

腐食による残留応力変化を考慮したプレートガーダーの曲げ耐荷力評価法

広島大学大学院 学生会員 松下陽三
 広島大学大学院 フェロー会員 中村秀治
 広島大学大学院 正会員 藤井堅

1. はじめに

近年、我が国では、昭和30年代の高度経済成長期に架設された多数の橋梁の供用年数が40～50年を超えるようになってきており、これに対応して、腐食、疲労による損傷事例が数多く報告されるようになってきた。維持・管理の重要性に対する認識が高まる中で、鋼道路橋で損傷を理由に架け替えられたもののうち、約30%が腐食に起因するとの報告があるにもかかわらず、腐食に対する強度判定方法や、補修すべきかどうかの判定基準などは、目視によるものがほとんどで、力学的根拠に基づく強度評価はなされていないことが多いのが現状である。実際の現場では、腐食状況を計測し、その結果から残存耐力を推定し、構造物が健全であるかどうかの判断基準の確立が強く求められている。

以上のことから、腐食損傷を有した構造物の補修・補強の要否の判断、架け替えを経済的かつ合理的に行うために、腐食した構造物の残存耐荷力評価法の確立は重要課題であることが分かる。そこで、本研究では、腐食したプレートガーダーの曲げ耐荷力評価法を検討する。

2. プレートガーダーの腐食パターンの分類

海田ら¹⁾が腐食したプレートガーダーの曲げ強度実験を行った際に行った腐食表面形状計測結果を用いて、板厚の減少する様子を観察し、実橋において生じている腐食を数種類の腐食パターンに分類した。プレートガーダーは、高知県穴内川河口において102年間供用された6径間単純支持プレートガーダー橋（総リベット接合）の一部であり、著しい腐食を有するものである。計測結果からフランジの腐食パターンを、図-1に示す3パターンに分類した。どの腐食パターンも溶接ラインを挟んで左右に等しく腐食し、橋軸方向には一様に腐食するものとする。なお、ウェブの腐食はフランジに比べ小さいかったため本研究では考慮しないことにした。

3. 腐食によるフランジの残留応力変化

図-2に示すように、溶接されたプレートガーダーのフランジは、橋軸方向の残留応力を有しており、その応力は橋軸方向に自己釣り合いをしている。しかし、腐食によりフランジの断面が減少し変化したときには、その自己釣り合いはくずれ、再度自己釣り合いを行うために新しい残留応力分布に変化するはずである。ここでは、図-1で示した3種類の腐食パターンに対して、フランジの残留応力がどのように変化するかを解析的に明らかにした。解析は8節点の立体要素を用いて有限要素解析を行った。モデルの対称性を考慮して、図-3に示すようにフランジの1/4で、板厚は22mm、35mmのふたつのモデルで解析を行った。残留応力は、

