

(株) 神戸製鋼所 正員 大塚 雄右  
建設省土木研究所 正員 佐伯 彰一  
建設省中部地方建設局 正員 井上 啓一

## 1. まえがき

パイプ断面部材が曲げを受け、管壁に垂直な方向に生じる応力によって断面が変形(扁平化)するため部材の剛性が低下することが知られている。この問題に関して Brazier<sup>1)</sup>が報告して以来、いくつかの実験的、理論的研究成果が見られる。

我々は、一昨年よりこの問題に関して一連の実験的ならびに理論的研究を行ない、その成果の一部を報告している。文献<sup>2)</sup>では、断面の扁平化が部材の耐荷力に与える影響はごくわずかであり、扁平化の影響が現われる以前に圧縮側管壁に局部座屈が生じて、これが部材の耐荷力を支配することを認めた。

本報は、前報に引きつぎ行なわれた実験結果を報告するとともに、若干の数値計算を行ない実験結果と比較検討を行ったものである。

## 2. 試験体と試験方法

表-1に試験体の諸元を、図-1に試験体の概略を示す。試験体の長さ $l$ は、すべて6mで純曲げスパン長を各試験体の外径( $D$ )の3倍とし、試験体の両端は単純支持とし、スパン中央より、それぞれ1.5  $D$ の位置に取り付けられた載荷リングにローラーを介して油圧ジャッキによって載荷した。

## 3. 数値計算の概要とその手順

パイプが等曲げを受け、断面の扁平量が耐荷力にどのような影響を与えるかを求めるために、若干の数値計算を行った。

本報で用いた数値計算法は、文献<sup>3)</sup>に基づくものである。解析手法は、最小仕事の原理を応用したもので、パイプが曲げを受け、断面が楕円形に変形するものとして、任意に与える部材長さ方向の曲率に對し、種々の楕円形を仮定してその内、断面の内部エネルギーが最小となる楕円形を決定して扁平量を求めるものである。以下、この解析に用いた仮定とその数値計算手順を簡単に述べる。

### (a) 解析に用いた仮定

- (1) 部材は十分に長く、等曲げを受け、端部の拘束を受けない。
- (2) 断面は楕円形に変形し、その際、周長は変化しない。
- (3) 断面は、平面を保持すると仮定する。
- (4) 材量は等質でその応力 $\sim$ ひずみ曲線は、引張、圧縮側ともに等しい。

### (b) 数値計算の手順

- (1) 断面を図-2のごとく、板厚方向に4等分、円周方向に6等分する。
- (2) 任意の部材長さ方向の曲率 $\kappa$ を仮定する。
- (3) 楕円形の扁平率 $\beta$ を仮定し、楕円形の幾何学的条件を用いて、各点の部材長さ方向ならびに円周方向のひずみと応力を求める。
- (4) 求めたひずみと応力から各点のエネルギー $U$ を計算し、これを全断面について積分して

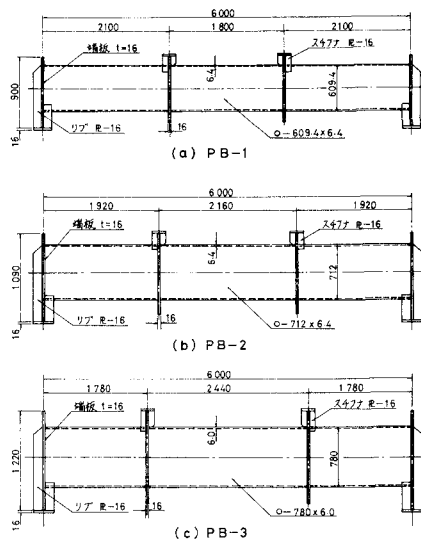


図-1 試験体

表-1 純曲げを受ける円形断面部材の諸元

| 試験体名 | 材質     | 外径<br>$D$ (mm) | 板厚<br>$t$ (mm) | $D/t$ | 純曲げスパン<br>$l_s$ (mm) | 備考         |
|------|--------|----------------|----------------|-------|----------------------|------------|
| PB-1 | STK 41 | 609.4          | 6.4            | 95    | 1800                 | —          |
| PB-2 | STK 41 | 712.0          | 6.4            | 112   | 2160                 | —          |
| PB-3 | SS 41  | 780.0          | 6.0            | 130   | 2440                 | SS41鋼板より製造 |

全エネルギーを得る。

(5) 新たな扁平量 $\delta$ を仮定して、手順(2)、(4)の計算を繰返し行ない

$$\frac{\partial W_0}{\partial (\delta/t)} = 0$$

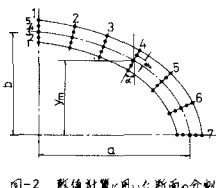


図-2 数値計算に用いた断面の分割

表-2 扁平化を考慮した耐力力の計算結果と実験結果

| 試験体  | 外径×板厚<br>$D \times t$<br>(mm) | $D/t$ | 扁平化を考慮しない場合の耐力力<br>(計算値)<br>$M_{0p}(t \cdot m)$ | 扁平化を考慮した場合の耐力力<br>(計算値)<br>$M_{0p}(t \cdot m)$ | 実験値<br>(平均値)<br>$M_p(t \cdot m)$ | $M_{0p}/M_p$ | $M_{0p}/M_p$ | $M_{0p}/M_p$ | 備考          |
|------|-------------------------------|-------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| PB-1 | 609.4×6.4                     | 95    | 73.68                                           | 70.83                                          | 68.77                            | 0.961        | 0.933        | 0.971        | 扁平化による耐力力低下 |
| PB-2 | 712.0×6.4                     | 112   | 105.79                                          | 101.00                                         | 91.78                            | 0.954        | 0.867        | 0.908        | 〃           |
| PB-3 | 780.0×6.0                     | 130   | 110.71                                          | 103.49                                         | 85.44                            | 0.936        | 0.771        | 0.825        | 〃           |

