

長周期地震動に対応可能な耐疲労 制振ダンパー合金



SATテクノロジー・ショーケース2015

■ はじめに

鋼材の塑性変形によって地震動を熱に変換して吸収する制振ダンパーは、低コストでメンテナンス性に優れていることから、制振・免震技術の普及に中心的な役割を担っている。繰り返し塑性変形させて使う鋼材ダンパーは、想定される地震の頻度と規模に対して、建物の寿命より十分長い耐疲労寿命を持つように設計されるが、東日本大震災では長周期地震動や余震により従来の予測を上回るダメージが発生することも明らかになり、耐疲労寿命に優れた制振ダンパーが求められている。

本研究では、従来比10倍の耐疲労寿命を有する新型制振ダンパー合金を開発した。開発のベースになったのはFe-Mn-Si系の形状記憶合金である。特有の原子メカニズムを活用して、繰り返し塑性変形に対するダメージの蓄積が最小になるよう合金設計した。製造コストや強度・耐食性等の総合特性も考慮した実用成分を開発し、共同研究企業の協力により、名古屋駅前に建設中の超高層ビル「JPタワー名古屋」に16基の新型ダンパーの実装を達成した。

■ 合金設計指針

1. 新しい変形メカニズムの発見

Fe-Mn-Si系形状記憶合金は、オーステナイト系の鉄基合金で、変形するとオーステナイト相または γ (ガンマ)相と呼ばれる初期状態から、一部が ϵ (イプシロン)相と呼ばれる板状の組織に変化した二相状態になる。これを加熱すると ϵ 相が元の γ 相に戻る際に、付与された外形変化も元の状態に戻る一すなわち、形状記憶効果が発現する。

我々は、Fe-Mn-Si系合金の低サイクル疲労特性を詳細に検討した結果、この合金を繰り返し引張圧縮変形すると、変形方向が逆転(引張→圧縮、または圧縮→引張)した際に、 γ 相から ϵ 相への変化と、 ϵ 相から γ 相への逆変化が交互に起こり、変形が可逆的に生じる結果、金属疲労のダメージが抑制されることを見いだした。図1はこのような可逆変形メカニズムの観察例である。

このような現象を効果的に発生させる鍵は、 γ 相と ϵ 相の熱力学的エネルギーを釣り合わせることであり、そのための成分設計指針確立するため、合金の熱力学的性質や力学的性質、特に疲労特性と疲労変形組織に関する研究が系統的に進められた。

2. 元素機能活用による変形組織設計

図2は合金の耐疲労特性に重要な影響を及ぼすSiやAlの濃度によって疲労変形組織が顕著に変わる様子を電子線背面反射回折法によって調査した結果である。中間のSi濃度のサンプルでは γ 相(グレー)と ϵ 相(グレー)が混在し、き裂の進展がジグザグになっていることが特徴である。この特徴のために材料内に微小き裂が発生してもマクロき裂への成長が抑制される。

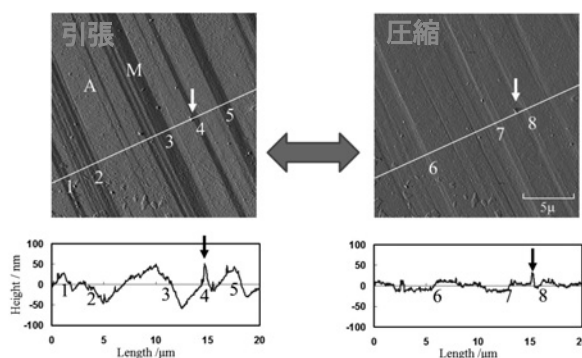


図1. 可逆的 $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ 変態の原子間力顕微鏡像. 濃いコントラストが ϵ 相、白が γ 相.

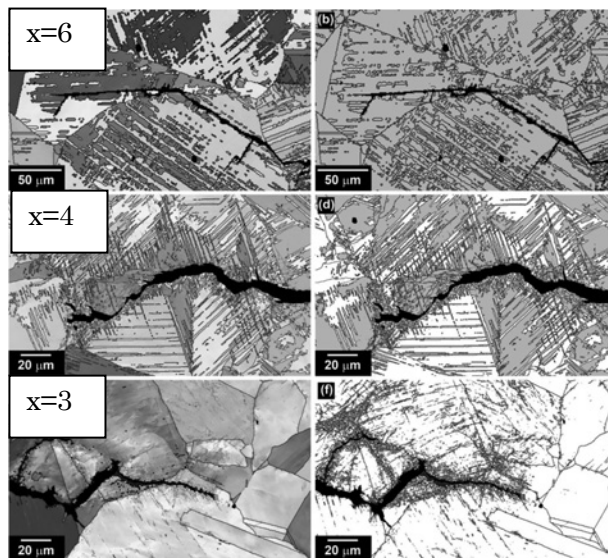


図2. 疲労破壊したFe-30Mn-xSi-(6-x)Al合金のEBSD像. 相図(右)でグレーが ϵ 相、白が γ 相.

