

「拡張ひずみ照査法」の構築に向けたブレース材のベンチマーク実験と解析

名城大学大学院 学生会員 ○浅野拳斗 安藤ハザマ 丸山涼我 瀧上工業 若林滉次郎  
 名城大学 名誉会員 宇佐美勉 名城大学 正会員 渡辺孝一 名城大学 フェロー 葛漢彬

1. まえがき

正負交番の繰り返し軸荷重を受けるブレース材の部材座屈と局部座屈の連成挙動および低サイクル疲労に関する実験および解析的検討を行い、その成果をひずみ照査法<sup>1)</sup>に取り入れる「拡張ひずみ照査法」構築に向けた準備的研究を行った。

2. 実験および解析概要

(1) 実験

課題 1) 部材座屈変形が低サイクル疲労寿命に及ぼす影響、課題 2) 部材座屈と局部座屈の連成が低サイクル疲労寿命に及ぼす影響に関する 2 課題を設定し、図-1、表-1 に示すクレビス支承で両端をピン支持された部材の繰り返し引張-圧縮荷重実験を行った。写真-1 は右クレビス支承で、二山クレビス（固定）と一山クレビス（鉛直軸周りの回転自由）をシリンダピンで接合したピン支承を示し、実験供試体端部は水平方向に回転変位する構造である。供試体は、H 形鋼 (SS400 材) のウェブを切削して CT1 形鋼、および CT2 形鋼を製作し、表-1 の No.1~No.3 供試体 12 体を製作した。No.1,2 供試体は課題 1) 用で、No.1 は偏心軸荷重（偏心量  $e=8.7\text{mm}$ ）、No.2 は中心軸荷重である。また、No.3 は課題 2) 用の中心軸荷重供試体で、ウェブ(片持板)の幅厚比パラメータは  $R=0.705$ 、限界ひずみ<sup>2)</sup>は  $\varepsilon_u/\varepsilon_y=2.72$  である。

(2) 解析

解析は、梁要素を用いた初期横荷重法<sup>3)</sup>によった。解析モデルを図-2 に示す。クレビスは長さ 150mm の水平剛棒、軸荷重の偏心 (No.1) は長さ  $e=8.7\text{mm}$  の鉛直剛棒でモデル化した。中心軸荷重供試体 (No.2, No.3) では  $e=0.0$  となる。初期横荷重  $q$  の大きさは、文献 3) の算定式から No.3 供試体では  $q=3.66\text{N/mm}$  となる。解析には Abaqus ver.6.13 の Timoshenko はり要素 (B31) を用い、ブレース材の要素分割は 10 分割、構成則はバイリニア-移動硬化則 (2 次勾配  $=E/100$ )、材料定数は表-2 に示す測定値を用いた。

3. 実験および解析結果

(1) 材料定数および計測

実験供試体の材料定数は JIS 1 号 (ウェブ) および 5 号 (フランジ) 引張試験片を用いて測定した。測定値はフランジとウェブで差があったため、断面積で重みを付けた平均値を表-2 に示し、これらを数値解析に用いた。右クレビス支承での計測位置を写真-1 に示す。左クレビス支承も同様である。供試体の軸変位  $u$  は、二山クレビス底板の軸変位  $u_1, u_2$  (右クレビス) および

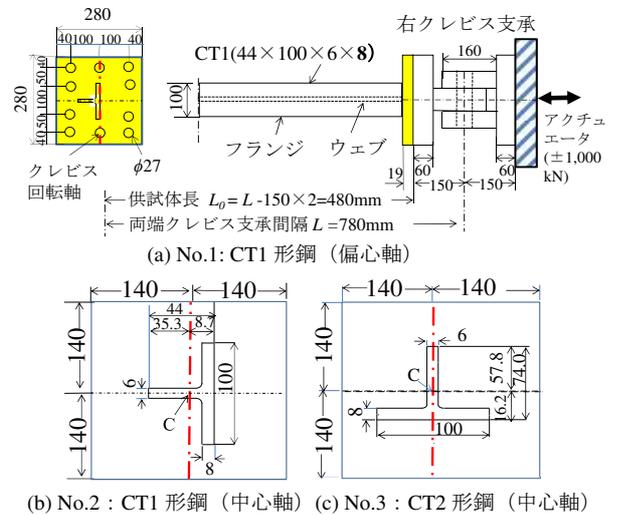


図-1 荷重レイアウト

表-1 供試体諸元

No.	種類 (載荷軸)	$N_y$ kN	$r$ mm	$L$ (mm)			$e$ mm	本数	課題
				$L/r=75$	100	125			
1	CT1 (偏心)	314	10.4	780	1,040	1,300	8.7	5	1)
	CT1 (中心)								
3	CT2 (中心)	376	23.6	1,770	-	-	0.0	3	2)

