

地震動情報の高度化に対応した建築物 の耐震性能評価技術の開発

国土技術政策総合研究所

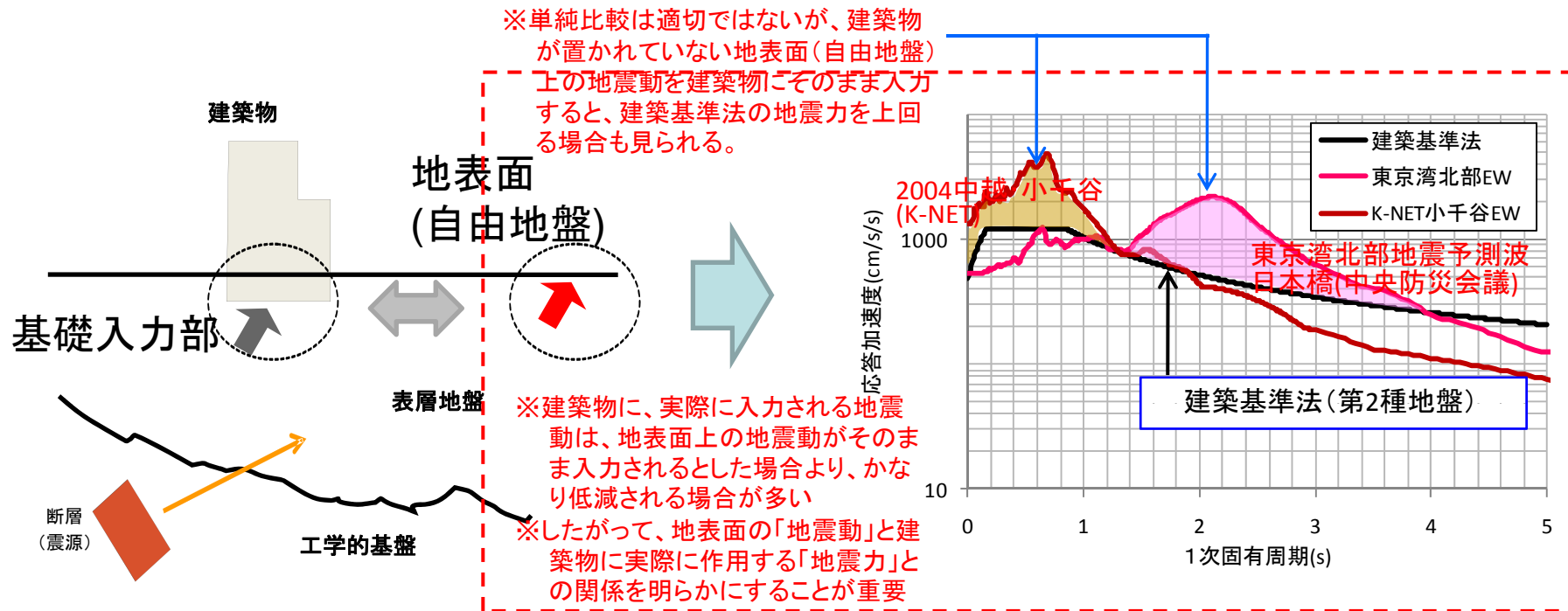
建築研究部

プロジェクトリーダー：向井 昭義

1. 当初計画の技術研究開発について

(1) 背景

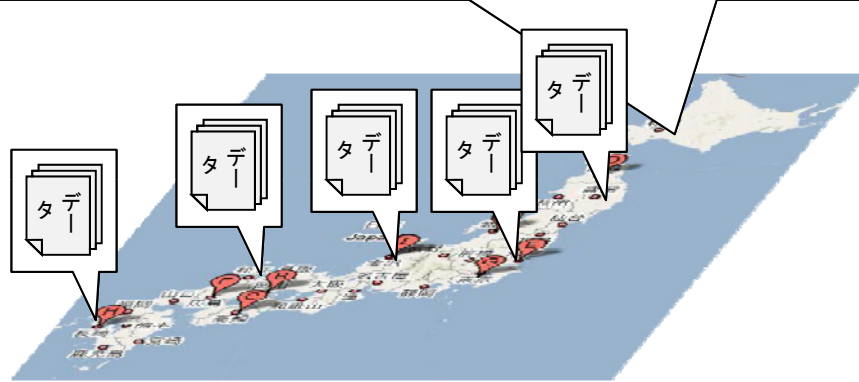
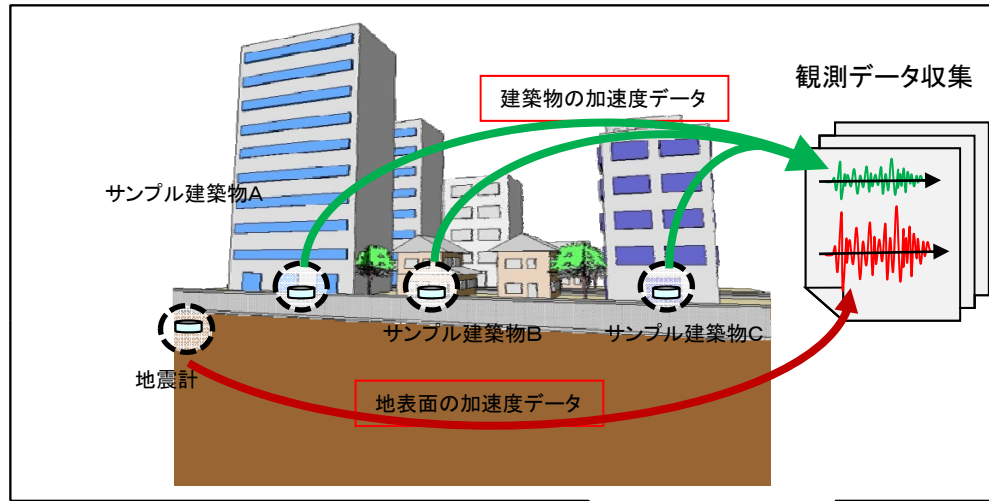
- 近年の大規模地震の観測結果や想定結果をみると、建築物に入力される地震動に置き換えた場合に建築基準法のレベルに収まるか否か疑問を持たざるを得ないレベルのものも見受けられる。



土木・建築学会「海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言」(平成18年)において、「自由地盤系・周辺地盤系・近傍地盤—基礎—上部構造系の高密度な地震観測の着実な実施が必要」と提言される等、建築物の地震観測の必要性が多くの関係識者より指摘されている。

