

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760125

研究課題名（和文）円筒・平板乱流境界層から放射される低周波音の抑制に関する数値解析

研究課題名（英文） Numerical analysis of the low-frequency noise emitted from a cylindrical and plane boundary layer

研究代表者

渡邊 大輔 (WATANABE DAISUKE)

富山大学・大学院理工学研究部（工学）・講師

研究者番号：70363033

研究成果の概要（和文）：圧縮性円筒境界層直接数値シミュレーションの実行により、以下のことを確認した。周方向に振幅を変化させたランダムな流入攪乱により、遷移領域を周方向に対し変化させることができ、流入攪乱の大きさによりその変形量（遷移領域上流部の主流方向にたいする前後のずれ）は攪乱の振幅差により制御できる。上記、周方向に変化した遷移領域は下流での低周波圧力変動の振幅を減少させる。

研究成果の概要（英文）：Spatial direct numerical simulations are used to study the development of turbulent structures and the resultant sound emission mechanism in a compressible boundary layer. Disturbances of compressible isotropic turbulence with the amplitude change for spanwise direction are superimposed on the laminar profile at the inlet boundary layer in the computational box. Simulation results show that the inlet disturbances affect the transition region and suppress the low-frequency velocity/pressure fluctuations in a subsonic cylindrical boundary layer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：低周波音，境界層，乱流，CFD，DNS，騒音

## 1. 研究開始当初の背景

近年における新幹線の高速化やリニア新幹線構想の進展に伴い、騒音低減に対する要求は、高速鉄道の開発者にとって無視できない周囲環境に対する課題となっている。最近の実車での音響計測から、非可聴域の非常に低い周波数の圧力変動が放射されることが報告されている。この低周波圧力変動は、速

度の増加に伴い増大し、周囲の建造物を低周波で揺らし直接的なダメージを与えるだけでなく、建造物内部の機材・家具などをがたつかせるなど、二次的な破壊や騒音問題を引き起こす要因となる。このため、新幹線に代表される高速車両のさらなる高速化において、低周波圧力変動の低減技術の開発が重要と考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、DNS においても確認された低周波圧力変動の発生機構を明らかにするとともに、その抑制手法を探るためスパン方向の流入攪乱の振幅を変化させ、遷移領域をスパン方向に大きく変化させたときの低周波圧力変動への影響を DNS より調べた。

## 3. 研究の方法

DNS の支配方程式は、円筒座標系で記述された圧縮性ナビエ・ストークス方程式である。列車を模擬した円筒は、 $U=500\text{km/h}$  の一様流中におかれ、直径は  $34.6\text{mm}$  とした。計算領域は流れ方向に  $180\text{mm}$  であり、円筒先端から  $100\text{mm}$  を流入部とし、流出部は  $280\text{mm}$  とした。半径方向の流出境界は、円筒表面より  $18\text{mm}$  とした。また、流入部の物理量は層流境界層の値を用い流入部排除厚さは  $\delta^* = 0.18\text{mm}$  とし、これに基づくレイノルズ数は  $Re=1640$  である。図 1 に計算領域の概略図を示す。流入部で与えたランダム攪乱の大きさは、図 2 に示すように周方向に対し主流速度の  $0.8\%$  から  $1.2\%$  へと正弦波的に変化させた。

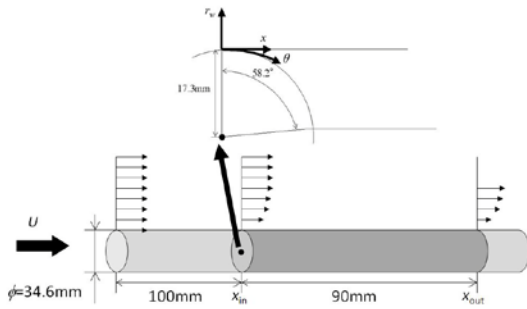


図 1 計算領域の概略図

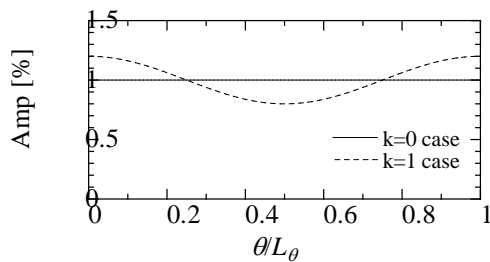


図 2 流入攪乱の変動速度 rms 値の分布

## 4. 研究成果

図 2 は全体の渦構造可視化図である。可視化には速度勾配テンソルの第二不変量を用いた。図 3(a, b) はそれぞれ流入攪乱振幅が周方向に一樣なケース ( $k=0$  case) および周方向に 1 周期分正弦波的に変化させたケース ( $k=1$  case) である。図より、流入攪乱の振幅

