

平成20年度
建築基準整備促進補助金事業 報告会

12. 免震建築物の基準の整備に資する検討

清水建設 株式会社
社団法人 日本免震構造協会
共同研究者：独立行政法人建築研究所

検討項目

1. 免震建築物の設計用層せん断力係数の評価
 - ・ 各種免震材料を用いた免震建築物の**実情調査**
 - ・ 免震建築物の**地震応答解析**
 - ・ **設計用層せん断力係数に関する提案**
- 2 . 免震部材のエネルギー吸収性能評価手法の検討
 - ・ 各種免震部材の**エネルギー吸収特性**
 - ・ 免震部材の**エネルギー吸収特性評価手法の提案**
 - ・ 性能評価法**技術基準に関する提案**
- 3 . 四号建築物用免震材料の技術基準の検討等
 - ・ 四号建築物用免震材料の技術基準のための**課題**
 - ・ 四号建築物用免震材料の技術基準に関する**提案**
- 4 . 今後の課題

実施体制

管理技術者		(主な担当内容)
清水建設(株)技術研究所	田村和夫	調査業務全般 全体統括・とりまとめ
(社)日本免震構造協会	可児長英	
担当技術者		(主な担当内容)
清水建設(株)技術研究所	西村拓也 森川和彦	設計用せん断力関連
	猿田正明	免震材料の特性評価法
(社)日本免震構造協会	藤森 智 中澤昭伸 長谷川豊	免震材料の特性評価 構造システム関連
(社)日本免震構造協会内の専門委員会 (学識経験者・実務技術者により構成)		調査計画・結果の検討

専門委員会(本委員会)委員リスト

委員長	東京理科大学	北村 春幸	委員	松田平田設計	藤森 智
委員	東北大学大学院	井上 範夫	委員	日建設計	吉江 慶祐
委員	東京大学	川口 健一	委員	清水建設	田村 和夫
委員	北海道大学	菊地 優	委員	日本免震構造協会	可児 長英
委員	明治大学	小林 正人			
委員	福岡大学	高山 峯夫	共同研究委員	建築研究所	飯場 正紀
委員	清水建設	北村 佳久	共同研究委員	建築研究所	斉藤 大樹
委員	清水建設	猿田 正明	共同研究委員	建築研究所	大川 出
委員	鹿島建設	竹中 康雄			
委員	織本構造設計	中澤 昭伸	協力委員	国土技術政策総合研究所	井上 波彦
委員	オイレス工業	長谷川 豊	協力委員	国土技術政策総合研究所	小豆畑 達哉
委員	日本建築センター	速水 浩			

(社)日本免震構造協会内に設置

免震構造物の設計用層せん断力係数の評価

各種免震材料を用いた免震建築物の実情調査

免震建築物全体概要調査

調査目的

設計用層せん断力検討用建物・免震層モデル
諸元・パラメータ設定の基とする

調査対象

2005年、2006年のビルディングレター掲載案件、他（72件）

調査項目

・建物特性

（階数・軒高・構造種別、固有周期、減衰、層せん断力係数、など）

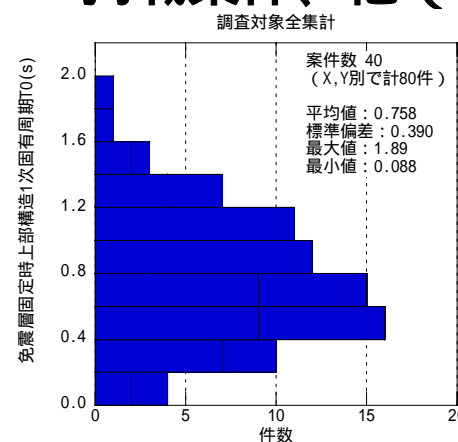
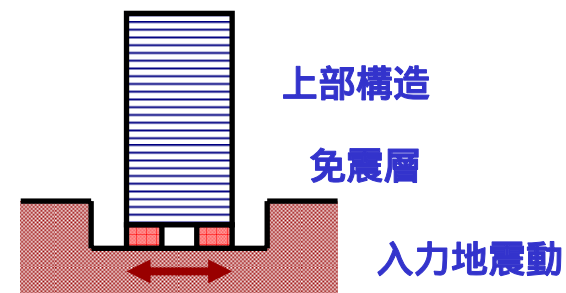
・免震層特性

