

愛媛大学工学部 学生会員○田邊 靖博

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

高知工業高等専門学校建設システム工学科 正会員 勇 秀憲

1. はじめに

腐食鋼材の降伏強度や引張強度については、近年、多くの腐食鋼材の引張試験結果から、引張軸直角方向断面における平均断面積の最小値（最小平均板厚）を有効板厚に用いた強度評価法が広く認識されつつある¹⁾。最小平均板厚は最小断面積に基づく局所的な板厚量であるが、その近傍の凹凸が激しいほど、局所的な応力集中の影響により強度は低下するため、最小平均板厚では実際の強度よりも高く評価してしまう可能性がある。このことから、最小平均板厚近傍の凹凸形状が強度に与える影響を考慮することで強度評価法の精度向上が期待できると考えられる。そこで、本研究では最小平均板厚だけでなく最小断面付近の凹凸形状を表す板厚統計量を考慮した新しい有効板厚を提案することを目的とする。

2. 腐食鋼板の引張強度解析

2.1 解析概要

腐食鋼板の降伏に至るまでの応力集中状況を腐食形態と関連付けて考察するために、引張強度実験²⁾で用いたJIS5号試験片（全38体）の平行部について有限要素解析を実施した。図-1に試験片の解析モデル例を示す。モデルの境界条件は図中左端を固定し、右端軸方向を等分布強制変位でコントロールしながら载荷した。

2.2 引張を受ける腐食鋼板の力学特性

図-2に、局所腐食が特化したFT-5試験片と全体的に緩やかな腐食を有するFT-8試験片のMises応力分布を示す。FT-5では特に板厚が減じられて

いる中央断面に応力が集中しており、最小平均板厚の発生位置と破断面は一致しており、その中に最小板厚も含まれる結果となった。一方、FT-8のような腐食形態の試験片は応力集中による降伏域が1つの断面に定まらず、板の至る所に分布しており、最小平均板厚の発生位置と破断面は概ね一致しており、最小板厚は無関係である結果となった。これらのことから、引張を受ける腐食鋼板では最小平均板厚近傍の応力集中の影響が顕著であると考えられ、その影響を考慮できる板厚統計量として最小平均板厚と最小板厚に着目することが強度評価法の精度向上に有用である可能性が高い。

3. 強度評価のための有効板厚

3.1 最小平均板厚を用いた強度評価

図-3に降伏強度と引張強度における従来の最小平均板厚による評価結果と実験結果の関係を示す。また、「適合率」とは（評価結果/実験結果）の平均値である。つまり、実験結果とどれだけ対応しているかを示す指標である。この値が1より大きい程危険側の判断となり、1より小さい程安全側の判断となる。図-3から両者とも適合率は1を超え危険側の判断となっている。特に、降伏強度においては丸印の部分でバラツキが目立っているのが確認できる。このバラツキを小さくするために次式に示す降伏強度評価式の新しい有効板厚として最小平均板厚を、最小断面付近から得られる板厚統計量を用いた低減係数 α で除したものを適用することを考えた。

$$P_y = B \cdot \frac{t_{\text{avg. min}}}{\alpha} \cdot \sigma_y \quad (1)$$

3.2 腐食形態による板厚低減係数の評価・提案

腐食鋼板の最小平均板厚を腐食のない鋼板の切欠きとして置き換え、応力集中の影響を考えた。そして、板厚低減係数を提案するにあたり、応力集中係数の概念を参考にした。応力集中係数は次式の実線枠で表され、荷重 P と試験片幅 B が同じならば破線枠の式となる。

$$\alpha = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma} = \frac{B \cdot t_{\text{min}}}{B \cdot t_0} = \frac{t_0}{t_{\text{min}}} \quad (2)$$

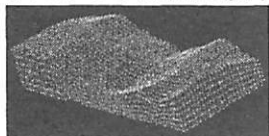
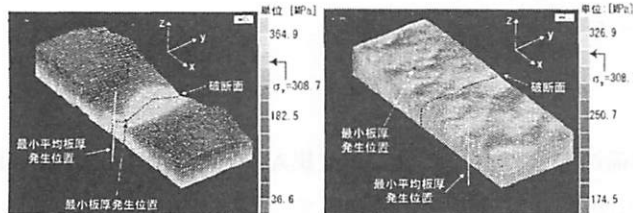


