

平成24年度 建築基準整備促進事業

調査事項10 地震力の入力と応答に関する基準の合理化に関する検討

「浮き上がりを生ずる中高層RC連層耐震壁架構の
保有水平耐力計算に関する調査」

大成建設株式会社

株式会社竹中工務店

実施体制

事業主体

大成建設株式会社 株式会社竹中工務店

共同研究者

独立行政法人 建築研究所

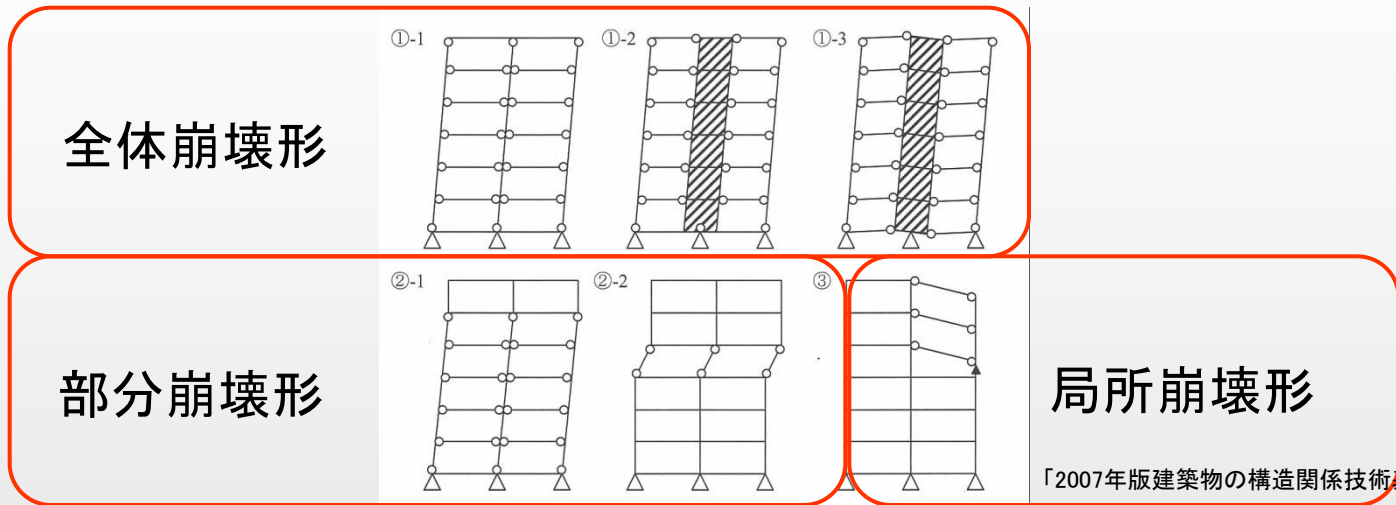
国土交通省 国土技術政策総合研究所

東京工業大学 名誉教授 和田 章

千葉大学 教授 中井 正一

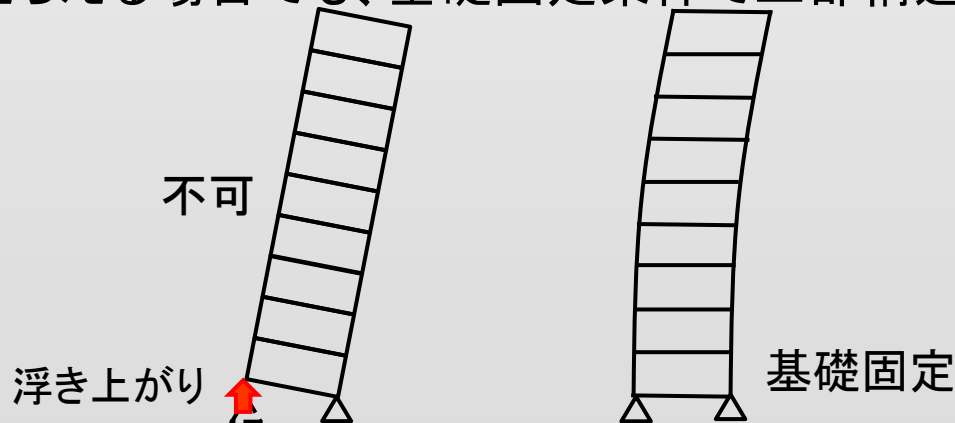
調査の背景・目的

保有水平耐力計算時の、構造特性係数 D_s を求める際に求められる、建物の崩壊メカニズム状態



転倒崩壊形は含まれない

浮き上がると考えられる場合でも、基礎固定条件で上部構造の崩壊形を求める



調査の背景・目的

建物に全体浮き上がりが発生

→静的に考えれば、建物に入力する地震力が頭打ちとなる？

転倒崩壊形となることが想定される

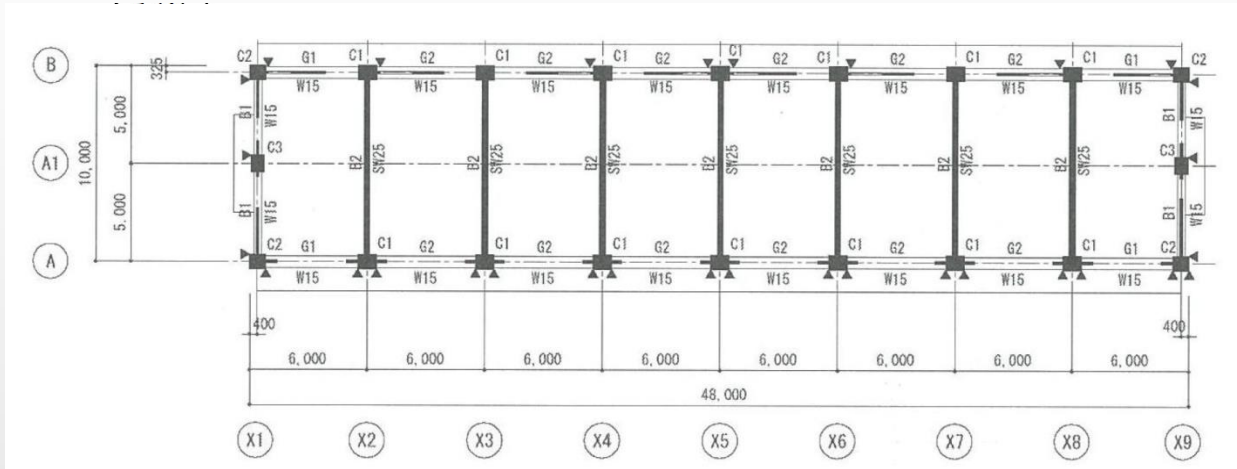
中高層RC連層耐震壁構造建築物を対象に

- ・上部構造に作用する外力分布・大きさ
- ・上部構造に求められる耐力、変形性能
- ・崩壊形が転倒崩壊形となるための地盤、基礎構造の条件

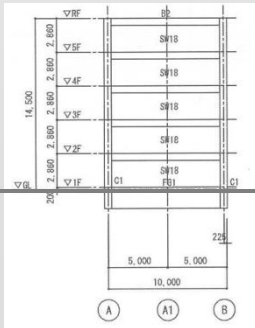
を数値解析により検証

対象建物

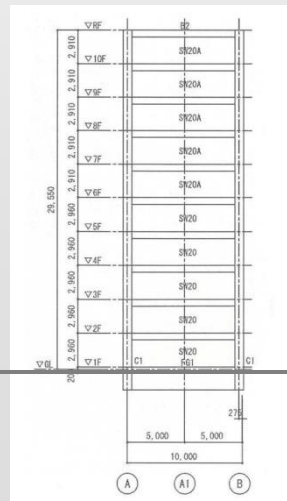
5階建て・10階建て・14階建て 1スパン×8スパン
 板状マンションの短辺方向を想定 「構造設計・部材断面事例集」
 (日本建築防災協会,2007)より



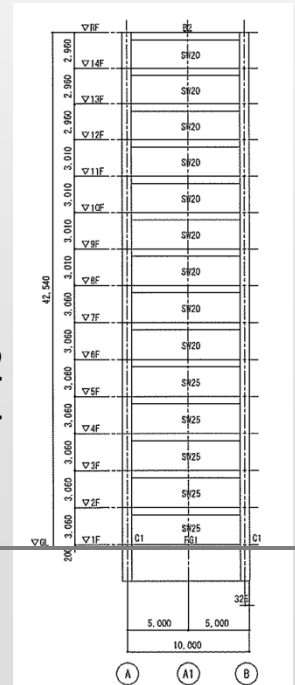
5階 H/B=1.5
 Ds=0.55で設計



10階 H/B=3.2
 Ds=0.4で設計



14階 H/B=4.2
 Ds=0.4で設計

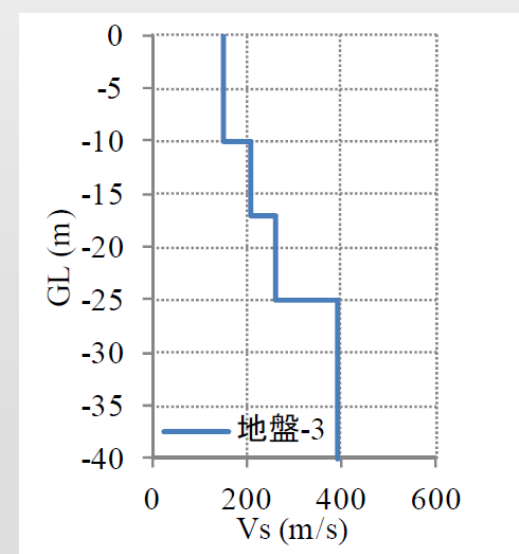
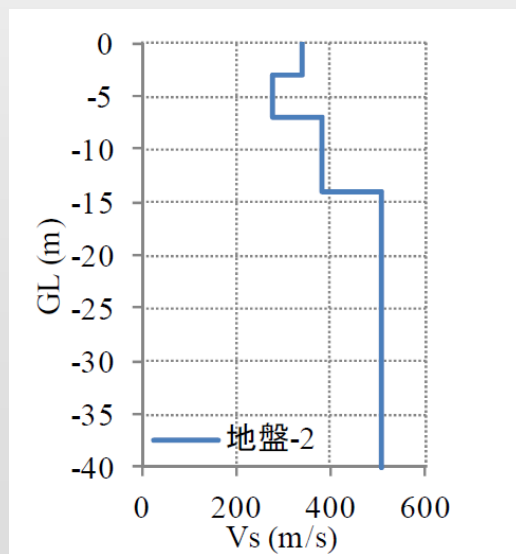
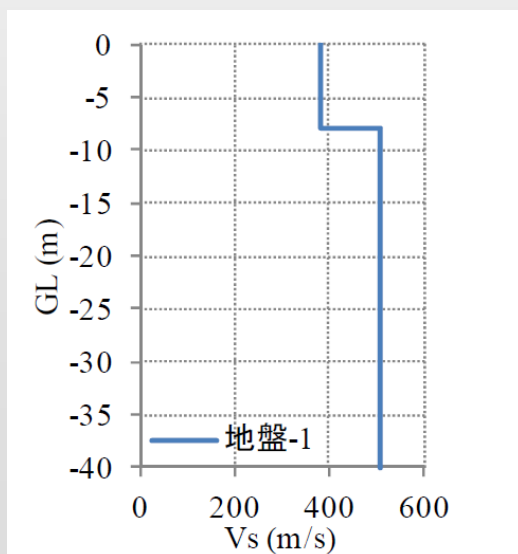


想定基礎と地盤

基礎形式として**直接基礎(べた基礎)**と**杭基礎**の2種類を設定し、各基礎形式に対して、**地盤種別1~3(以降、地盤1~3と呼ぶ)**を想定した。

	地盤1	地盤2	地盤3
5階建て	直接基礎	直接基礎	杭基礎
10階建て	直接基礎	直接基礎	杭基礎
14階建て	直接基礎	—	杭基礎

- ・杭とフーチングは緊結せず、浮き上がりに対する引抜抵抗力を有しない状態を想定
- ・基礎底面の粘着力や埋め込み部側面の摩擦力など浮き上がりに対する抵抗力を有しない状態を想定