1. 当初計画の技術研究開発について

(2) 目標と成果



産官学共同による全国的な建築物の地震観測体制の構築

建築物内外の地震観測記録を収集し、地表面の「地震動」と建築物に作用する「地震力」との関係を明らかにする

項目Ⅰ：建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法

- 中低層建築物の設計用地震力評価の合理化を図る技術指針
- 現行の耐震基準を点検、検証する方法

項目Ⅱ：地震観測結果に基づく継続的な耐震設計技術の改良方法

- 建築物の地震観測記録を耐震設計技術の改良に結び付けていくための整理分析方法

項目Ⅲ：地震観測結果に基づく地盤を含めた効率的な耐震改修技術の開発

- 地震観測記録に基づき、建築物の耐震性を、より効率的に確保していく方法

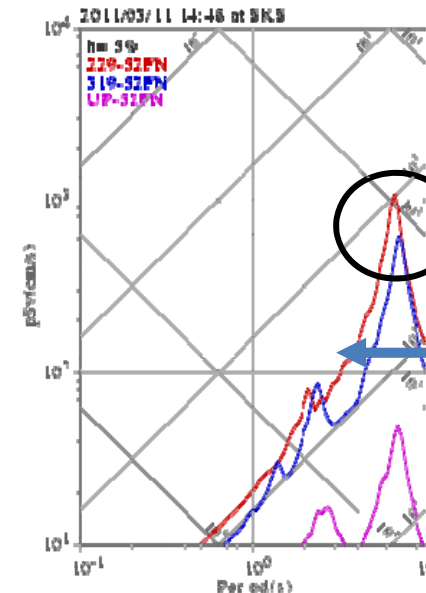
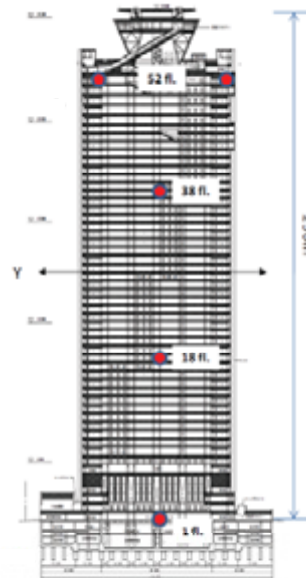
2. 平成25年度の技術研究開発の概要

