

(I-35) 高速载荷を受ける鋼管短柱の動力学特性について

防衛大学校 土木工学科 正 員 ○星川 辰雄

同 上 学生員 竹菴 吉文

同 上 正 員 石川 信隆

1. 緒言 著者ら¹⁾は衝撃荷重を受ける鋼管はりの耐衝撃性について検討を行っているが、この動的変形能の算定には、高速载荷を受ける鋼管短柱圧縮試験から得られる応力～ひずみ関係が必要である。従来、静的短柱圧縮試験については実験的研究²⁾が行われてきたが、高速载荷を受ける場合についてはその例を見ない。そこで本研究は、鋼管短柱の静的および高速圧縮試験を行い、その耐力および変形能について考察を行ったものである。

2. 実験の概要 実験は、アムスラー型試験機および高速変形負荷実験装置(载荷速度 静的 0.1 m/sec ～ 高速 4 m/sec)を用いて行った。試験体は、図-1に示すように両端自由の境界条件を持たせて設置し、軸圧縮力を作用させた。実験に用いた試験体は、鋼管外径 $D = 89.1$ mm、肉厚 $t = 2.8$ mm および $t = 3.2$ mm の2種類の一般構造用炭素鋼管 STK 400 で、材長は 22 cm とした。測定は、荷重、軸変位およびひずみで、軸変位は変位計を断面方向に対象に2つ設置した。またひずみゲージを図-1に示すように、材の中心位置に4枚対象に貼付して、ひずみを測定した。実験は、载荷速度をひずみ速度レベルで $10^{-5}/\text{sec}$ (静的) ～ $10^1/\text{sec}$ (高速) 程度まで変化させて、それぞれ約20体ずつ行った。しかし、一部のケースで偏心荷重が作用して、軸対象モードで変形しない場合があったため、考察は軸対象モードで変形したデータのみを用いて行った。

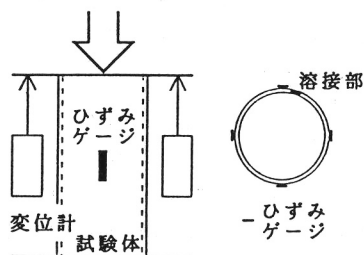
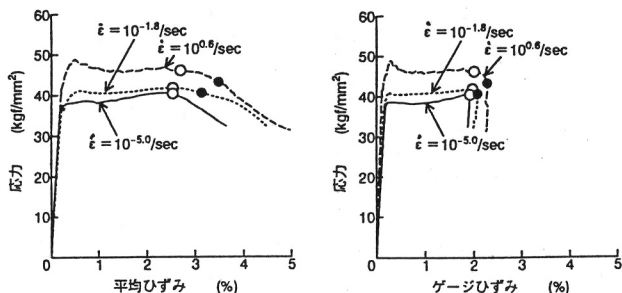


図-1 試験体

3. 実験結果および考察

3.1 応力～ひずみ関係 図-2(a)、(b)に、実験から得られた応力～平均ひずみ関係および応力～ゲージひずみ関係の一例を示す。ここで平均ひずみとは、軸方向変形量を当初の材長で除することにより得られるひずみで、ゲージひずみとは、材中央部に貼付したひずみゲージにより測定したひずみである。図より、ひずみ速度の増加に伴い、応力は両方とも上昇しているが、ひずみは平均ひずみの方が約3%以上得られているのに対し、ゲージひずみは約2%程度しか得られていない。これは、平均ひずみの方が局部座屈領域までを含む大きなひずみを考慮するのに対し、ゲージひずみの方は中央部の局部座屈の発生していない領域のひずみを測定したためである。

3.2 破壊形態 写真-1に、高速载荷試験における試験後の破壊形態を示す。写真より、静的载荷の



(a) 応力～平均ひずみ関係 (b) 応力～ゲージひずみ関係

図-2 応力～ひずみ関係 ($D 89.1$ $t 3.2$)

