

長周期地震動と建物応答

構造研究グループ
大川 出

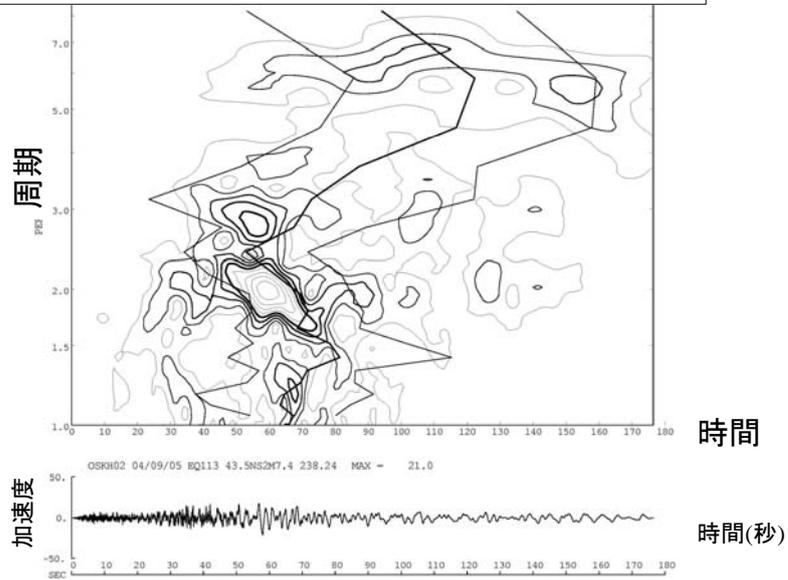
長周期地震動と建物応答

ここでは、周期2秒程度以上の繰り返しの多い地震動を指す。(内陸直下地震でよく見られるパルス的なものを除く)

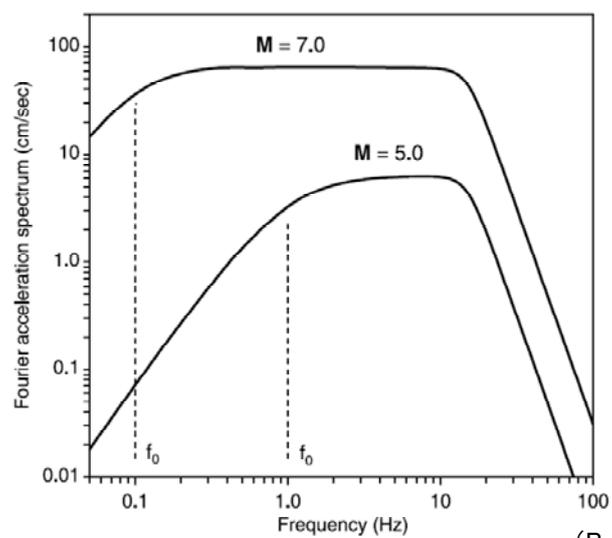
発表内容

- 超高層等における設計用地震動の現状と問題点
- 東日本大震災における長周期地震動
- 地域別(被災地、首都圏や大都市圏)に見た長周期地震動の特徴
- 建築物の地震応答事例
- 長周期地震動の予測手法
- 今後への課題

2004年9月紀伊半島沖地震における大阪此花観測点
記録の周期特性の時間変化



マグニチュードとスペクトル特性の概略的關係



(Boore, 2003)

耐震解析における設計用地震動

超高層、免震建築物における時刻歴を用いた応答解析

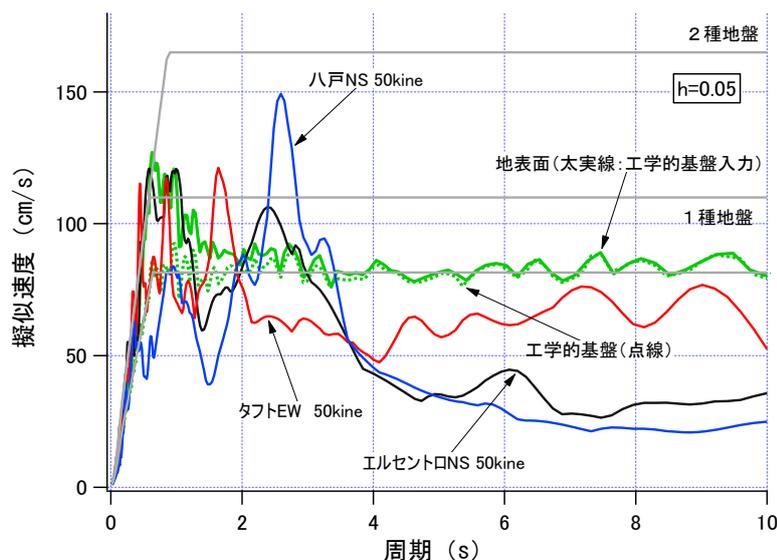
- ・観測波形の利用(適切な観測記録が不足)と速度振幅によるスケージング(25, 50cm/s)
- ・長周期で振幅レベルを確保した2000年告示スペクトル継続時間(60秒以上)
- ・**サイト波**の作成(妥当性の評価方法が課題)内陸直下地震記録は増加、長周期地震動サイト波が検討課題
- ・層間変形角、塑性率など建物応答の制限

→サイトと震源に応じて長周期地震動時刻歴を評価・作成する手法の開発と提案(後述)

