

平成23年度
建築基準整備促進事業報告会

「27-3 長周期地震動に対する免震建築物の
安全性検証方法に関する検討」

事業者：鹿島建設，清水建設，大成建設，竹中工務店

共同研究者：建築研究所，日本免震構造協会
防災科学技術研究所



調査の目的

多数繰り返し加力実験に基づいて、実大免震部材のエネルギー吸収性能を把握し、長周期地震動に対する免震建築物の安全性向上に寄与すること。



調査の内容

- (イ) 多数繰返し荷重を受ける免震部材の構造実験
実大実験計画・実施（実大実験計画WG）
- (ロ) 長周期地震動に対する免震建築物の応答評価
免震部材特性の評価（免震部材実験WG）
建物応答評価（建物応答評価WG）
- (ハ) 免震建築物の地震観測
観測の実施・記録の分析（地震観測WG）
- (ニ) 東日本大震災による免震建築物の挙動の
調査と反映項目の整理・検討
免震建物の挙動分析（地震観測WG）

調査の実施体制（１）

事業主体	管理技術者	担当業務
◎大成建設	長島一郎	全体調整・調査業務全般
鹿島建設	竹中康雄	調査業務全般
清水建設	中西啓二	調査業務全般
竹中工務店	山本雅史	調査業務全般

◎幹事会社

担当技術者		主な担当業務
◎大成建設	計8名	全体とりまとめ 実大免震部材実験・建物応答（天然ゴム系積層ゴム、弾性すべり支承、オイルダンパー）、実大実験計画
鹿島建設	計5名	免震部材実験、建物応答（鉛プラグ入り積層ゴム、鋼材ダンパー）、建物挙動
清水建設	計4名	免震部材実験、建物応答（高減衰積層ゴム、鉛ダンパー）、地震観測、建物挙動
竹中工務店	計3名	免震部材実験、建物応答（弾性すべり支承、粘性系ダンパー）、建物挙動

（社）日本免震構造協会内に委員会設置 （学識経験者、実務技術者により構成）	調査計画、結果の検討・評価
--	---------------



調査の実施体制（２）

■有識者による委員会（日本免震構造協会）

本委員会（主査：北村春幸）

免震部材実験WG（主査：高山峯夫）

実大実験計画WG（主査：長島一郎）

建物応答評価WG（主査：古橋剛）

地震観測WG（主査：飯場正紀）



本日の報告内容

1. 実大実験計画・実施
(実大実験計画WG)
2. 免震部材特性評価／建物応答評価
(免震部材実験WG／建物応答評価WG)
3. 地震観測・建物挙動分析
(地震観測WG)



1. 実大実験計画・実施（1）

多数回繰返し荷重を受ける免震部材の構造実験の実施

■ 目的

実大免震部材を用いて、長周期・長時間の揺れに対するエネルギー吸収性能を詳細に把握する。

■ 実施方針

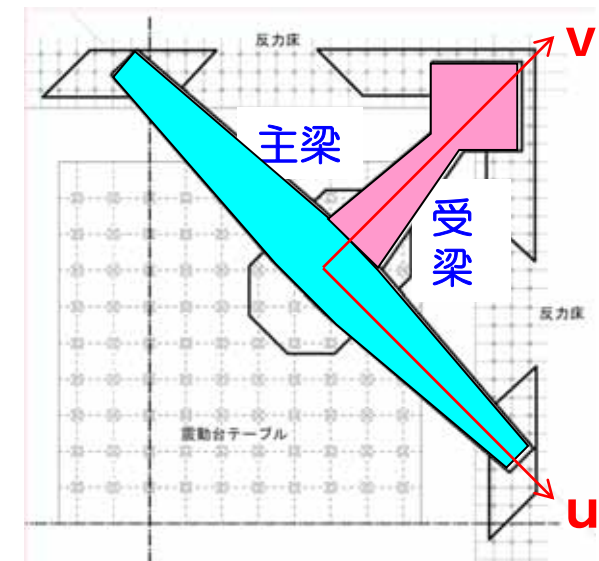
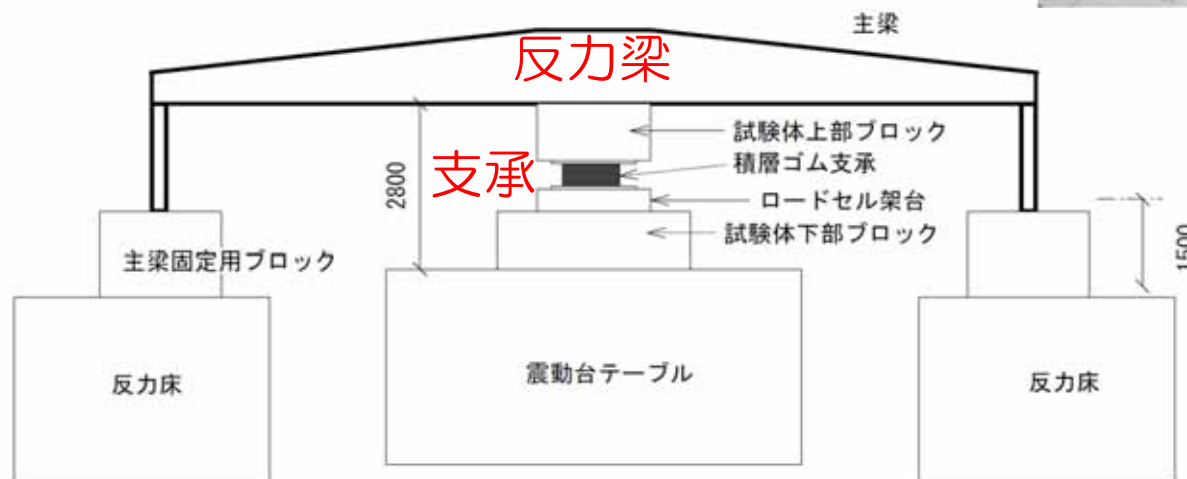
実大免震支承・オイルダンパーについて大型震動台（E-ディフェンス）を用いた実験詳細計画を作成し、手法の検証を兼ねた実験を実施する。

