

## 橋梁用RCストッパーの開発と適用事例



杉崎 向秀\*



竹市 八重子\*\*



小林 薫\*

本開発では、経済的な橋梁ストッパー構造の開発を行うことを目的とし、鉄筋とコンクリート（またはモルタル）を用いたストッパー構造を考案した。ストッパーの耐震性能は、大規模地震時に対する要求性能を満足する必要がある。そこで、縮小および実大規模レベルの模型試験体による載荷試験を行い、破壊性状や耐力、変形性能について検討した。実験結果より、ストッパーとして有効に機能を発揮できる構造は、軸方向鉄筋の外側にスパイラル筋を配置するストッパー構造であることが分かった。また、ストッパーの性能に影響を及ぼす因子について同様に実験的な検討を行い、設計法を構築した。実際の構造物へ適用した結果、従来構造のものとは比べ、30~70%のコストダウン効果が得られた。

●キーワード：ストッパー、RC、スパイラル筋、桁式橋りょう

### 1. まえがき

桁式橋りょうでは、常時および地震時に桁に発生する水平力を橋脚や橋台へ伝達するためや、落橋防止のために、ストッパーを使用している。ストッパーの配置状況を図1に示す。ストッパーの種類には、鋼角ストッパー、鋼棒ストッパー、ダンパーストッパー等があり、橋りょうの構造条件などに応じて選択している。

比較的重量が大きい桁の橋りょうにおいては、従来から鋼角ストッパーが用いられるのが一般的である。鋼角ストッパーの設計法は、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。そのため、現在の耐震基準<sup>1)</sup>にそって鋼角ストッパーの設計を行うと、形状寸法は大きくなる傾向となり、施工性の低下、コストの増大を招く場合がある。

本開発において、筆者らは、経済性と施工性を勘案し、鉄筋とコンクリート（またはモルタル）を用いたストッパー構造（以下、RCストッパー）を考案した。RCストッパーの設計は、現在の耐震基準に準拠して行うことを基本方針としており、その耐震性能は、設計想定地震に対する要求性能を満足する必要がある。そのため、縮小および実物大レベルの模型試験体による載荷試験を行い、破壊性状や耐荷機構を確認し、RCストッパーの設計法を構築した。

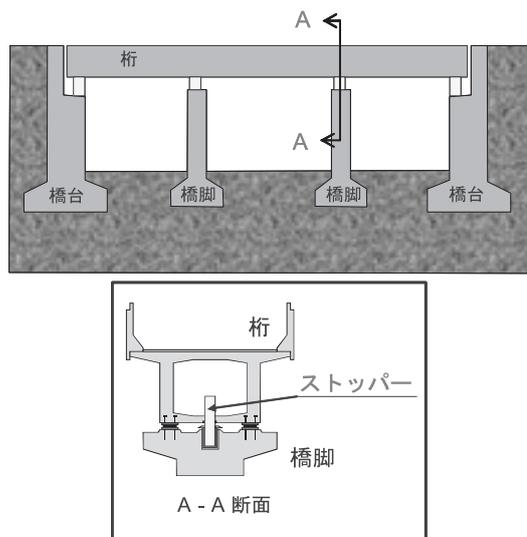


図1 ストッパー配置状況

本稿では、RCストッパーの開発概要と設計法の概要、そして適用事例を踏まえた施工状況と適用効果を報告する。

### 2. ストッパー構造の検討

#### 2.1 ストッパー構造の概要

RCストッパーの構造略図を図2に示す。軸方向鉄筋の外側にスパイラル状の鉄筋（以下、スパイラル筋）を設置し、コンクリートまたはモルタルを充填する構造で、現場での製作が可能である。

