

「長周期地震動予測地図」2009年試作版の公表について

平成 21 年 9 月 17 日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会

長周期地震動は、「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」の際に震央から遠く離れた苫小牧で発生した石油タンク火災の原因の一つとして注目されるなど、地震動予測における主要な課題の一つとなっている。そのため、地震調査研究推進本部地震調査委員会は、長周期地震動の予測を進めるべく、手法と予測の結果の公表方法について検討を行ってきた。

そして今回、これまでの検討成果のまとめとして、想定東海地震、東南海地震、及び宮城県沖地震を対象とした「長周期地震動予測地図」試作版を作成した。

今回公表した「長周期地震動予測地図」試作版は、海溝型地震が連動した場合なども含めた将来の様々な想定地震の長周期地震動を予測していくための第一歩として位置づけられる。今後、そのために必要な技術的検討はもとより、予測結果を有効に社会に活かしていくため、その提示のあり方などについて、防災関係者や研究者の間でも広く議論を行い、その検討を踏まえて、長周期地震動予測地図の作成を進めていきたい。

「長周期地震動予測地図」2009 年試作版

長周期地震動は、「平成 15 年（2003 年）十勝沖地震」の際に震央から遠く離れた苫小牧で発生した石油タンク火災の原因の一つとして注目されるなど、地震動予測における主要な課題の一つとなっている。

そのため、地震調査研究推進本部地震調査委員会では、強震動評価部会及びその下の地下構造モデル検討分科会が中心となり、平成 19 年度から、長周期地震動の予測手法とその結果の公表方法について検討してきた。

特にその予測手法については、地震調査委員会の「全国を概観した地震動予測地図」や「全国地震動予測地図」における「震源断層を特定した地震動予測地図」の作成手法を参考に、データの蓄積や近年の調査研究の進歩によって得られた新たな知見に基づき、

- ・ 地下構造モデルの改良
- ・ 検討対象地震の震源モデル

などの検討を進めてきた。

そして今回、1 つの想定地震と過去に発生した 2 つの地震を対象に上記の諸検討を行った成果をまとめ、想定東海地震、東南海地震を対象地震とした関東地方から近畿地方にかけての長周期地震動予測地図、及び、宮城県沖地震を対象地震とした東北地方中部から関東地方にかけての長周期地震動予測地図をそれぞれ試作した。

1. 「長周期地震動予測地図」とは

「長周期地震動予測地図」とは、ある特定の大地震が発生した場合にその周辺や遠方に生じると想定される長い周期の地震動の分布を示したものである。一般に「長周期」と呼ばれる対象にもいろいろあるが、本試作版では、計算上の制約などから、周期 3.5 秒以上の地震動を計算した。

今回の地図の性格は、今年 7 月 21 日に公表された「全国地震動予測地図」のうち「震源断層を特定した地震動予測地図」の一種に相当する。「全国地震動予測地図」の「震源断層を特定した地震動予測地図」が比較的短周期（周期約 0.1～1 秒程度）の揺れに対応した震度分布を対象として作成されたのに対して、「長周期地震動予測地図」では、以下のような地震動の 3 つの特性（振幅特性・経時特性・周期特性）をそれぞれ考慮した地図を作成した。

- ・振幅特性（揺れの強さの特性）：

地表の揺れの速度の最大値（最大速度、単位 cm/s）の分布図

- ・経時特性：地表の揺れの速度が 1cm/s 以上の継続時間（単位秒）の分布図
- ・周期特性：周期 5 秒、7 秒、10 秒の速度応答スペクトル（単位 cm/s）の分布図
（様々な固有周期の超高層ビルなどの長周期構造物^{*}の揺れ方に着目して 3 つの周期に対して作成された図）

これにより、どの程度の強さの長周期地震動が、どの程度長い時間続くのか、固有周期 5 秒、7 秒、10 秒の超高層ビルなどの長周期構造物^{*1}がどの程度の速度で揺れるのかの目安を示すことを試みた。

2. 「長周期地震動予測地図」2009 年試作版の主な特徴

今回作成した「長周期地震動予測地図」の主な特徴を示す。

- a) 発生確率が高く、かつ発生した場合に大きな被害が予想される 3 つの海溝型地震を対象とした。
 - ・ 想定東海地震 (M_w^{*2} 8.0)
 - ・ 東南海地震 (M_w 8.1)
 - ・ 宮城県沖地震 (M_w 7.6)
- b) 人口の集中する大都市があり長周期地震動の影響が大きいと考えられる主要な平野（関東平野、大阪平野、濃尾平野、仙台平野など）を含む限定された範囲の長周期地震動を計算した。

