

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-945

風車の支柱と翼との干渉騒音

西脇英夫・武田克巳

1987年10月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

風車の支柱と翼との干渉騒音*

西脇 英夫** 武田 克巳**

TOWER WAKE/BLADE INTERACTION NOISE OF A WIND TURBINE

By
Hideo NISHIWAKI and Katsumi TAKEDA

ABSTRACT

A scale model of a 1.5m dia. two-bladed windturbine was used in an anechoic chamber that provided a free-stream velocity of 8m/s. The blades used were a 1.5/8 scale model of a test machine for a local energy utilization project promoted by the Science and Technology Agency. The height of the tower from the ground level was 1.8m. The acoustic measurements were made in a circle of 1.6m downstream from the machine at the height of the windmill centerline.

The noise level of the on-axis spectra was about 15dB larger than that of the off-axis. This is a result of the dipole nature of the acoustic impulse. The Wortmann airfoil (FX 77-W series) was employed for the blade profiles and the Reynolds number was 10^5 , based on the tip chord length. The experiment revealed that the sound intensity at each harmonic was not proportional to the axial and radial extents of the wake. The elliptic slender configuration was the quietest, while the square configuration was the loudest. From a practical point of view, it is suggested that the circular section is most suitable for the tower leg.

1. はじめに

風車の支柱から発生する後流と、その下流で回転する翼との干渉に起因する騒音について行った実験的研究を報告する。特に風車を支えている支柱の断面形状が円形、楕円形、正方形である場合の発生騒音の周波数特性を比較検討した。本研究の主目的は、干渉騒音をより低減化し得る支柱の断面形状を設計する際の資料を得ることにある。

2. 実験目的と内容

水平軸風車の形態は、風車と支柱との位置関係によって大きく二種に分類できる。すなわち、風車に対して支柱が風下側に位置する形態と、これとは逆に、風上側に位置する形態がある。前者は小型風車に採用されているが、中、大型のものになると製作上また、運転上から風下側に風車が位置する形態が多い。この形態を以下、風下風車タイプと呼ぶことにする。この水平軸風車の支柱構造にはトラス式、コンクリートタワー式及びポール式があるが、水平軸大型風車の多くはポール式の支柱形態をとる。こ

* 昭和62年1月29日受付

** 航空機公害研究グループ

ここでは風下風車タイプのポール式形態の場合、風車の支柱に風が当たって生じる後流は一般に Tower Shadow と呼ばれ、回転翼との干渉によって騒音が発生する。この騒音は（風車の毎秒回転数）×（翼枚数）で現われる翼通過周波数が比較的低いため、発生騒音の距離減衰が小さく、そのため風車の周辺で深刻な公害問題となることが少なくない。風車の建設はエネルギー事情に伴い急速に具体化された時期があるが、その発生騒音の研究報告はあまりなく、著者らの知る限り Marcus and Harris⁽¹⁾ の 1 件だけである。これさえも 1 本の円柱による Tower Shadow に逆流領域の存在しない場合について報告している。

ここで述べる実験的研究では風下風車タイプの縮尺模型につき、ポール式支柱の断面形状を円形、楕円形及び正方形と変えた。その際、支柱の構造強度を一定とするため、関係因子として考えられる断面 2 次モーメントがそれぞれの断面形状において同一となるようにした。また、本研究では、実際への適用を考えて、Tower Shadow に逆領域が存在する、支柱と翼との距離が小さい場合に重点を置いた。

3. 実験装置及び計測法

図 1 に示すような直径 1.5 m の回転翼 2 枚を有するの風車模型を、5.5 m (横) × 8.5 m (縦) × 3.0 m (高さ) の流れ場騒音試験場においた。直径 2 m の風洞吹出口から得られる 8 m/s の風速を利用した。配置の概略を図 2 にまた、風車模型の仕様を表 1 にそれぞれ示す。この模型は科学技術庁が山形県に委託し、地域エネルギー総合利用システムプロジェクトとして製作した、実証調査用風力発電設備の実物風車翼の 1.5/8 の縮尺のものである。流れ場騒音試験場内に取付けた風車模型の回転中心位置は床面上 1.8 m であり、支柱の断面形状と寸法は図 3、4 にそれぞれ示した。一般の風車は風見安定板の作用により、その回転面は常に風下になるように支柱を中心として振り回るので、当然ながら支柱断面形状の風向きに対する相対位置関係は変化する。ここでは風車試験装置を風洞からの流れに正対させ、支柱の断面形状のみを変化させた。図 3 に示すように、支柱の最も一般的な断面形状である円形を基準とし、円形以外に A~E の断面形状を代表的なものとして

