

高速鉄道車両の走行時における駆動装置周辺の圧力

Pressure around drive unit of high-speed train

This paper discusses pressure variations around the drive unit of a high-speed train investigated by numerical analysis. Variations in the surrounding pressure are likely to cause a lubricating oil in the gearcase of the drive unit to leak out via the labyrinth and the breather. A finite volume method was used to analyze airflows around one formation of train cars when the cars are independently running through an open section and when the cars are running into and going out of a tunnel. The analysis results have revealed: a certain pressure distribution observed around the gearcase of the train cars running through an open section; and a negative pressure abruptly generated around the gearcase of the train cars running into and going out of a tunnel. These pressure variations caused around the drive unit are conceivably attributable to: the complicated shape of the bogie part; and the elongated body shape of the train car traveling at high speeds.

町田 佑季
Yuuki Machida

1. まえがき

電動車の台車に取り付けられる駆動装置は、歯車箱内部で潤滑油が循環する。軸受箱と軸の間には、歯車箱を密封するための複雑な形状の隙間(ラビリンス)がある。また、歯車箱内外の圧力差を小さくするため、ブリーザと呼ばれる通気口を設ける場合がある(本論文ではラビリンスとブリーザをまとめて歯車箱通気部または単に通気部と記す)。歯車箱周辺で圧力が変化し、歯車箱内外の圧力差が生じると、これら通気部から潤滑油が漏出する可能性がある。潤滑油の漏出はメンテナンス頻度の増加、駆動装置およびその周辺装置の汚損を招く。

歯車箱周辺の圧力変化は空気流れに起因する。鉄道車両は非常に細長く、台車部の形状が複雑なため、床下において特徴的な空気流れが生じる^{[1][2]}。また、新幹線をはじめとする高速鉄道では、トンネルを突入・退出する際に圧力波が発生する。トンネル内を伝播し、外部へ放射するパルス状の圧力波は沿線の騒音問題となるほど大きい^[3]。したがって、高速鉄道車両のトンネル突入・退出に生じる圧力波は、歯車箱周辺にも激しい圧力変化をもたらすと考えられる。これまでに、高速鉄道車両の走行時における歯車箱周辺の圧力変化は解明されていない。

本論文では、高速鉄道車両が走行する際の車両周りの空気流れについて、有限体積法による数値解析を行う。そして、潤滑油の漏出に与える影響を検討するため、歯車箱通気部の圧力を調査する。解析は、1編成が単独で明かり区間を走行する場合と、1編成が単独でトンネルに突入・退出する場合の2パターンを行う。

