

鉛を用いた免震・制振デバイスの力学特性予測手法の開発

背景

鉛ダンパーや鉛プラグ入り積層ゴムなど、鉛を用いた免震・制振デバイスが、地震や機械による振動から重要な構造物や発電用機器を守るために使われている。これまで、鉛の材料特性が十分に把握されていなかったため、これらのデバイスの形状や性能を設計するためには、試験模型の製作と力学試験を繰り返す必要がある。鉛材料の力学的な特性を正確に把握し、これに基づく数値シミュレーションを適用することができれば、これらのデバイスの形状の最適化や減衰性能の高精度な予測が可能となる。

目的

鉛を用いた免震・制振用減衰デバイスの形状や減衰性能の設計を、数値シミュレーションによって設計可能とするため、鉛の材料特性を評価し、材料モデルを作成するとともに、これに基づく有限要素解析手法を開発する。

主な成果

1. 鉛の繰り返し特性モデルの提案と免震・制振デバイスの数値シミュレーション

鉛材料の繰り返し変形特性を評価するためのせん断変形試験を実施し、きわめて微小な変形から、数 10 パーセントの繰り返しひずみを受けた大変形の塑性領域まで、鉛の材料特性を高い精度で表現できる数値モデルを提案した。このモデルを有限要素解析コードに組み込み、鉛ダンパーと鉛プラグ入り積層ゴムの力学試験の数値シミュレーションを実施したところ、鉛ダンパーと鉛入り積層ゴムの室温での準静的(0.01Hz)な変形特性を精度良く評価することができた(図1、図2)。

2. 温度とひずみ速度の影響を考慮した数値モデルの提案

ひずみ速度と温度を試験パラメータとした鉛材料の一軸引張り試験を実施し、前項の鉛の数値モデルに対して、さらにひずみ速度と温度への依存性を組み込んだモデルを提案した^{*1}。さらに、この数値モデルに基づき、変形による熱の生成とこれに伴う力学特性の軟化など、力学と熱の連成挙動を精度良く解析することができる熱力学的な数値シミュレーションコードを開発した。開発したコードは、ひずみ速度や温度が変化する場合でも、鉛の引っ張り変形や繰り返し変形を精度良く再現することができる(図3)。

なお、本研究は、オランダ デルフト工科大学との国際共同研究において一部を実施した。

今後の展開

開発した数値モデルと数値シミュレーションコードを用いて、鉛を用いた免震・制振デバイスの動的な特性を評価し、地震時の性能を評価する。

主 担 当 者 地球工学研究所 地震工学領域 主任研究員 松田 昭博

関連報告書 「鉛を用いた免震・制振デバイスにおける減衰特性の数値シミュレーション」 電力中央研究所報告：N04014 (2005年4月)

「免震制振デバイスに用いられる鉛材料を対象とした熱力学的な有限要素解析」 電力中央研究所報告：N04040 (2005年10月)

*1 特許は現在出願中です。

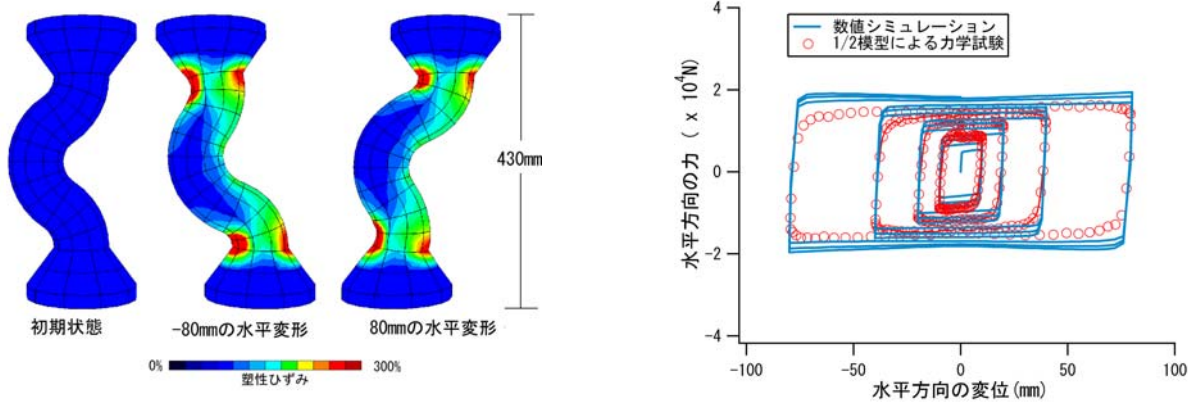


図1 鉛ダンパーの数値シミュレーションと力学試験

これまでに提案された鉛の数値モデルでは、大きく繰り返し変形するデバイスの特性を予測することが難しかった。提案した数値モデルと有限要素解析によって、鉛ダンパーの力学特性を精度良く予測できた。

