

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 学生会員○久世 益充

岐阜大学 正会員 杉戸 真太 能島 暢呂 古本 吉倫

岐阜大学 加藤 真嗣 川島 謙

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震において、地震発生直後の被害状況が早期に国や自治体へ伝わらなかったため、救援・復旧への対応が遅れ、被害拡大の原因となったことが社会的に重要な問題点として挙げられる。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。そのため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。そこで本研究では、観測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、得られた震源パラメータに基づいた基盤レベルでの地震動分布を推定する手法について検討する。

2. 震源パラメータの即時推定

震源情報として、地震から約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ている¹⁾。本研究では、気象庁発表の震源情報と各地点で観測された記録を用いて断層長さ・破壊方向を推定する。推定の際、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考えられる工学的基盤での地震動を推定したデータを用いる。

震源パラメータ推定法について検討を行うため、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のできる非定常地震動予測モデル EMPR²⁾を用いた予備的な考察を行う。EMPR による数値計算例として、八幡断層を震源とする $M=7.13$ を想定した場合の加速度時刻歴と最大加速度分布(図1)、パワーの累積と継続時間分布(図2)を示す。図2の t_{90} は継続時間で、累積パワーが 5%~95% の時間である。図1・図2に示す断層延長上の2地点(○印)は断層からの距離はほぼ同じであるが、断層の破壊進行方向にある地点では、その逆方向にある地点と比較して最大加速度が大きく、継続時間が短いことがわかる。

図3に継続時間と最大加速度の関係を示す。図中の●印は断層の破壊開始点、○印は破壊終了点を示す。断層の破壊開始点は継続時間・最大加速度ともに分布のほぼ中央を示し、破壊終了点は最大加速度が大きく、継続時間が短い。また、破壊開始点・終了点が分布の上縁にあることから、継続時間と最大加速度の関係より断層の破壊開始点・終了点を推定できることが考えられる。以上のように断層の破壊方向と、最大加速度などの地震動強度や地震動の累積・パワーの関係について今後はさらに考察を進め、観測記録より断層長さや破壊方向を推定する方法について検討していく方針である。

3. 基盤面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、少数地点で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、補間を行うために必要な地点を選定し、EMPR により選定地点での地震動を推定する。地震動予測結果より得られる最大加速度や計測震度を形状補間関数³⁾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⁾。

EMPR による地震動予測結果が図4の4点または9点で得られている場合、任意地点 (ξ, η) での形状補間関数による地震動強度の推定値は、式(1)により求めることができる。

$$X_c(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^n \phi_i(\xi, \eta) X_{oi} \quad (1)$$

ここに、 X_c は形状補間関数による推定値、 X_{oi} は EMPR によるシミュレーション結果、 n は節点数(4もしくは9)、 i は図3に示す節点番号、 ϕ_i は4節点・9節点それぞれの形状補間関数で、次式で表される。

