

深谷断層帯で発生する大地震による東京都内の長周期地震動評価

Prediction of Long-Period Ground Motions in Tokyo due to a Large Earthquake Occurring in the Fukaya Fault System

引 田 智 樹 笠 松 健 太 郎 池 浦 友 則

要 約

首都圏に大きな影響を及ぼす可能性のある地震の一つである深谷断層帯で発生する巨大地震を対象として、都心部における長周期地震動評価を行った。その際、将来発生する地震の断層破壊の不確実性を考慮して、条件が異なる多数の断層モデルを作成し、それら全てによる長周期地震動を計算することにより予測地震動振幅の分布を評価した。評価結果の擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%）の周期 2～5 秒での平均振幅は 100～130cm/s 程度であった。また、不確実性を考慮した断層パラメタのうち、地震モーメントと破壊開始点位置の不確実性が評価結果のばらつきに大きな影響を及ぼすことがわかった。

目 次

- I. はじめに
- II. 対象地震と断層モデル
- III. 長周期地震動評価法
- IV. 評価結果
- V. おわりに

I. はじめに

深谷断層帯は首都圏に存在する活断層の一つである。この断層について、地震調査研究推進本部¹⁾（以下、地震本部と呼ぶ）は、深谷断層帯全体と隣接する綾瀬川断層が同時に活動して、最大でマグニチュード 8 程度の地震が発生する可能性を指摘している。そのような地震が発生する可能性は高くないが¹⁾、仮に深谷断層帯でマグニチュード 8 程度の地震が起きれば、都心部に大きな被害が生じる恐れがある。特に、関東平野直下の浅い場所で大規模な地震が起きることで、平野内の長周期地震動を強く励起する可能性があるため、超高層建物等への影響を把握するために、長周期地震動のレベルを予測しておくことは重要である。そこで、深谷断層帯で発生するマグニチュード 8 程度の地震による、首都圏における長周期地震動のレベルを把握することを目的とした検討を実施した。

深谷断層帯で発生する巨大地震について、地震本部²⁾は震度分布の評価を目的として、断層モデルを用いた短周期地震動評価を行っているが、長周期地震動の評価は行っていない。なお、断層近傍の地震動は断層の破壊過程の影響を強く受けるため、現実的な地震動を評価するために断層の破壊シナリオを仮定した断層モデルに基づく地震動評価は有効である。しかし、将来発生する地震によって、

仮定した破壊シナリオと一致する断層破壊が生じるとは限らないため、断層破壊の不確実性を考慮した地震動評価を行うことが重要である。具体的には、多数の断層破壊シナリオを仮定した多数ケースの地震動評価を行うことが考えられるが、そのような評価には膨大な計算時間が必要であり、現実的な時間で評価を行うことは困難であった。本検討では、特定の評価点を対象として多数ケースの地震動評価を効率的に行う数値計算法を適用することで、断層破壊の不確実性をより詳細に考慮した長周期地震動評価を実現した。

II. 対象地震と断層モデル

深谷断層帯の位置を Fig.1 に、断層周辺の拡大図を Fig.2 に示す。深谷断層帯では最大級の地震として、北西部の深谷断層帯と、南東部の綾瀬川断層が同時に活動する可能性が指摘されている¹⁾。本検討では、そのような地震を想定して地震動評価用の断層モデルを設定した。過去の調査結果等による知見¹⁾に基づいて、深谷断層帯、綾瀬川断層の鴻巣-伊奈区間、伊奈-川口区間の 3 つのセグメントをそれぞれ平面で近似した断層面を設定した。断層面の位置を Fig.3 に、断層面のパラメタを Table 1 に示す。本検討では都心部における評価点として、Fig.3 に示す東京湾岸の評価点を対象として長周期地震動評価を実施した。

Fig.3 に示す断層面で地震が発生することを前提として、地震動評価で必要となる断層パラメタの平均値を壇ほか³⁾に従って設定し、そのうち偶発的な不確実性が考えられる主要なパラメタについて、後述する確率分布を仮定して不確実性を考慮した。仮定した不確実性に従う断層モデルを 1000 サンプル作成し、それら全てに対する地震動評価を行い、予測される地震動振幅の分布を評価した。既往

キーワード: 長周期地震動, 地震動評価, 深谷断層帯, 有限差分法, 断層モデル, 不確実性

Keywords: long-period ground motion, ground motion prediction, Fukaya fault system, finite-difference method, fault model, uncertainty

