

水平アレー地震観測記録による表層地盤特性の同定—横浜市の表層地盤特性—

東電設計 技術開発本部 正会員 ○安藤幸治
 首都大学東京 都市環境学部 フェロー会員 岩楯敏広

1. はじめに

地震動を予測する際には震源破壊過程，伝播経路の媒質特性および表層地盤の増幅特性を考慮しなければならない。この中で特に建築・土木構造物の地震時挙動に影響を及ぼすのは表層地盤の増幅特性である¹⁾。本研究は水平アレー地震観測記録を用いた表層地盤の構造および動的特性の同定を目的とする²⁾。その解析手法は，近接する2地点の地表面地震記録から求められる共通基盤内の各入射波はほぼ等しくなるという仮定の下に定式化したものである。ここに基盤内入射波は，地盤調査結果を参照して次元重複反射理論に従って計算をしているため，解析対象地盤は局所的に水平成層地盤構造を成していることが条件となる。

横浜市では「横浜市リアルタイム地震防災システム」³⁾を構築し，地震時の初動対応に活用して被害軽減を図っている。このシステムの中に「高密度強震計ネットワーク」³⁾システムがあり，地震の全体像を把握するため市域内150カ所に強震計が設置されている。本研究は，このシステムにより蓄積された地震記録を用いて横浜市の一部について表層地盤構造の同定を行い，動的特性を明らかにしたものである。

2. 水平アレー地震記録による地盤構造同定手法

今，同定対象の近接する2つの地点S1, S2（図1）で観測された地震記録a1, a2があり，それら波形は各々の地点で次元重複反射理論に従うものと仮定する。これより，必要な地盤物性値が与えられれば重複反射理論に従って各々の地表面観測記録a1, a2から任意の深さにおける入射波（上昇波）z1, z2の計算が可能である。例えば，その深さとして同図の十分な深さにある基盤層の上面のように，両地点に共通な地層内の標高の同じ点を選定したならば，それら入射波は似たような波形になると考えられる。よって，地表面観測点2地点において，それぞれの地震記録から共通地層内（基盤層）同一標高の入射波の波形あるいはその周波数スペクトルを計算し，それらが同一になるという条

件より双方の物性値の同定が可能となる。

表層地盤の層ごとの局所座標として層上面を原点として深さ方向にx軸をとれば，鉛直下方の入射波に対する各層の運動方程式は次のようになる。

$$\rho \partial^2 u(x,t) / \partial t^2 = G \partial^2 u(x,t) / \partial x^2 \quad (1)$$

