

工事年度及び工事番号：令和7年度 県債国補国改 第2号-2
工 事 名：国道168号（仮称4号トンネル）道路改築工事
工事場所：新宮市 熊野川町 相須外 地内

【見積参考資料】 施 工 計 画 書

※この資料の内、「仮称相須1号トンネル」は「仮称4号トンネル」に読み替えるものとする。

-目 次 -

1. 施工法の検討	1- 1
1.1 概要	1- 2
1.2 掘削方式	1- 2
1.3 掘削工法	1- 5
1.4 坑内運搬方式	1- 7
1.5 施工概要	1- 8
1.6 掘削断面(加背割)	1- 9
2. 施工計画	2- 1
2.1 施工計画概要	2- 2
2.2 適用範囲	2- 3
2.3 施工計画	2- 5
2.4 施工歩掛	2- 11
2.5 支保工	2- 16
2.6 インバート工	2- 23
2.7 工事工程計画	2- 27
2.8 補助工法工程	2- 31
3. 仮設配置計画	3- 1
3.1 工事用仮設備配置計画方針	3- 2
3.2 仮設建物配置計画	3- 6

4. 施工設備計画	4-	1
4.1 仮設備計画概要	4-	2
4.2 給気設備計画	4-	4
4.3 吹付プラント設備計画	4-	5
4.4 照明設備計画	4-	7
4.5 工事用換気設備計画	4-	8
4.6 集じん設備計画	4-	42
4.7 給水設備計画	4-	57
4.8 排水設備計画	4-	65
4.9 濁水処理計画	4-	72
4.10 坑口処理計画	4-	109
4.11 火薬庫類（営繕費に加算する）	4-	110
4.12 仮設備保守費	4-	111
4.13 工事用機械一覧	4-	112
 5. 工事用仮設備電力計画	 5-	 1
5.1 電力設備計画	5-	2
5.2 契約電力	5-	7
5.3 仮設備の構成及び選定	5-	12
5.4 配線計画	5-	17
5.5 仮設電力設備数量表	5-	25
5.6 フリッカ対策検討	5-	29

1. 施工法の検討

1. 施工法の検討

1.1 概要

トンネルの施工にあたっては、トンネル断面，工事規模，工期，地山条件，立地条件等を考慮し、適切な掘削方式，掘削工法，坑内運搬方式等を選定し、施工計画を立てなければならない。

トンネルの施工に際しての選定項目を下記に示す。

1.2 掘削方式

トンネルの安定性・耐久性・経済性を考えれば、できるだけ地山を緩ませず余掘りを少なくすることがトンネル掘削にあたっての基本理念といえる。しかしながら、地山条件，作業効率等を考慮した場合、ある程度の地山の緩みや余掘りは避けられない。

このため、掘削にあたっては、総合的に安全で経済的となるような掘削方式，掘削工法等を選定しなければならない。

(1) 掘削方式の一般的種類

1) 発破掘削

発破掘削は爆薬で地山を破碎掘削するもので、硬岩地山から土砂地山まで幅広い地山に適用でき、柔軟性に富んでいるので我が国のように地質の変化の激しい所では経済的な掘削方式となり多用されている。しかし、爆薬を用いるため保安に細心の注意が必要であること、余掘が多くなることや地山を傷めやすいなどの弱点がある。また、発破による騒音振動を伴うため、環境保全対策が必要となる場合もある。

2) 機械掘削

機械掘削は、地山を機械的に圧砕または切削して掘削する方式で、地山を緩ませず余掘も少ないこと，騒音や振動が少ないこと，保安上の制約が少ないことや地山条件によっては経済的に優れるなどの利点がある。機械はブーム式自由断面掘削機械とトンネルボーリングマシン（TBM）に大別できる。

前者は土砂～軟岩に多用されているが、後者は通常円型断面に限られること、地山が軟岩～中硬岩の安定したものでなくてはならないこと等により、我が国の道路トンネルの施工例は少ない。

3) 人力掘削

人力掘削はピッグハンマー・つるはし等の簡単で軽易な器械や器具を用いて、人力を主体に掘削する方法であり、地山の条件によって例えば、坑口部などの切羽の自立性が悪く鏡押さえや縫地矢板で掘削する場合やごく小断面の導坑等を掘削する場合にはやむを得ず人力掘削に頼ることがある。

(2) 掘削方式の選定

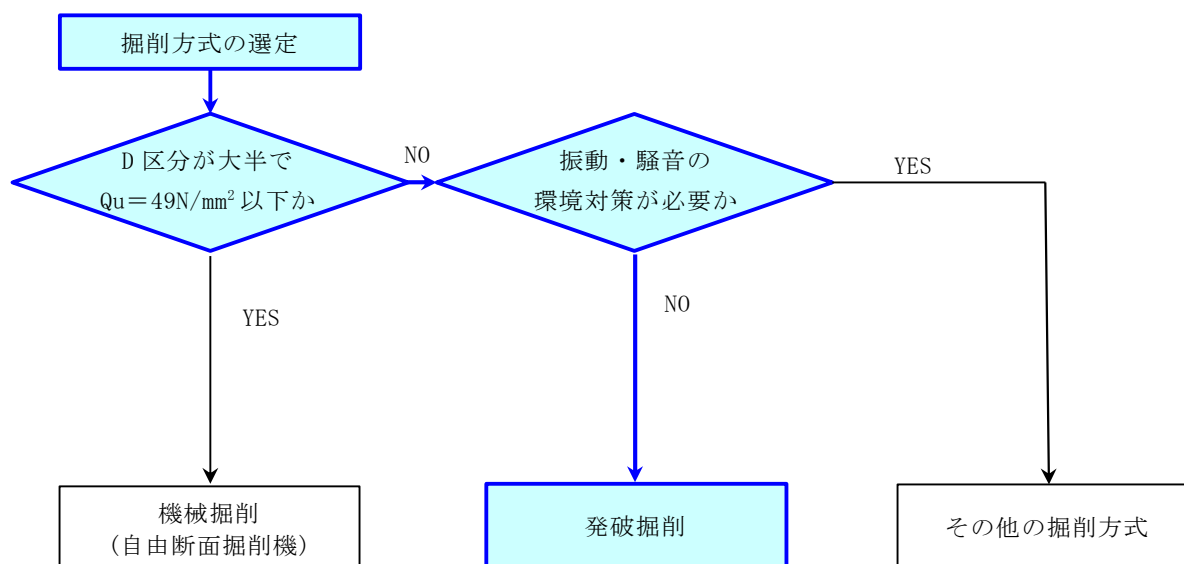
掘削方式には発破掘削，機械掘削，人力掘削があるが、作業能率や施工性の面から、一般的に発破掘削と機械掘削が主体である。

- ① 発破掘削は通常，巾広い地質に適用され施工例も多い。
- ② 機械掘削は一般的には第三紀層以降の泥岩，シルト岩，砂岩，凝灰岩等の一軸圧縮強度 $q_u = 49\text{N/mm}^2$ 以下の軟岩地質に多く適用されている。これより硬いと切羽損傷が甚だしくなり、機械の能力が低下してしまう。

<本トンネルの掘削方式>

本トンネルは既存法面および国道 168 号が近接し、発破掘削の場合、振動・騒音の影響が大きいと考えられる。地山区分では C 区分が全区間の 75% 以上となる。一軸圧縮強度は最大で 102.8N/mm^2 と機械掘削では施工困難な値となっている。

本トンネルでは起点側坑口付近の既存法面に対する発破影響（発破振動）に対して、管理基準値を満足するため、**発破掘削方式**を選定する。



(注) 大半の区分は 90% 程度を目安とする。

図 1.2.1 掘削方式選定フロー

「令和 2 年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」IV-5-①-2

地山等級区分	延長 (m)	比率 (%)	備考
C I	264.00	20.8%	
C II	713.00	56.2%	
D I	249.00	19.6%	
D III	42.00	3.3%	
	1268.00	100.0%	

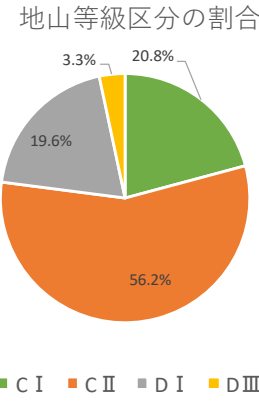


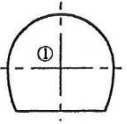
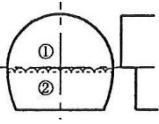
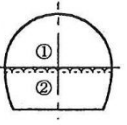
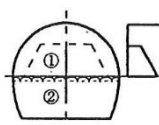
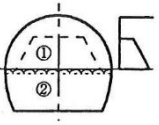
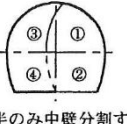
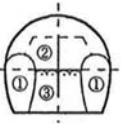
図 1.2.2 支保パターン割合

1.3 掘削工法

(1) 掘削工法の分類

掘削工法は、工事の安全性と経済性に影響するため、掘削工法の選定にあたっては、トンネルの規模・断面の大きさと形状・地山条件・工期等を十分に考慮して慎重な検討が必要である。

表 1.3.1 標準的な掘削工法の分類と得失

掘削工法		加背割	主として地山条件からみた適用条件	長 所	短 所
全断面工法			- 小断面トンネルにおける一般的施工法 - 大断面(60 m²以上)ではきわめて安定した地山 - 中断面(30 m²程)では比較的安定した地山 - 良好な地山が多くても不良地山が狭在する場合には段取替えが多くなり不適	- 機械化による省力化急速施工に有利 - 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利	- トンネル全長が単一工法で施工可能とは限らないので、補助ベンチ等の施工法の変更体制が必要 - 天端付近からの浮石の崩落がある場合には、落下高さに比例して衝突エネルギーが増大するので注意を要する
補助ベンチ付き全断面工法		 ベンチ長≒2~4m	- 全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山 - 全断面施工中に施工が困難になった場合 - 良好な地山が多いが部分的に不良地山が狭在する場合	- 機械化による省力化急速施工に有利 - 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利	補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の段取替えが困難
ベンチ工法	ロングベンチカット工法	 ベンチ長>5D	全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山	上半・下半を交互に掘削する交互掘進方式の場合機械設備、作業員が少なくすむ	交互掘進方式の場合、工期がかかる
	ショートベンチカット工法	 D<ベンチ長≤5D	土砂地山、膨張性地山から中硬岩地山まで適用できる工法で最も基本的かつ一般的な施工法	地山の変化に対応しやすい	同時併進の場合には上・下半の作業時間サイクルのバランスがとりにくい
	ミニベンチカット工法	 ベンチ長<D	- ショートベンチカット工法の場合よりもさらに内空変位を抑制する必要がある場合 - 膨張性地山等で早期の閉合を必要とする場合	インパートの早期閉合がしやすい	- 上半施工用の架台が必要となる - 上半部の掘削に用いる施工機械が限定されやすい
中壁分割工法		 上半のみ中壁分割する方法と上下半ともに分割する方法がある	- 地表面沈下を最小限に防止する必要がある土被りの小さい土砂地山 - 大断面トンネルで比較的良好な地山	- 断面を分割することによって切羽の安定が確保しやすい - 地表面沈下を相当程度まで小さくすることが可能 - 側壁導坑先進工法より加背が大きく、施工機械をやや大きくすることが可能	- 中壁撤去時の変形等に留意が必要である - 中壁の撤去工程が加わる - 坑内からの特殊な補助工法の併用が困難である
側壁導坑先進工法			- ベンチカット工法では地盤支持力が不足する場合 - 地表面沈下を抑止する必要がある土被りの小さい土砂地山	- 地表面沈下を小さくすることが可能 - 中壁分割工法の中壁撤去に比較して、側壁部の仮壁撤去が容易	導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる

(2) 掘削工法の選定

本トンネルは一般的なトンネル掘削と考え、以下の事項を考察した。

- ①基本的に深部の岩質は、軟岩～中硬岩地山であり、施工基面の支持力はN値>50が確保される。これより、支持力に対する問題は無いと考える。
- ②トンネル湧水は施工に支障するほど多くないと予測されるため、導坑による水抜きは必要としないことから側壁導坑の必要性はない。
- ③本トンネルの掘削断面積は $A=65\text{ m}^2$ 程度であることや、対象地山深部は弾性波速度 $4.0\sim 4.9\text{ km/s}$ 以上の片岩が続くことから、掘削時における切羽の自立及び掘削断面の安定上の問題は少ないと考えられる。これより、中壁分割工法の必要はなく、また加背を細分化することによる施工機械の投入は困難で不経済である。部分的な不良箇所については補助工法を用いれば加背割の変更は必要ない。

以上より、本トンネルでは一般的なトンネル工法を採用することが妥当と判断される。これより、掘削工法は土木工事標準積算基準書に示される工法とし、**C区分は「補助ベンチ付き全断面工法」、D区分は「上半先進ベンチカット工法」**を採用する。

表 1.3.2 掘削区分、掘削方式および掘削工法

掘削方式	掘削区分	掘削工法	備 考
発破掘削	C	補助ベンチ付き全断面工法	—
	D	上半先進ベンチカット工法 (ショートベンチカット工法)	上下半交互併進工法
機械掘削	C, D	上半先進ベンチカット工法 (ショートベンチカット工法)	上下半同時併進工法

注) 地山条件等により切羽の安定性の確保や地山の崩壊防止のため、必要に応じて適切な補助工法を採用するものとする。

「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」IV-5-①-4、71

1.4 坑内運搬方式

坑内運搬方式にはタイヤ方式とレール方式とがありそれぞれの特徴を下記に示す。

表 1.4.1 坑内運搬方式の特徴

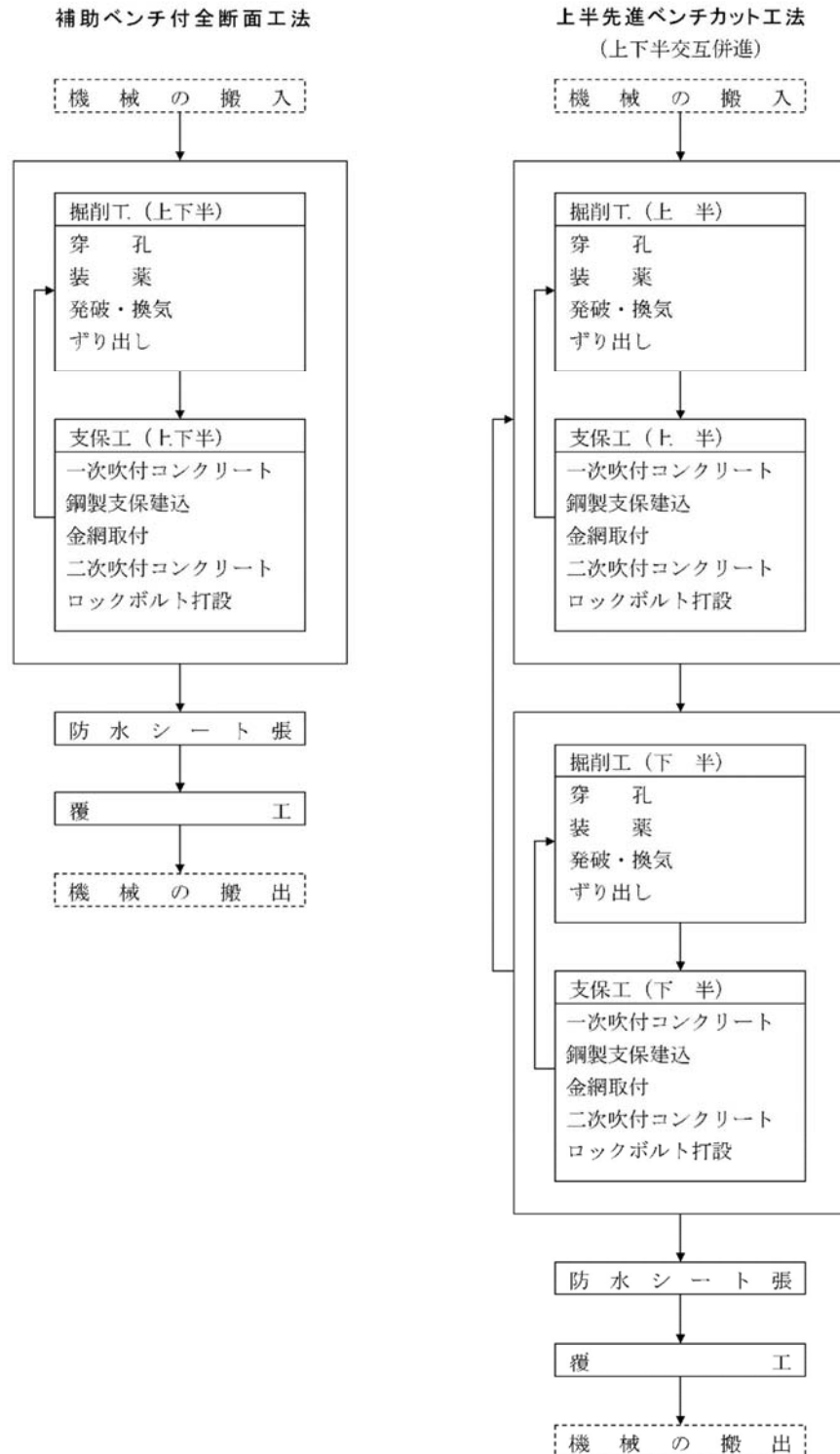
項 目	タイヤ方式	レール方式
堀削盤の状況	・ダンプトラックが直接坑内に入ることになるので、足場がしっかりしていることが条件となる。 (坑内排水を完全にする) ・湧水が多く地質が泥濘化する場合は一般に不向き。	・枕木の上にレールが敷かれるので、加重分散され、タイヤ方式の様な掘削盤の制約を受けない。
設 備	・軽微な坑外設備で良い。 ・換気設備が大きくなる。	・レール布設が面倒である。 ・ある程度の設備および敷地が必要である。 ・換気設備は小型の設備で良い。
施工性	・坑内で1度積み込みを行えばそのまま仮置場または土捨場へ搬出できる。 ・勾配制限が少ない。	・ロコで坑外に搬出した後ダンプに積み込み捨土となるので、積み込みが2工程となる。 ・勾配に制限がある。(3.0%以下)

本トンネルで計画する仮設ヤードの面積では軌条設備を設置することは容易ではないことから、レール方式は不適である。

したがって、仮設備規模が小規模で施工性・機動性に優れ、国土交通省の標準方式である「**タイヤ方式**」を採用する。

1.5 施工概要

本トンネルにおける施工順序は土木工事標準積算基準書に示されるフローに従うものとする。



（注） 本歩掛で対応しているのは実線部分のみである。

「令和２年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」Ⅳ-5-①-3

図 1.5.1 発破工法施工フロー

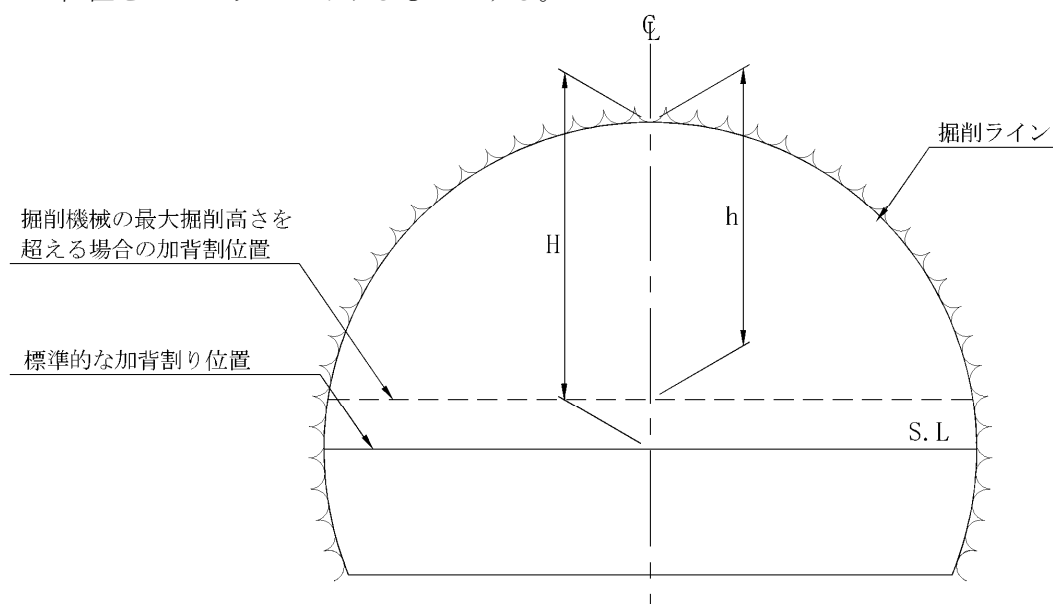
1.6 掘削断面（加背割）

(1) 上下半盤の位置

以下に、「平成 24 年度 近畿地方整備局 設計便覧」の抜粋を示すが、一般にトンネル施工時における上・下半盤の加背区分に関しては、S.L（スプリングライン）の位置を基準とすることが原則である。ただし、機械掘削工法の場合で上半の加背が掘削機械の最大掘削高 6.0m を超える場合、上下半の位置を調整した W.L（ワーキングライン）を設ける必要がある。

1) 発破工法における掘削加背割はスプリングラインを境界線とする。

2) 機械掘削の場合で上半の加背が掘削機械の最大掘削高（6.0m）を超える場合は、上半盤の位置を 5cm ピッチであげるものとする。



H：標準的な加背高（S.L.）

h：上半の加背が掘削機械の最大掘削高（6.0m）を超える場合の加背割高

「平成 24 年度 近畿地方整備局 設計便覧」P.8-16

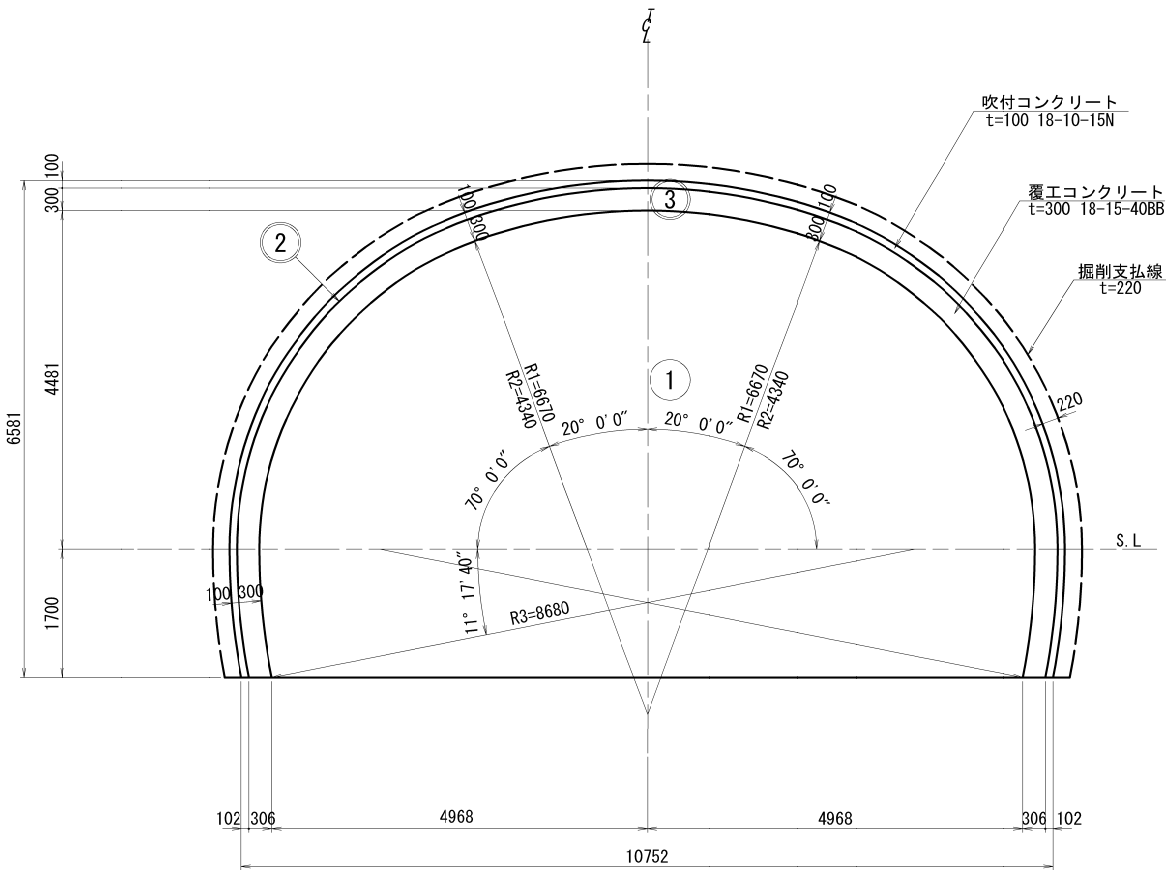
図 1.6.1 加背割線

(2) 本トンネルの加背割図

本トンネルの加背割図を以下に示す。

加 背 割 図 (1) S=1:50

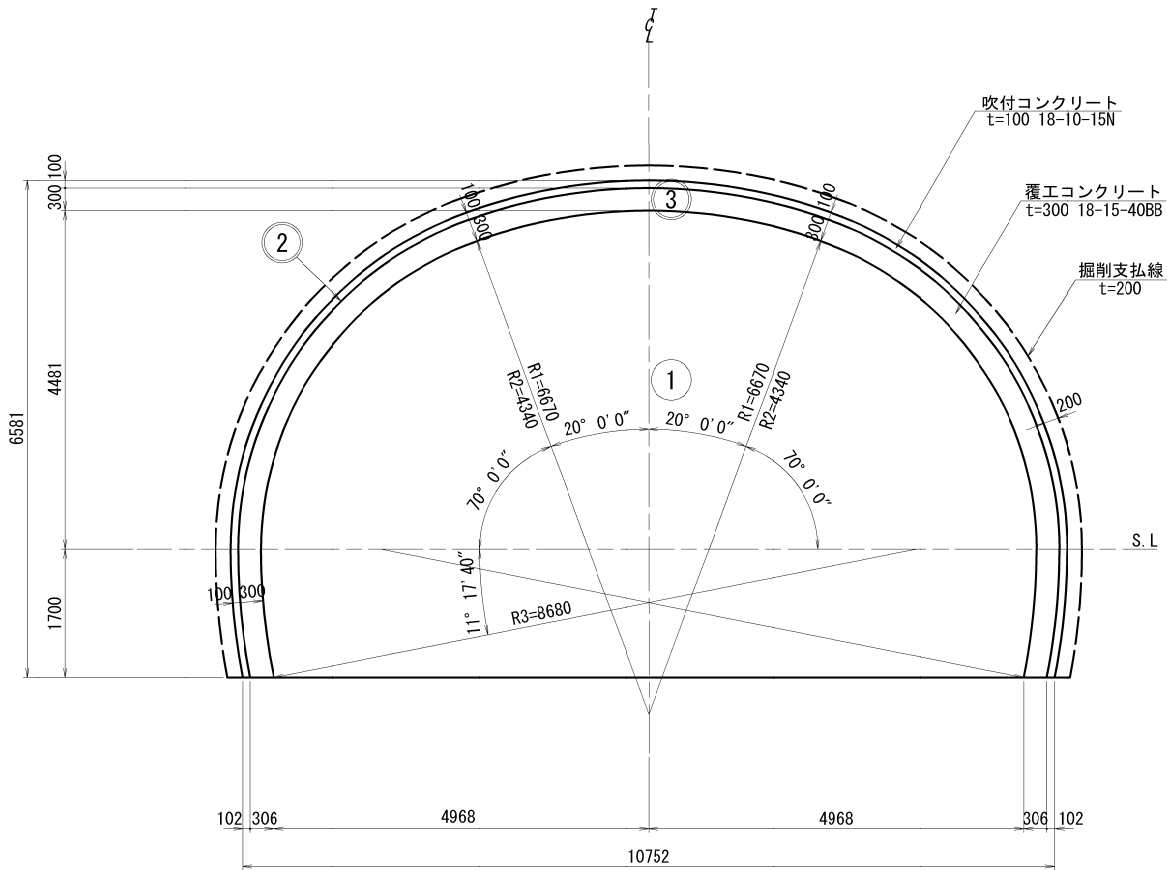
C I 断面



数 量 表

名 称	掘 削 (m³/m)		吹 付 コンクリート (m²/m)	コンクリート (m³/m)	
	設 計	支 払		設 計	支 払
① 全断面	61.797	66.258			
② 全断面吹付コンクリート			19.625		
③ 覆エコンクリート				5.746	9.128
合 計	61.797	66.258	19.625	5.746	9.128

C II-b 断面



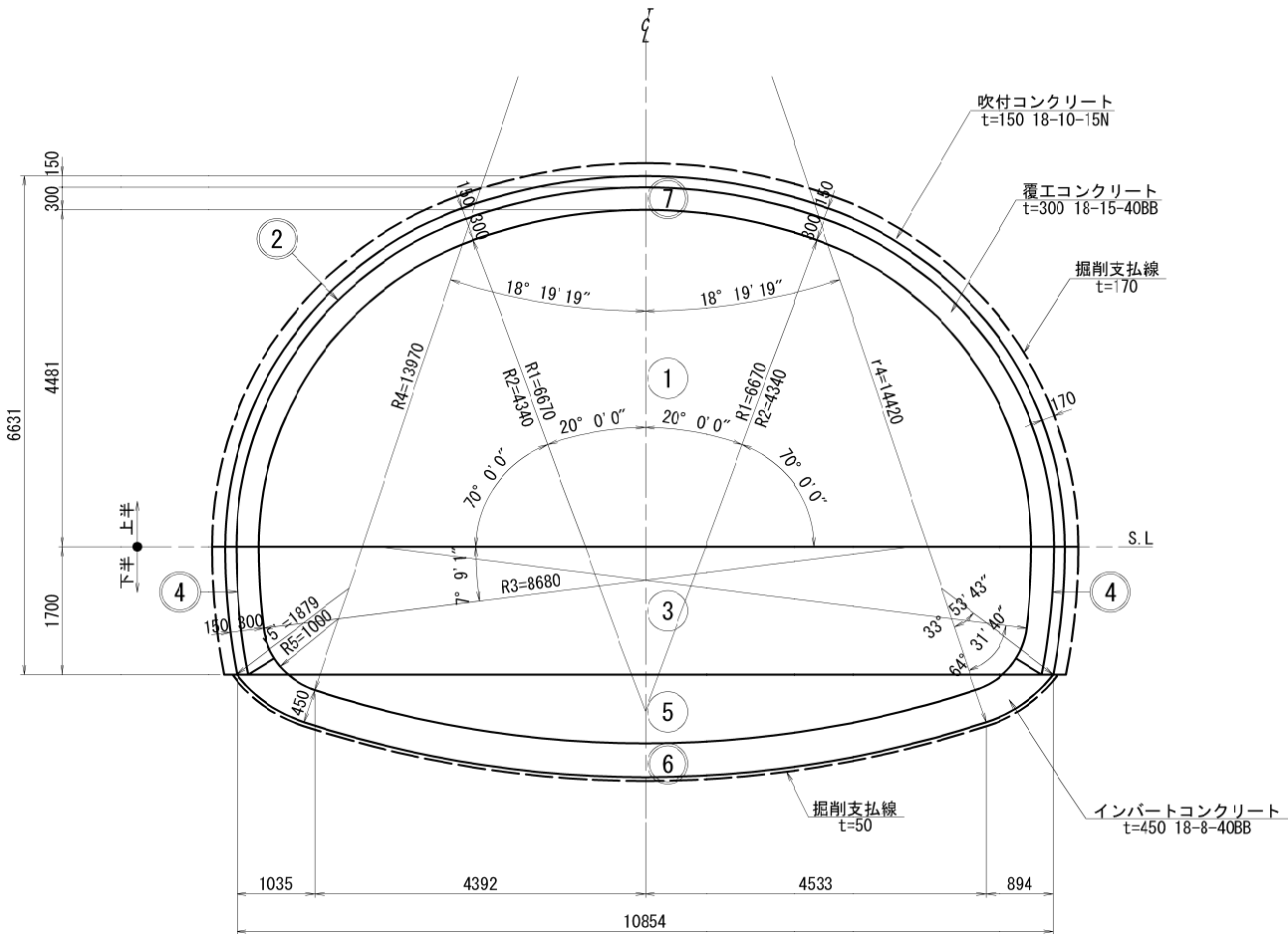
数 量 表

名 称	掘 削 (m³/m)		吹 付 コンクリート (m²/m)	コンクリート (m³/m)	
	設 計	支 払		設 計	支 払
① 全断面	61.797	65.347			
② 全断面吹付コンクリート			19.625		
③ 覆エコンクリート				5.746	8.324
合 計	61.797	65.347	19.625	5.746	8.324

年 度	令和2年度 県債国補国改 第2号-3 令和2年度 道改書 第8号-2				
工 事 名	国道188号(仮称相須1号トンネル)道路改築外合併設計業務				
箇 所	新宮 郡	熊野川 町	相須 地内		
事務所名	東牟婁振興局		新宮建設部		
調査		測量		設計	
加背割図 (1)				図 面	* *
縮尺 S=1:50				番 号	

加 背 割 図 (2) S=1:50

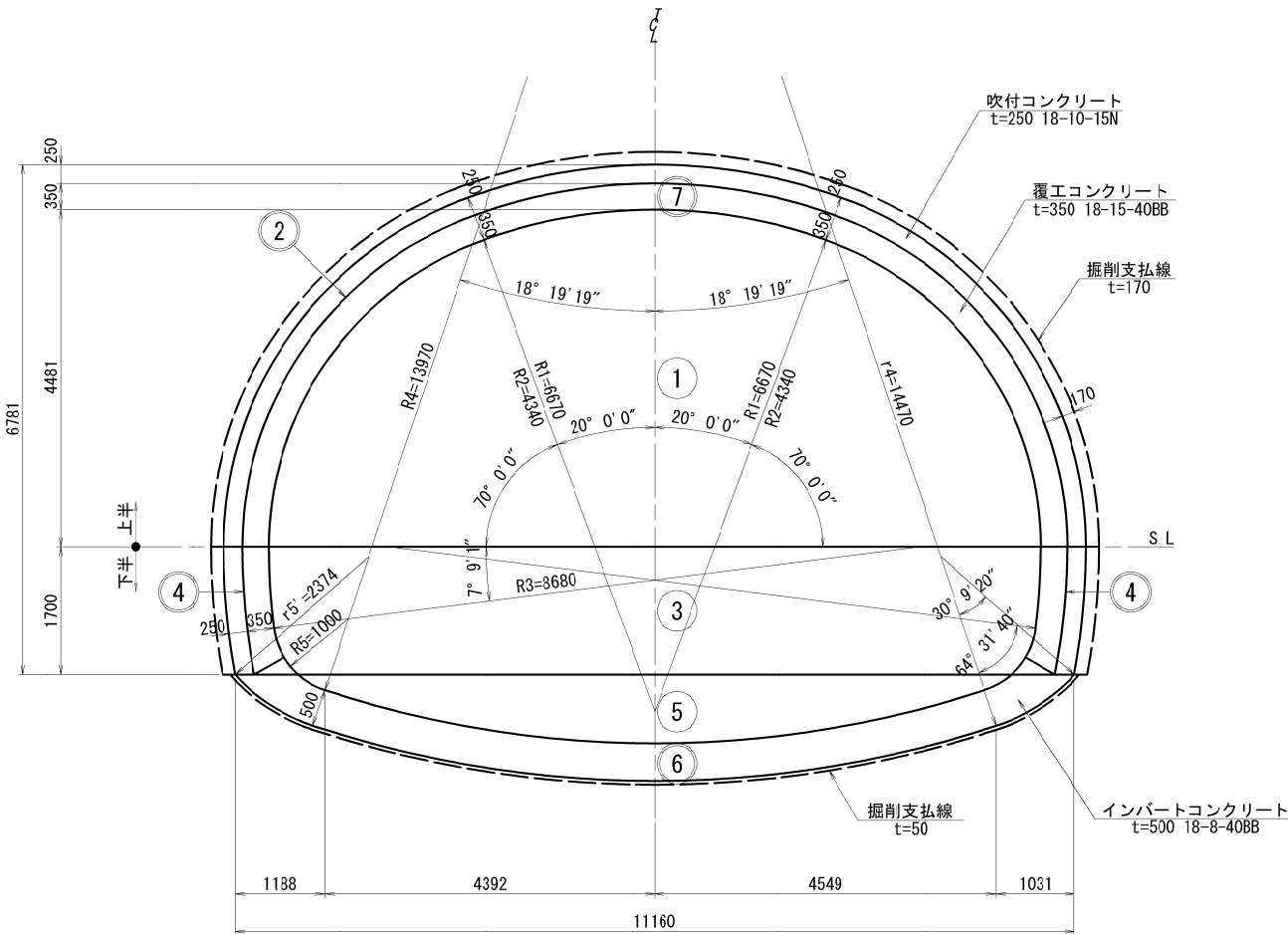
DⅠ-b,DⅠ-b-S 断面



数 量 表

名 称	掘 削 (m ³ /m)		吹 付 コンクリート (m ² /m)	コンクリート (m ³ /m)	
	設 計	支 払		設 計	支 払
① 上半断面	43.982	46.862			
② 上半吹付コンクリート			16.204		
③ 下半断面	18.815	19.396			
④ 下半吹付コンクリート			3.421		
⑤ 盤下げ	10.860	11.437			
⑥ インバートコンクリート				4.916	5.492
⑦ 覆工コンクリート				5.719	7.698
合 計	73.657	77.695	19.625	10.635	13.190

DⅢa,DⅢa-S 断面



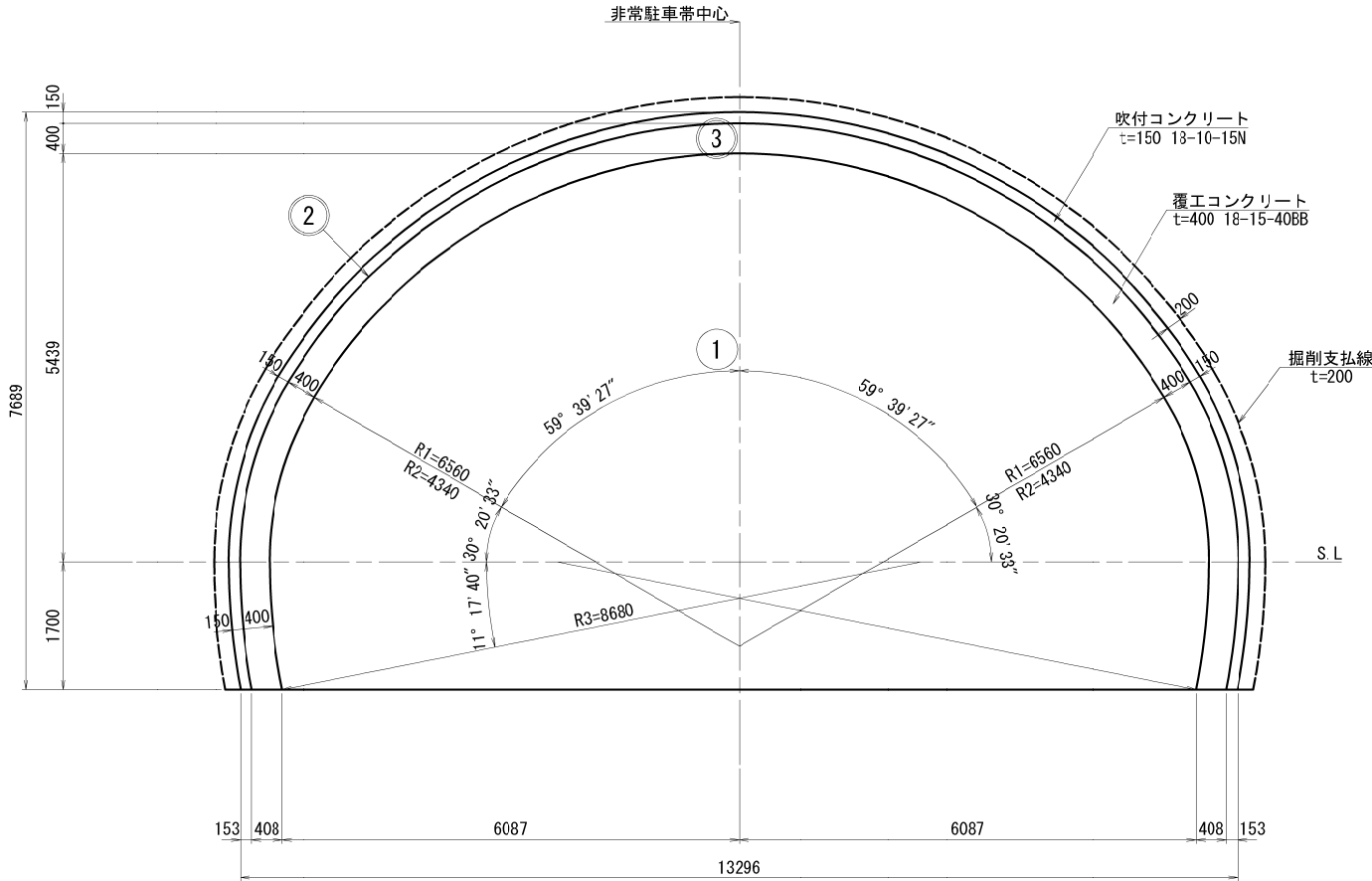
数 量 表

名 称	掘 削 (m ³ /m)		吹 付 コンクリート (m ² /m)	コンクリート (m ³ /m)	
	設 計	支 払		設 計	支 払
① 上半断面	46.519	49.479			
② 上半吹付コンクリート			16.361		
③ 下半断面	19.328	19.909			
④ 下半吹付コンクリート			3.420		
⑤ 盤下げ	11.494	12.086			
⑥ インバートコンクリート				5.558	6.160
⑦ 覆工コンクリート				6.685	8.679
合 計	77.341	81.474	19.781	12.253	14.839

