

非対称荷重を受ける鋼ラーメン隅角部の弾塑性挙動

東北学院大学 学生会員○岡本 臣市

東北学院大学 正会員 樋渡 滋

1. まえがき

都市部の高架橋及び立体交差部の橋脚構造において鋼製ラーメン構造が採用されている。ラーメンの梁部材と柱部材との接合（隅角部）設計において、我が国の道路橋示方書では、細部設計に触れられておらず、具体的な規定が定められていないのが現状である。本研究では、有限要素法を用いて対称荷重と非対称荷重の載荷によるラーメン隅角部の力学的挙動の検討を行い、合理的かつ経済的な設計法の確立に必要な基礎的資料を得ることを目的とする。

2. 解析方法

円弧ハンチを持つI型断面ラーメン隅角部を解析対象パネルとする。ラーメン部材は上下で異なる2つのフランジプレートを持つ二軸対称断面とし、梁と柱は同じ断面で構成されている。解析パネルは図-1の斜線部分であり、円弧ハンチ終端には、ラーメン軸直角方向に充分な剛性を持つ垂直補剛材が配置されているものとする。パネル材料は、普通構造用鋼SS400で構成され、ヤング率 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $=2400 \text{ kgf/cm}^2$ とする。鋼材のひずみ硬化を考慮したbi-linearの応力ひずみ関係を想定して、降伏後の弾性率を $E/1000$ とし、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した有限要素解析を行った。また、解析パネルは、道路橋示方書で考慮されている最大の元たわみを有している。隅角部は、柱や梁との接合部に曲げモーメント（M）、軸力（N）、せん断力（S）を受ける（図-2）。梁や柱からの荷重の組み合わせは無限に存在するが、荷重が全体として平衡でない場合には解析パネルに多様の拘束を与える必要があり、そのために解析パネルの変位が余分な拘束を受け解析結果に実際と異なる影響を与える恐れがある。そのため今回の解析では自己平衡形の載荷方法を採用している。対称荷重では、柱と梁に同じ荷重を与えるために $\theta=45^\circ$ で、荷重Pを増加させるとき全塑性軸力（ M_p ）と全塑性モーメント（ N_p ）を同時に与えるように載荷する。腕の長さ L_1 および L_2 は、断面寸法により決まる。非対称荷重の場合は、設計例から得られた N_2/N_1 、 $M_1/(N_1 \cdot h)$ 、 $M_2/(N_2 \cdot h)$ の3つのおおよその比率をもとに腕の長さ（ L_1 、 L_2 ）を決める。平面における力学的平衡を保つために、 $\tan(N_2/N_1)$ が、 $\tan\{(d+L_2)/(d+L_1)\}$ と一致するような腕の長さを求める（図-3）。ここで必然的に $N_1=S_2$ 、 $N_2=S_1$ 、 $M_1=S_1 \cdot L_1$ 、 $M_2=S_2 \cdot L_2$ になる。この方法で求められた比率の組み合わせから3種を選定した。また、この比率の場合、 N_1 が N_2 より小さいことから、最大の N_1 を全塑性軸力に一致させる。

