

関西電力（株） 正 員 嶋田 隆一
 東京大学大学院 学生員 比江島 慎二

東京大学 正 員 木村 吉郎
 東京大学 正 員 藤野 陽三
 東京大学 正 員 野村 卓史

1. まえがき 橋梁の高欄等に平板を多数並列に並べた構造を採用することがあるが、これらは自然風の作用により空力騒音を発生することがあり、環境問題となる可能性がある。しかしその発生条件、発生原因についてはあまり研究が行われていない。本研究では、発生音の性質および発生原因を調べることを目的に、平板形状のパラメータを広い範囲にわたって変えて風洞実験を行なった。

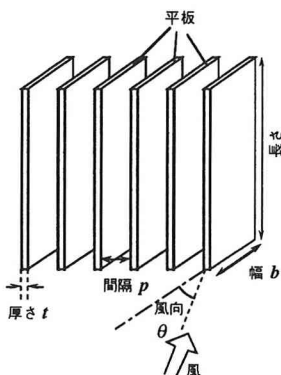


図1 平板列形状のパラメータの定義

2. 実験方法 模型は、アルミ製の平板（断面は矩形）を並列に取り付けたものとした（写真1、図1）。模型形状の

表1 実験パラメータ (mm)

幅 b	30, 50, 70
厚さ t	1, 3, 5
間隔 p	15, 30, 50, 70, 100, 150

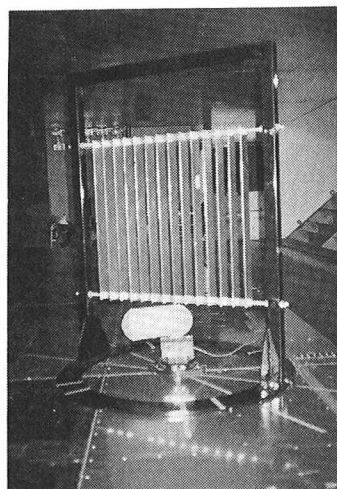


写真1 平板列模型

パラメータを表1に示す。ただし、平板の長さはすべてのケースについて700mmで一定、平板の枚数は平板の間隔に応じて6～20枚とした。風洞は測定部の幅16m、高さ1.9mで、気流は乱れの強さ1%以下の一様流とした。各ケースについて風向を 15° おきに設定し、空力音の発生する風速域を調べた。発生音は風防をつけたマイクロフォンにつなげた騒音計で集音し、騒音計付属のオクターブバンドフィルタを通した後、スペクトルアナライザーで周波数、騒音レベルを測定した。

3. 実験結果 全20ケースのうち13ケースにおいて、ある風向、風速範囲において、「キーン」という純音性の不快な空力音が発生した。測定結果を以下にまとめる。

(1)発生音の周波数は風速とともに階段状に増加する（図2）。その周波数 f を、平板の厚さ t を代表長として、風速 U と $f=S \times U/t$ という式で関係づけると、定数 S は、0.7～0.9あるいは1.4～1.5の範囲になる。

(2)平板の幅／間隔比（ b/p ）が大きい（つまり平板が密に配置されている）ほど、音が発生する風向 θ は大きい（図3）。

4. 考察 発生音の周波数が、風速に対して階段状に増加していることから、本実験における空力音の発生メカニズムには、発振源と共鳴機構の両者の間に何らかのフィードバックがあると考えられる。つまり、まず何らかの原因で周期的な渦が発生し、それが圧力変動を作り出す発振源となる。渦の発生周波数は風速に比例するが、もし共鳴機構があるとなると、それはある固有周波数で共鳴し、大きな圧力変動を作りだす。共鳴により作られた圧力変動により、渦の発生周波数はロックインされ、したがって発生音の周波数は風速とともに階段状に増加する。

この考え方にもとづき、何が発振源および共鳴機構になっているのか、以下それぞれについて考察する。

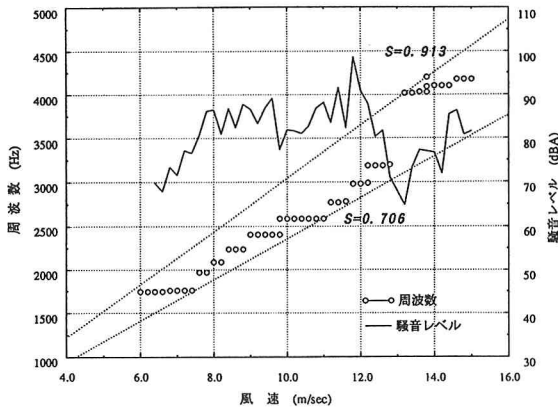


図2 実験結果の例
($b=70\text{mm}$, $t=3\text{mm}$, $p=50\text{mm}$, $\theta=60^\circ$)

