

CIP法による動弾性解析を用いた WIB 工の制振性能評価

E&D テクノデザイン (株) 正会員 竹宮 宏和
 (株) 環境風土テクノ 正会員 須田 清隆
 (株) 環境風土テクノ 正会員 ○本田 陽一

1. 目的

WIB(Wave Impeding Barrier)工法は高剛性のセル形式構造体(WIB工)を建物の直下や周囲の地盤内の所要の深さに構築して強く安定した複合地盤を作り、地震や交通などによる低周波振動を吸収・減衰する地盤改良による振動対策工法である。剛性および振動の散乱性能を考慮し、セル形状は六角形のハニカムセルとされることが多い。

堅い基盤層の上に柔らかい表層地盤が堆積した成層地盤では、地盤に加えられた交通振動等の低周波振動は表層地盤内を遠くまで伝わりやすい。WIB工によりこの表層地盤の振動を抑制するために、①表層地盤の厚さを薄くすることにより振動の伝達特性を変化させる、②高剛性の壁に囲まれたセル内部に振動をトラップしてセル内部で減衰させる、③六角形セルにより振動を多方向へ散乱させる、等の効果が期待される。

2. 解析方法

西藤らの方法¹⁾にならい、CIP法による動弾性解析を行った。まず、3次元弾性体の運動方程式および特性方程式について、x、y、zの直交する3方向それぞれの空間微分を取り出すことにより方向分離を行う。x方向には以下の式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(v_x \mp \frac{\sigma_{xx}}{\alpha\rho} \right) \pm \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \mp \frac{\sigma_{xx}}{\alpha\rho} \right) = 0 \quad \text{式(1)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(v_y \mp \frac{\sigma_{xy}}{\beta\rho} \right) \pm \beta \frac{\partial}{\partial x} \left(v_y \mp \frac{\sigma_{xy}}{\beta\rho} \right) = 0 \quad \text{式(2)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(v_z \mp \frac{\sigma_{zx}}{\beta\rho} \right) \pm \beta \frac{\partial}{\partial x} \left(v_z \mp \frac{\sigma_{zx}}{\beta\rho} \right) = 0 \quad \text{式(3)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sigma_{yy} - \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} \sigma_{xx} \right) = 0 \quad \text{式(4)}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sigma_{zz} - \frac{\lambda}{\lambda+2\mu} \sigma_{xx} \right) = 0 \quad \text{式(5)}$$

ここで、 v は弾性体の変位速度、 σ は応力、 ρ は密度、 α と β はそれぞれ縦波速度と横波速度、 λ 、 μ はラメ

定数である。式(1)～式(3)は一次元の波動方程式を特性曲線法で表したものであり、カッコ内の特性量の正負2方向への移流方程式となっている。

CIP法によりこの移流方程式を解くことにより、特性量の時間変化が計算でき、これから変位速度および応力の値を得ることができる。なお、方向分離法により1次元の移流方程式に帰着させていることから既往研究ではM型CIP法が用いられているが、保存性に対する精度が十分でない可能性があることから、B型CIP法の保存性を改善した手法²⁾を用いた。

3. 解析条件

WIB工を地盤改良柱で形成することを想定し、直径0.8m、長さ10mの地盤改良柱3本で一辺(1.6m)を構成するハニカムセル構造とした。改良柱は深さ1m～11mまでとし、基盤には達していない。また、比較のためにほぼ同じ改良柱本数で形成した連続地盤改良体についても計算を行った。図1に地盤改良柱の配置を示す。

計算領域は長手方向(x方向)40m、y方向5.543m、深さ20mとし、深さ15m以深に基盤層を設けた。y方向は周期境界とし、x方向は放射条件、地表面は自由表面条件、下端は連続条件とした。計算格子はx方向0.2m(境界付近は0.4m)、y方向0.198m、z方向0.5m、タイムステップ 1.0×10^{-4} 秒とした。

横波速度は表層150m/s、基盤層400m/s、改良柱800m/s、縦波速度は表層・基盤層とも1000m/s、改良柱1500m/sとした。密度は均一とした。減衰は考慮していない。

振動源はWIB工の中心から15.1mの地表面に直線上に振幅1の変位加速度として与えた。振動は25Hzの正弦波とし、加振方向は鉛直方向(z方向)および水平方向(y方向)の2種類とした。

キーワード WIB工法, 地盤振動, 動弾性問題, CIP法

連絡先〒701-1221 岡山市北区芳賀5303 岡山リサーチパーク インキュベーションセンター109号 TEL086-286-8519

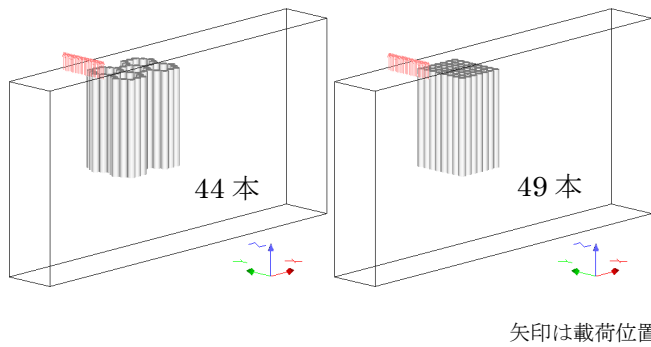


図1 WIB工(左)と連続地盤改良(右)

4. 解析結果

図2に鉛直方向振動を与えたときの、中心断面(x-z断面)における変位速度ベクトルのスナップショットを示す。無対策の場合は振動がレーリー波として地表面を伝搬するが、WIB工により効率的に遮蔽されている。連続地盤改良では反射が大きいが、改良体中を伝搬する波動と、改良体下部と基盤層の間を

