

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名(ふりがな)	所属	役職	
	しもぎと 下里 哲弘	琉球大学	准教授	
②研究 テーマ	名称	鋼橋の腐食劣化メカニズムの解明と耐久性診断に関する研究		
	政策 領域	[主領域]「大切な道路資産の科学的な保全」 [副領域]「コスト構造を改革し、道路資産の効率的な形成」	公募 タイプ	タイプII
③研究経費(単位:万円) ※端数切り捨て。	平成21年度	平成22年度	平成23年度	総合計
	800	1,200	1,125	3,125
④研究者氏名				
氏名	所属・役職(※平成24年3月31日現在)			
有住 康則	琉球大学工学部環境建設工学科・教授			
押川 渡	琉球大学工学部機械システム工学科・准教授			
小野 秀一	(社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所・次長			
玉城 喜章	(社)沖縄しまたて協会 技術環境研究所・研究員			
⑤研究の目的・目標				
<p>本研究では、腐食劣化した鋼橋に対する実用的な耐久性診断法の提案を目的に、過酷な腐食促進環境下で約30年間曝され極限の腐食状態にあった鋼プレートガーダー橋(以下「暴露橋」)を研究対象に、実橋での腐食減厚調査、腐食環境調査、および暴露橋から採取した腐食鋼材で製作した大型実験桁による耐荷力実験とFEM解析を行う。以下に本研究の内容を示す。</p> <p>(1) 暴露橋での腐食減厚調査より、鋼プレートガーダー橋の腐食減厚分布特性を明確にした腐食マップを作成する。また、腐食マップを活用した鋼橋の維持管理上の重点構造部位や留意事項などを提示し、より合理的な腐食診断法を検討する。</p> <p>(2) 暴露橋での腐食環境調査より、桁内における海塩粒子の飛来特性と腐食減厚分布との関係を解明する。また、暴露橋の鋼材腐食促進環境を再現した鋼材腐食促進法の開発を目標とする。</p> <p>(3) 暴露橋の腐食鋼材で製作する大型実験桁の耐荷力実験およびFEM解析により、腐食減厚分布と残存耐荷力の関係を評価し、腐食劣化した鋼プレートガーダー橋の耐久性診断法を検討する。</p>				

## ⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

### (1) 研究の進捗・目的の達成状況

#### 1) 構造部位別の腐食劣化メカニズムの解明

本研究では過酷な腐食促進環境下において、28年間自然暴露された無塗装仕様の耐候性鋼プレートガーダー橋に対する腐食環境調査（風向風速、温湿度、飛来塩分量、飛来塩分粒径）および腐食減厚調査（腐食外観、残存板厚計測、錆分析）を行った。その調査結果より、鋼プレートガーダー橋の構造部位別の腐食減厚分布特性を明確にした腐食マップを作成した。なお、腐食マップ作成には本研究で提案した実橋で簡易に適用でき腐食減厚分布の特徴を捉えられる腐食減厚計測法を適用した。また、桁内への飛来塩分流入特性と構造部位別の腐食減厚特性との関係を明らかにした。さらに腐食マップを活用した腐食環境の厳しい沿岸部の既設鋼橋に対する効率的かつ信頼性の高い点検・調査・診断技術、予防保全および塩害リスクを低減する維持管理上の留意点を示し、より合理的な腐食診断法のための重要な情報を提示した。

以上のように、構造部位別の腐食劣化メカニズムの解明の研究目的は概ね達成できた。なお、暴露橋の鋼材腐食促進環境の再現を目指した促進試験法は継続実施する。

#### 2) 腐食劣化鋼橋の耐久性評価

既往研究において腐食鋼橋のせん断耐荷力は、腹板の平均残存板厚を用いれば、概ねせん断耐荷力を評価できるとされている。本研究では28年間厳しい腐食促進環境下にさらされた結果、桁位置、水平補剛材近傍や腹板の高さ方向で異なる腐食減厚分布を有していた鋼桁腹板を用いて、実大試験体を製作し、耐荷力実験を行った。その実験結果より、腐食鋼桁のせん断耐荷力は、桁内への飛来塩分流入特性の影響を受けて腹板中央付近および水平補剛材上部近傍の腹板が局部的に腐食減厚した場合、平均残存板厚で算定するせん断耐荷力と比較して大幅に低下することを明らかにした。また、腐食マップ作成時に適用した腐食減厚計測データを用いて弾塑性FEM解析を行い、実験値と同様に腐食減厚分布によっては、せん断耐荷力低下に大きな影響を与えることを再現できた。以上のように、腐食劣化鋼橋の耐久性評価の研究目的は概ね達成できた。なお、腐食減厚の程度とせん断耐荷力低下の相関については、継続してパラメトリック解析を実施し、実用的な腐食劣化鋼橋の耐久性評価を検討する。

