

鋼橋りょう腹板の局所的な孔食付近の発生応力に関する検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○岡澤 亮太
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 吉倉 智宏

1. はじめに

鋼橋りょうの代表的な損傷として腐食があり、一般的には定期的な塗替塗装により予防保全を実施している。しかし、腐食環境下にある高経年橋りょう等では腐食により徐々に桁の断面積が減少している場合があり、特に支点部は環境によらず腐食発生事例が多い。支点部付近で発生する腐食の中でも、図1のように腹板下端部で発生する事例に対しては、実験的・解析的研究²⁾が行われており、腐食が桁に与える影響が明らかになってきている。一方、実際に供用されている橋りょうの中には、図2のように腹板の中間高さで局所的に孔食が発生している事例も存在するが、それらの健全度を定量的に評価した研究事例は少ない。本稿では、支点部腹板に局所的な孔食を有する鉄道鋼橋りょうにおいて、3通りの手法で孔食付近の発生応力を評価し、孔食が桁の健全度に与える影響を検討した。さらに、孔食の位置や規模が発生応力に与える影響について解析的検討を行った。

2. 対象橋りょう

今回、検討の対象としたのは図2の孔食を有する橋りょうであり、外観を図3に、諸元を表1に示す。当該橋りょうは日本海岸線から約160m離れた位置にあり、厳しい塩分環境下にあること等から、塗替塗装後に早期の塗膜劣化や腐食を繰り返している。

3. 発生応力の評価方法

支点部腹板の孔食付近に発生する応力の評価方法として、(1)ひずみゲージによる測定、(2)断面計算による算出、(3)有限要素法(FEM)解析による算出の3通りを試みた。(1)ひずみゲージ測定は、図4に示すように支点部腹板の孔食付近に3軸ゲージを貼付け、ロゼット解析により最大せん断応力 τ を求めた。なお、ゲージ貼付け位置は、事前の解析的検討により、発生応力が最大となる孔食の右下側とした。(2)断面計算は、図5のように残存断面積を評価し、理論上の最大発生せん断力を残存断面積で除することにより、せん断応力 τ を算出した。(3)有限要素法解析は、汎用ソフトウェア FEMLEEG を用い、孔食部を考慮した主桁の形状をシェル要素(メッシュ 10×10mm)により図6のようにモデル化し、実列車に合わせた大きさ・軸配置の荷重を与え、着目箇所における最大せん断応力 τ を算出した。

4. 発生応力の測定値・算出値

表2に(1)～(3)の3通りにより求めたせん断応力 τ を示す。有限要素法で若干大きく評価されたものの、いずれの方法においても実列車荷重による発生応力は約 20N/mm²程度で、保守限度と比べて十分に小さい値である。また、現在の最大入線荷重 EA-15、最大入線速度 85km/h に比例換算した値でも列車の走行に問題が無いことが確認できた。

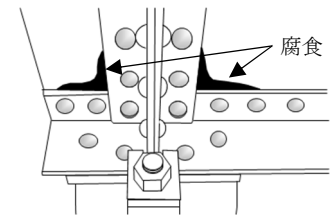


図1 腹板下端部の腐食



図2 腹板中間高さでの局所的な孔食



図3 対象橋りょう外観

表1 対象橋りょう諸元

桁形式	上路板桁
制作年月	1932年(昭和7年)10月
支間	12.9(m)×2(連)
図面番号	では212
設計荷重	KS-12
線区最大速度	85(km/h)

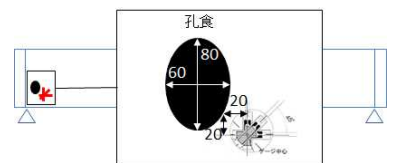


図4 ゲージ貼付け位置

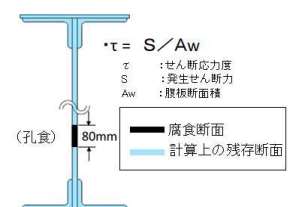


図5 断面計算による算出方法

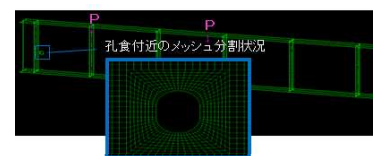


図6 有限要素法による解析モデル

キーワード 孔食, 発生応力, ひずみゲージ, 断面計算, 有限要素法

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 JR 新宿ビル4階 構造技術センター

TEL03-6276-1251

また、(3)有限要素法で算出した孔食周りの τ の分布は図7のようになった。(1)と(3)の手法を比較すると、ひずみゲージは測定値の信頼性は高いが、孔食の間隙ではゲージ貼付け前にケレン作業を実施するのが難しく、測定位置がピーク箇所から離れる場合があることが課題である。(2)と(3)の手法を比較すると、断面計算は最も簡易に算出できる手法ではあるが、断面における平均的な値となるため、有限要素法のように応力の集中度合いを再現できないことが課題である。一方、有限要素法解析は実績が多く信頼性が高いが、実務上、多くの労力を要することが課題である。

