

長期自然曝露された腐食鋼 I 桁橋の残存耐荷力特性

○山田 昌樹¹・◎下里 哲弘²・有住 康則²・矢吹 哲哉³

¹琉球大学大学院博士前期課程(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

²琉球大学工学部環境建設工学科土木コース(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

³琉球大学名誉教授(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原 1)

高度経済成長期や沖縄本土復帰後に建設された膨大な数の橋梁において、塩害劣化などの老朽化が進行している。しかし、十分な点検や補修を行うための予算や人材が不足しており、進行する劣化へ対応する技術や体制の確立が急務となっている。本研究では、鋼橋を対象に、北部地区で著しい塩害劣化により崩落した鋼 I 桁橋の桁部材を回収し、各部材の腐食後の残存板厚量を測定した。その調査結果を用いて、弾塑性 FEM 解析を行い、腐食と鋼 I 桁橋の耐荷力低下特性について検討を行なった。

Key Words: 腐食減厚量, 鋼 I 桁橋, 残存耐荷力, パラメトリック弾塑性 FEM 解析

1 はじめに

本研究では、長期自然曝露された鋼 I 桁橋を対象に腐食減厚量の調査¹⁾を行い、その調査結果を用いて、弾塑性 FEM 解析を行い、構造部位別に異なる腐食形状や腐食度合いが、鋼 I 桁橋の残存耐荷力に及ぼす影響について検討を行った。その解析結果について報告する。

2 検討方法

(1) 解析対象橋梁

図-1、図-2 に研究対象橋梁の崩落前の状況を示す。崩落以前の腐食状況として、『ウェブの著しい腐食減厚』、『ウェブ、下フランジ境界部の腐食による破断』、『桁の位置により異なる腐食形状』などの腐食形態の特徴が得られた。



図-1 研究対象橋梁全景



図-2 桁端部による崩落前の腐食状況

(2) 腐食減厚板厚計測

腐食による板厚減少量の計測は、垂直補剛材間隔 1500mm×ウェブ高さ 1500mm を 1 パネル単位で、図-3 に示す、超音波厚さ計(UT)を用いて測定した。図-4 に測定状況を、図-5 にウェブ板厚測定方法および測定箇所、図-6 に対象橋梁の断面図を示す。



図-3 超音波厚さ計
(5MHz)