（支承・ダンパー種別、免震周期、復元力モデルなど）

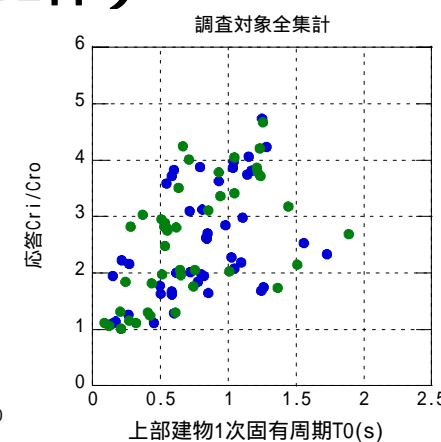
・応答値（変形、層せん断力係数、など）

設計例の詳細調査

実設計例における層せん断力係数の高さ方向分布を調査



上部構造の
1次固有周期



上部構造固有周期
と応答増幅率の関係

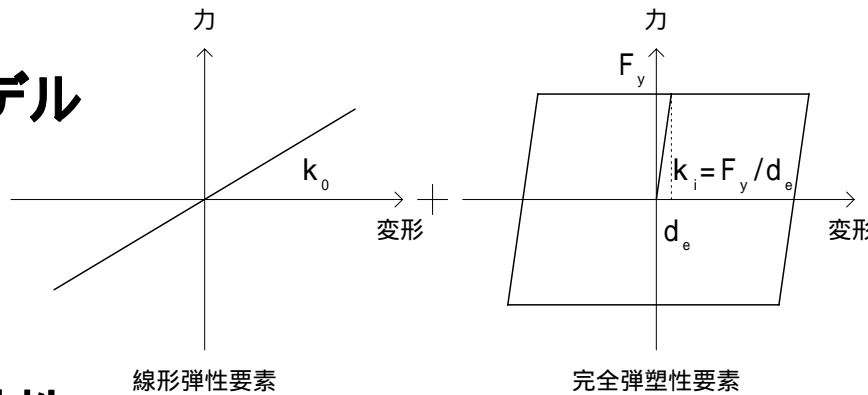
免震構造物の設計用層せん断力係数の評価

免震建築物の地震応答解析 (1)

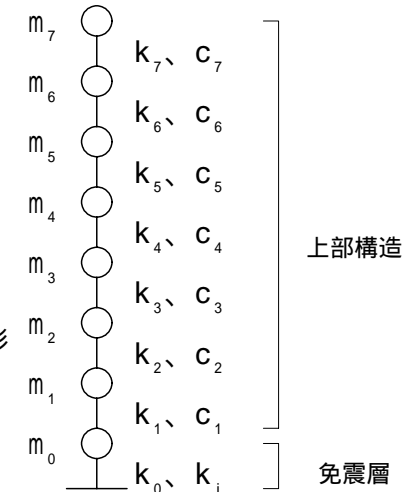
解析モデルと解析パラメータ

解析モデル

- せん断形多質点系モデル
- 上部構造：
 - 線形、 $h_1=0.02, 0.03$
 - 剛性分布：台形
- 免震層：
 - Bi-linear形復元力特性



免震層の復元力モデル

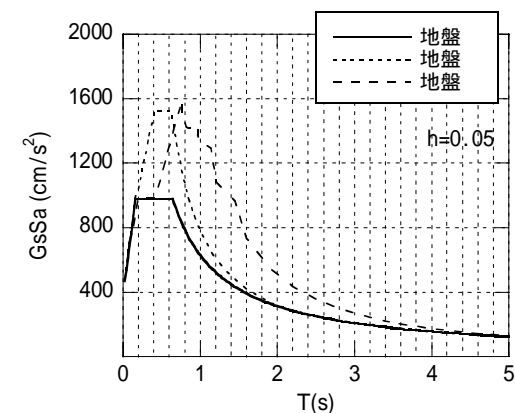


振動モデル

解析パラメータ

- 上部構造階数・剛性 (7F・14F、剛性3ケース)
- 免震層復元力特性
 - 免震周期 ($T_2=2.5, 4.0, 6.0\text{sec}$)
 - 降伏せん断力係数 ($\gamma_y=0.03, 0.05, 0.07, 0.10$)
 - 降伏変位 ($d_e=0.1, 1.0, 3.0\text{cm}$)

