

大阪大学大学院 学生員 藤田 真
 大阪大学工学部 正 員 前田幸雄
 大阪大学工学部 正 員 大倉 一郎

1. まえがき 海洋ジャケットの鋼管継手部には応力集中が生じ、これによって継手部の疲労強度が低減する。したがって鋼管継手部の応力集中を明らかにすることは非常に重要である¹⁾。本研究では、有限要素法によるシェル解析プログラムを作成した。そして、支管が軸力をうける鋼管T型継手を解析対象として、支管の長さ及びその端部の境界条件、さらに主管の長さが継手部の応力集中に与える影響を明らかにしたので以下に報告する。

2. シェル解析プログラムの作成 有限要素法による平板要素を用いたシェル解析プログラムを作成した。平板要素に対しては、変位関数がそれぞれ次式で与えられる三角形要素と四角形要素を用いた。²⁾

三角形要素 面内: $u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$ $v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y$

面外: $w = \beta_1 L_1 + \beta_2 L_2 + \beta_3 L_3 + \beta_4 (L_1^2 L_2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \beta_5 (L_2^2 L_3 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \beta_6 (L_3^2 L_1 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \beta_7 (L_1 L_2^2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \beta_8 (L_2 L_3^2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3) + \beta_9 (L_3 L_1^2 + \frac{1}{2} L_1 L_2 L_3)$

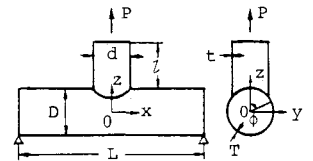
四角形要素 面内: $u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy$ $v = \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy$

面外: $w = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 x^2 + \beta_5 xy + \beta_6 y^2 + \beta_7 x^3 + \beta_8 x^2 y + \beta_9 xy^2 + \beta_{10} y^3 + \beta_{11} x y^2 + \beta_{12} x^2 y$

ここに $\alpha_1 \sim \alpha_8, \beta_1 \sim \beta_{12}$: それぞれ定数 L_1, L_2, L_3 : 面積座標

要素分割については、主管と支管をそれぞれ平面上に展開し、この平面上で行った。連立1次方程式の解法にはCG法を用いた。

3. 鋼管T型継手の解析 図-1に示すような、支管に引張りの軸力が作用する鋼管T型継手(T-1)について、主管の両端を単純支持とし、支管の端部が自由支持の場合と単純支持の場合に対して計算を行った。対称性より全体の1/4の部分に対して、図-2に示すような要素分割を行った。支管の端部が自由支持の場合、主管の中央断面における管軸方向の曲げモーメント M_x と管周方向の曲げモーメント M_{ϕ} の分布を図-3に示す。 M_x と M_{ϕ} はともに相貫線(主管と支管の板厚中央面の交線)の付近で急激に増大する。また支管の端部が自由支持の場合、支管の管軸方向の曲げモーメント M_z と管周方向の曲げモーメント M_{ϕ} の分布を図-4に示す。このような分布は図-4の挿入図の太線上のものである。 M_z と M_{ϕ} はともに相貫線の付近で急激に増大する。他方、膜力も主管と支管のいずれにおいても相貫線上で最大値をとることが解析結果より確認された。さらに、支管の端部が単純支持の場合についても



D=78.28cm T=2.04cm
 d=60.23cm t=1.26cm
 L=320cm l=80cm P=20t

図-1 鋼管T型継手(T-1)

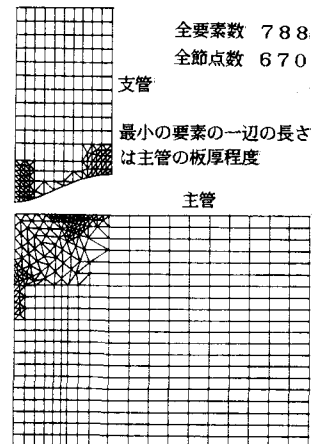


図-2 要素分割図

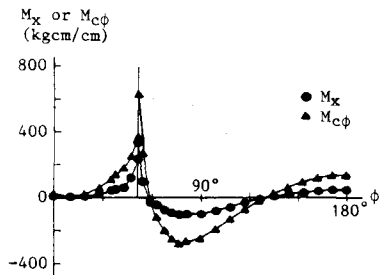


図-3 曲げモーメントの分布(主管中央断面)

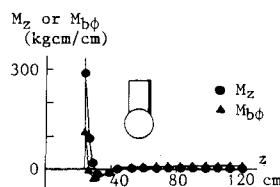


図-4 曲げモーメントの分布(支管)