図-4 ウェブ板厚測定状況

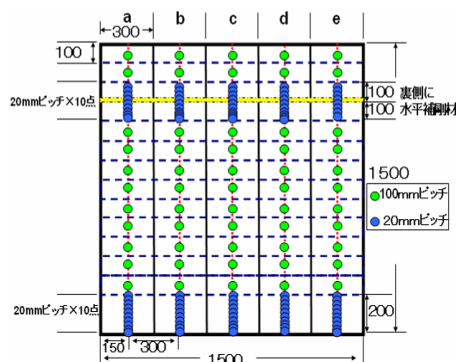


図-5 ウェブ板厚測定箇所

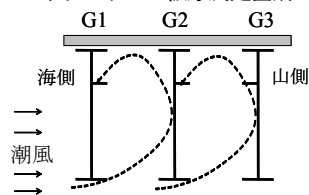


図-6 研究対象橋梁桁断面図

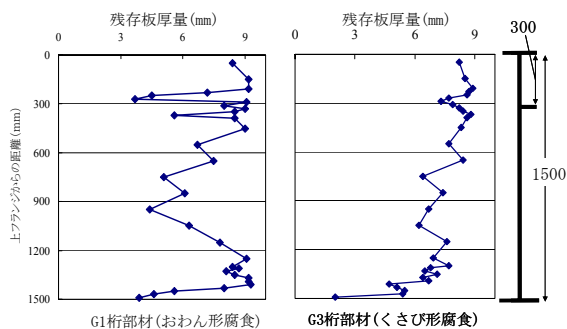


図-7 G1 桁及び G3 桁の残存板厚調査結果

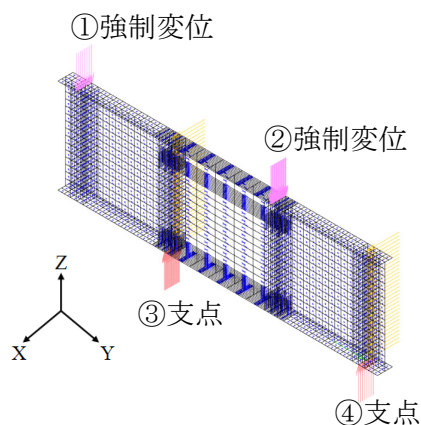


図-8 解析モデル

図-7に残存板厚調査結果を示す。図-7より、G1 桁ではウェブの中央部、水平補剛材の上面、下フランジの近傍でウェブ板厚が減少している。G3 桁ではウェブの中央部から下フランジに向かうに従って、板厚が減少している。これらの異なる腐食形状をそれぞれ『おわん形腐食』と『くさび形腐食』¹²⁾と呼び、以下の弾塑性 FEM 解析を行った。

(3) FEM 弾塑性解析法

図-8に FEM 解析モデルを示す。ここではウェブ高さ 1500mm、垂直補剛材間隔 1500mm を 1 パネルとし、プレートガーダーの桁端部から 3 パネル分を対象に、その中間パネルに計測した実腐食形状をモデル化した。

解析では公称降伏応力 235N/mm^2 (SMA400) とした。また、解析モデルは、シェル要素で作成し、材料非線形挙動は von Mises の降伏条件式に従うものとし、構成則はバイリニア型の完全弾塑性体とした。

載荷方法は桁の端部①・中間部②に強制変位を与えた。なお、解析汎用構造解析プログラム MSC Marc2007 を用いて解析を行った。

(4) 解析パラメータ

表-1に解析パラメータを示す。解析パラメータは、中間ウェブの板厚に着目し、板厚が設計値 9mm の健全

表-1 解析パラメータ

解析ケース	着目ウェブ面形状
1 健全モデル	設計板厚9mm
2 一様減厚モデル	板厚8mm、7mm、5mm、4mm
3 実腐食モデル	辺野喜橋のG1桁・G3桁部材の残存板厚を入力 G1桁部材(おわん形腐食)計8ケース G3桁部材(くさび形腐食)計4ケース

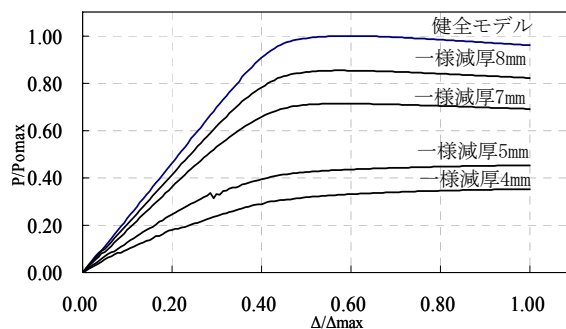


図-9 荷重-変位曲線(健全、一様減厚)

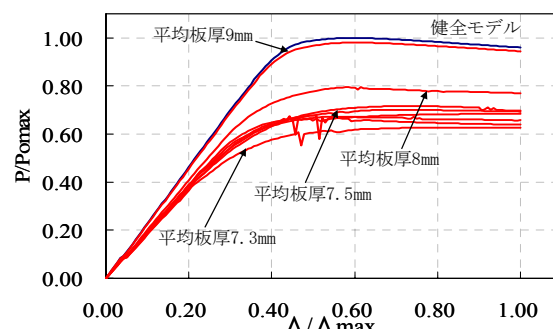


図-10 荷重-鉛直変位の関係(健全、おわん形実腐食)

モデル、板厚が 8mm、7mm、5mm、4mm の一様減厚モデル 4 ケース、実橋の腐食減厚計測より得られたおわん形腐食形状モデル 8 ケース、くさび形腐食形状モデル 4 ケースの合計 17 ケースについて解析を行った。

3 耐力特性

(1) 腐食減厚による耐力特性

図-9は、一様減厚モデルの解析結果から得られた荷重-鉛直変位曲線を示す。縦軸は、各解析の荷重値を健全時の最大荷重値で除して、無次元化した値を、横軸は、各解析の強制変位から得られた鉛直変位量を最大鉛直変位量で除して、無次元化した値を用いて作成した。

