

# 難燃性マグネシウムのキャビテーション損傷試験と 教材化に関する研究

井上 健次郎<sup>1)</sup>, 小松 元樹<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 熊本大学教育学部技術教育

<sup>2)</sup> 熊本市立白坪小学校

## 1. はじめに

流体機器等の設計・製作及び作動運転に際しては、キャビテーション損傷に関する情報・データが必要かつ重要となることから、これまで多くの機器材料を対象としたキャビテーション損傷試験が行われ、キャビテーション特性が明らかにされてきている<sup>1,2)</sup>。一方、近年、産業技術総合研究所によって開発された難燃性マグネシウムは、超軽量の特性を有すると共に電磁波シールド性、さらに地球環境にやさしく無害であることなど、多くの利点があるため、これからの新素材として注目されている<sup>3,4)</sup>。今後のマグネシウムの汎用性を考慮した場合、難燃性マグネシウムの耐キャビテーション強さを明らかにすることは、重要な課題と考えられる。よって、本研究では、超音波振動型キャビテーション損傷試験法を用いて、難燃性マグネシウムのキャビテーション試験を行い、アルミニウムと鉄の場合との比較・検討を行う。また、得られた難燃性マグネシウムの試験結果等を学習教材として教材化を図り、中学校における検証授業を行うことにより、その教育効果を明らかにする。

## 2. 実験装置と方法

図1には、本実験で用いた振動型キャビテーション損傷試験装置の概略を示す。キャビテーションは、振動ホーンの先端に試験片を取り付け、水中で超音波振動させることにより発生させる。

試験片の材質は、2種類の難燃性マグネシウム(Mg1: AMCa602Mg, Mg2: AZCa912Mg)と、比較のために用いたアルミニウム(5056Al)及び鉄(S30C炭素鋼)である。試験片の形状は、直径15.9mm

の円柱で、難燃性マグネシウム及び鉄の高さは6mm、アルミニウムは12mmである。試験片表面は3000のエメリーペーパーで仕上げている。実験条件は、振動数 $19.5 \pm 0.5$ kHz、振幅 $38 \pm 1$ μm、試験槽内の液温を $295 \pm 1$ K、試験片の没水深さ10mm及び試験時間 $t = 60$ minとしている。

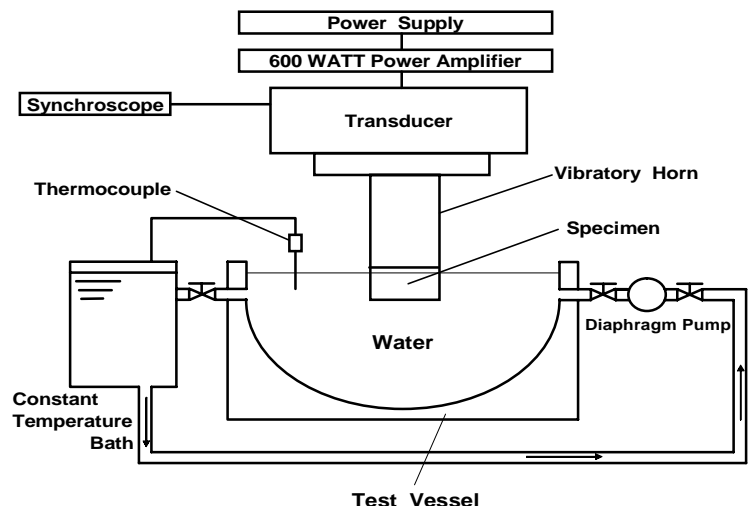


図1 試験装置

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 キャビテーション損傷量

図2には、難燃性マグネシウム(Mg1, Mg2)、アルミニウム及び鉄の損傷量 $M_L$ と試験時間 $t$ との関係を示す。試験時間 $t = 60\text{min}$ では、難燃性マグネシウム Mg1 の損傷量 $M_L$ は、難燃性マグネシウム Mg2 と比べて、約8%増加する。難燃性マグネシウムの $M_L$ 値はアルミニウムと比較して、 $t = 60\text{min}$ で約11~17%低下しており、耐キャビテーション強さはアルミニウムよりも大きいと言える。 $t = 60\text{min}$ における難燃性マグネシウムの $M_L$ 値は、鉄に比べて約2.8倍となる。

