

腐食減厚に伴う合成桁の残存耐力の評価法に関する基礎的研究

建設技術研究所 正会員 加藤 美幸
 東京都立大学 正会員 野上 邦栄
 東京都立大学 正会員 山沢 哲也

1. はじめに

既設橋梁の多くは昭和40年から50年代に建設時期が集中しており、供用期間が50年を超え始める15から20年後から、老朽化橋梁の数が急激に増加することが見込まれる。補修および架替えの検討には、腐蝕部分の広がりや断面欠損が用いられているが、具体的な数値や部位が示されたものは僅かである。しかし、構造物のもつ残存耐力を適切に評価し、維持管理に反映させることは極めて重要であり、そのためには、残存耐力の評価方法を確立することが不可欠である。そこで本研究では、腐食に伴う曲げ部材の残存耐力の評価方法を確立することを目的として、合成I桁橋の主桁に着目し腐食形態をパラメータとして腐食形態の違いが終局強度特性に及ぼす影響について解析的検討を行った。

2. 数値解析手法 2.1 モデル諸元

数値計算には汎用有限要素法解析ソフトウェアMARC K7.3を使用し、モデルの形状は、支間L=33mの単純活荷重合成I桁橋(4主桁)の外桁断面とした。断面諸元は表-1に示す通りで、断面変化は考慮していない。腐食を考える鋼桁部分のフランジおよび腹板にはソリッド要素を、補剛材はシェル要素を用いた。鋼部材の材料特性は、バイリニア型で、降伏後のヤング係数 E_t は弾性領域 E_s の1/100とした。床版は有効幅分の断面積と、ハンチ高さを考慮した剛性を有する弾性梁要素として上フランジ上面に配置した。床版要素の節点と、上フランジの節点は共有している。解析モデルの両端部は単純支持とし、横桁と対傾構の取付位置に相当する節点は面外方向変位を拘束している。荷重は、上フランジ上面全面に等分布荷重を漸増荷重として与えた。

表-1 断面諸元

上フランジ	310x19mm (SM490Y)
腹板	1700x9mm (SM490Y), 水平補剛材1段
下フランジ	530x32mm (SM490Y)
垂直補剛材および水平補剛材の材質	(SM400)
床版厚:22cm, ハンチ:6cm, 有効幅:227cm	
鋼断面: $y_{sl}=59.8\text{cm}$, 合成断面: $y_{sl}=142.7\text{cm}$	

2.2 腐食形態のモデル化

腐食場所は、下フランジの上面とし、腐食形態として表-2に示す5種類を仮定した。それぞれのモデルの概形図を図-1に示す。ここで腐食量をあらわすパラメータとして、断面欠損率を次式のように定めた。

$$= (V_{ff} - V'_{ff}) / V_{ff} \dots\dots\dots(式-1)$$

V'_{ff} : 腐食モデル下フランジ体積
 V_{ff} : 基本モデル下フランジ体積

(a)全面均一腐食は、下フランジを一定に減厚し、(b)全面不均一腐食は下フランジの上面を次式のような二重正弦波とすることで擬似的に腐食を表現した。

$$z = t_{ff0} - \frac{d_{max}}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{2n_x \pi x}{L} \right] \cdot \cos \left[\frac{2n_y \pi y}{B_{ff}} \right] \right\} - v_0 \sin \left[\frac{x \pi}{L} \right] \dots\dots(式-2)$$

ここで、 t_{ff0} は基本モデル下フランジ厚、 d_{max} は最大腐食量、 n_x, n_y はそれぞれx,y方向のモード波数、Lは支間長、 B_{ff} は下フランジ幅である。

(c)桁の内側・外側で異なる全面均一腐食は、桁の内側の腐食量を外側の3倍とし、桁の内側と外側にそれぞれ均一腐食を与えた。さらに、実際に観察される腐食形態に近い局部腐食モデルとして、支間中央部および桁端部を各々部分的に減厚したモデル(d), (e)を考えた。具体的な腐食及び減厚の与え方は、腐食の全くない健全モデルの下フランジ上面の節点を移動させることによって実現した。そのため要素分割数は、正弦波状の腐食を表現するために、モード波2 ラジアンで5節点を確保するように設定した。

