

追跡調査

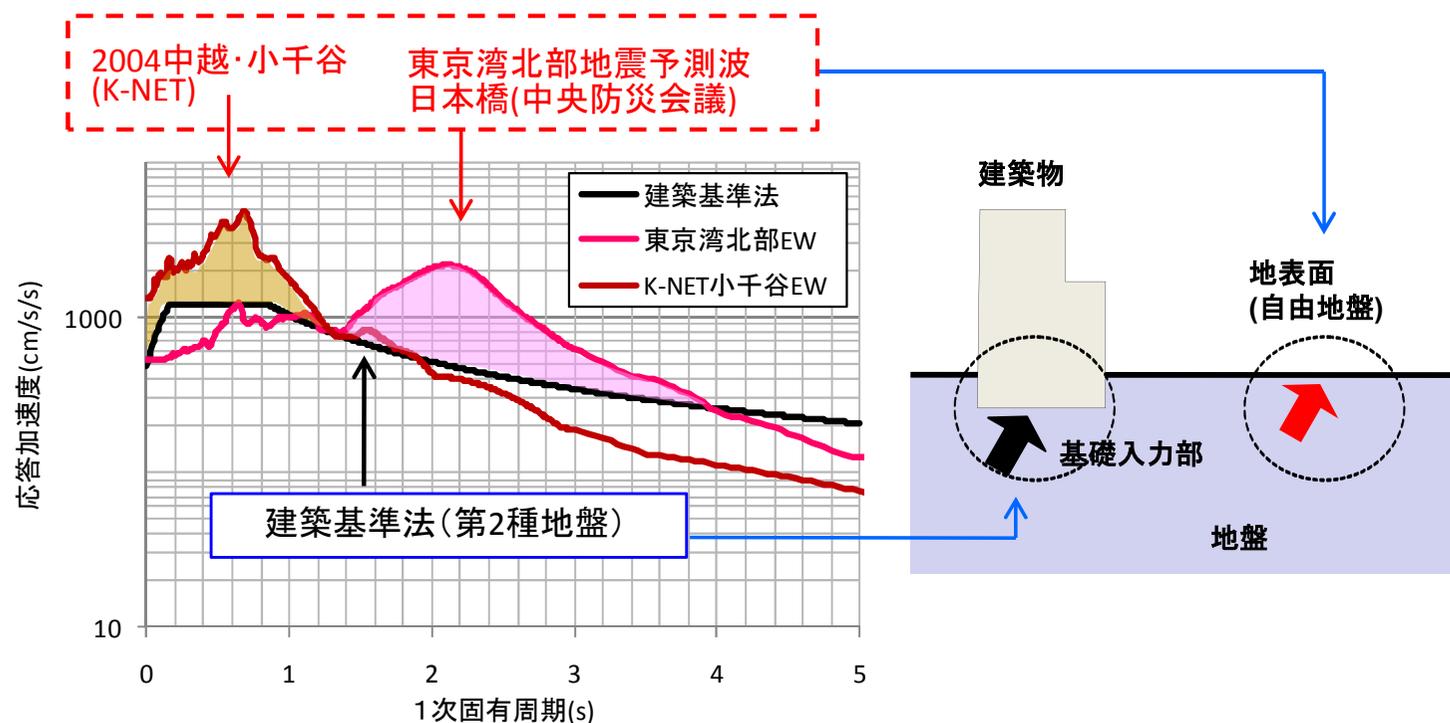
地震動情報の高度化に対応した 建築物の耐震性能評価技術の開発

国土技術政策総合研究所
建築研究部

平成22年度～平成25年度

1. 背景・目的

- 【背景】近年の大規模地震の観測結果や想定結果をみると、現在の耐震設計で想定する設計用地震力のレベルを上回るものも見受けられる。



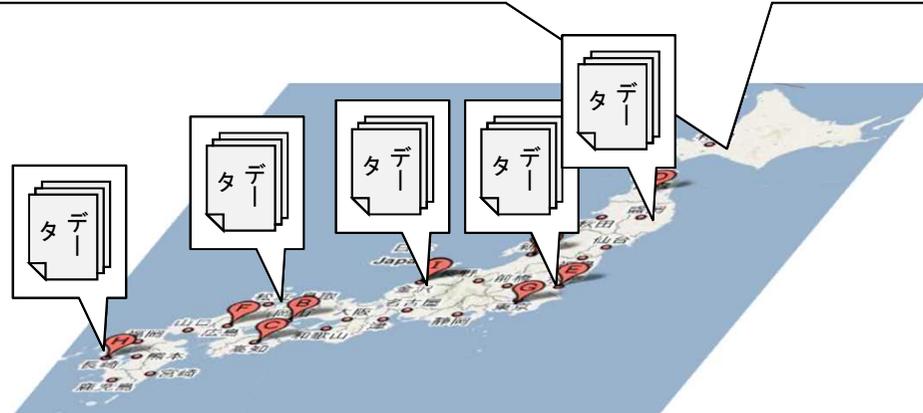
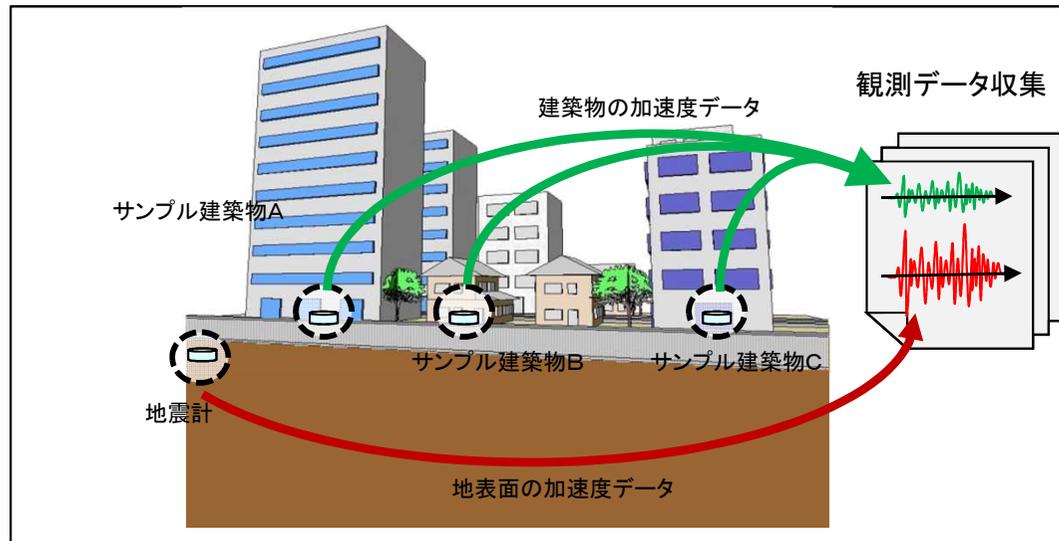
※ただし、それぞれ地震動を想定する位置が異なり、直接比較するためには、注意が必要。

※実際に、同じ地震について双方の地震動を観測した場合、建物側(基礎入力部)では、かなり低減される場合が多い

※したがって、地表面の「地震動」と建築物に実際に作用する「地震力」との関係を明らかにすることが重要

- 【目的】(1)建築物+地盤の地震観測体制を構築する等により、将来の地震学の進展等にも対応し得る継続的な耐震設計技術の改良方法を開発する。
- 地震観測記録を収集、解析することにより、(2)建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法や、(3)効率的な耐震改修技術の開発を行う。

2. 技術開発のイメージ



(c)2014 Google -地図データ (c)2014 ZENRIN
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」との関係性を明らかにする

