

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	強軸周りの一様曲げを受ける溝形断面部材の弾性座屈耐力
Title(English)	Elastic Buckling Strength of Channel Member under Uniform Bending about Major Axis
著者(和文)	三井 和也, 五十嵐 規矩夫
Authors(English)	Kazuya Mitsui, Kikuo Ikarashi
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 655-656
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 655-656
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

強軸周りの一様曲げを受ける溝形断面部材の弾性座屈耐力

正会員 ○ 三井 和也*1
同 五十嵐 規矩夫*2

溝形断面部材 薄板軽量形鋼 エネルギー法
局部座屈 ゆがみ座屈

1. 序

海外指針^{1),2)}では溝形断面部材のゆがみ座屈を図1に示すような複数の弾性ばねで支持された板要素の力学モデルを使用し、座屈問題を解くことで^{3),4)}、溝形断面部材の設計式が構築されている。一方、文献[5]では純圧縮力を受ける場合を対象とした座屈変位関数を提案し、図1の弾性ばねで支持された力学モデルでは追従できないゆがみ座屈モードが存在することをエネルギー法解析から指摘している。本研究では圧縮から曲げまでの応力状態を連続的に評価すべく、図2に示す強軸周りの一様曲げを受ける溝形断面部材で発生するゆがみ座屈および局部座屈を対象とした変位関数を提案し、溝形断面部材の断面形状と弾性座屈耐力の関係性をエネルギー法により明らかにする。

2. エネルギー法に基づく数値解析概要

表1にエネルギー法に基づく数値解析で使用する解析モデル、記号および座屈変位関数を示す。冷間成形部材を対象としているため、解析モデルの板厚は断面内で全て一定である。式(1)および式(2)は図2に示す一様曲げ応力条件下で発生するゆがみ座屈および局部座屈の適合条件を満足するように設定している。これらの変位関数は一連の関数により連続的に表現されているため、各板要素間の相互作用を耐力計算に反映することができる。各板要素の両材端縁は幅方向まわりの回転が許容されている。各板要素において吸収されるひずみエネルギー増分と外力がなす仕事増分は文献[5, 6]に従う。ただし、ゆがみ座屈の座屈耐力を固有値問題として扱うと最も座屈応力度の低いモードの耐力を求めることとなり、式(1)に示す変位関数を用いた場合、本論文で想定するゆがみ座屈以外の固有値を求める可能性がある。そこで本研究では、座屈耐力を最小化する未定係数の関係性の検討を別途実施し、式(1)中の未定係数 d_a , d_b に $d_a = (2.75b_f/b_w)^2 d_b$ の関係式を持たせ、ゆがみ座屈耐力を求めた⁵⁾。

3. 部材形状比と弾性座屈耐力との関係性

3.1. ゆがみ座屈と局部座屈の各座屈モード毎の耐力変化

提案した変位関数を用いた数値解析により、溝形断面部材の断面形状と各座屈性状毎の関係性を明らかにする。以降ではエネルギー法で得られる座屈応力度 σ_{cr} をウェブの座屈係数 k_w に変換し、議論を行う。図3にゆがみ座屈時と局部座屈時のウェブ座屈係数-ウェブ辺長比関係の一例を示す。図3(a)に示すゆがみ座屈ではリップ幅比率 χ の増加によりフランジ先端における面外方向への拘束効果が上昇するため、ウェブ座屈係数が増加しているのが確認できる。一方で、図3(b)の局部座屈ではリップ幅比率の増加により、リップの幅厚比が上昇するため、リップ

における座屈が発生し、結果としてウェブ座屈係数がわずかに低下している。図3(a), (b)を比較するとリップ幅比率 χ の増加によりゆがみ座屈耐力は上昇するが、リップ幅比率 χ がある値を超えると局部座屈にモードが移行する。さらにリップ幅比率 χ が大きくなると、リップにおける座屈が発生し始めるため、局部座屈耐力は徐々に低下する。

