

鋼管継手の格点強度の評価方法

奥村 敏 恵*・村上 永 一**
秋山 成 興***

1. ま え が き

本研究報告は、本州四国連絡橋建設のための海底掘削用海中鉄構の格点構造の強度実験と関連して、鋼管継手の格点強度の評価方法を提案したものである。

海底掘削用の足場としては、かなり以前から海底油田等にパイプ構造のトラスが用いられているが、用いる海中鉄鋼も同じ形式として計画してきた。

パイプ構造の特色は、その対称性、空間曲率によって他の構造部材に比して、はるかに大きい板厚比（管径/板厚）が可能である反面、面に垂直な非対称荷重、局部荷重に対してはきわめて弱い。すなわち、パイプトラス構造においてはその継手（格点）は最大の弱点となり、これが全体の強度を決定する¹⁾²⁾。

この点の重要性にかんがみて、ここ十余年来、主としてアメリカ合衆国では、Bouwkamp, Toprac らがこの問題に精力的に取り組んでいる。

鋼管継手の理論解析はきわめて困難で、いまだにその特性を十分考慮したものではなく、それぞれの場合に応じて適当と思われる便法で代用している³⁾⁴⁾。

したがって、必然的に実験的研究に頼らざるを得なくなり、上述の研究等の大半もこのアプローチによっている（しかしながら、電子計算機による有限要素法も構造形式によっては使用されている⁵⁾⁶⁾）。本州四国連絡橋公団でも、この鋼管継手の解析に本格的に取り組む目的で研究委員会を設け、後述するような基本形式の静的・動的強度特性の把握および、その評価法について一応の成果を得たので、その概略を述べたいと思う。

2. 実験の概要

(1) 実験目的

実験目的は、およそ次のようにまとめられる。静的実

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 本州四国連絡橋公団 理事

*** 正会員 工博 埼玉大学助教授 理工学部建設基礎工学科

験については、次の諸点を実験の主要な目標にした。

① 従来の研究は、もっぱら板厚比が 30 以下の鋼管継手の耐力に関するものであるが、これらの成果が、板厚比 100 まで外挿できるかどうか。

② 構造形式を定める主要パラメータ（主管の管径： D 、板厚： T ；支管の管径： d 、板厚： t で表わす）、すなわち D/T 、 d/D 、交角 θ 等の耐力に及ぼす影響の把握。