研究期間内で、様々なレベル・条件の強震記録が得られるわけではないので、当初より、**プロジェクト終了後も強震観測を継続する計画。**

プロジェクトでは、耐震設計技術の改良方法を提示し、強震観測を継続し蓄積されたデータに適用することで、建築物と地盤の特性の双方を**非線形領域まで考慮した地震力評価手法**を得る。

得られた地震力評価手法は今後予想される巨大地震に建築物の性能をより明確に評価できるように、**1)時刻歴応答解析と2)限界耐力計算**に使用。

3. 研究成果：地震観測体制の確立・拡充

- ・国総研、建研、UR都市機構の3機関を主体
- ・官庁営繕部、教育機関、民間等に協力依頼

総プロ前：建築研究所によるもの



(c)2014 Google -地図データ (c)2014 ZENRIN

総プロ等により、国総研が主体となって追加して設置したもの(28箇所)



(c)2014 Google -地図データ (c)2014 ZENRIN



➡ 低層～超高層の幅広い範囲で、建築物の地震入力と応答に関する実証データの確保

■ : 国総研設置
■ : 建研・UR(既設)

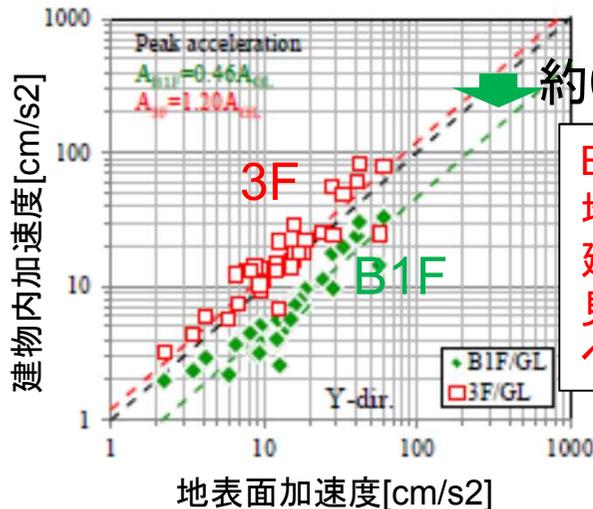
3. 研究成果:地震記録の整理・分類

・国総研、建研、URの3機関にて、統一
的な整理フォーマットを取り決め

主な整理項目

- ・建物, 地盤情報
- ・観測条件, 地震情報
- ・最大加速度, 最大速度, 震度 (建物内外で比較)
- ・建物固有周期の経年変化
- ・フーリエスペクトル比(→)

