

観測データに基づく設計用長周期地震動の作成について（骨子版）

目次

1. 長周期地震動作成手法の構築と改良
 - (1) 改良経験式の概要
 - (2) 群遅延時間の平均値と分散の改良回帰式の概要
 - (3) 任意地点での長周期地震動の計算方法の検討
 - (4) 工学的基盤の地震動と建物入力地震動について
2. 改良経験式の連動型地震に対する適用について
 - (1) 南海トラフ沿いの巨大地震に対する地表における長周期地震動波形の計算

付録 基準整備の方法の利用について（抜粋）

参考文献

平成 20 年度～24 年度で、長周期地震動の評価及びその建築物への影響に関する検討を行った。本検討の目的は、構造設計に利用可能で、地震観測記録の平均的な特性を「スペクトルと時刻歴で」表現する、全国に適用可能な長周期地震動の作成手法の構築にあった。作成される地震動時刻歴は、最終的には設計計算に供されるものであるが、観測記録の平均的な特性やそのばらつきに関する資料は、本方法以外の手法による作成地震動に対しても、妥当な目安値を提供することが期待される。

建築基準整備事業における検討作業（地震動評価関連のみ）は以下のように整理することができる。

- ・旧経験式の作成概要（建築研究資料 127）
 - （旧）経験式およびそれを用いた巨大地震による長周期地震動の作成手法の提案
 - 主要地点における長周期地震動の作成
- ・旧経験式の改良作業（建築研究資料 144）
 - 旧経験式を活用した対策試案に対する 2010 年パブリックコメントにおけるご意見と 2011 年東北地方太平洋沖地震における長周期地震動特性を踏まえた作成手法の見直しと改良案の作成
 - 南海トラフ 3 連動地震の長周期地震動の作成
- ・設計用長周期地震動への適用性の検討（建築研究資料 147）
 - 任意地点における長周期地震動作成手法について
 - 内閣府設定の南海トラフ最大クラス震源（4 連動）に対する長周期地震動の作成

以下にはこれらの検討で行った主な事項についてその概要を示した。検討結果の詳細は、それぞれの資料（後述）を参照されたい。

1. 長周期地震動作成手法の構築と改良

2011 年 3 月 11 日に Mw9.0 の東北地方太平洋沖地震が発生した。平成 22 年度までに作成した減衰定数 5% の加速度応答スペクトルと群遅延時間の平均値と標準偏差の経験式に基づき、2011 年東北地方太平

洋沖地震の長周期地震動のシミュレーションを行い、経験式の適用性と課題を整理し、その結果を踏まえ、さらに余震等の記録を追加して、長周期地震動の経験式の改良を行った。(建築研究資料 144)

追加したデータは、旧経験式作成後に発生した 2007 年 8 月から 2011 年 5 月までの海溝型地震について、旧経験式と同じ条件で選択したデータである。(KiK-net、K-NET、JMA95、工学院大データ)

上記の検討の詳細については参考資料を参照されたい。(建築研究資料 144)

(1) 加速度応答スペクトルの改良経験式の概要

加速度応答スペクトル改良経験式の概要は、以下のとおりである。

周期 T の関数である地表面での減衰定数 5% の絶対加速度応答スペクトル $S_A(T)$ を、モーメントマグニチュード M_w と断層最短距離 R [km] をパラメータとする次式で表現する。

$$\log_{10} S_a(T) = a_1(T)M_w + a_2(T)M_w^2 + be(T)R + bw(T)R - \log_{10} \left(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_w} \right) + c_0(T) + c_j(T) + c_{wj}(T) \quad (1)$$

周期 T は、0.1~10.0 秒で 55 ポイントで定義した。

a_1 、 a_2 、 be 、 bw 、 d 、 p 、 c_0 、 c_j 、 c_{wj} は回帰係数である。このうち、 a_1 、 a_2 は、震源特性を表現する回帰係数であり、この改良経験式では M_w^2 項を導入している。

be 、 bw は、太平洋プレートの地震、フィリピン海プレートの地震の内部減衰に関する伝播特性を表す係数であり、地震によりいずれかの係数が選択され、選択外の係数は 0 となる。

同様に、 c_j 、 c_{wj} は、 j 観測点でのサイト係数であり、周期 0.1 秒以上における 10^c 、 10^{cw} を地盤増幅率と呼ぶ。関東平野の 1 都 6 県にある T_z が 1 秒以上の観測点において、フィリピン海プレートの地震を対象とする場合は、 c_{wj} を選択し、それ以外は c_j を選択する。ここで、 T_z は次式に示すように地震基盤上面から工学的基盤上面までの、鉛直伝播する S 波の伝播時間であり、地盤の固有周期の 1/4 に相当すると考えられる指標である。

$$T_z = \sum_{k=1}^n (H_k / V_{S_k}) \quad (2)$$

ここで、 H_k 、 V_{S_k} は、地震基盤直上の地層から工学的基盤層における k 番目の層の層厚 (m) とせん断波速度であり、その間の総数が n である。地震調査研究推進本部 (2009, 2012) から公開されている三次元速度構造モデルでは、地震基盤の S 波速度は、関東平野、濃尾平野で 3.2 km/s、大阪平野で 2.9 km/s であるため、 T_z に地震基盤の S 波速度 V_s [km/s] を付与して、ここでは $T_z3.2$ 、 $T_z2.9$ と記す。

本方法では、関東平野の観測点のうち地盤の固有周期 (T_z の 4 倍) が 4 秒以上の観測点では、太平洋プレートの地震とフィリピン海プレートの地震でサイト係数が互いに異なると設定したことに相当している。 T_z が大きいほど地盤増幅率が大きくなる傾向があることから、地盤増幅率が大きい観測点で地盤増幅率の違いを考慮している。なお、 $T_z3.2$ が 1 秒以上の観測点でも、太平洋プレートとフィリピン海プレートの地震の両方が観測されていない観測点では、 c_j を用いるものとする。 c_0 は、基準とした KiK-net : FKSH19 (都路) でのサイト係数である。FKSH19 は、周期 1 秒以上では、地震基盤からの地盤増幅がないとみなすことができる。なお、 c_j 、 c_{wj} とともに、地殻内地震に対して求められているサイト係数と観測地震数で重みづけ平均したものをを用いている。

