

震度継続時間の予測モデルの2014年長野県神城断層地震への適用と検証

岐阜大学工学部 正会員 ○能島 暢呂

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 久世 益充

1. はじめに

地震動継続時間の適切な評価は地震工学・地震防災上の重要課題である。筆者の一人は、震度情報を与件とした震度継続時間の条件付予測式として、震度が確定的に与えられる場合の予測式を提案した¹⁾。さらに、距離減衰式に基づく震度予測式と、予測震度を条件とした継続時間の条件付予測式を統合して、予測震度の不確定性を考慮して、震度継続時間の予測値の期待値および標準偏差の近似解を確率論的に定式化し、これにより震度・継続時間の一貫した経験的予測体系を構築した²⁾。本研究ではその予測モデルを2014年長野県神城断層地震に適用して震度・継続時間の同時予測のケーススタディを行い、予測精度に関する検証を行った。

2. 震度継続時間の予測モデルの概要

予測震度 I が確定的に与えられる場合、震度閾値 I^* を上回る震度継続時間 D_{UAI} [s] は次式で予測される¹⁾。

$$\log D_{UAI} = i_1 \log(\Delta I) + i_2 \{\log(\Delta I)\}^2 + m \cdot M_w + r \cdot \log R + v \cdot \log AVS_{30} + z \cdot \log Z_{1.4} + \sum_k F_k \cdot f_k + c \tag{1}$$

ここに $\Delta I = I - I^*$: 予測震度 I と震度閾値 I^* との震度差, M_w : モーメントマグニチュード, R [km] : 断層最短距離, AVS_{30} [m/s] : 着目地点における平均 S 波速度, $Z_{1.4}$ [m] : S 波速度 $V_s=1400$ m/s 上面深さ, F_k : 地震タイプを表す二値ダミー変数 (F_1 : 内陸地殻内, F_2 : プレート境界, F_3 : プレート内), c : 定数項であり, $i_1, i_2, m, r, v, z, f_1, f_2, f_3$ はモデル係数である ($f_1=0$ は固定)。予測震度 I の不確定性を考慮する場合には、予測震度に関する条件を付さない震度継続時間予測式として、期待値 $E[\log D_{UAI}]$ と分散 $Var[\log D_{UAI}]$ が次式で定式化されている²⁾。

$$E[\log D_{UAI}] = P(I \leq I^*) \cdot E[\log D_{UAI} | I \leq I^*] + P(I > I^*) \cdot E[\log D_{UAI} | I > I^*] \tag{2}$$

$$Var[\log D_{UAI}] = P(I \leq I^*) \cdot \{E[\log D_{UAI}] - E[\log D_{UAI} | I \leq I^*]\}^2 + P(I \leq I^*) \cdot Var[\log D_{UAI} | I \leq I^*] + P(I > I^*) \cdot \{E[\log D_{UAI}] - E[\log D_{UAI} | I > I^*]\}^2 + P(I > I^*) \cdot Var[\log D_{UAI} | I > I^*] \tag{3}$$

3. 2014年長野県神城断層地震への予測モデルの適用

長野県神城断層地震は2014年11月22日22時08分に長野県北部を震源として発生した地震である、気象庁の発表によると、 $M_J=6.7$ 、震源は北緯36度41.5分、東経137度53.4分、深さ5km、地震モーメント $M_0=2.98 \times 10^{25}$ (dyne-cm)、 $M_w=6.2$ と求められている。強震動予測のレシピを用いて M_0 から正方形断層面を仮定すると、断層面積 S (km²) = $2.23 \times 10^{-15} \times M_0^{2/3}$ より断層長さ・幅ともに14.62kmと求められ、ここでは15km四方の正方形断層面とした。震源位置、セントロイド位置、余震分布、地表地震断層、地殻変動分布などを参考に、断層基準点(南東端)を北緯36.640°、東経137.843°、走向N20°E、傾斜角45°、断層上端深さは0kmとした。これに基づいて、Morikawa and Fujiwara³⁾による震度の距離減衰式(MF2013式)と地震ハザードステーション(J-SHIS)の公開データより AVS_{30} と $Z_{1.4}$ を用いて震度分布予測を行った結果を図1に示す。震度3.5以上の震度継続時間の予測分布を図2に示す(1列目:式(1)による期待値, 2列目:式(1)による期待値+標準偏差, 3列目:式(2)による期待値, 4列目:式(2)(3)による期待値+標準偏差)。

