

S1-4-3.

内部に信号所のある長大単線トンネル内で離合する列車が受ける圧力変動

—第 1 報 引き合い現象が発生した場合の圧力変動—

○学〔機〕林 涼平 (金沢工業大学院) 廣田 幸彦 (西日本旅客鉄道)

岸 裕 (西日本旅客鉄道) 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)

Pressure Fluctuation in a Single Track Tunnel,

Originated since the One Train Exchange with the Opposite Headed Train at a signal Station.

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

Yukihiko Hirota, (West Japan Railway Co.)

Hiroshi Kishi, (West Japan Railway Co.)

Madoka NAKAJIMA, (Kanazawa Institute of Technology)

Junji HIRAMA, (Kanazawa Institute of Technology)

Kazuhiro NAGASE, (Kanazawa Institute of Technology)

On event recorder was installed on a JR Ltd. EMU which operated with high speed through a signal track long tunnel, equipped a signal station in the mid-center. Pressure Fluctuation occurred in the EMU was continually measured by the event recorder. In the course of the investigation into the data piled up in the recorder, it was found that large Pressure Fluctuation was occurred in the EMU after when the EMU was exchanged with the opposite headed train at the signal station in the single track long 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

筆者らは、これまでに単線トンネルを高速で走行する列車が受ける圧力変動と題して、実際の車両に搭載した計測システムより得られた情報から、在来線特急が単線長大トンネル内で受ける圧力の変動に関与する因子の解明を行ってきた。この内、トンネル内の信号所で 2 列車が交換後に生ずる「引き合い」は最も特徴的な圧力変動に及ぼす因子の一つである。J-Rail'99¹⁾においてはこれによって信号所で対向列車と交換後に車内気圧が顕著に低下することを報告した。さらに J-Rail'02²⁾においては、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するとともに、これにより得た結果を明らかにした。

しかし、ここで述べた内容は単線長大トンネル内信号所で列車交換後に同時発車する場合に限ったものであった。そこで様々な運用に用いられる新型特急編成に自動計測装置を搭載し継続的に計測を行ったところ、片方が停車中にもう片方が通過するような運転パターンにおいても特徴的な圧力変動が生じていることを確認した。本報では、これらの解析結果についての報告をする。

2. 測定装置

この問題に関する研究では、1999～2001 年度の間は計測システムを在来型 8 両編成列車に搭載し、そこで得た結果を J-Rail'02 及び 03³⁾で報告した。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 2 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。なおセンサの設置位置は在来型は 4 号車、新型は 9 号車である。

