



## 座屈拘束ブレースの高サイクル疲労性能の研究

小谷野 一尚\* 岩田 衛\*\* 荏本 孝久\*\*  
 緑川 光正\*\*\* 中込 忠男\*\*\*\* 大熊 武司\*\*\*\*\*

### High Cycle Fatigue Performance of Buckling-Restrained Braces

Kazuhiya KOYANO\* Mamoru IWATA\*\* Takahisa ENOMOTO\*\*  
 Mitsumasa MIDORIKAWA\*\*\* Tadao NAKAGOMI\*\*\*\* Takeshi OHKUMA\*\*\*\*\*

#### 1. 序

座屈拘束ブレースの疲労性能の研究は、大中地震を想定した比較的大きな歪振幅の低サイクル疲労実験が行われてきた。しかし、高頻度の風や小地震を想定した小さな歪振幅の高サイクル疲労実験はあまり行われていない。

本研究では、座屈拘束ブレースの芯材の塑性領域での高サイクル疲労実験を行い、既往の研究<sup>(1)</sup>で求められた低サイクルでの疲労性能との関係性を確認する。また、エネルギー吸収性能についても確認する。

#### 2. 実験計画

##### 2.1 試験体

試験体平面図を図1に、詳細を表1に示す。塑性化部絞りを、スペーサーを設けた高性能タイプ(Hシリーズ)を3体、塑性化部絞りを設けず基本タイプ(Bシリーズ)を1体製作する。

両試験体とも、芯材長さは2351mmとし、塑性化部幅は112mm、厚さ16mm、幅厚比は7.0とする。

Hシリーズは塑性化部長さを1176mm、拘束指標 $R=(P_b/P_c)$ 、 $P_b$ :拘束材のオイラー座屈荷重、 $P_c$ :芯材の降伏荷重)は9.0とする。芯材軸方向に、強軸変形を抑制するための絞り、スペーサーを設ける。Bシリーズは、塑性化部長さを1251mm、拘束指標 $R$ を3.0とし、芯材軸方向には丸鋼を設ける。なお、塑性化部端部にリブ溶接部が存在している。

##### 2.2 載荷計画

\* 助手 建築学科

Research associate, Dept. of Architecture

\*\* 教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

\*\*\* 客員教授 工学研究科, 名誉教授 北海道大学

Guest Professor, Research Institute for Engineering

Professor Emeritus, Hokkaido University

\*\*\*\* 名誉教授 信州大学

Professor Emeritus, Shinshu University

\*\*\*\*\* 客員研究員 工学研究科

Guest Researcher, Research Institute for Engineering

載荷は1000kN アクチュエータを使用し、軸方向変位制御による一定歪振幅繰返し載荷とする。載荷装置は柱脚部をピン支持とし、試験体は45度の角度で設置する。

Hシリーズでは、軸歪1.5 $\epsilon_y$ に相当する歪振幅0.21%(H15E試験体)、軸歪1.1 $\epsilon_y$ に相当する歪振幅0.15%(H11E試験体)で載荷する。また、既往の研究<sup>(1)</sup>との疲労曲線を補うため、歪振幅0.5%(H05試験体)も行う。

Bシリーズでは、軸歪1.1 $\epsilon_y$ に相当する歪振幅0.15%(B11E試験体)で載荷する。所定の歪振幅において、試験体耐力が最大耐力の80%に低下する、または、引張破断するまで繰返す。この直前までの繰返し回数を耐用回数とする。

#### 3. 実験結果

各試験体の実験経過および最終状態を表2に示す。

H15E試験体は12,158回目、H11E試験体は17,265回目、H05試験体は926回目で引張破断した。また、B11E試験体は3,671回目で引張破断した。

H15E、H05試験体は上端側の塑性化部絞部、H11E試験体は下端側の塑性化部絞部で引張破断した。また、B11E試験体は上端側のリブ溶接部で引張破断した。

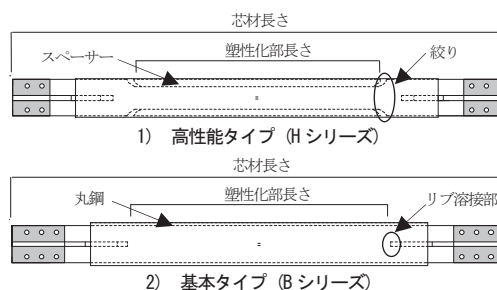


図1 試験体平面図

表1 試験体詳細

試験体	芯材(SN400B)							拘束材(SS400)		
	寸法 mm	断面積 mm <sup>2</sup>	幅厚比	芯材長さ mm	塑性化部長さ mm	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$P_y$ kN	高さ mm	幅 mm	拘束指標 R
H15E,H11E,H05	PL-112×16	1792	7.0	2351	1176	289	518	146.0	181.2	9.0
B11E	PL-112×16	1792	7.0	2351	1251	289	518	98.0	139.2	3.0

