D1-6

コンサートホールにおける演奏音と客席床の振動の相関に関する基礎的検討

Basic study on correlation of performance sound and floor vibration in a concert hall

○宮田岳学[1]，羽入敏樹[2]，星和磨[2]
*Takahisa Miyata, Toshiki Hanyu, Kazuma Hoshi

1.はじめに

筆者らはコンサートホールにおいて，音楽の演奏による空気振動によって，床が振動していた場合，その床振動が音楽の聴感印象にどのような影響を与えているのかについて，検討している[1].

本報では，実際にコンサートホールでの演奏時に床振動の測定を行い，音楽演奏によって床振動が生じているかの検証を行ったので報告する.

2.実験方法

測定装置概要図を Fig.1 に示す．振動ピックアップを床に取り付け，ピックアップの鉛直上から 10cm 離してマイクを設置し，床振動と空気音の測定を同時に行った．床振動と空気音の波形の相関を調べることで，床振動が演奏音によるものなのかの検証を行う.

測定は，コンサートホールにおいて，吹奏楽演奏を対象に行った．ホールの測定点を Fig.2 に示す.

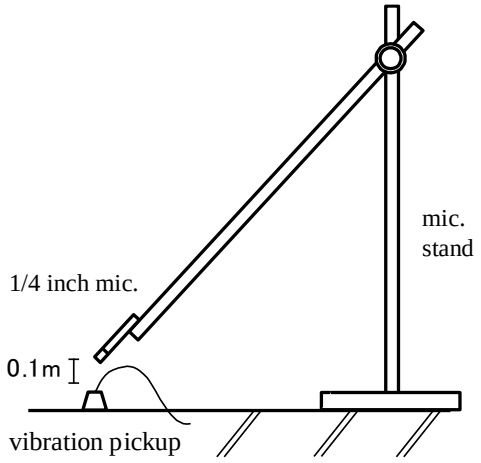

Fig.1 Measurement arrangement

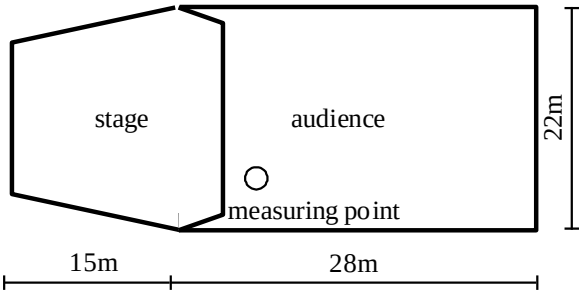

Fig.2 Plan of hall and a measuring point

解析は床振動と空気音の波形の相関度を計算した．2 つの波形の相関度が高い場合，床振動が音楽演奏の空気音によって駆動されたものと考えることができる．解析には，吹奏楽演奏の一部分を測定したものを使用した．Fig.3 に測定した床振動と空気音の波形を示す.

その測定データの中からダイナミックレンジの高い部分 2 箇所を Part1，Part2 として 20 秒程度に切り出したものをそれぞれ解析した．また周波数帯域ごとの相関度を確認するため，オクターブと 1/3 オクターブ帯域で解析を行った．なお相関度を計算する際，床振動と空気音の測定点到達の時間的なずれを考察するにあたって，サンプリング点を-200 から 200 までずらした相互相関関数を式(1)によって算出した.

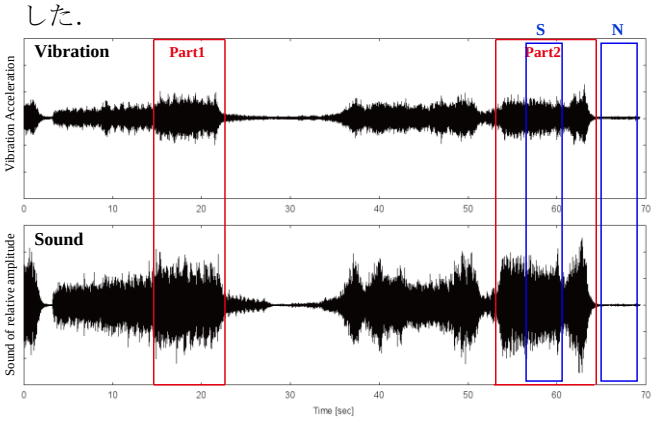

Fig.3 Waveform of vibration and sound

式(1)により算出した相互相関関数の最大値を相関度として使用する．測定時のサンプリング周波数は 48kHz である.

$$r_{xy}(m) = \frac{\sum_{n=0}^{L-1} x(n)y(m+n)}{\sqrt{\sum_{n=0}^{L-1} x^2(n)}\sqrt{\sum_{n=0}^{L-1} y^2(n)}} \qquad (1)$$

L:データ総数　m:サンプリングラグ　n:離散時間
$x(n)$:振動波形データ　$y(n)$:空気音波形データ

また相関度がノイズではなく演奏音によるものであるかを確認するため、演奏中の 4 秒間をシグナル

日大理工・院（前）・建築、2 ： 日大短大・教員・建築

S，演奏終了後の 4 秒間をノイズ N として SNR を帯域ごとに算出した．SNR 算出に用いた部分 S,N を Fig.3 に示す．

3.測定結果

床振動と空気音の帯域ごとの SNR を Fig.4 に，切り出した波形 Part1，Part2 のオクターブと 1/3 オクターブごとの相関度を Fig.5 にそれぞれ示す．また相関が最大値を取ったサンプリングずれを Fig.6 に示す．

