

1111 トンネル内を走行する鉄道車両を模擬した 三面ムービングベルトによる風洞試験

Wind Tunnel Study on Train in Tunnel with Three-Sided Moving Belt

○ 正 中出孝次 (鉄道総研) 正 鈴木昌弘 (鉄道総研)
正 斉藤実俊 (鉄道総研) 正 藤田 肇 (日大)

Koji NAKADE, Masahiro SUZUKI,
Sanetoshi SAITO (Railway Technical Research Institute)
Hajime FUJITA (Nihon University)

Pressure fluctuation which is a main factor of vehicle vibration in tunnel is generated on the bottom area of train body, which is near the ground and a tunnel wall. To clarify the effect of boundary conditions, we used a new experimental method, that is a three-sided moving belt which can realize the relative movement of train against the ground and the wall in wind tunnel. The results show that boundary layer suction and moving belt reduce pressure fluctuation at tunnel wall side.

Key Words: 風洞試験, 車両動揺, トンネル, 高速列車, 三面ムービングベルト

Wind tunnel test, Vehicle vibration, Tunnel, High-speed train, Three-sided moving belt

1 はじめに

鉄道車両がトンネル内を高速走行する時に、明かり区間では観察されない圧力変動が車体側面に発生し、この圧力変動がトンネル区間の乗り心地を悪化させる要因となっている。この圧力変動の発生メカニズムは、以下のように考えられている。車体側面下部に形成される流れ場 (混合層流れ) から渦が発生し、車体側面とトンネル側壁との間の空間で、下流に向かって渦が成長し、車体側面に圧力変動を発生させている⁽¹⁾。また、車体側面下部の混合層流れから発生する渦に対するパラメータ・スタディが風洞試験により行われ、車体-地面間と車体-トンネル間の距離が重要であることが確認されている⁽²⁾。

一般的に、風洞試験では、「静止している物体と動いている物体が混在した現象」に対しては、それらの相対運動を表現することが困難である。今までの風洞試験において、相対運動を模擬するための唯一の方法としては、移動地面板 (ムービングベルト) がある。これは、主に、地上走行する車両に対して、床下流れが本質的になるような現象を調べる時に有効な方法である。しかし、上に述べたような、トンネル内の鉄道車両に発生する圧力変動 (車体-地面間と車体-トンネル間の流れが本質的となる現象) を調べるためには、地面の移動だけでなく、トンネル側壁の移動を模擬することが重要であると考えられる。

最近、著者らの一人によって、移動地面板と移動側壁を模擬するための装置「三面ムービングベルト」が開発され、試作された⁽³⁾。この装置を用いて、車両に対する地面と側壁の相対運動の影響、特に、トンネル内の車体側面に発生する圧力変動への影響を風洞試験により調べたので、以下に報告する。

2 実験方法

2.1 三面ムービングベルトと車両模型 測定部寸法は、274mm (流れ方向) × 115mm (幅) × 50mm (高さ) である。地面 (水平) ベルトと側壁 (垂直) ベルトは、歯車により連動しながら動き、最大ベルト速度は約 20m/s 程度である。また、ベルトが高速回転したときのベルトの振動を抑制するために、ベルト吸着装置が設置されている。地面ベルトと側壁ベルトの上流、および側壁ベルトの上流 (鉛直方向) には、境界層吸込み装置が設置されている。測定部の流れを整流化するために、測定部上流に導風板が設置されている。

測定部寸法 (幅と高さ) を考慮し、使用する車両模型の大きさを新幹線 (形状は単純化されている) に対して約 1/85 とし、先頭車両と後尾車両の 2 両固定編成とした。車両模型の床下には、台車に相当する突起を取り付けた (厚さ 4mm の板)。模型の支持方法は、支持装置が測定部の流れを乱さないように細心の注意を払い、最後尾のノーズ部から片持ち方式により支持した。

