

## 新幹線高速化に伴う地上側環境対策について



加藤 格\*



篠原 良治\*

当社では、新幹線360km/hでの営業運転実現に向けた研究開発をすすめている。本報告では、新幹線のさらなる高速化により増大するトンネル微気圧波と騒音について、沿線環境を悪化させないよう、低廉で実現できる対策についての研究開発概要について述べている。

技術開発した対策工については、320km/hの高速走行車両でのフィールド試験を実施し、機能の確認を行ったうえで、コストと効果について検証し実用化を目指していく。

●キーワード：新幹線高速化、地上設備、環境対策、騒音、微気圧波

### 1. はじめに

研究開発センターでは、「グループ経営構想V～限りなき前進～」にも掲げられている新幹線の360km/hでの営業運転の実現に向けた研究開発を行っている。現在は東北新幹線において、時速320km/h運転区間のさらなる拡大に向けた課題の抽出と対策案の検討を行っている。

新幹線高速化に伴う環境対策としては、車両設備と地上設備の2点があげられるが、本稿では、地上設備の対策であるトンネル微気圧波と沿線騒音についての研究開発概要を報告する。

### 2. トンネル微気圧波対策

微気圧波発生メカニズムを図1に示す。最初に、高速走行列車がトンネルに突入した際、入口で圧縮波が形成される。この圧縮波は、音速にて圧力勾配を変化させながらトンネル内を伝播していく。圧縮波が出口に到達すると、大部分は開口端で反射し、トンネル入口側へ再度伝播するが、ごく一部がパルス状の圧力波となりトンネル外へ放出される。これが微気圧波と呼ばれるもので、大きくなると発破音を発生させたりする。

微気圧波の圧力値は、トンネル出口に達した圧縮波の圧力勾配とトンネル断面積に比例するため、トンネル内を伝播する圧力勾配をいかにして緩やかにするかということが、微気圧波対策の基本となる。

以上から、①大きな圧力勾配を形成させない（突入対策）②トンネル内で圧力勾配を増加させない（伝播対策）③出口側から放出されるエネルギーを小さくする（放射対策）の3点に着目し対策工の検討を行っている。

#### 2.1 ダクト付きトンネル緩衝工（突入対策）

一般的な突入対策は、トンネルに高速列車が突入する際、

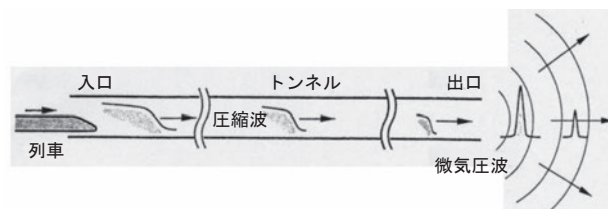


図1 微気圧波発生メカニズム

最初に形成される圧力波の波形を緩やかにするもので、従来よりトンネル坑口に設置されている緩衝工などがこれにあたる。

新幹線の高速化に伴い増大するトンネル微気圧波を抑えるためには、既存の緩衝工の延伸も対策のひとつとして考えられる。しかしながら、緩衝工がある程度長くなると、微気圧波低減効果が小さくなるほか、緩衝工延伸に伴い既存設備の支障移転や長期間の夜間施工が必要になるなど、コスト面にも課題がある。

ダクト付きトンネル緩衝工は、従来のトンネル緩衝工の天井に煙突状のダクトを取り付けるものであり、従来型トンネル緩衝工よりも短い延長で微気圧波を低減することが可能である（図2）。

本構造については、既往の模型試験結果<sup>1)</sup>より、ダクト付きトンネル緩衝工の延長が40mまでの場合、微気圧波低減効果が確認されており、東北新幹線大宮・盛岡間の7坑口で施工実績がある。今回、新幹線高速化に対応するため、40m



