

1, はじめに

新幹線車両の走行時に発生する線路構造物の騒音現象の解明は、周辺環境を考慮した線路構造を設計する上で重要となっている。そこで本論文では新幹線車両が高架橋上を新幹線が高速走行した場合の線路構造の周辺で起こる非定常騒音現象はモーダル法を用いた境界要素法による3次元非定常騒音解析プログラム ACOUSTICS により解析する。ここではより大規模な解析を行うために ACOUSTICS を開発し、それを用いて実際の車両走行時の各種の非定常騒音現象の解析を効果的に行う。

2, 境界要素法による非定常騒音解析

線路構造表面の節点が角振動数 ω の速度ベクトル $\mathbf{v}$ で振動するものとする。境界要素法によって以下のマトリックス方程式を解き、表面節点での音圧ベクトル $\mathbf{p}$ を求めることができる。

$$\mathbf{A}\mathbf{p} = j\rho\omega \mathbf{B}\mathbf{v} \quad (1)$$

$\mathbf{A}, \mathbf{B}$ は係数マトリックス、 j は虚数、 ρ は空気密度である。ここでは、離散的な角振動数 ω に関して非定常解析を行うことにより $\mathbf{p}$ を求め、これを重ね合わせることで、線路構造の非定常の音圧を求めることができる。

3, モーダル法を用いた境界要素法による

3次元非定常騒音解析

構造物の振動と構造物のまわりの騒音現象に関連性があり、構造物表面の節点の n 個の固有モード $\Phi_i (i=1, n)$ を用いて音圧ベクトルを近似する。

$$\mathbf{p} = \Phi_1' \mathbf{y}_1 + \Phi_2' \mathbf{y}_2 + \cdots + \Phi_n' \mathbf{y}_n = \Phi' \mathbf{y} \quad (2)$$

$$\mathbf{v} = \Phi_1' \mathbf{x}_1 + \Phi_2' \mathbf{x}_2 + \cdots + \Phi_n' \mathbf{x}_n = \Phi' \mathbf{x} \quad (3)$$

$\mathbf{y}, \mathbf{x}$: 音圧 $\mathbf{p}$, 速度 $\mathbf{v}$ のモーダル系の一般化座標
構造物表面の拘束点では速度応答は $\mathbf{0}$ になり、音圧は $\mathbf{0}$ とならない。音圧モードに拘束点での音圧モードを付加し、音圧 $\mathbf{p}$, 速度 $\mathbf{v}$ は近似表現し、 n を $\mathbf{p}$ の次数 (境界要素節点数) まで増やすことにより精度を上げることができる。

式 (1) に式 (2) (3) を代入し、前方より Φ'^T をかけると、モーダル系での境界要素マトリックス方程式は以下のようになる。

$$\tilde{\mathbf{A}}\mathbf{y} = j\rho\omega \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{x} \quad (4)$$

ただし、 $\tilde{\mathbf{A}} = \Phi'^T \mathbf{A} \Phi'$, $\tilde{\mathbf{B}} = \Phi'^T \mathbf{B} \Phi'$ である。こうして構造物の振動解析で得られた構造物表面節点の固有モードを用いて境界要素マトリックス方程式の次数を大幅に減らし非定常騒音解析を効果的に行うことができる。しかしこの定式化では大規模問題に適していないという問題がある。そこで本論文では以下に新しい数値計算法について提案する。

4, 大規模問題の解析のための数値計算法

従来の ACOUSTICS は解析を行う際に節点数が多いと膨大なメモリと時間が掛かったため、ここでは ACOUSTICS II の開発について以下、その3次元非定常騒音解析システムの概要を述べる。

境界要素法角振動数 ω に対して以下の複素数連立一次方程式の定式化を示す。

$$\mathbf{A}\mathbf{p} = \mathbf{b} \quad (5)$$

m 個のモードベクトル $\Phi_1 \sim \Phi_m$ によりを近似する。

$$\mathbf{p} = \Phi_1 \mathbf{z}_1 + \Phi_2 \mathbf{z}_2 + \cdots + \Phi_m \mathbf{z}_m \quad (6)$$

固有モード Φ は以下のように表される。

$$\Phi_1 = \begin{pmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{12} \\ \vdots \\ \Phi_{1n} \end{pmatrix} \quad \Phi_2 = \begin{pmatrix} \Phi_{21} \\ \Phi_{22} \\ \vdots \\ \Phi_{2n} \end{pmatrix} \quad \Phi_m = \begin{pmatrix} \Phi_{m1} \\ \Phi_{m2} \\ \vdots \\ \Phi_{mn} \end{pmatrix}$$

式 (6) を以下のように置く。

$$\mathbf{p} = \Phi \mathbf{z} \quad (7)$$

ここで計算法が異なるだけなので式 (4) を用いて

$$\tilde{\mathbf{A}}\mathbf{z} = \tilde{\mathbf{b}} \quad (8)$$

となる。ただし、 $\tilde{\mathbf{A}} = \Phi^T \mathbf{A} \Phi$, $\tilde{\mathbf{b}} = \Phi^T \mathbf{b}$ である。この定式化を大規模問題の解析のための新しい数値計算法として提案し本研究では従来の $\mathbf{A}$ を持たずに $\tilde{\mathbf{A}}$ のみを持つものと定義すると、

$$\tilde{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \Phi_1^T \\ \Phi_2^T \\ \vdots \\ \Phi_m^T \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}[\Phi_1, \Phi_2, \cdots, \Phi_m], \quad \Phi_{(m,n)}^T = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \vdots \\ \Phi_m \end{bmatrix}_{(n,m)}$$

となり新しい数値計算法と提案する。

5, 線路構造の騒音解析システムプログラムの開発と検証

この考えに基づき新幹線車両の走行による線路構造の騒音解析システムプログラムを開発し基本例題を用いて検証を行った。ここでは、新幹線車両が時速 200Km/h で標準高架橋上を走行した場合の線路構造の周辺着目点での騒音解析の問題を表している。(高架橋は全長 21m, 高さ 7m)



全節点数 : 285
全要素数 : 328

図1 3径間標準高架橋有限要素モデル

6, まとめと今後の計画

境界要素法およびモーダル法を用いた境界要素法による非定常騒音解析手法を述べ、そこから大規模問題の解析のための数値計算法を新しく提案し、簡単な基本例題を実際開発した ACOUSTICS II で解析を行った。

今後の計画として、新しく提案した大規模問題の解析のための数値計算法 (ACOUSTICS II) を使い、今までは床板、高欄、橋脚だけしか解析できなかったところを新しくレールのモデルも作り、レールからの騒音を計測し周辺環境により配慮した線路構造の開発に役立てることができると考えられる。