

腐食した圧縮部材の残存耐力評価指標について

鹿島建設(株) 正会員 ○山沢 哲也
 首都大学東京 正会員 野上 邦栄
 (株)ケイライン 正会員 園部 裕也

1. はじめに

近年、部材の腐食損傷が構造物の安全性に直結するような事例が相ついで発生している。現状では、損傷状況によっては交通規制などが行われているが、その評価判定、特に耐力性能の適切な評価方法は確立していない。そのため、腐食損傷による構造物および部材の耐力力の低下の度合いを評価する指標が強く求められている。

著者らは、供用開始後約40年が経過し、塩害などの影響で腐食損傷が著しいことから撤去された圧縮部材を対象にして、これまでにH型およびT型断面部材の残存耐力実験を実施するとともにFEM解析による再現性について検討してきた^{1),2)}。本研究では、実際の腐食形状、および終局強度特性に影響を与える腐食パラメータ因子について検討し、耐力力低下を精度良く評価できる腐食パラメータ因子を提示する。さらに、提案したパラメータ因子を用いることにより、維持管理上の健全度評価に有効な残存耐力評価式について検討する。

2. 柱部材の腐食形態と崩壊モード

対象とした圧縮部材は、H型断面(180×182×9.2)部材4体とT型断面(249×11×120×9)部材2体である。なお、各断面の健全部材(H1,T6)を新規に作成した。各供試体の健全部材としての断面諸元をまとめたのが表-1である。表中の P_{cr} は、道路橋示方書³⁾の柱の基準耐力力である。対象部材の腐食ランクは、3.で定義される最大断面欠損率 R_A に基づき表-2のように分類する。腐食ランクは、波状の著しい腐食のランクA、中庸な腐食のランクB、わずかな腐食がみられるランクCおよびほとんど腐食がみられないランクDである。著者らがこれまでにに行った圧縮耐力実験により得られた耐力力および終局時変形モードについてまとめたのが表-3である¹⁾。

表-1 部材断面諸元

供試体	H2A,H3A H4C,H5C	T7A,T8A
$A_0(\text{mm}^2)$	4990	3819
$L(\text{mm})$	2350	2100
$L_e(\text{mm})$	2440	2724
L_e/r_y	29.2	78.0
L_e/r_z	57.6	44.7
鋼種	SM400	SM400
$P_y(\text{kN})$	1367	1046
$P_{ey}(\text{kN})$	9988	1068
$P_{ez}(\text{kN})$	2561	3250
$P_{cr}(\text{kN})$	971	596

表-2 腐食ランク

腐食ランク	供試体	最大断面欠損率 (R_A)
ランクA	H2A,H3A T7A,T8A	$0.3 < R_A$
ランクB	—	$0.2 < R_A \leq 0.3$
ランクC	H4C,H5C	$0.1 < R_A \leq 0.2$
ランクD	—	$R_A \leq 0.1$

表-3 圧縮耐力実験結果

供試体	耐力力 $P_u(\text{kN})$	終局崩壊モード
H1	1079	全体座屈
H2A	858	局部・全体連成
H3A	967	全体座屈
H4C	1358	局部・全体連成
H5C	1271	局部座屈
T6	1052	全体座屈
T7A	534	局部・全体連成
T8A	536	局部・全体連成

3. 残存耐力評価パラメータ

対象腐食部材は、レーザー変位計による表面粗さ計測装置を用いて、それらの表面形状および残存板厚を計測した。ここでは、耐力力を支配する要因パラメータとして平均板厚、有効板厚、および最小断面積を対象としている。H型断面およびT型断面の平均板厚 t_a は、まずH型断面の場合上フランジ、下フランジ、ウェブ各要素の平均板厚 $t_{a(i)}$ を、T型断面の場合フランジ、ウェブ各要素の平均板厚 $t_{a(i)}$ を算出し、各要素の健全時断面積 $A_{0(i)}$ により重み付けをして式(1)の第1,2式により求めている。さらに、H型断面およびT型断面の有効板厚 t_e は各板要素の標準偏差 $s_{(i)}$ を用いて式(1)の第3式により求めた。ここに、補正係数 $\beta = 2$ である。

