## 1518 高速列車通過時のトンネル緩衝工側壁に作用する圧力

# ○斎藤 英俊 武田 陽二 山本 功 梶田 敏雄 (西日本旅客鉄道) 斉藤 実俊 福田 傑 (鉄道総合技術研究所)

## Pressure fluctuation on the inside wall of the tunnel entrance hood under train passage Hidetoshi SAITO, Youji TAKETA, Isao YAMAMOTO, Toshio KAJITA (West Japan Railway Company) Sanetoshi SAITO, Takashi FUKUDA (Railway Technical Research Institute)

Wayside railway-noise near the tunnel entrance generated by high speed train tends to be large in general because of the reflected sound from within the tunnel. The reflected sound from within the tunnel might not be reduced sufficiently only with the countermeasures against direct sound such as sound barrier. As the countermeasure against the reflected sound from within the tunnel, in Sanyo-Shinkansen, the construction to set up the acoustic absorbent material on the inside wall of the tunnel entrance hood has been underway. In order to design the strength of the acoustic absorbent material, pressure fluctuation on the inside wall of the tunnel entrance hood at the time of high speed train passage was measured with pressure anemometers. In this paper, the result of measurement of pressure fluctuation on inside wall of the tunnel entrance hood is reported.

Keywords : Tunnel hood, Pressure fluctuation, Positive or passive pressure, High speed train

## 1. はじめに

トンネル坑口付近における列車通過時の沿線騒音は、 明かり区間(トンネル区間以外の区間)からの直接音に トンネルから放射される坑口放射音が重なるため、防音 壁のかさ上げなど直接音対策だけでは全体騒音が下がら ない場合がある )。そこで山陽新幹線では、トンネル坑 口騒音の低減対策として、トンネル微気圧波<sup>2,3)</sup>対策で設 置されたトンネル緩衝工の内側壁面(以下、緩衝工側壁 という) に吸音板を設置する工事を進めている<sup>4).5).6)</sup>。こ の吸音板の設計耐力を検討するため、新幹線が緩衝工を 高速通過する際に緩衝工側壁へ作用する圧力を把握する 必要がある。トンネル緩衝工内部で発生する圧力には、 列車先頭部がトンネル緩衝工へ突入する際に発生する圧 縮波 7)のほかに、高速列車通過時に発生する列車周りの 圧力場<sup>8)</sup>によるものや、列車通過時の流路縮小効果によ る圧力変動など多種多様であり、それらが緩衝工内部に おいて重畳することから、現象を把握することは容易で はない。そこで、実際にトンネル緩衝工内の吸音化工事 が予定されている現場において、新幹線車両が緩衝工を 通過する際に緩衝工側壁に作用する圧力を調べた。

#### 2. 測定概要

測定を実施したトンネル緩衝工は延長 10m で、全長 105m のスラブ軌道トンネルの西口に接続されている。 測定箇所の写真を図1に、測定器の設置状況を図2に示 す。図2において、上り線を走行する列車は西口緩衝工 へ突入し、下り線を走行する列車は西口緩衝工から退出 する。緩衝工坑口からトンネル坑口へ 8.6m 地点の上下 線それぞれの緩衝工主構に風圧計(SSK 製 P325W)を設 置した。設置高さはレールレベルから 1m としている。 上り線側には微気圧波低減用の開口部は設けられていな い。一方、下り線側に設置した風圧計の横には横 5.1m× 縦 1.3m の開口部が設けられている。また、上下線それ ぞれの軌道中心からトンネル緩衝工側壁までの距離は 2.8mとなっている。なお、このトンネルの東口にも延長 10mのトンネル緩衝工が設置されている。



図1 圧力測定を実施した西口緩衝工の写真 (上り線側より撮影)



[No. 12-79] 日本機械学会 第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 [2012-12.5~7. 東京]



上り線側風圧計

下り線側風圧計

図3 緩衝工内側壁の圧力波形と x-t ダイアグラム (左図:上り列車突入時、右図:下り列車退出時)

