

コンサート公演時の縦のり荷重による

会場周辺地盤の振動の実測例

1. 測定概要

1.1 測定対象および測定地点

タイトルの通り、測定対象はコンサート公演時の会場周辺地盤の振動である。図1の6地点で測定を行う。以下、公演会場を単に「ホール」と呼ぶ。同図においてホールは5ha強の広さであり、各測定点の位置関係は、三角形1-2-3が概ね1辺1kmの正三角形、三角形4-5-6が概ね1辺300mの正三角形となっている。

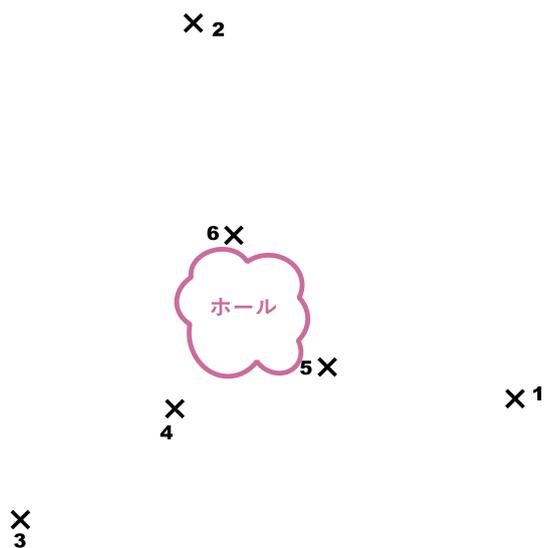


図1：測定配置

1.2 測定のタイミングと回数

ロック音楽のコンサート公演時を狙って2回測定実施した。各測定において、公演を行っているのはそれぞれ別のバンドである（以下、バンド A, バンド B と呼ぶ）。

1.3 測定システム

白山工業社製 JU410 にて、以下の設定で測定を実施。

- ・ サンプルングレート: 200Hz
- ・ 同期: GPS 同期

1. データ処理方法

3.1 考え方

常時微動・交通振動と縦のり振動について、以下のような性質を仮定する。

- ・ 常時微動・交通振動: 測定点近傍に存在する振動源の位相特性に応じて、各点無相関な振動が発生する。
- ・ 縦のり振動: 公演会場から同心円状に振動が伝わるため、各点同位相に近い振動を示す。

このとき（この仮定を「大体成り立ちそうだ」、「成り立つはずだ」と思ったとき）、測定点 $i-j$ 間の周波数 f における複素コヒーレンスを $C_{ij}(f)$ と置くと、任意の i, j の組み合わせについて、以下のようなことが言えるはずである。

- ・ 常時微動・交通振動が卓越する周波数帯: $|C_{ij}(f)| \approx 0$
- ・ 縦のり振動が卓越する周波数帯: $|C_{ij}(f)| \gg 0$

この考えに基づき、観測点 6 点全体でのコヒーレンスの大小で、縦のり振動が卓越している時間帯と周波数帯を推定する。以下、「観測点 6 点全体でのコヒーレンス」をアレイコヒーレンスと呼ぶ。観測点 i の周波数 f における複素フーリエ振幅を $u_i(f)$ としたとき、複素コヒーレンス $C_{ij}(f)$ とアレイコヒーレンス $(\bar{C}(f))$ とおく) は次のように定義できる。

$$C_{ij}(f) = \frac{u_i(f)u_j^*(f)}{|u_i(f)||u_j(f)|} \quad (1)$$

$$\bar{C}(f) = \frac{|C_{21}(f) + C_{31}(f) + \dots + C_{61}(f) + C_{32}(f) + C_{42}(f) + \dots + C_{65}(f)|}{15} \quad (2)$$

ここに、上添え字の*は共役複素数を表す。

3.2 データ処理のパラメータ

データ全長を 81.92 秒の小区間に分けて、各区間についてアレイコヒーレンスを計算する。計算条件を以下に示す。

- 評価対象方向：測定に用いた JU410 は 3 成分の加速度計を搭載しているが、ここでは簡単のため、地盤環境振動として問題になり易い鉛直方向の加速度のみを取り扱う。
- 前処理：
 - ・ 単位区間幅: 81.92 秒
 - ・ 区間のラップ幅: 単位区間幅 0.5 幅分
 - ・ 基線補正: 各区間において、区間全長の平均を生データから引く。
 - ・ 窓関数: 単位区間幅の Hanning 窓を使用
- 周波数平滑化：
 - ・ 窓関数: 0.5Hz 幅の Parzen 窓を使用
 - ・ 手順: 各複素コヒーレンスについて、分母と分子別々に平滑化を実施した結果を使って(1), (2)式の計算を行う。