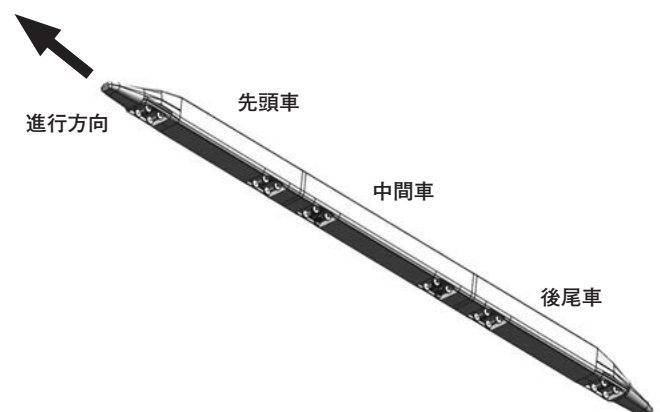
2. 新幹線明かり区間単独走行

2.1 解析条件

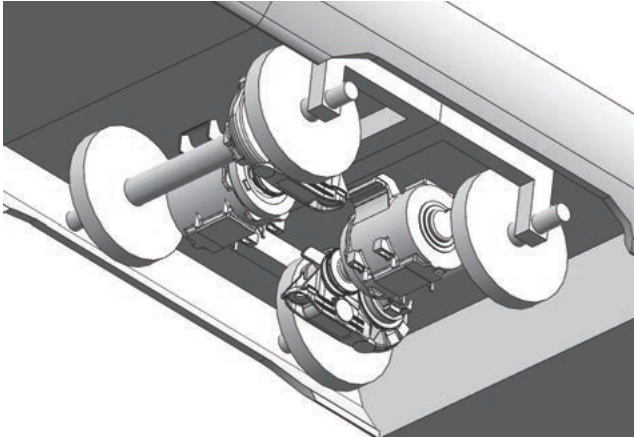
解析モデルは日本の新幹線車両を模擬したものである。図1に示すように、先頭車、中間車、後尾車の3両編成とする。中間車の台車にのみ歯車箱、モータのモデルを再現する。図2に中間車の台車モデルを示す。モデルサイズは実車と同等のスケールである。

モデル全体のメッシュを図3に、台車部のメッシュを図4に示す。歯車箱通気部においては、圧力を計算するためメッシュサイズを最小とする。それ以外は通気部周辺、歯車箱全体およびモータ全体、台車、車体の順にメッシュサイズが大きくなる。

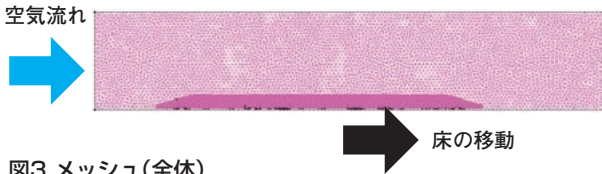
上記メッシュを用いて、解析領域の前面から250km/hの空気を流入させ、床面も250km/hで移動させて定常解析を行う(方向は図3内の矢印参照)。サイクル数は3000である。



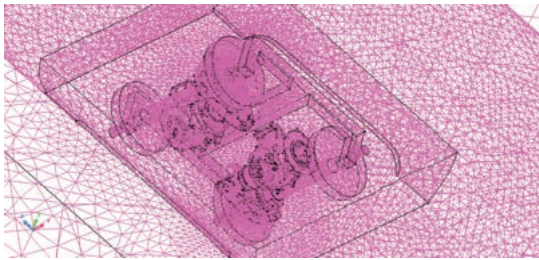
■ 図1 解析モデル(全体)
Fig.1 Computational model (whole)



■ 図2 解析モデル(台車)
Fig.2 Computational model (bogie)



■ 図3 メッシュ(全体)
Fig.3 mesh (whole)



■ 図4 メッシュ(台車部)
Fig.4 mesh (bogie part)

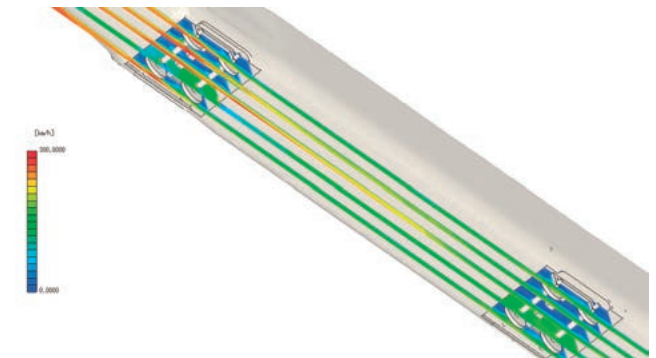
2.2 解析結果

車両床下の流速分布を図5に示す。台車間部の流速は先頭車と比較して中間車、後尾車で低下している。(b)より、歯車箱とモータが存在する中間車の台車部は、輪軸のみの先頭車、後尾車の台車部(最前方台車部を除く)よりも全体的に流速が大きい。特に、前側モータの反駆動側において300km/h 近い流れが存在し、その後方でも流れが速い。中間車の台車部について、両端二つの断面(図中①、②)を見ると、前側の台車部(図中黒丸部)よりも後側の台車部(図中赤丸部)のほうで境界層が厚くなっている。

