Osaka University Knowledge Archive

Title	高速鉄道におけるトンネル内圧力変動とトンネル微気圧波に関する研究
Author(s)	齋藤, 実俊
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/53989
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（齋藤　実俊　）	
論文題名	高速鉄道におけるトンネル内圧力変動とトンネル微気圧波に関する研究

論文内容の要旨

新幹線などの高速鉄道における列車速度の向上や新規路線の建設に際しては，列車の速度向上にともなって顕在化するトンネル・列車系の空力現象であるトンネル内圧力変動の予測とトンネル微気圧波の低減対策方法を検討する必要がある．トンネル内圧力変動の予測に関しては，列車速度の向上に伴って，これまで仮定してきた列車速度が音速より十分小さいという近似が成立しなくなり，従来の予測方法では誤差が大きくなる傾向にある．また，トンネル内での列車通過時における列車近傍設備（トンネル壁面の機器箱，地下駅のホームドア，対向列車の車体側面など）に作用する圧力変動は先頭部形状の影響を大きく受けるが，従来使用してきた一次元モデルではその効果は無視されている．しかし，先頭部形状に依存する圧力変動は速度向上とともに無視できない大きさになり，その効果を考慮した予測手法の開発が望まれる．一方，トンネル微気圧波低減対策は列車の速度向上にともない，従来の緩衝工や列車先頭部の延伸だけでは限界に達しつつあり，350km/h以上の高速走行の実現には非常なコスト増加が懸念されている．そのため，既存の低減対策法を補完する新たな低減対策方法の開発が求められる状況にある．

そこで，本研究では，鉄道のさらなる高速化に対応するために，350km/h以上でも精度の良いトンネル内圧力変動予測手法を開発するとともに，新しい効果的なトンネル微気圧波低減対策方法を提案した．

第1章では本研究の背景ならびに既往の研究事例について説明するとともに，その目的について述べた．

第2章では新たに開発したトンネル内圧力変動の数値シミュレーション手法を提示した．これは高速域（350km/h程度以上）での予測精度を向上させたもので，音波近似などを仮定しない非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーション手法である．さらに，列車通過時圧力変動の予測精度向上のために，列車先頭部，後尾部の断面積変化の影響を考慮したトンネル内圧力変動シミュレーションとして，三次元非圧縮性ポテンシャル流れの数値シミュレーションと上記の非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーションを組み合わせた計算手法について述べた．

第3章においては，開発したトンネル内圧力変動シミュレーションの計算結果検証のために実施した模型実験について述べるとともに，列車先頭部および後尾部通過時の圧力変動の特性把握のために新たに製作した実験装置について記述した．計算結果を実験結果と比較することで，非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーションが速度500km/h程度まで精度良く圧力変動を予測できることを示した．さらに一次元流れの数値シミュレーションでは列車端境界を不連続境界として取り扱っているため，列車先頭部・後尾部通過時の圧力変動波形の計算結果は不連続な変化を示すが，三次元非圧縮性ポテンシャル流れの数値シミュレーションを使用することで圧力変化の時間幅も正確に計算できるようになることを示した．また，トンネル内および枝坑坑口で流速を測定することによってトンネル内の流れ場について調べ，シミュレーション結果の検証を行った．

第4章では提案した新しいトンネル微気圧波の低減対策方法について示した．これは，トンネル微気圧波をその放射段階において低減させる方法で，トンネル入口緩衝工のようにトンネル本坑より大きな断面積を有するフード状構造物の内部を線路方向の壁でフード口から一定の距離まで二分割し，その一方の坑口を閉鎖させ（固定端とし），トンネル出口（列車退出側坑口，微気圧波放射坑口）側に設置するものである（内壁付きフード）．この内壁付きフードの微気圧波低減効果について音響理論によって予測し，内壁付きフードが開口率（フード断面積に対するフード口の断面積）に比例して微気圧波を低減できることを示した．

第5章では，内壁付きフードの微気圧波低減効果を列車模型発射装置による模型実験によって確認し，第4章で示した音響理論による予測通りの効果が得られることを示した．さらに，微気圧波低減効果と内壁長さの関係を調べ，内壁付きフードに到達したトンネル内圧縮波の波面幅の1/2倍より内壁を長くすることで，最大の微気圧波低減効果が得られることを示した．

最後に第6章において本研究で得られた成果のまとめと今後の課題について述べた．

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　齋藤　実俊　）			
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教　授	戸田　保幸
	副 査	教　授	長谷川和彦
	副 査	特任教授	日夏　宗彦　（今治造船共同研究講座）
	副 査	准教授	松村　清重
	副 査	准教授	鈴木　博善