→「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」への適用とパブリックコメントの実施

→東北地方太平洋沖地震の発生

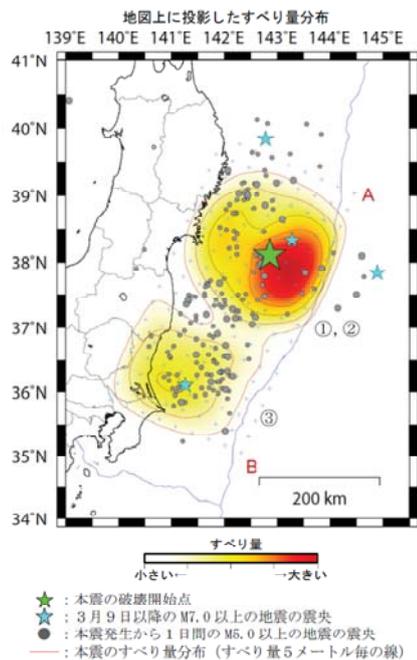
設計用地震動スペクトル

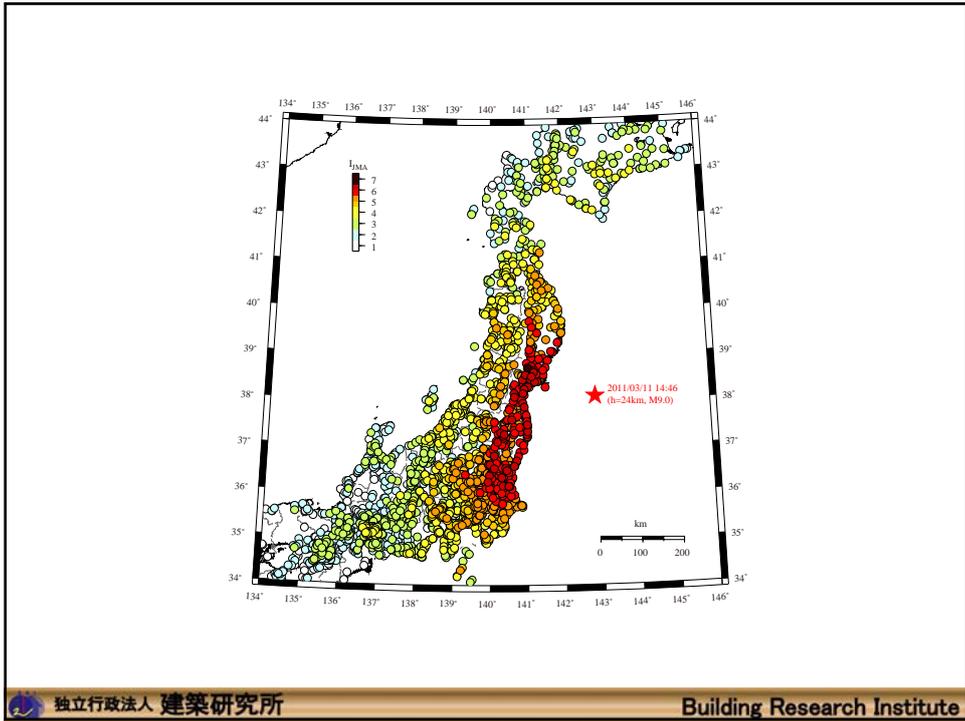


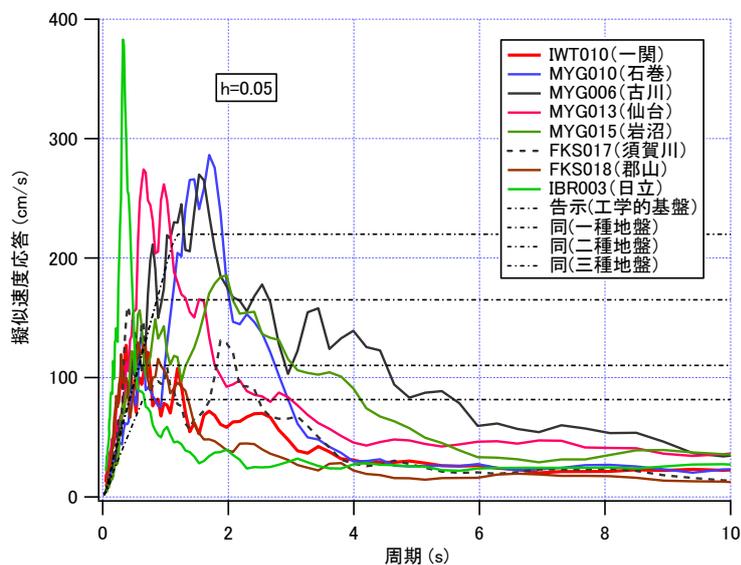
東北地方太平洋沖地震における現象の把握

- 1) 地震動特性(東北～関西、周期2～10秒)
- 2) 地域の地震動レベル(被災地域、首都圏、その他大都市圏)
- 3) 建物応答記録(超高層建築物)
- 4) 長周期地震動に関する提案手法の検証

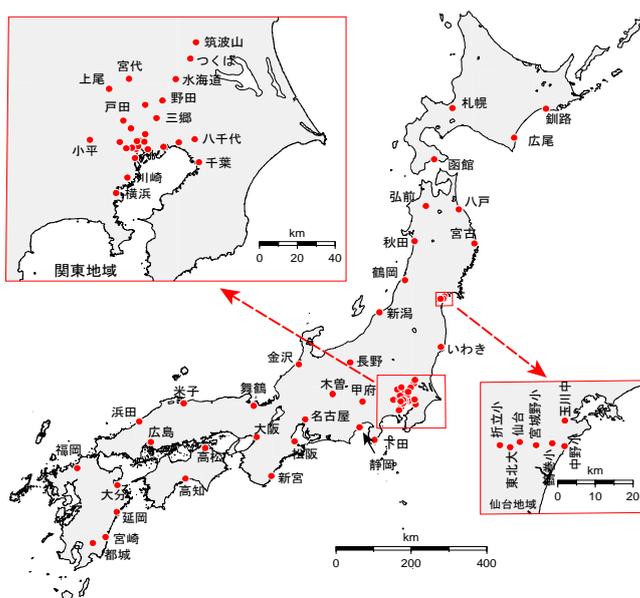
本震とM7以上の余震の
震源位置



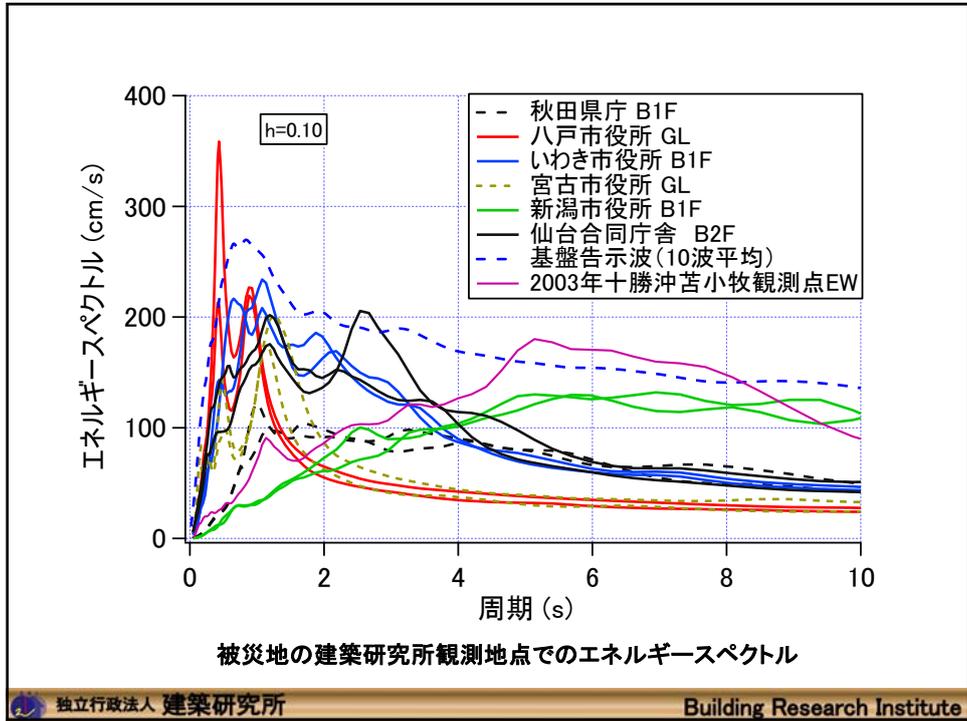
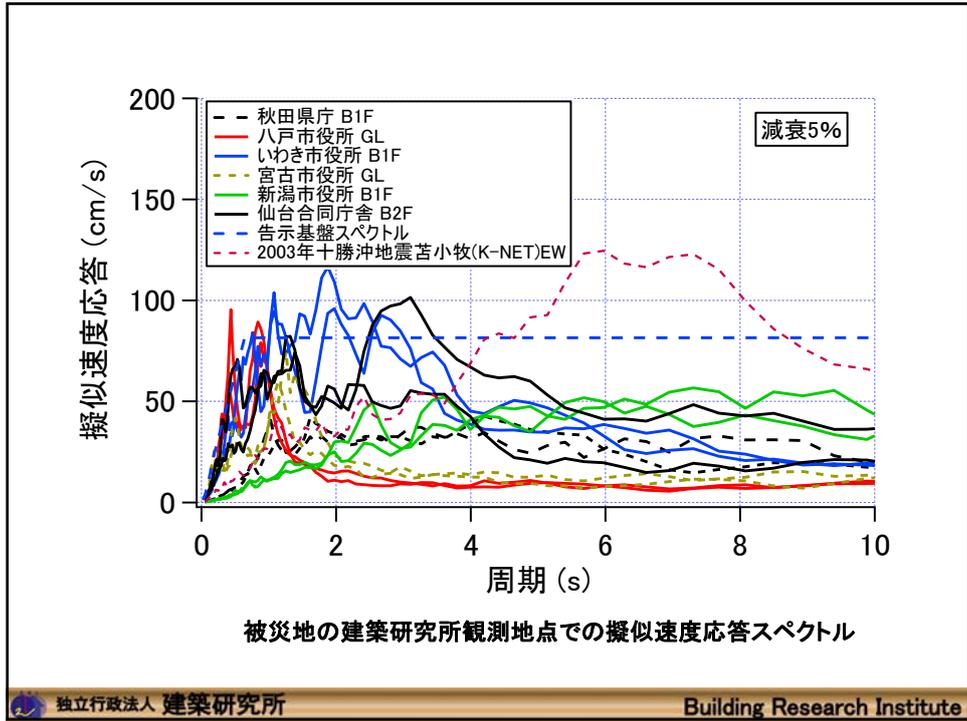