③ 格点部における各部材軸線の偏心量の耐力に及ぼす影響の把握。

④ 格点部の剛度の評価。

⑤ 補強形式の格点部耐力に及ぼす影響の把握。

⑥ 格点構造形式と施工性との関連を強度の点より判定すること。

動的実験については、次の点を目標とした。

① 海中鉄構の耐用年限を約 3 年と想定し、この間における波浪・潮流などの作用効果を考慮して、低サイクル疲労実験を行なう。

② 繰返し回数 N は、 $\leq 10^4$ とする。

③ 荷重は完全両振りとする。

④ 各種構造形式について、S-N 線図を描き、疲労強度を考慮した安全率を推定する。

(2) 実験計画

a) 材料の選定

主管 STK 50, 支管 STK 41。

b) 主要パラメータの選定

① 板厚比 (D/T): 40, 70, 100 の 3 種類。

② 管径比 (d/D): 0.2, 0.4, 0.6 の 3 種類を原則とした。

③ 交角 (θ): 基本として 90° 、それ以外は 45° 。

c) 継手形式の選定

現実の構造物では補強材は必須となるので、適切な補強法を求めるために、継手形式として、次の 2 つの場合に分けて考えることにした。

① 直接伝達形式：補強材を介さず、支管から直接、主管への応力伝達のみをメカニズムとその定量的把握。

② 間接伝達形式：補強材を介する場合。

表-1

番号	形状	デ	ー	タ	番号	形状	デ	ー	タ	
I	T	6	D/T=100, 70, 40 d/D=0.4, 0.2		II	KK	4	D/T=70, 40 d/D=0.4, 0.2		
	C					B 6 B' 3				D/T=100, 70, 40 d/D=0.4, 0.2 D/T=100, 70, 40 d/D=0.4
	R	12	D/T=100, 70, 40 d/D=0.4			TT	2	D/T=40 d/D=1.0, 0.6		
	B	6	D/T=100, 70, 40 d/D=0.4, 0.2			III	B	9	D/T=100 B/D=1.55, 1.0, 0.67 D/T=70, 40 B/D=2.5, 2.0, 1.5	
	BL	6	D/T=100, 70, 40 d/D=0.4, 0.2				RB	12	D/T=100 B/D=1.55 D/T=70, 40 B/D=2.5	
	TS	10	D/T=100 d/D=0.4, 0.2 D/T=70, 40 d/D=1.0, 0.6, 0.4, 0.2			T	6	D/T=100 B/D=1.0, 0.55, 0.32 D/T=70 B/D=1.0, 0.6, 0.3		
	CS	10	D/T=100 d/D=0.4, 0.2 D/T=70, 40 d/D=1.0, 0.6, 0.4, 0.2			IV	C	6	D/T=100 B/D=1.0, 0.55, 0.32 D/T=70 B/D=1.0, 0.6, 0.3	
	RS	16	D/T=70, 40 d/D=1.0, 0.6				TS	6	D/T=100 B/D=1.0, 0.55, 0.32 D/T=70 B/D=1.0, 0.6, 0.3	
	CK	8	D/T=100 d/D=0.4, 0.2 D/T=70, 40 d/D=0.6, 0.4, 0.2				R	8	D/T=100, 70 B/D=1.0	
	TK	8	D/T=100 d/D=0.4, 0.2 D/T=70, 40 d/D=0.6, 0.4, 0.2				TG	6	D/T=100 ΔR/R=0.5 α=45°, 30°, 15°	
RK	12	D/T=100, 70, 40 d/D=0.4		CG	6	D/T=100, 70 ΔR/R=0.5 α=45°, 30°, 15°				

番号	形 状	デ ー タ	番号	形 状	デ ー タ
RG		$D/T=100$ $\frac{\Delta R}{R}=0.5$ $\alpha=45^\circ, 30^\circ, 15^\circ$	SRH		$D/T=100$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $D/T=70$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$
V		$D/T=100$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.125$ $D/T=70$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.125$	TR		$D/T=100, 70$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.125$
SR		$D/T=70$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.125$	CR		$D/T=100, 70$ $b/D=0.5$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.25$ $b/D=0.25$ $\Delta R/D=0.125$

表-2

(1) 鋼管製作仕様 材質 STK 50 (JIS G 3444-1966)

(下記寸法値はいずれも公称値)

外径 D (mm)	板厚 T (mm)	長さ L (mm)	D/T	本数	重 量 (kg)	仕 上 り 精 度	
						① 外径： $\pm 1\%$ (目標値 0.5%)	⑥ 内外面ビード切削
475.2	4.5	10 000	101.5	24	12 048	② 板厚： $\pm 10\%$ (目標値 5%)	内面ビード： $< +0.8$ mm
318.2	4.5	10 000	71.0	20	6 960	③ 曲がり： $< 1.2/1000$	外面ビード： $< +0.5$ mm
165.2	4.5	7 000	36.8	10	1 246	④ 直角度： < 1.5 mm	
						⑤ 長さ： $-0 \sim +60$ mm	

試 験, 検 査

引張試験, 化学分析, 備平試験, 外観・寸法検査

(2) 試験体製作仕様 主管 STK 50・支管 STK 41

外 観 製 作 精 度	溶 接		
① 長さ： ± 2 mm	① 相貫部溶接は一部突合せ、一部隅肉とする。	③ 脚長、余盛りは均一とする。	
② 交角： $< \pm 1/1000$, かつ支管端部で $< \pm 2$ mm	② 溶接条件は一定とする。	④ 溶接棒と溶接条件。	
③ 主管の曲がり：中央部で $L 1000$, かつ $< \pm 3$ mm	溶 接 箇 所	溶 接 棒	溶 接 条 件
④ 端板の直角度： $< \pm 1/500$	本管、本管端部 (力が加わる)	JIS D 5016 KS-76 低水素系	$\phi 4$ mm 110~180 A
⑤ 端板のそり： < 1 mm	支管、プレート、支管端部 (力が加わらない)	JIS D 5000 KS-78 特殊系	$\phi 4$ mm 160~210 A $\phi 5$ mm 190~250 A
そ の 他			

- ① ひずみ取りを行なう場合は 650°C 以下とする。
 ② 溶接部の検査は、外観、開先、肌すき、ルート間隔、溶接寸法検査とする。
 ③ 焼鈍、塗装は行なわない。

表-3

種 別	試験体名	管径 D (mm)	管厚 T (mm)	σ_{YL} (t/cm ²)	P_Y (t)	P_{max} (t)	P_{Ye} (t)	P_Y/P_{Ye}
圧縮試験	CTP-40	165.2	4.65	4.21	101.0	109.9	95.6	1.06
	CTP-70	318.5	4.55	4.21	191.6	191.6	186.8	1.02
	CTP-100	457.2	4.50	4.20	275.1	275.1	268.7	1.02
せん断試験	STP-40	165.2	4.50	4.69	65.0	72.3	50.0	1.30
	STP-70	318.5	4.50	4.37	115.0	118.0	93.0	1.23
	STP-100	457.2	4.50	4.20	175.0	175.0	134.0	1.30
曲げ試験	BTP-40	165.2	4.70	4.69	34.0	35.8	33.6	1.01
	BTP-70	318.5	4.40	4.37	54.7	54.7	58.7	0.93
	BTP-100	457.2	5.00	4.20	73.5	81.3	93.0	0.79