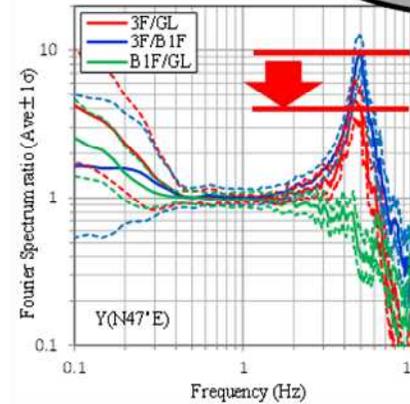
緑: 最下階/地盤 (建物内外での差異)
青: 最上階/最下階 (建物単体での特性)
赤: 最上階/地盤 (全体としての挙動)



B1Fの最大加速度は
地盤(GL)の約0.5倍
建物応答への影響を
見るため、フーリエ
スペクトル比等を整理

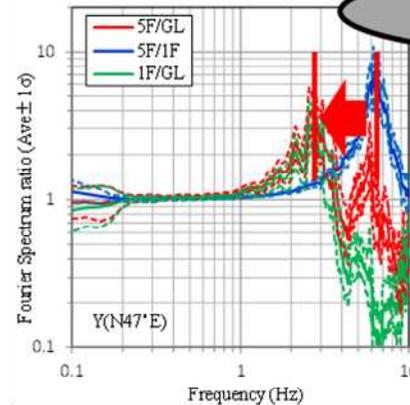
GLの最大加速度と建物内の最大加速度の比較(建物A)

建物A(3F+B1F, 直接基礎)



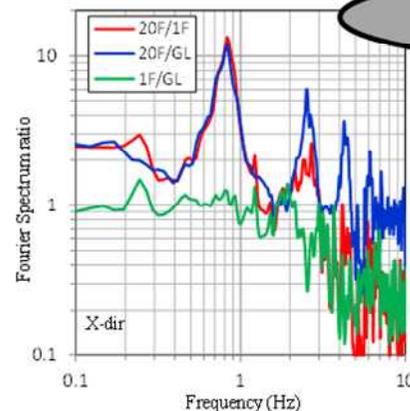
○根入れの効果
根入れ(地下階の存在)による
入力低減により、基礎固定(青線)に
比べ相互作用を含む全体系(赤線)の
ピークが低下
(ピーク高さ ■ > ■)

建物B(5F, 杭基礎)



○軟弱地盤の効果
周囲の地盤が軟らかいため、相互作用
を含む全体系(赤線)の固有周期が
伸び、ピークの位置が左にずれている
(ピーク位置 ■ < ■)

建物C(20F, 杭基礎)



○高層建物の効果
高層建物のため、相互作用の影響は
小さく、青線と赤線がおおむね一致
(ピーク位置及び高さ ■ ≐ ■)

➡ 建築物・地盤条件に応じた地震入力・応答のパターンを技術情報(プロ研報告等)として公開 (→プロ研報告等のダウンロード回数約9000回)

