

# 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの二段載荷予備実験

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

## Fatigue Performance of the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks under Two-step Loading Preliminary Tests.

Kazuhisa KOYANO\* Mamoru IWATA\*\* Takahisa ENOMOTO\*\* Mitsumasa MIDORIKAWA\*\*\*

Tadao NAKAGOMI\*\*\*\* Takeshi OHKUMA\*\*\*\*\*

### 1. 序

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース(以下, BRBSM)の各軸歪における疲労性能は, 既往の研究において, 一定歪振幅繰返し載荷で実験を行うことにより明らかになっている<sup>1)</sup>. しかし, 多段歪振幅載荷による疲労性能への影響は確認できていない.

そこで, 本研究では大歪振幅と小歪振幅を組み合わせた載荷方法で予備実験を行い, BRBSM の疲労性能への影響を確認する.

### 2. 実験計画

#### 2.1 試験体

試験体平面図を図1に, 試験体諸元を表1に示す. 基本タイプ(Bタイプ, 以下 No.1)を1体, 塑性化部を絞ることにより溶接熱影響部を排除した高性能タイプ(Hタイプ, 以下 No.2)を1体製作する.

両試験体ともに, 塑性化部の断面は厚さ16mm, 幅112mm, 芯材長さは2,351mmとし, クリアランスは1mmとする.

No.1は, 塑性化部長さを1,251mm, 拘束指標 $R(=P_E/P_Y, P_E$ :拘束材のオイラー座屈荷重,  $P_Y$ :芯材の降伏荷重)は3.1とする. No.2は, 塑性化部長さを1,176mm, 拘束指標 $R$ は9.3, 芯材強軸方向に強軸変形を抑制するためのスペーサーを設ける. これらのパラメーターは比較のため, 既往の研究<sup>1)</sup>と同様とした.

#### 2.2 載荷計画

1000kN 水平アクチュエーターを用い, 柱脚部をピン支持とし, 試験体の設置角度は45度とする. 二つの異なる歪振幅を組み合わせ

載荷することを二段載荷とする.

#### 2.3 載荷サイクルの検討

本実験の二段載荷は, 大歪振幅である3.0%と小歪振幅である0.21%を組み合わせる. 歪振幅3.0%は大地震, 歪振幅0.21%は風荷重など日常的に建物が受ける小さな荷重を想定している.

載荷サイクルは, 累積疲労損傷則( $D=\sum [n_i/N_i]$ ,  $n_i$ :応力範囲 $\Delta\sigma_i$ の頻度,  $N_i$ :応力範囲 $\Delta\sigma_i$ が作用した時の疲労寿命)を用いて計画した. 累積疲労損傷則は, 異なる歪振幅の応力が繰返された場合の和として, 寿命を推定するのに使われる<sup>2)</sup>. その和は全体の損傷度 $D$ であり,  $D \geq 1.0$ となった時, 疲労破壊が起こるものとされている.

No.1は, 試験体や治具の均しのために $1/3\epsilon_y$ の載荷を1回行った後, 歪振幅0.21%を $D=0.5$ となる回数分載荷し, その後破断するまで歪振幅3.0%を繰り返す. No.2では,  $1/3\epsilon_y$ , 歪振幅0.5%および1.0%を1回ずつ行った後, 歪振幅3.0%を $D=0.5$ となる回数分載荷し, その後歪振幅0.21%を破断するまで繰り返す.

#### 2.4 破断予想

$D=1.0$ で破断すると仮定し, 既往の研究<sup>1)</sup>で明らかになった各タイプの疲労曲線式(図2)から各歪振幅時の載荷回数を決める. No.1はBタイプの $y=8.3074x^{-0.467}$  ( $y$ :歪振幅 $\epsilon$ (%),  $x$ :耐用回数)より求め, 歪振幅0.21%は1,322回, 3.0%は5回で破断すると予想する. 同様にNo.2はHタイプの $y=7.4017x^{-0.394}$ から求め, 歪振幅3.0%は5回, 0.21%は4,162回で破断すると予想する.

