

# 2001年芸予地震の地震動分布と被害の関係

齋田 淳<sup>1</sup>・Khosrow T. Shabestari<sup>2</sup>・山崎 文雄<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 兵庫県三木市福井三木山 2465-1)

<sup>2</sup>工博 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒673-0433 兵庫県三木市福井三木山 2465-1)

<sup>3</sup>工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

2001年芸予地震の際に K-NET および KiK-net の観測点で得られた強震記録を用いて距離減衰式を構築した。この式による基盤面の地震動分布を Kriging 法を用いて空間的に補間し、さらに国土数値情報を用いた地形・地質分類ごとの地盤の増幅度を考慮することで、地表面における地震動の最大加速度・最大速度・計測震度などの各種指標値の分布を 1 km メッシュ単位で推定した。また、この結果を用いて、鉄道等の構造物に対する実際の被害と地震動の各種指標値との関係を検討した。これらの検討結果により、本手法により推定した地震動の各種指標値分布は、地震直後の被害状況を把握するうえで有効に活用できることを確認した。

**Key Words :** The 2001 Geiyo Earthquake, damage survey, attenuation relationship, Kriging, damage estimation

## 1. はじめに

2001年3月24日15時27分、安芸灘を震源とする2001年芸予地震が発生した。この地震の規模は $M_j=6.4$ 、深さ51 km、広島県内で最大震度6弱が記録された。また、この地震により、死者2名・負傷者288名という人的被害が発生したほか、住家の全壊49棟・半壊306棟といった建物被害、液状化・斜面崩壊といった地盤被害、新幹線や高速道路の構造物等への被害といったライフライン被害など、多くの被害が発生した。

ここでは、防災科学技術研究所が設置した K-NET や KiK-net により記録された地震波形を用いて距離減衰式を構築し、さらに空間的補間法を用いて地震動の空間的分布を推定する。また、実際の被害状況と、推定した地震動の各種指標値の分布を比較する。

## 2. 地震動指標値の距離減衰式の構築

地震動の各種指標値を推定するにあたり必要となる基盤面における距離減衰式を構築した。なお、以下の検討は、近畿・中国・四国・九州の各地方の2府22県を対象として行い、強震波形はこの地方に設置された K-NET 276 地点・KiK-net 178 地点で記録されたものを用いた。

基盤面としては、国土数値情報を大西ほか<sup>1)</sup>の方法により分類した「山地」相当とし、各指標値ごとに観測値を増幅度で除することにより基盤面相当の値に換算した。また、気象庁の決めた震源と Yagi and Kikuchi<sup>2)</sup>による震源メカニズムから震源断層の位置を決め、これに基づいて断層までの最短距離を算出した。

