

直交水平 2 成分を用いた強震動指標の相互関係の定量的評価

岐阜大学大学院自然科学技術研究科 学生会員 ○横山太郎
岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂

1. はじめに

地震動予測式の多くは、直交水平 2 成分の観測記録から算出される指標に基づいて構築されている。2 成分の扱いに関しては、2 成分を別個とした扱い、2 成分の幾何平均や大きい方の値、軸回転により得られる値の全方位中の最大値や中央値などがある。予測式によって採用される指標は異なるため、予測式の適用にあたっては指標の違いに注意する必要がある。元木ら¹⁾は、幾何平均と最大値を用いた予測式の間の差異に着目し、予測式間のばらつきを小さくするために補正係数を用いる方法を示した。本研究では、全方位中の中央値を基準として、その他の指標がとる値の比のばらつきに着目し、その分布形状を明らかにすることで強震動指標の相互関係を定量的に評価するものである。

2. 本研究で扱う評価指標

比較対象とする強震動指標は、直交水平 2 成分の地震動波形（NS 成分と EW 成分）を用いて算出される以下の 5 種類であり、中央値を基準と考える。

- ・ (NS, EW) : NS, EW を別個として両方扱う
- ・ GM : NS, EW の幾何平均をとる
- ・ Larger : NS, EW のうち大きな値を扱う
- ・ rot100 : 全方位中の最大値²⁾
- ・ rot50 : 全方位中の中央値²⁾

以下では、rot50 に対する各指標の比率を算出してその分布形状について考察する。

3. 加速度波形を用いた指標間の相互関係

ここでは 2011 年東北地方太平洋沖地震において K-NET で得られた 691 観測記録を対象とした例を示す。横軸に rot50、縦軸に rot50 に対する各指標の比率を取り、両対数軸で表したものを図 1 に示す。指標 GM および (NS, EW) については平均値 1 の周りにばらつき、指標 rot100 および Larger については 1 以上に偏った分布を示している。いずれの指標の比率も、横軸の指標 rot50 との間に関連性は見られず、振幅依存性はないと

判断できる。各指標の rot50 に対する比率の分布形状を表すカーネル密度曲線を図 2 に示す。比率の順序は (NS, EW), GM < Larger < rot100 となっている。(NS, EW) は、比率の平均値がほぼ 1 でばらつきが大きい。GM も平均値はほぼ 1 となるが、ばらつきは最小である。Larger は、NS と EW の極値分布に相当するため、大きい方向に分布がシフトして、正の歪をとる。rot100 は、指標の中で最も大きい比率をとり、正の歪をとる。

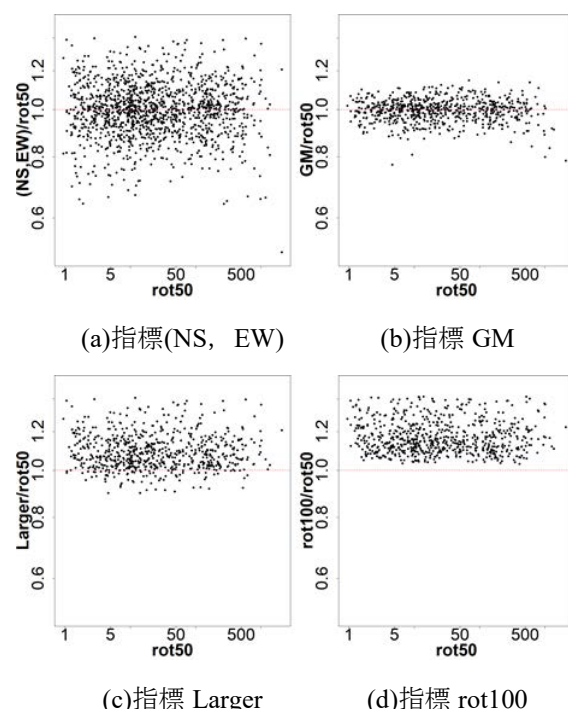


図 1 各地点の rot50 と rot50 に対する各指標の比率関係

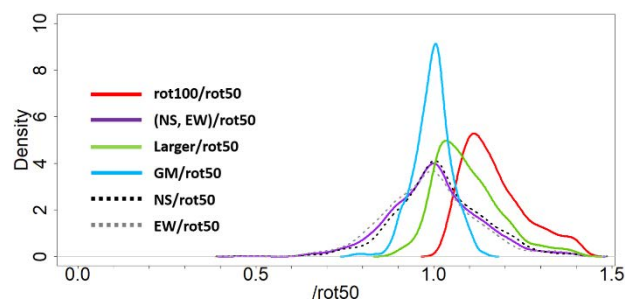


図 2 rot50 に対する各指標の比率のカーネル密度曲線
指標 GM のばらつきの程度について確率論的考察を行う。ここでは EW, NS が同一の確率分布に従うと仮

キーワード 地震動予測式, 直交水平 2 成分, 強震動指標, カーネル密度曲線, 確率密度関数

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学大学院自然科学技術研究科 TEL:058-293-2416

定する．また，幾何平均は対数変換により算術平均となることを利用する．自然対数変換した $\log_e \text{EW}/\text{rot50}$ および $\log_e \text{NS}/\text{rot50}$ の標準偏差を σ ，相関係数を ρ とすると，平均値の標準偏差 σ_z は次式で与えられる．

