

震源のモデル化の違いによるプレート内地震の 予測地震動の比較

福島 康宏¹・長尾 毅²・尾茂 淳平³・末富 岩雄⁴

¹正会員 株式会社エイト日本技術開発 災害リスク研究センター 地震防災グループ
(〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11)

E-mail: fukushima-ya@ej-hds.co.jp

²正会員 神戸大学教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: nagao@people.kobe-u.ac.jp

³正会員 株式会社エイト日本技術開発 災害リスク研究センター 地震防災グループ
(〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11)

E-mail: oshige-ju @ej-hds.co.jp

⁴正会員 株式会社エイト日本技術開発 災害リスク研究センター 地震防災グループ
(〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11)

E-mail: suetomi-i@ej-hds.co.jp

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」など土木構造物の設計基準類において震源モデルの設定方法が示されていないプレート内地震(スラブ内地震)について、地震調査研究推進本部による最新の強震動予測レシピに準拠した特性化震源モデルを適用した場合と、疑似点震源モデルを適用した場合の工学的基盤における地震動の比較を行った。

その結果、山田ほかによる提案手法による疑似点震源モデルを適用した場合、レシピ準拠の特性化震源モデルを適用した場合に比べて予測される地震動が大きくなり、安全側の推定となることが分かった。

Key Words: predicted ground motions, intra-plate earthquake, recipe for strong-motion prediction, characterized source model, pseudo point-source model

1. はじめに

地震動は震源依存かつ地点依存であることを踏まえて設定する必要がある¹⁾。震源依存・地点依存の地震動を評価する手法として様々な手法が考えられるが、高度な方法のひとつとして強震動シミュレーションがある。これは設計の実務にも取り入れられており、その例として「港湾の施設の技術上の基準・同解説(以下、港湾基準と略す)」²⁾が挙げられる。

この手法を適用するにあたっては、震源モデルを適切に設定する必要がある。一般に知られた方法として、特性化震源モデルを用いる方法があり、パラメータ設定の方法は、例えば地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」(「レシピ」)³⁾⁴⁾⁵⁾に示されている。上述の港湾基準も内陸地殻内地震についてはレシピに準拠している。

このほかの震源モデルとして、疑似点震源モデルも提

案されている。疑似点震源モデルは、特性化震源モデルよりもモデル少ないパラメータで単純化する目的で提案されたものであり、断層面におけるすべりの時空間分布を精緻に表現することには限界があるが、東北地方太平洋沖地震などのプレート間の巨大地震について適用性があることが、野津⁶⁾などによって確認されている。

最近では、内陸地殻内地震やプレート間地震以外にプレート内地震(スラブ内地震ともいう)についても設計地震動として評価する必要が指摘されている。近年では、平成 5 年(1993 年)釧路沖地震(M7.5)や、平成 13 年(2001 年)芸予地震(M6.7)により広範囲に被害が生じている⁷⁾。また、内閣府 首都直下地震モデル検討会では平成 25 年に「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」⁸⁾を公表しており、首都直下の M7 クラスの地震としては、内陸地殻内地震のみならずフィリピン海プレート内地震が想定地震となっており、

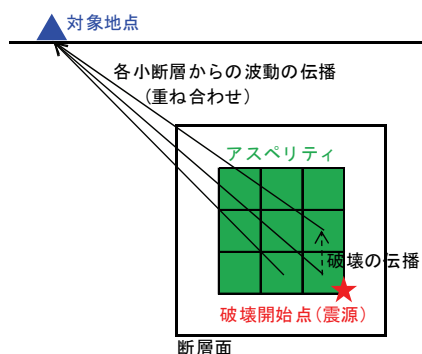


図-1 特性化震源モデルの概念

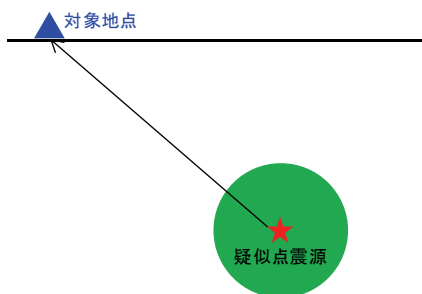


図-2 疑似点震源モデルの概念

地域によっては、プレート内地震は無視することができない地震となっている。

特性化震源モデルについて、従来のレシピ³⁾では震源パラメータの考え方が示されていない。建築分野において用いられている、「最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法」⁹⁾では、内陸地殻内地震やプレート間地震について、レシピに準拠した特性化震源モデルの震源パラメータの設定方法が示されており、プレート内地震についてはプレート間地震のレシピ³⁾での震源パラメータ設定方法を準用しつつ、アスペリティ総面積と地震モーメントの関係、短周期レベルと地震モーメントの関係については笹谷ほか¹⁰⁾の知見を取り入れている。その後、平成26年6月に改定されたレシピ⁴⁾では、新井ほか¹¹⁾による知見を取り入れ、震源パラメータ設定の考え方が示されたが、土木構造物の設計基準類に具体的な震源モデルの設定方法に言及したものはない。

そこで、本研究では、安芸灘のプレート内地震($M_w7.4$)、首都直下のフィリピン海プレート内地震($M_w7.3$)、千島海溝沿いのやや深いプレート内地震($M_w7.5$)を対象として、特性化震源モデルを適用した場合と、疑似点震源モデルを適用した場合の工学的基盤における地震動の比較を行った。ここで、特性化震源モデルにおけるパラメータ設定には、最新の知見が取り入れられているレシピ(最新の平成29年4月改訂版⁵⁾)を用い、疑似点震源モデルにおけるパラメータ設定には、首都直下のフィリピン海プレート内地震や安芸灘地域のプレ

