

円形鋼管部材の履歴性状
(その1. 耐力、変形能と径厚比)

X 5. 載荷実験 Y 1. 鋼管 Z 1. 荷重・変形関係

正会員 ○ 越智健之*1 同 最相元雄*2
同 黒羽啓明*3 同 大塚孝志*4

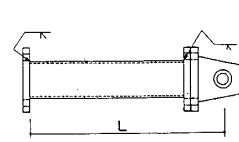
1. 序 円形鋼管部材の耐力と変形能力を調べるための実験は、近年活発であるが、その目的を達成していない。そこで円形鋼管部材の載荷実験を行ったので報告する。また、これまでに報告された実験について若干の考察を行う。

2. 実験概要 供試体 図-1(a),(b)及び表-3に供試体を示す。実験に使用した鋼管は高張力電綫鋼管で公称の管径D165.2mm, 管厚t3.5mm, 降伏応力度 $\sigma_y 4.0t/cm^2$ でありすべて同一ロットの製品である。素材の特性を調べるために、各鋼管からJIS12号試験片3片を切り出し引張試験を行った。また各鋼管から長さLsの短柱2体を切り出し平押し条件下で圧縮試験を行った。表-1,2にそれぞれの試験結果を示す。

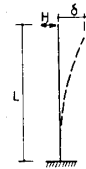
実験条件 図-2(a),(b)に示す実験条件で行った。(b)の実験では載荷と共に局部座屈が一方のスパンで成長した。測定した荷重は両スパンの平均であるためその影響を調べる目的で(a)の実験を行った。

載荷方法 手動式油圧ジャッキを使用した単調、繰り返し静的載荷と、油圧式サーボ型アクチュエーターを使用した単調、繰り返し動的載荷試験を行った。

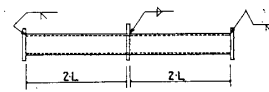
実験結果 得られた荷重変形関係の例を図-3(a),(b)に示す。また表-3に実験結果を示す。304のみ動的載荷である。今回の実験のうち単調載荷試験を図-4,5,6,7の●,■で示す。これらによると変形能力において長さによる多少の違いが見られるのみで曲げ耐力、変形能力に及ぼす長さ、軸力比の影響は明白でない。載荷速度の違いは曲げ耐力に10%程度の影響を与えた



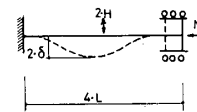
(a)



(a)



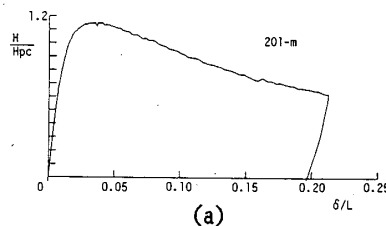
(b)



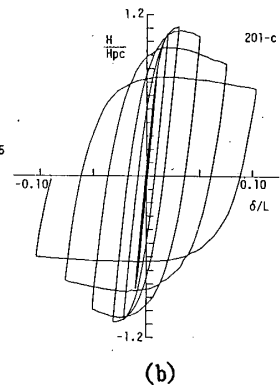
(b) N:一定軸力

図-1 供試体

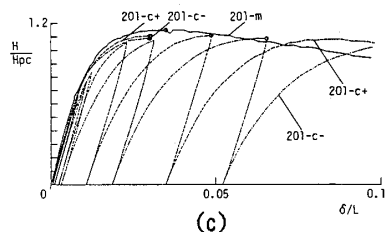
図-2 実験条件



(a)



(b)



(c)

HpcはMpcに対応する水平力

図-3 荷重変形関係

表-1 短柱圧縮試験結果

| 素材名 No. | Ls (cm) | σ_y (t/cm ²) | Ave. | σ_{max} (t/cm ²) | Ave. | ϵ_u (%) | ϵ_u/ϵ_y |
|---------|---------|---------------------------------|------|-------------------------------------|------|------------------|-------------------------|
| r 1 | 49.63 | 4.52 | 4.51 | 4.89 | 4.89 | 0.919 | 4.3 |
| r 2 | 49.80 | 4.50 | 4.50 | 4.89 | 4.89 | 1.075 | 5.0 |
| b 1 | 49.97 | 4.99 | 4.98 | 5.55 | 5.57 | 1.255 | 5.3 |
| b 2 | 49.95 | 4.96 | 4.96 | 5.29 | 5.27 | 1.121 | 4.9 |
| w 1 | 49.98 | 4.78 | 4.80 | 5.25 | 5.27 | 1.112 | 4.8 |
| w 2 | 49.99 | 4.83 | 4.80 | 5.02 | 5.02 | 1.091 | 5.0 |
| y 1 | 49.99 | 4.58 | 4.59 | 5.07 | 5.05 | 1.058 | 4.9 |
| y 2 | 49.97 | 4.61 | 4.59 | 5.07 | 5.07 | 1.058 | 4.9 |

