

免震建築物の繰り返し依存性の検証方法

免震建築物が長周期地震動の作用を受けて応答する場合、免震層に設置された各種の免震材は通常想定する以上の長時間・大変形の繰り返しを受け、地震時に吸収されるエネルギー量が増大し、免震材の温度が上昇し、その特性が変化する可能性が高くなる。そのため、時刻歴応答解析における免震建築物の耐震安全性の検証においては、その特性の変化（繰り返し依存性）を考慮する必要がある。このとき設計者は、使用する免震材ごとに繰り返し依存性の有無及び程度に関するデータを生産者から取得し、部材の剛性や減衰などを定式化した上でその影響を考慮した解析を行う。

国土交通省建築基準整備促進事業では、免震建築物に使用される代表的な支承材（天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、高減衰積層ゴム、弾性すべり支承〔低摩擦、高摩擦〕）と、減衰材（鉛ダンパー、鋼材ダンパー、粘性ダンパー、オイルダンパー）を対象に、長時間（多数回）、大変形繰り返しによる依存性について確認実験等に基づく調査を実施しており、長周期地震動を考慮した解析における繰り返しの影響の必要性を判断するための参考にできる。

調査結果の概要を次ページ以降に示す。

1. 支承材

(a) 天然ゴム系積層ゴム

繰り返し依存性は小さい。

(b) 鉛プラグ入り積層ゴム

加振回数の増加に伴い降伏荷重が低下する傾向が見られる。ただし際限なく低下することはない。

(図 1 (i)参照)

(c) 高減衰積層ゴム

多数回繰返しに対し、3 サイクル目の値よりも等価剛性は 0.7 倍程度、等価粘性減衰定数は 0.6~0.7 倍程度まで低下する場合がある。(図 1 (ii)参照)

(d) 弾性すべり支承 [低摩擦、高摩擦]

低摩擦の場合は、繰り返し依存性は小さい。高摩擦の場合は、加振回数の増加に伴い摩擦係数が低下する傾向が見られる。(図 1 (iii)参照)

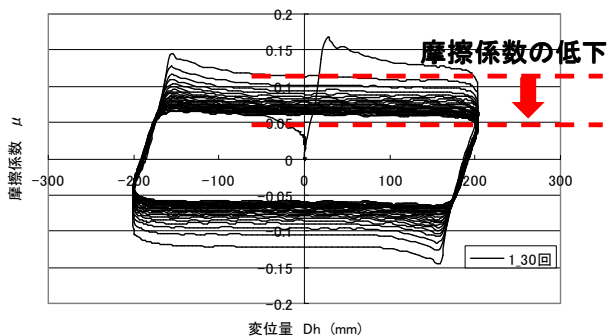
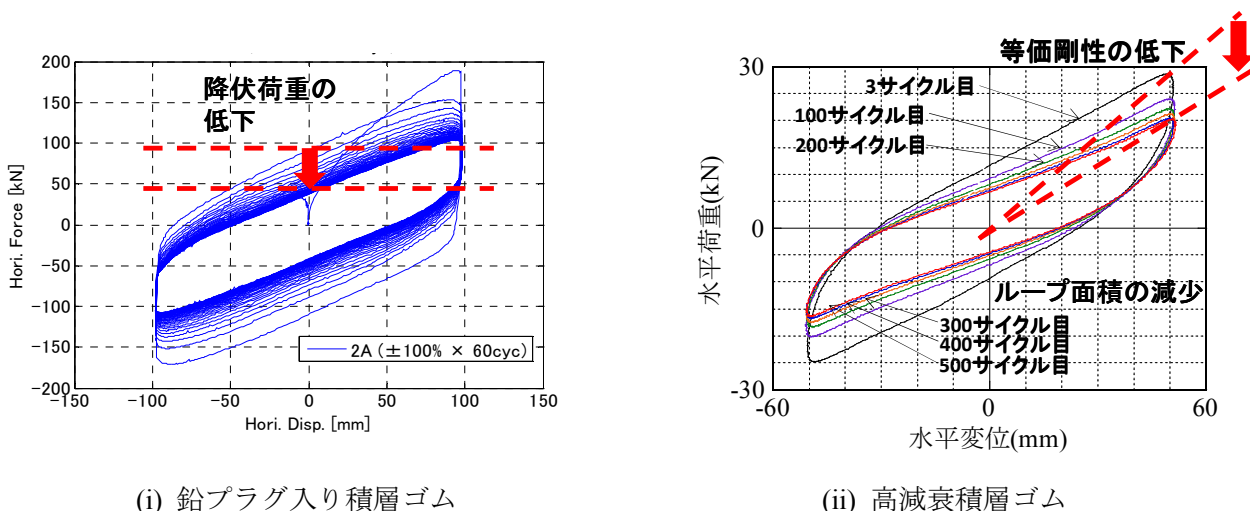


図 1 繰り返し加振に対する実験結果の例 (支承材の場合)

2. 減衰材

(a) 鉛ダンパー

加振回数の増加に伴い降伏荷重が低下する傾向が見られる。(図 2 (i)参照)