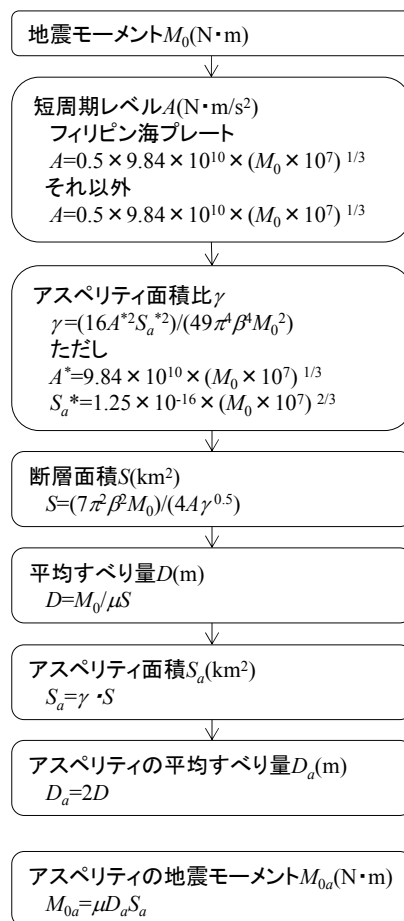


図-3 レシピでの震源パラメータ設定の流れ

ト内地震を対象として妥当性の検討が行われている山田ほか¹²⁾の提案手法を用いた。

2. 震源パラメータの設定方法

特性化震源モデルの概念を図-1に示す。このモデルでは、断層面を小断層に分割し、それぞれの小断層からの地震動を重ね合わせることでより大地震による地震動を合成するものである。重ね合わせにより、断層面内での破壊伝播の影響が考慮される。

一方、疑似点震源モデルの概念を図-2に示す。このモデルでは、断層面を小断層に分割しないため、破壊伝播の影響は考慮されないが、単純化された簡便なモデルとなっている。

(1) 特性化震源モデルでの震源パラメータの設定

レシピ⁵⁾におけるプレート内地震の項目では、震源パラメータ設定手順の一部の記述が省略されているが、省略部分は活断層で発生する地震やプレート間地震の項目と同様と考えると、対象地震の地震モーメントからアスペリティ全体の面積、アスペリティ全体の地震モーメン

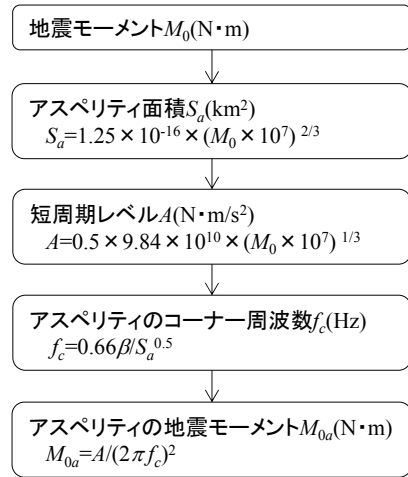


図4 山田ほかによる疑似点震源モデルの震源パラメータ設定の流れ

表-1 安芸灘のプレート内地震の震源パラメータ

パラメータ	単位	設定値			
		特性化震源モデル (M7.4)	疑似点震源モデル		
			山田ほかの提案手法 (M7.4)	短周期レベル 0.5倍 (M7.4)	山田ほかの設定値 (M7.2)
断層上端深さ	(km)	40	40	40	40
走向	θ (°)	180.0	—	—	—
傾斜角	δ (°)	55.0	—	—	—
マグニチュード	M	7.4	7.4	7.4	7.2
モーメントマグニチュード	M_W	7.4	7.4	7.4	—
地震モーメント	M_0 (N・m)	1.58E+20	1.58E+20	1.58E+20	1.39E+19
短周期レベル	A (N・m/s ²)	5.74E+19	1.15E+20	5.74E+19	5.10E+19
震源域における密度	ρ (kg/m ³)	2900	2900	2900	3300
震源域におけるS波速度	β (km/s)	4	4	4	4
剛性率	μ (N/m ²)	4.64E+10	4.64E+10	4.64E+10	5.28E+10
断層面積	S (km ²)	1715.5	—	—	—
震源断層全体の平均すべり量	D (m)	1.99	—	—	—
アスペリティ全体の面積	S_a (km ²)	339.8	169.9	169.9	33.6
アスペリティの個数	個	3	1	1	1
アスペリティの平均すべり量	D_a (m)	3.98	—	—	—
アスペリティの地震モーメント	M_{0a} (N・m)	6.28E+19	7.08E+19	3.54E+19	6.22E+18
各アスペリティの面積	S_{a_i} (km ²)	113.3	—	—	—
各アスペリティの平均すべり量	D_{a_i} (m)	3.98	—	—	—
各アスペリティの地震モーメント	M_{0a_i} (N・m)	2.09E+19	—	—	—
破壊伝播速度	V_r (km/s)	2.88	—	—	—
各アスペリティのライズタイム	τ_{a_i} (s)	1.85	—	—	—
高周波数断周波数	f_{max} (Hz)	13.5	—	—	—

トを求める流れは以下になる(図-3 参照). なお, レシビではプレート内地震については「強震動生成域」という用語が用いられているが, 本論文では「アスペリティ」で統一する.