回折する波動により、振動が改良体背後に伝搬している。

図3は式(2)および式(3)のカッコ内の特性量の二乗に横波速度の波速を乗じたもので、y-z断面内をx方向に伝搬する波動のエネルギーフラックスを表現している。実線はx正方向、破線はx負方向への移流である。WIB工のセル内に波動がトラップされ、位相が変化している。特に水平振動では、WIB工の上下を回折する波動の一部がセル内にトラップされていく様子がわかる。連続地盤改良の場合には反射による遮蔽効果はあるが、改良体内部に伝搬した波動が背後に透過している様子がみられる。

参考文献

- 1) 西藤潤: 動弾性問題へのCIP法の適用に関する研究、応用力学論文集、Vol. 12, pp. 135-142, 2009
- 2) 本田陽一、岡安章夫: 保存型B型CIP法を用いた湧昇マウンド確による鉛直混合の数値解析、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 68, No. 2, pp. 1151-1155, 2012

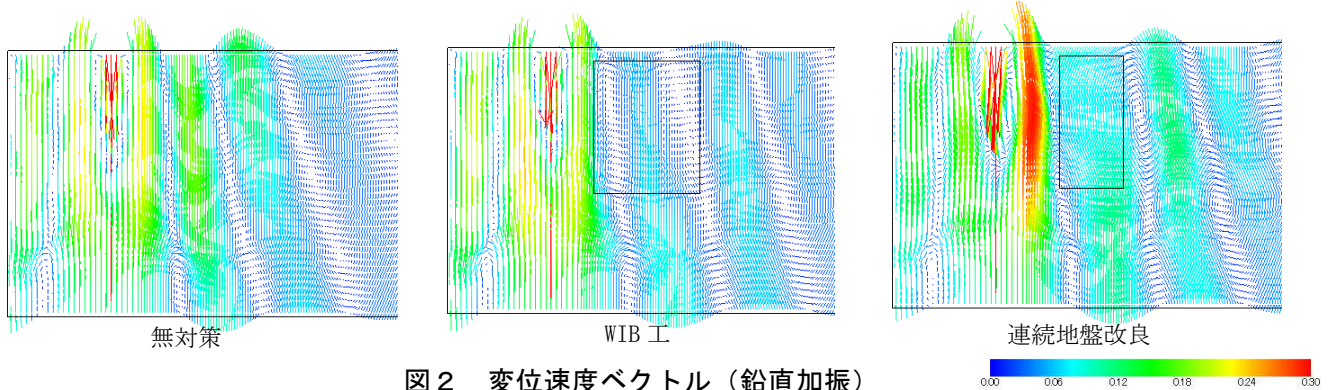
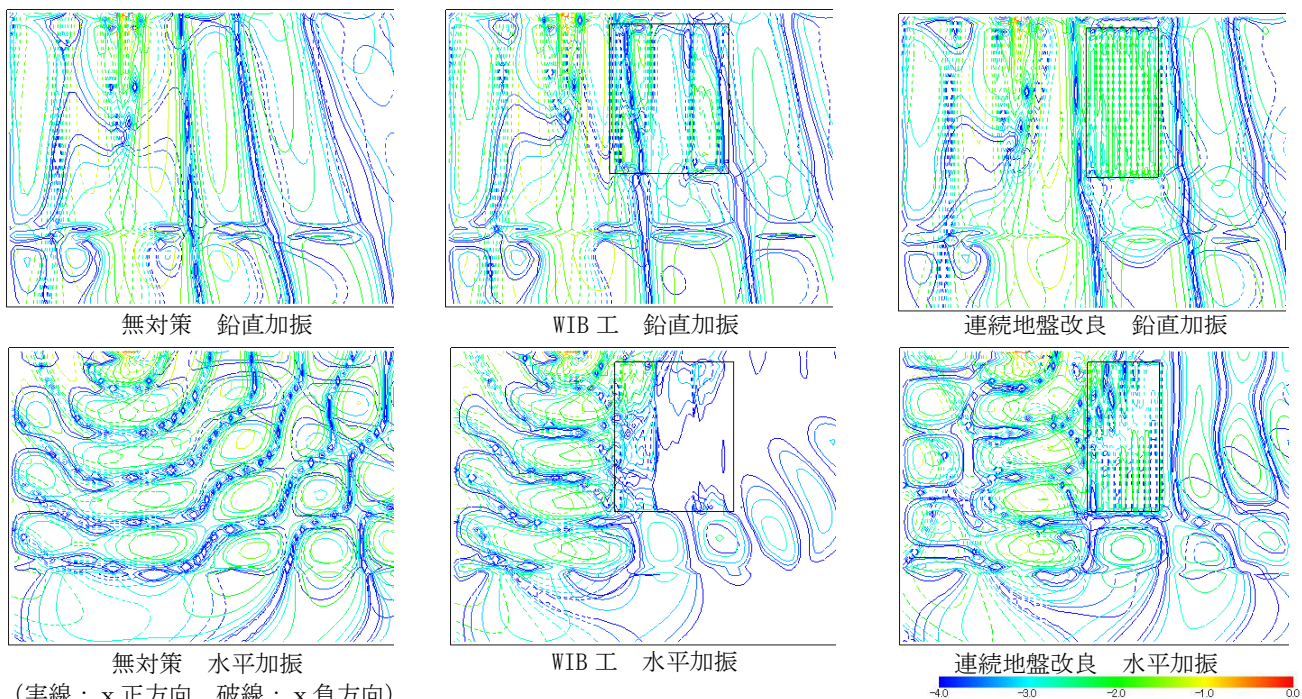


図2 変位速度ベクトル(鉛直加振)



(実線: x正方向、破線: x負方向)

図3 $\log(\beta(v \mp \sigma/\beta\rho)^2)$ の分布 (加振負荷最大値で無次元化)