

# 地盤内空洞直上の振動応答に関する検討

一井康二\*・西田理楽\*\*

## 1. 検討の目的

本研究では、空洞の検知及びサイズ推定のために空洞直上の地盤における微動計測を利用することを想定し、地盤内空洞直上の振動応答について解析的検討を行った。

## 2. 検討方法

解析では、図-1のように幅 20 m、地表面からの深さ 10 m の地盤モデルを作成した。簡単のため、上層 1 m が舗装を含む路盤層、その下 9 m が地盤である。また、簡単のため、下端は固定、両側面は自重解析では x 方向固定（y 方向自由）、動的解析では両側面の同じ高さの節点を M P C 拘束（x 方向および y 方向のそれぞれで同じ値を取るよう設定）した。

解析ケースとしては、地盤を粘性土層としたもの（Case-1）、砂層としたもの（Case-2）の 2 ケースに加えて、それぞれに表層に空洞を設けたケース（Case-3 および Case-4）の合計 4 ケースを検討した。地盤物性については、FLIPver8.1.1 の RF 3 岸壁の例題を参照した。なお、舗装・路盤については、碎石層が中心と考えられるため、RF 3 岸壁の裏込め石の物性を参照した。

空洞の設定方法として、図-2のように舗装・路盤層直下の地盤要素の高さを小さくし、幅 2 m、最大厚さ 0.1 m の三角形の空洞を形成した。

まず、自重解析を行い、その後に微小振動を与えた動的解析を実施した。本検討は空洞直上での微動計測の適用を念頭に置いているため、本来は表面波の入力を考えるべきである。しかしながら、表面波入力を行うには解析範囲を広く設定する必要があることから、ここでは基礎的な検討として、1.0 Hz から 10.0 Hz までの微小な正弦波（基盤面で 10 Gal）を 1.0 Hz 刻みで振動数を変えながら、20 秒間の振動を基盤面から入力することとした。

解析結果としては、地表面中央部の水平加速度応答と鉛直変位応答を出力し、入力振動数ごとの変化を比較した。

## 3. 検討結果

粘性土地盤で地盤内空洞のない Case-1 について、1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の水平加速度応答の比較を図-3 に示す。微小な正弦波の入力であるため、応答波形もほぼ入力と同様の正弦波となっている。そして、波形の振幅もほぼ等しい。また、1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の鉛直変位応答の比較を図-4 に示す。正弦波入力のため、変位応答も同様の正弦波の応答となっているが、振動数が高いケースでは時間とともに沈下が生じていることが確認できる。なお、図-15 からわかるように、振動数が高くなると変位応答の値自体は小さくなる。また、入力の振動レベルが小さいため、沈下量も変位応答の振幅よりはるかに小さい。

同じ粘性土地盤に地盤内空洞を設けた Case-3 について、1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の水平加速度応答の比較を図-5 に示す。Case-1 と同様に、ほぼ入力波形と同様の応答波形となっている。しかし、高振動数では地盤の共振現象により振幅の値が大きくなっている。また、同様に 1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の鉛直変位応答の比較を図-6 に示す。Case-1 と同様にほぼ入力波形と同様の応答波形となっている。しかし、加振直後に値が減少（沈下）した後、さらに振動により値が漸減していく様相を呈しており、地盤内空洞の影響であると考えられる。なお、振動とともに沈下が進行するとはいえ、減少量が漸減し、一定の値に収束していくような傾向を示す。

最後に砂地盤に地盤内空洞を設けた Case-4 について、1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の水平加速度応答の比較を図-7 に示す。10 Hz 入力の際の振幅の値の増加量が Case-3 より大きく、共振現象がより顕著にみられている。また、1 Hz 入力時と 10 Hz 入力時の鉛直変位応答の比較を図-8 に示す。Case-3 と異なり、沈下が収束していく傾向は示されていない。砂地盤では間隙水圧の上昇の影響があったと考えられ、振動レベルおよび解析時間の両面において、より詳細な検討が必要である。

---

\*関西大学・教授，\*\*同・大学院生

#### 4. まとめと考察

空洞の有無により振動性状に違いが生じることを解析的に模擬することができた。空洞が存在すると、高振動数での共振が発生するため地表面の振動レベルは若干上昇する。また微小振動により地表面沈下も発生する。しかし、検出可能なレベルの振動増加あるいは沈下であるかどうかを、より実際に近い空洞を模擬した解析で確認していく必要がある。

