

座屈拘束鉄筋を用いて耐震補強された壁式橋脚の正負交番実験

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 ○飛田 一彬, 後藤 源太
(株) 大林組 正会員 武田 篤史, 佃 有射

1. はじめに

壁式橋脚は、橋脚躯体断面の辺長比が大きくなると、通常の巻立て補強を行っても辺長部の帯鉄筋がはらみ出し、十分なコンクリートの拘束効果が得られないため、NEXCO 設計要領¹⁾では、辺長比が1：3を超える場合について、中間貫通鋼材を配置することとしている。一方で、中間貫通鋼材は、削孔に伴う鉄筋損傷のリスク、削孔時にドリルが鉄筋と接触した時の再削孔の手間など課題を有している。そこで、中間貫通鋼材を省略しても変形性能を確保できる構造として、座屈拘束鉄筋を考案した。座屈拘束鉄筋は、軸方向鉄筋に鋼管を被せたもので、鋼管の曲げ剛性により、軸方向鉄筋の座屈を拘束するものである。本論文では、座屈拘束鉄筋により曲げ補強された壁式橋脚の変形性能を確認するために行った正負交番載荷実験について示し、その適用性について考察する。

2. 実験方法

試験体の諸元は、中間貫通鋼材を有する実構造物を参考に 1/5 スケールとした。作成した試験体のパラメータを表 1 に、試験体図を図 1 に示す。既往文献²⁾において、「座屈拘束ブレースを対象とした宇佐美らの全体座屈安全係数 v_F を 2.5 以上確保することが必要であり、3.0 以上確保すれば大きな変形性能が得られる」とされていることから、全体座屈係数 $v_F > 3.0$ を満足できる鋼管を選定した。載荷方法は、正負交番水平載荷実験とし、鉛直方向の軸力は載荷しなかった。基準変位 δ_y は、ファイバーモデルにより計算した初降伏変位に、フーチングからの伸び出し変位を加算した。載荷履歴は基準変位 δ_y の整数倍での正負交番繰返し載荷としたが、 $7\delta_y$ 以降は状況により、 $2\delta_y$ の整数倍で変位を増加した。同一変位での繰返し数は、No.1 および No.2 は 3 回、No.3 および No.4 は 1 回とした。これは、No.2 の実験において、 $12\delta_y$ 載荷中に軸方向鉄筋の座屈を伴わない破断が生じたことから、低サイクル疲労によるものと考え、低サイクル疲労を生じない載荷方法が必要だと考えたものである。既往文献³⁾においては、地震時の繰返し数は最大応答塑性率 9 の場合に正負交番実験における繰返し数 1 回とした時と概ね相当することが示されていることから、 $9\delta_y$ 以上の変形性能に対しては、繰返し数 1 回でも地震応答に相当すると考えた。

表 1 実験パラメータ

試験体	既設軸方向鉄筋	補強軸方向鉄筋	引張鉄筋比 %	座屈拘束鋼管	鋼管全体座屈安全係数 v_F	せん断ひび割れに対する余裕度 $\frac{a \cdot V_c^{cal}}{M_u^{cal}}$
No.1				なし	0 0	2.09
No.2	26-D10	26-D10	0.174	$\phi 18.0, t2.5$ (OST-2)	3.20 8.19	2.08
No.3				$\phi 15.0, t1.2$ (OST-2)	1.17 2.91	2.14
No.4	46-D10	46-D10	0.333	$\phi 18.0, t2.5$ (OST-2)	3.20 8.19	1.56

※ v_F の上段は基部曲げの曲率影響を考慮、下段は非考慮

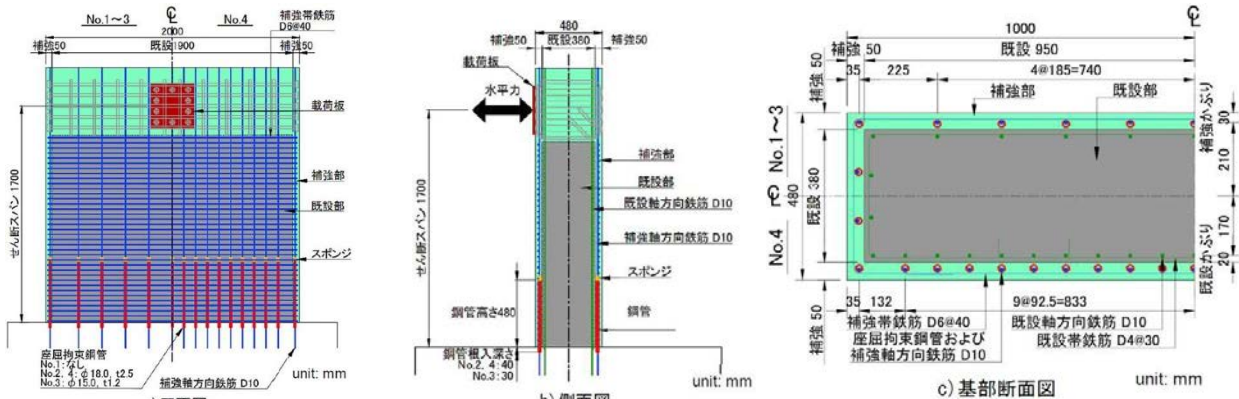


図 1 試験体図

キーワード 座屈拘束鉄筋, 壁式橋脚, 耐震補強, 中間貫通鋼材, 正負交番水平載荷実験
連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1
(株) 高速道路総合技術研究所 TEL042-791-1943

3. 実験結果

水平荷重と天端水平変位の関係を図2に示す。

No.1 試験体は、 $1\delta_y$ で補強軸方向鉄筋が降伏、 $2\delta_y$ で既設軸方向鉄筋が降伏した。 $10\delta_y$ で補強軸方向鉄筋が座屈し、 $12\delta_y$ で補強軸方向鉄筋が座屈に伴う曲げ伸ばしが原因で破断した。

