

# 塑性ヒンジ領域内での段落しにおける軸方向鉄筋の定着方法の開発

前田建設工業 正会員 ○米田 大樹, 原 夏生, 三島 徹也  
高知工科大学 正会員 島 弘

## 1. 目的

RC 橋脚の軸方向鉄筋の段落しは、断面耐力に合わせた経済的な配筋を行う上では、可能な限り低い位置で行うことが望ましい。一方、耐震性の上で、段落し位置が弱点となることが既往の文献等<sup>1)</sup>で指摘されており、コンクリート標準示方書（構造性能照査編）<sup>2)</sup>および鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）<sup>3)</sup>では曲げモーメントが最大となる位置から断面の有効高さと同軸方向鉄筋の定着長の合計以上離れた位置で段落しを行うこととしている。また、道路橋示方書（V耐震設計編）<sup>4)</sup>では、段落しを行う場合、橋脚基部から塑性ヒンジ長の4倍以上離れた位置で行うこととしている。すなわち、いずれの場合も部材の塑性化領域内で軸方向鉄筋の段落しを行わないことを原則としているのである。しかし、著者らは軸方向鉄筋の定着を十分に確保し、曲げ破壊先行型の柱部材とすれば、段落し位置が弱点になることはないと考えている。そこで、曲げ破壊先行型の柱部材に対して、可能な限り低い位置で段落しを行うこと、およびその際の定着方法の開発を目的として、塑性ヒンジ領域内から段落しを行った試験体で正負交番載荷実験を行った。

## 2. 試験体

表-1に各試験体の条件および使用材料を示す。外形寸法は全て同一で、柱基部の配筋も全て同一である。軸方向鉄筋は、載荷面側に9本、側面側に5本配置している。せん断破壊を防止するために、せん断補強鉄筋を5cm間隔で配置した。代表してNo.3の試験体を図-1に示す。No.1は、基準試験体であり、段落しは行っていない。No.2, No.3の2体は、段落しを行った試験体であり、段落し位置は同一である。すなわち、B-B断面において、載荷面に配置した軸方向鉄筋を2本、C-C断面においてさらに2本の段落しを行っている。各断面の降伏耐力および終局耐力はファイバーモデルによって計算し、段落し位置は各段落し位置の軸方向鉄筋が同時に降伏するように位置を定めた。No.2とNo.3の定着が完全だと仮定した場合の作用曲げモーメントと部材軸方向の各位置における軸方向鉄筋降伏時および終局時のモーメント分布を図-3に示す。また、各断面の耐力を表-2に示す。No.2は段落し位置での定着を考慮せず、段落し位置で鉄筋を切断した。一方、No.3は、図-1の側面図に示すように、段落し位置から軸方向鉄筋を45°に折り曲げ、引張側にある軸方向鉄筋が圧縮側に定着されるようにした。本実験では、No.1基準試験体と比較して、No.2で約20%、No.3で約13%の軸方向鉄筋の削減となっている。

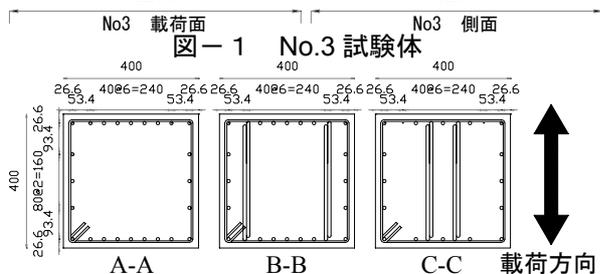
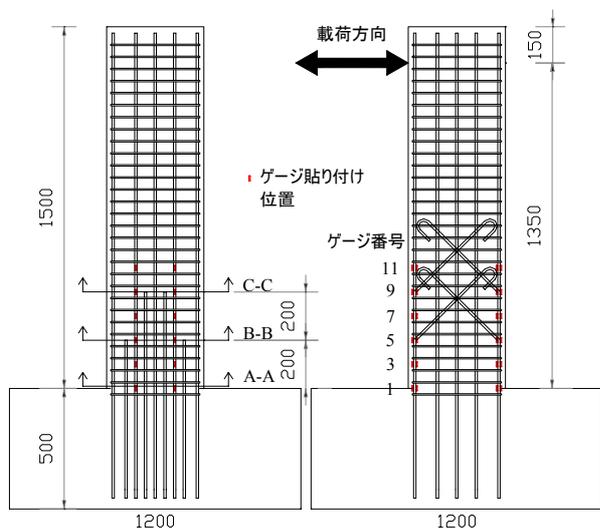