今年度試験体	① 弾性すべり支承（高摩擦） $\Phi 800$	動的繰返し試験, 地震波
	② オイルダンパー 1000kNタイプ	動的繰返し試験, 地震波
	③ 天然ゴム系積層ゴム $\Phi 1000$	静的繰返し試験

1. 実大実験計画・実施（2）

■ 加力装置

- 震動台と上部の反力梁間に支承を挟み、鉛直軸力を導入後、水平1方向、2方向に加力
- ダンパーは受梁方向に加力

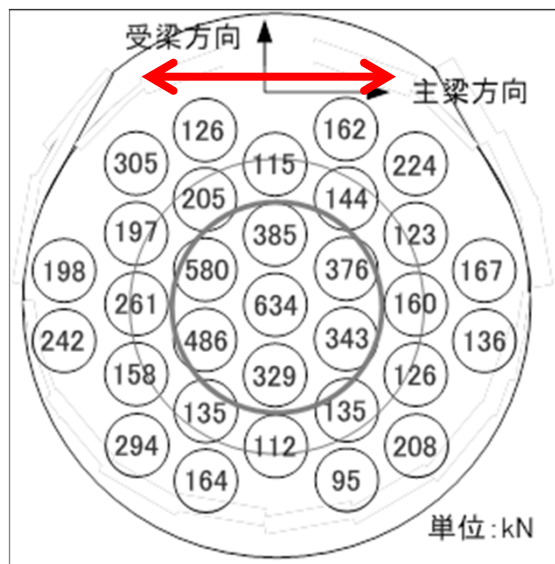


1. 実大実験計画・実施 (3)

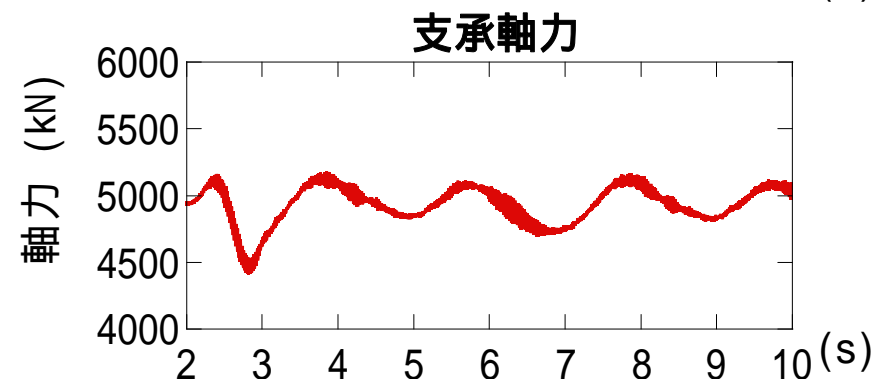
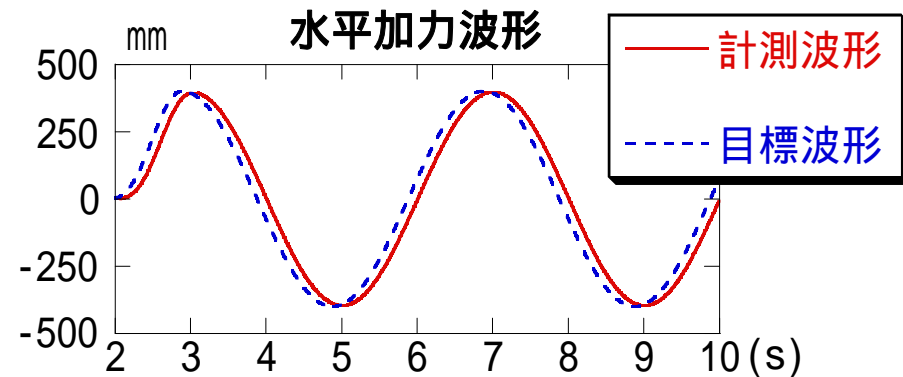
■ 加力精度

