

S1-4-4. 単線トンネルを高速で走行する列車が受ける圧力変動

—第 4 報 編成中の測定車両の違いが圧力変動に及ぼす影響—

○岸 裕 (西日本旅客鉄道) 廣田 幸彦 (西日本旅客鉄道)

学 [機] 林 涼平 (金沢工業大学院) 正 [機] 中島 円 (金沢工業大学)

正 [機・電] 平間 淳司 (金沢工業大学) 正 [機・電] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

Fluctuation of Atmospheric Pressure in a Train Running in a Long, Single-Track Tunnel at High Speed

Hiroshi Kishi, (West Japan Railway Co.)

Yukihiko Hirota, (West Japan Railway Co.)

Ryohei HAYASHI, (Kanazawa Institute of Technology 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa)

Madoka NAKAJIMA, (Kanazawa Institute of Technology)

Junji HIRAMA, (Kanazawa Institute of Technology)

Kazuhiko NAGASE, (Kanazawa Institute of Technology)

The authors had installed an event recorder to a conventional JR Ltd EMU, and previously discussed the behavior of the pressure fluctuation which was piled-up in the recorder and recorder in a long single track tunnel, which was equipped a signal station in the mid-center of the tunnel. A newly maid event recorder have been installed on the newly built JR Ltd EMU, which can operate higher speed than the conventional EMU, and the same fluctuation pressure was measured. As the result of the investigation gained from the new EMU, it was found that the pressure was much changed according to the car-position, and that the behavior of pressure of the head-end car was strongly affected by the pressure wave which was originated by the opposite-headed train when the opposite train rushed into the tunnel.

キーワード: 鉄道、トンネル、圧力変動、圧力波

Keyword: Railway, Tunnel, Pressure Fluctuation, pressure wave

1. はじめに

当研究の第 1 報<sup>1)</sup>では、単線長大トンネルを高速走行する列車は対向列車がトンネル突入する際に生じる圧力波の影響を大きく受けること、信号所で対向列車と交換した後、両列車間にいわゆる「引き合い現象」が生じて車内気圧が顕著に低下することを明らかにした。続いて第 2 報<sup>2)</sup>では、単線長大トンネル内で交換する 2 列車のうちの一方の列車で得られた測定結果から相手方列車の挙動を調査する方法を提案し、この方法を用いて「引き合い現象」の詳細を明らかにした。前年の J-Rail'03 では第 3 報<sup>3)</sup>として、単線長大トンネル内にある信号所で交換が行われる列車について、対向列車がトンネル突入時に形成する圧力波の影響の調査報告をした。

このように、同線区を高速走行する在来特急編成の連結位置が中央の車両が受ける圧力変動を継続的に計測し、圧力変動に及ぼす様々な因子を特定してきたが、連結位置の異なる車両が受ける圧力変動については明らかにされていなかった。そこで運用車両の変更に伴い、新型特急編成で連結位置が上り方向で見た先頭車を測定対象として新規に自動計測装置を搭載し長期間計測を行った。本報ではこの計測結果について報告する。

2. 測定装置

現在計測を行っている計測システムの前身は 1999～2001 年度までの間、在来形 8 両編成列車に搭載し、当研究の J-Rail'03 までの報告は、この在来特急列車で取得されたデータを用いて様々な圧力変動因子についての解明を行ってきた。そのシステムの詳細については J-Rail'02 の本研究を参照されたい。

2003 年度以降は運用列車の変更に伴い、新型特急列車 9 両編成に新規に計測システムを搭載し計測を開始した。計測システム上の変更点は、急激な気圧変動に対応できるよ

