

# 新幹線鉄道のトンネル周辺における低周波音調査

## Study on Low-frequency Sound around Tunnel in the Shinkansen Railway

島影 裕徳 菊地 英男 安藤 孝志

Hironori SHIMAKAGE, Hideo KIKUCHI, Takashi ANDO

新幹線鉄道がトンネルに突入する際に発生する低周波音については、苦情が申し立てられるケースが散見される一方で、東日本旅客鉄道においては新型車両 E5, E6 を投入し、営業速度を段階的に引き上げ、最高速度 320km/h の運転を実施している。今回、宮城県内における新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音について調査を実施したところ、低周波音に係る音圧レベルは、先頭車両が新型車両の方が旧型車両よりも低くなる一方、速度上昇に伴い音圧レベルが増加した。またトンネル長が長くなるにつれて低周波音が上昇する傾向がある一方で、緩衝工による低周波音対策を実施している地点においては、低周波音の音圧レベルが小さくなる傾向にあった。

キーワード：新幹線鉄道；低周波音

**Key words** : shinkansen railway ; low-frequency sound

### 1 はじめに

低周波音は室内の建具を揺らす、窓をがたつかせるといった、物的影響を起こす一方、心身に係る影響を引き起こす場合がある。新幹線がトンネルに突入する際にも低周波音は発生し、苦情が申し立てられるケースが散見される。一方で、東日本旅客鉄道においては平成 22 年 3 月から新型車両 E5 を、平成 25 年 3 月から E6 を投入し、営業速度を段階的に引き上げ、平成 26 年 4 月現在最高速度 320km/h の運行を実施している。

このため宮城県内におけるトンネル周辺において、新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音の実態を、新旧車両の違いや速度の違い、トンネル長等に焦点をあて調査した。

### 2 方法

#### 2.1 調査地点

宮城県内の新幹線鉄道に係るトンネルの設置状況を把握及び調査対象地点を選定するため、県内全てのトンネルを机上調査した上で、可能な限り現地確認を行った。県内における新幹線鉄道に係るトンネルの設置状況を表 1 に示す。トンネル数は 57 本で、緩衝工については、比較的長さのあるトンネルで、かつ一定程度の住宅が立地する箇所では緩衝工設置による対策が取られている状況であった。

調査地点の状況について表 2 に示す。調査地点の選定については、立ち入りや測定が困難な場所、暗騒音が高い場所を除外した上で、ある程度の比較を容易にするためトンネル端から 100m 前後での測定地点がとれる場所を目的別に選定した。

表 1 宮城県内における新幹線鉄道トンネル設置状況

トンネル数	57	
緩衝工数※1	27	
距離別トンネル数・緩衝工数	トンネル数	緩衝工数
0～100m	11	1
101～250m	13	4
251m～500m	11	1
501m～750m	6	3
751m～1000m	1	2
1001m～	15	16

※1 蔵王トンネル入口(福島県)及び第2有壁トンネル出口(岩手県)を含む  
 ※2 トンネル長については、地図等により推計したものである。

表 2 調査地点の状況

測定日	トンネル名	入口・出口別	トンネルの長さ(m)※1	緩衝工の対策の状況※2	トンネル端から測定地点までの距離(m)	測定目的
H25.6.25	大又	入口	2412	無	114	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.7.10	第2柏木原	出口	442	無	106	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.8.7	第2葉坂	出口	1473	無	137	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
	愛宕山	入口	2332	無	84	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H25.9.11	第2白石	出口	3720	有	380	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
	第3白石	入口	689	無	65	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル)
H26.5.19	第2葉坂	出口	1473	無	137	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル) 測定本数追加
	愛宕山	入口	2332	無	84	低周波音の測定 (緩衝工対策無トンネル) 測定本数追加
H26.6.20	第1有壁	出口	1632	有	96	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
H26.7.15	第1有壁	入口	1632	有	151	低周波音の測定 (緩衝工対策有トンネル)
H26.9.4	大又	入口	2412	無	70 .140 .280	低周波音の 距離減衰の確認

