

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの骨格曲線と耐力上昇

座屈拘束ブレース  
鋼種

骨格曲線  
耐力上昇率

塑性率  
降伏比

正会員  
同  
同

○田所敦志\*  
山下哲郎\*\*  
村井正敏\*\*\*  
岩田衛\*\*\*\*

1. はじめに

座屈拘束ブレースを用いた構造では、ブレース接合部は降伏後のひずみ硬化による耐力上昇を考慮して設計する必要がある。ここでは単純に耐力上昇を推定する一つの手段として骨格曲線 1) に注目する。過去の繰返し加力実験で得た荷重変形関係より骨格曲線を抽出しその基本的な性質を示すと共に、地震応答時の芯材の最大歪と対応する耐力上昇率の一つの目安を提示する。

2. 試験体と試験結果

図 1 に試験体形状を、表 1 に試験体一覧を、表 2 に芯材の機械的性質を、図 2 に加力波形を示す。载荷は静的漸増繰返し载荷とする。表 3 に実験結果および性能評価を示す。ω は  $E_t$  を降伏荷重と降伏変形で無次元化した値である。骨格曲線は試験から得られた履歴ループを基に、前ループよりも荷重が増加した分を繋ぎ(図 3)作成した。

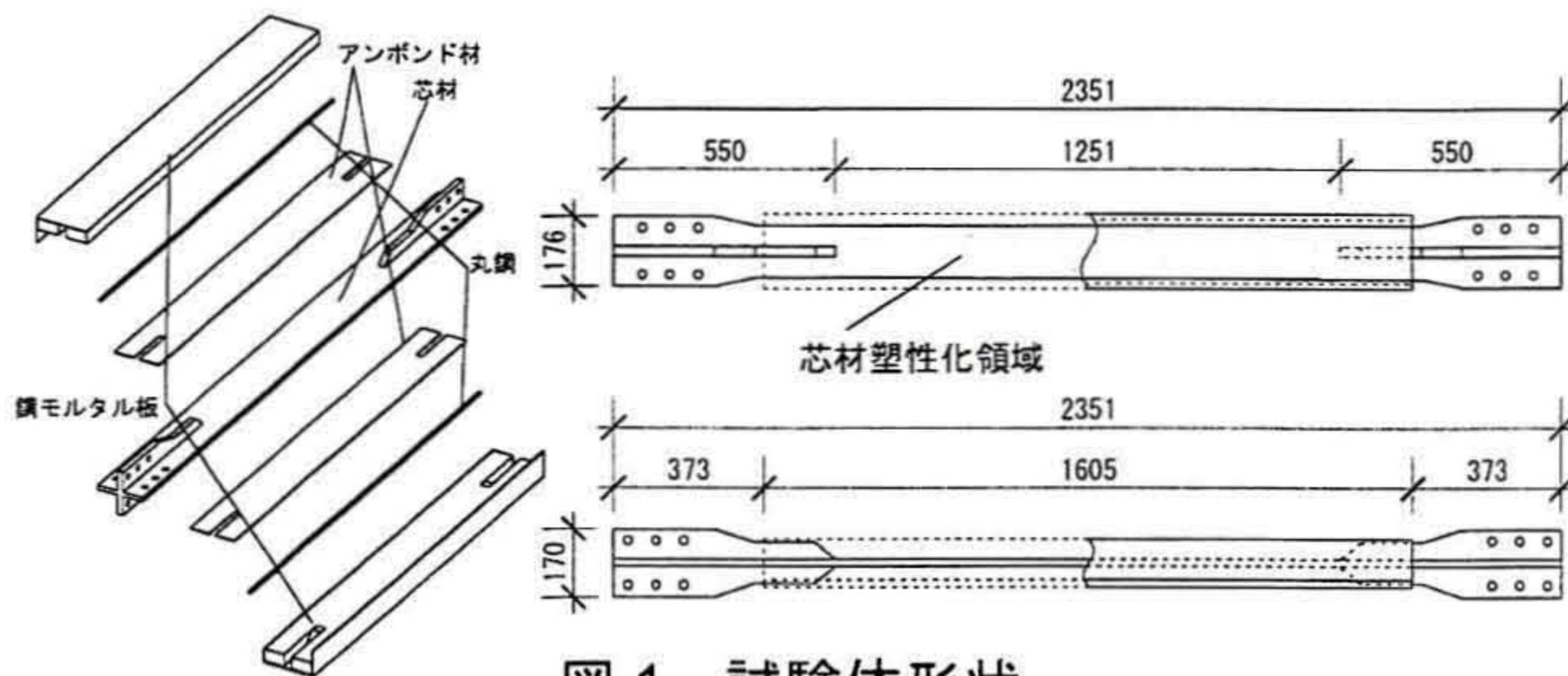


図 1 試験体形状

表 1 試験体一覧

試験体名	鋼種	芯材					拘束材					クリアランス	$P_E/P_y$
		材長 mm	幅 mm	厚さ mm	断面積 mm <sup>2</sup>	幅厚比	$P_y$ kN	幅 mm	高さ mm	$I \times 10^4$ mm <sup>4</sup>	$P_E$ kN		
S60	SN400B	2351	132	22	2904	6.0	815	159.2	45	465.9	1702	1.0	2.1
S62			176	16	2816	11.0	740	200.0	50	705	2581	5.0	3.5
S64			176	16	2816	11.0	889	200.0	65	1288	4715	1.0	5.3
S66			104	12	1248	8.7	368	131.2	47	251	919	1.0	2.5
S69			64	16	1024	4.0	310	91.2	30	115.9	424	1.0	1.4
L70-1	LY225	2351	176	16	2816	11.0	623	203.2	61	947.6	3469	1.0	9.3
