

IV-39

高速列車のトンネル内走行時の圧力変動に関する実験的研究

株式会社 間組 正会員 木川田一弥
沼津工業高等専門学校 森井 宜治

1. まえがき

新しい地上輸送機関として期待されている超高速鉄道システムが実用化の段階を迎えている。列車が高速でトンネルに突入する時の圧力変動は、列車の走行安定や走行抵抗あるいは車体構造に影響を与えると考えられる。この圧力変動に関する研究は、これまでに数例行われているものの、超高速列車(たとえば速度500 km/h程度)についてはその例を見ない。そこでわれわれは、このような超高速列車を対象として、トンネル内走行時の圧力変動の様子を、浅水槽を用いて実験的に明らかにするとともに、列車の走行に適したトンネルの形状等に関する設計指針を得ることを目的とした研究を進めている。

2. 実験概要

(1) 浅水槽 浅水槽とは、波長に対して水深 h_0 が十分に浅い水槽であり、水槽中における音速は $\sqrt{gh_0}$ になる(g : 重力加速度)。つまり h_0 を変化させることにより、音速を変えることができるため、模型を制御可能な速度で走行させても、超高速列車とマッハ数を一致させた実験が可能になる。また、浅水槽で模型列車が起す波の高さ Δh は、実物(理想気体)の圧力変動 Δp と次のような関係を持っている。

$$\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} = \left(\frac{h_0 + \Delta h}{h_0} \right)^2$$

ここで p_0 は大気圧である。したがって浅水槽での波高を計測すれば、圧力変動 Δp を知ることができる。

(2) 実験装置 図-1に実験装置の概念図を示す。

実験では、水槽水深を22.6mmにセットしているので、模型列車速度0.19m/sが実列車の500km/hに対応する。縮尺比は1/723である。

3. 実験結果と考察

3-1 実測データとの比較

実物のトンネル(英国Patchwayトンネル)で計測された列車走行に伴う圧力変動¹⁾と、同条件で行った浅水槽による実験値との比較を図-2に示す。図によれば、圧力の第1のピーク値やその後の圧力波の様相が、両者の間でよく一致しており、浅水槽実験によって列車走行時にトンネル内で発生する圧力変動を推測できるものと思われる。

3-2 諸因子が圧力変動に及ぼす影響について

(1) 列車走行形式の影響 1列車単線走行の場合、列車速度500 km/h、閉塞率(列車とトンネルの断面積比、実験では両者の幅比)0.130の時に、最大で約9(kPa)の圧力が観察された。また、2列車をトンネル中央(圧力計測点)ですれ違いうように走行させた場合には、約18(kPa)の圧力が計測され、単線走行時の圧力データを2倍することにより、複線すれ違い時のデータが推定できると考えられる。

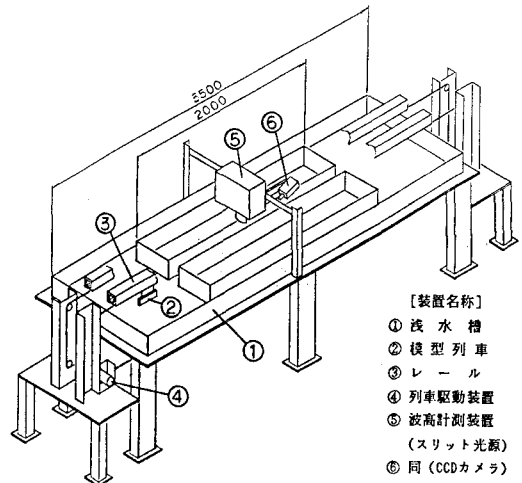


図-1 浅水槽実験装置

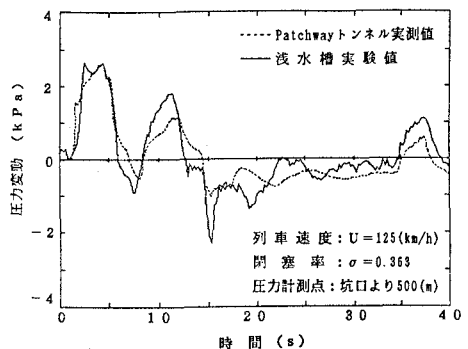


図-2 実測値と実験値の比較

(2) 列車速度の影響 列車速度と最大圧力変動との関係を図-3に示す。最大圧力がほぼ列車速度の2乗に比例して増加することがわかった。これは列車が高速化するほど、トンネル突入時に発生する圧力の影響が大きくなることを示している。