- [1] 笹谷ほか¹⁰⁾による次式により地震モーメント M_0 (N・m) から短周期レベル A (N・m/s²) を求める.

$$A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad (1)$$

ただし, 新井ほか¹¹⁾に基づき, フィリピン海プレート内の地震についてはこの値の0.5倍とする.

- [2] アスペリティの面積の震源断層の面積に対する比 γ は次式で求める.

$$\gamma = \frac{16A^* S_a^{*2}}{49\pi^4 \beta^4 M_0^2} \quad (2)$$

ここで, β は震源域における S 波速度 (km/s), S_a^{*2} (km²) および A^* は笹谷ほか¹⁰⁾による次式により得られる.

$$S_a^{*2} = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3} \quad (3)$$

$$A^* = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad (4)$$

これより, γ は地震規模 M_0 によらず一定であると仮定していることとなる.

- [3] 断層面積 S (km²) はアスペリティモデルの関係式から次式で求める.

$$S = \frac{7\pi^2 \beta^2 M_0}{4A\gamma^{0.5}} \quad (5)$$

- [4] アスペリティの面積 S_a (km²) は次式で求める.

$$S_a = \gamma \cdot S \quad (6)$$

- [5] 平均すべり量 D (m) は次式で求める.

$$D = \frac{M_0}{\mu S} \quad (7)$$

ここで, μ は剛性率 (N/m²) である.

- [6] アスペリティの平均すべり量 D_a (m) は次式で求める.

$$D_a = 2D \quad (8)$$

- [7] アスペリティの地震モーメント M_{0a} (N・m) は次式で求める.

$$M_{0a} = \mu D_a S_a \quad (9)$$

(2) 疑似点震源モデルでの震源パラメータの設定

山田ほか¹²⁾により提案されている対象地震の地震モーメントからアスペリティ面積, アスペリティ全体の地震モーメントを求める流れは以下になる(図-4 参照).

- [1] アスペリティの面積 S_a (km²) は笹谷ほか¹⁰⁾による次式で求める.

$$S_a = 1.25 \times 10^{-16} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3} \quad (10)$$

- [2] 短周期レベル A (N・m/s²) は笹谷ほか¹⁰⁾による次式により求める.

$$A = 9.84 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3} \quad (11)$$

- [3] アスペリティのコーナー周波数は Brune¹³⁾¹⁴⁾による次式で求める.

$$f_c = \frac{0.66\beta}{\sqrt{S_a}} \quad (12)$$

- [4] アスペリティの地震モーメント M_{0a} (N・m) は次式で求める.

$$M_{0a} = \frac{A}{(2\pi f_c)^2} \quad (13)$$

3. 安芸灘のプレート内地震の地震動の推定

地震調査研究推進本部の長期評価¹⁵⁾によると, 安芸灘～伊予灘～豊後水道における, フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震として推定されている地震規模は M6.7～7.4 とされている. 本研究では, 松山港地点を対

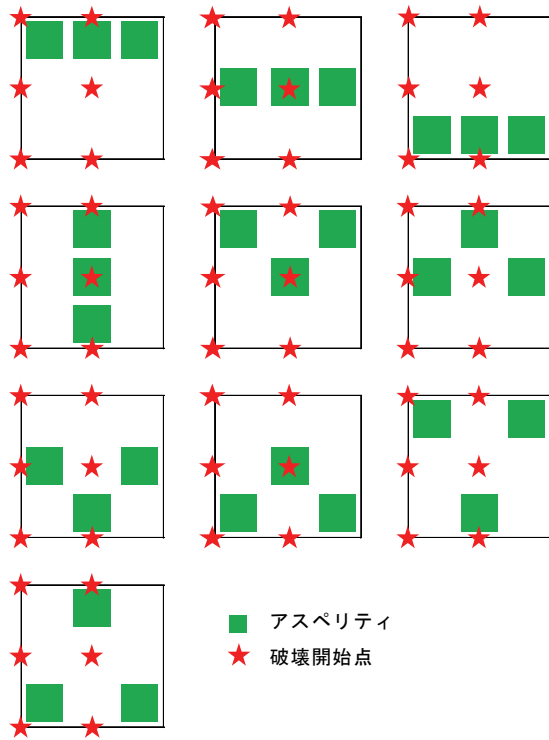


図-5 特性化震源モデルでのアスペリティと破壊開始点の配置
(安芸灘のプレート内地震)

象に、直下で発生するプレート内地震としては最大規模と考えられる $M_w7.4$ の地震の地震動推定を行う。

(1) 地震動推定の条件

a) 震源特性

レシピに準拠した特性化震源モデルの震源パラメータおよび疑似点震源モデルによる震源パラメータを表-1に示す。

特性化震源モデルでは、 $M_w7\sim8$ であるので、アスペリティの個数はレシピに従い 3 個とした。3 つのアスペリティの面積の配分については、アスペリティ全体の面積を等配分した。アスペリティと破壊開始点の配置については、図-5 に示す 60 ケースを考慮した。アスペリティの配置については、過去の地震の震源モデルに基づいて設定することも考えられるが、設計地震動を作成する観点から、断層面上にバランス良く配置することとし、左右対称となるように設定した。

一方、疑似点震源モデルでは、震源深さを松山港地点でのフィリピン海プレート上面深さ(40km)に設定した。この地域でのプレート内地震として最大規模と考えられる $M_w7.4$ とした場合について、山田ほか¹²⁾の提案手法の通りパラメータを設定した場合と、フィリピン海プレート内の地震であるため短周期レベルを式(11)で得られる 0.5 倍とした場合の両方検討した。震源域の密度、S 波速度は地震調査研究推進本部の「全国 1 次地下構造モデル(暫定版)」¹⁶⁾を用いた。

