

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360218

研究課題名（和文）既設鋼リベット橋の耐荷・耐震・耐久性能評価とその長寿命化技術の開発
 研究課題名（英文）Evaluation of load carrying capacity, seismic performance and durability of existing riveted bridges and development of technologies for extending their service life

研究代表者

山口 隆司 (TAKASHI YAMAGUCHI)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50283643

研究成果の概要（和文）：本研究では、腐食劣化した鋼リベット橋の残存耐荷性能、耐震性能、耐久性能評価を行うための基礎的技術資料を得ることを目的として、リベット接合部の接合要素および集成部材に対する載荷実験を基本に数値解析も併用し、これらを評価した。その結果、リベット頭部の腐食が耐荷性能に与える影響は少ないが疲労強度に影響を与えることを明らかにした。また、腐食損傷の程度とリベットの残存軸力の関係を明らかにした。さらに、リベットを一部取替え、高力ボルト摩擦接合との併用接合とする補修・補強法の提案や、S字型ダンパーを部材間に挿入する耐震性能向上方法を提案し、それらが有効であることを示した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to collect fundamental technical knowledge on residual performance of load carrying capacity, seismic resistance, and durability through the experimental and analytical study on riveted joints and plated girders. It is found that corrosion of rivet heads is not dominant on bending and bearing capacity but on fatigue strength. Furthermore, in order to develop the service life of such old bridge structures, developed are a repairing method with exchange of rivets to high strength bolts, S-shape dumper which will be installed between diagonal members and their effectiveness have been proved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：橋梁工学・鋼構造学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：リベット継手、腐食、継手の耐荷力、継手の疲労、補修・補強

1. 研究開始当初の背景

本研究で対象とした鋼リベット橋は、その多くが製作・架設後、60年以上経過しており、これまでの維持管理状態や架設位置の環境にもよるが、接合部の腐食やリベットそのものの腐食などによる劣化が問題となってい

る(図1)。このような橋梁を、道路ネットワークの一部として今後も供用していくためには、残存している耐荷性能、耐震性能、耐久性能を正しく評価し、必要があれば適切な時期に適切な補修・補強を行い、長寿命化をはかる必要がある。しかしながら、リベッ

ト接合の耐力、リベット集成部材の耐力、終局挙動といった技術情報は不足している。特に、腐食劣化したリベット接合の耐力に関しては、腐食したリベット接合そのものに対して基礎的な実験が行われているのみで、腐食の程度と接合部耐力の関係の解明、集成部材としての耐荷性能評価などには至っていない。さらに、腐食したリベットや部材の取り替え等の補修・補強に関する検討は、リベット接合要素を対象とした基礎的な実験にとどまり、集成部材としての性能評価がなされておらず、限られた構造・劣化状態を対象としているなど不十分な点も多い。



図1 腐食したリベット接合部の例

2. 研究の目的

本研究では、腐食劣化した鋼リベット橋（アーチ橋、トラス橋）の残存耐荷性能、耐震性能、耐久性能を行うための基礎的な技術資料を得ることを目的として、実際に腐食したリベット接合部の接合要素および集成部材に対する載荷実験を基本に、数値解析も併用し、これら进行评估する。さらに、劣化したリベット接合部の効果的な補修・補強方法の提案、および耐震性能向上デバイスなどの既設鋼製リベット橋梁の長寿命化技術を開発する。具体的には以下の項目に対して研究を行った。

