

# 鋼トラス橋格点部の腐食損傷と圧縮耐荷力に着目した載荷試験

澤田 守\* 村越 潤\*\* 遠山直樹\*\*\* 依田照彦\*\*\*\* 野上邦栄\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が急速に進む中で、近年、鋼トラス橋において主構部材の重大損傷が報告されている。平成19年には直轄の鋼トラス橋において、コンクリート部材に埋込まれた鋼製の斜材が腐食により破断する事例が相次いで発生している。また、海外では、同年に米国ミネソタ州の鋼トラス橋（I-35W橋）が供用中に突然崩壊し、多数の死傷者を出す事故に至った。その後の事故調査委員会の報告書では、崩壊の要因ではないものの、格点部の腐食欠損の調査とそれに基づく健全度評価の重要性が指摘されているところである。今後、腐食劣化の進行した橋梁において、耐荷性能に係る技術的判断が必要となる機会が増えてくることも考えられるが、実際の腐食の生じた主構部材の耐荷力に関して、これまでも研究事例は少なく、評価手法は確立されていない状況である。

このような背景から、著者らは、鋼トラス橋を主な対象として、腐食等の劣化損傷を受けた主構部材の耐荷性能評価手法及び損傷部材を含む橋全体系の耐荷性能評価手法について研究を進めている。橋全体系の耐荷性能評価手法については、既に土木技術資料<sup>1)</sup>で報告している。ここでは、鋼トラス橋の格点部に着目し、撤去部材を活用して