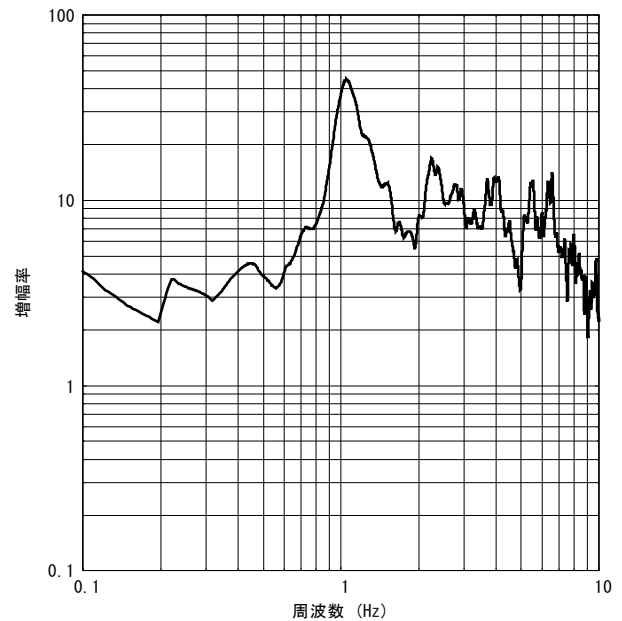


図-6 松山港地点のサイト増幅特性
(地震基盤～工学的基盤)

また、山田ほか¹²⁾では、当該地域での最大の地震である 1854 年の $M7.4$ の地震の被害が、2 日前に発生した安政南海地震の被害と分離できないことから、次に地震規模の大きい 1857 年の安芸灘の地震($M7.25$)、1905 年芸予地震($M7.2$)の震度分布を包絡できる震源モデルを提案している。この震源パラメータを用いる場合についてもあわせて検討した。

b) 伝播経路特性

伝播経路特性を示す Q 値については、Petukhin et al.¹⁷⁾による次式を用いた。

$$Q=180 \times f^{0.7} \quad (14)$$

c) サイト特性

サイト増幅特性については、野津・長尾¹⁸⁾に基づき、国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室のウェブサイト¹⁹⁾で公開されている松山港(松山-G)の地震基盤から工学的基盤までの増幅特性(図-6 参照)を用いる。また、サイト位相特性の補正には、松山-G観測点で得られている 2001 年 3 月 26 日 5 時 40 分の地震($M5.2$)の強震記録²⁰⁾を用いた。

(2) 地震動推定結果

以上の条件を用いて、統計的グリーン関数法により推定した地震動の加速度応答スペクトル(水平 2 成分合成)を図-7 に示す。なお、アスペリティによる寄与のみ考慮し、背景領域の影響は無視している。赤色で示した $M_w7.4$ で山田ほか¹²⁾の提案手法で疑似点震源モデルのパラメータ設定を行った場合は、ほぼ全周期帯にわたって特性化震源モデルの各ケースを上回っている。この理由として、山田ほか¹²⁾の提案による疑似点震源モデルでは、

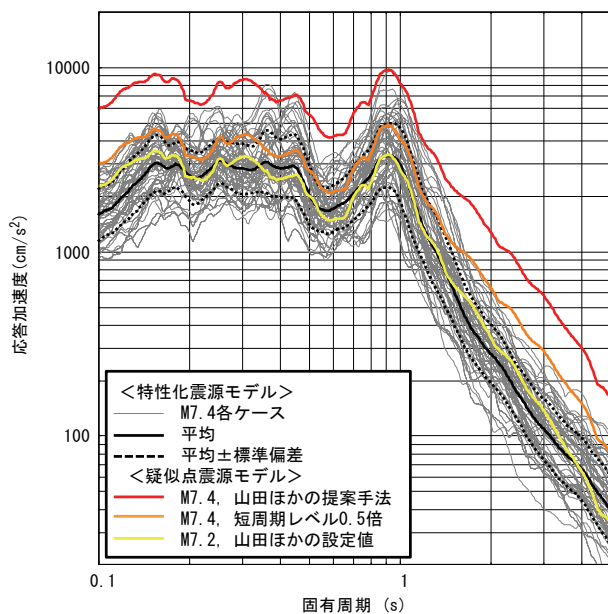


図-7 推定地震動の加速度応答スペクトルの比較
(安芸灘のプレート内地震，松山港地点)

対象地点直下のプレート上面に震源を置いているため、プレート上面深さが断層面上端となるように設定している特性化震源モデルを適用した各ケースよりアスペリティからの距離が小さくなっている影響が大きいと考えられる。さらに、山田ほか¹²⁾の提案手法により設定する場合のほうがレシピに基づき設定する場合よりアスペリティの地震モーメントが1割程度大きくなっている。

図-7 で橙色で示した $M_w7.4$ で短周期レベルを式(11)で得られる 0.5 倍とした場合は、山田ほか¹²⁾の提案手法により設定する場合と比べてアスペリティの地震モーメントも 0.5 倍となるため、推定地震動も赤色で示した 0.5 倍となっている。周期 1 秒程度以下の短周期領域では、特性化震源モデルを適用した 60 ケースの平均+標準偏差と同程度の大きさとなっている。

また、黄色で示した山田ほか¹²⁾による M7.2 の震源パラメータを用いる場合については、 $M_w7.4$ とした特性化震源モデルを適用した 60 ケースの平均程度の大きさとなっている。