※1 トンネル長については地図等により推定したものである。  
 ※2 ここでの有りは測定地点のトンネルの反対側の端に緩衝工があることを示す。  
 ※3 H25.8.7とH26.5.19の第2葉坂トンネル、愛宕山トンネルの測定地点は同一地点である。  
 ※4 H26.9.4の大又トンネルの測定地点について、いずれもトンネル端からの距離が異なる。

#### 2.2 騒音レベル、列車速度、気象状況の測定

地上 1.2m の地点に騒音計 (リオン製 NL-21) のマイクロホンを設置した。ピストンホンで正常な動作を確認した上で測定を実施した。測定中の暗騒音等の影響を確認するためにレベルレコーダを使用し常に監視し、妨害音の影響を受けなかった列車を測定した。列車速度は、ストップウォッチを用い、通過時間を測定することにより算出した。騒音評価値及び平均列車速度は、「新幹線鉄道騒音測定・

評価マニュアル（平成22年5月）を参考に算出しているが、各20本以上測定していることから、20本の列車の組み合わせを測定開始列車から順に1データずつ変化させ、全ての組み合わせを求めた上で、その算術平均を評価値とした。

気象状況の計測については、Tr式微風速計（リオン製AM-09T）、ピラム式風向風速計（安藤計器製工所製No.6-27S2（針式））を用い、新幹線通過毎に風向・風速・気温の測定を行った。

2.3 低周波音の測定・周波数分析

地上1.2mの地点に低周波音レベル計（リオン製NA-17、リオン製XN-94）を設置した。ピストンホン（リオン製NC-72）で正常な動作を確認した上で、平坦な周波数特性（SPL）によりデータレコーダ（リオン製DA-20）に収録した。なお、測定中における風雑音等の影響を確認するためにレベルレコーダ（リオン製LR-07）を使用し、風雑音等の影響を受けなかった車両を評価した。また、試験車両・回送車両は除外し、通常営業運転を行っている車両のみを評価対象とした。

周波数分析装置（リオン製SA-02A4）を用いて、データレコーダに録音したデータについて、列車がトンネルに突入する際に発生する低周波音を立ち上がりから3秒間について、0.1秒毎に周波数分析を行い、1/3オクターブバンドの各周波数帯の最大値並びにその1~80Hzの周波数帯のオーバーオール値（以下「OA(1~80Hz)音圧レベル」という。）を求めた。

て環境基準値を超過していた。また、全ての地点で70dBを超過していた。今回の測定地点は、山林・農地が主で、防音壁が無い、地面から軌道までの高さが低いところが多い等のことから、新幹線鉄道騒音振動の常時監視地点と比較して大きい値を示している。

3.2 各測定地点における低周波音レベル

新幹線が突入する際に発生する低周波音の測定例について図1に示す。新幹線がトンネルに突入する際に圧力波（鉄道関係においてはトンネル微気圧波とも呼ばれる。）が発生し、トンネル端から測定地点まで伝搬し、低周波音レベル計により低周波音を観測する。その後、新幹線車両が測定地点前を通過する時に、騒音計において最大騒音レベルを観測し、低周波音レベル計においては、通過時における低周波音を観測する。今回は、新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音を測定した。OA(1~80Hz)音圧レベルと速度との関係を図2-1~2-8に示す。

