

幅広供試体を用いた引張試験による腐食鋼板の力学特性と残存強度評価

愛媛大学工学部 学生会員 ○糸川和樹
 愛媛大学大学院 正会員 大賀水田生
 徳山工業高等専門学校 正会員 海田辰将
 愛媛大学大学院 学生会員 池田裕幸

1. まえがき

引張力を受ける腐食鋼板の引張試験に関して、既往の研究では JIS5 号のような小試験片を用いて腐食鋼材の引張試験が行われ、荷重軸直角方向断面の平均板厚の最小値(最小平均板厚)を用いた破断位置予測や残存強度評価法が提案されてきた。しかし、面的な広がりをもつ様々な腐食状況が及ぼす影響を考慮するためには、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必要がある。そこで本研究では、供試体数を増やし基礎データをさらに蓄積することで、様々な腐食形態における正確な検証を行うために、昨年度に引き続き実際の腐食鋼板から幅広の供試体を作成し、引張試験を行った。併せて、腐食表面形状の測定を実施し、腐食形態と降伏過程・終局状態から鋼板の腐食による力学特性への影響について検証する。

2. 供試体と腐食表面形状

2. 1 供試体概要および腐食表面形状の測定

供試体は 102 年間供用後撤去されたプレートガーダー橋のフランジ($t_0=10.5\text{mm}$)から 21 体(FT-1~FT-21)、およびウェブ($t_0=10.0\text{mm}$)から 5 体(WT-1~WT-5)を切り出し、腐食鋼材両側に新規鋼材 SM490A($t=16\text{ mm}$)を全面溶け込み溶接にて接合した。図-1 にそれぞれの供試体概要を示す。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、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、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した。板厚算出方法は 0.5 mm 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。また、JIS5 号に切り出し平滑仕上げした試験片の引張試験結果では、弾性係数 191.6GPa、降伏応力 294.7MPa、引張強度 447.4MPa であり、本研究の供試体は 100 年以上前の鋼材ではあるが、現行 SS400 程度の材料特性を有していることが明らかとなった。

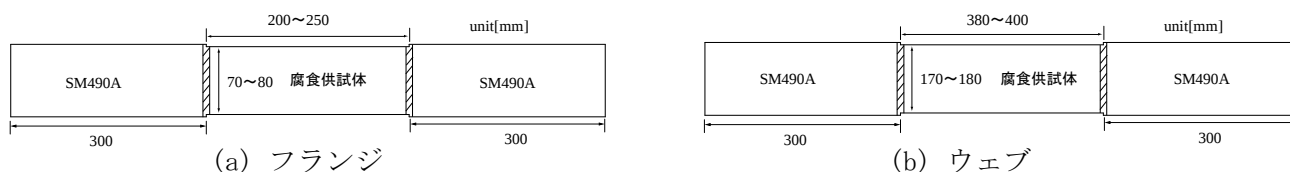


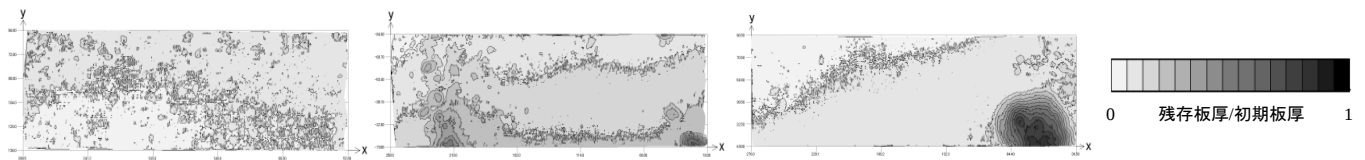
図-1 供試体概要

2. 2 腐食形態の分類

本研究では式(1)で定義される最小板厚残存率 μ により、供試体を 3 つの腐食形態に分類した。

$$\mu = (t_{\min}/t_0) \cdot 100 (\%) \quad t_{\min}: \text{最小板厚}, t_0: \text{初期板厚} \quad (1)$$

最小板厚残存率が 50% 以上の場合を全面腐食タイプ、10%~50% の場合を部分腐食タイプ、10% 以下の場合を局所腐食タイプとしている。図-2 に 3 つの腐食形態の板厚等高線図の一例を示す。(a) の全面腐食タイプ(FT-14)は、小さな孔食が分布しているものの、程度が軽微な腐食形態であり、(b) の部分腐食タイプ(FT-12)は部分的に明確な減肉が点在している。(c) の局所腐食タイプ(FT-19)は一つの大きな孔食が存在し、致命的な減肉を有している。これら 3 つの腐食形態それぞれについて最小平均断面と最小板厚に着目して引張試験を行い、その降伏過程・終局状態と鋼表面の凹凸状況を関連づけることで腐食が鋼板の力学特性に及ぼす影響を検証する。