年 度	令和2年度 令和2年度		県債国補国改 第2号-3 道改書 第8号-2	
工 事 名	国道188号(仮称相須1号トンネル)道路改築外合併設計業務			
箇 所	新宮 郡	熊野川 村	相 須 地 内	
事務所名	東牟婁振興局		新宮建設部	
調査		測量	設計	製図
加背割図 (2)			図 面	*
縮尺	S=1:50		番 号	*

加 背 割 図 (3) S=1:50

CⅡ-L 断面



数 量 表

名 称	掘 削 (m ³ /m)		吹 付 コンクリート (m ² /m)	コンクリート (m ³ /m)	
	設 計	支 払		設 計	支 払
① 全断面	86.113	90.856			
② 全断面吹付コンクリート			22.934		
③ 覆エコンクリート				8.923	11.931
合 計	86.113	90.856	22.934	8.923	11.931

年 度	令和2年度 県債国補国改 第2号-3 令和2年度 道改書 第8号-2				
工 事 名	国道188号(仮称相須1号トンネル)道路改築外合併設計業務				
箇 所	新宮	市	熊野川	町	相須 地内
事務所名	東牟婁振興局		新宮建設部		
調査		測量		設計	
加背割図 (3)				図 面	*
縮尺	S=1:50		番 号	*	

2. 施工計画

2.1 施工計画概要

施工計画においては、「令和3年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」に準拠し計画する。

本トンネルの施工は、地山の一軸圧縮強度が $q_u=49\text{N/mm}^2$ 以上であるため、爆破掘削方式とし、NATMによる補助ベンチ付全断面工法および上半先進ベンチカット工法を採用する。

掘削方法として終点坑口からの片押し施工とする。

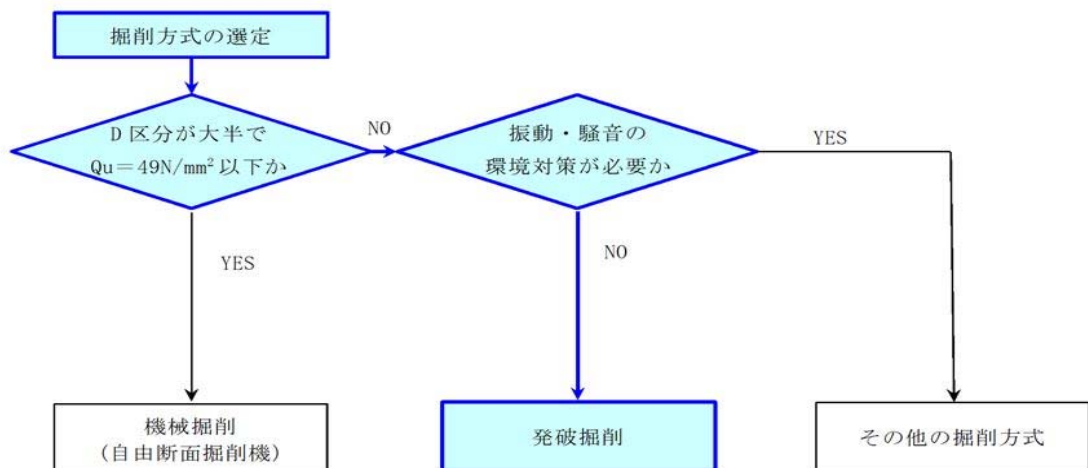
ここで、施工対象となる掘削断面積種類及び対策別区間延長は、表2.1.1のとおりである。

表2.1.1 掘削断面別施工延長内訳

断面区分	施工延長 (m)		断面形状	適用歩掛
	上 半	下 半		
C I	264.000	264.000	通常断面	C I
C II -b	658.800	658.800	通常断面	C II
D I -b	205.000	205.000	通常断面	D I
D I -b-S	44.000	44.000	通常断面	D I
D III a	10.600	13.100	通常断面	D II
D III a-S	20.800	20.800	通常断面	D III
坑口付	9.400	4.400	坑口付	
面 壁	1.200	1.200	坑門工	
C II -L	54.200	54.200	大断面	C II
合 計	1,268.000	1,265.500		

工法の選定フロー

掘削工法の選定は、下図を標準とするが、適用にあたっては、ボーリング調査等の事前調査により、トンネルの地山条件（一軸圧縮強度、亀裂係数、地質、湧水等）にや環境条件等を総合的に判断し、これにより難しい場合は、別途選定するものとする。



(注) 大半の区分は90%程度を目安とする。

2.2 適用範囲

2.2.1 適用範囲（標準断面、大断面）

本資料は、施工計画編と施工歩掛編に分かれている。

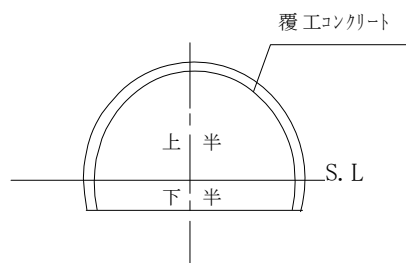
なお、本資料はトンネル工（NATM）における片押し延長2,500m以下、掘削断面積 50m^2 以上 130m^2 以下のトンネルに適用するとされており、適用にあたっては、下記事項に留意して実施するものとするとしている。

- ① 施工歩掛における通常断面と大断面の適用区分については次表を標準とする。

歩掛区分の適用範囲

歩掛区分	適用範囲
通常断面	技術基準における通常断面の支保構造のトンネルの場合
大断面	技術基準における大断面の支保構造のトンネルの場合

- ② 非常駐車帯及び坑口部にも適用できる。
- ③ 掘削工法は発破掘削に適用する。
- ④ 発破工法は、普通一般地質における補助ベンチ付全断面掘削工法および上半先進ベンチカット工法に適用する。
- ⑤ 隣接トンネルや住居近接トンネルでの標準の工法が採用できない場合は別途考慮する。
- ⑥ 片押し延長が2,500mを超えるもの、掘削断面積 50m^2 未満又は掘削断面積 130m^2 を超えるものは、別途考慮する。
- ⑦ 坑口部等で本資料により難しい場合は、別途考慮する。
- ⑧ ずり搬出方式は、タイヤ方式とする。
- ⑨ 掘削区分A, B, CⅡ-a, DⅠ-a, Eについては、別途積算する。
- ⑩ トンネル形状については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（平成15年11月）等に準拠する。
- ⑪ 標準的な加背割りは、下図のとおりである。



加背割図

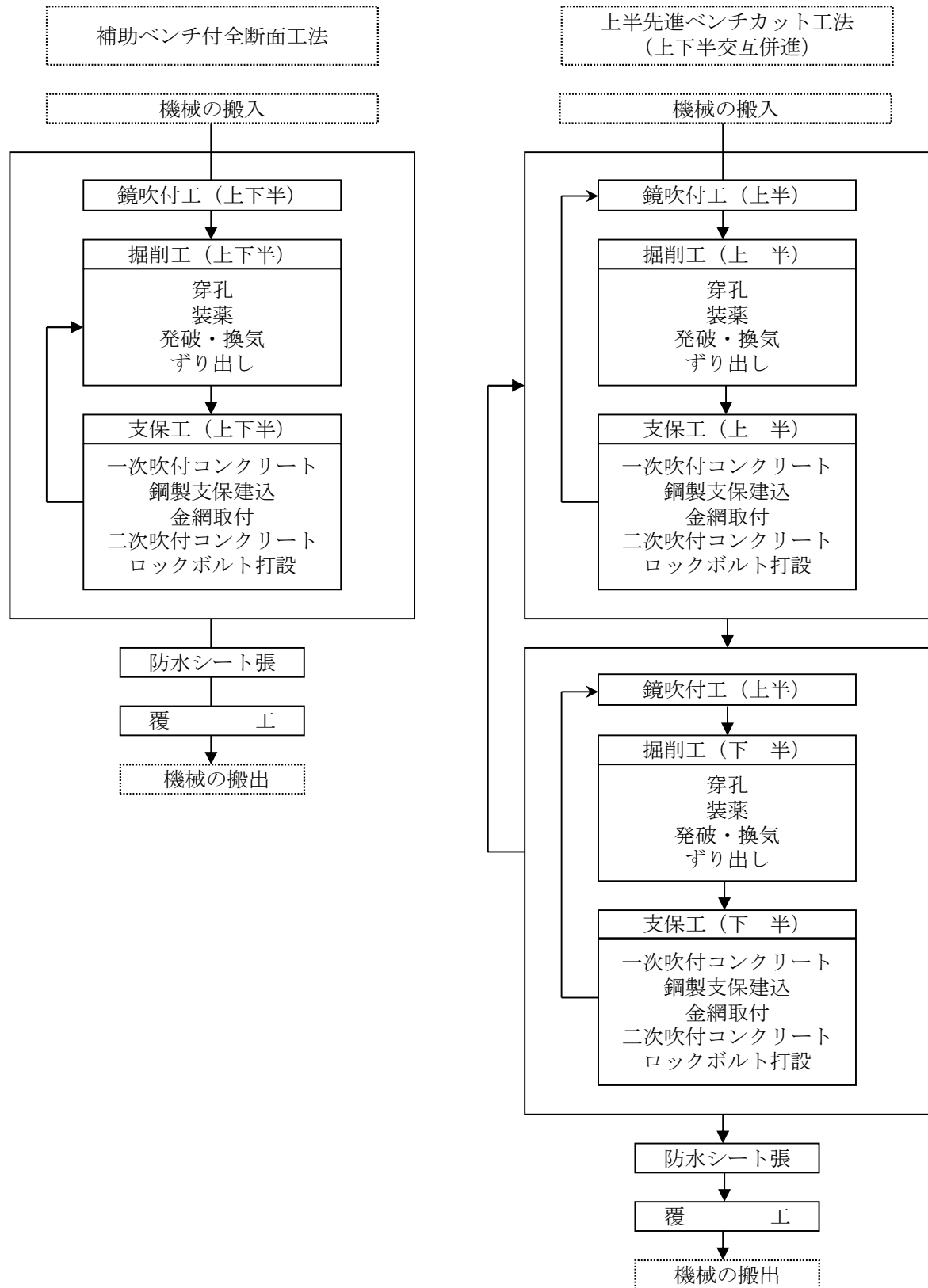
- ⑧工事工程および施工歩掛に小、大断面別掘削断面積の適用範囲は以下のとおり。

掘削断面積の適用範囲（標準断面、DⅢパターン）

岩 区 分		掘削断面積 (m ²)	適用範囲 (m ²)	備 考
CⅠ・CⅡ		50	50.0≦A<52.5	覆土工にも適用
		55	52.5≦A<57.5	
		60～125	上記と同様	
		130	127.5≦A≦130.0	
DⅠ DⅡ DⅢ	上半	40	40.0≦A<42.5	
		45	42.5≦A<47.5	
		50～105	上記と同様	
		110	107.5≦A≦110.0	
	下半	10	10.0≦A<12.5	
		15	12.5≦A<17.5	
		20～45	上記と同様	
		50	47.5≦A≦50.0	

（注）上表の断面積は設計断面積である（余掘を含まない）

なお、施工歩掛には余掘（余巻、余吹）を含んでいる。



(注) 本歩掛で対応しているのは実線部のみである。

2.3 施工計画

2.3.1 掘削区分

掘削区分及び掘削工法は、次表を標準とする。

掘削方式及び掘削工法

掘削方法	掘削区分	掘削方式	掘削工法
発破工法	C	補助ベンチ付全断面工法	—
	D	上半先進ベンチカット工法	上下半交互併進工法
		(ショートベンチカット工法)	

(注) 地山条件等により切刃の安定性の確立や地上の崩落防止等のために必要に応じて適切な補助工法を計上するものとする。

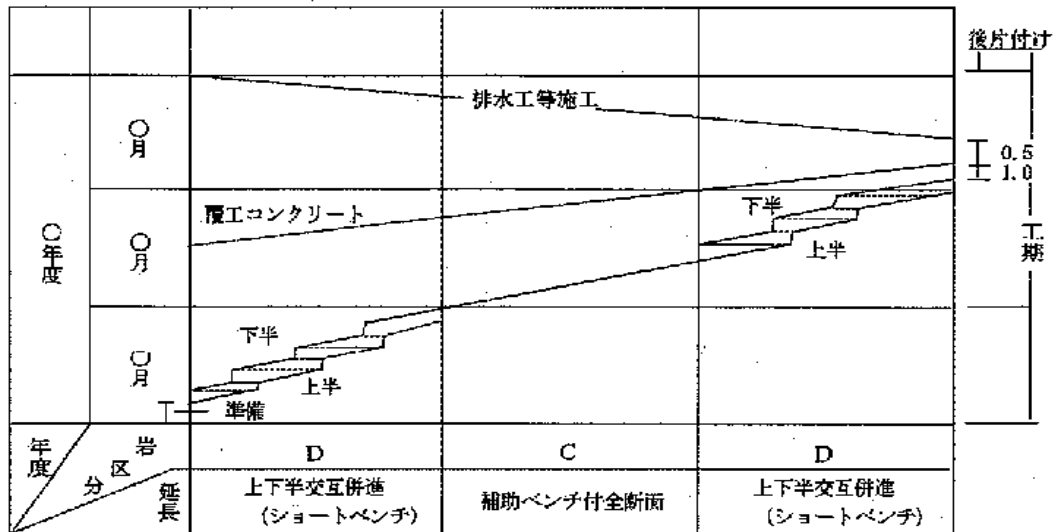
2.3.2 工事工程

工程表の決定にあたっては、トンネル延長、地質、地形、掘削方式及び掘削工法等を考慮して決定する。

発破工法

必要工期＝補助ベンチ付全断面掘削期間＋上下半交互併進時の上半掘削期間＋上下半交互併進時の下半掘削期間＋1.5ヶ月（特別な場合は別）＋排水工等雑考期間＋準備及び後片付け

標準的な工程表作成の考え方（参考）



2.3.3 時間当り作業量

時間当り作業量は下表を標準とし、これにより難い場合は別途考慮する。

なお下表は、1日当りの労働時間を8時間、2方（2交替）・週5日施工を標準としている。

・通常断面

（掘削工～支保工）

（m/時間当り）

岩区分		掘削断面積 (m ²)												摘要	
					50	55	60	65	70	75	80	85	90		95
C I					0.340	0.313	0.323	0.298	0.293	0.228	0.267	0.265	0.255	0.250	必要な 断面積 を上下 半各々 に計上 する。
C II		掘削断面積 (m ²)													
					50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
					0.265	0.258	0.256	0.248	0.245	0.238	0.234	0.226	0.219	0.214	
D I	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							0.237	0.231	0.230	0.223	0.218	0.212	0.210	0.204	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.478	0.450	0.438	0.425	0.403	0.382	
D II	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							0.237	0.235	0.222	0.220	0.218	0.206	0.207	0.198	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.450	0.438	0.427	0.415	0.413	0.392	
D III	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							0.216	0.208	0.203	0.205	0.198	0.196	0.195	0.187	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.450	0.425	0.403	0.383	0.355	0.339	

・大断面

（掘削工～支保工）

（m/時間当り）

岩区分		掘削断面積 (m ²)												摘要	
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125		130
C I		0.259	0.259	0.259	0.256	0.252	0.237	0.221	0.215	0.209	0.205	0.201	0.197	0.193	必要な断面積を上下半各々に計上する。
C II		掘削断面積 (m ²)													
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
		0.22	0.217	0.214	0.206	0.198	0.194	0.190	0.186	0.181	0.179	0.176	0.172	0.167	
D I	上半	掘削断面積 (m ²)													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				0.188	0.181	0.174	0.173	0.171	0.168	0.164	0.161	0.157	0.155	0.152	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.493	0.466	0.438	0.410	0.382	0.378	0.374	0.348	0.321	
D II	上半	掘削断面積 (m ²)													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				0.182	0.177	0.172	0.169	0.165	0.162	0.158	0.156	0.154	0.151	0.147	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.478	0.459	0.439	0.412	0.384	0.372	0.359	0.341	0.322	
D III	上半	掘削断面積 (m ²)													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				0.151	0.147	0.145	0.142	0.139	0.137	0.134	0.132	0.129	0.128	0.125	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.368	0.347	0.338	0.321	0.305	0.291	0.284	0.272	0.260	

本トンネルの時間進算出

断面区分	鏡吹付	掘削断面積 設計 (m ²)	該当 断面積	標準工程	補助工法	合計	補助工法
				m/時間	m/時間	m/時間	
C I	有	61.797	60	0.323	—	0.323	
C II -b	有	61.797	60	0.256	—	0.256	
D I -b	上半	43.982	45	0.231	—	0.231	
	下半	18.815	20	0.438	—	0.438	
D I -b-S	上半	43.982	45	0.231	0.560	0.164	長尺先受工
	下半	18.815	20	0.438	—	0.438	
D III a	上半	46.519	45	0.208	—	0.208	
	下半	19.328	20	0.403	—	0.403	
D III a-S	上半	46.519	45	0.208	1.288	0.179	長尺先受工
	下半	19.328	20	0.403	—	0.403	
C II -L	有	86.113	85	0.206	—	0.206	

※1. 補助工法は別途週進を算出する。(2.8 補助工法工程参照)

※2. 合成=1/(1/標準+1/補助工法)

2.3.4 作業内容

(1) 作業内容は、次表とする。

作業内容 の区分	作業内容		摘 要
坑 内	掘削作業 支保工作業		
	ずり運搬（直送方式）		
	覆工作業	型枠工	
		コンクリート工	
	インバート工		
	防水工		
坑 外	仮設備保守		

(注) 1. 支保工作業とは吹付，金網，ロックボルト，鋼製支保工の総称である。

2. 「明り」の作業は下記のものとする。

- ・地下排水工，路盤工，舗装工，側溝工
- ・坑門工，吹付プラント設備組立・解体，ずり出し（積替方式の場合の坑外運搬）
- ・スライドセントル組立・解体，防水工作業台車組立・解体
- ・ストックヤード設置・撤去，給排水設備設置・撤去
- ・濁水処理設備設置・撤去，坑外電力設備

(2) その他

①掘削工、インバート工、覆工等の坑内作業分は、トンネル職種の単価とする。

②地下排水、側溝、舗装等の覆工完了後に施工する作業は、一般明り職種の単価とする。

2.3.5 余掘、余巻および余吹

トンネル工事では、設計断面どおりに掘削することは困難であるため、当初から設計内空半径に覆工及び吹付コンクリート厚に加え、余掘・余巻・余吹コンクリート厚を見込む必要がある。変形余裕を設計図面に明示した場合の設計掘削断面積は、変形余裕厚さを加算した面積とする。

余掘：設計巻厚を確保するために、設計断面積より大きく掘削すること

余巻：余掘部分を覆工コンクリートで充填すること

余吹：余掘部分を吹付コンクリートで充填すること

支払線（ペイライン）：余掘を考慮した断面積の外周

なお、余掘、余巻、余吹は、次表を標準とする。

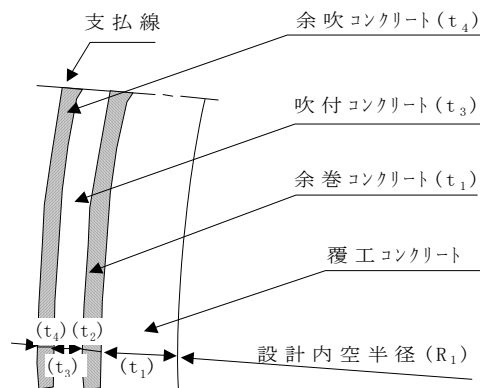
余掘、余巻及び余吹厚 (cm)				
掘削方法	掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚(N1)
発破工法	C I	22	17	5
	C II	20	13	7
	D I	17	10	7
	D II	17	10	7
	D III	17	10	7

(注)1. 覆工コンクリート、吹付コンクリートおよび設計内空半径に対する割増し厚さである。

2. 非常駐車帯、避難連絡坑等についても上表を摘要する。

3. 変形余裕量を見込む場合は余掘、余巻は上表より5cm減じ、掘削断面に変形余裕量を加えるものとする。

4. 設計値と支払線の関係は、次図を標準とする。



設計掘削半径＝設計内空半径 (R1) + 覆工コンクリート厚 (t1) + 吹付コンクリート厚 (t3)

支払掘削半径＝(設計内空半径 (R1) + 覆工コンクリート厚 (t1) + 吹付コンクリート厚 (t3) + 余掘
＝設計掘削半径 + 余掘

余掘＝余巻コンクリート (t2) + 余吹コンクリート (t4)

2.3.6 機械損料の補正等

トンネル掘削工に使用するホイールローダ、バックホウ（大型ブレーカ用ベースマシン含む）、ダンプトラックについては、機械損料の補正を行うものとし、トンネルの掘削区分による補正割増は、次表とする。

機械損料の補正

掘削区分	機械損料の補正	岩分類
C I・C II	25%	中硬岩
D I	25%	軟岩（Ⅱ）
D II・D III	25%	軟岩（Ⅱ）
	—	軟岩（Ⅰ）

- （注）1. 土量変化率は「土木工事積算基準 第Ⅱ編第1章①土量変化率等」による。
 2. トンネル内における機械損料の割増は上表のとおりとし、掘削土仮置以降の機械損料の割増については、「土木工事積算基準 第Ⅱ編 第1章土工②-1機械土工（土砂）、②-2機械土工（岩石）」による。
 3. 掘削区分D IIの岩分類の判定に当たっては、岩の性状により決定するものとする。

2.3.7 機械賃料との補正等

トンネル工事対応の下記の機械を使用する場合は、次表に示す数値を乗じて得た額とする。

機械名	規 格	基礎規格に乗ずる率	摘 要
振動ローラ	（トンネル工事対応）搭乗・コンバインド式 ・排出ガス対策型（第2次基準値）・低騒音型 ・運転質量3～4 t	1.23	賃料

2.3.8 吹付プラント設備

吹付プラント設備の機種、規格は、次表を標準とする。

吹付プラント設備の機種の選定

機 種	規 格	単位	数量
セメントサイロ	〔鋼製溶接構造〕 容量30 t 排出能力20t/h	基	1
骨材ホッパ	15m ³ /h×3	〃	1
コンクリートプラント	〔バッチ型・定置式〕 能力25m ³ /h（一括練混ぜ方式）	〃	1
コンクリートプラント	〔バッチ型・定置式〕 能力25m ³ /h（分割練混ぜ方式）	〃	1

- （注）1. 吹付プラント設備は、坑外に設置する。
 2. 現場条件等により適合しない場合は、現場条件に見合った機種・規格を別途考慮する。
 3. セメントサイロ、骨材ホッパ、コンクリートプラントは、損料とする。
 コンクリートプラントの損料は、練混ぜ方式（一括又は分割）に対応したのを選定すること。
 なお、コンクリートプラント（バッチ式・定置式）25m³/h（分割練混ぜ方式）の共用1日当り損料額は38,400円を標準とする。

2.4 施工歩掛

2.4.1 適用範囲

本トンネルの施工歩掛を算出するための、各岩区分の「適用範囲（㎡）」を次表に示す。

断面区分	実断面積（加背割のNET）				適用範囲（㎡）			
	全断面	上半	下半	合計	掘削・支保			覆工・防水
					全断面	上半	下半	
C I	61.797	－	－	61.797	60	－	－	60
C II-b	61.797	－	－	61.797	60	－	－	60
D I-b	－	43.982	18.815	62.797	－	45	20	65
D I-b-S	－	43.982	18.815	62.797	－	45	20	65
D IIIa	－	46.519	19.328	65.847	－	45	20	65
坑口付	－	－	－	0.000	－	－	－	－
面 壁	－	－	－	0.000	－	－	－	－
C II-L	86.113	－	－	86.113	85	－	－	85

2.4.2 掘削機械の機種の選定及び機械歩掛

(1) 掘削機械の機種、規格は、次表を標準とする。

機種の選定

施工区分	機 種	規 格	単位	数量	摘 要
穿 孔	ドリルジャンボ	トンネル工事用[ホイール式・排出ガス対策型（3次基準値）] 3ブーム・2バスケット ドリフト重量170kg超級	台	1	
こそく	大型ブレーカ (ベースマシン含む)	トンネル工事用[排出ガス対策型 (3次基準値)] 油圧ブレーカ1,300kg級 ベースマシン20t級	〃	1	
ずり出し	ホイールローダ (トンネル専用機)	[サイドダンプ式・排出ガス対策型 (2次基準値)]バケット容量 (山積) 2.3m ³ 級	〃	1	ずり積込
	ダンプトラック (トンネル工事用)	オンロード型10t積	〃	n	ずり運搬
吹 付	コンクリート吹付機	トンネル工事用 [湿式吹付・吹付ロボット一体・ エアコンプレッサ搭載・ エレクトラ型・排出ガス対策型 (3次基準値)] 吐出量6～22m ³ /h級・吹付半径7m級	〃	1	

- (注) 1. 掘削区分Dにおいては上半・下半各々でダンプトラックの使用台数を算出する。
 2. ダンプトラックの規格は、4-1-2ずり出し工 (3) ずり運搬工による。
 3. ドリルジャンボは、支保工作業においても併用使用する。

(2) 覆工、防水機械の選定および機械歩掛

覆工、防水機械の機種・規格は、次表を標準とする。

機種の選定

機 種	規 格	単 位	数 量
防水工作業台車	長さ6.0m	台	1
スライドセントル (本坑用)	L=10.5m	基	1
コンクリートポンプ車	[トラック架装・配管式] 圧送能力55m ³ /h	台	1

- (注) 1. スライドセントルは、線形及び現場条件等により標準外になる場合は、別途考慮するものとする。
 2. コンクリートポンプ車の作業能力は、以下の式より算出委した数値を標準とする。
 作業能力 (m³/h) = 0.1253 × A + 5.8046 A: 掘削断面積

2.4.2 歩掛算出

本トンネルの施工歩掛の算出項目を下記に示す。

- ・ 掘削工等
掘削工等の労務歩掛 ※
ドリルジャンボ運転
大型ブレーカ運転
火薬
雷管（2～5段, 6～10段）
諸雑費（その他機械, その他材料）
- ・ ずり出し工
ホイールローダ運転
ダンプトラック運転 ※
- ・ 支保工
吹付コンクリート ※
コンクリート吹付機運転
吹付プラント運転
集塵機装置運転
ロックボルト工 ※
鋼製支保工
- ・ 覆工工
コンクリートポンプ車運転
スライドセントル
防水作業台車
防水シート
生コンクリート
諸雑費（その他機械, その他材料）

※の項目については、別途算出する。

- ・ 掘削工等
掘削工等の労務歩掛→ずり出し延長（片道）より、1.2kmを境に労務を調整
- ・ ずり出し工
ダンプトラック運転→ずり出し延長（片道）より、ダンプトラック台数を算出
- ・ 支保工
吹付コンクリート→全体吹付量を算出し、粉じん低減材を算出
ロックボルト工→標準歩掛の数量と実際の本数との増減値を算出

(2) 火薬および電気雷管総使用量

1 現 場 当 り 電 気 雷 管 使 用 量													
掘削区分 項 目	単位	補助ベンチ付		上半先進ベンチカット工法								補助ベンチ付	
		全断面工法		通常歩掛								全断面工法	
		標準歩掛		通常歩掛								大断面	
		CⅠ 全断面	CⅡ-b 全断面	DⅠ-b 上 半 下 半		DⅠ-b-S 上 半 下 半		DⅢa 上 半 下 半		DⅢa-S 上 半 下 半		CⅠ-L 全断面	CⅡ-L 全断面
掘削断面積 (適用範囲)	m ²	60	60	45	20	45	20	45	20	45	20	-	85
掘削断面積当たり電気雷管使用量 (2～5段)	個/m	32.0	40.0	31.5	20.0	31.5	20.0	31.5	20.0	31.5	20.0	-	56.7
掘削断面積当たり電気雷管使用量 (6～10段)	個/m	32.0	40.0	31.5	-	31.5	-	31.5	-	31.5	-	-	56.7
掘削区分別延長 (全断面・上半)	m	264.0	658.8	205.0	205.0	44.0	44.0	10.6	13.1	20.8	23.3	-	54.2
掘削区分別電気雷管使用量(2～5段)	個	8,448	26,352	6,458	4,100	1,386	880	334	262	655	466	-	3,073
掘削区分別電気雷管使用量(6～10段)	個	8,448	26,352	6,458	-	1,386	-	334	-	655	-	-	3,073
		34,800		14,541								3,073	
電気雷管(2～5段)総使用量				52,414									
		34,800		8,833								3,073	
電気雷管(6～10段)総使用量				46,706									

1 現 場 当 り 火 薬 使 用 量													
掘削区分 項 目	単位	補助ベンチ付		上半先進ベンチカット工法								補助ベンチ付	
		全断面工法		標準歩掛								全断面工法	
		標準歩掛		標準歩掛								非常駐車帯	
		CⅠ 全断面	CⅡ-b 全断面	DⅠ-b 上 半 下 半		DⅠ-b-S 上 半 下 半		DⅢa 上 半 下 半		DⅢa-S 上 半 下 半		CⅠ-L 全断面	CⅡ-L 全断面
掘削断面積 (設計断面)	m ³ /m	60	60	45	20	45	20	45	20	45	20	-	85
1mあたり火薬使用量	kg/m	48.0	48.0	27.0	10.0	27.0	10.0	27.0	10.0	27.0	10.0	-	68.0
掘削区分別延長	m	264.0	658.8	205.0	205.0	44.0	44.0	10.6	13.1	20.8	23.3	-	54.2
掘削区分別火薬使用量	kg	12,672	31,622	5,535	2,050	1,188	440	286	131	562	233	-	3,686
		44,294		10,425								3,686	
総火薬使用量				58,405									

1 日 当 た り 最 大 火 薬 使 用 量													
掘削区分 項 目	単位	補助ベンチ付		上半先進ベンチカット工法								補助ベンチ付	
		全断面工法		標準歩掛								全断面工法	
		標準歩掛		標準歩掛								非常駐車帯	
		CⅠ 全断面	CⅡ-b 全断面	DⅠ-b 上 半 下 半		DⅠ-b-S 上 半 下 半		DⅢa 上 半 下 半		DⅢa-S 上 半 下 半		CⅠ-L 全断面	CⅡ-L 全断面
掘削断面積 (設計断面)	m ³ /m	60.0	60.0	45.0	20.0	45.0	20.0	45.0	20.0	45.0	20.0	-	85.0
1mあたり火薬使用量	kg/m	48.0	48.0	27.0	10.0	27.0	10.0	27.0	10.0	27.0	10.0	-	68.0
1爆破当たり掘進長	m/1#イℓ	1.5	1.2	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	-	3.0
1爆破当たり火薬使用量	kg	72.0	58.0	27.0	20.0	27.0	20.0	27.0	20.0	27.0	20.0	-	204.0
週当たり掘進長	m/時間	0.323	0.256	0.231	0.438	0.164	0.438	0.208	0.403	0.179	0.403	-	0.206
1日当たり掘進#イℓ数	#イℓ	3.4	3.4	3.7	3.5	2.6	3.5	3.3	3.2	2.9	3.2	-	1.1
1日当たり最大火薬使用量	kg	245	197	100	70	70	70	89	64	78	64	-	224

2.4.2 ずり出し工

(1) ずり出し方式

ずり出しは、直送方式を標準とし、積替方式の場合の積替場所から捨場までは、一般の運搬工で積算する。なお、直送方式と積替方式の範囲は、運搬距離（片押し延長+坑外片道運搬距離）が3.0km程度が標準である。

(2) ずり運搬工

1) ダンプトラックの規格及び使用台数

ダンプトラック規格及び使用台数は次表を標準とする。

ダンプトラック 10 t 積

ダンプトラックの規格及び使用台数

断面区分	$L \leq 0.5\text{km}$	$0.5\text{km} < L \leq 1.2\text{km}$	$1.2\text{km} < L \leq 1.4\text{km}$	$1.4\text{km} < L \leq 2.2\text{km}$	$2.2\text{km} < L \leq 3.0\text{km}$
	3台	4台	4台	5台	6台
C I	—	○	○	—	—
C II-b	○	○	○	○	—
D I-b	○	○	—	○	—
D I-b-S	○	—	—	—	—
D III a	—	—	—	○	—
D III a-S	○	—	—	—	—
坑口付	—	—	—	—	—
面 壁	—	—	—	—	—
C II-L	—	○	—	—	—

(注) Lは各断面区分の運搬距離（片押し延長+坑外片道運搬距離）の値とする。

(3) トンネル区別延長（発破掘削工法）

坑外運搬距離 L = 300.0 m ※ 起点				単位：m									
測 点	断面区分	延 長	ずり運搬 累計距離	ずり運搬距離判定	C I	C II-b	C II-L	D I-b	D I-b-S	D IIIa	D IIIa-S	面 壁	
N0. 10 + 1.00 ~ 10 + 1.700	面 壁	0.70	300.70	L ≤ 0.5km	-	-	-	-	-	-	-	0.70	-
No. 10 + 1.70 ~ 11 + 8.000	D IIIa-S	26.30	327.00	L ≤ 0.5km	-	-	-	-	-	-	26.30	-	-
No. 11 + 8.00 ~ 13 + 12.000	D I-b-S	44.00	371.00	L ≤ 0.5km	-	-	-	-	44.00	-	-	-	-
No. 13 + 12.00 ~ 14 + 16.000	D I-b	24.00	395.00	L ≤ 0.5km	-	-	-	24.00	-	-	-	-	-
No. 14 + 16.00 ~ 17 + 10.000	C II-b	54.00	449.00	L ≤ 0.5km	-	54.00	-	-	-	-	-	-	-
No. 17 + 10.00 ~ 20 + 1.000	D I-b	51.00	500.00	L ≤ 0.5km	-	-	-	51.00	-	-	-	-	-
No. 20 + 1.00 ~ 21 + 8.000	D I-b	27.00	527.00	0.5km < L ≤ 1.2km	-	-	-	27.00	-	-	-	-	-
No. 21 + 8.00 ~ 22 + 8.400	C II-b	20.40	547.40	0.5km < L ≤ 1.2km	-	20.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 22 + 8.40 ~ 24 + 8.900	C I	40.50	587.90	0.5km < L ≤ 1.2km	40.50	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 24 + 8.90 ~ 25 + 9.300	C II-b	20.40	608.30	0.5km < L ≤ 1.2km	-	20.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 25 + 9.30 ~ 26 + 9.300	D I-b	20.00	628.30	0.5km < L ≤ 1.2km	-	-	-	20.00	-	-	-	-	-
No. 26 + 9.30 ~ 27 + 9.700	C II-b	20.40	648.70	0.5km < L ≤ 1.2km	-	20.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 27 + 9.70 ~ 30 + 12.700	C I	63.00	711.70	0.5km < L ≤ 1.2km	63.00	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 30 + 12.70 ~ 38 + 0.300	C II-b	147.60	859.30	0.5km < L ≤ 1.2km	-	147.60	-	-	-	-	-	-	-
No. 38 + 0.30 ~ 39 + 7.400	C II-L	27.10	886.40	0.5km < L ≤ 1.2km	-	-	27.10	-	-	-	-	-	-
No. 39 + 7.40 ~ 41 + 17.800	C II-b	50.40	936.80	0.5km < L ≤ 1.2km	-	50.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 41 + 17.80 ~ 43 + 4.900	C II-L	27.10	963.90	0.5km < L ≤ 1.2km	-	-	27.10	-	-	-	-	-	-
No. 43 + 4.90 ~ 48 + 0.900	C II-b	96.00	1059.90	0.5km < L ≤ 1.2km	-	96.00	-	-	-	-	-	-	-
No. 48 + 0.90 ~ 49 + 0.900	D I-b	20.00	1079.90	0.5km < L ≤ 1.2km	-	-	-	20.00	-	-	-	-	-
No. 49 + 0.90 ~ 53 + 18.100	C II-b	97.20	1177.10	0.5km < L ≤ 1.2km	-	97.20	-	-	-	-	-	-	-
No. 53 + 18.10 ~ 55 + 1.000	C I	22.90	1200.00	0.5km < L ≤ 1.2km	22.90	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 55 + 1.00 ~ 61 + 18.600	C I	137.60	1337.60	1.2km < L ≤ 1.4km	137.60	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 61 + 18.60 ~ 65 + 1.000	C II-b	62.40	1400.00	1.2km < L ≤ 1.4km	-	62.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 65 + 1.00 ~ 66 + 14.600	C II-b	33.60	1433.60	1.4km < L ≤ 2.2km	-	33.60	-	-	-	-	-	-	-
No. 66 + 14.60 ~ 67 + 14.600	D I-b	20.00	1453.60	1.4km < L ≤ 2.2km	-	-	-	20.00	-	-	-	-	-
No. 67 + 14.60 ~ 70 + 11.000	C II-b	56.40	1510.00	1.4km < L ≤ 2.2km	-	56.40	-	-	-	-	-	-	-
No. 70 + 11.00 ~ 72 + 14.000	D I-b	43.00	1553.00	1.4km < L ≤ 2.2km	-	-	-	43.00	-	-	-	-	-
No. 72 + 14.00 ~ 73 + 8.500	D IIIa	14.50	1567.50	1.4km < L ≤ 2.2km	-	-	-	-	-	14.50	-	-	-
No. 73 + 8.50 ~ 73 + 9.000	面 壁	0.50	1568.00	1.4km < L ≤ 2.2km	-	-	-	-	-	-	-	0.50	-
合 計		1268.00	運搬距離	2.2km < L ≤ 3.0km	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				1.4km < L ≤ 2.2km	0.00	90.00	0.00	63.00	0.00	14.50	0.00	0.50	0.00
				1.2km < L ≤ 1.4km	137.60	62.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.5km < L ≤ 1.2km	126.40	452.40	54.20	67.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				L ≤ 0.5km	0.00	54.00	0.00	75.00	44.00	0.00	26.30	0.70	0.00
計					264.00	658.80	54.20	205.00	44.00	14.50	26.30	1.20	0.00

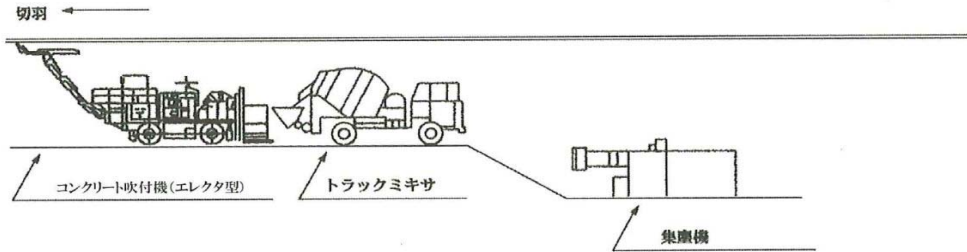
2.5 支保工

2.5.1 コンクリート吹付工

(1) 吹付工法

吹付工は、湿式工法を標準とする。

(2) 吹付コンクリート施工機械配置



(3) 吹付コンクリートの配合

(1 m³当り)