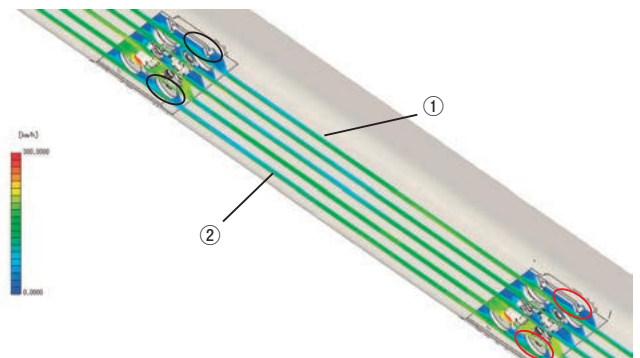
車両床下の表面圧力分布を図6に示す。中間車台車部において、各モータ、歯車箱前方で圧力が+1000Pa程度である。台車部後縁、モータ下部において-1000Pa前後である。後側歯車箱の前方(図中赤丸部)では前側歯車箱の前方(図中黒丸部)ほど圧力が高くない。

表1に各歯車箱通気部の圧力、および通気部圧力の最大値

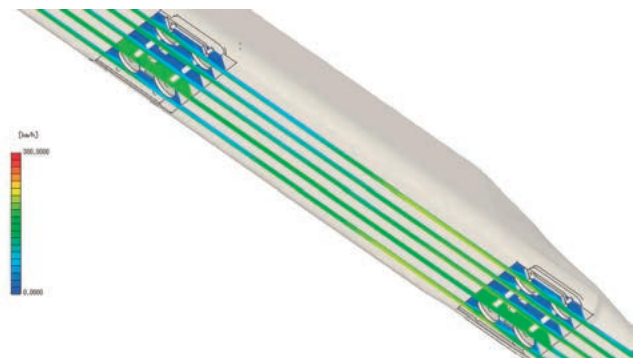
と最小値の差を示す(歯車箱の番号は図7、通気部の名称は図8参照)。最終500サイクルの平均値を算出した。最も圧力が高いのはNo.4・GMの+230Pa、最も小さいのはNo.3・GMの-106Paである。歯車箱No.2、No.4においては通気部圧力はすべて正である。各歯車箱の最大値と最小値の差はいずれも300Pa以下である。各台車において、前側歯車箱のほうが最大最小の差は大きい。



