

新型振動杭の埋設模型を用いた地盤内部状態推定器の振動実験

東京理科大学/東京高専 学生会員 ○岩切 雅弥 東京高専 高田 宗一郎
東京高専 窪田 修也

1. 緒言

我が国は自然災害の多い国であり、日本全国で約66万箇所の土砂災害警戒区域が指定されている。土砂災害の発生に伴い、近隣の地域住民に対し、人命や家屋に対する被害や交通網への被害が生じる可能性があり、斜面を高精度に監視しておくことが重要となる。

土砂崩壊検知の既往技術には、転倒検知センサや傾斜角センサ、斜面変位測定センサがある¹⁾。転倒検知センサは、斜面崩壊によってセンサが倒れる際に、検知信号を発する形式である。傾斜角センサは、崩壊検知だけでなく、傾斜角を常時測定する形式である。斜面変位測定センサは、斜面の変位から崩壊を検知する。機能拡張の方向性として、斜面の傾斜角や変位などの外的な状態だけでなく、土質の固有摩擦角や粘着力などの内部的な状態を監視対象に機能拡張する方向性が考えられる。この内部状態推定により、センサデータを用いた斜面の安定解析を時々刻々高精度におこなうことができる。そこで本研究では斜面傾斜角や変位などの外部状態だけでなく、土質の固有摩擦角や粘着力などの内部状態を推定するセンシング方法の開発に取り組む。

既報において、越石らにより振動杭を用いた地盤の内部状態推定に関する基礎検討が行われた^{2,3)}。越石は土塊と連成する杭の縦振動モードの固有振動数に着目し、東京高専内にある土砂災害警戒区域と非警戒区域で固有振動数に変化が生じることを示した。また土質試験により粘着力と固有摩擦角を求め、比較をおこなった。越石の検討では土質試験の標本数が少なく、土塊と杭が連成した固有振動数を用いた内部状態推定の可能性を示唆するに留まる。また、開発した振動杭は全長が2m程度であり、対象とする固有振動数が150Hz~300Hz程度と低周波数帯域に存在し、内部状態の変化に対する固有振動数の変化する帯域幅が150Hzと狭い。このため内部状態の変

化に対する固有振動数の変化する帯域幅の広帯域化が望まれる。本報の著者の一人である窪田により、振動杭の全長を再設計し広帯域化した新型振動杭が提案されている⁴⁾。窪田の検討では埋設環境下におけるフィールド検証、実稼働モード解析と簡易振動モデルによる解析が行われているが、埋設時の振動杭の振動挙動の基礎資料が未だ十分ではないと考えられる。そこで本報では埋設環境を模型実験で再現し、振動実験をおこない、基礎資料の拡充を試みる。

2. 実験方法

実験系の模式図を図1に示す。新型振動杭は、外径30mm、長さ1000mmの亚克力丸棒(はざい社製)、動電型加振器は市販の白色雑音励振回路(EQKIT社製)および振動スピーカー(オアシス電器社製)を用いて構成し、亚克力平行平板からなるボルト締め固定治具を作製し、杭の頭部に設置した。ここで振動スピーカーは直径49.5mm、高さ29.1mmの円筒形状で重量は264gである。白色雑音励振回路の可変抵抗の値は100Ωに設定し12Vの直流電圧を印加して駆動した。埋設用の土槽は亚克力円筒と亚克力板を用いて製作し、亚克力円筒の内径は150mm、深さ700mmとし、670mmの深さの埋設土を与えた。埋設土には、東京高専の裏山で採取された関東ローム層の粘土質の土を用い、土中水分計で土中水分量を計測したところ、32%であった。

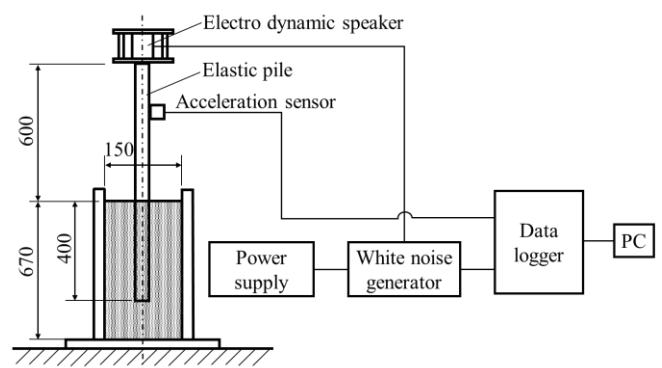


図1 実験装置

キーワード 土砂災害, 振動杭, 地盤内部状態, 固有摩擦角, 粘着力

連絡先 〒340-0013 埼玉県草加市松江 2-15-9-212 TEL 080-1856-8543

データの収集には IEPE 対応のオシロスコープ (Picoscope4224A) を用い、白色雑音回路からの入力電圧および振動杭に設置した加速度センサ(小野測器 NP3578N10)の出力電圧を計測し、MATLAB を用い FFT 処理し、相互周波数応答関数を求めた。

