

研究論文

## Al-Si 二元系鑄造合金のスラリー・エロージョン挙動

小松 芳成,\* 後藤 正治,\* 麻生 節夫\*

Slurry-Erosion Behavior of Aluminum-Silicon Casting Alloys

Yoshinari KOMATSU† Shoji Goro† and Setsuo Aso†

The purpose of this study is to clarify slurry-erosion mechanism of silicon particle reinforced aluminum alloy base in-situ composites. Using a series of specimens (pure Al, hypoeutectic of Al-7mass%Si, fully eutectic of Al-12.6mass%Si and hypereutectic of Al-20mass%Si, Al-30mass%Si and Al-40mass%Si), slurry erosion test was conducted for  $1.26 \times 10^5$ s (35h) at 293 K under a constant slurry speed of 8.55m/s. Sand volume fraction of the slurry was changed from 5 to 40vol.%. After the slurry erosion test, amount of weight loss in the specimens was measured to clarify the slurry erosion behavior. The results obtained are as follows. (1) The amount of weight loss depended on strength of the specimens in whole range of sand concentration in the slurry for pure Al and hypoeutectic specimens. (2) And also, the amount of weight loss depend on the sand concentration in slurry and/or the Si concentration in the matrix of the alloy for fully eutectic and hypereutectic specimens. The hypoeutectic specimen showed high slurry-erosion resistance for lower sand volume fraction in the slurry, though the hypereutectic specimen for higher sand volume fraction in the slurry. (3) Therefore, it is important to understand that the slurry erosion behavior depends on a combination of the microstructure of materials and the environmental condition such as sand concentration in the slurry.

**Key Words** : slurry-erosion, Al-Si alloy, Si particle, aluminum alloy, slurry speed, particle dispersion alloy, compressive strength

### 1. 緒言

スラリー・エロージョンは、流体中の固体粒子が金属などの機械装置の部材に繰り返し衝突することによっておこる材料表面の変形、き裂、切削などの機械的損傷と、水溶液による腐食などの化学的損傷が協同しておこる現象である<sup>1)</sup>。この現象は粉粒体を水などの液体と混合し流体（スラリー）として輸送する際の輸送管、バルブ、ポンプ、タービンなど数々の部材に生じるために深刻な問題となっている。スラリー・エロージョンに影響を与えるスラリー側の主要な因子としては、スラリーの流速、スラリーの温度、衝突角度、スラリー中の固体粒子濃度および固体粒子径などが挙げられる<sup>2)</sup>。一方、材料側については材料の損傷が主に固体粒子による機械的作用によって生じる場合、材料の組織形態あるいは機械的性質などが耐エロージョン性の支配因子となるものと考えられる。これまで、実用材料をもとにしたスラリー・エロージョンに関する種々の研究が行なわれ、スラリー側の因子であるスラリーの流速やスラリーの温度などの影響については徐々に明らかにされつつあるが、スラリー中の固体粒子濃度や材料側の因子である材料の組織形態および機械的性質の影響については明確な報告はされていないのが現状である<sup>3)~6)</sup>。

Al-Si 合金は共晶点よりも Si 濃度が低い亜共晶領域では Al 母相中に Al と Si の共晶が晶出した組織になっている。一方、共晶点よりも Si 濃度が高い過共晶領域では初晶 Si 粒子が単体で晶出し、その後 Al と Si の共晶が晶出した組織を呈する。すなわち、Al-Si 合金は単純な二元系合金で、広義には  $\alpha$  (Al 相) 中に  $\beta$  (Si 相) を分散した粒子分散型の構造をしていると考えることができる。またそれと共に Al と Si の量比を変化させることにより、比較的容易に軟らかい  $\alpha$  (Al 相) と硬い  $\beta$  (Si 相) の割合やその形状を系統的にかえることが可能である。そこで本研究では Al-Si 合金を供試材に用い、スラリー中の固体粒子割合および材料の組織形態や機械的性質に着目してスラリー・エロージョンに関する実験を行い、その結果をもとに分散粒子を含む複合材料のエロージョン機構を明らかにするための基礎資料を得ることを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試験片の作製

本実験では Al-Si 二元系状態図をもとに、Si 無添加の純 Al、亜共晶組成の Al-7mass%Si (以下、%と略記する)、共晶組成の Al-12.6%Si、過共晶組成である Al-20%Si、Al-30%Si および Al-40%Si についてそれぞれ試験片を作製した。原材料には電解 Al (99.7%)、金属 Si (99.2%) および Al-24.5%Si 合金を用い、それぞれ所定の組成に配合した。その後 Ar ガス流動雰囲気中で高周波誘導加熱炉にて溶解を行い、状態図より求められる各組成の液相線温度より約 80K 高い温度で金型へ鑄造した。このとき、各試験片の構成相は Table 1 のようになっ

平成16年5月7日受付;平成16年8月20日受理

\* 秋田大学工学資源学部材料工学科

〒010-8502 秋田市手形学園町1-1

† Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 1-1 Tegata Gakuencho, Akita Japan 010-8502

Table 1 Composition of specimens.

