

腐食した鋼板の圧縮耐荷力評価方法に関する研究

西日本高速道路 正会員 藤井 雄介, 高速道路総研 正会員 原田 拓也
東日本旅客鉄道 正会員 小林 亮司, 日立造船 正会員 〇大庭 拓也
JFE エンジニアリング 正会員 中村 俊文, 宮地エンジニアリング 村井 向一
横河ブリッジ 蔭山 裕太, 三井共同コンサル 別所 和希
前橋工科大学 正会員 谷口 望

1. はじめに

橋梁の維持管理では定期点検の判定などマニュアル化等により効率化が図られている。しかし、定期点検における変状に対する性能評価は、定性的な評価が一般的であり、特に道路橋においては、詳細調査や対策の要否は技術者の技量によるところが大きい。また、詳細調査や対策を実施する場合は、更に膨大な時間と費用を要することとなる。ここでは、劣化・損傷のうち腐食に着目し、既往の耐荷力評価式を整理し、腐食形状（腐食モデル）が耐荷力評価にどのような影響を与えるか試算を行うことで、簡易調査によって定量的に対策の要否を判定できる方法の可能性について検証を行った。

2. 圧縮耐荷力評価式の整理

腐食が生じた圧縮部材の耐荷力の評価方法について、表-1 に示すいくつかの提案がなされている^{1)~3)}。評価式 No.2 では、腐食形状が耐荷力に影響を及ぼすパラメータとして、有効板厚に標準偏差 σ_t と平均残存板厚 t_{avg} を考慮した代表板厚 $t_R = t_{avg} + 2\sigma_t$ を用いるとともに、腐食による板の偏心量の変化を表す平均偏心量 e_{avg} を考慮した座屈強度曲線を用いて圧縮強度を評価している。腐食形状が耐荷力に与える影響として、有効板厚に計測結果（最小板厚、平均板厚、その標準偏差等）を考慮して評価する式は多いが、板の偏心に着目して強度評価をするものは少ない。

ここでは、腐食形状を変化させたモデルを用いて、評価式 No.2 の偏心を考慮した座屈強度曲線から耐荷力を試算し、腐食形状（腐食モデル）による偏心量の変化が耐荷力に与える影響について検証を行う。また、この偏心量の考慮方法が、その他の提案式から求めた有効板厚にも適用可能かについても検証を行う。

表-1 代表的な板厚評価式

No	有効板厚	耐力評価法	備考
1	$t_e = t_{min,ave}$ $t_{min,ave}$: 最小平均板厚	$R = b/t \cdot \sqrt{(\sigma_y/E)} \cdot \sqrt{(12(1-\nu)/\pi^2 k)}$ R: 幅厚比パラメータ, b: 板幅, t: 板厚, σ_y : 降伏応力, E: ヤング率, ν : ポアソン比, k: 座屈係数(自由突出板の場合 k=0.43, 両端支持板の場合 k=4)	—
2 ¹⁾	代表板厚: $t_R = t_{avg} + 2\sigma_t$ t_{avg} : 平均残存板厚, σ_t : 板厚の標準偏差	代表板厚から算出した幅厚比パラメータ R を、平均偏心量 と平均板厚の比 e_{avg}/t_{avg} を考慮した座屈耐荷力曲線に適用	自由突出板
3 ²⁾	代表板厚: $t_{est} = \alpha \cdot \beta_1 \cdot t_1 + (1-\alpha) \cdot \beta_2 \cdot t_2$ α : 側辺部分と中央部分の境界を定義する 係数, t_1 : 側辺部分の平均板厚, t_2 : 中 央部分の平均板厚, β_1 : 側辺部分の重み, β_2 : 中央部分の重み	推定板厚から求めた幅厚比パラメータ R を、既存の座屈強 度曲線(道路橋示方書, 弾性座屈曲線, Karman 式, 三上式, 宇佐美らの実験式)に適用	両端支持板
4 ³⁾	等価板厚: $t_{eq} = (\sum t_i \cdot w_i(x_i, y_i)) / n$ (x_i, y_i): 任意の計測点 i の座標, t_i : 任意 の計測点の板厚, w_i : 位置による重み関数	推定板厚から求めた幅厚比パラメータ R を以下の圧縮強度 曲線により評価 $\sigma_u / \sigma_y = 1.0 (R \leq 0.453), = (0.453/R)^{0.495} (R > 0.453)$	両端支持板

3. 圧縮耐荷力評価式の試算

(1) 想定腐食モデル

腐食モデルは、構造諸元を 1-PL 360×14×360 (SM490YA) の鋼板と仮定し、1mm メッシュの中に板厚情報を与えることで、腐食による減厚量を再現した。各メッシュに与える情報は、以下の 3 パターンとし、モデルを作成した。

(Ⅰ) 1~14mm までの乱数を不規則に発生させたモデル。(Ⅱ) 鋼板中央部を頂点に、橋軸直角方向の腐食量が山
キーワード 橋梁点検, 劣化診断, 耐荷力評価

連絡先 〒559-8559 大阪市住之江区南港北 1 丁目 7 番 89 号 日立造船(株) TEL06-6569-0261

なりに変化（下フランジの腐食を想定）するように、乱数の発生範囲を調整したモデル．（Ⅲ）I 桁下フランジに生じた、実際の腐食形状を参考にしたモデル．腐食形状は、より現実的なものにするため、既往の研究より、腐食深さが正規分布に従い変化するように再現した．

