

# 室温超塑性 Zn-Al 合金の開発と 制振ダンパーへの適用

高木敏晃\*      南 知幸\*\*      櫛部淳道\*\*\*  
 瀧川順庸<sup>1)</sup>\*\*\*\*      東 健司<sup>2)</sup>\*\*\*\*

## 1. はじめに

地震国である我が国は、いつ大地震が起きてもおかしくない状況におかれており、中央防災会議においても今世紀半ばまでに東海・東南海・南海地震の発生が予想されている。1995年に発生した兵庫県南部地震以降、特に超高層ビルでは、揺れを低減するための制振ダンパーを組み込んだ制振構造物が急速に普及してきており、建築構造物の耐震技術の高度化が緊急の課題となっている。さらには、建物内での居住性の観点から、風などによる比較的小さな揺れに対しても制振効果を発揮する制振技術へのニーズが高まってきている。

制振ダンパーは、地震時に建物が揺れはじめると、柱や梁といった主要構造部材よりも先に弾塑性変形させることで、地震のエネルギーを吸収し揺れを低減するもので、低降伏点鋼の塑性変形を用いたダンパーや、粘弾性材料のせん断変形を用いたダンパーなどがすでに実用化されている。しかしながら、低降伏点鋼を用いたダンパーは、塑性変形時に加工硬化、ひずみ劣化する特徴があり、損傷の程度によっては、地震後に点検、交換を行なう必要がある。また、粘弾性材料を用いたダンパーは、金属に比べて強度が低く、装置が大型化する、設置箇所が増えコストアップにつながるなどの問題点がある。

そこで、これらの課題を解決する材料として室温で超塑性

を発現する Zn-Al 合金を開発するとともに、本素材の特長である超塑性特性を最大限発揮できる形状として、軸力型ダンパーを考案し、大地震のみならず風にまでマルチに対応できる制振ダンパーを開発した。本ダンパーは、芯材に超塑性合金を用いているため、大地震による変形においても素材が劣化することなく、メンテナンスフリーを実現している。

## 2. 室温超塑性 Zn-Al 合金の材料特性

超塑性材料として知られている Zn-Al 合金は、これまでに、200°C以上の高温域においては超塑性現象を発現することが報告されている<sup>(1)</sup>。しかし、工業的に製造された材料において室温で超塑性が発現したという報告はなく、理論的には、結晶サイズを微細化することにより、超塑性発現温度を低下できることが知られていた<sup>(2)</sup>。著者らは、TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) 技術を用いることにより結晶粒を微細化し、室温においても超塑性が発現する合金を開発した<sup>(3)</sup>。さらに、ダンパーの大出力化ニーズに対しては、素材大型化(厚肉化)と超塑性特性というトレードオフの関係にある課題を、圧延加工前の熱処理条件等を適正化することにより、ダンパーとして必要な出力と超塑性特性を両立させた。

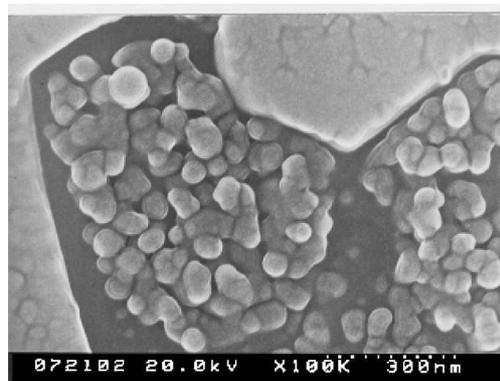


図1 ZnAl 合金の組織写真.

\* 株式会社神戸製鋼所材料研究所：研究員

\*\* 神鋼メタルプロダクツ株式会社加工品技術課

\*\*\* 株式会社竹中工務店技術研究所：主任研究員

\*\*\*\* 大阪府立大学大学院工学研究科マテリアル工学分野：

1) 准教授 2) 教授

Development of Room Temperature Superplastic Zn-Al Alloy and Application for Seismic Damper; Toshiaki Takagi\*, Tomoyuki Minami\*\*, Atsumichi Kushibe\*\*\*, Yorinobu Takigawa\*\*\*\*, Kenji Higashi\*\*\*\*\* (\*Materials Research Laboratories, Kobe Steel Ltd., \*\*Shinko Metal Products Co. Ltd, \*\*\*Research and Development Institute, Takenka Corporation, \*\*\*\*Dept. of Materials Science, Osaka Prefecture University)