以上より、表-1 に示すようなタイプを選定した。系列 I, II は①の場合、系列 III~V は②の場合に対応する。以上は鋼板から製作する通常の場合であるが、海中構造物という特殊性を考慮して、特殊タイプとして系列 VI の鑄鋼製球形継手、系列 VII の変厚形継手も実験したが、ここでは触れない。

d) 低サイクル疲労実験の応力レベル (S)

応力レベル (S) は、原則として次の4段階とした。

$$S = P/P_{max} = 0.8, 0.5, 0.4, 0.3$$

4点から S-N 曲線を引くのは、いささか大胆すぎるが、同一条件の実験供試体が得られるよう、とくに溶接管理はきびしく行なった。

(3) 試験体の製作

主管材としては、試験体の再現性を考慮して、同一ロットの鋼塊より製造する $T=4.5\text{mm}$ の電ぼう管を用いることとした。主管材および試験体の製作仕様は表-2 にまとめている。

(4) 素材試験

実験においては、主管の材料強度が試験体強度を支配すると考えられるため、一連の素材試験を主管について行なった。引張試験の結果、引張降伏点は概略次のようのものであった。

$\sigma_{YL} = 4 \sim 5 \text{ t/cm}^2$ ここで、 σ_{YL} : 軸方向降伏点

$\sigma_{YC} = 0.78 \sim 0.9 \sigma_{YL}$ σ_{YC} : 周方向降伏点

(降伏点は、0.2%, Offset で求めたもの)

なお、 T は $4.4 \sim 5.1 \text{ mm}$ であった。

さらに、主管の基本的性状を調べるために、次の3種類の試験を行なった。これを結果とともに、表-3 に示す。この表から、圧縮およびせん断に対しては、鋼管は $D/T=40 \sim 100$ の範囲で全塑性状態に達しうることがわかるが、曲げに対しては、 $D/T > 70$ の範囲では、全塑性状態に達し得ないことが判明した。

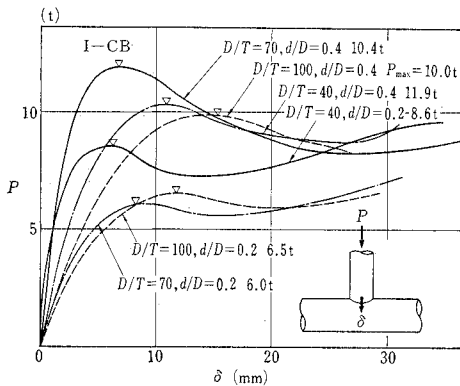


図-1

(5) 載荷要領

載荷要領は、予想降伏耐力の 1/10 のピッチで荷重を加えるのを原則とし、弾性域で数回反復して破壊に至るまで載荷した。

(6) 計測要領

ひずみゲージは予想される応力集中箇所のみ、ダイヤルゲージは主要変形の測定に必要な箇所にとどめた。なお、主要変形は、横倒れ変形等の影響を除くために対称位置で測定した。

3. 実験結果の概要

(1) 実験結果の一般的傾向

実験結果については、典型的な $P-\delta$ 曲線の例は、図

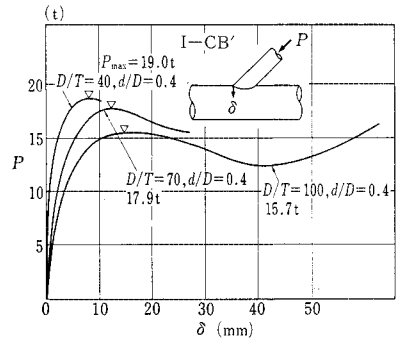


図-2

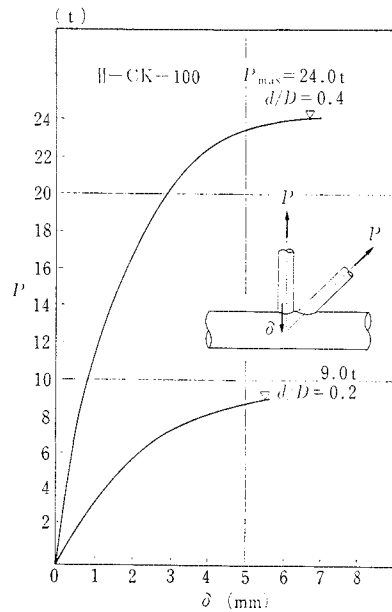
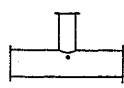
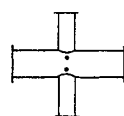
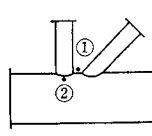