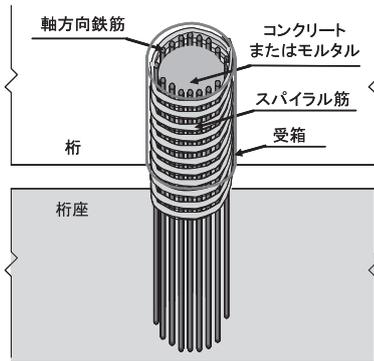


図2 ストッパー構造略図

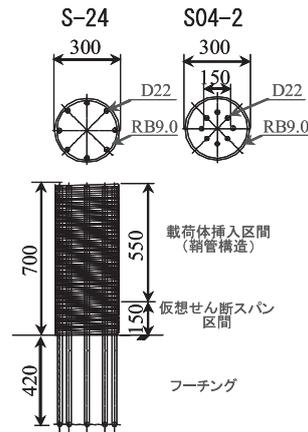


図3 試験体形状寸法および配筋例 (S-24、S04-2)



図4 試験体写真例 (S-24)

表1 試験体諸元

試験体名	断面直径 (mm)	軸方向鉄筋 径×本数	スパイラル筋 径etc間隔	仮想せん断スパン 長 (mm)	荷重パターン
S-10	195	D16×6	D10ctc10	100	1 δ y, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, ……
S-11	196	D16×6	D13ctc13	100	
S-13	196	D19×6	D10ctc10	100	
S-14	195	D10×12	D10ctc10	100	
S-17	198	D16×6	D13ctc13	100	
S-18	198	D16×6	D13ctc13	100	1 δ y, 40mm, 単調荷重
S-21	305	D22×8	D19ctc19	150	1 δ y, 25mm, 50mm, 100mm, 150mm, ……
S-22	304	D22×8	D10ctc10	150	
S-23	294	D22×8	RB5.1ctc5.1 <sup>1)</sup>	150	
S-24	294	D22×8	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	150	
S04-2	302	D22×8	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	150	
S04-3	300	D25×13	D13ctc13	150	
S04-4	300	D25×13	RB10.7ctc10.7 <sup>1)</sup>	150	
S04-5	295	D19×6	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	150	
S04-6	292	D22×12	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	150	
S04-7	300	D22×8	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	150	
S04-11	200	D16×6	RB9.0ctc9.0 <sup>1)</sup>	200	単調荷重 1 δ y, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm

※1) SBPDN 1275/1420の細径異形PC鋼棒D種1号を使用。

## 2.2 実験概要

ここでは、RCストッパーの破壊性状や耐荷機構、および耐震性能を把握する目的で行った、縮小および実物大レベルの模型試験体による荷重試験についての概要を述べる。

表1に試験体諸元、図3に試験体の形状寸法および配筋例、図4に試験体写真を示す。試験体は、橋脚や橋台を想定したフーチングを有する片持ち梁形式とした。

実験状況を図5および図6に示す。実橋では、地震時において橋脚や橋台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。実験においても、この荷重状況を再現するために、橋桁を想定した荷重体をストッパーの上からかぶせた鞘管構造とし、荷重体の下面側には荷重体とフーチングとの間隔（以下、仮想せん断スパン）を一定にするため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摩擦の影響を排除するためのテフロン板を挿入した。

また、荷重体が浮き上がらないように、荷重体上部にはH鋼を格子状に配置し、反力床とPC鋼棒で結んだ。なお、その際、H鋼と荷重体の間にもテフロン板を挿入し、水平荷重時の摩擦の影響を排除している。

試験結果の例として、S-24試験体における荷重点位置の荷重—変位関係を図7に、荷重点変位量が100mm時の状況を図8に示す。変位量の増加とともに、仮想せん断スパンにおけるスパイラル筋の左右方向のせん断的なずれが顕著になっている。

各種パラメータを変化させた試験体の荷重結果により、得られた主な知見を以下に示す。

- (1) スパイラル筋を軸方向鉄筋の外側に配置することで、軸方向鉄筋の機械的性質を有効に活用できる。
- (2) 水平変位が比較的小さい時点では、曲げ変形による耐荷機構が主たる機構と考えられる。
- (3) 仮想せん断スパン長の違いが最大荷重に及ぼす影響は小さい。