Specimen	Fraction of phases (mass%)			Liquidus temperature (K)	Pouring temperature (K)
	$\alpha$ phase	Eutectic	Si phase		
Pure Al	100	—	—	933	1013
Al-7%Si	51.1	48.9	—	888	968
Al-12.6%Si	—	100	—	850	930
Al-20%Si	—	91.5	8.5	958	1038
Al-30%Si	—	80.1	19.9	1092	1172
Al-40%Si	—	68.6	31.4	1215	1295

ていると考えられる。得られたインゴット (90×18×100mm) から Figure 1 に示すように機械加工によって直径9.9mm, 長さ75mm の棒状に切り出し, スラリー・エロージョン試験片とした。また, 同様に直径5.0mm, 長さ15mm の円柱状試験片を切り出し圧縮試験用試験片とした。

## 2.2 圧縮試験

一般に金属材料の機械的性質を同定する方法として引張試験が挙げられるが, エロージョンは固体粒子が試験片に衝突・変形・破壊・はく離することにより生ずるので, 試料の硬さ, 圧縮強度および耐切削性などが重要と考えられる。そこで本研究では圧縮試験により機械的性質を評価することとした。

圧縮試験は, Figure 2 に示す圧縮試験装置を使用し, 試験片を上下圧縮棒の中心に置き, 試験片と圧縮棒の接する面にはカーボンを薄く塗ることにより摩擦抵抗を緩和した。試験片は先に述べたように $\phi 5\text{mm} \times 15\text{mm}$  の円柱状に切削加工したものをを用い, 室温で, ひずみ速度は $5.6 \times 10^{-5}/\text{s}$ とした。得られた荷重及びひずみ量から真応力-真ひずみ曲線を求めた。

## 2.3 スラリー・エロージョン試験

スラリー・エロージョン試験は Figure 3 に示した改良型スラリー・エロージョン試験機を用いて行った。この試験機は試

料回転型試験装置で, 速度を 3 rpm 単位, 試験温度を $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の精度で制御でき, かつ 7 個の試料を同一条件で同時に実験できる特徴を有している<sup>7,8)</sup>。

スラリー・エロージョン試験は, スラリー速度 (8.55m/s : 960rpm) とスラリー温度 (293K) を一定にし, スラリー砂粒子体積割合 (以後, 粒子割合と略記する) を 10~40vol% まで 10vol% ずつ変化させて行った。このとき, 水道水 (淡水) をスラリー溶液として用い, それにスラリー砂粒子となるフラタリーサンド (6号ケイ砂に相当, モールズ硬さ 6.5 (Al の約 2.2 倍, Si と同程度), 平均粒径 150 $\mu\text{m}$ ) を所定の体積割合で混合したものをスラリーとした。試験時間は全体で  $1.26 \times 10^5\text{s}$  (35h) である。なお, ここでは試験片の回転の線速度をスラリー速度とした。したがってスラリー自体も慣性力により回転していると考えられるがその効果は無視した<sup>10)</sup>。また, 耐スラリー・エロージョン性の評価は, 次式によって求められる質量減少率  $W$  を用いて行った。

$$\text{質量減少率 } W (\%) = \{(W_0 - W_1) / W_0\} \times 100 \quad \dots(1)$$

ここで,  $W_0$  は試験前の質量,  $W_1$  は試験後の質量を示す。

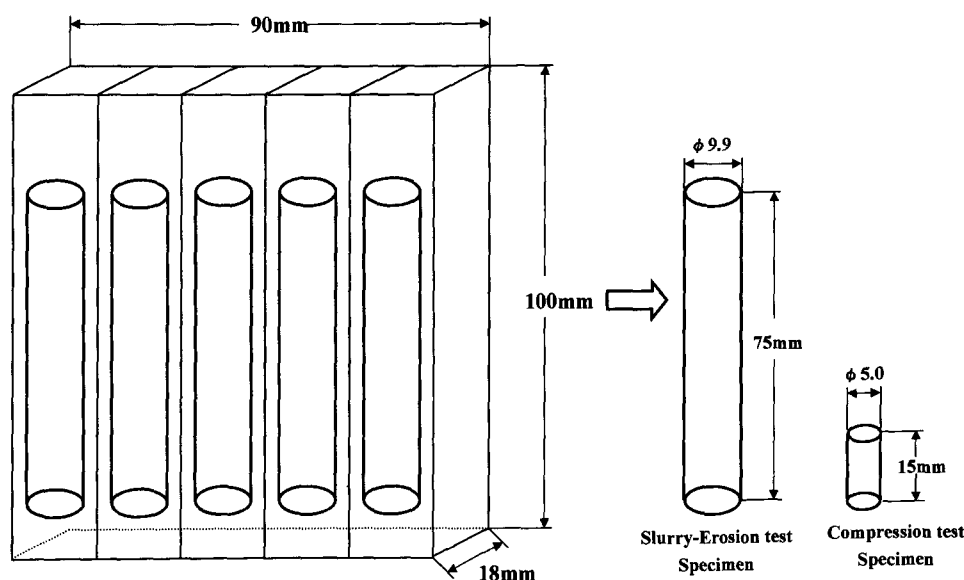


Figure 1 Cutting layout of cast block and test specimen dimension.