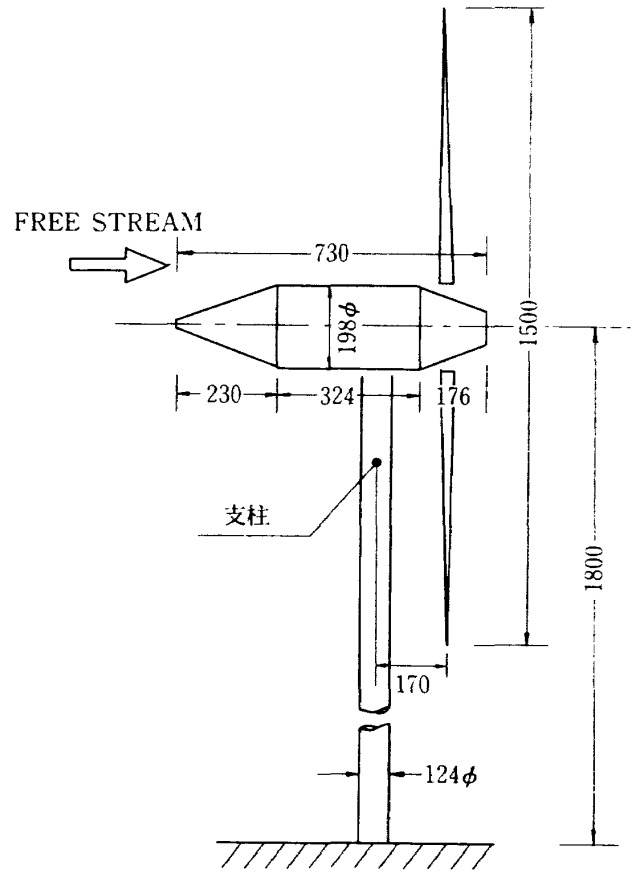


図 1 風車試験装置

選んだ。なお、回転翼の翼型は、Wortmann FX 77-W 系であり、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) にて製作した。また、レイノルズ数は翼端部の翼弦長を基準にして約 10^5 であった。

実験に先立って風洞からの空気流が、ポール型支柱に当たって生ずる流れの欠損 (ウェーク) 状況を支柱の各断面形状につき調べた。支柱の後流の速度分布の計測は、風車の回転翼を取り外したままの状態 で風洞から 8 m/s の空気流を流し、支柱中心から 170 mm 下流の断面をピトー管でトラバースして行った。ピトー管からの全圧及び静圧は精密微差圧計 (最小値 1/100 mm Aq) により測定し、全圧、静圧の圧力差から支柱の後流速度を算出した。

一方、音響計測はこれとは別に、風車の回転中心から半径 1.6 m の半円周上において、風車回転面の延長線上位置と、真うしろ位置の合計 2 カ所に 1/2" のコンデンサー型マイクロホン置いて行った。図 2 の MIC₁ 及び MIC₂ が測定位置である。マイクロホンからの音響データは約 90 秒間、多チャンネル・レコーダーに一旦録音し、2 Hz 幅の狭帯域に分析

した。

実験は風車翼面での層流剥離を防ぐため、回転翼前縁付近に厚さ 0.5 mm、幅 5 mm のトリップテープを貼り、風洞からの 8 m/s の空気流により風車が

無負荷で約 1290 rpm で回転する、いわゆる Free Turbine の状態で行った。

4. 実験結果及び考察

図 3 に、風車支柱下流 0.17 m で速度分布を、支柱の断面形状及び寸法とともに示した。後流の速度分布を逆流領域も含めて統一的に取扱う必要から、

$$Z = 1 - (\text{後流速度}) / (\text{自由流速度})$$

を定義した。よって、 $Z > 1$ は負速度、すなわち逆流を意味する。支柱の断面形状のいかんに関らず、 Z の最高値はおおむね 1.3 であったが、後流の半値幅は断面形状によって著しく異なった。

支流の後流を受けて回転翼面から発生する音源は一般には 2 極子 (ダイポール) であるといわれており、本実験でも回転中心軸上の音圧が圧倒的に強く、中心軸を外れると急激に音圧が低下する現象がみられた。

