2117 アルミニウム合金製大径リベットの開発とその強度特性

萩澤 亘保*・大倉 一郎**
岩田 節雄***・北村 幸嗣****

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 56, No. 8 (2006), pp. 441-447

Development of 2117 aluminum alloy rivets of large diameter
and their strength propertiesNobuyasu HAGISAWA*, Ichiro OKURA**
Setsuo IWATA*** and Koji KITAMURA****

In this study, 2117 aluminum alloy rivets of large diameter are produced and investigated on the properties of strength of them. Extruded round bars are used for the rivets of 22 mm in nominal diameter. First, the forming and heat treatment conditions not so as to generate large grains in the section of the rivets are examined. Next, it is shown that by pressing under cold condition the end of the shank of the rivets into the flat head of 32 mm in diameter and 10 mm in height, the hole of 22.8 mm in diameter is full of the rivet. The static loading and fatigue tests for the joints fabricated by the developed rivets provide the shear strength and the fatigue strength in shear of the rivets.

(Received January 30, 2006 Accepted May 2, 2006)

Keywords: rivet, 2117 aluminum alloy, shear strength, fatigue strength

1. はじめに

平成5年に改正された道路構造令第35条の設計自動車荷重の196 kNから245 kNへの変更に伴い、既存橋の補強対策が進められている。この有効な対策の一つとして、コンクリート床版を、軽量なアルミニウム合金製床版で取り替えることにより、自動車荷重の増加分と相殺させることが考えられる¹⁾。また、ライフサイクルコストを重視する近年の傾向から維持管理コストが少なくすむアルミニウム橋、その他、アルミニウム社会基盤構造物が検討されている。しかし、これらの補強対策や構造物を建設するためには、アルミニウム合金部材の接合問題を避けて通ることができない。

アルミニウム合金部材の接合には、MIG溶接、摩擦撚拌接合、およびボルトやリベットなどの機械的接合がある。この中でもMIG溶接が広く用いられてきたが、MIG溶接の疲労強度は非常に低いことが知られている。そのため、著者らは摩擦撚拌接合で製作されたアルミニウム床版の疲労特性に関する研究を実施し、摩擦撚拌接合部の疲労強度がMIG溶接部のそれよりも格段に高いことを示した²⁾。摩擦撚拌接合は、長尺なアルミニウム合金部材を平行に並べ、それらの長辺同士を長手方向に接合するには有効な接合法である。しかし、接合装置の能力から、平行に並べるアルミニウム合金部材の数は制限される。この対策として、摩擦撚拌接合で製造され

たブロックをリベットで接合して組立てていく方法が考えられる。リベットに使用する材料として、鋼ではなくてアルミニウム合金を用いることによって異種金属接触腐食を回避することができる。

橋や社会基盤構造物は大型であり、作用荷重が大きいため、部材を接合するリベットには、直径が22 mm程度の大径のものが要求される。しかし、そのような大径のアルミニウム合金製リベットの事例は、これまで見られない。

本研究では、社会基盤構造物に適用できる大径22 mmのアルミニウム合金製リベットを開発し、従来、鋼リベットの現場接合で用いられていた、リベットの加熱後にリベッティングハンマでかしめ成形する方法ではなく、プレス機を用いた冷間成形によるかしめ方法が可能であることを示した。また、試作したアルミニウム合金製リベットを用いて作製した継手試験片の引張試験および疲労試験からリベットのせん断強さとせん断疲労強度を明らかにした。

2. アルミニウム合金製リベットの製作

2.1 アルミニウム合金製リベット材

リベットは、棒の片方の端に頭を成形し、被接合部材に開けられた孔に他方の端を通し、反対側に突出した棒の端を圧縮してかしめ頭を成形することにより部材を接合するものである。被接合部材に開けられた孔は、リベットの軸径より大