4. 首都直下のフィリピン海プレート内地震の地震動の推定

内閣府では、前述の通り、「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」⁸⁾において、フィリピン海プレート内の地震として $M_w7.3$ を想定している。また、地震調査研究推進本部の長期評価²⁰⁾によると、相模トラフ沿いの地震活動のうち、プレー

表-2 首都直下のフィリピン海プレート内地震の
震源パラメータ

パラメータ	単位	設定値		
		特性化震源モデル	山田ほかの提案手法	短周期レベル 0.5倍
断層上端深さ	(km)	26.8	30	30
走向	θ (°)	111.0	—	—
傾斜角	δ (°)	90.0	—	—
マグニチュード	M	7.3	7.3	7.3
モーメントマグニチュード	M_H	7.3	7.3	7.3
地震モーメント	M_0 (N・m)	$1.12E+20$	$1.10E+20$	$1.10E+20$
短周期レベル	A (N・m/s ²)	$5.11E+19$	$1.02E+19$	$5.11E+19$
震源域における密度	ρ (kg/m ³)	2900	2900	2900
震源域におけるS波速度	β (km/s)	4	4	4
剛性率	μ (N/m ²)	$4.64E+10$	$4.64E+10$	$4.64E+10$
断層面積	S (km ²)	1362.6	—	—
震源断層全体の平均すべり量	D (m)	1.77	—	—
アスペリティ全体の面積	S_{ai} (km ²)	269.9	135.0	135.0
アスペリティの個数	個	3	1	1
アスペリティの平均すべり量	D_{ai} (m)	3.55	—	—
アスペリティの地震モーメント	M_{0ai} (N・m)	$4.45E+19$	$5.02E+19$	$2.51E+19$
各アスペリティの面積	S_{ai} (km ²)	90.0	—	—
各アスペリティの平均すべり量	D_{ai} (m)	3.55	—	—
各アスペリティの地震モーメント	M_{0ai} (N・m)	$1.48E+19$	—	—
破壊伝播速度	V_p (km/s)	2.88	—	—
各アスペリティのライズタイム	τ_{ai} (s)	1.65	—	—
高周波断周波数	f_{max} (Hz)	13.5	—	—

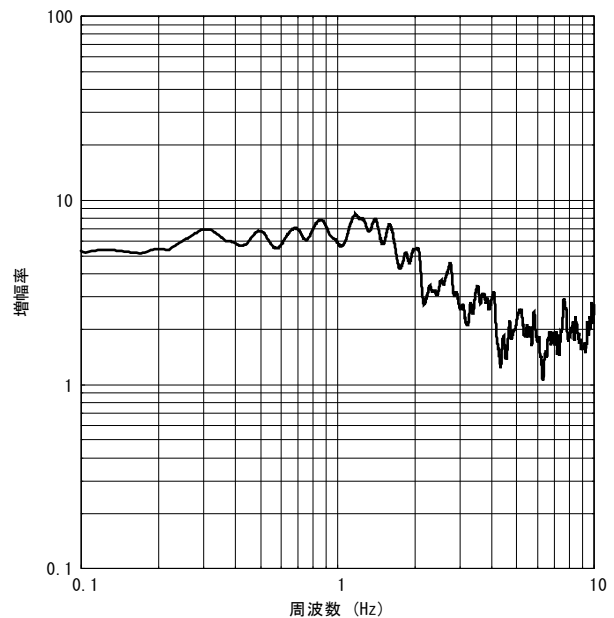


図-8 東京港地点のサイト増幅特性
(地震基盤～工学的基盤)

トの沈み込みに伴う地震の規模について M7 程度($M6.7 \sim M7.3$)としている。本研究では、東京港地点を対象に、直下で発生するプレート内地震としては最大規模と考えられる $M_w7.3$ の地震の地震動推定を行う。

(1) 地震動推定の条件

a) 震源特性

レシピに準拠した特性化震源モデルの震源パラメータおよび疑似点震源モデルによる震源パラメータを表-2 に示す。

特性化震源モデルでは、3.と同様に、アスペリティは 3 個とし、面積は等配分とした。アスペリティと破壊開始点の配置についても 3.と同様に 60 ケース設定した。

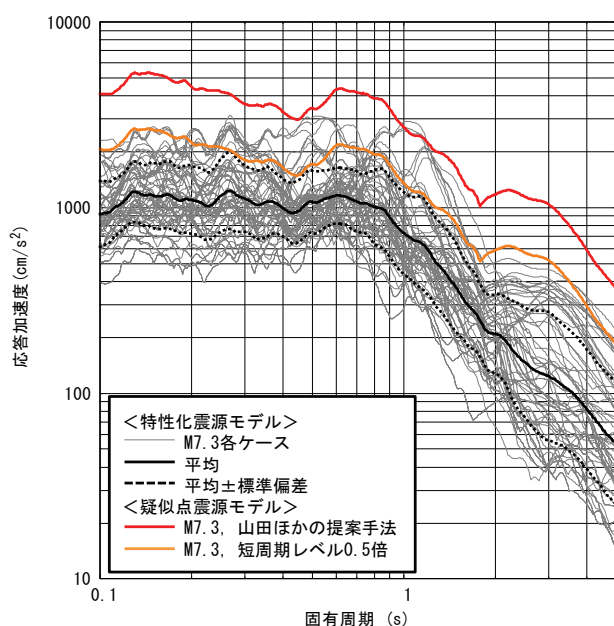


図-9 推定地震動の加速度応答スペクトルの比較
(首都直下のフィリピン海プレート内地震、東京港地点)

