

剛体円柱に斜交するパイプの応力集中について

豊田高専 正会員 桜井孝昌

まえがき パイプ曲面の持つ特性を考慮すると、例えばアーチ橋、アーチダム、あるいは種々の鋼管構造物に見られるごとく、パイプ要素はかなり有効な構造用部材として利用することができる。しかしこの場合、境界線もしくはパイプ継手の近傍は板厚に生ずる曲げの影響を大きく受け、それによる応力の集中が問題となる。本研究では図-1に示すような、剛体円柱に円筒シェル(パイプ)が斜交する場合について、境界線上の応力集中を検討した。

解析方法 曲面の曲げ理論⁽¹⁾を用い、外力は図-1に示すごとくパイプの右端に偶力Mを作用させ、 (ξ, θ) の直交座標系を用いると式(1)のように一般解が求まる。

$$\Xi = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{j=1}^2 \left\{ e^{-\rho_m \xi} (m C_{1j} \sin \rho_j \xi + m C_{2j} \cos \rho_j \xi) \cos m\theta \right\} \quad (1)$$

境界条件はパイプが剛体円柱に固定されているとし、図-2に示すごとく3方向の変位を u, v, w とすると、

$$u=0, v=0, w=0, \partial w / \partial \xi = 0 \quad (2)$$

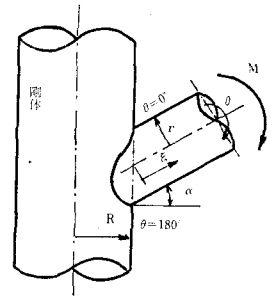


図1 斜交パイプ諸元

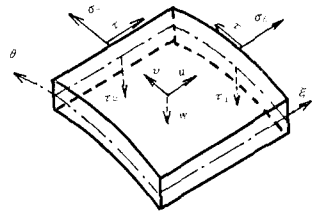


図2 断面応力度

(2)式を満足させるのに選点法を用いて、境界線上の点で、この条件式を与えた。⁽²⁾

計算結果および考察 本例ではポアソン比 $\nu=0.3$ とし斜交角 α 、パイプの半径の比 $\beta=r/R$ および板厚 t/r をパラメーターとして計算を行った。その結果を図-3に示す。図中の“○”印が計算を実行したものである。計算の精度については、境界条件に生ずる最大誤差(2)式は選点法を用いるために境界線全域にわたっては満足されておらず、ある誤差が生じている。)と解の精度との関係を調べ、解の精度を推定した。⁽²⁾このようにして、解の誤差が3%以内にあるように選点の数を定めた。応力を計算するに当っては、板厚中央面の単位長さ当りに生ずる断面力を計算し、それをもとにしてパイプ表面の縁応力 $\sigma_\theta, \sigma_r, \tau$ 等を計算した。(図-2参照) 計算結果より、図-2に示す応力中 σ_θ が最大であり、境界線上では $\theta=0^\circ$ の位置(図-3(a)のA点)の主応力が最大となる。従ってここでは $\theta=0^\circ$ における σ_θ の値にのみ注目した。($\theta=0^\circ$ においては σ_θ が主応力と等しくなる。) 図-3に示す応力集中率 f は、境界線から充分遠く離れた点での $\theta=0^\circ$ における σ_θ は一定値となり、それを σ_0 とすると $f = \sigma_\theta / \sigma_0$ である。この場合の σ_0 は梁の初等理論から計算した縁応力と一致する。図-3はA点における応力集中率を示したものである。図中の鎖線で示した推定値は、(a), (b) 図の既知曲線から推定したものである。 α および β が大きくなると選点の数を非常に多く必要とし、現実には計算不可能となるため、このように推定を行った。例えば(a)図の最上端にある $\alpha=45^\circ$ の曲線は、(b)図における $\alpha=30^\circ$ までの実線部を延長し、それぞれの β に対する $\alpha=45^\circ$ における f を

