

# 幅広供試体による腐食鋼板の引張試験

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 糸川和樹  
愛媛大学大学院 学生会員 池田裕幸 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評価法を確立するため、これまで JIS5 号のような板幅 30mm 前後の小試験片を用いた多くの引張試験が行われており、最小断面における平均板厚（最小平均板厚）が破断位置の予測や強度評価に有効とされている（例えば 1）。しかし、実際の腐食は直径 10mm～50mm 程度の孔食といった、小試験片の板幅を超える広がりを持つ場合も多く、小試験片の実験結果だけではこれらの局所的な腐食が残存強度、降伏過程、破断性状に与える影響を十分に考慮できないと考えられる。

そこで本研究では、板幅 80mm～180mm 程度の様々な腐食形態を有する供試体<sup>2)</sup>を 24 体作成し、その引張試験を実施することで、残存強度評価を意識して、板厚標準偏差 ( $\sigma_t$ )、最小板厚 ( $t_{\min}$ ) 等の腐食統計量と残存強度の関係および降伏過程や破断性状といった力学特性について明らかにする。

## 2. 実験供試体と腐食形態の特徴

供試体となる腐食鋼板は、約 100 年間供用後撤去されたプレートガーダーの上フランジカバープレート（初期板厚  $t_0=10.5\text{mm}$ ）から、図-1 に示すように 19 体(F-1～F-21)、ウェブ( $t_0=10.0\text{mm}$ )から 5 体(W-1～W-5)を切り出し、腐食鋼板の両端に SM490A ( $t=16\text{mm}$ ) 鋼板を突合せ溶接（全面溶け込み溶接）して製作した。板幅は、切り出し位置の寸法に合わせてフランジ供試体 70～80mm、ウェブ供試体 170～180mm とした。

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用い、非接触式レーザラインプローブによって表面の 3 次元座標を取得した後、板厚を 0.5mm 間隔で算出した<sup>2)</sup>。

本供試体は、様々な腐食形態を有しているが、板厚統計量（平均板厚、標準偏差）、板厚頻度分布の形状および最小板厚残存率 $\mu$  ( $=t_{\min}/t_0$ ) を鑑み以下の 3 つの代表的な腐食形態に分類された。

『全面腐食タイプ』：平均板厚付近で最大頻度となっており、かつ $\mu<50\%$ （概ね $\sigma_t<0.5\text{mm}$ ）。比較的腐食が軽微な供試体に見られる。

『孔食タイプ』：平均板厚と最大頻度が一致せず、かつ $10\%<\mu<50\%$ （概ね $0.5\text{mm}<\sigma_t<1.8\text{mm}$ ）。直径 10mm 以上の孔食が複数点在していることが多い。

『局所腐食タイプ』：頻度分布でピークを複数持ち、かつ $\mu<10\%$ （概ね $\sigma_t>1.8\text{mm}$ ）。複数の孔食が重なり合うなどして、腐食の激しい箇所が面的に広がる。

