

焼却灰造粒物－アルミニウム複合素材の諸特性

岩 淵 義 孝* 小 林 勲* 佐 川 淳 士**

Properties of Aluminum Alloy Matrix Composites with Artificial Pellets Made of Incineration Ashes

Yoshitaka IWABUCHI* Isao KOBAYASHI* Atsushi SAGAWA**

Abstract Recently there has been increasing demand toward recycling of industrial wastes aiming for the sustainable society. This research article described a newly developed composite material using the artificial light pellets and recycled aluminum alloys. The artificial pellets employed in this research were made of incineration ashes by using the autoclave. The factor affecting its various properties was investigated and discussed. Through trial and error, the preform with good soundness and preferable dispersion of the pellets could be obtained. The density and compression strength of the preform were measured in comparison with other structural materials. These composites consist of closely packed pellets connecting with aluminum. Compression examination revealed the lower fracture strength of the composites than aluminum. Low heat conductivity and slight high attenuation rate are preferable properties of the composites.

Key word : Recycle aluminum, Composites, Artificial pellet, Incineration ashes, Eco-materials.

1. 緒 言

本研究は、廃棄物であるペーパースラッジ焼却灰 (PS灰) から作られた造粒品が、軽量、ポーラスである性質から発現する特長を利用するとともに、その特長を最大限に生かした付加価値の高い製品を製造する方法に関するものである。また、環境負荷低減またはエコロジーの観点にも立ち、今後増え続ける燃焼灰と廃棄アルミニウム材という二大産業廃棄物を、再利用・リサイクル¹⁾⁻³⁾する製造方法を提供するものである。

本研究で製造される複合素材は、密に詰め込んだ PS 灰造粒物の隙間を、熔融または半凝固アルミニウムで埋めることにより、連結接合させたものである。PS 灰造粒物は軽量、ポーラスであるから制震、吸音効果があり、また断熱性にも優れているが、強度面においては十分とはいえない。特に寒冷地においては、浸透水の凍結による破壊劣化が懸念される。本研究の複合素材は、これらの欠点を補うため、廃棄アルミニウム等を再溶解リサイクルし、バインダーとしての役割を持たせることで、引張りおよび圧縮強度を高め、さらにアルミニウムが PS 灰造粒物表面を覆うことにより、水分の浸透を抑制し、凍

結損傷劣化を防止するものである。

このようにして製造された PS 灰造粒物-アルミニウム複合素材は、制震、吸音、断熱性に優れており、十分な強度と耐久性を有することから、道路防音壁、軌道振動制御、空調機騒音制御、建築材料など、多方面への用途に使用できると考えられる。

本報告では、このような複合素材⁴⁾⁻¹⁰⁾の製造プロセスについて、試行錯誤的に実験を進め、複合素材を製造することができたので、その製造プロセスと創製素材の幾つかの性質について報告する。

2. 実験方法

(1) 供試アルミニウム

本研究では実験を簡便に進めるため、飲料用缶をリサイクルしたアルミニウムと、ほぼ同一成分に溶製した擬似リサイクルアルミニウムを用いた。溶製したアルミニウムの化学成分を Table 1 に示す。

また、示差熱分析により相変態温度を測定した結果、固相線と液相線は、それぞれ 840K (567℃)、915K (642℃) であった。

Table 1 Chemical composition of the heat (mass%)

Si	Mn	Mg	Fe	Cu	Zn	Al
2.02	0.96	0.78	0.42	0.20	0.17	bal

* 釧路高専機械工学科

** 釧路高専建設・生産システム専攻

(2) PS 灰造粒物

PS 灰造粒物とは、PS 灰に水または温水、生石灰ならびにセメントを加え、常温から 371K までの温度で混合して粒状に造粒した成形体を養生した後、高温・高圧下で反応(水熱固化反応)させて製造した固化体である。Fig.1 に PS 灰造粒物の概略製造プロセスを示す。

