

第3章 トンネル機械設備

第3章 トンネル機械設備

第1節 総 則

1. 適用範囲(標準)

換気設備および非常用施設に適用する。

[解 説]

関連諸法規等は以下のとおりである。

示方書等の名称

示方書・指針等	発刊年月	発刊者
道路トンネル技術基準(換気編)・同解説	平成 20 年 10 月	(社)日本道路協会
道路の交通容量	昭和 59 年 9 月	〃
道路構造令の解説と運用	昭和 58 年 2 月	〃
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	平成 13 年 10 月	〃
道路機械設備遠方操作監視技術 マニュアル(案)	平成 16 年 6 月	(社)日本建設機械化協会

2. 計画(標準)

道路トンネルの換気計画は、トンネル建設の全体計画の一環として綿密に行わなければならない。

[解 説]

計画及び設計にあたっては、下記の事項を考慮し、各段階を進めていくものとする。

2-1 景観設計

地域特性を調査・検討し、景観に十分配慮した設計を行っていくものとする。

2-2 コスト・メンテナンス性

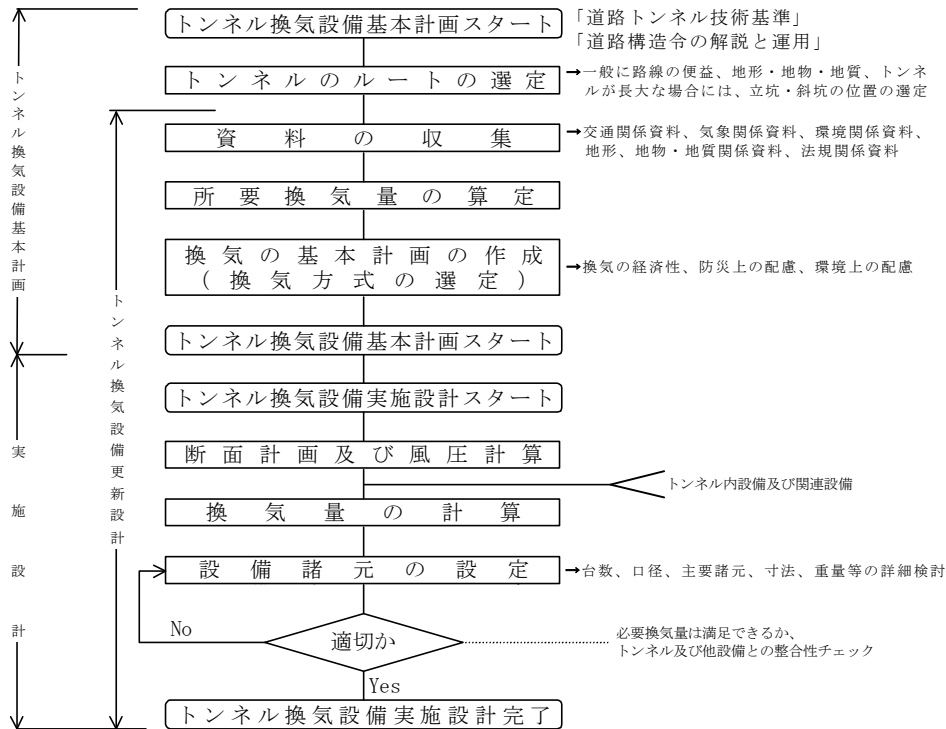
- (1) 新技術などの導入を検討し、総合的なコスト削減を考慮する。
- (2) 各機器の設計においては、それぞれのライフサイクルを考慮すること。
- (3) メンテナンス性の向上・維持管理費の削減を考慮すること。

2-3 換気計画

- (1) 換気計画は、交通方式、防災計画(非常用施設)との関連、周辺環境等に与える影響など、より広い立場からの検討が必要であり、トンネル全体として合理的なものでなければならない。
- (2) 交通の推移によって段階建設される場合は、対面交通から一方向交通への変更を考慮した最終段階での計画と整合されたものとする。この際、一方向交通トンネルの利点を十分に考慮するものとする。
- (3) 換気設備の更新にあたっては、更新時期以降の交通状況の変化を調査・予測し、換気計画を見直すものとする。

(4) 計画の手順

換気設備の計画、設計および施工は次の項目、順序によって行う。



3. 調査(標準)

換気施設の計画に当たっては、交通、気象、環境及び地形・地物・地質等について調査を行わなければならない。

[解説]

換気設備の計画では、次の項目を調査する。

3-1 交通量調査

- (1) 換気計画は原則として設計交通容量とするが、供用開始時点から設計交通容量に至る交通量の推移を知る必要がある。このため計画時の基本となる交通量を調べなければならない。
- (2) 車種構成等の質の変化により換気量も変化する場合がありますので詳細に調べることが望ましい。

3-2 気象調査

- (1) 調査として、自然換気力、坑口あるいは換気塔からの排気の拡散および取り入れ空気の条件に関するものがある。
- (2) このうち自然換気力は重要である。特に卓越風がみとめられない場合は、自然風として2.5 m/sを標準とする。

3-3 環境調査

- (1) 排気ガス調査は、地域の排気ガス濃度の問題がある場合は、バックグラウンド濃度調査を行うものとする。
- (2) 騒音調査は、騒音規制の問題がある為、音源の量と暗騒音の調査を行うものとする。

3-4 地形・地物・地質調査

地形・地質調査は、換気用立坑、斜坑の配置計画の基礎資料とする。坑口付近の環境調査では、地形の他構造物の影響も検討する場合がある。

第2節 トンネル内設備および関連設備

1. トンネル内設備(参考)

トンネル内には、次の諸設備が取付られている。

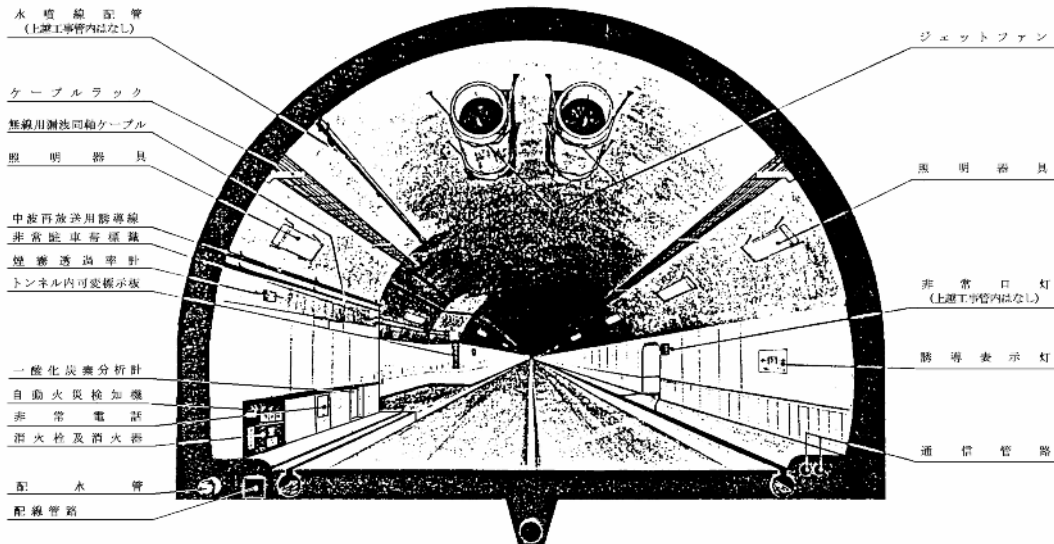


図3-2-1 ジェットファンによる換気の例

1-1 換気設備

- (1) 換気設備には、ジェットファンや換気所に設置する軸流ファン、電気集じん設備などがある。
- (2) トンネルに設置された一酸化炭素濃度測定装置、煙霧透過率測定装置、風速計や交通量測定装置等により状況を検知し、運転・停止を行う。
- (3) 火災発生時には、設備能力の範囲内で排煙運転ができる機能を持つものとする。

1-2 非常用施設

- (1) トンネルの等級区分によって設備内容が異なるので注意する必要がある。
- (2) 防災受信盤は、火災探知器および押ボタン式通報装置から信号を受け、火災発生をコントロール室に知らせるとともに換気設備・可変標示板・その他設備への信号の供給を行う。

1-3 トンネル照明設備

一般的に基本照明、入口照明、接続道路照明にて構成されている。停電時は基本照明の一部に対して、無停電電源装置にて供給されている。なお、等級の高いトンネルにおいては、発電機より長時間電源供給が保障されている。

1-4 CCTV設備

- (1) 火災・事故発生時に火災検知器等との連動により状況を把握する。
- (2) 交通流・気象状況を把握し迅速かつ的確に緊急措置がとれるようにする。
- (3) 常に状況を監視する。

1-5 無線通信補助設備

- (1) 維持管理車輛とコントロール室との情報交換、災害・交通事故等緊急時の指示連絡がどこからでも安定して確保できるようにする。
- (2) トンネル等級により考慮する。

2. 関連設備(標準)

2-1 可変標示板設備

- (1) 的確な道路情報を随時ドライバーに提供し、火災・事故発生時には後続車や対向車に警報を発して、人や車を安全に避難誘導するものである。
- (2) この他、速度を規制する可変式速度規制標識がある。

2-2 道路通信設備

- (1) 道路の安全かつ円滑な交通量を確保するための電送交換手段として、増大する通信需要に対応することを目的とした通信システムである。
- (2) 光ファイバーによる大容量電送、インターフェイス機能および柔軟なシステム構成が利用されている。

2-3 通信線路設備

信号・情報の伝達のために光信号による光ファイバーケーブルや電気信号によるメタリックケーブルを使用している。

2-4 受配電・自家用発電設備

各設備に安定した電源を供給する設備で、容量は、設備全体の負荷容量に変動率を考慮して決定するものとする。

2-5 遠方監視制御設備

コントロール室の電力卓および交通卓等により監視・操作・測定を安全かつ円滑に集中管理するものである。

2-6 気象観測設備

全線の気象状況を一括把握すると共にCRT表示データ処理装置を設置して道路気象管理に役立てる。

2-7 消火設備

自動車火災を迅速有効に消火し、または火災の拡大を防ぐために設ける。

第3節 換気方式

1. 換気施設の必要性の検討(標準)

換気施設の必要性は、トンネルの延長、勾配、交通条件、気象条件等を考慮して検討するものとする。

〔解説〕

1-1 自然換気の限界

- (1) 自然換気の限界は、トンネル幾何条件、交通条件(交通方向、交通量、車種構成、走行速度)および気象条件によって異なる。
- (2) 特に気象条件は、トンネル個所毎に異なり、時間的、季節的にも変化が著しい。
- (3) 対面交通の場合
 - 1) 交通量は、上り下り別の交通量の変動により時々刻々変化するため、自然換気の効果を定量的に決めることは難しい。
 - 2) 主なトンネルの延長と交通量との関係と機械換気施設の有無の別を図3-3-1(a)に示す。
 - 3) 機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度以上である。

$$L \cdot N = 1000 \quad \dots (3-1-1)$$

ここに、L：トンネル延長(km)
N：時間交通量(台/h)

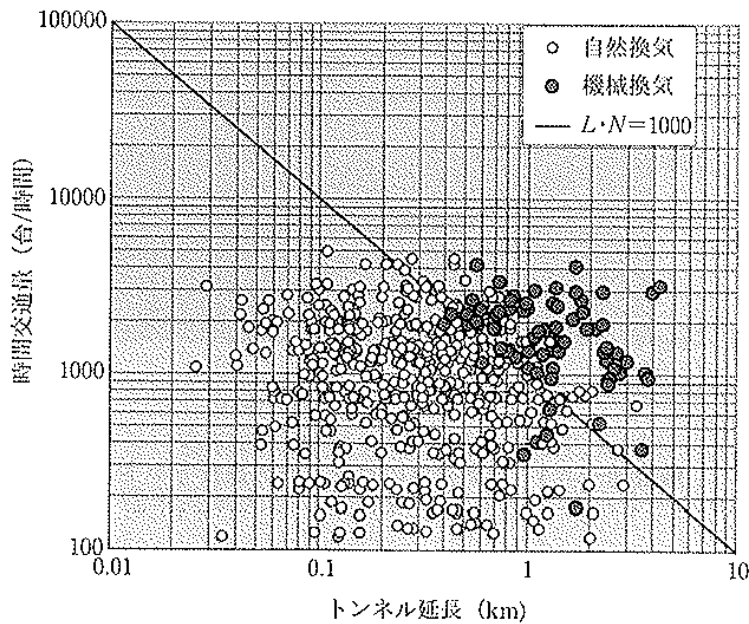


図3-3-1(a) 自然換気の目安(対面交通トンネル)

出典：[図3-3-1(a)]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P35

(4) 一方向交通の場合

- 1) 主なトンネルの延長と交通量との関係と機械換気施設の有無の別を図3-3-1(b)に示す。
- 2) 機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度以上である。

$$L \cdot N = 3,000 \quad \dots\dots (3-1-2)$$

出典：[図3-3-1(b)]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成20年度版)
 (H20.10) P35

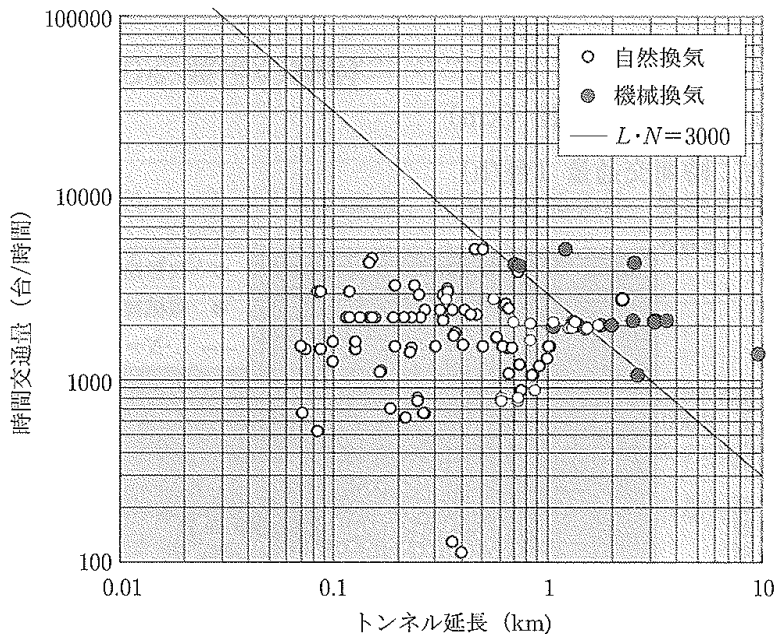


図3-3-1(b) 自然換気の目安(一方向交通トンネル)

(5) 勾配が急なトンネル、延長が長いトンネル、渋滞が生じやすいトンネルなど特殊な場合については、適用に当たって注意が必要である。

(6) 計算による検討

計算による確認方法として、計算条件を下記に示す。

1) 一方通行

一方通行のトンネルでは、車輛のピストン作用(交通換気力)により換気が行われる。車の走行によりトンネル内に持ち込まれる風量が所要換気量を上回る場合には、機械換気が不要となる。このときの自然風は、交通換気力に対して抵抗として働き、その大きさは2.5m/sとする。

2) 対面通行

対面通行での計算による確認方法として交通量比率5:5の状況において自然風2.5m/sある場合の持込風量と所要換気量を比較する。

2. 換気方式の選定(標準)

換気方式は、その特徴を十分生かし、トンネルの延長、地形・地物・地質、交通条件、気象条件、環境条件等に応じ、有効かつ経済的な方式を選定するものとする。

[解説]

2-1 機械換気方式の種類

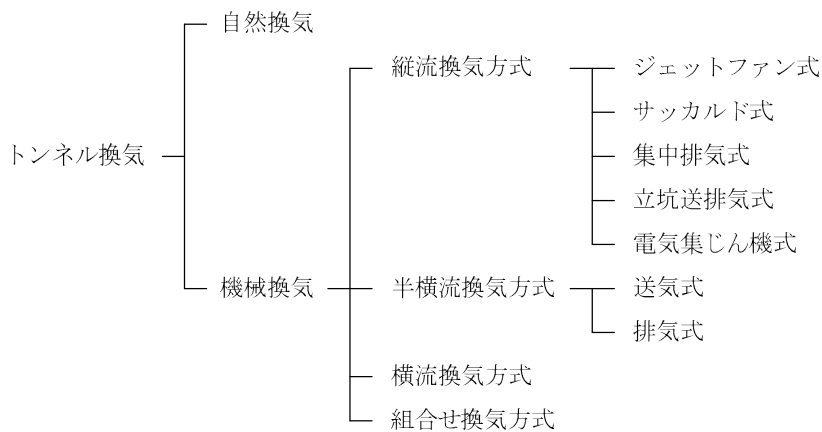


図 3-3-2 換気方式の種類

- (1) 換気方式は、交通方式により異なる。一方向交通トンネルでは自動車のピストン作用を換気力として利用する。
- (2) 最近では、トンネル全断面をダクトとして利用し、圧力損失を小さくする縦流換気方式が多く採用されている。
- (3) 特に、ジェットファンのみの換気や立坑集中排気の圧力を補う手段としてジェットファンを併用する組合せ式が多い。

2-2 換気方式の適用範囲

(1) トンネル内最大風速

換気方式の適用に当たっては、各方式について換気の質や設備工費等、種々の比較検討を行って、換気方式を決定するものとする。なお、縦流式および半横流式の場合、一方向交通トンネルの車道内最大風速は $12\text{m}/\text{sec}$ 以下、対面通行トンネルの車道最大風速は、 $8\text{m}/\text{s}$ 以下とする。ただし歩行者がある場合は $7\text{m}/\text{sec}$ 以下が望ましい。

(2) 換気方式の特徴(参考)

換気方式の特徴については、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説 平成 20 年改訂版 p. 39 以降に示す。

出典：[2-1]

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成 20 年度版)
(H20.10) P37

出典：[2-2]

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成 20 年度版)
(H20.10) P48

3. 換気計画上の注意事項(標準)

換気計画は、火災時の運用、渋滞時の運用、段階建設、維持管理および環境上のことを十分考慮しなければならない。

[解説]

3-1 火災時の運用(参考)

(1) 火災発生時には人命の確保を主目的とする。

1) 防災受信盤からの火災信号で換気機を停止または火災モードとし、避難行動が容易になるよう煙を坑内上方にとどめ、横断面内での擾乱を防ぎ、縦断面への拡散を抑制する。

2) 避難完了後の消火活動のために、消防責任者の指示により排煙を目的とした運転を行う。

(2) 火災時の煙の動き及び拡散状態は、換気方式、送気方向、換気区分、交通形態、トンネル内自然風、車両換気風によって大きく異なる。したがって換気機の運転方法は、トンネルの諸条件をよく検討して決定しなければならない。

3-2 渋滞時の運用

(1) 渋滞には、自然渋滞と事故渋滞とがある。自然渋滞の場合は煤煙よりCOが検討の対象となることが多い。

(2) 換気施設の設計・運用には、渋滞時に必要な換気量を検討しなければならない。
(第4節 6. その他の検討の項参照のこと)

3-3 段階建設

トンネルの換気の設計に際し、常に段階建設について考慮しなくてはならない。
ここでいう段階建設とは、次の場合に大別できる。

(1) トンネル本体の増設(対面交通から一方向交通へ)に伴う換気上の段階建設。

(2) 交通量の伸びによる換気量増加のための換気上の段階建設。

(3) 両者併用の段階建設。

3-4 維持管理

(1) トンネルの機械設備は、保守点検作業の簡易化、点検間隔の長期化などを目指し、維持管理費の縮減をはかる。

(2) 遠隔監視装置を拡充し、広域的なトンネル機械設備の監視体制を作ることで、保守工数を縮減し広くは道路網の計画的・経済的な保守管理に資するものとする。

(3) 大型送・排風機を用いる換気設備では、本体と駆動用主電動機をはじめとする各部の温度管理(各種軸受け温度、潤滑油温度)、振動値管理などをきめ細かく行うことで機器の状態を継続的に監視することで予防保全をはかる。

(4) ジェットファン設備は、設置される坑内環境によって故障箇所や寿命が大きく左右される。新設に当たっては、類似の坑内状況にある既設トンネルの保守来歴を勘案して対策を考慮する必要がある。

(5) ジェットファンは、点検作業に交通規制を必要とするため、出来るだけ遠隔監視の出来る工夫をして、点検時期を延長する考慮が必要である。

遠隔管理の方法には下記の方法が試行された例がある。

- 1) 軸受け振動センサーの取り付けによる振動監視・警報発信と記録装置の設置。
振動センサーの経年データを分析することで回転体の予防保全を期待することができる。
- 2) 吊り金具荷重センサーの取り付けによる荷重不平衡の監視・警報発信と記録装置の設置。本設備は、ターンバックルの緩みと回転体の偏心感知を期待することができる。

3-5 取入空気の汚染状態

換気方式や換気量の決定にも影響するので、換気塔を設ける場合、バックグラウンド濃度調査を行う必要がある。また排気の吸込がないように注意すること。

3-6 都市トンネルにおける換気の設計濃度と換気量

坑口周辺の立地および環境条件により吐出される排気量、あるいは濃度が制限を受ける場合があるので注意する必要がある。

第4節 換気計画

1. 設計一般(標準)

換気施設の設計は、その各段階に応じ、必要かつ十分な精度で行われなければならない。

[解説]

1-1 換気計画の概要

設計は、下記項目について検討が行われなければならない。

- ・換気量の設計
- ・自然換気の計算
- ・機械換気の設計
- ・換気方式による換気区分、換気ダクトおよび連絡ダクト等の換気系に関する設計
- ・換気機、関連電気設備および換気所等の設計
- ・換気運用、その他の検討および設計
- ・環境対策(坑口付近および換気口の騒音・煤煙等)の検討および設計

1-2 設計条件

条件は下記項目について明示されていなければならない。

- (1) トンネルを含む路線決定と道路規格
- (2) 地形区分(山地、平地、市街地)
- (3) ンネル延長、断面積、代表寸法および縦断勾配
- (4) 標高
- (5) 計画交通量(台/日)
- (6) 設計車速(km/h)
- (7) 大型車混入率
- (8) ディーゼル車混入率
- (9) 許容濃度(煤煙、CO)
- (10) 一方向、対面の交通方向区分

2. 換気の対象物質および濃度(標準)

換気施設の設計の対象とする有害物質は、煤煙及び一酸化炭素とする。
換気施設の設計に用いる煤煙及び一酸化炭素の設計濃度は、トンネル内の交通の安全性及び快適性並びに維持管理作業の安全性を確保するために必要な値とするものとする。

[解説]

当該道路の設計速度に応じ、次の表に示す値を標準とする。

設計速度	煤煙の設計濃度 (100m透過率)	一酸化炭素の設計濃度
80 km/h 以上	50 %	100 ppm
60 km/h 以下	40 %	

なお、交通が渋滞をする場合、完成時4車線を暫定供用で対面交通2車線の場合は煤煙の設計濃度を30%まで下げても止むを得ない。

出典：[2]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P19

また、渋滞時のCO設計濃度は、下記フローに従い決定する。

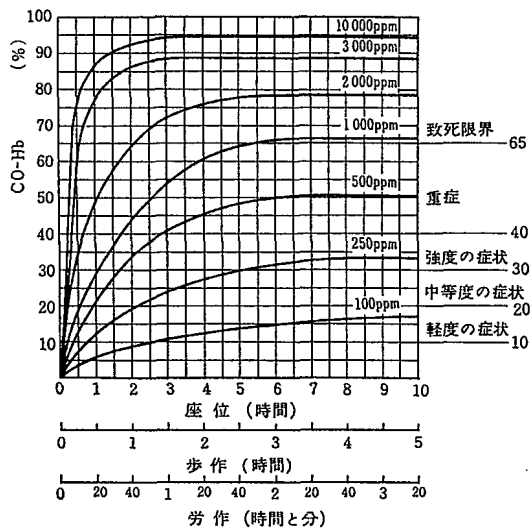
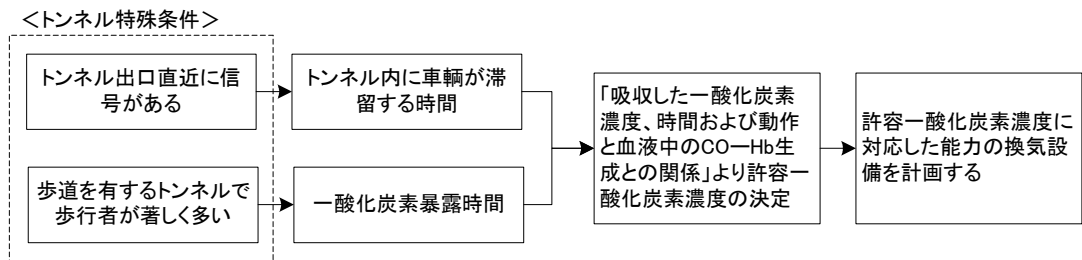


