

I-437

地震動の距離減衰性に関する一考察
——式の形と係数の物理的意味——三協コンサルタンツ○富樫 豊
名城大学理工学部 板橋一雄

1. はじめに 地震動の距離減衰性には地域性のあることが指摘されて以来、地震動の距離減衰式は地域ごと地震動データをもとに作成されるようになってきた（例えば文献1）。しかしながら、対象とする地域において強震記録が少ない場合、従来どおり強震記録を対象とした距離減衰式を作成することは困難であり、小地震の記録を有効に利用せざるを得ない。この場合、距離減衰式を作成するには、大地震と小地震において距離減衰性の相関を把握することが必要となる。

そこで著者らは、この観点から距離減衰式をつくることを目標にして、第一段階として（距離減衰）式の形と（式の各項の）係数の物理的意味について検討することにした。具体的には、これまでの数々の距離減衰式を対象として、式の形や係数を整理・検討した。

2. 距離減衰式の基本形 対象地点における地表面の最大加速度 A_{max} は、①震源特性、②震源から対象地点の基盤までの伝播特性、③表層地盤の増幅特性、によって決まる。 $A_{max} = (\text{震源特性}) * (\text{伝播特性}) * (\text{増幅特性})$ 。ここでは、これらの特性を以下のように評価して基本式を設定することにする。ただし、以下では、 a は係数、 R は震央距離、 M はマグニチュードである。

2. 1 震源特性 マグニチュード M （以後単に M ）は波形振幅の LOG 関数値として設定されているので、最大加速度は、 $A_{max} = a_1 * 10^{(a_2 * M)}$ として従来どおり表現される。

2. 2 伝播特性 震源から対象地点の基盤までの波動伝播特性には幾何減衰と粘性減衰の特性がある。現状の多くの距離減衰式では幾何減衰と粘性減衰とが区別されていないが、両者を区別することにより、①幾何減衰そのものを波動論解によって表現できること、②粘性減衰に地域性を考慮することができること、が可能となる。ここでは、幾何減衰については、 $A_{max} = R^{a_3}$ として表現する。また粘性減衰については解を、 $A_{max} = \exp(a_4 * R)$ とする。なお、粘性減衰の地域性は粘性係数に関連する係数 a_4 で評価される。

2. 3 増幅特性 従来の距離減衰式では、地盤の増幅特性が地盤条件で評価されている。すなわち、マグニチュード、震央距離に加えて地盤条件も独立変数として回帰分析がわれ、係数 a が地盤条件ごとにきめられている。ここでは、地盤条件を回帰分析の独立変数からはずすことにして、増幅率を波動論にもとづいて地盤の物性で与える。増幅率 $G = (\rho V)_d / (\rho V)_s$ 。ただし、 (ρV) は波動インピーダンス、指標 d 、 s は基盤、表層地盤の意味である。

2. 4 補足 断層のひろがりやを考慮する場合、震央距離の定義について問題があるが、①距離減衰式において特別に項を付加すること、②断層の広がりを意味する長さ R_0 を導入して幾何減衰の項を $(R + R_0)^{a_3}$ とすること、が考えられている。なお、断層の走向とすべり方向の因子については、係数 a_1 が関与すると考えられる。ここではこの種の議論を略する。

2. 5 基本形 以上のことにより基本形を次式のように設定する。 $A_{max} = a_1 * 10^{(a_2 * M)} * \exp(a_3 * R) * R^{a_4} * G$ (1) ここで、地震動の特性は係数 $a_1 \sim a_4$ 、 G により表現され则认为るので、実記録から各係数を同定して、地震動特性を把握することができる。ただし、係数 a_2 はマグニチュードに関する係数、係数 a_3 は粘性減衰に関する係数、係数 a_4 は幾何減衰に関する係数（減衰傾度）である。

3. 既往の距離減衰式の整理 数多く提案されている既往の距離減衰式を分類すると、以下の3つに分けられる。

- (1) $A_{max} = a_1 \cdot 10^{(a_2 \cdot M) \cdot R^{a_3}}$ 片山の式, 篠らの式 他
 (2) $A_{max} = a_1 \cdot 10^{(a_2 \cdot M) \cdot (R + R_0)^{a_3}}$ 川島の式 他
 (3) $\log(A/b) = (R + R_0) \cdot (b_2 + b_3 \cdot M + b_4 \cdot M)$ 岡本の式

ただし, 係数 a は定数ばかりでなく, 震央距離や地盤条件に依存することもある. 例えば, 金井式は $A_{max} = (5/\sqrt{RT}) \cdot 10^{(0.61 \cdot M - (1.66 + (3.60/R)) \log R + (0.167 - 1.83/R))}$ であるが, これと (1) の形と比較すると, $a_3 = -(1.66 + (3.60/R))$ となる. つぎに, (2) の形の式を (1) のものと等価としたときの係数について検討する. R_0/R が小さいとすると, a_3' が定数として, $a_3 = a_3' \cdot (1 + (R_0/R) (1/\log R - 1))$ を得る. 以上, (3) のものを除けば式 (1) はこれまでの距離減衰式をほとんど包含すると考えてよいといえる.

