

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

愛媛大学大学院 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¹⁾。しかし、実際の腐食は直径 10mm～50mm 程度の孔食といった、小試験片の幅を超える広がりをもつ場合も多く、これらの局所的な腐食が残存強度や力学特性に与える影響を明らかにするためには、実構造物レベルに近い幅を有する供試体を用いた引張試験を行う必要があると考えられる。そこで本研究では、板幅 80mm～180mm 程度の腐食鋼板の引張試験を行い、様々な腐食形態を有する鋼板の降伏・引張強度評価および降伏過程といった力学特性について考察した。

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²⁾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、ラインレーザーにより表面の 3 次元座標を取得した。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。

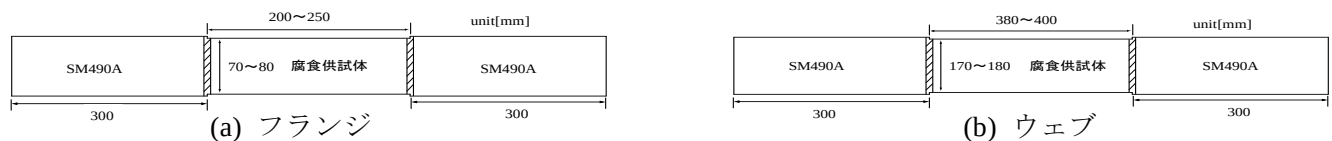


図-1 供試体概要

2. 2 腐食形態の分類

本研究では最小板厚を初期板厚で除してあらわされる最小板厚残存率により、供試体を 3 つの腐食形態に分類した。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 つの腐食形態について引張試験結果を考察し、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。

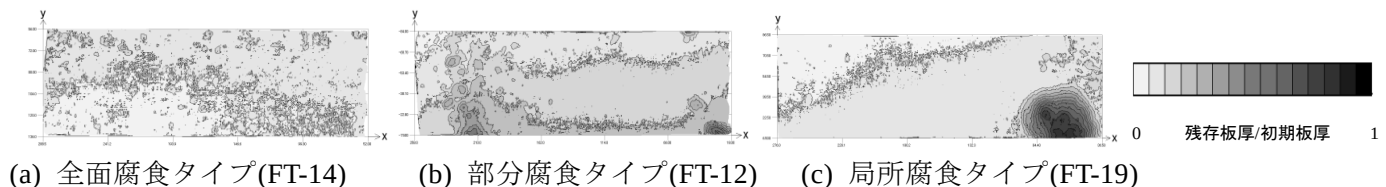


図-2 板厚等高線図

3. 実験結果と力学特性に関する考察

図-3 に伸びー応力関係を示す。腐食が軽微な全面腐食タイプにおいては、健全な鋼板の応力ー伸び曲線に近い挙動を示しているが、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

キーワード 腐食鋼板 引張強度 最小断面 最小板厚 降伏 破断

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 愛媛大学 構造工学研究室 TEL089-927-9816

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。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。

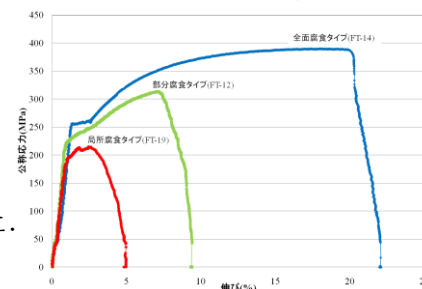


図-3 応力-伸び関係

4. 降伏・引張強度評価

4. 1 降伏強度評価

引張試験結果に基づき、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(1)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。

$$t_e = P / (B \cdot \sigma) \quad t_e: \text{有効板厚}, P: \text{降伏/引張強度}, B: \text{供試体幅}, \sigma: \text{降伏/引張応力} \quad (1)$$

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-5)。

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-6)。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。

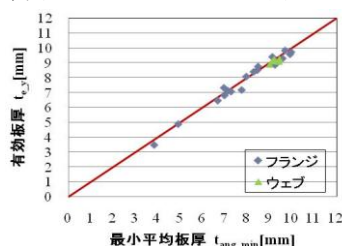


図-5 降伏強度評価

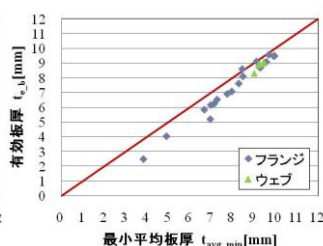


図-6 引張強度評価

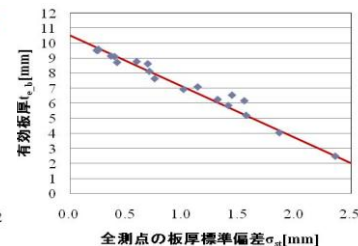


図-7 板厚標準偏差と引張強度

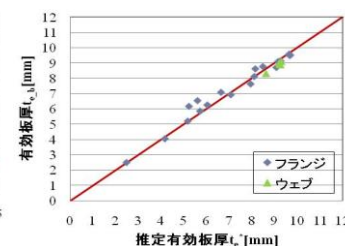


図-8 推定有効板厚

4. 3 試験結果に基づく引張強度評価

図-7に全測点の板厚標準偏差と引張強度における有効板厚との関係を示す。幅広供試体を用いた本研究では引張強度と全測点の板厚標準偏差との関係は非常に強い相関(相関係数 0.998)がみられた。また、図-7から標準偏差が 0mm のときの有効板厚は初期板厚である 10.5mm とほぼ一致している。そこで引張強度における有効板厚を初期板厚と標準偏差によって次のように推定すると、

$$t_e^* = t_0 - 3.4 \cdot \sigma_{st} \quad t_e^*: \text{推定有効板厚}, t_0: \text{初期板厚}, \sigma_{st}: \text{全測点の板厚標準偏差} \quad (2)$$

図-8に示すように良好な相関を保ったまま(相関係数 0.985)有効板厚をよく推定できていることがわかる。

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) 残存最小板厚と最小平均板厚の位置と大きさの関係が引張強度評価および破断面推定に重要となる。
- (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。
- (4) 引張強度は板厚標準偏差と非常に強い相関があり、初期板厚と標準偏差により簡潔に推定が可能である。

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) 海田辰将, 藤井堅, 宮下雅史, 上野谷実, 中村秀治: 腐食したプレートガーダーの残存曲げ強度に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.139-148, 2005.3