

III-262

吸水-振動締め時の地盤振動に関する解析的検討

前田建設工業(株) 正会員 ○ 清水 英樹 嶋田 三朗
同 上 正会員 石黒 健 飯島 健

1. はじめに

著者らは、新しい液状化対策工法として『吸水-振動締め工法』(施工時に発生する過剰間隙水圧を人為的に除去する振動締め工法)を提案し、幾つかの室内・現場実験によって効果の検証を試みてきた。前報¹⁾では現場実験において測定された施工時の地盤振動特性と改良効果の関係について述べたが、本文ではこれら現場実験のデータに対して弾性波動論による厳密解の適用を試みた結果を報告する。

2. 弾性波動論による地中加振解

弾性波動論によれば、無限弾性地盤内に集中荷重 $f(s)$ が加わった際の周辺地盤の変位 u, v, w は地盤のせん断剛性 G とポアソン比 ν 、単位体積重量 ρ を用いて(1)式のような一般式で表わされる²⁾。

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

ここに

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

$$f(t) = \sin\omega t, \quad R^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad C_p^2 = (\lambda + 2\mu)/\rho, \quad C_s^2 = \mu/\rho$$

振動棒による締め固めを行った際の地盤挙動を求めるためには、集中荷重 $f(s)$ を角速度 ω の正弦波と見なし、 $f(s) = \sin\omega t$ を代入すればよい。これにより地盤の水平・鉛直方向変位及び加速度等が導かれる。

3. 実測データに対する弾性波動論の適用

図-1はせん断剛性 $G=100\text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.475$ の弾性地盤内に荷重 $P=10\text{t}$ 、振動数 $f=10\text{Hz}$ の正弦波を入力した際の周辺地盤の水平・鉛直方向最大加速度のコンターを示している。この図では鉛直・水平ともに加振点からの離れが大きくなるにつれて地盤振動が急激に減衰しているが、水平方向の応答は加振点を中心として下方45度近くで最大値を持つ「球根型のコンター」に、一方鉛直方向はこれに比べると縦型となる傾向が強いことがわかる。この弾性波動解による加速度コンターを図-2に示す実測加速度のコンター¹⁾と比較すると両者の形状は比較的類似しており、このような簡単な計算モデルでも実現象を定性的にある程度表現できていることがわかる。ただし、図-2の実測加速度のコンターは振動源の上下移動を伴った施工履歴中の最大値を示しているのに対して解析上の振動源は不動である。そこで解析結果を

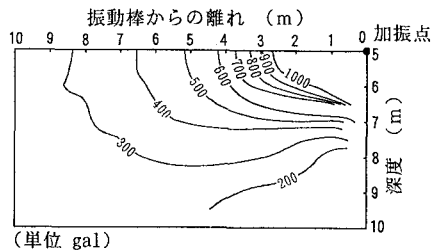


図-1(a)弾性波動論による鉛直方向加速度コンター

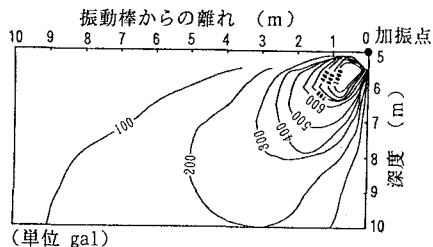


図-1(b)弾性波動論による水平方向加速度コンター

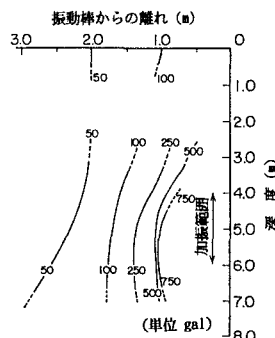


図-2(a)振動締め中の地盤の鉛直方向最大加速度コンター

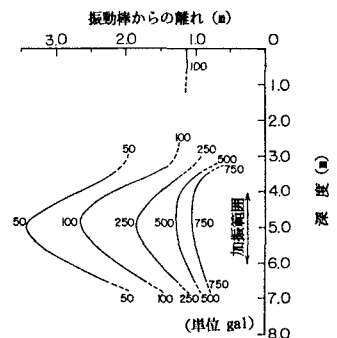


図-2(b)振動締め中の地盤の水平方向最大加速度コンター

実測値と比較する際にはこのような「振動源の移動」を考慮し、図-3に示すような加振点から下方45度付近に現れる最大値の峰を横軸(計測器位置)に投影する(右図の●印)といったデータ整理が必要となる。