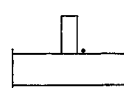



図-3

表-4

系 列	静 的 実 験	低 サ イ ク ル 疲 勞 実 験
I-T	① 支管母材破断 ② 主管管壁のせん断破断	 <p>① 溶接ビード止端部に沿って伝播 ・ クラック発生点 (以下同じ)</p>
I-CB	荷重の増とともに、変形は非線形に増大し主管の局部降伏により最大耐力に達する	
I-CB'	主管管壁の局部降伏により最大耐力に達する	
I-B	主管管壁の局部降伏と支管の降伏により最大耐力に達する	
I-BL	主管管壁の局部降伏と支管の降伏により最大耐力に達する	
I-TS	荷重増加に伴い主管管壁は偏平化する。主管管壁にクラックが発生する。発生点は疲労実験の場合と同じ	 <p>溶接ビード止端部に沿って伝播。ある長さに達すると主管の長手方向にも分岐して伝播し、ビードに沿う伝播速度より大きいものがある</p>
I-CS	① 主管中央部が偏平化し、鋭角的に突き出し、座屈を生じた ② 主管中央部が偏平化し、支管周囲の局部降伏によって最大耐力に達する	
II-CK	① 主管管壁の局部降伏 ② 飛移り現象で主管管壁の変形が急増する (最終的に主管管壁が破断する場合もある)	 <p>クラックの伝播速度は②のほうが大きい</p>
II-TK	① 支管のめり込みによる主管管壁の局部降伏 ② 飛移り現象で主管管壁の変形が急増する (主管管壁のビード止端部でクラックが生ずる場合がある)	
II-KK	① 引張側支管の破断 ② 支管取付部の主管管壁の局部降伏	
II-TT	主管管壁の偏平化	
III-B	① 主管管壁の局部降伏 ② 管壁の拘束が大きいときは、ガセットプレートの引張側端部の主管管壁にクラックが生ずる	 <p>ビード隅角部でビードに沿う方向と主管中央方向に分岐して伝播</p>
IV-T	ガセット取付端部の表面繊維は低い荷重で降伏する。変形は荷重の増大とともに非線形に増大し、ガセット取付端部にクラックが生ずる	 <p>① クラック発生点主管側溶接止端部アンダーカット内 ② 溶接ビード止端部に沿って中央方向へ伝播</p>
IV-C	ガセットプレート取付端部の主管管壁に局部降伏を生じ、次に主管管壁の偏平化で最大耐力に達する	
IV-TS	ガセット取付端部の主管管壁の繊維は低い荷重で降伏する。この後、荷重の増大とともに変形は非線形に漸増し、断面の急変とともに変形も急増する	 <p>溶接ビード止端部に沿って伝播</p>
V-TG	① ガセットプレート取付部の主管管壁の局部降伏 ② ガセットプレート端部主管管壁にクラックが生ずる ③ ガセットプレート取付部の主管管壁の局部降伏	
V-CG	① フランジの降伏 ② 主管管壁の偏平化 (リング端部の主管管壁にクラックが生ずる場合がある)	
V-TR	① 引張りフランジの破断 ② リングの破断	
V-CR	① リングの面外座屈 ② 主管管壁の偏平化による降伏	