*1 長い固有周期を持つ超高層ビルや免震ビル、長大橋、石油タンクなどの構造物を指す。

*2 地震の規模を示すモーメントマグニチュード。これらの値は「全国地震動予測地図」で用いた値と同じ。

- ・ 想定東海地震、東南海地震の場合の範囲：関東地方から近畿地方にかけて
 - ・ 宮城県沖地震の場合の範囲：東北地方中部から関東地方にかけて
- c) 計算上の制約などから、周期 5 秒、7 秒および 10 秒を中心に長周期地震動予測地図を作成した。
- d) 数値計算の際の水平方向のグリッド間隔は 250m としている。（報告書 5 章を参照）
- e) 計算範囲の地下構造モデルの 1 次モデル化を行い、地震計の記録が残っている過去の海溝型地震の再現性を確認することで、この 1 次モデルの妥当性の検証を行った。（報告書 7 章を参照）
- ・ 関東地方から近畿地方にかけては、1944 年東南海地震や 2004 年紀伊半島南東沖地震の前震で地震動の再現性を確認している。
 - ・ 東北地方中部から関東地方にかけては、1978 年宮城県沖地震や 2005 年宮城県沖地震で地震動の再現性を確認している。
- f) 過去の地震の震源モデルが分かっている場合（東南海地震、宮城県沖地震の場合）は、同じアスペリティの破壊が繰り返す可能性が高いことを前提に、その震源モデルを前イベント震源モデルとして長周期地震動予測に用いた。過去の地震の震源モデルが作成されていない場合（想定東海地震の場合）は、特性化震源モデルを新たに作成して用いた。
- ・ 東南海地震：1944 年タイプの東南海地震が発生した場合の長周期地震動予測地図を作成
 - ・ 宮城県沖地震：1978 年タイプの宮城県沖地震が発生した場合の長周期地震動予測地図を作成
 - ・ 想定東海地震：作成した特性化震源モデルと、東南海地震で検証した地下構造モデルを使用して、長周期地震動予測地図を作成
- g) 主な都府県庁所在地などで計算した長周期地震動の速度波形や速度応答スペクトルは公開を予定している。

3. 「長周期地震動予測地図」の各図について

3-1. 速度応答スペクトルの分布図（図 1-1～図 1-3、図 2、図 3）

固有周期 T 秒の超高層ビルなどの長周期構造物がどの程度の速度で揺れるかの分布を示す。（T = 5, 7, 10 秒。揺れが時間と共に弱まっていく程度を示す減衰定数は 5%として計算。）

固有周期によって、参照する地図が異なることに留意する必要がある。

<例>

- ・一戸建て・中小ビル（免震されていない）など、固有周期が短い建物
※長周期地震動ではほとんど共振しない。図1-2下の震度分布図（地震調査委員会，2009）の方が揺れの参考になる。
- ・約50階建て程度の超高層ビルなどで、固有周期が約5秒の場合
※長周期地震動による強い影響を受ける可能性がある。図1-2上の周期5秒の速度応答スペクトルの分布図を参照されたい。
- ・タワー、長大橋、石油タンクなど
※長周期地震動による強い影響を受ける可能性がある。それぞれの固有周期に応じた速度応答スペクトルの分布図を参照されたい。（報告書2章～4章を参照）
- ・約30～40階建て程度の超高層ビルなどで、固有周期が約3～4秒の場合
※長周期地震動による強い影響を受ける可能性がある。計算範囲の限界に近いことに留意しつつ、図1-3の各地の速度応答スペクトルの周期3.5～4秒の値を参考とされたい。

なお、地図に表示されているのは、建物の代表的な揺れの速度の最大値であり、その建物の上層部では地図に示された最大値よりも大きな揺れになる場合もあり得ることに留意が必要である。また、長周期構造物の減衰定数はさらに小さい場合もあり、その際の応答はさらに大きくなる可能性もある。高層建物の設計に際して考慮される長周期地震動の強さに関しては、設計用入力地震動の値を速度応答スペクトルに換算した場合、長周期の範囲では概ね80cm/s強である例もある。

速度応答スペクトルについては、p.11の参考資料および報告書1章末のコラムを参照されたい。

3-2. 長周期地震動における最大速度の分布図（報告書2章～4章参照）

地表の揺れの速度の最大値（最大速度）の分布を示す。今回の場合、周期3.5秒以上の長周期成分を含む地震動における揺れの速度の最大値を示している。速度応答スペクトルが、その固有周期を持つ建物の揺れの強さを示す一つの指標であるのに対して、最大速度は地面の揺れの強さを示す一つの指標である。

3-3. 長周期地震動における継続時間の分布図（報告書2章～4章参照）

地表の揺れの速度が1cm/sを超え続けている時間の長さの分布を示す。長周期地震動が卓越している場合には、超高層ビルなどの長周期構造物における揺れの継続時間は、地表の揺れよりもはるかに長くなる場合がある。

4. 「長周期地震動予測地図」の作成方法

「長周期地震動予測地図」の作成の流れは、次の通りである。

- ① 対象とする地震の想定
- ② 震源断層や地下構造のモデル化
- ③ 地震発生時の長周期の揺れ（長周期地震動）の波形を計算
- ④ 対象とする地震毎の「長周期地震動予測地図」の作成（周期 T 秒の速度応答スペクトル図、揺れの速度の最大値（最大速度）分布図、継続時間分布図）

