

I - 668

アテネーション式における地震動強度の指標と距離減衰特性の検討

清水建設(株) 正会員 ○赤尾 嘉彦・勝倉 裕
東電設計(株) 福島 誠一郎
建設コンサルタント 水谷 守

1. はじめに

我々は、上下動を含む短周期地震動の特徴を捉えることを目的に、地下深くまで伸びる鉛直アレーの観測記録から各種の統計的な検討をおこなっており、スペクトル特性やアテネーション特性の検討において興味ある成果が得られてきた[文献1)~4)]。今回は、福島県東岸の富岡観測点の地下950mの加速度記録を用い、1982年8月から1985年12月までに観測された記録の中から56記録($M=3.4\sim6.5$, $R=45\sim365\text{km}$)を選んで、アテネーション特性について検討した結果を示す。

2. アテネーション式

地震動のアテネーション特性(距離減衰式)については、Kanai et al.(1966), Donovan(1973), Katayama(1974) など多くの人に研究され、金井式をはじめ数多くの有力な経験式がある。これらのアテネーション特性に用いる地震動の強さを表す指標には、加速度計や変位計などの記録紙上の最大ピーク値が用いられることが多い。ところで、最大加速度などのピーク値はバラツキが大きく不安定な値であることが知られている。たとえば、すぐ隣の観測点で最大加速度が2倍以上違うこともしばしばある。さらに、記録紙上のピーク値がどの地震波によって励起されたかという問題もある。通常、加速度型強震計ではS波主要動部で最大値が生じていると考えられているが、明らかにP波初動部やコーダ部の表面波で最大値が生じる場合も最近の記録には見られる。観測される地震動は震源特性や伝播特性やサイト特性を掛け合わせたもの(convolution)であるが、地震波が異なればこれらの特性も異なる。そのため全観測記録を用いて距離減衰特性などを議論するには無理がある。

我々は、加速度波形上の直達S波部分の最大加速度 A_{max} や全エネルギー E_T などいくつかのパラメーターを用いてアテネーション特性を検討し、 E_T が最もバラツキの少ない指標であることを示した[文献1), 3)]。今回は、さらに距離減衰の統計学的な検討をおこなう。ただし、回帰式を求める際に50余りの数のデータからマグニチュードと距離減衰の係数を同時に求めるには無理がある。そこで、地震動の振幅のある減衰式を用いて距離100kmのところに置き換えて、指標とマグニチュードとの線形性を比較して距離減衰式の適否を判断する。ここで、指標として用いた E_T は時刻歴波形 $x(t)$ に対し、以下の式で表される。

$$E_T = \int_0^t x^2(t) dt$$

一般に、地震波の距離減衰は幾何減衰と内部減衰の積として、以下の式で表される。

$$\frac{1}{X^n} \cdot \exp(-\pi f \int \frac{dX}{cQ})$$

X は伝播距離、 c は位相速度、 Q は Q 値であり、 $1/X^n$ が幾何減衰、 $\exp()$ が内部減衰である。理論上、無限体内を伝わる実体波の幾何減衰は $1/R$ (R :震源距離)であり、半無限体では $1/R^{1.5}$ である。富岡の観測点の場合、地下950mということを考慮すると、幾何減衰は半無限体より全無限体の場合に近いのではないかと想像される。一方、内部減衰は $c=4\text{km/s}$, $Q=500$ と仮定し距離100kmにおける減衰

を1とするとFig.2のようになる。たとえば $f=3\text{Hz}$ の成分は100km付近で $1/R^{0.5}$ 程度で減衰するが、遠方や近地の減衰を累乗形式で表すには無理がある。そこで、震源距離500km以上の2つの地震を除き、およそ40km~400kmの

