

座屈拘束鉄筋の要素実験

(株) 大林組

正会員 ○武田 篤史

正会員 高田 祐希

(株) 高速道路総合技術研究所

正会員 後藤 源太

正会員 萩原 裕樹

1. はじめに

危機耐性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構造を考案した¹⁾。本構造は、基部の軸方向鉄筋の一部を鋼管で被覆することにより座屈を拘束するもので、変形性能やエネルギー吸収性能の向上が確認されている。本稿では、被覆する鋼管の設計方法の検討を目的として実施した、鋼管で被覆した鉄筋の軸方向繰返し載荷実験について報告する。

2. 実験方法

2.1 載荷方法 実験は、図-1に示す通り、自己反力型の治具内にジャッキ及び試験体を設置して、試験体鉄筋の軸方向への繰返し載荷を行った。載荷履歴は、引張降伏変位(δ_y)の整数倍で漸増させる正負交番載荷としたが、圧縮側は全載荷ステップで $-1\delta_y$ の振幅とした。

2.2 試験体 試験体は、図-2に示す通り鋼管で被覆した鉄筋の両端を載荷版に溶接し、さらにフーチングを模擬したコンクリートに埋め込んで製作した。鉄筋は実構造物での配置を想定して、鋼管内で偏心させて配置した。鋼管と鉄筋の隙間にはセメントペーストを充填した。鋼管外周には、グリースを塗布して埋込コンクリートとの付着を除去した。試験体に用いた材料の強度試験結果を表-1に示す。

2.3 実験パラメーター 実験における着目点を鋼管諸元(長さ、断面)と埋込深さとして、表-2に示す3体を試験体とした。

鋼管諸元の評価方法は、式(1)に示す宇佐美らの全体座屈防止条件式²⁾を参考に決定した。

$$v_F \equiv \frac{P_{\max}}{P_y} = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a+d+e}{L}} \quad (1)$$

ここに、 v_F :安全係数、 P_E^R :鋼管のオイラー座屈荷重、 M_y^R :鋼管の降伏モーメント、 P_y :鉄筋の降伏軸力、 L :鋼管拘束部の長さ($L=L_x-2h$)、 a :試験体の初期たわみで本実験では $a=L/1000$ とした、 d :鉄筋と鋼管の隙間で、本実験では隙間を充填したため $d=0$ 、 e :軸圧縮力の偏心量で、本実験では $e=0$ とした。式(1)の分母第一項はオイラー座屈荷重に対する安全率を、分母第二項は曲げ降伏に関する安全率を表す。宇佐美らは種々の不確定要素を

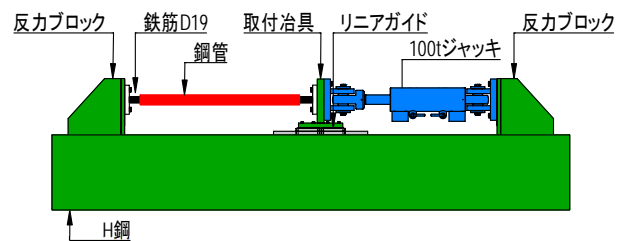


図-1 載荷方法

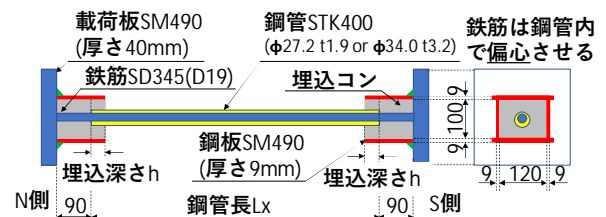


図-2 試験体

表-1 材料の強度試験結果

| 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) |
|----|----------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 鉄筋 | D19 | SD345 | 396 | 590 | 191 |
| 鋼管 | φ 27.2 t1.9 φ 34.0 t3.2 | STK400 | 407* | 432 | 186 |
| | | | 434* | 455 | 193 |

*0.2%オフセット耐力

b) セメント系材料

| 部位 | 圧縮強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) | 割裂強度 (N/mm ²) |
|--------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 充填材 | 52.5 | - | - |
| 埋込 コンクリート | S側 | 21.9 | 24.6 |
| | N側 | 25.2 | 27 |

表-2 試験体一覧

| ケース | 鋼管断面 | 鋼管長 L (mm) | 安全係数 v_F | 埋込深さ h (mm) | 埋込深さの 余裕度 M/M_u * |
|-----|-------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------|
| E-1 | φ 27.2 t1.9 | 750 | 1.32 | 35 | 1.03 |
| E-2 | φ 34.0 t3.2 | 950 | 2.68 | 55 | 0.86 |
| E-3 | φ 34.0 t3.2 | 850 | 3.49 | 65 | 0.64 |

* M/M_u は発生曲げモーメントと耐力の比

キーワード 危機耐性, 座屈拘束鉄筋, 耐震設計, 変形性能
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

考慮すると、3%以上の変形性能を確保するためには $v_F > 3$ を確保する必要があるとしていることから、実験ケースは v_F が 1.5 以下のケース、3 以下のケース、3 以上のケースを設定することとした。