### 3. 実験結果

#### 3.1 組織観察

Figure 4 は圧縮試験およびスラリー・エロージョン試験に供した純 Al, Al-7%Si, 12.6%Si, 20%Si, 30%Si および 40%Si 試料の光学顕微鏡組織写真である。Al-7%Si は、亜共晶組成で、Si をほとんど固溶しない初晶のデンドライト ( $\alpha$ 相) が晶出し、その粒界に Al と Si の共晶 ( $\alpha + \beta$ ) が晶出する組織となっている。また、Al-12.6%Si はほぼ全体的に Al と針状 Si が同時に晶出した共晶組織 ( $\alpha + \beta$ ) を呈している。

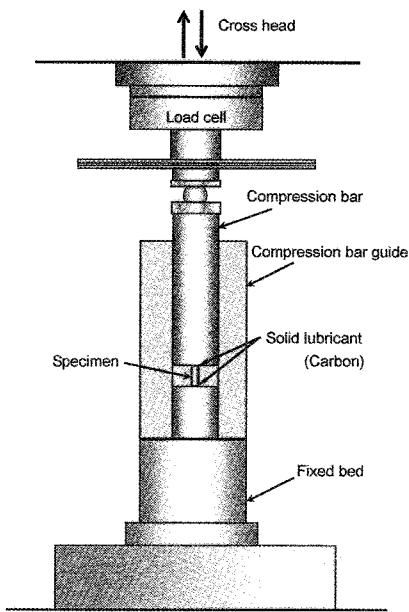


Figure 2 Schematic diagram of compression test apparatus.

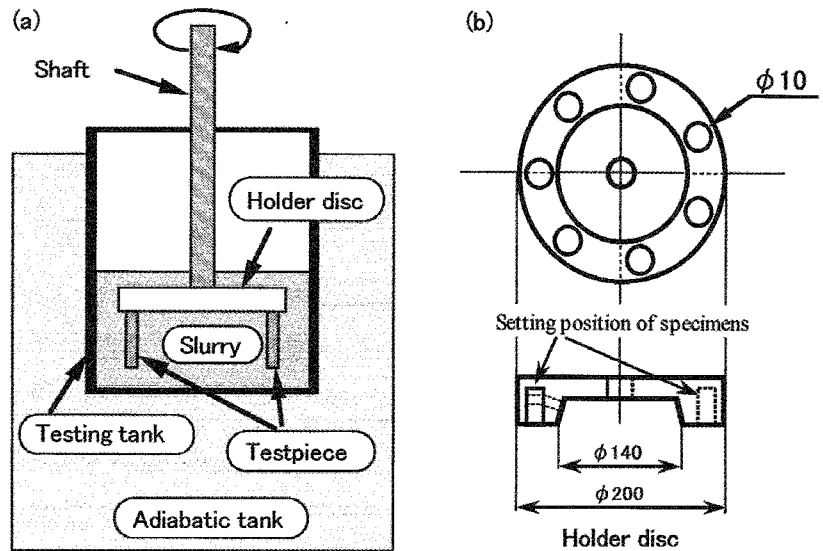


Figure 3 (a) Schematic diagram of slurry erosion test apparatus. (b) Setting position of specimens in holder disc.

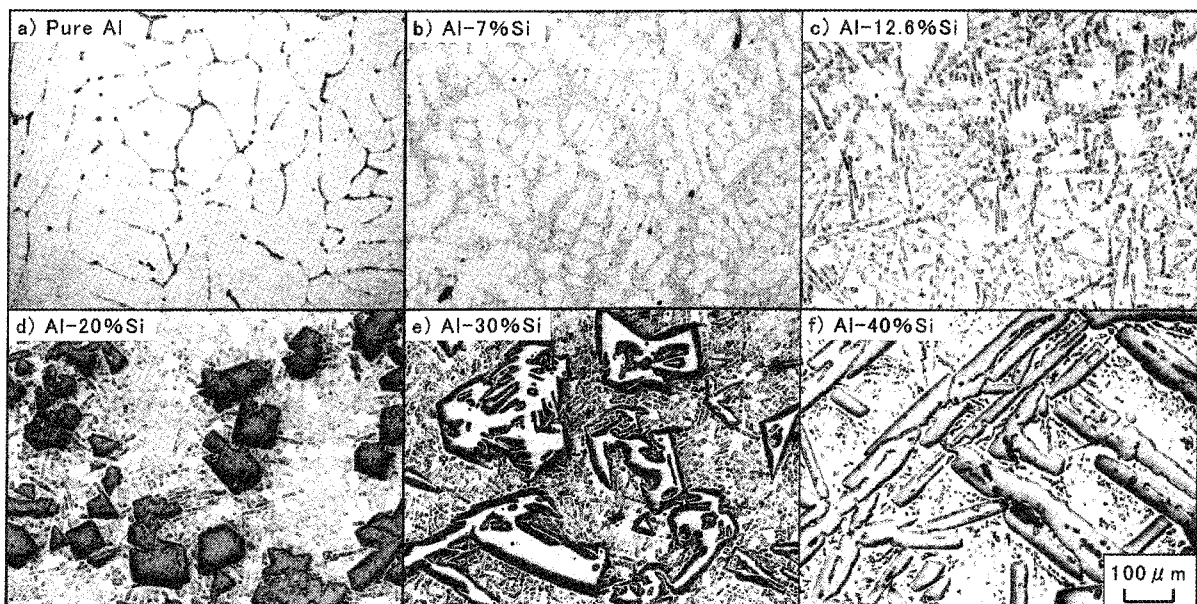


Figure 4 Microstructures of the specimens used for the test.

