

均一な弾性体のせん断弾性係数評価に関する数値解析的検討

(財)電力中央研究所 正会員 田中幸久

1. はじめに

地盤は本来、不均一であるにも関わらず、地震応答解析の際にはせん断波速度から評価したせん断弾性係数が用いられる。ところが、実験的な研究によれば、不均一地盤中を伝播する波は固い部分を選択的に通過する傾向があることなどにより、礫地盤などの場合、せん断波速度から正しいせん断弾性係数が評価できない場合がある¹⁾。

本論文では、不均一性がせん断弾性係数の評価に及ぼす影響を数値解析的に検討する。具体的には、不均一地盤中を伝播する波の速度から算出したせん断弾性係数と静的せん断を模擬した解析結果から得られたせん断弾性係数を比較することにより、不均一地盤のせん断弾性係数の評価方法を検討する。

2. 解析条件

2.1 モデル地盤

図-1(a)は、深度方向に剛性が一様ではない地盤をモデル化したものであり、本論文では「一次元モデル」と呼んでいる。一方、図-1(b)は水平、鉛直方向の剛性が一様ではない地盤を表現するために図-2のような6×6個の要素集合体を二次元地盤に隙間なく配置したものであり、「二次元モデル(6×6要素集合体)」と呼ぶ。更に、地盤内を96×96個の要素に分割し、各々の要素の特性を表-1のいずれかにランダムに定めたものを「二次元モデル(ランダム)」と呼ぶ。

層厚、横幅は、一次元モデル、二次元モデルともにそれぞれ7.2m、15mであり、3種類の要素(図-1、図-2中で赤色、黄色、灰色に彩色)は線形弾性体であり、その物性値は表-1に示すとおりである。

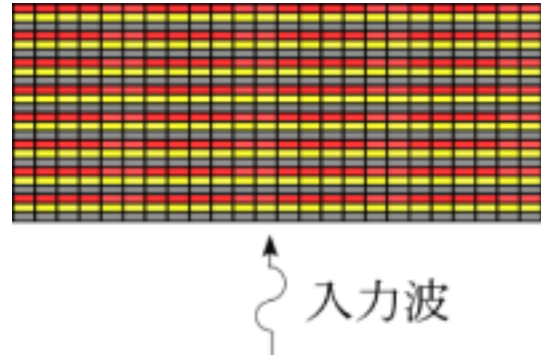
一次元解析の場合、7.2mの層厚の地盤を6, 12, 16, 48, 96個に等分割したモデルで解析を行った。二次元解析の場合、3種類の要素から成る6×6個の要素の集合体(図-2)で地盤を12×12, 24×24, 48×48, 96×96個の要素に等分割したモデルで解析を行った。

2.2 波動伝播解析

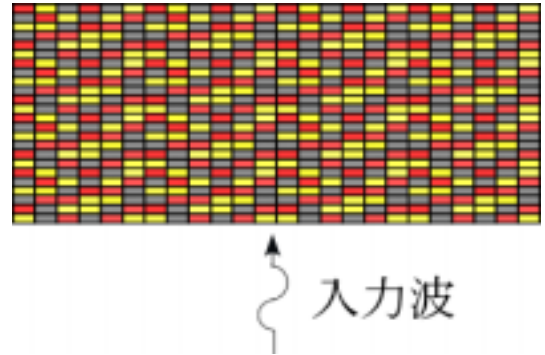
解析には計算コードABAQUSを用い、時間領域で行った。時間きざみ Δt は0.0001秒である。サイン波1波(加速度 $A=A_0\sin 2\pi t/T$, $(0 \leq t \leq T)$; $A=0$, $(T < t)$), ここで、 T :周期)を地盤モデルの底面に入力し、地盤内における波動の伝播速度を求めた。

2.3 静的載荷解析

波動伝播解析結果との比較の意味で静的載荷解析を実施した。二次元モデルにおいては底面を固定し、地表面に一樣に水平せん断応力を加えることによりせん断弾性係数を算出した。一方、一次元モデルにおいては表-1示す3種類の要素キーワード: 不均一地盤, せん断波速度, せん断弾性係数, 数値計算連絡先(〒270-1194, 千葉県我孫子市我孫子1646, TEL:0471-82-1181, FAX:0471-84-2941)



(a) 一次元モデルの例(8分割)



(b) 二次元モデルの例(4分割)

図-1 要素分割と入力方法

表-1 要素の物性一覧

要素の色	S波速度 (m/s)	せん断弾性 係数 (MPa)	密度 (kg/m ³)	ポアソン比
灰色	896	2000	2.5×10^3	0.49
黄色	300	180	2.0×10^3	0.49
赤色	115	20	1.5×10^3	0.49

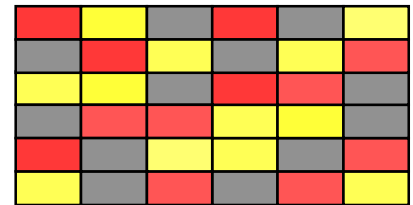


図-2 6×6個の要素の集合体

のせん断弾性係数の逆数の平均をとり、更にその逆数をもって静的载荷によるせん断弾性係数とした。せん断弾性係数からせん断波速度を算出する際に用いる密度は、表-1に示す3種類の要素の密度の平均値を用いた。