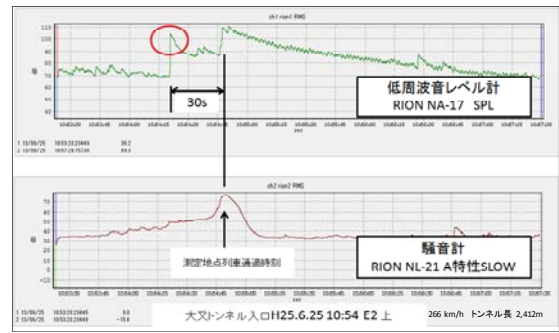


図1 新幹線車両がトンネルに突入する際に発生する低周波音の測定例

3 結果・考察

3.1 騒音と列車速度

各測定地点における騒音測定結果及び列車速度を表3に示す。環境基準が設定されている測定地点については、全

表3 各地点における騒音レベル及び速度

地点番号	測定日	測定場所 (住所)	地域類型	軌道中心から測定地点までの距離 (m)	騒音評価値 L <sub>A, Smax</sub> (dB)	平均列車速度 (km/h)	土木構造物の種類	防音壁有無	特記事項
1	H25. 6. 25	栗原市若柳有賀新山付近 (第3有賀・大又トンネル)	無指定	27	79	268	盛土	有	一部の区間防音壁無
2	H25. 7. 10	大郷町大末沢一ノ沢付近 (第2柏木原・第3柏木原トンネル)	II類型	37	77	283	高架橋	有	
3	H25. 8. 7	柴田町入間田付近 (第2葉坂・愛宕山トンネル)	無指定	25	80	263	高架橋	有	一部の区間防音壁無
4	H25. 9. 11	白石市白川内親付近 (第2白石・第3白石トンネル)	I類型	30	82	268	未確認	未確認	測定地点が軌道より上部に位置
5	H26. 5. 19	柴田町入間田付近 (第2葉坂・愛宕山トンネル)	無指定	25	83	274	高架橋	有	一部の区間防音壁無
6	H26. 6. 20	栗原市金成有壁付近 (第1有壁トンネル)	I類型	39	79	287	盛土	無	
7	H26. 7. 15	栗原市金成末野 (第1有壁トンネル)	I類型	80	73	297	高架橋	有	
8	H26. 9. 4	栗原市若柳有賀新山付近 (第3有賀・大又トンネル)	無指定	23	83	306	盛土	有	一部の区間防音壁無