4. 係数の値域 **4.1 減衰傾度 a_3** 既往距離減衰式における減衰傾度 a_3 の値域は3つに分けられる. すなわち, $-0.5 \sim -1$ の値域, $-1.0 \sim -1.4$ の値域, -1.6 付近の値域. このうち -1.0 付近の値域は, 伝播波動を実態波とした波動論による減衰傾度 $a_3 = -1.0$ に対応している. ここでは, 幾何減衰はあくまでも力学の論理にのるものであると考えると, 減衰傾度 a_3 を -1.0 程度としておく. ただし, 実際に回帰分析した場合, 減衰傾度 a_3 が -1.0 程度にならない場合, 例えば粘性減衰が考慮されないためとか, 地震動データの回帰方法に原因があると考えてよいように思われる.

4.2 係数 a_4 文献2) によれば, 地震動が実態波伝播 (係数 $a_4 = -1.0$ 程度) とすると, 係数 a_3 は 1.0 の -3 から -4 のオーダーである. この値は, 振動数 $f = 10\text{Hz}$, 減衰定数 $h = 0.016$, 岩盤の $V_s = 3\text{km/s}$ として, 波動論から係数を求めた値 $a_3 = 0.0003$ に対応している. ここで, 地域性を減衰定数と岩盤物性に反映させるならば, 地域性を考慮した距離減衰性を得ることができよう. なお, 粘性減衰の項を距離の幾何減衰の項に組み込むならば, 減衰傾度 a_3 は小さくなるようである.

4.3 係数 a_2 M の係数については, 既往の距離減衰式における M の係数の値域は, $0.2 \sim 0.5$ である. しかしながら文献1) 2) によれば, 回帰分析において地震を特定したり対象地域を特定すると, 係数 a_2 は前述値よりやや大きくなり $0.4 \sim 0.7$ となる. 特定の地震 (余震多数) を対象とした回帰分析によれば (文献2), $a_2 = 0.6$ の値が得られているので, M の係数の値域は, $0.4 \sim 0.7$ が妥当のように思われる.

4.4 係数 a_1 最大加速度 A_{max} の算定には, 係数 a_1 の議論を避けることはできない. しかし, 他の係数に比較して係数 a_1 には理論的に検討できる材料は少ない. これについては, 断層モデル解析結果を利用する方法を考えるべきであろう.

4.5 地盤条件の影響 多くの距離減衰式では, 各係数 a は地盤種別ごとに設定されている. 地盤種別の順序番号と係数 a_2 , a_3 との関係をみると, 単調増加の傾向があるものもあるが, そうでないものもあり, 統一性が欠けている. 増幅関数を適切に評価すべきことが暗に要求されているようである.

5. まとめ 強震記録の少ない地域において距離減衰性を検討するための第一段階として, 距離減衰式の形および係数について検討して, 知見を得た.

A. 参考文献 1) 板橋; 信頼性理論に基づく斜面及び土構造物の耐震性に関する研究, 1986, 名古屋大学博士論 2) 土山, 富樫, 板橋; 濃尾平野における地震動の距離減衰性に関する一考察, 23回土質工学会研究発表会講演概要集, 1988, 6 3) 田中, 福島; 地震動強さの距離減衰, 15回地盤震動シンポジウム講演概要集, 1987, pp7-16. 4) 土山, 早川, 吉田, 中村; 濃尾平野における軟弱地盤の振動特性 (その1), 22回土質工学会研究発表会講演概要集, 1987, pp673-676. 5) 篠, 大角, 片山; 強震データの統計解析における問題点, 37回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1982, pp659-660. 6) 川島, 相沢, 高橋; 最大地震動および地震応答スペクトルの推定法, 土木研究所報告, 1993号, 1979. (注) この他距離減衰式に関する文献は多いが, ここでは紙面の都合上省略する. 詳しくは文献3) がある.