腐食による板厚減少量の調査を行うとともに、圧縮耐荷力に着目した載荷試験を行い、破壊性状や残存耐荷力について検討した結果を報告する。

なお、本研究は早稲田大学、首都大学東京との共同研究「腐食劣化の生じた橋梁部材の耐荷性能の評価手法に関する研究」（平成21年度～）として実施しているものである。

## 2. 対象橋梁

対象とした橋梁は、利根川河口部に架かる橋長約1.2kmの橋梁のうち、鋼5径間連続下路式トラス橋部分（橋長407m）であり、昭和37年に建設



図-1 撤去前の対象橋梁（銚子大橋）



(a)上弦材 (b)下弦材

図-2 トラス格点部の腐食状況

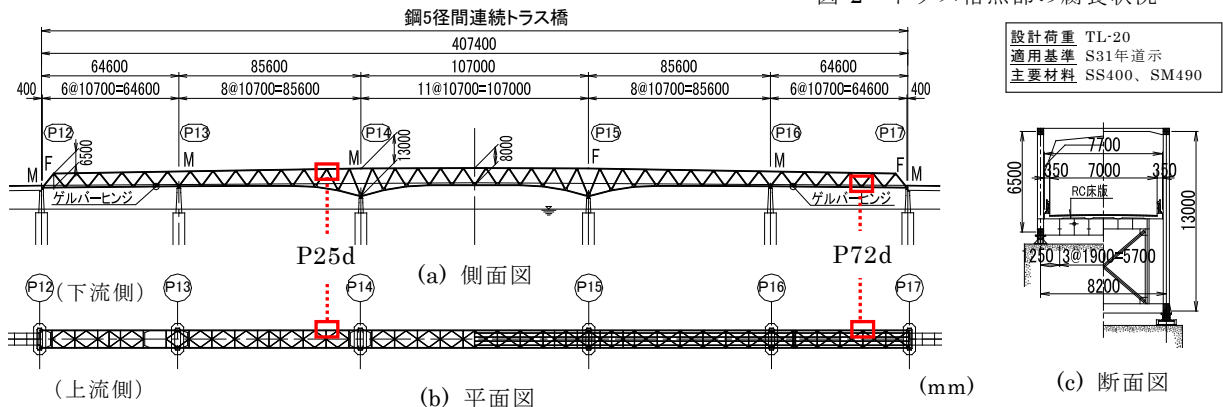


図-3 対象橋梁及び対象格点部

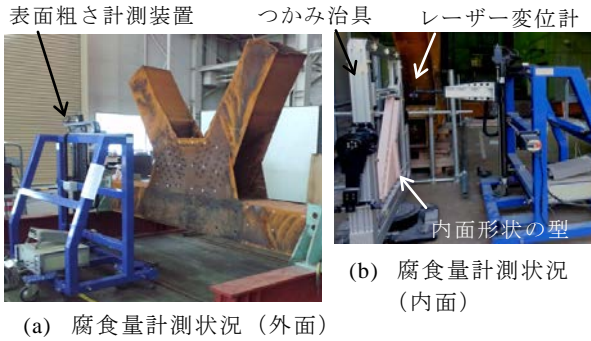


図-4 腐食量計測状況及び計測装置

された(図-1、図-2、図-3)。厳しい塩害環境に位置しており、床組、上下横構、トラス格点部周辺に著しい腐食欠損が生じ、過去に部材補強や横構の部材取替が行われたが、平成21年度に新橋の供用開始に合わせて撤去された。本橋は、著しい腐食損傷の発生により、約50年の供用期間中に数度にわたり塗装塗替が実施されている。

### 3. 腐食量計測

#### 3.1 計測方法

ここでは、下流側の上弦材格点部P25dと下弦材格点部P72dの計測結果の例を示す。計測に際しては、部材を切り出し、塗膜除去後、レーザー変位計を組み込んだ表面粗さ計測装置を用いて腐食量計測を行った。図-3に対象橋梁における対象格点部の位置を示す。図-4に腐食量計測状況及び計測装置を示す。ガセット内面は、石膏で型を取り、その型の表面凹凸を計測した。計測ピッチは、詳細なデータを取ることを目的としたため、1mmピッチで行った。

#### 3.2 計測方法

図-5及び図-6にP25d、P72dのガセット及びガセット近傍の腐食量計測結果を示す。図は、ガセット及び斜材それぞれに対して腐食が見られない箇所を基準とし、その基準からの板厚減少量を示している。P25dでは、外面においてガセットと斜材の境界部及びリベット周りで若干腐食が見られるものの、外面と内面を比較すると内面の板厚減少量が著しい傾向が見られた。内面では、特に斜材先端のガセット及びガセットと重なる部分の斜材で腐食が著しい。P72dでは、外面においてP25dと同様に、ガセットと斜材の境界部及びリベット周りで若干腐食が見られる。また、図中の左半分で板厚減少量が著しい。これは、道路側外面のガセット中央には横桁が取り付けられており、

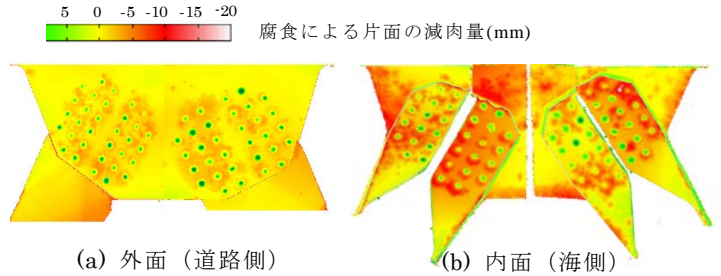


図-5 上弦材P25d腐食量計測結果(ガセット及びその近傍)

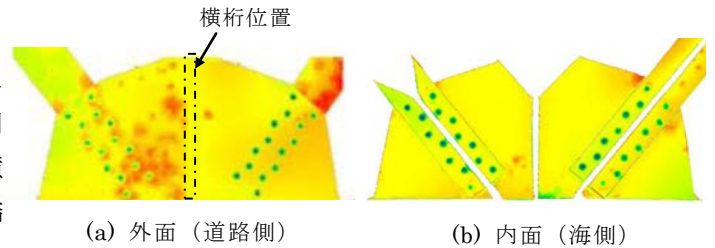


図-6 下弦材P72d腐食量計測結果(ガセット及びその近傍)

