

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560592

研究課題名(和文) 鋼製ラ-メン橋脚のはり中央部をせん断パネルダンパーに利用する耐震補強法の開発

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF SEISMIC SHEAR PANEL DAMPER BY USING CENTRE OF BEAM WITH SHEAR COLLAPSE IN STEEL RIGID FRAMES

研究代表者

酒造 敏廣(MIKI, TOSHIHIRO)

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：90137175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、兵庫県南部地震で被害を受けた鋼製ラ-メン橋脚に着目し、はり中央部をせん断パネルダンパーに利用する耐震補強法を検討している。はり中央のせん断崩壊の有無による柱の軸力変動の上下限を把握した上で、軸力変動下で柱基部の繰り返し弾塑性曲げ挙動を調べ、損傷の変動性状を明らかにしている。はり腹板のせん断崩壊は地震時にエネルギー吸収が期待できないヒューズのダンパーの役割を果たし得ることを結論している。

研究成果の概要(英文)：This paper studies the shear panel damper by using the centre of beam with the shear collapse of web plates in steel rigid framed piers. The upper and lower bounds of uniaxial compressive force applied to column base parts are investigated corresponding to the collapse mechanisms of frames. The elasto-plastic finite displacement analysis of steel beam-columns subjected to cyclic bending under variable axial force demonstrates that the compressive variable axial force might give the significant damage to the column base cross-section. It is concluded that the shear collapse of web plates at the middle of beams could be a fuse damper without seismic energy dissipation in frames subjected to earthquake.

研究分野：橋梁工学，鋼構造工学，耐震工学

キーワード：鋼製ラ-メン橋脚 地震応答 柱の軸力変動 はりのせん断崩壊 せん断パネルダンパー

1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震(1995)で被害を受けた鋼製ラーメン橋脚には、はり部材腹板がせん断座屈崩壊しているものが多数あった。

筆者らは、その発生原因を数値解析とサブストラクチャ・オンライン実験法で調べ、はりのせん断崩壊は隅角部とその近傍の損傷を抑えるヒューズ機能を有すること、及び、ラーメン橋脚のはり腹板はせん断耐力が小さいので、地震応答が大きな塑性域まで及ぶ場合、その履歴エネルギー分担はあまり期待できないことを示した。

以上のような研究経緯のもとで、箱形ばり中央にエネルギー吸収ダンパーとしての機能を期待するためには何が必要かを模索し、本研究課題を着想するに至った。すなわち、柱・はり間を耐震補強してはり部材の特定区

間に作用せん断力を卓越させて、腹板のせん断耐力を上げ、履歴エネルギー吸収が期待できるせん断パネルダンパーとしての利用が可能かどうかを検討するものである。

2. 研究の目的

都市高速道路を支える既設の鋼製ラーメン橋脚には、許容応力度設計法により設計されたものが数多く存在する。

本研究は、非弾性地震応答を呈する鋼門形ラーメン橋脚に着目し、箱形ばり中央部を一つのせん断パネルダンパーとして機能させるために明らかにすべき事項を検討する。そして、鋼製橋脚の耐震補強法・耐震設計法を提案することを目的としている。