(a) 全面腐食タイプ (FT-14) (b) 部分腐食タイプ (FT-12) (c) 局所腐食タイプ (FT-19)

図-2 板厚等高線図

3. 実験結果と力学特性に関する考察

図-3 に伸び-応力関係を示す。腐食が軽微な全面腐食タイプにおいては、健全な鋼板の応力-伸び関係に近い挙動を示しており、腐食の影響が小さいことが確認できるが、部分腐食タイプや局所腐食タイプでは、降伏域が曖昧になること、降伏後の応力上昇が小さいこと、伸びが極端に短くなることなど腐食の影響を強く受けていることが確認できる。その原因として、腐食の激しい供試体の最小平均断面上における降伏過程では、降伏強度の発現以前から応力集中が卓越しており、減肉の激しい孔食の中心から応力が先行し変形が卓越していること、終局状態では、腐食の最も激しい最小板厚位置から亀裂が生じ、亀裂が生じた時点が引張強度となることが確認された。これらの結果は主に、部分腐食タイプ・局所腐食タイプに分類される鋼板に多くみられた。また、実際の破断位置に関して、最小平均断面と最小板厚位置が異なる場合、部分腐食タイプ・局所腐食タイプでは最小板厚位置から、全面腐食タイプでは最小平均断面や最小板厚位置とは異なる断面から破断する供試体も多く存在した。

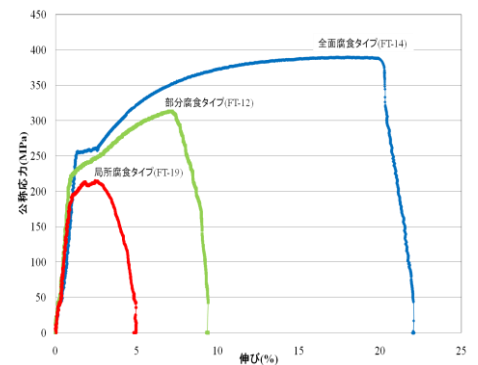


図-3 応力-伸び関係

4. 降伏・引張強度評価

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以下に示す式(2)から求めた有効板厚との関係から、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。

$$t_e = P / (B \cdot \sigma) \quad t_e: \text{有効板厚}, P: \text{降伏/引張強度}, B: \text{供試体幅}, \sigma: \text{降伏/引張応力} \quad (2)$$

これらの関係を比較した結果、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確認された(図-4)。

4. 2 引張強度評価

降伏強度同様に各板厚統計量と有効板厚との相関を検討した結果、最小平均板厚が最も相関が高く(相関係数 0.992)、ばらつきが抑えられていることが確認された(図-5)。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、幅広供試体を用いた場合では、最小平均板厚だけの推定は危険側の判断を与えることが明らかとなった。

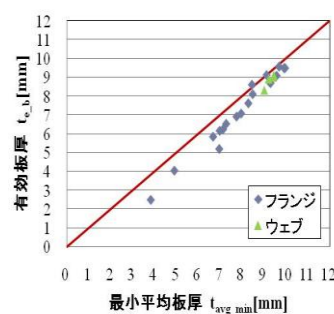


図-4 降伏強度評価

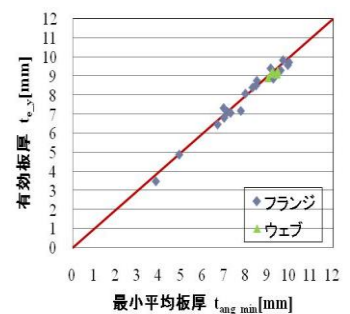


図-5 引張強度評価

5. あとがき

- (1) 腐食の激しい鋼板は、応力集中の影響が弾性域内で卓越し、最小板厚位置から亀裂が生じ破断する。
- (2) 腐食の穏やかな鋼板は、最小板厚や最小平均板厚と無関係な断面で破断する可能性がある。
- (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強度評価可能であるが、引張強度は最小平均板厚を用いると若干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
- 2) 村中昭典, 皆田理, 藤井堅: 腐食鋼板の表面形状と残存耐荷力, 構造工学論文集, vol. 44A, 1063-1071, 1999