L70-2			105	16	1680	6.6	671	203.2	61	947.6	3469	1.0	9.3
L62			176	19	3344	9.3	637	203.2	40.5	427	1614	1.0	2.5

$P_y$ : 降伏荷重  $P_E$ : 座屈荷重

表 2 材料強度

試験体名	降伏応力度 N/mm <sup>2</sup>	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏比 %	伸び %
S60	281	465	60.4	31
S62	263	422	62.2	33
S64	316	494	63.9	31
S66	295	445	66.3	33
S69	303	435	69.5	33
L72-1	222	308	72.0	42
L72-2	222	308	72.0	42
L62	194	312	62.2	67

表 3 実験結果及び性能評価

試験体名	$E_t$ m·kN	ω	最終状態
S60	931.1	497.0	局部変形
S62	1105	719.6	強軸変形
S64	1876	860.0	引張破断
S66	417	503.8	局部変形
S69	719.5	911.6	引張破断
L72-1	1457	1368.0	引張破断
L72-2	836	1442.0	引張破断
L62	1781	1519.0	局部変形

3. 骨格曲線の性質

3.1 降伏比の影響

図 4 に試験体の骨格曲線を示す。縦軸の軸耐力は降伏耐力、横軸は降伏変形で無次元化した。降伏比と引張側の最大耐力は負の相関を示し、表 4 に示すように、最大耐力の降伏耐力に対する比(耐力上昇率)は概ね降伏比の逆数と等しく、降伏比が低い鋼材ほど高い耐力上昇を示す。

3.2 圧縮側と引張側の差異

図 6 より明白なように、圧縮側と引張側では骨格曲線は大きく異なり、圧縮側の耐力上昇は大きく最大耐力に至る累積変形は小さい。その理由として以下 2 点が考えられる。

- ① 圧縮側では座屈拘束区間内における芯材の高次座屈により、芯材と座屈拘束材の接触、摩擦(図 5)が発生して座屈拘束材が軸力の一部を負担してしまう。芯材と座屈拘束材のクリアランスが大きい S62 試験体で特に耐力上昇が大きいのは、芯材と座屈拘束面の隙間が大きいことため芯材の湾曲も大きく、拘束材のモルタルへの食い込みが強固なことによると推定される。
- ② 体積変化を拘束されることにより素材自身に引張時を越えた耐力上昇が発生する。