3. 研究成果: 中低層建築物の地盤-構造物の相互作用効果の影響分析手法

手法の概要

入力損失効果を含めた同定手法

①スウェイロッキングモデル(SR Model)を用いる。強震観測記録にあような地盤ばねを同定する。

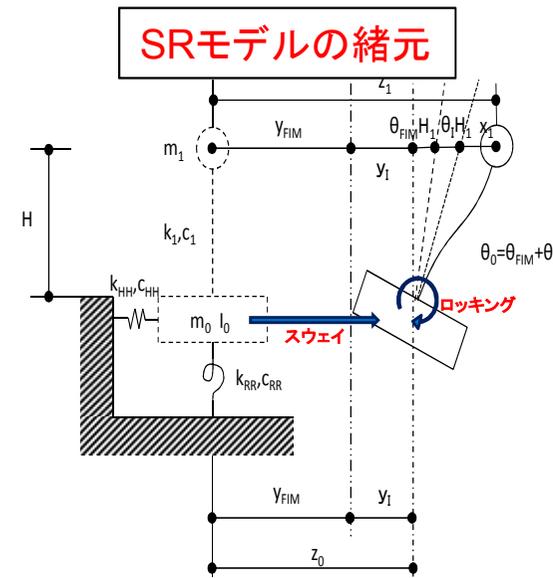


同定結果に基づく応答の評価手法

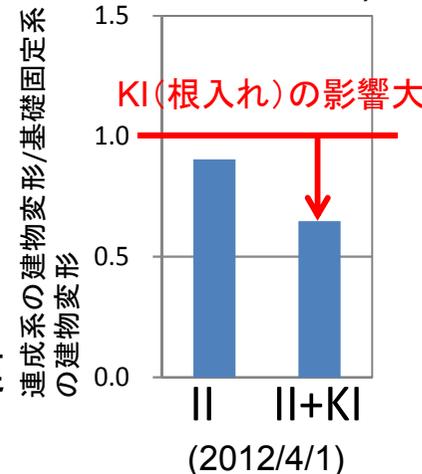
②①で求めた地盤ばねを含めた相互作用を受ける連成系(SR model)の地震応答を求め、基礎固定の場合と比較

➡設計用地震力の合理的な設定のために、事例を蓄積(基礎形式・地盤条件・建物特性)

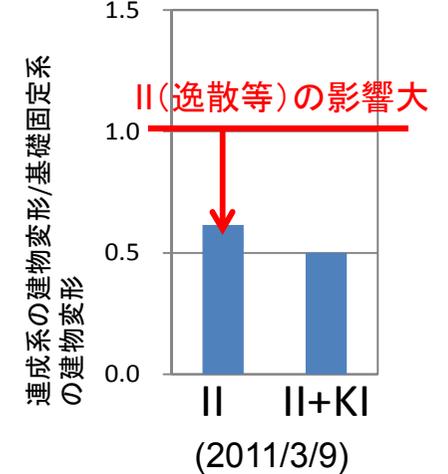
※設計に用いるためには、地盤調査結果を地盤ばねに換算するための検討が必要



建物A (3F+B1F, 直接基礎)



建物B (5F, 杭基礎)



低層建物での評価事例

(II: 逸散等による低減、KI: 根入れによる低減)

4. 成果の活用状況:地震観測体制の確立・拡充

総プロ時に設定したフォーマットにより、記録分析結果を継続的に蓄積。
総プロ終了後、計測震度1以上の記録を1000個以上取得。
構造基準研究室のWebページで主要な地震について、観測レポートを随時公開。
熊本地震において延岡・宮崎等の記録を取得。建物内と地盤の記録として貴重。
南海トラフ地震や首都直下地震を意識した強震計配置であり、今後も観測を継続する予定。

強震観測レポート

比較的大きな加速度記録が得られた地震について、強震記録の一覧をまとめています。

[2016年11月22日 福島県沖の地震 \(M=7.4, h=25 km\)](#)

[2016年10月21日 鳥取県中部の地震 \(M=6.6, h=11 km\)](#)

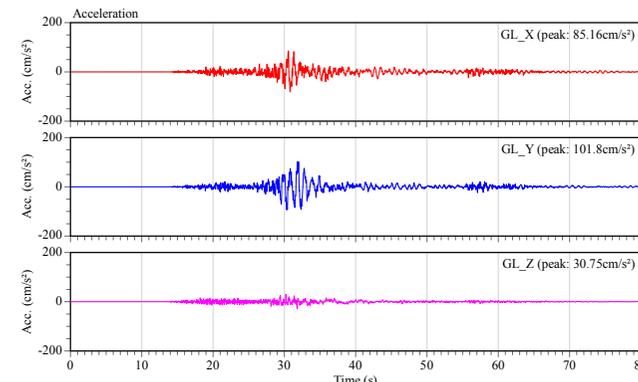
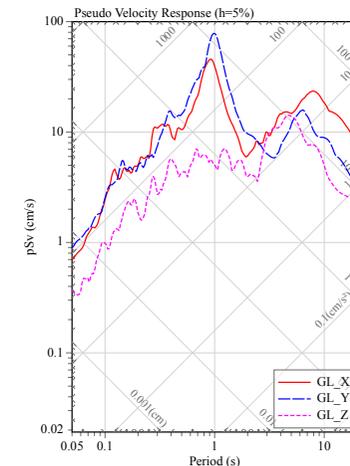
[2016年04月16日 熊本地震 \(M=7.3, h=12 km\)](#)

[2016年04月14日 熊本地震 \(M=6.5, h=11 km\)](#)

[2016年01月14日 浦河沖 \(M=6.7, h=52 km\)](#)

[2015年05月30日 小笠原諸島西方沖 \(M=8.1, h=682 km\)](#)