* 日本軽金属(株)グループ技術センター (〒421-3291 静岡県静岡市清水区蒲原 1-34-1)。Research & Development Center, Nippon Light Metal Company, Ltd. (1-34-1 Kambara, Shimizu-ku, Shizuoka-shi, Shizuoka 421-3291)。

** 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 (吹田市)。Osaka University, Graduate School of Engineering, Department of Civil Engineering (Suita-shi, Osaka)。

*** 金沢工業大学工学実技教育 (石川郡)。Kanazawa Institute of Technology, Fundamental Laboratory for Engineering Education (Ishikawa-gun, Ishikawa)。

**** 日立造船(株)技術研究所 (大阪市)。Technical Research Institute, Hitachi Zosen Corporation (Osaka-shi, Osaka)。

Table 1 Chemical compositions of aluminum alloys for rivet (mass%)

Aluminum alloy		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
A2117	JIS	≤0.8	≤0.7	2.2~3.0	≤0.20	0.20~0.50	≤0.10	≤0.25	≤0.05
	Measured	0.31	0.15	2.5	≤0.01	0.34	≤0.01	≤0.01	≤0.01
A5056	JIS	≤0.30	≤0.40	≤0.10	0.05~0.20	4.5~5.6	0.05~0.20	≤0.10	≤0.05
A5N02	JIS	≤0.40	≤0.40	≤0.10	0.30~1.0	3.0~4.0	≤0.50	≤0.10	≤0.20
A6061	JIS	0.40~0.8	≤0.7	0.15~0.40	≤0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	≤0.25	≤0.15

Table 2 Mechanical properties of aluminum alloys for rivet

Aluminum alloy			Diameter d (mm)	Tensile strength (MPa)	0.2% proof stress (MPa)	Elongation (%)
A2117-T4	Bar	Measured	$d=22$	307	156	34
A2117-T4	Wire	JIS H 4040	$3<d\leq 10$	≥265	≥125	≥18
A5056BD-O		JIS H 4040	$3<d\leq 100$	≤315	≥100	≥20
A5N02BD-O		JIS H 4040	$d\leq 25$	≥225	—	≥20
A6061BD-T6		JIS H 4040	$3<d\leq 100$	≥295	≥245	≥10

きいが、圧縮されることによりリベットは孔に充填する。このように、リベットは過酷な塑性変形を受ける。また、使用される場合には耐食性も必要であることから、本研究では、リベット材として A2117-T4 の押出棒を用いた。

日本アルミニウム協会が制定したアルミニウム合金土木構造物設計・製作指針案³⁾では、リベット材として A5056BD-O、A5N02BD-O および A6061BD-T6 を規定している。これらのアルミニウム合金ならびに A2117-T4 の化学成分と機械的性質をそれぞれ **Table 1**、**Table 2** に示す。

リベット材として A2117-T4 の押出棒を選定した理由を次に記す。

(1) Table 1 に示すように、A5056 と A5N02 は Mg を 3% 以上含む。3% 以上の Mg を含む A5056-O と A5N02-O を冷間で頭成形やかしめ成形して加工硬化させると、剥離腐食や応力腐食割れを起こす可能性がある⁴⁾。

(2) A2117 は、2000 系合金の中では Cu の含有量が少ないので耐食性がよい。また、Mg の含有量も少ないので、耐応力腐食割れ性もよい。

(3) Table 2 に示すように、A6061-T6 は伸びが小さいので、冷間で頭の成形が困難であることが予想される。

(4) Table 2 に示すように、測定された A2117-T4 の押出棒の強度と伸びは、線材である A2117W-T4 に対して JIS H 4040⁵⁾ で規定される規格値より高い。

(5) 呼び径 22mm のリベットの軸径は、21.8~22.8mm と許容差が 1mm あるので⁶⁾、素材に引抜線を使う必要はなく押出棒で十分である。

2000 系アルミニウム合金は自然時効硬化を起こす。A2117-T4 の押出棒の、溶体化処理後のビッカース硬さの変化を **Fig. 1** に示す。A2117-T4 の硬さは約 150 時間で最高に達する。Table 2 に示す A2117-T4 の押出棒の機械的性質は、押出棒を製造してから 150 時間以上経過後の測定値である。

2.2 リベットの製作と機械的性質

リベットの規格には、JIS B 1213「冷間成形リベット」と

Fig. 1 Natural aging of A2117-T4. **Fig. 2** Dimensions of rivet.