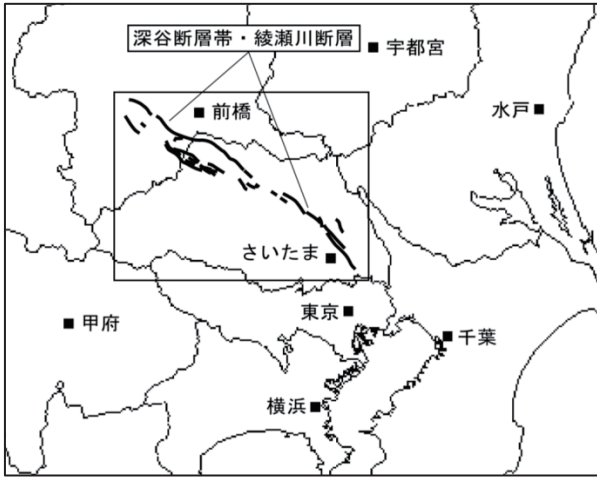


Fig.1 深谷断層帯と綾瀬川断層の位置 (地震本部¹⁾)
(Locations of Fukaya Fault System and Ayasegawa Fault)

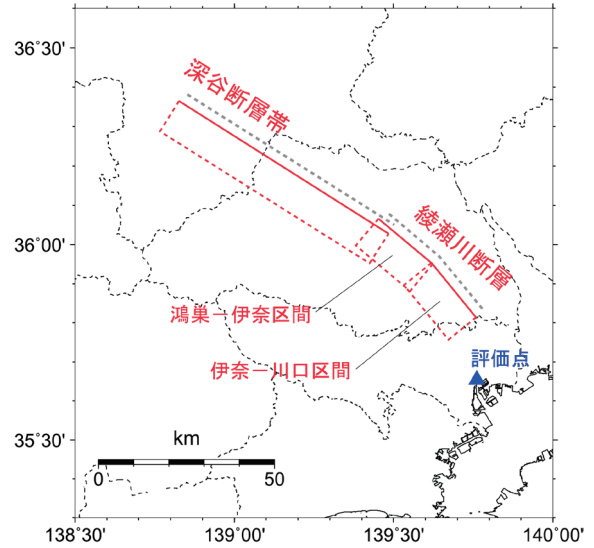


Fig.3 対象地震の設定断層面
(Fault Plane of Scenario Earthquake)

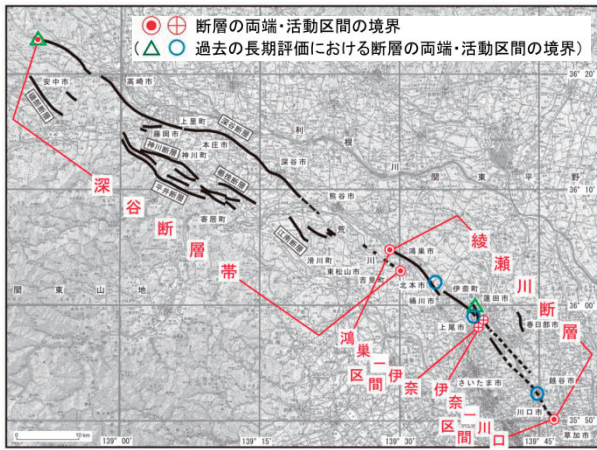


Fig.2 深谷断層帯と綾瀬川断層の位置拡大図 (地震本部¹⁾)
(Enlarged Figure of Fault Location)

Table 1 断層面のパラメータ一覧
(List of Fault Plane Parameters)

	深谷断層帯	綾瀬川断層	
		鴻巣-伊奈区間	伊奈-川口区間
断層長さ	70km	20km	20km
断層幅	20km	20km	20km
走向	122.6°	130.2°	140.9°
傾斜角	60°	60°	60°
上端深さ	5km	5km	5km