4.1. 発振源 既往の研究¹⁾²⁾には平板の風上側の角と、隣の平板の風下側の角との間でエッジトーンのような現象が起こり、それが音の発振源となっているとしたものがある（図4(a)）。そこで、平板列まわりの流れの可視化実験を行い、音の発振源となる渦の所在の確認を試みた。その結果、風上側の平板から剥離した渦が隣の平板の風下側の角にぶつかっていると考える（写真2）。また、平板の幅/間隔比（ b/p ）が大きい（密に配置される）ほど音が発生する風向 θ は小さくなるはずで、これも図3に示す実験結果とは一致しない。

一方、平板の風上側端部の厚さ方向に沿って発生する渦が発振源となるとした研究がある³⁾。すなわち、図4(b)に示すように、端部より少し離れたところのできるよどみ点から端部をまわる流れが、端部の上流側の角で剥離する。それが、周辺の流れによって曲げられ、再付着することで発振源となるとしている。

実際、平板の幅/間隔比（ b/p ）が大きくなるほど、流れが平板列によって曲げられる割合は大きくなり、したがって端部の上流側の角で剥離した渦は再付着しやすくなる。つまり発振源のできる風向 θ は大きくなることになり、これは本実験結果と一致する。また、平板の厚さが、渦発生周波数に関する代表長と考えられることも、こうした発振源のメカニズムの考え方と符合する。

4.2. 共鳴機構 使用した風洞の測定部は、側面は開放されているが、床と天井は存在する。そこで共鳴機構として、床・天井間で形成される気柱の可能性をまず検討した。すなわち、(1)マイクの設置高さを床・天井間で変え、変動圧力のモードの存在を調べる、(2)床に吸音材を敷き、音圧レベルの変化を調べる、といったことを行なった。しかし、いずれも有意な結果は得られなかった。

一方、平板列自体が形成する共鳴機構に関しては、Parker⁴⁾による研究がある。その結果を用いて計算した固有周波数と、本実験で得られた結果とはほぼ一致する。これらのことから共鳴機構は、平板列自体によって作られているものと考えられる。

参考文献：1) 加来、山下：日本騒音制御学会技術発表会講演論文集、pp.129～132, 1982-9. 2) 柴田、森：第17回日本道路会議論文集、pp.736～737. 3) 原：機械学会論文集、41巻346号、pp.1781～1792, 1975-6. 4) Parker, R.: J. Sound & Vib., 5(1967), pp. 330～343.

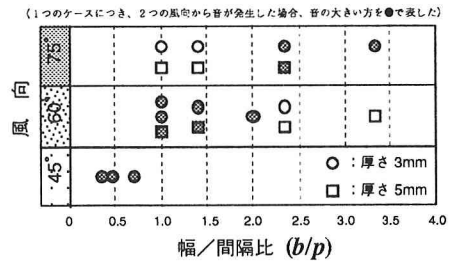


図3 幅/間隔比と空力音の発生する風向との関係

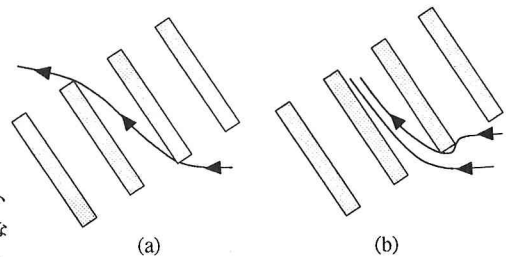


図4 騒音の発振源

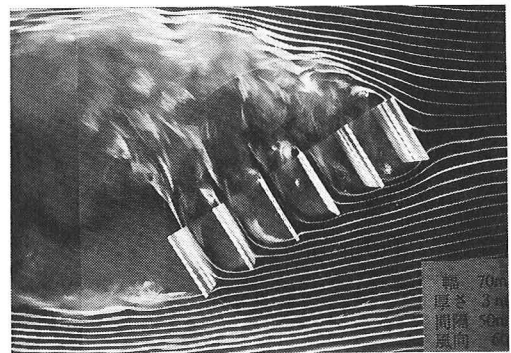


写真2 平板列まわりの流れの可視化実験