

関東地域における長周期地震動の 確率論的地震ハザード解析

安中正¹・原田光男²・権守英樹³・東貞成⁴・佐藤浩章⁵

¹東電設計株式会社土木本部地震・地震動解析専門職 (〒110-0015東京都台東区東上野3-3-3)

E-mail: annaka@tepsco.co.jp

²東京電力株式会社建設部土木・建築技術センタースペシャリスト

(〒100-8560東京都千代田区内幸町1-1-3)

E-mail: m.harada@tepcoco.jp

³東京電力株式会社建設部土木・建築技術センター火力原子力土木技術グループ

(〒100-8560東京都千代田区内幸町1-1-3)

E-mail: gonnokami.h@tepcoco.jp

⁴電力中央研究所地球工学研究所地震工学領域上席研究員 (〒270-1194千葉県我孫子市我孫子1646)

E-mail: higashi@criepi.denken.or.jp

⁵電力中央研究所地球工学研究所地震工学領域 (〒270-1194千葉県我孫子市我孫子1646)

E-mail: hiroakis@criepi.denken.or.jp

関東地域において周期2~20秒の長周期地震動を対象とした確率論的地震ハザード解析を行うために、減衰1%擬似速度応答スペクトルと継続時間の指標(減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルの比)に対する推定式を作成した。推定式を作成では、2000~2006年の間に発生した18個の地震に対する観測記録とともに、想定南関東地震(M_J7.9)と関東平野北西縁断層帯で発生する地震(M_J8.0)に対する三次元数値シミュレーションによる計算波形を合わせて用いた。得られた推定式を用い、確率論的地震ハザード解析を行った結果を示すと同時に、確率論的地震ハザード解析に基づき長周期の模擬地震動を作成した例を示した。

Key Words : Long period earthquake ground motion, probabilistic seismic hazard analysis, pseudo velocity response spectrum, energy spectrum, duration, simulated earthquake motion

1. はじめに

周期が数秒から十数秒の長周期地震動は、油タンクのスロッシングや超高層ビル、長大橋のような長周期構造物に大きな影響を与える。長周期地震動の強さは、震源特性(地震の規模と深さ)と地点下部の地盤構造(深部地下構造)の両方の影響を受けるとされている^{例えば 1)}など、巨大地震による長周期地震動が構造物に与える影響を把握するためには、長周期地震動の特性に及ぼす震源特性と地盤構造の影響を明らかにする必要がある。

本研究では、関東地域において周期 2~20 秒の長周期地震動を対象とした確率論的地震ハザード解析を行うために、地震動強さの指標(減衰1%擬似速度応答スペクトル)と継続時間の指標(減衰10%のエネルギースペクトル²⁾と速度応答スペクトルとの比)に対する推定式

を作成した。地震動強さの指標として、減衰1%擬似速度応答スペクトルを選定したのは、長周期地震動の影響が大きいのは減衰が小さい場合であること、石油タンクのスロッシングに対する規定が減衰1%の速度応答スペクトルで与えられていること³⁾などによる。継続時間の指標として減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比を選定したのは、エネルギースペクトルが時間に関する積分により継続時間の影響を含んでいること、速度応答スペクトルとの比を取ることで振幅の大きさを規格化できること、累積エネルギーの区間(例えば5~95%)で継続時間を定義⁴⁾するには記録の長さが不十分な記録が多いこと、建築分野で減衰10%のエネルギースペクトルが使われていること⁵⁾などによる。

推定式を作成では、2000~2006年の間に発生した18

個の地震に対する観測記録とともに、想定南関東地震（ $M_L7.9$ ）と関東平野北西縁断層帯で発生する地震（ $M_L8.0$ ）に対する三次元数値シミュレーションによる計算波形を合わせて用いた。これは、関東地域の周辺で浅くてマグニチュードが大きな地震が発生していないため、地震観測記録だけで検討したのでは不十分と考えたためである。

得られた推定式（平均的な式とそれからの偏りを示す地点特性の組み合わせ）を用い、想定地震による長周期地震動の推定結果を示すとともに、関東および周辺地域を対象として設定されている地震発生モデルと組み合わせて確率論的地震ハザード解析を実施した。また、確率論的地震ハザード解析に基づき作成した一様ハザード応答スペクトルを目標応答スペクトルとして模擬地震動を作成する方法を示した。

2. 長周期地震動の推定式

地震観測記録および三次元数値シミュレーションによる計算波形を用い、地震動強さの指標（減衰1%擬似速度応答スペクトル）と継続時間の指標（減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比）に対する推定式を作成した。検討対象とする周期帯は、工学的な適用対象の固有周期および既往の距離減衰式の適用範囲を考慮して、周期2秒から20秒の範囲とした。

(1) 地震観測記録によるデータ

長周期地震動が励起するためには、震源である程度の長周期成分が生じる必要があり、そのためには地震の規模が大きいために必要である。K-NETの観測網が整備された1996年6月以降に関東および周辺地域で発生した気象庁マグニチュード（ M_L ）6.5以上の地震から関東地域で記録が得られている地震を抽出した。ただし、これらの中に関東地域近傍で発生した地震が含まれていなかったため、関東地域近傍については M_L 5.8～6.4の地震を追加した。検討対象とした18地震の震央分布を図-1に、地震の諸元を表-1に示す。これらの地震の記録（K-NET, KiK-net, 気象庁95型震度計観測網の記録）に対して、周期2秒から20秒の範囲の減衰1%擬似速度応答スペクトル、減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比を決定した。

(2) 三次元数値シミュレーションによるデータ

現状の三次元数値シミュレーション手法^{9, 7)}を6地震（表-1の地震番号1,2,3,13,14,18の地震）に適用し、関東地域で得られている観測記録と比較した。数値シミュレ

