

「トンネル微気圧波について」

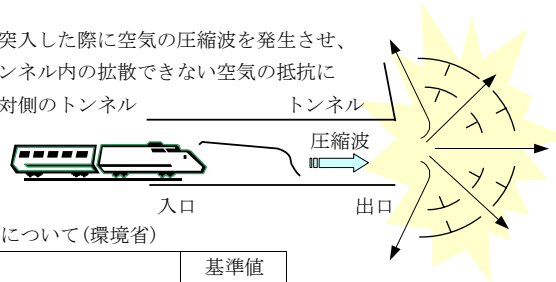
2008/8/29 (金) 小出 真司

1. はじめに

新幹線などの高速列車がトンネルに突っ込むと、出口側で発破音がしたり付近の家屋の窓や建具などが激しく揺れたりして環境問題となる場合がある。
山陽新幹線から顕在化した、鉄道の高速度に伴う騒音・振動問題の一つになっている。(東海道新幹線は軌道敷きが砂利のため表面化しなかった)
この現象はトンネル微気圧波(びきあつは)によるものである。

2. トンネル微気圧波

高速で走行中の鉄道車両は、長いトンネルに突入した際に空気の圧縮波を発生させ、これが音速(1200km/h)で前方に伝わる過程でトンネル内の拡散できない空気の抵抗によって圧縮強調されて衝撃波のようになり、反対側のトンネル出口で解放されたときに大きな振動や発破音を発生させる。～ 通称「トンネルドン」



参考。新幹線鉄道騒音に係る環境基準について(環境省)

地域の類型	基準値
I : 主として住居の用に供される地域	70dB以下
II : 商工業の用に供される地域等 I 以外の地域	75dB以下

3. トンネル微気圧波の低減対策

トンネル微気圧波の大きさはおおむね、坑口に到達した圧力波の波面の圧力勾配に比例し、トンネル坑口からの距離に対して逆比例していることが明らかとなっている。このため圧力勾配を緩くすることが対策の根幹となっている。

対策1：構造物を設置する

1. 入口での衝撃波の成長を極力阻止 → **緩衝工**の設置
2. トンネル内での衝撃波の成長を極力阻止 → 国内では対策例が少ない
→ トンネル計画時に広くする、ウレタン等の緩衝材を設置(TGV)
3. 出口付近で成長してしまった衝撃波を弱めたり壊す → **緩衝工**の設置



トンネル断面積を大きくする、列車と壁との隙間を大きくあける、上下線間の距離を大きく取るなどでトンネル微気圧波の影響を軽減できる。
また既存のトンネル入口の手前、出口の先に延長した幌状の構造物(緩衝工)を設けると、先頭車両がトンネルに突入時に生ずる巻き込む空気を減らし、出口で微気圧波のピークが緩和されることによる低減効果が得られる。(入出口は必ずしもラップ形状である必要はない)
一般的な緩衝工では、トンネル断面積より大きく計画し、圧力を低減のため側面に空気を逃がす開口部を設ける。さらに煙突状のパイプを設置する場合もある。

微気圧波：列車速度250 km/h において約250 Pa (約142 dB 相当) $1Pa=1N/m^2$
緩衝工設置長 L=49m→約-22dB, L=30m→約-9dB の効果が見られる。(環境省環境管理局より)

参考。騒音への対策
改良防音壁新設・嵩上げ、バラストマットの敷設、弾性枕木の敷設、架線改良

対策2：新型車両の投入

700系の時速250kmより20km速い時速270kmできついカーブも曲がれるようになり更に最新のトンネル微気圧波対策を反映した前頭部を持つN700系



写真：JR東海アニュアルレポート2007

1. 先頭長を伸ばし長くする。→ 定員の縮小となる...
2. 車両断面積を減らす。→ パンダグラフ形状の改良、客室の居住性を犠牲に...
3. 先頭形状を最適化する。→ 進行方向に対する断面積の変化率を、一定、かつ最小にする。

参考。微気圧波は、“速度の3～10乗”に比例するといわれています。
わずかに20kmのアップで微気圧波は

$$S=270/250=1.08 \rightarrow P=1.08^3=1.26 \text{ よって} 26\% \text{増大}$$

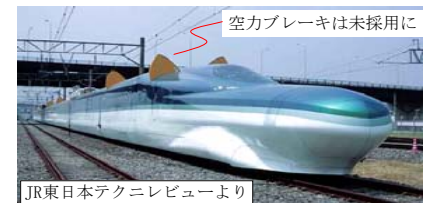
300系(H5)	E1(H6)～E4系	500系(H9)	700系(H11)	N700系(H19)
JR東海	JR東日本	JR西日本	JR東海, JR西日本	JR東海, JR西日本
先頭形状にはトンネル微気圧波対策は非考慮	初のトンネル微気圧波を考慮した形状(ノーズ長9.4m)また初のALL2階建→TGVに影響	微気圧波対策(27m中15mが傾斜)で高価な車両となった(16両での車両価格は約50億円)	ノーズ長9.2mコストダウン対策車両(16両での車両価格は約40億円)	ノーズ長700系+1.5m消費電力19%ダウン環境性能向上車両(16両での車両価格は約46億円)

写真：JR東海アニュアルレポート2007およびJRおでかけネットより

4. 終わりに

衝撃波の強さは、トンネル直径と新幹線列車の断面積の関係が大きく利くので欧州のTGVではトンネルの直径を大きくしたり、上下線の線路間隔を広げたりしているようです。様々な制約を受ける日本とは大違いですが、だからこそ我が国の技術者はいろいろと構造物に工夫をして対策をとっているようです。

2010年320km運行予定の次世代新幹線E954, E955系



また、N700系の営業運転開始から1年ほど立ちましたが、JR東海によると東京～大阪間での航空機との比較ではエネルギー消費で1/6、Co2排出量で1/10と車両についても微気圧波対策をとったうえに更に進歩し続けています。関係諸機関の研究開発技術者の人々にエールを送ります。