

第9章 工事用仮設備

第9章 工事中用仮設備

| | |
|--------------------|--------|
| 9.1 仮設備の計上 | 4-9-1 |
| 9.2 仮設備配置図 | 4-9-4 |
| 9.3 吹付けプラント設備参考図 | 4-9-5 |
| 9.4 工事中用照明設備 | 4-9-7 |
| 9.5 濁水処理設備 | 4-9-7 |
| 9.6 電力設備 | 4-9-8 |
| 9.7 工事中用換気の設計 | 4-9-19 |
| 9.8 トンネル積算における注意事項 | 4-9-51 |
| 9.9 インバート仮設栈橋 | 4-9-52 |
| 9.10 火薬庫 | 4-9-52 |

第9章 工事用仮設備

9.1 仮設備の計上

- (1) 設計書において仮設費として計上するもので主なもの。
 - 1) 電力設備
受電・変電・配電設備等に要する設置・解体、保守並びに損料等。
 - 2) 吹付けプラント設備
組立・解体、運転費及び損料。
 - 3) スライドセントル
組立（現地仮組立を含む）・解体。
 - 4) スtockヤード
設置・撤去、損料。
 - 5) 運搬路
工事用道路、仮橋設置・撤去、既設橋の補強。
 - 6) 照明設備
設置・撤去、機器費（全損）、電気料。
 - 7) 換気設備
解体、運転費及び損料。
 - 8) 防水工
防水工作業台車組立・解体及び損料。
 - 9) 給排水設備
設置・撤去、運転費及び損料。
 - 10) 工事用連絡設備
無線又は有線電話。
 - 11) 坑口処理
捨導坑、捨枠、捨巻等。
 - 12) 仮設備保守費
 - 13) 濁水処理設備
設置・撤去、運転費、損料及び維持費。
 - 14) 粉塵発散防止設備等
 - 15) その他
- (2) 設計書において共通仮設費の営繕費として計上するもので主なもの。
共通仮設費の率には、次のものが含まれている。
 - 1) 事務所
 - 2) 倉庫
 - 3) 労働者宿舎
 - 4) 試験室
 - 5) 鍛冶場及び修理工場
 - 6) 製材所
 - 7) 労働者休憩所
 - 8) その他
- (3) 共通仮設費の率に含まれていないもの。
火薬庫類の設備及び監督員詰所等。
- (4) トンネル建設箇所の立地条件および周辺環境を鑑み、必要に応じて騒音・振動等の環境保全対策設備を計上することができる。

【参考】

1. 基本法令

環境基本法 : 環境の保全について基本理念および施策の基本事項を制定

2. 関連法令

| 環境保全関連の法令・省令・指針など |
|--|
| 【騒音規制】 騒音規制法 ・特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準 |
| 【振動規制】 振動規制法 ・振動規制法施行規則 |
| 【水質汚濁防止】 水質汚濁防止法 ・排水基準を定める省令 下水道法 河川法 |
| 【土壌・地下水汚染防止】 薬液注入工事による建設工事の施工に関する暫定指針 |
| 【汚染土処理】 土壌汚染対策法（土対法） |

環境保全対策の可否は、個々の現場条件を考慮して適宜検討を行うこと。

表9.1.1 共通仮設費の積算区分 (NATM)

| 工種 | 名称 | 直接工事費 | | | 運賃費 | 準備費 | 事業損失防止費 | 安全費 | 役務費 | 技術管理費 | 営繕費 | 備考 |
|-----------|------------------------|-------|---------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-------|-----|---------|
| | | 積上げ積算 | 掘削作業に含む | 仮設費 | | | | | | | | |
| 電力設備 | 受電変電配電設備 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 受電変電配電損料 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 工専用照明電力料 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 電力基本料金 | | | | | | | | ○ | | | |
| 設吹付プラント備ト | 吹き付けプラント組立解体 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 吹き付けプラント基礎設置撤去 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 吹き付けプラント上屋損料 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 上記設備の損料運転費 | ○ | | | | | | | | | | |
| 防水工設備 | 作業台車組立解体 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 作業台車損料 | ○ | | | | | | | | | | |
| スライドセントル | スライドセントル組立解体 | | | ○ | | | | | | | | |
| | スライドセントル損料 | ○ | | | | | | | | | | |
| ストックヤード | 設置、解体、損料 | | | ○ | | | | | | | | 運搬費別途計上 |
| | 運転費 | ○ | | | | | | | | | | |
| 給排水設備 | 給排水管坑内布設撤去 | | ○ | | | | | | | | | |
| | 給排水管坑外布設撤去 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 給排水管損料 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 給排水ポンプ運転費 | ○ | | | | | | | | | | |
| 濁水処設 | 据付、撤去 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 損料、運転費 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 薬品代 | | | ○ | | | | | | | | |
| 粉塵発散防止設備等 | 土砂及び岩石を湿潤な状態に保つ設備 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 2次粉塵発散防止のための簡易舗装や放水等設備 | | | ○ | | | | | | | | |
| | エアカーテン等設備 | | | ○ | | | | | | | | |
| 運搬路 | 運搬路補修材 | | | ○ | | | | | | | | |
| 換気設備 | ファン損料運転費 | ○ | | | | | | | | | | |
| | 風管坑内取付撤去 | | ○ | | | | | | | | | |
| | 風管損料 | | | ○ | | | | | | | | |
| 営繕損料 | 建物損料 | | | | | | | | | | ○ | |
| | 火薬庫損料 | | | | | | | | | | ○ | |
| | 監督員詰所 | | | | | | | | | | ○ | |
| 坑口処理 | 捨導坑 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 捨梓 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 捨巻 | | | ○ | | | | | | | | |
| 連絡設備 | 無線設備 | | | ○ | | | | | | | | |
| | 有線設備 | | | ○ | | | | | | | | |

9.2 仮設備配置図

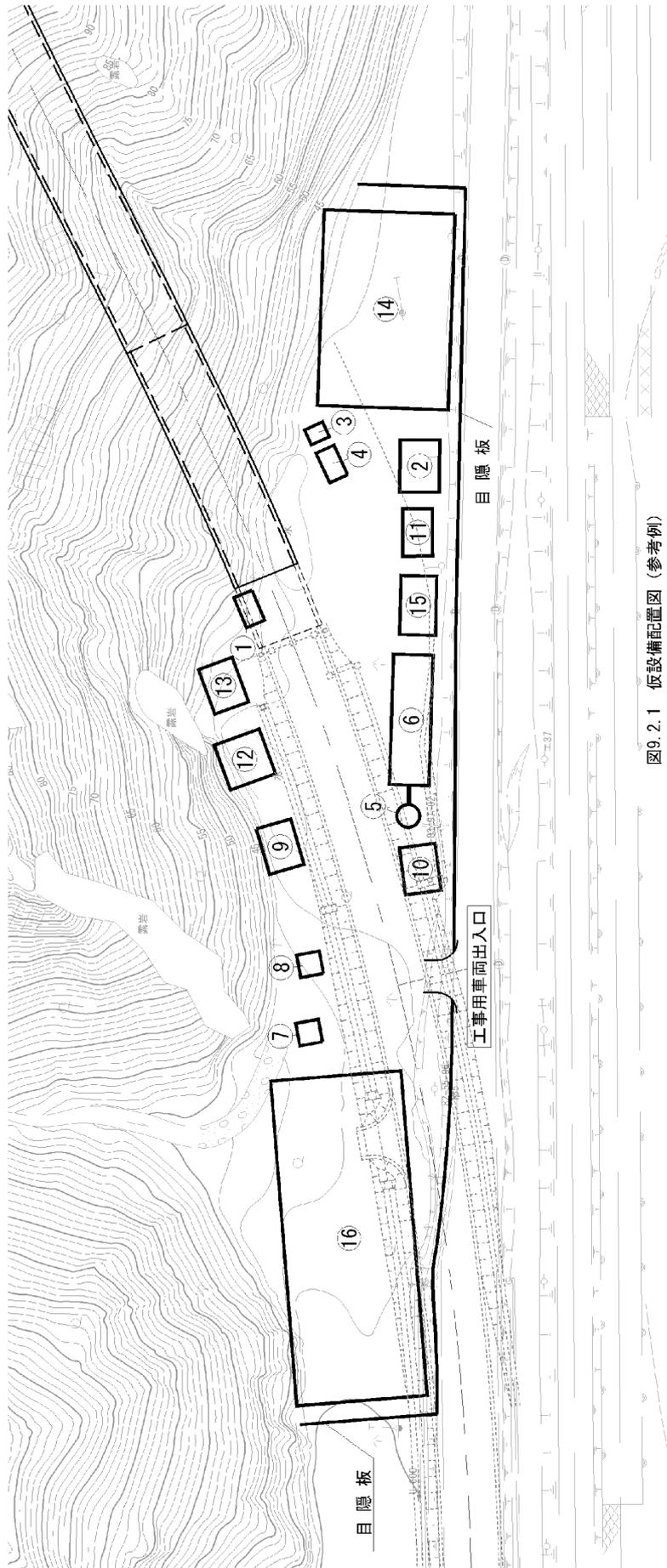


図9.2.1 仮設備配置図 (参考例)

表9.2.1 仮設備一覧表

| No. | 名称 | 仕様 | 面積 | 積 |
|-----|---------|-------------------------|------------------------------|---|
| ① | 換気設備 | φ1,200 | 3m×5m=15m ² | |
| ② | 濁水プラント | 30t/h | 6m×8m=48m ² | |
| ③ | 給水設備 | ----- | 3m×2.5m=7.5m ² | |
| ④ | 貯水タンク | ----- | 3m×5m=15m ² | |
| ⑤ | セメントサイロ | 30t | 3.5m×3.5m=12.3m ² | |
| ⑥ | パンプアウト | 定置式 25m ³ /h | 6m×20m=120m ² | |
| ⑦ | 火薬取扱所 | ----- | 3.5m×3.5m=12.3m ² | |
| ⑧ | 火工所 | ----- | 3.5m×3.5m=12.3m ² | |
| ⑨ | 休憩室 | プレハブ | 7.2m×5.4m=38.9m ² | |
| ⑩ | 坑口詰所 | プレハブ | 7.2m×5.4m=38.9m ² | |

| No. | 名称 | 仕様 | 面積 | 積 |
|-----|-----------|-------|------------------------------|-----------------------|
| ⑪ | 試験室 | プレハブ | 7.2m×4.5m=32.4m ² | |
| ⑫ | 資材倉庫 | プレハブ | 7.2m×7.2m=51.8m ² | |
| ⑬ | 修理工場 | プレハブ | 7.2m×5.4m=38.9m ² | |
| ⑭ | 資材ヤード | ----- | 30m×20m=600m ² | |
| ⑮ | 電気室 | プレハブ | 5.4m×9.0m=48.6m ² | |
| ⑯ | ずりストックヤード | ----- | 50m×20m=1,000m ² | |
| | 合 | 計 | | 2,091.9m ² |

下記設備は別途配置する。

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| 事務所、宿舍用地 | 1,000m ² |
| 火薬庫用地 | 50m ² |
| 火工品庫用地 | 50m ² |
| ずり捨場用地 (冬期間) | 7,000m ² |
| | 78m×6.7m/日×4ヶ月≒20,000m ² |
| | H=3m |

9.3 吹付けプラント設備参考図

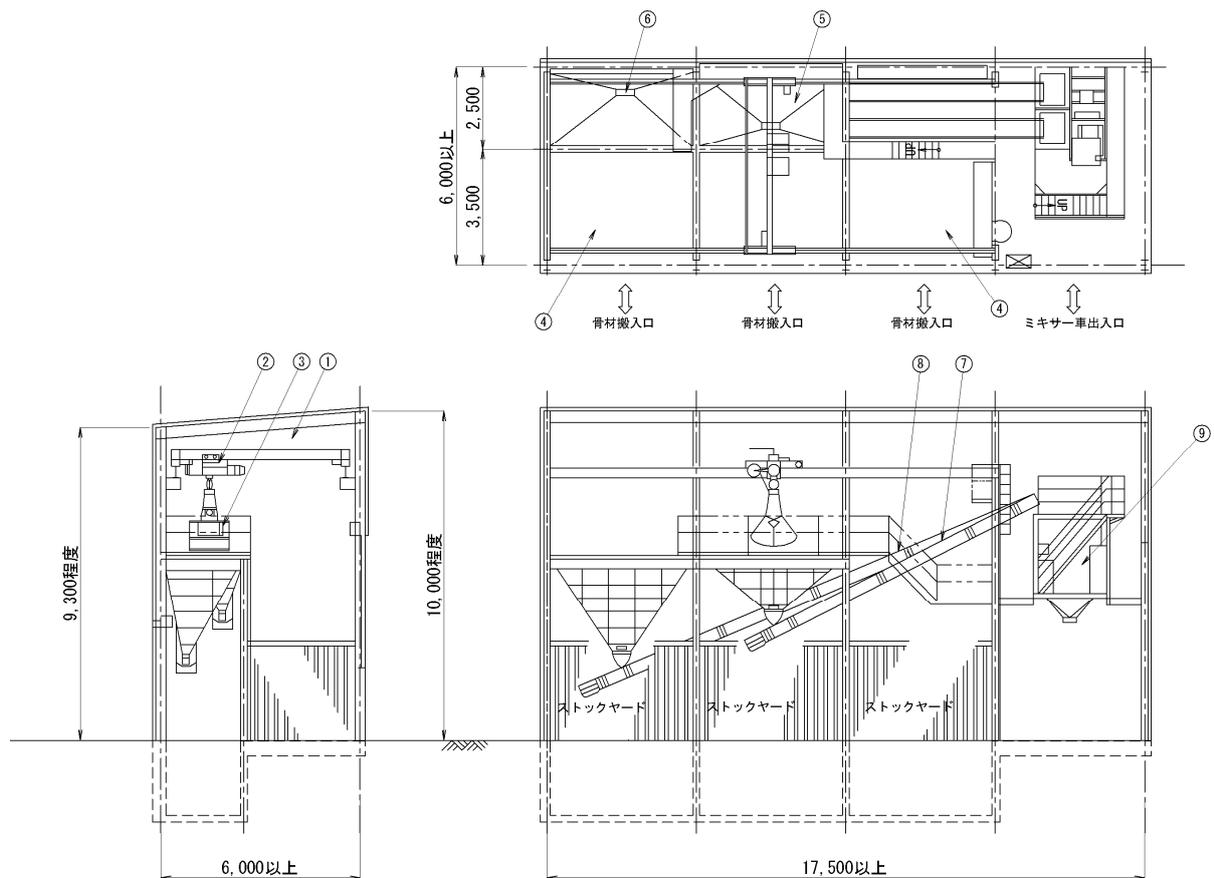
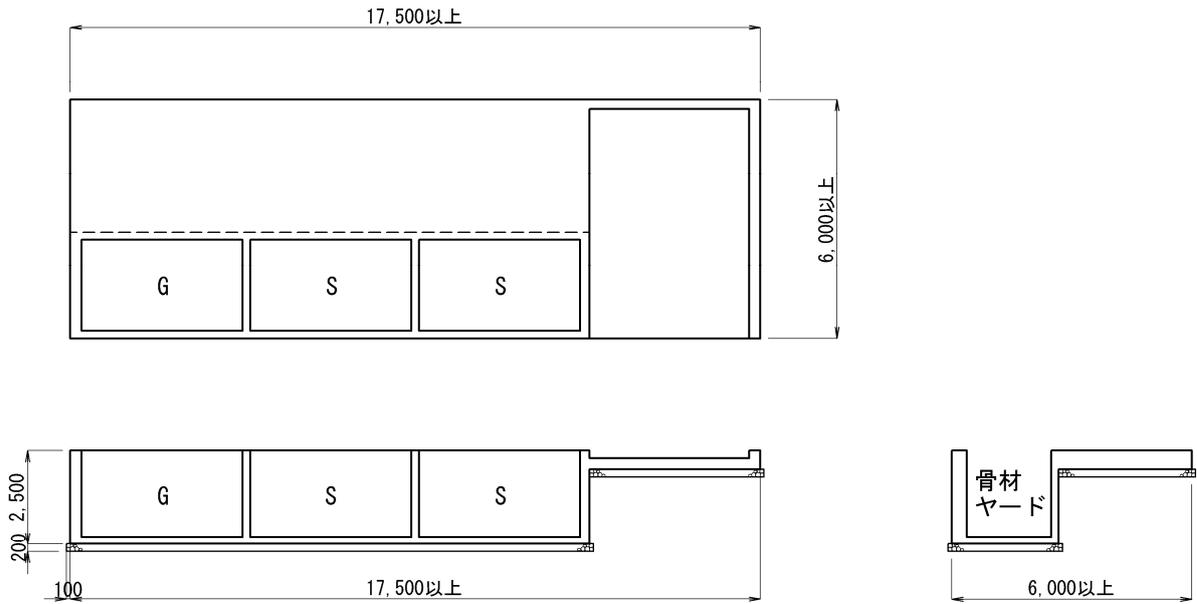


図9.3.1 吹付プラント設備参考図

表9.3.1 機械使用（例）

| 符号 | 名称 | 仕様 |
|----|-----------------|--|
| 1 | クレーンヤード | 鉄骨装・外装・屋根・軽量シャッター5面 |
| 2 | 2.8tサスペンションクレーン | 2.8 t |
| 3 | クラブバケット | 容量0.6m ³ 油圧式バケット |
| 4 | 骨材ヤード | 砂2槽(30m ³ ×2) 砂利1槽(30m ³) |
| 5 | 砂利ホッパー | 鋼板製・容量4m ³ |
| 6 | 砂ホッパー | 鋼板製・容量6m ³ |
| 7 | 骨材(砂利)コンベヤ | 400W×10.0m |
| 8 | 骨材(砂)コンベヤ | 400W×15.0m |
| 9 | バッチャープラント | 20m ³ /h |



| | |
|----------|--------------------|
| 基礎コンクリート | 55.6m ³ |
| 基礎材80mm級 | 22m ³ |
| 型枠面積 | 220m ² |

図9.3.2 吹付プラント基礎(例)

9.4 工事中用照明設備

- (1) 坑内照明は片側に設置するものとし、40W相当LED、5.0m間隔とするのを標準とする。
- (2) 切羽照明は500W投光器とし、切羽部6個(上半4個、下半2個)、覆工4個を標準とする。