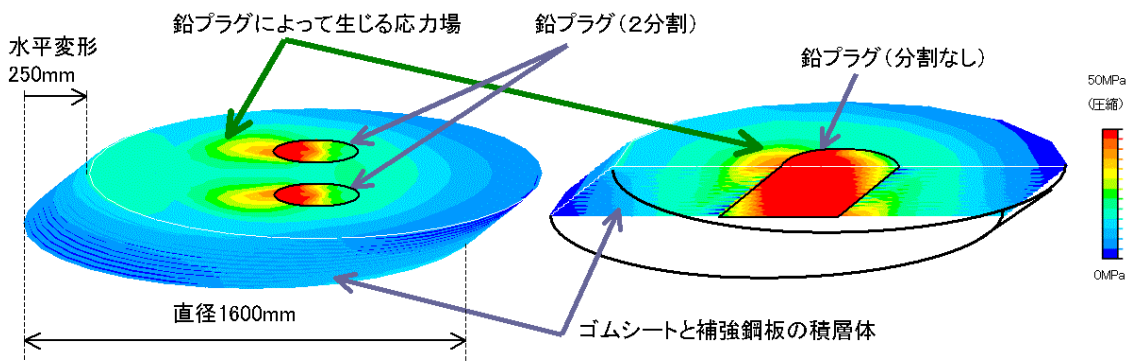


図2 鉛入り積層ゴムの数値シミュレーション

提案した鉛の数値モデルを、ゴムのモデルと組み合わせ、鉛入り積層ゴムの力学特性をこれまでより精度良く評価できる数値シミュレーション手法を提案した。図は鉛プラグの分割方法を検討した有限要素解析の結果を示しており、実験で評価することが難しい内部の応力状態が本手法によって表現できた。

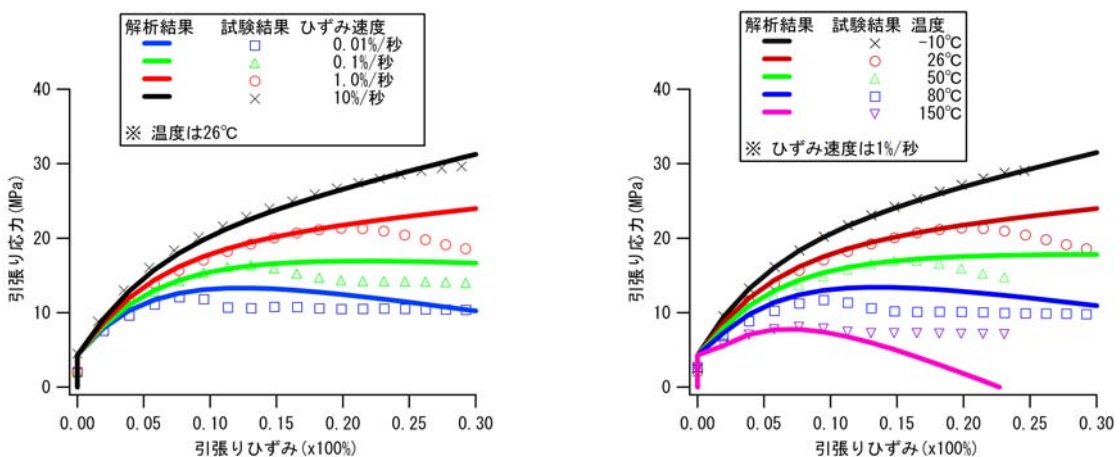


図3 提案する鉛材料の数値モデルと引張り材料試験の再現

図1と図2の数値シミュレーションで用いた数値モデルに対して、さらにひずみ速度と温度への依存性を組み込んだ数値モデルを提案した。本モデルは、ひずみ速度(左図)や温度(右図)が異なる引張り材料試験の結果を良く再現可能で、せん断変形に対しても、熱の生成などを考慮して精度良く表現できる。