

I-313 鋼管格点部の静的強度実験

川崎製鉄(株)建材・海洋技術室 正員○三原重郎

川崎製鉄（株）構造技術センター 滝沢章三

川崎製鉄（株）構造技術センター 山本 昇

1. はじめに 鋼管構造物の設計上重要な格点部の応力集中および耐力に関しては、過去に多くの実験が行われ、計算式も種々提案されている。しかし、これら実験のほとんどは小型試験体を用いたものであるため、海洋構造物におけるような大径厚肉鋼管の格点部に対しては実データに基づく検討をさらに加える必要があると考えられる。そのため、筆者らは海洋鋼管構造物を対象にして、実大格点部の静的載荷実験を実施し、その結果を用いて、応力集中と耐力に関する既往諸式の比較考察を行った。

２．試験体および実験方法 試験体の形状と加力方法を図－１に、その諸元を表－１に示す。Ｔ型試験体では支管に圧縮軸力を、十字型（ＤＴタイプ）試験体では支管に引張軸力を载荷した。用いた鋼管はプレスベンド成形管であり、主支管の接合は手溶接でグラインダー仕上げを施している。また、Ｔ型２体に関しては、主管肉厚が２６ｍｍのものと支管接合部付近を３６ｍｍに肉厚を増して補強したもの各１体であるが、補強部の長さはＡＰＩ規格^{１)}に従って１．５ｍとしている。十字型試験体では鋼種を変え、ＳＭ４１Ｂ、ＳＭ５０Ｂ各１体である。なお、鋼管より採取した試験片による材料試験結果を表－２に示す。载荷中の変形測定はダイヤルゲージまたは変位計ピックアップで行い、ひずみは主支管接合部にそった位置にひずみゲージを重点的に貼付して測定した。

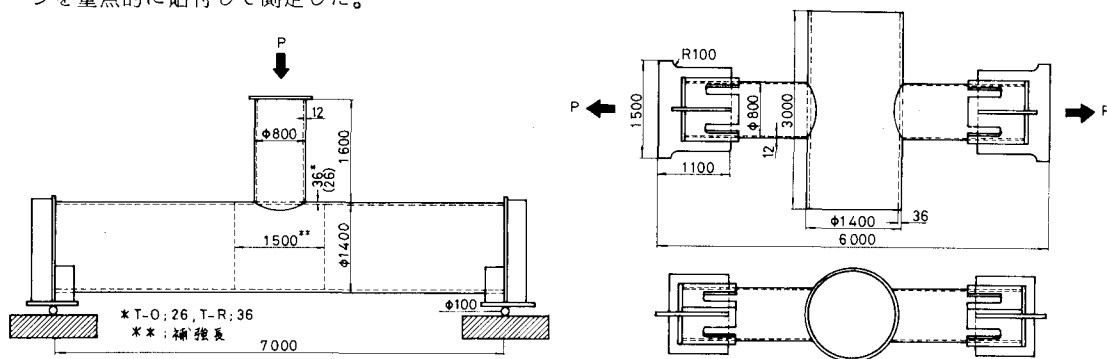


圖-1 試驗體

表-1 試驗体諸元

試験体	D (mm)	T (mm)	d (mm)	t (mm)	D/T	鋼種	荷重
T-O	1400	26	800	12	53.8	SM41B	Comp.
T-R	1400	36	800	12	38.9	SM41B	Comp.
DT-M	1400	36	800	12	38.9	SM41B	Ten.
DT-H	1400	36	800	12	38.9	SM50B	Ten.

D: 主管外径
d: 支管外径

T: 主管肉厚
t: 支管肉厚

表-2 材料の機械的性質

金剛不壞	鋼厚 (mm)	方 鋼	σ_y (kg/cm^2)	σ_u (kg/cm^2)	ξ_u
SK41B	12	C	27.3	47.5	40
		L	30.2	47.0	42
	26	C	28.4	47.6	48
		L	30.1	47.1	51
	36	C	30.8	46.8	55
		L	33.3	47.4	51
SW50B	12	C	32.5	53.6	41
		L	34.0	53.7	41
	36	C	31.4	53.5	55
		L	36.9	53.4	53

C: 管制方向 L: 管制方向
Oy: 降伏応力度 Ou: 引張強度 Eu: 伸び率

 ε_u : 伸び率

3. 実験結果と既往式の検討

3. 1 応力集中 応力の集中は支管中心軸を通る主管断面が主管支管溶接線と交差する点に最も大きくあらわれる。この点（以下に **H o t - s p o t** と呼ぶ）近傍における主管表面周方向の応力、または支管軸方向応力の測定値に対して既往の計算式を以下に検討する。なお、下式の記号中、 $\sigma_{\phi 1}$ ：支管の単位応力度に対する **H o t - s p o t** の周方向応力、 P ：支管軸力（ t ）， SCF ：応力集中係数 $= \sigma_{\phi 1} / \sigma_p$ （ A を支管

断面積として、 $\sigma_n = P/A$), L ; 主管長をそれぞれ表わしている。

A. A. Toprac 他²⁾ $\sigma_{\phi 1} = 277.5 \alpha^{0.213} \beta^{-0.772} \gamma^{-1.145} \tau^{3.585}$ (1)

ただし、 $\alpha = 2L/(D-T)$, $\beta = (d-t)/(D-T)$, $\gamma = (D-T)/(2T)$, $\tau = t/T$