9.5 濁水処理設備

坑内及び坑外設備により発生する濁水は、必要に応じ、濁水処理を行うものとする。

【解 説】

(1) 濁水処理設備

- 1) 濁水処理設備は、NATMの場合、機械処理脱水方式を標準とする。また濁水処理設備能力については、30～60m³/h級を使用した場合の歩掛であり、湧水量及び処理水量等が多く30～60m³/h以外を使用する場合は別途考慮する。
- 2) 当初から最大となる設計濁水量に基づく規格を選定するのではなく、現場条件等も踏まえ、濁水量の増加に応じて、設備の増設や入れ替えを検討すること。

(2) 使用薬剤

使用薬剤は、無機凝集剤、高分子凝集剤、炭酸ガスの3種類使用を標準とする。
薬剤の使用量は、濁水処理設備の使用実態から無機凝集剤で50～150PPM、高分子凝集剤で1～3PPMが標準的添加量となっている。中和剤の添加量としては50～150PPMで添加しているケースが多い。
(山岳トンネル工事における濁水処理設備計画の手引き 平成14年1月 日本トンネル技術協会より)

9.6 電力設備

- (1) 工事用電力供給計画
 - 1) 工事用電力の供給計画に際しては、少なくとも着工前年までに施工に必要な負荷設備に対応できる受電設備及び各年度における需要電力量、契約電力量等を設定する。
 - 2) 次に電力会社の供給設備を調査し、負荷設備までの送電計画を策定する。
 - 3) 以上の検討によって、電力会社供給の場合の全体費用を算定するが、トンネル規模及び立地条件によっては発電方式の方が安価となる場合があるので、いずれによるかを総合的に検討しなければならない。
 - 4) 各年度における電力消費計画や最大需要電力、及び負荷設備の特性等によって電力会社送電設備替えに要する需要者負担金割合が決定されるので、事前に電力会社と協議する必要がある。
また、電力会社との協議により、フリッカー対策や高調波対策について求められた場合は、別途検討する必要がある。
 - 5) 以上の検討を経て電力会社供給と決定されれば、各関係機関に対する諸手続を行うと同時に、必要な施設の設計、施工を行う。
- (2) 電力基本料金は下式により算定する。
 - 1) 臨時契約の場合(契約期間が1年未満)
土木工事標準積算基準書Ⅱ-5-⑩-4にて積算するものとする。
力率95%として基本料金は10%引きとする。
 - 2) 常時契約の場合
土木工事標準積算基準書Ⅱ-5-⑩-5にて積算するものとする。
力率95%として基本料金は10%引きとする。
デマンド契約方式とし前11ヶ月間の計測電力値を比較し、最大値を契約電力とし基本料金を算定する。
- (3) 仮設電力設備の構成
仮設電力設備は、次の項目に区分して積算するものとする。
 - 1) 基本料金(役務費に計上)
 - 2) 工事費負担金(必要な場合は役務費に計上)
 - 3) 受電設備
低圧受電設備は、電力会社から低圧で受電して工事用機械等に電気を供給する設備
高圧受電設備は、電力会社から高圧で受電し低圧に変換して工事用機械等に電気を供給する設備
 - 4) 低圧配電線路
低圧機器に受電設備から必要な場所まで配電する配線設備
 - 5) 高圧配電線路
高圧機器に受電設備から必要な場所まで配電する配線設備
 - 6) 低圧電動機設備
低圧工事用機械のための区分開閉器
 - 7) 高圧電動機設備
高圧工事用機器のための区分開閉器
 - 8) 照明設備
現場の作業照明設備
 - 9) その他
上記以外の設備

【解説】

(1) 工食用電力供給計画

- 1) 電力会社送電線の最端部を責任分界点というが、トンネル工事の多くは、この責任分界点から坑口設備まで、ある程度の距離を有する場合が多い。従って送電線を施工しなければならないが、これを自家用電気工作物という。自家用電気工作物は、距離及び負荷設備特性に応じて低圧設備、高圧設備のいずれかとなるが、トンネル工事においては、一般的に6,600Vの高圧設備となる。また、工食用仮設備であるので、一般には工事期間中のみの使用に耐え得る設備でよいが、完成後も照明、防災、換気設備等の計画がある場合はコンクリートポール他の恒久的設備も検討する必要がある。
- 2) 自家用電気工作物の設計、施工は一般に当局で実施するが、それと並行して、関係官公署、電力会社等に対する諸手続、連絡協議が必要となる。また、送電線が不必要な場合においても、発注後の受・変電設備(施工者施設)設置や実際の契約に際して同様の事前手続きが必要となる。一例として高圧受電設備の手順を図9.7.1に示す。

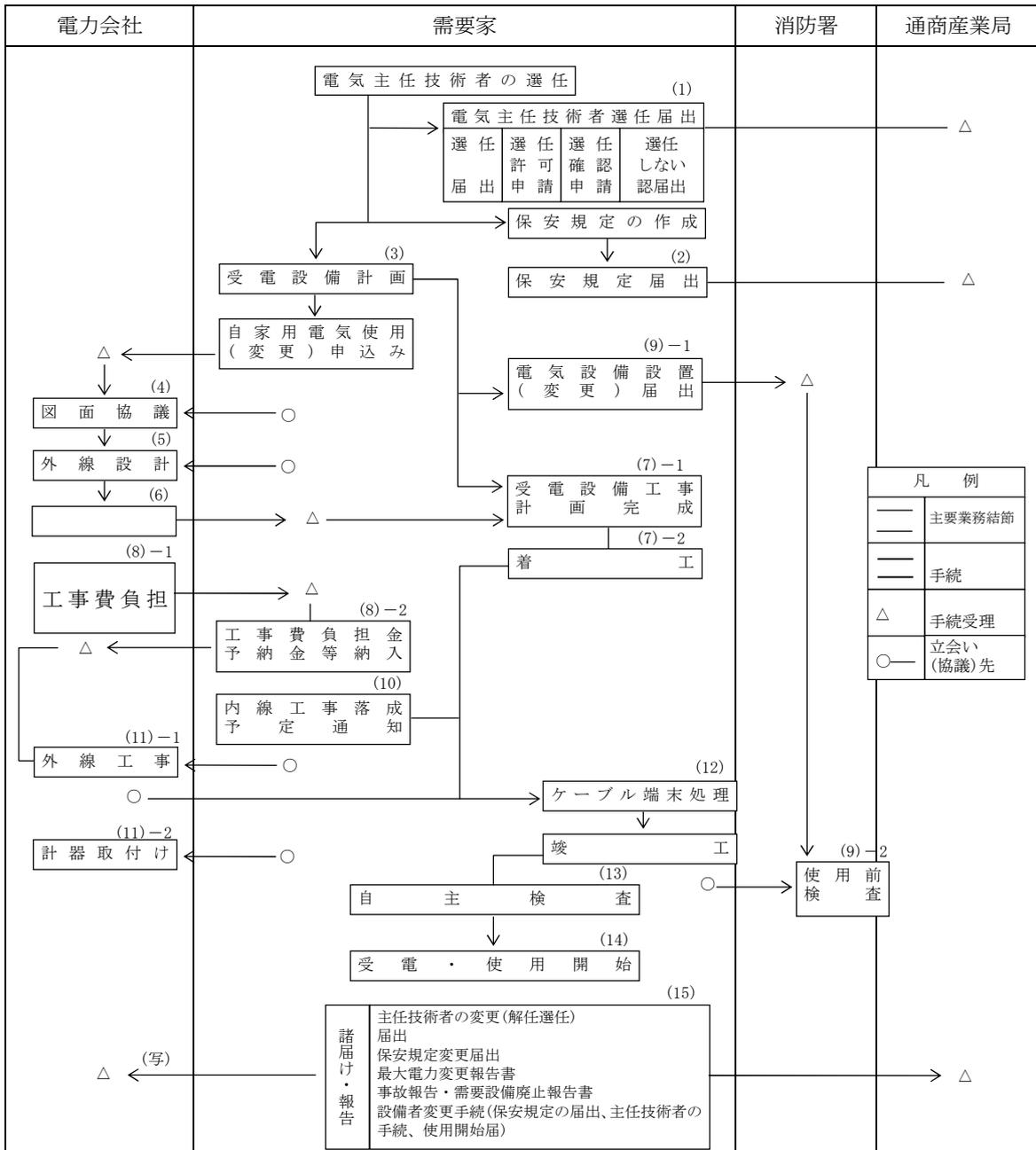


図9.6.1 受電設備工事の手順(500kW以下)

3) 電力会社との契約

電力会社との契約内容で、しばしば問題となるのは、トンネル全体の電力使用量及び契約電力量による収入と電力会社側の設備投資(両者負担金割合)との最終的収支内容である。したがって、事前に年次別電力供給計画を策定し、電力会社と協議する必要がある。また、発注後、当初計画と施工者の計画が大幅に異なることは避けなければならない。

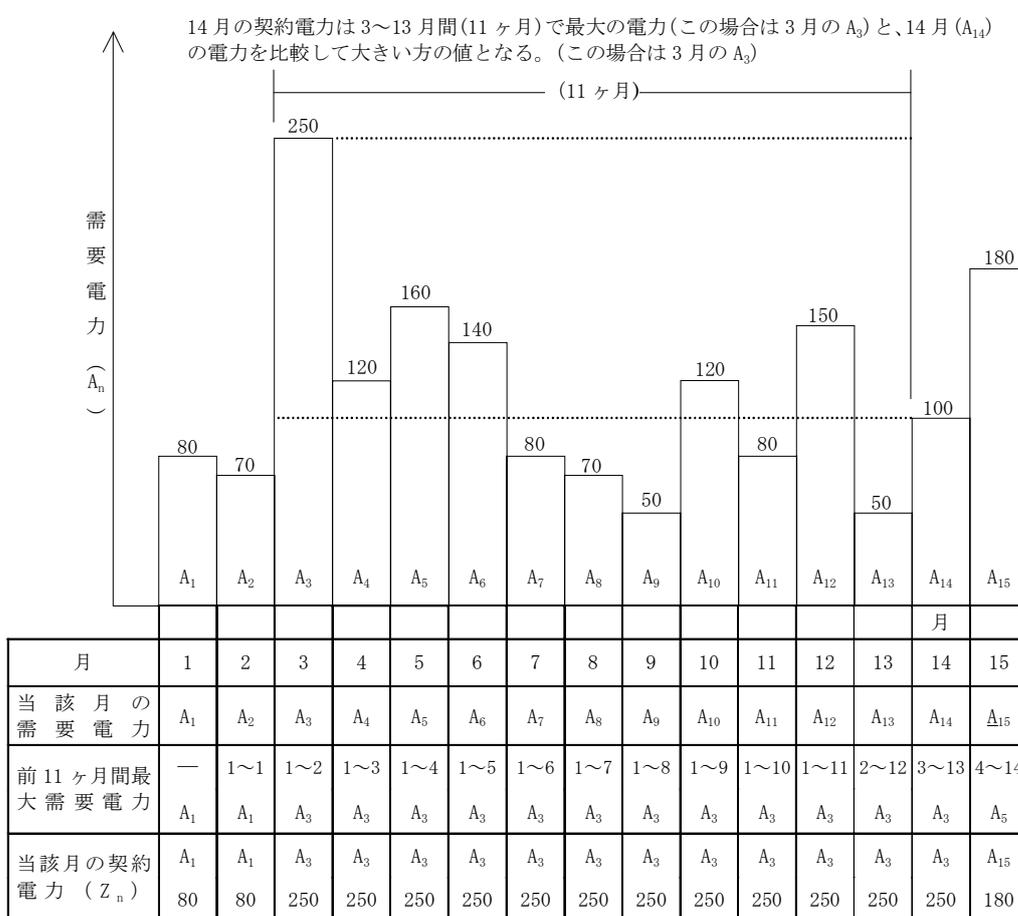
高圧電力A(常時契約)の場合、一般的にデマンド契約方式が用いられる。「デマンド契約」とは、実際の使用電力をメータ(電力会社取付)により毎月計測し、その月の契約電力は前11ヶ月間の計測電力値を比較し最大値を契約電力とするもので、契約変更は自動的に行われる。

なお、契約後1年未満は、前11ヶ月の計算値が無いことから、契約月から前月までを比較し、決定される。

4) 電力会社からフリッカー対策及び高調波対策について求められた場合は、近隣の民家への影響も考慮して、別途対策を講じなければならない。

(2) 電力料金

1) 電力料金の計算例(高圧電力A 常時契約)



注) 下線は当該月の需要電力と前11ヶ月間の最大需要電力を比較して大きい方の値よって、基本料金は

$$\begin{aligned} \text{基本料金} &= K \times Z_n \times \text{力率割引}^{*1} \\ &= K \times (80\text{kW} \times 2\text{ヶ月} + 250\text{kW} \times 12\text{ヶ月} + 180\text{kW} \times 1\text{ヶ月}) \\ &= K \times 3,340\text{kW} (15\text{ヶ月分}) \end{aligned}$$

K : 基本料金単価(円/kW)

Z_n : 各月の契約電力

図9.6.2 電力料金の計算例

※1 : 受電設備の力率が85%を上回る場合は、力率割引を適用する。割引率は「電力契約標準約款(高圧)北海道電力(株)」による。

2) 電力量と受電設備計画例

表9.6.1 電力量と受電設備計画例

| 機 種 | 規 格 | | 台数 | 出力 kW | 入力 換算率 | 入力 kVA | 変 圧 器 の 検 討 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|-------------|----|----------|-----------|-----------|--|-------|-----|----------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| 吹 付 け プ ラ ン ト | 25m ³ /hr | 200V- 25.0 | 1 | 25.00 | 1.25 | 31.25 | 変圧器の検討容量算定 $\text{変圧器容量} = P \times (\text{需要率} \div 100) \div \cos \theta$ $\cos \theta = \text{力率改善後の値} = 0.95$ <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>P(出力)</th> <th>需要率</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100kW 以下</td> <td>75%</td> </tr> <tr> <td>200kW</td> <td>70%</td> </tr> <tr> <td>300kW</td> <td>65%</td> </tr> <tr> <td>500kW</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>700kW</td> <td>55%</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1. 変圧器は直近上位を選択するものとするが 変圧器は1割以下の過負荷に対応することか らその範囲内の容量とする。 2. 計算した変圧器容量が最も大きい負荷容量 以下となる場合は別途考慮するものとす る。 400V(坑外) $320.00 \times (60 \div 100) \div 0.95 = 202.1$ …200kVA(変圧器容量) 400V(坑内) $485.00 \times (60 \div 100) \div 0.95 = 306.3$ …300kVA(変圧器容量) 200V(坑外) $95.70 \times (75 \div 100) \div 0.95 = 75.6$ (坑外)… 75kVA(変圧器容量) 200V(坑内) $52.60 \times (75 \div 100) \div 0.95 = 41.5$ (坑内)… 50kVA(変圧器容量)</p> | P(出力) | 需要率 | 100kW 以下 | 75% | 200kW | 70% | 300kW | 65% | 500kW | 60% | 700kW | 55% |
| P(出力) | 需要率 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100kW 以下 | 75% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200kW | 70% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300kW | 65% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 500kW | 60% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 700kW | 55% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| セ メ ン ト サ イ ロ | 30ton | 200V- 15.0 | 1 | 15.00 | 1.25 | 18.75 | | | | | | | | | | | | | |
| 骨 材 ホ ッ パ ー | | 200V- 3.2 | 1 | 3.20 | 1.25 | 4.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 濁 水 処 理 装 置 | 30m ³ 級 | 200V- 24.0 | 1 | 24.00 | 1.25 | 30.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 送 風 機 | 3,000m ³ /min | 400V- 160.0 | 2 | 320.00 | 1.25 | 400.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 給 水 設 備 | | 200V- 5.5 | 1式 | 5.50 | 1.25 | 6.88 | | | | | | | | | | | | | |
| 坑 外 照 明 関 係 | | 200V- 7.0 | 1式 | 7.00 | 1.00 | 7.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 坑 外 そ の 他 | | 200V- 16.0 | 1式 | 16.00 | 1.25 | 20.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 坑 外 設 備 の 小 計 ① | | | | 415.70 | | 517.88 | | | | | | | | | | | | | |
| 油 圧 ド リ ル ジ ャ ン ボ | 37°-4・2ハット170kg超級 | 400V- 55.0 | 3 | 165.00 | 1.25 | 206.25 | | | | | | | | | | | | | |
| 吹 付 機 械 | 湿式 CP一体型8~22m ³ | 400V- 170.0 | 1 | 170.00 | 1.25 | 212.50 | | | | | | | | | | | | | |
| モ ル タ ル 注 入 機 | 吐出力 950ℓ/hr | 200V- 6.0 | 1 | 6.00 | 1.25 | 7.50 | | | | | | | | | | | | | |
| 集 塵 機 | 3,000m ³ /min | 400V-150.0 | 1 | 150.0 | 1.25 | 187.50 | | | | | | | | | | | | | |
| 送 風 機 | | 400V- - | - | - | 1.25 | - | | | | | | | | | | | | | |
| セ メ ン ト 他 設 備 | | 200V- 29.3 | 1式 | 29.30 | 1.25 | 36.63 | | | | | | | | | | | | | |
| 排 水 ポ ン プ ・ 坑 外 そ の 他 | | 200V- 6.3 | 1式 | 6.3 | 1.25 | 7.88 | | | | | | | | | | | | | |
| 切 羽 ・ 坑 内 照 明 設 置 | | 200V- 11.0 | 1式 | 11.00 | 1.00 | 11.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 坑 内 設 備 の 小 計 ② | | | | 537.60 | | 669.26 | | | | | | | | | | | | | |
| 合 計 ① + ② | | | | 953.30 | | 1,187.14 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低 圧 400V | | | | 805.00 | | 1,006.25 | | | | | | | | | | | | | |
| 低 圧 200V | | | | 148.30 | | 180.89 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低 圧 200V (坑 外) | | | | 95.70 | | 117.88 | | | | | | | | | | | | | |
| 低 圧 200V (坑 内) | | | | 52.60 | | 63.01 | | | | | | | | | | | | | |

