

首都直下地震を対象とした 強震動予測手法に関するベンチマークテスト

ーその1：都心南部地震を対象とした 統計的手法を用いた強震動予測ー

2015年度日本建築学会大会(関東)
2015年9月5日(土)

○久田嘉章・石川理人(工学院大学)
野畑有秀(大林組)、山本 優(大成建設)
眞鍋俊平(応用地質)
協力：長坂陽介(港湾空港技術研究所)

ベンチマークテスト概要

近年、強震動予測手法はレシピ等によって体系化されつつある。しかし、用いる計算手法により得られる結果には差異が生じる場合がある。
→同条件(地盤・震源)で様々な計算手法の結果を比較し、適応範囲やばらつきを確認する。また、その結果を強震動予測手法のベンチマーキングとしてHPにデータを公開する。

代表的な強震動計算手法

- ・統計的手法 (統計的グリーン関数など) ⇒(その1)、(その2)
- ・理論的手法 (波数積分法、薄層法など)
- ・数値解析手法 (差分法、有限要素法など) } ⇒(その3)

2009年～2011年

STEP1：点震源と単純地盤、STEP2：面震源と単純地盤
STEP3：点震源と複雑地盤、STEP4：面震源と複雑地盤
STEP5：関東平野・中小地震、STEP6：関東平野・巨大地震

手法の確認
(Verification)

2013年～

STEP7：首都直下地震、STEP8：想定首都直下地震

手法の検証
(Validation)

STEP7(実地震)

対象地震: 千葉県北西部地震(2005)

震源モデル: 額額・三宅モデル(2006)

深部地盤モデル

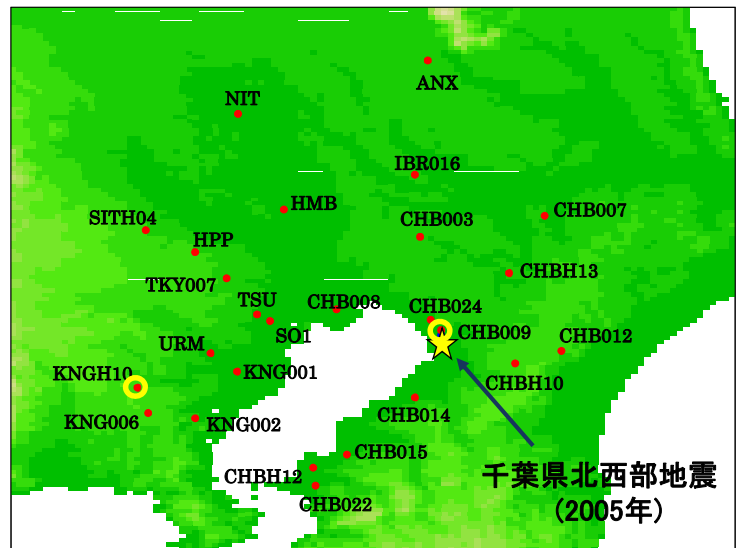
地震調査研究推進本部(2009)

※低速度層は上層に置き換え(下図)

表層地盤モデル

K-NET・KiK-net・UR都市機構・建築研究所・
株式会社鴻池組・戸田建設株式会社より提
供頂いたボーリングデータ

※モデル統一のためVs=500m/sまでを使用



千葉県北西部地震
(2005年)

STEP71

→統一モデルを用いて
結果の相互比較

STEP72

→震源・地盤モデルを
任意設定とし、観測
波形の再現性の検証

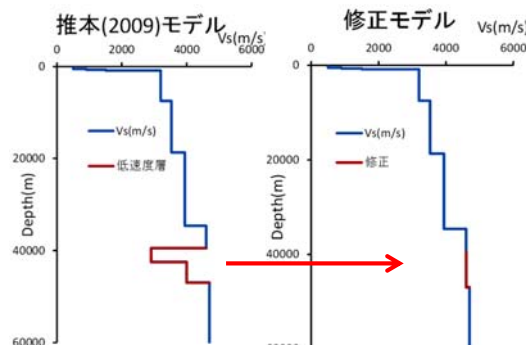


図: 使用地盤モデル Vs値

表: 震源パラメータ*2

北緯(°)	35.582
東経(°)	140.138
深さ(km)	70
Strike(°)	25.5
Dip(°)	63.1
Rake(°)	67.8
地震モーメント(Nm)	5.8×10^{17}