図 4 ~ 6 は、8 m/s の風速下において、1239 RPM

表 1. 風車の仕様

型式	プロペラ/風下風車タイプ
風車直径	1.5 m
ブレード数	2 枚
理論最大出力	164 Watt(at 7 m/s)
設計周速比	8 (at 7 m/s, 713 rpm)
試験風速範囲	3 ~ 8 m/s
理論最大回転数	1667 rpm(5°, 7 m/s, 無負荷)
ブレードピッチ	-5° ~ 20°, 静止可変
翼型	ボルツマン型 Wortmann FX 77-W
ブレード材質	炭素繊維強化プラスチック

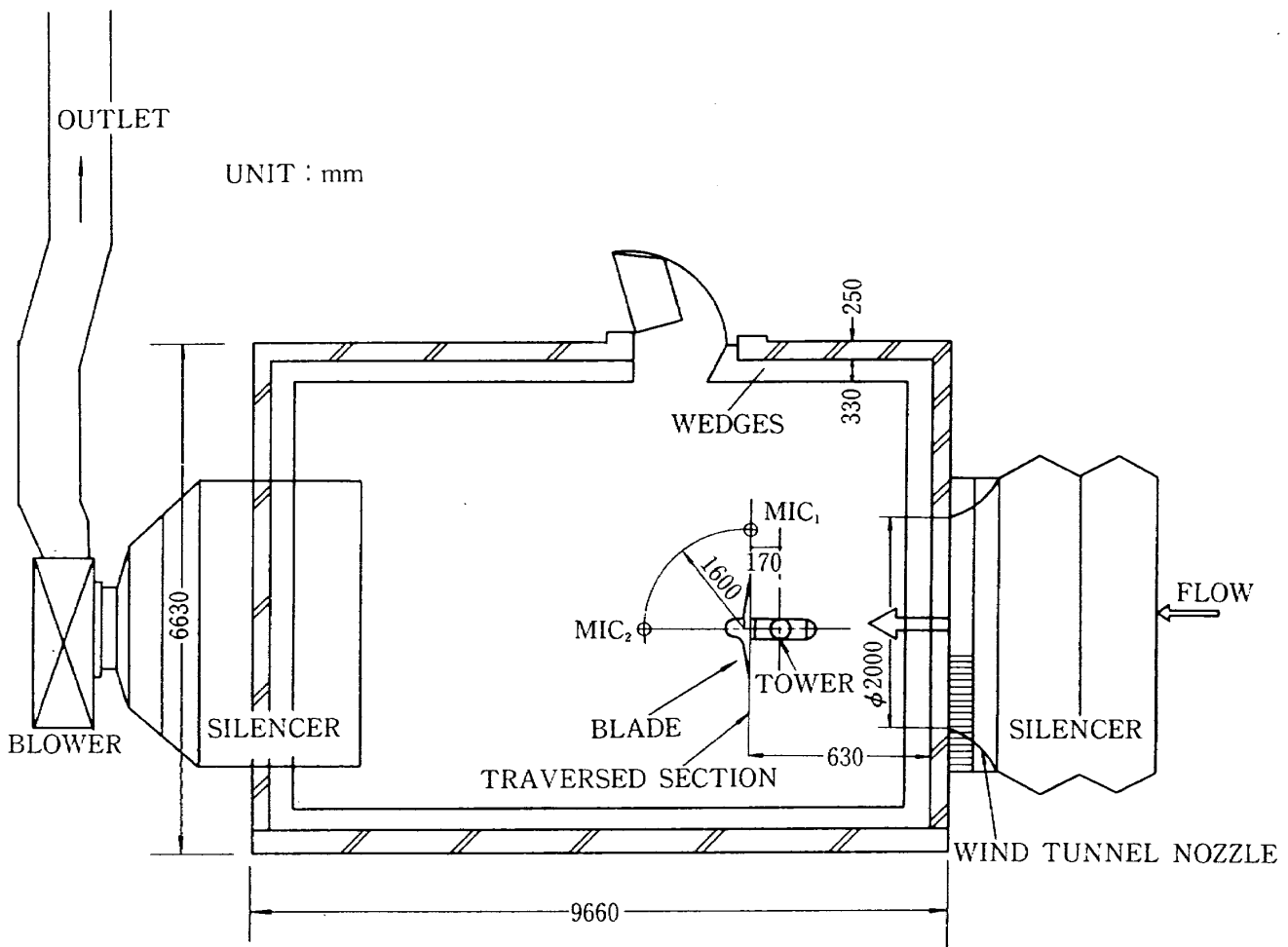


