

2. 研究の状況

各国で発表された論文の数は、日本とアメリカが他の国に比べて飛び抜けて多い。日本では日本建築学会の論文報告集と大会学術講演梗概集、アメリカでは、OTC (Offshore Technology Conference) の論文集がその大半を占めている。

日本建築学会に発表されている研究は建築を主とした陸上構造物を、OTCに発表されている研究は海洋石油生産用プラットフォームを主とした海洋構造物をその主対象としている。

しかし、疲労に関する文献は多いが、耐力に関する文献は少く、規定についても国内では建築学会の規準のみである。

2-1. 日本における研究の状況

わが国では昭和30年(1955)前後から鋼管が構造部材として使用されるようになり、この時点を境に格点部^点を含む鋼管構造の研究が盛んに進められるようになってきた。

これに関連して昭和35年(1960)には「構造用鋼管」のJISが制定され、また日本建築学会^三は「鋼管構造計算規準・同解説」昭和37年(1962)が制定された。当時としてはこの規準が鋼管構造の設計指針として唯一のものであったが、この規準の中には特に格点構造の耐力については規定はなく、継手の耐力は溶接継目の耐力と溶接長の関係から一応の継手効率として求められていた。これらの不備を補おう目的でその後各種の研究が進められ、格点部に対する設計式の提案、規準類の整備が進められてきた。

格点部の耐力に関する研究は主として実験により主管の局部変形による^{耐力低下}~~溶接耐力~~を求め設計実用式を導きだそうというものである。

^{図6}11°47°アーチの格点構造については5章の補強付継手の項で述べる。

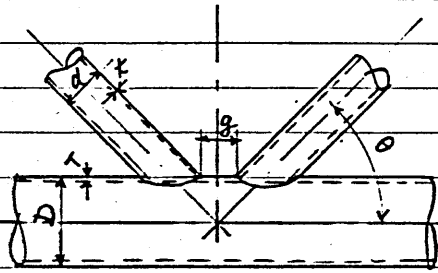


図. 2-1 記号

- D: 主管外径
- d: 支管外径
- T: 主管板厚
- t: 支管板厚
- g: 支管間隔 (主管および支管の表面の相貫線の内の距離)
- θ : 主管と支管との交角
- P_u : 破断荷重
- P_y : 降伏荷重
- σ_y : 素材の降伏応力
- σ_B : " 破断応力

① T形継手の研究 (昭和40年) 1965年

鋼管構造接合部の研究としてまずとりあげられたのが T形継手であり、金谷らによる一連の研究⁽²⁾がある。

金谷は T形継手を対象に主管径と主管板厚の比 (D/t)、主管と支持束間隔、支管断面と支管径の組み合わせを種々変化させて各種の実験を行ない設計実用式を導いた。

これは T形継手の主管をある等価な幅をもつリングと仮定して実験結果を整理してまとめられたものである。

$$P_y = (60 \alpha / \pi + 2) \sigma_y \cdot z / R \quad (1)$$

$$P_u = (80 \alpha / \pi + 2) \sigma_y \cdot z / R \quad (2)$$

$$\alpha = \sin^{-1} d/D, \quad z = B_s \cdot T^2 / 6$$

$$B_s = 1.52 R \times \sqrt{R/t} \quad (R = (D - T) / 2)$$

(1)式は局部降伏荷重を、(2)式は支管が圧縮を受ける場合の破壊荷重を示す。支管が引張の場合は(2)式の1.5倍

としていす。なお、この1.5倍の値はその後建築学会の「鋼管構造設計施行指針」に採用されたが、その妥当性について牧野らの研究⁽⁸⁾があり、単に支管が圧縮を受ける場合の1.5倍にするには疑問があると指摘している。この(1),(2)式のもとにたる実験は D/t が 19.1 ~ 28.6, d/D が 0.24 ~ 0.95 の範囲のものであり、金谷は二式の適用範囲を D/t が 15 ~ 40 とした。

実験に用ゐられた試験体のサイズ(単位 mm)は

(主管 165.2φ × 7.0 ~ 76.3φ × 4.0
支管 139.8φ × 6.5 ~ 48.6φ × 2.4

材質は STK 41 電鍍鋼管である。

② X形継手の研究(昭和42年) 1967年

鷲尾⁽³⁾らは金谷の研究に続いてX形継手(十字形継手とも言う)

