

第1部門 地層境界で発生する散乱波を考慮した地盤震動の逆解析

京都大学工学部 正員 土岐 憲三
 京都大学工学部 正員 澤田 純男
 京都大学大学院 学生員○飛田 哲男

1. はじめに

現在、地盤の水平方向の不均質性や、地層境界の不規則性を考慮した研究は少ない。そのため境界形状の違いによる地表面での地盤震動特性が明らかになっていない。本研究では、まず反射/透過行列法^{1), 2)}を用い、地層境界面における散乱波を考慮した解析を行い、境界形状が地表面地盤震動特性に与える影響を調べた。さらにベイズの手法を用いた非線形逆解析³⁾を行い、境界形状を同定する試みを行った。

2. 解析モデル

本研究で用いた反射/透過行列法は'Rayleigh-ansatz'の問題があるためランダムに近い形状について解析することは困難である。この理由から境界形状を図1に示すようにsin波で与えることにした。ここで、解析長さ L_x の中にある境界形状の波数を n とし、以後 n を「形状波数」と呼ぶ。さらに形状波数が n のモデルを「サイン n 波モデル」と呼ぶ。例えば、図1に示すモデルは「サイン4波モデル」である。これに対して、より複雑な境界形状は上で述べたサイン波2波の重ね合わせにより得られるものとし、形状波数 n_1 と n_2 のサイン波の重ね合わせにより得られるモデルを「サイン $n_1 + n_2$ 波」モデルと呼ぶ。解析に用いた物理定数を表1に示す。図1に示すサイン波で与えられる、地層境界面を表層と基盤で挟んだモデル地盤に対して、鉛直下方からSH波が入射する場合の地表面応答解析を行った。なお、観測点は図1に示した様に境界面の山の直上(最も浅い所)とした。 d は観測点直下の境界表面までの深さを示す。入射波の周波数は0.05Hz刻みで、0.05Hzから10.0Hzまで計算を行った。また、ここでは地盤材料の内部減衰は考慮していない。

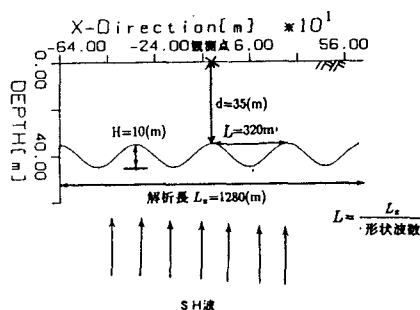


図1 解析モデル

表1 解析に用いた物理定数

	単位体積重量 (kg/m ³)	SH波速度 (m/s)
表層	1.70×10^3	1.0×10^2
基盤	1.80×10^3	4.0×10^2

3. 境界形状が応答関数に与える影響

まず、単純な境界形状の場合について考察する。図2には、境界形状の H/L を1/32で固定し、形状波数、境界深さを变化させた場合の境界形状と応答関数を示した。図の横軸は周波数、縦軸は応答倍率を表しており、図中の破線で示した曲線は観測点直下の構造を水平成層近似したときの1次元解析結果、太線は今回の解析で得られた応答関数を示している。散乱を考慮した応答関数は、おおむね1次元解析の応答関数に沿っているが、1次元解析では見られないピークが現れている。形状波数の影響については、No.1とNo.3, No.2とNo.4とを比較することにより、形状波数が多くなるにつれピークの最大値が大きくなっていることがわかる。

次に、複雑な境界形状の場合について考察する。図3はサイン1波モデルとサイン4波モデルおよびこれらを合成して

得られるサイン1+4波モデルに対して、境界形状を(a)図に、応答関数を(b)図に示している。図3(a)の上段には形状振幅2.5, 20(m)のサイン4波モデルを左から配置し、最左列には、これらのモデルに重ね合わせ

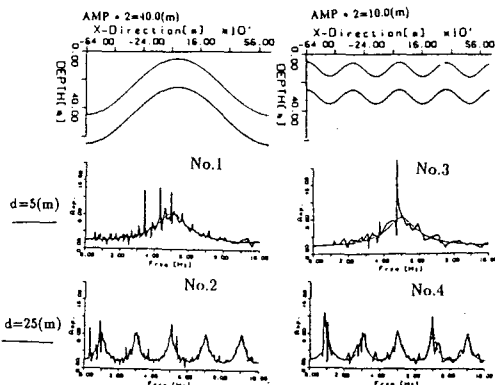


図2 単純な境界形状の場合

る形状振幅5.0(m)の場合のサイン1波モデルを置き、その右にサイン1+4波モデルを示してある。図3(a)のNo.2とNo.3の様に重ね合わせる形状波の振幅が小さい場合には、サイン4波モデルの影響がサイン1+4波モデルの応答関数にも見られる。しかし、図3(a)のNo.4とNo.5の様に振幅の大きい単純なサイン4波モデルに、ほんのわずかな振幅のサイン1波モデルが重ね合されるだけで、応答関数がかなり異なることがわかる。