入力地震動：告示スペクトル



入力地震動のスペクトル

免震構造物の設計用層せん断力係数の評価

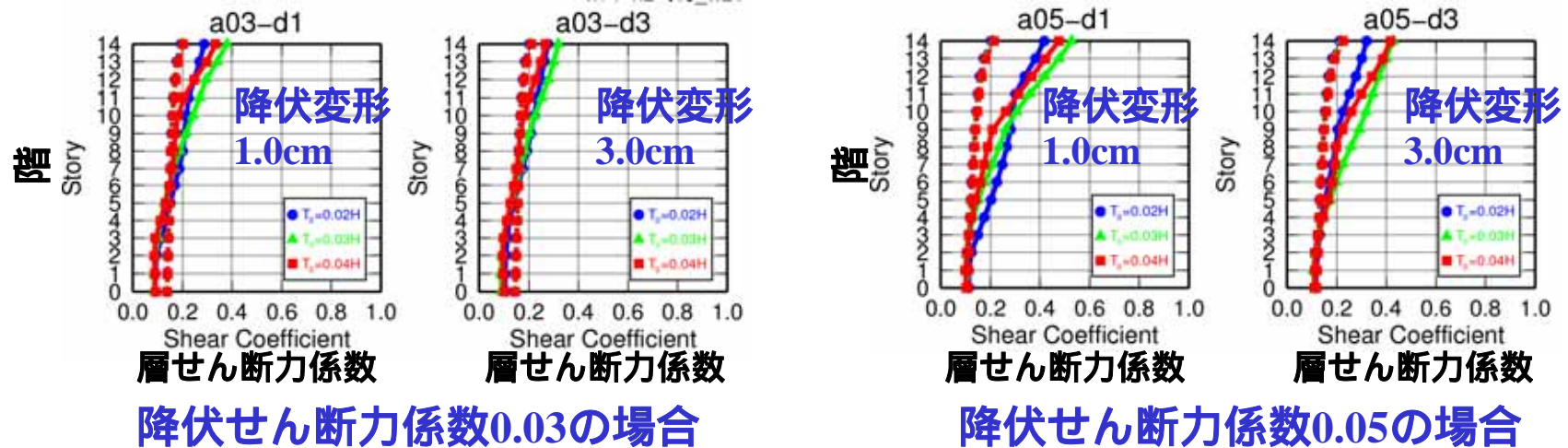
免震建築物の地震応答解析（2）

応答解析結果－2（層せん断力係数）

降伏せん断力係数が大きく降伏変位が小さいほど、上部構造での増幅が大きく、告示計算結果との差が大きい

上部構造の周期が短いモデルでは上部構造の増幅が小さい

（例）14層建物モデル・免震周期4.0secの場合



免震構造物の設計用層せん断力係数の評価

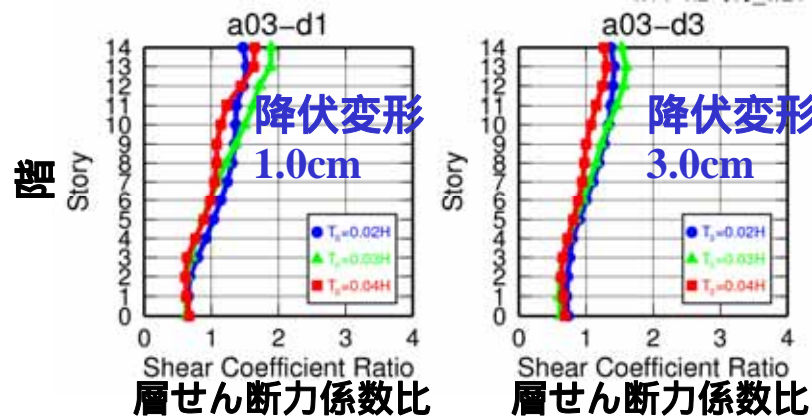
免震建築物の地震応答解析（3）

