# 腐食劣化したチャンネルおよびアングル部材の圧縮耐力評価検討(その1)

新日本製鐵(株) 正会員 〇今福健一郎 新日本製鐵(株) 正会員 久積 和正

L

# 1. はじめに

社会インフラの腐食や疲労に起因する老朽化が顕在化する中,製造産業における鋼構造設備も例外ではない.製造産 業にはベルトコンベア(以下,BC)や鉄塔などのトラス構造物が無数に存在し,その維持管理を適切に実施していくこ とが重要である.一方,上記のような製造産業におけるトラス構造物の多くはチャンネルやアングル等の1軸対象部材 で構成されているが,これらが腐食した場合の座屈耐力評価についてはほとんど研究されていないのが現状である.そ こで本研究では,鋼製トラス構造物の腐食したチャンネルやアングルなどの1軸対象部材を対象として座屈耐力の評価 手法について載荷試験および FEM 解析により検討を実施した.

## 2. 検討方法

老朽化のため更新・補修する BC から腐食部材(チャンネル 10 体,アングル 17 体)を切り出し,一軸圧縮試験を実施した.一方,試験体は長さが比較的短いため,細長比が大きい領域については解析的検討によらざるを得ないと考えられたので,実際の腐食部材の挙動を精度よく再現できる FEM 解析モデルの検討も行った.

(1) 一軸圧縮試験

図1に示すように試験体は予めブラストで除錆した後、両端にベースプレートを溶接し、両端固定で載荷した. 試験は最大荷重後、変形状態を目視確認できるまで変形したところで終了した. 試験体の諸元一覧を表1に示す. 表中の各断面積は縦横1mmピッチで腐食形状を計測して求めた. また、実験の座屈応力度 $\sigma_{crc}$ は最大荷重 $P_{cr}$ を最小断面積 $A_{min}$ で除したもの(= $P_{cr}/A_{min}$ )とした. また、基準化細長比 $\lambda_0$ は、腐食部材の最小断面積および最小断面位置における弱軸周りの断面二次モーメントを用いて算出した.

(2) FEM 解析

上記載荷試験に供した全試験体に対して縦横 1mm ピッチで計測した腐食表面形状を もとに10mm ピッチで平均化した板厚を有し、試験体の板厚中心と要素の板厚中心が一 致するようにシェル要素でモデル化し実験と同一の境界条件で弾塑性有限変形解析を 実施した.

### 3. 結果および考察

# (1) 一軸圧縮試験

表1に一軸圧縮試験結果の一覧を,図2に載荷試験後の試験体例を示す.表1に示す ように,座屈モードは曲げ座屈や曲げねじれ座屈等の全体座屈を起こすものが多かった が,局所的に板厚が薄い部分で局部座屈を起こすもの,全体座屈と局部座屈が連成する もの等腐食状況により様々なモードが生じたが,多くは最小断面部位を起点とした全体 座屈が支配的であった可能性が高いと考えられた.そこで以降では最小断面の断面積 A<sub>min</sub>および断面二次モーメント I<sub>min</sub>に着目して整理を進めた.



下端面機械加工

チャンネル

アングル

①-①断面

載荷概要

図1

次に、 $A_{min}$ および $I_{min}$ を用いて計算した基準化細長比 $\lambda_0$ と最大荷重 $P_{cr}$ を $A_{min}$ で除した座屈応力度 $\sigma_{cr}$ との関係を図3に示す。上述のように今回対象とした部材の基準化細長比 $\lambda_0$ は0.16~0.59で比較的小さいことが分かる。

また,座屈応力度の実験値は大きくバラついており,座屈応力度の計算値(Johnson 式)を大きく下回るもの(腐食率は, C-6:73.6%, L-1:57.2%, L-2:52.0%, L-7:70.6%)もあるが,これらは断面に腐食による大きな孔があいているよう な非常に腐食が激しいものであった.これらは即時交換または補強すべきであり、実用上は耐力の検討をする必要がな

キーワード:トラス,腐食,一軸対象部材,座屈 連絡先:〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鉄(株) TEL: 0439-80-2205 FAX: 0439-80-2745 いと判断し,以降は検討対象外とした.