(b) 鋼材ダンパー

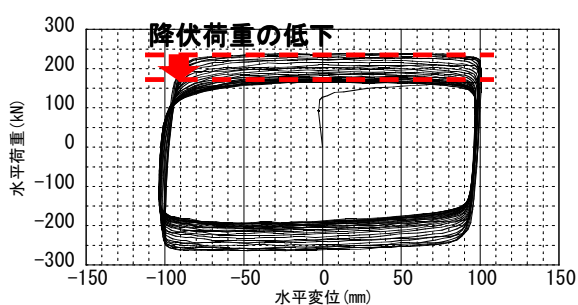
加振回数の増加に伴い降伏荷重が低下する傾向が見られる。(図 2 (ii)参照)

(c) オイルダンパー

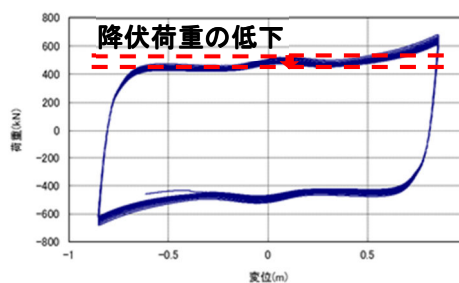
繰り返し依存性は小さいが、限界性能に近い振幅での加振となる場合など、作動油の温度上昇が想定される場合は、その影響を確認しておく必要がある。

(d) 粘性ダンパー

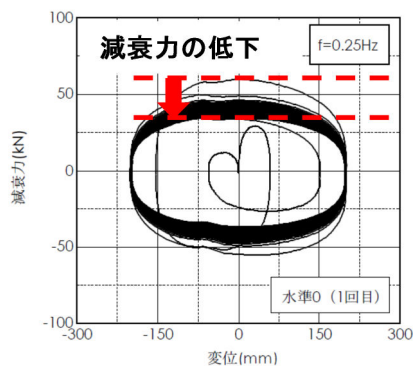
加振回数の増加に伴い減衰力が低下する傾向が見られる。(図 2 (iii)参照) また、オイルダンパーと同様に、必要に応じ粘性体の温度上昇を考慮する。



(i) 鉛ダンパー



(ii) 鋼材ダンパー



(iii) 粘性ダンパー

図 2 繰り返し加振に対する実験結果の例 (減衰材の場合)

3. 繰り返し依存性を考慮した解析の考え方 (例)

設計者は、使用する免震材料ごとの試験結果・既存の評価式等から、降伏荷重等の特性に繰り返し依存性が認められた場合には、時刻歴応答解析において、その影響を考慮する必要がある。そのための方法としては、吸収エネルギーに応じた免震部材の発熱量を時刻歴地震応答と同時並行的に求め、発熱量に応じて免震部材の特性を時々刻々変動させて解を求める精算的な方法がある。しかしながら、この種の解析は高度な技術を要するとともに、煩雑であることから、国土交通省建築基準整備促進事業では、図 3 に示すような手順を踏む実用的な方法を提案している。

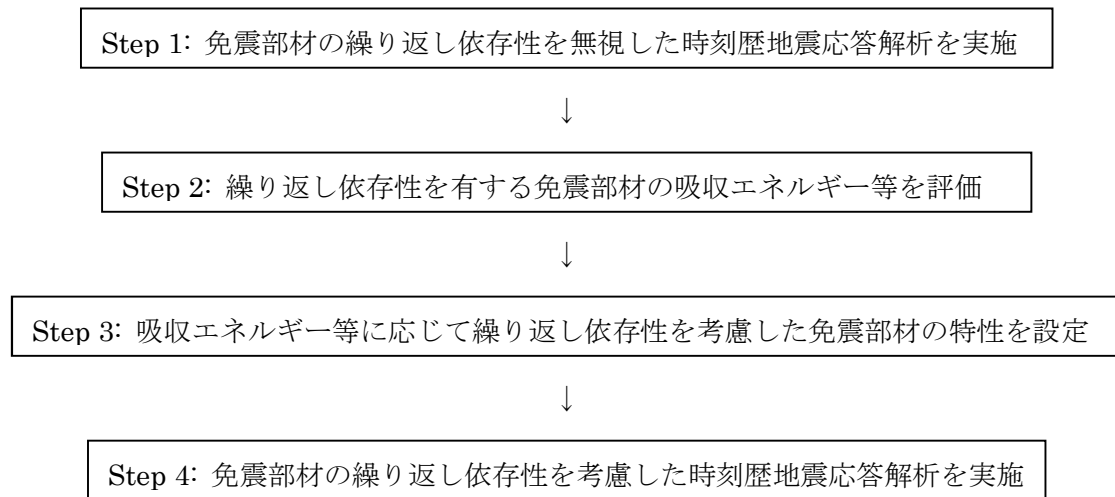


図3 免震部材の繰り返し依存性を考慮した応答評価法（簡略法）

図3による方法では、解析中に繰り返し依存性による免震部材の特性変化を考慮しない代わりに、時刻歴地震応答解析を2回行うことになる。Step 3において、繰り返し依存性を考慮した免震部材の特性を設定するためには、免震部材の吸収エネルギー等と特性変化とを関係づける定式化が必要となる。

国土交通省建築基準整備促進事業では、実験を行った各種免震材料について繰り返し依存性の評価式の提案あるいは既存の評価式の検証を行っており参考にできる。

【参考資料】

- 1) 国土交通省：建築基準整備促進事業について（課題番号 27-3（平成 22～24 年度）・S11（平成 25 年度））、http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000016.html
- 2) 国立研究開発法人建築研究所：免震部材の多数回繰り返し特性と免震建築物の地震応答性状への影響に関する研究、建築研究資料 No.170、2016.4、<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/170/index.html>