応答解析結果－3（層せん断力係数比 = 応答値 / 告示計算結果）

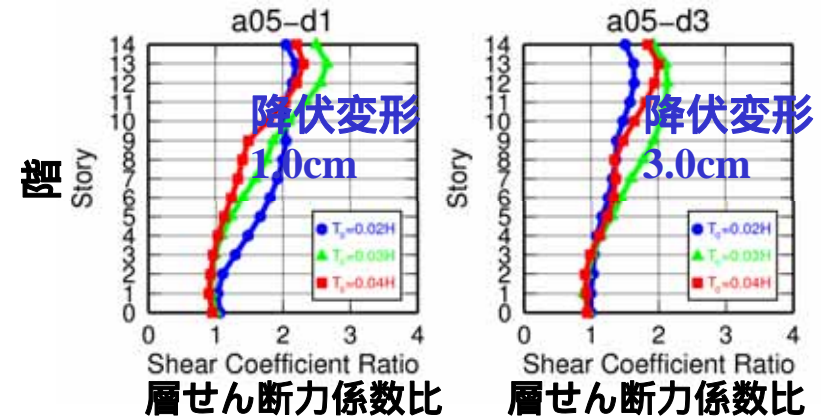
層せん断力係数の傾向と同様

層せん断力係数比は上層階で2.0～3.0程度にまで達している

（例）14層建物モデル・免震周期4.0secの場合



降伏せん断力係数0.03の場合



降伏せん断力係数0.05の場合

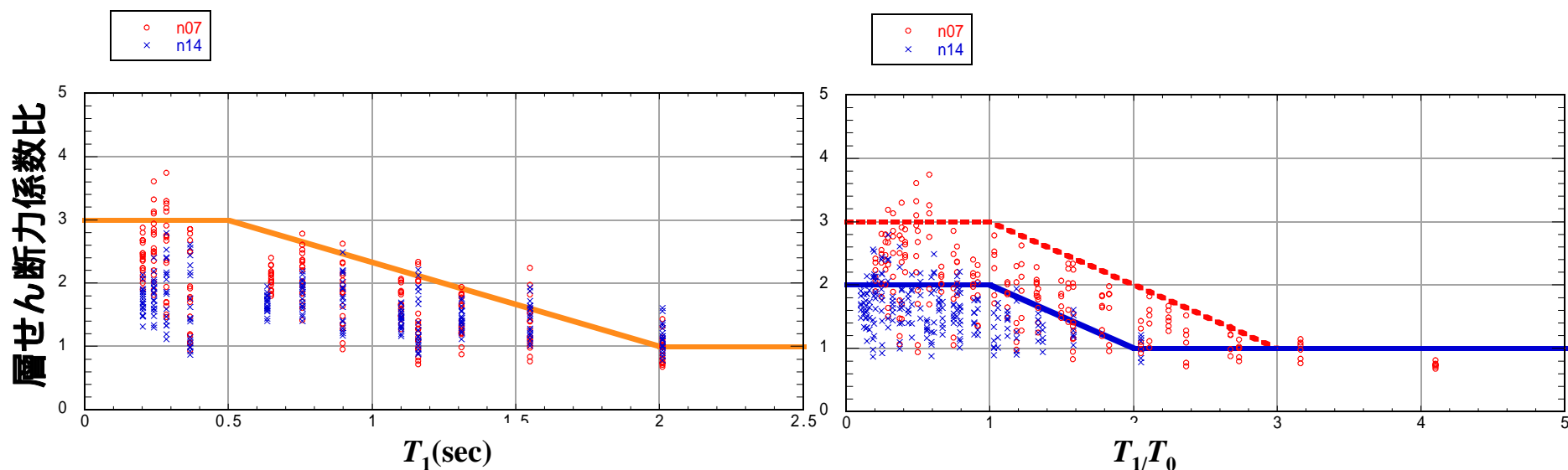
免震建築物の地震応答解析（４）

応答解析結果の分析－１（層せん断力係数比の分布）

T_1 、あるいは T_1/T_0 と層せん断力係数比との間に相関がみられる

（ T_1 ：弾塑性要素の初期剛性による周期、 T_0 ：基礎固定時の上部構造の１次固有周期）

