CONFIRMATION THE EVACUATION ENVIRONMENT WHEN FIRE OCCURS IN THE YOKOHAMA-KITA TUNNEL

鈴木 智哉¹·柳 寛孝²

Tomoya SUZUKI¹, Hirotaka YANAGI²

The Yokohama-kita Tunnel accounts for about 70% (about 5.9 km) of the Yokohama North Line(Yokohama Circular Northern Route) which began operation recently, and is the longest tunnel in the metropolitan area. In addition to have heavy traffic, this tunnel contains a complex ventilation system with branching and merging flows through the tunnel, and securing an evacuation environment in the event of a fire in the tunnel was a major challenge. Thus, various studies were carried out on how to secure evacuation environments in the event of a fire in the Yokohama-kita Tunnel. This is a report of efforts to ensure a safe evacuation environment in the Yokohama-kita Tunnel in the event of a fire.

Key Words : Tunnel Fire Safety, Emergency Tunnel Ventilation Control, CFD Analysis (1D & 3D)

1. 緒言

高速神奈川7号横浜北線(以降,横浜北線とする.)は 高速神奈川1号横羽線の生麦ジャンクションから,第三 京浜道路の港北インターチェンジまでの約8.2kmをつな ぐ路線で,全線の約7割(約5.9km)の区間がトンネル構造 (横浜北トンネル)となっている.

横浜北トンネルは,重交通であることに加えてトンネ ル内に分合流が存在する都市内長大トンネルである.渋 滞時に火災が発生した場合,火点前後に避難者が存在し, 通常の換気制御を行うと火点前方側の避難環境を悪化さ せることとなる.そこで,横浜北トンネルではジェット ファンを用いて火点の低風速化を行い,煙の広がりを抑 制して火点前後の避難環境を確保できるようにしている. この時に必要なジェットファン台数の検討に,1次元風 速シミュレーション,火災時の避難環境評価に3次元火 災シミュレーションを用いて確認を行った.

本稿では、これら横浜北トンネルにおける火災時の避 難環境確保への取り組みについて報告を行う.



図-1 火災時のトンネル換気制御(渋滞時)

2. 横浜北線の概要

(1) 路線概要

横浜北トンネルを含む横浜北線は、神奈川県横浜市の 北部に位置している(図-2).

本路線の開通により,第三京浜道路と横羽線,大黒線 さらに湾岸線がつながると,横浜市北部から羽田空港や アクアライン方面への利便性が高まる(図-3).また,横 浜港や京浜臨海部など東京湾沿いの各拠点と内陸部との 連絡,また,新横浜都心や港北ニュータウン,工業集積 地域などと都心部・臨海部との連絡が強化される.

本路線は、平成29年3月18日に馬場出入口を除く全線が供用を開始した(図-4).

キーワード:トンネル火災,火災時トンネル換気制御,CFD解析(1D&3D)

| 1非会員 | 首都高速道路株式会社 | 神奈川建設局 | 設計課 | Engineer, Kanagawa Construction Bureau, |
|-------|------------|--------|-----|---|
| | | | | Metropolitan Expressway Company Limited, |
| | | | | (E-mail:t.suzuki22@shutoko.jp) |
| 2 非会員 | 株式会社エコープラン | 技術部 | | Chief Engineer, Echoplan Company Limited. |



図-2 路線概要3)



図-3 東京国際空港(羽田空港)へのアクセス3)



図-4 横浜北線 路線図3

(2) トンネル概要

横浜北トンネルは、全長約5.9kmの都市内長大トンネルである.車両の進行方向別に2つのチューブを有し、 それぞれ2つの出入口が接続する構造となっている(表-1).

| Length | About 5.9 km | |
|---------------------------------|---|--|
| No. of lanes | 4(2+2) (one-way traffic) | |
| Design velocity | 60 km/h | |
| No. of merges and di- verges | 5(3+2) | |
| No. of Vent. stations | 3 | |
| Shape of the tunnel | 250 35 450 250 35 450 35 450 35 450 35 450 35 450 50 450 50 450 50 450 50 450 50 450 50 450 50 450 50 50 50 50 50 50 50 50 50 | |
| Gradient -5.3% -+4.3% | | |
| Mode of ventilation | Longitudinal ventilation | |

表-1 横浜北トンネル概要

図-5に横浜北トンネル下りの換気系統図を示す. 立坑 送排及び坑口集中排気付き縦流換気方式のトンネルとな っている. また,トンネルの中央部には馬場出入口が存 在し,換気系統は非常に複雑となっている.