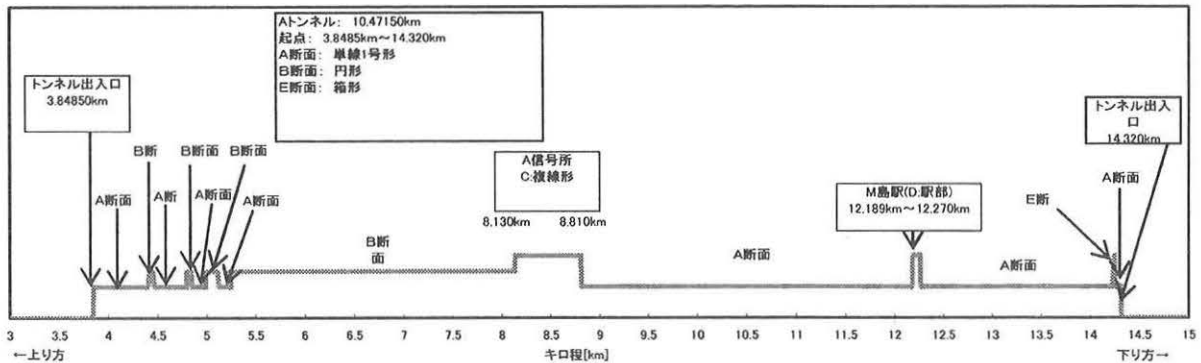


図1. Aトンネルの構造図

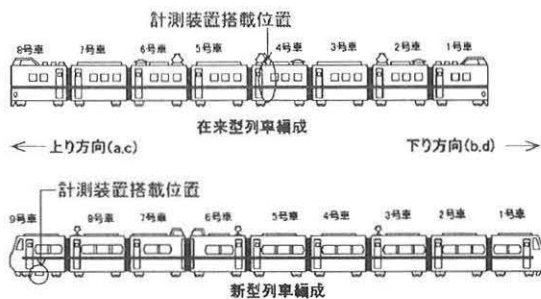


図 2. 列車の編成と測定装置搭載位置

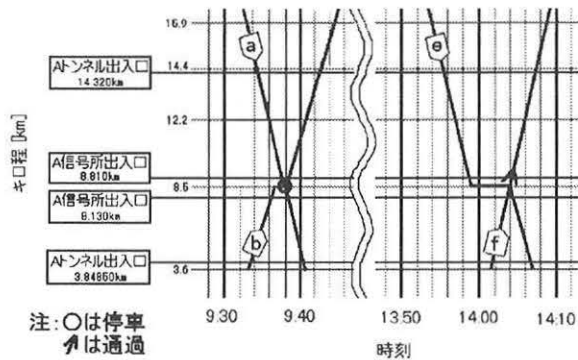


図3. 新型特急編成のAトンネル内のダイヤ

3. 調査方法

調査対象トンネルはJ-Rail'02および'03で取り上げたものと同様の図1にその断面形状を示す長大単線トンネルで、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。またトンネル両出入口には速度制限があり、上り方入り口は120km/hで下り方入り口は90km/hである。調査対象列車の運転状況を図3のダイヤに示す。図中の→は通過、○は停車を示す。なお、使用される編成はa及

び b 列車は在来型及び新型の双方で、e 及び f 列車は新型だけである。

測定列車がトンネル走行中に測定した圧力変動波形から引き合い現象の開始点と終了点を特定するためには、対向列車の在線状況を把握する必要がある。a・b 列車は信号所を同時に発車するので相手列車との相互位置特定は容易である。

しかし新型 e・f 列車については、e 列車が A 信号所停車中に f 列車が通過して列車交換を行うので、引き合いの開始点と終了点が簡単に特定できない。そこで、ここでは一方の列車が得た圧力変動波形から対向列車の挙動を推定することとした。一方の列車である e 列車の A 信号所停車中の圧力変動の時間変化を図 4 に示す。同図は x 軸を e 列車がトンネル突入後の経過時間、y 第 1 軸を T 駅の大気圧を基準とした圧力差、y 第 2 軸を測定車の走行速度としている。