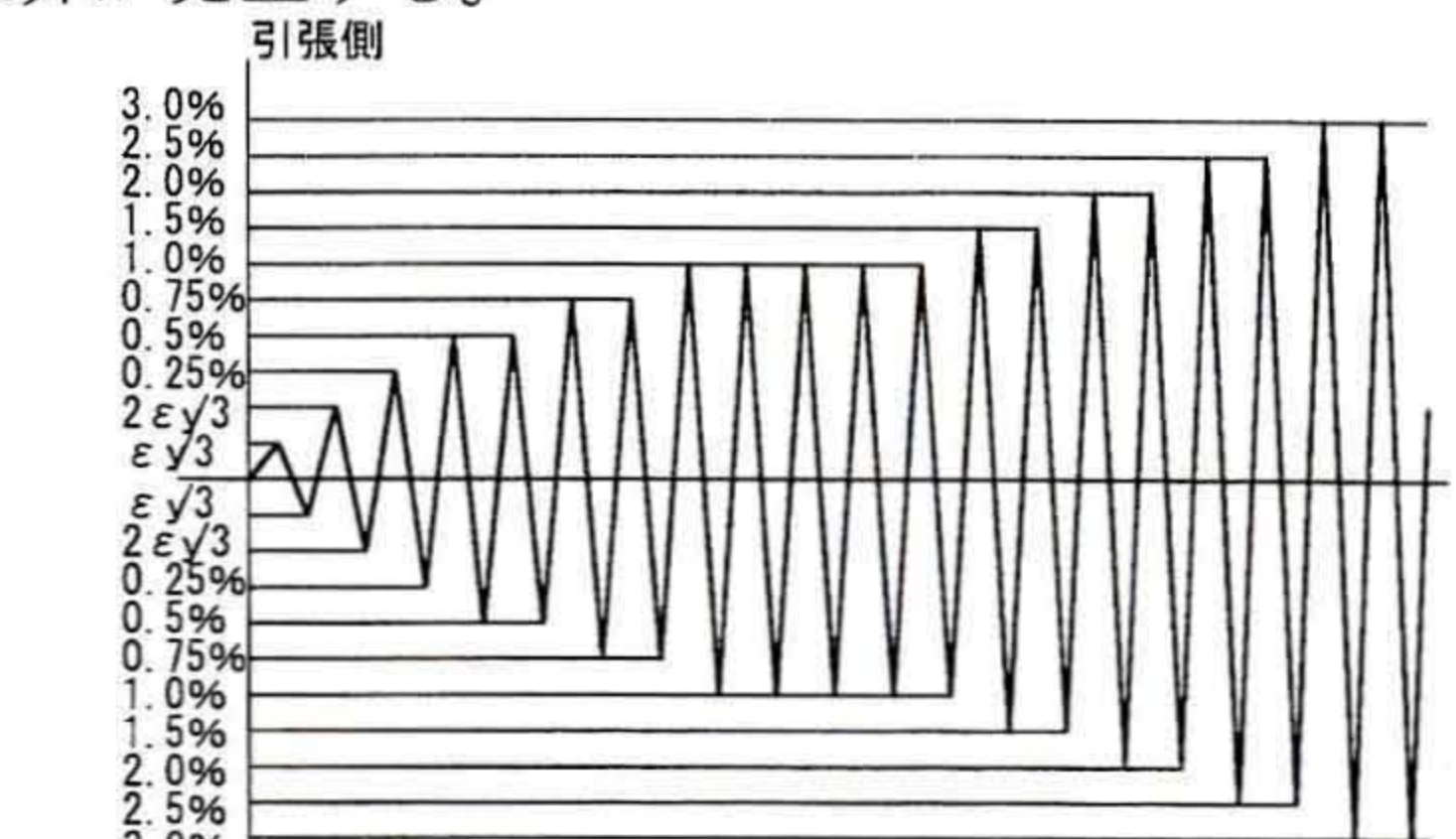


図 2 加力波形

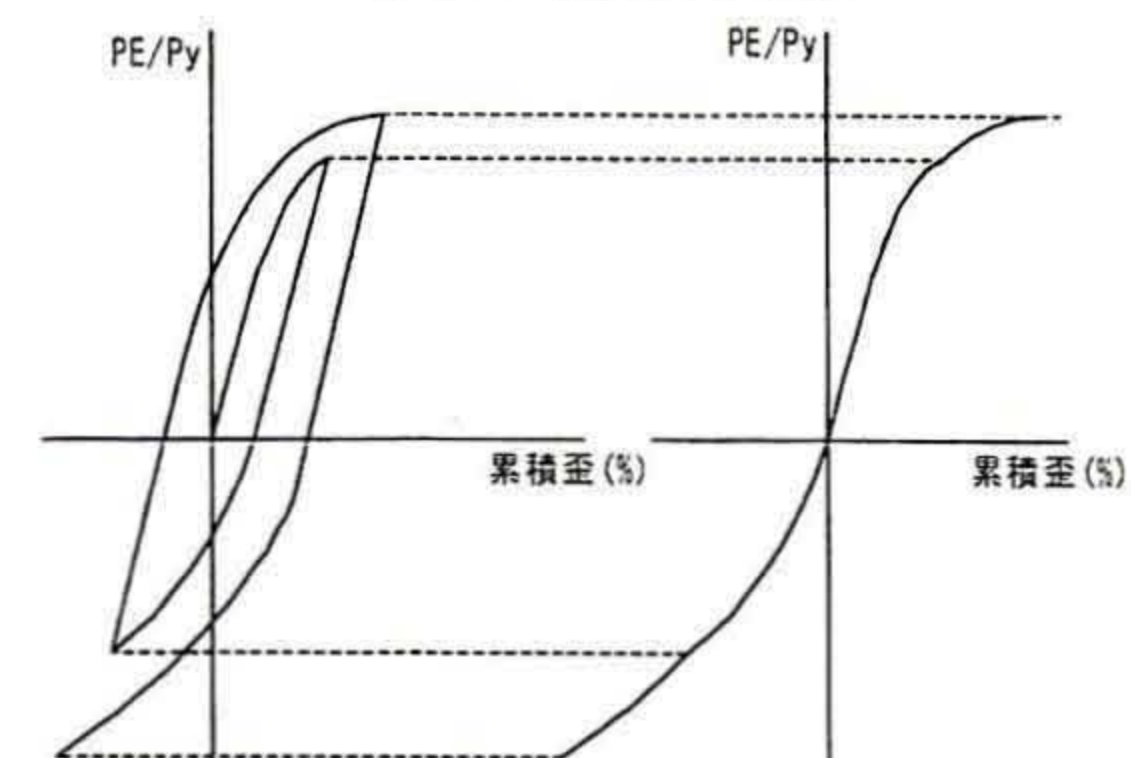


図 3 骨格曲線の抽出方法

Skeleton curve and increase of strength due to strain hardening of buckling restrained brace using steel mortar planks

TADOKORO Atsushi, YAMASHITA, Tetsuo  
MURAI Masatoshi IWATA Mamoru



表 4 耐力上昇率  
引張側

試験体名	最大耐力	降伏耐力	$\Delta P$	降伏比	$\alpha$	$\Delta P/\alpha$
	kN	kN		%	1/%	
S60	1225	815	1.50	60.4	0.017	90.7
S62	1134	740	1.53	62.2	0.016	95.3
S64	1261	889	1.42	63.9	0.016	90.7
S66	523	368	1.42	66.3	0.015	94.1
S69	425	310	1.37	69.5	0.014	95.2
L72-1	889	623	1.43	72.0	0.014	102.8
L72-2	549	371	1.48	72.0	0.014	106.4
L62	1069	637	1.68	62.0	0.016	104.0

$\Delta P$ : 耐力上昇率  $\alpha$ : 1/降伏比

圧縮側