について主管径の比(d/D)、主管の管厚と管径比(t/R)、主管

と支管の管径比(d/D)を変化させて、支管に圧縮荷重を加え

実験を行って示す実験式を導いた。

$$P_u = \frac{6.19}{1 - 0.833 d/D} \cdot \sigma_c \cdot T^2 \quad \text{--- (3)}$$

σ_c = crushing testによる主管の管周方向の降伏強度

この式のもとになつてゐる実験の形状範囲は $17 \leq D/t \leq 33.5$,

$0.2 \leq d/D \leq 1$ である。

実験に用ゐられた試験体のサイズは

主管	101.6φ × 3.2
支管	48.6φ × 3.5
材質は	STK41である。

この実験では 主管に軸力が作用する場合と作用しない場合の兩者について実験をしており 図2-2 に示す様に 主管軸力が引張の場合には μ (主管軸力が作用しない場合を基準とした係数) は やや大きくなるが、主管軸力が圧縮の場合には かなり強度が低下するとしている。

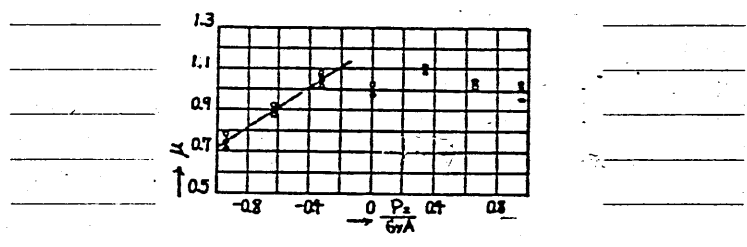


図. 2-2 主管軸力の影響

③ K形継手の研究 (昭和42年) 1967年

鷲尾⁽⁴⁾らは上記の Y形継手と平行して K形継手についても研究を進めた。

K形継手については 主管の径と管厚比 (D/t)、主管と支管の径比 (d/b)、圧縮支管と主管の交角 (θ)、支肉の肉厚 (r) の4つのパラメータと 主管軸力の組合わせを個別に変化させた実験を行ない、各パラメータの影響が独立であることに基づいて 次のような実験式を求めた。

$$P_u = \sigma_y R^2 \left(\frac{T}{R}\right)^{1.5} f(g/D) (1 + 6.52 d/D) (1 - 0.26 \cos^2 \theta) \\ \times [1 - 0.23(n + n^2)] / \sin \theta \quad \dots \dots (4)$$

== 2" $0 \leq g/D < 0.23$ では $f(g/D) = 1.75 - 2.65 g/D$

$0.23 \leq g/D < 1.8$ では $f(g/D) = 1.15 - 0.06 g/D$

$n = \sigma_c / \sigma_y$ (②項に示す P_c / σ_y 同 -)

$\sigma_c =$ 主軸にかかる軸力

(4)式のもとに: 2" 実験に於ける試験体の寸法は

$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$, $21.2 \leq D/T \leq 31.8$

$0.268 \leq d/D \leq 0.595$, $0 \leq g/D \leq 0.3$

で d/D が 0.7 より大きく $g/D = 0$ 式はやや大きめの値を与える。

支管の肉厚は $g \geq 0$ とし、支管が重なり合う場合は破断形状が異なるため取り扱わずにすむ。また g が大きくなるほど支管相互の影響が大きくなる。(4)式に於いて $g/D = 1.8$, $\theta = 90^\circ$ とすると

(2)式の全角の T 形管の式とよく一致する。

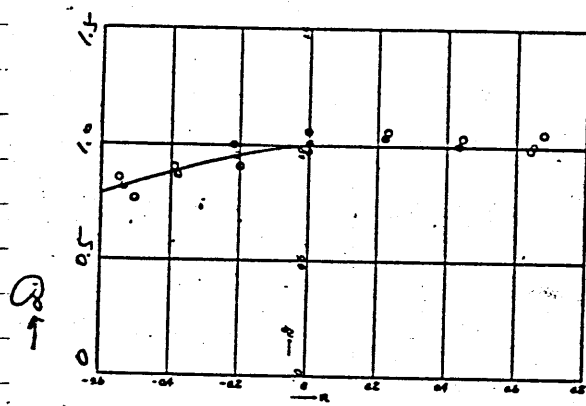
実験に用いた試験体の寸法は

主軸 $101.6 \phi \times 3.2 \sim 89.1 \phi \times 4.2$

支管 $48.6 \phi \times 3.5 \sim 42.7 \phi \times 2.3$

材質は STK41 である。

この実験の持長は支管の肉厚(g)の値の変化、すなわち軸心
 の不一致を考慮に入れたことと、(②, 2.3に示す) ②項と同様に主軸の軸力変化
 の影響 ($n = \sigma_c / \sigma_y$) を考慮している点にある。



