

## 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 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360180

研究課題名（和文） 重度の腐食損傷を受けた鋼橋の耐荷力性能評価と機能回復に関する研究

研究課題名（英文） Study on the ultimate performance evaluation and recovering function of steel bridges seriously damaged by corrosion.

研究代表者

有住 康則 (Arizumi Yasunori)

国立大学法人 琉球大学・工学部・教授

研究者番号：90109306

研究成果の概要（和文）：本研究では、鋼プレートガーダー腹板の高さ方向や補剛材周りの腐食減厚分布に明確な違いのある実腐食腹板を用いて、その実腐食減厚分布が鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に及ぼす影響について実験及び解析的に検討した。実験では、実腐食減厚分布を有する実サイズの腐食腹板を用いて試験桁を製作し、大型載荷試験機を用いたせん断強度実験を行った。その結果、腐食鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性として、腹板高さ方向や補剛材周りの実腐食減厚分布の違いによって最大せん断耐荷力が著しく低下することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this research, the ultimate shear strength of steel plate girders composed by corroded web plates with different corrosion patterns are investigated. The tests on the girder models with the full scale original forms of corroded web plates have been carried out in order to assess the influence of different corrosion patterns on the strength. A parametric study using nonlinear finite element approach is also conducted to evaluate the effects of different corrosion patterns on the strength. The influence on the ultimate shear strength of the corrosion patterns is also discussed together with the failure patterns observed during tests and analytical results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2011年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2012年度	1,500,000	450,000	1,950,000
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼橋，腐食損傷，残存耐荷力，機能回復

## 1. 研究開始当初の背景

(1)近年、橋梁において重大損傷が多数報告されており、更に、社会経済情勢の変化により社会基盤施設の長寿命化やライフサイクルコストの最小化が強く要求されている。

(2)そこで従来の事後的な大規模修繕及び架

替えから、定期点検により橋梁の状態を的確に把握し、予防的な修繕を進め、ライフサイクルコストの最小化と構造物の長寿命化を図り、道路ネットワークの安生性・信頼性を確保することが望まれている。

(3) これらを実行するためには、信頼性の確保された橋梁点検技術と損傷判断基準の確立と、損傷を受けた橋梁の残存耐力の評価及び機能回復方法の確立が重要である。

## 2. 研究の目的

(1) 沖縄県国頭村の海岸部に 1981 年に架設された鋼桁橋（橋長 35m）が、2009 年 7 月に鋼桁の著しい腐食損傷による桁機能喪失により落橋した。本橋梁は腐食劣化損傷が激しいが、一般的な鋼桁の塩害による腐食劣化進行状態と腐食損傷の特徴をよく示している。そこで本研究では、本橋梁を実暴露構造物と捉え、腐食損傷した鋼桁の腐食状態を詳細に計測・調査し、その実腐食減厚分布が鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性に及ぼす影響の解明を目的として、実腐食減厚分布を有する腹板を用いて実大試験桁を製作し、大型載荷試験機によるせん断耐力実験を行った。

(2) 更に弾塑性有限変形理論に基づく耐荷力解析を行い、それらの結果より腐食した鋼桁の残存耐力評価手法の開発を目指した。

(3) 最後に、腐食損傷の著しい鋼桁の補修・補強方法について検討し、基礎的な機能回復方法の提案を行った。

## 3. 研究の方法

(1) 腐食劣化損傷が激しく落橋した橋梁は、1981 年に海側から 50m の位置に架設された橋長 35m の 3 主桁の耐候性鋼板（無塗装）を使用した鋼桁橋である。図-1 に本橋梁の断面図、側面図及び平面図を示す。鋼桁の腐食状況の一例を写真-1 に示す。G1 桁が海側に面し、冬場は絶えず北方からの多量の海塩粒子

(2.5mdd) が飛来・付着する環境に位置している。本橋梁を実暴露構造物と捉え、実腐食減厚分布及び劣化損傷位置が鋼桁腹板のせん断耐力特性に及ぼす影響について検討を行った。まず初めに、腐食分布を把握するために、一般的に実橋で腐食減厚調査に用いられる超音波厚さ計を用いて落橋後形状を保っているプレートガーダー腹板について板厚の計測を行った。

(2) 次に、図-2 に示す実腐食鋼腹板を用いて実物大供試体を制作し、載荷実験を行った。載荷実験状況を写真-2 に示す。実物大供試体についてはレーザー変位計測装置を用いて詳細に残存板厚を計測した。

