5 kHz 近接音場中での加熱円柱の熱伝達特性*

木本 日出夫**, 吉 井 康 雄***

Heat Transfer Characteristics of a Heated Circular Cylinder
in a Near Sound Field of 5 kHz

by Hideo KIMOTO and Yasuo YOSHII

In a relatively high-frequency audible sound field the generation of straight acoustic streaming and its effect for the heat transfer augmentation have not been shown yet. So in this report it is revealed that such straight acoustic streaming is generated in an intensive near sound field of 5 kHz and it is clarified that the order of the velocity is as high as that of natural convection by a Schlieren photography. Moreover it is also ascertained that the acoustic streaming augments heat transfer of a heated circular cylinder by a series of heat transfer measurements and that the critical sound pressure for the augmentation of mean Nusselt number is about 0.53 kPa on the cylinder tested, which is correspond to the sound pressure level of about 148 dB.

Key Words: Convective Heat Transfer, Straight Acoustic Streaming, Sound Field, Heated Circular Cylinder

1. ま え が き

前報⁽¹⁾においてはオーディオスピーカによる可聴進行波音場中において直進形の音響流が発生することを明らかにして Holman⁽²⁾の考察の不備を指摘した。そして、この音響流中での加熱円柱の熱伝達特性を詳細に調べた結果を報告したが、高周波可聴音場中での円柱の熱伝達特性に対する直進形音響流の発生ならびに影響の有無の確認が課題として残されていた。そこで本報では公称共振周波数 5 kHz のニッケル磁わい振動子を用いて強力な音波を発生させ、その近接音場中での加熱円柱の熱伝達特性を調べた。そして、このような高周波可聴音場中においても音波放射面近傍の空气中に直進形の音響流が発生し、これが円柱の熱伝達特性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

2. 実験装置と実験方法

2.1 音源 音場発生用の音源としてはニッケル磁わい振動子を 2 kW 形アンプで駆動し、その振動を共振コーンと先端直径 30 mm のステップホーンで増幅して鉛直下方に音波を放射している。本装置は以前に水中の音波キャビテーション研究に用いたもの⁽³⁾⁽⁴⁾であるので詳細は省略する。

2.2 供試円柱 本実験はシュリーレン干渉法による 5 kHz 近接音場中の加熱円柱周りの対流場の可視化と、音場中の円柱の熱伝達特性の測定から成っている。前者の実験には直径 12 mm、有効長さ 60 mm、黄銅製加熱部長さ 30 mm の円柱（内部ニクロム線により加熱）を、後者の実験には局所熱伝達率測定用の熱電対が測定部半径方向に 5 本埋められている直径 20 mm、長さ 260 mm のポリアセタール製円柱（内部に 60°C の恒温水を貫流させて加熱）を用いた。それぞれの円柱はホーン先端下方に水平に設置されており、ホーン先端振幅を実測して計算されるホーン先端音圧 (P_s) ならびにホーン端面（音波放射面）からの距離 (S) をパラメータとして実験を行った。

2.3 実験方法 本実験では軟鋼製のホーンを空气中で共振させるためにこれが発熱して共振周波数が変化し、また発生する音響流自体の温度も変化する。したがって本実験ではホーンの温度を監視し、実験も約 1 min の音波発生ごとに休止して振動系の共振周

図 1 自然対流と音響流の干渉を示すシュリーレン写真
($S=30$ mm, 水平ナイフエッジ, (左端は通常写真))

* 原稿受付 昭和 60 年 6 月 27 日。

** 正員, 大阪大学基礎工学部 (〒560 豊中市待兼山町 1-1)。

*** 学生員, 大阪大学大学院。

図2 局所ヌセルト数の時間変化

図3 上方よどみ点ヌセルト数の時間変化

図4 表面平均ヌセルト数の時間変化

波数の変化を抑えた。そして熱伝達測定の場合は音波発生時から6 sごとに各熱電対のデータを採取し、そのそれぞれの温度こう配から局所熱伝達率の時間変化を測定した。

3. 実験結果と考察

3・1 対流場の可視化 ホーン先端と供試水平円柱の上端との距離 S を 30 mm, 円柱の加熱電力を 9 W とし、ナイフエッジを水平として撮影したシュリーレン写真を図1に示した。この写真から、 P_s の増大に伴って加熱円柱の自然対流の上昇流が次第に阻止されていく様子が明らかであり、ホーンの振動に伴って(実測は困難であるが)自然対流と同程度の下向きの直進流が発生していると考えられる。なお、あらかじめ小形マイクロホンによって測定されているホーン下方の音圧分布によると、 $S=40$ mm までは音圧は単調減衰形であり、また音源のサイズに比べて円柱径が比較的大きいので、本実験において定在波中のような音響二次流れが円柱周りに発生する可能性は非常に小さい。

3・2 熱伝達特性 前述のごとく本実験は過渡状態で行われたが、供試円柱の局所ヌセルト数 (Nu) 分布の時間変化例を図2に示した。この結果によると、供試円柱の上方よどみ点近傍のヌセルト数は時間の経過とともに急速に大きくなるが、円柱下方よどみ点近傍のヌセルト数は逆に若干小さくなっている。そこで、円柱の上方よどみ点局所ヌセルト数の時間変化例を図3に、円柱の平均ヌセルト数 ($\overline{Nu}_s$) の時間変化例を図4に示した。図3, 4は音波放射面からの距離をパラメータとして示されているが、円柱の熱伝達に対する影響は円柱が音源に近いほど大きく、音場のない場合に比べると局所値で最大3倍程度、平均で約1.7倍に増加している。またその値は音波の放射開始から48~60 sでほぼ飽和していると言える。

図5 平均ヌセルト数比と円柱上表面音圧の関係 ($T=48$ s)

さらに、音波の放射開始から48 s後のデータを選んで供試円柱の平均ヌセルト数を求めて音場のない場合の値との比 ($\overline{Nu}_s / \overline{Nu}_0$) で表し、各測定位置での供試円柱上面の音圧値 (P_{ss}) との関係として図5に示した。この結果から円柱上表面音圧が約0.53 kPa以上において供試円柱の平均熱伝達率の増大が認められており、この限界値は音圧レベルで表示すると148 dBに相当する。これはFandら⁽⁵⁾が定在波音場中でいわゆる熱音響流を観測した臨界音圧レベルよりも若干高くなっている。

4. 結 論

(1) 5 kHzの高周波可聴音によっても加熱円柱の自然対流の上昇流と同程度の直進形音響流が発生する。

(2) この音響流によって円柱の平均熱伝達率が増大する限界音圧レベルは約148 dBである。

文 献

- (1) 木本, 機論 (北海道支部新方式講演会), 投稿中.
- (2) Holman, J. P., *Trans. ASME, Ser. C*, 82-4 (1960), 393.
- (3) 広瀬・木本, 音響学会誌, 43-6 (昭43), 372.
- (4) 広瀬・木本, 機論, No. 700-15 (昭45), 201.
- (5) Fand, R. M. and Kaye, J., *J. Acoust. Soc. Am.*, 32-5 (1960), 579.