以上の結果を用いて回帰分析を行うことで距離減衰式を構築した。関数形は既往の研究<sup>3)</sup>にならった

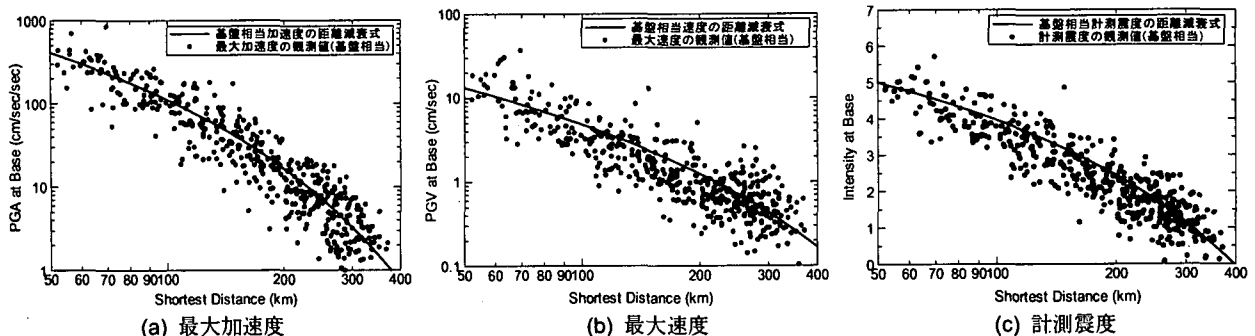


図-1 芸予地震の観測波形を用いた基盤相当の距離減衰式と基盤相当観測値

が、震源深さが 51 km と比較的深い地震であったため、震源近傍における頭打ちについては考慮していない。

今回構築した最大加速度・最大速度・計測震度の距離減衰式を式(1)~(3)に、距離減衰式と「山地」相当に換算した観測値の関係を図-1 に、それぞれ示す。

$$\log_{10} PGA_{BASE} = 4.578 - 0.00528 \times r - \log_{10}(r) \quad (1)$$

$$\log_{10} PGV_{BASE} = 2.969 - 0.00286 \times r - \log_{10}(r) \quad (2)$$

$$I_{BASE} = 8.695 - 0.00956 \times r - 1.89 \times \log_{10}(r) \quad (3)$$

ここで、 $PGA_{BASE}$  は基盤面相当の最大加速度値 ( $\text{cm/sec}^2$ )、 $PGV_{BASE}$  は基盤面相当の最大速度値 ( $\text{cm/sec}$ )、 $I_{BASE}$  は基盤面相当の計測震度、 $r$  は震源断層までの最短距離(km)をそれぞれ示す。

### 3. 地震動の面的分布の推定

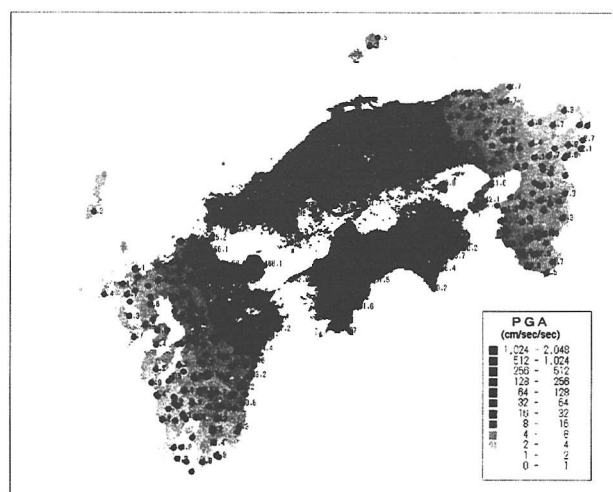
地震動指標値の空間分布の推定には、山崎ら<sup>4)</sup>が提案した基盤面における距離減衰式をトレンド成分とする Kriging 法による空間補間を用いた。この方法は、平均値と共分散を既知とする Simple Kriging 法<sup>9)</sup>を用いて、トレンド成分と観測地点における換算観測値との残差を補間する。このために必要となる共分散関数は、山崎ら<sup>4)</sup>にしたがい、距離の 1 乗に比例するような指数関数とし、相関距離として 5.0 km を仮定した。また、この推定方法を用いる場合には地震動の各指標ごとに増幅度が必要となるが、対象地域を全て網羅する地盤データとして国土数値情報を利用することが考えられる。したがって、増幅度としては距離減衰式を構築した際と同じく、大西ら<sup>1)</sup>が提案する国土数値情報の地形・表層地盤による 11 分類を用いることとした。

空間分布の推定手順を以下にまとめる。

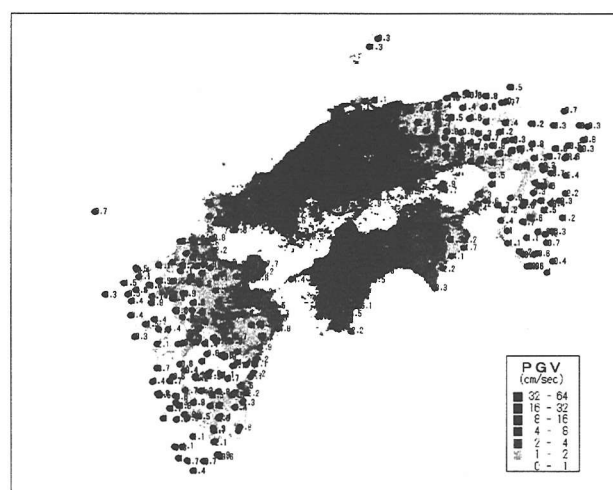
- ①前章で構築した距離減衰式をトレンド成分とし、それと基盤における観測値との残差を Kriging 法を用いて補間する。この結果、基盤面における 1 km メッシュごとの地震動指標値が推定される。
- ②基盤面での推定値に増幅度を乗ずることにより、地表面における各メッシュごとの各指標値を算出する。

