

工事振動源の位置探査に関する実験的検討

飛島建設技術研究所 正会員 ○小林 真人
 飛島建設技術研究所 正会員 坂崎 友美
 飛島建設首都圏土木支店 藤本 克郎
 飛島建設首都圏土木支店 正会員 小原 勝巳

1. はじめに

民家等に近接し工事を実施する場合には周辺環境への配慮が重要であり、騒音規制法や振動規制法による規制基準の順守が求められる。このような工事に対して騒音や振動の測定手法は JIS に定める方法に基づくことになるが、発生源が複数ある場合や移動している場合には影響源のリアルタイムな把握が困難なことが多く、特に昼夜施工や長期にわたる工事などでは工事監理の面で問題となる。

このような背景のもと、筆者は騒音を対象とした工事騒音リアルタイム評価対応システムを開発し工事に適用¹⁾²⁾してきた。さらに、本システムをベースに工事振動リアルタイム評価対応システムの開発も行っている。本報では、移動する振動源の影響を監視できるシステムを開発するための現場実証実験の検証結果から、加速度ピックアップ設置間隔が工事振動源の位置探査に与える影響について報告する。

2. システム概要と振動源位置の探査方法

図-1に実験システムの構成を示す。移動する振動源の監視を可能とするため4個の加速度ピックアップからなる振動アレーを監視境界に設置することが特徴である。本システムによる振動監視は加速度ピックアップ R₂ における振動レベルが管理基準値を超えた場合に、R₂とそれ以外の測点(R₁, R₃, R₄)に到達する波動の到達時間差から振動源位置を検出し、工事による影響か否かを自動判別して、工事による影響の場合には警報を出力するものである。

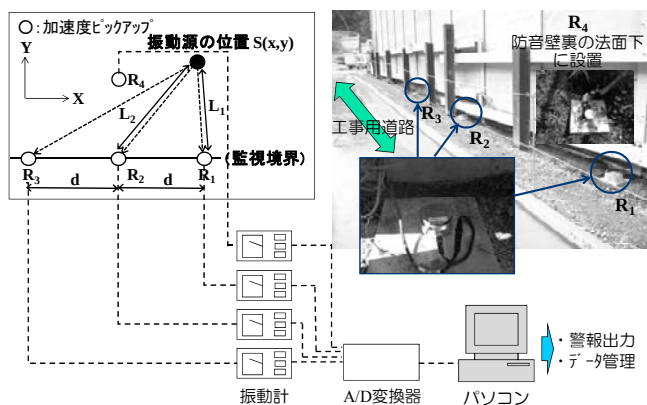


図-1 実験システムの構成

振動源位置の検出は相関法を用いた音源方向探知原理³⁾を応用した。ここで、図-1に示す X-Y 平面上の振動源の位置 S(x,y)を考え、R₁ から R₃ を結ぶ線上に X 軸、X 軸に直交し R₁ と R₂ の中心を通る線上に Y 軸をとると式(1)と式(2)が成り立つ。

$$L_1^2 = \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 + y^2, \quad L_2^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 + y^2 \quad (1)$$

$$L_2 - L_1 = V \cdot \tau_{21} \quad (2)$$

ここで、V：伝搬速度(m/s)、 τ_{21} ：R₂に到達する波動と R₁に到達する波動の時間差(sec.)である。式(1)、式(2)から L₁、L₂を消去すると、波動の到達時間差 τ_{21} に対応する振動源位置 S の座標(x,y)の関係として式(3)を得る。

$$\frac{4}{(V \cdot \tau_{21})^2} x^2 - \frac{4}{d^2 - (V \cdot \tau_{21})^2} y^2 = 1 \quad (3)$$