(建築研究資料 144 参照のこと)

(2) 群遅延時間の平均値と分散の改良回帰式の概要

中心周波数 f の関数である群遅延時間の平均値 $\mu_{igr}(f)$ 、分散 $\sigma_{igr}^2(f)$ は地震モーメント M_0 [dyne-cm] と震源距離 X [km] をパラメータとする次式で表現される。

$$\begin{aligned}\mu_{igr}(f) &= A_{igr1}(f)M_0^{1/3} + Be_1(f)X + Bw_1(f)X + C_{1j}(f) + Cw_{1j}(f) \\ \sigma_{igr}^2(f) &= A_{igr2}(f)M_0^{1/3} + Be_2(f)X + Bw_2(f)X + C_{2j}(f) + Cw_{2j}(f)\end{aligned}\quad (3)$$

ここに、

$Y(f)$: 群遅延時間の平均値 $\mu_{igr}(f)$ あるいは分散 $\sigma_{igr}^2(f)$

M_0 : 地震モーメント (dyne-cm)

X : 震源距離 (km) 建設地点から断層破壊開始地点までの距離

$A(f), B(f), C_j(f)$: 回帰係数 ($C_j(f)$ は群遅延時間に関するサイト係数)

ここで、 $A_{igr1}, Be_1, Bw_1, C_{1j}, Cw_{1j}, A_{igr2}, Be_2, Bw_2, C_{2j}, Cw_{2j}$ は回帰係数であり、このうちの C, Cw をサイト係数と呼ぶ。 Be, Bw, C_j, Cw_j の太平洋プレート、フィリピン海プレート、インド洋プレートの地震に対する扱いは、加速度スペクトルにおける回帰係数 be, bw, c_j, cw_j と同様である。

各回帰係数とサイト係数は、建築研究所ホームページ上 (建築研究資料と連動) で公表されている。

(3) 任意地点での長周期地震動の計算方法について

前記の改良経験式に基づく長周期地震動予測手法では、地震観測点において、その地点固有の地盤増幅率、サイト特性を考慮した時刻歴波形の予測が可能であるが、観測地点のデータで評価した改良経験式が、大阪平野、濃尾平野、関東平野の任意地点で適用できるように、応答スペクトルの地盤増幅率と、群遅延時間の平均値・標準偏差のサイト係数の回帰式を作成した。

旧経験式による面的評価の際には、前述の地震基盤上面から工学的基盤上面までの堆積層伝播時間 T_z [s] を定義している。すなわち、

$$T_z = \sum_{k=1}^n (H_k / V_{S_k}) \quad (2)$$

なお、地震調査研究推進本部 (2009, 2012) の三次元速度構造モデルの工学的基盤の V_s は、大阪平野、濃尾平野、関東平野でそれぞれ、0.35km/s、0.35km/s、0.5km/s としている。

観測点での速度構造は、地震調査研究推進本部の約 1km 間隔の三次元速度構造モデルから、観測点を囲む 4 地点での速度構造の重み付き平均で算出される当該観測地点での T_z と、地盤増幅率に関するサイト係数 $C(T)$ との関係性を周期 T 毎に、バイリニア型でモデル化する。このバイリニア型モデルは、折れ曲がりの T_z を $T_c(T)$ とすると、 $T_c(T)$ を境に次の形式による 2 つの回帰式で表現される。回帰係数 $a(T)$ 、 $b(T)$ は周期 T 毎に最小二乗法で定められている。

$$\log_{10}C(T) = a(T) + b(T)T_z \quad (4)$$

ここで、 $a(T)$ 、 $b(T)$ は周期 T 毎の回帰係数である。

さらに、群遅延時間の平均値のサイト係数 $c_{\mu gr}$ と群遅延時間の標準偏差のサイト係数 $c_{\sigma gr}$ は、それぞれ、次の回帰式で表現している。こちらも、各係数は周期ごとに最小二乗法で定められている

$$\begin{aligned}c_{\mu gr}(T) &= a_1(T) + b_1(T)Tz \\ c_{\sigma gr}(T) &= a_2(T) + b_2(T)Tz\end{aligned}\tag{5}$$

さらに関東平野の場合には、 $Tz3.2$ が 1 秒以上の観測点で、太平洋プレートの地震とフィリピン海プレートとの地震で地盤増幅率、サイト係数を区別している。上記各回帰式は、太平洋プレートの地震に対するものであり、フィリピン海プレートとの地震の地盤増幅率は、太平洋プレートの地震の地盤増幅率に対して比率 $rat(T)$ を掛けることで求める。同様に、フィリピン海プレートとの地震のサイト係数と太平洋プレートの地震のサイト係数との差 $diff(T)$ を用いて、フィリピン海プレートのサイト係数を表すこととした。なお、東京都内の観測点に対しては、フィリピン海プレートとの地震の地盤増幅率、サイト係数とも $2.75 \leq Tz3.2 \leq 3.5$ 秒の、この地域を対象とした $rat(T)$ 、 $diff(T)$ の平均値を補正係数としている。地盤増幅率に対しては、この地域以外の観測点を対象に、 $rat(T)$ の平均値も求め補正係数としている。

なお、これらのサイト係数に関する回帰係数、補間のための補正係数は建築研究所 HP で公表される予定であるので、詳細はそちらを参照されたい。

(4) 工学的基盤の地震動と建物入力地震動について

式 (1) で求めたものは、地表での長周期地震動のための経験式である。

超高層建築物等の構造計算では、稀または極めて稀な地震動として、工学的基盤における地震動として設定し、必要に応じて表層地盤の影響を考慮することが一般的である。

ここで長周期地震動は、地表観測記録を用いた分析結果であるので、上記と同様に表層地盤の影響を考慮できるように、工学的基盤への変換方法を説明する必要がある。基本的には、周期 1 秒以上では工学的基盤以浅の表層地盤による増幅は無視できるものとしている。なお、表層地盤の増幅特性については、別紙 4 で説明するので、本別紙 (骨子版) では詳細については省略する。

