

座屈拘束鉄筋を用いた柱構造の成立性確認実験

(株) 大林組 正会員 ○武田 篤史

1. 目的

危機耐性¹⁾に寄与する冗長性を大幅に向上しうる構造として、座屈拘束鉄筋を用いた柱構造を考案した。本報においては、その成立性を確認する目的で行った正負交番載荷実験について示す。

2. 座屈拘束鉄筋を用いた柱構造

軸方向鉄筋の座屈を拘束するために、基部の軸方向鉄筋に鋼管をかぶせることとした。鋼管には内外面に突起のない構造用鋼管を用いる。全ての軸方向鉄筋がアンボンドとなると、基部に発生する1本のひび割れのみが開きそのひび割れに変形が集中するが、このような局所的な損傷を防ぐために、最小鉄筋量相当の軸方向鉄筋は鋼管をかぶせないボンド鉄筋とすることとした。図-1に本提案構造のイメージを示す。

本構造は、BDBE（設計基準外部事象）に対する冗長性確保を目的とする。そのため、図-2に示す通り、設計基準内（DBE：設計基準内部事象）における挙動は通常RC構造とほとんど変えずに、設計限界変位以上の変位に対しての耐倒壊性能を高めようとするものである。コスト増加は最小限にとどめることを目的とし、座屈拘束鉄筋の鋼管を加えるだけにとどめた。軸方向鉄筋の座屈を抑制することにより、かぶりコンクリートの剥落を遅らせたり、耐力低下の勾配を緩やかにすることを期待する。さらに、繰返し載荷に対して鋼管内で軸方向鉄筋が圧縮・引張降伏することにより、良好なエネルギー吸収性能、すなわち紡錘形の荷重-変位履歴を期待する。

3. 実験方法

3.1 試験体 試験体は、通常RC構造と比較するため、H24道示²⁾に示される変形性能評価³⁾のデータソースの一つとされている武村・川島の実験⁴⁾と同様の諸元を基本とし、座屈拘束鉄筋用の鋼管を加えた。試験体諸元を図-3に示す。せん断スパン比 a/d は3.46、軸方向鉄筋比 p_l は1.58%、せん断補強筋比 p_w は0.23%であり、曲げ破壊型の構造である。

座屈拘束鉄筋用の鋼管は、φ21.7mm,t1.9mm(STK400)とし、鉄筋がかぶり側に偏芯するように設置した。座屈鋼管の内部には、セメントペーストを充填したが、その必要性については今後の課題である。内外面には、付着除去の目的で油性グリースを塗布した。

