

平成25年度 建築基準整備促進事業

調査事項S9  
浮き上がりを生ずる建築物の  
構造設計法に関する検討調査

「浮き上がりを生ずる建築物の接地離間に関する  
基礎実験と設計法に関する調査」

株式会社 竹中工務店

大成建設株式会社

# 研究体制

平成24年度基準整備促進事業10に引き続き

事業主体

株式会社 竹中工務店      大成建設株式会社

共同研究者

独立行政法人 建築研究所

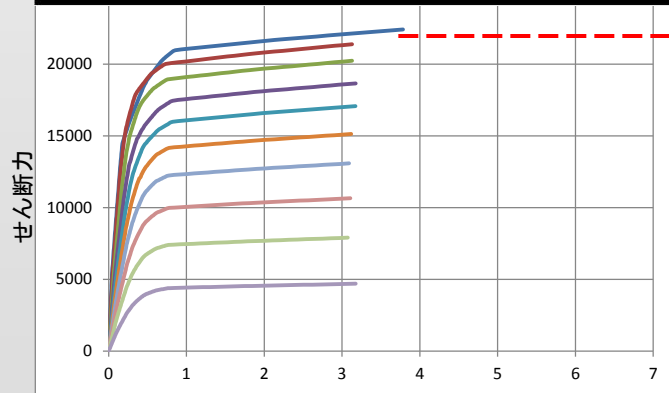
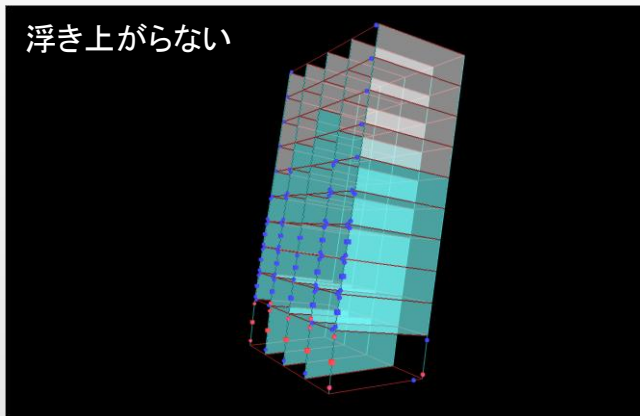
国土交通省 国土技術政策総合研究所

千葉大学 教授 中井 正一

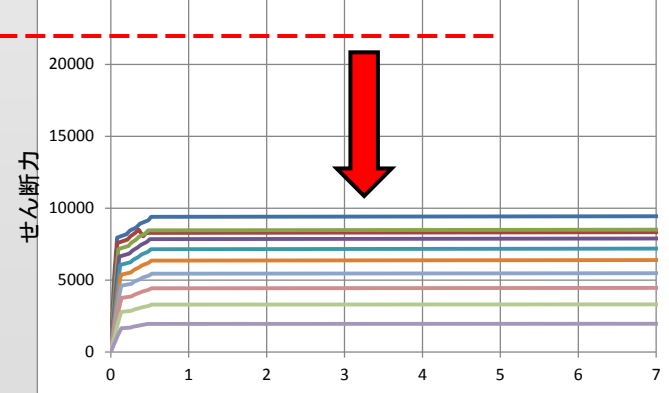
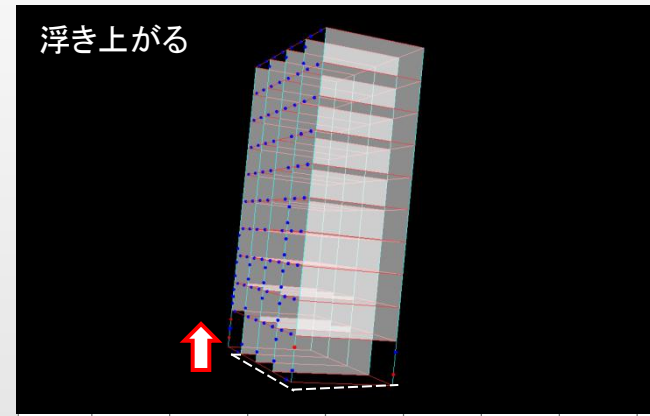
東京工業大学 名誉教授 和田 章

# 研究の目的

- 保有水平耐力計算時に、現状、崩壊形として認められていない「転倒崩壊形」を考慮することによる、より合理的な設計体系の構築



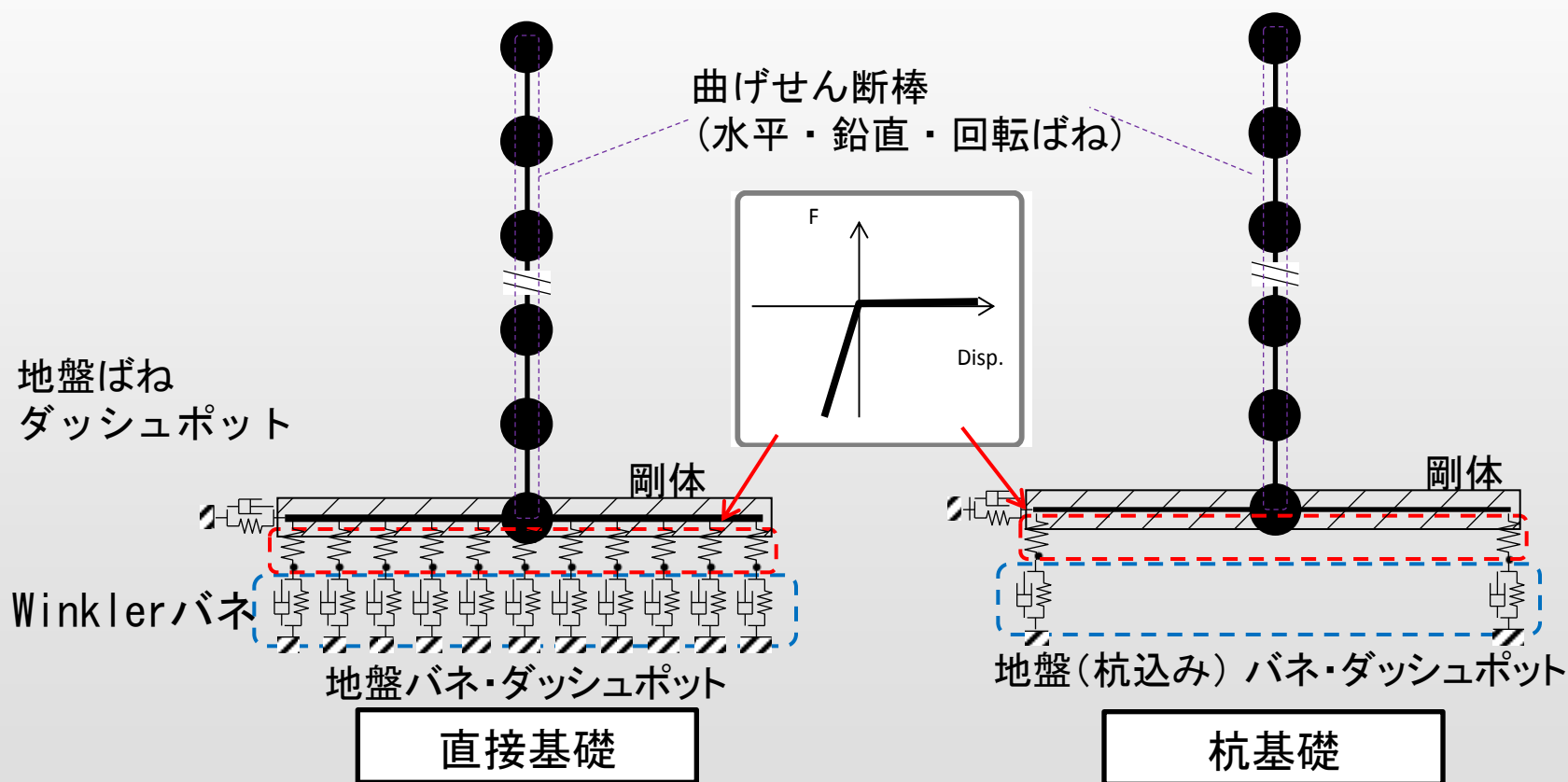
層間変形



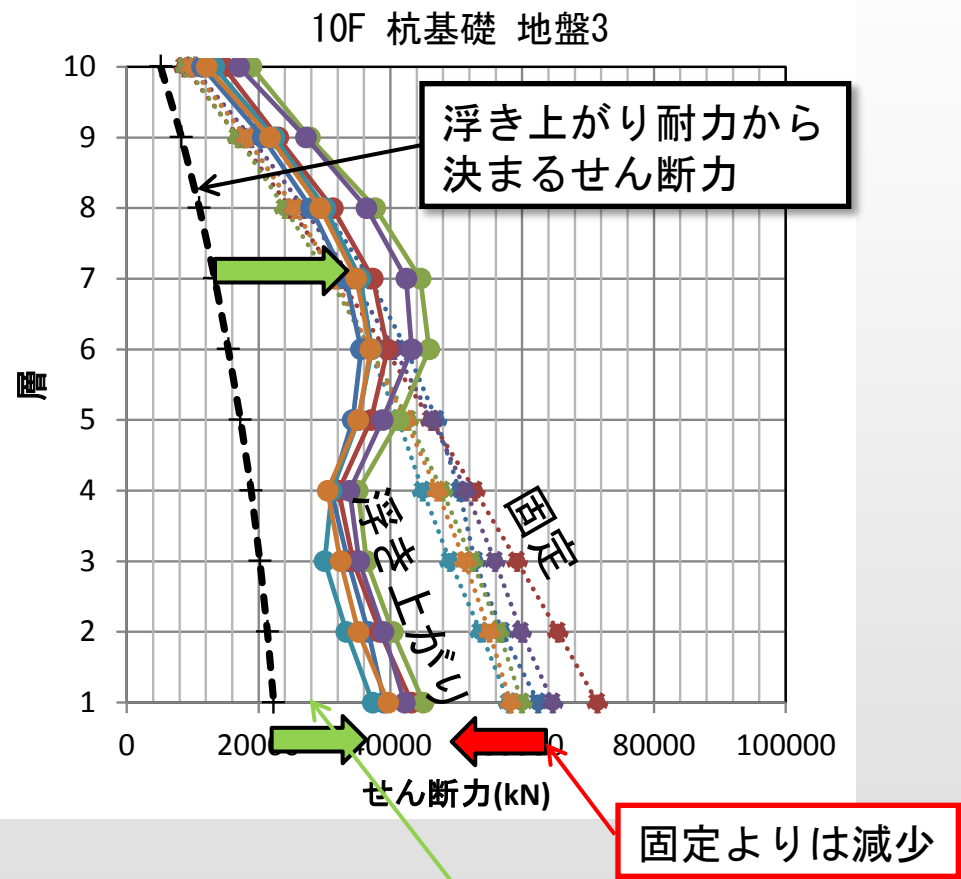
層間変形

# 平成24年度の調査結果

- 浮き上がりモデルの地震応答解析を実施

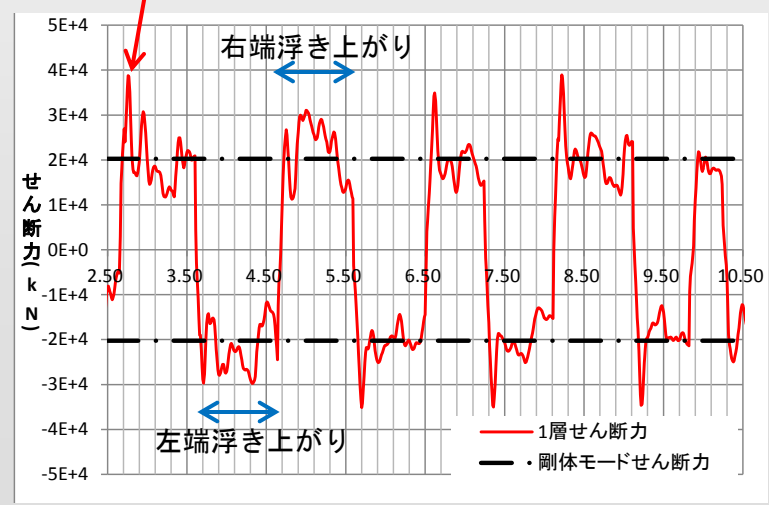


# 平成24年度の調査結果



浮き上がり耐力から決まるせん断力より大きい

- 基礎固定とした場合に比べると、浮き上がる場合のベースシア係数は十分に小さくなるものの、浮き上がり耐力から決まるせん断力よりは大きなせん断力が建物に発生する。  
→ 高次振動が発生する



# 本年度の調査

- 実地盤上の建物でも、本当にそうなるのだろうか？
  - 昨年度の解析では地盤は弾性
  - 解析で使用した地盤バネ・減衰の設定には地盤の非線形性・非均一性に伴う不確定要素が含まれる
  - 特に直接基礎の場合、接地面積の減少による接地圧の増加とこれに伴う局所的な地盤の変形を生じるであろう

- (イ) 応答性状の分析

浮き上がり架構の振動性状に関する検討

- (ロ) 浮き上がり挙動の基礎実験

浮き上がり架構の遠心加力振動実験  
(大成建設)

浮き上がり架構のロッキング試験  
(竹中工務店)

