

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	圧縮力を受ける冷間成形リップ溝形断面部材の端部境界条件を考慮した最大耐力評価
Title(English)	Evaluation for the Maximum Resistance of Cold-Formed Lipped Steel Channel Members under Compression Considering End Boundary Conditions
著者(和文)	桑田 涼平, 五十嵐規矩夫, 三井 和也, 小橋 知季, 光廣 日向子
Authors(English)	Ryohei Kuwada, Kikuo Ikarashi, Kazuya Mitsui, Tomoki Kobashi, Hinako Mitsuhiro
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 735-736
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 735-736
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

圧縮力を受ける冷間成形リップ溝形断面部材の端部境界条件を考慮した最大耐力評価

正会員 ○桑田 涼平\*1 正会員 小橋 知季\*1  
同 五十嵐規矩夫\*2 同 光廣 日向子\*4  
同 三井 和也\*3

薄板軽量形鋼 DSM ゆがみ座屈  
最大耐力 座屈後耐力 座屈モード

1.序

圧縮力を受ける冷間成形リップ溝形断面部材の座屈モードとして図1に示す全体曲げ座屈, 局部座屈, ゆがみ座屈が知られている<sup>1)</sup>. 米国では各座屈モードの最大耐力を, 表1の式(1)-(3)に示した Direct Strength Method (DSM)により評価している<sup>2)</sup>. しかし, DSM で用いる弾性座屈耐力は, 端部境界条件に関わらず両端単純支持の値を用いており, 局部, ゆがみ座屈では材長の影響を考慮していない. そこで本研究では冷間成形リップ溝形断面部材の圧縮試験結果<sup>3)</sup>を用いて, 端部境界条件や材長の影響を加味した最大耐力評価を行うことを目的とする.

2.冷間成形リップ溝形断面部材の圧縮性状

図2, 3に圧縮試験の荷重-変位関係, 表1の式(1)-(3)による最大耐力 ( $P_{ne}$ ,  $P_{nl\_FSM}$ ,  $P_{nd\_FSM}$ ), 有限要素法による固有値解析結果を示す. 局部, ゆがみ座屈では実験で板要素の端部境界条件が固定支持であることを考慮し, 式(2), (3)中の  $P_{cr1}$ ,  $P_{crd}$  の代わりに両端固定支持の弾性座屈耐力 ( $P_{cr1}$ ,  $P_{crd}$ )を用いた場合の最大耐力 ( $P_{nl\_fix}$ ,  $P_{nd\_fix}$ )も示す. 表2に記号の定義を示す. 有限要素法では実験におけるピン位置で図1に示す端部境界条件としている.

図2(a)より, 局部座屈した No.1-05 の最大耐力は式(2)の計算結果  $P_{nl\_FSM}$ , 端部境界条件を考慮して式(2)を適用した結果  $P_{nl\_fix}$  とおおむね一致していることから, 端部境界条件を考慮して式(2)を適用することで局部座屈の最大耐力を評価できる. 図2(b)より, ゆがみ座屈した No.6-05 の最大耐力は式(3)の計算結果  $P_{nd\_FSM}$  とおおむね一致しているが, 端部境界条件を考慮して式(3)を適用した結果  $P_{nd\_fix}$  とは異なっている. このためゆがみ座屈の場合, 端部境界条件を考慮して式(3)を適用しても評価できない可能性がある. 図3(a)より, 全体曲げ座屈した No.3-15 の最大耐力は表1の式(1)の計算結果  $P_{ne}$  とおおむね一致しており, 式(1)の妥当性が示せた. 最後に図3(b)より, ゆがみ座屈した No.5-15 の最大耐力は式(3)から導出した  $P_{nd\_FSM}$ ,  $P_{nd\_fix}$  とおおむね一致しており DSM による評価が可能であるものの, 有限要素法解析による固有値と最大耐力が一致している. これよりゆがみ座屈の場合, 表1に示す AISI の評価式<sup>2)</sup>では最大耐力が座屈耐力以上となることを見込んでいるにも関わらず, 座屈後耐力が期待できない可能性がある.