代表発表者 澤口 孝宏 (さわぐち たかひろ)
所 属 (独)物質・材料研究機構
構造材料ユニット 組織設計グループ
問合せ先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL: 029-859-2416 FAX: 029-859-2101
sawaguchi.tkahiro@nims.go.jp

■キーワード: (1) 制振ダンパー
(2) 長疲労寿命
(3) Fe-Mn-Si 形状記憶合金

■実用成分開発のための技術課題

Fe-Mn-Si合金は蒸気圧が高いMnを約30wt%と高濃度に含有するために溶解が困難である。また、Mn原料にはSやP等の有害元素が高濃度に含まれるために、Mnの大量添加はこれら有害元素の濃度上昇にも繋がる。このため、実験用の材料は高純度原料を用いて高周波真空誘導加熱で製造されるが、この場合、原料コストや製造コストが上昇し、遍在性の高い元素(Fe、Mn、Si)のみからなる基本合金成分の潜在的な低コスト性が損なわれてしまう。

建築分野での実用化のためには素材の低コスト化は必須であることから、物質・材料研究機構は、Fe-Mn-Si形状記憶合金継目板の製造を手がける継手メーカー淡路マテリア株式会社と、建設メーカーの株式会社竹中工務店と共同で、低Mn濃度の耐疲労新制振ダンパー合金の開発に取り組んだ。基礎研究をベースに開発された合金設計指針に基づき、Mn濃度の低下と同時に、耐疲労特性のさらなる向上と、強度、耐衝撃性、耐食性などの総合性能にも優れた新成分で、従来比10倍の低サイクル疲労寿命を達成した。図3は、±1%のひずみ振幅における疲労寿命を、従来のダンパー鋼材LY100、LY225と比較したものである。

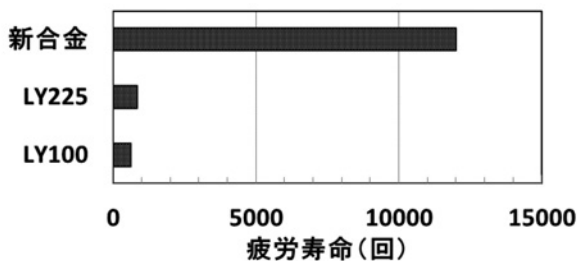


図3. 新合金の低サイクル疲労寿命

■実構造物への初適用

2011年3月11日に発生した大地震とその後の震災では極めて甚大な被害が発生し、今後の防災に対する種々の議論がなされた。震源地から遠く離れた大阪では長周期地震動により高層ビルが長時間にわたって大きく揺れる現象も報告された。また、大地震後約2年間の長期にわたる余震の発生も大規模かつ高頻度であった。工業的対策としては制振・免震技術のさらなる性能アップと広い普及が必要である。鋼材ダンパーは低コスト性やメンテナンス性の観点から普及の中心的役割を担っているが、従来

の想定を上回るダメージの蓄積に耐えられる耐疲労材料への期待が高まっている。このような背景から、我々は新たに開発した耐疲労新合金を用いて新型ダンパーを開発し、2013年3月～4月、名古屋駅前に建設中の超高層ビル「JPタワー名古屋」の低層階に計16基のダンパーを初めて実装した(図4)。



図4. JPタワー名古屋(2015年11月完成予定、施工:竹中工務店)に実装された新合金制振ダンパー

■今後の展望

新合金は高層建物のみでなく中低層の建物や橋梁等の土木構造物の制振技術にも適用可能である。また、耐疲労特性改善の新合金設計指針は様々な構造用金属に適用させて構造材料研究の新分野を切り開くことが期待される。

■関連情報

- 関連特許: 特開2014-129567
- 助成事業等: 本研究は第三期NIMS中期計画プロジェクトの一環として行われました。本発表の一部はNEDO産業技術研究助成事業06A25005dの成果を含みます。
- 問い合わせ先:
 - <基礎特性> 独立行政法人物質・材料研究機構
 - <素材・部材> 淡路マテリア株式会社
 - <ダンパー性能> 株式会社竹中工務店