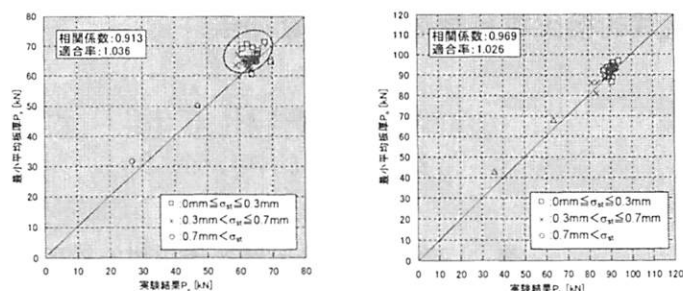
図-1 解析モデルの一例



(a) FT-5

(b) FT-8

図-2 Mises 応力分布



(a) 降伏強度 (b) 引張強度

図-3 最小平均板厚による評価結果

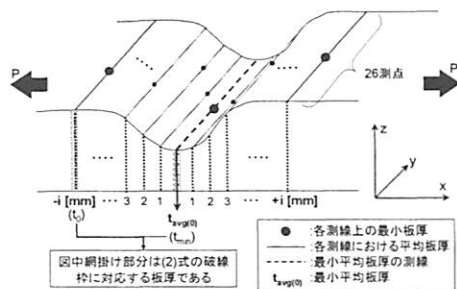


図-4 最小断面周辺図

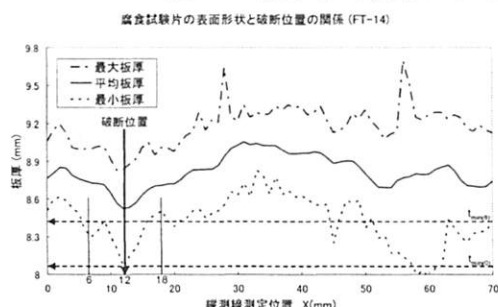


図-5 x 方向における板厚の変化

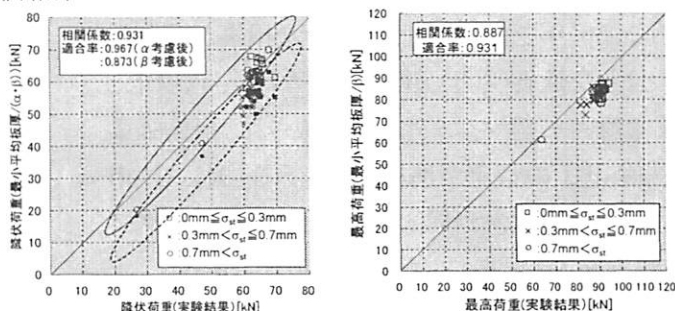
この式は図-4に対応しており、この式に対応する板厚統計量として解析結果からも最小板厚が妥当であったことから次式を提案した。

$$\alpha = \frac{\text{最小断面から「i」mm離れた両測線上の最小板厚の平均値 } t_{\min(i)} \text{ (3)}}{\text{最小断面の最小板厚 } t_{\min(0)}} \quad (3)$$

そして、測線を1mmずつ変化させた時の α を算出し、 α を考慮した評価結果と実験結果との相関係数が最も良くなる距離を検討したところ、(3)式の分子に適用できる最適な板厚統計量は最小平均板厚からおよそ6mm離れた測線上の最小板厚であった。この理由として、図-5に示す試験片のx方向における板厚の変化から、最小板厚において6mm離れた位置で板厚差が顕著であることが分かる。これは最小板厚が最小断面付近の腐食による凹凸を板厚差を示す指標として有効であることを示す。

3.3 板厚低減係数を用いた保有強度評価法

図-6に板厚低減係数 α と安全係数 β を考慮した評価結果と実験結果との対応を示す。図-6(a)において、実線で囲んだ部分が α を考慮した評価結果である。図-3(a)と比較すると相関係数が上がりバラツキが若干小さくなったことが分かる。また、図-6(b)に示す引張強度においては降伏した後の終局状態での過程であるので、凹凸による応力集中の影響はほとんど受けず残された断面積で概ね強度が決まるので最小平均板厚でも精度よく評価できていたと考えられる。そこで、降伏強度、引張強度における試験片を全て安全側に評価するため、次式において安全係数を検討したところ安全係数 $\beta=1.11$ を考慮することで全てが安全側の評



(a) α, β 考慮 (降伏強度) (b) β 考慮 (引張強度)

図-6 各係数を考慮した評価結果

価となった。

$$P_y = B \cdot \frac{t_{\text{avg, min}}}{\alpha \cdot \beta} \cdot \sigma_y \quad (4)$$

$$P_b = B \cdot \frac{t_{\text{avg, min}}}{\beta} \cdot \sigma_b \quad (5)$$

図-6(a)における点線で囲んだ部分、図-6(b)が安全係数考慮後の結果である。また、図-6(b)の引張強度における左端の強度が最も低い試験片は破壊形態が異なっていたため除外した。

4. まとめ

- (1) 腐食形態によって降伏過程は全く異なっており、局所腐食形態では最小断面で破断し最小板厚を含んでいたのに対し、軽微な腐食形態では必ずしも最小断面では破断するとは限らず、最小板厚も無関係であった。
- (2) 降伏強度評価では板厚低減係数 α を考慮することによって実験結果との対応は良くなり、相関係数が改善された。

$$\alpha = \frac{t_{\min(6)}}{t_{\min(0)}}$$

- (3) 降伏強度、引張強度共に有効板厚に安全係数 $\beta=1.11$ を考慮することによって安全側に評価可能となった。

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) 海田辰将, 藤井堅, 多賀谷宏三, 刈谷秋人: 引張試験による腐食鋼板の力学特性および強度評価法, 第56回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, I-22, pp. 43-44, 2004.