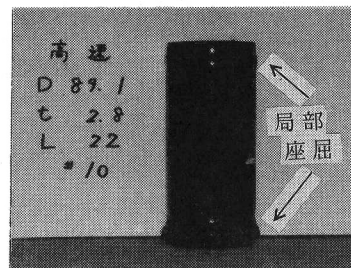


写真-1 局部座屈形状

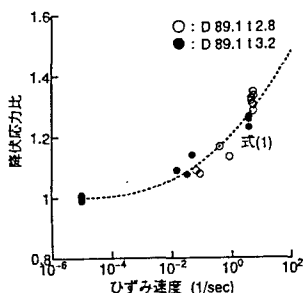
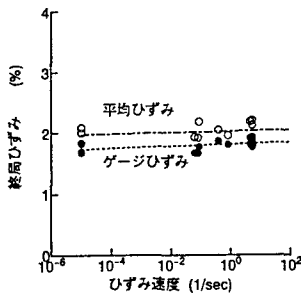
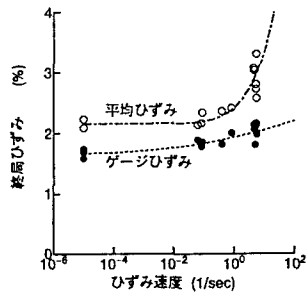


図 - 3 応力上昇比～ひずみ速度関係



(a) 最大応力時



(b) 応力低下時

図 - 4 終局ひずみ～ひずみ速度関係 (D 89.1 t 2.8)

場合と同様に、鋼管上下端に局部座屈が発生し、そのうちの下端が完全に膨らんでいることが認められる。

3. 3 降伏応力～ひずみ速度関係 一般に、載荷速度の増加にしたがい、ひずみ速度効果により見掛け上の降伏応力が上昇することが知られている³⁾。図-3に、静的載荷 ($\dot{\epsilon} = 10^{-5}/\text{sec}$) における降伏応力と、各ひずみ速度下における降伏応力の比を示す。図より、鋼管寸法の違いによらず、 $\dot{\epsilon}$ の増加に伴い降伏応力は上昇していることが認められる。

ここで、著者らの鋼管短柱圧縮試験結果から、ひずみ速度効果による鋼管の降伏応力の上昇量を最小自乗法により次式のように提案する。

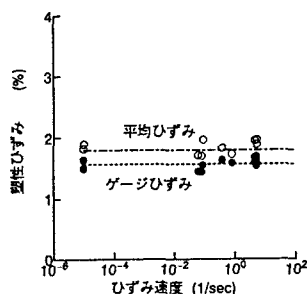
$$\sigma_{y,d}/\sigma_{y,s} = 1 + 0.00385(\log \dot{\epsilon} + 5)^{2.48} \quad (1)$$

ただし、 $\sigma_{y,d}$: 動的降伏応力、 $\sigma_{y,s}$: 静的降伏応力。式(1)を図-3に併せて示す。

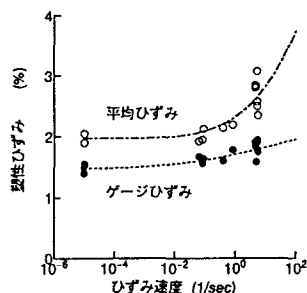
3. 4 終局ひずみ～ひずみ速度関係 静的載荷を受ける場合の局部座屈が発生する鋼管部材の終局限界は、鋼構造限界状態設計規準(案)⁴⁾においては最大耐力時としている。ここでは、最大応力時 (図-2の○点) の他に応力が急激に低下し始める時点 (以下、応力低下時という。図-2の●点) におけるひずみをそれぞれ終局ひずみとみなし、終局ひずみ ϵ_u ～ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 関係を図-4 (a)、(b) のように求めた。図-4 (a) より、終局限界を最大応力時とすると、終局ひずみはひずみ速度に関わらずほぼ一定の値を示すことが認められる。これに対し、終局限界を応力低下時とすると、塑性ひずみはひずみ速度の増加に伴い増加する傾向を示すことが認められる。

3. 5 塑性ひずみ～ひずみ速度関係 図-5は、終局ひずみより弾性限界ひずみを差し引いた塑性ひずみ ϵ_p ～ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 関係を示したもので、図-4の傾向とほぼ同じである。これは、弾性限界ひずみが0.15%～0.2%しかないのに、終局ひずみが2%～3%示すからである。

以上より、高速載荷を受ける鋼管短柱の変形能は、最大応力時以降も十分な耐力を保有しているという観点から、応力低下時を終局限界として、局部座屈域を考慮した平均ひずみによる終局ひずみひいては塑性ひずみを用いて評価する必要がある。



(a) 最大応力時



(b) 応力低下時

図 - 5 塑性ひずみ～ひずみ速度関係 (D 89.1 t 2.8)

参考文献 1) 石川他: 鋼管はり部材の動的終局限界について、第49回年次学術講演会講演概要集、平成6年9月
2) 辻他: 電縫鋼管の材料特性、日本建築学会構造系論文報告集、1992年10月 3) 高橋他: 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼすひずみ速度効果、構造工学論文集、1991年3月 4) 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説、1990年