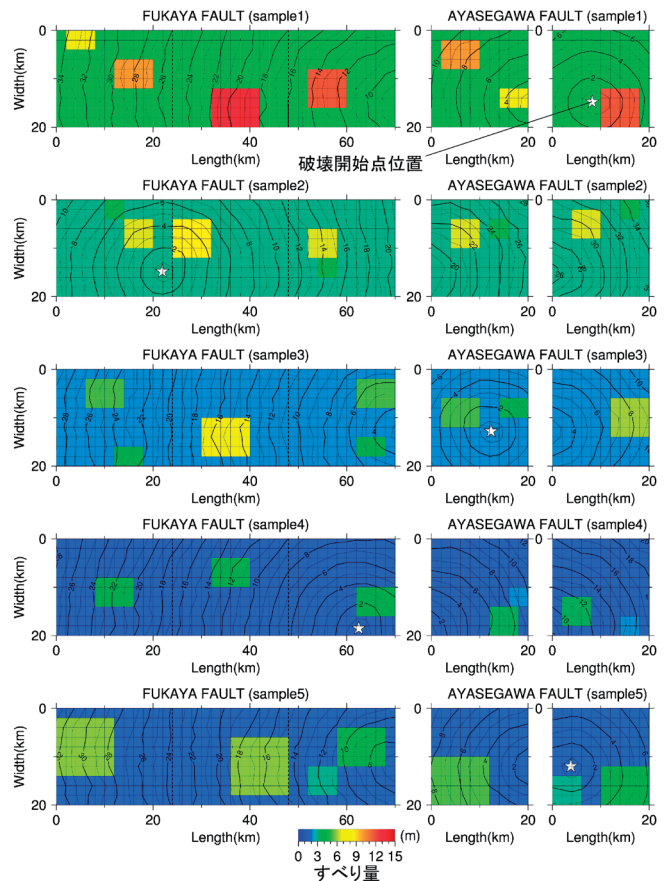


Fig.4 断層モデルの例 (5 サンプル)
(Samples of Fault Models, 5 Samples)

研究¹⁰⁾によれば、予測地震動振幅の平均値や標準偏差などの基本統計量の評価に関しては、1000 サンプルあれば十分であると考えられる。ただし、極めて低頻度の事象を検討対象とする場合には更に多くのサンプル数が必要である。以下に不確実性を考慮した断層パラメタとその条件を示す。これらの条件に従うように乱数によって作成した断層モデルの例を Fig.4 に示す。Fig.4 は断層面上のすべり量の分布をカラーで示し、破壊開始点の位置を星印で、各小断層の破壊時刻をコンターで示している。断層モデル設定における小断層サイズは長さ 2km、幅 2km とした。

a. 地震モーメント

壇ほか³⁾の長大断層による内陸地震に対する経験的な関係式に基づき、断層面積と総断層長さ、断層幅から評価した地震モーメントの平均値は $2.33 \times 10^{20} \text{Nm}$ である (モーメントマグニチュード M_w は 7.5)。この平均値と標準偏差が 0.37 となる対数正規分布 (対数振幅は自然対数を用いる。以下同じ) を仮定し、地震モーメントの不確実性を考慮した。標準偏差の大きさは引田ほか⁴⁾

の国内の中小規模の内陸地震に基づくデータを参考に設定した。

b. アスペリティ総面積

断層面積に対する総アスペリティ面積の比率の平均は 0.13 である³⁾。この平均と標準偏差が 0.4 となる対数正規分布を仮定し、総アスペリティ面積の不確実性を考慮した。標準偏差の大きさは Somerville et al.⁴⁾ の内陸地震のデータに基づく。アスペリティ面積が変動することに応じて、背景領域の面積も変動する。

c. 平均破壊伝播速度と各小断層の破壊時刻

S 波速度に対する平均破壊伝播速度の比が、平均を 0.8⁷⁾、標準偏差を 0.08¹⁰⁾ とする正規分布に従うと仮定し破壊伝播の不確実性を考慮した。この平均破壊伝播速度と各小断層のすべり量に応じて Graves and Pitarka⁷⁾ により算出した各小断層の破壊時刻を用いて地震動評価を行った。なお、各小断層の破壊時刻に対して ±5% (最大で ±1 秒) のランダムな揺らぎを与えた。

d. アスペリティ位置

各アスペリティは正方形を仮定し、対応するセグメント内に収まるように一様ランダムに配置した。

e. 破壊開始点位置

横ずれの内陸地殻内地震では深い方から浅い方へ破壊が進む傾向があること⁶⁾を参考に、破壊開始点位置は断層面の深さ方向の中心部よりも深い位置にランダムに配置した。

f. その他

断層面全体の地震モーメントに応じて全体の平均すべり量も変動する。また、アスペリティの平均すべり量は全体の平均すべり量の 2 倍と仮定³⁾ するため、アスペリティの総地震モーメントは地震モーメントとアスペリティ総面積に応じて変動する。全地震モーメントからアスペリティの総地震モーメントを引いた残りを背景領域が負担する地震モーメントとするため、背景領域の地震モーメント、平均すべり量も上記のパラメタに応じて変動する。

