

構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則の開発と制震ダンパーの開発研究

○中日本建設コンサルタント株式会社 建設技術本部 正会員 倉田 正志 名城大学 フェロー 宇佐美 勉

1. 緒言

制震構造の一つである制震ダンパーの研究は、橋梁構造物の耐震性向上の切り札として土木の分野でも多くの研究が行われてきている。本研究では、橋梁のライフサイクルに渡って取り替え不要で、大地震3回に耐えうるような制震ダンパーを高機能制震ダンパーと称し、その開発研究を行うことである。大地震に対する制震ダンパーとして履歴型制震ダンパーが、経済性、信頼性、耐久性などの点で適するとされている。履歴型制震ダンパーは、降伏形態により軸降伏型（座屈拘束ブレース BRB：以降、BRB と略称する）などに分類される。

履歴型制震ダンパーには従来鋼材を用いているが、本研究では履歴型制震ダンパーの素材に構造用アルミニウム合金¹⁾を用いることを試みた。本研究では、耐食性が良く、軽量であり、施工性に優れる構造用アルミニウム合金を履歴型制震ダンパーに使用することによる高機能制震ダンパーの開発を目的としている。基礎的研究として、3種類の構造用アルミニウム合金（A5083P-O, A5052P-O, A6061S-T6）を取り上げ、種々の载荷プログラムでの繰り返し引張－圧縮载荷実験を行い、鋼材に対して開発された修正2曲面モデル²⁾を基に構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則を構築した。また、3種類の構造用アルミニウム合金と鋼材をBRBに適用した場合の数値解析的な挙動比較を行った。

2. 3種類の構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則の開発

構造用アルミニウム合金の繰り返し载荷での構成則は弾性域が変化しない移動硬化則などの適用は難しいことがわかる。このことから、構造用アルミニウム合金に用いる構成則は、弾性域の変化も考慮できる修正2曲面モデル²⁾の適用が妥当だと考えられる。制震ダンパーの素材として最も適すると考えられる3種類の構造用アルミニウム合金（A5083P-O, A5052P-O, A6061S-T6）を取り上げ、種々の载荷プログラムでの繰り返し引張－圧縮载荷実験を行い、鋼材に対して開発された精緻な構成則（修正2曲面モデル）を基に構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則の開発を行った。A6061S-T6は、繰り返し载荷に伴う弾塑性挙動が鋼材と同様であるため、従来の鋼材用に開発された修正2曲面モデルを用いた。しかし、A5083P-OおよびA5052P-Oは、繰り返しひずみ硬化による影響が大きいため、修正2曲面モデルに修正を施して構造用アルミニウム合金用の繰り返し弾塑性構成則を構築した。図-1にランダム载荷実験での実験結果と予測結果の比較を示す。3種類の構造用アルミニウム合金の実験結果と予測結果は、細部を検証すると多少の差が見受けられるが、概ね構築したモデルは、実験結果を良好に模擬している。

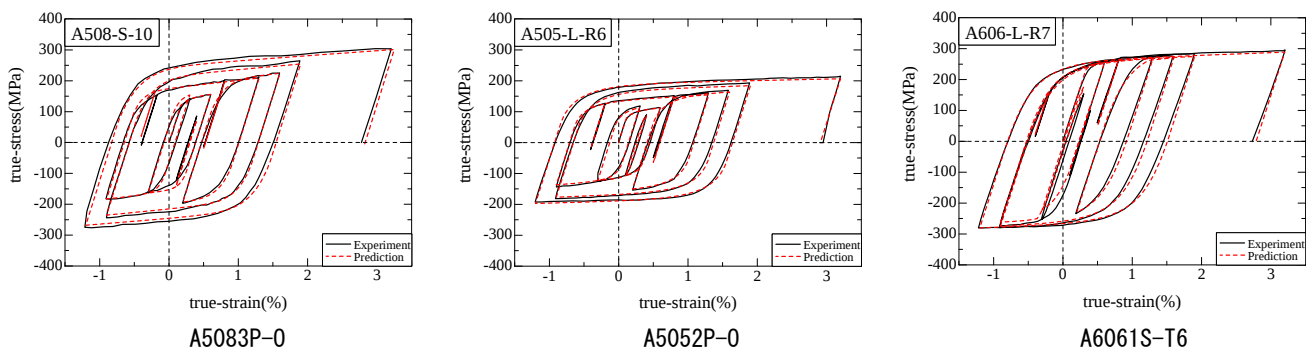


図-1 実験データとシミュレーション結果の比較

キーワード：制震ダンパー、構造用アルミニウム合金、繰り返し弾塑性構成則、修正2曲面モデル

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻 TEL:052-838-2363

3. アルミニウム BRB と鋼材 BRB の数値解析的挙動比較

構造用アルミニウム合金を制震ダンパーに使用するためには、実験的研究を補完する数値解析も必要である。アルミニウム BRB のブレース材は前述の 3 種類を用い、拘束材にはすべて A6061S-T6 を適用した。また、鋼材 BRB についてはブレース材および座屈拘束材共に SM400 を適用した。

