

腐食した耐候性H形鋼の曲げ載荷実験と簡易耐荷力評価

周南市建設部河川港湾課 ○正会員 中原 啓太
徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将

1. はじめに

腐食した鋼部材の残存耐荷力を精度良くかつ簡易に評価することは、老朽化した鋼構造物の維持管理を考える上で非常に重要である。これまでに、主桁や主構といった主構造部材を対象とした腐食損傷に対する残存耐荷力評価は多く実施されているものの、橋梁の2次部材やプラント設備などに多く用いられている形鋼に関する研究事例^{1),2)}は比較的乏しい。また、耐候性鋼は保護性さびの生成状況によって腐食が進展した状態も普通鋼とは異なるケースもあると考えられることから、その腐食形態の分類および特徴に関する基礎データの蓄積が望まれる。

以上のことから本研究では、著しい腐食により撤去された耐候性H形鋼の残存板厚測定および曲げ載荷実験を行い、腐食部位の板厚統計量から求めた代表板厚を用いた簡易な残存曲げ強度評価法について検討した。

2. 実験供試体

供試体として使用するH形鋼は、四国地方の山間部で約20年間供用され、凍結防止剤の散布に起因する著しい腐食損傷が認められたために撤去された歩道橋(2径間連続斜張橋)の縦桁である。材質はSMA490W、寸法は100mm×100mm×6mm×8mmの耐候性鋼である。本研究では、補修工事の際に撤去された縦桁の1スパン分(長さ約1400mm)の4本を実験供試体(A~D)とした。

写真-1に錆を除去する前の外観を示す。本供試体は、上下フランジ、ウェブ全ての鋼表面において、**写真(a)**に示すような板状の剥離錆が生じていた。この剥離錆の表面は赤茶色で小さな錆こぶを生じているが、これを手で除去すると、**写真(b)**のような赤茶色の浮き錆と黒色の緻密な鱗状の錆が固着していた。板厚測定の前に錆をサンドブラストによって除去し、地金を露出させた。

3. 残存板厚測定および腐食形態の特徴

供試体の残存板厚は、4点曲げ載荷試験で試験区間となるスパン中央部の560mmを対象に行った。鋼表面に5mmメッシュの格子をけがき、ダイヤルキャリパゲージによって直接板厚を測定した。測定結果の一例として、**図-1**に供試体Bの減肉量等高線図を示す。図のように、上フランジに設置されていた木製の床板の隙間からの漏水によって著しい腐食の偏りが生じている。また、本橋



(a) ウェブ・下フランジ上面 (b) 上フランジ上面
写真-1 各部位の腐食状態

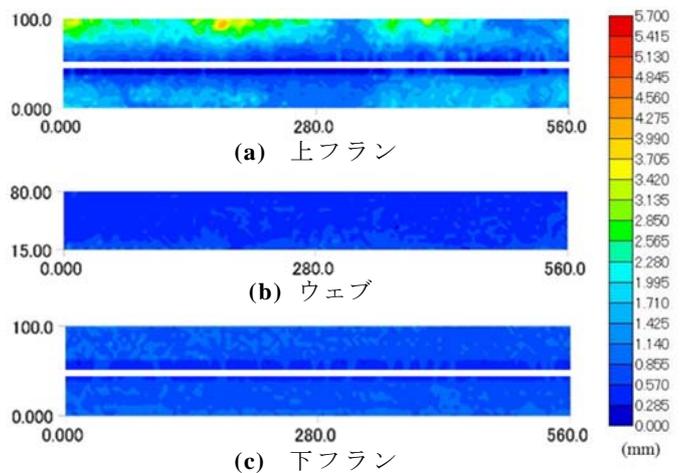


図-1 減肉量等高線図(供試体B)

表-1 板厚統計量

	測定箇所	平均板厚	最大板厚	最小板厚	標準偏差	板厚減少率
		t_{avg} [mm]	t_{max} [mm]	t_{min} [mm]		
供試体A	上フランジ	6.29	7.75	3.00	0.63	21.4
	ウェブ	3.33	4.95	0.80	0.63	44.5
	下フランジ	5.05	7.20	2.30	0.79	36.9
供試体B	上フランジ	6.60	8.00	3.70	0.68	21.1
	ウェブ	5.43	5.60	4.50	0.12	40.7
	下フランジ	7.21	7.80	6.55	0.15	36.5
供試体C	上フランジ	6.64	8.00	4.70	0.49	17.0
	ウェブ	5.27	5.65	3.90	0.24	12.1
	下フランジ	6.91	8.00	5.40	0.32	13.7
供試体D	上フランジ	6.31	7.50	4.50	0.45	17.5
	ウェブ	3.56	6.00	1.40	0.57	9.4
	下フランジ	5.08	6.60	2.30	0.55	9.9