膜力および曲げモーメントは、主管と支管のいずれにおいても、それぞれの相貫線上で最大値をとることが確認された。

4. 応力集中係数 一般に、疲労亀裂は主管と支管を連結するすべり肉溶接の末端に発生する。そこで本研究では図-5に示すような支管の板厚と等しいサイズのすべり肉溶接を想定し、主管と支管のそれぞれの溶接止端に相当する位置の、溶接線に直角方向の表面の応力をホットスポット応力と定義した。ホットスポット応力を σ_s とすると σ_s は膜力による膜応力 σ_m と曲げモーメントによる板曲げ応力 σ_b の和で与えられる。また σ_s を支管の平均応力 σ_a で除した値を応力集中係数(SCF)とした。図-6に示す主管の点Aと点Bおよび支管の点Cと点Dの σ_s とSCFを表-1

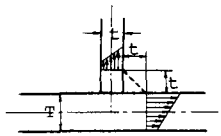


図-5 仮想的な溶接止端

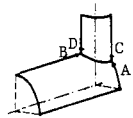


図-6 SCFを求める位置

表-1 ホットスポット応力とSCF

に示す。支管の端部の境界条件にかかわらず、主管の点Aでは σ_b が卓越し、点Bでは σ_m が卓越している。また支管の点Cと点Dでは、ともに σ_b が卓越している。主管では点AのSCFが点Bよりも大きく、支管では点CのSCFが点Dよりも大きい。このモデルでは支管が短く、支管の端部の境界条件が継手部の応力集中に影響を与えるために、各点のSCFは支管の端部の境界条件によって異なっている。

		支管の端部の境界条件 自由支持				支管の端部の境界条件 単純支持			
		σ_m (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_s (kg/cm ²)	SCF	σ_m (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_s (kg/cm ²)	SCF
T-1	A	128.05	392.64	520.69	6.08	148.95	496.32	645.27	7.53
	B	222.35	127.44	349.79	4.08	204.63	59.88	264.51	3.09
	C	230.90	323.23	554.13	6.47	272.65	381.14	653.79	7.63
	D	27.45	171.17	198.62	2.32	17.31	35.38	52.69	0.62
T-2	A	141.68	470.15	611.83	7.14	142.10	472.82	614.92	7.18
	B	207.06	76.55	283.61	3.31	206.58	75.06	281.64	3.29
	C	260.14	354.59	614.73	7.17	260.96	355.88	616.84	7.20
	D	19.66	64.22	83.88	0.98	19.63	61.24	80.87	0.94
T-3	A	144.33	481.63	625.96	7.31	144.72	483.70	628.42	7.33
	B	248.42	71.76	320.18	3.74	248.04	70.67	318.71	3.72
	C	267.83	372.00	639.83	7.47	268.78	372.82	641.60	7.49
	D	17.44	67.95	85.39	1.00	17.17	65.22	82.39	0.96

$SCF = \sigma_s / \sigma_a$ $\sigma_a = 85.68 \text{ kg/cm}^2$

5. 支管の長さの影響 モデルT-1において支管の長さ L を200cmとしたモデル(T-2)について支管の端部を自由支持にした場合と単純支持にした場合に対して計算を行った。モデルT-2のホットスポット応力 σ_s とSCFを表-1に示す。このモデルでは、主管と支管の連結部の膜力および曲げモーメントの分布が支管の端部の境界条件にかかわらずよく一致するため、表-1に示すようにSCFも支管の端部の境界条件によらず各点においてほぼ一致している。

6. 主管の長さの影響 モデルT-2において主管の長さ L を432cmとしたモデル(T-3)について支管の端部を自由支持にした場合と単純支持にした場合に対して計算を行った。モデルT-3のホットスポット応力 σ_s とSCFを表-1に示す。このモデルにおいてもSCFは支管の端部の境界条件にかかわらず各点においてほぼ一致している。したがって、支管をある程度長くすれば、主管の長さによらず、継手部の応力集中は支管の端部の境界条件によって影響されない。他方、主管の点Bのホットスポット応力はモデルT-3の方がモデルT-2よりも大きい。これは、モデルT-3の主管の長さがモデルT-2よりも長くなり、点Bの管軸方向の膜応力が大きくなるからである。しかし点Aのホットスポット応力は管周方向の応力であるために主管が長くなってあまり変化しない。さらに、支管の点Cと点Dのホットスポット応力も主管が長くなってあまり変化しない。以上より点Bのホットスポット応力は主管の長さの影響をうけるが、点A、C、Dのホットスポット応力は主管の長さの影響をあまりうけなないことがわかる。

本研究で作成した平板要素を用いたシェル解析プログラムを用いると、Kuang³⁾が取扱った形式の鋼管継手の応力集中係数を求めることが可能であろう。しかしさらに複雑な継手形式の場合は、その自由度が膨大になるため連立1次方程式の解法が困難になる。したがって鋼管継手の応力集中係数を効率よく求めるために、新たにプログラムを開発する必要があると考える。

参考文献 1) 鋼管構造の最小強度、土木学会、1983 2) Zienkiewicz, O. C.; The Finite Element Method, 3rd Edition, McGRAW-HILL, 1977 3) Kuang, J. G. et al., Stress concentration in tubular joints, OTC 2205, 1975