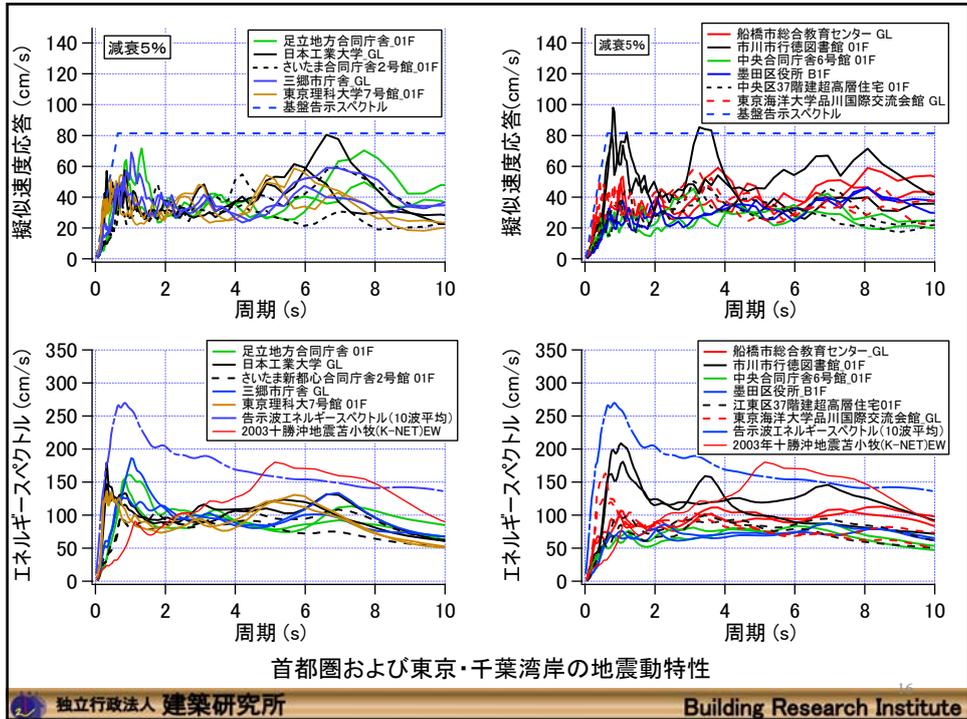
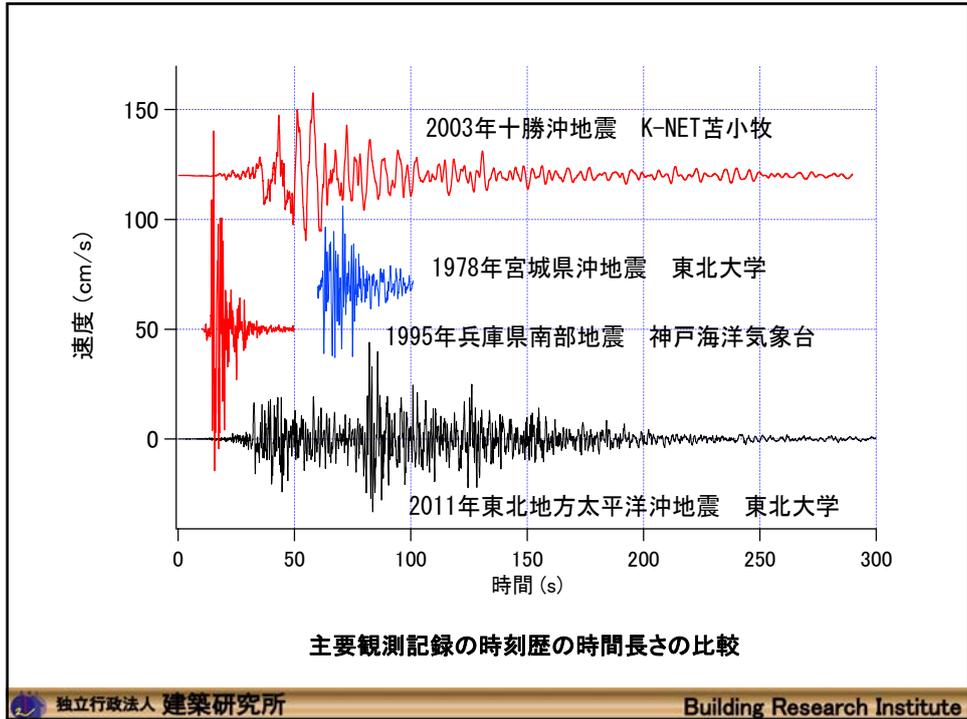


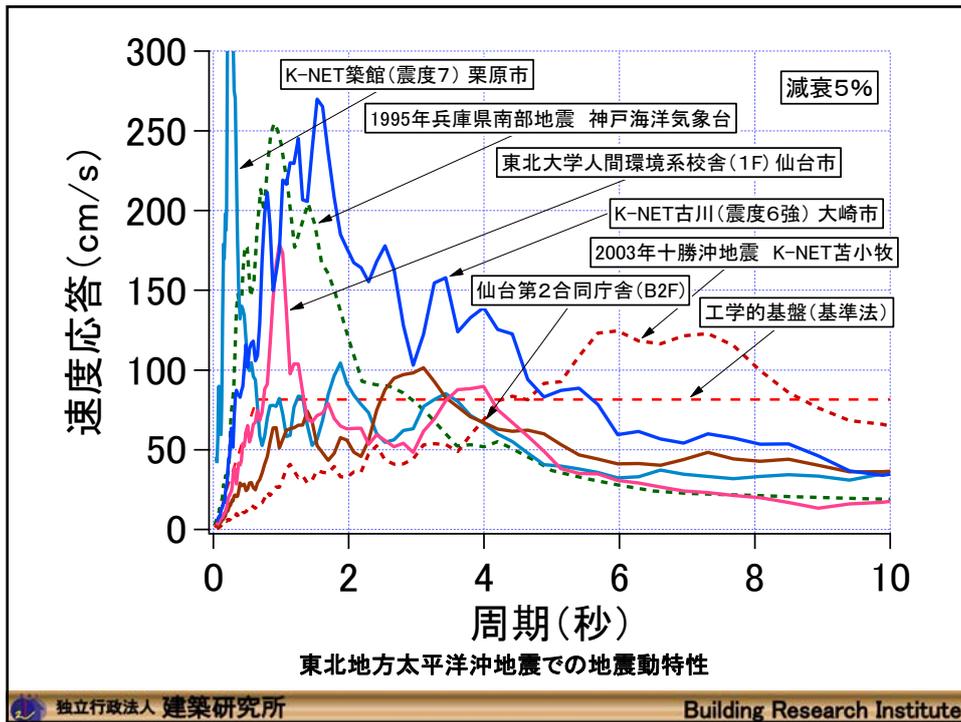
被災地のK-NET観測点での擬似速度スペクトル(周期毎に大きい成分をとった)