表2 材料試験結果

試験体名	軸方向鉄筋		ストッパー部分	
	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (×10 <sup>-3</sup> )	コンクリート /モルタル (N/mm <sup>2</sup> )	フーチング部分 コンクリート (N/mm <sup>2</sup> )
S-10	382	2078	34.3	34.3
S-11	382	2078	28.4	28.4
S-13	384	2081	28.7	28.7
S-14	372	2073	28.7	28.7
S-17	382	2079	31.6	31.6
S-18	382	2079	31.5	31.5
S-21	379	2051	16.6	25.3
S-22	379	2051	16.6	25.3
S-23	379	2051	29.8	25.9
S-24	379	2051	26.8	28.2
S04-2	391	2142	35.4	30.4
S04-3	370	2132	25.9	19.0
S04-4	370	2132	21.4	20.3
S04-5	381	2096	26.4	17.2
S04-6	386	2097	24.4	16.4
S04-7	394	2114	23.4	26.9
S04-11	385	2055	41.0	36.7

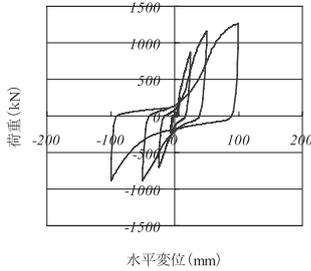


図7 荷重と変位の関係 (S-24)

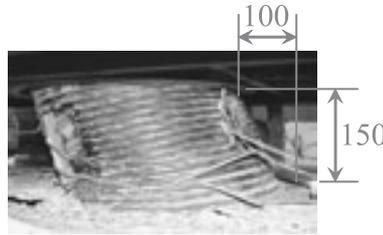


図8 100mm載荷時の状況 (S-24)

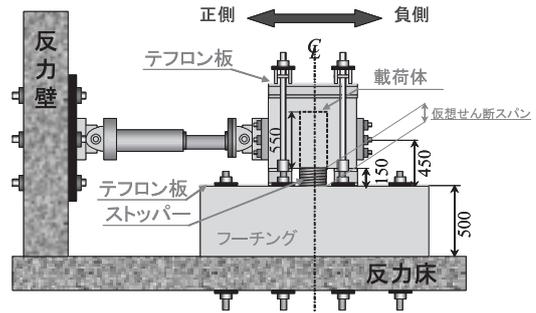


図5 実験状況略図



図6 実験状況写真

- (4) 軸方向鉄筋量が同一ならば、その配置が変化しても、最大荷重はほとんど変わらない (図3にある、軸方向鉄筋の配置が異なる2つの試験体の結果を比べても、最大荷重はほとんど変わらなかった)。
- (5) 最大荷重時は、軸方向鉄筋が全て引張状態となる。

### 3. RCストッパーの設計方法の概要

実験結果の解析等より、RCストッパーの設計方法を構築した。ここでは、RCストッパーの設計方法の概要を述べる。

RCストッパーの耐荷特性は、荷重と変位の関係を図9に示すようなトリリニアの骨格曲線で表してよいものとした。骨格曲線の各点は実験結果等を踏まえ、以下のよう

- (1) Y点：引張側90度範囲の軸方向鉄筋降伏時
- (2) M点：最大荷重到達時
- (3) U点：最大荷重を維持する最大変位点

各点の詳細な算出方法等については、本稿での記載は割愛する (設計マニュアル<sup>2)</sup>を参照)。

また、内部履歴特性については、二次放物線を基本として、実験結果にできるだけ適合するように設定した。

図10に定義した履歴特性と実験結果との比較を、図11に

累積履歴吸収エネルギーの比較を示す。解析値は、概ね荷重—変位関係を表現できており、累積履歴吸収エネルギーは安全側に評価されることを確認した。

### 4. 実構造物への適用事例

#### 4.1 東北線天間川橋りょう

本橋梁は、東北線上北町・乙供間で七戸川を横断する橋長180.4mの3径間連続アーチ橋である。図12に橋梁の全体状況を示す。

当初の設計においては、ストッパーは鋼角ストッパーを計画していたが、設計変更にて、RCストッパーを適用した。

##### 4.1.1 設計概要

本ストッパーの要求性能は、L2地震動 (大規模地震) に対しては応答変位がM点を超えないこと、L1地震動 (中規模地震) に対してはストッパーが降伏しないことと定めた。

