

# 座屈拘束ブレースの脆性破壊に関する実験的研究 —溶接を有する芯材の実験—

正会員 ○小川 健\* 同 中込 忠男\*\*  
同 村井 正敏\*\*\* 同 岩田 衛\*\*\*\*

屈拘束ブレース 脆性破壊 溶接  
歪速度 低温

## 1. 序

損傷制御構造のエネルギー吸収機構に用いられるダンパーの一つに、座屈拘束ブレースがある。現在、様々なタイプの座屈拘束ブレースの性能が確認され、実際に構造物に使用されている<sup>1)</sup>。近年、座屈拘束ブレースに対する大型化の要求が高まり、その芯材の板厚が厚肉になっている。また、芯材の形状には様々なものがあり、溶接で組立てられたものも多く存在している(図1)。

溶接金属の機械的性質は母材と異なり、溶接の凹凸による応力集中や、溶接欠陥などにより、座屈拘束ブレースの性能に悪影響を及ぼす恐れがある。また、熱影響部の性質はもとの素材から変化する<sup>2)</sup>。兵庫県南部地震では、厚肉断面部材が溶接熱影響部を起点に脆性破断した(写真1)。厚肉断面化した座屈拘束ブレース芯材の塑性化領域に溶接が存在する場合、直下型大地震のような衝撃的な引張力を受けると脆性破壊する恐れがある。このような場合、座屈拘束ブレースには、圧縮力を受けた時に座屈をしないという本来の性能の確保のみでなく、衝撃的な引張力に対しても脆性破壊しないで十分な塑性変形性能を発揮することが重要である。

本論では、座屈拘束ブレースの芯材の溶接をモデル化した実験を行い、溶接の有無による鋼材の基本的な引張特性を把握する。また、本実験に使用する鋼材の基本的な性質をより明確にするため、素材の引張試験及びシャルピー衝撃試験を行う。

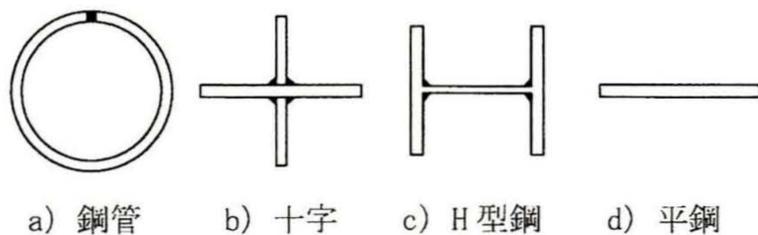


図1 芯材断面形状

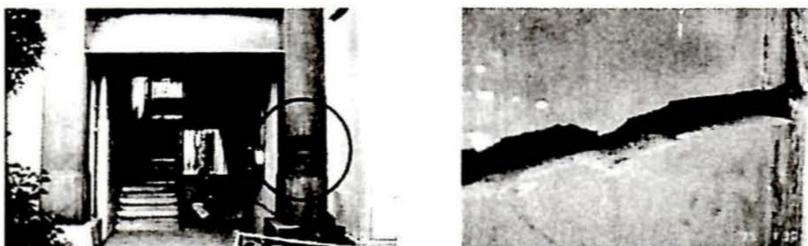


写真1 脆性破壊例

## 2. 実験概要

### 2.1 溶接のモデル化

実用化されている座屈拘束ブレースの芯材形状は多岐に渡るが、溶接が存在するものは、局部的に溶接が施されているもの、あるいは部材長方向に連続して溶接が施されているものの2種類に大別できる。本実験では、溶接が全く施されていないものを基本モデル、局部的に溶接が施されているものを局部溶接モデル、部材長方向に連続して溶接が施されているものを連続溶接モデルとする。

