

首都高速中央環状線 山手トンネル換気設備

宇田川 浩 史* 佐々木 泰 山** 水 谷 光 良**

The Yamate Tunnel Ventilation System

by Hiroshi UDAGAWA, Taizan SASAKI, & Mitsuyoshi MIZUTANI

Ebara's transverse ventilation system has been installed at Kanamecho and Nakaochiai ventilation stations of Yamate Tunnel, an 11 km tunnel along Tokyo's Metropolitan Expressway. A transverse type system was adopted to match specific structural factors of this tunnel. The following outlines and discusses this ventilation system, including its design.

Keywords: Metropolitan expressway, Yamate tunnel, Tunnel ventilation, Transverse ventilation system, Axial flow fan

1. ま え が き

首都高速中央環状新宿線（山手トンネル）は、5号池袋線から3号渋谷線を結ぶ全長約11 kmの路線である。全線が地下トンネル構造であり、9箇所に換気所を配置し、トンネル内の換気を行うための設備が設置されている。このうち、当社は要町換気所と中落合換気所に換気設備を納入した。図1に路線概要図を示す。

山手トンネルにおける換気設備には、以下の三つの役割がある。

(1) トンネル内環境の確保

走行車輛の排気ガスが利用者及び保守作業員などに生理的な悪影響を与えないようにすることや、良好な視野環境を確保する。山手トンネルでは、換気方式として「横流式」を採用し、これを実現している。

(2) 火災発生時の避難環境の確保

火災発生時には、利用者の避難環境を確保するためにトンネル内の煙を制御する。山手トンネルでは、火災発生地点や交通状況に応じた種々の送・排風機運転パターンを用意することで、効果的な煙の制御を実現している。

(3) 周辺大気環境の保全

山手トンネルの近隣には住宅街が広がっており、トンネル坑口や換気塔からの排気ガスを含んだトンネル内空気の排出に対する配慮など、周辺大気環境を保全する。

山手トンネルでは、出口部分に設置した換気塔排気口から集中的に排気することで、トンネル出口坑口から排出される空気量を抑制している。また、換気塔から排出されるトンネル内空気からは、浄化対策として設置する電気集塵機及び低濃度脱硝設備（別途工事にて設置）により、自動車から排出される浮遊粒子状物質（SPM）、二酸化窒素（NO₂）を効率よく除去している。

2. 換 気 概 要

換気設備として最も多く見られるのは、トンネル天井部に換気機を吊下げているジェットファン式である。この換気方式は「縦流式」といい、坑口からトンネル内に外気を取り込んで、トンネル内で発生した排気ガスを含んだ空気を押し出して換気する方式である。

これに対して、山手トンネルでは、次の理由より、換気方式として「横流式」を採用している。

- ① トンネル延長が長く、必要とされる換気量が多い。
- ② 出入口部が多く、縦流式での換気制御が難しい。
- ③ 内回りと外回りの二本のトンネル内空気が、出入口部を介して互いに影響する構造である、など。

