

橋桁に起因する低周波音の空間伝播特性に関する基礎的検討

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 金井大明 日本大学理工学部 正会員 野村卓史
秋田県 金野貴憲 水戸市 小室有輝

1. はじめに

橋桁の振動を原因とした低周波騒音に関して、実測や理論解析に基づく多くの研究がなされている¹⁾。本研究は、音源である橋桁の振動モード、振動継続時間が音圧伝播に及ぼす影響を調べるために、基礎的な数値解析を行ったものである。

2. 解析方法

本研究では、音圧 p を変数とする次の非定常・線形の波動方程式を基礎方程式とする。

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = 0 \quad (1)$$

ここで c は音速である。式(1)を通常のカラキーン有限要素法で離散化した。要素は線形三角形要素である。有限要素方程式は次式で表される。

$$\frac{1}{c^2} \mathbf{M} \frac{d^2 \mathbf{p}}{dt^2} + \mathbf{K} \mathbf{p} = 0 \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{M} は質量マトリックス、 \mathbf{K} はラプラス作用素に対応するマトリックス、 \mathbf{p} は節点音圧のベクトルである。時間積分には Newmark- 法を用いた。

3. 解析モデル

解析対象領域 図1に解析対象領域を示す。橋桁断面は辺長比4の長方形に単純化した。領域の寸法は橋桁の桁下高さを単位とする無次元長さで表している。

境界条件 下辺 AB の境界条件は剛な地面に相当する境界条件

$$u = \frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

を与えた。ここで u は境界に直交する流速成分である。他の3辺 AD, DC, CB は本来音が透過する放射境界条件を与えるべき境界であるが、本研究ではこれらの境界にも同じく式(3)の境界条件を与えた。

そのため解析の時間範囲は橋桁から発生した音波がこれら3辺に到達するまでに留めている。

橋桁振動の表現 橋桁表面上の境界には、境界直交流速成分 u の分布を図2に示すように与えて橋桁の振動を表現した。すなわち流速 u によって橋桁表面変位の速度を表現させている。図2(a)は上下振動、図2(b)はねじれ振動を表す速度分布である。ここで U は速度分布パターンの振幅を代表する変数であり時間の関数である。

4. 橋桁振動の時刻歴

音源である橋桁の振動として、上下振動およびねじれ振動のそれぞれについて図3に示す次の2つの時刻歴を用いた。

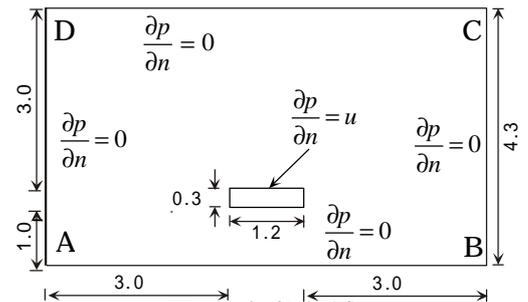


図1 解析領域

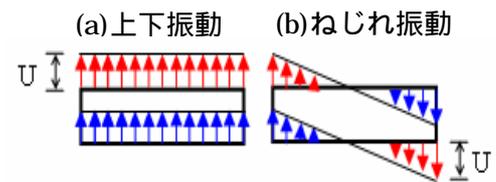


図2 境界上の速度 u の分布

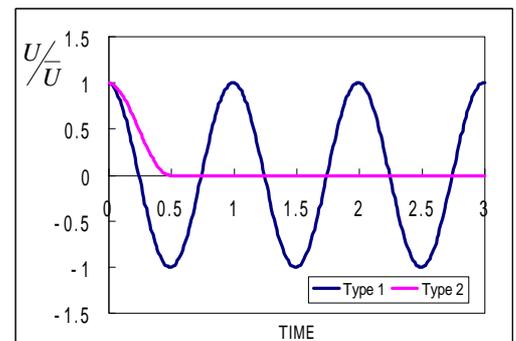


図3 橋桁上の速度分布の時刻歴

キーワード：低周波音，橋桁，有限要素法

連絡先 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部 TEL(03)3259-0411

$$\text{Type 1: } U = \bar{U} \cos \frac{2\pi t}{T} \quad \text{Type 2: } U = \frac{1}{2} \bar{U} (1 + \cos \frac{\pi t}{T}) \quad (0 < t < 0.5) \quad (4a, b)$$

Type 1 は長時間にわたる継続的な振動を想定している．これに対し，Type 2 は継続時間が短い，パルス的な振動を想定している．ここで t は周期 T を単位とする無次元時間である．また振幅 U も単位振幅とした．音速 $c=1$ として解析したので，音波が境界に到達するまでの解析時間範囲は， $0 < t < 3$ である．