3. 実験結果

東京高専内にある土砂災害非警戒区域で得た加速度応答スペクトル(上)と模型実験系で得た周波数応答関数の比較を図 2 に示す。模型実験の杭の埋設深さは 400mm とした。フィールド実験では 255Hz, 830Hz, 1300Hz, 模型実験系では 280Hz, 890Hz, 1065Hz に共振峰が観察され、両者は略一致した。モード形状を観察した所、第一共振は剛体モード、第二共振は土塊と連成しない杭の伸縮モード、第三共振は杭と土塊が連成する伸縮モード(図 3)であった。

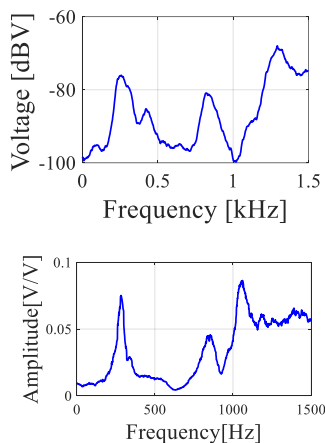


図 2 フィールド実験と模型実験の結果比較

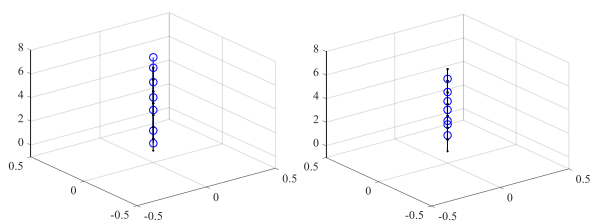


図 3 模型実験系における 1300Hz のモード形状

杭の被り深さを 100mm, 200mm とした場合の周波数応答関数の計測結果をそれぞれ図 4, 図 5 に示す。図中横軸は周波数, 縦軸は周波数応答関数の振幅を表す。ここで鉛直方向を正とする加速度を計測した。図 4 より、深さ 100mm では 280Hz, 845Hz, 1030Hz, 図 5 より深さ 200mm では 280Hz, 850Hz, 1060Hz にそれぞれ明瞭な共振峰が観測された。どの深さにおいても同様な共振峰が確認できることから

本実験で計測される固有振動は深さに依存していないことがわかる。

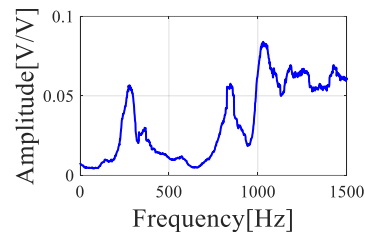


図 4 深さ 100mm での周波数応答関数

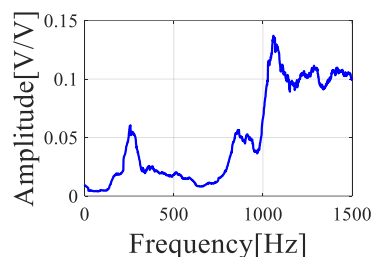


図 5 深さ 200mm での周波数応答関数

4. 結論

本報では新型振動杭を用いた内部状態推定に関する模型実験をおこない、計測される固有振動は埋設土の被り深さに依存しないことが明らかとなった。

謝辞

本研究は公益財団法人精密測定技術振興財団の精密測定技術振興のための調査・研究事業の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム, "斜面崩壊検知センサー", 土木新技術ショーケース 2016 in 高松, 2016.
- 2) 越石絢太郎, 高田宗一郎, "先端地盤弾性力を受ける棒の強制縦振動応答を用いた土砂崩壊予兆検知法の開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 講演論文集, 2020, 1P2-B14.
- 3) 高田宗一郎, 國友佑一, 越石絢太郎, "先端地盤弾性力を受ける棒の強制縦振動応答を用いた土砂崩壊予兆検知法のフィールド評価", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 講演論文集, 2020, 1P2-B16.
- 4) 窪田修也, 高田宗一郎, "新型振動杭の地盤連成縦振動モードを用いた地盤内部状態推定器の開発", 日本機械学会第 19 回評価・診断に関するシンポジウム講演論文集, 2021, 11.