

1. まえがき

鋼管が外圧だけでなく軸方向引張力を同時に受ける時の圧壊強度について、筆者はこれまで解析的に研究を進めてきた。⁽¹⁾⁽²⁾ その結果、実際の鋼管には当然含まれる偏平度の影響を考慮して一応の解析結果が得られたが、ここではその手法を用いて報告されている実験値との比較を行うことにする。⁽³⁾⁽⁴⁾

2. 鋼管圧壊強度の解析

解析方法は文献2に詳しく述べられているので、ここでは以下要点のみを記述する。鋼管は十分に長いものとしてその単位長さを取り出して考えると、鋼管の円周方向の断面はこの単位長さを幅とし板厚 t を高さとする矩形断面となる。偏平度を有している鋼管に外圧が作用した場合には、この矩形断面に軸力 N と曲げモーメント M が断面力として作用する。今、断面力 N, M によってこの矩形断面全体が降伏状態になっているとすると、次の断面力間の相関関係を満足していることになる。

$$\left(\frac{N}{N_p}\right)^2 + \frac{M}{M_p} = 1 \quad (1)$$

ここに、 N_p = 曲げモーメントが存在しない場合の破壊軸力 ($= \sigma_{yc} t$)、 σ_{yc} = 円周方向の降伏強度、 M_p = 軸力が存在しない場合の全塑性モーメント ($= \sigma_{yc} t^2/4$)

式(1)に示した断面力 N, M を、この場合の作用力である外圧 P と偏平度 W との関係で置き換えると次のようになる。

$$\left(\frac{P}{P_p}\right)^2 + \frac{P}{P_p} \frac{2W D/t}{1 - P/P_E} = 1 \quad (2)$$

ここに、 P_p = 全塑性圧壊強度 ($= 2\sigma_{yc}/(D/t)$)、 P_E = 弾性圧壊強度 ($= 2E/\{(1-\nu^2)(D/t)(D/t-1)^2\}$)、 W = 偏平度 ($= (D_{max} - D_{min})/(2D)$)、 D/t = 径厚比、 D = 鋼管の外径

式(1)と(2)を比較すると、第1項と第2項はそれぞれ軸力の項と曲げモーメントの項に対応しており、同じ形の式となっている。式(2)を用いて軸方向引張力を伴う場合の圧壊強度を偏平度の影響を考慮して求めることができる。円周方向の降伏強度 σ_{yc} は、鋼管の軸方向に引張力 T が作用している場合は軸方向と円周方向の2軸平面応力状態となり、軸方向引張力の分だけ1軸引張降伏応力 σ_y から減じられることになる。2軸平面応力にたいする降伏条件式には種々のものが提案されているが、例えば最大せん断ひずみエネルギー説 (Hencky-Mises Theory) を用いると次式のようにになる。

$$\frac{\sigma_{yc}}{\sigma_y} = \sqrt{1 - 0.75\left(\frac{T}{T_y}\right)^2} - 0.5 \frac{T}{T_y} \quad (3)$$

ここに、 T_y = 降伏軸方向引張力 ($= A \sigma_y$)、 A = 鋼管の断面積

3. 実験値との比較

式(2)によって得られる結果と文献3に報告されている継目無鋼管 ($D=244.5\text{mm}$) に対する実験結果との比較を Fig. 1 に示す。鋼管の径厚比 D/t はそれぞれ降伏強度で決まる範囲 ($D/t=16.2$)、弾性座屈で決まる範囲 ($D/t=24.4$) 及びその中間の範囲 ($D/t=20.4$) に対応している。最も計算値と実験値がよく一致している時の偏平度は、 $D/t=16.2$ に対しては $W=0.003$ (Fig. 1a)、 $D/t=20.4$ に対しては $W=0.01$ (Fig. 1b) そして $D/t=24.4$ に対しては $W=0.0$ (Fig. 1c) というように径厚比が大きくなるにつれて対応する偏平度は小さくなってきている。この原因としては理論式を導く上での仮定、即ち critical point における断面力の算出方法を簡略化しすぎていることに問題があると思われる。しかし、一般的には計算結果は実験結果の傾向を非常によく表していると言うことができる。Fig. 1(d) は(c)と同じ鋼管

を矯正加工した場合について示すが、矯正加工を施すことによって圧壊強度の実験値は(c)に比べ大きく低下している。これは矯正加工により偏平度が大きくなったためであると思われる。

Fig. 1の計算結果から D/t が大きくなると偏平度の影響が小さくなることが解る。

Fig. 2は溶接鋼管($D=457\text{mm}$)に対する計算結果と文献4に報告された実験結果との比較である。溶接鋼管は継目無鋼管に比べ偏平度が大きいので実験値はかなり低くなっていることが解る。

