

ボルト接合を用いたアルミニウム合金 BRB の低サイクル疲労実験

○名城大学大学院 学生会員 舟山 淳起 名城大学

王 春林

名城大学 フェロー 宇佐美 勉

1. 緒言

橋梁の耐震性向上には、制震ダンパーを用いることが非常に効果的な方法であるとされており、軸降伏型の制震ダンパーの一つとして座屈拘束ブレース（以下 BRB と称す）が挙げられる。著者らはこれまで、鋼製 BRB の高機能化^{1) 2)}を目的とした研究を数多く行ってきた。それに加え、軽量であることや耐食性が良好などの特徴を持つアルミニウム合金を素材に用いることで、さらなる BRB の高機能化が可能であると考え、素材に A5083P-O を適用し性能実験、数値解析的検討を行った³⁾。文献 (3) の実験結果より、設置場所を選択することで BRB として使用することも可能であると考えられるが、素材の特性としてひずみ硬化の影響が非常に大きい、端部リブの取り付けに溶接を使用したことによって応力集中が発生し写真-1 のように溶接止端部から亀裂が生じ破断するなどの課題が挙げられる。本研究では、これらの得られた知見から、ひずみ硬化の影響が少ない A6061S-T6 を素材に適用し、さらに溶接を一切使用せずボルト接合のみで BRB を製作し、一定または変動ひずみ振幅載荷のもと、低サイクル疲労実験を行った。



写真-1 破断写真
(素材: A5083P-O)

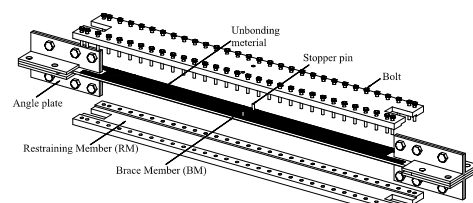


図-1 BRB 構成イメージ

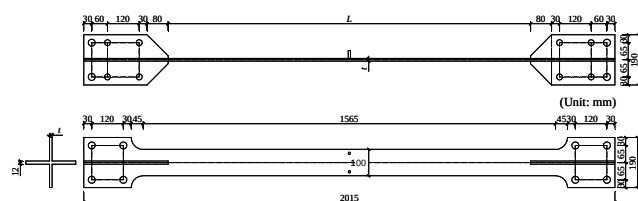


図-2 ブレース材寸法

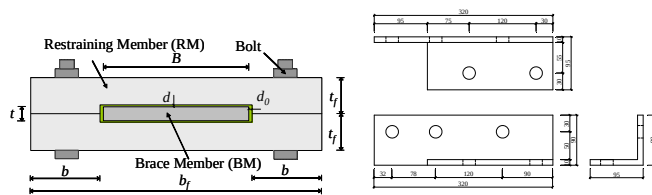


図-3 BRB 断面図

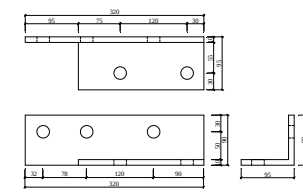


図-4 アングル材寸法

2. 実験概要

図-1 には、本研究で使用したアルミニウム合金 BRB の構成イメージを示す。ブレース材、拘束材にはアルミニウム合金の板材を使用し、合金種は A6061S-T6 を用いた。A6061S-T6 は耐食性に優れ、代表的な構造用材としても使用されている。ブレース材は図-2 に示す平型材を、拘束材は図-3 に示す断面形状を採用している。ブレース材の諸元を表-1 に、拘束材の諸量を表-2 に示す。ブレース材の端部リブとしては、既製品である 100X100X10 のアングルを図-4 の寸法に加工し利用した。組み立て方法は、ブレース材の端部にアングル材を 4 つ組み合わせたものをボルト接合し、ブレース材平行部にはアンボンド材を巻き付け、

表-1 ブレース材諸元

合金種	E (GPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_0 (MPa)	$\varepsilon_{0.2}$ (%)	ε_0 (%)	σ_u (MPa)	ε_u (%)	ν
A6061S-T6	72.1	273.8	246.5	0.58	0.342	300.9	7.82	0.33

Note: E =ヤング係数, $\sigma_{0.2}$ =0.2%耐力, σ_0 =比例限度力, $\varepsilon_{0.2}$ = $\sigma_{0.2}$ 時のひずみ,
 ε_0 =比例限度力時のひずみ, σ_y =降伏応力, ε_y =降伏ひずみ, ν =ポアソン比

表-2 拘束材諸量

合金種	E^R (GPa)	$\sigma_{0.2}^R$ (MPa)	b_f (mm)	b (mm)	t_f (mm)	隙間量 (mm)	
						面外 d	面内 d_0
A6061S-T6	72.1	274	200	48	25	1	2

Note: E^R =拘束材のヤング係数, $\sigma_{0.2}^R$ =拘束材の 0.2%耐力, b_f , b , t_f , d , d_0 は図-3 参照