論文審査の結果の要旨

新幹線などの高速鉄道における列車速度の向上や新規路線の建設に際しては，列車の速度向上にともなって顕在化するトンネル・列車系の空力現象であるトンネル内圧力変動の予測とトンネル微気圧波の低減対策方法を検討する必要がある．トンネル内圧力変動の予測に関しては，列車速度の向上に伴って，これまで仮定してきた列車速度が音速より十分小さいという近似が成立しなくなり，従来の予測方法では誤差が大きくなる傾向にある．また，トンネル内での列車通過時における列車近傍設備（トンネル壁面の機器箱，地下駅のホームドア，対向列車の車体側面など）に作用する圧力変動は先頭部形状の影響を大きく受けるが，従来使用してきた一次元モデルではその効果は無視されている．しかし，先頭部形状に依存する圧力変動は速度向上とともに無視できない大きさになり，その効果を考慮した予測手法の開発が望まれる．一方，トンネル微気圧波低減対策は列車の速度向上にともない，従来の緩衝工や列車先頭部の延伸だけでは限界に達しつつあり，350km/h 以上の高速走行の実現には非常なコスト増加が懸念されている．そのため，既存の低減対策法を補完する新たな低減対策方法の開発が求められる状況にある．

そこで，本研究では，鉄道のさらなる高速化に対応するために，350km/h 以上でも精度の良いトンネル内圧力変動予測手法を開発するとともに，新しい効果的なトンネル微気圧波低減対策方法を提案している．

第 1 章では本研究の背景ならびに既往の研究事例について説明するとともに，その目的について述べている．

第 2 章では新たに開発したトンネル内圧力変動の数値シミュレーション手法を提示している．これは高速域(350km/h 程度以上）での予測精度を向上させるもので，音波近似などを仮定しない非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーション手法である．さらに，列車通過時圧力変動の予測精度向上のために，列車先頭部，後尾部の断面積変化の影響を考慮したトンネル内圧力変動シミュレーションとして，三次元非圧縮性ポテンシャル流れの数値シミュレーションと上記の非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーションを組み合わせた計算手法について示している．

第 3 章においては，開発したトンネル内圧力変動シミュレーションの計算結果検証のために実施した模型実験について述べるとともに，列車先頭部および後尾部通過時の圧力変動の特性把握のために新たに製作した実験装置について記述している．計算結果を実験結果と比較することで，非定常一次元圧縮性流れの数値シミュレーションが速度 500km/h 程度まで精度良く圧力変動を予測できることを示している．さらに一次元流れの数値シミュレーションでは列車端境界を不連続境界として取り扱っているため，列車先頭部・後尾部通過時の圧力変動波形の計算結果は不連続な変化を示すが，三次元非圧縮性ポテンシャル流れの数値シミュレーションを使用することで圧力変化の時間幅も正確に計算できるようになることを示している．また，計算結果の検証のため、トンネル内および枝坑坑口で流速を測定することによってトンネル内の流れ場について調べている。

第 4 章では提案した新しいトンネル微気圧波の低減対策方法をしめしている．これは，トンネル微気圧波をその放射段階において低減させる方法で，トンネル入口緩衝工のようにトンネル本坑より大きな断面積を有するフード状構

造物の内部を線路方向の壁でフード口から一定の距離まで二分割し，その一方の坑口を閉鎖させ（固定端とし），トンネル出口（列車退出側坑口，微気圧波放射坑口）側に設置するものである（内壁付きフード）．この内壁付きフードの微気圧波低減効果について音響理論によって予測し，内壁付きフードが開口率（フード断面積に対するフード口の断面積）に比例して微気圧波を低減できることを示している．

第 5 章では，内壁付きフードの微気圧波低減効果を列車模型発射装置による模型実験によって確認し，第 4 章で示した音響理論による予測通りの効果が得られることを示している．さらに，微気圧波低減効果と内壁長さの関係を調べ，内壁付きフードに到達したトンネル内圧縮波の波面幅の 1/2 倍より内壁を長くすることで，最大の微気圧波低減効果が得られることを示している．

最後に第 6 章において本研究で得られた成果のまとめと今後の課題について述べている．

以上のように、本論文はトンネル内圧力変動の予測とトンネル微気圧波の低減対策方法について新しい知見を示しており、今後の更なる鉄道の高速化に対して寄与が大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。