

## 材料特性と残留応力を考慮した腐食鋼板の強度評価

広島大学大学院 学 石川 晋介 広島大学大学院 学 Patthamma Thongsin  
 広島大学大学院 正 藤井 堅 広島大学大学院 フェロー 中村 秀治

### 1. はじめに

鋼板は、製造過程において板表面と内部で冷却速度に差が生じることに起因して、板厚方向に材料特性が変化し、また板厚方向に残留応力分布が発生する。筆者ら<sup>1)</sup>は、これまでに極厚板について、そのような板厚方向の残留応力分布の存在を確認しており、また、降伏点についても、板厚方向に大きく異なり、板表面程高く、板内部では JIS<sup>2)</sup> による公称値を下回る部分があることを実験的に明らかにしている。

しかし、これらのことは、同様に圧延製造されているならば、薄い鋼板においても圧延製造されていれば起こりうることと推察される。また、上記のように、降伏応力が鋼板表面で高く内部で低い場合には、もしも腐食が起こると高い降伏点の部分が減肉するから、板全体の強度が大きく低下することが予想される。さらに、板内部の残留応力も腐食にともなって変化するはずであり、この変化が板全体の強度に影響することも考えられる。

そこで本研究では、まず種々の板厚の厚鋼板を対象として、板厚方向に分布する材料特性、残留応力を明らかにする。そして、それら板厚方向特性を考慮した鋼板が、腐食により板厚欠損を受けた場合の残存強度評価法について検討する

### 2. 厚鋼板の材料特性

板厚 98mmSM570 材、板厚 45mmSM490、板厚 22mmSM570 材の 3 種の鋼材を実験供試体とし、板厚方向の材料特性値の分布を把握するために、JIS5 号引張試験片を板厚方向に種々の異なる深さから採取して引張試験を行った。板厚 98mmSM570 材から得られた各試験片の応力 - ひずみ関係を図-1 に示す。図から、いずれの鋼材においても表面と内部で、強度が大きく異なることがわかる。図-2 に、各供試体から得られた各材料特性分布を示す。図から、表面ほど降伏応力は高く、内部ほど低く、JIS で規定されている強度の代表値である 1/4 の位置の強度に対しその強度を下回る部分があることが分かった。一方、伸びはその逆で、表面ほど低く、内部ほど高い結果が得られた。また、各供試体を比較すると、SM490 材よりも SM570 材の方が板表面と内部の材料特性の差が大きく、また、板厚が大きい鋼材の方が板表面と内部の材料特性の差が大きかった。

### 3. 厚鋼板の残留応力

残留応力測定試験には、逐次除去法を用いた。図-3 に板厚 98mmSM570 材から得られた残留応力分布を示す。いずれの試験体についても共通して、上下両表面で圧縮、中央付近で引張の残留応力が発生していた。板厚方向分布形状は、いずれも表面ほど残留応力の変化勾配は大きく板厚中央で極値となる放物線分布のような形状となっていた。また、各供試体を比較すると、SM490 材よりも SM570 材の方が大きな残留応力が発生しており、また、板厚が大きい鋼材の方が大きな残留応力が発生していた。

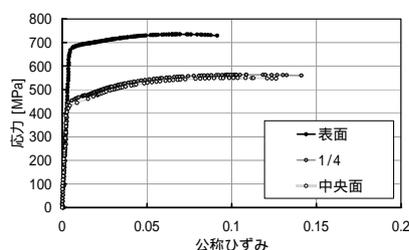


図-1 応力 - ひずみ曲線

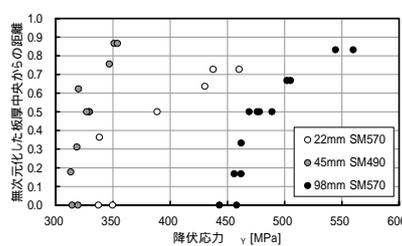


図-2 板厚方向残留応力分布

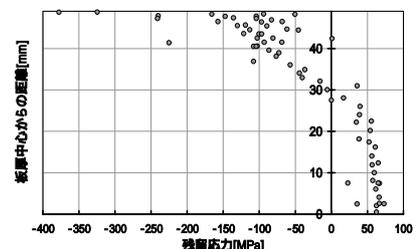


図-3 各材料特性の板厚方向分布

キーワード 厚板, 材料特性, 残留応力, 腐食, 耐荷力

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1 - 4 - 1, Phone & Fax.0824-24-7790

#### 4. 腐食による残留応力変化

実験から得られた板厚方向の残留応力分布を用いて、腐食に伴う残留応力の変化を、有限要素解析により解析的に明らかにした。解析モデルは、8 節点立体要素を用いて図-4 に示すような正方形板を作成し、対称性を考慮して、板幅方向に 1/4 の部分で行った。

