

[自主研究]

# 表面波伝搬特性に関する基礎的研究

白石英孝

## 1 目的

本研究は、地下水汚染調査や振動公害・地震動予測等で必要となる浅層地下構造情報を得るために、新しい計測理論の開発を目的としたものである。地盤振動に含まれる表面波は、減衰が少なく遠方まで伝わるため、振動公害の原因になりやすいという負の側面をもつ。その一方で、伝搬経路の性質を強く反映していることから、適切な解析を行うことで地下の構造情報を抽出できるという有用な側面ももっている。地下の構造情報は、地下水汚染の範囲推定や振動公害の原因推定・対策方法の検討などに欠くことのできない有用な情報である。地下構造の推定に必要な表面波位相速度検出法として、センサを円周上に配置した円形アレーを用いる空間自己相関法 (SPatial AutoCorrelation法: SPAC法) が広く使用されるが、円周点の等間隔配置という厳しい制約がある。この制約により都市域では家屋や道路に妨げられてアレーを設置することができず、地下構造の推定が行えない場合がある。そこで本研究では、振動計の配置の制約を緩和・解消するために、制約の原因を解明し配置に高い任意性をもつ新しい位相速度検出法を導く理論的検討を行った。

## 2 方法

地下構造の推定には、表面波のうち一般にレーリー波の上下振動が使われる。地表面の加振で生じるレーリー波の上下動振幅は、Lambの問題の解析解によって数学的に表現される。また、SPAC法では中心点と円周点の2つの観測点で得られる地盤振動から複素コヒーレンス関数 (Complex Coherence Function: CCF) を求め、これを使って速度分散を求め地下構造の推定計算が行われる。そこで、Lambの問題の解析解からCCFを導き(次式参照)、これを用いて理論的検討を行うこととした。なお  $r$  は円の半径、 $k$  は波数である。波数  $k$  を観測で決定できれば速度分散を求めることができる。式の右辺第2項は振源方位角  $\theta$  で変化する誤差項である。

$$\text{Re}(\gamma) = J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ (-1)^n J_{2n}(kr) \sum_{\ell=1}^L \lambda_{\ell} \cos 2n\theta_{\ell} \right\}$$

## 3 SPAC法の位相速度検出メカニズム

SPAC法で一般に使われる正三角形アレーを図1に示す。この配置では、中心と円周点から3つのCCFが得られる。またSPAC法ではこの3つのCCFの方位平均(算術平均値)が  $J_0(kr)$  (第1種0次ベッセル関数) に等しいとされているため、平均値  $\rho$  を計算すると次式が得られる。

$$\rho = J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left[ (-1)^{3n} J_{6n}(kr) \left\{ \sum_{\ell=1}^L \lambda_{\ell} \cos(6n\theta_{\ell}) \right\} \right]$$

右辺第2項は  $J_0(kr)$  よりも微小値であるため、 $\rho$  はSPAC法の理論通り  $J_0(kr)$  に近似できる。この結果からSPAC法とは、方位平均によりCCFの誤差項を微小値化することで  $J_0(kr)$  を抽出する方法であることが明らかになった。

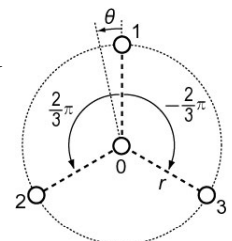


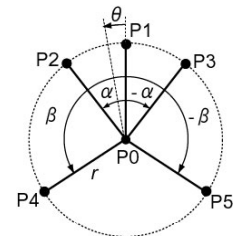
図1 正三角形アレー

## 4 配置の制約の原因

算術平均によって誤差項を微小値化できる配置を逆解析によって求めたところ、等間隔配置を含む少数の配置に限定されることが判明した。つまりSPAC法の円周点等間隔配置の制約は、方位平均によって  $J_0(kr)$  を求めることに原因がある。したがって方位平均を用いずに  $J_0(kr)$  を推定できれば配置の制約を緩和・解消できる可能性がある。

## 5 新しい位相速度検出法(直接同定法)

任意のアレーを複数のCCFで数学的に表現し、これを連立方程式とみなして  $J_0(kr)$  について解くことで、波数を決定する新しい検出法(直接同定法)を導いた。この方法では観測点数は増えるが(図2)、円周点の角度  $\alpha$ 、 $\beta$  を任意の位置に連続的に移動して様々なパターンをとれるため、配置の制約はほぼ解消される。また理論的にはSPAC法と同等の精度で位相速度を推定できる。



本研究での理論的検討により、配置の任意性を高めた新しい探査手法を導くことができた。今後は、本研究の母体である自主研究課題(浅層地盤の微細構造探査手法の開発)の中で実証試験や探査時の作業の効率化等の検討を行う予定である。