図 3-4-2 吸収したCO濃度、時間および動作と血液中のCO-Hb生成との関係

通行者のトンネル内滞在時間が長い場合(1時間程度)は、CO設計濃度を低く押さえる必要がある。また、維持修繕工事に長時間にわたり従事する作業員に対する労働衛生面に配慮する必要がある。

表 3-4-2(a) 換気量計算に用いる有害成分の排出量(平成25年以降対象)

有害成分	車種	排出量		備考
		平均値	標準偏差	
一酸化炭素 (CO)	小型車	0.005m ³ /(km・台)	考えない	渋滞時の排出量 0.005m ³ /(km・台)
	大型車			
煤 煙	小型車	0.3m ² /(km・台)	0.3m ² /(km・台)	
	大型車	1.5m ² /(km・台)	0.5m ² /(km・台)	

また、トンネル坑口付近は信号機などによりトンネル内に滞留する車両(アイドリング状態)の1台当たりのCO排出量は試験値を参考に従来からの大型車、小型車ともに0.001m³/(min・台)とする。

出典：[図 3-4-2 (a)]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P29

出典：[図 3-4-2 (a)]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P26

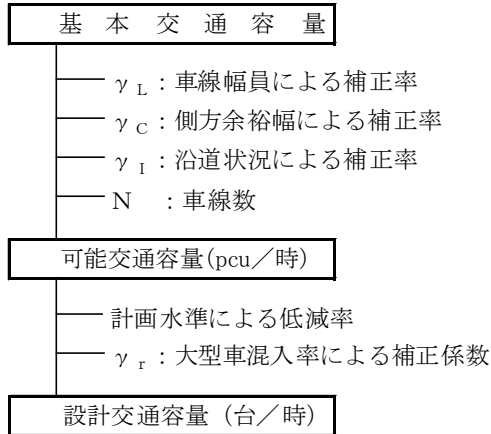
3. 交通量(標準)

換気施設の設計に用いる交通量は、当該トンネルの設計交通容量を用いることを原則とする。ただし、当該道路の設計時間交通量が設計交通容量を大幅に下まわる場合には、交通量として設計時間交通量を用いることができる。

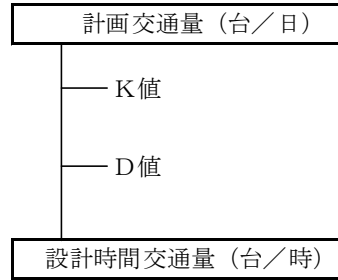
[解説]

3-1 計算のフロー

(1) 設計交通容量



(2) 設計時間交通量



なお、設計時間交通量は、計画目標年(供用20年後)の推定交通量に、30番目時間交通量の割合と上下車線の重方向の割合を掛けたものである。

3-2 設計交通量

(1) 基本交通容量

多車線道路の基本交通容量……………1車線当り 2200 PCU/h
 2方向2車線道路の基本交通容量……往復合計で 2500 PCU/h

(2) 可能交通容量

$$C = C_B \times \gamma_L \times \gamma_C \times \gamma_I \quad \dots\dots (4-3-1)$$

C : 道路可能交通容量(PCU/h)

C_B : 基本交通容量(PCU/h)

$\gamma_L, \gamma_C, \gamma_I$: 各種の補正率

1) 車線幅員(γ_L)

表3-4-3(a) 車線幅員による補正率 γ_L

車線幅員 W_L (m)	補正率 γ_L
3.25	1.00
3.00	0.94
2.75	0.88
2.50	0.82

出典 : [(a)]
 道路の交通容量
 (昭和59年度版)
 (59.9) P24

2) 側方余裕 (γ_c)

表 3-4-3 (b) 車線余裕幅による補正率 γ_c

側方余裕幅 W_c (m)	補正率 γ_c	
	片側だけの不足	両側不足
0.75 以上	1.00	1.00
0.50	0.98	0.95
0.25	0.95	0.91
0.00	0.93	0.86

出典：[(b)]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P25

3) 沿道状況 (γ_l)

表 3-4-3 (c) 沿道状況による補正率 γ_l

(駐停車の影響を考慮する必要がない場合)

市街化の程度	補正率
市街化していない地域	0.95~1.00
幾分市街化している地域	0.90~0.95
市街化している地域	0.85~0.90

(駐停車の影響が考えられる場合)

市街化の程度	補正率
市街化していない地域	0.90~1.00
幾分市街化している地域	0.80~0.90
市街化している地域	0.70~0.80

出典：[(c)]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P27

3-3 設計交通容量

$$\text{設計交通量} = C \times (Q/C) \times \gamma_r \quad \dots\dots (4-3-2)$$

ここに、 C : 道路可能交通容量 (PCU/h)
 Q/C : 低減率 (交通量と交通容量の比)
 γ_r : 大型車混入による補正率

(1) 低減率

表 3-4-3 (d) 計画水準による低減率

計画水準	低減率(交通量・交通容量比)		適用する道路
	地方部	都市部	
1	0.75	0.80	・高サービスの第1種の道路
2	0.85	0.90	・その他の道路
3	1.00	1.00	・原則として採用しない

出典：[(1)]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P84

表中の「高サービス」とは、HCM(1965年版)によるサービス水準区分のA~FのC段階までを言う。C段階とは、交通はまだ安定した流れの範囲にあるが、車線変更あるいは追い越しをする自由が制約される。

計画水準1：計画目標年次において、予想される年間最大ピーク時間交通量が可能交通容量を突破することはない。30番目時間交通量が流れる状態においてはある速度(速度の自由な選択はできない)での定常的走行が可能である。

計画水準 2 : 計画目標年次において、年間 10 時間程度は予想されるピーク時間交通量が可能交通容量を突破して大きな交通渋滞を発生することがある。30 番目時間交通量が流れる状態においては、一定速度の走行はむずかしくなり、速度の変動が現れる。

計画水準 3 : 計画目標年次において、年間 30 時間程度は予想されるピーク時間交通量が可能交通容量を突破して大きな交通渋滞を発生する。30 番目時間交通量が流れる状態においては走行速度は常に変動し停止に至ることもある。

(2) 大型車混入による補正係数

$$\gamma_r = \frac{100}{(100 - \gamma_L) + E_r \cdot \gamma_L} \quad \dots\dots (4 - 3 - 3)$$

ここに、 γ_r : 大型車混入による補正率
 E_r : 大型車の乗用車換算係数
 γ_L : 大型車混入率(%)

出典 : [(2)]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P29

1) 大型車の乗用車換算係数

表 3-4-3(e) 大型車の乗用車換算係数 E_r

勾配	勾配長 (km)	2車線道路(大型車混入率%)					多車線道路(大型車混入率%)				
		10	30	50	70	90	10	30	50	70	90
3%以下	—	2.1	2	1.9	1.8	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7
4%	0.2	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2
	0.4	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2
	0.6	2.9	2.7	2.6	2.4	2.3	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3
	0.8	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3
	1.0	2.9	2.8	2.7	2.5	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3
	1.2	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4
	1.4	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4
1.6	3.0	2.9	2.8	2.6	2.5	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	
5%	0.2	3.2	3.0	2.8	2.7	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5
	0.4	3.3	3.1	2.9	2.8	2.7	2.9	2.7	2.7	2.7	2.6
	0.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.7	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7
	0.8	3.5	3.2	3.0	2.9	2.8	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7
	1.0	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8
	1.2	3.6	3.4	3.1	3.0	2.9	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8
	1.4	3.6	3.4	3.2	3.0	2.9	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8
1.6	3.7	3.4	3.2	3.1	2.9	3.2	3.0	3.0	2.9	2.9	
6%	0.2	3.4	3.2	3.0	2.8	2.7	2.9	2.8	2.7	2.7	2.7
	0.4	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	3.1	2.9	2.9	2.8	2.8
	0.6	3.7	3.5	3.3	3.1	3.0	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9
	0.8	3.8	3.6	3.4	3.2	3.1	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0
	1.0	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3.3	3.2	3.1	3.1	3.1
	1.2	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1
	1.4	4.1	3.8	3.6	3.4	3.3	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2
1.6	4.1	3.9	3.7	3.5	3.3	3.6	3.4	3.3	3.3	3.3	
7%	0.2	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8
	0.4	3.7	3.5	3.3	3.1	3.0	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9
	0.6	3.9	3.6	3.4	3.3	3.1	3.4	3.2	3.1	3.1	3.1
	0.8	4.0	3.8	3.5	3.4	3.2	3.5	3.3	3.3	3.2	3.2
	1.0	4.2	3.9	3.7	3.5	3.3	3.6	3.4	3.4	3.3	3.3
	1.2	4.3	4.0	3.8	3.6	3.5	3.7	3.5	3.5	3.4	3.4
	1.4	4.5	4.2	3.9	3.7	3.6	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5
1.6	4.6	4.3	4.0	3.8	3.7	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	

出典：[(a)]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P31

3-4 設計時間交通量

(1) 設計時間交通量は、計画交通量から、その路線の交通量の変動特性を考慮して求めるものとする。

(2) 設計時間交通量は、計画目標年における 30 番目時間交通量とすることを標準とする。

設計時間交通量は次の式による。

1) 2 車線道路の場合

$$\text{設計時間交通量} = \text{計画交通量} \times \frac{K}{100} \quad (\text{両方向合計 台/h})$$

2) 多車線道路の場合

$$\text{設計時間交通量} = \text{計画交通量} \times \frac{K}{100} \times \frac{D}{100} \quad (\text{重方向合計 台/h})$$

ここに、K：計画交通量(年平均日交通量)に対する設計時間交通量(通常は 30 番目時間交通量)の割合で、通常百分率で表す。

D：往復合計の交通量(1 時間単位)に対する重方向交通量の割合で、通常百分率で表す。

① K 値

次の値を使用する。

区分	K 値
山地部	14
平地部	12
都市部	9

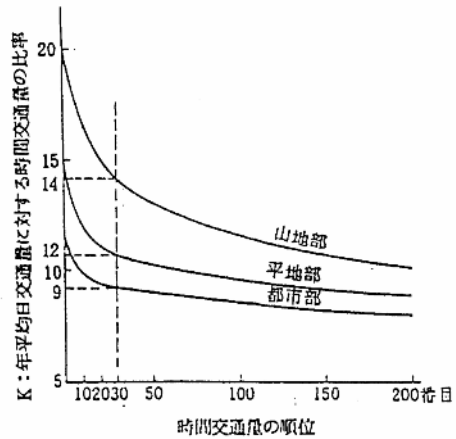


図 3-4-3

年平均日交通量と時間交通量との関係

② D 値

当該路線に於ける D 値が不明な場合は、換気の設計にあたって次を標準とする。

区分	D 値
山地部	55
地方部	60

③ 大型車混入率

大型車混入率は、原則として計画交通量推計時に用いられた年平均大型車混入率を用いる。路線特有の事情が有る場合は、類似路線を設定し、その値を準用・予測するものとする。

出典：[3-4]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成 20 年度版)
(H20.10) P16

出典：[①]
道路の交通容量
(昭和 59 年度版)
(59.9) P80

3-5 交通量選定留意点

換気設備の設計交通量は、設計交通容量とすることを原則とする。設計時間交通量が大幅に下回る場合には、設計交通量として設計時間交通量とすることができる。

設計時間交通量が設計交通容量を上回る場合は、設計交通容量を選定する。その根拠は、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説 p14「すなわち、換気量は設計交通容量を最終段階とする各種交通状態に対する換気量のうち最も大きなものを採用することになる。」である。

出典：[3-5]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P14

4. 換気量の算定(標準)

4-1 計算のフロー

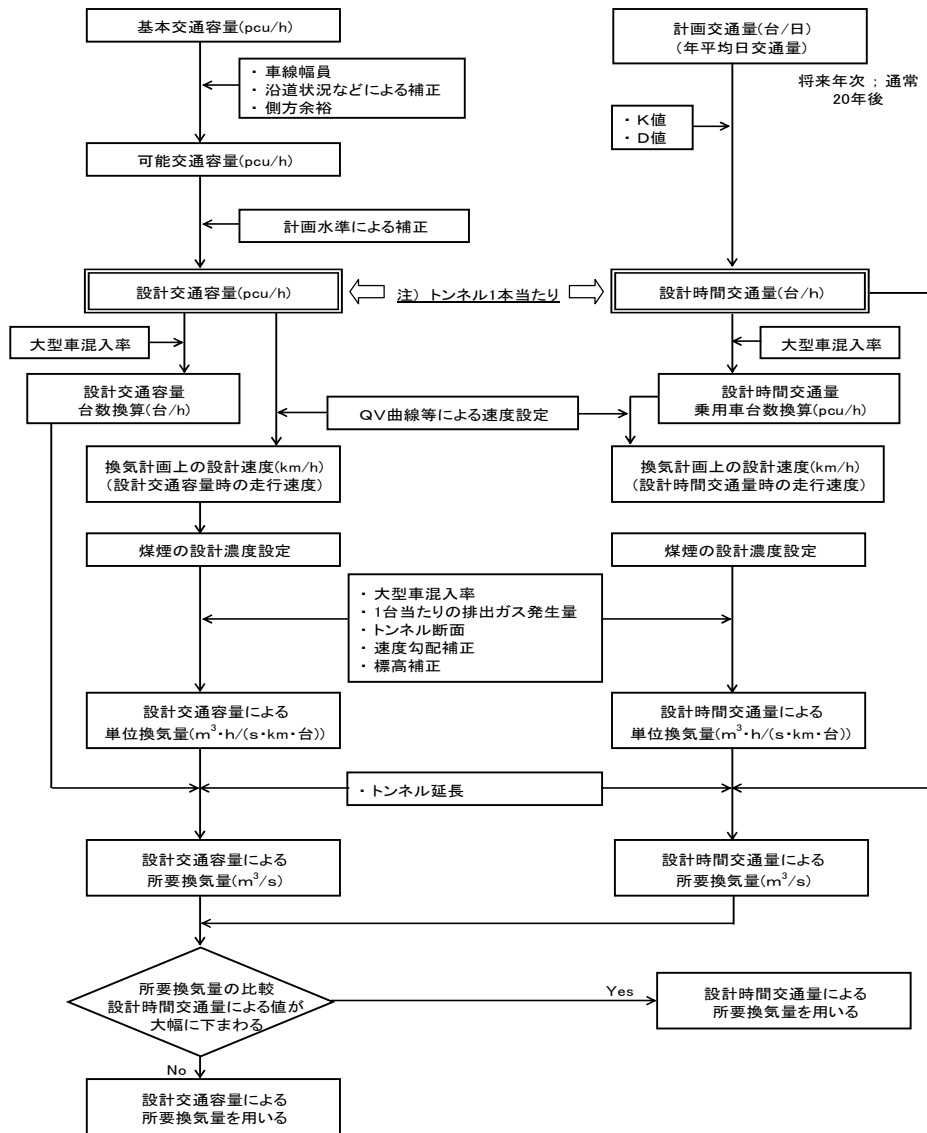


図 3-4-4 (a) 煤煙を例とした交通量から所要換気量を求める過程

4-2 基準換気量

トンネルの換気は排気ガス中の煤煙および一酸化炭素を対象とし、各々の基準換気量は次式による。設計換気量は大きい方の値をとるものとする。

$$Q_0 = q_0 \cdot N \cdot L \frac{1}{1000} \quad \dots (4-4-1)$$

- ここに Q_0 : 基準換気量 (m^2/sec)
 q_0 : 単位基準換気量
 N : 交通量 (台/時)
 L : トンネル延長 (m)

出典 : [4-1]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P15

出典 : [4-2]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P64

(1) 単位基準換気量

1) 煤煙排出量

煤煙の排出量の平均値、標準偏差および微粒子率は、実態調査および自動車排出ガス規制の動向をもとに表3-4-4(a)の値を用いることとした。

なお、平成24年以前にトンネルが供用するなど換気施設の不足が生じるおそれがある場合には、表3-4-4(b)に示す当該年の排出量が参考となる。

表3-4-4(a) 煤煙の1台当たりの排出量【平成25年以降対象】

平均値(m ² /km)		標準偏差(m ² /km)		微粒子率(%)	
小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
0.3	1.5	0.3	0.5	55	50

表3-4-4(b) 煤煙の1台当たりの排出量【平成20~24年対象】

年	平均値(m ² /km)		標準偏差(m ² /km)		微粒子率(%)	
	小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
平成20年	0.4	2.0	0.4	0.7	70	65
平成21年	0.4	1.8	0.4	0.6	65	60
平成22年	0.4	1.7	0.4	0.6	65	60
平成23年	0.4	1.6	0.4	0.6	60	55
平成24年	0.3	1.6	0.3	0.6	60	55

自動車群の大型車混入率を γ_L とすると、自動車群に対する排出量の平均値 μ および標準偏差 σ は次のとおり求められる。

$$\mu = \gamma_L \times \mu_1 + (1 - \gamma_L) \times \mu_2$$

$$\sigma^2 = \gamma_L \times \{ \sigma_1^2 + (\mu_1 - \mu)^2 \} + (1 - \gamma_L) \times \{ \sigma_2^2 + (\mu_2 - \mu)^2 \}$$

記号

補正後の大型車の平均排出ガス量	μ_1 (m ² /km)
” の小型車の ”	μ_2 (”)
” の大型車の μ_1 に対する標準偏差	σ_1 (”)
” の小型車の μ_2 ”	σ_2 (”)
煤煙の排出量の平均値	μ (”)
” μ に対する標準偏差	σ (”)

2) COに対する単位基準換気量

$$q_0 = \frac{\mu}{3600 \cdot K_{CO} \times 10^{-6}} \dots (4-4-2)$$

$$\text{ここに、} \mu = 5 \ell / \text{km} = 0.005 \text{ m}^3 / \text{km}$$

$$K_{CO} = 100 \text{ ppm}$$

$$0.005$$

$$\therefore q_0 = \frac{0.005}{3600 \times 100 \times 10^{-6}} = 0.01944 \approx 0.02$$

出典：[(1)]

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説

(平成20年度版)

(H20.10) P58

出典：[b]

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説

(平成20年度版)

(H20.10) P63

4-3 所要換気量と補正係数

(1) 煤煙排出量の補正

煤煙の排出量の平均値 μ および標準偏差 σ を求めるための補正は、表 3-4-4 (a) の排出量に走行速度による補正係数 (k_v)、縦断勾配による補正係数 (k_L , k_S)、標高による補正係数 (k_h) を用いて次式により行う。

$$\mu_1 = \{\mu_L \times R_L \times k_v \times k_L \times k_h\} + \mu_L \times (1 - R_L)$$

$$\sigma_1 = \{\sigma_L \times R_L \times k_v \times k_L \times k_h\} + \sigma_L \times (1 - R_L)$$

$$\mu_2 = \{\mu_S \times R_S \times k_v \times k_S \times k_h\} + \mu_S \times (1 - R_S)$$

$$\sigma_2 = \{\sigma_S \times R_S \times k_v \times k_S \times k_h\} + \sigma_S \times (1 - R_S)$$

記号

大型車の平均排出ガス量	μ_L (m ² /km)
小型車の "	μ_S (")
大型車の μ_L に対する標準偏差	σ_L (")
小型車の μ_S "	σ_S (")
大型車の煤煙排出量に占める微粒子の比率	R_L (")
小型車の "	R_S (")
速度補正係数	k_v (")
大型車の速度勾配補正係数	k_L (")
小型車の "	k_S (")
標高補正係数	k_h (")

1) 縦断勾配および走行速度による煤煙排出量の補正

自動車排出ガスの煤煙濃度は従前から道路の縦断勾配や走行速度などによって変化することが実験によって確かめられている。縦断勾配および走行速度による補正係数は最近の台上試験の結果¹⁾などから次に示す速度勾配補正係数が与えられている。

図 3-4-4 (b) および表 3-4-4 (c) は、表 3-4-4 (a) に示す平成 25 年以降の排出量に対する縦断勾配による補正係数である。このとき走行速度による補正係数は $k_v = 1.0$ を用いる。また、表 3-4-4 (d) および図 3-4-4 (c)、表 3-4-4 (e) は、表 3-4-4 (b) に示す煤煙排出量が低減されるまでの期間(平成 20~24 年)に対する走行速度および縦断勾配による補正係数である。なお、4% を超える縦断勾配となる場合の速度勾配補正係数については、現時点では把握できていないため、個別に十分な検討を行ったうえで設定する必要がある。

出典：[4-3]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成 20 年度版)
(H20.10) P59

出典：[4-3]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P61

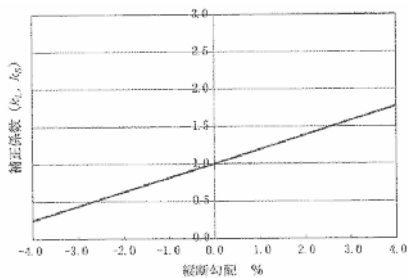


図 3-4-4 (b) 速度勾配補正係数(煤煙対象)(k_L 、 k_S)【平成 25 年以降対象】

表 3-4-4 (c) 速度勾配補正係数(煤煙対象)(k_L 、 k_S)【平成 25 年以降対象】

勾配	大型車・小型車		勾配	大型車・小型車	
	40~80km/h			40~80km/h	
0.0	1.00		0.0	1.00	
-0.5	0.91		0.5	1.10	
-1.0	0.81		1.0	1.19	
-1.5	0.72		1.5	1.29	
-2.0	0.62		2.0	1.38	
-2.5	0.53		2.5	1.48	
-3.0	0.44		3.0	1.58	
-3.5	0.34		3.5	1.67	
-4.0	0.26		4.0	1.77	

表 3-4-4 (d) 速度補正係数(煤煙対象)(k_v)【平成 20~24 年対象】

車種 速度 勾配	小型車					大型車				
	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h
0.0	0.92	0.96	1.00	1.05	1.11	0.91	0.95	1.00	1.06	1.13

