論文 新しい橋梁ストッパー構造に関する実験的研究

竹市 八重子*1·小林 薫*2

要旨:本研究では,経済性と施工性を勘案し,鉄筋とコンクリートを用いた橋梁ストッパー構造の基礎的な変形挙動を確認する目的で,模型試験体による交番載荷試験を行った。 実験結果からは,耐力低下の主たる要因が軸方向鉄筋の破断に起因することがわかった。 また今回用いた試験体では,最初に軸方向鉄筋が破断する直前の載荷サイクルまでで部材 角 6/10 または 8/10 程度の変形性能を有した。

キーワード:ストッパー, 交番載荷試験, スパイラル鉄筋

1. はじめに

従来,ストッパー(図-1参照)は,橋脚く 体より先行降伏させることでいわゆるヒューズ 機能として橋脚本体や桁の損傷を低減すること を念頭においた設計が行われており,合わせて 落橋防止の機能も考慮されていた。^{1),2)}ストッ パーを橋脚本体よりも先行降伏させるという設 計思想は,橋梁システムにおいて,地震時の損 傷をストッパーのみに集中させることで早期復 旧を確保することを狙ったものとも考えられる。 また,従来から用いてきた鋼角ストッパー等の 設計方法は,兵庫県南部地震以前に提案され, 検討に用いた地震動もそれほど大きなものでは なかった。

現在の耐震設計³⁾では,復旧性を確保するた めに,損傷の程度を制限することを前提とした ストッパーの設計となっている。そのため,従 来の鋼角ストッパーは,現在の耐震基準で設計 を行うと以前よりも形状が大きくなる傾向があ り,その結果施工が煩雑でコストも高くなるこ とがある。

本研究では,経済性と施工性を勘案し,鉄筋 とコンクリートを用いたストッパー構造(図-2 参照)の基礎的な変形挙動を確認する目的で, 模型試験体による交番載荷試験を行ったので, その結果を報告する。



図-2 新しいストッパー構造の概念図

2. ストッパー構造の概要

提案するストッパー構造は、ストッパー内に 配置した軸方向鉄筋の伸び能力を利用すること で、落橋防止や移動制限の機能を果たすことを 期待したものである。軸方向鉄筋の内側または 外側にスパイラル鉄筋を設置し、コンクリート を充填する構造とした。新しいストッパー構造 の概念図を図-2に示す。

*1 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 課員 工修 (正会員) *2 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 副課長 博(工)(正会員)

試験体名	軸方向鉄筋	スパイラル鉄筋		
	径×本数	径間隔	配置	
S-7	D16×6	D10-ctc10	内巻き	
S-8	D16×6	D13-ctc13	内巻き	
S-9	D16×6	D10-ctc30	内巻き	
S-10	D16×6	D10-ctc10	外巻き	
S-11	D16×6	D13-ctc13	外巻き	







(a)内巻きタイプ(b)外巻きタイプ写真-1 試験体例

表-2 材料試験結果

	軸方向鉄筋		コンクリート
試験体名	降伏強度	降伏ひずみ	圧縮強度
	(N/mm^2)	$(\times 10^{-6})$	(N/mm^2)
S-7	382	2078	36.5
S-8			38.0
S-9			34.3
S-10			34.3
S-11			28.4

の内側に接して配筋するタイプ(以下,内巻き タイプという)の2種類とした。試験体例を写 真-1 に示す。外巻きタイプの試験体は、スパ イラル鉄筋が軸方向鉄筋の座屈を防止する機能 があり、内巻きタイプの試験体は、せん断スパ ン区間で軸方向鉄筋の付着がないため、ひずみ が平均化し,鉄筋の伸び能力を有効に利用でき る可能性がある。スパイラル鉄筋の配置方法の 違いによる変形挙動を比較するために、このよ うにスパイラル鉄筋の配置が異なる試験体を設 定した。ただし、内巻きタイプの試験体は、せ ん断スパン区間では上記の配筋とするが、鞘管 内部はスパイラル鉄筋を軸方向鉄筋の外側と内 側の2重配筋した。これは, 鞘管内部で軸方向 鉄筋が抜け出すことにより荷重保持ができなく なることを防止するためである。