耐震性能の照査は、橋梁全体系モデルのストッパー位置に、本ストッパーの復元力特性を有するばね要素を取り付けた解析モデルによる地震応答解析により行った。解析結果の例として、図13にA2位置のストッパーの履歴

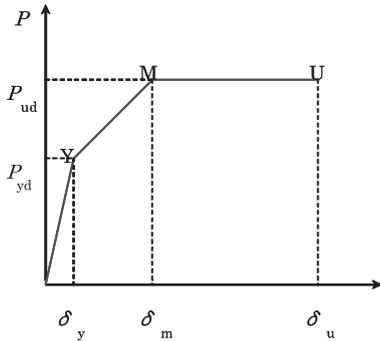


図9 RCストッパーの骨格曲線

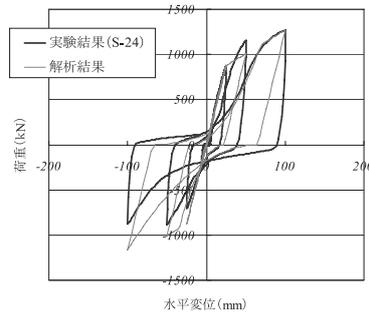


図10 実験値と解析値との比較 (履歴特性)

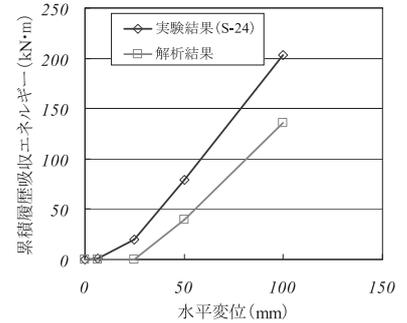


図11 実験値と解析値との比較 (累積履歴吸収エネルギー)



図12 天間川橋梁全景

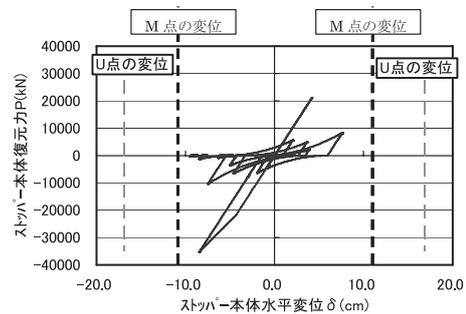


図13 ストッパーの履歴応答 (A2)

応答を示す。全てのストッパーにおいて、設定した要求性能を満足していることを確認した。

#### 4.1.2 施工概要

本橋梁における施工ステップを以下に述べる。

##### (1) 軸方向鉄筋の建て込み (図14)

軸方向鉄筋を定着する橋脚・橋台側の鉄筋組立て時に、ストッパーの軸方向鉄筋を建て込む。本橋梁においては、施工性と施工精度向上を目的として、鋼製のテンプレートとなるものを使用した。

- (2) 橋脚・橋台のコンクリート打設
- (3) スパイラル筋の建て込み (図15)
- (4) 型枠用鋼管の設置
- (5) モルタル打設

本橋梁では、充填材料に1:2モルタル (W/C=35%) を使用した。

ストッパーの完成状況を図16に示す。

#### 4.1.3 適用効果

天間川橋梁のストッパーは全てRCストッパーとし、計20基導入した。本橋梁での適用効果については、当初計画の鋼角ストッパーをRCストッパーにすることで、

約70%のコストダウンを達成した。

## 4.2 両毛線思川橋りょう

本橋梁は、両毛線小山・思川間にかかる、3径間連続PRC下路桁 (図17) と、鋼製下路トラスからなる橋梁である。本橋梁は、地震時における橋脚・橋台の負担荷重を分散するためにストッパーについてはダンパーストッパーを採用していることから、RCストッパーをダンパーストッパーとして適用した。

### 4.2.1 ダンパーストッパー (RC) の概要

ダンパーストッパーは、ストッパーの周りに粘性体を充填した構造で、通常、固定支点で大部分負担する地震時の桁の水平力を、複数の橋脚・橋台で分散して負担させるものである。それにより、1箇所で大きな水平力を負担するということがなくなり、橋脚・橋台の形状寸法がほぼ同一となるというメリットがある。