3.1 解析概要

図-2 は、本研究室で開発された対称性を考慮して部材の 1/2 モデルとした解析モデル³⁾を示す。ブレース材および拘束材ともに 2 本の 2 次元の両端単純支持柱にモデル化されている。解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS version 6.7 を使用し、ブレース材および拘束材には、横せん断変形を考慮した Timoshenko はり理論に基づく矩形断面の平面梁要素を用いた。また、部材の平面保持を保つため、拘束材およびブレース材とも、2 本の梁要素の向かい合う節点を剛棒要素で結合することで 1 本の梁要素として変形するようにモデル化した。本解析で使用する繰り返し弾塑性構成則は、ブレース材には、新たに構築した前述の 3 種類それぞれの構造用アルミニウム合金の繰り返し弾塑性構成則を使用した。また、材料定数は、それぞれの JIS 規格の最小値を用いた。

3.2 解析結果

図-3 に変動ひずみ振幅の数値解析結果、図-4 に 4 種類の BRB の変動ひずみ振幅の正ひずみ側の包絡線を示す。図-3 および図-4 を見ると、3 種類のアルミニウム合金は高機能 BRB の目標性能である $\varepsilon_u=3.0\%$ に達する前に繰り返しひずみ硬化の影響により素材の引張強度の近くに達してしまうことがわかる。

4. 結言

以下に、本研究で得られた結論を述べる。

- 1) 3 種類の構造用アルミニウム合金それぞれの繰り返し弾塑性構成則を用いて、実験結果を予測したところ比較的良好な結果を得た。
- 2) アルミニウム制震ダンパーの低サイクル疲労強度が低い要因は、顕著なひずみ硬化により早期に素材の引張強度の近くに達してしまうことである。

しかし、アルミニウム制震ダンパーは、一回程度の大地震に耐えられる程度の十分なエネルギー吸収能は保有しており、設置場所を選択することにより、十分に利用可能である。

参考文献

- 1) 大倉一郎：アルミニウム構造学入門，東洋書店。2) 宇佐美勉ら：降伏棚を有する鋼材の繰り返し弾塑性モデル，構造工学論文集，Vol.37A，1991.3。3) 佐藤崇ら：構造用アルミニウム合金BRBの性能実験と解析，土木学会論文集に投稿中。

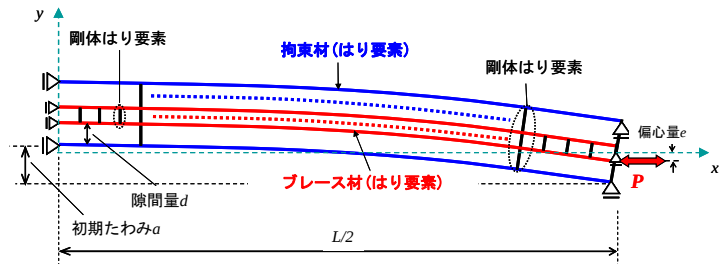


図-2 解析モデル (1/2 モデル)

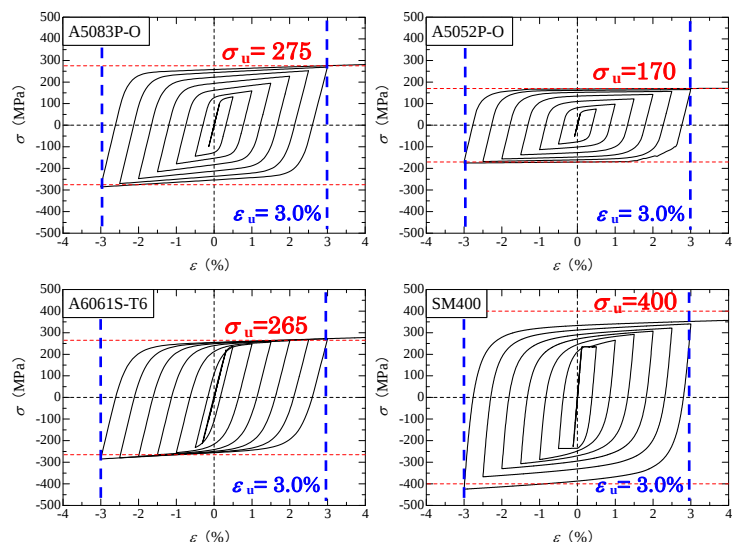


図-3 4 種類の BRB の変動ひずみ振幅の解析結果

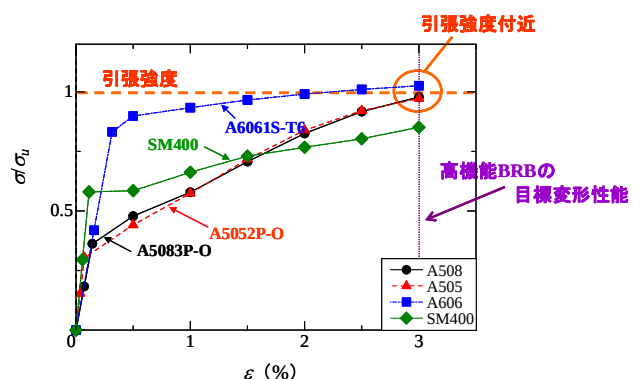


図-4 両振り载荷の包絡線の比較