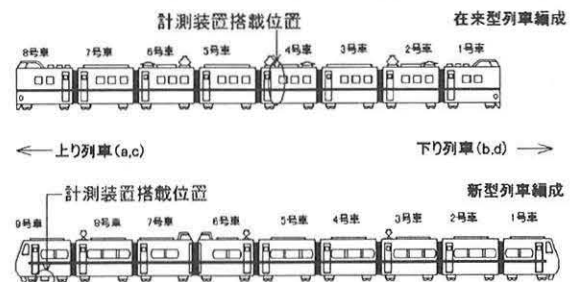


図 1. 測定装置搭載車両の連結位置

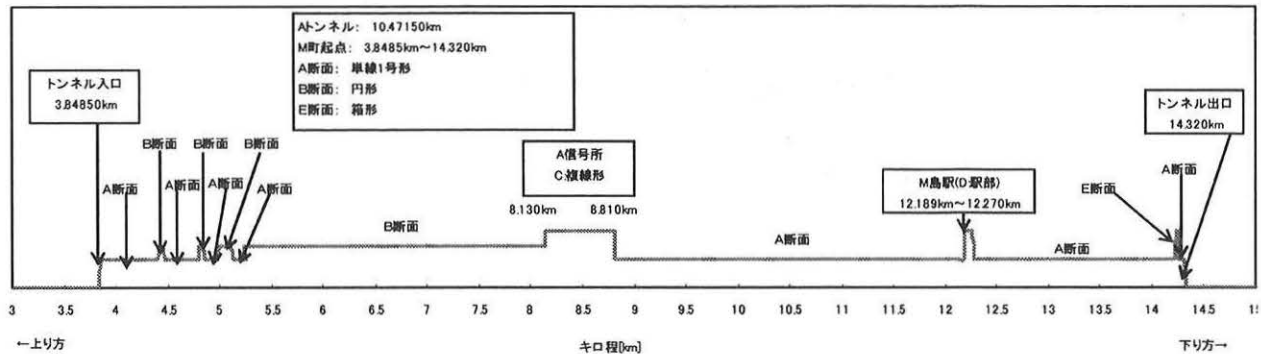


図2. Aトンネルの構造図

う分解能を 1.2s から 0.5s に上げたことである。それぞれの搭載位置と車両番号は図1に示すとおりであるが、計測システム設置位置は新型編成では車両床下の機器箱へと変更している。

### 3. 調査方法

本研究では、図1に示すとおり在来特急編成と新型特急編成とで計測車両の連結位置が異なり、さらに新型特急編成では進行方向によって、測定車両の連結位置が先頭車と最後尾車に変化する。そこで、進行方向別に圧力変動値の推移を解析することとした。

調査対象トンネルは、図2に示すような同編成が高速走行するAトンネルとする。同トンネルはJ-Rail'02および'03で取り上げたものと同様の長大単線トンネルであり、トンネル中央部に列車交換を行うことのできるA信号所を備える。

調査対象列車は、在来特急・新型特急編成共にa・b・c・d列車の4列車とする。a・cは上り列車でb・dは下り列車である。aとb列車はトンネル内A信号所で互いに停車して交換後、同時発車する。一方、cとd列車は信号所で他列車と交換することなく走り抜ける。

### 4. 解析結果

#### <4.1>上り列車に生ずる圧力変動の解析結果

##### <4.1.1>信号所で交換無しに通過する列車

在来型と新型のc列車がAトンネルを走行した際に計測された圧力変動値の推移を図3に示す。同図のx軸に起点のキロ程、y第1軸にT駅の大気圧との気圧差、y第2軸に測定車の走行速度を示す。また、上り列車であるので値はグラフ右側から左側へ推移している。

在来型と新型の走行速度の推移は、出口付近のキロ程4km地点付近での減速地点が少々異なる以外はほぼ同様であり速度差は少ない事が分かる。また、4km付近の減速までのそれぞれの最高速は、在来型が約5.2km地点で

130km/hであるのに対し、新型は4.2km付近で138km/hとなっている。

同図の圧力変動値の推移を見ると、在来型と新型の計測値に差がある事がわかる。この差が顕著に見られるのは、トンネル突入時と進出時である。在来型の計測値はトンネル突入時に8hPa程度の増圧が生じているのに対し、新型は約15hPaの増圧となっている。またトンネル進出時には、減圧されていた状態から大気圧に戻ることに伴い、在来型では約20hPaの圧力上昇が発生しているが、新型では5hPa程度である。