3. 解析結果

図-3に解析の結果得られた波形を一例として示す。伝播速度は、図-3に示すように波の立ち上がりの時間差またはピークの時間差をもって計算した。

図-4(a),(b)は、それぞれ一次元モデル、二次元モデルに対する計算結果である。図4-(a),(b)の縦軸は、波動伝播解析により評価された V_s を静的载荷解析により評価された V_s で除したものである。図-4(a),(b)の縦軸の値が1より大きければ、波動伝播による V_s では地盤のせん断弾性係数を過大評価していることになる。図-4(a),(b)では、いずれの場合も波の立ち上がりの時間差から評価するとせん断弾性係数を過大評価するが、過大評価の程度は深度方向分割数が大きくなるほど小さくなる事がわかる。それに対して、ピークの時間差から評価した場合、要素分割数が10以上ではほぼ妥当な評価ができていくことがわかる。

本研究における要素の高さを実地盤における最大粒径に相当するものとみなして、礫質土に対する実験結果と比較したものが図-5である。図-5では一次元モデル、二次元モデルに対する計算結果がほぼ統一的にプロットされており、実験結果の傾向と同様に、右下がりの傾向を示す。実験における伝達時間の読取はピークの時間差によって行われているので、図-5中で実測結果に対比すべきは●、▲、■である。●、▲、■は、実測結果のほぼ上限に位置している。

4. まとめ

波動伝播速度からせん断弾性係数を評価する場合、以下のような場合があることが解析的検討により明らかとなった。

- 1) 波長に対する要素の大きさが大きいと過大評価する場合がある。
- 2) 波の「立ち上がり」の時間差から算出したせん断弾性係数は「ピーク」の時間差から算出したせん断弾性係数よりも大きく、それだけ過大評価する可能性も高い。

参考文献：1) Tanaka, Y., Kudo, K., Nishi, K., Okamoto, T., Kataoka, T. and Ueshima, T. (2000) : Small strain characteristics of soils in Hualien, Taiwan, Soils and Foundations, Vol.40, No.3, pp.111-125. 2) 「土質調査法」改訂編集委員会 (1995) : 地盤調査法, p.91.

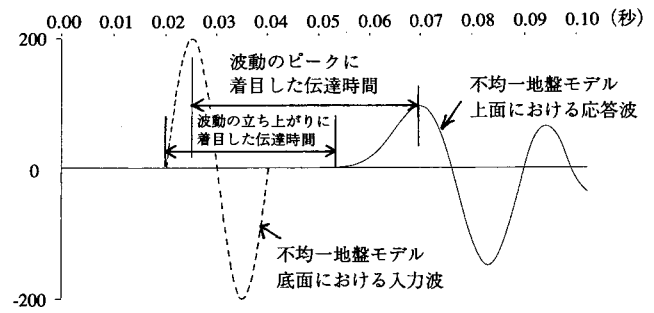
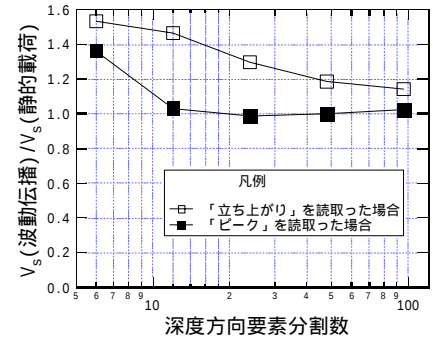
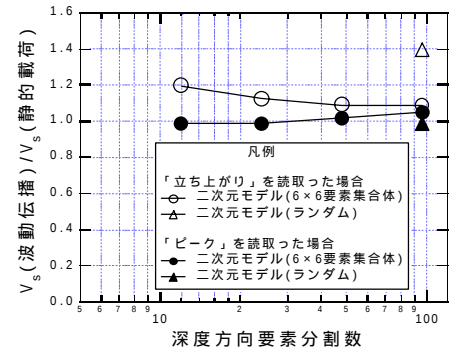


図-3 入力・応答波形の一例ならびに波動伝播時間の読取方法



(a) 一次元モデルに対する計算結果



(b) 二次元モデルに対する計算結果

図-4 波動伝播と静的载荷による V_s の比較

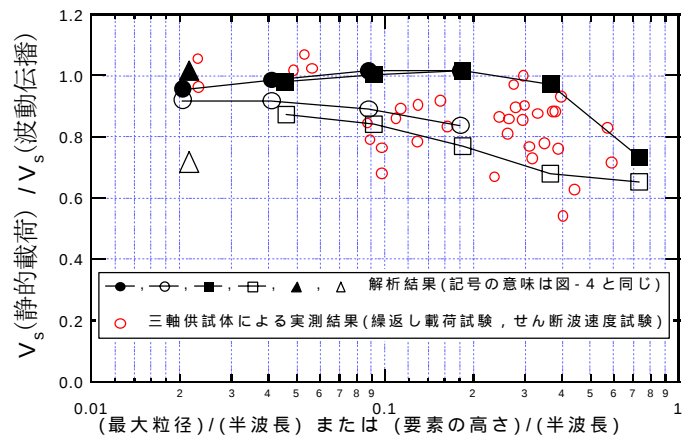


図-5 V_s の評価に及ぼす粒径または要素の高さの影響 (文献1より引用・加筆)