

# 震源のスペクトル特性を考慮した既往地震における地震動推定

岐阜大学大学院 非会員○川出真嗣

岐阜大学工学部 非会員 田口孝則

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 久世益充

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 杉戸真太

長野高専環境都市工学科 正会員 古本吉倫

## 1. 背景と目的

既往地震の震源特性を把握し、被害地域の地震動特性を的確に推定することは、地震による被害分析等の地震防災における種々の検討において非常に重要である。近年、全国規模の地震動観測網の整備により、震源特性を把握する手がかりとなる震源域やその周辺地域の多数地点の地震動記録が入手可能となった。本研究では、地震動記録より既往地震の震源特性を推定し、この結果に基づいた地震動推定手法について検討した。

## 2. 地震動推定と既往地震における地震動補正法の概要

### 2.1 地震動推定の概要

本研究では、工学的基盤における非定常性を有する地震動算定法 (EMPR)<sup>1)</sup> を用いた地震動推定を行う。震源特性の推定結果を用いた地震動推定における地震動特性の補正効果について、図 1 に概念図を示す。

ある地点において観測された地震動記録①に対し、過去の地震動記録に基づいた地震動を算出することのできる EMPR を用いて、同図②に示すように地震動が推定される。EMPR では、過去の地震に基づいた平均的な地震動特性を有する地震動算定法であるため、②では当該地震特有の震源特性を反映することは難しい。そこで、2.2 で後述する震源のスペクトル特性推定法<sup>2)</sup> により得られた震源のスペクトル特性を、非定常パワースペクトルの重ね合わせ数として EMPR に取り入れる。これにより、算定した地震動は③のように観測波形のスペクトル特性を的確に推定することができる。

### 2.2 非定常パワースペクトルの重ね合わせ数の補正方法

EMPR では、個々の既往地震固有のスペクトル特性を M=6 相当の小規模断層における非定常パワースペクトルの重ね合わせ数として  $A_p(f)$  で表す。震源のスペクトル

特性推定法<sup>2)</sup> では、地震動記録に基づいて重ね合わせ数  $A_p(f)$  を次式のように補正できる。

$$A'_p(f) = \frac{\hat{\alpha}_m(f) \cdot \hat{t}_p(f)}{\alpha_m(f) \cdot \bar{t}_p(f)} \quad (1)$$

ここに、 $A'_p(f)$  は補正された重ね合わせ数、 $\bar{\alpha}_m(f)$ 、 $\bar{t}_p(f)$  は、EMPR における M=6 相当の小断層破壊による着目地点での非定常パワースペクトルのモデルパラメータ、 $\hat{\alpha}_m(f)$ 、 $\hat{t}_p(f)$  は、観測波形より計算される非定常パワースペクトルのモデルパラメータである。

このように、過去に発生した特定の地震を対象としその断層近傍の基盤相当の波形が得られている場合は、実際に得られた断層近傍の基盤波形より式 (1) を用いて、各震動数ごとのパワーの比が最適になるように重ね合わせ数を決定する。この重ね合わせ数を用いて地震動推定を行う。

以下に、この補正法を適用した事例を紹介し、補正の有効性について考察する。

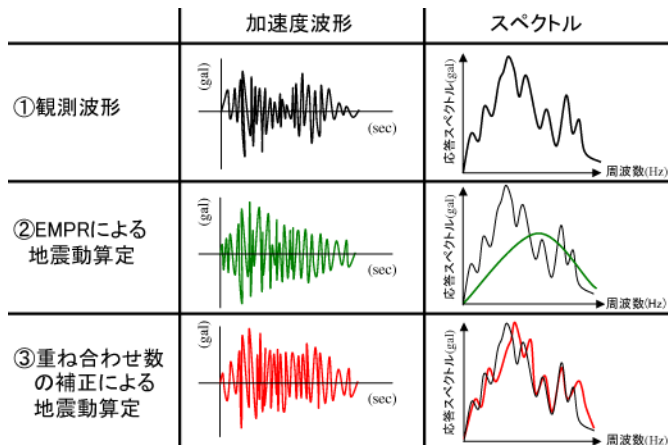


図 1 補正効果の概念図 (黒線で示した応答スペクトルは、観測記録より得られたスペクトルを示す)