強度	スランプ	粗骨材最大寸法	単位セメント量	摘要
$\sigma 28$ =18N/mm ²	10±2cm	15mm	「普通ポルトランドセメント」 360kg	湿式

(4) 吹付コンクリート量

掘削1m当り吹付けコンクリート量（ロス含む）は、次表を標準とする。

吹付コンクリート（通常断面）

(m³/m当り)

岩区分		掘削断面積 (m ²)												摘要	
					50	55	60	65	70	75	80	85	90		95
C I					3.58	3.73	3.87	4.02	4.16	4.31	4.45	4.60	4.74	4.88	必要な断面積を上下半各々に計上する。
C II		掘削断面積 (m ²)													
					50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	
					4.22	4.38	4.53	4.68	4.84	4.99	5.14	5.30	5.45	5.61	
D I	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							4.91	5.19	5.47	5.74	6.02	6.29	6.57	6.84	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.56	0.73	0.91	1.09	1.26	1.44	
D II	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							5.93	6.26	6.59	6.92	7.26	7.59	7.92	8.25	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.70	0.92	1.15	1.37	1.59	1.81	
D III	上半	掘削断面積 (m ²)													
							40	45	50	55	60	65	70	75	
							6.89	7.25	7.61	8.01	8.37	8.73	9.09	9.50	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
									10	15	20	25	30	35	
									0.78	1.02	1.27	1.52	1.77	2.02	

吹付コンクリート（大断面）

(m³/m当り)

岩区分		掘削断面積 (m ²)													摘要
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
C I		5.64	5.80	5.96	6.12	6.28	6.45	6.61	6.77	6.93	7.09	7.25	7.41	7.57	
C II		掘削断面積 (m ²)													
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
		6.27	6.45	6.62	6.80	6.98	7.16	7.34	7.52	7.70	7.88	8.06	8.24	8.41	
D I	上半	掘削断面積 (m ²)													必要な 断面積 を上下 半各々 に計上 する。
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				7.17	7.45	7.73	8.01	8.29	8.57	8.85	9.13	9.41	9.69	9.97	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.54	0.79	1.04	1.29	1.54	1.79	2.04	2.29	2.54	
D II	上半	掘削断面積 (m ²)													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				8.50	8.83	9.10	9.49	9.82	10.16	10.49	10.82	11.15	11.48	11.81	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.63	0.93	1.22	1.52	1.81	2.11	2.40	2.70	2.99	
D III	上半	掘削断面積 (m ²)													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				8.50	8.83	9.10	9.49	9.82	10.16	10.49	10.82	11.15	11.48	11.81	
	下半	掘削断面積 (m ²)													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
						0.63	0.93	1.22	1.52	1.81	2.11	2.40	2.70	2.99	

本トンネルの吹付コンクリート量

断面区分		該当断面積	m ³ /m	摘 要
C I		60	3.87	
C II-b		60	4.53	
D I -b	上半	45	5.19	
	下半	20	0.91	
D I -b-S	上半	45	5.19	
	下半	20	0.91	
D III a	上半	45	7.25	
	下半	20	1.27	
D III a-S	上半	45	7.25	
	下半	20	1.27	
C II-L		85	6.80	

(5) 設計吹付厚およびロス率

設計吹付厚及びロス率は、次表を標準とする。

設計吹付厚およびロス率

加背名		掘削区分	設計吹付厚 (cm)	余吹厚	はね返り率		補正係数 (K)
通常断面	上下半	C I	10	5	25	%	2.0
		C II	10	7	25	%	2.3
	上 半	D I	15	7	30	%	2.1
		D II	20	7	30	%	1.9
		D III	25	7	30	%	1.8
	下 半	D I	15	7	20	%	1.8
		D II	20	7	20	%	1.7
		D III	25	7	20	%	1.6
大断面	上下半	C I	15	5	25	%	1.8
		C II	15	7	25	%	2.0
	上 半	D I	20	7	30	%	1.9
		D II	25	7	30	%	1.8
		D III	25	7	30	%	1.8
	下 半	D I	20	7	20	%	1.7
		D II	25	7	20	%	1.6
		D III	25	7	20	%	1.6

(注) 1. ロス率には材料ロス，はね返り損失，余吹等によるものを含む。

2. 坑口部，大断面等で標準と異なる場合のロス率については、次式によるものとする。

ロス率(K)=(設計吹付厚+余吹厚)/(設計吹付厚×(1-はね返り率))

2.5.2 ロックボルト工

(1) ロックボルト使用区分

ロックボルトの使用区分は、次表を標準とする。

(通常断面)

掘削区分	ロックボルトの長さ×周方向間隔×延長方向間隔	材 料
CⅠ	3.0×1.5×1.5	異形棒鋼と同等以上（耐力117.7KN以上）
CⅡ	3.0×1.5×1.2	ねじり棒鋼と同等以上（耐力176.5KN以上）
DⅠ	4.0×1.2×1.0	〃
DⅡ	4.0×1.2×1.0以下	〃
DⅢ	4.0×1.2×1.0以下	〃

(2) ロックボルトの使用量

ロックボルトは、ドライモルタルを含むものとし、その使用量は下表を標準とする。

ロックボルト (通常断面)

規格：耐力117.7kN（12 t）以上付属品含む L=3m

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積 (m ²)												摘要	
					50	55	60	65	70	75	80	85	90		95
C I	全断面				8.00	8.67	8.67	9.33	9.33	10.00	10.00	10.00	10.67	10.67	

規格：耐力176.5KN（18 t）以上付属品含む L=3m

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積 (m ²)												摘要	
					50	55	60	65	70	75	80	85	90		95
CⅡ	全断面				10.00	10.83	10.83	11.67	11.67	12.50	12.50	13.33	13.33	14.17	

規格：耐力176.5KN（18 t）以上付属含む L=4m

本/（トンネル延長）1m当り

[illegible]

ロックボルト（大断面）

規格：耐力117.7KN（12 t）以上付属品含む L=3m

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積 (m ²)													摘要
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
C I	全断面	12.00	12.40	12.70	13.00	13.30	13.70	14.00	14.40	14.70	15.00	15.30	15.70	16.00	

規格：耐力176.5KN（18 t）以上付属品含む L=3m

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積 (m ²)													摘要
		70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
C II	全断面	15.00	15.40	15.80	16.30	16.70	17.10	17.50	17.90	18.30	18.80	19.20	19.60	20.00	

規格：耐力176.5KN（18 t）以上付属含む L=4m

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積（m ² ）												摘要	
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105		110
DⅠ	上半			19.00	19.50	20.00	21.00	2.00	22.50	23.00	24.00	25.00	25.50	26.00	必要な断面積を上下半各々に計上する。
	下半	掘削断面積（m ² ）													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
DⅡ	上半					2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00	6.00	8.00	8.00	
		掘削断面積（m ² ）													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
	下半			19.00	19.50	20.00	21.00	2.00	22.50	23.00	24.00	25.00	25.50	26.00	
DⅢ	上半	掘削断面積（m ² ）													
				60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	
				8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
	下半	掘削断面積（m ² ）													
						10	15	20	25	30	35	40	45	50	
					2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00	6.00	8.00	8.00		

本トンネルのロックボルト使用量

断面区分		該当断面積	標準歩掛	設計数量	増減	摘 要
			本/m	本/m	本/m	
C I		60	8.67	7.33	-1.34	L=3.0m
C II-b		60	10.83	11.67	0.84	L=3.0m
D I-b	上半	45	13.00	15.00	2.00	L=4.0m
	下半	20	4.00	2.00	-2.00	
D I-b-S	上半	45	13.00	15.00	2.00	L=4.0m
	下半	20	4.00	2.00	-2.00	
D IIIa	上半	45	4.00	4.00	0.00	L=4.0m
	下半	20	4.00	2.00	-2.00	
D IIIa-S	上半	45	4.00	4.00	0.00	L=4.0m
	下半	20	4.00	2.00	-2.00	
C II-L		85	16.30	15.83	-0.47	L=4.0m

（通常断面）

規格：異形棒鋼（SD345）D25mm L=3m（先受ボルト）

本/（トンネル延長）1m当り

岩区分		掘削断面積（m ² ）													摘要
DⅢ	上半						40	45	50	55	60	65	70	75	
							17.50	19.00	20.50	22.00	23.50	25.00	26.00	28.00	

本トンネルの先受ボルト使用量

断面区分		該当断面積	標準歩掛	設計数量	増減	摘 要
			本/m	本/m	本/m	
D IIIa	上半	45	19.00	20.5	1.50	L=3.0m

(3) ロックボルト工のモルタル材料及び使用量

ロックボルト工のモルタル材料はドライモルタルを標準として、使用量は次表とする。

ロックボルト工のモルタル材料使用量 (100m当り)

名 称	規 格	単 位	使用量
モルタル	ドライモルタル	m ³	0.22

(注) ロスを含む

(4) 注入急結剤

注入急結剤（無収縮混和剤）の使用は、湧水がある場合、1本/孔を標準とする。

ただし、現場条件によっては、別途考慮することができる。

2.5.3 鋼製支保工

(1) 鋼製支保工の使用材料

鋼製支保工の使用材料は、次表を標準とする。

(通常断面)

掘削区分	CⅡ	DⅠ	DⅡ	DⅢ
名称	@1.2m	@1.0m	@1.0m	@1.0m
H形鋼	H-125×125×6.5×9	H-125×125×6.5×9	H-150×150×7×10	H-200×200×8×12
(上半)	n=2	n=2	n=2	n=2
継手板	PL-155×180×9	PL-155×180×9	PL-180×180×9	PL-230×230×16
(天端)	n=2	n=2	n=2	n=2
継手板	—	PL-155×180×9	PL-180×180×9	PL-230×230×16
		n=4	n=4	n=4
H形鋼	—	H-125×125×6.5×9	H-150×150×7×10	H-200×200×8×12
(下半)		n=2	n=2	n=2
底板	PL-230×180×16	PL-230×230×16	PL-250×250×16	PL-300×300×19
	n=2	n=2	n=2	n=2

(大断面)

掘削区分	CⅡ	DⅠ	DⅡ	DⅢ
名称	@1.2m	@1.0m	@1.0m	@1.0m
H形鋼	H-150×150×7×10	H-150×150×7×10	H-200×200×8×12	H-200×200×8×12
(上半)	n=2	n=2	n=2	n=2
継手板	PL-180×180×9	PL-180×180×9	PL-230×230×16	PL-230×230×16
(天端)	n=2	n=2	n=2	n=2
継手板	—	PL-180×180×9	PL-230×230×16	PL-230×230×16
		n=4	n=4	n=4
H形鋼	—	H-150×150×7×10	H-200×200×8×12	H-200×200×8×12
(下半)		n=2	n=2	n=2
底板	PL-180×180×16	PL-250×250×16	PL-300×300×19	PL-300×300×19
	n=2	n=2	n=2	n=2

2.6 インバート工

2.6.1 適用範囲

(1) 適用範囲

NATMによって施工する本インバート工は、掘削工、ずり出し工、鉄筋工（加工・組立）、型組立、型枠工（製作・設置・撤去）、コンクリート工（打設・養生）、埋戻し工（敷ならし・締固め）とする。下記に施工の標準作業フローを示す。

(2) 機械器具損料

機械器具損料の算定は、「請負工事機械経費積算要領」に基づき行い、坑内で内燃機関付機械（ダンプトラック、ブルドーザ等）を使用する場合は、黒煙浄化装置付排出ガス対策型及び黒煙浄化装置付を標準とし、そのうちドリルジャンボ、バックホウ、ホイールローダを使用する場合は、トンネル工事用排出ガス対策型を標準とする。ただし、道路運送車両の保安基準に排ガス基準が定められている自動車の種別で、有効な自動車車検証の交付を受けているものは除く。

(3) 余掘及び余巻コンクリート

トンネル工事では、設計断面どおりに掘削することは困難であるため、当初から設計内空半径に覆工及び吹付コンクリート厚に加え、余掘・余巻・余吹コンクリート厚を見込む必要がある。変形余裕を設計図面に明示した場合の設計掘削断面積は、変形余裕厚さを加算した面積とする。

余掘：設計巻厚を確保するために、設計断面積より大きく掘削すること

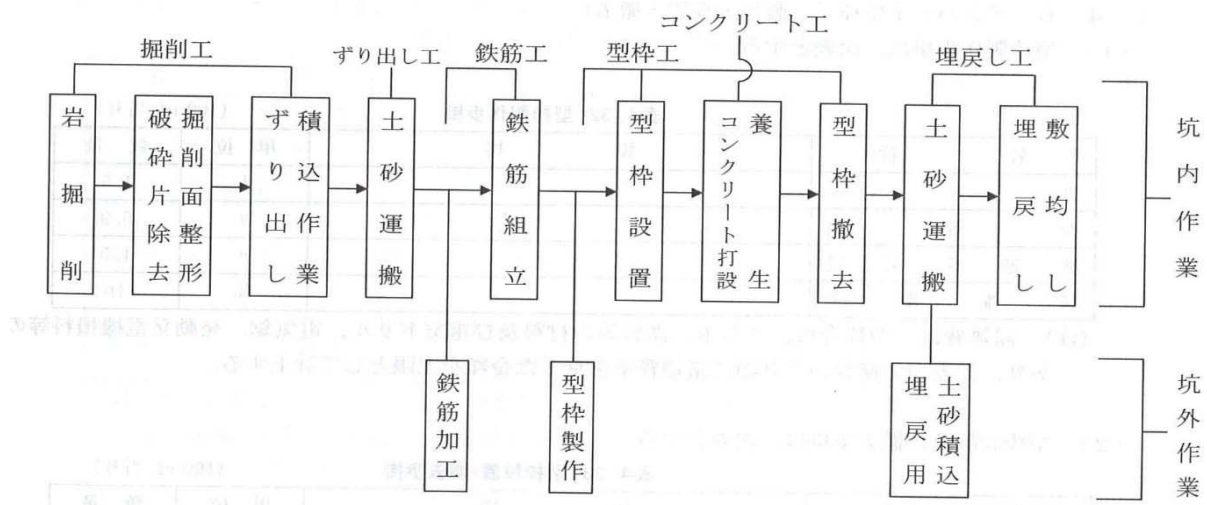
余巻：余掘部分を覆工コンクリートで充填すること

余吹：余掘部分を吹付コンクリートで充填すること

支払線（ペイライン）：余掘を考慮した断面積の外周

なお、インバート施工において設計厚に対する余掘・余巻コンクリート厚は5cmを標準とする。

2.6.2 施工概要



インバート施工標準作業フロー

2.6.3 インバート掘削工

(1) インバート掘削工の施工歩掛は、次表とする。

インバート掘削工施工歩掛 (10m ³ 当り)			
名 称	規 格	単位	数量
トンネル世話役		人	0.15
トンネル特殊工		〃	0.44
トンネル作業員		〃	0.15
大型ブレーカ運転 (ベースマシン含む)	トンネル工事用排出ガス対策型 (3次基準値) 油圧式1,300kg級、ベースマシン20 t 級	日	0.15
バックホウ運転	後方超旋回型・排出ガス対策型 (3次基準値) 標準バケット容量山積0.45m ³ (平積0.35m ³)	h	0.94
チゼル損耗量	1,300kg級用	本	0.01

(注)1. 機械の運転労務は、上表労務人員で行う。

2. 上表には破砕片除去、掘削面整形及びずり積込作業が含まれる。

2.6.4 インバートずり出し工

(1) インバートずり出し運搬作業歩掛

1) ずり出し方式

直送方式の場合はすべて坑内作業とし、積替方式の場合は一次運搬（坑内～積替場所）は直送方式に準じ、二次運搬（積替場所～捨場等）は一般運搬工で積算する。なお、直送方式と積替方式の範囲は、片道2.5km程度（運搬距離）が標準である。

2) ずり出し工の施工歩掛は、次表とする。

ずり出し工施工歩掛		(10m ³ 当り)	
名 称	規 格	単 位	数 量
トンネル特殊工		人	0.10
ダンプトラック運転	トンネル工事用	h	0.83
	オンロード型10 t 積		

(注)1. 機械の運転労務は、上表労務人員で行う。

2.6.5 インバート鉄筋工（加工・組立）

鉄筋の加工・組立については、通常の筋鉄工にて計上する。

2.6.6 インバート型枠工（製作・設置・撤去）

(1) 型枠製作歩掛は、次表とする。

型枠製作歩掛		(100m ² 当り)	
名 称	規 格	単 位	数 量
世 話 役		人	1.5
型 枠 工		〃	5.9
普通作業員		〃	1.5
諸 雑 費		%	16

(注)諸雑費は、型枠合板、さん木、洋釘等の材料及び電気ドリル、電気鋸、発動発電機損料等の費用であり、上表の労務費の合計額に諸雑費率を乗じた金額を上限として計上する。

(2) 型枠設置及び撤去歩掛

型枠設置及び撤去歩掛は、次表とする。

型枠設置・撤去歩掛		(100m ² 当り)	
名 称	規 格	単 位	数 量
トンネル世話役		人	4.0
トンネル特殊工		〃	16.1
トンネル作業員		〃	4.0
諸雑費率		%	14

(注)1. 型枠設置・撤去歩掛には、はく離剤塗布、ケレン作業を含む。

2. 諸雑費は合板、組立支持材、はく離剤等の費用であり、上表の労務費の合計額に諸雑費率を乗じた金額を上限として計上する。

2.6.7 インバートコンクリート工（打設・養生）

(1) インバートコンクリート工（打設・養生）歩掛は、次表とする。

インバートコンクリート工（打設・養生）歩掛			(10m ³ 当り)
名 称	規 格	単位	打設・養生
トンネル世話役		人	0.12
トンネル特殊工		〃	0.62
トンネル作業員		〃	0.12
コンクリートポンプ車運転	(トラック架装・ブーム式) 圧送能力90～110m ³ /h	h	0.80
諸雑費率		%	1

- (注) 1. 打設歩掛には、打設に先立ち掘削面の清掃、排水、ポンプ車の移動、据付打設後の打設用パイプ清掃等の労務も含む。
 2. 養生歩掛は、散水養生程度とする。
 3. 機械運転労務は、上表労務人員で行う。
 4. コンクリートの使用量は「第Ⅱ編 第4章 ①コンクリート 3. 材料の使用量」による。
 5. 諸雑費は、コンクリート締固機、養生用散水ポンプ損料、養生用シート等の費用であり、上表の労務費の合計に諸雑費率を乗じた金額を上限として計上する。

2.6.8 インバート埋戻し工（敷ならし・締固め）

(1) インバート敷ならし・締固め工歩掛は、次表とする。

インバート敷ならし・締固め工歩掛			(10m ³ 当り)
名 称	規 格	単位	数 量
トンネル世話役		人	0.07
トンネル特殊工		〃	0.13
トンネル作業員		〃	0.07
バックホウ運転	後方超旋回型・排出ガス対策型 (3次基準値) 標準バケット容量山積0.45m ³ (平積0.35m ³)	h	0.45
振動ローラ運転	(トンネル工事対応) 搭乗コンバインド式・排出ガス対策型 (第2次基準値)・低騒音型・ 運転質量3～4 t	日	0.07

- (注) 1. 上表は、バックホウによる敷均し、振動ローラによる転圧作業である。
 2. 機械の運転労務は、上表労務人員で行う。
 3. 振動ローラは、賃料を標準とする。

(2) 埋戻し材の積込み時間は、次表とする。

埋戻し材の積込作業時間			(10m ³ 当り)
名 称	規 格	単位	数 量
バックホウ運転	標準型・超低騒音型・排出ガス対策型 (第3次基準値) クローラ型 山積0.8m ³ (平積0.6m ³)	h	0.48

- (注) 1. 埋戻し材は掘削ずりを使用する。
 2. 埋戻し材の積込作業は、坑外作業である。

(3) 埋戻し材運搬ダンプトラックの作業能力

埋戻し材に掘削ずりを使用する場合のダンプトラックの作業能力は「インバートずり出し工 ずり出し運搬作業歩掛」による。

2.7 工事工程計画

(1) 準備工・後片付け

・準備工

準備期間は、主たる工種区分ごとに下表に示す期間を最低限必要な日数とし、工事規模や地域に状況等に応じて設定するものとする。

トンネル工事に着手するまでの準備工としては、次のようなものがある。

- | | |
|----------------|------------------|
| a. 現地の段取り調査 | e. 労務者募集 |
| b. 労務者宿舍等の借地交渉 | f. 建設機械、器材、資材の手配 |
| c. 工事用敷地の借地交渉 | g. 工事用施設の整地造成 |
| d. 工事用電力の需給契約 | h. 工事用坑外諸施設 |
| | i. 坑口付け |

・後片付け

後片付け期間は、工種区分ごとに大きな差が見受けられないことから、20 日を最低限必要な日数とし、工事規模や地域の状況等に応じて設定するものとする。

施工終了後の自主検査、後片付け、清掃等の期間をいう。

以上より、必要最低限の日数は次表によるが、和歌山県の実績等を考慮し、準備工90日、後片付け30日とする。

準備工	:	90 日 (共用日)	→	90 日	/	30 日	=	3.00 月
後片付け	:	30 日 (共用日)	→	30 日	/	30 日	=	1.00 月

工種	準備期間	工種	準備期間
河川工事	40 日	共同溝等工事	80 日
河川・道路構造物工事	40 日	トンネル工事	80 日
海岸工事	40 日	砂防・地すべり等工事	30 日
道路改良工事	40 日	道路維持工事※1	50 日
鋼橋架設工事	90 日	河川維持工事※1	30 日
PC 橋工事	70 日	電線共同溝工事	90 日
橋梁保全工事	60 日	ダム工事※2	90 日
舗装工事 (新設)	50 日	その他	30 日
舗装工事 (修繕)	60 日		

※1 通年維持工事は除く

※2 ダム本体工事を含む工事に限る

(2) 本土工

本土工は、掘削・覆工の月当り進行長が施工期間中、平均的に継続するものとして所要月数を求め、それによって工程計算を行う。

なお、工程計画上の各作業区分の離隔は次の通りとする。

- 上半切羽と下半切羽・・・D区間はショートベンチカット工法
(上下半交互併進)であり、上半掘削完了後、下半掘削にかかる。
- 下半掘削完了から二次覆工の完了区間・・・・・・1.0ヶ月
- 二次覆工完了から排水工等の開始期間・・・・・・0.5ヶ月
- インバート打設 : 1日1スパン(10.5m)とする。

(3) 覆土工

覆工コンクリートの1ヶ月当り進行長は、次のとおりとする。

- | | | | | | | | | |
|----------|---|----------|---|--------|---|-----|---|-----------|
| a. 標準部 | ; | 10.5 m/回 | × | 1/2回/日 | × | 1 日 | = | 5.250 m/日 |
| b. 非常駐車帯 | ; | 6.0 m/回 | × | 1/2回/日 | × | 1 日 | = | 3.000 m/日 |

(4) 排水工等雑工

排水工等雑工としては、中央及び横断排水工・路盤工・舗装工・路側排水工・坑門工等があるが、工程としては次のとおりである。

- 排水工・雑工は、日進19.61m(月進400m)程度 (構造物工事工程作成の手引き)
- 舗装工は、日進28.708m(月進600m)程度 (財) 高速道路技術センター)
- 坑門工≒1ヶ月/1箇所

(5) 工事工程計画月進

工事工程計画に使用する計画週進長は下表のとおりである。

工事工程計画週進

工 種		計画進行長 (m/時間)	計画進行長 (m/日)	施工法	摘 要
C I	全断面	0.323	5.17	2方	補助ベンチ付全断面
C II-b	全断面	0.256	4.10	2方	補助ベンチ付全断面
D I-b	上 半	0.231	3.70	2方	上半先進ショートベンチカット (交互併進)
	下 半	0.438	7.01	2方	
D I-b-S	上 半	0.164	2.62	2方	上半先進ショートベンチカット (交互併進)
	下 半	0.438	7.01	2方	
D III a	上 半	0.208	3.33	2方	上半先進ショートベンチカット (交互併進)
	下 半	0.403	6.45	2方	
D III a-S	上 半	0.179	2.86	2方	上半先進ショートベンチカット (交互併進)
	下 半	0.403	6.45	2方	
C II-L	全断面	0.206	3.30	2方	補助ベンチ付全断面

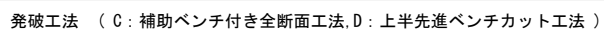
1日を2方（8時間×2方）とする。

上表に基づき計画した本トンネルの工事工程表（案）を、次頁図に示す。

表2.7.1 掘 削 進 行 表

起点側坑口から片押し施工とする					トンネル掘削延長		1,268.000 m			
支保パターン		加 背	区間長 (m)	日 進 (m/日)	期 間 (日)	累加期間 (日)	累加期間 (ヶ月)	累加距離 (m)	備 考	
準備工					90.00	61.20	3.00		起点側	
掘 削 関 係	面 壁	-	0.700					0.700		
	坑口付	上 半	5.500					6.200	坑口付	
		下 半	3.000					3.700	〃	
	DⅢa-S	上 半	20.800	2.86	7.27	68.47	3.36	27.000	発破掘削	
		下 半	23.300	6.45	3.61	72.08	3.53	27.000	〃	
	DⅠ-b-S	上 半	44.000	2.62	16.79	88.87	4.36	71.000	〃	
		下 半	44.000	7.01	6.28	95.15	4.66	71.000	〃	
	DⅠ-b	上 半	24.000	3.70	6.49	101.64	4.98	95.000	〃	
		下 半	24.000	7.01	3.42	105.06	5.15	95.000	〃	
	CⅡ-b	全断面	54.000	4.10	13.17	118.23	5.80	149.000	〃	
		-	54.000	-	-	118.23	5.80	149.000	〃	
	DⅠ-b	上 半	78.000	3.70	21.08	139.31	6.83	227.000	〃	
		下 半	78.000	7.01	11.13	150.44	7.37	227.000	〃	
	CⅡ-b	全断面	20.400	4.10	4.98	155.42	7.62	247.400	〃	
		-	20.400	-	-	155.42	7.62	247.400	〃	
	CⅠ	全断面	40.500	5.17	7.83	163.25	8.00	287.900	〃	
		-	40.500	-	-	163.25	8.00	287.900	〃	
	CⅡ-b	全断面	20.400	4.10	4.98	168.23	8.25	308.300	〃	
		-	20.400	-	-	168.23	8.25	308.300	〃	
	DⅠ-b	上 半	20.000	3.70	5.41	173.64	8.51	328.300	〃	
		下 半	20.000	7.01	2.85	176.49	8.65	328.300	〃	
	CⅡ-b	全断面	20.400	4.10	4.98	181.47	8.90	348.700	〃	
		-	20.400	-	-	181.47	8.90	348.700	〃	
	CⅠ	全断面	63.000	5.17	12.19	193.66	9.49	411.700	〃	
		-	63.000	-	-	193.66	9.49	411.700	〃	
	CⅡ-b	全断面	147.600	4.10	36.00	229.66	11.26	559.300	〃	
		-	147.600	-	-	229.66	11.26	559.300	〃	
	CⅡ-L	全断面	27.100	3.30	8.21	237.87	11.66	586.400	〃	
		-	27.100	-	-	237.87	11.66	586.400	〃	
	CⅡ-b	全断面	50.400	4.10	12.29	250.16	12.26	636.800	〃	
		-	50.400	-	-	250.16	12.26	636.800	〃	
	CⅡ-L	全断面	27.100	3.30	8.21	258.37	12.67	663.900	〃	
		-	27.100	-	-	258.37	12.67	663.900	〃	
	CⅡ-b	全断面	96.000	4.10	23.41	281.78	13.81	759.900	〃	
		-	96.000	-	-	281.78	13.81	759.900	〃	
	DⅠ-b	上 半	20.000	3.70	5.41	287.19	14.08	779.900	〃	
		下 半	20.000	7.01	2.85	290.04	14.22	779.900	〃	
	CⅡ-b	全断面	97.200	4.10	23.71	313.75	15.38	877.100	〃	
		-	97.200	-	-	313.75	15.38	877.100	〃	
	CⅠ	全断面	160.500	5.17	31.04	344.79	16.90	1,037.600	〃	
		-	160.500	-	-	344.79	16.90	1,037.600	〃	
	CⅡ-b	全断面	96.000	4.10	23.41	368.20	18.05	1,133.600	〃	
		-	96.000	-	-	368.20	18.05	1,133.600	〃	
	DⅠ-b	上 半	20.000	3.70	5.41	373.61	18.31	1,153.600	〃	
		下 半	20.000	7.01	2.85	376.46	18.45	1,153.600	〃	
	CⅡ-b	全断面	56.400	4.10	13.76	390.22	19.13	1,210.000	〃	
		-	56.400	-	-	390.22	19.13	1,210.000	〃	
	DⅠ-b	上 半	43.000	3.70	11.62	401.84	19.70	1,253.000	〃	
		下 半	43.000	7.01	6.13	407.97	20.00	1,253.000	〃	
	DⅢa	上 半	10.600	3.33	3.18	411.15	20.15	1,263.600	〃	
		下 半	13.100	6.45	2.03	413.18	20.25	1,266.100	〃	
	坑口付	上 半	3.900						1,267.500	坑口付
		下 半	1.400						1,267.500	〃
	面 壁	-	0.500						1,268.000	坑門工
覆 工 関 係	覆工コンクリート	開始時期	1,216.000	5.25	231.62	413.18	20.25			
	覆工コンクリート	完了時期			20.40	433.58	21.25		掘削完了後1.0ヶ月で完成	
	標準区間	標 準	559.85	5.25	106.64	308.60	15.13			
		非駐帯	26.00	3.00	8.67	327.47	16.05			
		標 準	51.50	5.25	9.81	318.41	15.61			
		非駐帯	26.00	3.00	8.67	337.28	16.53			
	標 準	604.65	5.25	115.17	433.58	21.25				
附 帯 工	排水工・雑工等	開始時期			10.20	443.78	21.75		覆工完了後0.5ヶ月段取替考慮	
		完了時期	1,268.000	19.61	64.66	508.44	24.92			
	舗 装 工	開始時期				508.44	24.92		排水工・舗装工完了後着手	
完了時期		1,268.000	28.71	44.17	552.61	27.09				
坑 門 工	開始時期				433.58	21.25		覆工完了後着手		
	完了時期			20.40	453.98	22.25				
後 片 付	開始時期				552.61	27.09		舗装工完了後着手		
	完了時期			30.00	538.44	28.09				
全体工事工程			1,268.0			538.44	28.09			

※坑門工は覆工コンクリート打設終了後1ヶ月を計画する。



年 度	令和2年度 県国庫補正 第2号-3 令和2年度 道改修 第8号-2		
工 事 名	国道168号(仮称相須1号トンネル)道路改築外合設計業務		
箇 所	新宮	熊野川	相須 地内
事務所名	東牟婁振興局 新宮建設部		
調査	測量	設計	製図
工事工程表		図 面 番 号	91 99
縮尺	S=1:2000		

2.8 補助工法工程

(1) サイクルタイム

掘削は、1日2方(2交替)で作業を行い、1方実作業時間は7時間(420min)とし、1ヶ月の平均作業日数は20.4日とする。(供用日数は30日)

1時間当りの掘削進行は、次式により算出する。

$$1 \text{ 時間当り掘削進行} = \frac{420 \text{ min}}{\text{補助工法サイクルタイム}} \times 2 \text{ 方} \times 1 \text{ サイクル掘進長} / 16 \times \alpha$$

国土交通省平成

改正工種概要

番号	工 種 名	改正の根拠
1	トンネル工 (NATM)	○ 週あたり40時間労働へ見直し ・ 1日10時間労働→1日8時間労働 ・ 4週6休→4週8休 ・ 週あたり歩掛化 ○ 施工の効率化 ・ 週あたり掘進長の増加による日あたり施工量の増加

<参考> 岩区分：CⅡ、掘削断面積：7.5m²の場合

○施工歩掛 0.81 (現行施工歩掛 (人/m)) × 0.769 = 0.62人/m

○機械損料 0.32 (現行機械損料 (日/m)) × 1.088 = 0.348日/m → 0.070週/m

α : 1/0.769 定数

(2) 各種別サイクルタイム

各種サイクルタイム

補助工法サイクルタイム

断面区分	工 種	長尺先受工 (分)	FP打設・ 注入時間 (分)	RB・ FP控除 (分)	時間進 (m/時間)	摘 要
DⅠ-S 上半	長尺先受工	122	-	-	0.560	
DⅢa-S 上半	長尺先受工	129	-76	-	1.288	

1) 対象区間

・DⅠ-S

1シフト当り : 1,337 min
 対象延長 : 44.0 m
 シフト数 : 4.0 シフト
 1m当り時間 : $1,337 \times 4 / 44.0 = 122 \text{ min}$

・DⅢa-S

1シフト当り : 1,337 min
 対象延長 : 20.8 m (坑口付け考慮)
 シフト数 : 2.0 シフト
 1m当り時間 : $1,337 \times 2 / 20.8 = 129 \text{ min}$

※坑外打設は準備工で行うこととするため、本坑の掘削には含まないこととする。

2) 控除

標準歩掛に対し、充填式FPの打設時間を控除する。

・DⅢa-S : $19.0 \text{ 本} \times 4 \text{ min/本} = 76 \text{ min}$ (L=3.0m, 3ブーム170kg)

① サイクルタイムの算出

小口径サイクルタイム $\phi 76.3$

項 目		単位	DⅠ-b-S	DⅢa-S		備 考	
			坑内	坑内	坑外		
			L=12.5m	L=12.5m	L=15.5m		
1シフト当り施工本数	P	本	23	23	25		
鋼 管 長	L ₁	m	12.82	12.82	15.87		
削 孔 長	L ₂	m	12.50	12.50	15.50		
改 良 長	L ₃	m	12.50	12.50	15.50		
1 本 当 り 注 入 量	Q	kg／本	137	137	170		
先 行 削 孔 時 間	B	分／本	3.0	3.0	3.0		
1 m 当 り 推 進 時 間	F	分	4	4	4	削孔、ロッド、鋼管接続、回収含む	
ポ ン プ 吐 出 量	q	kg／分	5	5	5		
鏡 吹 付 け 面 積	M	m ²	41.5	42.3	－		
吹 付 け コンクリート厚	N	m	0.1	0.1	0.1		
すりつけコンクリート量	V	m ³	－	－	－		
準 備 工	鏡 吹	吹 付 け	分	26	26	0	M×N×K1(=1.25)×60／12
		小 計	分	26	26	0	
	先 行 削 孔	削 孔 準 備	分	20	20	20	2分割施工、 10分/回×2
		測 量 ・ マ ー キ ン グ	分	58	58	63	P × 5分/本÷ 2
		削 孔	T ₂ 分	35	35	38	P × B÷ 2
		跡 片 付 け	分	20	20	20	2分割施工、 10分/回×2
		小 計	分	133	133	141	
打 設 工	削 孔 準 備	分	20	20	20	2分割施工、 10分/回×2	
	削 孔	分	633	633	838	(P×5+P×L ₂ ×F) ÷ 2	
	跡 片 付 け	分	20	20	20	2分割施工、 10分/回×2	
	小 計	分	673	673	878		
注 入 工	注 入 準 備	分	40	40	40	2分割施工、 20分/回×2	
	ロ元コーキング・インサート管挿入	分	58	58	63	P×5分/本÷ 2	
	パ ッ カ ー 部 注 入	分	23	23	25	P×3分/本÷ 3	
	注 入	分	210	210	283	P × Q/(q×3)	
	跡 片 付 け	分	20	20	20	2分割施工、 10分/回×2	
	小 計	分	351	351	431		
す り つ け 部 吹 付 け		分	－	－	－	V×K2(=1.43)×60／12	
計		T 分	1,183	1,183	1,450		
1 日 当 り 施 工 シ フ ト 数			0.71	0.71	0.29	420分×2方/T, 420分×1方/T	
			(2方)	(2方)	(1方)		

(2方)

(2方)

(1方)

※ 鋼管径は $\phi 76.3\text{mm}$ とする。

※ ドリルジャンボは170kg級とし、施工時には2ブームを使用する。

※ 注入ポンプ台数は、3 台を使用した場合。

※ 鋼管打設、注入作業は奇数孔、偶数孔の交互施工とする。

③注入量の設定

1). 注入率の設定および設定条件

注入率

間隙率	n	=	35	%	} と仮定し、注入率 ($n \times \alpha \times U$) は $\lambda=0.17$ と設定する。
充填率	α	=	95	%	
ウレタン率	U	=	50	%	

設定条件

削孔径	B	=	90.0 mm	地山改良径	a	=	450.0 mm
鋼管外径	D	=	76.3 mm	地山改良長	L	=	12.5 m
鋼管内径	d	=	65.9 mm				

2). 参考資料(算定式および標準地盤と注入率の関係表)

$$\text{注入量}(Q) = V \times (n \times \alpha \times U) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

Q : 注入量(kg)	β : ロス率
V : 注入対象土量(m^3)	ρ : 比重 (= 1.34)
n : 間隙率	F : 発泡倍率 (= 4倍)
α : 充填率	
U : ウレタン率	

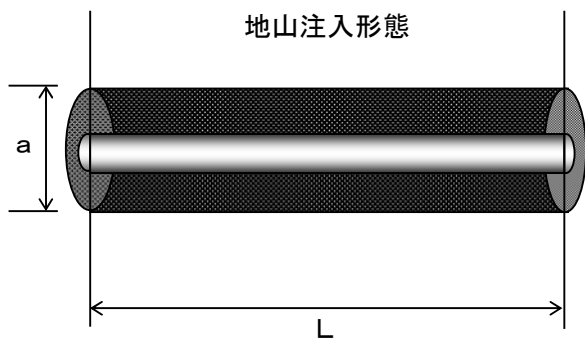
シリカレジンの充填率(α)は各土質別に考えられる充填率(α)の40～60%としている例が多い。
この表はあくまでも参考値であるので地山条件に応じて設定しなければならない。

標準地盤と注入率の関係表

土質	条件	間隙率(n)	充填率(α)	注入率(λ)
粘性土	極軟～軟	60～70%	60～70%	$\leq 50\%$
砂質土	細粒砂	45%	80～100%	$\leq 45\%$
	中粒砂	40%		$\leq 40\%$
	粗粒砂	35%		$\leq 35\%$
砂礫	礫含有率50%以下	35%	90～100%	$\leq 35\%$
	礫含有率50%以上	30%		$\leq 30\%$

『最近の薬液注入工法』 総合土木研究所より

3). 注入量の算出



地山改良体積

$$V1 = (a \cdot a - B \cdot B) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 1,908.5 \text{ } \ell$$

容積 (鋼管外)

$$V2 = (B \cdot B - D \cdot D) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 22.4 \text{ } \ell$$

容積 (鋼管内)

$$V3 = (d \cdot d) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 42.6 \text{ } \ell$$

地山注入量: Q1

$$Q1 = V1 \times (n \times \alpha \times U) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 1,908.5 \times 0.17 \times 1.05 \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 114.1 \text{ kg/本}$$

鋼管外注入量: Q2

$$Q2 = V2 \times (1.0 \times 1.0) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 22.4 \times (1 + 0.05) \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 7.9 \text{ kg/本}$$

鋼管内注入量: Q3

$$Q3 = V3 \times (1.0 \times 1.0) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 42.6 \times (1 + 0.05) \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 15.0 \text{ kg/本}$$

