

I-348

腐食を受けた構造用鋼材の強度劣化と有効板厚評価

中電技術コンサルタント（株） 正員 松岡 敬 坂本 吉秋
 広島工業大学 正員 村中 昭典 正員 皆田 理

1. はじめに

社会資本の充実が叫ばれる中で既存の社会資本をより有効に活用するためには、経済的かつ合理的な維持管理が必要である。既存の鋼構造物を適切に維持管理するためには、定期的な調査により現状を的確に把握して機能および応力上の健全度を評価し、現状にあった補修・補強・取替等の対策を実施する必要がある。

本研究は、約40年間供用後、撤去されたダム洪水吐ゲートのウェブプレート、及びスキンプレートより採取した腐食鋼板の静的引張試験結果に基づき、腐食を受けた構造用鋼材の強度劣化と応力評価に用いる有効板厚について検討したものである。

2. 応力評価法

ダム洪水吐ゲートの強度上の健全度診断における評価方法は、以下に示すとおりである。

- ①主要構造部材の板厚測定 — 部材の腐食劣化度（有効板厚）を抽出し、
 ②局部腐食のモデリング — 応力（ $\sigma = P/A$ or M/W ）を解析する — 応力上の健全度診断
 ③主要構造部材の硬度測定 — 部材の材質を確認し、診断基準応力を求める

3. 試験方法

①試験片（図1、2）

試験片形状：JIS1号A試験片（200×40）

広幅試験片（400×80）

試験片数：JIS1号A試験片 ウェブプレート（14本）、スキンプレート（14本）

広幅試験片 ウェブプレート（5本）

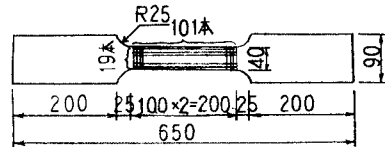


図1 JIS1号A試験片（200×40）

②板厚測定

JIS1号A試験片：2mmメッシュポイント計測（19×101ポイント）

広幅試験片：4mmメッシュポイント計測（19×101ポイント）

鋼板の公称板厚：ウェブプレート12mm、スキンプレート10mm

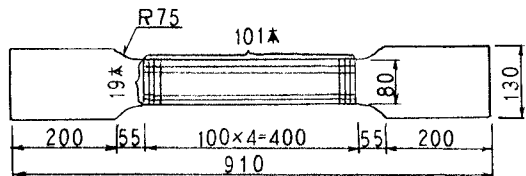


図2 広幅試験片（400×80）

③引張試験

試験機：100tf万能試験機

4. 試験結果

①板厚測定結果

図3、4に腐食鋼板の鳥瞰図を例示する。ウェブプレートの表面形状は大きく波打ち、板厚の厚い部分と薄い部分（最大腐食量6.92mm）とが交互に連続する全面腐食である。スキンプレートの表面形状は孔食状の腐食（最大腐食量2.62mm）が点在した均一腐食と見なされる。

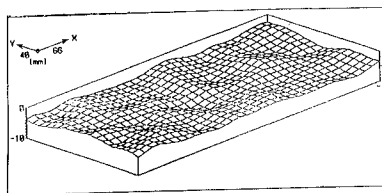


図3 ウェブプレートの表面形状

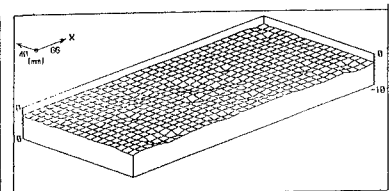


図4 スキンプレートの表面形状

②引張試験結果

両面平滑鋼の引張試験結果、ウェブプレートは $\sigma_y = 273\text{MPa}$ 、 $\sigma_B = 402\text{MPa}$ 、 $E_{\text{log}} = 31.4\%$ 、スキンプレートは $\sigma_y = 283\text{MPa}$ 、 $\sigma_B = 429\text{MPa}$ 、 $E_{\text{log}} = 26.6\%$ であった。この結果より鋼種はSS400と推定される。腐食鋼板の破壊の約80%は荷重軸直角方向の平均板厚（19点の平均値）が最小となる場所で、残りの約20%もほぼそれに近い位置で生じた。なお、試験片の最大腐食位置は、破断部と一致、またはその近傍に存在する。図5は、板厚12mm（ウェブプレート）、及び10mm（スキンプレート）で算定した降伏点、及び引張強度と最大腐食量との関係を示したものである。同図より、

