

新幹線トンネル坑口周辺の沿線環境問題とその対策について

新田 琢磨* 黒田 昌生 藤井 勝美 城 和久 (JR 西日本)

Environmental problems around tunnel portals of Shinkansen and their countermeasures.
Takuma Nitta*, Masao Kuroda, Katsumi Fujii, Kazuhisa Jiyou (West Japan Railway Company)

West Japan Railway Company has been worked on installations of a sound absorbing material to inside surface of existing tunnel entrance hoods of Shinkansen for noise reduction around them. Recently, we built a new tunnel entrance hood had absorbing materials were installed previously on the inside, as a measure for micro-pressure wave. Micro-pressure wave and noise were measured at around the tunnel entrance to verify the reduction performance of the new hood. Measured results showed that the new hood had the good ability to reduce both micro pressure wave and noise around the tunnel entrance.

キーワード：鉄道騒音，高速鉄道，トンネル微気圧波，トンネル坑口騒音，吸音
(Railway noise, High-speed, train, micro-pressure wave, Reflected noise, Noise absorption)

1. 概要

1972年に山陽新幹線(新大阪-岡山駅間)が開業して50年が経過した。沿線で発生する騒音や振動については1975年に新幹線の騒音について環境基準が設けられ、翌1976年には振動に対しても環境指針値が設けられている。

一方、国内の速達化の需要拡大により、開業当初210km/hであった山陽新幹線の最高速度は1997年に300km/hに到達した。当社は沿線環境を保全するため車両の技術開発以外にも、地上設備により騒音や振動について対策を講じるべく、関係機関の協力のもと沿線環境の保全に努めている。

本稿ではその中でも山陽新幹線で実施したトンネル坑口周辺の沿線環境対策について報告する。

2. トンネル坑口周辺で発生する問題例

〈2.1〉トンネル微気圧波

高速鉄道で初めてトンネル微気圧波が観測されたのは、1975年に開業を控えた山陽新幹線の岡山-博多間の訓練運転時のことであった。トンネル微気圧波とは、トンネルに新幹線が高速で突入する際、トンネル内の空気が圧縮され、トンネル内を音速で伝わり、正のパルス波としてトンネルの反対側の坑口から放射される問題である⁽¹⁾。このパルス波により坑口付近の家屋の建具が振動する、新幹線が突入するたびに反対坑口側で発破音がする(いわゆる「トンネルドン」)といった問題を発生させた。延長の短いトンネルでは、圧縮波伝播中の波面の変形は小さく、バラスト軌道の場合は、バラストの減衰効果により圧縮波面は伝播とともに緩

やかになるため、それまで開業していた区間ではトンネル微気圧波が顕在化しなかった。しかし岡山-博多間ではスラブ軌道かつトンネル区間の割合が非常に多い。この問題に対しては当時の国鉄本社や技研、新幹線建設局等が対応にあたり、1976年には国内で最初のトンネル緩衝工が設置された。標準的なトンネル緩衝工の写真を図-1に示す。

トンネル緩衝工を列車が突入する側のトンネル坑口に設置することにより、圧縮された空気の一部を緩衝工の開口部から放出させ、トンネル内にて空気の圧力上昇に要する時間を引き延ばすことで退出側にて放出されるパルス波が問題化することを防いでいる。

山陽新幹線のトンネル微気圧波問題については、運行本数の増加や、速度向上に伴いしばしば社会問題化する傾向にあった。国鉄から事業を引き継ぎ、1997年には500系車両による300km/h運転を計画していた当社では、長大スラブトンネル以外にも緩衝工の設置基準を設けた。これにより山陽新幹線では緩衝工の建設工事が1990年代は特に盛んに行われるようになったが、坑口周辺の宅地造成が進むなどして300km/h運転に伴う緩衝工の新設工事は2009年まで続いた。



図-1 山陽新幹線の標準的なトンネル緩衝工

山陽新幹線におけるトンネル緩衝工建設の特徴を要約すると以下の通りである。

(1) 長大スラブトンネルにおける訓練運転時に初めて確認されたため、山陽新幹線における全てのトンネル緩衝工の新設は営業線近接工事となり、1基あたりの工事期間が長期化する傾向にあった。

(2) 新型車両の導入やそれに伴う速度向上により、長大スラブトンネル以外にも施工対策が拡大した。また、一度建設した緩衝工の延伸も行われた。

なお、新幹線のトンネル微気圧波には前述した騒音や振動のように明確な環境基準値や環境指針値は設けられていない。このため新幹線を営業する各鉄道事業者や、整備新幹線の建設を担う事業者によって微気圧波の低減目標や対策の考え方は異なるが、地上設備としてトンネル緩衝工を設置し、車両先頭形状を先鋭化させることで対応するケースが主流である⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