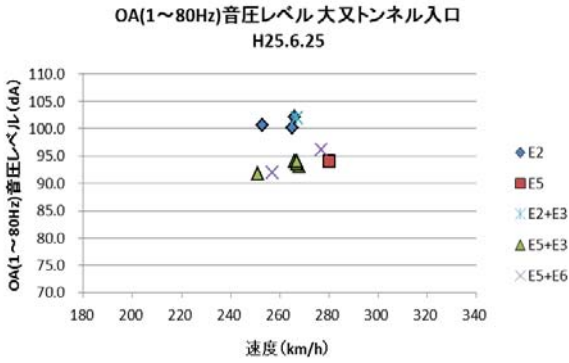


図 2-1 大又トンネル入り口上り 緩衝工対策無し

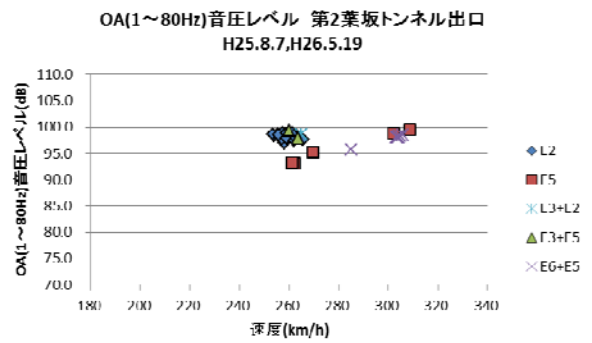


図 2-5 第2葉坂トンネル出口下り 緩衝工対策無し

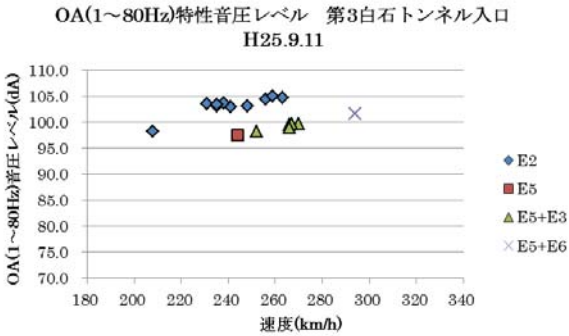


図 2-2 第3白石トンネル入口上り 緩衝工対策無し

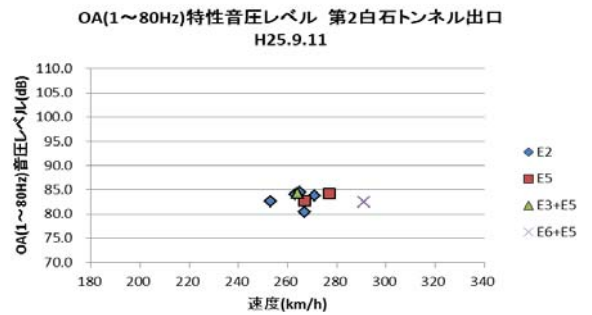


図 2-6 第2白石トンネル出口下り 緩衝工対策有り

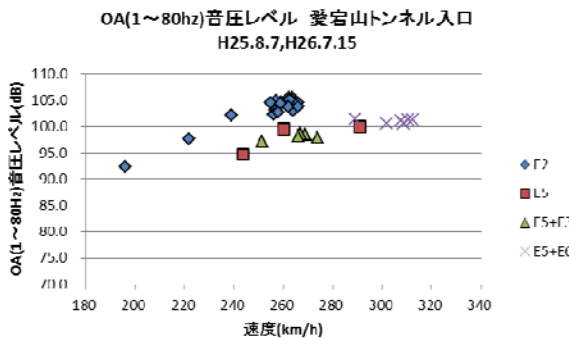


図 2-3 愛宕山トンネル入口上り 緩衝工対策無し

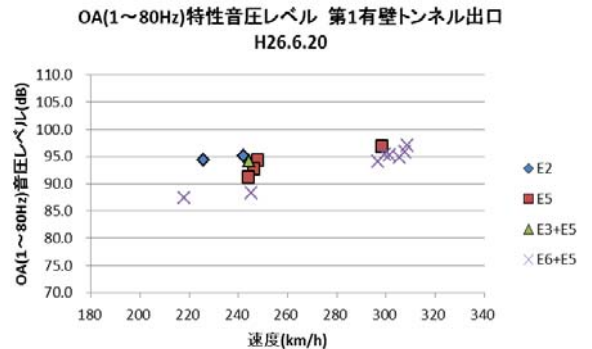
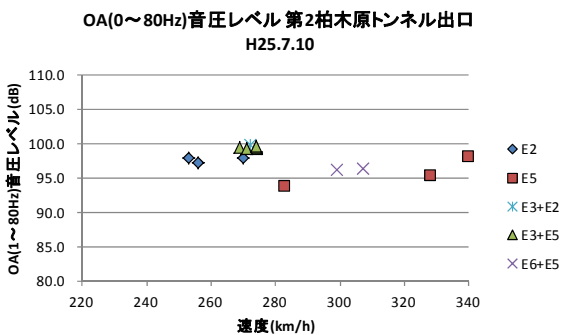