5. 今回公表した「長周期地震動予測地図」2009年試作版の構成

今回公表した「長周期地震動予測地図」2009年試作版の報告書は、以下の構成を採っているので、目的に応じて参照されたい。

- ・ 1章：長周期地震動の概要
- ・ 2～4章：今回の計算結果（各地震の長周期地震動予測地図と主な地点の速度波形および速度応答スペクトルを表示）
- ・ 5～7章：技術的事項（予測手法及び震源モデル・地下構造モデルの設定）

なお、報告書や各地図、主な地点の波形や速度応答スペクトルなどについては、地震調査研究推進本部のホームページ

(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/index.htm)

を確認したり、ダウンロードしたりできるようになっているので、詳細については上記ウェブサイトを確認されたい。

6. 今後に向けて

今回公表した「長周期地震動予測地図」2009年試作版は、現時点で利用できる最新の知見や適切と考えられる手法を用いて作成したものであるが、震源の破壊領域が更に広がる巨大地震を想定する場合や、特性化震源モデルの作成、計算領域の範囲、計算周期帯など、今後も検討を進めていくべき課題は残っている。また、地震調査研究推進本部が平成21年4月に決定した「新たな地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策－」（以下、「新総合基本施策」という）においては、当面10年程度に推進すべき地震調査研究の主要な課題として、長周期地震動の調査研究の必要性が挙げられている。今回の予測は、新総合基本施策に沿って、これから新たな知見を反映させつつ、将来海溝型地震が連動した場合などを含めた様々な想定地震の長周期地震動を予測していくための第一歩であると位置付けられており、今後も引き続き地図の活用法も含めた長周期地震動の調査研究を推進していく予定である。

