

I-B 212

断層モデルによる地震動予測式の作成法
—インヴァージョン解析—

財団法人大阪土質試験所 正 ○田居 優, 香川 敬生
佐藤工業株式会社 正 中村 晋
日本原子力研究所 正 蛭沢 勝三
京都大学防災研究所 正 亀田 弘行

1.はじめに

原子力発電所における地震危険度評価上、地震動距離減衰式の推定が重要な検討項目となる。従来の回歸式による経験的予測では不確定要因が大きいことから、ここでは概要¹⁾で示したように、断層モデルから地震動を予測する方法について検討した。その際、観測地震動の特性が、断層モデルに基づく震源特性、伝播特性およびサイト特性の線形結合で表現されると仮定して、対象地点およびその周辺の地震観測地点での多地震同時観測記録の結果を用いたインヴァージョン解析により、地震記録を構成する三つの特性要素に分離した。従来の経験的な距離減衰予測式ではその構成パラメータがマグニチュード、震央距離等の比較の実用的な説明変数として記述されているが、それに対して、ここでは断層モデルそのものの震源特性、物理的に意味が明確な伝播経路特性、およびサイト固有の増幅特性を用いることで、その物理的な意味合いは明確である。またこれら三特性を構成するパラメータを確率変数と見なして、地震動予測式を構成していることで、地震におけるどのような不確定性が実際の問題に深く関わっているかを定量的に評価しうることも今回の解析では重要な結果となっている。以上の地震動予測式は加速度フーリエスペクトルで表現され、その中央値と標準偏差として求められる²⁾。

2.対象サイトと観測地震記録

概要¹⁾で示したように、対象サイトを茨城県大洗町、日本原子力研究所大洗研究所とし、その評価対象位置を $V_s = 1020\text{m/sec}$ の岩盤地点とした。大洗サイトの周辺観測点として、気象庁8観測所(小名浜, 宇都宮, 前橋, 東京, 横浜, 館山, 銚子, 水戸)とし、それに加えて、大洗サイトの地表面を加え、計10観測点での記録を評価対象とした。なお岩盤地点の観測記録ははざとり法³⁾の結果得られたものである。対象地震は1987年12月～1992年4月までに10観測点で得られた8地震(マグニチュード4.9～6.0、震央距離38～62km)記録である。観測点位置および、観測地震の震央位置を図-1に示した。

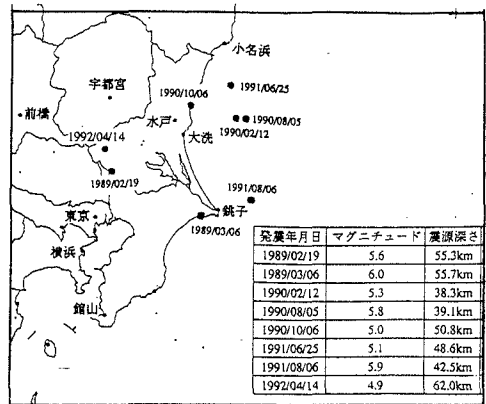


図-1対象サイト位置と観測地震の震央分布

3.解析方法 (インヴァージョン)

震源特性およびサイト特性を考慮した加速度フーリエスペクトルの距離減衰モデルとして次式を用いた。

$$O_{ij}(f) = S_i(f) \cdot \exp(-\pi f R_{ij} / Q_s V_s) / R_{ij} \cdot G_j(f) \quad (1)$$

ここで、 $O_{ij}(f)$: 観測スペクトル, $S_i(f)$: 震源スペクトル, Q_s : Q値, V_s : S波速度, $G_j(f)$: サイト増幅スペクトルおよび R_{ij} は震源距離である。観測地震は数 $I=8$, 観測地点数 $J=10$, としたので、各周波数ごとに(1)式より対数線形の $I \times J = 8 \times 10 = 80$ の連立方程式が得られ、そして未知数が震源スペクトル I , サイトスペクトル J , そして1個の Q 値, 計 $I+J+1=19$ 個である。この解は方程数 > 未知数であり一般的には解けない。そこで最小二乗法による特異値解により解を求めた。その場合制約条件として、非負条件を用いている⁴⁾。しかし最終結果として、岩盤地点(はざとりにより計算された記録)での $G_j(f)=1.0$ として補正している。