$N_y$ =全断面降伏軸力,  $r$ =断面 2 次半径,  $L$ =クレビス間隔,  $e$ =偏心量

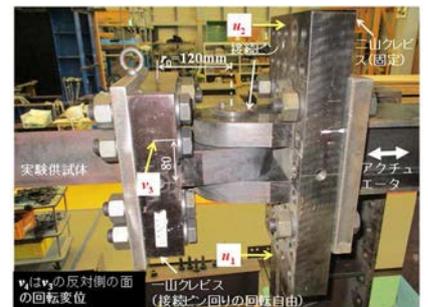


写真-1 右クレビス支承 ( $u_1 \sim v_4$  は D.G.)

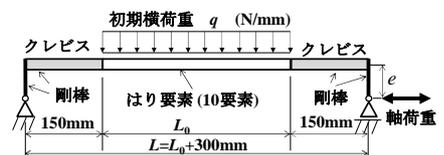


図-2 解析モデル

表-2 材料定数

形鋼	$E$ (GPa)	$\sigma_y$ (MPa)	$\varepsilon_y$ (%)	$E_{st}$ (GPa)	$\varepsilon_{st}$ (%)
CT-1	202	307	0.152	1.20	2.43
CT-2	202	314	0.155	1.14	2.33

$E$ =弾性係数,  $\sigma_y$ =降伏応力,  $\varepsilon_y$ =降伏ひずみ,  
 $E_{st}$ =ひずみ硬化係数,  $\varepsilon_{st}$ =ひずみ硬化開始点ひずみ

キーワード ひずみ照査法, 座屈, 低サイクル疲労, 拡張ひずみ照査法, 初期横荷重法 (ILLM)

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

$u_5, u_6$  (左クレビス) を分解精度 0.01 のダイヤルゲージ (D.G.) で測定し,  $u = \{(u_1+u_2)-(u_5+u_6)\}/2$  から求めた. 供試体中央の水平および鉛直変位を D.G., 軸方向ひずみをウェブ両面 2 カ所 (端部から 11mm 内側) およびフランジ表面 3 カ所 (端部から 11mm 内側と中央) を塑性ひずみゲージ (ゲージ長 5mm) で計測した.

## (2) 実験および解析結果

クレビス支承は軸荷重の下で, (a)クレビスとシリンダピンのあそび, および(b)クレビス構成部品の弾性変形などによる軸変位が生じ, これらが供試体の軸変形に伴って生ずる剛体変位相当量となる. 剛体変位は左右のクレビスの剛体変位相当量が同一のとき, 先に示した  $u$  の算定式を用いれば相殺されて理論的には剛体変位は計測されない. しかし, (b)に起因する剛体変位は, クレビスの設置条件が同一でないため必ずしも同一ではなく,  $u$  の算定式を用いても補正することは出来なかった. この補正できない剛体変位の影響は引張荷重で顕著であったために, 次の方法によって剛体変位を除去した荷重-軸変位履歴曲線を算定した. 載荷は, 部材中央のフランジ表面中央またはウェブ先端の軸ひずみの絶対値の大きい方を制御量として行ったが, 剛体変位の影響を受けない軸ひずみは, 初期弾性域 ( $\pm 200\text{kN}$  以内) において理論値とほぼ一致し, 載荷は正しく行われていた. そこで, 剛体変位は軸荷重  $N$  のみに依存する, 即ち供試体の材料特性 (弾性, 弾塑性) に無関係と見なし, 計測軸変形  $u_{\text{exp}}(N)$  から補正量  $u_{\text{cor}}(N) = u_c(N) - u_{c0}(N)$  を差し引くことによって剛体変位を除去した軸変位  $u(N) = u_{\text{exp}}(N) - u_{\text{cor}}(N)$  を求めた. ここで,  $u_c(N)$  = 実験履歴曲線の初期弾性軸変位 ( $|N| \leq 200\text{kN}$  を直線近似した実験値),  $u_{c0}(N)$  = 初期弾性軸変位の理論値である. 解析では, このようにして求められた  $N-u(N)$  履歴曲線の折り返し点の  $u(N)$  から載荷プログラムを定め, 図-2 のモデルを用いて軸変位増分の複合非線形解析を実施した. 得られた結果の内, 課題 2) を対象とした実験供試体 3-75LC(1) (No.3,  $L/r=75$ ) の実験および解析結果を図-3 に示す. 実験は, 部材座屈と局部座屈による連成挙動は得られたが, 低サイクル疲労の挙動までには至らなかった. 図中には, 実験および「ひずみ照査法」の手法を用いた局部座屈発生点の解析値 (図-3(c) でウェブ軸ひずみ  $\varepsilon_{\text{web}}$  が限界ひずみ  $\varepsilon_u = 2.72$ ,  $\varepsilon_y = 0.422\%$  に到達する点) も図示されている. 実験と解析の履歴挙動は局部座屈発生点までは概ね一致し, 局部座屈発生点もほぼ一致している. 写真-2 に実験終了後の供試体を示す.