3.冷間成形リップ溝形断面部材の最大耐力評価

本章では前章の結果を踏まえ, 端部境界条件を考慮した最大耐力評価を行う. 図4に全体曲げ座屈および局部座

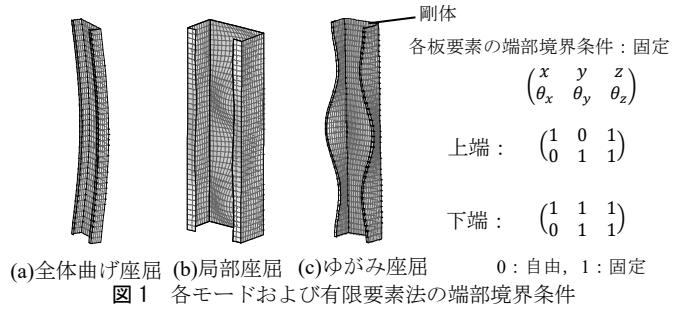


表1 既存の最大耐力式

○全体曲げ座屈最大耐力式<sup>2)</sup> ( $P_{ne}$ : 全体曲げ座屈最大耐力)

$$\frac{P_{ne}}{P_y} = \begin{cases} 0.658\lambda_c^{0.2} & (\lambda_c \leq 1.5) \\ 0.877 & (\lambda_c > 1.5) \end{cases} \quad (1)$$

○局部座屈最大耐力式<sup>2)</sup> ( $P_{nl\_FSM}$ : 局部座屈最大耐力)

$$\frac{P_{nl\_FSM}}{P_{ne}} = \begin{cases} 1 & (\lambda_l \leq 0.776) \\ \left[ 1 - 0.15 \left( \frac{1}{\lambda_l^2} \right)^{0.4} \right] \left( \frac{1}{\lambda_l^2} \right)^{0.4} & (\lambda_l > 0.776) \end{cases} \quad (2)$$

○ゆがみ座屈最大耐力式<sup>2)</sup> ( $P_{nd\_FSM}$ : ゆがみ座屈最大耐力)

$$\frac{P_{nd\_FSM}}{P_y} = \begin{cases} 1 & (\lambda_d \leq 0.561) \\ \left[ 1 - 0.25 \left( \frac{1}{\lambda_d^2} \right)^{0.6} \right] \left( \frac{1}{\lambda_d^2} \right)^{0.6} & (\lambda_d > 0.561) \end{cases} \quad (3)$$

○全体曲げ座屈強度式<sup>1)</sup>

$$\frac{P_c}{P_y} = \begin{cases} (1 - 0.24\lambda^2) & (\lambda \leq 1.3) \\ \frac{1}{\lambda^2} & (\lambda > 1.3) \end{cases} \quad \left( \lambda = \lambda_c \text{ or } \lambda = \lambda_{d\_FSM} \right) \quad (4)$$

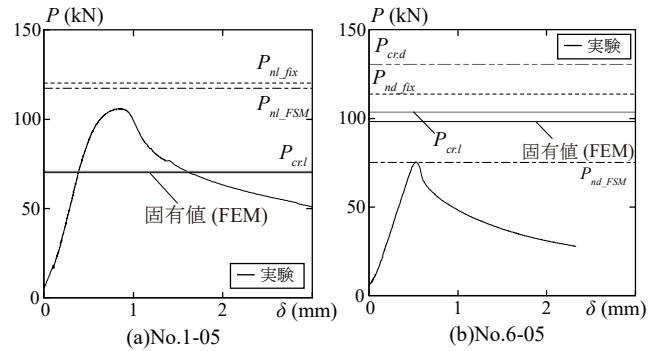
$\lambda_c = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cre}}}$ ,  $\lambda_l = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{cr1}}}$ ,  $\lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}}$ ,  $P_y$ : 降伏耐力  
 $P_{cre}$ : 弾性全体曲げ座屈耐力,  $P_{cr1}$ : 有限帯板法による弾性局部座屈耐力  
 $P_{crd}$ : 有限帯板法による弾性ゆがみ座屈耐力

表2 記号の定義

$L_e$ : 支持点間距離 (mm),  $A_g$ : 断面積,  $\sigma_y$ : 降伏応力度,  $P_{max}$ : 最大耐力,  $P_{cr1}$ : エネルギー法による両端固定支持の弾性局部座屈耐力<sup>4)</sup>,  $P_{crd}$ : エネルギー法による両端固定支持の弾性ゆがみ座屈耐力<sup>4)</sup>