4.断層モデルによる地震動予測式

インヴァージョン解析により分離された8個の地震の震源スペクトルを図-2に、Q値の周波数依存性を図-3

に、そしてサイト増幅関数を図4に示した。図中に示している範囲は予測値と実測値とのバラツキをそれぞれの特性に還元したときの平均値に対する対数標準偏差を示している。これらの結果から説明されることは、まず震源スペクトルが対象としたマグニチュード範囲で ω 二乗則に適したものであること、第2にQ値の周波数依存性が既往の研究と良く一致していること、第3にサイト増幅特性がその観測点の地盤種別に対応していることが明かとなり、はざとりによる岩盤地震動を推定することで、それに対するサイトでの増幅特性の物理的な意味が明かとなった。次に震源スペクトルを断層モデルに適用するために大洗観測点記録を用いて、次式により震源パラメータをAndrews⁵⁾の手法より求めた。

$$S_i(f) = \frac{\Omega_0}{1 + (ff_c)^2} = R_{ij} \cdot O_{ij}(f) / \exp(-\pi f R_{ij} / Q_s V_s) / G_i(f) \quad (2)$$

ここで定義される震源パラメータは地震モーメント M_0 (これは変位での震源スペクトルの長周期側のフラットレベル Ω_0 から求められる。また変位での震源スペクトルの形状から(2)式より ω 二乗則と見なして、コーナー周波数 f_c を求めることができる。地震モーメントとコーナー周波数との関係から求める断層パラメータ、応力降下量の分布について、その地体構造的な意味の検討は香川ほか²⁾で述べる。また以上のように求めた地震動予測式と実測のスペクトルの予測精度についても同論文で言及する。

5.まとめと課題

(1)インバージョン解析において、震源・伝播・サイト特性を合理的に分離することができ、その分離結果は既往の研究結果を良く反映している。またはざとり手法により岩盤での観測特性を明瞭にしたことからサイト特性の物理的意味が明瞭になった。(2)伝播・サイト特性を媒介にして震源スペクトルの特性を評価したところ、地震モーメントとコーナー周波数との関係および応力降下量として震源特性を断層モデルに基づき評価することができる。(3)したがって、このように断層パラメータを軸に観測地震を把握することで、合理的で、有効な地震動予測モデルを構築することが可能となった。ただし加速度に影響する短周期側のいわゆる f_{max} については残された問題である。

最後にこのような特定サイトでの地震動予測式作成法の問題をより精度良く行うためには、まず実用的なマグニチュードと震源パラメータとの関係の検討、および震源パラメータおよび伝播特性の地体構造論的な分類の可能性があるかどうかの検討が必要である。

参考文献 1)嵯沢勝三他:土木学会第51回年次学術公園回概要集,1996,2)香川敬生他:同概要集,1996,3)中村晋他:同概要集,1996,4)若田・入倉:地震2,39,579-593,1986,5)Andrews, Geophys. Monograph, 37,259-267,1986,6)田居優他:10WCEE,1992

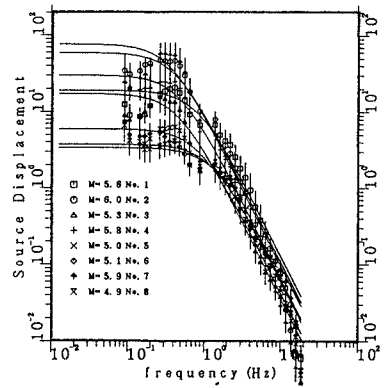


図-2震源スペクトル

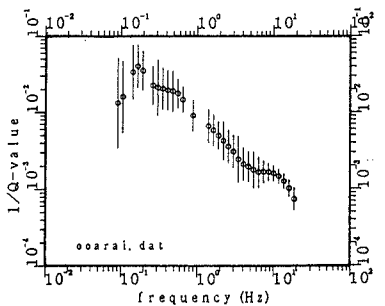


図-3Q値の周波数依存性

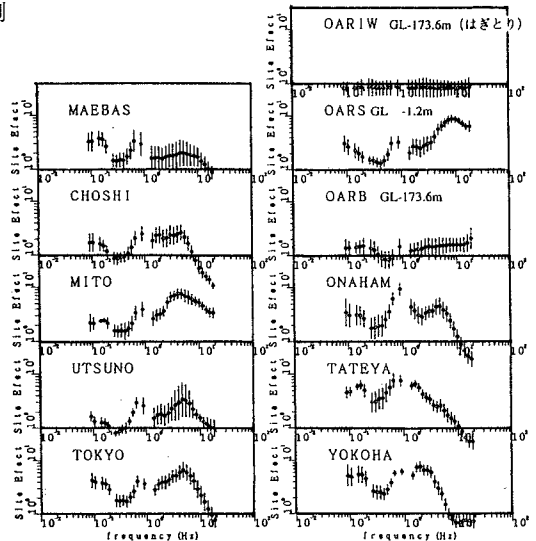


図-4サイト増幅特性