得られた平均板厚および有効板厚を用いて、新たな残存耐力評価指標として平均板厚欠損率、有効板厚欠損率および最大断面欠損率を式(2)のように定義する。ここで、平均板厚欠損率 R_{ta} および有効板厚欠損率 R_{te} は、健全時の平均板厚 t_{a0} に対する各腐食部材の平均板厚および有効板厚の欠損率である。また、最大断面欠損率 R_A は、健全時の断面積に対する部材の最小断面積の欠損率である。

$$t_a = \frac{\sum A_{0(i)} t_{a(i)}}{\sum A_{0(i)}}, \quad s = \frac{\sum A_{0(i)} s_{(i)}}{\sum A_{0(i)}} \quad i = 1, 2, 3, \quad t_e = t_a - \beta s \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$R_{ta} = 1 - \frac{t_a}{t_{a0}}, \quad R_{te} = 1 - \frac{t_e}{t_{a0}}, \quad R_A = 1 - \frac{A_{min}}{A_0} \quad \dots \dots \dots (2)$$

いま、全供試体に対して、各評価パラメータの値をまとめたのが表-4である。

表-4 評価パラメータ

供試体	H1	H2A	H3A	H4C	H5C	T6	T7A	T8A
UF 平均板厚 (mm)	9.00	7.04(2.23)	6.69(2.47)	9.03(0.25)	8.78(0.64)	—	—	—
LF 平均板厚 (mm)	9.00	5.34(2.27)	6.81(2.47)	8.93(0.57)	8.57(1.08)	11.00	7.60(2.33)	8.14(2.43)
W 平均板厚 (mm)	9.00	8.71(0.37)	8.18(0.71)	8.77(0.65)	8.80(0.29)	9.00	8.32(1.24)	8.03(1.51)
平均板厚 t_a (mm)	9.00	7.03(1.62)	7.23(1.88)	8.91(0.49)	8.72(0.67)	10.35	7.84(1.98)	8.11(2.13)
平均板厚欠損率 R_{ta}	0.00	0.24	0.22	0.03	0.05	0.00	0.24	0.22
UF 有効板厚 (mm)	9.00	2.58	1.76	8.53	7.50	—	—	—
LF 有効板厚 (mm)	9.00	0.81	1.88	7.79	6.40	11.00	2.94	3.27
W 有効板厚 (mm)	9.00	7.97	6.75	7.47	8.22	9.00	5.83	5.02
有効板厚 t_e	9.00	3.80	3.47	7.93	7.38	10.35	3.88	3.84
有効板厚欠損率 R_{te}	0.00	0.59	0.62	0.14	0.20	0.00	0.63	0.63
最小断面積 A_{min} (mm ²)	4878	3186	3291	4398	4268	3819	2617	2599
最小断面位置 x (mm)	—	1123	1353	407	111	—	1959	891
最大断面欠損率 R_A	0.00	0.36	0.34	0.12	0.14	0.00	0.31	0.32

最小断面位置 x は、実験時下端からの距離、() 内は標準偏差値 s

4. 残存耐力と評価パラメータの相関性

図-1および図-2は、表-3の実験結果と表-4の平均板厚欠損率、有効板厚欠損率および最大断面欠損率の相関関係を示している。両図において、残存耐力 P_u は降伏強度 P_y および道路橋示方書の柱の基準耐力 P_{cr} で各々無次元化している。図-1より R_{ta} , R_{te} , R_A のパラメータに対する P_u/P_y の関係は、H型断面およびT型断面の各々の断面形状ごとに、それぞれ線形式で与えられる。H型断面では R_{ta} が、T型断面では R_{te} が最も相関性が高い。一方、 P_u/P_{cr} とそれらの関係は、断面形状の相違に関係なく一本の線形式で与えられる。これは、 P_{cr} が細長比 ℓ/r の関数であり、断面形状の影響が考慮されるためである。図-2(c)の R_A は、相関係数 R^2 が0.9631となっており、 R_{ta} , R_{te} のそれと同等の相関性を有している。したがって、残存耐力は各欠損パラメータによる P_u/P_{cr} の線形式により簡易に評価できる。

