

S1-1-1 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2報 対向列車がトンネル内に在線する場合に受ける圧力変動—

○[機] 中島 円 (金沢工業大学) 荒木 憲一 (西日本旅客鉄道)

林 涼平 (金沢工業大学院) [機・電] 平間 淳司 (金沢工業大学)

[機・電] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

Pressure Fluctuation in a Single Track Tunnel,
Originated since the One Train Exchanges with the Opposite Headed Train at a Signal Station.

Madoka NAKAJIMA, (Kanazawa Institute of Technology 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi, Ishikawa)

Kenichi ARAKI, (West Japan Railway Co.)

Ryohei HAYASHI, (Kanazawa Institute of Technology)

Junji HIRAMA, (Kanazawa Institute of Technology)

Kazuhiko NAGASE, (Kanazawa Institute of Technology)

An event recorder was installed in a JR Ltd. EMU which was operated with high speed through a signal track long tunnel equipped a signal station near the tunnel entrance, and the atmospheric pressure in the EMU was measured. As the result, it was found that a remarkable pressure decrease is not occurred when two trains run in the opposite direction in the case that a signal station is located near a tunnel entrance, and a pressure increase which is occurred when the one train enters into the tunnel is strongly affected by the running location of the opposite headed train.

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。J-Rail'99¹⁾においては単線長大トンネルを走行する列車は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に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。また J-Rail'02²⁾、03³⁾、04⁴⁾においては、トンネル中央付近に列車交換を行う信号所が存在する単線長大トンネルに注目し、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、対向列車がトンネル進入時に形成する圧力波が圧力変動に及ぼす影響、測定車両の違いによる圧力変動値の変化を報告した。さらに、当研究の第1報⁵⁾では、長大単線トンネル内で片方の列車が

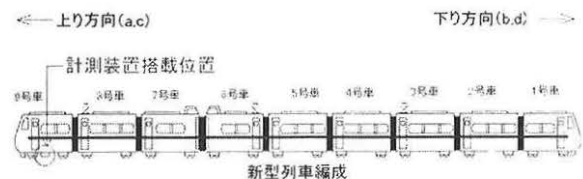


図1 測定装置搭載車両の連結位置

停車中にもう一方の列車が通過する運動パターンにおける圧力変動の詳細を明らかにした。

このように単線トンネル内を走行する列車の圧力変動に及ぼす因子について様々な視点から研究してきたが、これまでの研究は信号所がトンネル内のほぼ中央に存在する場合に限ったものであった。本報では、信号所が片方のトンネル入口に近い位置に存在する場合における列車の圧力変動を測定したところ、信号所がトンネル中央部に存在する場合とは異なる特徴を示すことを確認したので、この計



図2 Yトンネルの構造図

測結果について報告する。

2. 測定装置

本研究で用いた計測システムはJ-Rail'04⁵⁾で報告したものと同一である。2003年度以降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ている。測定サンプリング時間は0.5sである。図1に計測装置搭載位置と車両番号を示す。計測システムは9号車車両床下の機器箱へ設置している。

3. 調査方法

調査対象のYトンネルは図2に示す断面形状を持つ長さ6.199kmの長大単線トンネルである。キロ程23.8km地点には列車交換を行うことができる信号所を備える。Yトンネル両出入口には速度制限はない。調査期間は2005年3月～2005年8月である。

調査対象列車は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列車は信号所で互いに停車して交換後、同時発車する。a列車はほぼ定刻に信号所に到着するが、b列車はダイヤの都合上信号所到着が遅延する傾向にある。cとd列車は信号所で列車交換することなくトンネルを走り抜ける。

4. 測定結果および考察

4. 1 信号所で列車交換を行う場合と行わない場合のトンネル走行中の圧力変動

図3に上りのa列車およびc列車がトンネル走行時に受ける圧力変動の推移を示す。測定車両は先頭車、進行方向は右から左である。図の横軸は起点からのキロ程にトンネル位置を併記し、縦第1軸をトンネル近隣のT駅通過時に計測した大気圧を基準とした圧力差、縦第2軸を測定車の走行速度としている。これまでの研究報告と同様に、c列車においてトンネル入口で24hPaの圧力上昇、24km付近で自車が形成した圧力波がトンネル出口で反射して戻って

