

I-287

軸方向引張力を同時に受ける鋼管の圧壊強度設計式について

北海学園大学 正会員 当麻 庄司
北海学園大学 正会員 本多 祐也

1. まえがき

軸方向引張力を同時に受ける鋼管の外圧に対する強度について、アメリカ石油協会 (API) が設計資料¹⁾の中で与えている算定式が安全側すぎる値を与えることは度々指摘されていることである²⁾。この問題に関する理論的あるいは実験的な研究も近年積み重ねられてきており、今やこれらの研究成果をまとめた設計手法の確立が待たれるところである。本論文では、このような状況に鑑みてその設計手法の提案を行なう。

2. 鋼管の圧壊強度解析

鋼管が外圧と軸方向引張力を同時に受けた時の強度は塑性設計の考え方から、塑性ヒンジによる崩壊メカニズムが形成される時点の強度として理論的に求めることができる。その強度は最終的に次のような3次式によって表わされる³⁾。

$$p^3 - A p^2 - B p + A = 0 \quad (1)$$

ここに、 p = 圧壊強度 ($= P / P_p$)、 $A = P_e / P_p$ 、 $B = 1 + 2AW (D/t)$ 、 P_e = 弾性圧壊強度、 P_p = 全塑性圧壊強度、 W = 初期偏平度、 D/t = 径厚比

鋼管が外圧の外に軸方向引張力も同時に受けると、2軸応力の降伏条件によって全塑性圧壊強度が小さくなる。そして、その分だけ式(1)から得られる圧壊強度は影響を受けることになる。式(1)は3次式であるため手計算で簡単に求める訳にはいかないが、最近のプログラムの組める電卓を用いると Cardano法等により約40ステップ程度のプログラムで解を求めることができる。すなわち、鋼管の寸法(径厚比 D/t)、機械的性質(降伏応力度 σ_y)、初期偏平度(W)そして軸方向引張力(T)の大きさ等を与えると、式(1)を解くことによってその時の圧壊強度(P)が得られる。

3. 軸方向引張力による圧壊強度低減係数

軸方向引張力の圧壊強度に対する影響度を見るために式(1)の計算例をプロットしてみると、Fig. 1に示すようになる。ここで、次式で定義される軸方向引張力による圧壊強度の低減係数を考えてみる。

$$\alpha = \frac{P_{cr,t}}{P_{cr}} \quad (2)$$

ここに、 P_{cr} と $P_{cr,t}$ はそれぞれ軸方向引張力がない場合とある場合の圧壊強度であり、Fig. 1に示すような位置の点として式(1)から求めることができる。すなわち、圧壊強度低減係数は式(1)から理論的に求められるものである。

そして、この圧壊強度低減係数は実験値との比較によって軸方向引張力の影響度をよく表わしていることは確認されている⁴⁾。こうにして求めた圧壊強度低減係数の計算例を径厚比が $D/t=48$ と 20 の場合についてFig. 2に示すが、径厚比の違いによって軸方向引張力の影響の仕方が大きく異なることが分かる。すなわち、径厚比が大きいと初期偏平度の違いによって軸方向引張力の影響の仕方が変わってくるが、径厚比 $D/t=20$ 位になると初期偏平度の違いによる差はほとんど出てこない。Fig. 2のような計算例は先に述べた簡単なプログラムで容易に求めることができる。

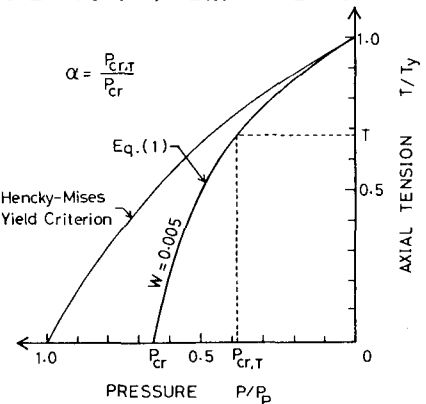


Fig. 1 Calculation of Reduction Factor

4. 軸方向引張力を受ける場合の圧壊強度設計式

APIでは軸方向引張力がない場合の圧壊強度について実験データを集積し、これに基づいて塑性範囲から弾性範囲まで幅広い径厚比に対して4つの区分に分類して各々設計式を示している。Fig. 3にGrade N80 に対するAPIによる圧壊強度の計算例を示す。軸方向引張力がない場合、この実験データに基づいた設計式と理論的な式（1）とは完全に一致しないことはやむを得ないことであるが、設計式としては実験データに基づいたAPI式の方がより信頼できると言える。