*2額額一起・三宅弘恵・横山博文・中村 操(2006)、
2005年千葉県北西部の地震: 震源メカニズムと強
震動, 日本地球惑星科学連合、2006年大会予稿
集, S204-P007

統計的手法(ステップ7)

モデル名	SS71	SS72
対象地震	2005年千葉県北西部地震	
地盤	関東平野の3次元深部地盤モデル (長周期地震動予測モデル、2009試作版)	任意
入射角	観測点直下の地震基盤まで直線入射、堆積層へは鉛直入射	
震源	点震源（額額・三宅，2005等をもとに策定）	
放射特性	S波の一様分布（放射係数は0.63）	
波動	SH波	
振動数	対象は0～20Hz（0.05秒以下）。但し計算は25 Hzまで。	
出力成分	水平2成分（2組の乱数使用）	任意

- ・ $M_0=5.8 \times 10^{17}$ Nm(Mw5.8)の点震源を仮定、震源モデルはBoore(1983)、
- ・ $f_{max}=13.5$ Hz $f_c=0.635$ Hz $SBFac=1.332$ (震源層と地震基盤のインピーダンス比より)
- ・経時特性関数は佐藤・他(1994a)。

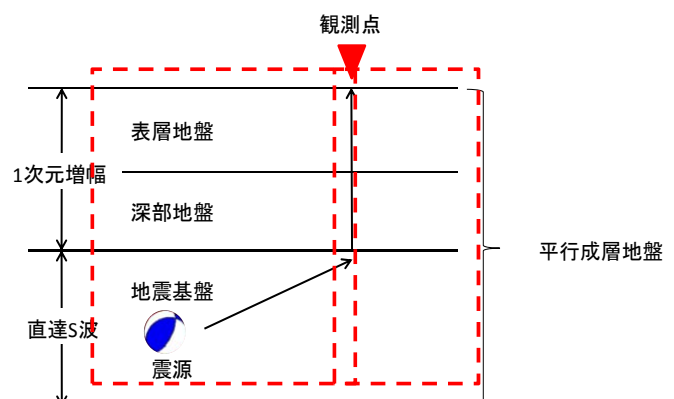
$$A(\omega) = S(\omega) \times P(\omega) \times SBFac$$

$$S(\omega) = \frac{F_s \cdot R_k^s \cdot P_{RTTN}}{4\pi\rho V_s^3} \{\omega^2 \dot{M}(\omega)\}$$

$$P(\omega) = \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{\omega \cdot r}{2V_s Q_s}\right)$$

・Q値 (内閣府)

- ① $V_s > 3000$ m/s : $Q=100f^{0.7}$
- ② 500 m/s $< V_s < 3000$ m/s : $Q=100f^{0.7}$
- ③ $V_s < 500$ m/s : $Q=35$ (一定)



