

## I-457 A Rモデルを用いた波動伝播特性の推定方法

埼玉大学大学院 学生会員 高橋亜希子

埼玉大学工学部 正会員 川上英二

## 1. 序文

複数地点での地震動の実測波形から波動の伝播方向、速度、増幅、減衰、反射、透過などの伝播特性を推定し、波動の伝播システムとして考えた地盤の構造を推定する方法としては、従来、相互相関関数を用いる方法がある。しかしながら、相互相関関数のピークが、波動の重なり具合いと必ずしも良く対応しているとは限らない。

一方、上述の方法とは逆に、地盤の物性の分布をボーリング結果などに基づいて仮定し、波動の伝播特性を求め、この結果を実際の地震時における観測波形と理論波形とを比較する事によって波動の伝播特性を検討する方法がある。しかしながら、この方法では、地盤モデルとして無限個のモデルを考えることは不可能であり、一直線上の情報を与えるボーリングでは明瞭に現れなかった新しい反射面を発見する事は困難である。このため、観測結果から波動の伝播状況を直接求める方法を開発する事が必要であると考えられる。

本研究では、複数地点で観測された地震波形から波動の反射、透過などがどのように行われているかを推定する事、つまり、ある地点に単純な形の変位が加わった場合に別の地点に生ずる変位を推定し、波動の伝播の様子を明らかにする方法を展開する事を目的としている<sup>1)</sup>。そして、本小文では、観測波形に含まれる雑音が波動の伝播特性の推定結果に与える影響を検討している。

## 2. 解析理論

解析方法は二つの手順から構成される。初めに、解析しようとする複数の地点における地震波形の時系列を多次元自己回帰モデル(A R, autoregressive model)を用いて表現し、係数 $a_{nij}(m)$ を決定する。次に、この係数を用いて、1つの地点のある時刻にパルス状の変位が生じた場合の、他の地点における変位を算定し、波動の伝播特性を推定する。

a) 係数  $a_{nij}(m)$  の決定

観測された $k$ 次元の時系列  $\{X(s)\} = \{x_1(s), x_2(s), \dots, x_k(s)\}^T$  ( $s=1, 2, \dots$ ) ( $T$ は転置ベクトルを表す) に次式で表されるA Rモデルを適用し、誤差 $\epsilon_i(s)$ の二乗平均が最小になるように、係数 $a_{nij}(m)$ を、各 $M$ の値に対して決定する。

$$x_i(s) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^k a_{nij}(m) x_j(s-m) + \epsilon_i(s) \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (1)$$

さらに、赤池らによる方法<sup>2)</sup>によって、次数 $M$ と係数 $a_{nij}(m)$ を決定する。

## b) 波動伝播特性の算定

ある一つの地点において単位パルス状の波形(時系列)が観測される場合に、その他の地点で観測されるはずの波形を、a)で求められた係数を用いて以下の3通りの方法で算定する。

I. 一地点における観測波形を、ある時刻にのみ大きさ1のパルスが現れ、その他の時刻では大きさが正確に零となるような時系列とする。

II. 一地点における観測波形を、厳密な単位パルスとは設定せず、ある時刻に大きさ1の値を示す時系列とする。そして、すべての時系列の二乗和を最小にすることを条件とする。

III. 一地点における観測波形を、ある時刻に大きさ1の値を示す時系列とする。そして、IIの場合の二乗和と、各時系列の隣合う値の差(傾きに相当)の二乗和とのすべて時系列に対する和を最小にすることを条件とする。

### 3. 解析精度の検討

観測波形に雑音が含まれる場合を想定し、雑音が解析結果にどの程度影響を与えるかを検討した。その際、適当に作成した $x_1(s)$ （図-1(a)）、および、これを $\tau=5$ ステップ遅らせた波形（図-1(c)）に正弦波の雑音（図-1(b)）を振動数または振幅を変えて加えた波形 $x_2(s)$ （図-1(d)）を使用した。

