

## 高速鉄道すれ違い時のトンネル内圧力変動現象

東海旅客鉄道 正会員 山崎 幹男 鉄道総研 正会員 上野 眞  
 正会員 加藤 覚 大崎総合研究所 正会員 若原 敏裕  
 正会員 岡崎 真人 正会員 野澤剛二郎

### 1. はじめに

高速鉄道がトンネル内に突入、通過、及び退出する際に発生する圧力変動について、圧縮性流体のCFDを用いて検討を行ってきた<sup>1)2)</sup>。しかし、トンネル内で最も大きな圧力変動となるのは、列車同士がすれ違ったときであると考えられる。高速鉄道のすれ違いについては、解析領域と流れ場の軸対称性を仮定したモデルで解析を行ったケース<sup>3)</sup>はあるが、非軸対象な現象に対して解析したケースは未だない。今後、横坑や立坑、あるいは駅部で列車のすれ違い解析を行うことを考えた場合、解析領域や流れ場が必ずしも軸対称とならないため、軸対象モデルによる解析は適当でない。そこで、本研究では二編成の列車を解析上再現し、トンネル内において高速ですれ違う解析を行い、トンネル内で発生する圧力変動を把握する。また、リニア山梨実験線で実際に測定されたトンネル内でのすれ違いによる圧力変動の結果と比較する。

### 2. 数値解析の概要

本解析では列車まわりの流れ場を圧縮性流体として扱い、列車やトンネルの形状を一般座標により再現して、Ogawaらの方法<sup>4)</sup>を用いて離散化している(図-2)。移動する物体を再現する方法として、二列車のまわりの格子とトンネルの格子を独立に作成し、互いに重なっている領域で物理量を補間することで各格子系を連成させて解析を行っている。列車まわりの格子は列車の速度にあわせて、毎時間ステップ強制的に移動させている。解析領域を図-1に示す。トンネル内をすれ違う列車の速度は+500km/hと-400km/hと異なるものとしている。トンネル長は3084mとし、初期状態の先頭列車はそれぞれ $x=-300\text{m}$ 、 $x=+658\text{m}$ に位置し、先頭同士が $X=+232\text{m}$ 、後尾同士が $X=+241\text{m}$ とずれた位置ですれ違う。トンネルの計算格子は前述したすれ違い位置、特に先頭同士がすれ違う位置に格子を集中し、急激な流れ場の変化に追従できるようにしている。また、トンネルの両端では波が反射することなく、境界を通過するように境界条件を設定している。

この解析では、列車のすれ違い時に発生する圧力変動を把握することが目的であるため、列車の通過時以外に圧力波が生じないようにする。そのため、単独列車による無限長トンネル内の定常走行解析を行うことで、列車前後に圧力波が無い初期状態を作る。また、境界条件の設定により列車前方が静穏状態(圧力密度は外部大気 $P_0$ と同じ、風速はゼロ)となるようにする。その後、二つの列車それぞれに対する流れ場を線形的に重ね合わせることで初期状態を作成している(図-3)。列車の後方では、それぞれの列車速度が異なるために圧力の値に差が生じている。

### 3. 実測結果の補正

実測では、すれ違い地点の手前150m程にトンネル入り口があり、+500km/hで通過する列車が突入時に正圧の圧力波を発生させる。この突入波と列車通過時の圧力変動が重なることで、すれ違いによる圧力降下量を見積もることができない。一方、反対線の列車がトンネルから退出する前には、突入波などは現れない。そこで、列車通過による圧力変動を正確に見積もる方法として、突入時と退出時の単独列車通過による圧力ピーク値の差を測定し、その差により突入波の影響を補正する。図-4にあるように突入時と退出時の列車通過による圧力変動量( $\Delta P_1 + \Delta P_2$ )はほ

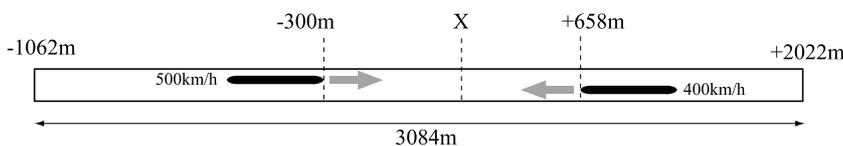


図-1 解析領域とすれ違い位置 ( $X=+232\text{m} \sim 241\text{m}$ )