SS71(パラメータ指定) 結果比較

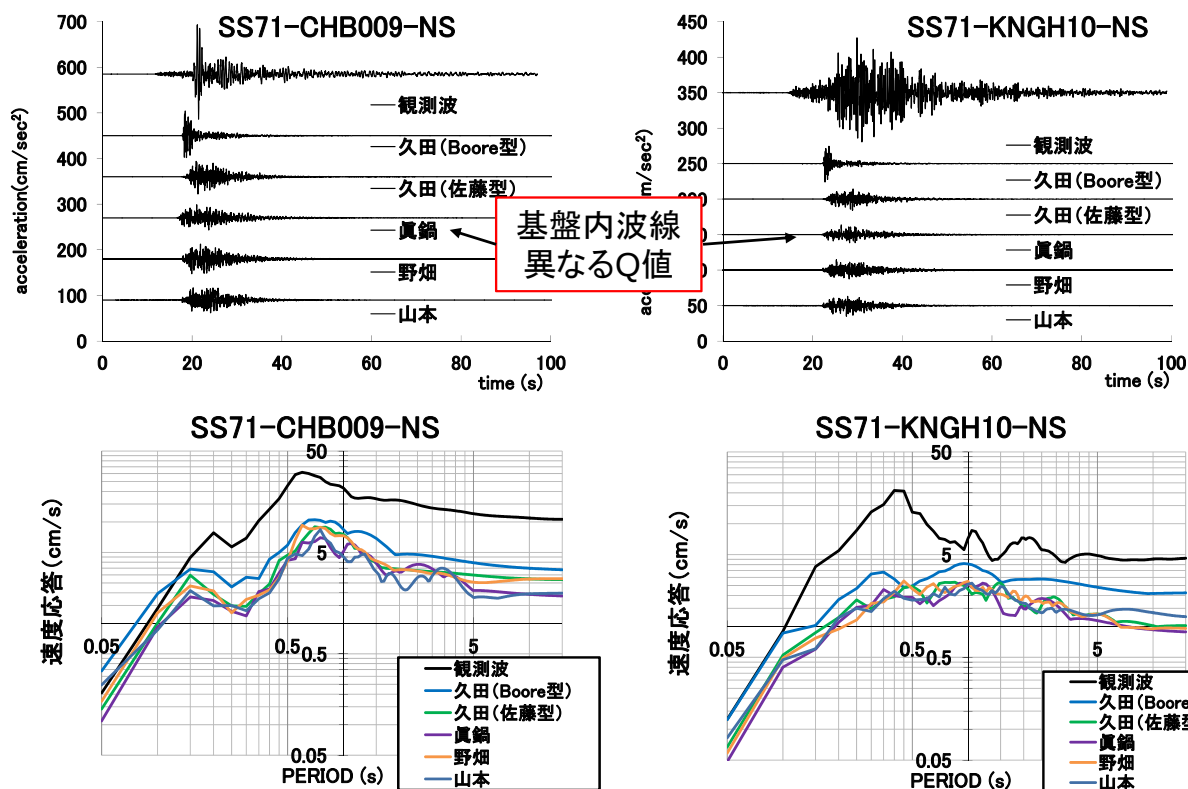


図: 加速度波形(20 Hz以下)と速度応答スペクトル(5%)

SS72モデル(任意・改善)

モデル名	SS71	SS72
対象地震	2005年千葉県北西部地震	
地盤	関東平野の3次元深部地盤モデル (長周期地震動予測モデル、2009試作版)	
入射角	観測点直下の地震基盤まで直線入射、堆積層へは鉛直入射	任意
震源	点震源(頼嶺・三宅, 2005等をもとに策定)	
放射特性	S波の一様分布(放射係数は0.63)	
波動	SH波	
振動数	対象は0~20Hz(0.05秒以下)。但し計算は25 Hzまで。	
出力成分	水平2成分(2組の乱数使用)	任意

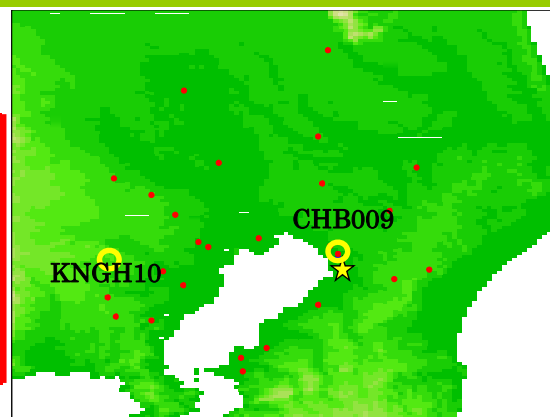


表: 参加者一覧と計算モデル

表: 震源位置と比較地点

提出者	久田	真鍋	長坂
Mo	F-net ($M_0=9.11 \times 10^{17}$)	F-net ($M_0=9.11 \times 10^{17}$)	($M_0=9.39 \times 10^{17}$)
f_c	0.75	0.55	0.75
震源メカニズム	SS71と同様	(strike,dip,rake)=(8,64,101)	(strike,dip,rake)=(179,18,82)
震源座標	SS71と同様 N:35.582° E:140.138° D:70km	SS71と同様 N:35.582° E:140.138° D:70km	気象庁 N:35.5692° E:140.1342° D:68km
包絡関数	sato / boore	Boore(1983)	
表層地盤	$V_s=500$ m/s以深の ボーリングデータを使用 (KIK-netなど)		サイト増幅特性: 野津・長尾(2005) サイト位相特性: 本震以前の 中小地震記録から算定
深部地盤			
その他		$V_s=4.7$ km/s $\rho=3.2$ g/cm ³ (全国1次地下構造モデル(暫定版)) 伝播経路のQ値: $Q(f)=114f^{0.9}$ (佐藤・異(2002)) ただし $Q=114$ ($f \leq 1$ Hz) (一定)	震源付近の地盤 $\rho=3.2$ g/cm ³ (推本2012) $V_s=4.6$ km/s (推本2012) 伝播経路 $Q=100f^{0.7}$

+ 仲野氏
(その2)

SS72結果比較

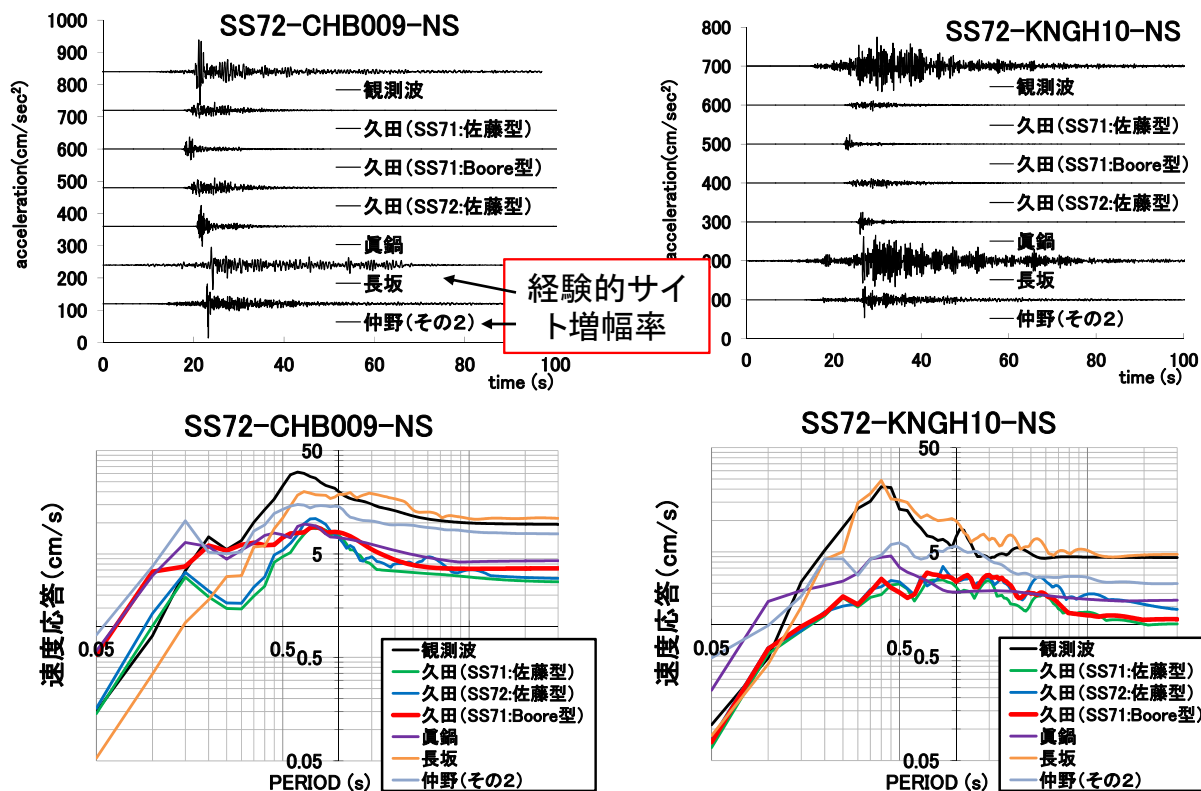


図: 加速度波形(10 Hz以下)と速度応答スペクトル(5%)

