

## 資料

### 新幹線トンネル坑口から発生する低周波音について

堀江裕一

(大気環境部, 現企画調整部)

#### Technical Paper

#### Infra-Sound from Tunnel Exit of Shinkansen Line

Yuichi HORIE

(Air Quality Division, present Planning and Coordination Division)

キーワード：新幹線, トンネル, 低周波音, 衝撃音

#### 1. はじめに

昭和39年に東海道新幹線が開業以来、現在までに30年が経過した。この間車両を始め関連施設についても様々な改良が行われてきた。車両について見てみると、開業当初は「ひかり」、「こだま」と呼ばれる0系車両が運転されていた。このときの東京・大阪間の所要時間は、「ひかり」4時間、「こだま」5時間であった。昭和61年には0系に替わって二階構造車両を連結した100系車両が登場した。スピードも開業当初から比べると大幅にアップされ「ひかり」は2時間56分で運転されるようになった。その後平成4年には新たに300系車両が開発され「のぞみ」として営業が始まった。

昭和50年には、山陽新幹線が博多まで開業運転を行うための訓練運転が開始された。トンネルに列車が突入した際に反対側の坑口からドンという衝撃音が発生したため運転開始後、山陽新幹線沿線の住民から苦情が寄せられるようになった。<sup>1)</sup>この現象は、スラブ軌道構造であって長さが数キロメートル以上のトンネルの場合に発生することが特徴であった。<sup>2)</sup>幸いにも神奈川県内のトンネルは、バラスト軌道(岡山以东はバラスト軌道)であるため、これまではこの種の衝撃音についての苦情は寄せられていなかった。しかし、新たに開発された300系車両は、最高270kmという高速運転を目的とする車両であ

るため、新たな環境問題を引き起こすことになった。300系車両「のぞみ」の営業が始まった頃から両戸のがたつきなど低周波音が原因と見られる苦情が新幹線沿線の住民から寄せられるようになった。このような背景から県内の新幹線鉄道のトンネル坑口付近の衝撃音(以下衝撃音を含む低周波音を総称して、低周波音という。)の実態を調査した。

#### 2. 低周波音の測定方法

低周波音は100Hz以下の音波を指しており、可聴音域の下限といわれる20Hz以下の成分も含んでいる。20Hz以上の可聴音域の音圧レベルは騒音計で測定することが可能であるが、20Hz以下の帯域の測定には低周波音圧レベル計を用いる。周波数分析の方法には、1/3オクターブバンド毎(定比幅)の音圧レベルを求める方法と、一定の周波数帯毎(定幅)に音圧レベルを求める方法がある。今回の測定では、列車がトンネルを出て目前を通過している際の低周波音を1/3オクターブバンドで分析した。評価値は、測定された一連の値のうちの最大音圧レベルとした。また、トンネルに新幹線が突入した際に反対側坑口から発生する低周波音について、分解能1.25Hzの定幅分析をおこなった。

測定対象となる列車の速度を知るため、通過列車をビ

デオカメラで撮影しコマ数から速度を算出した。測定に使用した測定機器は以下のとおりである。

- |                  |         |         |
|------------------|---------|---------|
| (1) 騒音計          | B&K社    | 2231型   |
| (2) 低周波音圧レベル計    | リオン(株)  | NA-17   |
| (3) 微風速計         | リオン(株)  | AM-05   |
| (4) デジタル型データレコーダ | ソニー(株)  | PC-108M |
| (5) リアルタイム周波数分析器 | B&K社    | 2133型   |
| (6) FFTアナライザ     | 小野測器(株) | CF-360  |
| (7) ビデオカメラ       | ソニー(株)  | Hi-8型   |

### 3. 測定地点

東海道新幹線鉄道が神奈川県内を通過する際に大小合わせて二十数カ所のトンネルを通過する。このうち半数は200m未満の短いトンネルである。今回調査したトンネルは、二宮町と湯河原町にある2ヶ所のトンネルで、このトンネルの長さはそれぞれ、490m、1,410mである。

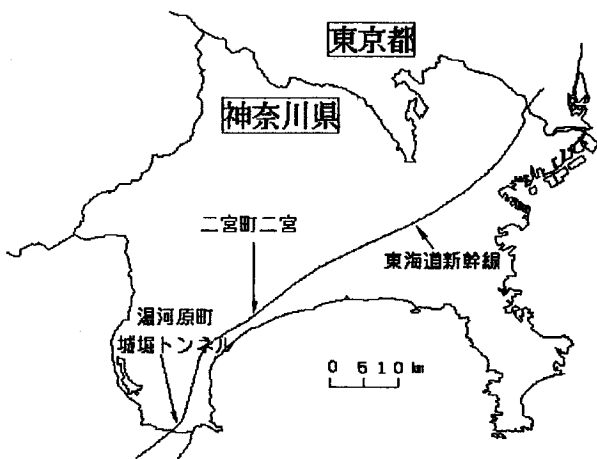


図1 低周波音測定地点

図1に測定を行った位置を示す。二宮町二宮トンネルの測定では、大阪側のトンネル坑口直上に低周波音圧レベル計のマイクロホンセットし低周波音を測定した。湯河原町城堀トンネルでは、東京側坑口において坑口から軌道に沿って10mと40mの地点で低周波音を測定した。