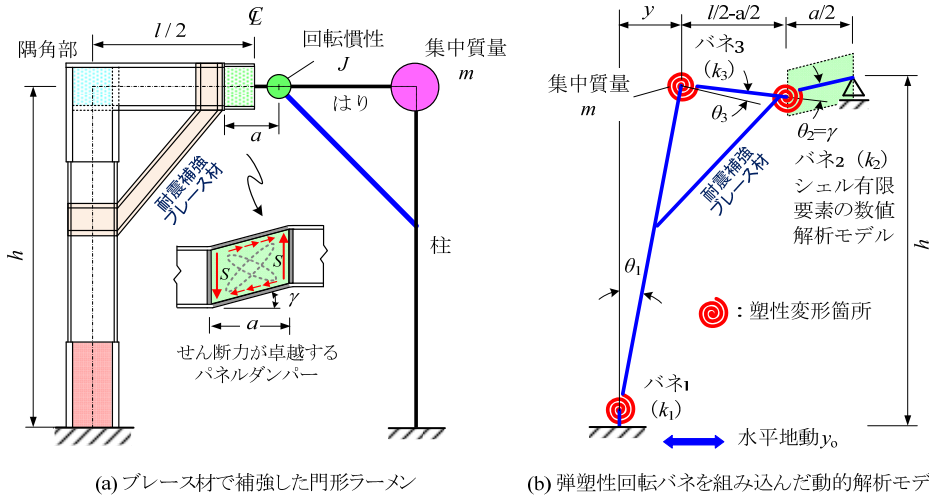


図1 箱形ばり中央をせん断パネルダンパーに応用した門形ラーメンの地震応答解析モデル

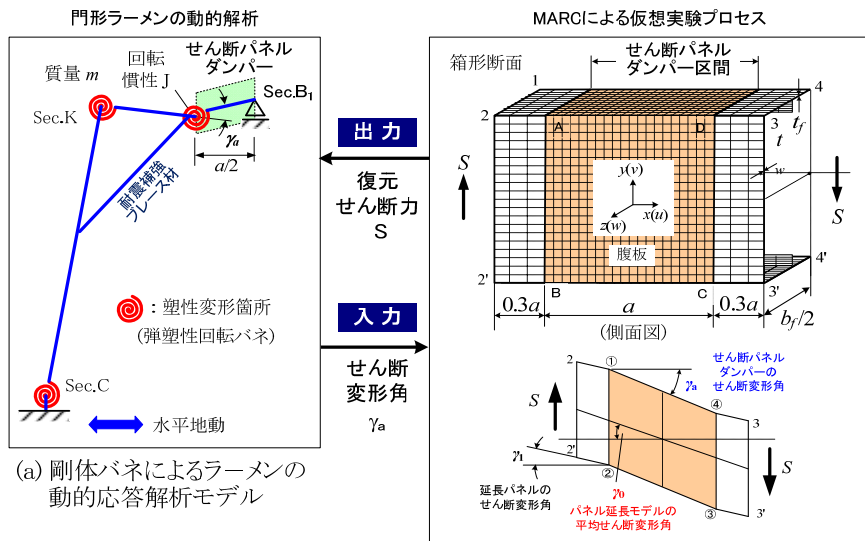
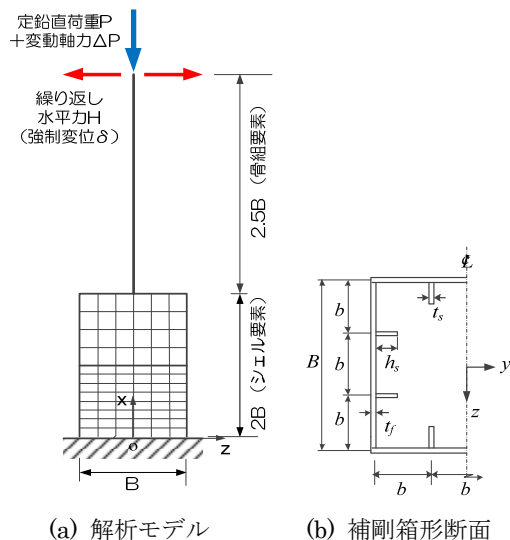