(1) 腐食劣化したリベット集成部材の耐力の解明

- ・ リベットの腐食程度と継手要素の引張耐力の関係
- ・ リベットの腐食程度と集成部材の曲げおよびせん断耐力の関係

(2) 腐食劣化したリベット集成部材の耐久性能の解明

- ・ 腐食劣化したリベット継手の疲労強度の解明

(3) 既設鋼リベット橋の長寿命化技術の開発

- ・ 腐食劣化したリベット接合の補修・補強方法の開発
- ・ 腐食劣化したリベット橋の耐震性能向上デバイスの開発

3. 研究の方法

上記の(1)から(4)の項目に対して、載荷実験およびそれを補完するための有限要素解

析を行った。

(1) 腐食劣化したリベット集成部材の耐力の解明

まず、リベットの腐食程度が継手要素の引張強度に及ぼす影響を調べるために、撤去される既設鋼リベット橋からリベット継手試験体を取り出し、引張載荷実験を行った。ここでは、リベットの腐食損傷を模擬するために、リベットの腐食状況の文献および現地調査を行い、その結果をもとに、リベットを切削し、腐食損傷を模擬した(図2)。

次に、鋼リベット橋から取り出した集成部材を対象に、リベットの腐食程度とリベット集成桁の曲げおよびせん断耐荷力を明らかにするために単調漸増載荷実験を行った(図3)。リベットの腐食損傷については、継手要素実験で採用したものと同一方法で模擬した。

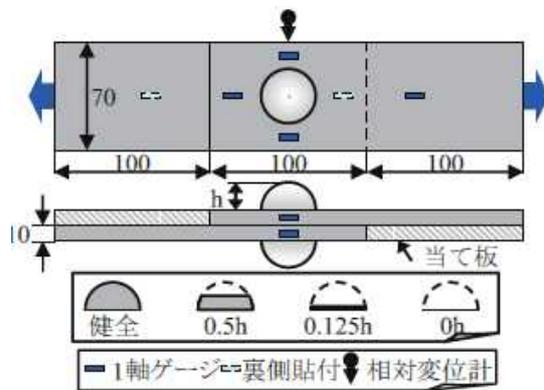
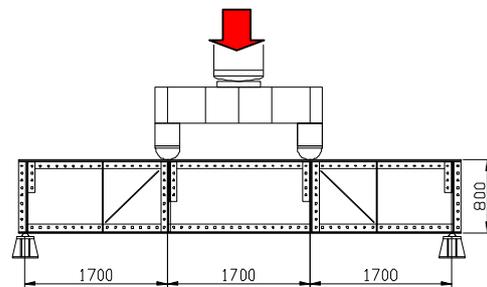
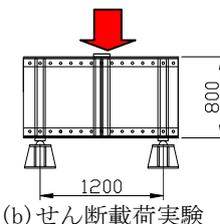


図2 供試体の形状と腐食の模擬損傷(単位 mm)



(a) 曲げ載荷実験



(b) せん断載荷実験

図3 集成桁の載荷実験(単位:mm)

(2) 腐食劣化したリベット集成部材の耐久性能の解明

ここでは、リベット継手の耐久性を疲労強

度の観点から検討することとし、腐食損傷の程度が疲労強度に与える影響を疲労試験によって定量的に明らかにすることとした。リベット継手の疲労強度に関する既往の検討は、実際に供用されていたリベット継手を対象に行ったものが多く、腐食程度と疲労強度の関係を議論するには、これまでの荷重履歴など多くの不確定要因を含んでいるため難しい。そこで、ここでは、新たにリベット継手を製作し、過去の荷重履歴や損傷履歴の影響を受けない条件のもと、リベット頭部の切削により腐食損傷を模擬し(図4)、疲労試験を行った(図5)。また、腐食損傷により疲労強度が低下する原因について、有限要素解析を行って検討した(図6)。

