

折れ板断面鋼桁の耐荷力特性について

琉球大学 正員 有住 康則

琉球大学 正員 矢吹 哲哉

パシフィックテクノカレッジ学院 正員 永田 勉

1.はじめに 近年、社会基盤施設に対して、経済性と景観性の両者を兼ね備えた構造物の構築が強く望まれている。特に橋梁構造物の場合、主要部材として活用でき、かつ造形にも配慮した部材の開発の要望が、益々強まっている。そこで本研究では、橋梁構造物の使用を目的とした、新しい桁構造形式の一つとして、I形断面のウェブ部にデザイン線ともなる折れ鋼板材を用いた鋼桁を提案し、その力学的特性について検討を行った。折れ板断面桁は、I形断面桁のウェブ部に折れ鋼板材を用いることによって、折れ線上に光と影のラインを与え、桁高を低く見せる効果があり、景観上優れた構造部材になり得るものと考えられる。更に、構造上の特性として、折れ鋼板材による側方への補剛効果が期待される。新しく提案する折れ鋼板材を用いた鋼桁の実用化を促進する為には、折れ線による補剛効果が終局強度に及ぼす影響、断面及び部材区分の基準化、折れ板要素の力学的特性の解明等が必要である。そこで本研究では、面内曲げを受ける折れ板断面鋼桁について、折れ角、断面構成板の幅厚比、桁部材細長比、及び材料強度を種々変化させ、弾塑性有限変位理論に基づくパラメトリック解析を行い、折れ板断面鋼桁の耐荷力特性について検討した。

2.解析法及び解析モデル 本研究では、図-1に示す桁両端に等曲げモーメントが作用する折れ板断面鋼桁の耐荷力特性を解明するため、折れ板断面鋼桁をアイソパラメトリックシェル要素でモデル化し、弾塑性有限変位理論に基づいた数値解析¹⁾を行った。幾何学的非線形挙動は、更新ラグランジ法による増分理論を用いて評価し、材料非線形挙動は、Von Mises の降伏条件及びPlandtl-Reuss の塑性流れ理論に従うものとした。数値解析では、変位増分法にNewton-Raphson 法を併用して逐次収斂計算を行った。初期たわみ形状は、最大初期たわみをスパン中央で有する正弦一次波形で仮定した。最大初期たわみは、道路橋示方書に規定されているI形断面桁の制作誤差の最大許容値を使用した。残留応力度は、I形断面溶接桁の圧残留応力度の頻度分布を参照し、図-4の図中に示すように軸方向及び厚さ方向に一定値を持つ矩形分布で仮定した。解析で使用するパラメータは、折れ角 θ 、フランジとウェブ(直板)の幅厚比 b/t_f 、 h/t_w 及び次式のように定義される鋼桁の弾性横ねじれ座屈に対する細長比パラメータ $\bar{\lambda}_{beam}$ である。

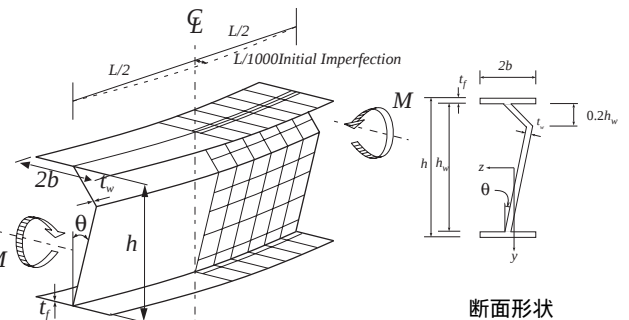


図-1 解析モデル

$$\bar{\lambda}_{beam} = \sqrt{M_p / M_E} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 M_E は弾性横倒れ座屈モーメント、 M_p は全塑性曲げモーメントである。採用したパラメータの変動範囲を表-1に示す。

3.折れ板断面鋼桁の耐荷力特性 本研究では、表-1に示すように、鋼桁の断面を薄板断面、セミ・コンパクト断面、コンパクト断面及び完全塑性断面に分類し解析を行った。一例としてセミ・コンパクト断面桁の極限強度と部材細長比パラメータの関係を図-2に示す。なお、図には福本らによって提案された実験結果に基づいたI形断面鋼溶接桁の横倒れ強度曲線²⁾も併示してある。図から明らかなように、折れ板断面鋼桁の終局強度はI形断面桁の終局強度を上回り、その差は細長比パラメータが大きくなるに従って増大している。この性状は、薄板断面桁、コンパクト断面桁及び完全塑性断面桁でも同一であった。そこで折れ角が折れ板断面鋼桁の終局強度に及ぼす影響を検討するため、折れ角を種々変化させて解析を行った。解析結果を図-3に示す。図から明らかなように、折れ角が $\theta < 10$ deg. の範囲では、折れ角が大きくなるに従って最大曲げモーメントは増