本橋梁におけるストッパー構造の略図を図18に示す。ストッパーの周りに粘性体を充填させることから、天間川橋梁のストッパー構造とは上下の向きが異なり、ストッパー本体の定着が桁側で、橋脚・橋台側に埋め込む構造となっている。ストッパー本体は、型枠となる鋼製枠

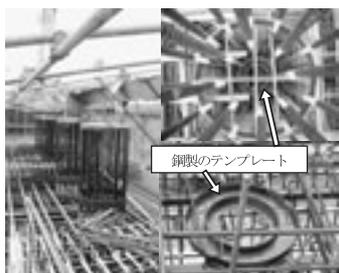


図14 鉄筋建て込み



図15 スパイラル筋建て込み



図16 RCストッパー全景

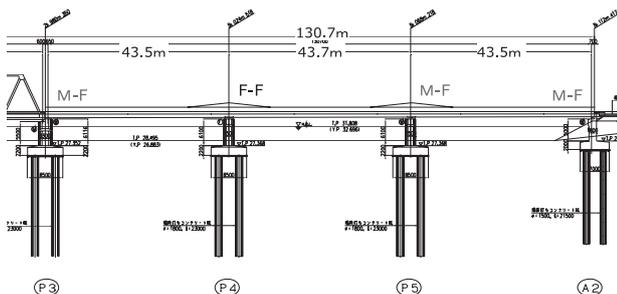


図17 思川橋梁（PRC桁）概要

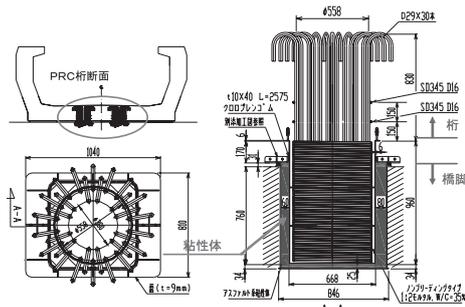


図18 ダンパーストッパー（RC）

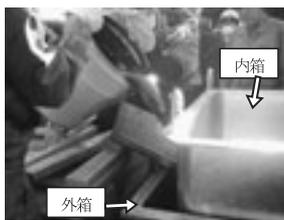


図19 粘性体充填状況



図20 設置状況



図21 鉄筋組立て



図22 モルタル打設完了

（以下、内箱）内に軸方向鉄筋とスパイラル筋を配置し、モルタルを充填している。橋脚・橋台側には、ストッパー本体より常時可動量分大きい鋼製枠（以下、外箱）を埋め込んでおり、外箱と内箱との間に粘性体（アスファルト系粘性体）を充填している。

## 4.2.2 施工概要

本橋梁における、ダンパーストッパー（RC）の施工ステップを以下に述べる。

- (1) 外箱と内箱を製作（工場加工）
- (2) 外箱と内箱を仮固定した状態で、粘性体の充填（図19）  
粘性体は、70℃程度に温めることにより、流動性を高め、充填した。なお、温め方は、容器（スチール缶）ごと熱湯に浸すことにより行った。
- (3) 箱抜きしている橋脚・橋台に設置（図20）
- (4) ストッパーの鉄筋組立て（図21）
- (5) 組み立てた鉄筋を内箱内に設置し、モルタル打設  
モルタル打設後の状況を図22に示す。

## 4.1.3 適用効果

思川橋梁において、PRC桁のストッパーをダンパーストッパー（RC）に変更することにより、約30%のコストダウンとなった。

## 5. あとがき

橋梁用の新しいストッパー構造として、鉄筋とコンクリートまたはモルタルを使って現場で製作可能なRCストッパーを開発し、その設計方法の構築、技術基準化<sup>2)</sup>を行った。

現在まで2橋梁に適用し、従来のストッパーに比べてコストダウンとなることを確認した。

今後、吾妻線第2吾妻橋梁（単純桁）にも適用する予定である。

### 参考文献

- 1) 運輸省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），1999.10
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社：設計マニュアルⅠ共通編 支承部設計マニュアル，2006.6