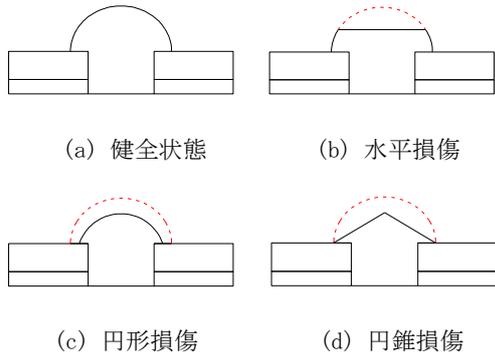


図4 模擬腐食損傷のパターン



図5 疲労試験の状況

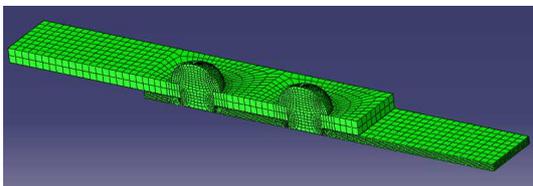


図6 有限要素解析モデルの例

(3) 既設鋼リベット橋の長寿命化技術の開発

腐食劣化したリベット継手の補修・補強方法として、最も一般的と考えられる、損傷したリベットを高力ボルトに置き換え、リベッ

ト継手と高力ボルト摩擦接合継手の併用継手とする方法について有限要素解析を行い、検討した。

鋼リベット橋のような架設年代が古い橋梁は古い耐震設計基準に従って設計されており、長寿命化という観点からは、耐震性能の向上が欠かせない。ここでは、それを実現するための技術の一つとして、ガセットプレートと弦材接合部のリベット接合部に注目し、ガセットプレート近傍の弦材間に、S字状低降伏点鋼ダンパー(図7)をエネルギー吸収部材として付加する手法を提案し、数値解析により、適用の可否やその要求性能について検討した。

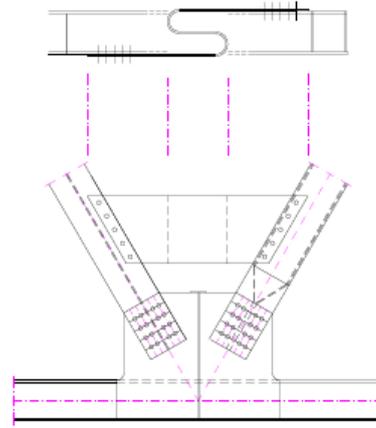
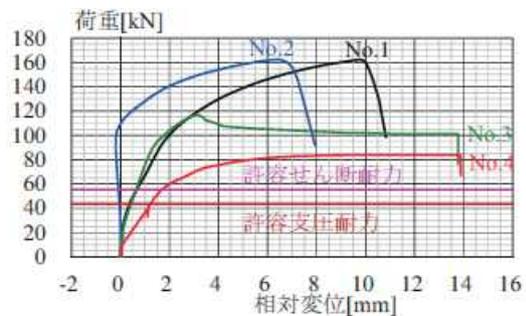


図7 S字型ダンパーとその設置例

4. 研究成果

(1) 腐食劣化したリベット集成部材の耐力の解明

1面せん断継手については、リベット頭部の腐食損傷が継手要素の引張耐力に与える影響は大きく、リベットが抜け出すことで耐力が低下することがわかった。しかしながら、リベット頭部の高さが健全状態の2分の1以下になるまでは、耐力の低下は見られず、それよりさらに損傷すると耐力が低下することがわかった。また、耐力は母板のせん断耐力とリベットに導入されている軸力に起因する摩擦耐力との和で評価できることを確認した(図8)。



No.1 健全状態, No.2 頭部高さ2分の1

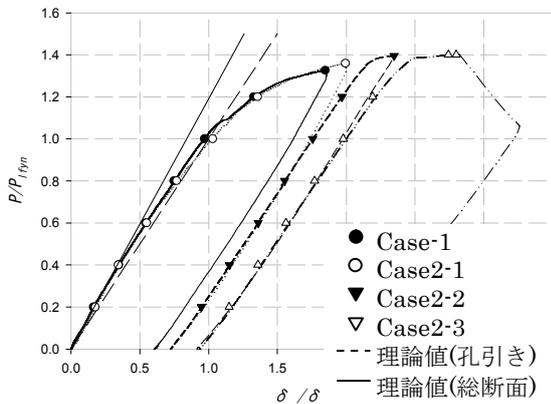
No.3 頭部高さ8分の1, No.4 頭部なし

図8 荷重-相対変位関係(1面継手)