図2に当社施工範囲の換気系統図を示す。本方式は、

* 風水力機械カンパニー 技術・建設統括部 社会システム第1プロジェクト室 風力システムグループ

** 同 工事室 東日本工事第一グループ

** 同 風力工事管理・環境・安全室 環境・安全グループ

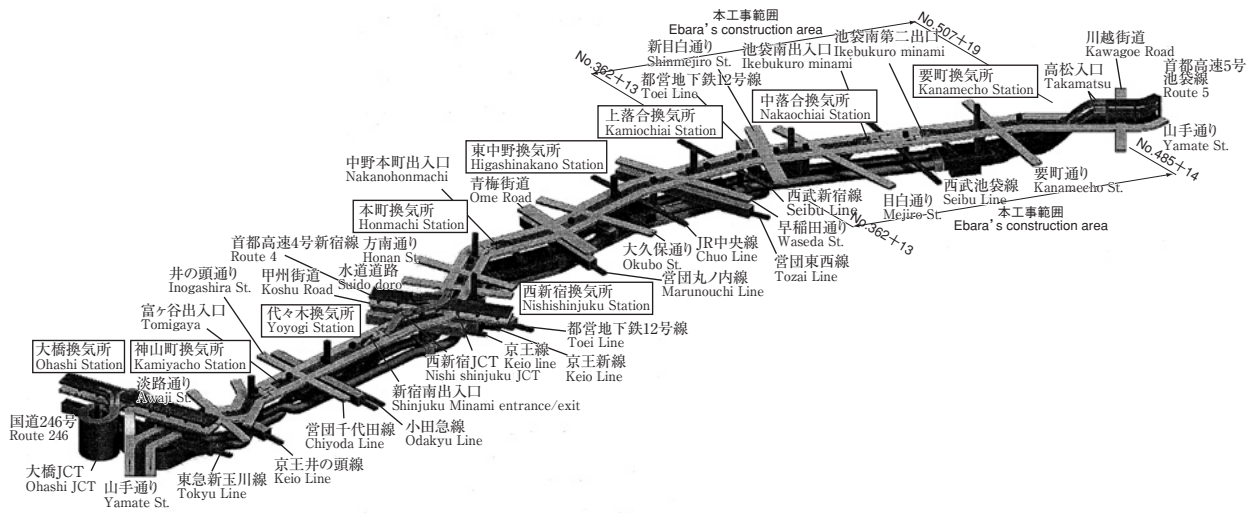


図1 路線概要図

Fig. 1 Ventilation outline

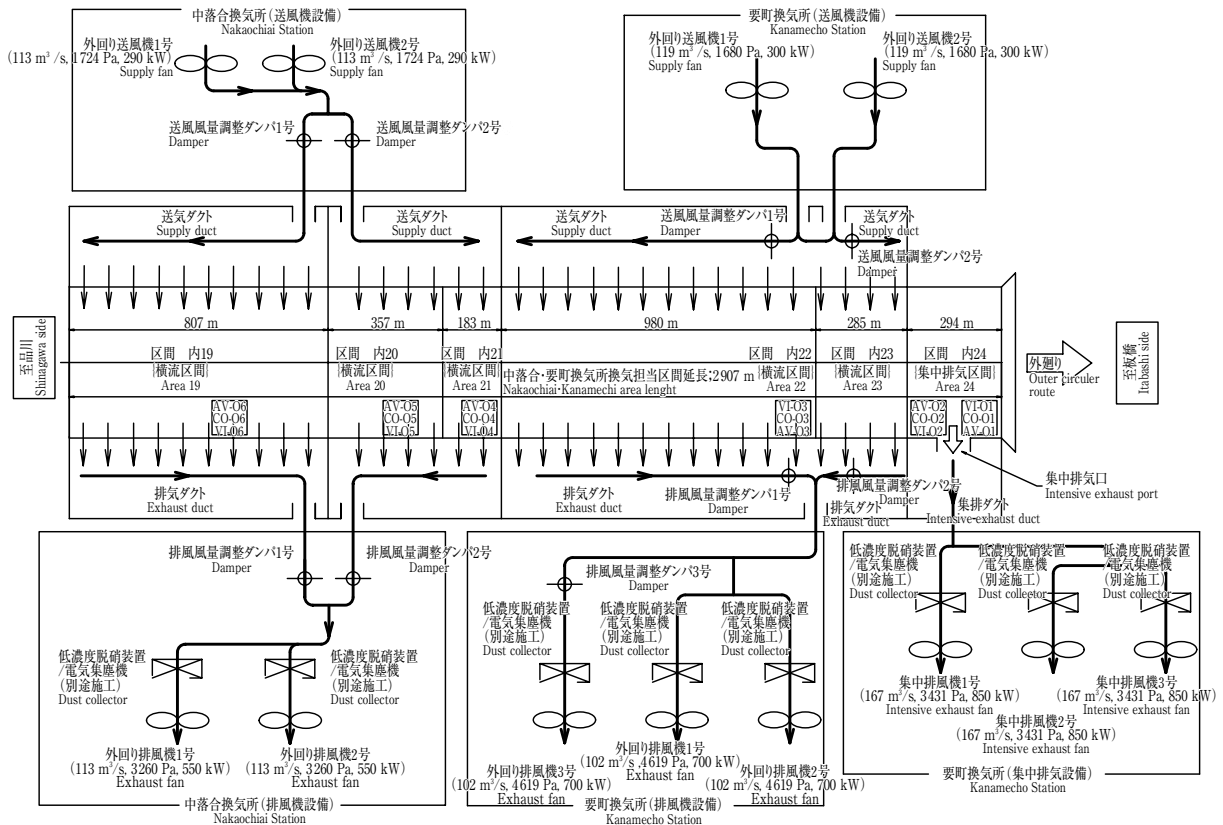


図2 換気系統図 (外回り)

Fig. 2 Ventilation system (Outer circular route)

トンネル全線にわたって車道とは独立した送気ダクトと排気ダクトを有することに構造的な特徴がある。送気ダクトには約5 m間隔、排気ダクトには約10 m間隔で、それぞれ送気口・排気口が設けられており、トンネル内で発生した排気ガスを含んだ空気をその場で吸引し、同量

の新鮮空気をトンネル内に供給する換気方式である。なお、前述のとおり、トンネル出口部分において集中的に排気する集中排気設備を併設している。図3に各換気方式の概略図を示す。

縦流式は車輛の走行によって生じる交通換気力や自然

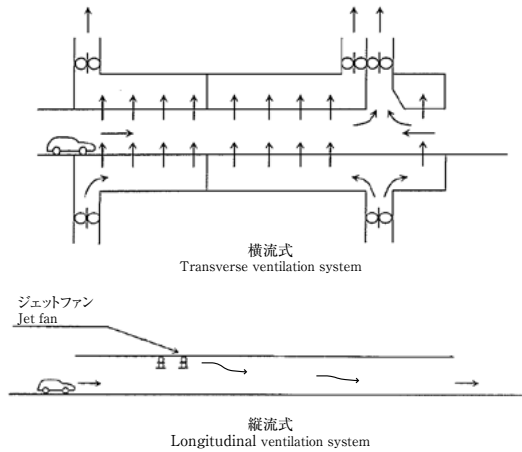


図3 各換気方法の概略図
Fig. 3 Outline of ventilation system