まず Fig.4 を見ると，すべての帯域において 20dB 以上の SNR が確保されており，ノイズの影響は小さく，算出された相関度は演奏音によるものであることが確認できる．

次に Fig.5 の周波数帯域ごとの相関度を見ると，Part1，Part2 共に 1/3 オクターブ帯域において，160Hz-1000Hz 帯域での相関度が 0.5 以上となっており特に高い値を示している．

Fig.6 の相関が最大値を取ったサンプリングのずれを見てみる．符号が正の場合，空気音が振動より時間的に遅れていることを，負の場合には空気音が振動より時間的に早く到達していることを意味する．

これを念頭に Fig.6 を確認すると，相関度の高い周波数帯域 160-1000Hz では負の値となっており、空気音が床振動より時間的に早く到達していることが確認できる．筆者らはステージ上で生じた振動が客席の床に伝わり振動していると考えていたが，今回の結果から空気音が直接客席の床に伝わり振動が生じている可能性が示唆された．

以上のように，160-1000Hz の周波数帯域において高い相関度が確認できたことから，この周波数帯域においては音楽の演奏音によって床が振動していることを確認することが出来た．

4.まとめ

今回の検証により，コンサートホールのような実空間において，音楽の演奏により，実際に床が振動していることが確認できた．

今回の測定では相関度の高い周波数帯は 160-1000Hz となっていたが，床の剛性や材料などの違いにより，振動しやすい周波数帯域は変化する可能性もあると考えられる．また振動が空気音より遅れて到達していたが，直接音だけでなく，反射音などによっても床振動が生じるかといった疑問も生じた．

今後も音楽演奏により生じる振動の持つ可能性を追求していくつもりである．

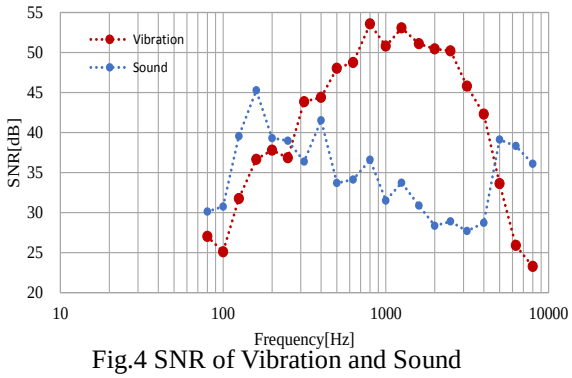

Fig.4 SNR of Vibration and Sound

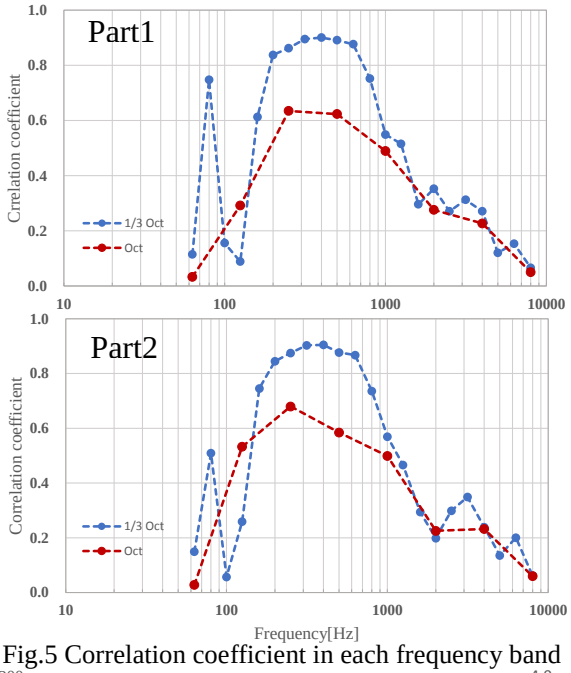

Fig.5 Correlation coefficient in each frequency band

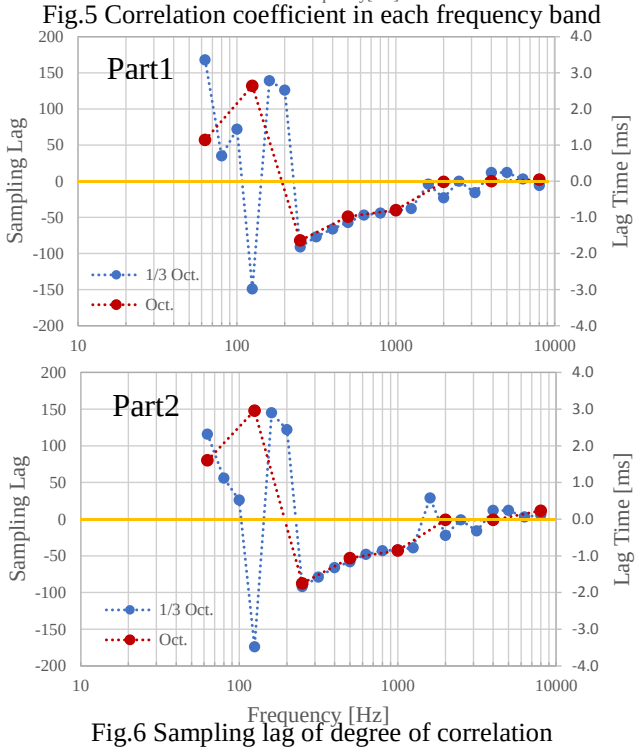

Fig.6 Sampling lag of degree of correlation

[参考文献]

[1]宮田岳学他：「音楽聴取時の床振動が聴感印象に及ぼす影響」，建築学会梗概集，pp.255-256,(2015)