No.2 試験体は、 $1\delta_y$ で既設軸方向鉄筋が降伏、 $2\delta_y$ でアンボンドである補強部軸方向鉄筋が降伏した。 $4\delta_y$ で座屈拘束鋼管が基部で曲げ降伏したが、外見上の変状は見られず、 $12\delta_y$ で鉄筋が破断し、その後かぶりが剥離した。

No.3 および No.4 試験体は、 $1\delta_y$ で既

設軸方向鉄筋が降伏、 $2\delta_y$ で補強軸方向鉄筋が降伏した。No.3 試験体が $5\delta_y$ 、No.4 試験体が $6\delta_y$ で外見上の変状が見られない座屈拘束鋼管の曲げ降伏が生じ、No.3 試験体が $14\delta_y$ 、No.4 試験体が $11\delta_y$ で補強軸方向鉄筋の座屈が見られないものの、躯体内部でコンクリートの割裂音がするとともに、次のステップで荷重-変位関係の第2象限および第4象限に明確な変化が表れたため、補強部軸方向鉄筋に先行して既設軸方向鉄筋が座屈したものと推測される。No.3 試験体が $16\delta_y$ 、No.4 試験体が $13\delta_y$ で座屈拘束鋼管の座屈が見られ、その後、軸方向鉄筋の破断が生じた。

図3にスケルトンカーブを H14 道路橋示方書に基づいて算出した計算値とともに示す。No.1 と No.2 試験体が繰返し数を3回、No.3 と No.4 試験体が繰返し数を1回としていることから、直接的な比較はできないが、前節で述べたように、変形性能としての評価は可能と考える。No.1 試験体が座屈で終局を迎えたのに対し、No.2 試験体が軸方向鉄筋の低サイクル疲労で終局を迎えたことから、過大な繰返し数が無ければより大きな変形性能を有していることが推定される。計算値と終局変位を比較すると、No.1 は1.39倍、No.3 試験体は1.75倍、No.4 試験体は2.79倍の変形性能となっており、 v_F の大きいNo.4 試験体で特に大きな変形性能が得られていることがわかる。

4. まとめ

壁式橋脚の耐震補強において中間貫通鋼材を省略しても変形性能を確保できる構造として、座屈拘束鉄筋を利用した補強構造を考案した。正負交番載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 補強軸方向鉄筋を座屈拘束鉄筋とすることで、中間貫通鋼材を省略しても変形性能を大幅に増加させることができる。
- (2) 座屈拘束鋼管の全体座屈安全係数 v_F を大きくすることで、変形性能を大きくできることが示唆された。今後は、変形性能の評価方法や実構造物への適用の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 設計要領第二集 橋梁保全編, 2020. 7
- 2) 宇佐美勉, 佐藤崇, 葛西昭: 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) 土木研究所: 橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン (案), 土研資料第 4023 号, 2006. 8
- 4) 武田: 座屈拘束鉄筋を用いた柱構造の正負交番載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 43, No. 2, pp. 487-492, 2021. 7

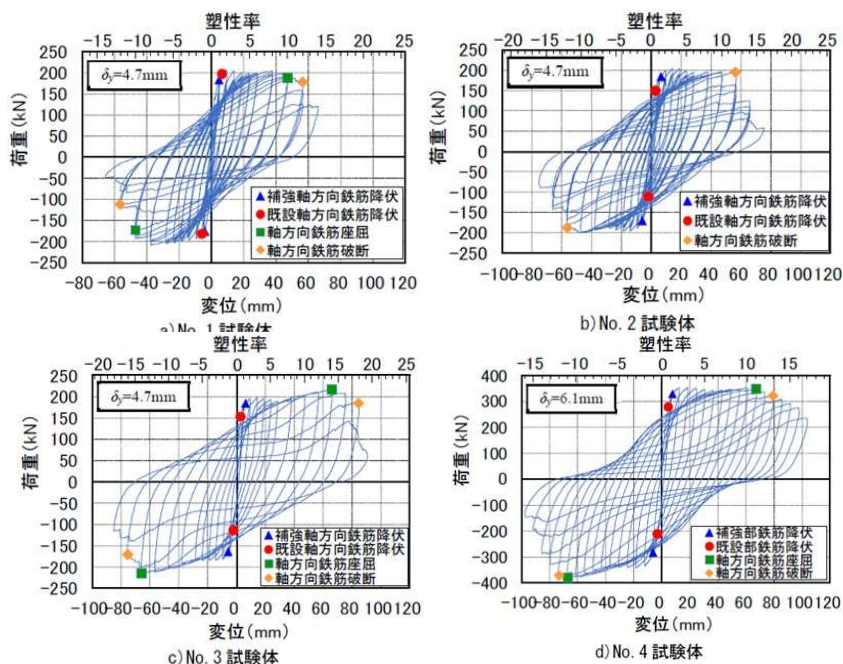


図2 荷重-変位関係

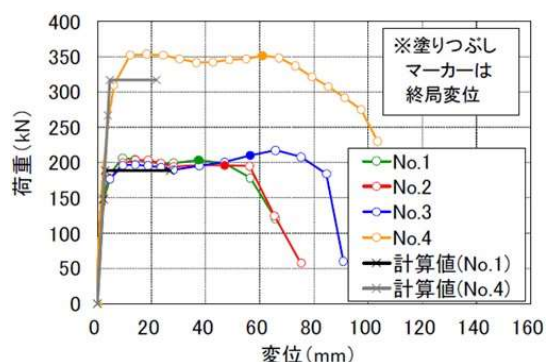


図3 スケルトンカーブ