### (2) 各研究者の役割・分担

下里哲弘（代表者：琉球大学）：実橋調査，耐荷力実験，FEM解析，データ分析，総括を担当した。

有住康則（共研者：琉球大学）：耐荷力実験およびFEM解析データの評価を担当した。

押川 渡（共研者：琉球大学）：実橋調査（ACMセンサー等），流体実験を担当した。

小野秀一（共研者：施工技術総合研究所）：耐荷力実験（6,000 kN 大型実験）を担当した。

玉城喜章（共研者：沖縄しまたて協会）：実橋調査（飛来塩分、腐食減厚）、FEM解析を担当した。

### (3) 本研究への協力体制

・沖縄県国頭村役場には、研究対象の暴露橋の現場調査への協力および崩落後の暴露橋鋼部材を本研究へ提供して頂いた。

## ⑦中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

指摘1. 実務にどのようには反映するのかをイメージし研究成果の取りまとめを行っていただきたい。

対応1. 本研究の成果である腐食鋼I桁の腐食減厚分布特性（腐食マップ）を活用して、腐食環境の厳しい沿岸部の既設鋼I桁に対する効率的かつ信頼性の高い点検，調査，診断技術および腐食耐久性向上を目指した維持管理上の留意点に着目して，研究成果を取りまとめ，より合理的な腐食診断法のための重要な情報を提示した。

指摘2. 対象橋梁での調査・研究成果を他地域橋梁にどう適用するのか，さらに汎用性のある診断法へどう展開するかなどに考慮して研究を進めていただきたい。

対応2. 本曝露橋で得られた約30年経過後の腐食減厚特性は他地域の沿岸部鋼橋に対して安全側の維持管理上の留意点を示し，さらに腐食減厚状態の予測などに活用することができると考えられることから，一般的な沿岸環境に建設された鋼プレートガーダーに対する維持管理時の重点範囲、重点構造部位および腐食進行形態などへの活用について検討し，より合理的な腐食診断法のための重要な情報を提示した。

指摘3. 特定の橋梁の腐食環境を再現する試験装置の開発に主眼をおくことのないよう，留意いただきたい。

対応3. 一般的な沿岸環境に建設された鋼プレートガーダーの点検，調査，および診断などへ活用を目指した開発検討を実施している。

指摘4. 新設橋の設計や既設橋のメンテナンスへの反映を考えた上で，研究成果をまとめていただきたい。

対応4. 研究成果である構造部位別の腐食減厚特性を用いて，一般的な沿岸環境に建設された鋼プレートガーダーの点検，調査，および診断時の重点範囲、重点構造部位および腐食進行形態などの維持管理への活用について検討し，より合理的な腐食診断法のための重要な情報を提示するとともに，腐食環境の厳しい沿岸部での構造形式，付着塩分や土砂等が堆積しない構造上の配慮についての必要性を示した。

指摘5. 一般環境における具体の点検手法（留意点等を含む），腐食診断法，耐久性診断法として取りまとめていただきたい。

対応5. 指摘2への対応と同様である。

指摘6. 腐食劣化した鋼I桁橋の耐荷力評価法においては，腐食の著しい状態での耐荷力評価についての研究の必要性は認められるものの，実際の個別管理現場のニーズとの関わりにおいて合理的措置に繋がるよう，実務での活用を念頭においた内容に重点を置いたとりまとめを目指した研究を実施いただきたい。

対応6. 指摘2への対応と同様である。

指摘7. 鋼I桁橋周りの塩分環境の解明と再現に関する調査研究に関しては，既往の研究との違いを明確にし，目標を絞り込んだ上で実施いただきたい。

対応7. 実橋での塩分環境調査と模型桁を用いた風洞試験により，実橋で発生した構造部位別の腐食減厚分布と桁内への飛来塩分流入特性との関係を明らかにし，この検証結果をもとに腐食耐久性が向上できる対策法を検討した。

## ③研究成果

### (1) 構造部位別の腐食劣化メカニズムの解明（様式4の2章）

本研究では過酷な腐食促進環境の沿岸部において、28年間自然暴露された無塗装仕様の耐候性鋼プレートガーダー橋について、海塩粒子の飛来特性と構造部位別の腐食減厚特性を調査した。また、暴露橋で得られた構造部位別の腐食減厚特性の維持管理への活用について検討した。以下に本研究で得られた主な成果を示す。

- 1) 鋼プレートガーダーの桁内には飛来塩分流入と渦状の流れが生じる特性を有する。また、桁内への流入は支間中央部で桁下飛来塩分の約50%であった。また、桁端部付近では大きくばらついた。
- 2) 桁外面は雨による付着塩分の洗浄効果により、腐食減厚は発生しづらい特性を有する。
- 3) 図1に示す実橋スケールで簡便に計測でき、鋼プレートガーダーの構造部位別の腐食減厚分布の特徴を捉えることが可能な超音波板厚計測を提案した
- 4) 海側の外桁ウェブ内面は、桁端部付近において水平補剛材近傍、ウェブ中央部付近および下フランジ近傍の3か所で腐食減厚が顕著になった。一方、支間中央ではほとんど腐食減厚しなかった。
- 5) 山側の外桁ウェブ内面は、ほぼ桁全長にわたり腐食し、上フランジから下フランジへ向かって増加し、下フランジ近傍が最も著しくなる腐食減厚特性を示した。
- 6) 付着塩分の雨洗浄効果が期待できない中桁は外桁より激しく腐食減厚する特性を有する。
- 7) 河川護岸などの付帯施設によって飛来塩分量が集散的に作用する構造部位は、腐食減厚が著しく速くなる特性を有する。
- 8) 補剛材の設置されたウェブは、その補剛材溶接部近傍で局部的に腐食減厚し、腐食進行に伴ってウェブ母材の破断に至る特性を有する。
- 9) 図1の構造部位別の腐食減厚特性と上記考察を活用し、沿岸部に建設された鋼プレートガーダーの点検・調査・診断時の重点範囲、重点構造部位および腐食進行形態などの塩害リスクを示すとともに、洗浄効果や適切な補修範囲などの維持管理上の留意点や新橋設計上の塩害リスク回避上の配慮点についても示した。