## 4. あとがき

細長比が大きなブレース材では, 部材座屈および局部座屈後に急激な荷重低下が生じ, 荷重低下部を連続的に捉えることが困難で低サイクル疲労の発生まで載荷することが出来なかった. 急激な荷重低下を防ぐためには, ブレース材座屈後も健全な部材を周辺に配置する, 例えばブレース材付きフレーム構造を用いて実験する等の方策が必要と考えられる.

参考文献: 1) 土木学会: 鋼・合成構造標準示方書[耐震設計編], 2008. 2) 織田博孝, 宇佐美勉: 構造工学論文集, Vol.56A, 2010. 3) 宇佐美勉, 鈴木元哉, 葛 漢彬: 構造工学論文集, Vol.65A, 2019,

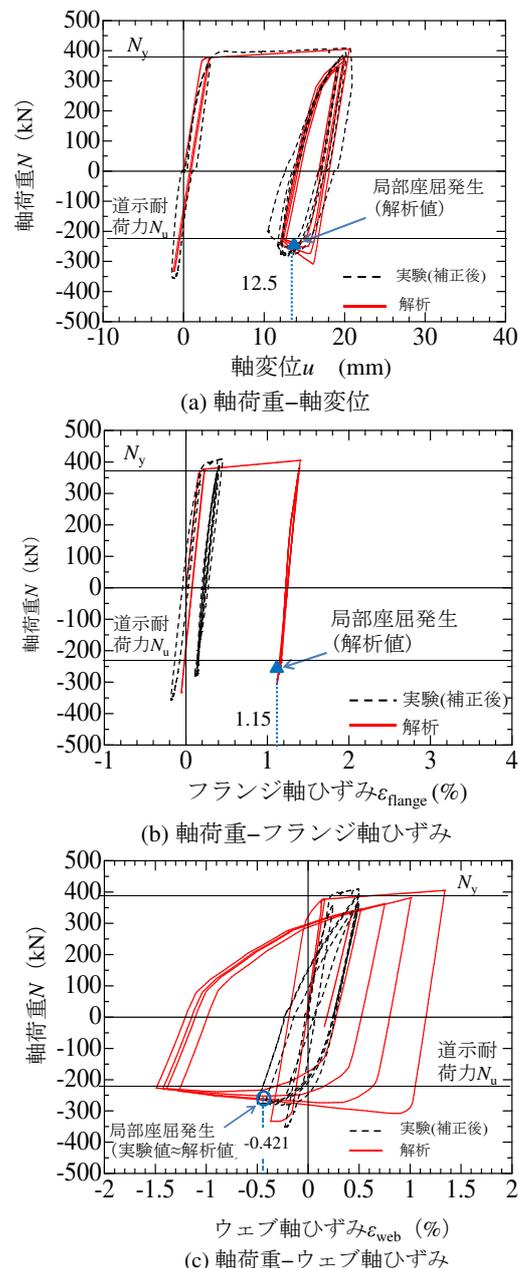


図-3 実験と解析の履歴曲線の比較 (3-75LC(1))

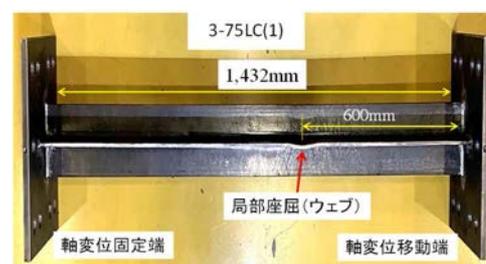


写真-2 実験終了後の供試体 (3-75LC(1))