

愛知工業大学 正員 青木徹彦

1. はじめに 構造物の設計法が許容応力度設計法から荷重係数設計法や準確率論的設計法に移行しつつあるのが現在の世界的な趨勢である。構造物の安全性を合理的に確保するためには設計式をどのような形にまとめるかといった公式化の検討とともに、設計式の中に含まれる統計パラメータの値を十分な量の基礎データを背景にして設定する必要がある。これには構造物の耐力と作用荷重の両方とも統計量としてできるだけ正確に把握しておくことが前提となる。本研究は構造物のうちの鋼管柱に注目し、その中心軸座圧強度分布を実験的に求め、さらに耐力のばらつきに影響を及ぼす材料強度、残留応力分布、初期たわみなどの要因についても統計的性質を調べ、強度分布との関係も明らかにしようとするものであり、鋼柱の座圧強度分布に関する一連の研究の一部となるものである。鋼管柱はねじれに強く、断面の方向性がないといった利点の他、美観に優れていることなどから、トラス部材などに近年よく用いられている。

2. 実験計画および実験方法 実験に用いた鋼管柱は外径 114.5 mm 、管厚 4.5 mm の電気抵抗溶接鋼管（電線管）で、材質は DK41 （ S45C 相当）である。断面諸量を Table 1 に示す。実験は材料強度定数を調べるための圧縮実験、全座圧柱に対する初期たわみの測定、残留応力の測定、および中心軸座圧強度から成る。実験計画を Table 2 に示す。

1) 短柱実験には外径の約5倍の長さの柱30本を用い、柱の中央に2枚の塑性ゲージを中心軸に対称となる位置に貼り、また同じ位置に標点間 26 cm の変位計（ $1/1000\text{ mm}$ 精度ダイヤルゲージ使用）を用いてひずみの測定を行なった。載荷前の整置には実験誤差が入らなへよう注意し、柱の両端付近に上下4枚づつひずみゲージを貼り、それぞれがそれぞれ荷重で全測定平均値の3%以内になるよう斜角板、薄い紙片などを用いて調整を行なった。2) 初期たわみの測定は柱の両端および8等分点にダイヤルゲージをあて目盛を読み、次に柱を1/4回転させて同じ測定を行い、前回の差に対して柱端の値が0となるよう補正を行うとその値は初期たわみの2倍となって得られる。この測定をX-Y直交方向について行ない、最大たわみおよびその方向を調べる。3) 残留応力の測定は直径の約5倍の長さの柱の中央に外周に沿って 1 cm おきにひずみゲージを36枚貼付け、管の内側にも表に対応する位置に同数のひずみゲージを貼付け。これを表ゲージ2枚1組となるように鋸で小片に切断し、残留応力の解放前後の値を測る。

4) 座圧試験柱は4種の細長比 $L/r = 40, 60, 80$ および 100 に対し、各30本、計120本用意する。柱両端で1方向回転を許し、回転方向は溶接線の位置を1/4づつづらしてセットした。また上下の回転軸に対し、柱は柱端の断面中心を支持装置の回転中心に一致させる

幾何学的に中心軸²⁾ セットとした。測定は最大荷重、荷重-横方向変位関係、柱中央でのひずみについて行った。

Table 1 Cross Section Properties (nominal)

D = 114.3	m
t = 4.5	mm
Ar = 15.52	cm
I = 234	cm
r = 3.885	cm

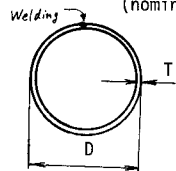


Table 2 Test program

Object	Length (mm)	Number	
Buckling Test			
A	1/r = 100	3885	30
B	= 80	3108	30
C	= 60	2331	30
D	= 40	1554	30
E	Stub Column	560	30
F	Measurement of Residual Stress	560	30

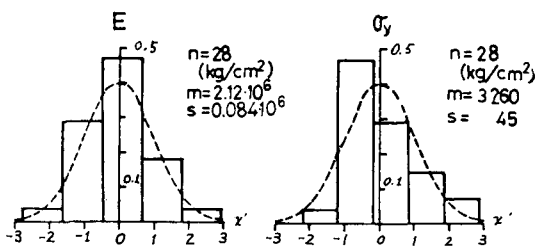


Fig. 1 Stub Column Test Result

3. 実験結果と考察 1) 短柱実験によってヤング係数 E , 降伏応力 σ_y , ひずみ硬化係数 E_{st} , 硬化開始ひずみ ϵ_{st} , 最大応力 σ_{ut} , および応力-ひずみ関係から応力-接線弾性係数 $(\sigma - E_s)$ 関係を求め, 各ヒストグラムとともに次式による平均 m , 標準偏差 s , 変動係数 ω を求めた。式中 n = データ個数, x_i = データ。

$$\left. \begin{aligned} m &= \sum x_i / n \\ s &= \sqrt{\sum (x_i - m)^2 / (n-1)} \\ \omega &= s / m \end{aligned} \right\} (1)$$

ヤング係数と降伏応力のヒストグラムを Fig. 1 に示す。各々の平均値は $E = 2.12 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($\omega = 0.040$), $\sigma_y = 3260 \text{ kg/cm}^2$ ($\omega = 0.014$) であった。
 2) 初期たわみの測定結果, 断面の X-Y 方向のたわみから最大のたわみ量 δ を求めヒストグラムを描くと Fig. 2 が得られた。初期たわみの平均値は全体では等しく柱長の約 $2/10000$ であった。また変動係数の値は $0.2 \sim 0.4$ となった。初期たわみの形状を定量的に把握するために式 (2) に示すような 3 項から成るフーリエ級数近似を仮定し, 最小自乗法で係数 a_n を求めた。結果を Fig. 3 に示す。

$$y_i = a_1 \sin \frac{\pi x_i}{L} + a_2 \sin \frac{2\pi x_i}{L} + a_3 \sin \frac{3\pi x_i}{L} \quad (i=1 \sim n) \quad (2)$$