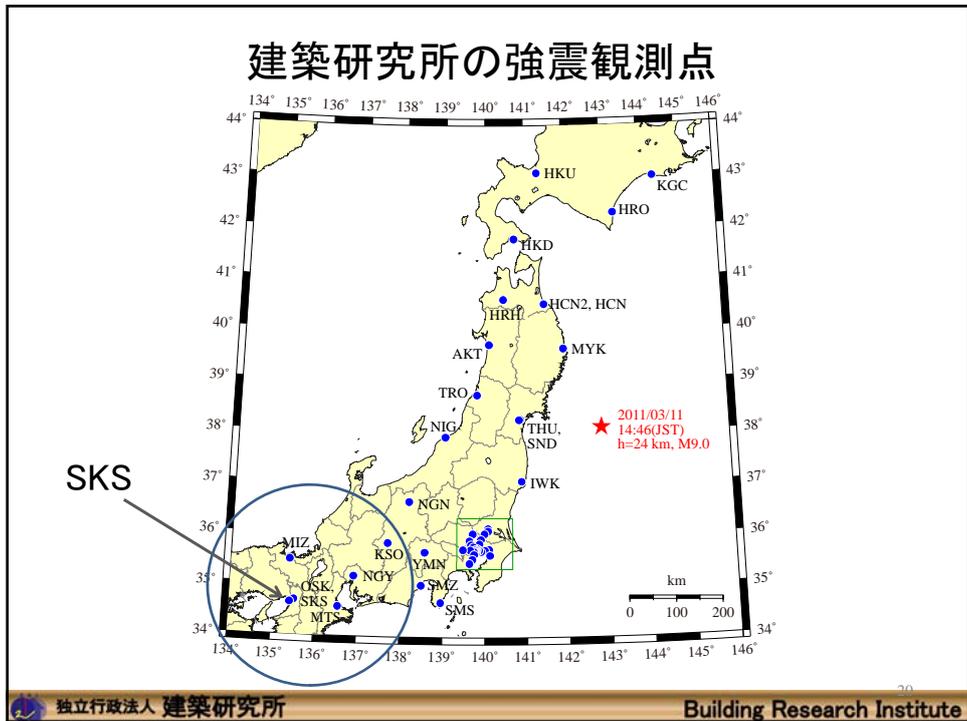
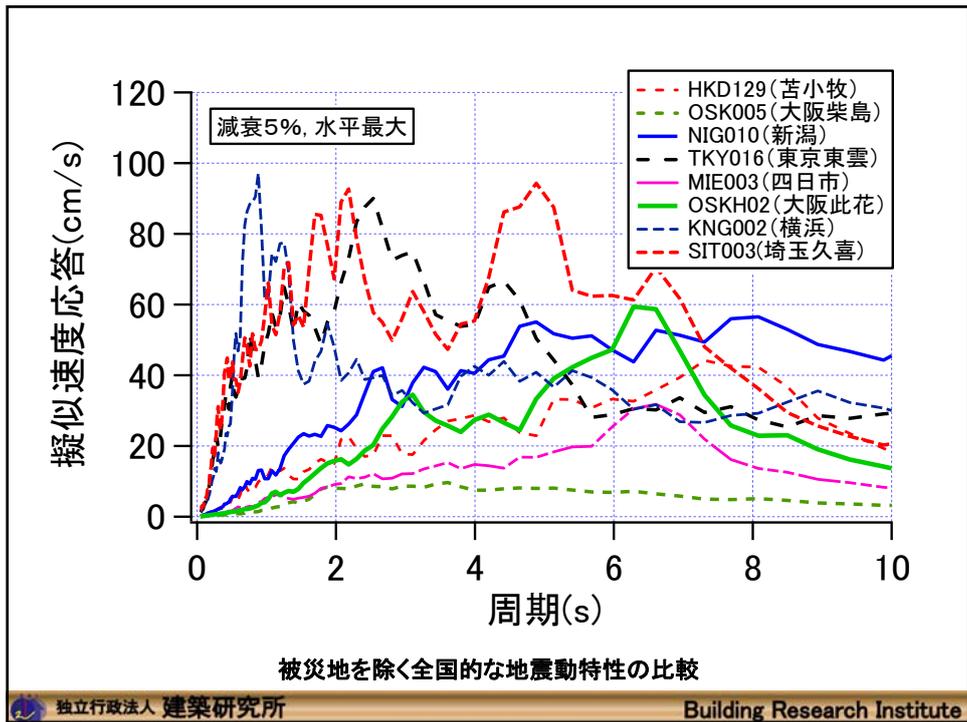