ただし、層せん断力係数比には現行告示法の特性的影響も含まれるため、今後これらの影響を考慮した設定法を検討する必要がある。



T_1 と層せん断力係数比の関係

T_1/T_0 と層せん断力係数比の関係

免震建築物の地震応答解析（ 5 ）

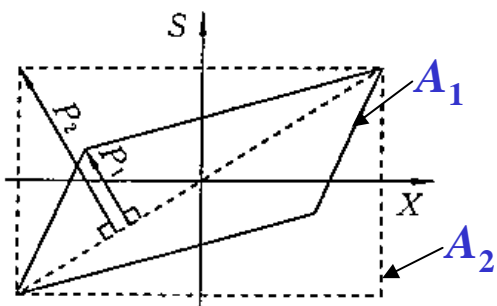
応答解析結果の分析－ 2 （層せん断力係数比の分布 - 2 ）

Skinnerによる非線形係数 NL と層せん断力係数比との間に相関がみられる

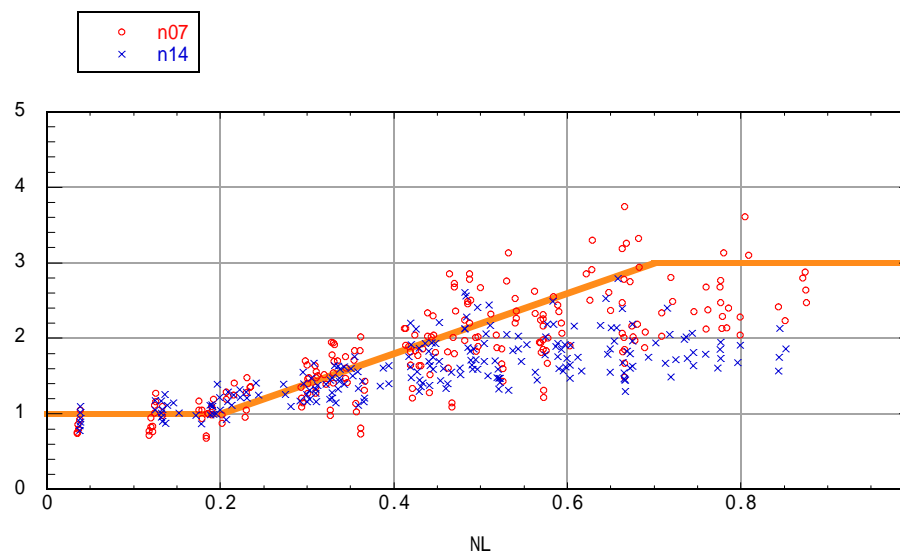
$$NL = A_1 / A_2$$

A_1 : 履歴曲線の面積