J. B. Reber³⁾ $\sigma_{\phi} = 0.096 D^{0.7} \cdot P / (T^{1.6} d^{1.1})$ (t/cm^2) (2)

三井⁴⁾ $\sigma_{\phi} = (0.1595/T^2)(D/d)^{0.999} P$ (t/cm^2) (3)

J. G. Kuang 他⁵⁾

SCF_{主管} = $1.177 (T/D)^{-0.808} e^{-1.2(d/D)^3} (t/T)^{1.333} (D/L)^{-0.057}$ (4)

SCF_{支管} = $2.784 (T/D)^{-0.55} e^{-1.35(d/D)^3} \cdot (t/T) \cdot (D/L)^{-0.12}$ (5)

これらの式は、実験または数値計算によりパラメータスタディを行って経験的に導いたものである。表-3の比較を見れば、(1), (2)式による値は実験値からかなり離れており、一方、(3)式は最も良好な一致を示し、次いで(4)式が良い近似を与えている。このように、式によっては値が非常に異っているのは、実験におけるパラメータの選択が偏っていたり、計算モデルが実際に即応していないことに起因していると考えられる。なお、実験値は溶接止端より20mmの位置で測定した結果であるが、既往の実験が止端より約0.5Tにおいて測定している場合が多いのにならったものである。以上の考察から(3)~(5)式が大型の格点にも十分使用できると判断される。

3.2 静的耐力 以下に既往の耐力計算式を示す。

API¹⁾ $V_{Pu} = F_y / (0.5 r^{0.7})$ (6)

$P_u = (V_{Pu}$ を与える支管軸力)

JSSC⁶⁾

T型; $P_u = (7.3 / (1 - 0.833d/D)) \sigma_y T^2$ (7)

十字型; $P_u = (5.3 / (1 - 0.833d/D)) \sigma_y T^2$ (8)

黒羽 他⁷⁾

T型; $P_u = 6.43(1 + 4.60(d/D)^2) \sigma_y T^2$ (9)

十字型; $P_u = (6.57 / (1 - 0.810d/D)) \sigma_y T^2$ (10)

ただし、 P_u ; 最大耐力, V_{Pu} ; 主支管交差線にそって作用する平均パンチングシャー応力の最大値,

F_y ; 規格降伏応力度, σ_y ; 主管軸方向降伏応力度, r ; $(D-T)/2T$ 。

上式の計算耐力を実験値とともに表-4に記す。T-O試験体に関してはどの式も良く合った耐力値を与えているが、T-Rの場合には高い予想値を示しており、試験体の補強長が不足していることを示唆している。また、(6)式以外は支管圧縮の場合のみを対象としているので、DTタイプについては(6)式と比較すると、実験値の方が高くまた精度も良くない。これは引張荷重下においては圧縮荷重に比べて破壊形態が多様となり、したがって耐力予想も困難になるためであるが、安全側の耐力値と見れば、現段階では妥当な耐力式であると考えられる。以上のように、引張圧縮両ケースについて各式を検討すれば、汎用性という観点からはAPI式((6)式)が最も実用的な式であろう。

表-3 応力集中

試験体	部材	実験	計 算			
			(1)式	(2)式	(3)式	(4),(5)式
T-O	Chord	11.6	1.03	1.58	12.26	9.21
	Brace	8.4	—	—	—	6.46
T-R	Chord	7.1	0.47	0.94	6.39	4.59
	Brace	6.2	—	—	—	3.89
DT-M	Chord	5.4	0.39	0.94	6.39	4.37
	Brace	6.1	—	—	—	3.52
DT-H	Chord	6.4	0.39	0.94	6.39	4.37
	Brace	4.7	—	—	—	3.52

表-4 耐力

試験体	荷重	実 験		API ¹⁾		JSSC ⁶⁾	黒羽 ⁷⁾
		Pu (t)	Fy (t)	Pu (t)	Pa (t)	Pu (t)	Pu (t)
T-O	Comp.	330.5	80	313.7	174.3	283.4	327.4
T-R	Comp.	501.0	140	556.1	308.9	601.2	694.3
DT-M	Ten.	776	150	556.1	308.9	(470.7)	(527.8)
DT-H	Ten.	824	150	741.5	411.9	(479.8)	(584.9)

P_u : 最大耐力
による)

F_y : 初期降伏荷重 (Hot-spot のひずみ値
Pa: 設計耐力

【参考文献】

1) A. P. I.: Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, API-RP2A, Seventh Edition, Jan., 1976
2) L. A. Beale, A. A. Toprac: Analysis of Inplane T, Y and K Welded Tubular Connections, WRC Bull. 125, Oct., 1967
3) J. B. Reber: Ultimate Strength Design of Tubular Joints, ASCE, ST6, 1973
4) 三井重工業: 鋼管構造接合部の局所応力集中現象に関する実験的研究, 大阪大学学位論文
5) J. G. Kuang, A. B. Potvin: Stress Concentration in Tubular Joints, OTC 2205, 1975
6) 秋山成興, 灰島基他: 鋼構造格点の耐力に関する実験報告, JSSC, No.102
7) 黒羽啓明他: 鋼管 X, T, Y, K 継手の終局強度, 建築学会大会学術発表
Oct., 1976