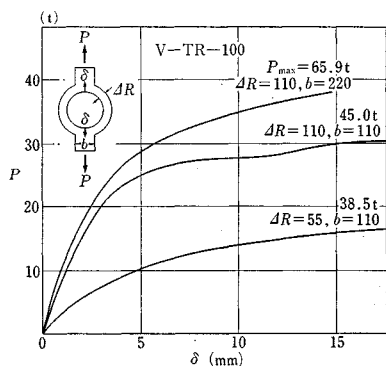


図-4

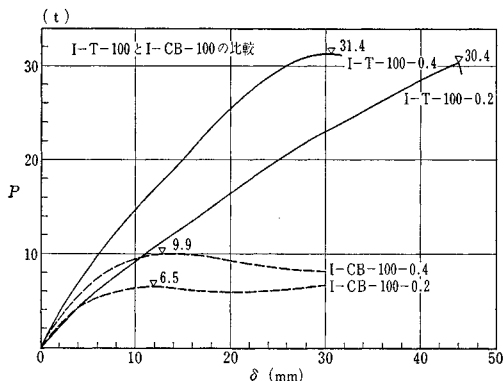


図-5

—1~7に、破壊または崩壊モードの概略を表-4にまとめてある。これにより、大体次の傾向が見られる。

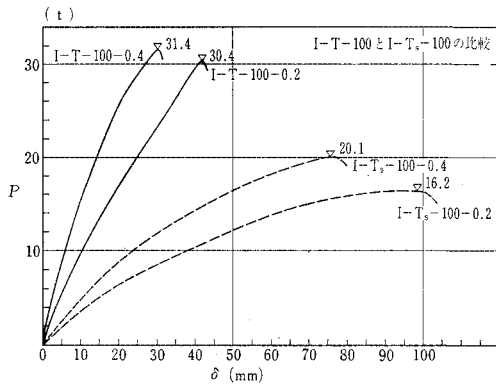


図-6

① $P-\delta$ 曲線については、圧縮、引張りの場合は、はっきり差が現われている。圧縮の場合は(図-8)、不安定なつりあいを示したのち膜応力で抵抗するが、引張りの場合は(図-9)、つねに安定なつりあい状態にあって、膜応力状態で抵抗することが推定される。

② 引張応力状態にある箇所にはクラックが発生するケースが多いが、圧縮応力状態の場合、主管は十分な延性を示し、クラックは発生しない。

(2) 格点構造の降伏耐力の定義

格点構造の設計の目安としては、降伏により格点の剛性が著しく低下する点の荷重の値ないしは、荷重が極大値に達して、格点の耐荷力が低下する点の荷重が用いられる。ここでは、圧縮の場合は図-8のもの、また引張りの場合は図-9の P_Y のように定義した。

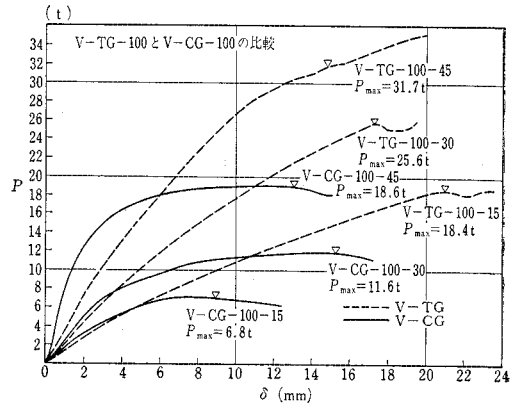


図-7

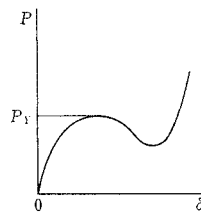


図-8

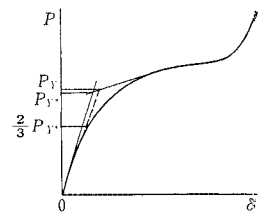


図-9

(3) 静的実験結果と計算値との比較

実験結果と計算値との比較を表-5にまとめておく。ここで

- σ_{YL} : 主管材料の軸方向降伏点
- σ_{YC} : 主管材料の周方向降伏点

表-5

試験体名称	主 管					支 管			d/D	P_Y	P_{max}	P_{Ye}
	σ_{YL}	$\sigma_{Yc/YL}$	T	D	D/T	σ_{YL}	t	d				
I-CB-100-0.2	4.0	0.9	4.9	457.2	93	3.7	3.0	89.1	0.195	6.5	6.5	8.32
I-CB-100-0.4	4.0	0.9	4.9	457.2	93	4.5	4.7	165.2	0.362	10.0	10.0	12.5
I-CB'-100-0.4	4.0	0.9	4.9	457.2	93	—	—	165.2	0.362	15.7	15.7	17.7
I-B-100-0.2	4.1	0.85	4.8	457.2	95	3.7	3.0	89.1	0.195	55*	62*	55.1*
I-B-100-0.4	4.1	0.85	4.8	457.2	95	4.8	4.7	165.2	0.360	184*	184*	189.1*
I-BL-100-0.2	4.1	0.86	4.8	457.2	95	3.7	3.0	89.1	0.195	26*	36*	27.3*
I-BL-100-0.4	4.1	0.86	4.8	457.2	95	4.8	4.7	165.2	0.360	54*	68*	50.6*
I-CS-100-0.2	4.0	0.90	4.8	457.2	95	3.5	4.9	89.1	0.195	5.5	5.5	6.1
I-CS-100-0.4	4.0	0.90	4.8	457.2	95	—	—	165.2	0.361	8.2	8.2	7.35
I-CK-100-0.2	4.1	0.83	4.9	457.2	93	3.7	3.0	89.1	0.195	7.0	9.0	8.1
II-TK-100-0.2	4.6	0.90	5.0	457.2	90	3.7	3.0	89.1	0.195	12.0	12.0	14.4
II-TK-100-0.4	4.4	0.92	5.0	457.2	91	5.0	—	165.2	0.362	21.0	21.0	20.3
III-B-100-0.66	4.2	0.81	4.7	457.2	97	300	—	—	0.65	1.7	1.8	1.95
III-B-100-1.0	4.3	0.85	4.8	457.2	95	450	—	—	0.99	2.8	3.3	2.93
III-B-100-1.5	4.2	0.86	4.7	457.2	97	700	—	—	1.53	4.3	6.0	4.57
IV-T-100-1.0	4.5	0.83	4.7	457.2	97	450	—	—	0.985	—	22.3	7.28
IV-C-100-1.0	4.5	0.78	4.9	457.2	93	450	—	—	0.985	8.5	17.0	7.42
V-SR-100-110	4.0	0.9	4.9	457.2	93	—	110	110	—	34.0	—	32.0
V-TR-100-110	4.4	0.85	4.9	457.2	93	—	110	110	—	23.0	45.0	24.4
V-CR-100-110	4.2	0.81	4.7	457.2	97	—	110	110	—	24.0	32.3	21.8

