

I - A288

I 形断面溶接桁の不安定崩壊区分

琉球大学 正員 有住 康則

琉球大学 正員 矢吹 哲哉

住友建設 正員 平城 栄治

1. はじめに 従来の鋼重最適化よりはむしろ製作架設省力化の最適化に重点をおいた設計では、厚板で構成された桁を使用し、主桁の本数を減らす厚板少主桁使用による最適化に向かうことになる。こうした厚板領域を含む桁座屈崩壊様式の区分分析は、複雑な材料非線形挙動を考慮する必要があるが、特に、部材細長比パラメータと断面パラメータとの相関関係を明確にしなければならない。また、一般橋梁構造物では、I 形断面溶接桁が広範囲に使用されているが、I 形断面を有する鋼桁の耐力は、断面を構成する板要素の局部座屈、部材全体の横ねじり座屈、及び局部座屈と横ねじり座屈の連成座屈によって支配され、桁軸方向の曲がりやねじれ、偏心荷重、初期たわみなどの幾何学的初期不整や材料強度や残留応力度などの材料の初期不整の影響を受けてかなり変動する。これらの初期不整は、部材の強度に極めて著しい悪影響を及ぼすことが多いが、厚板領域を含む初期たわみや残留応力度のような初期不整を考慮した非弾性座屈特性については、十分には解明されていないのが現状である。そこで本研究では、初期たわみや残留応力度のような初期不整を考慮した面内曲げを受ける厚板領域も含む I 形断面を有する鋼桁について、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て弾塑性有限変位解析法によるパラメトリック解析を行い、こうした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。更に、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力曲線に基づいて、鋼桁の座屈崩壊様式の分類を行った。

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二軸対称 I 形断面桁の極限強度特性を解明するため、I 形断面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、更新ラグランジュ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Plandl-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 形断面溶接桁の圧縮フランジの圧縮残留応力度の頻度分布²⁾を参照し、図-3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。解析で使用したパラメータは、フランジとウェブの幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{flange}$ 、 $\bar{\lambda}_{web}$ 及び I 形断面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、それぞれ次式のように定義される。

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

ここで、 σ_y は使用鋼材(SS400, SM490, SM570)の降伏応力度、 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。ここで採用したパラメータの変動範囲を表-1に示す。なお、断面パラメータ $\bar{\lambda}_{section}$ は次式の如く評価できる。

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

ここで、 R_{cr}^c は純圧縮に対する限界幅厚比パラメータ、 R_{cr}^b は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。

3. I 形断面溶接桁の耐力特性 本研究では、表-2に示すように、鋼プレートガーダー、横倒れ座屈、局部座屈、弾塑性有限変位解析

〒903-0214 沖縄県西原町千原1番地 TEL 098-895-8664 FAX 098-895-8677

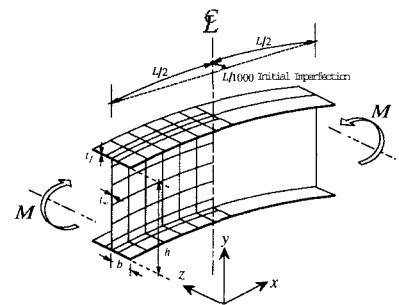


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメータ及び変動範囲

Parameter	Symbol	Range of values
Modified Slenderness Ratio of Beam	$\bar{\lambda}_{beam}$	0.3 ~ 1.6
Width-Thickness Ratio	b/t_f	4.0, 8.0, 16.0
	h/t_w	30.0, 60.0, 120.0, 152.0
Yield Stress Ratio	E/σ_y	457, 583, 875
Plate Area Ratio	A_w/A_f	1.25, 2.5, 5.0

表-2 解析に用いた断面パラメータ

Cross-Section	b/t_f	h/t_w	A_w/A_f
Thin-Walled	16.0	152	5.0
	16.0	110	5.0
	16.0	120	5.0
	8.0	120	2.5
	4.0	120	1.25
Semi-Compact	8.0	120	2.5
	4.0	120	1.25
Compact	4.0	60	2.5
Plastic	4.0	30	1.25