## 3. 測定結果

#### 3.1 圧力波形

測定は上下線を通過する 20 本の列車について実施し た。測定を実施した車両の先頭形式は、全て N700 系で あり、本測定地点における列車最低速度は 245km/h、列 車最高速度は300km/h であった。なお、本測定中、測定 トンネルにおいて上下線を走行する列車のすれ違いはな かった。図3に、上り列車、下り列車の緩衝工通過時の 圧力波形(いずれも近接側の測定結果)およびこの際の x-1 ダイアグラムを示す。図3(左図)より、上り列車が 緩衝工西口に突入する場合、上り線側(近接線側)の緩 衝工側壁には先頭部通過前後に正のピーク、後尾部通過 前後に負のピークの圧力を受けていることがわかる。一 方、図3(右図)より、下り列車が緩衝工西口から退出 する場合、下り線側(近接線側)の緩衝工側壁には先頭 部通過前後に負のピーク、後尾部通過前後に正のピーク の圧力を受けていることがわかる。また、列車先頭部が 緩衝工へ突入する際に圧縮波が形成され、これがトンネ ル内部で開口端反射している様子も一部確認できる。

### 3.2 遠隔および近接列車の影響

図4に(a)上り列車(300km/h)通過時および(b)下り列 車(294km/h) 通過時における近接側・遠隔側の圧力波 形を示す。図中の白抜き矢印は列車先頭部が通過した時 点を表し、黒塗り矢印は列車後尾部が通過した時点を表 している。図4より、列車先頭部および後尾部が通過す る際に近接側と遠隔側で測定される圧力の差が大きくな っていることがわかる。ここで、トンネル緩衝工内部で 発生する圧力変動が最も大きい上り列車先頭部が通過す る際(図 4(a)白抜き矢印部)の圧力発生要因について説 明するため、上り列車先頭部が緩衝工に突入する際の波 形を拡大したものを図5に示す。図5において、緩衝工 内に列車先頭部が突入すると、まず圧縮波が発生し音速 で伝搬する。ほぼ同時に列車先頭部周りの正の圧力場が 測定点を通過し、これらが重畳して大きな正の圧力(図 5①)を生じさせている。その直後に列車先頭部が測定点 の横を通過すると、流路縮小効果により圧力が急激に低 下する(図52)。さらに、その直後に列車先頭部周りの

近接側 遠隔側



図 4 列車通過時における近接側・遠隔側の圧力波形



## 図5上り列車先頭部通過時における圧力波形 (図4(a)白抜き矢印部の拡大図)

負の圧力場が測定点を通過する(図5③)。

通常、列車先頭部がトンネルに突入した際にトンネル 内に発生する圧力波の波長はトンネル直径より長く平面 波であるため、トンネル坑口からある程度奥であれば発 生する圧力の変動量はトンネル断面内で一様となり、近 接側と遠隔側で等しくなる。一方、列車通過時に発生す る列車回りの圧力場は列車からの距離によって異なり、 列車からの距離が近い近接側測点で大きくなる。したが って、列車先頭部および後尾部が通過する際に近接側と 遠隔側で測定される圧力の差が大きくなる要因は列車周 りの圧力場の影響と考えられる。この近接側と遠隔側の 圧力差について、正圧では 0.73kPa で、負圧では 0.70kPa となっており、列車周りの圧力場の影響は少なくとも 0.70kPa 程度はあるものと考えられる。

また、今回の測定では緩衝工坑口から圧力測定地点ま での距離が短い。そのため、列車先頭部がトンネル緩衝 工に突入する際に発生する圧縮波が十分に形成される前 に列車先頭部が測定点を通過し、流路縮小効果による圧 力の低下が生じているものと考えられる。したがって、 緩衝工坑口から測定地点までの距離が長いほど、流路縮 小効果による圧力低下が始まる前に圧縮波が十分に生成 されるため、測定される圧力の最大値は大きくなるもの と考えられる。ここで、原<sup>7)</sup>によると、列車先頭部にお いて、はく離がなく摩擦の効果を無視した場合、トンネ ルに突入したときに発生する圧縮波の大きさは以下のよ うに示される。

$$\Delta P = \frac{1 - (1 - R)^2}{(1 - M)^2 (M + (1 - R)^2)^2} \frac{1}{2} \rho U^2 \tag{1}$$

ここで、ΔP:列車先頭部圧縮波による圧力上昇量、M: 列車速度のマッハ数、R:列車・トンネル断面積比、ρ: 空気密度、U:列車速度である。

ここで、R を列車・緩衝工断面積比として、列車先頭 部圧縮波による圧力上昇量*ΔP*を求め、これが約 1.3kPa となることを確かめた。これより、上り列車の先頭部が 長大緩衝工に突入する際に奥部(トンネル本坑に近い地 点)の側壁に作用する圧力は、圧縮波の圧力上昇量 (1.3kPa)に列車周りの圧力場の影響(0.7kPa)が加わ るため、2.0kPa 程度の正圧が作用する可能性があると考 えられる。