$\sigma_{ne} = P_{ne}/A_g$ ,  $\sigma_{max} = P_{max}/A_g$ ,  $\sigma_{cr1} = P_{cr1}/A_g$ ,  $\sigma_{crd} = P_{crd}/A_g$

$\lambda_c = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cre}}}$ ,  $\lambda_{l\_FSM} = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{cr1}}}$ ,  $\lambda_{l\_fix} = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{cr1}}}$ ,  $\lambda_{d\_FSM} = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}}$ ,  $\lambda_{d\_fix} = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crd}}}$



屈の実験における最大耐力を示す。図4(a)には式(1)に加え、式(4)で $\lambda = \lambda_c$ とした全体曲げ座屈強度式<sup>1)</sup>を示している。式(4)は式(1)とほぼ一致し、全体曲げ座屈の最大耐力は式(1)、(4)により評価でき、式(1)に米国の Allowable Stress Design (ASD)の安全率<sup>2)</sup>を考慮することで全試験体を安全側に評価できる。図4(b)では横軸を従来通り $\lambda_{d\_FSM}$ (灰色プロット)とした場合と端部境界条件を考慮した $\lambda_{d\_fix}$ (黒プロット)とした場合を示す。 $\lambda_{d\_fix}$ を導出する際はエネルギー法による両端固定支持の弾性局部座屈耐力<sup>4)</sup>を用いた。図より、いずれの端部境界条件でもプロット位置に大きな変化はなく、局部座屈の最大耐力は端部境界条件を考慮するか否かに関わらず適切に評価できる。

ここから前章で言及したゆがみ座屈の座屈後耐力の有無について検討するため、図1の端部境界条件で材料の降伏応力度を変化させ完全弾塑性を仮定した大変形解析を行った。なお初期不整導入方法は文献3)で提案したものをを用いた。図5(a)に実験で局部座屈が発生したNo.1-05、(b)に実験でゆがみ座屈が発生したNo.5-15の結果を示す。図5(a)よりNo.1-05では一般化細長比 $\lambda_{d\_fix}$ が上昇しても最大耐力が固有値以上の値を示し、局部座屈では座屈後耐力が発生している。一方、図5(b)よりNo.5-15では一般化細長比 $\lambda_{d\_fix}$ が上昇しても最大耐力は固有値が上限値となっており、ゆがみ座屈では座屈後耐力が期待できないと考えられる。

これらの議論を踏まえ図6においてゆがみ座屈の最大耐力評価を行った。図6(a)では横軸を $\lambda_{d\_FSM}$ 、図6(b)では $\lambda_{d\_fix}$ として、実験でゆがみ座屈が発生した試験体の最大耐力、実験の材料特性および文献3)で提案した初期不整導入方法を用いた大変形解析結果を示している。図6(a)より端部境界条件を考慮しない従来の手法である式(3)でも実験結果をおおむね評価ができており、しかし図6(a)に示したDSMではNo.5-15などの長柱では固有値と最大耐力が一致するにも関わらず座屈後耐力を見込んで最大耐力が算定されている。また図6(a)に示した最大耐力のプロットは両端固定支持の場合の結果であるため、表1の式(4)の曲線のうち $\lambda > 1.3$ である両端単純支持の座屈耐力より上回っている。一方、図6(b)ではNo.6-05のプロット付近にばらつきが見られるものの、端部境界条件を考慮して式(3)を運用した曲線およびエネルギー法から算出した弾性ゆがみ座屈耐力<sup>3)</sup>によりおおむね評価できており、端部境界条件を考慮した最大耐力評価を可能としている。

#### 4. 結

冷間成形リップ溝形断面材の圧縮試験<sup>3)</sup>や数値解析により、ゆがみ座屈の座屈後耐力が期待できないことを明らかにした。また従来のDSMにより、実験の最大耐力評価が可能であることを確認したうえで、より最大耐力に到達するメカニズムを反映した評価を行うための端部境界条件を考慮した最大耐力評価手法を提案した。

\*1 日本製鉄株式会社  
 \*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)  
 \*3 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 助教・博士(工学)  
 \*4 元 東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 修士(工学)

\*1 NIPPON STEEL CORPORATION  
 \*2 Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*3 Assist. Prof., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*4 Graduate Student of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

