

平成21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

株式会社小堀鐸二研究所

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

# テーマ概要

## ■ テーマ :

1 2 免震建築物の基準の整備に関する検討

## ■ 継続応募

## ■ 調査名 :

免震材料の特性評価と免震建築物の設計手法に関する調査

## ■ 調査の概要 :

(イ) 免震建築物における上部構造の層せん断力係数が適切に評価できる方法を取りまとめる。

(ロ) 小規模建築物も含めた免震層に設置する免震材料の品質について、性能項目毎に技術的な検討を行う。

(ハ) 長周期地震動や強風に対する免震材料の消費エネルギー等の性状を明確にし、保有エネルギーを確認する評価法・試験方法の試案をまとめる。

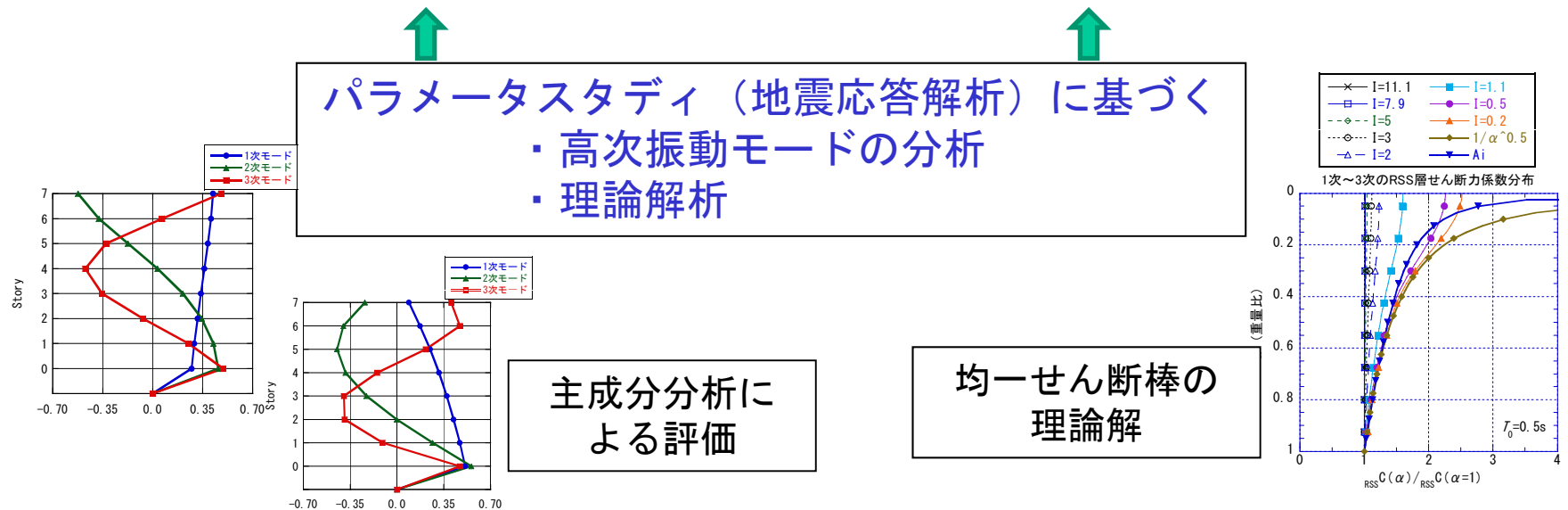
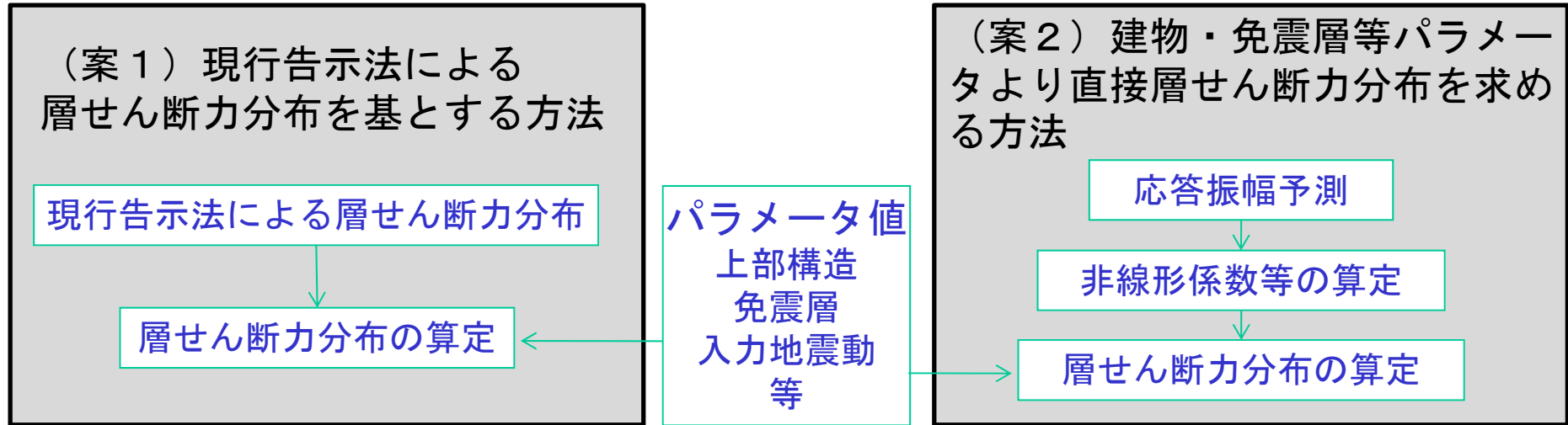
# 実施体制

管理技術者		担当業務内容
清水建設(株)技術研究所	田村 和夫	調査業務全般担当 全体統括・とりまとめ
(株)小堀鐸二研究所	竹中 康雄	
(社)日本免震構造協会	可児 長英	
担当技術者		主な担当業務内容
清水建設(株)技術研究所	計3名	層せん断力分布の検討
(株)小堀鐸二研究所	計3名	風外乱に対する特性評価検討
(社)日本免震構造協会	計4名	免震材料の品質に関する検討
(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	北村 春幸	東京理科大学	(社) 日本免震構造協会内に 本委員会 + 3WG・5SWG を設置して活動
委員	井上 範夫	東北大学	
委員	大熊 武司	神奈川大学	
委員	荻野 伸行	熊谷組	
委員	可児 長英	日本免震構造協会	
委員	菊地 優	北海道大学	
委員	北村 佳久	清水建設	
委員	小林 正人	明治大学	
委員	猿田 正明	清水建設	
委員	高山 峯夫	福岡大学	
委員	竹中 康雄	小堀鐸二研究所	
委員	田村 和夫	清水建設	
委員	中澤 昭伸	織本構造設計	
委員	長谷川 豊	オイレス工業	
委員	速水 浩	日本建築センター	
委員	藤森 智	松田平田設計	
委員	吉江 慶祐	日建設計	
共同研究委員	飯場 正紀	建築研究所	
共同研究委員	大川 出	建築研究所	
共同研究委員	齊藤 大樹	建築研究所	
協力委員	小豆畑 達哉	国土技術政策総合研究所	
協力委員	石原 直	国土技術政策総合研究所	
協力委員	井上 波彦	国土技術政策総合研究所	