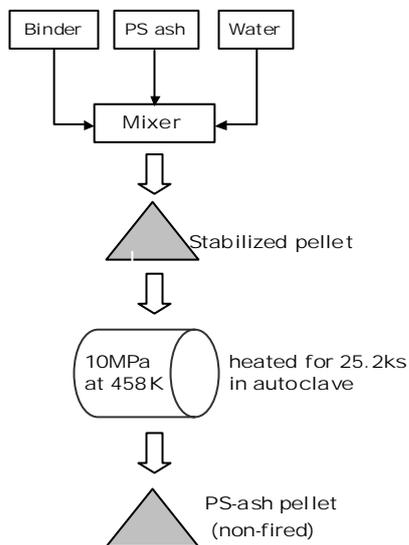


Fig.1 Manufacturing process of PS pellet

PS 灰造粒物の粒度分布を、ヒストグラムとして Fig.2 に示す。粒径が大きいものでは、複合素材を創製するとき、隙間が大きくなるため造粒物を多く含む素材になるとは考えにくい。また、造粒物は濡れ性が悪く¹¹⁾、2.5mm 以下のものも十分に鑄造ができないと推測されるので、本研究では 2.5~10mm の造粒物を使用し、リサイクルアルミニウムとの複合化試験を行った。

10mm 以上および 5~10mm 径の PS 灰造粒物について、10 個ずつ圧縮試験を行い、圧縮強さを測定し

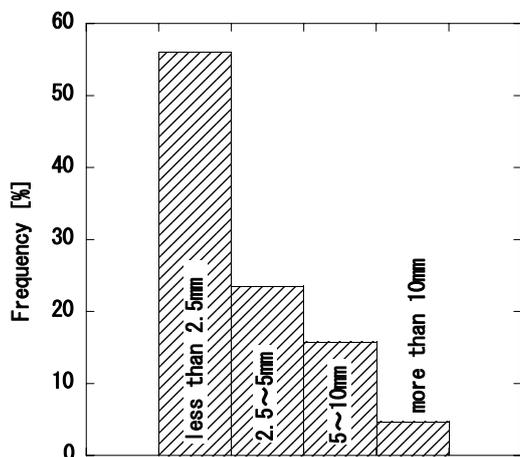


Fig.2 Size distribution of PS pellet

た。個々の測定値の平均値、ガウス分布およびワイブル分布による値を Table2 に示す。10mm 以上径 PS 灰造粒物のワイブル分布を Fig.3 に示す。

PS 灰造粒物の特性から、それぞれの強さはワイブル分布に従うものとして、本研究ではワイブル分布による平均値を用いた。これにより造粒物の圧縮強さはかなり低いものであることがわかる。

Table2 Mean value of compression strength of each PS pellets(N)

Method	>10mm	5~10mm
Average	261	131
Gauss' s	244	76
Weibull' s	316	108

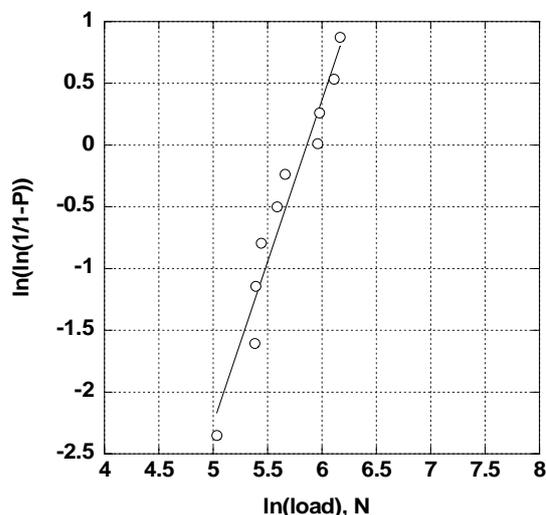


Fig.3 Weibull's distribution of the pellets with more than 10mm diameter.

