

名古屋大学 正員 伊藤 満

名古屋大学 正員 福本 晴士

京都大学 正員 小西 一郎

1. はじめに

本研究は、熱間圧延H形鋼材が冷間曲げ加工により円弧状に成形弯曲される場合の冷間曲げ加工時に断面に発生する初期応力分布、および、円弧部材の軸方向圧縮力による荷重-変形性状ならびに柱の極限強度について考察を加え、実験結果との比較検討を行なった。

2. 冷間曲げ加工

写真に示すような三基のロールをもつロールベンダーの中を通して、直材を所定の曲率半径(4~10m)をもつ円弧状に永久変形を与えた。図-1は、冷間曲げ加工後、部材断面に発生した垂直応力分布の一例である。部材は、ロールベンダーにより塑性荷重が加えられ、最大ひずみ量は、 $15,000 \times 10^{-6} \sim 17,000 \times 10^{-6}$ となり、その結果、荷重除荷後、塑性変形が残留する。

図-1は、残留変形により断面に生ずる残留応力分布を示し、実線は計算値を、点線は実験値を示している。冷間加工時に、ほぼ鋼材のひずみ硬化域に達するまで塑性変形を与えるので、熱間圧延による残留応力分布は、冷間曲げ加工過程で消されるようである。

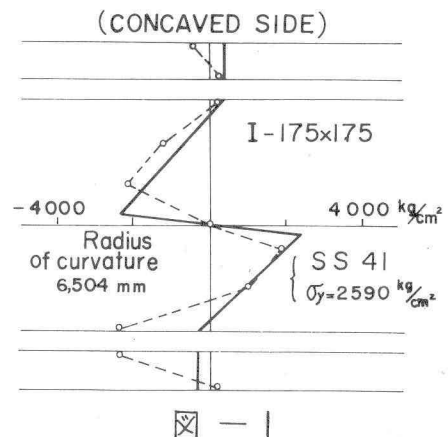
3. 弯曲した柱の極限強度

図-2(1)は、鋼材の応力-ひずみ曲線を単純化したものである。柱の極限状態における同曲線をさらに単純化して、一般に、剛ひずみ硬化材料(図-2(2))とすると、断面の垂直応力分布は、図-3のようになり、中立軸が腹板内にある場合(図-3(1))と、フランジ内にある場合(図-3(2))によって、次式のような、曲げモーメントと軸方向力の相対式がみちびかれる。

中立軸が腹板内にある場合(図-3(1))

$$\frac{M}{M_p} = 1 - \frac{w}{4Z} \left(\frac{P_f}{A + \frac{K\varphi}{d}} \right)^2 + \frac{K\varphi}{dZ} \cdot \beta$$

$$0 \leq \frac{P_f}{A} \leq d_w \left(\frac{w}{A} + \frac{K\varphi}{d} \right)$$



中立軸がフランジ内にある場合 (図-3(2))

$$\frac{M}{M_p} = \frac{b}{z} (d - h_f) h_f + \frac{K\varphi}{z d} \beta$$

$$d_w \left(\frac{W}{A} + \frac{K\varphi}{d} \right) \leq P_R \leq 1 - \frac{z b \left[\frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{K\varphi}{b d} \beta} \right] + \frac{z K \varphi}{d} \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{K\varphi}{b d} \beta}}{A}$$

$$\text{ただし, } h_f = \frac{P_R + K\varphi - 1 + \frac{z b d}{A}}{z \left(\frac{b}{A} + \frac{K\varphi}{d} \right)}, \quad \beta = b \pm (d \cdot d_w + \pm) + \frac{1}{6} (W \cdot d_w^3 + b \pm^3)$$

$$\varphi = \phi / \phi_y$$

(1)

柱の中央断面における曲げモーメント M は式(1)のようになる。

$$M = P(e + a + \delta) \quad (2)$$

ここに, e, a, δ は, 図-4 のようである。式(1), (2) を連立させることにより, 柱の荷重変形曲線の上界値を, 式(3) の形で求めることができる。

$$P_R = f(K, q/d, \varphi_s, \gamma_x, \gamma_d) \quad (3)$$

図-5 は, $\varphi_s = 1.49$; s : 核半径, $\gamma_x = 11.65$, $a = 0, 0.11d, 0.5d$, (d : 171 高) の変曲柱の荷重とスパン中央たわみ量との実験値を示したものである。図中, 破線は, 弾性曲線を示し, 実線は, 式(1), 式(2) で $K=0$, 剛塑性体, のときの崩壊曲線であり, 一点鎖線は, $K=1/45$ のときの崩壊曲線を示す。実験値は, 両者の上下界曲線の間にプロットされている。図から, 材料のひずみ硬化が変曲柱の極限強度に与える効果が明らかにみとめられる。

また, $\gamma_x = 10 \sim 18$ 程度では, 変曲度 (q/d) が大きくなると柱の極限強度も大きくなることかわかる。

図-6 は, 式(1) の曲げモーメント-軸方向力相関式を図示したものである。縦軸に軸方向力, 横軸に曲げをとってある。曲線②, ③は, それぞれ $\varphi = 1, 5, 10$ として式(1) の曲線であり, 本研究で行なった柱の極限強度の実験値をプロットしてある。また, 剛塑性性材料としての相関曲線 ($K\varphi=0$) も示してある。

4. あとがき

冷間曲げ加工をほどこした変曲部材の冷間加工により生じた残留応力分布を調べ, 変曲した柱の中心圧縮荷重, 偏心圧縮荷重による柱の変形性状, 極限強度について考察を行ない, 実験結果と比較を行なった。なお, 本研究は, 川崎製鉄建設技術部のトンネル支保工強度に関する依頼実験に関連して行なったものである。