降伏点、並びに引張強度は最大腐食量の増加に伴って、低下の傾向を示し、最大腐食量が約3mmを超えるとSS400の保証降伏点(245MPa)、及び引張強度(400MPa)を下回る。図6は伸び率と最大腐食量との関係を示したものである。同図より、伸び率は最大腐食量の増加に伴って低下の傾向を示し、最大腐食量が約4mmを超えるとSS400の保証伸び率(17%)を下回る。これは、鋼板表面の凹部（孔食）が局部的に塑性変形を生じ、破壊に到るためと考えられる。

③破断面平均板厚と有効板厚との関係

有効板厚 t_e は引張試験で得られた腐食鋼板の降伏荷重から求めた板厚であり、次式で定義される。

$$t_e = \frac{\text{腐食鋼板の降伏荷重}}{\text{試験片幅} \times \text{両面平滑材の降伏点}}$$

この有効板厚と破断面平均板厚(t_{lav})、及び破断面最小板厚との関係を求めた結果、ウェブプレート、スキンプレート共に破断面平均板厚との相関が良いことが分かった(図7, 8の□)。図7に示すように、ウェブプレートでは、応力評価に対して危険側に偏っているため、図中には試験データが $t_e = t_{lav}$ 線上に分布するように標準偏差Sを用いて補正した結果(■)を併記している。

$$\text{標準偏差 } S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_i - X)^2}$$

X_i : 破断面の個々の板厚測定値

X : 破断面の板厚測定値(19個)の平均値

n : 標本数(19個)

結果として、応力評価のための有効板厚は次に示す式で求められることが分かった。

ウェブプレート(全面に腐食が分布している場合)

$$\bar{t}_e = t_{lav} - 0.5S$$

スキンプレート(孔食が点在している場合)

$$t_e = t_{lav}$$

④試験片幅の影響

広幅試験片を用いて上記と同様の試験、並びに解析を実施した結果、広幅腐食鋼板においても上記有効板厚算定法が適用し得ることが分かった。

5. まとめ

本研究で得られた主な結論を挙げる次のとおりである。

- (1) 腐食鋼板の約80%が荷重軸直角方向の平均板厚が最小となる場所で破壊が生じた。残りの約20%の破壊もほぼ荷重軸直角方向の平均板厚が最小となる場所の近傍で破壊した。
- (2) 最大腐食量が増大すると降伏点、引張強度、及び伸び率は低下する。本研究で用いた腐食鋼板の降伏点、引張強度は最大腐食量約3mmを超えるとJIS保証強度を下回る。伸び率については、最大腐食量が約4mmを超えるとJIS保証規格を下回る。
- (3) 腐食鋼板の応力評価板厚(有効板厚)は、 $t_e = t_{lav} - 0.5S$ (凹凸の激しい全面腐食の場合)、及び $t_e = t_{lav}$ (孔食の点在する均一腐食の場合)にて近似的に算定し得る。

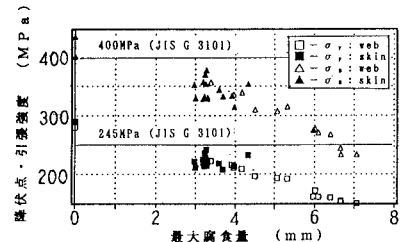


図5 降伏点・引張強度と最大腐食量の関係

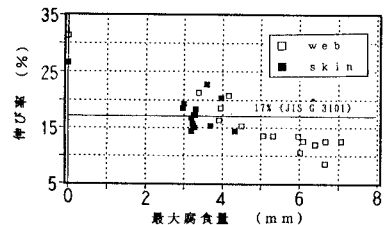


図6 伸び率と最大腐食量の関係

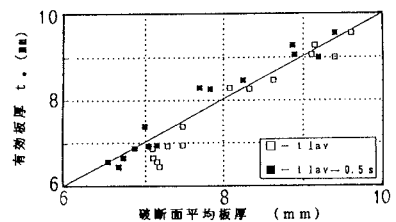


図7 有効板厚と破断面平均板厚の関係(ウェブプレート)

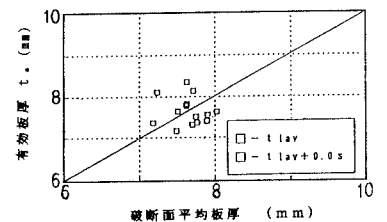


図8 有効板厚と破断面平均板厚の関係(スキンプレート)