なお、アスペリティは断層面の各セグメント上に 1 個または 2 個としてランダムに配置した。長さ 70km の深谷断層帯の断層面については断層が長いので、壇ほか³⁾ の事例を参考に、北西側から 24km, 24km, 22km の 3 つのセグメントに分割した。綾瀬川断層の鴻巣-伊奈区間と伊奈-川口区間はそれぞれ単独のセグメントとみなし、計 5 つのセグメントを仮定する。したがって、全体のアスペリティ個数は 5~10 個の範囲で変動する。各セグメントのアスペリティ面積は、それぞれのセグメント面積に比例させて、総アスペリティ面積を配分した。このとき、セグメント内のアスペリティ個数が 2 個の場合には 2 個の面積比が 2:1 となるように拘束した。そして、各アスペリティ面積に応じて各アスペリティのすべり量を設定した⁶⁾。各小断層のライズタイムは Graves and Pitarka⁷⁾ に従い、各小断層のすべり量に応じて設定した。さらに、設定したライズタイムに ±5% のランダムな揺らぎを与えた⁸⁾。なお、本検討では地震動評価で用いるすべり速度時間関数の形状は Liu et al.⁹⁾ による関数を利用した。各小断層のすべり角は、90° を平均値として ±15° の範囲でランダムな揺らぎを与えた。

III. 長周期地震動評価法

本検討では長周期地震動の評価に有限差分法¹¹⁾を用いる。評価に用いる地下構造モデルは地震本部による全国 1 次地下構造モデル¹²⁾を利用した。このモデルによる S 波速度が 3.2km/s となる層の

上面標高分布を Fig.5 に示す。全国 1 次地下構造モデルの下部地殻 (S 波速度 3.8km/s の層) で浅を用いて、長周期地震動評価への影響が少ない S 波速度が 0.5km/s よりも低い層は S 波速度 0.5km/s の層に置換して計算に用いた。計算時間を短くするために評価への影響が少ない範囲で計算領域を絞り込むこととし、Fig.5 の黒実線で囲んだ 75km×137.4km の領域を計算領域とした。深さ方向の計算領域は 38km とした。格子間隔は水平方向に 0.2km とし、深さ方向には 0.1km (深さ 4.5km 以下) と 0.4km (深さ 4.5km 以上) の 2 段階とした。全格子点数は 376×688×130≒3363 万となり、計算対象周期帯域は周期 2 秒以上である。Q 値¹²⁾ は Graves¹¹⁾ の方法で考慮し、参照周波数を 0.4Hz として設定した。また、計算領域の端部 20 グリッドには反射波を抑えるための強制減衰域を設定した。

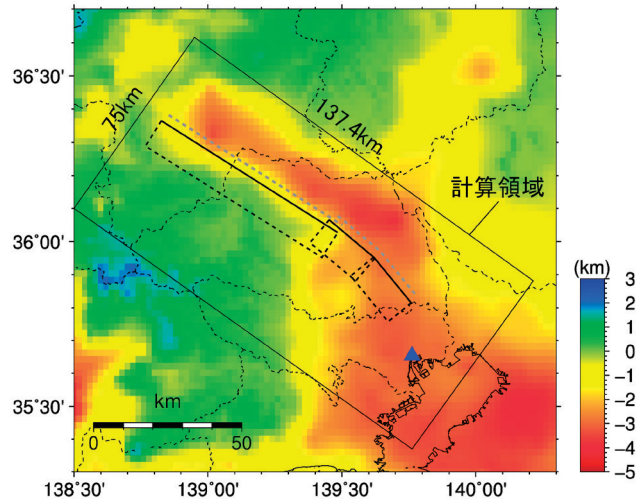


Fig.5 地下構造モデルの地震基盤層 (S 波速度 3.2km/s 層) 上面標高 (Elevation of Upper Boundary of Seismic Bedrock in the Subsurface Structure Model)

以上の条件の比較的規模の大きな計算には、計算条件や計算機環境にも拠るが、数時間程度の時間がかかる場合がある。このような計算を、前章で作成した 1000 サンプルの断層モデルに対して全て計算するには膨大な時間が必要となる。そこで、数値計算の効率化について検討した。