一方、疑似点震源モデルでは、震源深さを松山港地点でのフィリピン海プレート上面深さ(30km)に設定した。3.と同様に、山田ほか¹²⁾の提案手法の通りパラメータを設定した場合と、フィリピン海プレート内の地震であるため短周期レベルを式(11)で得られる 0.5 倍とした場合の両方検討した。

b) 伝播経路特性

伝播経路特性を示す Q 値については、長坂・野津²²⁾による 2005 年千葉県中部の地震を対象とした検討で地震動の再現精度が良い設定となっている次式を用いた。

$$Q=110f^{1.0} \quad (15)$$

c) サイト特性

サイト増幅特性については、東京港(ゾーン③)の地震基盤から工学的基盤までの増幅特性(図-8 参照)¹⁹⁾を用いる。また、サイト位相特性の補正には、品川-G 観測点で得られている 2005 年 6 月 1 日 19 時 39 分の地震(M4.1)の強震記録²⁰⁾を用いた。

(2) 地震動推定結果

以上の条件を用いて、統計的グリーン関数法により推定した地震動の加速度応答スペクトルを図-9 に示す。赤色で示した山田ほか¹²⁾の提案手法で疑似点震源モデルのパラメータ設定を行った場合は、ほぼ全周期帯にわたって特性化震源モデルの各ケースを上回っている。この理由としては、3.と同様であるが、山田ほか¹²⁾の提案による疑似点震源モデルでは、対象地点直下のプレート上面に震源を置いているため、プレート上面深さが断層面上端となるように設定している特性化震源モデルを適用した各ケースよりアスペリティからの距離が小さくなっ

表-3 千島海溝沿いのやや深いプレート内地震の

震源パラメータ

パラメータ	単位	設定値	
		特性化震源モデル	疑似点震源モデル
断層上端深さ	(km)	100	100
走向	θ (°)	245.0	—
傾斜角	δ (°)	0.0	—
マグニチュード	M	7.5	7.5
モーメントマグニチュード	M_w	7.5	7.5
地震モーメント	M_0 (N・m)	2.24E+20	2.24E+20
短周期レベル	A (N・m/s ²)	1.29E+20	1.29E+20
震源域における密度	ρ (kg/m ³)	3400	3400
震源域におけるS波速度	β (km/s)	4.6	4.6
剛性率	μ (N/m ²)	7.19E+10	7.19E+10
断層面積	S (km ²)	1888.6	—
震源断層全体の平均すべり量	D (m)	1.65	—
アスペリティ全体の面積	S_a (km ²)	213.9	213.9
アスペリティの個数	個	3	1
アスペリティの平均すべり量	D_a (m)	3.30	—
アスペリティの地震モーメント	M_{0a} (N・m)	5.07E+19	7.57E+19
各アスペリティの面積	S_{ai} (km ²)	71.3	—
各アスペリティの平均すべり量	D_{ai} (m)	3.30	—
各アスペリティの地震モーメント	M_{0ai} (N・m)	1.69E+19	—
破壊伝播速度	V_f (km/s)	3.312	—
各アスペリティのライズタイム	τ_{ai} (s)	1.27	—
高周波数断周波数	f_{max} (Hz)	13.5	—

ている影響が大きいと考えられる。さらに、山田ほか¹²⁾の提案手法により設定する場合のほうがレシピに基づき設定する場合よりアスペリティの地震モーメントが 1 割程度大きくなっている。

図-7 で橙色で示した $M_w7.4$ で短周期レベルを式(11)で得られる 0.5 倍とした場合は、山田ほか¹²⁾の提案手法により設定する場合と比べてアスペリティの地震モーメントも 0.5 倍となるため、推定地震動も赤色で示した 0.5 倍となっている。周期 1 秒程度以下の短周期領域では、特性化震源モデルを適用した 60 ケースの平均±標準偏差よりやや大きくなっている。

5. 千島海溝沿いのやや深いプレート内地震の地震動の推定

地震調査研究推進本部の長期評価²³⁾によると、千島海溝沿いのプレート内地震について、「沈み込んだプレート内のやや浅い地震」(深さ 50km 程度, M8 程度)と「沈み込んだプレート内のやや深い地震」(深さ 100km 程度, M7.5 程度)に区別している。本研究では、釧路港地点を対象に、直下で発生する $M_w7.5$ のやや深いプレート内地震の地震動推定を行う。

(1) 地震動推定の条件

a) 震源特性

レシピに準拠した特性化震源モデルの震源パラメータおよび疑似点震源モデルによる震源パラメータを表-3 に示す。

特性化震源モデルでは、3.や 4.と同様に、アスペリティは 3 個とし、面積は等配分とした。アスペリティと破壊開始点の配置についても 3.や 4.と同様に 60 ケース設

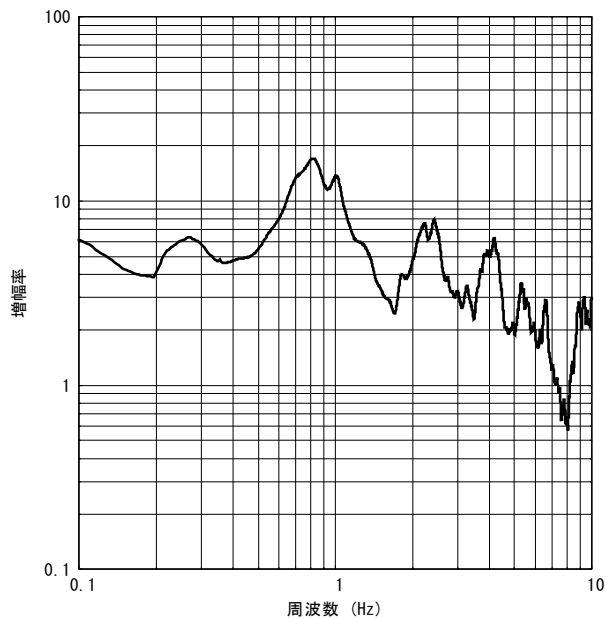


図-10 釧路港地点のサイト増幅特性
(地震基盤～工学的基盤)

