

平成29年度建築基準整備促進事業

S23. 相模トラフ沿いの巨大地震等による 設計用長周期地震動の作成手法に関する検討

(株)大崎総合研究所

共同研究：国立研究開発法人 建築研究所

背景と目的

- 平成20～24年度の建築基準整備促進事業で南海トラフ沿いの巨大地震に対する設計用長周期地震動の作成手法を検討
- 作成手法を元に、国土交通省は南海トラフ沿いの巨大地震に対する設計用長周期地震動を策定し、平成29年4月1日から超高層建物等を新築する際の大臣認定の運用を強化
- 平成28年度は、震源モデルを与えた場合における上記手法を元に相模トラフ沿いの地震の地震観測点における地表での水平成分の長周期地震動の計算手法を検討
- 平成29年度は、震源モデルを与えた場合における関東地方の任意地点における水平・上下成分の工学的基盤での相模トラフ沿いの地震の長周期地震動の計算手法を検討

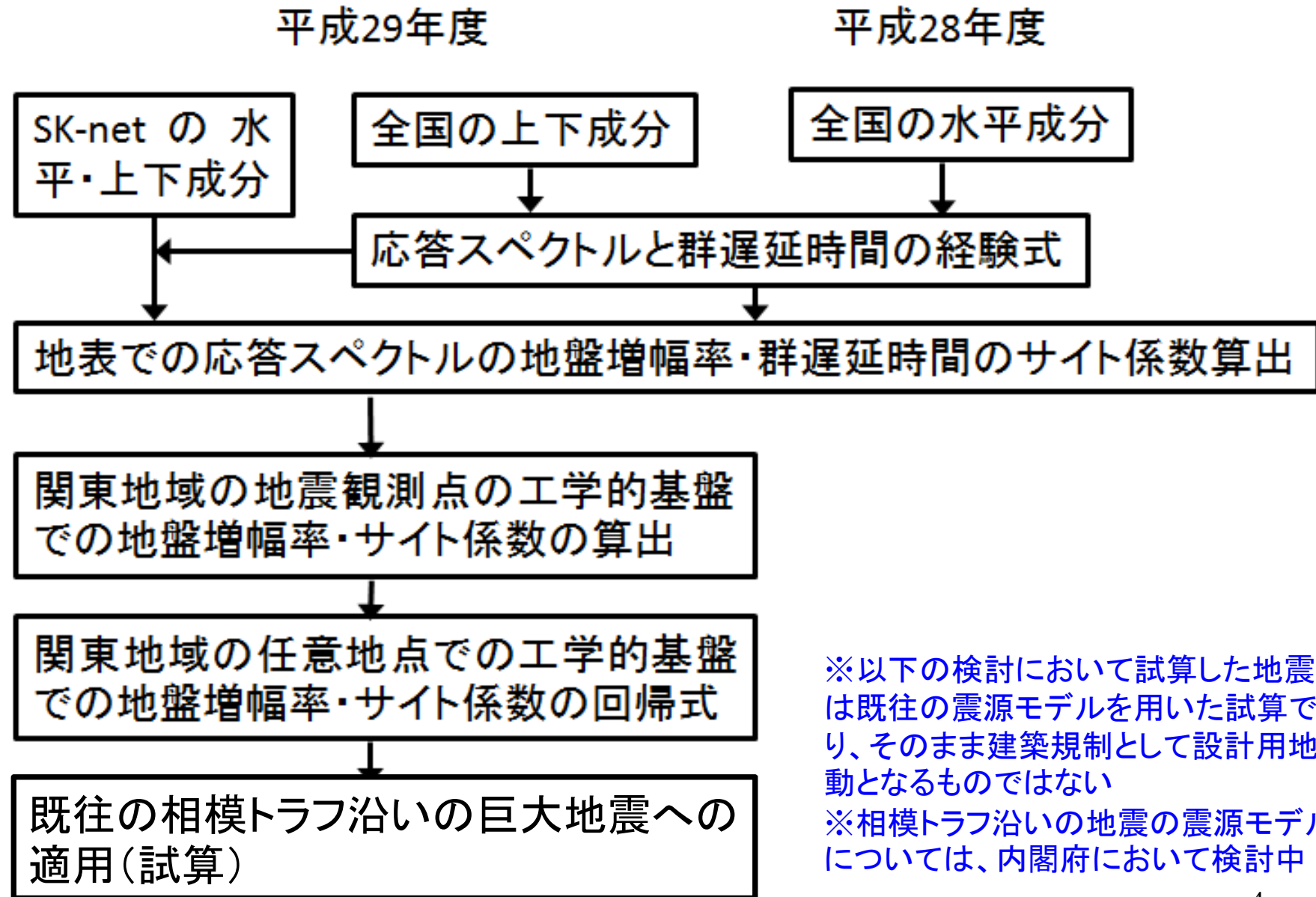
昨年度(H28)の検討概要

- 1) 周期0.1～10秒で適用可能な経験式作成用のデータセット作成
 - ・K-NET、KiK-net、気象庁、建築学会の千葉県東方沖地震、工学院大学の地震観測点の水平成分の記録
 - ・Mw3.7～8.2、断層最短距離1.2～250km
- 2) 加速度応答スペクトル(h=5%)の経験式作成
パラメータは、
 - ・Mw、断層最短距離、断層重心深さ
 - ・プレート境界地震とスラブ内地震の違いを表すダミー変数
 - ・地震観測点の地表での地盤増幅率
- 3) 群遅延時間の平均値・分散の経験式作成
パラメータは、
 - ・M₀、震源距離
 - ・プレート境界地震とスラブ内地震の違いを表すダミー変数
 - ・地震観測点の地表でのサイト係数
- 4) 作成した経験式を相模トラフ沿いに適用し、地震観測点の地表における水平成分の波形(周期0.1～10秒)を試算

H29年度の検討概要

- 1) 上下成分の検討も追加
- 2) 関東地方で密なSK-netの地震記録を追加
- 3) 工学的基盤での加速度応答スペクトル($h=5\%$)の地盤増幅率、群遅延時間のサイト係数を算出
- 4) 上記手法では、地震観測点でのみ計算が可能であるため、任意地点での計算のための回帰式を作成
- 5) 作成した手法を既往の震源モデルに基づく相模トラフ沿いの地震に適用して地震動を試算し、復元波や既往の計算波との比較に基づき、手法の検証