風の力を利用できる反面、交通の変動や自然風の大きさに影響を受けるが、横流式ではこれらの影響は少ないため、トンネル内環境確保の面では確実な換気方式である。

3. 機器仕様

3-1 送・排風機設備

主機である送・排風機の仕様を表1、2に示す。交通状況に応じて必要とされる換気量は異なることから、回転速度制御による風量制御方式を採用している。

写真1に送・排風機の据付外観、図4に送・排風機の断面構造の一例を示す。送・排風機吐出側には、送・排風機停止時の逆流を防止するため、仕切ダンパを設置している。

送・排風機は定格要項で最高効率となるように設計するが、関連工事との協議の中で、換気ダクト内に電気集塵機及び低濃度脱硝設備が設置される排風機は、定格要項である100%風量と電気集塵機及び低濃度脱硝設備の定格運転風量が異なる2点の要項を有する機種があることが判明した。そのため、電気集塵機及び低濃度脱硝設備の定格運転風量で運転した場合には、運転点がサージング領域に近づき、サージングに対する余裕が少なくなる。そこで、換気ダクト内の圧力損失要素が当初設計より変更された場合には、運転点がサージング領域に移行することが想定されたため、排風機の安定した運転を確保する上で、サージングを防止する対策を取り入れた。

低濃度脱硝設備の定格運転風量にて運転点がサージング領域に近づく機種については、吸込側を失速抑制型構造として、内面にサージング防止リングを設置した(写真2)。これにより、失速を起こす羽根車外周の乱れをリング内に取り込むことで主流の安定を図ることが可能となった(図5)。

表1 送排風機仕様 (中落合換気所)