注1) 送風機はトンネル延長に応じて計上のこと。

注2) ポンプ類の容量はトンネル延長に応じて計上のこと。

注3) 送風機、集塵機の規格は、「9.7 工事中換気の設計」における設計計算例（希釈封じ込め方式（送気・集じん式））を参照のこと。

3) 契約電力の算定

契約電力は電力会社の供給規定に基づき、契約負荷設備及び契約受電設備によって得た値の小さい方で決定する。

a) 契約負荷設備に対する契約電力

| | |
|--------------|------|
| 最大の入力のものから | |
| 最初の2台の入力につき | 100% |
| 次の2台の入力につき | 95% |
| 上記以外のもの入力につき | 90% |

| | |
|----------------|------|
| 最初の6kWにつき | 100% |
| 次の14kWにつき | 90% |
| 次の30kWにつき | 80% |
| 次の100kWにつき | 70% |
| 次の150kWにつき | 60% |
| 次の200kWにつき | 50% |
| 500kWを超える部分につき | 30% |

$$\begin{aligned}
 & (212.50 + 200.00) \times 1.00 \\
 & + (200.00 + 187.50) \times 0.95 \\
 & + (1,187.14 - 800.00) \times 0.90 \\
 & \approx 1,129.1 \text{ kW} \\
 & \quad 6\text{kW} \times 1.0 = 6.0 \text{ kW} \\
 & \quad 14\text{kW} \times 0.9 = 12.6 \text{ kW} \\
 & \quad 30\text{kW} \times 0.8 = 24.0 \text{ kW} \\
 & \quad 100\text{kW} \times 0.7 = 70.0 \text{ kW} \\
 & \quad 150\text{kW} \times 0.6 = 90.0 \text{ kW} \\
 & \quad 200\text{kW} \times 0.5 = 100.0 \text{ kW} \\
 & (1,129.1 - 500) \text{ kW} \times 0.3 = 188.7 \text{ kW} \\
 & \quad \Sigma = 491.3 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

b) 契約受電設備に対する契約電力

| | |
|----------------|-----|
| 最初の50kWにつき | 80% |
| 次の50kWにつき | 70% |
| 次の200kWにつき | 60% |
| 次の300kWにつき | 50% |
| 600kWを超える部分につき | 40% |

変圧器容量

合計値「625kW」に対して圧縮計算を行う。

$$\begin{aligned}
 & 50\text{kW} \times 0.8 = 40 \text{ kW} \\
 & 50\text{kW} \times 0.7 = 35 \text{ kW} \\
 & 200\text{kW} \times 0.6 = 120 \text{ kW} \\
 & 300\text{kW} \times 0.5 = 150 \text{ kW} \\
 & (625 - 600) \text{ kW} \times 0.4 = 10 \text{ kW} \\
 & \quad \Sigma = 355 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

∴ 契約電力 355 kW

(4) 仮設電力設備の配線及び積算例

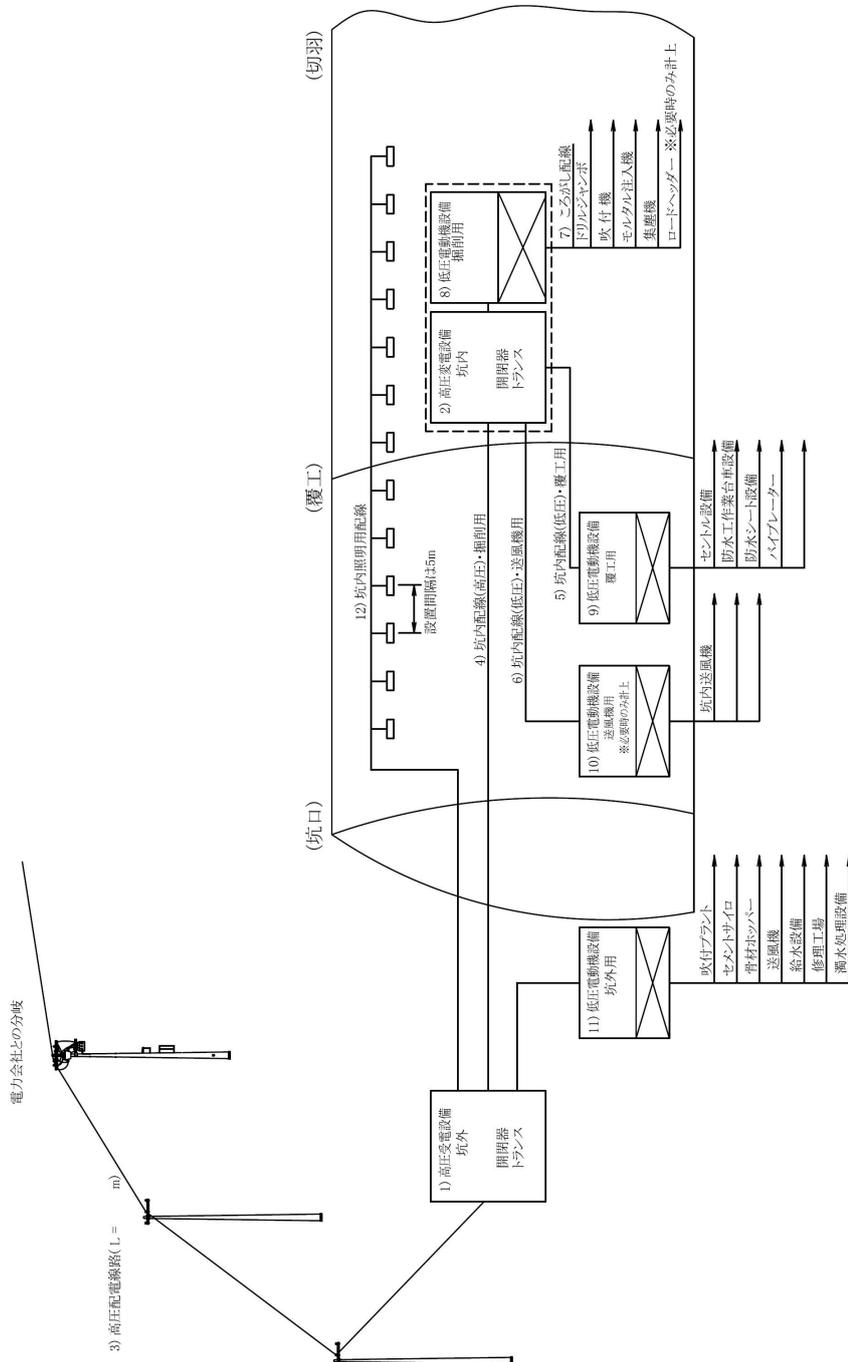
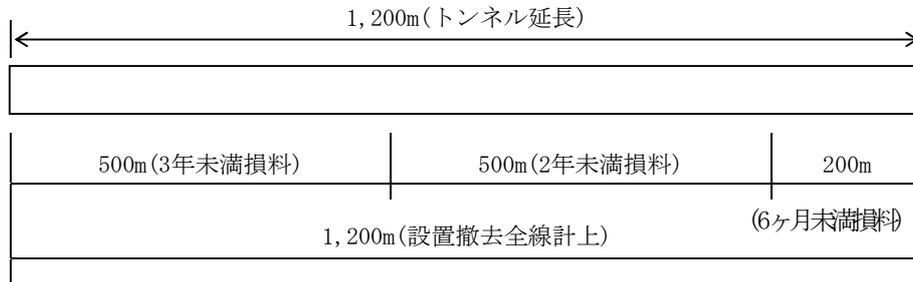


図9.6.3 仮設電力設備の配線例

- 1) 高圧受電設備……… 契約電力の大きさは、500kWを境界として2つに区分される。1つは50kW以上500kW未満、もう一方は500kW以上2,000kW未満の契約であるため、算定される電力量に応じて契約内容を決定する。
(坑外)
- 2) 高圧変電設備……… トンネル内を低圧配線で施工すると電圧降下によりかなり太いケーブルが必要になる。よって、掘削付近(切羽より30m手前とする。)に高圧変電設備を設置することとする。尚、変電設備の移動が伴うが設計では設置撤去1回のみ計上する。
(坑内)
注)トンネル延長が短いため、実際に高圧ケーブルを坑内に設置しない場合は別途積算すること。
- 3) 高圧配線線路……… トンネル工事の場合、契約電力が高圧電力にて行うため坑外の配線線路は高圧にて計上。(低圧配線線路は積算上必要ない。)
- 4) 坑内配線……… 坑内配線は高圧配線とし、掘削付近(切羽より30m手前とする。)まで設置することとする。尚、ケーブルサイズは使用機械とケーブル延長により決定する。(負荷電流とケーブル延長との関係を図9.6.4に示す。)
- 5) 坑内配線……… 覆工用の配線として、低圧配線を150m計上する。尚、ケーブルサイズは38mm²とする。尚、現場条件によりケーブル延長が異なる場合は表9.6.4により選定するものとする。
(低圧)覆工用
- 6) 坑内配線……… 坑内に送風機を設置する場合のみ必要延長を計上する。尚、ケーブルサイズは表9.6.4による。
(低圧)送風機用
- 7) ころがし配線……… 掘削用機械についてのみ計上するものとする。尚、延長については各30mとしケーブルサイズは表9.6.4及び表9.6.5により求めるものとする。
- 8) 低圧電動機設備……… 発破掘削については、ドリルジャンボ・吹付機・モルタル注入機・集塵機の4台とし、機械掘削及び土砂掘削についてはロードヘッダーを加えた5台とすることから、仮設ボックス回路数5回路を採用することとする。
(掘削用)
- 9) 低圧電動機設備……… 覆工用機械としてセントル設備・防水作業台車設備・防水シート設備・バイブレーター(1台として考える)の4台とし、仮設ボックス回路数5回路を採用することとする。
(覆工用)
- 10) 低圧電動機設備……… 坑内の送風機用として1箇所当たり仮設ボックス回路数3回路を採用する。
(送風機用)
- 11) 低圧電動機設備……… 坑外用として吹付プラント・セメントサイロ・骨材ホッパー・送風機・給水設備・修理工場の6台(濁水処理設備使用の場合7台)とし、仮設ボックス回路数7回路を採用する。
(坑外用)
- 12) 坑内照明用配線……… トンネル延長によりケーブルサイズを決定。尚、受電設備～坑口までの配線については受電設備を坑口付近に設置出来ると考え計上しないこととする。
(坑内配線線路については、受電設備～坑口までの配線を計上するように明記されていないため考え方を統一する。)

＜ 注意事項 ＞

- ① 坑内配線延長(高圧等)及び坑内照明用配線の設置撤去費については全線計上することとするが、材料費については工程表より適切に判断し積算することとする。
 なお、それ以外のケーブルについては、全数量設置撤去及び材料費を計上する。
 (例) 年間500m掘削するものと仮定する。



※ 材料費と施工費を分けて積算する。

- ② 発注者側で坑外の高圧配電線路等を施工する場合は、その部分について計上しないよう注意願いたい。
 ③ 前頁1)～13)の他、電力基本料金を役務費にて計上すること。又、坑内照明及び切羽照明の使用電力量についても別途計上すること。
 (土木工事標準積算基準書参照)

(5) ケーブルサイズの選定

- 1) 高圧配線線路について(高圧受電設備までの引込線)
 ・6kV 0E22mm²を使用した場合の最大負荷容量

$$\text{許容電流}120(\text{A}) = \frac{W(\text{kW}) \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600(\text{V})}$$

$$W(\text{kW}) = 1,371.8(\text{kW})$$

- ・6kV 0E38mm²を使用した場合の最大負荷容量

$$\text{許容電流}165(\text{A}) = \frac{W(\text{kW}) \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600(\text{V})}$$

$$W(\text{kW}) = 1,886.2(\text{kW})$$

表9.6.2 高圧(6kV)0Eケーブルの許容電流(空中)

単位：A(内線規程)

| 公称断面積(mm ²) | 許容電流 |
|-------------------------|------|
| 22 | 120 |
| 38 | 165 |

よって、負荷容量が1,371.8 kWまでは6kV 0E22mm²を採用し、それ以上については6kV 0E38mm²を使用すること。尚、土木工事標準積算書(仮設電力内高圧配線線路)は6kV 0E22mm²にて構成されているため、6kV 0E38mm²を使用する場合はケーブルサイズのみ変更して使用すること。

負荷容量は、受電設備計画(P4-9-11)の電力量合計(kW)による。

2) 坑内配線(高圧)について

トンネル延長が長くなると400V・200Vの低圧配線にて行くと、電圧降下が大きくなるためケーブルサイズが大きくなり経済性及び施工性が低下する。よって、6kVの高圧配線を坑内へ送電し坑内に設置した変圧器で400V・200Vに電圧を変成し供給することとする。尚、高圧ケーブルは6kV CVケーブルを標準とし、ケーブルサイズは図9.6.4にて選定することとする。

注) 許容電圧降下は日本電気協会(内線規定 JEAC8001-1990)を採用した。

計算式

$$\text{負荷電流 } I = \frac{\text{出力負荷容量 (kW)} \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6600 \text{ (V)}}$$

$$\text{電線径 } A = \frac{30.8 \times \text{延長} \times \text{負荷電流 } I}{1,000 \times e}$$

e : 電圧降下(V)…高圧6KVの場合
6,600×7%=462となる。

表9.6.3 許容電圧降下

| | 亘 長 | 電 圧 降 下 | |
|---------------|--------|---------|------|
| | | 幹 線 | 分 岐 |
| 一 般 供 給 の 場 合 | 60m以下 | 2%以下 | 2%以下 |
| | 120m以下 | 4%以下 | |
| | 200m以下 | 5%以下 | |
| | 200m超過 | 6%以下 | |
| 変電設備のある場合 | 60m以下 | 3%以下 | 2%以下 |
| | 120m以下 | 5%以下 | |
| | 200m以下 | 6%以下 | |
| | 200m超過 | 7%以下 | |

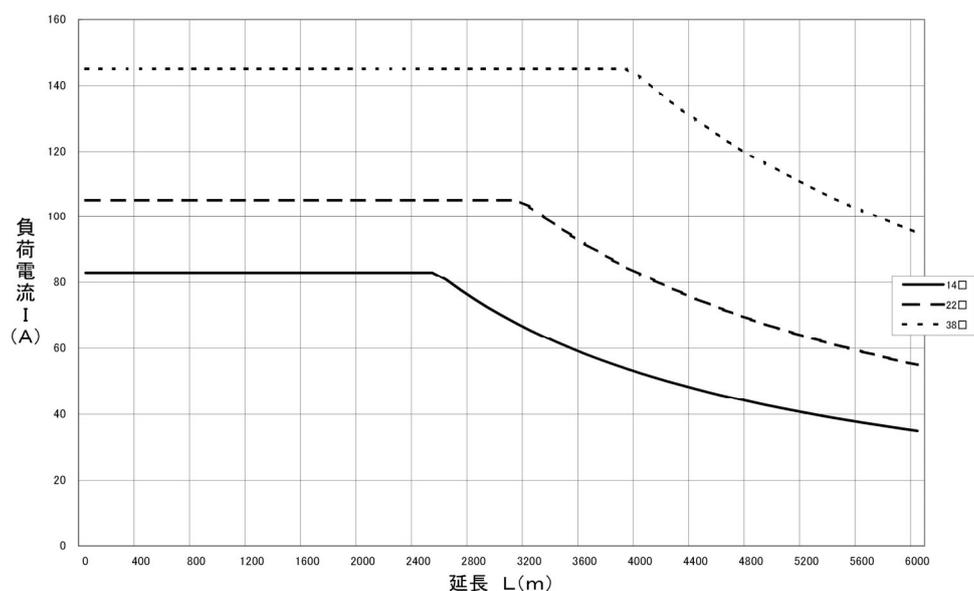


図9.6.4 延長と負荷電流の関係(高圧6KV)

計算式

$$\text{負荷電流 } I = \frac{\text{出力負荷容量 (kW)} \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200 \text{ 又は } 400 \text{ (V)}}$$

$$\text{電線径 } A = \frac{30.8 \times \text{延長} \times \text{負荷電流 } I}{1,000 \times e}$$

e : 電圧降下(V)…表9.6.3による

表9.6.4 坑内配線(低圧)200Vの負荷容量と延長と距離の関係(ころがし配線も適用)

単位 : mm²

| 負荷／距離 | 50m | 100m | 150m | 200m | 250m | 300m | 350m | 400m | 450m | 500m |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5kW以下 | 5.5 | 5.5 | 8 | 8 | 14 | 14 | 14 | 22 | 22 | 22 |
| 10kW以下 | 5.5 | 8 | 14 | 22 | 22 | 22 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 20kW以下 | 8 | 22 | 22 | 38 | 38 | 60 | 60 | 60 | 100 | 100 |
| 30kW以下 | 14 | 22 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | — |
| 40kW以下 | 22 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — |
| 50kW以下 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — | — |
| 60kW以下 | 22 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — | — | — |
| 70kW以下 | 38 | 60 | 100 | — | — | — | — | — | — | — |
| 80kW以下 | 38 | 60 | 100 | — | — | — | — | — | — | — |
| 90kW以下 | 38 | 100 | 100 | — | — | — | — | — | — | — |
| 100kW以下 | 38 | 100 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 110kW以下 | 60 | 100 | — | — | — | — | — | — | — | — |

※本表は3芯ケーブルの場合である。

また、電圧降下値はe=7%として計算している。

これによりがたい場合は、計算式から別途算出するものとする。

表9.6.5 坑内配線(低圧)400Vの負荷容量と延長と距離の関係(ころがし配線も適用)

単位：mm²

| 負荷／距離 | 50m | 100m | 150m | 200m | 250m | 300m | 350m | 400m | 450m | 500m |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5kW以下 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| 10kW以下 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 5.5 | 5.5 | 8 | 8 | 8 | 14 | 14 |
| 20kW以下 | 3.5 | 5.5 | 8 | 8 | 14 | 14 | 14 | 22 | 22 | 22 |
| 30kW以下 | 3.5 | 8 | 14 | 14 | 14 | 22 | 22 | 38 | 38 | 38 |
| 40kW以下 | 5.5 | 8 | 14 | 22 | 22 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 50kW以下 | 5.5 | 14 | 14 | 22 | 38 | 38 | 38 | 38 | 60 | 60 |
| 60kW以下 | 8 | 14 | 22 | 38 | 38 | 38 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 70kW以下 | 8 | 14 | 22 | 38 | 38 | 60 | 60 | 60 | 60 | 100 |
| 80kW以下 | 8 | 22 | 38 | 38 | 38 | 60 | 60 | 60 | 100 | 100 |
| 90kW以下 | 14 | 22 | 38 | 38 | 60 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 |
| 100kW以下 | 14 | 22 | 38 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 110kW以下 | 14 | 22 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 120kW以下 | 14 | 38 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | — |
| 130kW以下 | 14 | 38 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | — | — |
| 140kW以下 | 14 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | — | — | — |
| 150kW以下 | 14 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | 100 | — | — | — |
| 160kW以下 | 22 | 38 | 60 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — |
| 170kW以下 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | 100 | — | — | — | — |
| 180kW以下 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | 100 | — | — | — | — |
| 190kW以下 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — | — |
| 200kW以下 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | — | — | — | — | — |
| 310kW以下 | 38 | 60 | 100 | — | — | — | — | — | — | — |

