

I-439

多点地震記録から最大加速度距離減衰式を求めるための新しい手法

清水建設（株）研修員 正員○童 華南
 東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄

1. まえがき

多数の地震記録を分析する上で、一般にそのデータの集合に偏在の傾向が見られる。例えば、道路橋示方書²⁾に距離減衰式を求めたもとのデータには近距離の大地震の記録は全く含まれていない、そのほかの分析例においてもデータの集合には震央距離 Δ とマグニチュード M の独立性が乏しいと判断される。本研究では最大加速度 A の距離減衰式を求めるときに Δ と M の相関性の影響を取り除く必要性および距離減衰式を求める手法について考察する。

2. 地震ごとの最大加速度の距離減衰特性

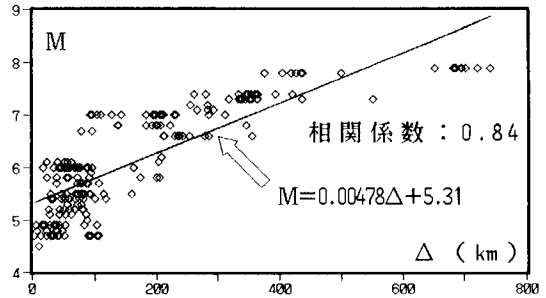
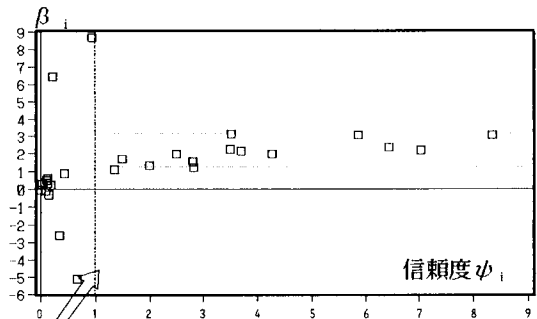
図1は関東地域の27回の地震の223成分の記録の Δ と M の散布図である。相関係数 $R(\Delta, M) = 0.84$ であり、全データをそのまま利用すると、 Δ と M は A への寄与分が各々十分に評価されない。1回の地震で多点記録があれば、地震をしぼって解析することができる。この場合には M が同一であり、式(1)のように距離 Δ だけで最大加速度 A の回帰式を作ることができ、 M と Δ の相関性が考察に与えた悪い影響はなくなる。さらに各地震の距離減衰特性の規則性を見出すため、信頼度 ψ_i を式(2)より定義する。

$$\log \hat{A} = -\beta_i \cdot \log(\Delta + 10) + \delta_i \quad (1)$$

$$\psi_i = n_{r_i} \cdot R_i^2 \quad (2)$$

ここで、 β_i は各地震の距離減衰係数、 δ_i は回帰定数、 n_{r_i} は回帰分析の自由度、 R_i は回帰相関係数、 i は使用した各地震の順番に対応する。

図2は図1の27回の地震記録を用い、式(1)の β_i と式(2)の ψ_i を計算した結果である。図2から分かるように、 ψ_i が高いほど、 β_i の値が2~3の間に収束する傾向にあり、 ψ_i が小さければ、 β_i の値は-6~9の間に発散する。そこで、 $\psi_i = 1$ を境界として、 $\psi_i > 1$ の地震記録をEグループ、 $\psi_i \leq 1$ の地震記録をBグループと呼ぶ。EとBにある記録を調べた結果、Eグループの14回の地震の記録のすべては、 $M5.2$ 以上でかつ震源深さ D はすべて80km以下の浅発地震である。それに対して、Bグループの13回の地震の記録は次の5つのタイプが含まれている。① $D388\text{km}$ 以上のもの(3回)；② $M4.9$ 以下で D が約100kmだが Δ より遙かに大きいもの(4回)；③ Δ の分散が小さいもの(2回)；④記録が3つしかないもの(2回)；⑤異常記録のあるもの(2回)。すなわち、Bグループは何らかの理由で、 Δ の増大による A の減小を表わせない記録の集合であることが分かった。EとBは明かに異質のグループであるから、距離減衰式を求めるときにグループ分けして分析する必要がある。

図1 震央距離 Δ とマグニチュード M の散布図

ここを境界として、地震記録をEとBの2つのグループに分けた。Eにある β_i は1.1~3.1である。

図2 信頼度 ψ_i による減衰係数 β_i の差異

3. 最大加速度距離減衰式を求める手法

上述のEグループの記録を一括に重回帰して、Aの距離減衰式(3)を求めると、距離減衰係数は $\beta = 1.76$ である。式中のTは観測点地盤の卓越周期である。

$$\log \hat{A} = 0.423 \cdot M - 1.76 \cdot \log (\Delta + 10) + 0.0690 \cdot T + 2.09 \quad (\text{重相関係数 } R = 0.778) \quad (3)$$