建築研究所の強震観測地点

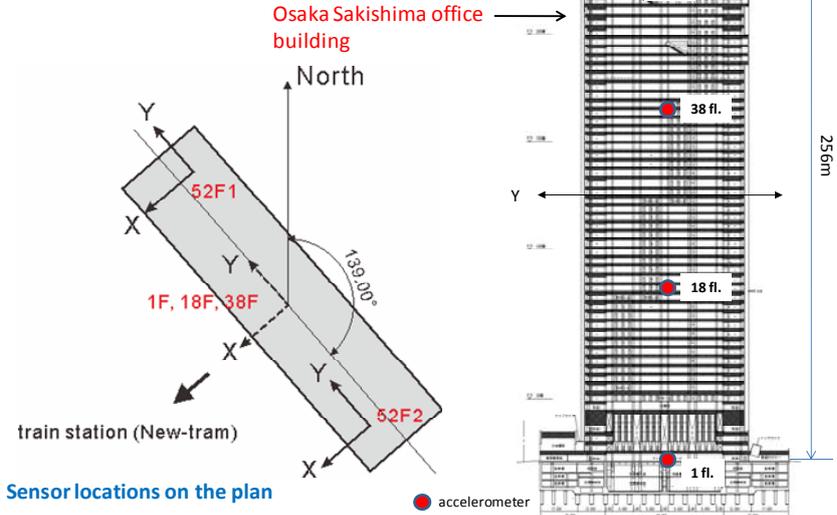




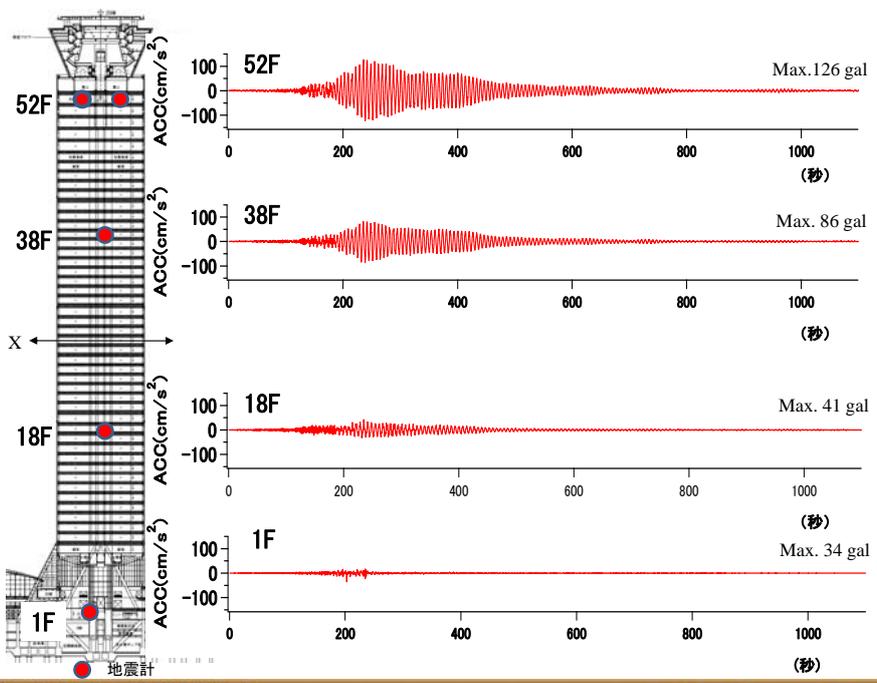


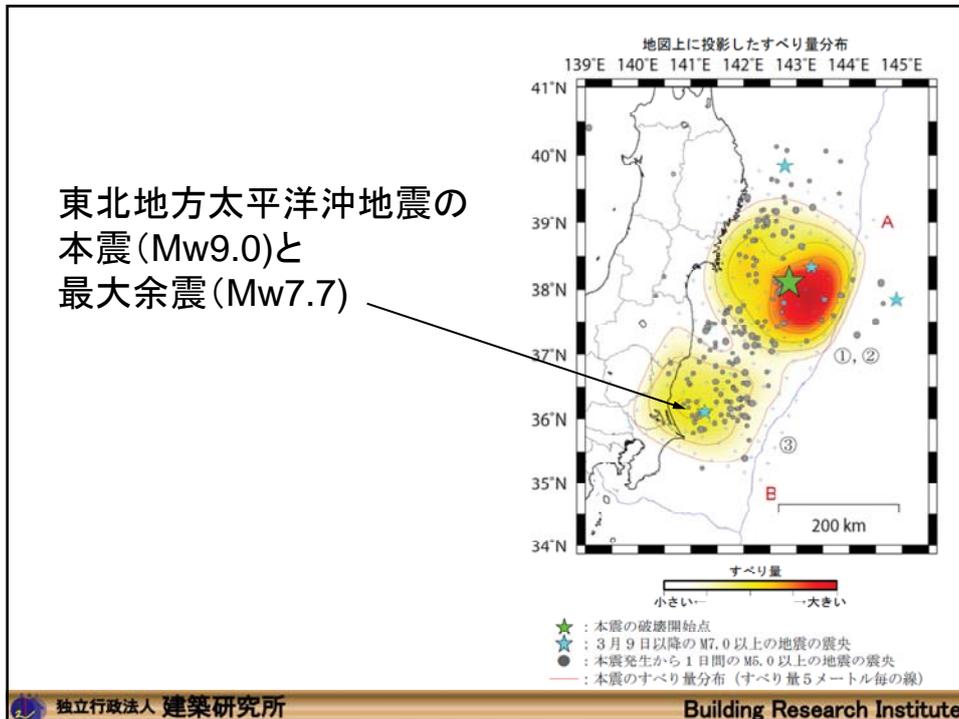
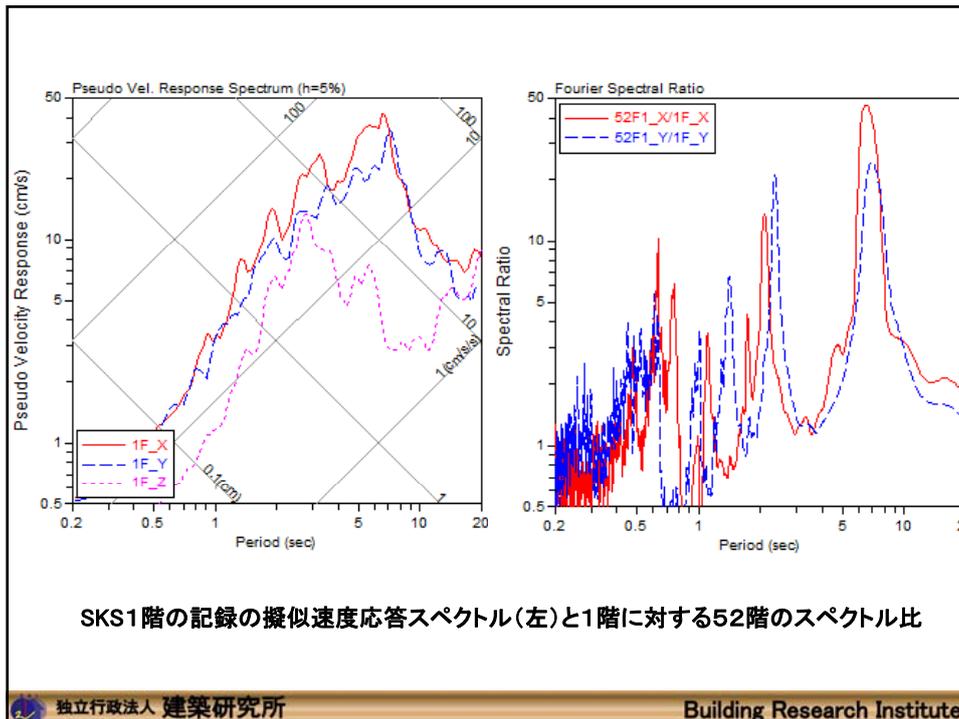


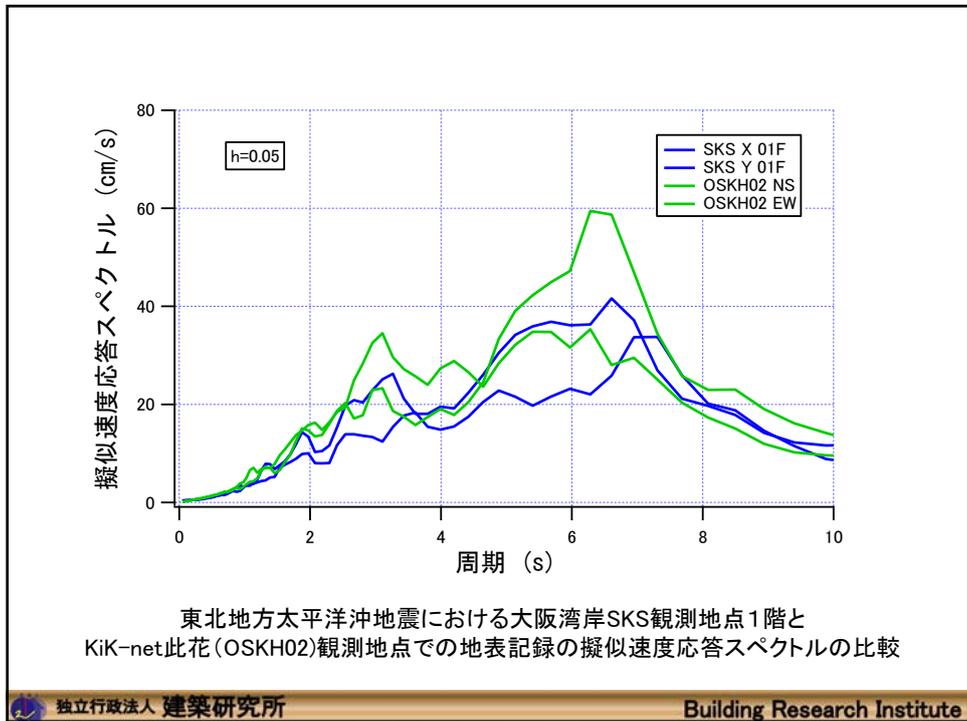
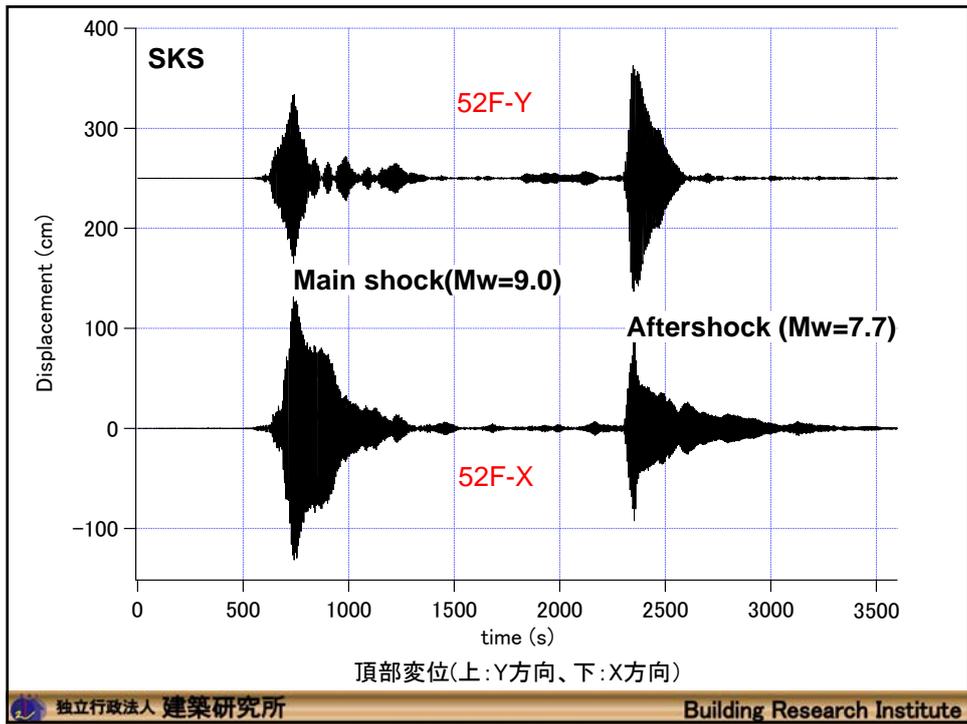
55 Story Office Building (SKS) in Osaka