一方、2面継手については、リベット頭部の腐食損傷が引張耐力に与える影響は1面継手ほど大きくはなく、腐食損傷程度の違いによるリベット軸力の違いに起因する摩擦耐力の違いが見られるのみである。

リベット集成桁の曲げ載荷実験の結果、リベット頭部の腐食損傷が曲げ耐力に与える影響はわずかであることを確認した。リベット頭部の腐食損傷の有無は、曲げ剛性にわずかに影響を与え、リベット頭部の腐食損傷がある場合は、腐食損傷したリベットからの板の抜け出しが発生し、その結果、曲げ剛性がわずかに低下することを確認した(図9)。また、これを検証するための有限要素解析も行い、そのような現象が発生していることを解析的に確認した。

リベットの腐食損傷が綴じ合わせ機能に与える影響については、リベット頭部の腐食を有するモデルでは綴じ合わせ機能が低下し、圧縮側の局部座屈が発生し、大きく耐力が低下することも確認した。



Case-1: 健全状態

Case-2: リベット頭部損傷状態

図9 荷重-たわみ関係(曲げ載荷実験)



図10 圧縮フランジの局部座屈

せん断載荷実験の結果、腐食損傷の程度が小さい場合、リベット頭部の腐食損傷が耐力に与える影響はほとんどなく、腐食損傷の程度が大きい場合においてもリベットの抜け出しがわずかに発生するのみで、せん断耐力に与える影響は小さいことを確認した。

(2) 腐食劣化したリベット集成部材の耐久性能の解明

リベット頭部の腐食損傷により、リベットに導入される軸力が減少することは知られているが、定量的に評価されるには至っていない。ここでは、リベット継手を新たに製作し、それに腐食損傷を、頭部の切削で模擬し、リベットに導入される軸力の変化を調べた。その結果、新規リベットに導入される軸力は40~50kN (M22 リベットの場合)であり、腐食損傷の程度によって低下することを定量的に示した。リベット頭部高さが半減する場合で軸力減少率は15%ほどである。また、その低下量は、軸力減少率とリベット軸縁上のリベット頭部高さ: h (mm)と、リベット軸縁からリベット頭部最外縁までの距離: b (mm)の面積と距離の2乗の関数 bh^3 で表すことができることを示した(図11)。

さらに、疲労試験の結果から、腐食損傷により疲労強度が低下することを確認した(図12)。また、その原因は、リベットに導入される軸力が低回することに起因するリベット孔における応力集中度の増加と関係していることを有限要素解析の結果をもとに検証した。

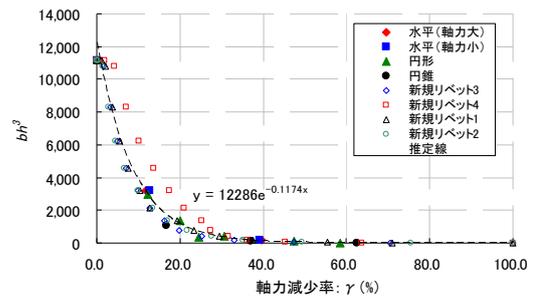


図11 腐食損傷量と軸力減少率の関係

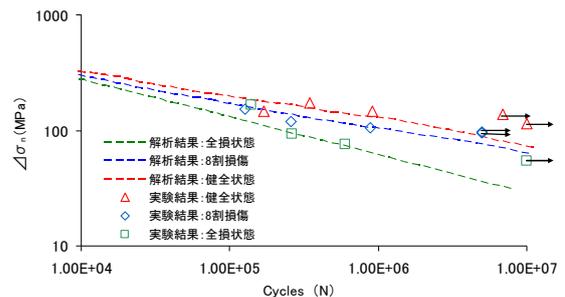


図12 S-N線図

(3) 既設鋼リベット橋の長寿命化技術の開発

腐食したリベットを高力ボルトで置き換える補修方法について、有限要素解析結果をもとに検討した結果、規定のすべり係数を確保できれば置き換え可能であることを示すとともに、荷重伝達メカニズムの違いが継手性能に与える影響について整理した。