2008年10月31日受理

図1に、本合金の組織写真を示す。アルミ相に囲まれた亜鉛相の結晶粒径が、nmオーダーに微細化されている。

図2に、Zn-Al合金の降伏強度、引張強度のひずみ速度依存性を示す。超塑性材料の特徴である強いひずみ速度感受性を示し、ひずみ速度が大きくなるにつれて、強度は高くなる。大地震時に制振ダンパーに加わる最大ひずみ速度は、0.1/s程度と想定され、このひずみ速度域での引張強度は300MPa以上であり、従来の極低降伏点鋼と同等以上の強度をもつことがわかる。図3に、伸びのひずみ速度依存性を示す。伸びにも明確なひずみ速度依存性がみられる。ひずみ速度が大きくなるにつれて、伸びは低下するが、ひずみ速度0.1/sにおいても50%以上の伸びを示しており、極低降伏点鋼と同等の延性を示していることがわかる。

### 3. 軸力型制振ダンパーの特徴

#### (1) 構造

図4に開発した軸力型制振ダンパーを示す。芯材として使用したZn-Al合金は、平行部の板厚17.1mmt、板幅210mmW、長さ1770mmLである。特殊な機構の補剛治具により、引張-圧縮の繰り返し変形による座屈を防止する機構となっている。

#### (2) エネルギー吸収特性

図5に正弦波にて加振を行なった制振ダンパーの荷重-ひずみ関係を示す。加振周波数は、高さ100m級の鉄骨造超

高層ビルを想定し0.33Hzとした。最大荷重は1000kNを超え、ビル用ダンパーとして必要な出力が得られている。また、小振幅領域からひずみ1.0%の大振幅領域においても、安定したループを描いており、このループの面積が地震のエネルギー吸収量に対応することから、安定したエネルギー吸収特性を持つことがわかる。図6に、風揺れを想定した微小振幅での荷重-ひずみ関係を示す。振幅0.5mm以下の極めて小さな振幅に対してもループを描いており、エネルギー吸収性能があることがわかる。以上より、大地震のみならず風にまでマルチな制振効果を発揮する制振ダンパーであるといえる。

#### (3) メンテナンスフリー

想定する建物に、約500年に一度程度発生するとされる「極稀地震(大地震)」が2回、稀に発生する中規模の地震「稀地震」が5回を表1の順序で入力した。試験の最初と最後の極稀地震の結果を比較したものを図7に示す。結果は初期の40秒について示す。図から明らかなように、複数回の地震波を入力したにもかかわらず、荷重曲線がほぼ重なり、制振ダンパーの性能にほとんど変化が認められないことがわかる。再現性の高い極めて安定した性能を発揮しており、地震の発生頻度から考えても、実質メンテナンスフリーで使用できると判断できる。本制振ダンパーにおける合金芯材の座屈の抑制機構とともに、加工硬化、ひずみ劣化が極めて少ない超塑性Zn-Al合金の特長が引き出された結果である。