(a) 先頭車
Head car

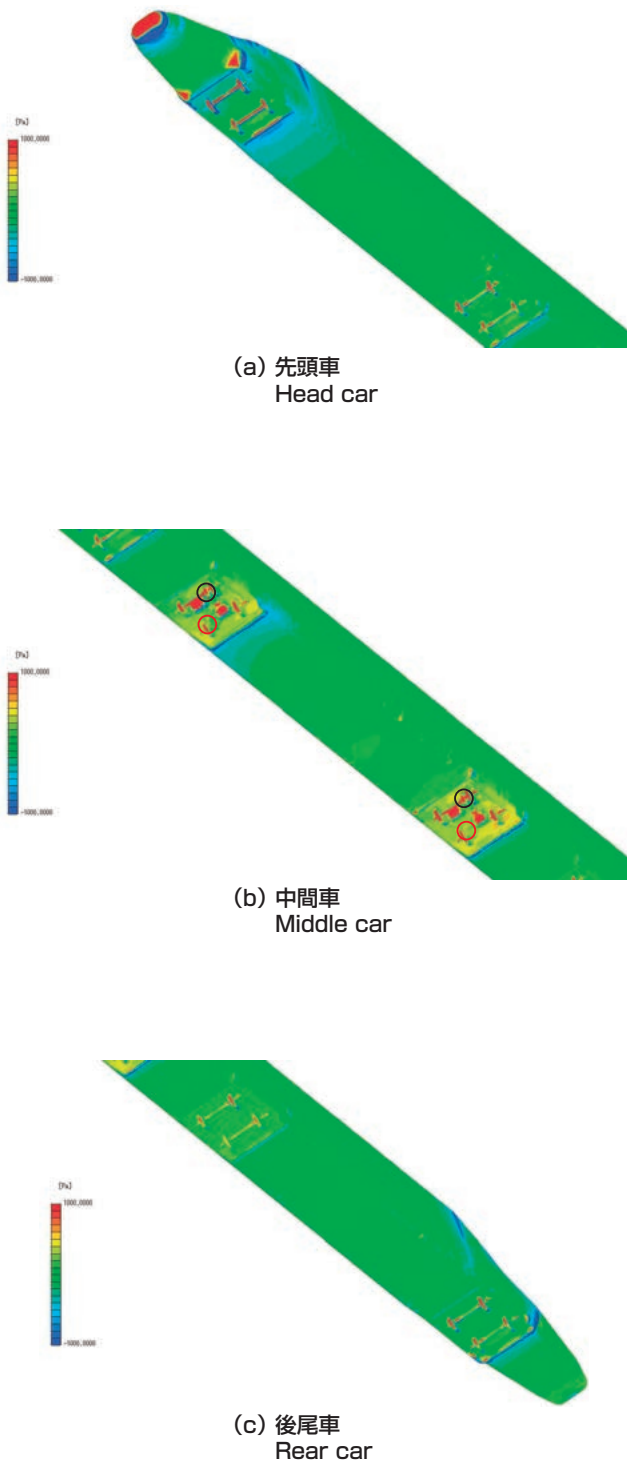


(b) 中間車
Middle car



(c) 後尾車
Rear car

■ 図5 流速分布
Fig.5 Distribution of velocity



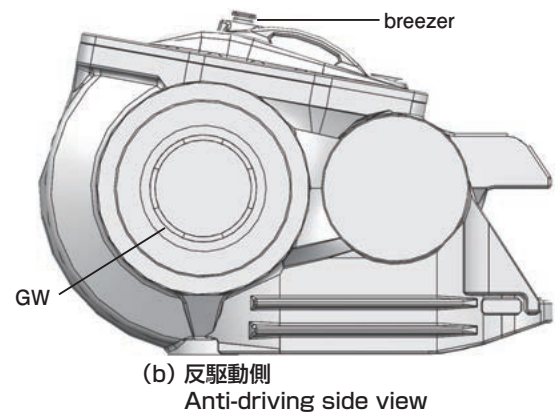
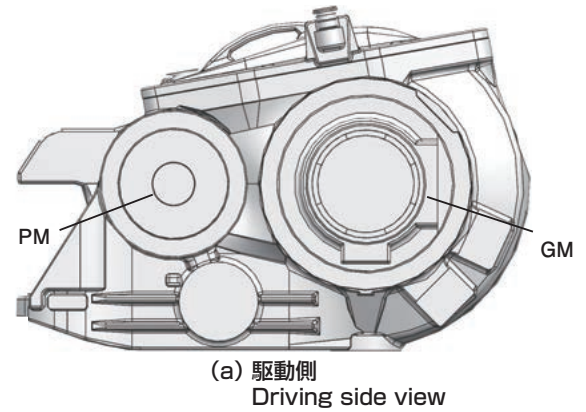
■ 図6 表面圧力分布
Fig.6 Distribution of surface pressure

■ 表1 歯車箱開口部圧力
Table1 Pressure on gearcase opening

Gearcase No.	GM	GW	PM	breezer	max-min
1	-100	-39	114	-49	214
2	74	217	82	79	143
3	-106	-50	159	43	265
4	230	217	212	170	60



■ 図7 凡例 (2両目車体)
Fig.7 Legend (2nd car)



■ 図8 凡例 (歯車箱)
Fig.8 Legend (gearbox)

2.3 考察

図5の流速分布について、中間車、後尾車の流速が先頭車よりも低いのは、後方ほど壁面摩擦による減速効果が大きくなるためと考える。

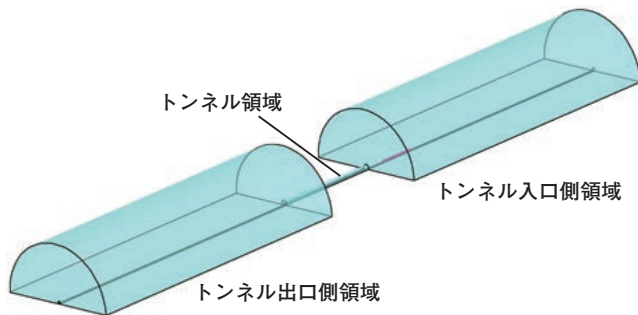
図5(b)の台車部流速分布を検討する。中間車の台車部には歯車箱、モータがあり、流れがそれらに衝突する。したがって、先頭車、後尾車に比べて流れの乱れが大きいいため、流速も大きいと推測する。前側モータの反駆動側やその後方で流速が特に大きいのは、流れを遮るものが車軸のみであるためと考える。2両目後側台車部は、その前方にある台車間部の平滑な部分が多い。そのため、台車間部前方の遅い流れが増速して後側台車部へ入る。したがって、2両目台車部の両端二つの断面(図5(b)の①、②)に着目した際、前側台車部(図5(b)の黒丸部)よりも後側台車部(図5(b)の赤丸部)の境界層が厚く、全体的な流速が速いと考える。

