

高速走行車両の伴流

奥出宗重* 早藤英俊* 松井辰彌**

On the Wake Behind a High Speed Train

by

Muneshige OKUDE and Hidetoshi HAYAFUJI
Faculty of Science and Technology, Meijo University

Tatsuya MATSUI
Professor Emeritus, Gifu University

ABSTRACT

The velocity distributions in the boundary layer on the side wall of a high speed train were measured by using two rakes of the multiple hot-wires. One was set on the wall of the last car of a train which was running at 320 km/h on the downway railroad, the other was set on the nose of the first car of a train which was at rest on the upway railroad. The instant the two rakes of multiple hot-wire came in a straight line, the velocity distribution throughout the boundary layer could be obtained. After the instant the velocity distributions in the outer part of the wake behind the running train were measured by the stationary hot-wire rake set on the car at rest.

The thickness of the boundary layer on the wall of the last car was about 2.5 m. The spectrum of the velocity fluctuations in the wake had strong intensity at about 1.5 and 3.5 Hz in its distribution.

The flow pattern in the wake was visualized by using the smoke generated by smoke markers. Recording of the wake flow by a video camera was not successful, but the naked eye observation noticed the alternating vortex shedding from the rear surface of the last car as in the case of an automobile. The flow patterns on the rear surface of the last car visualized by the tuft method also showed the alternating vortex shedding. The shedding frequency could be roughly measured to be about 2 to 5 Hz. The alternating vortex shedding can be one of the causes of the rolling oscillation of the last car.

Keywords: boundary layer, wake, visualization

1. 実験の目的

フランスのTGVは、最高速度515.3km/hを記録した。日本では、JR東日本が336km/hを記録した。営業運転では、TGVの300km/hに対してJR東海の270km/hでさらに高速化する計画のよ

うである。

近年、鉄道の高速度に伴い、車両に働く空気力が非常に重要になってきた。そのため、JR東海の依頼を受けて、高速列車空力性能研究グループは、平成3年3月21日から22日にかけて、京都-米原間で現在運転されているJR東海の特急「のぞみ」型車両の空気性能について320km/h付近の

* 名城大学理工学部

** 岐阜大学名誉教授

速度で走行試験を行った。筆者らもこの走行試験に参加した。

本研究では、その走行試験の一部をなす1)車両側壁の境界層と列車の伴流の速度分布、2)伴流の速度変動のスペクトル分布および3)最後尾車両の背面に沿う流れと伴流との可視化について述べる。

2. 実験計画

走行試験は、270km/hと320km/hの二つの速度で行われた。走行する列車の側壁の速度分布と伴流の速度分布は、走行列車の側壁から約2.5mの範囲について熱線で測定された。側壁から遠方の速度は、下り線を走行する列車と平行に停止する上り線の列車の先端部から走行列車側に差し出された対称翼型支柱に取り付けられた熱線(18本)で求められた。一方、壁面近くは、走行列車の最後尾車両の後方部の窓から突き出した対称翼型支柱に取り付けた熱線(15本)で求められた。走行列車の熱線と停止列車の熱線がすれ違う瞬間にのみ走行列車の壁面近くから遠方までの速度分布が求められる。停止列車の熱線は、列車が通過した後、走行列車の伴流の速度分布(中心部を除く)を検出する。熱線の信号はデータ・レコーダで収録した後解析された。本報では、320km/hの結果を示す。

流れの可視化は、走行列車の最後尾背面をタフト法で、伴流を最後尾車両の発煙筒の煙で行われた。流れ模様は、ビデオカメラで収録された。

3. 境界層および伴流の速度分布

図1は、走行列車の壁面から $y_w = 55\text{cm}$ および 155cm の位置にある停止列車の熱線からの速度の時系列データを示す。走行列車の熱線と停止列車の熱線とがすれ違う瞬間を $t = 0\text{sec}$ とした。 $-4.3 \leq t \leq 0\text{sec}$ が境界層で、 $t \geq 0\text{sec}$ が伴流の範囲である。

波形は不規則的である。 $-4.3 \leq t \leq 0\text{sec}$ の境界層の範囲で、時間経過と共にその値が大きくなり、境界層の発達の様子が観察される。 $t \geq 0\text{sec}$ の伴流の範囲では、徐々にその値は小さくなり、速度欠損の回復を示す。