JIS B 1214「熱間成形リベット」があり、アルミニウム合金製リベットは前者に規定されている。ここでいう冷間成形とは、リベット製作時に、冷間で頭部を成形することを意味し、冷間で被締結部材のかしめ成形を行うことを意味するものではない。本研究で対象とした、軸径が 22mm のリベットの形状を **Fig. 2** に示す。リベットの形状は、JIS B 1213「冷間成形リベット」で規定される丸リベットの形状に従っている。

製作時に、頭部の成形を冷間で行うには 2 つの方法が考えられる。A2117-T1 の押出棒に冷間で頭部を成形した後 T4 処

Fig. 3 Macroscopic structure of rivet. (a) T4 treatment after cold forming, (b) Cold forming after T4 treatment.

Table 3 Measured mechanical properties of completed rivet

Tensile strength (MPa)	0.2% proof stress (MPa)	Elongation (%)
298	172	33

理する方法と、A2117-T4 の押出棒に冷間で頭部を成形する方法である。

2つの方法で試作したリベットの断面のマクロ組織写真を**Fig. 3 (a), (b)**に示す。**Fig. 3 (a)**は頭部成形後にT4処理したリベットの断面のマクロ組織写真、**Fig. 3 (b)**はT4処理後に頭部成形したリベットの断面のマクロ組織写真である。T4処理の条件は、495°Cに2時間保持後に水冷である。頭部の成形時には、成形後にリベットを金型から抜きやすくなるため、どちらの場合も押出棒を170°Cに加熱した。

Fig. 3 (a)では、首下から若干離れた場所に粗大な結晶が生じている。この部分には加工ひずみが十分に作用しなかったため、T4処理で核生成が十分でなく、粗大な再結晶が生じている。頭の部分には、大きな加工ひずみが作用したので、T4処理で微細な再結晶が生じている。首下から十分離れた軸の部分にはほとんど加工ひずみが作用しなかったため、T4処理によって再結晶は生じていない。粗大結晶が生じたリベットを軸方向に圧縮すると、粗大結晶が生じた箇所の軸表面の円周各部に軸方向の割れが発生する。**Fig. 3 (b)**には粗大な結晶はみられないので、圧縮を受けても割れは発生しない。以上から、本研究ではA2117-T4の押出棒に冷間で頭部を成形することにした。

製作後のリベットの軸径は22.3~22.4mmで、JIS B 1213⁶⁾で規定される許容値の21.8~22.8mm以内にあった。製作後のリベットから採取した試験片の機械的性質を**Table 3**に示す。試験片の形状は、頭部も含めた全長115mmのリベットから削り出した、全長115mm、平行部の長さおよび直径がそれぞれ40mm、6mmのJIS 14A号試験片である。製作後のリベットの引張強さと伸びは、**Table 2**に示すA2117-T4押出棒とほぼ同じである。

Fig. 4 Test of head toughness.

Fig. 5 Specimens before and after test of shank toughness.

2.3 リベットに要求されるじん性

JIS B 1213「冷間成形リベット」に従って、リベットの頭部と軸部のじん性を調べた。頭部に要求されるじん性は、**Fig. 4**に示すように、垂直線に対して10度傾斜した試験用治具の孔にリベットを差し込み、座面が平面に密着するまで常温で頭部を打撃した後、頭部と軸部との付け根に切損、首下丸み部に割れがあってはならない。