2. 改良経験式の連動型地震に対する適用について

改良経験式は、経験式の作成に用いたデータの観測地点のみで長周期地震動の計算が本来可能であるが、この式に基づいて、任意の建設地点での長周期地震動の評価方法を説明する。

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震に対する地表における長周期地震動波形の計算 (連動地震の計算例)

平成 23、24 年度基準整備事業では、既往の内閣府設定の 3 連動の震源モデル (Mw8.7) および内閣府 (2012) の南海トラフ沿いの巨大地震の断層モデル (Mw9.0) に基づき、前記改良経験式を用いて、地表における長周期地震動 (平均波) を計算した。(それらの計算例を示す。本資料では省略)

さらに、乱数により異なる波形が計算されるため、複数の計算波から、平均的な波を設定あるいは選択する方法について説明する。(21 サンプル波形の平均スペクトルと、最大速度中央値ケースの位相を用いた波形の再計算など)

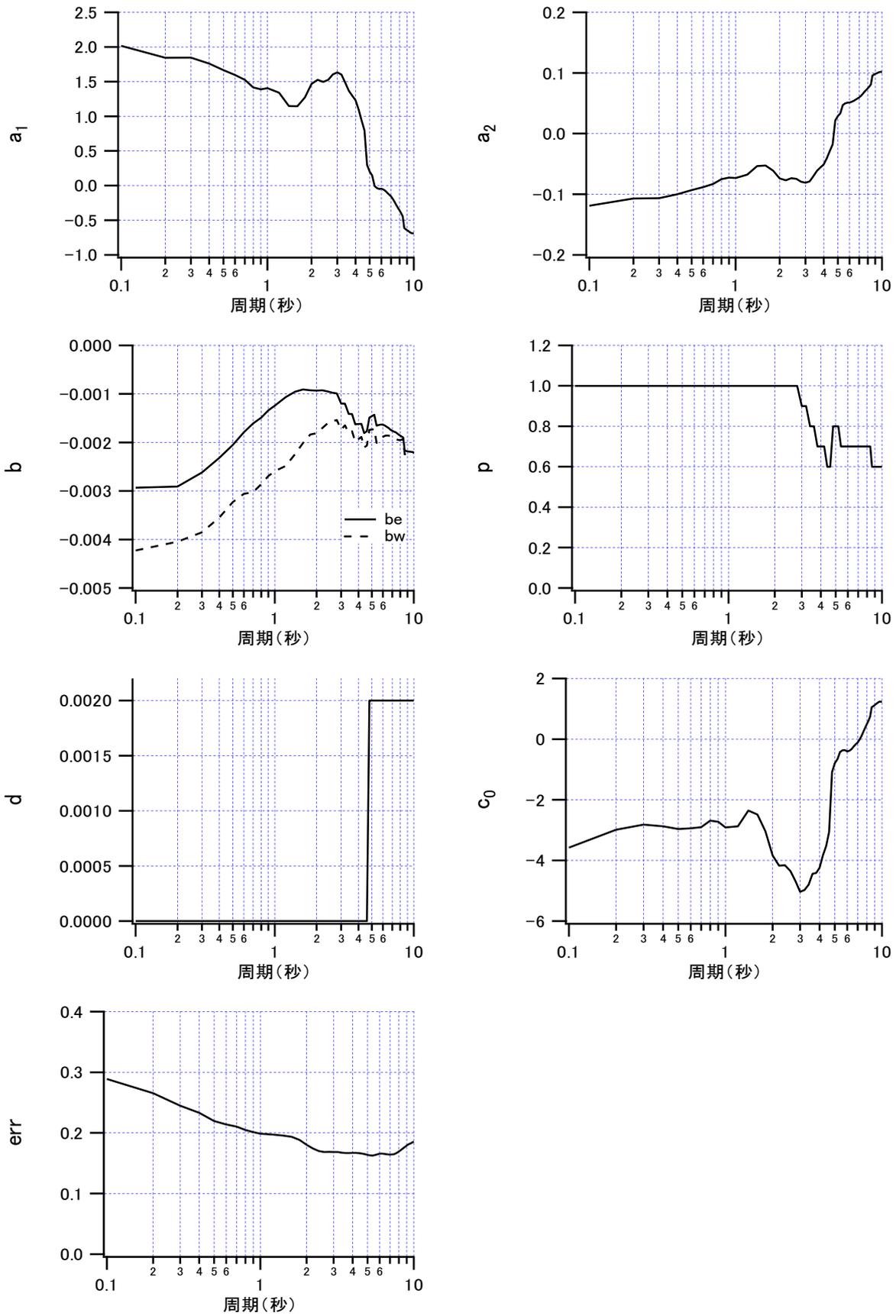


図1 加速度応答スペクトルの回帰係数

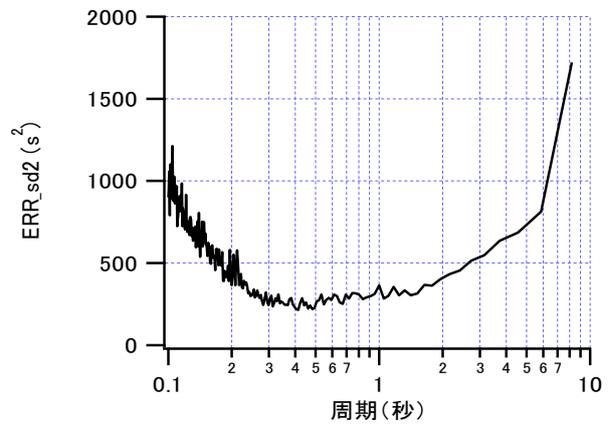
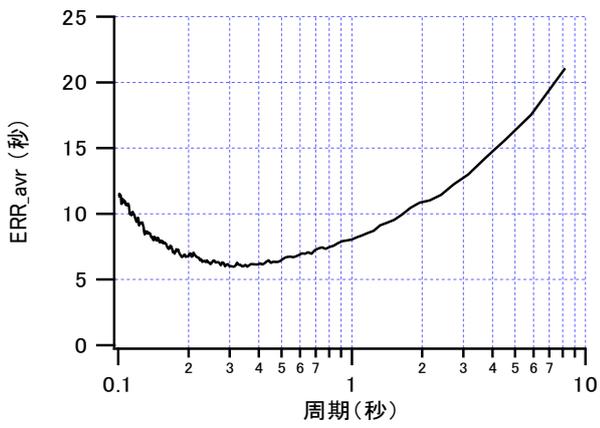
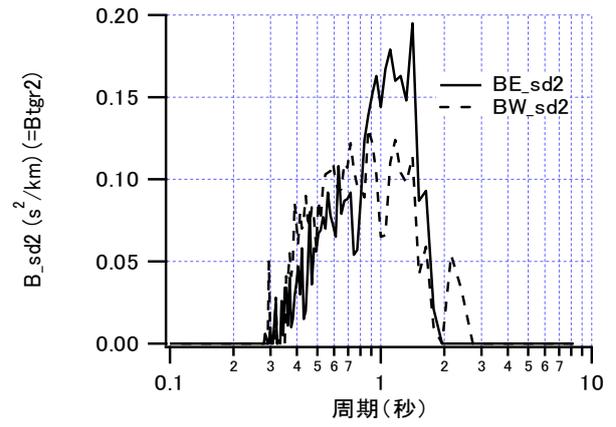
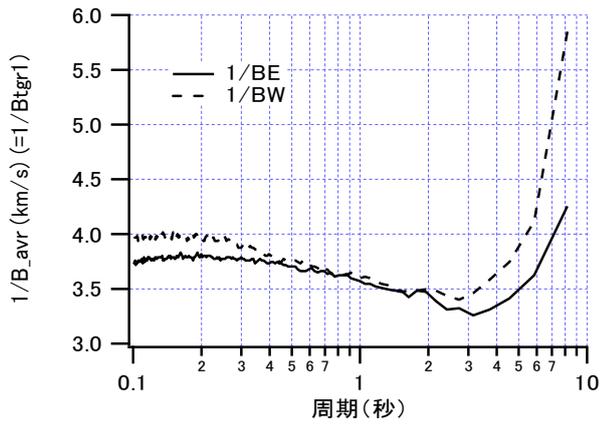
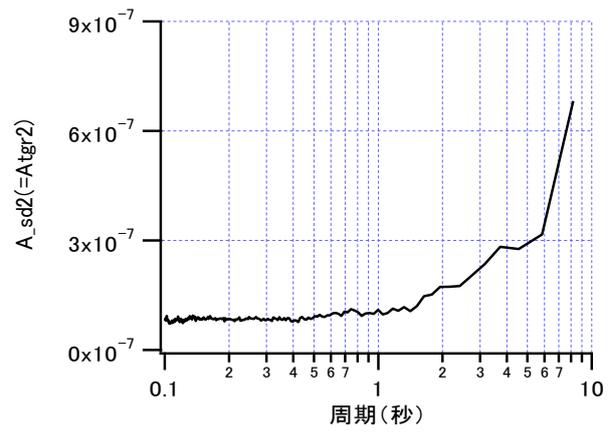
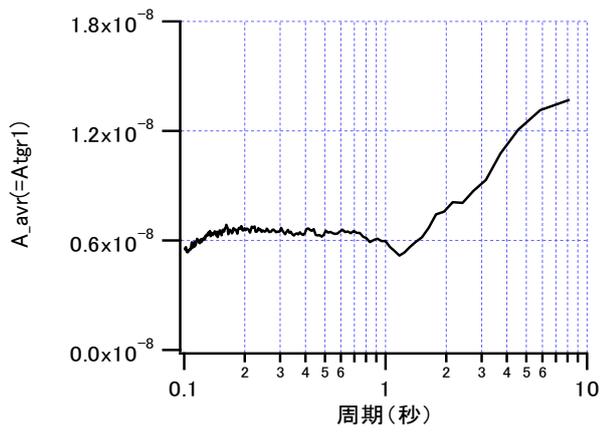


図2 群遅延時間の平均値と分散の回帰係数

付録 建築基準整備の方法の利用について（抜粋）

1. 長周期地震動時刻歴の作成方法について

時刻歴の作成においては、フーリエ（逆）変換を用いる。時刻歴作成のための継続時間（データ時間長さ）は、一律に 1310.72 秒 (T_d) とする。この時間長さは、データの時間刻み (Δt) を 0.02 秒とした場合には、65536 のデータ個数 (N) となる。長周期地震動が対象であるので、時間刻みをあまり細かく取る必要はない。

