

強震動予測を観測情報で補正することによる 地震動分布の即時推定

赤澤隆士・香川敬生

財団法人大阪土質試験所 (〒550 大阪市西区立売堀 4-3-2)

地震動の分布を地震発生後に即時決定し、初動体制に活用できる地震防災システムを提案する。本手法では、対象となる震源断層に起因する地震動分布を、強震動シミュレーション法によって予め厳密に計算しておき、その断層破壊モデルの仮定と現実が発生した地震の断層破壊による地震動分布の差違を、地震発生後に即時入手した観測記録を用いて補正することにより、現実の地震動分布を推定する。このように、強震動予測手法のパラメータ設定の不確実さを観測情報で補うことにより、現実的な地震動分布の即時推定が可能となる。

Key Words : *real time earthquake disaster mitigation, strong motion estimation, strong motion observation, strong motion distribution*

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震では、被災地域の状況把握の遅れが救援活動の遅れを招き、地震被害が拡大するに至った。この経験を踏まえ、地震直後の地震動分布を即時に予測し、被害の軽減に役立てようとする試みが行われている。その手段として、地震計（あるいは震度計）を多数設置して、得られた強震観測データから地震動分布を把握する方法や、気象庁から速報される震源位置・マグニチュード等の震源情報から、地震動分布を数値計算で推定する方法が考えられる。しかし、観測記録から地震動分布を精確に把握するためには膨大な数の地震計が必要であり、大被害域の記録が即時入手される保証も無い。また、数値計算で地震動分布を推定する場合、即時に予測結果を導く必要性から距離減衰特性に地盤増幅を考慮したものが利用されることが多いが、強震動を生じたプロセスが考慮されない手法では、兵庫県南部地震の「震災の帯」に見られるような大震動域の再現は困難である。

本研究では、震源断層の破壊の進行や、深層から浅層までの地盤構造を考慮した標準的な地震動分布を予め計算しておき、地震発生後に即時入手された

強震観測データを用いて事前想定地震動分布を補正することにより、より現実に近い地震動分布を即時推定する方法を提案する。

2. 方法

兵庫県南部地震以後、活断層調査を目的とした反射法地震探査が積極的に実施され、活断層の規模とともに深層地盤構造が明らかになってきている。このような調査結果に基づき、断層破壊の進行や3次元的地盤の不整形性、表層軟弱地盤の非線形応答等を考慮した強震動予測の実用例が見られる。しかし、断層破壊の進行に関しては未知の部分が多く、将来発生するであろう大地震の断層破壊形態の予測は困難である。このため、ある特定の破壊パターンでは精確な地震動分布を再現できるが、震源断層の設定が異なった場合には、実際の地震動分布とはかけ離れた結果が与えられることが懸念される。そこで、このような震源断層の仮定の相違を、強震観測記録を用いて即時補正することを考える。