※本表は3芯ケーブルの場合である。

また、電圧降下値はe=7%として計算している。

これによりがたい場合は、計算式から別途算出するものとする。

表9.6.6 坑内配線(低圧)400V機器別の負荷容量と延長と距離の関係(ころがし配線も適用)

単位：mm²

| 機 種 | 負荷／距離 | 30m | 50m | 100m | 150m | 200m | 250m | 300m |
|---------------|------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| ドリルジャンボ(3ブーム) | 55×3=165kW | 14 | 22 | 38 | 60 | 100 | 100 | 100 |
| ドリルジャンボ(2ブーム) | 55×2=110kW | 8 | 14 | 22 | 38 | 60 | 60 | 100 |
| 軟岩用トンネル掘削機 | 310kW | 22 | 38 | 60 | 100 | — | — | — |

9.7 工事用換気の設計

参考文献：「ずい道等建設工事における換気技術指針」、R3年4月、建設業労働災害防止協会

発破掘削方式

1. 設計条件

- (1) 換気設備の計画
 工事中には、掘削作業やコンクリート吹付け作業に伴って発生する粉じん、及び発破の後ガス、ディーゼル機関の排出ガスなどの有害ガスを希釈、除去して、快適な作業環境を保持するために換気設備を設置することを標準とする。
- (2) 送風機
 換気に使用する送風機は、反転軸流式ファンを標準とする。
- (3) 換気方式
 換気方式は、希釈封じ込め方式および吸引捕集方式を標準とする。
- (4) 所要換気量
 所要換気量は、トンネル内作業員の呼気、発破の後ガス、発破の粉じん、ディーゼル機関から排出される有害ガス、吹付け作業で発生する粉じん等を考慮して適切に定めるものとする。
- (5) 掘削断面積
 対象トンネルにおける当初設計時の最長支保パターンの掘削断面積（余堀含まず）とする。
 補助ベンチ付全断面工法の場合は上下半掘削断面積、上半先進ベンチカット工法（上下半交互併進工法）の場合は上半掘削断面積を対象とする。
- (6) 風管
 風管は、不燃性ビニル風管を標準とする。

2. 設計計算例

本節では、以下に示す諸条件に基づいた算定例を示す。

(1) トンネル諸元及び諸条件

- 1) トンネル諸元

| | |
|---------------|---|
| ・トンネル延長 | 830 m（発破掘削方式） |
| ・掘削断面積 | 80.5 m ² （最長支保パターンの掘削断面積（余堀含まず）） |
| ・トンネル周長 | 21.7 m |
| ・掘削工法 | 補助ベンチ付全断面工法 |
| ・1サイクル当たりの進行長 | 1.5 m |
| ・岩質 | 硬岩 |
- 2) 入坑人員

| | |
|--------|-----|
| ・掘削 | 8人 |
| ・覆工 | 6人 |
| ・切羽監視員 | 1人 |
| 合計 | 15人 |
- 3) 使用薬量
 使用火薬 含水爆薬
- 4) 使用ディーゼル機関排気ガス

| | |
|--|----|
| ・穿孔 ドリルジャンボ（ホイール式3ブーム・2バスケット170kg超級） | 1台 |
| ・ずり出し（覆工コンクリートと併行作業） | |
| ホイールローダ（サイドダンプ式山積2.3 m ³ ） | 1台 |
| ダンプトラック（トンネル工事用オンロード型 10t積） | 4台 |
| ・吹付けコンクリート（覆工コンクリートと併行作業） | |
| コンクリート吹付け機（湿式吹付・R一体・C搭載・エレクトラ型、吐出量6～22 m ³ 級） | 1台 |
| トラックミキサー（黒煙浄化装置付4.4m ³ 級） | 1台 |
| ・ロックボルト等（覆工コンクリートと併行作業） | |
| ドリルジャンボ（ホイール式3ブーム・2バスケット170kg超級） | 1台 |
| クレーン付トラック（ベーストラック4t積、2.9t吊り） | 1台 |
| ・鋼製支保工（覆工コンクリートと併行作業） | |
| コンクリート吹付け機（湿式吹付・R一体・C搭載・エレクトラ型、吐出量6～22 m ³ 級） | 1台 |
| ・覆工 | |
| コンクリートポンプ車（配管式圧送能力55m ³ /h） | 1台 |
| トラックミキサー（黒煙浄化装置付4.4m ³ 級） | 2台 |

(2) 希釈封じ込め方式の設計計算例

1) 所要換気量の算定

① 作業員の呼吸に対する所要換気量 (Q_p)

$$Q_p = q \times \eta = 3.0 \text{ m}^3/\text{min人} \times 15 \text{ 人} = 45 \text{ m}^3/\text{min}$$

q : 作業員1人当たりの必要換気量 3.0 m³/min人
 η : 坑内作業員数 (Σ η=15人 掘削・支保工8人 覆工6人 切羽監視員1人)

② 発破による有害物質に対する所要換気量 (Q₂)

トンネル内で発破を使用する場合の所要換気量の算定は、希釈封じ込め方式による換気の場合には、後ガスから求める所要換気量Q_{2a}と粉じんから求まる所要換気量Q_{2b}を比較し、そのうち大きい方を採用する。

$$Q_2 = \max (Q_{2a}, Q_{2b})$$

Q_2 : 所要換気量 (m³/min)
 Q_{2a} : 後ガスに対する所要換気量 (m³/min)
 Q_{2b} : 発破の粉じんに対する所要換気量 (m³/min)

(a) 発破の後ガスに対する所要換気量 (Q_{2a})

トンネル内で発破掘削が行われる場合、換気計算の算定基礎とする有害ガスの種類とその爆薬1kg当たりの有害ガス発生量は、表9.7.1のとおりとする。

表9.7.1 有毒ガス発生量

| 爆薬の種類 | 有害ガス発生量 | |
|-----------|------------------------------------|--|
| | 一酸化炭素 (CO) (m ³ /kg) | 窒素炭化物 (NO _x) (m ³ /kg) |
| 2号榎ダイナマイト | 8×10 ⁻³ | 1.5×10 ⁻³ |
| 含水爆薬 | 5×10 ⁻³ | 1.5×10 ⁻³ |
| その他ダイナマイト | 11×10 ⁻³ | 2.5×10 ⁻³ |
| AN-FO | 30×10 ⁻³ | 20×10 ⁻³ |

注) 爆薬が1種類で、許容濃度をCO : 50ppm、NO_x : 25ppmとすると、網掛け部が換気対象の有害ガスとなる。

換気対象有害ガスは一酸化炭素 (CO) とし、所要換気時間20分で50ppm以下にする条件とする。また、送気換気式の場合の所要換気量は、下式の2~3倍 (標準として2倍とする) とする。

$$Q_{2a} = \frac{K \cdot V}{\alpha \cdot t}$$

V : 1発破による換気対象有害ガスの発生量 (m³)
 α : 換気対象有害ガスの管理目標濃度 50 ppm (=50×10⁻⁶)
 t : 所要換気時間 20 min (15~20min)
 K : 換気係数 0.4

$$V = A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X$$

A_T : トンネル掘削断面積 80.5 m²
 ΔL : 1発破当たり掘削長 1.5 m
 β : 地山1m³当たり火薬使用量 0.8 kg/m³
 X : 火薬1kgより発生する有害物質 (CO) 発生量 5×10⁻³ m³/kg

$$\begin{aligned}
 Q_{2a} &= K \cdot A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X / (\alpha \cdot t) \\
 &= 0.4 \times 80.5 \times 1.5 \times 0.8 \times 5 \times 10^{-3} / (50 \times 10^{-6} \times 20) \times 2 \\
 &= 386 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (送気・集じん式)} \\
 & (= 193 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (排気・集じん式)})
 \end{aligned}$$

(b) 発破による粉じんに対する所要換気量 (Q_{2b})

$$Q_{2b} = \frac{K \cdot S}{(E_a - E_0) \cdot t} \times \beta'$$

| | | |
|----------------|---|--|
| S | : 1発破による換気対象有害物質の発生量 (mg) | |
| E _a | : 粉じんの管理目標濃度 | 3 mg/m ³ |
| E ₀ | : 拡散希釈に用いる空気濃度 | 送気式 (外気) 0.07mg/m ³ 排気式 (坑内) 0.3 mg/m ³ |
| t | : 所要換気時間 | 20 min (15~20min) |
| K | : 換気係数 | 0.4 |
| β' | : 1サイクル平均の粉じん目標レベル2.0mg/m ³ を達成するための所要風量換算係数 | 1.2 |

$$S = A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X'$$

| | | |
|----------------|------------------------------|-----------------------|
| A _T | : トンネル掘削断面積 | 80.5 m ² |
| ΔL | : 1発破当たり掘削長 | 1.5 m |
| β | : 地山1m ³ 当たり火薬使用量 | 0.8 kg/m ³ |
| X' | : 火薬1kgより発生する粉じん発生量 | 2,000 mg/kg |

送気式で拡散希釈するため、所要換気量Q_{2b}は、

$$\begin{aligned} Q_{2b} &= K \cdot A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X' / ((E_a - E_0) \cdot t) \times \beta' \\ &= 0.4 \times 80.5 \times 1.5 \times 0.8 \times 2,000 / ((3 - 0.07) \times 20) \times 1.2 \\ &= 1,583 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

従って、Q_{2b}は粉じんに対する所要換気量より Q_{2b}=1,583 m³/min を採用する。

③ ディーゼル機関の排気ガスに対する所要換気量 (Q3)

トンネル工事で使用するディーゼル機関から排出される有害ガスに対する所要換気量Q3は、次式で算出するものとする。なお、算出に当たっての実出力当たりの換気量及び負荷率は、表9.7.2の数値を使用するものとする。

表9.7.2 実出力当たりの換気量、負荷率

| 実出力当たりの換気量q (m³/min・kW) | | | | | | 負荷率 |
|-------------------------|---|-------------------|--------------------|---------------|--------|------|
| ディーゼル機関 搭載機械の種別 | 排出ガス規制 出力区分： P (kW) | | | | | |
| | ①排出ガス対策型建設機械 ②道路運送車両法 (ディーゼル特殊自動車) 排出ガス規制適合車 ③オフロード法排出ガス規制適合車 | | | | | |
| | ①第1次基準 | ①第2次基準 ②H15年規制 | ①第3次基準 ②③H18年規制 | ②③H23年規制 | | |
| 30 ≤ P < 272 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 130 | 130 ≤ P < 560 | | |
| ショベル系 | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.5 |
| ダンプ系(坑内用) | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.25 |
| ディーゼル機関 搭載機械の種別 | 排出ガス規制 道路運送車両法 (ディーゼル重量車) 排出ガス規制適合車 | | | | | 負荷率 |
| | H9年規制 | H15年規制 | H17年規制 | H21年規制 | H26年規制 | |
| | 2.5t < GVW | | 3.5t < GVW | | | |
| ダンプ系(普通) | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |
| その他機械 | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |

$$Q_3 = (H_s \cdot q_s \cdot \alpha_s) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

Q_3 : 所要換気量 (m³/min)
 H_s : ショベル系の使用機械の総出力 (kW)
 H_D : ダンプ系の使用機械の総出力 (kW)
 H_E : その他機械の使用機械の総出力 (kW)
 q_s : ショベル系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_D : ダンプ系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_E : その他機械の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 α_s : ショベル系の負荷率
 α_D : ダンプ系の負荷率
 α_E : その他機械の負荷率

トンネル工事用排出ガス対策型建設機械

ショベル系 $\alpha_s=0.5$ (バックホウ、トラクタショベル等)

ダンプ系 $\alpha_D=0.25$ (坑内用ダンプトラック)

道路運送車両法排出ガス規制適合車

ダンプ系 $\alpha_D=0.2$ (普通ダンプトラック)

その他機械 $\alpha_E=0.2$ (トラックミキサ、コンクリートポンプ車、資材用トラック等)

機械の組合せで所要換気量を求めると実状の作業環境と合わない不経済な設備となる場合があるので注意が必要であり、ここでは次のように考える。

ダンプトラック台数については、全体n台のうち1台は常に坑外で作業を行っているものと考え、坑内で稼働する台数は(n-1)台とする。また、バックホウは切羽で補助的に動くだけである。このように考えた場合、所要換気量は表9.7.3のとおり求めることができる。

なお、設計計算例における排出ガス対策型建設機械は土木工事標準積算基準書に示された「排出ガス規制適合車」、ディーゼル特殊自動車は「H9年規制適合車」を採用する。

表9.7.3 所要換気量Q₃の算定

| 工程 | 機種 | 仕様 | ① 出力 (kW) | ② 負荷率 α | ③ 実出力 当り換気量 (m ³ /min・ kW) | ④ 所要換気量 =①×②×③ (m ³ /min) | 作業ごとの稼働台数(台) | | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------|-----------------|---------------|---|---|--------------|----------|-----|--------|-----|
| | | | | | | | 穿孔 | ずり 出し | 吹付け | ロックホルト | 支保工 |
| 穿孔 | ト ^レ リルジ ^ン ホ ^ン | 37 [°] -A170kw超級 | 119 | 0.5 | 1.9 | 113 | 1 | | | | |
| ずり処理 | ホイールロータ ^ー | 山積2.3m ³ | 140 | 0.5 | 3.2 | 224 | | 1 | | | |
| | タ ^ン フ ^ト ラック | 10tタ ^ン フ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 3 | | | |
| 吹付コンクリート | 吹付機(一体型) | 6~22m ³ | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | 1 | | |
| | トラックミキサー | 4.4m ³ | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | | | 1 | | |
| ロックホルト | ト ^レ リルジ ^ン ホ ^ン | 37 [°] -A170kw超級 | 119 | 0.5 | 1.9 | 113 | | | | 1 | |
| | クレーン付トラック | 4t車2.9t吊 | 132 | 0.2 | 2.4 | 63 | | | | 1 | 1 |
| 鋼製支保工 | 吹付機(一体型) | 6~22m ³ | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | | | 1 |
| 覆工コンクリート | コンクリートホ ^ン フ ^ト 車 | 55m ³ /h | 121 | 0.2 | 2.4 | 58 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | トラックミキサー | 4.4m ³ | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 所要換気量の合計 (m ³ /min) | | | | | | | 375 | 840 | 541 | 438 | 502 |

以上より必要換気量は、Q₃=840 m³/minが最も大きい値となるので、ディーゼル機関を使用する場合の所要換気量はずり出し時の値を使用する。

④ 吹付け作業時の粉じんに対する所要換気量 (Q₄)

希釈封じ込め方式では、吹付け粉じんの発生量を推計し、希釈風量によって粉じん濃度を目標レベルに低減する。

$$F_0 = 360 \cdot P_0 \cdot \alpha \quad \text{又は} \quad F_0 = 600 \cdot P_r \cdot \alpha$$

ただし、適用条件 : 掘削断面積40~100m²の範囲
吹付け機定格吐出量15~30m³/hの範囲

- F₀ : 吹付けコンクリート作業時の粉じん発生量 (mg/min)
- 360 : 定数 (定格吐出量の場合)
- 600 : 定数 (実吐出量の場合)
- P₀ : 吹付け機定格吐出量 (m³/h) 22m³/h
(2台以上が同時に稼働する場合は、それぞれの定格吐出量を加算する)
- P_r : 吹付け機実吐出量 (m³/h) (P₀×60%) 13.2m³/h
(2台以上が同時に稼働する場合は、それぞれの実吐出量を加算する)
- α : 粉じん発生量低減対策による低減効果係数 (表9.7.4 参照)
設計計算例では、吹付コンクリート練混ぜ方式を「分割練混ぜ方式」と想定し、低減効果係数はα=0.75とする。

$$\begin{aligned} \text{定格吐出量} \quad F_0 &= 360 \times 22 \times 0.75 = 5,940 \text{ mg/min} \\ \text{実吐出量} \quad F_0 &= 600 \times 13.2 \times 0.75 = 5,940 \text{ mg/min} \end{aligned}$$

$$\text{送気式} \quad Q_4 = \frac{F_0}{G_a - G_0} \times \beta = \frac{5,940}{3-0.07} \times 1.2 = 2,433 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{排気式} \quad Q_4 = \frac{F_0}{G_a - G_0} \times \beta = \frac{5,940}{3-0.3} \times 1.2 = 2,640 \text{ m}^3/\text{min}$$

2) 送風機の選定

① 選定のための諸条件

- 所要換気量 : $Q_a = 2,478 \text{ m}^3/\text{min}$
- 換気方式 : 希釈封じ込め式 (送気・集じん式)
- 風管の種類 : 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 (定尺長さ10m)
- 風管の直径 : $D_d = 2.0 \text{ m}$
- 風管の延長 : $L_d = 820 \text{ m}$ (掘削延長830m-控え40m+坑外30m)

② 圧力損失と漏風計算

(a) 風管径 (Dd) および風速 (V)

管内風速 (V) は、換気設備の経済性を左右する重要な要素であり、特に動力費に大きく関係してくることに注意する必要がある。Vを大きくとれば、風管断面積を小さくとることができるが、圧力損失つまり動力費は V^2 に比例して大きくなり、換気ファン容量も増大するため、Vにはおのずから限界がある。

望ましい管内風速としては、送気の場合は $V=10\sim 15\text{m/s}$ が良いが、排気の場合は粉じんの風管内での沈着を防ぐためにこれより大きい $V=15\sim 20\text{m/s}$ 以上ととるべきと考えられる。

風管は軟管とし、この時の風速は次式で求められる。

$$V = \frac{Q_a}{15 \cdot \pi \cdot D_d^2} = \frac{2,478}{15 \cdot \pi \cdot 2.0^2} = 13.15 \text{ m/s}$$

- V : 風管内の風速 (m/s)
- Q_a : 所要換気量 2,478 m^3/min
- D_d : 風管の直径 2.0 m

(b) 風管の直管部の圧力損失 (hd)

$$\begin{aligned} h_d &= \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot V^2 \cdot 10^{-3} \\ &= 0.020 \times (1.2/2) \times (820/2.0) \times 13.15^2 \times 10^{-3} \\ &= 0.85 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- h_d : 直線部の圧力損失 (kPa)
- λ : 風管の圧力損失係数 0.020 (軟管(リングなし)) (表9.7.6より)
- ρ : 空気の密度 1.2 kg/m^3
- L_d : 風管長 820 m
- D_d : 風管の直径 2.0 m
- V : 風管内の風速 13.15 m/s