〈2.2〉トンネル坑口騒音

一方、トンネル微気圧波の対策工として設置したトンネル緩衝工が新たな沿線環境問題を引き起こすケースが存在する。トンネル内の圧力を調整するために緩衝工の側面に設けられた開口部から発生する騒音に関する問題と、トンネル坑口付近に緩衝工が設置されたことにより、新幹線の走行によって発生した騒音が緩衝工の内面で反射し、周辺に放射される問題である(以下、トンネル坑口騒音)。前者の範囲は非常に限定的であり、開口部を緩衝工の側面ではなく上面に設ける等の改良や、反対坑口で発生する微気圧波に影響しない範囲で開口部を閉鎖するなどの対処で解決可能であるが、問題となるのは後者である。

一般に、トンネル坑口周辺の騒音測定点はトンネル緩衝工の内面を見上げる事ができる位置にある(図-2)。この位置で測定される騒音レベルには、車両から発生する直接音の他に緩衝工内面から発生した反射音に加わるため、防音壁のかさ上げをはじめとした直接音対策だけでは全体騒音が低減しない可能性がある⁽⁵⁾。

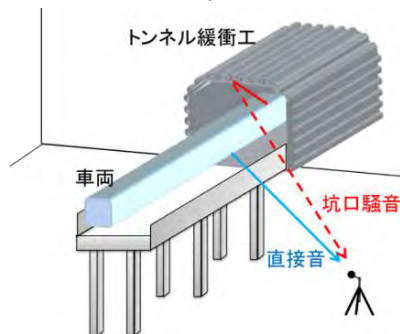


図-2 トンネル坑口騒音のイメージ図

トンネル坑口騒音の影響範囲については新幹線のトンネル坑口からおおよそ 100m の範囲までは通常のみかり区間よりも新幹線騒音レベルが大きくなる傾向であることが発表されている⁽⁶⁾。

坑口からの反射音の対策としてトンネル本坑や緩衝工の内面に吸音板を設置した事例はあるが、いずれも側面部のみの設置に留まり、沿線騒音の低減量は少なかった。

これに対し当社では既設のトンネル緩衝工内面の上面及び側面部に設置可能な吸音板を開発・施工し、トンネル坑口周辺において騒音レベルを 3~4dB 低減させた⁽⁷⁾(以下、緩衝工吸音化)。この施工では夜間の作業間合いの中で仮足場の仮設・解体を繰り返し、トンネル緩衝工内面の上面及び側面部内側に吸音板を設置した(図-3 左)。

緩衝工吸音化の発表以降も検討を重ね、施工性を向上させ、緩衝工自体の維持管理も阻害しない新しい工法を開発した。新工法では、既設緩衝工の外壁部を撤去した後に吸音板で外壁部を構成する(図-3 右)。

新工法では緩衝工の外側周辺に施工用の足場を存置できるため、緩衝工の内側に設置するときと比較して、約 20% のコスト削減効果が得られる。このほか、施工後のボルトの管理数が増えることもない。この新工法でもトンネル坑口周辺の騒音レベルを 3~4dB 低減させている⁽⁸⁾。



図-3 旧来の施工(左)と新工法(右)の様子

3. 吸音型緩衝工の新設

〈3.1〉緩衝工設置の社内基準を満たす家屋の新設

2.1 節で述べた通り、トンネル微気圧波対策として緩衝工を設置する基準は事業者によって異なる。山陽新幹線において緩衝工を設置していないトンネルの反対坑口周辺に近年新たに住宅が建設された(以下、新規住宅立地区間)。

これにより当社内で定めている緩衝工の設置基準を満たしたため、山陽新幹線で 12 年ぶりに緩衝工を新設することになった。

〈3.2〉緩衝工設置による坑口騒音増加のリスク

近年では鉄道総研とポストン大学の共同研究の成果である音響理論に基づいた数値解析を行えば、低減目標に対して必要な緩衝工の延長を求めることが少ない計算量・時間

で可能となっている⁽⁹⁾。今回の施工区間の検証を行った結果、新規住宅立地区間に近接したトンネルの列車突入側坑口に、線路延長にして 10m の緩衝工を設置すれば、新規住宅立地区間においてもトンネル微気圧波が問題化しないことが予測された。

ただし、緩衝工を設置する予定区間（以下、緩衝工建設区間）から 100m の範囲内に複数の家屋があり、緩衝工を新設することにより緩衝工建設区間周辺にて新たなトンネル坑口騒音問題を誘発することが懸念された。