注: ① * 印の単位は t・cm である。 ② D は公称径を用いた。

P_Y : 実験より得られた降伏耐力

P_{max} : 最大耐力

P_{Ye} : 表-6 に示す近似式 (筆者らが提案した実験公式) より得られた計算上の降伏耐力

V-RG $S = P/P_Y = 0.90 - 0.13 \log N$

ここで, P_Y : 圧縮力下の降伏耐力

4. 結 論

一連の実験を通じて得られた結論は、次のようにまとめられるであろう。

① 従来, D/T が 30 以下の鋼管についての耐力に関する実験式は, 大体において, D/T が 40~100 の範囲に拡張して適用できるであろう。

② 交角 θ で主管と支管が交差するタイプの格点構造では, 主管軸に垂直な荷重成分のみを考慮すれば, 耐力予測には十分であろう。

③ D/T が大きくなれば, 格点強度を高めるために

(4) 低サイクル疲労実験結果

実験は破壊に至るまでの繰り返し回数 N が 10^4 以下の範囲になるような, 完全両振りで行なった。結果は, ほぼ直線で近似でき, それぞれ次式で与えられる。

I-R $S = P/P_Y = 0.95 - 0.15 \log N$

I-RS $S = P/P_Y = 1.20 - 0.22 \log N$

II-RK $S = P/P_Y = 1.26 - 0.21 \log N$

III-RB $S = P/P_Y = 0.90 - 0.16 \log N$

IV-R $S = P/P_Y = 1.42 - 0.24 \log N$

表-6

番号	形 状	デ ー タ	番号	形 状	デ ー タ
T		I-C に準ずる	CK		I-C に準ずる 降伏耐力は I-C をかなり上回る
C		形状範囲 $19.1 < \frac{D}{T} < 28.6; 0.234 < \frac{d}{D} < 0.952$ $P_{Ye} = (80 \frac{\alpha}{\pi} + 2) \sigma_{YL} \cdot \frac{Z}{a}$ $\alpha = \sin^{-1} \frac{d}{D}; Z = \frac{B_s T^2}{6}$ $B_s = 1.52 a \sqrt{\frac{a}{T}}$ $a = \frac{1}{2} (D - T)$	II	TK	II-CK と同じ
I	B	$\frac{M_{Ye}}{\sigma_{YL} T^2} = \left[0.3 \left(\frac{D}{T} \right) + 5 \right] \times \left(\frac{d}{D} \right)^2 D$	TK		I-C による耐力を sqrt(2) 倍
BL		$\frac{M_{Ye}}{\sigma_{YL} T^2} = \left[-0.03 \left(\frac{D}{T} \right) + 6.1 \right] \left(\frac{d}{D} \right)^2 D$	KK		II-TK と同じ
TS		I-C に準ずる	TT		I-C に準ずる
CS		形状範囲 $17 < \frac{D}{T} < 33.5; 0.2 < \frac{d}{D} < 1$ $\frac{P_{Ye}}{\sigma_{Yc} T^2} = \frac{6.19}{1 - 0.833 d/D}$	B		$\frac{M_{Ye}}{\sigma_{YL} \cdot T^2} = 7 B$
			T		IV-CS に準ずる