### 4. 測定結果

#### 4.1 二宮町二宮トンネルの結果

この地点では、新幹線列車がトンネルに進入してくる際とトンネルから出てくるときに発生する音圧についてリアルタイム周波数分析装置を用いて1/3オクターブバンド分析を行い、最大値を低周波音の評価値として求めた。現在、東海道新幹線で使われている3種類の列車0系、100系、300系毎の測定結果を表1に示す。

表中、進入方向とは上り東京方面行きの列車であり、退出方向は下り大阪方面行きの列車を指している。0系の速度については、速度のデータが無いため空欄とした。

100系「ひかり」0系「こだま」は、進入の場合と退出の場合とでは大きな音圧レベルの差は認められなかった。

300系「のぞみ」の場合は、列車速度の違いがあるが、進入時と退出時の場合との間に音圧レベルの差が認められた。列車速度と音圧レベルとの具体的な関係は今回の調査からは明らかになっていない。

低周波音の音圧レベルと人間の感覚量との関係について、現在のところ標準となる規格は作られていない。しかし、いくつかの研究結果が発表されており(社)日本騒音制御工学会では技術レポート<sup>4)</sup>の中で次の4種類の周波数補正特性を解説している。

- (1)LSL (Low frequency weighted Sound pressure Level) 時田氏による提案では、1~80Hzの範囲について基準レスポンスを示している。評価実験の結果、このLSL特性による評価レベルと評価値との関係は低周波音に特有な圧迫感・振動感や不快感に着目すると相関が高いと報告されている。
- (2)LF1 (Low Frequency 1)、犬飼氏による提案で1~100Hzの範囲について基準レスポンスを示している。比較的低いレベルの可聴音と複合された場合の検討が行われている。
- (3)G1特性、ISOで提案されている特性で、最小可聴域値を近似しているとしている。

表1 二宮町二宮トンネルでの測定結果<sup>3)</sup>

トンネル坑口で見た列車の進行方向	列車種類		速度 (km/h)	トンネル坑口直上の音圧レベル(ピーク値) (dB)	ピーク値を記録した時の1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)
	名称	型式			
進入方向	のぞみ	300系	248~254	112.9~114.0	3.15
退出方向	のぞみ	300系	213~229	101.8~106.2	3.15
進入方向	ひかり	100系	218~220	103.1~104.1	3.15
退出方向	ひかり	100系	211~218	103.7~104.4	3.15
進入方向	こだま	0系	—	104.4~105.4	3.15
退出方向	こだま	0系	—	103.4~104.6	3.15

表2 低周波音の周波数補正

トンネル坑口で見た 列車の進行方向	列車種類		トンネル坑口直上の音 圧レベル(ピーク値) (dB)	3.15Hzの周波数補 正值* 上:LSL、下:LF1	周波数補正後の低 周波音圧レベル (dB)
	名称	型式			
進入方向	のぞみ	300系	112.9~114.0	-72.3dB	40.6~41.7
				-74.2dB	38.7~39.8
退出方向	のぞみ	300系	101.8~106.2	-72.3dB	29.5~33.9
				-74.2dB	27.6~32.0

注) \*LSLについては、50HzにおけるA特性の基準レスポンス-30.2dBを基準にしてLSLの3.15Hzにおける補正(-42.1dB)を行った値である。

(4)G2特性、ISOで提案されている特性で、一般的な反応の評価に用いるとしている。

(3)G1及び(4)G2については現在統一化の作業が進められており、不明な部分があるので今回は特に(1)LSLと(2)LF1につき基準レスポンスに従って、表1に示す300系「のぞみ」のピーク音圧レベルを周波数補正を試みた。結果を表2右端に示す。LSLの補正値は、基準となる周波数を50Hz、このときの音圧を0dBとし相対的な値として定めている。このため1,000Hzを基準周波数としたA特性の基準レスポンスを使って換算することには無理があるが、ここでは便宜的に次のように当てはめてみることにする。50Hz以上の周波数はA特性補正を行い、これ以下の周波数についてはLSL相対値を使って補正を行う。ただし、LF1の補正については、A特性の延長としての基準レスポンスが示されている。

本来、3.15Hzの低周波音は耳には聞こえず何となく感じるというものであるので、表2に示す補正後の低周波音圧レベルはどのような意味を持つか難しいところである。騒音の場合30dB程度が最低の可聴レベルと言われている。このことから列車が坑口に進入する場合について補正後の音圧レベルは、人間が低周波音を感じることもできるレベルと考えられる。