出典：[4-3]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P62

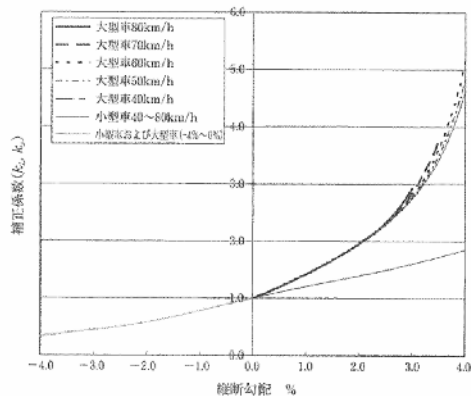


図 3-4-4 (c) 速度勾配補正係数(煤煙対象)(k_L 、 k_S)【平成 20~24 年対象】

表 3-4-4 (e) 速度勾配補正係数(煤煙対象)(k_L , k_S)【平成 20~24 年対象】

車種 勾配	小,大型車		車種 勾配	小型車		大型車				
	速度 40km/h ~ 80km/h	速度 40km/h ~ 80km/h		速度 40km/h ~ 80km/h	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h	
0.0	1.00		0.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
-0.1	0.98		0.1	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
-0.2	0.96		0.2	1.04	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
-0.3	0.93		0.3	1.06	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
-0.4	0.91		0.4	1.09	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
-0.5	0.89		0.5	1.11	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
-0.6	0.87		0.6	1.13	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
-0.7	0.84		0.7	1.15	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
-0.8	0.82		0.8	1.17	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
-0.9	0.80		0.9	1.19	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37
-1.0	0.78		1.0	1.20	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
-1.1	0.75		1.1	1.22	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
-1.2	0.73		1.2	1.24	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
-1.3	0.71		1.3	1.26	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56
-1.4	0.69		1.4	1.28	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
-1.5	0.67		1.5	1.30	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
-1.6	0.65		1.6	1.32	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72	1.72
-1.7	0.63		1.7	1.34	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
-1.8	0.61		1.8	1.35	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
-1.9	0.59		1.9	1.37	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89
-2.0	0.58		2.0	1.39	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
-2.1	0.56		2.1	1.41	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
-2.2	0.54		2.2	1.43	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
-2.3	0.53		2.3	1.45	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
-2.4	0.51		2.4	1.47	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
-2.5	0.50		2.5	1.49	2.29	2.29	2.29	2.30	2.32	2.32
-2.6	0.49		2.6	1.51	2.37	2.37	2.38	2.39	2.41	2.41
-2.7	0.47		2.7	1.53	2.46	2.46	2.47	2.49	2.52	2.52
-2.8	0.46		2.8	1.56	2.54	2.55	2.56	2.59	2.64	2.64
-2.9	0.45		2.9	1.58	2.64	2.65	2.67	2.71	2.78	2.78
-3.0	0.44		3.0	1.60	2.74	2.76	2.79	2.84	2.93	2.93
-3.1	0.43		3.1	1.63	2.85	2.88	2.92	2.98		
-3.2	0.42		3.2	1.65	2.97	3.01	3.06	3.14		
-3.3	0.41		3.3	1.67	3.11	3.15	3.22	3.33		
-3.4	0.40		3.4	1.70	3.26	3.31	3.40	3.53		
-3.5	0.39		3.5	1.72	3.42	3.50	3.60	3.77		
-3.6	0.38		3.6	1.75	3.61	3.70	3.84			
-3.7	0.37		3.7	1.78	3.82	3.93	4.10			
-3.8	0.35		3.8	1.80	4.05	4.19	4.40			
-3.9	0.34		3.9	1.83	4.32	4.49	4.75			
-4.0	0.32		4.0	1.85	4.63	4.83	5.14			

出典：[表 3-4-4 (e) :
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成 20 年度版)
(H20.10) P63

2) 標高による煤煙排出量の補正

トンネルの標高によっても自動車の排出ガス量は影響を受ける。煤煙に関する標高補正係数については、昭和 43 年に建設省土木研究所が実地走行実験を行った結果であり従来からこれを用いてきた。将来、高地におけるトンネル換気の運用例が増加し、資料の蓄積ができた段階で修正されることとなるが、当面は従来のもを踏襲して図 3-4-4 (d)によることとした。

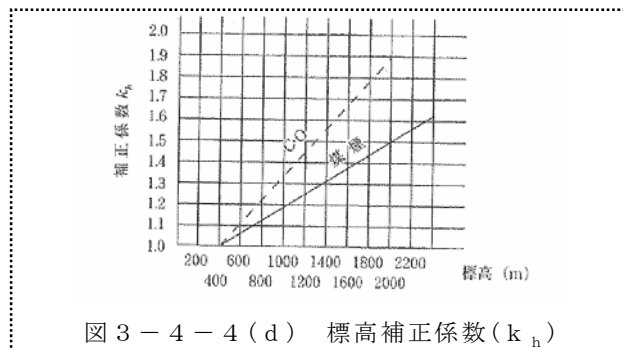


図 3-4-4 (d) 標高補正係数(k_h)

5. 自然換気力および交通換気力(標準)

5-1 自然換気力

(1) トンネル内に自然風 U_n が吹いている状態では、次式で定義される圧力差が、両坑口間に作用していることとなる。

$$\Delta P_{MTW} = \left[1 + \zeta_e + \lambda \times \frac{L}{D} \right] \times \frac{\rho}{2} \times U_n^2 \quad (\text{Pa}) \quad \dots\dots (4-5-1)$$

ここに、 ΔP_{MTW} : 坑口間自然換気力 (Pa)

- ζ_e : トンネル 入口損失係数 (0.6)
- λ : トンネル壁面摩擦損失係数 (0.025)
- L : トンネル延長 (m)
- D : トンネル代表寸法 (m)

(等価円直径) $\left[D = \frac{4 \times \text{トンネル断面積}}{\text{トンネル周長}} \right]$

- U_n : 自然風によるトンネル内平均風速 (m/s)
特に資料がない場合は、2.5 (m/s) を標準とする。
- r : 交通空間を表す
- ρ : 空気の密度 (1.2 kg/m³)

この圧力差が生じる要因に、トンネル坑口間の気象的気圧勾配差、トンネル内外の温度差に基づく圧力差およびトンネルの外に吹く自然風がトンネル内に吹き込もうとする堰止め圧力差等がある。

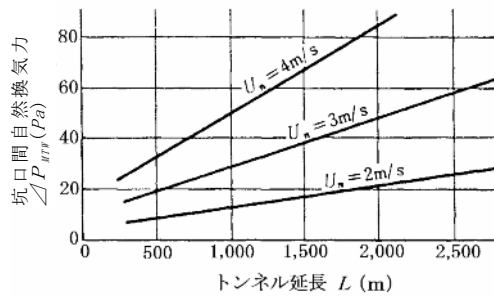


図 3-4-5 (a) 抵抗となる自然換気力

5-2 交通換気力

(1) 一般にトンネル内を走行する自動車のピストン作用による交通換気力は、定常状態において次式により求めることができる。

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_+ \cdot [V_{t(+)} - U_r]^2 - \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_- \cdot [V_{t(-)} + U_r]^2 \quad \dots\dots (4-5-2)$$

ここに、 ΔP_t : 交通換気力

ρ : トンネル内空気密度 (1.2 kg/m³)

A_m : 自動車等価抵抗面積 (m²)

$$A_m = (1 - \gamma_L) \cdot (A_c \cdot \xi_c)_s + \gamma_L \cdot (A_c \cdot \xi_c)_L$$

ここに $(A_c \cdot \xi_c)_s$: 小型車の等価抵抗面積

$(A_c \cdot \xi_c)_L$: 大型車の等価抵抗面積

最近の自動車の前面投影面積を車種ごとに整理すると表3-4-5(a)に示すとおりとなる。

表3-4-5(a) 自動車前面投影面積 (m²)¹⁾

大型車	小型車
6.88	2.45

自動車の抵抗係数は、自動車の形状や前面投影面積によって異なるもので、近年の環境への配慮、燃費向上などの社会的要請により変化してきていることから見直しを行うこととした。大型車の導風板の有無や荷台形状(ボックスの有無)に着目した模型実験を実施し、軽自動車および乗用車、大型車の車両形状別に抵抗係数を占積率(トンネル断面積に占める車の前面投影面積)で整理した。

表3-4-5(b)は、大型車の車両形状を導風板の有無、ボックスの有無として実施した一般国道における実態調査(平成17年度)に基づく構成比である。

表3-4-5(b) 大型車の車両形状構成比 (%)

車両形状	構成比
導風板有	20
ボックス無、導風板無	40
ボックス有、導風板無	40

模型実験と車両形状の実態調査の結果などから、大型車と小型車別に占積率と抵抗係数の関係を解析した結果は、図3-4-5(b)に示すとおりであり、大型車で占積率25%まで、小型車では占積率15%までは、次式のように一次式で表すこととした。なお、大型車の車両形状構成比が実態調査などにより表3-4-5(b)に示す値と大幅に異なる場合は、その構成比により別途検討した値を用いても良いものとする。

出典 : [(1)]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P81

$$\xi_{CL} = 0.0309x + 0.724 \dots \dots \dots (3.3.4)$$

$$\xi_{CS} = 0.0140x + 0.308 \dots \dots \dots (3.3.5)$$

ここで、 ξ_{CL} : 大型車の自動車抵抗係数
 ξ_{CS} : 小型車の自動車抵抗係数
 x : 占積率(%)

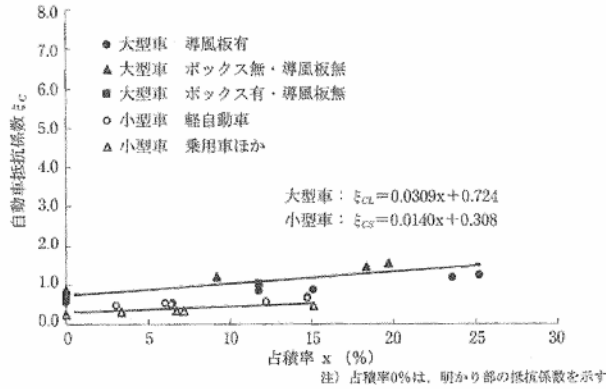


図 3-4-5 (b) 占積率と自動車抵抗係数の関係¹⁾

この結果をもとにトンネル断面積毎の自動車等価抵抗面積を求めると、表 3-4-5 (c)、図 3-4-5 (c) に示すようになる。

表 3-4-5 (c) 自動車等価抵抗面積

トンネルの断面積(m ²)	45		50		55		60		70		80		100	
	大型	小型	大型	小型	大型	小型	大型	小型	大型	小型	大型	小型	大型	小型
自動車の投影面積A _r (m ²)	6.88	2.45	6.88	2.45	6.88	2.45	6.88	2.45	6.88	2.45	6.88	2.45	6.88	2.45
占積率x(%)	15.3	5.4	13.8	4.9	12.5	4.5	11.5	4.1	9.8	3.5	8.6	3.1	6.9	2.5
自動車の抵抗係数ξ	1.20	0.38	1.15	0.38	1.11	0.37	1.08	0.37	1.03	0.36	0.99	0.35	0.94	0.34
自動車の等価抵抗面積A _e (m ²)	8.26	0.93	7.91	0.93	7.64	0.91	7.43	0.91	7.09	0.88	6.81	0.86	6.47	0.83

なお、式(3.3.3)に式(3.3.4)、式(3.3.5)、表 3-4-5 (a) の値を代入すると次式が得られる。

$$A_m = 0.78 + \frac{9.1}{A_r} + \left(4.21 + \frac{137}{A_r} \right) \gamma_L \dots \dots \dots (3.3.6)$$

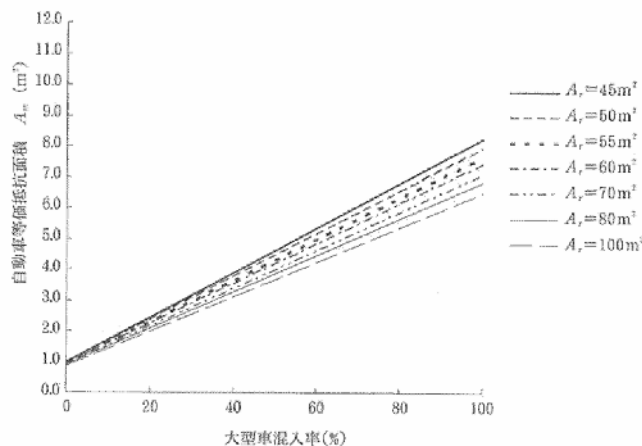


図 3-4-5 (c) 大型車混入率と自動車等価抵抗面積

出典 : [(1)]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P82

出典 : [4-5]
 道路トンネル技術基準
 (換気編)・同解説
 (平成 20 年度版)
 (H20.10) P81~83

A_r : 車道断面積 (m^2)
 n_+ : 車道内の風向と同方向に向う自動車の台数
 n_- : 車道内の風向と逆方向に向う自動車の台数
 $V_t(+)$: 車道内の風向と同方向に向う自動車の速度 (m/sec)
 $V_t(-)$: 車道内の風向と逆方向に向う自動車の台数 (m/sec)
 U_r : 車道内風速 (m/sec)

(2) 対面交通のトンネルでは互いに打消し合って逆に抵抗となって作用することがある。

5-3 交通換気図

自然換気力と交通換気力によって生じるトンネル内の圧力上昇は両者の組合せにより次式のとおりとなる。

$$\left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 = \pm \Delta P_t \pm \Delta P_{MTW} \quad \dots\dots (4-5-3)$$

(1) 一方向交通トンネルの場合

前式における換気風 (U_r) とピストン作用および自然風の作用する方向の組合せは、一方向交通トンネルを対象にして考慮すると分りやすい。

1) 自然風の方角および交通方向がトンネル内風向と同じ場合

($U_r \geq 0, U_n \geq 0$; 図3-4-5(d)の(I)象限)

$$\left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot [V_t - U_r]^2 + \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \quad (4-5-4)$$

(順風) (加圧力) (順圧)

2) 自然風の方角がトンネル内風向および交通の方角と逆の場合

($U_r \geq 0, U_n \leq 0$; 図3-4-5(d)の(II)象限)

$$\left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot [V_t + U_r]^2 - \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \quad (4-5-5)$$

(順風) (加圧力) (逆圧)

3) 交通方向がトンネル内風向および自然風の方角と逆の場合

($U_r \leq 0, U_n \leq 0$; 図3-4-5(d)の(III)象限)

$$\left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 = -\frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot [V_t - U_r]^2 + \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \quad (4-5-6)$$

(順風) (加圧力) (逆圧)

上式を用いて計算した例を図3-4-5(d)に示す。

縦軸の U_r は、交通と自然風によって生じる換気風速、横軸の U_n は自然風領風速、陰線で示す Q/A_r 曲線は、トンネル必要換気風速の軌跡で、左側の域では機械換気が必要であることを示す。

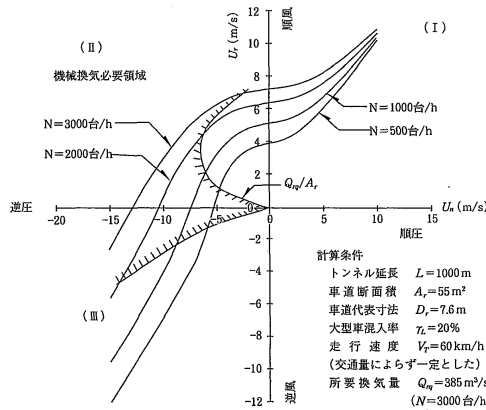


図3-4-5(d) 一方向交通トンネルの交通換気図の例(その1)

また、図 3-4-5 (e) のように表示する方法もある。

例えば、 $U_n=2.5\text{m/s}$ の場合、交通量が 100 台/h 程度以下の領域で、換気風 U_r が所要換気量に対して不足する状態が出現するが、それ以外の領域では自然換気が十分成立することがわかる。

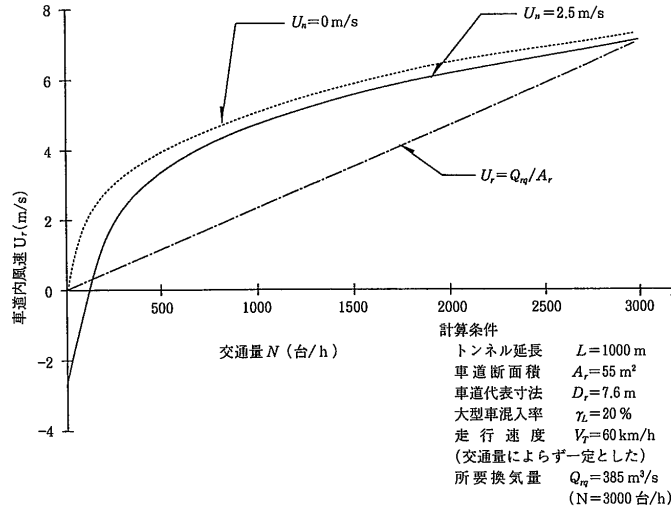


図 3-4-5 (e) 一方向交通トンネルの交通換気図の例(その 2)

(2) 対面交通の場合

対面交通の場合も、一方向交通の場合の計算を応用して計算できる。

上・下方向別交通量が大きく差のある交通状態では、自然風 (U_n) がいないとき、対面交通でも交通換気風が存在するので、交通量の多い方向の交通を n_+ とし、その方向に吹く換気風 U_r を正 (順風) とすると、1) 項と同様に次の 3 つの式で解説できる。

- 1) 交通量の多い方向と同じ方向に自然風が作用する場合で、換気風が正の時 ($U_r \geq 0, U_n \geq 0$)

$$\begin{aligned}
 \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 &= \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left\{ n_+ \cdot [V_t - U_r]^2 - n_- \cdot [V_t + U_r]^2 \right\} \\
 \text{(順風)} & \quad \text{(加圧力)} \quad \text{(抵抗)} \\
 & + \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \quad (4-5-7) \\
 & \quad \text{(順圧)}
 \end{aligned}$$

- 2) 交通量の多い方向と逆の方向に自然風が作用する場合で、換気風が正の時 ($U_r \geq 0, U_n \leq 0$)

$$\begin{aligned}
 \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2 &= \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left\{ n_+ \cdot [V_t - U_r]^2 - n_- \cdot [V_t + U_r]^2 \right\} \\
 \text{(順風)} & \quad \text{(加圧力)} \quad \text{(抵抗)} \quad (4-5-8) \\
 & - \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D}\right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2 \\
 & \quad \text{(逆圧)}
 \end{aligned}$$

第5節 換気方式の採用と計算

換気方式には、縦流式、横流式、半横流式、組合せ換気方式等がある。最近では、建設費、維持費の関係から、縦流式換気方式が多く採用されている。また、長大トンネルにおいても電気集じん機の採用により縦流式の採用が可能になってきた。

従って、本項では縦流式換気方式の代表としてジェットファン(ブースターファン)による換気と、立坑集中排気方式を中心に行う。

その他の換気方式の計算については「道路トンネル技術基準(換気編)・同解説」を参照して計算することとする。

1. ジェットファン(ブースターファン)による換気(標準)

ジェットファン………正方向と逆方向の風量(=噴流速度)が同じであり、対面交通において重方向率が変わった場合や自然風の風向が変わった場合、火災排煙時に逆方向に同一性能で使いたい時に有利である。

ブースターファン………正方向のみがジェットファンと同一風量で逆方向は、正方向の約50%の風量しか得られない。

電動機の動力はジェットファンより小さい。

卓越風があるトンネルや、一方向のみが流れを主にしているトンネルでは有利である。

なお、一方向交通トンネルで換気/排煙のためブースターファンとジェットファンを併用することが多い。

以下ジェットファンをこの両者総称として以降述べる。

1-1 ジェットファン換気方式の計算

ジェットファン方式の目的は、トンネル縦方向に作用する交通換気力および自然換気力を補足するようジェットファンの噴流効果による圧力上昇を発生させ、これにより所要の換気量を満足しようとする方式である。

すなわち、図3-5-1において、ジェットファンを矢印の方向に運転し、走行方向(V_t)と自然換気力 ΔP_{MTW} が図のような関係にあるとき、車道内に換気風 U_r が図示の方向に流れると、次式の関係が成立する。

通気抵抗(ΔP_r) + 抵抗自然風(ΔP_{MTW}) = 交通換気力(ΔP_t) + ジェットファン昇圧力(ΔP_j)

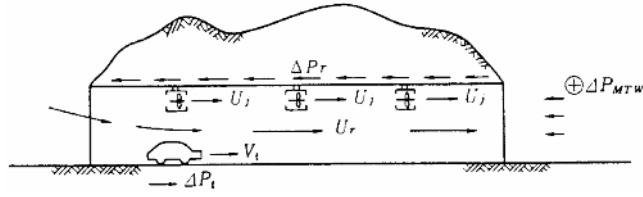


図 3-5-1 ジェットファン換気方式の圧力関係図

(1) ジェットファンの所要台数の算定式

ジェットファン 1 台当たりの昇圧力を ΔP_j とすると、所要換気量を満足する U_r の値をもとに、次式によりジェットファン所要台数 (i) を求めることができる。

$$i = \frac{\Delta P_r + \Delta P_{MTW} - \Delta P_t}{\Delta P_j} \quad \dots\dots (5-1-1)$$

ここに、

$$\Delta P_r = \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_r^2$$

$$U_r = \frac{Q}{A_r} = \frac{\text{必要換気風量}}{\text{トンネル内空断面}}$$

$\zeta_e = 0.6$ (特に断りのない場合)

$\lambda = 0.025$ (")

L = トンネル延長

D = " 代表寸法

ΔP_{MTW} = 抵抗自然風 = 坑口間自然換気力

$$= \left[1 + \zeta_e + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_n^2$$

U_n = 自然によるトンネル内平均風速

ΔP_t = 交通換気力

$$= \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_+ \cdot [V_t - U_r]^2 - \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_- \cdot [V_t + U_r]^2$$

$$\Delta P_j = \frac{1}{2} \rho \cdot U_j^2 \cdot \phi \cdot \frac{1 - \Psi}{(1 - \phi)^2} (2 - 3\phi + \Psi\phi)$$

U_j = ジェットファンの噴流速度 (m/sec)

A_j = ジェットファンの噴流面積 (m²)

A_r = 車道断面積 (m²)

U_r = 車道内風速 (m/sec)

$\phi = A_j / A_r$

$\Psi = U_r / U_j$

交通換気力の算定式は

1) 一方向交通トンネルの場合

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n \cdot [V_t - U_r]^2 \quad \dots\dots (5-1-2)$$

2) 対面交通トンネルで上・下方向の交通状態が等しい場合

$$\Delta P_t = -2 \cdot \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot 2n_+ \cdot V_t U_r \quad \dots\dots (5-1-3)$$

式(5-1-1)は図3-5-1(a)に示すように ΔP_{MTW} が作用する場合の式であり、順風、逆圧(図3-4-5(d)に示す第2象限領域)のものである。

① 順風で ΔP_{MTW} の作用する方向が順圧(第1象限)の場合

$$i = \frac{\Delta P_r - \Delta P_{MTW} - \Delta P_t}{\Delta P_j} \quad \dots\dots (5-1-4)$$

② 逆風で ΔP_{MTW} の作用する方向が逆圧(第3象限)の場合

$$i = \frac{\Delta P_r - \Delta P_{MTW} + \Delta P_t}{\Delta P_j} \quad \dots\dots (5-1-5)$$

特に、換気風の方角と ΔP_{MTW} と ΔP_t の作用する方向には常に注意する必要がある。

(2) 計算に使用する条件(参考)

自然風および重方向交通量率については特に資料のない場合は以下を参考とする。

	自然風	重方向の交通量率
一方向交通	2.5 m/s で不利な方向	
対面交通	2.5 m/s で不利な方向	50 : 50

(3) ジェットファンの台数と口径は次の事項を検討し選定する。

- 1) トンネル内の建築限界外の空間に取付けることを原則とする
- 2) 縦方向の取付け間隔と設置台数
- 3) 交通量の変化と運転台数

表 3-5-1(a) ジェットファン昇圧計算に用いる数値

形 式	口 径	$A_j(m^2)$	$U_j(m/s)$
JF 600	630mm	0.27	30
JF 1000	1,030mm	0.83	30
JF 1250	1,250mm	1.227	30
JF 1500	1,530mm	1.83	30

注) ① ブースターファン(BF)は、BF 1250、BF 1500 の 2 種類があり

$A_j \cdot U_j$ は正方向のみ JF と同値とする。

② JF 400(口径 400~450 mm)の実績もあるが、これは JF 600 以上が建築限界等の関係で取付けられないため、採用にあたっては噴流速度に注意をする必要がある。