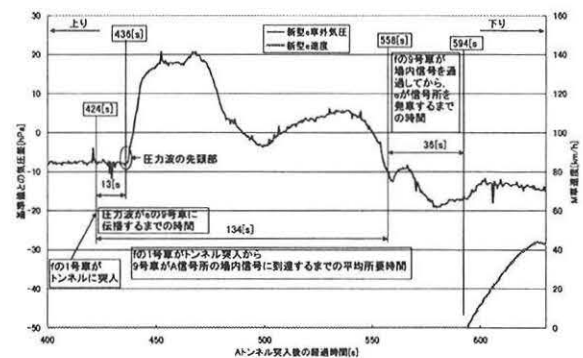


図4. 新型e列車のA信号所停車中の圧力変動

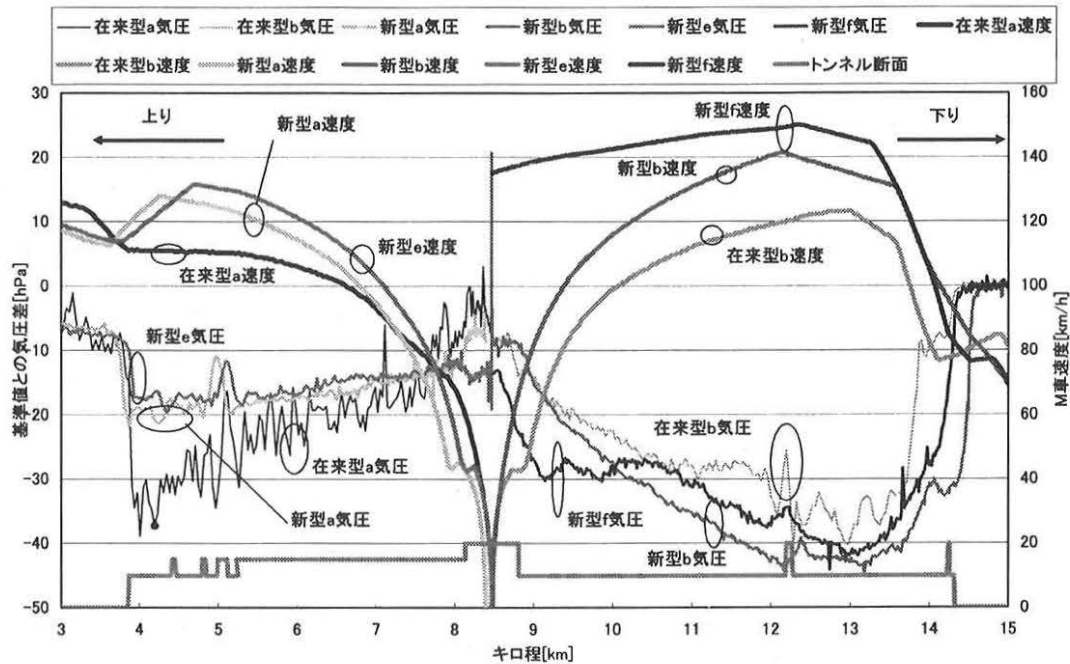


図6. Aトンネル内での気圧変動

図4を見ると、e列車がトンネル突入から436s後でf列車の圧力波がe列車9号車(測定装置搭載車)に到達し約28hPaの圧力上昇をしている。トンネル入口からe列車9号車までの圧力波の伝播時間は約13sであることから、この圧力波による圧力変動を受ける13s前にf列車はトンネル突入をしたことになる。また計測データの距離及び時刻情報から、f列車の先頭がトンネル突入をし、最後尾車がA信号所の場内信号機を通過するまでの平均時間は約134sである事がわかった。この時刻に対向のf列車が信号所を通過したとすれば、e列車はそれから約36s後に信号所を発車している。この値はポイント切り換えや場内信号が切換る所要時間を考えると妥当である。

4. 解析結果

図6に各列車のA信号所通過後からトンネル進出までの走行速度と圧力変動値を走行距離での推移で見た図を示す。同図はx軸を起点のキロ程、y第1軸をT駅の大気圧を基準とした圧力差、y第2軸を測定車の走行速度としている。引き合い現象が生じる状況は信号所発車後であるので、各列車とも信号所からトンネル進出までの推移を示しており、中央のA信号所から上り列車は左に向かって、下り列車は右に向かって推移している。図6は全ての列車の別の日のデータを重ねたものであるが、信号所で交換を行う2列車を信号所通過後から同時に表示することで、引き合い現象を生じている双方の列車の圧力変動をみる事ができる。互いに引き合う列車は在来型a列車は在来型b列車、新型a

列車は新型b列車と、新型e列車は新型f列車と引き合う。このうち、a・b列車は同時発車であるが、f列車はe列車が信号所退避中に通過する。

<4.1>在来型列車が信号所で交換後に同時発車する場合
はじめに、図6の在来型a・b列車での引き合い現象についての解析結果から見ていきたい。まずそれぞれの走行速度の推移を見てみると、在来型a列車は信号所出発後110km/hまで加速を行いそのままトンネル進出しており、在来型b列車は約13km地点まで127km/hまで加速を行った後、トンネル出口の速度制限の90km/hまで減速している。また、新型a列車については127km/hまで加速した後に113km/hまで減速を行っており、新型b列車については12km地点で142km/hまで加速を行った後、出口の速度制限のために82km/hまで減速している。

この時の圧力変動については、信号所を同時発車後した直後から両列車は引き合い現象の影響を受け、両列車に最大で35hPa程度までの圧力低下がある。また、b列車はトンネル進出より前の14km地点から圧力上昇が始まっている。そこで、2列車の信号所発車からトンネル進出までの所要時間を調査したところ、a列車は約198sで、b列車は約242sであった。よって、b列車がトンネル進出前に圧力上昇をする理由は、b列車より先にa列車がトンネルを進出する際に生じた圧力波が伝播したためだと考えられる。

<4.2> 新型列車が信号所で交換後に同時発車する場合

これらに対して、新型の a・b 列車は在来型のものと以下の点で傾向が異なっている。一つは新型の a・b 列車間で圧力減少値が明らかに異なっており、a 列車が 3.84km の出口付近で 20hPa 程度であるのに対し、b 列車は 13.2km 地点で約 43hPa にも及んでいる点である。この差は、測定車両の前頭に対しての位置が上りと下りで異なるためである。引き合いにより生ずる圧力低下はトンネル内の 2 つの列車の間で顕著に起こると考えられる。それに最も近い位置にある下り列車最後尾となる b 列車の 9 号車は圧力が大きく低下し、一方上り a 列車最前部となる 9 号車では大きな圧力低下は生じていない。