Table 1 Specifications of fans for Nakaochiai Ventilation Station

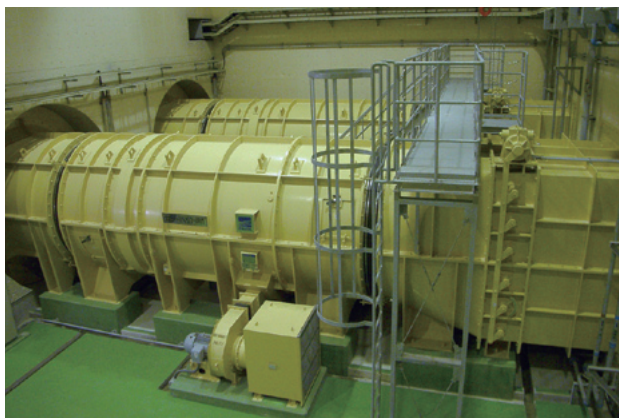
用途 Direction	内回り 送風機 Supply fan for inner circular route	内回り 排風機 Exhaust fan for inner circular route	外回り 送風機 Supply fan for outer circular route	外回り 排風機 Exhaust fan for outer circular route
型式 Type of fan	横型軸流電動機内装式 Axial fan setting motor			
口径 (mm) Fan diameter	φ 2650	φ 2650	φ 2500	φ 2500
風量 (m ³ /s) Flow rate	114	114	113	113
全風圧 (Pa) Pressure	1732	3455	1685	3265
電動機出力 (kW) Driving power	300	590	290	550
台数 (台) Number of fan units	2	2	2	2
質量 (t) Mass	37	37	35	35

表2 送・排風機仕様 (要町換気所)

Table 2 Specifications of fans for Kanamecho Ventilation Station

用途 Direction	内回り 送風機 Supply fan for inner circular route	内回り 排風機 Exhaust fan for inner circular route	外回り 送風機 Supply fan for outer circular route	外回り 排風機 Exhaust fan for outer circular route	集中 排風機 Intensive exhaust fan
型式 Type of fan	横型軸流電動機内装式 Axial fan setting motor				
口径 (mm) Fan diameter	φ 2360	φ 2360	φ 2650	φ 2800	φ 3150
風量 (m ³ /s) Flow rate	85	85	119	102	167
全風圧 (Pa) Pressure	1746	4071	1690	4628	3418
電動機出力 (kW) Driving power	220	520	300	700	850
台数 (台) Number of fan units	2	2	2	3	3
質量 (t) Mass	33	34	36	40	48

一方、送・排風機の要項を決定する上で重要となるのが、全風圧であり、換気ダクト内の圧力損失を積上げて算出する。横流換気方式の場合、トンネル全線にわたり換気ダクトが配置されるため、換気ダクト全長が非常に長く、様々な圧力損失要素が存在する。また、都市部に建設されるトンネルでは、換気ダクトを設置するスペースも限られており、複雑な形状を有するダクト箇所も出てくる。これは、局所的に大幅な圧力損失の増大を招く



12-03 01/234

写真1 送・排風機外観
Photo 1 Fans

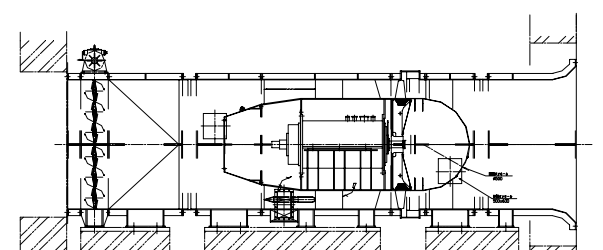
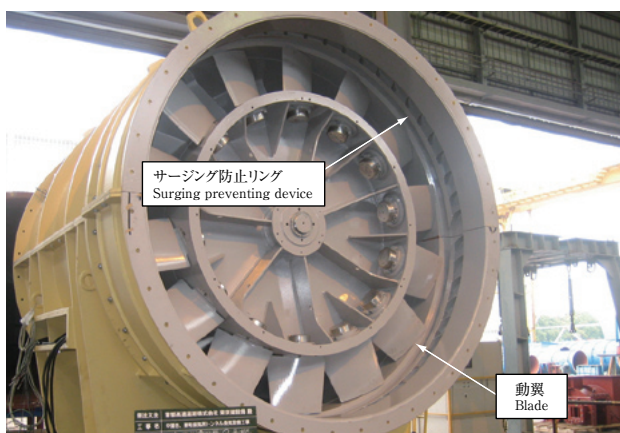