- 軸力導入時に、震動台を1/769傾斜させて支承面圧を均一化
- 水平加力時の震動台上下変位を、無負荷時に計測した逆位相波で補償加振した結果、変動軸力は10%程度以内

ロードセル最大軸力



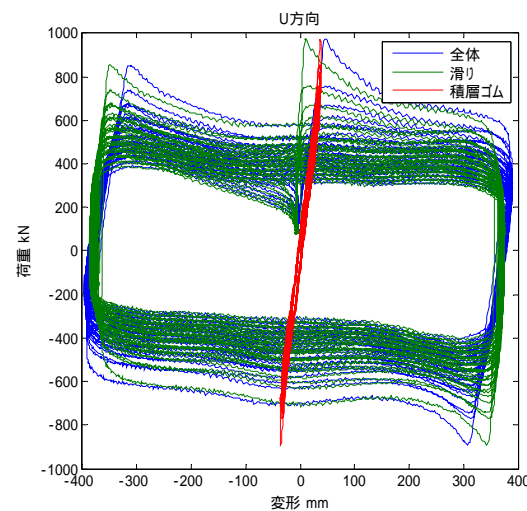
主梁方向±400mm加力時



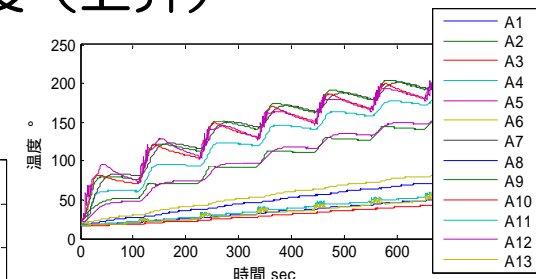
1. 実大実験計画・実施（4）

■ 試験体 1：弾性すべり支承（高摩擦）Φ800

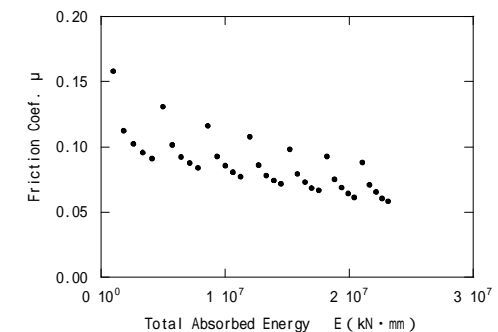
- 多数回繰返し試験 周期4秒
 - 50m×1セット：水平1方向
 - 50m×2セット：水平2方向
- 地震応答波試験
 - ：水平1・2方向
- 繰返しに伴って摩擦係数が低下
0.147→0.062（長周期試験）
- セット間のインターバルでは摩擦係数が回復（上昇）