- (ハ) 設計法に関する検討

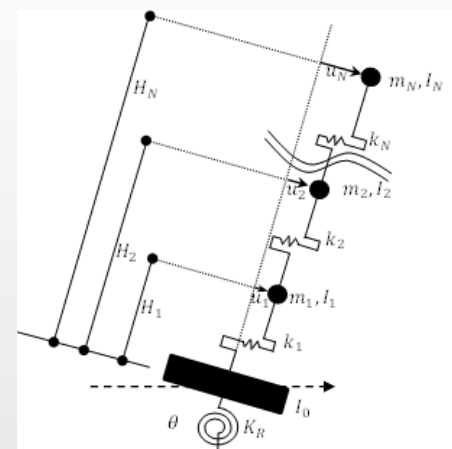
浮き上がり許容設計に関する検討

# 浮き上がり架構の振動性状に関する検討

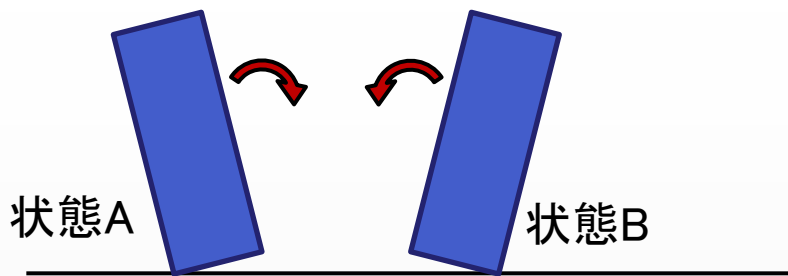
- 浮き上がり架構の設計用せん断力の推定を目的として、高次振動の発生メカニズムについて分析・検討

等価せん断型質点系のロッキングモデルの自由振動応答について、モード合成法を用いた検討を実施

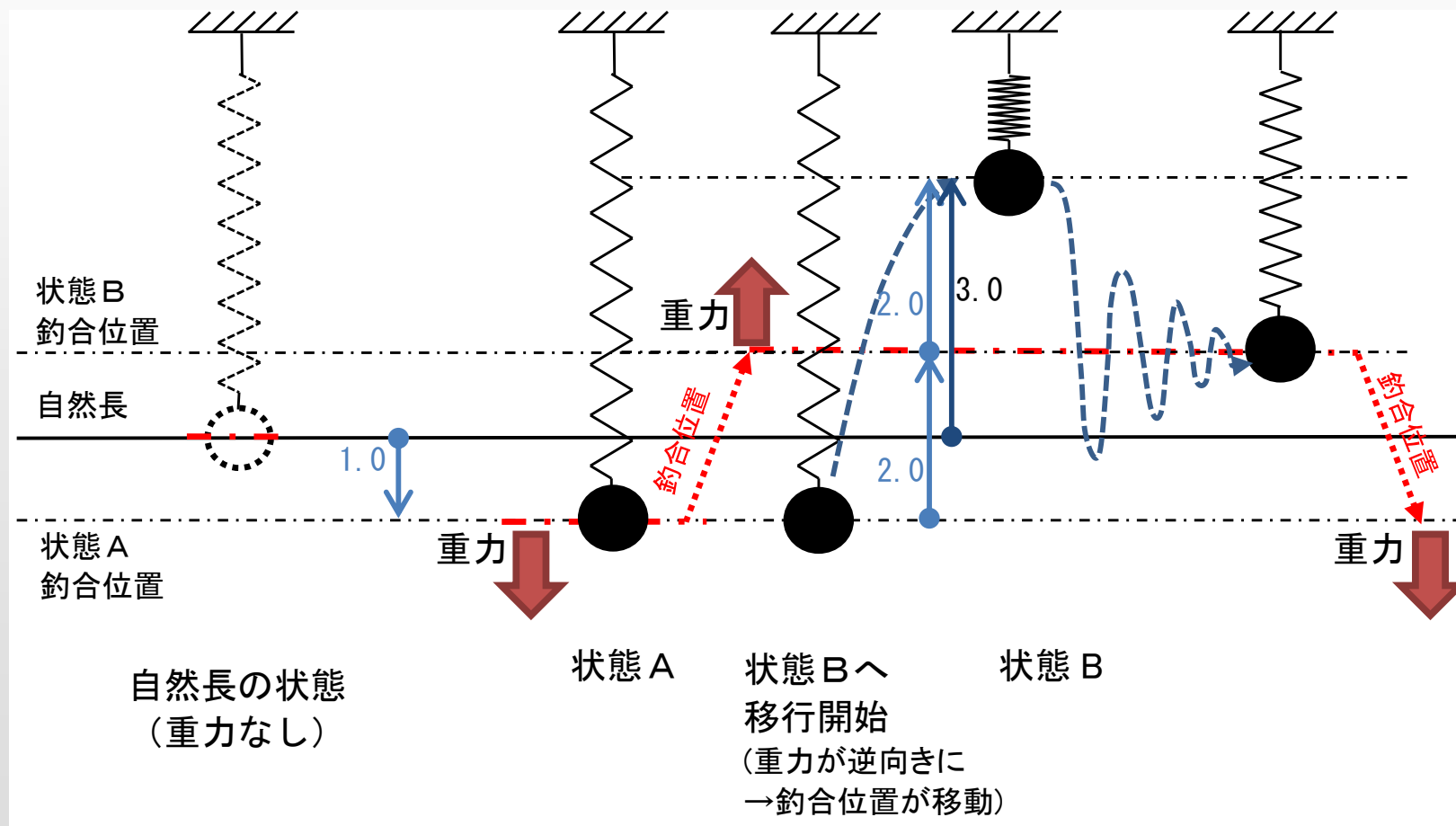
- 高次振動を、「浮き上がり及び接地時の釣り合い位置の移動」によって説明できることを提示
- 疑似速度応答スペクトルから浮き上がり応答量を推定する方法を提示
- 着地のタイミングのランダム性の応答への影響を確率論的手法により評価する方法を提案
- SRSS法等を用いた、応答せん断力の推定式の提案



# 高次振動発生メカニズム

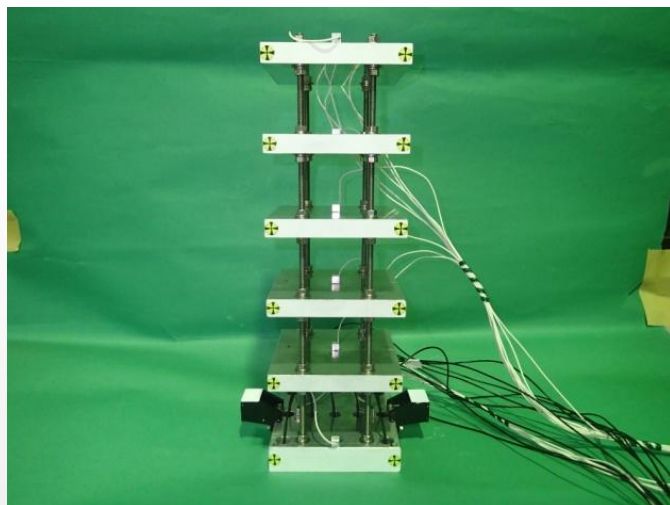


各モードのバネにおいて

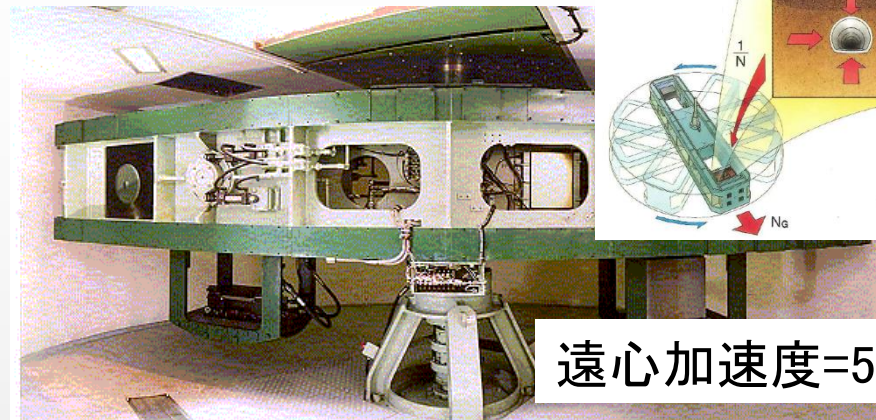




# 浮き上り架構の遠心加力振動実験

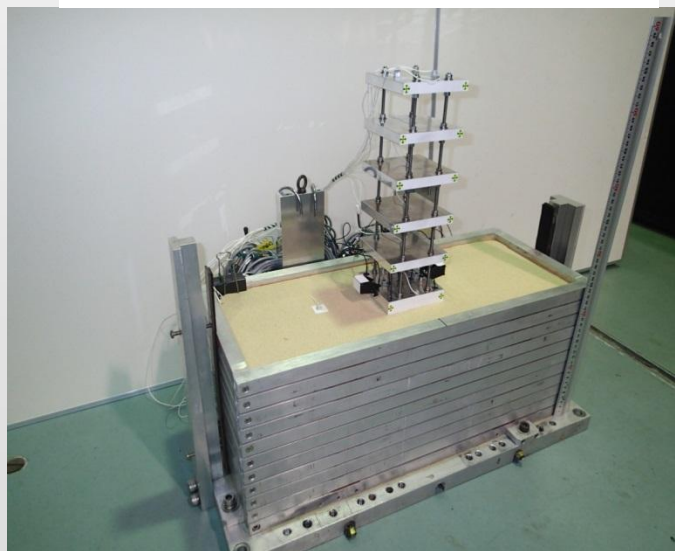


建物模型(10階相当)

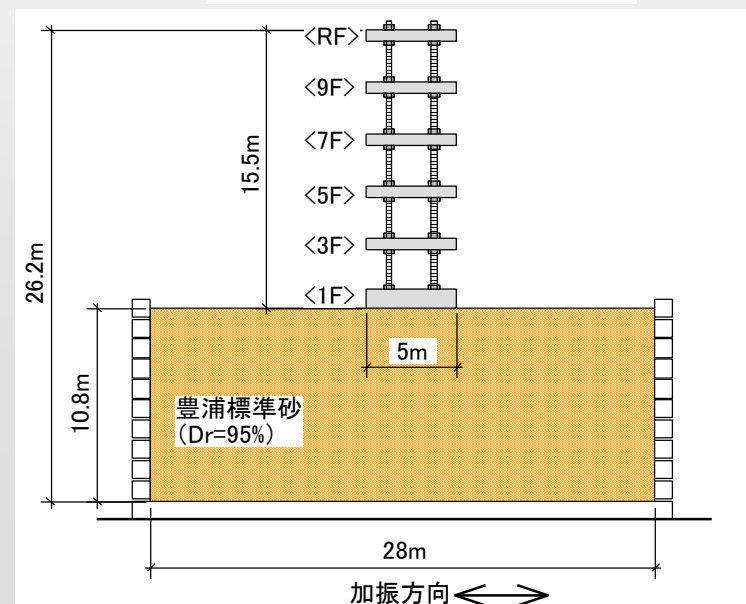


遠心加速度=50g

遠心載荷装置



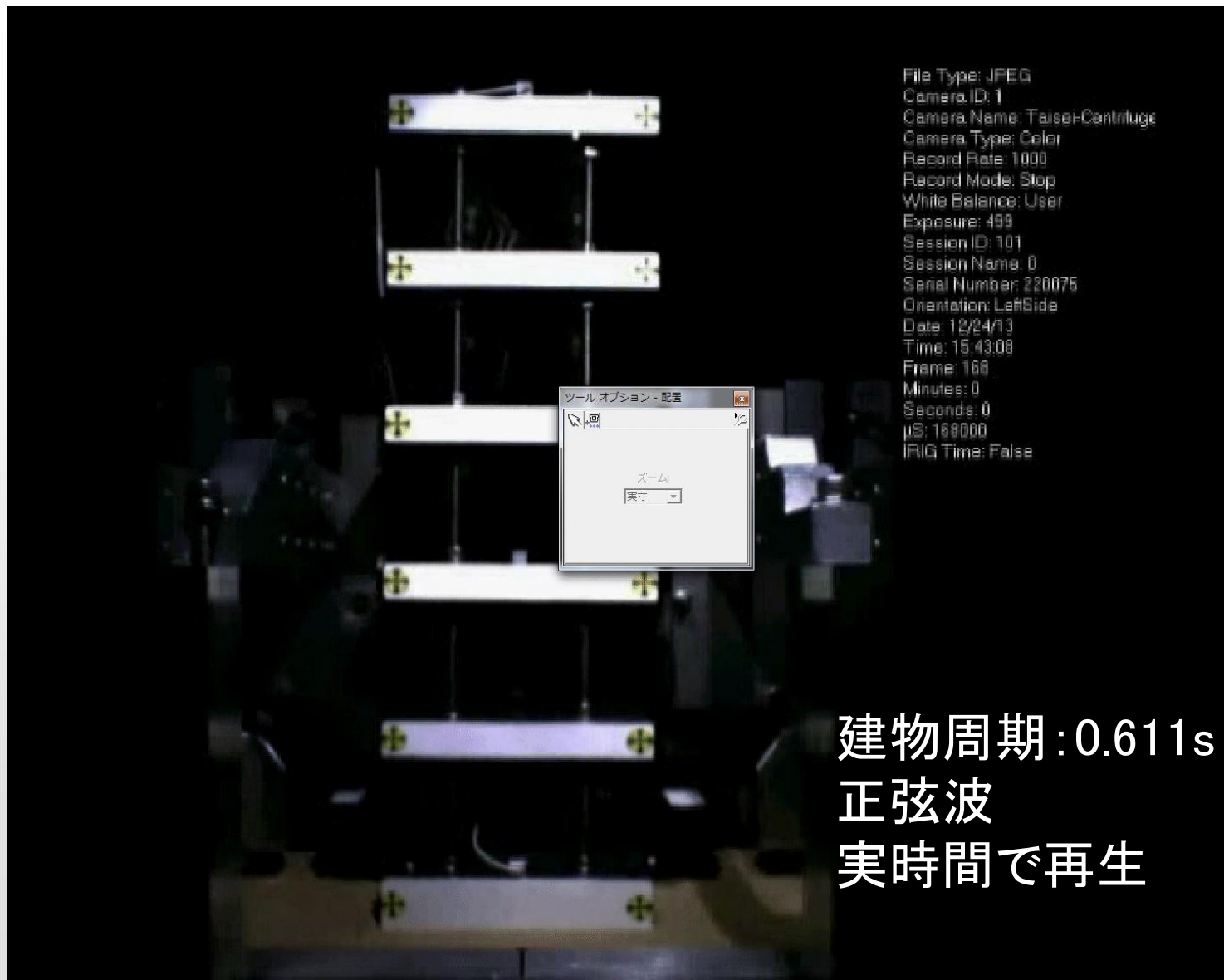
地盤-建物模型



# 実験ケース

		Case 1	Case 2	Case 3
建物 模型	階数	6階	8階	10階
	高さ	9.25m	12.4m	15.45m
	質量	230.2ton	280.6ton	331.4ton
	接地圧	90.3Kpa	110.1Kpa	130.0kPa
	1次周期	0.330s	0.488s	0.611s
建物模型の イメージ				