Fig. 2(a)と(b)を比較すると材料強度が上がることによって、実験値は若干低くなっている。

以上の、検討から結論として計算値と実験値はよく傾向が一致しており、理論解析法の正当性が実証されたと可以说うことができる。

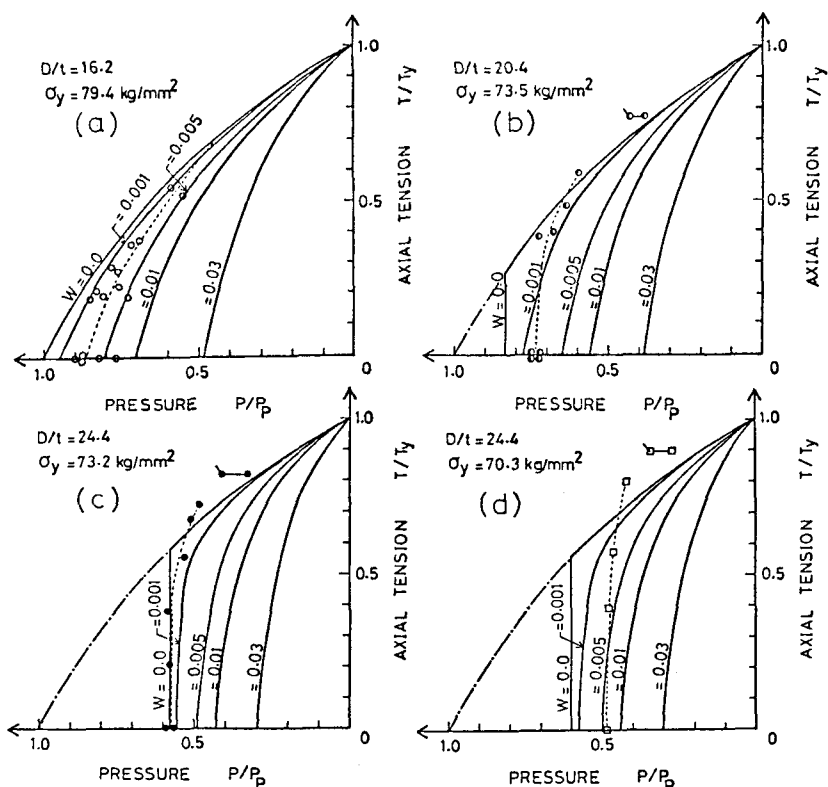


Fig. 1 Comparison between Theory and Test for Manufactured Tubes

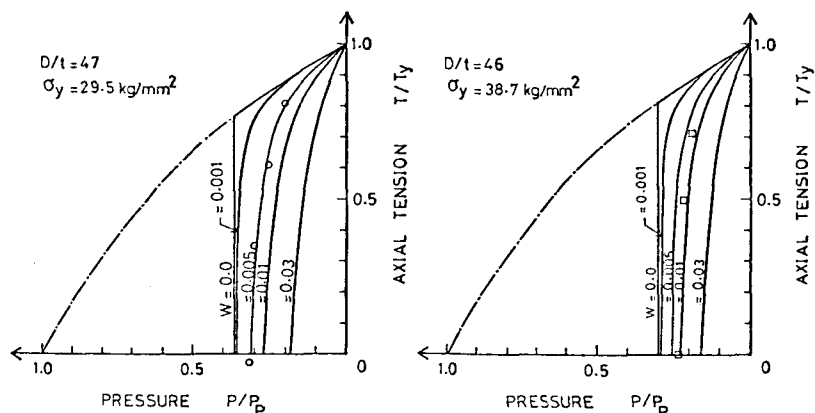


Fig. 2 Comparison between Theory and Test for Fabricated Tubes

参考文献

- 1) 当麻庄司: 引張力を受ける鋼管の圧壊強度について、土木学会北海道支部論文報告集、第40号、1984、2。
- 2) 当麻庄司: 鋼管の圧壊強度に及ぼす軸方向引張力の影響について、第7回海洋工学シンポジウムワークショップ、造船学会、1984、6。
- 3) Kyoungoku, T., et al., "Experimental Study of the Effect of Axial Tension Load on the Collapse Strength of Oil Well Casing," OTC 4108, Offshore Technology Conference, May 1981.
- 4) Miller, C. D., et al., "Tension and Collapse Test of Fabricated Steel Cylinders," OTC 4218, Offshore Technology Conference, May 1982.