# (イ) 免震建築物の層せん断力分布に対する評価方法

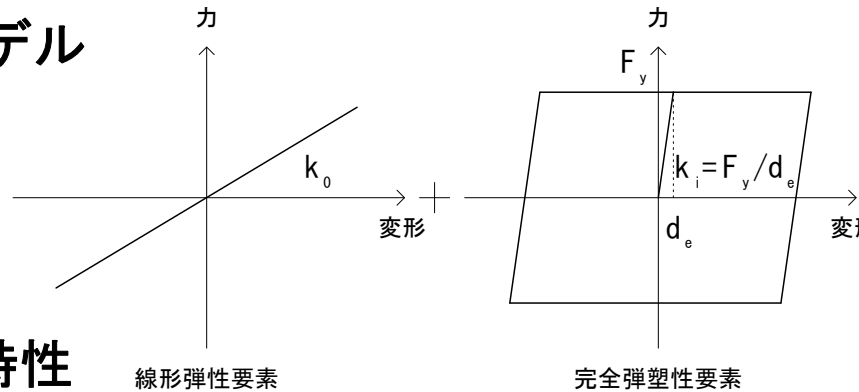


# 免震建築物の地震応答解析パラメータ

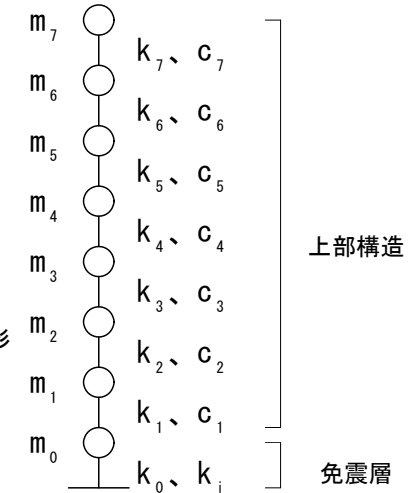
## 解析モデルと解析パラメータ

### ■解析モデル

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



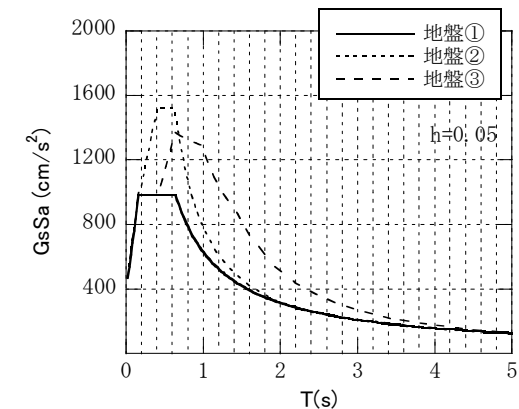
免震層の復元力モデル



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 ( $\alpha_y=0.03, 0.05, 0.07, 0.10$ )
  - 降伏変位 ( $d_e=0.1, 1.0, 3.0\text{cm}$ )



入力地震動のスペクトル

### ■入力地震動：告示スペクトル

# 免震建築物の層せん断力係数設定法の提案(1)

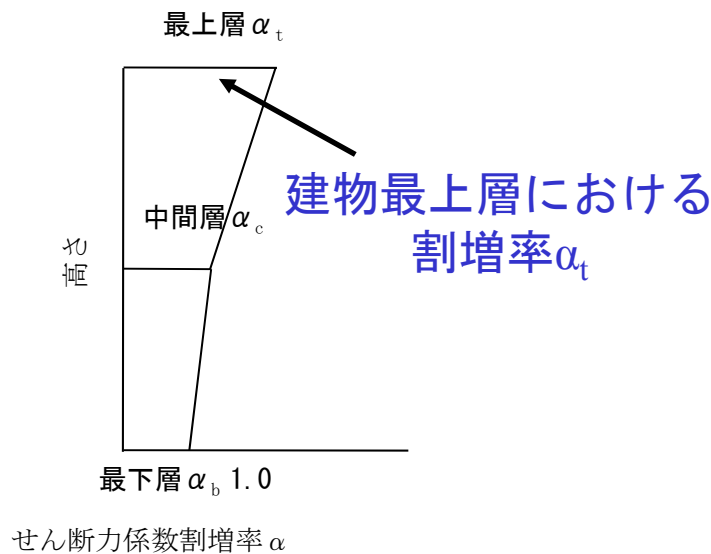
## (1) 現行告示法による層せん断力係数を基とする方法 (設定法 1)

- i) 現行告示法により免震層の変形と各層のせん断力係数を求める。
- ii)  $T_{eq}/T_0, T_1/T_0$ より、現行告示法によるせん断力係数の割増率 $\alpha$ を求める。

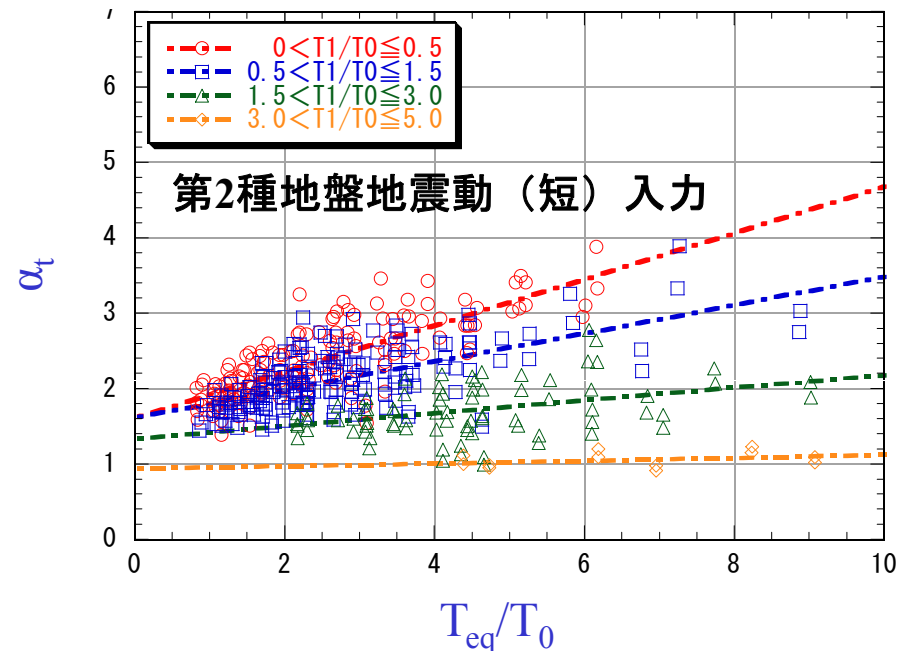
$T_0$  : 上部構造の基礎固定時1次固有周期

$T_1$  : 免震層の初期剛性に対応する固有周期 (上部構造は剛体)

$T_{eq}$  : 免震層最大変形に対応する等価固有周期 (上部構造は剛体)