（２）試算結果

各腐食モデルに対して、まず各文献の提案式で求めた有効板厚を用いて幅厚比パラメータ R を算出し、算出した R に No.2 の偏心を考慮した場合の座屈耐荷力曲線を用いて σ_u/σ_y を求める．求めた σ_u/σ_y に平均板厚 t_{avg} と板幅（360mm）を乗じて強度換算した結果を比較することで、偏心の効果を検証すると共に、No.1,3,4 の有効板厚においても偏心の効果を考慮可能か検証する．算出結果を図-1 に示す．図中のプロットは、長手方向（橋軸方向）1mm ピッチの断面毎に板厚を試算した結果の平均値を示しており、全幅 360mm の中央部（下フランジ中央のウェブ部分）を境に 180mm ずつに分割した片側の結果（自由突出板としての検証結果）を記載している．

結果より、No.2 に着目した場合、全てのモデルにおいて偏心量を考慮した方が考慮しない場合に比べて圧縮耐荷力が下がる結果となった．これより、No.2 の有効板厚を用いることで偏心を考慮した圧縮耐荷力をモデル毎に評価できていることがわかる．一方で、No.1,3,4 については、モデルⅠ、Ⅱでは偏心を考慮することで圧縮耐荷力の低減が確認できたが、モデルⅢでは残存板厚の厚い範囲において、偏心を考慮した場合よりも考慮しない場合の方が圧縮強度が大きくなる結果となった．これは、特に No.3,4 の有効板厚の提案式では、計測位置ごとに重み係数を乗じており、この有効板厚に No.2 の座屈耐荷力曲線を用いることで、腐食が少ない場合は母材厚以上の板厚で圧縮耐荷力を評価してしまう可能性があるためと考えられる．これより、No.2 の座屈耐荷力曲線を No.2 以外の式に適用することは難しく、偏心量の扱いは、式ごとに考える必要があるといえる．また、No.2 の評価式は、偏心を考慮しない場合には、それ以外で取り上げている他の式に比べ、耐荷力を大きく評価しており、他の式も腐食のある供試体に対して実験等の結果に基づき提案されているものであると考えると、今回の検討では、腐食形状（凹凸）の影響を大きく評価している可能性がある．

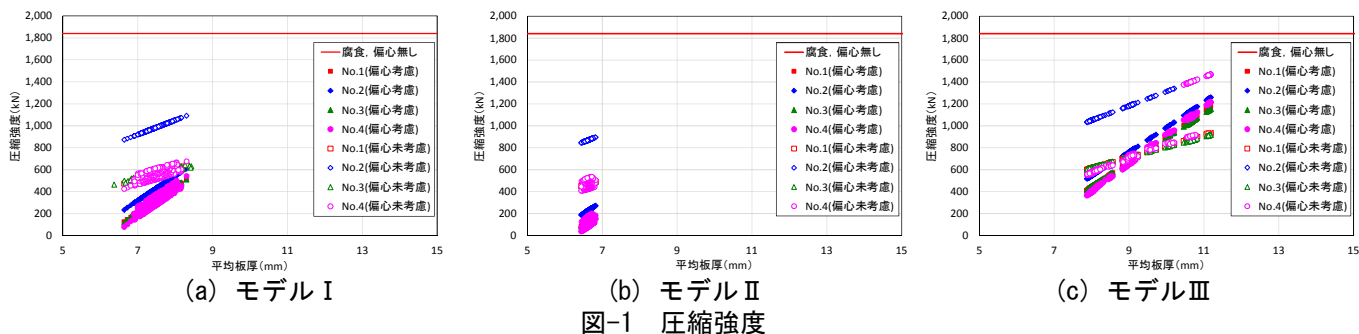


図-1 圧縮強度

4. まとめ

今回の試算結果では、No.1～4 の有効板厚を用いて算出した圧縮耐荷力を比較することで、偏心が圧縮耐荷力に与える影響を確認した．偏心を考慮した代表板厚を文献 No.2 以外の式に適用することは難しいと考えられる．

ただし、実務においては、腐食が進行した板厚の薄い部分を抽出して有効板厚を算出することで、偏心を考慮した安全側の耐荷力評価を与えることが可能であると考えられる．引き続き腐食ケースを増やし、計測点を変化させて比較検討することで精度を高め、各腐食状況に応じた合理的な調査及び評価手法を検討していく予定である．

本研究は、鋼橋技術研究会 鋼橋の劣化機構検討部会（部会長：ものづくり大学・大垣賀津雄）WG1 の活動内容であり、関係各位からご指導いただきましたことを感謝いたします．

参考文献

- 1) 海田辰将, 藤井堅, 中村秀治: 腐食したフランジの簡易な圧縮強度評価法, 土木学会論文集, No.766/I-68, pp.59-71, 2004
- 2) 杉浦邦征, 田村功, 渡邊栄一, 伊藤義人, 野上邦栄, 永田和寿: 腐食鋼板の圧縮強度の簡易評価法に関する検討, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.1, 676, pp.43-55, 2007.1
- 3) 奈良敬, 井上尚也, 松永光示, 竹内正一: 腐食した圧縮補剛材の終局強度評価法, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.61-67, 2009.3