表9.7.6 風管の圧力損失係数 (λ)

| 風管の種類 | 風管径 (単位: mm) | | | | |
|------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|---------|
| | 500未満 | 500以上 750未満 | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 | 0.050 | 0.035 | 0.030 | 0.025 | 0.020 |
| 軟管 (リング付) | 0.050 | 0.040 | 0.035 | 0.030 | 0.030 |
| 軟管 (リングなし) | 0.040 | 0.030 | 0.025 | 0.025 | 0.020 |

注) 硬管: スパイラル風管 (薄肉管)、アルミニウム加工風管、FRV管
 軟管 (リング付): 樹脂加工布風管 (リング式)、樹脂加工布風管 (スパイラル式)
 軟管 (リングなし): 樹脂加工布風管 (ファスナー式)

(c) 風管の変形等の圧力損失 (Σh_b)

$$\Sigma h_b = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

h_b : 変形等の圧力損失 (kPa)
 ρ : 空気の密度 1.2 kg/m³
 V : 風管内の風速 (m/s) 13.15 m/s
 ζ : 風管の変形等の圧力損失係数

| | |
|---------|------------------|
| 風管の送気口部 | $\lambda = 1.00$ |
| ベント部 | $\lambda = 0.50$ |

$$\Sigma \zeta = 1.00 + 0.50 \times 2 = 2.00 \text{ (風管の送気口1箇所、ベント部2箇所と仮定)}$$

$$\Sigma h_b = 2.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.15^2 \times 10^{-3} = 0.21 \text{ kPa}$$

(d) 風管全体の圧力損失 (h_T)

$$h_T = h_d + \Sigma h_b = 0.85 + 0.21 = 1.06 \text{ kPa}$$

h_T : 風管全体の圧力損失 (kPa)
 h_d : 直管部の圧力損失 0.85 kPa
 Σh_b : 変形等の圧力損失 0.21 kPa

(e) 風管全体の漏風量 (q)

$$\begin{aligned}
 q &= \alpha \cdot h_T \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot D_d \cdot \frac{L_d}{a} \\
 &= 20 \times 1.06 \times 10^{-2} \times \pi \times 2.0 \times \frac{820}{10} \\
 &= 109 \text{ m}^3/\text{min}
 \end{aligned}$$

q : 風管の漏風量 (m³/min)
 α : 風管の種類による漏風係数 (ファスナー式風管 : 20)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.06 kPa
 a : 風管の継ぎ手間隔 (定尺長さ : 10m)
 D_d : 風管の直径 2.0 m
 L_d : 風管長 820 m

③ 換気ファンの所要風量のまとめ

(a) 圧力損失が5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径が ≥ 750 mm以上の場合

$$Q_{f1} = \frac{Q_a}{1-m} = \frac{Q_a}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{2,478}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 2,699 \text{ m}^3/\text{min}$$

(b) 上記条件に該当しない場合

$$Q_{f2} = Q_a + q = 2,478 + 109 = 2,587 \text{ m}^3/\text{min}$$

$Q_{f1,2}$: 換気ファンの送風量 (m³/min)
 Q_a : 所要換気量 2,478 m³/min
 m : 風管全長における漏風率

$$m = \frac{\beta \cdot L_d}{100} \quad (0 < m < 0.5)$$

β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式 (表9.7.7より))
 L_d : 風管長 820 m
 q : 風管の漏風量 109 m³/min

風管100m当りの漏風率 β は、5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径750mm以上の場合は、表9.7.7に示す値を採用する。

表9.7.7 風管の100m当りの漏風率 (β)

| 風管の種類 | | 風管径 (単位 : mm) | 風管径 (単位 : mm) | | |
|------------------------|----------|---------------|------------------|--------------------|---------|
| | | | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 (スパイラル風管) | 定尺長 4m | | 0.018 | 0.013 | 0.008 |
| | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| | 定尺長 100m | | 0.005 | 0.003 | 0.002 |

換気ファンの圧力損失は5.0kPa以下であるため ($h_T=1.06\text{kPa}$)、 Q_{F1} の式で算出した結果を採用する。従って、換気ファンの所要容量は、 $Q_F = 2,699 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

1. 換気ファンの圧力 (h_f)

$$h_f = \frac{h_T}{1-m} = \frac{h_T}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1.06}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1.15 \text{ kPa}$$

h_f : 換気ファンの圧力 (kPa)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.06 kPa
 β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式)
 L_d : 風管長 820 m

注)③において Q_{F2} の式で算出した結果を採用した場合は、次式により換気ファン圧力 h_f を求める。

$$h_f = \frac{Q_{F2}}{Q_a} \times h_T = \frac{2,587}{2,478} \times 1.06 = 1.11 \text{ kPa}$$

Q_{F2} : 換気ファンの送風量 2,587 m^3/min
 Q_a : 所要換気量 2,478 m^3/min
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.06 kPa

2. 換気ファンの理論動力 (N)

$$N = \frac{Q_f \cdot h_f}{60 \cdot \eta_f} \times \alpha = \frac{2,699 \times 1.15}{60 \times 0.80} \times 1.1 = 71.1 \text{ kw} \approx 72 \text{ kw}$$

N : 換気ファンの軸動力 (kW)
 Q_f : 換気ファンの送風量 2,699 m^3/min
 h_f : 換気ファンの圧力 1.15 kPa
 η_f : ファン効率 (=0.80)
 α : 余裕率 (3~10%) 設計計算例では10%とする

3. 上記計算結果より、送風ファン能力は下記値以上の容量とする。

風量 2,699 m^3/min
 風圧 1.15 kPa
 電動機 72 kw

4. 照査

(a) 換気能力照査

選定した換気ファン能力の照査を行う。

風量 (Q_f) 3,000 m^3/min \geq 2,699 m^3/min OK
 風圧 (h_f) 4.9 kPa \geq 1.15 kPa OK
 電動機 (N) 320 kw \geq 72 kw OK

(b) トンネル内風速のチェック

トンネル内の風速は、ディーゼル機関の排出ガス、粉じん、発破の後ガス、自然発生の有害ガスなどを安全な濃度に稀釈するのに必要な換気量によって決まる。作業環境ではこれらの他に、臭気、湿度、温度などの要素もあり、一定の風速が必要である。トンネル内の望ましい風速としては、0.3m/s以上が必要である。

$$V = \frac{Q_f}{60 \cdot A_T} = \frac{2,699}{60 \times 80.5} = 0.56 \text{ m/s} > V = 0.3 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{OK}$$

- V : 坑内の風速 (m/s)
- Q_f : 換気ファン風量 2,699 m³/min
- A_T : 掘削断面積 80.5 m²

3) 集じん機の選定

① 集じん装置容量の算定

集じん機装置の容量は、封じ込めのための所要換気量より1.2倍以上大きく設定し、エアカーテン効果を維持する。

集じん装置容量は次式で求める。なお、計算例ではろ過集じん式を示す。

$$Q_s = K_e \cdot \frac{Q_a}{\eta_D} = 1.2 \times \frac{2,478}{0.95} = 3,130 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Q_s : 集じん装置の容量 (m³/min)
- Q_a : 所要換気量 2,478 m³/min
- K_e : エアカーテンの効果係数 (1.2~1.4) 1.2
- η_D : 集じん効率 (ろ過集じん=0.95)
(電気集じん=0.92)

② 集じん装置選定

集じん機選定に当たっては、上記で算定した所要容量を満足する機器を採択すること。

ろ過式 (フィルタ) 風量 1,800 m³/min 電動機 110 kW 2台

表9.7.8 所要換気量に対応した集じん装置の選定

| | 集じん方式 | 風量(m ³ /min) | 動力(kW) |
|-------|------------|-------------------------|--------|
| 集じん装置 | ろ過式 (フィルタ) | 1,200 | 74 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 1,800 | 110 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 2,400 | 160 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 3,000 | 150 |
| | 電気式 | 2,000 | 42 |
| | 電気式 | 2,400 | 64 |
| | 電気式 | 2,700 | 61 |

③ エアカーテンダクト長

エアカーテンダクトの長さは次式で求める。径については送風機と同径とする。

$$D_e = \frac{4 \cdot A_T}{U_t} = \frac{4 \times 80.5}{21.7} = 14.8 \text{ m}$$

$$L = 5 \times D_e = 5 \times 14.8 = 74 \text{ m}$$

- D_e : トンネル等価直径 (m)
- A_T : トンネル断面積 80.5 m²
- U_t : トンネル断面周長 21.7 m
- L : エアカーテンダクトの風管長 (m)

(3) 吸引捕集方式（送気・吸引捕集式）の設計計算例

1) 所要換気量の算定

1. 作業員の呼吸に対する所要換気量 (Q_p)

$$Q_p = q \times \eta = 3.0 \text{ m}^3/\text{min人} \times 15 \text{ 人} = 45 \text{ m}^3/\text{min}$$

q : 作業員1人当たりの必要換気量 3.0 m³/min人
 η : 坑内作業員数 ($\Sigma \eta=15$ 人 掘削・支保工8人 覆工6人 切羽監視員1人)

2. 発破による有害物質に対する所要換気量 (Q_2)

吸引捕集方式による換気の場合には、粉じんは吸引捕集されるため、所要換気量は後ガスから求める所要換気量 Q_{2a} とする。

$$Q_2 = Q_{2a}$$

Q_2 : 所要換気量 (m³/min)
 Q_{2a} : 後ガスに対する所要換気量 (m³/min)

トンネル内で発破掘削が行われる場合、換気計算の算定基礎とする有害ガスの種類とその爆薬1kg当たりの有害ガス発生量は、表9.7.9のとおりとする。

表9.7.9 有毒ガス発生量

| 爆薬の種類 | 有害ガス発生量 | |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | 一酸化炭素 (CO) (m ³ /kg) | 窒素炭化物 (NOx) (m ³ /kg) |
| 2号榎ダイナマイト | 8×10 ⁻³ | 1.5×10 ⁻³ |
| 含水爆薬 | 5×10 ⁻³ | 1.5×10 ⁻³ |
| その他ダイナマイト | 11×10 ⁻³ | 2.5×10 ⁻³ |
| AN-FO | 30×10 ⁻³ | 20×10 ⁻³ |

注) 爆薬が1種類で、許容濃度をCO : 50ppm、NOx : 25ppmとすると、網掛け部が換気対象の有害ガスとなる。

換気対象有害ガスは一酸化炭素 (CO) とし、所要換気時間20分で50ppm以下にする条件とする。また、送気換気式の場合の所要換気量は、下式の2~3倍 (標準として2倍とする) とする。

$$Q_{2a} = \frac{K \cdot V}{\alpha \cdot t}$$

V : 1発破による換気対象有害ガスの発生量 (m³)
 α : 換気対象有害ガスの管理目標濃度 50 ppm (=50×10⁻⁶)
 t : 所要換気時間 20 min (15~20min)
 K : 換気係数 0.4

$$V = A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X$$

A_T : トンネル掘削断面積 80.5 m²
 ΔL : 1発破当たり掘削長 1.5 m
 β : 地山1m³当たり火薬使用量 0.8 kg/m³
 X : 火薬1kgより発生する有害物質 (CO) 発生量 5×10⁻³ m³/kg

$$\begin{aligned}
 Q_{2a} &= K \cdot A_T \cdot \Delta L \cdot \beta \cdot X / (\alpha \cdot t) \\
 &= 0.4 \times 80.5 \times 1.5 \times 0.8 \times 5 \times 10^{-3} / (50 \times 10^{-6} \times 20) \times 2 \\
 &= 386 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (送気・吸引捕集式)}
 \end{aligned}$$

従って、 Q_2 は粉じんに対する所要換気量より $Q_{2a} = 386 \text{ m}^3/\text{min}$ を採用する。

3. ディーゼル機関の排気ガスに対する所要換気量 (Q₃)

トンネル工事で使用するディーゼル機関から排出される有害ガスに対する所要換気量Q₃は、次式で算出するものとする。なお、算出に当たっての実出力当たりの換気量及び負荷率は、表9.7.10の数値を使用するものとする。

表9.7.10 実出力当たりの換気量、負荷率

| 実出力当たりの換気量q (m ³ /min・kW) | | | | | | 負荷率 |
|--------------------------------------|---|-------------------|--------------------|--------------|---------------|------|
| 排出ガス規制 出力区分： P(kW) | ①排出ガス対策型建設機械 ②道路運送車両法（ディーゼル特殊自動車）排出ガス規制適合車 ③オフロード法排出ガス規制適合車 | | | | | |
| | ①第1次基準 | ①第2次基準 ②H15年規制 | ①第3次基準 ②③H18年規制 | ②③H23年規制 | | 0.5 |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類 | 30 ≤ P < 272 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 130 | 130 ≤ P < 560 | |
| ショベル系 | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.5 |
| ダンプ系(坑内用) | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.25 |
| 排出ガス規制 | 道路運送車両法（ディーゼル重量車） 排出ガス規制適合車 | | | | | 負荷率 |
| | H9年規制 | H15年規制 | H17年規制 | H21年規制 | H26年規制 | |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類 | 2.5t < GVW | | 3.5t < GVW | | | |
| ダンプ系(普通) | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |
| その他機械 | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |

$$Q_3 = (H_s \cdot q_s \cdot \alpha_s) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

Q₃ : 所要換気量 (m³/min)
 H_s : ショベル系の使用機械の総出力 (kW)
 H_D : ダンプ系の使用機械の総出力 (kW)
 H_E : その他機械の使用機械の総出力 (kW)
 q_s : ショベル系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_D : ダンプ系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_E : その他機械の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 α_s : ショベル系の負荷率
 α_D : ダンプ系の負荷率
 α_E : その他機械の負荷率

トンネル工事用排出ガス対策型建設機械

ショベル系 α_s=0.5 (バックホウ、トラクタショベル等)

ダンプ系 α_D=0.25 (坑内用ダンプトラック)

道路運送車両法排出ガス規制適合車

ダンプ系 α_D=0.2 (普通ダンプトラック)

その他機械 α_E=0.2 (トラックミキサ、コンクリートポンプ車、資材用トラック等)

機械の組合せで所要換気量を求めると実状の作業環境と合わない不経済な設備となる場合があるので注意が必要であり、ここでは次のように考える。

ダンプトラック台数については、全体n台のうち1台は常に坑外で作業を行っているものと考え、坑内で稼働する台数は(n-1)台とする。また、バックホウは切羽で補助的に動くだけである。このように考えた場合、所要換気量は表9.7.11のとおり求めることができる。

なお、設計計算例における排出ガス対策型建設機械は土木工事標準積算基準書に示された「排出ガス規制適合車」、ディーゼル特殊自動車は「H9年規制適合車」を採用する。

表9.7.11 所要換気量Q₃の算定

| 工程 | 機種 | 仕様 | ① 出力 (kW) | ② 負荷率 α | ③ 実出力 当り換気量 (m ³ /min・ kW) | ④ 所要換気量 =①×②×③ (m ³ /min) | 作業ごとの稼働台数(台) | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------|-----------------|---------------|---|---|--------------|----------|-----|------------|-----|
| | | | | | | | 穿孔 | ずり 出し | 吹付け | ロック ボルト | 支保工 |
| 穿孔 | ト ^レ リルシ ^ン ヤンホ ^ウ | 3 ⁷ 〜4170kw超級 | 119 | 0.5 | 1.9 | 113 | 1 | | | | |
| ずり処理 | ホイールロータ ^ウ | 山積2.3m ³ | 140 | 0.5 | 3.2 | 224 | | 1 | | | |
| | タ ^ン フ ^ト トラック | 10tタ ^ン フ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 3 | | | |
| 吹付コンクリート | 吹付機(一体型) | 6〜22m ³ | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | 1 | | |
| | トラックミキサー | 4.4m ³ | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | | | 1 | | |
| ロックボルト | ト ^レ リルシ ^ン ヤンホ ^ウ | 3 ⁷ 〜4170kw超級 | 119 | 0.5 | 1.9 | 113 | | | | 1 | |
| | クレーン付トラック | 4t車2.9t吊 | 132 | 0.2 | 2.4 | 63 | | | | 1 | 1 |
| 鋼製支保工 | 吹付機(一体型) | 6〜22m ³ | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | | | 1 |
| 覆工コンクリート | コンクリートポン ^プ 車 | 55m ³ /h | 121 | 0.2 | 2.4 | 58 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | トラックミキサー | 4.4m ³ | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 所要換気量の合計 (m ³ /min) | | | | | | | 375 | 840 | 541 | 438 | 502 |

以上より必要換気量は、Q₃=840m³/minが最も大きい値となるので、ディーゼル機関を使用する場合の所要換気量はずり出し時の値を使用する。

4. 吹付け作業時の粉じんに対する所要換気量 (Q₄)

吸引捕集方式による換気の場合には、「②発破による有害物質に対する所要換気量」と同じく、粉じんは吸引されるため、考慮しない。

5. 望ましい坑内風速から求めた送気量 (Q₆)

望ましい坑内風速として坑内風速を0.3m/sとする所要換気量として算出する。

$$Q_6 = A_t \cdot V \cdot 60 = 80.5 \times 0.3 \times 60 = 1,449 \text{ m}^3/\text{min}$$

Q₆ : 望ましい坑内風速から求まる所要換気量 (m³/min)

A_t : トンネル掘削断面積 80.5 m²

V : 望ましい坑内風速 0.3 m/s

6. 所要換気量 (Q_a)

以上より、所要換気量は表9.7.12のように示される。

表9.7.12 所要換気量一覧表

| 換気方式 | | 吸引捕集方式 |
|---|-------------------|-----------------------------------|
| | | 送気・吸引捕集式 (m ³ /min) |
| ①作業員の呼気 | (Q ₁) | 45 |
| ②発破の粉じん | (Q ₂) | 386 |
| ③工事用機械の排出ガス | (Q ₃) | 840 |
| ④吹付時の粉じん | (Q ₄) | — |
| ⑤坑内風速 | (Q ₆) | 1,449 |
| Q ₁ +Q _{max} (Q ₂ , Q ₃ , Q ₄ , Q ₅) | (Q _a) | 1,494 |

2) 送風機の選定

1. 選定のための諸条件

所要換気量 : $Q_a = 1,494 \text{ m}^3/\text{min}$
 換気方式 : 吸引捕集方式 (送気・吸引捕集式)
 風管の種類 : 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 (定尺長さ10m)
 風管の直径 : $D_d = 1.6\text{m}$
 風管の延長 : $L_d = 820\text{m}$ (掘削延長830m－控え40m＋坑外30m)