試験体に用いた鉄筋は全て SD345 とし, 充填 するコンクリートは呼び強度 27N/mm² とした。 表-2 に材料試験結果を示す。

また試験体は、1 つのフーチングに対して 2 つのストッパーを設けることとし、片側のスト ッパーに対して交番載荷試験を実施後、反転し

3. 実験概要

3.1 試験体概要

試験体諸元を表−1 に,試験体概要を図−3 に示す。試験体は,下部工を想定したフーチン グを有する片持ち梁形式で,上部工を想定した 載荷体は鞘管構造とした。

図-3 試験体概要(S-7 試験体)

ストッパーは円形断面で直径 196mm とし, 載荷体はストッパーにセットが可能なように鞘 管の内径を約 200mm として若干余裕を設けて いる。フーチング上面から載荷体下面までの長 さ(以下, せん断スパン長という)は,全ての 試験体で 100mm に統一した。軸方向鉄筋の定 着長については,鉄筋径の 25 倍(400mm)と した。載荷体内部へのストッパーの挿入長さは 400mm とし,軸方向鉄筋径の 25 倍程度になる ように設定した。

また,試験体はスパイラル筋の配置で大別す ると,軸方向鉄筋の外側に接して配筋するタイ プ(以下,外巻きタイプという)と軸方向鉄筋



図-4 実験装置概要

てもう一方のストッパーに対して載荷を行うこ とにした。それぞれのストッパーの実験に影響 を及ぼさないように,双方の間隔はストッパー の中心間隔で 800mm とした。

3.2 載荷方法および計測項目

実験装置概要を図-4 に示す。実橋では、地 震時において橋脚等の桁座面と桁下面の間隔は ほぼ一定を保ちながら応答するものと考えられ る。そこでこのような載荷条件を再現するため に、今回の実験ではせん断スパン長を100mm に 保ちながら載荷を行うことにした。載荷体には、 下面側に厚さ100mmの鋼製の支持台を取り付 け、鋼製の支持台とフーチングの間にはテフロ ン板を2枚挿入した。テフロン板の間にはごアロ ン板を2枚挿入した。また載荷体上部には、H 鋼を井形に配置し、最上部のH鋼をPC鋼棒で 抑えて載荷時に載荷体が浮き上がらないように した。なお、H 鋼と載荷体の間にはテフロン板 を挿入し、載荷時の摩擦を切るようにした。

載荷手順は,正側および負側に,引張側の軸 方向鉄筋のひずみ測定値が材料実験の結果から 求まる降伏ひずみに達するまで荷重制御で行い, 以降 20mm 間隔の変位制御で載荷を行った。そ して,軸方向鉄筋の破断などで耐力低下が著し いサイクル終了時まで交番載荷をした。

計測項目は、軸方向鉄筋とスパイラル鉄筋の 各位置でのひずみ値、ストッパー基部および載 荷点高さ(フーチング上面から 300mm の高さ) における水平変位とした。軸方向鉄筋およびス パイラル鉄筋のひずみゲージ貼り付け位置を図

表-3 実験結果

試験体名	最大耐力	最初に軸方向鉄筋が破断した		
	(kN)	交番載荷時の水平変位		
S-7	263	100mm 載荷時		
S-8	317	100mm 載荷時		
S-9	155	100mm 載荷時		
S-10	434	100mm 載荷時		
S-11	427	80mm 載荷時		

写真-2 載荷途中における損傷状況 (S-7)

-3に示す。

4. 実験結果および考察

実験結果を表-3 に示す。最大荷重は,正側 または負側載荷時の最大値とした。また,全て の試験体において,軸方向鉄筋の破断による耐 力低下で載荷を終了した。

4.1 各試験体の損傷状況

(1)内巻きタイプ(試験体名:S-7, S-8, S-9)

S-7 試験体は,84kN 付近で載荷方向の最外縁 鉄筋がフーチングとの境界位置で引張降伏し, 載荷点変位で20mm まで交番載荷終了時には全 軸方向鉄筋がフーチングとの境界位置で引張降 伏した。40mm 載荷時には,正側載荷の際に 263kN で最大荷重となり,フーチング上面のコ ンクリートは軸方向鉄筋のフーチングからの伸 び出しに伴い,ストッパー周囲を取り巻くよう に円周状のひび割れが顕著となった。