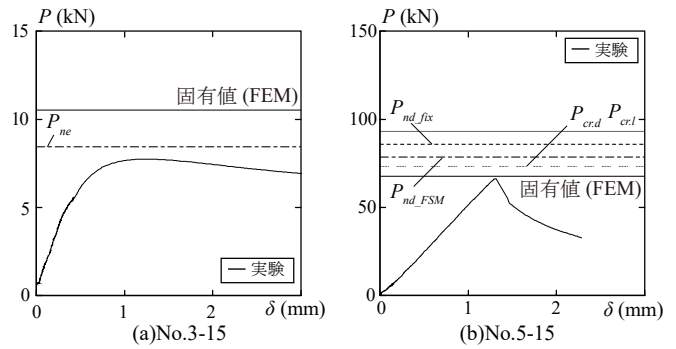


図3 荷重-変位関係( $L_c=1500(\text{mm})$ )

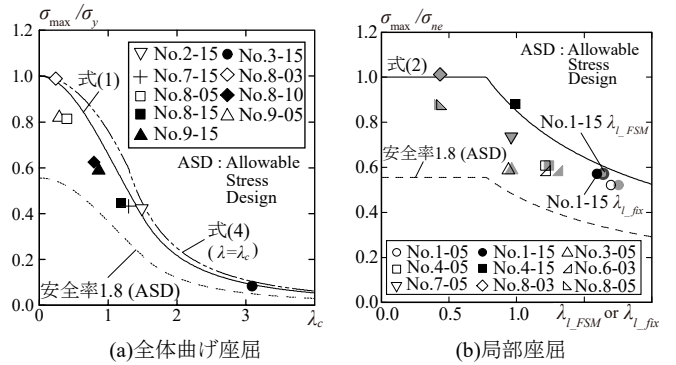


図4 端部境界条件を考慮した最大耐力式の運用の妥当性

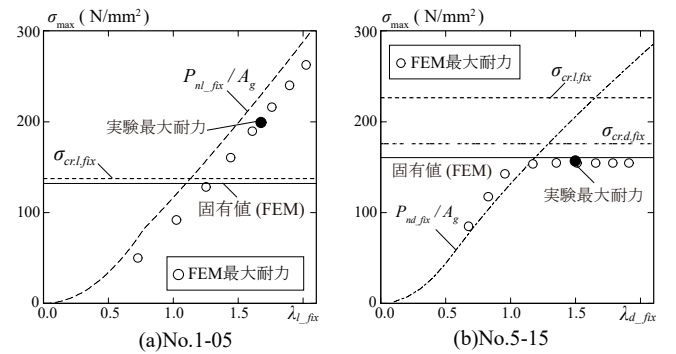


図5 局部座屈とゆがみ座屈の座屈後耐力の比較

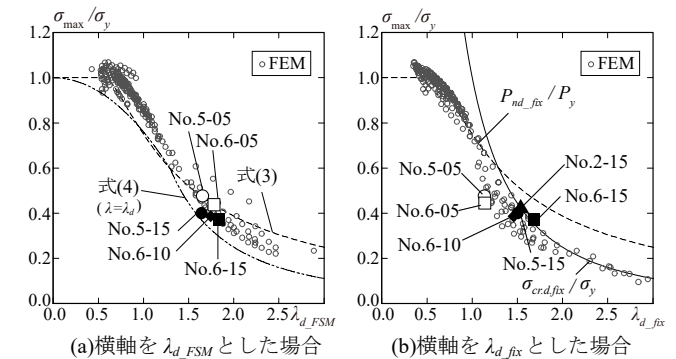


図6 端部境界条件を考慮したゆがみ座屈最大耐力

#### 参考文献

- 1) 一般社団法人日本鉄鋼連盟「薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き」編集委員会：薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き，2014.3
- 2) American Iron and Steel Institute (AISI)：North American Specification for Design of Cold-Formed Steel Structural Members, AISI-S1000, 2007
- 3) 五十嵐規矩夫，三井和也，小橋知季，桑田涼平，光廣日向子：圧縮力を受ける冷間成形リップ溝形断面材の最大耐力と崩壊形式，日本建築学会大会学術講演梗概集，2022.9
- 4) 光廣日向子，五十嵐規矩夫，三井和也，小橋知季，桑田涼平：圧縮力を受ける冷間成形リップ溝形断面材の弾性座屈耐力に及ぼす端部境界条件の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，2022.9