

だけで済むため、量産に向けて高度な設備を必要としないことも利点である。このCu系単結晶超弾性合金は、ハウスメーカー等との共同開発により、木造住宅用の鋼製の筋交い(たすき掛けの斜材)の一部に使用され、2019年10月に国土交通大臣認定を取得している。超弾性合金を使用しない場合は地震

の強い揺れにより筋交いが緩み、抵抗力が低下するが、超弾性合金を利用した場合は、強い揺れで変形が生じても回復するため筋交いが緩むことはなく、大地震が繰り返し発生しても抵抗力を発揮し続ける。

このCu系超弾性合金の研究成果を活かして、メカニズムを

## 実用化が進む鉄系形状記憶合金

### ■ 接続部材として実用化が進むFe-Mn-Si系合金

近年、実用化が着実に進んでいるのが鉄系形状記憶合金である。代表的なのはFe-Mn-Si系合金で、耐食性を向上させるためこれにCrやNiを添加した合金も開発されている。Fe-Mn-Si系合金は変形と加熱を繰り返すと回復特性が向上する「トレーニング効果」があり、このトレーニング効果を利用すると、室温で6%程度変形した際に最大で約4%の回復歪が得られる。Ti-Ni合金のように完全には回復しないが、用途によっては十分有効な回復量となる。原料が安価で、一般鋼材と同じ生産設備で製造可能という利点や、一度形状回復した後は加熱冷却による形状変化は生じないという特徴を活かし、実用化が進んでいる。一般的には継手のような接続部材に適しており、特に比較的大きな部材の締結用途でコスト優位性が大きくなる。なかでも製鉄所構内のクレーンレール用継目板は近年、最も実績の多い用途となっている(図4)。

製鉄所構内のクレーンレールは2枚の一般鋼材から成る継目板をボルトで接合する方式が標準であるが、ボルトとボルト孔の間に隙間があることでレール同士の繋ぎ目にも隙間が生じる。隙間が生じると、クレーンの車輪とレール端部が衝突し、振動や衝撃が起こったり、レール端部が摩耗して凹んだり欠けが発生し、クレーンの走行に障害を起こす場合がある。

そこで開発されたのがFe-28Mn-6Si-5Cr合金を使用した継目板である。これはあらかじめ強制的に引張変形を加えておいた2枚の継目板でレール継目部を挟み込んでボルトで固定し、継目板を加熱することで形状記憶効果により収縮してレールを引き寄せ、遊間(隙間)を消滅させる。遊間が消滅した後も継目板はさらに収縮しようとするため、レールとレールを押し付ける締結力が発生する。この締結力をクレーンがレール走行時に発生するレールを引っ張る力よりも大きく設計することで、引張力を打ち消して遊間の再発生を抑制することができる。施工においては継目板を均一に加熱する施工方法を確立することで、熟練工を必要とせず、1か所10分程度と短時間で接続することが可能となっている。2004年の初適用から製鉄所構内の天井クレーンで2200箇所以上採用され、クレーンが継目部を通過した際の振動が大幅に減ったと報告されている。初適用から17年経過したが、現在も問題なく使用されている。

### ■ 優れた疲労耐久性を持つ制振ダンパー

Fe-Mn-Si系合金は二つの特性を持つ。一つは形状記憶効果、もう一つは非常に優れた疲労耐久性である。この疲労耐久性を活かして、2014年に制振ダンパーが実用化され、注目されている(図5)。

制振ダンパーは、地震時に建造物の変形を集中的に受けることで地震エネルギーを吸収し、揺れを低減することで主要構造部材の損傷を抑える役割



レール継目部の損傷状況  
(出典: 新日鉄住金技報第405号(2016)72-80)

Fe-Mn-Si系合金製継目板によるレールの締結



Fe-Mn-Si系合金製継目板の外観  
クレーンレールのみならず、ランウェイガーダーや天井クレーンの長寿命化にも効果があると言われている。

図4 多数の実績を持つ製鉄所構内クレーンレール用継目板

明らかにするとともに熱処理プロセスの最適化を進め、鉄系超弾性合金への応用が進められている。科学技術振興機構(JST)の研究成果最適展開支援プログラム「大地震後の建造物の機能維持に向けた鉄系超弾性合金単結晶大型部材