<河川護岸直上の腐食状況>

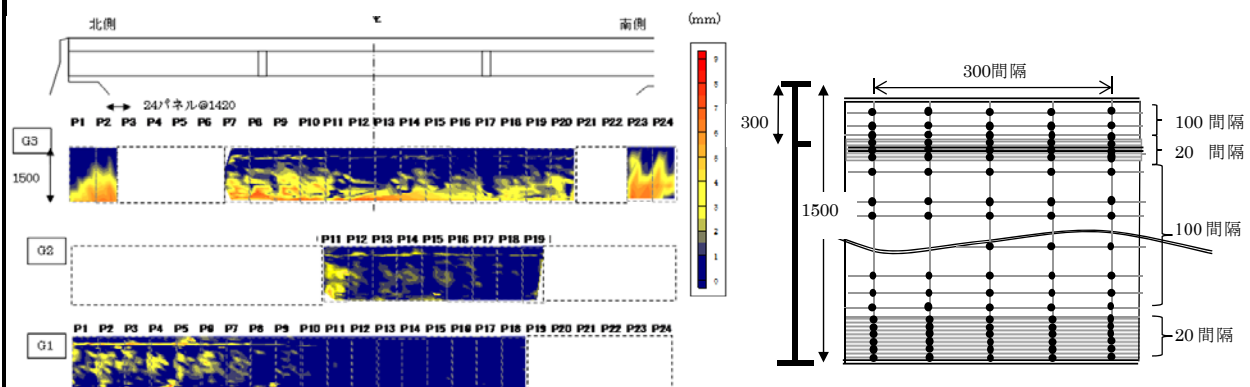


図1 構造部位別の腐食減厚分布特性（腹板）と腐食減厚計測法

### ⑨研究成果（つづき）

暴露橋で得られた主桁位置および構造部位毎に異なる腐食減厚特性の解明として、流体実験を行い、鋼プレートガーダー内における海塩粒子の飛来特性と腐食分布特性との相関を検証した。検証には暴露橋（3主桁）を対象とした桁モデルを作製し、風速をパラメータとした流体実験を琉球大風洞試験室で行った。実験にはオイルミスト粒子を噴霧し飛来させ、高速カメラにより桁内の粒子移動を観測した。実験結果より、中桁である G2 桁のウェブに当たった粒子が方向を反転し、G1-G2 間で渦を巻き、G1 主桁内面ウェブ方向へ流れているのがわかる。これは、G1 の腐食分布特性である水平補剛材上面の腐食減厚現象を説明できる。G3 桁では主桁ウェブ下端に粒子が集中的にあたり、その後反転し、G2 桁ウェブ方向へ流れる傾向が得られた。これは G3 桁の主桁ウェブの腐食減厚が主桁ウェブ下端部近傍で発生する現象を説明できる。