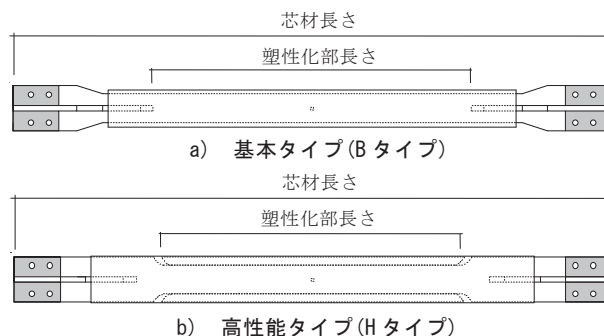


図1 試験体平面図

\* 元助手 建築学科 (現 JFE 鋼板)

Former Research Associate, Dept. of Architecture  
JFE Galvanizing & Coating Co., Ltd.

\*\* 客員教授 工学研究所, 名誉教授 神奈川大学  
Visiting Professor, Research Institute for Engineering  
Professor Emeritus, Kanagawa University

\*\*\* 名誉教授 北海道大学

Professor Emeritus, Hokkaido University

\*\*\*\* 名誉教授 信州大学

Professor Emeritus, Shinshu University

\*\*\*\*\* 名誉教授 神奈川大学

Professor Emeritus, Kanagawa University

表 1 試験体諸元

試験体		芯材(SN400B)						拘束材(SS400)							モルタル	
		寸法 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	幅厚 比	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$P_y$ (kN)	芯材 長さ (mm)	塑性化部 長さ (mm)	高さ (mm)	幅 (mm)	板厚 (mm)	長さ (mm)	$I \times 10^4$ (mm <sup>4</sup> )	$P_E$ (kN)	拘束指標 $R(=P_E/P_y)$	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	Bタイプ	16×112	1,792	7.0	287	513	2,351	1,251	116.0	139.2	3.2	1,605	440	1,610	3.1	75.0
No.2	Hタイプ						1,176	164.0	181.2	1,745		1,299	4,755	9.3	88.9	

表 2 実験結果および最終状態

試験体	終局時の繰返し回数	終局状態	破断位置	終局時D値
No.1	歪振幅0.21% 1,322回後(D=0.5), 歪振幅3.0% 10回目(D=1.12)	引張破断	母材 中央	1.62
No.2	歪振幅3.0% 5回後(D=0.5), 歪振幅0.21% 985回目(D=0.12)		絞り部 上部	0.62

### 3. 実験結果

両試験体の実験結果および最終状態を表 2 に示す。破断箇所を丸印で囲んだ破断状況を写真 1 に示す。また、試験体の降伏耐力比  $P/P_y$  ( $P$ :軸方向荷重)と芯材の軸歪  $\varepsilon$  の関係を図 3 に示す。

No.1 は歪振幅 0.21% を 1,322 回載荷後、歪振幅 3.0% の 10 回目で引張破断となり、 $D=1.62$  であった。No.2 は歪振幅 3.0% を 5 回載荷後、歪振幅 0.21% の 985 回目で引張破断となり、 $D=0.62$  であった。

No.1 は母材中央部、No.2 は上端側のリブ溶接熱影響部でそれぞれ破断していた。

### 4. 考察

#### 4.1 疲労性能

No.1 は一段目の載荷後、既往の研究<sup>1)</sup>の一定歪振幅 3.0%における耐用回数9回を超え、 $D=1.62$ という疲労性能となった。それに対し、No.2 は一段目の影響を受けることで、二段目の予想回数の 4,162 回を大きく下回り 985 回で破断となり、 $D=0.69$ という結果となった。既往の研究<sup>1)</sup>によると、基本タイプに比べ高性能タイプの方が高い疲労性能を示すが、本実験においては基本タイプである No.1 の方が高い  $D$  値を示した。これは載荷順序の影響が大きいと考える。