$$D = 1 + 0.23(n - n^2)$$

図. 2.3 nとDの関係

以上の研究は、すべて鉄骨建築に用いられる鋼骨構造を対象としたものであり、 D/T が15~30の範囲のものに限られている。 $\xi = 2 \pm 5\%$ の D/T の大きい海中鋼構造構に対する検討の必要が、日本鋼構造協会では本州四国連絡橋公団より委託を受けてT、X、Y、K継手に関する大規模な継手の実験研究を進めた。

④ D/T の大きいT、X、Y、K継手等の研究 (JSSCの研究)⁽¹⁾
(昭和49年) 1974年

日本鋼構造協会 (JSSC) 海中鋼構造特別小委員会では、本州四国連絡橋公団からの 委託を受けて、

D/T が40から100の基本的な継手形式について

継手サイクリング疲労強度および継手の補強法も含め、その耐力を求めた大規模な実験を行った。従来から実験式のあるものは、その適用性を検討して D/T の小さい場合の結果を D/T が40~100の範囲にも拡張できるようにも検討し、実験式のないものは、その式を作成した。その結果は設計指針 (表. 2.1) としてまとめられた。

丁形継手は(2)式を基本とし、
 単純な実験式に等形は(2)式を採用し、
 $40 \leq D/T \leq 100$ の範囲で
 適用が可能である。

$$\frac{P_y}{\sigma_{yL} T^2} = \frac{7.3}{1 - 0.833 d/D}$$

X形継手は(3)式を基本とし、

$$\sigma_0 = 0.85 \sigma_{yL} \text{ とし}$$

$$\frac{P_y}{\sigma_{yL} T^2} = \frac{5.3}{1 - 0.833 d/D}$$

と(2)式を採用する。

また実験式の適用範囲は $40 \leq D/T \leq 100$ の範囲で
 使用できる。さらに丁形継手の支筋に曲げ荷重が
 加わった場合の実験式を新たに指針として示す。

表 2.1 降伏耐力 (JSSC 指針)

基本形	降伏耐力	適用例	R
A: 	$\frac{P_{yy}}{\sigma_{yL} T^2} = \frac{7.3}{1 - 0.833 d/D}$ 適用範囲 $15 \leq D/T \leq 100$ $0.2 \leq d/D \leq 1.0$	 	$\frac{P_{yy}}{\sin \theta}$ P_{yy} $\frac{P_{yy}}{\sin \theta}$ $\frac{P_{yy}}{\sin \theta}$
B: 	$\frac{P_{yy}}{\sigma_{yL} T^2} = \frac{5.3}{1 - 0.833 d/D}$ 適用範囲 $15 \leq D/T \leq 100$ $0.2 \leq d/D \leq 1.0$	 	$\frac{P_{yy}}{\sin \theta}$ $\frac{P_{yy}}{2 \sin \theta}$
C: 	$\frac{M_{yy}}{\sigma_{yL} T^2} = \left[0.3 \frac{D}{T} + 5 \right] \left(\frac{d}{D} \right) D$ 適用範囲 $15 \leq D/T \leq 100$ $0.2 \leq d/D \leq 0.5$		
D: 	$\frac{M_{yy}}{\sigma_{yL} T^2} = \left[-0.03 \frac{D}{T} + 6.1 \right] \left(\frac{d}{D} \right) D$ 適用範囲 $15 \leq D/T \leq 100$ $0.2 \leq d/D \leq 0.5$		

P_y = 降伏耐力 (引張力),
 降伏軸力
 P_{y0} = 基本形に等しい P_y
 σ_{yL} = 鋼管の母線方向
 降伏応力
 M_{y0} = 全塑性モーメント