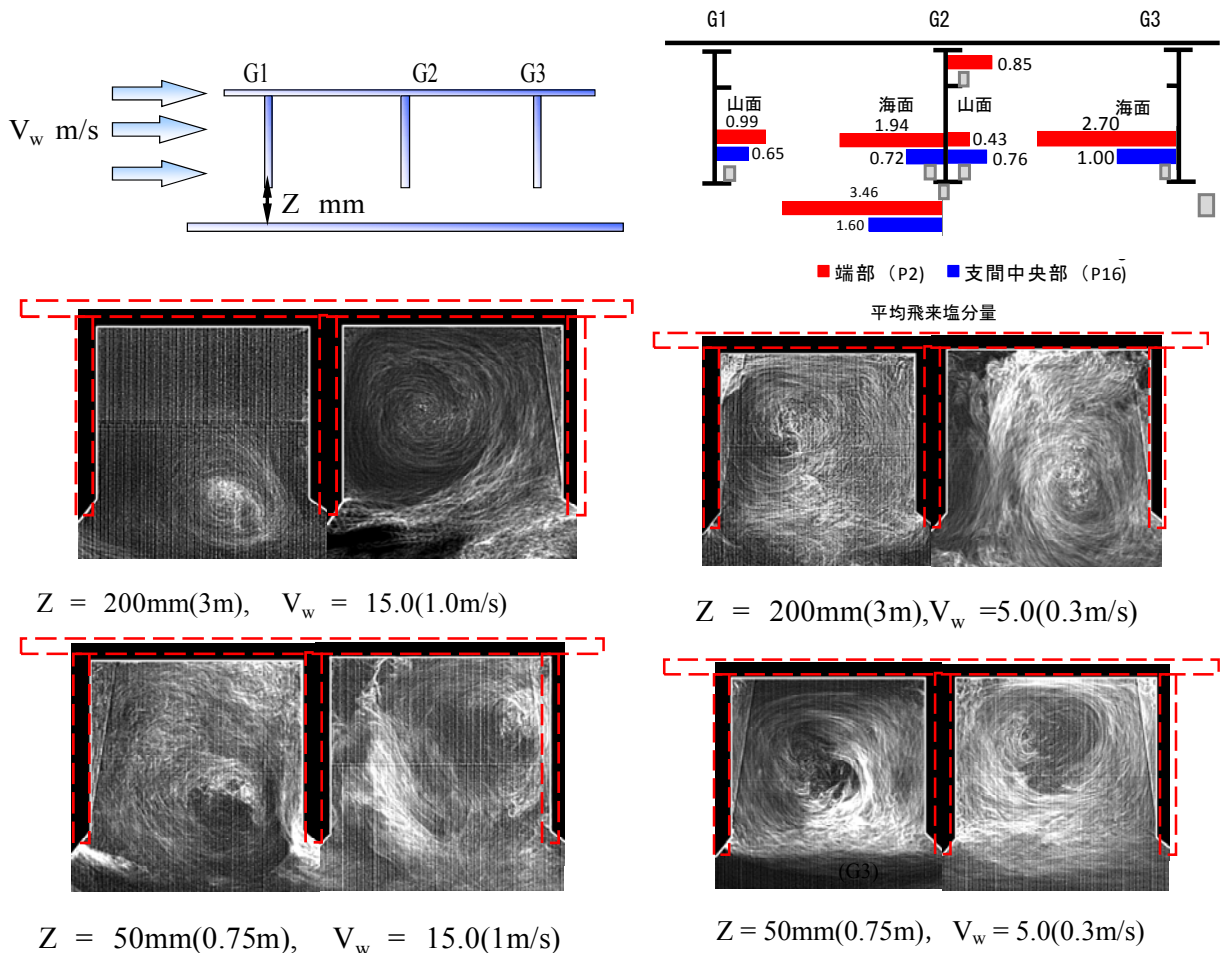


図2 プレートガーダー内の流体特性(右上:暴露橋の飛来塩分分布)

※ ( ) の数字は実橋換算値である。

## ⑧研究成果 (つづき)

### (2) 腐食劣化鋼橋の耐久性評価

#### 1) 実腐食分布を考慮した鋼プレートガーダー橋のせん断耐力解析 (様式4の3章)

鋼桁橋で最も激しく腐食しやすい構造部位はせん断力の卓越する桁端部近傍であり, 暴露橋の崩落要因でもあった. 本研究では図1で示した腐食減厚分布特性とせん断耐力特性の評価を目的に, 暴露橋で実測した腐食減厚データを用いた弾塑性 FEM 解析を実施した. 図3に解析モデル, 図4に特徴的な腐食減厚分布を示す. 図5に荷重-変位関係を示す. 図5より, 山側に位置する外桁 G3 の腐食減厚分布モデルの耐力解析結果に比べて, 海側に位置する外桁 G1-P2 の腐食減厚分布モデルの耐力が低くなっている. 図6に実測板厚10ケースと一様減厚ケースにおけるせん断耐力特性を示す. 図6の横軸は健全モデルの板厚を基準にした平均残存板厚率を示す. 図6より, 腐食減厚量に伴い耐力は比例的に低下するが, G1 の腐食減厚分布では腐食減厚に伴う耐力の低下が更に大きくなっている. これより, 一般的に残存耐力の評価に適用される平均板厚では評価できない腐食減厚分布があることがわかる. したがって, 桁位置や構造部位で異なる腐食分布特性を考慮した耐力評価手法の確立が必要である.