表 1 対象地震動の緒元<sup>3)</sup>

|                          | 宮城県沖の地震<br>(三陸南地震)           | 2003年十勝沖地震                   | 2004年新潟県中越地震                 | 2007年新潟県中越沖地震                |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 発生年月日                    | 2003年5月26日                   | 2003年9月26日                   | 2004年10月23日                  | 2007年7月16日                   |
| マグニチュード                  | 7.1                          | 8.0                          | 6.8                          | 6.6                          |
| 震源深さ                     | 72km                         | 45km                         | 13km                         | 17km                         |
| 観測地点数(KiK-net)           | 28地点                         | 42地点                         | 13地点                         | 13地点                         |
| 断層(長さ、幅)                 | 28km×18km                    | 140km×160km                  | 42km×24km                    | 30km×24km                    |
| 断層の面積                    | 504 km <sup>2</sup>          | 22400 km <sup>2</sup>        | 1008 km <sup>2</sup>         | 720 km <sup>2</sup>          |
| 地震モーメント(M <sub>0</sub> ) | 7.6×10 <sup>26</sup> dyne・cm | 3.2×10 <sup>28</sup> dyne・cm | 1.2×10 <sup>26</sup> dyne・cm | 1.6×10 <sup>26</sup> dyne・cm |
| 傾斜角                      | 67°                          | 20°                          | 47°                          | 49°                          |

### 3. 対象地震と波形データセットの概要

対象とする地震動の一覧を表 1 に示す。これらは、KiK-net<sup>3)</sup>において地震動が得られている地震である。震源特性の推定に用いる地点は、比較的震源近傍の地点であり、かつ地震動レベルが比較的大きなデータを選定した。この結果、三陸南地震と十勝沖地震については、計測震度で 4.0 以上の比較的震源近傍の地点、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震においては、新潟県内の地点を選定した。

震源特性の推定では、表層の地震動増幅の影響が少ない工学的基盤相当 ( $V_s=500\text{m/sec}$ ) に変換した波形を用いる。具体的には、周波数依存型等価線形法である FDEL<sup>4)</sup>と各地点の地盤モデルを用いて、KiK-net の地中記録より工学的基盤に相当すると思われる層 ( $V_s=500\text{m/sec}$  に近い比較的硬い層) の解放基盤波形に変換する。その後、翠川<sup>5)</sup>に基づき、せん断波速度が  $500\text{m/sec}$  相当になるように振幅調整を行う。

### 4. スペクトル特性の補正による地震動算定事例

震源のスペクトル特性を推定した結果の事例として、図 2 に (a)2004 年新潟県中越地震、(b)2007 年新潟県中越沖地震における重ね合わせ数をそれぞれ示す。前述のように、図 2 では、新潟県内で観測された KiK-net の地震動記録から工学的基盤相当に変換可能な 13 地点を選定した。なお、図 2 では EW, NS 成分別に示したが、両者の方向成分で顕著な違いは見られなかった。また、図 2 において、観測値の平均値より大きく外れている地点については、その地点特有の特に深部地盤の影響などが考えられるため、今後各地点における個別の検討が必要である。

図 2 に示したように、震源のスペクトル特性である重ね合わせ数を算出することで、その地震特有のスペクトル等の特徴を知ることができる。この図から、断層の地震モーメントのみから推定される  $M=6$  相当の非定常スペクトルの重ね合わせ数 (黒い実線) と比較した当該地震の固有の情報を見ることができる。両地震とも  $1\text{Hz}$  より高い高周波成分において、当該地震の重ね合わせ数が EMPR より低い傾向が見られる。その一方で、 $1\text{Hz}$  より低い低周波成分において、2004 年の新潟県中越地震では EMPR より大

きな重ね合わせ数となる周波数帯が見られる。このように、与えられた地震モーメントに対する平均的な重ね合わせ数と当該地震による固有の平均的な重ね合わせ数を比較することにより、個々の地震の震源特性を把握することができる。さらに、得られた推定結果に基づく補正係数を導入することによって、固有のスペクトル特性を取り入れた任意地点での地震動推定が可能となる。