図 2-7 第1有壁トンネル出口下り 緩衝工対策有り



※時速320km/hを超えて算出されているものもあるがそのまま記載している。

図 2-4 第2柏木原トンネル出口下り 緩衝工対策無し

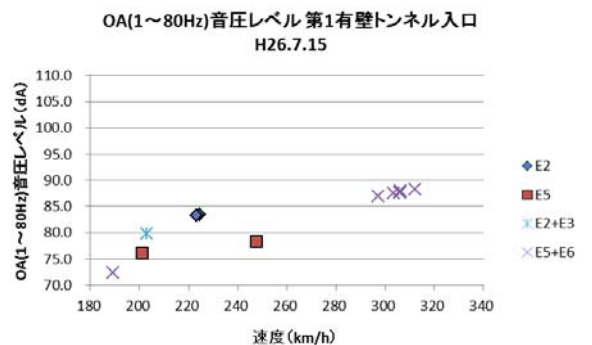


図 2-8 第1有壁トンネル入口上り 緩衝工対策有り

OA(1~80Hz)音圧レベルにおいては、多くの測定地点、車両形式において、速度が上昇する毎に、音圧レベルが上昇する傾向にあった。

緩衝工対策の無い地点においては、音圧レベルを新型車両である E5 と旧型車両である E2 を同じ速度で比較すると、E5 の方が低い音圧レベルを示す傾向にあり、第3白

石トンネル入口や愛宕山トンネル入口、第2葉坂トンネル出口ではその差は同じ速度でおおよそ5dB程度であった。また同じ音圧レベルで速度を比較すると、E5の方が速く、その速度の差はおおよそ20~30km/h程度であった。また併結車両の上りにおいては、先頭車両が両方も新型車両である上り車両E5+E3、E5+E6との音圧レベルの比較では、ほぼ同じ傾向を示す一方で、先頭が新型車両であるE5+E3、E5+E6と先頭が旧型車両であるE2+E3との比較では先頭が新型車両の方が音圧レベルが低い傾向を示した。同様に併結車両の下りにおいても先頭が同じ旧型車両であるE3+E2とE3+E5の比較においては、音圧レベルは同じ傾向を示す一方で、先頭車両が旧型車両のE3+E2、E3+E5と先頭車両が新型車両であるE6+E5を比較すると、音圧レベルは先頭車両が新型の方が小さくなる傾向にあった。

緩衝工の対策のある地点においては、上記のような傾向はあるものの緩衝工対策のない地点と比較して、先頭車両の新型・旧型車両の違いについて差は小さかった。

3.3 各周波数帯の音圧レベル

緩衝工対策の有無の例として、H25.6.25に測定した大又トンネル入口（無）と第1有壁トンネル出口（有）における1/3オクターブ分析結果を図3-1及び図3-2に示す。今回測定した全地点の周波数分析結果においては、1.6Hz~8.0Hzの周波数範囲に最大音圧レベルがみられ、2.5Hz~4.0Hzに多く現れる傾向があった。緩衝工の対策の無い測定地点においては、多くの場合、先頭車両が新型の車両（E5,E6）は旧型の車両（E2,E3）と比較して、3.15Hz~16Hzの前後の周波数の音圧レベルが低い傾向にあった。しかし先頭が新型車両でも速度が大きい場合は、先頭が旧型車両よりも音圧レベルの大きい車両も見られた（図3-2の音圧レベルの高いE5,E6+E5の車両は比較的速度が大きい車両）。これは新型車両による音圧レベルを減少させる効果よりも、速度上昇による音圧レベルの増加が上回ったものと思われる。