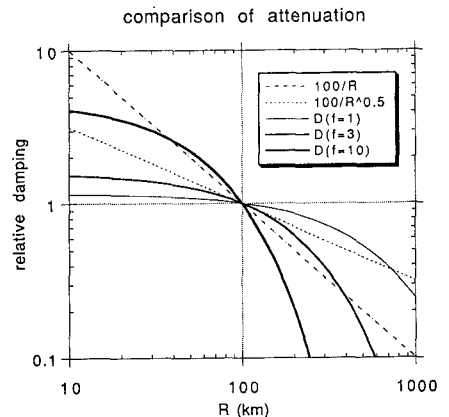


Fig.1. Some attenuations for frictional damping

地震を用い、内部減衰と幾何減衰を同一の距離減衰形式で近似する。

3. 統計学的な検討

地動の振幅を減衰 $1/R$ を用いて震源距離100kmの地点に補正した場合の、S波部分の最大加速度 A_F と全エネルギー E_F のマグニチュードに対する関係をFig.3に、 $1/R^{1.5}$ を用いて補正した場合の最大加速度 A_H と全エネルギー E_H のマグニチュードに対する関係をFig.4に示す。2つの図より明らかに、 A_F や A_H より E_F や E_H の方がバラツキが少なく、マグニチュードに対する線形性が優れていることがわかる。また、この線形性は距離減衰 $1/R$ より $1/R^{1.5}$ を用いた方が若干よいこともわかる。しかし、 $1/R^2$ などと比較すると $1/R^{1.5}$ より優れているか図だけでは判断できない。そこで、Table 1でデータ全体のバラツキに対して回帰式が説明する割合である寄与率(proportion)を比較する。距離減衰 $1/R$ では、最大加速度の寄与率33%で残りの67%が個々のデータの誤差であるが、全エネルギーは回帰式でバラツキの69%を説明していることがわかる。いずれの距離減衰($1/R^{1.5}$)の場合も A_{max} より E_T の方がマグニチュードに対する線形性が優れている。特に、距離減衰が $1/R^{1.5-2}$ の場合、 E_T の回帰式による寄与率が75%を超えるが、 A_{max} の寄与率は60%程度である。

4. 結論

統計解析などの結果より、地震動の強さを表す指標として、最大加速度より全エネルギーの方がバラツキが少なく優れた指標であり、距離減衰としては $1/R^{1.5-2}$ 程度が妥当であると結論できる。

なお、本研究で用いた地震記録は、電力10社で実施した電力共通研究(地震観測に基づく基準地震動評価手法の研究)によるものである。

[参考文献] 1)福島・他1993建築学会論文集投稿中、2)赤尾・他1994地震学会論文集投稿中、3) Fukushima, et al. 1993 SMiRT 4) Akao, et al. 1992 10th WCEE

Table . Comparison of regression analysis results for each attenuation factor.

Damping	Data(y)	Variance(A_{yy})	Error(ϵ^2)	Proportion($1 - \epsilon^2 / A_{yy}$)
1/R	A_F	0.084	0.056	0.33
	$\sqrt{E_F}$	0.115	0.035	0.69
$1/R^{1.5}$	A_H	0.096	0.049	0.50
	$\sqrt{E_H}$	0.146	0.034	0.76
$1/R^2$	A_2	0.120	0.047	0.61
	$\sqrt{E_2}$	0.188	0.039	0.79
$1/R^3$	A_3	0.202	0.061	0.70
	$\sqrt{E_3}$	0.307	0.067	0.78

* two farther earthquakes are removed from data base

Fig.2. Magnitude and intensity factors.

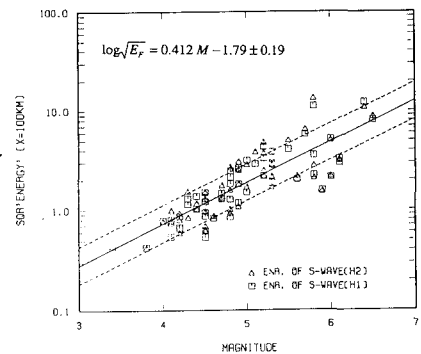
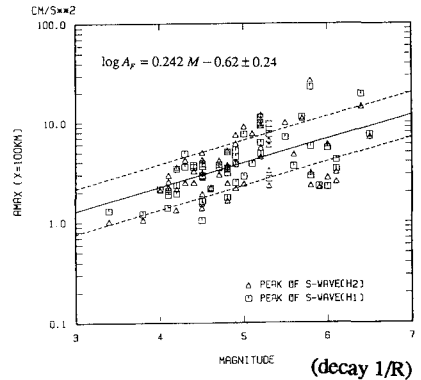


Fig.3. Magnitude and intensity factors.