運動学的な断層モデルによる弾性体中の理論地震動は以下によって表現される。

$$u_n(\mathbf{x}, t) = \iint_{\Sigma} m_{pq} * G_{np,q} d\Sigma \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $u_n(\mathbf{x}, t)$ は断層面 Σ 上の食い違いによって評価点 \mathbf{x} に生じる n 方向の時刻 t の変位を表す。 m_{pq} は断層面上の相対変位と等価な物体力であるカップルの大きさを表すモーメント密度テンソルであり、サブスクリプトの p と q はそれぞれカップルの力の向きと腕の方向を表す。 $G_{np,q}$ は単位加振による評価点での応答を表すグリーン関数の空間微分である。式 (1) から、変位波形はグリーン関数に対応する $G_{np,q}$ を断層面上の変位を表す m_{pq} で重み付けして断層面上で積分することによって計算できることがわかる。多数の断層モデルに対して地震波を計算する場合には、断層モデルの条件に応じて m_{pq} を変えて式 (1) を多数回計算することになる。このとき、 $G_{np,q}$ は

断層面と評価点の位置関係と地盤条件によって決まり、断層モデルの条件には依存しない。つまり、複数の断層モデルに対する地震動評価を行うにあたって、 $G_{np,q}$ を毎回計算し直す必要はない。初めに $G_{np,q}$ を分離して計算し、それをストックしておけば2回目以降の計算では $G_{np,q}$ の計算を省略することができ、全体の計算時間を短縮できる。なお、式(1)の断層面積分は、断層面を複数の小断層に離散化して数値的に計算する。そのため、 $G_{np,q}$ は各小断層に対して計算する必要があるが、最初の $G_{np,q}$ の計算は小断層数分の計算回数が必要となる。つまり、 $G_{np,q}$ の分離計算によって断層サンプル数分の計算時間短縮が見込める一方で、小断層数分の計算時間増加が生じることになるため、断層モデル数に比べて小断層数が多いケースでは十分な計算効率化は実現できない。この問題は、グリーン関数の相反性を利用した計算を行うことで回避することができる¹³⁾。弾性体中のグリーン関数には空間に関する相反性が成り立ち、加振点 ξ における n 方向のインパルス力に対する評価点 x における i 方向の応答と、加振点 x における i 方向のインパルス力に対する評価点 ξ における n 方向の応答が一致する。Fig.6 上段図のように各小断層から評価点までのグリーン関数を計算する場合に、Fig.6 下段図に示すように評価点から各小断層までのグリーン関数を計算することでも等価な結果を得ることができる。このとき、Fig.6 上段図の各小断層から評価点までのグリーン関数の計算には、小断層数分の計算回数を要するが、Fig.6 下段図の計算では計算回数が1回で済むことになるため、小断層数分の計算時間が短縮できる。これによって、小断層数が多い条件でも、十分な計算時間の効率化が実現できる。以上の方法を適用して、1000 サンプルの断層モデルに対する長周期地震動評価を行った。

IV. 評価結果

1. 全サンプルの長周期地震動評価結果

1000 サンプルの断層モデル全てに対して計算した速度波形のうち、NS成分の速度波形の例を Fig.7 に示す。また、全計算波形の

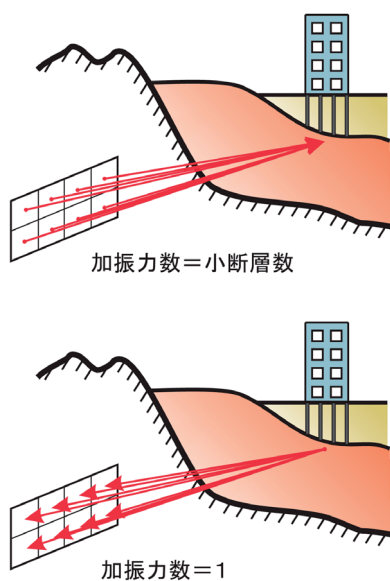


Fig.6 グリーン関数評価のイメージ図
(Schematic Illustration of Green's Function Evaluation)

NS成分とEW成分の計2000波から求めた擬似速度応答スペクトル(減衰定数 $h=5\%$)の重ね書きを Fig.8 に示す。Fig.8 中の赤線は全サンプルの平均を表し、赤点線は平均±標準偏差の幅を表している。計算速度波形の振幅と位相、擬似速度応答スペクトルの振幅および周期特性は、各計算結果の違いが大きく、断層モデルの条件が地震動評価結果に大きな影響を及ぼしていることがわかる。評価結果のばらつきは大きいですが、それらの平均的な振幅を見ると、例えば擬似速度応答スペクトルの周期2~5秒での平均振幅は100~130cm/s程度となっており、仮に、想定する巨大地震が発生した場合に、都内で大振幅の長周期地震動が生じる可能性があると言える。

