

東電設計（株） 正会員 安中 正

東京電力（株） 正会員 悦永賢司、嶋田昌義

1. まえがき 前報¹⁾²⁾では初期モデルを先験的情報に基づく最も確からしいモデルと考えるベイズ的な手法が鉛直アレー記録から地盤の動的物性のひずみ依存性を同定する手法として非常に有効であり、有意と考えられる変化を安定的に求めることができることを示した。本研究では、インバージョンの結果として得られる事後確率密度分布の性質を分析することにより、推定されたモデルパラメータの精度を検討した。また、モデルパラメータの事前の分散がインバージョン結果に及ぼす影響を検討した。

2. データ及び方法 検討に用いた観測点は東京湾岸の埋立地盤に設置されている。PS検層を含む地盤調査により得られている地盤構造と地震計の設置位置を表-1に示す。解析方法は前報¹⁾²⁾に示した通りであり、ベイズ的アプローチに基づき、鉛直アレー観測記録から得られる2点間の伝達関数と、地盤モデルから1次元波動理論により計算される伝達関数が最も良く適合するように地盤物性を求めるものである。問題の非線形性が弱い場合、非線形インバース問題の答えは、事後確率密度分布の最大値を与える x の値と、そのまわりの x の分散・共分散行列 C により充分よく表現され、 C は

$$C = (A^T E^{-1} A + D)^{-1}$$

で与えられる³⁾。ここで、 E は観測方程式の誤差の分散・共分散行列、 D はモデルパラメータの誤差の分散・共分散行列、 A はヤコビ行列である。事前モデルの D が観測データの情報により事後モデルの C に修正される。また、これに関連したパラメータとして有効数（effective number）という概念が提案されている⁴⁾。有効数は全体に対して観測データから決まる部分の比率を示している。

3. モデルパラメータの事前と事後の分散の変化

後の分散の変化 前報の解析結果に対し、事前と事後のモデルパラメータの分散の変化を検討した。前報¹⁾の表-2の模擬データを用いた場合、表-3の弱震動の平均的なスペクトル比を用いた場合、表-4の1987年千葉県東方沖地震（強震動）のスペクトル比を用いた場合について事前と事後のモデルパラメータの標準偏差の変化を図-1に示す。減衰は $h=h_0/r^p$ で表現し、 h_0 はインバージョンにより求めている。事前と事後で標準偏差が小さくなっていけばいほど観測データによりパラメータの

表-1 観測点の地盤構造と地震計の設置位置

Layer No.	Thickness (m)	Vs (m/s)	Density (g/cm ³)	Seismometers
1	5.0	100	1.85	● G.L.-1.5m G4
2	5.0	100	1.50	
3	4.0	170	1.80	
4	3.0	420	1.70	
5	5.0	220	1.60	● G.L.-22.3m G3
6	9.5	420	1.80	
7	1.5	520	1.80	
8	6.0	320	1.72	● G.L.-38.5m G2
9	7.0	420	1.85	
10	16.0	340	1.85	
11	12.0	500	2.05	● G.L.-80.0m G1
12	-	560	1.80	

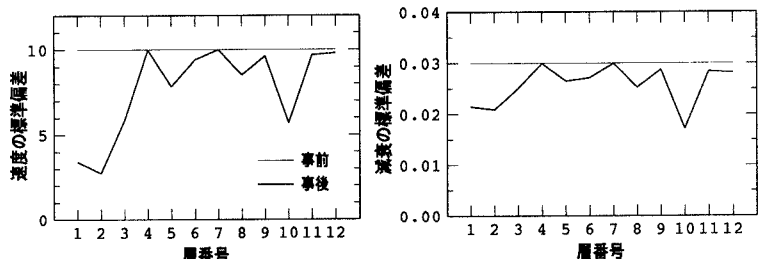


図-1(1) 模擬データを用いた場合の事前と事後の標準偏差の変化

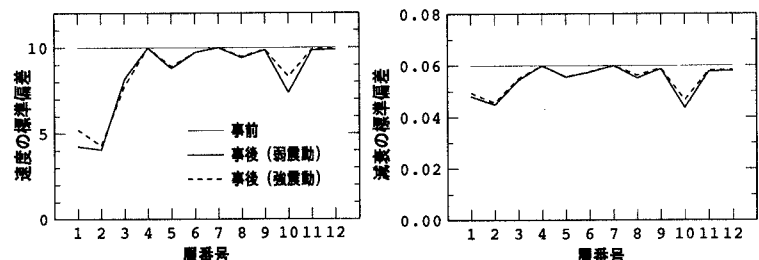


図-1(2) 実データを用いた場合の事前と事後の標準偏差の変化

推定精度が改善されたと考えられる。そうした観点からみると、第1～3層と第10層の標準偏差（誤差）が観測データによりかなり改善されているが、第4層と第7層は事前と事後で標準偏差がほとんど変化していない。第4層と第7層のモデルパラメータの良否は観測データからは判断できないと考えられる。3つの場合で、データが違い、モデルパラメータが変化している層も違うが、標準偏差の変化の基本的な傾向は一致している。このことは推定されたモデルパラメータの精度が鉛直アレーの配置と構造モデルにより基本的に支配されていることを示す。有効数は(1)が0.30、(2)の弱震動が0.21、強震動が0.19であり、観測データから決まる部分の比率はあまり大きくない。