風等の影響も含め局部的に腐食環境が悪かったものと考えられる。一方、内面ではほとんど腐食は生じていない。また、上弦材のP25dと下弦材のP72dを比較すると、P25dのほうが腐食による板厚減少量が著しい。一般的に、雨水が部材をつたわり下弦材へ流れてくることや下路トラスの場合には凍結防止剤の飛散の影響等により、下弦材格点部が腐食しているケースが多く見受けられる。上弦材ガセット内面等は表面に付着した飛来塩分が雨水によって洗い流されにくいいため、海岸近くに位置し厳しい塩害環境下の本橋においては、特にこの部位の腐食が進行して板厚減少量が著しかったものと推察される。

### 4. 載荷試験とFEM解析

#### 4.1 載荷試験方法

斜材からの引張・圧縮力に対する格点部及びその周辺の限界状態としては、図-7が想定される。米国では、鋼トラス格点部の耐荷性能について、I-35W橋の崩落事故以降、米国連邦道路庁(FHWA)から、リベット接合されたトラス格点部の耐荷力評価のガイダンス<sup>2)</sup>(以下、FHWAガイダンス)が発刊されている。P25d格点部について、本ガイダンスを参考に、それぞれの破壊に対する耐荷力を試算した場合、相対的に圧縮材端部の局部座屈(ガセットの圧縮耐荷力、図中⑤)が厳しい状況になる傾向が確認された。また、前述のように、上弦材格点部の圧縮材端部のガセットでは、腐食による著しい板厚減少が生じており、

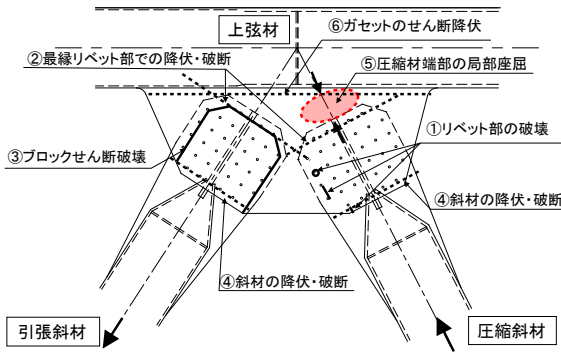


図-7 トラス格点部で想定される破壊性状

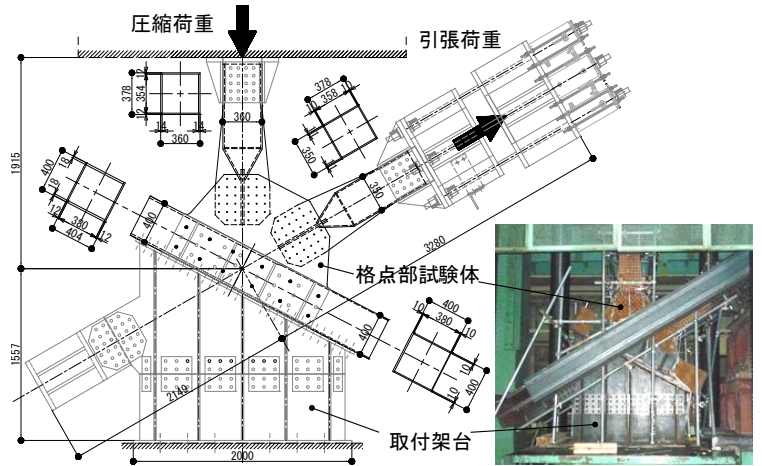
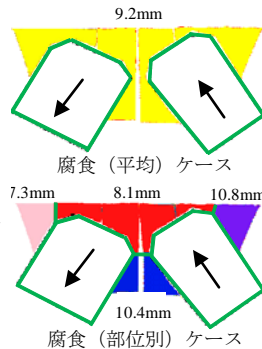


