

腐食損傷を有する海洋鋼構造物の耐荷力とライフサイクルコストに関する一検討

京都大学大学院 学生会員 ○田村 功 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征 京都大学大学院 正会員 永田 和寿
 新日本製鐵（株）正会員 山本 正弘

1. 研究背景ならびに研究内容

現在、高度成長期に大量に建設された構造物の老朽化が進んでおり、様々な損傷事例が報告されるようになるにつれ構造物の維持管理が極めて重要な課題として認識されるようになった。特に海洋環境では鋼材の腐食速度が大きいと、海洋鋼構造物は陸上にある鋼構造物に比べ腐食に対する防御策がより重要となってくる。

そこで本研究では、実際に海洋に曝露された鋼材から得られた腐食データを用いて有限変位解析を行い、腐食前と腐食後における鋼材の力学的性能の変化を検討した。また、解析を行ったものと同じ鋼材を対象として劣化予想曲線を仮定するとともに、ライフサイクルを 100 年に設定していくつかの防食法におけるライフサイクルコスト(LCC)を算出し、費用の面からの防食法についても検討を行った。

2. 海洋で暴露された鋼材の力学的性能の検討

北九州（八幡製鐵所構内）で 24 年間曝露され腐食損傷を有する鋼 H 型部材（フランジ板幅 350mm、フランジ板厚 19mm、ウェブ板高 350mm、ウェブ板厚 12mm、長さ 9m）から観測された板厚分布をもとに、長さ方向に板厚を変化させた両端単純支持の部材に対する下記の解析ケースを設定した。観測された板厚の分布を Fig. 1 に示す。引張耐荷力・変形能の検討として、公称寸法を有する場合（Case1）、観測された腐食を有する場合（Case2）、圧縮耐荷力・変形能の検討として、公称寸法を有する場合（Case3）、観測された腐食を有する場合（Case4）、上部の著しい腐食部位 3m の位置を部材中央に移動させた場合（Case5）、腐食による板厚の減少を片側からのみとした場合（Case6）を設定した。

なお、材料特性としては弾性係数 $E=21,000\text{kgf/mm}^2$ 、降伏応力 $\sigma_y=24\text{kgf/mm}^2$ 、塑性係数 $E_p=21\text{kgf/mm}^2$ （弾性係数の 1000 分の 1）のバイリニア型とした。弾塑性有限変位解析には、汎用有限要素解析コード ABAQUS（Ver5.8）を用い、4 節点シェル要素により部材をモデル化するとともに、ミーゼスの降伏関数および等方硬化則を用いて解析を行った。初期変形・残留応力等の初期不整は考慮していない。

解析結果を Fig. 2、Fig. 3 に示す。この結果から、平均板厚は同じでも損傷箇所や板の図心面に対する板厚減少の非対称性の違いにより、耐荷力・変形能とも差が出てくることが明らかとなった。今後は腐食が部材ならびに構造物に与える影響をより詳細に調査する必要がある。

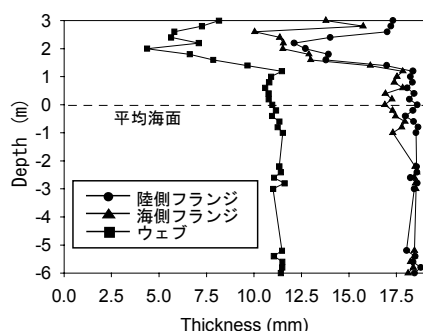


Fig. 1 観測された板厚の鉛直分布

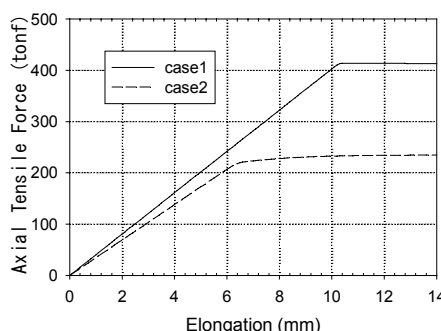


Fig. 2 引張荷重下での荷重-変形関係

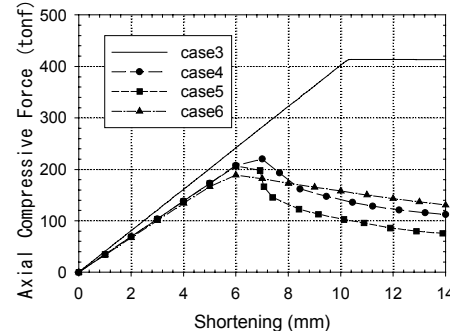


Fig. 3 圧縮荷重下での荷重-変形関係

3. 劣化予想曲線と LCC

本研究では 2 章で解析を行った鋼 H 型部材を対象として、観測された最小断面積の位置における腐食速度に着キーワード 海洋鋼構造物、防食法、耐荷力、ライフサイクルコスト