検討フロー



※以下の検討において試算した地震動は既往の震源モデルを用いた試算であり、そのまま建築規制として設計用地震動となるものではない

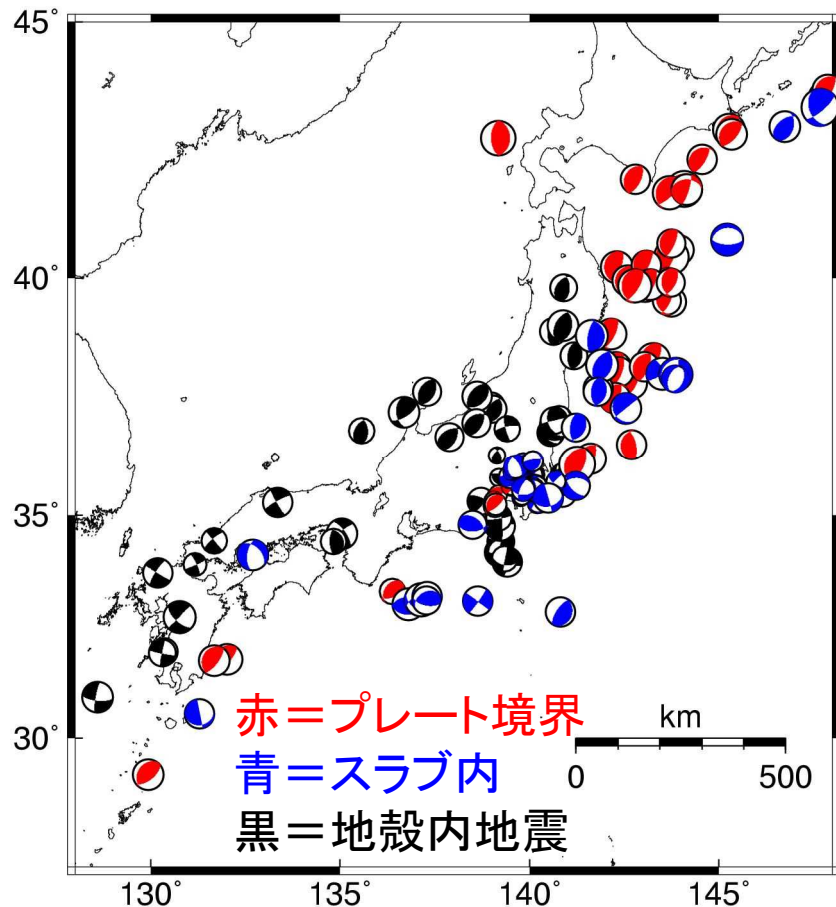
※相模トラフ沿いの地震の震源モデルについては、内閣府において検討中

上下成分の経験式のデータと式

1987年～2016年4月

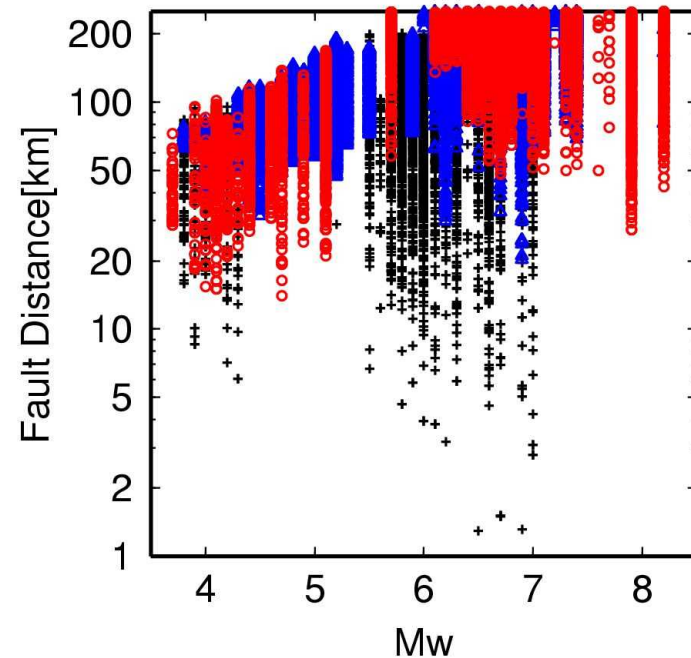
震央位置＝気象庁

CMT解＝F-net & Global CMT



- ・関東地方の地震 $M_j 4.0 \sim 6.7$
- ・その他の地域 $M_j 6.5 \sim 8.2$

- + 地殻内地震
- プレート境界地震
- △ スラブ内地震



データ

水平成分の経験式作成に用いた地震観測点における上下成分

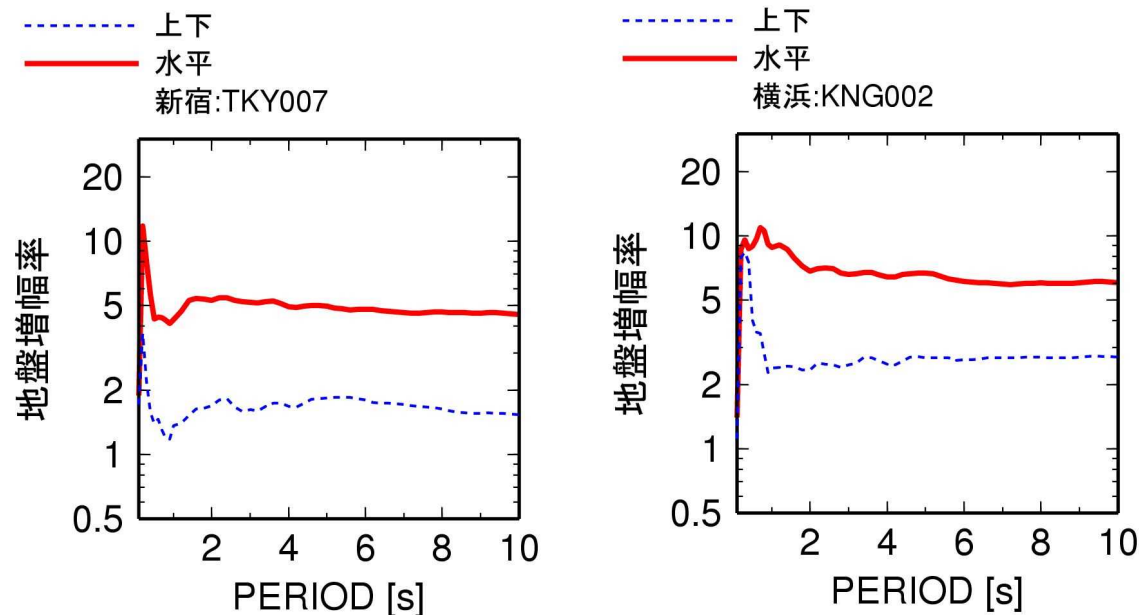
加速度応答スペクトルと群遅延時間の式の形
水平成分と同じ(周期0.1～10秒が対象)

上下成分の経験式の特徴

○加速度応答スペクトル、群遅延時間とも、周期1秒以下では地盤増幅率、サイト係数以外の回帰係数は、水平成分とほぼ同じ

- ・周期1秒以下は実体波が卓越
→震源から地震基盤まではS波部の水平成分と上下成分は同じで、地震基盤でSV波からP波に変換した波が上下成分の主体
- ・周期1秒以上は表面波が卓越

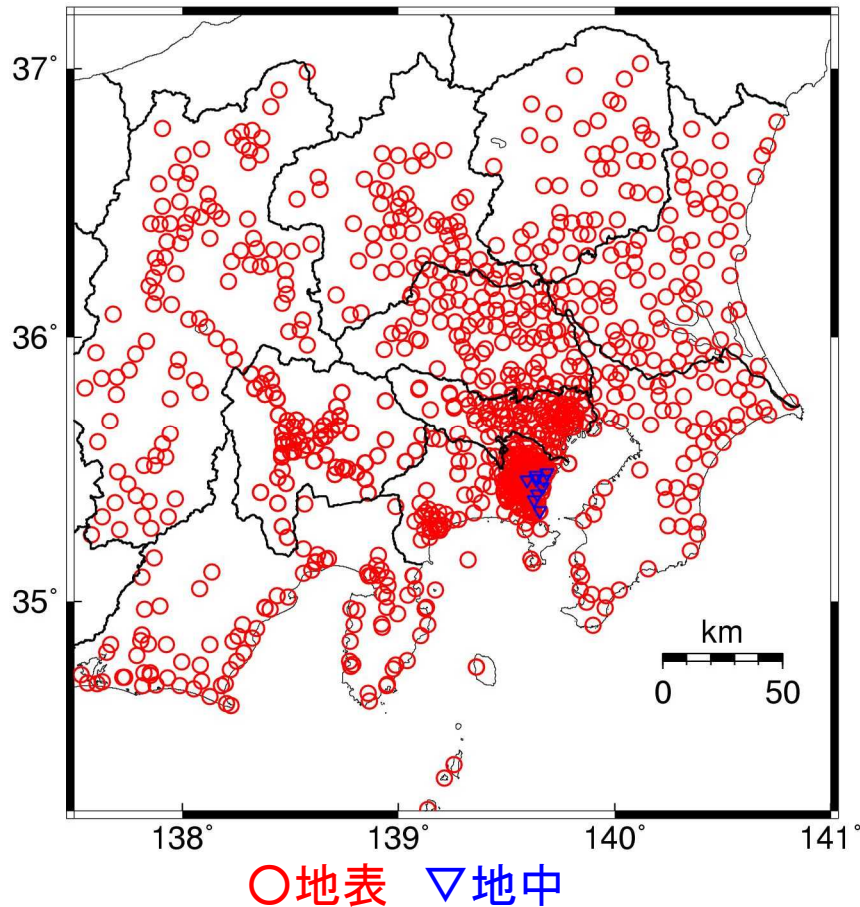
○周期1秒以上での地表での地盤増幅率は、水平成分 > 上下成分



SK-netのデータ

応答スペクトルと群遅延時間の経験式作成に用いたデータと同じ条件でSK-netのデータを選択

SK-netの観測点



経験式作成に用いたデータ

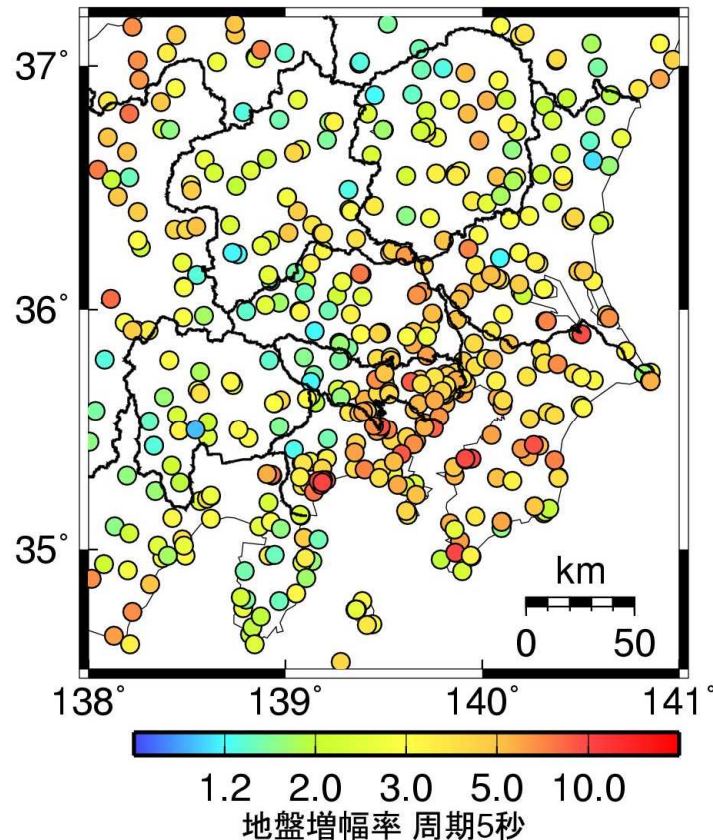
	地震数	地震観測点ペア数	
		水平成分	上下成分
プレート境界地震	55	6358	6358
スラブ内地震	52	6881	6880
地殻内地震	53	11315	11311

