

## 大型震動台による免震FBRプラントの終局挙動評価

### 背景

次世代の高速増殖炉（FBR）の設計においては、大幅な地震力低減による内部機器の耐震性向上や設計合理化が期待できることから、免震構造の採用が検討されている。一方、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改定（2006年9月）により、設計地震動を超える入力に対するプラントのリスク評価が求められることになりつつある。FBRの免震設計に備え終局域データ等を得るため、(独)防災科学技術研究所の世界最大の震動台E-ディフェンスにおいて積層ゴムを用いた免震構造の試験を実施することとなった。

### 目的

免震FBRプラントを想定した大型試験体の震動台試験により、設計地震動に対する免震効果を確認するとともに、設計地震動を超える入力による積層ゴムの破断を含む終局挙動を明らかにする。

### 主な成果

#### 1. 大型試験体を用いた免震構造の震動台試験による終局挙動把握

質量600tの上部構造を直径505mm（実機の約1/3）の鉛プラグ入り積層ゴム6体で支持する水平免震構造試験体の震動台試験を計画・実施した（図1）。試験では、やや長周期域の減衰定数5%の速度応答スペクトル値を150cm/secに設定した設計地震動による加振を行い、免震構造の応答低減効果を確認した。また、設計地震動の最大加速度レベルを上げていくことで鉄筋コンクリート壁の損傷ならびに積層ゴムのハードニング・破断現象を生じさせ、免震構造の終局挙動の把握に成功した。積層ゴムの破断は、設計地震動の4.0～4.8倍相当で生じ、そのときの破断ひずみは550%～600%程度であった。この破断ひずみは、積層ゴム単体の静的（繰り返し漸増および単調載荷）試験結果とほぼ同等であった（図2）。

#### 2. 終局域における免震構造内の応答性状の評価

積層ゴムのハードニング以降の終局域における上部構造頂部の床応答スペクトルには上部構造のロックイン振動による高振動数域のピークが発生した。一方、重心付近では入力に対して高振動数域での顕著な応答増幅はないなど、機器の応答評価のための貴重なデータが得られた。また、積層ゴム単体の静的試験結果に基づいた解析モデルによるシミュレーションによって終局域の試験結果をほぼ再現できることを明らかにした（図3）。

#### 3. 積層ゴムの破断メカニズムの解明

震動台試験後の積層ゴムの破断面・切断面の観察および材料試験などから、積層ゴムはゴムの母材破断を起点として破断しており、ゴムと鋼板の接着は健全であったことを明らかにした（図4）。

なお、本研究は、(独)日本原子力研究開発機構からの受託研究として実施した。

### 今後の展開

本試験で得られた成果を免震FBRプラントの設計・リスク評価等へ反映する。

主担当者 地球工学研究所 上席研究員 矢花 修一

関連論文 北村誠司、矢花修一ほか：大型震動台によるFBR水平免震プラントの終局挙動把握試験 その1～その7、日本原子力学会2008年秋の大会予稿集、2008年9月、pp.8-14  
S. Kitamura, S. Yabana et al., "Shaking Table Tests with Large Test Specimens of Seismically Isolated FBR Plants, Part 1 - Part 3", ASME PVP2009, 2009.7



図1 水平免震構造試験体と鉛プラグ入り積層ゴム（実機の約1/3）の設置状況

左はE-ディフェンスに試験体を設置した状況である。積層ゴムの破断を行う震動台試験としては最大規模である。右は試験体下部に設置された積層ゴムで、応力状態を含めた詳細なデータの取得が行われた。