ただし、後述の位相特性の算定に用いる群遅延時間に関するサイト係数の設定上、上記のようなデータ時間長さをを用いるものとする。

加速度時刻歴を $a(t)$ とすると、フーリエ逆変換により次式のように表される。

$$a(t) = \sum_{k=0}^{N_f} A_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

ここで、

A_k : 振動数 f_k におけるフーリエ係数

f_k : k 番目の成分振動数で、 $f_k = k/T_d$

N_f : 成分振動数の個数 ($N_f = N/2$)

ϕ_k : k 番目の成分の位相角（ラディアン）

前述のようにデータ個数が 66536、データ刻みが 0.02 秒でデータ長さが 1310.72 秒の場合、成分振動数（周期）は、小さいものから、0Hz（ ∞ 秒）、1/1310.72Hz（1310.72 秒）、2/1310.72Hz（655.36 秒）、... のように、 $\Delta f = 1/1310.72\text{Hz}$ の等間隔に並ぶ。最大の成分振動数は $32768/1310.72\text{Hz}$ （ $= 25\text{Hz} = 1/(2\Delta t)$ ）となる。

（本方法の対象振動数を 0.1Hz（10 秒）～10Hz（0.1 秒）とし、この対象振動数範囲外の振動数成分が含まれないものと仮定する。上記条件では、10Hz に最も近い成分振動数は、全体の 13107 番目の成分で周期は約 0.1 秒、0.1Hz に最も近い成分振動数は、131 番目で、周期は約 10 秒となる。）

位相角 ϕ_k の算定方法は以下の通りとする。

ϕ_k の振動数に関する傾きを群遅延時間 (\overline{TGR}_k) として以下で定義する。

$$\overline{TGR}_k = \frac{\phi_{k+1} - \phi_k}{2\pi\Delta f} = \frac{\Delta\phi_k}{2\pi\Delta f} \quad (1-1)$$