$\epsilon_y = \sigma_y / 2100$

$\epsilon_u = \text{最大荷重時変位}/Ls$

$\sigma_y: 0.2\%$ オフセット値

σ_{max} : 短柱実験の最大荷重/断面積

表-2 引張試験結果

| 素材名 No. | σ_y (t/cm ²) | Ave. | σ_u (t/cm ²) | Ave. | 断面伸率 Ave. (%) |
|---------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------|
| r 1 | 4.29 | 4.54 | 5.47 | 5.56 | 33.8 |
| r 2 | 5.05 | 5.70 | 5.70 | 5.66 | 30.4 |
| b 1 | 4.27 | 5.52 | 6.35 | 6.37 | 29.4 |
| b 2 | 4.88 | 5.16 | 6.48 | 6.28 | 29.5 |
| w 1 | 5.53 | 6.28 | 6.48 | 6.28 | 26.5 |
| w 2 | 5.06 | 5.99 | 6.28 | 6.28 | 30.2 |
| y 1 | 4.58 | 5.99 | 6.05 | 5.94 | 28.8 |
| y 2 | 5.15 | 4.71 | 6.05 | 5.94 | 27.2 |
| b 1 | 4.41 | 5.78 | 5.78 | 5.78 | 29.9 |
| b 2 | 4.44 | 5.77 | 5.77 | 5.77 | 30.5 |
| w 1 | 5.14 | 4.71 | 6.02 | 5.92 | 28.6 |
| w 2 | 5.14 | 4.71 | 6.02 | 5.92 | 28.6 |
| y 1 | 4.54 | 5.98 | 5.98 | 5.98 | 29.9 |
| y 2 | 4.54 | 5.98 | 5.98 | 5.98 | 29.9 |

σ_u : 引張強さ

表-3 実験結果

| 供試体名称 | D (cm) | t (cm) | L (cm) | | N Ny | α | Mmax/Mpc | | | Mmax/Mmc | | | θ_{max}/θ_{pc} | | | | 素材種別 | 実験条件 | |
|-------|--------|--------|--------|------|------|----------|----------|------|------|----------|------|------|----------------------------|-----|------|-----|------|------|-----|
| | | | m | c | | | m | c+ | c- | m | c+ | c- | m | C+1 | C-1 | C+2 | | | C-2 |
| 301 | 16.56 | 0.363 | 85.0 | 85.0 | 0.40 | 10.1 | 1.12 | 1.11 | 1.09 | 1.01 | 1.00 | 0.98 | 3.5 | 3.3 | 3.9 | 2.8 | 3.2 | r | (b) |
| 302 | 16.56 | 0.389 | 84.9 | 84.9 | 0.00 | 9.6 | 1.14 | 1.10 | 1.07 | 1.05 | 1.02 | 0.99 | 4.4 | 7.8 | 9.5 | 4.3 | 3.6 | b | (b) |
| 303 | 16.55 | 0.377 | 86.0 | 86.0 | 0.00 | 10.2 | 1.09 | 1.15 | 1.13 | 1.02 | 1.07 | 1.05 | 4.7 | 6.9 | 8.8 | 4.9 | 5.1 | y | (a) |
| 304 | 16.55 | 0.377 | 86.1 | 86.0 | 0.00 | 10.2 | 1.21 | 1.21 | 1.18 | 1.13 | 1.13 | 1.10 | 4.7 | 6.8 | 8.4 | 5.2 | 5.1 | y | (a) |
| 201 | 16.55 | 0.380 | 57.4 | 57.4 | 0.40 | 10.2 | 1.14 | 1.11 | 1.12 | 0.97 | 0.95 | 0.96 | 4.1 | 4.5 | 4.9 | 3.9 | 3.6 | w | (b) |
| 202 | 16.55 | 0.377 | 57.4 | 57.4 | 0.00 | 10.2 | 1.15 | 1.11 | 1.09 | 1.08 | 1.04 | 1.01 | 5.2 | 7.2 | 9.2 | 4.5 | 4.3 | y | (b) |
| 203 | 16.55 | 0.380 | 62.9 | 62.8 | 0.00 | 10.2 | 1.22 | 1.14 | 1.19 | 1.09 | 1.02 | 1.07 | 5.7 | 8.3 | 12.3 | 4.5 | 5.9 | w | (a) |