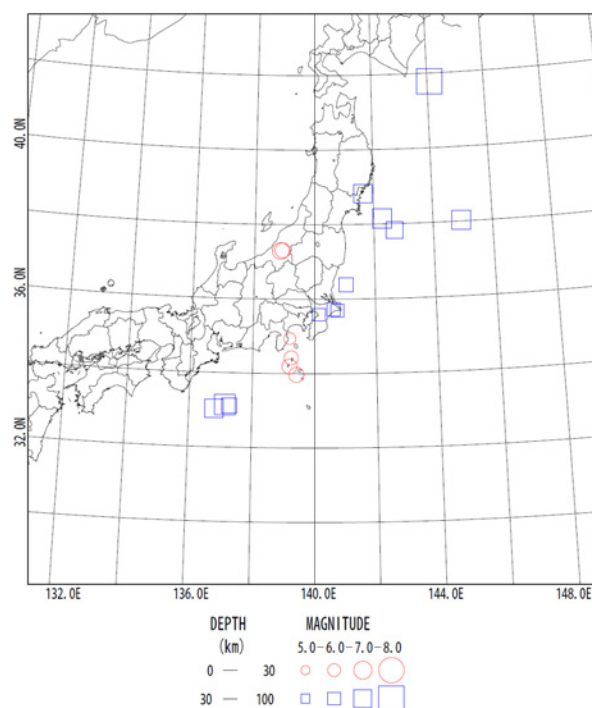


図-1 検討対象として選定した18地震の分布

表-1 検討対象とした地震のリスト

番号	地震諸元						
	年	月	日	時	分	秒	東経 北緯 深さ M
1	2000	6	3	17	54	47.70	140 44.79 35 41.39 48.06 6.1
2	2000	7	1	16	1	56.34	139 11.61 34 11.40 16.06 6.5
3	2000	7	15	10	30	32.00	139 14.51 34 25.40 9.70 6.3
4	2000	7	30	21	25	46.63	139 24.65 33 58.27 17.04 6.5
5	2003	5	26	18	24	33.42	141 39.04 38 49.26 72.03 7.1
6	2003	9	26	4	50	7.42	144 4.71 41 46.71 45.07 8.0
7	2003	10	31	10	6	30.67	142 41.76 37 49.93 33.35 6.8
8	2004	9	5	19	7	7.50	136 47.86 33 1.99 37.58 7.1
9	2004	9	5	23	57	16.81	137 8.48 33 8.25 43.54 7.4
10	2004	9	8	23	58	23.16	137 17.25 33 7.07 36.07 6.5
11	2004	10	23	17	56	0.30	138 52.03 37 17.55 13.08 6.8
12	2004	10	23	18	34	5.69	138 55.80 37 18.38 14.17 6.5
13	2005	4	11	7	22	15.63	140 37.27 35 43.61 51.51 6.1
14	2005	7	23	16	34	56.32	140 8.31 35 34.90 73.08 6.0
15	2005	8	16	11	46	25.74	142 16.67 38 8.97 42.04 7.2
16	2005	10	19	20	44	42.68	141 2.59 36 22.90 48.32 6.3
17	2005	11	15	6	38	51.38	144 56.68 38 1.63 45.00 7.2
18	2006	04	21	02	50	39.50	139 11.70 34 56.40 7.00 5.8

ーションに用いた地盤モデルのS波速度3000m/sの基盤層上面の深さ分布を図-2に、擬似速度応答スペクトルの比較例を図-3に示す。観測記録を十分に説明できていない点もあるが、定量的な評価にはある程度用いることが出来ると考えられる。

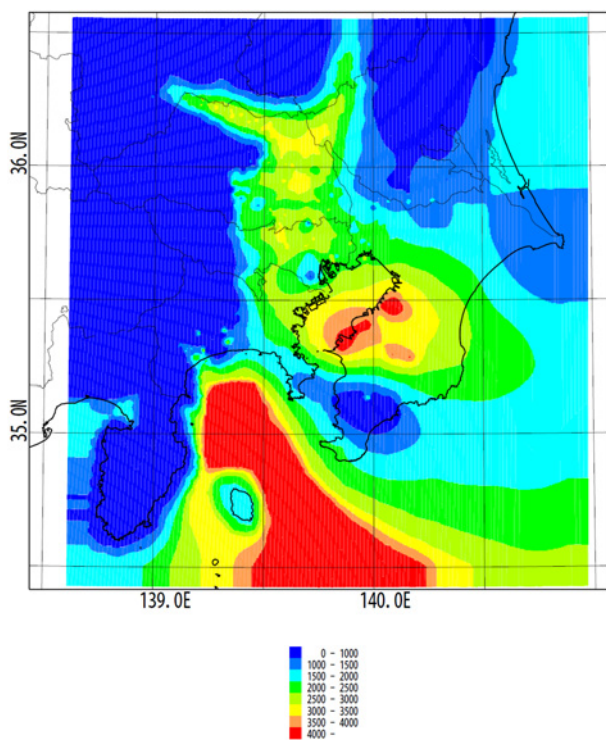


図-2 三次元数値シミュレーションに用いた地盤モデルのS波速度 3000m/s 層上面深度分布

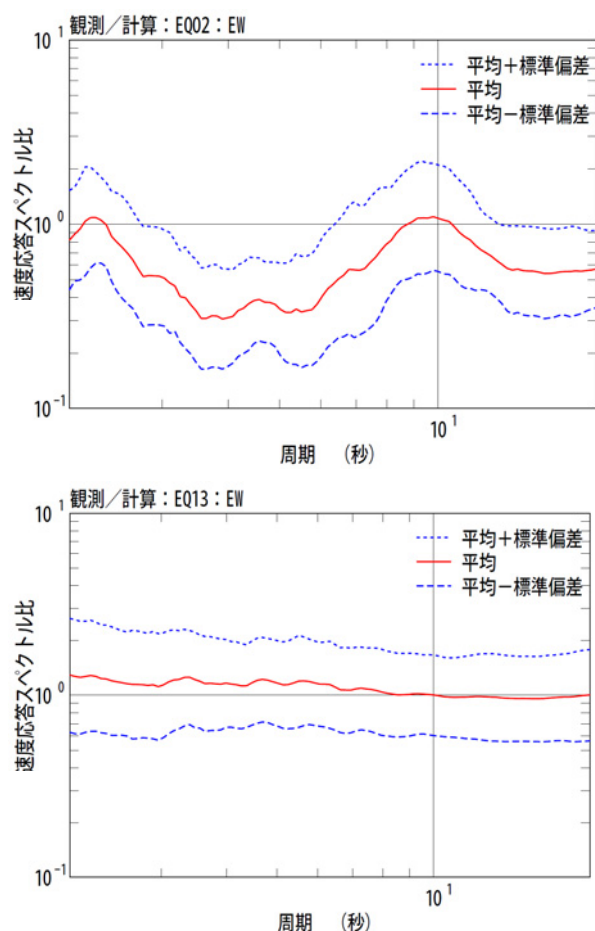


図-3 観測記録と三次元数値シミュレーションによる計算波形の比較（減衰1%擬似速度応答スペクトル比の平均と平均±標準偏差の範囲）

以上の検討に基づき、地震観測記録によるデータを補足するために、想定南関東地震（ M_j 7.9）と関東平野北西縁断層帯で発生する地震（ M_j 8.0）による長周期地震動を三次元数値シミュレーションにより作成し、地震観測記録によるデータと合わせて推定式の作成に用いた。

震源パラメータは、想定南関東地震はKobayashi and Koketsu⁸、関東平野北西縁断層帯で発生する地震は地震調査研究推進本部の長期評価結果⁹と「レシピ」¹⁰に基づいて設定した。計算領域に含まれるK-NETとKiK-netの観測点に対し速度波形を計算した。2つの地震による最大速度分布を図-4に示す。計算波形から、地震観測記録と同様に、減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比を決定した。

(3) 推定式の作成

18地震の中の11地震（地震番号1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13）および数値シミュレーションで地震動を評価した2地震について、断層面形状を設定し最短距離を評価した。その他は点震源として、震源距離を最短距離とした。また、日本海溝付近のプレート内の浅い位置で発生したと推定されている地震番号17の地震（正断層地震）については、気象庁による震源深さは45kmと評価されているが、本検討では10kmとした。

推定式の形は、関東地域の周期 4 秒以下の短周期領域を対象とした式¹¹と同じとした。式の形は次の通りである。

$$\log S(T) = Cm(T)M + Ch(T)H_c - Cd(T) \log(R + 0.35 \exp(0.65M)) + Co(T) \quad (1)$$

ここで、 T は周期、 $S(T)$ は水平 2 成分の地震動指標の平均、 M は気象庁マグニチュード、 H_c は断層面中心深さ、 R は断層面までの最短距離である。回帰には2段階回帰¹²を用い、1段階目で距離減衰の係数と地点特性、震源特性を求め、2段階目でマグニチュードと断層面中心深さに対する係数を求めた。回帰には最短距離 1000km 以下のデータを用いた。

減衰1%擬似速度応答スペクトルおよび減衰 10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比に対する回帰係数と周期の関係を図-5 に、誤差の評価結果を図-6 に示す。誤差は、地震内誤差と地震間誤差に分けて評価されている。減衰1%擬似速度応答スペクトルの周期 3 秒付近で地震間誤差がやや大きくなっているのは、その周期帯で観測記録と三次元数値シミュレーションによる計算波形の応答スペクトルにかなりの違いがあるためである。

