

内陸型地震における被害地震動予測のための震源モデル化に関する検討

長岡科学技術大学大学院 学生会員 ○木村 宥斗
長岡科学技術大学 正会員 池田 隆明

1. はじめに

我が国は、地震多発地域であることから、地震被害軽減のため、将来発生する地震に対し震源近傍での地震動を正確に予測することが重要である。地震の強震動評価には、強震動予測手法の構成要素である震源特性、地下構造モデル、強震動計算、予測結果の検証の現状における手法や断層のパラメータの設定について取りまとめられた「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」¹⁾（以下、レシピ）が広く用いられている。このレシピを用いることで、最新の知見に基づいた最もあり得る地震を引き起こすような震源モデルの構築をすることが可能である。しかし、レシピにはモデル作成者の判断に委ねられる幅を持ったパラメータが数多く存在する。そのため、多様なパターンの断層モデルが作成され、ばらつきのある強震動予測が行われている現状がある。

本研究では、内陸型地震における後述する被害地震動に対して、震源モデル化を行う。そして、断層の破壊が開始する点および破壊伝播速度を変更し、それらを評価することで、モデル作成者による強震動予測のばらつきを定量化することを目的とする。

2. 研究方法

2.1. 被害地震動について

地震動が住宅や構造物に与える影響が最も顕著な周期は通常、0.1秒から2.0秒の範囲にあり、これらは短周期地震動と呼ばれている。このような短周期地震動が耐震性の低い建物に被害を及ぼす際の震度は震度5弱と言われている。震度5弱の際には、対象周期での最小の地表最大加速度は約80galである。本研究では、この地表最大加速度の80galを被害地震動の最小値と設定し、地震動によって被害が発生する範囲のみを対象とし、数値計算を行う。また、震度5弱の際のモーメントマグニチュード（以下、 M_w ）は震源の深さが浅い場合において、 M_w は5.0と定義される。さらに、国内での最大の内陸型地震である濃

尾地震は M_w 7.5程度であった。以上より、本研究では、 M_w を5.0から7.5までの範囲で設定し、0.5刻みで震源モデル化を行う。

2.2. 強震動予測手法について

本研究では、杉戸らによって提案された地震動予測モデル「工学的基盤における非定常強地震動の予測モデルEMPR（以下EMPR）」²⁾を用いて、強震動予測を行う。この予測モデルは、図1に示すように断層をいくつかの基本要素（長さ方向の分割 N_x 個、幅方向の分割 N_y 個）に分割し、後述する強震動を生成する領域（SMGA）の設定や破壊開始点を設定する。そして、それぞれの要素からの地震動を時間領域での重ね合わせることで、その地点における平均的な地震動を推定することができるものである。

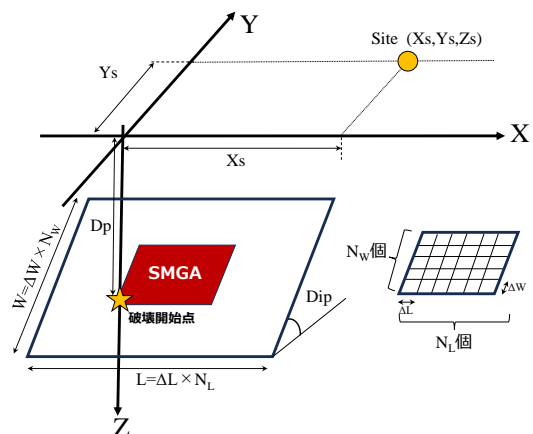


図1 断層モデルの要素の概略

2.3. 震源のモデル化について

本研究における震源モデル作成において、断層全体の形状を示す巨視的震源特性はレシピに従い、設定を行う。 M_w を5.0から7.5と設定し、式(1)より地震モーメント M_0 の算出を行う。次に、 M_0 と震源断層面積 S の経験的関係式である式(2)および(3)より、面積の算出を行う。なお、式(2)は $7.5 \times 10^{18} \leq M_0 \leq 1.8 \times 10^{20} (N \cdot m)$ 、式(3)は $M_0 > 1.8 \times 10^{20} (N \cdot m)$