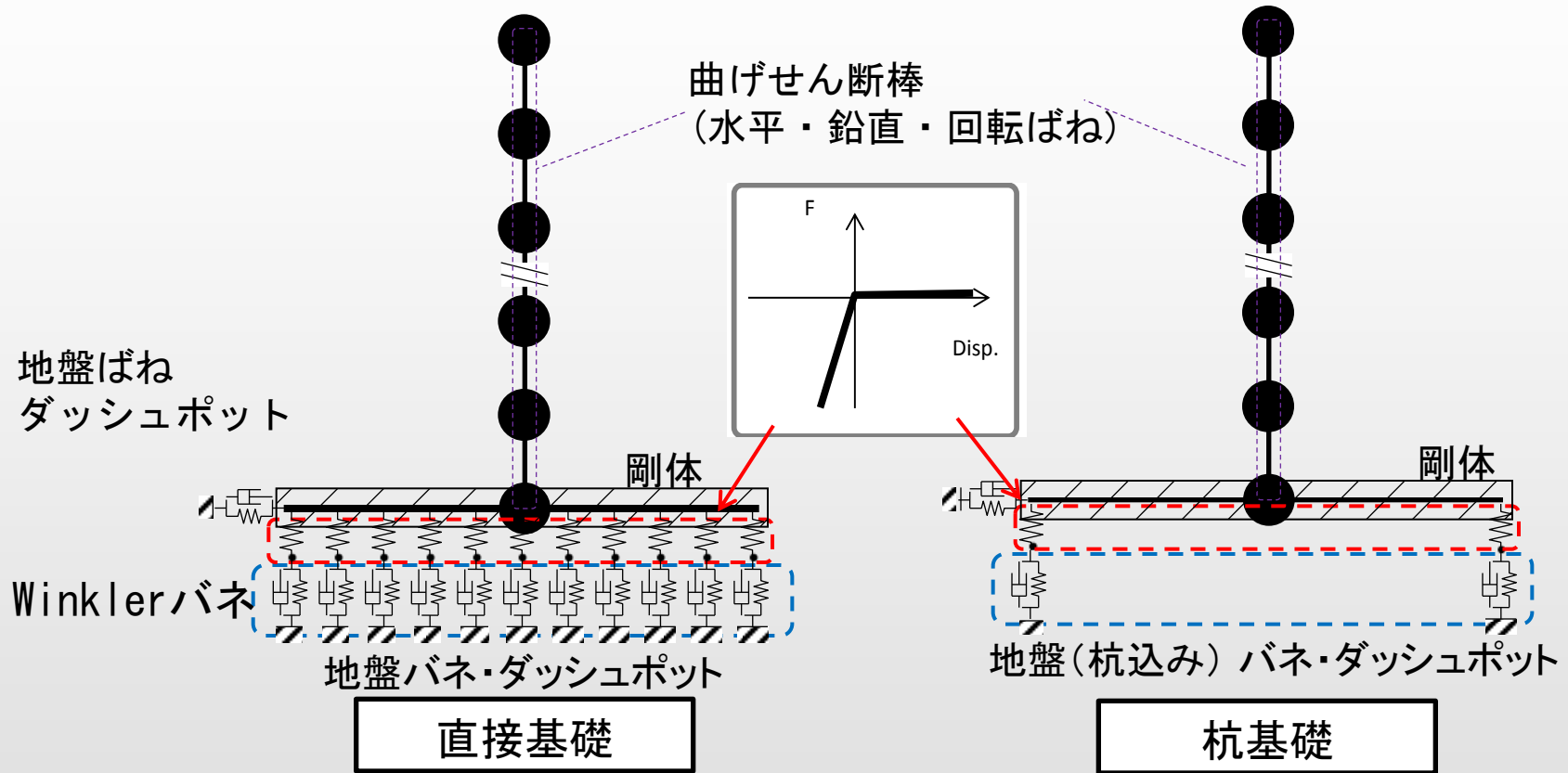


地震応答解析

質点系応答解析モデル

Winklerモデル

減衰は、上部架構に対して、
浮き上がり1次固有周期、連成系1次固有周期
に対して3%のレーリー減衰を与える



※浮き上らないモデル(以下、固定モデルと呼ぶ)は、離間バネを弾性としたモデル

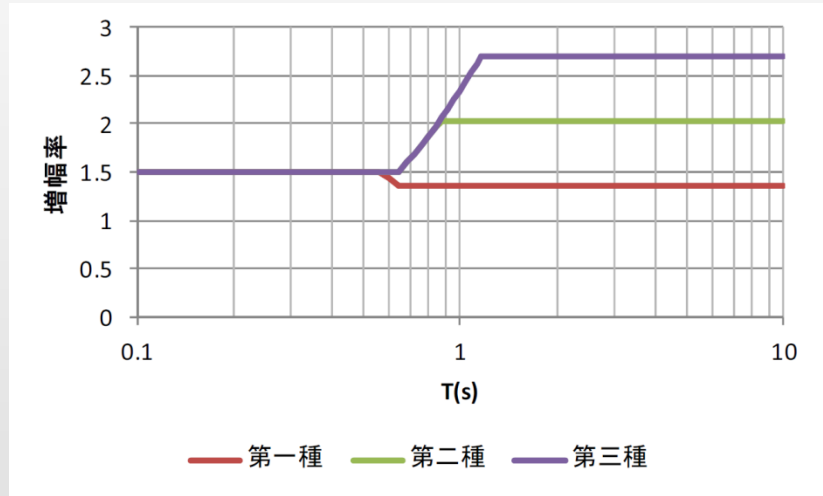
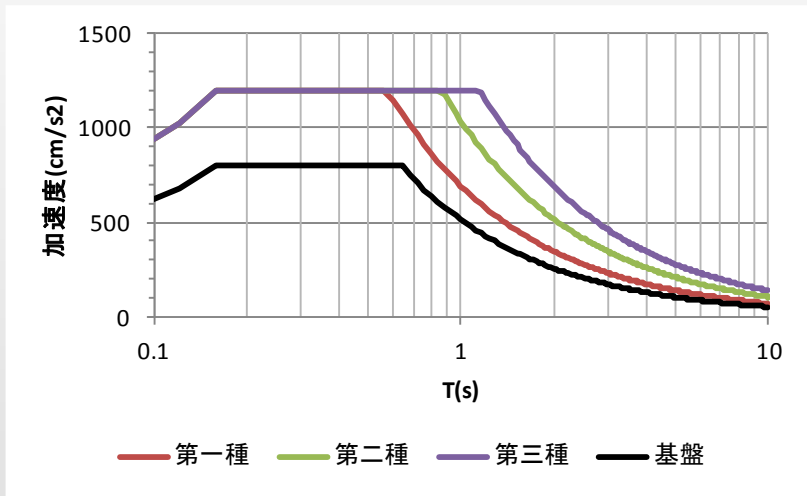
全体浮き上がり状態にある建物には傾斜復元力が作用するが、予備検討によって実建物では転倒に至る大変形は起こらないことを確認し、微小変形理論に基づく解析を実施した。

検討用地震動

水平模擬地震動

告示スペクトル(レベル2) × 限界耐力計算の地盤増幅率 G_s で、地盤種別毎の基礎底位置のターゲットスペクトルを設定

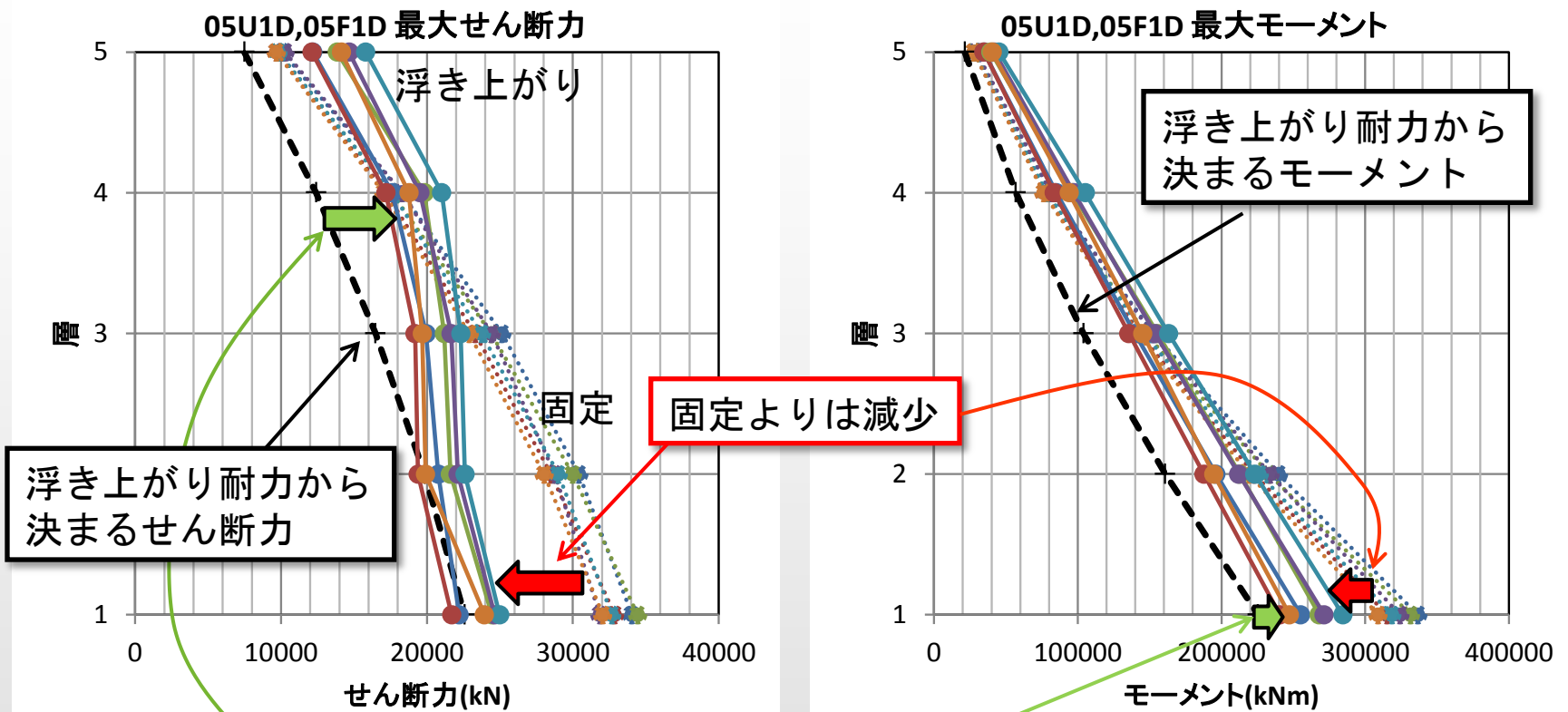
位相 : El Centro, Hachinohe, JMA Kobe, Random1~3の6種類



上下模擬地震動

告示スペクトル × 上下動成分係数で工学的基盤における上下模擬地震動を作成
これに上下動標準増幅特性係数を乗じて基礎底位置での地震動を作成

質点系モデルの解析結果の例 (5階建て・直接基礎・地盤1・弾性)

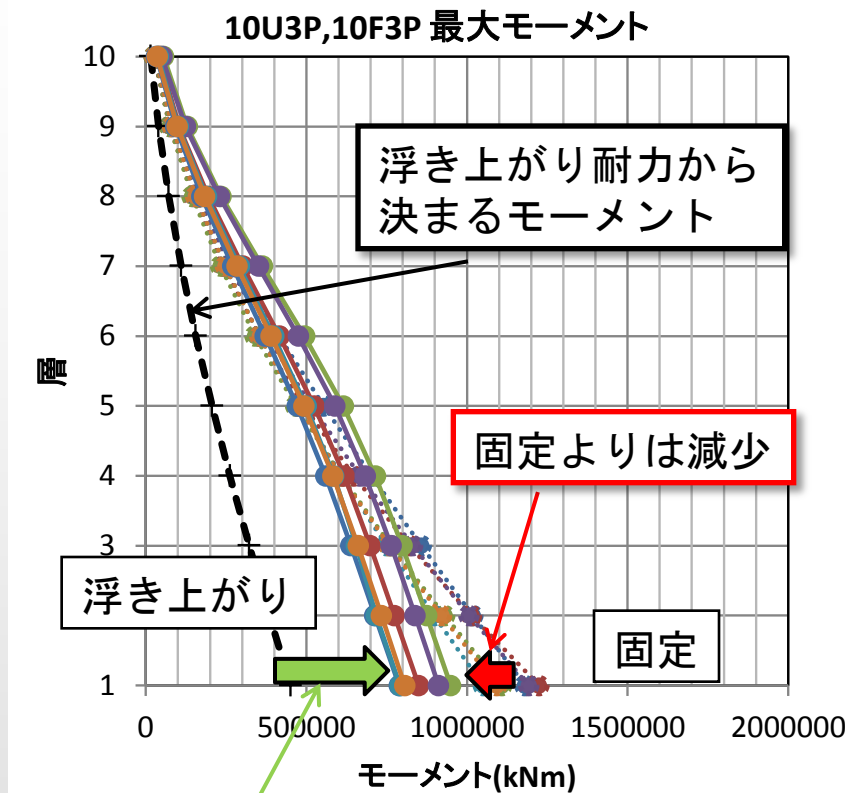
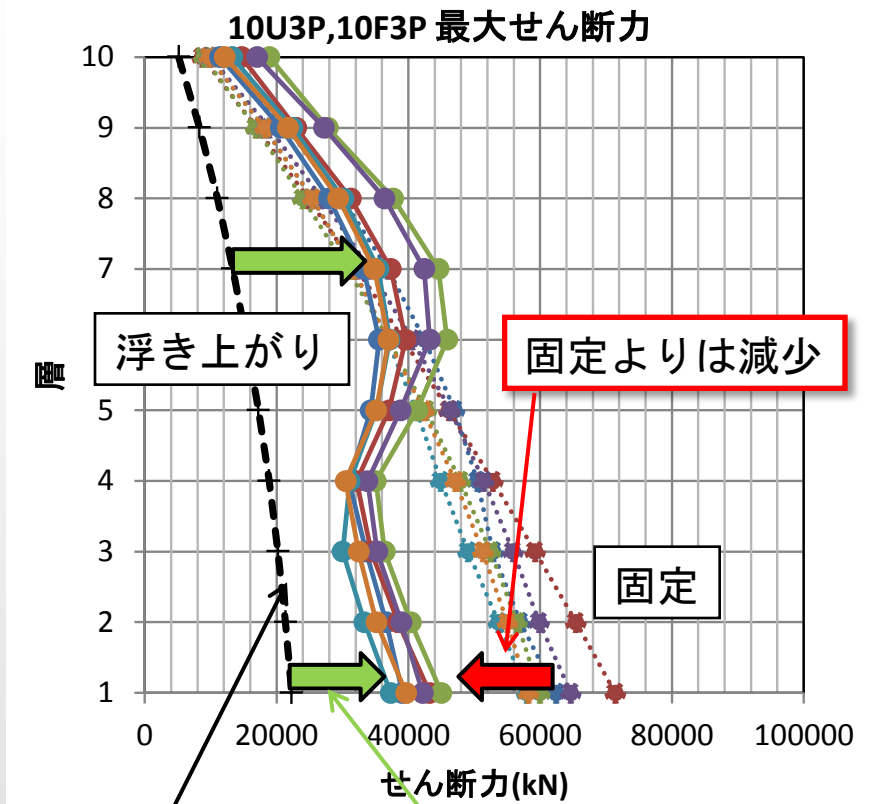