表2 実験経過および最終状態、性能評価

試験体	実験経過	最終状態	$E_s$ kN・m	$\omega$
H15E	0.21%至12,158回目引張	引張 破断	11,965,462	14,048
H11E	0.15%至17,265回目引張		5,473,917	7,034
H05	0.5%至926回目引張		5,531,883	6,442
B11E	0.15%至3,671回目引張		3,597,869	4,137

H15E 試験体の降伏耐力比  $P/P_y$  ( $P$ :軸方向荷重) と芯材の軸歪  $\epsilon$  (軸変形量  $\delta$ /塑性化部長さ) の関係を図2に示す。H15 試験体同様、各試験体とも安定した紡錘形の復元力特性を示した。降伏耐力比は載荷開始後、徐々に増加した。ある程度載荷を続けるとしばらく一定になり、その後徐々に低下し、破断した。

4. 考察

4.1 疲労性能

歪振幅  $\epsilon$ (%) と耐用回数の関係を図3に、既往の研究<sup>1)</sup> と本研究の結果の近似曲線を合わせて示す。耐用回数は H シリーズの歪振幅 0.21% で 12,157 回、0.15% で 17,264 回、0.5% で 925 回、B シリーズの 0.15% で 3,670 回である。両シリーズとも対数軸上で直線関係にあるが平行にはならず、歪振幅が小さくなるほど耐用回数の差が大きくなり、直線に開きが生じている。

また、H シリーズと B シリーズでは破断位置が異なる。H シリーズでは、芯材塑性化部を絞ったことにより、断面積が小さくなる端部に応力が集中している。一方、B シリーズでは、リブ溶接による熱影響部に応力が集中している。以上より、芯材形状によって破断位置が異なることがわかる。絞りを加えた塑性化部端部よりも、溶接熱影響部の疲労性能の方が低いことが予想され、H シリーズと B シリーズとは耐用回数に差が生じている。

4.2 性能評価

表2に、実験結果より求めた各試験体の累積塑性歪エネルギー  $E_s$  と累積塑性歪エネルギー率  $\omega (=E_s/P_y \delta_s)$  ( $\delta_s$ : 弾性限界変形量) を示す。また、本研究と既往の研究<sup>1)</sup> の  $\omega$  と拘束指標  $R$  の関係と既往の研究<sup>2)</sup> で提案された下限値  $\omega$  を表す性能評価式を合わせて図4に示す。

すべての試験体が性能評価式を上回り、高いエネルギー吸収性能を示している。また、低サイクル時に比べて高サイクル時が大きい  $\omega$  になっている。

H シリーズに比べて B11E 試験体の  $\omega$  が小さいのは耐用回数が少ないためであり、H15E 試験体よりも H11E 試

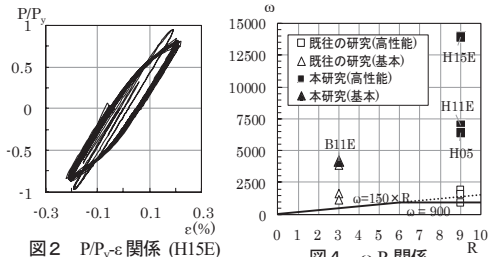


図2 P/P<sub>y</sub>-ε関係 (H15E)

図4 ω-R関係

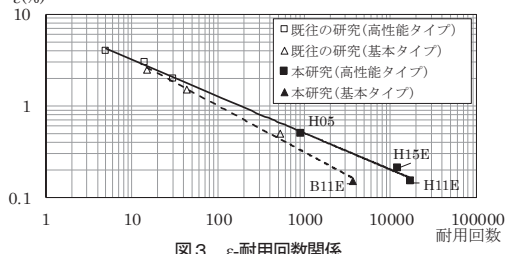


図3 ε-耐用回数関係

験体の  $\omega$  が小さくなっているのは、累積塑性歪エネルギー  $E_s$  すなわち歪振幅が小さいことによるものである。

5. 結

本研究では、2種類の座屈拘束プレースの高サイクル疲労実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 塑性領域での歪振幅  $\epsilon$  と耐用回数の関係は、低サイクルの領域から高サイクルの領域まで対数軸上で直線関係になる。
- 2) 高性能タイプと基本タイプでは、塑性化部の溶接熱影響部の有無によって、歪振幅が小さくなるほど耐用回数の差が大きくなる。
- 3) 塑性領域における小さな歪振幅による高サイクル疲労では、累積塑性歪エネルギー率  $\omega$  は性能評価式を上回り、十分なエネルギー吸収性能を示す。

参考文献

(1) 小谷野一尚, 宮川和明, 小出秀一, 喜田村互, 岩田衛, “疲労性能の高い座屈拘束プレースの研究”, 日本建築学会技術報告集, 第21巻, 第47号, pp.137-140, 2015年2月。  
 (2) 飯塚亮太, 小谷野一尚, 緑川光正, 岩田衛, “累積塑性歪エネルギー率の大きな座屈拘束プレースの研究”, 日本建築学会構造系論文集, 第701号, pp.1015-1023, 2014年7月