

第 I 部門

引張荷重下の腐食部材の腐食凹凸が塑性ひずみの局所化に与える影響に関する研究

京都大学工学部 学生員 ○西垣 桂太  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 五井 良直

京都大学大学院工学研究科 正会員 北根 安雄  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

港湾施設の長寿命化には、腐食の程度を正確に把握して鋼部材の残存性能を評価することが不可欠である。腐食減肉や腐食凹凸の、腐食鋼部材の残存耐荷力への影響に関する研究成果は多い一方で変形性能への影響に関する研究は少ない。Gathimba<sup>1)</sup>は異なる腐食部材から切り出した試験体に対して引張試験を実施し、腐食粗さ増大に伴う引張伸び性能の減少を定量的に明らかにしたほか、その原因として腐食粗さとともに塑性ひずみが局所化する現象を示した。本研究では Gathimba<sup>1)</sup>の引張試験データをもとにデジタル画像相関法を用いて腐食試験体のひずみ解析を行うことにより、塑性ひずみ局所化領域の大きさを同定し、腐食粗さと塑性ひずみ局所化領域の大きさとの関係を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 解析概要

Gathimba<sup>1)</sup>は、バブリング試験により腐食させた試験体(SS400)、撤去された鉄道桁、35年間曝露された鋼矢板(SY295)、約18年間曝露された耐候性鋼材(SMA400)、約5年間曝露された形鋼(SS400)から切り出した腐食試験体を対象に引張試験を行った。促進実験に際してはつかみ部に防食シールを貼り、平行部のみ腐食させ、その後、切削により JIS 5 号試験体とした。その他の腐食部材では試験体の平行部となる部分のみ切り出し、つかみ部を溶接で取り付け JIS 5 号試験体とした。サンドブラストにより表面の腐食生成物を取り除き、レーザー変位計を用いて表面形状の計測および残存板厚の同定を行った。その後 500kN 材料試験機を用いて一軸引張試験を行った。なお試験中 5 秒おきに試験体の撮影を行っている。引張試験の結果得られた無次元化破断伸び性能 $\bar{\mu}_f$  (破断伸び $\delta_f$  /降伏時伸び $\delta_y$ ) と平均高さパラメータ $\zeta_{Sa}$  (平均高さ $S_a$  /平均残存板厚 $t_{ave}$ ) の関係を図-1 に示す。腐食凹凸の増大により引張伸び性能が減少することが明らかである。

本研究ではこの静止画像群を用いて、デジタル画像相関法によりひずみ解析を行った。解析には画像解析ソフト DIPP-Motion V を用いている。図-2 に、解析によって

得られた軸方向ひずみのコンター図の例を示す。 $\delta_f$ は破断伸び(%)である。これらの図から、腐食粗さの程度が大きくなるにつれ、ひずみが大きくなる領域が局所化することが明らかである。

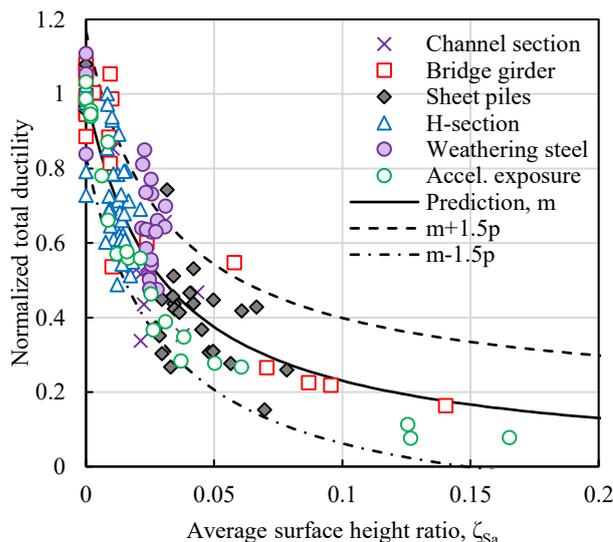
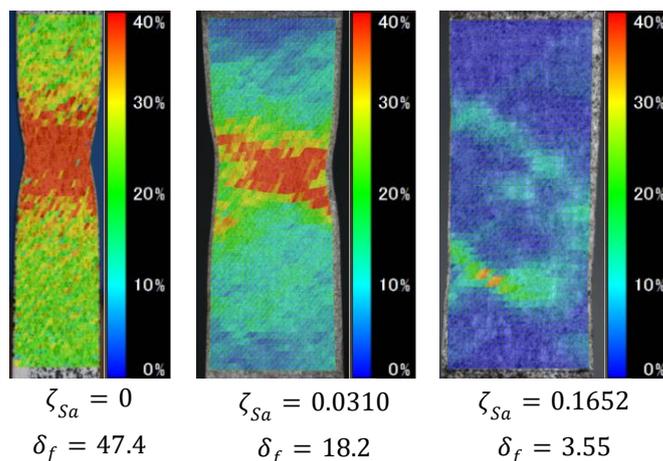


図-1 破断伸び性能と平均高さパラメータとの関係<sup>1)</sup>



(a) 腐食なし試験体 (b) 224日曝露試験 (c) 336日曝露試験

図-2 促進実験による腐食程度の異なる引張試験体のひずみ局所化の様子

### 3. 解析結果と考察

引張試験における最大荷重時、破断時のひずみ分布をExcelに入力し、図-3右図に示すように変形前の試験体寸法を用いたひずみコンター図を作成した。塑性ひずみ局所化領域の大きさを定義するためにひずみの境界値を定め、その境界値より大きな値をもつ要素数を計算し、長さ方向の平均値を導出してひずみ局所化領域の平均長さを算出した。腐食試験体のひずみ局所化平均長さを腐食なし試験体のひずみ局所化平均長さで除して無次元化した値をひずみ局所化領域の大きさを表すパラメータとして用いた。表-1に各腐食試験体の最大荷重時（一様伸び）において定めたひずみの境界値を示す。破断時（破断伸び）ほどの腐食試験体についても0.4, 0.35, 0.3の境界値を検討した。