これらを除くと、座屈応力度の実験値  $\sigma_{crt}$ と計算値  $\sigma_{crc}$ との比は平均で 1.01、変動係数は21.1%となることから、若干のバラつきはあるものの Amin および Imin を用いて座屈耐力を算定しても問題ないと考えられる.

また,図4に座屈耐力 P<sub>cr</sub>と最小断面積 A<sub>min</sub>との関係を示す.P<sub>cr</sub>と A<sub>min</sub> はほぼ比例関係にあることから, 元の断面が既知であれば, 次式によって 座屈耐力を算定することも可能と思われる.

 $P_{cr} = P_{cr0} \times A_{min} / A_0$ 

ここに、P<sub>cr0</sub>: 無腐食部材の座屈耐力、A<sub>0</sub>: 無腐食部材の断面積 (2) FEM 解析

FEM 解析の結果の一覧も表1にあわせて示す.また、図5に実験とFEM 解析の荷重と鉛直変位(圧縮変位)の例を,図6に実験とFEM解析の変形 モードの例を示す.腐食の激しい上記4ケースを除いて実験値 ort と FEM 解析値 σ<sub>crf</sub> との比は平均で 1.00,変動係数は 14.8%と,本 FEM 解析方法 により実験を精度よく再現できることが確認できる.

# 4. まとめ

上記検討により以下の知見を得た.

- (1)腐食が激しい場合を除けば、1)腐食部材は 全体座屈を起こして最大耐力に至るケー スが多い.2)腐食部材の座屈耐力は、最小 断面の断面積および断面二次モーメント を用いて Johnson 式で比較的精度よく算定 できる.3)腐食部材の耐力は腐食後の最小 断面積だけでも算定できる.
- (2)腐食部材の座屈挙動はシェルモデルを用 いた FEM 解析で精度よく再現できる.
- (3)本検討対象の腐食部材は細長比が小さく細長比が大きい場合の座屈耐力については別途検討する必要がある.

図 5

500

400 ξ Σ

300 荷荷重

200

100

n 0

【参考文献】 1)国交省国土技術政策総合研究所,建築研究所:薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き,p.60-95,2008.4 2) 土木学会:座屈設計ガイドライン, p.55-66, p81-104, 149-186, 2005.10

2

(C-2)

4

**鉛直変位**(mm) 実験と FEM 解析の P− δの例

6

8

10

図 6

実験と FEM 解析の

変形モードの例(C-2)

