

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

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
 岐阜大学大学院 加藤 真嗣 川島 謙

1. はじめに

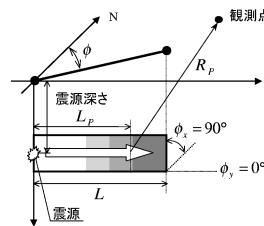
1995年兵庫県南部地震において、国や自治体が被害状況を早期に的確に把握できなかったことが地震発生直後の被害の拡大防止、救援・復旧への初動体制の整備が遅れたことの要因の一つとして挙げられる。地震発生直後の被害状況を把握し迅速で適切な対応ができれば、建物被害や火災などの二次災害を防止・軽減し、早期復旧を目指すことができる。それには地震発生直後から時々刻々入ってくる地震動記録や液状化・建物被害などの様々な情報を正確に把握し、地震発生後の救援・復旧活動のための基礎資料として有効に利用できることが重要となる。

本研究では、地震発生直後に得られる強震記録より断層位置や長さなどの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。震源パラメータ推定手順を図1に示し、以下順に説明する。

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(緯度・経度・深さ)とマグニチュードが気象庁より発表され¹⁾、このような気象庁発表の震源情報と各地点で観測された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に示す断層面の傾き角 $A_x = 90^\circ$ 、断層面の食い違い方向の傾き角 $A_y = 0^\circ$ と仮定し、断層長さ L 、破壊方向 A 、地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を推定する。ただし、観測記録を震源パラメータ推定に用いる場合、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小さいとされる工学的基盤での地震動を推定したデータを震源パラメータの推定に用いるものとする。



推定する震源パラメータ
 (ステップ1)
 L:断層長さ (km)
 A:断層走向 (破壊伝播方向)
 (ステップ2)
 M_0 :地震モーメント (dyne \cdot cm)
 v_r :断層の破壊伝播速度 (km/sec)

図2:推定する震源パラメータ

断層の広がり、破壊伝播方向と各地点での地震動加速度パワーとの関係に着目し、この加速度パワーの距離減衰特性に基づいて震源パラメータ推定を行うこととした。断層近傍で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。EMPRは、兵庫県南部地震を含む国内の強震記録を基に作成された地震動予測モデルであり、断層の広がりや破壊方向などの震源特性を考慮することができる。EMPRによるシミュレーション結果からモデル化した地震動パワーの推定式を式(1)に示す。

$$\log_{10} P_T = 0.846 \log_{10} M_j - 0.0049 \log_{10} R_p + 1.46 \log_{10} R_p + 0.895 \quad (1)$$

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に示すように、 P_T が最大となる断層上の点(震源~ L_p)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 A の二次元探索を行い、 L 、 A を推定する(ステップ1)。

推定された L 、 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、シミュレーションそれぞれより得られるトータルパワー P_T 、継続時間 t_{90} を比較することで地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を決定する(ステップ2)。

以上の震源パラメータ推定例として、八幡断層を対象に、岐阜県にあるK-NET³⁾ 観測点で記録が得られたとした場合の推定結果を示す。これらの地点での大きな加速度記録がないため、ここでは、各観測点でEMPRにより算定された地震動波形の振幅に変動を与えた波形対して震源パラメータの推定を行った。

断層の破壊方向の推定結果を図3に示す。図中の円の方位は断層の破壊方向を表しており、推定誤差の逆数である $1/\sigma_A$ の大きくなる領域が断層の破壊方向である 149.4° 付近に集中していることがわかる。

以上の方法により得られた震源パラメータの推定結果を表1に示す。

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後、その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分布を推定する。

このとき推定の即時性を重視して、少数地点のシミュレーション結果を補間することで計算の効率化を図る。すなわち、補間に必要な地点を選定し、EMPRにより選定地点の地震動を推定する。地震動予測結果から得られる地震動強度を形状補関数⁴⁾により補間することで工学的基盤での地震動強度分布を推定する。形状補関数は、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

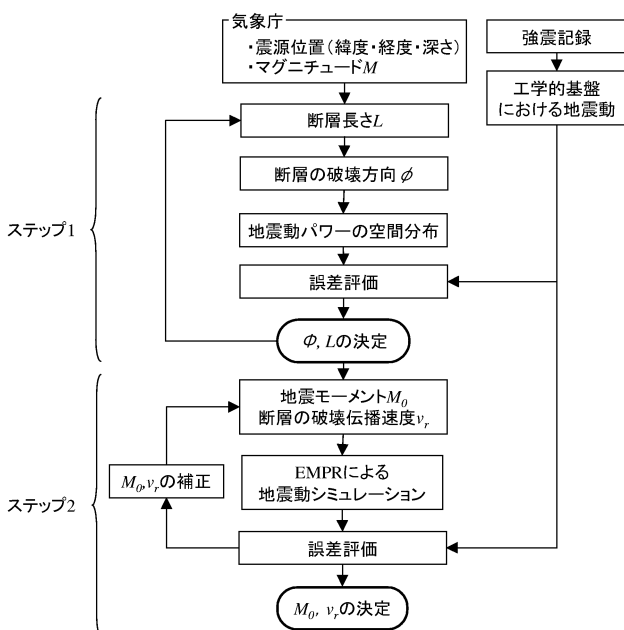


図1:震源パラメータ推定手順

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⁵⁾。形状補間関数による地震動強度の補間として、八幡断層を震源とする地震動強度分布を推定した例⁶⁾を示す。シミュレーション範囲は約180E180km、地点数は約1kmメッシュで31073地点に及ぶ。

等間隔で地点選定した場合の推定誤差とシミュレーション点数を図4に示す。全ての地点でシミュレートするには約26時間必要とする(CPU:PentiumIII-500MHz)。