この群遅延時間については、 \overline{TGR}_k が正規分布に従うものとして、0～10Hz までが 206 個の等間隔の帯域についてその平均値と標準偏差を計算する。

各振動数帯域における対象観測地点の群遅延時間の平均値と標準偏差は、以下のように計算する。中心振動数 f の帯域に対して、群遅延時間の平均値を、回帰式を用いて、

$$\mu(f)_j = a_1(f)M_0^{1/3} + b_1(f)X + c_{\mu_j}(f) \quad (1-2)$$

同じく中心振動数 f の帯域に対して、群遅延時間の標準偏差を、回帰式から、

$$\sigma(f)_j = \sqrt{a_2(f)M_0^{1/3} + b_2(f)X + c_{\sigma^2_j}(f)} \quad (1-3)$$

で計算する。ここで、

M_0 : 地震モーメント (単位 : dyne cm)

X : 震源距離、破壊開始点から建設サイトまでの距離 (km)

波形合成の時の、各振動数での位相差分 (隣り合う振動数での位相角の差分) $\Delta\phi$ は以下で計算する。

$$\Delta\phi(f) = -(\mu_j(f) + \sigma_j(f) \cdot s) \cdot df \cdot 2\pi \quad (1-4)$$

ここで、 $\Delta\phi$: 位相差分、 s : 平均値 0、標準偏差 1 の正規乱数、 df : 振動数刻み (継続時間の逆数) である。なお、 $c_{\mu_j}(f)$ 、 $c_{\sigma^2_j}(f)$ については、群遅延時間のサイト係数であって、振動数帯域毎に与えられている。

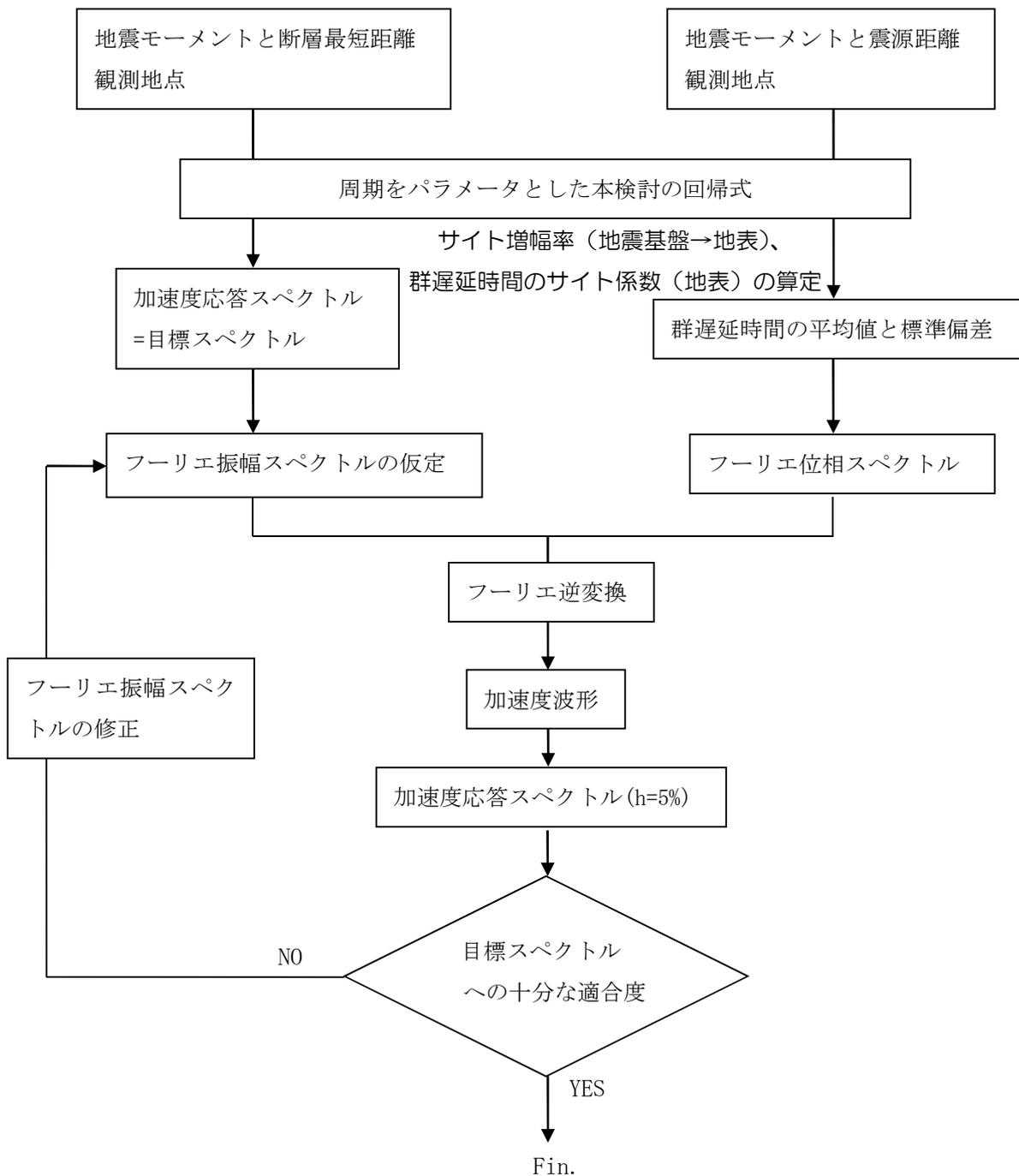
各振動数における位相角 ϕ_k は、

$$\phi_{k+1} = \phi_k + \Delta\phi_k \quad (1-5)$$

によって逐次求められ、結局以下の式により、加速度波形が計算される。

$$a(t) = \sum_{k=0}^{N_f} A_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \quad (1-6)$$

このうち、 A_k は、対象地震について建設サイトで求められる加速度応答スペクトルを目標値として、繰り返し計算によって、所要の値に近づくように修正しながら求められるものである。具体的な地震動作成のフローを図 1 に示す。