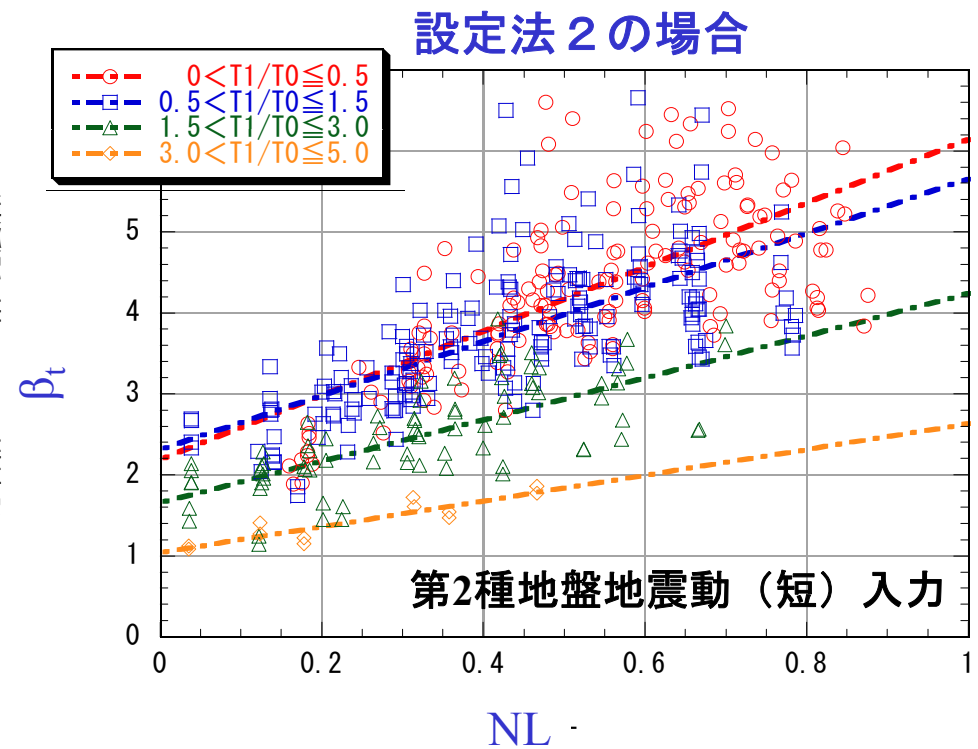
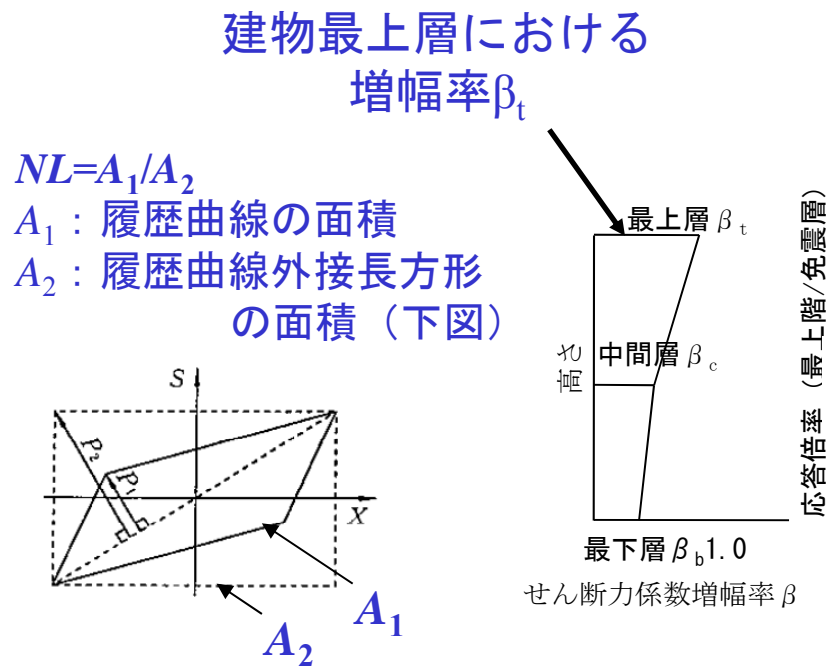
応答解析/告示 (最上階)



# 免震建築物の層せん断力係数設定法の提案(2)

## (2) 建物・免震等パラメータより直接層せん断力係数を求める方法 (設定法2、設定法3)

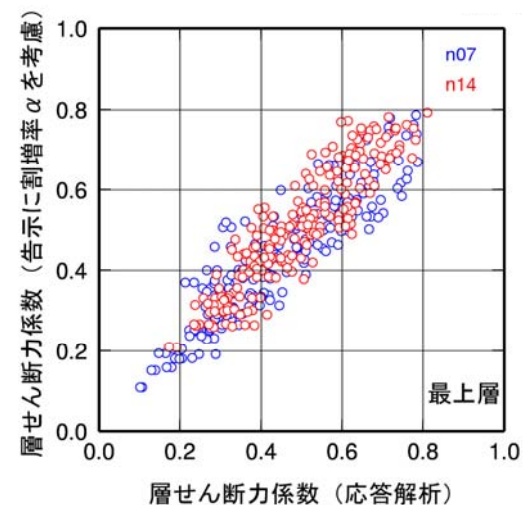
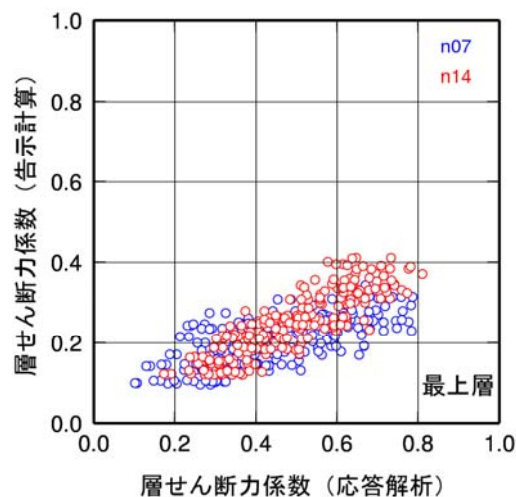
- i) 現行告示法により免震層の変形を求める。
- ii)  $T_1/T_0$ とNL (設定法2)、あるいは $T_0$ とNL (設定法3) より、層せん断力係数の免震層からの増幅率 $\beta$ を求める。



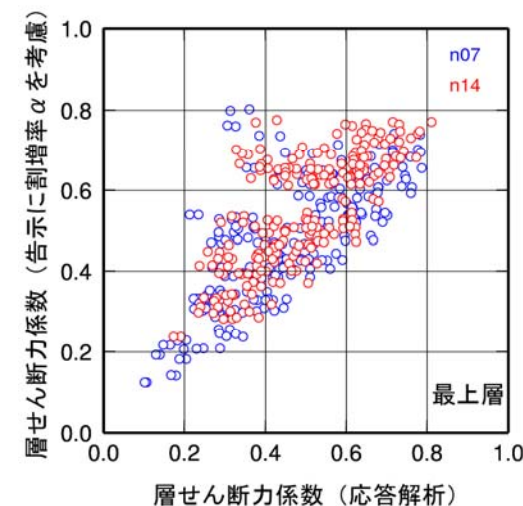
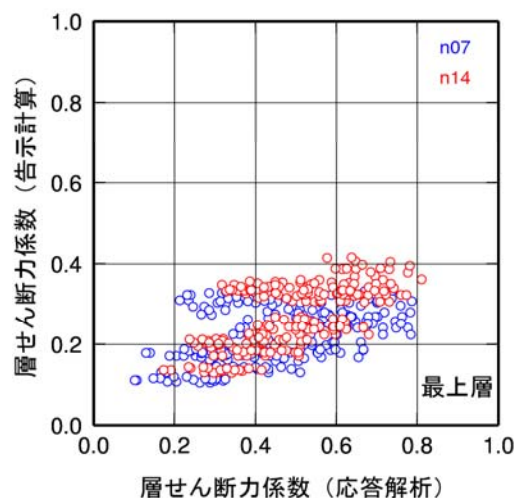