図2 せん断パネルダンパーをFEMモデルに置換したラーメンの地震応答解析



(a) 解析モデル (b) 補剛箱形断面  
図3 変動軸力下で繰り返し曲げを受ける柱基部の解析モデル

### 3. 研究の方法

#### (1) 平成24年度の研究手法

はり中央部をせん断パネルダンパーにした鋼門形ラーメンの地震応答解析を行った。

##### ① 門形ラーメンの解析モデルと運動方程式

水平地震動を受けて、柱基部とはり中間部で塑性変形が進行する門形ラーメンを研究対象とする(図1(a)参照)。柱・はり間には、隅角部域の挙動を弾性応答範囲に留めて、塑性変形するはり中央部のせん断力を卓越させるために、ブレース材を挿入している。初年度はブレース材は剛として取り扱い、ラーメンを剛体バネでモデル化する(図(b)参照)。柱基部、隅角部、及び、はり中央には、モーメント  $M$ -回転角  $\theta$  関係を仮定して弾塑性回転バネを組み込む。はり中間部では、せん断崩壊する腹板両端に二つの回転バネを仮定し、その  $M$ - $\theta$  関係と腹板のせん断力  $S$ -せん断変形角  $\gamma$  関係とを対応させる。柱頭部に集中質量  $m$  とはり中央に回転慣性  $J$  を仮定し、はりの逆対称の曲げ変形を利用して、二自由度系の運動方程式を導く。

##### ② ラーメンの地震応答解析

運動方程式の数値積分法には  $\alpha$ -OS 法を用いる。地震応答解析に際して、柱基部と隅角部の  $M$ - $\theta$  関係は Bi-Linear 型を仮定する。はり中間部は、次の2つの方法を用いてモデル化する。

解法1：はり中間部の回転バネに対して、柱基部と同様に Bi-linear 型のモーメント  $M$ -回転角  $\theta$  関係を仮定して、地震応答解析を実施する。

解法2：図2のように、箱形ばりのせん断座屈挙動を汎用 FEM で弾塑性有限変位解析する数値解析プロセスを構築し、数値解析と実験を組み合わせたオンライン実験に準ずる仮動的な解析法により、ラーメンの地震応答解析を実施する。

#### (2) 平成25年度以降の研究手法

##### ① 平面骨組の地震応答解析

鋼製ラーメンを図1(a)のように平面骨組にモデル化して地震応答解析を実施し、はり中央ダンパー部のせん断崩壊が起るとき、柱の軸力がどの程度変動して、柱基部の弾塑性性状と損傷(塑性ひずみの累積量)にどのような影響を及ぼすかを調べる。

##### ② 軸力変動下での柱基部の弾塑性有限変位解析

上記の数値解析で得られた柱の軸力変動を踏まえて、図3に示すように軸力変動が作用するラーメン柱を片持ち柱に置換して弾塑性有限変位解析を実施した。柱断面は補剛された薄肉箱形断面である。定鉛直荷重に加えて、柱に変動軸力を付加し、汎用 FEM 解析ソルバーMARCを用いて、定軸力下または変動軸力下で水平強制変位を受ける補剛された箱形断面柱の弾塑性有限変位解析を実施する。解析結果より、柱基部断面の曲げモーメント、軸力、曲率、および、軸ひずみの変動性状を分析し、変動軸力のもと繰り返し曲げを受ける柱の塑性変形や局部座屈性状について考察する。

##### (3) 研究のまとめ

最後に、3カ年の研究成果をまとめる。

#### 4. 研究成果

- (1) はりがせん断崩壊するとき、柱基部とはり中央のどちらが先行降伏するかによって、両者の履歴エネルギー分担の性状が大きく変動する。
- (2) せん断崩壊する箱形ばりにおいて、フランジプレート縦補剛材の曲げ剛比の変動(必要剛比の3~5倍の範囲)が柱基部の塑性変形性状や履歴エネルギー分担に及ぼす影響は小さい。
- (3) 箱形ばり中央がせん断座屈崩壊して抵抗せん断力の低下・変動が著しくなると、履歴エネルギーが低下し、はり中央部には、柱基部の塑性変形を抑えるエネルギー吸収部材としての効果を期待できない。
- (4) このとき、はり中央部の履歴エネルギー分担の下限は、はり腹板の降伏点をせん断座屈応力に置き換えた塑性崩壊メカニズムによって評価できる。
- (5) 柱の軸力変動は、塑性断面性能が大きい柱の上下端やはり端部で塑性変形を呈するときに最も大きくなり、はり中央で塑性せん断変形が起るときに最も小さくなる。また、定鉛直荷重に軸力変動を加えると、柱の軸方向圧縮力は、最大で全断面降伏荷重のおよそ0.35倍程度になることを耐震設計で想定しておく必要がある。
- (6) 箱形ばり部材中央のせん断座屈崩壊は、鋼門形ラーメンの柱基部の地震時損傷を軽減する。従来のラーメン橋脚の耐震設計法では、はり部材の先行降伏をとくに意識したものではなかったが、橋脚全体の損傷を小さく留めるための崩壊パターンとして利用する価値がある。
- (7) はり・柱間をブレース材で補強し、はり