2. 圧力損失と漏風計算

(a) 風管径 (D_d) および風速 (V)

管内風速 (V) は、換気設備の経済性を左右する重要な要素であり、特に動力費に大きく関係してことに注意する必要がある。 V を大きくとれば、風管断面積を小さくとることができるが、圧力損失つまり動力費は V^2 に比例して大きくなり、換気ファン容量も増大するため、 V にはおのずから限界がある。

望ましい管内風速としては、送気の場合は $V=10\sim 15\text{m/s}$ が良いが、排気の場合は粉じんの風管内での沈着を防ぐためにこれより大きい $V=15\sim 20\text{m/s}$ 以上とるべきと考えられる。

風管は軟管とし、この時の風速は次式で求められる。

$$V = \frac{Q_a}{15 \cdot \pi \cdot D_d^2} = \frac{1,494}{15 \cdot \pi \cdot 1.6^2} = 12.38 \text{ m/s}$$

V : 風管内の風速 (m/s)
 Q_a : 所要換気量 1,494 m^3/min
 D_d : 風管の直径 1.6 m

(b) 風管の直管部の圧力損失 (h_d)

$$\begin{aligned} h_d &= \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot V^2 \cdot 10^{-3} \\ &= 0.020 \times (1.2/2) \times (820/1.6) \times 12.38^2 \times 10^{-3} \\ &= 0.94 \text{ kPa} \end{aligned}$$

h_d : 直線部の圧力損失 (kPa)
 λ : 風管の圧力損失係数 0.020 (軟管(リングなし)) (表9.7.13より)
 ρ : 空気の密度 1.2 kg/m^3
 L_d : 風管長 820 m
 D_d : 風管の直径 1.6 m
 V : 風管内の風速 12.38 m/s

表9.7.13 風管の圧力損失係数 (λ)

| 風管の種類 | 風管径 (単位: mm) | | | | |
|------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|---------|
| | 500未満 | 500以上 750未満 | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 | 0.050 | 0.035 | 0.030 | 0.025 | 0.020 |
| 軟管 (リング付) | 0.050 | 0.040 | 0.035 | 0.030 | 0.030 |
| 軟管 (リングなし) | 0.040 | 0.030 | 0.025 | 0.025 | 0.020 |

注) 硬管: スパイラル風管 (薄肉管)、アルミニウム加工風管、FRV管
 軟管 (リング付): 樹脂加工布風管 (リング式)、樹脂加工布風管 (スパイラル式)
 軟管 (リングなし): 樹脂加工布風管 (ファスナー式)

(c) 風管の変形等の圧力損失 (Σh_b)

$$\Sigma h_b = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

h_b : 変形等の圧力損失 (kPa)

ρ : 空気の密度 1.2 kg/m³

V : 風管内の風速 (m/s) 12.38 m/s

ζ : 風管の変形等の圧力損失係数
 風管の送気口部 $\lambda = 1.00$
 ベント部 $\lambda = 0.50$

$$\Sigma \zeta = 1.00 + 0.50 \times 2 = 2.00 \text{ (風管の送気口1箇所、ベント部2箇所と仮定)}$$

$$\Sigma h_b = 2.00 \times \frac{1.2}{2} \times 12.38^2 \times 10^{-3} = 0.18 \text{ kPa}$$

(d) 風管全体の圧力損失 (h_T)

$$h_T = h_d + \Sigma h_b = 0.94 + 0.18 = 1.12 \text{ kPa}$$

h_T : 風管全体の圧力損失 (kPa)

h_d : 直管部の圧力損失 0.94 kPa

Σh_b : 変形等の圧力損失 0.18 kPa

(e) 風管全体の漏風量 (q)

$$\begin{aligned} q &= \alpha \cdot h_T \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot D_d \cdot \frac{L_d}{a} \\ &= 20 \times 1.12 \times 10^{-2} \times \pi \times 1.6 \times \frac{820}{10} \\ &= 92 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

q : 風管の漏風量 (m³/min)

α : 風管の種類による漏風係数 (ファスナー式風管 : 20)

h_T : 風管全体の圧力損失 1.12 kPa

a : 風管の継ぎ手間隔 (定尺長さ : 10m)

D_d : 風管の直径 1.6 m

L_d : 風管長 820 m

3. 換気ファンの所要風量のまとめ

(a) 圧力損失が5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径が750mm以上の場合

$$Q_{F1} = \frac{Q_a}{1-m} = \frac{Q_a}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1,494}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1,627 \text{ m}^3/\text{min}$$

(b) 上記条件に該当しない場合

$$Q_{F2} = Q_a + q = 1,494 + 92 = 1,586 \text{ m}^3/\text{min}$$

$Q_{F1,2}$: 換気ファンの送風量 (m³/min)

Q_a : 所要換気量 1,494 m³/min

m : 風管全長における漏風率

$$m = \frac{\beta \cdot L_d}{100} \quad (0 < m < 0.5)$$

β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式
(表9.7.14より))

L_d : 風管長 820 m

q : 風管の漏風量 92 m³/min

風管100m当りの漏風率 β は、5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径750mm以上の場合は、表9.7.14に示す値を採用する。

表9.7.14 風管の100m当りの漏風率 (β)

| 風管の種類 | | 風管径 (単位 : mm) | 風管径 (単位 : mm) | | |
|------------------------|----------|---------------|------------------|--------------------|---------|
| | | | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 (スパイラル風管) | 定尺長 4m | | 0.018 | 0.013 | 0.008 |
| | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| | 定尺長 100m | | 0.005 | 0.003 | 0.002 |

換気ファンの圧力損失は5.0kPa以下であるため ($h_T=1.12\text{kPa}$)、 Q_{F1} の式で算出した結果を採用する。従って、換気ファンの所要容量は、 $Q_F = 1,627 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

4. 換気ファンの圧力 (h_f)

$$h_f = \frac{h_T}{1-m} = \frac{h_T}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1.12}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1.22 \text{ kPa}$$

h_f : 換気ファンの圧力 (kPa)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.12 kPa
 β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式)
 L_d : 風管長 820 m

注)③において Q_{F2} の式で算出した結果を採用した場合は、次式により換気ファン圧力 h_f を求める。

$$h_f = \frac{Q_{F2}}{Q_a} \times h_T = \frac{1,586}{1,494} \times 1.12 = 1.19 \text{ kPa}$$

Q_{F2} : 換気ファンの送風量 1,586 m^3/min
 Q_a : 所要換気量 1,494 m^3/min
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.12 kPa

5. 換気ファンの理論動力 (N)

$$N = \frac{Q_f \cdot h_f}{60 \cdot \eta_f} \times \alpha = \frac{1,627 \times 1.22}{60 \times 0.80} \times 1.1 = 45.5 \text{ kw} \approx 46 \text{ kw}$$

N : 換気ファンの軸動力 (kW)
 Q_f : 換気ファンの送風量 1,627 m^3/min
 h_f : 換気ファンの圧力 1.22 kPa
 η_f : ファン効率 (=0.80)
 α : 余裕率 (3~10%) 設計計算例では10%とする

1. 上記計算結果より、送風ファン能力は下記値以上の容量とする。

風量 1,627 m^3/min
 風圧 1.22 kPa
 電動機 46 kw

⑦ 照査

(a) 換気能力照査

選定した換気ファン能力の照査を行う。

| | | | | |
|--------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| 風量 (Q_f) | 1,800 m^3/min | \geq | 1,627 m^3/min | ……… OK |
| 風圧 (h_f) | 1.9 kPa | \geq | 1.22 kPa | ……… OK |
| 電動機 (N) | 110 kw | \geq | 46 kW | ……… OK |

(b) トンネル内風速のチェック

トンネル内の風速は、ディーゼル機関の排出ガス、粉じん、発破の後ガス、自然発生の有害ガスなどを安全な濃度に稀釈するのに必要な換気量によって決まる。作業環境ではこれらの他に、臭気、湿度、温度などの要素もあり、一定の風速が必要である。トンネル内の望ましい風速としては、0.3m/s以上が必要である。

$$V = \frac{Q_f}{60 \cdot A_T} = \frac{1,627}{60 \times 80.5} = 0.34 \text{ m/s} > V = 0.3\text{m/s} \quad \dots\dots \text{OK}$$

V : 坑内の風速 (m/s)
 Q_f : 換気ファン風量 1,627 m³/min
 A_T : 掘削断面積 80.5 m²

3) 集じん機の選定

① 集じん装置容量の算定

吸引捕集容量は、粉じんや有害ガスの捕集に必要な換気量を保持するとともに、封じ込め風速等から適切な容量を選定する必要がある。

集じん装置容量は次式で求める。なお、計算例ではろ過集じん式を示す。

$$Q_s = \frac{A_T \cdot V_c \cdot 60}{\eta_D} = \frac{80.5 \times 0.4 \times 60}{0.95} = 2,034 \text{ m}^3/\text{min}$$

条件 : Q_s = 2,034 m³/min ≥ Q_a = 1,494 m³/min …… OK

Q_s : 集じん装置の容量 (m³/min)
 Q_a : 所要換気量 1,494 m³/min
 A_T : トンネル掘削断面積 80.5 m²
 V_c : 抑制風速 0.4 m/s
 TBM等隔壁がある場合 0.25~0.3 m/s
 自由断面で拡散しやすい場合 0.4 m/s以上
 η_D : 集じん効率 (ろ過集じん=0.95)
 (電気集じん=0.92)

② 集じん装置選定

集じん機選定に当たっては、上記で算定した所要容量を満足する機器を採択すること。

ろ過式 (フィルタ) 風量 2,400 m³/min 電動機 160 kW

表9.7.15 所要換気量に対応した集じん装置の選定

| | 集じん方式 | 風量(m ³ /min) | 動力(kW) |
|-------|------------|-------------------------|--------|
| 集じん装置 | ろ過式 (フィルタ) | 1,200 | 74 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 1,800 | 110 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 2,400 | 160 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 3,000 | 150 |
| | 電気式 | 2,000 | 42 |
| | 電気式 | 2,400 | 64 |
| | 電気式 | 2,700 | 61 |

機械掘削方式

1. 設計条件

- (1) 設備の計画
工事中には、掘削作業やコンクリート吹付け作業に伴って発生する粉じん、ディーゼル機関の排出ガスなどの有害ガスを希釈、除去して、快適な作業環境を保持するために換気設備を設置することを標準とする。
- (2) 送風機
換気に使用する送風機は、反転軸流式ファンを標準とする。
- (3) 換気方式
換気方式は、希釈封じ込め方式および吸引捕集方式を標準とする。
- (4) 所要換気量
所要換気量は、トンネル内作業員の呼気、機械掘削時に発生する粉じん、ディーゼル機関から排出される有害ガス、吹付け作業で発生する粉じん等を考慮して適切に定めるものとする。
- (5) 掘削断面積
対象トンネルにおける当初設計時の最長支保パターンの掘削断面積（余堀含まず）とする。
上半先進ベンチカット工法（上下半同時併進工法）の場合は上半掘削断面積を対象とする。
- (6) 風管
風管は、不燃性ビニル風管を標準とする。

2. 設計計算例

本節では、以下に示す諸条件に基づいた算定例を示す。

(1) トンネル諸元及び諸条件

- 1) トンネル諸元
 - ・トンネル延長 830 m（機械掘削方式）
 - ・掘削断面積 61.0 m²（最長支保パターンの上半掘削断面積（余堀含まず））
 - ・トンネル周長 18.8 m
 - ・掘削工法 上半先進ベンチカット工法（上下半同時併進工法）
 - ・1サイクル当たりの進行長 1.0 m
 - ・岩質 軟岩
- 2) 入坑人員
 - ・上半掘削 7人
 - ・下半掘削 6人
 - ・覆工 6人
 - ・切羽監視員 2人

 - 合計 21人
- 3) 使用ディーゼル機関排気ガス
 - ・掘削 大型ブレーカベスマシン（油圧式1,300kg級） 1台
 - ・ザリ出し（覆工コンクリートと併行作業）
 - ホイールローダ（サイドダンプ式山積2.3 m³） 1台
 - バックホウ（後方超小旋回型標準バケット容量[山積/平積]0.45/0.35m³） 1台
 - ダンプトラック（トンネル工専用オンロード型 10t積） 3台（上半用）
 - ダンプトラック（トンネル工専用オンロード型 10t積） 2台（下半用）
 - ・吹付けコンクリート（覆工コンクリートと併行作業）
 - コンクリート吹付機（湿式吹付・R一体・C搭載・エレクタ型、吐出力6～22 m³級） 1台
 - トラックミキサー（黒煙浄化装置付4.4m³級） 1台
 - ・ロックボルト等（覆工コンクリートと併行作業）
 - ドリルジャンボ（ホイール式2ブーム・2バスケット150kg級） 1台
 - クレーン付トラック（ベーストラック4t積、2.9t吊） 1台
 - ・鋼製支保工（覆工コンクリートと併行作業）
 - コンクリート吹付機（湿式吹付・R一体・C搭載・エレクタ型、吐出力6～22 m³級） 1台
 - ・覆工
 - コンクリートポンプ車（配管式圧送能力55m³/h） 1台
 - トラックミキサー（黒煙浄化装置付4.4m³級） 2台

(2) 希釈封じ込め方式の設計計算例

1) 所要換気量の算定

① 作業員の呼吸に対する所要換気量 (Q_p)

$$Q_p = q \times \eta = 3.0 \text{ m}^3/\text{min人} \times 21 \text{ 人} = 63 \text{ m}^3/\text{min}$$

q : 作業員1人当たりの必要換気量 3.0 m³/min人
 η : 坑内作業員数 ($\Sigma \eta = 21$ 人 掘削・支保工13人 覆工6人 切羽監視員2人)

② 機械掘削時の粉じんに対する所要換気量 (Q_2)

機械掘削時の粉じんは、水散布装置の設置や粉じん発生部位に適切なフードを設けることで粉じん発生量を抑制することができる。

したがって、機械掘削時に伴う粉じんに対する所要換気量は考慮しないものとする。

③ ディーゼル機関の排気ガスに対する所要換気量 (Q_3)

トンネル工事で使用するディーゼル機関から排出される有害ガスに対する所要換気量 Q_3 は、次式で算出するものとする。なお、算出に当たっての実出力当たりの換気量及び負荷率は、表9.7.16の数値を使用するものとする。

表9.7.16 実出力当たりの換気量、負荷率

| 実出力当たりの換気量 q (m ³ /min・kW) | | | | | | 負荷率 |
|---|---|-------------------|--------------------|--------------|---------------|------|
| 排出ガス規制 出力区分: P (kW) | ①排出ガス対策型建設機械 ②道路運送車両法 (ディーゼル特殊自動車) 排出ガス規制適合車 ③オフロード法排出ガス規制適合車 | | | | | |
| | ①第1次基準 | ①第2次基準 ②H15年規制 | ①第3次基準 ②③H18年規制 | ②③H23年規制 | | 負荷率 |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類別 | 30 ≤ P < 272 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 130 | 130 ≤ P < 560 | |
| ショベル系 | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.5 |
| ダンプ系 (坑内用) | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.25 |
| 排出ガス規制 | 道路運送車両法 (ディーゼル重量車) 排出ガス規制適合車 | | | | | 負荷率 |
| | H9年規制 | H15年規制 | H17年規制 | H21年規制 | H26年規制 | |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類別 | 2.5t < G V W | | 3.5t < G V W | | | |
| ダンプ系 (普通) | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |
| その他機械 | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |

$$Q_3 = (H_s \cdot q_s \cdot \alpha_s) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

Q_3 : 所要換気量 (m³/min)
 H_s : ショベル系の使用機械の総出力 (kW)
 H_D : ダンプ系の使用機械の総出力 (kW)
 H_E : その他機械の使用機械の総出力 (kW)
 q_s : ショベル系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_D : ダンプ系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_E : その他機械の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 α_s : ショベル系の負荷率
 α_D : ダンプ系の負荷率
 α_E : その他機械の負荷率

トンネル工事前排出ガス対策型建設機械

ショベル系 $\alpha_s = 0.5$ (バックホウ、トラクタショベル等)

ダンプ系 $\alpha_D = 0.25$ (坑内用ダンプトラック)

道路運送車両法排出ガス規制適合車

ダンプ系 $\alpha_D = 0.2$ (普通ダンプトラック)

その他機械 $\alpha_E = 0.2$ (トラックミキサ、コンクリートポンプ車、資材用トラック等)

機械の組合せで所要換気量を求めると実状の作業環境と合わない不経済な設備となる場合があるので注意が必要であり、ここでは次のように考える。

ダンプトラック台数については、全体n台のうち1台は常に坑外で作業を行っているものと考え、坑内で稼働する台数は(n-1)台とする。また、バックホウは切羽で補助的に動くだけである。このように考えた場合、所要換気量は表9.7.17のとおり求めることができる。

なお、設計計算例における排出ガス対策型建設機械は土木工事標準積算基準書に示された「排出ガス規制適合車」、ディーゼル特殊自動車は「H9年規制適合車」を採用する。

表9.7.17 所要換気量 Q_3 の算定

| 加背割 | 工程 | 機種 | 仕様 | ① 出力 (kW) | ② 負荷率 α | ③ 実出力 当り換気量 ($m^3/min \cdot kW$) | ④ 所要換気量 $=① \times ② \times ③$ (m^3/min) | 作業ごとの稼働台数(台) | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|---|---|-------------------|----------|---------|------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | | 掘削 | ずり 出し | 吹付 け | ロック ボルト | 支保 工 | | | | | |
| 上半 | ずり処理 | ホイールロータ [*] | 山積 $2.3m^3$ | 140 | 0.5 | 3.2 | 224 | | 1 | | | | | | | | |
| | | ダンプトラック | 10tダンプ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 2 | | | | | | | | |
| | 吹付コンクリート | 吹付機(一体型) | 6~22 m^3 | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | 1 | | | | | | | |
| | | トラックミキサー | 4.4 m^3 | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | | | 1 | | | | | | | |
| | ロックボルト | ドリルシヤンホ [*] | 2 [*] -A150kw級 | 108 | 0.5 | 4.9 | 265 | | | | 1 | | | | | | |
| | | クレーン付トラック | 4t車2.9t吊 | 132 | 0.2 | 2.4 | 63 | | | | 1 | 1 | | | | | |
| | 鋼製支保工 | 吹付機(一体型) | 6~22 m^3 | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | | | | 1 | | | | |
| | 覆工コンクリート | コンクリートポンプ車 | 55 m^3/h | 121 | 0.2 | 2.4 | 58 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| | | トラックミキサー | 4.4 m^3 | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| 上半換気量 | | | | | | | | 262 | 722 | 541 | 590 | 502 | | | | | |
| 下半 | 削岩 | 大型フレカBM | 1,300kg級 | 104 | 0.5 | 1.9 | 99 | 1 | | | | | | | | | |
| | ずり処理 | バックホウ | 山積 $0.45m^3$ | 60 | 0.5 | 1.9 | 57 | | 1 | | | | | | | | |
| | | ダンプトラック | 10tダンプ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 1 | | | | | | | | |
| 下半換気量 | | | | | | | | 99 | 175 | | | | | | | | |
| 所要換気量の合計 (m^3/min) | | | | | | | | (上半換気量+下半換気量の最大値) | | | | | 437 | 897 | 716 | 765 | 677 |