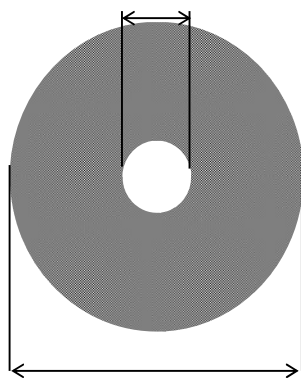
したがって注入量(Q)は

$$Q = Q1 + Q2 + Q3$$

$$= 137 \text{ kg/本}$$

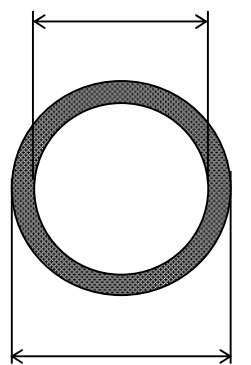
削孔径 90.0 mm

鋼管外径 76.3 mm



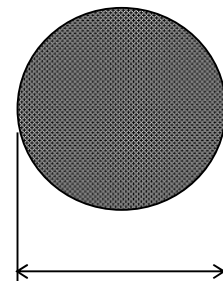
改良径 450 mm

地山注入量(Q1)の算出



削孔径 90.0 mm

鋼管外容積(Q2)の算出



鋼管内径 65.9 mm

鋼管内容積(Q3)の算出

③注入量の設定

1). 注入率の設定および設定条件

注入率

間隙率	n	=	35	%	} と仮定し、注入率 ($n \times \alpha \times U$) は $\lambda=0.17$ と設定する。
充填率	α	=	95	%	
ウレタン率	U	=	50	%	

設定条件

削孔径	B	=	90.0 mm	地山改良径	a	=	450.0 mm
鋼管外径	D	=	76.3 mm	地山改良長	L	=	15.5 m
鋼管内径	d	=	65.9 mm				

2). 参考資料(算定式および標準地盤と注入率の関係表)

$$\text{注入量}(Q) = V \times (n \times \alpha \times U) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

Q : 注入量(kg)	β : ロス率
V : 注入対象土量(m^3)	ρ : 比重 (= 1.34)
n : 間隙率	F : 発泡倍率 (= 4倍)
α : 充填率	
U : ウレタン率	

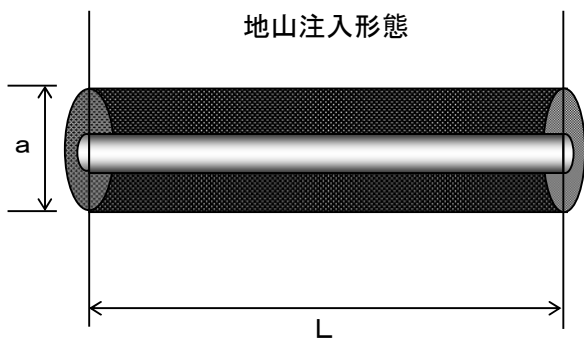
シリカレジンの充填率(α)は各土質別に考えられる充填率(α)の40～60%としている例が多い。
この表はあくまでも参考値であるので地山条件に応じて設定しなければならない。

標準地盤と注入率の関係表

土質	条件	間隙率(n)	充填率(α)	注入率(λ)
粘性土	極軟～軟	60～70%	60～70%	$\leq 50\%$
砂質土	細粒砂	45%	80～100%	$\leq 45\%$
	中粒砂	40%		$\leq 40\%$
	粗粒砂	35%		$\leq 35\%$
砂礫	礫含有率50%以下	35%	90～100%	$\leq 35\%$
	礫含有率50%以上	30%		$\leq 30\%$

『最近の薬液注入工法』 総合土木研究所より

3). 注入量の算出



地山改良体積

$$V1 = (a \cdot a - B \cdot B) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 2,366.6 \text{ } \ell$$

容積 (鋼管外)

$$V2 = (B \cdot B - D \cdot D) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 27.7 \text{ } \ell$$

容積 (鋼管内)

$$V3 = (d \cdot d) \times \pi / 4 \times L \times 1,000$$

$$= 52.9 \text{ } \ell$$

地山注入量: Q1

$$Q1 = V1 \times (n \times \alpha \times U) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 2,366.6 \times 0.17 \times 1.05 \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 141.5 \text{ kg/本}$$

鋼管外注入量: Q2

$$Q2 = V2 \times (1.0 \times 1.0) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 27.7 \times (1 + 0.05) \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 9.7 \text{ kg/本}$$

鋼管内注入量: Q3

$$Q3 = V3 \times (1.0 \times 1.0) \times (1 + \beta) \times \rho \times 1/F$$

$$= 52.9 \times (1 + 0.05) \times 1.34 \times 1 / 4$$

$$= 18.6 \text{ kg/本}$$

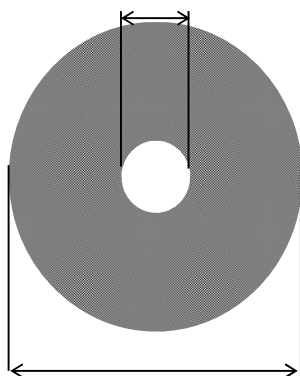
したがって注入量(Q)は

$$Q = Q1 + Q2 + Q3$$

$$= 170 \text{ kg/本}$$

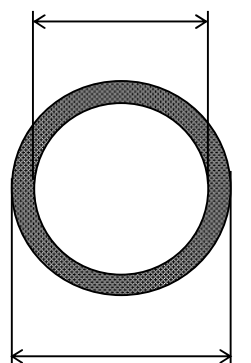
削孔径 90.0 mm

鋼管外径 76.3 mm



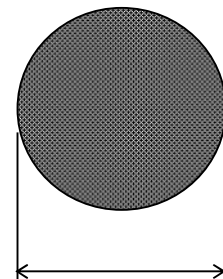
改良径 450 mm

地山注入量(Q1)の算出



削孔径 90.0 mm

鋼管外容積(Q2)の算出



鋼管内径 65.9 mm

鋼管内容積(Q3)の算出

3. 仮設配置計画

3. 仮設配置計画

3.1 工事用仮設備配置計画方針

(1) 仮設備建物の設定

トンネル工事用仮設備建物の規模については、平成3年施工中の国内のトンネル(道路、鉄道、水路等)の実態調査結果及び既存資料を基に設備の概要や標準的な設備内容をまとめた「トンネル工事における標準的仮設備(平成6年11月日本トンネル技術協会)」と、「トンネル工事用建物等実態調査報告書(昭和51年12月日本トンネル技術協会)」を参考にして算出する。

本業務では以下の資料を参考として仮設備の種類・規模を設定するものとする。

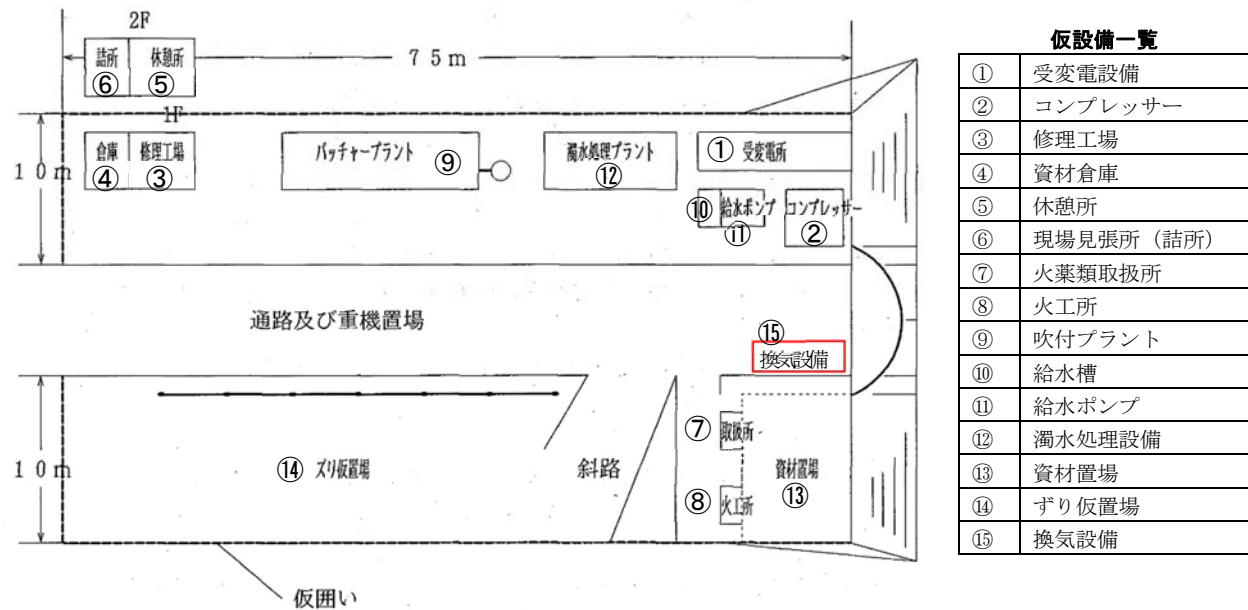
【参考文献】

- ・国土交通省土木工事積算基準(令和3年度版:財団法人建設物価調査会発行)
…以下、文献①
- ・トンネル工事における標準的仮設備(平成6年11月:社団法人日本トンネル技術協会)
…以下、文献②
- ・トンネル工事用建物実態調査報告書(昭和51年12月:社団法人日本トンネル技術協会)
…以下、文献③
- ・仮設ガイドブックⅡ(平成23年度改訂:財団法人建設物価調査会)
…以下、文献④

(2) トンネル仮設備の種類

トンネル坑外に設置される仮設備の例としては、下図に示す種類があげられる。

なお、本トンネルは「発破方式」であることから、⑦火薬類取扱所や⑧火工所は必要となる。
また、積算基準書にあるコンクリート吹付機は、エアコンプレッサ搭載型となるため、②コンプレッサは不要となる。



文献②に一部追記

図 3.1.1 トンネル仮設備の例

(3) 各仮設建物規模の設定

前項で選定した各坑外仮設備の規模を設定する。基本として、文献①、文献②を優先的に参照するものとし、掲載のない施設については、文献③、文献④を参照とする。

1) 受変電設備 →文献② P. 62 より

以下の設備例より、「5.4m×4.4m」として設定する。

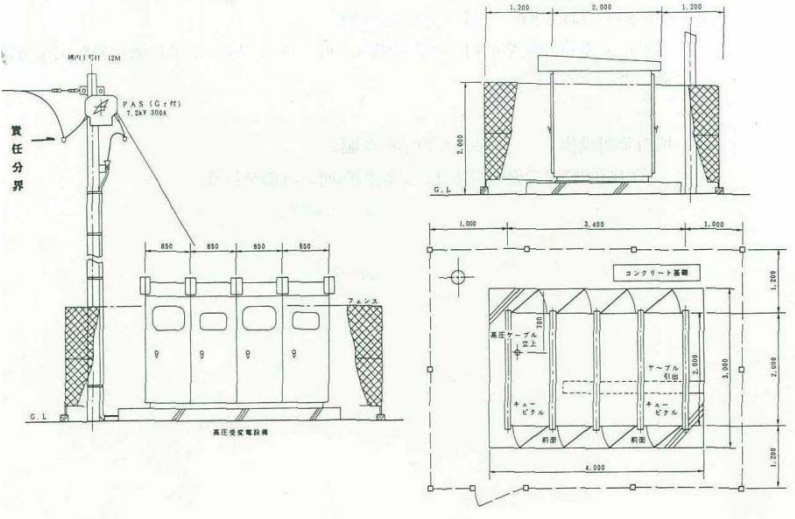


図 3.1.2 受変電設備の例

2) 修理工場 →文献② P. 33 より

下表より、「60 m²」として設定する。

表 3.1.1 トンネル断面積と修理工場敷地面積の関係

掘削断面	断面積
A断面	25 m ² 程度
B断面	40 m ² 程度
C断面	60 m ² 程度
D断面	80 m ² 程度

3) 現場見張所、休憩所、資材倉庫 →文献③

各設備規模の設定については、文献③においてトンネル延長との関係から概ねの目安値が示されており、必要面積の算定については、「工法，名称別建物面積算出式総括一覧表-4」より算定する。

また、この表の中で、施工方法は実績より、Ⅱ1～13を選定する。

表 3.1.2 工法、名称別建物面積算出式総括一覧表

単位 m²

掘削工法別 建物種別	F I 1～10	B II 1～18	U II 1～13	B III 1～44	U III 1～34	S III 1～32
仮設建物	Y=80+0.0158X	Y=68+0.0315X	Y=52+0.0320X	Y=68+0.0315X	Y=81+0.0320X	Y=96+0.0180X
事務所	Y=16+0.0085X	Y=30+0.0161X	Y= 8+0.0260X	Y=46+0.0140X	Y=20+0.0285X	Y=44+0.0065X
社員宿舎	Y=59+0.0460X	Y=98+0.0270X	Y=112+0.0119X	Y=156+0.0265X	Y=127+0.0119X	Y=150+0.0345X
作業員宿舎(単)	Y=155+0.0450X	Y=239+0.1005X	Y=94+0.2200X	Y=420+0.0450X	Y=135+0.2200X	Y=280+0.1800X
作業員宿舎(世)	Y=25+0.0775X	Y=75+0.0775X	Y=75+0.0775X	Y=95+0.0776X	Y=90+0.0850X	Y=25+0.1500X
倉庫(物品)	Y=12+0.0090X	Y=15+0.0107X	Y=30+0.0090X	Y=22+0.0148X	Y=46+0.0090X	Y=31+0.0090X
食堂・家事場	Y=58+0.0080X	Y=100+0.0031X	Y=66+0.0030X	Y=130+0.0030X	Y=118+0.0030X	Y=107+0.0143X
倉庫	Y=21+0.0050X	Y=27+0.0050X	Y=28+0.0050X	Y=35+0.0050X	Y=31+0.0050X	Y=44+0.0033X
浴場	Y=17+0.0122X	Y=24+0.0105X	Y=22+0.0149X	Y=35+0.0122X	Y=28+0.0180X	Y=60+0.0093X
その他	Y=18+0.0018X	Y=33+0.0018X	Y=22+0.0018X	Y=58+0.0018X	Y=41+0.0018X	Y=74+0.0104X
小計	Y=461+0.2288X	Y=709+0.2837X	Y=509+0.4011X	Y=1065+0.2314X	Y=717+0.4142X	Y=911+0.4353X
現場建物 現場見張所	Y= 7+0.0022X	Y=18+0.0022X	Y= 9+0.0022X	Y=32+0.0022X	Y=18+0.0022X	Y=27+0.0033X
休憩所	Y= 6+0.0115X	Y=17+0.0115X	Y=19+0.0115X	Y=20+0.0115X	Y=20+0.0115X	Y=20+0.0110X
資材倉庫	Y= 7+0.0044X	Y=27+0.0090X	Y=22+0.0090X	Y=28+0.0090X	Y=27+0.0090X	Y=27+0.0105X
修理工場	Y=16+0.0090X	Y=16+0.0090X	Y=16+0.0090X	Y=21+0.0100X	Y=12+0.0213X	Y=38+0.0210X
変電所	Y=11+0.0050X	Y=13+0.0073X	Y=12+0.0073X	Y=33+0.0073X	Y=13+0.0073X	Y=33+0.0090X
充電所	Y=20+0.0155X	Y=48+0.0135X		Y=75+0.0135X		Y=84+0.0135X
動力所	Y=45+0.0083X	Y=44+0.0095X	Y=36+0.0070X	Y=81+0.0095X	Y=54+0.0070X	Y=55+0.0130X
セメント倉庫				Y=13+0.0105X		
コンクリートプラント				Y=46+0.0111X	Y=135+0.0261X	Y=26+0.0031X
その他			Y=11+0.0095X		Y=31+0.0155X	Y=46+0.0060X
小計	Y=112+0.0559X	Y=183+0.0620X	Y=125+0.0555X	Y=349+0.0846X	Y=310+0.0999X	Y=356+0.0904X
火薬庫関係建物 火薬庫	Y=1.4+0.0023X	Y=48+0.0017X	Y= 4+0.0017X	Y= 6+0.0017X	Y= 8+0.0027X	Y= 6+0.0017X
加工取扱所(坑内)				Y=3.9+0.0007X		Y=1.7+0.0020X
加工所(坑内)				Y=5.5		Y=8.2
加工取扱所(坑外)	Y=2.8+0.0002X	Y=3.2+0.0002X	Y= 3+0.0004X	Y=2.3+0.0009X	Y=3.2+0.0004X	Y=2.6+0.0009X
加工所(坑外)	Y=3.4	Y=3.2+0.0001X	Y=3.2+0.0001X	Y=3.6+0.0001X	Y=3.4+0.0004X	Y=2.6+0.0009X
火工品庫	Y=2.9+0.0008X	Y=2.4+0.0015X	Y=2.4+0.0015X	Y=2.4+0.0015X	Y=4.2+0.0014X	Y= 6+0.0010X
小計	Y=10.5+0.0033X	Y=13.6+0.0035X	Y=12.6+0.0037X	Y=23.7+0.0049X	Y=18.8+0.0049X	Y=27.1+0.0065X
合計	Y=538.5+0.2880X	Y=905.6+0.3492X	Y=646.6+0.4603X	Y=1437.7+0.3209X	Y=1045.8+0.5190X	Y=1294.1+0.5322X

・ χ : トンネル延長 (m)・線別名称 : 複線型 (内空面積 50～55m² 程度) U II 1～13・F I 1～10 全断面工法 単線型 (20～25m² 程度)・B II 1～18 底設導坑先進上部半断面工法 複線型 (50～55m² 程度)・U II 1～13 上部半断面先進工法 (タイヤ方式) 複線型 (50～55m² 程度)・B III 1～44 底設導坑先進上部半断面工法 新幹線型 (60～65m² 程度)・U III 1～34 上部半断面先進工法 (タイヤ方式) 新幹線型 (60～65m² 程度)

・S III 1～32 側壁導坑先進上部半断面工法 新幹線型

4) 給水ポンプ、貯水槽 →文献② P59 より

給水ポンプおよび貯水槽は下表相当の設備をとし、寸法値は以下の値に設置する。

- ・ 給水槽（20 t） → 「4.0m×2.5m」
- ・ 給水ポンプ → ポンプは大きくないため位置のみ表記することとする。

表 3.1.3 タンクの大きさ

掘削断面	タンクの大きさ(t)
20 m ² 未満	10
20～50 m ²	15
50 m ² 以上	20
2 本同時施工	20

5) 吹付けプラント →文献② P. 49 より

以下より、「16.5m×7.0m」と設定する。

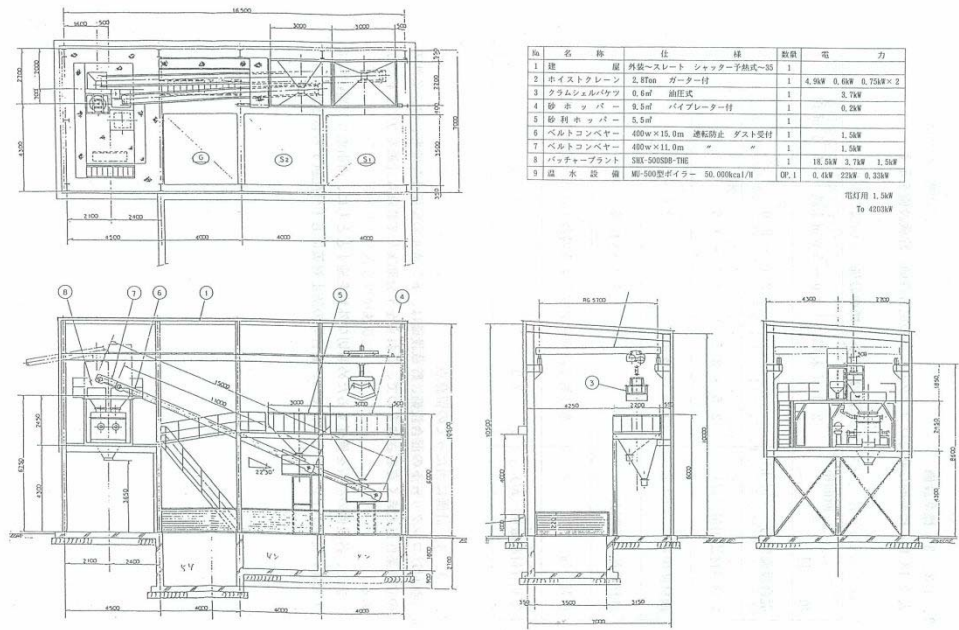


図-2.13.1 吹付コンクリート混合貯蔵設備

6) 濁水処理装置 →文献① P15・③・1 より

濁水処理装置は以下の設備を設置する。

- ・ 機械処理脱水方式（処理能力 30m³/H 級） → 「上屋・1 階建 5.4m×9m」

7) 資材置場、⑮ずり仮置場

資材置場は施工実績より、「150 m²」と設定する。

8) 換気設備 →文献② P. 14

換気設備は 4～10 t 積みトラック 1 台分 「2.5m×10m」とする。

3.2 仮設建物配置計画

基本的に、坑口近傍に 1,500～1,000 m²程度の平場が確保できれば、仮設備全般を坑口付近にすべて配置するのが最も理想的な配置計画である。

仮設建物の配置計画にあたっての留意点は次の通りである。

- 1) 受配電設備は極力坑口近傍に設ける。
- 2) 工事用電力計画の責任分界点は、現道沿いにある電柱からとする。
- 3) 給水については、近隣の水路より取水する。
- 4) 掘削ずりは、ずり仮置場で 1 次仮置した後、2 次運搬する。仮設建物計画ではずり仮置き場までを計画する。
- 5) 原則として工事終了まで移転は考えない。

以下に各仮設備の配置について計画概要を述べる。

①受配電室

トンネル内の施工機器に必要な高圧電力を供給するための施設であるため、トンネル坑口近傍に配置する。

②修理工場

トンネル工事機械の修理場または部品の加工場で、グラインダ、溶接機器などがあり、車両の進入可能な場所に設置する。

③資材倉庫

トンネル工事機械の消耗品（削岩機のビット、油圧ホース、グリス）鋼アーチ支保工の継手ナット、ロックボルトの座金およびナット等の保管庫であり、修理工場に隣接して設置する。

④作業員休息所

工事車両の出入りが頻繁な場所を避けて設置する。

⑤現場見張所

現場監督員の詰所でもあり、また、濁水処理の Ph 測定、吹付プラントの配合チェックなどが必要であることから、諸設備類に近い場所に設置する。

⑥ 火工所

ダイナマイトに雷管理込みを行う場所で、厳重に管理する必要があるため工事関係者以外の立ち入りができないような場所で、さらに有刺鉄線で囲いを行う。

⑦ 火工取扱所

火工所で加工したダイナマイトを一事保管する場所であり火工所と同様とする。

⑧給水ポンプ室

トンネル工事に必要な使用水を導くための動力ポンプである。

⑨貯水槽

工事に必要な使用水を一次的に貯留する水槽である。給水ポンプの近くに設置する。

⑩、⑪、⑫吹付プラント

規模が大きいため、一度建設すると移設は容易でないことから、なるべく施工基面が安定している場所に設置する。

⑬濁水処理設備

配置については、濁水処理設備稼動時に泥土処理を行う必要があることから、極力処理車が作業しやすいよう配置する。

⑭資材置場

鋼アーチ支保工およびロックボルト等のトンネル工事に使用する資材置場であることから、工事用車両の通行が多い場所は避けて設置する。

⑮ずり仮置場

トンネル内から発生する掘削ずりを一次的に貯留する広場である。

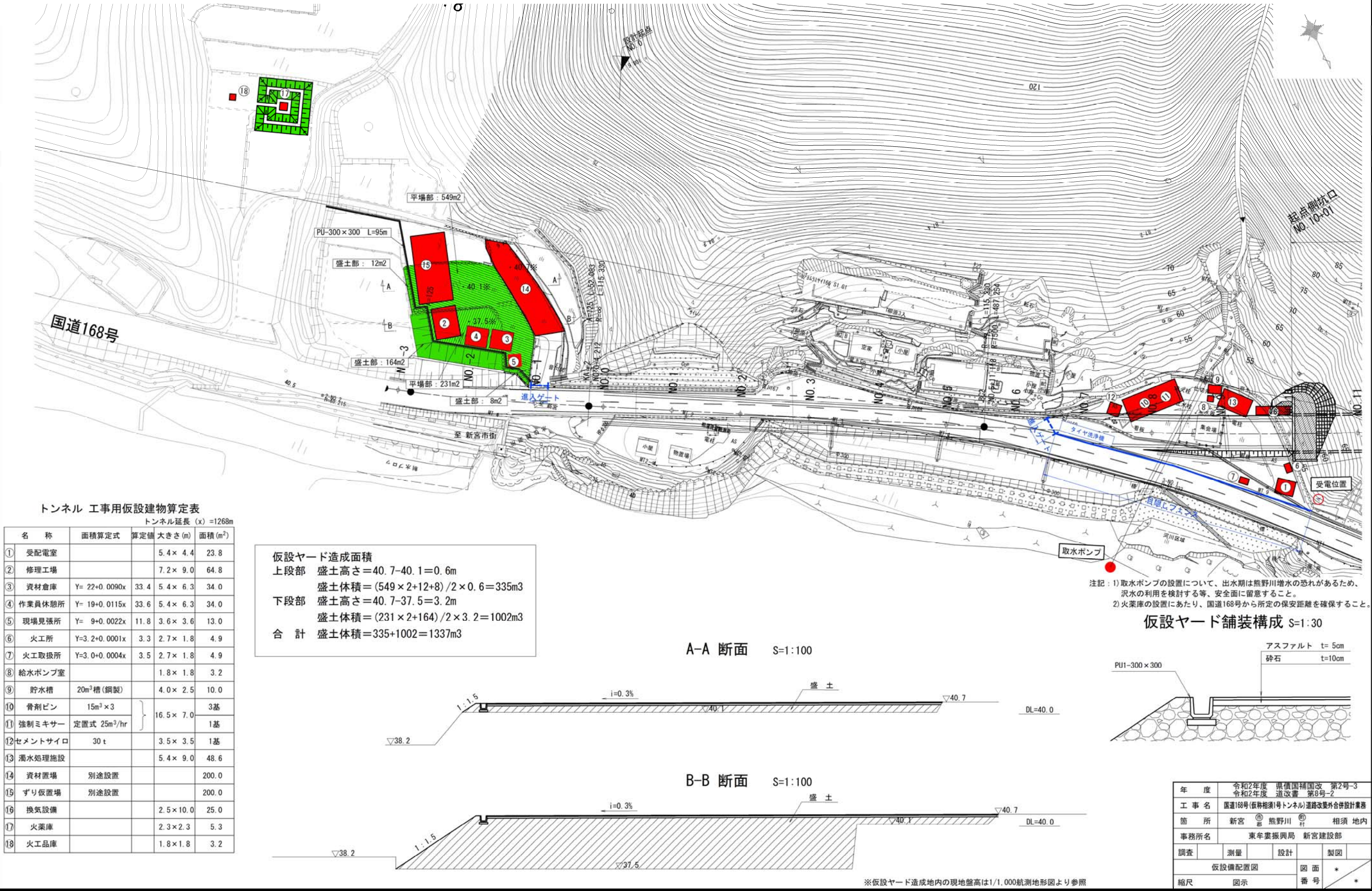
⑯換気施設

トンネル工事より発生する有害ガスの除去および新鮮な空気を送るために使用する。トンネル坑口付近に設置する。

<仮設配置図>

次頁に、本トンネルの工事用仮設建物算定表および仮設配置図を示す。

仮設備配置図 S=1:500



年 度	令和2年度 県債国補国改 第2号-3 令和2年度 道改費 第8号-2
工 事 名	国道168号(仮称相須1号トンネル)道路改変外合併設計業務
箇 所	新宮 熊野川 相須 地内
事務所名	東牟婁振興局 新宮建設部
調査	測量 設計 製図
仮設備配置図	
縮尺	図示
図 面 番 号	*

4. 施工設備計画

4. 施工設備計画

4.1 仮設備計画概要

本トンネルの工事用仮設備計画は、『令和3年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）』に準拠して計画する。

また、本トンネルの施工基地は、終点側空地を利用し配置計画を行う。

- ・坑外仮設備配置計画
- ・空気圧縮機設備計画
- ・吹付プラント設備計画
- ・電力設備計画（後述「4仮設電力設備計画」参照）
- ・照明設備計画
- ・工事用換気設備計画
- ・集塵設備計画
- ・給排水設備計画
- ・濁水処理設備計画
- ・坑口処理
- ・火薬庫類
- ・仮設備保守費
- ・工事用機械一覧
- ・仮設建物

次頁に仮設備配置計画図を添付する。

【参考文献】

施工設備計画を実施するにあたり、各設備の考え方については、以下の文献を参考に算出することとする。

- ・各設備の諸元
令和元年度版 建設機械等損料表（社）日本建設機械化協会
- ・換気設備
トンネル工事用換気設備の考え方や粉じん抑制剤の使用係数、また、使用機械の排気ガスに対する換気量の算出など。

国土交通省 事務連絡 平成22年10月26日
「道路局所轄事業におけるトンネル工事（送風機の運転方法の選定）の
経済的・効率的・効果的な実施について」

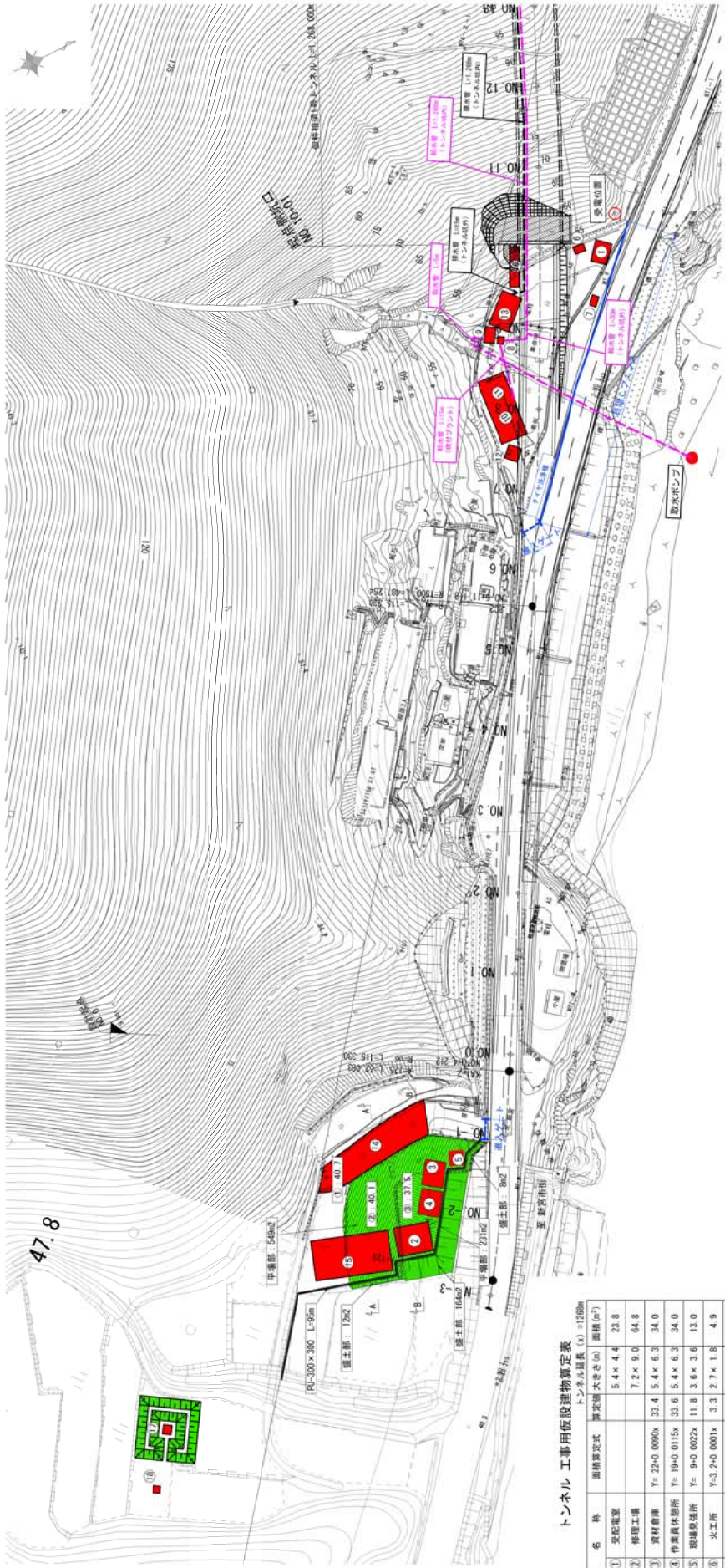
新版 ずい道等建設工事における換気技術指針 建設業労働災害防止協会

平成21年度 N A T M積算資料（案） 九州地方整備局

※N A T M積算資料(案)は、参考文献として工事用換気設備の考え方が示されている。

工事用仮設備配置図

仮設備配置図 S=1:500



注記: 1) 取水ポンプの設置について、出水側は新野川増水の恐れがあるため、
洪水の利用を検討する等、安全面に留意すること。
2) 火薬庫の設置にあたり、国運168号から所定の保安距離を確保すること。

トンネル 工事用仮設備算定表

名 称	面積算定式	トンネル延長 (x) = 1750m	算定値 (m)	面積 (㎡)
1 仮設電室		5.4 × 4.4	23.8	
2 仮設工場		7.2 × 9.0	64.8	
3 資材倉庫	Y= 22+0.0000x	33.4	5.4 × 6.3	34.0
4 作業員休憩所	Y= 19+0.0115x	33.6	5.4 × 6.3	34.0
5 現場事務所	Y= 9+0.0022x	11.8	3.6 × 3.6	13.0
6 火工所	Y= 3.2+0.0001x	3.3	2.7 × 1.8	4.9
7 火工取捨所	Y= 3.0+0.0004x	3.5	2.7 × 1.8	4.9
8 給水ポンプ室		1.8 × 1.8	3.2	
9 貯水槽	20m ³ (備置)	4.0 × 2.5	10.0	
10 資材ピン	15m ³ × 3	16.5 × 7.0	116.3	
11 強制ミキサー	定置式 25m ³ /hr	3.5 × 3.5	12.3	
12 セメントサイロ	30.1	5.4 × 9.0	48.6	
13 廃水処理施設	別添設置		200.0	
14 資材置場	別添設置		200.0	
15 ずり仮置場	別添設置		25.0	
16 燃料設備		2.5 × 10.0	25.0	
17 火薬庫		2.3 × 2.3	5.3	
18 火工品庫		1.8 × 1.8	3.2	

4.2 給気設備

(1) 空気圧縮機

「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」においては、吹付けコンクリート施工時に使用する空気圧縮機は、コンクリート吹付け機にコンプレッサーが搭載されていることから、ここでは空気圧縮機は設置しない計画とする。

4.3 吹付プラント設備計画

吹付コンクリート用として坑外に吹付プラントを設置する。
プラントの規模としては、各々の立地条件によって検討する必要があるが、標準としてセメントサイロ30t、骨材ホッパー15m³×3基、コンクリートプラント（定着式）25m³/hとする。

セメントサイロ▶ 30t ×1基
骨材ホッパー（細・粗骨材）▶ 15m³ ×3基
コンクリートプラント▶ 25m³/h×1基（バッチ型定着式）

(1) 吹付けコンクリートの配合

吹付けコンクリートの配合を下表の通りとする。

表4.3.1 吹付けコンクリートの配合（湿式 1m³当り）

強 度	スランプ	W/C	粗骨材 最大寸法	単位セメント量	単位 細骨材料 (砂)	単位 粗骨材料 (碎石)	急結剤	摘要
σ 28 =18N/mm ²	10±2cm	56%	15mm	「普通ポルト ランドセメント」 360kg	0.80m ³ (1086kg)	0.47m ³ (675kg)	セメント量 の9%	湿式

※急結材； 360kg×0.09=32.4kg

また、各材料の単位体積重量を下表のように設定する。

表4.3.2 単位体積重量

材 料 項 目	セメント	細骨材	粗骨材
単位体積重量	1,500 kg/m ³	1,600 kg/m ³	1,700 kg/m ³

(2) 吹付コンクリートプラント電力設備

セメントサイロ	30t	1 基	⇒ 15.0 kw
細骨材ビン	15m ³ 程度	2 基	) ⇒ 3.2 kw
粗骨材ビン	15m ³ 程度	1 基	
コンクリートプラント（バッチ型）	25m ³ /h	1 基	⇒ 35.0 kw
総使用電力量			53.2 kw

吹付コンクリートプラントの運転は上半掘削開始から下半掘削完了までとする。

設置期間 ： 20.25 ヶ月 － 3.00 ヶ月 ＝ 17.25 ヶ月

(3) 吹付プラント設備組立、解体単価表

吹付プラント設備の組立、解体歩掛は、次表を標準とする。

表4.3.3 吹付プラント設備組立、解体歩掛 (1基当たり)

名称	規格	単位	組立	解体	合計
世話役		人	9.0	5.0	14.0
特殊作業員		人	9.5	3.0	12.5
普通作業員		人	8.0	2.0	10.0
機械工		人	6.5	2.5	9.0
とび工		人	20.5	14.5	35.0
溶接工		人	3.5	1.5	5.0
電工		人	5.5	2.5	8.0
ラフテレンクレーン運転	排出ガス対策型 油圧伸縮ジブ型25t吊	日	4.0	3.5	7.5

注) 1. ラフテレンクレーンは賃料とする。

2. 基礎コンクリートは別途計上とする。

表4.3.4 吹付プラント主要機械

名称	規格	出力	備考
コンクリートプラント	バッチ型 定着式 25m ³ /h	35.0kw	一括練混ぜ方式
セメントサイロ	鋼製溶接構造 容量 30 t	15.0kw	スクューコンベア、レベルスイッチ、 エアレーション装置及びバグフィルタを含む
骨材ホッパ	15m ³ ×3基フィーダ付	3.2kw	ベルトコンベアを含む

4.4 照明設備計画

(1) 所要照度

作業箇所、坑内通路等においては、下記の照度を保持するものとする。

- ・ 作業箇所の必要照度 70Lx
- ・ 通路の最暗部照度 10Lx

(参考基準値)

- ① トンネル標準示方書 第78条「照明」
 - 1) 各切羽等直接作業を行う箇所の必要な照度 70Lx
 - 2) 通路の最暗部でも10Lx、望ましい値は20Lx
- ② 労働安全衛生規則

労働者を常時就業させる場所の作業面の照度を次の基準に適合させなければならない。
ただし、坑内の作業場その他特殊な作業を行う作業場についてはこの限りではない。

精密な作業	300ルクス以上
普通の作業	150ルクス以上
粗の作業	70ルクス以上

本計画においては、「H31年度 国土交通省土木工事積算基準」に基づき以下のとおり計画する。

坑内照明：40W蛍光灯を片側5m間隔に設置する。
 切羽照明：500W投光器を切羽6個（上半4，下半2）
 〃 覆工4個

4.5 工所用換気設備計画

工所用換気設備は『新版 ずい道等建設工事における換気技術指針（換気技術の設計及び粉じん等の測定） 令和3年3月 建設業労働災害防止協会』に準拠する。

(1) 換気量の算定方法

トンネル工事を吹付け、ロックボルト工法（NATM）で施工する場合に、換気を必要とする対象ガスとしては、作業員の呼吸、発破の後ガス、ディーゼル機械の排気ガス、吹付コンクリート等から発生する粉塵がある。

有害ガスとしては、一酸化炭素（CO）、窒素酸化物（NOx）、炭酸ガス（CO₂）などがあるが、『第2改訂 ずい道等建設工事における換気技術指針 令和3年4月 建設業労働災害防止協会』（以下「第2改訂・換気技術指針」）より、表5-1に有毒ガスの許容濃度表を示す。