図-2 にそれぞれの腐食形態における代表的な供試体の板

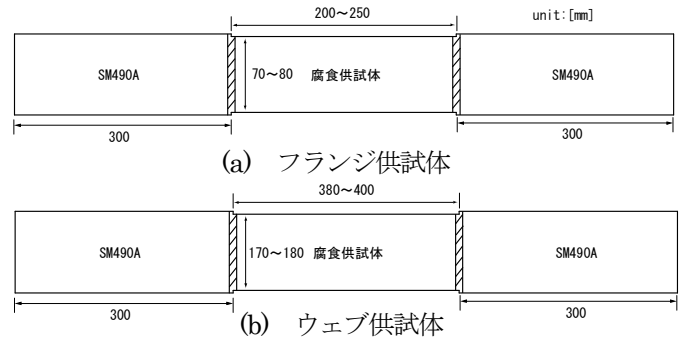


図-1 供試体概要

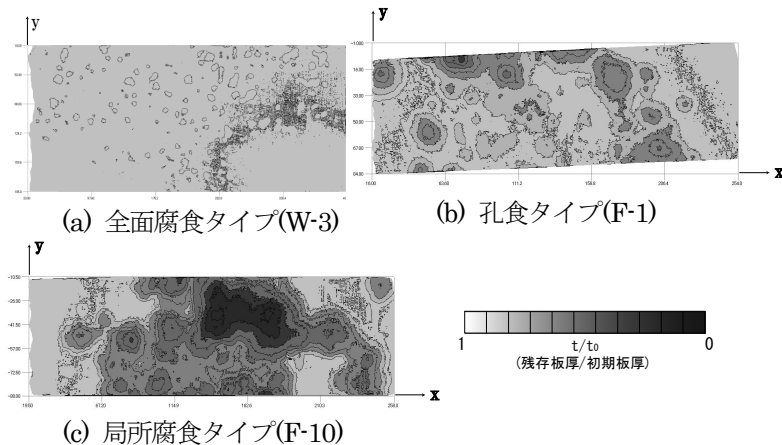


図-2 板厚等高線図の一例

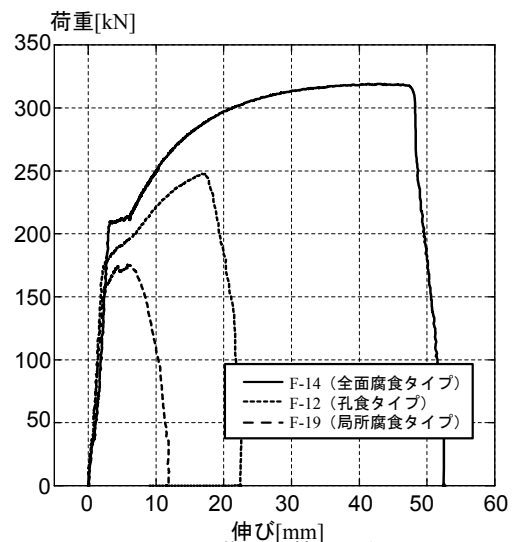


図-3 荷重 - 伸び関係

厚等高線図を示す。

## 3. 引張強度試験

引張試験には万能載荷試験機（載荷能力 2940kN）を用いて引張試験を行った。載荷は定速度荷重制御とし、腐食

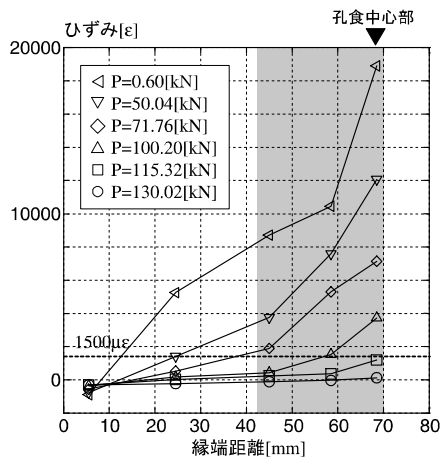


図-4 ひずみ分布(F-19)

の激しい供試体は 150[N/sec]、腐食が軽微な供試体は 200[N/sec]とした。降伏過程における応力分布を得るため、腐食箇所に応じて適宜ひずみゲージを貼り付けている。平滑仕上げした試験片の引張試験によって明らかになった材料特性は、弾性係数  $E=191.6[\text{GPa}]$ 、降伏応力  $\sigma_y=294.7[\text{MPa}]$ 、引張強度  $\sigma_b=447.4[\text{MPa}]$ 、ポアソン比  $\nu=0.276$  である。

#### 4. 降伏過程と破断性状

図-3 に荷重 - 伸び関係を示す。ここで、伸びは載荷装置の鉛直方向ストロークから求めたものである。腐食が軽微な全面腐食タイプでは、一般的な鋼材の荷重 - 伸び関係に酷似した形となっており降伏強度も明確に読み取れる。しかし、孔食タイプになると強度が低下するだけでなく、降伏棚が不明瞭となり、供試体全体としての伸びも次第に低下する。そして局所腐食タイプでは、もはや降伏棚は確認できず、極端に伸び（変形能）が低下することが確認できた。このことは、JIS 試験片を用いた既往の研究<sup>(例えば3)</sup>においても報告されており供試体の幅には無関係と推測される。

