

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820187

研究課題名(和文) 鋼トラス橋の格点部の耐荷力評価に関する研究

研究課題名(英文) Study on Evaluation of Load Carrying Capacity for Panel Point in Steel Truss Bridges

研究代表者

笠野 英行 (KASANO, Hideyuki)

日本大学・工学部・助教

研究者番号：20514417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：鋼トラス橋の格点部の圧縮載荷試験によるガセットプレートの破壊モードはコンピュータシミュレーション(以降、FEM解析と呼ぶ)による同格点部のガセットプレートの破壊モードとよく一致した。この破壊モードをもとに圧縮力を受ける格点部のガセットプレートの耐荷力評価式を提案した。この耐荷力評価式の適用性を検討するため、3つの異なる形状の格点部の板厚を段階的に変化させた場合のFEM解析を行った。その結果、提案した耐荷力評価式から算出される耐荷力の値は、FEM解析から得られる値と比較的良く一致することが分かった。

研究成果の概要(英文)：The failure mode of the gusset plates demonstrated by the compression test of the steel truss bridge panel point was well consistent with that of shown by the FEM analysis. Therefore we proposed a strength equation for gusset plates subjected to the compression force through a diagonal. In order to examine the applicability of the proposed strength equation, 3 FEM models of the panel points with different gusset shape and thickness were built, and the parametric FEM analyses were performed. As the result, the values of the load carrying capacity calculated by the proposed strength equation were well agreed with the values obtained by the FEM analyses.

研究分野：構造工学

キーワード：鋼トラス橋 格点部 ガセットプレート 耐荷力評価式 載荷試験 FEM解析

### 1. 研究開始当初の背景

第二次世界大戦後の国土復興と、その後の高度経済成長期に現在存在する橋梁の数多が建設された。そして現在、それらの橋梁の多くが高齢化・老朽化し、適切な維持管理が求められている。国土交通省は、アセットマネジメントの手法を取り入れ、これらの橋梁の更新時期を平準化すること、さらに、ライフサイクルコストを考慮した効率的・効果的な維持管理を重要施策の一つとしている<sup>1)</sup>。このように、わが国では既設の橋梁の安全性を損なうことのないよう、橋梁の維持管理への取り組みが始まっている。現在わが国には、長さが15m以上の道路橋が約15万橋存在する。これらは毎年刻々と高齢化し、現在約6%である50歳以上の橋梁が、20年後には約50%に急増すると試算されている(図-1)。50年というのは当時設計された橋梁の耐用年数である。これらの高齢化する膨大な道路資産の健全性を維持し、道路ネットワークの良好なサービス水準を維持していくためには、個々の橋梁について万全の維持管理とライフサイクルコスト抑制の両立が不可欠となっている<sup>1)</sup>。

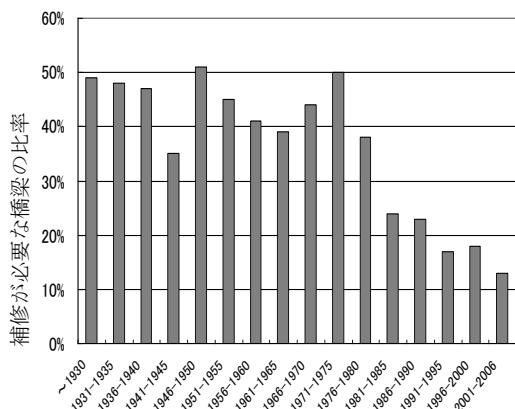


図-1 架設年毎の補修が必要な橋梁比率<sup>1)</sup>

1) 玉越隆史：国土交通省における道路橋の維持管理の現状と問題点及び将来の展望、土木学会 平成20年度全国大会研究討論会資料 [わが国の橋梁の維持管理を考える]、pp. 6-13、2008年

### 2. 研究の目的

このような状況の中、2007年8月1日、米国ミネソタ州ミネアポリス郊外のミシシッピ川に架かるI-35W橋(鋼トラス橋)が突然崩落した(図-2)。維持管理の面では日本よりも先進していると考えられている米国で起きた衝撃的な事故であった。この崩落事故以降、日本国内でも鋼トラス橋の安全性に関して大きな関心が寄せられるようになった。上記のI-35W橋の崩落の原因は、トラス格点部のガセットプレートが、必要な厚さの半分しか

なく、破壊に至ったためであった<sup>2)</sup>。ガセットプレートはトラス構造の中では複数の主部材を結び付けている「要」となる部材であり、橋梁の安全性に大きく関与する。しかしながら道路橋示方書では、このガセットプレートの設計に関して引張力を受ける場合の簡単な強度照査式しか示されていない。その理由としては、その照査式から得られるガセットプレートの板厚は接続されている部材から伝達される力に対して十分に余裕のあるものであると考えられてきたからである。ところが、圧縮力を受けた場合のガセットプレートの終局挙動は、座屈、局部座屈、あるいはブロックせん断破壊など複雑であり、特に老朽化したガセットプレートの耐荷力は著しく低下する可能性があることが、これまでの研究で示唆されている。よって本研究の目的は、圧縮力を受けるガセットプレートの終局挙動を実験的・解析的に検証し、明らかにしていくことである。この結果は、老朽化した鋼トラス橋の維持管理における安全性の判定手法の確立に多いに役立つと考える。