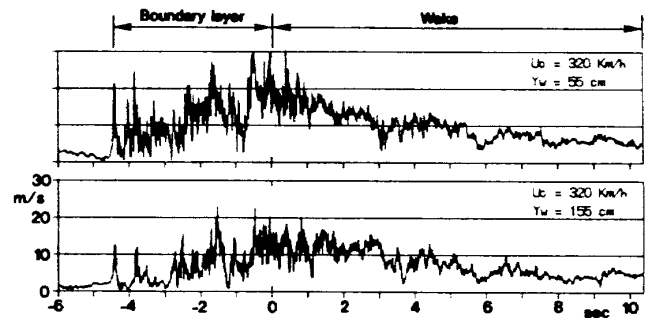


図1 列車通過時の熱線の信号

図2は、上述のデータを基にして求めた境界層および伴流の速度分布を示す。図の右端に走行列車の車両中心からの距離(y_c)を並記した。

$-4.3 \leq t \leq 0\text{sec}$ の範囲の場合、その速度分布から境界層厚さは、列車の後方にいくに従い大きくなり、 $t = 0\text{sec}$ でおおよそ2.5m程度ではないかと思われる。この場合、走行列車側の熱線による測定値も記入されている。一方、 $t \geq 0\text{sec}$ の範囲の場合、伴流の速度分布の外縁部を示す。

4. 伴流の速度変動のスペクトル分布

図3は、図1の $t \geq 0\text{sec}$ の範囲、すなわち、伴流の速度変動の周波数スペクトル分布を示す。

低周波成分に強いスペクトルが見られる。どの分布もおおよそ0.5, 0.8, 1.5および3.5Hzに特徴的な強いスペクトルを示す。この代表的なものが $y_w = 105\text{cm}$ であって、それらのスペクトルを↓印で示した。円柱の伴流の場合、伴流の比較的外側でその速度変動の特徴を示す周波数のスペクトルが顕著に現われる。この周波数は、円柱から放出する渦周波数と一致する。また、乱れ強さはこの横方向の位置で最も大きくなる¹⁾。図4に、上述のスペクトル分布に現われた特徴的な周波数1.5Hzと3.5Hzの前後の周波数のスペクトルの強さを y_w および y_c に対し示す。このスペクトルの強さはその周波数前後の乱れ強さに相当する。その最大値は、 $f = 1.5\text{Hz}$ の場合 $y_w = 100\text{cm}$ 付近に、 $f = 3.5\text{Hz}$ の場合 $y_w = 150\text{cm}$ 付近に現われていて、伴流中心からかなり外側にある。これは、上述の円柱の伴流の場合とよく似ている。列車の伴流に現われた1.5Hzと3.5Hzの周波数は、列車の最後

