T2R2東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	せん断力を受ける平行四辺形パネルウェブの弾性せん断座屈耐力
Title(English)	Elastic Shear Buckling Strength of Parallelogram Panel Web Subjected to Shear Stress
著者(和文)	荒谷 智将, 三井 和也, 五十嵐 規矩夫
Authors(English)	Tomomasa Aratani, Kazuya Mitsui, Kikuo Ikarashi
出典(和文)	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 929-930
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	

せん断力を受ける平行四辺形パネルウェブの弾性せん断座屈耐力

正会員	\bigcirc	荒谷	智将 ^{*1}
同		三井	和也*2
同		五十嵐	l 規矩夫*3

弾性座屈耐力	エネルギー法	せん断応力
平行四辺形	パネルウェブ	L 形接合部パネル

1. 序

工場や倉庫といった内部に無柱空間が必要とされる建 築物では1方向ラーメンの構造形式が採用されることが多 い。この構造物の最上層の接合部パネルには隣り合う辺に 柱部材と梁部材がL形に接合されるため、十字形接合部 パネルとは異なる挙動を示す¹⁾. また,L形接合部パネル の形状は屋根勾配や柱梁接合部の接合形式により、パネ ルの形状が長方形、平行四辺形と様々な形状を採りえる。 近年,鋼構造建築物では経済性と居住性の観点から部材の 大断面化・薄肉化が進んでおり,パネル内で発生する座屈 耐力の評価も重要となっている。一方で、前述の平行四辺 形の座屈問題では一様なせん断応力が作用する基本的な 応力状態の場合であっても、その座屈耐力は明らかとなっ ていない、本研究ではまず、一様なせん断応力が作用する 平行四辺形板要素を対象として、その形状変化に伴う弾性 座屈耐力をエネルギー法に基づき明らかにするとともに, 平行四辺形状の接合パネルを有するL形接合部パネルの せん断座屈耐力を有限要素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平行 四辺形のパネルウェブの解析モデル,記号および座屈変 位関数を示す.対象とする平行四辺形板要素の形状は表1 中のType A と Type B であり,Type B はy = xに対して1 次変換の関係にある.板要素周辺の境界条件は単純支持 または固定支持を対象とし,表1中の式(2.a),(2.b)および 式(3.a),(3.b)がそれぞれの境界条件に対応する変位関数で ある.なお,パネルウェブ角度 θ により三角級数の位相が 式(4)のように変化する.パネルウェブで吸収するひずみ エネルギー増分 ΔU と外力仕事増分 ΔT はTimoshenkoの板 座屈理論³に従う.せん断座屈応力 τ_{cr} は板要素内におい て一様に作用するものとして,表1に示すせん断応力の向 きを正・負方向と定義する.解析変数はアスペクト比とパ ネルウェブ角度 θ およびせん断応力の向きである.

3. 平行四辺形板要素の弾性せん断座屈耐力

まず平行四辺形の板要素の弾性せん断座屈耐力につい て基本的な検討を行う.図1に周辺支持辺の境界条件毎の Type A のせん断座屈係数 k_r とアスペクト比の逆数 a/b の 関係を示す.点線は長方形板要素に純せん断応力が作用す る場合の座屈係数の近似式 (6) である³.

 $k_{\tau} = \begin{cases} 5.34 + 4.00 (b/a)^2 \\ 8.98 + 5.60 (b/a)^2 \\ \theta \neq 0^{\circ}$ の場合はせん断応力の方向による影響を受けること

が確認でき、せん断応力の方向、パネルウェブ角度により 座屈係数の収束値が異なる。せん断座屈係数 k_r は $\theta = 0^\circ$ の 場合に比較し、せん断応力が正方向の場合は大きく、負方 向の場合は小さくなり、パネルウェブ角度が大きくなるほ どこの傾向は顕著となる.正負方向の耐力差はパネル内に 発生する座屈半波長が要因であり、図1(b)に示す波形図A、 B($a/b = 2.0, \theta = 20^{\circ}$)のように、せん断応力が正方向の方が 短い座屈半波長となるため、座屈耐力が大きくなる. $\theta =$ 0°の場合について、式(6)と数値解析結果の対応を確認す るとa/bが1.0以上の範囲では良い対応を示すが、a/bが1.0 より小さい範囲では評価精度が低下していた.一般的なパ ネル接合部はa/bが1.0以下であるため、 $a/b \leq 1.0$ の範囲 に対して良い精度の評価方法が必要である.そこで、一様 なせん断応力下ではType A の $a/b \leq 1.0$ とType B の $a'/b' \geq$ 1.0 のせん断座屈係数を求めることが同義であることを利 用し、Type A の $a/b \leq 1.0$ の範囲の評価を試みる.