図-1 No.3 試験体  
図-2 No.3 断面図

表-1 試験体の条件と材料試験結果

試験体名	実験条件		材料試験結果					
	段落し	定着	コンクリート		軸方向鉄筋 D10		帯筋 D6	
			強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
No.1	無し	-	33	30.1	338	189	338	218
No.2	あり	無し						
No.3	あり	あり						

表-2 計算耐力

断面	曲げ耐力 $M_u$ (kNm)	せん断耐力 $V$ (kN)	曲げせん断耐力比 $V \cdot a / M_u$
A-A	145	193	1.80
B-B	126	188	1.71
C-C	107	181	1.61

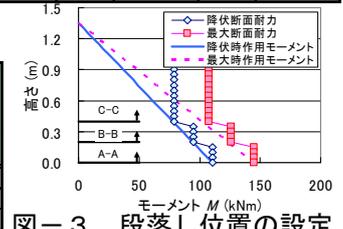


図-3 段落し位置の設定

キーワード 段落し, 柱部材, 変形性能, 塑性ヒンジ

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業(株) 技術研究所 TEL 03-3977-2241

### 3. 載荷方法

鉛直荷重による応力が 1MPa となるように一定軸力を作用させた状態で、一定振幅変位漸増方式により  $1\delta_y$  の整数倍の変位振幅でそれぞれ3回ずつ正負に水平荷重を作用させた。 $1\delta_y$  は、No. 1 基準試験体において鉄筋ひずみを確認しながら載荷し、軸方向鉄筋の降伏が確認できた時点の変位 6mm を  $1\delta_y$  とした。No. 2 および No. 3 の  $1\delta_y$  は、比較のために No. 1 と同じ 6mm を  $1\delta_y$  として載荷を行った。ただし、No. 1 については  $2\delta_y$  正側 1 回目に載荷システムのトラブルによって、一気に  $5\delta_y$  へ載荷が進んでしまった。 $5\delta_y$  からは、正常に 3 回ずつの正負交番載荷を行っている。

### 4. 実験結果

No. 1 は  $1\delta_y$  から  $5\delta_y$  (115kN) まで荷重が増加しているが、 $5\delta_y$  2 回目の繰返し時には No. 3 とほぼ同じ履歴へ移行している (図-4)。繰返し載荷を行った場合、単調載荷と比較して荷重が増加することは既往の文献等<sup>5)</sup>でも報告されている。また、No. 1 の最大荷重 115kN に対して No. 3 は 107kN と若干小さいだけであり、 $6\delta_y$  以降の No. 1 と No. 3 の履歴曲線もほぼ同じであることから、No. 1 と No. 3 の終局耐力および変形性能はほぼ同等といえる。定着を考慮していない No. 2 は変位が進むにつれて荷重が低下し、かぶりの剥落も C-C の段落し位置で生じているのに対し、定着を考慮した No. 3 は  $5\delta_y$  までほぼ一定の荷重を維持している (図-5)。したがって、軸方向鉄筋を確実に定着することで段落し位置での破壊を回避できることが確認できた。

