

労働省安全研究所 正員 森宣制 江頭正州

八幡鋼管株式会社 佐藤謙二 ○ 原田健一郎 井上靖介

## 1. はじめに

鋼管をトンネル用アーチ支保工に使用する場合、面外座屈に対する長所は充分予想されるが、その反面鋼管を中空のまま用いるときは、鋼管断面の屈曲による強度低下の可能性がある。

このような屈曲現象を左右する要因としては、次のような寸法係数、 $\frac{d}{t}$  ( $d$ は管径、 $t$ は管厚)、 $\frac{r}{d}$  ( $r$ はアーチの曲率半径)、 $\frac{s}{d}$  ( $s$ はアーチの荷重点間の距離)などが挙げられる(図-2および図-5)。

これら諸要因の影響を実験的に究明する第一段階として、 $\frac{d}{t} \approx 30$ の鋼管を選び、直線材の圧縮試験および曲げ試験、曲線材の曲げ圧縮試験の三種類の試験を行ない、屈曲の強度に及ぼす影響を調べた。

## 2. 試験の概要

試験材はJIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管2種(STK41)より外径101.6 厚さ3.5 のものと外径114.3 厚さ4.0 のものを選んだ。次に寸法および機械的性質の実測値を示す。

| 公称外径  | 外径( $d$ ) | 管厚( $t$ ) | $d/t$ | 断面積( $A$ ) | 断面係数( $Z$ ) | 極限時の断面係数( $d^2/t$ ) | 降伏点( $\sigma_y$ )   | 圧縮強度( $\sigma_u$ )  |
|-------|-----------|-----------|-------|------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 101.6 | 98.09     | 3.51      | 27.9  | 10.83      | 25.7        | 33.8                | 26 $\text{kg/mm}^2$ | 45 $\text{kg/mm}^2$ |
| 114.3 | 110.50    | 3.80      | 29.0  | 13.20      | 35.3        | 46.4                | 29                  | 48                  |

三種類の試験における $\frac{s}{d}$ は実際のアーチ支保工に使用する場合も参考にして $\frac{s}{d} < 15$ とした。圧縮試験はいわゆる平押しの方法を採用した。曲げ試験および曲げ圧縮試験の方法はその概略を図-3に示す。

## 3. 試験結果

## (a) 圧縮試験について

屈曲による強度の低下は表われず、通常の曲げ座屈のみ生じた。なお試験の結果、座屈応力度は近似に次式で表わすことができる。

$$\sigma_k = \sigma_u \left\{ 1 - \frac{\left( \frac{s}{d} \right)^2}{1100} \right\} \quad \text{ただし } \frac{s}{d} < 15 \quad (1)$$

## (b) 曲げ試験について

屈曲による強度の低下は極限時(塑性域)ばかりでなく、弾性域内においても表われた。今曲げ強度の実測値と、屈曲が生じないと仮定した理論的曲げ強度との比を効率と名付け、効率と $\frac{s}{d}$ との関係を図示すると図-4のようになる。同図で実線は降伏時の効率を示し、破線は極限時の効率を示す。両サイズとも $\frac{d}{t}$ はほぼ30であるの

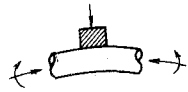


図-1

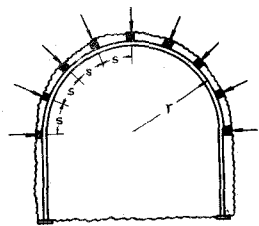
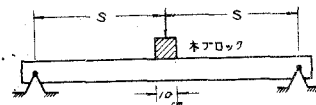
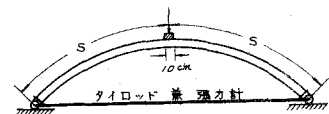


図-2



曲げ試験



曲げ圧縮試験

図-3

で一括してある。図から明らかなように屈服の影響が顕著に表われるのは  $\frac{d}{L}$  が 6 以下の場合である。なお効率を求める際の理論的曲げ強度は後述の式(2)、式(3)から求めている。又弾性域内において屈服の影響が表われていることは弾性域内においてすでに鋼管の断面が楕円化していることを示す各種の測定結果からも明らかである。

#### (C) 曲げ圧縮試験について

鋼管の断面に屈服が生じないと仮定した場合の軸方向圧縮力  $N$  および曲げモーメント  $M$  に対する断面の降伏条件と極限条件は次式で与えられる。

##### (i) 降伏条件

$$N_y = \sigma_y A, \quad M_y = \sigma_y Z \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{として } \frac{N}{N_y} + \frac{M}{M_y} = 1 \quad \text{----- (3)}$$

##### (ii) 極限条件

$$N_u = \sigma_u A, \quad M_u = \sigma_u d^2 t \quad \text{----- (4)}$$

とし、さらに  $\beta$  をパラメータとして (図-5)

$$N = N_u \beta, \quad M = M_u \cos \frac{\pi \beta}{2} \quad \text{----- (5)}$$

実際の試験値について式(3)、式(4)の値を  $N-M$  座標上に図示したのが図-6の破線である。これに対し実験から求めた  $N, M$  の降伏条件および極限条件は同図の実線で示す。この実績はここからデータより求めているので定量的には不十分かもしれないが定性的には充分意味をもっているように思われる。即ち同図で破線は直線又は上に凸な曲線であるのに対し、実線はすべて下に凸な曲線である。このことは  $N$  と  $M$  が同時に作用する場合は  $M$  のみが作用する場合にくらべて、屈服の影響が大きいことを示しているように思われる。

#### 4. むすび

データ不足のため定量的には不十分であるが、 $\frac{d}{L} \approx 30$  の鋼管を中空のままアーチャ渠に使用する場合、屈服による強度低下が表われる場合があることが明らかになった。今後の問題としては、屈服の影響を定量的に表言すること、屈服の影響を事実上無視できる  $\frac{d}{L}$  を見出すこと、さらには鋼管にモルタル等を填充した場合の強度を究明することが残されている。

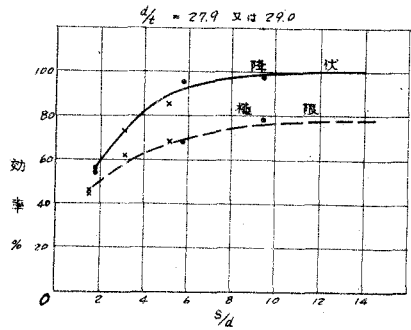


図-4

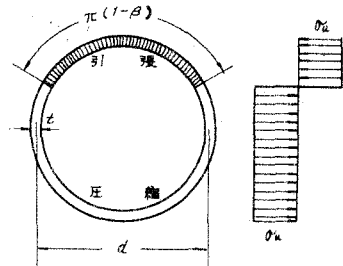


図-5

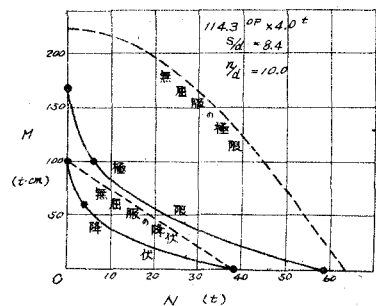
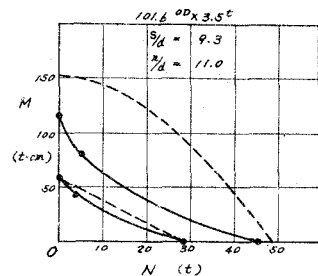


図-6