③ 低騒音型として消音筒を長くした JF 600 と JF 1000 がある。

④ JF600~1250 については、吹出速度(U_j)を 35(m/s)とした機種が作られている。

1-2 ジェットファンの取付間隔

(1) 延長方向の取付間隔は、噴流エネルギーが換気風エネルギーに十分置換されるようなミキシング距離を確保する。

1) 取付場所は電圧降下を考慮すると電気室に近い順に設置するのが望ましい。

2) 火災の発生を考慮して、一部分散配置することも検討すること。

3) ミキシング距離を考慮したジェットファンの取付間隔については、既往の実績から、表 3-5-1(b)の値以上とすることを標準とする。

表 3-5-1(b) ジェットファンの取付間隔

形 式	坑口からの距離(m)	ジェットファンの相互間
JF 400	80 *	80 *
JF 600	80	80
JF 1000	140	140
JF 1250	160	160
JF 1500	180	180

注) ※ JF 400 は既設トンネルの設置実験であり、検討を行い上記値より小さい値を採用してもよい。

(2) 断面取付位置と昇圧効果の減少

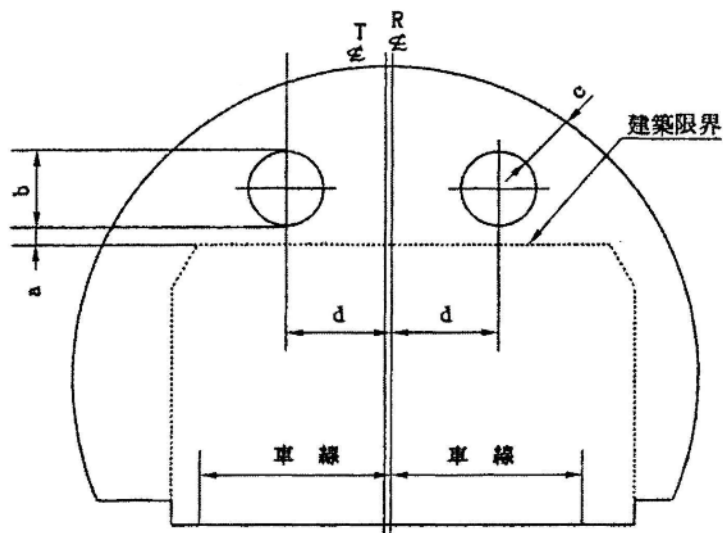
取付方式は天井からの吊下げ式が一般的であり、ジェットファン外径と天井壁面までの離間距離はほぼ 0.5D (Dはジェットファン口径)を標準としている。この程度離せば、噴流が壁面において摩擦抵抗を受けることによって昇圧効果が減少するなどの目立った影響はみられていない。

しかし、壁面との離間距離が極端に小さくなると、この影響を無視できないので、確認したうえで設置する必要がある。また、最近は経済性など考慮し、下記の設置例が多い。

(資料)

表 3-5-1(c) 取付寸法

形 式	a (mm)	b (mm)
JF 400	200	550
JF 600	200	800
JF 1000	200	1,200
JF 1250	200	1,450
JF 1500	200	1,750



a : 200 mmは最少寸法である。(オーバーレイ寸法は含まない)

b : 表 3-5-1(c)による。

c : ジェットファンとトンネル壁面との離隔距離はできるだけ離れた方が望ましい。

しかしながら、200mm程度とした例もある。

d : 保守管理時にリフト車等の車両が隣車線に入り、交通障害にならない様にする。

一般に車線幅の1/2以上必要である。

2. 立坑集中排気方式の計算(標準)

2-1 立坑集中排気方式における空気流れの基礎

(1) 立坑排気式換気方式は、立坑底を負圧にすることによって換気風を実現しようとする方式である。なお立坑の代わりに斜坑や横坑による場合も含まれる。

本換気方式は一般に対面交通トンネルに適用され、トンネルの中央付近に立坑等を設けることが普通である。この場合の換気系の流路形態は、両坑口から外気を吸込み、立坑底で合流するT字合流管である。(図 3-5-2(a))

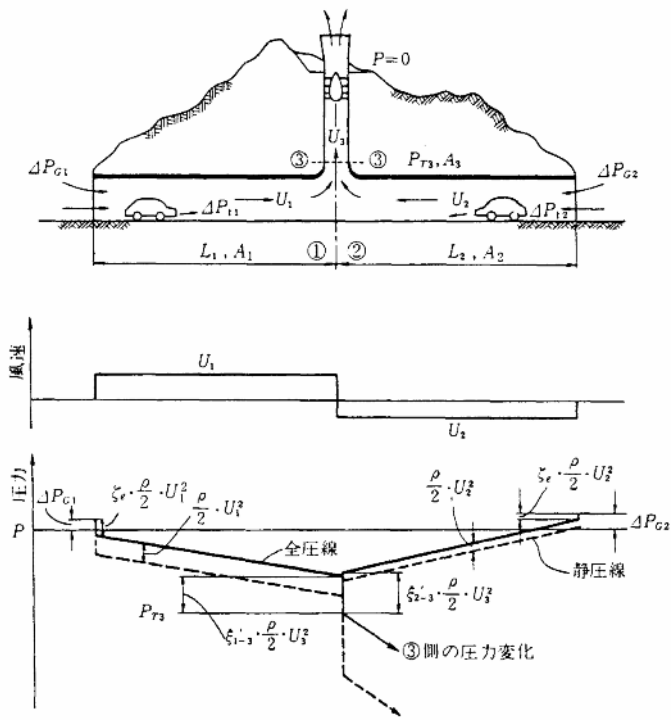


図 3-5-2 (a) 立坑排気換気方式の模式図(合流形)

(2) 一方向交通トンネルにおいて出口側の坑口からの吐出空気量を軽減する意図から使用される例などがある。この場合の換気系の流路形態は、T字合流流の場合と立坑を挟む片側（通常は出口側）のトンネルの空気の流れ逆方向となる（通り抜け）流れが生じる場合とがある。(図 3-5-2 (b))

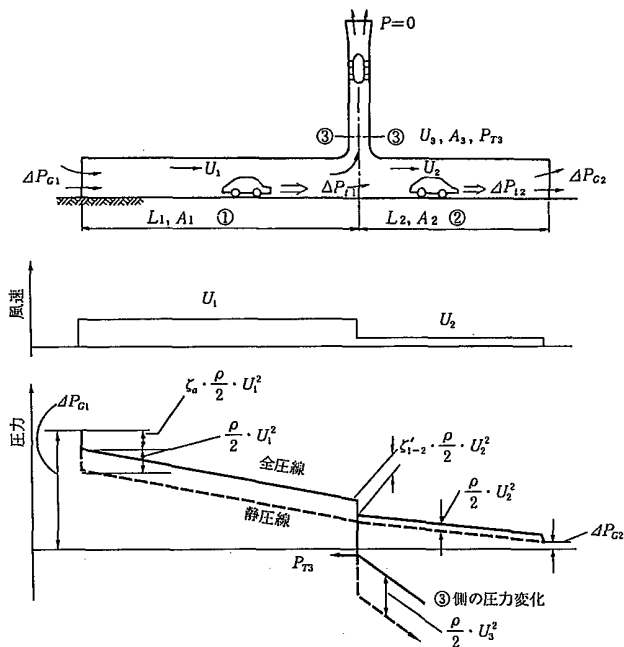


図 3-5-2 (b) 立坑排気換気方式の模式図(通り抜け形)

2-2 立坑集中排気方式の計算

(1) 合流流れの場合

図3-5-2(a)において、 ΔP_G は、坑口と立坑口の間に存在する気象的圧力差を示す。立坑口を基準とすること、およびおおむね加圧力として作用する期間が長いと判断できるため、 ΔP_{MTW} と区別して定義した。

ΔP_G を加圧力とし、 $A_1 = A_2$ のとき、各Uが図3-5-2(a)の示す方向に流れると、立坑底の合流後の全圧 P_{T3} は次式で表される。

$$P_{T3} = \Delta P_{G1} + \Delta P_{t1} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 - \xi'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad \dots\dots (5-2-1)$$

$$P_{T3} = \Delta P_{G2} + \Delta P_{t2} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 - \xi'_{2-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad \dots\dots (5-2-2)$$

$$A_3 \cdot U_3 = A_1 \cdot [U_1 + U_2] \quad \dots\dots (5-2-3)$$

ここに ΔP_{G1} ：第①区間のトンネルと立坑口間の気象的圧力差

ΔP_{G2} ：第J J区間のトンネルと立坑口間の気象的圧力差

(いずれも、自然風がトンネルに向かう方向のとき正の符号)

P_{t1} 、 P_{t2} ：交通換気力であり、次式で表される。

n_+ は第①→第②へ、

n_- は第②→第①区間へ向かう車両台数とする。

$$\Delta P_{t1} = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \{ n_{+1} \cdot [v_t - U_1]^2 - n_{-1} \cdot [v_t + U_1]^2 \}$$

$$\Delta P_{t2} = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \{ n_{-2} \cdot [v_t - U_2]^2 - n_{+2} \cdot [v_t + U_2]^2 \}$$

上式中の ξ'_{1-3} および ξ'_{2-3} は下流(立坑)の風速を基準とした全圧損失係数である。

(2) 通り抜け流れの場合

図3-5-2(b)に示す通り抜け流れの場合の立坑底における支流の分岐損失係数は、本流(第①区間)の風速を基準とした圧力損失係数で表し、本流の第②区間の圧力変化も次のように表すことが一般的である。

支流の分岐損失係数を ζ'_{1-3} 、本流の分岐損失係数を ζ'_{1-2} とそれぞれ全圧損失係数で表現し、その他は(1)項と同様に取扱うと、次式のとおり各部の圧力が得られる。

第①区間の終わりの全圧力(分岐直前の全圧力) P_{T1} は

$$P_{T1} = \Delta P_{G1} + \Delta P_{t1} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad \dots\dots (5-2-4)$$

第②区間の始まりの全圧力(分岐直後の全圧力) P_{T2} は

$$P_{T2} = P_{T1} - \xi'_{1-2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad \dots\dots (5-2-5)$$

第②区間の終わり(出口)の全圧力は

$$\triangle P_{G2} + \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 = P_{T2} - \left[\lambda \cdot \frac{L_2}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 + \triangle P_{t2} \quad \dots\dots (5-2-6)$$

よって、立坑底の全圧力 P_{T3} は

$$P_{T3} = P_{T1} - \xi'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad \dots\dots (5-2-7)$$

(3) 合流および分岐損失係数

1) T字合流管の場合

T字合流管の場合、図3-5-2(c)のように、合流部分の乱れ等の局所的な現象に影響されない位置に①、②、③の検査断面を設けると次式の関係が成立する。

$$P_{T3} = P_{T1} - \xi'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad \dots\dots (5-2-8)$$

$$P_{T3} = P_{T2} - \xi'_{2-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_3^2 \quad \dots\dots (5-2-9)$$

ξ'_{1-3} および ξ'_{2-3} は、合流管の断面積比、流量比、合流角度および隅角部の形状によって影響を受ける値である。その一例を表3-5-2(a)および図3-5-2(e)に示す。

なお、 $U_1 = U_2$ の場合、表3-5-2(a)より $\xi'_{1-3} - \xi'_{2-3} = 0$ であるから、式(5-2-1)および(5-2-2)は、

$$\left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 = \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D} \right]_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_2^2 - \triangle P_{G2} + \triangle P_{G1} - \triangle P_{t2} + \triangle P_{t1}$$

と表すことができる。

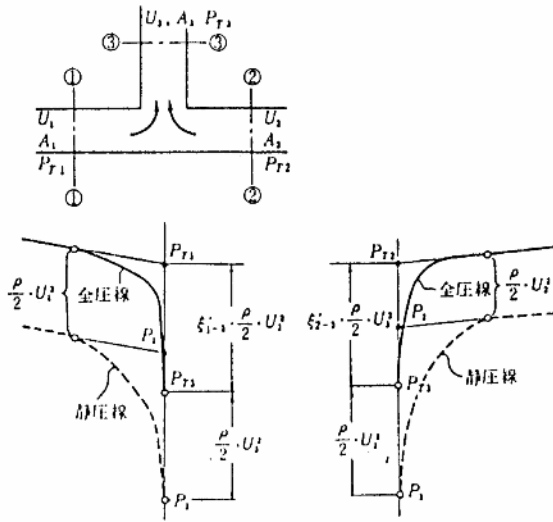


図 3-5-2 (c) T字合流管圧力線図(模式図)

$U_3 > U_1$ (支流が増速)

$A_1 = A_2$

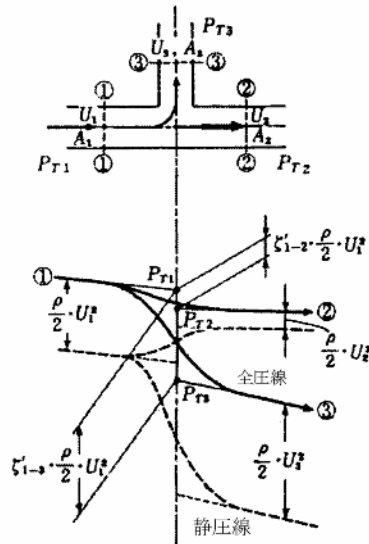


図 3-5-2 (d) T字合流管圧力線図(模式図)

表 3-5-2 T字合流管の損失係数

Q_1/Q_2	Q_2/Q_3	ξ'_{1-3}	ξ'_{2-3}	$\xi'_{1-3} - \xi'_{2-3}$
1.00	0.00	0.91	0.55	0.36
0.95	0.05	0.84	0.50	0.34
0.90	0.10	0.78	0.46	0.32
0.85	0.15	0.71	0.42	0.29
0.80	0.20	0.64	0.38	0.26
0.75	0.25	0.58	0.35	0.23
0.70	0.30	0.52	0.33	0.19
0.65	0.35	0.46	0.31	0.15
0.60	0.40	0.40	0.29	0.11
0.55	0.45	0.34	0.29	0.05
0.50	0.50	0.31	0.31	0.00

(注) 模型寸法 $A_1 = A_2 = A_3 = 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 、合流部隅切り寸法 $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 両側

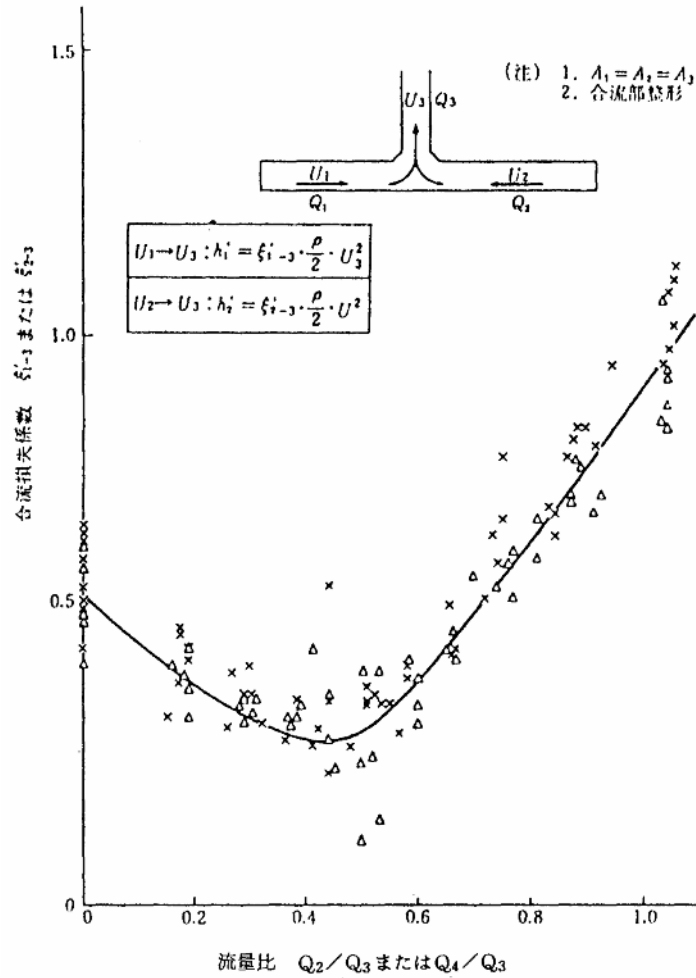


図 3-5-2 (e) 合流損失係数 (模式図)

2) 通り抜け流れの場合

図 3-5-2 (d) において同様に①、②、③の検査断面を設定すると、次式が成立する。

$$P_{T2} = P_{T1} - \zeta'_{1-2} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad \dots (5-2-10)$$

$$P_{T3} = P_{T1} - \zeta'_{1-3} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot U_1^2 \quad \dots (5-2-11)$$

ζ'_{1-2} 、 ζ'_{1-3} は、分岐管の断面積比、流量比、分岐角度および隅角部の形状によって影響を受ける値であり、その一例を図 3-5-2 (f)、(g) に示す。

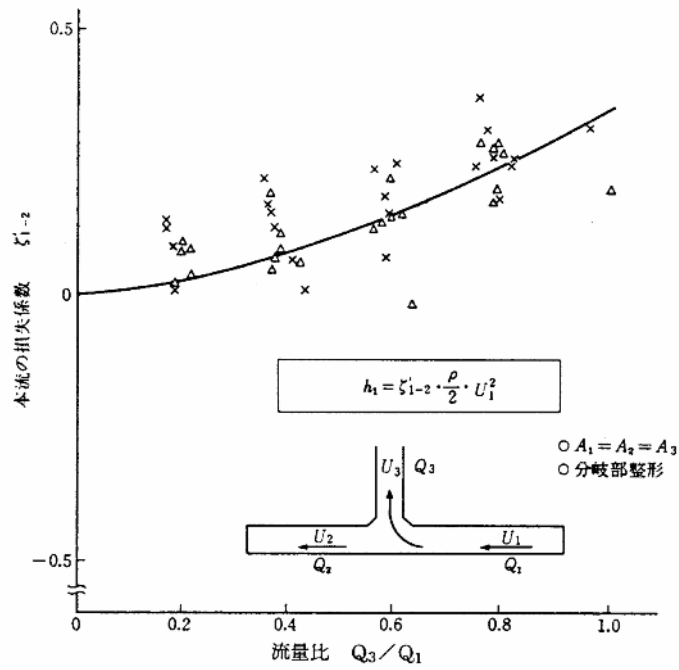


図 3-5-2 (f) 本流の分岐損失係数

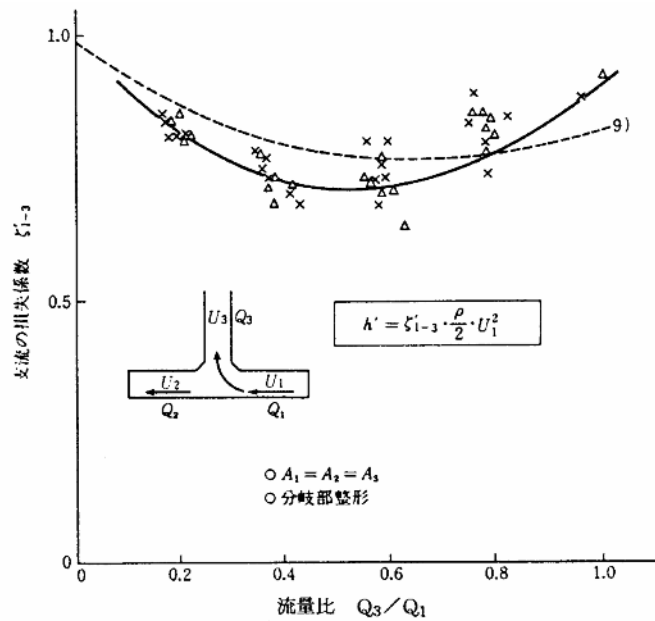


図 3-5-2 (g) 支流の分岐損失係数

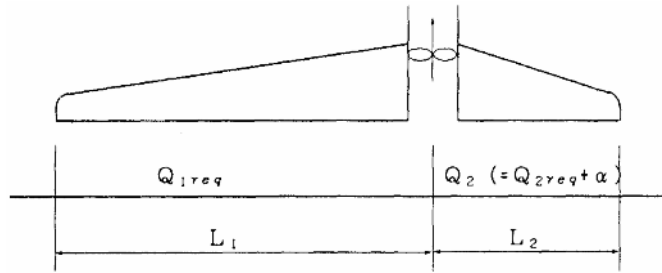
2-3 立坑下の区間補正(参考)

対面交通で、交通量が同一であっても「区間距離」「勾配」が違えば必要換気量が異なる。また、一方向交通では交通換気力の影響を受けるなど立坑下の左右の圧力状況は同一であることは少なく、バランスを補正する。

- (1) 換気風量の少ない側区間に必要以上の風量を流し、反対側区間と同じ圧力になるようにする。

$Q_{1req} > Q_{2req}$ の場合

$$Q_2 = Q_{2req} + \alpha$$



合流流れで自然風の影響および合流損失を無視すると

$$\Delta P_{R1} = \Delta P_{R2}$$

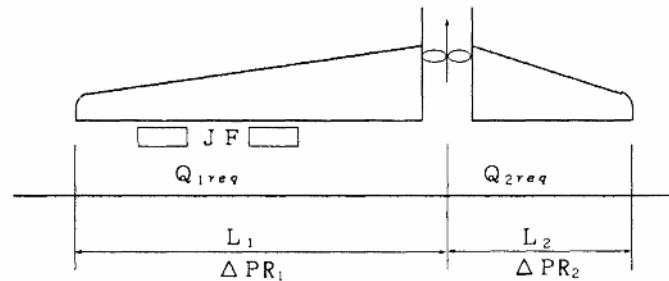
$$\Delta P_{t1} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_1}{D_r} \right] \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{Q_{1req}}{A_r} \right]^2$$

$$= \Delta P_{t2} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D_r} \right] \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{Q_{2req} + \alpha}{A_r} \right]^2 \quad \dots\dots (5-2-12)$$

になる様に α を決める。

$Q_{1req} + Q_{2req}$ で排風機を運転すると、実際に流れる換気量は L_1 側で Q_{1req} より少なく、 L_2 側は Q_{2req} 以上で流れることにより、 L_1 側が量不足となる。

(2) 左右の圧力差をジェットファンの昇圧力で補正する。



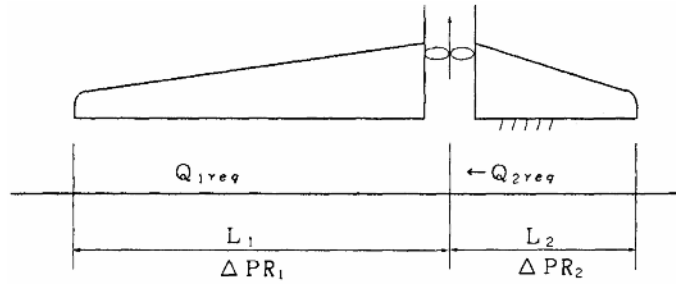
$$Q_{1req} > Q_{2req}$$

自然風のない場合、 L_1 側圧力 $\Delta P_{R1} > L_2$ 側圧力 ΔP_{R2} となる。

この差圧 $\Delta P_{R1} - \Delta P_{R2}$ が ΔP_J (ジェットファン昇圧力) に等しくなる様にジェットファン台数 (i) を決める。

$$\Delta P_{R1} + \rho V_J^2 \cdot \frac{A_j}{A_r} \cdot \left[1 - \frac{Q_{1req}}{V_j \cdot A_r} \right] \cdot i = \Delta P_{R2} \quad \dots\dots (5-2-13)$$

(3) じゃま板によって片側に抵抗をつける。



(2)と同様に $\Delta P_{R1} > \Delta P_{R2}$ の場合は

$$\Delta P_{R1} = \Delta P_{R2} + \Delta P_a$$

ここに

ΔP_a = じゃま板の圧力損失

$$= \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{Q_{2req}}{A_r} \right]^2$$

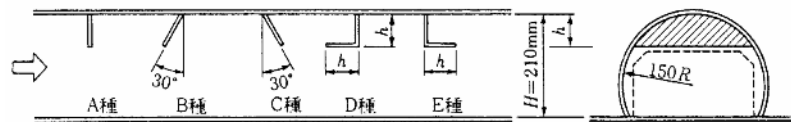
$$\Delta P_{R1} = \Delta P_{t2} - \left[\zeta_e + \lambda \cdot \frac{L_2}{D_r} \right] \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{Q_{2req}}{A_r} \right]^2$$

$$- \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left[\frac{Q_{2req}}{A_r} \right]^2 \cdot n$$