図-1(f)に示す、方法Ⅰによる解析結果から、図-1(b)のC～Hの雑音を加わった場合には、かなり良い結果が得られていることがわかる。しかし、特に、図-1(b)Aのような雑音を加わった場合には、結果が乱れており、 $\tau$ ステップ後のパルスすら明かではない。

そこで、このAの雑音を加わった場合に対して、波動の伝播特性の算定方法として、Ⅰの方法の代わりに、ⅡまたはⅢの方法に従って算定した結果を図-2、3に示す。ⅡまたはⅢの方法を用いると、Ⅰの方法によるよりも、雑音の影響を少なくすることができ、理論解に近い結果が得られていることがわかる。

#### 参考文献

- 1) 高橋亜希子, 川上英二: 土木学会第43回年次学術講演会概要集, I-476, 1988.
- 2) 赤池弘次, 中川東一郎: ダイナミックシステムの統計的解析と制御, サイエンス社, 1972.

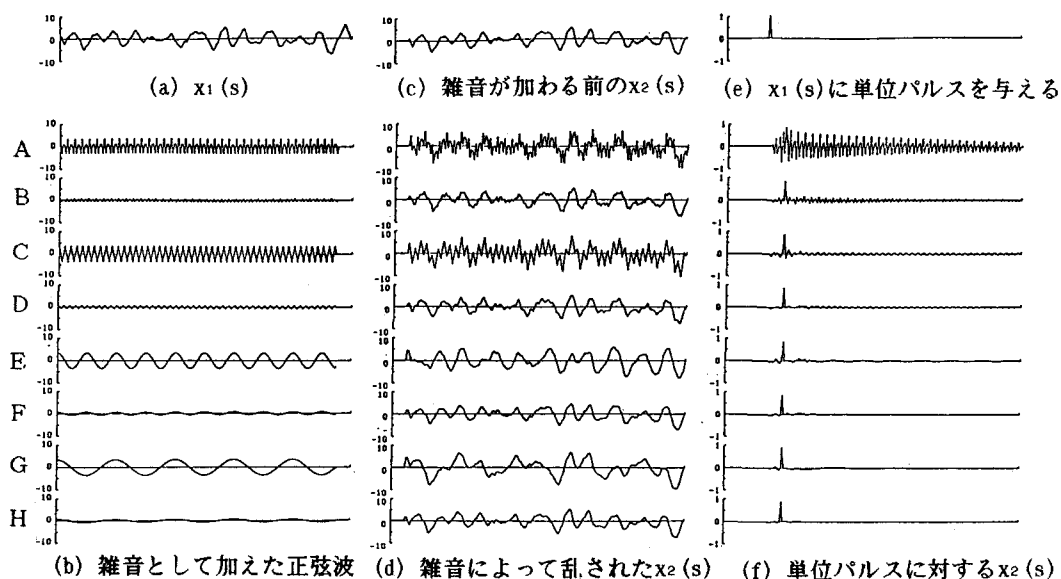


図-1 観測波形と方法Ⅰによる解析結果

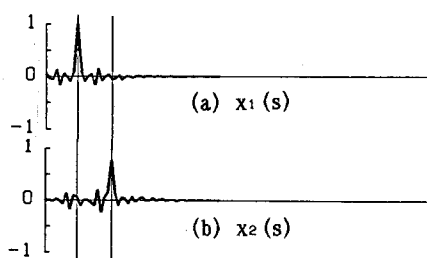


図-2 方法Ⅱによる解析結果

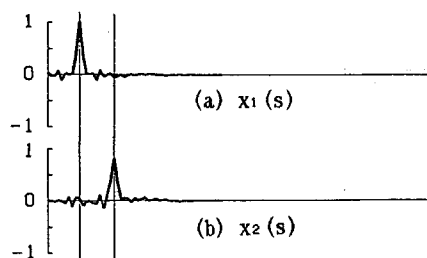


図-3 方法Ⅲによる解析結果