写真-2 に 60mm 載荷時の損傷状況を示す。 載荷開始前は軸方向鉄筋とスパイラル鉄筋は接 しており,隙間は確認できなかったが,写真-2 より,圧縮側で軸方向鉄筋がはらみ出すことに よりスパイラル鉄筋との間に隙間が生じている ことが確認できる。また,スパイラル鉄筋の上 下方向の開きと左右方向のせん断的なずれも生 じていた。100mm 載荷時には,負側に載荷した 際に,まず引張側の軸方向鉄筋がフーチングと の境界面で破断した。その後載荷を続けると, 順番に全ての鉄筋が破断に至った。軸方向鉄筋 は、座屈による曲率を有する変形と載荷方向が 反転した際の大きな引張ひずみの繰り返しを受 ける。このため軸方向鉄筋の破断は、大変形の 繰り返し載荷に伴う低サイクル疲労が主たる原 因と考えられる。なお軸方向鉄筋破断時は、引 張の応力状態であった。

S-8, S-9 試験体についても, 概ね同様な損傷 過程であり, それぞれ 100mm 載荷時に軸方向 鉄筋が破断した。

また,載荷終了後におけるスパイラル鉄筋内 部のコンクリートの損傷状況を**写真-3**に示す。 S-7 試験体ではせん断スパンの100mm 区間で損 傷を受けていたが,S-8 試験体ではフーチング 面から上部 30mm 程度のみで損傷を受ける結果 となった。スパイラル筋にD10を30mm ピッチ で使用したS-9 試験体は,載荷点変位を40mm まで交番載荷した段階から,スパイラル鉄筋の 上下方向の開きと左右方向のせん断的なずれが 大きかったため,コアコンクリートの損傷も顕 著であった。載荷終了時には,せん断スパン区 間より上部の鞘管区間まで大きく損傷を受ける 結果となった。

(2) **外巻きタイプ(試験体名**: S-10, S-11) 載荷終了後の損傷状況を**写真-4**に示す。

S-11 試験体は、91kN 付近で載荷方向の最外 縁鉄筋がフーチングとの境界位置で引張降伏し、 載荷点変位で20mm まで交番載荷終了時には全 軸方向鉄筋がフーチングとの境界位置で引張降 伏した。40mm 載荷時には、正側載荷の際に 427kN で最大荷重となり、フーチング上面のコ ンクリートは軸方向鉄筋のフーチングからの伸 び出しに伴い、ストッパー周囲を取り巻くよう に円周状のひび割れが顕著となった。60mm 載 荷時にはスパイラル鉄筋の上下方向の開きと左 右方向のせん断的なずれが顕著になり、さらに 80mm 載荷時には負側に載荷する際に一部の軸 方向鉄筋が破断した。その後 100mm まで交番 載荷を行ったが、残りの鉄筋が全部破断するに は至らなかった。S-10 試験体については、同様



(a) S-7 試験体



(b)S-8 試験体



(c) S-9 試験体

写真-3 載荷終了後の各試験体の損傷状況 (内巻きタイプ試験体)



(a) S-10 試験体



(b) S-11 試験体 写真-4 載荷終了後の各試験体の損傷状況 (外巻きタイプ試験体)

な損傷過程であったが,100mm 載荷時には全ての鉄筋が破断した。

また, S-10, S-11 試験体ともに, 外見からは



(a) S-7 試験体







(c) S-9 試験体

S-7 試験体では 263kN であ り,軸方向鉄筋量が同じで ある S-10 試験体と比較す ると6割程度となった。こ れは,軸方向鉄筋の内側に スパイラル鉄筋を配置した 試験体は,せん断スパン区 間では軸方向鉄筋に対する 拘束がないために,圧縮側 の軸方向鉄筋が座屈し,耐 荷上有効となる鉄筋が減少

軸方向鉄筋のはらみ出しの影響によるスパイラ ル鉄筋の顕著なはらみ出しは確認できなかった。 載荷終了後の軸方向鉄筋の状態から,内巻きタ イプの試験体と同様に,フーチングとの境界面 で引張破断したものと考えられる。

また, コアコンクリートについては, S-10 試 験体ではせん断スパンの 100mm 区間で損傷を 受けていた。

4.2 荷重と変位関係

スパイラル鉄筋の配置が内巻きタイプ,外巻 きタイプそれぞれの試験体について,荷重と変 位の関係を図-5(a)~(e)に示す。なお,変位に ついては,鞘管とストッパーの隙間分はそれぞ れ差し引いて整理した。