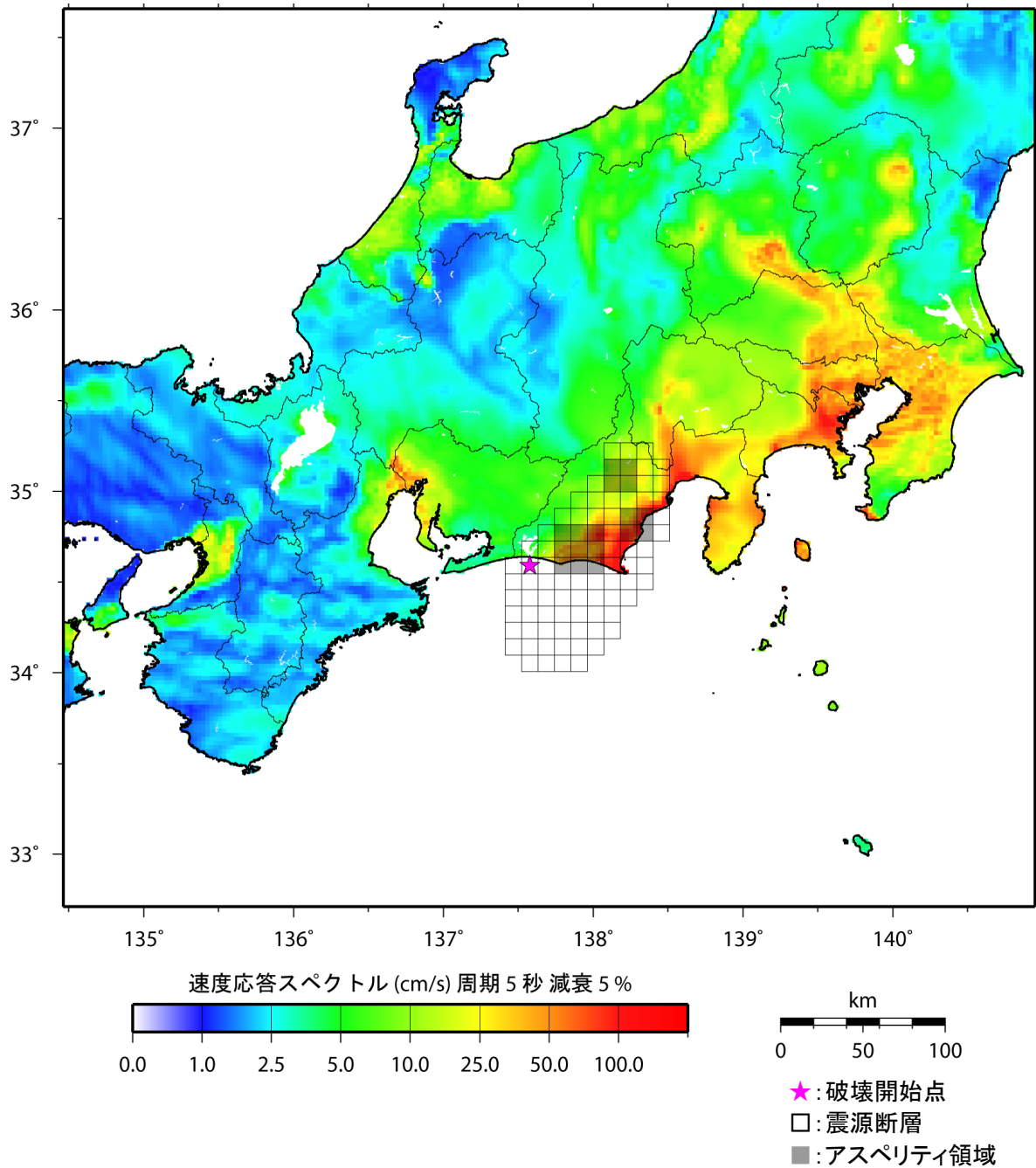


図 1 - 1 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル（周期5秒）の分布

想定東海地震が起こったときに発生すると考えられる長周期地震動を予測したものの。固有周期 5 秒の建物において、建物をおもりの動きに模した時の揺れの速度を地図に示している。