(3) 更に、実腐食腹板 11 パネルについて超音波厚さ計の実測結果を用いて有限要素解析モデルを作成し、弾塑性有限要素法によるパラメトリック耐荷力解析を行った。

(4) 最後に、腐食損傷鋼桁腹板の補修・補強による機能回復方法について基本的な検討を行った。

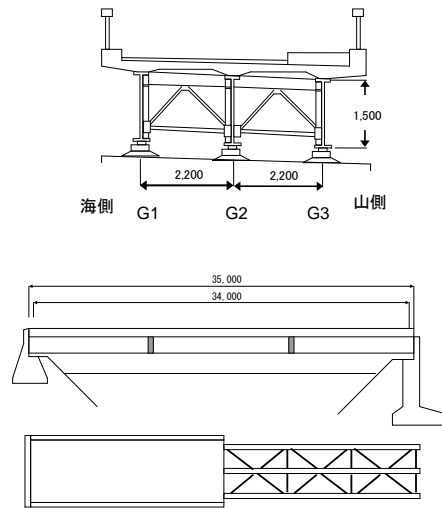
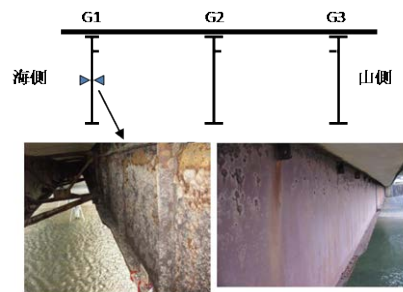


図-1 対象実橋梁の断面図、側面図及び平面図



(a) 内側

(b) 外側

写真-1 腐食状況の一例 (G1 桁)

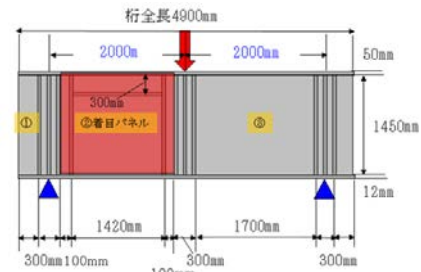


図-2 実験供試体側面図

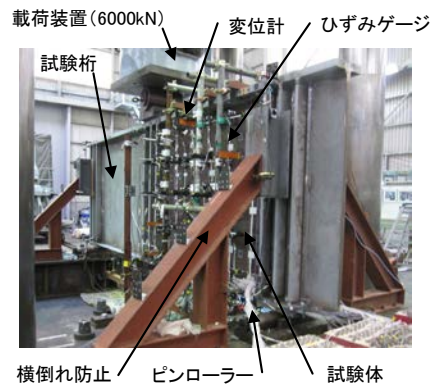


写真-2 せん断耐力実験状況

#### 4. 研究成果

(1) 落橋後撤去された鋼桁の腐食板厚減少量を超音波板厚計により計測し、落橋直前の鋼桁の残存板厚分布図を作成した。図-3に残存板厚分布図の一例を示す。図では残存板厚分布図を等高線で表示している。G1桁では桁端部ウェブ中央の板厚減少が激しく、桁中間部では下フランジ近傍で若干減厚しているが、全体的に板厚減少は少なく、桁端部と比べて大きな違いが見られる。G3桁はウェブの中央から下フランジにかけて板厚の減少が激しい。このように、桁及び腹板の設置位置によって腐食状況は著しく違いが見られた。

(2) 実腐食実験供試体のレーザー変位計測装置で詳細に計測した腐食減厚分布を図-4に示す。せん断耐力実験で得られた最大せん断力と平均板厚減少率の関係を図-5に示す。図には、腹板を設計板厚9mmから一様に減厚した場合の弾塑性有限変位理論に基づく耐力解析結果を実線で併記して示した。図より、試験体A(均一腐食)および試験体B(下部腐食)は、耐力解析結果と同様に腹板の板厚減少に応じて最大せん断力は低下しているが、水平補剛材上部近傍腹板及び中央腹板の腐食が激しい試験体C1及びC2の最大せん断力は、板厚減少より更に大きく低下している。これから、鋼プレートガーダー腹板のせん断強度特性として、実腐食減厚分布及び劣化損傷位置により種々の崩壊メカニズム(耐力低下)があることが明らかとなった。