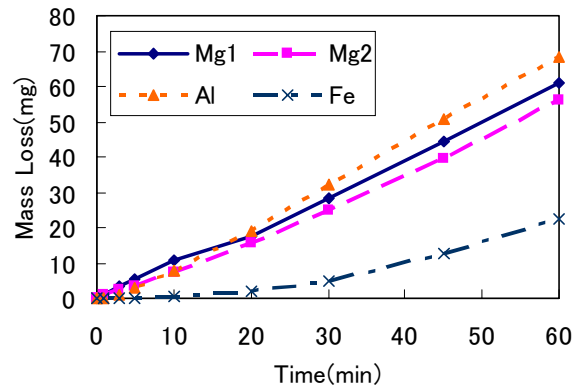


図2 Mg1, Mg2, AL, Fe の損傷量の比較

#### 3.2 キャビテーション損傷率

図3には、難燃性マグネシウム(Mg1, Mg2)、アルミニウム及び鉄の損傷率 $M_{LR}$ の時間的变化を示す。難燃性マグネシウムの損傷率 $M_{LR}$ は、アルミニウム及び鉄と比べて、試験開始直後に急激に上昇するが、試験時間 $t = 10\text{min}$ でアルミニウムよりも低下する。 $t = 60\text{min}$ の難燃性マグネシウムの損傷率 $M_{LR}$ 値は、アルミニウムと比べて、約11~21%小さくなる。難燃性マグネシウムの損傷率 $M_{LR}$ は鉄に比べてかなり大きく、 $t = 60\text{min}$ では約2.5~2.8倍となる。

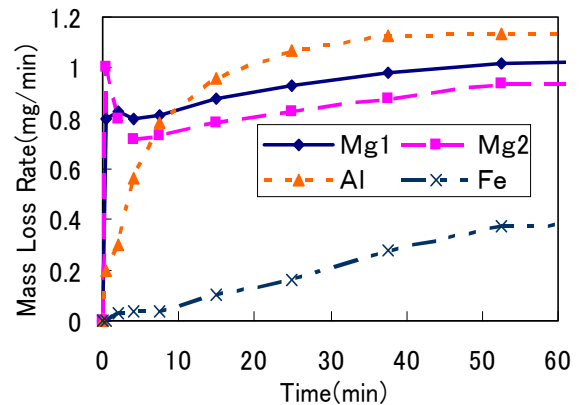


図3 Mg1, Mg2, AL, Fe の損傷率の比較

#### 3.3 試験片表面粗さ

図4には、試験時間 $t = 60\text{min}$ における、難燃性マグネシウム試験片Mg1の粗さ曲線を示す。難燃性マグネシウム Mg1 試験片では、深さが $150\mu\text{m}$ 程度の損傷ピットが数箇所発生している他、 $50\sim 100\mu\text{m}$ の損傷ピットが多数見られる。なお、アルミニウム試験片には、幅約 $300\mu\text{m}$ 、深さは $70\sim 150\mu\text{m}$ の損傷ピットが検出される。鉄の場合には、 $t = 60\text{min}$ における損傷ピットの深さは $10\sim 15\mu\text{m}$ 程度である。

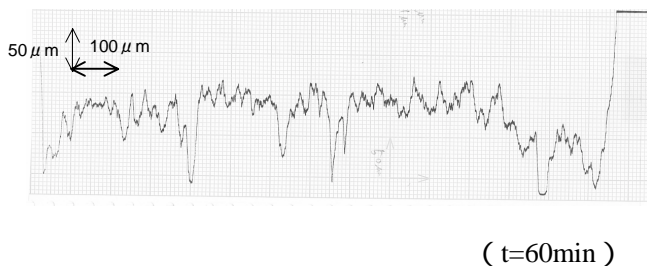


図4 難燃性マグネシウムの粗さ曲線

表1 Ra, Rz 及び Rmax の値 (  $t = 60\text{min}$  )

	Ra	Rz	Rmax
Mg1	19.2	71	112
Mg2	18.0	62	108
Al	28.0	119	204
Fe	2.5	13	17

( 単位  $\mu\text{m}$  )