図4 断面構造図
Fig. 4 Sectional view



12-03 02/234

写真2 排風機の羽根車
Photo 2 Impeller of fan

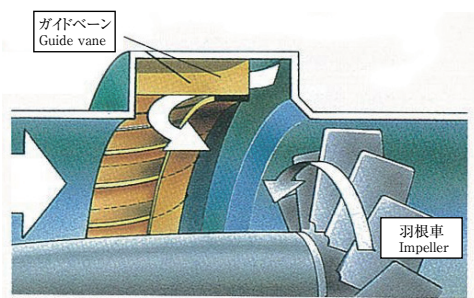


図5 サージング防止リング
Fig. 5 Surging preventing device

要因となる。このため、現地での運転で所定の送・排風機風量を確保するためには、圧力損失の計算精度を向上させることが重要である。

一般に、圧力損失は、実験データをもとにした文献値を使用して各損失要素を積上げていくが、複雑なダクト形状となると、既知のデータがないため、類似のデータをもとに損失値を推測していくことになる。そこで、更なる計算精度の向上のため、数値解析を用いることとした。当社は国内でも屈指のスケールモデル実験成果を保有しており、数値解析に用いる諸条件は、スケールモデル実験を用いて数値解析の結果を検証して培ってきたノウハウをもとに設定している。

3-2 換気ダクト設備（換気所内）

換気ダクト内には、圧力損失の低減を目的としてコーナベーン・整流板を設置しており（写真3）、ダクトが分岐する箇所には風量調整ダンパを設置して、各ダクトへ所定の風量を分配している。

- ・コーナベーン：92組
- ・整流板：32組
- ・風量調整ダンパ：15台

コーナベーンが設置される換気ダクト形状は、各設置位置ですべて異なるため、コーナベーンは各ダクト形状に合わせて一品製作構造となる。このため、躯体の出来形に対する調整代の取り方を工夫する等により、据付作業性の向上を図った。