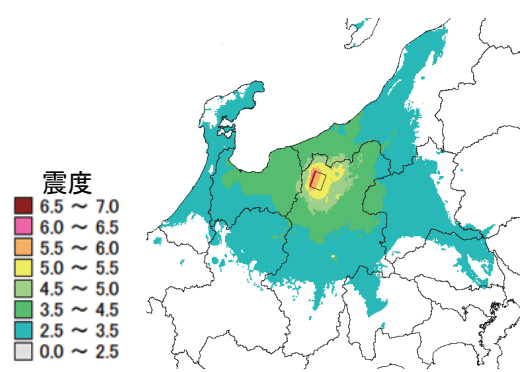


図1 予測震度分布

キーワード 震度継続時間, 閾値超過, 予測モデル検証, 長野県神城断層地震
連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部 Tel 058-293-2416

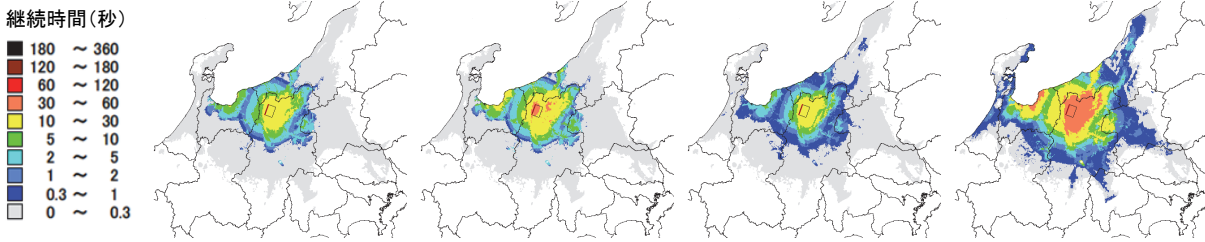


図2 計測震度 3.5 以上の震度継続時間の予測分布(左から式(1)の $\mu, \mu+\sigma$, 式(2)(3)の $\mu, \mu+\sigma$)

4. K-NET 記録による予測モデルの検証

K-NET 観測記録を用いて震度予測・継続時間予測の検証を行った。まず図3に K-NET 観測地点における予測震度と観測震度との比較を示す。ただし K-NET 観測地点の 30m 平均 S 波速度 AVS_{30} に関しては、ボーリングデータから求められた値を用いている。観測震度が 1.0~3.5 の部分で予測震度 2.0~4.5 とした過大評価が見受けられるが、観測震度で 3.5 以上の領域では予測震度と良い整合を示している。

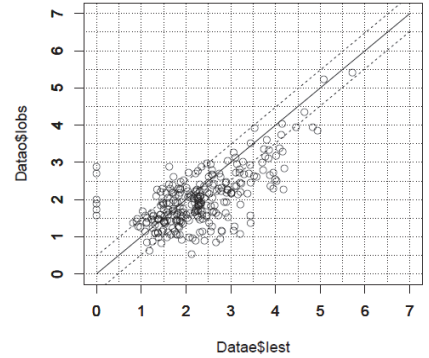
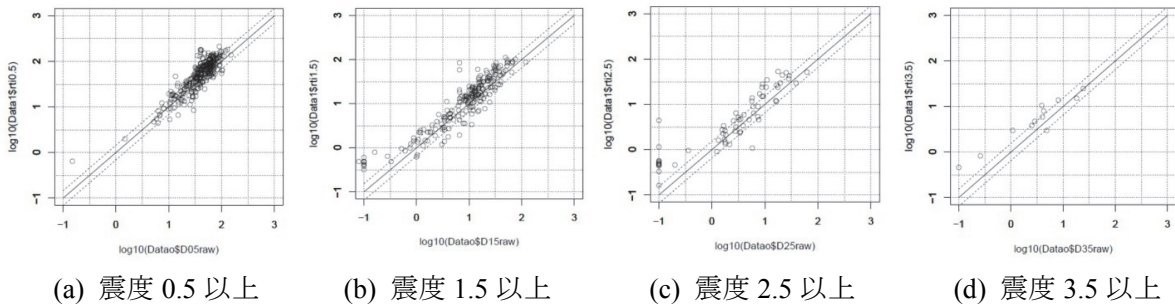