浮き上がり耐力※から決まるせん断力
モーメントよりは大きい

実線：浮き上がり
点線：固定

※浮き上がり耐力=Ai分布を仮定した水平力によって全体浮き上がりを生じる時の各層のせん断力または転倒モーメント

質点系モデルの解析結果の例 (10階建て・杭基礎・地盤3・弾性)



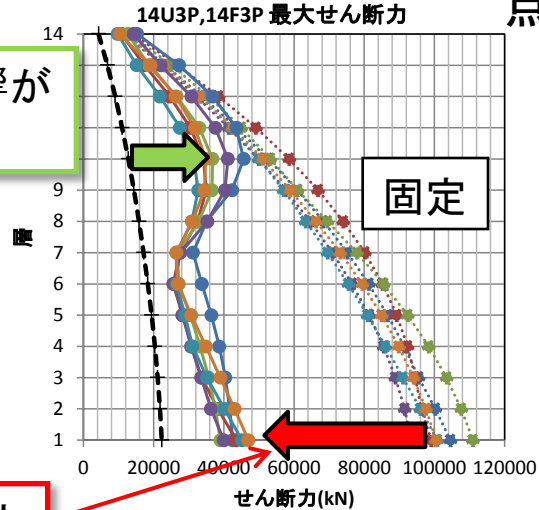
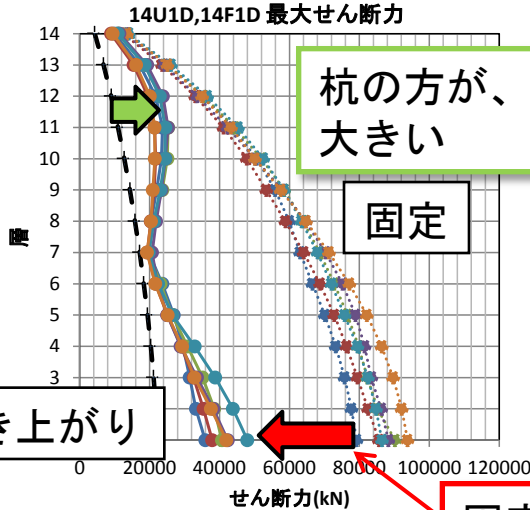
浮き上がり耐力から決まるせん断力

浮き上がり耐力から決まるせん断力
モーメントよりは大きい

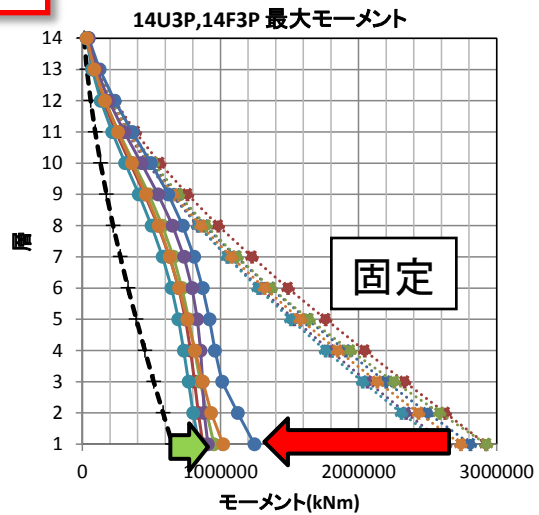
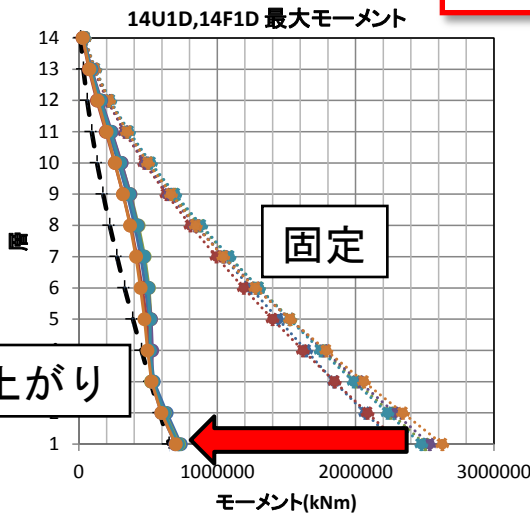
実線：浮き上がり
点線：固定

質点系モデルの解析結果の例 (14階建て・弾性)

実線 : 浮き上がり
点線 : 固定



固定よりは減少



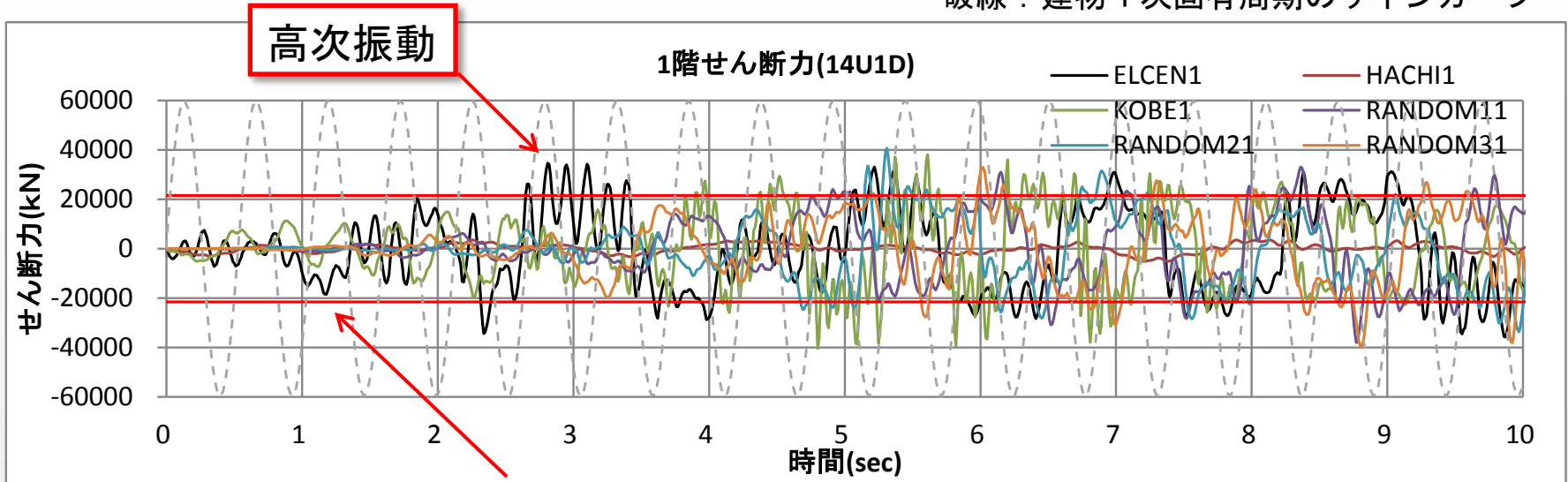
直接基礎 地盤 1

杭基礎 地盤 3

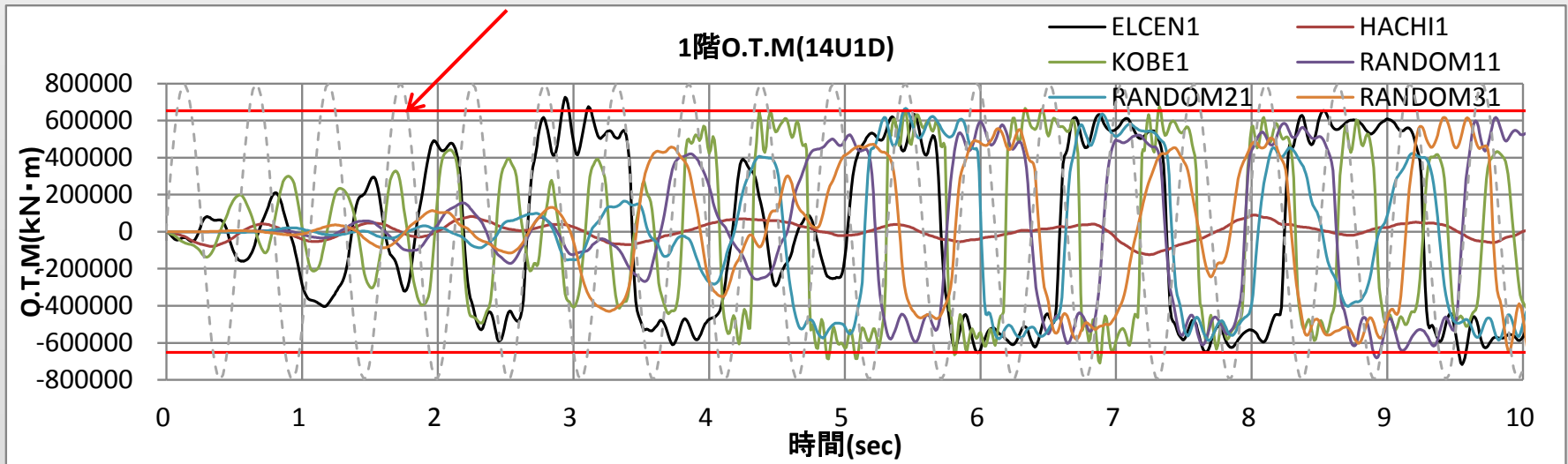
応答の時刻歴の例

(14階建て 直接基礎1)