水平荷重—変位関係



すべり板の温度変化

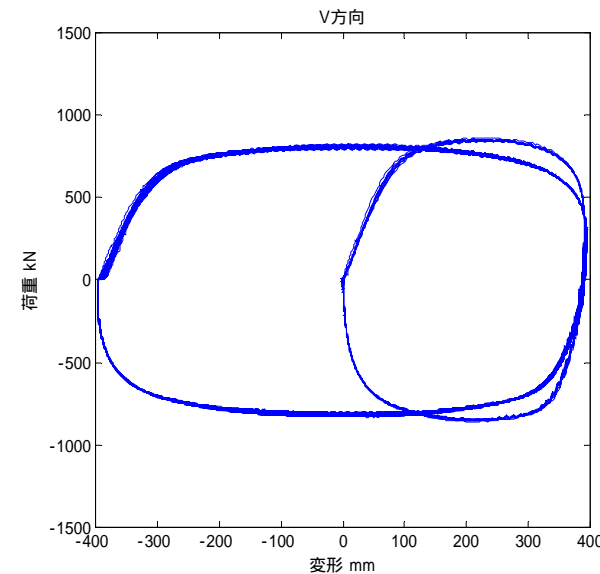


摩擦係数の変化

1. 実大実験計画・実施（5）

■ 試験体2：オイルダンパー 1000kNタイプ

- 多数回繰返し試験 周期4秒
限界試験：100m
- 大変形・大速度試験
±600mm, ±150cm/s
- 地震応答波試験
- 繰返しにより油温は上昇
20℃→108℃（限界試験）
- 最大減衰力と吸収エネルギー量は
4～5%程度低下（限界試験）



水平荷重－変位関係



2. 免震部材特性評価／建物応答評価（1）

長周期地震動に対する免震建築物の応答評価の実施

■ 目的

長周期地震動に対する免震建物の安全性照査のクライテリア設定に向けて、現状の評価手法の検証と見直しを検討する。

■ 実施方針

縮小，実大のエネルギー吸収性能の実験結果を踏まえて，免震部材特性の評価（モデル化）と建物応答評価を行う。

今年度ケース

- ① 鉛プラグ入り積層ゴム
- ② 高減衰積層ゴム
- ③ 天然ゴム系積層ゴム＋鋼材ダンパー
- ④ 天然ゴム系積層ゴム＋鉛ダンパー
- ⑤ 天然ゴム系積層ゴム＋弾性すべり支承（高摩擦）
- ⑥ 天然ゴム系積層ゴム＋弾性すべり支承（低摩擦）＋粘性ダンパー（減衰こま）

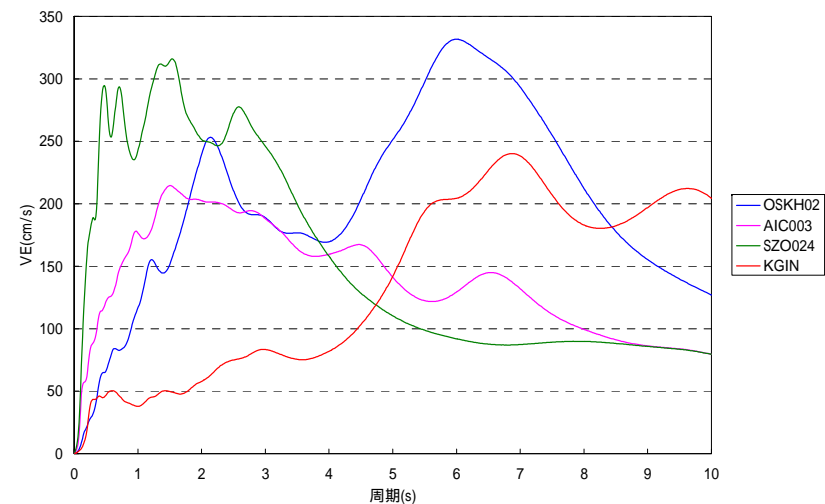
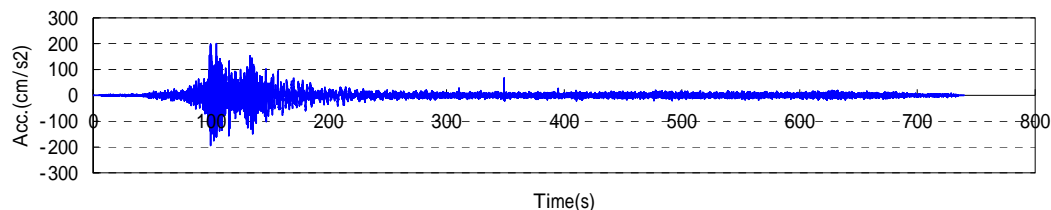
2. 免震部材特性評価／建物応答評価（2）

■ 解析モデルと入力地震動

- ・ 上部構造を剛体モデルとした1質点モデル
- ・ 免震層 標準条件
積層ゴムによる免震周期 4.0秒程度
ダンパーの負担せん断力係数 3.0~3.5%
免震支承毎に設定

■ 入力地震動

OSKH02（大阪・此花 平均）	98 Gal, 38 cm/s
AIC003（愛知・津島 平均）	199 Gal, 27 cm/s
SZO024（静岡・浜松 平均）	577 Gal, 40 cm/s
KGIN（東京・新宿 平均）	42 Gal, 22 cm/s