試験体名	最大耐力	降伏耐力	$\Delta P$	降伏比	$\alpha$	$\Delta P/\alpha$
	kN	kN		%	1/%	
S60	1311	815	1.61	60.4	0.017	97
S62	1259	740	1.70	62.2	0.016	106
S64	1378	889	1.55	63.9	0.016	99
S66	586	368	1.59	66.3	0.015	105
S69	469	310	1.51	69.5	0.014	105
L72-1	1058	623	1.70	72.0	0.014	122
L72-2	620	371	1.67	72.0	0.014	120
L62	1210	637	1.90	62.0	0.016	118

### 3.3 材料による曲線形状の差

図 7 にほぼ同じ降伏比の SN 材と LY 材の骨格曲線を重ねて示す。LY 材は引張側の骨格曲線の伸びが大きく、変形性能に優れた材料であることがわかる。

### 4. 耐力上昇について

接合部の設計の際、耐力上昇は圧縮側で評価する必要がある。地震応答における骨格部累積変形が評価できればここで示した骨格曲線から耐力上昇率を推定できる。例えば文献 2) は最大変形から座屈拘束ブレースの累積塑性歪とその骨格部比率が概略推定できることを示しているが、ここでは、用いた加力波形 (図 2) そのものから経験的にブレース塑性化部の最大歪に対応する耐力上昇率を図 8 に示す。図は SN、LY それぞれの材料で最も降伏比の低い試験体の結果を用いており、示した耐力上昇率は接合部設計の際、一つの目安となるであろう。

