

孔食に伴うはり部材の残存耐荷性能について

西日本旅客鉄道(株) 正会員 山名和枝
 東京都立大学大学院 正会員 野上邦栄
 東京都立大学大学院 正会員 山沢哲也

1. はじめに

現在、高度経済成長期に建設された構造物の多くが経年劣化という重大な問題に直面している。橋梁においても、長期間供用しているものが多く、これからさき、老朽橋はますます増加する状況にある¹⁾。このような老朽橋の維持管理をする上では、疲労とともに腐食による劣化・損傷評価が重要になる。鋼部材が腐食し、部材断面が欠損すると強度や剛性が低下し、構造物の保有性能が低下する。腐食した構造物および部材が健全であるには、その保有性能つまり残存耐荷性能が、要求性能を上回っているかどうかを評価する必要がある。しかし、現在その性能を適切に評価するシステムは確立していない。

本研究では既設鋼構造物の構成部材に着目し、具体的には圧延I型断面を有するはり部材を取り上げる²⁾。この部材に腐食（孔食）が生じたときの弾塑性挙動および残存耐荷力を把握し、耐力の低下に影響を及ぼすパラメータ因子を解析的に明らかにするとともに、その耐荷力評価式の提案を行なう。

2. 有限要素モデル

解析モデルは、図-1のような圧延I型断面を有する両端支持されたはり部材であり、部材長 $L=10, 20, 30, 40, 50\text{m}$ をパラメータにしている。荷重は、図-2のように上フランジ全長に等分布荷重 q を載荷し、面内問題とするため、面外変位（ y 軸方向変位）は拘束した。鋼材は SM490Y であり、Von-Mises の降伏条件を適用し、材料特性は弾性域の $1/100$ のひずみ硬化係数からなるバイリニア型とした。残留応力は圧延型直線分布 $\sigma_{rt} = \sigma_{rc} = 0.3 \sigma_y$ を仮定した。初期たわみは考慮していない。

数値計算には、汎用有限要素法解析ソフトウェア MARC2000 を使用した。モデル化にあたっては、腐食形態を的確に表すためにソリッド要素を用いた。

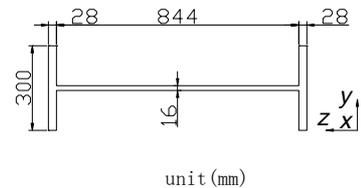


図-1：断面図

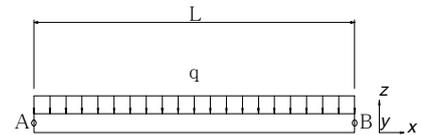


図-2：全体図

3. 想定した孔食形態

本研究で想定した腐食は、局部腐食の孔食であり、円形孔でモデル化した。その発生場所は部材中央部 ($L/2$) の下フランジおよびウェブであり、各断面内の孔食位置は、図-3のように仮定した。図中の f_{ce}, f_{ed}, f_{qu} は、各々下フランジ中央、縁端およびフランジ幅の $1/4$ 位置を、さらに w_{15}, w_{30}, w_{45} は、各々下フランジから $15, 30, 45\text{cm}$ のウェブ位置を表す。また孔の直径 ϕ は $5, 10, 15\text{cm}$ の3ケースである。孔食モデルの解析パラメータを表-1にまとめる。

表-1：解析パラメータ

L/r	断面内の孔食位置	孔の直径 ϕ
27.5 ($L=10\text{m}$)	f_{ce}, f_{ed}, f_{qu}	5, 10, 15cm
	w_{15}, w_{30}, w_{45}	5, 10, 15cm
54.9 ($L=20\text{m}$)	f_{ce}, f_{ed}, f_{qu}	5, 10, 15cm
	w_{15}, w_{30}, w_{45}	5, 10, 15cm
82.4 ($L=30\text{m}$)	f_{ce}, f_{ed}, f_{qu}	5, 10, 15cm
	w_{15}, w_{30}, w_{45}	5, 10, 15cm
109.9 ($L=40\text{m}$)	f_{ce}, f_{ed}, f_{qu}	10cm
	w_{15}, w_{30}, w_{45}	10cm
137.4 ($L=50\text{m}$)	f_{ce}, f_{ed}, f_{qu}	10cm
	w_{15}, w_{30}, w_{45}	10cm

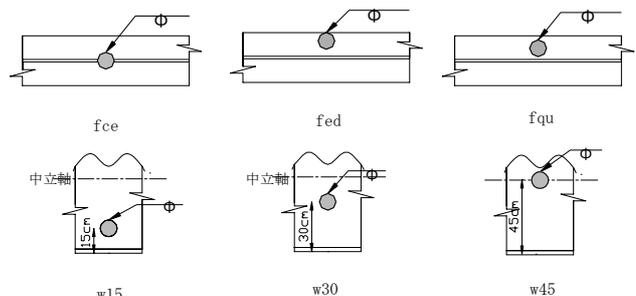


図-3：断面孔食位置

キーワード：はり部材, 孔食, 残存耐力, 弾塑性有限変位解析

連絡先：〒192-097 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL：0426-77-1111 FAX：0426-77-2772