エネルギースペクトル

2. 免震部材特性評価／建物応答評価（3）

■ 免震部材特性モデル

- ・ 昨年度の実験結果を基にした詳細なモデル化をプログラムに反映
- ・ 多数回繰返し特性を考慮した長周期地震動に対する応答解析を実施し、繰返し依存性の考慮／非考慮による応答比較を行った。

○ 鉛プラグ入り積層ゴム

熱伝導解析と温度上昇による力学的特性変化

○ 高減衰積層ゴム

積層ゴムの代表温度を指標として復元力特性を評価

○ 弾性すべり支承（高摩擦）

摩擦係数の累積吸収エネルギー依存性を考慮

○ 弾性すべり支承（低摩擦）

摩擦係数の累積変位と吸収エネルギー依存性を考慮

○ 鋼材ダンパー

バイリニアとトリリニアモデルを比較

○ 鉛ダンパー

振幅および繰返しによるエネルギー吸収量の考慮

○ 粘性ダンパー（減衰こま）

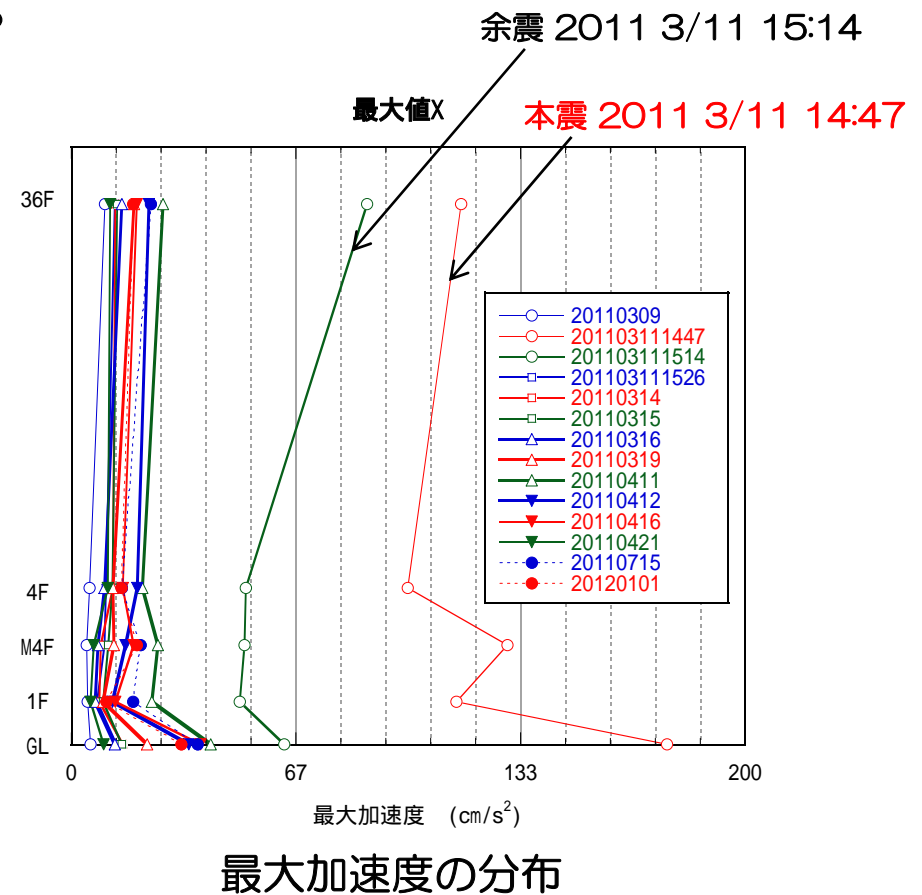
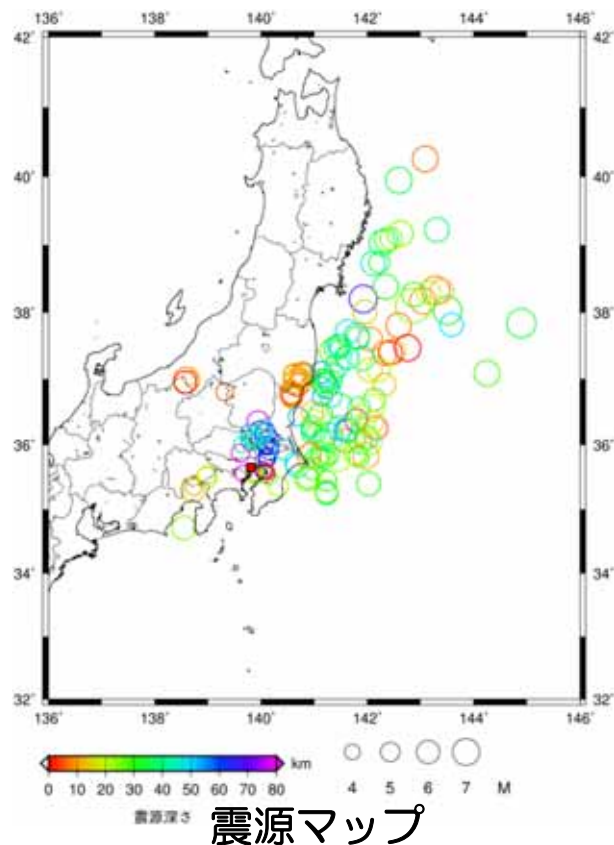
累積吸収エネルギー依存性を考慮