# 設定法と応答解析との対応（設定法 1 の場合）

免震層変形を  
応答解析結果と  
合わせた場合



免震層変形を  
現行告示法で  
求めた場合

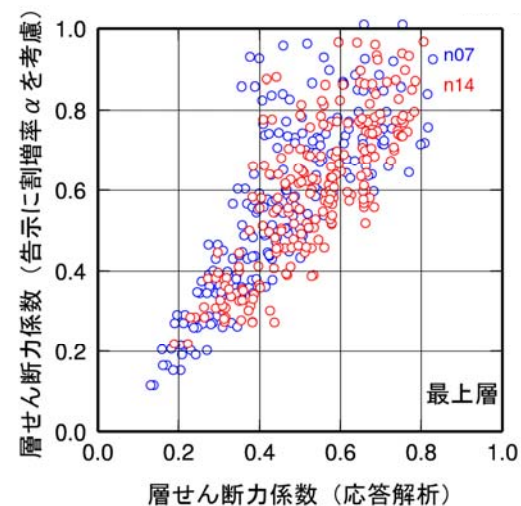
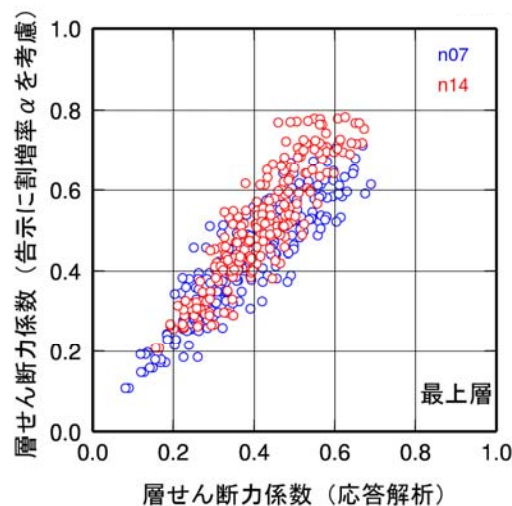


現行告示法による値との対応

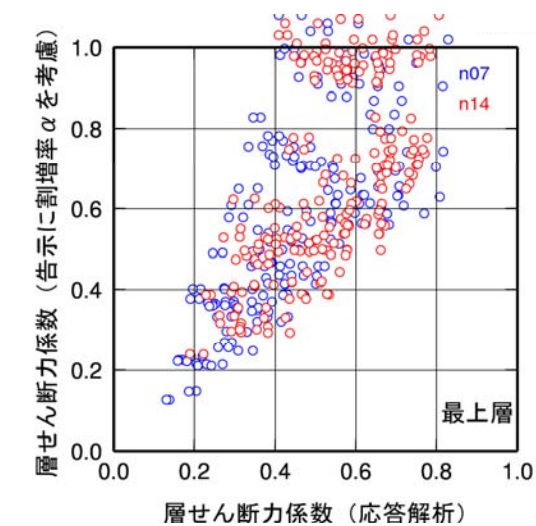
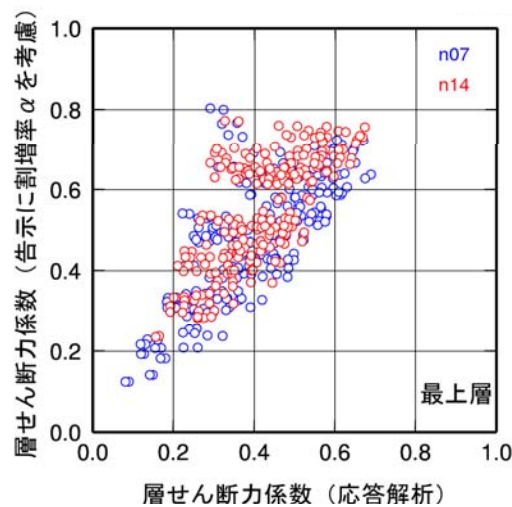
提案法による値との対応

# 設定法と応答解析との対応（設定法1の場合）

免震層変形を  
応答解析結果と  
合わせた場合



免震層変形を  
現行告示法で  
求めた場合

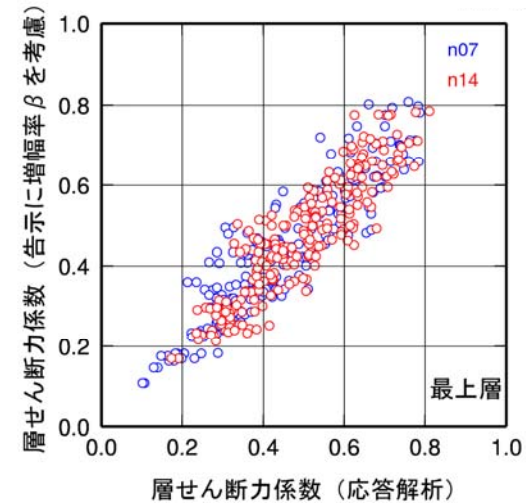
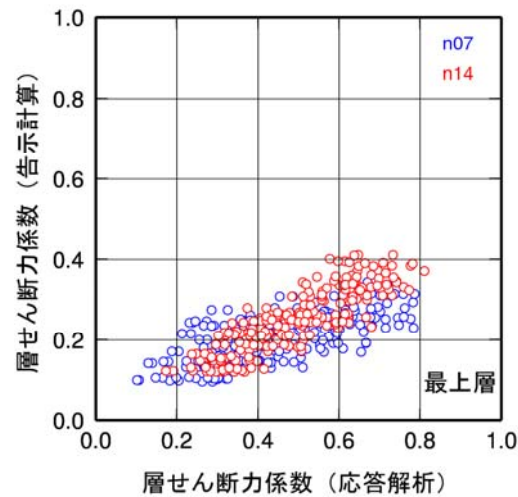


第1種地盤地震動入力

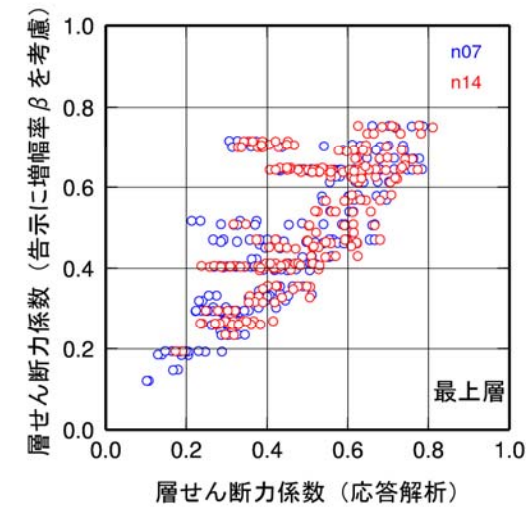
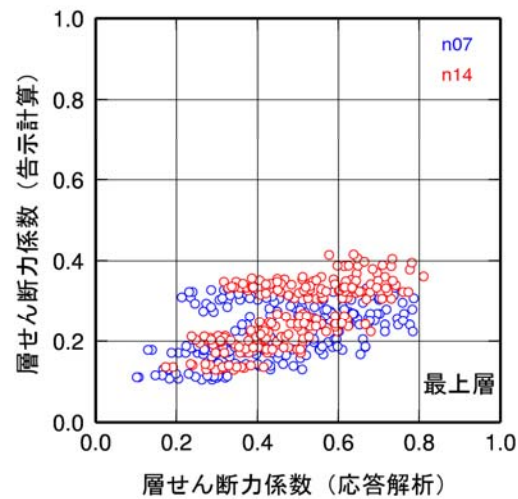
第2種地盤地震動（長周期）入力

