸収エネルギーを評価することができた。今後は今回提案する履歴モデルを用いて、動的解析を行い、既設高架橋の耐震性能を確認したい。

参考文献

- 1) 伊東典紀, 桑木野耕介, 大郷貴之: 丸鋼を用いた RC 部材の地震時破壊形態に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No2, pp667-672, 2014
- 2) 澤松俊寿, 三田村浩ら: 柱部の鉄筋に丸鋼を用いた鉄筋コンクリート橋脚の履歴特性, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.333-342
- 3) 井口重信, 山田章史, 中村端穂, 築嶋大輔: 軸方向鉄筋の内側に円形帯鉄筋を配置した鉄筋コンクリート柱部材における履歴モデルに関する一考察, コンクリート工学年次論文集, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No2, pp667-672, 2014

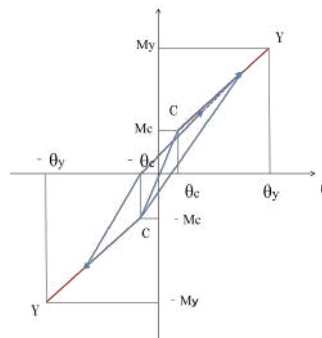


図 4 履歴モデル (0 点～Y 点)

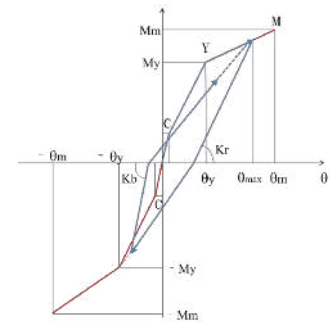


図 5 履歴モデル (Y 点～M 点)

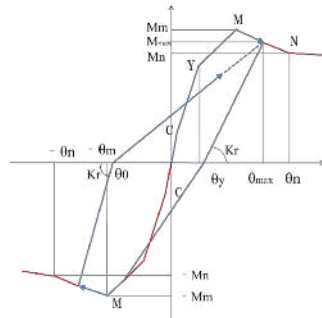


図 6 履歴モデル (M 点～N 点)

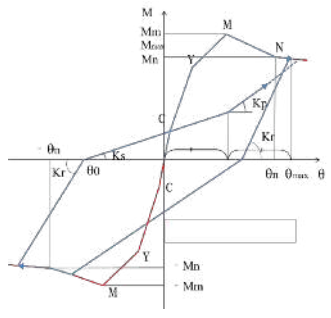


図 7 履歴モデル (N 点～J 点)

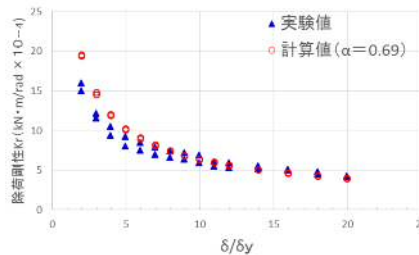


図 8 除荷剛性 k_r (No8)

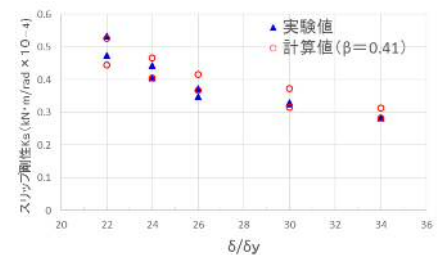


図 9 スリップ剛性 k_s (No8)

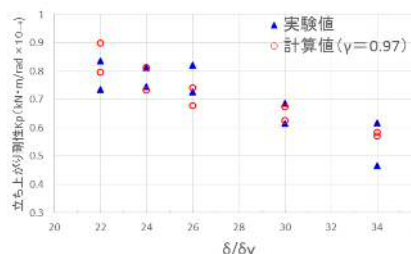


図 10 立ち上がり剛性 k_p (No8)

表 2 各試験体の係数(実験値)

記号	α	β	γ
No2	0.61	0.13	0.90
No5	0.74	0.05	0.88
No8	0.69	0.41	0.90

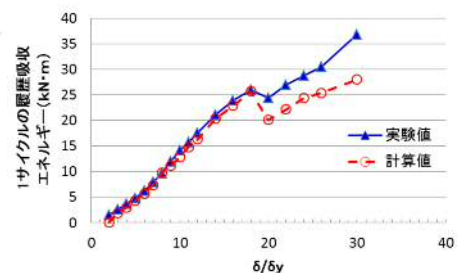


図 11 各サイクルの履歴吸収エネルギー (No8)

キーワード 丸鋼鉄筋, 静的正負交番載荷試験, 履歴モデル

連絡先 〒141-0033 東京都品川区西品川 1-1 JR 東日本コンサルタンツ(株) TEL 03-5435-7627