いずれのモデルも、実験結果の力学的特性を精度よく表現できた。

3. 地震観測・建物挙動分析（1）

■ 地震観測結果

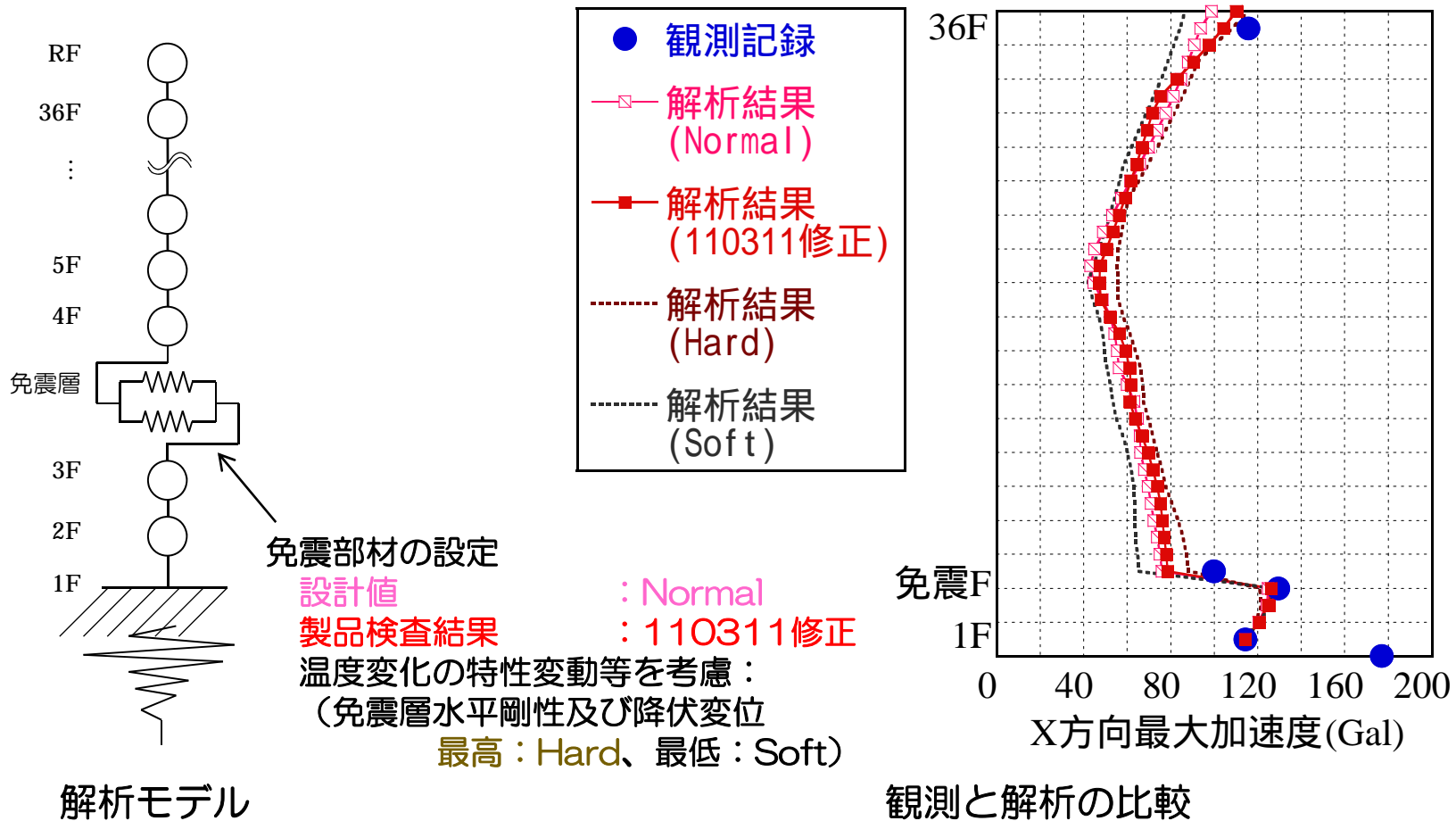
大阪と東京において、各1棟の免震建物の地震観測を実施した。
東京の建物においては、2011年東北地方太平洋沖地震を始めとして、多くの記録が観測された。