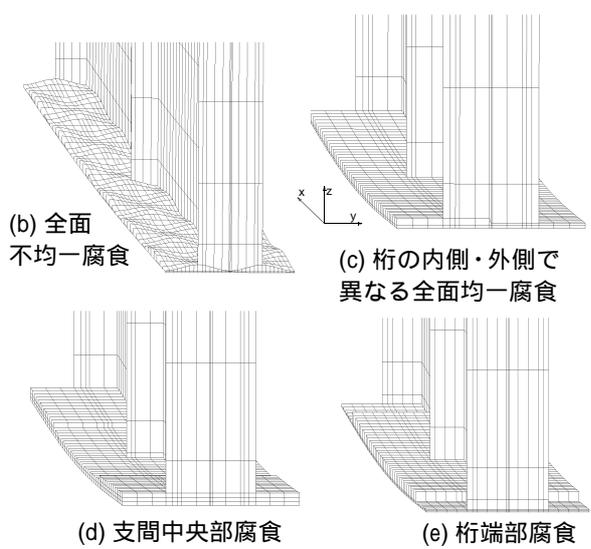


図-1 腐食形態

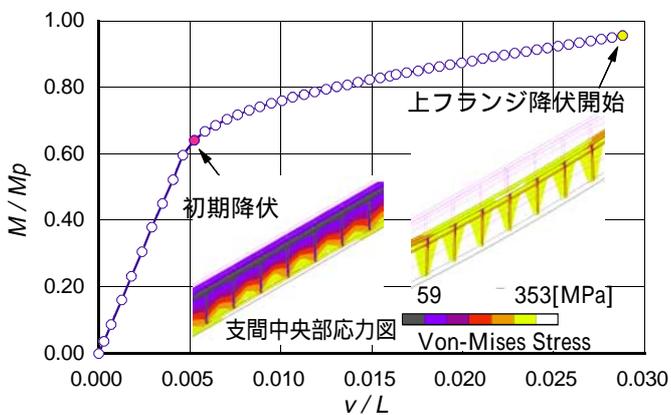


図-2 基本モデル(0-0-0)の荷重 支間中央鉛直変位曲線

キーワード: 合成桁, 腐食, 耐力評価, 弾塑性有限変位解析

連絡先: 〒 192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1, Phone: 0426-77-1111, FAX.: 0426-77-2772

2.3 初期不整

初期たわみ v_0 として、最大で支間長 L の 1/1000 に相当する量を、一半波形の正弦波として与えた。残留応力は考慮していない。

3. 解析結果 3.1 基本モデル

図-2に、基本モデル(0-0-0)の荷重支間中央鉛直変位曲線を示す。荷重と変位はそれぞれ、全塑性モーメント $M_p = 22690.24N \cdot mm$ 、支間 L で無次元化している。基本モデル(0-0-0)の面外方向への変形はほとんどなく、下フランジが先に降伏し、ウェブ、上フランジの順に降伏領域が広がった。

なお、基本モデル(0-0-0)以外のモデルについても、同様の变形、応力分布が見られた。床版を弾性体と仮定しモデル化したため、鋼桁部の全断面が塑性化した後も床版部分で荷重に抵抗し続けるため、上フランジが降伏し始めた点をモデルの限界の判断基準とし、その時点の荷重を耐力 M_{max0} とした。表-3に腐食モデルを含め、全ケースの曲げ耐力比 M_{max} / M_{max0} の値を示す。

3.2 腐食モデル

図-3に と曲げ耐力比の関係を示す。全面腐食モデルである(a),(b),(c)の相関曲線は、 が同じものどうしがほとんど重なり合っている。このように全面腐食モデルでは、 の増大に伴って耐力は比例的に低下し、 $c = 0.4$ (板厚40%減 0-0-40)では基本モデル(0-0-0)の約8割の耐力であった。

一方、局部腐食モデル(d),(e)の曲げ耐力比と の間には、全面腐食モデルに見られたような相関関係は認められない。そこで局部腐食の曲げ耐力が、支間中央部の腐食減厚状況によって表すことができると考え、

$$c = (A_{lfc} - A'_{lfc}) / A_{lfc} \dots \dots \dots \text{(式-3)}$$

A'_{lfc} : 腐食モデル支間中央部下フランジ断面積

A_{lfc} : 基本モデル支間中央部下フランジ断面積

のような支間中央部断面欠損率 c を定義する。この c を用いて、曲げ耐力比の相関関係を書き直すと図-4のようになる。これによると、局部腐食(d),(e)においても、曲げ耐力比と c の間には相関性が認められた。このとき、両者の関係は、次式のように表すことができる。

$$M_{max} / M_{max0} = (-0.4678 \cdot c + 1.0035) M_{max0} \dots \dots \dots \text{(式-4)}$$