一方、Al-20%Si, 30%Si および 40%Si 試料はすべて過共晶組成であり、粗大で全体的に角張った形状の Si が初晶として晶出し、その間隙が共晶組織 ( $\alpha + \beta$ ) となっている。初晶 Si の形状は Si 濃度が増すにしたがって立方体的な形状から棒状へと変化した。

#### 3.2 各試料の圧縮強度

Figure 5 は圧縮試験から得られた各試料の真応力-真ひずみ曲線を示したものである。純 Al の場合は、ひずみ初期の弾性変形領域を経て大きな塑性変形を示し最大圧縮応力は 85MP

a 前後と低い値を示した。これは JIS 規格の60~90MPa と近い値であった。一方, Si を添加した Al-7%Si, 12.6%Si, 20%Si および30%Si 試料では純 Al よりも大きな弾性変形領域をもち, Si 濃度の増加に従って最大圧縮応力も185~225MPa と2倍近く増加している。しかし, 圧縮強度とともに材料の靱性値に大きく影響を及ぼす伸び(均一変形ひずみ)は, 30%までの Si 濃度の増加とともに純 Al の0.9から0.7~0.1へ減少した。さらに Si 濃度が高い Al-40%Si 試料では非常に小さいひずみ量  $\epsilon = 0.03$  で破断に至ってしまうため, 最大圧縮応力は Al-30%Si よりも若干低下する結果となった。したがってこの結果からも Al-Si 合金を扱う場合は Si 濃度40%以下の範囲で検討することが適当であると思われる。

### 3.3 スラリー砂粒子割合と質量減少率

スラリー砂粒子割合を10vol%から40vol%まで10vol%ずつ変化させてスラリー・エロージョン試験を行い, 試験時間 $1.26 \times 10^3$ s (35h) 後の質量減少率を求めて, Figure 6 に示した。ここで, 質量減少率が低いということは耐スラリー・エロージョン性が優れることに相当する。また, Figure 7 には粒子割合との関係を示した。純 Al 試料は, 粒子割合が10vol%のとき最も質量減少率が小さく, 粒子割合が20および30vol%と増加するにつれて質量減少率が大きくなり40vol%のとき質量減少率が最大値をとり, 最も耐エロージョン性に劣る。これは粒子割合の増加によって摩耗環境が苛酷になることに依存したものと考えられる。Al-7%Si 試料の場合は, すべての粒子割合に

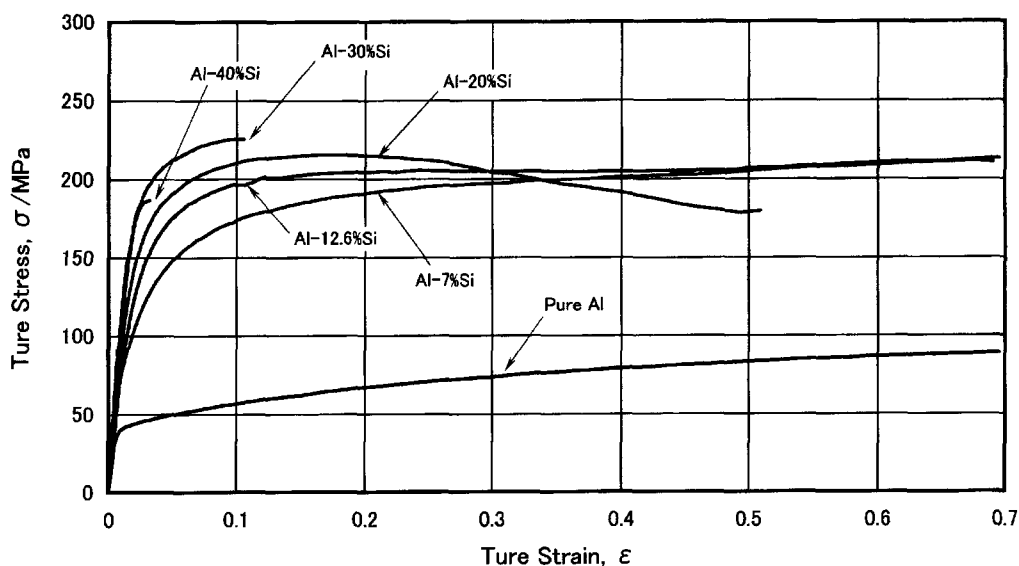


Figure 5 True stress-true strain curves of the specimens tested under a strain rate of  $2.5 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$  at room temperature.

