

広島大学 正員 大村 裕
 広島大学 正員 上野谷 実

1 まえがき

応力集中部を有する構造部材の設計において、強度を最も効果的に発揮させ使用材料の節約を計るには、塑性設計法が適しているが、応力集中部材の耐荷力を的確に把握していないと塑性設計法の適用は困難となる。本研究は円孔を有する矩形断面ばりの耐荷力解析に良い適用性を示した塑性設計法⁽¹⁾をH形ばりに応用し、模型実験の結果と比較検討したものである。

2 解析法

有孔ばりに塑性設計法を適用する場合、ある断面に塑性ヒンジが生ずるまで局部座屈、横倒座屈などの不安定現象は生じないものと仮定する。塑性設計法によって円孔部分の耐荷力を計算する場合、図-1(d)に破線で示すように塑性ヒンジは円孔中心断面を対称軸として両側の上下4箇所へ生ずると仮定する(この妥当性は実験によって確かめられている)。曲げとせん断の作用する荷重状態の円孔中心断面より左側の部分を取り出し、図-1(a)に鎖線で示すAA断面に塑性ヒンジが生じたと仮定すると、AA断面における降伏応力の分布はスレンデル作用といわれるせん断力 Q による付加的曲げモーメントを考慮して図-1(b),(c)のように仮定する。图中、 k_1d の部分には垂直応力 σ とせん断力 Q での組合せによって降伏していると考え、ここではvon Misesの降伏条件を満足するものとする。

せん断力 Q が曲げモーメントに比べて非常に小さい荷重状態の場合、二種類の解法を考える。解法(1)はせん断力を受け持つのはウェブだけと考え、解法(2)はフランジ内の一部もせん断力を受け持つと考える。それぞれの解法によって計算される塑性モーメント M_p 、塑性せん断力 S_p は次式によって表わされる無孔時の全塑性モーメント M_{p0} 、全塑性せん断力 S_{p0} で無次元化している。

$$M_{p0} = \sigma_y [b \cdot p(2d-p) + t(d-p)^2], \quad S_{p0} = \frac{2\sigma_y}{\sqrt{3}} [d \cdot t + b \cdot p - p \cdot t] \quad (2.1) \quad \sigma_y \text{ は単純引張降伏応力}$$

$$\text{解法(1)} \quad \frac{M_p}{M_{p0}} = [b(2d - k_2d - p)(p - k_2d) + t(h - k_1d)(d + k_1d + r \cos \theta - p)] / [b \cdot p(2d - p) + t(d - p)^2]$$

$$\frac{S_p}{S_{p0}} = k_1d [d^2 - b^2 k_2^2 / R^2]^{1/2} / [d \cdot t + p \cdot b - p \cdot t]$$

k_1 と k_2 はスレンデル作用の力のつりあいを満足する次式より求まる。 $\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_y^2$

$$\sigma_y b k_2 d = \sigma_y t k_1 d$$

$$\frac{S_p}{2} r \sin \theta = \sigma_y b k_2 d [d - \frac{1}{2}(k_1 + k_2) - r \cos \theta]$$

したがって $0 \leq k_1 d \leq h$

解法(2) $0 \leq k_1 d \leq k_2 d$

$k_1 \leq k_2 d \leq d$ は次のようになる。

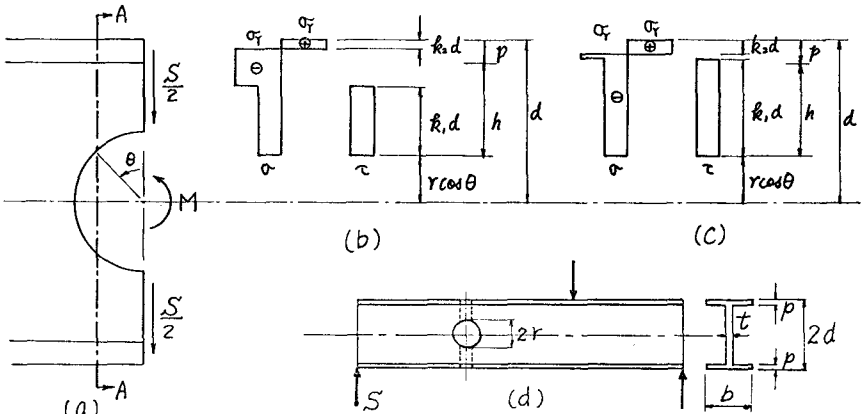


図-1

塑性設計法による仮定する応力分布

$$\frac{M_p}{M_{po}} = b[d(1-k_1-k_2) - r \cos \theta] [d(1+k_1-k_2) + r \cos \theta] / [b \cdot p(2d-p) + t(d-p)^2]$$

$$\frac{S_p}{S_{po}} = d[(t \cdot h + b \cdot f)^2 - (k_2 \cdot d \cdot b)^2]^{1/2} / [d \cdot t + p \cdot b - p \cdot t] \quad \therefore 1: f = k_2 \cdot d - h$$

$$0 \leq b \cdot k_2 \cdot d = 0 \leq (t \cdot h + b \cdot f), \quad 0 \leq 3t^2 = 0 \leq r^2$$

$$\frac{S_p}{S_{po}} \sin \theta = 0 \leq b \cdot k_2 \cdot d \cdot (1 - \frac{k_2}{2}) - 0 [t \cdot h (\frac{h}{2} + r \cos \theta) + b \cdot f (d - p + \frac{f}{2})]$$

