

K-NET と KiK-net の記録から求めた加速度スペクトルの距離減衰式

信州大学大学院工学研究科博士前期課程 阿部将之

正会員 理博 信州大学教授 工学部社会開発工学科 泉谷恭男

1. はじめに

距離減衰式については、古くから多くの研究があり、数多くの距離減衰式が提案されているが、震源近くでのデータが少ない時代に提案されたものが多い。しかし、今日では K-NET(防災科学技術研究所の強震観測網)や KiK-net(防災科学技術研究所の基盤強震観測網)の普及によりデータ不足は改善され、さらに、地中での観測記録も得られるようになった。そこで、本研究では、K-NET と KiK-net 観測点における最近の地震観測記録を統計回帰分析することによって、加速度スペクトルを目的変数、震源距離を説明変数として距離減衰式を推定する。

2. 使用データ

解析に用いるデータは、K-NET と KiK-net で観測された震源距離 100 km 以内のものを使用した。解析対象とする地震は鳥取県西部地震の本震（マグニチュード：7.3，震源深さ：11km）とその余震（マグニチュード：4.0 程度以上，震源深さ：約 10km，記録された観測点の多いもの）20 個とした。

3. 解析手法

3. 1 回帰分析

回帰分析に用いるデータは、地盤による地震波の増幅の影響を受けないようにするため KiK-net の地中での観測記録を使用する。観測される加速度記録は、実体波と呼ばれる P 波、S 波を含んでいる。このうち、本研究では構造物に最も大きな影響をもたらす、地震動予測の際に主に扱われる地震動の主要成分である S 波部分を解析の対象とするため、S 波の卓越する S 波開始部分から 10 秒間の記録を取り出すこととする。そして、抽出された S 波の加速度記録をフーリエ変換することにより、時間領域から周波数領域に変換したフーリエ加速度スペクトルを求める。フーリエ加速度スペクトルを求めることにより、ある振動数の成分の強さを検出できる。ここでは、各周波数帯域の中心周波数が、対数軸上において等間隔になるように、0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 Hz の 5 つの周波数帯で、フーリエ加速度スペクトルを平均した値を用いる。これを目的変数とし、震源距離を説明変数として回帰分析を行う。

一般的に、地震 i による観測点 j における地震波の距離減衰式は、式 (1) で示される幾何学的な広がりによる減衰と、粘性減衰で表される。

$$A_{ij} = c_i \frac{1}{R_{ij}^a} e^{\frac{-\pi f R_{ij}}{Q_s V_s}} \quad (1)$$

ここで、 A_{ij} は加速度スペクトル、 c_i は震源から出た波の強さ、 R_{ij} は震源距離、 a は幾何学的な広がりによる減衰を支配するパラメータ、 Q_s は S 波に対する Q 値、 V_s は地殻内の平均的な S 波速度であり、ここでは、3.5 km/s とした。震源距離は、K-NET, KiK-net では断層の破壊開始地点の座標が点震源として記載されているので、その座標を用いて計算した。しかし、本震のように断層が大きくなる地震では震源として扱うには無理があるため、距離補正する必要がある。本研究では、本震の場合のみ等価震源距離 $\bar{r}$ を用いて距離補正を行う。

式 (1) から常用対数をとると、

$$\log A_{ij} = \log c_i - a \log R_{ij} - \frac{\pi f}{Q_s V_s} R_{ij} \log e \quad (2)$$

となる。(2) 式を最小二乗法を用いて解くことにより、 c_i, a, Q_s を決定できる。しかし、このまま (2) 式を解いた場合、解が不安定になるため適当な拘束条件を必要とする。ここでは過去に成された研究結果²⁾を参考に $a=0.8, 1.0, 1.2$, $Q_s=60f, 70f, 80f, 90f, 100f$ の 15 個の組み合わせとした場合に拘束し回帰分析を行うこととした。

3. 2 距離減衰式の選定

3. 1 で得られた 15 個の距離減衰式の中から最も妥当と思われる減衰式を選定するため、K-NET と KiK-net の地表での観測スペクトルとこれらの減衰式による回帰値との比を用いる。この比は KiK-net 地中観測点を基準とした場合の地震毎、観測点毎の増幅率となる。観測された地震の多い観測点より 10 地点を抽出し、各地点での増幅率の地震の違いによる変動が最小 (増幅率の分散が最小) となるような距離減衰式を選んだ。

4. 解析結果及び考察

表 1 に各 a, Q_s の組み合わせでの分散の値を示す。表 1 をみると $a=1.2, Q_s=60f$ のときに、分散が最小になっている事が分かる。このことから、最も妥当な距離減衰式は

$$A_{ij} = c_i \frac{1}{R_{ij}^{1.2}} e^{\frac{-\pi f R_{ij}}{60f V_s}} \quad (3)$$

となる。例として図 1 に式 (3) を用いた場合の、本震の 1 Hz 帯での減衰曲線を示す。この図から分かるように比較的良く KiK-net の地中記録の距離減衰を表せているように思える。ここで得られた Q_s 値は、あくまで比較的広い地域における平均的な値であり、明確な物理的な意味を持っているわけではない。また、 Q_s 値が震源深さによって変化するものであるなら、今回用いたデータが震源深さ 10 km 程度のものであるため、比較的浅い地震での減衰式であるといえるだろう。

5. まとめ

鳥取県西部地震での本震と余震の地中での観測記録から距離減衰式を推定した。地中での観測記録を用いることにより、地盤での増幅の影響を考慮せずに距離減衰式を推定できる。その結果、最も妥当なものは $a=1.2, Q_s=60f$ を用いた式 (3) で示す距離減衰式となった。ここで得られた Q_s 値は解析された地震の震源と観測点を含む、比較的広い地域における平均的な値である。そのため、 Q_s 値が空間的に変化するものであるならば、比較的浅い地震における距離減衰式であることが言える。ここで得られた距離減衰式を用いて、地表での観測記録との比較から観測点ごとの揺れ易さを評価して、防災のために役立つ「周波数毎の揺れ易さマップ」を作成できる。

謝辞： K-NET, KiK-net の記録を使用させて頂きました。記して感謝します。

参考文献

- 1) Ohno et al. (1993) Tectonophysics, 218, 69-81.
- 2) Kato et al. (1991) J. Phys. Earth, 40, 175-191.

表 1. 各 a, Q_s の組み合わせについての分散

	$a=0.8$	$a=1.0$	$a=1.2$
$Q_s=60f$	569.8488	518.2126	483.0994
$Q_s=70f$	615.6817	525.1256	488.4771
$Q_s=80f$	662.3088	549.8835	500.2228
$Q_s=90f$	707.5014	575.6161	514.7755
$Q_s=100f$	746.3296	597.1212	526.4242

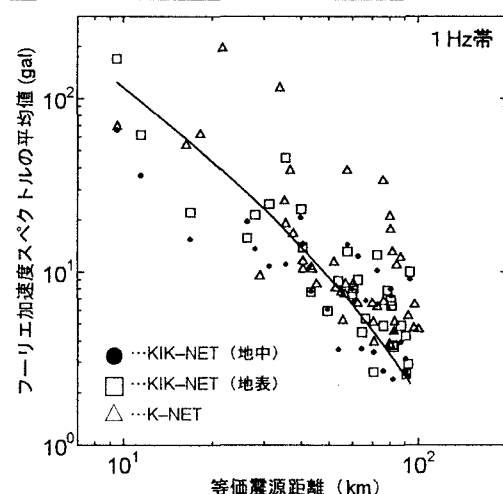


図 1. 本震での減衰曲線