軸部に要求されるじん性は、リベットの軸部から、軸部の直径の1.5倍の長さの試験片を採取し、長さが軸部の直径の3分の1になるまで常温で軸心方向に圧縮を加えた後、扁平になった試験片の周辺に割れが生じてはならない。本研究では、軸部の直径が22mmであるので、長さが33mmの丸棒を、長さが7.3mmまで圧縮することになる。

試験の結果、頭部および軸部に切損や割れはみられず、リベットに要求されるじん性が満たされている。両試験結果のうち、軸部の結果を**Fig. 5**に示す。

3. アルミニウム合金製リベットのかしめ

3.1 リベットの孔とかしめ頭の形状

本研究で用いたリベット材A2117-T4と同程度の機械的性質を有するA5056-Oのリベットを加熱後、リベッティングハンマでかしめ成形する方法では、リベットの軸部の直径が20mm以上になると、かしめ成形することができない⁷⁾。そこで、リベットによる被締結材のかしめは、冷間の状態でプレス機により行った。リベットのかしめ頭としては、一般に半球頭または平頭が用いられる。半球頭の成形荷重は、平頭のその2倍以上高くなるので⁸⁾、本研究では、プレス機の容量を下げるために平頭を採用した。

リベットの孔径と平頭の形状については、米国アルミニウ

ム協会が制定した AA 基準⁹⁾に規定されている。リベットの呼び径を d とすると、AA 基準では、冷間でかしめる場合のリベット孔径は $1.04d$ 以下、平頭の直径は $1.4d$ 以上、高さは $0.4d$ 以上と規定されている。本研究で対象とするリベットの呼び径は 22mm であるので、リベット孔径は 22.88mm 以下、平頭の直径は 30.8mm 以上、高さは 8.8mm 以上になる。以上から、Fig. 6 に示すリベット孔径 d_1 を 22.8mm、かしめ頭の直径 D を 32mm、高さ H を 10mm とした。Fig. 6 において、かしめる板を上から順に上板、中板、下板と呼ぶ。

3.2 かしめ試験

リベットの孔への充満度を調べるために、Fig. 7 (a) に示すように、アルミニウム板を 3 枚重ね、それらを Fig. 7 (b) に示すように、3 本のリベットでかしめた。アルミニウム板

Fig. 6 Cross section of riveted joint.

Table 4 Aluminum alloy and thickness of riveted plates

Aluminum alloy	Thickness (mm)		Total thickness (mm)
	t_1	t_2	$G=2t_1+t_2$
A5083P-O	4	8	16
	8	15	31
A6061P-T6	4	8	16
	8	15	31

は、3 枚ともに A5083P-O および A6061P-T6 の 2 種類である。かしめ厚さは 16mm と 31mm の 2 種類である。板の材質と調質および板厚を Table 4 に示す。使用した被締結材である A5083P-O と A6061P-T6 の機械的性質を Table 5 に示す。

リベットをかしめる場合のリベットの首下長さ L は、かしめ厚さを G として、Fig. 6 のかしめ前の破線部の体積とかしめ後の軸部と頭部の体積が等しいという条件から、次式より求めた。

$$L = \frac{d_1^2 G + D^2 H}{d^2} \quad (1)$$

この式から求められるかしめ厚さ 16mm と 31mm に対するリベット首下長さは、それぞれ 38.3mm, 54.5mm になる。リベットの首下をこれらの長さに切断し、孔にリベットを挿入

Table 5 Measured mechanical properties of plates (JIS 14B specimen)

Aluminum alloy	Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	0.2% proof stress (MPa)	Elongation (%)
A5083P-O	4	317	150	23
	8	303	147	28
	15	300	148	29
A6061P-T6	4	331	291	14
	8	297	266	17
	15	327	298	21

Fig. 8 Pressed head of rivet.

(a)

(b)

Fig. 7 Riveted plates. (a) Thickness of plates, (b) Dimension of plates.