図-9より、ウェブの板厚を一樣に減少させた場合、板厚の減少に伴って、耐力も低下し、一様減厚 4mm では、約 75%低下した。

図-10, 11に実腐食モデルのおわん形腐食形状、くさび形腐食形状の荷重-鉛直変位曲線を示す。図-10より、おわん形腐食形状においては、ウェブの平均板厚の減少とともに、耐力は大きく低下し、ウェブ平均板厚 7.3mm では約 40%低下した。図-11よりくさび形腐食

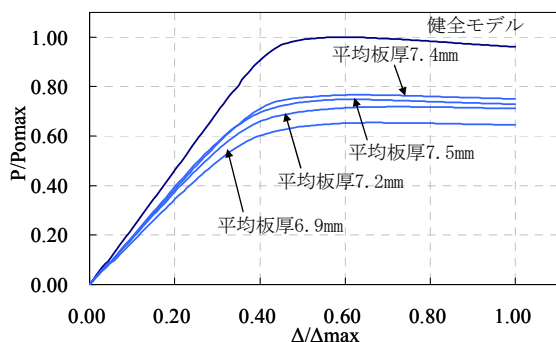


図-11 荷重－鉛直変位の関係(健全、くさび形実腐食)

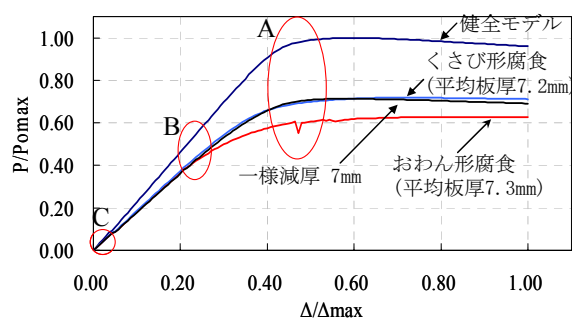


図-12 荷重－鉛直変位の関係
(平均板厚 7mm の一樣減厚、実腐食の比較)

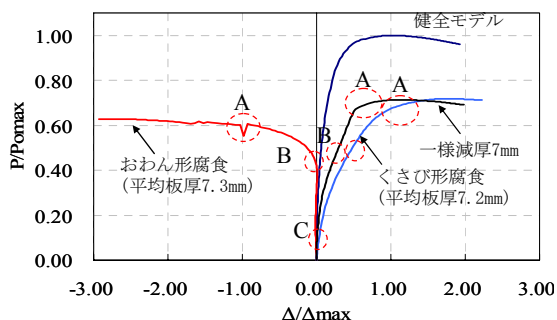


図-13 荷重－水平変位の関係
(平均板厚 7mm の一樣減厚、実腐食の比較)

形状においては、ウェブの平均板厚の減少とともに耐荷力は低下し、ウェブ平均板厚 6.9mm で耐荷力は約 35%低下した。

図-12 に平均板厚がほぼ 7mm のおわん形腐食形状モデル、くさび形腐食モデルおよび一樣 7mm 減厚モデルの荷重－鉛直変位曲線を示す。図-12 より、おわん形腐食モデルが最も低い耐荷力を示した。また、くさび形腐食モデルと一樣減厚モデルは、ほぼ同程度の耐荷力を示した。

以下のことより、ウェブの下端部に向かって板厚が減少するくさび形腐食形状モデルよりも、ウェブの中央部付近の板厚の減少が著しいおわん形腐食形状モデルにおいて耐荷力は低下する傾向を示した。