表1 震源モデルの各種パラメータ

M_w	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0		7.5	
					セグメ1	セグメ2	セグメ1	セグメ2
$M_0 (N\cdot m)$	3.98E+16	2.24E+17	1.26E+18	7.08E+18	3.98E+19		2.24E+20	
$S_{Model} (km^2)$	12.0	36.0	120.0	368.0	850.0		2300	
$L_{Model} (km)$	3.0	9.0	15.0	26.0	25.0		48.0	
$W_{Model} (km)$	4.0	4.0	8.0	14.0	17.0		24.0	
$S_{a,Model} (km^2)$	3.0	9.0	25.0	81.0	121.0	64.0	324.0	196.0
$L_{a-Model} (km)$	3.0	3.0	5.0	9.0	11.0	8.0	18.0	14.0
$W_{a-Model} (km)$	1.0							

表2 被害範囲距離の算出

M_w	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
$D (km)$	5.5	5.5	8.5	11.5	14.5	25.0
$X' (km)$	11.3	19.5	33.7	54.6	83.0	124.0
$X (km)$	15.0	20.0	35.0	55.0	85.0	125.0

表3 破壊伝播速度とせん断波速度の比率

Case	1	2	3	4
Vr/Vs	0.72	0.72	0.60	0.90
$Vr(km/s)$	3.50	3.50	3.50	3.50
$Vs(km/s)$	2.52	2.16	2.10	3.15

の際に用いる.

$$M_0 = 10^{(1.5M_w+9.1)} \quad (1)$$

$$S = 2.23 \times 10^{-15} \times (M_0 \times 10^7)^{2/3} \quad (2)$$

$$S = 4.24 \times 10^{-11} \times (M_0 \times 10^7)^{1/2} \quad (3)$$

加えて、震源モデルは正方形で分割することが望ましい。そのため本研究では、面積を M_w の値が変わらないよう、面積の調整幅を±5.0%未満に制限することで、面積の調整を行った。そして、断層の縦横比はおおよそ 2:1 になるように設定を行った。

さらに、震源断層の不均一性を示す微視的震源特性の一つである強震動生成域 Strong Motion Generation Area (以下, SMGA) についての位置や個数は M_w が 5.0~6.5 の際には断層の中央に一つ配置するものとする。 M_w が 7.0 および 7.5 の際は、断層を2つのセグメントに分け、それぞれの一つの SMGA を配置する。レシピでは、SMGA 配置の面積比率について、長大断層における比率はそれぞれ 2:1 と推奨をされている。本研究では、 M_w 7.0 は 2:1、 M_w 7.5 では震源モデル作成の制約上、2:1 での分割配置が困難であったことから、 M_w 7.0の断層における SMGA と背景面積の比率を合わせることで震源モデル化を行った。なお、SMGA の面積については過去の内陸型地震の震源インバージョン結果を整理した Somerville et al³⁾ に基づき、震源断層面積の約 22%と設定した。表1に各 M_w の巨視的震源特性および微視

的震源特性のパラメータについて示す。

3. 数値計算結果

3.1. 被害地震動の算出結果

被害地震動の計算範囲の算出には式(4)および(5)、(6)に示すような、司・翠川⁴⁾による距離減衰式を用いた。

$$A = 10^{b-\log(X+c)-kX} \quad (4)$$

$$c = 0.0055 \times 10^{0.50M_w} \quad (5)$$

$$b = aM_w + hD + e + \varepsilon \quad (6)$$

X は断層最短距離(km)、 k は粘性減衰を表す項、 a, h は回帰係数、 D は震源深さ(km)、 e は定数項を表す。

式(4)より、最大加速度の数値が約 80gal になるように、被害地震動距離 X' を算出した。その結果を表2に示す。そして算出した X' を調整し、被害地震動の計算範囲距離 X を決定した。

3.2. 破壊開始点の変更による影響

レシピにおけるその他の震源特性である破壊開始点の設定について、被害地震動の影響分布を調べることににより、観測点の位置による特性を把握する。図2に示すような震源モデルにおいて、破壊開始点の変更による影響を調べるために最適な形状である断層の傾斜を 90 度と設定した。また、破壊伝播速度とせ

ん断波の比率をレシピによる提案比率である 0.72 と設定し、破壊開始点を SMGA の左下、右下のように変更することで破壊開始点観測点に与える影響を調べた。図 3 (Case 1) および図 4 (Case 2) に破壊開始点を変更した場合の最大加速度の分布を示す。同図の縦軸および横軸は破壊開始点からの距離である。また、赤色の線は先に述べた被害地震動の計算範囲距離である。同図より、破壊開始点の変更による最大加速度の分布は破壊開始点を軸に対称になることを確認した。Case1 の場合、破壊開始点より右の方向に最大加速度の赤色が濃く分布していることがわかる。断層の破壊が SMGA の左下から右上の方向へと進行し、要素から放出された地震波が重なり合う指向性の影響が確認できる。一方、Case2 では破壊が SMGA の右下から左上方向へ進行しているために Case 1 と左右対称の加速度分布となっていることがわかる。これらの結果より、破壊開始点による観測点への影響はないことを確認した。

