

高知高専専攻科建設工学専攻 学生員 ○刈谷 秋人
 高知高専建設システム工学科 フェロー 多賀谷宏三
 広島大学大学院工学研究科 学生員 海田 辰将
 広島大学大学院工学研究科 正会員 藤井 堅

1. はじめに

鋼材の補修・補強事例が急増している中、腐食鋼材の残存強度を評価するための基礎資料は少なく、主観的な判断により対処法が決められているのが現状である。本研究では、腐食した鋼橋から取出した腐食鋼材について、平滑仕上げ試験片及び腐食鋼材試験片の引張試験を行い、腐食鋼材の有効板厚、材料特性、実機引張部材としての有効板厚の基礎的評価法について検討した。

2. 対象橋梁の概要

試験片は、102年間供用後上部構造の腐食が主な原因で撤去された高知県安芸市の穴内川にかかる鋼橋(形式:プレートガーダー橋、橋長:82.50m、支間長:13.50m(6 径間)、支承形式:固定・可動線支承)より採取した。図 2 に本研究で使用した JIS 5 号試験片の概略図を示す。

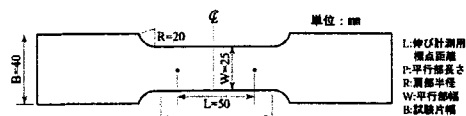


図 1 JIS 5 号試験片概略図

3. 試験概要

3.1 板厚測定

引張試験に先立って、腐食試験片平行部における板厚の測定を行った。腐食試験片については、基準平面を構成して片面ずつ板厚を測定し、両面の基準平面を一致させて板厚とした。測定領域は腐食試験片平行部幅(70mm×25mm)とし測定間隔は引張方向に 1mm 間隔で、引張直角方向に約 0.3mm 間隔で測定した。

3.2 平滑仕上げ試験片の引張試験

平滑仕上げ試験片の引張特性を明らかにすることを目的に引張試験を行った。載荷速度は弾性域で 0.2mm/min、塑性域では 0.5mm/min に設定した。載荷試験は最大荷重 120kN の万能試験機を用いた。

3.3 腐食鋼材の引張試験

腐食が鋼材の引張特性に与える影響を統計的に評価することを目的とし引張試験を行った。載荷速度は腐食の激しい試験片では終始 0.1mm/min とし塑性域に入れば 0.2mm/min とした。腐食が少ない試験片では平滑仕上げ試験片と同様の載荷速度とした。載荷試験には、平滑仕上げ試験片の引張試験と同じ機械を用いた。

4. 引張試験結果及び考察

4.1 平滑仕上げ試験片の引張試験結果

表 1 より平滑仕上げ試験片は JIS 規格¹⁾ に比べ弾性係数、ポアソン

表 1 平滑仕上げ試験片の引張特性

	弾性係数 [GPa]	ポアソン 比	降伏 応力 [MPa]	引張 強度 [MPa]	引張 強度 [MPa]	一様 伸び [%]	引張 伸び [%]
試験片	195.8	0.278	298.9	417.1	334.4	20.05	39.88
JIS 規格	200.0	0.300	245以上	400~510	—	21.00	—

比、一様伸びはやや落ちているが、降伏応力、引張強度は規格の範囲内に入っている。これらの値を総合的にみると、本研究で対象とした鋼材は材質的変化がないと考え、SS400 と同等品であると言える。

4.2 腐食鋼材の引張試験結果

図 2 より、FT8 は腐食がほとんどなく、一様伸びが大きく、降伏点もはっきりと表われていることから、平滑仕上げした試験片の材料特性に近い結果を示している。FT18 は片面が局所腐食しており、孔食が見られた。これは図 2 及び破断した試験片の観察から孔食部分に応力が集中し、降伏点をはっきりと出ず伸びも孔食部分で急激に発生し、標点間距離内の伸びは小さくなっている。FT5 も片面局所腐食で孔食が大きな範囲に広がっていた。従って、図 2 より降伏点が見えなくなり荷重も他の腐食試験片と比較して大きく落ちている。

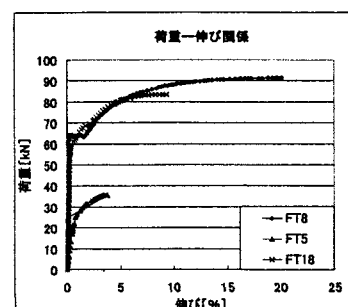


図 2 腐食鋼材の荷重－伸び関係

4. 3 腐食鋼材の有効板厚の評価法

腐食鋼材試験片の破断面は複雑な形状をしており、破断面での三次元的な応力状態も複雑になると考えられる。ミーゼス(Von Mises)によると、複雑な破断面形状と応力状態に対して破断面の微小要素を考え、一軸的なミーゼス応力 σ_{em} は一軸引張に対する等価応力(降伏応力)と考えることが可能である。この場合、各微小要素に作用する力の積分値は一軸引張力となり等価面積は破断面の投影面積となる。これより破断面の投影面積を有効面積と考え、試験片の幅は決められていることからミーゼス有効板厚 t_{em} を $t_{em} = (\text{破断面の投影面積} / \text{試験片幅})$ と定義する。実際には、試験片表面の破断線上の板厚データを拾い出し腐食した両面の破断線を求め合成して引張方向に投影した面積を求めた。

