

高速鉄道トンネルにおける圧力波の横坑分岐

東海旅客鉄道 正会員 山崎 幹男 大崎総合研究所 正会員 若原 敏裕
 正会員 永長 隆昭 正会員 新美 勝之
 正会員 加藤 覚 正会員 野澤剛二郎

1. はじめに

高速鉄道では列車がトンネル内を通過する際に大きな圧力変動が生じるため、駅部や覆工などのトンネル内構造物に与える影響を把握しておくことが重要である。昨年までに実測によるトンネル内の圧力変動把握のほかに、圧縮性流体のCFDによる突入時や退出時の圧力変動予測を行ってきた^{1,2)}。今後、大深度地下など比較的長い距離のトンネルを実現する場合、換気用の立坑への波動の分岐や開口部での反射により生ずる圧力変動について検討しておく必要がある。圧縮波の分岐については音響学的な手法を用いて波形の変化を予測する方法³⁾も提案されているが、接続部が複雑な形状となった場合に対応できると思われない。そこで、本研究ではリニア山梨実験線の横坑接続部に対して、突入波の分岐の影響を実測で調べるとともに三次元流体解析（CFD）を行い、その精度を検証する。また、密閉されたトンネル端部の圧力変動について、横坑接続部の開閉による影響を調査した。

2. CFDおよび実測の概要

実測は総延長10km程度のトンネルで行われ、開口部反対側の端部より90m手前に長さ131mの横坑が存在する（図-1）。トンネル端部は閉じており、空気の流出入はない。一方、横坑の端部は外部に開いており空気の流出入は自由である。トンネル本坑と横坑の断面積比は0.4で、その接続部を完全に遮断することも可能である。速度500km/hで突入した列車により生じた圧縮波（突入波）は壁面での摩擦や断面変化の影響を受けて減衰し、大気圧（ P_0 ）の1%強の変動となって横坑に到達する。圧力測定点（H2, H3, T2）は本坑 - 横坑接続部の前後50mの位置としている。圧縮性流体のCFDではトンネルと横坑の形状を一般座標系を用いた差分格子により再現し、Ogawaらの方法⁴⁾を用いて離散化している（図-3）。ただし、簡単のために横坑は本坑に対して垂直に接続しているものとして解析を行っている。また、粘性の影響を無視しているため、トンネル壁面での摩擦はないものとしている。CFDの初期値は実測で得られた横坑手前4kmの突入波の時刻歴データを基に空間分布に変換したものをを用いる（図-2）。突入波の前方ならびに横坑では静穏時の大気圧として与えている。

3. 横坑での分岐の影響

突入波などの圧力波はトンネル断面に対してほぼ一様に分布するため、本研究ではトンネルの天頂部のデータを用いて結果を示す。横坑との接続部に到着した突入波は十数%ピーク値が減少して本坑内を伝播する⁵⁾一方で、横坑内にも正圧の分岐波が伝播する（図-4(a)）。分岐波の正圧のピーク値（測定点T2）は横坑直前の突入波のピーク値（H2）に比べて、CFDで18%、実測で21%減少している（図-4(b)(d)）。ただし、T2では開口端反射波が到着する前にピーク値となっている。開口端で分岐波は大気圧に対して負圧の変動となって反射し、その開口端反射波は本坑 - 横坑接