鋼管の下端位置は、フーチング上面とした。鋼管の長さ L は、実験パラメーターとし、
No.1 試験体は $L=200\text{mm}$

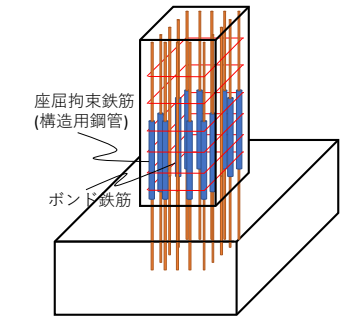


図-1 座屈拘束鉄筋を用いた柱構造試験

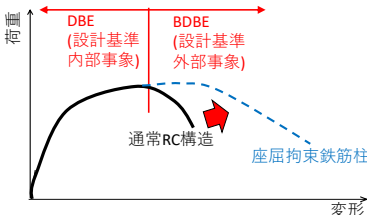


図-2 荷重変位関係のイメージ

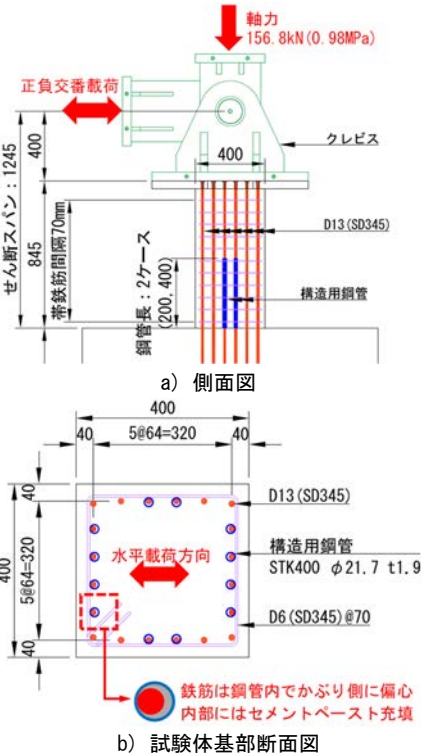


図-3 試験体諸元および載荷方法

表-1 材料試験結果

a) 鋼材						b) セメント系材料		
部位	サイズ	鋼種	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
軸方向鉄筋	D13	SD345	363	546	204	柱	34.3	25.3
帯鉄筋	D6	SD345	351*	563	198	充填セメント ペースト	42.8	-
鋼管	φ21.7,t1.9	STK400	475*	504	202			

*0.2%オフセット耐力

キーワード 危機耐性、座屈拘束鉄筋、耐震設計、正負交番載荷実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株) 大林組技術研究所 TEL042-495-1013

($0.5D$, D は断面高さ), No.2 試験体は $L=400\text{mm}(1.0D)$ とした。

鋼材およびコンクリートの材料試験結果を表-1 に示す。比較対象とする武村・川島の実験⁴⁾における材料強度との差はほとんどなく、特別な換算等を行わずに比較が可能である。

3.2 載荷方法 載荷方法も武村・川島の実験⁴⁾に合わせ、一定鉛直荷重 $156.8\text{kN}(0.98\text{N/mm}^2)$ を与えた状態で、正負交番繰返し載荷を行った。繰返し条件は、基本変位 $\delta_0=6\text{mm}$ の整数倍で各 1 サイクルとした。

4. 実験結果

荷重-変位関係を図-4 に示す。通常 RC 構造と示しているのは、武村・川島の実験結果⁴⁾である。いずれの試験体も、ボンド鉄筋の降伏後に通常 RC 構造の降伏荷重に達し、その後座屈拘束鉄筋が降伏した。これは、座屈拘束鉄筋がアンボンドでありその区間でひずみが平均化されるためである。

最大荷重には、No.1 が $5\delta_0$ で、No.2 が $6\delta_0$ でそれぞれ到達した。この時点におけるひび割れは、基部のひび割れが比較的大きく開いていたものの、座屈拘束鋼管を配置した範囲内にもひび割れが発生しており、ボンド鉄筋のひび割れ分散効果が確認された。

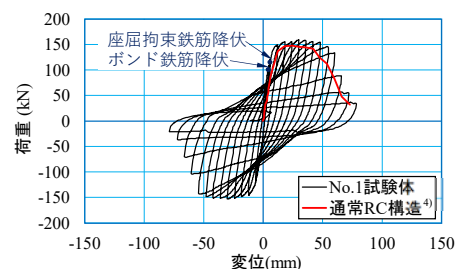
最大荷重後、ボンド鉄筋はいずれの試験体においても、 $9\delta_0$ 程度で通常 RC と同様の座屈が生じ、 $12\delta_0$ で破断した。座屈拘束鉄筋の挙動は両試験体で大きく異なっていた。No.1 では、 $10\delta_0$ 程度で図-5a) に示す形状で座屈が生じた。その結果、 $13\delta_0$ 程度で鋼管下端位置で鉄筋が破断し、大きく耐力が減少した。No.2 では、ボンド鉄筋の座屈・破断に伴い、耐力が下がりながらも、 $12\delta_0$ までは座屈拘束鉄筋に大きな変化はなかったが、 $13\delta_0$ で $1.0D$ を超える範囲のかぶり剥落が生じた。これは、図-5b) に示す変形が生じたためである。これは、座屈ではなく、躯体曲率に沿って曲げ変形を受けたものである。この曲げ変形によって、鋼管下端において鉄筋が大きく屈曲することとなり、 $15\delta_0$ 以降鉄筋破断が生じた。