ここで、強震観測情報（震度あるいは最大加速度、最大速度）は即時入手され、震源位置やマグニチュード等の震源情報も、即時入手されるとものと仮定

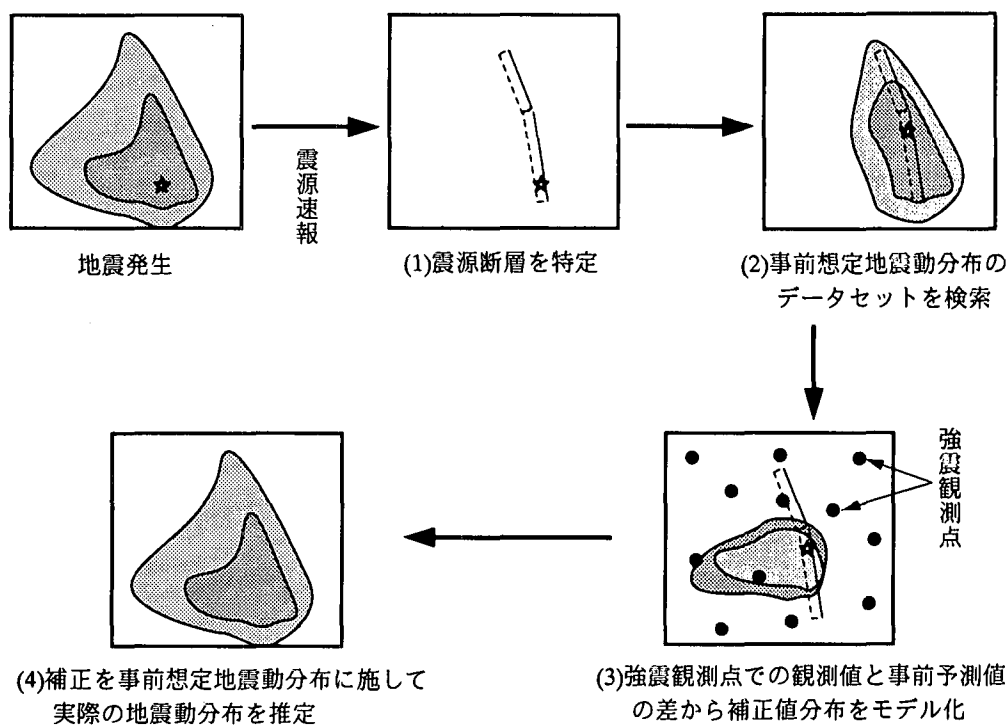


図-1 提案手法のフロー

する。本手法では、地震発生後、まず(1) 気象庁発表の震源位置とマグニチュードから、「どの断層系がどの程度の長さ（あるいは面積）で活動したか」を推定し、(2) 予め計算しておいた特定活断層で想定される地震動分布のうち、(1)に近いデータ・セットを検索して呼び出す。次に、(3) 即時得られた強震動観測値と、(2)で選択された事前想定モデルにおける、その観測点での強震動予測値の差（補正值）を求め、得られた全観測点の情報から、(2)の計算域全体の補正值の分布をモデル化する。そして、(4) (3)で得られた補正を(2)の事前想定地震動分布に施すことにより、(2)で仮定した震源断層の相違を補正した地震動分布を得る。以上の概念を図-1に示す。この方法では、精確だが時間のかかる数値計算を事前に行うことでデータベース化しておくことにより、即時対応を可能とし、観測記録が得られていない地点でも、その地点における地盤応答特性を考慮した情報の補間がなされ、地震動分布を大きな誤り無く推定できると期待される。

3. 適用と考察

提案手法による地震動分布の再現性を確認するために、簡単な数値実験を試みる。まず、断層破壊過程の異なる2ケースの地震動分布を、数値計算で求める。計算にあたり、Boore(1983)の震源特性を持つ人工小地震波²⁾に、観測点までの伝播経路特性を数

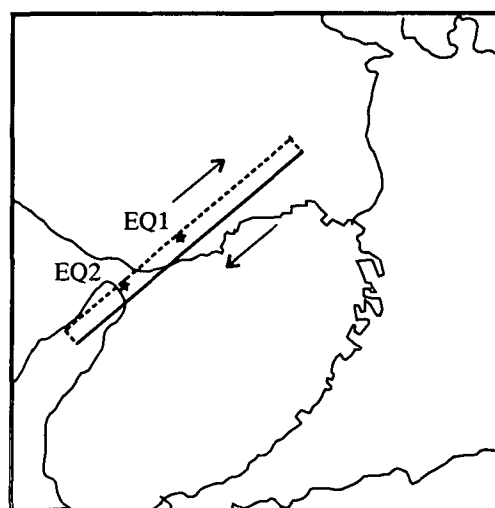


図-2 想定地震断層

値計算で与え、Irikura(1986)²⁾に従って重ね合わせてゆく方法を用いる〔香川(1996)³⁾〕。このとき、宮腰他(1997)⁴⁾による大阪地盤モデルを導入し、地盤応答倍率を考慮しておく。想定断層は六甲淡路断層系とし、長さ45km、幅21km、傾斜82.5度の断層面に $M_0=5.0 \times 10^{26} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ ($M_w=7.0$) の右横ずれ破壊が生じた場合を想定する(図-2)。図-3、4に、断層中央の深部(EQ1)を破壊開始点とする場合(ケース1：事前想定地震と仮定)と、深さは同じだが明石海峡部(EQ2)を破壊開始点とする場合(ケース2：実際に発生した地震と仮定)の計測震度分布を示す。た

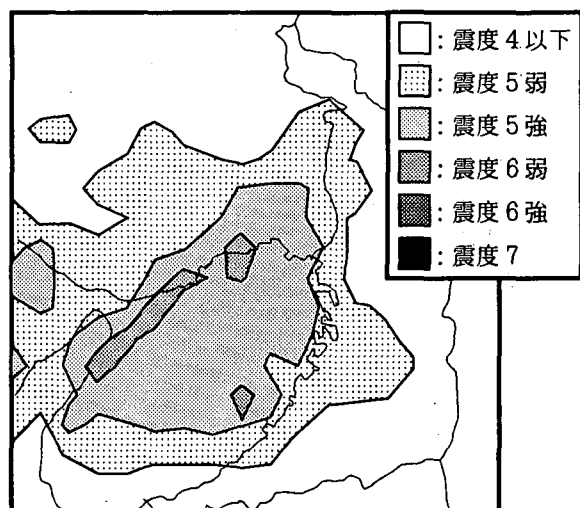


図-3 EQ1から右横ずれ破壊した場合の地震動分布
(一様破壊；事前想定)