また、複雑なダクト形状部に設置されるコーナベーンに関しては、数値解析によりベーンの配置等、最適形状を検討した。

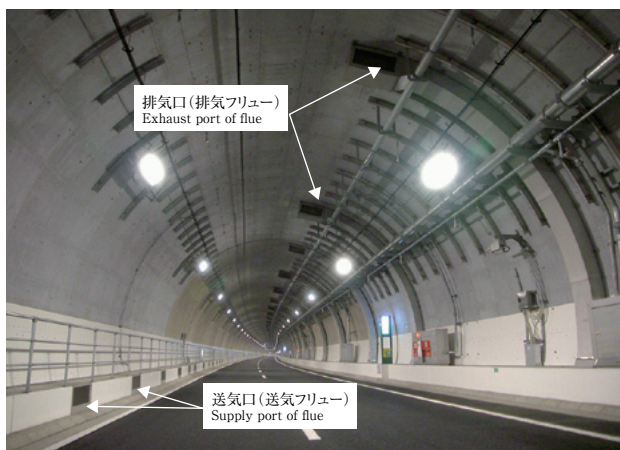
3-3 換気ダクト設備（トンネル内）

トンネル内では、換気所内の換気ダクトから接続され



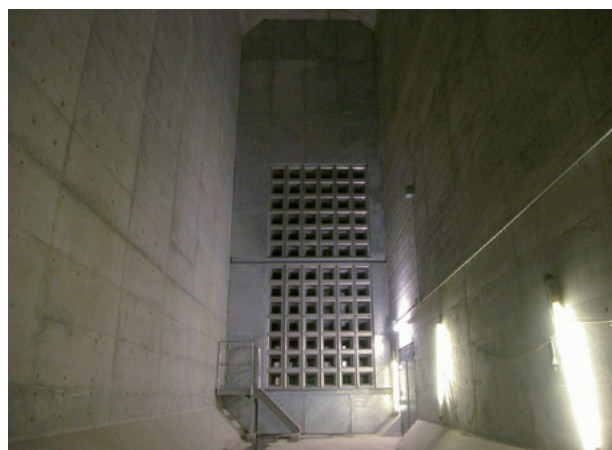
12-03 03/234

写真3 コーナベーン外観
Photo 3 Corner vane



12-03 04/234

写真4 フリュー外観
Photo 4 Flue



12-03 05/234

写真5 消音器外観
Photo 5 Silencer

た送気ダクト・排気ダクトを、車道の天井部又は道路側面下部に配置している。そして、送気ダクト・排気ダクトから各送気口・排気口には分岐ダクトを接続してトンネル内への空気の供給・排出を行っている。この車道内に設置されている鋼製ダクトをフリューと称している。(写真4)。

- ・送気フリュー : 1063個
- ・排気フリュー : 536個

特に、排気ダクト側に設置されるフリューは、車道内に設置される施設構造物の中でも大きく目立つため、換気ダクトとしての機能が損なわれない範囲で、トンネル内の景観に配慮した形状としている。

3-4 消音設備

送・排風機を運転した場合でも、敷地境界における騒音値が規制値以下となるように、送・排風機と換気塔の間には消音設備を設置している。消音器には、入口及び出口形状に工夫を施した低圧損型のユニットを採用することで、圧力損失の低減を図っている。写真5に消音器の据付外観の一例を示す。

3-5 計測設備

トンネル本線内には、トンネル内環境を監視するための機器を設置しており、電気室内に設置する計測盤にて計測情報を一括監視している。

- ・煙霧透過率測定装置 : 13台
- ・一酸化炭素検出装置 : 13台
- ・風向風速計 : 13台
- ・計測盤 : 4面

3-6 動力・制御設備

送・排風機、補機に動力を供給する動力設備、運転操作・

監視を行う制御設備を設置している。

- ・電動機盤 : 20面
- ・補機盤 : 14面
- ・機側盤 : 20面
- ・換気制御盤 : 5面
- ・補助リレー盤 : 5面

4. 現地試験

機器据付完了後、動力盤・制御盤のシーケンスチェックを行い、各機器の試運転調整を実施した。主な調整項目を以下に示す。

- (1) 補機の単体調整
- (2) 送・排風機の単体調整 (風量・風圧・振動等の測定)
- (3) 風量調整ダンパの開度調整
- (4) 送気・排気フリューの開度調整
- (5) トンネル内の断面平均風速測定
- (6) 敷地境界における騒音測定
- (7) 各換気所を連動させての総合試験

このうち、最も特徴のある(4)について詳細に述べる。

4-1 フリュー開度調整の目的

各送気・排気フリューからは、等風量で送気・排気を行う必要がある。このため、送気・排気ダクトからの分岐部には風量調整板を設置している。

各フリューからの換気量は、トンネル内とダクト内の静圧差によって決定されるため、本試験にてダクト内の静圧分布を算出し、各フリュー位置における風量調整板の設定開度を求める。

