

溶接を用いないアルミニウム 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

近年、土木分野においても制震ダンパーに関する研究が多く行われるようになってきた¹⁾²⁾。著者らも過去に、軽量、耐食性が良好であることなどの特徴を持つアルミニウム合金 (A5083P-O) を素材に用いた座屈拘束ブレース (以下 BRB と称す) の性能実験、数値解析的検討を行った³⁾。文献 (3) の実験結果より、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た。そこで、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、溶接を一切使用せずにボルト接合のみで BRB を製作して低サイクル疲労実験を行い、低サイクル疲労寿命曲線を求めた。さらに、累積疲労損傷度式 D を用いた新しい照査法を提案した。



写真-1 破断写真
(素材：A5083P-0)

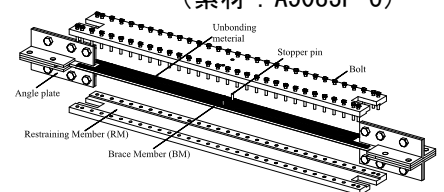


図-1 BRB 構成イメージ

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。ブレース材の端部リブとして、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、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。载荷パターンは、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-1 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。

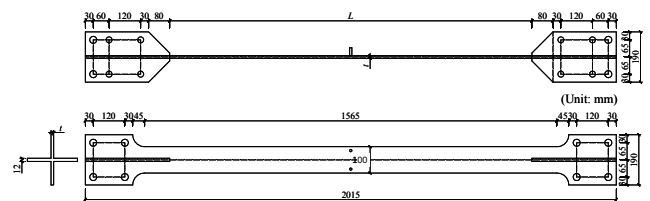


図-2 ブレース材寸法

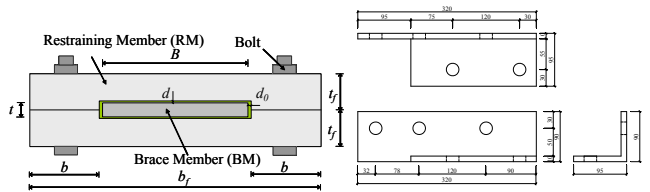


图-3 BRB 断面图

図-4 アングル材寸法

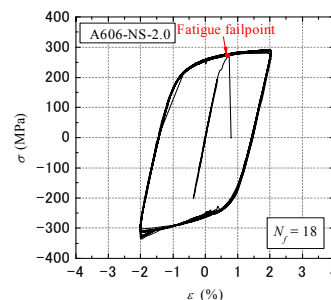


图-5 A606-2.0



写真-2 A606-2.0

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

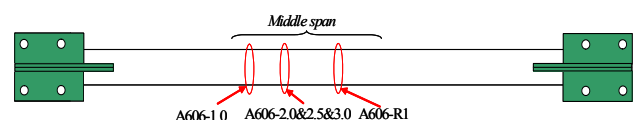


图-6 破断箇所

キーワード： アルミニウム合金，ボルト接合，低サイクル疲労照査

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 名城大学理工学研究科建設システム専攻

著にみられたひずみ硬化の影響もみられなかった。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-1 には全供試体の実験結果をまとめたものを示す。A606-R2 に関しては、十分な性能を確保していることが確認できたため 100 サイクルに達したところで载荷を終了した。

表-1 実験結果

供試体	$\Delta\varepsilon/2$ (%)	$\Delta\varepsilon$ (%)	N_f	n_i	CID	D	载荷方法
A606-1.0	1.0	2.0	246	—	4.76	1.26	一定ひずみ 振幅
A606-2.0	2.0	4.0	18	—	1.02	1.79	
A606-2.5	2.5	5.0	5	—	0.369	1.29	
A606-3.0	3.0	6.0	2	—	0.171	1.11	
A606-R1	1.0	2.0	—	5	0.823	1.65	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	2.03	
	2.0	4.0	—	10			
	1.0	2.0	—	100			

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

4. 低サイクル疲労寿命曲線

多くの材料について低サイクル疲労における寿命 N_f は、一定塑性ひずみの範囲 ϵ_p に支配されており、次式の Manson-Coffin 則が成り立つとされている。なお全ひずみ範囲は塑性ひずみ範囲とほぼ等しく、実用性を考え全ひずみ範囲として考える。

$$\Delta\epsilon = C \cdot (N_f)^{-k} \quad (1)$$

ここで N_f : 破断繰り返し数, C, k : 材料定数, $\Delta\epsilon$: 全ひずみ範囲である。本実験で得られた結果も式(1)に適用できるとし、材料定数 C, k を非線形最小二乗法によって求めると、 $C=0.070, k=0.214$ が得られる。図-7 は縦軸にひずみ範囲 $\Delta\epsilon$ と、横軸に破断までの繰り返し数 N_f を両対数グラフにプロットし、求めた式(1)を表したものである。

5. 累積疲労損傷度式

Manson-Coffin 則を使用した低サイクル疲労強度予測手法の1つとして Miner 則があげられ、次式で表される。

$$D = C^{-1/k} \cdot \sum n_i \cdot (\Delta\epsilon_i)^{1/k} \quad (2)$$

式(2)に、材料定数 C, k を代入した式を用い、本実験供試体の損傷度 D を算出した結果を表-1 に示す。全ての供試体で $D > 1.0$ となり、本実験の提案式は安全側になっていることがわかる。一方、CID で照査を行った場合、ひずみ振幅 2.5%以上の供試体では、文献(1)で提案されている要求性能 ($CID > 0.7$) を満たしていないことになる。そこで、今回提案している累積疲労損傷度式 D を用いて照査を行うことによって、低サイクル疲労を防止することができるため、この照査方法は妥当であると考えられる。

6. 結言

素材にアルミニウム合金を用い、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。そして、従来の照査法に代わる、累積損傷度式 D を用いる照査法を提案した。

参考文献

- (1) 宇佐美ら：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) 舟山ら：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, pp.565-578, 2011.3
- (3) 佐藤ら：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, pp.356-367, 2010

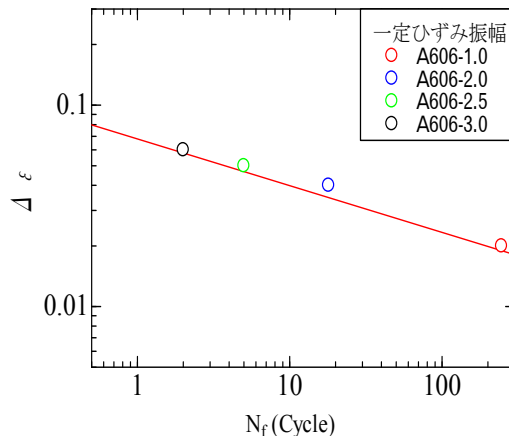


図-7 疲労寿命曲線