

大阪工業大学 正員 岡村 宏一
建設省土木研究所 正員 ○足立 義雄
東洋技研コンサルタント 正員 島田 功

1. まえがき：空気振動については、多くの研究例があるが、空気振動が公害として取り上げられ、実測等により研究されるようになったのは比較的新しい。ところで、このような公害を防止あるいは軽減する対策としては、発振源での対策、伝播経路での対策、受振側の対策に分類されるが、ここでは、伝播経路に関する発振源の振動と空気振動の関係について若干の検討をおこなったのでその結果を報告する。振動物体から放射される空気波動の問題を扱うには、物体表面の法線方向の振動速度が、物体表面での垂直方向の空気の擾乱速度に等しいとする境界条件のもとで波動方程式を解くことが必要になる。波動方程式の数値解析には、しばしば差分法が用いられる。本報告も差分法を用い、振動平板から放射される空気波動の伝播を上記の境界条件を用い追跡した。ところで、差分法では、解析領域が有限となり、地面等のように境界が与えられる場合は問題ないが、領域が無限に広がっている場合には、解析領域の境界に無限遠へ放射する条件を与える必要がある。本報告では、このような条件を与えるため、発振源から十分離れた位置での空気振動の伝播は、その近傍で一樣な進行波と考え、進行波が外へ伝わる条件を無限遠へ放射する境界に与えて解析した。

2. 解法の概要：波動方程式は速度とテンシタル中を用いると次式で与えられる。

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad \text{ただし、} c \text{ は波動の伝播速度} \quad (1)$$

速度成分 $(\dot{u}, \dot{v}, \dot{w})$ [m/s]、および静止状態(大気の状態)からの圧力増分 δp はそれぞれ

$$\dot{u} = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad \dot{v} = -\frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad \dot{w} = -\frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad \delta p = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \text{ただし } \rho \text{ は空気の密度 [kg/m}^3] \quad (2)$$

とあらわすことができる。式(1)を差分表示すると、時刻 t から Δt だけ進んだ ϕ の値は、前段階の中、の値から求められる形となり、逐次、必要な時刻まで追跡することができる。次に、上記の境界条件の処理であるが、

(A) 振動面の境界(境界で振動速度が与えられる場合)：図-1(a)に示すように、振動面に垂直な方向の中、の分布を差分ネットの3点から2次曲線で仮定し、式(2)で与えられる振動面での空気の速度を、振動物体の法線方向の振動速度に等置することにより、振動面の中、を決定する。(b) 無限遠へ波動が放射される境界：この境界は振動物体から十分離れたものとし、この近傍での波動は無限遠の方向へ進む進行波 $(\phi = F(c \cdot t - S))$ と仮定すれば、図-1(b)に示すように、境界から外部へ ΔS だけ離れた点の中、は、 T 時間 $(T = \Delta S/c)$ だけ遅れて境界の値 $(\phi_0(t-T))$ が伝播するものと考えられ、仮定点の中、を推定することができる。 $\phi_0(t-T)$ の値は前段階で求めた3つの中、から2次曲線で中、の分布を仮定し決定する。

3. 数値解析結果と考察：図-2(a)に示す板が上下振動する場合に放射される空気振動について解析した。ただし振動面の厚さは波長にくらべ十分小さいものとし、板の厚さは無視する。また、振動面の長手方向(y 方向)には、空気の移動がないものとし、 $x-z$ 面の2次元場で解析した。なお、数値計算の諸元および、板の振動はそれぞれ表-1および図-3に示すとおりである。図-2(b)は、解析に用いた差分ネット $(\Delta S = 2^m)$ である。図-4には、本解析の差分間隔および、無限遠への放

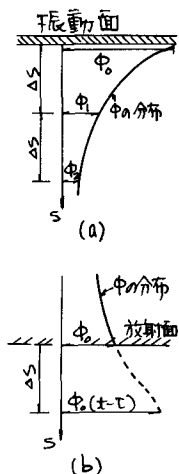


図-1 境界条件

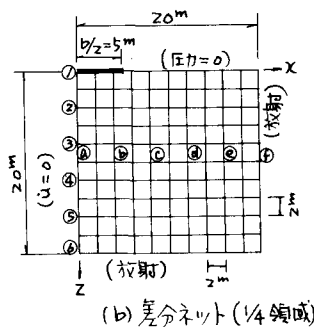
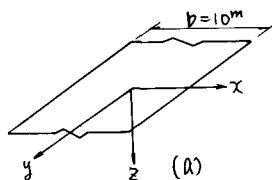
射の境界条件の妥当性を検討するため、差分間隔 (ΔS) をより密にした場合、および解析領域をより広く採った場合の解析結果を併記した。本解析モデルでは、図-2(b)の差分ネットで実用上十分であると思われる。図-5は、追跡の時間間隔 (Δt) による収束性について示したものであるが、2次元問題の散逸条件 ($\Delta t \leq \Delta S / \sqrt{2} c =$

