

減圧トンネル超高速鉄道における トンネル・地盤振動応答特性

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 古屋 卓稔
新潟大学工学部建設学科 正会員 阿部 和久

1. はじめに

我国における磁気浮上式鉄道の研究開発は、開始から既に40年以上経過し、その間に様々な技術の進歩と蓄積とがなされてきた。しかしその実用化に際して克服すべき課題が全て解決されたわけではない。例えば、500km/hを超える超高速域での走行では、空気存在が大きな障害となる。これに対する一つの解決策として、地下トンネル内を減圧しその中に磁気浮上式鉄道を通す、いわゆる減圧トンネル方式を挙げることができる。スイスでは当該構想の実現に向けた具体的計画が推進しつつあり、我国においてもその実現可能性に関する基礎的検討がなされている¹⁾。

本来磁気浮上式鉄道は、車輪走行による従来方式のように軌道との直接接触を伴わないため、振動低減性能に優れている。特にトンネル内走行では、軌道系で発生した振動成分の多くがトンネルによりカットされ、地盤への伝播は大幅に軽減される。したがって減圧トンネルの実現に当り、地盤振動は致命的な問題とはならないものと考えられる。しかし、我国では主要都市間に地盤の軟弱な地域が多く存在し、そのため超高速走行による地盤振動増幅への影響が懸念される。そこで本研究では、地表面部に軟弱層を有する地盤構造に建設されたトンネル内を荷重が超高速走行する場合を対象に、地盤の振動応答特性について数値解析を通して検討し、当該事象における問題点の有無について考察する。

2. 解析概要

トンネル・地盤系の解析条件を図1に示す。トンネルは単線シールドトンネルを想定し、内径7.7m、厚さ35cmの円形断面とした。また、走行部とガイドウェイ部もトンネルと同じ物性値としており、せん断弾性係数を1435MPa、ポアソン比を0.26、質量密度を2300kg/m³と設定している。

地盤は関東圏を想定し、表層地盤のせん断弾性係数を23MPa、ポアソン比を0.40、質量密度を1600kg/m³とし、下層地盤のせん断弾性係数を320MPa、ポアソン比を0.45、質量密度を2000kg/m³とした。

解析に際し、時速 $v=700\text{km}$ 、 600km 、 500km の走行速度の下、地表面からの深さ L を30mに設定し、2.5次元解

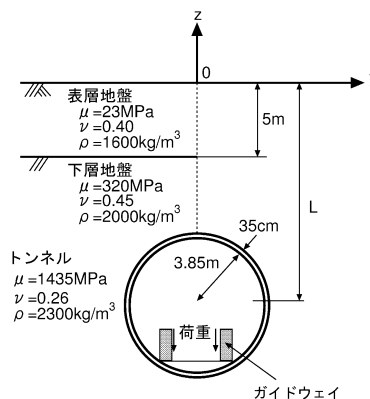


図1 トンネル・地盤の解析条件

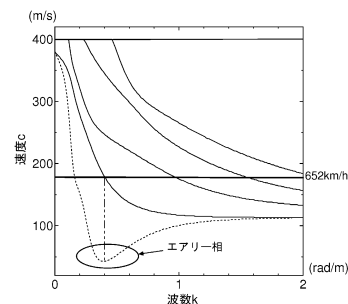


図2 Rayleigh 波の理論分散曲線

析²⁾を実施した。

3. 無振動超高速走行による成層地盤への影響

(1) 理論分散曲線

トンネル周辺の下層地盤の横波伝播速度は400m/sであり、ここに想定した列車走行速度194.4m/s(700km/h)に比べて十分に速い。したがって、走行荷重が振動しない場合、トンネル及び周辺地盤内の変位応答は準静的なものとなる。一方、上層地盤の横波伝播速度は120m/sであり、下層地盤を介して入力される攪乱により表面波モードが励起される可能性がある。図2は当該成層地盤を対象に、Rayleigh波の理論分散曲線を求めたものである。なお、破線は基本モードの群速度を示しており、例えば、652km/hでの荷重走行の場合、エアリー相に対応する波数約0.4(rad/m)(波長16m)のRayleigh波が励起される可能性を示唆している。

(2) 2.5次元解析結果

(1)に述べた理論的考察を踏まえて、2.5次元解析を実施

keywords : 減圧トンネル, 超高速走行
連絡先 : 950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050 番地
TEL 025 (262) 7028 FAX 025 (262) 7021

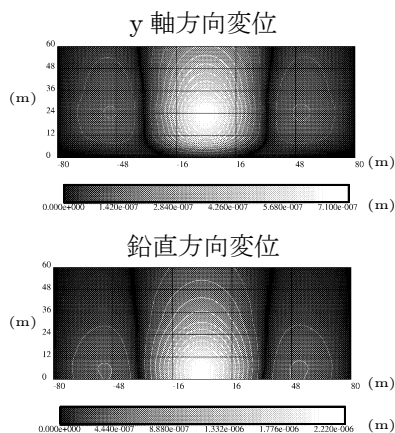


図3 地表面応答結果 (単一荷重走行, 振動なし, 700km/h, $L=30\text{m}$)