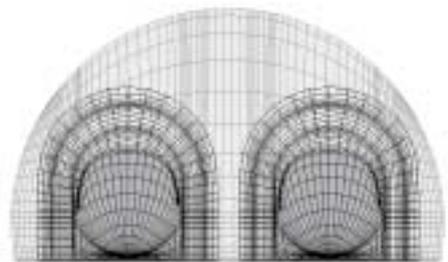


図-2 一般座標による計算格子

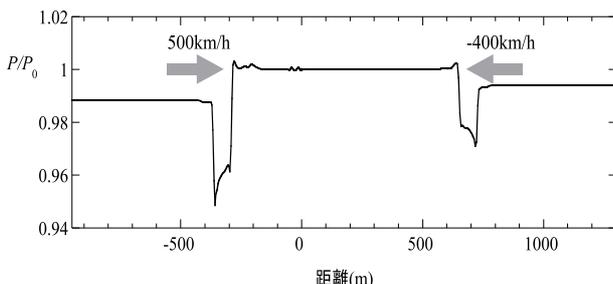


図-3 すれ違い解析の初期圧力分布

表-1 実測における列車通過時の負圧ピーク値

突入/退出	通過速度(km/h)	圧力値( $P/P_0$ )
退出	+499.5	-0.0510
突入	-497.6	-0.0386
退出	+499.5	-0.0521

**keywords:** 高速鉄道, 数値解析, トンネル, すれ違い解析, 圧縮性流体

**連絡先:** 〒103-8288 東京都中央区八重洲1-6-6 八重洲センタービル8F, TEL03-3274-9545, FAX03-3274-9550

ば同じであるが、突入波があることで負圧のピーク値の絶対値は退出時の方が $\Delta P_s$ だけ大きくなる。つまり、実測の二列車すれ違い時の圧力変動量を見積もるためには $\Delta P_s$ だけ補正すればよい。実測の記録から突入と退出、それぞれのピーク値を求めることで突入波による補正量 $\Delta P_s$ を算定することができる。単独の列車が通過する際の負圧のピーク値を表-1に示す。突入時と退出時のピーク値の差から、突入波による補正量 $\Delta P_s$ を $0.0129P_0$ とすることができる。ただし、これらのピーク値は列車の局所的な形状の影響を受けにくいトンネル天頂部での値である。

4. 計算結果

図-5にトンネル天頂部の圧力の走行方向分布を示す。図-5(a)は列車の先頭部同士がすれ違った瞬間であり、すれ違い箇所で強い負圧が発生していると同時に、弱い正圧の圧力波が両方向に発生している。図-5(b)は両方向の列車がほぼ重なった瞬間で、列車の後尾同士がすれ違った瞬間に、+500km/hの列車側面で最も負圧が強くなっている(図-6)。また、正圧の圧力波が列車の前をそれぞれ伝播しているのが確認できる(図-5(c))。その後、列車通過による圧力変動は単独通過の場合に戻り、すれ違い時に発生した正圧の変動が伝播する(図-5(d))。列車の後尾すれ違い時に最も負圧が強くなる理由として、単独走行時に列車側面の境界層発達により列車後尾で負圧が最も強くなっており、すれ違い時にも同様の性質が維持されているためである。

図-7に後尾すれ違い位置における圧力の時刻歴とピーク値を実測結果とともに示す。ただし、実測結果は前述したように突入波による補正量を加味したものである。時刻歴をみると、列車側面が通過している時に実測と大きな差があるが、これは実際には存在する列車間の台車を解析では省略しているためである。台車の有無による差異を除けば、実測の時刻歴に良く対応している。ただし、数値解析ではピーク値は後尾同士がすれ違った瞬間に現れるが、実測ではその前に発生しており、断面内のピーク値の大小関係の整合性が取れていない。これは、実測が列車後尾がすれ違う位置から-17mずれた位置で測定しているのと、前述した台車の有無が関係している。

5. まとめ

速度の異なる高速鉄道によるトンネル内のすれ違いの数値解析を行い、実測結果と比較を行った。比較を行うに当たり、単独列車の突入、退出時の圧力差を考慮して突入波の影響を補正した。ピーク負圧は列車後尾がすれ違ったときに発生していた。その大きさは実測と概ねあっているものの、測定位置の違いや台車の有無により、断面内のピーク値の発生時刻に差が見られた。