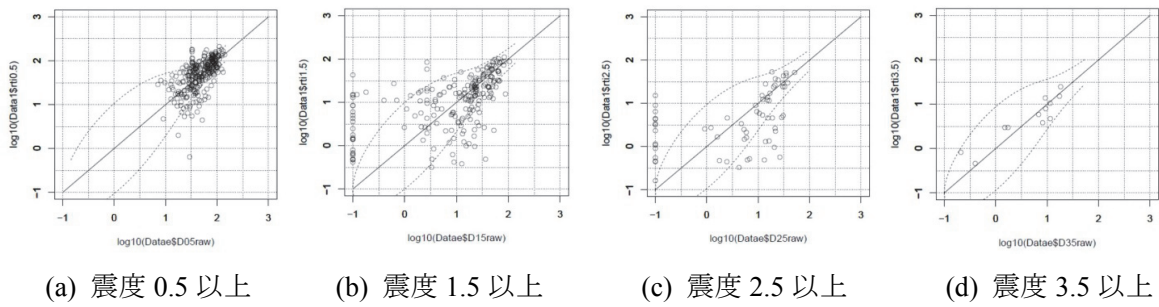
図3 K-NET 観測地点における予測震度と観測震度の比較

図4は、K-NET 観測震度に基づく継続時間の推定値と実測値を比較したものであり、1:1 線と $\pm\sigma$ を表示している。両者の整合はかなり良く、ばらつきも小さい。これに対して図5は、K-NET 観測点での推定震度に基づく継続時間の推定値と実測値を比較したものである。ここでも 1:1 線と $\pm\sigma$ を表示しているが、標準偏差は観測点ごとに異なった値をとるため、条件を $R=20\text{km}$, $AVS_{30}=350\text{m/s}$, $Z_{1.4}=250\text{m}$ に固定して求めた σ を用いて表示している。震度0.5以上、1.5以上、2.5以上においては、震度予測の過大評価の影響を受ける形で、部分的に継続時間も過大評価となっているが、概ね予測されたばらつきの範囲である。震度3.5以上についてはデータが少ないものの $\pm\sigma$ の範囲に収まり、偏りは見られない。以上より、データは限定的であるが提案手法の妥当性が示された。今後、さらに多様な地震で検証を進める。



(a) 震度 0.5 以上 (b) 震度 1.5 以上 (c) 震度 2.5 以上 (d) 震度 3.5 以上

図4 K-NET 観測震度に基づく継続時間の推定値(横軸)と実測値(縦軸)



(a) 震度 0.5 以上 (b) 震度 1.5 以上 (c) 震度 2.5 以上 (d) 震度 3.5 以上

図5 K-NET 観測点での推定震度(MF2013 式)に基づく継続時間の推定値(横軸)と実測値(縦軸)

謝辞：本研究では(独)防災科学技術研究所 K-NET の強震記録を使用させていただきました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 能島暢呂：観測震度または予測震度を与件とする震度継続時間の条件付予測式，日本地震工学会論文集，第14巻，第5号，2014.11，pp.50-67. 2) 能島暢呂：震度と震度継続時間の一貫した経験的予測体系の提案，日本地震工学会論文集，第15巻，第2号，2015.5. (登載決定) 3) Morikawa, N. and Fujiwara, H.: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.5, 2013, pp.878-888.