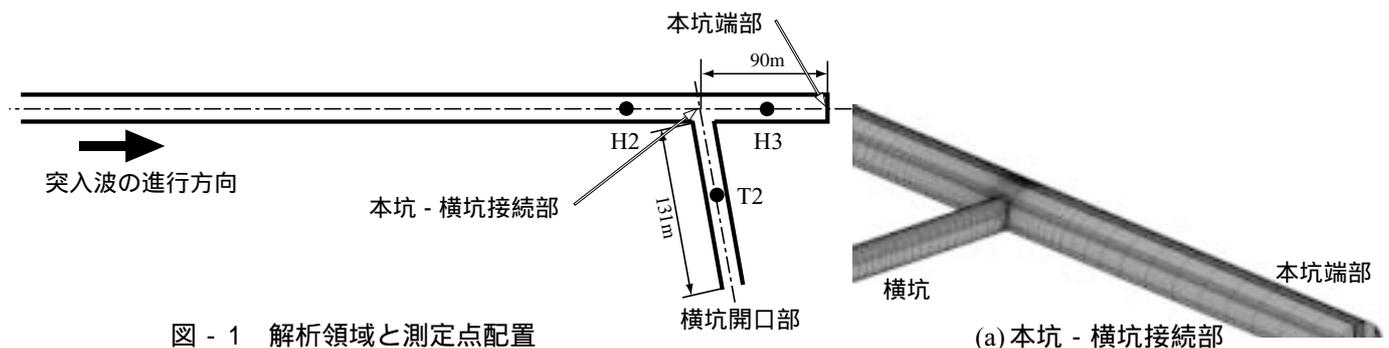


図-1 解析領域と測定点配置

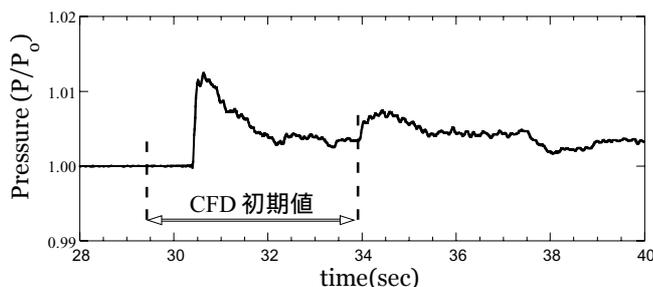
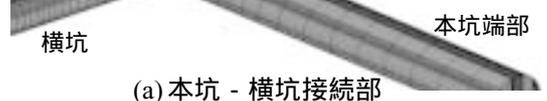
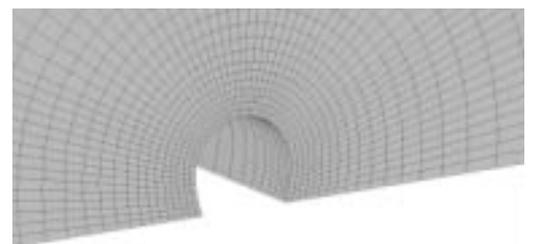


図-2 CFDの初期圧力分布に用いた実測の圧力時刻歴



(a) 本坑 - 横坑接続部



(b) 横坑開口部

図-3 一般座標による計算格子

keywords: 高速鉄道, 数値解析, トンネル, 横坑分岐, 圧縮性流体

連絡先: 〒103-8288 東京都中央区八重洲1-6-6 八重洲センタービル8F, TEL03-3274-9545, FAX03-3274-9550

続部を通して負圧の変動となり本坑内を両方向に伝播する．さらに，一部は接続部で位相を逆転させて反射し，再度横坑内を伝播する．また，本坑端反射波も接続部を通過するときに分岐して横坑内を伝播する．このように横坑内では接続部を通して圧力変動が分岐し，開口端と接続部の間を位相を逆転させながら反射を繰り返す．横坑内では横坑長さを波が音速で往復する時間，周期0.77秒の圧力変動成分が実測とCFD共に卓越する．

4. トンネル端部の影響

本坑端部は壁面境界となっているため，端部で反射した突入波は正圧の波のまま逆向きに伝播してくる．このため，端部に近いH3では突入波と反射波がお互い重なり，CFDと実測ともに突入波の倍近い圧力変動となっている（図 - 4(c)）．また，突入波と反射波のピーク値をH2で比較すると，反射波の方が大きくなっている．これは，突入波の背後の圧力変動が大気圧に直ぐに戻らず，大気圧0.4%程度の正圧となっているためで，その分反射波のピーク値の方が大きくなる．

横坑との接続部を完全に閉じた場合には，正圧へのシフトの影響が顕著に現れる（図 - 5(a)）．H2における実測の圧力時刻歴波形を見ると，接続部を開けた場合に比べて大気圧の約1%の圧力差が常に生じている．この差圧は数十秒継続しており，この間に到達する圧力変動に対して大きく影響することになる．ちなみに列車の退出時には，図 - 5(b)のように閉鎖時の圧力は約60秒周期で変動している．列車退出時には静止状態から横坑手前を発進し，徐々に速度を上げて500km/hでトンネルを退出しているため，開放時との差圧は徐々に生じている．この変動周期はトンネル総延長10kmを波が音速で往復する時間に一致している．

5. まとめ

実測とCFDによりトンネル横坑部周辺の風圧力現象を比較分析した．その結果，突入波の分岐によりピーク値が20%程度減少して横坑に伝播することが分かった．また，CFDは圧力の位相，変動量ともに実測結果と良くあっていた．横坑接続面の閉鎖状態では大気圧の約1%程度開放状態に比べて圧力が高くなっていた．

参考文献 1) 渡瀬久他，「高速鉄道トンネル内の圧力変動に対する覆工の挙動把握 - トンネル内圧力変動解析 - 」第55回土木学会年次学術講演会概要集，III-B088，2000. 2) 加藤覚他，「高速鉄道トンネル内に発生する退出波と反射波の三次元CFD解析」第56回土木学会年次学術講演会概要集，III-B019，2001. 3) 福田傑他，「トンネル内枝坑による微気圧波の低減と枝坑通過波の形成」鉄道報告，第14巻，第9号，pp.17-24，2000. 4) Ogawa,T.and Fujii,K.“Numerical Investigation of Three-dimensional Compressible Flows Induced by a Train Moving into a Tunnel”，Computers and Fluids, Vol.26, No.6, pp.565-585,1997. 5) 山崎幹男他，「高速鉄道トンネルにおける圧力波の局所損失」第57回土木学会年次学術講演会概要集，2002（投稿中）．