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{(1+\rho)}{2}} \sigma \quad (1)$$

標準正規分布の場合の式(1)を図3に示す．ばらつきは，正相関から無相関になるにつれて小さくなり，さらに負相関になるにつれて，急激に小さくなることが確認できる．図4は $\log_e \text{EW}/\text{rot50}$ と $\log_e \text{NS}/\text{rot50}$ の散布図を示す．相関係数は-0.684であり，式(1)より標準偏差は 0.40σ となる．これより，図5に見られるように指標 GM の標準偏差が 40%程度に小さくなることが説明できる．

次に，指標 Larger について，図2に示すような分布になることに関して定量的に考察する．EW/rot50 と NS/rot50 が同一の確率分布に従うと仮定し，累積分布関数と確率密度関数をそれぞれ $F(x)$ ， $f(x)$ と置き，指標 Larger の確率密度関数を $f_{\text{Larger}}(x)$ と置く．x/rot50 と y/rot50 の関係が独立，完全正相関，完全負相関の場合の $f_{\text{Larger}}(x)$ はそれぞれ式(2)，(3)，(4)で表される．

$$f_{\text{Larger}}(x) = 2F(x)f(x) \quad (2)$$

$$f_{\text{Larger}}(x) = f(x) \quad (3)$$

$$f_{\text{Larger}}(x) = 2f(x) \quad (x \geq \mu) \quad (4)$$

式(2)は2変量の極値分布であり，確率密度関数は右方向にシフトする．式(3)は必ず同一の値となるため確率密度関数は変化しない．式(4)は元の確率密度関数の右半分の2倍であり，確率密度関数は式(2)よりもさらに右方向にシフトする．標準正規分布の場合の式(2)～(4)を比較したものを図6に示す．x/rot50 と y/rot50 の相関係数が一般の場合， $f_{\text{Larger}}(x)$ は厳密に定式化できない．

しかし，本研究の場合は負相関であることが明確であることから，式(2)と式(4)の中間的傾向を示すと考えられる．図2の指標 Larger のカーネル密度曲線は，図6に示される負相関の範囲に対応していることがわかる．

5. まとめ

直交水平2成分を用いて算出される各指標の相互関係を定量的に評価するために，対象地震の加速度記録を用いて各指標の値を算出した．さらに rot50 を基準とする比率を算出し，カーネル密度曲線を用いて分布形状を把握した．その結果，比率は(NS, EW)，GM < Larger < rot100 という順序となり，指標 Larger と rot100 は正の歪を持つ分布となることを確認した．また，指標

GM，Larger に関する分布形状について確率論的考察を行い，指標 GM についてはばらつきの程度，指標 Larger については確率密度関数を定式化した．

今後は，指標相互の関係を表す分布形状をモデル化し，指標間の補正を行う方法に関する検討を進める．

参考文献

- 1) 元木健太郎・加藤研一・赤司二郎・本村一成・東章吾：応答スペクトルの水平成分の処理方法が距離減衰式の予測値に与える影響，日本地震工学会・大会－2015 梗概集，pp.1-8.
- 2) Boore, D.M.: Short Note, Orientation-Independent, Nongeometric-Mean Measures of Seismic Intensity from Two Horizontal Components of Motion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.100, No.4, pp.1830-1835, 2010.

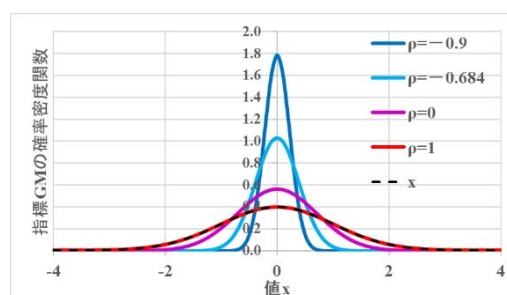


図3 標準正規分布の場合の式(1)

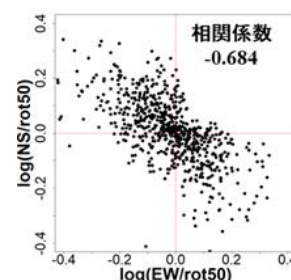


図4 対数変換した NS と EW の散布図と相関係数

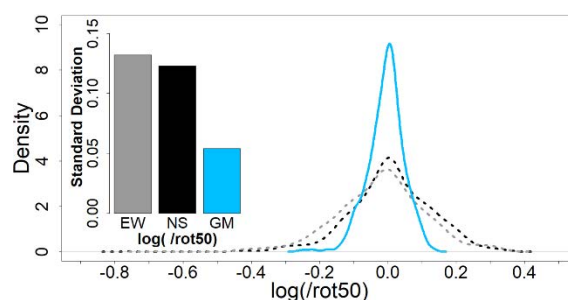


図5 対数変換した指標 GM，NS，EW の比率分布

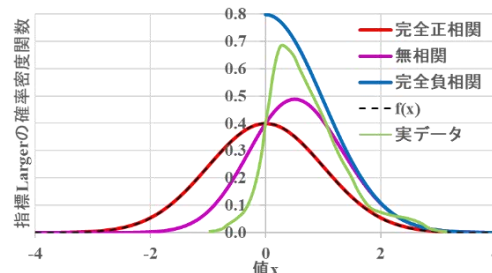


図6 標準正規分布の場合の式(2)，(3)，(4)と実データ