図-5 に、98mmSM570 材を想定したモデルの均一腐食による残留応力分布の変化を板厚方向分布で示す。図から分かるように、均一腐食が進行するにつれて、分布形状は保ったまま残留応力が小さくなっていることが分かる。また、自己釣合いによる変形については、腐食面側への曲げ変形が、二方向の sin 半波形状で現れた。これは、表面付近の圧縮残留応力の開放により生じる変形である。

#### 5. 残留応力分布と材料特性分布が腐食による強度低下に与える影響

実験で得られた板厚方向に分布する残留応力と材料特性を考慮した引張、圧縮耐荷力解析を行った。解析モデルは図-4 と同様で。解析中の残留応力は、腐食による変化後の分布形状で導入されている。なお、解析モデルに与えた腐食表面は、藤井ら<sup>3)</sup>によって開発された経時劣化モデルを採用した。

図-6 には、98mmSM570 材を想定したモデルから得られた初期降伏荷重を、残留応力の有無について比較している。図より、引張荷重に対しては、残留応力の影響により初期降伏荷重が小さくなり、圧縮荷重に対しては、残留応力の影響により初期降伏荷重が大きくなる。また、この残留応力の影響は腐食に伴い小さくなる。しかし、最高荷重に対しては残留応力の影響は、ほとんどないことがわかった。また、板厚方向に材料特性が変化することによって、腐食によって板厚が減少する割合よりも、最高荷重が減少する割合の方が大きくなることがわかった。これは、腐食によって板表面の降伏応力が高い部分から、板厚損傷を受けるためである。

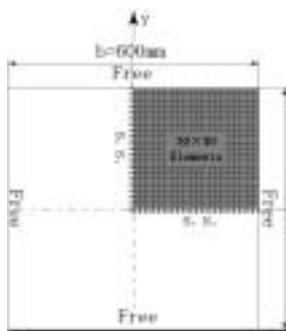


図-4 解析モデル

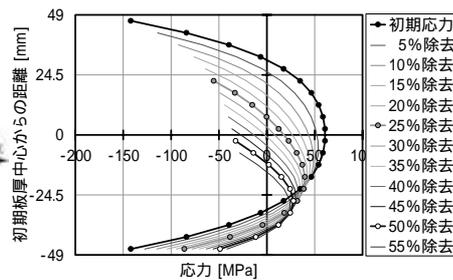


図-5 残留応力変化

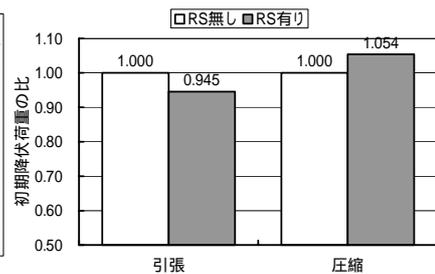


図-6 初期降伏荷重へ残留応力の影響

#### 6. 結論

本研究では、種々の板厚の厚鋼板について、板厚方向の材料特性の変化、残留応力分布を、実験的に明らかにした。また、実験から得られた残留応力分布を考慮した有限要素解析を行って、腐食による板厚減肉に伴う残留応力の変化を把握した。さらに、実験から得られた板厚方向の材料特性の変化を考慮することにより、それら厚鋼板の板厚方向特性が腐食による強度低下に及ぼす影響を明らかにした。

その結果、残留応力が腐食鋼板の強度へ与える影響としては、引張荷重作用下では初期降伏を早め、圧縮荷重作用下では初期降伏を遅らせることがわかった。また、残留応力の最高荷重への影響は、ほとんど見られなかったが、座屈荷重が最高荷重となるような場合、腐食による残留応力の開放によって生じた変形が初期たわみとなり、最大1%程度の強度低下を与えることが分かった。

材料特性分布が腐食した圧鋼板の終局強度に与える影響としては、厚鋼板は、表面の強度が比較的高いため、腐食により鋼材表面から板厚損傷を受けると、腐食量以上の強度低下（最大で腐食量の1.5倍の強度低下）が見られた。以上より、腐食による強度低下を残存板厚のみで判断することは危険であり、正確な材料特性を考慮した上での残存強度評価が必要である。

#### 参考文献

- 1) 石川晋介, 中茂泰則, 藤井堅, 山田浩二: 極厚板の材料特性と残留応力, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, 2003.10
- 2) 日本規格協会: JISハンドブック 1-2 鉄鋼, 大日本印刷株式会社, pp.33-39, 1998.
- 3) 山本治, 藤井堅, 海田辰将: 経時劣化を考慮した腐食表面作成モデルに関する一考察, 第56回土木学会中国支部研究発表会発表概要集