# 設定法と応答解析との対応（設定法2の場合）

免震層変形を  
応答解析結果と  
合わせた場合



免震層変形を  
現行告示法で  
求めた場合

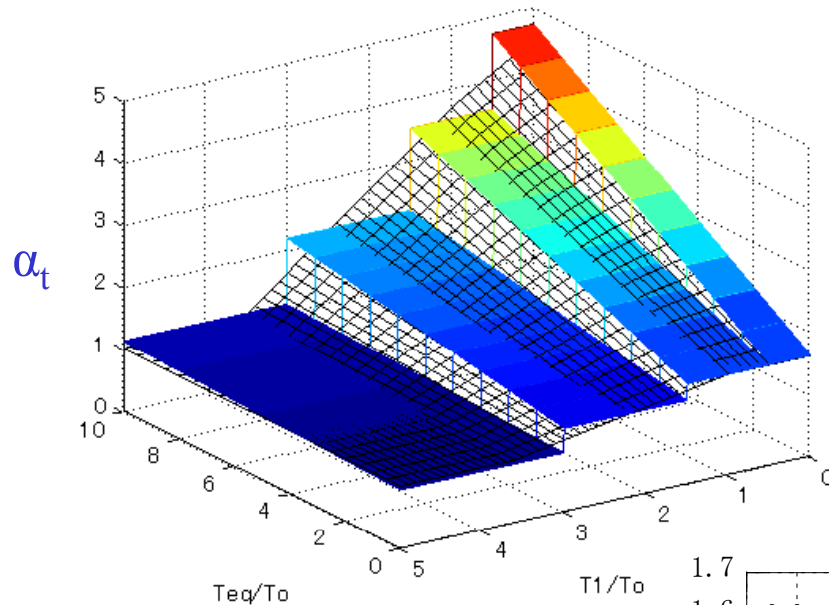


現行告示法による値との対応

提案法による値との対応

# 層せん断力係数割増率 $\alpha_t$ の連続化

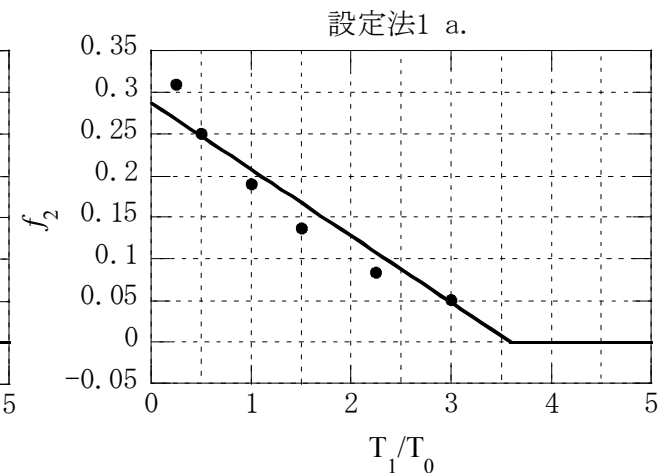
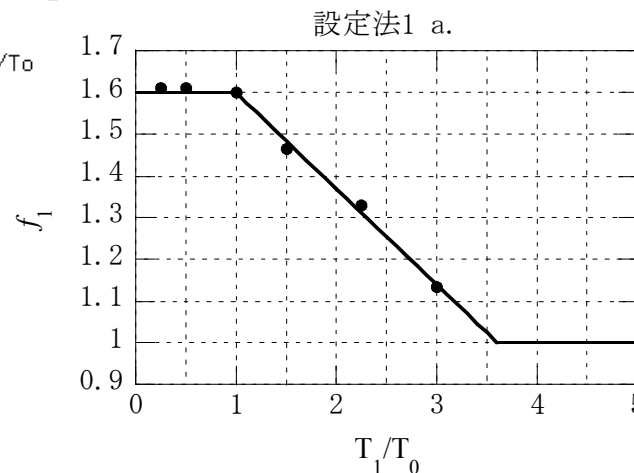
$$\alpha_t = f_1(T_1/T_0) + f_2(T_1/T_0) \cdot (T_{eq}/T_0)$$



$$f_1 = \begin{cases} 1.6 & (T_1/T_0 \leq 1.0) \\ -0.23(T_1/T_0 - 1.0) + 1.6 & (1.0 < T_1/T_0 \leq 3.6) \\ 1.0 & (3.6 < T_1/T_0) \end{cases}$$

$$f_2 = \begin{cases} -0.08(T_1/T_0 - 3.0) + 0.048 & (T_1/T_0 \leq 3.6) \\ 0 & (3.6 < T_1/T_0) \end{cases}$$

## 設定法 1 の 検討例



## (ロ) 免震材料に求められる品質に関する検討

### a) 各種材料の品質基準に関する検討

H12告示第1446号別表第二  
(は) 一～八

性能項目・試験方法等に対する技術的背景の検討・整備

#### ● 性能、試験方法の検討項目

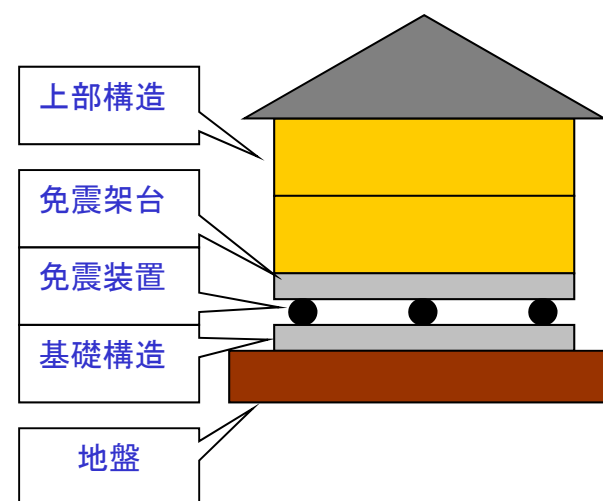
- ・ 基準面圧
- ・ 規定ひずみ
- ・ 縮小モデル寸法
- ・ 繰り返し回数と変化率の規定方法
- ・ 必要試験体数

他

### b) 四号免震建築物、 小規模免震建築物

四号・小規模免震建築物の  
簡易的計算ルートでの検討

計算ルート別の詳細検討  
(技術的背景の検討)



## (a) 各種材料の品質基準に関する検討

---

免震材料の技術基準において整備すべき事項を、既往検討で挙げられた問題点や指定性能評価機関における問題意識等を基に、設計者・製造者等の意見を反映しながら、20提案に集約。

