

第 I 部門

瞬間計測震度を用いた地震タイプによる人間の避難行動可能時間の分析

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○齊藤 栄

神戸大学大学院工学研究科 正会員 鋤田 泰子

1. はじめに

平成19年10月1日から気象庁により一般向けにテレビ・ラジオ等による緊急地震速報の報知が開始された。緊急地震速報は地震発生後に地震動を検知し、遠方で地震波が到達する前に揺れ始めることを伝達する情報であり、交通輸送ライフラインや産業施設の自動制御や人間の危険回避行動時間の確保などへの効果が期待される。しかし、人の危険回避行動の時間を確保するという緊急地震速報システムを活用するには、予め地震時の避難行動の持ち時間について定量的に把握した上で、速報によるメリットを明らかにすべきといえる。本稿では瞬間計測震度という指標を用いて、過去の地震記録から地震の揺れ最中における避難行動の持ち時間について分析した。

2. 計測震度と瞬間計測震度

人間の避難行動可能時間を分析するにあたり、評価指標として計測震度を用いる。この理由として地震時の人間行動に関する研究は震度と関連付けた研究が多い点、広く社会に認知された地震動強度指標である計測震度により説明がなされればユーザーの理解が得やすいという点が挙げられる。本稿では小坂¹⁾による研究、気象庁震度階級関連解説表²⁾をもとに、地震時の人間の避難行動開始（地震動覚知）、避難行動限界をそれぞれ計測震度1.5、4.0～5.0と仮定し、地震時の人間の避難行動可能時間の評価を行う。計測震度の算出方法は、観測された60秒間の加速度波形にフィルタ処理を施し、3成分フィルタ波形をベクトル合成して振幅時系列を得る。この振幅時系列から継続時間の合計が0.3秒となる振幅値を求め、河角式に代入することにより算出される。

計測震度を指標とした地震時の人間の避難行動可能時間の評価を行うには、時々刻々と変化する計測震度の推移を把握する必要がある。本稿では、フィルタ処理されたベクトル波形を単位時間あたりで計測震度を求めることにより時間的な地震動強度の推移を表現することができ、地震時の避難行動可能時間の評価に利用できる。この単位時間の計測震度を瞬間計測震度（IISI）³⁾と定義する。図1に一例として

2000年鳥取県西部地震の際、K-NET江府観測点（TTR007）で観測された記録から算出した瞬間計測震度を示す。単位時間は1.0秒として0.1秒ごとに算出した。ベクトル波形をシフトさせて評価を行うため、時々刻々と増減する計測震度の値が得られていることが分かる。また、瞬間計測震度は単位時間の波形から評価を行うため、瞬間計測震度の最大値と計測震度には差が生じる。その差は単位時間の幅によるため、適切な幅を設定する必要がある。そこで、2000年以降にK-NETで観測された $M_j \geq 6$ 以上、震央距離60km以内の133地震動記録について、0.5秒、1.0秒、1.5秒、2.0秒の4つの時間幅で瞬間計測震度を求め、その最大値と計測震度の震度差の平均、標準偏差を求めた。図2は差が指数分布に従うとして求めた震度差の確率分布である。単位時間幅が1.0s以上であれば、震度差は0.1ポイント以下に収束することから、本稿では以降の分析には単位時間1.0秒のフィルタ波形から瞬間計測震度を算出することにする。

3. 地震タイプによる避難行動可能時間

本稿で用いた地震記録は2000年以降にK-NETにより観測された $M_j \geq 6$ の38地震のうち、震央距離100km以内の1,031地震動記録である。このうち、瞬間計測震度4.0、5.0に達した地震動記録はそれぞれ346、79記録である。図

Sakae SAITO and Yasuko KUWATA 098t116t@stu.kobe-u.ac.jp

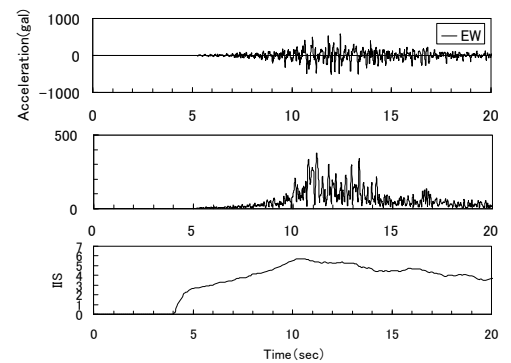


図1 瞬間計測震度
(2000年鳥取県西部地震TTR007)

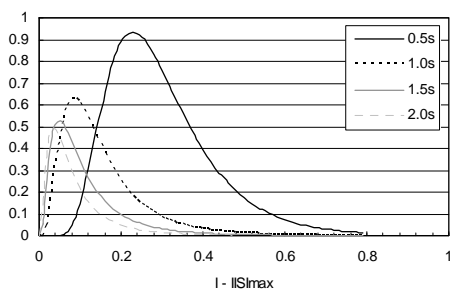


図2 単位時間幅による震度差分布

3に瞬間計測震度の立ち上がり（計測震度が正值になる時点）からの4.0に到達するまでの時間と震源距離の関係を地震タイプごとに示す。断層モデルが得られた記録については断層最短距離を震源距離としている。プレート境界地震、スラブ内地震については瞬間計測震度4.0到達時間に大きな差はないが、地殻内地震は他の2タイプに比べて到達時間が遅いことが分かる。本稿では、地殻内地震、プレート境界地震とスラブ内地震の2つのパターンに分類し、避難行動可能時間の推定を行う。

