

大阪大学大学院 学生員○高津秀俊

大阪大学大学院 学生員 黄 元燮

大阪大学大学院 学生員 西野滋博

大阪大学工学部 正会員 西村宜男

1. まえがき 箱型断面からなる鋼製ラーメン橋脚（図-1）のような構造物の骨組み解析を行う場合、隅角部を剛結と見なし、基部および隅角部がプラスチックヒンジになったとき終局強度になると考えられているが、本研究室で過去に行った隅角部についての実験より、隅角部は図-2に示すような変形特性を持ちシアヒンジを形成していることが分かった。これより、隅角部の変形特性を有限変形骨組み解析プログラムに取り入れることのできるシアヒンジ要素を開発し、これを用いてラーメンの終局強度解析を行うものとする。

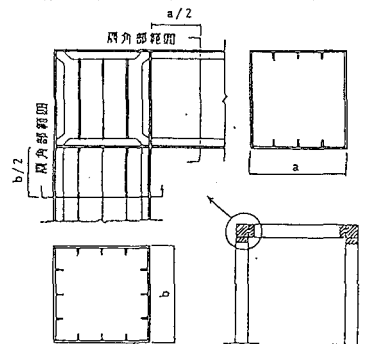


図-1 鋼製ラーメン隅角部

2. シアヒンジ要素 隅角部のシアヒンジ特性を有限変形骨組み解析プログラムに取り入れるために、図-3に示すようなシアヒンジ要素（以下、隅角部モデル）を考えた。この隅角部モデルは4つの剛棒がヒンジで結合されて隅角部ウェブパネルを形成し、対角線上にばねを取り付けてこのばねの値を変化させることによって隅角部のシアヒンジを表現できるようにしている。ばねの値は、これまで行ってきた隅角部の実験およびFEM解析をもとに隅角部ウェブパネルに作用する曲げモーメントとせん断変形角の関係を定式化することにより求めることとする（図-2参照）。以下、隅角部モデルの剛性マトリックスの作成について述べる。隅角部モデルは図-3に示すように剛棒で形成されているため節点iと節点jは従属関係にあることから、棒要素の剛性マトリックスをもとにして、棒要素節点jの変位および材端力を節点iのものに変換して節点iと節点kを結んだ隅角部要素の剛性マトリックスを作成することにする。以下に、変換式を挙げる。

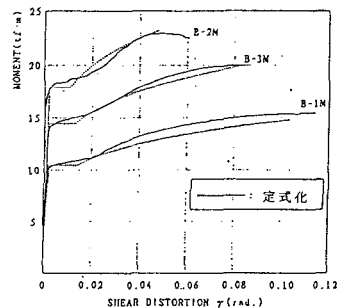


図-2

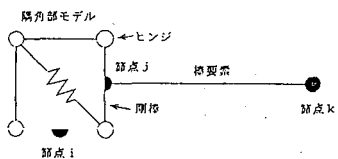


図-3 隅角部要素

<変位の適合条件式> 図-4より節点iと節点jのX, Y軸方向の変位の適合条件式は以下になる。

$$u_j = u_i - \frac{a}{2}(1 - \cos\theta_i) + \frac{a}{2}\sin\theta_j, \quad v_j = v_i + \frac{a}{2}\sin\theta_i + \frac{a}{2}(1 - \cos\theta_j)$$

<材端力の釣り合い式> 図-5より節点iと節点jのX, Y軸方向および曲げモーメントの釣り合い式は以下になる。

$$\begin{aligned} X_i + X_j &= 0 \\ Y_i + Y_j &= 0 \\ M_i + M_j + l_y X_j + l_x Y_j &= 0 \end{aligned} \quad \begin{aligned} l_x &= \frac{a}{2} - \frac{a}{2}(1 - \cos\theta_i) + \frac{a}{2}\sin\theta_j \\ &= \frac{a}{2}(\cos\theta_i + \sin\theta_j) \\ l_y &= \frac{a}{2} - \frac{a}{2}\sin\theta_i - \frac{a}{2}(1 - \cos\theta_j) \\ &= \frac{a}{2}(-\sin\theta_i + \cos\theta_j) \end{aligned}$$

<シアヒンジ特性を表す式> 図-6に示すように隅角部ウェブパネルに作用するせん断応力とせん断変形角の関係について定式化した。ここに出てくるばね定数は隅角部ウェブパネルに作用する曲げモーメントとせん断変形角の関係を定式化したもの（図-2参照）より傾きを求めて取り入れることにする。

$$\frac{X_i}{2}\cos\theta_i - \left(\frac{X_j}{2}\sin\theta_i\right)\tan\gamma + \frac{Y_i}{2}\sin\theta_i + \left(\frac{Y_j}{2}\cos\theta_i\right)\tan\gamma + \frac{M_i}{a}\cos\gamma + \left(\frac{M_j}{a}\right)\tan\gamma = k\gamma \quad \gamma = \theta_j - \theta_i$$