(3) 閉塞率の影響 圧力変動に対する閉塞率の影響を図-4に示す。圧力変動の大きさは閉塞率の増加に伴って大きくなっており、最大圧力と閉塞率はほぼ比例関係にあると考えられる。

3-3 発生圧力の低減対策について

(1) 列車先頭形状による対策 列車先頭形状が圧力変動に及ぼす影響を比較した。実験結果から、列車速度が500km/hの時、半円形および三角形の先頭形状をした列車では、圧力変動の大きさがピーク値で、四角形の列車よりも約30%小さく、ピーク以外でも約20%程度の減少が見られた。これより、列車形状によりトンネル突入時の圧力変動を低減できることが確認できた。

(2) トンネル坑口形状による対策(フレアー坑口)

坑口形状による圧力低減対策の一つとして、坑口断面積をラッパ状に拡大したフレアー坑口の効果について示す。図-5はフレアーによる圧力の低減例である。坑口長さ250mm, 断面積拡大率 $\varepsilon=2$ (坑口の入口がトンネル断面積の2倍であることを示す)のデータである。図-5からフレアーによって、列車がトンネルに突入した時の圧力を低減でき、さらに、ピーク値に向かう圧力上昇の時間的変化が遅くなることがわかる。

最大圧力の低減効果はフレアー坑口長さが長いほど大きく、一方列車速度が速いほど小さくなる傾向にある。これは列車が高速化された場合には、長いフレアー区間が必要になることを示している。

(3) トンネル坑口形状による対策(パーフォレート坑口)

坑口形状によるもう一つの対策として、坑口側壁に孔を設けたパーフォレート坑口の効果について実験を行った。

パーフォレート坑口においても、坑口長さが長い時に圧力低減効果が大きかった。また、実験では孔面積の指標 $\phi=0.024$ (坑口部表面積のうち2.4%が孔に相当することを示す)の時、最も圧力が低減したが、効果はフレアーと比較して小さかった。

4. あとがき

浅水槽を用いることにより、比較的簡易な装置で超高速列車がトンネル内を走行する時に発生する圧力変動の様子、および諸因子がその圧力変動に及ぼす影響を知ることができた。今後は実験で得られた対策工の効果を中心として、その検証を行って行きたい。

参考文献 1) Gawthorpe, R.G, Pope, C.W: The Measurement and Interpretation of Transient Pressures Generated by Trains in Tunnels, 2nd Int. Symp. on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, BHRA, pp C3-35~54, 1976.

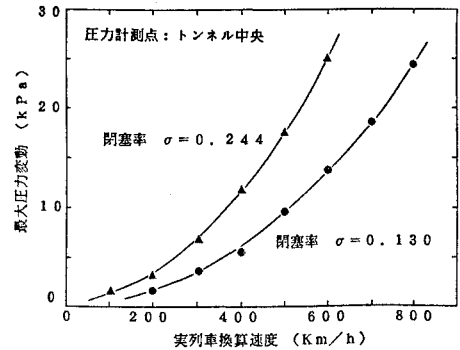


図-3 列車速度と最大圧力変動

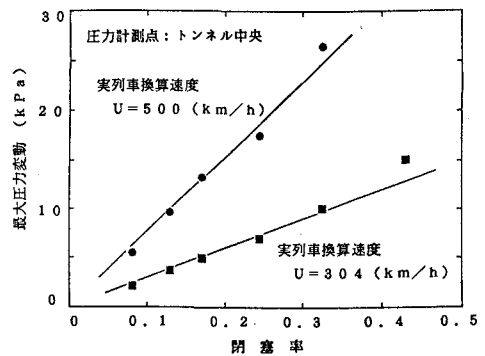


図-4 閉塞率と最大圧力変動

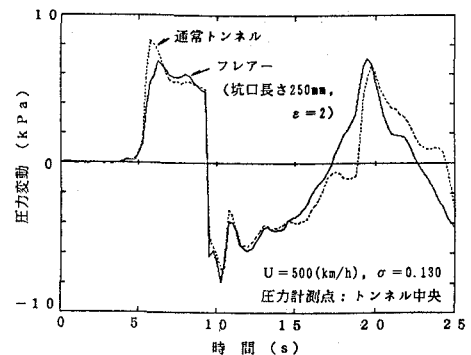


図-5 フレアーによる圧力低減効果