(3) 表-1に示す実腐食板厚を有する解析モデルを作成し、弾塑性有限要素解析を行った。解析によって得られた実腐食腹板の最大せん断力と平均板厚との関係を図-6に示す。図の縦軸は最大せん断力  $Q_u$  を、設計板厚  $t_{design}=9mm$  の場合の最大せん断力  $Q_{design}$  で除して無次元化して示してある。図中、Type Aは板厚減少が少ないタイプであり、Type Bは水平補剛材下部から下フランジに近づくほど腹板の腐食減厚が激しくなるような板厚分布を有するタイプである。一方、Type Cは水平補剛材上面近傍腹板の腐食減厚が激しく、さらに腹板中央や腹板下部の腐食減厚が激しくなるような板厚分布を有するタイプである。なお、図中には一様減厚した解析モデルの結果も併記してある。実腐食減厚モデルType AとType Bの場合の最大せん断力と平均板厚はほぼ比例関係にある。一方、Type Cの最大せん断力と平均板厚との関係はType AとType Bと比較して減少傾向を示している。これは、水平補剛材近傍の腐食が著しく、その部位で変位及びひずみが増大し塑性化が進行し、せん断力の低下に至ったことが一因と考えられる。

(4) 腐食損傷鋼桁腹板の補修・補強による機能回復方法について基本的な検討を行うため、下フランジ接合部腹板下部に腐食亀裂損

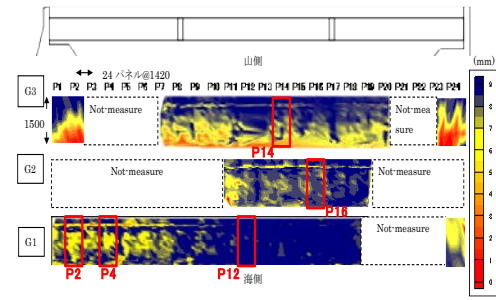


図-3 腐食による残存板厚分布図

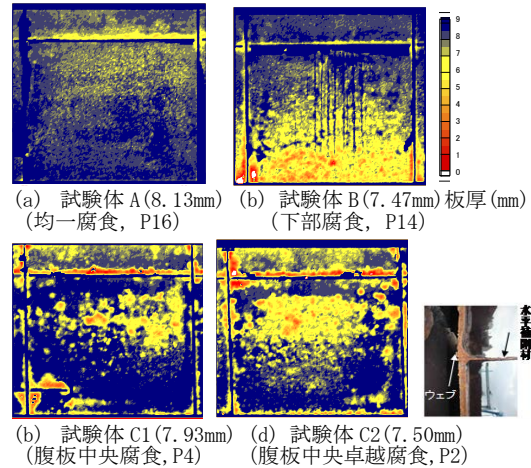


図-4 実験供試体腐食減厚分布

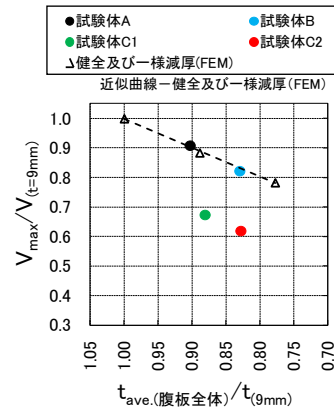


図-5 最大せん断力と平均板厚減少率の関係

表-1 実腐食腹板解析モデル

番号	平均板厚 (mm)	平均板厚減少量 (mm)	パネル位置	腐食形状
1	8.881	0.119	G1 桁支間中央	TYPE A
2	7.782	1.218	G3 桁腹板	TYPE B
3	7.536	1.464	G3 桁腹板	TYPE B
4	7.413	1.587	G3 桁腹板	TYPE B
5	6.919	2.061	G3 桁腹板	TYPE B
6	6.558	2.442	G3 桁腹板	TYPE B
7	8.387	0.613	G1 桁腹板	TYPE C
8	7.966	1.034	G1 桁腹板	TYPE C
9	7.648	1.352	G1 桁腹板	TYPE C
10	7.498	1.502	G1 桁腹板	TYPE C
11	7.375	1.625	G1 桁腹板	TYPE C



傷を受けた小型せん断供試体（腹板厚3.2mm）を作成し、耐荷力実験を行った。補強方法は鋼板接着補強法及び鋼板ボルト接合補強法を用いた。実験で得られたせん断力と鉛直変位の関係の一例を図-7に示す。図の縦軸はせん断力を、健全モデルの最大せん断力  $Q_0$  で除して無次元化して示してある。腹板下部亀裂損傷モデルは健全モデルと比較してせん断耐荷力は18%低下しているが、鋼板接着補強又は鋼板ボルト接合補強を行うことにより静的せん断耐荷力機能は本モデルでは回復した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① 玉城善章, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉: 実腐食分布を考慮したプレートガーダーのせん断耐荷力特性, 鋼構造論文集, Vol. 19, No. 73, pp. 9-19, 2012, 査読有.
- ② T. Shimozato, T. Tamaki, Y. Arizumi, T. Yabuki and S. Ono: Shear Strength for Corroded Plate Girder Bridges, Proc. of the Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability, pp.3812 - 3817, 2012, 査読無.