表4.5.1 有害ガス等の許容濃度表

有害ガス	許容濃度
CO	50ppm
NO	25ppm
CO ₂	5,000ppm
粉じん	3mg/m ³

「第2改訂・換気技術指針 P20」

換気方式の全体概念図

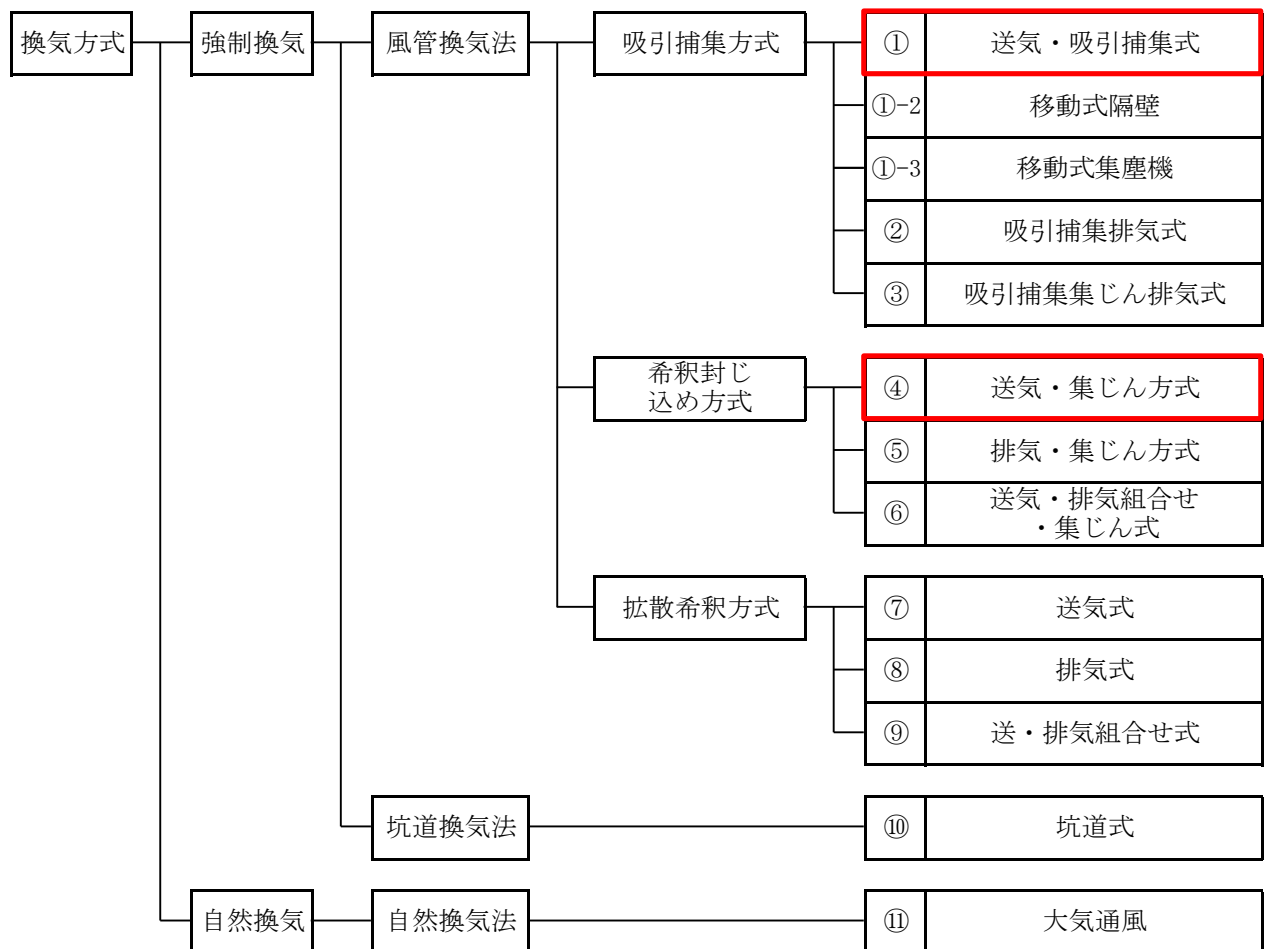


図4.5.1 換気方式の全体概念図

「第2改訂・換気技術指針 P67」

(2) 換気方式及び設備

換気方式には、大別して坑口付近に大規模な送風機を一括設置する集中方式と、工事の進捗に合わせた配管及び送風機を随時設置していく直列方式がある。これらの換気方式には、いずれも送気式と排気式がある。

このように、トンネル工事中における換気方式には多種多様な方式があるので、そのトンネルの規模（断面、延長）、施工方法、周辺環境などを十分に考慮して、より良い作業環境と施工条件に最もよく適合した換気方式を選定する必要がある。

表4.5.2 風管換気法における各方式の要領

分 類	方 法	要 領
換気ファンの設置方法	集 中	トンネル全延長の設備容量をもつ換気ファンをトンネル外またはトンネル内に一括して設備する。
	直 列	風管の中間に所要換気量に見合う換気ファンを分散して設備する。
換気方式	①送気式	トンネル外の新鮮空気を換気ファン、風管によってトンネル内へ送気する。
	②排気式	トンネル内の汚染空気を換気ファン、風管によってトンネル外へ強制的に排気する。
	③送・排気組合せ式	送気と排気の換気設備をトンネル内に設備し、送気・排気を組み合わせて換気を行う。
	④送気・集じん式	送気ファンと集じん機を組み合わせた方式で切羽の汚染空気を封じ込める方式。
	⑤排気・集じん式	排気ファンと集じん機を組み合わせた方式で切羽の汚染空気を封じ込める方式。
	⑥送・排気組合せ・集じん式	送・排気組合せ式に集じん機を組み合わせた方式
	⑦送気・吸引捕集式	送気方式と吸引ダクト一体型の集じん機により切羽の発生粉じんを吸引ダクトにより直接吸引捕集し除じんする方式
	⑧吸引捕集排気式	吸引ダクト一体型の排気ファンにより切羽の発生粉じんを直接吸引捕集して排気すると共に集じん機を併用する方式
	⑨吸引捕集集じん排気式	吸引ダクト一体型の集じん機により切羽の発生粉じんを直接吸引捕集して排気すると共に局所ファンを併用する方式
風管内の圧力	風管内：正圧	風管内の圧力が正圧である。（軟管の使用が可能）
	風管内：負圧	風管内の圧力が負圧である。（軟管しか使用できない）

表4.5.3 各種換気方式の概要（1）

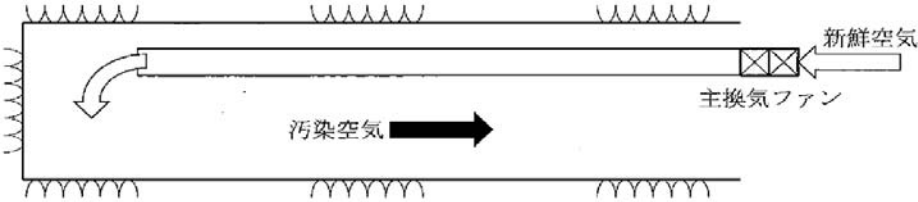
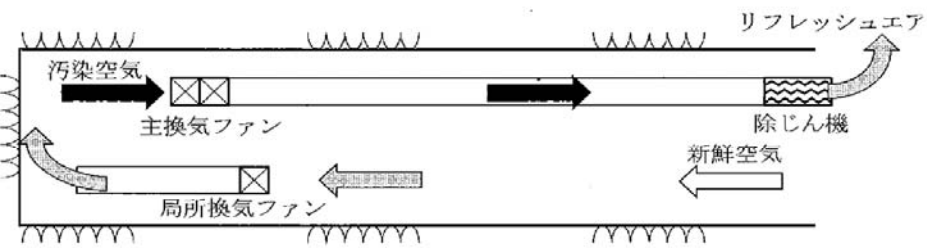
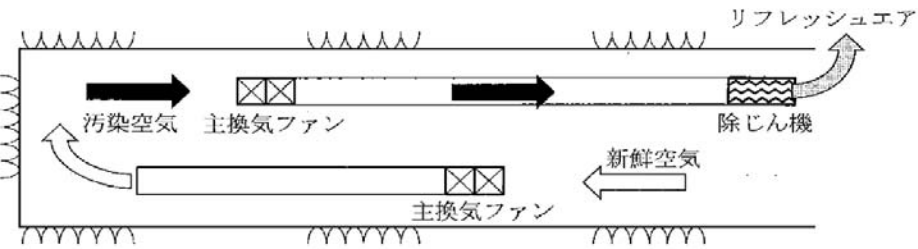
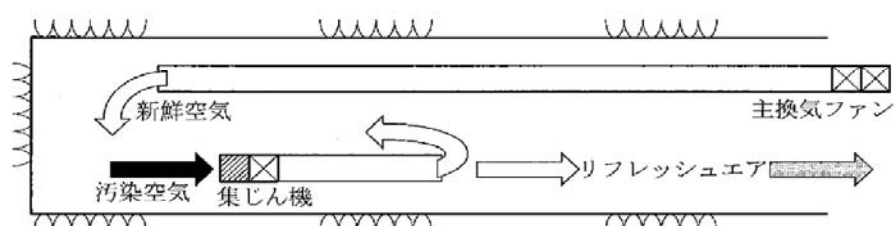
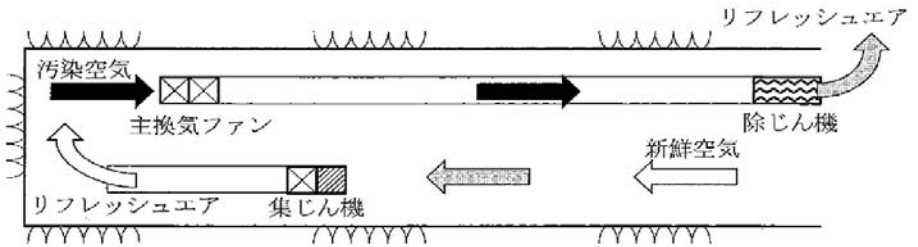
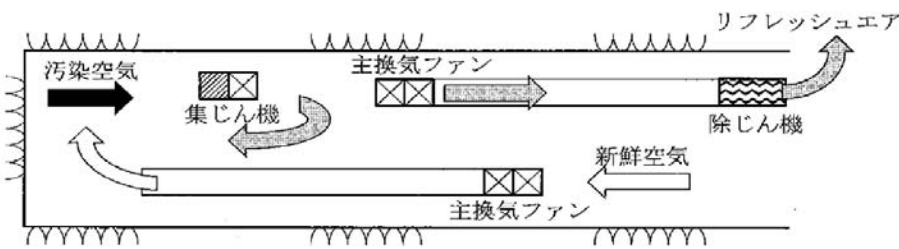
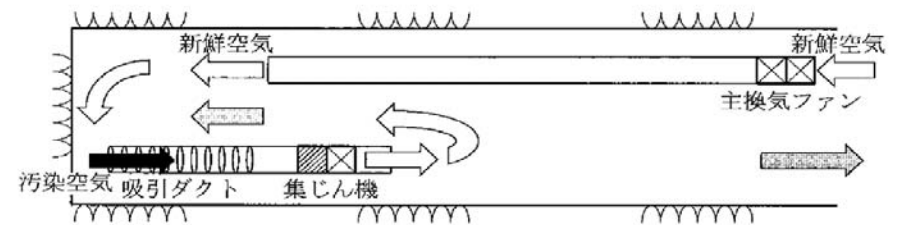
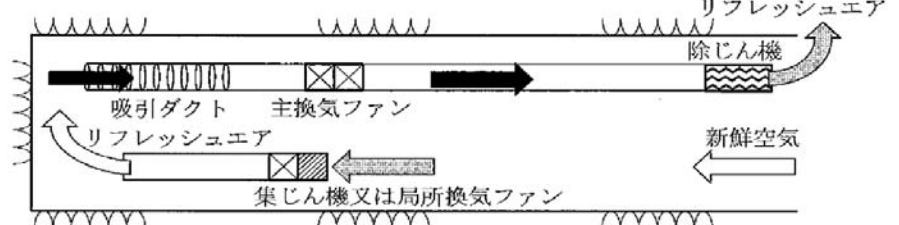
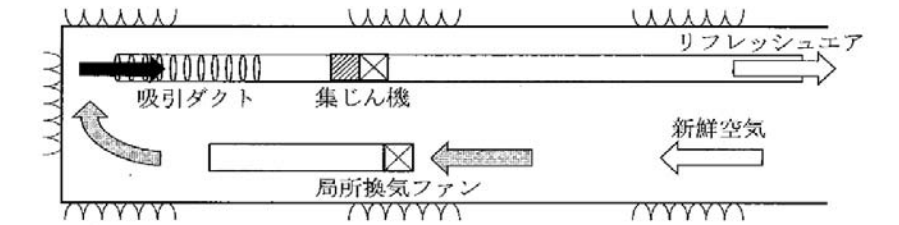
強制換気	基本配置図	
<div data-bbox="245 674 280 927" data-kind="parent" data-rs="3">拡散希釈方式</div> <div data-bbox="245 1413 280 1756" data-kind="parent" data-rs="2">希釈封じ込め方式</div>	①送気式	
	②排気式	
	③送・排気組合せ式	
	④送気・集じん式	
希釈封じ込め方式	⑤排気・集じん式	

表4.5.4 各種換気方式の概要 (2)

強制換気	基本配置図	
⑥ 送・排気組合せ・集じん式 希釈封じ込め方式		
⑦ 送気・吸引捕集式		
⑧ 吸引捕集排気式 吸引捕集方式		
⑨ 吸引捕集集じん排気式		

工事中の換気量については、次ものを考える。

- Qa : 所要換気量 (m³/min)
- Qp : トンネル内作業員に対する換気量
- Q1 : 地山から発生する有害ガスに対する換気量
- Q2a : 発破の後ガスに対する換気量
- Q2b : 発破の粉じんに対する換気量
- Q3 : 機械・車両の排ガスに対する換気量
- Q4 : 吹付けコンクリート作業の粉じんに対する換気量
- Q5 : 発熱源に対する換気量
- Q6 : 坑内風速 (0.5m/s) から求めた換気量
- QD : 吸引捕集方式の吸引風量

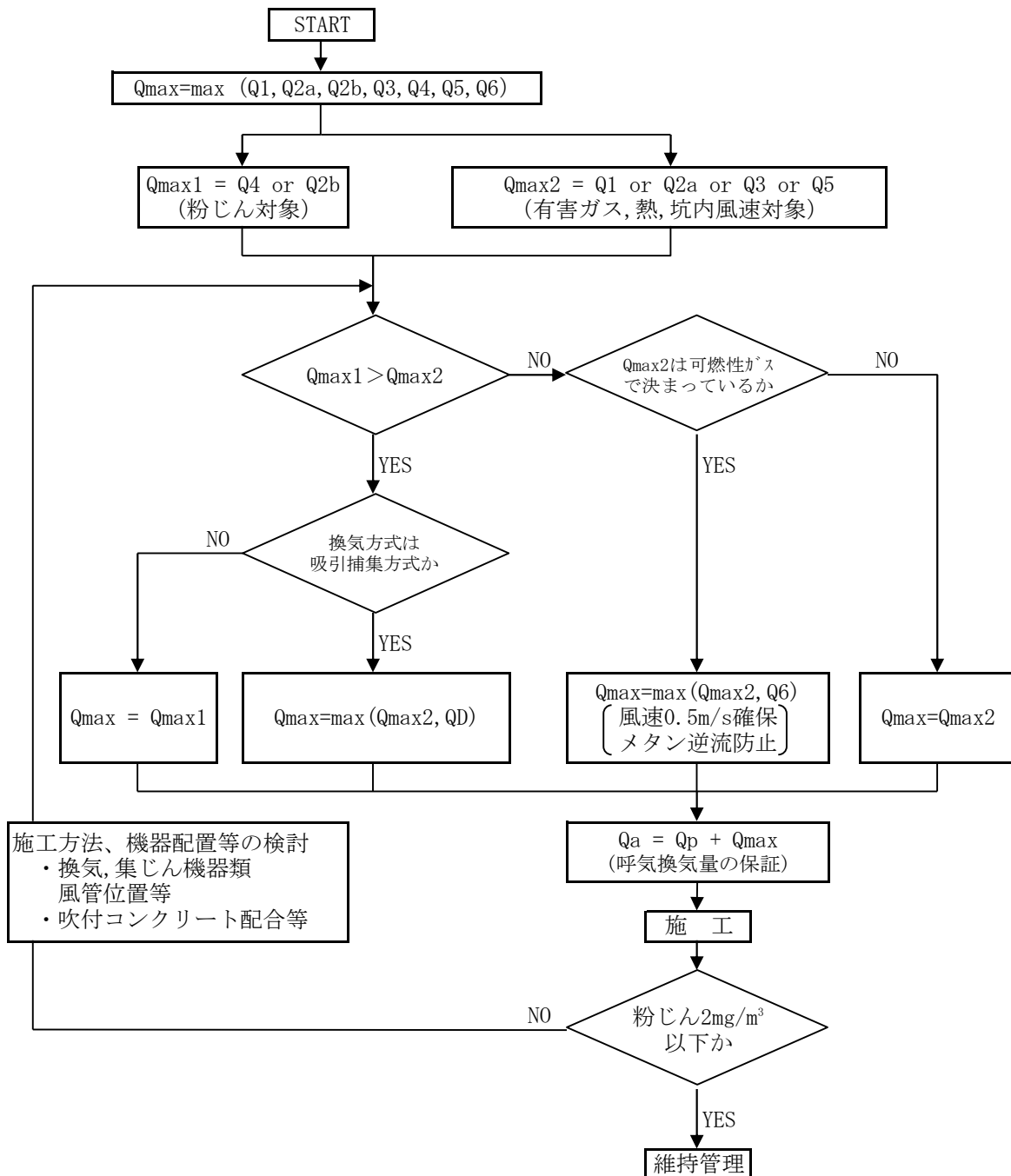


図4.5.2 所要換気量の設定フロー

「第2改訂・換気技術指針 P138」 ※一部加筆

(3) 換気量の算定

1) 坑内作業員の呼吸に必要とする換気量 「第2改訂・換気技術指針 P126」

$$Q_p = q \times M$$

ここに、 Q_p ：所要換気量 (m^3/min)

q ：作業員 1 人当たりの所要換気量＝ $3.0 \text{ m}^3/\text{min}$

M ：坑内の最大作業人数

表4.5.5 坑内作業人員の呼気

掘削方式 加 背 職 種	発 破 掘 削			覆工コンクリート	摘 要
	補助ベンチ 付き全断面	上 半	下 半		
切羽監督員	1人	1人	1人		
トンネル世話役	1人	1人	1人	1人	
トンネル特殊工	7人	7人	7人	6人	
トンネル作業員	1人	1人	1人	2人	
合 計	10人	10人	10人	9人	

※ずり運搬延長が1.2kmを超えるためトンネル特殊工を1人追加する

最大となるのは、掘削+覆工となり

$$Q_p = (10+10) \text{ 人} \times 3 \text{ m}^3/\text{min} = 60 \text{ m}^3/\text{min} \text{ である。}$$

2) 地山有害ガス 「第2改訂・換気技術指針 P28」

本トンネルは、可燃性ガス発生地域ではないため検討から除外する。
したがって、 $Q1=0$ (m^3/min) となる。

(i) 自然発生ガスの種類と成因

可燃性ガス		油田ガス
		炭田ガス
		水溶性ガス
		古期岩層及び現世層中のガス
不燃性ガス		火山・温泉ガス
		火山・温泉ガス
		水成岩中のガス

(ii) メタンガス (CH_4) の発生分布状況

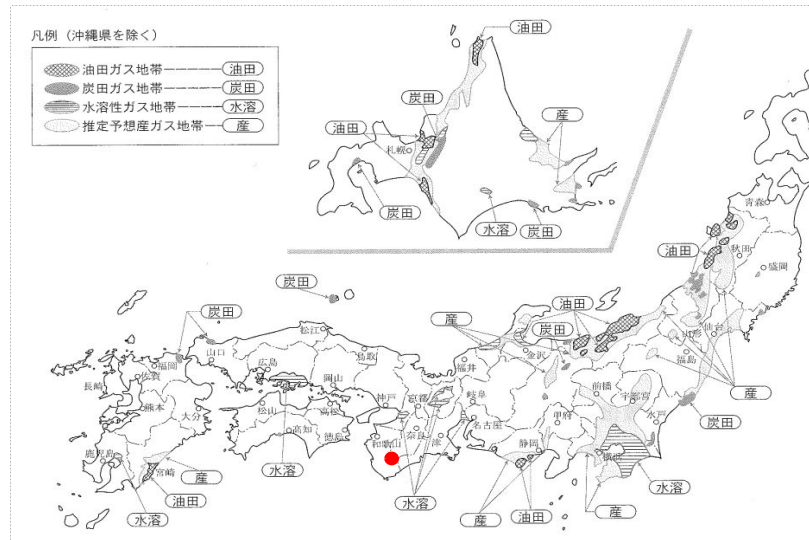


図4.5.3 可燃性ガス分布状況

3) 発破を使用する場合の換気量 「第2改訂・換気技術指針 P98」

(a) 発破の後ガスに対する換気量 (Q_{2a})

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

ここに、 Q_{2a} : 所要換気量 (m^3/min) V : 1 発破による換気対象有毒ガスの発生量 (m^3) α : 一酸化炭素 (CO) の管理目標濃度 (50ppm) α : 窒素酸化物 (NOx) の管理目標濃度 (25ppm) t : 所要換気時間 (min)

発破の後ガスの換気時間は15～20分を目安 「第2改訂・換気技術指針 P98」

 K : 換気係数 (0.4) ※有害ガス対応なので排気式のみ計上

送気式の場合、切羽後方での作業が切羽作業と平行して行われるため、切羽後方も考慮した換気を行うことになる。発生した有害ガスを送気した換気量で希釈する場合、排気式に比べて2～3倍の換気量が必要となる。
よって、換気係数(K)は送気式の場合は考慮しない。K=1.0とする

1 発破による換気対象有毒ガスの発生量 (m^3) は次式で求められる。

$$V = A_r \cdot \Delta l \cdot \beta \cdot X$$

ここに、 V : 1 発破による換気対象有毒ガスの発生量 (m^3) A_r : トンネル断面積 (m^2) Δl : 1 発破の掘進長 (m) β : 地山1 m^3 に対する火薬使用量 (kg/ m^3) X : 火薬1kgより発生する換気対象有毒ガス発生量 (m^3/kg)CO : 5×10^{-3} (m^3/kg) (含水爆薬) 「第2改訂・換気技術指針 P42」NOx: 1.5×10^{-3} (m^3/kg) (含水爆薬) 「 」

1 発破に使用する火薬量

C I (全断面) 48.0 kg/m $\times$ 1.5 m = 72.0 kgC II (全断面) 48.0 kg/m $\times$ 1.2 m = 57.6 kg

最大 72.0 kg

ここで、最も火薬使用量が多いパターンにおいて発生量を算出する。

・一酸化炭素 (CO)

発生量 $\therefore$ COについて 5.0×10^{-3} (m³/kg)

$$V = 72.0 \times 5.0 \times 10^{-3} = 0.360 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 50 \text{ ppm} = 50 \times 10^{-6}$$

$$t = 20 \text{ min} \quad (\text{換気時間})$$

$$K = 0.4 \quad (\text{排気のみ計上})$$

$$\therefore Q_{2a} = \frac{0.360}{20 \times 50 \times 10^{-6}} \times 2 = 720 \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{送気式})$$

$$\therefore Q_{2a} = \frac{0.360}{20 \times 50 \times 10^{-6}} \times 0.4 \times 2 = 288 \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{排気式})$$

・窒素酸化物 (NO_x)

発生量 $\therefore$ NO_xについて 1.5×10^{-3} (m³/kg)

$$V = 72.0 \times 1.5 \times 10^{-3} = 0.108 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 25 \text{ ppm} = 25 \times 10^{-6}$$

$$t = 20 \text{ min} \quad (\text{換気時間})$$

$$K = 0.4$$

$$\therefore Q_{2a} = \frac{0.108}{20 \times 25 \times 10^{-6}} \times 2 = 432 \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{送気式})$$

$$\therefore Q_{2a} = \frac{0.108}{20 \times 25 \times 10^{-6}} \times 0.4 \times 2 = 173 \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{排気式})$$

以上より、 $720 \text{ m}^3/\text{min} > 432 \text{ m}^3/\text{min}$ となることから、
発破の後ガスに対する換気量は、一酸化炭素 (CO) $Q_{2a} = 720 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

(b) 発破の粉じんに対する換気量 (Q_{2b})

① 希釈方式 (拡散希釈方式、希釈封じ込め方式) の場合

発破後の濃度をt分間に管理目標濃度まで低減するものであり、次式で求める。

$$Q_{2b} = K \cdot \frac{S}{E \cdot t}$$

ここに、 Q_{2b} : 所要換気量 (m^3/min)

S : 1 発破による換気対象有害物質の発生量 (mg)

E : 粉じんの管理目標濃度 ($3mg/m^3$)

t : 所要換気時間 (min) 20min

後ガスの場合と同じとする 「第2改訂・換気技術指針 P102」

K : 換気係数 (0.4) ※粉じん対応なので送排気式計上

〔 発破粉塵に対する換気については、集じん設備に除塵することが可能である。
よって、換気係数(K)は送気・排気関係なく考慮する。 〕

1 発破による換気対象有害物質 (mg) の発生量は次式で求められる。

$$S = A_r \cdot \Delta l \cdot \beta \cdot X'$$

ここに、 S : 粉じんの発生量 (mg)

A_r : トンネル断面積 (m^2)

Δl : 1 発破の掘進長 (m)

β : 地山 $1m^3$ に対する火薬使用量 (kg/m^3) $B=1.0, C=0.8, D=0.6$

X' : 火薬 (含水爆薬) 1kg より発生する粉じん発生量 ($2,000mg/kg$)

「新版・換気技術指針 P42」

1 発破に使用する火薬量

C I	(全断面)	48.0	kg/m	×	1.5	m =	72.0 kg
C II	(全断面)	48.0	kg/m	×	1.2	m =	57.6 kg
最大							72.0 kg

ここで、最も火薬使用量多いパターンにおいて発生量を算出する。

粉じん発生量について $2,000 \text{ mg/kg}$

$$S = 72.0 \times 2,000 \text{ mg/kg} = 144,000 \text{ mg}$$

$$E = 3 \text{ mg/kg}$$

$$t = 20 \text{ min (換気時間)}$$

$$K = 0.4$$

$$\therefore Q_{2a} = \frac{144,000}{20 \times 2} \times 0.4 = 1,440 \text{ m}^3/\text{min}$$

ここで令和2年度7月に改訂された「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」に基づく1サイクル当り平均粉じん濃度目標レベルである $2mg/m^3$ を達成するためには「トンネル建設工事における粉じん対策調査業務に関する検討会におけるトンネル粉じんの実計測結果から1.2倍乗することが相当であることから、新たな風量 Q_{2bnew} は次式となる

したがって、発破を使用する場合の換気量は

$$\left. \begin{array}{l} Q_{2a} = 720 \text{ m}^3/\text{min} \\ Q_{2b} = 1,440 \text{ m}^3/\text{min} \end{array} \right\} Q_{2b} = 1,440 \text{ m}^3/\text{min} \rightarrow Q_{2bnew} = Q_{2b} \times 1.2 = 1,728 \text{ m}^3/\text{min}$$

②吸引捕集方式の場合

吸引捕集方式の吸引風量は、粉塵発生量に関係なく封じ込めに必要な制御風速で決定される。

吸引捕集方式の所要換気量は、集じん機容量を決定する値である。

$$Q_b = A_t \times v \times 60$$

ここに、 Q_b : 吸引風量 (m^3/min)

A_t : トンネル掘削断面積 (m^2)

v : 制御風速 (0.4m/s以上)

トンネル掘削断面積

C I・C II (全断面) 61.8 m^2

D I (全断面) 61.8 m^2

D III a (全断面) 65.8 m^2

最大 65.8 m^2

ここで、最も断面積が大きなパターンにおいて必要風量を算出する。

$$\therefore Q_b = 65.8 \times 0.4 \times 60 = 1,579 \text{ m}^3/\text{min}$$

4) 工事用車両の排気ガスに対する換気量 (Q_3) 「第2改訂・換気技術指針 P104」

排気ガスに対する換気量は次式により算出する。

$$Q_3 = (H_S \cdot q_S \cdot \alpha_S) + (H_D \cdot q_D \cdot \alpha_D) + (H_E \cdot q_E \cdot \alpha_E)$$

ここに、 Q_3 : 所要換気量 (m^3/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 : その他使用機械の総出力 (kW)

q_S : ショベル系の実出力当たり換気量 ($m^3/min \cdot kW$)

q_D : ダンプ系の実出力当たり換気量 ($m^3/min \cdot kW$)

q_E : その他機械の実出力当たり換気量 ($m^3/min \cdot kW$)

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

①出力当たりの換気量及び稼働率 ($q \cdot \alpha$)

表4.5.6 出力当たりの換気量及び稼働率表

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) ディーゼル機関 搭載機械の種別	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)	4.9	3.2	1.9	1.8	1.1	0.25
排出ガス規制 ディーゼル機関 搭載機械の種別	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		
	2.5t<GVW		3.5t<GVW			
ダンプ系(普通)	2.4	1.8	1.1	0.6		0.2
その他機械	2.4	1.8	1.1	0.6		0.2

「新版・換気技術指針 P110」

注) 実出力あたりの換気量については、現況の環境への配慮を考慮した対策車両の使用を前提として換気量の低減を図り上表中の着色部基準値を採用する。

なお、工事中においては計測工を実施し環境改善の有無について再考する必要がある。

出力当たりの換気量は「R3度建設機械等損料表」に記載のある規制基準に準拠する。

②トンネル内の作業機械

施工機械の組み合わせは「第2改訂・換気技術指針 P209」を参照する。

表4.5.7 トンネル内の作業機械出力一覧表

発破掘削の場合

出力(kw) はR3年度 建設機械等損料算定表より

作業区分		機械名	規格	kw	KW当り 換気量 (m ³ /min)	負荷	換気量 (m ³ /min)	備 考
ディーゼル機関を使用する場合の所要換気量		トンネル延長 L= 1268 m						
シヨ ベル 系	掘削工 穿孔	ドリルジャンボ (3次基準値)	3ブーム 170kg級	165	1.9	0.50	157	1台
	掘削工 すり出	ホイールローダ (2次基準値)	2.3m ³	140	3.2	0.50	224	1台
		バックホウ (3次基準値)	山積0.8m ³	104	1.9	0.50	99	1台
		大型ブレーカ (3次基準値)	山積0.8m ³ (ヘースマシンバックホウ)	104	1.9	0.50	99	1台
ダンプ系 (坑内)	掘削工	ダンプトラック (トンネル工事用)	10 t	246	1.8	0.20	89	2台
そ 他	吹付工	コンクリート吹付機 (3次基準値)	吐出量6～22m ³ 級	186	1.9	0.50	177	1台
	吹付工	トラックミキサ車	吹付用 4.4m ³	213	1.8	0.20	77	2台
	支保工	ドリルジャンボ (3次基準値)	3ブーム 170kg級	117	1.9	0.50	111	1台
	支保工	トラック (クレーン付)	4 t 積 (2.9t吊)	132	1.8	0.20	48	1台
	支保工	トラック (トンネル工事用)	2 t 積	98	1.8	0.20	35	1台
	覆 工	トラックミキサ車	覆工用 4.4m ³	213	1.8	0.20	77	2台
	覆 工	コンクリートポンプ車	55m ³ /h	141	1.8	0.20	51	1台

表4.5.8 工種別の換気量

作業区分		機 械 名	換 気 量	
①	穿 孔	ドリルジャンボ	=157	= 157 m ³ /min
②	掘 削	ホイールローダ1台+バックホウ1台 +ダンプトラック2台	=224+89×2 +99	= 501 m ³ /min
③	吹 付	吹付機1台+トラックミキサ1台	=177+77×2	= 331 m ³ /min
④	ロックボルト 支保工	ドリルジャンボ1台+トラック(クレーン 付)4t×1台	=111+48	= 159 m ³ /min
⑤	覆 工	コンクリートポンプ車1車 +トラックミキサ2台	=51+77×2	= 205 m ³ /min

表4.5.9 同時施工における組合せ時の換気量

組 合 せ			換 気 量
穿孔	①	157	= 157 m ³ /min
掘削(ずり出し)	②	501	= 501 m ³ /min
吹付	③	331	= 331 m ³ /min
支保工	④	159	= 159 m ³ /min
覆工	⑤	205	= 205 m ³ /min
最大必要換気量(Q ₃)			= 501 m ³ /min

ダンプトラックは「土木工事標準積算基準書Ⅳ-5-①-32」の(3)ずり運搬工による。
 所要換気量は、併行作業のうち最大となる換気量の合計とする。
 発破掘削の場合、掘削と支保工の同時作業はないため、掘削および覆工時を対象とする。
 機械掘削の場合、全設備で計上する。

- ・積算上に機械を対象に算定を行うものとし、掘削～支保工と覆工が同時作業となる場合は並行作業を考慮するものとする。
 なお、インバートとの同時作業は考慮しないものとする。
- ・こそく用の大型ブレーカは単独運転とし、削岩・ズリ積み込みとの同時作業は考慮しない。
- ・ズリだしのDT運転は掘削工の編成人員が行うこととされており、積算上のDT台数とし、ズリ積み込み中の1台はエンジン停止と考える。
- ・ズリ出しのズリ積み込み補助のBHはローダーとの同時運転は考慮しない。
- ・ロックボルトのモルタル注入機台車2tトラックは、穿孔までに移動が完了しているものとし、ドリルジャンボ等との同時運転は考慮しない。
- ・インバートのDT運転は掘削工の人員で行うこととされており、DT台数は、最奥インバート位置が700mまでは2台、以降は1900mまでは3台とし、ズリ積み込みの中に1台はエンジン停止状態と考える。

5) 吹付コンクリート作業時の粉じん (Q_4) 「第2改訂・換気技術指針 P111」

① 拡散希釈方式の場合 (希釈封じ込め方式も同じ)

$$Q_4 = \frac{Fo}{(Ga - Go)}$$

$$Fo = 360 \cdot Po \cdot \alpha \quad \text{又は} \quad Fo = 600 \cdot Pr \cdot \alpha$$

ここに、 Q_4 : 拡散希釈 (希釈封じ込め) に必要な所要換気量 (m^3/min) Fo : 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)

 Po : 吹付け機定格吐出量 (m^3/h)コンクリート吹付け機8~22 m^3 級

Po	吹付け機定格吐出量 (m^3/h)	22
Pr	吹付け機実吐出量 (m^3/h)	13.2

吹付け機の実吐出量は定格吐出量22 m^3/min から60%として算定する。

「第2改訂・換気技術指針 P121」

 Ga : 粉じん濃度目標レベル (3 mg/m^3 以下) Go : 拡散希釈に用いる空気の濃度 (mg/m^3)送気式 (外気) 0.07 mg/m^3 排気式 (坑内) 0.30 mg/m^3 α : 粉じん発生量低減対策による低減効果係数ケース① $\alpha = 1$ (対策なし)ケース② $\alpha = 0.75$ (粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入)ケース③ $\alpha = 0.4$ (液体急結剤吹付け)

換気方式は送気式とする。

$$\text{ケース①} \quad Fo = 360 \times 22.0 \times 1.00 = 7,920 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

$$\alpha=1 \quad Fo = 600 \times 13.2 \times 1.00 = 7,920 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

$$\text{ケース②} \quad Fo = 360 \times 22.0 \times 0.75 = 5,940 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

$$\alpha=0.75 \quad Fo = 600 \times 13.2 \times 0.75 = 5,940 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

$$\text{ケース③} \quad Fo = 360 \times 22.0 \times 0.40 = 3,168 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

$$\alpha=0.40 \quad Fo = 600 \times 13.2 \times 0.40 = 3,168 \quad (\text{mg}/\text{min})$$

【 Go : 送気式 (外気) 0.07 mg/m^3 】

$$\text{①} \quad Q_{4a} = \frac{7,920}{3 - 0.07} \times 1.2 = 3,244 \quad \text{m}^3/\text{min} \quad (\text{対策なし})$$

$$\text{②} \quad Q_{4b} = \frac{5,940}{3 - 0.07} \times 1.2 = 2,433 \quad \text{m}^3/\text{min} \quad (\text{粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入})$$

$$\text{③} \quad Q_{4c} = \frac{3,168}{3 - 0.07} \times 1.2 = 1,297 \quad \text{m}^3/\text{min} \quad (\text{液体急結剤吹付け})$$

6) 発熱源に対する換気量 (Q_g) 「第2改訂・換気技術指針 P127」

本トンネルの地山は、高温岩盤との報告は無いため検討は省略する。

7) 坑内風速から出される換気量 「新版・換気技術指針 P37」

本トンネルは可燃性ガスの発生の報告は特にないため、「危険度ランクⅢ」に該当する。
したがって、山岳トンネルでは望ましい坑内風速として推奨されている $V=0.3\text{m/s}$ を採用する。

$$Q_6 = 60 \times V \times A$$

ここに、 V : 0.3 m/s (望ましい坑内風速) 「新版・換気技術指針 P36」

A : 坑道断面積

CⅠ・CⅡ	(全断面)	61.8	m^2
DⅠ	(全断面)	61.8	m^2
DⅢa	(全断面)	65.8	m^2
最大		65.8	m^2

ここで、各断面の坑内風速から求められる換気量は次のようになる。

$$Q_6 = 60 \times 0.3 \times 65.8 = 1,184 \text{ m}^3/\text{min}$$

8) 所要換気量

表4.5.10 所要換気量一覧表

項 目		所 要 換 気 量 (m^3/min)			
		送気・集じん方式			吸引捕集方式
		ケース① $\alpha=1.0$	ケース② $\alpha=0.75$	ケース③ $\alpha=0.4$	ケース④
Q _p	呼吸	60	60	60	60
Q ₁	地山有害ガス	－	－	－	－
Q _{2a}	発破の後ガス	720	720	720	－
Q _{2b}	発破の粉じん	1,440	1,440	1,440	－
Q ₃	作業機械の排出ガス	501	501	501	－
Q ₄	吹付コンクリートの粉じん(送気式)	3,244	2,433	1,297	－
Q ₅	高温トンネル	0	0	0	0
Q ₆	坑内風速	1,184	1,184	1,184	1,184
Q _D	捕集方式	－	－	－	1,579
Q _{max}	Q _p +Q ₁ ～6 (max) : 送気式	3,304	2,493	1,500	1,244
Q _{max}	吸引捕集方式の集塵機				1,639

表4.5.11 粉塵低減対策

ケース	粉塵低減対策の有無	対策内訳
ケース①	対策無	$\alpha=1$ 対策なし
ケース②	対策有	$\alpha=0.75$ 粉塵低減剤・SECコンクリート・微粒分混入
ケース③	対策有	$\alpha=0.4$ 液体急結剤吹付け・エアレス吹付け
ケース④	対策無	吸引捕集方式

(4) 換気方式の選定

本トンネル工事においては、送気式（風管内；正圧）が、作業環境を良好に保つ上で以下の特徴を有するため有効と判断する。

（特 徴）

- ・新鮮な空気を切羽まで送り込むことが出来る。
- ・風管は、正圧となるため軟管が使用できる。
- ・風管の延伸が他に比較して容易である。

表4.5.12 換気方式別の所要換気量 (m³/min)

項 目		ケース① $\alpha=1.0$	ケース② $\alpha=0.75$	ケース③ $\alpha=0.4$
Q _p	呼 吸	60	60	60
Q ₂	発破の粉じん	1,440	1,440	1,440
Q ₃	作業機械の排出ガス	501	501	501
Q ₄	吹付コンクリート作業時の粉塵（送気式）	3,244	2,433	1,297
Q ₅	高温トンネル	0	0	0
Q ₆	坑内風速	1,184	1,184	1,184
Q _{max}	送気式の場合	3,304	2,493	1,500