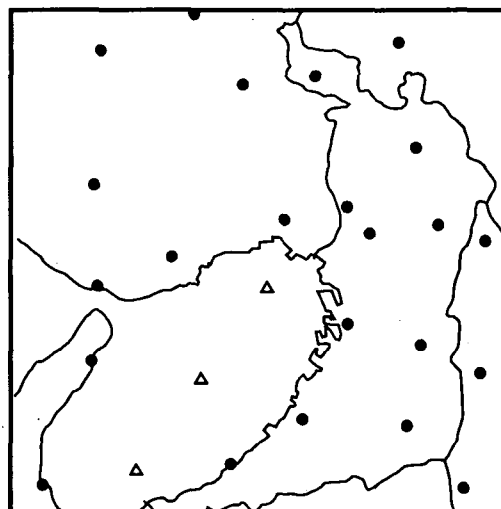


図-5 K-NETの強震観測点 (●) と
仮想観測点 (△) の位置

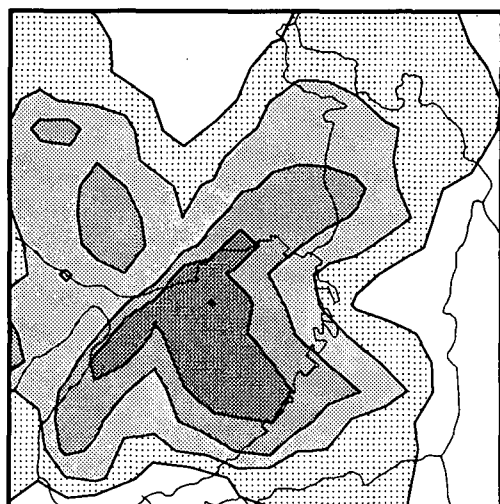


図-4 EQ2から右横ずれ破壊した場合の地震動分布
(断層中央下部にアスペリティ有；実地震と仮定)

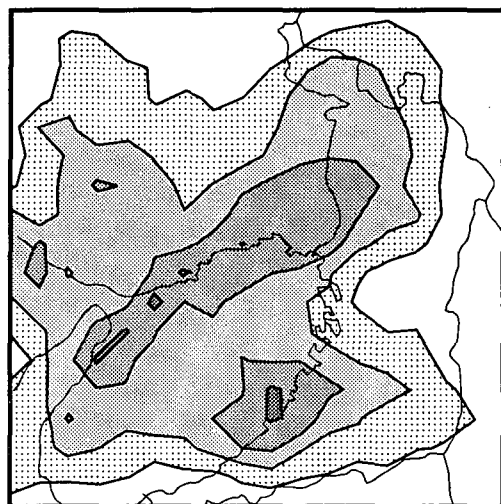


図-6 提案手法による補正を施した地震動分布
(K-NETの強震観測点を適用した場合)

だし、前者は一様破壊を、後者は断層の中央下部にアスペリティを持つ場合を想定している。震源破壊過程の違いにより、震度分布に大きな差が見られる。なお、本論で示す地震動分布図は、すべて図-3に示す凡例に従う。

本数値実験では、科学技術庁防災科学技術研究所の地震観測システム「Kyoshin Net (K-NET)」の観測点での計測震度情報が、地震発生後に即時得られたと仮定し、これを用いて事前想定地震動分布の補正を行う。K-NETの観測点の位置を、図-5中に黒丸で示す。ここでは、ケース2の断層破壊が生じた場合の、各観測点における計測震度を観測値とする。この値と、ケース1による各観測点の事前想定値の差を、2次元3次Bスプライン関数でモデル化し、それを補正值として図-3の事前想定地震動分布に施した結果が図-6である。陸上部では、少ない観測情

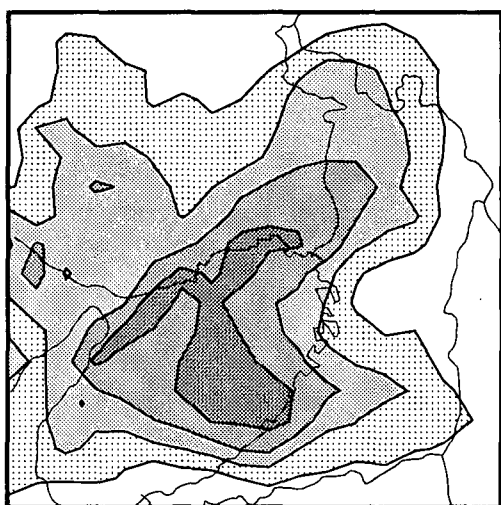


図-7 提案手法による補正を施した地震動分布
(K-NETの強震観測点と3点の仮想観測点を適用した場合)