破線：建物1次固有周期のサインカーブ

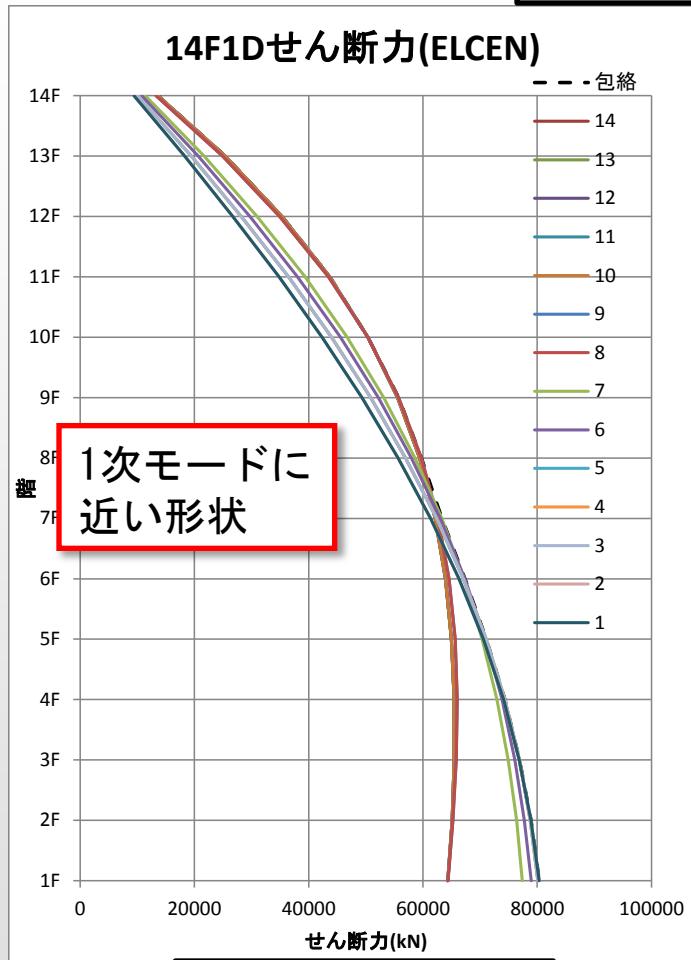


浮き上がり耐力から求めたせん断力・モーメント

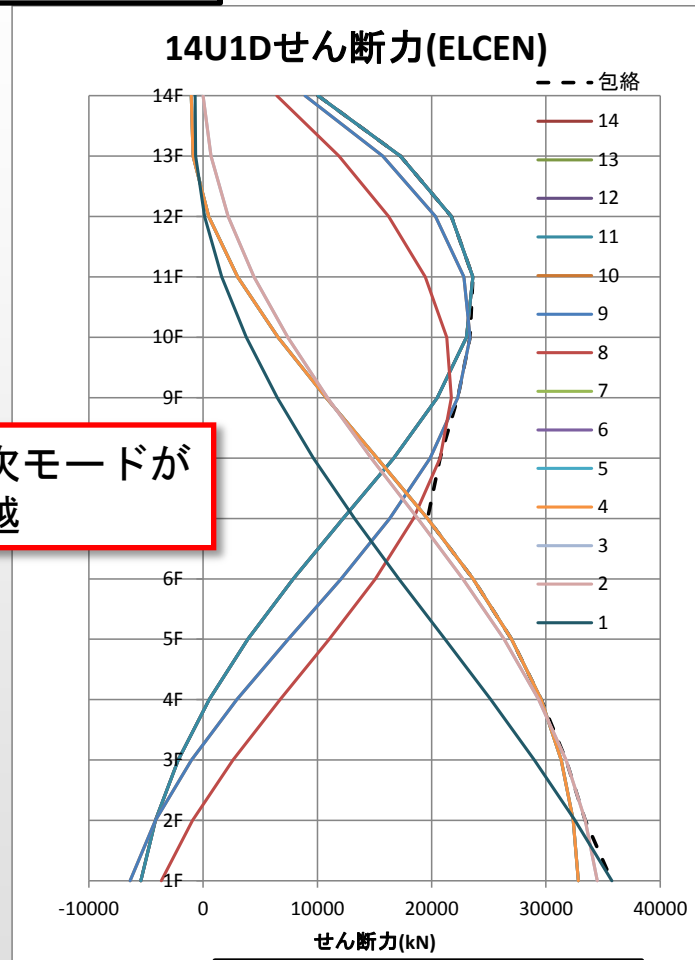


最大せん断力の発生のタイミング

14階建て 直接基礎1



基礎固定モデル



浮き上がりモデル

各層のせん断力が最大となる時の各層のせん断力分布

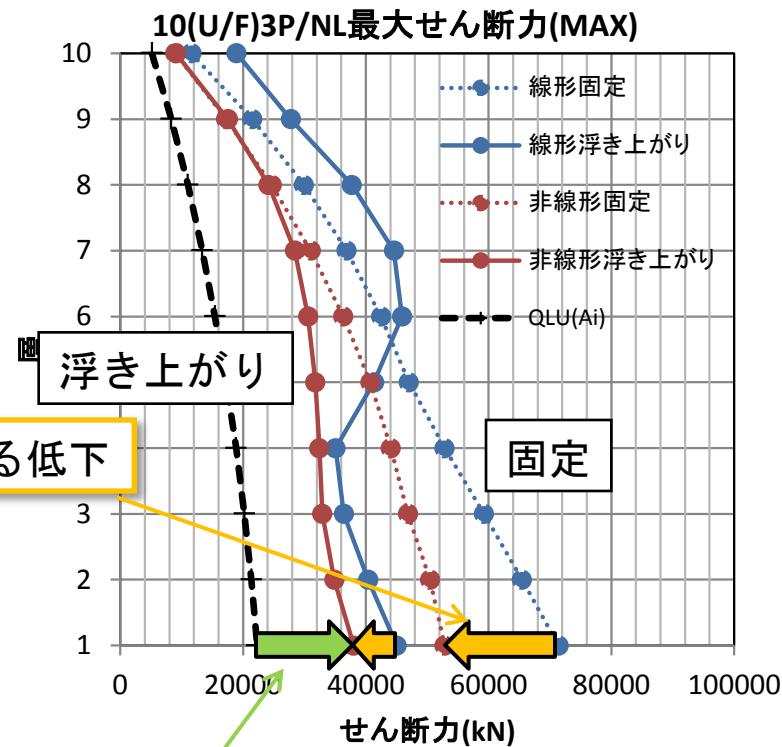
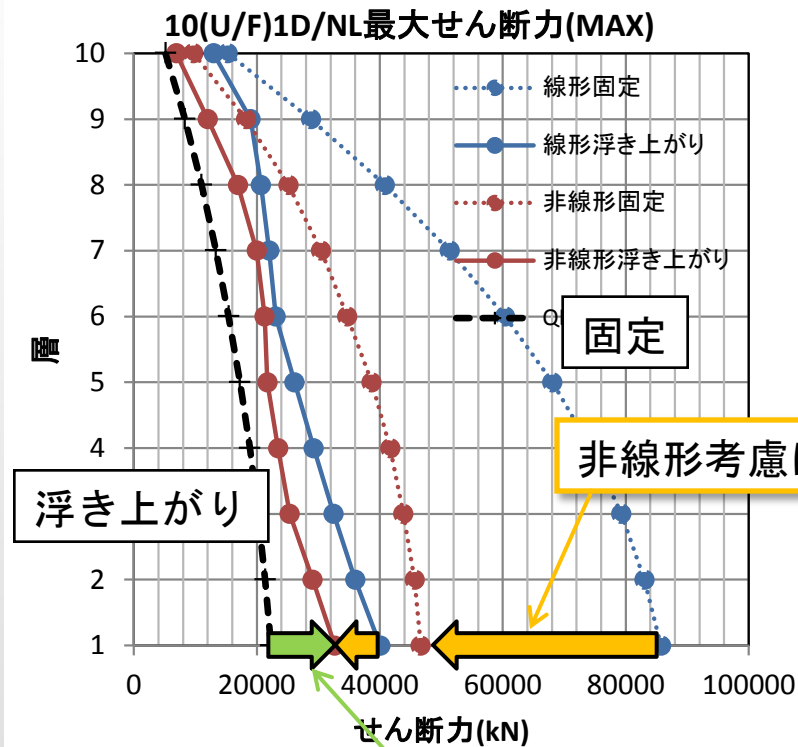
ひび割れを考慮した場合の解析例

実線：浮き上がり

青：弾性

点線：固定

赤：ひび割れ考慮

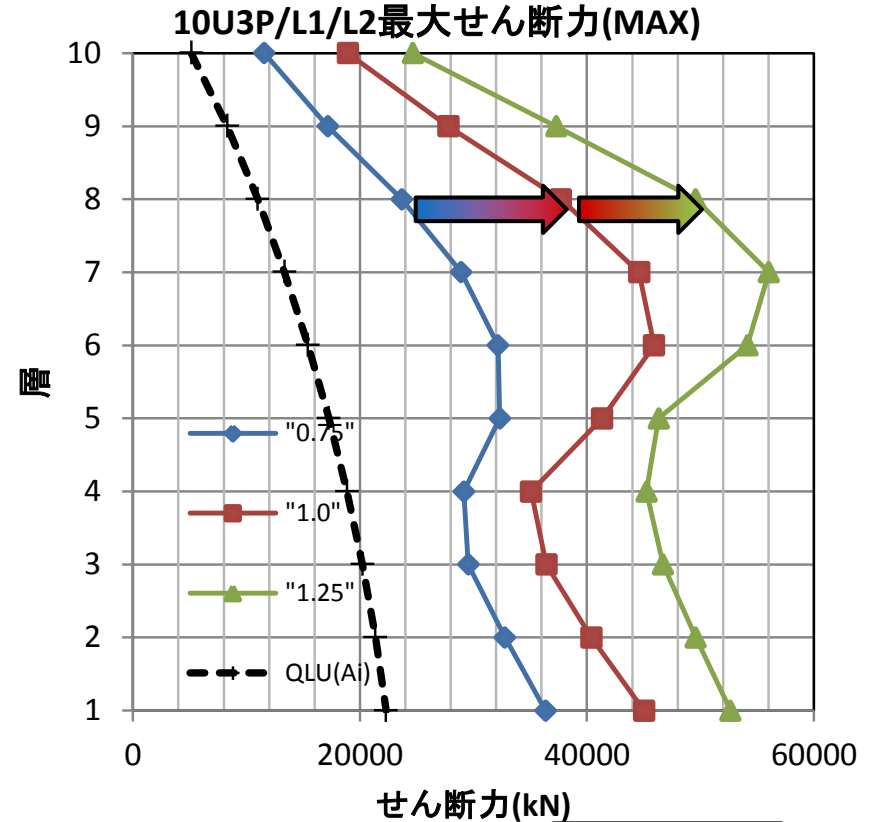
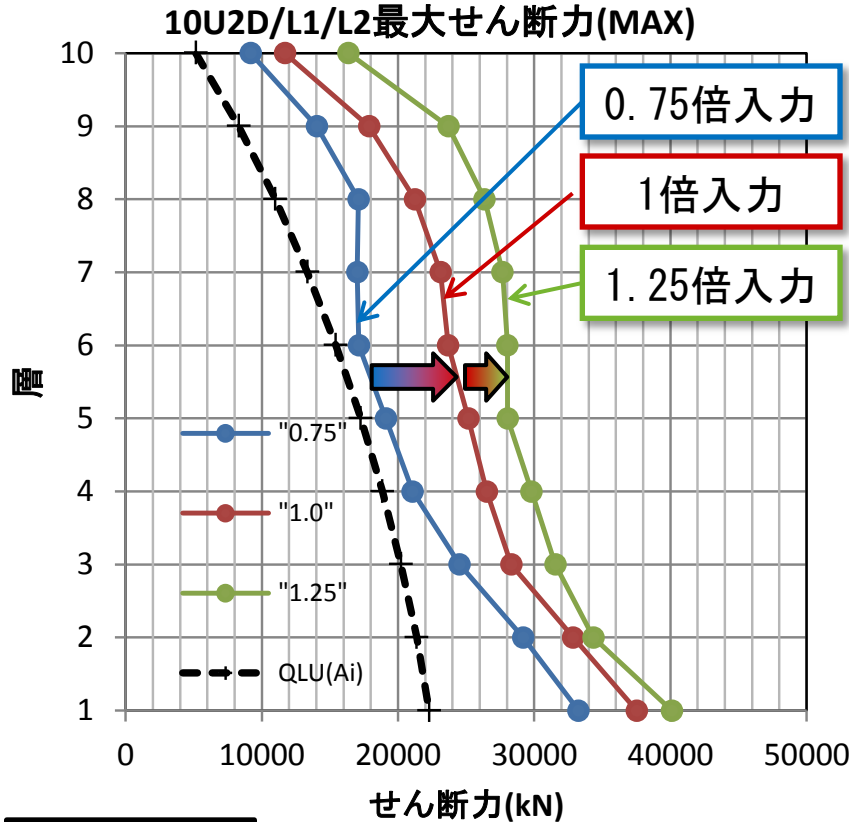


10階建て
直接基礎

浮き上がり耐力から決まるせん断力
モーメントよりは大きい

10階建て
杭基礎

入力レベルを変化させた場合



10階建て
直接基礎

入力レベルの増加に伴い、応答も増加
頭打ちとならない

10階建て
杭基礎

3次元効果の検討

3次元効果を考慮した解析

【目的】

質点系との比較を行った上で、3次元効果の影響を検討する

- ①直交梁の剛性・耐力、杭径が変化した場合の挙動
- ②2方向入力(斜め45度入力)時の挙動

柱・梁

- ・材端剛塑性梁要素
- ・弾塑性

耐力壁

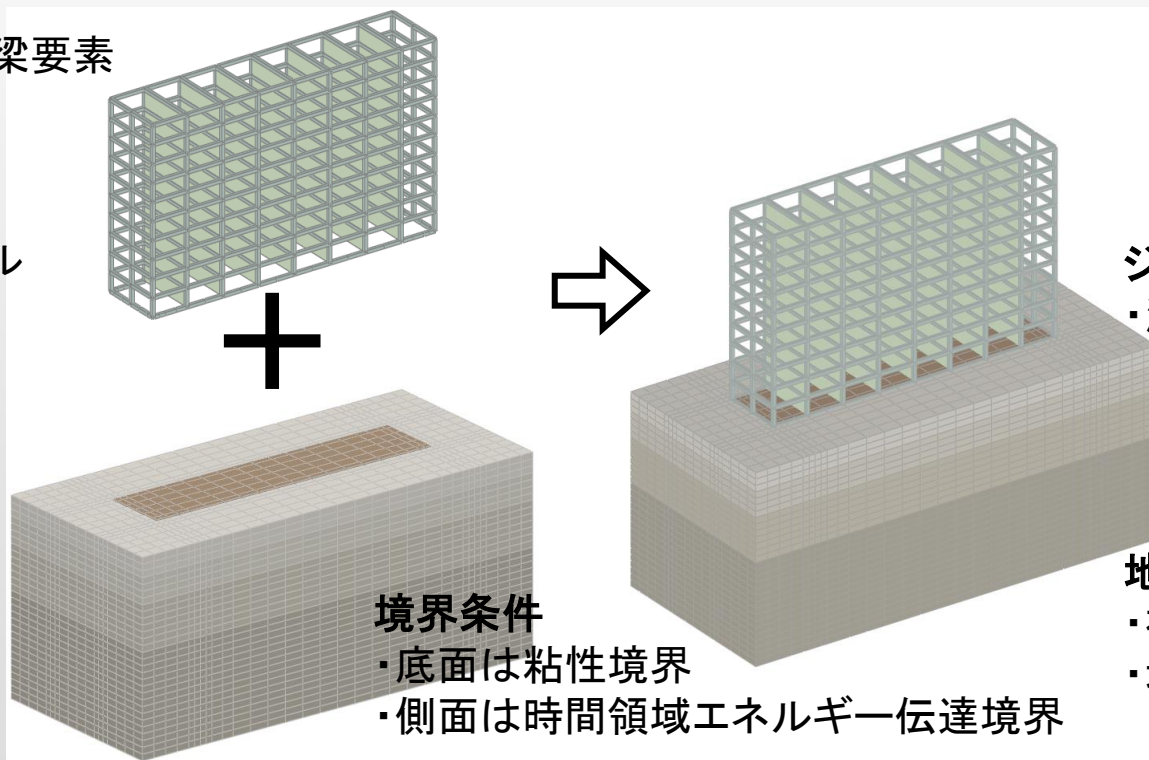
- ・壁谷澤モデル
- ・弾性

基礎スラブ

- ・板要素
- ・線形

地盤

- ・ソリッド要素
- ・等価線形



- ### ジョイント要素
- ・浮き上がり非線形

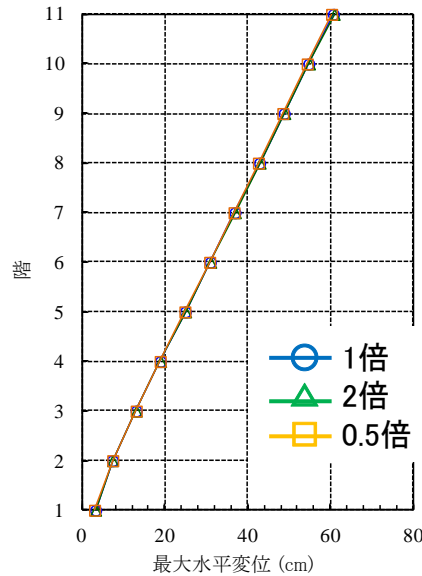
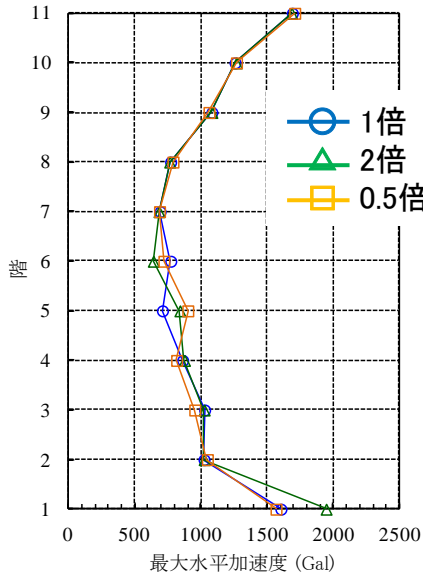
- ### 地震動
- ・神戸位相の補正波
 - ・地盤底面に入力