3.3. 破壊伝播速度とせん断波速度の比を変更した最大加速度の分布

図 5 (Case 3) および図 6 (Case 4) に、表 3 に示すように Case 1 の破壊伝播速度 V_f とせん断波速度 V_s の割合を変更した震源モデルの最大加速度の分布について示す。同図の縦軸および横軸は図 3 と同様である。図 5 の Case3 において、断層と直角の方向に対する最大加速度の分布の広がりには若干の差はあるものの震源近傍では、ほぼ同様の傾向を示した。図 6 の Case 4 において、断層の走行方向に対する部分の最大加速度が大きくなっていることがわかる。これは前述した断層の破壊の指向性により、通常よりも地震波の重ね合わせが多く発生し、最大加速度が増加したと考えられる。以上のことから、せん断波と破壊伝播速度の比を大きくすることで波の重ね合わせが増え、先のとがった卵型の加速度分布になることを確認した。

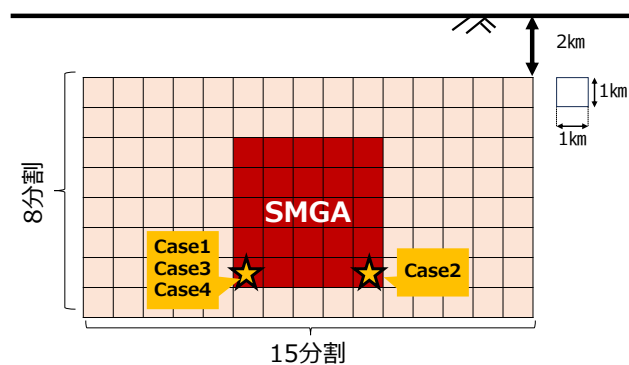


図 2 $M_w 6.0$ の震源モデル

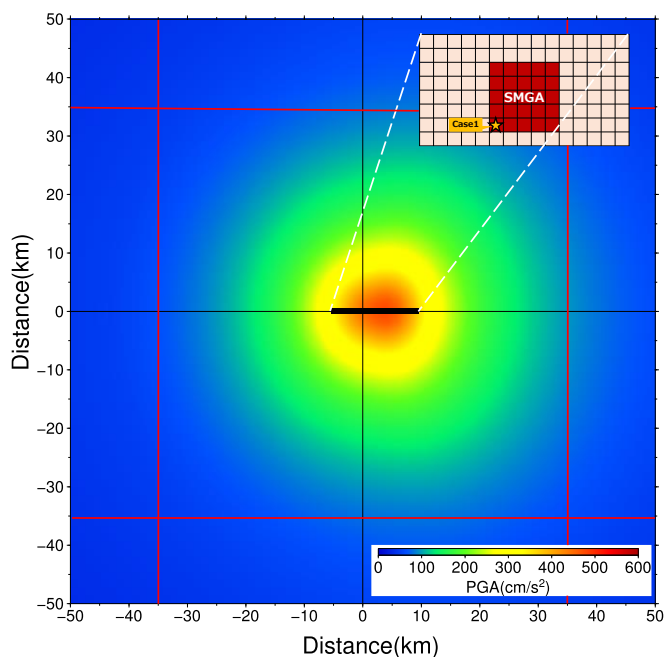


図 3 Case 1 の加速度分布

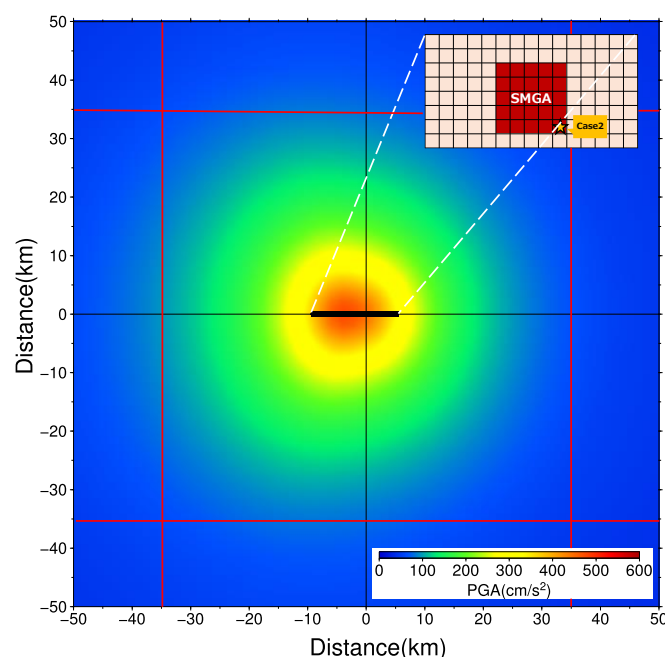


図 4 Case 2 の加速度分布

4. まとめ

本研究では、震源モデルの破壊開始点および破壊伝播速度とせん断波速度の比を変更し、工学的基盤における最大加速度の分布への影響を調べた。以下にまとめを示す。

