

隅角部に丸みをもつ鋼管断面の極限曲げ強度特性

松尾橋梁(株) 正員 ○伊藤 安男 岐阜大学工学部 正員 奈良 敬
岐阜大学工学部 正員 村上 茂之

1. はじめに 鋼製橋脚に多用されている箱形断面は、震災時に脆性的な破壊である角割れの発生が懸念される。この対策として、靱性を向上し脆性的な破壊を防ぐ構造である、隅角部に丸みをもつ断面がある。この断面は、隅角部の構造的改良という効果に加えて、曲面部材を用いることから、景観に対する配慮が可能となり、さらに化粧板などを使用せず強度部材を加工することによる軽量化や経済性の効果がある。この断面は実際に施工された例もあり、その強度特性について実験や解析により検討されている¹⁾。しかし、これらは個々の事例の設計・製作に関する検討にとどまっているのが現状であり、構造諸元が断面に与える影響などは明らかにされていない。

既に純圧縮が作用した場合の極限強度の評価法に関する研究は行われているが¹⁾、純曲げが作用した場合については研究は行われていない。そこで、本研究では円形断面や箱形断面も含めた統一的な極限曲げ強度の評価法の確立に向けての基礎資料の提供を主たる目的とし、隅角部に丸みをもつ鋼管断面に純曲げが作用した場合の極限強度について、弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析法²⁾を用いて数値計算を行う。

2. 解析法と解析モデル 図-1に示すようなダイヤフラム等で区切られた隅角部に丸みをもつ鋼管断面を対象とし、これにX軸周りのモーメントを作用させる。断面形・作用荷重の対称性から、1/4断面を取り出し解析モデルとし、これを1節点5自由度のアイソパラメトリック要素の集合体としてモデル化する。要素分割は断面周方向に18分割、Y軸方向に12分割とする。载荷辺(図-1の最上辺)に与えられる強制変位は取り付けられた载荷板によってYZ平面上に投影された载荷辺の変位が一様に制御され、他の3辺は単純支持である。断面を表すパラメータとして平板部幅 b 、隅角部半径 r 、板厚 t 、解析長 $L/2$ を用いし、縦横比 $\alpha_p(=L/b)=1.0$ 、板厚 $t=1.6$ とする。鋼種はSM400($\sigma_Y=249.4\text{MPa}$)とし、初期不整として圧縮側平板部に初期たわみ($W_0=b/150$)を考慮する。

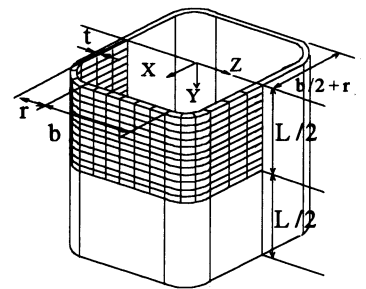


図-1 解析モデル

3. 数値計算結果と考察 数値解析結果から得られる断面に関する様々なパラメータの有意性、および極限強度や変形性能と断面形状の変化を表すいくつかのパラメータの関係を以下に示す。

(1) 極限強度特性 径厚比 r/t 、幅厚比 b/t を独立に変化させた場合の検討を行う。図-2に極限強度と径厚比の関係を示す。この図から径厚比の大きい、また幅厚比の小さい場合に極限強度が高いことが分かる。これは、断面における隅角部の割合の大きな断面は形状係数が大きくなり、高い極限強度を有するためである。

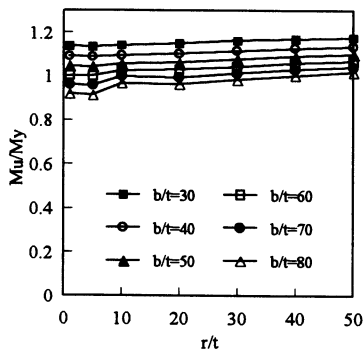


図-2 極限曲げ強度と径厚比

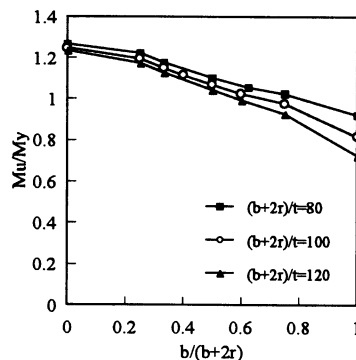


図-3 極限曲げ強度と平板比

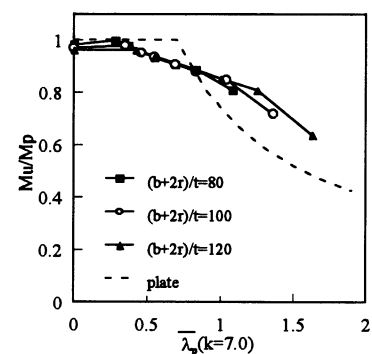


図-4 極限曲げ強度と幅厚比パラメータ

キーワード (隅角部、シェル、純曲げ、極限強度)

連絡先 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 TEL 058-293-2405 FAX 058-293-2425)

