

円盤鉛直加振に基づく新たな非破壊物理探査手法の実験的検討

京都大学	学生会員	○江口	拓生
京都大学	正会員	後藤	浩之
京都大学	非会員	土井	一生
京都大学	正会員	澤田	純男

1. はじめに

近年、地域の地震ハザード特性を把握することを目的とした様々な地盤探査が行われている。ボーリングデータに基づく表層地盤の空間的評価が進められているが、補完的な物理探査手法の開発も求められている。本研究では、円盤鉛直加振に基づく非破壊な物理探査手法に着目する。この方法は、剛円盤を対象地点の地表に置き、加振周波数を変えながら鉛直方向に加振するものであり、様々な測定理論が提唱されている。加振点と受信点が離れた手法として代表的な表面波探査はよく知られているが、両者を同地点で実施する理論もある。1つ目は de Barros and Luco (1995)により提案された層構造を同定する理論である。周波数毎の地盤反力と円盤変位の関係から円盤と地盤の間の動的相互作用の理論解を利用して、多層構造を同定するものである。2つ目は Goto et al. (2015)により提案された S 波インピーダンス測定理論である。これも動的相互作用を利用し、地盤最表層の S 波インピーダンスを直接推定するものである。

両者は円盤外の受信点を必要とせず、加振点での振動と地盤反力に基づく理論である。また密度の情報を同時に得ることができることも特徴である。しかし、現段階ではそれぞれ実験精度が悪い、数値解析のみの検証であるなど、実験に関する検証が不十分である。そのため、本研究では円盤加振実験を実地盤で行い、両理論の実用性を検証する。

2. 実験概要

京都大学宇治キャンパス構内において詳細な地盤情報(図1)が明らかな地点を実験対象とする。事前の小規模な屈折波探査により、本地点は非常に薄い軟弱な層が存在することが明らかとなっている。

手法の背景となる理論では、円盤に接する地表が一様に上下に加振されることが要請される。このため、円盤の変形が十分小さく剛体とみなせること、円盤底面と地表面が全面密着している必要がある。本研究では、半径 60 mm のステンレス製円盤を用い、これを石膏により地盤と密着させた。比較のために、石膏を用いない実験も実施した。よりサイズの大きな円盤では、対象周波数レンジで変形が十分小さいと仮定できないことが明らかとなったため、それらの実験結果は省略する。

実験システムのうち円盤上の加振機構とセンサー配置図を図2に示す。周波数 f を変えながら正弦波により円盤を上下加振させ、加速度計とロードセルの記録から、周波数毎の平均地盤反力 $P_z(f)/\pi r^2$ と円盤速度 $v_z(f)$ を複素フーリエ振幅として求める。これら反力と速度の間の位相差 $\theta(f)$ と振幅比 $A(f)$ をデータとして用いる。

実験結果を図3に示す。同条件下で繰り返し行った結果の平均を

キーワード 物理探査法, 動的相互作用, S 波インピーダンス

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所地震災害研究部門耐震基礎分野 TEL 0774-38-4069

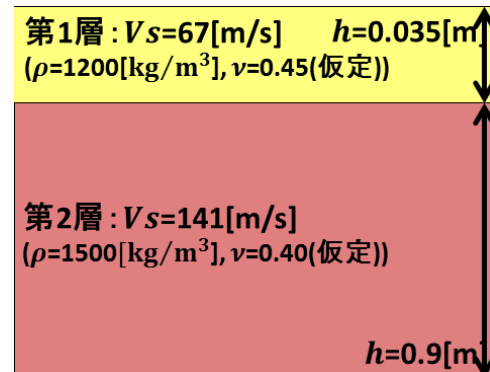


図1 実地盤構造

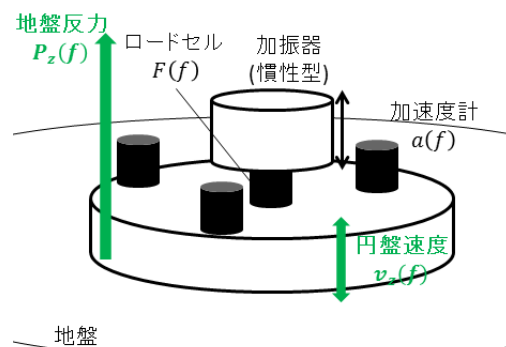


図2 実験機構

実線で、平均±標準偏差を点線で示している。また、図1の地盤モデルを基に円盤質量の影響を考慮した有限要素解析の結果（解析解）を併せて示すが、石膏により地盤と密着させたケース（plaster）は解析解と整合している。

