

引張試験による腐食鋼板の力学特性および強度評価法

高知工業高等専門学校 正会員 ○海田 辰将 広島大学大学院 正会員 藤井 堅
高知工業高等専門学校 フェロー会員 多賀谷 宏三 高知工業高等専門学校 学生会員 刈谷 秋人

1. はじめに

引張を受ける腐食鋼材の保有強度を正確に評価するためには、減肉量だけでなく腐食表面の凹凸形状に起因する応力集中の影響までも考慮した強度評価技術確立する必要がある。昨今、実際の腐食鋼材を用いて行った引張試験結果から強度評価のための有効板厚や力学的特性を把握しようとする試みが行われ始めている^{1), 2)}が、腐食形態は環境や部位によって様々であり、有効板厚算定法や力学的特性について一層の信頼性向上が望まれている。

そこで本研究では腐食したプレートガーダーから採取した試験片の腐食表面形状を詳細に測定した後に引張試験を実施し、その結果から保有引張強度評価のための有効板厚および腐食表面形状と力学的性質との関係などについて検討を加え、引張を受ける腐食鋼板の強度評価のための基礎資料を提供する。

2. 引張試験片

試験片は、高知県穴内川河口において102年間供用され、著しい腐食のために撤去された単純支持プレートガーダー橋の主桁の一部より採取した。試験片は腐食表面をそのまま残したものを全42体（フランジ、ウェブより各21体）作成し、また、材料特性を把握するために両面平滑仕上げした試験片を4体作成した。腐食試験片42体は図-1に示すようにJIS5号試験片に成形し、ワイヤブラシによって表面の錆や塗装を除去した後に腐食表面形状を測定した。

腐食表面形状の測定にはレーザー変位計を用い、アクチュエータを内蔵したフレームに沿って定速度でレーザーヘッドを移動させ、片面ずつ測定を行って鋼材表面の座標値を取得し、その結果から平均板厚などの統計量を算出した。図-2に腐食表面形状の測定概略図を示す。なお、測定精度は±0.2mm、腐食表面の測定間隔はy軸方向に約0.3mm、x軸方向に1mm(71測線)である。

3. 実験概要

両面平滑仕上げした試験片は、鋼材の基本的な材料特性を把握するために弾性係数、ポアソン比、降伏応力、引張強度、伸びなどを測定した。表-1に平滑仕上げ試験片から得られた本鋼材の材料特性を示す。

腐食試験片については予め設けた標点間に伸び計を取り付け、荷重－伸び関係から降伏強度、引張強度および伸びを測定した。また、腐食試験片は実験終了後に、破断位置および破断面を観察し、腐食表面形状の測定結果との対応について調査した。

4. 実験結果

4.1 腐食鋼板の力学的特性と強度評価のための統計量

図-3に荷重－伸び関係を示す。図中 Z_{avg} は全測点の平均腐食深である。腐食程度が比較的軽微で表面の凹凸が緩やかであったFT-22においては平滑試験片FM-1とはほぼ同じ力学的性質を有していると考えられるが、腐食の進んだWT-8または局所的に激しい孔食を有しているようなFT-5では降伏強度が明確に現れない場合があること、荷

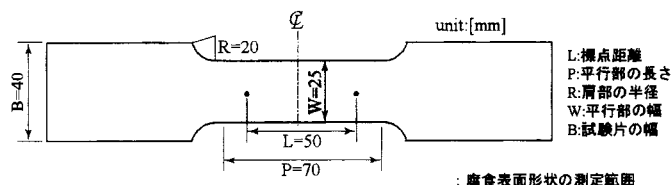


図-1 JIS5号試験片の概略

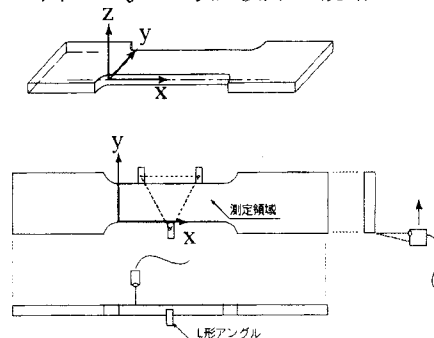


図-2 腐食表面形状の測定概要

表-1 試験片の材料特性

試験片	弾性係数 [GPa]	ポアソン比	降伏応力 [MPa]	引張強度 [MPa]	一様伸び [%]	破断伸び [%]
フランジ	198.9	0.272	308.7	418.7	19.28	40.12
ウェブ	192.7	0.284	291.1	415.4	20.82	39.65

