

愛媛大学工学部 学生会員 ○池田 裕幸
 愛媛大学大学院 正会員 海田 辰将
 愛媛大学大学院 正会員 大賀 水田生
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. はじめに

引張力を受ける腐食鋼板の残存強度については、近年、JIS5号タイプのような腐食鋼材の多くの引張試験から、荷重軸直角方向断面の平均断面積の最小値（最小平均板厚）を有効板厚に用いるという強度評価法が提案されてきた¹⁾。しかし、面的に広がりをもつ様々な腐食状況を勘案した強度評価法を確立するためには、実構造物レベルに近い腐食鋼板を用いた引張試験を行い、その応力分布から降伏過程を把握するとともに降伏・引張強度を実験的に求め、それらと鋼表面の凹凸状況を関連づけた考察を行うことで基礎データを蓄積する必要がある。

そこで本研究では、実際の腐食鋼板から板幅70～180mmを有する供試体を作成し、様々な腐食形態と孔食のような面的に大きな広がりをもつ腐食鋼板の引張試験を行う。併せて、腐食表面形状の測定を実施し、腐食形態と降伏・破断状況に着目した最小平均板厚による腐食鋼板の強度評価について検証・考察する。

2. 実験供試体と腐食表面形状測定

2. 1 供試体概要および腐食表面形状の測定

102年間供用後撤去されたプレートガーターのフランジ ($t_0=10.5\text{mm}$) およびウェブ ($t_0=10.0\text{mm}$) から切り出し、供試体両側に新規鋼材 SM490A ($t=16\text{mm}$) を全面溶け込み溶接にて突き合わせ接合し、供試体を作成した。供試体の内訳は、フランジ21体 (F1～F21)、ウェブ (W1～W5) 5体である。図-1に作成した供試体を示す。

腐食表面形状の測定にはポータブル3次元計測システムを採用した。写真-1に測定状況を示す。この計測システムは、6つの関節を有する3本のアームの先端に取り付けた非接触式ラインレーザープローブを手動で鋼表面に沿わせて、照射したレーザー光により、表面の3次元座標を広範囲に取得できる。板厚算出方法は、0.5mmメッシュに修正した3次元座標データより、鋼板表裏の座標値を差し引いて求めた。

2. 2 腐食形態の分類

腐食表面形状測定を実施した結果、供試体の腐食状況および板厚標準偏差により全面腐食タイプ、孔食タイプ、局所腐食タイプの3つの腐食形態に分類した。表-1に分類表を示す。分類分けは、板厚標準偏差 σ_t が0.50mm以下の場合は全面腐食タイプ、 σ_t が0.50～1.8mmの場合は孔食タイプ、 σ_t が1.8mm以上の場合は局所腐食タイプとした。そして、それぞれの最小断面（最小平均板厚）と最小板厚発生位置および最小板厚の大きさに着目して、供試体の破断に至るまでの強度、降伏過程および終局状態に着目し、引張試験を行った。

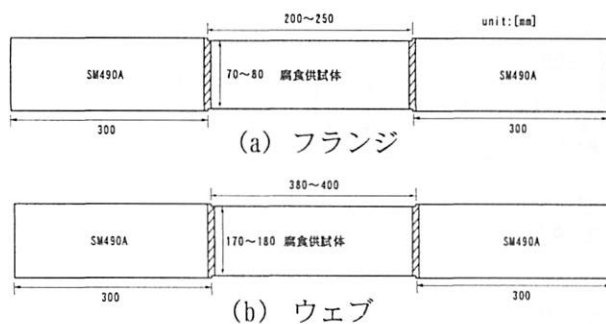


図-1 供試体概略

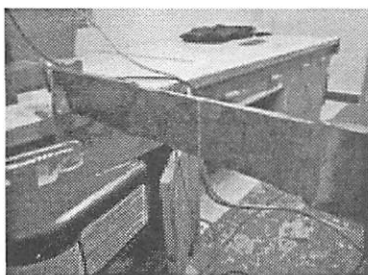
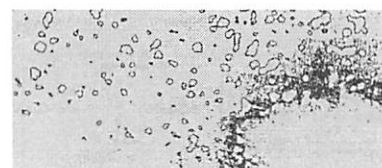


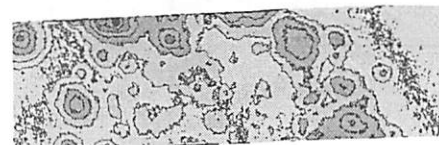
写真-1 測定状況

試験片	腐食形態*
F-1	孔食タイプ
F-3	孔食タイプ
F-5	孔食タイプ
F-10	局所腐食タイプ
F-11	孔食タイプ
F-13	孔食タイプ
F-17	孔食タイプ
F-18	孔食タイプ
F-20	局所腐食タイプ
W-3	全面腐食タイプ
W-5	全面腐食タイプ

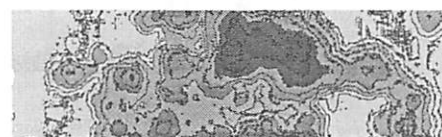
表-1 腐食形態分類表



(a) 全面腐食タイプ (W-3)



(b) 孔食タイプ (F-1)



(c) 局所腐食タイプ (F-10)