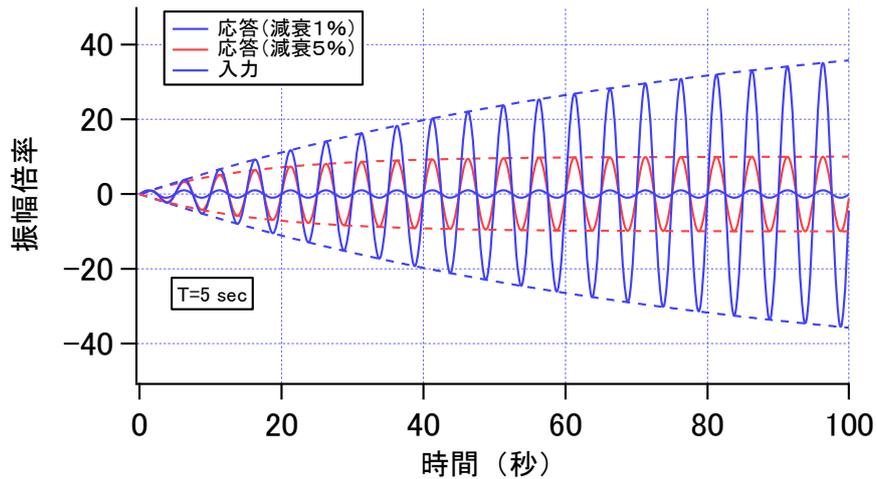
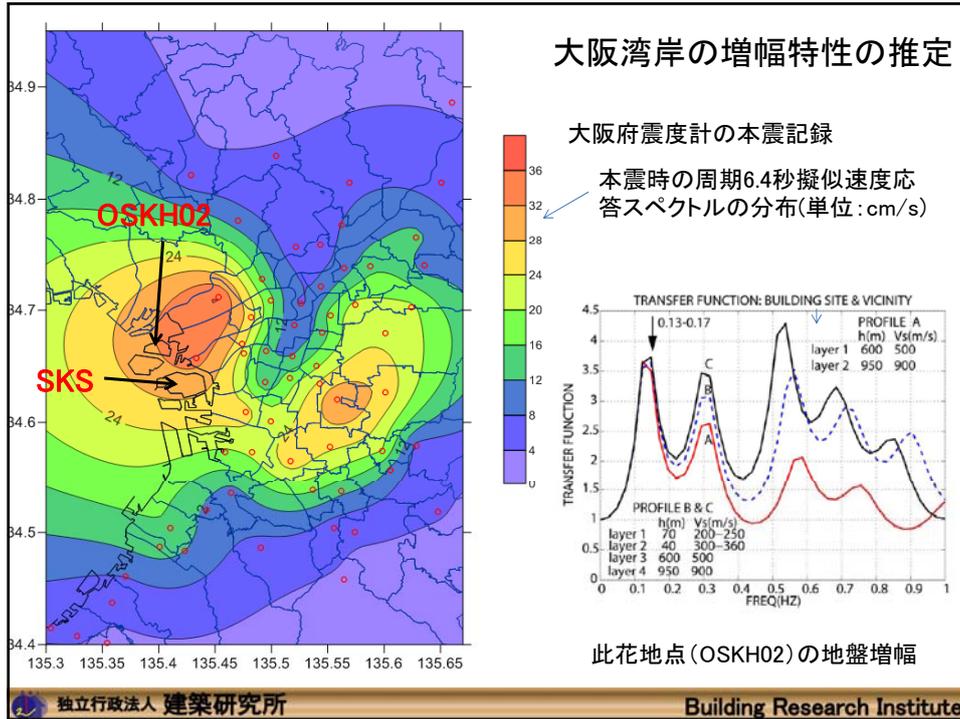
大阪湾岸(SKS)観測地点







大阪湾岸の増幅特性の推定



低減衰系構造物の共振における過渡応答

観測地震動特性のまとめ

東北地方太平洋沖地震における強震観測データを用いて本地震が作用した各地域の長周期地震動特性について整理した。

- 1) 大きなマグニチュードにもかかわらず被災地や首都圏での長周期地震動のスペクトルレベルは現行設計レベルを上回るものではなかった。
- 2) 長周期地震動が卓越する地域がある。
- 3) 震源から遠く離れた超高層建物で大きな頂部変形が観測された。長周期地震動レベルが大きく卓越した地点があった。
- 4) 入力地震動と固有周期の長い建物との低減衰における共振現象が見られた。
- 5) 震源破壊に要した長い時間を反映して、継続時間が長い記録が多数得られた。

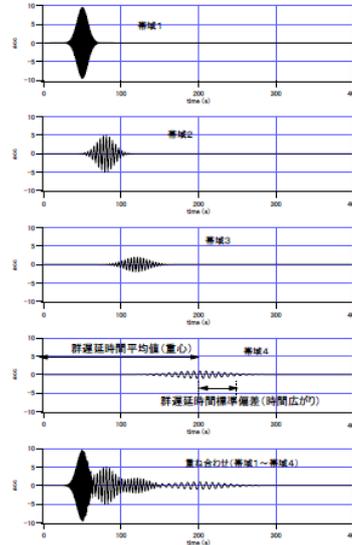
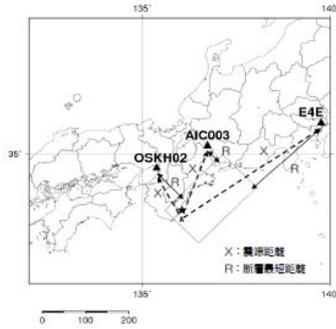
長周期地震動の評価方法に関する検討

- 観測データに基づいて、長周期地震動のスペクトル特性と群遅延時間特性(位相特性)を求め、さらに時刻歴を作成する手法を提案 (建築研究資料, 2010)
- 今回の地震の記録でその手法の適用性を検証している。太平洋プレートの地震への適用性
- $M_w=9.0$ の超巨大地震へどのように適用することが可能か。(連動型などへの活用)
- 地震動特性の予測誤差、作成波のばらつき
- 超高層建築物や免震建築物の応答特性

長周期地震動の評価

提案手法

- 震源
- 断層最短距離(R)
- 震源距離(X)
- サイト係数



加速度応答スペクトル(減衰定数5%)

