

超長疲労寿命制振ダンパー鋼の塑性変形機構

O26

Plastic deformation mechanism of super-long-fatigue-life seismic damping steel

澤口孝宏 Sawaguchi.takahiro@nims.go.jp

(国)物質・材料研究機構

南海トラフ地震や首都直下地震など、30年以内の発生確率が70~80%と予測される巨大地震に備えた防災・減災対策が喫緊の課題となる中、制振構造や免震構造などの新しい耐震技術が重要性を増している。鋼材制振ダンパーは鋼材の弾塑性変形ヒステリシスにより地震による建物の揺れを熱エネルギーに変換して減衰させる。講演者らは、地震時に繰り返し弾塑性変形を受ける鋼材制振ダンパー心材の要求特性として、ひずみ制御弾塑性変形に対する疲労耐久性に着目した材料開発に取り組み、従来の鋼材と比較して約10倍の超長疲労寿命を有する新制振ダンパー鋼材 Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si (wt%)を開発した。この新しい鋼材を心材とする制振ダンパーは、巨大地震後の余震や連動地震、長周期地震動など、従来の想定を上回る変形の蓄積に対しても繰り返し耐える高い耐久性が評価され、二件の大型構造物への適用を達成した(図(a)2014年、JPタワー名古屋; (b)2018年、Aichi Sky Expo)。

制振ダンパー鋼 Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si は高 Mn オーステナイト鋼の一種で FCC 構造のオーステナイト(γ)単相組織を示し、塑性変形を受けると γ 相の一部が HCP 構造の ε マルテンサイト相に相転移(マルテンサイト変態)する。 $\gamma \rightarrow \varepsilon$ マルテンサイト変態による塑性変形は Shockley 部分転位の運動を素過程とする。この過程を最密充填構造の最隣接原子で構成される正四面体と正八面体を用いて表せば、頂点に位置する原子が、下層の二原子間のサドルポイントを超えて隣の安定位置に移るせん断変位運動となる(図(c)→(d))。変形の向きが逆転するとこれと真逆の動きが結晶学的に最も起こりやすいために繰り返し変形に対する可逆性が高く、金属疲労の進行を遅延させる働きがあると考えられる。

しかし、高 Mn オーステナイト鋼の塑性変形は、 $\gamma \rightarrow \varepsilon$ 変態のみならず、 $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ マルテンサイト変態、 γ 双晶変形、 γ 拡張転位すべり、 γ 完全転位すべり、変形誘起 ε マルテンサイトの基底面すべりや ε 双晶変形など、多種多様な変形機構が混在して複雑である。また、異なる結晶面上の塑性変形物が互いに交差する箇所や、塑性変形物が粒界や双晶界面に衝突する箇所では二重シアーに特有の塑性変形生成物も生じる。疲労寿命を改善するための材料設計は、熱力学条件と塑性変形機構の選択、結晶学的条件とシアー相互作用、転位-原子相互作用とシアー可逆性などを考慮して、複雑な塑性変形組織を予測・制御する必要がある。

このような複雑な塑性変形を解明する鍵として、塑性変形の素過程を記述する微小体積要素「プラストン」の概念が有効である。講演者は、FCC 結晶の塑性変形を記述する微小体積要素として、FCC 結晶や HCP 結晶の格子間サイトを表す γ 正四面体(T_γ)と γ 正八面体(O_γ)、これらが双晶変形を受けた γ 双晶四面体($T_{\gamma T}$)と γ 双晶八面体($O_{\gamma T}$)、およびベイン変形を受けて BCC 構造の格子間サイトを表す原子配列となった α 四面体(T_α)と α 八面体(O_α)を用いることを提案する。これら多面体ユニットは従来の単位胞の代わりに格子空間を全て充填することが出来、 T_γ 、 O_γ 、 $T_{\gamma T}$ 、 $O_{\gamma T}$ の相互変換規則や三つの軸に沿った Bain 変形に T_α と O_α を対応させることで、二重シアーを含む複雑な構造変化を统一的に表現することが可能となる。

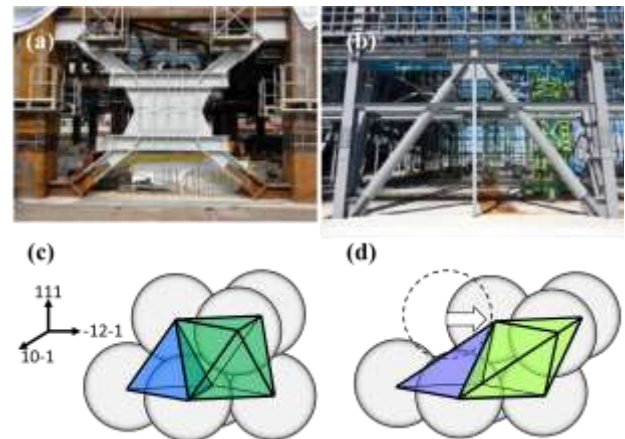


図 実構造物に適用された新鋼材制振ダンパー(a, b)および塑性変形の素過程を表す微小体積要素モデル(c, d)

【共著者(所属)】

吉中奎貴(NIMS)・高森晋(NIMS)・中村照美(NIMS)・櫛部淳道(竹中技研)・井上泰彦(竹中技研)・梅村建次(竹中設計)・大塚広明(淡路マテリア)・千葉悠矢(淡路マテリア)

【関連プロジェクト】

NEDO「中堅・中小企業への橋渡し研究開発促進事業」

【参考文献】

[1] T. Sawaguchi, T. Maruyama, H. Otsuka, A. Kushibe, Y. Inoue, K. Tsuzaki, Mater. Trans. 57(3) (2016) 283-293.

【関連WEB】

[1] 交換不要！複数回の巨大地震に耐える制震ダンパー
<https://www.youtube.com/watch?v=UMFvVURfR3w>