

揺れの大きさと余裕時間を考慮した早期警報用地震計の配置評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 地震防災 岩田 直泰
山本 俊六

1. はじめに

早期警報用地震計は、地震発生時において P 波初動の数秒の情報から地震の位置と規模を推定し、危険が及ぶと判断された場合に警報を出力する地震計である。この早期警報用地震計を複数配置して列車などの制動を行うことは、地震時の安全性向上に資するものであるが、複数の地震計を空間的にどのように配置するかの評価指標は、これまで余裕時間を用いることが一般的であった。ただし、余裕時間は震源、警報検知点および評価地点の位置のみに依存し、揺れの大きさとは無関係の指標であることから、余裕時間のみを用いた地震計設置位置の検討は十分ではない。本研究では、震源距離やマグニチュードなどをパラメータとした距離減衰による地震動推定と、P 波・S 波速度などをパラメータとした余裕時間の計算を行い、ある所定の揺れ以上となった領域においてある余裕時間以上になる確率を計算することにより、地震計の配置を定量的に評価し、その増設効果や配置最適化などを検討する。

2. 評価方法の定義

地震動と余裕時間の両指標を含めた評価方法とするため、本研究で用いる評価式は式(1)とした。

$$Pe = \frac{N(Is \geq i, Tl \geq t; x, y)}{N(Is \geq i; x, y)} \quad (1)$$

ここで、 Pe は評価値、 $N(Is \geq i; x, y)$ は任意の地点において入力地震の計測震度が i (ここでは基準計測震度と呼ぶ) 以上の回数、 $N(Is \geq i, Tl \geq t; x, y)$ は先述と同じ任意の地点において入力地震の計測震度が i 以上かつ余裕時間が t (ここでは基準余裕時間と呼ぶ、秒) 以上の回数を表す。

また、P 波警報による余裕時間は、ある検知点に P 波が到達し地震諸元を推定して警報を伝送してから、評価対象となる別の検知点に S 波が到達するまでの時間差として定義され、簡易的には式(2)で表される。

$$Tl_p = \frac{\sqrt{\Delta_e^2 + D^2}}{Vs} - \left(\frac{\sqrt{\Delta_w^2 + D^2}}{Vp} + Tc + Tt \right) \quad (2)$$

ここで、 Tl_p は P 波警報による余裕時間(秒)、 Δ_e は震央から評価点までの距離(km)、 Δ_w は震央から警報検知点までの距離(km)、 D は震源深さ(km)、 Tc は地

震諸元推定時間(秒)、 Tt は警報伝送時間(秒)である。計算に用いたパラメータは $Vp = 6.0$ (km/秒)、 $Vs = 3.5$ (km/秒)、 $Tc = 2.0$ (秒)、 $Tt = 1.0$ (秒)としているが、 Vp と Vs の適用性は、別途検討し確認している¹⁾。震源深さ D (km) は解析に用いる地震ごとに与えられる。

揺れの大きさを表す地震動指標には、計測震度を採用しているが、その推定方法には気象庁が緊急地震速報で使用している手法²⁾を用いた。なお、本手法により評価を行う際の地震動指標は、最大加速度や最大速度、SI 値などを用いることもできる。

3. 検討の設定条件

早期地震情報を入力する警報検知点は、鉄道総研が所有する首都圏地震観測網(国立を除く)の 5 点とした。仮想路線は、鉄道総研の国立研究所を通過する仮想の路線とした。警報検知点や仮想路線は任意に設定できるが、ここでは前述の通りとしている。図 1 に警報検知点と仮想路線を合わせて示す。

検討に用いた地震は、過去に実際に発生した地震を用いた。地震選定の基準は、1923 年から 2009 年の地震で、マグニチュード 5.5 以上、震源深さ 100km 以下としており、地震の数は 3459 である。設定する地震は、将来発生が予想される地震(想定地震)等を設定することもできる。また、地盤増幅情報は、(独)防災科学技術



図1 警報検知点および仮想路線の位置図

研究所の J-SHIS のサイトよりダウンロードした 1km メッシュの地盤増幅情報を用いた。本手法は、500m メッシュや 250m メッシュ等の情報も適用可能である。

4. 検討結果

本章では、2章で示した方法と3章で示した条件により式(1)の Pe を計算する。検討結果の例として、設定条件が $i=4.0$ 、 $t=5.0$ の Pe マップを図2に示す。この図で、より青色の方が Pe が1に近い、基準計測震度より大きい揺れに見舞われた場合に基準余裕時間を確保できる確率が高いことを表し、より赤い色の方が Pe が0に近い、基準計測震度より大きい揺れに見舞われた場合に基準余裕時間を確保できる確率が低いことを表している。なお、設定された計測震度の揺れに1度も見舞われなかった地点は式(1)の分母が0となるが、 Pe は1としている。

