

1127 東京湾横断道路トンネルの避難通路換気シミュレーション

Numerical Simulation of Ventilation of Evacuation Path for the Trans-Tokyo-Bay Tunnel

水野 明哲 (工学院大)
下川 明生 (日本道路公団)

○鈴木 直也 (工学院大院)
植松 和弘 (日本道路公団)

Akisato MIZUNO, Kogakuin University, nakano-machi 2665-1, hachioji-shi, Tokyo
Naoya SUZUKI, Kogakuin University
Akio SHIMOKAWA, Japan Highway Public Corporation
Kazuhiro UEMATU, Japan Highway Public Corporation

In the Trans-Tokyo-Bay Tunnel, the space under the traffic room is to be used as the evacuation path. For this purpose, it is necessary that the pressure in the latter must be kept higher than the former so that the smoke does not come into the evacuation path. Slides are installed every 300 m so that passengers can come down safely to the evacuation path. The authors have developed a dynamic simulator to calculate the pressure distribution in both passages, and compared the pressure difference. The authors have developed a control algorithm for the present system, and it is found that the ventilators and the dampers are properly operated and a necessary pressure margin is maintained.

key words : Unsteady Flow, Numerical Simulation, Ventilation, Evacuation ,Control

1. 研究の背景

近年、高速道路網の整備延長に伴い、縦流換気方式を採用した長大トンネルが建設されるようになってきている。

現在、建設が進められている長大トンネルに、東京湾横断道路トンネルがある。東京湾横断道路は、神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ総延長 15.1km の高速道路で、シールド方式の海底トンネル部 (9.5km)、橋梁部 (4.4km)、換気用の人工島から構成され、首都圏の諸機能の再編成、産業活力の向上等を目的として計画された⁽¹⁾。トンネル内の換気は、関越トンネルの経験をふまえて、立坑・ジェットファン・集塵機付き縦流換気方式を採用している⁽²⁾。

東京湾横断道路トンネルは、一方通行トンネルで上下線 2 本掘られる。また、シールド工法により掘削されるため、円形断面を持つこととなり、地盤が軟弱であるので上下線を結ぶ避難連絡通路の建設が困難である⁽²⁾。そこで、車道空間の下にできる空間 (床版下と呼ぶ) を避難通路として利用することにし、利用者は避難扉を開き、すべり台を滑り降りることにより床版下に避難できるようになっている。すべり台は、床版下から車道に上ることができる管理用昇降路と組になって 300m 毎に設置される。

2. 研究の目的

床版下空間を避難通路として利用するにあたり、車道空間で火災により発生した煙が進入しないように床版下を昇圧し、常に車道の圧力より高くすることが望ましい。しかし、差圧が大きすぎると、避難扉を開いた時の吹き出し風速が大きくなりすぎ、避難する人に恐怖感を与えてしまう。そこで、差圧が 0 から 80 Pa (避難扉からの吹き出し風速 10m/s に相当⁽³⁾) の範囲になるように避難通路の圧力を制御したい。

本論文では、適切な差圧維持を可能にする制御方法を構築する。また、想定した機器構成、空力モデル⁽⁴⁾を使用し、数値シミュレーションによって火災事故発生時の車道と避難通路内の圧力の状態を時間的に明らかにする。

3. 避難通路の換気系

避難通路の換気系は、車道空間の換気系と独立しており、さらに、トンネル中央部の立坑部分で 2 分割し、第 1 区間、第 2 区間を独立に換気する。避難通路内の換気モデルを Figure 1 の様に設定する。このモデルは、第 1 区間または、第 2 区間に適用できる。

制御可能な機器は、a 側のファンと逃がしダンパ、b 側のファンと逃がしダンパの 4 系統がある。また、各区間に避難扉は 1 5 箇所、車道と避難通路の差圧を測定する差圧計は 5 箇所 (避難扉 3 箇所おき) に設置される。

換気運転の方法は、火災発生前の平常時運転、火災発生後、避難扉が開くまでの非常時待機運転、避難扉開口後の開口時運転の 3 つに分ける⁽⁴⁾。

4. 制御方法

制御は差圧計から読み込まれた差圧をもとに、コントローラが制御信号として各ファン・ダンパに送る羽根角・ダンパ

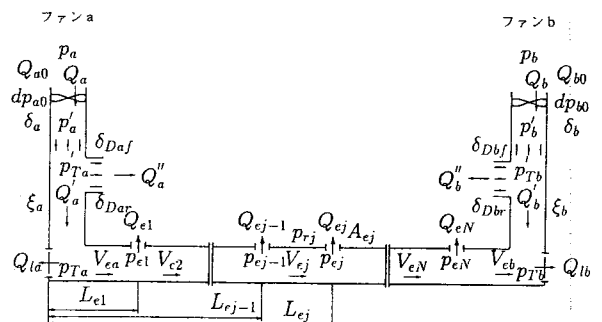


Figure 1: Ventilation Model

角を求める。

制御可能な4系統の機器の内、a側、b側ともにファンと逃がしダンパは近接しており、圧力を変化させるうでは同じ効果が得られるものと考え、a側、b側の2系統として制御し、その役割をファンとダンパに分担するものとする。

