

I-A 69 I 形断面桁の曲げ及びそり応力による塑性崩壊実験と解析

北海道大学工学部 正 員 平沢秀之
 北海道大学工学部 正 員 林川俊郎
 北海道大学工学部 正 員 佐藤浩一

1. はじめに

I 形断面部材に曲げモーメントとねじりモーメントが同時に作用する場合(例えば曲線格子桁や斜角格子桁の主桁や横桁等)、断面には曲げの他にそりねじりに起因する垂直応力やせん断応力が発生するため、その塑性耐荷力を求める解析は曲げモーメントのみを受ける場合と比較してかなり複雑となる。この種の問題に関しては、弾塑性有限要素法が最も厳密に近い解を与える解析方法である。しかし部材の降伏関数を求めて断面力レベルで構造物の終局荷重を追って行くことのできる塑性ヒンジ法も有効な方法である。本研究は塑性ヒンジ法を基本としつつ、塑性域の広がりによる剛性の低下を考慮した剛性マトリックスを用いた解析を行い、実験と比較した。本解析法により、塑性ヒンジ法の欠点が改善され、計算値と実験結果が良く一致することが示された。

2. 解析方法^{1),2)}

図-1 (a)のように I 形断面はりが曲げモーメント M とそりねじりモーメント W を受けて塑性域が広がっている場合を考える。このとき上下フランジには、 W に起因する面内曲げモーメント M_f によるそり応力 σ_w と M による引張又は圧縮応力 σ_M が生じている³⁾。この状態におけるある断面の応力分布は σ_M と σ_w を合成したもので図-1 (b)のようになり、 η 、 δ 、 λ は $\sigma=\sigma_y$ となる位置を表すパラメータである。この応力分布から、この断面内に作用する曲げモーメントとそりねじりモーメントを求めると次式のようになる。

$$(i): \quad m = \frac{4}{4+\alpha} \left\{ 2\eta + \alpha \left(\frac{1}{4} - \frac{\lambda^2}{3} \right) \right\}, \quad w = 1 - \frac{4}{3}\delta^2 + \frac{8}{3}\delta\eta - \frac{16}{3}\eta^2 \quad (1a,b)$$

ここで、 α はウェブの断面積とフランジの断面積の比である。また λ に関してはフランジ中央部におけるひずみとウェブ上下縁におけるひずみの適合性を考えると δ 及び η を用いて表すことが可能である。図-2に示すようにフランジとウェブのひずみの分布が点線のようなであるとすると、ひずみに関して次式が成り立つ。

$$\epsilon_y = k_f(\eta - \delta)b = k_w \lambda h \quad (2)$$

$$\epsilon_f = k_f \eta b, \quad \epsilon_w = k_w \frac{1}{2}h \quad (3a,b)$$

ここで ϵ_y は降伏ひずみ、 ϵ_f 、 ϵ_w はそれぞれフランジ中央部、ウェブ上下縁におけるひずみ、 k_f 、 k_w はそれぞれフランジ、ウェブの面内変形における曲率である。ひずみの適合性より、

$$\epsilon_w = \epsilon_f \quad (4)$$

が成り立つ。これらより λ を求めると次式となる。

$$\lambda = \frac{\eta - \delta}{2\eta} \quad (5)$$

式(1a,b)は図-1 (a)の(i)の範囲内における m, w の式であるが、(ii)、

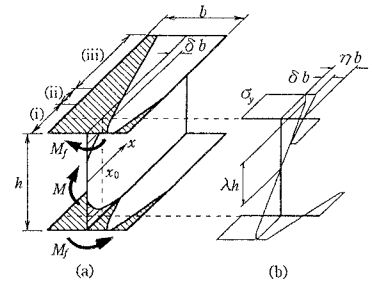


図-1 塑性域の広がり

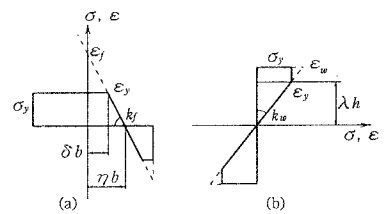


図-2 ひずみの適合性

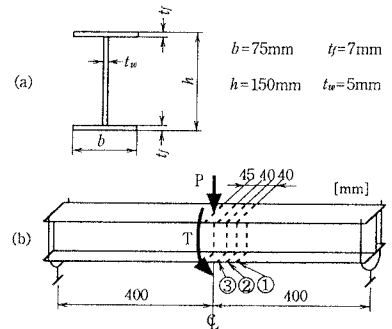


図-3 実験供試体

(iii)についても同様にして応力分布を考え、 m 、 w の式を導くと以下のようになる。

$$(ii) : m = \frac{4\eta}{4+\alpha} \left\{ 2 + \frac{\alpha}{6(\eta-\delta)} \right\}, \quad w = 1 - \frac{4}{3}\delta^2 + \frac{8}{3}\delta\eta - \frac{16}{3}\eta^2 \quad (6a,b)$$

$$(iii) : m = \frac{4\eta}{4+\alpha} \left\{ \left[1 - \frac{(1/2-\delta)^2}{2(\eta-\delta)} \right] + \frac{\alpha\eta}{6(\eta-\delta)} \right\}, \quad w = \frac{2(1/2-\delta)^2}{3(\eta-\delta)}(1+\delta) \quad (7a,b)$$