4. 結論・今後の課題

- 1) 下フランジ全面に一樣な腐食を有する合成桁の曲げ耐力は、その形態に関わらず、 に依存する。
- 2) 下フランジに局部腐食を有する合成桁の曲げ耐力は、桁全体の腐食状況に関わらず、支間中央部付近の腐食断面積に依存する。

今回の解析では、主桁の断面変化を考慮していないために、モデルの耐力は、設計上応力の余裕の少ない支間中央部付近の腐食量に支配的であった。今後主桁の断面変化を考慮し、局部腐食形状のさらなる検討を行う予定である。

表-2 腐食形態と解析パラメタ

モデル名	断面欠損率	最大腐食深さ d_{max} [mm]	腐食形態
0-0-0	0.00	0.0	基本モデル
0-0-10	0.10	3.2	a)
1-6-10	0.10	3.2	b1) モード半波数 $n_x=6, n_y=1$
2-6-10	0.10	6.4	b2) モード半波数 $n_x=6, n_y=2$
a-10	0.10	1.6 / 4.8	c)
0-0-20	0.20	6.4	a)
1-6-20	0.20	12.8	b1) モード半波数 $n_x=6, n_y=1$
2-6-20	0.20	12.8	b2) モード半波数 $n_x=6, n_y=2$
a-20	0.20	3.2 / 9.6	c)
0-0-40	0.40	12.8	a)
1-6-40	0.40	25.6	b1) モード半波数 $n_x=6, n_y=1$
2-6-40	0.40	25.6	b2) モード半波数 $n_x=6, n_y=2$
a-40	0.40	6.4 / 19.2	c)
p-c-10	0.10	6.4	d) 支間中央部12パネル分
p-c-20	0.20	12.8	d) 支間中央部12パネル分
p-e-20	0.20	25.6	e) 桁端部3パネル分 × 2か所

表-3 解析結果

モデル名	M / M_p	M_{max} / M_{max0}
0-0-0	0.9548	1.000
0-0-10	0.9148	0.9581
1-6-10	0.9176	0.9611
2-6-10	0.9157	0.9591
a-10	0.9177	0.9612
0-0-20	0.8671	0.9082
1-6-20	0.8642	0.9081
2-6-20	0.8668	0.9079
a-20	0.8652	0.9062
0-0-40	0.7785	0.8154
1-6-40	0.7831	0.8202
2-6-40	0.7832	0.8203
a-40	0.7718	0.8084
p-c-10	0.8665	0.9075
p-c-20	0.7822	0.8193
p-e-20	0.9595	1.0049

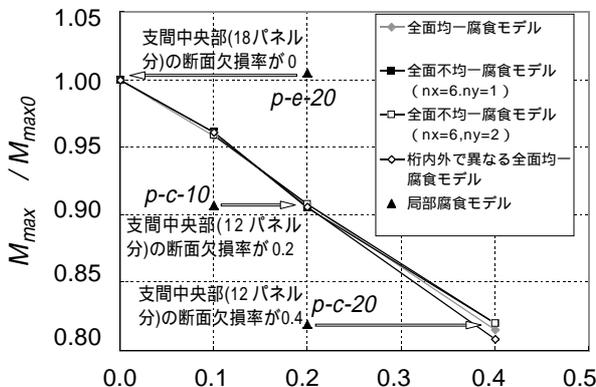


図-3 と曲げ耐力比の関係

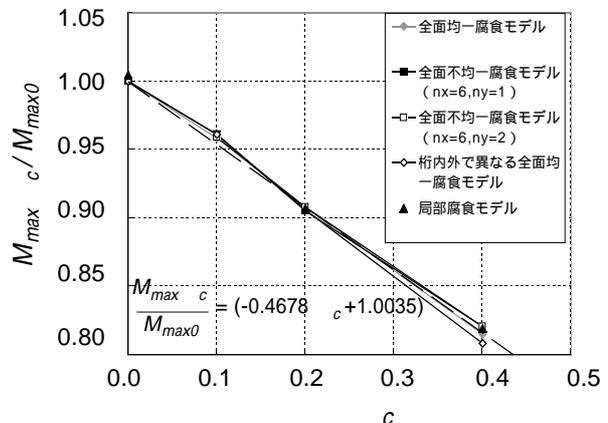


図-4 と曲げ耐力比の関係

参考文献

- 1) (社)日本橋梁建設協会, 合成桁の設計例と解説, 1995.4
- 2) 鋼橋における劣化現象と損傷の評価, 鋼構造シリーズ7
- 3) 松本勝・白井義朗・中村幾雄・白石成人, 腐食鋼材の有効板厚評価法の一提案, 橋梁と基礎, 1989.12