〈3・3〉吸音型緩衝工の新設

そこで、今回の施工箇所では 2.2 節で述べた緩衝工吸音化の新工法をさらに応用し、緩衝工を新設する時点で外壁部分にあたる側面部や上部を全て吸音板で構成することにした。これにより新規住宅立地区間の微気圧波対策と緩衝工新設によるトンネル坑口騒音対策の両立を図った（以下、吸音型緩衝工）。

吸音型緩衝工の新設には約 3 ヶ月、準備工を含めると約 1 年間の工期を要した（図-4）。



図-4 新設工事途中の吸音型緩衝工

〈3・4〉坑口騒音対策効果の検証

坑口騒音低減対策の評価には図 5 に示す通り近接線軌道中心からの離れ 12.5m 点・25m 点・50m 点に配置し、さらに住宅近傍点の計 4 測定を設定した。測定は普通騒音計を用いて施工前、施工中、施工完了後の沿線騒音レベル（ L_{Amax} ）を測定した。このとき施工中の緩衝工は側面の一部が完成し上面は主鋼部だけの状態である。

各測定点を通過する近接側車両と遠隔側車両の騒音レベルのうち、それぞれ上位 3 本をパワー平均し、各測定点における施工前からのパワー平均値の差分を表-1 に、パワー平均値の推移を図-6,7 のようにそれぞれ整理した。

施工後に近接側を通過する列車の騒音レベルは 12.5m 点と 25m 点では 1dB 前後しか低減していないが、50m 点や



図- 5 吸音型緩衝工の新設範囲と評価点配置

表- 1 施工による沿線騒音レベルの低減量

	12.5m	25.0m	50m点	民家近傍	(dB)
施工前-施工中 (近接列車)	1.2	1.5	0.6	0.3	0.3
施工前-施工後 (近接列車)	0.9	1.3	2.3	2.4	2.4
施工前-施工中 (遠隔列車)	-0.7	2.2	3.6	2.7	2.7
施工前-施工後 (遠隔列車)	0.0	3.2	4.7	3.7	3.7

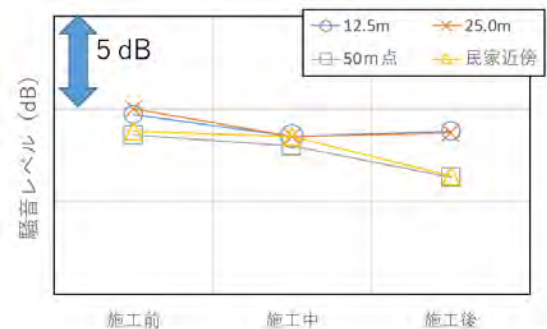


図- 6 近傍列車の騒音レベルの推移

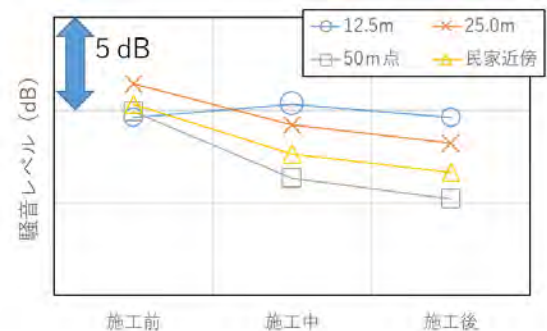


図- 7 遠隔列車の騒音レベルの推移

民家近傍点では騒音レベルが 2dB 以上低減している。また、遠隔側を通過する列車の騒音レベルは、12.5m 点を除き騒音レベルが約 3dB 以上低減している

線路に近い 12.5m 点において施工による騒音低減量が少ないのは、線路からの直接音の方がトンネル坑口騒音より寄与度が高かったためと考えられる。ただし、線路から離れ

た位置の騒音レベルは施工により明確に低減している。坑口から離れた民家近傍点においても騒音レベルの低減が確認できたのは、トンネル坑口から強く放射される騒音の角度と、坑口と家屋の位置関係が概ね一致していたためと考えられる。

施工中は緩衝工上面に外壁部がない状態であるので、上面からの反射は主鋼の面積分しか発生していない。つまり、仮に上面に吸音効果のない材料を採用していれば、上面からの反射の影響により施工後の騒音レベルが悪化していた可能性も考えられる。

遠隔列車が通過した時の 25m 点における施工前後のピーク騒音レベルを周波数分析した結果を図-8 に示す。

ほぼ同一の列車速度で通過した列車単体での比較した場合、緩衝工新設により幅広い帯域で騒音低減効果が確認できた。この特徴は既設緩衝工を吸音化した場合と概ね一致している。