以上より必要換気量は、 $Q_3=897m^3/min$ が最も大きい値となるので、ディーゼル機関を使用する場合の所要換気量はずり出し時の値を使用する。

- ④ 吹付け作業時の粉じんに対する所要換気量 (Q_4)
 希釈封じ込め方式では、吹付け粉じんの発生量を推計し、希釈風量によって粉じん濃度を目標レベルに低減する。

$$F_o = 360 \cdot P_o \cdot \alpha \quad \text{又は} \quad F_o = 600 \cdot P_r \cdot \alpha$$

ただし、適用条件 : 掘削断面積40~100m²の範囲
 吹付け機定格吐出量15~30m³/hの範囲

- F_o : 吹付けコンクリート作業時の粉じん発生量 (mg/min)
 360 : 定数 (定格吐出量の場合)
 600 : 定数 (実吐出量の場合)
 P_o : 吹付け機定格吐出量 (m³/h) 22m³/h
 (2台以上が同時に稼働する場合は、それぞれの定格吐出量を加算する)
 P_r : 吹付け機実吐出量 (m³/h) ($P_o \times 60\%$) 13.2m³/h
 (2台以上が同時に稼働する場合は、それぞれの実吐出量を加算する)
 α : 粉じん発生量低減対策による低減効果係数 (表9.7.18 参照)
 設計計算例では、吹付コンクリート練混ぜ方式を「分割練混ぜ方式」と想定し、低減効果係数は $\alpha = 0.75$ とする。

$$\begin{aligned} \text{定格吐出量} \quad F_o &= 360 \times 22 \times 0.75 = 5,940 \text{ mg/min} \\ \text{実吐出量} \quad F_o &= 600 \times 13.2 \times 0.75 = 5,940 \text{ mg/min} \end{aligned}$$

$$\text{送気式} \quad Q_4 = \frac{F_o}{G_a - G_o} \times \beta = \frac{5,940}{3 - 0.07} \times 1.2 = 2,433 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{排気式} \quad Q_4 = \frac{F_o}{G_a - G_o} \times \beta = \frac{5,940}{3 - 0.3} \times 1.2 = 2,640 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Q_4 : 所要換気風量 (m³/min)
 G_a : 粉じん濃度ピーク時制御目標レベル 3 mg/m³以下
 G_o : 拡散希釈に用いる空気の濃度
 β : 1サイクル平均の粉じん濃度目標レベルである2.0mg/m³を達成するための
 所要風量換算係数 1.2
 送気式 (外気) 0.07mg/m³
 排気式 (坑内) 0.3 mg/m³

表9.7.18 低減効果係数

| 粉じん抑制剤による低減効果係数 | α |
|-------------------------|----------|
| 対 策 な し | 1.0 |
| 粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入 | 0.75 |
| ス ラ リ ー 急 結 剤 吹 付 け | 0.6 |
| 液 体 急 結 剤 ・ エ ア レ ス 吹 付 | 0.4 |

- ⑤ 望ましい坑内風速から求めた送気量 (Q_6)
 望ましい坑内風速として坑内風速を0.3m/sとする所要換気量として算出する。

$$Q_6 = A_t \cdot V \cdot 60 = 61.0 \times 0.3 \times 60 = 1,098 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Q_6 : 望ましい坑内風速から求まる所要換気量 (m³/min)
 A_t : トンネル掘削断面積 61.0 m²
 V : 望ましい坑内風速 0.3 m/s

- ⑥ 所要換気量 (Q_a)
 以上より、所要換気量は表9.7.19のように示される。

表9.7.19 所要換気量一覧表

| 換気方式 | | 希釈封じ込め方式 | | |
|--|-----------|--------------------------|--------------------------|-------|
| | | 送気・集じん式 (m^3/min) | 排気・集じん式 (m^3/min) | |
| ①作業員の呼気 | (Q_p) | 63 | 63 | |
| ②機械掘削時の粉じん | (Q_2) | — | — | |
| ③工事用機械の排出ガス | (Q_3) | 897 | 897 | |
| ④吹付時の粉じん | (Q_4) | 2,433 | 2,640 | |
| ⑤坑内風速 | (Q_6) | 1,098 | 1,098 | |
| $Q_p + Q_{max}$ (Q_2, Q_3, Q_4, Q_6) | | (Q_a) | 2,496 | 2,703 |

2) 送風機の選定

① 選定のための諸条件

所要換気量 : $Q_a = 2,496 \text{ m}^3/\text{min}$
 換気方式 : 希釈封じ込め式 (送気・集じん式)
 風管の種類 : 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 (定尺長さ10m)
 風管の直径 : $D_d = 2.0 \text{ m}$
 風管の延長 : $L_d = 820 \text{ m}$ (掘削延長830m-控え40m+坑外30m)

② 圧力損失と漏風計算

(a) 風管径 (D_d) および風速 (V)

管内風速 (V) は、換気設備の経済性を左右する重要な要素であり、特に動力費に大きく関係して
 くることに注意する必要がある。 V を大きくとれば、風管断面積を小さくとることができるが、圧力
 損失つまり動力費は V^2 に比例して大きくなり、換気ファン容量も増大するため、 V にはおのずから限
 界がある。

望ましい管内風速としては、送気の場合は $V=10\sim 15 \text{ m/s}$ が良いが、排気の場合は粉じんの風管内
 での沈着を防ぐためにこれより大きい $V=15\sim 20 \text{ m/s}$ 以上とるべきと考えられる。

風管は軟管とし、この時の風速は次式で求められる。

$$V = \frac{Q_a}{15 \cdot \pi \cdot D_d^2} = \frac{2,496}{15 \cdot \pi \cdot 2.0^2} = 13.24 \text{ m/s}$$

V : 風管内の風速 (m/s)
 Q_a : 所要換気量 2,496 m^3/min
 D_d : 風管の直径 2.0 m

(b) 風管の直管部の圧力損失 (h_d)

$$h_d = \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0.020 \times (1.2/2) \times (820/2.0) \times 13.24^2 \times 10^{-3}$$

$$= 0.86 \text{ kPa}$$

h_d : 直線部の圧力損失 (kPa)
 λ : 風管の圧力損失係数 0.020 (軟管(リングなし)) (表9.7.20より)
 ρ : 空気の密度 1.2 kg/m^3
 L_d : 風管長 820 m
 D_d : 風管の直径 2.0 m
 V : 風管内の風速 13.24 m/s

表9.7.20 風管の圧力損失係数 (λ)

| 風管の種類 | 風管径 (単位: mm) | | | | |
|------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|---------|
| | 500未満 | 500以上 750未満 | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 | 0.050 | 0.035 | 0.030 | 0.025 | 0.020 |
| 軟管 (リング付) | 0.050 | 0.040 | 0.035 | 0.030 | 0.030 |
| 軟管 (リングなし) | 0.040 | 0.030 | 0.025 | 0.025 | 0.020 |

注) 硬管: スパイラル風管 (薄肉管)、アルミニウム加工風管、FRV管
 軟管 (リング付): 樹脂加工布風管 (リング式)、樹脂加工布風管 (スパイラル式)
 軟管 (リングなし): 樹脂加工布風管 (ファスナー式)

(c) 風管の変形等の圧力損失 (Σh_b)

$$\Sigma h_b = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

h_b : 変形等の圧力損失 (kPa)
 ρ : 空気の密度 1.2 kg/m³
 V : 風管内の風速 (m/s) 13.24 m/s
 ζ : 風管の変形等の圧力損失係数

| | |
|---------|------------------|
| 風管の送気口部 | $\lambda = 1.00$ |
| ベント部 | $\lambda = 0.50$ |

$$\Sigma \zeta = 1.00 + 0.50 \times 2 = 2.00 \text{ (風管の送気口1箇所、ベント部2箇所と仮定)}$$

$$\Sigma h_b = 2.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.24^2 \times 10^{-3} = 0.21 \text{ kPa}$$

(d) 風管全体の圧力損失 (h_T)

$$h_T = h_d + \Sigma h_b = 0.86 + 0.21 = 1.07 \text{ kPa}$$

h_T : 風管全体の圧力損失 (kPa)
 h_d : 直管部の圧力損失 0.86 kPa
 Σh_b : 変形等の圧力損失 0.21 kPa

(e) 風管全体の漏風量 (q)

$$\begin{aligned}
 q &= \alpha \cdot h_T \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot D_d \cdot \frac{L_d}{a} \\
 &= 20 \times 1.07 \times 10^{-2} \times \pi \times 2.0 \times \frac{820}{10} \\
 &= 110 \text{ m}^3/\text{min}
 \end{aligned}$$

q : 風管の漏風量 (m³/min)
 α : 風管の種類による漏風係数 (ファスナー式風管 : 20)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.07 kPa
 a : 風管の継ぎ手間隔 (定尺長さ : 10m)
 D_d : 風管の直径 2.0 m
 L_d : 風管長 820 m

③ 換気ファンの所要風量のまとめ

(a) 圧力損失が5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径が750mm以上の場合

$$Q_{f1} = \frac{Q_a}{1-m} = \frac{Q_a}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{2,496}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 2,719 \text{ m}^3/\text{min}$$

(b) 上記条件に該当しない場合

$$Q_{f2} = Q_a + q = 2,496 + 110 = 2,606 \text{ m}^3/\text{min}$$

$Q_{f1,2}$: 換気ファンの送風量 (m³/min)
 Q_a : 所要換気量 2,496 m³/min
 m : 風管全長における漏風率

$$m = \frac{\beta \cdot L_d}{100} \quad (0 < m < 0.5)$$

β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式 (表9.7.21より))
 L_d : 風管長 820 m
 q : 風管の漏風量 110 m³/min

風管100m当りの漏風率 β は、5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径750mm以上の場合は、表9.7.21に示す値を採用する。

表9.7.21 風管の100m当りの漏風率 (β)

| 風管の種類 | | 風管径 (単位 : mm) | 風管径 (単位 : mm) | | |
|------------------------|----------|---------------|------------------|--------------------|---------|
| | | | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 (スパイラル風管) | 定尺長 4m | | 0.018 | 0.013 | 0.008 |
| | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| | 定尺長 100m | | 0.005 | 0.003 | 0.002 |

換気ファンの圧力損失は5.0kPa以下であるため ($h_T=1.07\text{kPa}$)、 Q_{F1} の式で算出した結果を採用する。従って、換気ファンの所要容量は、 $Q_F = 2,719 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

④ 換気ファンの圧力 (h_f)

$$h_f = \frac{h_T}{1-m} = \frac{h_T}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1.07}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1.17 \text{ kPa}$$

h_f : 換気ファンの圧力 (kPa)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.07 kPa
 β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式)
 L_d : 風管長 820 m

注)③において Q_{F2} の式で算出した結果を採用した場合は、次式により換気ファン圧力 h_f を求める。

$$h_f = \frac{Q_{F2}}{Q_a} \times h_T = \frac{2,606}{2,496} \times 1.07 = 1.12 \text{ kPa}$$

Q_{F2} : 換気ファンの送風量 2,606 m^3/min
 Q_a : 所要換気量 2,496 m^3/min
 h_T : 風管全体の圧力 1.07 kPa

⑤ 換気ファンの理論動力 (N)

$$N = \frac{Q_f \cdot h_f}{60 \cdot \eta_f} \times \alpha = \frac{2,719 \times 1.07}{60 \times 0.80} \times 1.1 = 66.7 \text{ kw} \approx 67 \text{ kw}$$

N : 換気ファンの軸動力 (kW)
 Q_f : 換気ファンの送風量 2,719 m^3/min
 h_f : 換気ファンの圧力 1.07 kPa
 η_f : ファン効率 (=0.80)
 α : 余裕率 (3~10%) 設計計算例では10%とする

⑥ 上記計算結果より、送風ファン能力は下記値以上の容量とする。

風量 2,719 m^3/min
 風圧 1.07 kPa
 電動機 67 kw

⑦ 照査

(a) 換気能力照査

選定した換気ファン能力の照査を行う。

風量 (Q_f) 3,000 m^3/min \geq 2,719 m^3/min OK
 風圧 (h_f) 4.9 kPa \geq 1.07 kPa OK
 電動機 (N) 320 kw \geq 67 kW OK

(b) トンネル内風速のチェック

トンネル内の風速は、ディーゼル機関の排出ガス、粉じん、自然発生の有害ガスなどを安全な濃度に稀釈するのに必要な換気量によって決まる。作業環境ではこれらの他に、臭気、湿度、温度などの要素もあり、一定の風速が必要である。トンネル内の望ましい風速としては、0.3m/s以上が必要である。

$$V = \frac{Q_f}{60 \cdot A_T} = \frac{2,719}{60 \times 61.0} = 0.74 \text{ m/s} > V = 0.3 \text{ m/s} \dots\dots\dots \text{OK}$$

- V : 坑内の風速 (m/s)
- Q_f : 換気ファン風量 2,719 m³/min
- A_T : 掘削断面積 61.0 m²

3) 集じん機の選定

① 集じん装置容量の算定

集じん機装置の容量は、封じ込めのための所要換気量より1.2倍以上大きく設定し、エアカーテン効果を維持する。

集じん装置容量は次式で求める。なお、計算例ではろ過集じん式を示す。

$$Q_s = K_e \cdot \frac{Q_a}{\eta_D} = 1.2 \times \frac{2,496}{0.95} = 3,153 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Q_s : 集じん装置の容量 (m³/min)
- Q_a : 所要換気量 2,496 m³/min
- K_e : エアカーテンの効果係数 (1.2~1.4) 1.2
- η_D : 集じん効率 (ろ過集じん=0.95)
(電気集じん=0.92)

② 集じん装置選定

集じん機選定に当たっては、上記で算定した所要容量を満足する機器を採択すること。

ろ過式 (フィルタ) 風量 1,800 m³/min 電動機 110 kW 2台

表9.7.22 所要換気量に対応した集じん装置の選定

| | 集じん方式 | 風量(m ³ /min) | 動力(kW) |
|-------|------------|-------------------------|--------|
| 集じん装置 | ろ過式 (フィルタ) | 1,200 | 74 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 1,800 | 110 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 2,400 | 160 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 3,000 | 150 |
| | 電気式 | 2,000 | 42 |
| | 電気式 | 2,400 | 64 |
| | 電気式 | 2,700 | 61 |

③ エアカーテンダクト長

エアカーテンダクトの長さは次式で求める。径については送風機と同径とする。

$$D_e = \frac{4 \cdot A_T}{U_t} = \frac{4 \times 61.0}{18.8} = 13.0 \text{ m}$$

$$L = 5 \times D_e = 5 \times 13.0 = 65 \text{ m}$$

- D_e : トンネル等価直径 (m)
- A_T : トンネル断面積 61.0 m²
- U_t : トンネル断面周長 18.8 m
- L : エアカーテンダクトの風管長 (m)

(3) 吸引捕集方式（送気・吸引捕集式）の設計計算例

1) 所要換気量の算定

① 作業員の呼吸に対する所要換気量 (Q_p)

$$Q_p = q \times \eta = 3.0 \text{ m}^3/\text{min人} \times 21 \text{ 人} = 63 \text{ m}^3/\text{min}$$

q : 作業員1人当たりの必要換気量 3.0 m³/min人
 η : 坑内作業員数 ($\Sigma \eta=21$ 人 掘削・支保工8人 覆工6人 切羽監視員2人)

② 機械掘削時の粉じんに対する所要換気量 (Q_2)

機械掘削時の粉じんは、水散布装置の設置や粉じん発生部位に適切なフードを設けることで粉じん発生量を抑制することができる。

したがって、機械掘削時に伴う粉じんに対する所要換気量は考慮しないものとする。

③ ディーゼル機関の排気ガスに対する所要換気量 (Q_3)

トンネル工事で使用するディーゼル機関から排出される有害ガスに対する所要換気量 Q_3 は、次式で算出するものとする。なお、算出に当たっての実出力当たりの換気量及び負荷率は、表9.7.23の数値を使用するものとする。

表9.7.23 実出力当たりの換気量、負荷率

| 実出力当たりの換気量 q (m ³ /min・kW) | | | | | | 負荷率 |
|---|---|-------------------|--------------------|--------------|---------------|------|
| 排出ガス規制 出力区分: P (kW) | ①排出ガス対策型建設機械 ②道路運送車両法 (ディーゼル特殊自動車) 排出ガス規制適合車 ③オフロード法排出ガス規制適合車 | | | | | |
| | ①第1次基準 | ①第2次基準 ②H15年規制 | ①第3次基準 ②③H18年規制 | ②③H23年規制 | | 負荷率 |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類別 | 30 ≤ P < 272 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 560 | 75 ≤ P < 130 | 130 ≤ P < 560 | |
| ショベル系 | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | 0.25 |
| ダンプ系(坑内用) | 4.9 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 1.1 | |
| 排出ガス規制 | 道路運送車両法 (ディーゼル重量車) 排出ガス規制適合車 | | | | | 負荷率 |
| | H9年規制 | H15年規制 | H17年規制 | H21年規制 | H26年規制 | |
| ディーゼル機関 搭載機械の種類別 | 2.5t < GVW | | 3.5t < GVW | | | 0.2 |
| ダンプ系(普通) | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | |
| その他機械 | 2.4 | 1.8 | 1.1 | 0.6 | 0.6 | 0.2 |

$$Q_3 = (H_s \cdot q_s \cdot \alpha_s) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