*引張強度に対応する伸び

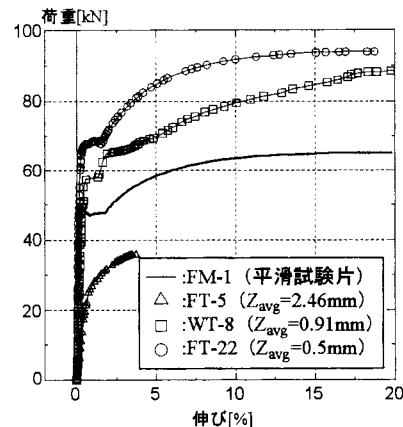


図-3 荷重－伸び関係

重の初期段階から変形が卓越するものの引張強度および破断時の伸びは腐食が軽微な鋼板よりもかなり低下すること等が明らかになった。これは、腐食の進んだ鋼板では応力が集中する局所的な断面が比較的早い段階で降伏し、その断面において局所的に変形が卓越し破断に至ることに起因する。

破断位置については、最小板厚 t_{min} 、平均板厚ともに小さい断面で破断しており、42体中36体の試験片については概ね最小平均板厚 $t_{avg,min}$ （各y方向断面の平均板厚の最小値）を含む断面で破断していた。また、これら36体のうち23体については最小平均板厚と最小板厚が同じ断面で発生しており、残りの試験片についても最小板厚は最小平均板厚近傍で発生していた。このように、全試験片の約85%が最小平均板厚または最小板厚近傍において破断

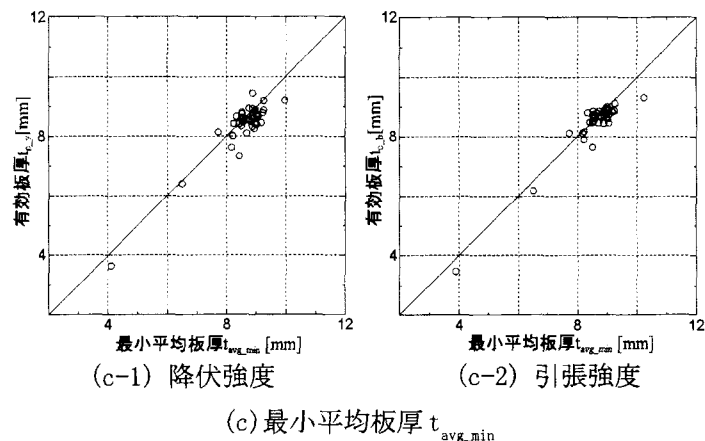
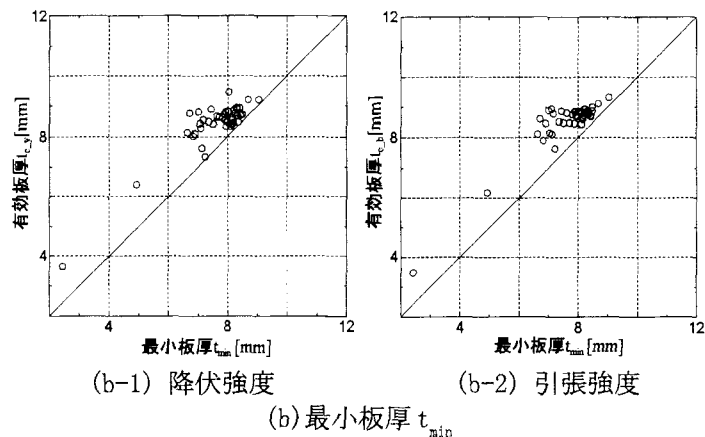
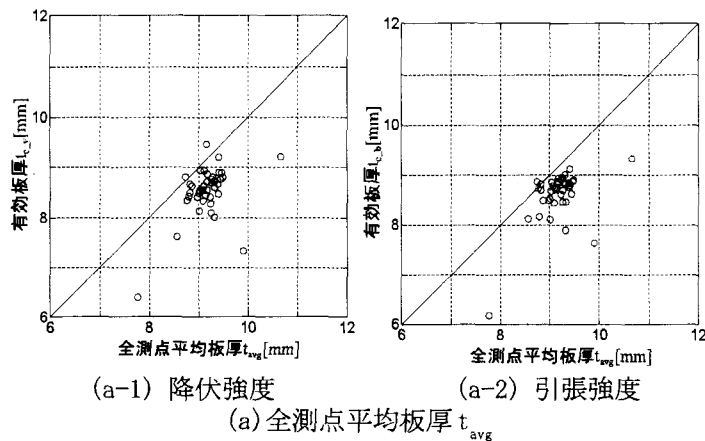