図-5 横浜北トンネル換気系統図(下り線)

横浜北トンネルには,非常口が本線標準部(縦断勾配 2%以下)で約250m,急勾配部で約50m毎に設置されてい る(表-2).シールド内の車道部の下部を避難通路として 利用しており,本線の非常口は滑り台式となっている (図-6).

| | 表-2 非 | 常口設置間隔 | |
|-----------|--------------|-------------|----------------------------|
| | | Long. Slope | Installation Inter- val |
| | Chield | 2% or less | 250 m |
| Main Line | Shield | 4~5.3% | 50 m |
| | Box | 4~5.3% | 50 m |
| Ramp way | Shield | 7% | 50 m |



図-6 滑り台式の非常口4)

3. 換気設備規模及び火災時の避難環境確認

(1) 想定シナリオ及び想定条件

換気設備規模及び火災時の避難環境確認にあたって, 事故発生から火災までのシナリオが必要となる.このシ ナリオは,渋滞などの交通の先詰まりにおける火災を想 定している(図-7).



図-7 トンネル火災時における想定シナリオ

想定する火災規模は,避難時間を10分間以内と想定し, 各種大型車の発熱速度曲線を調査し以下のとおり設定した(図-8).

この発熱速度曲線は、最大30MWの火災規模となって

おり、火災発生から3分まではほとんど発熱が無いことのが特徴である.このことから、3分以内に風速を抑制できれば、避難環境の確保が可能であることが分かる. また、3次元火災シミュレーションにおいては、3分から計算を行うことで、計算負荷の高いLES乱流モデルの計算時間短縮を図れた.



図-8 各種発熱速度曲線(HRR)

最終的な換気設備規模を決める際には、図-9に示す通り、通常時の換気設備規模と火災時の低風速化に必要となる換気設備規模を比較して、大きくなる方を採用¹⁾した.



図-9 換気設備規模決定方法

(2) 換気設備規模検討

次に風速シミュレーション結果の一例を示す(図-10 図-11). -250sで交通の先詰まりが始まり、交通換気力が 減少することから、車道内風速の減衰が始まっている. 横浜北トンネルは、環境保全を目的としてジェットファ ンを逆転運転していることから特に車道内風速の減衰が 速く,換気運転制御を行わない場合,風速がマイナス側に大きく振れてしまう.そのため,風速が0.5m/sまで低下した-180s付近で車道内風速を維持する換気制御を実施する.その後120sで火災が認知され,低風速化制御に移行して,180sまでに風速0m/sを達成している.

なお、1次元風速シミュレータは、換気系のリンク・ ノード表現に対応した複雑換気系用^{0,7}で、高速中央環 状線山手トンネルの検討等にも使用された実績のある手 法を用いた。



図-10 風速シミュレーション地点(例)



図-11 火点風速の時間変動

このような1次元風速シミュレーションを換気区間毎 に複数個所の火点を想定して実施し、火災時に必要なジ ェットファン台数を算出した. 横浜北トンネルにおいて、 火災時に必要なジェットファン台数を表-3に示す.

| 公司 シ エクトノノン ロ奴 | | | |
|-----------------------|--------------|----------|--|
| Direction | Number of JF | | |
| Direction | JF-1250 | JF-1000 | |
| Up line | 33 | 7 (0) | |
| Down line | 36 | 10 (2) | |

表-3 ジェットファン台数

(3) 火災時の避難環境確認

a) 本線標準部の避難環境

本線標準部の最急勾配+2%を対象として3次元火災シ ミュレーションを実施し,避難環境の評価を行った. Cs濃度と温度による.避難環境評価の指標は,高さ 1.5m(人の目線の高さ)でCs濃度0.4以上若しくは,温度が 60℃以上で避難が困難とした.今回は,すべてのケース でCs濃度による評価の方が厳しい結果となったため,Cs 濃度を評価基準とした.なお,避難者の歩行速度は,お 年寄りや車いすの方を考慮して1m/sとした.

この時の3次元火災シミュレーション結果を図-12に示 す.シミュレーション結果より,250m以上の避難が可 能であった.これにより,計画された非常口間隔(250m) で避難環境が確保されることが確認された.

なお、3次元火災シミュレータ²は、LES乱流モデルを 採用し、実大火災実験結果との整合性が取れているもの を用いた.



図-12 3次元火災シミュレーション結果(i=+2%)

b) 本線急勾配部の避難環境

本線急勾配部においては、50m間隔で非常口が計画されており、本線標準部と同様に避難環境の評価を行った. なお、本線急勾配部は両坑口部に存在しており、+4.3% 及び-5.3%の2つの勾配について解析を行った.その結果 を図-13及び図-14に示す.シミュレーション結果より、 どちらのケースでも50m以上の避難が可能であった.