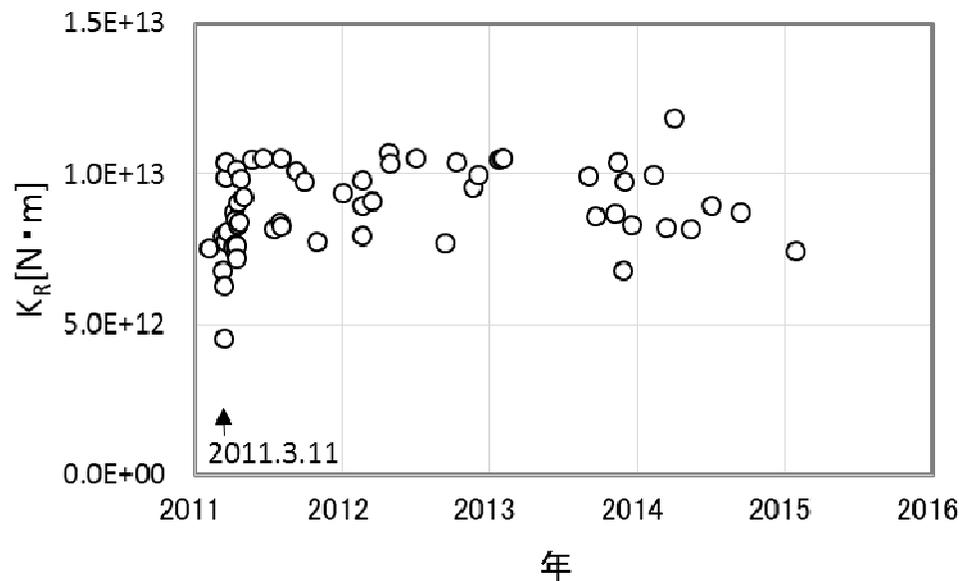
構造基準研究室のWebページにおける観測レポート一覧の例



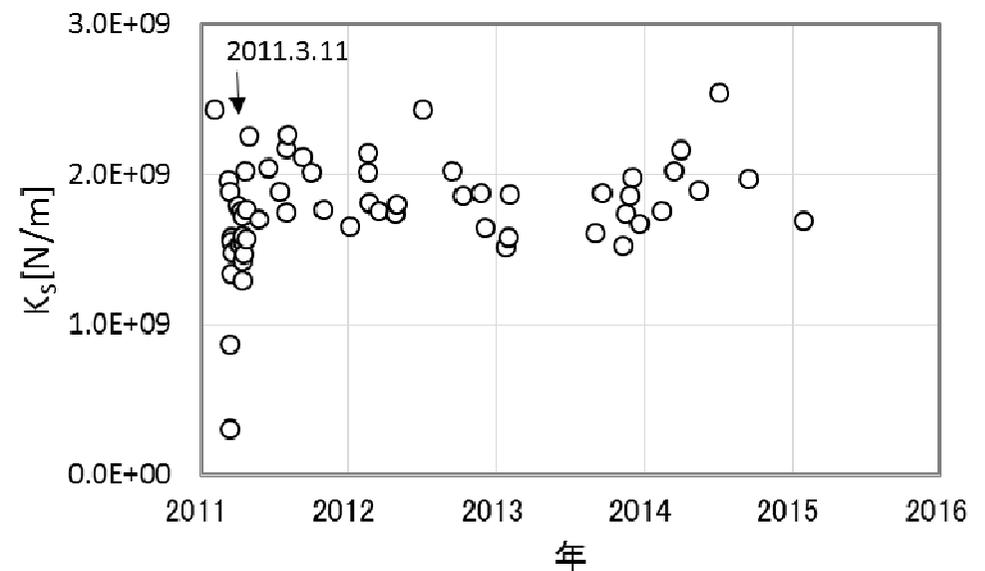
熊本地震における延岡の記録

4. 成果の活用状況：地震記録の整理・分類

国総研事項立て課題「巨大地震に対する中低層建築物の地震被害軽減技術に関する研究」(H26-28)において、総プロのデータが活用され、総プロ時とは別の視点で分析した。国総研が提案したスウェイ・ロッキングばねの同定方法を適用し、東北地方太平洋沖地震時に液状化した地盤に立地する建物の強震記録から特性の変化を同定。液状化した本震では、ロッキングの剛性が急激に低下。その後、ロッキングとスウェイの剛性は回復している。地盤特性に加え、建物の経年変化の影響評価を把握するなど様々な分析に、蓄積された強震記録を活用。



ロッキング剛性の変化(建物B)



