

座屈拘束ブレースの低サイクル疲労性能

正会員 ○田所 敦志\* 同 山下哲郎\*\*  
同 村井正敏\*\*\* 同 岩田 衛\*\*\*\*

低サイクル疲労 座屈拘束ブレース SN材  
制振部材

1. 序

座屈拘束ブレースは、制振部材として建築物の損傷を低減する有効な要素であり、その疲労特性は、求められる重要な性能の一つである。

既往の研究<sup>1)</sup>では、芯材の鋼種や、形状の違いによる疲労性能実験を行っており、歪振幅と繰返し回数との間に相関関係を見出し、疲労性能式が提案された。本研究では、 $P_E/P_y$  ( $P_E$ : 座屈荷重、 $P_y$ : 降伏荷重)の異なる2種類の鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースについて、一定の歪振幅を繰返し作用させたときの破断繰返し回数、累積塑性歪エネルギー、累積塑性変形倍率を確認する。また、既往の研究に提案された、疲労性能式との関係についても考察する。

2. 実験計画

2.1 試験体パラメータ

$P_E/P_y$ の異なる2種類の試験体を表1に、試験体形状を図1に示す。芯材の降伏荷重  $P_y$  は素材試験から、拘束材の座屈荷重  $P_E$  はオイラー座屈荷重式より、芯材長さ ( $l=2351\text{mm}$ )を用いて算出する。

2.2 載荷装置

載荷は、1000kN アクチュエータを使用し、柱脚部をピン支持とし、柱頭部をローラー支持とする。試験体は、芯材の弱軸が載荷軸面内になるように45度の角度で設置する。

2.3 載荷計画

載荷は、軸方向変位による正負交番繰返し載荷とする。繰返す歪振幅は両振幅とし、P30にはそれぞれ0.5、1.5、2.5%歪載荷の3パターンを、P09にはそれぞれ0.5、1.0、1.5%歪載荷の3パターンを行う。これら計6体の試験体を表2に示す。

載荷方法は、試験体のならしとして、弾性域内で芯材の降伏歪の1/3、2/3と、芯材の0.25%歪、各試験体の所定歪の半分で載荷を各1回行ったのち、所定の歪振幅を繰返し、破断繰返し回数をカウントする。載荷は芯材が

破断するまで繰返し続ける。

3. 実験結果

3.1 載荷結果

各試験体の破断繰返し回数、最大耐力の75%低下時までの繰返し回数を表2に示す。

P30-05、P30-15、P09-05の3体は、どれも圧縮側で耐力低下した直後の引張側において破断した。しかし、P09-10は51回目の圧縮側から徐々に耐力が低下し始め、最終的に75回目の引張側で芯材が破断した。P09-15も同様に、9回目の圧縮側から徐々に耐力が低下し始め、最終的に21回目の引張側で芯材が破断した。 $P/P_y$  ( $P$ : 軸方向荷重  $P_y$ : 降伏荷重)と  $\epsilon$  (芯材の歪量(%))の関係を図2(a)、(b)に示す。

P30-25は、1回目の圧縮側から変形が大きく進み、これ以上の載荷は困難であると判断し、実験を中止した。よって破断繰返し回数が確認できないまま実験を中止したため、表には実験を中止した回数を示す。

3.2 最終状態

実験終了後、拘束材を除去し芯材の観察を行った。芯材の最終状態を表2に併記する。

P30-05、P30-15、P09-05の3体は、芯材上部で破断していた。P09-10、P09-15の2体は、芯材中央部で弱軸方向に大きく変形し、変形の一番大きな所で破断していた。この中央部で破断した2体の試験体の変形を比較すると、P09-15のほうがより大きく弱軸に変形することが確認できた。

表2 歪振幅・実験結果

試験体名	歪振幅 (%)	破断回数	75%回数	芯材の最終状態
P30-05	0.5	523	523	上部破断
P30-15	1.5	45	45	上部破断
P30-25	2.5	16	16	上部座屈
P09-05	0.5	423	420	上部破断
P09-10	1.0	75	53	中央部破断
P09-15	1.5	21	9	中央部破断