PS 灰造粒物を 373K~473K (100~200°C) で長時間加熱し、重量が減少せず安定したとき、造粒物から水分が完全に除去できたとして、重量の再計測より含水率が算出される。これより造粒物の含水率は約 41%であった。

PS 灰造粒物は多孔質であるため、密度を計測する際、パラフィンに浸しアルキメデス法により密度を算出した。これより、加熱後の PS 灰造粒物の密度は 0.86 (g/cm³) であった。したがって、加熱脱水乾燥後の造粒物の密度は、アルミニウムの密度 2.7 (g/cm³) に比較して約 3 倍軽いため、混合時に溶融アルミニウムに浮き上がるので十分攪拌を行わなければならないということが予測される。

(3) 複合素材の創製実験

どのようなプロセスを用いれば、PS 灰造粒物と

廃棄アルミニウムの2つの材料が最もよく混合できるか、その製造プロセスについて試行錯誤的に4プロセスの実験を行った。なお、複合素材を製造するにあたっては、その創製方法は簡便であることが必要十分条件である。

4プロセスの創成実験結果をまとめると以下の通りである。

プロセス1では、常温金型を用いたため、アルミニウムを注湯したとき、早期に凝固したことにより内部は混ざり合わなかった。

プロセス2では、金型を加熱しPS灰造粒物と溶解アルミニウムを攪拌するとともに、造粒物が浮かんでこないように耐熱煉瓦の蓋をつけて負荷した。

プロセス3はPS灰造粒物を均等に分布させるため、断続的に表面を突いて造粒物を均一に表面に浮かばせ、その上から蓋をして負荷した。

プロセス4では、中心部の引け巣を無くすため、炉冷で素材を全体的に緩やかに冷却した。この方法により、引け巣は生じず造粒物の分布もほぼ均一で緻密な素材が作製された。

以上の創成実験から決定した製造プロセスの概要は次の通りで、その概略を Fig.4 に示す。

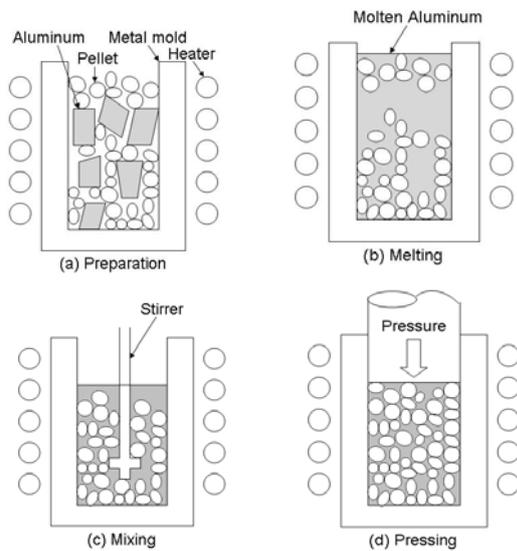


Fig.4 Schematic drawing of the procedure producing the composite material

- ①溶製したアルミニウムと造粒物を適切な割合に配合する。
- ②金型内に2つの材料を装入し、973~1123K(700~850°C)に加熱する。
- ③アルミニウムが溶融した後攪拌して、次に表面を細かく突き、溶融アルミニウム内の造粒物を均一に浮かばせる。

- ④耐熱煉瓦製の蓋に重錘を載せ、頭部へ浮かんだ造粒物を底部へ押し込む。
- ⑤引け巣ができないように徐冷する。

4. 結果および考察

本研究では、4種類の金型(短尺素材A: 70mm直径×117mm長さ、短尺素材B: 70mm直径×75mm長さ、長尺素材C: 70mm直径×271mm長さ、長尺素材D: 70mm直径×260mm長さ)を用いた。なお含まれている造粒物サイズは、素材Aと素材Cでは2.5mm~5mm、素材Bは2.5mm以下、素材Dは5~10mmである。作製した短尺素材外観と断面写真を Fig.5 に示す