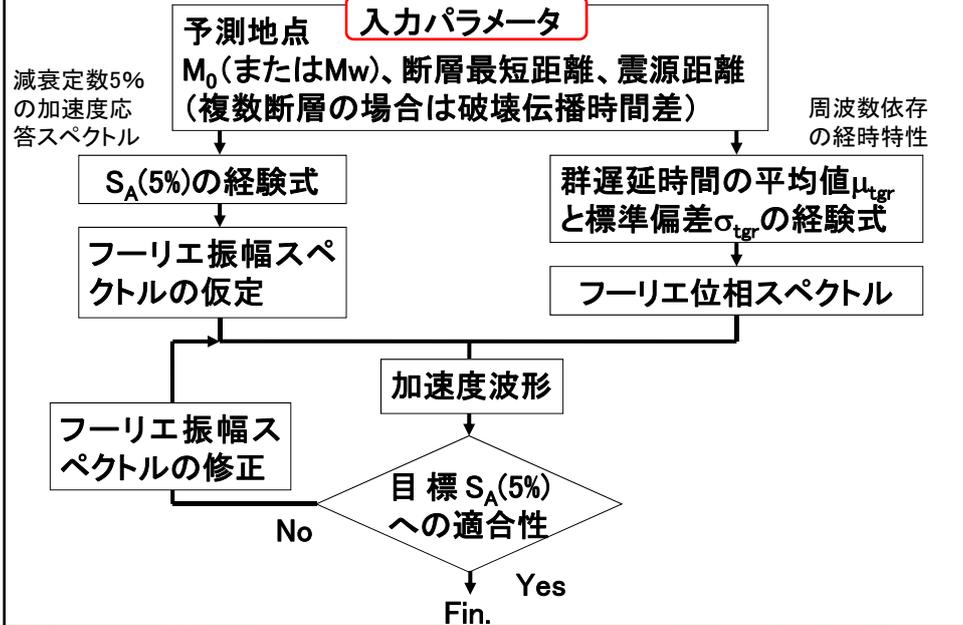
$$\log_{10} S_a(T) = a(T)M_w + b(T)R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_w}) + c(T) + c_j(T)$$

群遅延時間の平均値と分散

$$m_{gr}(f) = A_1(f)M_0^{1/3} + B_1(f)X + C_{1j}(f)$$

$$s_{gr}^2(f) = A_2(f)M_0^{1/3} + B_2(f)X + C_{2j}(f)$$

経験式に基づく時刻歴波形作成方法



想定海溝型地震と予測地点

地震	Mw	大阪平野	濃尾平野	関東平野	その他
南海地震	8.5	○	○		
南海・東南海地震	8.6	○	○		
東南海地震	8.2及び8.1	○	○	○	○
東南海・東海地震	8.3	○	○	○	
宮城県沖地震	7.6				○
関東地震	7.9			○	

★各平野での主な予測地点は以下の通り

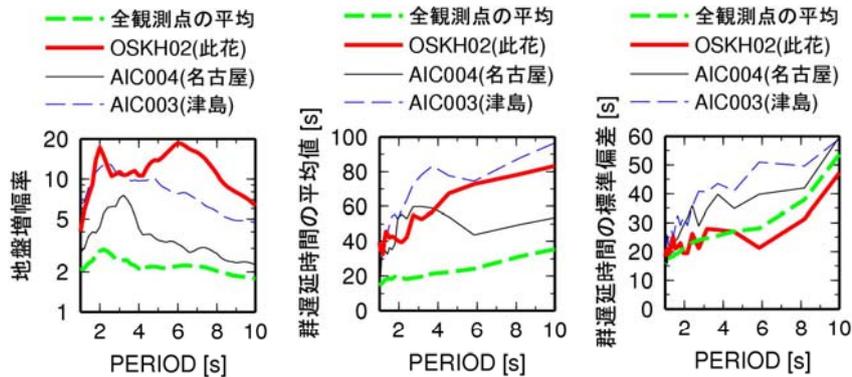
大阪平野: 此花(OSKH02)、大阪(OSK005)

濃尾平野: 津島(AIC003)、名古屋(AIC004)

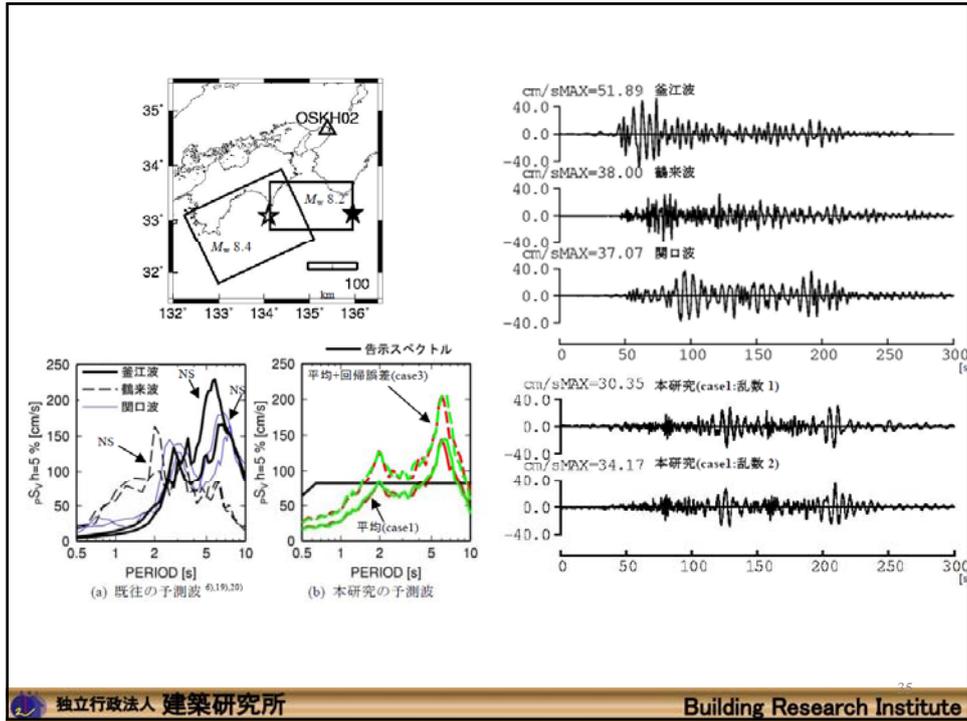
関東平野: 新宿・工学院大、JMA大手町、東雲(TKY016)、JMA横浜

★関東地震は参考波(震源距離が経験式の適用範囲外のため)

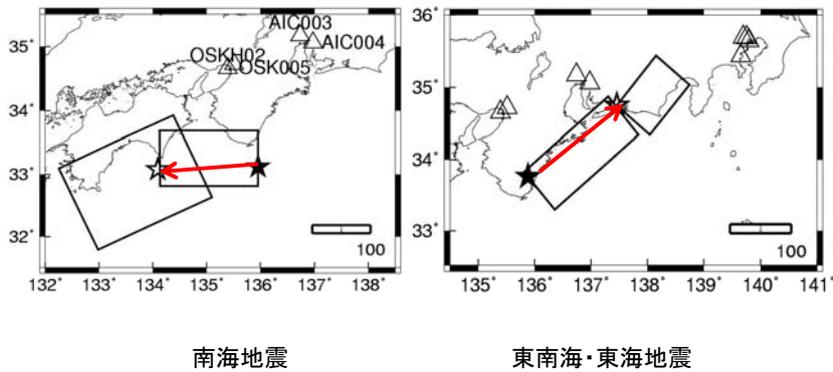
サイト係数



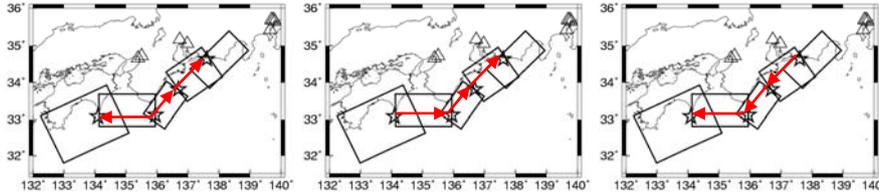
$S_A(5\%)$ の地盤増幅率、 μ_{igr} 、 σ_{igr} のサイト係数(海溝型地震: 水平成分)