ステップ8(想定直下地震)

都心南部直下地震(内閣府(2013))

理論・数値解析手法 ⇒ (その3)

T81...点震源モデル(必須)

T82...面震源モデル(任意)

T83...面震源モデル(任意)

統計的手法

SS81...点震源モデル(必須)

SS82... (任意)

SS83...面震源モデル(必須)

SS84... (任意)

ベンチマークテストHPにてデータ公開

HP: <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/benchmark.htm>

表: 震源パラメータ

北緯(°), X(km)	35.595°, X=154.775km
東経(°), Y(km)	139.7142°, Y=96.554km
深さ(km)	45.2km
Strike(°)	0
Dip(°)	90
Rake(°)	0
地震モーメント(Nm)	3.51×10^{19}

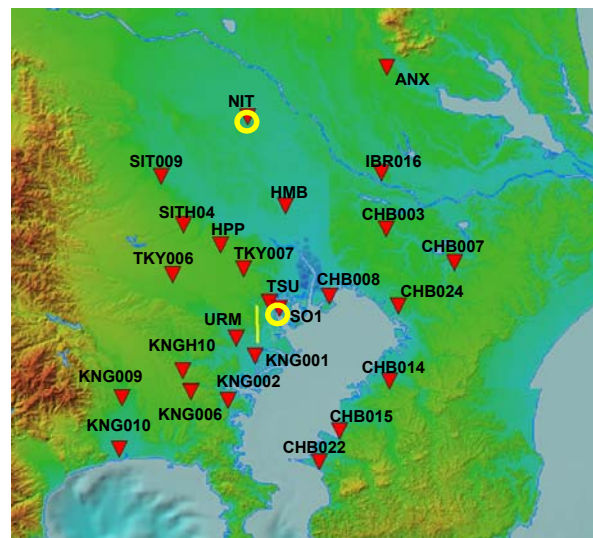


図: 計算地点と震源位置

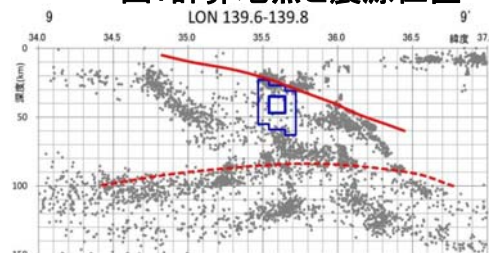


図: 震源モデル(断面)
(計算はSMGAモデルのみ)

ステップ8(想定直下地震)

STEP8				
対象地震	都心南部直下地震			
モデル名	SS81(必須)	SS82(任意)	SS83(必須)	SS84(任意)
入射角	鉛直	鉛直/斜め	鉛直	鉛直/斜め
震源	点震源		面震源	
地盤	内閣府	任意	内閣府	任意
放射特性	S波の一様分布 (放射係数は0.63)	任意	S波の一様分布 (放射係数は0.63)	任意
波動	SH波	SH,SV波	SH波	SH,SV波
減衰	振動数依存			
振動数	対象は0~20Hz(ただし、計算は25Hzまで行う。)			
出力点	25点(K-NET、KIK-NET、UR都市機構、建築研究所、戸田建設株式会社、株式会社鴻池組のデータより設定) 必須13点、任意12点とする。			
出力成分	水平2成分	水平、鉛直3成分	水平2成分	水平、鉛直3成分
出力波形	工学的基盤 (入射波)	地表面 (表層の増幅を考慮)		