Fig.8 の擬似速度応答スペクトルの幅からもわかるように、計算結果の中には、平均スペクトルを大きく超える波形が存在している。そのような地震動が生じる可能性はゼロではないが小さいと考えられる。例えば、Fig.8 の擬似速度応答スペクトルのうち周期4秒の振幅に着目すると1000 サンプルの擬似速度応答スペクトルは20cm/s~700cm/sまでばらついている。この周期4秒の擬似速度応答振幅の頻度分布を Fig.9 上段に示す。計算結果の中には振幅が極端に大きいサンプルが存在しているが、そのようなサンプルの頻度は少ない。全計算結果を用いて、周期4秒の擬似速度応答振幅の超過頻度を確率で表した結果を Fig.9 下段に示す。この結果から、例えば周期4秒の擬似速度応答が100cm/sを超える確率は約70%と大きいですが、300cm/sを超える確率は非常に小さいことが把握できる。このように、地震動振幅とその超過確率の関係を定量的に表せることが、多数サンプルの地震動評価を行うことの利点の一つである。なお、Fig.9 下段は、想定した巨大地震が発生した場合の条件付超過確率に対応しており、仮に地震が発生した場合の、仮定した断層パラメタの不確実性を前提とした擬似速度応答振幅の超過確率を示している。この場合、評価結果のばらつきの大きさは仮定した不確実性の条件に依存しており、それらの条件の合理性については今後、十分な検証が必要である。また、評価対象としている深谷断層帯と

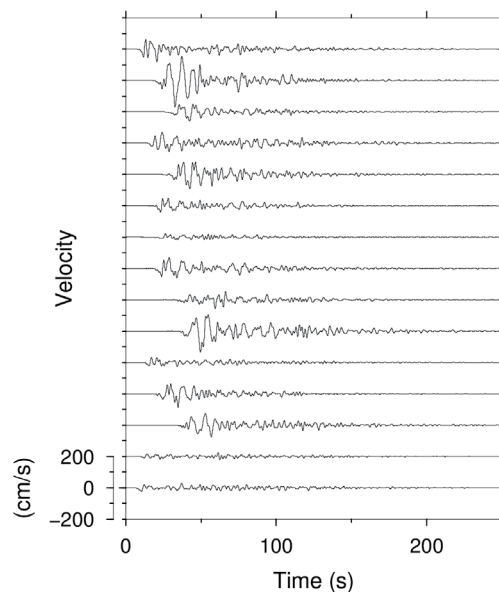


Fig.7 全断層モデルによる計算速度波形の例 (NS成分)
(Samples of Calculated Velocity Waveforms from Each Fault Models)

綾瀬川断層が運動する地震が発生する確率自体は非常に小さいと考えられ¹⁾、評価点の地震ハザードが、本検討で想定した地震の影響だけで決まるわけではないことにも注意が必要である。

2. 評価結果のばらつき要因

Fig.8 の評価結果のばらつきは断層モデルの違いによって生じており、仮定した断層パラメタの不確実性に起因していると言える。

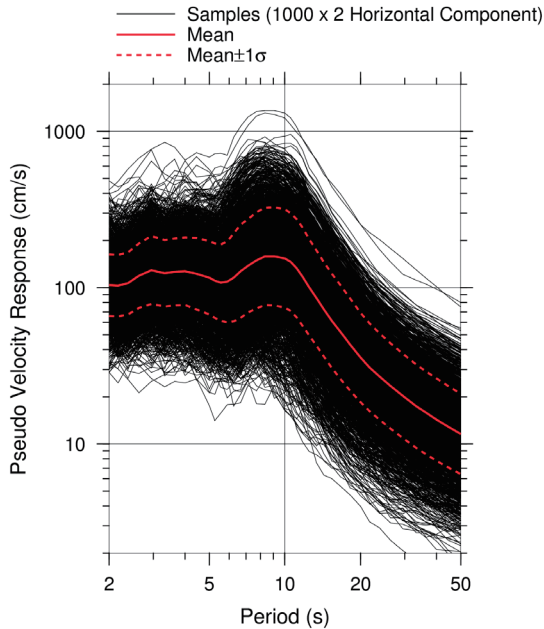


Fig.8 全計算波形水平成分の擬似速度応答スペクトル (h=5%) (Pseudo Velocity Response Spectra of Horizontal Components)

