

東京都立大学 学生員 小栗 友紀
 東京都立大学 正 員 野上 邦栄
 東京都立大学 正 員 山沢 哲也

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検討を行う。

2. 腐食モデルと解析方法

基本モデルは、図-1に示すような部材長 $\ell = 20\text{m}$ の圧延H形断面鋼柱部材であり、その断面形状を図-2に示す。材質は、SM490Y($P_y = 10700\text{kN}$)を用いている。境界条件は、両端単純支持とし、簡単のため面外方向(y 軸方向)は拘束した。さらに部材の初期たわみとして $v_0 = \ell/1000$ を最大とする正弦波形を鉛直上向きに考慮した²⁾。今回の解析では残留応力は考慮していない。

腐食は、下フランジ上面のみに生じているものとする。また、その腐食形態は、①全面均一腐食モデル(co)、②全面不均一モデル(va)、③中央部局部腐食(lc)、④縁端部局部腐食(le)、⑤1/4点局部腐食(lq)の5種類である。これらの腐食形状は、下フランジ上面を式(1-a)、(1-b)、(1-c)のような二重正弦波を用いて擬似的に表現している。式中 t_{lf0} 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_{lf} は下フランジ幅を意味する。解析結果をまとめるにあたり式(2)のように腐食の進行程度を表す体積欠損率 α 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。表-1にある通り、便宜上、腐食モデル名を(腐食形状- n_x n_y - $\alpha\%$)と表す。以上の腐食形状、体積欠損率 α に加え、支間長 ℓ を10,20,30,40,50mと変化させた場合の柱部材の残存耐力を明らかにする。

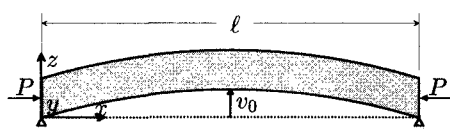


図-1 解析対象

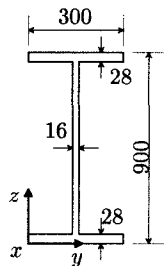


図-2 断面諸元

$$t_{lf} = t_{lf0} - \frac{d_{max}}{2} \left\{ 1 - \sin\left(\frac{n_x \pi x}{\ell}\right) \sin\left(\frac{n_y \pi y}{b_{lf}}\right) \right\} \quad (1-a)$$

$$t_{lf} = t_{lf0} - \frac{d_{max}}{2} \left\{ 1 + \sin\left(\frac{n_x \pi x}{\ell}\right) \cos\left(\frac{n_y \pi y}{b_{lf}}\right) \right\} \quad (1-b)$$

$$t_{lf} = t_{lf0} - d_{max} \sin\left(\frac{n_x \pi x}{\ell}\right) \sin\left(\frac{n_y \pi y}{b_{lf}}\right) \quad (1-c)$$

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

表-1 腐食モデル

腐食モデル	体積欠損率 α	最大腐食深さ $d_{max}(\text{cm})$	腐食形態
co-00-00	0.0	0.00	基本モデル
co-00-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.28,0.56,0.84	①全面均一腐食
va-43-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.56,1.12,1.68	②全面不均一腐食
va-85-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.56,1.12,1.68	②全面不均一腐食
lc-11-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.69,1.38,2.07	③中央部局部腐食
le-12-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.56,1.12,1.68	④縁端部局部腐食
lq-21-10,20,30	0.1,0.2,0.3	0.56,1.12,1.68	⑤1/4点局部腐食

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、硬化則は等方硬化、ひずみ硬化係数は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1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。

腐食、残存耐力、弾塑性有限変位解析、柱部材

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. (0426)77-1111 FAX. (0426)77-2772

3. 解析結果

部材長 $\ell = 20m (\ell/r = 54.9)$ の基本モデル (co-00-00) と全面均一腐食 (co-00-10,20,30) モデルを対象に、 z 軸方向変位と圧縮荷重の関係を示したのが図-3である。ここに、横軸は中央断面における z 軸方向変位の無次元量 v/ℓ 、縦軸は降伏荷重に対する圧縮荷重の無次元量 P/P_y である。 $\alpha (= 0.1, 0.2, 0.3)$ が增大するに伴い、初期勾配、圧縮耐力ともに低下した。変形は、限界荷重に達した後急増した。その挙動は、全面不均一腐食、局部腐食を有するモデルも同様であった。