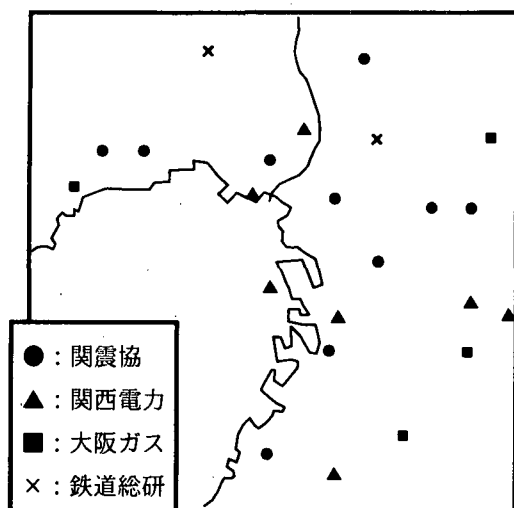


図-8 兵庫県南部地震の推定地震動分布を求めるために適用した強震観測点の位置



図-9 提案手法による補正を施した兵庫県南部地震の推定地震動分布

報から、実際に発生した地震の地震動分布が良好に再現されているが、大阪湾内には地震計が設置されていないため、湾内の地震動は、全体的に過小評価されている。そこで、既に陸上部に設置されている地震計に加え、大阪湾内にK-NETと同等の密度で地震計を3台設置した場合を想定した。その位置を、図-5中に三角で示す。これらの観測点の情報を用いて、図-6と同様におこなった計算結果を、図-7に示す。特に地震計が希薄な地域では、図-4の地震動分布とは異なった分布を示すが、全体的な傾向は、非常に類似したものとなっている。

次に、ケース1の事前想定と平成7年兵庫県南部地震の観測値から、地震動分布の再現を試みる。観測値として、図-8に示す、関西地震観測研究協議会（関震協）、関西電力(株)、大阪ガス(株)、(財)鉄道総合技術研究所⁹⁾が公開した強震観測記録を用いて計算した計測震度を用いる（ただし、関震協と近接している関西電力(株)の新神戸地点、大阪ガス(株)の千里・岩崎・東部供給所は、ここでは除外した）。これらの観測点での計測震度情報が、地震発生後に即時入手されたと仮定して、地震動分布の再現を試みる。図-9にその結果を示す。事前想定が堆積盆地端部の不整形地盤の効果や湾岸域を中心とする非線形応答を表現していないため、「震災の帯」が精確には再現されていないものの、神戸から西宮・宝塚にかけての断層方向の大震動域が、非常に良好に再現されている。

4. 結論

断層破壊の進行、地盤構造の影響を考慮して予め計算した地震動分布を、即時入手された強震観測デ

ータを用いて補正することにより、より現実に近い地震動分布を即時推定する方法を提案し、その妥当性を示した。ここで提案した手法は、被害想定基礎とする想定地震動分布を有効利用し、その不備を補いつつリアルタイム地震防災に應用しており、合理的な即時地震動分布推定手法と考えられる。

ここでは、断層破壊過程の差違を主対象としたため、3次元的地盤の不整形性や表層軟弱地盤の非線形応答を十分に考慮せずに想定地震動分布を作成したが、より精確な地震動を推定するためには、これらを考慮することが望ましい。

謝辞：本研究では、JR警報地震計(FDシリアル番号R-006)、関西地震観測研究協議会、同協議会を通して提供されている関西電力(株)と大阪ガス(株)の強震観測記録を使用しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Boore, D. M. : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 73, No. 6, pp.1865-1894, 1983.
- 2) Irikura, K. : Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, 7th Jpn. Earthq. Eng. Symp., pp.63-104, 1986.
- 3) 香川敬生：断層破壊過程を考慮した模擬地震波の作成、強震動予測に関する総合的研究、平成7年度科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書, pp.53-62, 1996.
- 4) 宮腰 研, 香川敬生, 越後智雄：大阪平野の深部地下構造のモデル化について(2), 地球惑星科学合同学会, 1997年度合同大会予稿集, B42-06, pp.116, 1997.
- 5) 中村 豊, 上半文昭, 井上英司：1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析(II), JR地震情報 No.23d, 財団法人鉄道総合技術研究所ユレダス開発推進部, 1996年3月.