図-4(a)(b)は、前報¹⁾で述べた現場計測結果を対象として弾性波動論による計算を行った結果を示している。図は振動棒工法施工時の地盤の変位振幅および振幅の減衰率(離れ1mにおける変位を1とした時の各離れごとの比率)を離れ方向にプロットした結果である。図中○△□のプロットは現場実験における実測値(地盤振動を正弦波と仮定し振動数と最大加速度を用いて $u = \text{最大加速度} / (2\pi f)^2$ により逆算)を、また実線は弾性波動解による計算結果を表している。また比較データとしてMindlin I 解³⁾(半無限弾性地盤内に静的な集中荷重を加えた場合の厳密解)による計算結果を一点鎖線で併記した。なお計算結果には図-3で示したようなデータ整理を施している。弾性波動論では地盤をせん断剛性一定の均一な弾性体と仮定しているが実施工では振動棒からの離れに応じてGがひずみ依存で変化するとと思われる。従って弾性波動論による計算では地盤のせん断剛性Gを一義的に決めることはかなり難しい。そこで、ここでは G/G_0 (Gの微小ひずみ時のせん断剛性 G_0 に対する低減率)をパラメーターとして、この値をいくつか変化させた計算を行った($G/G_0=1\sim0.05$)。なお、 G_0 及び地盤のポアソン比 ν は現位置において実施したPS検層ならびに密度測定の結果をもとに $G_0=3500\text{tf/m}^2$ 、 $\nu=0.487$ とした。また入力振動棒(H鋼400×400)の重量($W=0.172\text{t/m} \times 10\text{m}=1.72\text{t}$)に実測された振動加速度比(2500gal/980)を掛け合わせて $P=4.39\text{t}$ とした(振動数 $f=9.3\text{Hz}$)。計算結果は当然地盤のせん断剛性の値によって変わるが、図に示されるように振動棒からの離れに対する変位の減衰傾向は実測と合致せず、実測値に見られる急激な変位(あるいは加速度)の減衰を表現できていない。またこれを距離減衰率であらわした(b)ではその傾向がより明瞭に認識される。またMindlin解による計算結果も弾性波動論の結果と概ね符合しており、地盤を剛性一定の媒体とする前提条件に本質的な問題があるものといえる。このように弾性波動論を用いて実施工時の地盤挙動を定量的に評価することはきわめて難しく、振動棒周辺での剛性の不均一性や地盤剛性のひずみ依存性を考慮しうる数値解析手法を用いる必要があるものと考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 石黒ら: 吸水-振動締め固め時の地盤振動に関する検討、第47回土木学会年次学術講演会概要集(1992)
- 2) 佐藤泰夫: 弾性波動論、Ⅲ 15.3 1点に働く集中力による変位、pp. 208~213., 岩波書店(1978)
- 3) 土質工学ハンドブック、4.3 地盤内部に作用する荷重による応力分布と沈下(Kelvin解およびMindlin解), pp. 111~112. (1982)

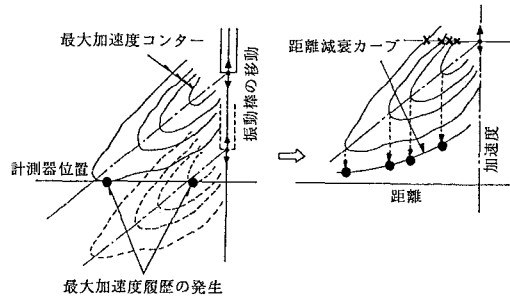


図-3 振動棒の移動を考慮した距離減衰の整理法

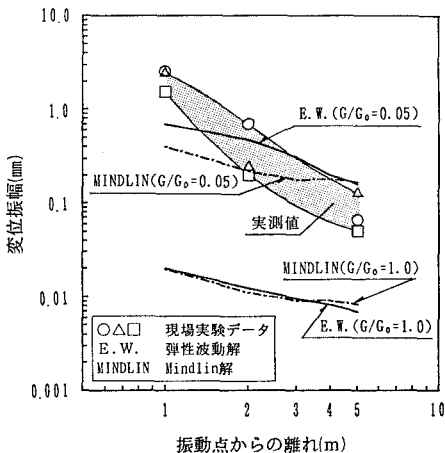


図-4(a)変位振幅の距離減衰に関する解析値と実測値の比較

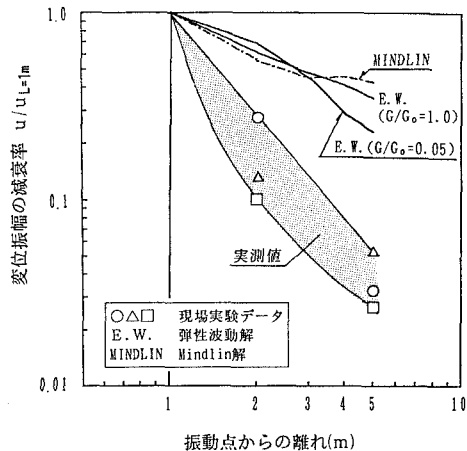


図-4(b)変位振幅の減衰率に関する解析値と実測値の比較