0.001 秒、 ΔS : 差分間隔) より短い時間間隔にすると完全に収束した解が得られる。図-6、7は、振動面から鉛直ならびに水平方向の各点の圧力履歴および距離減衰の状態を示したもので、振動面から、鉛直方向に、10m および 20m 離れると振動面の音圧に比し、それぞれ約 $1/3$ 、 $1/5$ に減衰する結果となった。ところで、このように、有限な板の振動では、板の直下でも2次元的な空気振動となり、平面波(1次元場)の値 (δp の最大値 = 4.13 N/m^2) より小さい。

図-8は、この放射効率を調べるため振動板の幅 (b) と板直下の圧力との関係調べたもので、平面波に近い値となるためには、振動数が5 Hz の場合、 17m 以上と考えられる。図-9は、図-2の解析モデルで、振動数の変化による放射効率を調べたものであるが、振動数が低下するにつれ、効率は減少し、2.5

Hz では、5 Hz の場合の $1/2$ に圧力が減少した。このように、振動物体から放射される空気振動の効率(は、幅(b), 振動数によって大きく変動する。

これらのパラメータによる影響、さらには、地盤や障害物等の影響、3次元的な伝播も含め、目下検討中である。



(b) 差分ネット (1/4 領域)

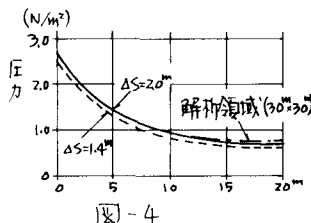
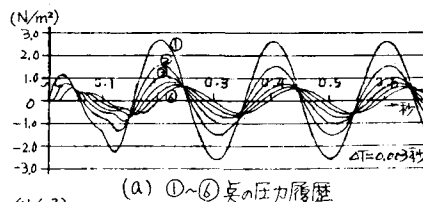
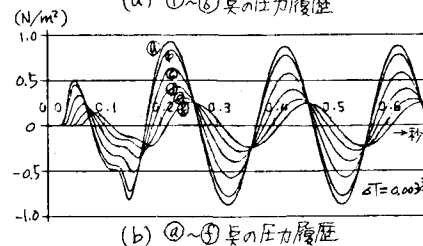


図-2 解析モデル



(a) ①~⑥ 点の圧力履歴



(b) ④~⑥ 点の圧力履歴

図-3 各点の圧力履歴

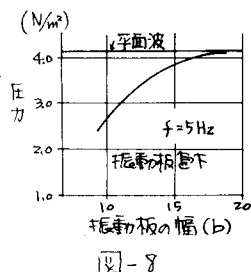


図-4

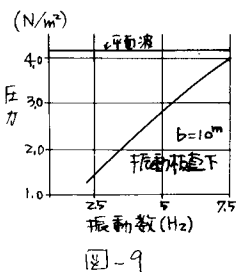


図-5

表-1 計算の諸元

空気の密度 (ρ)	1.20 kg/m^3
伝播速度 (c)	344 m/s
振動数 (f)	5 Hz
振動速度の最大値	1.0 cm/s

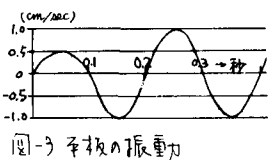


図-6 平板の振動

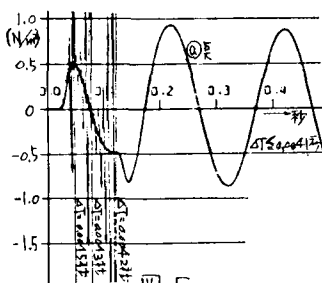
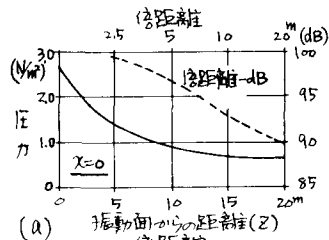
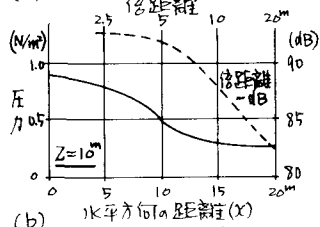


図-7



(a) 振動面からの距離 (Z)



(b) 水平方向の距離 (X)

図-8 距離減衰