

強震記録に基づく震源パラメータ同定による 即時広域強震動分布推定法の検討と適用例に関する考察

岐阜大学大学院 学生会員 久世 益充 岐阜大学工学部 正会員 杉戸 真太 能島 暢呂 古本 吉倫

1.はじめに 1995年兵庫県南部地震において、国や自治体が被害状況を早期に的確に把握できなかったことが地震発生直後の被害の拡大防止、救援・復旧への初動体制の整備が遅れた要因の一つとして挙げられる。地震発生直後の被害状況を把握し迅速で適切な対応ができれば、建物被害や火災などの二次災害を防止・軽減し、早期復旧を目指すことができる。それには地震発生直後から時々刻々入ってくる地震動記録や被害などの様々な情報を正確に把握し、救援・復旧活動のための基礎資料として有効に利用できることが重要となる。本研究では、地震発生直後に得られる強震記録より震源パラメータを即時に推定し、震源パラメータに基づく基盤レベルの地震動強度分布を推定する手法を検討する。

2.震源パラメータの推定 地震発生後早期に得られる強震記録による震源パラメータ推定法について検討する。推定手順は図1に示す2つのステップからなる。

地震発生直後の震源情報として、地震発生から約10分後に震源位置とマグニチュードが気象庁より発表される¹⁾。本研究では、気象庁発表の震源情報と各地点の強震記録による震源パラメータ推定法を検討した。なお、ここでは内陸直下型の断層を対象とし、断層面の傾斜角については図2に示すように断層面の傾き角 $\hat{A}_x = 90^\circ$ 、断層面の食い違い方向の傾き角 $\hat{A}_y = 0^\circ$ と仮定し、震源パラメータの推定を行う。堆積地盤上で得られた記録は局所的な地盤条件の影響を受けていることから、地盤の影響が比較的少ないとされる工学的基盤での地震動を推定したデータを用いることとしている。

断層の広がり、破壊伝播方向と各地点の地震動加速度パワーとの関係に着目し、加速度パワーの距離減衰特性に基づく震源パラメータ推定を行う。

断層近傍のデータに基づく推定式がこれまでに得られていないことから、工学的基盤における非定常地震動予測モデル EMPR²⁾より算定された地震動波形より地震動パワーの空間分布についてモデル化を行った。モデル化した地震動パワーの推定式は次式ようになった。

$$\log_{10} P_T = 0.846 t M_j - 0.0049 t R_{Pj} - 1.46 \log_{10} R_P + 0.895 \quad (1)$$

ここに P_T は加速度トータルパワー (cm^2/sec^3)、 M はマグニチュード、 R_P は図2示す P_T が最大となる断層上の点(震源から L_P の断層面上の地点)からの距離 (km) である。

式(1)より、断層長さ L 、断層の破壊方向 \hat{A} の二次元探索を行い、 L 、 \hat{A} を推定する(ステップ1)。推定された L 、 \hat{A} を基に観測地点の地震動波形を EMPR により算出し、観測記録と、シミュレーションより得られるトータルパワー P_T や継続時間 t_{90} を比較することにより地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を決定する(ステップ2)。

3.地震動強度分布の推定 観測記録より震源パラメータが即時推定された結果を用いて強震動シミュレーションを行い、工学的基盤における地震動強度分布を推定する。強震動シミュレーション (EMPR) では加速度の時刻歴波形が得られるが、本研究では広域での地震動強度(最大加速度、計測震度など)の即時推定を目的としている。このため、少数地点でのシミュレーション波形から得られる地震動強度を形状補間関数³⁾により補間することにより計算の効率化を図ることとした。形状補間関数は、有限要素法において離散点の間の値を補って連続関数として扱うための技法であり、地震動強度の空間的補間法としても利用されつつある⁴⁾。

補間による地震動強度分布推定について、八幡断層を震源として検討した結果を示す⁵⁾⁶⁾。シミュレーション範囲は約 $180 \times 180 \text{ km}$ 、地点数は約 1 km メッシュで 31073 地点に及び。