..... (5-2-14)

n = じゃま板の設置個所数

じゃま板には図3-5-2(h)に示す種類がある。一般にはA、B種が使用された実績がある。



じゃま板の種類 図3-5-2(h)

また、じゃま板の設置間隔および寸法による影響を、図3-5-2(i)および図3-5-2(j)に示す。

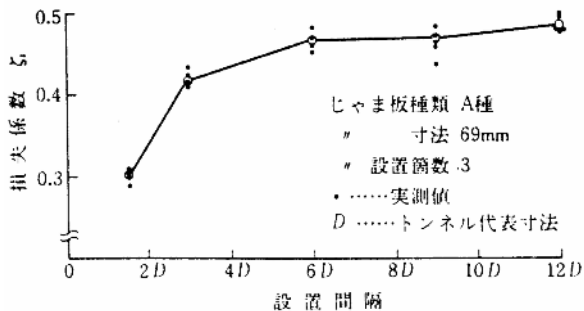


図3-5-2(i) 設置間隔の影響

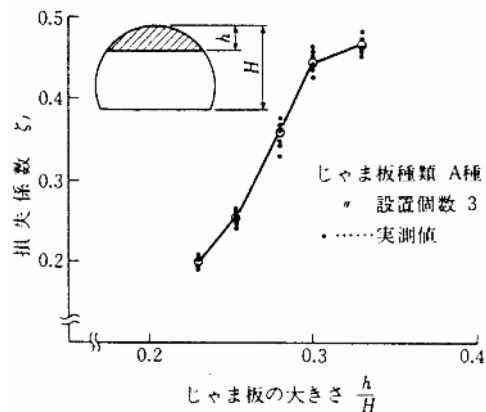


図3-5-2(j) じゃま板の寸法による影響

第6節 換気機

換気機は、使用上の条件に合致し、経済的かつ合理的となるよう計算しなければならない。

本節では、ジェットファン、送・排風機および電気集じん機と付属装置の3項目に大別する。

1. ジェットファン(ブースターファン)(標準)

ジェットファンは、正転・逆転とも同一噴流速度(吹出平均風速)であるが、ブースターファンは、正転の噴流速度を決めている。

1-1 仕様一覧(参考)

種類	ジェットファン				ブースターファン		高風速ジェットファン			
	630型	1000型	1250型	1500型	1250型	1500型	630型	1000型	1250型	
型名	630型	1000型	1250型	1500型	1250型	1500型	630型	1000型	1250型	
口径(mm)	630	1030	1250	1530	1250	1530	630	1030	1250	
ファン	全長(mm)	3000	4250				3000	4250	4250	
	外径(mm)	800	1200	1450	1750	1450	1750	800	1200	1450
	噴流風速 ^{注1)} (m/s)	30				35				
	風量 ^{注2)} (m³/s)	8/9.2	25	37	55	37	55	9.5/10.9	29	43
	効率(%以上)	60	65	75	70	75	70	65/70	75	75
	騒音 ^{注3)} (dB(A)以下)	80/90	95				90/95	95		
	概算重量(kg)	500	1100	1650	2300	1600	2300	700	1300	2000
電動機	周波数(Hz)	50/60								
	電圧(V)	400/440								
	定格出力(kW)	11/11	25	30	50	30	50	12.5/15	33	50
	運転種別	定格連続								
	耐熱クラス(以上)	F種								

注1) 排出ノズル内側の20点動圧測定より算術平均で算出

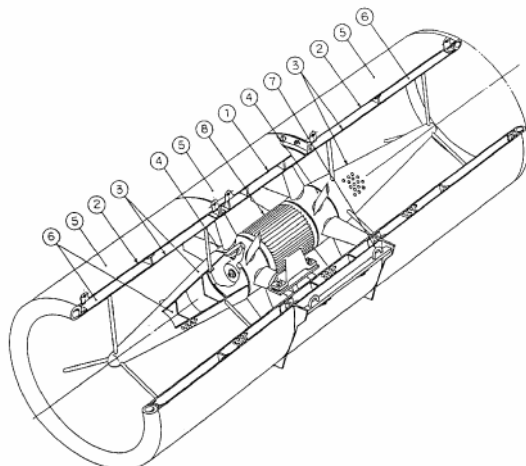
注2) 噴流風速と内径より算出

注3) 吸込み口手前1.5mで測定

1-2 ジェットファンの構造図

新規製作機は下記を標準材質とする。

既設機は、状況に応じて適宜必要箇所の材質を変更する。



- ① 本体ケーシング……SUS304
- ② 消音筒……SUS304
- ③ パンチングメタル……SUS304
- ④ 羽根車……アルミニウム合金鋳物
- ⑤ カバー……SUS304
- ⑥ 吸音材……グラスウール
- ⑦ 本体吊り金具……SUS304
- ⑧ 電動機

図3-6-1 ジェットファン構造図の例

出典：[1-1]
道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(平成20年度版)
(H20.10) P136

1-3 ジェットファンの取付方法

- (1) ファンの取付方法には、固定式および自由吊り下げ式がある。
- (2) 取付けにあたって、基礎ボルト（打込み方式を標準とする）を含め、ファン本体の保持強度は実荷重の15倍以上をとる。なお、基礎ボルトは取付前に、実荷重の15倍以上の載荷試験または引抜試験を行う（最大3 tonまで）必要がある。
- (3) コンクリート巻厚が250 mm以下になる場合は、取付金具（基礎ボルト）の支持方法について検討するものとする。
- (4) ジェットファンの配置については、維持管理性、火災時の排煙運用等を考慮し、配置場所及び配列を検討するものとする。

2. 送・排風機（標準）

2-1 送・排風機の型式

トンネル換気用として使用される送・排風機（以下送風機という）は、普通、大風量、低風圧のものであるので、これに適した軸流送風機を採用することを原則とする。

〔解説〕

- (1) 軸流式は遠心式に比べて、形状が小型であり、管路の一部に容易に組入れることができ、効率も他のものに比べて優れている。しかし、高価で騒音が大きい。
- (2) 遠心式は圧力上昇を容易に行える形式のもので、風圧が高くなるほど、小型になってくる。目安として、必要送風機全圧が5000 Pa程度に達する場合は、軸流式と遠心式を比較検討する必要がある。
- (3) 火災時の排煙等に関しては、軸流式は正逆運転により排気が比較的容易であり、遠心式はダクトの切替えが必要な欠点がある。
- (4) 軸流送風機と遠心送風機の比較表については、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説 p112 を参照すること。

1 換気系に対し、送・排風機は2～3台の並列運転を原則とする。

〔解説〕

- (1) 軸流送風機の並列運動では、サージング状態という不安定な運転状態が出現することがあるので、送風機の特性と作動点を充分検討する必要がある。送風機の台数と速度コントロールによる風量段階は、台数と速度の組合せにより数段階を設けるが、その台数は普通2～3台、速度は2～3種類程度である。その組合せの例をあげると、図3-6-2(a)は2台2速度の場合、図3-6-2(b)は3台2速度の場合、図3-6-2(c)は2台3速度の場合を示した。
- (2) 風量段階を決定するには日交通量の時間別の変化を調査し、各段階を決定する必要がある。
- (3) トンネル換気はその対象物(トンネル内有害物質の希釈)の即応性が緩慢なため、あまり細かい風量段階は無意味であり、制御性が悪くなる。
- (4) 制御段階(ノッチ)を選ぶ場合は、消費動力を十分に考慮すべきである。例えば、図3-6-2(a)の2台2速度の場合の送風量と消費動力との関係を表したものが表3-6-2(a)である。このような結果になった場合、高速1台のノッチは選択すべきでない。

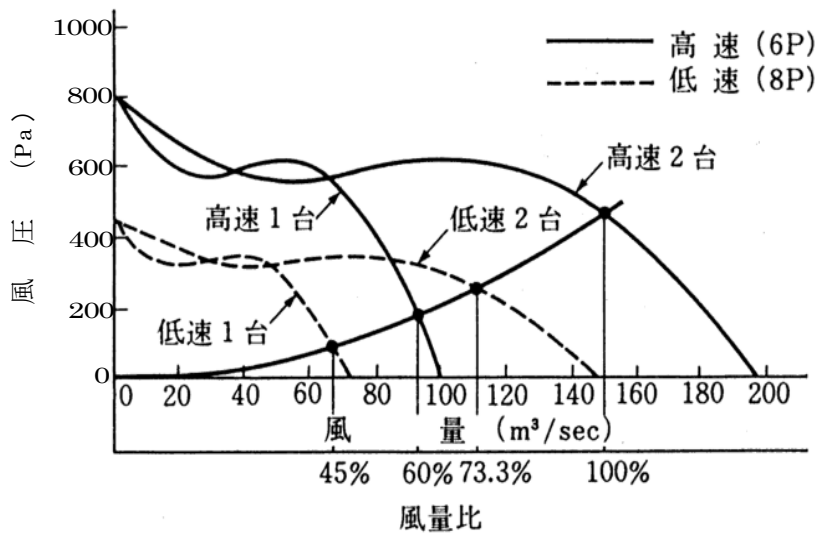


図3-6-2(a) 並列運転作動線図(2台2速度)

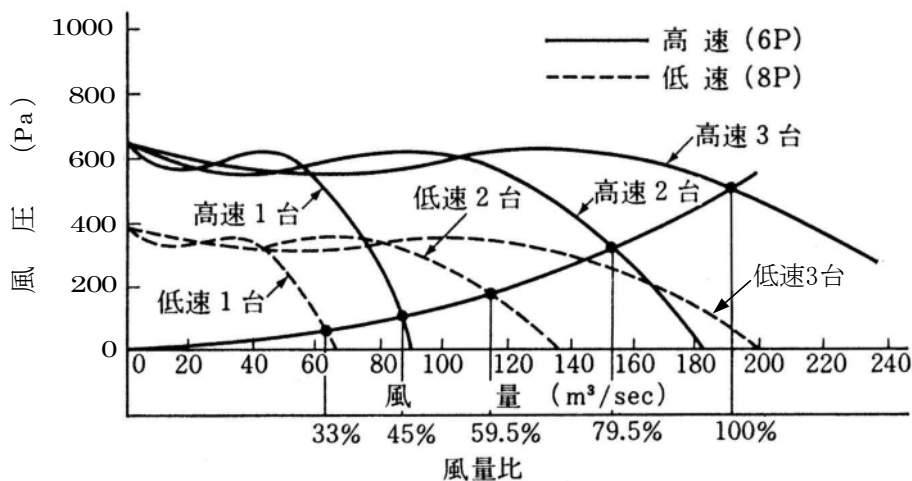


図3-6-2(b) 並列運転作動線図(3台2速度)

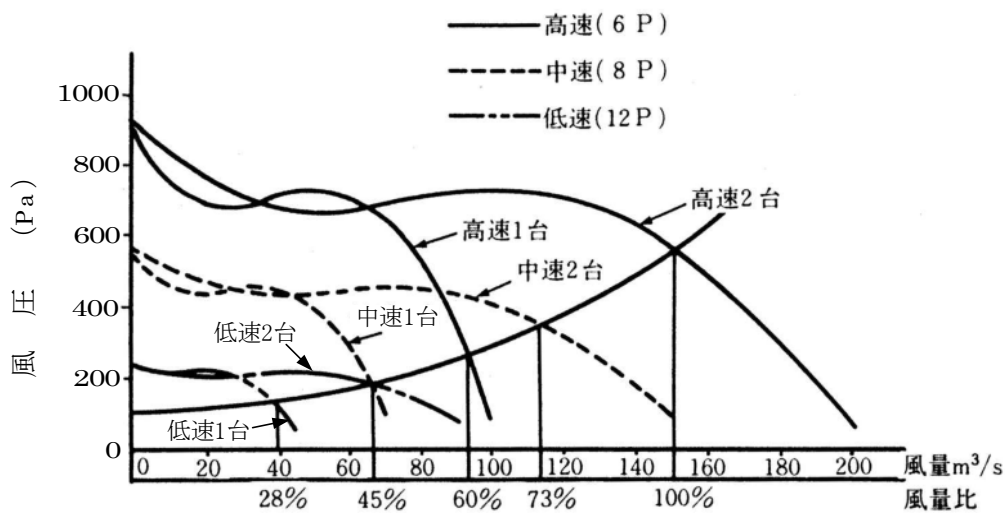


図 3-6-2 (c) 並列運転作動線図 (2 台 3 速度)

表 3-6-2 (a) 送風量と消費動力 (2 台 2 速度の場合)

高低速運転台数	回転数 (%)	送風量 (%)	軸動力 (%)
高速 2 台	100	100	100
低速 2 台	75	73.3	42
高速 1 台	100	60	43
低速 1 台	75	45	18

2-3 軸流送風機の選定

(1) 口径

軸流送風機の仕様は、使用条件によってそれぞれ異なるが、風量、風圧がわかれば図 3-6-2 (d) により口径、回転数、動力についての概略値を知ることができる。

(例) $Q = 100 \text{ m}^3 / \text{s}$ の場合

{	換気機の口径	3150 mm ϕ
	回転数	425 rpm
	電動機出力	100 kw

ただし、以下のことに注意を要する。

- 1) 本図の全風圧は羽根車 1 段当りの全風圧を示すもので、羽根車の段数の増加により圧力を段数倍とすることができる。
- 2) 段数は 3 段を限界とする。
- 3) 羽根先端速度 90~100 m/s 以下ではアルミニウム合金鋳物製の羽根で十分である。しかし、先端速度がこれ以上になると、材質や加工上の問題で送風機価格が高価となり、騒音も大きくなる。
- 4) 電動機出力はジェットファンは、正転・逆転とも同一噴流速度 (吹出平均風速) であるが、ブースターファンは、正転の設置される地域の気温・標高にも影響されるので次項により算出する方がよい。

5) 電動機直結の場合は、回転数が決まってしまうので口径に制約がある。

$$\text{羽根先端速度} = \text{羽根外径} \times \text{同期回転数}$$

ここに、

$$\text{同期回転数} = \frac{120 \times f}{P}$$

f : 電源周波数 50・60Hz

P : 電動機の極数

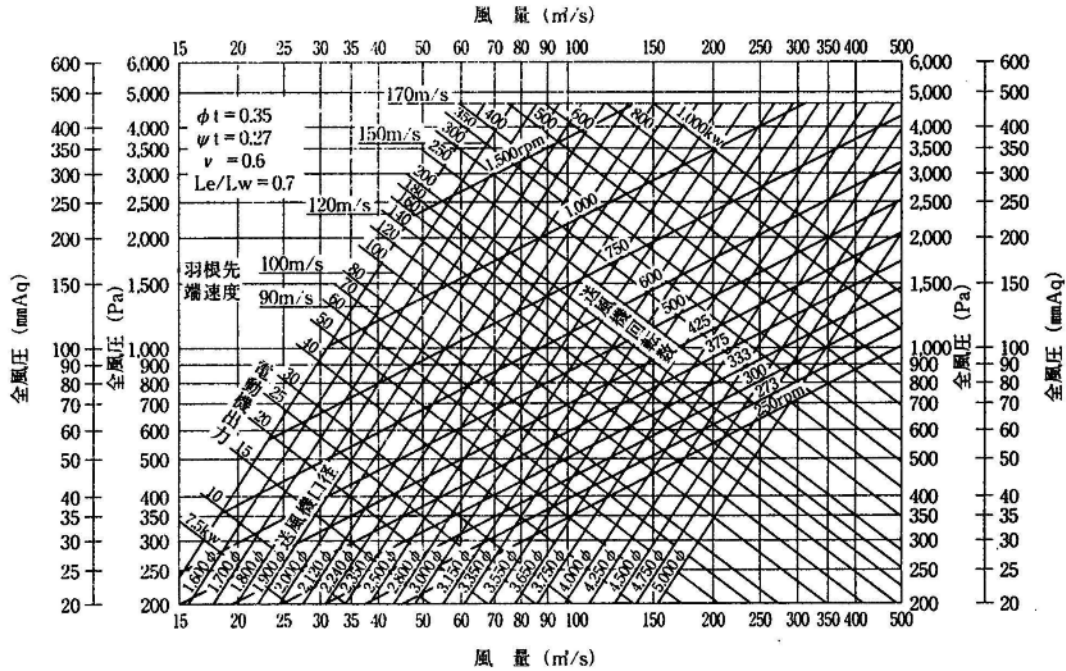


図 3-6-2 (d) 軸流送風機の諸元線図

2-4 送風機の動力と電動機

(1) 送風機の動力と電動機

1) 送風機の動力

$$A_{KW} = \frac{Q \cdot P_{TOT}}{1000} \quad \dots\dots (6-2-1)$$

$$S_{KW} = \frac{A_{KW}}{\eta} = \frac{Q \cdot P_{TOT}}{1000 \cdot \eta} \quad \dots\dots (6-2-2)$$

ここに、 A_{KW} : 理論空気動力 (kW)

S_{KW} : 送風機軸動力 (kW)

Q : 風 量 (m³/s)

P_{TOT} : 全 風 圧 (Pa)

η : 送風機効率 (一般に 80%)

2) 送風機の軸動力は温度および大気圧に対して次式により補正する。

$$S_{KW1} = S_{KW0} \cdot \frac{273+t_0}{273+t_1} \cdot \frac{P_1}{P_0} \quad \dots\dots (6-2-3)$$

ここに、 S_{KW1} : t_1 、 P_1 に変化したときの軸動力

S_{KW0} : $t_0 = 20^\circ\text{C}$ 、 $P_0 = 101.3\text{kPa}$ (760 mm Hg) のときの軸動力

t_0 、 t_1 : 温度 ($^\circ\text{C}$)

P_0 、 P_1 : 大気圧 (kPa)

なお、標高による大気圧の変化は対流圏 (標高 11 km 以下) では次式である。

$$\frac{P_1}{P_0} = (1 - 0.022557H)^{5.2561} \quad \dots\dots (6-2-4)$$

ここに、 H : 送風機設置位置の標高 (km)

3) 電動機出力および入力

$$\text{電動機出力 } M_{KW} = S_{KW1} \cdot (1 + \alpha) \quad \dots\dots (6-2-5)$$

$$\text{電動機入力 } M_1 = M_{KW} / \eta_m \quad \dots\dots (6-2-6)$$

ここに、 α : 電動機余裕係数 (一般に 5~10%)

η_m : 電動機効率 (一般に 90~95%)

2-5 送風機の据付・配置

送風機は構造上、立形と横形があり、横形および立形軸流送風機の代表的な構造図を図3-6-2(e)~(f)に示す。

軸流送風機の横型と縦型の比較については、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説 p118 を参照のこと。

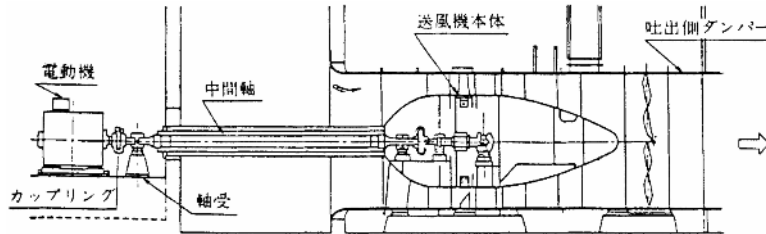


図3-6-2(e) 横形軸流送風機

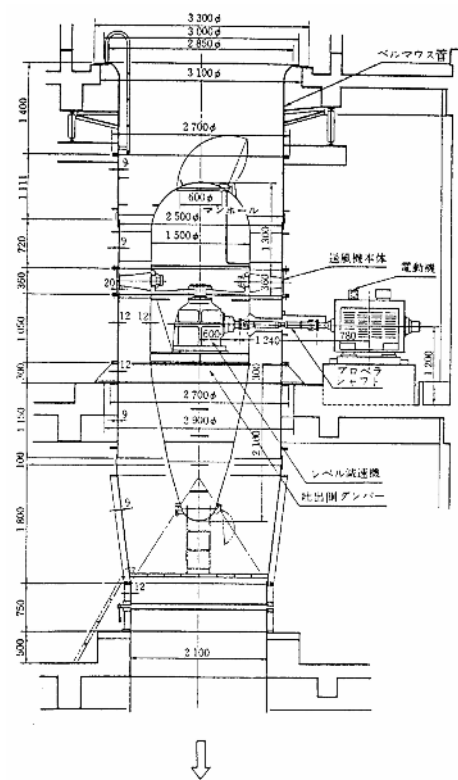


図3-6-2(f) 立形軸流送風機

2-6 風量制御の方法と段階

風量制御の方法には次の種類がある。

- ・回転数制御法
- ・動翼可変制御法
- ・台数制御法

表 3-6-2 (b) 風量制御方式の比較(参考)

		回転数制御法		動翼可変制御法	台数制御法
		極数変換	交流可変速		
効率(電動機効率を含む)		やや高い	高い	高い	やや低い
構造	送風機	簡単	簡単	複雑	簡単
	電動機	簡単	簡単	簡単	簡単
	制御器	簡単	複雑であるが静止機器	構成は簡単,シーケンス的にやや複雑	簡単
風量調整範囲の大きさ		中	大	大	小
設備建設費		中	高	高	安
ランニングコスト		中	安	安	高

一般には台数コントロールと、スピードコントロール、あるいは可変ピッチコントロールとの組合せが採用されている。

可変ピッチコントロールの一例を図 3-6-2 (g) に、可変ピッチ特性の一例を図 3-6-2 (h) に示す。

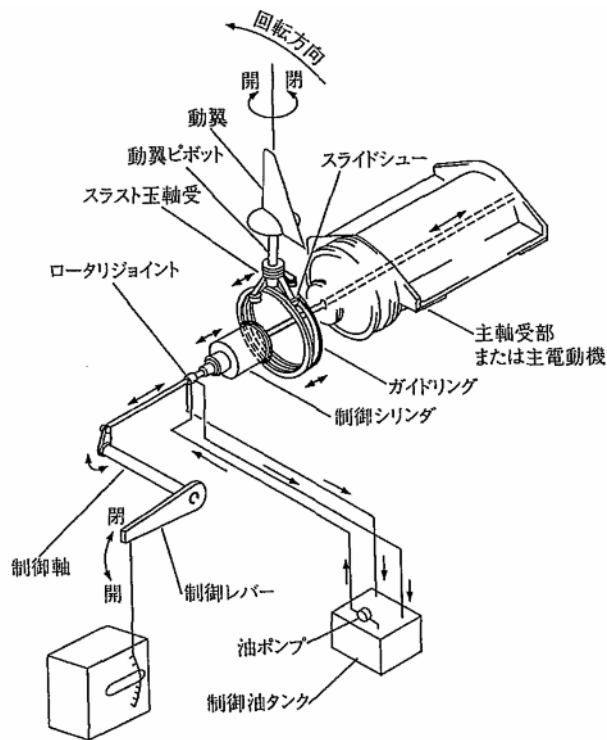


図 3-6-2 (g) 可変ピッチコントロールの一例

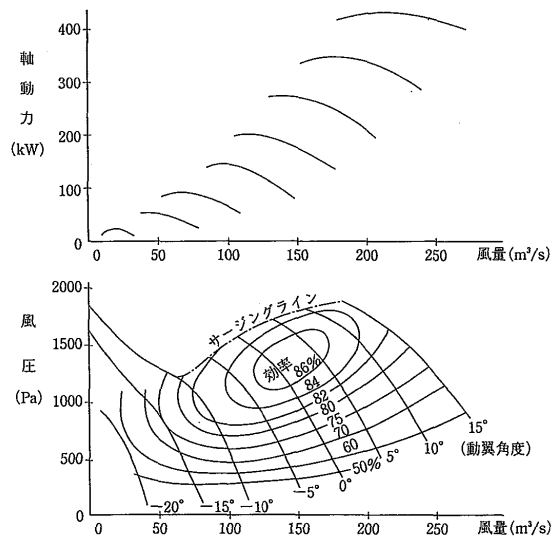


図 3 - 6 - 2 (h) 動翼可変制御法の特性例

2 - 7 送風機の発生騒音

(1) 送風機の騒音

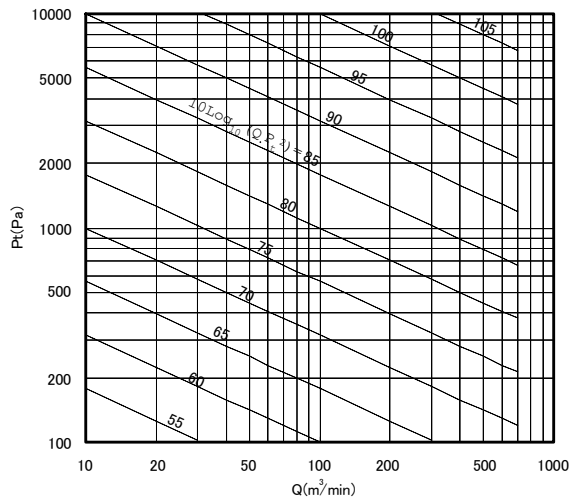
$$L_A = L_{SA} + 10 \log_{10} Q \cdot P^2 \quad \dots\dots (6 - 2 - 7)$$