した. $v=700\text{km/h}$, $L=30\text{m}$ での地表面変位応答を図3に例示する. 図の横軸はトンネル長手方向, 縦軸はトンネル直上からの距離であり, 荷重は一台車分を想定し, 横軸中央部に位置している. y 軸方向最大変位はトンネル直上から約 25 m 程離れた位置に分布し, 鉛直方向最大変位はトンネル直上に位置する. また, 走行荷重直上からトンネル軸に沿って約 40m 離れた箇所に変位の節が現れている. これはトンネルの曲げたわみによる影響と考えられる. 応答には顕著な波動の励起は認められず, 準静的なものとなっている. なお, $v=500, 600, 700\text{km/h}$ での鉛直最大変位はそれぞれ 1.61×10^{-6} , 2.47×10^{-6} , $2.22 \times 10^{-6}\text{m}$ であり, $v=600\text{km/h}$ の場合に最大となった. これは(1)に述べた Rayleigh 波の影響を反映しているものと考えられる. しかし, 荷重分布が $k=0.4(\text{rad/m})$ の成分をほとんど含まないため, その影響がわずかなものとなった可能性がある.

次に連行荷重下 (周期長 20 m) での応答を調べた. 結果の図示は割愛するが, 変位の最大値は単一荷重の場合の約 10^{-2} 程度と非常に小さな応答が得られた. このことより, トンネル内の荷重の主要成分が $k=0.4(\text{rad/m})$ 前後であったとしても, それは地表面応答に影響しないことがわかる.

4. 振動連行荷重走行の影響

磁気浮上式鉄道の特徴の1つとして, 走行振動の低減が挙げられる. しかし, そのレベルが低いとしても, 走行速度が非常に速いため, 相対的に短波長の波動を発生させる可能性がある. ここでは車両・磁気パネ系の固有振動数を基準に, 連行走行荷重の振動数を 5, 10Hz の2ケース設定した. 10Hz 加振での $v=700\text{km/h}$, $L=30\text{m}$ における地表面変位振幅を図4, 5に示す. 図より, 鉛直方向成分についてはその分布がほぼ2次的で, 等変位線がトンネル軸と概ね平行に分布しているのに対し, 水平変位成分には振動の局在化が認められる. 動画により確認したところ,

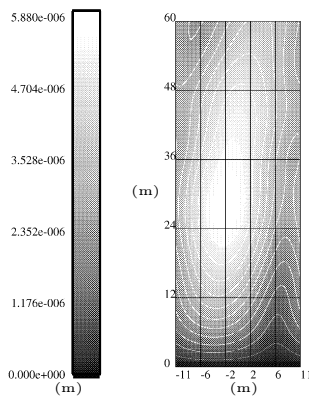


図4 地表面での y 軸方向変位振幅結果 (連行荷重走行, 10Hz 加振, 700km/h, $L=30\text{m}$)

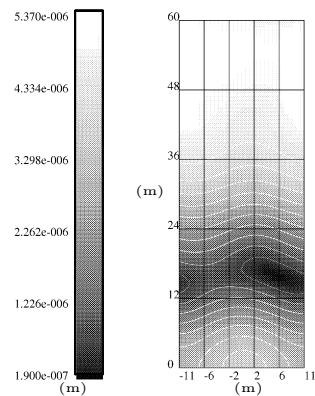


図5 地表面での鉛直方向変位振幅結果 (連行荷重走行, 10Hz 加振, 700km/h, $L=30\text{m}$)

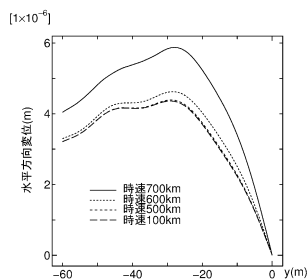


図6 y 軸における y 軸方向最大変位振幅分布 (10Hz 加振, $L=30\text{m}$)

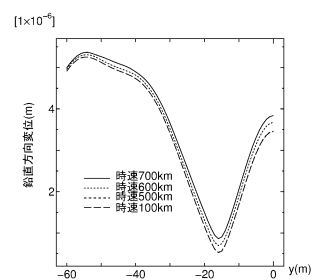


図7 y 軸における鉛直方向最大変位振幅分布 (10Hz 加振, $L=30\text{m}$)

当該波動は前後の連行荷重中間点直上近傍で発生した波動がトンネル軸直角方向に伝播する際に, 前後の波動が重畳されたことによるものであることが分かった. なお, 5Hz 加振での応答は2次的であり, トンネル加振に起因したこのような特徴は認められなかった.

最後に, 10Hz 加振, $L=30\text{m}$ におけるトンネル軸からの距離と最大変位振幅との関係を図6, 7に示す. 鉛直変位振幅には, 走行速度の影響が認められない. 一方, 水平変位振幅においては, $v=600, 700\text{km/h}$ との間に有意な差が認められ, 走行速度の影響が顕著に現れている.

5. 結論

連行荷重の静的成分については, 上層地盤のマッハ数を超える走行速度の場合であっても地盤応答に重大な影響を及ぼすことはない. 一方, 振動成分については, 10Hz 以上の周波数成分に対し, トンネル・地盤系の3次的波動成分が認められた. 特に, $v=700\text{km/h}$ での走行時に, 地表面水平方向変位に振動増幅の傾向が認められた.

参考文献

- 1) 「減圧トンネルを含む新形式高速鉄道」研究会編:減圧高速鉄道に関する基礎研究, 土木学会, 2005.
- 2) 阿部和久, 加藤宏輝, 古田勝:列車走行荷重を受けるトンネル・地盤系の振動応答解析, 鉄道力学論文集, No.8, 47-52, 2004.