実験に使用した「合同管」のサイズは

主管 $318.5\phi \times 4.5 \sim 165.2\phi \times 4.5$

支管 $165.2\phi \times 4.5 \sim 42.7\phi \times 3.2$

材質は STK50 電鍍管 である。

表中の降伏耐力は次のように求められている。

降伏により格点の剛性が著しく低下する点の荷重、すなわち荷重が最大値に達し格点の耐力が低下する点の荷重を用い、この荷重を降伏耐力と称し次のように定義する。

2.4

(1) 図-1(a)のように $P-\delta$ 曲線上に降伏後間もなく peak が現われる場合は peak の荷重を P_{24} とする。

(2) 図-1(b)のように降伏した後も耐荷力が上昇する場合は降伏後の曲線の接線 A を引き、曲線の初期勾配を示す直線 B との交点の荷重 P_{24} を求める。曲線上の $\frac{2P_{24}}{3}$ に対応する点と原点を結ぶ直線 C と直線 A との交点の荷重を P_{24} とする。

2.4

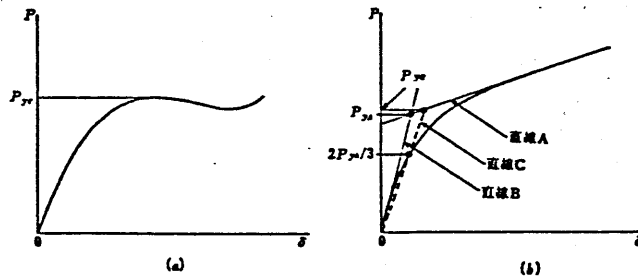


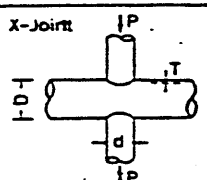
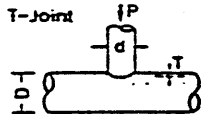
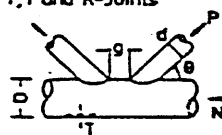
図. 2.4 降伏耐力の決定法.

なお、K形継手については T形継手式を用い支管の傾斜角を考慮して計算する。

⑤ 管径管厚比が大きくなる支管が重なり合う K 継手にも適用しうる耐力推定式の研究 (昭和 52 年) 1977

図 2.5⁴⁾ は従来の提案式が D/d の大きい海洋構造物に不適当な点、また 2 つの支管が重なり合う場合 (支管同士が重なる場合は支管管壁の補強効果が著しく、重なり合う場合と比べて耐力は 2 倍以上) の効果が加味されたいという点を補う目的で、従来の各所で行われていた実験データを総合的に再整理して、重回帰分析の手法を用いて表 2.2 に示す耐力推定式を導いた。

表 2.2 X, Y, K 継手の終局耐力推定式

Type of Joints	Predicted Ultimate Strength, P_u
	$P_u = \frac{6.57}{1 - 0.610 d/D} \sigma_y T^2 \quad (a)$
	$P_u = 6.43 [1 - 4.60 (\frac{d}{D})^2] \sigma_y T^2 \quad (b)$
 <p> $\bar{n} = N/\sigma_y A$ $A = \pi(D - T)t$ </p>	$P_u = 2.11 (1 - 12.1 \frac{d}{D}) f_p f_0 f_1 \sigma_y T^2 \quad (c)$ $f_p = 1 - 3.88 (1 - 20.9 \frac{T}{D}) (1 - 0.530 \frac{d}{D}) [1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} (0.237 - 0.183 \frac{d}{D})]$ <p>but not less than 1.0</p> $f_0 = (1 - 0.167 \cos \theta - 0.049 \cos^2 \theta) / \sin \theta$ $f_1 = 1 - 0.262 \bar{n} - 0.391 \bar{n}^2$ <p>(\bar{n}: positive for tension)</p>

P_u は図 2.5 に示すように、圧縮支管の軸方向力を継手の荷重とし、圧縮支管の局部変形による変位を考慮して継手の荷重-変形曲線を描き、a の場合は圧縮支管の軸方向力の最大値、b, c の場合は両負荷が起る前の圧縮支管の軸方向の最大値を耐力と定義している。この耐力推定式は建築学会の『鋼管構造設計施工

指針・同解説』(1980)にとりいれられている。

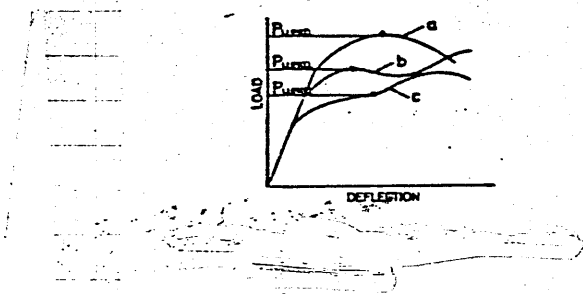


図. 2.5 鋼管継手の荷重-変形曲線

まとめ.

