

博士論文（要約）

超高速鉄道トンネルの微気圧波の評価および その低減対策の提案

本田 敦

論文の要約

列車が高速でトンネルに突入すると圧縮波が形成され、トンネル内を伝播し、反対側坑口からその一部が微気圧波として放射され、いわゆるドン音や建具の振動などの影響を及ぼす場合がある。超電導磁気浮上式鉄道（以下、「超高速鉄道」という。）による中央新幹線の路線は、約 86%がトンネルであり、超高速鉄道の列車がトンネルに突入することにより発生する微気圧波の影響を低減するための技術開発は、重要なテーマと位置づけられる。

そこで本研究では、超高速鉄道における微気圧波を対象とし、まず、山梨実験線の先行区間においてトンネル内圧縮波と微気圧波の現地計測から現状把握を行う。次に、延伸・更新された実験線における現地計測と伝播解析により、長大トンネルにおける圧縮波の伝播性状を明らかにするとともに、反対側坑口に設置される緩衝工の効果を模型試験と現地計測により明らかにする。これらを踏まえ、突入／伝播／放射の各解析により中央新幹線に適用する標準的な緩衝工を提案する。最後に、提案した標準的な緩衝工の効果を山梨実験線での現地計測により検証する。

第1章では、本研究の背景、および、微気圧波が放射直前の圧縮波の最大圧力勾配に比例しこの最大圧力勾配の低減が微気圧波抑制に重要であることなど、既往の研究について述べている。

第2章では、山梨実験線先行区間における列車突入時のトンネル内圧縮波および微気圧波の現地計測を行い、微気圧波は基準を満足していることを確認する一方、中央新幹線で計画されている長さ約 45 km までの長大トンネルにおける微気圧波の伝播性状の解明の必要性について確認している。

第3章では、延伸・更新後の山梨実験線の延長 23km のトンネルにおいて現地計測と波動伝播解析を行った。波動伝播解析では、トンネル内を伝搬する圧縮波が断面内一様の平面であると仮定し一次元圧縮性流体解析を行った。壁面との摩擦については、圧縮波が到達し、静穏状態から層流境界層が形成され、その後、乱流境界層に変化するモデルを用い、現地計測結果とよく対応していること確認した。これらの結果、最大圧力勾配は、列車速度 500km/h 以上の場合、圧縮波の波面を切り立たせる非線形効果が壁面との摩擦による減衰効果に卓越して次第に増加し、その後、非線形効果が弱まって減衰していくことが分かった。また、トンネル延長 2~18km の範囲で在来新幹線と比べて最大圧力勾配が大きくなるため、入口側だけではなく反対側の緩衝工の微気圧波低減効果についても解明する必要があることを示した。

第4章では、トンネル反対側に設置される多孔板を有する緩衝工（以下、「多孔板緩衝工」）の効果を解明するため、1/31 の模型試験と山梨実験線において計測を行った。その結果、

多孔板がない場合に比べて、長さ 125m, 150m の反対側の多孔板緩衝工は、微気圧波をそれぞれ 42%, 55%低減する効果があることが分かった。これにより、入口側だけではなく、反対側の緩衝工の効果も考慮することで、より効率的かつ合理的な微気圧波低減対策が可能となることを明らかにした。

第5章では、所要の微気圧波低減効果を有し、沿線の騒音と建設コストの低減も考慮した、中央新幹線のすべての長大トンネルに適応可能な標準的な緩衝工を提案した。まず、微気圧波の評価のために、列車の突入による圧縮波の形成、トンネル内の圧縮波の伝播、微気圧波の放射の各々について解析により再現し、これらを組み合わせて評価する手法を示した。突入解析では、列車のトンネル突入を再現した Ogawa and Fujii の方法に基づき、列車・緩衝工・トンネル・軌道の形状を再現した 3次元圧縮性流体解析を行い、列車が 500km/h でトンネルに突入した際の圧縮波の圧力変動を算出した。これを初期波形とし、第3章の一次元波動伝播解析を用いて、圧縮波の伝播距離と最大圧力勾配との関係を求めた。放射解析は、様々な圧力勾配を持つ圧縮波の圧力変動を入力波形とし、突入解析と同じ 3次元圧縮性流体解析により、放射直前の最大圧力勾配と微気圧波との関係を求めた。これにより伝播解析で得られた最大圧力勾配を微気圧波に変換することで効率的に微気圧波を評価する手法を提案した。この突入／放射解析は現地の計測結果と良く対応していることも確認した。この手法を用いて、多孔板緩衝工の開口率と設置延長をパラメーターとして評価を行い、標準的な緩衝工として、開口率 1.5%、設置延長 150m を選定した。これをトンネルの両坑口に設置することにより、対策がない場合に比べて微気圧波を 13%にまで低減し基準を満足するとともに、沿線騒音を 25m 離れた地点で 75dB 以下に抑え、建設コストの抑制も可能であることを示した。

第6章では、延伸・更新後の山梨実験線における開口率 0.5%の既存の多孔板緩衝工を開口率 1.5%に改良し、改良前後のトンネル内圧縮波と微気圧波の計測結果から、標準的な緩衝工が入口側と出口側の両方で効果を有することを確認した。

第7章では、本論文のまとめとして、結論を述べている。

本研究では、まず、山梨実験線先行区間でトンネル内圧縮波と微気圧波を計測して、長大トンネル内の圧縮波の伝播性状の解明の必要性について改めて確認した。次に、延伸・更新後の山梨実験線の長大トンネルにおける現地計測と一次元波動伝播解析によりトンネル内圧縮波の最大圧力勾配は次第に増加したのち漸減することを明らかにした。また、反対側坑口の多孔板緩衝工の微気圧波低減効果を模型試験と現地計測により明らかにした。これらを踏まえ、突入／伝播／放射の各解析を組み合わせて効率的に微気圧波を評価する手法を提案し、これを用いて、中央新幹線のあらゆる長さのトンネルに適用できる標準的な緩衝工を提案した。最後に、標準的な緩衝工について山梨実験線においてその効果を検証した。