実際に Kriging を行うにあたっては、狭い範囲に複数の地震計があり、かつその値に大きな差があると補間が困難になる場合が生じうる。このため、10 km の範囲内に複数の観測点が存在している場合には、その中で計測震度が最大の地点のみを選択した。この結果、Kriging に用いた観測点は 358 地点(K-NET 240 地点・KiK-net 118 地点)となった。

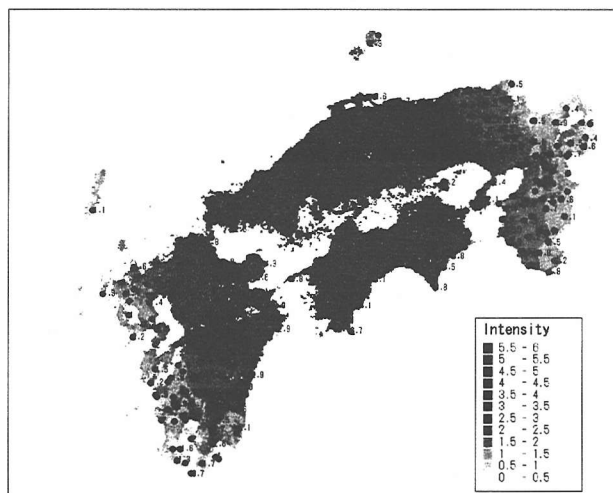
図-2 に、地表面における地震動の各種指標値をメッシュごとに推定した値の分布を示す。この図から、たとえば最大加速度の場合、地表面で 1 G を越える



(a) 最大加速度



(b) 最大速度



(c) 計測震度

図-2 芸予地震の観測波形を用いた地表面における地震動指標の推定値

地震動が推定されたメッシュが存在していることが分かる。この推定手法によると、地震観測点を含むメッシュではほぼ実測値と等しく、観測点間では地盤震動特性を加味した距離減衰式に漸近するような



埋立地および水田であり<sup>6)</sup>、軟弱地盤で増幅された地震動によりこのような被害が生じたものと考えられる。なお、これらの被災地点を含むメッシュは、国土数値情報に基づく分類によると、「埋立地」「三角州性低地(泥・粘土)」となっている。

また、広島市内の新幹線構造物では、広島駅西方約2 kmの在来線横川駅付近の新幹線架道橋で電架柱が被災し、斜材でサポートすることで仮復旧した。

この被災地点から約3 km離れたところにはK-NET広島観測点がある。また約10 km離れたところにK-NET東広島観測点があるが、付近の新幹線高架橋においては、とくに被害の報告はない。表-1には両観測点で得られた観測値をあわせて示している。さらに、図-5には、K-NET広島観測点とK-NET東広島観測点の観測波形による加速度応答スペクトル(減衰5%)を示す。

新幹線構造物の電架柱の場合、一般に固有周期は1.8-2 Hzであることが知られている<sup>7)</sup>。しかし図-5では、両観測点とも電架柱の固有周期に対応するピークはみられない。国土数値情報に基づく分類では、電架柱の被災地点とK-NET広島観測点の属するメッシュはともに「三角州性低地(泥・粘土)」に分類されており、地盤振動特性や観測された地震動は類似しているものと考えられる。また、より震源に近いにもかかわらず新幹線構造物に対する被害がみられないK-NET東広島観測点は「扇状地性低地」に分類されている。K-NET東広島観測点では、表-1に示したように相対的に観測値が小さくなっており、さらに図-5からわかるように、得られた加速度応答も小さな値になっている。これらのことから、電架柱の被害は地震動と共振したものとは考えにくく、大きな地震動により生じた被害であるか、または高架橋そのものと共振したことによる被害と考えられる。

