

(564) 大径鋼管の水圧試験における座屈発生条件の簡易解析

新日本製鐵(株) 君津製鐵所 安藤成海 千野博孝 日高徹也
 広川登志夫 ○近藤哲己

1. 緒言

大径鋼管の水圧試験の際に試験条件によっては鋼管が座屈する場合が有り得る。本報告では水圧試験時の鋼管を簡便な梁のモデルに置き換えて力学解析を行い、水圧試験時の鋼管の変形挙動及び応力を明らかにするとともに座屈の発生条件を検討した。

2. 水圧試験時の鋼管の力学モデル

水圧試験時の鋼管は内圧 p を受けると同時に両管端で押し付け力 F (全押し付け力から水圧反力を除いたもの) を受けている(図1・a)。これを近似的に梁のモデルに置き換えると図1・b のようになる。

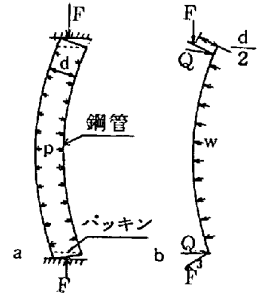


図1. 水圧試験下の鋼管の力学モデル

3. 解析

モデルの対称性から図2に示す梁の問題を解くことにより水圧試験時の鋼管の曲り及び応力が求められる。曲げモーメントの分布から次の微分方程式(1)が得られ、これに境界条件(2)を用いて解を求める。

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = F \left(\frac{e}{L^2} x^2 - y + \frac{d_2}{2} - e + \xi \right) + w \int_x^L dt - w(L-x)L \quad (1)$$

$$y = y' = 0 \text{ (at } x=0), \quad y = \xi \text{ (at } x=L) \quad (2)$$

ここに e ; 管初期曲り, L ; 管半長, d_1 ; 管内径, d_2 ; 管外径

w ; 水圧による分布荷重 ($w = 2 \pi p d_1^2 (e - \xi) / (4L^2)$)

(1)及び(2)から水圧による曲がり ξ 及び σ は次式で与えられる。

$$\xi = \frac{-\frac{AL}{2k^3 EI} e \sin \frac{kL}{2} + \left\{ \frac{2}{k^4} \left(\frac{4k^2}{L^2} - \frac{A}{2EI} + 1 + \frac{AL^2}{8k^2 EI} \right) e - \frac{d_2}{2} \right\} \cos \frac{kL}{2} - \frac{2e}{k^4} \left(\frac{4k^2}{L^2} - \frac{A}{2EI} \right) + \frac{d_2}{2}}{-\frac{AL}{2k^3 EI} \sin \frac{kL}{2} - \left\{ \frac{A}{EI k^4} - 1 - \frac{AL^2}{8k^2 EI} \right\} \cos \frac{kL}{2} + \frac{A}{k^4 EI}} \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{d_2}{2I} \left\{ \frac{d_2}{2} F - F(e - \xi) - \frac{A}{8} L^2 (e - \xi) \right\} \quad (4)$$

ただし $A = 2 \pi d_1 p / L^2$, $k = F / EI$, $I = \pi (d_2^4 - d_1^4) / 64$

4. 数値計算結果及びまとめ

(1) 水圧試験時の変形挙動

初期曲り e の大きさにより次のような変形が起る。

初期曲り e が曲り矯正限度(図3では34mm)以下の場合は押し付け力 F が凸側端に作用すれば曲りは矯正される。

初期曲り e が曲り矯正限度以上の場合は押し付け力が凸側端に作用しても曲りは拡大し、その際の管壁最大応力が降伏条件を超える場合座屈が発生する。

(2) まとめ

以上の解析によりパイプの径、板厚、長さ、押し付け力、水圧力に対する座屈限界初期曲りが決定できる。

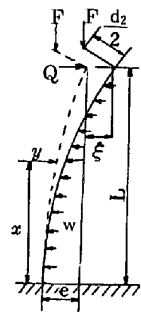


図2. 解を求めた梁問題

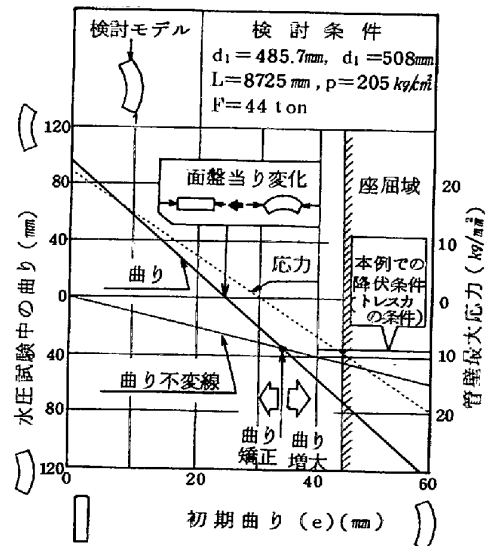


図3. 水圧試験時の曲りの変化と座屈発生限界の考え方