減衰1%擬似速度応答スペクトルの場合、 $Cm(T)$ は 1.0 程度であるが、周期が長くなると大きくなる傾向が

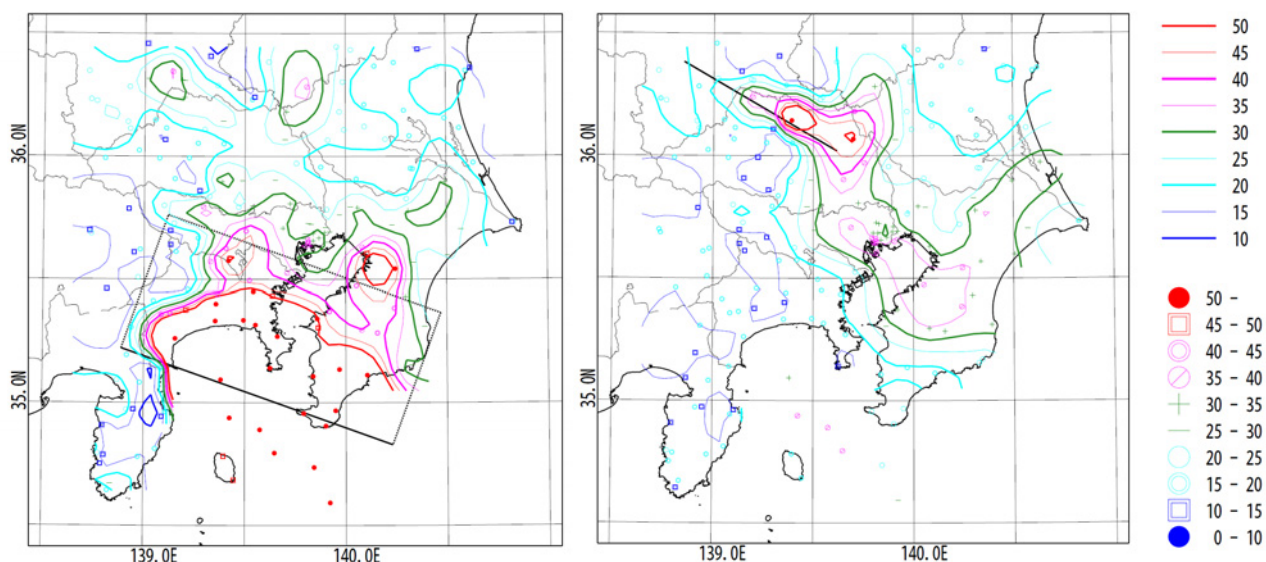


図-4 三次元数値シミュレーションによる想定南関東地震（マグニチュード 7.9）と関東平野北西縁断層帯で発生する地震（マグニチュード 8.0）による最大速度分布（水平 2 成分の平均：数字の単位は cm/s）

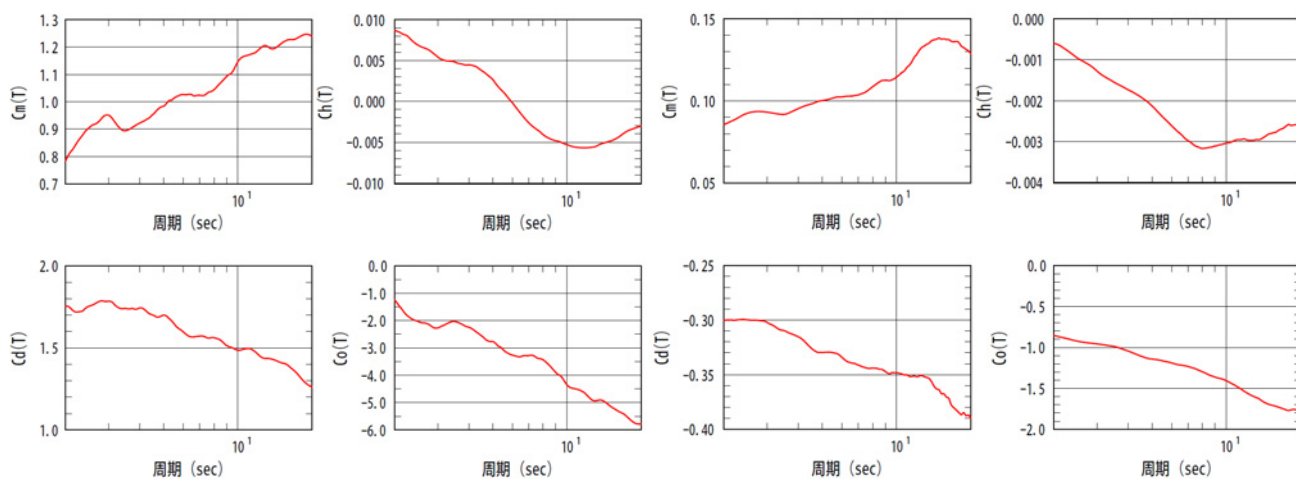


図-5 減衰 1% 擬似速度応答スペクトル（左側）および減衰 10% のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比（右側）に対する回帰係数と周期の関係

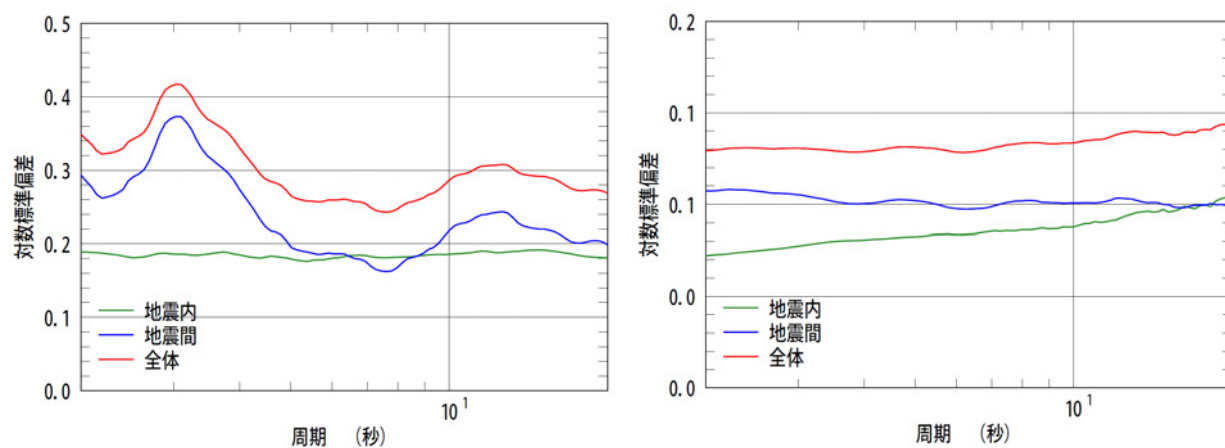


図-6 推定式の誤差（左：減衰 1% 擬似速度応答スペクトル、右：エネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比）

見られる。 $Cd(T)$ は周期が長くなると小さくなる傾向があり、 $Ch(T)$ は周期 6 秒付近を境に符号が反転している。これは、周期 6 秒より短周期側では断層面中心深さが深いほど応答スペクトルが大きくなるが、長周期側では逆に断層面中心深さが深いほど応答スペクトルが小さくなる傾向があることを示している。

減衰 10% のエネルギー Spektral と速度応答 Spektral との比の場合、 $Cm(T)$ は正、 $Cd(T)$ は負、 $Ch(T)$ は負であり、比（継続時間）がマグニチュードが大きいほど、最短距離が大きいほど、断層面中心深さが浅いほど大きくなる傾向があることを示している。そして、周期に対する変化の傾向は、周期が長いほどそうした傾向が顕著であることを示している。