### 5. まとめ

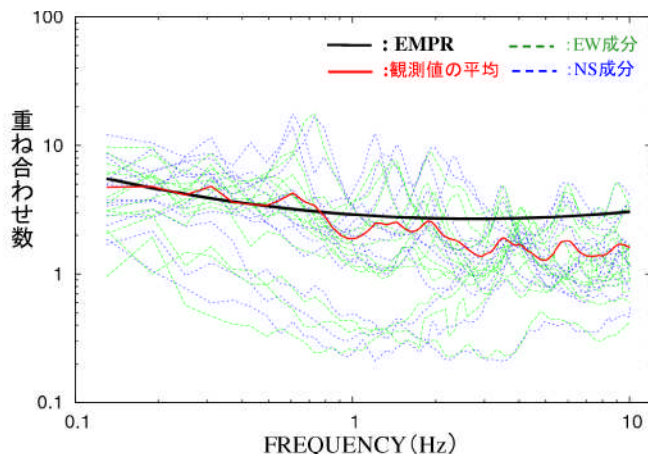
本研究では、既往地震の震源特性を取り入れた地震動算定を行うため、震源のスペクトル特性を考慮した地震動推定を行った。その結果、各々の地震の特徴を把握することができた。さらに、その地震特有の特徴を表現した重ね合わせ数を反映させたシミュレーションが可能である。今後、震源のスペクトル特性を考慮した波形の精度について検証し、補正法の効果について考察していく。

図 2 で示したように、重ね合わせ数が平均値から大きく外れている地点があるため、その要因について個別に検討していく必要がある。その一方で、断層規模が比較的大きい場合、震源特性に加えてアスペリティーの影響が大きいことより、インバージョン<sup>6)</sup>結果を加えた推定法の検討が必要と考えられる。

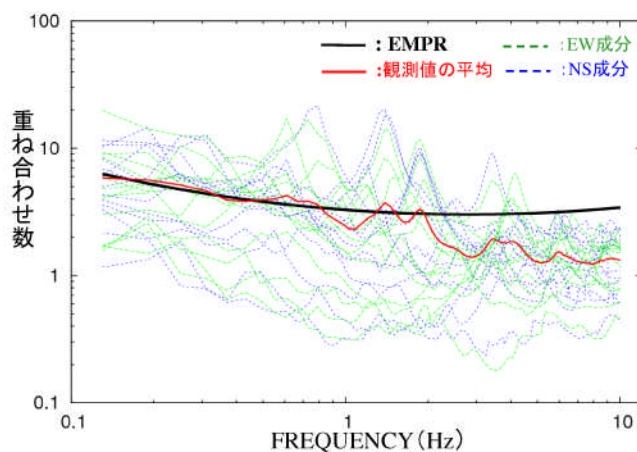
謝辞:本研究では、防災科学技術研究所の強震動記録を使わせて頂きました。記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T. : Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.2111. (CD-ROM). 2000.2.
- 2) 古本吉倫, 杉戸真太, 梅原秀哲 : 非定常スペクトル合成法による 1995 年兵庫県南部地震における強震動の推定, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp.573-578, 2002.11.
- 3) 防災科学研究所, 強震観測網 (K-NET, KiK-net):[http:// www. kyoshin. bosai. go. jp/kyoshin/](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/)
- 4) 杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫 : 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No493/III-27, pp.49-58, 1994.6.
- 5) 翠川三郎 : 関東平野を対象とした震度分布予測, 構造工学論文集, Vol.33B, pp.43-48, 1987.3.
- 6) Kuse, M., Sugito, M., and Nojima, N. : Prompt Estimation of Strong Ground Motion Near Focal Region Based on Fault Inversion from Acceleration Records, 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, Paper No.03-01-0052, 2008.10.



(a)2004 年新潟県中越地震



(b)2007 年新潟県中越沖地震

図 2 新潟県で発生した地震における震源のスペクトル特性の比較