式(3)は R₂、R₁を焦点とする双曲線上に S があることを示している。そこで S の座標を確定するために、本システムでは測点 R₃を追加した。R₃、R₂も同様に波動の到達時間差 τ_{32} を考えれば式(4)となり、式(3)と式(4)から S の座標(x,y)を求めることができる。

$$\frac{4}{(V \cdot \tau_{32})^2} x^2 - \frac{4}{d^2 - (V \cdot \tau_{32})^2} y^2 = 1 \quad (4)$$

ただし、式(3)と式(4)の交点は双曲線の交点として2点得られるため、本システムでは振動源位置を確定するために、R₂と R₄にて計測された波動の到達時間差から x 軸(監視境界)に到達する波動の方向を決定している。なお、本システムで測点間の波動の到達時間差は R₂とそれ以外の測点(R₁, R₃, R₄)における応答の相互相関関数から求めている。

3. 現場検証実験

図-2に現場実験の配置を示す。監視対象とした振動源は、残土置場のバックホウ 0.8m³級とブレーカ 1.3ton 級、および工事用道路を移動するバックホウ 0.8m³級とした。既往の研究³⁾によれば2個のセンサー

キーワード：建設工事振動、モニタリング、移動振動源

連絡先：飛島建設(株)技術研究所 (〒270-0222 千葉県野田市木間が瀬 5472・TEL 04-7198-7553・FAX 04-7198-7586)

に入射する波動の位相差の問題から、センサー間隔について式(5)の条件を満たす必要があることが示されている。本実験では事前調査から $V: 300\text{m/s}$, $f: 10\text{Hz}$ であったので d は 15m 以下を満足する必要がある。そこで、実験現場で配置できる条件として R_1 , R_2 , R_3 の間隔は 2.5m , 5m , 7.5m , 10m に変化させた。なお、 R_4 については移動が困難であったことから R_2 から水平距離 7m ほど離れた法面下に設置した。

$$d \leq \frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2f} \quad (5)$$

図-3 にバックホウとブレイカ作業における加速度ピックアップの設置間隔（以下、設置間隔とする）と相関関数との関係を測点別に示す。同様に図-4 にバックホウ走行での結果を示す。バックホウとブレイカ作業は発生源位置がほぼ定置であり、発生源位置を特定するためには容易な条件である。相関法を用いた音源探知は平面波を仮定しているため設置間隔が広がると相関が悪くなってくるが、実験条件の範囲では相関関数の最大値が 0.7 を上回っており振動源位置の特定には問題ないと考える。一方で、バックホウ走行は発生源が大きく移動するため発生源位置を特定するには厳しい条件である。図-4 を見ると設置間隔が広がることで相関が悪化している。これは発生源の移動範囲が広がることや設置間隔が広がることで、地盤構造等の変化による伝搬速度の変化に対応できていないことが要因として考えられる。発生源位置がほぼ定置の条件では設置間隔が 10m 以内で相関の最大値が 0.7 以上であったことから、発生源が移動する条件でも同程度の相関が必要と考える。よって、図-4 から移動する条件での設置間隔は 5m 以下が望ましいと考える。

図-5 に設置間隔を 5m とした場合のバックホウとブレイカ作業における振動源位置の解析結果、同様に図-6 にバックホウ走行の結果を示す。図-5 を見るとバックホウはベースマシンとバケットに相当する位置で振動が発生していること、ブレイカではビットの位置で振動が発生している様子が判る。図-6 では監視点からおおむね 30m 以内でバックホウ走行の軌跡を再現している様子が判るが、遠方については解析精度が低下している。これは、前述の伝搬速度等の問題が影響として考えられる。

4. まとめ

本報では移動する振動源に対応するための振動モニタリングに関して、設置間隔の影響を実験的に検討した。その結果、設置間隔が 5m 以内であれば概ね良好な発生源位置の探査が可能であることを示した。また、発生源が遠方にある場合には、地盤条件等の変化を考慮した解析が必要であり今後も検討を継続する。