- ### 境界条件
- ・底面は粘性境界
 - ・側面は時間領域エネルギー伝達境界

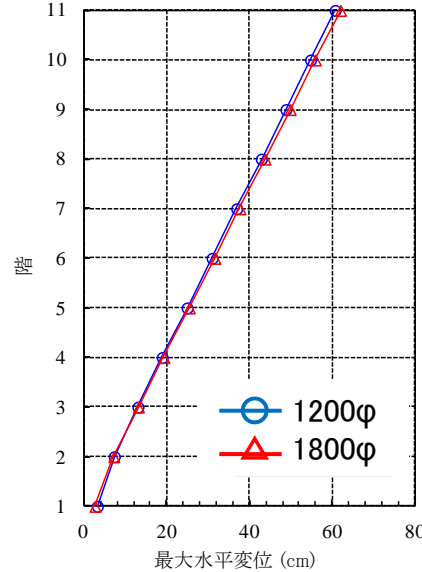
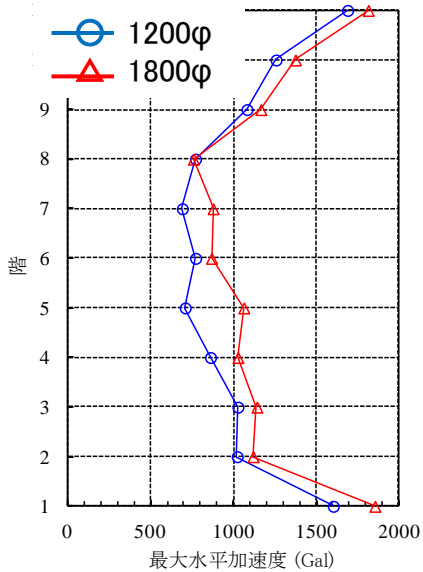
解析モデル(10階建て直接基礎2)

直交梁および杭径の影響

直交梁
の影響



杭径の
影響



直交梁の影響

直交梁の剛性と耐力を2倍、0.5倍と変化させた

杭径の影響

妻面以外の杭の軸径(1200φ)を1800φに変化させた



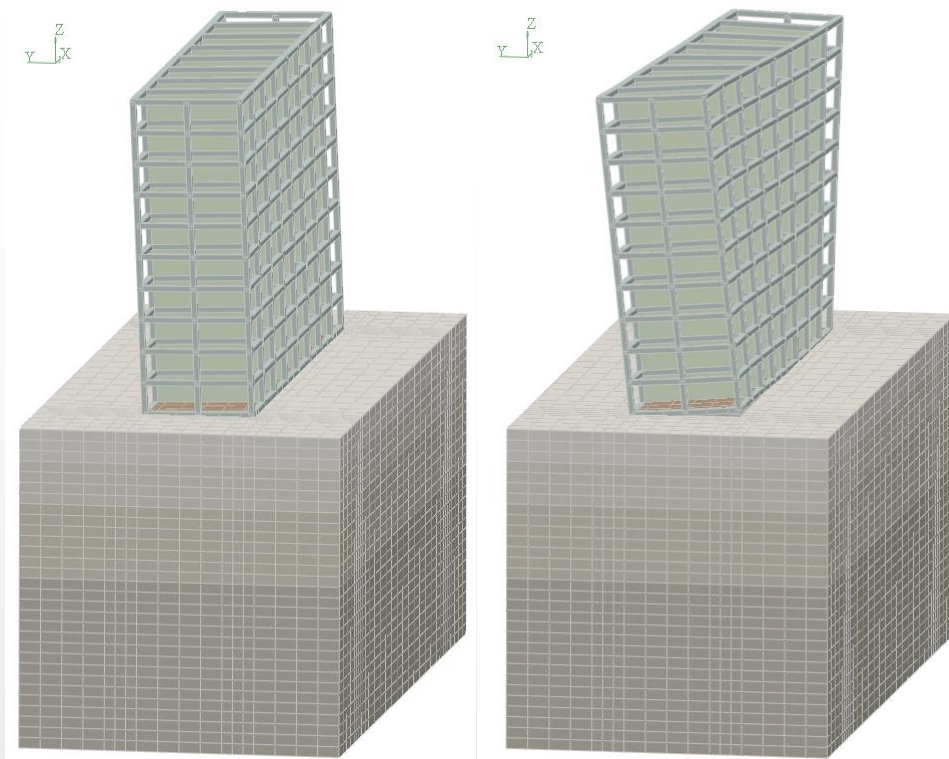
直交梁・杭径が変化した場合でも、建物の応答に与える影響は小さく、質点系モデルで十分追跡できる

最大水平加速度

最大水平変位

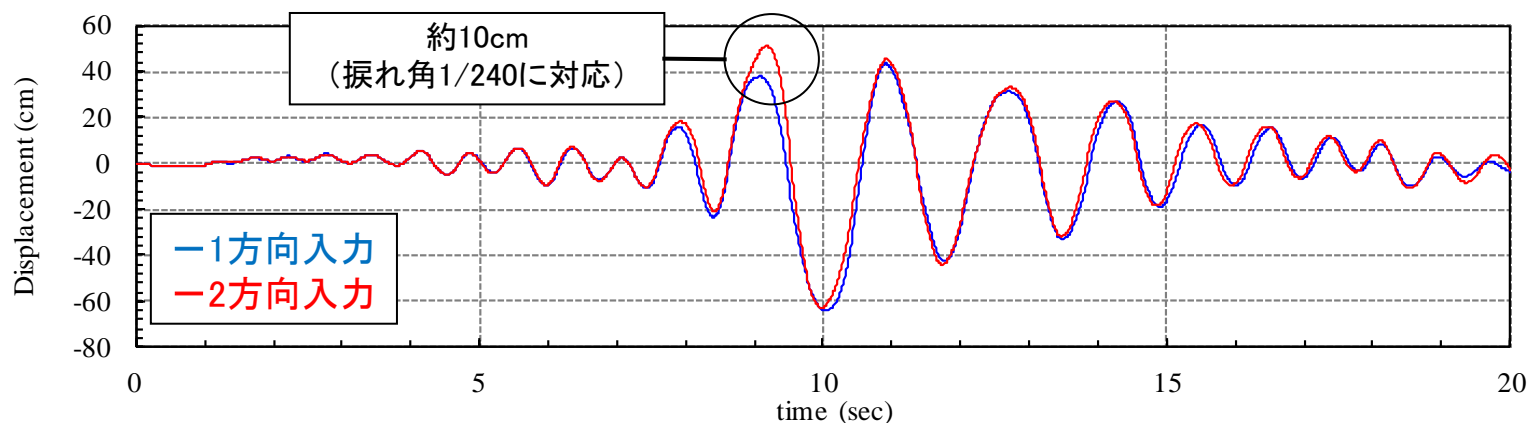
2方向入力(斜め入力)