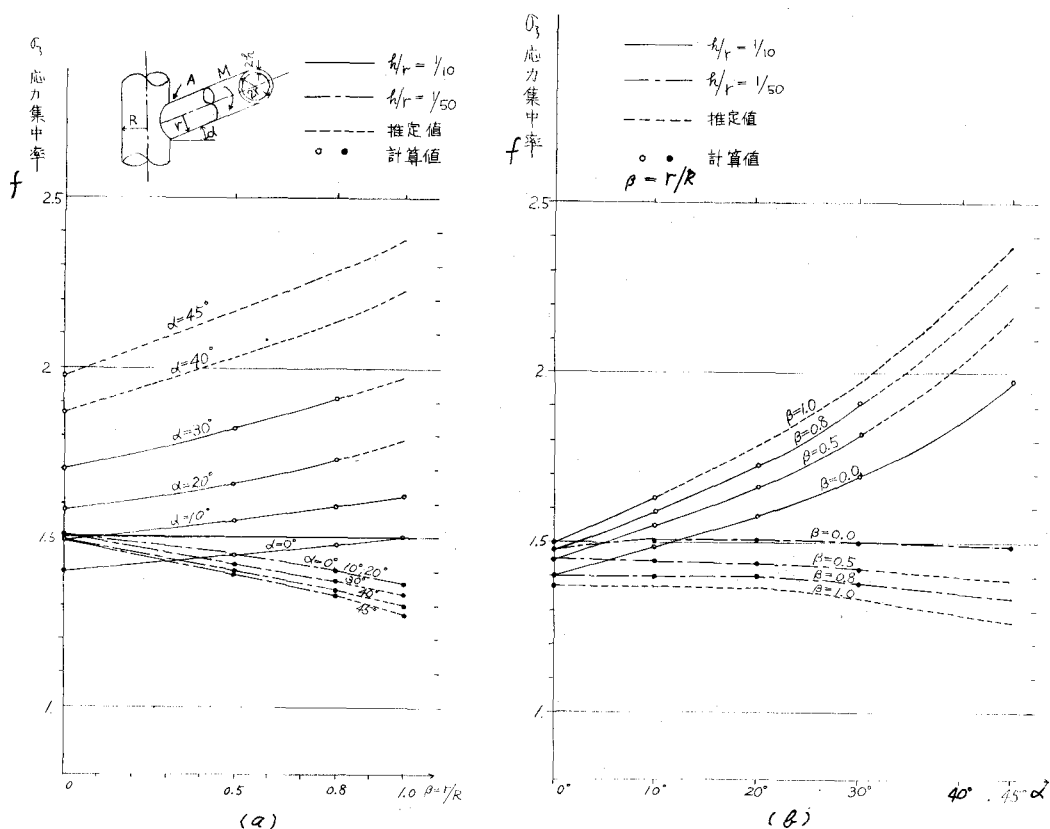


図-3 A点における応力集中率($f = \sigma_1/\sigma_0$)の分布

求めて (a) 図にプロットしたものである。この操作を繰り返すことにより、推定曲線が求まる。一部を除いて板厚が大きい方が応力集中率 f が大きく、 α および β が増加するに従って f も増加する。 $\alpha = 45^\circ$ 、 $\beta = 1$ で $f = 2.38$ である。一方板厚が小さくなると、 f の示す傾向は逆になる。つまり α および β が大きくなる程 f は小さくなる。しかしその程度はわずかである。これは板厚が薄くなることにより、剛性が小さくなり、境界線の形状が、応力にほとんど影響をおよぼさないためと考えられる。板厚大の場合については、 α を一定にして β を変化させた場合 f はほぼ直線的に変化するのに対し、 β を一定にして α を変化させると、 f は二次曲線的に変化する。

おすび 図-1 のような偶力が作用している場合、境界線上では鋭角部の点 (図-3) (a) で A 点で最大応力が生じる。また板厚を大にする程 α および β の応力集中率におよぼす影響は著しく、板厚小の場合は、これらの影響は微小である。

参考文献

- (1) GOLDEN VEIZER ; *Theory of Elastic Thin Shells*.
- (2) 桜井孝昌 ; 土木学会第 29 回 年次学術講演会講演集 「剛体内柱に斜交する薄肉円筒管の選点法による応力解析」