(4) 関東地域の地点特性

回帰により得られた関東地域の地点特性は深部地盤構造と密接な関係がある。減衰 1% 擬似速度応答 Spektral の場合の例を図-7 に示す。上側は周期 8 秒の地点特性と基盤層上面深さの関係であり、折れ曲がり深さまでは単調増加、それより深い範囲はほぼ一定になる傾向が見られる。折れ曲がり点の深さは残差 2 乗和が最小になるように求めた。下側はそうにして求めた折れ曲がり点の深さと周期の関係であり、周期が長くなるにつれて折れ曲がり点が深くなる傾向がある。同様の傾向は減衰 10% のエネルギー Spektral と速度応答 Spektral との比の場合にも見られる。また、フーリエ Spektral の地盤増幅率に関して同様の傾向があることが既往の研究¹³⁾で示されている。

回帰により得られた地点特性を面的に補完する方法と図-7 に示したような地点特性と基盤層上面深さの関係をを用いる方法の 2 つの方法により関東地域の地点特性の空間分布を求めた。周期 8 秒に対する結果を図-8 に示す。代表例として周期 8 秒の結果を示したのは、関東地域の堆積層が厚い地域の観測点の地点特性において、周期 8 秒付近にピークが見られること、考慮している周期帯の中間付近の周期であるためである。

以上は全地震に対する平均的な結果であるが、基盤層上面深さが深い観測点だけを取り出した場合には地震による違いが見られる。その例を図-9 に示す。上側の赤い線で囲まれた範囲が S 波速度 3000m/s の基盤層上面の深さが 1700m 以上の範囲であり、下側の図は周期 8 秒減衰 1% 擬似速度応答 Spektral の場合のそれらの地点に対する観測と計算の比の分布を地震毎に図化した結果である。計算は平均的な地点特性を考慮した結果である。地震番号 2, 11, 12 の地震は全般的に比が 1.0 よりも大きく、地震番号 13 の地震は全般的に比が 1.0 よりも小さくなっている。同様の傾向は他の周期でも見られる。

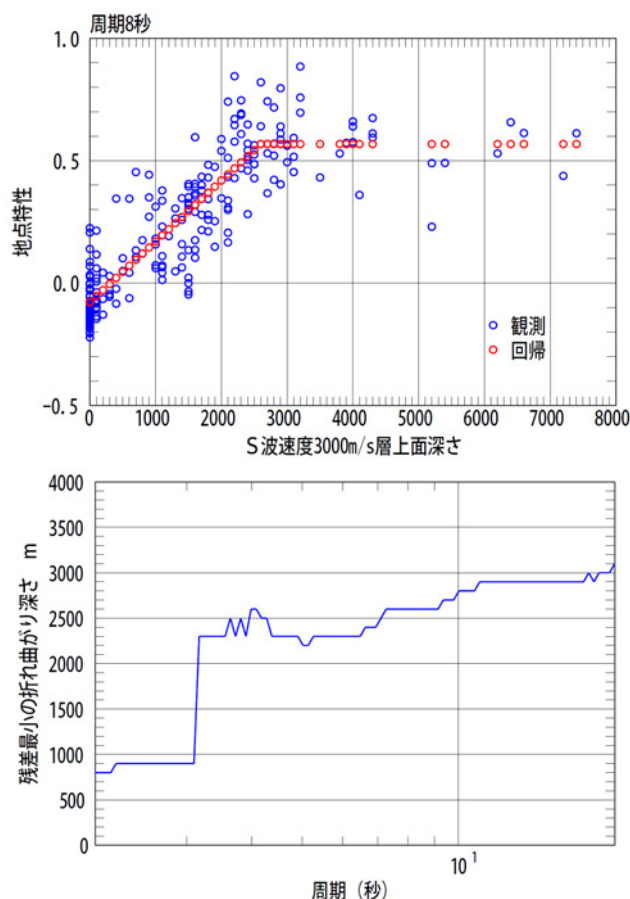


図-7 関東地域の減衰 1% 擬似速度応答 Spektral に対する地点特性と基盤層上面深さの関係（上）および折れ曲がりの深さと周期の関係（下）

比が大きい地震は、関東平野に対し、西側から波が入射する位置にあるものが多く、入射方向が影響している可能性がある。図-9 上側の赤い線で囲まれた範囲以外の観測点については、図-9 下側のような地震による違いはあまり明瞭でない。

(5) 想定地震による長周期地震動の推定例

上記の推定式を用いて、想定地震による地震動（減衰 1% 擬似速度応答 Spektral）を推定した。地点特性は、回帰により得られた地点特性を面的に補完する方法で得られた結果を用いた。

想定南関東地震 (M_J 7.9)、東京湾北部地震 (M_J 7.3)、想定東海地震 (M_J 8.0) に対する周期 8 秒における減衰 1% 擬似速度応答 Spektral 推定結果を図-10 に示す。断層面形状は、想定南関東地震は図-4 と同じ、東京湾北部地震と想定東海地震は中央防災会議によるモデル^{14) 15)}を用いた。想定南関東地震では 200cm/s を超える地域がかなりあるが、東京湾北部地震では 100cm/s を超える地域は見られない。また、想定東海地震では東京湾西岸で 100cm/s を超える地域が見られる。