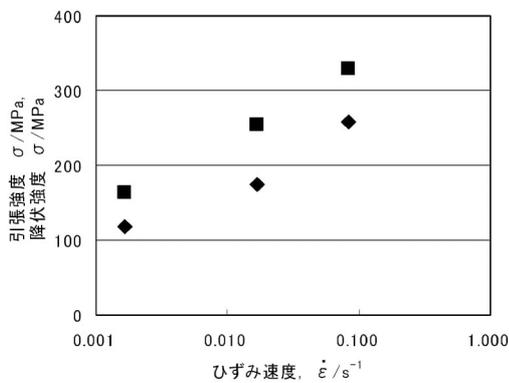


図2 降伏強度と引張強度のひずみ速度依存性。

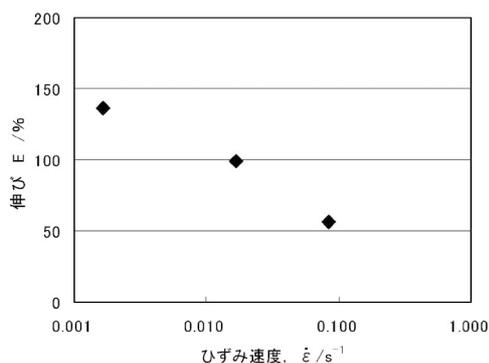


図3 伸びのひずみ速度依存性。



図4 軸力型制振ダンパーの概観。

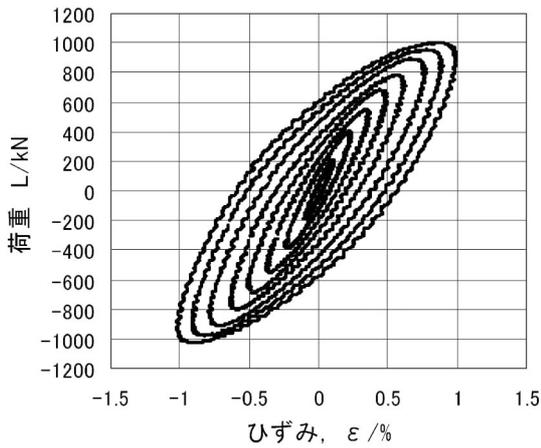


図5 正弦波にて加振を行なった制振ダンパーの荷重-ひずみ関係。

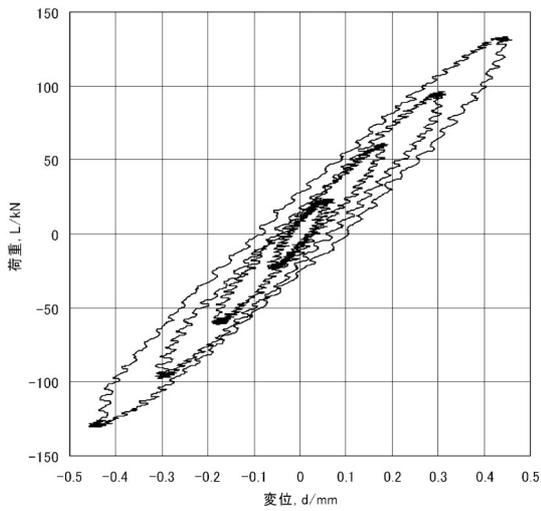


図6 微小振幅時での荷重-変位関係。

表1 入力した地震波。

地震波	時間(秒)
極稀地震1回目	120
稀地震	60
極稀地震2回目	120

#### (4) 適用実績

開発した軸力型メンテナンスフリー制振ダンパーは、福岡市東区香椎地区のアイランドタワースカイクラブ(42階建3棟：2008年8月竣工)の制振ダンパーとして採用された。

#### 4. 特 許

本開発合金および本合金を用いた制振ダンパーについて

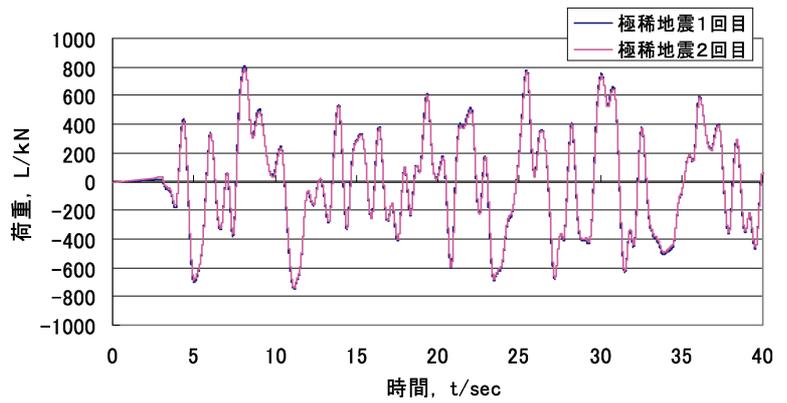


図7 設計地震応答波入力試験の結果。



図8 適用事例(福岡市東区香椎地区アイランドタワースカイクラブ)。

は、計15件の出願を行っており、既に計8件が登録されている(特許第3674897号, 特許第3773893号, 特許第3844424号, 特許第3898844号, 特許第4022379号ほか)。

本合金は、高層ビル用制振ダンパー向けだけでなく、戸建住宅用制振ダンパー向けとしても制振効果を確認しており<sup>(4)(5)</sup>、今後、安全な居住空間を実現するための制振部材として用途が広がっていくものと期待される。

#### 文 献

- (1) Y. Motohashi, T. Shibata and M. Miyagawa: JILM, **33**(1983), 270.
- (2) H. Watanabe, T. Mukai, M. Mubuchi and K. Higashi: Scr. Mater., **41**(1999), 209-213.
- (3) 榎井浩一, 上田宏樹, 岡田 徹, 加藤 稔, 三村裕一, 田渕勝道: 神戸製鋼技報, **51**(2001), 34.
- (4) 高木敏晃, 榎井浩一, 榎部淳道, 青木和雄, 東 健司, 江立男: 神戸製鋼技報, **55**(2005), 41.
- (5) A. Kushibe, K. Makii, L. F. Chang, T. Tanaka, M. Kohzu and K. Higashi: Mater. Sci. Forum., **475-479**(2005), 3055.