図-6 の等価粘性減衰定数は、 $5\delta_y$  時点の No. 1 が最も大きい。これは単調載荷の影響が現れていると思われる。 $6\delta_y$  以降の等価粘性減衰定数は、No. 1 と No. 3 でほぼ同じである。一方、No. 2 の等価粘性減衰定数は、 $6\delta_y$  以降も増加している。これは図-8 の履歴ループで示すように、No. 2 の荷重低下によって履歴ループの逆 S 字型の形状が緩和されたためである。したがって、図-7 で示すように、履歴ループの面積が減少しているため、No. 2 の累積吸収エネルギーは No. 1, 3 と比較して小さい値となっている。今回は載荷システムのトラブルにより、 $6\delta_y$  以降の比較のみであるが、No. 3 の等価粘性減衰定数は No. 1 と比較してほぼ同等であり、軸方向鉄筋の定着を確保すれば、塑性ヒンジ領域内で段落しを行っても耐震性能はほぼ同等であると考えられる。

### 5. まとめ

本実験の結果、軸方向鉄筋の定着を確保すれば、塑性ヒンジ領域内で段落しを行っても耐力および変形性能は同等であることが確認できた。また、最大荷重以降の比較であるが、段落しを行っても履歴吸収エネルギーはほぼ同等であることも確認できた。

### 参考文献

- 1) 幸左賢二, 藤井康男, 田中克典: 損傷形態に着目した被災 RC 橋脚の分析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 21, No. 3, pp. 1201-1206, 1999. 6
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 (構造性能照査編), pp. 133-134, 2002
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), pp. 98-106, pp. 242-247, 2004
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編), pp. 177-179, 2002
- 5) 三島徹也, 原夏生, 前川宏一: 交番載荷による RC ひびわれ面でのせん断剛性低下のメカニズム, 土木学会論文集, No. 442, pp. 191-200, 1992. 2

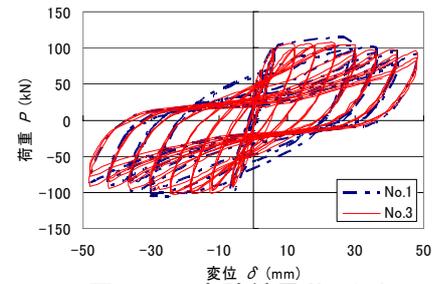


図-4 実験結果 No. 1, 3

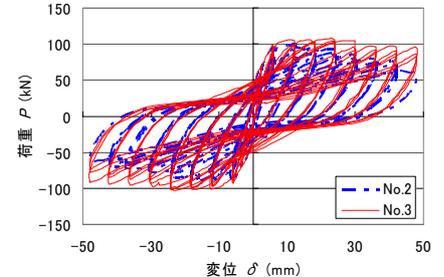


図-5 実験結果 No. 2, 3

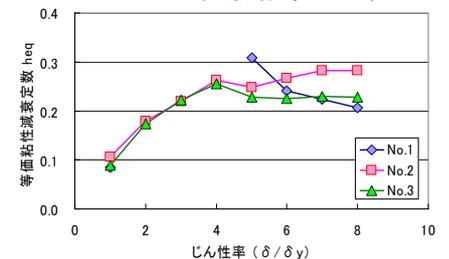


図-6 等価粘性減衰定数

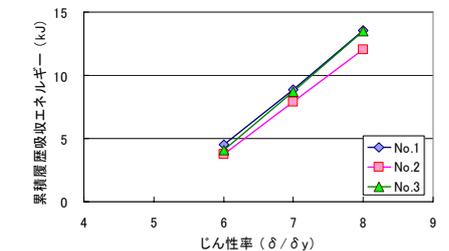


図-7 累積履歴吸収

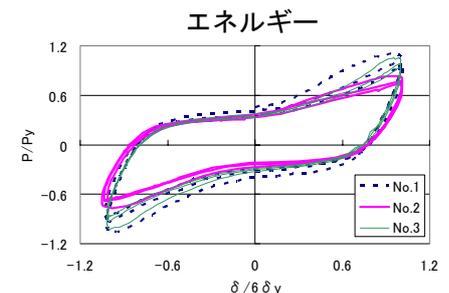


図-8 履歴曲線 ( $6\delta_y$ )