(1) 背景・目標

■2011年東北地方太平洋沖地震では、**工学的基盤より深い地盤特性の影響**を受けた長周期地震動により超高層建築物に被害が発生

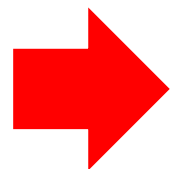
震源から770kmに立地する $h=256\text{m}$ の超高層建築物

- ・地盤の周期と建物周期が近接
- ・地震動の継続時間が長く、応答が成長



建築物の1次固有周期(約7秒)と地震動の卓越周期が一致

深部地盤特性の影響により、この周期帯で地震動が著しく増幅



超高層建築物について、**深部地盤特性の影響まで含めて**、設計用地震力の評価技術と、実測に基づく改修用地震力評価技術を検討

3. 平成25年度の技術研究開発の必要性

■ 南海トラフの巨大地震に対する対策

- ▶ 内閣府中央防災会議の平成24年3月31日付け記者発表資料「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について」によると、「長周期地震動については、引き続き検討」、「平成24年秋頃に、南海トラフの巨大地震対策の全体像とりまとめ」とされる。
- ▶ この全体像とりまとめを踏まえ、超高層建築物の具体的な安全対策に、既存のものも含め、迅速に取り組む必要がある。

本技術開発は、超高層建築物の安全対策をより効率的に行う上で必要であり、既に、東北地方太平洋沖地震、及び、その余震で観測された超高層建築物の地震記録の分析に着手しているが、深部地盤特性の影響まで含めた地震力評価手法に関する技術指針等を取りまとめるには、平成25年度末までの期間を要する。

4. 平成25年度の技術研究開発の内容(1)

(1) 深部地盤の特性を考慮に入れた超高層建築物の地震力評価手法

※ 項目 I の内容を拡充するもの

超高層の観測記録

設計による地震力

設計での超高層建築物の地震力評価

① 工学的基盤での地震動の評価

※ 深部地盤特性の影響まで含め距離減衰式で評価されることを想定(⇒P.6参照)

② 表層地盤の増幅の評価

③ 地震入力部分(建物基底)での境界条件の処理

※ 当初計画により、平成24年度まで、地震記録に基づき詳細に検討(⇒P.7参照)

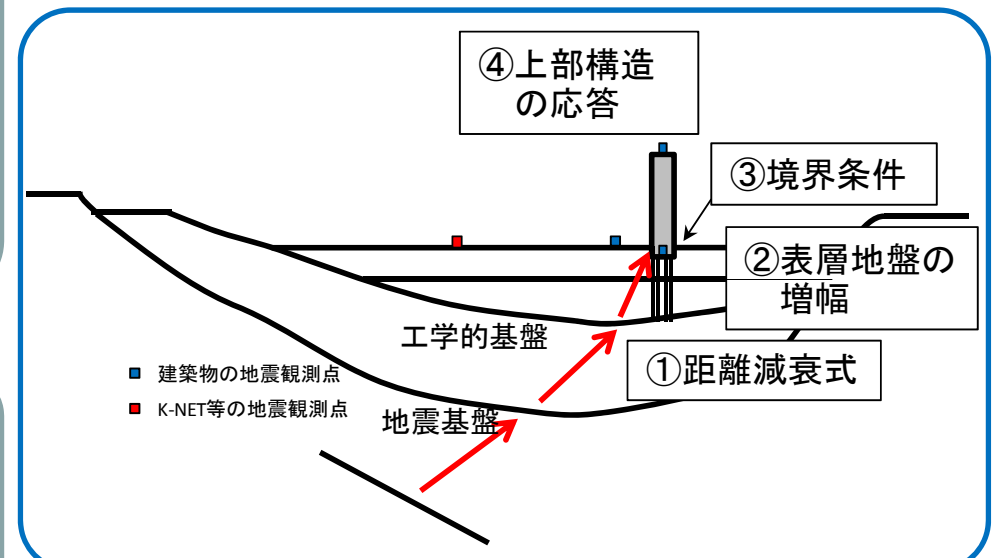
④ 地震入力に対する上部構造の応答の評価

設計による地震力に含まれる**余裕度等を地震力設定の各段階で分析し、「長周期地震動を距離減衰式で設定して設計用地震力を評価する方法の適用基準」**を取りまとめる

当初計画では深部地盤の影響まで考慮する予定ではなかったが、東北地方太平洋沖地震以降、超高層建築物の実務設計でも深部地盤の影響まで考慮することが必須の条件となりつつある。