次に図6の表面圧力分布について論じる。(b)の中間車台車部について、歯車箱やモータの前側では流れが衝突するために圧力が高いと考える。また、歯車箱・モータ下側では流れの剥離が起きて圧力が低いと推測する。後側歯車箱の前方の圧力が低いのは、前側モータにより流れが遮られているためと予想する。

3. 新幹線トンネル区間単独走行

3.1 解析条件

車体モデルは2項と同じものを用いる。解析領域は図9のとおりである。トンネル入口側領域、トンネル領域、トンネル出口側領域で構成される。モデルの初期配置を図10に示す。車体とその近傍の空気領域を含む直方体状メッシュを250km/hで直進させる。時間刻みは 2×10^{-4} sで、車体の後端がトンネルを退出するまで解析する。



■ 図9 解析領域
Fig.9 Computational region



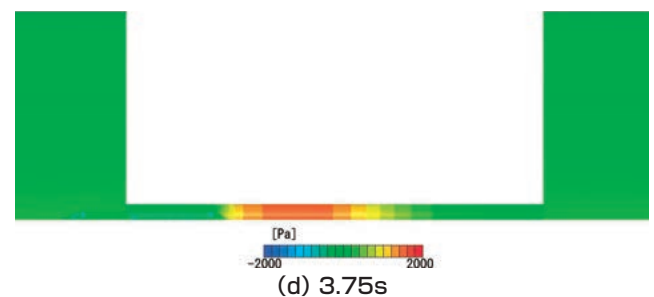
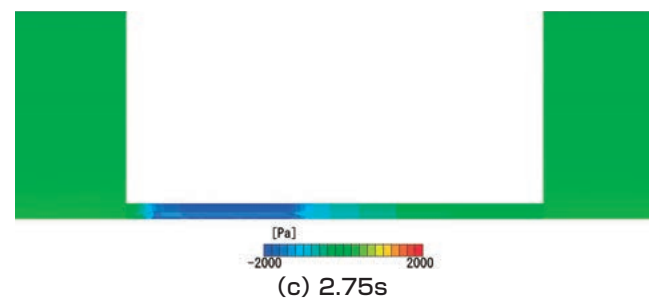
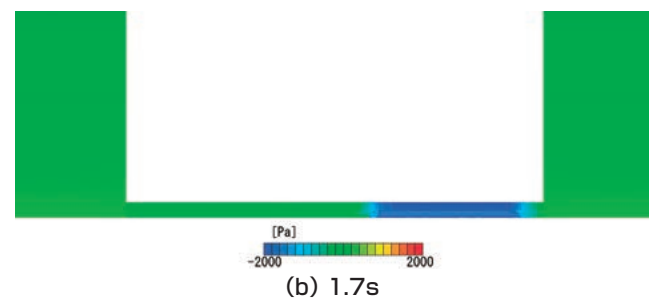
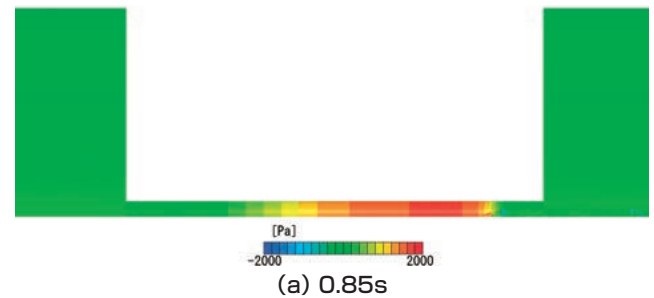
■ 図10 初期配置
Fig.10 Initial placement