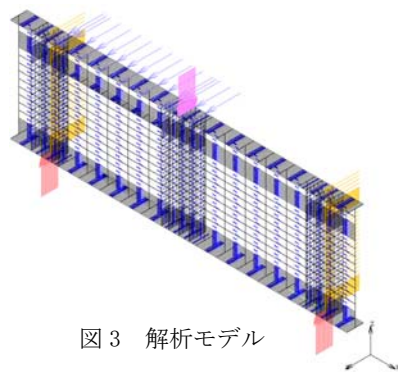


図3 解析モデル

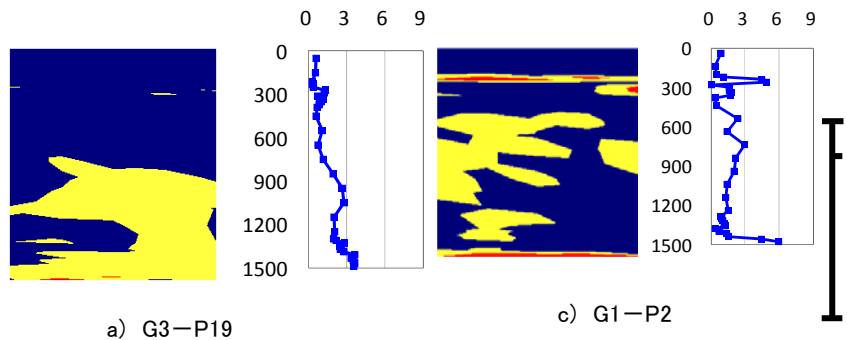


図4 実測による腐食減厚分布特性

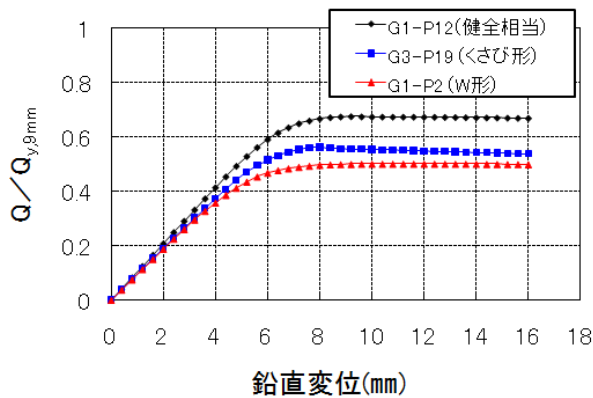


図5 せん断力-変位関係

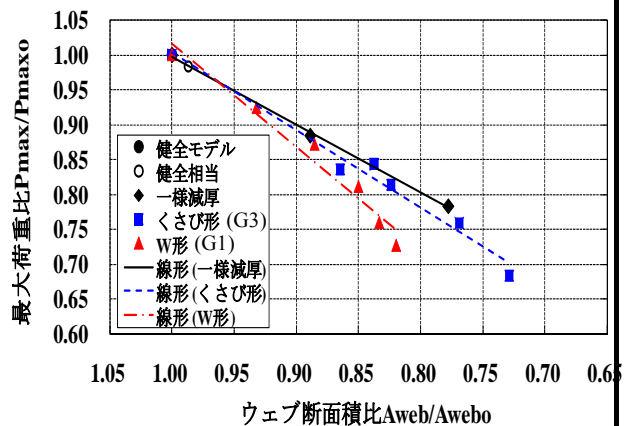


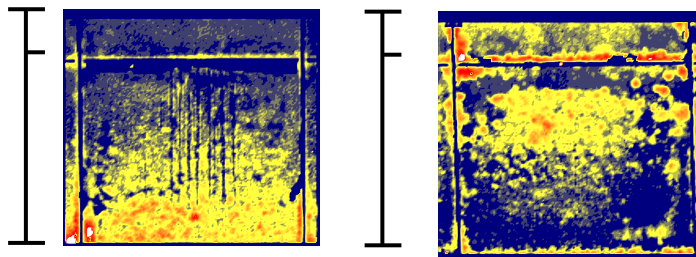
図6 腐食鋼桁のせん断力耐力

## ⑨研究成果（つづき）

### 2) 腐食劣化した鋼プレートガーダー橋の耐荷力実験（様式4の4章）

既往研究において，腐食鋼桁のせん断耐荷力は一般的に腹板の平均板厚を用いて算出されるせん断耐荷力で概ね評価できるとされている．本研究では28年間厳しい腐食促進環境下にさらされた結果，桁位置，水平補剛材近傍や腹板の高さ方向で異なる腐食減厚分布を有していた鋼桁腹板を用いて，実大試験体を製作し大型载荷実験を行った．その実験結果より，腐食鋼桁のせん断耐荷力特性は腐食減厚分布の違いの影響を受けて低下することを明らかにした．また，実験結果と弾塑性FEM解析を用いて，せん断座屈特性，変形特性，ひずみ分布特性および塑性域の拡がり特性などを詳細に分析した．本研究で得られた結論を以下に示す．

- 1) 腹板下部腐食の腹板は，平均板厚で最大せん断力を評価でき，せん断座屈強度も平均板厚で概ね評価できる．しかし，水平補剛材上部・腹板中央腐食の腹板は，腐食減厚分布の影響を受け，平均板厚減少率に応じて算出される最大せん断力及びせん断座屈強度より更に低下する．このことから，腐食減厚分布によっては，平均板厚でせん断耐荷力を評価できないことがわかる．
- 2) 実橋で簡便に計測でき，構造部位別の腐食減厚分布の特徴を捉えることができた超音波板厚計測法の板厚データを用いて，弾塑性 FEM 解析を行った結果，実験値と同様に腐食減厚分布によっては，せん断耐荷力低下に大きな影響を与えることを検証した．
- 3) 腐食減厚分布によらず全て弾性域でせん断座屈を生じ，最大荷重到達前で塑性域が概ね張力場の領域に発生した．しかし，水平補剛材上部・腹板中央腐食は斜め張力場の形成に影響を与えていた．



< 試験体 B (腹板下部腐食) >      < 試験体 C2 (水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食) >