Fig. 9 Cross section of riveted plates. (a)A5083P-O Total thickness 31 mm, (b)A5083P-O Total thickness 16 mm, (c)A6061P-T6 Total thickness 31 mm, (d)A6061P-T6 Total thickness 16 mm

Table 6 Measured values of diameter of pressed head

Aluminum alloy	Total thickness (mm)	Head diameter at middle plate (mm)		
		Location in Fig. 7 (b)		
		Left	Center	Right
A5083P-O	16	31.9	31.9	32.0
	31	31.7	31.7	31.7
A6061P-T6	16	32.4	32.3	32.3
	31	31.6	32.4	31.9

Table 7 Measured enlargement of rivet hole

Aluminum alloy	Thickness (mm)	Dimensions on hole after riveting (mm)		
		Plate	Diameter	Enlargement
A5083P-O	16	Upper	22.9	0.1
		Middle	24.0	1.2
		Lower	24.6	1.8
	31	Upper	23.1	0.3
		Middle	23.6	0.8
		Lower	24.7	1.9
A6061P-T6	16	Upper	23.0	0.2
		Middle	23.2	0.4
		Lower	23.5	0.7
	31	Upper	23.1	0.3
		Middle	23.3	0.5
		Lower	23.6	0.8

する。Fig. 7(a) に示すように、リベットの球形の頭を金型で支え、反対側のリベット軸先端を平らな金型で、高さが10 mm になるまで圧縮してかしめ頭を成形する。かしめ頭の成形荷重は、かしめ厚さが16 mm の場合に500 kN、31 mm の場合に550 kNであった。成形されたかしめ頭をFig. 8 に示す。かしめ部の断面をFig. 9 に示す。リベットは孔に充満していることがわかる。

かしめ頭の直径の測定結果をTable 6 に示す。かしめ頭の

Fig. 10 Specimen for static tensile shearing test.

高さの測定値はすべて10 mm であった。重ねた3枚の板の各板の板厚中央におけるリベット孔の拡がりの測定結果をTable 7 に示す。Fig. 9 および Table 6, Table 7 から次のことがわかる。

(1) 被かしめ材の材質に関して

A5083P-O では、かしめ頭が板に陥没し、板が面外に曲がる挙動が観察される。この挙動は板厚が薄い方が顕著である。A6061P-T6 では、このような挙動は観察されない。リベットのかしめによる孔の拡がりは、A6061P-T6 より A5083P-O の方が大きい。このため、かしめ頭の径は A6061P-T6 より A5083P-O が小さい。これらは、A5083P-O の0.2% 耐力が A6061P-T6 のそれより低いためである。

(2) かしめ厚さに関して

かしめ頭の径とかしめによる孔の拡がりに対して、かしめ厚さの違いによる影響は小さい。

(3) かしめ厚さ方向のリベット孔径に関して

孔の拡がりは、Fig. 6 に示す上板、中板、下板の順で大きくなる。これは、かしめ頭側の材料の半径方向の拘束が緩いためである。中板の径の拡がりは、A5083P-O では1.0 mm、A6061P-T6 では0.5 mm である。前者の径の拡がりは、後者の2倍である。これは、A5083P-O の0.2% 耐力が A6061P-T6 のそれより低いためである。

4. アルミニウム合金製リベットのせん断強さとせん断疲労強度

4.1 せん断強さ

本研究で開発した2117 アルミニウム合金製リベットのせん断強さを明らかにするために、静的引張せん断試験を行った。試験片の形状と寸法をFig. 10 に示す。試験片の全長と幅はそれぞれ861 mm、115 mm、母材の板厚は15 mm、添接板の板厚は8 mm で、厚さの合計は31 mm である。

Table 8 Measured mechanical properties of specimens for shear tests (JIS 14B specimen)

Aluminum alloy	Thickness (mm)	Tensile strength (MPa)	0.2% proof stress (MPa)	Elongation (%)
A5083P-O	8	314	154	25
	15	306	148	22
A6061P-T6	8	340	324	17
	15	329	300	15

Fig. 11 Relation between load and displacement.

アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針案³⁾では、母材および添接板の材端と材縁が破壊しないように、リベット孔の中心から材端までの距離およびリベット孔の中心から材縁までの距離をそれぞれ2倍以上、1.5倍以上とるよう規定している。したがって、Fig. 10に示すように、リベット孔の中心から材端までの距離を69mm、リベット孔の中心から材縁までの距離を57.5mmとしている。リベット孔は、直径22.8mmのドリル仕上げである。母材と添接板の材料にはA5083P-OとA6061P-T6を用いた。これらの材料の機械的性質をTable 8に示す。試験片は各3体である。

荷重と変位の関係の例をFig. 11に示す。変位は、試験片の中央から150mm ずつ離れた添接板を挟んだ300mm間の値である。Fig. 11からわかるように、荷重と変位の関係が初期から直線的に立ち上がっているため、リベットは孔に充満している。

試験片は、すべてFig. 12に示すように、リベットのせん断破壊で破断した。リベットがせん断破壊したときの荷重および、そのときのリベットに生じるせん断応力、すなわち、リベットのせん断強さをTable 9に示す。ここで、リベットのせん断強さは次式から計算される。

$$\tau_B = P_B / (2A_h) \quad (2)$$

ここで、 τ_B ：リベットのせん断強さ

P_B ：リベットがせん断破壊したときの荷重

A_h ：リベット孔の断面積

式(2)において、リベット孔の断面積を2倍にしているのは、Fig. 12に示すように、上板と中板との界面の位置およ

Fig. 12 Broken rivet due to shear.**Table 9** Shear strength of rivets

Specimen		Load at failure P_B (kN)	Shear strength of rivet τ_B (MPa)	τ_B / σ_B
Aluminum alloy	No.			
A5083P-O	1	176	216	0.72
	2	176	216	0.72
	3	178	218	0.73
	Mean	177	217	0.73
A6061P-T6	1	168	206	0.69
	2	170	208	0.70
	3	173	212	0.71
	Mean	170	208	0.70

Fig. 13 Specimen for fatigue.

び中板と下板との界面の位置、すなわち2つの界面の位置でリベットがせん断力に抵抗しているからである。また、リベットの抵抗断面積としてリベットの軸径に関する断面積でなく、リベット孔に関する断面積を採用しているのは、前述したように、リベットが孔に充満しているからである。

リベットの引張強さ σ_B (Table 3参照)に対するせん断強さ τ_B の比、すなわち τ_B / σ_B の値をTable 9に示す。この値は、試験片がA5083P-Oの場合0.73、A6061P-T6の場合0.70である。鋼製の母材と添接板を鋼製リベットで接合した場合、鋼製リベットの τ_B / σ_B が0.75になることが実験的に明らかにされている¹⁰⁾。ただし、この場合、リベットの抵抗断面積として、リベットの軸径に関する断面積が採用されている。リベットの抵抗断面積の採り方に違いがあるが、アルミニウム合金製リベットの τ_B / σ_B は鋼製リベットのそれに近い。

4.2 せん断疲労強度

本研究で開発した2117アルミニウム合金製リベットのせん断疲労強度を明らかにするために、Fig. 13に示す試験片に

Table 10 Results of fatigue test (Stress ratio=0.1)

Specimen	Number of cycles N	Load range ΔP (kN)	Shear stress range $\Delta \tau$ (MPa)
1	5.04×10^4	128.7	158
2	2.23×10^5	121.2	148
3	2.37×10^6	84.6	104
4	2.12×10^6	77.5	95
5	7.40×10^6	65.2	80

Fig. 14 S-N curve.