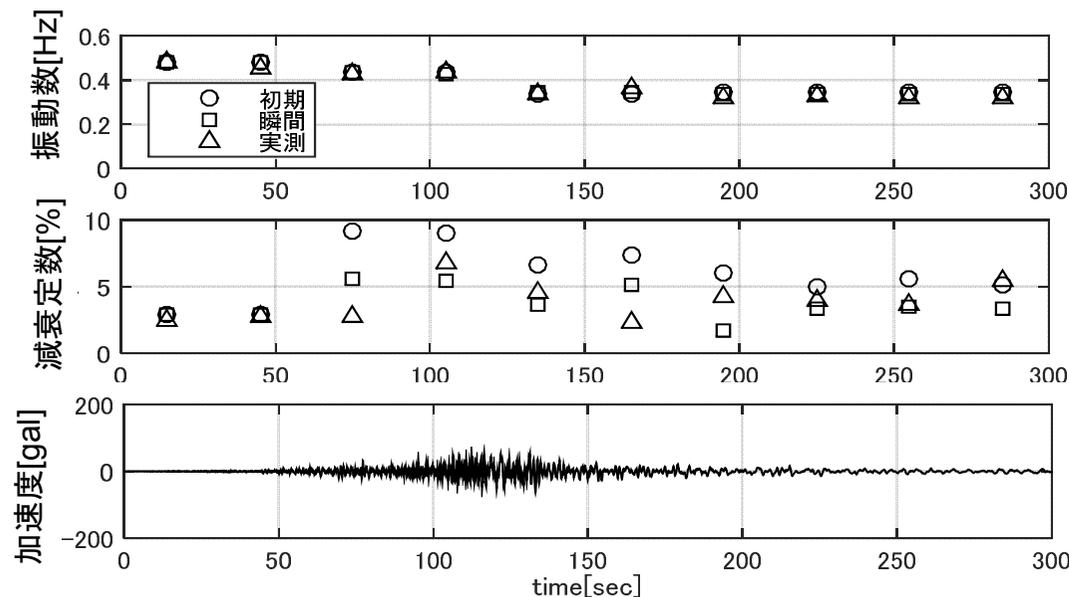
スウェイ剛性の変化(建物B)

4. 成果の活用状況：超高層建築物の地震応答に対する長周期地震動の影響分析

南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策の策定に際して、**総プロの観測データ・詳細建物モデルが活用**された。東北地方太平洋沖地震の際に得られた観測記録を用いて、対象の超高層建物や免震建物の実測記録と応答波形の比較を行い、さらに提案された長周期地震動の応答解析を実施し、繰り返しによる梁端損傷度や免震部材等への影響を評価した。

相模トラフの長周期地震動作成において、総プロで検討した超高層建物の詳細モデルを活用し、応答の検証等を行う方針。

また、RC超高層建物の強震記録を用いて、傾向を分析した結果、RC超高層の減衰定数は**瞬間剛性比例型に近いことを実証**。



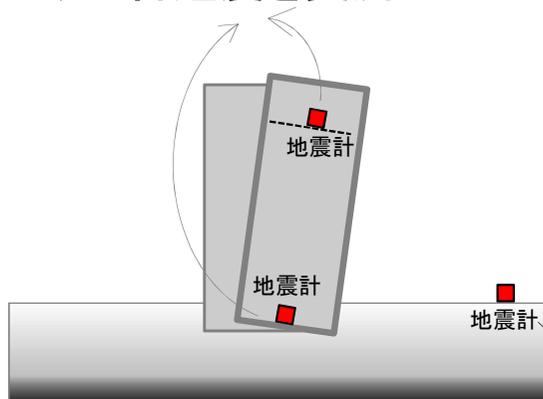
実測結果(△)は瞬間剛性比例型(□)に近い性状

実測波と解析波(初期剛性比例型と瞬間剛性比例型)の同定結果比較

4. 成果の活用状況：中低層建築物の地盤-構造物の相互作用効果の影響分析手法

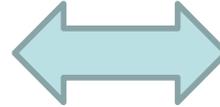
プロジェクト終了後、**継続的な観測により複数の建物・多数の地震記録**に対し、**応答低減**について検証した。

建築物内の地震計により応答速度を実測



構造基準研究室のウェブページ等を通じた情報提供

比較



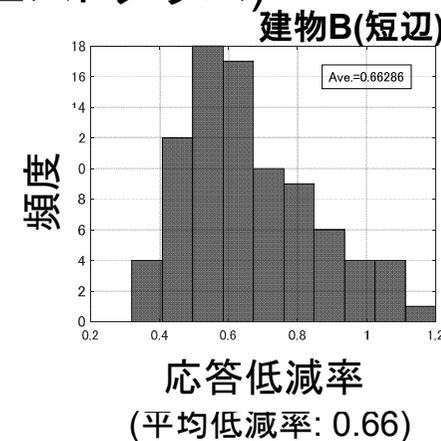
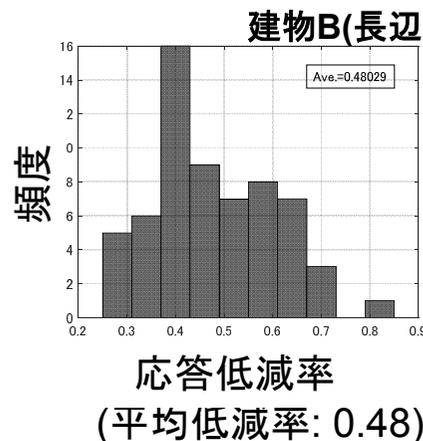
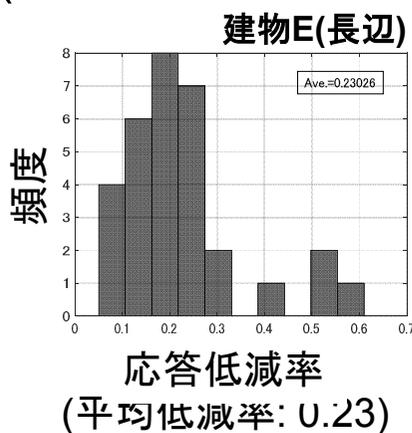
応答低減率：
観測結果/基礎固定の解析結果