3. 地震観測・建物挙動分析（2）

■ 地震記録のシミュレーション

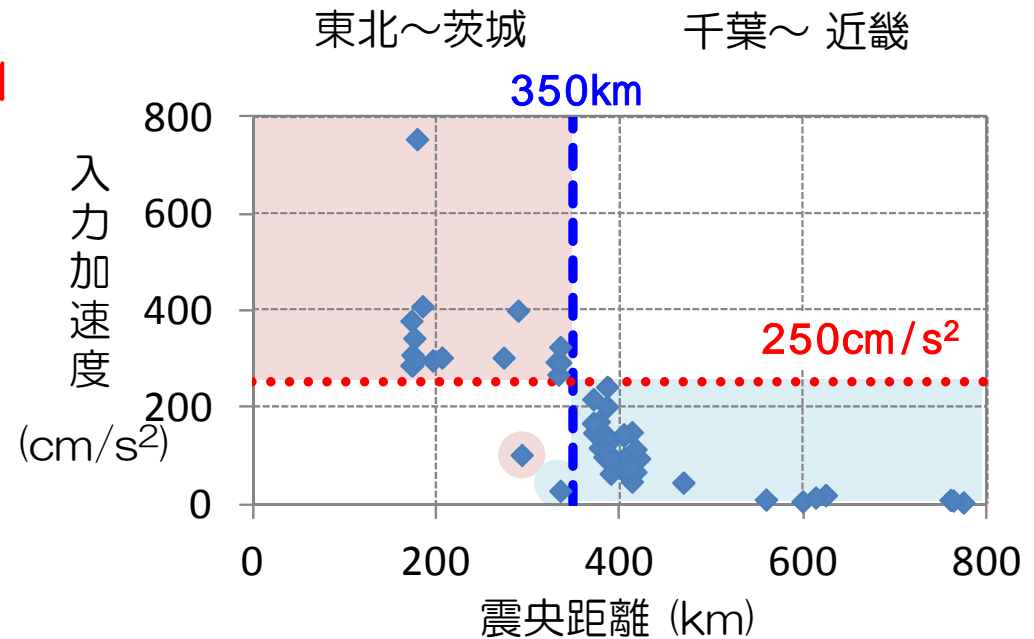
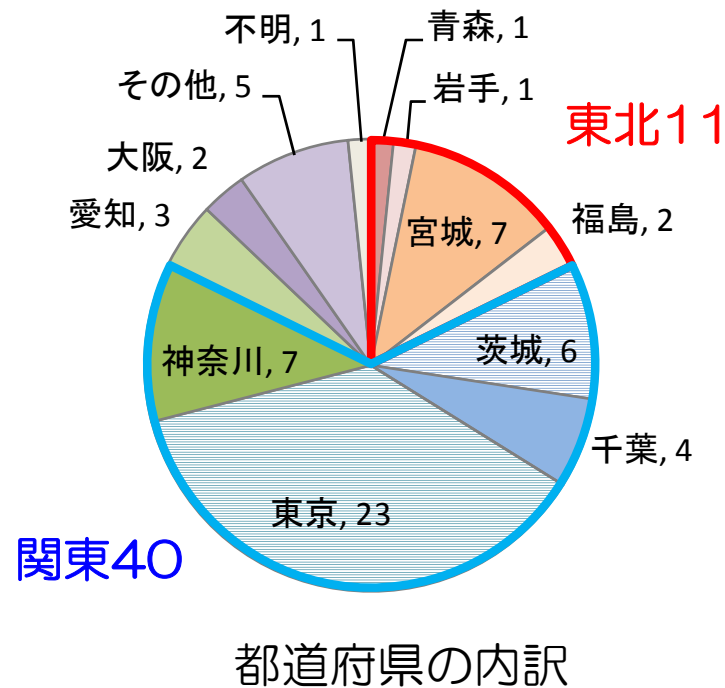
2011年東北地方太平洋沖地震について、動解モデルによるシミュレーションを行い、観測記録と良い一致を示した。



3. 地震観測・建物挙動分析 (3)