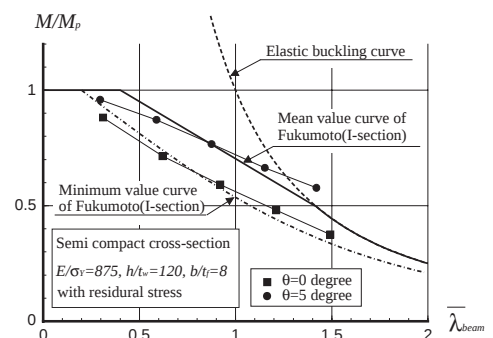


図-2 極限強度と部材細長比パラメータの関係

表-1 解析パラメータ及び変動範囲

Cross-Section	E/σ _y	b/t _f	h/t _w	A _w /A _f	λ _{beam}	θ(deg.)
Thin-Walled	875	16.0	152	5.0	0.25 ~ 1.6	0.5
		16.0	120	5.0		0.5
Semi-Compact		8.0	120	2.5		0~20
		4.0	120	1.25		0~20
Compact		4.0	60	2.5		0.5
Plastic		4.0	30	1.25		0.5
Thin-Walled	583	16.0	110	5.0	0.25 ~ 1.6	0.5
		8.0	120	2.5		0.5
Compact		4.0	60	2.5		0.5
Plastic		4.0	30	1.25		0.5

折れ板断面鋼桁、横倒れ座屈、局部座屈、弾塑性有限変位解析

〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地 TEL 098-895-8664 FAX 098-895-8677

大しているが、 $\theta > 10 \text{ deg.}$ の範囲では逆に減少している。また、折れ角の増加による最大曲げモーメントの増加の割合は、細長比パラメータの大きな桁ほど顕著であり、横倒れ座屈に対する補剛効果が期待できる。次に、残留応力度と細長比パラメータの関係を図-4に示す。図中の縦軸は残留応力度を有する折れ板断面鋼桁の耐荷力解析値を、残留応力度を有しない桁の耐荷力解析値で除した値 κ を、横軸は部材細長比パラメータを示す。図から明らかなように、部材細長比パラメータが大きくなるに従って、僅かではあるが残留応力度の影響により終局強度が低下する傾向にある。最後に、薄肉断面桁の材料強度を変化させた場合の極限強度と部材細長比パラメータの関係を図-5に示す。図より明らかなように、鋼種の違いが極限強度に及ぼす影響はほとんど見られない。

4. 折れ板断面鋼桁の座屈崩壊区分 解析結果を基に、折れ板断面鋼桁の崩壊様式を、横倒れ座屈、フランジのねじれ座屈及びそれらが連成した連成座屈の3種に区分し、厚板領域も含む折れ板断面鋼桁の細長比パラメータ及び断面パラメータと崩壊様式の相関関係の検討を行った。図-6にその相関関係を示す。なお、断面パラメータ $\bar{\lambda}_{\text{section}}$ は次式の如く評価できる³⁾。

$$\bar{\lambda}_{\text{section}} = \sqrt{\bar{\lambda}_{\text{flange}}^2 + (\phi \bar{\lambda}_{\text{web}})^2}, \quad \phi = R_{\text{cr}}^c / R_{\text{cr}}^b = 0.7 / 1.1$$

$$\bar{\lambda}_{\text{flange}} = \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{0.425\pi^2 E}}, \quad \bar{\lambda}_{\text{web}} = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)\sigma_y}{23.9\pi^2 E}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\bar{\lambda}_{\text{flange}}$ 、 $\bar{\lambda}_{\text{web}}$ はフランジ及びウェブ（直板）の幅厚比パラメータである。また、 R_{cr}^c 、 R_{cr}^b は純圧縮及び純曲げに対する限界幅厚比パラメータで、道路橋示方書に規定されている値を用いた。図より明らかなように、残留応力度を考慮した折れ板断面鋼桁の横倒れ座屈が崩壊の主要因である区分は、以下の式で評価できる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\lambda}_{\text{section}} &\leq 0.4 & ; \bar{\lambda}_{\text{beam}} &\leq 0.7 \\ \bar{\lambda}_{\text{section}} &\leq \frac{4}{3} \bar{\lambda}_{\text{beam}} - \frac{8}{15} & ; \bar{\lambda}_{\text{beam}} &\geq 0.7 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