Mpc, α , θ_{pc} は引張試験の σ_y を使用した
 $M_{max}: H \cdot L + N \cdot \delta$ の最大値 $\alpha = E / \sigma_y \cdot t / D$ $E = 2100t/cm^2$
 $\theta_{max}: M_{max}$ 時の δ/L $\theta_{pc}: M_{pc}$ に対応する θ
 $M_{pc} = M_p \cdot \cos(\pi/2 \cdot N/Ny)$ $M_p = Z_p \cdot \sigma_y$

M_{max} : 短柱試験の最大荷重
 Ny : 降伏軸力 $A \cdot \sigma_y$
 A : 鋼管の断面積
 Z_p : 塑性断面係数

$M_{mc} = M_m \cdot \cos(\pi/2 \cdot N/N_{max})$

$M_m = Z_p \cdot M_{max} / A$

文献 [12]

(a)(b)は図-2の(a)(b)に対応

m: 単調載荷実験

c: 繰り返し載荷実験

+,-: 繰り返し載荷実験のそれぞれ正側, 負側

1,2: それぞれ《1》, 《2》の方法

Hysteretic Behavior of Circular Tubular Beam-columns

Part 1. Interaction between Strength, Deformation Capacity and Diameter-to-thickness Ratio

が、変形能力には影響しなかった。また、繰り返し載荷実験の耐力劣化以前の荷重変形関係と単調載荷実験との対応を見るため、繰り返し試験から得られた荷重変形関係を $N-\delta$ の影響を考慮して正側、負側それぞれに分割し単純につなぎ合わせる方法《1》とパウシंगा一効果域を無視してつなぎ合わせる方法《2》[15]を試みた。結果の一例を図-3(c)に示す。またつなぎ合わせて得られた荷重変形関係から正負曲げ耐力とその時の部材角を無次元化して表-3に示す。曲げ耐力 M_{max} は単調載荷と比べて最大の差が6%程度である。 θ_{max} は《2》の方法が《1》より単調載荷実験に近い値である。

3. 既往の実験結果 現在までの収集から下記の条件を満たす実験結果を扱った。

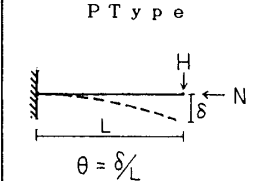
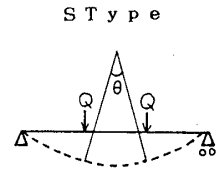
1. . . . 局部座屈, 屈服現象で耐力が低下した。
 2. . . . 定軸力下で曲げモーメントを受けている。
 3. . . . 単調載荷実験あるいは繰り返し実験であっても処女載荷時に曲げモーメントが最大となっている。
- 表-4にその概要を示す。

曲げ耐力 図-4は局部座屈パラメータ α [9], [14]と最大曲げモーメントを軸力 N を考慮した全塑性モーメント M_{pc} で無次元化した値との関係である。 σ_y は、文献[1]では圧縮試験結果を使用し、他は引張試験結果を使用している。FDランク[13]のデータは M_{pc} に到らないものが多い。またP typeとS typeとでは異なった傾向がある。図-5はP typeについて M_{max} を全塑性モーメント M_p で無次元化した値と、 N を降伏軸力 N_y で無次元化した値との関係である。鋼管部材の曲げ耐力は文献[12]では短柱試験結果から予測している。図-6に短柱試験の最大圧縮荷重 N_{max} が明らかなデータについて、 M_{max}/M_m と N/N_{max} との関係を示す。図-6は図-5に比べて相関線と良い対応となっているが構造ランクの違いにより対応状態が違っている。

変形能力 図-7に α と θ_{max}/θ_{pc} の関係を示す。P, S Typeとも良く似た傾向がある。文献[11]のSTK41の径厚比制限は $\epsilon_u/\epsilon_y > 8$ が条件であり制限内のデータは、焼鈍した実験を除いて θ_{max}/θ_{pc} が8以上ある。

4. まとめ 数種類の実験変数について実験を行いその曲げ耐力と変形能力の比較を行った。また既往のデータを収集し主に局部座屈パラメーターに対して考察を行った。

表-4 実験種別

| | P Type | S Type |
|------|--|---|
| 実験条件 |  |  |
| 崩壊状態 | 局部座屈を固定端近傍に生じる。固定端で鋼管は鋼板に溶接されている。 | 等曲げの区間で局部座屈あるいは屈服現象を生じている。 |
| 鋼管種別 | 電鍍鋼管のみ。高張力鋼管あり。 | 電鍍鋼管、冷間製造の鋼管、熱間圧延鋼管、高張力鋼管あり。 |