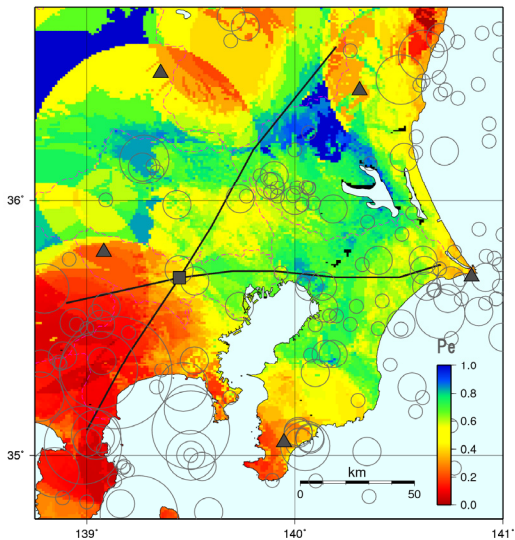


図2 Pe マップ($i=4.0$, $t=5.0$)

5. 検知点配置の評価に関する考察

本章では、まず仮想路線に対する検知点の増設効果を考察する。図3には仮想路線1のキロ程と Pe (設定条件: $i=4.5$, $t=5.0$) の関係で、警報検知点が5点(St5)と3点(St3)をプロットしている。この図で、St5の方がSt3よりも Pe が大きくなっている箇所がある。また、全線にわたる Pe の平均値を図中に Ave.St5、Ave.St3 として示しており、Ave.St5の方が大きな値となっている。これより検知点の数が多い方が Pe は大きく、基準の揺れに対して基準の余裕時間が確保される確率が高くなるのが分かる。図4の仮想路線2では、St5はSt3よりも Pe が大きくなっている箇所が多く、Ave.St5とAve.St3の差が図3のそれよりも大きい。すなわち、検知点を3点から5点にするときの効果は、

仮想路線1よりも仮想路線2の方が大きいことが分かり、提案した手法により対象とする路線に応じた検知点増設の効果を定量的に比較することができる。

次に、検知点配置の最適化について考察する。本研究では仮想的な警報検知点と路線を設定したが、実際に検知点を新設したり増設したりする場合には、事前の検討として警報検知点を任意に設定し、本研究で示した手法によりその効果を評価することができる。すなわち、Ave.Stの値が大きくなるよう、警報検知点の数や配置を変えることで、対象路線に対する最適な地震検知点配置を検討できる。

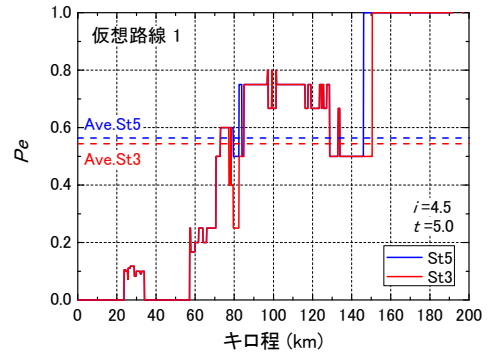


図3 検知点増設の効果 (仮想路線1)

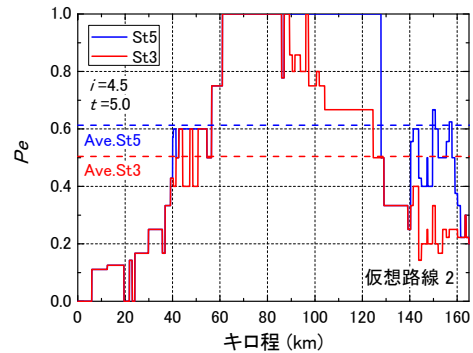


図4 検知点増設の効果 (仮想路線2)

6. まとめ

本研究では、揺れの大きさと余裕時間を考慮した早期警報用地震計の配置評価に関する検討を行った。その結果、提案する手法により対象の路線に対して、検知点増設の効果を定量的に評価できることや、早期警報用地震計の配置最適化の検討に適用できることが分かった。

参考文献

- 1) 岩田直泰, 芦谷公稔, 佐藤新二, 是永将宏: 早期地震警報による余裕時間の検討, 土木学会第62回年次学術講演会 (CD-ROM), 1-638, pp.1271-1272, 2007年9月
- 2) 気象庁地震火山部: 緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料, 2008年7月29日