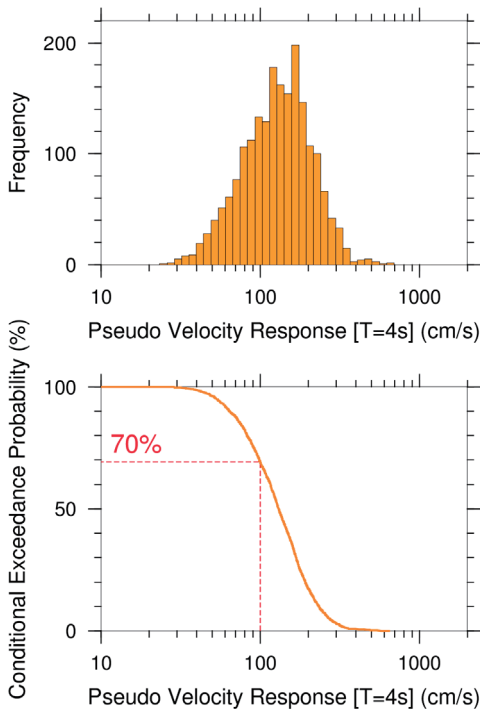


Fig9 擬似速度応答振幅 (周期 4 秒) の頻度分布と条件付超過確率 (Frequency Distribution and Conditional Exceedance Probability of Pseudo Velocity Response, T=4s)

本検討では、複数の断層パラメタの不確実性を仮定しているが、そのうち、どのパラメタの不確実性が評価結果に大きな影響を及ぼしているのかを把握しておくことは重要である。そこで、重回帰分析によって各パラメタの影響度の比較を行った¹⁴⁾。

本検討で不確実性を仮定した主なパラメタは地震モーメント M_0 、アスペリティ総面積 S_a 、平均破壊伝播速度 v_0 、アスペリティ位置、破壊開始点位置である。これらの不確実性は全て独立と仮定している。このほかにも変動する断層パラメタはあるが、主なパラメタの変動に応じて従属的に変動するものが多い。パラメタの影響を検討するにあたり、アスペリティ位置、破壊開始点位置については、そのままでは数値的に扱い難いため、評価点からアスペリティまでの最短距離 X_a 、評価点から破壊開始点までの距離 X_{hyp} を用いて影響を検討した。対象とする周期の擬似速度応答振幅 Y を目的変数とし、不確実性を考慮した断層パラメタ M_0 、 S_a 、 v_0 、 X_a 、 X_{hyp} を説明変数として、以下のモデルを仮定して周期毎に重回帰分析を行った。

$$\ln(Y) = a_1 \ln(M_0) + a_2 \ln(S_a) + a_3 v_0 + a_4 \ln(X_a) + a_5 \ln(X_{hyp}) \dots (2)$$

$a_1 \sim a_5$ は偏回帰係数を表す。各変数の平均を 0、標準偏差を 1 に標準化した上で求められる標準偏回帰係数 $a_1' \sim a_5'$ が、各パラメタの相対的な影響の大きさを表す。重回帰分析により求めた標準化偏回帰係数を Fig.10 に示す。周期によって違いがあるが、最大となるのは M_0 の係数 a_1' と X_{hyp} の係数 a_5' のどちらかであり、地震モーメントと破壊開始点位置の不確実性の影響が相対的に大きいと判断できる。また、 S_a と X_a の不確実性の影響はほかのパラメタと比較して小さい。地震モーメントは、地震の規模を表す指標であり、規模の大小によって生成される長周期地震動振幅が大きな影響を受けるということは容易に理解できる。また、破壊開始点位置については、 X_{hyp} が大きい、すなわち破壊開始点位置が評価点から遠く、破壊が評価点に向かって進む場合には、破壊伝播効果により地震動振幅が大きくなる。逆に、 X_{hyp} が小さい、すなわち破壊開始点位置が評価点に近く、破壊が評価点から遠ざかる場合には振幅は大きくならないため、そのような影響を反映していると考えられる。以上の結果から、今回の

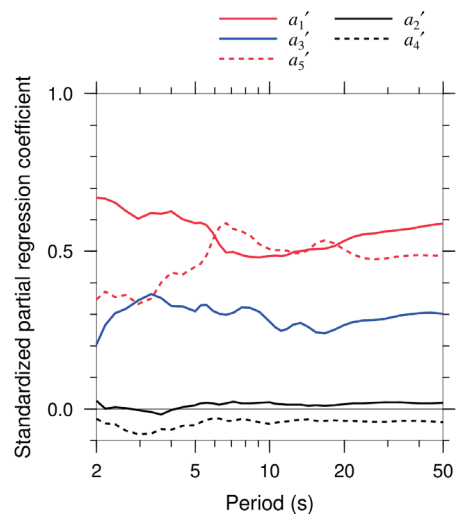


Fig.10 標準偏回帰係数 (Standardized Partial Regression Coefficients)