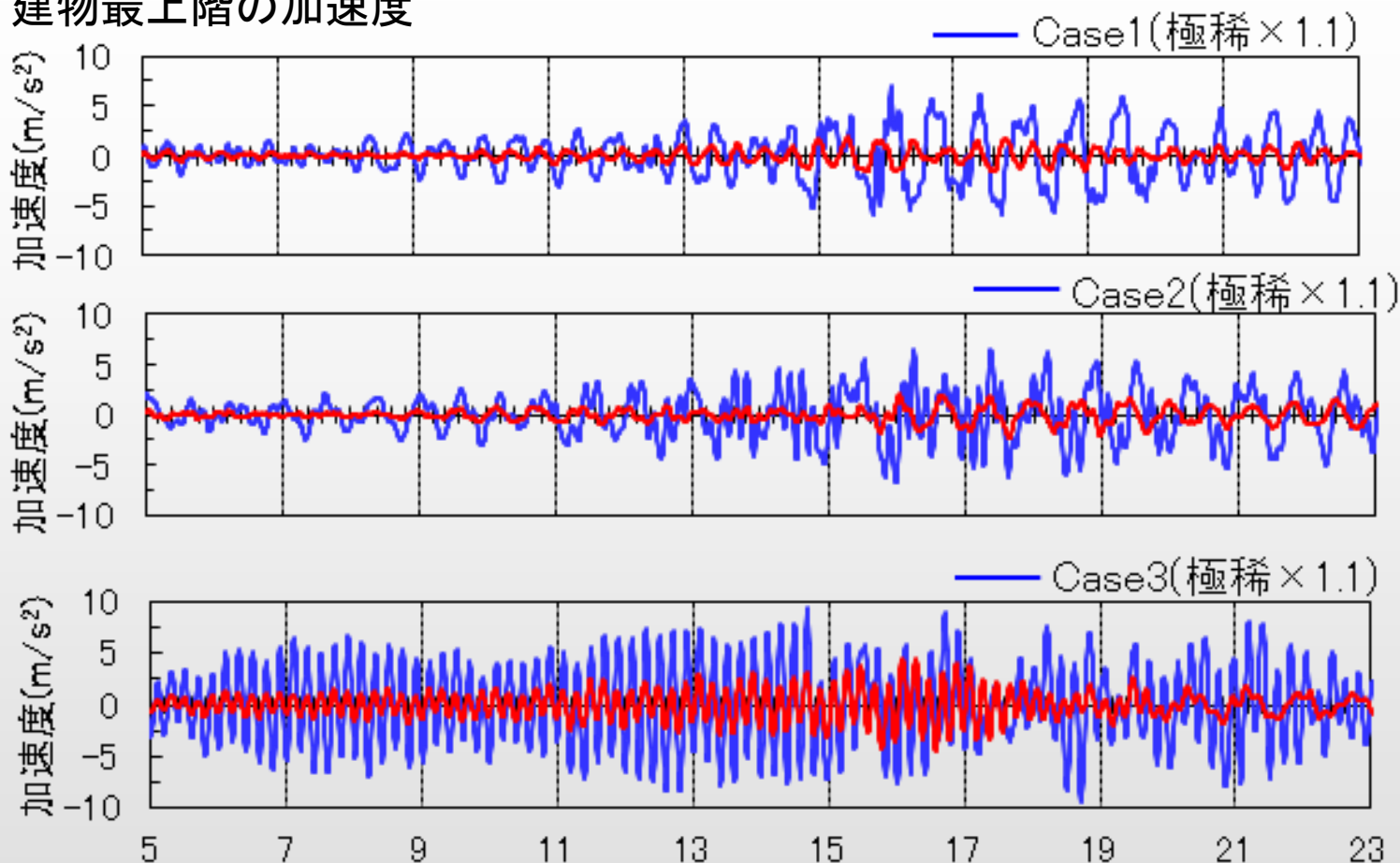
# 実験映像 (Case3\_10階建て)



建物周期: 0.611s  
正弦波  
実時間で再生

# 高次モードが励起される状況(告示波(神戸位相))

建物最上階の加速度



— 極稀 × 0.15加振 (浮き上がりが生じていない)

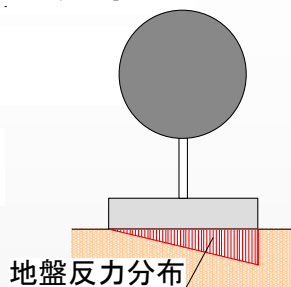
- 着地時に高次モードが励起される状況を確認

# 転倒モーメント

〈静的な浮き上がり状態の定義〉

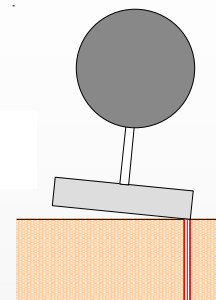
・浮き上がり開始

$$M_0 = 1/6 \cdot WB$$



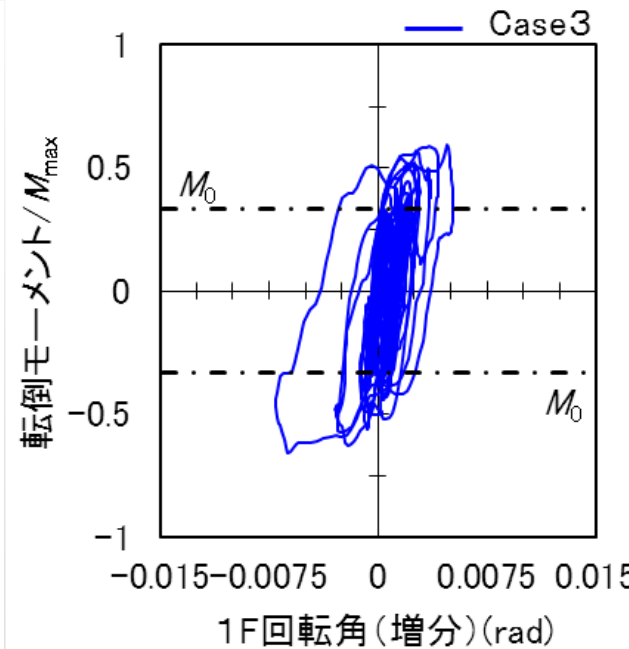
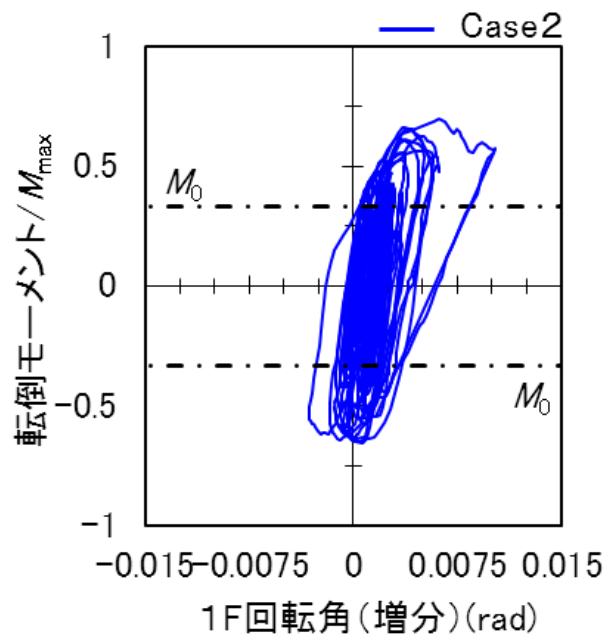
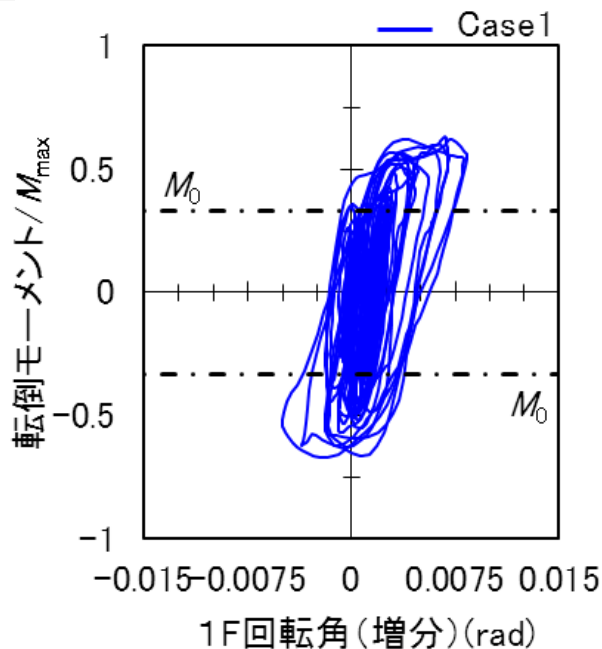
・浮き上がり限界

$$M_{\max} = 1/2 \cdot WB$$



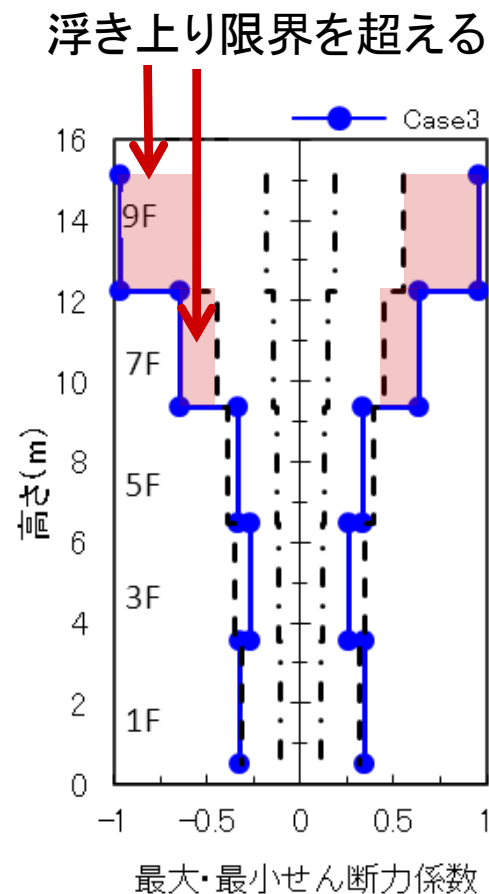
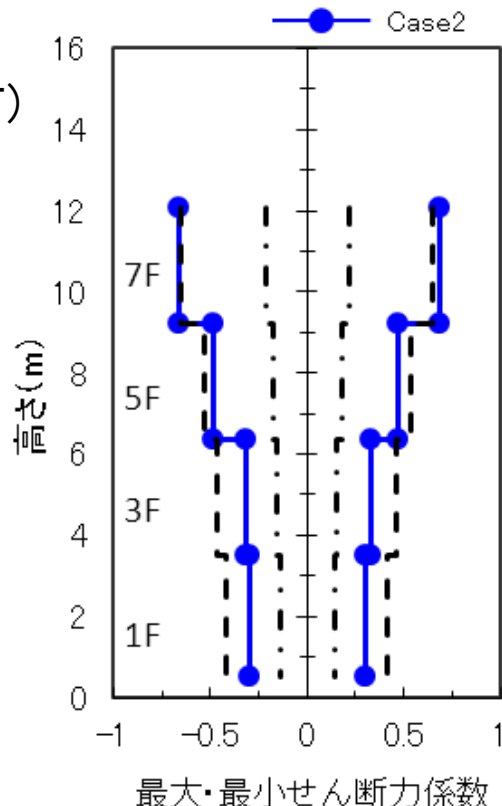
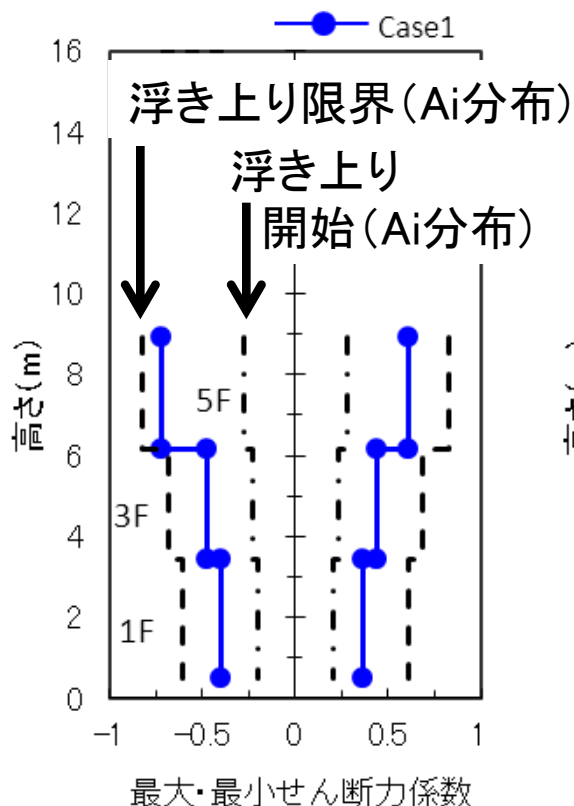
W: 総重量  
B: 基礎幅