しかし、現在、明確な基準はない。

→ 深部地盤の影響まで考慮した設計用地震力の評価方法の明確化を延長期間(H25年度)での目標とする。



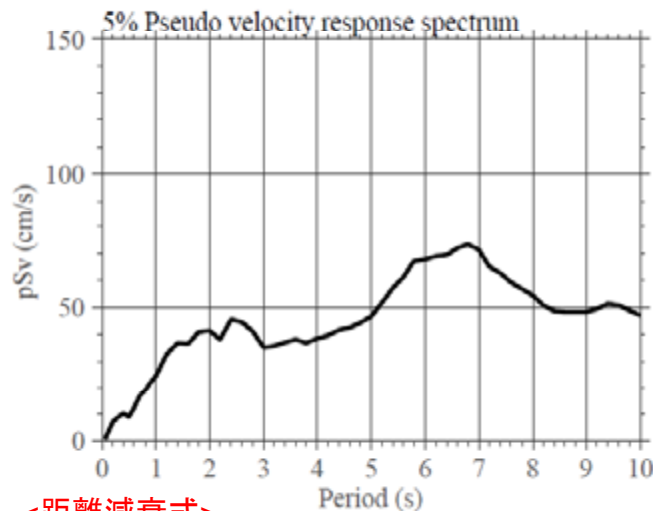
※ 東京、名古屋、大阪の超高層建築物を分析対象 5

4. 平成25年度の技術研究開発の内容(1)

(2)工学的基盤での地震動の評価 [※参考]

※ 本技術開発の直接的な研究対象ではないが、本技術開発実施のために活用する

- 国土交通省住宅局建築指導課により、「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」(平成22年12月1日)において、工学的基盤での長周期地震動の作成手法の試案として公表
- K-NET等の地震観測点での過去の地震記録の統計分析に基づく経験的手法により、長周期地震動を作成
- 東北地方太平洋沖地震等での地震記録に基づき、改良を検討中



<距離減衰式>

$$\log_{10}(Sa(T)_{\text{工学的基盤}}) = a(T) \times Mw + b(T) \times R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T) \times 10^{0.5Mw}) + c(T) + c_j(T)$$

距離減衰式に基づく地震動特性の設定の一例
(速度応答スペクトル)

回帰分析、回帰分析結果からの表層地盤の影響の除去、建設地と地震観測点が一致しない場合の面的補間等、地震動評価の一連の過程で、ばらつきが生じることが見込まれる。そのため、このばらつきが、最終的な建築物の地震力評価に与える影響程度を、実際の超高層建築物の地震観測記録との比較分析により、見極めておく必要がある。

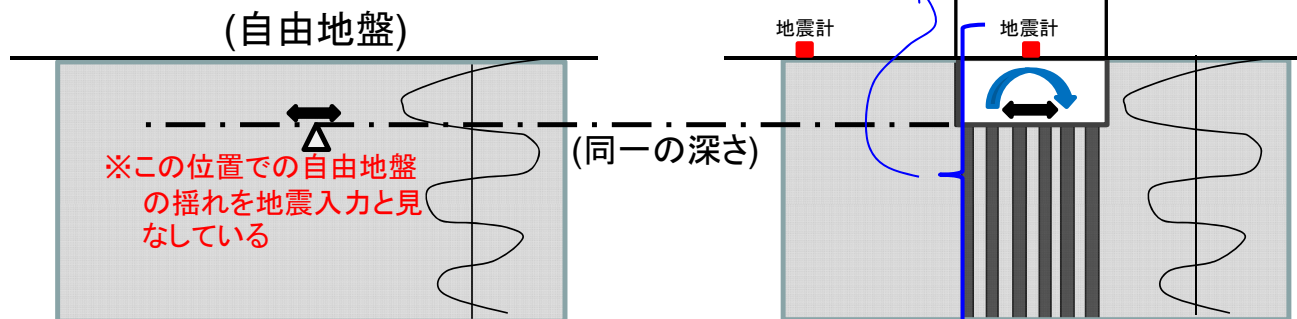
4. 平成25年度の技術研究開発の内容(1)

(3) 超高層建築物の地震力評価に関する本技術開発でのこれまでの取り組み

耐震設計の多くで採用されている仮定

実際

地下階、杭の影響
ロッキングの発生



土木・建築学会「海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言」(平成18年)に対応

提言6: 超高層建築物では、特に深い埋め込み基礎や大規模な群杭基礎を有する場合に、基礎入力動の性状が建物応答に大きな影響を受ける。したがって、地盤の非線形挙動を含めた動的特性と、相互作用を適切に考慮して建物の応答解析を行う必要がある。

建物高さ(60m以上)、及び、地震動も変えて、シミュレーションを実施

解析による記録の再現と分析を踏まえた検討の実施(平成23年度～平成24年度)

- ・実用的方法(地盤-建物分離型のSRモデル)の妥当性
- ・建築物基底深さ位置での自由地盤内の地震動を、入力地震動とすることの妥当性
- ・ロッキングの影響
- ・上部構造の地震応答(特に高次モード)に対する入力損失効果の影響の有無

地震力評価手法に関する技術指針に反映

4. 平成25年度の技術研究開発の内容(2)