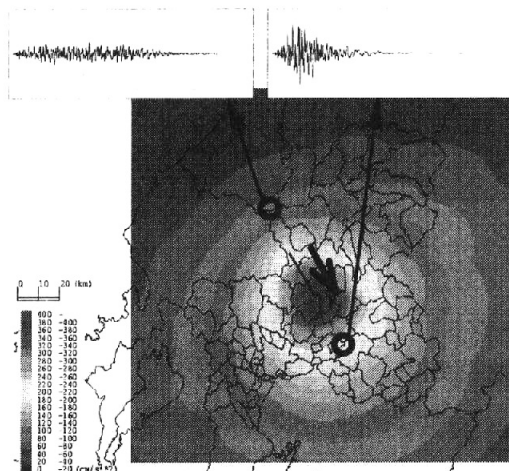


図1 工学的基盤面最大加速度分布

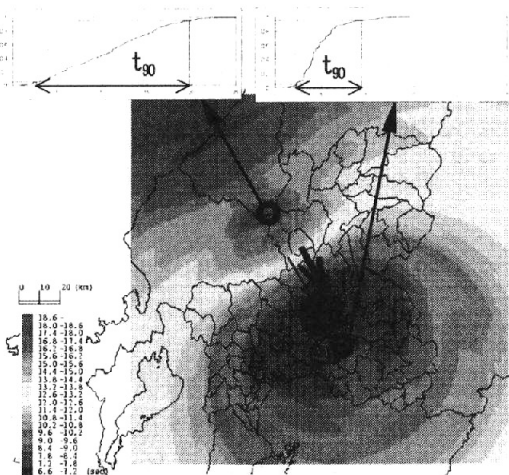


図2 工学的基盤面継続時間分布

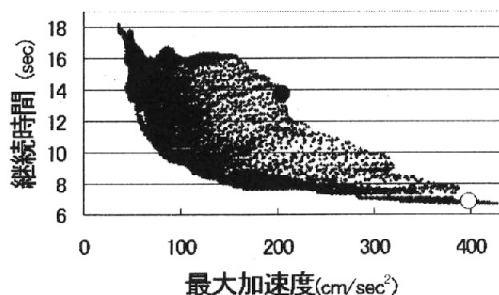


図3 継続時間・最大加速度分布

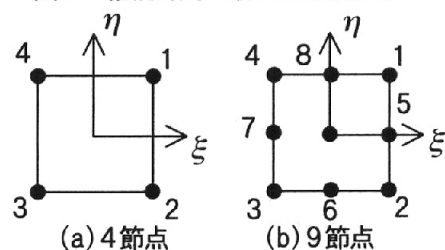


図4 節点要素

$$4\text{節点形状補間: } \phi_i = \frac{1}{4}(1 + \xi_0)(1 + \eta_0) \quad (i=1,2,3,4) \quad (2)$$

$$9\text{節点形状補間: } \left. \begin{aligned} \phi_i &= \frac{1}{4}\xi_0\eta_0(1 + \xi_0)(1 + \eta_0) \quad (i=1,2,3,4), \quad \phi_i = \frac{1}{2}\xi_0(1 + \xi_0)(1 - \eta^2) \quad (i=5,7), \\ \phi_i &= \frac{1}{2}\eta_0(1 - \xi^2)(1 + \eta_0), \quad \phi_i = (1 - \xi^2)(1 - \eta^2) \quad (i=9) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに, $\xi_0 = \xi_i, \eta_0 = \eta_i$ であり, ξ_i, η_i はそれぞれ節点番号 i の ξ 軸, η 軸の座標値を示す。

形状補間関数により推定を行った結果について, 式(4)・式(5)により推定誤差を求める。

(a)最大加速度・最大速度・最大変位の場合

(b)計測震度の場合

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{rj} - 1)^2}{m}} \quad \left(\text{ここに, } \lambda_{rj} = \frac{X_{ej}}{X_{oj}} \right) \quad (4)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \lambda_{dj}^2}{m}} \quad \left(\text{ここに, } \lambda_{dj} = X_{ej} - X_{oj} \right) \quad (5)$$

ただし, m は補間を行った地点の総数を示す。

形状補間関数による地震動強度の補間の例として, 八幡断層を震源とする地震動強度分布を推定したケーススタディー⁵⁾を示す。シミュレーション結果が 2km, 4km, 8km, 16km, 32km メッシュで得られた場合を想定し, 形状補間関数により約 1km メッシュの地震動強度分布を推定する。シミュレーション範囲は約 180km × 180km, 地点数は約 1km メッシュで 31073 地点に及ぶ。

EMPR によるシミュレーション結果 X_{oj} と形状補間関数による推定値 X_{ej} の関係や, 断層最短距離と地震動強度の比 λ_r の関係を図5に示す。 X_{oj}, X_{ej} の関係を見ると(図5(a)・(b)左), 補間結果が4節点では過小評価, 9節点では過大評価の傾向が見られた。過小評価の傾向は 32km メッシュではさらに顕著である一方, 8km 以下のメッシュでは改善されていることが確認された。また, 過大評価は 16km メッシュだけで見られ, 8km 以下のメッシュでは見られなかった。断層最短距離と λ_r の関係では(図5(a)・(b)右), 断層遠方では誤差が小さく, 断層に近づくに従い誤差が大きくなっている。

図6にメッシュサイズと推定誤差, EMPR によるシミュレーション点数を示す。全ての地点に対して地震動波形を算定した場合, 約 26 時間必要とする(CPU: Pentium III - 500MHz)。図5に示す関係から, 計算効率と推定精度の両面を考慮した妥当なメッシュサイズについて検討した。