5. 支点部孔食の位置・規模の影響

腹板の孔食は実橋りょうでは様々な位置で確認されているため、今回作成した有限要素法解析モデルを用い、表3のように孔食の位置や規模を変化させて孔食周りの発生応力に与える影響を検討した。なお、事前に同モデルで算出した主応力の大きさ及び方向が、ひずみゲージで測定したものを良好に再現できていることを確認している(図8)。

Case0 は実際の孔食を模したモデルであり、着目箇所の発生応力は 59.5 N/mm² という算出結果となった。Case1 が孔食規模(楕円の長軸、短軸)を2倍にしたモデルであり、発生応力が Case0 と比べて15%ほど増加した。Case2 は支点と載荷点を結ぶ対角線上に力の流れがあると考え、孔を赤い点線の位置まで平行移動させたモデルであるが、Case0 と比べて発生応力は若干小さくなった。Case3 が支点近傍に同規模の孔が空いているモデルであり、Case0 と比べて発生応力が43%ほど増加する値となった。ここで算出した主応力に対しては以下の補剛材間隔換算式³⁾により発生応力の大きさを評価した。

$$\left(\frac{D}{100t}\right)^4 \left\{ \left(\frac{\sigma}{3250}\right)^2 + \left[\frac{\tau}{540 + 720(D/d)^2}\right]^2 \right\} \leq 1$$

D: 腹板高さ(cm)
t: 腹板厚さ(cm)
d: 補剛材間隔(cm)

表3の結果より、Case3で設計荷重に換算した場合のみ換算式を満足できない結果となった。腹板に発生した孔食は位置や規模により孔周辺の発生応力が変化するが、孔食の規模よりも位置が支配的な要素であると考えられる。

表3 孔食の位置・規模による発生応力の影響

	Case0(現状)	Case1(大孔)	Case2(対角線上)	Case3(支点近傍)
σ_{min} (実列車)	59.5 (N/mm ²)	68.6 (N/mm ²)	53.6 (N/mm ²)	85.4 (N/mm ²)
σ_{min} (設計荷重)	112.0 (N/mm ²)	129.0 (N/mm ²)	100.8 (N/mm ²)	160.5 (N/mm ²)
換算式(実列車)	0.20 ≤ 1	0.26 ≤ 1	0.17 ≤ 1	0.39 ≤ 1
換算式(設計荷重)	0.57 ≤ 1	0.77 ≤ 1	0.47 ≤ 1	1.16 > 1

6. まとめ

支点部腹板にある局所的な孔食付近の発生応力について3通りの手法で評価した結果、いずれの手法でも列車走行に問題が無いことが確認できた。また、3通りの評価手法に対する実務上の課題を整理した。さらに、解析的検討により、孔食の位置や規模により孔周辺の応力集中度合いが変化するが、孔食の規模よりも位置が支配的な要素であることが推測できた。

参考文献

- 岡澤亮太, 加藤健二: J R 東日本管内における鋼桁の腐食に関する一考察, 土木学会年次学術講演会, 2016.
- 臼倉誠, 宮下剛, 佐々木栄一, 三ツ木幸子, 山崎努, 杉山俊幸: 腐食損傷を有する鋼 I 桁端部の耐力推定方法に関する一検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 73, No. 3, 560-578, 2017.
- 日本国有鉄道: 建造物設計標準解説 (鋼鉄道橋・鋼とコンクリートの合成鉄道橋), 1983

表2 せん断応力の算出結果比較

	(1)ひずみゲージ	(2)断面計算	(3)有限要素法
τ (実列車)	17.1 (N/mm ²)	17.1 (N/mm ²)	23.4 (N/mm ²)
τ (設計荷重換算)	32.5 (N/mm ²)	32.5 (N/mm ²)	45.0 (N/mm ²)
τ_m (保守限度度)	101 (N/mm ²)	101 (N/mm ²)	101 (N/mm ²)

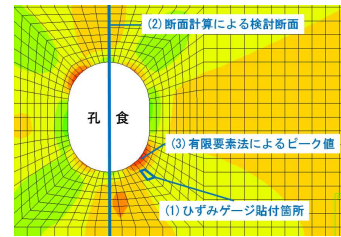


図7 有限要素法によるせん断応力分布

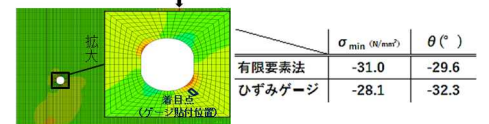


図8 着目点における主応力 σ_{min} 比較