既存超高層建築物の長周期地震動対策のための地震観測記録の活用

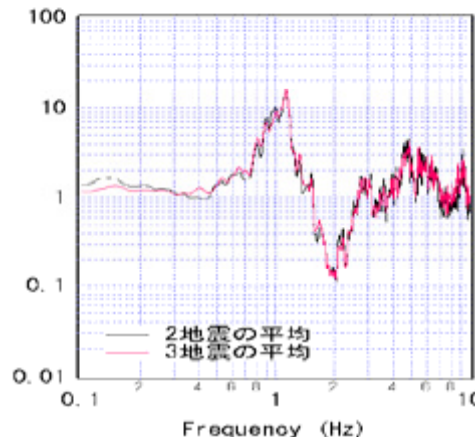
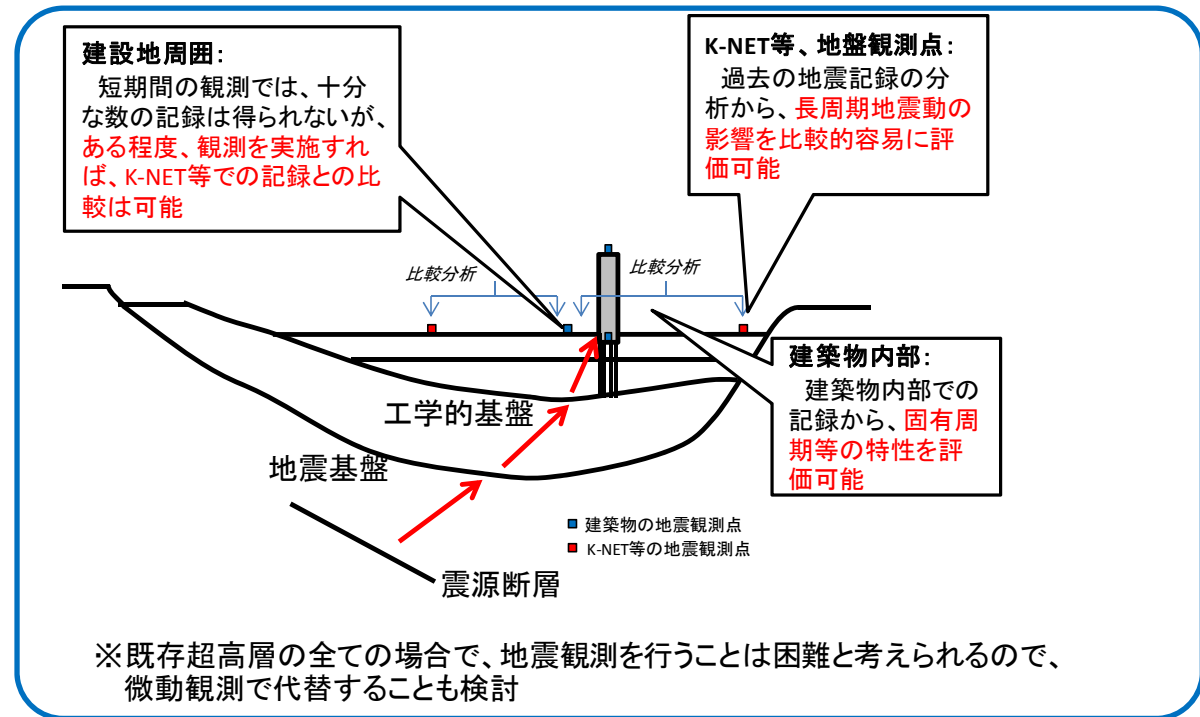
※ 項目Ⅲの内容を拡充するもの

建設地の周辺地盤とK-NET等での記録の比較分析

K-NET等では、長周期地震動の影響が評価可能であることを前提に、K-NET等との比較分析結果から、建設地での長周期地震動の影響評価を検討

建設地での地震動に対する応答特性を、建築物内外の地震記録から評価

以上を踏まえ、既存超高層建築物の効率的な耐震診断及び改修用地震力設定の方法を検討



K-NET等と建設地での地震記録の比較分析のイメージ

スペクトル比(建設地/K-NET等)により、K-NET等で明らかにされた増幅特性(深部地盤の影響含む)を建設地用に補正

5. 技術研究開発の計画(スケジュール) (項目 I)