A_2 : 履歴曲線外接長方形
の面積（下図）



非線形係数 NL を定義する
履歴曲線と外接長方形



非線形係数 NL と層せん断力係数比の関係

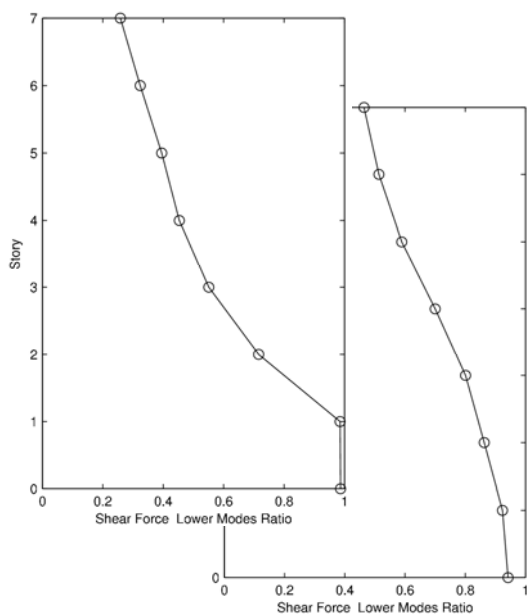
免震構造物の設計用層せん断力係数の評価

免震建築物の地震応答解析（6）

応答解析結果の分析－3（高次振動モードの分析）

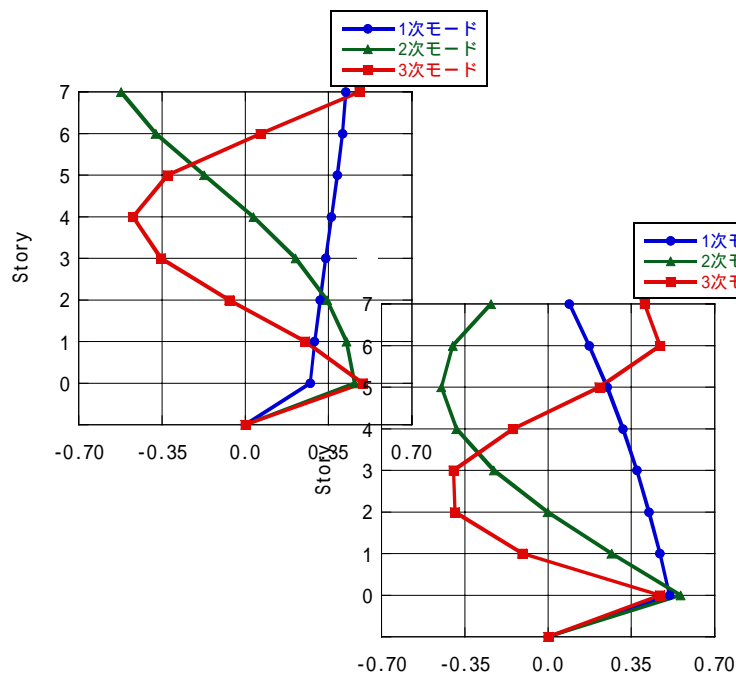
[分析1]

帯域フィルターによる
高次振動モードの分離



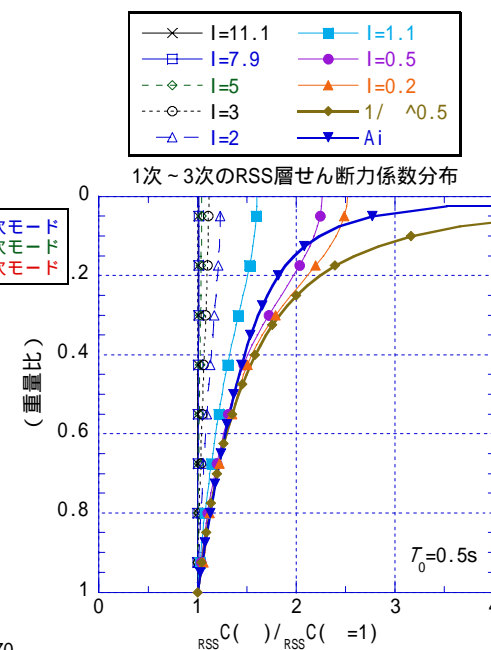
[分析2]

主成分分析による振動
モードの分析



[分析3]

