

(株)間組 技術研究所 正会員 西 邦夫
(株)間組 技術研究所 正会員 三原 正哉

1. まえがき

パイプローテーション工法や、ロッドコンパクションパイル工法にみられるように、砂質系地盤の地盤改良では、振動体を地中に振動貫入させ、その振動により地盤を締固める方法が用いられることがある。このような工法の場合、振動体が発生する振動が地盤を伝播する機構は、その締固め改良効果と密接に関連しているものと考えられる。筆者らは、水平振動を発生する大型のパイプロットを用いる振動締め工法を対象とし、その改良過程を評価することを目的として、本工法を適用した場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い解析解法による検討を実施した。

2. モデル化と解析解

1) 対象工法

今回、検討対象としたのは、図-1に示す大型のパイプロットを用いた締め工法である。本工法は、先端に振動体(50Hz)を有する大型のパイプロットを地中に貫入し振動締めるものである。パイプロットは先端に配置された偏心マスを油圧駆動により回転させ振動を発生する構造となっており、地盤に対しては水平方向の力を加える機構となっている。

2) モデル化

筆者らは、上記のパイプロットの振動機構は以下のようにモデル化できるものと考えた。

- ① パイプロットによる地盤振動は点源振動とみなせる。
- ② プロットは偏心回転することにより地盤水平面上に半径方向と接線方向の力Pを伝える。(図-2(a))
- ③ 地盤に伝えられる力の合力Pの方向は、振動体の起振周波数と同一の周波数で水平方向に回転する。(図-2(b))
- ④ 地盤に伝えられる力Pを水平面上のPx, Py成分に直交分解した場合、それぞれの成分は正弦波で表され、両者の位相は90°ずれる。(図-2(c))

3) 解析解

①から④に加え、地盤を無限領域の弾性体と仮定することにより、以下に示す手順で解析解が求められる。

まず、加力方向はx方向固定とし大きさは経時的に変化する力f(t)が原点のみに加えられる場合の解析解は、式(1)で与えられる。¹⁾

$$(u, v, w) = \frac{1}{4\pi\rho} \left\{ \text{grad} \left(\frac{\partial}{\partial x} (\phi - \psi) \right) + (\nabla^2 \psi, 0, 0) \right\} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに

$$\phi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_p} \right), \quad \psi = \frac{1}{R} F \left(t - \frac{R}{c_s} \right), \quad F(t) = \int_0^t ds' \int_0^{s'} f(s) ds$$

f(t) : 原点に作用する力(x方向)

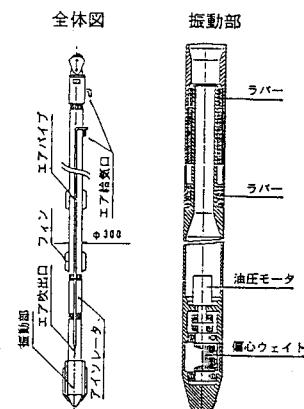


図-1 バイプロットの構造

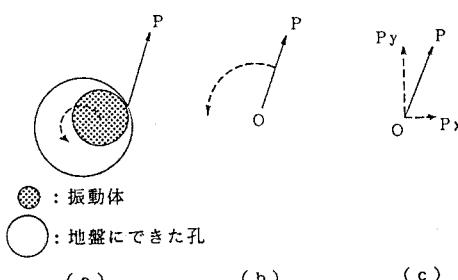


図-2 振動機構のモデル化

(x, y, z) : 座標, (u, v, w) : 座標 (x, y, z) における変位

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$c_p^2 = (\lambda + 2\mu) / \rho, \quad c_s^2 = \mu / \rho \quad \rho : \text{質量}, \quad \lambda, \mu : \text{ラメの定数}$$

したがって、④より原点に大きさ一定で作用方向が回転する力が加わる場合の解析解は、 x 方向に $f(t) = \sin(\omega t)$ の力が加わる場合の解と y 方向に $f(t) = \sin(\omega t - \pi/2)$ の力が加わる場合の解とを重ね合わせることにより得られる。また、式(1)より、解析解は振幅、および、位相のズレはあるが同一周波数の \sin 波の重ね合わせであることから、位置を固定して考えれば、各方向の変位は $A \sin(\omega t - \theta)$ で表される定常波であることがわかる。

3. 解析例

図-3 は、前述の締固め工法の実規模実験を行った際に測定した地盤変位の軌跡の一例と、解析的に求めたものとを示したものである。両者の形状はほぼ同様の形を示しており、地盤振動性状の本モデルによるモデル化が有効であることを示している。なお、実規模実験の測定結果は経時にその軌跡が変化していたが、解析解では理論的に定常状態を保つため軌跡は常に一定の形を示すことになる。この点については、両者の相違点として指摘できる。また、定量的な評価につい

ては、実規模実験時のバイプロットが地盤に加える力の大きさ他、地盤条件等について明らかにする必要があり、今後の課題である。

図-4 は、計測により得られた地盤変位振幅と振動源からの測定距離の関係およびそのばらつきを示したものである。ばらつきはあるものの測定距離が大きくなるほど地盤変動の振幅は双曲線的に減衰している。図-5 は、振動源からの距離を変化させた場合の地盤変位の軌跡を解析的に求めたものである。変位振幅は、円周方向 (θ 方向)、求心方向 (r 方向) とも、計測結果と同様、振動源からの距離が大きくなるとともに減衰していることがわかる。ただし減衰量は、軌跡の主軸方向が変化していることから測定距離のみに依存する減衰傾向は示さず若干変動する傾向を示している。

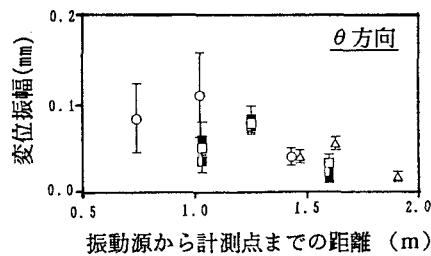


図-4 変位振幅～伝播距離関係



図-5 変位振幅軌跡～伝播距離関係

4. まとめ

水平振動を発生するバイプロットを用いた振動締固め工法を対象とし、その場合の地盤の振動性状についてモデル化を行い、解析解法による検討を実施した。その結果、解析的により求めた地盤の振動性状は地盤変形の軌跡、減衰特性について定性的な傾向は一致し、本手法の有効性が確認された。しかしながら、定量的な評価については未解明な部分が多く、今後の課題として残された。

参考文献：1) 佐藤泰夫：弾性波動論 岩波書店

2) 三原、鶴岡、末広：振動締固め工法の現場実験 地盤の液状化対策に関するシンポジウム

3) 西、三原、鶴岡、末広：大型バイプロットによる締固め時の地盤振動性状について 第26回土質工学研究発表会（投稿中）