表1 試験体一覧

試験体	芯材					拘束材				$P_E/P_y$
	寸法	A mm <sup>2</sup>	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$P_y$ kN	幅厚比	幅 mm	高さ mm	$I \times 10^4$ mm <sup>4</sup>	$P_E$ kN	
P30	PL-176×16	2816	304	856	11.0	207.5	51.7	705	2581	3.0
P09						207.5	26.7	189	734	0.9

A: 芯材塑性化領域断面積  $\sigma_y$ : 降伏応力度  $P_y$ : 降伏荷重 I: 断面2次モーメント  $P_E$ : 座屈荷重



図1 試験体形状



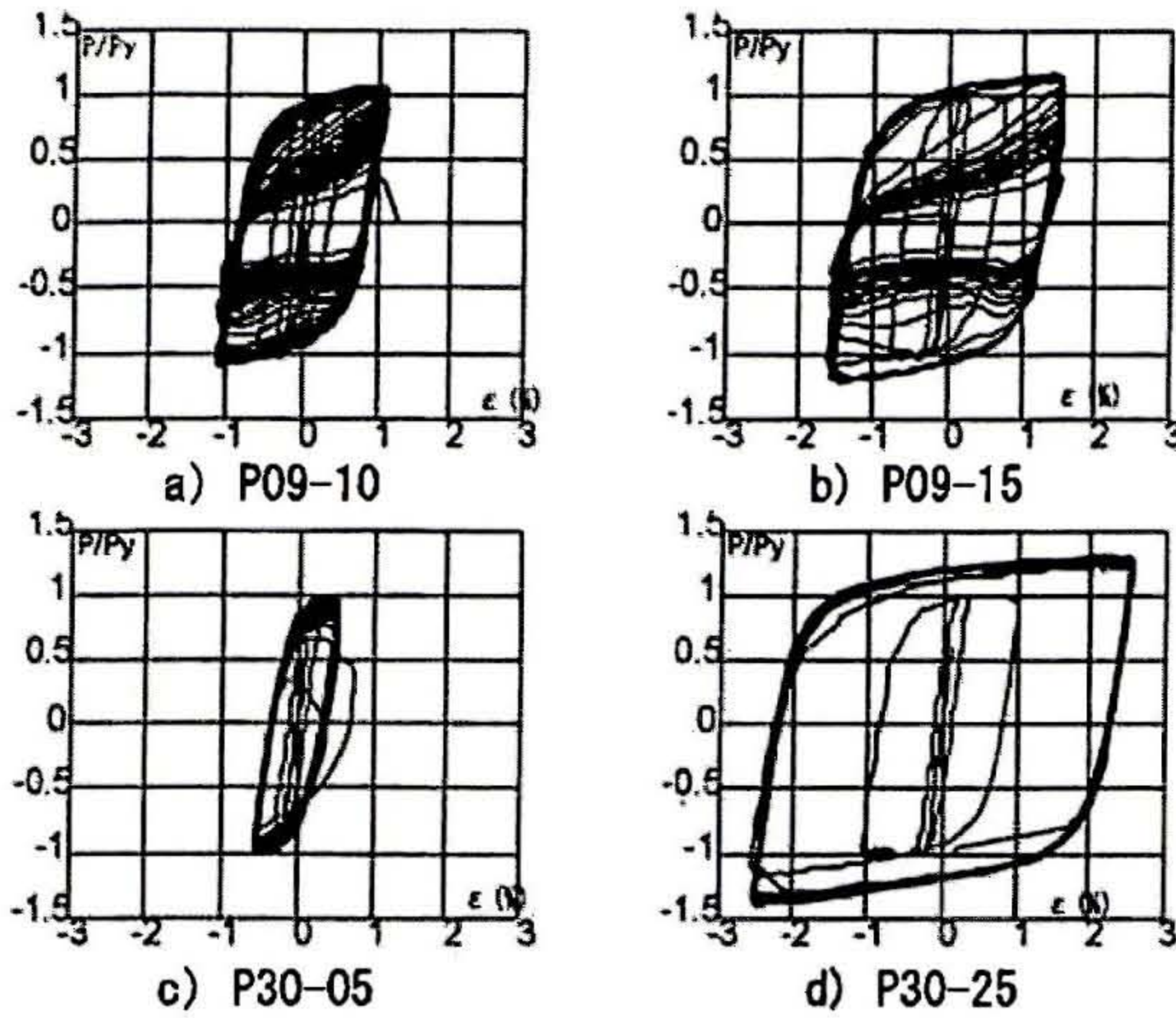


図2 P/Py-ε

#### 4. 考察

##### 4.1 性能評価

各試験体の、最大耐力の75%低下時における、累積塑性歪エネルギー $E_t$ 、累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ 、累積塑性変形倍率 $\eta$ を算出し、表3に示す。 $\omega$ は $E_t$ を $P_y$ と弾性限界変形量を乗じた値で除したものである。 $\eta$ は歪硬化の影響を考慮して、各繰返し時の引張側の最大変位を累積して算出した。表中には $\eta^+$ と表記する。

$\eta^+$ と $\omega$ の関係として、一般的には $\omega \approx 2\eta^+$ が考えられるが、P30-05、P09-05の2体は $\omega$ が $2\eta^+$ より小さな値となった。これは、小さい歪振幅を繰返す場合、弾性域の割合が大きくなるため、 $\omega$ が小さな値となると考える。また、P09-10、P09-15も同様に、 $\omega$ が $2\eta^+$ より小さな値となった。これは、早期に耐力低下が見られたことや、試験体中央への荷重集中、拘束材の拘束力が弱いためである。