- 年代を通じて研究の流れをまとめると次のようになった。
- (1) わか同では1955年前後から鋼管が構造部材として使用されるようになった。これに引続いて構造用鋼管のJIS化、規格化が進められた。
 - (2) 1962年にはわか同で初めて日本建築学会『鋼管構造計算規程・同解説』が制定された。この中には既に鋼管分岐継手の耐力算定式はなく、継手の耐力は溶接継目の耐力と溶接長の関係から一種の継手効率として示された。
 - (3) 1965年までに各が、数多くの実験結果をもとにT^形継手の耐力実験式を導き出した。
 - (4) 1965年～1967年にかけて整尾ではX形継手とK形継手について耐力算定の実験式を導いた。
 - (5) 上記の研究は、いずれも鋼管径の小さい(139.8φ以下)、 D/t が15～30の範囲の建築鉄骨用のトラス構造を主体としたものである。
そこで D/t が大きい(40～100)海中構造採用の設計式の必要から1974年、日本鋼管構造協会にて D/t の大きいT, X, Y, K 継手耐屈補強式継手を対象として大規模な実験を行われ設計指針が発表された。

二の結果、T、K、X形継手に関し、各、繁尾の提案した実験式の適用範囲が拡大された。

特に支管に曲げが加わったT形継手の耐力式も加えられた。

- (6) 1977年、黒羽らは従来の研究結果を総合的に再整理し、重回帰分析の手法により、より精度の高い耐力推定式を導き出した。

上記の研究以外にも数多くの研究が1960～1970年代にかけて精力的に行われている。

- (7) 1980年、上記の研究を折り返しとして、日本建築学会では『鋼管構造設計施工指針・解説』を発行した。この指針の中には、各形継手の耐力推定式が示されている。

2-2. 外国における研究の状況

初期の研究では、日本と同じように、継手効率という考えを導入し、継手の耐力を評価していた。例之は Bouwkamp は図 2-6 のような (a), (b), (c) の KT 継手の終局耐力の比として $50 : 75 : 100$ を与えている。

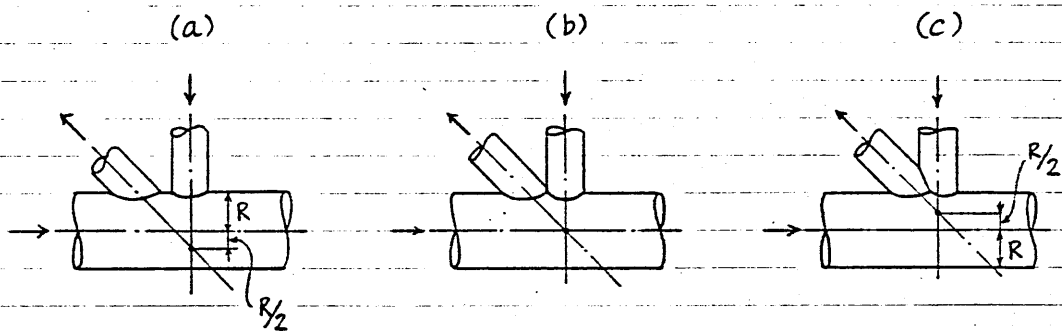


図 2-6.

その後 1960年代に入ってから、より精度の高い耐力を推定するための実験、研究が行なわれた。

その中心となつたのがアメリカの J.G. Bouwkamp (カリフォルニア大学) と A.A. Toprac (テキサス大学) の 2人である。

- ① J.G. Bouwkamp は d/D , D/T の因子の影響を調べる目的で一連の実験を行つた。また K 形継手で支管同志が重なっているもの、重なっていないもの、カセットプレートやリングで補強したものについて実験をしている。⁽¹⁰⁾ これらの実験から主管の板厚を厚くし D/T を小さくすることにより、静的耐力が大きくなるとともに、ホットスポットの応力集中係数を小さくすることを見出ししている。