図-14 3次元火災シミュレーション結果(i=-5.3%)

(4) 暫定供用時の避難環境確認

馬場出入口が未供用の段階において本検討の換気設備 規模で低風速化が可能か懸念があったため、馬場出入口 未供用の換気系を対象に、1次元風速シミュレーション

^{():}Number of JF, before Baba Exit/Ent. open.

を実施して設置しているジェットファン台数で低風速化 が達成できるか検証を行った.なお、未供用時は、本線 からの分岐部に隔壁(シャッター)を設置し、空気の出入 りは無い状態としている(図-15).



図-15 馬場出入口未供用時の換気系

その結果を表-4に示す.設置されているジェットファン台数を大幅に下回り,火点付近のジェットファンを考慮しても対応可能なことが分かった.

| な |
|---|
| 7 |

| ジェットファン台数 | | | | | |
|-----------|-----------------------|---------|--|--|--|
| Direction | Required number of JF | | | | |
| Direction | JF-1250 | JF-1000 | | | |
| Up line | 20 (33 or less) | 0 | | | |
| Down line | 22 (36 or less) | 0 | | | |

4. 低風速化試験

(1) 試験概要

供用に先立ち実際の換気設備を用いて低風速化試験を 実施した.本試験においては、まず交通換気力によるト ンネル内風速を模擬するために、一部のジェットファン を正転させて3m/s程度の縦流風速を発生させた.その後、 低風速化制御を行って60s以内に低風速化制御が可能か 検証を行った.

(2) 試験結果及び風速シミュレーション結果との比較

低風速化試験結果を上り線で23パターン,下り線で19 パターン実施して,当初の想定通り60s以内に低風速化 を達成できることを確認した.

また,図-16に低風速化試験結果と1次元風速シミュレ ーション結果を示す.風速が0.5m/sを切るまでの減衰の 傾きが一致する結果となった.



図-16 低風速化試験と風速シミュレーション結果比較

これらのことから、1次元風速シミュレーション結果 を用いて換気設備規模を決定する設計手法の妥当性を確 認できた.また、横浜北トンネルにおいては、当初の設 計通り火災時の低風速化を実現できること及び1次元風 速シミュレーションを用いた設計手法の妥当性のが確認 できた.

なお,今後馬場出入口供用時においても同様の試験を 行い,設計通り低風速化を実現できるか確認を行う予定 である.

5. 結言

横浜北線を対象として、1次元風速シミュレーション 及び3次元火災シミュレーションを実施して、火災時の 避難環境の評価を行い、次の結論を得た.

- ・想定した火災地点毎に1次元風速シミュレーションを 実施して、火災時の避難環境確保に必要なジェットフ ァン台数を算出した.
- ・火災時の避難環境確保に必要なジェットファン台数は、
 通常換気の範囲内となった。
- 本線標準部の最急勾配+2%を対象として3次元火災シ ミュレーションを実施し、計画された非常口間隔の 250mで避難環境が確保できることを確認した。
- ・本線急勾配部の最急勾配+4.3%, -5.3%を対象として3 次元火災シミュレーションを実施し,計画された非常 口間隔の50mで避難環境が確保できることを確認した.
- ・馬場出入口未供用の換気系を対象に、1次元風速シミ ュレーションを実施して設置したジェットファン台数 で低風速化が達成できることを確認した.
- ・低風速化試験結果より、1次元風速シミュレーション による換気設備規模を決定する設計手法の妥当性を確 認できた.
- ・低風速化試験結果より、横浜北トンネルにおいては、 当初の設計通り火災時の低風速化を実現できることが 確認できた.

参考文献

- 首都高速道路株式会社,機械設備設計要領 トンネル 換気設備編(平成28年7月),2016.
- 川端ほか、トンネル内火災時に発生する熱気流の挙 動に関する数値シミュレーション、機論(B)、pp.65-634、1999.
- Metropolitan Expressway Company Limited, Metropolitan Expressway Company Limited Corporate Profile, 2016.
- 5) A. Haack: Introduction to the Eureka-EU 499 Firetun Project, *International Conference on Fires in Tunnels*, Swedish

National Testing and Research Insitute, Boras Sweden, pp.3-19, 1994.

- M. Makino, M. Sangu, T. Ito, S. Yachi, A. Mizuno, The ventilation system and emergency simulation of the Shinjuku Tunnel, *11th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels*, vol.1, pp.465-481, 2003.
- H. Yanagi, H. Tomura, A. Mizuno: Analysis of dynamic characteristics of a selective exhaustion system in tunnel ventilation, *12th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels*, Portoroz, Slovenia, Volume II, pp.735-746, 2006.