履歴形状は、内巻きタイプ、外巻きタイプと もにスリップ型の傾向が見られた。また耐力は、 初期載荷側の正側載荷の方が、S-9 試験体以外 は若干大きくなる傾向が見られた。

最大荷重に着目すると、図-5(a), (d)より,

したためと考えられる。図-5(b),(c)より, S-8, S-9 試験体についても同様の傾向が見られ, またスパイラル鉄筋の拘束力が小さい場合ほど, 最大耐力は小さくなる傾向となった。

変形性能については、せん断スパン長を 100mmとすると、軸方向鉄筋が破断する直前の 載荷サイクルまでで S-7, S-8, S-9, S-10 試験 体は部材角 8/10, S-11 試験体は部材角 6/10 の変 形性能を有した。

外巻きタイプの試験体 S-10 と S-11 を比較す ると、図-5(d)、(e)よりスパイラル鉄筋の違い による最大荷重の違いは確認できなかった。

荷重と軸方向鉄筋のひずみの関係例(S-7 試 験体)を図-6 に示す。着目した鉄筋は,載荷 方向の最外縁鉄筋で,フーチング上面高さのひ ずみゲージは早期に計測不能となったため,フ ーチング上面よりも 50mm 下の位置の計測結果 である。初期載荷段階では圧縮ひずみを受ける ものの,40mm 載荷時から正負両載荷時ともに



図-6 荷重と鉄筋のひずみの結果例

引張状態となり,その後徐々に引張ひずみは大きくなり 100mm 載荷時に破断に至った。

4.3 スパイラル鉄筋のひずみ状態

S-11 試験体の各載荷サイクル時のピーク変位 時におけるスパイラル鉄筋のひずみ値を図-7 に示す。なお、測定位置はフーチング上面から 50mmの高さにおける4箇所であり、正側載荷 時のひずみ計測値を示している。図中の圧縮側、 引張側の表現は、載荷方向に応じてコアコンク リートに作用すると思われる応力状態を示し、 スパイラル鉄筋のひずみ性状を説明するために 明記した。

40mm 載荷時には圧縮側,引張側ともにスパ イラル鉄筋の引張ひずみが 700~800 μ 程度で あるが,60mm 載荷時には圧縮側が約 1900 μ, 引張側が約 1000 μ となった。80mm 載荷時には 圧縮側は微増して約 2100 μ に対し,引張側は約 500 μ に減少した。

ストッパーは曲げの影響を受けているため, 圧縮側ではコアコンクリートのポアソン効果に よりスパイラル鉄筋の引張ひずみが大きくなり, 引張側ではコアコンクリートからスパイラル鉄 筋への応力寄与がないことから引張ひずみ値は 小さいと考えられる。

5. まとめ

鉄筋とコンクリートを用いたストッパー構造 の基礎的な挙動を確認する目的で,模型試験体 による交番載荷試験を行った。今回の載荷試験 により得られた知見を以下に示す。



図-7 スパイラル鉄筋のひずみ値の変化例

- (1)大変形領域の交番載荷におけるストッパーの変形挙動は、引張側となる鉄筋から順番に破断が進行することで、耐力低下となった。
- (2)履歴形状は、スパイラル鉄筋を軸方向鉄筋の 内側、外側どちらに配置した場合でも、スリ ップ型の傾向が見られた。
- (3)軸方向鉄筋の内側にスパイラル鉄筋を配置 した場合には,軸方向鉄筋の座屈現象が見ら れ,外側に配置した場合と比較して最大耐力 は小さくなった。
- (4)スパイラル鉄筋のひずみは、曲げの影響を受けるため、圧縮側ではコンクリートのポアソン効果により引張ひずみ値が大きくなる傾向であった。
- (5)今回用いた試験体の中では, S-7, S-8, S-9, S-10 試験体において,軸方向鉄筋が最初に破 断する直前のサイクルまでで部材角 8/10 の 変形性能を有した。

参考文献

- 1) 土木学会:国鉄建造物設計標準解説(鉄筋 コンクリート構造物および無筋コンクリー ト構造物,プレストレストコンクリート鉄 道橋),1983.4
- 2) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合研究所編:鉄 道構造物等設計標準・同解説(コンクリー ト構造物),1992.10
- 運輸省鉄道局監修・鉄道総合研究所編:鉄 道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 1999.10