(I) 建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法

項目名	年度				検討内容
	22	23	24	25	
a. サンプル建築物の地震観測記録に基づく地表面の地震動と建築物に入力する地震動との関係の分析					<ul style="list-style-type: none"> ・2011年東北地方太平洋沖地震の記録を含む、超高層20棟、中低層33棟の建築物内外同時観測記録の収集 ・フーリエスペクトル比(内/外)の算出とその定式化等の検討 ・超高層建築物について、地震入力に対する深部地盤特性の影響分析
b. 建築物へ入力する地震動から荷重効果としての地震力を予測する技術の開発					<ul style="list-style-type: none"> ・地震観測記録に基づき、建築物上部構造における剛体的挙動、ロッキングの影響等を分析 ・超高層建築物について、地震応答に対する深部地盤特性の影響分析
c. 建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法の開発					<ul style="list-style-type: none"> ・中低層建築物について設計用地震力評価の合理化を図るための技術指針及び現行耐震基準を点検する方法を取りまとめ ・超高層建築物について、距離減衰式に基づく設計用地震力評価方法の適用基準を取りまとめ

地震動

総プロ

設計用地震力の評価

(平成24年度)

地表面上のサイト波の提示

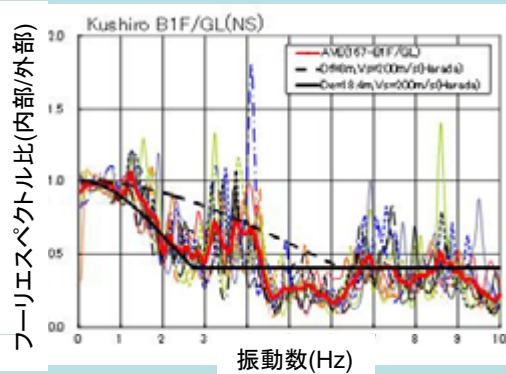
工学的基盤でのサイト波の提示

フーリエスペクトル比
(建物基底/GL)

入力低減を加味した入力地震動

※地盤と建築物(基礎構造)のモデルが必要

・最大加速度
・応答スペクトル



観測記録と簡易評価法の比較照合の一例

SRモデルへの入力

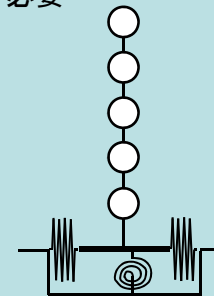
※地盤と建築物のモデルが必要

・建築物の設計用地震力を照査

※耐力、靱性の評価、過去の地震被害報告等も視野に入れる

地震観測記録の収集、分析とモデルへの反映

総プロ後も地震観測を継続的に実施



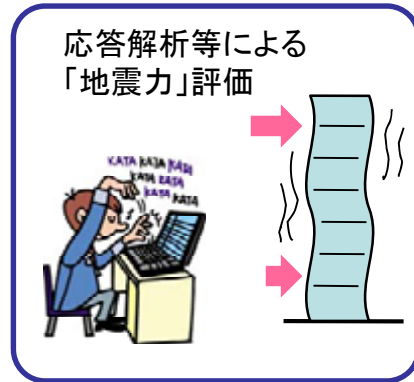
課題：すべり、剥離 etc.

5. 技術研究開発の計画(スケジュール) (項目II)

(II) 建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法

項目名	年度				検討内容
	22	23	24	25	
a. サンプル建築物の地震入力及び応答データを蓄積していくシステムの構築	—————				<ul style="list-style-type: none"> ・継続的に、地震観測を実施すべき、建築物を選定し、地震観測を実施 ・UR、大学等と地震記録を共有する体制を構築
b. 蓄積されたデータの検証結果を建築物の耐震設計技術へ継続的に反映し改良していく方法の開発			—————		<ul style="list-style-type: none"> ・項目①で取りまとめられる技術指針において、地震観測により、継続的にブラッシュアップしていくべき事項(非線形性の極めて大きな領域での地震力評価等)を抽出 ・抽出事項に対応した地震観測記録の整理、分析方針を取りまとめ ・超高層建築物について、深部地盤の影響評価を、今後より精度良く行う上で明らかにすべき事項をし抽出し、これに対応した地震観測記録の整理、分析方針を取りまとめ

(理論的、解析的検討)



(地震観測による実証的検討)



※過去の研究参照

理論的、解析的検討による相互作用効果の評価手法の検討

地震観測に基づく実証的検証(これまで想定していなかった未知の現象の発見もあり得る)

※総プロ期間内に実証しきれない部分

実現象では、各種ばらつき要因や未知の要素が考えられるため、安全率を高め設定せざるを得ない(特に非線形部分)

※総プロで課題を明確化

(平成25年度は、超高層に限定して検討)