ケースでは、地震モーメントと破壊開始点位置の不確実性が、予測結果のばらつきに大きな影響を及ぼしていることがわかった。このことから、長周期地震動の予測にあたって、想定地震の地震モーメントあるいは破壊開始点位置を拘束することができれば、予測地震動振幅のばらつきを大幅に減らすことができると考えられる。

V. おわりに

首都圏に大きな影響を及ぼす可能性のある地震の一つである深谷断層帯で発生する巨大地震を対象として、都心部における長周期地震動評価を行った。その際、断層破壊の不確実性を考慮して、条件が異なる多数の断層モデルを作成し、それら全てによる長周期地震動を計算することにより予測地震動振幅の分布を評価した。結果を以下にまとめる。

- ・ 評価結果の擬似速度応答スペクトルの周期 2～5 秒での平均振幅は 100～130cm/s 程度であった。
- ・ 不確実性を考慮した断層パラメタのうち、地震モーメントと破壊開始点位置の不確実性が評価結果のばらつきに大きな影響を及ぼすことがわかった。仮に将来発生する地震の地震モーメントや破壊開始点位置を精度良く推測することができるようになれば、予測地震動振幅のばらつきは大幅に減らすことができる。

ただし、今回の評価で使用した地震本部の速度構造モデル¹²⁾は暫定版という位置付けであり、今後の調査研究によってモデルが修正される可能性がある。速度構造モデルが大きく変われば、それに応じて評価結果が変わる可能性がある。また、評価結果のばらつきの大さは仮定した不確実性の条件に依存しており、条件の合理性の検証が今後の課題である。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；深谷断層帯・綾瀬川断層（関東平野北西縁断層帯・元荒川断層帯）の長期評価（一部改訂）、付録 6-7, 2015.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；全国地震動予測地図、地図編 2017 年版, 2017.
- 3) 壇一男ほか；長大な逆断層による内陸地震の断層モデルのパラメタの設定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.707, 2015.1, pp.47-57.
- 4) 引田智樹ほか；The single-path standard deviation from ground motion records in Japan, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017.
- 5) Somerville et al.；Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, 1999.1, pp.59-80.
- 6) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）, 2017.
- 7) Graves, et al.；Broadband ground-motion simulation using a hybrid approach, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.100, No.5A, 2010.10, pp.2095-2123.
- 8) Shahjouei and Pezeshk；Synthetic seismograms using a hybrid broadband ground-motion simulation approach: Application to central and eastern United States, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.105, No.2A, 2015.4, pp.686-705.
- 9) Liu et al.；Prediction of broadband ground-motion time histories: hybrid low/high-frequency method with correlated random source parameters, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.6, 2006.12, pp.2118-2130.
- 10) 山田ほか；強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討～震源パラメタのバラツキについて～, 日本地震工学会論文集, Vol.7, No.1, 2007, pp.43-60.
- 11) Graves；Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.86, No.4, 1996.8, pp.1091-1106.
- 12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会；「長周期地震動予測地図」2012 年試作版－南海地震（昭和型）の検討－, 付録 2, 2012.
- 13) Graves and Wald；Resolution analysis of finite fault source inversion using one- and three-dimensional Green's functions, 1. Strong motions, Journal of Geophysical Research, Vol.106, No.B5, 2001.5, pp.8745-8766.
- 14) 柳井ほか；多変量解析ハンドブック, 現代数学社, 1986.

Prediction of Long-Period Ground Motions in Tokyo due to a Large Earthquake Occurring in the Fukaya Fault System

Tomoki Hikita, Kentaro Kasamatsu and Tomonori Ikeura

The authors used finite difference simulation of ground motions using a fault model to predict the long-period ground motions in Tokyo due to a large earthquake occurring in the Fukaya fault system. The prediction included a study of the effects of the uncertainty of the fault parameters, for which ground motion simulations using numerous fault models with parameter variabilities were used.

The mean amplitude of pseudovelocity response spectra with periods of between 2 and 5 seconds of predicted long-period ground motions was about 100–130 cm/s. It was found that the effects of the uncertainties of seismic moment and the location of the rupture nucleation point on the variability of the simulated long-period ground motions are large.