図7に断層最短距離から 20km ごとのシミュレーション結果と形状補間関数による推定値 λ_r の平均値と最大・最小値を示す。図 5(a)・(b)右に示した関係と同様に, 断層近傍では誤差が大きく, 遠方では誤差が小さくなっている。

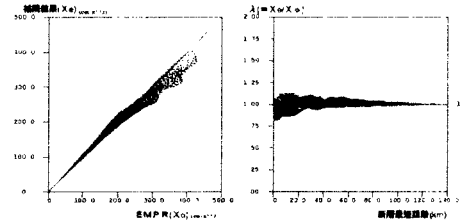
形状補間関数の違いによる λ_r の最大・最小値について見てみると, 8km メッシュの場合(図7(a)), 断層最短距離が 20km 以内, 20~40km の範囲では9節点の方が誤差が大きく, それより遠方の範囲では, 誤差の程度はほぼ同じであり, やや過大評価気味に補間されていることがわかる。9節点では(図 7(b)), 図 5 で示した過大・過小評価の傾向がここでも見られる。他のメッシュサイズについても 4 節点・9 節点共に断層近傍では誤差が大きく, 遠方では小さくなる傾向となった。

4. おわりに

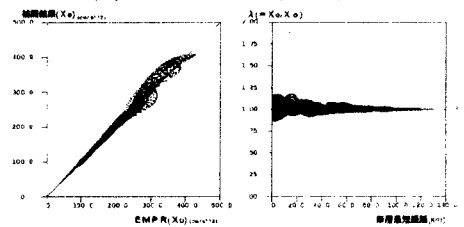
本研究では, 高密度・高精度な地震動強度分布の即時推定を行うために, 観測記録による震源パラメータ推定法および地震動予測法・補間法による基盤面地震動強度分布の即時推定法について検討した。震源パラメータ推定については, 断層長さ, 破壊方向と地震動強度や累積パワーの関係について考察を進めたが, 今後はさらに震源距離・断層の破壊方向と累積パワーの時間的性状について考察し, 観測記録から断層長さ, 破壊方向の推定法を検討する方針である。

基盤面地震動強度分布の即時推定については, 等間隔で記録が得られた場合を仮定し, 妥当なメッシュサイズを検討したが, 推定誤差を考慮し, 断層近傍ではメッシュを小さく, 遠方では大きくする事による, 計算の効率化と推定精度向上が実現可能なメッシュの形成方法について検討が必要である。

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/quake.html> 2) Masata SUGITO, Yoshinori FURUMOTO and Takeshi SUGIYAMA: STRONG MOTION PREDICTION ON ROCK SURFACE BY SUPERPOSED EVOLUTIONARY SPECTRA, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000.1(投稿中) 3) O.C. ツィエンキエヴィッツ 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・能島暢男: 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.



(a)16km メッシュ, 4 節点



(b)16km メッシュ, 9 節点

図5 最大加速度比分布

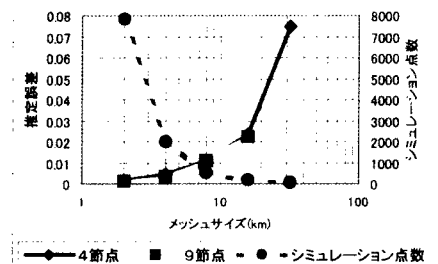
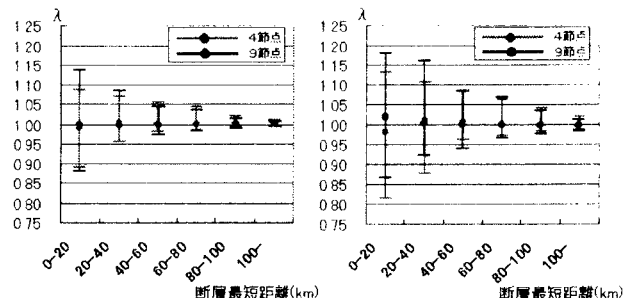


図6 推定誤差 ε とシミュレーション点数



(a)8km メッシュ

(b)16km メッシュ

図7 断層最短距離の違いによる

最大加速度比 λ_r の平均値と最大・最小値