図 2 流れ場騒音試験場

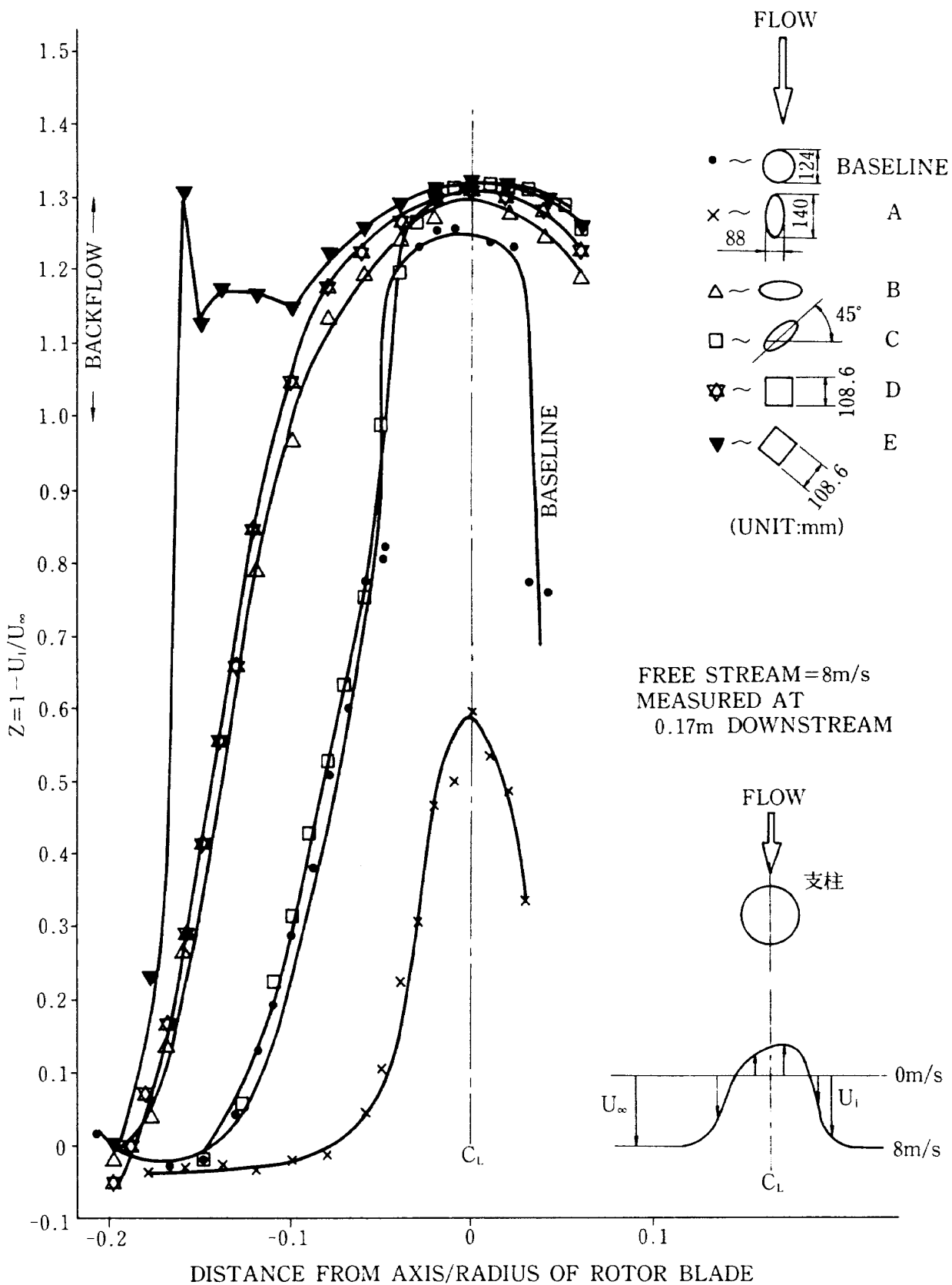


図3 後流の風速分布

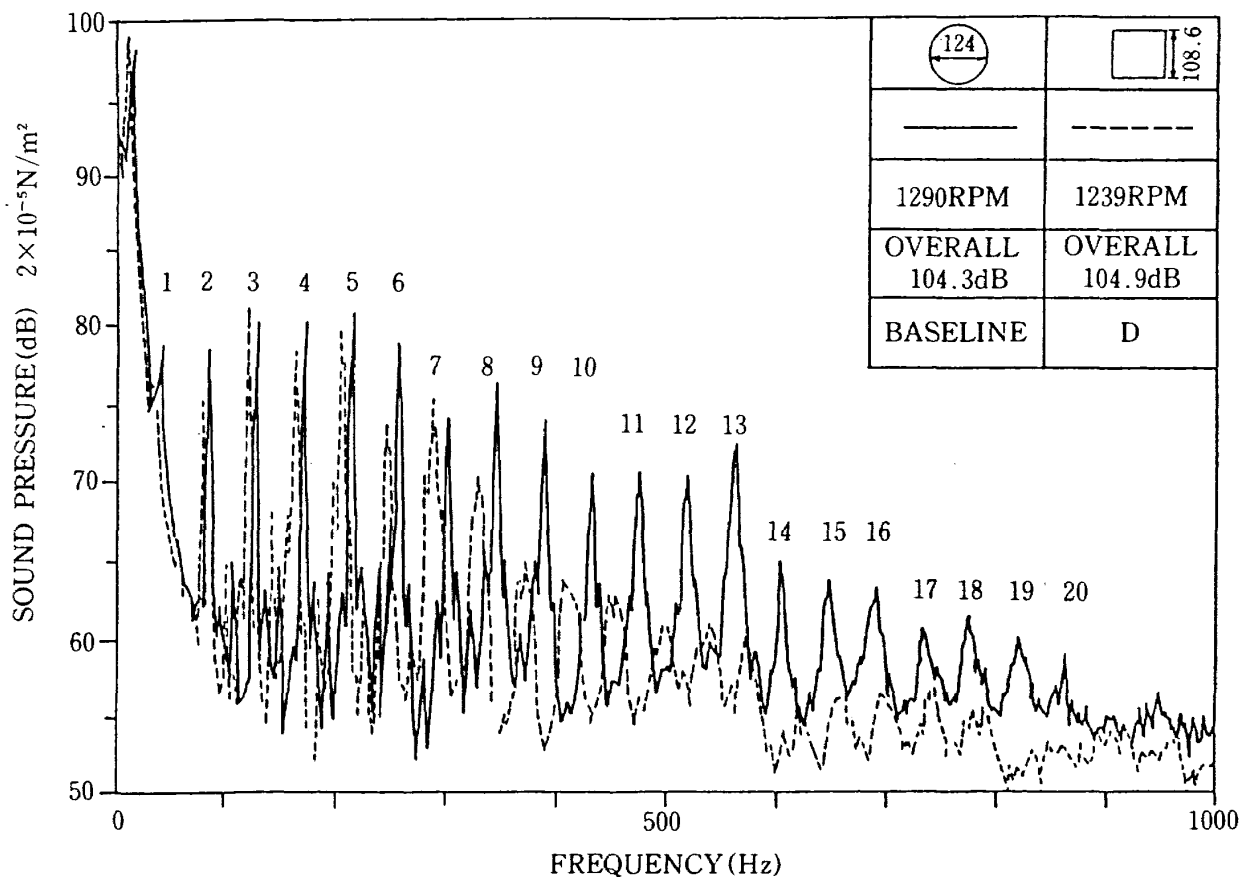


図4 音圧スペクトル(図中の数字は翼通過周波数の次数)

