

I-12

鋼 I 型断面のラーメン隅角部の挙動に対するウェブ幅厚比の影響について

東北学院大学 学生員 ○大滝 潤

東北学院大学 正会員 樋渡 滋

1. まえがき

最近、都市高速高架道路の橋脚には、鋼製ラーメンが使用される機会が多い。ラーメンの梁部材と柱部材の接合部（以下、隅角部）に対し、我が国の道路橋示方書では細部設計にはふれられておらず、具体的規定が定められていないのが現状である。本研究は、材料的・幾何学的非線形を考慮した有限要素法を用い、非対称荷重載荷時において隅角部の変形性状、応力状態、および塑性化状況から崩壊性状をより明確に把握するため、3種の幅厚比について比較検討を行い、合理的かつ経済的な設計法の制定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

円弧ハンチを有する 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、同じ断面の円弧フランジと直線フランジをも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、部材軸と直角方向に十分な剛性をも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 $\sigma_Y=2400 \text{ kgf/cm}^2$ 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、材料的非線形・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。

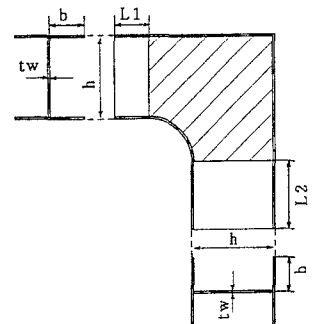


図-1 解析パネル

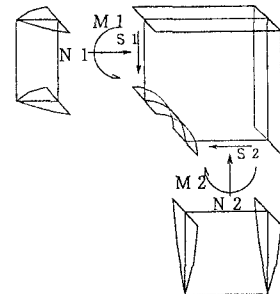


図-2 荷重作用図

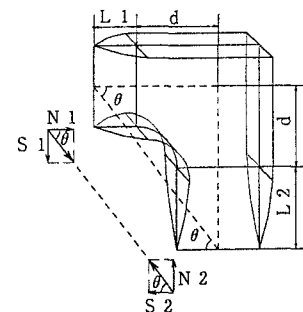


図-3 荷重載荷図

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)。載荷される荷重が全体として平衡しない場合には、解析パネルに多様の拘束を与える必要があり、そのため解析パネルの変位が余分な拘束を受け、解析結果に複雑な影響を与える可能性がある。そのため今回の解析では自己平衡型の載荷方法を採用している。載荷する荷重の比率については以下のように決定した。実設計例から得られた $N2/N1$ 、 $M1/(N1 \cdot h)$ 、 $M2/(N2 \cdot h)$ の3つのおおよその比率をもとに、平面における力学的平衡を保つため、 $\tan(N2/N1) \approx \tan[(d+L2)/(d+L1)]$ 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 $N1=S2$ 、 $N2=S1$ 、 $M1=S1 \cdot L1$ 、 $M2=S2 \cdot L2$ になる。この方法で求められた比率の組み合わせから、軸力の比が $N2/N1=2.0$ となる荷重の組み合わせのものを選出した。またこの場合、 $N1$ が $N2$ より小さいことから、 $N1$ を全塑性軸力に一致させる。ウェブ幅厚比 λ_w ($\lambda_w = h/t_w$) については、道路橋示方書において両縁支持板の最小板厚を $t \leq b/39.6 f$ (f : 応力勾配による係数) と与えており、これより $\lambda_w=40$ と、その他 $\lambda_w=30$ 、 $\lambda_w=60$ を含め3種のウェブ幅厚比について、解析を行う。

3. 解析結果および考察

図-4, 5にウェブパネル内に分布する主応力を示す。円弧ハンチ付近で大きな圧縮主応力の発生が認められる。幅厚比の値の差異に関係なく、低い荷重レベルにおいては、圧縮主応力はウェブパネル中心部に向かい、引張主応力は円弧ハンチ部を中心に、同心円状に発生することが確認できる。しかし、図-4, 5における荷重レベル付近では、上述の応力の方向は一定ではなく、また、ウェブパネル中心部より引張主応力の発生がみられるようになる。この現象は、幅厚比の値の大きいものほど低い荷重レベルで確認できる。最終荷重付近では、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が、幅厚比の値の大きいものほど、早い荷重段階でその影響を受ける。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変形するとされてきたが、今回の解析によるとそのような変形だけでなく、特に円弧ハンチ近傍の変形は、軸力と曲げによる圧縮力に起因することがわかる。

図-6にウェブパネルの塑性図を示す。ウェブパネルでは、低い荷重レベル $P/P_u=0.05$ (P :作用荷重, P_u :全塑性軸力)で円弧ハンチ端部が塑性化し、荷重の増加に伴い急激に塑性領域が広がる。各幅厚比において最終的なウェブの塑性面積率は100%である。これに対し、直線フランジは、載荷断面付近では塑性化が見られるが、頂角部に近いほど塑性領域は減少する。

図-7に、荷重増分に伴う横フランジの塑性面積率の変化を、幅厚比ごとに比較したものを示す。図において、縦軸は塑性面積率、横軸は無次元荷重 P/P_u である。各幅厚比において、 $P/P_u=0.10$ までは塑性せず、 $P/P_u=0.20$ で急激に塑性領域が広がる。また直線フランジはウェブパネルがほぼ全塑性化してから塑性化が進行する。それぞれ最終荷重に至っても塑性面積率は100%には至らず、フランジの強度を十分に引き出す前に、ウェブの崩壊が先行してしまう。幅厚比の値が大きいものほど、その傾向は顕著に表れ、最終的な塑性面積率も少く、部材における強度の面、そして経済的面から見ても不十分となる。

4. まとめ

本研究では、ウェブ幅厚比をパラメータとして比較することにより、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、応力集中、応力の分布状態、また塑性の進行状況について、その変化を段階的に見ることができ、明確に把握することができた。

<参考文献>

黄 元燮, 西村 宜男, 西野 滋博: 鋼製ラーメン隅角部パネルの強度および変形能の評価法, 構造工学論文集, Vol.40 A, pp 215-226, 1994

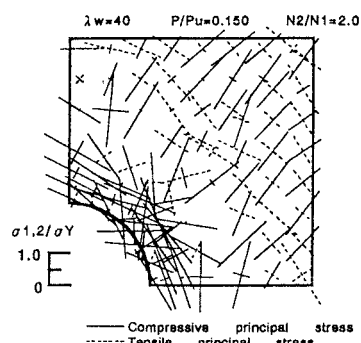


図-4

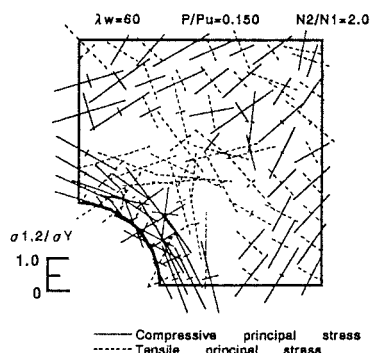


図-5

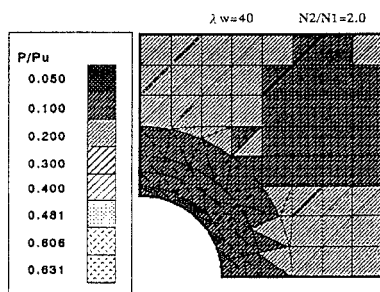


図-6

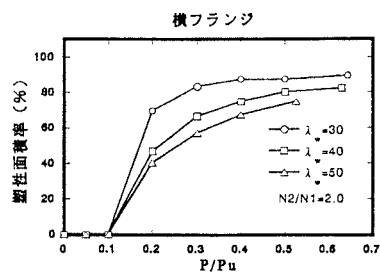


図-7