ここに、 L_A : 騒音レベル dB(A)

L_{SA} : 比騒音レベル dB(A) ……軸流送風機では 10dB(A)程度

Q : 風量 m^3/min

P : 全風圧 Pa



機 種	比騒音レベル L_{SA} [dB(A)]
ターボ送風機	- 6 ~ 6
翼形送風機	- 16 ~ -1
多翼送風機	- 7 ~ 3
軸流送風機	1 ~ 18

図 3 - 6 - 2 (i) 各種送風機の騒音

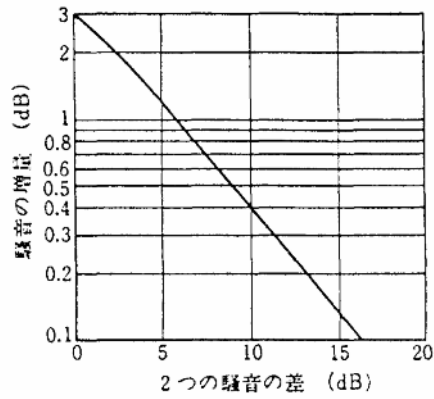


図 3-6-2(j) 2騒音の合成計算図

(2) 基本周波数は次式で求められ、この基本周波数の 1、2、3 倍の周波数に顕著なピークが発生するのが普通である。

$$F = \frac{N}{60} \cdot Z \quad \dots\dots (6-2-8)$$

ここに、F：基本周波数(Hz)

N：送風機の回転数(rpm)

Z：羽根の枚数

騒音の測定位置については JIS B 8330 の送風機試験方法に、測定方法については JIS 8731 騒音レベル測定方法による。

3. 電気集じん機および付属装置

(1) 電気集じん機はトンネル内の煤煙の一部を除去して煤煙濃度を改善するものである。しかし、CO濃度の改善はできない。

(2) このためCO濃度が限界に達する地点で空気の入替えを行わなければならない。

(3) 電気集じん機を縦流換気方式に適用することにより適用トンネル延長の拡大が可能になった。

なお、計画、使用にあたっては十分検討を行う必要がある。

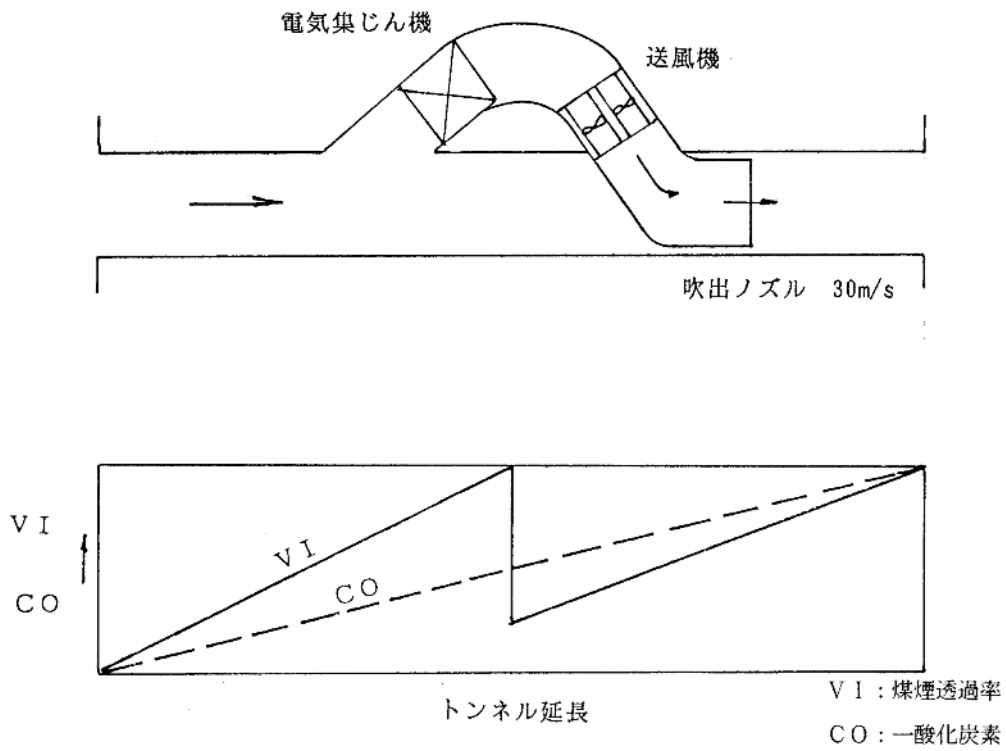


図 3-6-3(a) トンネル用電気集じん機の設置例

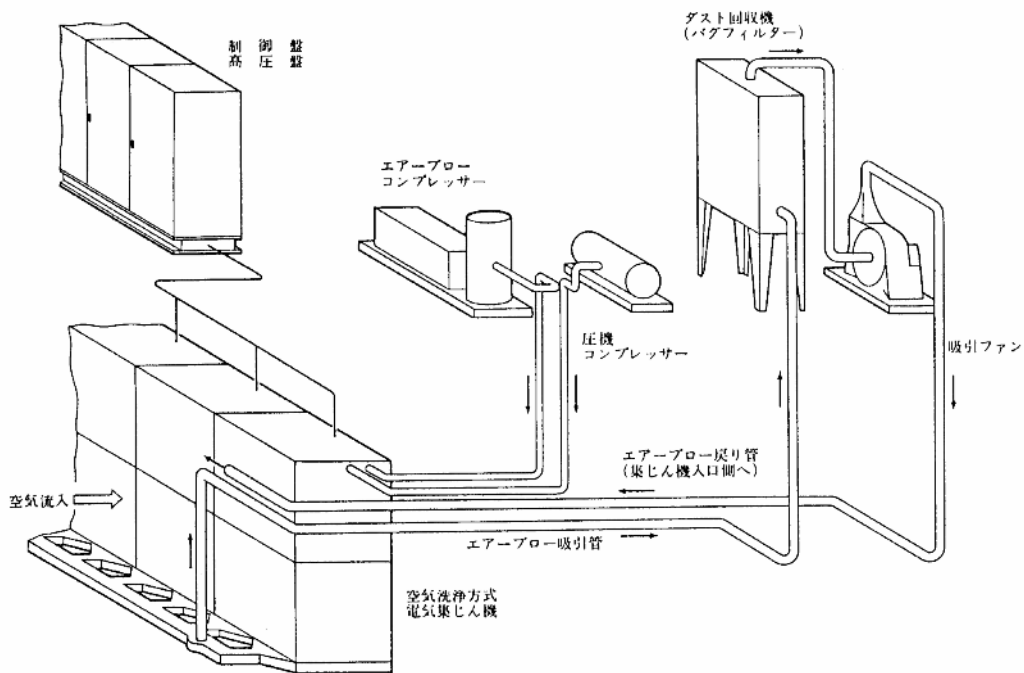


図 3-6-3(b) トンネル用電気集じん機の構成例(空気洗浄方式)

第7節 換気所

換気所は、機能的な構造とし、位置の選定及び外観は特に維持管理及び環境上の配慮をして設計するものとする。

〔解説〕

- (1) 換気機、電気設備、制御設備、補助機器、吸・排気口、連絡ダクトを備えた構造とする。
- (2) 吸気口の位置と構造は、排気口あるいはトンネル坑口から排出される汚染空気を吸い込まないようにする。
- (3) また、トンネル本体に近く、保守点検が容易にできる位置に設置することが望ましい。

1. 坑口換気所(標準)

- (1) 坑口換気所は横流式や半横流式換気に多く設けられている。
- (2) 設置する位置はトンネル坑口部と立坑等の坑口に設ける場合に大別され、さらにトンネル坑口部は路上と路側に設ける場合がある。
- (3) トンネル坑口の路上の場合はトンネルに進入する運転手に威圧感を与えないようにする。

2. 地下換気所(標準)

- (1) 地下換気所は坑口に換気所を設けることが困難な場合に立坑底とトンネルの間に設ける場合がある。
- (2) 地下換気所は坑口換気所に比べ一般に工事費が高くなる。
- (3) 特に換気所内の温度調節、防塵、防湿等に留意する必要がある。
- (4) 地下換気所は立坑集中排気方式や立坑送排気方式に多く設けられている。

3. 換気所の付帯設備(標準)

次の設備がある。

- (1) ダクト ……トンネルと換気所を結ぶ送排気ダクトである、ダクト内流速は、一般に20m/s以下としている。
- (2) ダンパ ……送・排風機の停止時の仕切用に設置される。
- (3) コーナーベーン……ダクト内の曲り部に取付けられ損失軽減の為に設備される。
- (4) サイレンサ……送・排風機の騒音を減音するものである。
- (5) 除じんフィルター……トンネル内の排気ガスをそのまま外部に排出する場合に問題があるとき設備する。
- (6) 搬入・搬出装置……保守・維持管理の為に所内に設備する。
- (7) 空気調和機……電気室等の除湿のために設ける。

第8節 環境対策設備

1. 騒音対策設備(標準)

騒音の対策にあたっては、諸基準に合致するよう、経済性、安全性、効果、維持管理等を十分検討のうえ実施することが望ましい。

[解説]

換気機を音源とする換気所騒音は、換気所吸・排気口から伝搬するものと、換気所外壁を透過あるいは漏洩して外部へ漏れるものに大別できる。

2. 排気ガス対策

- (1) 都市トンネルなどでは、坑口又は排気口周辺の排気ガスによる影響を考慮しなければならない。
- (2) 排気ガスの拡散計算を行い、周辺地域への排気ガスの影響を予測する。
- (3) 当該周辺地域の有害ガス濃度(バックグラウンド濃度)を調査する。
- (4) 上記(2)および(3)項を勘案し、排気ガス対策の必要性の有無を検討する。

第9節 換気制御

換気機の運転・制御は、効果的かつ経済的に行わなければならない。

[解説]

換気制御は、トンネル内の視環境や空気の汚染状態を、目標水準の範囲内になるように、交通量、自然換気力、CO計、VI計等の信号に基づいて、最小限の所要動力で運転することが目的である。

1. 制御方式(標準)

制御方式は自動制御を原則とするが、機器の故障や試験・調整の場合に備えて、最小限の手動制御も可能な方式とする。

また、火災発生時等の異常事態への対応を考慮した運転制御も必要である。

1-1 自動制御

自動制御は、制御装置により換気風量の調節を行うために、必要な一連の機器類を自動的に制御する方式である。一般に、煙霧透過率測定装置(VI計)、一酸化炭素濃度測定装置(CO計)、車種別交通量計数装置(TC計)、風向・風速測定装置(AV計)などからの信号により自動的に風量制御を行っている。

(1) フィードバック制御

トンネル内の汚染濃度(煙霧透過率、一酸化炭素濃度など)を一定範囲に保つよう計測結果をフィードバックし風量制御を行う方式で、多くのトンネルで採用されている。

この方法は換気プロセスの時定数が大きいために時間遅れが10~30分となる場合、交通条件、自然風等の影響に対して後追い制御する形となる。

既設トンネルでは、時期を見て制御設定値の見直しを行うことが必要である。交通状況の変化に合わせて、制御設定値(例えば効果待ち時間など)を変更することが運転時間の縮減をもたらす、経済性の向上に効果を上げる場合が多い。



図3-9-1(a) フィードバック制御フロー

(2) フィードフォワード制御

交通状況(交通量・車種など)あるいはトンネル内汚染濃度を予測的にとらえ風量制御を行う方式で、後追い制御時に生じるハンチング現象を避けることができる。しかし予測制御単独では交通条件の予測誤差、排出ガス量計算誤差、自然風、ピストン効果等による影響が濃度等のずれとなって現れる。

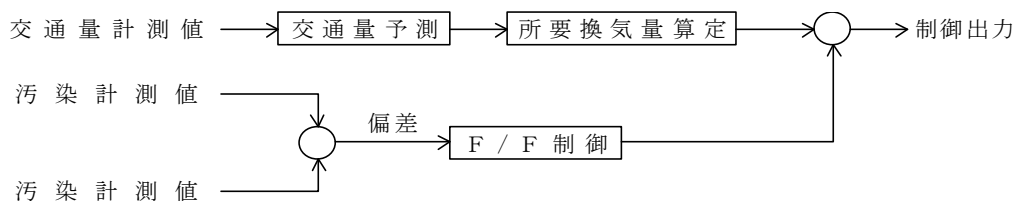


図3-9-1(b) フィードフォワード制御フロー

(3) プログラム制御

時間帯毎に予め定められたプログラムによって運転風量を制御する方式で、交通流パターンの変動が小さくその影響の少ないトンネルに適用される。

(4) エキスパートシステム

AI(人工知能)の一分野であるエキスパートシステムは、換気制御でも今後の適用拡大が期待されている。この方式は、制御の内容を数式ではなく「IF～THEN～」形式のルールで記述し、これを基にプロセスデータを判断または推論して制御を行うものである。操作員の運転ノウハウを反映した知識工学を応用した実時間プロセス制御システムであり、交通換気力、自然風、トンネル内の乱気流等正確に把めない不確定要素をも取込み、電力量が最小となる最適制御の実現が期待できる。

(5) ファジー制御

ファジー(Fuzzy)理論を基にした制御で、換気機の操作量の決定には、予見ファジーすなわち、種々な操作案の仮定のもとに制御対象の将来状態を予測し、この中から最適な操作案を選択する方法である。

トンネル換気制御では上記のエキスパートシステムと同様の用途の他フィードバック制御のPIDパラメータの自動チューニングなどに適用することが考えられる。

(6) 交通量予測簡易ファジー制御

上記制御の発展形として交通量計付きファジー制御(拡散予測制御方式)がある。坑口付近に置いた交通量計からの交通状況変動情報を入力し、近い将来の交通状況を予測し、換気量の予測計算と必要ジェットファンの運転台数の出力を行い、換気設備の効率的運転を行おうとする制御方法で、ファジー推論の手法が用いられる。前項のフィードフォワード制御にファジー推論を取り入れた制御と考えることも出来る。

交通量計からの交通データに基づき、坑内環境の悪化予測を行い事前にジェットファンを起動させることにより、フィードバック方式に見られる制御遅れの問題の解消および換気動力の低減が期待できる。

1-2 手動制御

手動制御は、人手によって機器類を運転し風量を制御する方式である。

(1) 単独制御

各機器を個別に人手によって制御する。この場合でも換気の運転、停止に際しては、ダンパ、動翼、静翼等の付属機器は連動して所定の動作をするようインターロックをとる必要がある。この制御は、自動および連動制御系が故障その他により制御不可能になったときや、各機器を個別に試験するときに利用される。

(2) 連動制御

あらかじめ定められた風量段階(ノッチ)のボタンを押すことにより、ワンタッチで所定の風量が得られるように関連機器を連動させる制御をいう。連動制御は、自動制御系が故障した場合や試験のとき利用される。

1-3 換気自動制御方式

実際の換気自動制御方式は、前述した制御方式のいずれかのみを採用するのではなく、組み合わせて構成することが多い。

単独トンネルでは、フィードバック制御とプログラム制御を組み合わせる場合が多く、その一例のジェットファンの縦流換気を下記に示す。

(1) 風量制御—プログラム制御

ジェットファンは回転数が一速で、風量制御は台数制御、即ち段階制御となる。但し、風向は正逆転により行う。

通常、ノッチ数は換気サービスの質と電力費との兼ね合いから、4～5段階を選定する。

(2) 換気制御(自動計測制御)—フィードバック制御

フィードバックの情報として、V I 値、CO 値および風向風速値等がある。

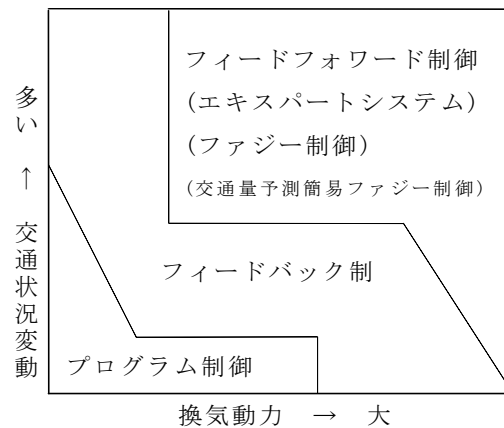


図3-9-1(c) 制御方式選定のイメージ図

1-4 V I 値

通常の換気自動制御方式は、V I 値を用いる。

V I 制御には下記がある。

(1) レベル値制御

最もよく採用される方式で、V I 値とノッチレベルに応じて運転する。

V I 値とノッチ、運転台数の関係の一例を示す。

表3-9-1

設定V I 値	見え方の状況	ノッチ	運転台数
60%以上	きれいな状態	0	停止
60～40	煙が見えるようになる。	1	1
40～30	非常に不快な状態	2	2
30%以下	許容できない状態	3	3

(2) シーケンス制御

たまに採用される制御で、前もって設定されたV I 値(複数)と比較しながら、ノッチ(1段～n段)の選定が行われ、そのノッチに応じて運転される。

(3) 比較制御

制御する周期ごとに、現在と前回のV I 値を比較して、ノッチの上げ下げを行う。

1-5 CO値

通常、100ppmになると、前記V I制御に割り込み、最高ノッチ運転される。

1-6 風向風速値

運転開始のノッチの吹き出し方向決定、換気サービスの質および電力費等を評価するためのデータとして使用する。

2. 制御装置(標準)

2-1 制御装置の構成

換気制御装置は設置場所および機能により図3-9-2(a)のような装置で構成される。

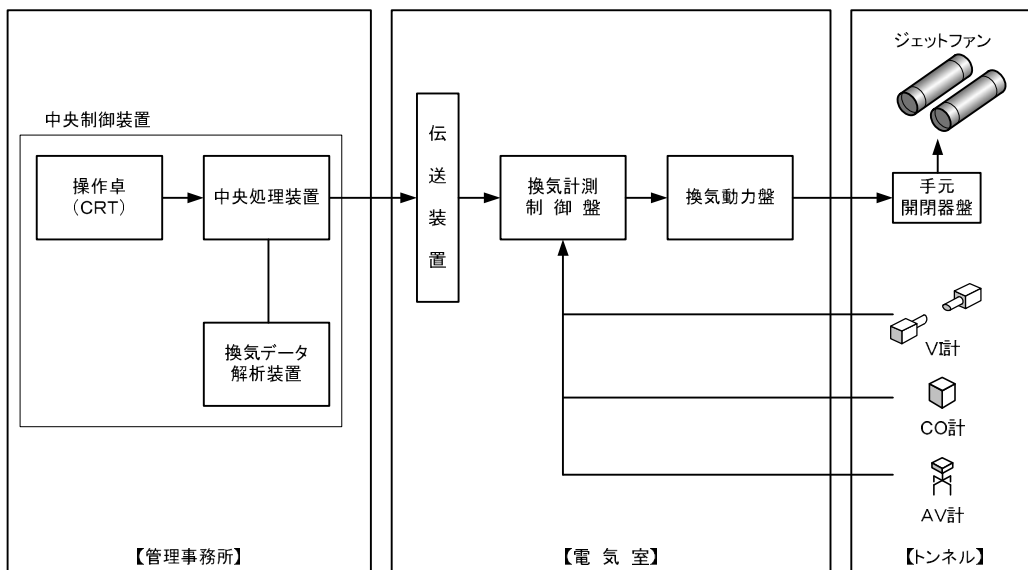


図3-9-2(a) 制御システム構成例(ジェットファン方式)

2-2 計測装置

トンネル内の換気状態を監視する計測装置には、次のものがある。

(1) 煙霧透過率測定装置(VI計)

- 1) 投光部と受光部は一般に100m離して設置する。
- 2) 光学的な測定計器のため、汚れ等のため指示値に狂いが生じやすいので適宜校正する必要がある。
- 3) 光ファイバー経由の透過光を基準とした方法と、ある期間のVI値の最高値を基準とした方法がある。
- 4) 設置位置と台数は、換気方式と濃度分布を十分考慮して検討する。
- 5) トンネル出入口近傍では、100m程度以上内部に入った位置に受光部を設置する。

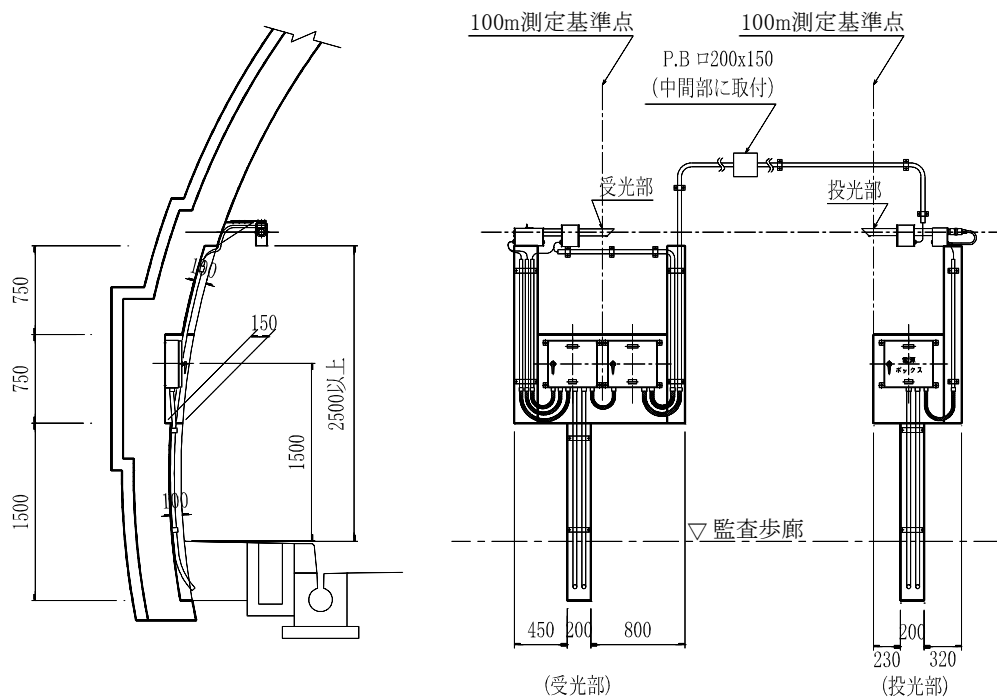


図3-9-2(b) VI計設置例

(2) 一酸化炭素濃度測定装置(CO計)

大気中のCO濃度を測定する方式は、「大気中の一酸化炭素自動計測器」(JIS B7951)に、赤外線吸収方式あるいは定電位電解方式と規定されている。両者のうち、トンネルのような定置式に適している「赤外線方式」を使用する。