三面ムービングベルトと車両模型の概要を図 1 に示す。

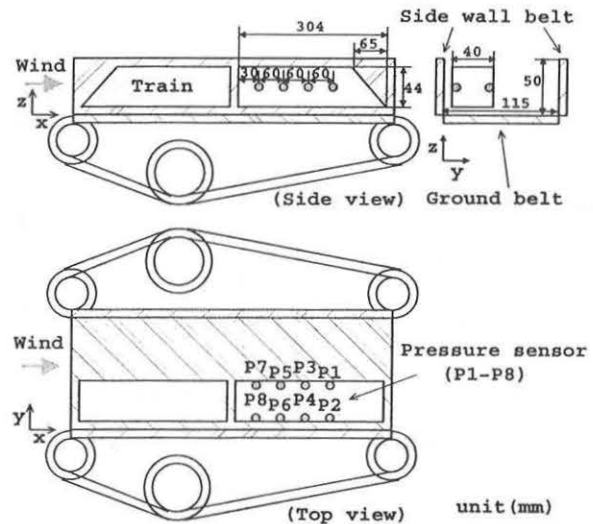


Fig. 1: Three-sided moving belt and train model

2.2 測定項目と測定条件 測定項目は、最後尾車両側面の圧力である。トンネル壁に近い側 (壁側) とトンネル中央に近い側 (中央側) のそれぞれに対して 4 点の測定点がある。これらは、車体側面を流れ方向に 4 分割したときの代表圧力点となっている。測定点は、壁側の上流から下流方向に圧力 (P8, P6, P4, P2)、また、中央側の上流から下流方向に圧力 (P7, P5, P3, P1) が配

置されている。

流入風速、ベルト速度、境界層吸い込み装置の入・切、車体の位置（地面からの高さ、トンネル壁からの距離）をパラメータとして、圧力（P1～P8）の測定をおこなった。データ収集のサンプリング周波数は 5kHz であり、観察対象である圧力変動の周波数帯の切り出しのために、1Hz から 50Hz の範囲で、バンドパスフィルターをかけた。

3 結果と考察

本報告では、(y=10mm, z=4mm) の車両位置における圧力変動の測定結果についてのみ示す。（ここで、y はトンネル壁と車体との距離、z は地面と車体との距離を表す。）以下、「BV」は流入風速に対するムービングベルトのベルト速度の比率、「BLS」は境界層吸い込み装置を表す。

3.1 圧力の測定値 流入風速が約 20m/s の条件について、上流から下流への圧力変動の伝播の様子を、図 2(BV:0%, BLS:切)、図 3(BV:100%, BLS:入) に示す。

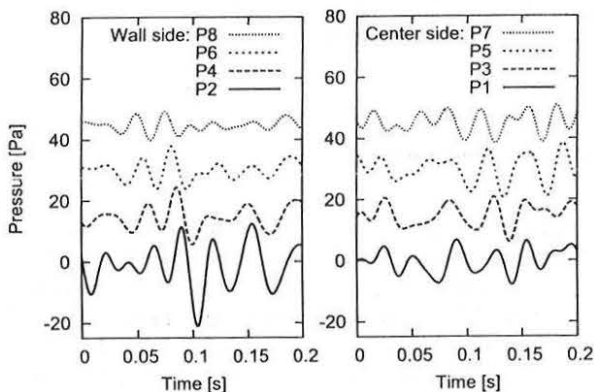


Fig. 2: Pressure fluctuation (BV 0% without BLS)

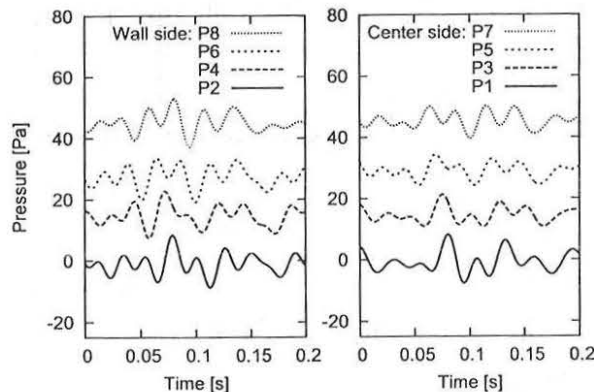


Fig. 3: Pressure fluctuation (BV 100% with BLS)