図7 試験体の腐食減厚分布



図8 せん断耐荷力の試験桁

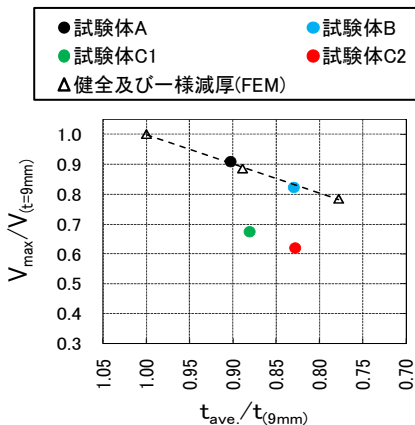


図9 最大せん断力—平均板厚減少

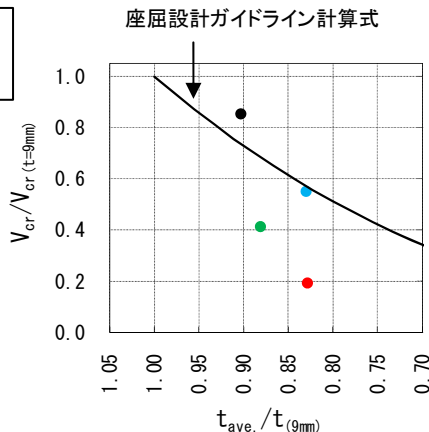


図10 せん断座屈—平均板厚減少



図11 せん断座屈状況

### ③研究成果（つづき）

#### 3) 弾塑性FEM解析を用いた腐食鋼プレートガーダーの耐荷力評価（様式4の5章）

腐食劣化した鋼プレートガーダー橋の耐荷力実験において、水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食のせん断座屈強度が著しく低下したことから、その腐食減厚分布を有する鋼プレートガーダー腹板のせん断座屈強度の評価法を検討した。検討に際しては、実腐食鋼桁腹板の腐食減厚分布データを用いて図12に示す詳細な解析モデルを作成し、腹板の初期たわみは正弦波の半波形として弾塑性FEM解析を行い、現行基準の座屈設計ガイドラインと比較した。図13にせん断座屈特性を示す。図14に座屈設計ガイドラインを用いて算出した単一パネル（水平補剛材と下フランジ間の腹板）のせん断力  $V_{cr,guide}$  と解析で得られたせん断力  $V_{cr,FEM}$  の比較を示す。図中、腹板が設計板厚9mmと一樣減厚8mm、7mmにおける解析値も示した。図14より、水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食のケース4および5の解析値  $V_{cr,FEM}$  はガイドライン値  $V_{cr,guide}$  よりも低くなり、実験と同様な結果となった。なお、図14より解析値  $V_{cr,FEM}$  から逆算したケース4および5のせん断座屈係数はそれぞれ  $\kappa=5.04$ 、 $4.26$  となり、座屈設計ガイドラインより算出したせん断座屈係数  $\kappa=8.09$ （4辺単純支持）のおよそ半分の値となった。次に、平均板厚を算定する腹板範囲として、腹板全パネル、斜め張力場の範囲相当（張力場タイプ）を検討した。図15より、腹板全パネルで算出したせん断力  $V_{cr,guide}$  と解析値  $V_{cr,FEM}$  の差は単一パネルで算出した値より若干差が小さくなった。図16より、張力場タイプで算出したガイドライン値  $V_{cr,guide}$  と解析値  $V_{cr,FEM}$  の差は腹板全パネル同様に若干小さくなったが、せん断耐荷力を評価できるまでには至らなかった。

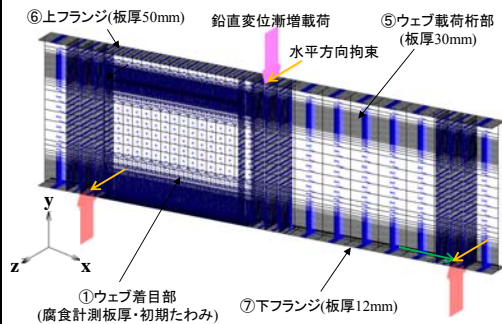
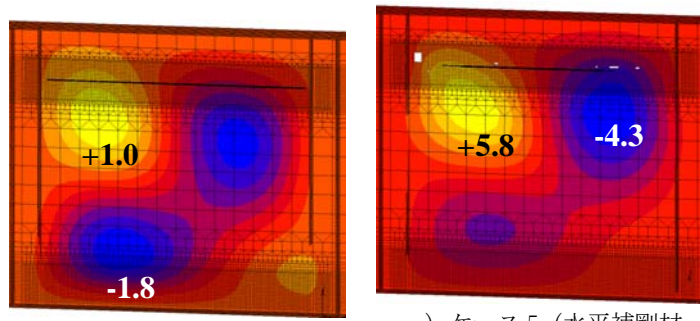


図12 解析モデル



b) ケース3 (腹板下部腐食 Type)

c) ケース5 (水平補剛材及び腹板中央部腐食)

図13 せん断座屈特性

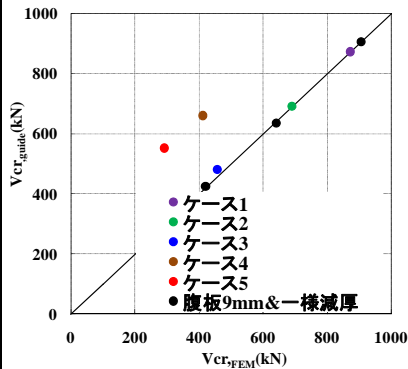


図14 せん断座屈強度  
(単一パネル)

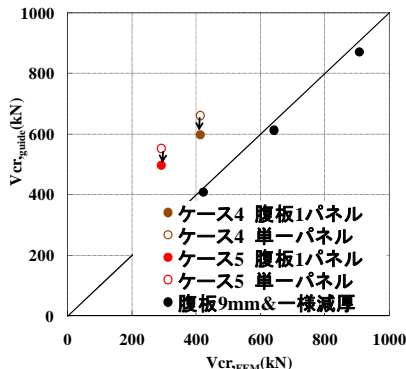


図15 せん断座屈強度  
(腹板1パネル)

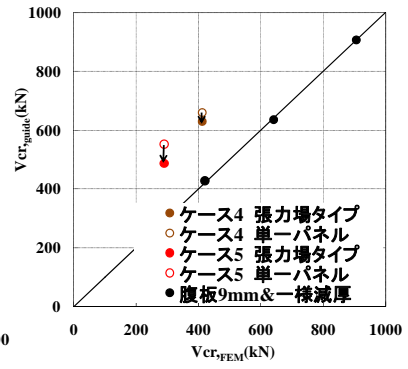


図16 せん断座屈強度  
(張力場タイプ)



## ⑨研究成果の発表状況

### 【論文】

- 1) 玉城喜章, 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, 第19巻第73号, pp9-19, 2012.3.