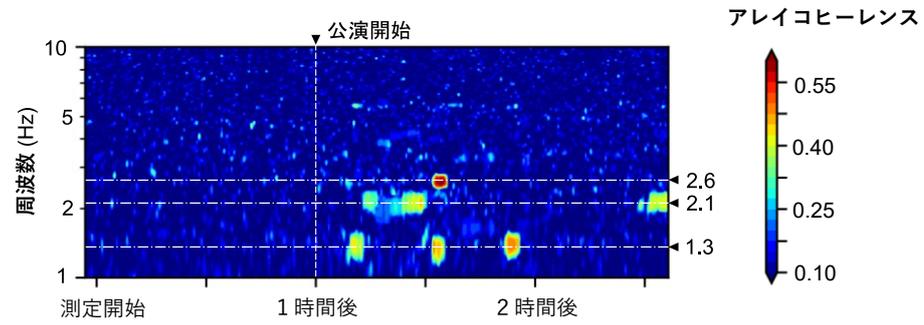
2. 縦のり振動の卓越する時間帯および周波数帯の推定

図 2 に測定より得られたアレイコヒーレンスを示す。同図(a)より、公演開始前はアレイコヒーレンスの高い領域は非常に疎らであるのに対し、同図(a) 19:00 以降および同図(b)より、公演中はアレイコヒーレンスの顕著に高い時間帯・周波数帯が発生する。このことから、アレイコヒーレンスは縦のり振動の評価指標として有効であることが確認できる。

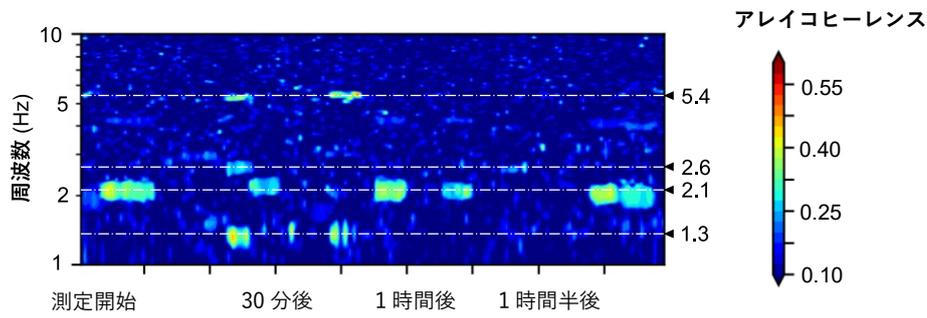
次に、アレイコヒーレンスの周波数特性に着目する。図 2 より、本測定のアレイコヒーレンスは 1.3Hz 付近と 2.1Hz 付近にピークを持ち、1.3Hz 付近のピークは 2.6Hz 付近のピークと 5.4Hz 付近のピークを伴う場合がある。逆に言うと、アレイコヒーレンスがピークをとる周波数はこの 4 つの帯域に限られ、ほかの帯域でピークを示すことがない。このことは、縦のり加振力のピークと、周辺地盤における縦のり振動のピークが 1 対 1 で対応していないことを示しているように思われる。縦のり加振力の元となるのは、一定の周波数で動作する機械などではなく、多数の人の動きだからである。多数の人の動きによる加振力が、1.3Hz と 2.1Hz の間の中途半端な周波数にピークを持たなかったり、バンド A 公演時とバンド B 公演時でほぼ同じ周波数特性を示したりする可能性は低いと考えられる。

著者の考えでは、図 2 の結果は次のことを示している。

- ・ 1.3, 2.1, 2.6, 5.4Hz は「縦のり加振力」のピーク周波数ではない。
- ・ 「周辺地盤の縦のり振動」 = 「縦のり加振力」 × 「ホールおよびその支持地盤の振動伝達関数」であり、1.3, 2.1, 2.6, 5.4Hz は「ホールおよびその支持地盤の振動伝達関数」が通しやすい周波数である。



(a) バンド A 公演時のアレイコヒーレンス



(b) バンド B 公演時のアレイコヒーレンス (データ全長公演中)

図 2 : 7/3, 7/7 の測定より得られたアレイコヒーレンス