					表 1 註	、験体断面	諸元る	ちよび	載荷試	験おる	よび	FFW )	¥析結	i果一	覧			
÷7	Case	サイズ	部材長	降伏応力	無腐食	最小	最大腐	基準化	計算値		実験値		FEM解析值		値	σ	σ	
部サ			L	度 σ <sub>y</sub>	断面積	断面積	食率	細長比	p <sup>crc</sup>	P <sub>crt</sub>	$\sigma_{\rm crt}$	$\sigma_{\rm crt}$	P <sub>crF</sub>	$\sigma_{\rm crF}^*$	$\sigma_{\rm cr}$	σ crt	σ <sub>crt</sub>	座屈モート
173			(mm)	$(N/mm^2)$	$A_0(mm^2)$	$A_{min} (mm^2)$	(%)	λ <sub>o</sub>	<b>※</b> 1	(kN)	<b>※</b> 1	$\sigma_y$	(kN)	1	$\sigma_y$	0 crc	0 <sub>crF</sub>	
チャンネル	C-1	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	1700	329.2	1711	875.9	48.8	0.53	307	204	233	0.71	231	264	0.80	0.76	0.88	局部
	C-2		1700	329.2	1711	970.2	43.3	0.56	305	240	247	0.75	263	271	0.82	0.81	0.91	曲げ+局部
	C-3		1700	329.2	1711	990.8	42.1	0.59	302	278	281	0.85	288	291	0.88	0.93	0.96	曲げ+局部
	C-4		1700	329.2	1711	844.6	50.6	0.53	307	209	247	0.75	276	327	0.99	0.81	0.76	局部
	C-5		1700	329.2	1711	861.4	49.7	0.50	310	162	188	0.57	223	259	0.79	0.61	0.73	局部
	C-6		1700	329.2	1711	452.3	73.6	0.55	305	47	104	0.32	76	168	0.51	0.34	0.62	曲げ+局部
	C-7		1700	329.2	1711	1014.2	40.7	0.51	308	305	301	0.91	298	293	0.89	0.98	1.02	曲げ+局部
	C-8		1700	329.2	1711	927.1	45.8	0.51	309	172	186	0.56	234	252	0.81	0.60	0.74	曲げ+局部
	C-9		1700	329.2	1711	902.7	47.2	0.53	307	260	288	0.87	283	314	0.95	0.94	0.92	局部
	C-10		1700	329.2	1711	468.2	72.6	0.54	306	109	233	0.71	119	255	0.77	0.76	0.91	局部
アングル	L-1	50-50 -4	800	324.6	389	166.5	57.2	0.46	308	31	183	0.56	34	203	0.63	0.60	0.90	局部
	L-2		800	324.6	389	187.0	52.0	0.45	309	17	88	0.27	29	155	0.48	0.29	0.57	曲げ
	L-4	50-50 -6	800	326.1	564	489.0	13.4	0.53	304	150	306	0.94	149	306	0.94	1.01	1.00	曲げ
	L-5		800	326.1	564	496.2	12.1	0.53	304	152	307	0.94	151	304	0.93	1.01	1.01	曲げ
	L-6		800	326.1	564	231.1	59.1	0.52	305	81	351	1.08	83	360	1.10	1.15	0.98	曲げねじり+局部
	L-7		250	326.1	564	165.8	70.6	0.16	324	31	188	0.58	33	200	0.61	0.58	0.94	局部
	L-8		1000	300.7	564	440.2	22.0	0.63	272	155	352	1.17	140	317	1.05	1.29	1.11	曲げ
	L-3	65-65 -6	900	338.1	753	549.3	27.0	0.45	322	191	348	1.03	186	338	1.00	1.08	1.03	曲げねじり+局部
	L-9		500	338.1	753	661.5	12.1	0.26	333	222	336	0.99	231	350	1.03	1.01	0.96	曲げねじり
	L-10		500	338.1	753	654.6	13.0	0.26	333	231	352	1.04	222	339	1.00	1.06	1.04	曲げねじり
	L-11	75-75 -9	500	273.1	1269	836.7	34.1	0.19	271	297	355	1.30	268	320	1.17	1.31	1.11	曲げねじり
	L-12		750	273.1	1269	1109.8	12.5	0.30	267	368	331	1.21	306	276	1.01	1.24	1.20	曲げ
	L-13		750	273.1	1269	688.5	45.7	0.39	263	186	270	0.99	178	258	0.95	1.02	1.04	曲げ
	L-14		750	273.1	1269	1134.3	10.6	0.30	267	423	373	1.37	320	282	1.03	1.40	1.32	曲げ
	L-15		750	273.1	1269	802.1	36.8	0.35	265	237	295	1.08	223	278	1.02	1.11	1.06	曲げねじり+局部
	L-16		750	273.1	1269	1167.1	8.0	0.30	267	402	345	1.26	320	275	1.01	1.29	1.26	曲げねじり
	L-17		750	273.1	1269	721.8	43.1	0.30	267	210	290	1.06	196	272	1.00	1.09	1.07	局部
×	※1 応力度はいずれも荷重を最小断面積で除したもの														平均 <sup>※2</sup>	1.01	1.00	
~~~~	, <u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>	(=+> = = = = = = = = = = = = = = = = =	赤毛ば米				JT 45 6+								CV <sup>*2</sup>	21.1	14.6	

※2 平均値および変動係数 (CV) は C-6,L-1,L-2,L-7 を除いた平均値



1.4