図2 ダクト付きトンネル緩衝工

以上のダクト付きトンネル緩衝工の適用拡大を目的として、長大緩衝工へダクトを設置した際の微気圧波低減効果を模型試験にて確認する。あわせて、長大緩衝工を有する実構造物へダクトを取り付け、高速走行車両にてフィールド試験を実施する予定である。

## 2.2 トンネル内音響管設置（伝播対策）

高速走行列車に対して、突入対策としての入口側緩衝工のみで微気圧波対策を行う場合、橋りょうなど現地の条件により施工が困難であることが懸念される。このような状況に対応するため、突入対策と合わせて、トンネル内を伝播する圧縮波の圧力勾配を緩やかにし、微気圧波を低減させる対策を検討している。

トンネル内音響管は、一端を閉塞したパイプ状の構造体をトンネル内の線路方向へ設置するものである。音響管により、トンネル内を伝播する圧縮波を本坑と音響管とに分岐させ、伝播タイミングをずらすことで、圧力勾配を緩やかにすることができる（図3）<sup>2)</sup>。

ただし、音響管からの反射波と本坑を伝播する圧縮波のタイミングをずらすためには、音響管自体に十分な長さが必要である。また、微気圧波低減効果は音響管の断面積が大きいほど、設置延長が長いほど大きくなることから、本構造については、建築限界や保守管理上の課題に対する検討も必要となる。

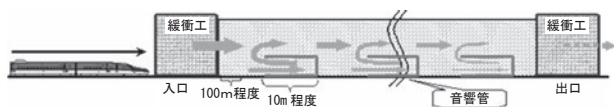


図3 音響管による圧縮波低減イメージ

## 2.3 バラスト散布（伝播対策）

トンネル内音響管設置と同じく、トンネル緩衝工の補助対策として、スラブ軌道へのバラスト散布を行う伝播対策を検討している。スラブ軌道トンネル内の圧縮波は、バラスト軌道トンネルと異なり、トンネル内伝播中に圧力勾配を急峻化させ、その後減衰していく。一般的にはトンネル延長8kmまでのもので、伝播による圧力勾配が最大化しそれ以上のトンネルでは減衰していくといわれている。<sup>3)</sup> 当社に多い延長が3kmから4km程度のトンネルは、圧縮波が減衰する前にトンネル出口に到達するため、大きな微気圧波を発生させやすい。

一方、バラスト軌道のトンネルでは、圧縮波の伝播に伴い波面が穏やかになり、波面圧力勾配が小さくなっていくこと、また、伝播に伴い圧力波勾配の立ち上がり方がなだらかになり、丸みをおびてくる特徴があることが公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）の測定により判明している<sup>3)</sup>。

そこで、スラブ軌道にバラストを散布し、バラスト軌道と同様の効果があるか確認を行うこととした。

2013年度から2014年度にかけて、延長3,330mのトンネル

において、枠型スラブ構造となっている2,930mについて、枠型スラブ内、トンネル側壁部下部、中央通路段差部に、網に入れたバラストを散布し、フィールド試験を行う予定である（図4）。