2方向入力(斜め入力)ではねじれ挙動が発生し、構面によって応答値に差異が現れた。
 ただし、中央構面の応答値は1方向入力と大きな差異は現れなかった。



1方向入力

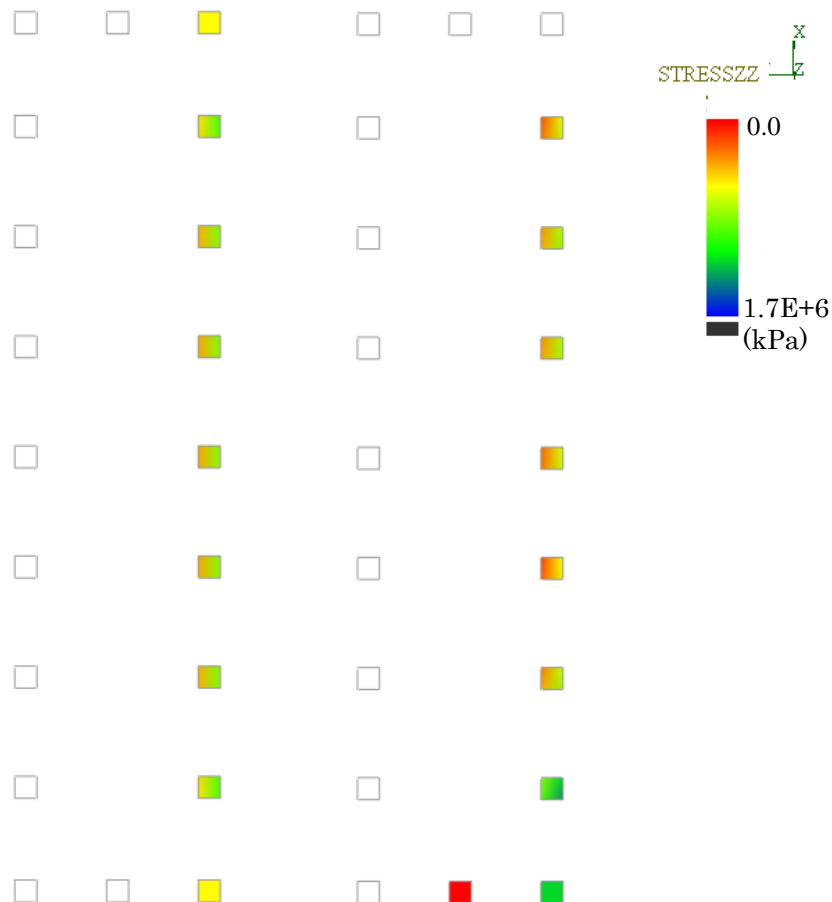
2方向入力



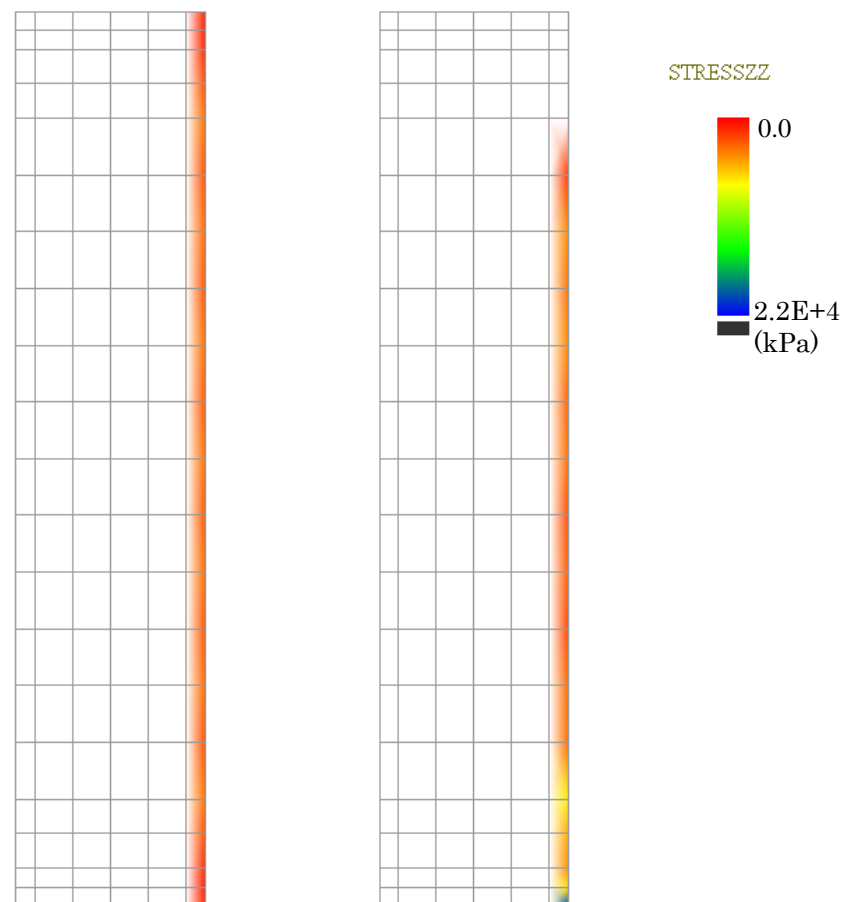
頂部妻面の短辺方向変位

2方向入力時の杭反力・接地圧分布

2方向入力により接地部が隅部に偏り、1方向に比べて接地圧が大きくなる



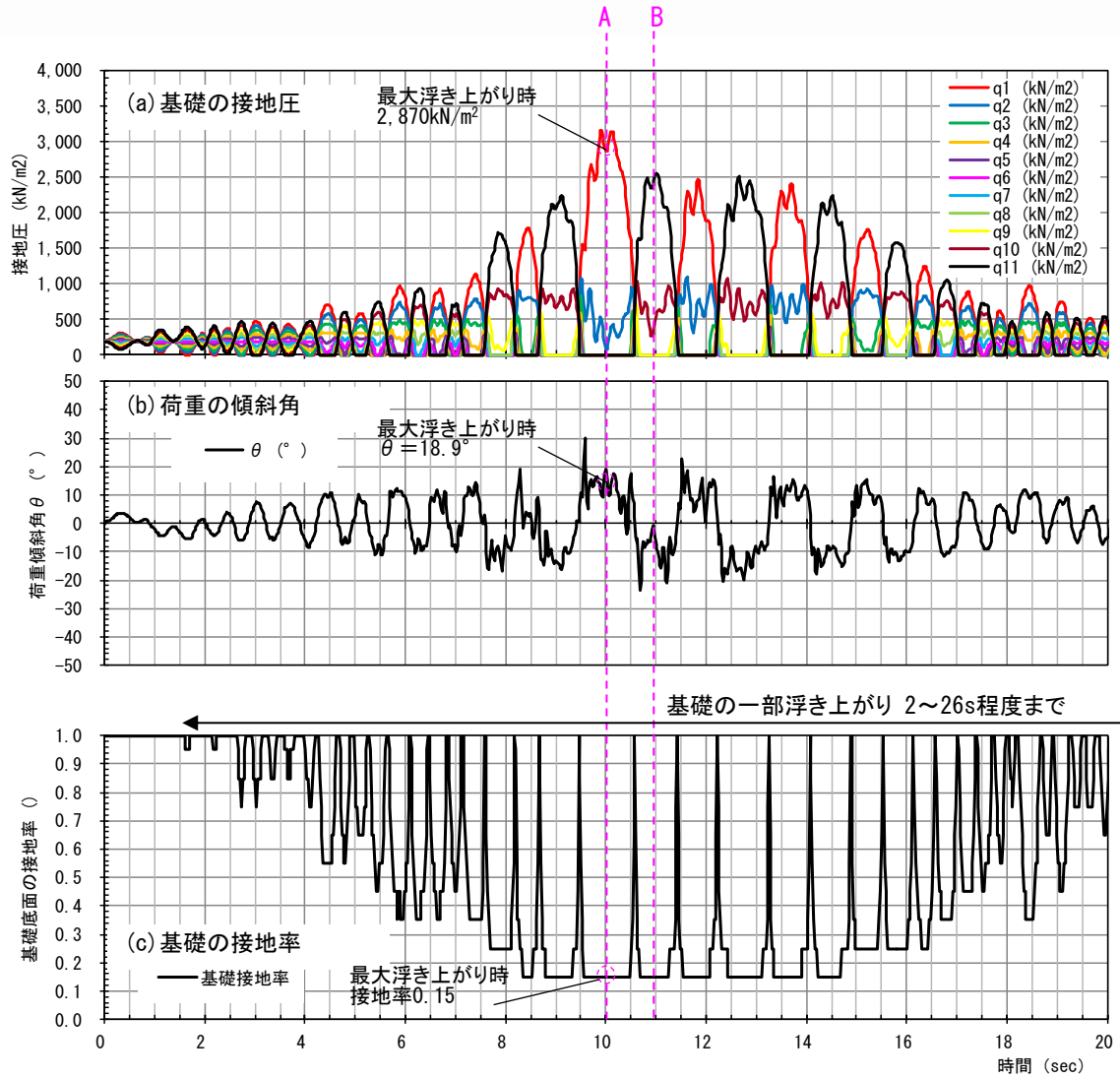
1方向入力 2方向入力
 最小接地率時の杭反力分布
 (10階建て杭基礎3)



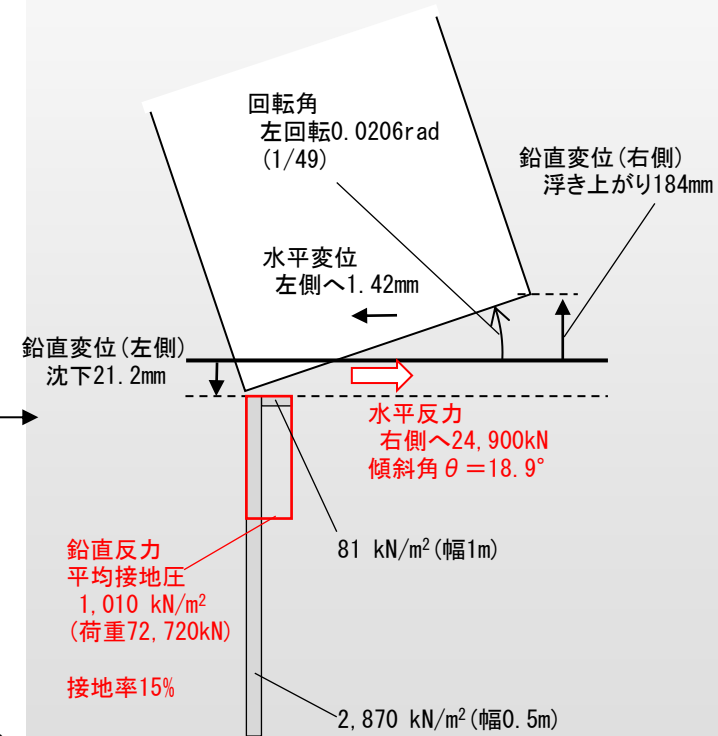
1方向入力 2方向入力
 最小接地率時の接地圧分布
 (10階建て直接基礎2)

地盤・基礎の検討

地盤の詳細検討



質点系モデル(10階建て直接基礎2)の解析結果について、ばね反力を詳細に分析し、地盤の支持力と沈下量を検討する

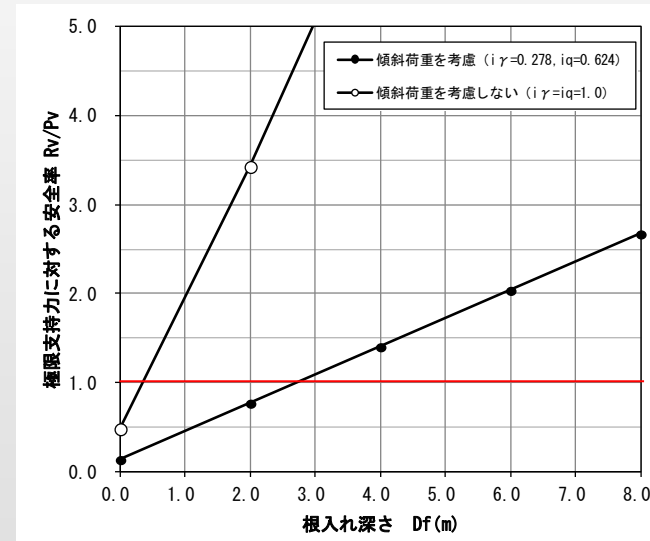
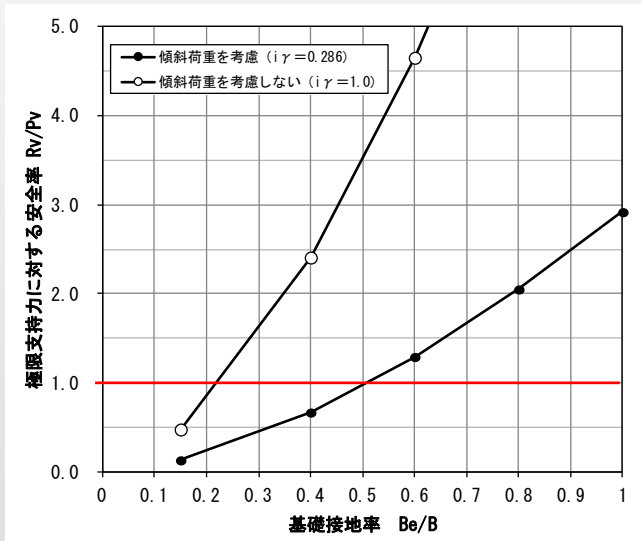


直接基礎の解析結果(10階建て直接基礎2, 神戸位相)

地盤の支持力

基礎指針による極限支持力 $q_u = i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$

地盤	基礎形式	傾斜荷重項	許容支持力度(kN/m ²)		
			長期	短期	極限
地盤-2	直接基礎	考慮	530	90	135
		無視	530	1,060	1,590



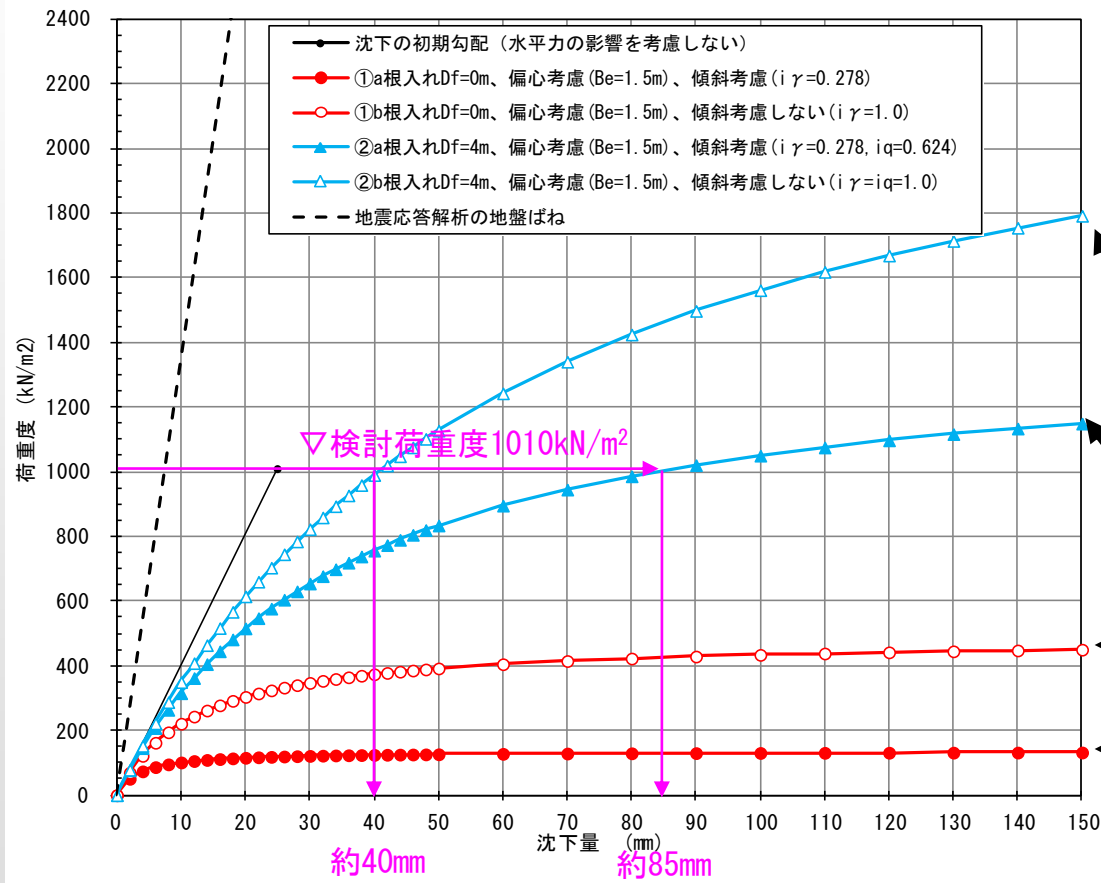
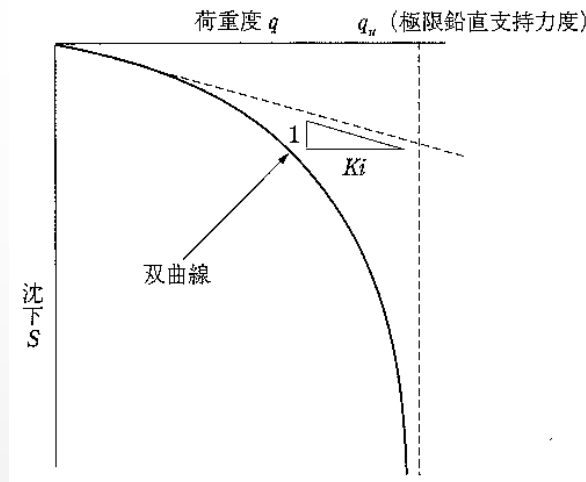
基礎接地率と極限鉛直支持力の関係

根入れ深さと極限鉛直支持力の関係

傾斜荷重の影響は静的な水平力を想定したもので、地震時の比較的短時間に作用する水平荷重に対する支持力の低減については今後の課題である。

地盤の沈下量

Steinbrennerの多層近似解より弾性剛性を計算し、
支持力検討で求めた極限支持力を極限值とする双曲線



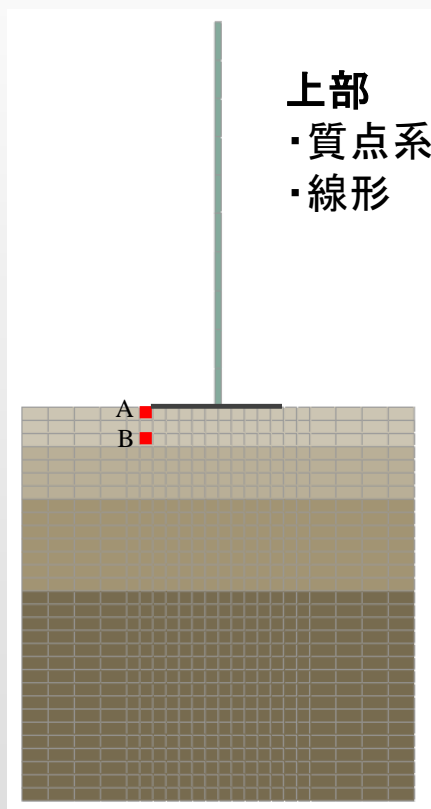
- 根入れ=4m 傾斜荷重項無視
- 根入れ=4m 傾斜荷重項考慮
- 根入れ=0m 傾斜荷重項無視
- 根入れ=0m 傾斜荷重項考慮