二段載荷において一段目が小歪振幅である場合は BRBSM の疲労性能に影響はなく、一段目が大歪振幅である場合には BRBSM の疲労性能に影響を大きく及ぼすため、このような疲労性能を示したと考える。このため、一定歪振幅繰返し載荷回数と二段載荷での予想載荷回数に差異が生じていると考える。

#### 4.2 芯材の最終状況

No.1 は母材中央部、No.2 は上端側のリブ溶接熱影響部で破断となっている。既往の研究<sup>1)</sup>において BRBSM の破断位置は歪振幅 3.0%以上では母材中央部、それ以外では応力集中部となっていることから、二段載荷における破断位置は破断時である二段目の歪振幅の影響を受けていると考える。

### 5. 結

本研究では、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの異なる歪振幅を組み合わせた二段載荷実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 基本タイプ試験体を歪振幅 0.21%から 3.0%の順番で載荷した場合、損傷度  $D$  は 1.62 となった。高性能タイプ試験体を歪振幅 3.0%から 0.21%の順番で載荷した場合、損傷度  $D$  は 0.62 となった。
- 2) 一段目が小歪振幅である場合は疲労性能に影響はなく、一段目が

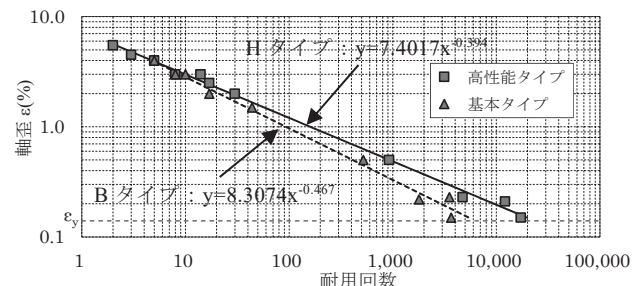
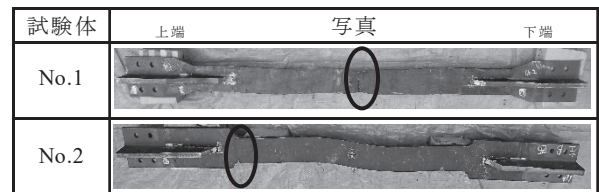
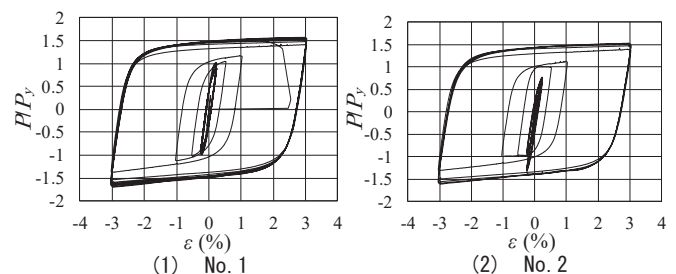
図 2 既往研究<sup>1)</sup>から得られた疲労曲線

写真 1 破断状況(丸印は破断箇所)

図 3  $P/P_y - \varepsilon$  関係

大歪振幅である場合は疲労性能に影響を大きく及ぼす。載荷順序の影響を受け、既往の研究<sup>1)</sup>における一定歪振幅繰返し載荷とは異なる損傷度  $D$  を示し、高性能タイプより基本タイプの方が良い疲労性能を示した。

3) 二段載荷において破断位置は、破断時である二段目の歪振幅の影響を受けている。

二段載荷については、載荷する歪振幅の組合せ、順序など様々な条件で実験を行い、疲労性能を確認していく必要がある。

### 【参考文献】

- [1] 小谷野一尚、中込忠男、緑川光正、岩田衛、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究、日本建築学会構造系論文集、第 82 巻、第 736 号、pp.921-928、2017 年 6 月
- [2] 社団法人日本鋼構造学会、鋼構造物の疲労設計指針・同解説-付・設計例-、技報堂出版株式会社、pp26-27、2014 年 3 月