きた膨張波による35hPaの圧力低下が見られる。a列車においても同様の傾向が見られるが、信号所停車のため減速しており、複雑な圧力変動を示している。トンネル進入時に生じる圧力上昇に関しては、a列車のトンネル進入速度は117km/hとc列車の速度132km/hと比較して遅いにも関わらずトンネル進入時の圧力上昇量は30hPaとc列車の場合より大きな値となっている。信号所通過後の両列車の圧力は、単線断面トンネル進入と共に増加し、その後低下上昇を繰り返している。これはこれまでに解析した信号所がトンネルの中央に存在する場合の列車の圧力変動には見られない傾向である。本現象はトンネル入口における膨張波の反射、列車の加速による圧力低下、単線断面進入による圧力波の形成等の現象も複雑に絡んでいると推定されるので、その解析は今後の課題である。

図4に下りのb列車およびd列車がトンネル走行時に受ける圧力変動の推移を示す。測定車両は最後尾車両、進行方向は左から右である。また図5にb列車の運転曲線と圧力波伝播状況を示す。圧力波の伝播速度は341m/sと仮定し、図中横軸はトンネル内の位置、縦軸は下向きにトンネル進入からの時間である。列車交換を行わないd列車においては、入口進入後走行と共に圧力が低下し、複線断面である信号所への進入に伴い一旦圧力が上昇するが、単線断面への再進入により再度圧力が低下し、トンネル進出に伴う圧力上昇が見られ、トンネル入口から出口までこれまでの報告と同様の傾向を示すことがわかる。一方、b列車においては、20.87kmで急激な圧力増加、21.305kmで圧力低下がみられる。図5に示すように、自車の先頭車両がトンネル進入時に形成する圧縮波がトンネル出口で反射して膨張波として自車の9号車に到達する位置はキロ程19.96km(図4A地点近傍)であり、図4のB地点で対向列車が形成した圧縮波が到達したと仮定し、圧縮波がトンネル入口で反射して膨張波としてb列車に到達する位置を計算したところC地点と一致することから、この変動はb列車がトンネル内を走行中に対向列車が反対側トンネル入口より進入してきたことによると言える。その後圧力は減速と共に大気圧まで増加していく。信号所出発後圧力が低下していくが、その最小値は単独走行のd列車よりも大き