直接基礎の荷重量・沈下量関係

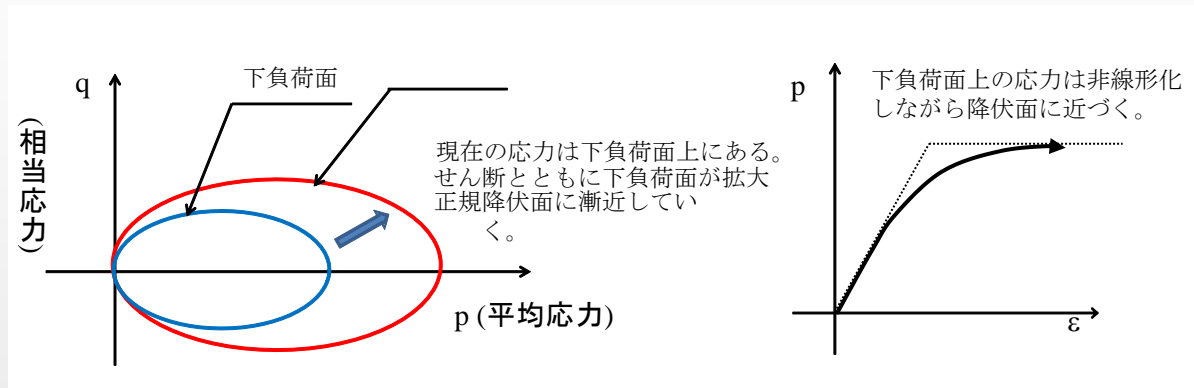
地盤の非線形性を考慮した解析モデル

【目的】

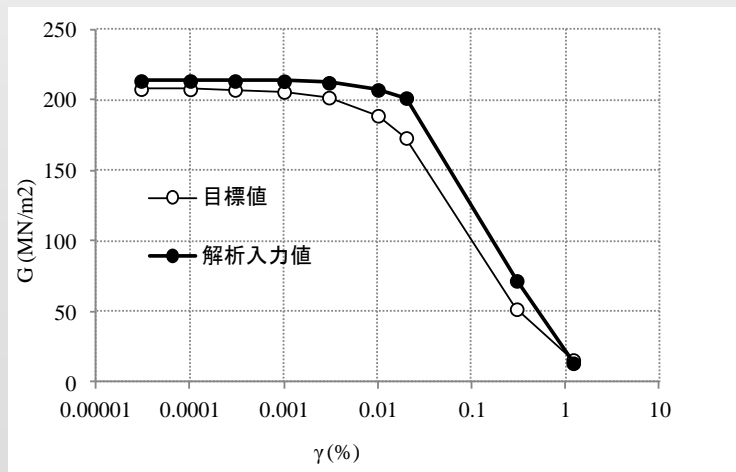
浮き上がり時の大きな接地圧による地盤の非線形性を考慮した解析を行い、地盤の変形や支持力の検討を行う。



解析モデル

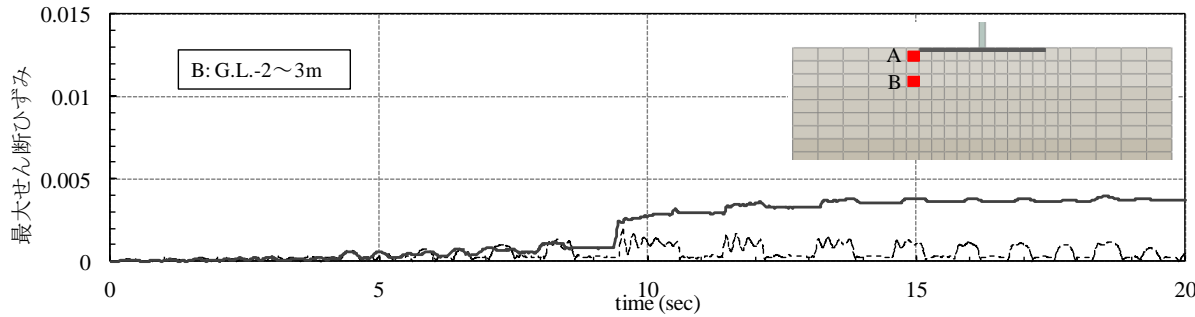
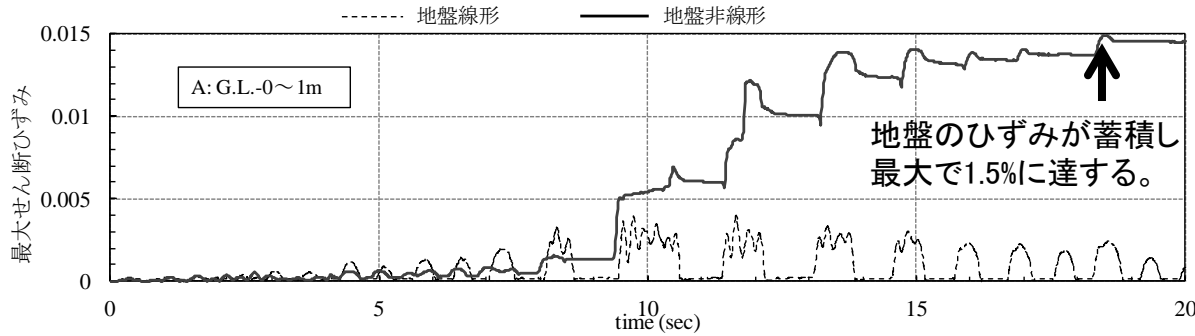


下負荷面カムクレイモデルのイメージ

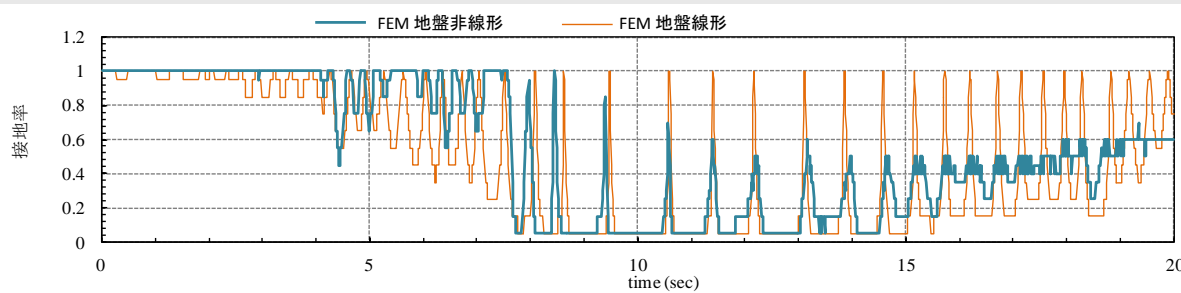


G-γ 関係の対応 (GL-1 ~ -3m)

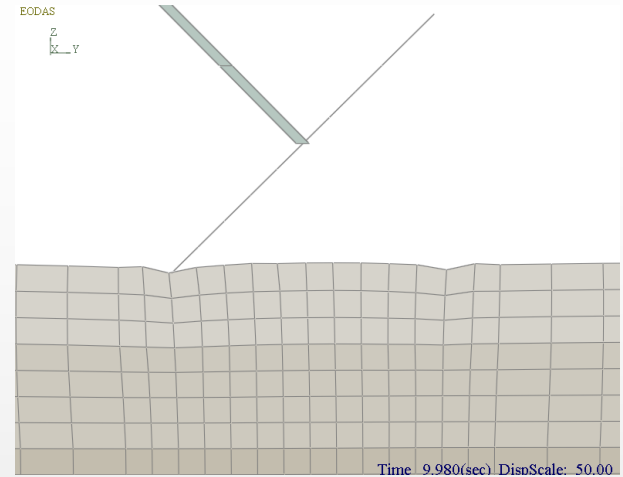
地盤の非線形性を考慮した解析結果



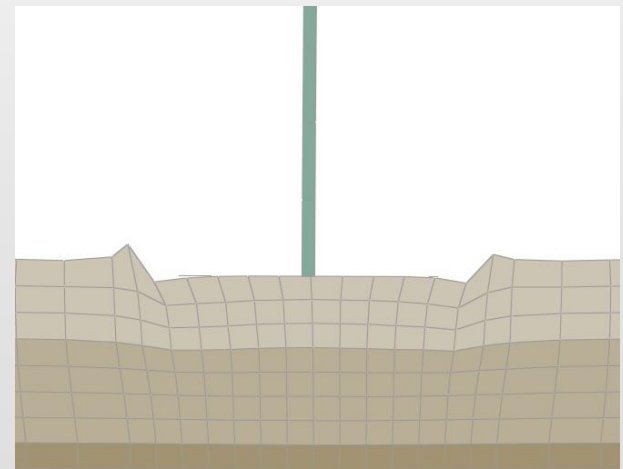
最大せん断ひずみの時刻歴



接地率時刻歴の比較



最大変形図(変形倍率50倍)



解析終了時の変形図 (変形倍率100倍)

地盤のひずみが大きいレベルでは地盤の減衰を大きく見積もっている可能性があり、この効果については今後の課題である。

応答せん断力の推定

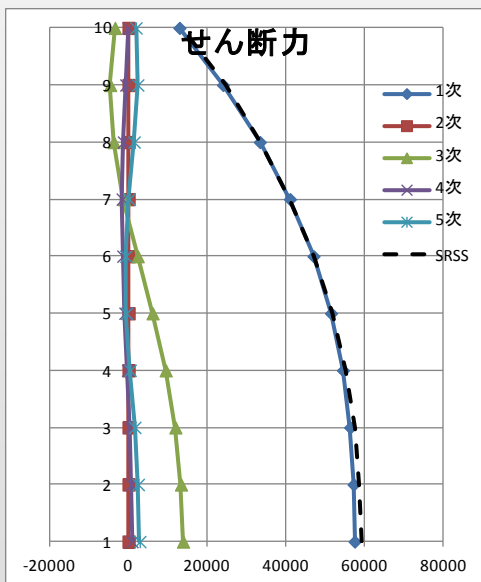
モーダルアナリシス (SRSS) 法による推定

$$\boxed{\text{浮き上がり前の最大せん断力 (Qa)}} + \boxed{\text{浮き上がり後の最大せん断力 (Qb)}} = \boxed{\text{浮き上がり架構の最大せん断力 (Q)}}$$

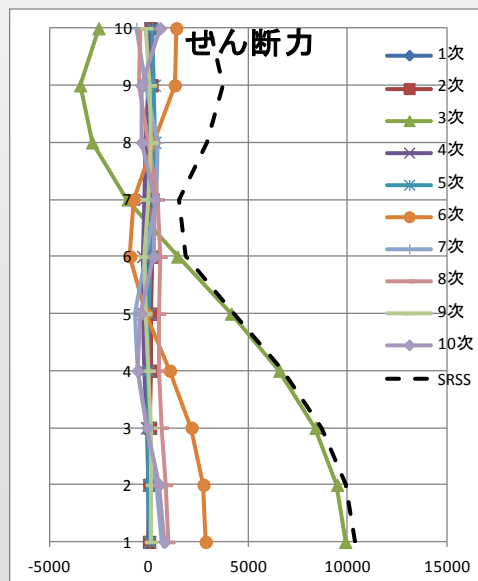
基礎固定モデルの各モードの応答せん断力をSRSSでモード合成し、浮き上がり限界モーメントで補正する

浮き上がりモデルの各モードの応答せん断力をSRSSでモード合成する
水平動と鉛直動の連成を考慮

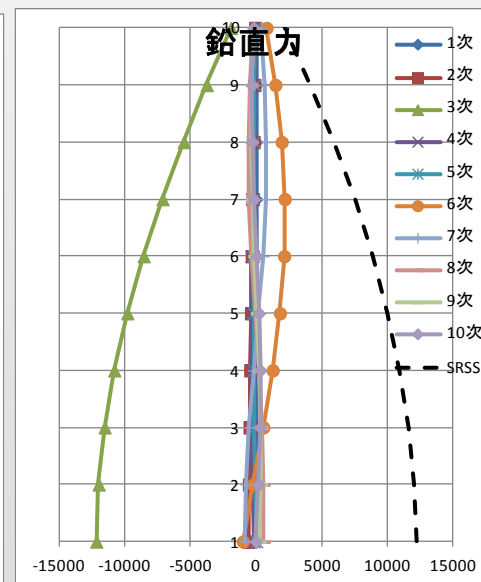
離間・接地による
振動系の不連続
な変化に伴う非線形性は考慮されていない



基礎固定モデルの最大せん断力(補正前)