表4.5.13 換気方式の比較

換気方式	送気式		排気式	
所要換気量	小さくなる	○	大きくなる	△
風管種別	軟管が必要	○	硬管が必要	△

以上から、換気方式別の所要換気量は送気式に比べ排気式の方が大きくなる。

また、坑口に換気機器を設置する場合、排気式は負圧となるため風管には硬管（スパイラル風管）を用いる必要がある。

排気式は、送気式に比べて大きい送風機＋集じん機を必要とし、また風管も送気式のビニール風管に比べて高価な硬管とする必要があるため、経済性においてメリットは少ない。

したがって、本トンネルでは送気式を基本として検討を行う。

①送気・集じん式（希釈封じ込め方式）

トンネル外の新鮮空気を送気ファンによって切羽へ補給し汚染空気をトンネル外へと排出し、集じん装置との組み合わせによって粉じんの切羽後方への拡散を防止する。

ここで、エアカーテン効果により拡散防止を図るため、集じん装置風量は送気ファン風量より1.2倍以上大きくする必要がある。

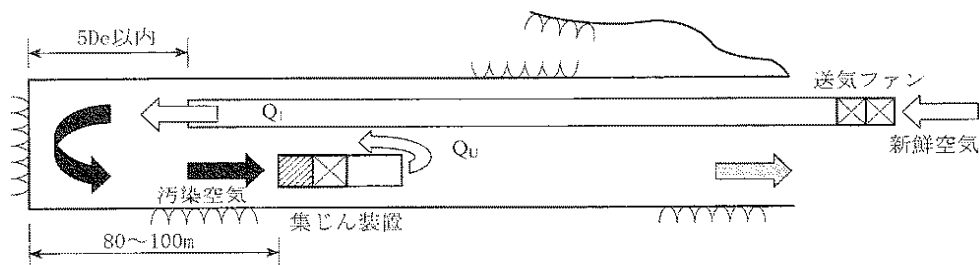


図4.5.4 本トンネルの換気設備の概要図 【集中・送気式】（風管内；正圧）

※送気・集じん式等切羽へ希釈送風する場合は、希釈効果を高めるため送気ダクト吐出口は5De（De：トンネル等価直径）以内に設定する。

なお、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。

②排気・集じん式（希釈封じ込め方式）

排気用換気ファンの吸引口が切羽から離れている場合は、切羽の希釈風量は集じん装置容量となるので、排気ファン容量は集じん装置の1.2倍以上の容量とする。

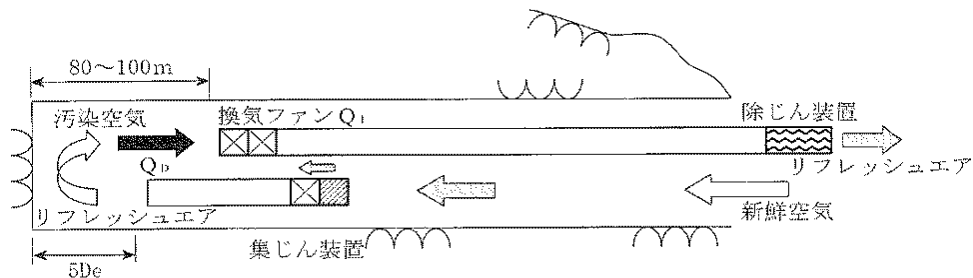


図4.5.5 本トンネルの換気設備の概要図 【集中・排気式】（風管内；正圧）

※排気・集じん式等切羽へ希釈送風する場合は、希釈効果を高めるため送気ダクト吐出口は5De（De：トンネル等価直径）以内に設定する。

なお、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。

1) 送風機の選定（QF）

送気式

$$QF = \frac{Q_0}{(1 - \beta \times L / 100)}$$

ここに、 QF：送風機風量（m³/min）

Q₀₋₁：所要換気量＝ 3,304 m³/min （対策なし）

Q₀₋₂：所要換気量＝ 2,493 m³/min （粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入）

Q₀₋₃：所要換気量＝ 1,500 m³/min （液体急結剤吹付け）

Q₀₋₄：所要換気量＝ 1,244 m³/min （吸引捕集方式）

β：風管10m当りの漏風率

表4.5.14 風管の100m当たりの漏風率（β）

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

※「第2改訂 換気技術指針 P159」

L：風管延長（トンネル延長－40m＋10m）

→坑口～送風機までの距離
（土木工事標準積算基準書より40m）

$$L = 1,268 + 10 - 40 = 1,238 \text{ m}$$

風管内の風速 (v)

$$v = \frac{Q_a}{60 \times A_d} = \frac{Q_a}{15 \times \pi \times D_d^2} \quad \dots\dots \text{「第2改訂 換気技術指針 P162」}$$

表4.5.15 風管の100m当たりの漏風率による換気量と風管径の算定

風管の漏風率	項 目		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
$\beta=0.015$ とした場合	所要風量 (m ³ /min) (1台当り)		2,029	1,531	1,842	1,528
	風管径 (mm)	計算値	φ 1,694	φ 1,472	φ 1,614	φ 1,470
		選定風管	—	—	—	—
1000 ≤ D < 1500	風速 (m/sec)		—	—	—	—
$\beta=0.010$ とし場合	所要風量 (m ³ /min)		1,885	1,423	1,712	1,420
	風管径 (mm)	計算値	φ 1,633	φ 1,419	φ 1,556	φ 1,417
		選定風管	φ 1,600	φ 1,500	φ 1,600	φ 1,500
1500 ≤ D	風速 (m/sec)		15.63	13.42	14.19	13.39
送風機台数	所要風量が3,000以下に調整		2台	2台	1台	1台

上表より、風管径は風速15.0 (m/s) (10～20平均)内に収まり、坑内作業の空間確保が有利となるよう、ケース①②③④の風管径はφ1500以上(最大φ2000)を使用する。
送風機は3,000m³/minを最大とし、それ以上の場合は送風機を2台計上することとする。

$$\therefore QF-1 = \frac{Q_0}{(1 - \beta \times L/100)} = \frac{1,652}{(1 - 0.010 \times 1,238 / 100)} = 1,885 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore QF-2 = \frac{Q_0}{(1 - \beta \times L/100)} = \frac{1,247}{(1 - 0.010 \times 1,238 / 100)} = 1,423 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore QF-3 = \frac{Q_0}{(1 - \beta \times L/100)} = \frac{1,500}{(1 - 0.010 \times 1,238 / 100)} = 1,712 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore QF-4 = \frac{Q_0}{(1 - \beta \times L/100)} = \frac{1,244}{(1 - 0.010 \times 1,238 / 100)} = 1,420 \text{ m}^3/\text{min}$$

以上から、送風機は

ケース①（対策なし）

QF-1 = 2,000 m³/min × 2台 を選定する。 > 1,885 m³/min

ケース②（粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入）

QF-2 = 1,500 m³/min × 2台 を選定する。 > 1,423 m³/min

ケース③（液体急結剤吹付け）

QF-3 = 2,000 m³/min × 1台 を選定する。 > 1,712 m³/min

ケース④（吸引捕集方式）

QF-4 = 1,500 m³/min × 1台 を選定する。 > 1,420 m³/min

表4.5.16 送風機容量の算定（送気式）

項 目	送 風 機 容 量			
	ケース① $\alpha=1.0$	ケース② $\alpha=0.75$	ケース③ $\alpha=0.4$	ケース④ 吸引捕集方式
所要換気量 (m ³ /min)	1,652	1,247	1,500	1,244
送風機風量 (m ³ /min)	1,885	1,423	1,712	1,420
送風機容量 (m ³ /min)	2,000	1,500	2,000	1,500
送風機台数	2	2	1	1

なお、送風機は「令和3年度版 建設機械等損料表」より可変風量型を用いる。

2) 風管径 (D)

管内風速 (V) の動力費に占める要因は大きく、圧力損失すなわち動力費は V^2 に比例して大きくなるので風速を早めるほど送風機の動力も増大することになる。風管径が大きいほど風速が小さくなり、圧力損失も小さくなるので動力費等も少なくなるが、トンネル断面などによって配置できる風管の大きさが決まってくる。管内風速は施工期間や施工延長を考慮して決める必要があるが、望ましい管内風速は、次のように言われている。

本トンネルでは送気式を採用するため管内風速を実態調査より $V=10.0\sim15.0$ m/sec以内を採用することとし、風管径は次の通りとなる。

(i) $Q_F = 2,000$ m³/minの場合 : ケース①

1,885 m³/min : 送風機風量 2台

$$\text{断面積} A = \frac{Q_F}{60 \times 15.0} = \frac{1,885}{60 \times 15.0} = 2.094 \text{ m}^2$$

よって、風管径 (D) は

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.094}{\pi}} = 1.633 \text{ m} \longrightarrow 1,700 \text{ mm}$$

以上より風管径は 1,700 mmとする。また、この場合の管内風速は

$$D = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{1,885}{15 \times \pi \times 1.7^2} = 13.8 \text{ m/S}$$

(ii) $Q_F = 1,500$ m³/minの場合 : ケース②

1,423 m³/min : 送風機風量 2台

$$\text{断面積} A = \frac{Q_F}{60 \times 15.0} = \frac{1,423}{60 \times 15.0} = 1.581 \text{ m}^2$$

よって、風管径 (D) は

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.581}{\pi}} = 1.419 \text{ m} \longrightarrow 1,500 \text{ mm} \quad (\text{最大を} 2,000 \text{ mm とする})$$

以上より風管径は 1,500 mmとする。また、この場合の管内風速は

$$D = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{1,423}{15 \times \pi \times 1.5^2} = 13.4 \text{ m/S}$$

(iii) $Q_F = 2,000 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 : ケース③

$1,712 \text{ m}^3/\text{min}$: 送風機風量

$$\text{断面積} A = \frac{Q_F}{60 \times 15.0} = \frac{1,712}{60 \times 15.0} = 1.902 \text{ m}^2$$

よって、風管径 (D) は

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.902}{\pi}} = 1.556 \text{ m} \longrightarrow 1,600 \text{ mm} \quad (\text{最大を} 2,000 \text{ mm とする})$$

以上より風管径は $1,600 \text{ mm}$ とする。また、この場合の管内風速は

$$D = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{1,712}{15 \times \pi \times 1.6^2} = 14.2 \text{ m/S}$$

(iv) $Q_F = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 : ケース④

$1,420 \text{ m}^3/\text{min}$: 送風機風量

$$\text{断面積} A = \frac{Q_F}{60 \times 15.0} = \frac{1,420}{60 \times 15.0} = 1.578 \text{ m}^2$$

よって、風管径 (D) は

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.578}{\pi}} = 1.417 \text{ m} \longrightarrow 1,500 \text{ mm}$$

以上より風管径は $1,500 \text{ mm}$ とする。また、この場合の管内風速は

$$D = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{1,420}{15 \times \pi \times 1.5^2} = 13.4 \text{ m/S}$$

表4.5.17 風管径の選定

項 目		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
所要風量 (m ³ /min)		1,885	1,423	1,712	1,420
送風機容量 (m ³ /min)		2,000	1,500	2,000	1,500
送風機台数		2	2	1	1
風管径 (mm)	計算値	1,633	1,419	1,556	1,417
	選定風管 φ	1,700	1,500	1,600	1,500
風速 (m/sec)	所要風量で決定	13.8	13.4	14.2	13.4
	送風機容量で決定	14.7	14.1	16.6	14.1

風管は軟管と硬管に大別でき、換気方式により正圧が発生する場合は軟管が、集中排気式のように負圧が発生する場合には硬管が使用される。送気式の換気方式の採用が多いため軟管の使用が一般的である。風管の種類と特徴は次表のとおりである。

本計画トンネルでは樹脂加工風管を採用することとする。

表4.5.18 風管種類と特徴比較

	軟 管			硬 管			
	樹脂加工布風管			スパイラル風管		アルミニウム加工風管	FRV風管
継手	ファスナ	防水ファスナ	オスメス差込	ソケット	オスメス差込		
継手処理	スカート	ドーナツシール	円形パッキン レバーパント	ビス止め	円形パッキン レバーパント		
漏風	大	小	小	中	小	中	中
摩擦損失	中	中	中	中	中	小	小
損傷し易さ	大			小		中	中
重量	小			小		中	中
施工性	良い			中程度	良い	中程度	中程度
耐火性	防火加工可	防火加工		不燃		難燃	防火加工
耐電性	大			小		小	大
価格	安価	中程度	中程度	中程度	中程度	高価	高価
口径(mm)	200～2,000			75～1,800	200～900	400～1,300	600～1,000
標準版厚(mm)	0.3～0.7			0.5～1.2	1.0, 1.2	2～3	1～3
長さUm)	10 (3.5～300)			4	5	2.44	5

3) 所要風圧 (P)

風力の圧力損失 : h_T

$$h_T = h + h_b$$

h : 直管の圧力損失 (kpa)

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\gamma}{2} \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

ここで λ : 直管部の圧力損失係数(下表参照)

表4.5.19 直管部の圧力損失係数表

風管の種類 \ 風管径	500以上 750mm未満	750以上 1,000mm未満	1,000以上 1,500mm未満	1,500mm以上
硬 管	0.035	0.030	0.025	0.020
ビニール風管 (リング付)	0.040	0.035	0.030	0.030
ビニール風管 (リングなし)	0.030	0.025	0.025	0.020

※「第2改訂 換気技術指針 P156」

γ : 空気の比重 1.2 (kg/m³)

L : 風管の長さ (m)

V : 管内風速 (m/s)

D : 風管径 (m)

表4.5.20 風管の100m当りの漏風率 (β)

風管の種類 \ 風管径		750以上 1,000mm未満	1,000以上 1,500mm未満	1,500mm以上
硬管 (スパイラル風管)	定尺長 4m	0.018	0.013	0.008
軟管 (樹脂加工風管) ファスナ式	定尺長 10m	0.020	0.015	0.010
	定尺長100m	0.005	0.003	0.002

※「第2改訂 換気技術指針 P159」

(i) $Q_F = 2,000 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 ($\phi \text{ 1,700}$) : ケース① $L = 1,238 \text{ m}$

$$\therefore h = 0.020 \times \frac{1,238}{1.7} \times \frac{1.2}{2} \times 13.8^2 \times 10^{-3} = 1.66 \text{ (kpa)}$$

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

h_b : 入口部、出口部、曲り部など圧力損失 (kpa)

ζ : 圧力損失係数 : ベンド部 (1.00) : 0.50×2
 : 管の拡がり部 (0.59)
 : 管の吐出口部 (1.00)

したがって、

$$\text{ベンド部 } h_{b1} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.8^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\text{拡がり部 } h_{b2} = 0.59 \times \frac{1.2}{2} \times 13.8^2 \times 10^{-3} = 0.07 \text{ (kpa)}$$

$$\text{管の送気口部 } h_{b3} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.8^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\begin{aligned} \therefore h_b &= h_{b1} + h_{b2} + h_{b3} \\ &= 0.11 + 0.07 + 0.11 = 0.29 \text{ (kpa)} \end{aligned}$$

以上から、風力の圧力損失 h_T は

$$\begin{aligned} h_T &= h + h_b \\ &= 1.66 + 0.29 = 1.95 \text{ (kpa)} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

送風機の所要圧力 : h_f

$$h_f = \frac{h_T}{1 - m}$$

m : 漏風率

β : 風管100m当たりの漏風率 0.010 ($\phi \text{ 1,700}$)

$$m = \beta \times \frac{L}{100} = 0.010 \times \frac{1,238}{100} = 0.124$$

$$\therefore h_f = \frac{1.95}{1 - 0.124} \div 2.23 \text{ (kpa)}$$

(ii) $Q_F = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 ($\phi = 1,500$) : ケース② $L = 1,238 \text{ m}$

$$\therefore h = 0.020 \times \frac{1,238}{1.5} \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 1.78 \text{ (kpa)}$$

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

h_b : 入口部、出口部、曲り部など圧力損失 (kpa)

ζ : 圧力損失係数 : ベンド部 (1.00) : 0.50×2
 : 管の拡がり部 (0.59)
 : 管の吐出口部 (1.00)

したがって、

$$\text{ベンド部 } h_{b1} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\text{拡がり部 } h_{b2} = 0.59 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.06 \text{ (kpa)}$$

$$\text{管の送気口部 } h_{b3} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\begin{aligned} \therefore h_b &= h_{b1} + h_{b2} + h_{b3} \\ &= 0.11 + 0.06 + 0.11 = 0.28 \text{ (kpa)} \end{aligned}$$

以上から、風力の圧力損失 h_T は

$$\begin{aligned} h_T &= h + h_b \\ &= 1.78 + 0.28 = 2.06 \text{ (kpa)} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

送風機の所要圧力 : h_f

$$h_f = \frac{h_T}{1 - m}$$

m : 漏風率

β : 風管100m当たりの漏風率 0.010 ($\phi = 1,500$)

$$m = \beta \times \frac{L}{100} = 0.010 \times \frac{1,238}{100} = 0.124$$

$$\therefore h_f = \frac{2.06}{1 - 0.124} \div 2.35 \text{ (kpa)}$$

(iii) $Q_F = 2,000 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 ($\phi = 1,600$) : ケース③ $L = 1,238 \text{ m}$

$$\therefore h = 0.020 \times \frac{1,238}{1.6} \times \frac{1.2}{2} \times 14.2^2 \times 10^{-3} = 1.87 \text{ (kpa)}$$

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

h_b : 入口部、出口部、曲り部など圧力損失 (kpa)

ζ : 圧力損失係数 : ベンド部 (1.00) : 0.50×2
 : 管の拡がり部 (0.59)
 : 管の吐出口部 (1.00)

したがって、

$$\text{ベンド部 } h_{b1} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 14.2^2 \times 10^{-3} = 0.12 \text{ (kpa)}$$

$$\text{拡がり部 } h_{b2} = 0.59 \times \frac{1.2}{2} \times 14.2^2 \times 10^{-3} = 0.07 \text{ (kpa)}$$

$$\text{管の送気口部 } h_{b3} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 14.2^2 \times 10^{-3} = 0.12 \text{ (kpa)}$$

$$\begin{aligned} \therefore h_b &= h_{b1} + h_{b2} + h_{b3} \\ &= 0.12 + 0.07 + 0.12 = 0.310 \text{ (kpa)} \end{aligned}$$

以上から、風力の圧力損失 h_T は

$$\begin{aligned} h_T &= h + h_b \\ &= 1.87 + 0.31 = 2.18 \text{ (kpa)} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

送風機の所要圧力 : h_f

$$h_f = \frac{h_T}{1 - m}$$

m : 漏風率

β : 風管100m当たりの漏風率 0.010 ($\phi = 1,600$)

$$m = \beta \times \frac{L}{100} = 0.010 \times \frac{1,238}{100} = 0.124$$

$$\therefore h_f = \frac{2.18}{1 - 0.124} \doteq 2.49 \text{ (kpa)}$$

(iv) $Q_F = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合 ($\phi = 1,500$) : ケース④ $L = 1,238 \text{ m}$

$$\therefore h = 0.020 \times \frac{1,238}{1.5} \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 1.78 \text{ (kpa)}$$

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

h_b : 入口部、出口部、曲り部など圧力損失 (kpa)

ζ : 圧力損失係数 : ベンド部 (1.00) : 0.50×2
 : 管の拡がり部 (0.59)
 : 管の吐出口部 (1.00)

したがって、

$$\text{ベンド部 } h_{b1} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\text{拡がり部 } h_{b2} = 0.59 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.06 \text{ (kpa)}$$

$$\text{管の送気口部 } h_{b3} = 1.00 \times \frac{1.2}{2} \times 13.4^2 \times 10^{-3} = 0.11 \text{ (kpa)}$$

$$\begin{aligned} \therefore h_b &= h_{b1} + h_{b2} + h_{b3} \\ &= 0.11 + 0.06 + 0.11 = 0.28 \text{ (kpa)} \end{aligned}$$

以上から、風力の圧力損失 h_T は

$$\begin{aligned} h_T &= h + h_b \\ &= 1.78 + 0.28 = 2.06 \text{ (kpa)} \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

送風機の所要圧力 : h_f

$$h_f = \frac{h_T}{1 - m}$$

m : 漏風率

β : 風管100m当たりの漏風率 0.010 ($\phi = 1,500$)

$$m = \beta \times \frac{L}{100} = 0.010 \times \frac{1,238}{100} = 0.124$$

$$\therefore h_f = \frac{2.06}{1 - 0.124} \doteq 2.35 \text{ (kpa)}$$

4) 送風機必要動力 (N_f)

送風機の必要動力 (N_f) は次式により算定する。

$$N_f = \frac{Q_f \times h_f}{60 \cdot \eta_f}$$

ここに、 N_f : 所要軸動力 (kw)

Q_f : 所要風量 (m^3/min)

h_f : 所要風圧 (kpa)

η_f : ファン効率 : 0.65

(i) $Q_F = 2,000 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合

$$\therefore N_f = \frac{1,885 \times 2.23}{60 \times 0.65} = 107.8 \text{ (kw)}$$

(ii) $Q_F = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合

$$\therefore N_f = \frac{1,423 \times 2.35}{60 \times 0.65} = 85.7 \text{ (kw)}$$

(iii) $Q_F = 2,000 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合

$$\therefore N_f = \frac{1,712 \times 2.49}{60 \times 0.65} = 109.3 \text{ (kw)}$$

(iv) $Q_F = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合

$$\therefore N_f = \frac{1,420 \times 2.35}{60 \times 0.65} = 85.6 \text{ (kw)}$$

5) 送風機の選定

前述までの計算結果により、本トンネルに使用する送風機及び風管は、令和3年度 建設機械等損料算定表より下記の機種を計画する。

なお、送風機の選定については、粉じん低減剤の使用、集じん機容量を考慮して決定する。

表4.5.21 (1) 送風機および風管仕様表

ケース① (対策なし)

所要換気風量		工 種	仕 様	数 量	評 価
1,885	m ³ /min	送風機	Q= 2,000 m ³ /min h= 4.9 kpa 110 kw×2 (反転軸流ファン)	送気用 2 台	2.23 kpa OK 107.8 kw OK
		風 管	φ1700 樹脂加工布風管 (リングなし)	L= 1,238 m	

表4.5.21 (2) 送風機および風管仕様表

ケース② (粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入)

所要換気風量		工 種	仕 様	数 量	評 価
1,423	m ³ /min	送風機	Q= 1,500 m ³ /min h= 4.9 kpa 80 kw×2 (反転軸流ファン)	送気用 2 台	2.35 kpa OK 85.7 kw OK
		風 管	φ1500 樹脂加工布風管 (リングなし)	L= 1,238 m	

表4.5.21 (3) 送風機および風管仕様表

ケース③ (液体急結剤吹付け)

所要換気風量		工 種	仕 様	数 量	評 価
1,712	m ³ /min	送風機	Q= 2,000 m ³ /min h= 4.9 kpa 110 kw×2 (反転軸流ファン)	送気用 1 台	2.49 kpa OK 109.3 kw OK
		風 管	φ1600 樹脂加工布風管 (リングなし)	L= 1,238 m	

表4.5.21 (4) 送風機および風管仕様表

ケース④ ((吸引捕集方式))

所要換気風量		工 種	仕 様	数 量	評 価
1,420	m ³ /min	送風機	Q= 1,500 m ³ /min h= 4.9 kpa 80 kw×2 (反転軸流ファン)	送気用 1 台	2.35 kpa OK 85.6 kw OK
		風 管	φ1500 樹脂加工布風管 (リングなし)	L= 1,238 m	

ファンの設置期間は坑口より30m掘進した時より掘削貫通までとする。

設置期間 (2段運転)	: 20.25 カ月 - 3.59 カ月 = 16.66 カ月 (16.66 × 20.4 = 340日)
	(上半貫通) (坑口より30m掘進) (実働日数:20.4日/ヶ月)

6) 送風機の設置方法

表4.5.22 送風機設備一覧

分類 コード	規 格			基礎 価格	標準 使用 年数	運転 1 時間当り		参 考 供用 1 日当り 換算値	
1202 送風機	風量 (m ³ /min) 風圧 (kpa)	機関 出力 (kW)	機械 重量 (t)	千円	年	(8) 損料率 (10 ⁻⁶)	(9) 損 料 (円)	(12) 損料率 (10 ⁻⁶)	(13) 損 料 (円)
028 [反転軸流式・定風量型]									
015-001	150 2.5	5.5×2 11	0.5	1,280	11.5	(日) 679	(日) 869	(日) 1,650	(日) 2,050
040-001	400 3.4	16×2 32	1.0	2,450	11.5	(日) 679	(日) 1,660	(日) 1,605	(日) 3,930
038 [反転軸流式・可変風量型]									
050-001	500 5.4	30×2 60	1.3	3,900	11.5	(日) 679	(日) 2,650	(日) 1,650	(日) 6,260
075-001	750 3.7	37×2 74	2.1	6,540	11.5	(日) 679	(日) 4,440	(日) 1,650	(日) 10,500
100-001	1,000 3.2	37×2 74	3.2	8,400	11.5	(日) 679	(日) 5,700	(日) 1,650	(日) 13,500
150-001	1,500 4.9	80×2 160	5.0	14,900	11.5	(日) 679	(日) 10,100	(日) 1,650	(日) 23,900
200-001	2,000 4.9	110×2 220	5.5	19,500	11.5	(日) 679	(日) 13,200	(日) 1,650	(日) 31,300
048 [反転軸流式・可変風量型 (サイレンサ型)]									
050-001	500 5.4	30×2 60	1.3	4,840	11.5	(日) 679	(日) 3,290	(日) 1,650	(日) 7,770
075-001	750 3.7	37×2 74	2.1	8,120	11.5	(日) 679	(日) 5,510	(日) 1,650	(日) 13,000
100-001	1,000 2.9	37×2 74	3.2	10,600	11.5	(日) 679	(日) 7,200	(日) 1,650	(日) 17,000
120-001	1,200 4.9	55×2 110	7.8	12,700	11.5	(日) 679	(日) 8,620	(日) 1,650	(日) 20,400
150-001	1,500 4.9	80×2 160	8.0	21,000	11.5	(日) 679	(日) 14,300	(日) 1,650	(日) 33,700
180-001	1,800 1.9	55×2 110	3.8	21,800	11.5	(日) 679	(日) 14,800	(日) 1,650	(日) 35,000
200-001	2,000 4.9	110×2 220	8.2	24,200	11.5	(日) 679	(日) 16,400	(日) 1,650	(日) 38,800
300-001	3,000 4.9	160×2 240	14.5	37,300	11.5	(日) 679	(日) 25,300	(日) 1,650	(日) 59,900

(注) 令和3年度版建設機械等損料表(社)日本建設機械化協会

◆単段運転限界長の算出

単段運転の場合の圧力は、静翼アタッチメントを取り付けることを前提に、各送風機の静圧を40%確保することとする。

(1) 1,500 m³/minの場合

$$Q_p = 1,500 \text{ m}^3/\text{min} \quad (\text{風管径 } \phi \text{ 1,500 mm})$$

$$4.90 \text{ kPa} \times 0.4 = 1.96 \text{ kPa} < 2.35 \text{ kPa} \text{ (送風機の所要圧力)} \quad ; \text{ NG}$$

以上より、単段運転の許容圧力に対して、所要圧力が下回るためトンネル全線で単段運転はできない。よって、下記式により単段運転の限界長を算出する

(i) 風管径 ϕ 1,500 mmでの単段運転の限界長計算

$$h_f = \frac{h_r}{1-m} = \frac{h+h_b}{1-m} = \left(\lambda \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{L_d}{D_d} \cdot v^2 \cdot 10^{-3} + h_b \right) / \left(1 - \frac{\beta \cdot L_d}{100} \right)$$

・風管径 ϕ 1,500 mmでの単段運転の限界長計算

$$L_d = \frac{(100 \times h_f - 100 \times h_b)}{(100 \times \lambda \times \rho / 2 / D_d \cdot v^2 \times 10^{-3} + \beta \times h_f)}$$

$$= \frac{(100 \times 1.96 - 100 \times 0.28)}{(100 \times 0.020 \times 1.2 / 2 / 1.5 \times 13.4^2 \times 10^{-3} + 0.010 \times 1.96)}$$

以上より 1,029 mまで単段運転が可能である。

本トンネルの延長はL=1268mであるため、単段運転と2段運転を組み合わせる

単段運転 (坑口～1029mまで) : 17.71 - 3.62 = 14.09 ヶ月

2段運転 (1029～上半貫通まで) : 21.26 - 17.71 = 3.55 ヶ月

但し	h_f : 換気ファン所要圧力	2.35 (KPa)	
	h : 定格風圧	4.90 (KPa)	
	単段運転能力	1.96 (KPa)	(40%低減)
	h_b : 入口部, 出口部, 曲がり部などの圧力損失	0.28 (KPa)	
	λ : 圧力損失係数	0.020 (リング無しビニル風管)	
	D_d : 風管の直径	1.5 (m)	
	v : 風管内の平均流速	13.4 (m/s)	
	ρ : 空気の比重量	1.2 (kg/m ³)	=定数
	β : 風管100m当りの漏風率	0.010	

4.6 集じん設備計画

集じん装置は、じん肺症として問題になる吸込性粉じんを効率よく捕集・清浄化できる機種、形態を算定するものとする。

トンネル工事で用いる集じん装置は、環境用集じん装置であって、空気清浄機能が優先される。

集じん装置では、切羽で発生する粉じん汚染空気を効率よく捕集吸引すること。

また、取り込んだ粉じん汚染空気を清浄化、出口空気をクリーンに保つこと、この2つを両立させることが重要である。

トンネル工事用には次の項目を満足したものを選定する。

- ① 発生した粉じんを拡散させず、効率よく捕集・吸引できるシステムであること。
- ② 発破・機械掘削等高濃度の粉じんでも十分な清浄化が可能であること。
- ③ 微細な吸入性粉じんに対して捕集率が高く清浄空気に回復できること。
- ④ リフレッシュエアとして坑道換気を利用する場合は、大気レベルに清浄化することが望ましい。
(一般大気じん $0.07\text{mg}/\text{m}^3$)
- ⑤ 発破衝撃波、温度、坑内湧水等の環境下での連続使用が可能なこと。
- ⑥ 構造が簡単で、保守点検が容易であること。
- ⑦ 集じん装置の設備費・維持費が安いこと。

表4.6.1 集じん装置の種類と特徴

分 類	適用原理	圧力損失	最大通過風速
重力集じん	重力による自然沈降	処理速度が小さいため 0.5～1kpa程度	5
慣性力集じん	じゃま板等による気流の急激な方向転換及び粒子の慣性力	0.1～1kpa	8
遠心力集じん	気流の旋回運動に伴う粒子の遠心力	1kpa程度以下	16
洗浄集じん (湿式)	液滴あるいは液膜と衝突または接触させ捕 捉する。	10kpaに達することがあ る。	60
ろ過集じん (フィルタ式)	ろ材を通してろ過分離する。	1.5kpa	0.02
電気集じん (電気式)	粒子に荷電させ、静電気を作用させて集 じんする。	0.1～0.2kpa	9

トンネル工事においては主なものとして、ろ過集じん（フィルタ式）、電気集じん（電気式）、清浄集じん（湿式）が稼働しているが、使用実績の多いフィルタ式と電気式について次表にその特性比較を示す。

トンネル集じん装置の選定に際しては、それぞれの特性をよく検討し、トンネルの施工条件に適合した清浄化能力を発揮できる方式を選定する。

表 2.4.9 集じん装置の特性比較例 (2,400m³/min として)

	フィルタ式	電気式 (乾式仕様)
原理	粉じんをフィルタに通気させ、フィルタ表面に吸着る過する方式。	放電極により気体中の粉じん粒子を帯電させ、クーロン力により集じん電極に付着させる方式。
特徴	- 通風抵抗が 0.5 ～ 1.5kPa と高いため、電気式に比べファン動力は大きい。ただし、実運転時は粉じん濃度計によるインバータ制御にて省エネ化を図っている。 - ダスト付着によりフィルタが目詰まりし、通風抵抗が増大し処理風量の減少を生じることがある。 - ろ布に間欠的にパルスエアを送り、目詰まりを防止するとともにろ布の再生を図っており、連続運転が可能である。 - 捕集ダストは集じん装置底部に堆積するので定期的に系外に搬出する。	- 通風抵抗が 0.3kPa と低いので、フィルタ式に比べファン動力は約 1/5 と小さい。 - 捕集ダスト付着による目詰まりや風量低下は通常運転では起こらないが、機械掘削時のような高濃度の場合には起こることがあるので十分な検討を要する。 - 電極洗浄時 (1 ～ 2 回/日 × 1Hr/回) は休止状態となる。 - 捕集ダストは高圧水で洗い落とし、排水として水処理装置で処理する。
清浄化特性	- 出口粉じん濃度は入口濃度にかかわらず、0.1mg/m³ 以下を保証しているのので、リフレッシュエアとして活用できる。 - 機械掘削粉じんなど高濃度粉じんにも適用できる。 - サブミクロンに対してはろ布の表面にテフロンコーティング等を行うことによって集じん効率を向上できるとともに、ディーゼルカーボンのような付着性の強い物質も剥離し易くなる。 - 付着ダストや吸着剤添加により、NO₂、CO、NH₃ 等有害ガスの吸着効果がある。 - 吸人性粉じんに対する捕集効率は電気式に比べ優れている。	- 出口粉じん濃度は、入口濃度の影響を受けて変動するので、リフレッシュエアとして活用できない場合もある。 - 高濃度粉じんを採用する場合は検討が必要である。 - ディーゼルカーボンは、再飛散を生じることがあるので、水洗浄に留意する必要がある。 - 有害ガスに対する吸着効果はない。 - 吸人性粉じんに対する捕集効率はフィルタ式に比べ劣る。
運用性	- 設備動力が大きいので電力事情のある地域では検討が必要である。 - エアカーテンダクト、伸縮風管等の設備により、封じ込め効果を高くすることができる。 - フィルタの吸音作用もあり、機側の騒音値は 83dB(A) である。 - 黒煙粒子による汚損トラブル等はない。 - 爆発性雰囲気では防爆仕様による対応が可能である。 - 捕集ダストに有害物質を含まない場合は掘削ずりとして処理できるので廃棄コストは発生しない。 - フィルタの寿命が長いのでメンテナンスの手間がかからない。 - 長時間運転によりフィルタが劣化し、所定の性能を満足しない場合があるので定期的に検査が必要である。	- 設備動力が小さいので電力事情のある地域にはフィルタ式に比べ有効である。 - エアカーテンダクトや伸縮風管等の付加設備の実績が少なく採用に当たっては検討を要する。 - 機側の騒音値は 85 ～ 86dB(A) であり、フィルタ式に比べ高い。 - 電荷を持つ黒煙粒子がトンネル内壁やトンネル用工事機械装置に付着、汚損するトラブルが発生する場合があるので注意が必要である。 - 爆発性雰囲気の場合は、使用不可である。 - 捕集ダストは排水としての処理が必要となるので、全体の坑内排水処理計画に組み込むこと。 - 集じん電極の寿命は長くメンテナンスの手間がかからないが、放電電極 (放電線) は 1 年ごとに交換が必要である。(なお、最近の機種には放電電極が交換不要のものもある。) - 長時間運転により洗浄効果や集じん効率の低下を生じることがあるので、定期的に内部検査が必要である。

「第2改訂 ずい道等建設工事における換気技術指針《換気技術の設計及び粉じん等の測定》P169」

R3.4 建設業労働災害防止協会

(1) 集塵方式

粉じん対策の基本は、発生源対策、拡散防止が基本であるが、トンネル施工条件、発生粉じんの態様、簡易方式との適合性等を総合的に判断する必要がある。

集じん装置を活用する換気方式としては、「希釈封じ込め方式」と「吸引捕集方式」があり、いずれの方式を採用するかは、トンネルの施工方法や施工延長、粉じんの発生状況に応じて検討・選定することとなる。

なお、大風量による希釈・拡散と粉じん捕集では、換気手法が異なり、集じん装置の容量算定式が異なっている。

本計画においては、「工事中換気設備」の項での検討結果より、「送気・集じん式（希釈封じ込め方式）」とし、集じん機については経済的な「電気式集じん機」を採用する。

(2) 集塵装置の容量算定

本トンネルの集じん方式は「希釈封じ込め方式」とし、集じん装置の容量は以下のとおりとなる。

なお、機種を選定に当たっては「第2改訂・換気技術指針」に準拠し、「令和3年度建設機械等損料表」に記載の機種から選定するものとする。

所要換気量は「4.2換気設備」で算定した所要換気量を採用する。

Q_{0-1} : ケース① 所要換気量 = 3,304 m³/min (対策なし)

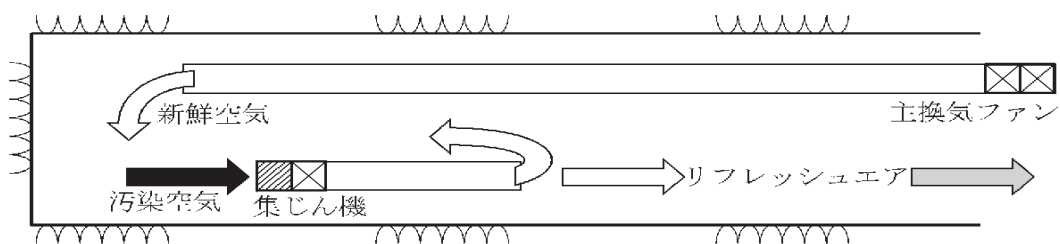
Q_{0-2} : ケース② 所要換気量 = 2,493 m³/min (粉じん低減剤・SECコンクリート・微粒分混入)

Q_{0-3} : ケース③ 所要換気量 = 1,500 m³/min (液体急結剤吹付け)

Q_{0-4} : ケース④ 所要換気量 = 1,244 m³/min (吸引捕集方式：坑内風速から決定)

ケース④ 所要換気量 = 1,639 m³/min (吸引捕集方式：捕集方式の所要換気量)

■ 送気・集じん式（希釈封じ込め方式）



送気・集じん式（希釈封じ込め方式）では、切羽から集じん装置までは、送気による拡散希釈となり、集じん装置のリフレッシュエアにより、坑内を換気するものである。

送気・集じん式（希釈封じ込め方式）による集じん装置容量は次式で求まる。

$$Q_s = K_e Q_a / \eta_D$$

Q_s : 集じん装置の容量(m³/min)

Q_a : 所要換気量(m³/min) (粉じん希釈風量)

K_e : エアカーテンの効果係数(1.2以上)

条件：トンネル等価直径の5倍程度の長さのダクトを集じん機吐出口に設置する等の方法により、集じん容量と送風機の風量差の逆流によるエアカーテンゾーンを形成し、封じ込め高価を高めること。 ($L = 9.3 \times 5 = 46\text{m}$)

トンネル等価直径 $R = \sqrt{(4A/\pi)}$

A : 68.4 m² (吹付施工後の内空断面積)

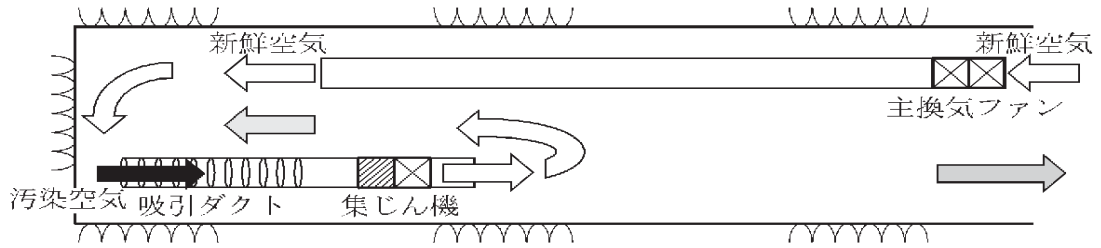
$$R = \sqrt{(4 \times 68.4 / \pi)} \\ = 9.3 \text{ m}$$

η_D : 集じん効率（重量法による吸入性粉じん10mg/m³時の効率）

フィルタ式 : 0.95

電気式 : 0.92

■ 送気・吸引捕集方式



送気・吸引捕集方式では、切羽直下から発生粉じんを吸引排除できるため、発生粉じんに関係なく、集じん工学的な捕集制御風速（坑内風速）で決定される。

送気・吸引捕集方式による集じん装置容量は次式で求まる。

$$Q_s \geq A_t V_c 60 / \eta_D$$

条件 $Q_s \geq 1.2 Q_a$

Q_s : 集じん装置の容量 (m^3/min)
 A_t : トンネル掘削断面積 (m^2)
 V_c : 制御風速 (m/s)
 TBM等隔壁がある場合 : $0.25 \sim 0.3 \text{ m/s}$
 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（重量法による吸入性粉じん 10 mg/m^3 時の効率）
 フィルタ式 : 0.95
 電気式 : 0.92
 Q_a : 所要換気量 (m^3/min) : 有害ガスの希釈風量