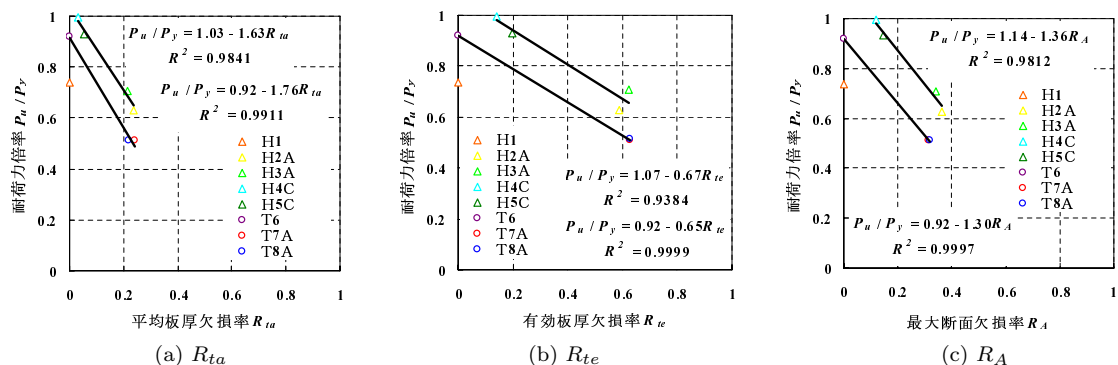


図-1 要因パラメータと P_u/P_y の関係

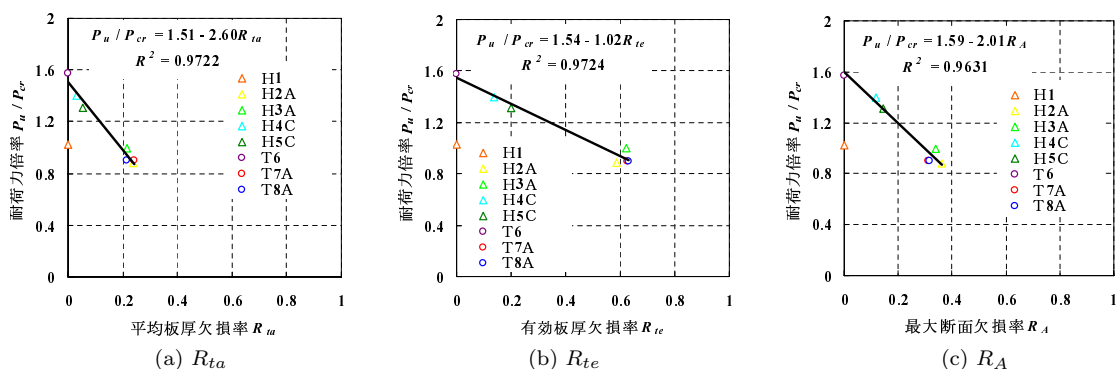


図-2 要因パラメータと P_u/P_{cr} の関係

5. まとめ

実際の点検・診断を考慮した場合、 $P_u/P_{cr} = 1.59 - 2.01R_A$ が有効であり、柱の残存耐力 P_u は健全な柱の基準耐力 P_{cr} と最大断面欠損率 R_A が既知であるならば、これらの値を用いることにより評価できることになる。なお、本研究は(社)日本鉄鋼連盟および(社)日本橋梁建設協会のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山沢, 野上, 園部, 片倉: 厳しい腐食環境下にあった鋼圧縮部材の残存耐力実験, 構造工学論文集, Vol.55A, 2009
- 2) 園部, 野上, 山沢: 腐食した圧縮部材の残存耐力の数値シミュレーション, 土木学会全国大会, 2009
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, II 鋼橋編, 平成14年