- (1) 破壊開始点を SMGA 左下および右下と対象に変更した場合、最大加速度の分布は左右対称な分布となる。
- (2) 破壊伝播速度およびせん断波速度の比率を変更した場合、比率が 0.72 よりも小さい場合には、ほぼ 0.72 と同様の最大加速度の分布になる。一方、比率が 0.72 よりも大きい場合、震源近傍において、最大加速度の分布形状が異なり、最大加速度も大きくなる。

参考文献

- 1) 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」), 令和 2 年 (2020 年) 3 月.
- 2) 工学的基盤における非定常強震動の予測モデル EMPR, 杉戸・能島研究室, 2000.1.
- 3) Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999); Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, 59-80.
- 4) 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 523 号, pp.63-70.

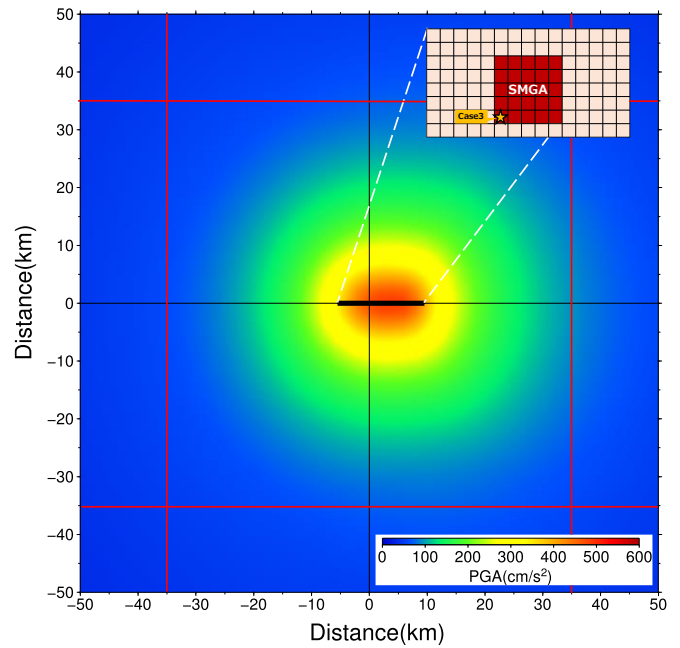


図 5 Case 3 の加速度分布

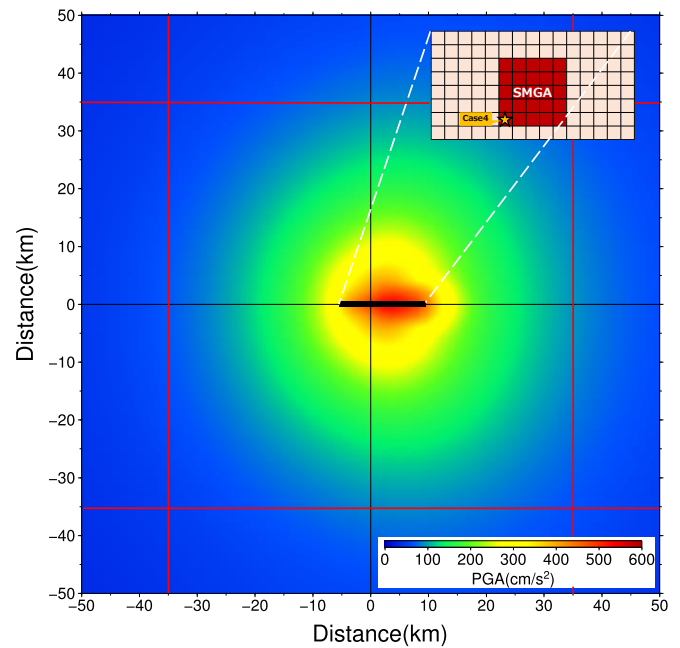


図 6 Case 4 の加速度分布