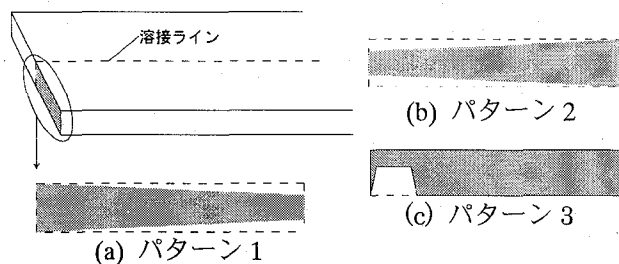


図-1 フランジの腐食パターン

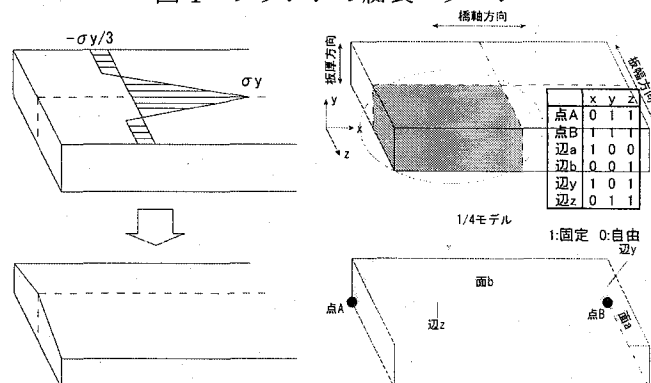


図-2 残留応力変化

図-3 フランジ 1/4 モデル

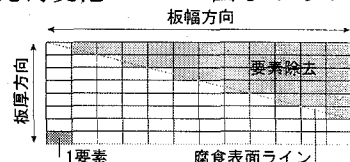


図-4 要素除去による腐食の導入

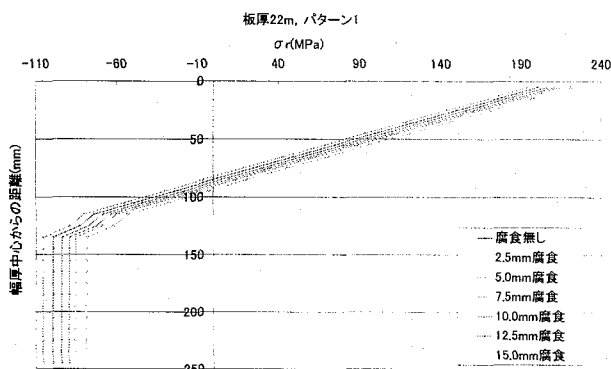


図-5 腐食による残留応力分布の変化

図-2に示した形で各要素に与えた。降伏応力は $\sigma_y=235.2(\text{MPa})$ で与えた。本解析において、腐食は図-4に示すように、影をつけた立体要素を除去することで、3種類の腐食パターンによる断面欠損を表現した。要素除去後、フランジ中央の要素から橋軸方向応力を取り出し、変化した残留応力を調べた。図-5は板厚22mmでパターン1腐食のとき、先細りしている先端を15mmまで腐食させたときの解析結果であり、残留応力が圧縮側に移動しているのが分かる。こうして得られた残留応力を用いて、次の曲げ強度解析を行った。

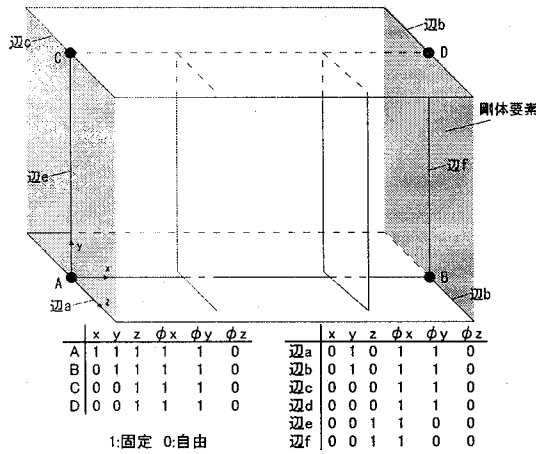


図-6 解析モデルと境界条件

4. 腐食したプレートガーダーの曲げ強度解析

図-6 に本解析モデルとその境界条件を示す。フランジ幅 $b_f=500\text{mm}$ ，桁高 $h=1760\text{mm}$ ，桁長さ $L=2020\text{mm}$ ，ウェブ板厚 $t_w=16\text{mm}$ ，中央ウェブパネルの長さ $L_w=940\text{mm}$ である。垂直補剛材を片側にのみ 2 本配置しており，その高さ，幅，板厚はそれぞれ， $h_s=1710\text{mm}$ ， $b_s=210\text{mm}$ ， $t_s=16\text{mm}$ である。フランジ板厚は $t_f=22\text{mm}$ ， 35mm の 2 種類のモデルを用意した。垂直補剛材に挟まれたウェブの中央パネルは 10 ミリメッシュで要素分割を行い，左右のウェブパネルは台形要素を用いて 80 ミリメッシュまで要素分割を粗くした。フランジは中央部分を 10 ミリメッシュで要素分割を行い，左右部分の要素は橋軸方向にのみ 80 ミリまで粗くし，幅厚方向には 10 ミリ間隔のまま要素分割を行った。これは，幅厚方向に変化する残留応力を精度良くモデルに導入するためである。また，垂直補剛材は全て 10 ミリメッシュで要素分割を行った。鋼材の材料定数は，降伏応力 $\sigma_y=235.2(\text{MPa})$ ，弾性係数 $E=205800(\text{N/mm}^2)$ ，ポアソン比 $\nu=0.30$ で，降伏後の弾性係数は $E'=E/250(\text{N/mm}^2)$ で与えた。降伏の判定には Mises の降伏条件を用いた。また，中央のウェブパネルの初期変位を式(1)のやせ馬型の変位で与えた。変位は垂直補剛材設置側に凸になるように与えた。

$$w_0 = w_{0\max} \sin\left(\frac{\pi x}{L_w}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{h}\right), \quad w_{0\max} = h/250 \quad (1)$$