観測建物17棟について2014年以降の記録を用いて検証

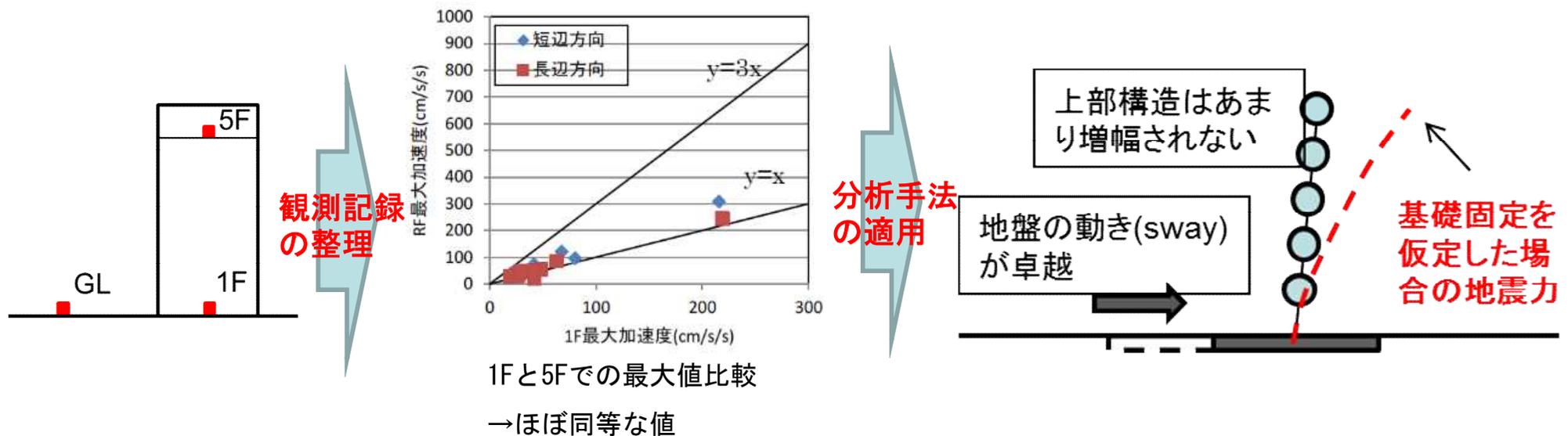
基礎固定とした場合の応答速度を計算

検証例 (複数の観測記録から求めた応答低減率のヒストグラム)



4. 成果の活用状況：地震観測結果に基づく 効率的な耐震改修技術

継続的な強震観測により、**建物の基礎の固定度の影響**などをより精緻に評価できるので、それを踏まえた合理的な耐震改修に適用可能である。
 地震観測結果に基づき、実在の集合住宅の地震力評価を行った。
 地震力の低減率は、建物や地震ごとにばらつくため、今後これらのばらつきも含めた評価方法の検討を行う。



実在の集合住宅の地震力評価例

5. 事後評価における主な意見と対応状況

事後評価時の意見	対応状況
<p>① 今後、研究成果を広く普及していく上で、利用者が十分に理解し活用できるように、具体的な条件や仮定などを含めて、成果の示し方や公表について工夫が必要である。</p>	<p>・事後評価後に公表した国総研資料においては、建物の条件別に結果をまとめ、条件や仮定による結果への影響がより分かるように工夫して示した。</p>
<p>② 今後、地震動の規模に応じた性状を細かく把握するとともに、ある程度強い地震に対しての性状についても把握できるよう、研究を継続する必要がある。</p>	<p>・プロジェクト終了後も、観測を継続することで様々な加速度レベルの記録が得られ、それらの整理も行った。 強震観測網は南海トラフ地震や首都直下地震を意識して配置されており、今後観測を継続することで強い地震に対しての非線形性状についても把握することが見込まれる。</p>