番号	形 状	デ ー タ	番号	形 状	デ ー タ
IV	C	IV-CS に準ずる	SR	プレートリング	C点を通る鉛直断面における降伏せん断力を V_y とすれば $2V_y = 4 \cdot d \cdot R \cdot t \cdot \sigma_y \cdot p$ $2V_y = \frac{2 \cdot d \cdot R \cdot t \cdot \sigma_y}{\sqrt{3}}$ のうち、小さいほう。 ここで、 $\alpha = \frac{1}{2 \cos^2 \frac{\phi_0}{2}}$ $1 - 2\alpha^2 p^2 = p \left(\frac{2R}{dR} \right) \sin \phi_0$ $\left(1 - \frac{1}{\cos^2 \frac{\phi_0}{2}} \right)$
	CS	形状範囲 $1 < \frac{B}{D} < 2$ $\frac{P_{Ye}}{\sigma_{Yc} \cdot T^2} = 6.24 + 2.62 \frac{B}{D}$ $(\sigma_{Yc} = 0.85 \sigma_{YL})$			
V	TG	$\frac{P_{Ye}}{\sigma_{YL} \cdot T^2} = 21 \frac{b}{D}$	TR		C点を通る鉛直断面における降伏せん断力を V_y とすれば、 $2V_y = 4 \cdot d \cdot R \cdot t \cdot \sigma_y \cdot p$ ここで $2 + p - 14 p^2 = 4 p \left(\frac{R'}{dR} \right) \times (1 - \cos \phi_0)$ $R' = R + \frac{dR}{4}$
	CG	V-TG と同じ		CR	

注：なお、リングの耐力に関する計算においては、リングプレートのロール方向の引張素材試験より得られた降伏点を用いた。

は適切な補強が必要となる。この補強方法としては

- 格点構造部の主管の板厚を上げる、
- 主管をリングで補強する、

等が考えられる。

④ リングによる補強はリングの耐力が理論的にも予測でき、かつ主管への応力伝達もきわめてスムーズである。したがって理論解析の点のみからいえば、支管からの力を補強リングを介して主管に伝達する構造が望ましいであろう。しかし、適切な補強方法は施工性とも深い関連性をもつもので、総合的な判断のうえにたつべきであろう。

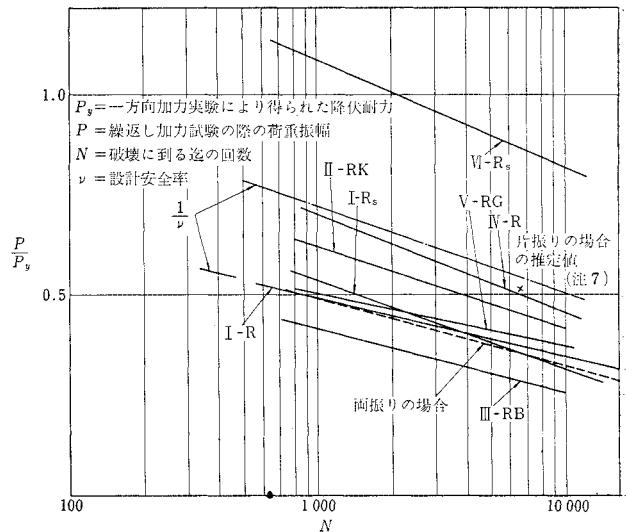
⑤ 低サイクル疲労強度を考慮した場合、設計安全率 ν は、リングによる補強以外のタイプで、次の値が適当であると思われる。

$$\begin{aligned}
 N \leq 10^3 \text{ の場合} & \quad \nu = 2.0 \\
 N \leq 5 \times 10^3 \text{ の場合} & \quad \nu = 2.5 \\
 N \leq 10^4 \text{ の場合} & \quad \nu = 3.0
 \end{aligned}$$

リングによる補強を施した場合は、応力集中がそれほど大きくないであろうことを考慮すれば、次の値で十分であろう。

$$\nu = 1.5$$

ただし、この場合、常時荷重の大きい重要な格点では、やはり $\nu = 2.0$ とするほうが望ましいと思われる。



図—10

5. あとがき

以上、鋼管構造格点部に関する耐力実験の概略と耐力評価法について述べた。詳細なデータ解析、整理は目下進行中で、おりをみて発表する予定である²²⁾。

現実の構造物は、ここで分類した基本的な場合が種々

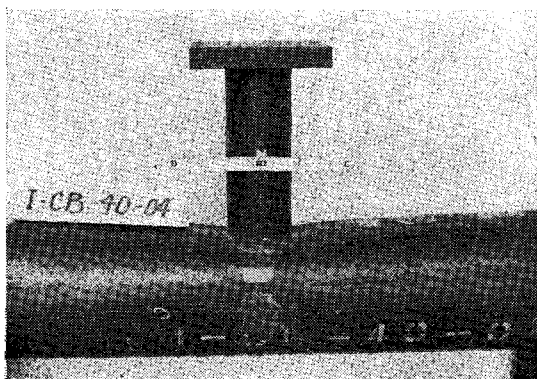


写真-1 I-CB-40-0.4 の崩壊状況

組み合わさったもっと複雑なもので、ここで得られた結論を単純には適用できないであろう。しかし、格点構造の力学的挙動の大体の傾向はつかめたと思う。

本実験はいつてみればマクロ的視点にたつもので、格点構造の力学的諸性質をさらに深く理解しようとするればミクロ的実験が必要であり、われわれもこれを志向してさらに努力を傾けていきたいと思う。

最後に、実験に際して種々ご協力を頂いた、石川島播磨重工、三菱重工、川崎重工、日立造船、三井造船、住友重機械工業、久保田鉄工、日本鋼管、住友金属、神戸製鋼、川崎製鉄の関係各位に深い感謝の意を表す。

参考文献

1. 一般概念に関するもの。

- 1) A.A. Toprac : Tubular Connections, A. Review of Stress Analysis and Design. I.I.W. Doc. XV-153-63 Jun., 1963.
- 2) A.A. Toprac, L.P. Johnston and J. Noel : Welding Tubular Connections, An Investigation of Stresses in T-Joints. Welding Research Supplement Jan., 1966.