拘束材で挟み込むように装着し高力ボルトで接合した。実験装置、方法は文献 (1), (2), (3) と同様である。荷重パターンは、一定、変動ひずみ振幅の 2 種類があり、供試体の変位をブレース材の平行部で除した平均ひずみ ε を用いて制御した。表-3 に示す供試体名の最後の数字が振幅量と対応している。なお、R1 はひずみ振幅が 1%, 2%, 2.5% と増加するもので、R2 は反対に減少するものとなっている。

表-3 実験結果

供試体	$\Delta\varepsilon/2$ (%)	$\Delta\varepsilon$ (%)	N_f	n_i	CID	载荷方法
A606-1.0	1.0	2.0	246	—	4.76	一定ひずみ 振幅
A606-2.0	2.0	4.0	18	—	1.02	
A606-2.5	2.5	5.0	5	—	0.369	
A606-3.0	3.0	6.0	2	—	0.171	
A606-R1	1.0	2.0	—	5	0.823	変動ひずみ 振幅
	2.0	4.0	—	10		
	2.5	5.0	—	2		
A606-R2	2.5	5.0	—	2	>2.65	
	2.0	4.0	—	10		
	1.0	2.0	—	100		

Note: $\Delta\varepsilon/2$ = ひずみ振幅, $\Delta\varepsilon$ = ひずみ範囲, N_f, n_i = 繰返し回数, CID = 累積塑性ひずみ

3. 実験結果

図-5 には平均応力-平均ひずみ関係を 1 例のみであるが A606-2.0 について示す。全ての供試体において全体座屈は生じることなく、文献 (3) (素材: A5083P-O) で顕著にみられたひずみ硬化の影響もみられなかった。圧縮側のループでみられる応力の増加は、ブレース材が面外変形することによって拘束材との間に発生する摩擦の影響¹⁾であると考えられる。写真-2 は A606-2.0 の実験終了後の破断部分の写真であり、図-6 は全供試体の破断箇所を示している。文献 (3) では全ての供試体で端部リブの溶接止端部から破断しているが、本実験では全ての供試体でブレース材の中央部に破断箇所が移行していることがわかる。表-3 には全供試体の実験結果をまとめたものを示す。ひずみ振幅 2% 以下の供試体では、高機能 BRB の目標性能の一つである $(CID)_{lim}=0.7$ を大幅に上回っていることがわかる。変動ひずみ振幅で実験を行った 2 つの供試体においても目標性能 ($\varepsilon_u=0.03$, $(CID)_{lim}=0.7$) に近い結果が得られた。

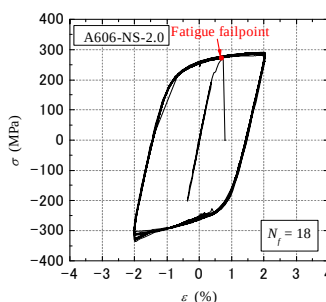


図-5 A606-2.0



写真-2 A606-2.0

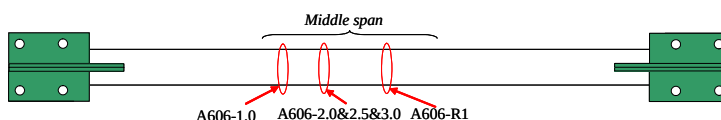


図-6 破断箇所

4. 結言

高機能 BRB のさらなる性能向上を目的として、軽量、耐食性が良好であるなどの特徴を持つアルミニウム合金を用い、さらには、アルミニウム合金製 BRB にとって弱点となる溶接を一切使用せずにボルト接合のみで BRB を製作し、低サイクル疲労実験を行った。全ての供試体において全体座屈が生じることなく、一定ひずみ振幅 2% 以下の供試体では非常に大きい累積塑性ひずみ (CID) を得ることができた。変動ひずみ振幅荷重で実験を行った 2 つの供試体の結果からは、高機能 BRB に対して設定された目標性能に近い性能を確保できると言える。今後の課題としては、アルミニウム合金を使用する際に問題となる異種金属接触腐食⁴⁾に対する検討等が考えられる。

参考文献

(1) 宇佐美勉, 佐藤崇, 葛西昭: 高機能座屈拘束ブレースの開発研究, 構造工学論文集, 土木学会 Vol.55A, pp.719-729, 2009.3 (2) 舟山淳起, 王春林, 宇佐美勉: 溶接部の仕上げによる鋼製 BRB の低サイクル疲労性能向上効果, 構造工学論文集, 土木学会 Vol.57A 投稿中 (3) 佐藤崇, 宇佐美勉, 倉田正志: 構造用アルミニウム合金 BRB の性能実験と解析, 土木学会論文集 A, Vol.66(2010), pp.356-367 (4) 日本アルミニウム協会: アルミニウムハンドブック, 2007.1