図 2(a) に周辺支持辺の境界条件毎のせん断座屈係数 k_r

表 1 本研究で使用する記号および座屈変位関数



Elastic Shear Buckling Strength of Parallelogram Panel Web Subjected to Shear Stress

ARATANI Tomomasa, MITSUI Kazuya, IKARASHI Kikuo

とアスペクト比の逆数 a'/b'の関係を示す. Type A とは異 なり、Type Bの座屈係数の収束値はせん断応力の方向、 パネルウェブ角度に関わらず式(6)の第1項と一致する. ただし, a'/b'が1.0程度ではパネルウェブ角度の影響が確 認できるため, a'/b' = 1.0 における影響を抽出した結果を 図 2(b) に示す.以上より、図 2(a) における a'/b' = 1.0 の 値を採り、図中に示す値へ収束する式(7)および式(8)を Type Bの平行四辺形が一様なせん断力を受ける場合の座 屈係数の近似式として提案し、図 2(b) 中に示す.

・周辺単純支持(0°≤θ≤30°)

$k_{ au} = \left\{$	$5.34 + (4.00 + 7\theta/40) (b'/a')^2$ $5.34 + (4.00 - 2\theta/15) (b'/a')^2$	せん断応力 : 正側 せん断応力 : 負側	(7)
・周辺	固定支持 (0°≦θ≦30°)		

k _∫	$8.98 + (5.60 + 6\theta/40) (b'/a')^2$	せん断応力 : 正側	(0)
$\kappa_{\tau} = \left\{ \right.$	$8.98 + (5.60 - \theta/21) (b'/a')^2$	せん断応力 : 負側	(8)

4.L 形接合部パネルのせん断座屈耐力

平行四辺形状のL形接合部パネルと一様なせん断応力 下の平行四辺形板要素の座屈係数との対応を有限要素法 による固有値解析より明らかにする.図3に解析モデル概 要図とその境界条件を示す.パネルウェブ以外における座 屈現象を抑制するため、柱梁ウェブの面外変形は拘束して いる。荷重は点Bを上下鉛直方向に作用させ、それぞれ の方向に対して正の固有値を1次座屈モードとして抽出し た.なお、下向きの荷重はせん断応力が負方向に、上向き の荷重はせん断応力が正方向に対応する。

図4に固有値解析から得られたパネル中央に作用する曲 げモーメントをパネル体積で除してせん断座屈応力度を 求め、せん断座屈係数 anak, へと変換した結果を示す。図 4(a), (b)の縦軸はそれぞれ式 (7) および式 (8) により求めた せん断座屈係数 cal.pink_t, cal.fixk_t により無次元化している.L 形接合部パネル境界条件において,周辺単純支持よりも周 辺固定支持の方が近いことがわかる.また、パネルウェブ 角度のが大きくなるほど一様なせん断状態の座屈係数に対 する比率 $anak_{t}/cal.fixk_{t}$ が大きくなっているが、概ね $anak_{t}/cal.fixk_{t}$ =1.0付近を推移している.

図5に柱梁辺長比 λ_c, λ_b がせん断座屈耐力に及ぼす影響 を,図6に図5に対応する座屈モードを示す. 柱梁辺長比 が変化するとパネルに作用するせん断応力と曲げ応力の 比率が変化し、パネル内の応力分布も変化するため、同一 形状のL形接合部パネルであってもせん断座屈係数は変 化する. 柱辺長比んもしくは梁辺長比んが大きいほど, パネルに作用する曲げ応力成分が減少するため、せん断座 屈係数が一様せん断応力状態に近づくと考えられ、座屈 モードもせん断応力下の座屈モードへ近づく

以上の結果から,一様なせん断力を受ける周辺固定支持 平行四辺形の近似座屈耐力式(8)により、L形接合部パネ ルのせん断座屈耐力を近似評価できる可能性を示した. 5. 結

本研究では一様なせん断力が作用する平行四辺形板要 素を対象として、その形状変化に伴う弾性座屈耐力をエネ ルギー法に基づき明らかにし、その近似評価式を提案し た.また、接合パネル形状が平行四辺形状のL形接合部

*1	東京工業大学環境・	社会理工学院建築学系	大学院生
----	-----------	------------	------

- 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 助教・博士(工学)
- 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 教授・博士 (工学)



パネルと一様なせん断応力下の平行四辺形板要素との対 応を有限要素法による固有値解析により明らかにした。

【参考文献】 1) 五十嵐規矩夫ら:H形断面柱梁L形接合部パネルの弾性せん断座屈耐力, 築学会構造系論文集 第 85 巻,第 771号 np 759-769 2020 5	日本建
 Timoshenko, Gere: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill Book Company, Inc., 日本建築学会:鋼構造座屈設計指針, 2018.2 	1961
Graduate Student., Dept. of Arch. and Build. Eng., Tokyo Institute of Technological Student.	ogy

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