

十字穴を有するフォノンニック結晶のバンドギャップ制御のための解析モデル

Analytical Models for Bandgap Control of Phononic Crystals with Cross-holes

岡山大[○]西野 貴大, 石川 篤, 鶴田 健二

Okayama Univ.[○]Takahiro Nishino, Atsushi Ishikawa, and Kenji Tsuruta

E-mail: tsuruta@okayama-u.ac.jp

フォノンニック結晶 (PnC) [1]は, 弾性波の伝播を制御できる周期構造体であり, バンドギャップ (BG) 周波数範囲内の弾性波伝播が特定の方向で禁止される. その特徴を活かして, PnCは, 音響フィルタ, 共振器, 音響レンズなどの高度な音響デバイスの開発に適している. このため, PnCバンド構造のチューニングは, PnCのあらゆる用途において不可欠である. これまでに, BGは材料および形状パラメータを含むいくつかの要因によって決定されることが見出されている. しかし, これらの研究の多くでは, 問題を単純化するために単体材料かつ単純な幾何学的形状が採用されている. また, 周期的対称性などの構造パラメータは, 所望のバンド構造を得るためにほぼ経験的に設計されている. そこで本研究では, 十字穴が2次元周期的に配置されたPnCについて, 正孔の形状と大きさをパラメータとしてバンド構造を調整できることを数值的, 理論的に見出したので報告する.

Fig.1(a)に十字穴PnCのモデルを示す. 材料には窒化アルミニウム (AlN) とし, ユニットセルは $a=500\mu\text{m}$, その他の構造パラメータは $b=450\mu\text{m}$, $h=250\mu\text{m}$ とした. まず, 有限要素法 (FEM) を用いてバンド計算を数值的に行ない, 比率 c/a のみを変化させた場合のBGの変化を調べた (Fig.1(b)). ここで, モード形状変化に着目したところ, BG上下端に, 特徴的な3種類の振動モードを確認した (Fig.1(c)~(e)). BG下端における振動モードは, Fig.1 (c)に示すような四角い部分の質量と細長いコネクタとの結合によって局所共振が起きている[2]ことから, このモードを擬似的にばねと質量からなる力学的モデルに置換し, ばね質量系の運動方程式から共振周波数を求めた. 次に, BG上端のモード変形に着目し, $c/a=0.37$ を境に異なる2つの特徴的なモードを確認した. $c/a<0.37$ においては, Fig.1(c)に示すように z 方向にのみ変位しており, これはプレートにおいて屈曲運動が支配的であることを示している. そこで, 屈曲波の分散関係に基づき, BG上端の周波数 ($c/a<0.37$) を算出した. 分散関係より, BG周波数が板の厚み方向と穴の大きさに依存性があることがわかった. 一方, $c/a>0.37$ ではコネクタ部分が xy 方向にのみ変位し, さらにコネクタは四角い質量によって両端固定された梁であるかのように振動する (Fig.1(d)). したがって, ベルヌーイ・オイラー梁理論に基づき, BG上端周波数 ($c/a>0.37$) を算出した. BG上端周波数において, コネクタの長短に応じて異なるモードが励起されることがわかった. Fig.1(b)は, c/a を変化させたときのFEM解析結果と3種類の解析モデルによる予測値は一致することを示している. また講演では, 同様のBG制御が他の周波数帯においても解析的かつ定量的に予測できることも示す.

謝辞: 本研究の一部は科学研究費補助金(課題番号17K19035)の支援のもと実施された.

参考文献: [1] Phys. Rev. Lett. **71**, 2022–2025 (1993). [2] J. Appl. Phys. **110**, 113520 (2011).

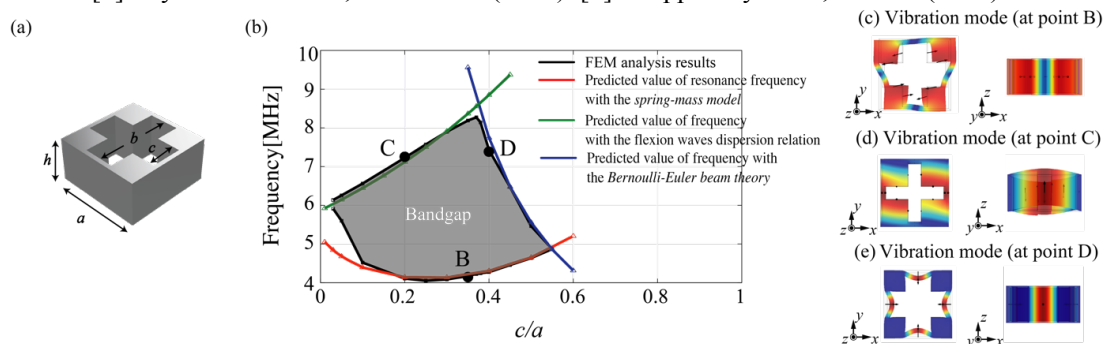


Fig.1(a) Schematic of the unit cell of a cross-hole structure. (b) Comparison between the numerically simulated bandgap and the corresponding theoretical result. (c)-(e) Vibration modes