には全長にわたってキャンバーがついているため、切り出し位置によって腐食状態は全く異なる。

表-1に板厚統計量の一覧を示す。表中の板厚減少率は各部位の平均板厚から求めた値であり、フランジで最大37%、ウェブで最大45%の減肉が確認できる。

4. 曲げ載荷試験

実験は、供試体のスパン中央560mmの部分を試験区間とした4点曲げ載荷試験として、終局に至るまで変位

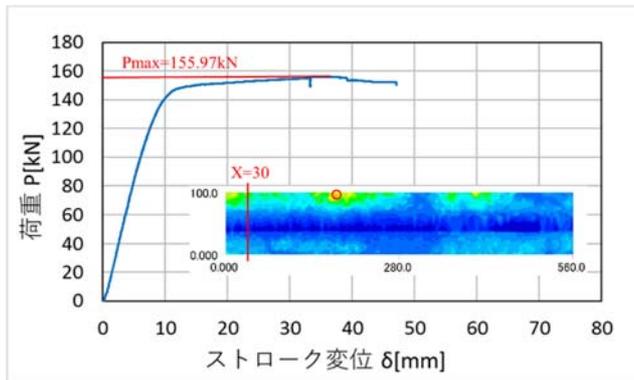


図-2 供試体 B の荷重—ストローク関係



写真-3 上フランジの座屈形状(供試体 B)

制御で荷重を増加させた。写真-2 に 実験状況を示す。

供試体 A については、試験区間外のウェブに生じていた小さな貫通孔をアンカー起点とするせん断座屈によって終局に至った。

図-2 に供試体 B の荷重—鉛直ストローク変位の関係を示す。図より、最高荷重 Pmax の近くまではほぼ線形に荷重が増加するものの、P=140kN 付近から急激に変位が大きくなり、緩やかに荷重を増大させながら終局を迎えることがわかる。これは P=140kN 付近で圧縮フランジに写真-3 に示すような、高次の座屈モードを伴う局部座屈が発生し、フランジ全体のねじれを誘発したことに起因する。供試体 B~D は、3 供試体ともに、上記のようなフランジのねじれ座屈により崩壊した。

5. 残存曲げ耐荷力評価

降伏荷重 Py および最高荷重 Pu について、各部位の板厚統計量を含む代表板厚 t_R を用いて残存強度評価を行った。表-3, 4 に、本研究における強度評価結果をまとめて示す。表中の誤差 e は推定値と実験値の差を表しており、 $e < 0$ であれば安全側の判断を与えることになる。本研究では、 $e < 10\%$ を目標として t_R を決定した。Py では、フランジ、ウェブの残存板厚に $t_R = t_{avg} - 1.6\sigma_t$ (t_{avg} : 平均板厚, σ_t : 標準偏差) を適用して梁理論から推定した場合、概ね 3 供試体とも 10% 以内の精度が確保できた。

表-3 梁理論による Py の推定結果
(代表板厚 $t_R = t_{avg} - 1.6\sigma_t$)

	Py(推定値)	Py(実験値)	誤差e
	[kN]	[kN]	[%]
供試体B	135.95	143.46	-5.23
供試体C	132.74	143.33	-7.39
供試体D	98.03	91.64	6.97

表-4 Basler 式による Pu の推定結果
(代表板厚 $t_R = t_{avg} + \sigma_t$)

	Pu(推定値)	Pu(実験値)	誤差e
	[kN]	[kN]	[%]
供試体B	161.09	155.97	3.28
供試体C	156.76	161.32	-2.83
供試体D	127.90	124.68	2.58

一方、Pu については、フランジのねじれ座屈によって崩壊していることから、腐食の無い圧縮フランジのねじれ座屈強度に関する強度評価式 (Basler 式³⁾) に代表板厚を適用することで、腐食した H 形鋼の終局曲げ強度を推定することを試みた。Basler 式における幅厚比パラメータ R は圧縮フランジの幾何形状、材料特性、支持条件によって決定される係数であり、ここに $t_R = t_{avg} + \sigma_t$ を適用して圧縮フランジのねじれ座屈強度を計算し、各供試体の最高荷重を推定した。その結果、表-4 に示すように 3 供試体における実験結果との差が $\pm 3\%$ となった。

6. おわりに

本研究では、腐食した耐候性 H 形鋼の降伏荷重および最高荷重について、腐食部位の板厚統計量を考慮した代表板厚による簡易な残存曲げ強度評価を試みた。その結果、わずか 3 体のみの結果ではあるが、腐食した耐候性 H 形鋼の降伏荷重および最高荷重を $\pm 10\%$ 以下の精度で推定できた。できるだけ簡易的に強度を推定するためには、代表板厚の概念を用いることが簡便であるが、どの評価式を用いるかについては、フランジの座屈・破断、ウェブのせん断座屈といった、腐食状態から懸念される崩壊性状を考慮することが望ましい。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室, (社)日本橋梁建設協会: 橋梁部材の腐食に対する健全度評価手法に関する共同研究報告書—腐食橋梁部材の耐荷力実験—, 第 149 号, 1996.
- 2) 久積和正, 菅野良一, 富永知徳, 今福健一郎, 藤井堅: 自然腐食した溝形鋼および山形鋼の中心軸圧縮挙動とその強度評価, 鋼構造論文集, 第 23 巻 91 号 pp.1-15, 2016.9.
- 3) Basler, K. : Strength of plate girders under combined bending in shearing, Journal of Structural Division, ASCE, Vol.87, No.ST7, pp.181-197, Oct., 1961.