4-2 フリュー開度調整のポイント

本試験は、ダクト内静圧分布を理論計算により算出し、

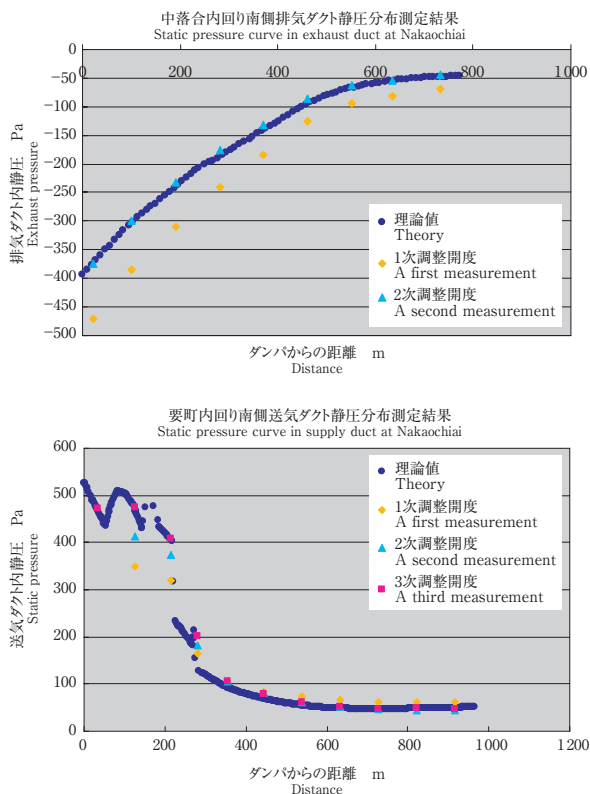


図6 フリュー開度調整結果の一例
Fig. 6 Example of pressure curve

実測値との誤差が±10%以内（※10%の値が20 Pa以下の場合には20 Pa以内）に入るまで繰り返し実施する。これは、換気設計上の許容範囲として、各フリューからの送気量及び排気量の差異を±5%程度とし、その静圧差として測定値の±10%と規定していることによる。このため、理論計算の精度が悪くと、実測値との相違箇所の見極めが難しく、その後の試験実施回数に大きく影響する。

4-3 調整結果

調整結果の一例を図6に示す。試験回数は理論計算精度に左右されるため、最大で5回程度を見込んでいたが、次に関する予備計測を実施し、得られた結果を理論計算に反映することで、すべての試験において3回以内で理論値と実測値を一致させることができた。

- ①複雑なダクト形状部の損失係数
- ②各ダクト形状の壁面摩擦損失係数

表3 ダクト壁面摩擦損失係数

Table 3 Frictional pressure loss coefficient in duct

測定箇所 Measurement point	実測値 Result	理論値 Theory
送気ダクト（開削部） Supply duct (excavation)	0.016	0.015
排気ダクト（開削部） Exhaust duct (excavation)	0.016	0.015
送気ダクト（シールド部） Supply duct (shield)	0.033	0.020
排気ダクト（シールド部） Exhaust duct (shield)	0.016	0.015

③各フリュー形状の損失係数

④風量調整板の絞り損失特性

予備計測の一例として、ダクト壁面摩擦損失係数の計測結果を表3に示す。トンネル換気用ダクトはコンクリート構造物であり、通常理論値は0.015を採用するが、送気ダクト（シールド部）はダクト内に電気配線ラックが設置されることから、送・排風機の仕様決定に用いる当初設計理論値として0.020を採用した。これに対し、予備計測を実施した結果は0.020を大きく上回る0.033となった。これにより、フリュー開度調整に必要なダクト内静圧分布計算に実測値を採用し、理論計算精度を向上させることで、調整試験回数を低減させることができた。

5. あとがき

中央環状新宿線の換気設備は、当社が納入した換気設備として最大規模である。更に、現在は3号渋谷線から湾岸線を結ぶ中央環状品川線の建設が進められており、当社にてトンネル換気設備の設計・施工を進めている。

中央環状品川線が完成すると、中央環状新宿線と合わせて約20 kmとなり、都市型トンネルとしては、世界第1位の長大トンネルとなる。換気ファンの総台数も非常に多くなり、トンネル内環境や周辺大気環境を保全するための換気ファンの効率的な運用や、火災発生時の避難環境を確保するために、信頼性の高い換気制御システムの構築を実現していく所存である。

最後に、本工事の施工に際しては、首都高速道路株式会社をはじめ、大変多くの方々にご指導ご協力を頂いた。関係各位に深く感謝の意を表す。