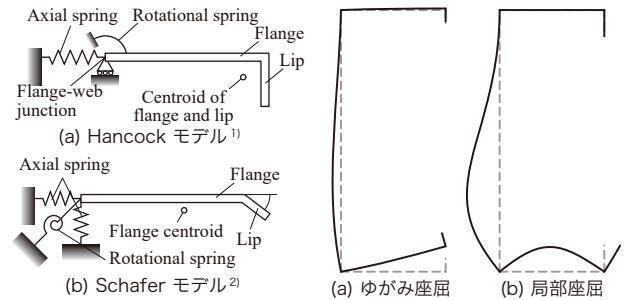


図1 ゆがみ座屈モデル 図2 一様曲げ下で発生する座屈現象

表1 本研究で使用する記号および座屈変位関数

	b_w : フランジ間距離 [mm]	k_w : ウェブ座屈係数 [-]
	ψ : フランジ幅比率 [-] ($= b_f/b_w$)	Y : ウェブ幅厚比 [-] ($= b_w/t$)
	χ : リップ幅比率 [-] ($= d/b_w$)	λ_w : ウェブ辺長比 [-] ($= L/b_w$)
ゆがみ座屈に対する変位関数		局部座屈に対する変位関数
$w.d = d_a \sin \frac{\pi(b_w - y)^2}{b_w^2} + d_b \sin \frac{\pi y}{b_w}$ (1a)		$w.l = l_a \sin \frac{\pi(b_w - y)^2}{b_w^2}$ (2a)
$f.d = d_c \frac{z}{b_f} + d_d \left(1 - \cos \frac{\pi z}{2b_f}\right)$ (1b)		$f.l = l_b \sin \frac{\pi z}{b_f} + l_c \sin \frac{\pi(b_f - z)^2}{b_f^2}$ (2b)
$l.d = -y \cdot \frac{\partial f.d}{\partial z} \Big _{z=b_f}$ (1c)		$l.l = -y \cdot \frac{\partial f.l}{\partial z} \Big _{z=b_f} + l_d \left(1 - \cos \frac{\pi z}{2b_f}\right)$ (2c)
$d_a, d_b, d_c, d_d, l_a, l_b, l_c, l_d$: 未定係数		

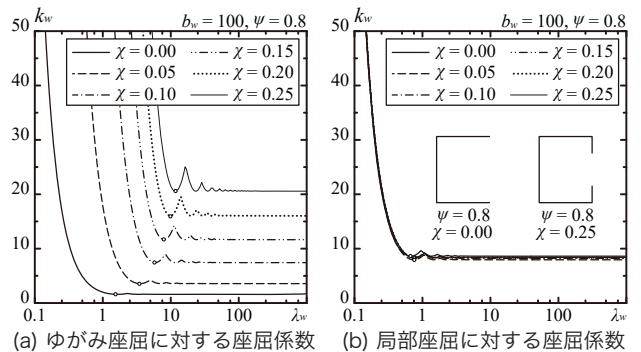


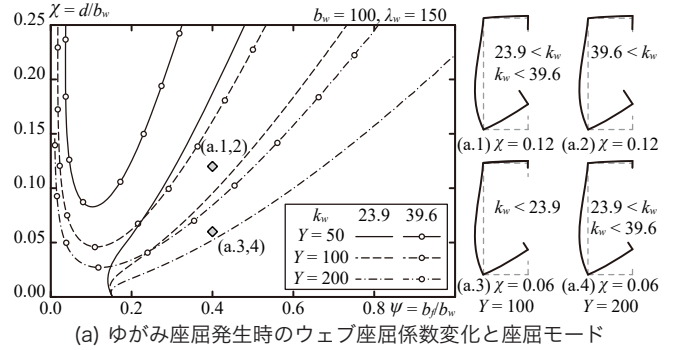
図3 ウェブ辺長比の増加に伴う座屈係数の変化

また、○の凡例で示す座屈半波長を比較すると、ゆがみ座屈では $\lambda_w = 1 \sim 10$ 程度の長い座屈半波長が確認されたが、局部座屈では $\lambda_w = 1$ 以下の短い座屈半波長となる。

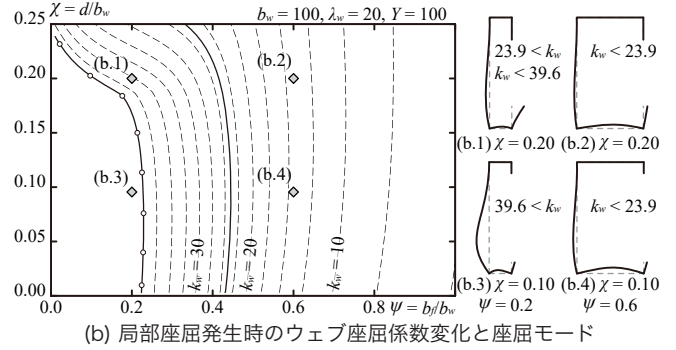
図4は断面形状比の変化に伴うゆがみ座屈と局部座屈のウェブ座屈係数の変化を等高線で示した結果である。ここでは図3を参考に、ウェブ座屈係数が十分に収斂したウェブ辺長比で計算を行った。図中の実線は支持辺が単純支持の場合の座屈係数23.9であり、○付きの実線は支持辺が固定支持の場合の座屈係数39.6である。図4(a)のゆがみ座屈ではウェブ幅厚比 Y の変化により等高線が変化するため、 $Y=50, 100, 200$ の結果を示している。図4(a)に示すように、ゆがみ座屈が発生した場合、フランジ幅比率の低下、リップ幅比率の増加、ウェブ幅厚比の増加によりウェブ座屈係数は増加する傾向にある。図中の(a.1), (a.2)と(a.3), (a.4)は同一フランジ幅比率において、幅厚比とリップ幅比率を変化させた場合の座屈モードを示している。確認された各座屈モードの形状に大きな差は生じていないが、ウェブ座屈係数が23.9未満の(a.3)ではフランジにおける座屈によって部材の座屈耐力が決定している。図4(b)に局部座屈に対するウェブ座屈係数と断面形状比の関係性を示す。局部座屈の場合は等高線がリップ幅比率 Y の影響を受けないため⁶⁾、 $Y=100$ の場合のみを示している。図4(b)に示すように、ウェブ座屈係数はフランジ幅比率が大きくなるほど低下する。図中の(b.1), (b.3)の座屈モードで示すようにフランジ幅比率が0.2以下の小さい範囲ではリップ幅比率が増加するとリップにおける座屈も同時に発生するため、ウェブ座屈係数が低下している。