(2) 変形モード及び von Mises の相当応力度分布

図-13 に平均板厚が 7mm のおわん形腐食モデル、

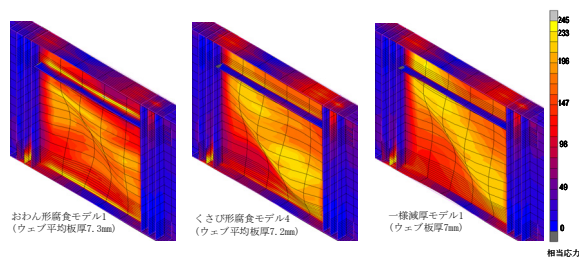


図-14 A 点における変形モードおよび von-Mises の相当応力度分布

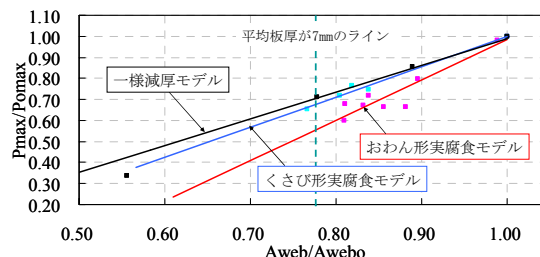


図-15 最大荷重比－ウェブ断面積比の関係

くさび形腐食モデル、一樣 7 mm 減厚モデルの荷重－水平変位曲線を示す。縦軸は、各解析の荷重値を健全時の最大荷重値で除して無次元化した値を、横軸は、各解析の着目ウェブの面外変位量を健全時の着目ウェブの最大面外変位量で除して無次元化した値を用いた。また、図-14 は図-12, 13 で示した A 点(最大荷重点)における変形モード、および von Mises の相当応力度分布を示す。

図-13 より、どのケースも荷重が小さい C 点でウェブ面外変形が生じ、せん断座屈が生じた。また、おわん形腐食モデルは B 点で他の 2 モデルとは逆方向に面外たわみが進行している。

図-14 より、おわん形腐食モデルでは、くさび形腐食モデルおよび一樣減厚モデルにおいて発生した。また、ウェブ面のせん断座屈に起因する張力場の形成は、大きく異なっている。

以下のことより、くさび形腐食形状モデル、一樣減厚モデルと比較するとおわん形腐食形状モデルは、ウェブの変形モード、張力場の形成が異なる特性を示した。

(3) 最大荷重とウェブ断面積の関係

図-15 に最大荷重とウェブ残存断面積比の相関図を示す。縦軸は、最大荷重値を健全時の最大荷重値で除して、無次元化した値を、横軸は各解析モデルの着目ウェブ面平均板厚より算出した断面積を健全モデルの断面積で除して、無次元化した値を用いて作成した。

図-15 より、ウェブの板厚が一樣に減少する一樣減厚モデルよりも、実際の腐食形状をモデル化した実腐

食モデルの方が、耐力力は低下する傾向にある。また、くさび形腐食モデルより、おわん形腐食モデルにおいて耐力力が低下している。

以下のことより、実際のウェブの腐食形状では、ウェブ中央付近で板厚の減少が激しいおわん形腐食の耐力力は、最も低下する傾向がある。これは、張力場が発生する位置で、腐食による板厚減少がせん断耐力力を減少させることを示唆している。

以上より、腐食したプレートガーダー橋については、桁の位置と腐食環境によって、腐食形態が異なり、残存耐力力にも影響が生じると予想される。

2006-3.

4 まとめ

本研究により得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ウェブの平均板厚が減少すると、せん断耐力力も減少する。
- (2) せん断耐力力は、ウェブ全面が均一に減厚する一様減厚モデルよりも、実際の鋼部材の腐食形状モデルにおいて、低下する特性を示した。特にウェブ中央付近の腐食減厚が激しいおわん形腐食形状をモデル化したものにおいて、せん断耐力力の低下は大きな傾向を示した。
- (3) 実際の腐食形状によって、ウェブに生じる面外変形モードおよび張力場の形成は、異なる耐力力特性を示した。特におわん形腐食形状では、張力場が形成されるウェブの中央付近で板厚減少が激しいことにより、これらの耐力力特性の要因となったと想定できる。

謝辞：本研究は、国土交通省道路局新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の委託研究として実施したものである。また、国頭村には、試験体を提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 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, Vol.43, pp.55-60, 2009-11.
- 2) 下里哲弘: 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, pp.120-154, 2010-3.
- 3) ボータンフン, 佐々木栄一, 市川篤司, 三木千壽: 腐食を模擬した模型桁のせん断耐力に関する実験および解析, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.1099-1105, 2002-3.
- 4) 中山太士, 木村元哉, 石川敏之, 松井繁之: ウェブ孔食を持つ鋼桁のせん断耐力, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.49-56,