また、崩壊の主要因が、断面構成板の局部座屈である場合は、

$$\left. \begin{aligned} \bar{\lambda}_{\text{section}} &\geq 0.7 & ; \bar{\lambda}_{\text{beam}} &\leq 0.3 \\ \bar{\lambda}_{\text{section}} &\geq \frac{4}{3} \bar{\lambda}_{\text{beam}} + 0.3 & ; \bar{\lambda}_{\text{beam}} &\geq 0.3 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

と評価できる。更に、連成座屈が崩壊の主要因である区分は上式以外の領域で評価できる。

5. あとがき 本研究では、I形断面のウェブ部に折れ鋼板材を用いた鋼桁を提案し、折れ板断面鋼桁に面内曲げモーメントのみが作用する場合について初期不整を考慮した弾塑性有限変位解析を行った。解析では、極限強度に影響を及ぼすと思われる折れ角、断面構成板の幅厚比、部材細長比及び材料強度を種々変化させてパラメトリック解析を行い、鋼桁の構造諸元が極限強度特性に及ぼす影響について検討を行った。また、パラメトリック解析によって得られた座屈変形モード図及び耐荷力曲線に基づいて、座屈崩壊様式の分類を行い、折れ板断面鋼桁の崩壊区分提案式を導出した。

参考文献 1) Yabuki, T. et. al.: Mutual Influence of Cross-Sectional and Member Classifications on Stability of I-Beams, Structural Stability and Design, Proceeding of the International Conference on Structural Stability and Design, pp.125 ~ 134, Australia, 1995. 2) 福本, 伊藤: 座屈実験データベースによる鋼はりの横ねじり基準強度に関する実証的研究, 土木学会論文報告集, No.341, 1984. 3) 有住 他: I形断面溶接桁の不安定崩壊区分, 土木学会年次学術講演会講演概要集, I-A288, 1999.

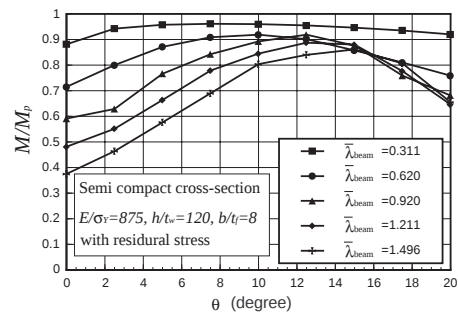


図-3 折れ角が極限強度に及ぼす影響

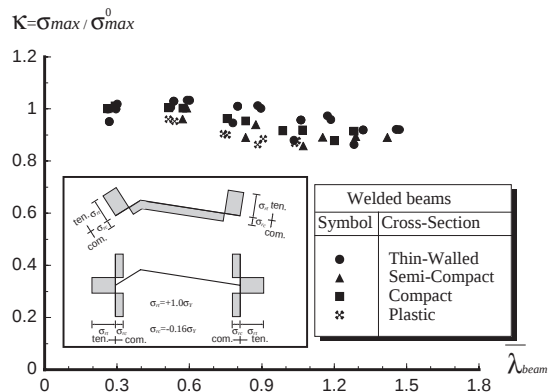


図-4 残留応力度の影響

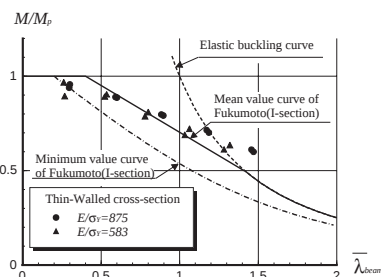


図-5 鋼種の影響

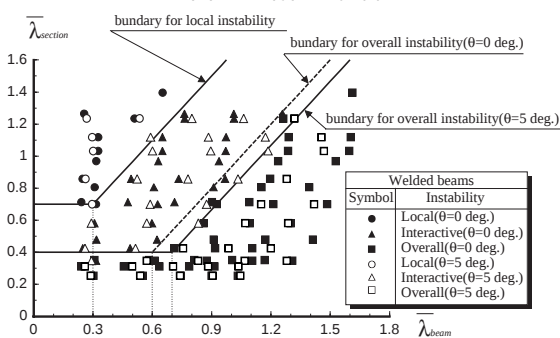


図-6 座屈崩壊区分