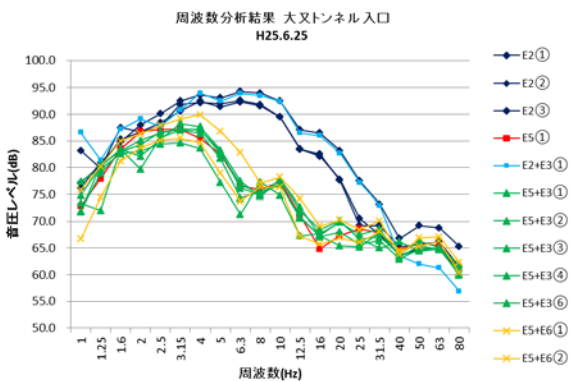


図3-1 大又トンネル入口上り 緩衝工対策無し

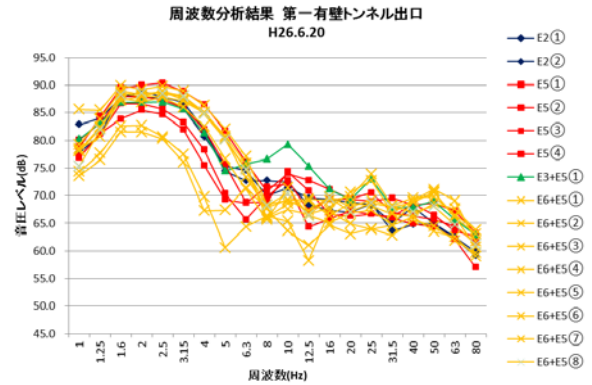


図3-2 第1有壁トンネル出口下り 緩衝工対策有り

3.4 低周波音の距離減衰

大又トンネルにおける低周波音の距離減衰結果を表4に示す。低周波音の距離減衰を確認するため、緩衝工の対策がなされていない、大又トンネル入口側で、トンネル端から70m, 140m, 280m地点において低周波音を同時に測定したものである。OA(1~80Hz)音圧レベルの距離減衰については、70-140mの範囲では4.3dB~5.3dB, 140~280mの範囲では6.6~7.2dBと減衰幅が異なっていたが、70-280mの範囲では11.2dB~12.2dBと、一般的に言われている倍距離で6dB<sup>2)</sup>に近い減衰を示した。両側が山に囲まれた複雑な地形のため単純な距離減衰を示さなかったものと思われる。

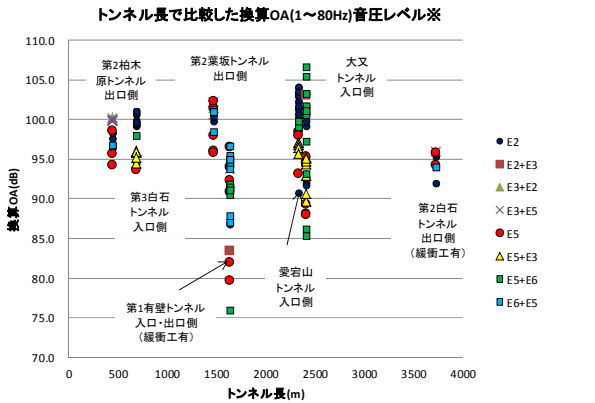
表4 大又トンネル距離減衰測定結果 H26.9.4

番号	車両形式	列車速度	OA (1~80Hz) 音圧レベル 70m	OA (1~80Hz) 音圧レベル 140m	OA (1~80Hz) 音圧レベル 280m	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 70m-140m (dB)	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 140m-280m (dB)	OA (1~80Hz) 音圧レベル差 70m-280m (dB)
1	E2	205	95.1	89.8	-	5.3	-	-
2	E2	208	94.8	89.8	-	5.0	-	-
3	E2	260	102.3	97.8	90.8	4.5	7.0	11.5
1	E5	226	91.3	86.4	79.0	4.9	7.4	12.2
2	E5	279	97.7	92.5	85.5	5.2	7.0	12.1
1	E5+E3	239	92.8	87.7	-	5.1	-	-
1	E5+E6	303	103.4	98.8	92.2	4.6	6.6	11.2
2	E5+E6	307	102.7	97.7	-	5.0	-	-
3	E5+E6	316	105.9	-	94.4	-	-	11.5
4	E5+E6	212	87.8	83.2	76.4	4.6	6.8	11.5
5	E5+E6	314	108.1	103.8	96.6	4.3	7.2	11.6

3.5 トンネル長の違いにおける低周波音レベルの変化

各測定地点における新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音は、トンネル端からの距離や周辺地形、トンネルの突入速度、軌道の種類等さまざまな要因に依存し、並列に並べることは難しいが、トンネル長の違いによる低周波音の傾向をつかむため、あえて倍距離6dBの減衰を示すと仮定し、トンネル端から測定地点までの距離を100mに換算した際のOA(1~80Hz)音圧レベルを表したものを図4に示す。各測定地点における測定した車両の中で最大を示したOA(1~80Hz)音圧レベルで比較すると、緩衝工の無い測定地点4地点においては、トンネル長が長くなるにつれて、OA(1~80Hz)音圧レベルが大きくなる傾向があった。また緩衝工対策の有る第1有壁トンネル出入口及び第2白石トンネル出口の測定地点においては、緩衝工の対策