##### 4.2 $\epsilon$ -N 曲線

図3に芯材の歪振幅 $\epsilon$ (%)と、最大耐力の75%低下時までの繰返し回数(N)の関係を示す。 $\Delta\epsilon$ は片振幅の2倍である。また、既往の研究<sup>1)</sup>より提案された次式の疲労性能式を図3に記す。

$$\Delta\epsilon(\%) = \left( \frac{20.48}{\alpha} \right) \times N^{-0.49}$$

集中度  $\alpha = 1.0$

この式は、実験結果の回帰曲線に平均歪振幅と芯材の歪振幅の関係を考慮したもので、集中度 $\alpha$ は各試験体の平均歪区間長を芯材区間で除したものである。P30-05、P30-15の2体は、既往の疲労性能式に近似する値となった。また実験を中止したP30-25も、破断まで実験を続けた場合、破断繰返し回数は伸びることから、疲労性能式を上回る結果となる。すなわち、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースでも、鋼管モル

表3 性能評価

試験体名	歪振幅	$P_E/P_y$	$E_t$ kN·m	$\omega$	$\eta^+$
P30-05	0.5	3.0	5916.1	2987.3	2277.5
P30-15	1.5		2542.1	1273.9	665.7
P30-25	2.5		1809.3	906.7	401.6
P09-05	0.5	0.9	4570.9	2290.6	1779.5
P09-10	1.0		1951.1	977.8	710.2
P09-15	1.5		761.3	381.5	305.3