ここに，u, ρ, Gはそれぞれ変位，密度，せん断弾性係数である。

上式の解は次のようになる。

$$u(x,t) = C e^{i(\omega t + kx)} + D e^{i(\omega t - kx)} \quad (2)$$

ここに，kは波数であり，C, Dはそれぞれ上昇波，下降波の振幅である。

基盤層を第N層とすれば，同層上面の入射波（式(2)の第一項）スペクトルは次のようになる。

$$z_N(\omega) = C_N(\omega) = A(\omega) C_1(\omega) \quad (3)$$

ここに，A(ω)は地盤構造から決定される係数である。

2地点の基盤層上面における入射波スペクトルの差の二乗和を評価するために，目的関数εを次のように定義する。

$$\varepsilon = \sum |z_{N1}(\omega) - z_{N2}(\omega)|^2 \quad (4)$$

ここに，z_{N1}, z_{N2}は，それぞれ観測地点S1, S2の基盤層上面の入射波スペクトルである。

同定パラメータ（物性値）は，式(4)の最小化必要条件式より正規方程式をたて，それを解いて求められる。

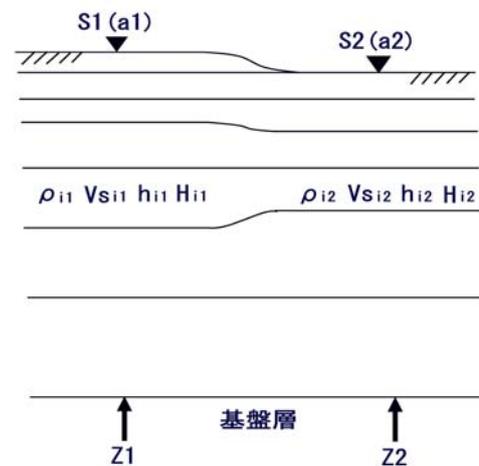


図1 地盤構造

キーワード：表層地盤特性の同定，水平アレー地震観測，横浜市

連絡先：〒110-0015 台東区東上野3-3-3 東電設計（株）技術開発本部 tel 03-4464-5588

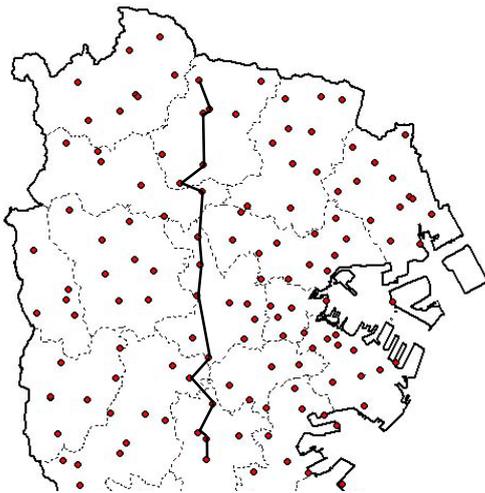


図2 横浜市内同定対象地点（直線上）：●観測点

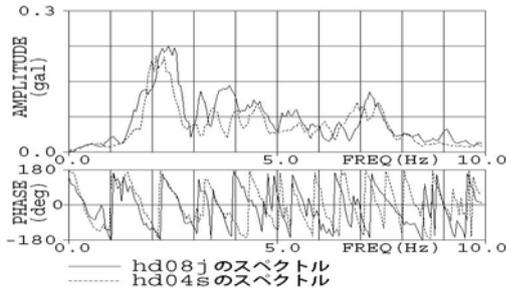


図3 共通基盤の加速度入射波スペクトル

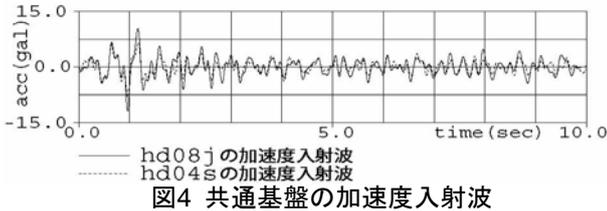


図4 共通基盤の加速度入射波

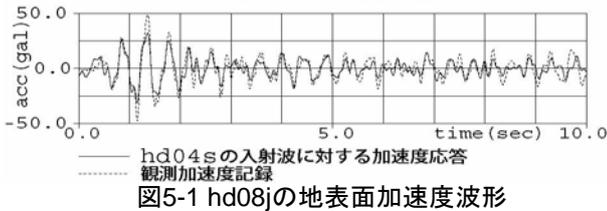


図5-1 hd08jの地表面加速度波形

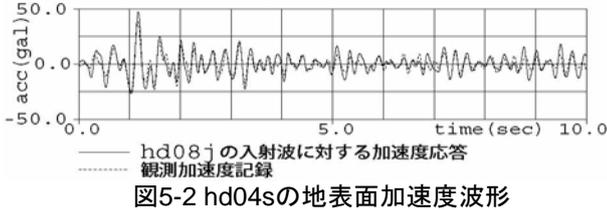


図5-2 hd04sの地表面加速度波形

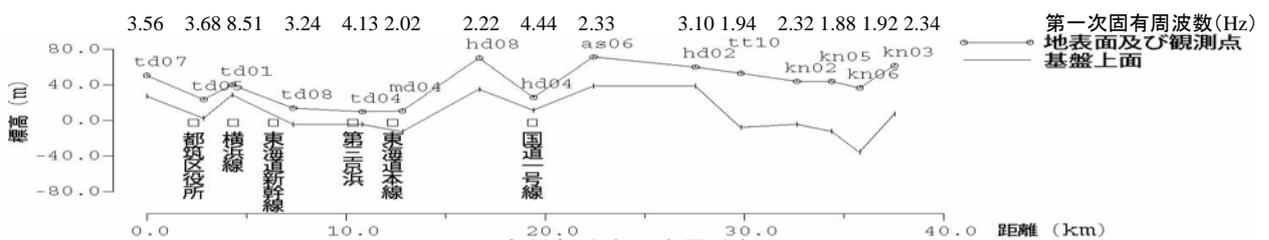


図6 同定対象地点の表層地盤断面

3. 適用例—横浜市の表層地盤特性

適用した対象地点は図2に示した横浜市区観測地点150カ所の内、同図直線上の15カ所である。深さ方向の断面図を図6に示す。解析では、各観測地点で予めボーリング調査が実施され密度や層厚は精度良く調べられているので、同定パラメータとしてせん断波速度を選定した。減衰定数は目的関数に対する感度量（微分係数）が小さいため、関数値の最小化にはほとんど寄与しない。解析では、直線に沿って北から隣接する2点を対象にせん断波速度を同定した。使用した地震記録は、東京湾（1998.11.8）と千葉県北西部（1999.9.13）の2個の地震による地表面記録である。これら記録から求められた入射波を同時に評価して平均的なせん断波速度を算出した。解析結果の一部を図3～5に示す。図3はhd08j（上菅田中学校）とhd04s（西谷消防出張所）を対象としたときの千葉県北西部地震による加速度入射波スペクトルの比較図である。式(4)の Z_{N1} 、 Z_{N2} に対応する。また、図4は入射波の波形の比較図であり、図5は地表面記録と他方の入射波に対する応答との比較図である。いずれも良好である。動的特性を示す各地点の表層地盤の第一次固有周波数は図6のようになる。固有周波数は、1.88～8.51Hzと幅があり、地点により、地震時挙動の違いが大きい。

4. おわりに

水平アレー観測形態によれば比較的容易に広範囲に亘って地震観測が実施できるため、ここに提案する解析手法は耐震設計や被害予測の精度を向上させる上で有意であると考えられる。末筆ながら、データを提供して下さった横浜市の関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 岩楯徹広：阪神・淡路大震災の地震の概要と土木構造物の被害，総合都市研究 第57号 1995
- 2) 安藤幸治，岩楯徹広：水平アレー地震観測記録による表層地盤特性の同定とその適用，土木学会論文集，No.731/I-63，pp.213～229，2003.7
- 3) 横浜市役所ホームページ（危機管理対策室）