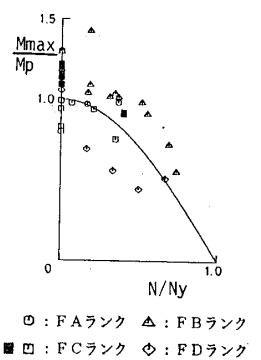
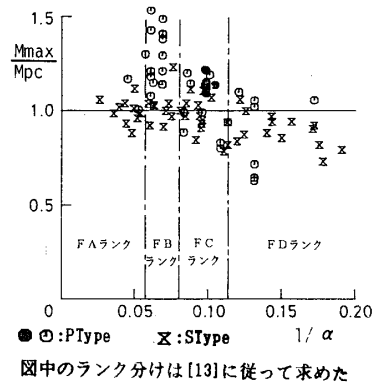


図-4 M_{max}/M_{pc} と $1/\alpha$ との関係

図-5 M_{max}/M_p と N/N_y との関係

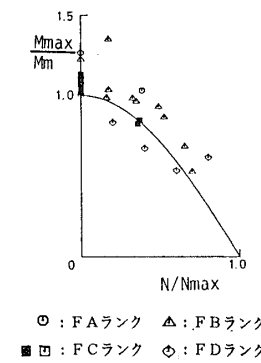


図-6 M_{max}/M_m と N/N_{max} との関係

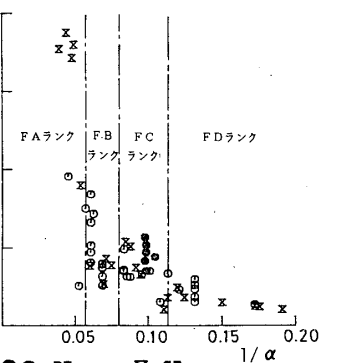


図-7 θ_{max}/θ_{pc} と $1/\alpha$ との関係

データ引用文献

[1] 加藤 秋山、鈴木: 鋼管梁の曲げ耐力、建築学会大会梗概集 昭和48.10
 [2] 松井、津田: 一定鉛直荷重と変動水平力を受ける円形鋼管柱の弾塑性挙動に関する研究 (その1、径厚比 $D/t=40$)、建築学会中国・九州支部研究報告 昭和59.3
 [3] 松井、津田: 一定鉛直荷重と変動水平力を受ける円形鋼管柱の弾塑性挙動に関する研究 (その2、径厚比 $D/t=20$)、建築学会九州支部研究報告 昭和60.3
 [4] 五十嵐、長尾: 電鍍鋼管部材の局部座屈挙動、建築学会大会梗概集 昭和50.10
 [5] Sherman, "TEST OF CIRCULAR STEEL TUBES IN BENDING," ASCE, Vol.102, ST11, Nov. 1976
 [6] Sherman, "INTERPRETIVE DISCUSSION OF TUBULAR BEAM-COLUMN TEST DATA," Report to SELL OIL COMPANY, Dec. 1980
 [7] Sherman, "SUPPLEMENTAL TESTS FOR BENDING CAPACITY OF FABRICATED PIPES," Civil Engineering Department Report, Univ. of Wisconsin-Milwaukee, Feb. 1983
 [8] Jirsa, et al., "Ovaling of Pipelines under Pure Bending," Paper OTC 2209, May 1975
 [9] Shilling, "BUCKLING STRENGTH OF CIRCULAR TUBES," ASCE, Vol.91, ST5, Oct. 1965
 [10] Korol, "INELASTIC BUCKLING OF CIRCULAR TUBES IN BENDING," ASCE, Vol.104, EM4, Aug. 1978

参考文献

[11] 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針 [12] 鋼材倶楽部: 中低層鉄骨建物の耐震設計法 [13] 日本建築センター: 構造計算指針・同解説
 [14] Kato, B., "LOCAL BUCKLING OF STEEL CIRCULAR TUBES IN PLASTIC REGION," Proc. of the Stability of Structures Under Static and dynamic Loads, SSRG/ASCE, 1977
 [15] 加藤、秋山: 鋼構造部材の耐力(その4)、建築学会論文報告集 第151号 昭和43年、9

*1 熊本大学 助手 *2 同 助教授 工博 *3 同 教授 工博 *4 同 大学院生