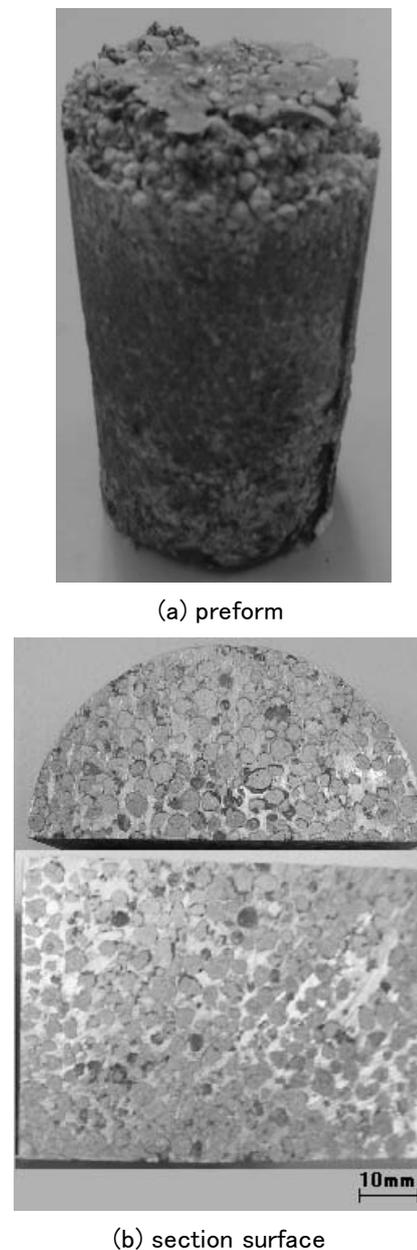


Fig.5 Manufactured preform (short size mold) and its section surface.

横断面ならびに縦断面をみると、造粒物は比較的均一に分布しており、所期の目標を満足した複合素材が製造できたものと判断される。しかしながら、長尺素材の場合、下部ほどリサイクルアルミの比率が多く、上部ほど造粒物の割合が多くなっていた。このように、造粒物の密度がリサイクルアルミニウムより低いため上部に浮上し、重錘をかけても均一にすることが難しいことがわかる。

Fig.6 は工業用純アルミニウム、複合素材および造粒物を、それぞれ 15mm×15mm×50mm の直方体に成形したものを圧縮試験した結果である。アルミニウムは変形能が高く、高い延性を示すが、複合素材は極大値を示した後低下する。極大値を示す歪みは、混合されている造粒物の破壊延性に相当している。

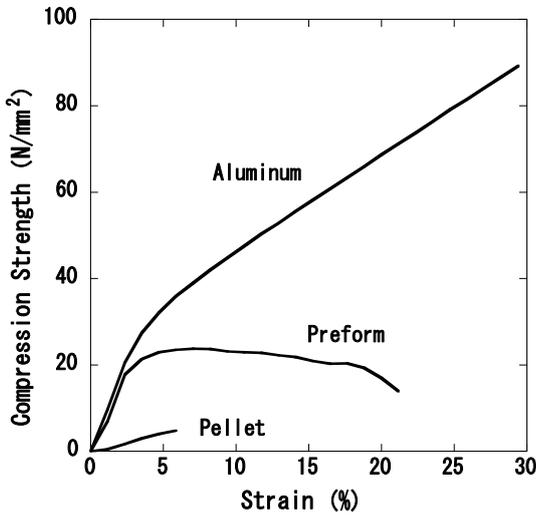


Fig.6 Stress - strain curves of each material.

創製した複合素材と工業用純アルミニウムとの強度比較を行った。素材の強度は圧縮試験を行い評価した。ここでアルミニウムは延性が高く圧縮破壊しないので、本実験では試料を 30%変形させた時の応力を圧縮強さとした。各素材の圧縮強さを Fig.7 に比較して示す。また、Fig.8 に各複合素材の密度と圧縮強さの関係を示す。

これより、密度が低く造粒物の混合割合が高いものほど圧縮強さが低いことがわかる。また、純アルミニウムと比較してみると、素材 D-B(下部)はあまり差が無いが、その他の素材 D-M(中部)はアルミニウム約 1/2 であり、素材 D-T(上部)と素材 A ではアルミニウムの 1/2 以下であった。しかしながら、いずれもコンクリートをはるかに上回る高い圧縮強さを有することがわかる。