周期 5 秒、速度応答が 100cm/s の場合、約 0.8m（往復約 1.6m）揺れることになる。一般的な超高層ビルにおいては、その建物の頂部の揺れ方は、応答スペクトルの値の 20～30%程度増しになる場合もあると考えられる。

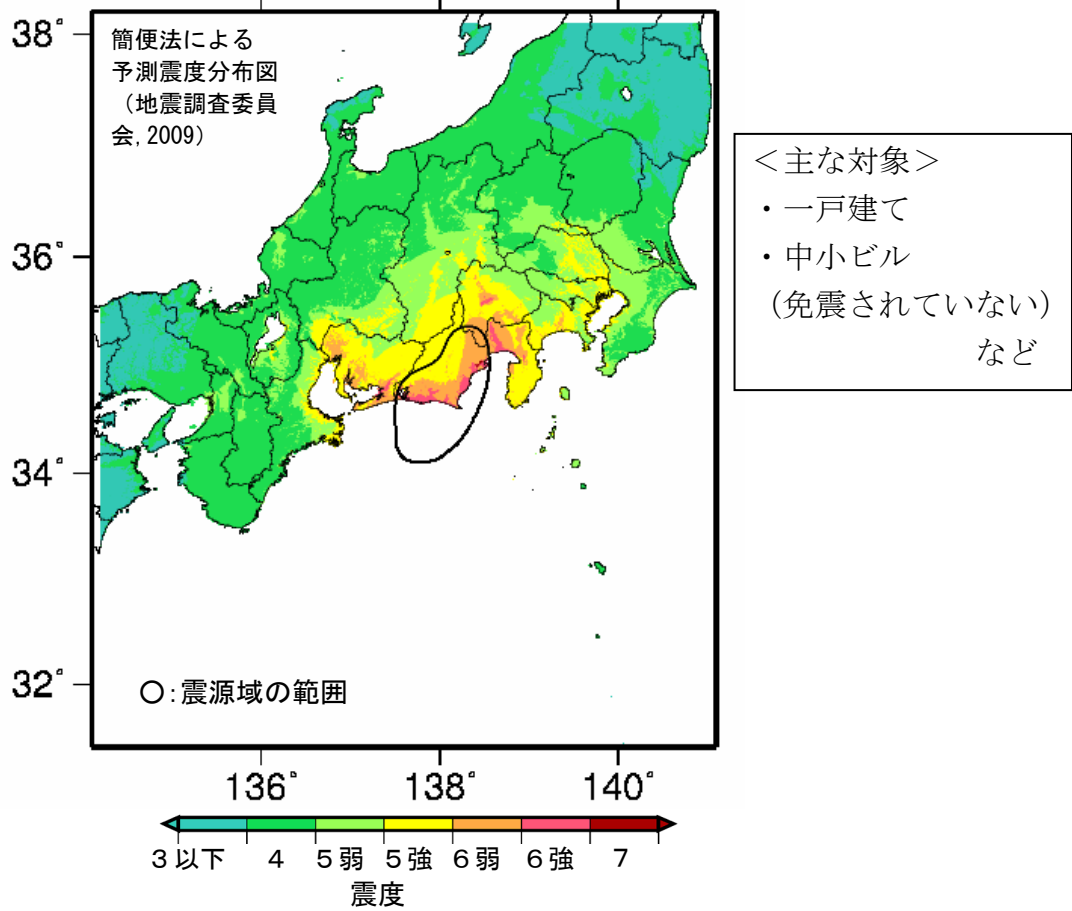
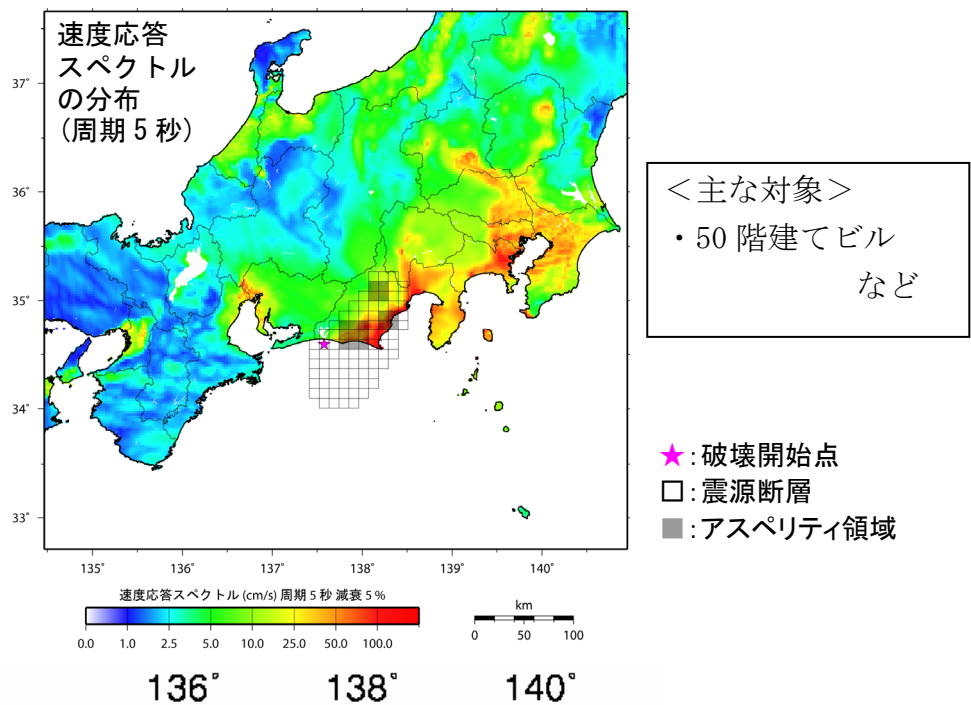