### 2.2 温度と歪速度

溶接箇所あるいはその付近には、溶接金属の不揃いや欠陥により、局部的に大きな歪速度が作用する。また、溶接の熱影響により鋼材の靱性が劣化することで脆性破壊が生じやすくなる。一般に温度と歪速度には、相関関係があることは知られているが<sup>3)</sup>、低温で載荷することにより、静的載荷においても脆性破壊を起こしやすい大きな歪速度とみなせる環境を作ることができると考え、温度を実験のパラメータとして設定する。

### 2.3 試験体

本実験で使用する鋼材は、ダンパー用鋼材として一般に用いられている、SN400B及びLY225とする。試験体形状を図2に示す。局部溶接モデルは拘束材との移動防止突起を想定した鋼材を隅肉溶接で塑性化領域の中央に取り付ける。連続溶接モデルは塑性化領域全長に渡り、隅肉溶接で十字断面形状にする。比較のため、各モデルの母材の断面積は統一する(864mm<sup>2</sup>)。ただし、局部溶接モデル、連続溶接モデルの溶接箇所は、溶接金属の分、断面積が大きい(936mm<sup>2</sup>)。

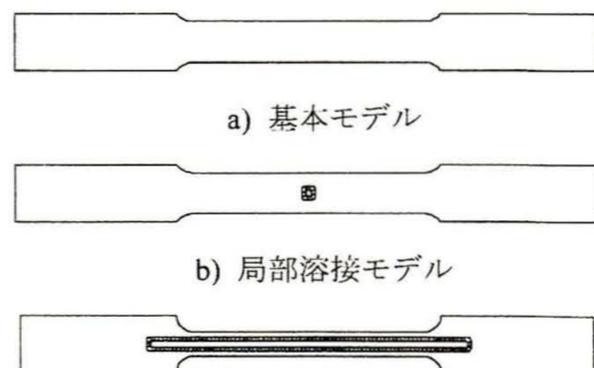


図2 試験体形状

## 2.4 素材試験結果

### (1) 引張試験

引張試験結果を表1に示す。

### (2) シャルピー衝撃試験

試験結果を図3に示す。

SN400B は温度が低くなるにつれ、徐々に吸収エネルギーは小さくなり、脆性破面率が大きくなっている。

LY225 の最大吸収エネルギーは、SN400B の約2倍である。ただし、LY225 の吸収エネルギーは遷移温度を境に急激に小さくなっている。

## 2.5 実験温度

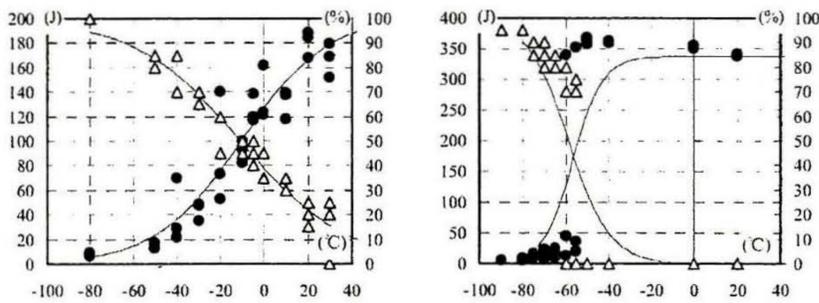
実験装置を図4に示す。実験は常温およびシャルピー衝撃試験から得られた遷移温度を目安にその前後で行う。試験体に冷却用の箱を取り付け、メタノールとドライアイス混ぜた冷媒を用いて温度を低下させる。また、試験体の3箇所熱伝対を取り付け、実験中、試験体全体が一定の温度を保つよう温度を管理する。