Q_3 : 所要換気量 (m³/min)
 H_s : ショベル系の使用機械の総出力 (kW)
 H_D : ダンプ系の使用機械の総出力 (kW)
 H_E : その他機械の使用機械の総出力 (kW)
 q_s : ショベル系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_D : ダンプ系の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 q_E : その他機械の実出力当たりの換気量 (m³/min・kW)
 α_s : ショベル系の負荷率
 α_D : ダンプ系の負荷率
 α_E : その他機械の負荷率

トンネル工事に用排出ガス対策型建設機械

ショベル系 $\alpha_s=0.5$ (バックホウ、トラクタショベル等)

ダンプ系 $\alpha_D=0.25$ (坑内用ダンプトラック)

道路運送車両法排出ガス規制適合車

ダンプ系 $\alpha_D=0.2$ (普通ダンプトラック)

その他機械 $\alpha_E=0.2$ (トラックミキサ、コンクリートポンプ車、資材用トラック等)

機械の組合せで所要換気量を求めると実状の作業環境と合わない不経済な設備となる場合があるので注意が必要であり、ここでは次のように考える。

ダンプトラック台数については、全体n台のうち1台は常に坑外で作業を行っているものと考え、坑内で稼働する台数は(n-1)台とする。また、バックホウは切羽で補助的に動くだけである。このように考えた場合、所要換気量は表9.7.24のとおり求めることができる。

なお、設計計算例における排出ガス対策型建設機械は土木工事標準積算基準書に示された「排出ガス規制適合車」、ディーゼル特殊自動車は「H9年規制適合車」を採用する。

表9.7.24 所要換気量 Q_3 の算定

| 加背割 | 工程 | 機種 | 仕様 | ① 出力 (kW) | ② 負荷率 α | ③ 実出力 当り換気量 ($m^3/min \cdot kW$) | ④ 所要換気量 $=① \times ② \times ③$ (m^3/min) | 作業ごとの稼働台数(台) | | | | | | | | | |
|------------------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|---|---|-------------------|----------|---------|------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | | | | | | 掘削 | ずり 出し | 吹付 け | ロック ボルト | 支保 工 | | | | | |
| 上半 | ずり処理 | ホイールロータ [*] | 山積 $2.3m^3$ | 140 | 0.5 | 3.2 | 224 | | 1 | | | | | | | | |
| | | ダンプトラック | 10tダンプ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 2 | | | | | | | | |
| | 吹付コンクリート | 吹付機(一体型) | 6~22 m^3 | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | 1 | | | | | | | |
| | | トラックミキサー | 4.4 m^3 | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | | | 1 | | | | | | | |
| | ロックボルト | ドリルシヤンホ [*] | 2 [*] -M150kw級 | 108 | 0.5 | 4.9 | 265 | | | | 1 | | | | | | |
| | | クレーン付トラック | 4t車2.9t吊 | 132 | 0.2 | 2.4 | 63 | | | | | 1 | 1 | | | | |
| | 鋼製支保工 | 吹付機(一体型) | 6~22 m^3 | 186 | 0.5 | 1.9 | 177 | | | | | | | 1 | | | |
| | 覆工コンクリート | コンクリートポンプ車 | 55 m^3/h | 121 | 0.2 | 2.4 | 58 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | | トラックミキサー | 4.4 m^3 | 213 | 0.2 | 2.4 | 102 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | |
| 上半換気量 | | | | | | | | 262 | 722 | 541 | 590 | 502 | | | | | |
| 下半 | 削岩 | 大型フレカBM | 1,300kg級 | 104 | 0.5 | 1.9 | 99 | 1 | | | | | | | | | |
| | ずり処理 | バックホウ | 山積 $0.45m^3$ | 60 | 0.5 | 1.9 | 57 | | 1 | | | | | | | | |
| | | ダンプトラック | 10tダンプ | 246 | 0.2 | 2.4 | 118 | | 1 | | | | | | | | |
| 下半換気量 | | | | | | | | 99 | 175 | | | | | | | | |
| 所要換気量の合計 (m^3/min) | | | | | | | | (上半換気量+下半換気量の最大値) | | | | | 437 | 897 | 716 | 765 | 677 |

以上より必要換気量は、 $Q_3=897m^3/min$ が最も大きい値となるので、ディーゼル機関を使用する場合の所要換気量はずり出し時の値を使用する。

④ 吹付け作業時の粉じんに対する所要換気量 (Q_4)

吸引捕集方式による換気の場合は、粉じんは吸引されるため考慮しない。

⑤ 望ましい坑内風速から求めた送気量 (Q_6)

望ましい坑内風速として坑内風速を0.3m/sとする所要換気量として算出する。

$$Q_6 = A_t \cdot V \cdot 60 = 61.0 \times 0.3 \times 60 = 1,098 \text{ m}^3/\text{min}$$

Q_6 : 望ましい坑内風速から求まる所要換気量 (m^3/min)

A_t : トンネル掘削断面積 61.0 m^2

V : 望ましい坑内風速 0.3 m/s

⑥ 所要換気量 (Q_a)

以上より、所要換気量は表9.7.25のように示される。

表9.7.25 所要換気量一覧表

| 換気方式 | | 吸引捕集方式 |
|--|-----------|---------------------------|
| | | 送気・吸引捕集式 (m^3/min) |
| ①作業員の呼気 | (Q_p) | 63 |
| ②機械掘削時の粉じん | (Q_2) | — |
| ③工事用機械の排出ガス | (Q_3) | 897 |
| ④吹付け時の粉じん | (Q_4) | — |
| ⑤坑内風速 | (Q_6) | 1,098 |
| $Q_p + Q_{max}$ (Q_2, Q_3, Q_4, Q_5) | (Q_a) | 1,161 |

2) 送風機の選定

① 選定のための諸条件

所要換気量 : $Q_a = 1,161 \text{ m}^3/\text{min}$
 換気方式 : 吸引捕集方式 (送気・吸引捕集式)
 風管の種類 : 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 (定尺長さ10m)
 風管の直径 : $D_d = 1.4 \text{ m}$
 風管の延長 : $L_d = 820 \text{ m}$ (掘削延長830m-控え40m+坑外30m)

① 圧力損失と漏風計算

(a) 風管径 (D_d) および風速 (V)

管内風速 (V) は、換気設備の経済性を左右する重要な要素であり、特に動力費に大きく関係してくることに注意する必要がある。 V を大きくとれば、風管断面積を小さくとることができるが、圧力損失つまり動力費は V^2 に比例して大きくなり、換気ファン容量も増大するため、 V にはおのずから限界がある。

望ましい管内風速としては、送気の場合は $V=10\sim 15 \text{ m/s}$ で良いが、排気の場合は粉じんの風管内での沈着を防ぐためにこれより大きい $V=15\sim 20 \text{ m/s}$ 以上とるべきと考えられる。

風管は軟管とし、この時の風速は次式で求められる。

$$V = \frac{Q_a}{15 \cdot \pi \cdot D_d^2} = \frac{1,161}{15 \cdot \pi \cdot 1.4^2} = 12.57 \text{ m/s}$$

V : 風管内の風速 (m/s)
 Q_a : 所要換気量 $1,161 \text{ m}^3/\text{min}$
 D_d : 風管の直径 1.4 m

(b) 風管の直管部の圧力損失 (h_d)

$$\begin{aligned}
 h_d &= \lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot V^2 \cdot 10^{-3} \\
 &= 0.020 \times (1.2/2) \times (820/1.4) \times 12.57^2 \times 10^{-3} \\
 &= 1.11 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

h_d : 直線部の圧力損失 (kPa)
 λ : 風管の圧力損失係数 0.020 (軟管(リングなし)) (表9.7.26より)
 ρ : 空気の密度 1.2 kg/m^3
 L_d : 風管長 820 m
 D_d : 風管の直径 1.4 m
 V : 風管内の風速 12.57 m/s

表9.7.26 風管の圧力損失係数 (λ)

| 風管の種類 | 風管径 (単位: mm) | | | | |
|------------|--------------|----------------|------------------|--------------------|---------|
| | 500未満 | 500以上 750未満 | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 | 0.050 | 0.035 | 0.030 | 0.025 | 0.020 |
| 軟管 (リング付) | 0.050 | 0.040 | 0.035 | 0.030 | 0.030 |
| 軟管 (リングなし) | 0.040 | 0.030 | 0.025 | 0.025 | 0.020 |

注) 硬管: スパイラル風管 (薄肉管)、アルミニウム加工風管、FRV管
 軟管 (リング付): 樹脂加工布風管 (リング式)、樹脂加工布風管 (スパイラル式)
 軟管 (リングなし): 樹脂加工布風管 (ファスナー式)

(c) 風管の変形等の圧力損失 (Σh_b)

$$\Sigma h_b = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

h_b : 変形等の圧力損失 (kPa)

ρ : 空気の密度 1.2 kg/m³

V : 風管内の風速 (m/s) 12.57 m/s

ζ : 風管の変形等の圧力損失係数
 風管の送気口部 $\lambda = 1.00$
 ベント部 $\lambda = 0.50$

$$\Sigma \zeta = 1.00 + 0.50 \times 2 = 2.00 \text{ (風管の送気口1箇所、ベント部2箇所と仮定)}$$

$$\Sigma h_b = 2.00 \times \frac{1.2}{2} \times 12.57^2 \times 10^{-3} = 0.19 \text{ kPa}$$

(d) 風管全体の圧力損失 (h_T)

$$h_T = h_d + \Sigma h_b = 1.11 + 0.19 = 1.30 \text{ kPa}$$

h_T : 風管全体の圧力損失 (kPa)

h_d : 直管部の圧力損失 1.11 kPa

Σh_b : 変形等の圧力損失 0.19 kPa

(e) 風管全体の漏風量 (q)

$$\begin{aligned} q &= \alpha \cdot h_T \cdot 10^{-2} \cdot \pi \cdot D_d \cdot \frac{L_d}{a} \\ &= 20 \times 1.30 \times 10^{-2} \times \pi \times 1.4 \times \frac{820}{10} \\ &= 94 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

q : 風管の漏風量 (m³/min)

α : 風管の種類による漏風係数 (ファスナー式風管 : 20)

h_T : 風管全体の圧力損失 1.30 kPa

a : 風管の継ぎ手間隔 (定尺長さ : 10m)

D_d : 風管の直径 1.4 m

L_d : 風管長 820 m

③ 換気ファンの所要風量のまとめ

(a) 圧力損失が5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径が750mm以上の場合

$$Q_{F1} = \frac{Q_a}{1-m} = \frac{Q_a}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1,161}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1,265 \text{ m}^3/\text{min}$$

(b) 上記条件に該当しない場合

$$Q_{F2} = Q_a + q = 1,161 + 94 = 1,255 \text{ m}^3/\text{min}$$

$Q_{F1,2}$: 換気ファンの送風量 (m³/min)

Q_a : 所要換気量 1,161 m³/min

m : 風管全長における漏風率

$$m = \frac{\beta \cdot L_d}{100} \quad (0 < m < 0.5)$$

β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式)
 (表9.7.27より)

L_d : 風管長 820 m

q : 風管の漏風量 94 m³/min

風管100m当りの漏風率 β は、5kPa級以下の換気ファンを使用する場合で風管径750mm以上の場合は、表9.7.27に示す値を採用する。

表9.7.27 風管の100m当りの漏風率 (β)

| 風管の種類 | | 風管径 (単位 : mm) | 風管径 (単位 : mm) | | |
|------------------------|----------|---------------|------------------|--------------------|---------|
| | | | 750以上 1,000未満 | 1,000以上 1,500未満 | 1,500以上 |
| 硬管 (スパイラル風管) | 定尺長 4m | | 0.018 | 0.013 | 0.008 |
| | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| 軟管 (樹脂加工布風管) ファスナー式 | 定尺長 10m | | 0.020 | 0.015 | 0.010 |
| | 定尺長 100m | | 0.005 | 0.003 | 0.002 |

換気ファンの圧力損失は5.0kPa以下であるため ($h_T=1.30\text{kPa}$)、 Q_{F1} の式で算出した結果を採用する。従って、換気ファンの所要容量は、 $Q_F = 1,265 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

④ 換気ファンの圧力 (h_f)

$$h_f = \frac{h_T}{1-m} = \frac{h_T}{1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100}} = \frac{1.30}{1 - 0.010 \times \frac{820}{100}} = 1.42 \text{ kPa}$$

h_f : 換気ファンの圧力 (kPa)
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.30 kPa
 β : 風管100m当りの漏風率 0.010 (軟管(樹脂加工布風管)ファスナー式)
 L_d : 風管長 820 m

注)③において Q_{F2} の式で算出した結果を採用した場合は、次式により換気ファン圧力 h_f を求める。

$$h_f = \frac{Q_{F2}}{Q_a} \times h_T = \frac{1,255}{1,161} \times 1.30 = 1.41 \text{ kPa}$$

Q_{F2} : 換気ファンの送風量 1,255 m^3/min
 Q_a : 所要換気量 1,161 m^3/min
 h_T : 風管全体の圧力損失 1.30 kPa

⑤ 換気ファンの理論動力 (N)

$$N = \frac{Q_f \cdot h_f}{60 \cdot \eta_f} \times \alpha = \frac{1,265 \times 1.30}{60 \times 0.80} \times 1.1 = 37.7 \text{ kw} \approx 38 \text{ kw}$$

N : 換気ファンの軸動力 (kW)
 Q_f : 換気ファンの送風量 1,265 m^3/min
 h_f : 換気ファンの圧力 1.30 kPa
 η_f : ファン効率 (=0.80)
 α : 余裕率 (3~10%) 設計計算例では10%とする

⑥ 上記計算結果より、送風ファン能力は下記値以上の容量とする。

風量 1,265 m^3/min
 風圧 1.30 kPa
 電動機 38 kw

⑦ 照査

(a) 換気能力照査

選定した換気ファン能力の照査を行う。

風量 (Q_f) 1,500 $\text{m}^3/\text{min} \geq 1,265 \text{ m}^3/\text{min}$ OK
 風圧 (h_f) 4.9 kPa $\geq 1.30 \text{ kPa}$ OK
 電動機 (N) 160 kw $\geq 38 \text{ kW}$ OK

(b) トンネル内風速のチェック

トンネル内の風速は、ディーゼル機関の排出ガス、粉じん、自然発生の有害ガスなどを安全な濃度に稀釈するのに必要な換気量によって決まる。作業環境ではこれらの他に、臭気、湿度、温度などの要素もあり、一定の風速が必要である。トンネル内の望ましい風速としては、0.3m/s以上が必要である。

$$V = \frac{Q_f}{60 \cdot A_T} = \frac{1,265}{60 \times 61.0} = 0.35 \text{ m/s} > V = 0.3\text{m/s} \quad \dots\dots \text{OK}$$

- V : 坑内の風速 (m/s)
- Q_f : 換気ファン風量 1,265 m³/min
- A_T : 掘削断面積 61.0 m²

3) 集じん機の選定

① 集じん装置容量の算定

吸引捕集容量は、粉じんや有害ガスの捕集に必要な換気量を保持するとともに、封じ込め風速等から適切な容量を選定する必要がある。

集じん装置容量は次式で求める。なお、計算例ではろ過集じん式を示す。

$$Q_s = \frac{A_T \cdot V_c \cdot 60}{\eta_D} = \frac{61.0 \times 0.4 \times 60}{0.95} = 1,541 \text{ m}^3/\text{min}$$

条件 : Q_s = 1,541 m³/min ≥ Q_a = 1,161 m³/min …… OK

- Q_s : 集じん装置の容量 (m³/min)
- Q_a : 所要換気量 1,161 m³/min
- A_T : トンネル掘削断面積 61.0 m²
- V_c : 抑制風速 0.4 m/s
 TBM等隔壁がある場合 0.25~0.3 m/s
 自由断面で拡散しやすい場合 0.4 m/s以上
- η_D : 集じん効率 (ろ過集じん=0.95)
 (電気集じん=0.92)

② 集じん装置選定

集じん機選定に当たっては、上記で算定した所要容量を満足する機器を採択すること。

ろ過式 (フィルタ) 風量 1,800 m³/min 電動機 110 kW

表9.7.28 所要換気量に対応した集じん装置の選定

| | 集じん方式 | 風量(m ³ /min) | 動力(kW) |
|-------|------------|-------------------------|--------|
| 集じん装置 | ろ過式 (フィルタ) | 1,200 | 74 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 1,800 | 110 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 2,400 | 160 |
| | ろ過式 (フィルタ) | 3,000 | 150 |
| | 電気式 | 2,000 | 42 |
| | 電気式 | 2,400 | 64 |
| | 電気式 | 2,700 | 61 |

9.8 トンネル積算における注意事項

平成20年10月15日 国土交通省発注工事に適用される「国土交通省土木工事標準積算基準」「土木工事標準歩掛(国土交通省)のうちトンネル工事に関する部分について改正された。

改正工種の概要

| 工種名 | 改正の根拠 |
|------------|---|
| トンネル(NATM) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 週あたり40時間労働へ見直し <ul style="list-style-type: none"> ・1日10時間労働→1日8時間労働 ・4週6休→4週8休 ○ 施工の効率化 <ul style="list-style-type: none"> ・週あたり掘進長の増加による日あたり施工量の増加 |

【トンネル積算における注意事項】

掘削等作業 掘削～支保工 週当り施工量・・・供用日当り

1ヶ月の実作業日数 20.4日 . 1ヵ月30日 として算出

【実作業日数の根拠(参考)】

- ・土木工事標準積算基準書(道路編) IV-5-①-60 … 発破掘削

仮設備保守は、次の坑外設備の保守管理を行うものとし、歩掛は次表を標準とする。

- ①電力設備、②吹付プラント設備、③換気設備、④給排水設備等(濁水処理設備を除く)

表4.52 仮設備保守歩掛 (1箇月当り)

| 職 種 | 単 位 | 数 量 | 適 要 |
|-------|-----|------|-----|
| 普通作業員 | 人 | 40.8 | |
| 設備機械工 | 〃 | 〃 | |
| 電 工 | 〃 | 〃 | |

※ 機械掘削は発破工法による

- (注) 1. 坑内作業について、掘削作業～支保工作業は2方、支保作業後は1方を標準とする。
 2. 支保工作業後は、上表の数量の1/2とする。
 3. 吹付プラント設備は、コンクリートプラントの練混ぜ方式(一括又は分割)に関わらず適用できる。

9.9 インバート仮設栈橋

インバートコンクリートを施工する際、仮設栈橋が必要と認められる場合は計上することができる。

【解説】

必要と認められる場合とは、インバートコンクリートの半断面施工が出来ない等である。

9.10 火薬庫

発破掘削を計画するトンネルにおいては火薬庫を計上するものとする。