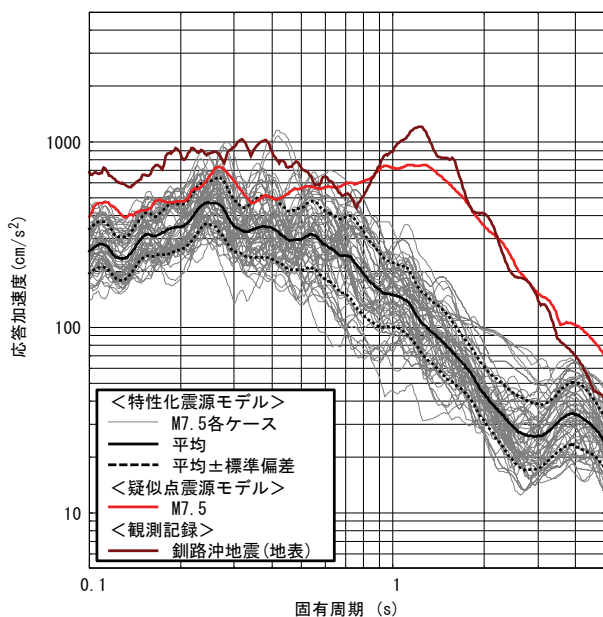


図-11 推定地震動の加速度応答スペクトルの比較
(千島海溝沿いのやや深いプレート内地震、釧路港地点)

定した。

一方、疑似点震源モデルでは、釧路港直下深さ 100km に設定した。太平洋プレート内の地震であるため、短周期レベルを式(11)で得られる 0.5 倍とした場合については考慮していない。

b) 伝播経路特性

伝播経路特性を示す Q 値については、川瀬・松尾²⁴⁾により地震ごと、領域ごとに推定されているが、釧路地域を含む領域3のプレート内地震での次式を用いた。

$$Q=149 \times f^{0.73} \quad (16)$$

c) サイト特性

サイト増幅特性については、釧路港の地震基盤から工学的基盤までの増幅特性(図-10 参照)¹⁹⁾を用いる。また、サイト位相特性の補正には、釧路-G 観測点で得られている 1997 年 6 月 15 日 13 時 54 分の地震(M5.1)の強震記録²⁰⁾を用いた。

(2) 地震動推定結果

以上の条件を用いて、統計的グリーン関数法により推定した地震動の加速度応答スペクトルを図-11 に示す。赤色で示した山田ほか¹²⁾の提案手法で疑似点震源モデルのパラメータ設定を行った場合は、周期 0.4 秒程度以下では特性化震源モデルの 60 ケースの平均±標準偏差と同程度の大きさで、周期 0.7 秒程度以上では、特性化震源モデルの各ケースを上回っている。この理由としては、山田ほか¹²⁾の提案手法により設定する場合のほうがレシピに基づき設定する場合よりアスペリティの地震モーメントが 5 割程度大きいことが挙げられる。

また、図-11 では、茶色の線で平成 5 年(1993 年)釧路沖地震(M7.5)の釧路-G 強震観測点で得られた地表面記録の加速度応答スペクトルを茶色で示している。特性化震源モデルを適用した地震動はこれと比較しても小さいものとなっており、疑似点震源モデルを適用したほうが観測記録に近い結果となっている。

6. まとめ

安芸灘のプレート内地震(M_w7.4)、首都直下のフィリピン海プレート内地震(M_w7.3)、千島海溝沿いのやや深いプレート内地震(M_w7.5)を対象として、レシピに準拠した特性化震源モデルを適用した場合と、疑似点震源モデルを適用した場合の工学的基盤における地震動の比較を行った。その結果、同じ地震規模、同じ短周期レベルで比較すると、山田ほか¹²⁾の提案手法で震源パラメータを設定した疑似点震源モデルを適用したほうが、レシピに基づき震源パラメータを設定した特性化震源モデルを適用した場合と比べて推定される地震動が大きくなり、安全側の予測となることがわかった。

その原因としては、疑似点震源モデルでは山田ほか¹²⁾の提案のように、対象地点直下のプレート上面に震源を設定しており、断層面上端をプレート上面深さに設定している特性化震源モデルより断層からの距離が近い設定となっていること、レシピによる震源パラメータ設定方法と山田ほか¹²⁾の提案手法による震源パラメータ設定方法が異なっていることなどが考えられる。2.で示したアスペリティの地震モーメントについて比較すると、地震モーメントと短周期レベルやアスペリティ面積の関係式

に笹谷ほか¹⁰⁾を用いた場合には、レシピで設定するほうが山田ほか¹²⁾により設定するのとは比べ 14.181/ β^2 倍となることから、震源域の S 波速度 β が 3.76km/s 以上の場合、前者のほうが後者より小さくなり、 β が大きくなるほど両者の乖離が大きくなることとなる。