腐食鋼板の降伏過程について、F-19 供試体のひずみ分布を図-4 に示す。図中、薄灰色部分が孔食領域を、点線は降伏ひずみ（本研究では  $\epsilon_y=1500\mu$ ）を示している。降伏ひずみに達するまでは、孔食中心部付近において緩やかにひずみが増加しているが、孔食中心部が降伏ひずみに達すると、急激に各ひずみが増大している様子がわかる。このことから、腐食による応力集中の影響は、降伏荷重前後で著しいことが明らかになった。また、供試体右端の孔食中心部で伸びが卓越するために、反対の左端では負のひずみ、すなわち圧縮応力が生じていることが、幅広供試体の引張試験において特徴的な部分である。

一方、供試体の破断位置について、最小板厚を含む最小

#### [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, 池田裕幸, 大賀水田生, 藤井堅: 幅広供試体を用いた腐食鋼板の引張試験による強度評価に関する考察, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, I-099, 2009. 9.
- 3) Kariya, A., Tagaya, K., Kaita, T. and Fujii, K.: Mechanical properties of corroded steel plate under tensile force, Collaboration and Harmonization in Creative Systems (Proceedings of ISEC-03), Tokuyama, pp.105-110, 2005.9.

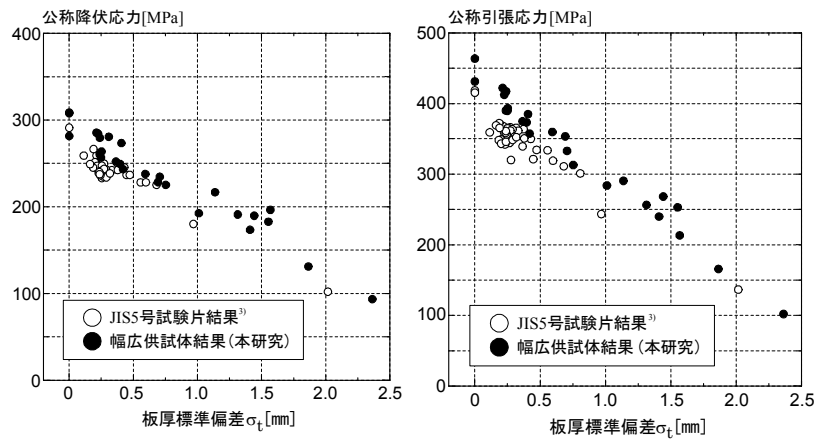


図-5 降伏・引張応力と板厚標準偏差の関係

断面内で破断した供試体が 14/24 体と最も多く、全ての腐食形態にて観察された。また、最小板厚を有する断面（最小断面とは異なる）で破断した供試体が 4/24 体で、孔食タイプ、局所腐食タイプにて確認された。残りの 5 体は、最小断面・最小板厚ともに無関係な断面で破断しており、全面腐食タイプの中でも特に腐食が軽微な供試体であった。

さらに、全ての供試体は、JIS 試験片において見られる延性破壊ではなく、板厚の小さい箇所から生じたクラックが進展して破断に至る形態であり、このクラックのトリガーとなる部分の特定が実務的に重要になるであろう。このことは図-3 中で、荷重がピークから急激に下がっていること、破断荷重がほぼゼロに近いことから確認できる。クラックが生じた時点での荷重がピークとなり、本研究ではこれを引張強度と呼んでいる。

#### 5. 残存強度評価に関する考察

鋼表面の凹凸に起因する応力集中が残存強度に大きく影響することから、板厚標準偏差  $\sigma_t$  に着目し、降伏・引張強度との関係を図-5 にて調査した。図中には文献 3) で実施した JIS 試験片の結果も併せて記載している。図-5 から明らかのように、降伏・引張応力ともに  $\sigma_t$  とほぼ線形関係を有しており、このことは幅広供試体の方が JIS 試験片よりも明確である。また、幅広供試体の方が JIS 試験片よりも若干強度が高く出る傾向にあることも特徴的である。

#### 6. おわりに

- (1) 腐食による応力集中は降伏荷重後から卓越する。
- (2) 破断位置の予測には最小断面と最小板厚の位置関係および大きさが重要である。
- (3) 幅広供試体では、小試験片と異なり、板厚が小さい位置から生じたクラックが進展して破断に至る。
- (4) 降伏・引張強度と標準偏差はほぼ線形関係にある。