上式中、 θ によって決まる任意断面の M_p/M_{po} , S_p/S_{po} を計算し、そのうちの最小値が求めよりの耐荷力となる。それぞれこの解法によって $\gamma/d = 0.2, 0.4, 0.6$ に対する相互作用曲線と計算した結果を図-3に示す。

3 模型実験

円孔を有するH形ばりの荷重試験を $\gamma/d = 0.2, 0.4, 0.6$ および3種類の荷重状態について行なった。模型ばりの形状寸法、荷重法、変位測定法を図-2に示す。模型ばりのH形鋼は材質がSS41で、熱処理によって製鋼加工時の残留応力を除去し、円孔周辺に塑性ヒビを生ずるように図-2に示すスチフナーとカバープレートで補強した。鋼材の機械的性質は単純引張試験の結果、フランジの降伏応力 $\sigma_{F1} = 2880 \text{ kg/cm}^2$ 、ウェブの降伏応力 $\sigma_{Fw} = 2990 \text{ kg/cm}^2$ 、ヤング係数 $E = 2.08 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.27$ である。模型ばりの耐荷力は、荷重-変位曲線の弾性域と塑性流わ部分におけるそれぞれの接線の交点の荷重として図-3へ示した。表-1 解法(1),(2)と実験値の比較

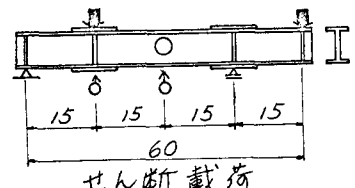
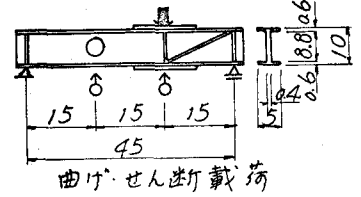
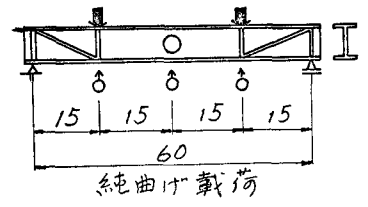


図-2 模型ばりの荷重状態

4 考察

実験結果と解法(1),(2)の比較を(理論値/実験値)として表-1に示す。純曲げ荷重の場合、実験値と解析結果はよい一致を示している。曲げせん断荷重の場合、解法(2)は実験値とよい一致を示しているが解法(1)は円孔が大きくなるにともなう、実験値より小さい値を示し $\gamma/d = 0.6$ のとき 27% の差異を示している。せん断荷重の場合、実験値に比較して解法(1)は 30% ほど小さく、解法(2)は 30% くらい大きく、両解法ともこの荷重状態では極めて近似が悪く、適用性は認め難くなる。

	γ/d	純曲げ	曲げせん断	せん断
解法(1)	0.2	1.02	0.97	0.78
	0.4	—	0.85	0.70
	0.6	1.02	0.73	0.76
解法(2)	0.2	1.02	0.98	1.69
	0.4	—	0.97	1.33
	0.6	1.02	1.04	1.38

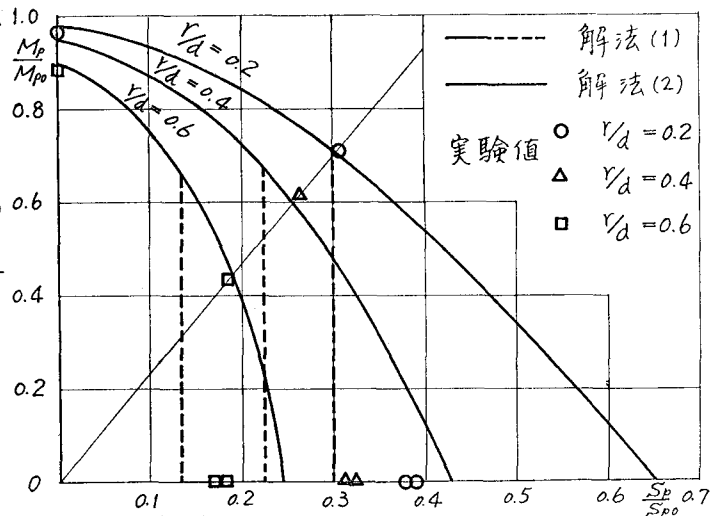


図-3 解法(1),(2)による相互作用曲線と実験値

参考文献

- 1) 大村 祐, 工野 登実
「有孔ばりの弾塑性挙動に関する実験的研究」
土木学会中国四国支部年次学術講演会講演概要