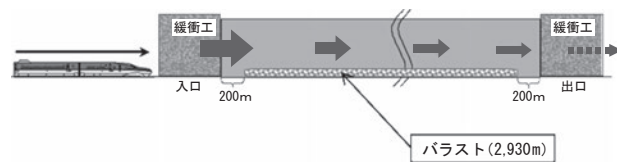


図4 バラスト散布イメージ

試験により、バラストの散布面積や位置（図5）ごとの微気圧波低減効果を明らかにし、設置コストも含め実施可能な対策工であるかどうかの研究を進めていく。

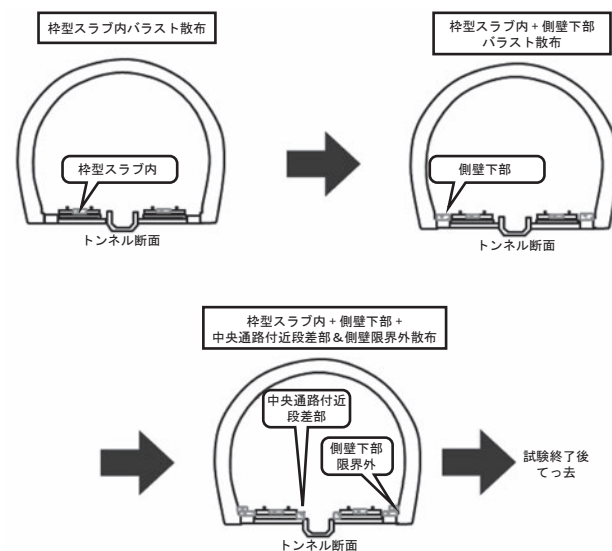


図5 バラスト散布ステップ

## 2.4 内壁付きトンネル緩衝工（放射対策）

「内壁付きトンネル緩衝工」は、鉄道総研より突入対策であるトンネル緩衝工の補助対策として提案されている<sup>4)</sup>放射対策である。トンネル微気圧波の圧力値は、放射断面積（トンネル出口側の断面積）に比例するのでトンネル出口の断面が小さいほど微気圧波を低減することが可能である。内壁付きトンネル緩衝工は、トンネル出口において、トンネル断面より大きい断面を持つフード状の構造を構築し、フード部分を内壁により分割したうえで、先端を閉鎖させる構造である（図6）。微気圧波放出側の断面積を縮小すると共に、内壁に十分な長さを持たすことで圧縮波の伝播するタイミングをずらし、発生する微気圧波を低減するものである。

現在は、既存のトンネル緩衝工にフード状の外壁を増設する形で概略構造とコストの検討を行っている。

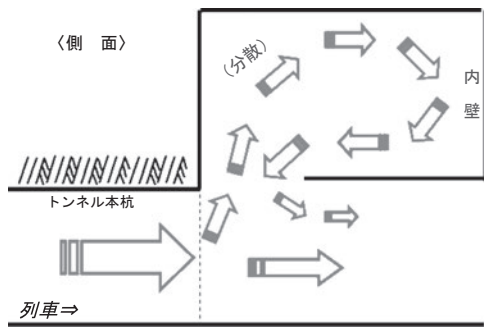


図6 内壁付トンネル緩衝工概要

### 3. 沿線騒音対策

騒音については、昭和50年当時の環境庁より、新幹線鉄道騒音に係る環境基準について告示されており、基準値は、I類(住宅地)70dB以下、II類(商業地)75dB以下となっている。

走行速度を向上すると、騒音レベルは上がっていくが、現在の主力であるE5系車両は、環境性能に優れ、E2系車両に比べ騒音レベルは非常に小さい。しかし、高速化した場合の予測で、騒音の基準値を超えると判断された箇所については、車両側だけでなく、地上対策も必要となる。また、今後対策工を施工する場合、従来工法よりも安価な工事費が求められる。

地上設備による新幹線の騒音対策は、防音壁の壁高を高くする「嵩上げ」が一般的な方法である。嵩上げはコンクリート板やポリカーボネート板(透明板)を既設防音壁の上部に継ぎ足した構造で、車両の騒音を反射し、沿線に伝わる騒音を低減させるものである。当社では、施工後の測定により、高さ1mの嵩上げは、軌道中心から25m離れた地上1.2mの点(以下、25m点)において、およそ2dBの騒音低減効果があることを確認している。直壁型や逆L型など各種防音壁形状での施工実績があり効果をあげているが、それ以上の騒音低減効果を求めるとさらに高さを上げることとなり、高架橋の強度不足や電気設備との干渉など、施工に制限を受ける場合がある。新幹線のさらなる高速化を実現するためには、高さを抑えても大きな騒音低減効果が得られる対策工の検討が必要である。

