常時微動の三成分空間自己相関係数に基づくS波速度構造の推定

福井大学	正会員	○小嶋	啓介
大東建託	(株)	原	利之

1. まえがき

常時微動のアレイ観測から地盤構造を推定しようとする場合,鉛直方向の微動観測データから算出された Rayleigh 波位相速度をターゲットとし、S波速度構造の最適化を行なうという手順がとられている.しかし、 半径の異なるアレイ観測に基づく空間自己相関係数から位相速度を算出する手順には、速度の連続性や基本モ ードの選択など、解析者の主観が影響する場合がある.本報告では、三成分微動計を用いたアレイ観測から得 られる空間自己相関係数そのものをターゲットとし、対象地点のS波速度構造を推定する方法を提案する.

2. S波速度構造推定方法

半径rのアレイ観測から求められる上下,半径お よび接線方向の空間自己相関係数 ρ_v , ρ_r , ρ_{θ} は, Rayleigh 波および Love 波の位相速度と次式で結び 付けられる.

$$\rho_{\nu}(\omega, r) = J_0(rk^R) \tag{1}$$
$$\rho_r(\omega, r) = \left\{ J_0(rk^R) - J_2(rk^R) \right\} P^R \tag{2}$$

$$+ \{J_{0}(rk^{L}) + J_{2}(rk^{L})\}P^{L} \\\rho_{\theta}(\omega, r) = \{J_{0}(rk^{R}) + J_{2}(rk^{R})\}P^{R} \\+ \{J_{0}(rk^{L}) - J_{2}(rk^{L})\}P^{L}$$
(3)

ここに、 ω :角振動数、 J_0 、 J_2 :第1種0次およ び2次の Bessel 関数、 k^R 、 k^L 、 P^R 、 P^L =1- P^R : Rayleigh および Love 波の波数およびパワー比を示 している. S波速度構造と Rayleigh 波のパワー比 の初期値を与えることにより,Bessel 関数のアーギ ュメントひいては理論相関係数が算出できる.本報 告では、次のような観測および理論空間自己相関係 数の誤差としての適応度関数 F_f を設定し、これを最 大化する地盤各層のS波速度、層厚および Rayleigh 波のパワー比を求めることとする.なお、最適化計算 には、遺伝的アルゴリスム(GA)を用い、各パラメー タの初期値からの修正率を未知とした.また、パワ ー比には周波数依存性があると考えられるが、ここ では周波数によらず一定とした.

$$J = \frac{1}{F_f} = \sum_{r=1}^{N_r} \sum_{k=1}^{3} \sum_{f=1}^{N_f} W_k \left(\frac{\rho_{rkf}^o - \rho_{rkf}^c}{\sigma_{rkf}}\right)^2 \to \min (4)$$

ここに、 ρ° 、 ρ° :観測および理論空間自己相関係

モデル地盤構造 表—1 密度 層厚 S波速度 層 1.7 10 100 1 2 1.8 20 250 3 1.9 40 450 4 2.0 60 700 2000 Base 2.3 1.0 1.0 0.8 0.4 0.2 0.0 -0.2 -0.4 -0.6 -0.8 -1.0 0.8 15m-r 0.6 alation Autocorrelation coefficient j 0.4 0.2 0.0 coefficient 0-AC -0.2 C-AC0 C-AC_r C-AC0_ -0.4 C-AC_r -0.6 6 Frequency (Hz) 4 Frequency (Hz) 1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0 1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0 -0.2 -0.2 15m-θ 5m-θ tocorrelation coefficient to correlatio co efficient 0-AC_6 -0.2 C-AC0_6 -0.4 C-AC_0 -0.6 -0.6 4 8 Frequency (Hz) Frequency (Hz) 1.2 1.2 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0 15m-v 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 utocorrelatio coefficient Autocorr coeffic O-AC_v 0.0 O-AC V -0.2 C-ACO -0.2 C-ACO -0.4 -0.4 C-AC -0.6 4 Frequency (Hz) Frequency (Hz) 観測・理論空間自己相関系数の比較 図-1 100 80 - H1 - H2 H3 - H4 60 10 Thickness (m) 05 05 1.5 0.1 0 0.01 5 10 15 20 Generation