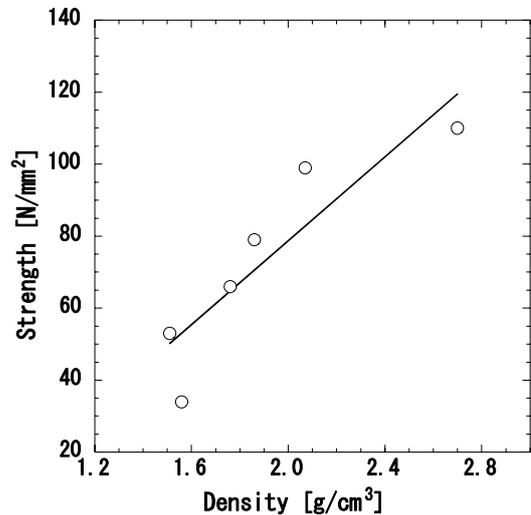


Fig.8 Density vs. compression strength

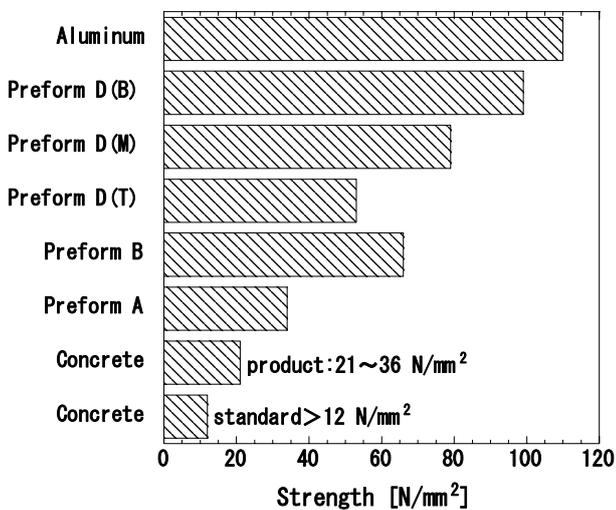


Fig.7 Compression strength of each material

作製した素材の構成材料であるアルミニウムは熱伝導性が高いが、複合素材は造粒物を含んでいることから、断熱性の良い材料となることが予想される。熱伝導率測定は断熱材の役割をするポリスチレンフォームの上にヒータを置き、その上に測定する素材を載せ、それぞれを熱電対を取りつけた 2 つの銅板ではさみ、測定器で上下の銅版の温度差が平衡状態になったとき、温度差 $\Delta \theta$ を読み取るものである。熱伝導率 λ は $\Delta \theta$ を用いて次式より算出した。

$$\lambda = A \times V / (L \times \Delta \theta)$$

ここで、L は計測する材料の厚さで、A は電流で 55mA であり、V は電圧で 10V である。各素材について測定した結果を Fig.9 に示す。

アルミニウムの熱伝導率は 236 [W/mK]¹²⁾ であるから、本実験の精度が高いことがわかる。複合素材は

ポーラスな造粒物が分布しているため、アルミニウムの熱伝導率に比較して、1/16 であり断熱性が優れていることが推測される。また、素材の上、中、下の位置による差が小さいこともわかった。

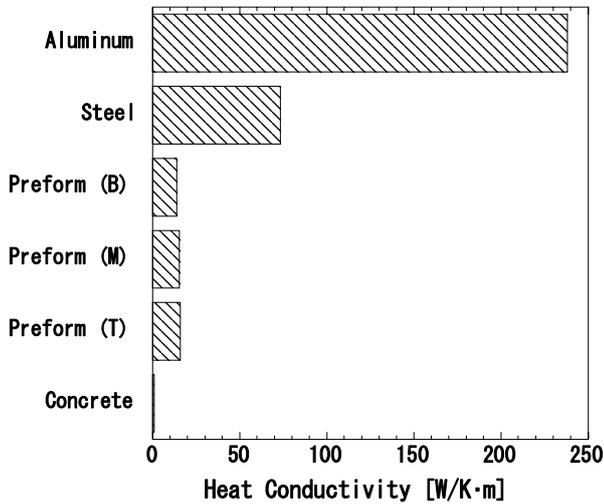


Fig.8 Heat conductivity of each material

複合素材と工業用純アルミニウムを 54mm×90mm×10mm の板状に加工し、FFT アナライザを用いて各素材の振動波形を計測し、振動波形より減衰率を測定した。本試験では1次から3次のモードの振動波形のなかで、1次モードの振動波形から減衰率を測定した。アルミニウムは加工材と焼鈍し材の2種類を測定した。アルミニウムの1次の固有振動数は焼鈍し材で2600Hz、加工材は2600Hzで、複合素材は4250Hzであった。半値幅法より求めた減衰率を Fig.10 に示す。