3.2 解析結果

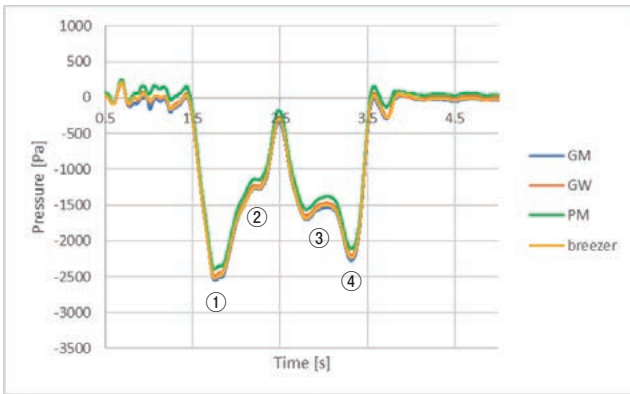
図11に各時刻の表面圧力分布を示す。時刻 0.85s ではトンネル内の列車前方の圧力が高く、大きさは最大で+2000Pa程度である。時刻 1.7s と 2.75s では列車周りの圧力が低く、最小で-2000Pa 近くである。その後時刻 3.75s では列車後方の圧力が高く、最大で+2000Pa程度である。

図12に歯車箱通気部圧力の時間変化を示す。時刻 1.7s (図中①)と3.3s (④)に負圧のピークが存在し、大きさは-2500Pa 前後である。1.7sのピークの後(②)と3.3sのピークの

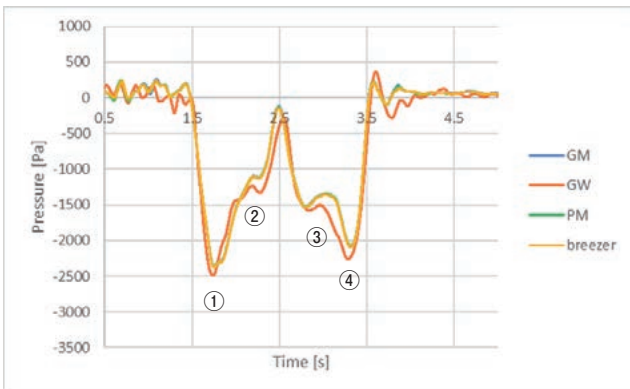
前(③)で圧力変化が鈍くなる。また、すべての通気部について、ほぼ同様の圧力変化が見られる。



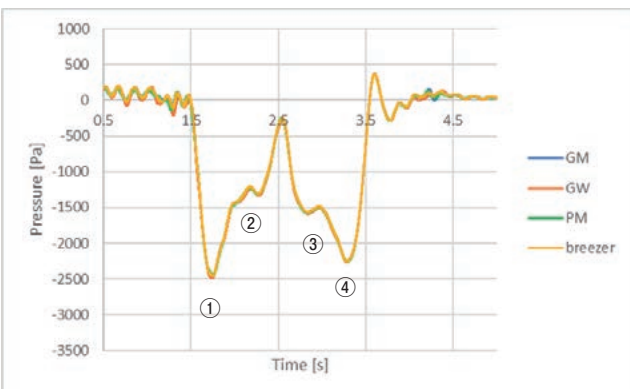
■ 図11 表面圧力分布
Fig.11 Distribution of surface pressure



