

常時微動観測による位相速度を用いた表層地盤S波速度構造の逆解析に関する検討

国土技術政策総合研究所	正会員	○川名 太
国土技術政策総合研究所	正会員	長尾 毅
芝浦工業大学	正会員	紺野 克昭

1. 目的

地盤の S 波速度構造は地震動の増幅特性等に寄与し、地震被害との相関が高いことから、その構造を精度良く把握することは、耐震工学および防災工学において重要な課題である。地盤の S 波速度構造の把握は、PS 検層を実施すれば可能であるが、より経済的な手法の一つに常時微動観測が挙げられる。

本研究では、常時微動観測結果より得られる Rayleigh 波の位相速度をもとに逆解析¹⁾を行い、表層地盤の S 波速度構造を推定する問題を扱う。表層地盤は S 波速度の増減の大きな薄層により構成される場合が多いため、このような地盤構造に対して逆解析により推定可能な層厚および S 波速度を把握しておく必要がある。そこで、層厚とその層のインピーダンスコントラストに注目し、これらが位相速度に与える影響度合いについて検討した。また、S 波速度構造が既知である地盤に対して、初期モデルを複数設定し、いくつかの手法を用いて逆解析を実施し、各手法の表層地盤 S 波速度構造推定への適用性を検討した。

2. 層厚とインピーダンスコントラストが Rayleigh 波の位相速度に与える影響

図 - 1 に示される PS 検層により S 波速度構造の既知の地点である鹿島港、横浜港の地盤構造を対象とし、層厚と S 波速度を変化させ Haskell の matrix 法²⁾を用いて Rayleigh 波の位相速度を算出した。得られた位相速度を比較することで、その影響度合いを調査し、逆解析の表層地盤 S 波速度構造推定への適用性を検討した。

層厚の変化は以下の手順で行った。図 - 1 の地盤構造の中位に位置する層を分割する。分割した上部の層の層厚を 0.5 ~ 5m まで 0.5m 刻みで変更し、各々に対してインピーダンスコントラストを 1/3, 2/5, 1/2, 2/3, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 と変更して位相速度を算出した。インピーダンスは、密度 ρ と S 波速度 V_s との積 $\rho \cdot V_s$ で表され、ここではインピーダンスコントラストは検討に用いる層のインピーダンス $\rho_1 \cdot V_{s1}$ に対するその上層のインピーダンス $\rho_2 \cdot V_{s2}$ の比として定義する。なお、本検討では $\rho_1 = \rho_2$ としている。分割した下部の層の V_s は、もとの地盤の V_s と同様である。

図 - 2 には、鹿島港および横浜港における層厚とインピーダンスコントラストの関係が示されている。図中の分類には、算出された各々の位相速度ともとの地盤構造における位相速度の差をもとの地盤構造の位相速度で除して二乗和した値（以下、残差二乗和と称す）を用いている。図 - 2 の結果より共通して、インピーダンスコントラストが 1 以下のとき残差二乗和の値が大きくなっており位相速度への影響が大きいことがわかる。このことより、低速度層は薄層であっても逆解析により推定できる可能性が高いと考えられる。図 - 2 (b) の横浜港の場合には、インピーダンスコントラストやわずかな層厚の変化にも残差二乗和の値の変化が敏感であり、増減の激しい表層 S 波速度構造の推定が可能であると考えられる。

3. 表層地盤 S 波速度構造推定に関する逆解析手法の比較

表層 S 波速度構造の推定は、非線形最適化問題となることから、多くの局所解が存在し、逆解析結果は初期モデルに依存することになる。ここでは、初期モデルを変更して逆解析を行い、表層地盤 S 波速度構造推定に対する各逆解析手法の適用性の検討を行った。逆解析手法としては、準ニュートン法、逐次二次計画法、遺伝的アルゴリズムを用いた。対象とする構造は横浜港の 6 層地盤とし、この地盤構造をもとに理論位相速度を算出した。理論位相速度を用いて逆解析を実施し、推定結果ともとの地盤構造とを比較した。初期モデルは、PS 検層結果をもとに設定している。(a)、(c)として、層厚、 V_s とともに元の地盤構造に対して 10% 大きな場合と、(b)、(d)として、元の地盤構造と比較して極端に構造が異なる場合の二通りを扱った。また、未知数の数による影響を考慮して、(c)、(d)では、

キーワード 表層地盤 S 波速度構造、位相速度、逆解析

上部の3層目までを用いている．図-3には，各初期モデルに対する逆解析結果が示されている．(c)の結果では，準ニュートン法，逐次二次計画法ともに，PS 検層結果とほぼ同じ値が得られた．GA については20%程度の誤差が生じているが，概ねどの手法でも良好な結果が得られているものといえる．(d)では，深度5.3m以下で準ニュートン法の誤差が大きくなる．このことより，準ニュートン法では，初期モデルの設定が適切に行われれば良好な結果が得られることを確認した．6層地盤の結果(a)，(b)では，表層30m程度までの推定結果は良好であるのに対し，それ以下では，誤差が大きくなっている．これにより，6層地盤に比べて3層地盤の方が推定精度が良く，未知数の個数が推定精度に及ぼす影響を確認した．また，6層地盤の推定においては，遺伝的アルゴリズムによる逆解析の誤差が，他の手法の誤差と比べて小さくされており，未知数の多い場合には，有効な手法であると考えられる．