さらにもう一つの異なる点は、新型 b 列車には在来型 b 列車で見られた 12km 付近での圧力波の伝播による圧力変動が無いことである。この現象を解明するために、新型 a・b 列車のダイヤ及び実測値から信号所出発からトンネル進出までの時間を調査した結果、a 列車が平均 191s で b 列車が平均 195s だと言う事がわかった。このように、双方の列車がほぼ同時にトンネル進出する場合、両列車はトンネル内走行中は在来型 b 列車のような顕著な圧力上昇が起こらないことが分かった。

<4.3> 新型列車で片方のみが停車待合せをする場合

まず、3 節で述べた e・f 列車の交換を行う時点についての調査結果から引き合いの開始点と終了点を推定したい。通過する f 列車の引き合い開始点については、e 列車が信号所を発車する時点からなので、自車が信号所の場内信号通過後の約 36s 後の 9.8km からである。f 列車の引き合いの終了点については、信号所を通過する f 列車が先にトンネルを進出することが明らかであるので、f 列車がトンネルを進出する時点が引き合いの終了点となる。この時間は、f 列車が場内信号を通過後 36s 後から 120s 後である事がわかった。e 列車の引き合い開始点は信号所発車時であり、終了点は信号所発車後から約 120s 後となり、同列車の測定データよりキロ程では約 6.27km 地点まで引き合い現象の影響を受けていることがわかった。

続いて、e・f 列車に引き合い現象が生ずる範囲を推定した上で、図 6 の圧力変動の推移を見ていきたい。e 列車の圧力変動は新型 a 列車とほぼ変わらず、顕著な圧力低下は起きていない。これに対し、f 列車は新型 b 列車と圧力減少の推移が異なる。特に、信号所通過直後の 8.5~10km までの圧力変動が大きく異なり、新型 b 列車に対して f 列車の方が 10hPa 近く減圧されている。f 列車に引き合い現象が生ずるのは 10.3km 以降となるので、引き合い現象によるものではない。この原因は、測定車両の連結位置が最後尾となる e 列車が信号所を高速通過していることにより生じる圧力低下の影響を受けているためだと考えている。同様の圧力変動は、単独走行する下り列車にも見られている。この詳細は、J-Rail'04 で報告予定の「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—」を参照されたい。

引き合い現象が生じた部分の新型 b・f 列車の圧力変動の推移を比較すると、走行速度が低いものにも関わらず新型 b 列車の方が 5hPa 程度低い。そこで、引き合い現象に影響を及ぼしていると考えられる対向列車との相対速度の差の比較を行った。新型 b・f 列車が最大の減圧値をとる 13km 地点を通過する時点での速度は、b 列車は 135km/h で f 列車は 145km/h であり、その時点での対向列車の速度は a 列車は 107km/h で e 列車は 43km/h であった。よって、それぞれの相対速度は新型 a・b 列車は 242km/h で、新型 e・f 列車は 188km/h であった。以上の結果より、明らかに相対速度では新型 a・b 列車の方が高いため、圧力低下量が多いのではないかと考えた。

5. 結論

在来線の長大単線トンネル内の信号所で、特急電車が交換後に離合する際に生じる圧力変動を調査した結果、以下のような事が分かった。

- 1) 編成中の連結位置が最後尾の車両は引き合い現象の影響を受け顕著な圧力低下が発生するのに対し先頭車への影響は微少である。
- 2) 対向列車の挙動をトンネル内で引き合い状態で 2 列車が走行する場合、自車で測定した圧力変動値の推移から特定する事ができることがわかった。
- 3) トンネル内の信号所で列車交換した 2 列車が背向して走行する状態から双方の列車がほぼ同時刻にトンネルから進出した場合、双方の列車はトンネル内走行中は顕著な気圧上昇は生じない。
- 4) 引き合い現象は引き合う列車同士の相対加速度に依存しており、双方列車が引き合うときの相対速度が高いほど圧力低下量が増える可能性がある。

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.