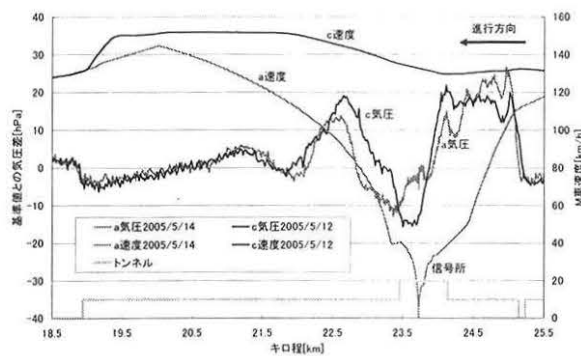


図3 上り列車の運転状況の相違が圧力変動に及ぼす影響

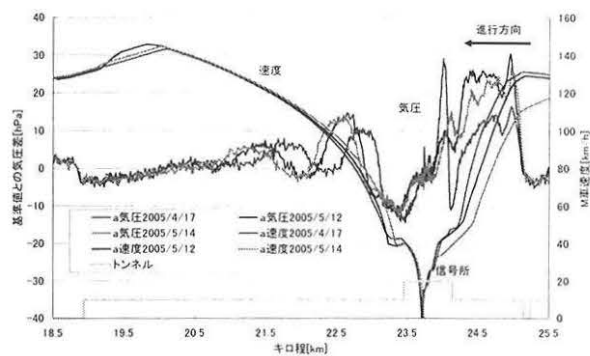


図6 異なる測定日におけるa列車の圧力変動

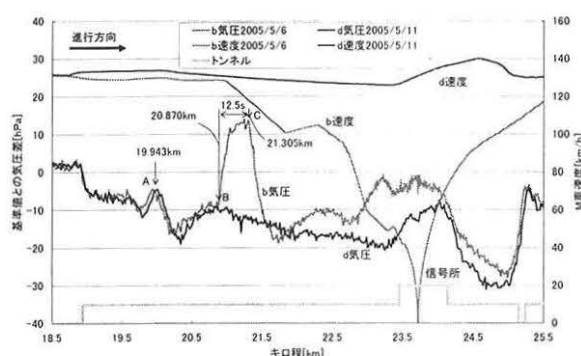


図4 下り列車の運転状況の相違が圧力変動に及ぼす影響

表1 トンネル進入時の圧力上昇量と進入速度

測定日	圧力上昇量[hPa]	進入速度[km/h]
4月17日	21.8	131.0
5月12日	33.9	128.7
5月14日	30.1	111.1

行をしている。表1に各測定日におけるトンネル進入速度と圧力上昇量を示す。圧力上昇量はトンネル進入前の最低圧力と進入後の最大圧力の差とした。図および表よりトンネル進入に伴う圧力上昇量は測定日によって大きく異なることがわかる。4月17日と5月12日は両日も約130km/hでトンネルに進入しているにも関わらず上昇量に約12hPaの差が生じている。また5月14日のトンネル進入速度は117km/hと他2日より遅いにも関わらず30hPaもの高い上昇量を示している。この原因としては、対向列車の走行状態が考えられる。

信号所出発後の圧力に関しては、単線トンネル断面へ進出後圧力が上昇し、その後さらに圧力の増加・減少を繰り返す。この傾向は3日共に見られるが、圧力の変化する位置が測定日により大きく異なる。これは信号所がトンネル中央に位置した場合の解析では見られなかった現象である。原因として信号所を同時発車し反対方向に走行するb列車の走行状態が影響していることが推測できるが、b列車の走行状況を同時測定していないためその要因の解明にはいたっていない。

4.3 a列車のトンネル進入速度と圧力上昇量の関係

図7にa列車がトンネルに進入する際の圧力上昇量と進入速度の関係を示す。図の横軸はトンネル進入速度、縦軸はトンネル進入に伴う圧力上昇量を示している。圧力上昇量の定義は表1の場合と同様である。比較のため列車交換を行わないc列車の結果も示している。原⁶⁾はトンネルに進入する際の圧力上昇量は速度の2乗に比例することを報告している。そこでc列車の結果に対して圧力上昇量が速度の2乗に比例するとして近似線を作成し図中に示した。図中のa列車の結果に対する3種類のプロットは、表2に示す信号所停車時間の違いを示している。c列車の結果と

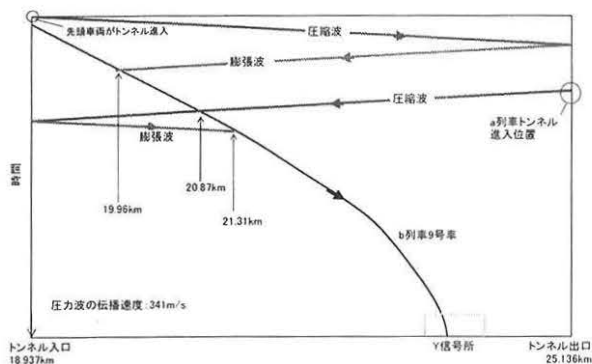


図5 b列車の運転曲線と圧力波の伝播

く、引き合い現象による顕著な圧力低下は生じないことがわかる。これは信号所が出口付近にあり、引き合いを行っている空間に列車側面を通して空気が流れ込みやすいためであると考えられる。よって入口に近い位置に信号所が存在する場合は中央に存在した際に大きな問題になった引き合い現象はそれほど問題にならないことがわかる。