## 3.3 緩衝工側壁に作用する圧力の最大値

各測点における圧力の正と負のピーク値の圧力係数 (圧力/(ρU<sup>2</sup>/2))を図6に上り列車と下り列車に分けて示 す。緩衝工側壁に作用する圧力の最大値は、上り下り両 方向の列車を併せて考えると、図6より正のピーク値は 上り列車(緩衝工に突入する列車)の先頭部が通過する 際に近接側測点で生じており、この圧力係数の平均値は 0.33である。この圧力係数より列車速度 300km/h の正圧 のピーク値は 1.4kPaとなる。一方、負のピーク値は上り 列車(緩衝工に突入する列車)の後尾部が近接側測点を 通過する際と下り列車(緩衝工から退出する列車)の先 頭部が近接側測点を通過する際に生じ、圧力係数の平均



(a) 上り列車(突入列車)通過時の圧力係数 (正圧:先頭部通過時、負圧:後尾部通過時)



(b) 下り列車(退出列車)通過時の圧力係数(正圧:後尾部通過時、負圧:先頭部通過時)

図6各測点における圧力の正と負のピーク値の圧力係数

値は概ね等しく-0.2 程度となっている。この圧力係数よ り列車速度 300km/h の負圧のピーク値は・0.9kPaとなる。 ただし、下り線側測点は横に調整用の開口部があるため、 開口部のない状態と比較して圧力が小さく測定されてい る可能性がある。

本測定では、上下線を走行する列車のすれ違いはなく、 対向列車の影響は不明である。対向列車がある場合、自 列車に対する風速が単独列車の場合より大きくなるため、 緩衝工の受ける圧力は対向列車の影響の無い場合に比べ て一般には大きくなる(突入のタイミングによっては対 向列車の作る圧縮波の影響で圧力が小さくなる場合もあ りうる)。また、対向列車と緩衝工付近ですれ違う場合に も、対向列車は自列車に対する緩衝工の断面積を見かけ 上小さくするため、緩衝工にかかる圧力は対向列車の影 響のない場合に比べて大きくなると考えられる。対向列 車が緩衝工側壁の圧力に与える影響については、今後の 課題とする。

## 4. おわりに

新幹線車両が延長 10m 程度の短いトンネル緩衝工を 通過する際に緩衝工側壁に作用する圧力を測定した。そ の結果、延長 10m程度の短い緩衝工側壁に作用する圧力 の最大値は、上り列車(緩衝工に突入する列車)の先頭 部が通過する際に近接側測点で生じており、この圧力係 数の平均値は 0.33 である。この圧力係数より列車速度 300km/hの正圧のピーク値は 1.4kPaとなる。さらに、こ のときの緩衝工側壁に作用する圧力は、列車突入時の圧 縮波と列車周りの圧力場が重畳していることを示した。 また、延長 10m以上の緩衝工の奥部(トンネル本坑に近 い地点)では、列車突入時の圧縮波による圧力上昇時間 が長くなるため、緩衝工側壁に作用する圧力は今回の測 定値以上になることを示した。緩衝工の奥行き方向に対 する圧力の違いおよび対向列車が緩衝工側壁の圧力に与 える影響については今後の検討課題とする。

## 参考文献

- 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.11 (2003)
- 小沢智、森藤良夫、前田達夫、木下真夫:トンネル出 口微気圧波の実態、鉄道技術研究報告、No.1023, 1976
- 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
- 4) 松井精一、川崎照夫、高田幸裕、岡田祐樹、川口二 俊:緩衝工内吸音処理による新幹線鉄道トンネル 坑口騒音低減効果の予測、日本騒音制御工学会秋季 研究発表会講演論文集、pp.135-138 (2010)
- 5) 松井精一、川崎照夫、新田琢磨、川口二俊:緩衝工 内吸音処理による新幹線鉄道トンネル坑口騒音低減 効果の検証、日本騒音制御工学会秋季研究発表会講 演論文集、pp.281-284 (2012)
- 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、
  平成24年度土木学会全国大会第67回年次学術講演会(2012)
- 7) 原朝茂:列車が高速で隧道に突入する場合の流体 力学的諸問題、No.153、1960
- 8) 菊地勝浩、吉田康夫、飯田雅宣、吉村彰芳:低周波 音圧レベル計で得られた波形のディジタル逆フィル タの適用、第34回流体力学講演会、pp161-164 (2002)