均質せん断棒モデルの
理論解による検討

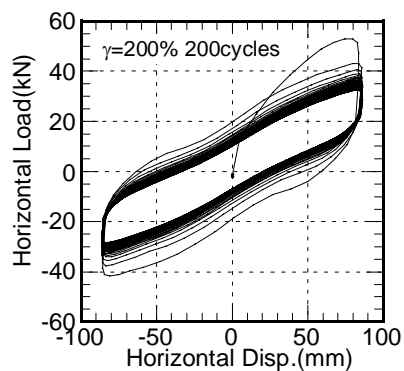


免震部材のエネルギー吸収性能評価手法の検討

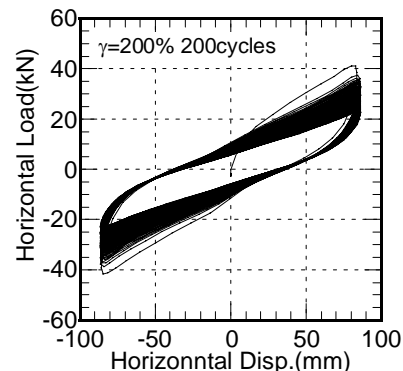
各種免震部材のエネルギー吸収特性

免震部材のエネルギー吸収性能の調査結果を示した。

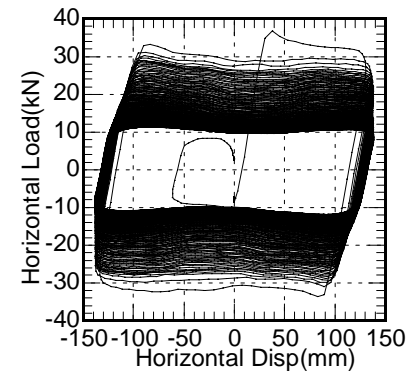
エネルギー吸収性能に関する評価や実験を実施していくことが不可欠。
特に、長周期地震動への対応も含めた実大・実速度での多数回繰り返し変形試験の実施が必要。



LRBの履歴特性



HDRの履歴特性



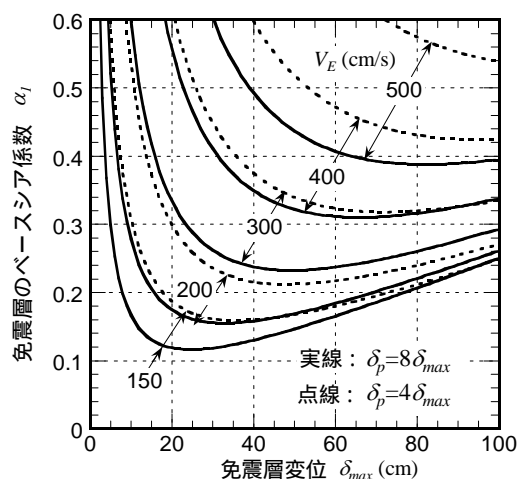
弾性すべり支承
の履歴特性

免震部材のエネルギー吸収性能評価手法の検討

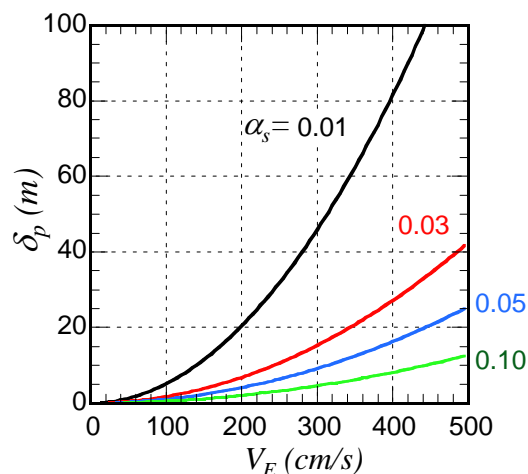
免震部材のエネルギー吸収特性評価手法の提案

免震部材に対する加振振幅や加振周期に対応する限界性能曲線に基づきエネルギー吸収性能を評価する方法を提案した。

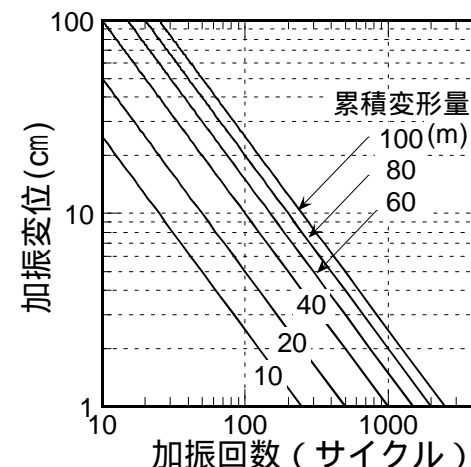
地震入力エネルギーとして $V_E=300 \sim 400\text{cm/s}$ を想定した場合には、累積塑性変形量として少なくとも $20 \sim 30\text{m}$ 以上の変形能力（エネルギー吸収性能）の確保が必要。



免震層の応答予測
($T_f=4\text{sec}$)