4. 地層境界形状の非線形逆解析

逆解析は、図4に示すモデルより得られた地盤応答関数（ターゲットと呼ぶ）を既知とし、形状振幅、及び境界深さがわからないとし適当な初期値を与え、非線形逆解析手法によって収束計算を繰り返して、未知の応答関数に一致する地盤構成パラメータを同定する解析である。

まず同定パラメータが1個の場合として、形状振幅の逆解析を行った。解析に用いたパラメータは表2に示した通りである。逆解析の結果は初期値に依存する場合があるため、異なる初期値を与えた2ケース（ケース1とケース2）について逆解析を実施した。収束値はそれぞれ表2に示す通りであるが、どちらも真値から1m以上異なる値に収束している。この理由としては、この問題がステップ関数のような強い非線形性を持っており、かつ真値の近傍にローカルミニマムが存在したことが考えられる。

次に同定パラメータが2個の場合として、境界深さと形状振幅の両者を同時に同定する試みを行った。解析に際してのパラメータは表3に示した通りである。この場合境界深さ、振幅のどちらも真値よりも大きな初期値を与えているにも関わらず最終的な値は真値よりも小さな値となり収束しなかった。この原因としては、この解析に用いた境界形状の最大傾斜 H/L が $1/16$ と大きいため地表面応答に散乱の影響が強く現れ、ほんのわずかな深さの変動が応答関数に大きな影響を与えていると考えることができる。

今後の課題としては、内部減衰を考慮する等、問題の非線形性を弱くすることが、逆解析を可能にする上で必要である。

参考文献

- 1)竹中博士:不規則成層構造における地震波動場の理論的研究,北海道大学博士論文:1990
- 2)澤田純男,土岐憲三,福井基史:地層境界で発生する散乱波を考慮した地盤震動解析:京都大学防災研究所年報,第37号,B-2,pp.15-33,1994
- 3)David D.Jackson,M. Matsu'ura:A Bayesian approach to nonlinear inversion,journal of geophysics research , Vol.90,no,b1,pp.581-591,1985

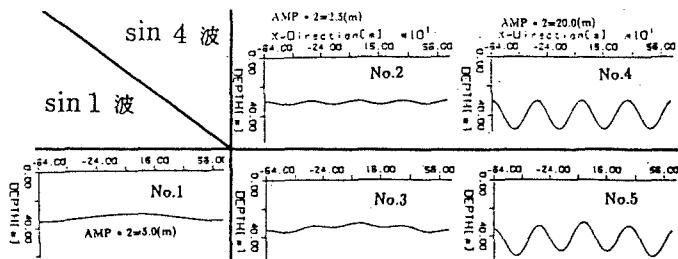


図3(a) 複雑な境界形状

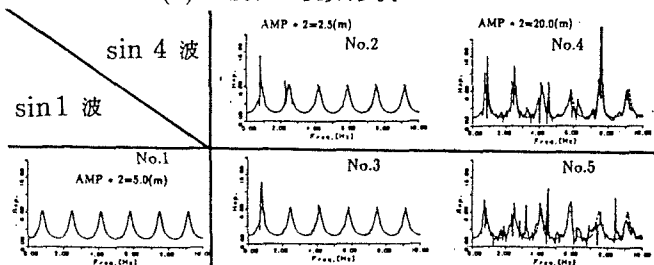


図3(b) 複雑な境界形状の場合の応答関数

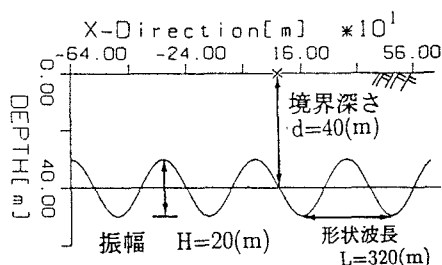


図4 ターゲットの境界形状

表2 逆解析に用いたパラメータ (1パラメータ)

	ターゲットの真値	初期値	収束値
case1	20.0(m)	17.0(m)	18.63(m)
case2	20.0(m)	25.0(m)	18.17(m)

表3 逆解析に用いたパラメータ (2パラメータ)

	ターゲットの真値	初期値	計算値
振幅	20.0(m)	25.0(m)	14.22(m)
深さ	40.0(m)	50.0(m)	35.03(m)