ステップ8の参加チーム一覧

参加者	久田・石川	野畑	山本	眞鍋*
SS81	○	○	○	○
SS83	○**	○	○	○

* 地殻モデルは笠原(1985)の球殻モデルを使用し、波線を計算
 ** 要素地震波の重ね合わせ手法は、大西・堀家(2004)を使用
 (基準は入倉ほか(1997))

SS83(面震源必須)結果比較

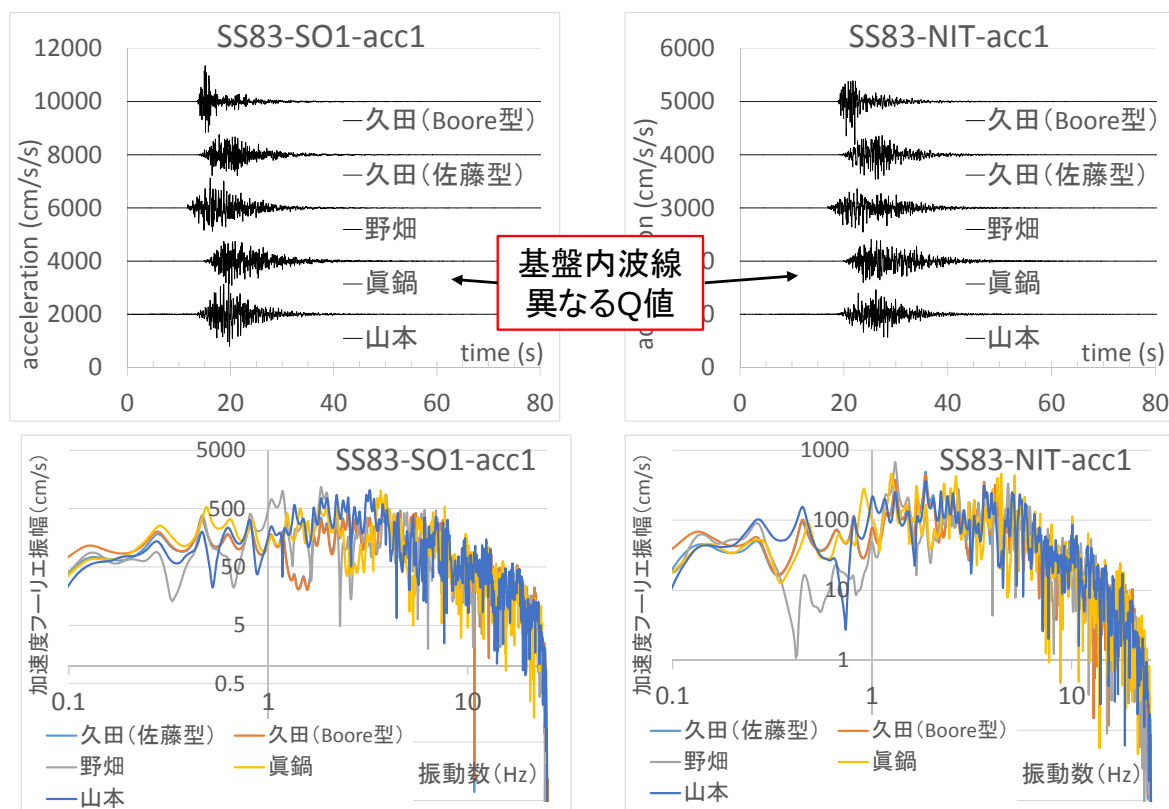


図: 加速度波形とフーリエ振幅スペクトル

SS83(面震源必須)結果比較

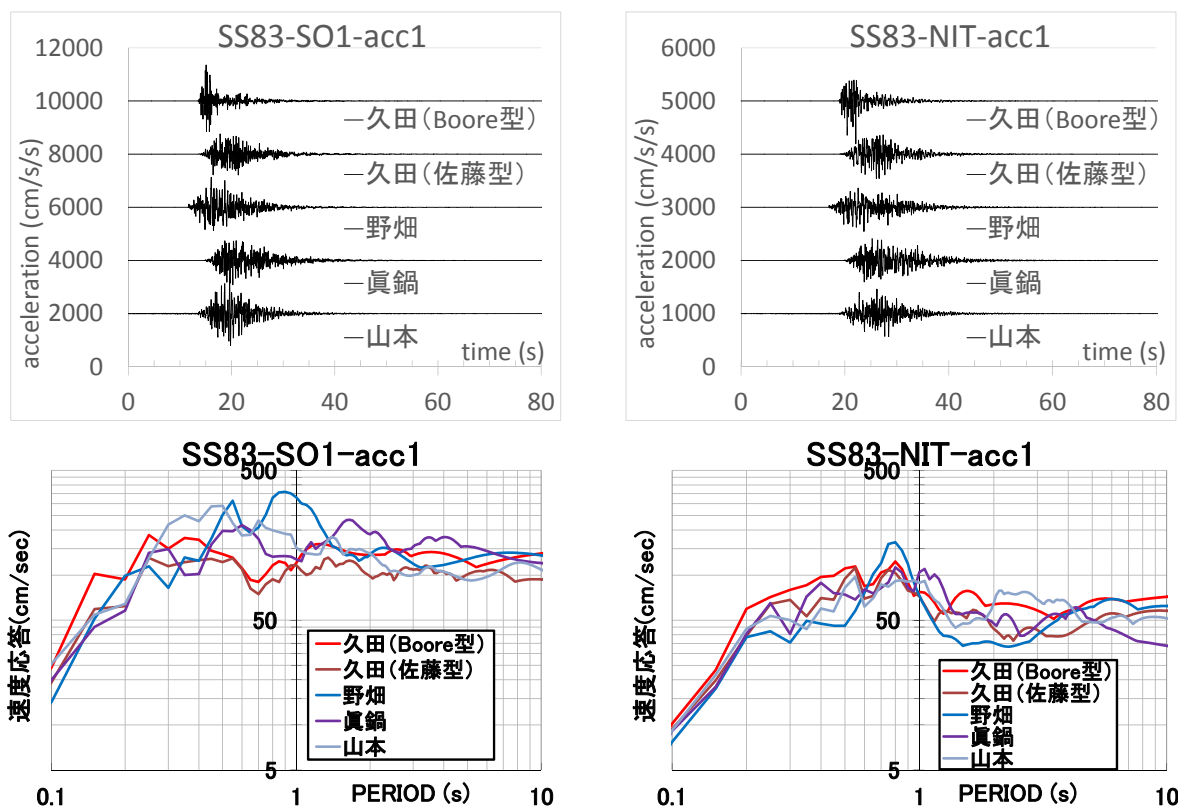


図: 加速度波形と速度応答スペクトル(5%)

まとめ

- ・統計的手法による強震動計算のベンチマークテスト
- ・震源パラメータ・地盤モデル・手法を指定した基準モデルと改善モデルで結果の比較検討。基準モデルであれば参加者の結果は実用上、ほぼ一致するが、位相特性・包絡関数・波線・Q値・要素地震波の重ね合わせ手法の際により、波形性状・応答スペクトル等の結果に差異が顕著になる。
- ・観測波形との比較では、推本モデル(2009)では関東平野・深層地盤の増幅率を過小評価。経験的増幅率が最も有効。

データ公開

ベンチマークテストHP : kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/benchmark.htm

※STEP8の詳細やデータについても掲載予定(今年度中)

謝辞

本研究は日本建築学会・地盤震動小委員会・UR都市機構・戸田建設と連携し、また文部科学省科学研究費補助金・基盤研究Bさらに工学院大学・都市減災研究センターによる助成をいただいています。また、本研究の一部は民間7社((株)安藤・間、(株)熊谷組、佐藤工業(株)、戸田建設(株)、西松建設(株)、(株)フジタ、前田建設工業(株))による共同研究「南海トラフ・相模トラフの巨大地震による長周期地震動に関する研究(平成26～27年度)」の助成により実施されました。なお、K-NET・KIK-NETの観測波形を使用させていただいております。