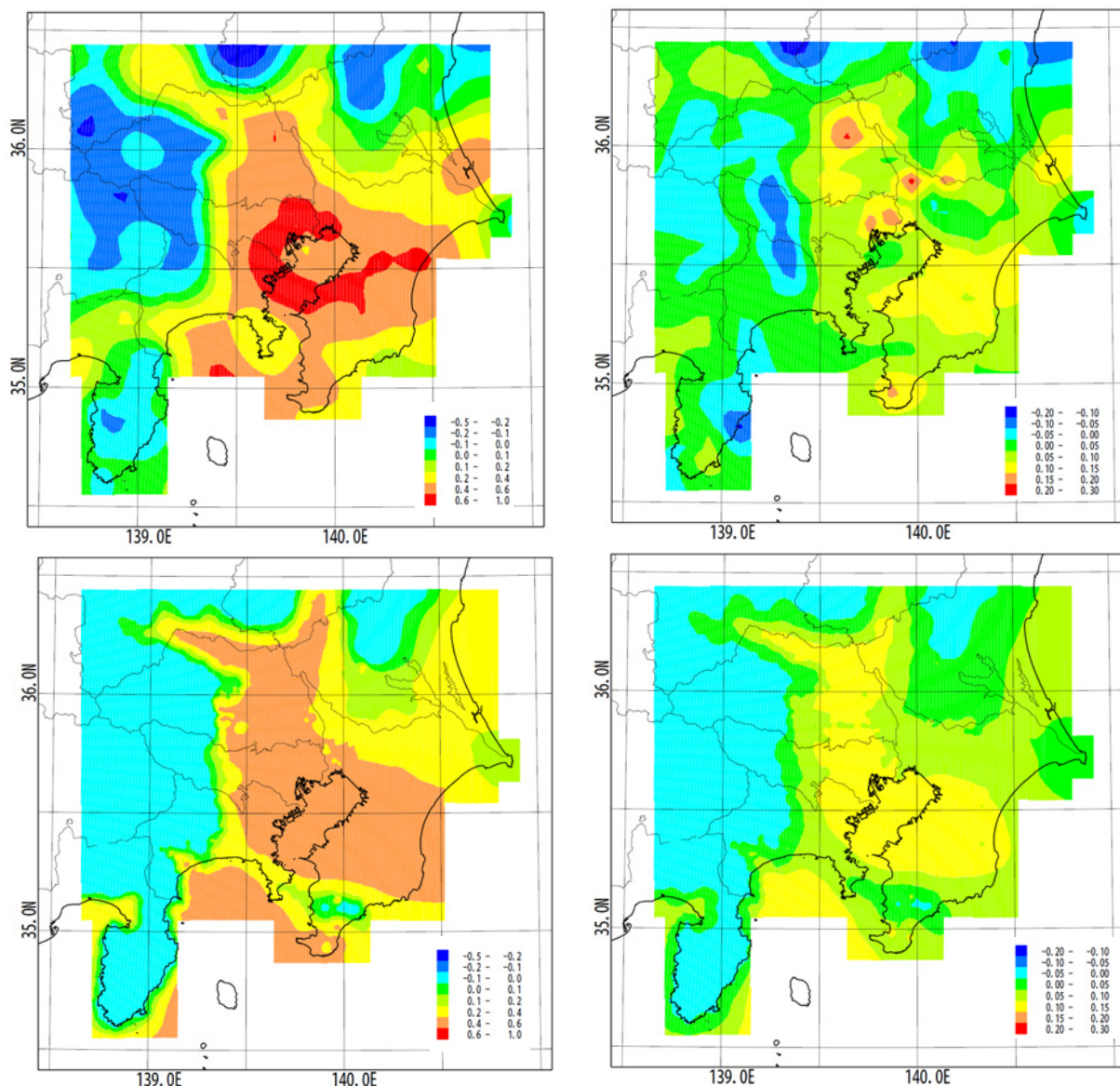


図-8 周期 8 秒における減衰 1 % 擬似速度応答スペクトル (左側) および減衰 10 % のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比 (右側) に対する地点特性の分布 (上側: 回帰により得られた地点特性を補完する方法、下側: 地点特性と基盤層上面深さの関係を用いる方法)

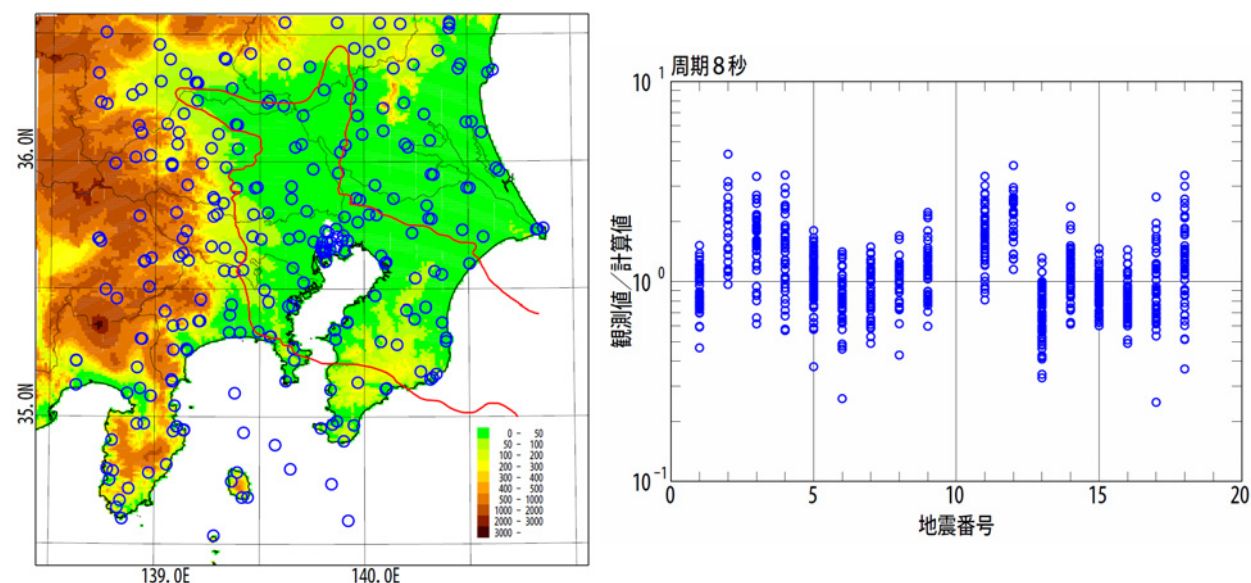


図-9 基盤層上面の深さが 1700m 以上の範囲に含まれる観測点 (左側) とそれらの地点に対する地震毎の観測と計算の比の分布 (右側)

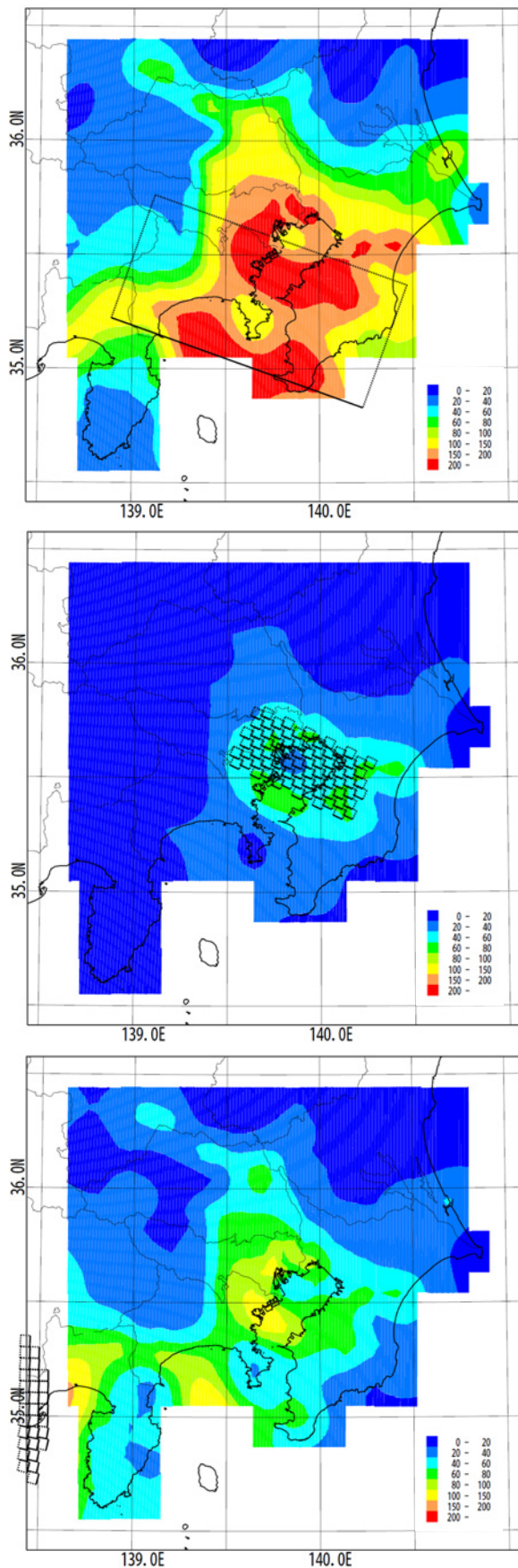


図-10 想定地震による周期 8 秒減衰 1% 擬似速度応答スペクトルの分布（上：想定南関東地震，中：東京湾北部地震，下：想定東海地震）

3. 長周期地震動の確率論的地震ハザード評価

減衰 1% 擬似速度応答スペクトル推定式と東電管内を対象とした地震発生モデルを結合させ、関東地域の長周期地震動の確率論的ハザード評価を行った。また、確率論的地震ハザード評価に基づき、長周期地震動の時刻歴波形を作成する方法を示した。

(1) 確率論的地震ハザード解析

関東および周辺地域を対象として設定されている既往の地震発生モデル¹⁰⁾について、大地震発生活動域のモデルを地震調査研究推進本部による評価¹⁷⁾を考慮して更新した。更新した大地震発生活動域の分布を図-11 に示す。背景の地震発生活動域のモデルはそのまま用いた。

地震発生モデルと長周期地震動の推定式を組み合わせ、ポアソン過程を仮定して、ハザード解析を実施した。推定式のばらつきは、図-6 の回帰結果のばらつきをそのまま用いると地震間誤差が本来のものよりも過大に評価されると考えられることから、地震間誤差が地震内誤差に等しいと仮定して、地震内誤差から設定した。