図3に、約 8 km の粗いメッシュで算定された時刻歴波形より 1 km メッシュの地震動強度を補間により求めた値と、波形シミュレーションより直接求めた値の比を示す。断層近傍でより大きな誤差が見られることがわかる。そこでシミュレーション地点の選定を断層近傍では細かく、遠方では粗くすることで計算の効率化と推定精度向上が実現可能な方法により地震動強度分布の即時推定を行う。以上の方法によりシミュレーション地点を選定した場合のシミュレーション点数と推定誤差、推定誤差の最大値を図4に示す。

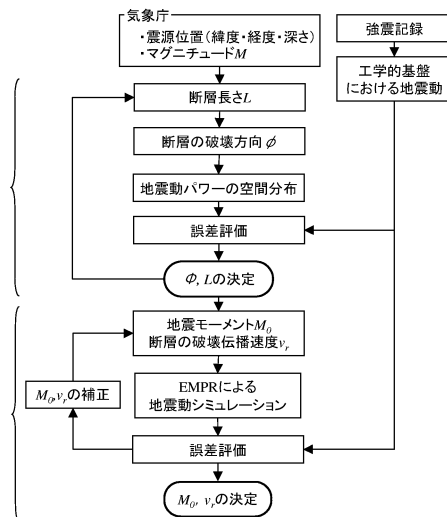


図1:震源パラメータ推定手順

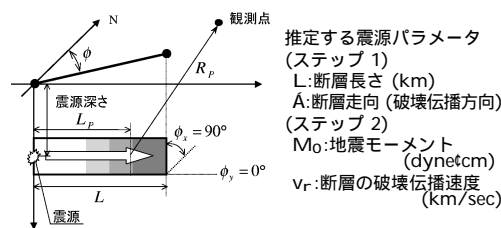


図2:推定する震源パラメータ

岐阜県内の K-NET⁷⁾ 観測点で記録が得られたと仮定した場合の震源パラメータ推定結果を用いて、図 4 を基に推定した最大速度分布を図 5 に示す。図中の灰色の線は断層の真値、白線は震源パラメータの推定結果、点は選定されたシミュレーション地点を示す。震源断層により得た最大速度分布 (図は省略) と同一の分布形状を推定することが確認できた。

4. 兵庫県南部地震における適用例 次に、兵庫県南部地震で観測された強震記録より震源パラメータ、地震動強度分布の即時推定結果を示す。推定の際、基盤で観測された強震記録、または地盤データが既知である地点で観測された堆積地盤上の記録を地盤応答解析法 FDEL⁸⁾ により基盤地震動を算定した図 6 に示す 5 地点での水平 2 成分のデータを用いた。図 6 に示す観測点での記録より断層の破壊方向の推定を行った。震源を固定し、断層の破壊方向を変化させた場合の誤差分布を図 7 に示す。図 7 より、観測地点が集中している N60~65°E 付近で誤差が小さくなっている。これは、観測地点が震源の東側に集中し、西側に観測地点が少なかったため、観測地点の多い方の影響を受けたことも考えられる。表 1 に震源パラメータの推定結果を示す。表中の兵庫県南部地震における断層長さは、震源から北東方向の長さである。

震源パラメータ推定結果を基に得られた最大速度分布を図 6 に示す。シミュレーション範囲は約 255km×240km、地点数は約 1km メッシュで 57825 地点である。約 1km メッシュ全ての地点でシミュレートするには約 48 時間必要とする (CPU:PentiumIII-500MHz) が、前述の手法によりシミュレーション地点の選定を行うことで、約 30 分程度で地震動強度分布を得ることができた。

5. おわりに 本研究では、地震発生直後の震源情報と強震記録を基に震源パラメータの推定を行い、工学的基盤における地震動強度分布の即時推定法について検討した。兵庫県南部地震で観測された記録より震源パラメータ、地震動強度分布の推定では、少数地点の観測記録より震源パラメータ、地震動強度分布の推定を短時間で行うことができた。しかし、震源パラメータ推定結果が観測点位置の影響を受けていることが考えられるため、K-NET 観測点のように広範囲にわたる地点の強震記録を用いて推定を行う必要があるだろう。