a. 支承材・減衰材に共通する提案

試験条件としての規定ひずみ（変形）・載荷方法、等

b. 支承材に関する提案

試験条件としての面圧、性能のばらつきの基準値、等

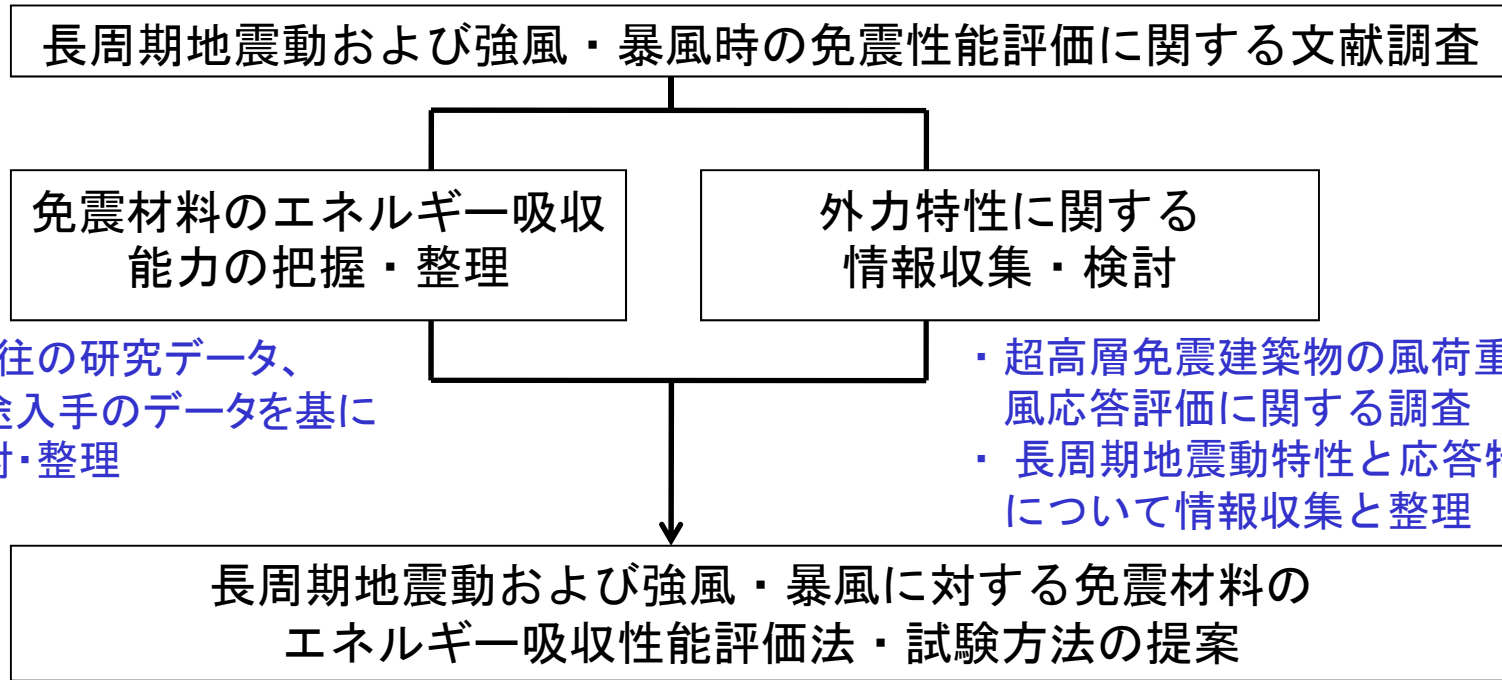
c. 減衰材に関する提案

流体系減衰材の降伏速度の扱い、等

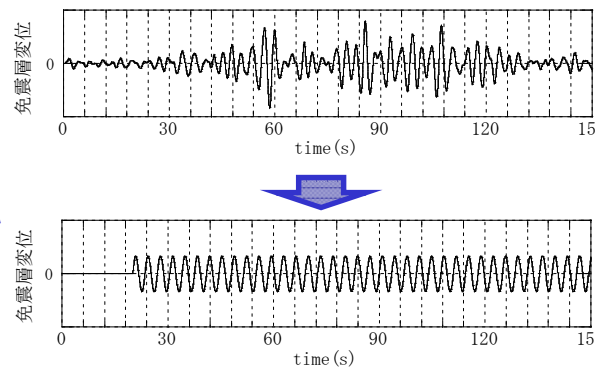
d. 性能の変化率に関する提案

温度変化要因、エネルギー吸収性能変化、せん断ひずみ＋面圧の影響、変形速度・繰り返し数の影響、総エネルギー吸収量算定、等

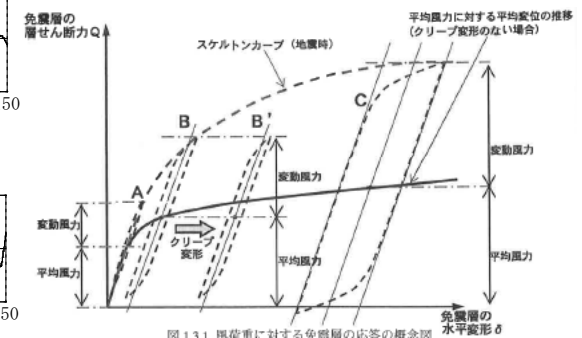
# (ハ) 長周期地震動等に対する免震材料の特性評価に関する検討



- ・性能評価法、試験法の提案
- ・実大免震部材の試験ができる既存の実験施設の調査
- ・妥当性確認のための実験方法を提案



長周期地震動に対する  
応答のモデル化



風荷重に対する免震層応答  
概念図

# 長周期地震動に対する免震材料の特性評価に関する検討

---

超高層免震建築物の長周期地震動に対する応答特性を踏まえた免震材料の性能評価を行い、エネルギー吸収性能等を含む試験方法を提案

## 実施項目

### (1) 既往関連研究文献調査

免震材料のエネルギー吸収性能等を調査した。

### (2) 免震建物の長周期地震動に対する応答解析結果の分析

代表的免震支承・ダンパーのエネルギー吸収量を求め、

エネルギー吸収性能を評価した。

### (3) 免震材料のエネルギー吸収性能評価・試験方法の提案



# 免震材料のエネルギー吸収性能評価

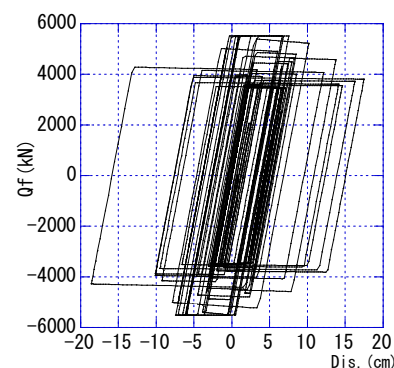
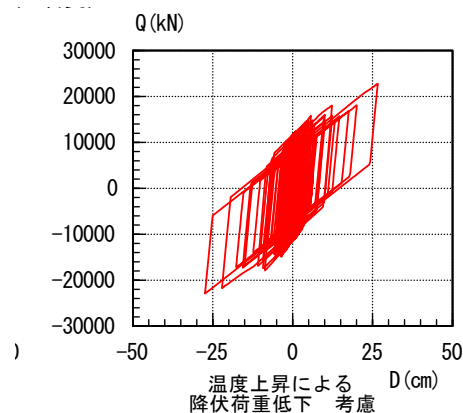
長周期地震動に対する代表的建物モデルの地震応答解析を実施  
免震層のエネルギー吸収量を算定

- ・ 免震材料が吸収するエネルギー量
- ・ 免震層の最大応答変位／累積変形量
- ・ エネルギー吸収に要する時間

## 免震部材のエネルギー吸収性能を評価

(鉛プラグ入り積層ゴム、高減衰積層ゴム、弾性すべり支承、鋼材ダンパー、鉛ダンパー、オイルダンパー)

- ・ 既往の知見に基づき、エネルギー吸収性能を評価
- ・ 多数回繰り返し変形に伴う復元力特性の変動の影響を検討



# 免震材料の性能評価法

既存の実験施設の実態調査（アンケート）を実施

⇒ 大型免震材料の動的試験は困難

長周期地震動を対象とした免震材料のエネルギー吸収性能評価試験方法を提案

- ・ 積層ゴム支承（鉛プラグ入り積層ゴム、高減衰積層ゴムなど）
- ・ 弾性すべり支承
- ・ 鋼材ダンパー、鉛ダンパーなど
- ・ オイルダンパーなど
- ・ 長周期地震動を対象とした試験
  - 3水準（100、200、400mm）の変位振幅正弦波
  - × 累積変形量（50m）相当回数 の変形試験
- ・ 限界性能試験（or 累積変形量に余裕度（2.0以上）を考慮した試験）

# 強風に対する免震材料の特性評価に関する検討

---

超高層免震建築物の増加などにより耐風安全性の確保が重要になりつつある。風荷重は、平均成分を有し、長時間継続する点で地震荷重と異なる。強風・暴風に対する免震建築物および免震材料の応答特性に関する調査・検討を行う。

## 実施項目

- (1) 既往関連研究文献調査：免震材料風応答特性および免震建物風応答評価法に関する文献調査を実施。
- (2) 耐風設計法に関する調査：(社)日本免震構造協会における耐風設計部会で検討中の指針骨格案を紹介。
- (3) アンケートによる超高層免震建築物実態調査：軒高100mを超える38棟の超高層免震建築物の耐風設計基本データを回収して分析。
- (4) モデル免震建物による風応答特性の検討
- (5) 免震材料の品質確保のための試験方法に関する検討

# モデル免震建物による風応答特性の検討

強風に対する高層免震建築物および免震材料の応答特性を風応答時刻歴解析により検討する。

対象建物:

160m級建物: 周期3.1秒、塔状比5

80m級建物: 周期1.6秒、塔状比3

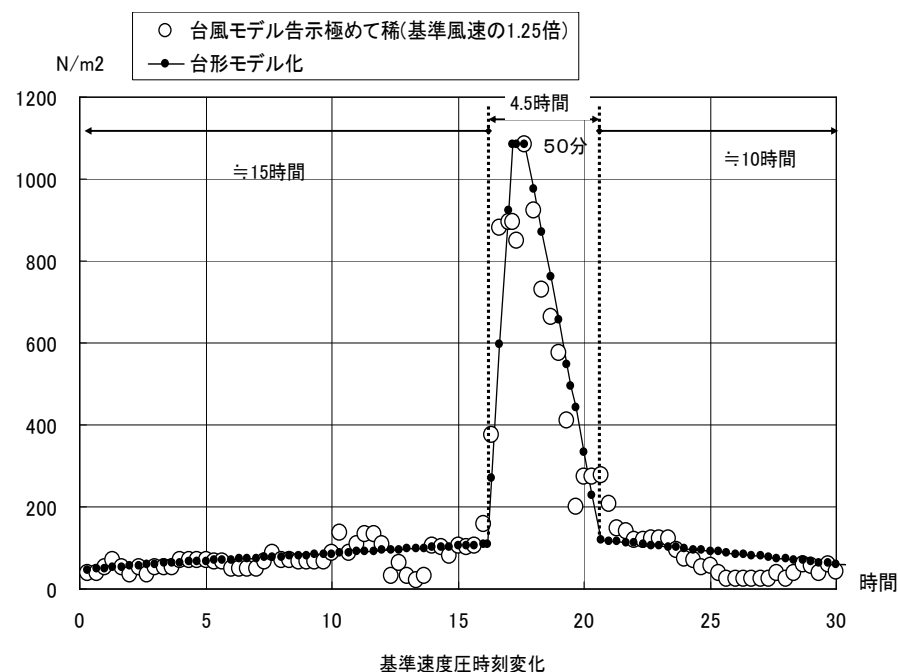
免震システム:

鉛入り積層ゴム

天然ゴム系積層ゴム+鋼材、鉛ダンパ

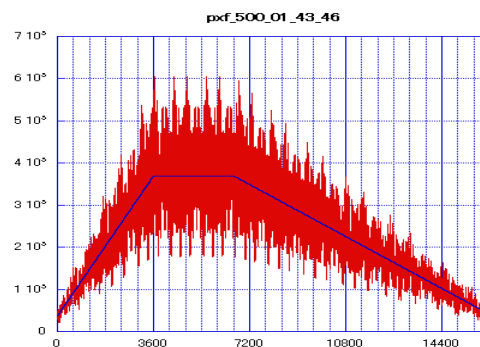
風力時刻歴波形の作成

建設地を都市圏(東京)と仮定して、告示1461号の基準風速の1.25倍に相当する風力波形を作成した。地表面粗度区分Ⅱ、Ⅲとし、最大風速域50分と風速変化を含む4.5時間の2ケース作成した。

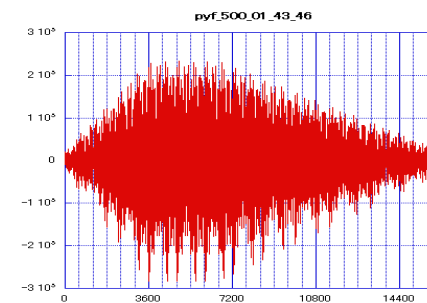


基準速度圧時刻変化

仮想台風時の速度圧経時変化とそのモデル化



a. 風方向



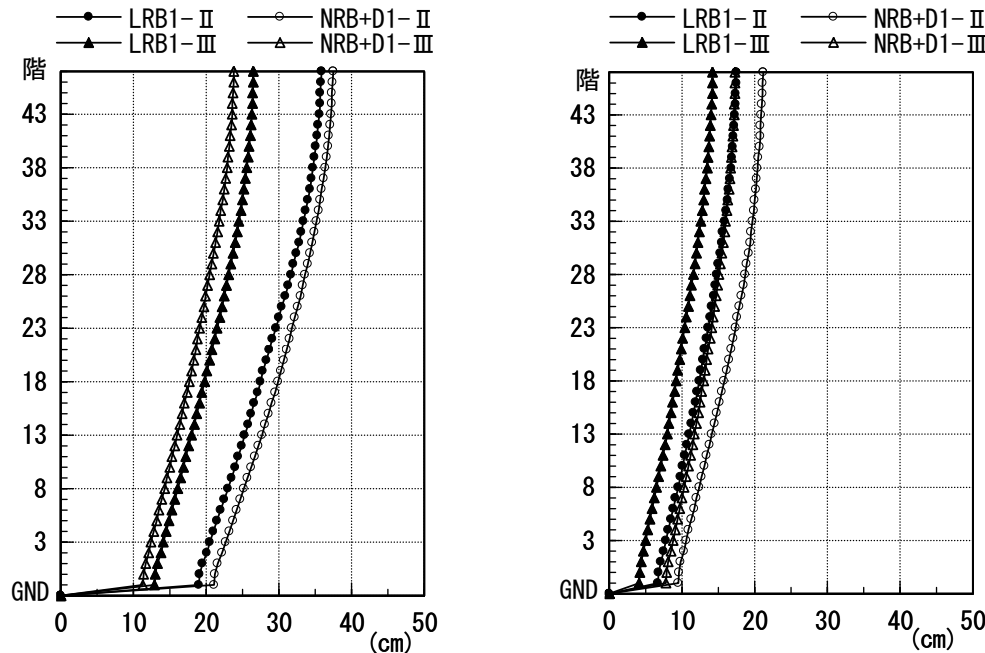
b. 風直交方向

全風風速域4.5時間の風力波形作成例  
(地表面粗度区分Ⅱの160m級建物)

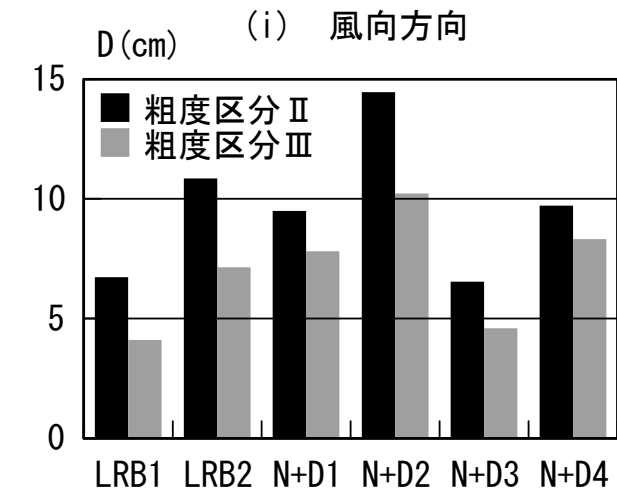
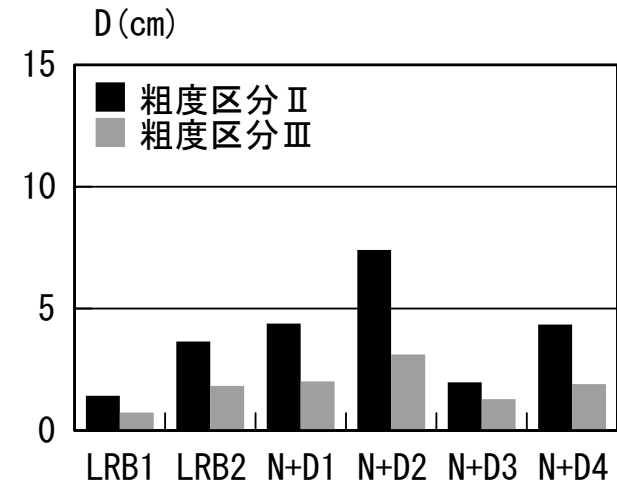
# 風応答時刻歴解析結果