4. モデルパラメータの事前分散の影響 これまでの実データを用いた検討では標準偏差を、速度は10m/s、減衰は6%と層によらず一定の定数で与えてきた。しかし、PS検層における速度の誤差は速度が大きくなるとそれにほぼ比例して大きくなり、変動係数を一定とする方が現実に近いと考えられる。そこで、速度と減衰の分散を対数正規分布の形で与えた場合を検討した。速度の自然対数の標準偏差を0.1（平均+標準偏差が約1.1倍）、減衰の自然対数の標準偏差を0.6（平均+標準偏差が約1.8倍）とした場合について、図-1(2)と同じ弱震動データを用いた時の解析結果を図-2に、強震動データを用いた時の解析結果を図-3に示す。分散を正規分布の形で一定値で与えた前報¹⁾での結果と比較している。速度については、分散を対数正規分布で与えた場合の方が分散を一定値で与えた場合よりも深い部分での初期値からの変化が大きくなっている。減衰については、対数正規分布の方が変化がやや小さいが、変化の傾向はあまり変わらない。図-2の場合のモデルパラメータの事前と事後の標準偏差の変化を図-4に示す。図-1(2)と比べ深い部分で速度の標準偏差の減少が大きくなっている。これは事前の標準偏差が大きめに設定されているためであり、有効数も0.21から0.28へ増加している。

図-3の強震動データの場合、ひずみ依存性による速度変化としては速度変化が表層部分の層に限定されている点で、一定値で分散を与えた場合の方が望ましい結果と考えられる。

5. あとがき インバージョンの結果として得られる事後確率密度分布と事前分布の関係から得られたモデルパラメータの精度が検討できる。ひずみ依存性を検討する場合、速度の分散を標準偏差一定の対数正規分布で与える方法では速度の大きな層の変化が大きくなりすぎる可能性がある。

【参考文献】

- 1) 安中・他(1994) 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、第1部、1358-1359.
- 2) 安中・他(1994) 第9回日本地震工学シンポジウム論文集、493-498.
- 3) 松浦(1991) 地震第2輯、第44巻特集号、53-62.
- 4) Matsu'ura (1984), J. Phys. Earth, 30, 451-468.

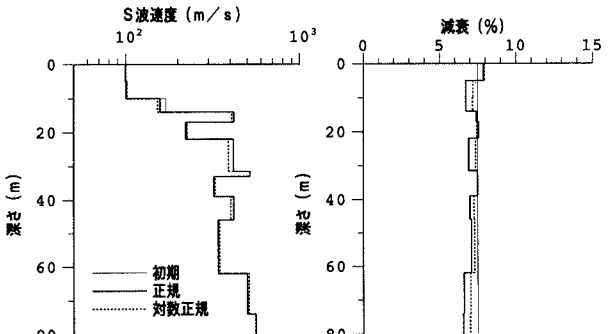


図-2 分散の与え方によるモデルの変化（弱震動データ）

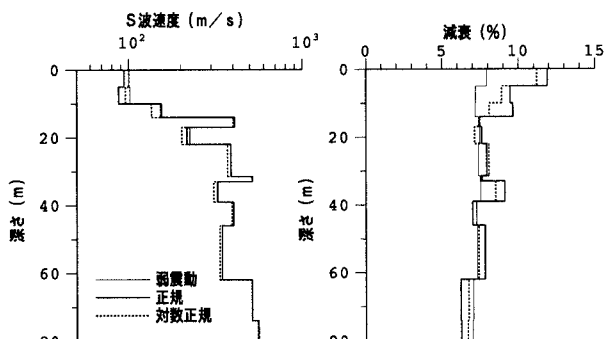


図-3 分散の与え方によるモデルの変化（強震動データ）

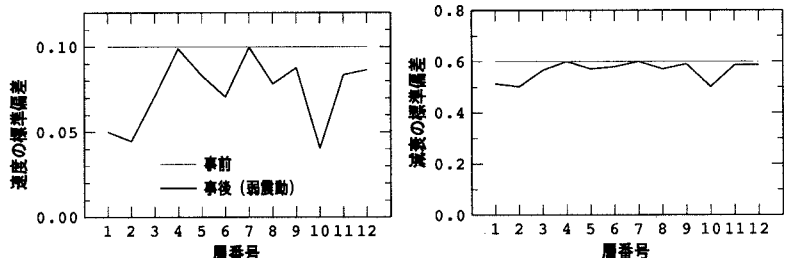


図-4 分散を対数正規分布で与えた場合の事前と事後の標準偏差の変化