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5079

目して、横軸に経過年数、縦軸の性能評価として各経過年数における鋼材の引張降伏荷重をとり LCC の評価を行った。ライフサイクルは 100 年に設定し、裸鋼材を用いる場合、ポリウレタン樹脂、フッ素樹脂で塗装する場合、チタンで被覆する場合に分けて比較した。ここで、裸鋼材の腐食速度は 24 年間の腐食量を平均して一定であると仮定した。また、塗装した場合の腐食速度は耐久年数を経たときの腐食速度が裸鋼材の腐食速度となるように、裸鋼材の腐食速度を耐久年数で割り、1 年毎に（裸鋼材の腐食速度）/（耐久年数）だけ速度が増すように設定した。ポリウレタン樹脂の耐久年数は 20 年、フッ素樹脂は 30 年、チタンは 100 年に設定した。健全な鋼材の降伏荷重の 1/1.7 を限界値とし、その時点で補修をやめ更新することとする。今回用いた鋼材の健全な状態の引張降伏荷重は 420tonf であるので、限界値は 247tonf である。

塗装する場合においては補修する時期を以下のように 8 パターンに分けて検討を行った。裸鋼材を用いて何も防食を施さない場合（Case1）、ポリウレタン樹脂を用いる場合については、初期、20 年後、40 年後に塗装を施す場合（Case2）、10 年後、30 年後、50 年後に塗装を施す場合（Case3）、フッ素樹脂を用いる場合については、初期と 30 年後に塗装する場合（Case4）、初期、20 年後、40 年後、60 年後に塗装する場合（Case5）、初期、10 年後、30 年後、50 年後、70 年後に塗装する場合（Case6）、初期、10 年後、40 年後に塗装する場合（Case7）、チタンで被覆する場合（Case8）である。これらをまとめた劣化予想曲線を Fig. 4 に示す。

次に、鋼材の施工費を含めた費用を 700,000 円/t、ポリウレタン樹脂は単位面積当たり初期費用が 7,200 円/m²、塗り替え費用が 5,000 円/m²、フッ素樹脂の初期費用が 7,400 円/m²、塗り替え費用が 5,300 円/m²、チタンの費用を 100,000 円/m²とした。これらのデータは民間の企業からヒアリングおよび既往の文献²⁾を調査したものである。ここで、鋼材の表面積は 19.403m²、重量は 1.215t である。

以上の設定のもとで算出した経過年数と費用との関係を Fig. 5 に示す。100 年を経た後の LCC の合計金額は、Case1 は 4,253（千円）、Case2 は 3,359（千円）、Case3 は 2,465（千円）、Case4 は 2,194（千円）、Case5 は 2,400（千円）、Case6 は 2,502（千円）、Case7 は 2,400（千円）、Case8 は 2,791（千円）となった。以上の結果から、今回検討したパターンの中では、Case4 が最も LCC を低減できた。今回の行った検討により、LCC を低減するためにはそれぞれの防食法において計画的な塗り替え年数を考慮する必要があることが分かった。

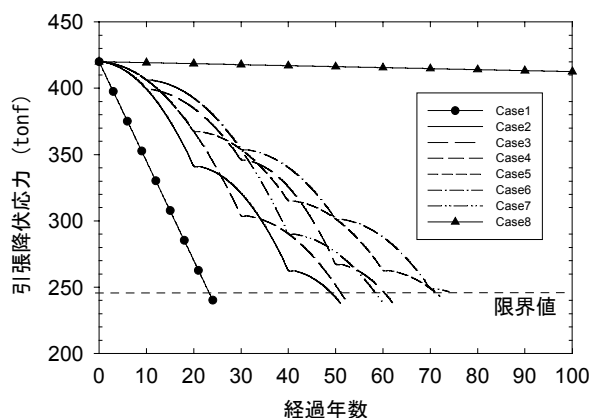


Fig. 4 劣化予想曲線

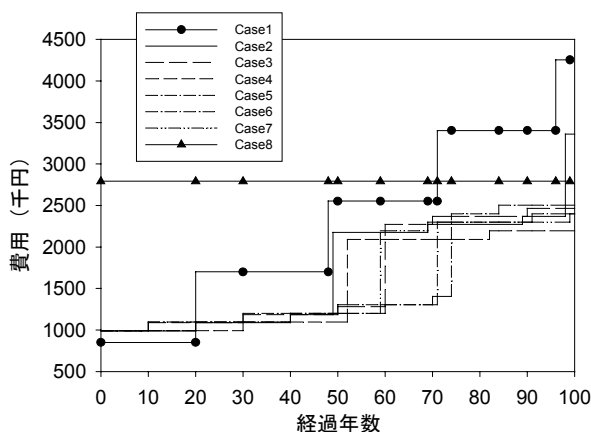


Fig. 5 経過年数と費用の関係

4. 結論および今後の課題

本研究では、腐食損傷を有する鋼構造物の耐荷力・変形能の評価を行うとともに、劣化予想曲線を仮定してライフサイクルを 100 年に設定した費用を算出し、費用の面からいくつかの腐食法について検討を行った。今後の課題としては、ライフサイクルコストにおける性能評価の基準を確立するとともに、耐荷力に関するデータの蓄積を行い、海洋鋼構造物の合理的な防食法を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人 土木学会編：土木学会第 47 回年次学術講演会講演概要集第 5 部、pp.398-399、1992 年 9 月
- 2) 社団法人 日本鋼構造協会：鋼橋塗装の LCC 低減のために、2002 年 8 月