図4に示す関係より、1kmメッシュの地震動強度を推定する場合、計算効率と推定精度の両面を考慮すると8km程度のメッシュサイズが妥当であると思われる。このときの計算時間は約26分である。

断層最短距離の違いによる推定値と実測値の比の平均、最大・最小値を図5に示す。断層最短距離が40km以内では大きな誤差が見られ、それより遠方の範囲では誤差が小さいことがわかる。そこで、断層近傍でメッシュサイズを小さく、遠方で大き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メッシュ形成方法を検討した。本研究では、地震動が構造物へ与える影響と関連が深いとされている最大速度の誤差評価結果を基にメッシュサイズを選択する。図6に断層最短距離毎にメッシュサイズを選択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示す。震源パラメータ推定結果より、図6を基にEMPRによるシミュレーション地点を選定した結果を図7に示す。図7に示すそれぞれの地点でEMPRに

より地震動波形を算定し、形状補関数による1kmメッシュの最大速度の推定結果を図8に示す。図中の灰色の線は断層の真値、白線は推定結果を示す。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. 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を行った。また、岐阜県を対象に、八幡断層を想定した場合のK-NET観測点で記録を得たと仮定した場合の震源パラメータ推定、工学的基盤における地震動強度分布の推定を行った。このとき、振幅に変動を与え、推定結果に及ぼす影響について考察を行ったが、どのケースにおいても精度良く震源パラメータ、地震動強度分布を推定することができた。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) 科学技術庁ホームページ, K-NET: <http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.

表1:震源パラメータ推定結果

		初期設定値	case1	case2	case3
振幅調整			0%	±10%	±30%
マグニチュード			7.3		
震源深さ(km)			15.0		
断層の破壊開始点	緯度(度)		35.8817		
	経度(度)		136.8466		
破壊終了点	緯度(度)	35.649396	35.6337	35.6209	35.5983
	経度(度)	137.01594	137.0269	137.0214	137.0077
断層長さ(km)			30.0	32.0	35.0
断層の破壊方向(度)		149.4329	149.5	151.5	155.5
地震モーメント (dyn·cm)	推定値	2.85E+26	2.88E+26	2.95E+26	2.96E+26
	推定誤差		0.1655	0.1835	0.3434
断層の破壊伝播速度 (km/sec)	推定値	2.5	2.55	2.55	2.55
	推定誤差		0.1266	0.1455	0.2106

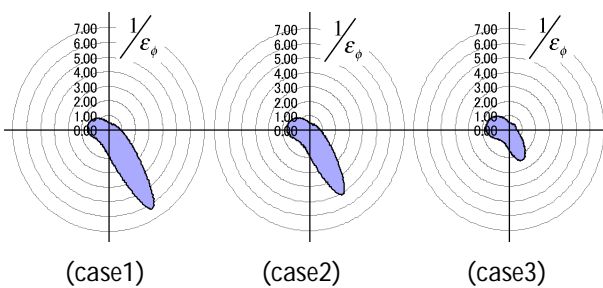


図3:震源パラメータ推定結果(断層の破壊方向)

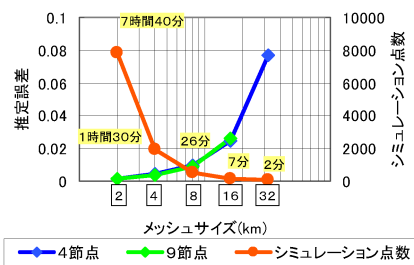


図4:推定誤差とシミュレーション点数の関係

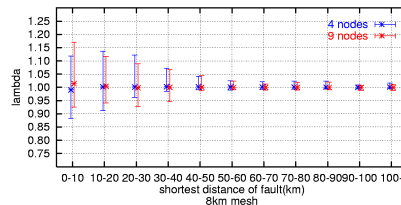


図5:断層最短距離の違いによる最大速度比の平均値と最大・最小値

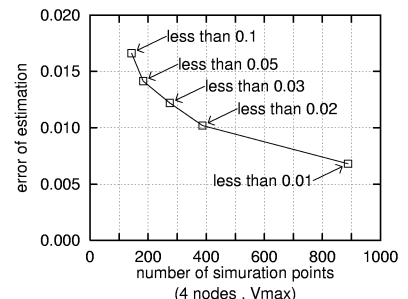


図6:推定精度を考慮したシミュレーション点数と推定誤差

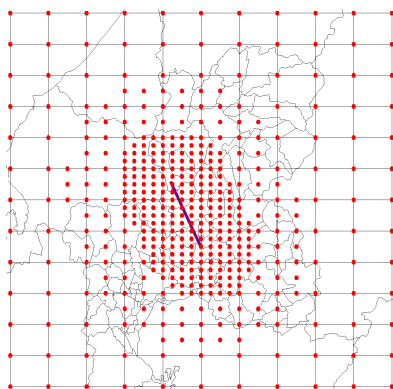


図7:シミュレーション地点の選定結果(case3)

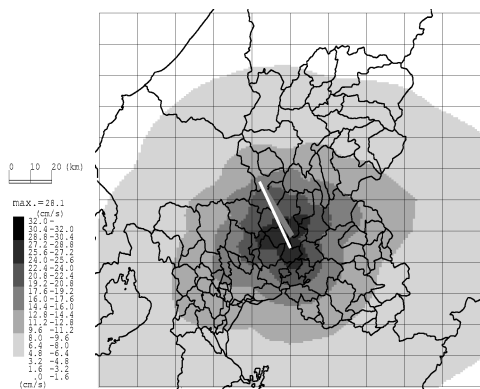


図8:最大速度分布推定結果(case3)