表 1 には、試験時間  $t = 60\text{min}$  における試験片表面の中心線平均粗さ  $R_a$ 、十点平均深さ  $R_z$  及び最大深さ  $R_{\text{max}}$  を示す。難燃性マグネシウム  $\text{Mg}_2$  の  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{\text{max}}$  は、難燃性マグネシウム  $\text{Mg}_1$  と比べて、5～13%小さくなる。難燃性マグネシウム  $\text{Mg}_2$  は、アルミニウムと比較して  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{\text{max}}$  の値は 36～48%低下しており、耐キャビテーション強さは大きいと言える。 $\text{Mg}_2$  の  $R_a$ 、 $R_z$ 、 $R_{\text{max}}$  は、鉄と比較して約 5～7 倍大きくなる。

### 3.4 試験片表面の損傷状態

図 5 の(a)(b)(c)及び(d)には、難燃性マグネシウム ( $\text{Mg}_1$ 、 $\text{Mg}_2$ )、アルミニウム及び鉄の各試験片表面の損傷状態を示す。難燃性マグネシウムの試験片表面で観察されるピット数はアルミニウムと比べて少ない。また、ピットの大きさ及び深さも小さく、難燃性マグネシウムのピットの大きさはアルミニウムの約 70%の大きさとなる。鉄では、 $t = 60\text{min}$  経過後でも明瞭な損傷ピットは目視されない。

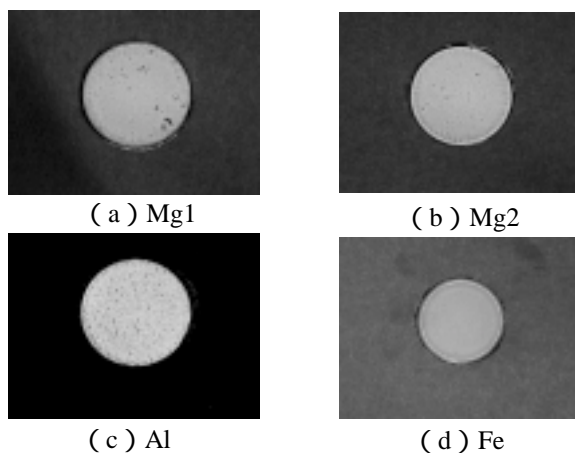


図 5 各種試験片表面の損傷状態 ( $t=60\text{min}$ )

## 4. 授業実践と結果

### 4.1 授業実践

学校教育で重視されている科学技術教育の指導計画について検討し、「難燃性マグネシウムと他金属との質量比較実験教材」、「既存のマグネシウムと難燃性マグネシウムの燃焼試験教材」、「難燃性マグネシウムのキャビテーション損傷に関する教材」等を製作した。開発した題材・教材を中心的な学習内容とする学習指導案の作成を行った。次いで、検証授業を行うことによって本学習内容及び科学技術教育用教材の教育的有用性について分析と考察を行った。授業実践は、熊本県内の M 中学校 3 年生 (39 名) を対象に行った。本授業の学習目標は、「先端科学技術について興味・関心を持ち、科学的に理解するとともに、難燃性マグネシウムの特性や応用について知る。」としている。

### 4.2 結果と考察

図 6 に示すように、科学技術への興味が「とてもある」、「ある」と答えた生徒の割合は授業後には、57%増加し、90%となった。また、「今日の授業で科学技術に興味を持ち、今後の科学技術も知りたいと思った。」や「先端科学技術の授業は初めて聞くことばかりでとても楽しかった。」などの感想が得られたことなどから、本授業の結果、生徒の科学技術への興味・関心が著しく増加したものと考えられる。本授業の難燃性マグネシウムの特性は、生徒にとっては未知の先端科学技術を体験的・視覚的に学習できるような授業内容であった

