

腐食した柱部材の残存耐力評価について

東京都立大学 学生員 小栗 友紀
 東京都立大学 正会員 山沢 哲也
 東京都立大学 正会員 野上 邦栄

1. 背景と目的

近年、社会基盤の成熟化につれて、維持管理システムが注目されてきている。橋梁を例にとってみると、これから 15 ～ 20 年後には、供用期間が 50 年を超える老朽橋の数が急激に増加する¹⁾。その際構造物およびその構成部材のもつ残存耐力を適切に評価することは、維持補修および架替えを検討する上で極めて重要となる。本研究では、鋼構造物の代表的な劣化である腐食による柱部材の残存耐力評価を目的に、終局強度特性および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残存耐力評価法の提案に向けた基礎的検討を行う。

2. 解析モデルと解析方法

基本モデルは、図 1 に示すような部材長 $\ell = 20m$ の圧延 H 形断面鋼柱部材 (SM490Y) であり、その断面形状を、図 2 及び表 1 に示す。解析上、強制変位 δ を支点 B の断面に与え、支点 A での橋軸方向の反力を荷重 P として扱った。境界条件は、支点 A, B の断面において橋軸直角方向の回転変位以外を拘束した。さらに部材の初期たわみとして $v_0 = \ell/1000$ の正弦波形を鉛直下向きに考慮した²⁾。今回の解析では残留応力は考慮していない。また、初期たわみの向きを鉛直上向きに想定したモデルと基本モデルと断面形状は同一で部材長 ℓ を変化させたモデルにおいて解析を行った。

腐食形態は、下フランジ上面全体が一様に腐食した均一腐食モデル (シリーズ I) と図 3 のように下フランジの板厚 t_{lf} が式 (1) の二重正弦波関数で擬似的に腐食を表現した不均一腐食 (シリーズ II) を仮定した。式中、 t_{f0} は初期板厚、 d_{max} は最大腐食量、 $n_x - n_y$ は x-y 方向のモード半波数、 b_f はフランジ幅を意味する。図 3 は下フランジのみを取り出した腐食イメージである。今回、不均一腐食では、表 2 に示す下フランジ全面に波打った形状の typeA, B 及び局部的に腐食の進行が著しい typeC, D, E の腐食形態を導入した。また、解析結果をまとめるにあたり式 (2) のような断面欠損率 $\alpha(\%)$ を定義した。ここで、 V' は腐食した下フランジの体積、 V_0 は腐食のない下フランジの体積とした。

$$t_{lf} = t_{f0} - \frac{d_{max}}{2} \left\{ 1 - \sin \left(\frac{n_x \pi x}{\ell} \right) \sin \left(\frac{n_y \pi y}{b_f} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$$\alpha = \frac{V_0 - V'}{V_0} \dots \dots \dots (2)$$

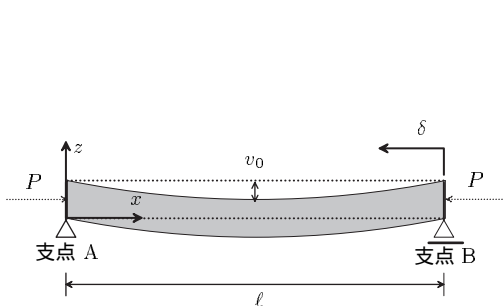


図-1 解析対象

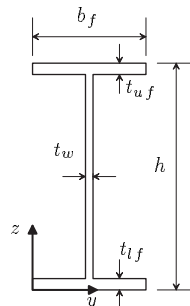


図-2 断面諸元

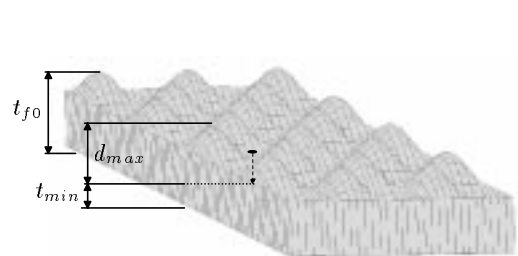


図-3 腐食イメージ (IIA)

表-1 断面諸元 unit(cm)

ウェブ		フランジ		
h	t_w	b_f	t_{uf}	t_{lf}
90	1.6	30	2.8	2.8
断面積 A	断面二次モーメント			
	I_x	I_y		
303.04	400000	12600		

表-2 不均一腐食 (シリーズ II) 一覧

腐食形態 シリーズ II	腐食の激しい所	d_{max} (mm)			n_x	n_y
		$\alpha = 10$	$\alpha = 20$	$\alpha = 30$		
typeA	全面不均一	0.56	1.12	1.68	4	3
typeB	全面不均一	0.56	1.12	1.68	8	5
typeC	1/2 点中央	0.69	1.38	2.07	1	1
typeD	1/2 点端	0.56	1.12	1.68	1	2
typeE	1/4 点中央	0.56	1.12	1.68	2	1

数値計算には、汎用有限要素法解析ソフトウェア MARC K7.3 を使用した³⁾。数値解析は弧長増分法を用い、鋼部材の降伏条件は Von-Mises，硬化則は移動硬化，硬化係数は 1/100 とした。また，腐食形態を的確に表現するために 8 節点ソリッド要素を用いた。要素分割は正弦波形に対し，5 点以上の節点を持つように十分な数を取った。