4.2 湯河原町城堀トンネルの結果

この地点では、新幹線列車がトンネルから出る際に発生する低周波音の内、衝撃音を対象として分析を行った。周波数分析は、FFT周波数分析装置を使って行った。

300系「のぞみ」が、トンネルに突入した時に測定地点である出口側で観測される音圧の変化を図2に示す。上図は、トンネル坑口から軌道に沿って40m離れた地点で観測された音圧の変化、下図はトンネル坑口から10mの地点で観測されたものである。このときの列車速度は、224kmであった。図3は、図2に示した列車が坑口から出てマイクロホンの正面を通過した際の音圧の変化を示したものである。図2の時間波形をFFT分析を行ったと

ころ、10mの地点では主成分は2.5Hzで最大値は110.8dBであった。図4に周波数スペクトルを示す。また、マイクロホン正面を通過した場合の分析結果では、主成分は3.75Hzにあり、最大値は105.0dBであった。

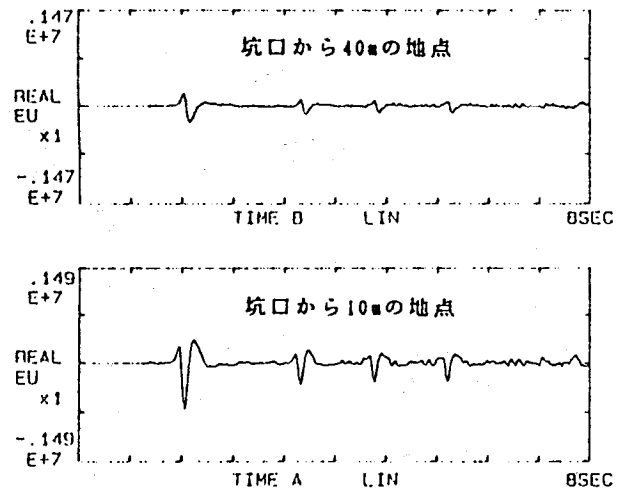


図2 「のぞみ」がトンネルに突入した際に出口側で観測された音圧の変化

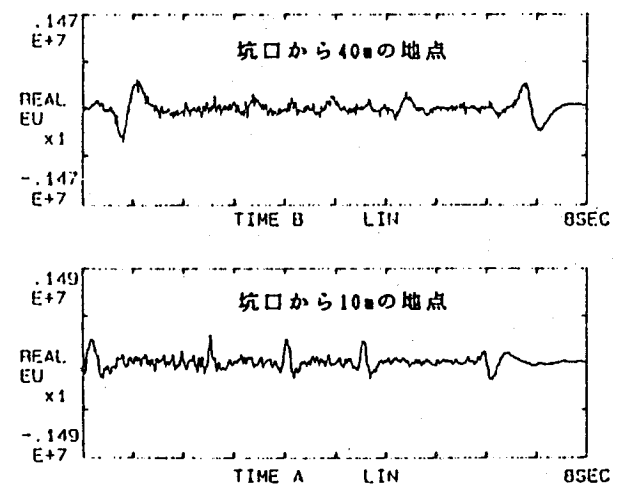


図3 マイクロホンの正面を「のぞみ」が通過した際の音圧の変化

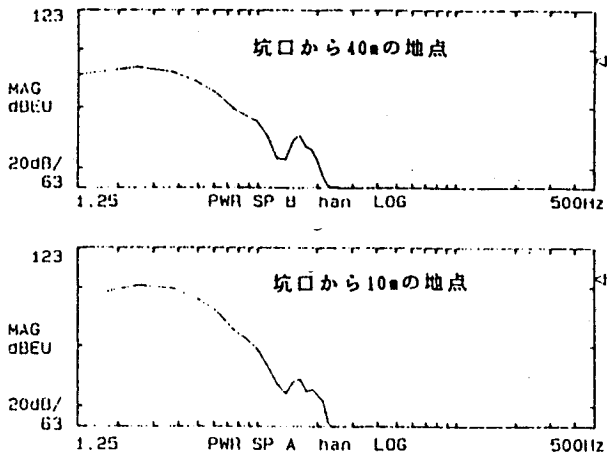


図4 列車が突入した際に出口側で観測される衝撃波の周波数スペクトル

測定当日の城堀トンネル付近での300系「のぞみ」の列車速度は、最大でも243kmであり、衝撃音の発生は認められなかった。

参考文献

- 1) 小沢智他：トンネル出口微気圧波の実態，鉄道技術研究所報告，No.1023(1976)
- 2) 松尾一泰：高速鉄道トンネルにおける波動現象、機械の研究，45(6)，38-43(1993)
- 3) 神奈川県環境部：新幹線鉄道騒音振動調査結果報告書(平成6年3月)
- 4) 日本騒音制御工学会技術部会：低周波音及び超低周波音測定方法，技術レポート，No.11(1991)