吸引補修方式の概要

吸引補修方式では切羽直下から汚染空気を吸引するため、伸縮風管が使用される。

この場合、フィルタ式集塵機は適用できるが、電気式集塵機は容量が限られる。

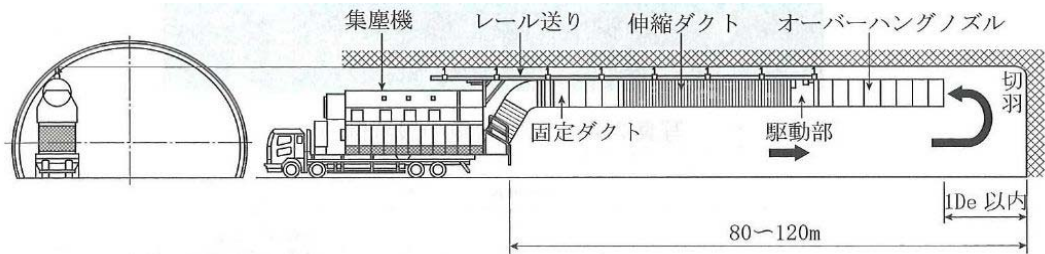


図 2.4.18 システム構成の例

伸縮ダクト等の概算費

	算 式	伸縮ダクト費
運転日数	$20.25 \text{ カ月} - 3.59 \text{ カ月} = 16.66 \text{ カ月} \quad (16.66 \times 20.4 \text{ 日})$	340日
伸縮システム	フィルタ式 $\phi 1500 \times 100 \text{ m}$	66,200円/日
	電気式 $\phi 1500 \times 100 \text{ m}$	70,100円/日

吸引伸縮風管の選定目安

- $\phi 1200$: ($800 \text{ m}^3/\text{min} \leq Q_s < 1200 \text{ m}^3/\text{min}$)
- $\phi 1500$: ($1200 \text{ m}^3/\text{min} \leq Q_s < 2400 \text{ m}^3/\text{min}$)
- $\phi 1700$: ($2400 \text{ m}^3/\text{min} \leq Q_s < 3100 \text{ m}^3/\text{min}$)
- $\phi 1800$: ($3100 \text{ m}^3/\text{min} \leq Q_s < 3800 \text{ m}^3/\text{min}$)

■本計画における集じん装置容量の算定

送気・集じん式(希釈封じ込め方式)：電気式集じん機

$$Q_d = K \cdot Q_0 \cdot (1 / \eta_p)$$

ここで、 Q_d ：集塵装置の容量

K ：エアカーテンの効果係数 (1.2)

Q_0 ：所要換気量

η_p ：集じん効率 (メーカーヒアリング)

フィルター式 = 0.95

電気式 = 0.92

(i) ケース① $Q_0 = 3,304 \text{ m}^3/\text{min}$

フィルター式 $Q_{d-1} = 1.2 \times 3,304 \times 1 / 0.95 = 4,173 \text{ m}^3/\text{min}$

電気式 $Q_{d-2} = 1.2 \times 3,304 \times 1 / 0.92 = 4,310 \text{ m}^3/\text{min}$

(ii) ケース② $Q_0 = 2,493 \text{ m}^3/\text{min}$

フィルター式 $Q_{d-1} = 1.2 \times 2,493 \times 1 / 0.95 = 3,149 \text{ m}^3/\text{min}$

電気式 $Q_{d-2} = 1.2 \times 2,493 \times 1 / 0.92 = 3,252 \text{ m}^3/\text{min}$

(iii) ケース③ $Q_0 = 1,500 \text{ m}^3/\text{min}$

フィルター式 $Q_{d-1} = 1.2 \times 1,500 \times 1 / 0.95 = 1,895 \text{ m}^3/\text{min}$

電気式 $Q_{d-2} = 1.2 \times 1,500 \times 1 / 0.92 = 1,957 \text{ m}^3/\text{min}$

(iv) ケース④ $Q_0 = 1,244 \text{ m}^3/\text{min}$

$Q_0 = 1,639 \text{ m}^3/\text{min}$ (吸引捕集方式)

フィルター式 $Q_{d-1} = 1.2 \times 1,244 \times 1 / 0.95 = 1,571 \text{ m}^3/\text{min}$

(坑内風速から決定)

フィルター式 $Q_{d-1} = 1.0 \times 1,639 \times 1 / 0.95 = 1,725 \text{ m}^3/\text{min}$

(捕集方式の所要換気量)

電気式 $Q_{d-2} = 1.2 \times 1,244 \times 1 / 0.92 = 1,623 \text{ m}^3/\text{min}$

(坑内風速から決定)

電気式 $Q_{d-2} = 1.0 \times 1,639 \times 1 / 0.92 = 1,782 \text{ m}^3/\text{min}$

(捕集方式の所要換気量)

表4.6.2 集じん機設備容量別比較表

分類コード	規 格			基礎価格	標準 使用 年数	運転 1 時間当り		参 考 供用 1 日当り 換算値	
0640 NATM用機器	定格 風量 (m ³ /min)	機関 出力 (kW)	機械 重量 (t)	千円	年	(8) 損料率 (×10 ⁻⁶)	(9) 損 料 (円)	(12) 損料率 (×10 ⁻⁶)	(13) 損 料 (円)
011 [フィルタ式集塵機]									
120-001	1,200	74	6.3	38,400	10.5	(日) 798	(日) 27,800	(日) 1,992	(日) 69,300
180-001	1,800	110	10.0	51,000	10.5	(日) 798	(日) 40,700	(日) 1,992	(日) 102,000
240-001	2,400	160	15.3	67,300	10.5	(日) 798	(日) 53,700	(日) 1,992	(日) 134,000
300-001	3,000	150	15.5	87,800	10.5	(日) 798	(日) 70,100	(日) 1,992	(日) 175,000
012 [電気式集塵機]									
200-001	2,000	42	6.0	49,500	10.5	(日) 798	(日) 39,500	(日) 1,992	(日) 98,600
240-001	2,400	64	6.8	56,500	10.5	(日) 798	(日) 45,100	(日) 1,992	(日) 113,000
270-001	2,700	61	12.3	71,100	10.5	(日) 798	(日) 56,700	(日) 1,992	(日) 94,400

(注) 令和3年度版建設機械等損料表(社)日本建設機械化協会

(3) 集塵設備の選定

(i) ケース①

フィルター式 $Q_{d-1} = 4,173 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,400 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ 台}$
 電気式 $Q_{d-2} = 4,310 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,400 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ 台}$

(ii) ケース②

フィルター式 $Q_{d-1} = 3,149 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 1,800 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ 台}$
 電気式 $Q_{d-2} = 3,252 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,000 \text{ m}^3/\text{min} \times 2 \text{ 台}$

(iii) ケース③

フィルター式 $Q_{d-1} = 1,895 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,400 \text{ m}^3/\text{min} \times 1 \text{ 台}$
 電気式 $Q_{d-2} = 1,957 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,000 \text{ m}^3/\text{min} \times 1 \text{ 台}$

(iv) ケース④ (1,571 < 1,725) 捕集方式の所要換気量で決定

フィルター式 $Q_{d-1} = 1,725 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 1,800 \text{ m}^3/\text{min} \times 1 \text{ 台}$
 電気式 $Q_{d-2} = 1,782 \text{ m}^3/\text{min} \Rightarrow 2,000 \text{ m}^3/\text{min} \times 1 \text{ 台}$

(4) 送風機および集塵機の組合せ比較検討

本章および「換気設備」で選定された送風機及び集塵機と粉塵低減剤の有無による組合せ比較を行い最も経済的となる組合せを選定することとする。

表4.6.3 送風機及び集じん機設備組合せ

検討案	粉塵低減剤	送風機 (m^3/min)	風 管 (mm)	集塵機 (m^3/min)	機 種
ケース①	送気・集じん方式 無し	2,000	1,700	2,400	フィルタ式
		2,000	1,700	2,400	
		2,000	1,700	2,400	電気式
		2,000	1,700	2,400	
ケース②	送気・集じん方式 有り 粉じん低減剤その他	1,500	1,500	1,800	フィルタ式
		—	—	1,800	
		1,500	1,500	2,000	電気式
		—	—	2,000	
ケース③	送気・集じん方式 有り 粉じん低減剤その他	2,000	1,600	2,400	フィルタ式
		—	—	—	
		2,000	1,600	2,000	電気式
		—	—	—	
ケース④	吸引捕集方式	1,500	1,500	1,800	フィルタ式
		—	—	—	
		1,500	1,500	2,000	電気式
		—	—	—	

※ 1 掘削期間 : 20.25 カ月 — 3.59 カ月 = 16.66 カ月
 : 413 — 73 = 340 日 送風機設置期間
 2 掘削期間 : 20.25 カ月 — 3.59 カ月 = 16.66 カ月
 : 413 — 73 = 340 日 集塵機設置期間
 3 風管延長 : 1268m + 10m — 40m = 1238m
 トンネル掘削 (補助工法含む) 413 日
 坑口30m控除分 —73 日
 合計 340 日 (実稼働日)

【検討結果】

工事中換気設備の比較検討を行った結果、最も経済的となるケース④吸引捕集方式、電気集塵機を採用する。

表4.6.4 送風機および風管仕様表（決定案）

所要換気風量		工 種	仕 様	数 量	評 価
1,420	m ³ /min	送風機	Q= 1,500 m ³ /min h= 4.9 kpa 80 kw×2（反転軸流ファン）	送気用 1 台	2.35 kpa OK 85.6 kw OK
		風 管	φ1500 樹脂加工布風管（リングなし）	L= 1,238 m	採用

表4.6.5 集塵機仕様表（決定案）

ケース④ 吸引捕集方式、電気式集塵機（一般吹付）

所要換気風量	工 種	仕 様	数 量	粉じん対策
1,623 m ³ /min	集塵機	電気式 Q= 2,000 m ³ /min 42 kw	1 台	吸引捕集方式

集塵機の設置期間は掘削開始時期から掘削貫通までとする。

設置期間	: 20.25 カ月 - 3.59 カ月 = 16.66 カ月 (16.66 × 20.4 = 340日)			
	(掘削完了)	(坑口より30m掘進)		(実稼働日数:20.4日/ヶ月)

表4.6.6 送風機と集塵機装置の算定一覧

	項 目		記 号	単 位	注 釈	希釈封じ込め方式(送気式)				吸引捕集方式				
						①：対策なし		②：粉塵低減材		③：液体急結材			④：対策なし	
換気設備	所要換気量		Qa	m ³ /min	1台当り換算	1,652	2,493	1,500	1,244					
	風管直径		Dd	m		1.7	1.5	1.6	1.5					
	管内風速		V	m/s		13.80	26.80	14.20	13.40					
	直管の圧力損失		h	kPa		1.66	7.11	1.87	1.78					
	直管部圧力損失係数		λ	—		0.020	0.020	0.020	0.020					
	空気の密度		ρ	kg/m ³		1.2	1.2	1.2	1.2					
	風管の長さ		Ld	m		1,238	1,238	1,238	1,238					
	風管の各部の圧力損失		hb	kPa		0.30	1.12	0.31	0.28					
	各部の圧力損失係数合計		ζ	—		2.59	2.59	2.59	2.59					
	風管全体の圧力損失		hT	kPa		1.96	8.23	2.18	2.06					
	漏風量		q	m ³ /min		259	960	271	240					
	風管種類による係数		α	—		20	20	20	20					
	風管継手間隔		a	m		10.0	10.0	10.0	10.0					
	漏風量を考慮した送風機風量		Qf1	m ³ /min		1,911	3,453	1,771	1,484			hT>5.0kPa		
	漏風率を考慮した送風機風量		Qf2	m ³ /min		1,885	2,845	1,712	1,420			hT≤5.0kPa		
	風管全長における漏風率		m	—		0.124	0.124	0.124	0.124					
	風管100m当り漏風率		β	—		0.010	0.010	0.010	0.010					
	漏風量を考慮した送風機圧力		hf1	kPa		2.27	11.40	2.57	2.46					
	漏風率を考慮した送風機圧力		hf2	kPa		2.24	9.39	2.49	2.35					
	換気ファンの所要容量		Qf	m ³ /min		1,885	3,453	1,712	1,420					
	換気ファンの必要圧力		hf	kPa		2.24	11.40	2.49	2.35					
	換気ファンの理論動力		N	kw		108.1	1,009.4	109.2	85.6					
	換気ファンの効率		ηf	—		0.65	0.65	0.65	0.65					
	送風ファン必要能力		風量		Qf 以上	1,885	3,453	1,712	1,420					
			静圧		hf 以上	2.24	11.40	2.49	2.35					
			動力		N 以上	108.1	1,009.4	109.2	85.6					
集塵設備	集塵機のものタイプ				フィルター式	電気式	フィルター式	電気式	フィルター式	電気式				
	集塵装置の容量		Qs	m ³ /min	1.2×Qa/ηD	2087	2155	3149	3252	1895	1957	1571	1623	
				m ³ /min	At×Vc×60/ηD	—	—	—	—	—	—	1662	1717	
	エアカーテンの効果係数		Ke	—		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2		
	集塵効率		ηD	—		0.95	0.92	0.95	0.92	0.95	0.92	0.95	0.92	
	トンネル掘削断面積		At	m ²		—	—	—	—	—	—	65.8	65.8	
抑制風速		Vc	m/s		—	—	—	—	—	—	0.4	0.4		
算定結果	送風設備		換気ファン		(単位m ³ /min)		2,000	2台	1,500	1台	2,000	1台	1,500	1台
						4.9		4.9		4.9		4.9		
						110 kw×2		80 kw×2		110 kw×2		80 kw×2		
	集塵設備		風管			φ1,700		φ1,500		φ1,600		φ1,500		
					(単位m ³ /min)	2,400	2,400	1,800	2,000	2,400	2,000	1,800	2,000	
			集塵機		台数	2	2	2	2	1	1	1	1	
						160 kw	64 kw	110 kw	42 kw	160 kw	42 kw	110 kw	42 kw	
			付帯設備										φ1500 伸縮風管100m	φ1500 伸縮風管100m
吹付工法						一般吹付	粉塵低減剤 α=0.75	液体急結剤 α=0.40		一般吹付				
経済性	送風機	運転日数		日		340		340		340		340		
		送風機運転単価		円/日	1台当り×台数	135,656		56,998		67,000		56,998	風管,電力を含む	
		送風機工事費		千円		46,123		19,379		22,780		19,379		
	集塵機	運転日数		日		340		340		340		340		
		集塵機運転単価		円/日	1台当り×台数	324,876	248,888	244,032	212,574	162,392	106,333	121,326	105,597	
		集塵機工事費		千円		110,458	84,622	82,971	72,275	55,213	36,153	41,251	35,903	
		吸引捕集用伸縮風管単価		円/日	L=80m	—	—	—	—	—	—	56,400	59,200	
		吸引捕集用伸縮風管損料		千円		—	—	—	—	—	—	19,176	20,128	
		設置・撤去費		千円		—	—	—	—	—	—	588	588	
		移設費単価		円/m		—	—	—	—	—	—	2,942	2,942	
		移設費		千円		—	—	—	—	—	—	3,642	3,642	
		計		千円		110,458	84,622	82,971	72,275	55,213	36,153	64,658	60,262	
	吹付関係	吹付コンクリート費(材料費)		千円	一式		104,903		111,114		136,322		104,903	
		計		千円			104,903		111,114		136,322		104,903	
	合計		千円			261,484	235,648	213,464	202,768	214,315	195,255	188,940	184,544	
					差額	+76,940	+51,104	+28,920	+18,224	+29,771	+10,711	+4,396	±0	
					順位	(8)	(7)	(5)	(4)	(6)	(3)	(2)	(1)	

ケース①

工事名 送風機運転 2,000 m ³ /min 単価 (1式当り) 67,828 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	$110\text{kw} \times 1 \times 0.571\text{kwh/kw} \times 17\text{h} = 1068\text{kw}$	1,068	14	14,952	単段運転
送風機運転		日		1.0	38,800	38,800	
風 管	φ1,700mm	m	$1238\text{m}/340\text{日}/2 = 1.8\text{m/日}$	1.8	7,820	14,076	
諸 雑 費		式		1.00	-	-	
計						67,828	

ケース②

工事名 送風機運転 1,500 m ³ /min 単価 (1式当り) 56,998 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	$80\text{kw} \times 1 \times 0.571\text{kwh/kw} \times 17\text{h} = 777\text{kw}$	777	14	10,878	単段運転
送風機運転		日		1.0	33,700	33,700	
風 管	φ1,500mm	m	$1238\text{m}/340\text{日}/2 = 1.8\text{m/日}$	1.8	6,900	12,420	
諸 雑 費		式		1.00	-	-	
計						56,998	

ケース③

工事名 送風機運転 2,000 m ³ /min 単価 (1式当り) 67,000 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	$110\text{kw} \times 1 \times 0.571\text{kwh/kw} \times 17\text{h} = 1068\text{kw}$	1,068	14	14,952	単段運転
送風機運転		日		1.0	38,800	38,800	
風 管	φ1,600mm	m	$1238\text{m}/340\text{日}/2 = 1.8\text{m/日}$	1.8	7,360	13,248	
諸 雑 費		式		1.00	-	-	
計						67,000	

ケース④

工事名 送風機運転 1,500 m ³ /min 単価 (1式当り) 56,998 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	$80\text{kw} \times 1 \times 0.571\text{kwh/kw} \times 17\text{h} = 777\text{kw}$	777	14	10,878	単段運転
送風機運転		日		1.0	33,700	33,700	
風 管	φ1,500mm	m	$1238\text{m}/340\text{日}/2 = 1.8\text{m/日}$	1.8	6,900	12,420	
諸 雑 費		式		1.00	-	-	
計						56,998	

ケース① フィルタ式集塵機

工事名 集塵機運転 2,400 m³/min 単価 (1日当り) 162,438 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	160kw×0.700kwh/kw = 112.0kwh 112.0kwh×17h = 1904.0kw	1,904	14	26,656	
集塵機損料	フィルター式	日		1.0	135,000	135,000	
風 管	φ1,700mm	m	46m/340日=0.1m/日	0.1	7,820	782	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						162,438	

ケース② フィルタ式集塵機

工事名 集塵機運転 1,800 m³/min 単価 (1日当り) 122,016 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	110kw×0.700kwh/kw = 77.0kwh 77.0kwh×17h = 1309.0kw	1,309	14	18,326	
集塵機損料	フィルター式	日		1.0	103,000	103,000	
風 管	φ1,500mm	m	46m/340日/2=0.1m/日	0.1	6,900	690	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						122,016	

ケース③ フィルタ式集塵機

工事名 集塵機運転 2,400 m³/min 単価 (1日当り) 162,392 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	160kw×0.700kwh/kw = 112.0kwh 112.0kwh×17h = 1904.0kw	1,904	14	26,656	
集塵機損料	フィルター式	日		1.0	135,000	135,000	
風 管	φ1,600mm	m	46m/340日/2=0.1m/日	0.1	7,360	736	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						162,392	

ケース④ フィルタ式集塵機

工事名 集塵機運転 1,800 m³/min 単価 (1日当り) 121,326 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	110kw×0.700kwh/kw = 77.0kwh 77.0kwh×17h = 1309.0kw	1,309	14	18,326	
集塵機損料	フィルター式	日		1.0	103,000	103,000	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						121,326	

ケース① 電気式集塵機

工事名 集塵機運転 2,400 m³/min 単価 (1日当り) 124,444 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	64kw×0.700kwh/kw = 44.8kwh 44.8kwh×17h = 761.6kw	762	14	10,662	
集塵機損料	電気式	日		1.0	113,000	113,000	
風 管	φ1,700mm	m	46m/340日/2=0.1m/日	0.1	7,820	782	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						124,444	

ケース② 電気式集塵機

工事名 集塵機運転 2,000 m³/min 単価 (1日当り) 106,287 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	42kw×0.700kwh/kw = 29.4kwh 29.4kwh×17h = 499.8kw	500	14	6,997	
集塵機損料	電気式	日		1.0	98,600	98,600	
風 管	φ1,500mm	m	46m/340日/2=0.1m/日	0.1	6,900	690	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						106,287	

ケース③ 電気式集塵機

工事名 集塵機運転 2,000 m³/min 単価 (1日当り) 106,333 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	42kw×0.700kwh/kw = 29.4kwh 29.4kwh×17h = 499.8kw	500	14	6,997	
集塵機損料	電気式	日		1.0	98,600	98,600	
風 管	φ1,600mm	m	46m/340日/2=0.1m/日	0.1	7,360	736	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						106,333	

ケース④ 電気式集塵機

工事名 集塵機運転 2,000 m³/min 単価 (1日当り) 105,597 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
電 力 料		KWh	42kw×0.700kwh/kw = 29.4kwh 29.4kwh×17h = 499.8kw	500	14	6,997	
集塵機損料	電気式	日		1.0	98,600	98,600	
諸 雑 費		式		1.0	—	—	
1日当り						105,597	

第63号単価表

工事名 伸縮風管移設（レール設置撤去） 単価（1m当り） 2,942 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル世話役		人		28.50	29,500	840,750	H27.3物価版
トンネル特殊工		人		57.00	24,700	1,407,900	H27.3物価版
トンネル作業員		人		85.50	20,400	1,744,200	H27.3物価版
諸雑費		%	労務費の合計金額×5%	5.00	3,992,850	199,642	
1425m当り						4,192,492	
1m当り						2,942	

工事名 伸縮風管（設置・撤去） 単価（1基当り） 588,419 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
伸縮風管設置	φ1500 L=100m	基		1.0		367,762	第64号単価表
伸縮風管撤去	φ1500 L=100m	基		1.0		220,657	第65号単価表
1基当り						588,419	

第64号単価表

工事名 伸縮風管設置 φ1500 L=100m 単価（1基当り） 367,762 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル世話役		人		2.50	29,500	73,750	H27.3物価版
トンネル特殊工		人		5.00	24,700	123,500	H27.3物価版
トンネル作業員		人		7.50	20,400	153,000	H27.3物価版
諸雑費		%	労務費の合計金額×5%	5.00	350,250	17,512	
1基当り						367,762	

第65号単価表

工事名 伸縮風管撤去 φ1500 L=100m 単価（1基当り） 220,657 円							
名 称	仕 様	単位	算 式	数 量	単 価	金 額	備 考
トンネル世話役		人		1.50	29,500	44,250	H27.3物価版
トンネル特殊工		人		3.00	24,700	74,100	H27.3物価版
トンネル作業員		人		4.50	20,400	91,800	H27.3物価版
諸雑費		%	労務費の合計金額×5%	5.00	210,150	10,507	
1基当り						220,657	

表4. 6. 7 工事用換気設備および吹付け材料比較表

項 目			算 式		単位	ケース①		ケース②		ケース③		備 考
						通常吹付け		粉じん低減剤		液体急結剤		
						α =1. 00		α =0. 75		α =0. 40		
	吹付材料	セメント	単位セメント量	12. 7円/kg	kg/m³	360	4, 572	360	4, 572	400	5, 080	
		砂		1. 4円/m3	kg/m³	1086	1, 520	1086	1, 520	1086	1, 520	
		砂利		1. 8円/m3	kg/m³	675	1, 215	675	1, 215	675	1, 215	
	低減剤	一般吹付け用急結剤		300円/kg	kg/m³	32. 40	9, 720	32. 40	9, 720			C×9%
		粉じん低減剤		2800円/kg	kg/m³			0. 36	1, 008			C×0. 1%
		液体急結剤		350円/kg	kg/m³					40. 00	14, 000	C×10%
		粉体急結剤		300円/kg	kg/m³					16. 00	4, 800	C×4%
		高性能減水剤		380円/kg	kg/m³					4. 80	1, 824	C×1. 2% (0. 8～1. 5)
		1m³当たり材料計			円/m³		17, 027		18, 035		26, 615	
		吹付コンクリート量			m³	6, 161		6, 161		5, 122		
合 計			円	104, 903, 347		111, 113, 635		136, 322, 030				

・吹付数量算出

粉塵低減材

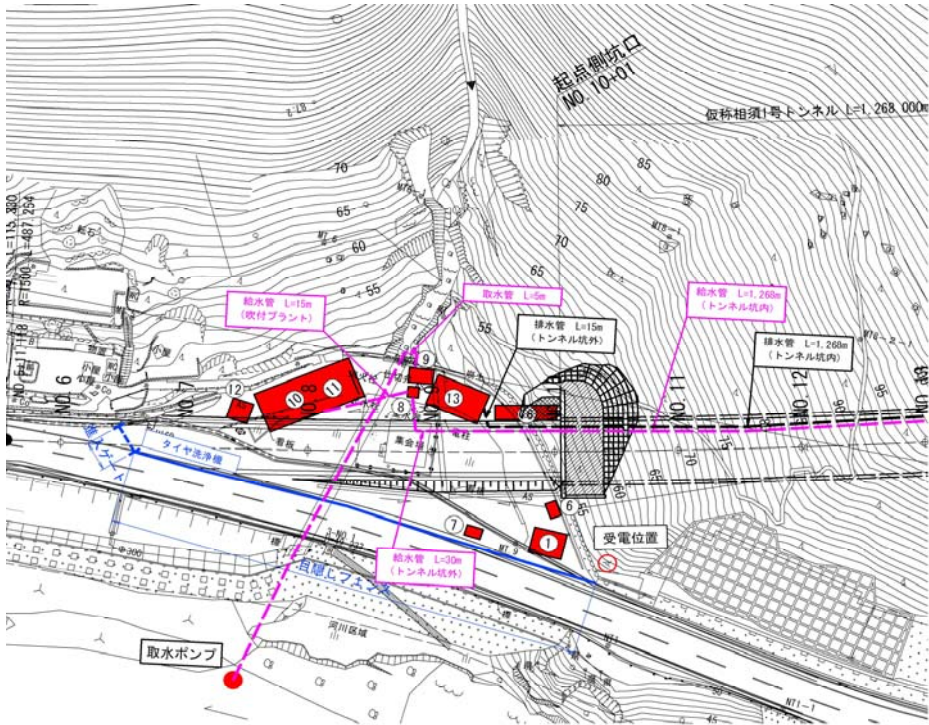
種 別		区間長	1サイクル 当り 進行長	吹付面積	1サイクル 当り 吹付面積	吹付 設計厚	余吹厚	はね返り 係数	ロス率	1サイクル 当り 吹付量	吹付 コンク リート
			L	B	A	M=B×A	N	N2		K1	V1=M・N・K1
単 位		m	m	m ²	m ²	m	m	%		m ³	m ³
C I	全断面	264.00	1.5	19.625	29.438	0.10	0.05	25	2.0	5.888	1036
C II-b	全断面	658.80	1.2	19.625	23.550	0.10	0.07	25	2.3	5.417	2974
D I-b	上半	205.00	1.0	16.204	16.204	0.15	0.07	30	2.1	5.104	1046
	下半	205.00	1.0	3.421	3.421	0.15	0.07	20	1.8	0.924	189
D I-b-s	上半	44.00	1.0	16.204	16.204	0.15	0.07	30	2.1	5.104	225
	下半	44.00	1.0	3.421	3.421	0.15	0.07	20	1.8	0.924	41
D III a	上半	10.60	1.0	16.361	16.361	0.25	0.07	30	1.8	7.362	78
	下半	13.10	1.0	3.420	3.420	0.25	0.07	20	1.6	1.368	18
D III a-S	上半	20.80	1.0	16.361	16.361	0.25	0.07	30	1.8	7.362	153
	下半	20.80	1.0	3.420	3.420	0.25	0.07	20	1.6	1.368	28
C II-s-L	全断面	54.20	1.2	22.934	27.521	0.15	0.07	25	2.0	8.256	373
合 計										616	

液体急結材

種 別		区間長	1サイクル 当り 進行長	吹付面積	1サイクル 当り 吹付面積	吹付 設計厚	余吹厚	はね返り 係数	ロス率	1サイクル 当り 吹付量	吹付 コンク リート
		L	B	A	M=B×A	N	N2		K1	V1=M・N・K1	Q1=V1×L/B
単 位		m	m	m ²	m ²	m	m	%		m ³	m ³
C I	全断面	264.00	1.5	19.625	29.438	0.10	0.05	12.5	1.7	5.004	881
C II-b	全断面	658.80	1.2	19.625	23.550	0.10	0.07	12.5	1.9	4.475	2457
D I-b	全断面	205.00	1.0	16.204	16.204	0.15	0.07	15.0	1.7	4.132	847
	全断面	205.00	1.0	3.421	3.421	0.15	0.07	10.0	1.6	0.821	168
D I-b-s	全断面	44.00	1.0	16.204	16.204	0.15	0.07	15.0	1.7	4.132	182
	全断面	44.00	1.0	3.421	3.421	0.15	0.07	10.0	1.6	0.821	36
D III a	全断面	10.60	1.0	16.361	16.361	0.25	0.07	15.0	1.5	6.135	65
	全断面	13.10	1.0	3.420	3.420	0.25	0.07	10.0	1.4	1.197	16
D III a-S	全断面	20.80	1.0	16.361	16.361	0.25	0.07	15.0	1.5	6.135	128
	全断面	20.80	1.0	3.420	3.420	0.25	0.07	10.0	1.4	1.197	25
C II-s-L	全断面	54.20	1.2	22.934	27.521	0.15	0.07	12.5	1.7	7.018	317
合計											5122

4.7 給水設備計画

給水源としては付近の河川をを給水源とする。給水源位置に取水ポンプを設置し、そこから坑口付近の貯水槽から給水ポンプで坑内および仮設建物へ送水する。



注記：1) 取水ポンプの設置について、出水期は熊野川増水の恐れがあるため、沢水の利用を検討する等、安全面に留意すること。
2) 火薬庫の設置にあたり、国道168号から所定の保安距離を確保すること。

- ・ 送水距離 L= 45m
- ・ 取水距離 L= 70m

(1) 所要給水量

トンネル工事における工事用水の主な用途は、掘削機、吹付け機、コンクリートの打設箇所、さらに坑外での吹付けコンクリートプラントで使用される水などであり、これらに供給された水の大半は、濁水として排出される。トンネル工事で使用される水量は、「トンネル工事における標準的仮設備 平成6年11月 (社)日本トンネル技術協会」のP59に示される”表-6.5.5掘削断面別使用水量”により求める。

表4.7.1 工事中の使用水量（発破掘削）

掘削断面積	20㎡未満	20～50㎡	50㎡以上	2本同時施工
使用水量 (ℓ/分)	200	250	300	400
使用水量 (m³/min)	0.20	0.25	0.30	0.40
使用水量 (m³/h)	12	15	18	24

本トンネルの掘削断面積はCⅠ断面で61.8㎡であるため、上表の50㎡以上に該当する。したがって、使用水量は0.30m³/minを採用する。

(2) 貯水槽の容量

工事中使用水の貯水槽容量については、給水ポンプの故障時において、坑内掘削関係使用水に対し、30分程度の修理時間に使用できる貯水量を計画する。

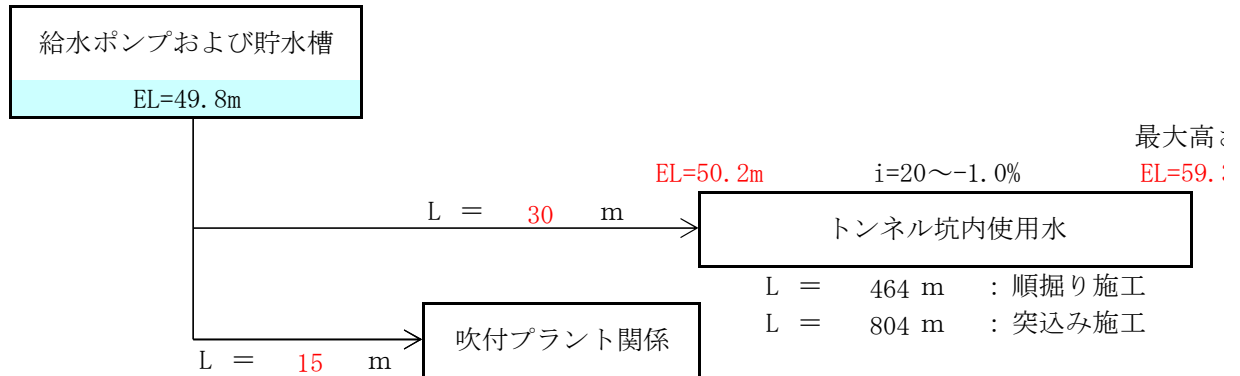
したがって、 $q = 0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ に対し、30分～60分間程度使用可能な貯水量は $0.3 \text{ m}^3/\text{min} \times (30 \sim 60 \text{ min}) = 9.0 \sim 18.0 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。

よって、本トンネルでは 20 m^3 の鋼製水槽を1槽設置する。

(3) 給水ポンプの選定

1) 給水ポンプの計算

給水ポンプは坑内外送水ポンプについて検討を行う。



(a) ポンプの選定（貯水槽から坑内）

- ・給水量 (Q) : $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$
- ・管 径 (D) : $\phi 80 \text{ mm}$
- ・実揚程 (ha) : $ha = 59.3 - 49.8 = 9.5 \text{ m}$
- ・給水管長 (L) : $L = 1,268 + 30 = 1,298 \text{ m}$

(b) 全揚程の算出

$$\text{全揚程} = H_a + h_e + \frac{V^2}{2 \times g}$$

ここに、
 H : 全揚程 (m)
 H_a : 実揚程 (m)
 h_e : 損失水頭 (m)

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2 \times 60} = \frac{4 \times 300}{\pi \times 0.08^2 \times 60} = 0.995 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} h_e &= \left(\lambda \times \frac{L}{D} + f_d \right) \times \frac{V^2}{2 \times g} \\ &= \left(0.026 \times \frac{1298}{0.08} + 0.5 \right) \times \frac{0.995^2}{2 \times 9.8} = 21.3 \text{ m} \end{aligned}$$

λ : 摩擦損失水頭 $\lambda = 0.02 + 0.0005 / D = 0.026$
 D : 管径 (= 0.08 m)
 L : 給水管長 (= 1298.0 m)
 f_d : 曲り損失水頭 (= 0.5)
 V : 管内平均流速 (m/sec)
 Q : 排水量 (0.300 m³/min: 所要給水量)

従って、全揚程は次式のとおりとなる。

$$\text{全揚程} = 9.5 + 21.3 + \frac{0.995^2}{2 \times 9.8} = 30.9 \text{ m}$$

(c) ポンプの所要動力

ポンプの所要動力は次式により求める。

$$P = \frac{0.1634 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p}$$

ここに、
 γ : 液の比重 = 1.0
 Q : 吐出量 = 0.30 m³/min
 H : 全揚程 = 31 m
 η_p : ポンプの効率 = 0.48 (A効率とB効率の平均)

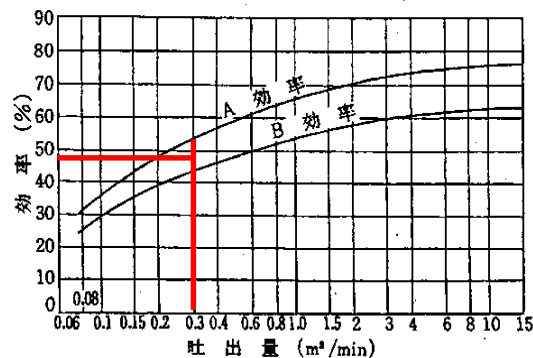


図3.7.1 ポンプ効率

$$\therefore P = \frac{0.1634 \times 1.0 \times 0.30 \times 31}{0.48} = 3.2 \text{ kw}$$

以上より、給水するポンプについては、下表に示す小型多段遠心ポンプを使用する。

表4.7.2 給水ポンプ設備

機 種	吐出量	全揚程	台数	備 考
小型多段遠心ポンプ φ 80mm H=40m 7.5kw	0.3 m ³ /min以上	31 m 以上	1台	

表4.7.3 給水管延長内訳

規格	計画延長 (m)			備 考
	坑内	坑外	合計	
管径 φ 80 mm	1,268	45	1,313	

給水設備の運転は上半掘削開始から下半掘削完了までとする。

設置期間 : 20.25 ヶ月 - 3.00 ヶ月 = 17.25 ヶ月

2) 給水設備運転単価表

表4.7.4 給水ポンプ運転1日当り単価表

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
電 力 料		kwh	114.8	$7.5 \text{ kw} \times 0.9 \text{ kwh/kw} \times 17 \text{ h}$
小型多段 遠心ポンプ	タービンポンプ $\phi 80\text{mm}$ H=40m 7.5kw	台・日	1.0	
水 槽	建設工事用 鋼板型 20m ³	供用日	1.4	
諸 雑 費		式		
計				

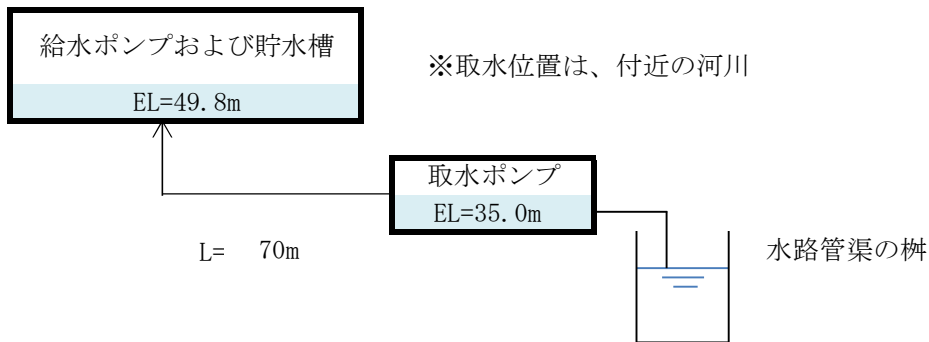
表4.7.5 給水設備費単価表 但し1式当り

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
「ポンプ据付撤去」				
世 話 役		人	0.5	0.5人/ヶ所
普通作業員		人	2.2	2.2人/ヶ所
トラッククレーン運転	油圧伸縮ジャブ型 4.8～4.9 t 吊	日	0.6	0.6日/ヶ所
「配 管」				
給 水 管	SGP $\phi 80 \text{ mm}$	m	2,117	坑外 = 45 m 坑内 = 2,072 m
配 管 工		人	3.6	坑外 = 45 m $45 \times 0.08 \text{ 人/m}$
諸 雑 費		式	1.0	
計				

(4) 取水ポンプの選定

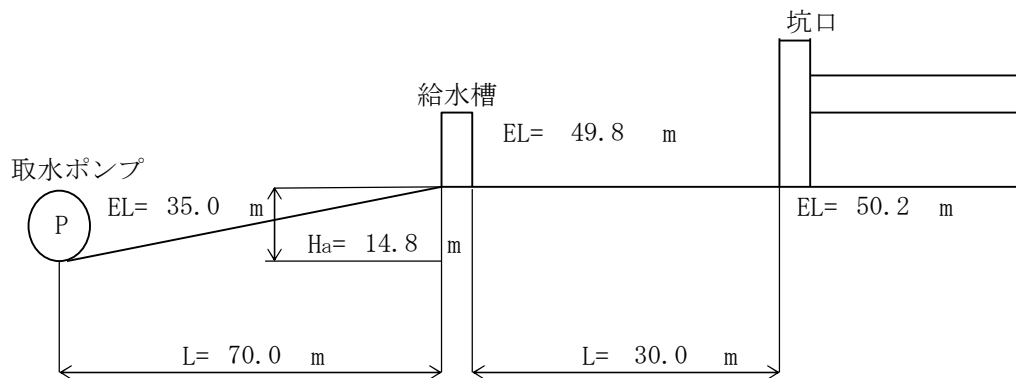
1) 取水ポンプの計算

取水ポンプは取水場所から貯水槽まで送水するポンプについて検討を行う。



(a) ポンプの選定 (取水ポンプから貯水槽)

- ・ 給水量 (Q) : 0.3 m³/min
- ・ 管径 (D) : φ 50 mm
- ・ 実揚程 (h_a) : h_a = 50 - 35 = 14.8 m
- ・ 給水管長 (L) : L = 70.0 m



$$\text{全揚程} = H_a + h_e + \frac{V^2}{2 \times g}$$

ここに、
 H : 全揚程 (m)
 H_a : 実揚程 (m)
 h_e : 損失水頭 (m)

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2 \times 60} = \frac{4 \times 0.3}{\pi \times 0.05^2 \times 60} = 2.546 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} h_e &= \left(\lambda \times \frac{L}{D} + f_d \right) \times \frac{V^2}{2 \times g} \\ &= \left(0.030 \times \frac{70}{0.05} + 0.5 \right) \times \frac{2.546^2}{2 \times 9.8} = 14.1 \text{ m} \end{aligned}$$

λ : 摩擦損失水頭 λ = 0.02 + 0.0005 / D = 0.030
 D : 管径 (= 0.05 m)
 L : 給水管長 (= 70.0 m)
 f_d : 曲り損失水頭 (= 0.5)
 V : 管内平均流速 (m/sec)
 Q : 排水量 (0.300 m³/min : 所要給水量)