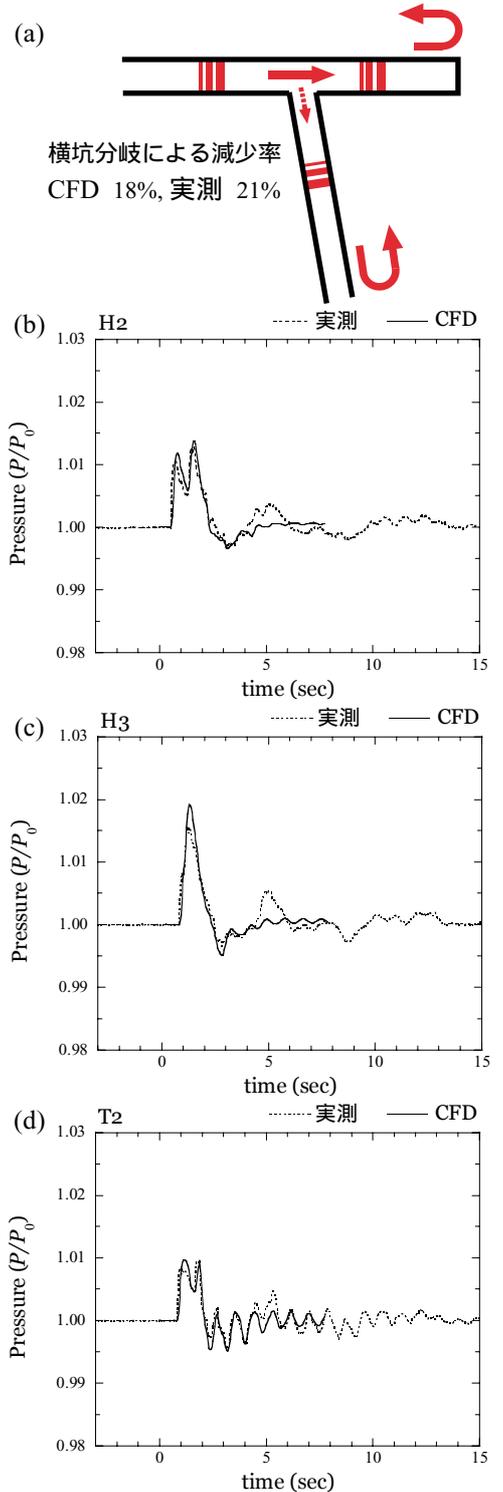


図 - 4 トンネル横坑内圧力変動の時間変化

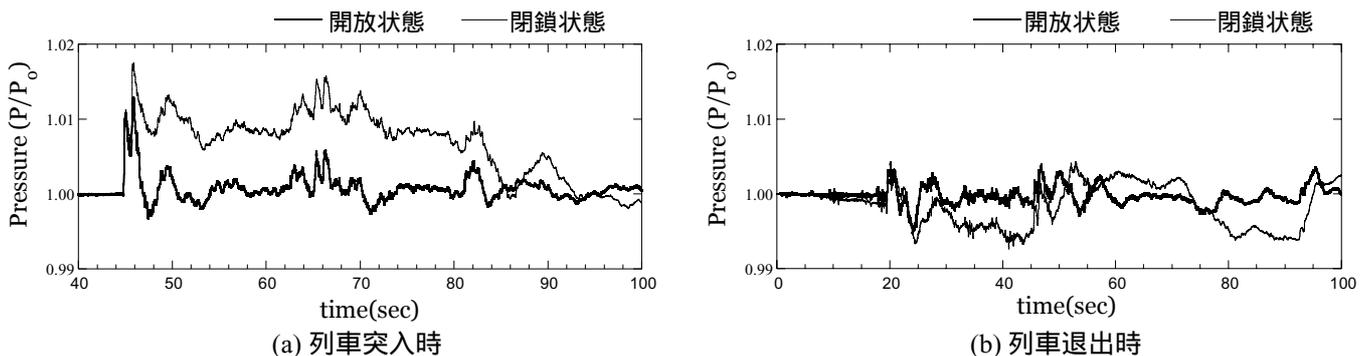


図 - 5 横坑接続部の開閉によるトンネル端部付近の圧力変動（実測）