基盤の深さが深い東京東部に位置する TKY028（越中島：35.6685°N，139.7893°E）に対する周期 8 秒の減衰 1% 擬似速度応答スペクトルに対する地震ハザード曲線を図-12 に示す。回帰により得られた TKY028（越中島）に対する地点特性を考慮している。上側は全体，下側は活動域別である。全体で 100cm/s を超える年超過確率は 10^{-2} 程度である。また，下側の図で 100cm/s の超過確率が 10^{-4} を超えている活動域は大きい順に以下の通りであり，全て大地震発生活動域である。

- ・相模トラフ（相模湾）
- ・想定東海地震+東南海地震
- ・想定東海地震+東南海地震+南海地震
- ・東南海地震+南海地震
- ・相模トラフの地震-房総沖+相模湾
- ・糸魚川-静岡構造線断層帯（北部+中部）
- ・神縄-国府津・松田断層帯
- ・東南海地震

分布図として、再現期間 100 年の周期 8 秒減衰 1% 擬似速度応答スペクトルの分布および 50 年間に周期 8 秒減衰 1% 擬似速度応答スペクトルが 100cm/s を超える確率（%）の分布を図-13 に示す。格子の中心点 244 地点に対するハザード曲線から作成した。地点特性は、回帰により得られた地点特性を面的に補完する方法で得られた結果を用いた。再現期間 100 年で 100cm/s を超える地域が東京湾周辺に見られる。また，50 年間に 100cm/s を超える確率が 26% 以上の地域が東京湾周辺を中心に見られる。こうした評価結果に大きく影響して

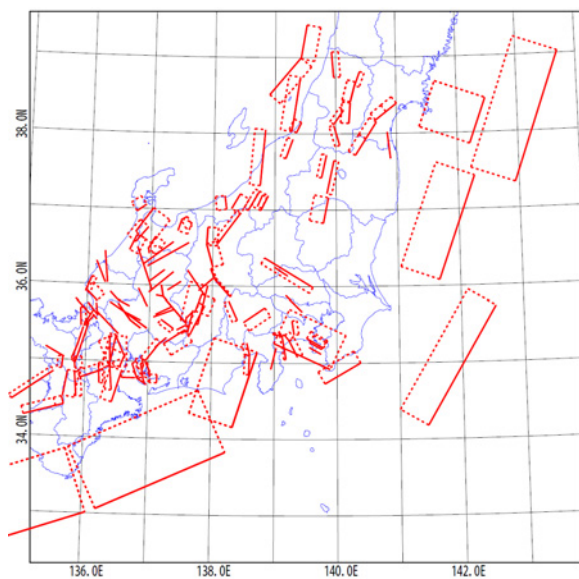


図-11 更新した大地震発生活動域の分布

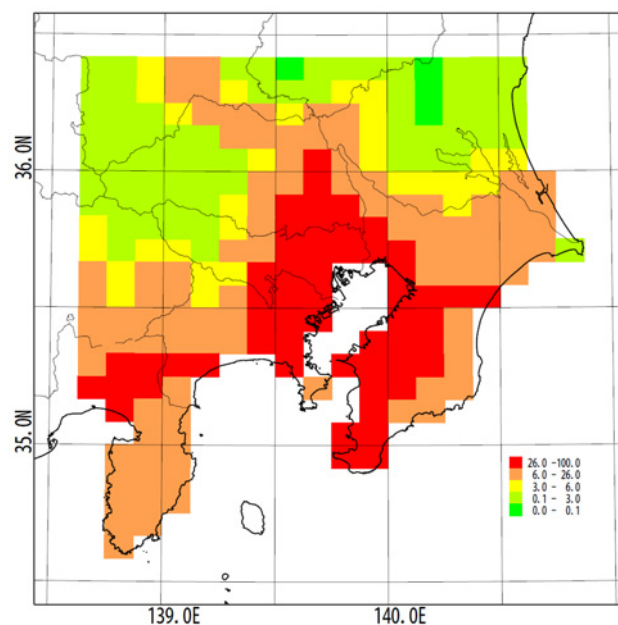
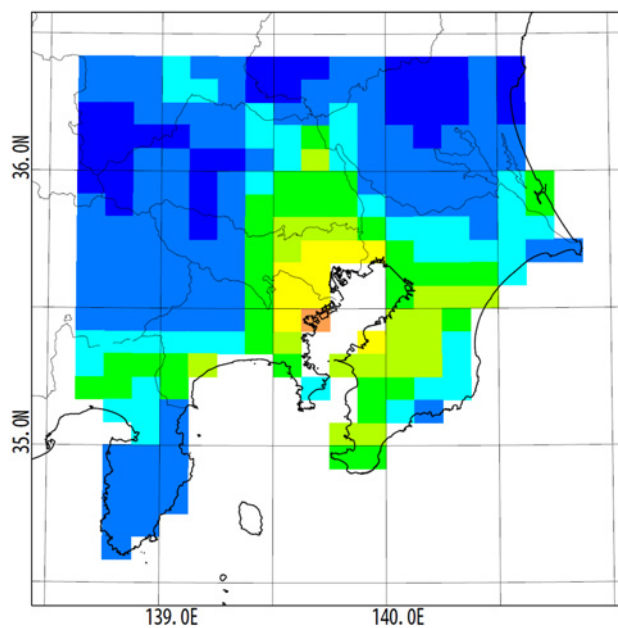


図-13 再現期間 100 年の周期 8 秒減衰 1 % 擬似速度応答スペクトルの分布 (上) および 50 年間に周期 8 秒減衰 1 % 擬似速度応答スペクトルが 100cm/s を超える確率 (%) の分布 (下)

いるのは相模トラフ沿いの大地震とともに南海トラフ沿いの大地震であり，図-10 に示したように，南海トラフ沿いの大地震で東京湾周辺で 100cm/s 程度のスペクトルが推定されていることによると考えられる。

(2) 模擬地震動の作成

確率論的地震ハザード解析に基づき作成した一様ハザード応答スペクトルを目標応答スペクトルとして模擬地震動を作成する方法を検討した。

TKY028 (越中島) に対する再現期間 50～2500 年の一様ハザード応答スペクトルを図-14 に示す。この中の再

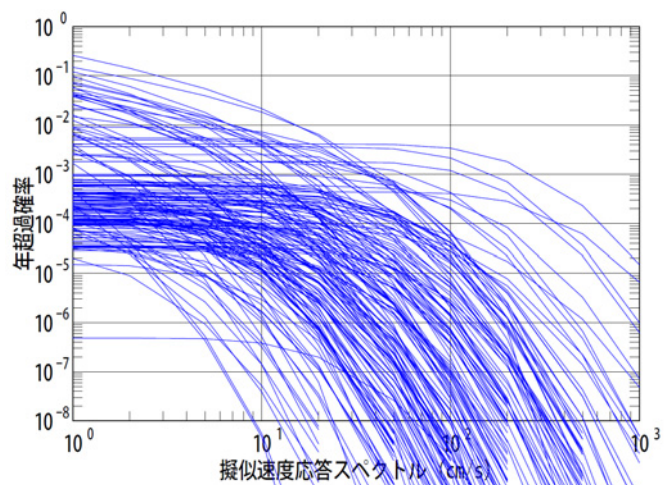
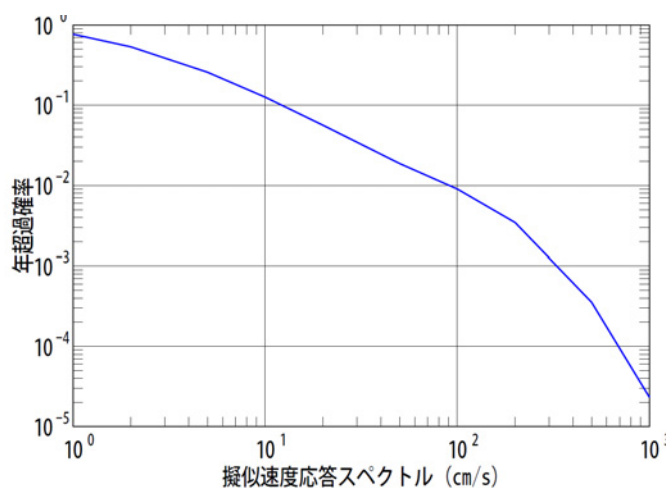