埋込深さは、座屈が生じた際も固定端を確保できることを目標として、コンクリートの支圧に対して照査する鉄道標準³⁾の「埋込み方式」により設計したが、本設計法の適用性を検証するために、ケース E-1 では、発生曲げモーメントと曲げ耐力が概ね等しくなるようにした。

3. 実験結果

3.1 荷重変位関係 図-3 に各ケースの荷重 - 変位関係を示す。グラフ中赤線で示しているのは修正 Menegotto-Pinto モデル⁴⁾による計算値である。

鋼管で被覆することにより圧縮側においても鉄筋を降伏させることができ、良好なエネルギー吸収が確認された。ただし、圧縮時に計算値を上回る荷重が発生している。これは、圧縮時にはポアソン効果により、充填剤を介して鉄筋と鋼管の間で摩擦による荷重伝達が行われたためである。大きな圧縮力は全体座屈を誘発するため、鋼管と充填剤の付着は積極的に除去する必要がある。

変形性能は、それぞれ $3\delta_y$ 、 $7\delta_y$ 、 $25\delta_y$ であり、いずれも全体座屈により耐力低下した。鉄筋や鋼管のひずみを整理した結果、全体座屈に至るまでのメカニズムは、鋼管外鉄筋軸降伏→鋼管内鉄筋軸降伏→鋼管曲げ降伏→全体座屈、であった。 v_F の上昇に伴って変形性能が大きくなっていることと、既報の柱試験体¹⁾では $v_F = 2.3$ で概ね良好な変形性能が得られていることをより、安全係数 $v_F > 2.5$ を確保することが必要であると推測できる。

3.2 埋込部の破壊 埋込部の損傷は、ケース E-1~2 ではコンクリートの軽微な剥離でとどまっていたが、E-3 では図-4 に示す通り、全体座屈後に埋込コンクリートが支圧破壊した。これは、全体座屈後の大変形時には鋼管降伏強度の規格値を用いて設計した曲げモーメントではなく、引張強度相当の全塑性モーメントが発生したためと考えられる。柱構造における軸方向鉄筋座屈後の耐力低下勾配に配慮した場合、全体座屈後も埋込コンクリートの支圧破壊は望ましくないことから、埋込部の設計における発生曲げモーメントは、全塑性モーメントで考える必要があると推定される。

4. まとめ

鋼管で被覆した鉄筋の軸方向繰返し载荷により、座屈拘束鉄筋を用いた柱構造における鋼管の設計方法を検討した。柱構造の軸方向鉄筋と本稿の要素実験では条件が異なっており、本研究で得られた結果をそのまま柱構造物に適用することは難しいが、今後、柱の正負交番载荷実験にて検証を進める予定である。

参考文献 1) 武田：座屈拘束鉄筋を用いた柱構造の正負交番载荷実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.43，No.2，pp.487-492，2021.7， 2) 宇佐美ほか：高機能座屈拘束ブレースの開発研究，構造工学論文集，Vol.55A，pp.719-729，2009.3， 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，2016.1， 4) Ciampi, V., et al.: Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars under Generalized Excitations, Report No. UCB/EERC-82/23, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, 1982.

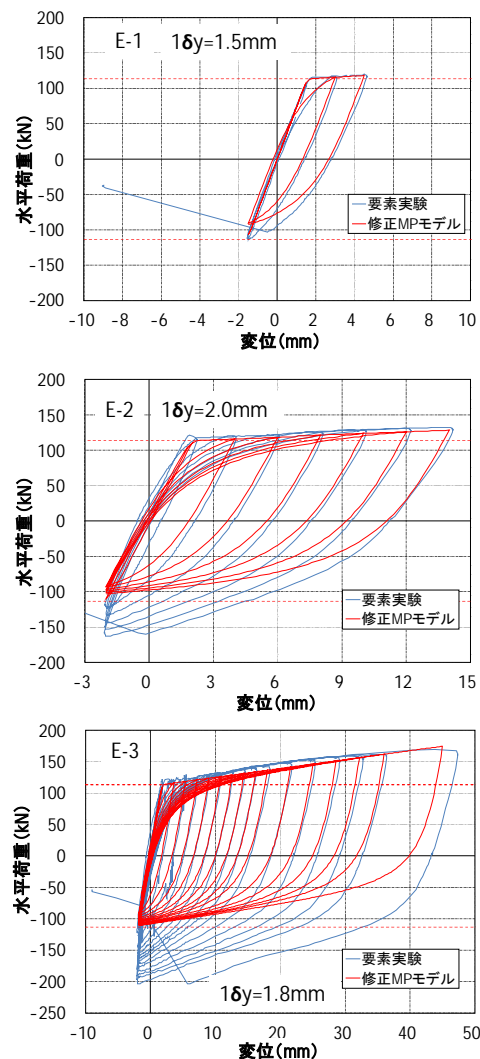


図-3 荷重 - 変位関係



図-4 埋込部の破壊