参考文献

- 1) (財) 日本気象協会:防災気象情報サービスホームページ,http://tenki.or.jp/
- 2) Sugito,M.,Furumoto,Y. and Sugiyama,T.:Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra,12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.
- 3) O.C. ツィエンキーヴィッツ 著,吉識雅夫・山田嘉昭 共訳:マトリクス有限要素法,培風館,1984.9,pp.144~158.
- 4) 高田至郎・高谷富也・小川安雄・福井真二:モニタリングシステムにおける地震動補間法と精度の検証,構造工学論文集,Vol.40A,1994.3,pp.1151~1160.
- 5) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂:強震動シミュレーションによる基盤地震動の補間推定精度に関する一考察,第 18 回日本自然災害学会学術講演会,1999.10,pp.45~46.
- 6) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂・加藤真嗣・川島謙:強震記録に基づく震源パラメータ同定による即時広域強震度分布推定法の検討,第 35 回地盤工学研究発表会,2000.6(投稿中)
- 7) 科学技術庁ホームページ,K-NET:http://www.k-net.bosai.go.jp/
- 8) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫:周波数特性を考慮した等価線形化手法に関する検討,第 29 回土質工学会研究発表会講演集,1993,pp.1129~1132.

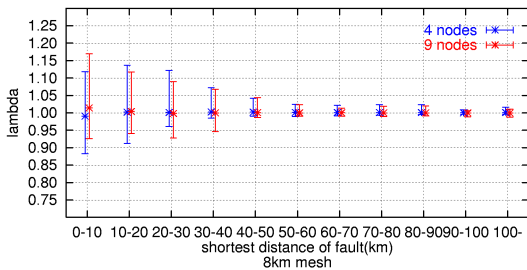


図 3:断層最短距離の違いによる最大速度比の平均と最大・最小

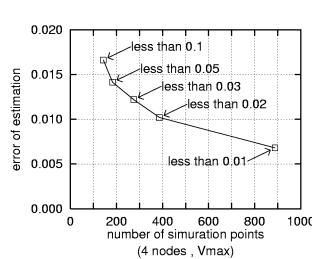


図 4:推定精度を考慮したシミュレーション点数と推定誤差

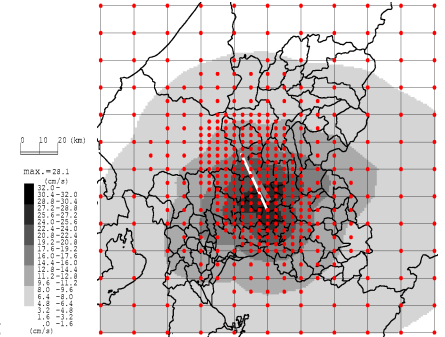


図 5:最大速度分布推定結果 (八幡断層)

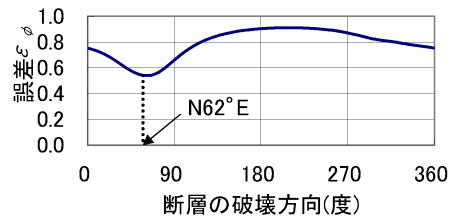


図 7:震源パラメータ推定結果 (断層の破壊方向)

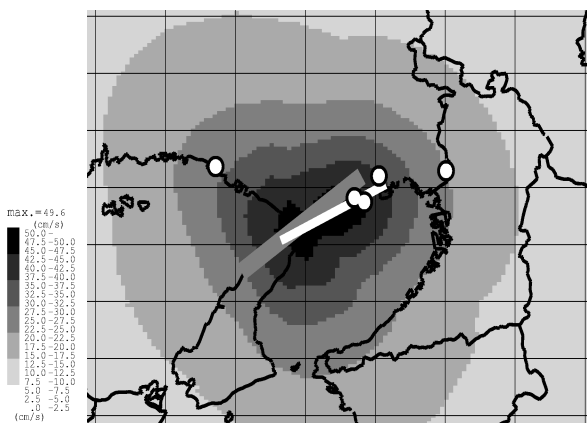


図 6:観測地点と最大速度分布推定結果 (兵庫県南部地震)

表 1:震源パラメータ推定結果

		兵庫県南部地震	推定結果
マグニチュード		7.2	
震源深さ(km)		14.3	
断層の破壊開始点	緯度(度)	34.58	
	経度(度)	134.97	
破壊終了点	緯度(度)	34.73	34.71
	経度(度)	135.20	135.27
断層長さ(km)		26.85*	31.0
断層の破壊方向(度)		51.5	62.0
地震モーメント(dyne・cm)		2.50E+26	7.72E+26
断層の破壊伝播速度(km/sec)			1.92

*震源から北東方向の長さ