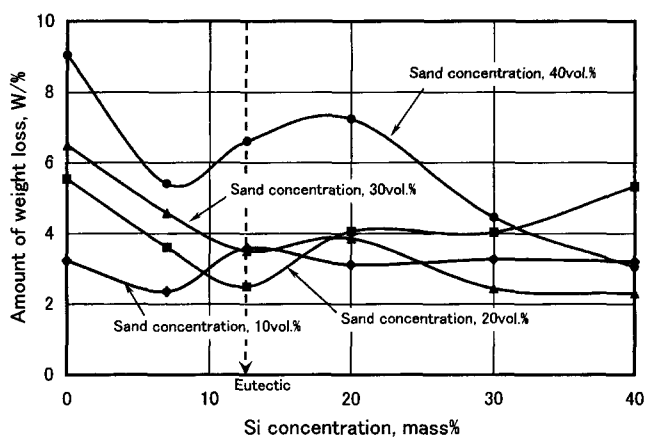


Figure 6 Relationship between amount of weight loss,  $W$  and Si concentration in specimen for various condition of slurry erosion test.

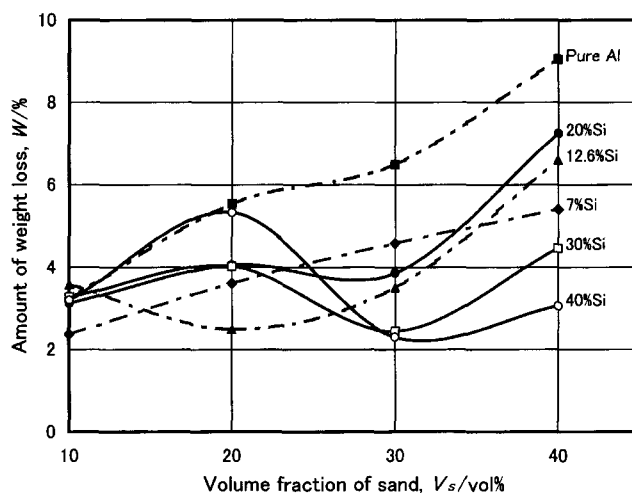


Figure 7 Relationship between amount of weight loss,  $W$  and Volume fraction of sand,  $V_s$  for specimens under various condition of slurry erosion test.

において質量減少率が純 Al 試料よりも低下しているが、これは Si 添加によって圧縮強度などの機械的性質が改善されたことによるものと思われる。また、純 Al と同様に粒子割合が高いほど質量減少率が大きくなった。一方、共晶組織を有する Al-12.6%Si 試料になると、スラリー砂粒子割合が20および30vol%において質量減少率が低下するが、10および40vol%では質量減少率は逆に上昇した。すなわち、一般に質量減少率は粒子割合や圧縮強度の変化に対し規則的に依存すると考えられるが、Al-12.6%Si においては本実験の条件では必ずしもこのような単純なスラリー・エロージョン挙動を示さなかった。また Si 濃度が高い Al-20%Si や30%Si および40%Si 試料の場合も粒子割合が20%の所が質量減少率が高くなり、一様な変化ではなかった。したがって、粒子割合が10および20vol%と比較的小さい場合では、亜共晶側の Al-7%Si と共晶の Al-12.6%Si 試料が最も質量減少率が小さく優れた耐エロージョン性を示すが、30および40vol%とスラリー中の粒子の体積割合が増加すると、Si 相を33~43vol%含有する過共晶の Al-30%Si および40%Si 試料において質量減少率が最小となっている。すなわち、スラリーの状態が低粒子割合から高粒子割合へ遷移することに比例して、耐エロージョン性に優れた材料も低 Si 濃度の Al-7%Si から高 Si 濃度の Al-40%Si へ変化した。

## 4. 考察

### 4.1 単位スラリー砂粒子体積当たりの質量減少率

Figure 8 は Figure 7 の結果をもとに縦軸の値を単位スラリー砂粒子体積当たりの質量減少率に換算して、Si 濃度との関係を示したものである。すなわち、以下に示す式 (2) を用いて Figure 7 の質量減少率を、それぞれに対応するスラリー砂粒子割合で規格化した。

$$N(\%) = \frac{W}{V_s} \times 100 \quad \dots (2)$$

ただし、N は単位スラリー砂粒子体積当たりの質量減少率 (%) (以後、単位当たりの質量減少率と略記する)、W は質量

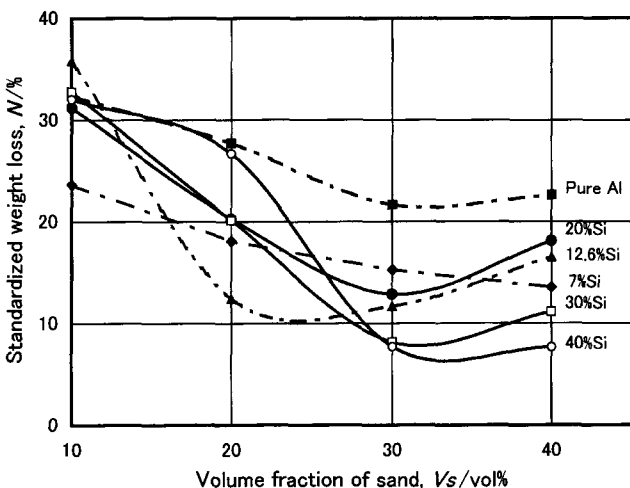


Figure 8 Relationship between Standardized weight loss, N and Volume fraction of sand,  $V_s$  for specimens under various condition of slurry erosion test.

