

I-46 圧延 H 型鋼柱の座屈強度分布

名古屋大学 学生員 ○ 青木 徹彦
名古屋大学 正員 福本 勝士

1. はじめに 柱の座屈強度に対する設計式あるいは安全率は他の形式の座屈部材の基準として往々利用され、構造部材の中でも最も研究の進んだ分野の一つとなっている。部材強度の安全性も合理的に決定しようとするれば破壊確率の概念が必要で、そのためには単に強度の平均値のみならず、データのばらつきの程度を知り、さらに詳しい解析が要求される場合にはその統計分布形状をも調べなければならぬ。柱の座屈強度の低下に及ぼす主な要因として、もたれやみと残留応力の存在が考えられる。これらに関する研究は数多く発表されているが、そのほとんどは適当な元たわみまたは残留応力の近似分布を仮定し座屈荷重を定めている。しかしながら、実際の柱の中にはこれらの要因が統計量として存在し、注意を払って行なわれた座屈実験でも座屈荷重に多少のばらつきが見られるのが普通である。これは座屈現象に表われる特徴の一つと言えるかも知れない。ここに述べる研究は上述2つの要因のうち、残留応力のバラツキが座屈強度の変動に及ぼす影響を実験的に明らかにする目的で行なわれた。

2. 実験 実験は圧延 H 型鋼 (断面 $100 \times 100 \times 8 \times 6 \text{ mm}$), 11.5 m , 15 本から取出し位置が不規則となるように各試験片を割付けた。試験の種類および本数は 1) 引張り試験 45 本, 2) 短柱試験 ($l = 20 r_y$) 30 本, 3) 残留応力の測定 15 本, 4) 座屈試験柱として $l/r_y = 60, 80, 100$ および 118 の 4 種をそれぞれ 15 本づつの計 60 本, 5) もたれやみの測定 (全座屈実験柱) 60 本である。延べ実験, 測定本数は 210 本となった。引張り試験の結果は文献 1) に述べた。短柱実験は全長 50 cm の柱の中央 30 cm の間の変位を $1/1000 \text{ mm}$ 精度 Dial Gage で, また柱中央両面に塑性歪ゲージを用いて測定した。測定に先立ち, 柱の整置は特に注意を行い, 上下柱端 10 cm の位置 4 隅に貼付けた歪ゲージのそれぞれ値が, $2 \sim 3\%$ 以内で一設するようセットを行った。



座屈実験 (写真) は弱軸まわりに両端ピン支持とし, 柱端が同軸中心となるよう Koller Bearing を備えた支持装置を用いた。この場合にも柱の整置には特に注意を払った。その手順はまず $1/3 P_y$ 程度の荷重を加え, 柱の両端から 10 cm の位置, および柱中央でフランジの端に貼付けた 4 枚の歪ゲージの値から柱端に一樣に圧縮応力が生じているかを調べる。さらに $0.4 P_y$ 程度まで荷重を加え, 柱中央での横たわみを $1/100$ 精度 Dial Gage で測定する。ほとんどの柱に元たわみがあるが, ここではその影響を除去するため, セットの際には元たわみを打消すように逆に多少の偏差を加え, 最高荷重で柱の横たわみがゼロとなるよう調整をくり返した。残留応力はフランジ表面とウェブ両面に 1 cm 間隔でポイントゲージにより測定を行った。もたれやみ測定は柱の 8 等分点および両端に Dial Gage を当て, 強軸弱軸方向毎に半回転させ, 同軸軸からの偏差を測定し元たわみの値とした。

3. 近似残留応力分布と座圧荷重の変動

残留応力の形状は一般に複雑な曲線をなしており、今回の測定結果の平均値も Fig. 2 の点線で示すような形となった。残留応力を含む部材を解析する際、解析を簡単にするため最も一般に行なわれるのはこれを適当な直線形におきかえることである。この簡便法によって座圧荷重の変動をも知ることができるとある。従来行なわれているのと同様、H 型断面の柱をフランジ幅 b 、厚さ $d/2$ の 2 枚の板から成るとし、この板の中に Fig. 2 に示すような三角形分布の残留応力 σ_y を仮定する。いま柱に一律な圧縮ひずみをが生じていて、それによって板の弾性中が τ になったとすると、平均応力 $\bar{\sigma}$ と、接線弾性係数 E_t との間に関係が生ずる。

$$\begin{aligned}\bar{\sigma} &= \frac{1}{A} (\int E \epsilon dA - \int E \sigma_p dA) = E \{ \epsilon - (e_1 - e_2) / 2 \cdot (e_1 - e_2) \} \\ &= \{ (e_2 + e_1) - (e_2 - e_1) \tau^2 \} E / 2\end{aligned}\quad (1)$$

$$E_t = d\bar{\sigma} / d\epsilon = E \tau, \quad \text{or} \quad \tau = E_t / E. \quad (2)$$

残留応力がそれ自身でつり合っているときには $E(e_1 + e_2) / 2 = \sigma_y$ 、
 $E(e_2 - e_1) / 2 = \sigma_y - \sigma_p = \gamma \sigma_y$ とおける。ここに σ_p は比例限度力。無次元化した応力 $\sigma' (= \sigma / \sigma_y)$ と接線弾性係数 $\tau (= E_t / E)$ との関係は次式となる。

$$\sigma' = 1 - \tau^2 \quad (3)$$

残留応力の測定結果から $\tau = 0.14$ 、変動係数 $\lambda = 0.42$ (6S/m) を用いて σ' について関係、座圧曲線および座圧荷重の変動係数を求め図示すると Fig. 3 が得られた。実線と点線はそれぞれ断面の強、弱軸に対するものである。

4. 実験結果と考察

28 本の短柱試験から得られた $\sigma - E_t$ 曲線も弱軸まわりに対する補正を行い、無次元表示すると Fig. 4 も得る。同図にはこの曲線から求めた座圧曲線および変動係数曲線も示してある。図中 $\bar{\mu}$ は平均、 S は標準偏差に相当する。同図中の $\circ$ は座圧実験による値で下方の標準偏差とともに示した。これは短柱実験による推定値より 2~5% 上まわっている。一方変動係数曲線は $\lambda = 1.2$ 付近まで両者はほぼ同じ傾向を示すが、それ以上の範囲では座圧実験値の変動が大きい。これはこの範囲がほぼ弾性座圧であり、柱の元たわみ影響が現れてくると考えられる。同図中の点線は 3. で述べた方法による値で、この場合直線近似の残留応力では実際の座圧柱の変動を精度よく推定することは困難なようである。おわりに、柱の中に軸座圧実験は一般に細心の注意と多くの時間と労力が要求される。統計資料を得るにはなおさらである。近年大型電子計算機による構造解析の精度向上の進歩は著しいが、真に合理的かつ信頼性ある構造物を造るべく、実験に要する労力を避けることはできない。

参考文献 福本、青木：構造用部材の強度分布、土木学会年次講演会、昭和 45 年