### <参考>

- 2) 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 矢吹哲哉, 小野秀一, 三木千寿:鋼プレートガーダーにおける構造部位別の腐食減厚特性と維持管理への活用, 土木学会論文集(投稿中)
- 3) 下里哲弘, 玉城喜章, 有住康則, 矢吹哲哉, 小野秀一:腐食減厚分布を有する鋼I桁腹板のせん断耐荷力特性に関する実験的研究, 土木学会論文集(投稿中)

### 【学会等での発表】

- 1) 下里哲弘, 村越潤, 玉城喜章, 高橋実:腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程, 橋梁と基礎, 2009年11月号.
- 2) 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉, 淵脇秀晃:過酷な腐食環境下で長期間暴露された耐候性鋼橋の腐食劣化特性, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.9.
- 3) 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 小野秀一ほか:長期自然曝露された鋼I桁橋の構造部位別の腐食特性(その1)~実用的な腐食減厚量の調査方法の検討~, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9.
- 4) 丸山直人, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章, 小野秀一ほか:長期自然曝露された鋼I桁橋の構造部位別の腐食特性(その2)~鋼I桁橋の腐食度マップと残存板厚分布特性~, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9.
- 5) 山田昌樹, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章, 小野秀一ほか:長期自然曝露された鋼I桁橋の構造部位別の腐食特性(その3)~腐食特性と腐食残存耐荷力特性~, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.9.
- 6) 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), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9.
- 7) 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桁のせん断耐荷力実験(その2), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9.
- 8) 山田昌樹, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉, 小野秀一ほか: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, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9.
- 9) 淵脇秀晃, 下里哲弘, 有住康則, 矢吹哲哉ほか:プレートガーダー橋における海塩粒子の飛来塩分特性に関する研究, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9.
- 10) 利光嵩明, 下里哲弘, 有住康則:著しく腐食劣化した鋼プレートガーダー橋の崩落メカニズム, 第1回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 2011.10.
- 11) 山田昌樹, 下里哲弘, 有住康則:腐食劣化した鋼プレートガーダー橋のせん断耐荷力特性, 第1回土木学会西部支部沖縄会技術研究発表会, 2011.10.
- 12) 淵脇秀晃, 下里哲弘, 有住康則:鋼プレートガーダー橋周辺の飛来塩分特性に関する風洞試験(その1), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011.9.

- 13) 古里智香, 下里哲弘, 有住康則: 鋼プレートガーダー橋周辺の飛来塩分特性に関する風洞試験 (その2), 土木学会第66回年次学術講演会, 2011. 9.
- 14) 玉城喜章, 下里哲弘, 有住康則, 小野秀一: 腐食鋼I桁のせん断耐荷力評価に関する研究 (その1) ~実物大試験体による耐荷力実験検討~, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9.
- 15) 山田昌樹, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章: 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~, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9.
- 16) 利光嵩明, 下里哲弘, 有住康則, 玉城喜章: 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~, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9.
- 17) 島袋秀也, 下里哲弘, 有住康則, 田井政行: 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, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9.
- 18) 所宏祐, 下里哲弘, 有住康則: プレートガーダー橋の桁間の飛来塩分流入特性, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9.

【国際会議での発表】

1. Y.Tamaki, T.Shimozato, Y.Arizumi, T.Yabuki, S.Ono: Evaluation of Corrosion Deterioration of Weathering Steel Bridge under the Environmental Corrosiveness, IABMAS, 2010.7.
2. T.Shimozato, Y.Tamaki, Y.Arizumi, T.Yabuki, S.Ono: Shear Strength for Corroded Plate Girder Bridge, IABMAS, 2012.7.
3. T.Yabuki, Y.Arizumi, T.Shimozato, S.Yamashita: Smart FRP Usage for Prevention in Steel Girder Bridges against Chloride Attack, CICE2012 2012.6.

## ⑩研究成果の社会への情報発信

- 1) 平成21年度橋梁マネジメント現場支援セミナーでの講演，参加者：約60名，場所：沖縄総合事務局，日時：平成2009年10月20日，主催：沖縄総合事務局開発建設部道路管理課
- 2) 腐食データシートシンポジウムでの講演，参加者約80名，場所：物質・材材研究機構，日時：2010年6月30日，主催：物質・材材研究機構
- 3) 第15回土木の日シンポジウム講演会「沖縄21世紀ビジョンと社会基盤整備」，参加者：約400名，場所：パレット久茂地市民劇場，日時：2010年11月18日，主催：沖縄の土木技術を世界に発信する会
- 4) 平成22年度橋梁マネジメント現場支援セミナーでの講演，参加者：約60名，場所：沖縄総合事務局，日時：平成2010年10月27日，主催：沖縄総合事務局開発建設部道路管理課
- 5) 第1回橋梁長寿命化技術に関する研究会，参加者：約100名，場所：琉球大学，日時：2011年2月4日，主催：琉球大学
- 6) 腐食防食部門委員会第282回例会での講演「超高層建築物や橋梁の腐食と防食対策」，参加者：約50名，場所：たかつガーデン，日時：2011年9月27日，主催：日本材料学会
- 7) 第33回鉄構塗装技術討論会での特別講演，参加者：約100名，場所：自動車会館，日時：2011年10月14日，主催：日本鋼構造協会
- 8) 平成23年度橋梁マネジメント現場支援セミナーでの講演，参加者：約60名，場所：沖縄総合事務局，日時：平成2011年10月21日，主催：沖縄総合事務局開発建設部道路管理課
- 9) 第2回橋梁長寿命化技術に関する研究会，参加者：約70名，場所：琉球大学，日時：2011年12月8日，主催：土木学会西部支部沖縄会