部材のせん断耐力を増した状態で、はり中央をせん断パネルダンパーとして崩壊させると、柱基部の軸力変動が増大して損傷が大きくなる可能性がある。

- (8) 既存橋脚においてははり中央をせん断崩壊させるとき、エネルギー吸収ダンパーとして用いるのではなく、エネルギー吸収が期待できないダンパー(=一種のヒューズ部材)としての利用に留めた方がよいと考える。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 酒造敏廣, 山田 宰, 辻上和輝: はりがせん断崩壊する鋼門形ラーメンの地震応答と柱の軸力変動, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 22, 2014, pp. 250~257.
- ② 上中宏二郎, 酒造敏廣: 外円形鋼管と内角形鋼管から成る二重鋼管合成部材のせん断実験, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 22, 2014, pp. 144~151.
- ③ 酒造敏廣, 水澤富作, 山田 宰, 戸田智規: 汎用 FEM コードを利用した鋼一層門形ラーメンの地震応答解析, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68 (2012), No.2, pp.440~452.

[学会発表] (計 9 件)

- ① 酒造敏廣, 増田雄輔: 軸力変動下で繰り返し曲げを受ける鋼はり-柱の弾塑性有限変位解析, 第 34 回地震工学研究発表会・講演論文集, 土木学会, 2014, A14-618.
- ② 増田雄輔, 山田 宰, 酒造敏廣: 軸力変動下で繰り返し曲げを受ける鋼はり-柱の弾塑性有限変位解析, 平成 26 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 2014.
- ③ 酒造敏廣, 山田 宰, 辻上和輝: はり中央がせん断崩壊する鋼門形ラーメンの地震応答特性, 第 17 回応用力学シンポジウム概要集, 土木学会応用力学委員会, 2014.
- ④ 野田拓史, 上野山拓也, 山田 宰, 酒造敏廣: 軸力変動に着目したはり崩壊型門形ラーメンの地震応答解析, 第 68 回土木学会年次学術講演会・概要集, I-078, 2013.
- ⑤ 樫原太基, 山田 宰, 酒造敏廣: はり崩壊型二層門形ラーメンの柱の軸力変動に関する研究, 平成 25 年度土木学会関西支部・講演概要集, 2013.
- ⑥ 上野山拓也, 辻上和輝, 山田 宰, 酒造敏廣: はり部材のせん断崩壊が鋼門形ラーメン柱基部の軸力変動に及ぼす影響, 第 67 回土木学会年次学術講演会概要集, 2012.
- ⑦ 辻上和輝, 山田 宰, 酒造敏廣: はり中央がせん断崩壊する鋼門形ラーメンの柱基部の軸力変動について, 第 67 回土木学会年次学術講演会概要集, 2012.

- ⑧ 辻上和輝, 山田 宰, 酒造敏廣: はり中央をせん断パネルダンパーに利用した鋼門形ラーメンの地震応答解析, 平成 24 年度土木学会関西支部・講演概要集, 2012.

- ⑨ 清水集平, 上中宏二郎, 酒造敏廣: 角型内鋼管を有する二重鋼管合成部材の圧縮特性に及ぼす内径・外径比の影響, 平成 24 年度・土木学会関西支部・講演概要集, 2012.

[その他]

ホームページ等

- (1) <http://www.kobe-kosen.ac.jp/department/staff/toshi/tmiki.html>
- (2) <http://godos3.iobb.net/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒造敏廣 (MIKI TOSHIHIRO)  
神戸市立工業高等専門学校・教授  
研究者番号: 90137175

(2) 研究分担者

山田 宰 (YAMADA OSAMU)  
和歌山工業高等専門学校・准教授  
研究者番号: 30550173