震源モデルの違いによる影響としては、特性化震源モデルでの地震動の重ね合わせによる中間周波数帯域でのスペクトルの落ち込み²⁵⁾が考えられるが、若井ほか²⁶⁾による 2003 年 5 月 26 日宮城県沖スラブ内地震を対象とした検討でも示されているように、特性化震源モデル、疑似点震源モデルとも適切な震源パラメータを設定すれば、どちらの手法でも観測地震動を良好に再現できるはずであるため、本研究での推定地震動の違いは震源モデルそのものの違いによるものではない。

そのほか、安芸灘のプレート内地震について、本研究で設定した地震規模 Mw7.4 が設計地震動を設定する上で妥当かどうか、疑似点震源モデルにおいてもレシピで示されているプレートによる短周期レベルを補正するか否か、千島海溝沿いのやや深いプレート内地震での減衰特性の設定など、課題が残っている。

特性化震源モデル、疑似点震源モデルとも、過去の地震の強震記録の再現性や震度分布との整合性などから、震源パラメータ設定の妥当性を検証する必要があると考えられる。

謝辞：港湾地域強震観測による観測記録を使用しました。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会 構造工学委員会 土木構造物共通示方書改訂小委員会：2016 年制定 土木構造物共通示方書 性能・作用編，丸善出版，441p，2016。
- 2) 国土交通省港湾局監修，(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007。
- 3) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」) 平成 21 年 12 月 21 日改訂，2009，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 4) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」) 平成 28 年(2016 年) 6 月(12 月修正版)，2016，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/16_yosokuchizu/recipe.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 5) 地震調査研究推進本部：震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」) 平成 29 年(2017 年)4 月，2016，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/17_yosokuchizu/recipe.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 6) 野津厚：強震動を対象とした海溝型巨大地震の震源モデルをより単純化する試み - 疑似点震源モデルによる 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション -，地震 第 2 輯，Vol. 65，No. 1，pp.45-67，2012。
- 7) 宇佐美龍夫，石井寿，今村隆正，武村雅之，松浦律子：日本被害地震総覧 599-2012，724p，2013。
- 8) 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，http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/pdf/dansoumodel_01.pdf，http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/pdf/dansoumodel_02.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 9) 日本建築学会：最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法，2009。
- 10) 笹谷努，森川信之，前田宜浩：スラブ内地震の震源特性，北海道大学地球物理学研究報告，No.69，pp.123-134，2006。
- 11) 新井健介，壇一男，石井透，花村正樹，藤原広行，森川信之：強震動予測のためのスラブ内地震の断層パラメータ設定方法の提案，日本建築学会構造系論文集，第 80 巻，第 716 号，pp.1537-1547，2015。
- 12) 山田雅行，伊藤佳洋，野津厚，長尾毅：設計入力地震動作成のためのプレート内地震の震源のモデル化手法，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.71，No.2，I_718-I_723，2015。
- 13) Brune, J.N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear wave from earthquake, J.Geophys.Res., Vol.75, pp.4997-5009, 1970。
- 14) Brune, J.N.: Correction, J.Geophys.Res., Vol.76, pp.5002, 1971。
- 15) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価について，2004，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/hyuganada.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 16) 地震調査研究推進本部：全国 1 次地下構造モデル(暫定版)，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/choshuki2012_a2.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 17) Anatoly Petukhin, Kojiro Irikura, Shiro Ohmi, and Takao Kagawa: Estimation of Q-Values in the Seismogenic and Aseismic Layers in the Kinki Region, Japan, by Elimination of the Geometrical Spreading Effect Using Ray Approximation, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4, pp. 1498-1515, 2003。
- 18) 野津厚，長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005。
- 19) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室ウェブサイト，<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html> (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 20) 港湾地域強震観測ウェブサイト，<http://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm> (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 21) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)について，2014，http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sagami_2.pdf (平成 29 年 8 月 31 日閲覧)
- 22) 長坂陽介，野津厚：疑似点震源モデルのスラブ内地震への適用性に関する検討 - 2005 年千葉県中部の地震を例に -，港湾空港技術研究所資料，No.1323，

- 193p, 2016.
- 23) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第二版)について，2004，
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima2.pdf（平成 29 年 8 月 31 日閲覧）
- 24) 川瀬博，松尾秀典：K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網による強震記録から分離したサイト増幅特性と S 波速度構造との対応，日本地震工学会論文集，第 4 巻，第 4 号，2004.
- 25) 野津厚：経験的グリーン関数法で中間周波数帯域の落ち込みが生じる原因の再吟味，第 38 回地盤工学研究発表会発表講演集(CD-ROM)，2003.
- 26) 若井淳，長坂陽介，野津厚：疑似点震源モデルによる 2003 年 5 月 26 日宮城県沖スラブ内地震の強震動シミュレーション，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.70，No.4(地震工学論文集第 33 巻)，pp.I_818-I_829，2014.

COMPARISON OF THE PREDICTED GROUND MOTIONS TARGETING INTRA-PLATE EARTHQUAKE BY DIFFERENT SOURCE MODELS

Yasuhiro Fukushima, Takashi Nagao, Jumpei Oshige and Iwao Suetomi

Source modeling method for strong ground motion prediction targeting intra-plate earthquake has not been established in the technical standards for civil engineering works yet. In this study, authors applied two kinds of source model that are likely to be introduced to the practical design: characterized source model in accordance with the latest recipe for strong-motion prediction shown by the Headquarters for Earthquake Research Promotion and pseudo point-source model proposed by Yamada et al.. Results of the study showed that pseudo point-source model gives conservative earthquake ground motions compared with the characterized source model.