6. 技術研究開発の成果とその活用一覧

研究の成果目標		研究成果	研究成果の活用状況
(1)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	①地震観測体制の確立・拡充	・低層～超高層の幅広い範囲での、建築物の地震入力と応答に関する実証データの確保	構造基準研究室のWebページで、 観測レポート を随時公開している。 プロジェクト終了後に得られた観測データにより、 分析を継続 。
	②地震記録の整理・分類	・建築物・地盤条件に応じた地震入力・応答のパターンを技術情報として公開	
(2)建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法	③超高層建築物の地震応答に対する長周期地震動の影響分析	・基礎形式に応じた超高層建築物の地震力設定に係る技術情報の提示 ・長周期地震動対策に係る施策の検証への活用	南海トラフの 長周期地震動の作成に際して 、総プロの観測データが活用された。 中低層建築物の地盤-構造物の 相互作用効果の影響分析手法 については、さらなるデータ蓄積により、 手法の適用の実績を増した 。
	④中低層建築物の地盤-構造物の相互作用効果の影響分析手法	・耐震規定(基礎固定)の検証 ・設計用地震力の合理的な設定	
	⑤限界耐力計算の相互作用係数の改良	・根入れによる入力低減の効果の、より適切な地震力設定への反映	
(3)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	⑥地盤-構造物の影響分析手法の適用性検証	・地震観測に基づく耐震改修用地震力の合理的な設定	地震観測結果に基づき、実在の集合住宅の地震力評価を行った。今後、観測データを活用した 耐震改修の合理化技術 として提案し活用予定。

追跡調査結果

研究開発課題名	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
研究開発の概要	<p>建築物の耐震性能評価技術の確立に必要なとなる建築物内外での地震観測体制を構築するとともに、収集・蓄積された地震観測記録を分析することにより、従来の設計では考慮されていなかった「地盤の揺れ」と「建築物の揺れ」との関係性を明らかにし、建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法及び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について研究開発を行う。</p> <p>【研究期間：平成22～25年度 研究費総額：約235百万円】</p>
研究開発の目的 (アウトプット指標、アウトカム指標)	<p>本技術開発は、「地盤の揺れ」と「建築物の揺れ」との関係性を明らかにして、海溝型巨大地震等に対し、建築物に必要な十分な耐震設計や耐震補強を行うための建築物の耐震性能評価技術を開発するとともに、地震観測網の構築と観測記録の分析手法の確立により継続的な耐震性能評価技術の改良方法を示すことを目的とする。</p>
波及効果や副次的効果等	<p>【波及効果や副次的効果等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本技術開発において設定したフォーマットにより、記録分析結果を継続的に蓄積。研究期間終了後、計測震度1以上の記録を1000個以上取得し、国土技術政策総合研究所構造基準研究室のWebページにおいて、主要な地震についての観測レポートを随時公開している。 ・地盤特性や建物の経年変化など様々な分析に、蓄積された強震記録を活用している。 ・南海トラフの長周期地震動の作成に際して、本技術開発の観測データが活用された。また、相模トラフの長周期地震動作成においても、本技術開発で検討した超高層建物の詳細モデルを活用し、応答の検証等を行う方針である。 ・RC超高層建物の強震記録を用いて、傾向を分析した結果、RC超高層の減衰定数は瞬間剛性比例型に近いことを実証した。 ・中低層建築物の地盤-構造物の相互作用効果の影響分析手法については、さらなるデータ蓄積により、手法の適用の実績が増加した。 ・地震観測結果に基づき、実在の集合住宅の地震力評価を行い、今後は、観測データを活用した耐震改修の合理化技術として提案し、活用していく予定である。
外部評価の結果	<p>本研究開発において、確立・拡充した地震観測体制により、貴重なデータを継続的に蓄積し、新たな知見を生み出していることで、防災対策に多大な貢献をしている。今後、得られた知見を基に更なる活用促進に向けた方策等の検討が進められることに期待する。</p> <p><外部評価委員会委員一覧> (平成30年2月5日、建設技術研究開発評価委員会)</p> <p>委員長 道奥 康治 (法政大学 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 教授)</p> <p>副委員長 野城 智也 (東京大学 生産技術研究所 教授)</p> <p>委員 加藤 信介 (東京大学 生産技術研究所 第5部 教授)</p> <p>〃 清水 英範 (東京大学 大学院 工学系研究科 教授)</p> <p>〃 田中 哮義 (京都大学 名誉教授)</p> <p>〃 二羽 淳一郎 (東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授)</p> <p>〃 平田 京子 (日本女子大学 家政学部 住居学科 教授)</p> <p>〃 本橋 健司 (芝浦工業大学 工学部 建築工学科 教授)</p> <p>〃 安田 進 (東京電機大学 理工学部 建築/都市環境学系 教授)</p> <p>〃 山口 栄輝 (九州工業大学 大学院 工学研究院 建設社会工学研究系 教授)</p>

新規課題に向けた改善等	地震観測記録の収集等では、他省庁で行っている取組もあるため、連携して実施していくことが望ましい。
-------------	--