図-8 試験体と試験治具の概要

<解析ケース>

- ◆健全ケース  
: 竣工時の条件 (腐食無し)
- ◆腐食(平均)ケース:  
: ガセット全面の平均残存板厚を考慮 (元厚12mmに対して9.2mm)
- ◆腐食(部位別)ケース  
: ガセットの腐食を4つの部位ごとの平均残存板厚を考慮



〔腐食を考慮した2ケースの斜材の腐食量は共通〕

図-9 解析ケースとガセットプレートの腐食量のモデル化

腐食による耐荷力低下が懸念された。このため、圧縮力を受ける場合のガセットの残存耐荷力について検討することとし、P25d格点部を対象に載荷試験を実施した。

図-8に試験体と試験治具の概要を示す。載荷試験は、それぞれの斜材に圧縮荷重および引張荷重を漸増載荷する2軸載荷とした。それぞれの荷重は、圧縮側および引張側の斜材の設計軸力が概ね同値であることから、両者の荷重増分は同じとした。圧縮側は30MN大型構造物万能試験機にて、引張側は載荷治具に設けたジャッキを取り付けたフレームにより載荷した。引張側の載荷荷重は1500kNで固定し、圧縮側の荷重を増加させ、圧縮力に対する破壊挙動を計測した。

4.2 解析方法

解析は、弾塑性有限変位解析とし、弧長増分法により行った。解析モデルは、格点部および載荷試験用の取付架台をシェル要素、リベットを線形バネ要素でモデル化した。また、鋼材の応力-ひずみ関係については、斜材及びガセットから試験体を切り出し、引張試験を行った結果に基づき、ガセット及び斜材それぞれに対して設定した。図-9に解析ケースと腐食のモデル化を示す。解析ケースは、腐食が生じていない健全を仮定した健

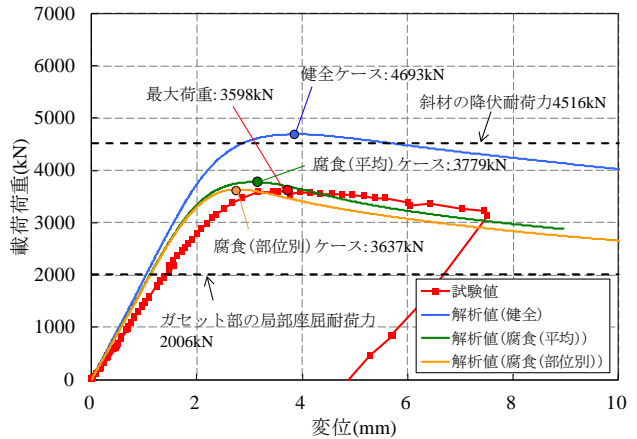


図-10 荷重-載荷方向変位曲線

全ケースと、腐食量計測結果を基に腐食を考慮した腐食ケース (2ケース) の合計3ケースとした。後述する載荷試験における破壊性状を踏まえると、最も耐荷力に影響を及ぼすと考えられるガセットの腐食欠損について、腐食(平均)ケースでは、ガセット全面の道路側及び海側の平均残存板厚9.2mm (ガセットの元厚12mmに対して23%減)を考慮し、腐食(部位別)ケースでは、4つの部位ごとの平均残存板厚を考慮した。

4.3 試験結果と考察

図-10に載荷試験で得られた荷重と載荷方向変位(取付架台の弾性変形に伴う鉛直変位を除いた試験体鉛直方向変位)の関係を示す。約3000kNまでは概ね線形性が保たれているが、それ以降、勾配は徐々に緩やかになり最大荷重3598kNに達した。最大荷重以降は穏やかに低下している。なお、斜材のリベット接合部における降伏耐荷力は4516kNであり、最大荷重時に断面計算では降伏していない状況にある。また、FHWAガイダンス<sup>2)</sup>による局部座屈に対する耐荷力算定値は、