累積塑性変形量
と V_E の関係



加振周期と加振回数
の関係

四号建築物用免震材料の技術基準の検討等

四号建築物用免震材料の技術基準のための課題

1. 地盤調査の方法とその調査項目
2. 地盤の支持力に応じ下部構造の仕様を規定
3. 液状化の判定を行うための必要な情報収集
4. 地震応答性状の確認
5. 地盤増幅と地表面スペクトルの決定
6. 免震架台の構造
7. 高さ方向のアスペクト比など
8. 必要なクリアランスと落下・挟まれ防止
9. 維持管理の方法

四号建築物用免震材料の技術基準の検討等

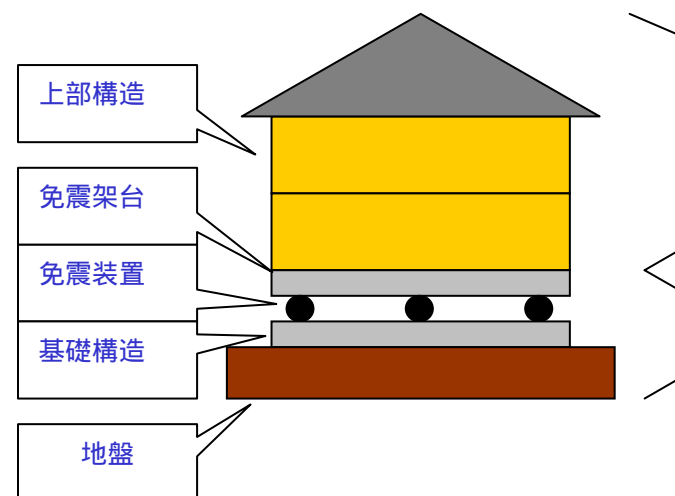
四号建築物用免震材料の技術基準に関する提案等

四号・小規模免震建築物の基本的な仕様を検討した。

今回の仕様は四号建築物のうち、最も多く使用される木造を対象に案を纏めた。

四号免震建築物実現に関する具体的提案として以下の各項目別に仕様を整理した。

- (1) 免震構造としての目標性能
層せん断力係数、限界変位など
- (2) 上部構造
構造種別（木造）、形状制限など
- (3) 免震架台
RC造のマットとする
- (4) 免震材料（装置）
配置・組合せのルールを申請者が定める
- (5) 下部（基礎）構造・地盤
べた基礎とする
地盤調査により支持力・ T_g ・地盤種別を確認



今後の課題(1)

1. 免震建築物の設計用層せん断力係数の評価

- ・ 復元力特性がバイリニア以外の免震システムに対する方法論構築
- ・ 転倒モーメントなど関連する事項との整合性検討

2. 免震部材のエネルギー吸収性能評価手法の検討

- ・ 免震部材の性能評価試験の実施
 - 各種試験条件の試験、縮小試験体の適用条件明確化、
地震応答波・風応答波に対する性能評価試験
- ・ 実大試験の実施

今後の課題(2)

3. 四号建築物用免震材料の技術基準の検討等

- ・ 免震材料、上部構造、架台、基礎、地盤をまとめて免震システムとして評価するための詳細検討
- ・ 四号免震建築物あるいは小規模免震建築物として、評価できるようにするための詳細検討
 - ・ 地盤周期 G_s に応じた地表面スペクトルの提示
 - ・ 地盤支持力と液状化判定及び応答スペクトル値を定めるために必要な地盤調査の項目の提示
 - ・ 地盤状況の把握のための公的な地盤マップなどの整備

今後の課題(3)

4. その他の課題

- ・ **長周期地震動に対する免震建築物・免震材料に関する特性評価等**
長周期地震動に対する免震層の応答変位、免震材料の消費エネルギー等を評価し、免震材料の保有エネルギー確認のための評価法・試験方法等を提示
- ・ **第6の構造計算法における粘性ダンパーを適正に評価する方法の提示**
- ・ **強風時・暴風時に対する免震建築物・免震材料に関する特性評価等**
高層免震建築物等に対する強風時・暴風時の建築物の応答性状検討し、免震材料の消費エネルギー等を評価し、免震材料の保有エネルギー確認のための評価法・試験方法等を提示

END