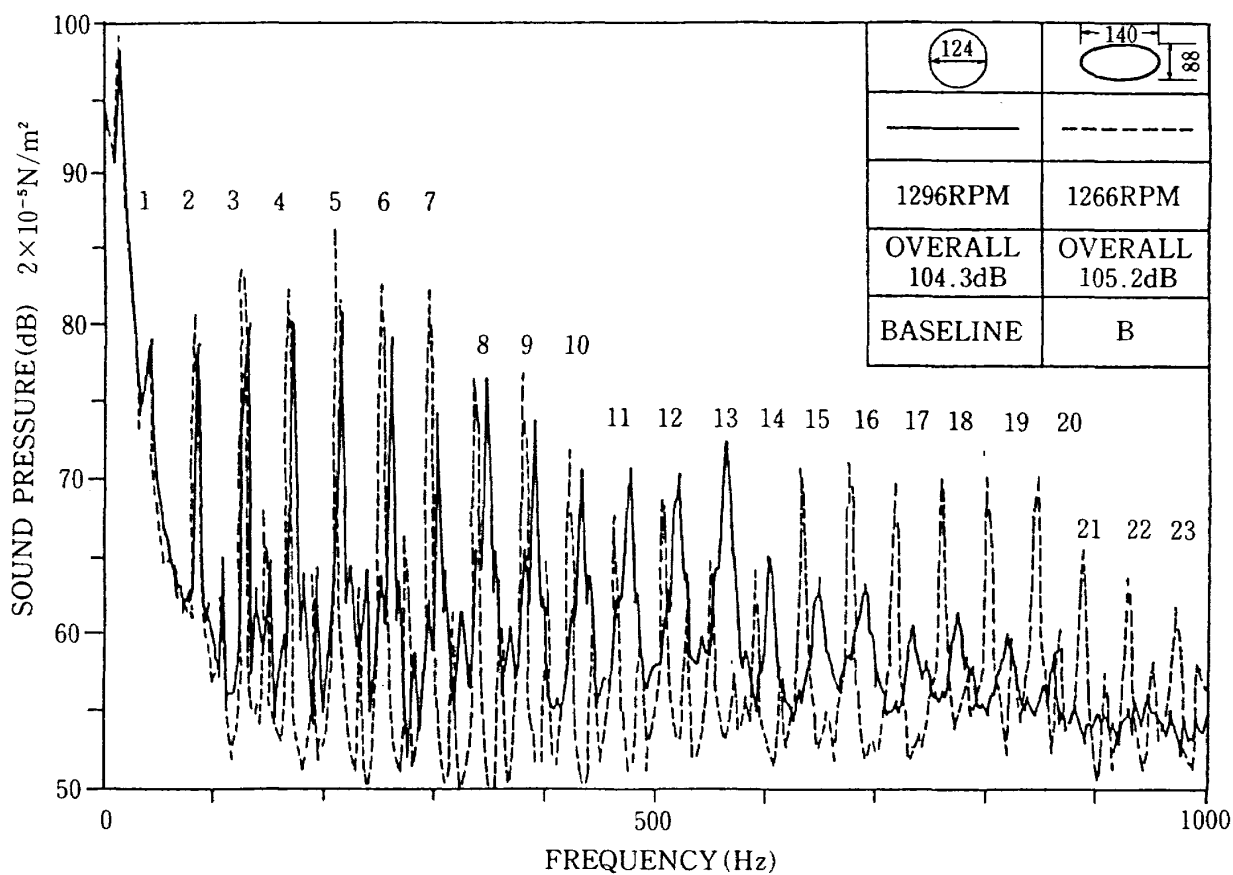


図5 音圧スペクトル(図中の数字は翼通過周波数の次数)