図-2 各層厚の最適化過程

数、 σ :観測空間自己相関係数の分散、 $W_{_k}$:成分ごとの重み、 N_r :アレイ半径の個数、 N_f :比較する周波

キーワード 常時微動,アレイ観測,空間自己相関係数,S波速度構造,逆解析 連絡先 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学工学研究科建築建設工学専攻 TEL 0776-27-8592 数個数, *r*,*k*,*f*:アレイ半径,成分(半径,接線 および上下),周波数成分を示す添え字をそれぞれ 示している.の

3. モデル地盤での適用結果

表-1のようなモデル地盤を設定して算出され た理論空間自己相関係数を観測空間自己相関係数 と見なす.図-1のプロットは、半径5mと15m の半径方向および上下方向の観測相関係数である. 表-1に設定した地盤モデルのうち各層の層厚を 20%小さい値を初期値として最適地盤構造モデル の探索を行った.図-1の灰色線は初期モデル, 黒線は最適地盤モデルによる理論空間自己相関係 数を示す.最適化を行うことにより、観測値を精 度良く再現していることは明らかである.図-2 は、世代ごとの層厚および目的関数の変化を示し, 左軸は層厚、右軸は目的関数を示している.層厚

が地盤モデルの正解値に漸近するにつれ, 誤差が急激に減少していることが分かる. 実際のアレイ観測から得られる空間自己相関係数は, ノイズなどの影響を受け, 図 -1のように滑らかではなく, 誤差を含むものと考えられる. ここでは, 図-1の 空間自己相関係数に乱数によるノイズを付加し, 最適化計算に及ぼす影響を検討し た. 観測される空間自己相関係数として, 三成分を与える場合と上下動のみを与え るそれぞれの場合について, 0,5,10%のノイズを付加した場合の, 各層の層厚の推 定精度を図-3に示す. 上下動のみが観測される場合に比較して三成分の場合は, 第4層の推定精度が向上していることが明らかである一方, ノイズの割合の影響は 顕著でない. これは, 比較する周波数全体にわたり一様乱数としてノイズを付加し たためと考えられる.

4. 現場観測データ適用結果

福井県坂井市グラウンドにおいて,半径 5.0m(8.7), 10.6m(18.4), 49.4m(85.6) の正三角形アレイによる三成分常時微動観測を行った. 図-4のプロットは,辺長 8.7m と 18.4m のアレイ観測から求められた成分ごとの空間自己相関係数である. 半径および接線方向の空間自己相関係数は,上下動成分のそれより変動が大きく,

高次モードの影響と思われる不連続も認められる.同図の灰色線は初期地盤モデル,黒線は最適地盤モデルに よる理論相関係数を示している.すべての成分を総合的に見れば,最適モデルの方が観測値に近いが,上下動 成分に限れば初期モデルの方が観測値に近い部分も認められる.この要因として,Rayleigh 波と Love 波のパ ワー比を,周波数によらず一定としていることがあげられる.推定精度の向上のためには,周波数依存性を持 つパワー比を推定対象とした解析が必要であると考えられる.図-6は,S波速度構造の最適値を示し,実線 が通常のRayleigh 波の位相速度をターゲットとした場合,破線が空間自己相関係数を用いた場合である.後 者の場合,3層目のS波速度がやや小さいが,概ね類似した構造が得られているように判断できる.

5. あとがき

本研究では微動アレイ観測による空間自己相関係数に基づいて、S波速度構造を推定する方法の提案を行った.実際の空間自己相関係数には、Love 波のパワー比の影響ならびに高次モードの影響が認められ、これらの処理方法が今後の研究すべき課題として残った.



図-4 勤労者グラウンドの空間自己相関係数の比較



Vs (m/s) 500

1000

0



1-157