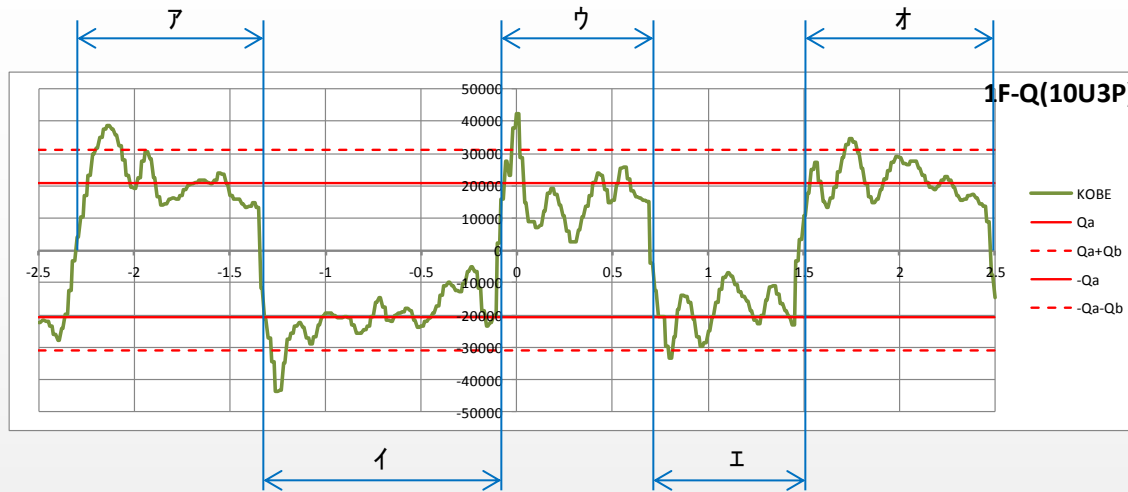


浮き上がりモデルの最大せん断力

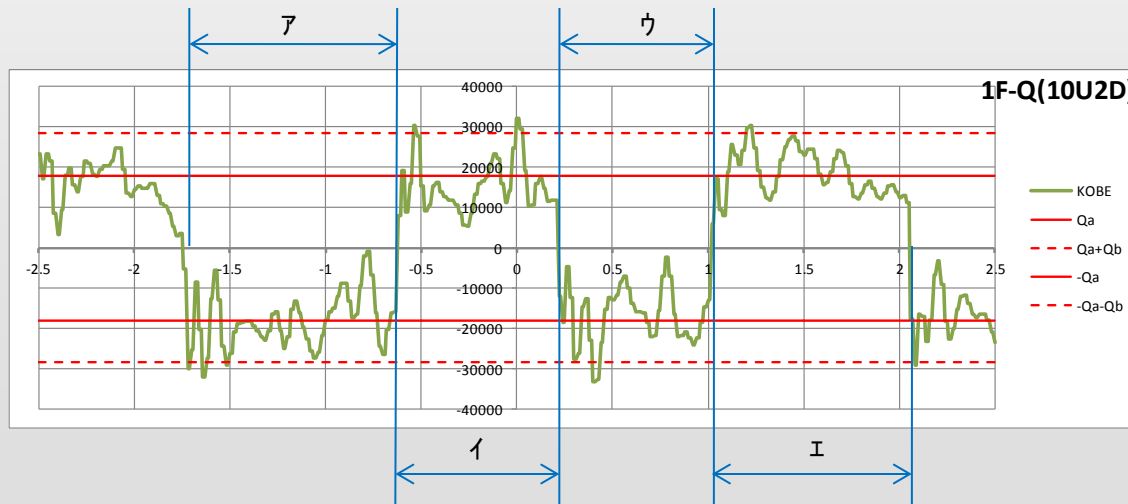


浮き上がりモデルの最大鉛直力

杭基礎と直接基礎の比較



10階建て杭基礎3 神戸位相



10階建て直接基礎2 神戸位相

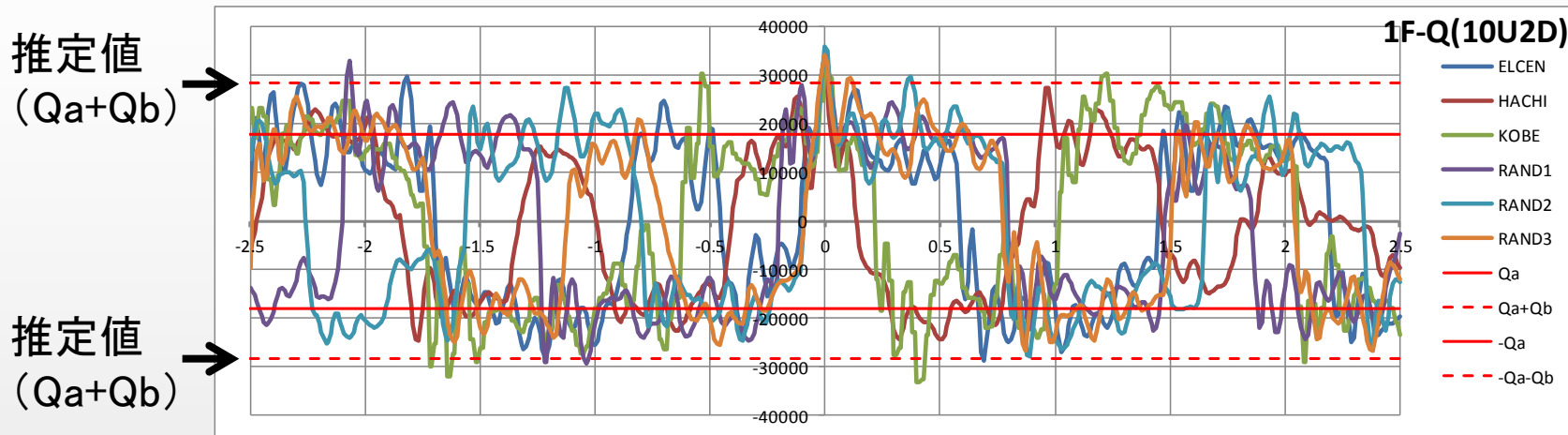
応答せん断力が最大となる時刻の前後2.5秒間

応答せん断力が横軸を横切るア～オの各範囲において、不連続性の影響と思われる応答せん断力の第1ピークを除けば、推定値(Q_a+Q_b)は応答せん断力をほぼ包絡している

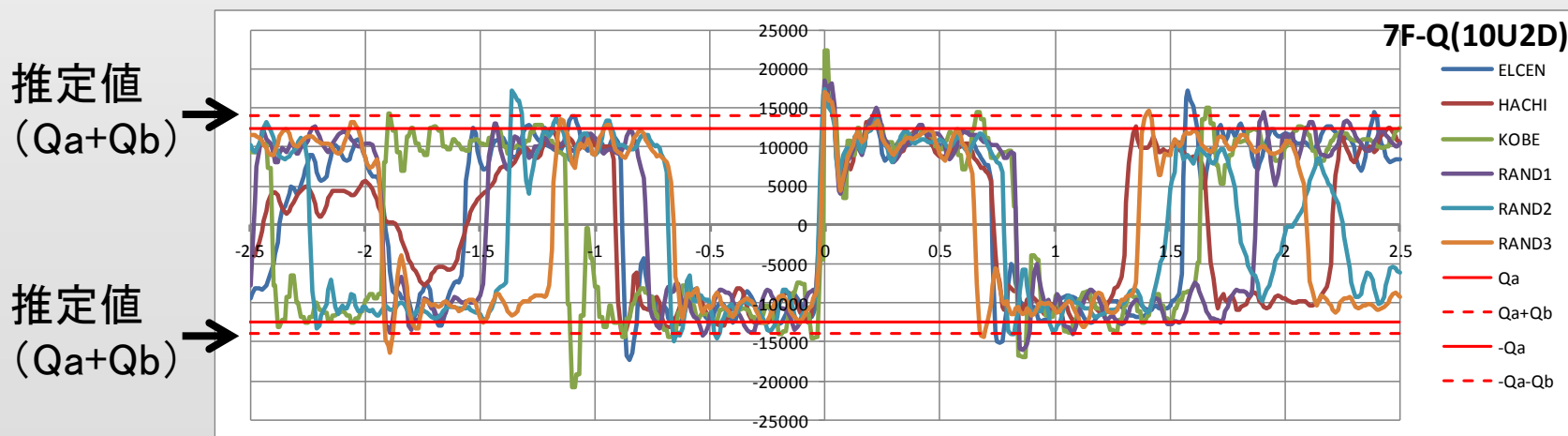
直接基礎は杭基礎に比べて、不連続性の影響が小さい

応答せん断力と推定値の比較(10階建て直接基礎2)

不連続性の影響の小さい範囲では推定値(Qa+Qb)は応答せん断力をほぼ包絡している



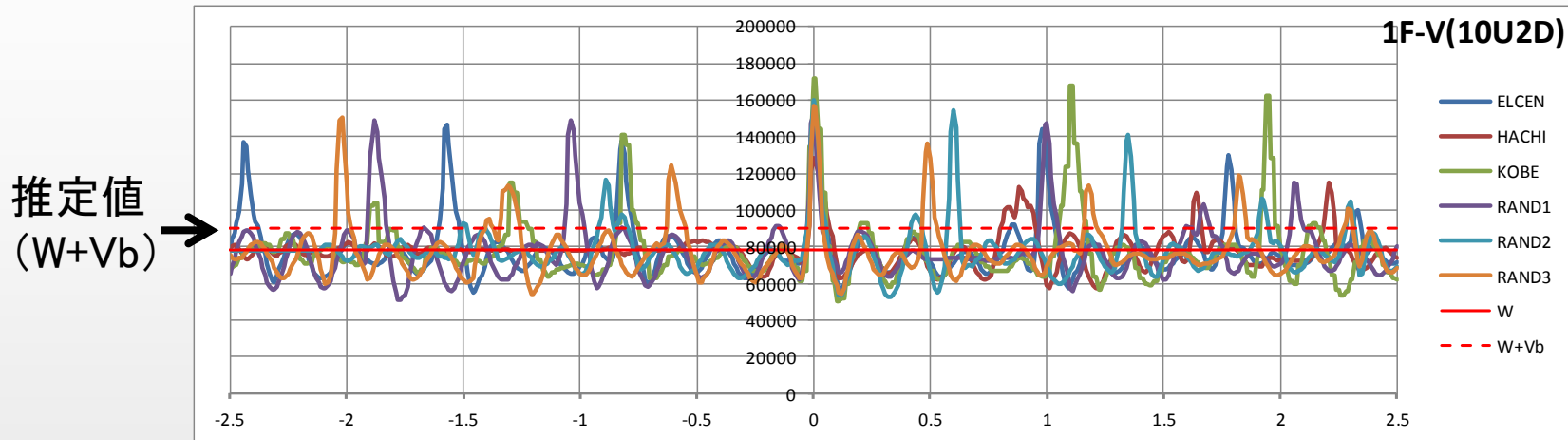
1階の応答せん断力時刻歴



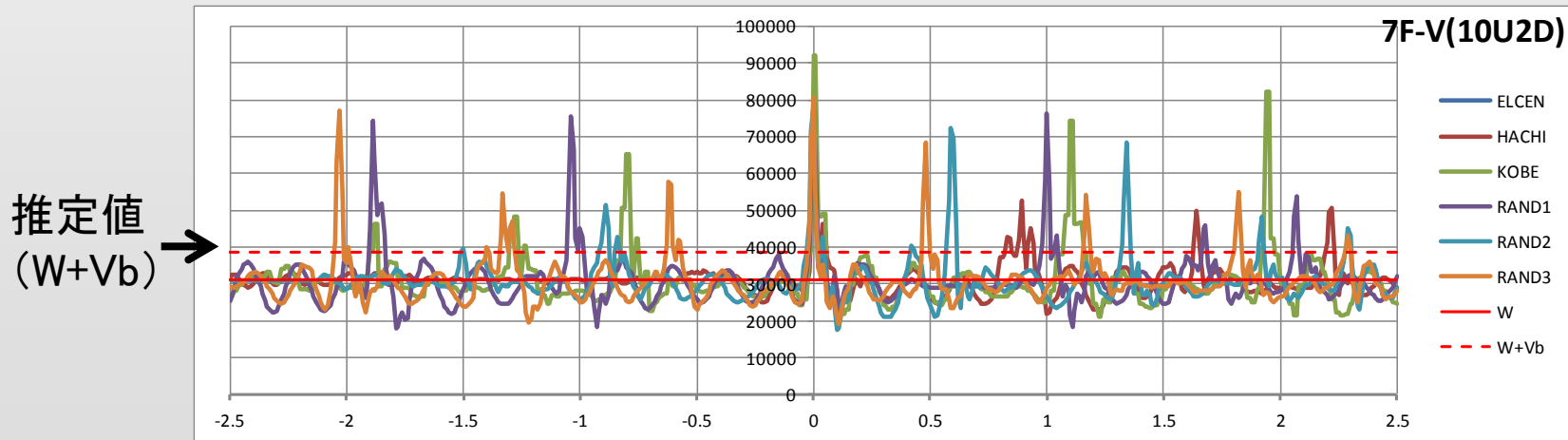
7階の応答せん断力時刻歴

応答鉛直力と推定値の比較(10階建て直接基礎2)

不連続性の影響の小さい範囲では推定値(W+Vb)は応答せん断力をほぼ包絡している
(Wは建物自重による鉛直力、Vbは浮き上がり前の最大鉛直力の推定値)



1階の応答鉛直力時刻歴



7階の応答鉛直力時刻歴

まとめ

まとめ

地震時に全体浮き上がりが生ずる建物に対し、静的な浮き上がり限界のみで設計用地震力を想定することは、作用力を過小評価することになる。

浮き上がり挙動を考慮した設計法を確立するためには、

- ・地盤への水平力の伝達方法
- ・比較的短時間に作用する力に対する地盤の鉛直支持力部材強度の評価方法等

について、さらなる調査・研究が必要である。