本研究で提案する手法は一括にM、 Δ とTの係数を求めることではない。まず β を式(4)により決めておく。 β は地震ごとの距離減衰係数 β_i を信頼度 ψ_i で重みづけした平均値である（Eグループの例では $\beta = 2.32$ ）。そして、MとTだけを説明変数とする重回帰を行ない、その結果は式(5)である。

$$\beta = \frac{\sum \psi_i \cdot \beta_i}{\sum \psi_i} \quad (4)$$

$$\log \hat{A} = 0.569 \cdot M - 2.32 \cdot \log (\Delta + 10) + 0.0391 \cdot T + 2.33 \quad (\text{重相関係数 } R = 0.777) \quad (5)$$

式(3)と(5)を比較すれば、ほぼ同じ程度の重相関係数を持っているものの、 β が相当異なる。この結果は図3で表わした重回帰式の平面と記録データの分布関係で説明することができる。すなわち、Mと Δ との間に高い相関性があると、ほぼ同じ重相関係数を持つ異なる重回帰式が多数存在しており、最適な減衰式を得るには最小2乗法という基準以外に別の基準を与えるべきである。式(4)によって定めたEグループの β は、Aと Δ の回帰結果を信頼度 ψ_i として反映しているので、 $\Delta \sim A$ 関係から新たに重回帰式を求める上での物理的な基準になっている。

4. 結論

従来のAの距離減衰式に関する研究によると、減衰係数は0.8～1.8の範囲に分布していた。しかし、一回の地震において比較的大きいAが取れ、多数の記録のある場合にはその値は従来の研究で示した値より大きい。例えば、1978年の宮城県沖地震（M=7.7）の記録は $\beta_i = 2.01$ であり³⁾、1983年の日本海中部地震（M=7.7）の記録は $\beta_i = 2.36$ であり⁴⁾、去年の千葉東方沖の地震（M=6.7）記録は $\beta_i = 2.81$ である（図4）。この3回の地震の記録の信頼度 ψ_i はいずれも十分高いと見られるので、 β_i を単純平均すれば、平均値は2.39になり、図1のデータ（以上3つの地震の記録が含まれていない）から式(4)で求めた $\beta = 2.32$ と極めて近い値である。従って、本手法で導入した信頼度 ψ_i （式(2)）とそれにより重みづけした距離減衰係数 β_i （式(4)）は有効なパラメーターであると考えられる。

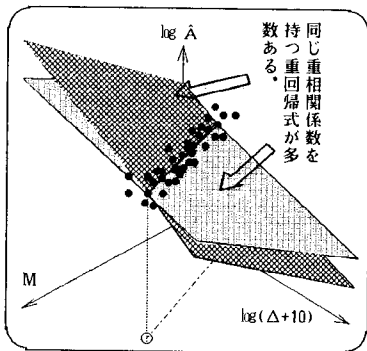


図3 説明変数の間に相関性が高い

<参考文献> データ集合と重回帰平面の関係

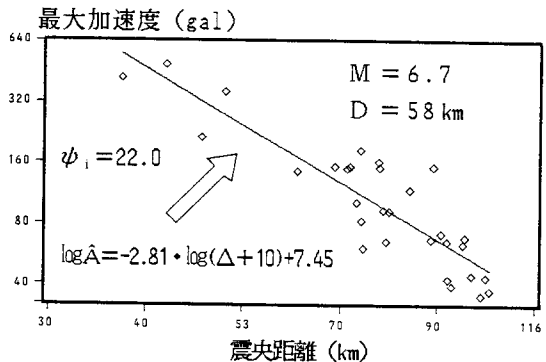


図4 千葉東方沖地震の最大加速度の距離減衰

- 1) 童 華南：多点地震記録を用いた地震動特性と地震入力の評価に関する研究p41～p59, 東京大学, 学位論文, 1988
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編）p107, 社団法人日本道路協会, 1980
- 3) 渡部 丹：計器記録による地震動, 1978年宮城県沖地震災害調査報告p8～p14, 日本建築学会, 1980
- 4) 神山 真：1983年日本海中部地震被害調査報告書p21～p23, 社団法人土質工学会東北支部, 1986