### ⑪研究の今後の課題・展望等

・腐食劣化した鋼プレートガーダー橋のせん断耐荷力評価に対して、一様減厚および腹板下部腐食タイプは平均板厚を用いた座屈設計ガイドラインのせん断座屈算定式で概ね評価が可能であるが、水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食タイプの評価では適用できない。よって、水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食分布を有する腐食鋼プレートガーダーに対する新たなせん断耐荷力評価法を検討する必要がある。

・腐食劣化した鋼プレートガーダー橋のせん断耐荷力実験および弾塑性FEM解析において、水平補剛材上部近傍及び腹板中央腐食のせん断座屈強度が著しく低下することが明らかにしたが、その腐食減厚量がどの程度になったら、せん断耐荷力が著しく低下する特性を示すかを明らかにする必要がある。また、鋼プレートガーダー橋において著しく腐食減厚する3つの部位「水平補剛材上部近傍の腹板」「下フランジ近傍の腹板」「腹板高の中央付近」をパラメータとして、それらがせん断耐荷力に与える影響度合いについても検討する必要がある。

・本研究で得られた構造部位別の腐食減厚分布を参考に、腐食環境の厳しい沿岸部においても、塩害リスクを設計当初から回避できる構造形式、および局部的に著しい腐食減厚が生じない構造ディテール（補剛材、ガセットプレートなど）を検討する必要がある。

### ⑫研究成果の道路行政への反映

・本研究で得られた鋼プレートガーダーの腐食減厚分布（腐食マップ）を維持管理マニュアルへ反映し、点検や調査時の見落とし防止、塩害リスク予測および残存耐荷力診断時の参照データとして活用することで、今後高齢化が進む鋼プレートガーダーに対する効率的かつ信頼性の高い点検、調査、および診断法の構築に大きく寄与できると思われる。特に腐食環境の厳しい沿岸環境に建設された鋼プレートガーダーの点検、調査、および診断時の重点範囲、重点構造部位及び塩害リスク評価などの維持管理手法の検討へ活用することが重要と考える。

・本研究で提案した実橋で簡便に計測でき、構造部位別の腐食減厚分布の特徴を捉えることができる超音波板厚計測法を用いて、特に、沿岸部で供用年数が経過している鋼橋の桁端部を対象に適用し、現時点の腐食状況を把握することが必要と思われる。

・本研究で対象として暴露橋は、過酷な塩害環境下で激しく腐食減厚していたが、一方でほとんど腐食減厚していない部位もあった。例えば、外桁外面は付着塩分の雨洗浄効果により約30年前の建設当初の表面処理材がそのまま残存していた。これより、塩害環境下の鋼橋において付着塩分を洗浄することは橋梁の長寿命化にとって効果的である。また、暴露橋の支間中央部では著しい腐食減厚は生じていなかった。このことより、洗浄や塗替えなどの維持管理は桁端部付近で行うだけでも、橋梁の長寿命化には効果的である。

・本研究対象の暴露橋は無塗装仕様で約30年間塩害環境下にあり、飛来塩分量も現行道示で規定する0.05mddよりかなり多い状態であったが、支間中央付近では腐食減厚が少ない状態であった。これより、この腐食特性はLCCに優れる耐候性鋼橋の適用範囲や技術開発などへ反映できると思われる。また、道示で求めている架橋地点の飛来塩分計測法とその適用可能な飛来塩分量の検討にも反映できると思われる。

### ⑬自己評価

・本研究では過酷な腐食促進環境において、28年間自然暴露された無塗装仕様の耐候性鋼プレートガードー橋に対する腐食環境調査および腐食減厚計測を行い、その調査結果より、鋼プレートガードー橋の構造部位別の腐食減厚分布特性を明確にした腐食マップを作成し、腐食環境の厳しい沿岸部の既設鋼橋に対する効率的かつ信頼性の高い点検、調査、診断技術および塩害リスクの低減を目指した維持管理上の留意点について示し、より合理的な腐食診断法のための重要な情報を提示した。以上のように、構造部位別の腐食劣化メカニズムの解明の研究目的は達成できた。

・本研究では28年間厳しい腐食促進環境下にさらされた結果、桁位置、水平補剛材近傍や腹板の高さ方向で異なる腐食減厚分布を有していた鋼桁腹板を用いて、実大試験体を製作し、大型载荷実験を行った。その実験結果より、腐食鋼桁のせん断耐荷力が腐食減厚分布の影響を受けて大幅にせん断耐荷力が低下することを明らかにした。以上のように、腐食劣化した鋼橋の耐久性評価の研究目的は概ね達成できた。また、腐食減厚程度とせん断耐荷力低下との相関については、継続してパラメトリック解析を実施し、実用的な腐食劣化鋼橋の耐久性評価を検討していく必要がある。