参考文献 1) 加藤覚他,「高速鉄道トンネル内に発生する退出波と反射波の三次元CFD解析」第56回土木学会年次学術講演会概要集, III-B019, 2001. 2) 山崎幹男他,「高速鉄道トンネルにおける圧力波の横坑分岐」第57回土木学会年次学術講演会概要集, I-511, 2002. 3) Fujii,K.and Ogawa,T.“Aerodynamics of High Speed Trains Passing by Each Other”, Computers and Fluids, Vol.24, No.8, pp.897-908,1995. 4) Ogawa,T.and Fujii,K.“Numerical Investigation of Three-dimensional Compressible Flows Induced by a Train Moving into a Tunnel”, Computers and Fluids, Vol.26, No.6, pp.565-585,1997.

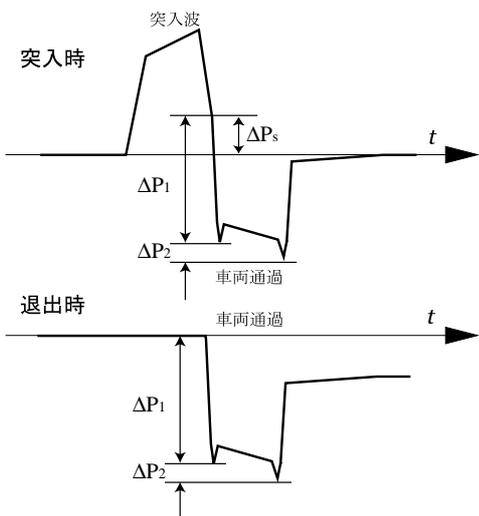


図-4 突入時と退出時の圧力変動の違い

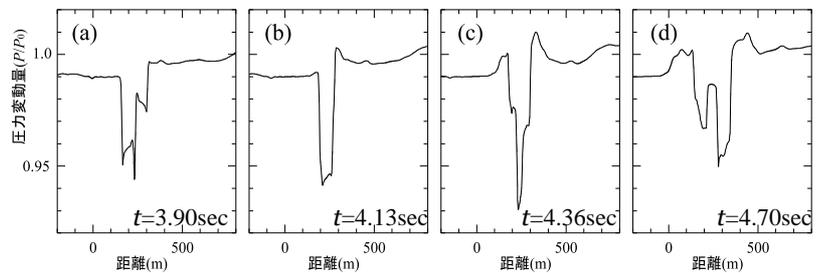


図-5 すれ違い時の圧力の空間分布



図-6 列車後尾すれ違い時の圧力分布 (青：負圧，赤：正圧)

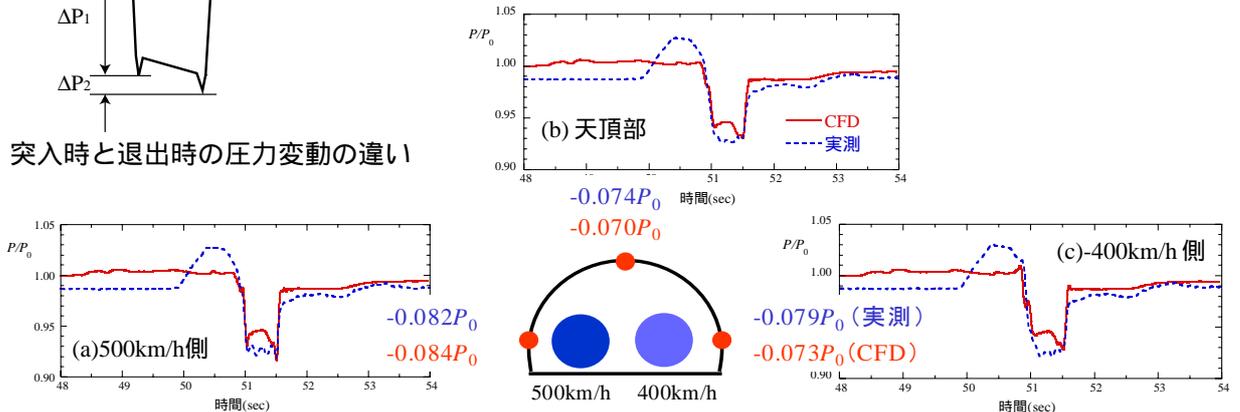


図-7 列車すれ違い位置における圧力変動の時刻歴とピーク負圧