●取材・資料協力 東北大学大学院工学研究科金属フロンティア工学専攻 大森俊洋准教授 ●文 藤井 美穂

の開発」(東北大と(株)古河テクノマテリアル)では、鉄系超弾性合金の結晶粒を170mmまで巨大化できた。さらには実用化を視野に入れ、超弾性合金を使用した部材の耐震性の評価等が行われている。

をする。制振ダンパーは主にオイル系や粘性系、鋼材系ダンパーがある。低降伏点鋼の弾塑性変形を利用する鋼材系ダンパーは低コストで汎用性があり、最も高いシエラを持つ。近年、海洋型巨大地震や長周期・長時間地震動、巨大余震などの大振幅、多数回の繰り返し変形など、従来の想定をはるかに上回る地震に備える必要性が高まり、この鋼材系ダンパーのさらなる疲労耐久性向上が望まれている。

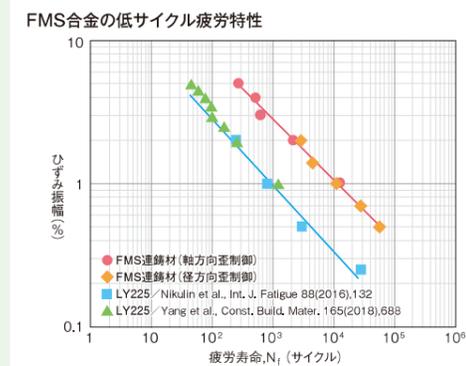
そこで開発されたのがFe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si(FMS)合金を使用した鋼材系ダンパーである。これは物質・材料研究機構、(株)竹中工務店、淡路マテリア(株)により共同開発された。開発された合金は低サイクル疲労寿命が従来の一般鋼材に比べて約10倍となる。これを制振ダンパーの芯材に用いると、制振ダンパーの低サイクル疲労寿命が従来鋼を芯材に用いたダンパーに比べ著しく向上する。芯材は板状になっており、芯材が面外に変形しないよう補剛板で覆ったブレース型ダンパーや補剛鋼管で覆いモルタルを充填したブレース型ダンパーが実用化されている。

パネル型制振ダンパーが実用化された2014年以降、量産化を進めるため、合金の製造プロセスの改良と溶接技術の開発が行われた。当初は10t規模の溶解量の電気炉を用いて、特殊鋼の製造方法で製造していたが、その後の研究開発によって、60t規模の溶解量のステンレス鋼製造設備を使用し、連続製造によって厚板を製造することが可能となった(製造は日鉄ステンレス(株))。FMS合金はステンレス鋼に近いCr量とNi量を含有するが、同時にMnとSiも多く含有することから連続製造が可能かどうかの判断が難しく、溶融凝固した同材料の熱間加工性等を調査するなど、検討が行われた。また既存の溶接材料では溶接できなかったため、専用の溶接材料を開発することで接合部(建物とダンパーが接合する両端部分)に建築構造用鋼材のリップを隅肉溶接することが可能となった。

このような改良・開発を受けて2017年、愛知県国際展示場にFMS合金を使用した制振ダンパーが適用された。今後は高層ビルや大型施設のみならず、土木・橋梁建造物、一般住宅、既存建物の耐・制振補強などにも用途を拡げていく予定で、これまで建物を限定した指定建築材料の国土交通大臣認定を取得してきたが、建物を限定せずに一般材料としての国土交通大臣認定取得を急いでいるという。

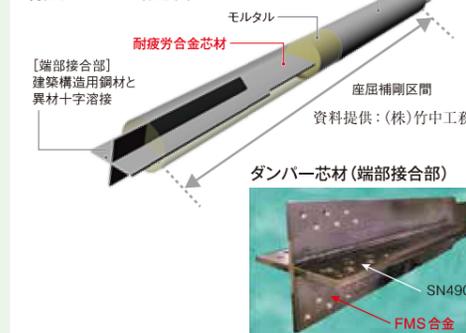
Fe-Mn-Si系合金は1982年に発見されてからその後の開発、応用まで、主として日本で行われてきた合金である。最近では実用化例が着実に増えてきており、その優れた性能を活かして、様々な用途で活躍の場を拡げていくことを期待する。

●取材・資料協力 淡路マテリア(株)



低サイクル疲労寿命は低降伏点鋼(LY225)の約10倍となる。

ブレース型耐疲労合金制振ダンパーの概念図



ダンパーの取付状況



資料提供: (株)竹中工務店

図5 FMS合金を使用した制振ダンパー