(連動地震の場合は、震源を構成するセグメント毎に上記の作業を行い、それぞれの震源の破壊の時間ずれを考慮して、対象地点に到達する地震動を重ね合わせる。)

図1 長周期地震動時刻歴の作成フロー (地表面あるいは工学的基盤が対象)

2. 余裕を持った設計のための考え方

長周期地震動については、今後も調査研究が進み知見が蓄積されていくものと思われる。本章では、このような状況を踏まえ、余裕を持った設計を行おうとする場合の参考として、今回対象の2地震以外の地震や連動型地震による長周期地震動の作成手法をまとめたので、個別の建築物の特性等を勘案し、必要に応じて活用されたい。

2. 1 さまざまな地震による地震動の作成の考え方

長周期地震動の評価に当たっては、地震、地震規模、震源断層の大きさ（具体的広がり）、破壊開始点（もしくは震源）などの基本情報が必要になる。

(1) 地震

長周期地震動をもたらす地震の震源断層を選定する。

震源の選定にあたっては、地震調査研究推進本部や中央防災会議などから、今後発生する可能性がある全国の主要な震源、断層を公表しているのので、それらを参考に、地震規模や震源位置などに基づいて選定する。

(2) 地震規模

回歸式を用いて応答スペクトルを算定する場合には、用いるパラメータは適正なものでなくてはならない。(1)で参考とする資料などには、通常地震規模が参考値として付記されているが、参考資料がどのような根拠に基づいているかなど、その推定誤差など信頼度についても考慮して、地震規模を決定する。この場合、地震規模には気象庁マグニチュードやモーメントマグニチュードなど、さまざまなスケールによるものがあるので注意すること。

(3) 震源断層の大きさ、形状

震源断層の大きさ（空間的範囲）および形状は、建設地との距離の算定に影響するので、それについても、同様な機関から信頼度の高い情報を得て設定する。（前例では矩形を設定している）

(4) 破壊開始点（震源）

震源断層面が大きい場合には、震源断層面上のいくつかのアスペリティのうち最初に破壊が開始した部分（地点）を震源（点）とすることが一般的である。地震動時刻歴を設定する場合には、破壊過程を考慮することが一般的に必要なため、破壊開始点が必要になる。過去の破壊過程が既知の地震については、複数回発生した地震の中から適切に選んだ、一回分として起こる一続きの地震群の連続事象として、次回も同等な破壊過程が再現されるものと想定することも有効とされている。過去の破壊過程が未知の震源断層については、地震学の最新の知見を参照しながら適切に設定する。

3. 連動型地震による地震動の作成の考え方

震源規模が大きく、建設地点に比較的近い場合は、震源破壊の広がりと破壊伝播を考慮した地震動評価が必要である。また、過去に例があるように、巨大地震どうしが連動して地震動を発生することもある。そのような条件下での地震動算定方法を考える。

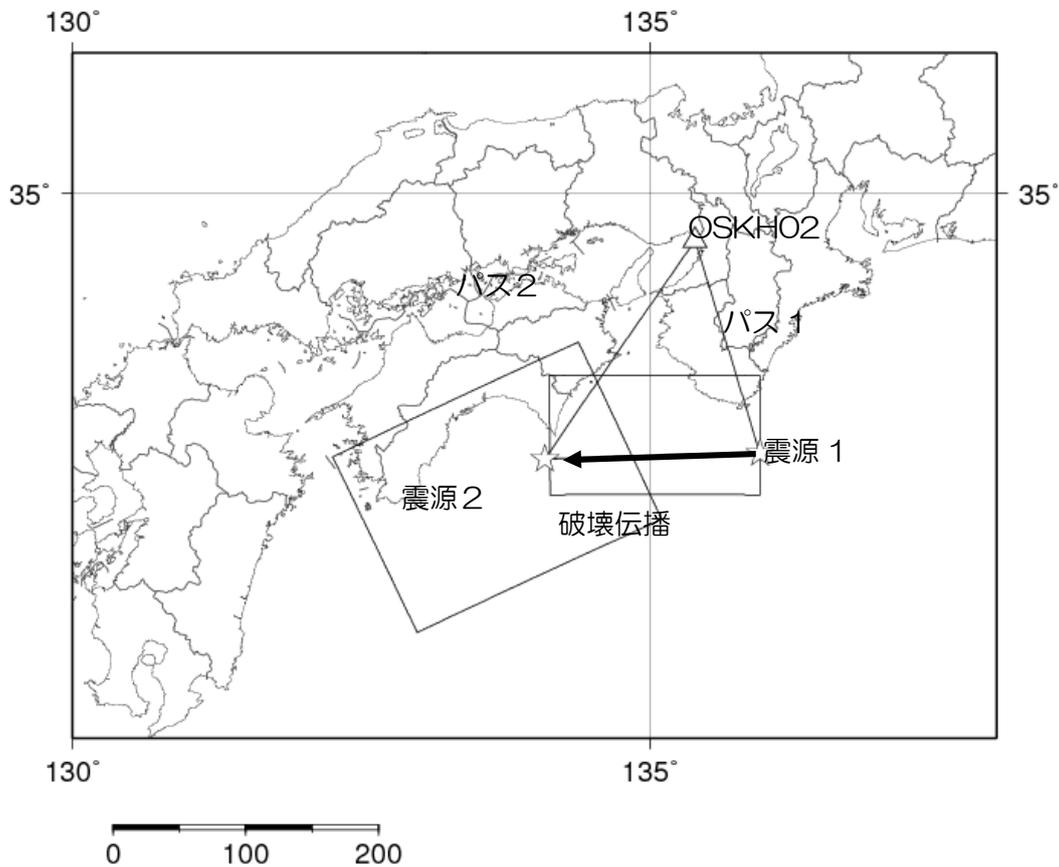


図 2 南海地震の震源の例 (鶴来・他(2005))

図 2 は、鶴来・他(2005)による南海地震の震源断層である。この場合、震源は西側と東側の領域に区分され、それぞれが連動して全体としての南海地震を構成している。図中に二個の☆印がある、この☆印は、それぞれの断層の破壊開始点である。破壊は、この場合、東側の☆から始まり、西側方向へ破壊が伝播し、西側断層の破壊開始点☆まで伝わってその破壊が始まるという想定である。この場合、二つの個別の断層面と破壊開始点による地震動を算定して、両者を破壊伝播と波動伝播による時間差を考慮して波形を足しあわせる。