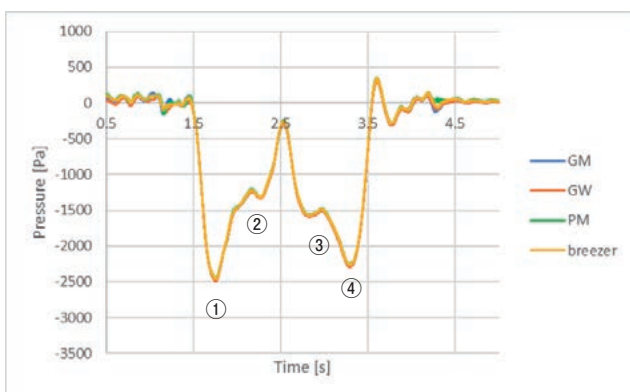
(a) 歯車番号1
Gearbox No.1



(b) 歯車番号2
Gearbox No.2



(c) 歯車番号3
Gearbox No.3



(d) 歯車番号4
Gearbox No.4

■ 図12 歯車箱開口部圧力の時間変化
Fig.12 Time variation of pressure on gearcase opening

3.3 考察

図11の表面圧力分布について検討する。(a)～(d)で再現されている現象について、以下のように考える。

- (a)列車先頭がトンネルに突入し、圧縮波が形成され、前方へ伝播
- (b)列車後端がトンネルに突入し、膨張波が生じ、列車を追い越す
- (c)列車先頭がトンネルを退出し、膨張波が発生し、列車とすれ違う
- (d)列車後端がトンネルを退出し、圧縮波が後方へ伝播

図12に示す、歯車箱開口部の圧力変化について論じる。図中①の圧力低下は列車後端突入で発生した膨張波が列車を追い越すことによると考える。その後 2.5 s にかけて圧力が 0Paへ上昇するが、これは膨張波が反射し圧縮波に転じ、列車とすれ違うことによると推測する。②で圧力変化が鈍るのは、後端突入による膨張波と相殺するためと予想する。

2度目の圧力低下(④)は、列車先頭退出で発生した膨張波とのすれ違いによるものと考え。③における圧力変化の鈍化は、2.5sに0Paまで上昇させた圧縮波と相殺するために起きると予想する。

なお、列車先頭のトンネル突入時に生じる圧縮波は、トンネル前方で反射し膨張波となって初めて列車とすれ違うが、反射時に大きく減衰していると考え。また列車後端退出時、列車全体が既にトンネル外へ出ているので、列車後端のトンネル退出時に発生する圧縮波は列車とすれ違わない。以上により、歯車箱通気部が正の圧力になる時間はほとんどないと推測する。

4. むすび

本論文では、高速鉄道車両が走行する際の車体周りの空気流れについて数値解析を行い、以下の結論が得られた。

1編成が単独で明かり区間を走行する場合

- ・歯車箱、モータが設置された台車部は、そうでない台車部に比べて形状が複雑であり、流れが乱れやすい。そのため流速が大きく、車体や各装置表面の圧力が大きいと考える。
- ・すべての歯車箱通気部について、圧力は±300Paの範囲内である。また、一つの歯車箱に着目した際、通気部圧力の最大最小値の差は300Pa以下である。

1編成が単独でトンネルに突入・退出する場合

- ・列車後端のトンネル突入、列車先頭のトンネル退出時に発生した膨張波により、歯車箱通気部の圧力が急激に低下し、その大きさは-2500Pa程度である。
- ・歯車箱通気部が+500Pa以上の圧力になることはない。こ

れは、列車先頭のトンネル突入・列車後端のトンネル退出により生じる圧縮波が、発生直後に列車とすれ違うことがないためと推測する。

今後はラビリンス流路の入口および出口に本結果の圧力を適用して空気流れを解析し、流出流量を求め、その結果から潤滑油の漏出量を推定する。さらに推定結果を実験と比較し、本解析の妥当性を検証する必要がある。

参考文献

- [1] 井門敦志, 岩崎誠:「現車試験による車両底面と地面の間の流れ場の解明」鉄道総研報告 第30巻 第7号, 2016年7月, pp.35-40
- [2] 井門敦志, 小濱泰昭:「鉄道車両の床下形状平滑化による空気抵抗低減についての研究」日本機械学会論文集(B編) 第71巻 第703号, 2005年3月, pp.73-80
- [3] 田中靖幸, 菊池勝浩, 飯田雅宣, 高橋亮一:「列車のトンネル突入・退出時に坑口から放射される圧力波の現地測定」日本機械学会論文集(B編) 第67巻 第602号, 2001年10月, pp.82-89

執筆者略歴



町田 佑季

2017年入社。現在、研究所技術研究部CAE研究室に所属し主にCAE解析に従事。