SK-netのデータ

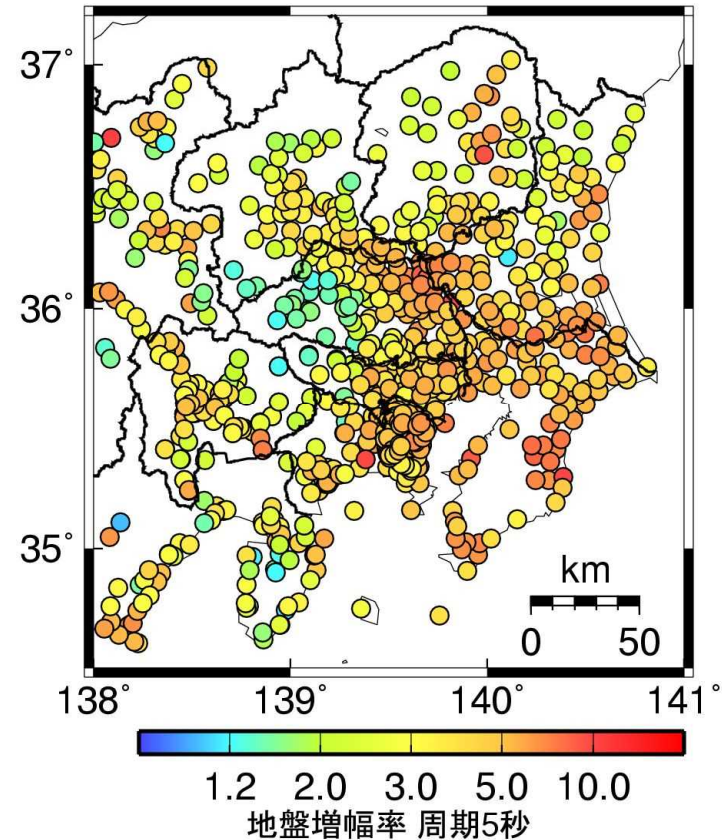
	地震数	地震観測点ペア数	
		水平成分	上下成分
プレート境界地震	22	4370	4370
スラブ内地震	28	7575	7575

SK-netの地表での地盤増幅率・サイト係数の算出

応答スペクトルと群遅延時間の経験式に基づき、SK-net地震観測点での地盤増幅率、サイト係数を算出



経験式作成に用いた観測点



SK-netの観測点

周期5秒での地震基盤から地表までの地盤増幅率

SK-netの観測点を追加することで、計算可能地点が密になった

地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅率の算出

工学的基盤($V_s=400\text{m/s}$)から地表までのS波の地盤増幅率を除去する

防災科学技術研究所(Senna et al., 2013)の地盤モデル

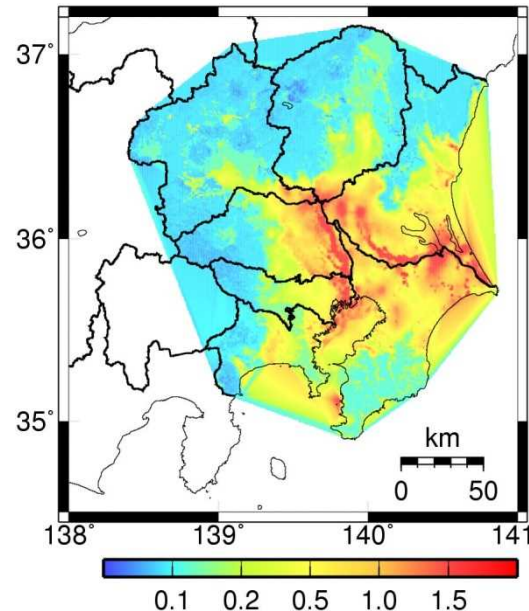
地表での地震波形

1次元波動理論

工学的基盤での地震波形

工学的基盤での応答スペクトル

K-NET, KiK-net観測点→浅部・深部統合地盤
モデル作成に用いた観測点直下の地盤モデル
その他の観測点→浅部・深部統合地盤モデル



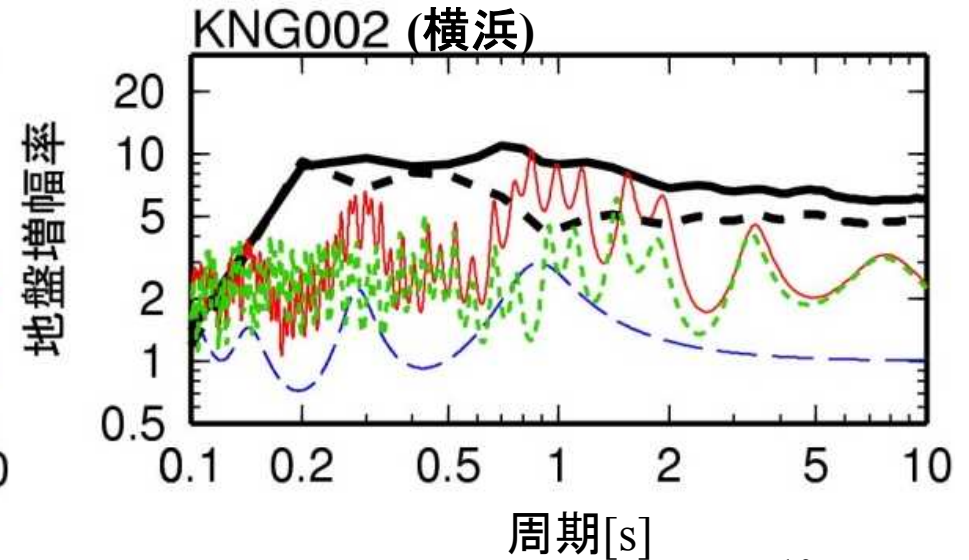
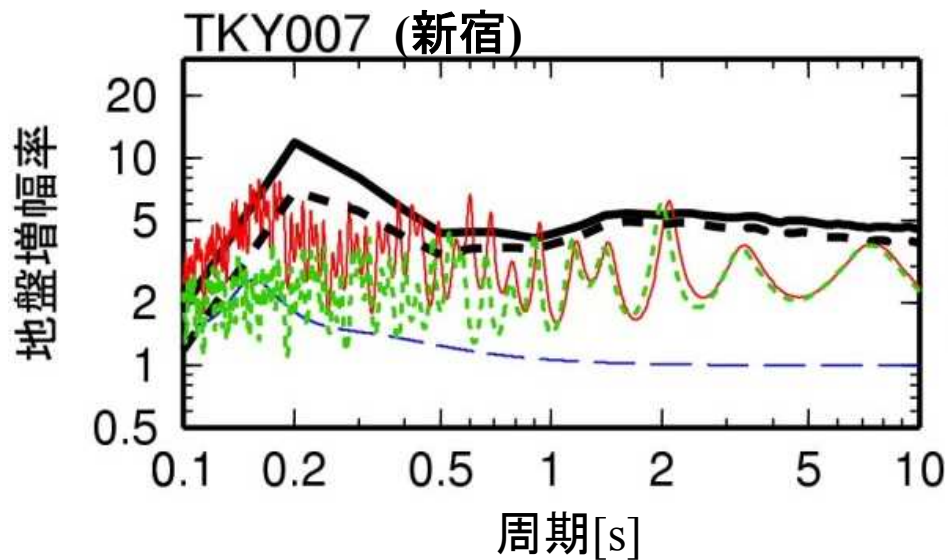
工学的基盤から地表
までの固有周期
 $=4\sum(H_i/V_{s_i})$
 H_i : i 層の厚さ
 V_{s_i} : i 層のS波速度

浅部・深部統合地盤モデルに基づく固有周期[s]

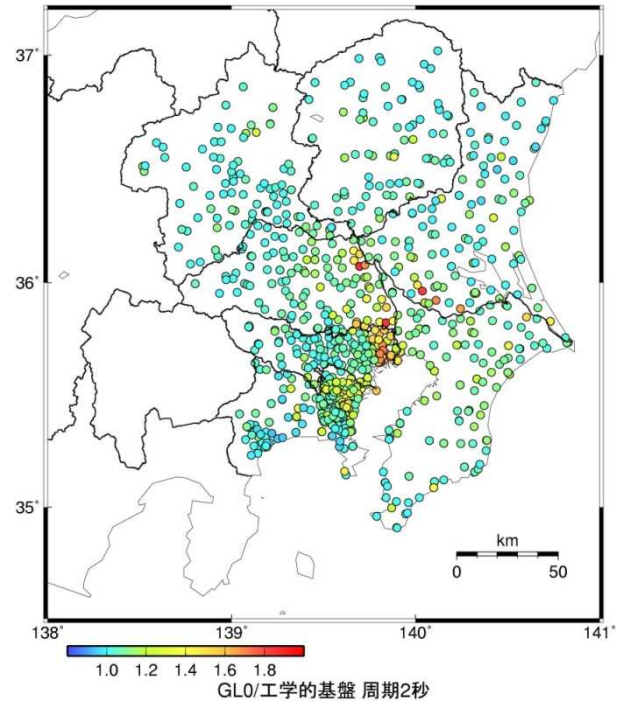
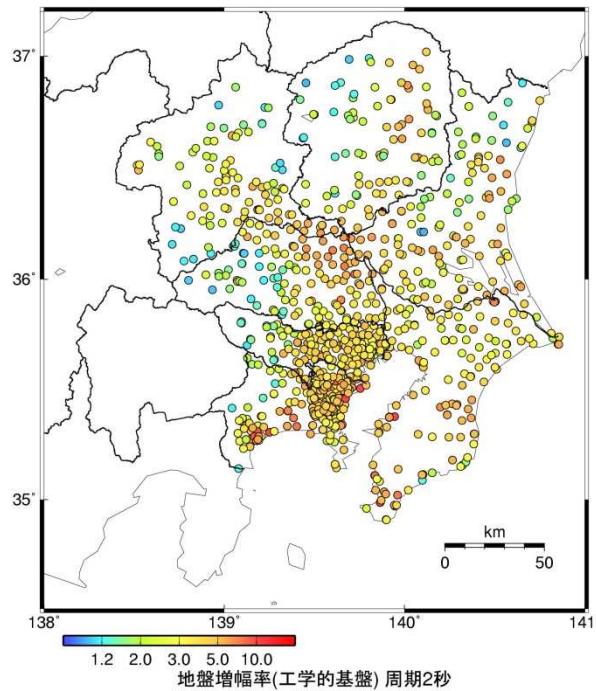
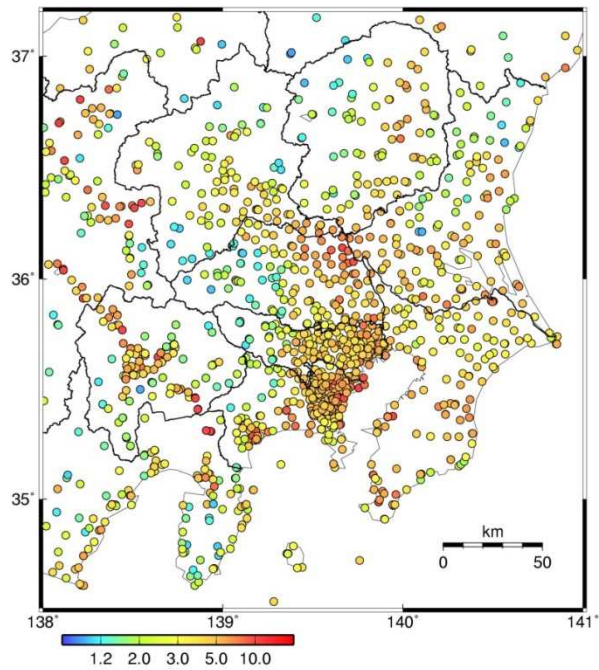
工学的基盤での地盤増幅率 = 地表での地盤増幅率 ×
[(工学的基盤での応答スペクトル)/(地表での応答スペクトル)]の平均値