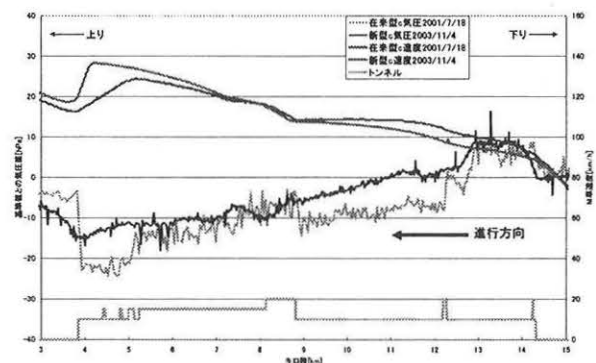


図3. トンネル内で交換しない上り列車の圧力変動

##### <4.1.2>信号所で交換を行う列車

続いて、対向列車が存在し内部の信号所で交換・離合するパターンの解析結果について述べる。図4に在来型と新型のa列車の解析結果を示す。

両列車のトンネル走行時の速度の推移を比較すると、新型の方が全体的に高速走行していることが分かる。減速点にも差があるものの、トンネル突入および突出時の速度差は10km/h以下である。

2列車の圧力変動値の推移を見ると、信号所での交換前後共に大きく異なっていることがわかる。信号所停車までの圧力変動から見ていくと、新型a列車はキロ程9.5km付

近で 35hPa 近くの急激な圧力上昇を生じている事が分かる。これは、対向列車である b 列車がトンネル突入時に形成した圧力波が a 列車に伝播したためである。一方、在来型 a 列車は信号所停車までの圧力変動が先に示した図 3 の在来型 c 列車と大きく変わらない。

このように在来型 a 列車と新型 a 列車とで、信号所停車までの圧力変動が異なる理由は、在来型車の計測では b 列車が先にトンネルに突入した後 a 列車が突入するのに対し、新型車の計測では a 列車がトンネルに突入した後に b 列車が突入するダイヤとなったためである。一方、J-Rail'02 で述べた a・b 列車が信号所停車後に同時発車することは、ダイヤ改正後も変わらない。このことから、在来・新型 a 列車共に信号所発車後に引き合い現象が生ずる事になる。

信号所発車後の 2 列車の圧力変動からは、在来型は引き合い現象により徐々に圧力下降しトンネル突出直前まで約 40hPa の減圧が生じている事が分かる。これは、先に述べたトンネル内で交換を行わない在来型 c 列車と比べて、出口直前のキロ程 4 km 付近で 20hPa 近く低圧である。これに対して新型 a 列車の場合は、引き合い現象が生じているにも関わらず、大きな圧力減少が発生していないが、前項の新型 c 列車と比較すると、トンネル出口近辺で 5hPa の減圧となっているので、僅かながらではあるが引き合い現象の影響を受けている事が分かる。

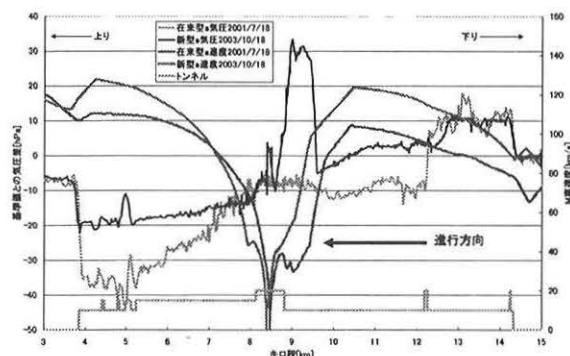


図 4. トンネル内で列車交換する上り列車の圧力変動

#### 4.2 下り列車に生ずる圧力変動の解析結果

##### <4.2.1> 信号所で交換無しに通過する列車

図 5 に在来型と新型の d 列車が A トンネル走行時に受けた圧力変動の推移を示す。まず、それぞれの走行速度の推移に注目すると、トンネル突入・突出時はこれまでのものと同様であるが、新型 d 列車はトンネル内部で 140km/h まで加速をしている事が分かる。特に、A 信号所通過時の速度は 130km/h を超えている。