の小さな領域 (図中央) において振幅が大きな領域と比較し遷移領域が下流に位置しているおり、周方向に大きく遷移領域のずれが生じている (ずれの距離は約  $50\delta_0^*$  である)。

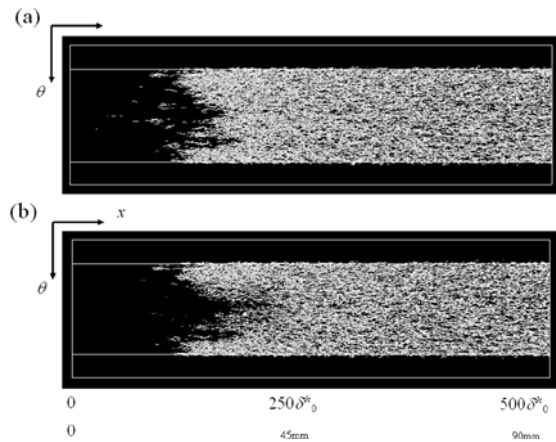


図 3 流入攪乱の遷移領域に対する影響: (a)  $k=0$  case and (b)  $k=1$  case.

平均速度場に対する流入攪乱の影響を図 4、5 に示す。図 4 は各ケースの排除厚さおよび運動量厚さであり、図 5 は形状係数を示している。これらの図より、 $k=1$  ケースの方が  $k=0$  ケースと比較し、遷移領域がより下流に位置していることが確認できる。

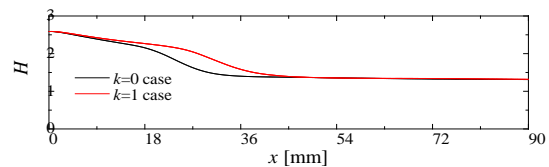
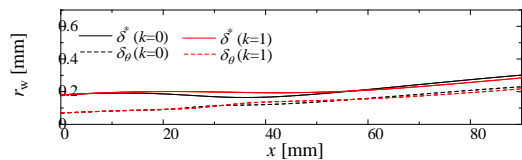


図 4 排除厚さと運動量厚さ。

図 5 流入攪乱の形状係数への影響。

図 6(a, b) は、半径方向速度のスペクトルであり、図 7(a, b) は、圧力変動のスペクトルである。それぞれの図において、(a) は  $x=45\text{mm}$ 、(b) は  $x=81\text{mm}$  の下流方向に対する位置で取得した結果である。半径方向速度および圧力の変動スペクトルの結果は  $k=0$  ケースと比較し  $k=1$  ケースでは  $10^3$  オーダーの周波数帯における振幅が低い値を示した。この結果は周

方向に大きく遷移領域のずれが生じた場合、低周波の圧力変動が減衰することを示しており、上流において突起物やアクチュエータ等により、攪乱振幅を周方向に変化させることができれば、低周波音の低減できる可能性がある。

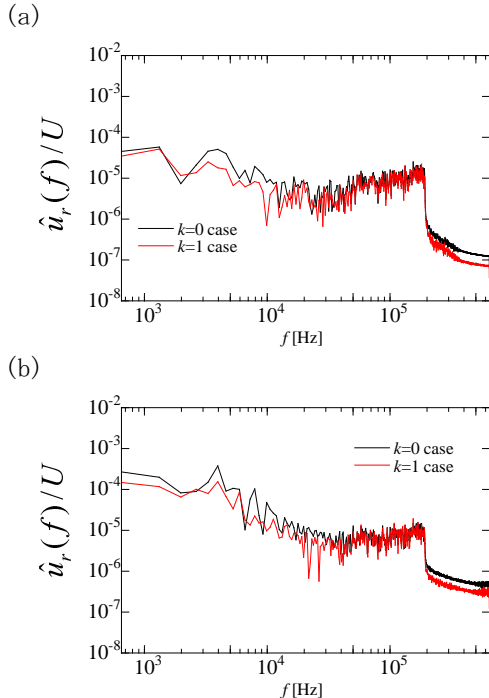


図6 半径方向速度のスペクトル: (a)  $x=45\text{mm}$ , (b)  $x=81\text{mm}$ .