応答スペクトルの地盤増幅率と 1次元理論地盤増幅率

- 地震基盤から工学的基盤までの1次元理論地盤増幅率
- 地震基盤から工学的基盤までの応答スペクトルの地盤増幅率
- 工学的基盤から地表までの1次元理論地盤増幅率
- 地震基盤から地表までの1次元理論地盤増幅率
- 地震基盤から地表までの応答スペクトルの地盤増幅率



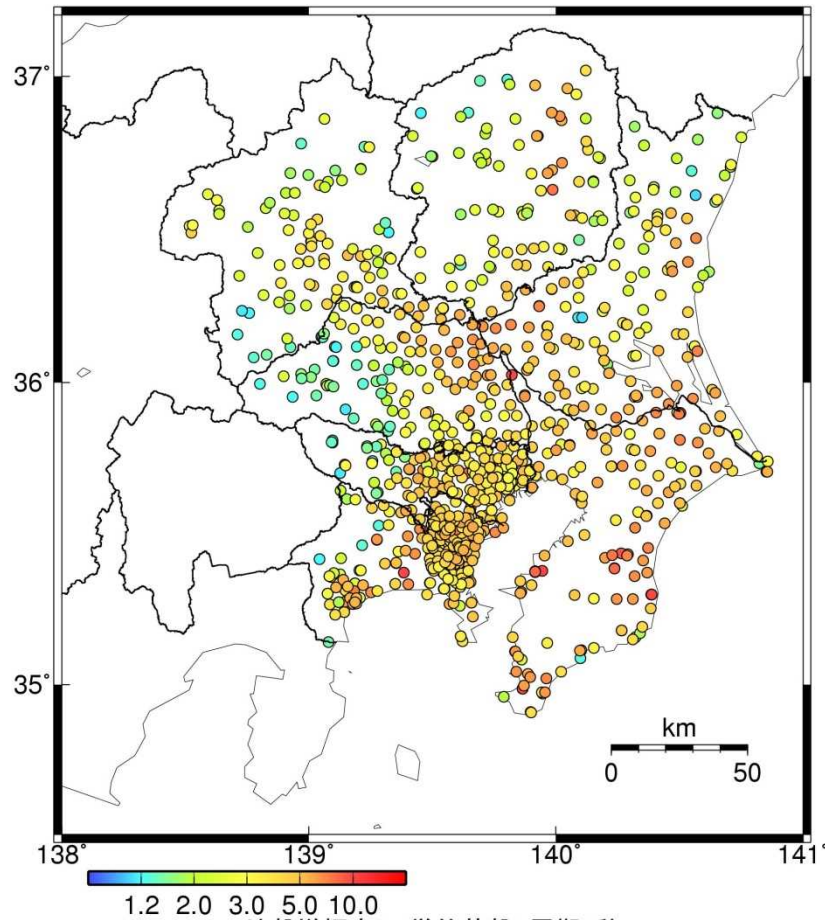
地表と工学的基盤での地盤増幅率(周期2秒)



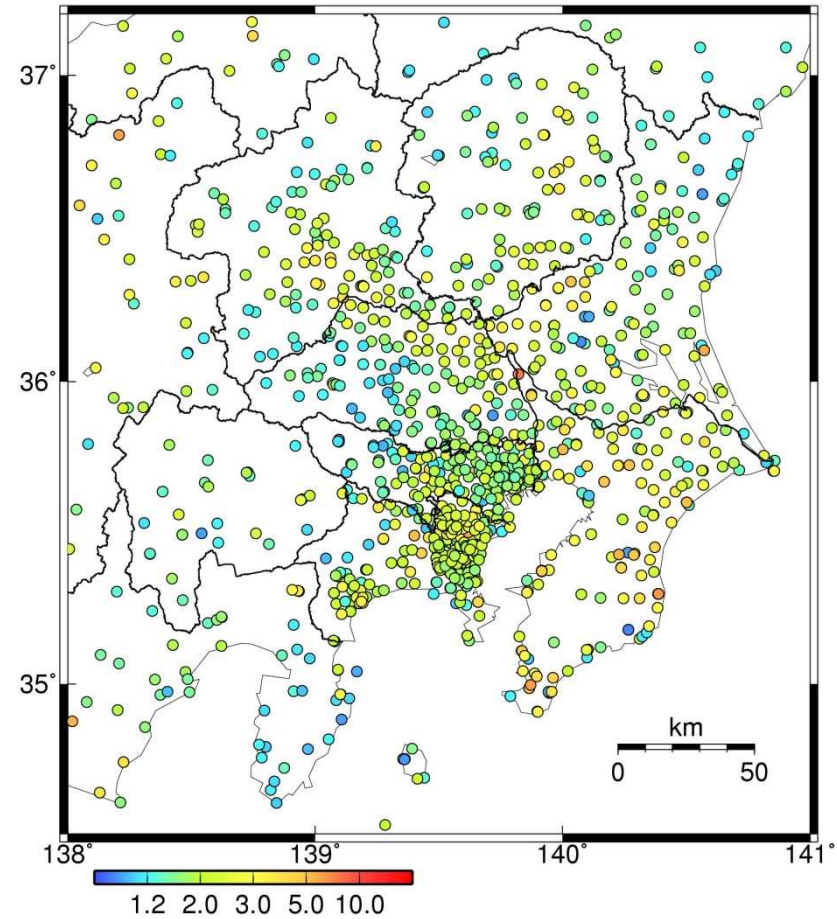
地表での地盤増幅率 工学的基盤での地盤増幅率

工学的基盤に対する地表での地盤増幅率の比

水平成分と上下成分の工学的基盤での地盤増幅率 (周期5秒)



水平成分



上下成分

上下成分は周期1秒以上
では、地表=工学的基盤

任意地点の工学的基盤での地盤増幅率 C^E の回帰式

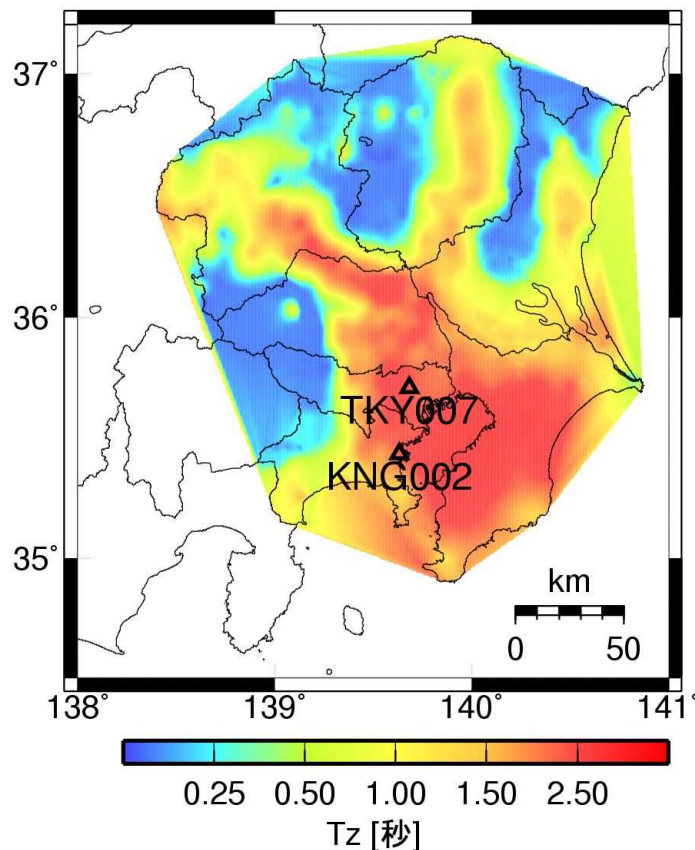
$$\log_{10} C^E(T) = p_0(T) + p_1(T) Tz \quad 0.2 \leq Tz \leq 1.0$$

$$\log_{10} C^E(T) = p_0(T) + p_1(T) + p_2(T)(Tz - 1.0) \quad 1.0 < Tz \leq 3.51$$

