

## I - B286

## 距離減衰式に対する回帰方法及び回帰データの影響

東電設計 技術開発本部 正会員 安中 正  
 東京大学 生産技術研究所 正会員 山崎 文雄  
 東京電力 電力技術研究所 正会員 片平 冬樹

**1. まえがき** 1988年1月から1996年3月までの気象庁87型強震計記録を用いて、地震の破壊面の大きさを考慮した最大地動及び応答スペクトルの経験的推定式を提案した<sup>1)</sup>。推定式は、マグニチュード5.0以上の地震に対して距離が500km以下の範囲の地点で得られた記録を用い、2段階回帰法により決定した。その検討の過程で行った距離減衰式に対する回帰方法及び回帰データの違いの影響について以下に報告する。

**2. 基本データと回帰方法** 既に整理されている気象庁87型強震計の記録<sup>2)</sup>に、同じ基準（マグニチュード4.0以上、震源深さ200km以下の地震に対して水平2成分の最大加速度がともに1gal以上の記録）により1996年3月までの記録を追加した。全記録数は77地点1036地震4060記録となった。地震に関するデータは気象庁発表に基づき整備した。マグニチュードの大きな12地震については、破壊面の大きさを考慮するために、既往の文献や余震分布等に基づき断層モデルを設定した。これらの地震の記録については、断層モデルに基づき最短距離と等価震源距離を求めた。

回帰方法として、① Joyner and Boore<sup>3)</sup>による1段階最尤法を用いた場合、② 2段階回帰で2段階目の回帰の重みを各地震の記録数とした場合（重みA）、③ 2段階回帰で2段階目の回帰の重みをJoyner and Boore<sup>3)</sup>による重みとした場合（重みB）、の3つの方法を用い、回帰方法による距離減衰式の違いを検討した。1段階最尤法は、同じ地震に対する観測値間の相関を考慮し、非対角項を含む分散共分散行列を重みとして用いる。

回帰により最終的に求める式の形は、最短距離 $R_{ij}$ を用いる場合は安中・野沢<sup>4)</sup>と同じ

$$\log A_{ij} = c_m M_i + c_h H_i - c_d \log(R_{ij} + c_1 \exp(c_2 M_i)) + c_0 + \sum \delta_{kj} b_j + \varepsilon$$

とし、等価震源距離 $X_{ij}$ を用いる場合は大野ら<sup>5)</sup>等と同じ距離減衰の形にマグニチュードの補正項として震源深さの項を追加した

$$\log A_{ij} = c_m M_i + c_h H_i - \log X_{ij} - c_d X_{ij} + c_0 + \sum \delta_{kj} b_j + \varepsilon$$

とした。ここで、 $A_{ij}$ はi番目の地震のj番目の観測点における地震動強度（水平2成分の平均）、 $M_i$ は地震のマグニチュード、 $H_i$ は地震の震源深さ（上限100km<sup>1)</sup>）、 $b_j$ は観測点の地点補正值であり、 $b_j$ の平均がゼロとなるように $c_0$ を求めている。 $\delta_{kj}$ はKroneckerのデルタである。 $\varepsilon$ は各記録に対するランダム変数（誤差）であり、地震間（inter-event）の変動 $\varepsilon_e$ とそれを除いた地震内（intra-event）の変動 $\varepsilon_o$ の和として、 $\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_o$ 、の形で表される。多くの地震に対する $\varepsilon_e$ の平均はゼロで分散は $\sigma_e^2$ 、 $\varepsilon_o$ の平均はゼロで分散は $\sigma_o^2$ である。

**3. 回帰方法の違いの影響** 等価震源距離を用いた場合の3つの方法による加速度応答スペクトル推定式の違いの比較を図-1に示す。マグニチュード5.0以上の地震に対して距離が500km以下の範囲の地点で得られた記録を用いている。 $c_m$ では3つともほとんど差がない。 $c_h$ は1段階最尤法と2段階重みBがほとんど同じで2段階重みAだけがややずれている。 $c_d$ は1段階と2段階で分かれている。 $c_m$ と $c_h$ の両方で1段階最尤法と2段階重みBがほとんど同じなのは、重みBがより厳密な形で重みを考慮しているためと考えられる。最短距離を用いた場合もほぼ同様である。 $\sigma_e$ 及び $\sigma_o$ の比較を図-2に示す。1段階と2段階の差よりも距離による違いの方が大きい。短周期側では最短距離式よりも等価震源距離式の方が適合度が悪くなっている。

**4. 回帰データの違いの影響** 最大加速度推定式について、最短距離式の場合のデータ範囲の影響を表-1に、等価震源距離式の場合の影響を表-2に示す。これらの結果は1段階最尤法を用いた場合のものである。等価震源距離式については距離の範囲を大きくした場合の距離減衰項に対する影響が大きい。最短距離式ではその