継続的な地震観測体制のあり方と、観測における課題の検討

総プロ終了後

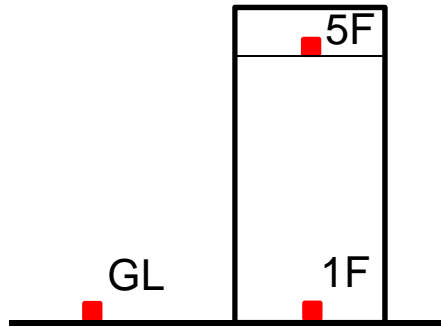
※総プロ終了後も地震観測は実施

評価手法の信頼性向上、安全率の低減

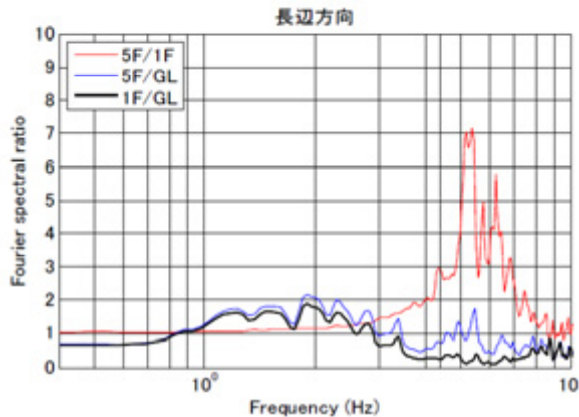
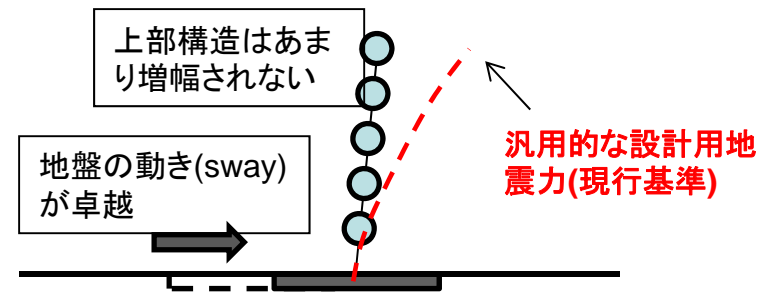
5. 技術研究開発の計画(スケジュール) (項目III)

(Ⅲ) 地震観測記録に基づく地盤を含めた効率的な改修技術の開発

項目名	年度				検討内容
	22	23	24	25	
a.実測による既存建築物の地盤を含めた効率的な耐震診断技術の構築					<ul style="list-style-type: none"> ・旧耐震による板状建築物等を選定し、実測に基づき、既存建築物の地震時特性を評価する方法を検討、提示 ・既存の超高層建築物をサンプルに、深部地盤特性の影響まで考慮した場合の方法を検討、提示
b.実測による既存建築物の耐震改修用地震外力設定手法の構築					<ul style="list-style-type: none"> ・ケーススタディを通し、建築物の耐震改修用地震外力分布等を、個々の建築物の特性に応じて、より実況に即した形で、検討、提示 ・既存の超高層建築物について、同様の検討を実施
c.実測による既存建築物の地盤を含めた効率的な耐震改修技術の構築					<ul style="list-style-type: none"> ・既存中低層建築物について実況に即した耐震改修用地震力設定等に基づき、より効率的な耐震改修を行える方法を取りまとめ ・既存超高層建築物について、同様の検討を実施



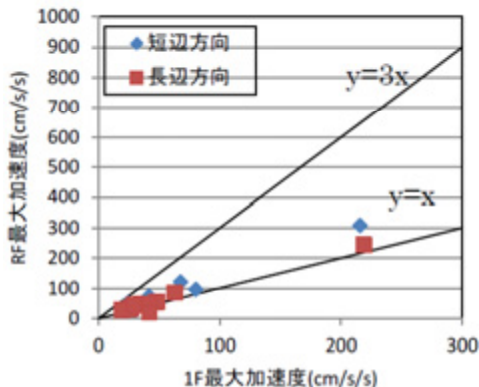
※記録の分析結果から、地震力評価に関するどのような情報を引き出せるか？



(イ) 青線と黒線が、ほとんど一致している(フーリエスペクトル比)
 (ロ) 1Fと5Fの最大加速度も、ほとんど一致している(1Fと5Fでの最大値比較)

(イ)(ロ)より、表面の動きと、建物頂部の動きがほぼ一致しており、上部構造の挙動において、剛体挙動が卓越していることが明らかに

東北地方太平洋沖地震での記録の分析
 (フーリエスペクトル比)



1Fと5Fでの最大値比較

(平成24年度の取り組み)

- ・地盤条件の異なる場合の検討
- ・本建築物に類似した建築物の設計用地震動として、剛体挙動卓越型の耐震改修用地震力分布を検討(個別の特性を反映)