荷重は，曲げによる x 軸方向応力を等価節点力に置き換え，軸力を辺 e, f 上の節点に節点荷重として与えることで純曲げとした。なお，桁の両端には剛体要素を取り付けてある。

図-14 に，終局限界状態における変形と相当応力を示す。変形は 20 倍してあり，応力には Mises 応力を用いている。(a),(b)ともに，残留応力も腐食も無い状態での解析結果である。板厚 22mm モデルでは，圧縮フランジがねじれ座屈のような形で座屈を起こし終局を迎えた。一方，板厚 35mm モデルでは，板厚が大きくなったことにより圧縮フランジのねじれ座屈は起こらず，垂直座屈のような座屈形式が見られた。そこで，板厚 22mm モデルについては，Basler²⁾のねじれ座屈が生じる場合の曲げ耐荷力評価式を，板厚 35mm モデルについ

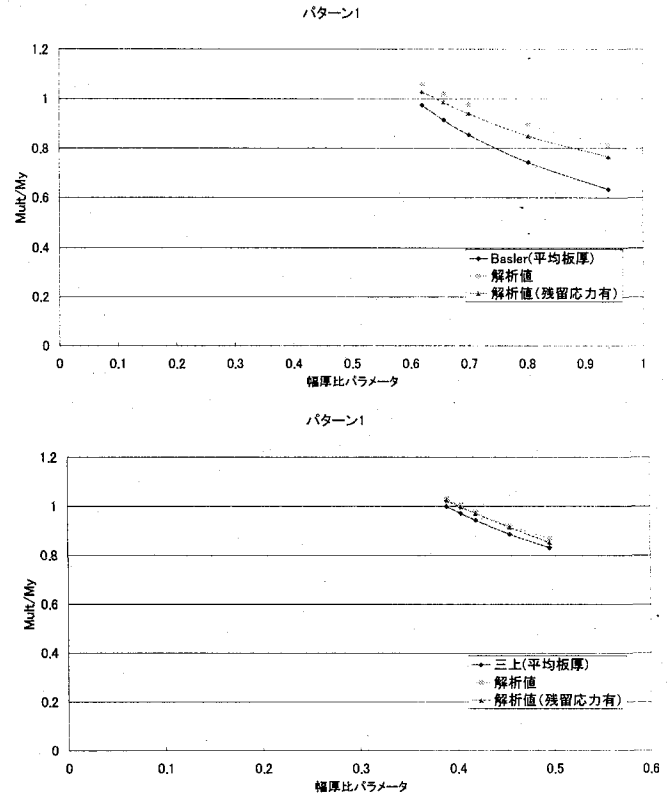


図-7 平均板厚を用いた強度評価

ては，三上³⁾の垂直座屈が生じる場合の曲げ耐荷力評価式を使って解析値との比較を行った。このとき，腐食したフランジの代表板厚として平均板厚を用いた。図-7 にパターン 1 腐食のときの比較結果を示す。どちらのモデルでも，平均板厚を用いて安全側に強度評価できていることが分かる。また，他の腐食パターンについても同様に強度評価が可能であった。

5. 結論

図-1 に示した 3 種類の腐食パターンに対して，腐食による残留応力変化の様子を明らかにした。得られた変化後の残留応力分布を使って腐食したプレートガーダーの曲げ強度解析を行った。フランジの平均板厚を用いて Basler, 三上の評価式を使い曲げ耐荷力を計算し，解析値と比較した結果，平均板厚を用いることで評価式は腐食したプレートガーダーの曲げ耐荷力を安全側に評価できることを示した。

参考文献

- 1) 海田辰将，藤井堅，宮下雅史，上野谷実，中村秀治：腐食したプレートガーダーの残存曲げ強度に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.51A，2005。
- 2) Basler, K. and Thurlimann, B.: STRENGTH OF PLATE GIRDERS IN BENDING, Proc. of ASCE, Vol.87, No.ST6, pp.153-181, Aug., 1961.
- 3) 三上市蔵，木村泰三，徳田浩一：プレートガーダーのフランジ垂直座屈強度の算定法，構造工学論文集，Vol.36A，1990。