4.2 a列車の圧力変動の測定日による変化

図6に異なる測定日に同一のa列車で計測したYトンネル進入時の圧力変動を示す。測定車両は先頭車で進行方向は右から左である。トンネル進入から信号所停車までは異なる走行をしているが、信号所を出発してからは同様の走

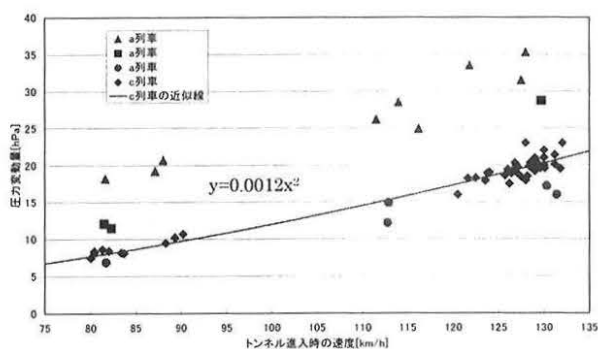


図7 a 列車のトンネル進入速度が圧力変動に及ぼす影響

表2 各プロットに対する信号所停止時間

	信号所停車時間
プロット▲(A 群)	53～108 秒
プロット■(B 群)	30～32 秒
プロット●(C 群)	121～300 秒

比較して同一のトンネルに同形状の列車が同じ速度で進入するにも関わらず、a 列車の圧力上昇値が測定日によって大きくばらつくことがわかる。a 列車が信号所に停車する時間を調べたところ c 列車よりも小さな値を取る場合は停車時間が 120 秒以上であること、c 列車の値より大きな値を取る場合においては、30～108 秒停車していることがわかった。a 列車の信号所停止時間と信号所停止までの運転曲線を用いて、a 列車がトンネルに突入する際に対向列車である b 列車がトンネルのどの位置に在線するかを確認したところ、A、B 群の場合はトンネル内を走行しており、C 群の場合はトンネルには在線していなかった。また、B 群の場合は、b 列車は信号所近くまで走行してきているようである。

図6に示した4月17日の結果において約24km地点で他の測定日には見られないb列車の圧力波の伝播による急激な圧力上昇が見られる。これからも圧力上昇値が他と比べて大きくない場合はトンネル進入時にはまだ対向列車がトンネル内を走行していないことが明らかである。これらの結果より、トンネルに突入する際に生じる圧力上昇は対向列車の走行状態の影響を顕著に受けることがわかる。また、C群の値は列車交換しないc列車より僅かに低下しているが、これはa列車がトンネルを走行する前の列車がトンネル内の気流に変化を及ぼした残余の効果が存在していたと考えている。

5. 結論

信号所がトンネル出入口に近い位置に存在する在来線の長大単線トンネル内を対向して走行する2列車の圧力変動を調査した結果、以下のような事が分かった。

- 1) 信号所がトンネル出入口に近い位置に設置されている場合は、たとえ当該トンネル内を対向状態で運航される2列車が存在しても「引き合い現象」による顕著な圧力変動は生じない。
- 2) トンネル進入時の圧力上昇量は、対向列車の走行状態の影響を強く受け、対向列車がトンネル内に存在しない場合より 15hPa 程度高くなる場合が存在する。
- 3) 信号所がトンネル出入口に近い位置に設置されている場合で複線トンネルから単線トンネル断面に突入する場合は高い圧力上昇を生じる。

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.
- 4) 岸裕、廣田幸彦、林涼平、中島円、平間淳司、永瀬和彦：単線長大トンネルを高速走行する列車が受ける圧力変動、J-Rail'04, pp. 563-566, 2004.
- 5) 林涼平、廣田幸彦、岸裕、中島円、平間淳司、永瀬和彦：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、J-Rail'04, pp. 559-562, 2004.
- 6) 原朝茂：列車が高速で隧道に突入する場合の流体力学的諸問題、鉄道技術研究報告、No. 153, pp. 1-20, 1960