

腐食減厚した柱部材の耐荷力評価に関する一考察

東京都立大学 学生員 小栗 友紀
 東京都立大学 正 員 野上 邦榮
 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耐荷力評価を目的に，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耐荷力評価式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．また，初期たわみ $v_0 = \ell/1000$ を不利な方向に考慮した²⁾．なお全面均一腐食モデルは，図-3のように残留応力分布を考慮して検討を行った．

腐食は，片側フランジ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，フランジ面を式(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_{f0} はフランジの初期板厚， d_{max} は最大腐食深さ， $n_x - n_y$ は x - y 方向の腐食モード数， b_f は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' は腐食したフランジの体積， V_0 は腐食のないフランジの体積である．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耐荷力を明らかにする．

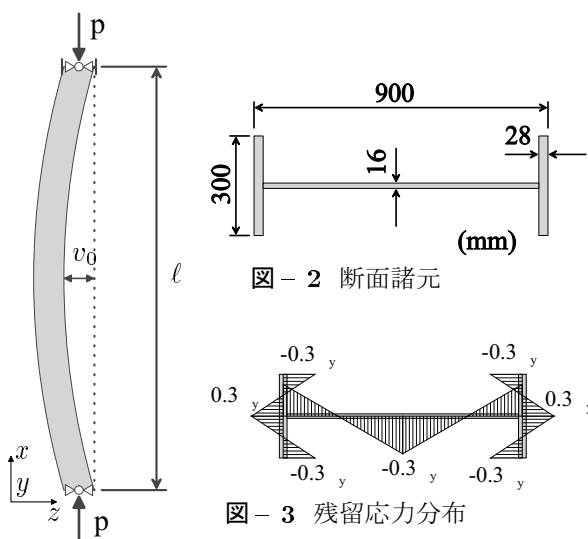


図-1 解析対象

図-2 断面諸元

図-3 残留応力分布

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

$$t_f = t_{f0} - \frac{d_{max}}{2} \left\{ 1 + \sin \left(\frac{n_x \pi x}{\ell} \right) \cos \left(\frac{n_y \pi y}{b_f} \right) \right\} \quad \cdots (1-b)$$

$$t_f = t_{f0} - d_{max} \sin \left(\frac{n_x \pi x}{\ell} \right) \sin \left(\frac{n_y \pi y}{b_f} \right) \quad \cdots (1-c)$$

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

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，耐荷力，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 $\ell = 20m$ ($\ell/r = 54.9$) の全面均一腐食モデル (co-00- α) 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-4である. 図中, 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. 実線で示した残留応力を考慮しないモデルは, 限界荷重に達した後, 変形が急増するのに対し, 考慮したモデルでは, 初期降伏がはやく, 変位の増加がなだらかである.

図-5は, 体積欠損率と腐食形態が耐荷力に及ぼす影響を示したものである. ここでは残留応力を考慮していない. 図中, 横軸は体積欠損率 α , 縦軸は降伏荷重に対する耐荷力の無次元量 P_u/P_y である. 全腐食形態において α の増大とともに耐荷力が線形的に低下した. また, 腐食形態が異なる場合, 耐荷力の低下率に相違がみられ, 耐荷力は全面均一腐食 (co-00- α) で最大, 中央部局部腐食 (lc-11- α) で最小となった. それぞれ耐荷力と体積欠損率の相関関係式を図中に示した. このように腐食量パラメータ α と耐荷力の間には, 相関性が得られない.

そこで新たに腐食欠損の激しい位置の最小断面積に着目し, 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フランジの最小断面積である. この腐食量パラメータ β_{min} を用い, 耐荷力との相関関係をまとめ直したのが図-6である. 体積欠損率 α に比べ, 高い相関性が得られている. ここで, 最小断面欠損率 β_{min} により定まる式 (4) を柱の耐荷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耐荷力 $P_{u0} (= 0.878P_y)$ を用いるなら式 (5) と表すこともできる. この式は, 腐食のない柱の耐荷力 P_{u0} と腐食量パラメータ β_{min} によって腐食した柱の耐荷力 P_u を評価するものである.

最後に, 細長比 ℓ/r が, 全面均一腐食モデル (co-00- α) の耐荷力に与える影響をまとめたのが図-7である. 残留応力は考慮している. 図中, 横軸は換算細長比 λ , 縦軸は耐荷力の無次元量 P_u/P_y である. 腐食のないモデル ($\beta_{min} = 0$) の解析値は, ECCS で提案されている柱の基準耐荷力曲線⁴⁾の ECCS-a 曲線上にあり, 解析精度の高さがうかがえる. また, ECCS-a 曲線に式 (5) を乗ずることにより得られた近似曲線を図中に示した. この提案する耐荷力評価式は, 解析値を良く捉えており, 腐食を受けた柱部材の残存耐荷力を評価できる可能性がある.

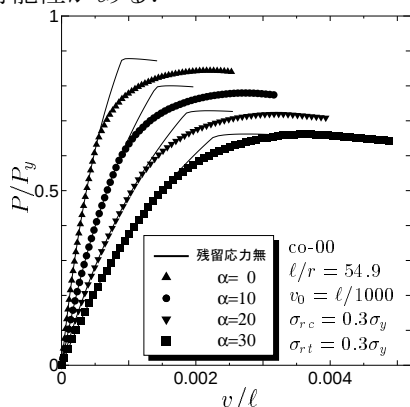


図-4 荷重 P - z 軸方向変位 v 関係

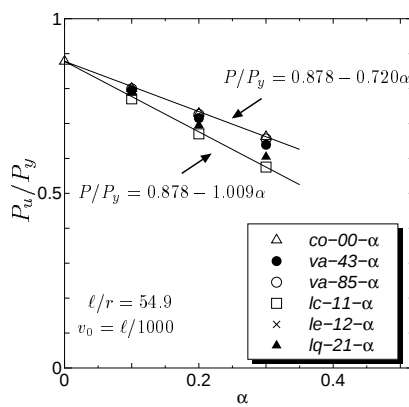


図-5 α と終局強度の関係

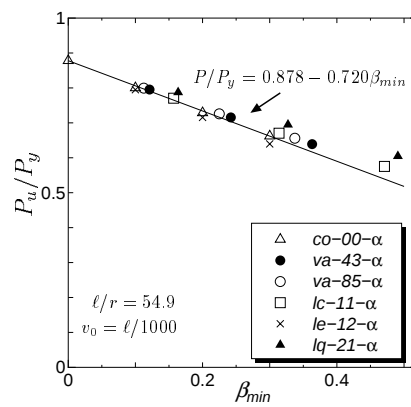


図-6 β_{min} と終局強度の関係

$$\beta_{min} = \frac{A_{f0} - A'_{min}}{A_{f0}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{P_u}{P_y} = 0.878 - 0.720\beta_{min} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{P_u}{P_{u0}} = 1 - 0.820\beta_{min} \quad \dots \dots \dots (5)$$

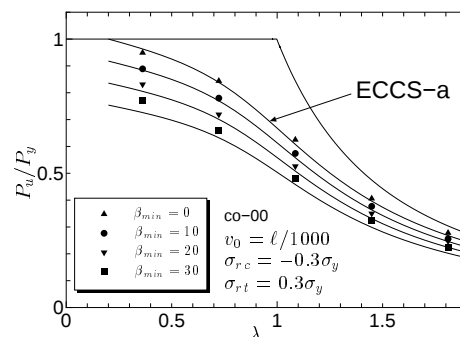


図-7 全面均一腐食モデルの λ と終局強度関係

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.
- 4) 土木学会: 座屈設計ガイドライン, 1987.