ここで、 p_0 、 p_1 、 p_2 は、回帰係数

$Tz < 0.2$ では、 $Tz = 0.2$ の値で一定

用いた観測点の Tz の最大値3.51以上で、 $Tz = 3.51$ の値で一定



Tz = 地震基盤から工学的基盤までのS波の伝播時間(約250メッシュの浅部・深部地盤統合モデルに基づき算出)

$$Tz = \sum (H_i / Vs_i)$$

H_i : i 層の厚さ

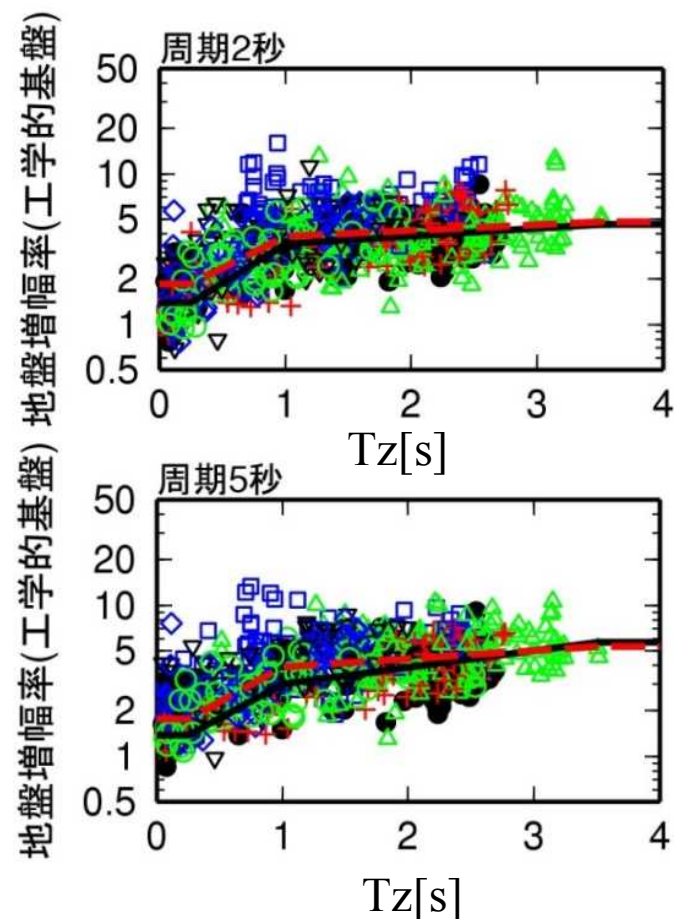
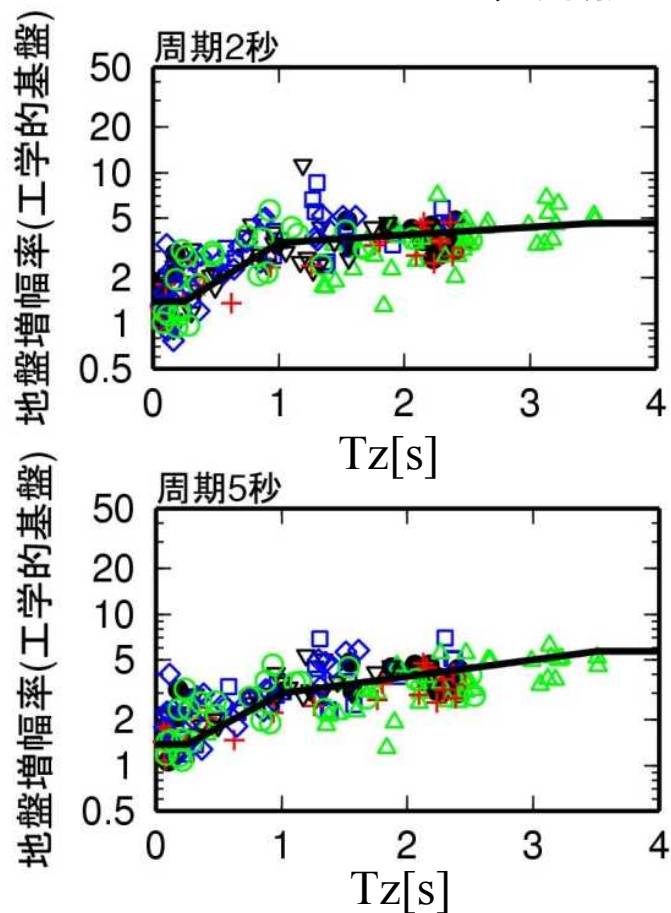
Vs_i : i 層のS波速度

工学的基盤での地盤増幅率と T_z の関係と回帰式

●東京 □神奈川 ▲千葉 ▼茨城 +埼玉 ◇栃木 ○群馬

—— K-NET、KiK-net観測点での回帰式(周期3秒以下で採用)

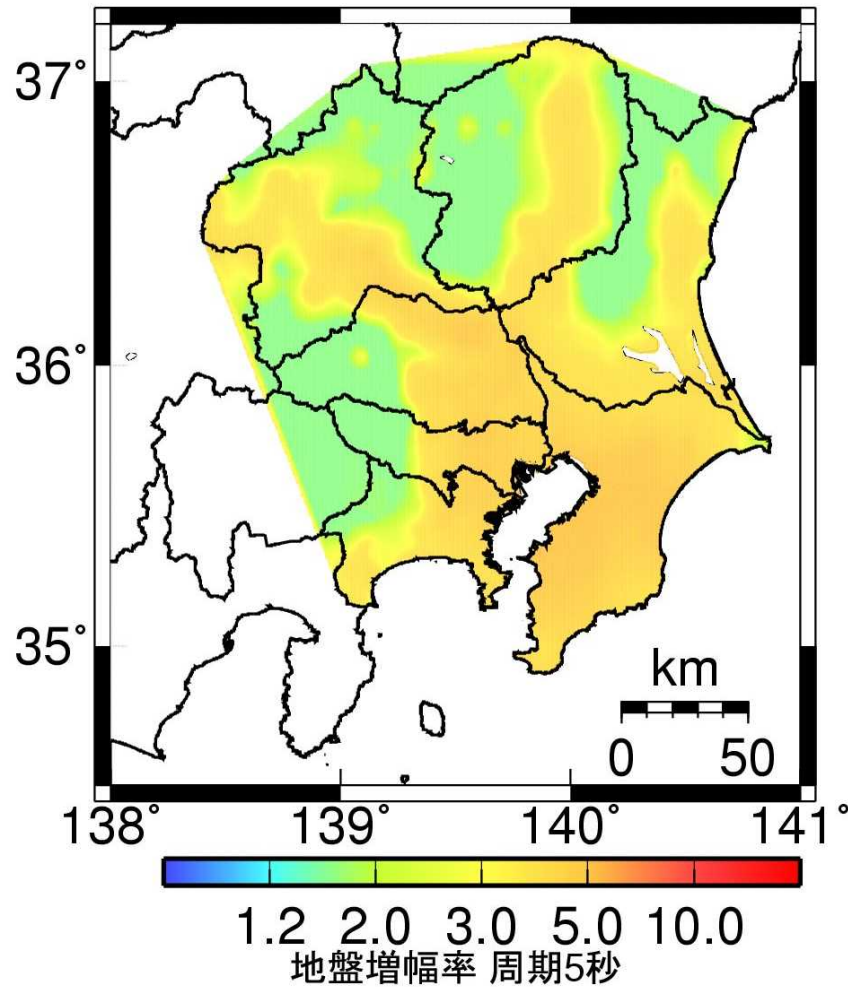
- - - 全観測点での回帰式(周期3秒を超える周期で採用)



観測点直下の地盤モデルがあるK-NET、KiK-net観測点

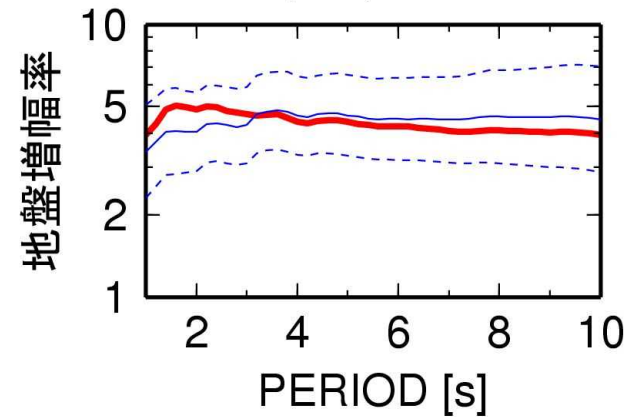
全観測点

Tzと工学的基盤での地盤増幅率の回帰式 に基づく地盤増幅率

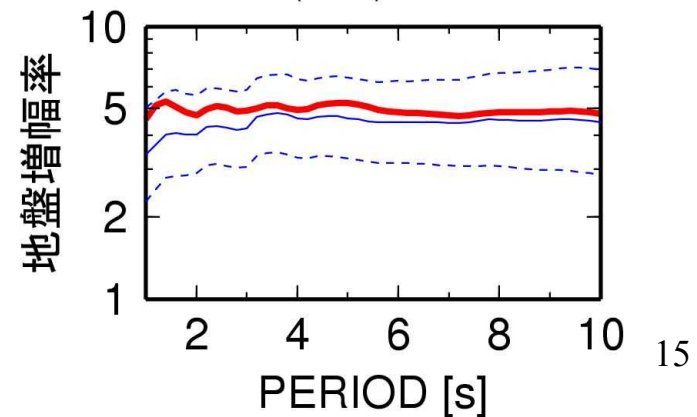


工学的基盤での地盤増幅率 C^E の回帰式に
基づく周期5秒での地盤増幅率

- Tzを用いた平均値±標準偏差
- Tzを用いた平均値
- TKY007(新宿)

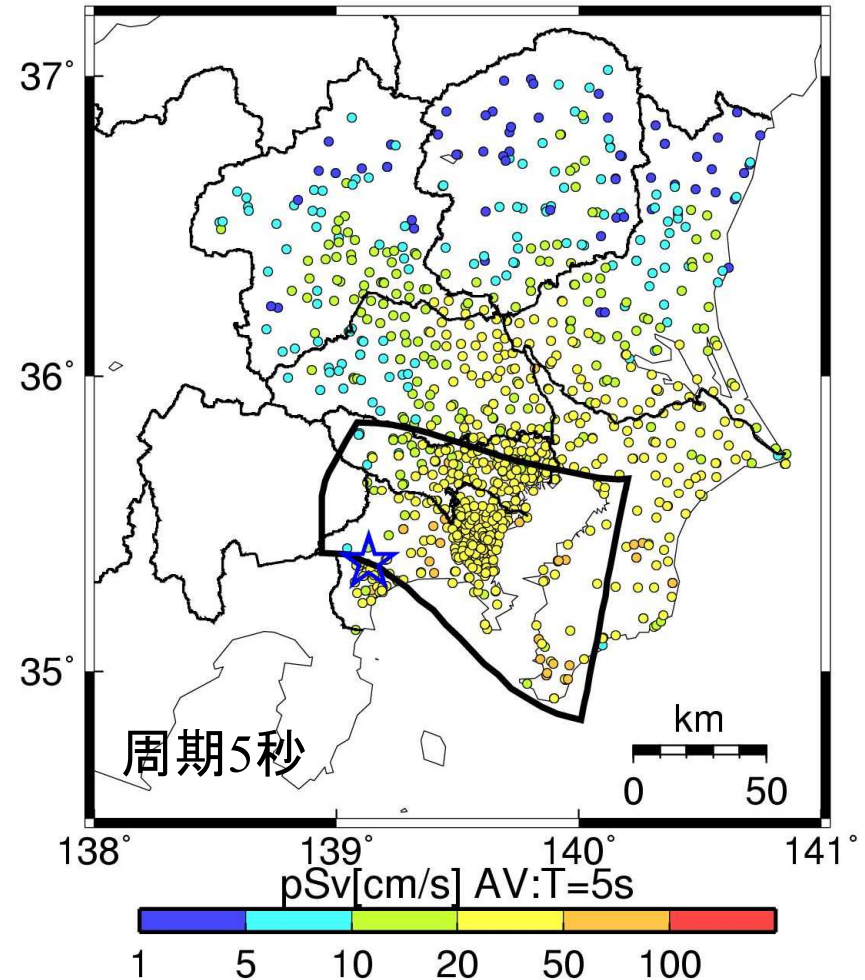
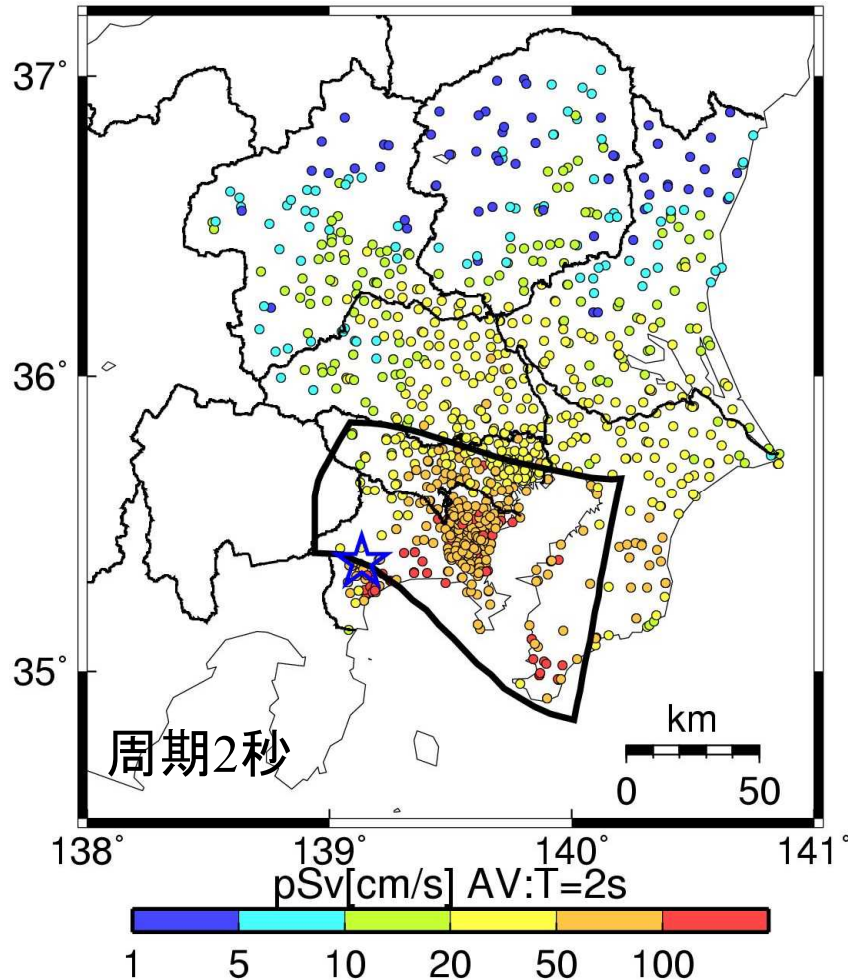


- Tzを用いた平均値±標準偏差
- Tzを用いた平均値
- KNG002(横浜)



大正関東地震(Mw7.9)に対する試算

地震観測点の工学的基盤での擬似速度応答スペクトルpSv (h=5%)



黒線＝地震本部(2016)の大正関東地震T1タイプ(Mw7.9)の曲面巨視的断層面

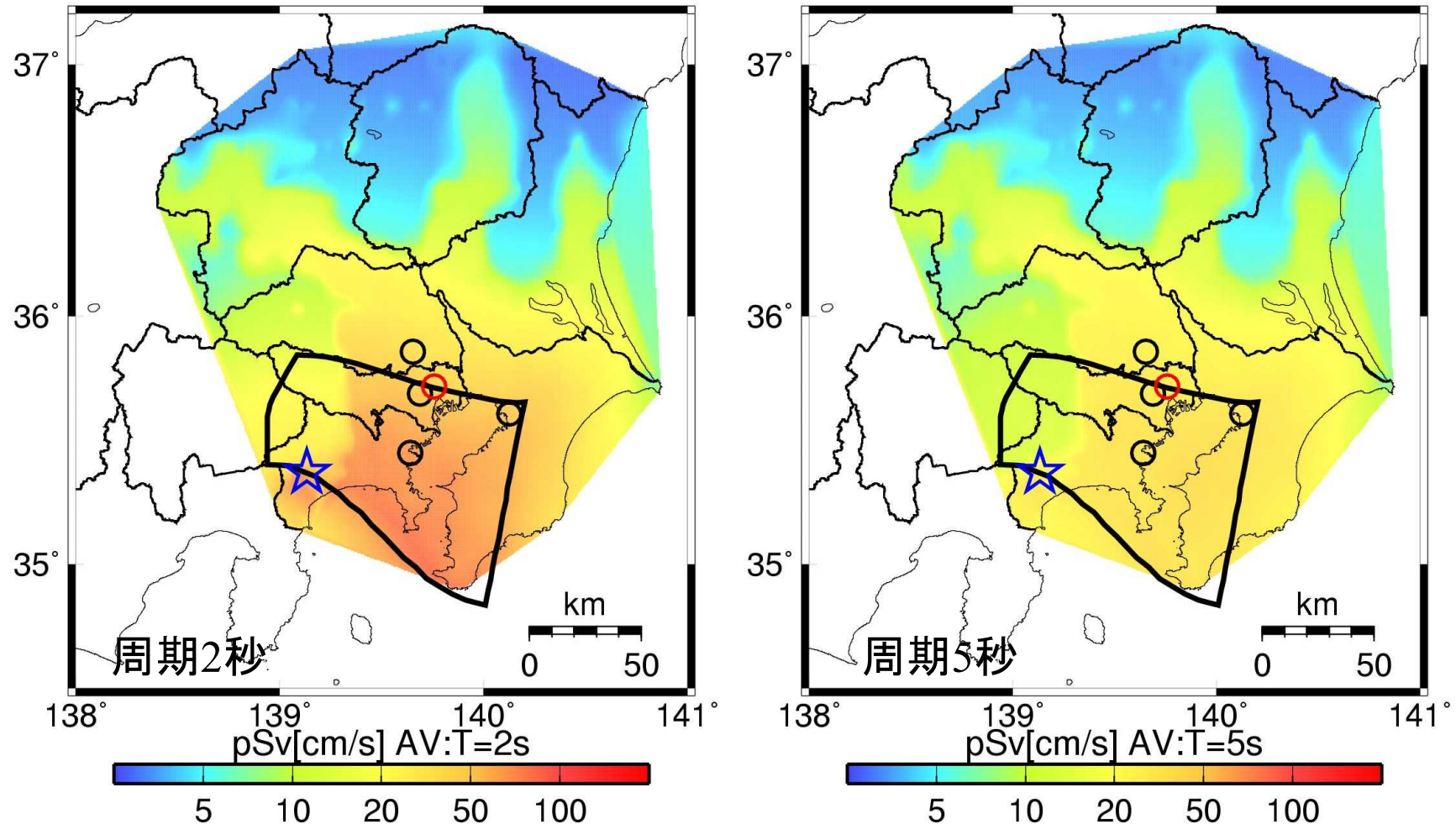
☆＝地震本部(2016)の大正関東地震相当の破壊開始点

16

地震動の大きさ等の数値については、引き続き精査を要するものであり、そのまま設計用長周期地震動となるものではない

大正関東地震(Mw7.9)に対する試算

Tzを用いた回帰式による工学的基盤での約250mメッシュのpSv (h=5%)



黒線＝地震本部(2016)の大正関東地震T1タイプ(Mw7.9)の曲面巨視的断層面

☆＝地震本部(2016)の大正関東地震相当の破壊開始点

○＝本郷 ○都県庁

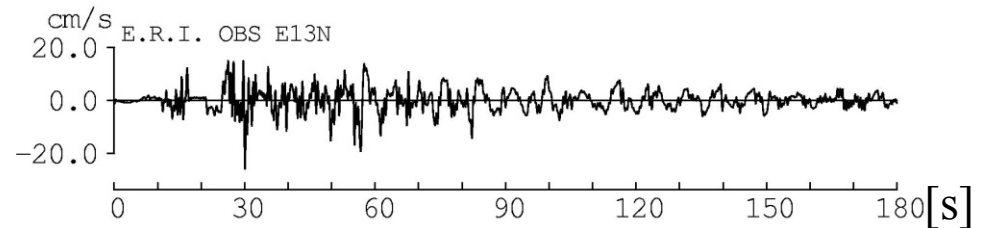
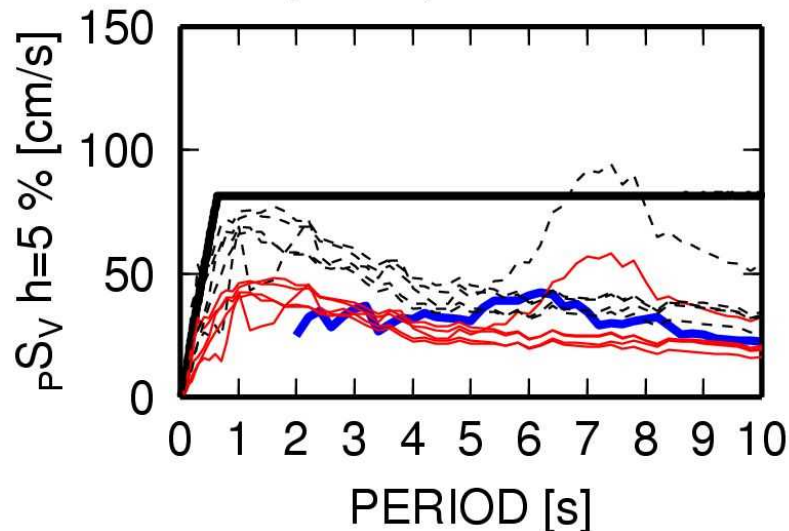
17

地震動の大きさ等の数値については、引き続き精査を要するものであり、そのまま設計用長周期地震動となるものではない

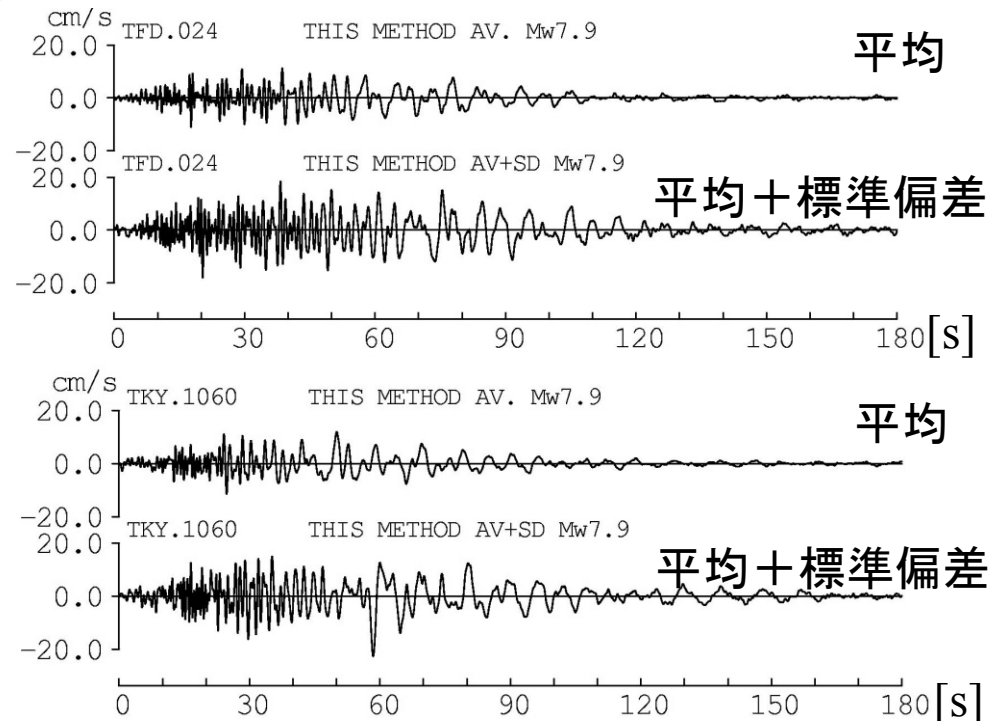
大正関東地震(Mw7.9)に対する本郷周辺での試算

- 告示スペクトル
- 本検討(平均+標準偏差):near 5 stations
- 本検討(平均):near 5 stations
- 復元波 E13N(横田・他1989)

大正関東地震(Mw7.9):本郷



(a)本郷での復元波



(b)本郷に近い2地点での本手法の計算波

周期0.5~10秒の速度フィルター波

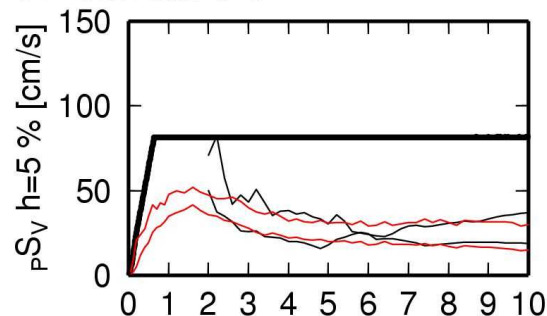
地震動の大きさ等の数値については、引き続き精査を要するものであり、そのまま設計用長周期地震動となるものではない

大正関東地震に対する都県庁での 試算値と地震本部(2016)の計算波の比較

地震本部(2016)の三次元有限差分法による計算波は、**Mw7.9**と**Mw8.0**の複数のシナリオによる計算波のうち速度応答スペクトルが平均に近い計算波

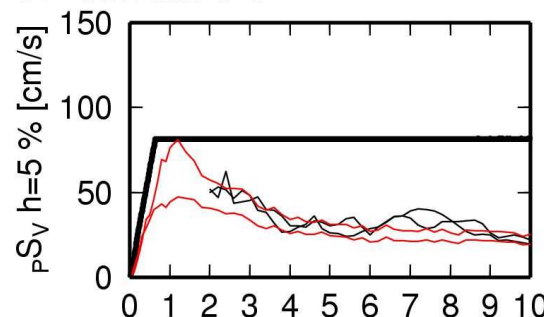
— 告示スペクトル
— 本検討(Mw7.9):near 2 stations
— 地震本部(2016)NS&EW:埼玉県庁

大正関東地震:平均



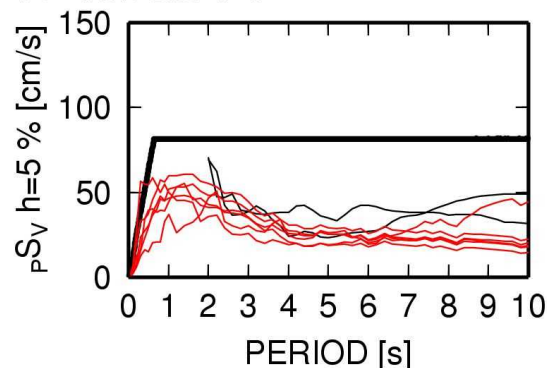
— 告示スペクトル
— 本検討(Mw7.9):near 2 stations
— 地震本部(2016)NS&EW:千葉県庁

大正関東地震:平均



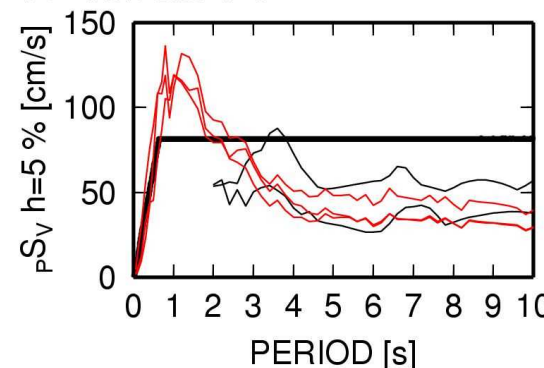
— 告示スペクトル
— 本検討(Mw7.9):near 5 stations
— 地震本部(2016)NS&EW:東京都庁

大正関東地震:平均



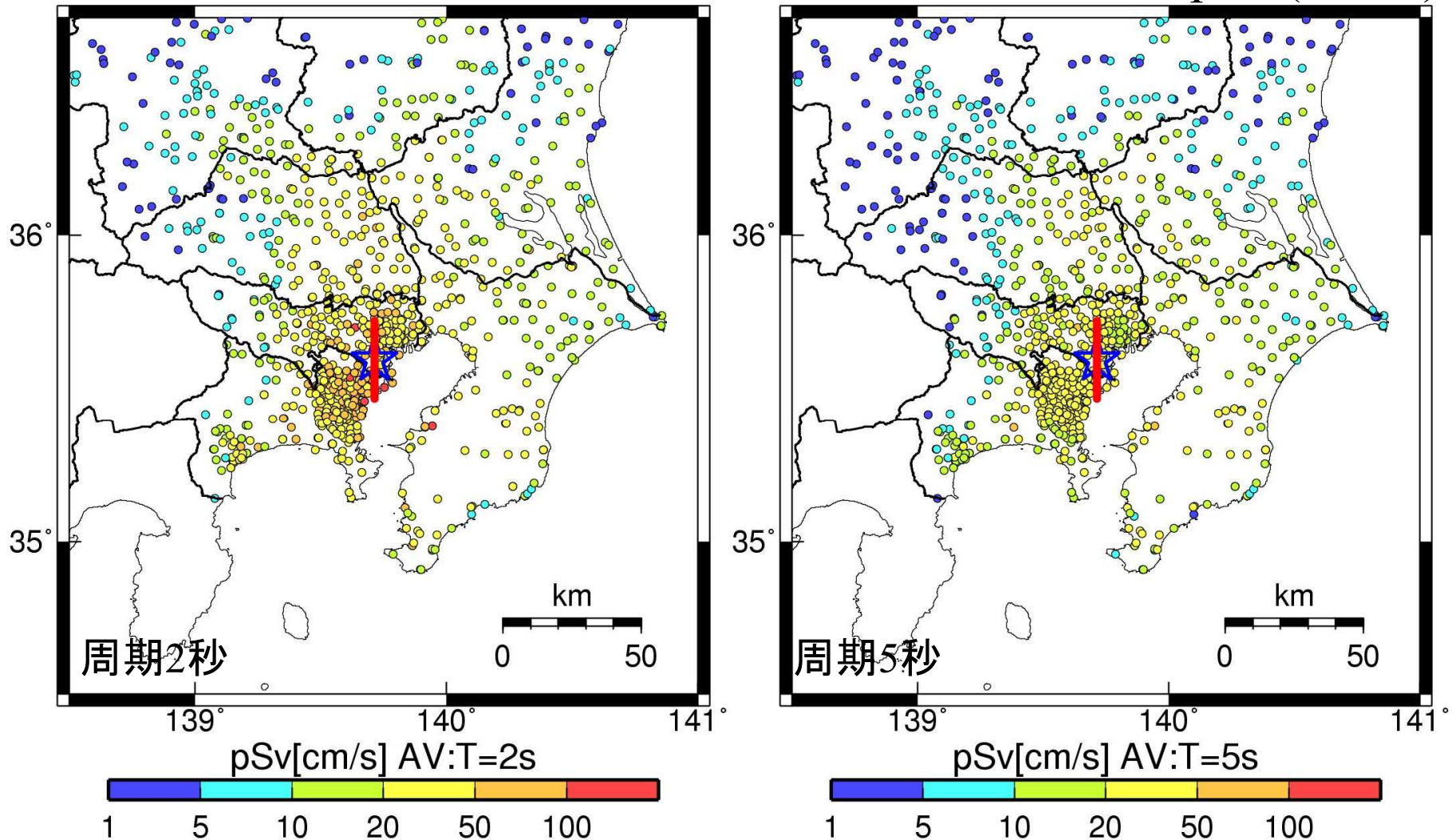
— 告示スペクトル
— 本検討(Mw7.9):near 3 stations
— 地震本部(2016)NS&EW:神奈川県庁

大正関東地震:平均



都心南部直下地震(Mw7.3)に対する試算

地震観測点の工学的基盤での擬似速度応答スペクトルpSv (h=5%)



赤線＝内閣府(2013)の都心南部直下地震の鉛直断層面

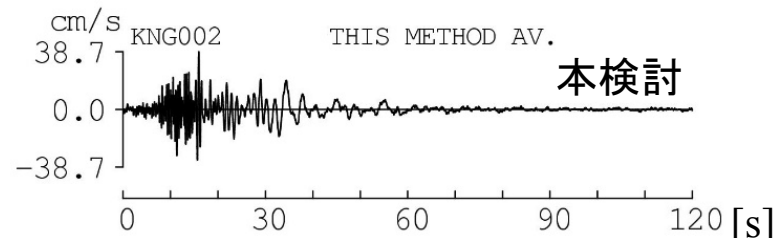
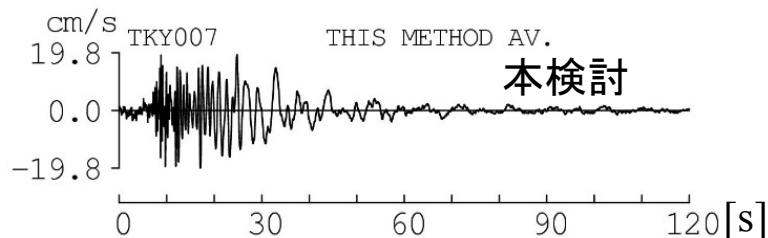
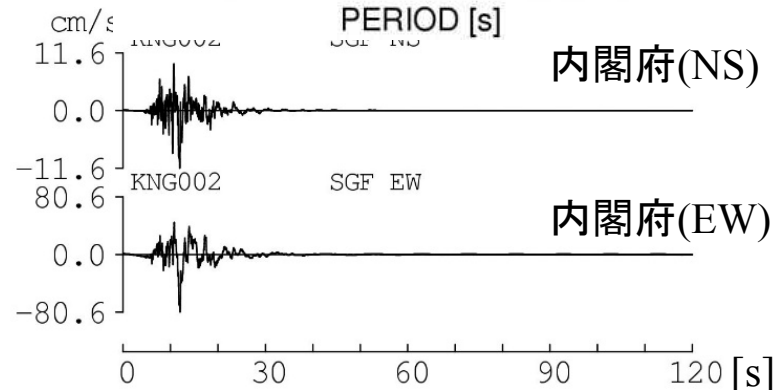
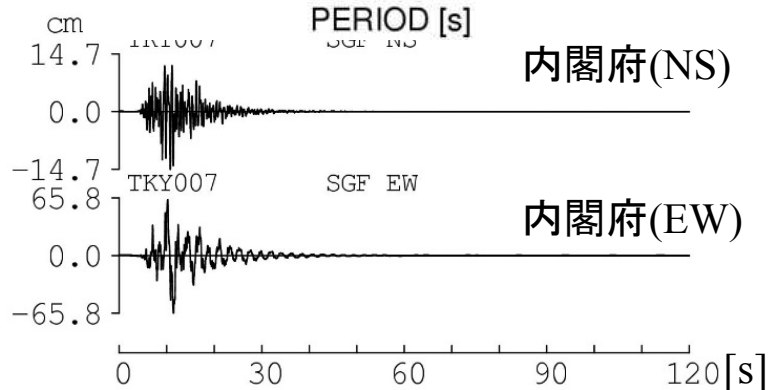
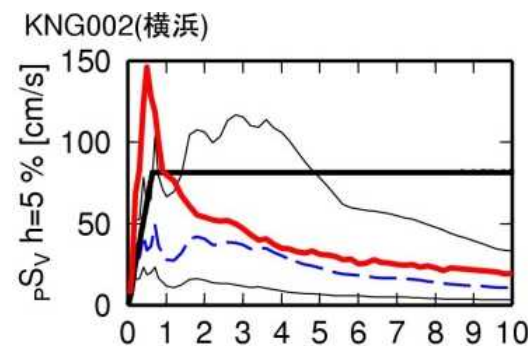
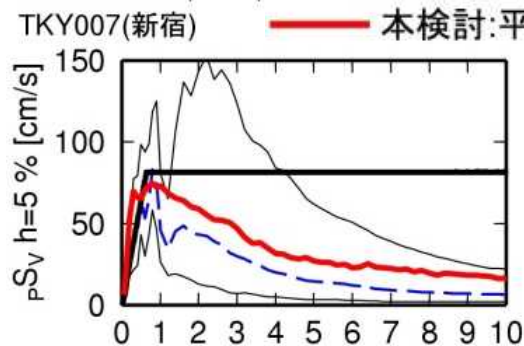
☆＝内閣府(2013)の都心南部直下地震の破壊開始点

20

地震動の大きさ等の数値については、引き続き精査を要するものであり、そのまま設計用長周期地震動となるものではない

都心南部直下地震(Mw7.3)に対する試算値と 内閣府(2013)の計算波との比較

--- 内閣府(2013)NSとEWの平均 } 統計的グリーン関数法
 — 内閣府(2013)NS&EW } (周期3秒程度以下が有効)
 — 告示スペクトル
 — 本検討:平均



周期0.1~10秒の速度波形

まとめ

平成29年度は、昨年度に実施した、相模トラフ沿いの地震の地震観測点における地表での水平成分の長周期地震動の計算手法を元に、以下の検討を行った。

1. 上下成分の経験式の作成
2. SK-net地震記録の追加による高密度化
3. 工学的基盤での地盤増幅率・サイト係数の算出
4. 1都6県の任意地点での計算のための回帰式の作成
5. 上記手法の既往の震源モデルに基づく相模トラフ沿いの地震への適用

以上の結果、1都6県の任意地点で、相模トラフ沿いの地震に対する工学的基盤での水平・上下成分の計算が可能となった。この計算手法で試算した、大正関東地震や都心南部直下地震は、概ね復元波や既往の計算波と同レベルであった。

※本検討において試算した地震動は既往の震源モデルを用いた試算であり、そのまま建築規制として設計用地震動となるものではない

※相模トラフ沿いの地震の震源モデルについては、内閣府において検討中

謝辞

本事業では、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netの記録、F-netのCMT解、ご提供頂いた1都6県での浅部・深部統合地盤モデルとK-NET、KiK-net観測点直下での浅部地盤モデル、気象庁の87型、95型の記録、一元化震源情報、建築学会が収集した各機関の1987年千葉県東方沖地震の記録、工学院大学の地震記録を用いました。また、東京大学地震研究所が首都圏の自治体等の協力を得て運営しているSK-netの強震記録を用いました。さらに、地震本部から、関東地震の断層モデルのデータをご提供頂くとともに、公開計算波形を用いました。また、内閣府が公開している震源モデル、計算波形を用いました。なお、一部の図の作成には、GMT(Wessel and Smith, 1998)を用いました。記して、感謝致します。