新幹線の騒音対策としては、防音壁の嵩上げのほかに音の干渉現象を利用した騒音低減装置を一部区間の防音壁に設置している。防音壁外側にも用地が必要となる形状から設置可能な箇所が限られていたが、問題点を改良した「NIDES」を開発し、現在順次設置をすすめている。その他にも、設置可能と思われる対策工(表1)を選定し、可能なものは模型実験を実施しその効果について評価している。引き続き、対策工として有効と思われるものについて、フィールド試験で騒音低減性能、耐久性の確認を行っていく。

表1 検討中の対策工

対策工	形状	特徴
NIDES		・多重回折・干渉型 ・重量大(50kg/m)
Y型防音壁		・回折・干渉型
先端改良型減音装置		・エッジ効果抑制型 ・軽量(17kg/m)
吸音音板		・吸音・遮音型 ・軽量(15kg/m)
レール近接位置低防音壁		・吸音・遮音型

#### 3.1 NIDES

NIDESは、当社がメーカーと新幹線用騒音低減装置として共同開発したものである。防音壁上部に設置することにより、多重回折・干渉を利用して騒音低減効果が得るものである。以前の多重回折・干渉型騒音低減装置は、防音壁外側に800mm張り出すため、用地境界を侵してしまう問題があったが、NIDESは本体が防音壁外側に張り出さない形状に改良し、設置可能箇所を拡大した。図7に示す減音メカニズムにより、単体で2dB、1mの壁の嵩上げとNIDESで5dB程度の騒音低減効果を確認している<sup>5)</sup>。

鉄筋コンクリート製直壁型防音壁部では1.3kmの施工実績があるが、その他天井部がある逆L型構造やH鋼の支柱間にパネル材を設置したSRC構造の防音壁などでの実績は無い。今後、各構造・形状の防音壁について実際に設置し、取付方法、施工性、長期耐久性、設置コストなど明らかになっていないことについて評価を行う。

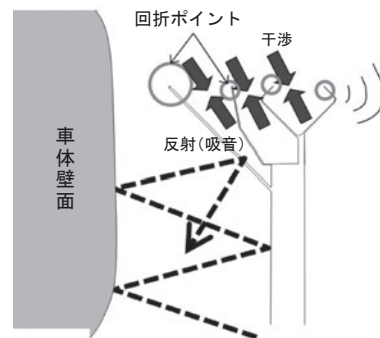


図7 NIDES減音メカニズム

#### 3.2 Y型防音壁

「Y型防音壁」は鉄道総研による模型実験<sup>6)</sup>の結果、新幹線用防音壁として最適とされた形状である。

Y型防音壁は、音を2重に回折させる効果および防音壁上部で入射音と反射音を干渉させる効果を利用して騒音を低減する仕組みの防音壁で、道路の騒音対策では多数の変

形バリエーションとともに実用化されている。新幹線騒音は道路騒音と比べると、騒音の発生源が台車部、パンタグラフなど複数あることや、車両が長く、防音壁と近いため、音が多重反射してしまうことなどから、道路用の防音壁が新幹線の騒音低減にどの程度効果を発揮するか未解明であったが、模型実験によりこれらの抑制効果が高いことが確認された。

高架橋防音壁への適用は、防音壁外側への張り出しが発生してしまうため、用地買収等を伴うが、盛土・切土区間やトンネル前後の用地が確保されている箇所では有力な対策工と考えられる(図8)。現時点では最大の騒音低減効果が得られる寸法やY型の角度、設置離れ、高さについての知見は得られていないため、模型実験により切土部に適用した場合の最適な形状について検討していく。