減少率 (%), および  $V_s$  はスラリー砂粒子体積割合 (%) を示す。

したがって、スラリー・エロージョン機構が同じであれば、それぞれの試料において N の値は粒子割合に依存せず一定の値を示すはずである。ところで、純 Al および亜共晶 Al-7%Si 試料は、粒子割合が増加するにつれて単位当たりの質量減少率がほぼ直線的に小さくなっている。一方、共晶 Al-12.6%Si 試料では粒子割合が10vol%から20vol%へ変化することで単位当たりの質量減少率が急激に小さくなり、40vol%になると逆に増加に転じている。さらに過共晶 Al-20%Si および30%Si 試料の場合、粒子割合が10vol%から30vol%の間においては単位当たりの質量減少率が直線的に低下しているが、粒子割合30vol%を境にして40vol%では増加に転じている。また、過共晶 Al-40%Si は粒子割合が10vol%から20vol%に変わっても単位当たりの質量減少率はそれほど変化せず、30vol%になると急激に低下している。そして、粒子割合が40vol%になっても単位当たりの質量減少率は30vol%の場合とほとんど同じ値を示した。以上から、試料を純 Al および亜共晶 Al-7%Si, 共晶 Al-12.6%Si, 過共晶 Al-20%Si および30%Si, 過共晶 Al-40%Si というように大きく4つに分類して粒子割合と単位当たりの質量減少率の関係を考えるとある程度の相関を見出すことが可能である。

また、粒子割合10vol%と40vol%の単位当たりの質量減少率を比較すると、すべての試料において粒子割合10vol%の方が大きな値を示している。このことは粒子割合が小さい場合の方が、砂粒子によって試料が受けるエロージョン作用が以外に大きく、低砂粒子のときほど砂粒子の衝突エネルギーが大きいことを示唆するものである。すなわち、スラリーの特性は粒子割合が増加するとともに、摩耗環境がゆるやかなものへと移行しているものと考えられる。

### 4.2 機械的性質と耐エロージョン性の比較

一般にスラリーの衝突速度が大きくなり材料に生ずる衝突応力の大きさが降伏強さや破壊強さを越えれば、塑性変形するか、あるいはクラックを生じ損傷をおこすと考えられる。したがって、材料の圧縮強さや延性、靱性などの機械的性質と耐エロージョン性には何らかの相関性が存在すると予想される。

本実験では、いずれの粒子割合においても Si を添加した亜共晶 Al-7%Si の単位当たりの質量減少率が純 Al より低下している。しかし、共晶 Al-12.6%Si 以上の Si 濃度になると上述したような規則性は見られず、粒子割合の違いによって複雑な挙動をしていることがわかる。Figure 5 で示したように Al-7%Si の圧縮強度は Si 添加によって純 Al の約3倍程度まで向上し、なおかつ、伸びは純 Al とほぼ同じ値を維持している。また、Al-12.6%Si においても Al-7%Si より若干圧縮強度が改善されるとともに、伸びについても純 Al と同程度を示している。したがって、圧縮強度と伸びという機械的性質の観点で推測すれば Al-12.6%Si の場合も Al-7%Si と同様な単位当たりの質量減少率になると考えられる。ところが結果は Al-12.6%Si 以上の Si 濃度の材料では機械的性質に依存しない単位当たりの質量減少率の変化となっている。すなわち、Al-Si 合金では亜共晶 (Al-7%Si) で機械的性質を向上させることにより耐エロージョン性の改善が期待できるものの、共晶 (Al-12.6%Si)

以上になると機械的性質の改善すなわち圧縮強度の向上だけでは優れた耐摩耗性の材料を得ることは難しく、均一変形ひずみなどを含めた靱性値の改善が必要であることを示しているように思われる。

### 4.3 組織形態とスラリー砂粒子割合による影響

#### 4.3.1 亜共晶の場合

亜共晶組成である Al-7%Si は軟らかい Al が初晶デンドライトとして晶出し、その間に微細な Al-Si 共晶がネットワーク状に晶出した組織である。この組織は純 Al に比べると Al の占める割合が減少するものの、基本的には Al がベースの組織で、結晶粒界が共晶 Al-Si によって強化されたものと考えられる。Figure 6 をみると純 Al から Al-7%Si へ変化することで、質量減少率がすべての粒子割合においてほぼ同じ割合で直線的に低下していることがわかる。これは Al-7%Si の組織の形態が基本的には純 Al と同じで、上述したような軟らかな Al 基地に硬くて緻密な Al-Si 共晶がネットワーク状に分散した組織形態をとることによって、純 Al よりも単位当たりの質量減少率が低下したと考えられる。したがってこのような組織形態をとる材料の場合はすべての粒子割合において機械的性質に強く依存した耐スラリー・エロージョン性を示すと理解される。