図-4は、体積欠損率と腐食形態が残存圧縮耐力に及ぼす影響を示したものである。図中、横軸は体積欠損率 α 、縦軸は降伏荷重に対する圧縮耐力の無次元量 P_u/P_y である。全腐食モデルとも α の増大とともに線形的に圧縮耐力が低下し、 $\alpha = 0.3$ の中央部局部腐食 (lc-11-30) の圧縮耐力は基本モデルのその 65%まで低下した。また、同一体積欠損率 α に対する腐食モデル間の圧縮耐力の相違は、 α の増大に伴って大きくなり、圧縮耐力の低下は、全面均一腐食 (co-00- α) で最小となり、中央部局部腐食 (lc-11- α) で最大となった。それぞれ圧縮耐力と体積欠損率の相関関係式を図中に示した。このように腐食量に関するパラメータ α を用いた場合、圧縮耐力との間に相関性が得られない。

ここで新たに腐食欠損の激しい位置の最小腐食断面積に着目し、式(3)のように最小断面欠損率 β_{min} を定義する。式中 A'_{min} は、各腐食モデルにおける下フランジの最小断面積である。この腐食パラメータ β_{min} を用い、圧縮耐力との相関関係をまとめ直したのが図-5である。体積欠損率 α に比べ、かなりの相関性が得られている。そこで、全面均一腐食モデルの圧縮耐力と体積欠損率 α の線形近似式を、最小断面欠損率 β_{min} に置き換えた式(4)を柱の残存耐力評価式として提案する。また、式(4)において基本モデルの圧縮耐力 $P_{u0} (= 0.878P_y)$ を用いるなら式(5)と表すこともできる。

最後に、細長比 ℓ/r の変化が、全面不均一モデル (va-43- α) に圧縮耐力に与える影響をまとめたのが図-6である。図中、横軸は換算細長比 λ 、縦軸は圧縮耐力の無次元量 P_u/P_y である。腐食のないモデル ($\beta_{min} = 0$) の耐力力曲線は、式(6)で与えられる。また、式(6)と式(5)の積より定まる近似曲線を図中に示した。この提案する残存耐力式は、解析値を良く捉えており、腐食を受けた柱部材の残存耐力を評価できる可能性がある。

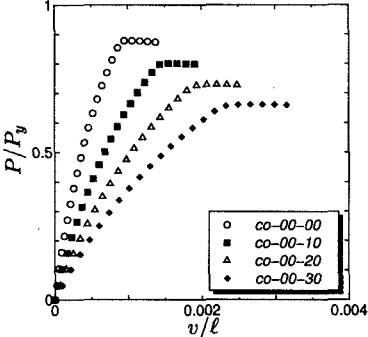


図-3 荷重 P - z 軸方向変位 v

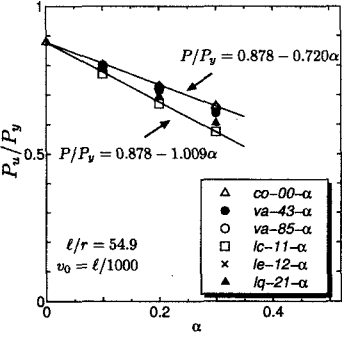


図-4 α と終局強度の関係

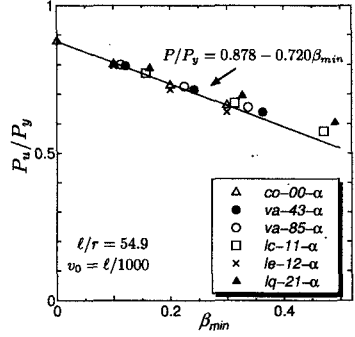


図-5 β_{min} と終局強度の関係

$$\beta_{min} = \frac{A_{lfo} - A'_{min}}{A_{lfo}} \dots\dots\dots (3)$$
$$\frac{P_u}{P_y} = 0.878 - 0.720\beta_{min} \dots\dots\dots (4)$$
$$\frac{P_u}{P_{u0}} = 1 - 0.820\beta_{min} \dots\dots\dots (5)$$
$$\frac{P_{u0}}{P_y} = (0.186\lambda^3 - 0.657\lambda^2 + 0.179\lambda + 1) \dots\dots\dots (6)$$
$$\lambda = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{\ell}{r}$$

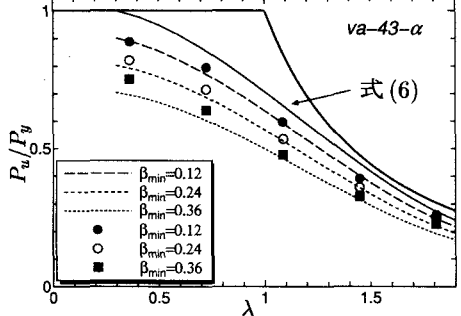


図-6 全面不均一腐食モデルの λ と終局強度関係

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。