図-4 有効板厚と板厚統計量の関係

している結果を鑑みると、引張を受ける腐食鋼板の強度評価には、最小平均板厚や最小板厚などの局所的な断面の統計量を用いるのが望ましいと考えられる。

4.2 腐食鋼板の降伏強度および引張強度の評価

本研究では、腐食鋼板の降伏強度 P_y および引張強度 P_b を評価するための有効板厚 $t_{e,y}$ および $t_{e,b}$ は次式によって求めた。

$$t_{e,y} = \frac{P_y}{B \cdot \sigma_y}, \quad t_{e,b} = \frac{P_b}{B \cdot \sigma_b} \quad (1)$$

ここで、 P_y, P_b は引張試験から得られた腐食鋼板の降伏荷重および引張荷重を示しており、 σ_y および σ_b は平滑仕上げした試験片から得られた降伏応力および引張強度である。また、 B は試験片の幅 25mm を示す。

図-4は式(1)から得られた有効板厚と各板厚統計量の相関を示している。図から、降伏強度、引張強度ともに最小平均板厚が各有効板厚と最も良い相関を示している

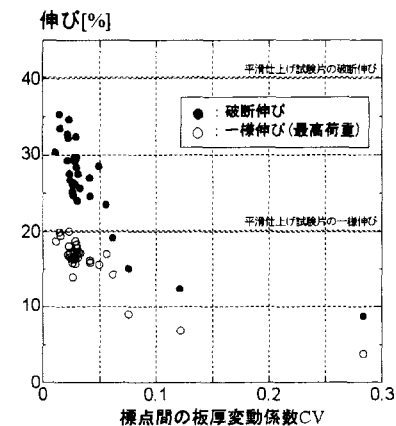


図-5 伸びと板厚変動係数の関係

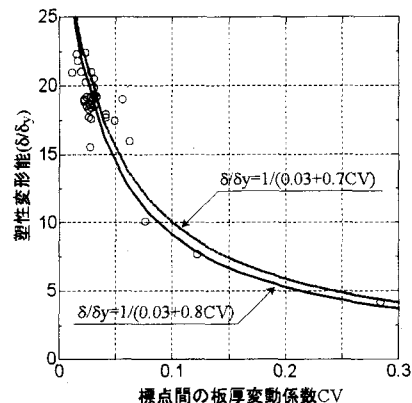


図-6 塑性変形能と板厚変動係数の関係

ことがわかる。すなわちこれらの強度評価には最小平均板厚を適用するのが最も推定精度が高いと考えられる。

4.3 伸びおよび変形能の評価

図-5に腐食鋼板の伸び(標点間距離50mm)と板厚変動係数の関係を示す。図に示すように、腐食鋼板の伸びは板厚変動係数の上昇とともに大幅に低下する結果となった。このことは、腐食した状態にある鋼構造物が地震などの動的荷重を受けた際に腐食の影響が無視できないことを示唆している。

そこで、文献2)によって求められた腐食鋼板の塑性変形能力-板厚変動係数曲線(図中破線 $\delta/\delta_y = 1/(0.03+0.7CV)$)と本実験から得られた曲線(図中実線)を比較した。図からわかるように、腐食鋼板の塑性変形能力は板厚変動係数の上昇とともに低下しており、本実験から得られた近似曲線は文献2)による曲線とほぼ一致する結果となった。

5 結論

- (1) 板厚標準偏差が大きい腐食鋼板では、降伏強度が明確に現れないまま破断に至る場合がある。
- (2) 腐食鋼板の降伏強度および引張強度は、最小平均板厚を用いて精度良く評価できる。
- (3) 腐食鋼板の塑性変形能力は腐食表面の凹凸が激しくなるにつれて低下するが、図-6中に示した近似式で評価できる。

【参考文献】

- 1) 松本勝, 白井義朗, 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, pp. 19-25, 1989.
- 2) 村中昭典, 皆田理, 藤井堅: 腐食鋼板の表面形状と残留耐荷力, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp. 1063-1071, 1998.