が無い他の地点と比較して、OA(1~80Hz)音圧レベルが低い傾向にあった。

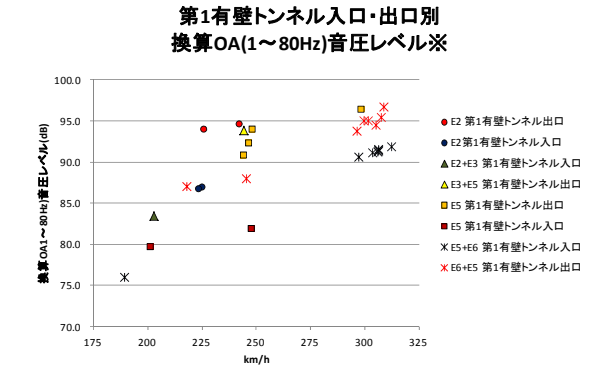


※OA(1~80Hz)音圧レベルを倍距離 6 dBで減衰すると仮定してトンネル端から100m地点で換算した値 図

#### 4 トンネル長で比較した 換算 OA(1~80Hz) 音圧レベル

##### 3.6 緩衝工の違いにおける低周波音圧レベルの変化

第1有壁トンネルにおいては、出入口両方で測定しており、また両方とも緩衝工対策がなされている地点であることから、この両側の測定地点の比較を行ったものを図5に示す。ここでも3.5と同様の方法でトンネル端から測定地点までの距離を100mに換算している。入口側のOA(1~80Hz)音圧レベルが低い値を示した。入口、出口の違いについては、同じトンネルなのでトンネル長は同じであるものの、周辺地形や速度の違いがあるので一概には言えないが、入口側に設置してある緩衝工(出口側対策)は、11mである一方、出口側に設置してある緩衝工(入口側対策)は、36mでさらにダクトが設置してあり、その分入口側の方が小さい値を示したものと思われる。



※OA(1~80Hz)音圧レベルを倍距離 6 dBで減衰すると仮定してトンネル端から100m地点で換算した値

図5 第1有壁トンネル  
入口・出口別換算 OA(1~80Hz) 音圧レベル

#### 4 まとめ

県内において新幹線がトンネルに突入する際に発生する低周波音を調査した。新幹線がトンネルに突入する際に発生するOA(1~80Hz)音圧レベルは、速度の上昇に伴い大きくなる傾向であった。また先頭が新型の車両は旧型の車両よりも音圧レベルが小さい傾向にあった。1/3 オクターブバンド分析結果においては、1.6Hz~8.0Hzの範囲で最大音圧レベルが見られ、2.5Hz~4.0Hzに多く表れる傾向があった。先頭が新型の車両は旧型の車両と比較して3.15Hz~16Hz前後の周波数の音圧レベルが小さい傾向にあった。

各測定地点間の低周波音を比較するため、倍距離6dBの減衰を示すと仮定し、トンネル端から測定地点までの距離を100mに換算して比較した。トンネル長とOA(1~80Hz)音圧レベルの関係については、トンネル長が長くなるにつれて、OA(1~80Hz)音圧レベルが大きくなる傾向があった。また緩衝工の対策が有る地点については無い地点と比較してOA(1~80Hz)音圧レベルが低い傾向にあった。それぞれ緩衝工対策の有る、同じトンネル両端の測定地点を比較したところ緩衝工の長さが長く、かつダクトがある地点の方が音圧レベルが小さい傾向であった。

#### 5 参考文献

- 1) 平成26年度宮城県環境白書, (2014)
- 2) 松尾一泰, 青木俊之: 騒音制御, Vol23, No5(1999)