しかし、軸方向引張力の影響度のみを考えた場合、式（2）の圧壊強度低減係数は十分な信頼性を有しており、軸方向引張力がある場合の設計用圧壊強度を求めるためにこれを用いることができる。すなわち、次の式のように表わされる。

$$P_{ca} = \alpha P_{co} \quad (3)$$

ここに、 P_{co} =APIによる軸方向引張力がない場合の設計圧壊強度（Fig. 3参照）、 P_{ca} =軸方向引張力がある場合の設計圧壊強度

式（3）はよく用いられているAPIによる軸方向引張力がない場合の設計圧壊強度を、軸方向引張力がある場合は理論的に求めた低減係数で補正することを表わしており、現在の油井管の設計方針とも合致する合理的な設計法であると思われる。

参考文献

- 1) API Bulletin on Formulas and Calculations for Casing, Tubing, Drill Pipe and Line Pipe Properties, API Bul. 5C3, American Petroleum Institute, Mar., 1980.
- 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造船学会、1984、6.
- 3) Toma, S., and Takahashi, Y., "Effect of Axial Tension on the Collapse Strength of Steel Tubes," 5th International Symposium & Exhibit on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE), Tokyo, 1986, 4.
- 4) 当麻庄司：鋼管の圧壊強度における解析値と実験値の比較、第39回年次学術講演会講演概要集土木学会、1984、10.

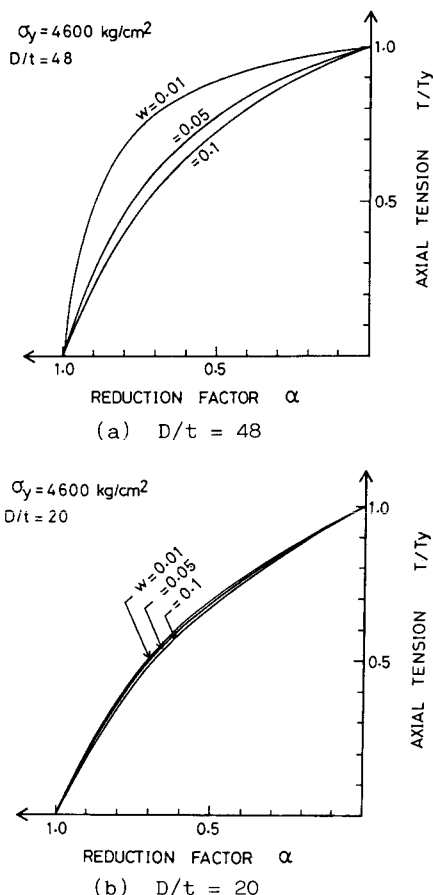


Fig. 2 Typical Values of Reduction Factor

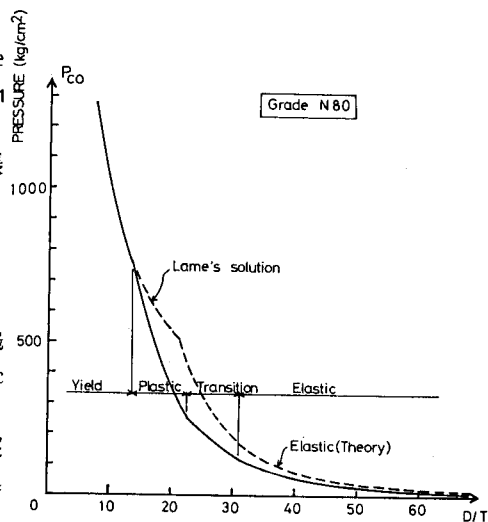


Fig. 3 Collapse Pressure by API