〈告示波(神戸位相、極稀×1.1)〉



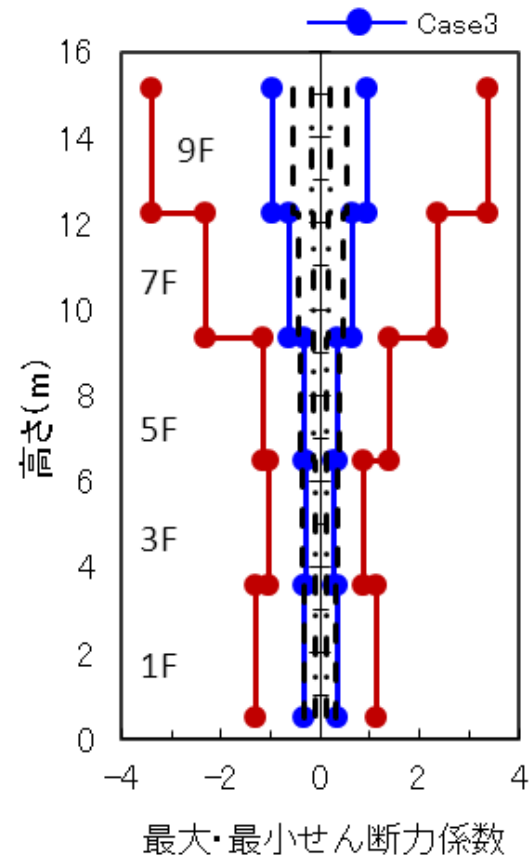
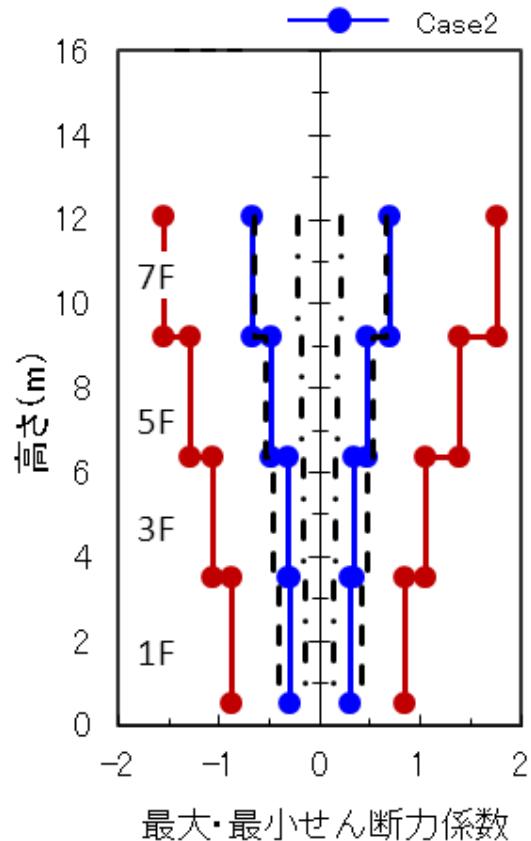
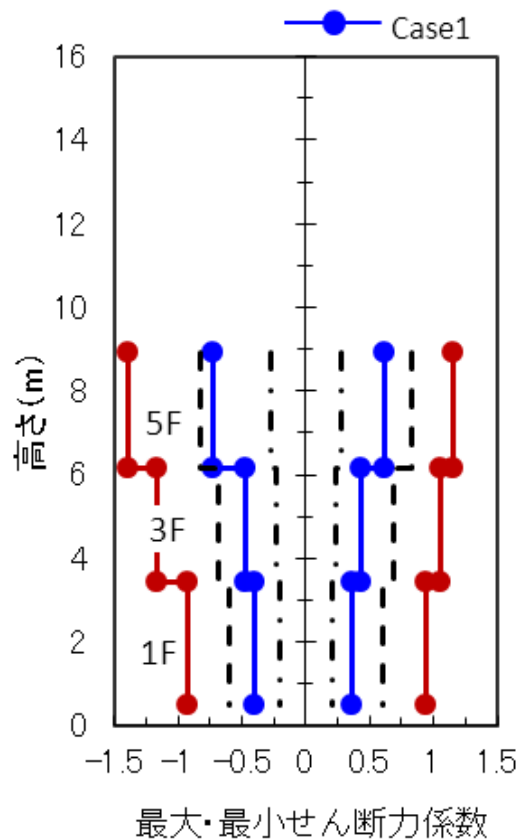
- 転倒モーメントは静的な浮き上がり限界の6～7割程度までしか上がらなかった

# 最大応答せん断力係数



- 1Fのベースシアは静的な浮き上がり限界を大きく超えなかった
- 上層階のせん断力係数は、建物階数が大きいくほど浮き上がり限界に近づき、10階建てモデルでは浮き上がり限界の1.7倍程度となった。

# 最大応答せん断力係数



● 浮き上がりが生じないと仮定した場合：(極稀 × 0.15加振の結果) × 入力地震動の比率倍

- 浮き上がりが生じないと仮定した場合と比べて、層せん断力は大きく低減し、その傾向は建物階数が大きいほど顕著であった

# 浮き上がり架構のロッキング試験

- 実地盤上で、建物を模した試験体のロッキング試験

- 直接基礎＝改良地盤(硬質・軟質)
- 杭基礎＝コンクリート(厚さ300mm)
- 試験体＝RC(高さ3.7m 重量104.9kN)
- 引張距離: 125→125→250→250  
→375→375→125mm