これにより、再結晶温度以上にアルミニウムを焼

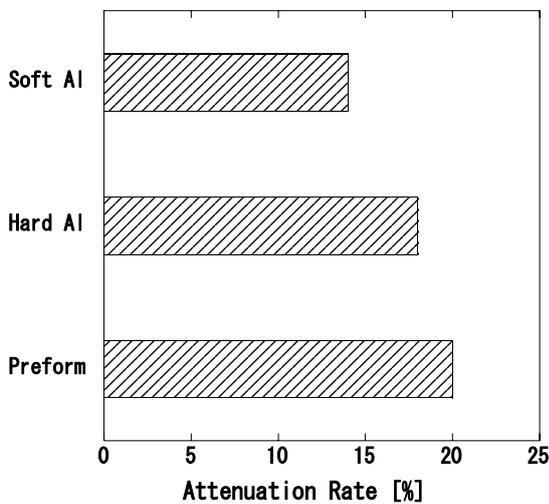


Fig.10 Comparison in attenuation rate between preform and aluminum

鈍し熱処理したものは振動が伝わりやすく、加工硬化したものは振動しにくいことがわかる。また、複合素材はポーラスである PS 灰造粒物が分布しているため、減衰しやすいことがわかったが、予想したほどの高い減衰能は得られなかった。

5. 結 言

PS 灰造粒物とリサイクルアルミニウムによる複合素材の創製試験を行い、以下の結論を得た。

- 1) 複合材料の製造プロセスを確立した。
- 2) 創製プロセスは PS 灰造粒物をアルミニウムの液相線温度以上で混合するもので、混合後後に密度の軽い PS 灰造粒物の浮上を抑えるため、断熱性の高い材料で蓋をし、負荷をかける必要がある。
- 2) 創製過程で急冷すると複合素材内部に鑄巣ができる可能性が高く、徐冷しなければならない。
- 3) 創製した複合素材内の PS 灰造粒物は比較的均一に分布している。
- 4) 創製した複合素材の密度は、アルミニウムの約 3/5 であった。
- 5) 複合素材中の造粒物が破損すると破壊が始まるので、圧縮強さはアルミニウムの約 1/2 であった。
- 6) 複合素材の熱伝導率はアルミニウムの 1/16 と低い値を示し、断熱特性が優れていることがわかった。
- 7) 複合素材の減衰能はアルミニウムよりも幾分高い値を示した。

なお、本研究は日本製紙(株)釧路工場との共同研究で行われたもので、PS 灰造粒物は日本製紙(株)釧路工場より提供されたものである。

参考文献

- 1) J. H. L. van Linden : Science and Engineering of Light Metals, (1991), P1121
- 2) 中村崇 : までりあ、35, 12(1996), P1290
- 3) 村田富士夫 : 軽金属、46, 11(1996), P551
- 4) 香川豊 : 金属、59, 2(1989), P34
- 5) M. C. Fleming, R. G. Riek and K. P. Young : Materials Science and Engineering, 25(1976), P103
- 6) 中田栄一 : 工業材料、30, 10(1982), P76
- 7) 市川洵 : 鉄と鋼、74, 1(1988), P51
- 8) 香川豊 : 金属、59, 2(1989), P34
- 9) 難波明彦、市川洵 : 金属、59, 2(1989) 54
- 10) 佐藤彰 : 鑄物、62, 1(1990) 1, P12
- 11) 中江秀雄 : 鑄物、65, 8(1993) 8, P646
- 12) 日本金属学会編 : 金属データブック、(1993) P13、