〔学会発表〕（計8件）

- ① 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 小野秀一: 食鋼 I 桁のせん断耐荷力評価に関する研究 (その1) ~ 実物大・実腐食試験体による耐荷力実験による検討 ~, 第67回年次学術講演会講演概要集, I-085, 2012.
- ② 山田昌樹, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章, 矢吹哲哉, 利光崇明: 腐食鋼 I 桁のせん断耐荷力評価に関する研究 (その2) ~ 弾塑性 FEM 解析を用いた検討 ~, 第67回年次学術講演会講演概要集, I-086, 2012.
- ③ 利光崇明, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章, 池田直樹: 腐食鋼 I 桁のせん断耐荷力評価に関する研究 (その3) ~ HS 近傍腹板の局部減厚がせん断耐荷力に与える影響 ~, 第67回年次学術講演会講演概要集, I-086, 2012.
- ④ 島袋秀也, 下里哲弘, 有住康則, 田井政行, 小野秀一, 長嶺由智: 実腐食部材を用いた鋼 I 桁構造の疲労特性に関する基礎的実験, 第67回年次学術講演会講演概要集, I-112, 2012.
- ⑤ 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 丸山直人, 矢吹哲哉, 小野秀一: 腐食劣化した鋼 I 桁のせん断耐荷力実験 (その1), 第66回年次学術講演会講演概要集, I-523, 2011.
- ⑥ 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 井上諒, 矢吹哲哉, 小野秀一: 腐食劣化した鋼 I

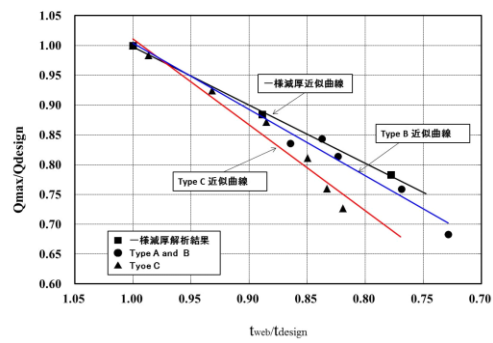


図-6 最大せん断力-平均板厚の関係

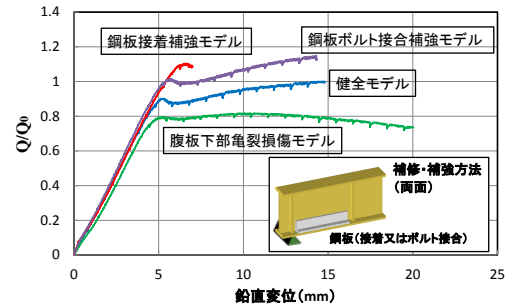


図-7 せん断力-鉛直変位の関係

桁のせん断耐荷力実験 (その2), 第66回年次学術講演会講演概要集, I-524, 2011.

- ⑦ 山田昌樹, 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 矢吹哲哉, 小野秀一, 白石典之, 嶋村伸昭: デジタルカメラ3次元計測システムVBMを用いた鋼 I 桁の面外方向変形の計測, 第66回年次学術講演会講演概要集, I-534, 2011.
- ⑧ T. Shimozato, Y. Aruzumi, T. Tamaki, T. Yabuki and S. Ono: Shear Strength for corroded Plate Girder Bridge, Proc. of the 11th Korea-Japan Joint Symposium on Steel Bridge, Jeju National University, Jeju, Korea, 2011

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

有住 康則 (Arizumi Yasunori)  
 国立大学法人 琉球大学・工学部・教授  
 研究者番号: 90109306

### (2) 研究分担者

下里 哲弘 (Shimozato Tetsuhiro)  
 国立大学法人 琉球大学・工学部・准教授  
 研究者番号: 90452961  
 山田 義智 (Yamada Yoshitomo)  
 国立大学法人 琉球大学・工学部・教授  
 研究者番号: 80220416  
 富山 潤 (Tomiya Jun)  
 国立大学法人 琉球大学・工学部・准教授  
 研究者番号: 20325830