なお、この電架柱に対する被害の近辺では、三菱重工グランドや廿日市市木材港南の埋立地で液状化

が発生している。これらの地点も「埋立地」「三角州性低地(泥・粘土)」に分類されており、地震動が大きく増幅され、それにより被害が発生したものと考えられる。

以上述べたように、ここで取り上げた被害発生地点は、国土数値情報による分類では大きな増幅度を持つ「埋立地」「三角州性低地(泥・粘土)」に分類された。また、すべての地点が最短断層距離50-60 kmのところに位置しており、被害のみられなかった地点よりも相対的に大きな地震動が推定されている。このことから、被害は地盤振動特性により地震動が大きく増幅され生じたものと考えられる。

## 5. おわりに

2001年芸予地震の際に観測された強震記録を用いて距離減衰式を構築し、空間補間の手法を用いて、地震動の各指標値の分布を国土数値情報の1 kmメッシュ単位で推定した。さらに、得られた結果と実際の被害を比較し、被害が発生した地点は大きな増幅度を持っており、地震動の各指標値が大きくなっていることを確認した。このことから、本手法を用いて地震動の各指標値を推定することで、大まかな被害状況を推定することができ、地震直後の被害分布の把握に有効に活用できるものと期待される。

今後は、他の観測機関による記録や詳細な被害データと比較するなどして、本手法の推定精度などについて検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 大西淳一, 山崎文雄, 若松加寿江: 気象庁地震記録の距離減衰式に基づく地点増幅特性と地形分類との関係, 土木学会論文集, No.626/I-48, pp.79-91, 1999.
- 2) Yagi, Y. and Kikuchi, M.: Rupture Process of The Geiyo Earthquake of March 24, 2001 (Mw 6.7), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/Aki-nada/index.html>, 2001.
- 3) Moras, G.L. and Yamazaki, F.: Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including Deep Focus Events, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, pp.1343-1358, 1995.
- 4) 山崎文雄, 大西淳一, 田山聡, 高野辰雄: 高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, Vol. 3, pp.3491-3496, 1998.
- 5) 野田茂, 星谷勝: 条件付確率場の補間法に関する一提案, 鳥取大学工学部研究報告, 28, pp.175-197, 1997.
- 6) (社)土木学会芸予地震被害調査団: 2001年3月24日芸予地震被害調査報告, <http://www.jsce.or.jp/report/index.html>, 2001.
- 7) 中村豊, 佐藤新二, 富田健司: 北海道南西沖地震による海峡線高架橋の被害, 鉄道総研報告, Vol. 8, No. 5, pp.13-18, 1994.

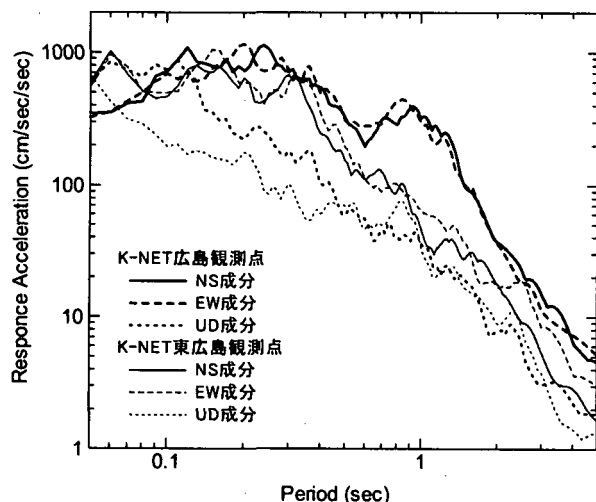


図-5 K-NET広島・東広島観測点の記録による加速度応答スペクトル(減衰5%)