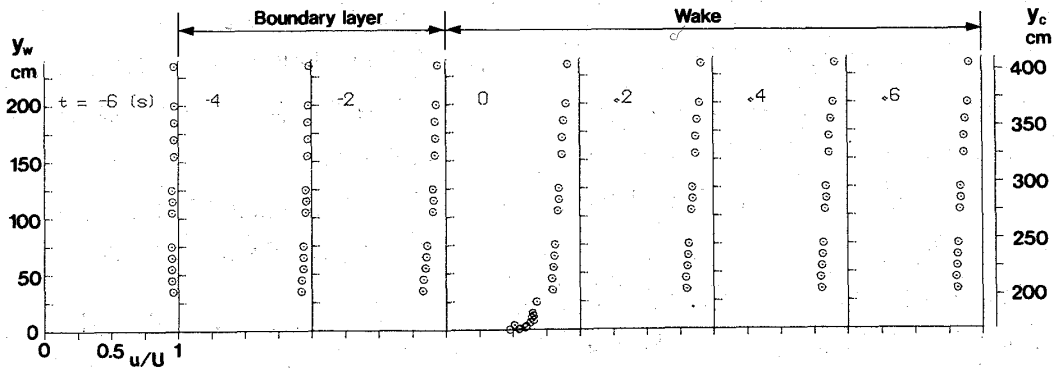


図2 境界層と伴流の平均速度分布

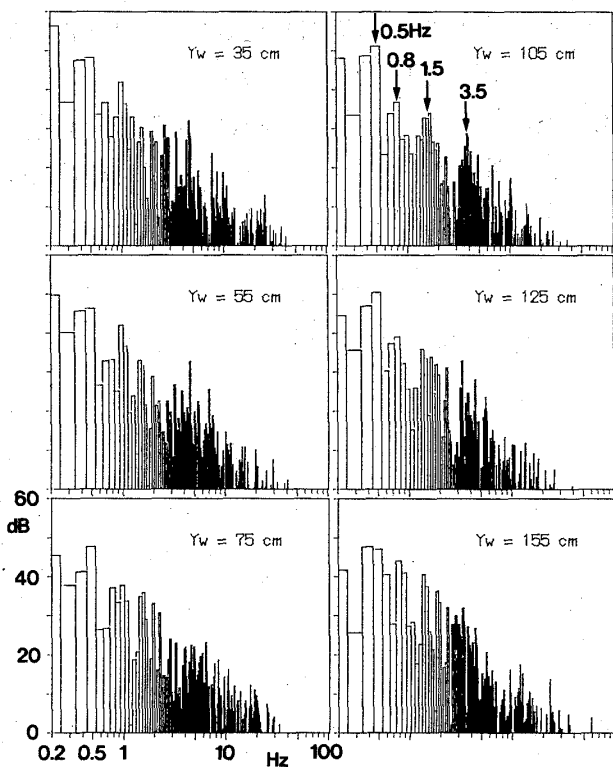


図3 伴流の速度変動のスペクトル分布

部車両に取り付けた左右方向の揺れを検出するための加速度計の示す強い加速度の周波数とほぼ一致する。以上の結果から、列車の伴流に周期的な渦放出の可能性があるとと思われる。

5. 流れ模様

この列車の試験に先立ち、自動車のテスト・コースで200km/h程度で走行する乗用車の伴流を発煙筒の煙で可視化した。観察は車のリヤ・ウィンドとテスト・コース脇から行われ、ビデオカメラで収録された。リヤ・ウィンドのVTRによると、

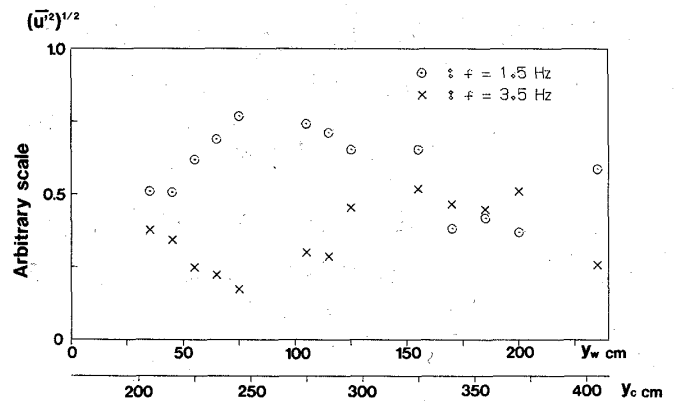


図4 速度変動の強さの横方向分布

車体背面の左右両側からある周波数をもって交互に放出される煙の塊が見られた。テスト・コース脇のVTRによれば、車体後方左側では煙が時計まわりに、右側ではその逆に巻き込む渦の存在を示した。これは既に早くから谷によって認められていたことである²⁾。

列車の場合、煙による可視化は夜間の試験であったことと、煙が少量であったことのため鮮明な画像が得られなかった。しかし、目視により、上述の乗用車とよく似た煙の挙動が観察された。周波数は2Hz程度ではないかと思われる。

タフトによる背面上の流れのパターンの連続写真をVTRの再生画面から求めた。写真は1/30秒毎に作成できる。写真を約2秒間約60枚作成し、タフトの挙動を調べた。写真はかなりの枚数になるので本報告では省略する。文献3)を参照されたい。

タフトは運転席近くの上方に位置する範囲では、比較的穏やかな動きを示し、中心線近傍では上方

から下方に吹き下ろす流れを示す。下方のテール・ライト付近では、かなり複雑な挙動を示す。この挙動が上述の煙で観察した周期性に関係あると思われる。写真を注意して観察すると、中心線の左右両側のタフトに決まった写真枚数毎に同様なパターンを示す周期性が見られる。この写真の枚数から周波数2~5Hz程度の変動が存在すると思われる。これらの周波数は上述の通り2秒程度の時間内のVTRの再生画像を肉眼で観察した結果であって、正確さに疑問が残る。最近、比較的普及している画像解析などを利用して、タフトの挙動を定量化し、正確な周波数を見いだすことのできる可能性が残されている。

6. ま と め

走行試験の結果をまとめると次のようである。

1. 走行列車の側壁の境界層厚さは、最後尾で

2.5m程度である。

2. 自動車と同様な車体背面の左右両側から交互の周期的な渦の巻き込みが列車の場合もあるようである。
3. 伴流の速度変動の特徴を示す周波数は、およそ1.5Hzと3.5Hzである。

・参 考 文 献

- 1) 奥出他2名：低Re数における円柱伴流内の渦列の構造，日本流体力学会誌，「ながれ」10(1991) 24-34.
- 2) 谷一郎先生を偲ぶ会世話人会：一期一会，谷一郎先生追悼文集，1991/5.31，211.
- 3) 奥出他2名：高速走行車両の伴流の可視化実験，第23回乱流シンポジウム講演論文集，「ながれ」10巻別冊(1991) 276-283.