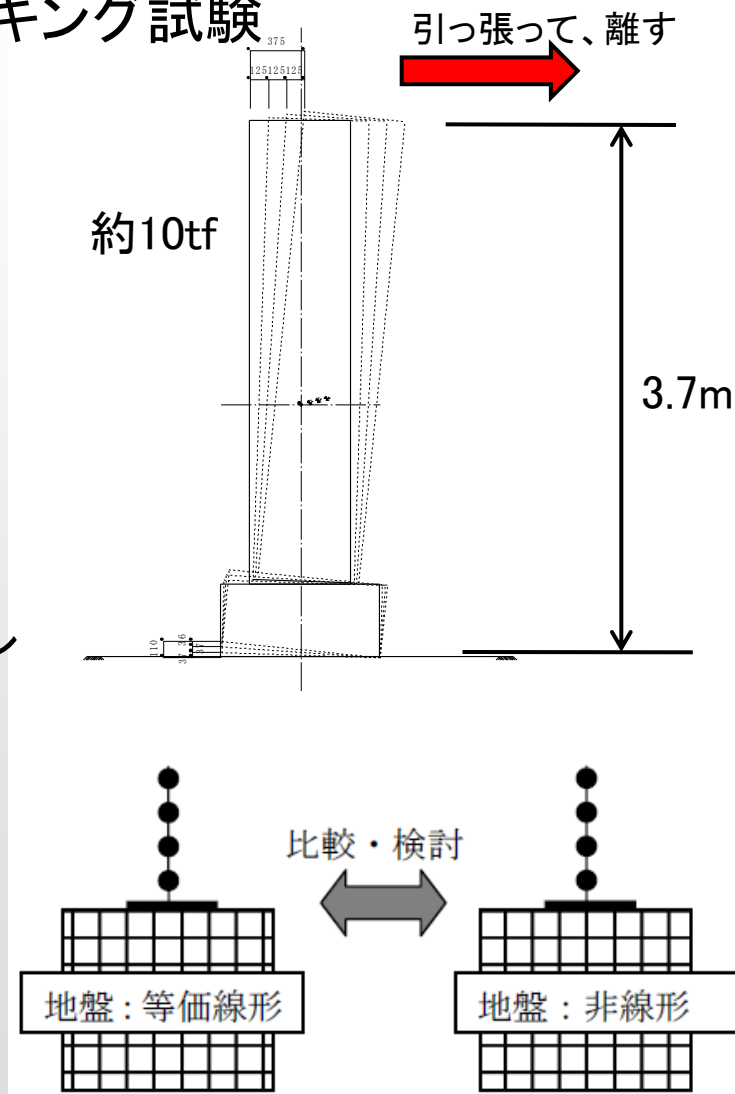
- 本試験のシミュレーション解析

- 局所的非線形特性を考慮した地盤モデル
- 試験結果と対比して地盤モデルを評価



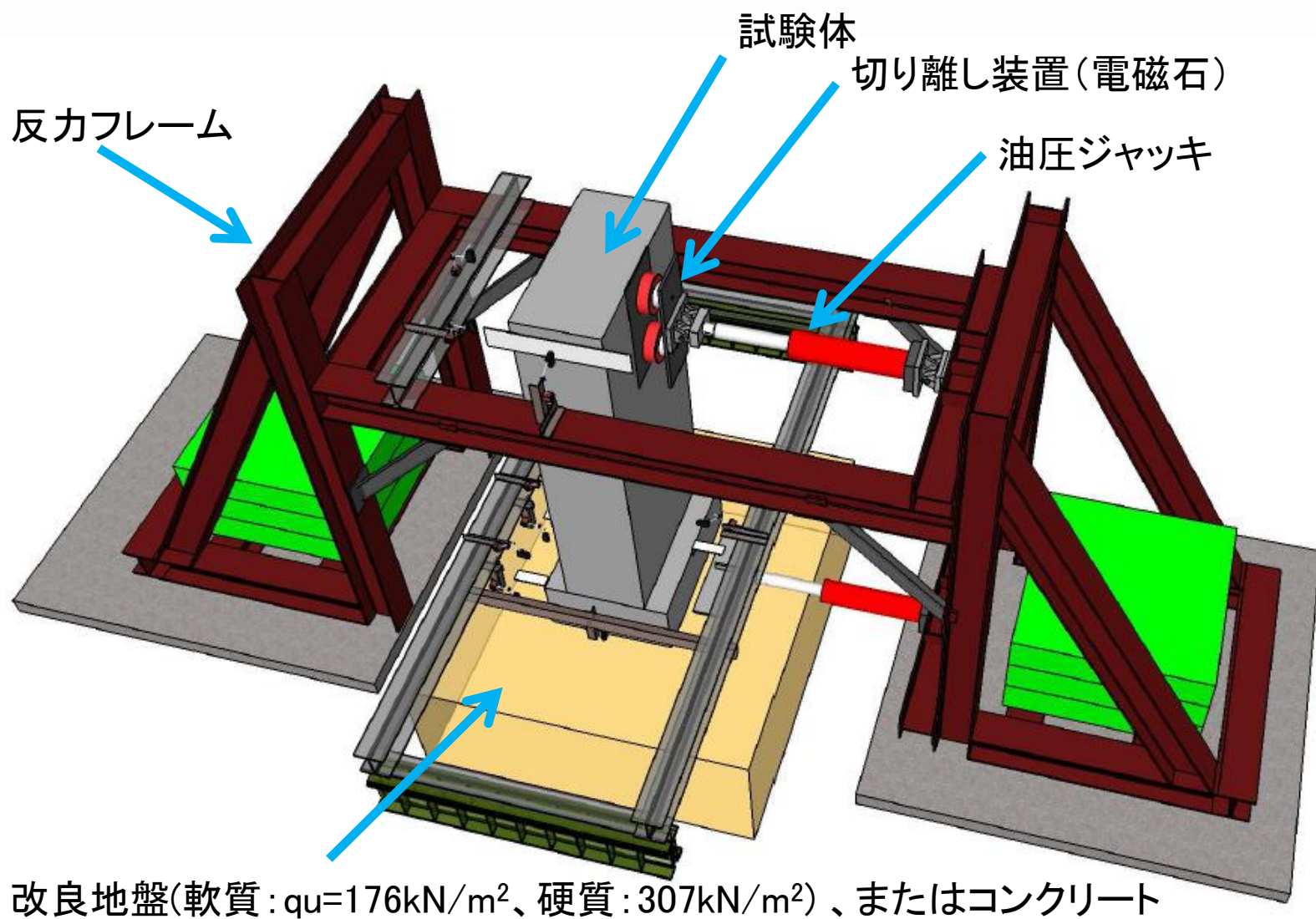
- 実建物モデルに地盤モデルを適用

- 昨年度の10Fモデルに本試験から得られた知見を反映した解析を行い、現実的な応答性状を推定



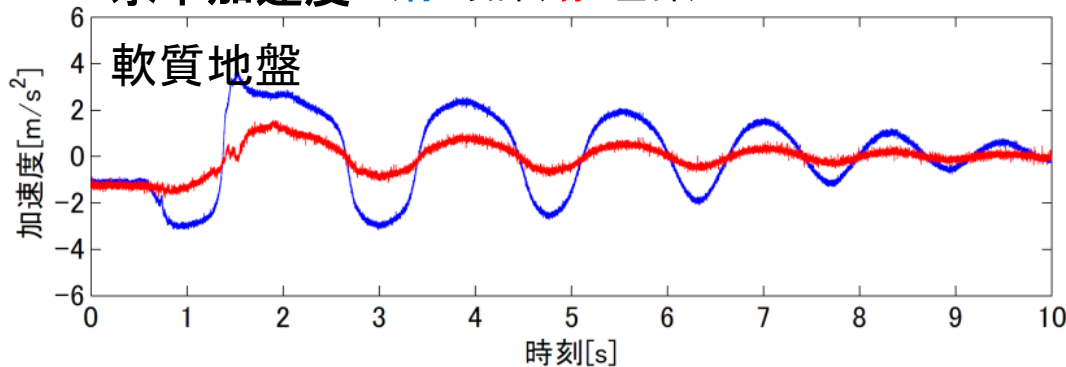


# 試験装置

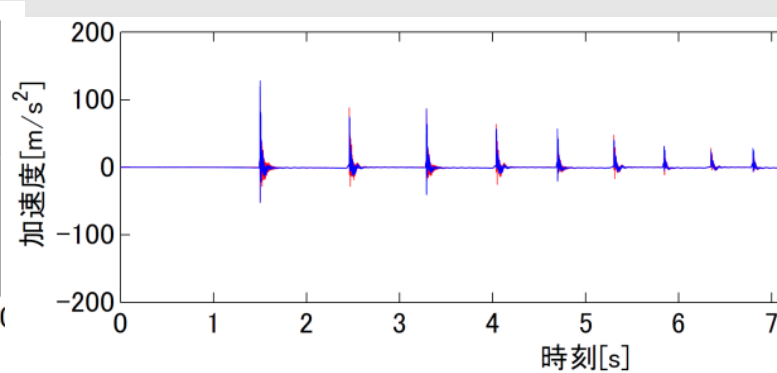
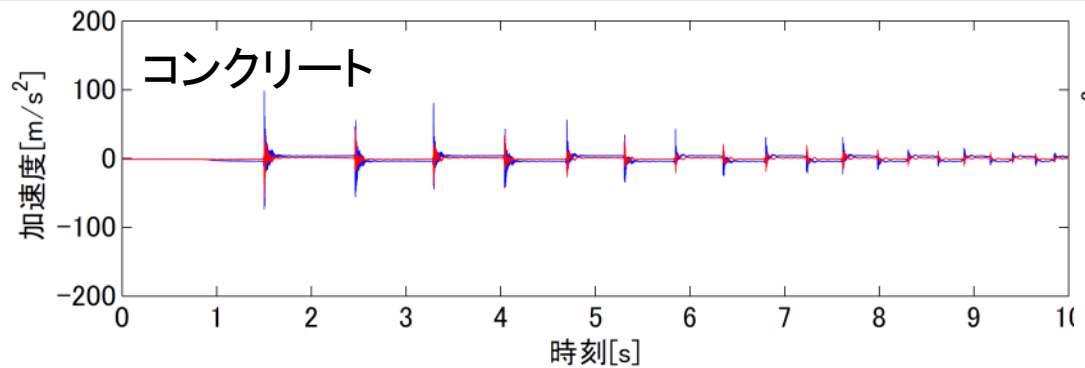
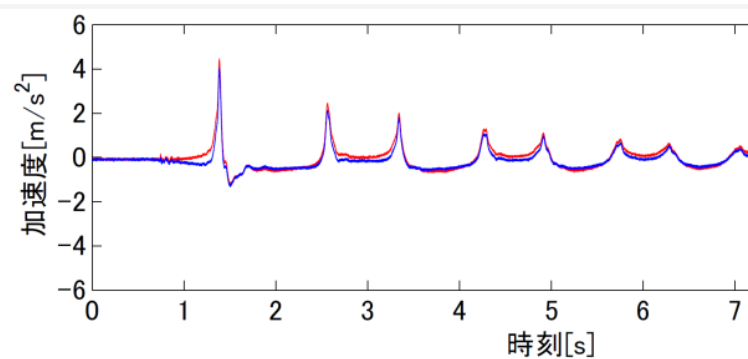
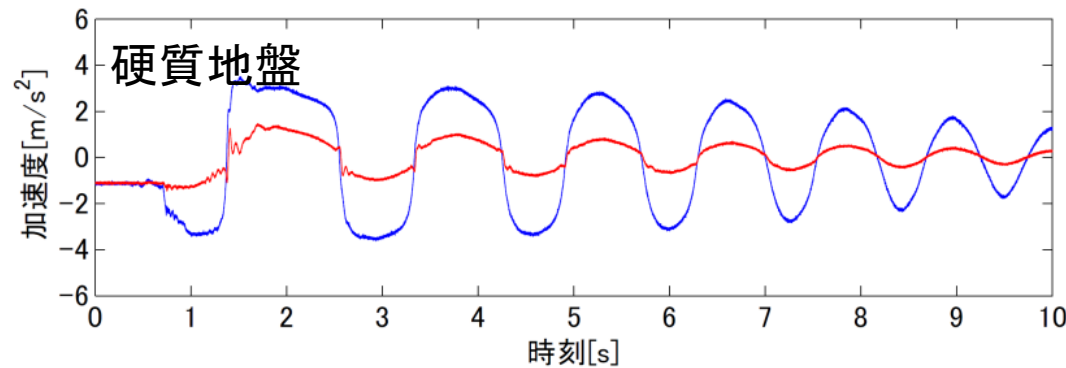
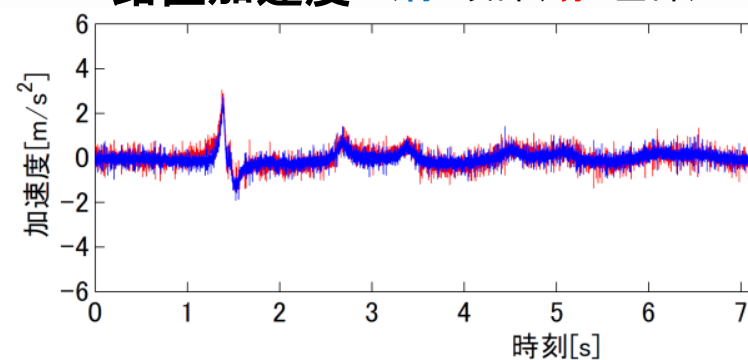


# 水平加速度・鉛直加速度

水平加速度 (青: 頂部、赤: 基部)

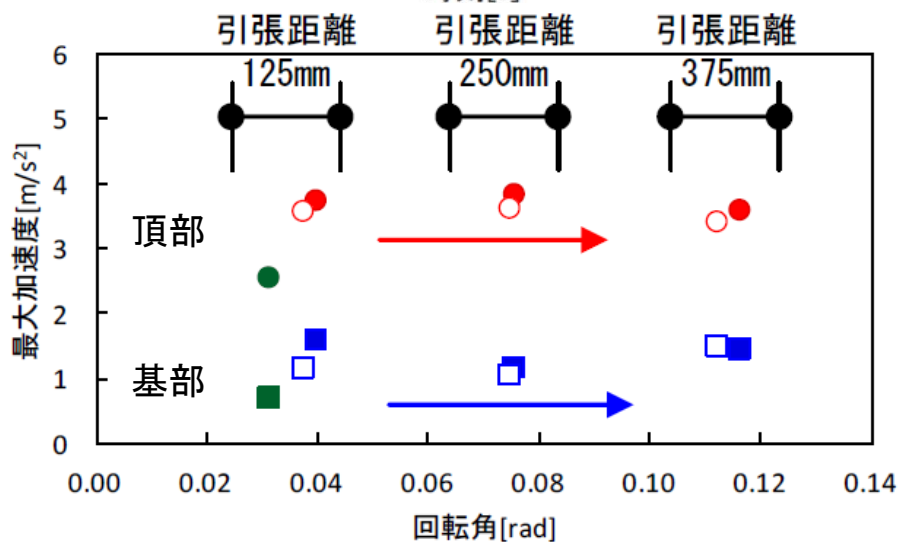
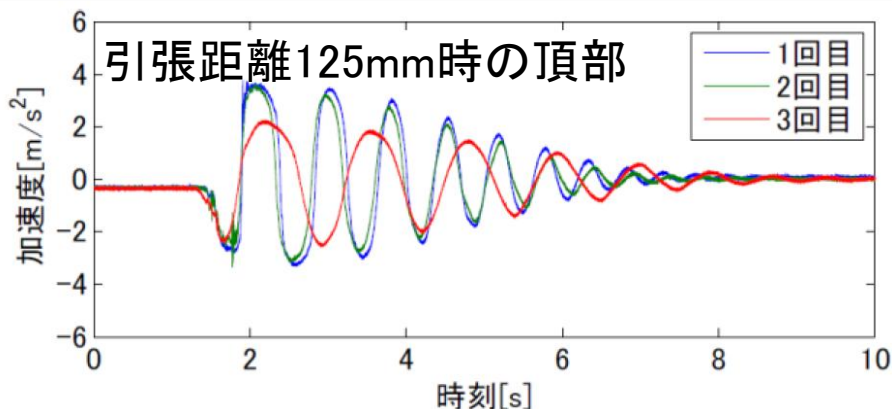


鉛直加速度 (青: 頂部、赤: 基部)

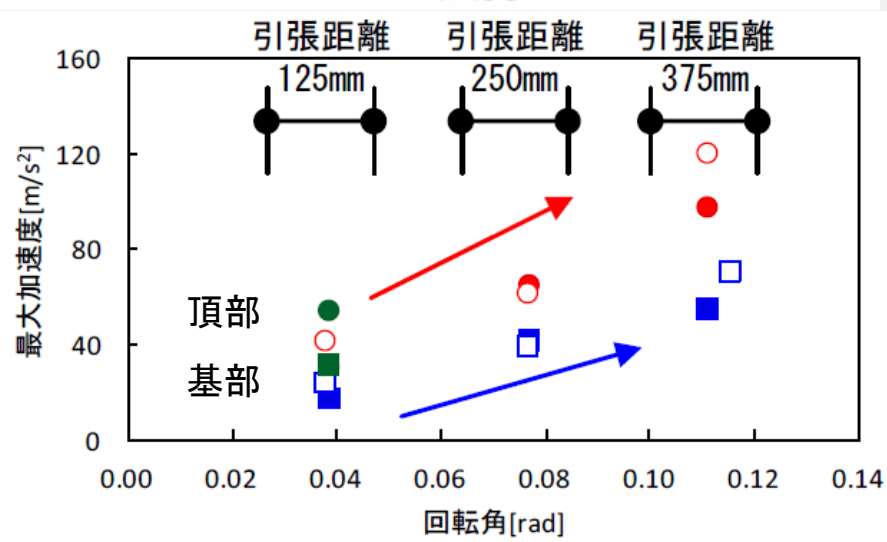
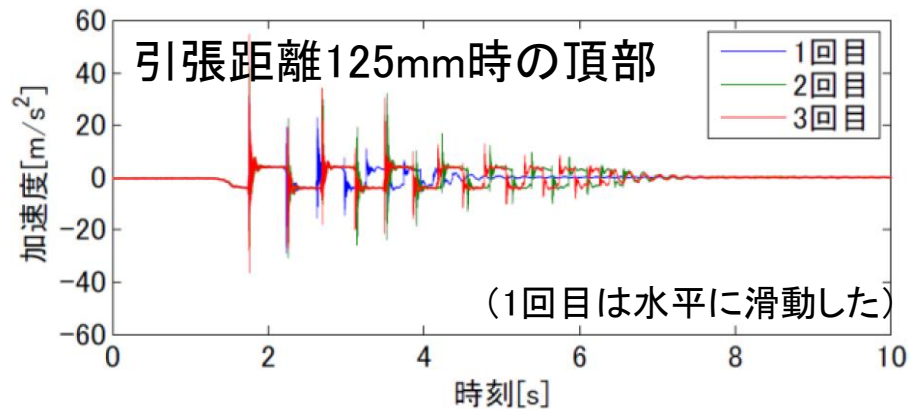


# 繰り返しと引張距離の影響

## 硬質地盤

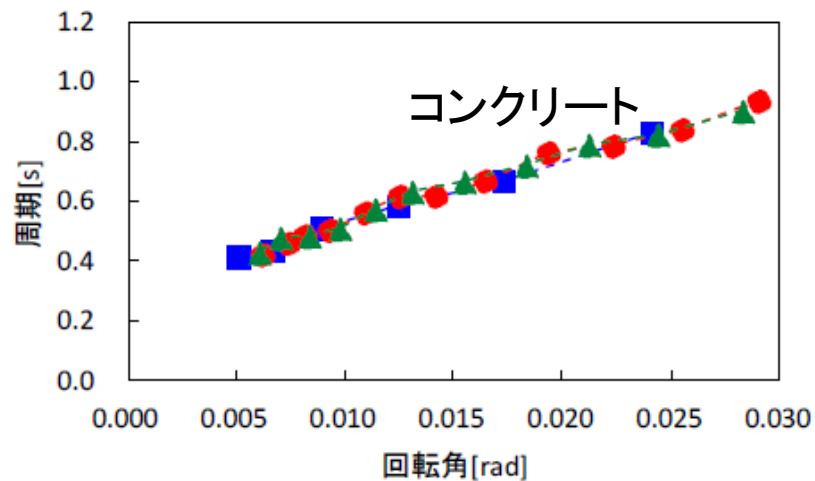
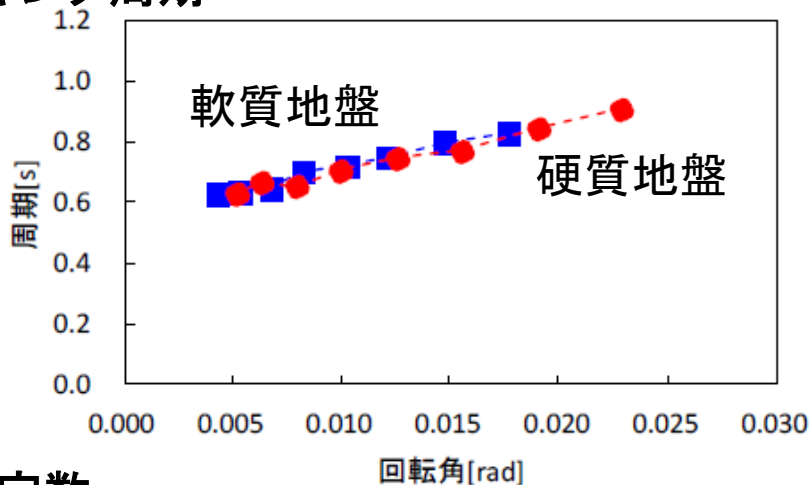


## コンクリート

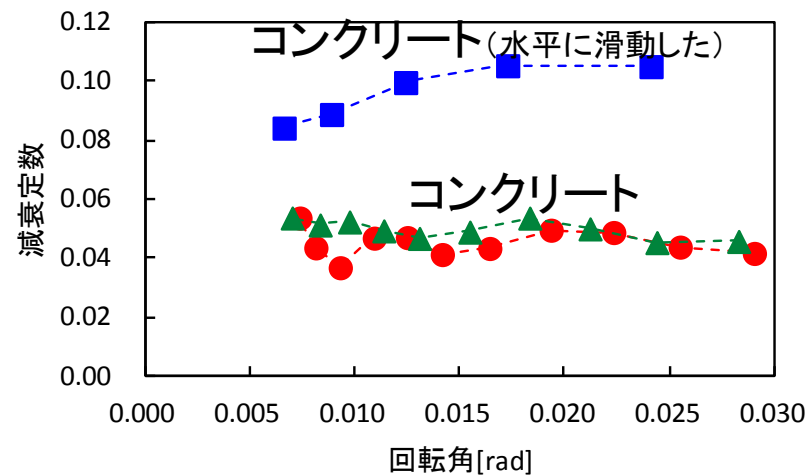
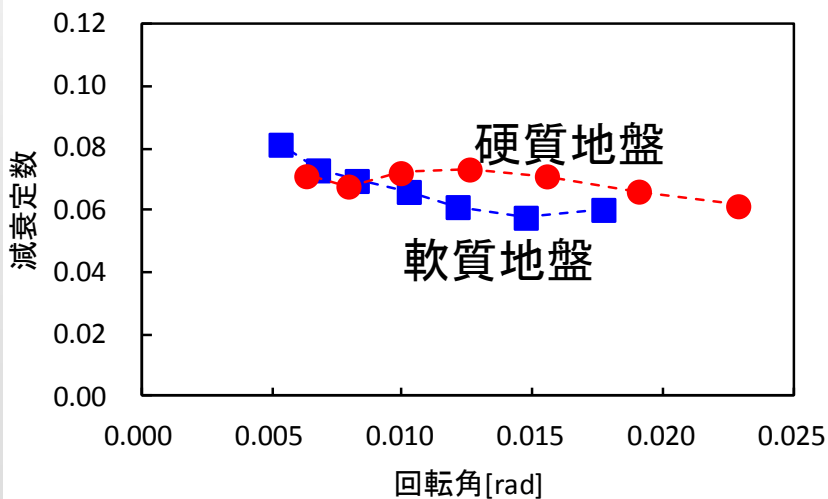


# ロッキング周期と減衰定数

## ロッキング周期



## 減衰定数

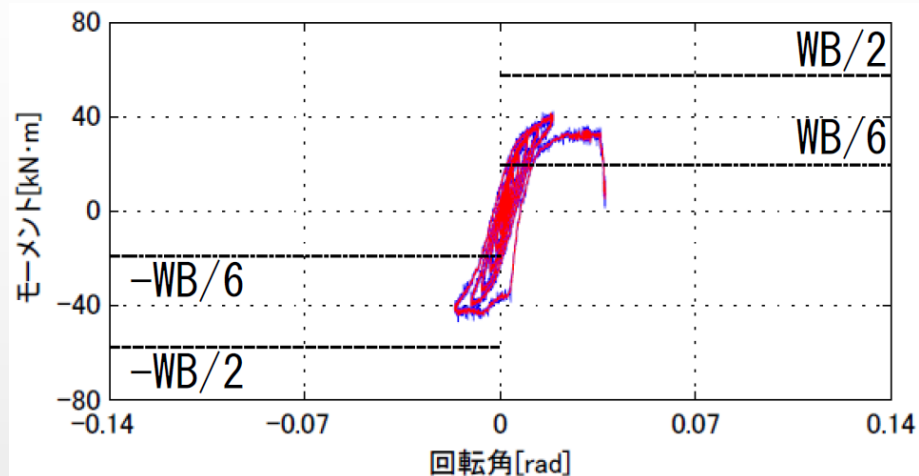


--■-- 試験体ケース1 1回目    --●-- 試験体ケース2 1回目

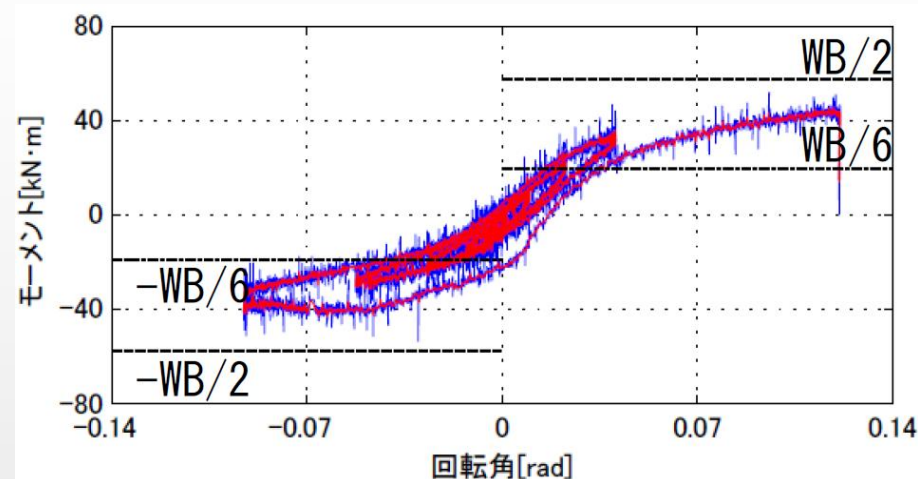
--■-- 試験体ケース3 1回目    --●-- 試験体ケース3 2回目  
 --▲-- 試験体ケース3 3回目

# ロッキングM- $\theta$ 関係

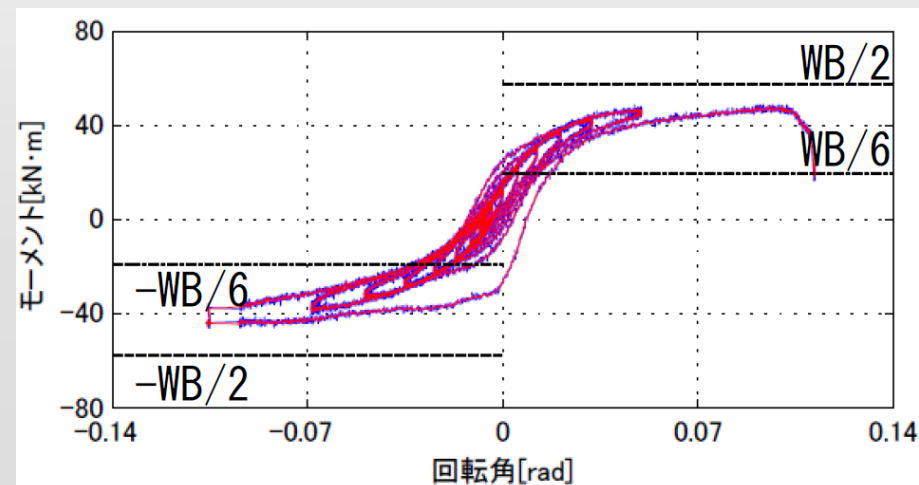
軟質地盤(引張距離125mm1回目)



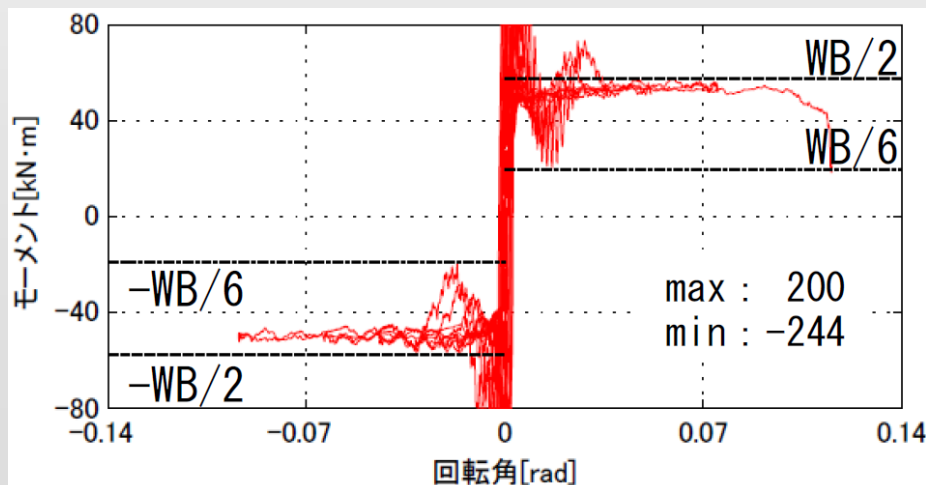
軟質地盤(引張距離375mm2回目)



硬質地盤(引張距離375mm2回目)



コンクリート(引張距離375mm2回目)

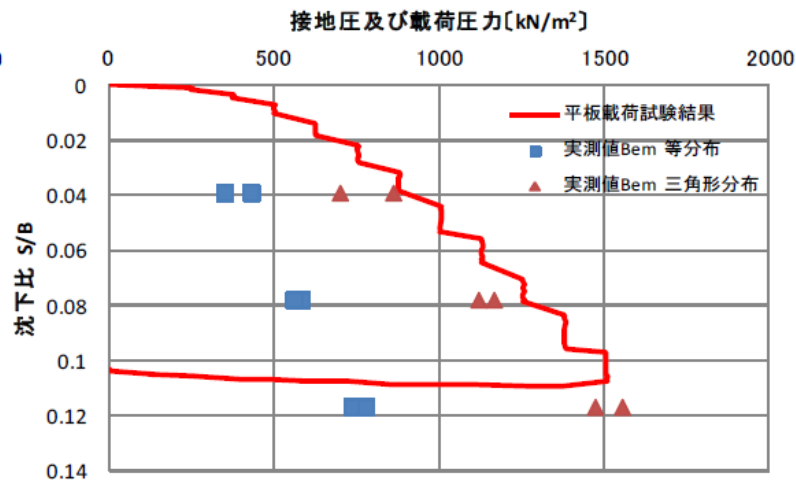
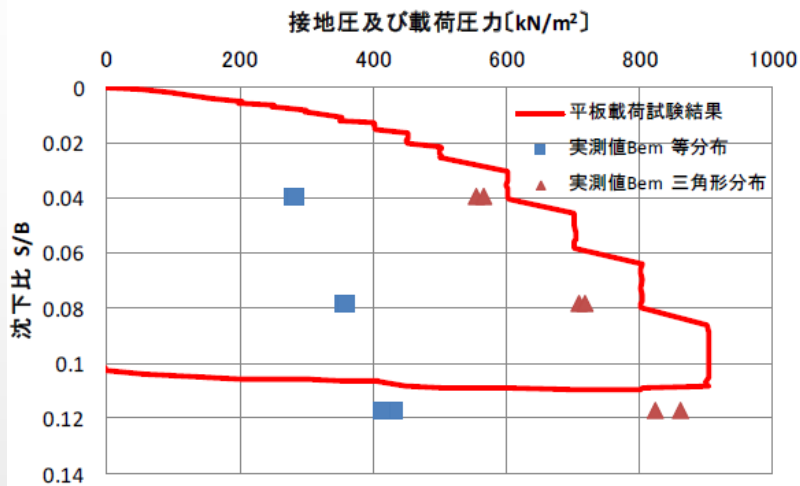


# 地盤支持力と沈下

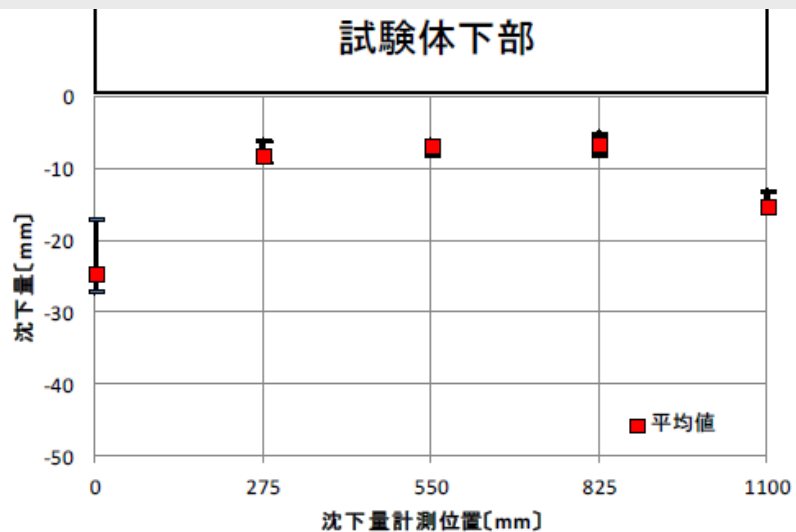
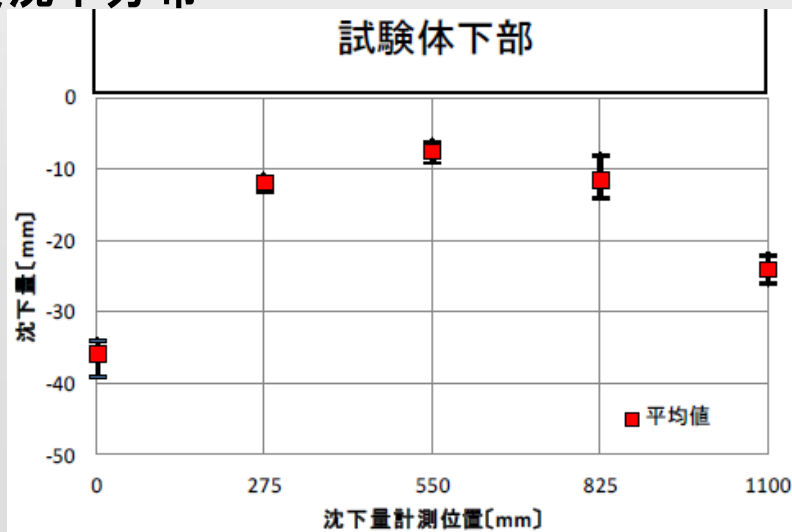
## 軟質地盤

## 硬質地盤

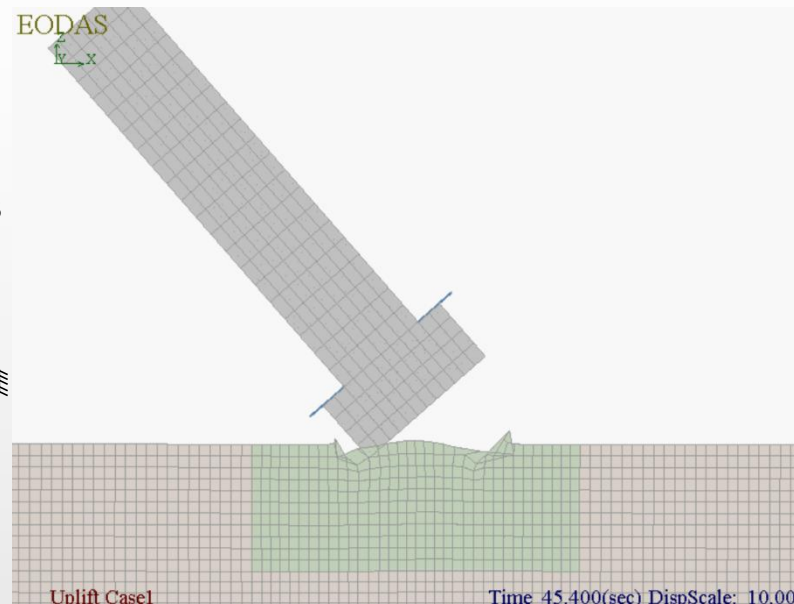
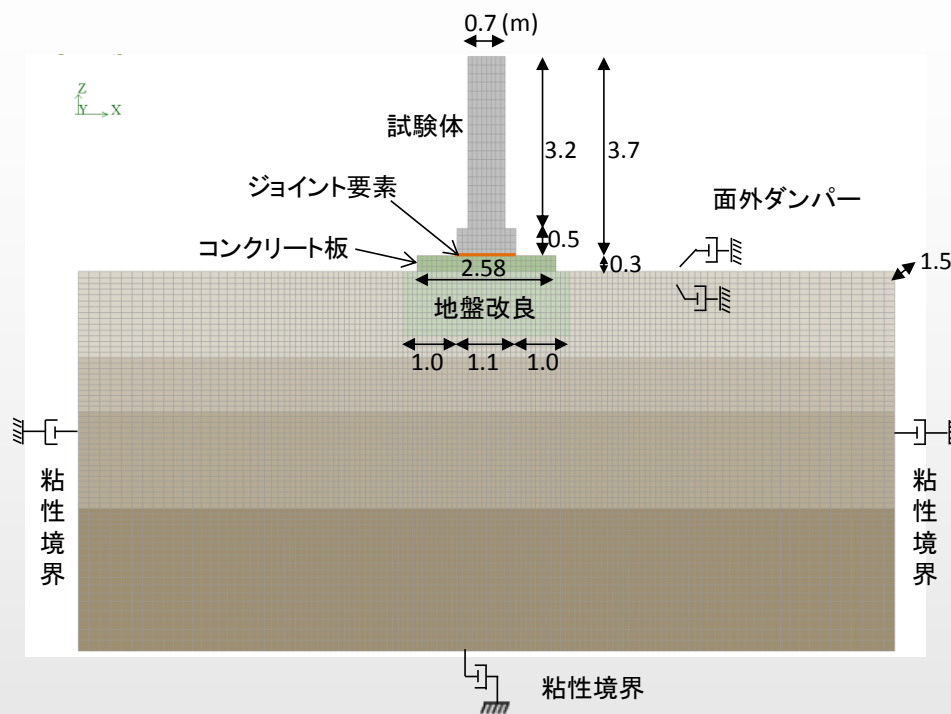
### 初期傾斜時の接地圧-沈下



### 最終沈下分布

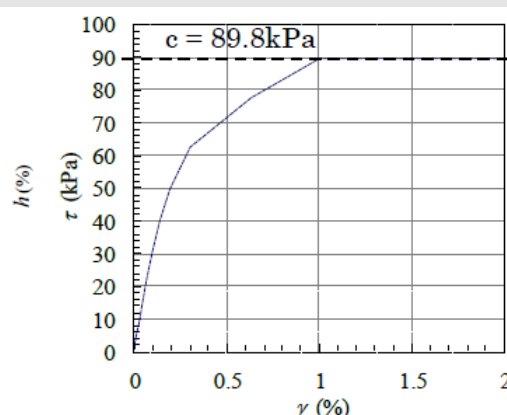
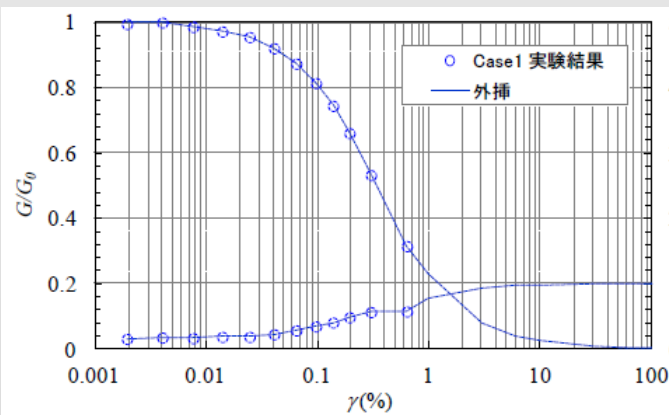


# ロッキング試験のシミュレーション解析

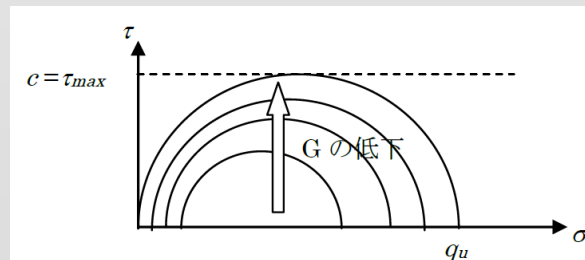


$\nu = 0.4$ に固定、 $G$ に比例して、 $E$ 、 $K$ も低下  
地盤の軸応力に対する非線形性も考慮

## 地盤の非線形性(軟質地盤)

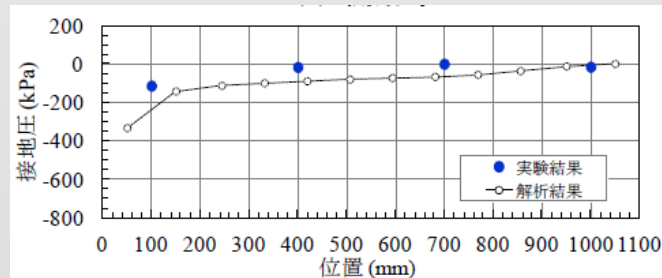
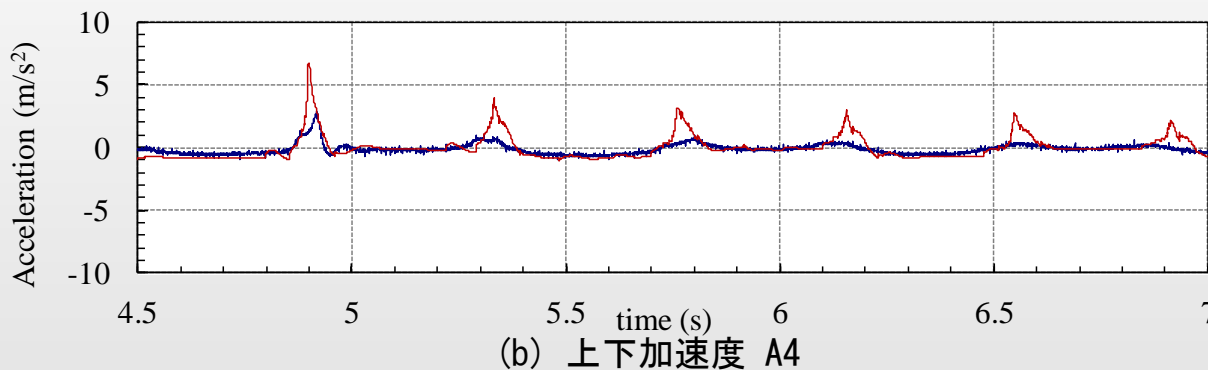
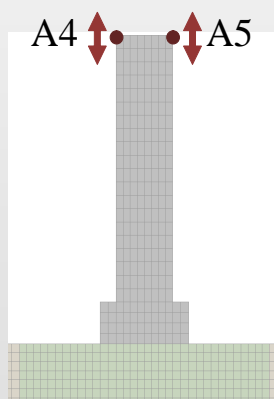
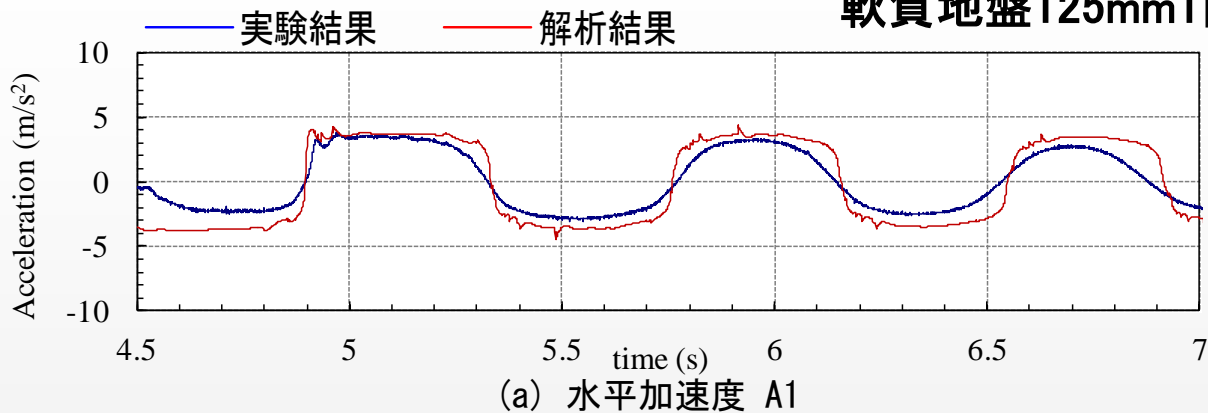
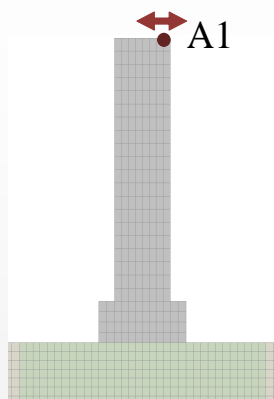


## 粘着力の設定

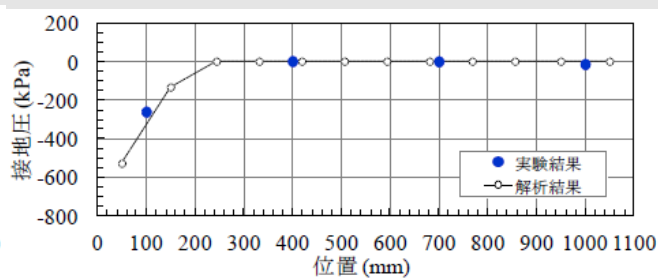


# ロッキング試験とシミュレーション解析の比較

軟質地盤125mm1回目



接地圧分布(回転角ゼロ時)

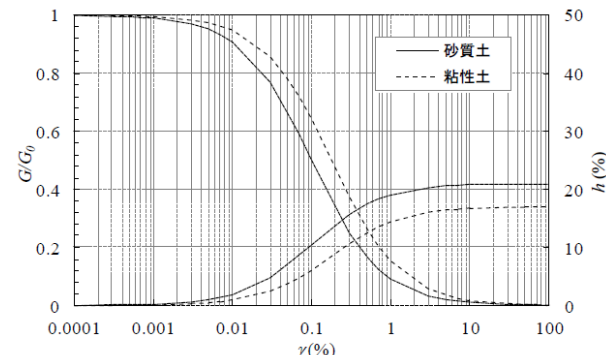
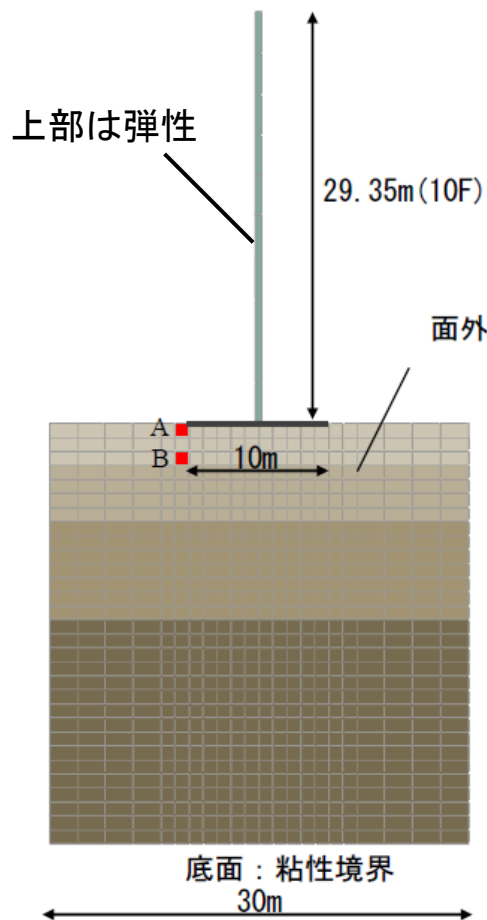
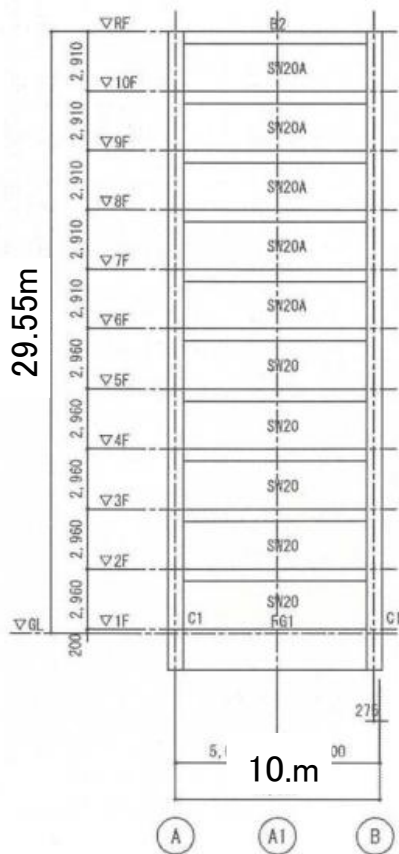


接地圧分布(反転最大変形時)