対して引張せん断疲労試験を行った。疲労試験機の能力のために、試験片の幅が、静的引張せん断試験の場合の試験片 (Fig. 10 参照) の幅より小さくなっている。応力比が 0.1 で疲労試験を実施した。

母材と添接板が A5083P-O の試験片では、リベットではなくて母材が疲労で破断した。母材と添接板が A6061P-T6 の試験片では、リベットがせん断疲労で破壊した。長寿命領域のデータを採取していないので、疲労限については考察ができない。この結果を **Table 10** に示す。ここで、せん断応力範囲 $\Delta \tau$ と荷重範囲 ΔP は次式から計算される。

$$\Delta \tau = \Delta P / (2A_b) \quad (3)$$

$\Delta \tau$ と N の関係を S-N 関係で表すと **Fig. 14** になる。 $\log(\Delta \tau)$ を独立変数、 $\log N$ を従属変数として、最小二乗法によって決定されたリベットの S-N 曲線が次式で与えられる。

$$\Delta \tau = 861 \times N^{-0.1486} \quad (4)$$

この式から、繰返し回数 10^7 に対するリベットの疲労強度は 78MPa である。

5. 結 言

社会基盤構造物にアルミニウム合金を適用するために、軸径 22mm の大径アルミニウム合金製リベットを開発し、リベット継手試験片によりそのせん断強さとせん断疲労強度を明らかにした。主な結論は次の通りである。

(1) 冷間成形アルミニウム合金製リベット材として A2117-T4 の押出棒を、T4 処理後に頭部の成形を行うことにより、粗大な結晶が生じないリベットを製作することができる。

(2) A2117-T4 の押出棒で製作されたアルミニウム合金製リベットは、JIS B 1213 「冷間成形リベット」に規定される、頭部および軸部に対するじん性要求を満足する。

(3) A2117-T4 のアルミニウム合金製リベットに関して、リベット孔径を 22.8mm、径と高さがそれぞれ 32mm、10mm の平頭のかしめ頭で、冷間で、プレスにより、リベットを孔に充満させることができる。

(4) A2117-T4 のアルミニウム合金製リベットに関して、かしめ前のリベットの引張強さに対する、かしめ後のせん断強さの比は、母材と添接板が A5083P-O の場合 0.73、母材と添接板が A6061P-T6 の場合 0.70 である。

(5) A2117-T4 のアルミニウム合金製リベットのせん断疲労に対する S-N 曲線は、応力比が 0.1 に対して、 $\Delta \tau = 861 \times N^{-0.1486}$ で表され、繰返し回数 10^7 に対するリベットのせん断疲労強度は 78MPa である。

謝 辞

本研究は、科学技術振興調整費充当戦略的研究拠点「阪大フロンティア研究機構」の研究プロジェクト (プロジェクト名: アルミニウム橋実現のための基礎研究) の下で行われた。

参 考 文 献

- 1) 大倉一郎, 萩澤亘保, 岩田節雄, 北村幸嗣: アルミニウム橋実現のための技術開発, 軽金属, **54** (2004), 380-387.
- 2) 大倉一郎, 萩澤亘保, 鳴尾 亮, 戸田 均: 摩擦攪拌接合で製作されたアルミニウム床版の疲労特性, 土木学会論文集, No. 703/I-59, (2002), 255-266.
- 3) 日本アルミニウム協会: アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針案 (第 1 次改訂試案), (2000).
- 4) 軽金属学会: アルミニウムの組織と性質, (1991), 271.
- 5) 日本工業規格: JIS H 4040, アルミニウム及びアルミニウム合金の棒及び線, (1999).
- 6) 日本工業規格: JIS B 1213, 冷間成形リベット, (1995).
- 7) 日本アルミニウム協会: 平成 11 年度材料関連知的基盤整備受託成果報告書 アルミニウム材料の接合特性データの整備, (2001), 43-62.
- 8) The Aluminum Association: Aluminum Design Manual, Part VII, Design Aids, (2000), 100.
- 9) The Aluminum Association: Aluminum Design Manual, Part I A, Specifications for Aluminum Structures-Allowable Stress Design, (2000), 64.
- 10) G. L. Kulak, J. W. Fisher and J. H. A. Struik: Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints, A Wiley-Interscience Publication, (1987), 33.