具体的に前述の方法を適用する場合には、まず、それぞれの断層毎に地震動を算定する。本方法は、群遅延時間の基準時刻として断層破壊開始時間をとっている。したがって、震源 2 からの地震動については、2つの震源間の破壊伝播に要する時間（破壊長さを破壊速度で割った値）だけ遅らせて、震源 2 による地震動を震源 1 による地震動に重ねればよい。

この考え方は、巨大地震どうしの連動の場合も同様で、図 3 に示す、同じく鶴来・他(2005)による南海・東南海地震の場合には、さらに多くの構成断層による地震動を破壊開始時刻のずれに伴う算定地点での時間差をそれぞれずらし、足しあわせる。

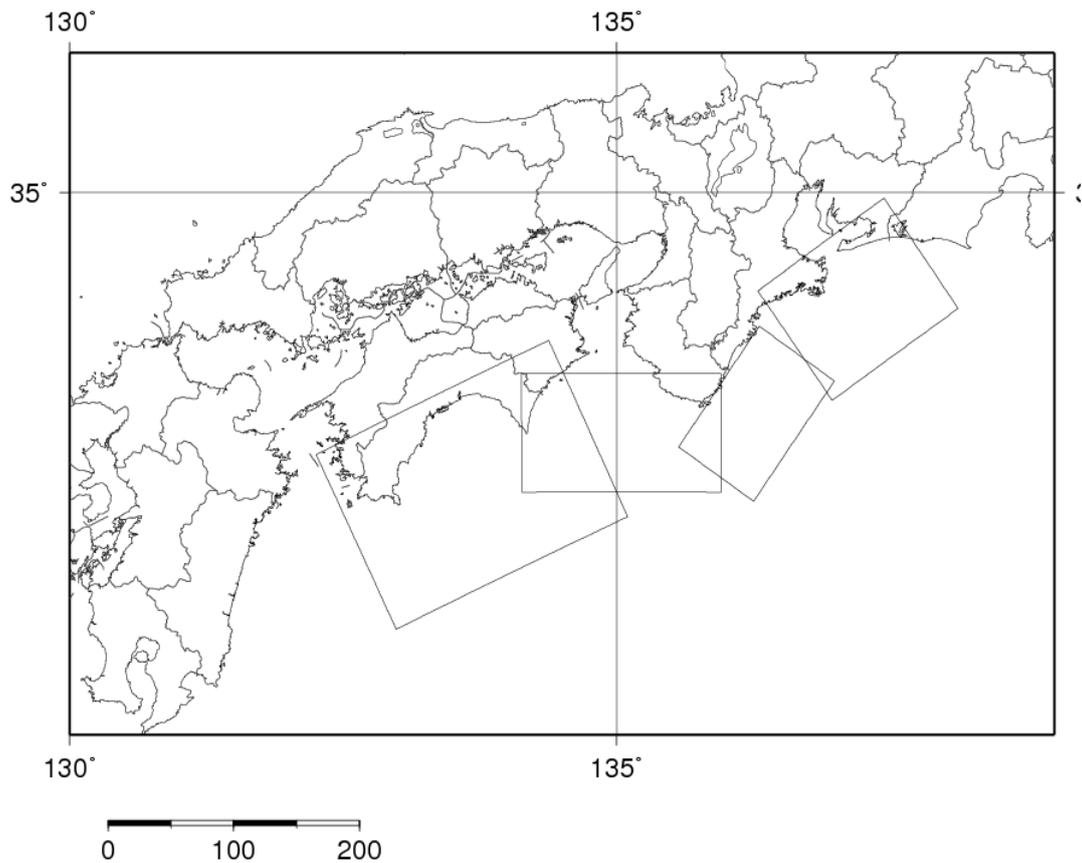


図3 南海・東南海地震を模擬した連動型断層モデル（鶴来・他（2005））

4. 対象地震の諸元（例）

対象とした地震の断層面は、南海・東南海地震は中央防災会議(2003)に基づく鶴来・他(2005)、東海地震は地震調査研究推進本部(2009)のモデルを矩形化したものを組み合わせたものである。表1に、震源モデルを、図4に震源モデルと計算対象となった観測地点を示す。また、図5は、のちに内閣府から公表された、4震源6セグメントの巨大地震の震源モデルで、これについても全体で6個の震源にそれぞれに前記計算手法を適用させた時刻歴を求めている。（建築研究資料147）

表1 東海・東南海・南海地震の震源モデルの物性値例

			地震モーメント dyne・cm (Mw)	参考文献
本検討(3連動)	南海	東断層	2.91×10^{28} (8.2)	鶴来・他(2005)
		西断層	5.46×10^{28} (8.4)	鶴来・他(2005)
	東南海	東断層	9.01×10^{27} (7.9)	鶴来・他(2005)
		西断層	1.48×10^{28} (8.0)	鶴来・他(2005)
	東海		1.12×10^{28} (8.0)	地震本部(2009)
	全体		1.2×10^{29} (8.7)	