4・1 制御ゲイン 車道・避難通路共に定常状態にある時、ファンa、bの羽根角を固定し、逃がしダンパa、bのダンパ角の内、一方を変化させた時の5箇所の差圧計の差圧の変化を求め、単位変化量当たりの差圧の変化率を、各差圧計について求める。これを行列Pとすると

$$\Delta\Delta p = P \cdot \Delta\delta_D \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\delta_D$ は、ダンパ角の変化量で

$$\Delta\delta_D \equiv \begin{bmatrix} \Delta\delta_{Dar} \\ \Delta\delta_{Dbr} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\Delta\Delta p$ は、差圧の偏差で

$$\Delta\Delta p \equiv \begin{bmatrix} \Delta\Delta p_1 \\ \Delta\Delta p_2 \\ \Delta\Delta p_3 \\ \Delta\Delta p_4 \\ \Delta\Delta p_5 \end{bmatrix} \quad (3)$$

である。この行列Pをもとに

$$\Delta\delta_D = K \cdot \Delta\Delta p \quad (4)$$

となるようなKを求めることが出来れば、必要な圧力差を実現する、ダンパ角の変化量を決定することが出来る。Pが正方行列ならば

$$K = P^{-1} \quad (5)$$

であるが、Pは正方行列ではないので、

$$K = (P^t \cdot P)^{-1} \cdot P^t \quad (6)$$

となる。ただしKとして平常時制御用の K_1 、非常時待機制御用の K_2 、避難口1~5番目が開口した時用の K_3 、6~10番目が開口した時用の K_4 、11~15番目が開口した時用の K_5 を用意しておく。

4・2 制御の手順 まず、平常時・待機時・開口時を判断する。つぎに、差圧計*i*番目の車道と床版下の差圧、 Δp_i を測定する。

$$\Delta p_i \equiv p_{ei} - p_{ri} \quad (i = 1, \dots, 5) \quad (7)$$

つぎに差圧の偏差 $\Delta\Delta p_i$ を求める。

$$\Delta\Delta p_i \equiv \Delta p_i - \Delta p_{0i} \quad (i = 1, \dots, 5) \quad (8)$$

ここで Δp_{0i} は差圧の目標値である。さらに、式(4)の様にかけ合わせ、必要な圧力差をダンパのみで実現する変化量を求める。

最後に、この変化量を、あらかじめ決められた分担率により、ファンとダンパに分担し、ファン羽根角、ダンパ角の変化量を決定する。

5. シミュレーション

5・1 シミュレーションの手順 まず、トンネルの定数、換気機器の定数等の読み込みを行い、初期状態を計算する。つぎに、各時刻の避難通路の状態(流量・風速・圧力)を想定した空力モデル⁽⁴⁾により求める。この時、制御周期に達していれば制御を実行する。これを計算時刻終了まで繰り返す。

5・2 シミュレーションケース 火災発生時には、「最大8箇所まで避難口が開かれる」と想定されているため、今回のシミュレーションでは、Table 1のケースを用いる。

表内の*j*は避難口の位置を示す。また α 、 β はそれぞれ避難扉、管理用扉の開閉を示し1のとき開、0のとき閉である。

また、車道空間の圧力は、事故地点2500 m、目標風速2.5 m/sの条件で、立坑ファンの等風量制御を用いシミュレーションしたものを使用する。ここで、避難扉が開いた時車道に空気が流出するが、車道の空気の流量に比べ十分小さいので、車道の圧力には影響しないものとする。

5・3 シミュレーション結果 Figure 2は、扉が4箇所開いた直後の圧力分布である。実線は車道の圧力分布を示し、破線は避難通路内の圧力分布を示している。第6番目の避難扉が開き、避難通路から車道へ空気が抜けるため圧力が下がっているのがわかる。開口部付近は差圧が80 Pa以内に抑えられており、適切な差圧が維持されている。