いずれの条件に対しても、圧力変動のパターンが上流から下流へと伝播している様子が分かる。また、この伝播速度は、図 2 に対しては 10.6m/s(壁側)、13.2m/s(中央側)であり、図 3 に対しては 9.8m/s(壁側)、12.8m/s(中央側)であった。今回の風洞試験では、測定車両が先頭車両から 2 両目という条件（非常に短い編成）のために、実車との対応を検討することは難しいが、図 2、図 3 の圧力変動は、実車で観察される圧力変動の発達段階のものであると考えられる。ムービングベルトと境界層

吸い込み装置を使用した影響は、壁側最下流の測定点 (P2) の圧力変動に表れている。つまり、上流から下流への圧力変動の発達について、図 2(左、壁側)の圧力変動は、図 3(左、壁側)の圧力変動よりも、大きくなっている様子が観察される。

3.2 圧力変動の実効値 P2 の圧力変動の実効値を図 4 に示す。境界層吸い込み装置を使用するとき、圧力変動の実効値が小さくなることが分かる。また、流入風速が最も速い条件 (20m/s) のとき、ムービングベルトのベルト速度に応じて、わずかに、圧力変動が小さくなるという傾向が観察される。

この圧力変動の実効値の低下は、車両模型の床下流れの速度分布の差異から生じていると考えられるが、詳細については、今後の実験で詳しく調べる予定である。（なお、境界層吸い込み装置を使用しない条件において、装置特有の高周波数の圧力変動が観察された。しかし、その影響を除外して考えたとしても、上に述べたことは定性的に妥当であることは、PSD により、確認している。）

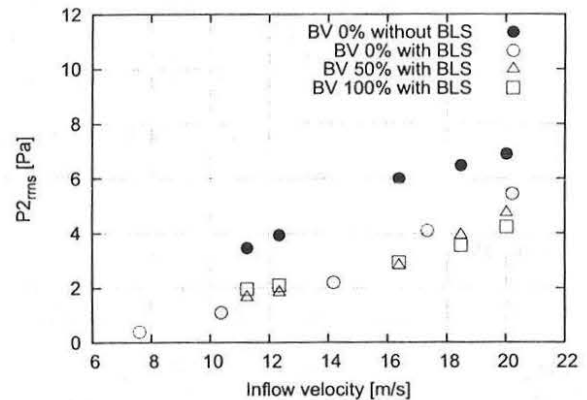


Fig. 4: RMS of pressure fluctuation at P2 (Wall side)

4 おわりに

今回の風洞試験結果から、境界層吸い込み装置およびムービングベルトの使用が車体側面の圧力変動に影響を及ぼす可能性が示唆された。今後、三面ムービングベルトの装置の大型化に合わせて、さらに長い編成車両模型を用いた試験を行ない、詳細に現象を調べる計画である。

本研究の実施に際しては、日本大学藤田研究室の学生および東京農工大学修士過程の伊藤雅史君の協力を得た。関係各位に感謝します。

参考文献

- (1) 鈴木昌弘, トンネル内走行時の車両に加わる空気力, 鉄道総研報告 Vol.14, No.9, p.37-42, 2000.
- (2) Masahiro SUZUKI, 'Studies on the Flow Fields around a Train in Tunnel', Proceedings of Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'03), pp.702-703, 2003.
- (3) Hajime FUJITA, 'The characteristics of the wind tunnel with 3-way moving belt', Presented at the SATA International Conference, Melbourne, Australia, August 13-16, 2002