図-12 TKY028 (越中島) に対する周期 8 秒減衰 1 % 擬似速度応答スペクトルに対する地震ハザード曲線 (上は全体，下は活動域別)

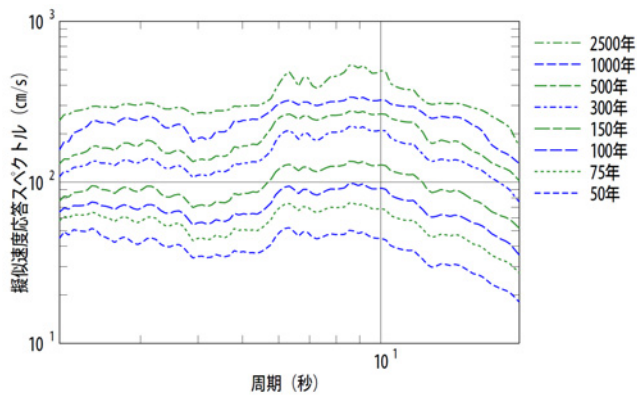


図-14 TKY028 (越中島) に対する減衰 1 % 擬似速度応答スペクトルの一様ハザード応答スペクトル

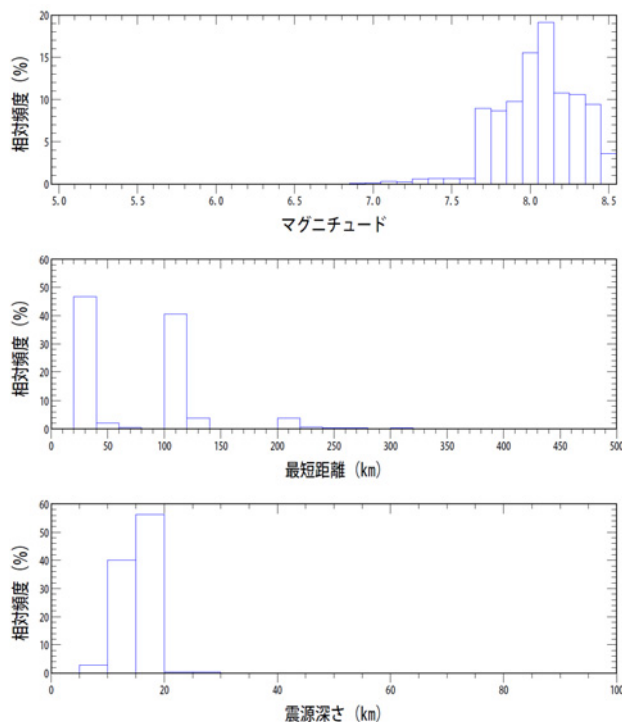


図-15 周期 8 秒減衰 1 % 擬似速度応答スペクトルが 204cm/s 付近となる地震の分布

現期間300年の一様ハザード応答スペクトルを目標応答スペクトルとして模擬地震動を作成する場合を例に模擬地震動作成の手順を示す。

周期8秒の再現期間300年の応答スペクトルは204cm/sである。この値前後 (0.9倍から1.1倍) の応答スペクトルを与える地震の分布を図-15に示す。マグニチュード8クラスの地震の寄与が圧倒的である。最短距離は30km付近 (相模トラフ沿いの巨大地震) と110km付近 (南海トラフ沿いの巨大地震) に分かれている。この2つで継続時間が異なると考えられることから、最短距離90kmを境に2つのグループに分け、各グループに対し継続時間の指標 (減衰10%のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比) の平均と平均±標準偏差の範囲を求めた。結果を図-16に示す。グループ 1 (G1)

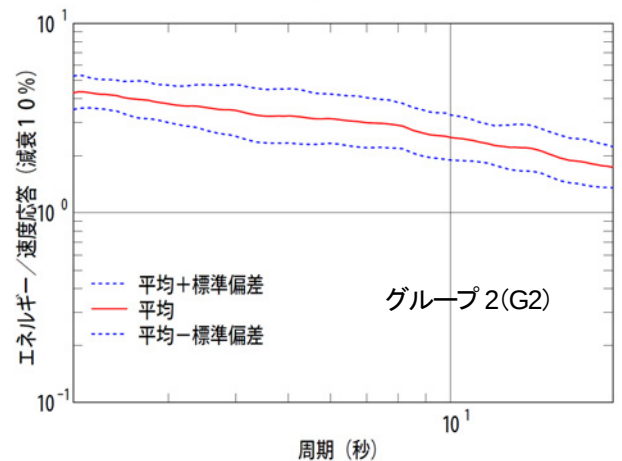
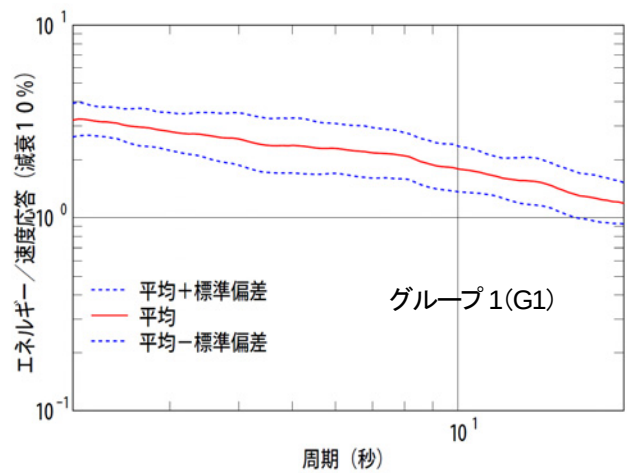


図-16 各グループの地震に対する継続時間の指標 (減衰 10% のエネルギースペクトルと速度応答スペクトルとの比) の平均と平均±標準偏差の範囲

が最短距離90km未満、グループ2が最短距離90km以上である。この結果は周期8秒で再現期間300年の応答スペクトルに寄与する地震の分布に基づいて得られたものであり、厳密には他の周期での分布に基づく結果と一致しないが、大きな違いはないと考えられる。

模擬地震動は、図-14の再現期間300年の一様ハザード応答スペクトルを目標応答スペクトルとし、図-16の継続時間特性を満足する波形として作成した。位相特性用の波形として、三次元数値シミュレーションによる波形 (地震番号2の神津島近海の地震に対するTKY028 (越中島) の計算波形) を用いた場合の模擬地震動の時刻歴 (加速度と速度)、目標応答スペクトルとの比較、継続時間特性との比較を図-17に示す。この例では、位相特性用の波形に時間領域でJennings型¹⁸⁾の包絡関数を掛けて継続時間を調整することにより目標とする継続時間特性に近づける方法を用いた。ただし、この方法では任意性がかなり大きいため、目標に近づける方法についてはさらに検討する必要があると考えられる。