#### 4.3.2 共晶の場合

共晶の Al-12.6%Si は軟らかい Al と硬く脆い針状の Si が同時に晶出した共晶組織を呈し、Al-7%Si より機械的性質も向上することですべての粒子割合において良好な耐エロージョン性が得られると期待された。しかしそれに反して Figure 8 にみられるように、粒子割合 20 および 30vol% では単位当たりの質量減少率が Al-7%Si の値より低下したものの、粒子割合 10 vol% では大幅に増加し、40vol% でも僅かに大きくなる傾向を示している。

スラリー中の固体粒子の割合が低い場合は、比較的自由に固体粒子が運動することが可能であると考えられる。それに対して固体粒子の割合が高くなると固体粒子が相互に干渉しあい固体粒子の運動の自由度は次第に低下するものと推察される。したがって、低粒子割合の環境下においては、固体粒子が高い運動エネルギーを保持しながら材料に衝突し材料が脆性的に破壊されるのに対し、高体積割合の環境下では、固体粒子の衝突エネルギーは減退し、アブレイシブ的に摩耗が進行するものと考えられる。実際、Figure 8 に示されたようにいずれの試料においても単位当たりの質量減少率は、粒子割合に依存して粒子割合が増すほど小さくなる傾向があり、このことは上述の考えを示唆しているものと考えられる。

すなわち、スラリー砂粒子割合 10vol% では粒子の衝突による作用が大きく、Al に硬い Si が緻密に分散した共晶 (Al-12.6%Si) 組織であっても軟らかい Al の脆性的な破壊とそれに伴う針状の Si の脱落が繰り返して起こり材料の摩耗が進行するものと推察される。

#### 4.3.3 過共晶の場合

Al-20%Si, Al-30%Si, Al-40%Si 試料は硬くて脆い塊状の初晶 Si と共晶 Al-Si の混合組織となっている。Si 濃度が高くなるにつれて共晶 Al-Si の占める体積割合は低下し、それに反比例して塊状の初晶 Si の体積割合が大きくなるとともに形状も粗大に変化している。

粒子割合 10vol% において Al-20%Si の質量減少率が Al-12.6%Si よりも小さくなっている。これは硬い初晶 Si が存在し、かつ共晶 Al-Si 相の割合が小さくなることにより、共晶 Al-Si 相が 100% の Al-12.6%Si に比較して軟らかな Al 相の割合が減るため、高いエネルギーで衝突する固体粒子による材料の損傷が抑制されることが原因と考えられる。

一方、粒子割合 20vol% では Al-20%Si の質量減少率が Al-12.6%Si よりも逆に大きくなっている。粒子割合 20vol% の場合は、10vol% よりも衝突による損傷作用は弱まるが、アブレイシブ的な摩耗作用はむしろ大きいものと考えられる。したがって、この場合も、共晶 Al-Si 相中の Al が固体粒子の衝突による損傷を受け、それに伴って共晶 Al-Si 相中の Si が脱落するという摩耗が繰り返され共晶 Al-Si 相の損傷が進行すると考えられる。またこれと同時に粒子割合 10vol% よりもアブレイシブ的な作用が強いため、粗大な初晶 Si の脱落も発生するものと推察される。すなわち、20vol% の場合は、固体粒子の衝突による損傷とアブレイシブ的な損傷が相互に作用して摩耗が進行するため、10vol% の場合とは反対のエロージョン挙動を示したと考えられる。

スラリー砂粒子割合が 30vol% および 40vol% では、固体粒子の衝突による損傷作用は 10vol% および 20vol% よりも弱く、共晶 Al-Si 相に対して大きな損傷を与えないと考えられる。その結果、粗大な初晶 Si の脱落などの現象が起らず Al-12.6%Si と同一の質量減少率で推移するものと思われる。

さらに Si 濃度の高い Al-30%Si や Al-40%Si は、初晶 Si が Al-20%Si よりさらに粗大になり、それとは逆に共晶 Al-Si 相の占める割合が小さくなる。粒子割合が 20vol% では、上述した Al-20%Si の場合と同様の損傷作用、つまり固体粒子の衝突による損傷とアブレイシブ的な損傷が相互に作用して粗大な初晶 Si の脱落を伴う摩耗が起こる可能性が非常に高い。したがって、少ない共晶 Al-Si の損傷に起因して、初晶 Si の脱落などによる損傷量が增大するために、初晶 Si が粗大なものほど質量減少率は大きくなったと考えられる。すなわち、粒子割合 20 vol% の摩耗において、過共晶組成の材料で良好な耐エロージョン性を得るには、共晶 Al-Si 相を強化しその損傷を抑制することによって粗大な初晶 Si の脱落などの防止が重要と考えられる。