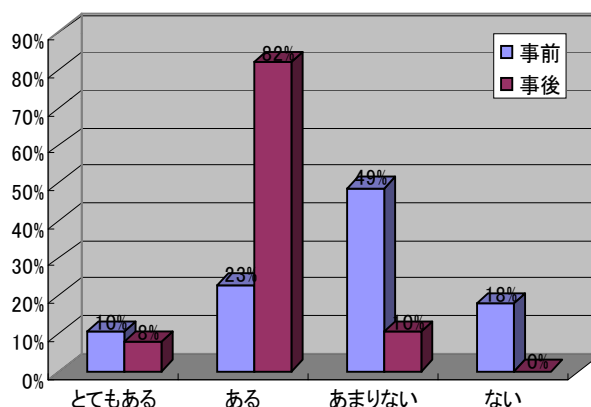


図 6 科学技術への興味・関心

ことが、科学技術に関する興味が増加した要因になったものと考えられる。

図7に示すように、授業後においては、先端科学技術の役割や重要性について全ての生徒の理解が図られた。関連する感想として「今の科学が環境によく取り組んでいることが分かった。」ことなどから、地球環境保全に関する科学技術の役割が具体的かつ科学的に理解できたものと考えられた。「難燃性マグネシウムの良い点をなくさず、弱点だけ改善されているのに驚いた。」や「新しい技術によってつくられたとてもいい金属である。」等の感想からは、難燃性マグネシウムが創意工夫された科学技術の研究によって開発された、価値ある

ものであることが理解されたものと考えられる。「この授業の続きを受けてみたいか。」という問いに対しては、95%の生徒が受けてみたいとの回答であった。関連する感想として「これからの自分たちのことに関係してくると思うので、興味がわいたことを自分で調べてみたい。」、「これからは先端科学技術にも関心を持って、未来の事などを考えていきたい。」、「この経験を高校などに活かしたい。」などが寄せられており、今後、科学技術や理系の学習内容に対する持続的な学習意欲につながったものと考えられた。

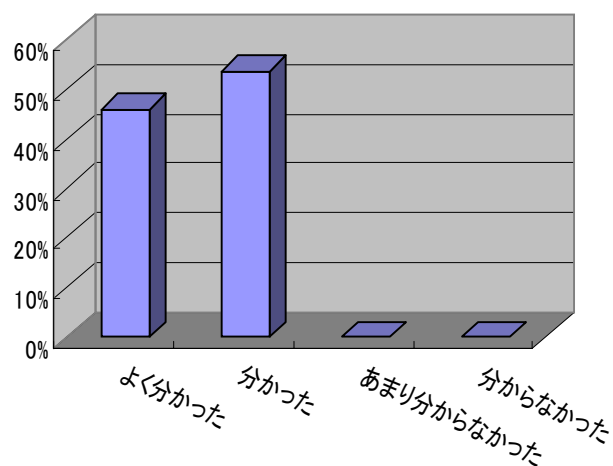


図7 科学技術の役割と重要性について

## 5. 結 言

本研究では、超音波振動型キャビテーション損傷試験法を用いて、難燃性マグネシウムの損傷量、損傷率の時間的变化、表面粗さ及び試験片表面の損傷状態を明らかにした。アルミニウム、鉄の場合との比較・検討を行った。その結果、難燃性マグネシウムの耐キャビテーション強さはアルミニウムと比較して、強いことが明らかにされた。次いで、得られた難燃性マグネシウムの試験結果等を学習題材・教材として、中学校において検証授業を行うことにより、本題材・教材の教育的有用性が明らかにされた。

終わりに臨み、本報告にあたり、研究内容や実践授業などをご教示いただいた熊本大学辻野智二教授に、そして難燃性マグネシウム材料及び関係資料を提供いただいた独立行政法人産業技術総合研究所の坂本満サステナブルマテリアル副研究部門長並びにサステナブルマテリアル研究部門環境適応型合金開発研究グループ（九州センター）の上野英俊元グループ長に深く感謝致します。

## 6. 参考文献

- [1] H.Nanjo, A.Shima and T.Tsujino: Formation of Damage Pits Caused by Cavitation in a Polymer Solution, Nature, Vol.320, pp.516-517, (1986).
- [2] 辻野智二, 島 章, 及川裕一: 高含水作動液中のキャビテーションと発生ノイズ, 日本機械学会論文集(B), 第 56 巻, pp.3592-3596, (1990).
- [3] 上野: マグネシウム合金の難燃化と応用技術, MATERIAL STAGE Vol.8 pp.41-47(2004).
- [4] 秋山, 上野, 坂本, 平井, 北原: 難燃性マグネシウム合金の開発, までりあ Vol.39 第 1 号 pp.72-74(2000).