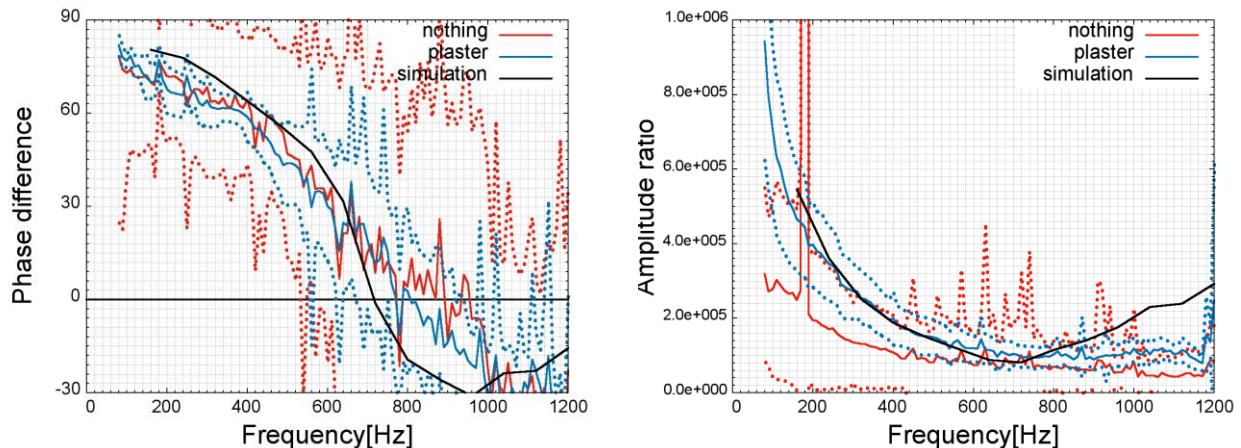


図3 実験結果と解析解の比較（左：位相差，右：振幅比）

3. de Barros and Luco (1995)の方法

de Barros and Luco (1995)の方法は、地盤構造を変更しながら解析解と実験結果を比較し、最も整合する地盤構造を最適な構造とするものである。ただし、de Barros and Luco は、地盤反力と円盤速度の位相差と振幅比ではなく、複素振幅比の実部と虚部をそれぞれ用いて構造の同定を試みている。しかし、本実験結果（図3）によると、位相差は円盤設置条件によらずほぼ同じ実験結果が得られているのに対し、振幅比は設置条件に大きく影響されることが分かる。実際、de Barros and Luco は構造同定の精度が良くないことを指摘しており、いずれも振幅比の情報を含む実部と虚部を用いたためと考えられる。言い換えれば、位相差のみを用いることによって、安定して構造同定を行うことができる可能性があると考えられる。

4. Goto et al. (2015)の方法

Goto et al. (2015)の方法は、位相差が0となる周波数 f_0 を抽出し、その周波数における振幅比 $A(f_0)$ を係数2.2788で除することで地盤最表層のS波インピーダンスを求めるものである。この方法を本実験結果に適用し、推定したS波インピーダンスのヒストグラムを図4に示す。いずれもS波インピーダンスが過小評価されていることが分かる。この理由はGoto et al. (2015)でも指摘されているように、地表から円盤半径の5倍以上の深さまで均質な媒質でなければ過小評価されてしまうことによる。本実験地点のように極薄い表層地盤でも影響を受けてしまうため、Goto et al. (2015)の方法を直接用いることは難しいと言える。

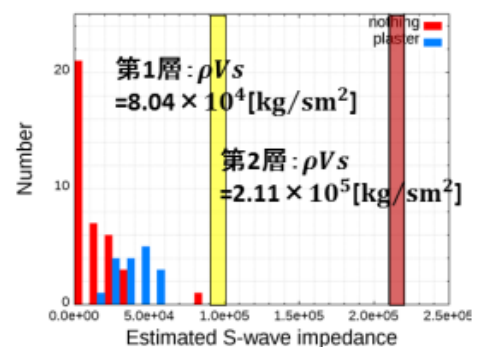


図4 S波インピーダンス推定結果

参考文献

- de Barros, F. C. P. and J. E. Luco. Identification of foundation impedance functions and soil properties from vibration tests of the Hualien containment model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **14**, pp. 229–248, 1995.
- Goto, H., N. Tanaka, S. Sawada, and I. Hideki. S-wave impedance measurements of the uppermost material in surface ground layers: Vertical load excitation on a circular disk. *Soils and Foundations*, **55**(5), pp. 1283–1293, 2015.