3.2. 部材形状比と連成座屈耐力の関係性

3.1節ではゆがみ座屈と局部座屈の各座屈性状ごとの検討を行ったが、本節では式(1)と式(2)の変位関数を組合わせたエネルギー法数値解析を行い、ゆがみ座屈と局部座屈の連成座屈も併せた検討を行う。図5に連成座屈を考慮した場合のウェブ座屈係数と断面形状比の関係性を示す。ゆがみ座屈の影響によりウェブ幅厚比の影響を受け等高線の形状は変化するが、ここでは $Y=100$ の時の結果を図5に例示する。ゆがみ座屈、局部座屈、これらの連成座屈モードが発生する領域は点線により区分されており、それぞれ濃いグレー、白、薄いグレーで色分けしている。図5に示すように、フランジ幅比率が大きく、リップ幅比率が小さい範囲ではフランジで発生する座屈をリップにより拘束できないため、ゆがみ座屈が発生している。フランジ幅比率が大きい場合でも、リップ幅比率が0.11以上であればフランジとリップの接合線の移動を拘束することができ、局部座屈モードへと座屈性状が移行する。ただし、リップ幅比率が0.20以上となるとリップにおける座屈も同時に発生し始めるため、ウェブ座屈係数が低下する。連成座屈モードが発生する領域はフランジ幅比率が小さい範囲で発生し、ウェブ座屈係数が最も高くなる領域と概ね一致する。ウェブ座屈係数の変化を確認するとほとんどの領域で実線で示す支持辺が単純支持の場合の座屈係数23.9を下回っており、圧縮側のフランジにおける座屈によって部材の耐力が決定されているといえる。



(a) ゆがみ座屈発生時のウェブ座屈係数変化と座屈モード



(b) 局部座屈発生時のウェブ座屈係数変化と座屈モード

図4 ウェブ座屈係数と断面形状比の関係性

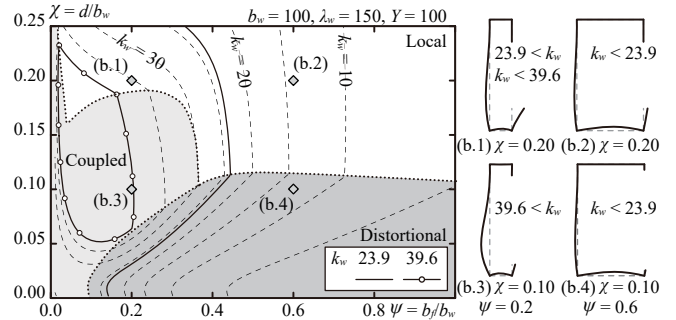


図5 連成座屈に対するウェブ座屈係数と断面形状比の関係性

4. 結

本論文では一様曲げを受ける溝形断面部材で発生するゆがみ座屈、局部座屈を検討すべく、各座屈モードの変形を模擬した変位関数を提案した。提案した変位関数は適合条件を満足した関数であるため、板要素間の相互拘束効果を直接的にエネルギー法に反映することができる。提案した変位関数に対してエネルギー法を適用し、溝形断面部材の断面形状比と弾性座屈耐力との関係性を考察した。

【参考文献】

- 1) AISI (American Iron and Steel Institute). North American Specification (NAS) for the Design of Cold-formed Steel Structural Members - AISI S100-12-C, 2020.
- 2) SA-SNZ (Standards of Australia and Standards of New Zealand). Australian/New Zealand Standard on Cold-Formed Steel Structures - AS/NZS 4600, 2nd ed., 2018.
- 3) B.W. Schafer: Local Distortional, and Euler Buckling of Thin-Walled Columns, ASCE J. Struct. Eng. 125 (2) (1999) 118-127.
- 4) S.C.W. Lau, G.J. Hancock, Distortional buckling formulas for channel columns, ASCE J. Struct. Eng. 113 (5) (1987) 1063-1078.
- 5) 三井 和也, 五十嵐 規矩夫, 小橋 知季, 桑田 涼平: 圧縮力が作用する冷間成形溝形断面部材の弾性ゆがみ座屈耐力と座屈挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第87巻, 第791号, pp. 139-148, 2022. 1
- 6) 三井 和也, 五十嵐 規矩夫: 圧縮力が作用する冷間成形溝形断面部材の弾性局部座屈耐力と座屈挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第86巻, 第790号, pp. 1685-1692, 2021. 12

*1 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 助教・博士 (工学)

*2 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 教授・博士 (工学)

*1 Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 Assist. Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.