キーワード：距離減衰式、2段階回帰法、最尤法、気象庁87型強震計記録

連絡先：〒110 東京都台東区東上野3-3-3 TEL 03-5818-7602 FAX 03-5818-7608（安中 正）

影響はそれほど大きくない。マグニチュードの下限を4.0にすると、どちらの場合もマグニチュード項に対する影響が大きい。

**5. あとがき** 1段階最尤法は、非対角項を含む分散共分散行列を重みとして用いることにより、2段階回帰法とほぼ同様の結果を与える。通常の1段階最小2乗法で問題になる「距離係数が実際の値よりも小さく求められる問題」<sup>6)</sup>は、Joyner and Boore<sup>3)</sup>により指摘されているように、1段階最尤法では基本的に解消される。回帰データの範囲の影響はかなりあり、データの選定には十分な配慮が必要である。

**謝辞** 本研究は、東京電力、関西電力、中部電力による共同研究「LNG地下式貯槽の合理的設計手法の研究」の一部として実施したものであることを付記し、関連電力会社及び土木学会「LNG地下タンクの設計合理化小委員会分科会1」（岩橋敏広主査）に対し謝意を表するものである。

**参考文献** 1) 安中・山崎・片平(1997) 第24回地震工学研究発表会(投稿中)。2) Molas and Yamazaki (1995) BSSA, 85, 1343-1358. 3) Joyner and Boore (1993) BSSA, 83, 469-487. 4) Annaka and Nozawa(1988) 9WCEE, II, 107-112. 5) Ohno et al. (1993) Tectonophys., 218, 69-81. 6) 田中・福島(1987) 第15回地盤震動シンポジウム, 7-16.

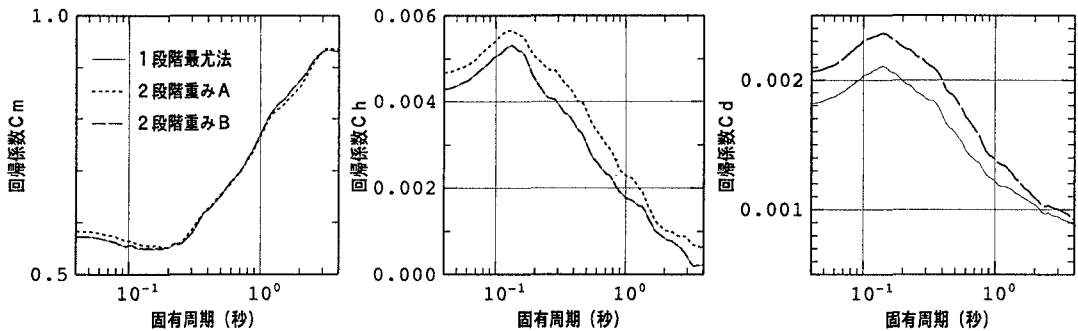


図-1 等価震源距離を用いた場合の3つの回帰方法による回帰係数の比較

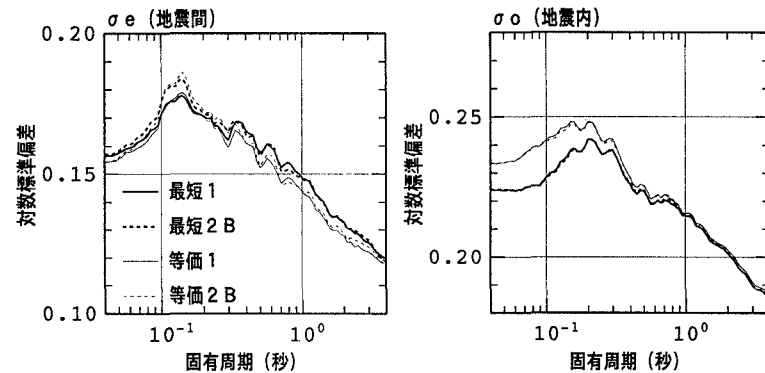


図-2 最短距離（最短）と等価震源距離（等価）を用いた場合の地震間のばらつきの標準偏差（ $\sigma_e$ ）と地震内のばらつきの標準偏差（ $\sigma_o$ ）の比較。1は1段階最尤法による結果、2Bは2段階回帰で重みをBとした方法による結果。

表-1 最短距離式（最大加速度）におけるデータ範囲の影響（ $C_1=0.233$ ,  $C_2=0.689$ の場合）

|                        | C d        |            | C m        |            | C h        |            | C o        |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| データ範囲                  | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ |
| $R \leq 500\text{km}$  | 2.005      | 1.791      | 0.600      | 0.527      | 0.00459    | 0.00430    | 1.466      | 1.428      |
| $R \leq 2000\text{km}$ | 1.944      | 1.770      | 0.614      | 0.532      | 0.00452    | 0.00417    | 1.260      | 1.362      |

表-2 等価震源距離式（最大加速度）におけるデータ範囲の影響

|                        | C d        |            | C m        |            | C h        |            | C o        |            |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| データ範囲                  | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ | $M \geq 5$ | $M \geq 4$ |
| $R \leq 500\text{km}$  | 0.00182    | 0.00169    | 0.573      | 0.492      | 0.00429    | 0.00381    | -0.307     | 0.169      |
| $R \leq 2000\text{km}$ | 0.00105    | 0.00097    | 0.565      | 0.470      | 0.00402    | 0.00343    | -0.388     | 0.195      |