② A. A. Topracら⁽¹¹⁾は、T, Y, K 継手について、それぞれ 4, 3, 3 個の試験体を作り、格点部の応力分布、静的耐力を計測している。静的耐力については、 d/D が 0.5 以下の場合、支管に引張力が作用したとき T 継手について次式で与えられる Shear area method による評価が比較的よく合うとしている。

$$P_u = S_{sy} \cdot \pi \cdot d \cdot T$$

ここで P_u : 静的耐力

S_{sy} : 鋼管材料のせん断降伏強度

d : 支管の外径 + 2 × 溶接脚長

T : 主管の板厚

主管と支管の交差角度が 45° の Y 継手については次式を与えている。

$$P_u = 1.706 S_{sy} \cdot \pi \cdot d \cdot T$$

これらの式は K 継手についても準用できるとしている。

試験体の大きさは

$$D = 318.5 \text{ mm}$$

$$d/D = 0.173 \sim 1.000$$

$$D/T = 50$$

鋼管材料の降伏長は約 30 kg/mm^2 である

OTC はアメリカ石油工業の中心であるヒューストン市で毎年開催される。展示会と同時に学術講演会が行われ、アメリカを中心として各国からの研究が発表されている。1969年より1回が開催され、1981年の才13回まで約3000編強の論文が発表され、このうち鋼管

構造関係の論文だけでも 50 編を越える多きを数えている。
疲労関係の論文が多く 静的強度に着目している論文は 10
編強である、そのうち特に静的耐力式を提案している
3 編を中心として 数編を採り上げ述べる。

③ A. A. Toprac⁽¹²⁾ は前記(11)の成果及びその後の研究成
果を第1回の OTC で発表している。T 継手の格突部
ホットスポットにおける応力計算用プログラム、T 継手の
疲労曲線を与えている。静的耐力~~式~~に関しては、試験結
果を述べているのみで前記(11)で提示した耐力式は
ここ~~で~~では発表していない。

④ J. B. Reber⁽¹³⁾ は T, Y, K 継手の弾性範囲内での最大応
力を求める式を導いている。

主管径: D , 主管板厚: T , 支管径: d , 支管にかかる力: P
としたとき T 継手については

$$\sigma_{max} = \frac{0.62 \cdot D^{0.7}}{T^{1.6} \cdot d^{1.1}} P$$

Y 継手については

$$\sigma_{max} = \sin^{1.5} \theta \frac{0.62 \cdot D^{0.7}}{T^{1.6} \cdot d^{1.1}} P$$

K 継手については

$$\sigma_{max} = \sin^{1.5} \theta \frac{0.35 \cdot D^{0.7}}{T^{1.6} \cdot d^{1.1}} P$$

これらの式で計算した ホットスポットの応力が降伏点~~を~~達する荷重
(first yield) と 継手全体が 継手としての強度を保てなく

なる荷重（耐力）との関係を実験から求め継手の耐力を
求める式を次のように導いている。

$$P_u = \frac{5.4 \sigma_y}{K \sin^{1.5} \theta}$$

P_u : 静的耐力

σ_y : 鋼管材料の降伏応力

$$K = \frac{0.62 D^{0.7}}{T^{1.6} \cdot d^{1.1}}$$

θ : 主管と支管の交差角度

T継手は $\theta = 90^\circ$ というK継手の特別な場合であり、上式は

T, Y, K継手のいずれにも適用される。この式の

適用範囲は $0.25 < d/D < 0.75$ である。

試験体の大きさは

$$D = 88.9 \text{ mm} \sim 508 \text{ mm}$$

$$d/D = 0.250 \sim 0.645$$

$$D/T = 21.2 \sim 60.6$$

$$\theta = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$$

鋼管材料の降伏応力は $25.3 \text{ kg/mm}^2 \sim 50.4 \text{ kg/mm}^2$ である。

⑤ R. Y. Lai 等⁽¹⁴⁾ は Punching Shear Stress に関して支管に
かかる軸力、面内曲げモーメントの他に面外曲げモーメント
の影響についても考慮し検討している。その結果
API⁽¹⁵⁾ で規定している許容せん断応力より高い値が
得られ、より経済的な設計ができるとしている。

⑥ Robert B. Pan 等⁽¹⁶⁾ は過去の多くの研究で実施された
346個の試験の結果を元に新しい静的耐力の式を導
いている。この試験結果の中には、日本の鷲尾、黒羽、

金谷によって行われたものも多数採り上げられている。

提案式を以下に列挙する。

T, Y 継手で支管に引張力が作用しているとき

$$P_u = 11.5 \sigma_y T^2 \sqrt{\frac{D}{T}} \left(\frac{d}{D}\right) / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.19 \leq d/D \leq 1.0$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