## 2.6 実験装置

1000kN 万能試験機を用いて、引張側のみの片側単調載荷とする。試験機のクロスヘッド間に変位計を設置し、試験体の伸びを測定する。

表1 引張試験結果

鋼種	試験片形状	降伏応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏比 (%)	破断伸び (%)
SN400B	1A号	296	428	69	32
LY225	5号	230	324	71	62



a) SN400B

b) LY225

図3 シャルピー衝撃試験結果

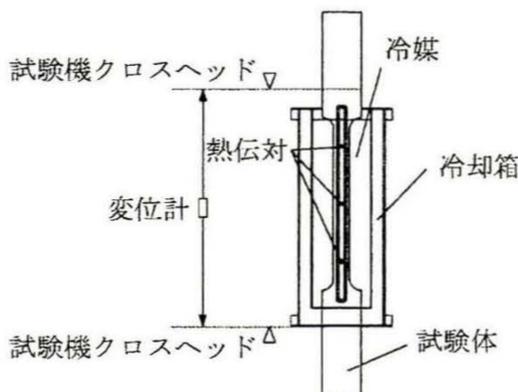


図4 実験装置

## 3. 実験結果および考察

実験結果一覧を表2に示す。ただし、降伏応力度、引張強さの算出では、連続溶接モデルのみ断面積を936mm<sup>2</sup>として計算している。

脆性破面率は両鋼種とも温度が下がるにつれて大きくなっている。連続溶接モデルは両鋼種ともに-60°Cでほぼ100%となっている。降伏応力度及び引張強さは、両鋼種ともに温度が下がるにつれて上昇している。LY225 の降伏比は温度が低いほど大きくなっている。破断伸びはSN400B は温度による変化はないが、LY225 は温度が低いほど小さくなる傾向がある。累積塑性歪エネルギーは温度による相関性はない。

表2 実験結果一覧

試験体		S	$\sigma_y$	$P_y$	Y	$\epsilon$	$E_t$	
鋼種	モデル	(%)	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	( $\sigma_y/P_y$ )	(%)	(kN·m)	
SN400B	基本	20	0	307	440	0.70	30	51
		-20	20	321	459	0.70	24	42
		-40	50	332	483	0.69	32	54
		-60	70	352	501	0.70	35	61
	局部溶接	20	5	307	439	0.70	33	52
		-10	5	321	457	0.70	23	40
		-40	45	337	488	0.69	32	51
		-60	70	360	508	0.71	30	53
	連続溶接	20	0	348	474	0.73	30	55
		-20	45	366	511	0.72	27	48
		-40	85	395	547	0.72	26	53
		-60	95	395	549	0.72	27	55
LY225	基本	20	5	245	348	0.70	43	42
		-10	0	301	398	0.76	37	51
		-60	50	358	412	0.87	37	55
	局部溶接	20	0	240	338	0.71	37	42
		-25	0	301	400	0.75	32	42
		-60	40	353	433	0.82	36	55
	連続溶接	20	5	287	387	0.74	38	56
		-40	20	338	449	0.75	30	49
		-60	95	390	481	0.81	31	56

S:脆性破面率  $\sigma_y$ :降伏応力度  $P_y$ :引張強さ

Y:降伏比  $\epsilon$ :破断伸び  $E_t$ :累積塑性歪エネルギー

## 4. 結

芯材の溶接モデル化実験及び素材試験を行い、以下の基礎的データを得た。

- 溶接モデル化実験において、基本モデルと局部溶接モデルはほぼ同じ実験結果を示す。連続溶接モデルは他のモデルに比べ、脆性破壊を起こしやすい。
- SN400B は温度による特性の変化は小さいが、LY225 は温度により特性が大きく変化する。

## 参考文献

- 独立行政法人 建築研究所：鋼構造建築物へのエネルギー活用マニュアル、技報堂出版、2008
- 中込忠男、辰巳雄介：溶接欠陥を有する溶接接合部の脆性破壊に関する破壊力学的研究、日本建築学会構造系論文集、2006.12
- 見波進：鋼材の応力歪関係の温度歪速度依存性と脆性延性破壊遷移、日本建築学会学術講演梗概集、1999.9

\* 神奈川大学工学研究科 大学院生  
 \*\* 信州大学工学部建築学科 教授・工学博士  
 \*\*\* 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 Student, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.  
 \*\* Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Shinshu Univ., Dr Eng  
 \*\*\* Technician, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.  
 \*\*\*\* Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ, Dr Eng.