Figure 3は、扉が8箇所開いた直後の圧力分布である。扉が8箇所開口しても、避難通路の圧力は車道の圧力より高く

Table 1: Simulation Case

Number of Doors Open	8			
Point of Traffic Accident	2500 m			
Δp_{0i}	40 Pa			
Time of Fire Break Out	t=1 s			
Time of Door Operation	t	j	α	β
	20s	9	1	0
	40s	8	1	0
	60s	7	1	0
	80s	6	1	0
	100s	9	1	1
	120s	8	1	1
140s	7	1	1	
160s	6	1	1	

保たれている。開口部付近は、差圧が80Pa以内に抑えられており、適切な差圧が維持できている。また、開口部以外でも差圧が80 Pa以内に抑えられている。

Figure 4は、Figure 3と同時刻の第2区間の圧力分布である。避難通路の圧力は、車道の圧力の最高点より80 Pa程度高く保たれている。車道空間は、立坑ファンと事故区間ではない区間のジェットファンによって制御されるため、このケースの第2区間では、圧力分布の変動が大きく、かつ圧力の高低差も大きい。このため、圧力差が80 Paを超えている部分もあるが、第2区間は事故区間ではなく、開口部より十分離れているため避難には影響しないものとする。

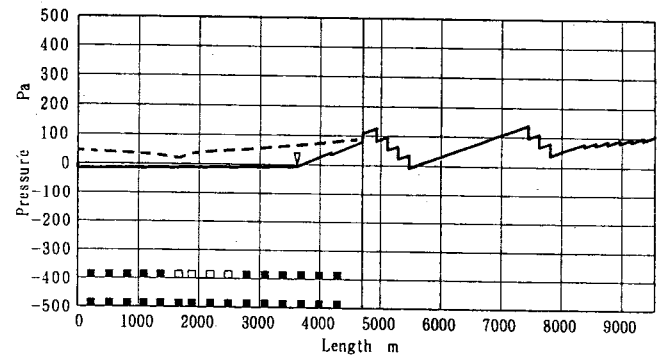
また、第2区間の事故についてもシミュレーションを行い、8箇所開口しても適切な差圧が維持できることが確認された。

6. 結論

東京湾横断道路トンネルにおける、避難通路の安全確保の観点から、避難通路と車道空間の差圧を維持するための制御方法を構築し、数値シミュレーションを実施した。さらに、車道と避難通路の圧力分布を重ねて描くことにより、両空間の間の差圧の状況が把握できた。その結果、第1区間、第2区間ともに、避難扉が8箇所開口しても、適切な差圧が維持できることがわかった。

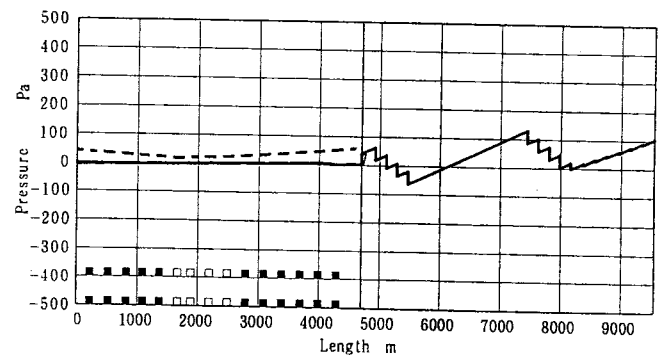
参考文献

- (1) 大橋・水野ら, 東京湾横断道路トンネル防災対策検討報告書, (1992-3), 9, 財団法人 高速道路調査会.
- (2) (1)の文献の3ページ.
- (3) 大橋・水野ら, 東京湾横断道路トンネル換気検討報告書, (1992-3), 1-19, 財団法人 高速道路調査会.
- (4) 水野・鈴木・下川, 機講論, No.930-49, (1993-8), 504.



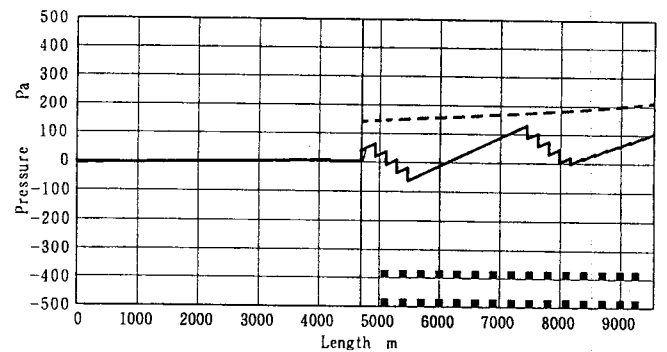
Time 80s

Figure 2: Pressure Distribution (4 doors open)



Time 160s

Figure 3: Pressure Distribution (8 doors open)



Time 160s

Figure 4: Pressure Distribution (second section)