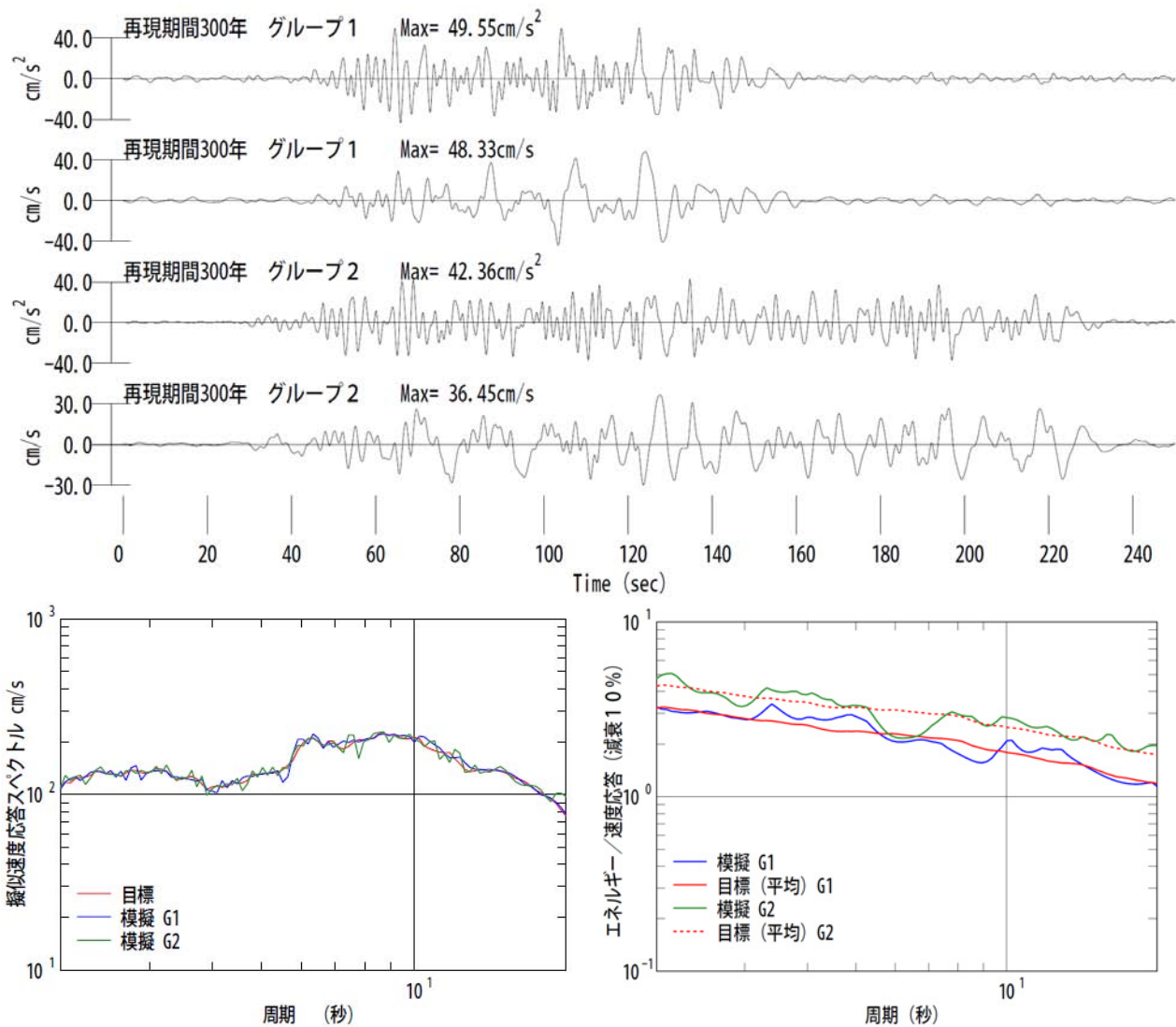


図-17 模擬地震動の時刻歴（上），目標応答スペクトルとの比較（下左），継続時間特性との比較（下右）

4. まとめ

関東地域において周期 2～20 秒の長周期地震動を対象とした確率論的地震ハザード解析を行うために，地震動強さの指標（減衰 1% 擬似速度応答スペクトル）と継続時間の指標（減衰 10% のエネルギー Spektrum と速度応答スペクトルとの比）に対する推定式を作成した。

推定式の作成では，2000～2006 年の間に発生した 18 個の地震に対する観測記録とともに，想定南関東地震 ($M_j 7.9$) と関東平野北西縁断層帯で発生する地震 ($M_j 8.0$) に対する三次元数値シミュレーションによる計算波形を合わせて用いた。

関東地域の地点特性の空間分布を，回帰により得られた地点特性を面的に補完する方法と地点特性と基盤層（S 波速度 3000m/s の層）上面深さの関係をを用いる方法の 2 つの方法により求めた。

減衰 1% 擬似速度応答スペクトル推定式と東電管内を

対象とした地震発生モデルを結合させ，関東地域の長周期地震動の確率論的ハザード評価を行った。また，確率論的地震ハザード評価に基づき，長周期地震動の時刻歴波形を作成する方法を示した。その結果，長周期地震動のハザードに対してはマグニチュード 8 クラスの大地震が支配的であることが明確となった。ハザードの精度を向上させるためには 8 クラスの大地震に対する長周期地震動の推定精度を向上させることが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 工藤一嘉：長周期の地震動について，配管技術，日本工業出版，47，11，4-11，2005。
- 2) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計，技報堂出版，1999。
- 3) 消防庁：危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令等の施行について，消防第14号，2005。

- 4) Trifunac, M. D. and A. G. Brady: A study on the duration of strong earthquakes ground motion, Bull. Seism. Soc. Amer., 65, 581-626, 1975.
- 5) 日本建築学会編：免震構造設計指針第3版，日本建築学会，2001.
- 6) 東貞成，佐藤浩章：関東平野の3次元地下構造モデル化，第12回日本地震工学シンポジウム論文集，0357，1534-1537，2006.
- 7) 佐藤浩章・東貞成：長周期地震動シミュレーションのための関東平野の3次元地下構造モデル，電力中央研究所報告，No. 5059，pp.25，2006.
- 8) Kobayashi, R. and K. Koketsu: Source process of the 1923 Kanto earthquake inferred from historical geodetic, teleseismic, and strong motion data, Earth Planets Space, 57, 261-270, 2005.
- 9) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：関東平野北西縁断層帯の評価，2005.
- 10) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：付録 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)，2005.
- 11) Annaka, T and Y. Nozawa: A probabilistic model for seismic hazard estimation in the Kanto district, Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering, II, 107~112, 1988.
- 12) Joyner, W. B. and D. M. Boore: Methods for regression analysis of strong-motion data, Bull. Seis. Soc. Am., 83, 469-487, 1993.
- 13) 増井大輔，翠川三郎：工学的基盤での地震動にみられる深い地盤構造による増幅特性，土木学会論文集A, 62, 2, 225-232, 2006.
- 14) 中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会地震ワーキンググループ報告書(第12回委員会)，2004.
- 15) 中央防災会議：東海地震に関する専門調査会報告，2001.
- 16) 安中正，末広俊夫，弘重智彦：モンテカルロ手法に基づく地震ハザードの不確定性評価方法，第11回日本地震工学シンポジウム講演論文集，No.15, 73-78, 2002.
- 17) 地震調査研究推進本部：長期評価，<http://www.jishin.go.jp>
- 18) Jennings, P. C., W. G. Housner, and C. N. Tsai: Simulated earthquake motions, E. E. R. L., Pasadena, 1968.

(2007.06.29 受付)

PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF LONG PERIOD EARTHQUAKE GROUND MOTION FOR THE KANTO DISTRICT

Tadashi ANNAKA, Mitsuo HARADA, Hideki GONNOKAMI, Sadanori HIGASHI
and Hiroaki SATO

Empirical equations for estimating 1 % damped pseudo velocity response spectra and duration index, the ratio of energy spectra to velocity response spectra for 10 % damping ratio, in the range of period from 2 to 20 sec were determined based on the observed records for 18 large earthquakes and the simulated motions for two scenario earthquakes by 3-dimensional numerical calculation. Using the empirical equations, a probabilistic seismic hazard analysis of long period earthquake ground motion for the Kanto district was performed and a method for obtaining spectrum compatible motions from a uniform hazard response spectrum was proposed.