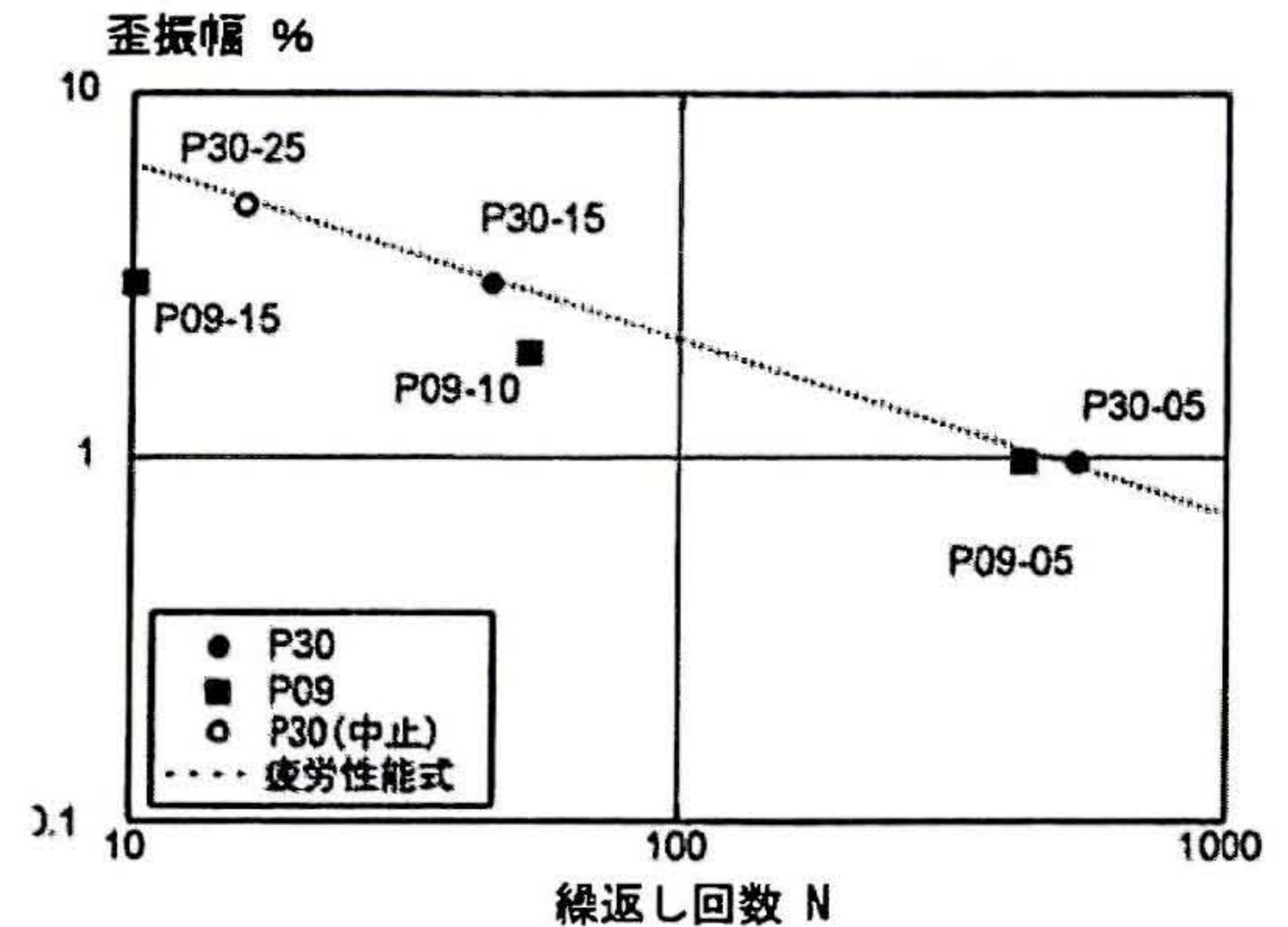


図3  $\epsilon$ -N 関係

タルを用いた座屈拘束ブレースと同じ疲労性能であるといえる。

P09-10、P09-15の2体は、疲労性能式を下回ってしまったが、これは拘束材の拘束力が弱いため、芯材の局部座屈が生じ応力が集中し、部分的に歪量が増加したことにより、早期に芯材が破断したことによるものと考えられる。

#### 5. 結

芯材は同じで $P_E/P_y$ の違う2種類の試験体を用いて、一定の歪振幅を芯材が破断するまで繰返し作用させた疲労実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1)  $P_E/P_y=3.0$ の試験体では、既往の研究<sup>1)</sup>と同じ疲労性能式で評価をすることができる。
- (2)  $P_E/P_y=0.9$ の試験体では、拘束力が低かった為、性能評価式に乗らない。

#### 【謝辞】

本研究の試験体製作にあたり(株)巴コーポレーションのご協力を得ました。ここに記して感謝いたします。

#### 【参考文献】

- 1) 前田泰史、中村博志、竹内徹、中田安洋、岩田衛、和田章：実大アンボンドブレースの疲労性能その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp813-816、1999年9月
- 2) 前田泰史、中田安洋、岩田衛、和田章：軸降伏型履歴ダンパーの疲労特性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第503号、pp109-115、1998年1月

\* 神奈川大学大学院工学研究科修士課程  
 \*\* 工学院大学工学部建築学科 准教授  
 \*\*\* 神奈川大学工学部建築学科 主任技術員  
 \*\*\*\* 神奈川大学工学部建築学科 教授 工学博士

\* Graduate School, Kanagawa University.  
 \*\* Assoc.prof, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kogakuin University, Dr ENG  
 \*\*\* Technician, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University  
 \*\*\*\* Prof, Dept. of Architecture and Building Engineering University, Dr ENG