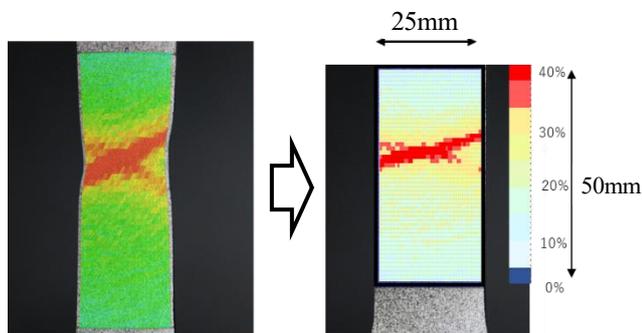


図-3 ひずみ分布のモデル化

表-1 各腐食試験体の最大荷重時におけるひずみ境界値

促進実験	鉄道桁			鋼矢板	耐候性鋼材
	L型鋼	フランジ	ウェブ		
0.15	0.15	0.11	0.13	0.12	0.15

図-4にひずみ局所化平均長さと一様伸び・破断伸び性能との関係を示す。図から明らかなように、すべてのソースの試験体について、最大荷重時、破断時ともに無次元化ひずみ局所化平均長さと引張伸び性能に線形関係があることが明らかとなった。また、図-4では破断時のひずみ境界値として0.35を用いた時の図を示しているが、検討したすべてのひずみ境界値ではほぼ同じ線形関係を表した。図にはその線形関係を表す。経験式のグラフも示す。 $\bar{L}_{ave,m}$ 、 $\bar{L}_{ave,f}$ はそれぞれ最大荷重時、破断時のひずみ局所化平均長さ、 $\bar{\mu}_m$ は無次元化一様伸び性能(一様伸び $\delta_m$ /降伏時伸び $\delta_y$ )である。これらの経験式を、Gathimba<sup>1)</sup>が提案した腐食凹凸パラメータと伸び性能の関係を表す経験式に代入すると、腐食凹凸とひずみ局所化平均長さの関係を表す経験式が得られる。図-5に腐食粗さ $\zeta_{sa}$ と無次元化ひずみ局所化平均長さとの関係を示す。

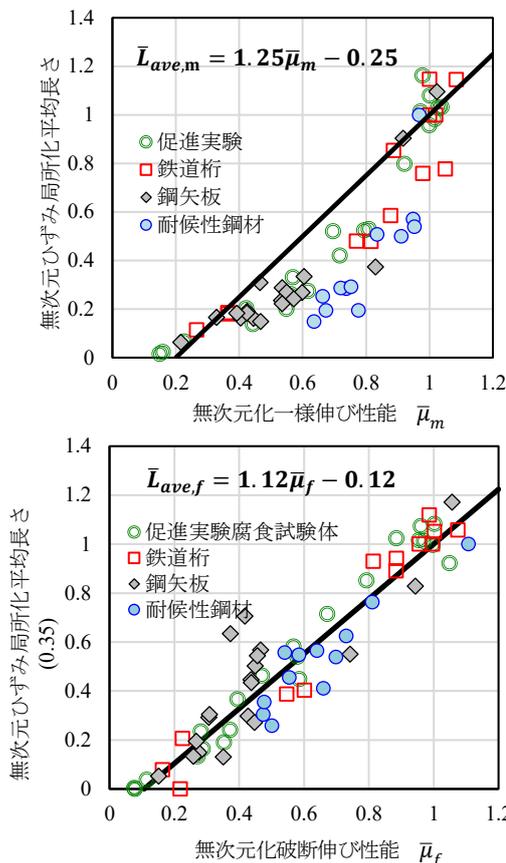


図-4 ひずみ局所化長さと伸び性能の関係

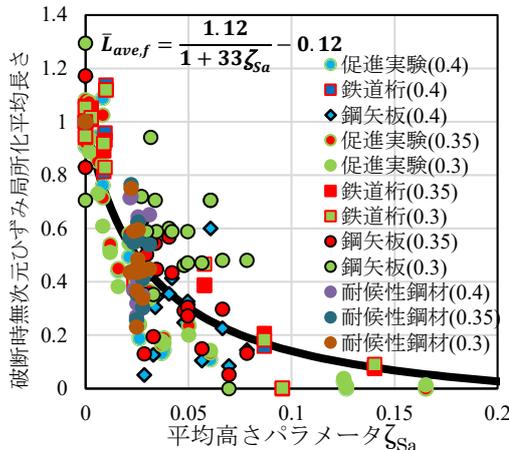


図-5 平均高さパラメータとひずみ局所化長さの関係

### 4. まとめ

本研究では、腐食鋼材が引張荷重を受けた場合の塑性ひずみ局所化長さを同定することにより、無次元化塑性ひずみ局所化平均長さと無次元化伸び性能が線形関係にあることを明らかにした。また、腐食粗さパラメータと塑性ひずみ局所化長さとの関係の経験式を提案した。今後、異なる腐食性状をもつ試験体のひずみ局所化長さを調査することにより、経験式の精度を検証する必要がある。

### 参考文献

- 1) N. K. Gathimba: “Effect of Corrosion Surface Roughness on Tensile Ductility of Structural Steel,” 名古屋大学博士論文, 2019.