図-2 崩落したI-35W橋<sup>3)</sup>

2) 笠野英行、依田照彦：米国ミネアポリスI-35W橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価、土木学会論文集A、Vol. 66、No. 2、pp. 312-323、2010年6月。

3) Minnesota Department of Transportation, Interstate 35W Bridge Photos、<http://www.dot.state.mn.us/i35wbridge/photos/>

### 3. 研究の方法

実際の鋼トラス橋の格点部と同様の格点部試験体を作成し、終局状態までの圧縮載荷実験を行った(図-3)。実験により得られる力学的挙動と、有限要素モデルを用いたコンピューターシミュレーションとの結果とを比較し、それぞれの終局状態の整合性を確認した。その後、ガセットプレートの板厚を変化させたパラメトリック解析を行った。格点部の載荷実験は、以前に同様の載荷試験を土木研究所で実施しており、その結果も合わせ、斜材より圧縮を受けるガセットプレートの耐荷力評価式を提案した。

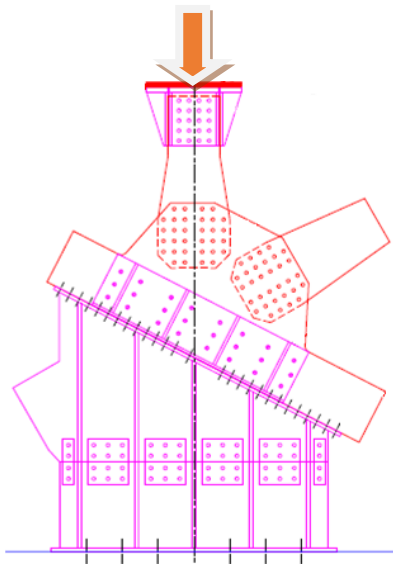


図-3 上：模式図 下：実際の試験の様子

#### 4. 研究成果

(1) 荷重試験による圧縮を受けるガセットプレートの終局状態と、有限要素モデルを用いたコンピューターシミュレーションによる解析結果を比較すると、その破壊形状はよく類似していた(図-4)。斜材先端部のガセットプレートは座屈し、ガセットの自由辺は座屈同方向に大きく湾曲する形状が見られる。また、試験体のリベット部両端には、鋼材が降伏したことを示すリューダース帯が観察され、解析結果でも同部分に大きな応力が集中していることが分かる。一方、本研究での荷重試験の最大荷重は、解析から得られた最大荷重よりも荷重の偏心等による理由によ

り、低いものであったが、前述の土木研究所での同様の荷重試験では、荷重試験と解析の荷重が非常に良く一致した。これらの結果を基に、圧縮を受けるガセットプレートの耐力評価式(1)を提案した。

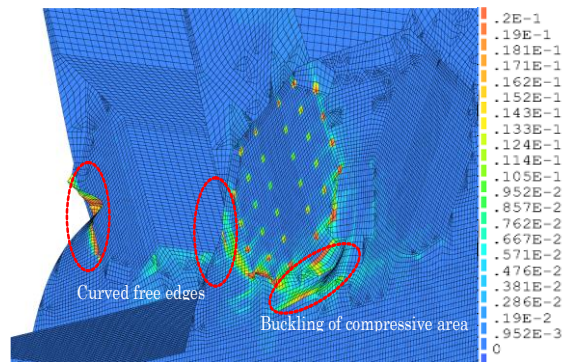


図-4 上：荷重試験の破壊形状

下：解析の結果(変形・応力図)

$$R = R_c + \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_y A_{gv} \quad (1)$$

ここに、R:圧縮力を受けるガセットプレートの耐力

$R_c$ :圧縮力を受ける部分の耐力

$\sigma_y$ :鋼材の降伏応力

$A_{gv}$ :せん断に抵抗する全断面の面積

式(1)は、圧縮力を受ける斜材両側の2枚のガセットプレートの耐力を、せん断を受ける断面の耐力と圧縮を受ける部位の耐力の総和として算出している(圧縮力またはせん断力を受ける断面については図-5に示す)。右辺第2項はせん断面の全断面降伏によるせん断耐力であり、右辺第1項の圧縮を受ける部位の耐力は以下に示す式(2)~(4)から求める。

圧縮を受ける部位の耐力は、柱の座屈理論を適用し、オイラーの座屈荷重、もしくは降伏荷重を用いる。それら荷重の判定は以下に示す推奨細長比式(2)で行う。



$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y \ell_e}{E r}} \quad (2)$$