3. 実験及び解析値との比較⁴⁾

図-3に示すような支間80[cm]のI形断面桁に、偏心距離を4[cm]として鉛直荷重を作用させ、曲げとそりねじりを同時に作用させた。載荷点には荷重によって断面変形が起こらないような型枠を取り付けた。支点条件は、曲げ及びねじりに関して単純支持となるようガーベル支持とした。測定は載荷断面におけるねじり角及び図に示す載荷点付近の3つの断面①②③における応力をそれぞれ変位計、ストレインゲージにより行った。図-4に載荷断面における荷重変位関係を示す。丸印は実験値、実線は計算値を表している。弾性限界を越えてからの塑性域の広がりによる剛性の低下が本解析法により求められ、実験値とも比較的良好に一致している。図-5～7は供試体が崩壊する直前の荷重下におけるそれぞれの断面での応力分布を示している。応力は曲げモーメントに起因する曲げ応力と、そりねじりモーメントに起因するそり応力が合成されたものとして比較を行っている。断面位置が①②③の順で載荷点に近くなり、塑性域が大きくなっている。特に断面③では、そり応力の影響でフランジの左右両縁から塑性域が広がっていることが分かる。

5. おわりに

そりねじりを考慮したはり要素の剛性マトリックスに、塑性域の広がりによる剛性の低下を考慮し、数値計算を行った。更にI形断面実験供試体を用いて静的載荷実験を行い、応力、変位を測定した。計算値と実験値は上に示した通りほぼ一致し、断面内における弾性域、塑性域の範囲が断面力レベルでの解析から求められることが確かめられた。本研究では応力分布として曲げ応力とそり応力が考慮されせん断応力は考慮されていない。また荷重が除荷された場合の取り扱いに難がある等問題点もあるが、これらについては今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一：塑性域の広がりによる剛性の低下を考慮した剛性マトリックスの誘導、土木学会北海道支部論文報告集第52号(A)、pp.78-83、1996。
- 2) 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一：塑性域の広がり考慮したはりの一弾塑性解析、構造工学論文集Vol.41A、pp.1-8、1995。
- 3) 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一：曲げと曲げねじりによるI形断面部材の相関曲線と塑性域、鋼構造年次論文報告集 第3巻、pp.349-354、1995。
- 4) 植木広行、平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一、及川昭夫：曲げと曲げねじりを受けるI形断面桁の実験的研究、土木学会北海道支部論文報告集第52号(A)、pp.84-87、1996。

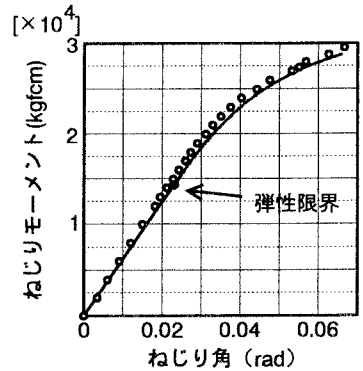


図-4 荷重変位曲線

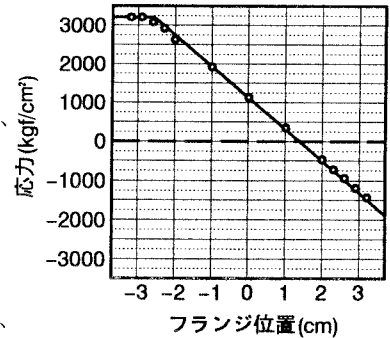


図-5 応力分布①

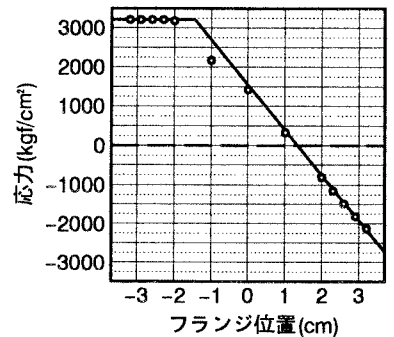


図-6 応力分布②

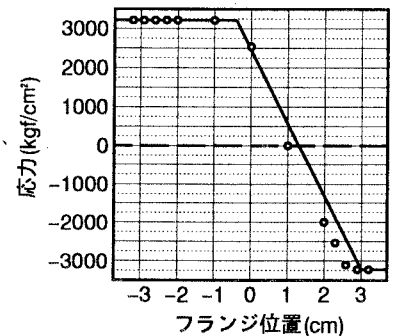


図-7 応力分布③