*鶴来・他(2005)は中央防災会議(2003)に基づいている。地震調査研究推進本部(2009)も中央防災会議に基づいている。

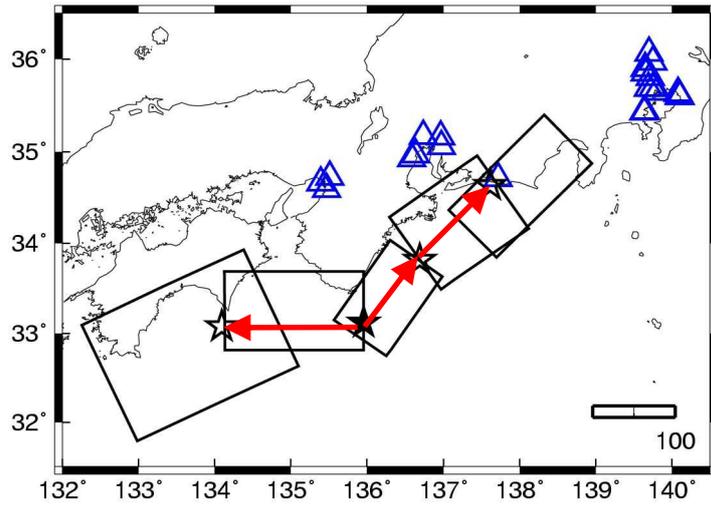
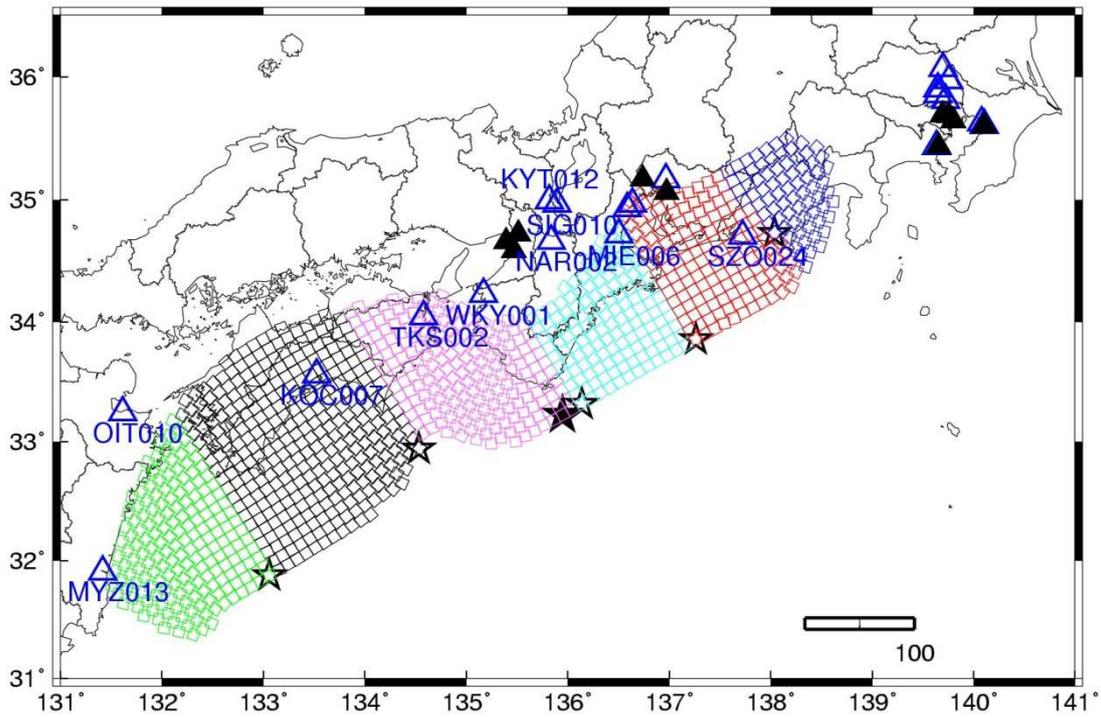


図4 東海・東南海・南海地震の震源モデルと破壊パターン及び計算地点の例（矩形は断層面、☆は破壊開始点、矢印は破壊伝播方向、△は計算地点）（建築研究資料144より）



★：震央位置(第1破壊開始点) ☆：各セグメントでの破壊開始点

▲と△：計算地点（このうち▲ではTzによる補間の回帰式に基づく計算も実施）

図5 内閣府(2012)の巨視的断層モデルに基づく本検討の4連動6セグメントモデルと計算地点（建築研究資料147より）

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部(2009, 2012)、長周期地震動予測地図2009年試作版、同2012年試作版
http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/09_choshuki/
http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki/
- 2) 鶴来雅人、趙伯明、Petukhin A.、香川敬生(2005). 東南海・南海地震による大阪での強震動予測事例ー広帯域強震動の予測ーシンポジウム論文集、pp. 73-82.
- 3) 中央防災会議(2003)、東南海・南海地震等に関する専門調査会公表資料
- 4) 大川出他、長周期地震動に対する超高層建築物等の安全対策に関する検討、建築研究資料、第127号、独立行政法人建築研究所、平成22年12月
- 5) 大川出他、超高層建築物等へ長周期地震動の影響に関する検討ー長周期地震動作成のための改良経験式の提案と南海トラフ3連動地震による超高層・免震建物の応答解析ー、建築研究資料、第144号、独立行政法人建築研究所、平成25年8月
- 6) 大川出他、超高層建築物等へ長周期地震動の影響に関する検討ー南海トラフ4連動地震による超高層・免震建物の応答解析ー、建築研究資料、第147号、独立行政法人建築研究所、平成25年9月
- 7) 佐藤智美、大川出、西川孝夫、佐藤俊明(2011)、長周期応答スペクトルの地盤増幅率の経験的予測とその理論的解釈、日本建築学会構造系論文集、第669号、pp. 1905-1914.
- 8) 佐藤智美、大川出、西川孝夫、佐藤俊明(2012)、長周期地震動の経験式の改良と2011年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション、日本地震工学会論文集、第12巻、第4号(特集号)、pp. 354-373
- 9) 佐藤智美、大川出、佐藤俊明、藤堂正喜、西川孝夫(2014)、サイト固有の特性を反映した経験式に基づく南海トラフ沿いの巨大地震に対する長周期地震動予測、日本建築学会構造系論文集、第695号、pp. 37-46
- 10) Wessel, P. and Smith W.H.F. (1998): "New Improved Version of Generic Mapping Tools Released," EOS, AGU
- 11) 内閣府 首都直下地震モデル検討会、首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書、平成25年12月19日

謝辞

本検討では、様々な機関から資料等をご提供いただいている。ここに記して感謝申し上げる次第です。

- K-NET、KiK-net強震観測記録、及び観測地点情報については独立行政法人防災科学技術研究所、
- 気象庁87型強震計、同95型強震計記録、および観測地点情報について気象庁、
- 工学院大学新宿本校内設置地震計による観測データ、
- 宮城県沖地震、想定東海地震、東南海地震の震源モデルに関するデータについては地震調査研究推進本部、
- 各地域地図の作成についてはGMT (GENERIC MAPPING TOOL, 2009)