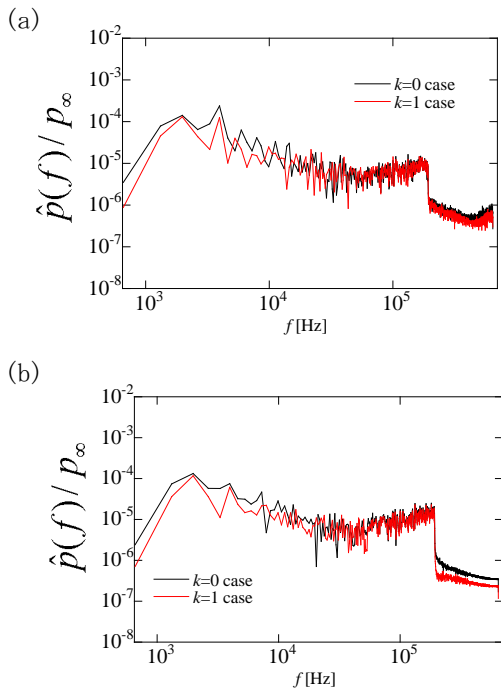


図7 圧力変動のスペクトル: (a)  $x=45\text{mm}$ , (b)  $x=81\text{mm}$ .

圧縮性円筒境界層の直接数値シミュレーションの実行により、以下のことを確認した。  
 ・周方向に振幅を変化させたランダムな流入攪乱により、遷移領域を周方向に対し変化させることができ、流入攪乱の大きさによりその変形量（遷移領域上流部の主流方向にたいする前後のずれ）は攪乱の振幅差により制御できる。  
 ・周方向に変化した遷移領域は下流での低周波圧力変動の振幅を減少させる

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 11 件）

① 渡辺 大輔, 前川 博&高見 創, 円筒乱流境界層から発生する低周波音, 第 50 回「乱流遷移の解明と制御」研究会, (2012. 3. 20), 電気通信大学

② 舟津 佳克, 渡辺 大輔&川口 清司, DNS による丸みを有した角部を過ぎる流れの安定性解析, 日本機械学会北陸信越支部第 49 期総会・講演会, (2012. 3. 10), 金沢工業大学

③ 五木田 直彦, 下栗 大右, 渡辺 大輔, 石塚 悟, 急速混合型管状火炎の構造 (第 3 報), 第 4 9 回燃焼シンポジウム, (2011. 12. 6), 慶應義塾大学

④ 渡辺 大輔, 前川 博&高見 創, 円筒乱流境界層から発生する低周波音への流入攪乱の影響, 第 25 回数値流体力学シンポジウム, (2011. 12. 20), 大阪大学コンベンションセンター

⑤ Daisuke Watanabe, Kensuke Akita, Hiroshi Maekawa, Effects of Oblique Unstable Modes on the Development of a Turbulent Mixing Layer at High Convective Mach Numbers, 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting, (2011. 1. 4), Orlando, Florida

⑥ 渡辺 大輔&前川 博, 平板境界層の遷移構造に及ぼすスパン方向長さの影響, 第 24 回数値流体力学シンポジウム, (2010. 12. 22), 慶應義塾大学

⑦ Daisuke Shimokuri, Daisuke Watanabe, Yoshiro Eto, Yanlei Wang, Baolu Shi & Satoru Ishizuka, A Fundamental Investigation on the Effect of the Ejection Velocity Ratio on the Characteristics of the Rapidly Mixed Tubular Flame Combustion, 8th The Asia Pacific Conference on Combustion 2010, (2010. 12. 11), Hyderabad, India

⑧ 渡辺大輔, 圧縮性境界層の遷移構造から発生する音波の DNS, 第 47 回「乱流遷移の解明と制御」研究会, (2010. 9. 22), 電気通信大学

⑨渡辺大輔&前川 博，円筒境界層における低周波圧力変動に及ぼす流入攪乱の影響，日本流体力学会年会 2010，(2010.9.11)，北海道大学

⑩渡辺大輔&前川 博，圧縮性境界層の遷移構造から発生する音波の研究，日本機械学会 2010 年度年次大会，(2010.9.8)，名古屋工業大学

⑪渡辺大輔，超音速噴流の不安定波を利用した騒音抑制手法の試み，第 3 回噴流，後流，および剥離流れの基礎と先端的应用に関する研究分科会，(2010.7.30)，金沢大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 大輔 (WATANABE DAISUKE)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・講師

研究者番号：70363033

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし