

インフラ施設の振動可聴化による教育教材の基礎研究

東京都市大学 ○学生会員 宇高 雄大

東京都市大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

様々なタイプのインフラ施設に関連した博物館、科学館が存在しており、リスーピア¹⁾、横浜こども科学館²⁾など、体験することで学ぶ博物館では五感を活用することで楽しみながら学ぶことが出来る。そこでひとつの試みとしてインフラ施設の振動を音に変換し、可聴化することにより構造物の振動に対する興味、理解を深めるための教材の構築を試みる。音に変換した振動を聞かせる、さらにその音からメロディーを作成し、橋の博物館や関連する施設のPR館などに置いてもらうことで、一般の人々や学生のインフラ施設に対する興味を与え、振動や耐震性に対する理解を深めてもらうことを目標とする。

2. 音とインフラ施設

構造物は地震や風によって振動していることから空気の振動である音に変換できるが、通常の構造物の振動はそのままでは人間にとって音としては聞こえない。人間の可聴範囲が20Hzから20kHzであることに對して、構造物の振動は0.3Hzから10Hzであることが多いためである³⁾。そこで、この振動数を変換することで人にも聞こえるようにする。変換方法は、例えばビデオなどで早送りにした時に音声が高くなるが、これと同じように振動数を変換することで、構造物の振動を可聴範囲へ変換する。

振動は様々な振幅の正弦波の重ね合わせとして表現することができる。楽器の音色を表現する場合、振動を正弦波に分解した場合の一番低い振動数を基音と呼び、基音より高く整数倍の振動数を倍音と呼ぶ。この基音と倍音の強弱が音の音色を決める。例えば弦楽器（バイオリン、ピアノなど）の振動数成分は、整数倍（1倍、2倍、…の振動数の足し合わせ）で、木管楽器（クラリネットなど）の場合は奇数倍（1倍、3倍、5倍…の振動数の足し合わせ）の振動モードである⁴⁾。弦楽器のような振動数成分は構造物では斜張橋ケーブルの振動モードと類似性があり、木管楽器の振動数成分は高層ビルなどの振動モードとの類似性が推察される。これらのことから、ある条件下ではインフラ施設の振動を音に変換した場合にある程度の音程、音色をもった音に変換できる可能性が示唆される。

3. 振動の音への変換

兵庫県南部地震、高速道路高架橋の交通振動の観測波形、数値解析による地盤の応答波形の振動を音へ変換を試みた。兵庫県南部地震以外の地震も含め試してみたが爆発音のような音になる傾向が見られた。高速道路高架橋の交通振動を変換すると雑音のようになり、特定の音程は感じられなかった。その原因は卓越振動数や倍音構成が不明瞭なためである。そこで、この高架橋の振動にバンドパスフィルターをかけ、基音を作成した。その基音をもとに振動数を整数倍した倍音を重ね合わせることで、元の音よりは音程、音色を感じさせる音に変換させることができた。地盤の応答解析では図-1に示す地盤モデルに図-2に示すリッカーウェーブレット波($g(t)=(2\pi^2fc^2t^2-1)\exp(-\pi^2fc^2t^2)$)を入力した。中心振動数を変化させることで波形が変化する。1次元の地盤の応答波形としていることから明確な倍音構成が現れ、地震や高速道路の交通振動に比べると良い（音色を感じる）音となった。応答波形は1次元せん断系の応答と同じ（片側固定、片側開放）振動モードなので、振動数成分は図-4に示すように1:3:5・・・であり、2で述べたように木管楽器と同じ倍音構成（振動数成分の構成）である。入力波の中心振動数を高くすると応答波の音程も高くなる。減衰比を大きくすると加速度波形は早く減衰し、音の余韻が早くなる（リリースの少ない音になる）。また、減衰比が小さいものに比べ、高周波成分の減衰が早いため音色が単純になる。例えば、減衰比0.01のケースは減衰比0.001に比べて音が木管楽器から打楽器に近い音になる印象がある。発表当日これら3種類の音のデモンストレーションもする予定である。

キーワード：サウンドモニュメント、振動の可聴化、交通振動、応答波形、教育、

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104

4. まとめ

インフラ施設などの可聴範囲外の振動を変換することで人にとっての可聴範囲の音とすることができる。インフラ施設の振動を、聴覚を通して体験することで一般市民や学生のインフラ施設や振動に対する興味や理解を深めることを期待している。地盤応答の結果のように楽器のような音が得られる場合もあるが、高速道路高架橋の交通振動の音のようにそのままの振動データでは良い（音色を感じる）音にならないことも多い。その違いについて聴覚を通して体験し、卓越振動数の意味を感覚的に捕らえることは振動を理解する上で有効であると考えている。今後は固有振動数がより明確な斜張橋や吊り橋ケーブルの振動などのデータを収集し、音への変換を試みる。また、同時に全国の博物館の展示方法などを調べるとともに、一般市民にインフラ施設に対する興味を引くように、変換した音からメロディーを作成するなど、博物館の展示方法についても検討を加えたい。

参考文献

- 1) リスーピア, <http://risupia.panasonic.co.jp/>, 2009/04/01
- 2) はまぎんこども宇宙科学館, <http://www.ysc.go.jp/ysc/ysc.html>, 2009/04/01
- 3) 野間佐和子：音のなんでも小事典，講談社，P276，298，1996
- 4) 波形と音色, <http://www008.upp.so-net.ne.jp/soundheaven/oto/otokouza/hakei/index.html>, 2008/12/12

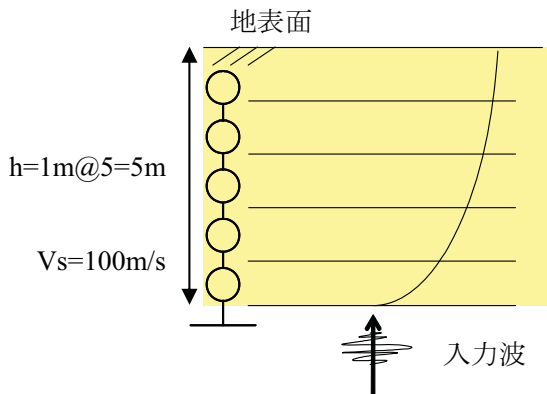
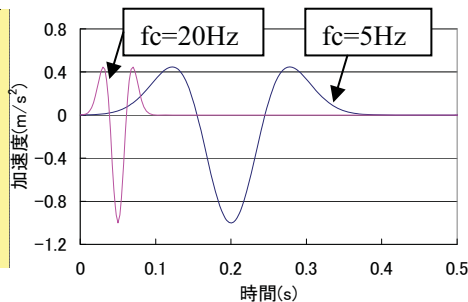
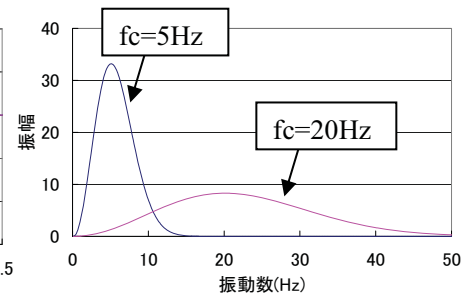


図-1 地盤モデル

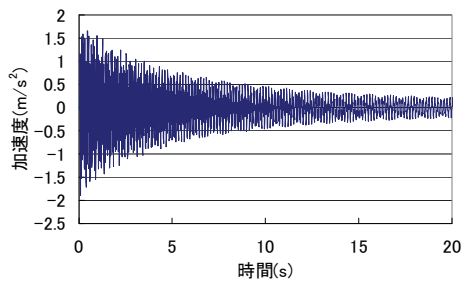


(1) 加速度時刻歴波形

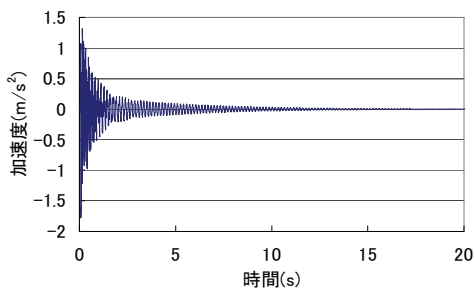


(2) フーリエ振幅

図-2 リッカーウェーブレット波

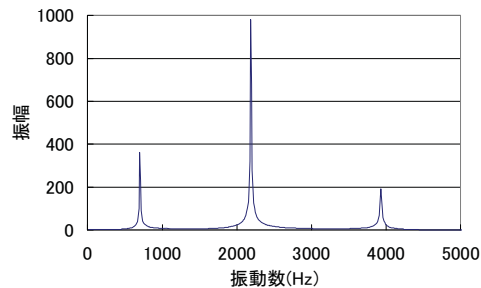


(1) 中心振動数 20Hz, 減衰比 0.001

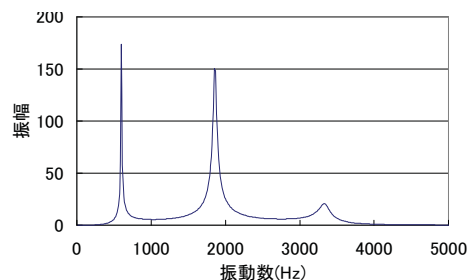


(2) 中心振動数 20Hz, 減衰比 0.01

図-3 地表面における地盤応答波形の加速度



(1) 中心振動数 20Hz, 減衰比 0.001



(2) 中心振動数 20Hz, 減衰比 0.01

図-4 地表面における地盤応答波形のフーリエ振幅