4. まとめ

本研究では，表層地盤のS波速構造推定のためのRayleigh波の位相速度を用いた逆解析の適用性及び逆解析手法の検討を行った．これにより，以下の結論が得られた．

インピーダンスコントラストの影響は，コントラストが1以下の場合に大きく，薄層であっても位相速度への影響が強いことが分かった．

表層地盤S波速度構造推定への逆解析手法の適用性について検討した結果，層数の少ない場合には，どの逆解析手法においても比較的推定精度は良好であった．しかし，計算時間の観点から，適切に初期解が設定されていれば，準ニュートン法や逐次二次計画法の適用が妥当であるといえる．また，未知数が多い場合には遺伝的アルゴリズムが有効であることを確認した．

謝辞：本研究は運輸施設整備事業団基礎研究制度の助成を受けて行ったものであり，記して感謝申し上げます．

参考文献

- 1) 山中浩明，石田寛：遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析，日本建築学会構造系論文集，第468号，9-17，1995．2
- 2) N．A．Haskell：The dispersion of surface waves on multilayered media，Bull．，Seismol．，Soc．Am．，43，pp.17-34

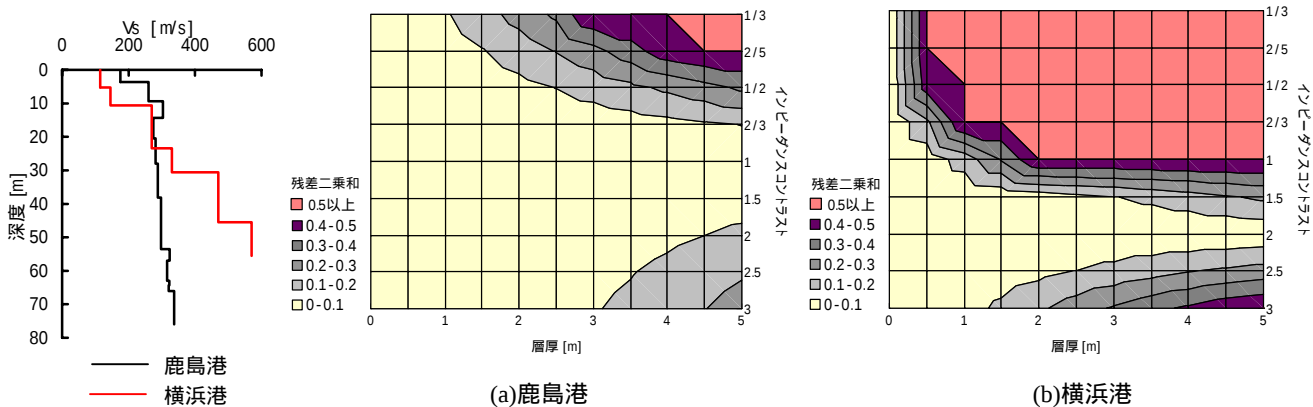


図-1 S波速度構造

図-2 インピーダンスコントラストの影響

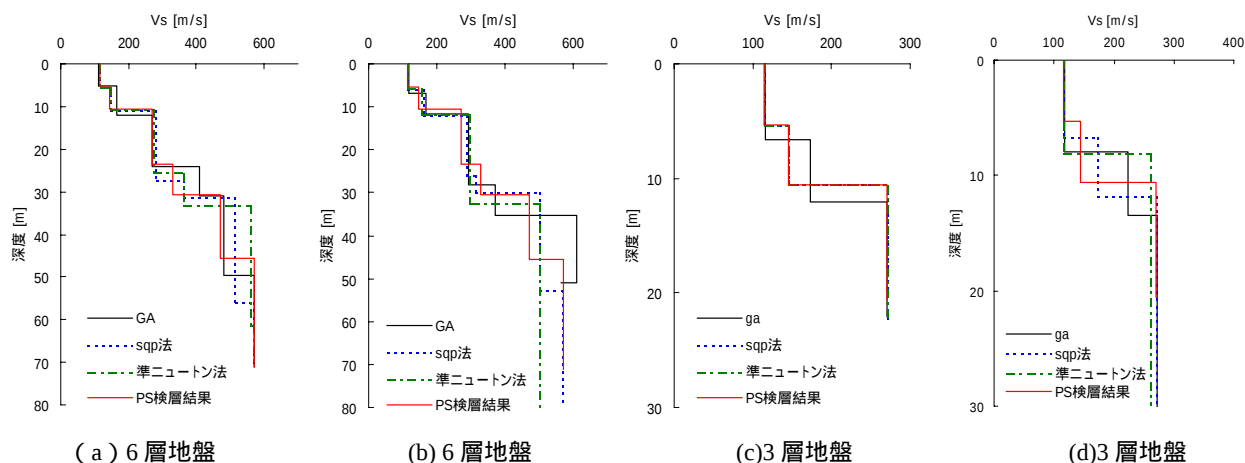


図-3 逆解析結果