図 3、4 に、ミーゼス有効板厚を強度評価の指標とし、材料の降伏応力と弾性係数で平滑仕上げ試験片と腐食鋼材試験片(降伏応力比、弾性係数比)とを比較した。図 3 より両者の降伏応力はほぼ等しいと言える。また、図 4 の腐食鋼材試験片の弾性係数をミーゼス有効板厚で評価すると、平滑仕上げ試験片の弾性係数の半分程度になるものもあった。これは、局所的な応力集中により伸びが大きくなるためと考えられる。このように弾性係数は腐食の影響で見掛け上約 1/2 に下がるものもある。

4. 3. 1 有効板厚を決める要素

腐食鋼材の有効板厚は腐食の形態によって、その評価方法を変える必要があり、ミーゼス板厚は現象の説明としては最も有効な評価指標であると考えられる。平均板厚、最小板厚などの各種板厚と比較した結果、図 5 に示す引張直角方向の断面毎の最小平均板厚が腐食量の大小に関係なく比較的良い相関性を有している。従って、引張直角方向の作用応力を評価するための有効板厚は、最小平均板厚で評価するのが適当と考えられた。村中ら²⁾の腐食鋼材引張試験においてもほぼ同じ結果が得られている。

5. 引張部材としての有効板厚

実構造物において腐食は位置によりかなり違った形態となる。引張部材の強度特性の評価においては、板厚をマクロにみた強度特性を評価するのが実用的である。そこで図 6 より本研究のミーゼス有効板厚を基準とし、腐食部材の残存耐力を評価する有効板厚の推定式を有効板厚 $t_e = \text{全測点の平均板厚} - 1.3 \times \text{標準偏差}$ とすると引張部材を精度よく評価できることが判った。

6. 結論及び今後の課題

本研究の範囲では、引張試験片破断面の投影面積をベースとするミーゼス有効板厚で引張特性を表すのが精度が良く、引張直角方向の断面の最小平均板厚とほぼ一致し、引張強度の評価においては有効板厚 $t_e = \text{全測点の平均板厚} - 1.3 \times \text{標準偏差}$ として算定すればミーゼス有効板厚とほぼ一致した。また今後は腐食鋼材材料特性の実用的評価方法を求め、腐食パターンと材料特性の関係、板厚測定データを基に破断位置を予測するための投影面積最小位置の検討方法を明らかにする必要がある。最終目標として、曲げ、せん断、座屈などの実構造物の耐荷力評価を行う場合の適用法の検討も行う予定である。

7. 参考文献

- 1) 日本規格協会：一般構造用圧延鋼材の機械的性質 (JIS G 3101)
- 2) 村中昭典、皆田理、藤井堅：腐食鋼板の表面性状と残存耐荷力、構造工学論文集、土木学会、Vol.44A、(1998.3)

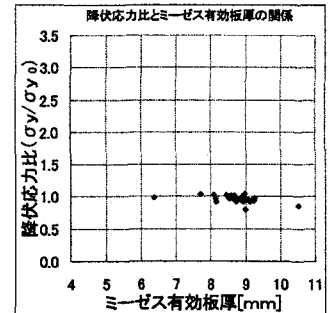


図3 降伏応力比とミーゼス有効板厚の関係

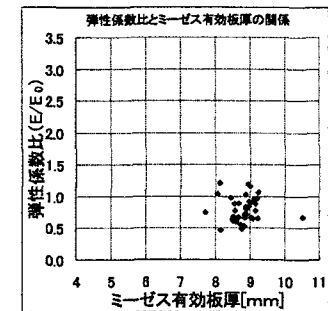


図4 ミーゼス有効板厚と最小平均板厚の関係

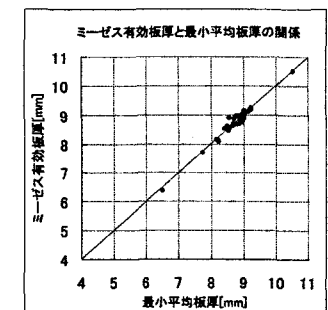


図5 ミーゼス有効板厚と最小平均板厚の関係

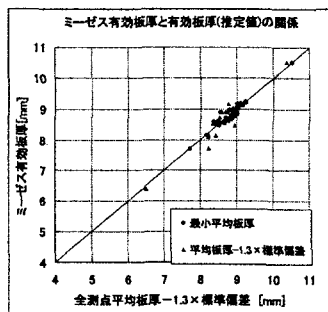


図6 ミーゼス有効板厚と有効板厚推定値の関係