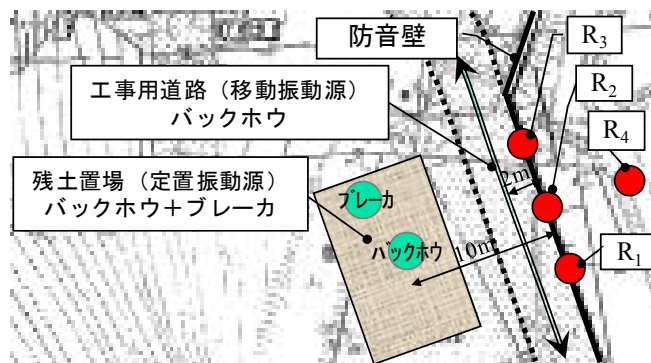


図-2 現場実験の配置

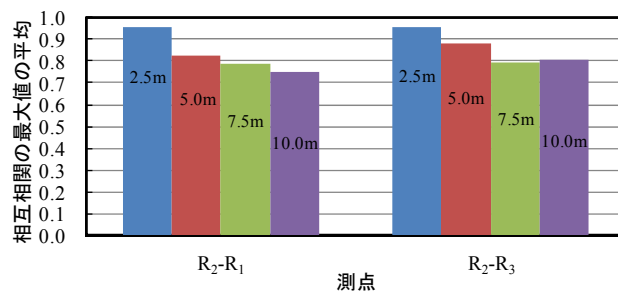


図-3 相互相関関数の比較 (バックホウ+ブレイカ)

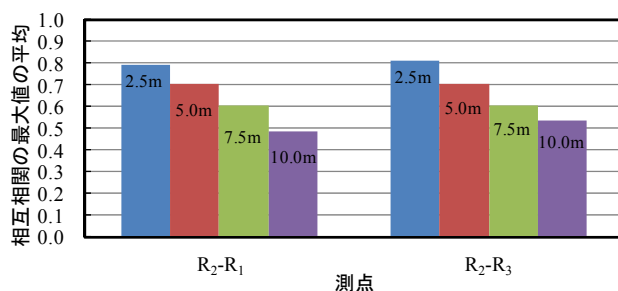


図-4 相互相関関数の比較 (バックホウ走行)

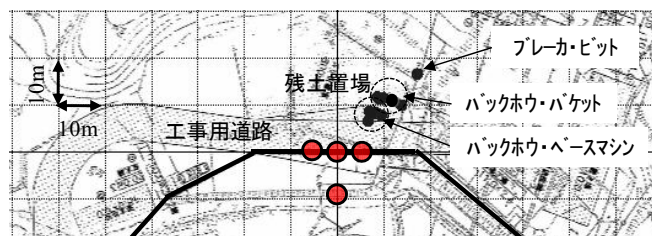


図-5 振動源位置の解析状況 (バックホウ+ブレイカ)

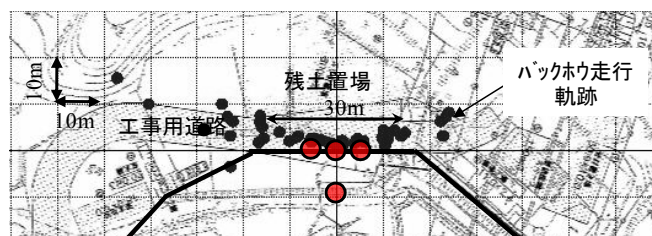


図-6 振動源位置の解析状況 (バックホウ走行)

参考文献

- 1) 塩満剛治, 宮村憲正, 江口稔, 請関誠, 小林真人: トンネル工事における騒音の管理事例, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, 第VII部門, pp.261-262, 2010.
- 2) 小林真人: 工事騒音リアルタイム評価対応システム, 騒音制御 Vol.35, No.3, pp.267-270, 2011.
- 3) 赤松克児, 大倉清, 片岡正純: 低周波音の音源方向探知システム, 三菱重工技報 Vol.22, No.3, pp.330-335, 1985.