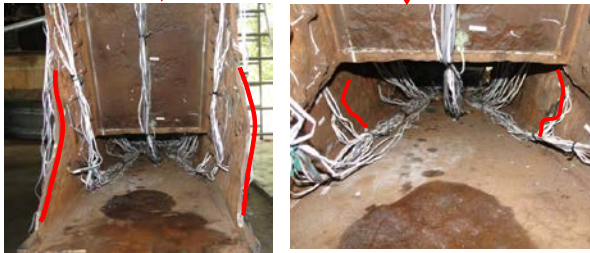


図-11 試験後の試験体の変形状態

2006kNであり、試験結果よりも小さく、安全側の評価ではあるもののかなり差が見られた。

図-11に試験後の試験体の変形状態について示す。ガセット先端部において外面に向かって面外変形が見られ、ガセットの自由縁端でも面外変形が発生しており、ガセットの変形の進行に伴い耐力が失われたものと考えられる。

図-10に解析結果を併記する。健全ケース、腐食（平均）ケース及び腐食（部位別）ケースの最大荷重はそれぞれ4693kN、3779kN、3637kNであった。健全ケースと腐食ケースを比較すると、腐食を考慮することにより、耐力力は約81%（腐食（平均）ケース）、77%（腐食（部位別）ケース）に低下している。ガセット部の腐食は不均一であるため、耐力力と平均的な腐食量との関係は一概には言えないが、結果としてこの耐力力の低下率は、ガセットの平均的な減厚の比率（元厚12mmに対して平均9.2mmで約77%）に概ね近い値を示している。また、最大荷重について、解析

値に対する試験値の比率(解析値/試験値)は、腐食（平均）ケースでは1.05、腐食（部位別）ケースでは1.01であり、試験値と解析値は良く一致し、かつ、ガセットの残存板厚を部位毎に考慮することで若干ではあるが解析値は試験値に近づく傾向が見られた。

## 5. まとめ

著しい腐食損傷が生じた鋼トラス橋の撤去部材を活用し、格点部を対象に腐食による板厚減少量の調査を行い、腐食損傷の傾向を把握した。また、圧縮耐荷力に着目した载荷試験を行い、破壊性状や残存耐荷力を把握するとともに、FEM解析を行い、腐食損傷が耐力に及ぼす影響やモデル化手法について検討した。FEM解析において腐食欠損を平均板厚で考慮した結果、最大荷重は試験値と概ね一致したが、不均一な腐食欠損を平均板厚でモデル化することの妥当性は、実験ケースを蓄積し、引き続き検証していく予定である。

## 謝 辞

撤去部材の使用に関して、千葉県銚子土木事務所の多大なご協力を頂きました。ここに記して、深謝致します。

## 参考文献

- 1) 村越潤、遠山直樹、澤田守、有村健太郎：腐食劣化の生じた鋼トラス橋の現地载荷試験と耐荷性能評価、土木技術資料、第53巻、第2号、pp.18～21、2011。
- 2) FHWA：Load Rating Guidance and Examples For Bolted and Riveted Gusset Plates In Truss Bridges、2009.2。

澤田 守\*



独立行政法人土木研究所  
構造物メンテナンス  
研究センター橋梁構造  
研究グループ 研究員  
工修  
Mamoru SAWADA

村越 潤\*\*



独立行政法人土木研究所  
構造物メンテナンス  
研究センター橋梁構造  
研究グループ 上席研  
究員、工修  
Jun MURAKOSHI

遠山直樹\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
構造物メンテナンス  
研究センター橋梁構造  
研究グループ 主任研  
究員、工修  
Naoki TOYAMA

依田照彦\*\*\*\*



早稲田大学 理工学術院  
社会環境工学科 教  
授、博(工)  
Dr.Teruhiko Yoda

野上邦栄\*\*\*\*\*



首都大学東京都市環  
境科学研究科都市基  
盤環境学域 教授、  
博(工)  
Dr.Kunieiei Nogami