図4に地殻内地震における瞬間計測震度1.5, 4.0, 5.0到達時間と震源距離の関係を示す。地震動覚知を示す瞬間計測震度1.5到達時間は震源距離によらず1~2秒程度であり、ほぼ一定と言える。また、瞬間計測震度4.0, 5.0到達時間は震源距離に比例しており、震源から遠方に位置するほど避難時間に余裕が生じることが分かる。地殻内地震における避難行動可能時間（瞬間計測震度1.5と4.0の到達時間差）は震源距離30kmの地点で4.8秒程度であり、震源距離10kmにつき1.3秒程度避難行動に余裕が生じる。ここで、瞬間計測震度4.0到達時間を示す近似直線の傾きが5.0到達時間のそれよりも大きいのは、遠方で観測された計測震度5.0以下の地震動記録が影響しているためと考えられる。このように地震動は震源距離に伴い減衰するため、計測震度4.0, 5.0に到達する可能性を評価する必要がある。図5は地殻内地震における M_j 、震源距離に応じた瞬間計測震度4.0に達するか否かの判断と松崎ら⁴⁾によって提案された距離減衰式との的中率を示している。サイト特性を考慮していないための中率の低い地震も見られるが、少なくとも70%以上の的中率が確保されており、 M_j 、震源深さに応じて避難行動限界に陥る危険性評価が可能であるといえる。以上を踏まえて、地殻内地震（ $M_j7.0$ ）における避難行動可能時間と震源距離の関係を図6に示す。この場合、震源距離70km以内で計測震度4.0に到達するため、緊急地震速報による避難時間の確保が見込めると考えられる。

4. まとめ

- 避難行動可能時間と震源距離の関係は地震タイプにより異なり、地殻内地震は他の2タイプより時間的余裕がある。
- 今後サイト特性を考慮すべきであるが、距離減衰式によって避難行動限界に陥る危険性は70%以上の的中率で評価できる。

【謝辞】本研究の遂行にあたり、(独)防災科学技術研究所の強震ネットワークK-NETの観測記録を利用させて頂いた。ここに記して感謝する。

【参考文献】

- 1) 小坂俊吉：地震時の人間行動に関する研究 その4：1987年千葉県東方沖地震，総合都市研究，第51号，59-75，1993
- 2) 気象庁：震度を知る，ぎょうせい，pp.1-238,1996.9
- 3) Yasuko Kuwata, Shiro Takada：Instantaneous Instrumental Seismic Intensity and Evacuation, Journal of Natural Disaster Science, Vol.24, No.1, pp.35-42, 2002
- 4) 松崎伸一，久田嘉章，福島美光：断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発，日本建築学会構造系論文集，第604号，201-208，2006

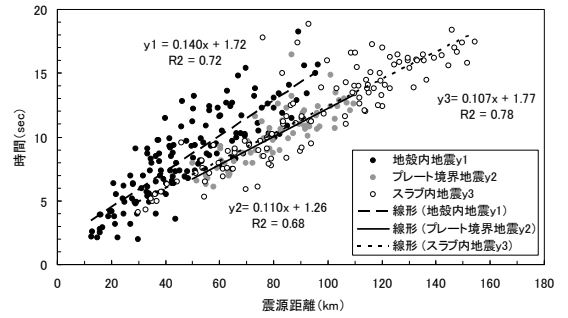


図3 瞬間計測震度4.0到達時間

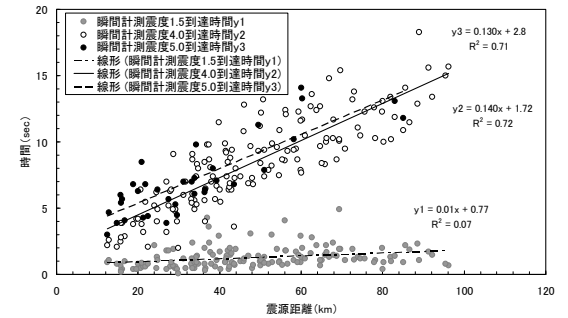


図4 避難行動可能時間（地殻内地震）

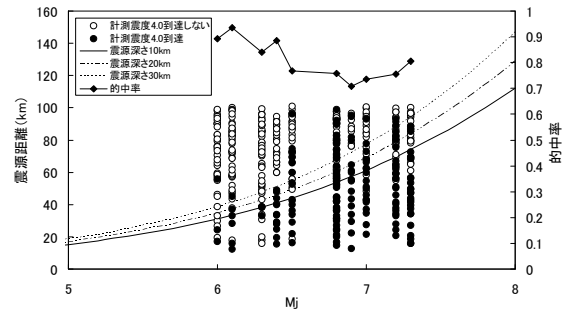


図5 避難行動限界（地殻内地震）

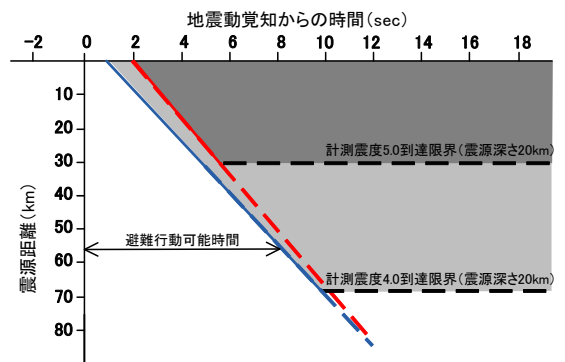


図6 避難行動可能時間と震源距離の関係（地殻内地震 $M_j7.0$ ）