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。図-2にセミ・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の一例を示す。図には福本らによって提案された実験結果に基づいた鋼溶接桁の横倒れ強度曲線³⁾も併示してある。図から明らかなように、比較的中スパンの桁で残留応力度の影響による極限強度の低下が見られるが、それ以外の範囲ではさほど残留応力度の影響は見られない。この性状は、コンパクト断面桁と完全塑性断面桁でも見られたが、薄板断面桁については、比較的中スパンの短い桁でも残留応力度の影響が見られた。次に、残留応力度と細長比パラメータの関係を図-3に示す。図中の縦軸は残留応力度を有するI形断面溶接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 $0.6 < \bar{\lambda}_{beam} < 1.0$ の範囲の桁で残留応力度の影響が顕著に表れている。特に、局部座屈や連成座屈を呈する桁において残留応力度の影響が大きいことがわかる。最後にコンパクト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-4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。なお、完全塑性断面及び薄板断面でも同様な結果が得られた。

4. I形断面溶接桁の座屈崩壊区分 解析結果を基に、I形断面溶接桁の崩壊様式を、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I形断面を有する溶接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-5にその相関関係を示す。図より明らかなように、残留応力度を考慮したI形断面溶接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。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\lambda}_{section} \leq 0.4 & \quad ; \bar{\lambda}_{beam} \leq 0.6 \\ \bar{\lambda}_{section} \leq \frac{4}{3} \bar{\lambda}_{beam} - 0.4 ; \bar{\lambda}_{beam} \geq 0.6 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

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、

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

と評価できる。更に、局部座屈と横ねじり座屈が連成する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、面内曲げを受ける厚板領域も含むI形断面を有する鋼桁について、初期たわみや残留応力度のような初期不整を考慮し、鋼桁の極限強度に影響を及ぼすと思われる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、弾塑性有限変位解析法による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、鋼桁の座屈崩壊様式の分類を行い、I形断面溶接桁の崩壊区分提案式を導出した。

参考文献 1)Yabuki,T. et. al.:Mutural 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) 土木学会：座屈設計ガイドライン（福本編），技報堂，1987年。 3) 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。

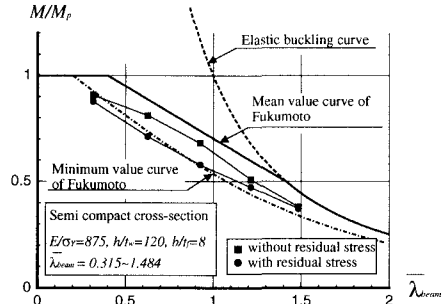


図-2 極限強度と部材細長比パラメータの関係

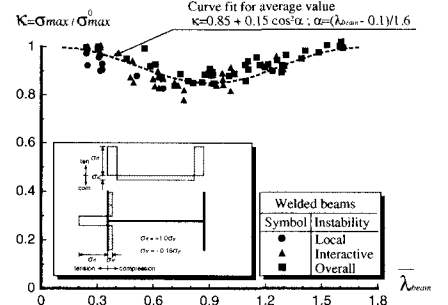


図-3 残留応力度の影響

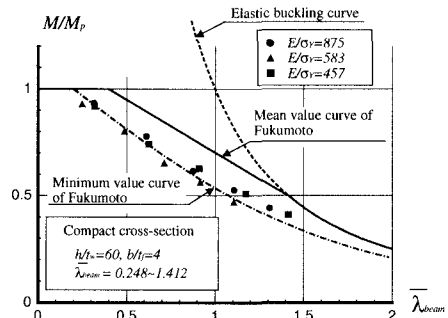


図-4 鋼種の影響

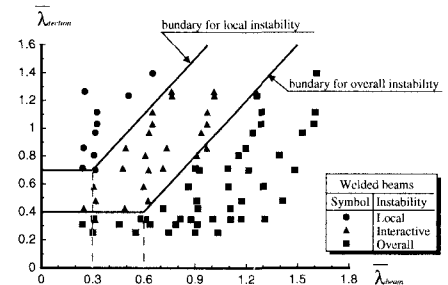


図-5 座屈崩壊区分