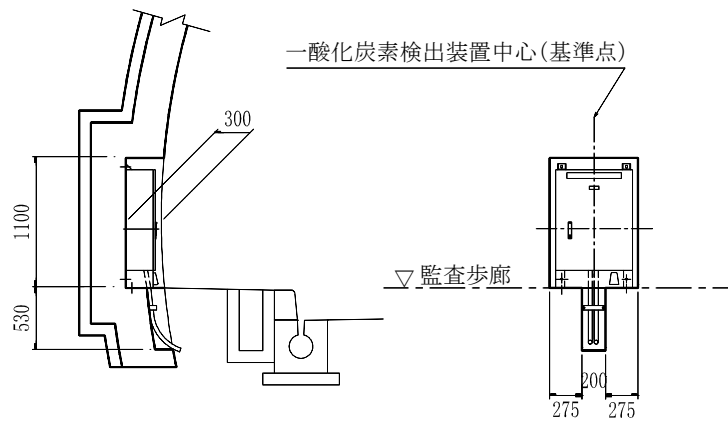


図 3-9-2(c) CO計設置例

(3) 交通量測定装置(TC計)

車両検知器には、検出方式によりループコイル式、超音波式などがあり、その設置例を示す。

・ループコイル配置図

・超音波式検知器
取付図

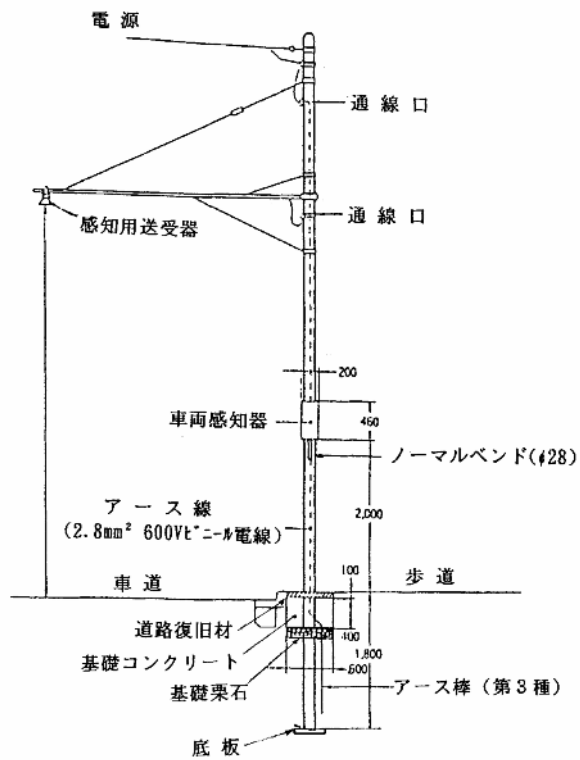
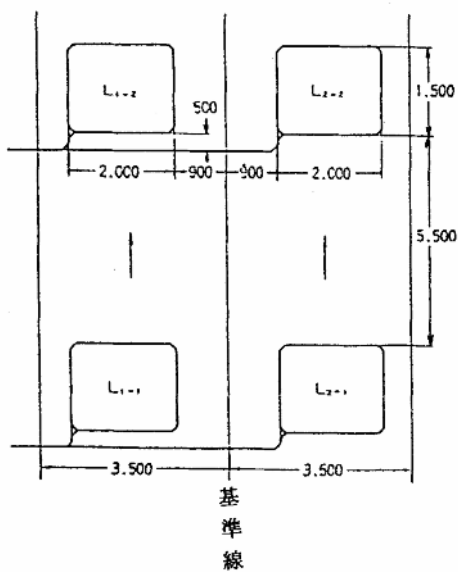


図 3-9-2(d) 車両検知器設置例

(4) 風向風速測定装置(AV計)

超音波式が一般的に使用されている。2組の超音波速受波器により2成分の風速を測定し、これを電子回路で演算してトンネル軸方向風速として指示器、記録器に伝達して、トンネル軸方向風速を指示記録する。

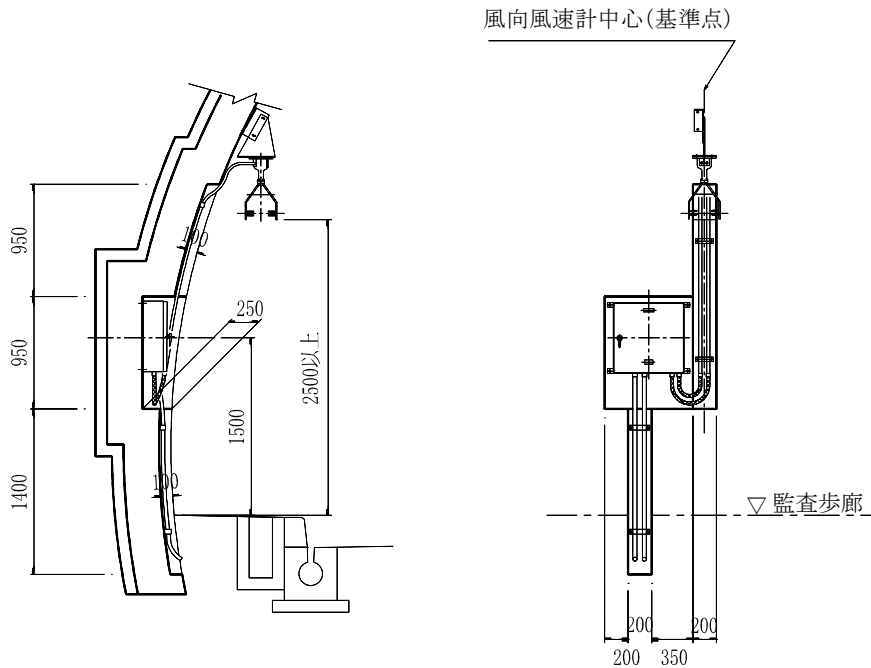


図3-9-2(e) 超音波式風速計の設置例

2-3 換気動力盤・補機盤

換気動力盤は、電動機の起動・停止回路、速度変速回路を組み込んだもの。

補機盤は、補機の制御回路を組み込んだものであり、両者が一面構成のものもある。

2-4 現場操作盤(機側盤)

換気機の近くに設置され、機械を単独運転・調整する場合の操作盤である。

2-5 換気計測制御盤

VI計、CO計、AV計等の各計測装置の指示装置を収納する盤であり、自動制御装置は、トンネル換気状態計測装置からの信号をもとに自動的に換気量を決定し換気機に対して運転指令を出す自動制御リレー盤と、運転状態を監視し手動運転指令を出す監視制御から構成されている。

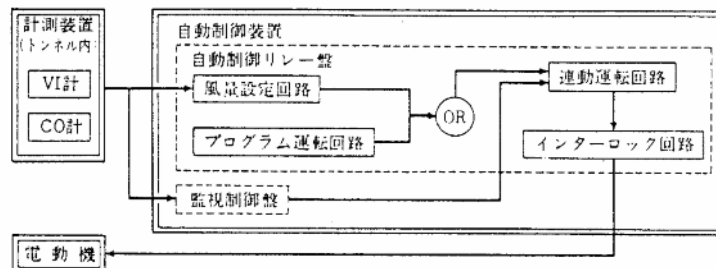
また、その構成ならびに機能はトンネルの規模により種々のものが採用されており、図3-9-2(g)に代表的な制御回路構成ブロックの例を示す。

例1 ……計測装置からの信号によるフィードバック制御または1日の運転パターンを設定するプログラム制御をするもの

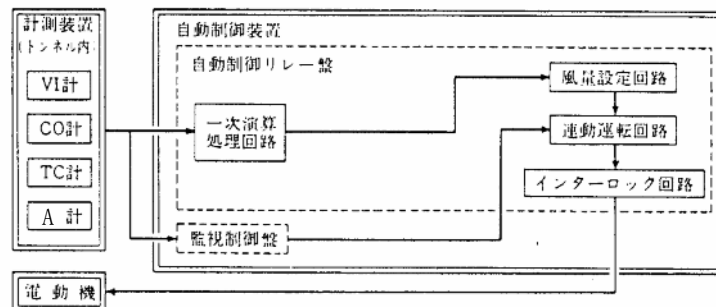
例2、3 ……フィードバック制御を行い、換気機の運転効果を上げるもの。また必要に応じて、1次演算処理回路、換気量決定回路を設ける等がある。

これらの主要装置には、比較的簡単な制御の場合でシーケンス制御装置(最近は、マイクロプロセッサが多用される傾向にある)、やや複雑な制御の場合は制御用計算機などが採用されている。

(例1)



(例2)



(例3)

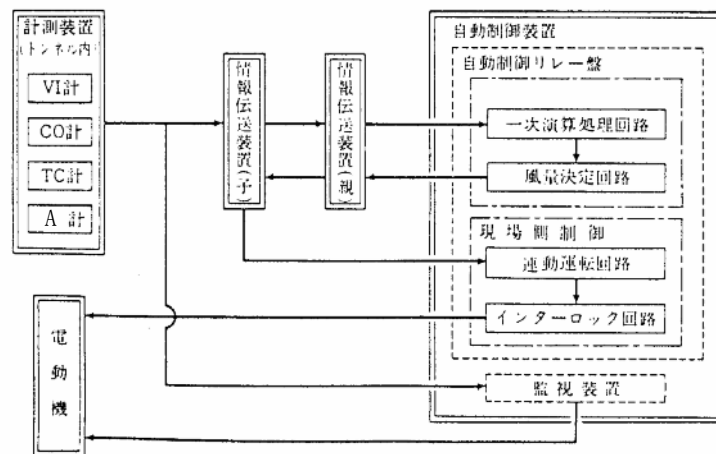


図3-9-2(f) 制御回路構成ブロックの例

2-6 監視操作制御設備

トンネル換気設備・消火設備の監視操作制御設備は、換気方式、規模、管理および運用体制に対応し、信頼性および安全性が高く、操作制御性に優れたものとする。

監視操作制御設備の計画・設計の基本的な手順およびその概要を図3-9-2(g)に示す。なお、計画・設計の詳細については、「道路機械設備 遠隔監視技術マニュアル(案)」参照のこと。

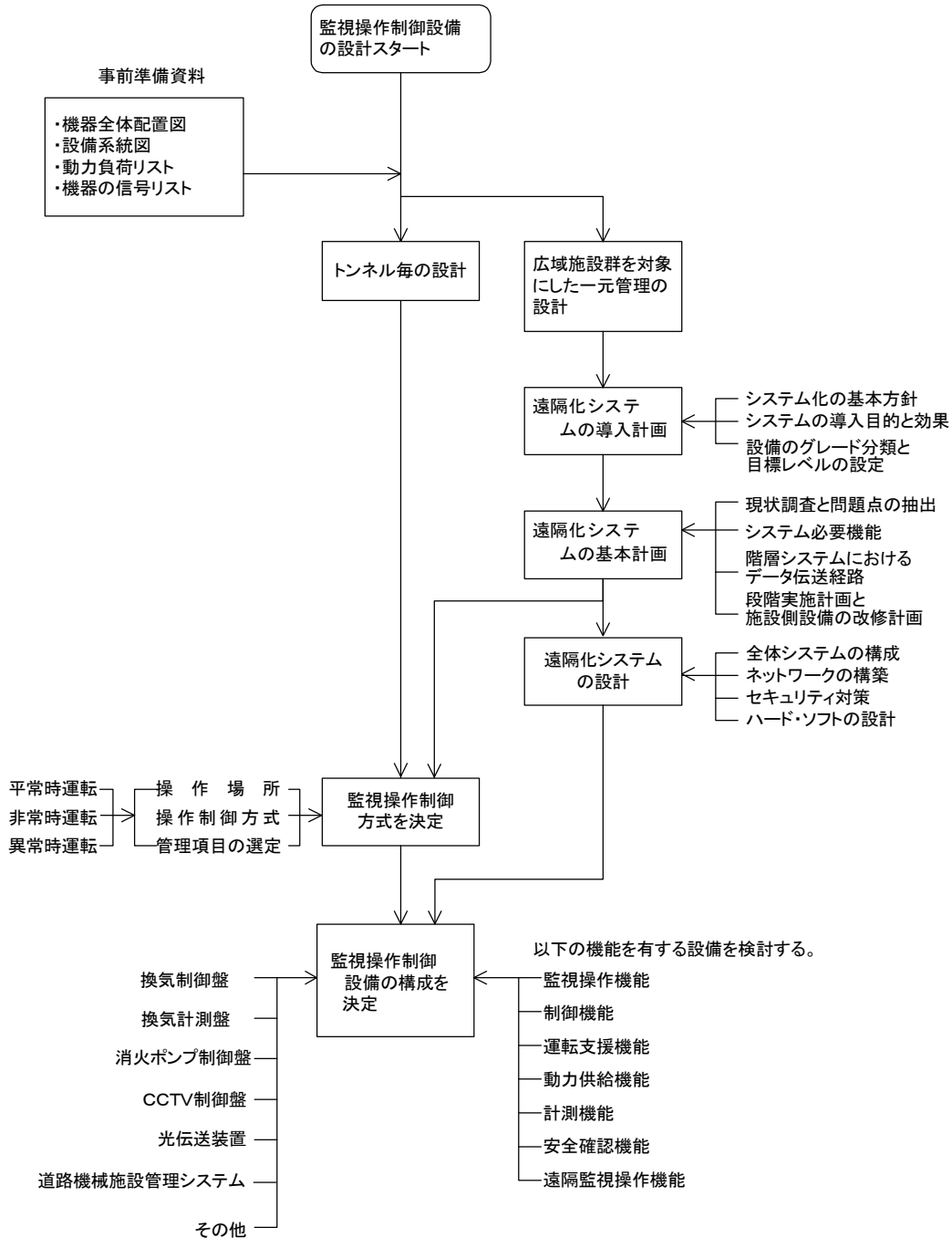
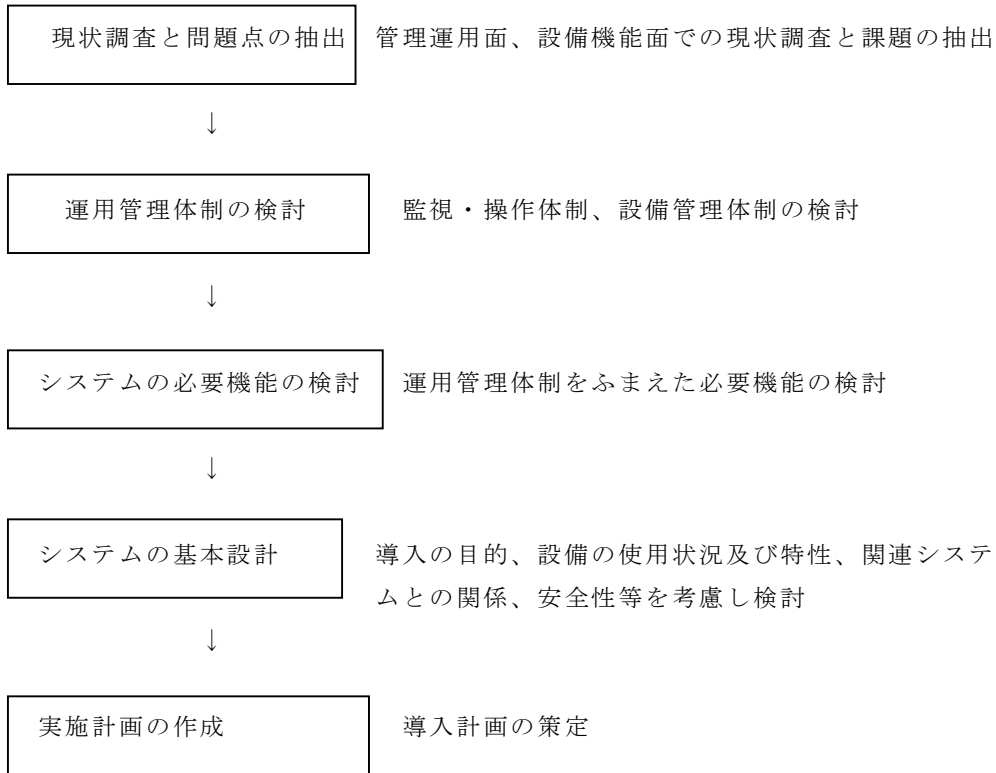


図3-9-2(g) 監視操作制御設備の基本的な計画・設計フロー

2-7 遠隔化システムの計画(標準)

1. 遠隔化システムの計画・設計にあたっては、運用体制を考慮し、信頼性、安全性が高いこと、操作性、耐久性、経済性に優れていること、緊急時対応や維持管理が容易であることを基本的な要件とする。
2. 遠隔化システムの全体構成、設備仕様を設計する際には、以下に示す基本的な項目を検討するものとする。



3. 制御上の留意事項(標準)

3-1 火災時の運転

一般に、火災時の換気運転モードとして、火災発生直後に火点付近の利用者が避難できるような視界を確保するため煙の拡散を極力防止することを目的とした換気運転モードと、避難後の本格的消火活動を行うのに便利なよう必要地点の作業環境を確保することを目的とした運転モード、いわゆる排煙運転モードを二つに大別できる。

これらの各運転モードの選定に当たっては、そのトンネルの固有条件を踏まえて、操作の確実な方法を十分検討するとともに、関係機関とも協議しておく必要がある。実施例を以下に示す。

(参 考)

- (1) 火災時パターン制御(ジェットファン補正立坑集中排気縦流換気方式での実施例)

火災発生時に煙の拡散を極力小さくし、避難しやすくすることを目的として、火災発生区域をブロック別けし、火災発生区域と換気機の運転をパターン化し排煙を行う。

- (2) 風速抑制(電気集じん機付立坑送排気縦流換気方式での実施例)

火災発生時に煙の拡散抑制を行い、避難環境を確保することを目的としてトンネル内の風速を抑制するよう換気機を運転する。

- (3) 内圧制御(双設トンネルでの実施例)

火災発生時の避難路として相互への連絡坑が設けられた双設トンネルで、どちらかのトンネルでの火災発生時に煙が避難路を通して相手側トンネルに移動しないようにすることを目的として相手側トンネルに内圧をかけるよう換気機を運転する。

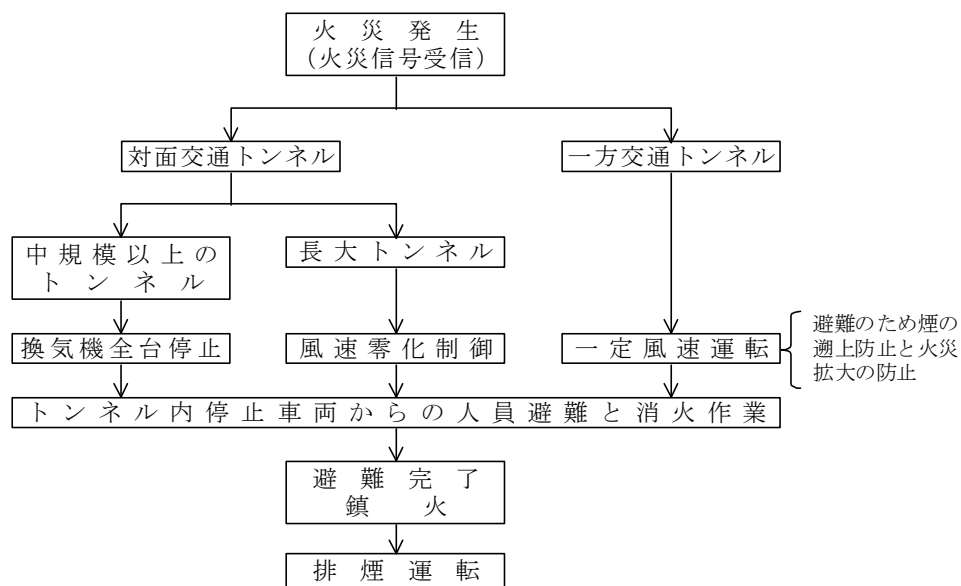


図 3-9-3 トンネル内火災発生時の運転の例(縦流式換気の場合)

3-2 制御系の変更

供用後の交通状況を把握したのちに、制御方法を確立するのが適当である場合が多い。このような場合に対処できるように、制御系の制御幅が広く、設定値の変更が容易な方式を採用することが望ましい。

第10節 非常用施設

1. トンネル等級区分

トンネルの非常用施設設置のための等級区分は、その延長および交通量に応じて図3-10-1に示すように区分する。

ただし、高速自動車国道等設計速度が高い道路のトンネルで延長が長いトンネルまたは平面線形、もしくは縦断線形の特に屈曲している等見通しの悪いトンネルにあっては一階級上位の等級とすることが望ましい。

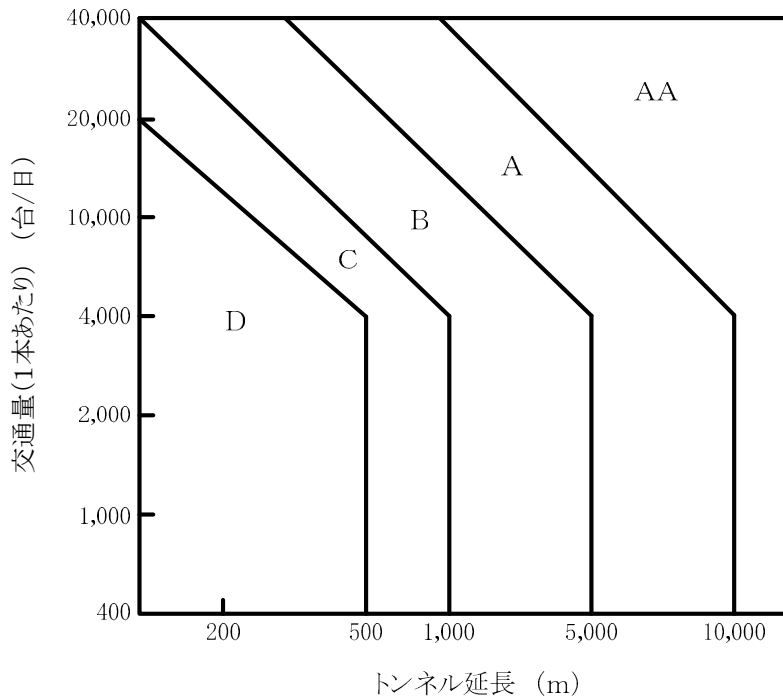


図3-10-1 トンネル等級区分

[解説]

(1) 交通量

トンネル等級区分の交通量は、トンネル1本当たりの日交通量である。一般に計画策定時から20年後の計画交通量とする。ただし、完成時にトンネル2本を計画している路線で暫定時に1本を対面通行で利用する場合や、供用時の交通量による設備と計画目標年次の設備規模の差が大きくなる場合は、計画目標年次を供用後10年後とし、効率的に設備を設置することができる。

(2) 一階級上位の等級とすることが望ましいトンネル

以下に示す条件に該当する場合は、トンネル延長と交通量からきまるトンネル等級より一階級上位にする。

1) 設計速度の高い道路トンネル

下記4つの条件を同時に満たす場合は一階級上位にすることが望ましい。

- ・ 高速自動車道路・自動車専用道路などで設計速度が 80km/h 以上である。
- ・ トンネル延長が 3000m 以上である。
- ・ 交通方式が対面通行トンネルである。
- ・ トンネルの交通量が 4000 台/日以上である。

2. 等級区分別の施設設置計画

トンネルには、火災その他の非常の際の連絡や危険防止、事故の拡大防止のため、トンネル等級区分に応じて、表3-10-2(a)に示す施設を設置するものとする。

表3-10-2 トンネル等級別の非常用施設

非常用施設		トンネル等級				
		AA	A	B	C	D
通報・警報設備	非常電話	○	○	○	○	
	押ボタン式通報装置	○	○	○	○	
	火災検知器	○	△			
	非常警報装置	○	○	○	○	
消火設備	消火器	○	○	○		
	消火栓	○	○			
避難誘導設備	誘導表示板	○	○	○		
	排煙設備または避難通路	○	△			
その他の設備	給水栓	○	△			
	無線通信補助設備	○	△			
	ラジオ再放送設備または拡声放送設備	○	△			
	水噴霧設備	○	△			
	監視装置	○	△			