※以上のようなケーススタディを実施

地震観測を実施することで、耐震改修用の地震力分布等を合理的に設定する方法を取りまとめ

6. 技術研究開発の体制

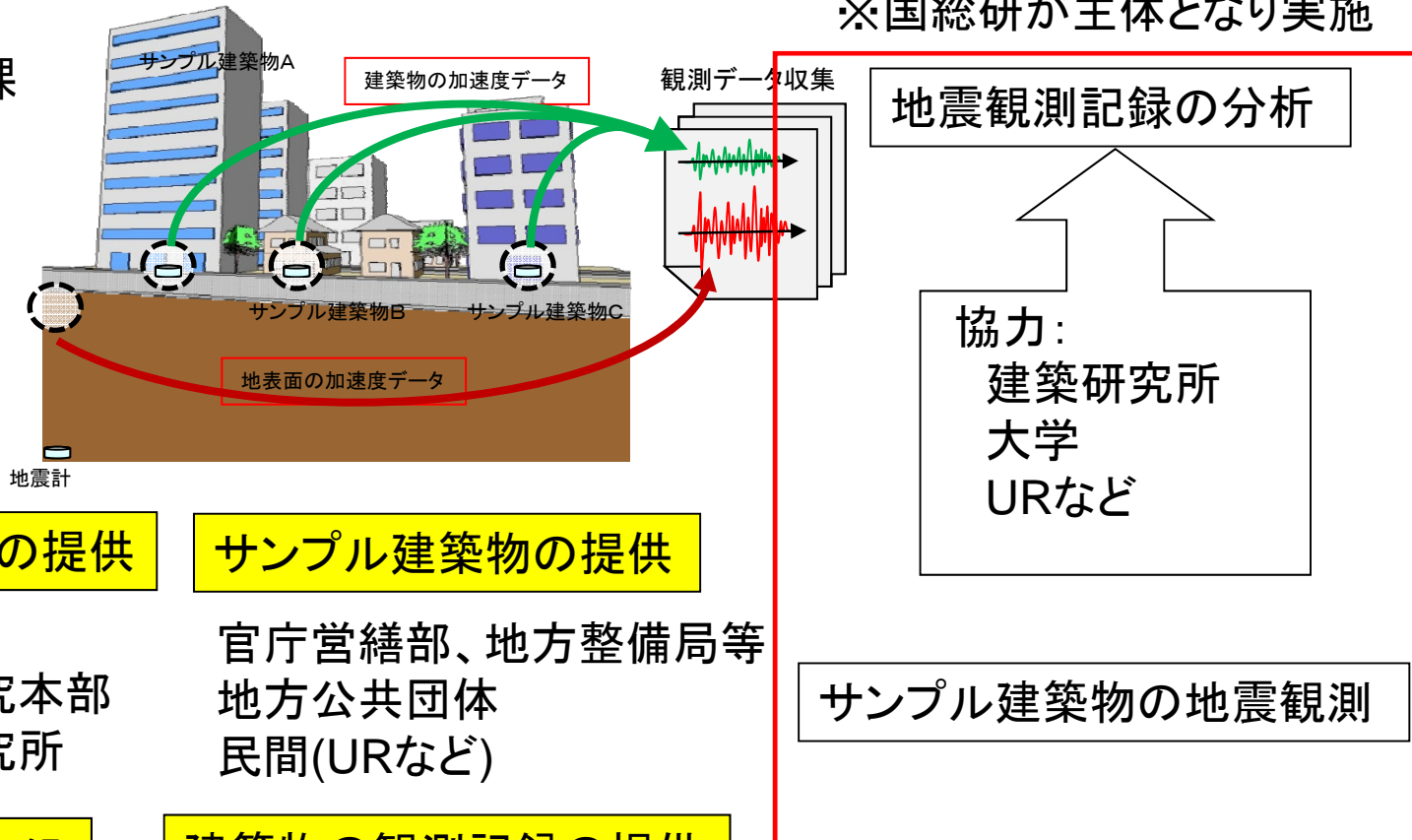
建築物の防災対策関係者

官庁営繕部
住宅局建築指導課
(社)日本建築構造
技術者協会

※成果が確実に建
築防災対策に反映
されるようにする

※これまでの検討体制のまま、技術研究開発に取り組む

※国総研が主体となり実施



地震動・防災情報の提供

中央防災会議
地震調査推進研究本部
防災科学技術研究所

サンプル建築物の提供

官庁営繕部、地方整備局等
地方公共団体
民間(URなど)

地表面上の観測記録の提供

防災科学技術研究所
気象庁

建築物の観測記録の提供

建築研究所
大学
民間(URなど)

7. 技術研究開発の成果とその活用方針