ここに、 $\sigma_y$ :鋼材の降伏応力、 $\ell_e$ :座屈換算長  
E:鋼材のヤング係数、r:断面2次半径

$\bar{\lambda} > 1.0$  の場合、式 (3) の座屈荷重を用い、  
 $\bar{\lambda} < 1.0$  の場合、式 (4) の降伏荷重を用いる。  
 $\bar{\lambda} > 1.0$  のとき

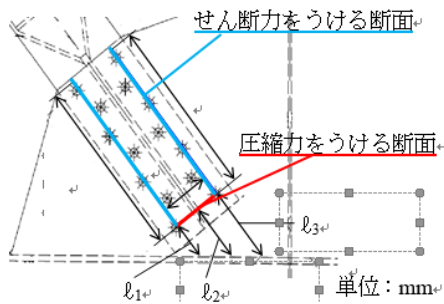
$$R_c = \frac{\pi^2 EI}{\ell_e^2} \quad (3)$$

ここに、I:断面2次モーメント  
 $\bar{\lambda} < 1.0$  のとき

$$R_c = \sigma_y A_{gc} \quad (4)$$

ここに、 $A_{gc}$ :圧縮に抵抗する全断面の面積

式 (2), (3) における座屈換算長  $\ell_e$  の算出方法は図-5 に示す通り、リベットの最終列から弦材までの距離  $\ell_1, \ell_2, \ell_3$  の平均に係数  $\beta$  を掛けるものとする。座屈換算長を求める際の部材長に対する係数  $\beta$  の値は、変形モードが横座屈 (sway buckling) になるとの想定のもと、道路橋示方書に記載されている推奨値を基に  $\beta = 1.2$  を採用する。



$$\text{座屈換算長} : \ell_e = \beta \frac{\ell_1 + \ell_2 + \ell_3}{3}$$

図-5 耐荷力の計算方法

(2)式 (1) の適用性を検討するために旧銚子大橋の P25u, P72d, P73d の 3 つの格点部を対象として FEM モデルを作成し、板厚をパラメーターとしたパラメトリック解析を行った。各モデルの各板厚において、耐荷力評価式 (1) から算出される計算値と FEM 解析から得られる解析値の比較したものを図-6 に示す。この図からわかるように提案した耐荷力評価式 (1) から算出される耐荷力の値は概ね FEM 解析値と一致する。このことから提案した耐荷力評価式 (1) は比較的良好な精度で圧縮を受けるガセットプレートの耐荷力を評価

できることが分かった。

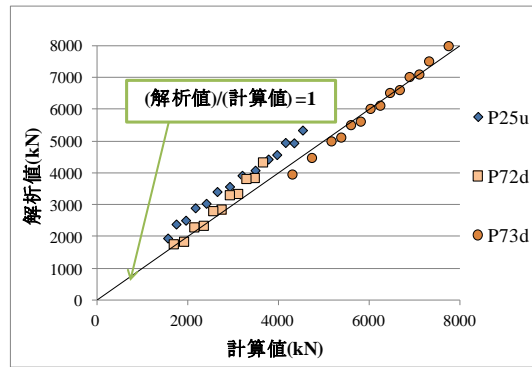


図-6 計算値と解析値の比較

## 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 2 件)

① Hideyuki Kasano, Teruhiko Yoda, Kuniei Nogami, Yusuke Kishi, Weiwei Lin

“Proposal of strength equation for gusset plates subjected to compressive force in steel truss bridge” Journal of Structural Engineering (JSCE), Vol. 62A, pp. 84-92, 2016. 3. 査読あり

② 川口徹朗, 笠野英行, 依田照彦, 平山雄大, 野上邦栄, 岸祐介

「鋼トラス橋格点部におけるガセットプレートの圧縮耐荷力評価式の適用性の検討に関する解析的研究」鋼構造論文集, Vol. 22, No. 87, pp. 23-32, 2015 年 9 月. 査読あり

[学会発表] (計 3 件)

① Hideyuki Kasano, Teruhiko Yoda, Kuniei Nogami, Yusuke Kishi, Weiwei Lin.

“Proposal of strength equation for gusset plates subjected to compressive force in steel truss bridge” 第 62 回構造工学シンポジウム, 2016 年 4 月 23 日, 「東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)」.

② 丸翔一, 笠野英行, 依田照彦, 野上邦栄, 岸祐介, 村越潤, 高橋実, 本田弘明, 田代大樹.

「圧縮載荷試験による鋼トラス橋格点部の終局状態に関する研究」第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015 年 3 月 5 日, 「東海大学湘南キャンパス(神奈川県・平塚市)」.

③ 平山雄大, 川口徹郎, 笠野英行, 依田照彦, 野上邦栄, 村越潤, 榎本忠夫, 田代大樹.

「鋼トラス橋の格点部の耐荷力に関する解析的研究」土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014 年 9 月 11 日, 「大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市)」.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笠野 英行 (KASANO Hideyuki)

日本大学・工学部・助教

研究者番号：20514417