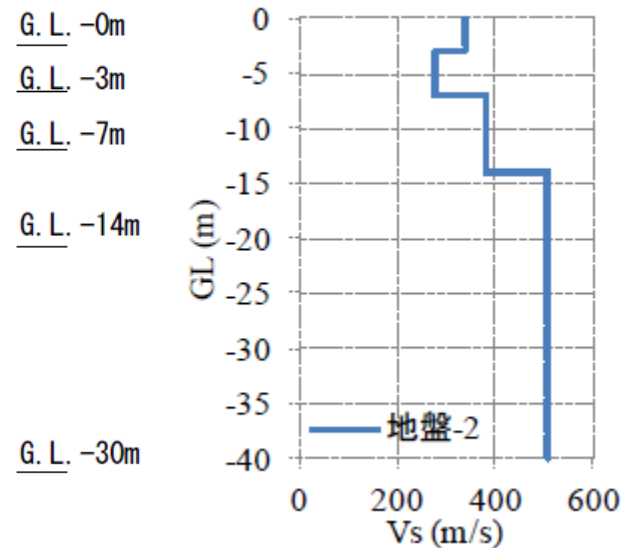
# 地盤モデルを適用した実建物の地震応答解析

10F板状共同住宅の壁方向  
(塔状比≒3)

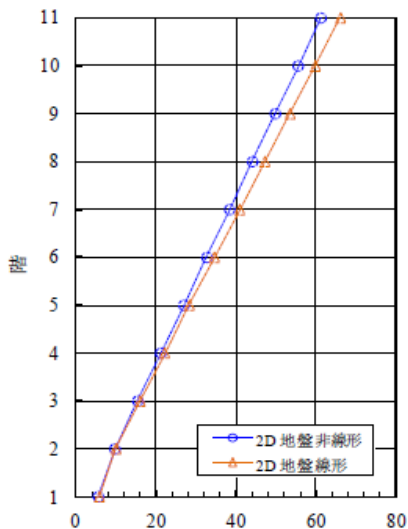


地盤の非線形特性(H-Dモデル)

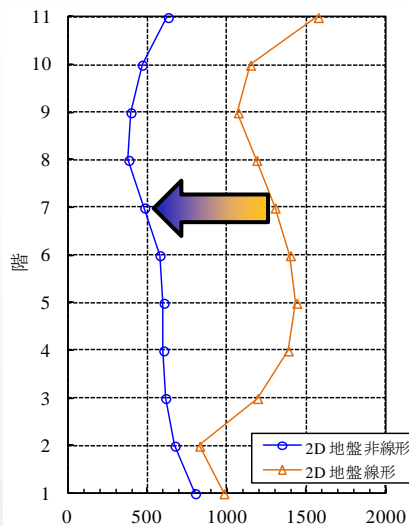
面外：粘性境界



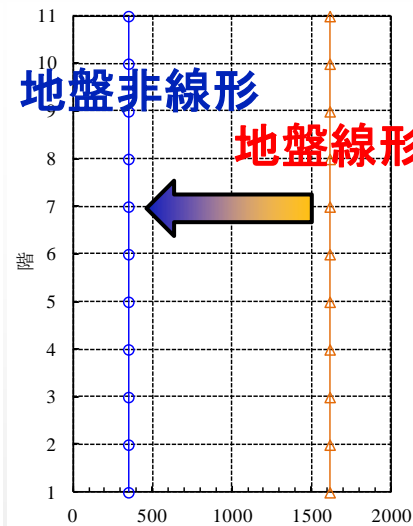
# 実建物の地震応答解析結果



最大水平変位



最大水平加速度



最大鉛直加速度

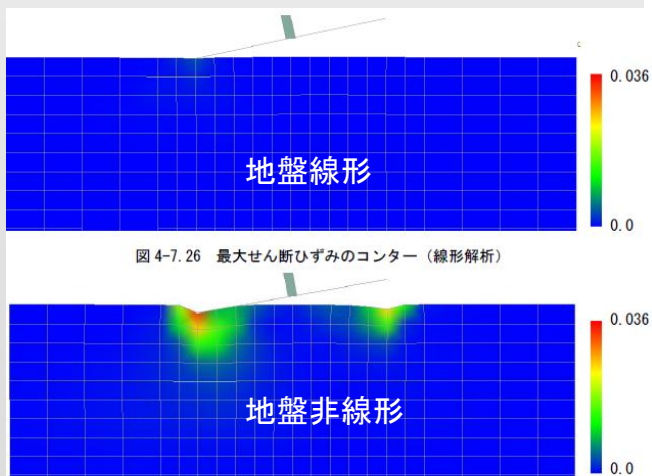
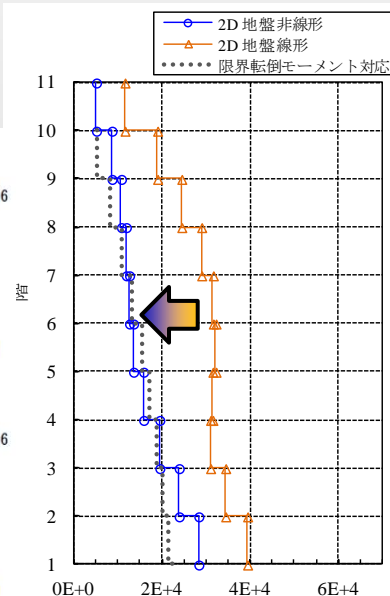
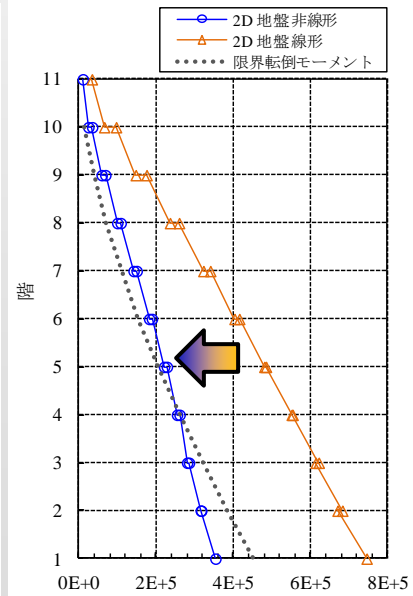


図 4-7.26 最大せん断ひずみのコンター (線形解析)

最大せん断ひずみ



最大せん断力



最大モーメント

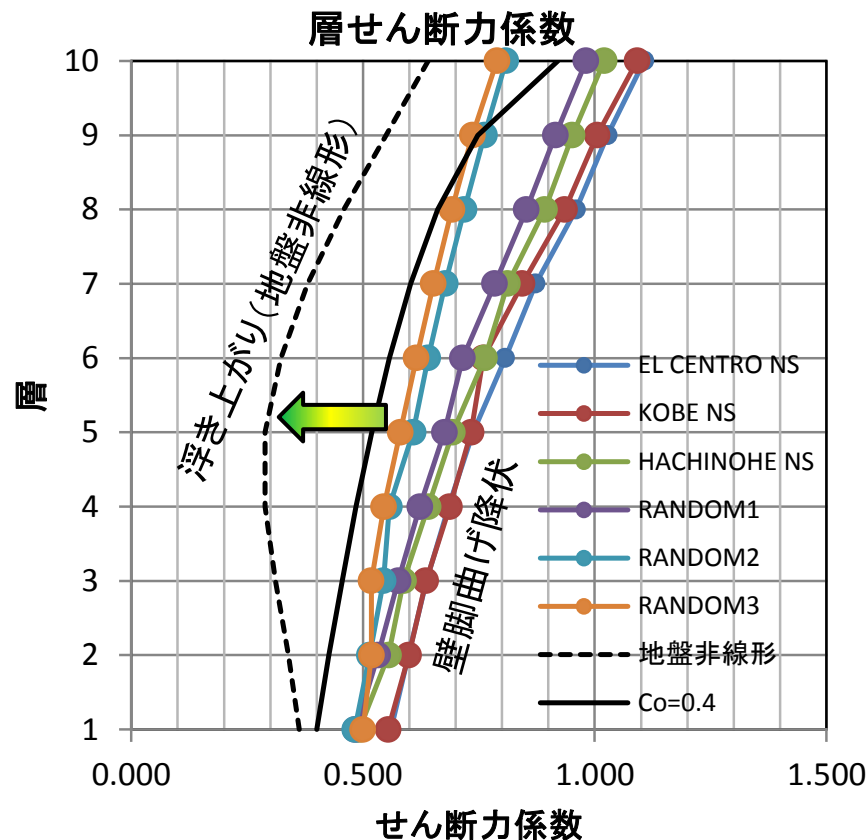
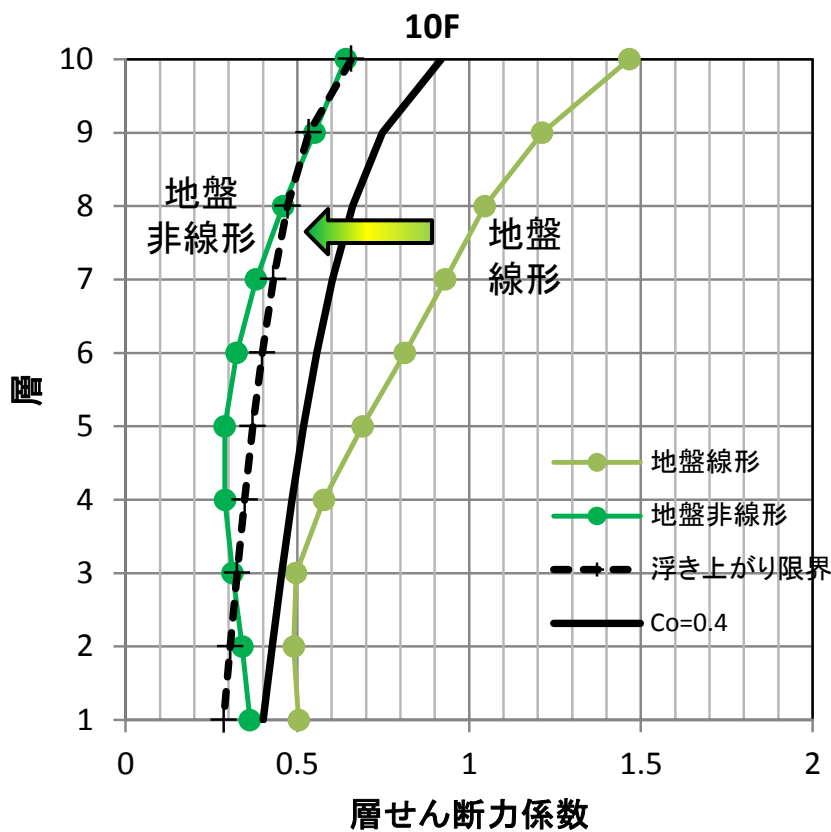
# 設計の合理化の可能性について

浮き上がりを許容した10F(塔状比=3) →  $C_0=0.3$ で浮き上がる

現行設計法における連層耐震壁架構 →  $C_0=0.4$ で壁脚が曲げ降伏する



両者を地震等解析結果で比較する



# 浮き上がり許容設計を確立するための課題

- 地盤の非線形特性の一般化
  - 本調査で明らかになった地盤特性を一般化し、各種地盤における浮き上がり架構の応答低減効果や残留変形量等を定量的に把握する。
- 浮き上がり架構の設計用せん断力の定式化
  - 本調査で解明された浮き上がり架構の振動原理に、地盤の非線形性やばらつき等を適切に反映する。また、適用範囲として、上部架構の偏心率・剛性率制限などを設定する。
- 浮き上がり抵抗に対する検討
  - 建物の根入れ部と周辺地盤の摩擦力や、基礎底と地盤の間の吸着力などを評価する。
  - 浮き上がった部分に周辺地盤が流入することに対する対策を検討する。
- 浮き上がり状態での直交方向地震動に対する検討
  - 浮き上がり方向と直交方向の地震入力に対して大きな偏心を伴うことに対して、建物の挙動と安全性を確認する。
- 地盤の支持力と杭基礎の検討
  - 本調査では地盤が崩壊することはなかったが、地盤の支持力について、さらなる検討を行う。
  - 杭基礎では建物に衝撃的な力が作用することが予想され、その対策を検討する。
- 地震後の建物の損傷・再使用性の評価、地震時の居住性の評価
  - 建物の再使用性を判断する上で、地盤の残留変形や建物の残留傾斜の評価方法の検討する。
  - 建物上部の変形や加速 $d$ に対する居住者の安心感の評価や家具転倒への影響を確認する。

# まとめ(1)

- 浮き上がり架構の振動性状
  - 高次振動は浮き上がり及び接地時の釣合い位置の移動により生じる。
  - 地盤の復元力特性として、地盤初期剛性及び地震動の大きさにより定まる等価バイリニア置換の方法の提案を行った。
  - 各モードの釣り合い状態におけるせん断力からSRSS法等を用いた応答せん断力の推定式に提案を行った。
- 遠心加力振動実験より
  - 応答層せん断力は、最上階においては浮き上がり限界層せん断力を上回るが、基礎固定時の層せん断力以下となった。
  - 応答転倒モーメントは、浮き上がり限界モーメント以下となった。
  - 着地による衝撃の影響による高次モードにより、層せん断力の増加が見られた。
  - 繰り返し加振により地盤が凸状に残留変形し、応答層せん断力、鉛直加速度、転倒モーメントが増加する傾向が見られた。

## まとめ(2)

- ロッキング試験より
  - 試験体頂部の水平方向加速度は、改良地盤では $4\sim 5\text{m/s}^2$ 程度、コンクリート基礎では $150\text{m/s}^2$ 程度であり、パルス的な応答が見られた。
  - ロッキング周期は回転角と相関があり、減衰は余り大きくない。
  - シミュレーション解析では、試験の振動性状を概ね良く再現できた。
- 地震応答解析より
  - 地盤を非線形とした場合、応答せん断力及び転倒モーメントは等価線形とした場合より大きく低減された。
  - 地盤を非線形とした場合、着地時の衝撃の緩和のため、高次モードの励起に起因する振動は小さかった。
- 設計の合理化について
  - $C_0=0.4$ の $A_i$ 分布で設計されたRC連層耐震壁架構の中層から下層の必要耐力の低減による合理的な設計の可能性を示した。