単独、連動地震

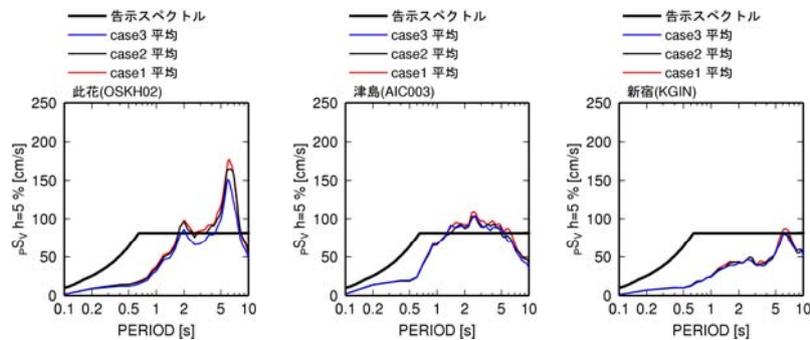


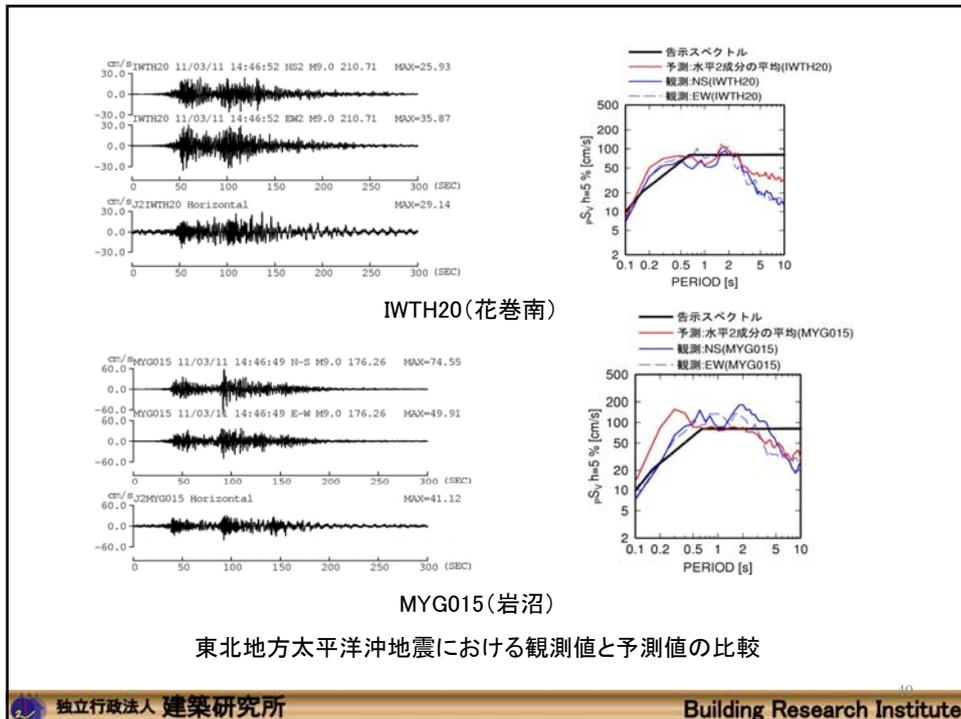
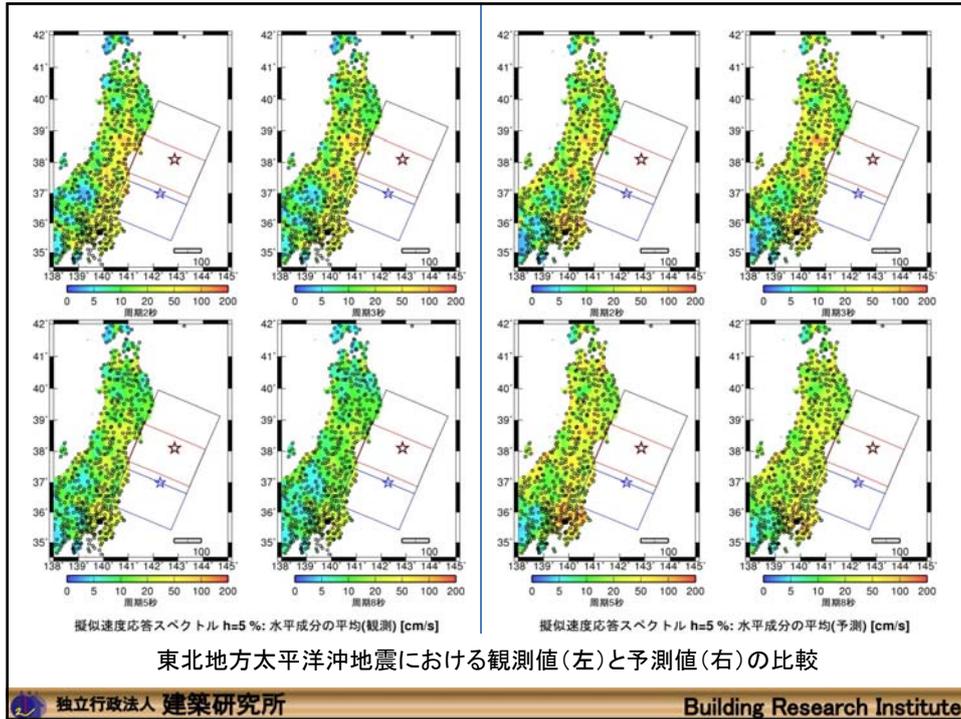
3連動地震



		地震モーメントdyne・cm (Mw)	参考文献	参考文献中の引用	
本検討(3連動)	南海	東断層	2.91×10^{28} (8.2)	鶴来・他(2005)	中央防災会議
		西断層	5.46×10^{28} (8.4)	鶴来・他(2005)	中央防災会議
	東南海	東断層	9.01×10^{27} (7.9)	鶴来・他(2005)	中央防災会議
		西断層	1.48×10^{28} (8.0)	鶴来・他(2005)	中央防災会議
	東海		1.12×10^{28} (8.0)	地震本部(2009)	
	全体		1.187×10^{29} (8.6)		

3連動地震の破壊ケースによる 応答スペクトルの比較





東北地方太平洋沖地震における 観測値の提案予測式による検証

- 提案予測式は $M_w=9.0$ は適用範囲外となるので、広い震源域を適切に分離して連動型として、提案式を適用した。
- 東北地方では、周期3秒程度以下の長周期地震動をほぼ再現できている。
- 関東平野では、やや過大評価となった。この原因は、関東平野の観測点では、サイト係数、地盤増幅率の計算に用いた記録として、長周期が卓越する2004年 紀伊半島沖の地震や前震・余震の記録の重みが大きいためと考えられる。
- 周期5秒以上では、全体として予測式は観測値を上回った。これは、 M_w を外挿して経験式を用いていることが一因と考えられる。

前記検証結果に基づき検討中の事項

- 太平洋プレートと南海トラフの地震による伝播経路による差について検討する。
- 本震を連動地震と考えて、その適切な構成震源モデルを求め、予測式を無理なく適用させる。
- 予測式を $M_w=9.0$ まで適用できるように、 M_w が大きくなると地震動が頭打ちする効果等を導入するなどして、予測式の改良を試みる。
- 現在検討中であり、結果は別機会に紹介する。