2 列車の圧力変動の傾向は、3.8km 地点のトンネル突入時から異なっており、在来型 d 列車は約 15hPa の圧力上昇を生じているのに対し、新型は 5hPa の圧力下降を生じている。トンネル突入時に圧力下降する現象は、これまで

述べてきた列車では見られないものである。

また、新型列車については A 信号所通過時にも他の列車には見られない特徴的な圧力変動が見られ、信号所進入時に 8hPa 程度の圧力上昇を受けた後、進出時に 15hPa 程度の減圧を生じている事が分かる。これは、測定車両の連結位置が最後尾車両であるため、列車後部の空気の流れの影響を受けているからではないかと考えている。3.8km のトンネル突入時に圧力減少が生じる理由は、列車後部の空気が膨張する影響を受けているためだと考えられる。また 8.1km 地点の信号所進入時の圧力上昇は、それまでの走行で減圧された状態から断面の広い信号所の C 複線形断面に進入することにより、信号所内の大気圧に戻るためと考えている。その後の 8.8km の信号所進出時付近で生じる減圧は、断面が再び C 複線形から A 単線一号形に変化することにより、車両後部の空気が膨張するためではないかと考えている。

9km 以降の信号所進出後の圧力変動には、新型と在来型ともに変化量に大きな変化が無い事が分かるが、トンネル進出時にはそれまでの減圧量の影響を受けて、新型列車の方が大きな圧力上昇をしている事が分かる。

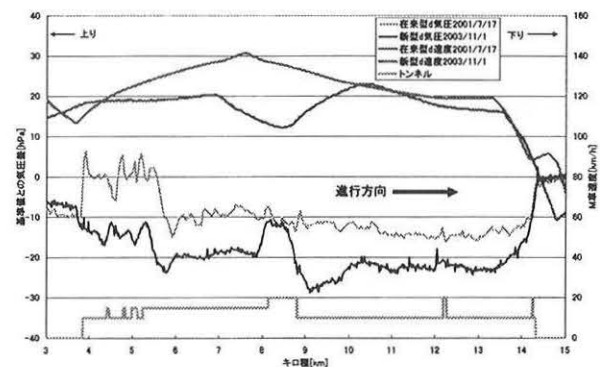


図 5. トンネル内で交換しない下り列車の圧力変動

##### <4.2.2> 信号所で対向列車と交換する列車

図 6 に A 信号所で交換を行う b 列車の圧力変動の推移を示す。走行速度については、4.1.2 で取り上げた a 列車の場合と同様で、新型の方が高速で走行している事が分かる。

トンネル突入から A 信号所停車までの間の圧力変動の推移に注目すると、突入時には 4.2.1 の d 列車の場合と同じような傾向が見られるが、その後は明らかに異なる特徴的な圧力変動をしている。これは 4.1.2 でも述べたとおり対向列車が存在するためである。J-Rail'03 では在来型 b 列車が、反対方向から遅れてトンネル突入する a 列車がトンネル突入時に形成する圧力波を受けて、5.3km 地点で急激な圧力変動を受けていることを報告した。これに対して新型 b 列車の場合は 4.1.2 でも述べた通り、新型 a 列車よりも遅れてトンネル進入することから、対向列車が形成した圧

力波を受けない。

信号所発車のダイヤについては、在来型・新型共に対向列車と同時発車であるため、引き合い現象の開始点は双方とも信号所発車時であるが、この後の 2 列車の圧力変動の傾向は異なっている。双方とも 12km 地点の M 島駅近辺で最大の減圧値を取っている事が分かるが、新型の方が 10hPa 近く減圧量が多い事が分かる。このような差が生じた原因は、その地点までの走行速度が新型の方が 20km/h 近く高いことと、測定車両の連結位置が最後尾であることが影響しているのではないかと考えられる。