図1-2 想定東海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル(周期5秒)の分布と簡便法による予測震度分布図(地震調査委員会, 2009)の比較

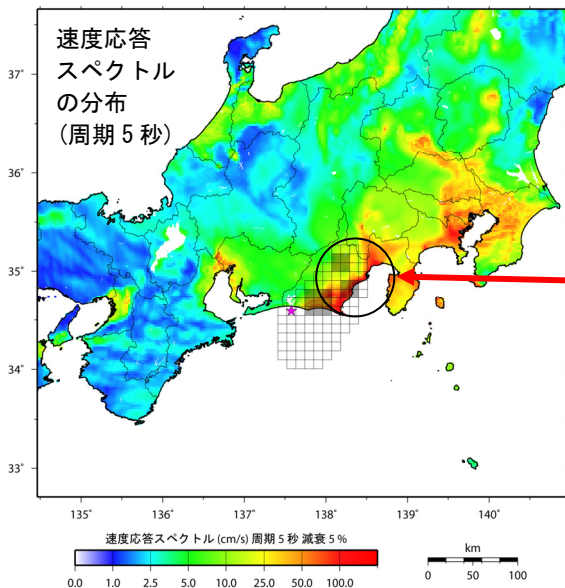
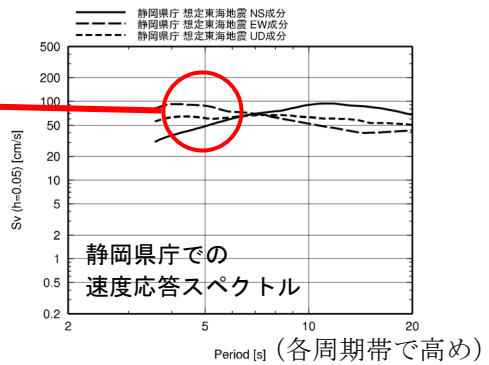
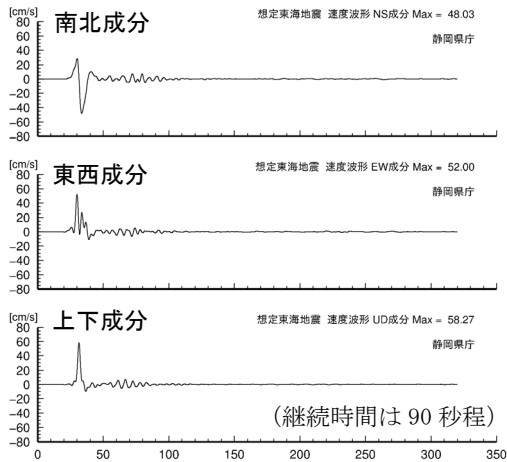
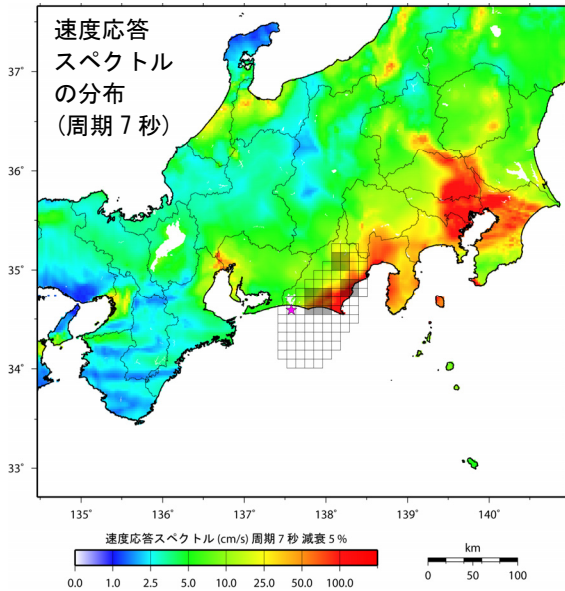
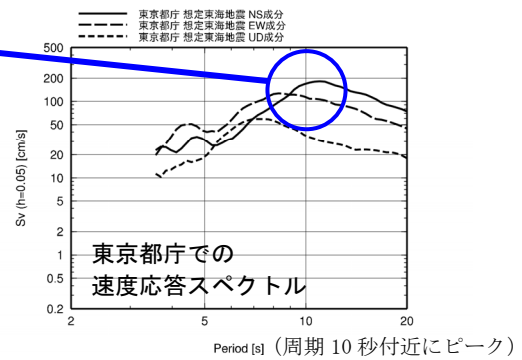
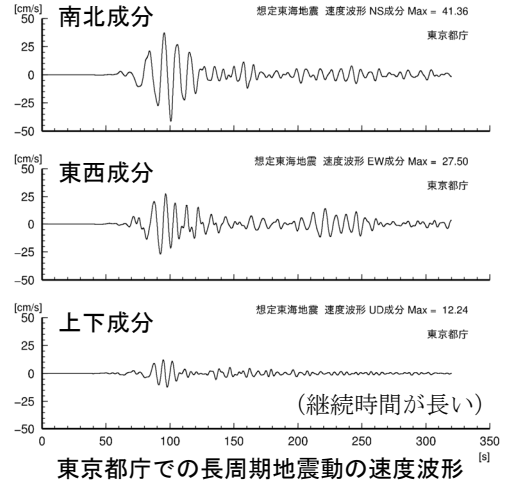
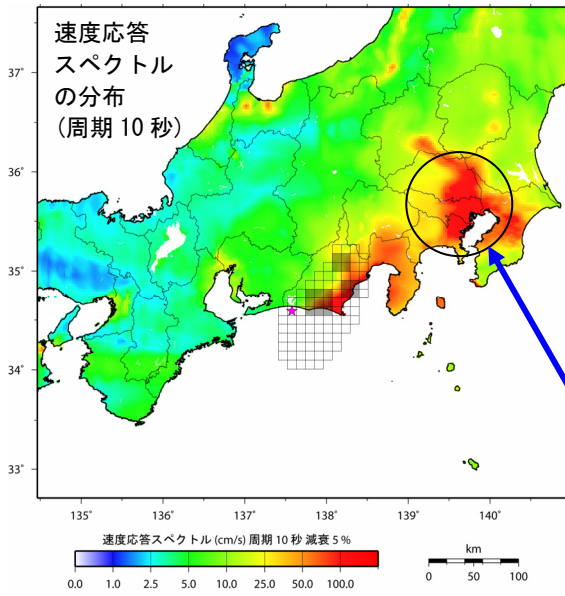