上部構造各質点に風力波形を入力して解析。免震材料の小振幅特性やクリープ性を考慮。

免震層最大水平変位の変動成分は風向方向と比較して風向直交方向の値が大きい傾向にある。



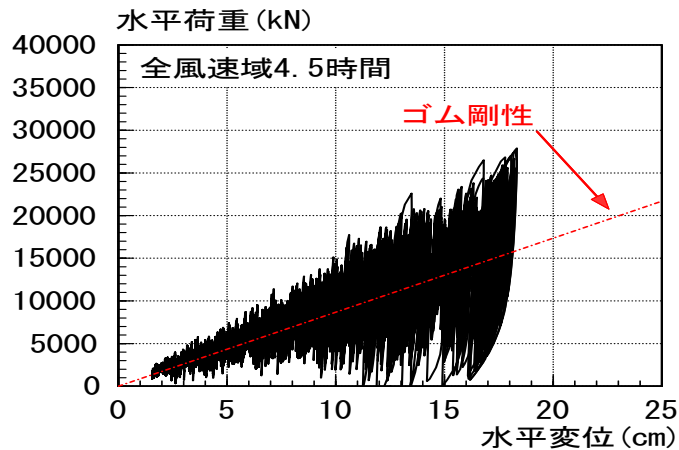
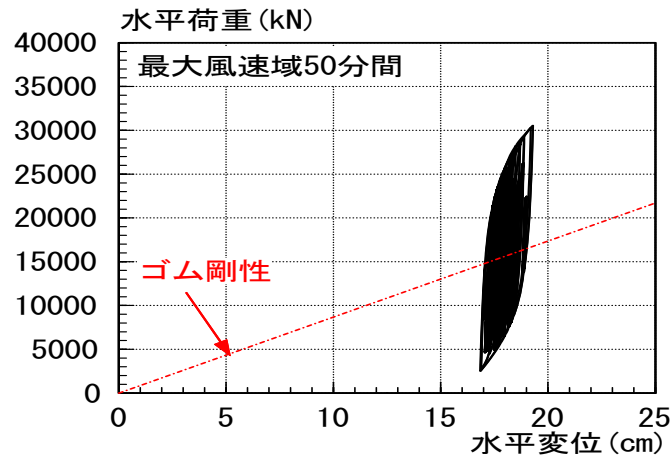
(a)風向方向(平均+変動) (b)風向直交方向(変動)  
 応答水平変位(160m級建物)



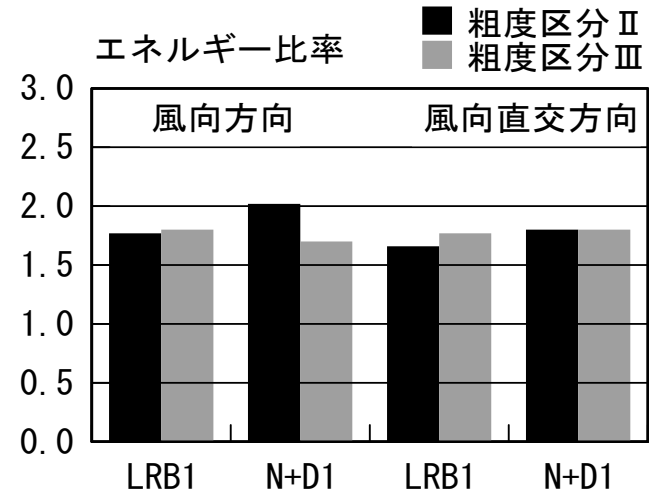
(i) 風向方向  
 (ii) 風向直交方向  
 免震層最大水平変形 (変動成分)  
 160m建物

# 風応答時刻歴解析結果

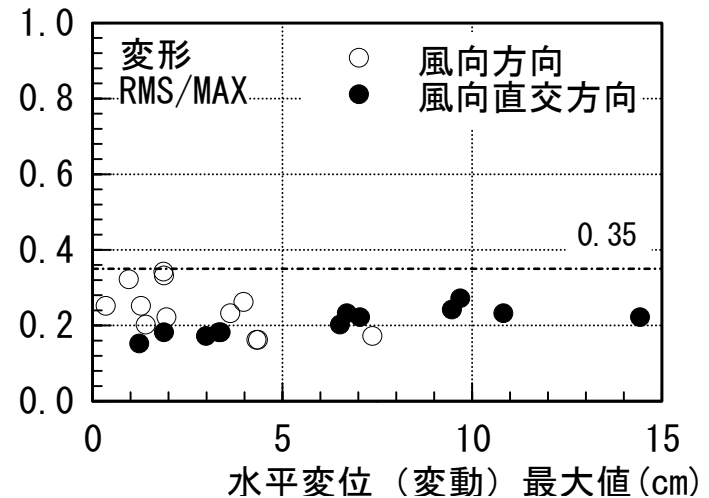
免震層吸収エネルギー比率(4.5時間/50分間)は 2程度。  
 免震層の最大応答層せん断力及び最大水平変位(変動成分)のRMS値は、  
 それぞれ最大値の0.40、0.35以下



免震層の荷重-変形関係の例



免震層吸収エネルギー比率(4.5時間/50分間)



免震層水平変位比(RMS/MAX)

## 免震材料の品質確保のための試験方法(案)

強風・暴風時における、免震材料の疲労損傷、エネルギー吸収に伴う温度上昇の影響、クリープ変形の影響確認などを含む、品質確保に関する試験方法(案)を、モデル免震建物の風応答検討結果を参照しつつ検討した。

積層ゴム支承(鉛入り、高減衰、錫プラグ入り)の例を下表に示す。

- ・荷重制御による、3水準の正弦波荷重＋一定水平力加振を基本とする。
- ・試験継続時間を2時間とする。断熱状態での試験を原則とする。
- ・試験終了後、常温下での基本特性の変化がないことを確認する。

### 積層ゴム支承の風応答を対象とした試験条件( $\alpha=0.40$ )

		試験ケース (3水準)		
荷重振幅	平均成分	$Q_y/2$	降伏荷重 $Q_y$	0
	変動成分	$\pm \alpha Q_y/2$	$\pm \alpha Q_y$	$\pm 1.5 \alpha Q_y$
加振周期 $T_{eq}$		変動成分最大変形における基準面圧時等価周期または1秒		
継続時間 $T_d$		2時間		
サイクル数		強風の継続時間 $T_d$ /加振周期 $T_{eq}$		
面圧		基準面圧		

# 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

(基準化に向けての課題)

- ・ せん断力係数割増率あるいは増幅率における不連続性の解消
- ・ ばらつき・精度を考慮した設定法

## 2. 各種材料の品質基準に関する検討

- ・ 測定方法の材料間の公平化
- ・ 水平2方向性能測定法
- ・ 実大・実速度による試験の体制構築

## 3. 四号建築物ならびに小規模建築物の免震材料と計算ルート

- ・ 四号建築物の免震材料の性能確認事項の具体化
- ・ 施工管理、品質維持管理等のフォーマット作成



## 今後の課題(2)

---

### 4. 長周期地震動に対する免震材料の特性評価に関する検討

- ・ 免震材料におけるエネルギー吸収性能試験データの充実
- ・ 免震材料のエネルギー吸収性能評価法の確立
- ・ 試験方法の確立
- ・ 大型試験機の導入検討

### 5. 強風に対する免震材料の特性評価に関する検討

- ・ 風外力の継続時間・風速変化の設定法検討
- ・ 未評価の免震部材の検討
- ・ 水平2方向風荷重時の検討
- ・ 風向直角方向の応答の検討
- ・ 風荷重の実用的評価法の検討
- ・ 具体的試験法の検討

END