NIDESと比較して比較的低コストで設置可能であるが、降雪地域においては、積雪による影響について十分な検討が必要となる。

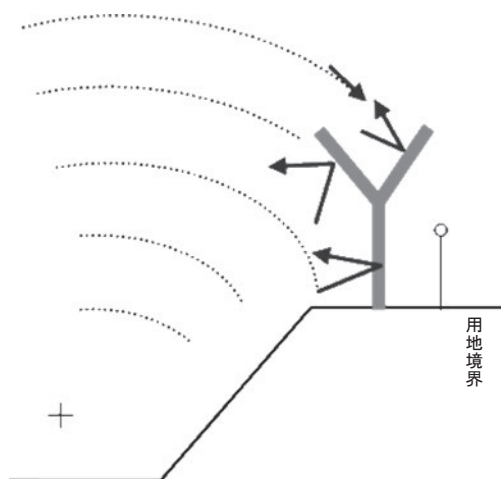


図8 切土部設置Y型防音壁

### 3.3 先端改良型減音装置

先端改良型減音装置は「エッジ効果抑制」という新しく提案されている理論に基づく減音装置<sup>7)</sup>である。これは遮音や吸音するのではなく、音の進行方向を変えることにより、騒音を低減したエリアができるようにするものである。

今後フィールド試験により、最適な設置条件を把握するとともに、耐久性の確認をおこなう。

### 3.4 吸遮音板

既設コンクリート防音壁内側に取付けている吸音板を改良し、背面に遮音板を取付けたものである。既存SRC防音壁と入れ替えることにより、騒音を低減する効果を期待して開発された。吸音と遮音の機能を持ち合わせており、環境条件等により防音壁の嵩上げが出来ない箇所での利用が期待できる。

フィールド試験を行い、その騒音低減効果や施工性、設置が有効な環境等を確認する。

### 3.5 レール近接位置低防音壁

車両下部音が沿線の高所空間に伝播することを防ぐ目的でレールの近接位置に設置する低い防音壁である。私鉄在来線での施工時実績がある。縮小模型実験によって、騒音低減効果の確認は出来たが、新幹線では台車近傍に路盤コンクリートから高さ1.5m程度の壁が立つことになるため、耐風圧などを考慮した構造や設置方法の十分な検討が必要である。また、貯雪区間内では貯雪容量が減少すること、作業通路からレールが見えなくなるなどの課題があり、さらに検討をすすめる必要がある。

## 4. おわりに

新幹線高速化に伴う地上側環境対策として、トンネル微気圧波対策と沿線騒音対策について、フロンティアサービス研究所で適用を検討している対策工を紹介した。沿線の環境、地上設備は箇所ごとに異なることから、それぞれの特状をよく把握し、求められる性能と対策コストを検討して最適な工法を選定していかなくてはならない。新幹線高速化に向けて、引き続き各対策工の特性・性能について明らかにするための研究開発を進めていく。

### 参考文献

- 1) 石川聡史、中出千博、柳沼謙一、渡邊康夫、増田達；新しいトンネル緩衝工（ダクト付・軽量パネル型）の開発，JR EAST Technical Review, No31, 2010.5
- 2) 特許 登録番号 4383271「管状体構造」発明者 栗田健、福田傑、飯田雅宣、村田香
- 3) 宮地徳蔵、福田傑、小澤智；バラスト軌道トンネル内圧縮波の伝播の数値計算とその検証，鉄道総研報告 Vol21, No3 (2007)
- 4) 齊藤実俊、地徳蔵、飯田雅宣；フード状構造物による列車退出側坑口でのトンネル微気圧波低減対策，鉄道総研報告 Vol27, No1 (2013)
- 5) 田原孝、櫻井一樹、森圭太郎、柳沼謙一、増田達；新たな地上設備の開発による新幹線の騒音低減，JR EAST Technical Review No31 2010.5
- 6) 長倉清、北川敏樹；新幹線用防音壁の形状に関する研究，RTRI REPORT Vol.16, No.12, 2002.12
- 7) 河井康人、豊田正弘（関西大）；エッジ効果抑制型遮音壁の性能向上について，日本音響学会講演論文集 1-8-23, 2012.3