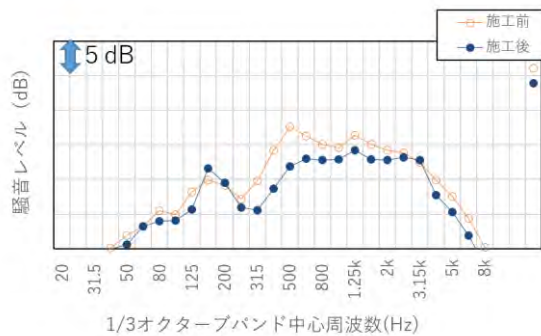


図-8 25m 点における遠隔列車単体の周波数分析結果

〈3・5〉トンネル微気圧波対策効果の検証

新規住宅立地区間周辺の公道上で観測した微気圧波を坑口から 20m 地点における値に換算し、施工前後の比較を行った結果を図-9 に示す。緩衝工設置により圧力値が低減していることが確認できる。なお、緩衝工の開口部は上面に設置しており、緩衝工設置後の測定結果は開口量を最適化した状態の値である。

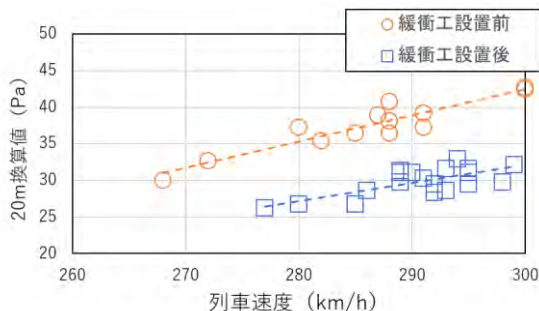


図-9 施工前後のトンネル微気圧波の速度依存図

4. まとめ

反対坑口に緩衝工のないトンネル坑口周辺にて新規住宅立地が行われたため、山陽新幹線で初となる吸音型緩衝工の新設を行った。吸音型緩衝工の新設により、新規住宅立地区間および緩衝工新設区間のそれぞれで発生する沿線環境問題を防いでいる。

トンネル緩衝工の新設は微気圧波に対して有効な設備であることが改めて確認できた。

緩衝工の新設や延伸に伴い沿線騒音レベルの増加が懸念される場合には、吸音型緩衝工の新設が有効であることが確認できた。ただし、線路やトンネル坑口に近い位置の騒音レベルに関しては満足な騒音低減効果が得られない場合がある。

環境基準では、事業者による新幹線の騒音対策や家屋等への障害防止対策の他に、行政による沿線の土地利用対策により後住者への環境問題を未然に防ぐことが求められている。2017年には環境省より「交通騒音問題の未然防止のための沿道・沿線対策に関するガイドライン」が発表された⁽¹⁰⁾。これにより今後の鉄道沿線の後住者問題に歯止めがかかることも期待したい。

文 献

- (1) 小沢智；トンネル出口微気圧波の研究、鉄道技術研究報告、No.1121、(1979)
- (2) 福田傑、宮地徳蔵、飯田雅宣：「微気圧波を小さくする地上設備」、RRR、Vol.66 No.8、pp.10-13、(2009)
- (3) 藤江幸人、佐藤忠浩、保野聡裕、明見正雄、栗林健一、齋藤岳季：「JR 東日本における新幹線の高速化」、橋梁と基礎、2018-8、pp.125-128、(2018)
- (4) 栗田健、奥村陽一、一木剛：「トンネル微気圧波を小さくする先頭形状の開発」、JR EAST Technical Review、No.1、pp.22-28、(2009)
- (5) 長倉 清：「トンネル坑口騒音の予測と対策」、鉄道総研報告、Vol.17、No.6、(2003)
- (6) 小方幸恵、北川俊樹：「車両の影響等を考慮したトンネル坑口周辺部の騒音予測」、鉄道総研報告、Vol.35 No.6、pp.5-10、(2021)
- (7) 新田琢磨、武田陽二、斎藤英俊、松井精一：「山陽新幹線トンネル坑口騒音の吸音化工事による効果検証」、土木学会年次学術講演会論文集、67th、pp.201-202、(2012)
- (8) 高田幸裕、斎藤英俊、清水健太、梶田敏雄：「緩衝工の吸音による鉄道沿線騒音と微気圧波の影響」、鉄道技術シンポジウム、No.2406、(2015)
- (9) Howe, M.S., et al. : Journal of Sound and Vibration, Vol.311, pp.254-268, (2008)
- (10) 環境省 水・大気環境局：「交通騒音問題の未然防止のための沿道・沿線対策に関するガイドライン」、環境省 HP、(2017)