

列車トンネル突入時に発生する圧力波に関する数値解析

Numerical Simulation of Pressure Wave radiated from a Tunnel when a Train Enters a Tunnel

前田一郎, 三菱重工業(株), 〒455-8515 名古屋市港区大江町 10 番地, E-mail: ichiro_maeda@mx.nasw.mhi.co.jp
 海田武司, 三菱重工業(株), 〒455-8515 名古屋市港区大江町 10 番地, E-mail: takeshi_kaiden@mx.nasw.mhi.co.jp
 保坂史郎, 東海旅客鉄道(株), 〒103-8288 東京都中央区八重洲 1-6-6, E-mail: s.hosaka@jr-central.co.jp
 藤井孝藏, 宇宙科学研究所, 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1, E-mail: fujii@flab.eng.ias.ac.jp
 Ichiro MAEDA, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 10, Oye-cho, Minato-ku, Nagoya 455-8515, Japan
 Takeshi KAI DEN, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 10, Oye-cho, Minato-ku, Nagoya 455-8515, Japan
 Shiro HOSAKA, Central Japan Railway Company, 1-6-6 Yaesu, Chuo-ku, Tokyo 103-8288, Japan
 Kozo FUJII, Institute of Space and Astronautical Science, Sagamihara, Kanagawa 229-8510, Japan

When a high-speed train enters a tunnel, two types of pressure waves are radiated. One is called micro-pressure wave which is radiated from tunnel exit as a result of non-linear development of compression waves inside the tunnel. The other is radiated directly from tunnel entrance and affected by the pressure field around the train. The latter one is called *entry wave*. In this study, the numerical analysis of the entry wave is performed. The radiation of the pressure waves is simulated and the wave direction is observed. The results are also compared with the linear acoustics theory.

1. 緒言

列車がトンネルに突入する際には、トンネル内に形成された圧縮波がトンネル反対側坑口でパルス波として放射される微気圧波だけではなく、突入側トンネル坑口から直接トンネル外に放射される圧力波（突入波）が発生することが知られている⁽¹⁾⁽²⁾。突入波は微気圧波同様周辺環境に影響を及ぼす懼れがあり、その低減については今後の高速車両開発における課題のひとつである。本研究では、突入波に関する数値解析を行い、基本的な特性について線形音響理論に基づく理論解析⁽³⁾と比較するとともに、突入波の指向性及び微気圧波との関係を明らかにする。

2. 数値解析手法

支配方程式として一般座標における3次元圧縮性Euler方程式を用いた。非粘性流束は Roe の FDS 法で評価し、その高次精度化には MUSCL 法を採用した。時間積分には LU-ADI 法を適用した。また、列車トンネル突入時の流れ場は移動境界問題となるため、本研究では領域分割法を採用し、そのアルゴリズムには解強制置換法を用いた。

3. 計算結果及び検討

3. 1 計算モデル

本研究では、列車は地上からある高さにある高架上を 500km/h で走行し、トンネル坑口手前に設置された開口部なし緩衝工（微気圧波対策のために設置）に突入する。

3. 2 突入波の発生

理論解析によると、列車先端が緩衝工に突入する際は外部領域からみると列車先端の湧き出しが消滅することになり、負の圧力パルスが外部に放射される。また、列車後端が緩衝工に突入する際は吸い込みが消滅することになり、正の圧力パルスが放射される。列車先端の湧き出し及び後端の吸い込みは列車速度で移動しているため、これらのパルスは列車進行方向に指向性を持つ。本研究においても、先端突入時には負のパルスが（図 1(a)参照）、後端突入時には正のパルスが（図 1(b)参照）観測される（ただし、図 1(b)では先端突入時のパルス波の左側境界からの反射波も観測されている）。また、いずれのパルス波においても列車進行方向の指向性が確認できる。

3. 3 突入波とトンネル内圧力変動の関係

明かりのある観測点における圧力の時間変化を図 2 に、

トンネル内圧力の時間微分値（微気圧波）を図 3 に示す（それぞれ、先頭突入時のパルス波の大きさで無次元化してある）。両者の波形を比較すると符号は反対であるが波形的にはほぼ一致しており（突入波には列車近傍場圧力の影響が見られる）、突入波と微気圧波が比例することが確認された。

4. 結論

列車トンネル突入時に放射される突入波に関する数値解析を行うことにより以下のことが明らかになった。

- ・先端突入時に負の圧力パルス、後端突入時に正のパルス波が発生するという基本的な特性は理論解析と一致した。
- ・突入波が列車進行方向に指向性を持つこと及び突入波と微気圧波が比例することが確認された。

参考文献

- (1) 飯田他, "列車トンネル突入時に突入側坑口から放射される圧力波," 日本流体力学会年会'99 講演会論文集 (1999), pp. 147-148.
- (2) 飯田他, "列車のトンネル突入時に突入側坑口から放射される圧力波の数値解析," 第 13 回数値流体力学シンポジウム講演論文集(1999).

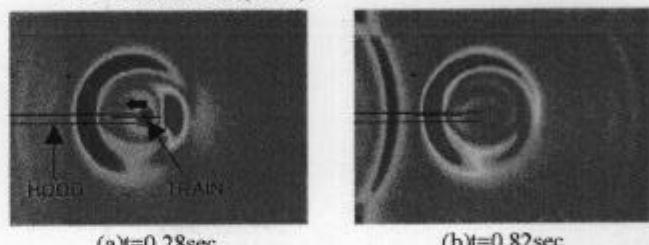


Fig. 1 Pressure distribution on the ground.

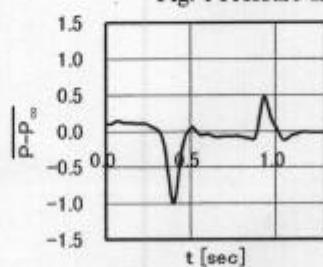


Fig. 2 Entry wave.

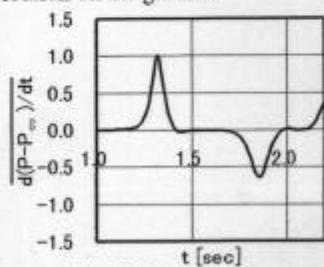


Fig. 3 Micro-pressure wave.