図 1-3 速度応答スペクトルの見方の例

(東京都庁では、静岡県庁にくらべて長周期地震動の継続時間が長く、周期約 10 秒では速度応答も大きくなる。)

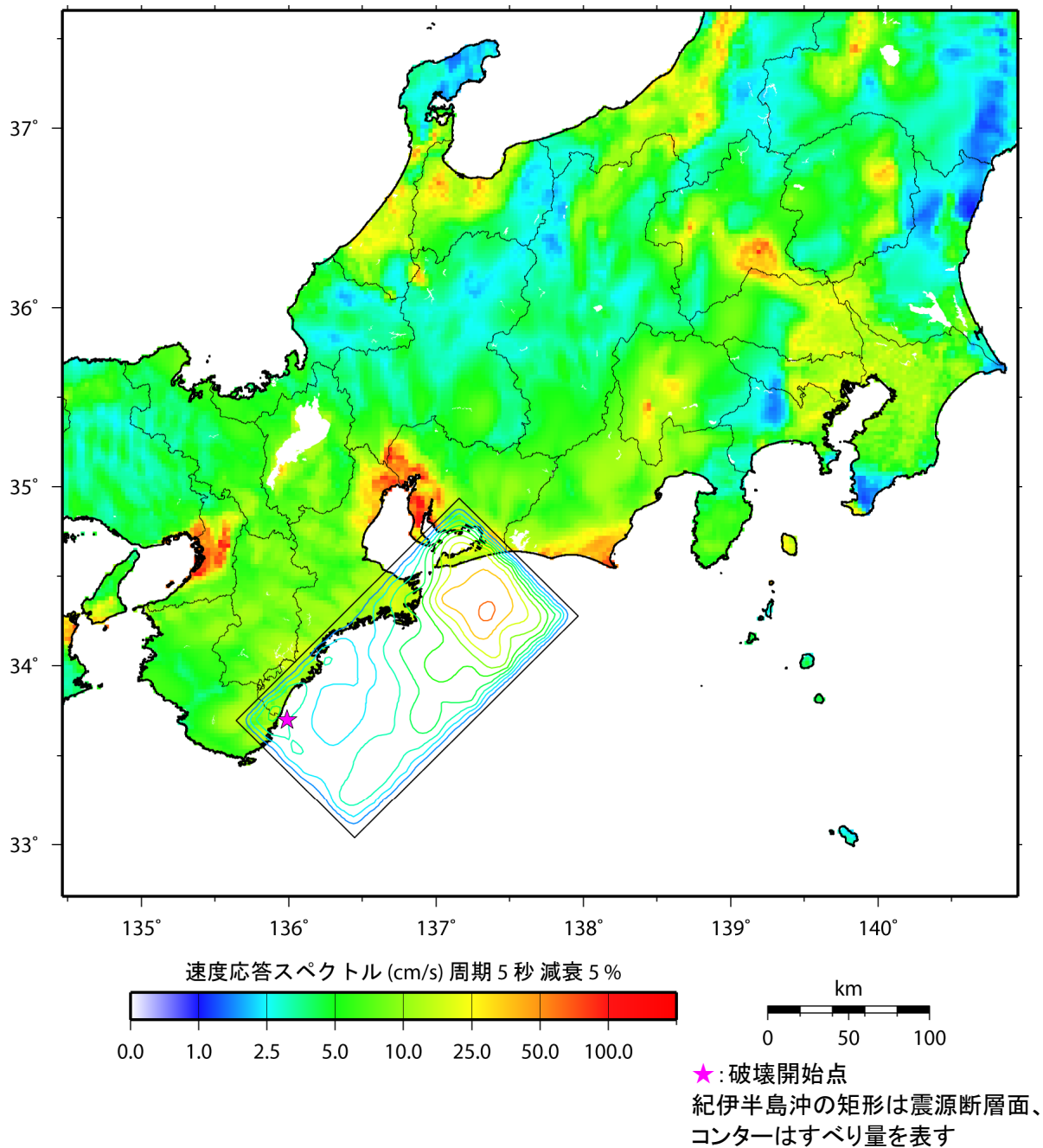


図2 東南海地震による長周期地震動の速度応答スペクトル（周期5秒）の分布

1944年タイプの東南海地震が起こったときに発生すると考えられる長周期地震動を予測したもの。固有周期5秒の建物において、建物をおもりの動きに模した時の揺れの速度を地図に示している。周期5秒、速度応答が100cm/sの場合、約0.8m（往復約1.6m）揺れることになる。一般的な超高層ビルにおいては、その建物の頂部の揺れ方は、応答スペクトルの値の20～30%程度増しになる場合もあると考えられる。