T, Y 継手で支管に圧縮力が作用しているとき

$$P_u = 3.1 \sigma_y T^2 \sqrt{\frac{D}{T}} \left(\frac{d}{D}\right) / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.19 \leq d/D \leq 1.0$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

X 継手で支管に引張力が作用しているとき

$$P_u = 22.75 \sigma_y T^2 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.64} / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.19 \leq d/D \leq 0.8$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

$$P_u = 41.5 \sigma_y T^2 \left(\frac{d}{D}\right)^{3.42} / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.8 \leq d/D \leq 1.0$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

X 継手で支管に圧縮力が作用しているとき

$$P_u = 16.13 \sigma_y T^2 \left(\frac{d}{D}\right)^{0.64} / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.19 \leq d/D \leq 0.8$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

$$P_u = 30 \sigma_y T^2 \left(\frac{d}{D}\right)^{3.42} / \sin \theta$$

$$\text{但し } 0.8 \leq d/D \leq 1.0$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

K 継手

$$P_u = 0.8 \sigma_y T^2 \sqrt{\frac{R}{T}} (1 + 6.52 \frac{d}{D}) (1 - 0.26 \cos^2 \theta) / \sin \theta$$

但し $0.16 \leq g/D < 0.7$

$$P_u = \sigma_y T^2 \sqrt{\frac{R}{T}} (1 + 6.52 \frac{d}{D}) (1 - 0.26 \cos^2 \theta) (1.0544 - 1.59 \frac{g}{D}) / \sin \theta$$

但し $-0.5 < g/D \leq 0.16$

σ_y は鋼管材料の降伏点応力である。また上式は各試験結果のうち最も小さな値を示すものに基づいており、安全率は含まれていない。

検討対象に選んだ試験体の大きさと降伏点を表 2.3 に示す。

表 2.3

	D (mm)	d/D	D/T	g/D	θ (度)	σ_y (kg/mm ²)
T 継手 (引張)	76.3	0.186	19.1	—	90	29.5
	?	?	?			?
	455.7	1.0	93.0			47.5
T 継手 (圧縮)	76.3	0.195	19.1	—	90	25.3
	?	?	?			?
	455.7	1.0	93.0			45.0
X 継手 (引張)	139	0.188	29.1	—	90	34.0
	?	?	?			?
	455.7	1.0	93.0			60.0
X 継手 (圧縮)	139.8	0.190	20.6	—	90	29.0
	?	?	?			?
	457.2	1.0	95.3			49.0
K 継手	60.5	0.150	18.3	0.722	90, 75	21.0
	?	?	?	?	60, 45	?
	508	0.886	103.2	-0.49	30	50.4

⑦ Joseph A. Yura 等⁽¹⁷⁾ は Robert B. Pan 等⁽¹⁶⁾ と同様に過去の試験結果から、より簡単な静的耐力の式を導いて
いる。Robert B. Pan 等は出来るだけ多くの試験結果
を使おうとしたが、Joseph A. Yura 等は試験結果を
下記の基準により厳選し、より精度を高めるよう、試み

その基準は

- (1) 試験体の大きさは主管の直径が 139.8 mm 以上であること。
- (2) 鋼管材料の実際の降伏点が測定されていること。
- (3) 試験結果の中に耐力の他に変形のデータも含まれていること。
- (4) 支管の切斷、座屈を耐力としていないものは除くこと。
- (5) 同一の試験結果が複数の論文にたづらて発表されたものは、その中の上っだけを採用すること。

このようにして選んだ 137 個の試験の結果を元としている。このうち 47% にあたる 64 個は日本で行われた試験であり、特に日本鋼構造協会が行なった試験 (5) からは、40 個が採り上げられている。結果は次のようである。T、Y 継手で支管に圧縮力が作用しているとき

$$P_u = \frac{\sigma_y T^2}{\sin \theta} \left(3.4 + 19 \frac{d}{D} \right)$$

X 継手で支管に圧縮力が作用しているとき

$$P_u = \frac{\sigma_y T^2}{\sin \theta} \left(3.4 + 13 \frac{d}{D} \right) Q_\beta$$

$$Q_\beta = 1.0 \quad \frac{d}{D} \leq 0.6 \text{ に対して}$$

$$= \frac{0.3}{\frac{d}{D} \left(1 - \frac{5}{6} \frac{d}{D} \right)} \quad \frac{d}{D} > 0.6 \text{ に対して}$$