耐震性能向上デバイスとしての低降伏点鋼S字型ダンパーを鋼トラス橋に適用し、その耐震性能向上に関して検討した結果、提案した低降伏点鋼S字型ダンパーが有効であり、十分な性能を持っていることが確認できた(図13)。

また、本ダンパーは設置位置によるが、橋軸方向および橋軸直角方向入力のいずれに対しても有効であり、特に橋軸直角方向入力地震動に対してはより低減効果が大きかった。

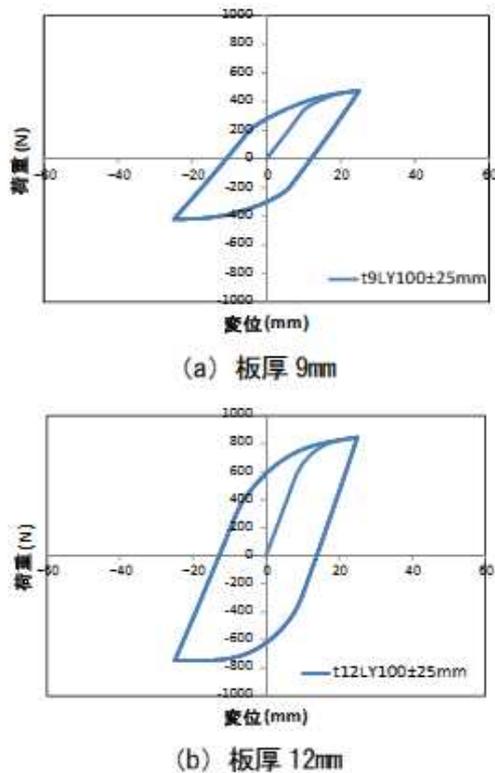


図13 S字型ダンパーの荷重-変位関係

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 堀嗣輔, 橋本国太郎, 山口隆司, 杉浦邦征, 三ツ木幸子, リベット頭部が腐食損傷したリベット集成I桁の曲げ挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, 査読有, Vol.58A, 2012, pp.701-709

② 田中賢太郎, 北原武嗣, 山口隆司, 鋼橋の接合部に用いる低降伏点鋼S字型ダンパーの検討, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol.19, 2011, pp.403-408

③ 藤本貴正, 橋本国太郎, 杉浦邦征, 山口隆司: 腐食損傷を受けたリベット継手要素の引張挙動に関する実験的研究, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol.19, 2011, pp.295-302

[学会発表] (計2件)

① 田中賢太郎, 岸墨己, 北原武嗣, 山口隆司, 低降伏点鋼S字型ダンパーを用いた鋼トラス橋の地震時挙動の検討, 平成23年度土木学会関西支部学術講演会梗概集, 2011年6月12日, 関西大学千里山キャンパス

② 堀嗣輔, 山口隆司, 橋本国太郎, 三ツ木幸子, 松村政秀, リベット頭部が腐食損傷したリベット集成部材の曲げ耐荷力に関する実験的研究, 土木学会全国大会第65回年次学術講演会, 2010年9月3日, 北海道大学札幌キャンパス

[その他]

ホームページ等

<http://brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp/poster/hori.pdf>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 隆司 (TAKASHI YAMAGUCHI)

大阪市立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50283643

(2) 研究分担者

杉浦 邦征 (KUNITOMO SUGIURA)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70216307

北原 武嗣 (TAKESHI KITAHARA)

関東学院大学・工学部・教授

研究者番号: 00331992

鈴木 康夫 (YASUO SUZUKI)

宇都宮大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 50431698

橋本 国太郎 (KUNITARO HASHIMOTO)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 40467452

(3) 連携研究者

なし