図 3 からわかるように, どの細長比でも a_1 の値が a_2, a_3 に比べて卓越し, 柱の初期たわみ形状は $\sin$ 半波形状が支配的であることがわかる。またこの傾向は柱が長くなるにつれて顕著になっている。

3) 座屈実験結果から得られた最高荷重 $\lambda/r = 40, 60, 80$ についてヒストグラムを表わすと Fig. 4 が得られる。図 4 から座屈強度のばらつきの様子が見える。図中に実線で示したのは平均 m を, 一点鎖線は $m-2s$ である。また参考のために ECCS 提案²⁾の継目なし鋼管を含む座屈曲線 α を破線で書き入れている。ただしこの曲線は座屈縦軸を降伏応力の下限値 ($\sigma_y - 2s$) で無次元化してあるので, 本実験値との直接の比較

はできない。同じ座屈曲線と比較するには本実験値を約 36% ($3260/2400 \approx 1.36$) 上方に位置させる。ヒストグラムに下方に Δ 印で表わしたのは座屈荷重・変動係数の値で, λ/r が大きくなるにつれて, その値は $0.03 \sim 0.05$ と増大している。これらの値はほぼ同一寸法の圧延および溶接 H 形鋼柱の弱軸まわりの座屈強度の変動¹⁾²⁾に比べ約 $1/2$ となっており, 座屈耐力のばらつきという点に関して鋼管柱の有利さが伺える。今後さらに異なった D/B の部材についても実験データの蓄積を計る必要がある。

参考文献 1) 青木・福本, “鋼柱の座屈強度に及ぼす残留応力分布の影響について”, 日本学術論文誌 No. 201, 1972.5.9. 2) 青木・福本,

溶接 H 形鋼柱の座屈強度分布について”, 日本学術論文誌 No. 222, 1974.3.29. 3) ECCS, MANUAL ON THE STABILITY OF STEEL STRUCTURES, 2nd Technical College on STABILITY, 1976. 9.4.

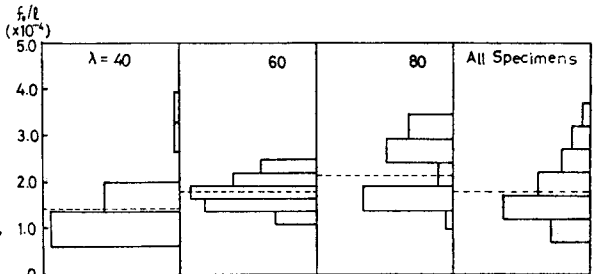


Fig. 2 Histogram of The Initial Deflection

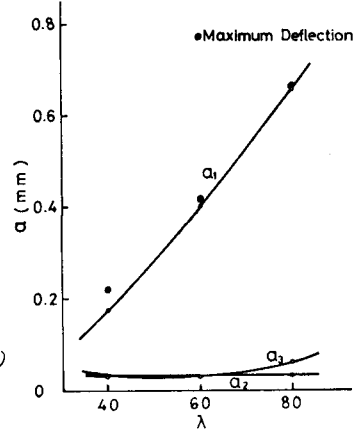


Fig. 3 Fourier Coefficients for Initial Deflection

Table 3 Result of Buckling Test

λ	80	60	40
m (t)	40.4	46.5	48.6
s (t)	2.0	1.5	1.4
ω	0.049	0.033	0.028
n	29	30	30

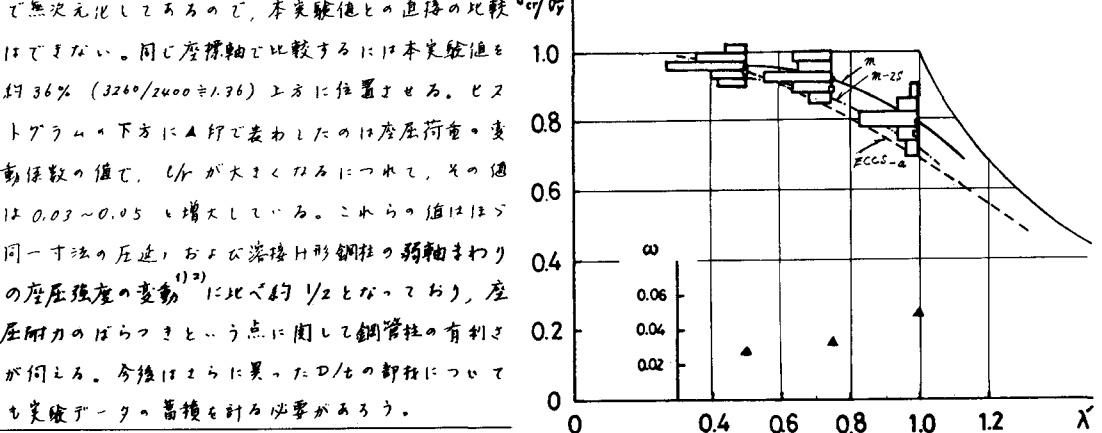


Fig. 4 Buckling Test Results