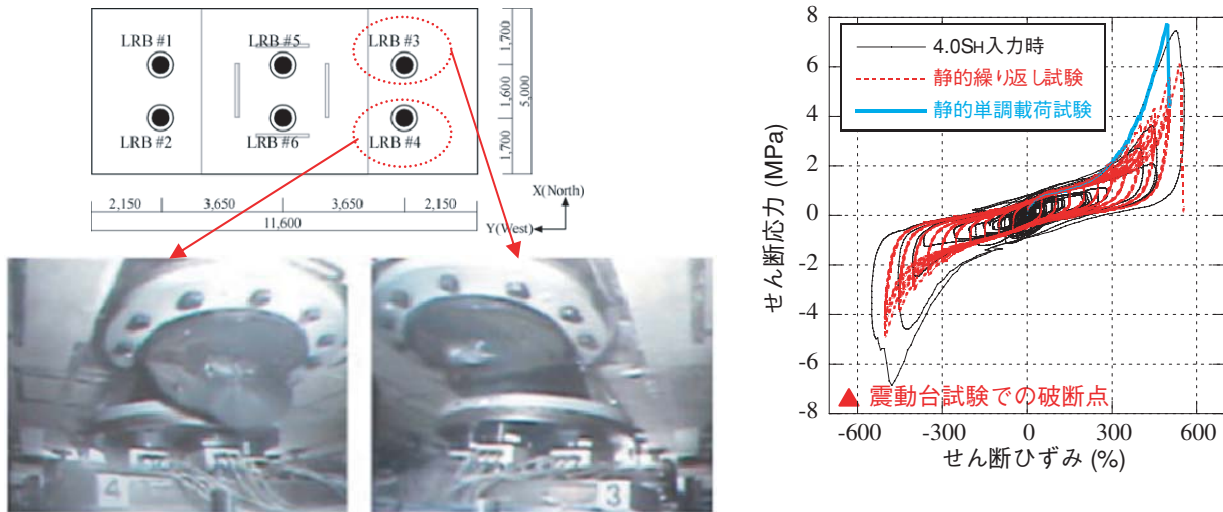


図2 積層ゴムの破断の瞬間と破断時のせん断応力-せん断ひずみ関係

積層ゴムの破断は試験体端部で生じ、破断時には積層ゴム中央の鉛が一部飛び出した（設計地震動 $S_H$ の4倍相当最大加速度入力時）。震動台試験による破断ひずみは静的繰り返し漸増および静的単調載荷試験の結果とほぼ同等であった。

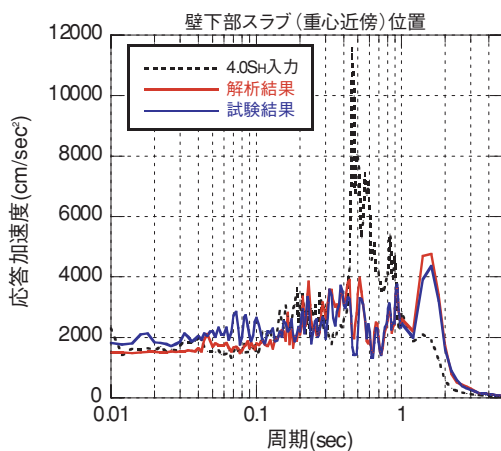


図3 積層ゴム破断時の試験体重心付近での床応答スペクトル（減衰定数1%）とシミュレーション結果

暫定的に設定した設計地震動 $S_H$ の4倍相当最大加速度入力による重心付近の床応答スペクトルでは顕著な応答増幅はない。また、解析結果は試験結果とよく対応している。

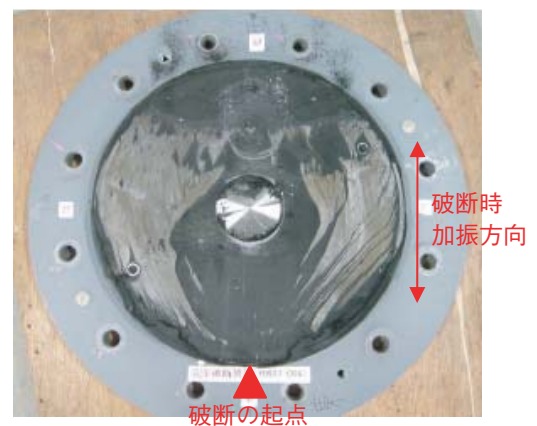


図4 積層ゴムの破断面

積層ゴムの破断の起点は黒いゴム層となっていることがわかる。