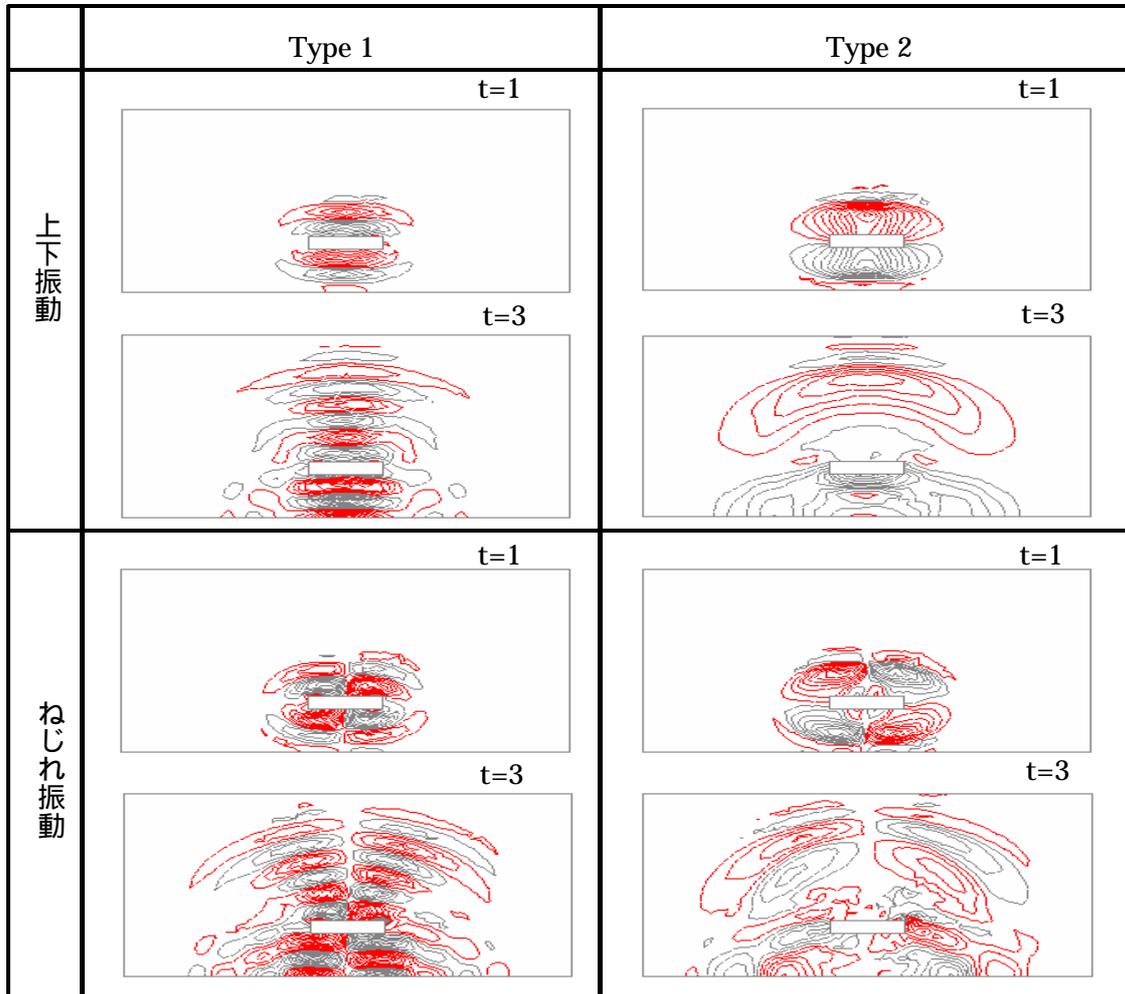


図 4 音圧分布（赤：正圧，灰：負圧）

5. 解析結果

図 4 は 2 つの振動パターンと 2 つの振動継続時間を組み合わせた 4 通りの解析について，それぞれ $t=1$ および $t=3$ の時刻の音圧分布を示したものである．

上下振動とねじれ振動とで比較すると，音源音圧のパターンが明確に異なっており，dipole，quadrupole に相当していることがわかる．

Type 1 の場合を比較すると，ねじれ振動による音は，上下振動による音よりも上方への伝播範囲が広い．これは音源音圧パターンが異なっていることに対応している．

上下振動の Type 1 と Type 2 を比較すると，Type 2 のパルス的な波の方が，より広がって伝播している．これは実際の橋桁の振動継続時間が短いことを考えると興味深い．この傾向はねじれ振動の場合も同様である．

地面境界上での反射後の分布をみると，Type 1 は桁方向の狭い範囲に戻っていくが，Type 2 は桁下の広い範囲に伝播している．これは反射前の音波の拡がり方が影響しているためと考えられる．

参考文献

- 1) 謝旭，山口宏樹，山下幹夫，国分修一：単純鋼橋から放射される低周波音に関する一考察，橋梁コロキウム '01 論文集，pp175-180，2001．