(注) 上表中「○印は原則として設置する」、「△印は必要に応じて設置する」ことを示す。

[解説]

(1) 原則として設置する設備

表中の○印は、当該設備を設置することを原則とする。ただし、AA等級トンネル「排煙設備」設置の考え方は以下の通りである。

- 1) AA級のトンネルで延長3000m以上のトンネルには、排煙設備よりも避難通路を設置することが望ましい。
- 2) そのほかのトンネルについては、延長・交通量・換気設備の有無・換気方式・交通方式を考慮し決定する。

(2) 必要に応じて設置する設備

表中の△印は、以下に留意し当該設備を必要に応じ設置することをしめしている。

1) 排煙設備

- ・縦流換気方式を採用する延長3000m以上の交通量の多い対面通行トンネルは、排煙設備よりも避難通路を設置することが望ましい。ただし、暫定的に対面通行で供用するトンネルにおいて、その期間が短い場合は、避難通路を省略することができる。
- ・そのほかのトンネルについては、延長・交通量・換気設備の有無・換気方式・交通方式を考慮し決定する。
- ・換気設備が設置されている場合には、換気設備の能力の範囲内で排煙に利用できるようにするとよい。

2) 給水栓

- ・消火栓のあるトンネルに設置することが望ましい。
- ・その他、トンネル管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。

- (3) 自動車専用道路の設計にあたって当便覧に記載なき事項については、NEXCO「設計要領」を参考とし、その都度担当課と協議を行うものとする。

3. 消火設備(標準)

消火設備は、トンネルにおける自動車火災を迅速有効に消火し、または火災の拡大を防ぐために設けるものである。ここでは、消火器、消火栓設備、給水栓および水噴霧設備などがある。

〔解説〕

(1) 道路トンネルにおける非常用施設の基準については第3編 道路編および第4編 電気・通信編を参照のこと。また自動車専用道路の設計にあたって当便覧に記載なき事項については、NEXCO「設計要領」を参考とし、その都度担当課と協議を行うものとする。

表 3-10-3 機械設備としての非常用施設

設備名称	装置名称	備考
通報・警報装置	押しボタン式通報装置	消火器または消火栓に併設される場合に限る。
消火設備	消火器	
	消火栓	配水設備、ポンプ設備、取水設備
避難誘導設備	排煙設備または避難通路	換気設備の能力範囲の排煙能力とする。
		避難通路の防煙扉
その他の設備	給水栓 (ポンプ起動スイッチ付設)	
	水噴霧設備	ダクト冷却設備を設置する場合がある。

(2) 消火器

- 1) 扱い方が簡単で、有害なガス等を発生しないものを選定するものとする。
- 2) 消火器箱は、厚さ 1.6mm 以上の鋼板製又はステンレス製とする。
- 3) 設置間隔は 50m を標準とする。
- 4) 2本を1組として格納する。

(3) 消火栓

消火栓設備は、火災の初期消火および火災の拡大を防ぐために使用するもので、貯水槽、消火ポンプ、給水管、消火栓(開閉弁、ホース接続口)、ホースおよび筒先から構成される。

- 1) 扱い方が簡単な構造とする。
- 2) 消火栓箱は、厚さ 1.6mm 以上の鋼板製又はステンレス製とする。
- 3) 設置間隔は 50m を標準とする。
- 4) 口径は 40 mm、放水量は 130L/min、放水圧力は 0.294MPa(3.0 kg f/cm²) を標準とする。
- 5) 水源は消火栓 3 個同時に、40 分間放水できる容量を確保すること。

(4) 給水栓

給水栓設備は、消防隊による本格消火に資するための設備である。貯水槽、消火ポンプ給水管、消火栓(開閉弁、ホース接続口)から構成される。なお、給水栓を設置する場合は、必要に応じて消防ポンプ等からトンネル内給水栓への送水用として送水口を設けるものとする。

- 1) トンネル両坑口付近に設置することを標準とし、必要に応じてトンネル内非常駐車帯または避難連絡坑口付近その他に設置するものとする。

- 2) 口径は 65 mm、放水量は 400L/min、放水圧力は 2 個同時放水した場合で 0.294MPa (3.0 kg f/cm²) を標準とする。
- 3) 水源は 2 個同時放水した場合、40 分間放水できる容量を確保すること。
- 4) ポンプ起動スイッチを近傍に設置する。

トンネル内に設置するものには、単口形給水栓を消火栓箱内に併設する場合がある。

(5) 送水口

- 1) トンネル両坑口に設置するものとし、口径 65 mm、双口型を標準とする。

(6) 配水設備

消火ポンプ又は送水口からの消火用水を、消火栓及び給水栓に送水するための管路及び付帯設備で構成される。ピット内配管布設設計計画においては、電気配線管路などの他設備との協調に十分留意して進めなければならない。

4. 水噴霧設備

水噴霧設備はトンネルの天井または側壁上方から配水管を設備し、これに水噴霧ヘッドを取付けヘッドから微細な粒子状の水を放水して火災の火勢制圧、消火および延焼防止に用いるもので、水噴霧ヘッド、配水管、消火ポンプ、貯水槽および制御装置にて構成される。

- (1) 放水区間は 50m 以上とする。
- (2) 放水量は 6ℓ / min・m² を標準とする。また、水源は 40 分間放水できる容量を確保すること。
- (3) 放水制御方式はトンネル延長、トンネル構造、換気方式等に留意して決定するものとする。
- (4) 水噴霧設備の運用については、放水時期、放水区画等についてあらかじめ定めておくものとする。また、消火栓機器の設置例を図 3-10-4(a) に、消火栓設備系統の例を図 3-10-4(b) に、水噴霧設備系統の一例を図 3-10-4(c) に示す。

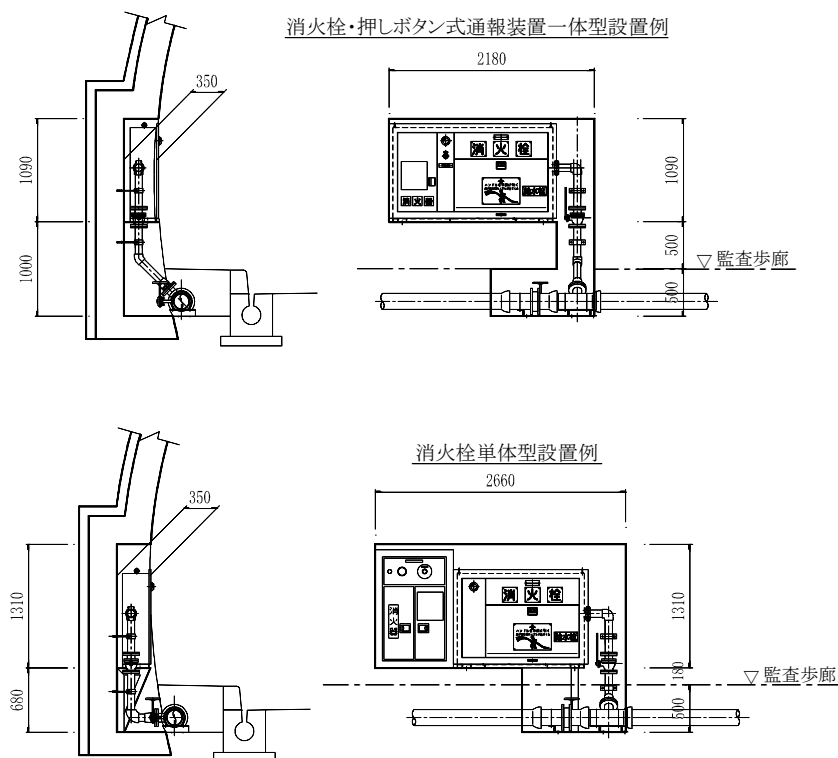


図 3-10-4(a) 消火栓設置例

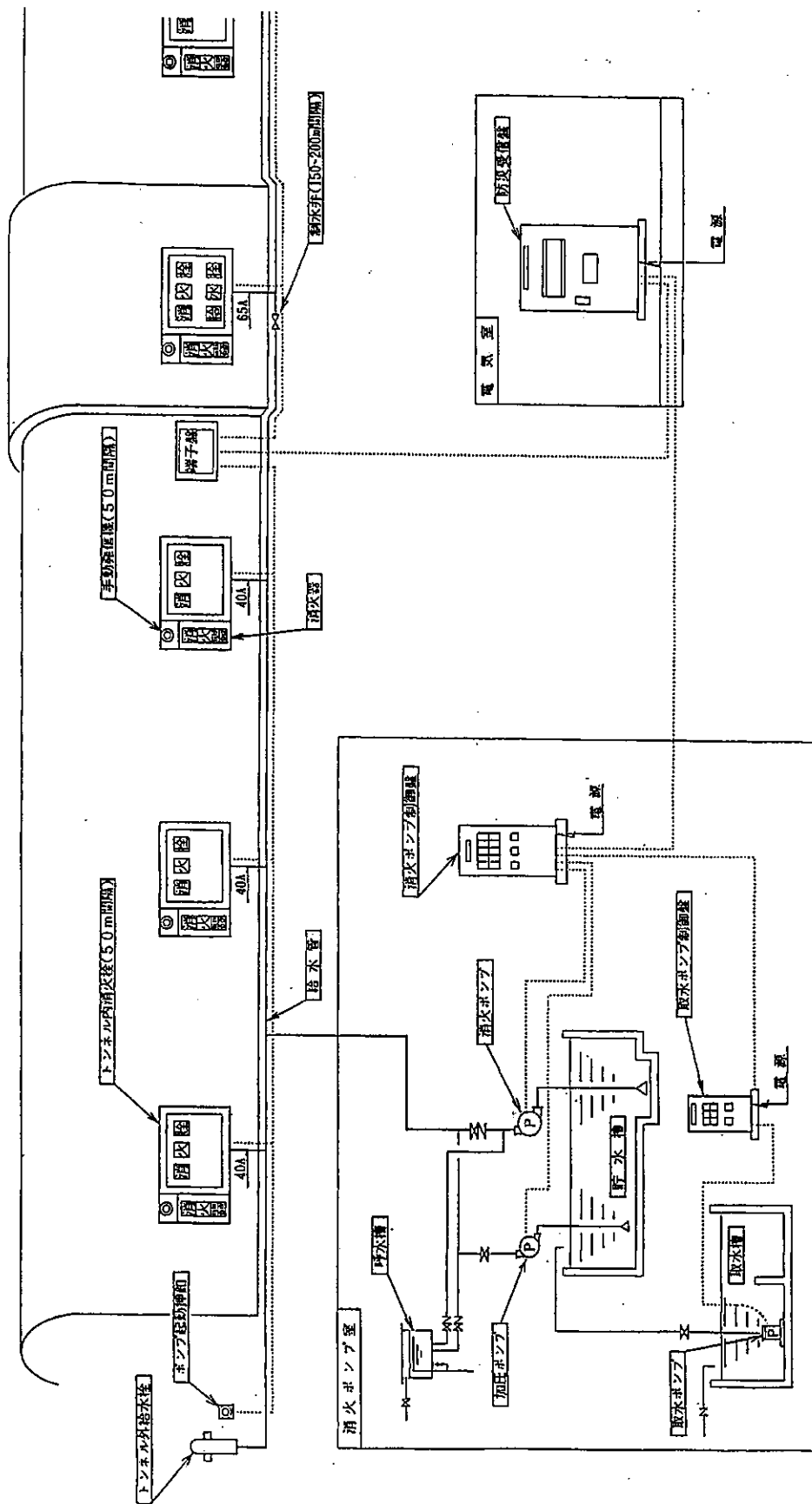


図 3 - 1 0 - 4 (b) 消火栓設備系統図

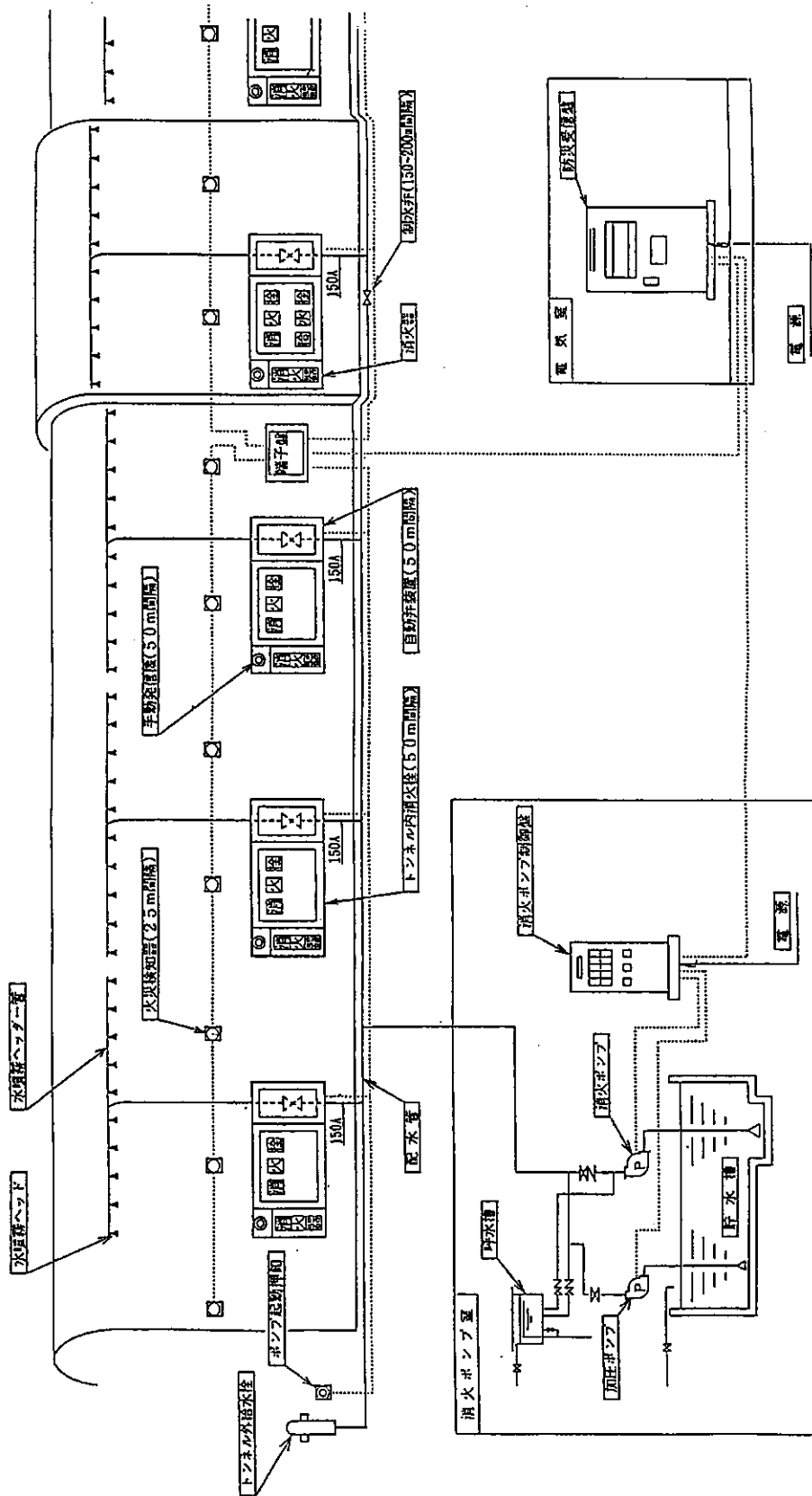


図 3-10-4(c) 水噴霧設備系統図

5. 消火システムについて(参考)

5-1 非常用施設のフロー

非常用施設の標準フローを図3-10-5に示す。

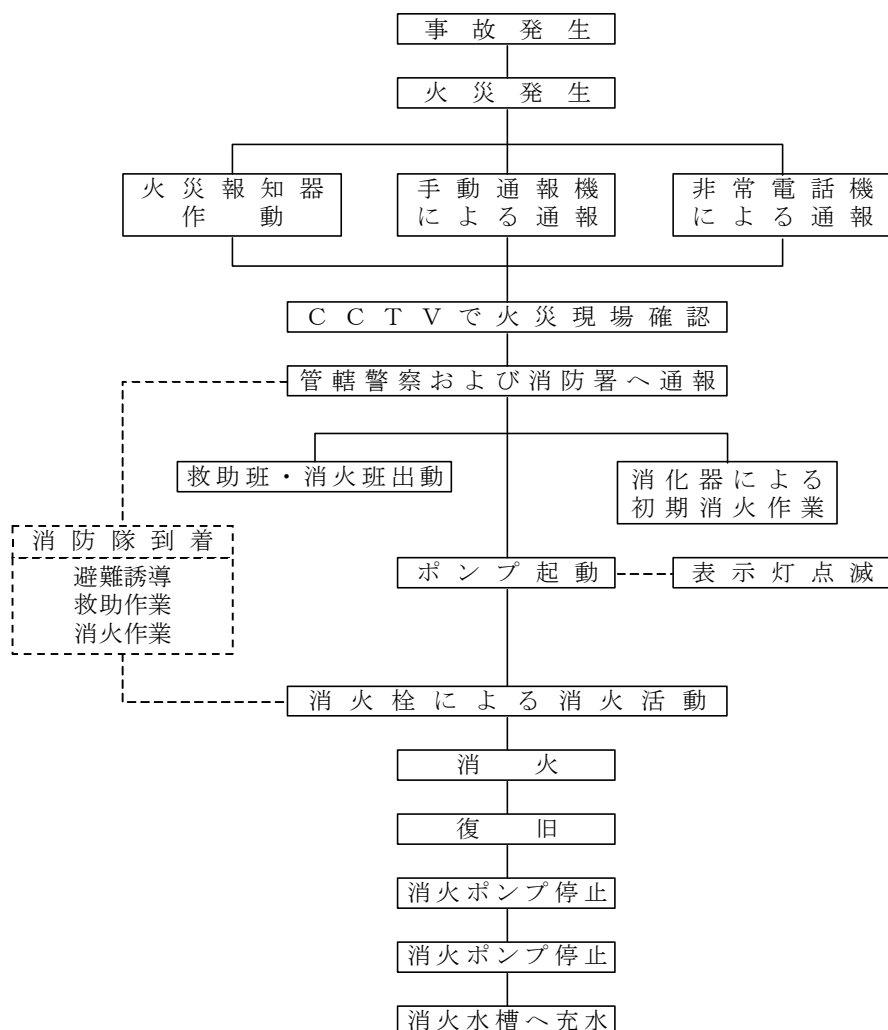


図3-10-5 非常用施設のフロー

5-2 消火設備設計上の注意事項

消火ポンプ室および主水槽についての一般的な事項は下記のとおりである。

- (1) ポンプ室は将来の維持管理を勘案し、原則として電気室に隣接するものとする。
- (2) ポンプ室と主水槽は原則として別構造とする。
- (3) ポンプ室の形状はポンプの設置、配線、維持管理および経済性等を考慮する。

ポンプの配置に当たっては、メンテナンススペースおよび分解点検の際の吊り上げフックの設置等を考慮する。なお、ポンプ室面積はポンプ室形状およびポンプの配置計画に基づき決定する。

- (4) 主水槽の容量は、消火栓、給水栓および水噴霧設備等用水を同時に放水可能なものとし、余裕は20%程度考える。なお、ダクト冷却設備を有する場合は、これを含めて考慮すること。
- 1) 消火栓 同時 3箇所分の水量
 - 2) 水噴霧 同時 2区画分の水量
 - 3) 給水栓 同時 2箇所分の水量
 - 4) 余裕 20%
 - 5) 上記合計の40分使用可能な容量
 - 6) 水槽のL.W.L.は消火ポンプの最上位とし、埋め込み方式とする。
- (5) 主水槽は地震、風および腐食等により漏水の起こりにくい、鉄筋コンクリート製が一般である。必要に応じて、点検口、梯子および水位表示器を設けるものとする。また、給水方式は主水槽の水位が低下すると、自動的に給水する方式とする。
- (6) 呼水槽は火災時における消火活動を迅速に行うために配水主管を常時満水にし、併せて自動弁動作圧の保持およびポンプの呼水用として設置するものである。
- 1) 呼水槽の単独設置の場合、貯水容量は1m³程度が望ましい。
 - 2) 凍結防止を考慮する必要がある。
 - 3) 水位決定は、自動弁装置の動作水圧保持のため20m以上とれる位置が望ましい。
 - 4) 呼水槽の設置に必要な条件を満たすことが困難な場合には、これに代えて加圧水装置を設ける。加圧水装置は、加圧ポンプと圧力タンクおよび圧力調整装置から構成される。加圧ポンプは呼水装置を必要としない位置に設置するか、水中ポンプを採用する。
- (7) 取水設備および水源
- 取水設備および水源についての一般的な事項は下記のとおりである。
- 1) 取水設備は、配水設備の主水槽へ供給するためのもので、配水管、取水槽および制御装置にて構成される。なお、水源は公共用上水道によることを標準とするが、上水道による水源使用が困難な場合は、トンネル湧水、河川水等によるものとする。
 - 2) 上水道以外を取水源とする場合は、用水の化学的性質および混入固形物の有無・混入量などの水質検査を実施する必要がある。
 - 3) 水質検査の結果、固形物・砂等の混入の恐れがある場合は、流入口に除塵スクリーンを設け、取水槽に隣接して沈砂槽を設置する等の対策を検討する。
 - 4) 用水の化学的性質が中性からはずれる場合は、ポンプおよび付属部品、配管・弁類の耐食性を検討・勘案して、用水の採用・不採用を決定する。
 - 5) 上水道の場合、将来の維持管理等を十分考慮するとともに、ポンプ運転時の騒音対策のため、水中タービンポンプを採用するなど必要である。
 - 6) 採水時のトラブル等を勘案し、主水槽へ揚水する2時間程度の量は取水槽に確保すること。
- (8) 凍結防止設備
- 凍結防止設備についての一般的な事項は下記のとおりである。
- 1) 凍結防止設備は、消火栓、給水栓、水噴霧、ダクト冷却等の消火水の凍結対策を行うもので、ヒータおよび制御装置等にて構成される。
 - 2) 設計に当たっては気象条件等を十分考慮すること。
 - 3) 凍結防止対策は、一般的にトンネル入口1,000m、出口500m程度としている。

- 4) 対象機器は、消火栓の2次配管、自動弁本体、配水管本管、ポンプおよび弁類である。
- 5) 制御はヒータのON-OFFを坑口気温センサ等によって行う。
- 6) 凍結防止対策は一般的には次の通りである。
 - ・ 管路を保温材で保温する。
 - ・ スペースヒーターにより管路付近の気温を高める。
 - ・ 管路をヒータにより直接加熱する。
 - ・ 管路内を常時流水させる。

第 1 1 節 修繕工事への対応(参考)

1 1 - 1 トンネル機械設備修繕(更新)計画

設備の修繕には、部品の交換等で設備システムへの影響の無い小規模な修繕と主要構成機器の更新等で設備システムに影響を与える大規模な修繕がある。

いずれの修繕方法を取るかは、緊急性、予算面を踏まえ、以下に示すような要求事項を整理することで修繕の位置づけ、どの準拠基準を適用するべきかが明確になる。

また、土木関連構造物へ影響が懸念される修繕の場合、どこまでを対象設計業務の範囲とするかを明確にしておく必要がある。

(1) 修繕の目的

老朽化等による機能低下(過去の故障・修繕履歴)、要求機能アップ等

(2) 修繕の目標

今後の供用期間、他要因での改修計画を踏まえた修繕目標

(3) 既施設の経過年数、土木関連構造物も含めた施設全体の健全度評価

(4) 施設目的に適合した信頼性の確保(施設の種別、規模、地域性)

(5) 手戻りの無い修繕計画

(6) 費用対効果(経済性)

(次頁に、トンネル機械設備修繕(更新)計画検討フロー図を示す)

トンネル機械設備修繕(更新)時計画検討フロー図(参考)

トンネル機械設備の修繕(更新)時の業務手順フロー例を示す。