高粒子割合の 30vol% あるいは 40vol% における固体粒子の衝突による損傷作用は、粒子割合が 10vol% および 20vol% よりも小さく、主にアブレイシブ的作用によって摩耗が進行すると考えられる。したがって共晶 Al-Si の損傷はあまり小さくなく、なおかつ硬くて粗大な初晶 Si がアブレイシブ的な損傷作用に対しては優れた耐エロージョン性が期待できる。つまり、このような高スラリー砂粒子割合の環境下では硬くて粗大な粒子が多量に分布しているものが良好な耐スラリー・エロージョン性を示すものと考えられる。

### 4.4 エロージョン作用因子とスラリー砂粒子割合

今まで述べてきたように、低粒子割合の環境ではスラリー中の固体粒子の割合が低いため、固体粒子が自由に運動することが可能であると考えられる。そのとき固体粒子は高い運動エネルギーを保持しながら材料に衝突し、材料を脆性的に破壊するものと推察される。それに対して高粒子割合の環境では、固体粒子の割合が高くなるために固体粒子が相互に干渉しあい固体

粒子の運動の自由度は次第に低下するものと考えられる。この結果、固体粒子の衝突エネルギーは減退しアブレイシブ的に摩耗が進行するものと考えられることができる。

一方、その中間の中粒子割合では固体粒子の衝突による損傷は低粒子割合の場合に比較して小さいものになると考えられるが、固体粒子が増えるためにアブレイシブ的な摩耗作用が低粒子割合よりも大きくなると推察される。つまり、すべての粒子割合において衝突による損傷作用とアブレイシブ的な切削による損傷作用と両方が相互に作用することによって摩耗現象が進行すると考えられる。ただし、その場合、その2つの損傷作用の寄与割合は、スラリー砂粒子割合の相違と、材料の持つ組織の形態に大きく依存するために複雑なエロージョン挙動を示すものであると考えられる。

その結果、砂粒子割合が10vol%および20vol%では、それぞれ Al-7%Si と Al-12.6%Si が最も質量減少率が小さく、30vol%と40vol%ではいずれの場合も Al-40%Si において質量減少率が最小となったものと考えられる。

## 5. 結 言

本研究では Al-Si 合金の耐スラリー・エロージョン性とその損傷機構について、材料の機械的性質、材料の組織形態およびスラリー中の固体粒子割合との関連に着目して実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

1. 純 Al および Al-7mass% では、スラリー砂粒子割合10vol%、20vol%、30vol%、40vol% すべてにおいて圧縮強度の上昇に比例して、質量減少率が低下し機械的性質に強く依存した耐スラリー・エロージョン挙動を示した。
2. 本実験の Al-Si 合金ではすべてのスラリー砂粒子割合に対して、優れた耐エロージョン性を示す組成は存在せず、スラリーの状態が低砂粒子割合から高砂粒子割合へ変化すると、耐エロージョン性に優れる材料も亜共晶組成 (Al-7mass%Si) から過共晶組成 (Al-40mass%Si) へ移行した。
3. 耐スラリー・エロージョンに優れた材料の設計を行う場合、材料の機械的性質はもちろんのこと、スラリー砂粒子割合

などの摩耗環境と材料の組織形態についても考慮し、その組み合わせを十分に検討して行う必要があると推察された。

## 文 献

- 1) 腐食防食協会編 (1987): エロージョンとコロージョン, 裳華房, 131.
- 2) 腐食防食協会編 (1987): エロージョンとコロージョン, 裳華房, 186.
- 3) 宇佐美正, 芹田陽 (1977): 白鑄鉄の凝固組織とサンド・エロージョンとの関係, 鑄物, 49, 731-736.
- 4) 麻生節夫, 菅原勉, 田上道弘, 後藤正治 (1993): 高クロム白鑄鉄のサンド・エロージョン速度の温度依存性, 日本金属学会誌, 57, 96-102.
- 5) 麻生節夫, 菅原勉, 田上道弘, 後藤正治 (1993): 高クロム白鑄鉄のサンド・エロージョン速度のスラリー速度依存性, 日本金属学会誌, 57, 312-319.
- 6) Hirofumi Miyahara, Zou Xinguo, Takashi Moriguchi and Keisaku Ogi (2003): Influence of the Matrix Microstructure on the Wear Resistance of Alumina Continuous Fiber Reinforced Aluminum Alloy Composites, Materials Transactions, Vol. 44, No. 2, pp.247-252.
- 7) 小松芳成, 鎌田久雄, 伊藤信雄, 三浦敏秋, マスカルド ガスパル リト, 後藤正治, 麻生節夫 (1996): 改良型サンド・エロージョン試験機の試作, 秋大地研報告, 61, 63-72.
- 8) 小松芳成 (1996): 改良型サンド・エロージョン試験機による 2, 3 の実験, 秋大鋳山学部技術発表会報告集, 4, 17-20.
- 9) 小松芳成 (1995): 改良型サンド・エロージョン試験機の試作, 秋大鋳山学部技術発表会報告集, 3, 25-28.
- 10) 小松芳成, 伊藤信雄, 三浦敏秋, 後藤正治, 麻生節夫 (2000): 改良型試験機による Al-Si 鑄造合金のスラリー・エロージョン挙動, 秋大工学資源学部研究報告, 21, 27-34.