また在来型は、その後の約 13.8km 地点で 30hPa 近くの急激な圧力上昇をしている。これは、J-Rail'02 で報告した通り、対向列車が先にトンネルを進出したために形成された圧力波が伝播したものである。これに対して、新型の場合は同じような圧力上昇をしていない。これは、新型 b 列車が対向の a 列車とほぼ同時にトンネルを進出するためである。そのため、対向列車がトンネル突出時に形成する圧力波の影響を受けないものの、自車がトンネル進出まで引き合い現象を続けることとなる。

しかし、13km 地点からトンネル出口の 14.3km までは、引き合い現象の影響を受けているにも関わらず圧力減少をしていない。これは、新型 b 列車がトンネル出口の速度制限に備えて減速を開始しているためであり、引き合い現象による減圧が緩和されたのだと考えられる。

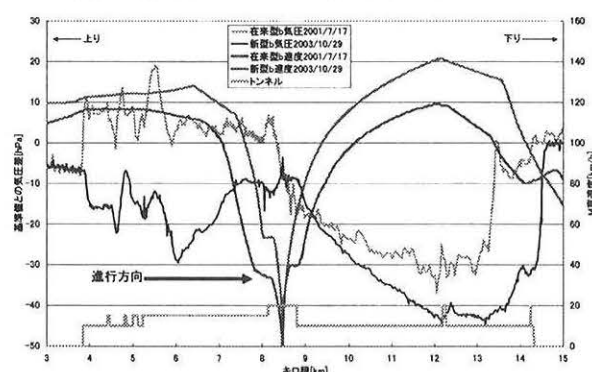


図 6. トンネル内で交換する下り列車の圧力変動

#### <4.3> 測定車両の連結位置の違いによる圧力変動の傾向

測定車両の連結位置が中間車両である場合は、進行方向によって圧力変動は大きく変わらないことが分かった。

測定車両が先頭車である場合、トンネル突入時には中間車両で測定した場合とほぼ変わらないが、トンネル進出時の圧力変動小さい。また、対向列車がトンネル突入時に発生させた圧力波を受けた場合は顕著な圧力変動をする。一方、引き合い時には大きな圧力変化を受けないことが分かった。

測定車両が最後尾車両である場合は、トンネル突入時に圧力減少をすることが分かった。また、トンネル走行中に

加速すると圧力減少が起こる。そのため、引き合い現象が発生した場合には、トンネル出口近辺で大気圧との気圧差が大きくなり、トンネル出口部で大きな圧力上昇をすることがある。

以上のことから、顕著な圧力変動因子である圧力波を受けた際に最も大きな圧力上昇をするのは先頭車両であり、同様の引き合い現象を受けた場合に最も大きな圧力減少をするのは最後尾車両であることが分かった。

#### 5. 結論

在来線の長大単線トンネルを特急電車が高速で通過する際に生じる顕著な気圧変動が、編成中の測定車両位置によって異なると推定されることに鑑み、そのようなトンネルが多数存在する線区を高速で運転する特急電車の端部車両に運転状況と車内気圧を連続記録できる装置を取り付け、トンネル通過中に列車が受ける気圧変動を長期間測定した結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 測定車両の編成中の連結位置によってトンネル走行中に生じる圧力変動の傾向が異なることがわかった。
- 2) 測定車両が先頭車である場合、対向列車が発した圧力波等の進行方向側から生ずる圧力変動因子の影響を大きく受ける。
- 3) 測定車両が最後尾車両である場合は、引き合い現象に代表される進行方向と逆側から生ずる圧力変動因子の影響を大きく受ける。

#### 参考文献

- 1) 永瀬和彦、平間淳司、阿部剛、田邊永吾、上村哲司：単線長大トンネルを高速で走行する列車が受ける圧力変動、J-Rail'99, pp.295-298, 1999.
- 2) 笠原純、田邊永吾、平間淳司、永瀬和彦：単線長大トンネルを高速で走行する列車が受ける圧力変動、J-Rail'02, pp.295-298, 2002.
- 3) 中島円、岸裕、大平見彦、不破邦博、笠原純、平間淳司、永瀬和彦：単線トンネルを高速走行する列車が受ける圧力変動、J-Rail'03, pp.49-52, 2003.