2. 有限要素法に関するもの。

- 3) 円筒仕口部の応力分布に関する基本模型実験、三菱広島研究所試験研究報告。
- 4) Ojars Greste : A Computer Program For The Analysis of Tubular Joints.
- 5) Ojars Greste and Ray. W. Colugh : Finite Element Analysis of Tubular Joints. Report of Univ. of California, Apr., 1967.

- 6) J.G. Bouwkamp : Concept of Tubular-Joints Design. Proc. of A.S.C.E., Apr., 1964.
- 7) A.C. Scordelis and J.G. Bouwkamp : Analytical Study of Tubular Tee-Joints. Proc. of A.S.C.E., Jan., 1970.

3. 静的実験に関するもの。

- 8) 金谷弘 : 鋼管接合部の局部変形に関する実験的研究、日本建築学会論文報告集, 109号, 1965.
- 9) 鷲尾・東郷・三井 : 鋼管構造における接合部、日本建築学会論文報告集, 大会号, 1966.
- 10) 加藤・秋山 : 鋼管トラスの接合部の局部曲げ耐力に関する研究、日本建築学会論文報告集, 大会号, 1970.

4. 疲労実験に関するもの。

- 11) J.G. Bouwkamp : Structural Behavior of Tubular Joints with Wing-Plates. Report of Univ. of California, Dec., 1967.
- 12) J.G. Bouwkamp : Behavior of Truss Joints Under Static Loads. Design and Analysis of Offshore Drilling Structures.
- 13) J.G. Bouwkamp : Tubular Joints Under Static And Alternating Loads. Report of Univ. of California, Jun., 1966.
- 14) J.G. Bouwkamp : Tubular Joints Under Alternating Loads. Report of Univ. of California, Nov., 1967.
- 15) A.A. Toprac : The Fatigue Behavior of Tubular Connection. I.I.W., Doc. XV-293-70, 1970.
- 16) Y. Kurobane, M. Natarajan and A.A. Toprac : Fatigue Tests of Tubular T-Joints. Structures Fatigue Research Laboratory, Univ. of Texas, Nov., 1967.
- 17) T. Maeda, K. Uchino, H. Sakurai : Experimental Study on the Fatigue Strength of Welded Tubular K-Joints. I.I.W., Doc. XV-269-69.
- 18) T. Maeda, K. Uchino, H. Sakurai : Experimental Study on the Fatigue Strength of Welded Tubular T- and X-Joints. I.I.W., Doc. XV-270-69.
- 19) Y. Kurobane : Effects of Low-Cycle Alternating Loads on Tubular K-Joints. I.I.W., Doc. XV-271-69, Jul., 1969.
- 20) Y. Kurobane and Y. Makino : Additional Tests of Tubular K-Joints Under Low-Cycle Alternating Loads with High Mean Loads. Supplement to I.I.W., Doc. XV-271-69, Jul., 1969.
- 21) M. Natarajan and A.A. Toprac : An Investigation of Welded Tubular Joints. Progress Report, I.I.W., Doc. XV-265-69, Jun., 1969.
- 22) 本州・四国連絡橋公団昭和46年度委託研究 : 海中鋼構造物の格点に関する研究報告書、日本鋼構造協会、昭和47年3月。

(1973.2.26・受付/同 4.20・再受付)

土木学会耐震工学委員会編 ●好評発売中 定価 5000 円 会員特価 4500 円 (〒 200 円)

地震応答解析と実例

● B5判・458 ページ・8 ポイント一段組・図版・表など 1000 個・上製箱入特製クロス装豪華本 ●

第1編 基礎編 1章 概説 2章 振動論 3章 地盤の震動特性 4章 地震外力 5章 理想化された構造系 6章 地震応答解析の方法 7章 構造材料と土の動的的特性 8章 解析結果に対する評価

第2編 応用編 9章 橋梁 10章 ダム 11章 土構造 12章 港湾構造物 13章 電力施設 14章 都市施設 15章 その他の構造物 16章 地震応答観測 索引

<全国主要書店でも扱います。予約して下さい>