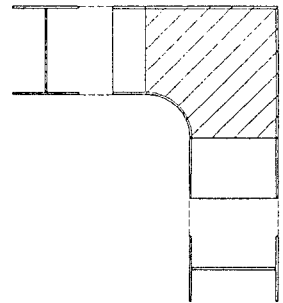


図-1 解析パネル

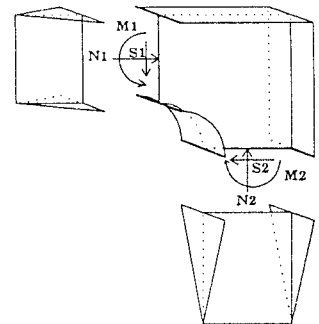


図-2 荷重作用図

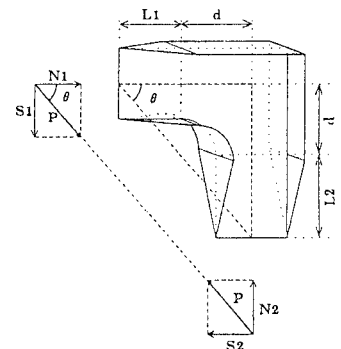


図-3 荷重載荷図

3. 解析結果及び考察

図-4、5にウェブパネル内に分布する主応力を示す。低い荷重レベルにおいて円弧ハンチ近傍に大きな圧縮主応力が発生していることが認められる。また対頂角付近、及びその付近のウェブとフランジの接合部付近には、圧縮主応力と引張主応力の大きさがほぼ等しく純せん断に近い応力状態になっている。これまで隅角部のウェブパネルは純せん断に近い応力状態を示して変形するとされてきたが、今回の解析によると一部そういうところが見られるものの、全体的にみると軸力と曲げによる圧縮力に支配されている。最終荷重に近づくと、ウェブパネルに大きな引張主応力が発生する。この引張力は曲げモーメントにより発生するものである。

図-6にウェブパネルの塑性図を示す。小さな荷重レベルで円弧ハンチ端部に塑性領域が発生し、次の荷重レベルでは、急激に塑性化が進むのでその間の詳しい塑性進行状況は不明である。しかし、ウェブパネルにおいてパネルを対頂角と円弧フランジ中央を結んだ線を境にしてみると、大きな荷重が作用する側で、小さな荷重が作用する側よりも塑性化の進行が早く、軸力の比率が大きいほど塑性面積も大きい。

図-7は最終的な塑性面積率を比較するため、縦軸に塑性面積率、横軸には $N2/N1$ の比をとったものである。ウェブに関しては、どの解析も90%以上塑性化しており、対称荷重と非対称荷重では大きな差は見られない。つまり、荷重の比率が異なってもウェブはかなりの面積が塑性することがわかる。円弧フランジにおいては、軸力比が大きくなるにしたがって塑性面積率が小さくなる傾向がある。対称荷重では、横フランジと上フランジの塑性面積率はほぼ同じである。これは、曲げモーメントの大きさが同じからである。非対称荷重では、大きな荷重が載荷される側のフランジ（横フランジ）の方が、塑性面積率が大きい。その差は、3つの解析共に45～50%程度の差がある。これはI型の特徴である曲げモーメントをフランジが受け持つこと、またフランジ応力が引張応力であることから、曲げモーメントの大きさの違いがその要因であり、それが顕著に現れたものと思われる。

4. まとめ

これまで明らかにされていなかった隅角部の応力状態について応力の集中、またその応力の分布状態について、また塑性の進行状況について把握することができた。

<参考文献>

- 1) 中井 博他：鋼製ラーメン隅角部のshearlagと耐荷力とに関する実験的研究 構造工学論文集 1987

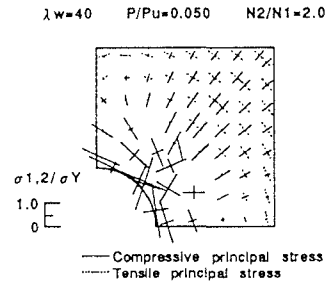


図-4

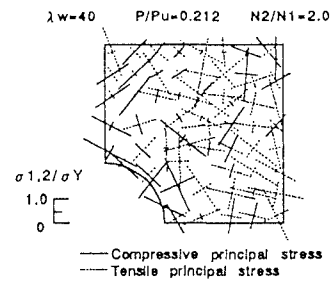


図-5

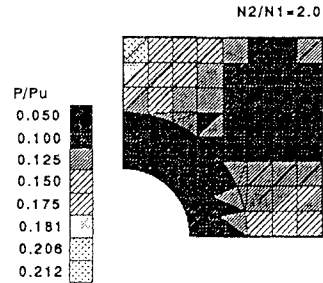


図-6

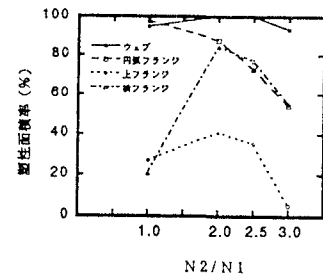


図-7