ところで、有限変形骨組み解析プログラムの不釣り合い力の計算過程では隅角部要素の場合、隅角部モデルは剛棒で形成されているので棒要素部分のひずみより内力を求めることになるが、そのためには節点 j の変位を求める必要がある。しかしながら、掃き出し計算の過程では節点 j の変位は出てこないで前述の変換式より求める必要がある。さらに、節点 j の内力の計算後節点 i の内力に変換して節点 i で不釣り合い力をとるものとする。

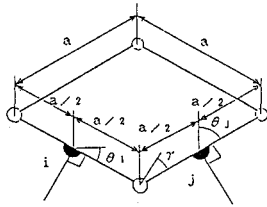


図 - 4

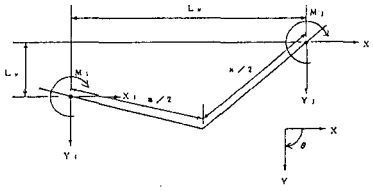


図 - 5

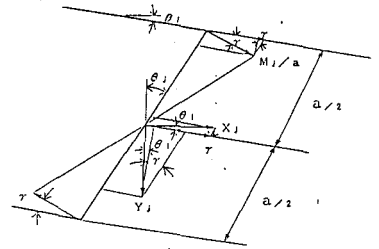


図 - 6

3. 解析結果 この隅角部モデルを利用して、ラーメンの終局強度解析を行った結果を以下に述べる。解析モデルは図-7に示すような門型ラーメンとし、表-1に示すように断面の異なる3つのモデルを考え、各モデルについて細長比を3パターン考え、さらにそれぞれについて、隅角部モデルを使用していないもの（末尾がP）と使用したもの、使用したものについては隅角部の変形特性を考慮したもの（末尾がS）としていないもの（末尾がR）に分けて考えた。これらの解析モデルについてラーメンに水平荷重が作用した場合の荷重と載荷節点の水平変位の関係を図-8に示す。これらより、隅角部を剛結と扱った場合でも隅角部モデルを使用した場合としない場合で違いがみられることが分かる。これは、隅角部モデルを使用しなかった場合、解析の中で隅角部が棒要素の一部

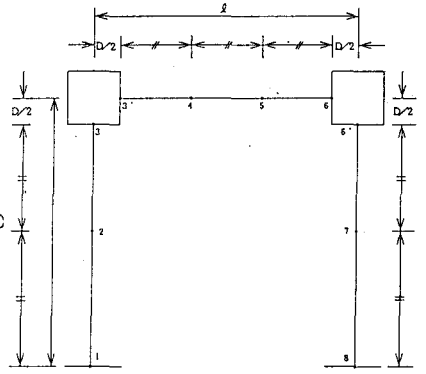


図 - 7 解析モデル

表 - 1 解析モデルの諸元

モデル名	隅角部モデル	B	D	l/h	l/h	R_1	R_2	R_3	単位 (cm)	
									L	λ
A 1	B L - 1 タイプ	27	21	0.9	0.6	0.569	0.272	0.517	100	0.2
A 2									150	0.3
A 3									200	0.4
B 1	B L - 1.2 タイプ	33	28	0.9	0.6	0.695	0.362	0.542	100	0.2
B 2									150	0.3
B 3									200	0.4
C 1	B L H - 3 タイプ	24	17	1.25	0.9	0.364	0.147	0.279	100	0.2
C 2									150	0.3
C 3									200	0.4

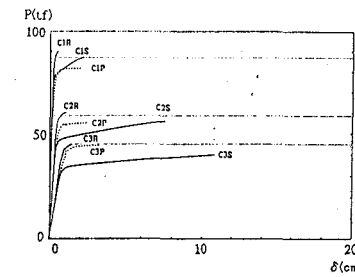
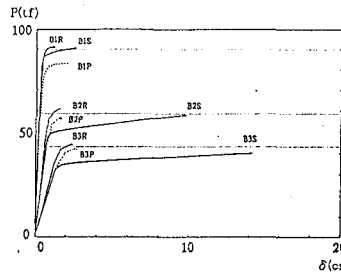
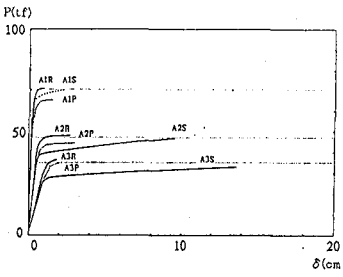


図 - 8

4. 結論 隅角部モデルを使用することにより、有限変形骨組み解析プログラムを用いて隅角部の変形特性を考慮した鋼製ラーメンの終局強度解析を行ったが、隅角部の変形特性を考慮することにより剛結として扱った場合に比べて、終局強度が下がる傾向があることが分かった。