残存耐力に影響する腐食基本パラメータとして、式(1)に示す部材中央部の断面欠損率 γ_{cen} を用いる。式中の A_0 は健全モデルの部材中央断面積、 A_{cen} は孔食モデルの部材中央断面積である。

$$\gamma_{cen} = \frac{A_0 - A_{cen}}{A_0} \tag{1}$$

4. 解析結果

図-5(a)は、部材長 $L=10m$ における下フランジ孔食位置をパラメータにして断面欠損率 γ_{cen} と耐力の関係を示したものである。図中、縦軸は健全モデルの終局耐力 $Mu0$ に対する孔食モデルの耐力の無次元量 $Mu/Mu0$ である。ここに、終局耐力 Mu は、断面の塑性率が 97% に達した時と定義して算出した。フランジ縁端に孔食があるほど耐力の低下が大きい。下フランジ孔食の残存耐力は、他の部材長の耐力も図-5(a)と同様の直線性を示すことから式(2)で与えることができる。式中の $a(\lambda)$ は、部材長の変化による耐力の低下率であり、式(3)の関係をもつ。

$$M_u / M_{u0} = 1.000 \quad (0.05 \geq \gamma_{cen}) \tag{2}$$

$$M_u / M_{u0} = -a(\lambda) \cdot \gamma_{cen} + 1.045 \quad (0.05 < \gamma_{cen}) \tag{3}$$

$$a(\lambda) = 0.0923\lambda^2 - 0.3346\lambda + 1.2467 \tag{3}$$

ここに、 λ は等価細長比 ($\lambda = \sqrt{M_y / M_E}$ 、 M_y : 降伏モーメント、 M_E : 横座屈モーメント) である。

次に、ウェブ孔食モデルでは、図-5(b)のように孔食位置が中立軸に近づくほど耐力の低下が大きい。また、孔食位置による耐力差が大きく、 γ_{cen} では孔食位置の影響を考慮できないことから、新たに式(4)の修正断面欠損率 γ_{cen}^* を導入することにより図-6のように相関性がみられた。式中の k は孔食位置を考慮した補正係数であり、式(5)のように定義した。

$$\gamma_{cen}^* = k \cdot \gamma_{cen} \tag{4}$$

$$k = 1 - \frac{s}{h_w / 2} \tag{5}$$

したがって、ウェブ孔食の残存耐力は、式(6)のように修正断面欠損率 γ_{cen}^* の線形式で与えることができる。

$$M_u / M_{u0} = -a^*(\lambda) \cdot \gamma_{cen}^* + 1.000 \tag{6}$$

$$a^*(\lambda) = 0.2463\lambda + 0.888 \tag{7}$$

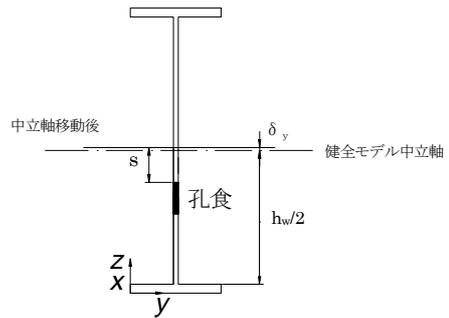
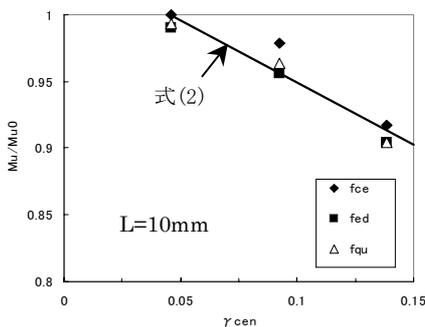
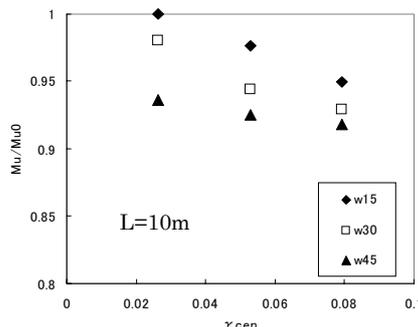


図-4：部材中央断面



(a)下フランジ孔食



(b)ウェブ孔食

図-5：部材中央断面欠損率と耐力の関係

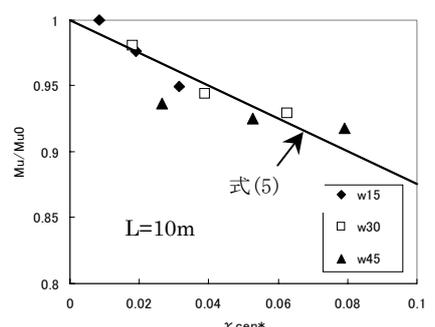


図-6：修正断面欠損率と耐力の関係

5. 結論

- (1) 支間中央部に孔食のあるはり部材の残存耐力の低下は小さいことが明らかになった。
- (2) 下フランジ孔食およびウェブの孔食による残存耐力評価式として、各々断面欠損率 γ_{cen} および修正断面欠損率 γ_{cen}^* の線形式を提案した。

参考文献：1) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室:既設橋の架替実態に関する調査,土木技術資料、2001

2) 山沢・小栗・野上:腐食減厚に伴う曲げ部材の残存耐力性能について、土木学会第57回年次講演会、2002