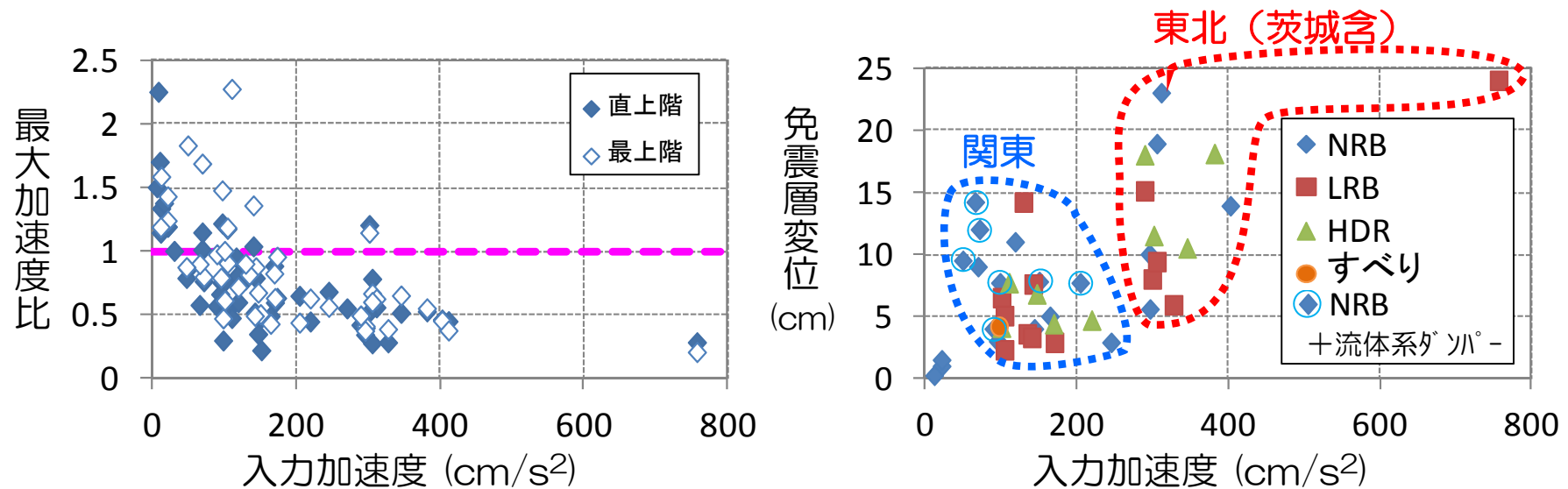
■ 観測記録による挙動、免震効果 (1)

各事業主体での観測記録、国の施設・自治体等の観測記録や報告書等、学術誌・関係機関等の報告書、日本免震構造協会・応答制御建築物調査委員会報告書等の公開情報を収集し、**全62棟**について分析を実施



3. 地震観測・建物挙動分析（4）

■ 観測記録による挙動、免震効果（2）



- 上部構造の加速度は約 200cm/s^2 で頭打ちとなり、免震効果が見られた。
- 免震層変位は東北で $5\sim 24\text{cm}$ 、関東で $3\sim 15\text{cm}$ であった。
- 累積変位は仙台市で $10\sim 22\text{m}$ 、関東で $5\sim 15\text{m}$ であった。



3. 地震観測・建物挙動分析（5）

■ 免震建築物の挙動調査

JSSI「応答制御建築物調査委員会」の報告書から
免震EXP.Jと履歴系ダンパーに関する成果を抜粋

(1)免震EXP.J

- アンケート結果より327棟中90件で免震EXP.Jに損傷が生じたことが判明、原因分析と再発防止策の提言を行った。
- 免震EXP.Jに求められる性能や免震EXP.Jに対する設計者、施工者、製造メーカーの姿勢について提案がなされた。

(2)鋼材ダンパーと鉛ダンパー

- 地震による主な現象は、鋼材ダンパーの残留変形、取付けボルトの回転、塗装の剥離及び鉛ダンパー本体の亀裂である。
- 保有性能の評価方法として、鋼材ダンパーの形状変化率と鉛ダンパーの亀裂深さによる一次判定並びに両ダンパーについて疲労損傷度に基づく二次判定が提案された。



今後の課題

1. 実大実験計画・実施

- 試験条件・検証項目の整理と対象部材の選定
- 大変形試験の条件検証

2. 免震部材特性評価／建物応答評価

- 実大免震部材実験による現状の評価手法の検証
- 繰返し依存性の簡易的評価法の検討

3. 地震観測

- 観測記録の継続とデータの蓄積
- 免震建物応答性状の分析