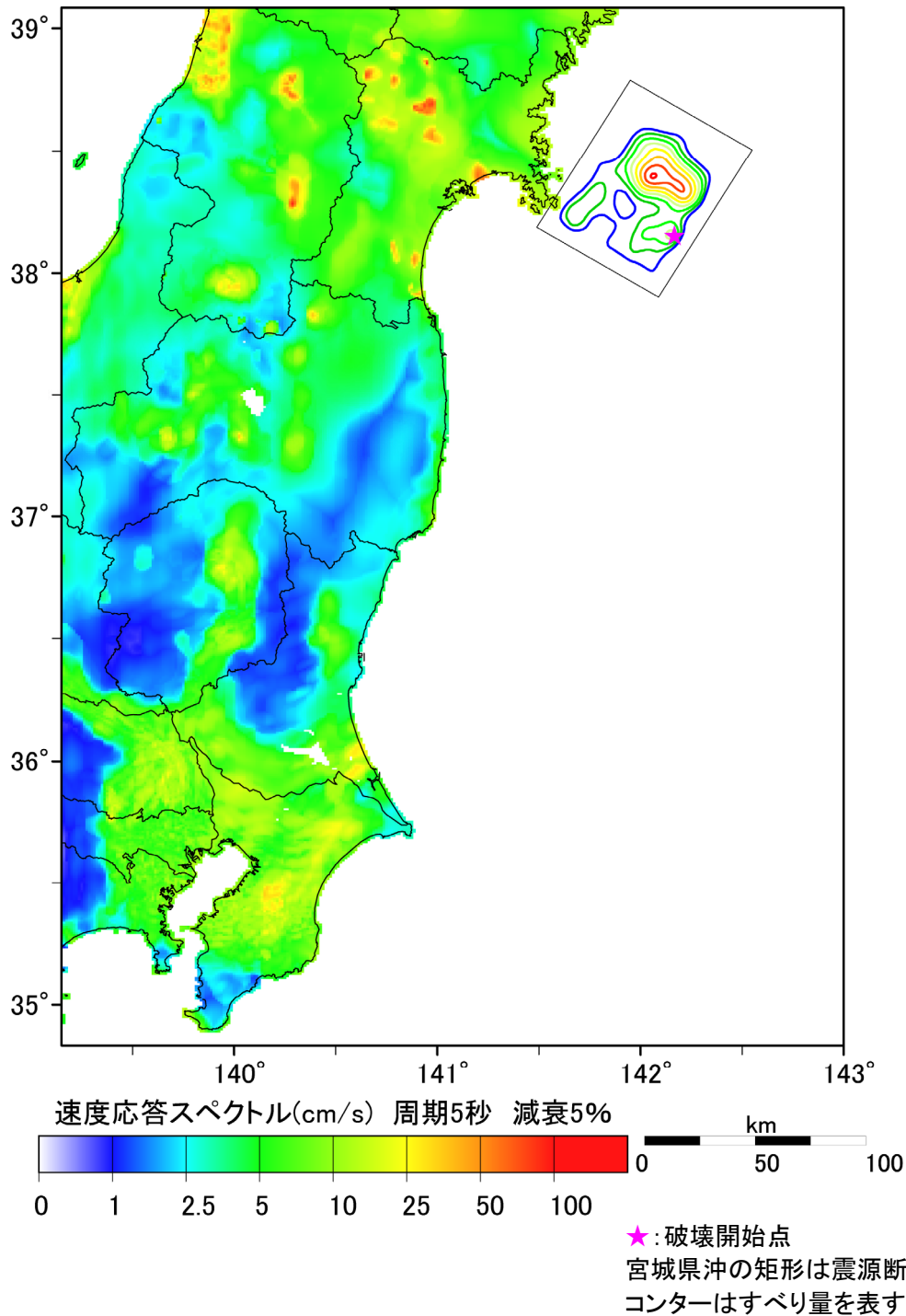
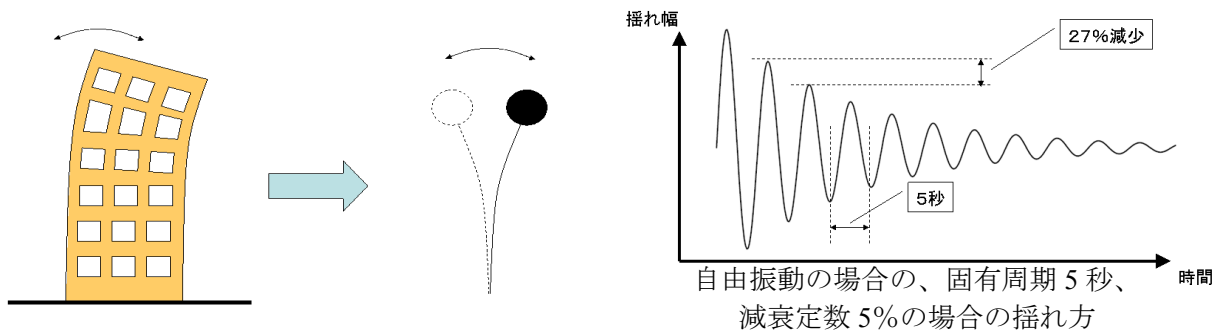


図3 宮城県沖地震による長周期地震動の速度応答スペクトル（周期5秒）の分布

1978年タイプの宮城県沖地震が起こったときに発生すると考えられる長周期地震動を予測したもの。固有周期5秒の建物において、建物をおもりの動きに模した時の揺れの速度を地図に示している。周期5秒、速度応答が100cm/sの場合、約0.8m（往復約1.6m）揺れることになる。一般的な超高層ビルにおいては、その建物の頂部の揺れ方は、応答スペクトルの値の20～30%程度増しになる場合もあると考えられる。

固有周期、減衰定数、速度応答について

高層ビルやタワー、タンクの液面の揺れを、同じ固有周期や減衰特性を持つ「バネに繋がれた1つのおもり」の動きに模擬して、周期ごとのおもりの揺れ方（応答）を評価している。



*長さのあるものを一つのおもりの動きに代表させて表す（左図）ため、例えば、一般的な超高層建物の頂部の応答は、応答スペクトルの値の 20～30% 程度増しになることが知られている。

*自由振動の場合、固有周期 5 秒・減衰定数 5% の建物の揺れ方は、1 周期毎に揺れ幅が約 27% 小さくなる（右図）。

*また減衰定数が小さいほど、揺れを減衰させる効果は小さい。超高層ビルなどの減衰定数は一般的には 5% よりも小さいことが知られており、実際の超高層ビルの揺れは減衰しにくく、ここに計算された結果よりも揺れが大きくなる可能性があると考えられる。

*何度も行き来するおもりの揺れでは、速度と加速度、速度と変位を固有周期に依存する定数を介した比例関係で近似できる。これを基にすると、例えば、固有周期 5 秒の場合には、速度応答スペクトルが 100cm/s の場合、最大加速度は 125cm/s²、最大変位は 80cm（往復で 160cm）程度と推定できる。

速度応答と揺れ幅（変位）の関係

速度応答 \ 周期	5 秒	7 秒	10 秒
10cm/s	8cm	11cm	16cm
20cm/s	16cm	22cm	32cm
50cm/s	40cm	56cm	80cm
100cm/s	80cm	111cm	160cm