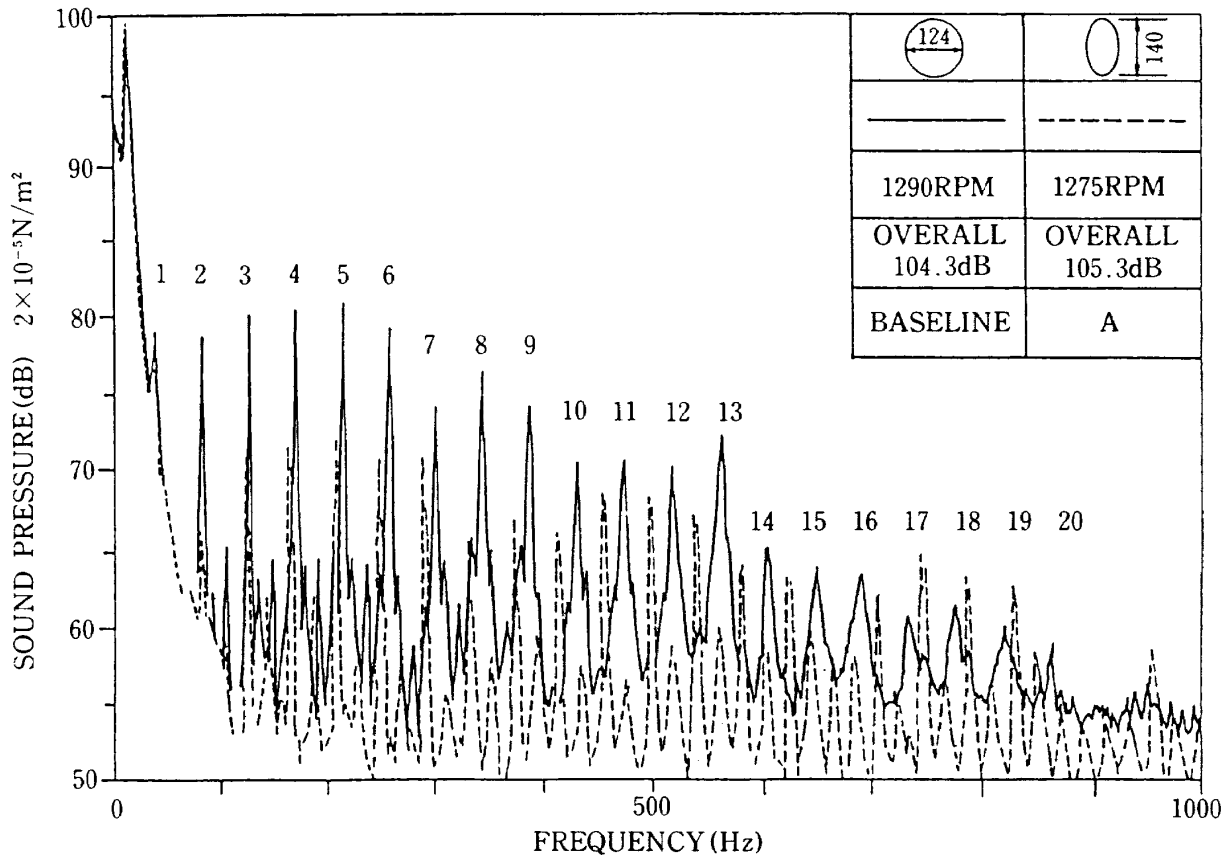


図6 音圧スペクトル(図中の数字は翼通過周波数の次数)

～1296 RPM で風車が回転する際、後方 1.6 m の回転軸上で測定した音圧スペクトルである。正方形及び楕円形状の支柱から出る後流との干渉音を円形断面支柱のそれと比較したもので、スペクトルは 2 Hz 幅である。円形に比べ正方形は高周波部分で 5～10 dB、1 次及び 2 次の翼通過周波数帯で 3～4 dB の減音となった。

一方、楕円 B 型では逆に高周波帯で増加し、11～14 次の中間周波数帯で 2～10 dB 低減化した(図 5)。図 3 の B 及び D 型を比較してみると、その後流速度分布がほぼ同じであるにもかかわらず、支柱による逆流が起こっている場合、図 4、5 の音響特性は著しく異なっている。換言すれば、干渉による音圧は図 3 の後流の幅や深さ、すなわち抗力に単純に比例しないことを示唆している。図 6、図 7 から予想通り、A 型が最も音圧レベルが小さく、E 型が最も大きかった。

図 7 は円形、楕円形 A、正方形 D 及び E 型について、後流を回転翼が通過しカットする時発生するパルス状の波形の数回分の時間経過による圧力変化

を示す。

A 型が最も滑らかで小さく、E 型は山や谷が大きかつ、2 つに分断されており、この場合、より高い騒音レベルになることを裏付けている。

5. 結論

風下タイプの風車について、支柱の後流すなわち、Tower Shadow とそれを回転翼がカットする際に生じる干渉騒音につき、周波数特性及び圧力波特性を調べ以下の結論を得た。

- (1) 風車の騒音は強い二極性を示すことが確認出来、その音圧レベル回転翼の中心軸上で最も大きく、少し軸を外れると急激に低下する。
- (2) 支柱形状を断面二次モーメントを一定にした円形、楕円形、正方形の 3 種について、これら断面形状の風向に対する位置関係を合計 6 種類に変化させたところ、支柱後流による音響特性は楕円形断面の長軸を風向に向けた場合が最も良い。但し、変化する風向に対して常にそのような形態にしておくことは事実上不可能に近い。そのよ