### 5. まとめ

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの振幅漸増加力試験結果から骨格曲線を抽出し、その基本的性質と耐力上昇の一つの目安を示した。耐力上昇は概ね圧縮耐力で決まり、降伏比 0.60 の SN400B では、芯材塑性化部ひずみ 1% に対し上昇率 1.19、2% で 1.44、3% で 1.59、降伏比 0.62 の LY225 では、1% に対し 1.26、2% で 1.52、3% で 1.77 となる。

ただし、圧縮側の結果は座屈拘束方法に大きく依存すると考えられるため、他の形式の座屈拘束ブレースで同様の結果を得るかどうかは不明である。

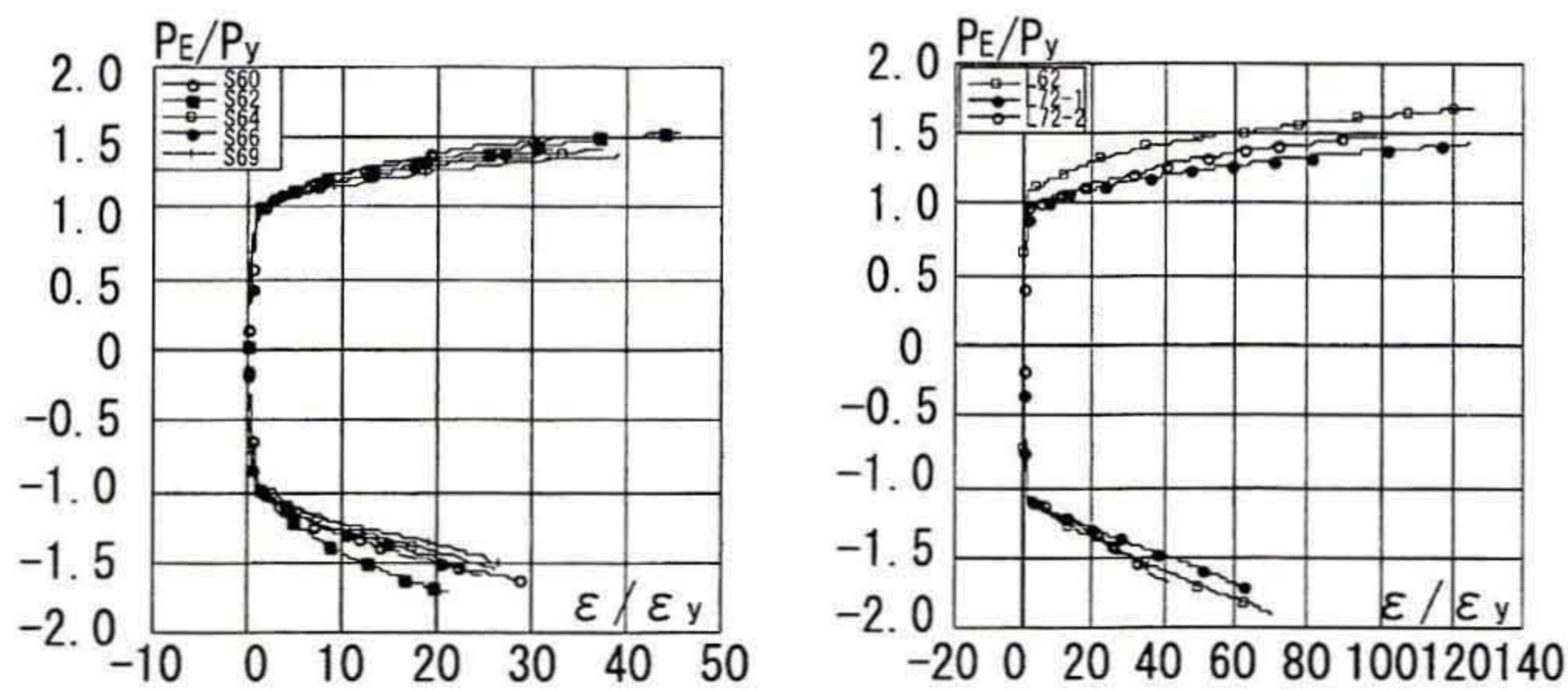


図 4 骨格曲線



図 5 高次の座屈モード

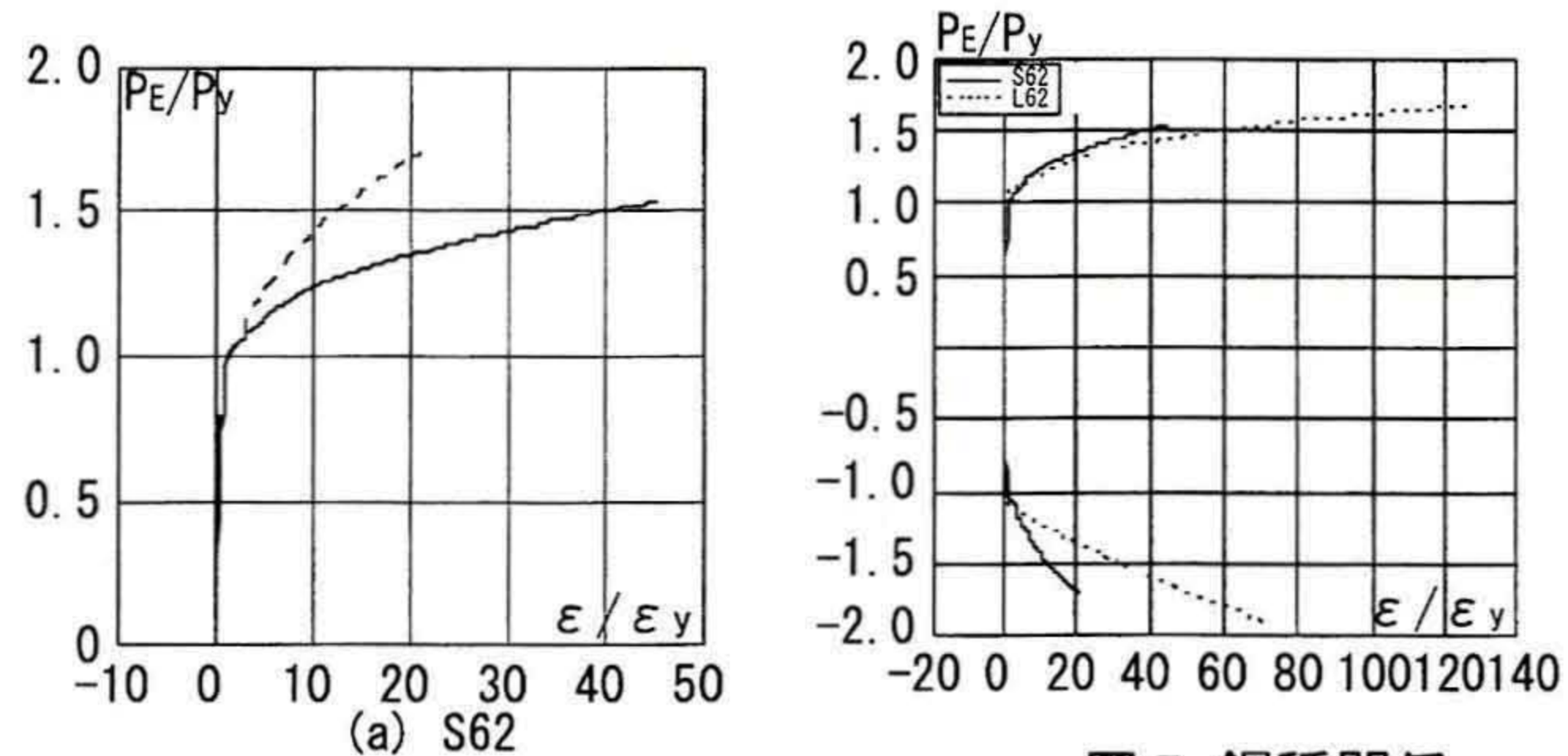


図 6 圧縮-引張関係  
(a) S62  
(b) S66  
(c) L72-1

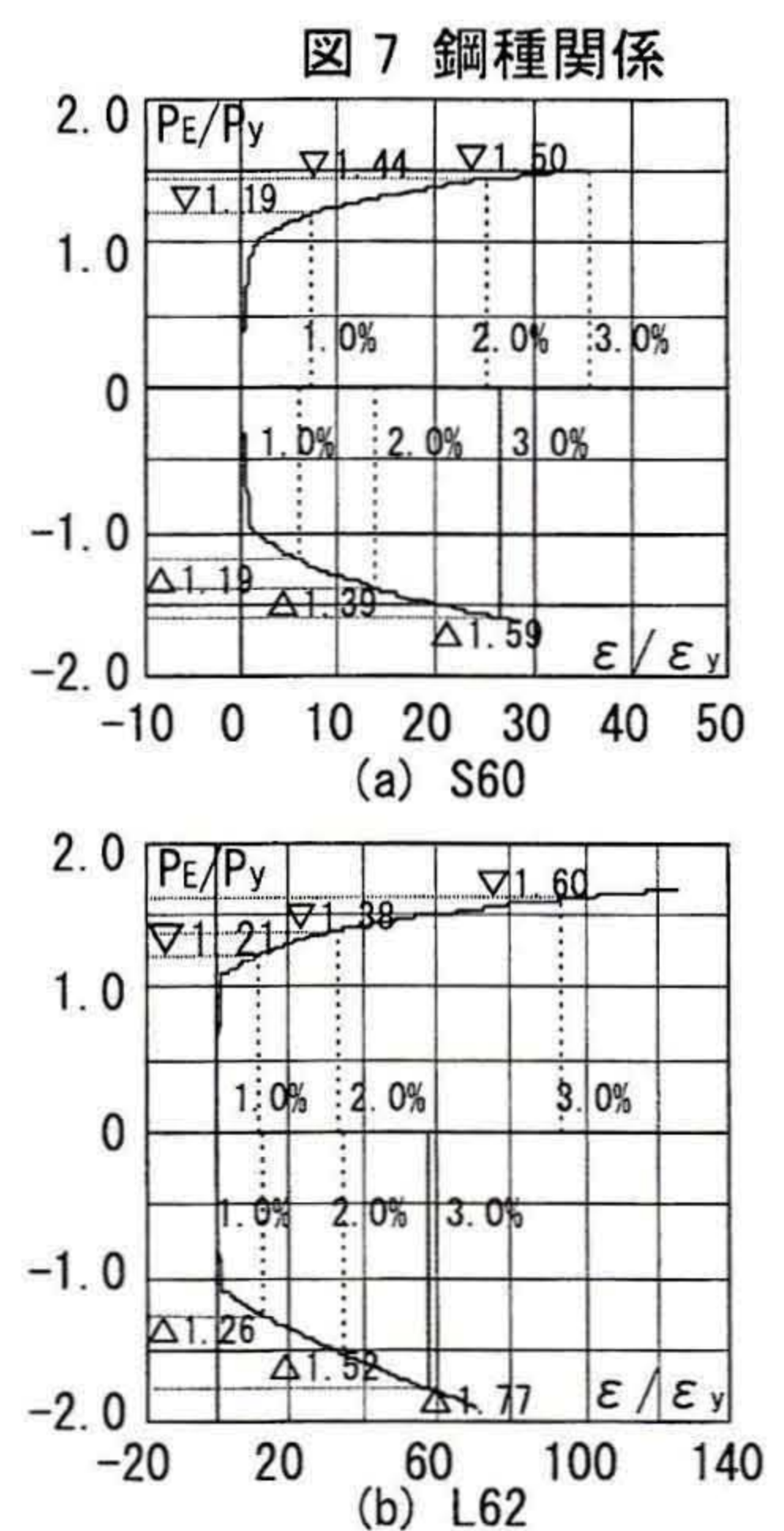


図 7 鋼種関係  
(a) S60  
(b) L62

### 参考文献

- 1) 加藤、秋山：鋼構造部材の耐力 (その 4)、AIJ 論文報告集 NO.151、pp.15-20、昭和 43 年 9 月
- 2) 竹内、宮崎：骨組に配置された座屈拘束ブレースの累積変形予測、AIJ 構造系論文集 No.603、pp.155-162、2006/5

\* 神奈川大学大学院博士前期過程  
\*\* 工学院大学建築学科准教授 博士 (工学)  
\*\*\* 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, Kanagawa University, Dr ENG