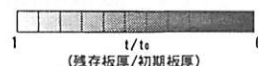


図-2 板厚等高線図

3. 実験結果と力学特性に関する考察

3. 1 腐食形態と降伏過程

図-2に3つの腐食形態の板厚等高線図を示す。(a)の全面腐食タイプは、小さな孔食が分布しているものの腐食の程度は軽微な腐食形態であり、(b)の孔食タイプは数十mm程度の孔食が点在している。(c)の局所腐食タイプは、いくつもの大きな孔食が重なり合って形成された面的な広がりを持つ孔食を有している。

図-3は、孔食タイプに分類される供試体(F-17)の降伏前後の応力分布であり、図-3中の実線は材料特性試験から得た鋼材の降伏ひずみを示す。図-3中の番号は図-4で示す最小断面に貼り付けたひずみゲージの番号である。図より荷重初期段階からの腐食による応力集中は確認できず、降伏直前において最も腐食の激しい箇所である③のひずみの値が増加して、続いて④のひずみの値が降伏ひずみを超えている。つまり、孔食中心部から降伏域が両端に向かって広がり、腐食の激しい箇所のみが急激に変形している様子がこの図から確認できる。

3. 2 破断に至るまでの変形

図-5に孔食タイプ(F-17)の破断伸び分布を示す。クラックが入って早期に破断した③において伸びが最も小さく4.33%となっている。これは、前項に示した応力分布に関する考察から、応力集中によって板厚が薄い箇所が先行して降伏し、変形が卓越するが、その箇所は極めて局所的であるため、標点間の伸びとしては非常に小さいことを示している。また、③以外の破断伸びが大きくなっているのは、クラックによる進展とともに残された部分の断面積が負担する応力が増加したことによると考えられる。

4. 最小平均板厚を用いた腐食鋼板の残存強度評価

4. 1 降伏強度評価

引張試験に基づき、全測点の平均板厚、最小板厚、最小平均板厚の3つについて実験結果と式(4.1)から求めた有効板厚との相関を示し、降伏強度評価のための有効板厚に最も適当な統計量の検討をする。以下に式(4.1)を示す。

$$t_e = \frac{P}{B \cdot \sigma} \quad (4.1)$$

これらの相関関係より図-6(a)に示すように最小平均板厚を適用するのが最も推定精度が高いことが分かる。

4. 2 引張強度評価

降伏強度同様に、各板厚統計量との相関から有効板厚について検討すると、図-6(b)にあるように最小平均板厚が3つの中で有効板厚と最も相関が高く(相関係数0.992)ばらつきが抑えられていることが分かる。しかし、評価結果のほとんどは、危険側の判断を与えていることが確認できた。

5. まとめ

- (1) 腐食による応力集中の影響は降伏荷重付近で卓越し、腐食の激しい箇所から降伏を迎えて破断に至る。
- (2) 腐食の激しい鋼板は、最小板厚位置から入るクラックが進展し破断に至ることが実験的に確認できた。
- (3) 腐食鋼板の降伏荷重は、最小平均板厚を有効板厚に適用することで精度良く評価可能であるが、引張強度については最小平均板厚を用いると、最小板厚が影響を及ぼすため危険側の判断となる。

参考文献

- 1) 松本勝, 白石義郎, 中村幾雄, 白石成人: 腐食鋼板の有効板厚評価法の一提案, 橋梁と基礎, vol. 23, No.12, pp19-25, 1989.

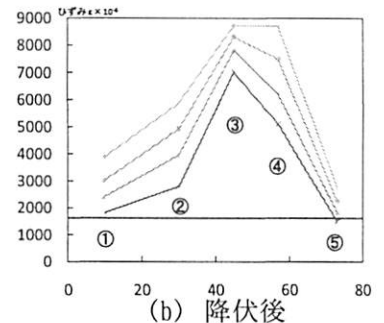
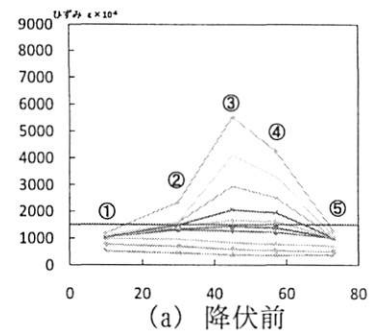


図-3 応力分布

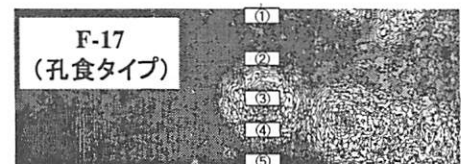


図-4 ひずみゲージ貼り付け位置

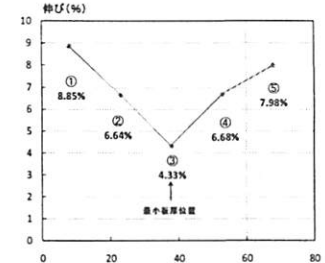
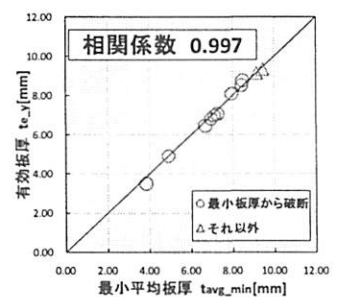
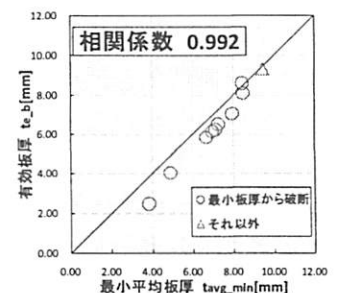


図-5 破断伸び分布 (F-17)



(a) 降伏強度における相関



(b) 引張強度における相関

図-6 最小平均板厚の相関