K 継手

$$P_u = \frac{\sigma_y T^2}{\sin \theta} \left(3.4 + 19 \frac{d}{D} \right) Q_g$$

$$Q_g = 1.8 - 0.8 \frac{g}{d} \geq 1.0$$

上式は各試験結果のうち、最も小さな値を示すものに基づきであり、安全率は含まれていない。また著者は API⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾ で規定

している耐力公式から導いた値との比較を行い次のような結論を示している。

T, Y, X 継手

API 1973年版による耐力は、実際の値に比べかなり過大な値となる。API 1977年版ではより実際の値に近づくよう修正されたが、まだ大きな値となる。上記公式ではより小さな値となるように修正しており試験結果は、上記公式で求めた値より、いずれも大きくなっている。

KT 継手

API 1973年版, API 1977年版, 上記公式ともほぼ同じ値を示す。

検討対象に選んだ試験体の大きさと降伏点は表2.4に示通りである。

表 2.4

	D (mm)	d/D	D/T	g/d	θ (度)	σ_y (kg/mm ²)
T, Y 継手	139.8	0.189	35.0	—	90, 45	32.9
	?	?	?			?
	455.7	0.727	93.0			44.9
X 継手	139.8	0.190	20.6	—	90	28.6
	?	?	?			?
	457.2	1.0	95.3			48.9
K 継手	165.2	0.186	23.7	3.849	90, 60	24.4
	?	?	?	?	45	?
	508	0.692	103.3	0.024		50.4

以上、年代を追って主な論文について述べたが、まとめると次のようになる。

- (1) 1960年代から1970年代前半にかけて多くの実験的研究が行なわれている。A. A. Toprac⁽¹¹⁾, J. B. Reber⁽¹³⁾はホットスポットにおける最大応力計算式および静的耐力式を導いている。
- (2) 1970年代後半には、過去に行なわれた多くの実験結果を用いて、より精度の高い静的耐力を求める式が提案されている。⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾

更に、APIなど設計基準に規定されている公式の検討も行なわれており、これらの研究は設計基準の改訂作業にも影響を及ぼしていくものと考えられる。

2.3 今後の研究課題

T, Y, X 継手及びK継手の $g > 0$ の場合については実用上ほぼ満足できるところまで研究が進んだと言える。

今後 以下のような項目についてより十分な研究を行う必要がある。

(1) K継手で $g < 0$ の場合

Robert & B. Pan 等⁽⁶⁾ は $-0.5 < g/D \leq 0.16$ の範囲に対して耐力計算式を導いてはいるが、更に研究を進める必要があると提言している。即ち過去の実験結果もかなりばらつきが見られ、 g/D 以外の影響因子を導入する必要があることを示唆し、TにFEMのような解析手法を採り入れることも必要だろうと述べている。

Joseph A. Yura 等⁽⁷⁾ による耐力計算式でも $g < 0$ は適用範囲外である。

(2) 面外荷重が作用する場合

Joseph A. Yura 等⁽⁷⁾ により面外荷重が作用した場合のT継手の耐力の計算式が提案されている。しかし面内、面外荷重が同時に作用する場合耐力に関してはほとんど研究がなされていない。

(3) 大径鋼管による実験

従来 対象としてきた試験体は、いずれも小径管(100mm)

前段)のものかき、今後はISに大径の試験体を用いて
接合部の溶接脚長や入熱量の影響等も含め size
effect についての研究も行うべく必要かある。

(4) 主幹軸力が分岐継手の格尺耐力に及ぼす影響。

従来から実験のデータが少なく、特に小径管を対象とした
実験はほとんどが海陸用鋼製配管であり海洋構造用鋼への
適用については問題が残る。とある。

(5) 分岐継手の耐力比 (圧縮力と引張力)

分岐継手の支管に引張力が作用した場合と圧縮力が作用
した場合の耐力比の再評価が必要である。(建築学会の
指針では引張耐力は圧縮耐力の1.5倍とされている。)

(6) その他の研究課題として次のものがある。

a). 厚肉管 Double K 継手の耐力。

b). 支管が厚肉鋼管 ($D/t < 21$) の場合の耐力。

c). K 継手において $D/t \approx 1$ に近い支管をもつ場合の耐力。

d). 支管が高強度鋼 ($\sigma_y > 5.0 \text{ t/cm}^2$) の場合の耐力。

なお、国際的な動きとして、現在 IIW で鋼管分岐継手の設計
についての国際規格がとらまされようとしている。