となる扁平量 $\delta$ を決定する。(6) 扁平量 $\delta$ が求まれば、各点の応力より断面に作用する曲げモーメント $M$ を計算する。

以上の計算手順を種々の曲率について繰返し行えばパイプ断面の $M$ ～ $\delta$ 関係を得ることが出来る。

#### 4. 結果に対する考察

表-2 に耐力力に関する実験結果と計算結果を、図-3 に曲げモーメントと曲率の関係を示す。まず、表-2 より断面の扁平化を考慮しない場合と考慮した場合の耐力力の比( $M_{0p}/M_p$ )は、 $D/t$ が大きくなるにつれて大きくなっているが、その差は、PB-1で4%、PB-2で5%、PB-3で6%程度であり、扁平化が耐力力に及ぼす影響は、非常に小さいものと考えてよい。一方、実験値と計算値を比較すると、 $M_{0p}/M_p$ 、 $M_{0p}/M_p$ のいずれの場合にも実験値が計算値を下回っているが、これは、実験による耐力力がすべて圧縮側の管壁に生じた局部座屈によって決定されたことによる。この局部座屈の影響を知るため、別に数値計算を行なってその結果を図-3に示している。(図-3の◎印)。さらに図-3の計算結果から断面の扁平化が耐力力に及ぼす影響を及ぼすのは、いずれの試験体においても曲げモーメントが降伏モーメント $M_y$ を越えた後であり、弾性域では扁平化の影響はほとんど見られないことがわかる。一方、実験結果と計算結果を比較すると、いずれの試験体についても実験で得られた曲率が計算結果より大きい。この内、PB-1では、計算値と比較的よく一致している。PB-2,3については、実験結果にかなりのバラツキがあり扁平化に関して十分論ずることが出来ない。しかしながら、このPB-2,3の試験結果からこの様な $D/t$ を持つパイプの耐力力は、断面の扁平化の影響をほとんど受けることなく、圧縮側の管壁に生じる局部座屈によって支配されることになる。なお、各試験体とも管壁が局部座屈する直前の扁平量は、それぞれ外径 $D$ に対し約0.5%程度であった。

#### 5. あとがき

この実験は、耐震技術開発研究委員会鋼構造部会の活動の一環として行なったもので、実施にあたっては、建設省土木研究所 岡田部長、財団法人鉄鋼構造研究所 渡田主任研究員を始め各委員の方々の御指導を得たことに付記する。なお、有益な助言を寄せられた東京大学 西野文雄助教授に深謝の意を表する。

参考文献 1) L.G. Brazier, B.Sc. "On the Flexure of Thin Cylindrical Shell and other 'Thin' Sections," Communicated by R. U. Sturtevant, FRS - Received May 28, 1927. 2) 佐伯 康彦 大森 "曲げを受ける鋼管の終局耐力力に関する実験的研究", 土木学会第30回年次講演会概要集 I-7P 3) Ades, Clifford S. "Bending Strength of Tubing in the Plastic Range", J. Aeronautical Science, Aug. 1957

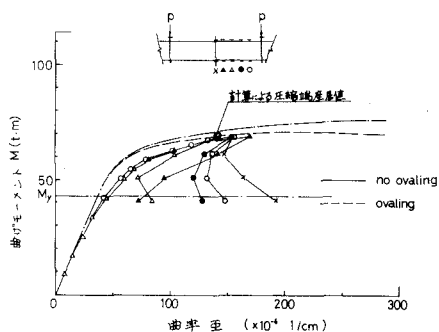


図-3(a) PB-1の曲げモーメントと曲率の関係

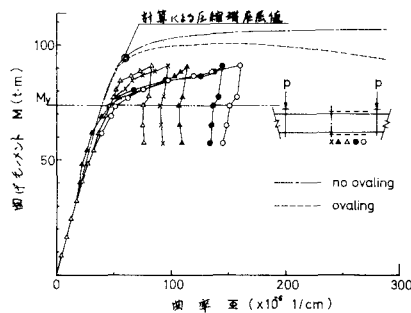


図-3(b) PB-2の曲げモーメントと曲率の関係

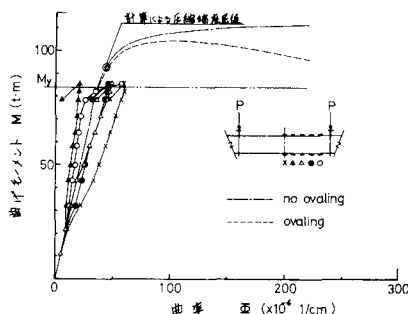


図-3(c) PB-3の曲げモーメントと曲率の関係