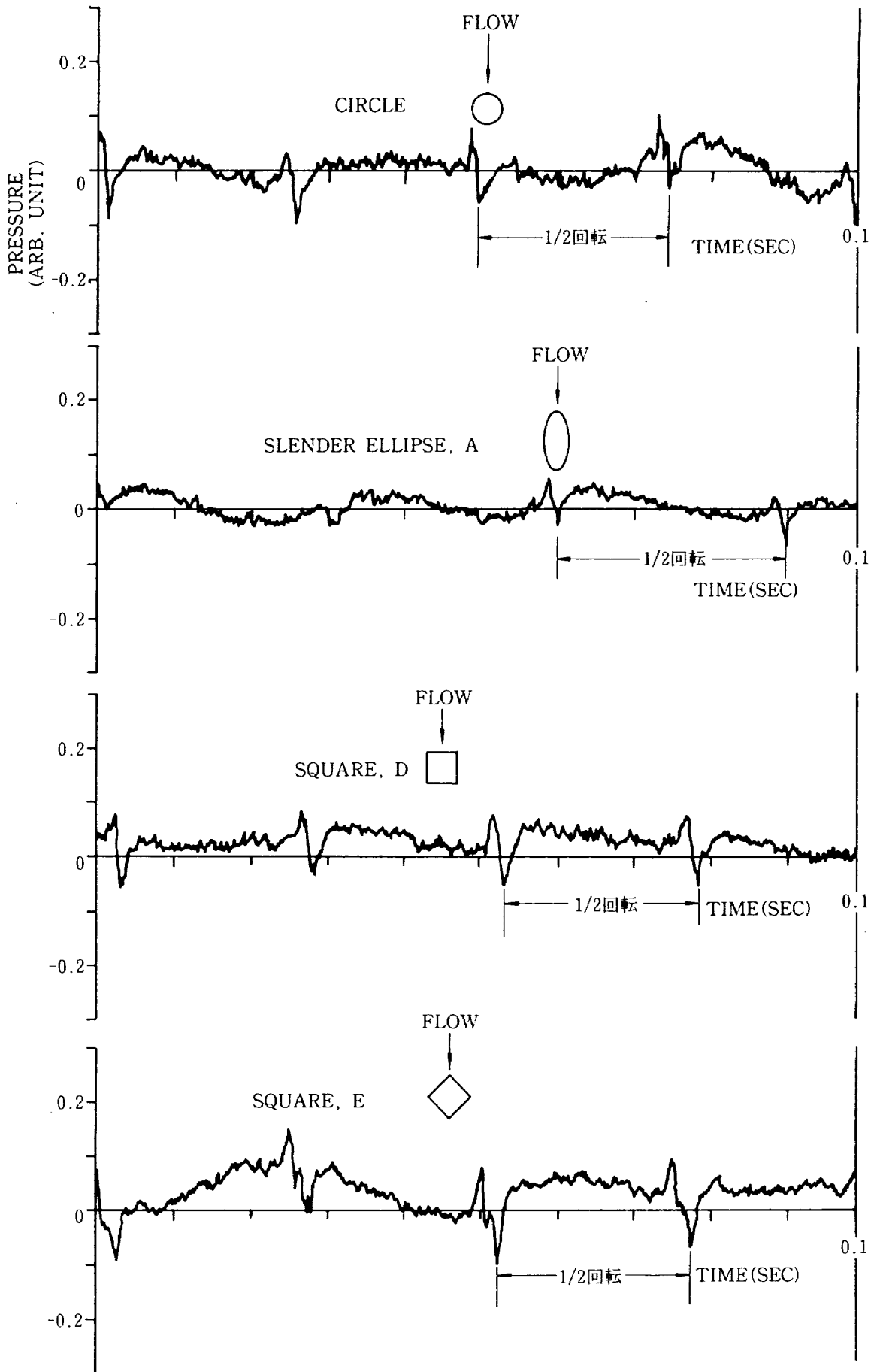


図7 音圧の時間経過

うな場合、実用上の構造を考えれば、支柱の断面形状は円形が最適である。

なお、実物風車の音響特性の予測に際しては、ここで実験したケースの10倍以上のレイノルズ数であることまた、この実験は風洞での均一流れで行ったが実際には自然大気流の乱れ（息つき）が存在することを考慮に入れるべきであろう。今後、さらに風車の騒音をより低減化させる支柱の断面形状の研究が望まれる。

6. 謝 辞

本研究は環境庁に一括計上された国立機関公害防

止等試験研究費の配算をうけて行ったものであり、また、本研究遂行に当っては当所航空機公害研究グループの藤井昭一リーダーからの指導によった。記して感謝したい。

7. 文 献

- 1) E.N. Marcus and W.L. Harris 1983 American Institute of Aeronautics and Astronautics Paper 83-0691, An experimental study of windturbine noise from blade-tower wake interaction.

航空宇宙技術研究所報告 945号

昭和62年10月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話三鷹(0422)47-5911(大代表) 〒182

印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段南4-2-12