荷重変位関係のスケルトンカーブについて、通常 RC 構造⁴⁾および設計値(H29 道示)との比較を図-6 に示す。No.1 と No.2 は、 $10\delta_0$ 以降の座屈拘束鉄筋の変形状況によって差が出ている。通常 RC 構造⁴⁾と比較すると、最大耐力付近における耐力が安定していることや、明確な耐力低下が始まる変位が大きくなっていることから、本構造によって変形性能が向していることがわかる。最大耐力後の耐力低下勾配に関しては通常 RC 構造に対して大きな差異を与えることができなかったが、鉄筋の屈曲による破断を防止できれば、より緩やかな耐力低下勾配を実現できるものと考えられる。設計値は、限界状態 3 に達する点をプロットしているが、実験の帯鉄筋量に対して求めた点に加えて、帯鉄筋量を最大限としたときの点も示している。帯鉄筋を最大限加えたとしても、本構造の変形性能の優れていることが想定される。

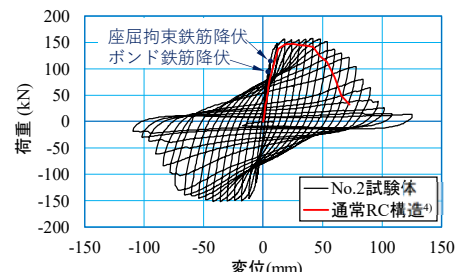
5. まとめ

座屈拘束鉄筋を用いた柱構造の正負交番繰返し実験を行った。その結果、本構造は通常 RC 構造に比して変形性能を向上できることが明らかとなり、その構造成立性が確認された。

参考文献 1) 武田：橋梁耐震における危機耐性導入の動き，大林組技術研究所報，No. 84，2020， 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 24 年，2012. 4， 3) 星隈他：鉄筋コンクリート橋脚の地震時限界状態の評価手法に関する研究，土木研究所資料，第 4262 号，2013， 4) 武村・川島：載荷履歴が鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol. 43A，pp. 849-858，1997

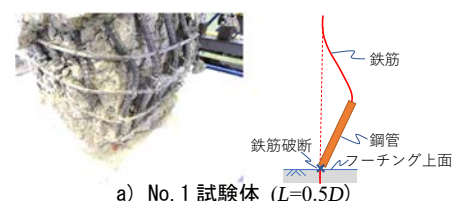


a) No. 1 試験体 ($L=0.5D$)

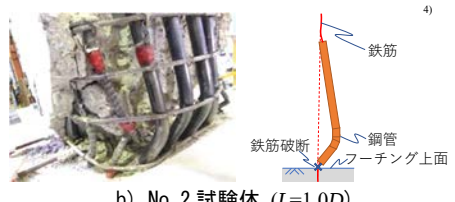


b) No. 2 試験体 ($L=1.0D$)

図-4 荷重-変位関係



a) No. 1 試験体 ($L=0.5D$)



b) No. 2 試験体 ($L=1.0D$)

図-5 座屈拘束鉄筋の変形

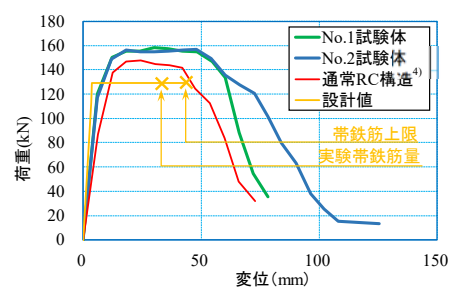


図-6 スケルトンカーブの比較