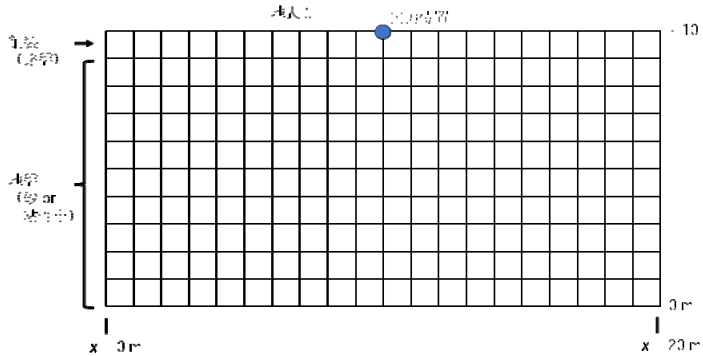


図-1 解析メッシュ

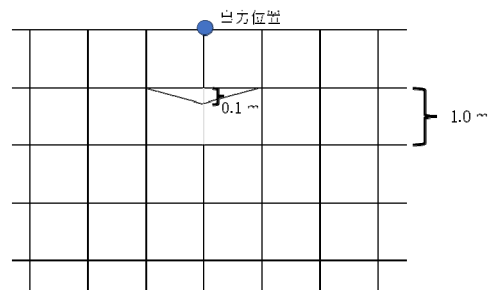


図-2 路面下空洞の模擬

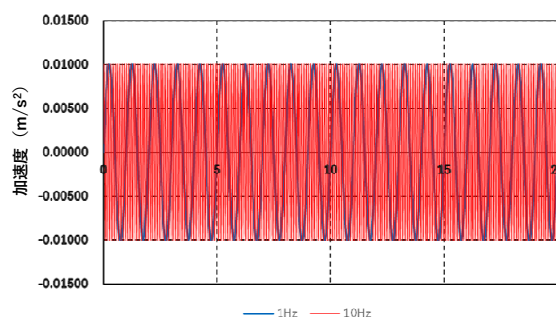


図-3 Case-1（空洞無、粘土）の加速度応答

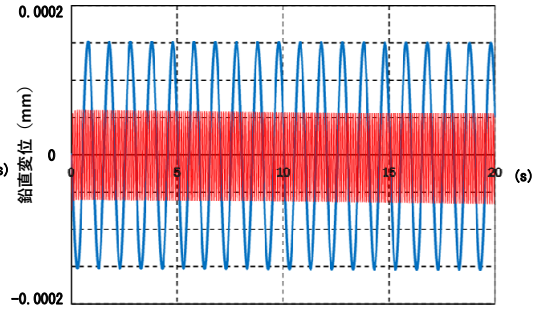


図-4 Case-1 の鉛直変位応答

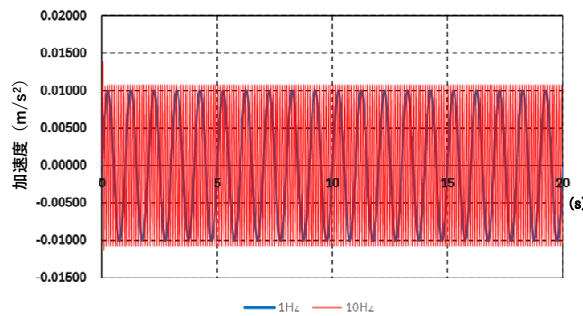


図-5 Case-3（空洞有、粘土）の加速度応答

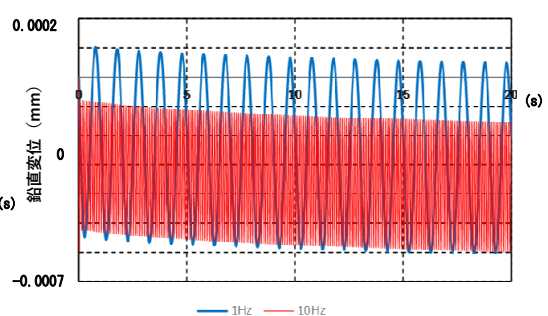


図-6 Case-3 の鉛直変位応答

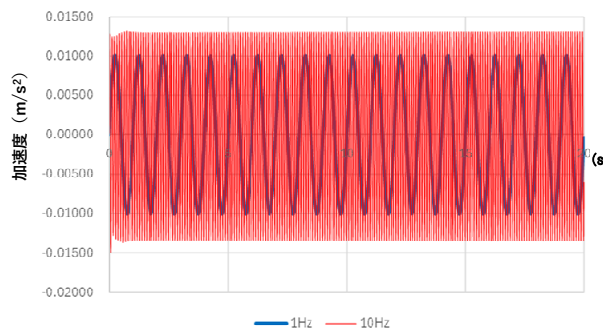


図-7 Case-4（空洞有、砂）の加速度応答

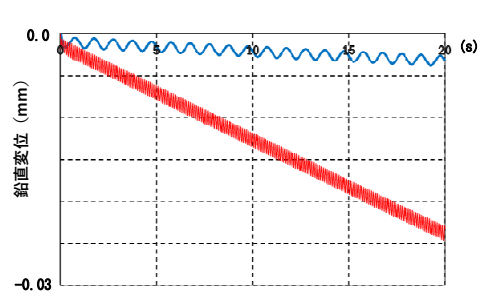


図-8 Case-4 の鉛直変位応答