また、幅厚比 30、40 に対する極限強度の値が径厚比の値に関わらずほぼ一致している。これは、解析対象とした断面が小さいため圧縮側フランジ平板部のみが全塑性状態に達しており、隅角部をつけることにより期待される強度向上の効果がほとんど生じていないことが原因と考えられる。さらに、幅厚比の大きな断面では、径厚比が 5.0~10.0 の間に箱形断面から隅角部に丸みをもつ断面への遷移領域が見られる。次に、断面幅 $(b+2r)/t$ を一定として平板比を変化させた場合の検討を行う。この平板比は断面形状の円形から箱形への変化を表すパラメータである。図-3に極限強度と平板比 $b/(b+2r)$ の関係を示す。これより、同じ平板比の断面では断面幅が小さいほど極限強度は高くなるが、断面幅の変化による極限強度曲線の傾向の違いはない。図-4に極限強度と次式で得られる平板部幅厚比パラメータ $\lambda_p (=b/t \sqrt{\sigma_Y \cdot E \cdot 12(1-\nu^2)/\pi^2 k})$ の関係を示す。ただし、平板部は2辺固定2辺単純支持板と見なし座屈係数を $k=7.0$ とする。図中の点線は、圧縮板耐荷力の平均値曲線⁴⁾である。この図より、極限強度曲線は幅厚比パラメータに対して、ほぼ同一の直線上にまとまる。すなわち、極限強度は幅厚比パラメータに支配され、それと比較して径厚比の影響は小さい。

(2) 変形性能 極限時の強制回転角 θ_u を降伏回転角 θ_Y で無次元化した塑性率 θ_u/θ_Y を用いて、変形性能を評価する。図-5、6に幅厚比および断面幅を一定としたときの塑性率と径厚比の関係を示す。これらの図より、 $b/t \leq 30$ ($\lambda_{p,k=4.0} \leq 0.55$, $\lambda_{p,k=7.0} \leq 0.42$) のすべての断面で、 θ_u/θ_Y を 3.0 程度有することが分かる。それに対して、 $b/t > 60$ ($\lambda_{p,k=4.0} > 1.1$, $\lambda_{p,k=7.0} > 0.83$) では θ_u/θ_Y は 2.0 を下回る場合があるが、これらはすべて平板比 $b/(b+2r) < 0.5$ の断面である。さらに、 $b/t \geq 50$ ($\lambda_{p,k=4.0} \geq 0.92$, $\lambda_{p,k=7.0} \geq 0.69$) の断面のうち $r/t < 10$ の場合は、 θ_u/θ_Y は 2.0 以下となる。

(3) 変形状態 ここに示す変形図はたわみを5倍に拡大したものである。図-7に幅厚比を一定とし径厚比を変化させたときのXZ平面でのたわみ波形(幅厚比 80、径厚比 1~50)を示す。平板部の変形が卓越し、また径厚比が大きな断面ほど変形が隅角部に及ぶ範囲は大きくなることが分かる。また、 $r/t = 1 \sim 10$ の場合ではフランジが外側に変形するのに対して、ウェブは断面の内側に変形する傾向にある。この変形は箱形断面の変形の傾向と同様である。

4. 結論 ①幅厚比の小さい断面ほど、また径厚比の大きい断面ほど極限強度は高い。②断面幅の変化による極限強度曲線の傾向の違いはない。③断面形状の変化が極限強度や変形性能に与える影響は、平板部幅厚比パラメータにより明確となる。④ $\lambda_{p,k=7.0} \leq 0.4$ の断面では極限強度、変形性能ともに十分期待できる。⑤平板部での変形が卓越し、径厚比が大きな断面ほど隅角部に変形が進展する。⑥径厚比が 10 以下の断面では箱形断面と同様の変形状態となる。

【参考文献】 1)例えば、中井博，宮村重範，山内幸裕，田中実雄，松浦健二：半径500mmの曲面を持つ鋼製橋脚の設計・施工，橋梁と基礎，pp.17-22，1987年2月。2)笹嶋純司，奈良 敬：隅角部に丸みを持つ鋼管柱断面の極限圧縮強度の評価法，鋼年次論文報告集，第5巻，pp.141-148，1997年11月。3)Rizal,F. and Nara,S. : A study on elasto-plastic finite displacement analysis of steel shells, Proc.of Symposium on Computational Methods in Structural Engineering and Related Fields, Vol.19 , pp.131-136 , July , 1995. 4) Nara,S. and Fukumoto,Y. : Evaluation of Ultimate Strength of Steel Plates under In-plate Combined Loading , Proc.of the 2nd DSSC , Aisc , Gold coast , Queensland , May 28-31 , 1989 , pp.450-460. 5)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，II鋼橋編，1996年12月。

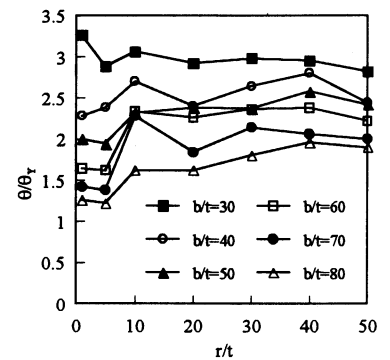


図-5 変形性能(幅厚比一定)

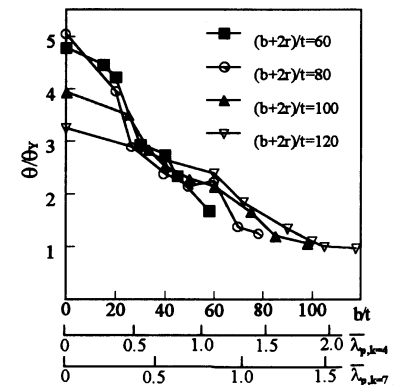


図-6 変形性能(断面幅一定)

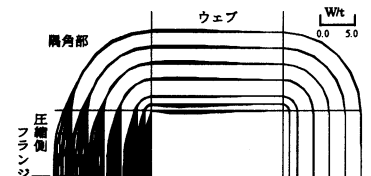


図-7 極限時のたわみ波形 (b/t=80, r/t=1~50)