3. 解析結果

まず， $\ell/r = 55$ の基本モデルにおいて，シリーズ I, シリーズ II の腐食形態が終局耐力に及ぼす影響を明らかにする。図 4 に α 及び P_u/P_y の相関強度関係を表した。図中の P_y は降伏荷重， P_u は終局耐力である。今回解析を行った $\alpha = 0 \sim 40\%$ の範囲内では， α が大きくなるにつれて耐力 P_u は低下する傾向がみられ，式 (3) の線形関係が得られた。このことから断面欠損率 α が柱部材の耐力を評価するパラメータとして十分有用であることが示された。シリーズ I $\alpha = 40\%$ のモデルでは，腐食のない $\alpha = 0\%$ のモデルと比較して耐力の低下は 10% 程度であった。一方，断面欠損率 α が等しい場合の腐食形態の違いについて比較すると， $\alpha = 10\%, 20\%, 30\%$ とともに，各腐食形態の耐力は同等となっており，今回解析を行った範囲内では，腐食形状が終局耐力に及ぼす影響は軽微であることが読み取れる。しかし，局部的に腐食が著しく進行している typeC, typeE において若干傾向が異なった。これは，腐食により中立軸位置が変化し，偏心の曲げ応力を受けた結果である。次に，基本モデルとは逆に鉛直上向きに初期たわみを想定したモデルにおいて α 及び P_u/P_y の相関強度関係を表したものが図 5 である。全面腐食を有するものにおいて，初期たわみの向きによる耐力の影響は軽微であったが，局部腐食を有する typeC では，終局耐力への影響が見られた。特に， $\alpha = 10\%$ においては，中立軸位置の変化と初期たわみによる曲げ応力とが相殺されたため，耐力が増加した。図 5 の凡例の st は，鉛直下向きに初期たわみ $v_0 = \ell/1000$ を想定したモデル，ut は，同様に初期たわみ上向きのモデルである。

$$\frac{P_u}{P_y} = 0.9723 - 0.256 \alpha \quad \dots \dots \dots (3)$$

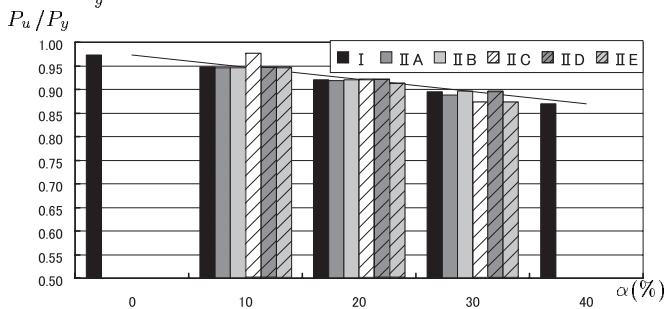


図-4 残存耐力-断面欠損率 相関図
(腐食形状の違いによる耐力への影響)

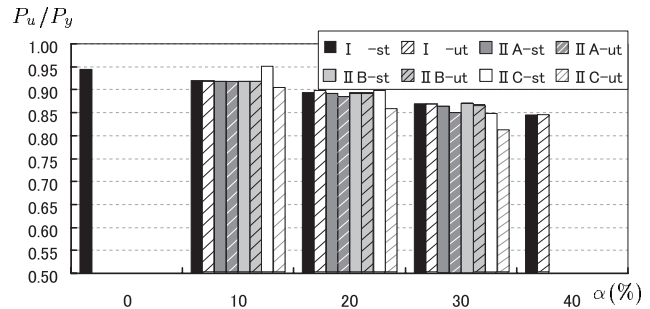


図-5 残存耐力-断面欠損率 相関図
(初期たわみの向きの違いによる耐力への影響)

さらに，図 6 は均一腐食の場合について，式 (4) の換算細長比 λ と P_u/P_y の相関強度関係を示したものである。図中の実線はオイラーの屈曲曲線である。細長比 $\ell/r = 55$ と同様に， $\ell/r = 70, 80, 90$ の場合についても， α の増加に伴い，耐力は低下した。また，細長比の違いによる耐力 P_u/P_y の低下の割合はほぼ一定であった。これらの結果から，今回の解析範囲での耐力評価式として式 (5) が得られた。

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \left(\frac{\ell_e}{r} \right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{P_u}{P_y} = -0.153\lambda^2 - 0.045\lambda + 1.062 - 0.253\alpha \quad (5)$$

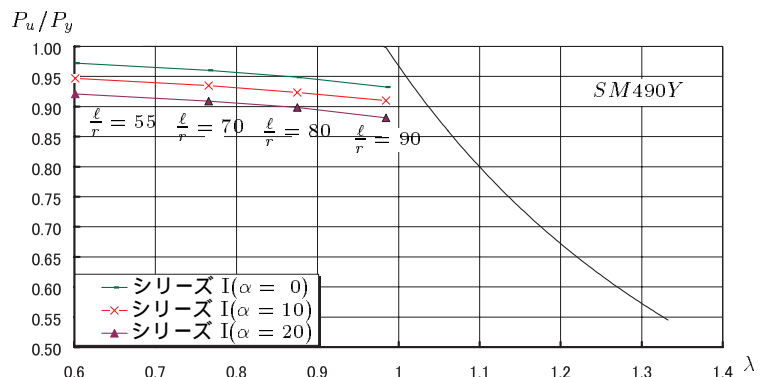


図-6 残存耐力-断面欠損率 相関図

参考文献

- 1) 西川和廣：道路橋示方書照査規定化とこれからの橋 - 耐久性・支持管理関連規定を中心として - ，鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，1999
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編，II 鋼橋編，1996.
- 3) MARC C 編 Program Input，1998.