従って、全揚程は次式のとおりとなる。

$$\text{全揚程} = 14.8 + 14.1 + \frac{2.546^2}{2 \times 9.8} = 29.2 \text{ m}$$

(c) ポンプの所要動力
 ポンプの所要動力は次式により求める。

$$P = \frac{0.1634 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p}$$

ここに、 γ : 液の比重 = 1.0
 Q : 吐出量 = 0.30 m³/min
 H : 全揚程 = 29 m
 η_p : ポンプの効率 = 0.48 (A効率とB効率の平均)

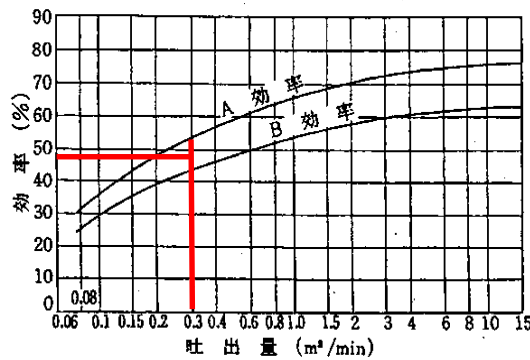


図3.7.2 ポンプ効率

$$\therefore P = \frac{0.1634 \times 1.0 \times 0.30 \times 29}{0.48} = 3.0 \text{ kw}$$

以上より、取水ポンプについては、下表に示す工事用水中ポンプを使用する。

表4.7.6 取水ポンプ設備

機 種	吐出量	全揚程	台数	備 考
工事用水中ポンプ φ 50mm H=30m 3.7kw	0.3 m ³ /min以上	29 m 以上	1台	

表4.7.7 取水～貯水槽送水管延長内訳

規格	計画延長 (m)			備 考
	坑内	坑外	合計	
管径 φ 50 mm	0	70	70	

給水設備の運転は上半掘削開始から下半掘削完了までとする。

設置期間 : 20.25 ヶ月 — 3.00 ヶ月 = 17.25 ヶ月

2) 給水設備運転単価表

表4.7.8 取水ポンプ運転1日当り単価表

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
電 力 料		kwh	56.6	$3.7 \text{ kw} \times 0.9 \text{ kwh/kw} \times 17 \text{ h}$
工事用 水中ポンプ	タービンポンプ $\phi 50\text{mm}$ H=30m 3.7kw	台・日	1.0	
諸 雑 費		式		
計				

表4.7.9 取水設備費単価表 但し1式当り

名 称	規 格	単位	数 量	摘 要
「ポンプ据付撤去」				
世 話 役		人	0.5	0.5人/ヶ所
普通作業員		人	2.2	2.2人/ヶ所
トラッククレーン運転	油圧伸縮ジャブ型 4.8～4.9 t 吊	日	0.6	0.6日/ヶ所
「配 管」				
給 水 管	SGP $\phi 50 \text{ mm}$	m	70	坑外 = 70 m 坑内 = 0 m
配 管 工		人	5.6	坑外 = 70 m $70 \times 0.08 \text{ 人/m}$
諸 雑 費		式	1.0	
計				

【上水道との比較】

現地河川からの取水と上水道とで比較を行った結果、現地取水案が安価となる。したがって、本トンネルの給水方式は「現地取水案」とする。

①現地取水案

・ 取水ポンプ据付	72,000 円/回	× 1 回	=	72,000 円
・ 取水管材料費	6,310 円/5.5m	× 70.0 / 5.5	=	80,309 円
・ 取水ポンプ運転	1,500 円/日	× 17.25 ヶ月 × 20.4 日	=	527,850 円
				680,159 円

②上水層使用案

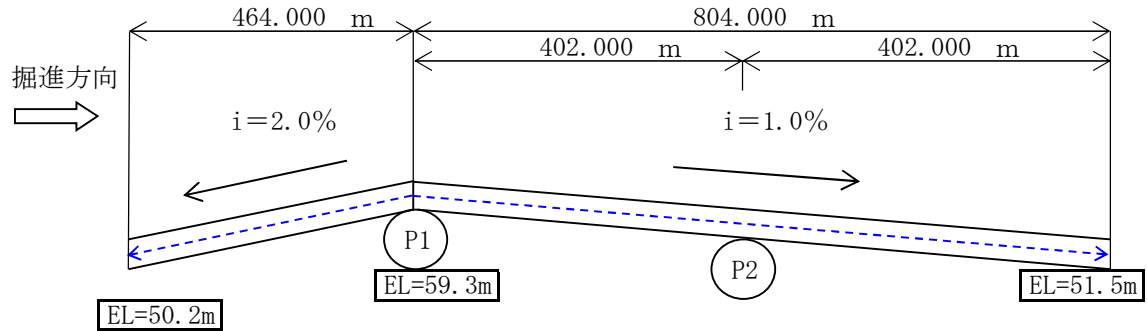
・ 基本料金	7,993 円/ヶ月	× 217.25 ヶ月	=	1,736,479 円
・ 利用料金	0.30 m ³ /min	× 60 min × 17 h		
	× 176 円/m ³	× 17.25 ヶ月 × 20.4 日	=	18,951,926 円
				20,688,406 円

4.8 排水設備計画

排水設備としては、一般的に縦断勾配が 0.3%以上の標準勾配にて施工されるトンネルについては自然排水が可能であるため、排水設備を設ける必要はない。

本トンネルは、施工進入口である起点側から終点側に向かい $i = 2.0\%$ の上り勾配となるが、クレスト部から 804m は 1.0% の突込み施工となる。

したがって、排水設備の検討を行う。



(1) 排水量の算定

1) トンネル内湧水量

原水量としては、坑内にて使用する工事用水とトンネルからの湧水量がある。

トンネルの湧水量については、種々の理論的推定式も提唱されているが、的確に推定することは非常に困難である。

本設計のトンネル内湧水量に推定については、地質調査にて算定していないため、「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 社団法人日本トンネル技術協会」参考に算定する。

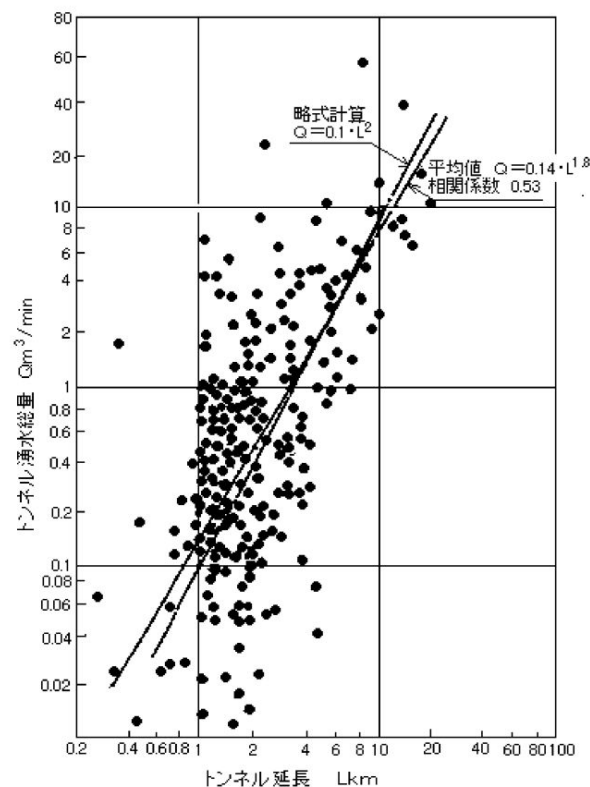
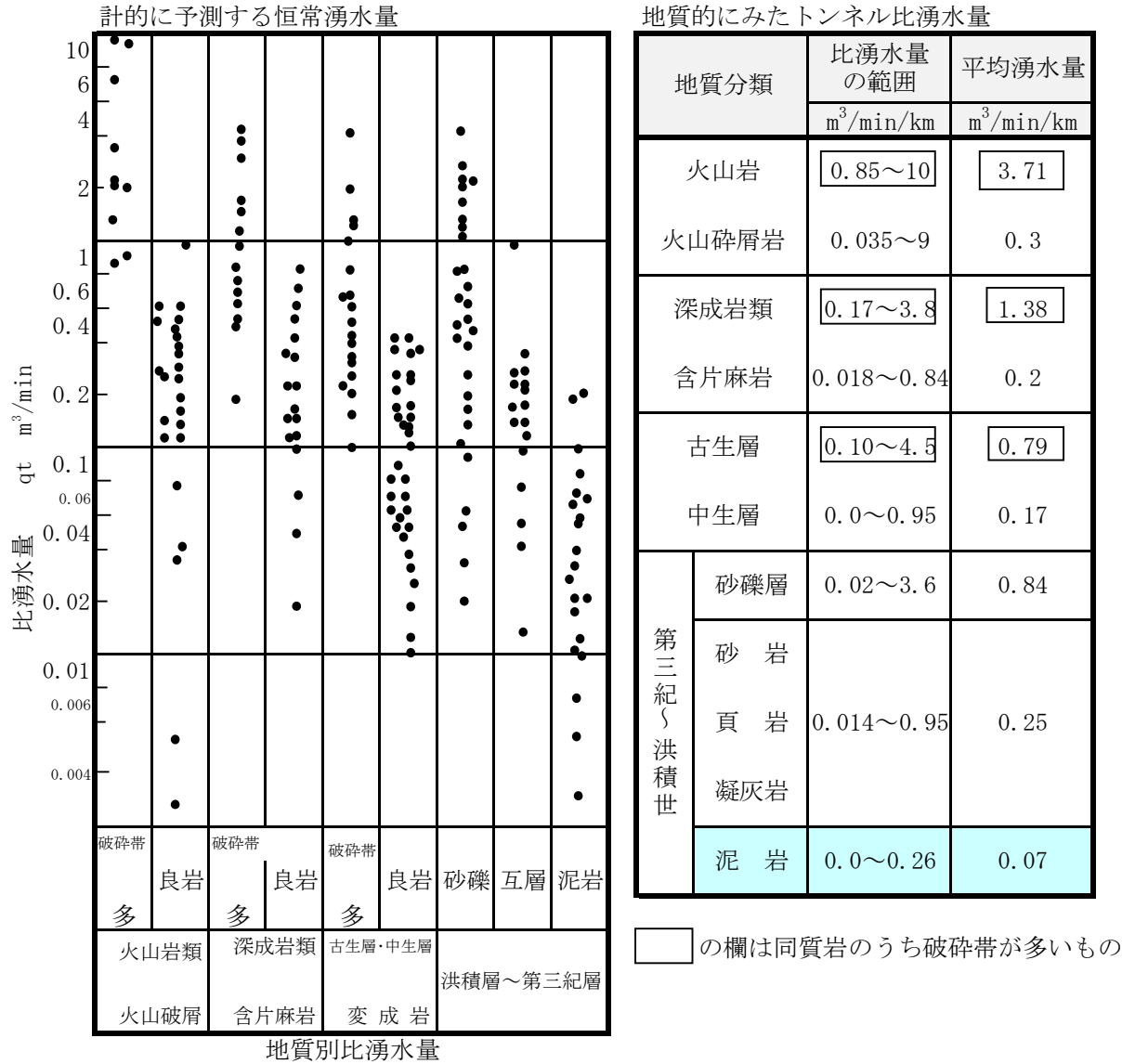


図3.8.1 トンネル湧水量の分布

$$Q1 = 0.1 \times 1.268^2 = 0.17 \text{ m}^3/\text{min} \approx 170 \text{ リットル}/\text{min}$$

恒常湧水量は50～80%であるとして $0.33 \sim 0.53 \text{ m}^3/\text{min}$ となる。

表4.8.1 地質別に見たトンネル比湧水量（統計的手法）



参考「トンネル工事に伴う湧水濁水に関する調査研究（その2）報告書
日本道路公団委託（社）日本トンネル技術協会」

3) トンネル内湧水量の採用値

表4.8.2 恒常湧水量

対象箇所	地質	トンネル延長 (km)	比湧水量 (? /min/km)	湧水量 (? /min)
起点側	泥岩	0.464	0.070	0.032
終点側	泥岩	0.804	0.070	0.056
合計				0.089

4) 計画排水量

トンネル内湧水と工事中使用水を合計した排水量は下表の通り。

表4.8.3 計画排水量

施工区分	トンネル内湧水量 (m^3/min)	工事中使用水量 (m^3/min)	計画排水量	
			(m^3/min)	(m^3/h)
掘削時	0.089	0.300	0.389	$\div$ 23.3
覆工時	0.089	—	0.089	$\div$ 5.3

(2) ポンプの算定

本トンネルは、起点側区間が突込施工であることから自然流下による排水が不可であるため、排水ポンプの検討を行う。

1) 切羽用排水ポンプ（工事用水中ポンプ）

切羽用ポンプは積算基準に示される $\phi 50\text{mm} \times 20\text{m} \times 2.2\text{kw}$ を4台設置する。

表4.8.4 切羽用排水ポンプ設備

機 種	排出量	全揚程	台数	備 考
工事用水中ポンプ $\phi 50\text{mm}$ H=20m 2.2kw	0.389 m^3/min 以上	20 m 以上	4台	切羽用

排水設備の運転は上半掘削開始から下半掘削完了までとする。

設置期間 : 20.25 ヶ月 - 10.19 ヶ月 = 10.06 ヶ月 (302 日)

2) 中継ポンプ（工事用水中ポンプ）

中継ポンプは切羽坑底から坑外に排水するポンプについて検討を行う。

なお、排水延長は突込施工区間の $L=804\text{m}$ を対象とする。

(a) 強制排水方式の場合の排水管径

切羽ポンプの規格は「土木工事標準積算基準書」より $\phi 50\text{mm}$ を選定するが、中継排水ポンプは土砂を含んだ比重の重い排水となる。このため、下表を参考とし $\phi 100\text{mm}$ の排水管径として検討する。

表4.8.5 湧水量と排水管径

湧 水 量	排水管径	
	インチ	mm
約1t/min 以下	4～6	100～150
約1t/min 以上	6以上	150以上

トンネル工事における標準的仮設備(社)日本トンネル技術協会 1994 P.25より

(b) 中継排水距離

以下の参考資料より、中継排水区間長は100～400m程度が一般的である。これより、中継排水距離は平均値の400m程度とする。本検討では、中継排水距離を402mとする。
($804\text{m}/2\text{箇所}=402\text{m}$)

(2) 強制排水方式

トンネルの湧水などを排水ポンプや排水管等を使用して強制的に排水する方式である。突っ込み掘削や上り掘削のトンネルでも 0.3%未満の勾配のトンネルで採用するとされている。

水平坑の場合は、100～400m間隔程度に釜場（ポンプビット）及び排水ポンプを設置し、中継排水するのが一般的である。

斜坑の場合、斜坑の掘削中は50～100 m間隔程度に釜場及び排水ポンプを設置して中継排水している。また、斜坑等を作業坑として使用する場合は、斜坑や立坑の掘削等の終了後、タービンポンプ等による本格的排水設備を設置し、その後、本坑の施工を行っている。

トンネル工事における標準的仮設備 (社) 日本トンネル技術協会 1994 P22より

(a) ポンプの選定

- ・トンネル延長 : 804.0 m $\rightarrow$ 804.0 m / 2 = 402.0 m
- ・給水量 (Q) : 0.389 m³/min (計画排水量)
- ・管径 (D) : ϕ 100 mm
- ・実揚程 (ha) : ha = 59.3 - 51.5 = 7.8 m $\rightarrow$ 7.8 m / 2 = 3.9 m
- ・排水管長 (L) : L = 402.0 + 0 = 402.0 m
- ・縦断勾配 (m) : 2.0 %

(b) 管径および管内流速

ϕ 100 の給水管を使用したとすると、管内流速は

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2}$$

$$V = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{0.389}{15 \times \pi \times 0.100^2} = 0.825 \text{ m/sec}$$

(c) 管内損失水頭 (hf)

$$hf = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

ここに、hf : 管内損失水頭

λ : 摩擦係数 (ダーシー公式) ※

$$f = \left(0.020 + \frac{0.0005}{0.100} \right) \times 1.5 = 0.038$$

L : 排水管長 = 402.0 m

D : 排水管径 = 0.100 m

V : 管内流速 = 0.825 m/sec

g : 重力の加速度 $\div$ 9.8 m/sec

$$\therefore hf = 0.038 \times \frac{402.0}{0.100} \times \frac{0.825^2}{2 \times 9.8} \div 5.3 \text{ m}$$

※ 土砂流の場合、摩擦損失係数は清水よりも大きくなるため通常の1.5倍とする。

(f) 全揚程 (H)

全揚程 (H) は、実揚程 (ha) に管内損失水頭 (hf) を加えたものとする。

$$H = ha + hf = 3.9 + 5.3 = 9.2 \text{ m}$$

(g) ポンプの所要動力
ポンプの所要動力は次式により求める。

$$P = \frac{0.1634 \times \gamma \times Q \times H}{\eta p}$$

ここに、 γ : 液の比重 = 1.2
 Q : 吐出量 = 0.389 m³/min
 H : 全揚程 = 9.2 m
 ηp : ポンプの効率 = 0.50 (A効率とB効率の平均)

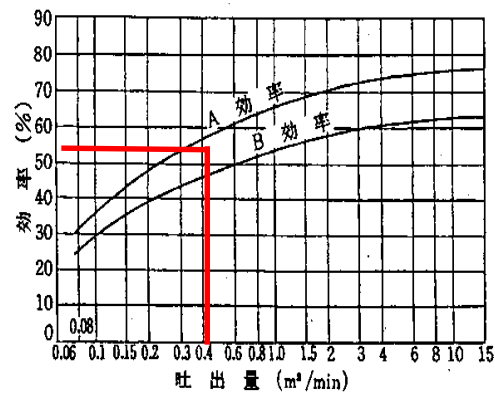


図3.8.1 ポンプ効率

$$\therefore P = \frac{0.1634 \times 1.2 \times 0.39 \times 9.2}{0.50} = 1.4 \text{ kw}$$

以上より、排水ポンプについては下表に示す排水ポンプを使用する。

表4.8.6 中継排水ポンプ設備

機 種	吐出量	全揚程	台数	備 考
工事用水中ポンプ	0.389 m ³ /min以上	9.2 m 以上	2台	坑内中継

表4.8.7 排水管延長内訳

規格	計画延長 (m)			備 考
	坑内	坑外	合計	
SGP管 φ 100 mm	1,268.0	35.0	1,303.0	坑内～濁水処理設備

(h) 設置期間

中継排水ポンプは、トンネル掘進に伴い設置台数が増えるため、ポンプ毎の設置期間を示す。

表4. 8. 8 中継排水ポンプ設置期間

ポンプ	設置区間	坑内距離(m)	設置期間
P1	464m地点～1, 268m地点	402. 0	20. 25 － 10. 12 ＝ 10. 13 ヶ月 (304 日)
P2	866m地点～1268m地点	402. 0	20. 25 － 15. 25 ＝ 5. 00 ヶ月 (150 日)

4.9 濁水処理計画

4.9.1 概要

(1) トンネル工事の濁水発生状況

山岳トンネルの工事では、濁水の発生量は主に湧水の発生状況に影響され、その性状は地山の土質状態に左右される。そして濁水はコンクリート打設の影響を受けてアルカリを呈し、坑内設備として使用する機械類からの油漏れによって濁水中に油が混入する事も多い。

トンネル工事に伴って発生する坑内湧水は、それ自体透明で無害な水質であるが、工事中に生じるいろいろな不純物が混入し、汚濁されて濁水となる。この濁水を直接河川等に放流することは水質汚染を起し、自然破壊の原因となるので何らかの処理を施して放流する必要がある。

(2) 濁水の成分とその性質

濁水の要因となる不純物としては、地山中の微細粒子、削岩に伴う粉じん、削岩機、ずり積機による細粒化土の混入、コンクリート吹付および打設、薬液注入によるセメント、注入材等の混入、トンネル掘削用機械（削岩機、ずり積機等）から漏出する油分等で、この中でも一般に水質汚染源として問題となる成分は次の三つである。

各成分の概要は以下の通り。

- ①：SS（浮遊物質）
- ②：PH（水素指数）
- ③：油分（ノルマンヘキサン抽出物）

1) SS（浮遊物質＝Suspende Solid）

濃度濁水中のSS濃度の大部分は微細な土粒子（シルト粘土，コロイド）である。SS濃度は水中に懸濁している粒径2mm以下の懸濁物質質量（浮遊物質質量）を表すもので、単位は ppmで表わされる。SS濃度は掘削、ずり搬出等坑内作業により200ppm～30000ppmとなるが、一般に25ppm 程度であれば魚類の正常な生活活動が維持でき、50ppm以上になると魚のえらを傷つけたり、えらの弁膜につまって窒息死の原因となる。また、水底の水生生物にとどく太陽光線を妨げ、かつ、水底に沈殿し藻類の繁殖を妨げるため、魚類のえさが欠乏して棲息できなくなるほか、水田に蓄積すると水稻の根腐れを生ずる場合がある。

2) pH値（水素指数＝Potential of Hydrogen）

水素指数pHは、溶液中に溶けている水素イオン濃度 $[H^+]$ の逆数を対数表示（ $pH = -\log [H^+]$ ）したものである。pHは、処理しようとする排水が、アルカリ性か酸性かを示す指標でありpH7を中性とする。pH7より小さい数値ほど酸性が強く、pH7より大きい数値ほどアルカリ性が強いことを示す。トンネル工事に伴って発生する湧水のpHは、一般に6.5～7.5程度であり中和処理を必要としないが、コンクリート打設、薬液注入等によってpH値が9～13程度となる場合や、地山の岩質、土質温泉の混入によって、湧水自体が強酸性、又は、強アルカリ性を示す場合には中和処理が必要となる。pHは水産物農作物の育成に対して、重要な影響を与える放流水域の魚類等への直接的な影響は、SSよりpHの変動による場合が多い。強酸性あるいは強アルカリ性排水は、水の自浄作用に関連する微生物に影響を与えたり、魚類に対し急性毒作用をおよぼし死に至らしめる。又、農作物はおおむねpH4～pH7で正常な生育をするが、pH値が高いと鉄分欠乏による黄化現象を起す。

3) 油分（ノルマルヘキサン抽出物質）

排水中の油脂類、炭化水素類などの含有量を示すため、定められた項目でノルマルヘキサンに抽出され、さらに100℃付近で揮発しない物質である。坑内作業用機械等から漏出する油脂が、坑内水に混入するとその濃度は10ppm～15ppmにもなる場合がある。油脂分が問題となるのは主として鉱油類による魚類への着臭で、0.01ppm 程度でも着臭によりその経済価値を失わせることがあるため、極力除去しなければならない。

4) その他有害物質

工事の段階で重金属類を排出することはないが、地山中に重金属類を含有している場合があり、湧水には鉱石中の金属イオンや硫黄等が溶解し、PH1～PH3という強酸性を示す。また、毒性の強い銅、亜鉛、鉛、鉄等の金属イオンや硫酸塩が含まれる場合には、生物、農作物に被害を与える。したがって、調査等により重金属類が認められた場合には、別途に酸化、還元、吸着、イオン交換等の除去、処理対策が必要となる場合がある。

5) 地山の状況及び掘削工法等との関係

地山の岩質と性状、湧水量と水質は、濁水量、SS濃度、PHを左右する重要な要因である。

掘削工法としては、発破工法に対し、近年環境保全の面から振動騒音の低域を図って、機械掘削工法（特にブーム式）を採用するケースが多くなってきたが、この場合は坑内水と掘削機のキャタピラーによるねり返しにより、高濃度の濁水の発生と、油脂の混入を生じる。

ずり出し方式では、タイヤ方式の場合には、比較的粗い粒子も含まれるが、レール方式の場合には、一般に74 μ 以上のシルト、粘土、コロイド等が95%以上含まれている。

SS濃度はタイヤ方式の場合の方が、レール方式の場合に比較して大きくなる。又、排水方法からみた場合、且つ、その変動幅が大きい。

4.9.2 検討結果

濁水処理工に関する検討結果を下表に示す。尚、次頁以降に検討経緯を示す。

表4.9.1 濁水処理工内訳表 (1式当り)				
名 称	規 格	単 位	数 量	摘 要
濁水処理設備	設置・撤去	式	1.0	
泥土処理作業		(回) 式	(373.0) 1.0	
濁水処理設備運転	機械処理脱水方式 20m ³ /h級	日	149	実日数
薬品費	中和剤（炭酸ガス）	kg	16,820	
	無機凝集剤（PAC）	kg	19,119	
	高分子凝集剤	kg	574	

4.9.3 濁水処理計画

(1) 濁水処理の概要

トンネル工事中の濁水に含まれている土粒子の粒度粗成は、岩の種類と性状、ずり出し方式、排水方法等によって大きく異なるが、一般に 74μ 以下のシルト、粘土、コロイド等が95%以上含まれている。

このような微細粒子を自然沈降のみで浄化するには、大きな沈殿池を設けて滞留時間を長くしなければならず、濁水量が多くなると一般的には困難である。そのため、凝集剤を加えて急速に凝集沈降させて除去する方法が一般的に行われている。

凝集剤には沈降速度の遅い無機系の凝集剤と沈降速度の速い高分子凝集剤とがあるが、トンネルの岩質とその性状は様でないため、濁水の性質も変化する。従って、浄化処理のための凝集剤とその使用量は、定期的に薬品選定試験を行い、適切な薬品とその添加量を決めているのが実状である。しかし、一般的にはトンネル工事の処理実績から見た浄化処理の薬品添加量は、無機系の凝集剤50～500ppmに高分子凝集剤を2～10ppm加えて処理している。また、濁水中の油分はトンネル坑口付近の排水溝、またはpH調査槽内に油吸着材を浮かべておいて、吸着処理している所が多い。

(2) 濁水発生量の推定

坑内の湧水量については把握出来ない面が多く、一般的な実績値から推定している場合が多い。

本計画では「排水設備」で計画した排水量を用いるものとし、濁水量としては湧水量とピーク時の坑内作業給水及び坑内洗浄を考慮するものとする。

次表に濁水量を示す。

表4.9.2 計画濁水量

施工区分	トンネル内湧水量 (m^3/min)	工事中使用水量 (m^3/min)	計画排水量 (m^3/h)
掘削時	0.089	0.300	0.389 $\div$ 23.3
覆工時	0.089	—	0.089 $\div$ 5.3

(3) 処理方式について

汚濁水の処理方法として、次の2方式に大別される。

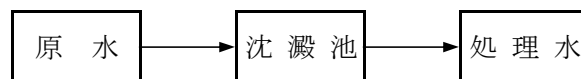
- ① 自然沈殿式（沈殿池と薬品の併用）
- ② 機械式沈殿法（シックナー方式）

1) 自然沈殿方式

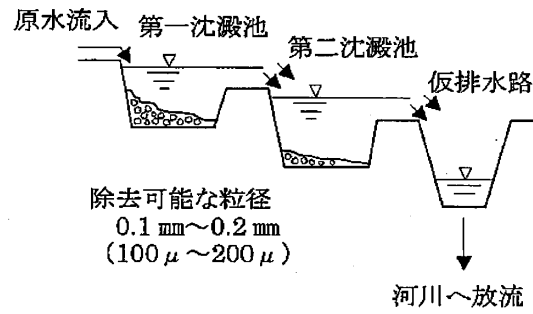
従来の沈殿方式で沈殿効果を上げるために凝集剤を添加して、SSを凝集沈殿させ上水を放流する方式である。凝集剤は無機系凝集剤と高分子凝集剤に大別されるが、一般的には両者を併用して決定される。

凝集剤は添加後急速に攪拌し、その後緩速攪拌する方法が採られている。これは急速攪拌することによって、凝集効果（フロックの形成）が期待されるためである。

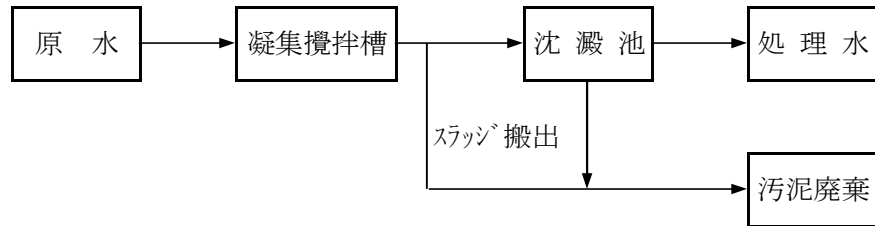
・ 自然沈殿方式



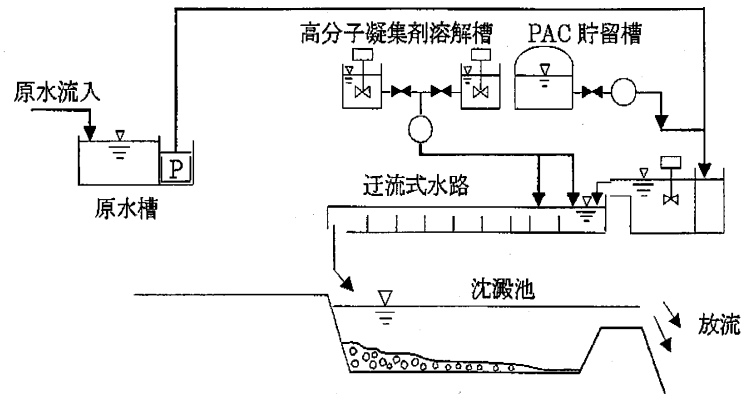
原水のSS処理は、100～200ppm程度まで最も簡単な処理方式であるが、規模の大きな沈澱池が必要となる。



・凝集沈澱方式



凝集剤を添加するので、添加用の装置が必要となる。

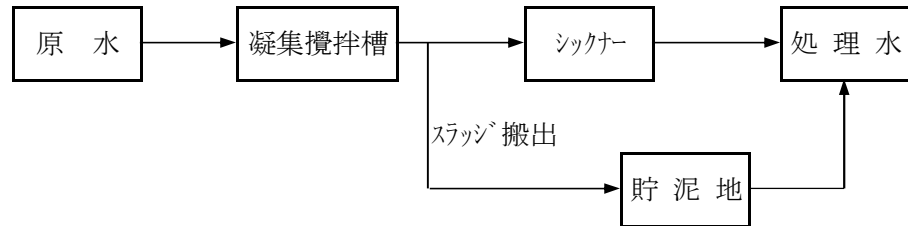


2) 機械式沈澱方式

凝集剤添加後、シクナーにより凝集沈澱させるのがシクナー方式である。

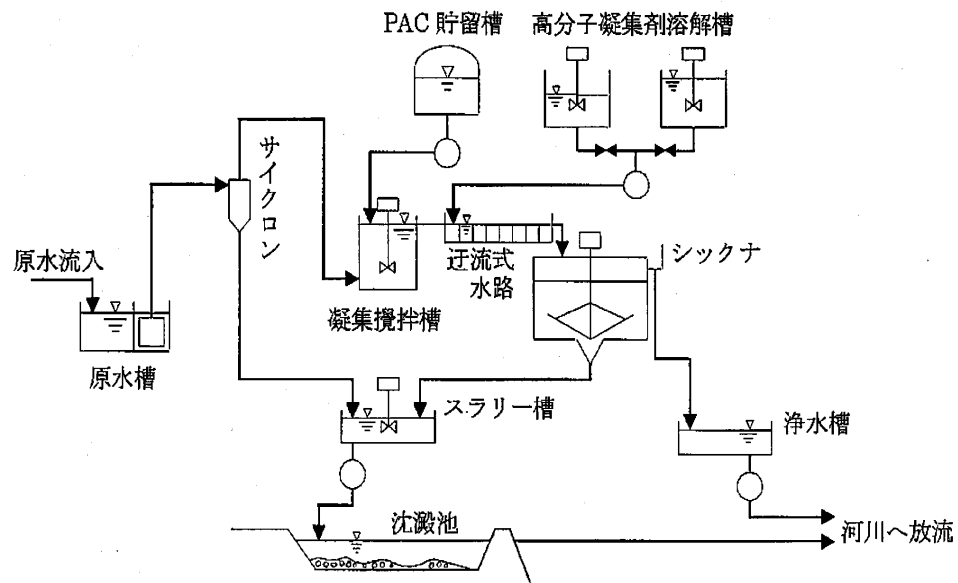
また、スラリーの処理方式として沈澱池を設ける場合と、脱水機を設置してスラリーをケーキ状にして排出する2つの方式がある。シクナーの型式は、従来は円形シクナーが多用されていたが、最近では角形シクナーが主流となっている。凝集剤の考え方は沈澱池方式と同様に沈澱分離槽の内、または外に攪拌槽を設けている。

・機械処理沈澱方式

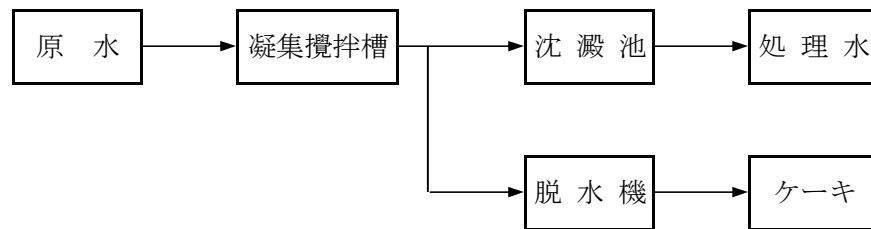


原水に凝集剤を添加したのち、シクナーで凝集沈澱させ処理水は放流し沈澱した汚泥（スラッジ）は、貯泥池で処理するものである。自然沈殿方式に比べて処理水は良好な結果が得られるので、水質の規制が比較的厳しい場合や、粘土分が多い場合に実施される。

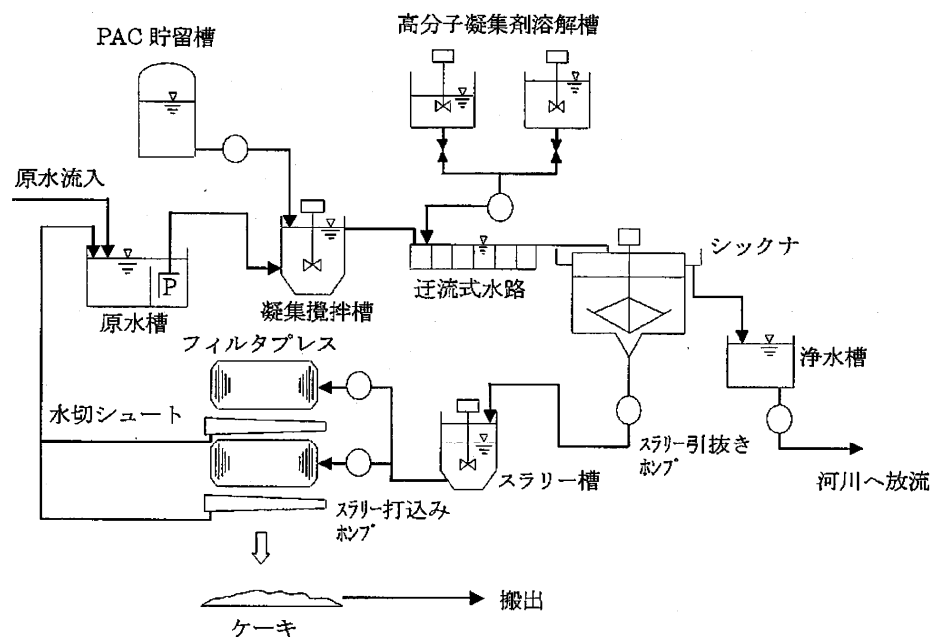
また、処理場所が狭い場合、水量が多い場合、水質及び汚泥処分の規制が厳しい場合は、機械処理脱水方式が行われる。



・機械処理脱水方式



上記、汚濁水処理方式として大別し、自然沈澱方式と機械式沈澱方式の大きな違いはスラリーの排出方法にある。機械式沈澱方式の場合はポンプまたはバケットなどで排水を行う。自然沈澱方式の場合は、通常2つの沈澱池を設けて交互に汚泥搬出を行う。



処理方式は、一般的に次のような条件から定められる。

- ① 自然沈澱方式は、
 - 湧水量が少ない（一般に30m³/h程度）
 - 設備ヤードが確保出来る
 - 汚泥処理場が近くに確保出来る
- ② 機械式沈澱方式は、
 - 湧水量が多い
 - 設備ヤードが狭く、汚泥の処理が困難
 - 汚泥（脱水ケーキ）は盛土部に利用する

本トンネルの濁水処理方式としては、「国土交通省土木工事積算基準」でシックナー方式が標準となっているため、前述したように下記シックナー設備を計画する。
吹付プラントから移送してきた濁水も本プラントで併せて処理する。

4.9.4 管理基準値

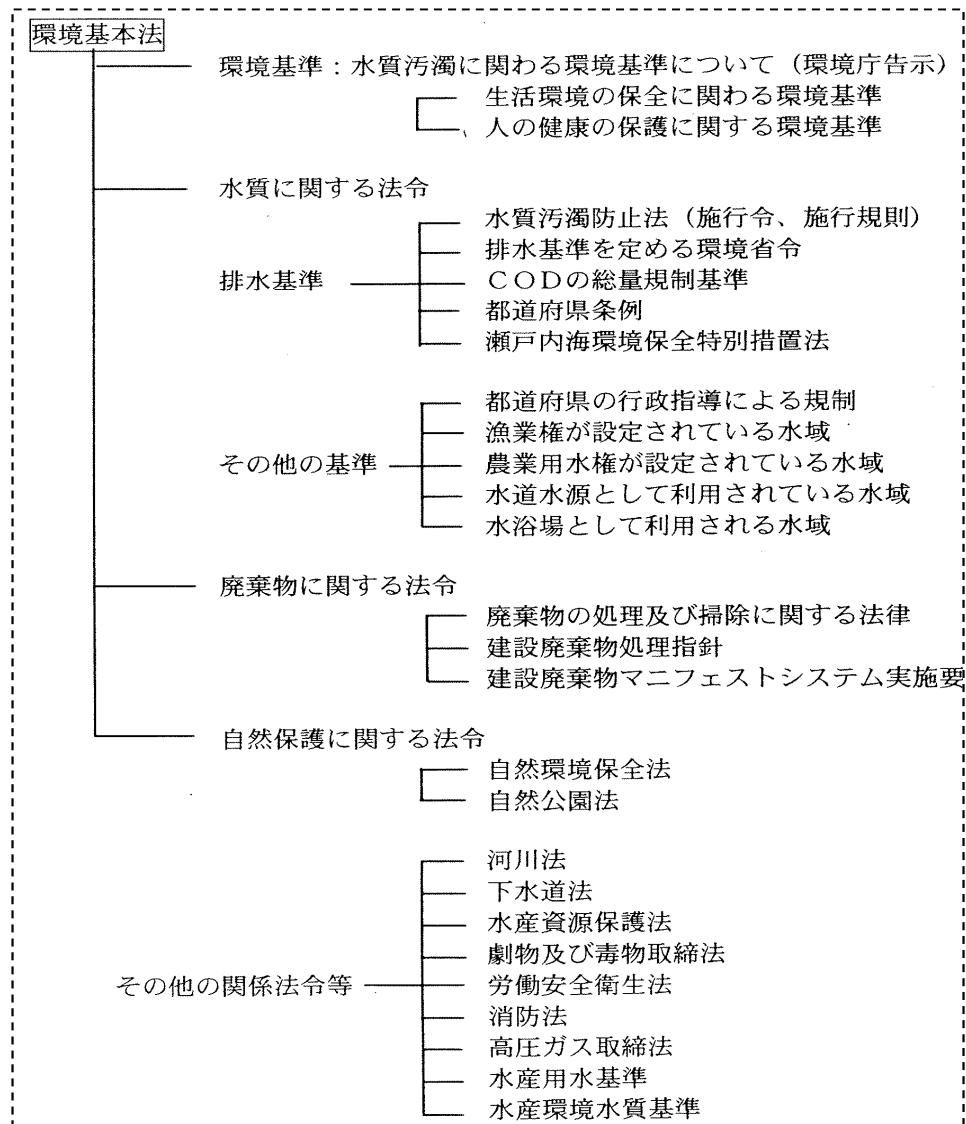
(1) 概要

建設工事に伴い発生する濁水や汚泥はに示すように、環境基準法を頂点とし、環境基準、水質汚濁防止法、廃棄物の処理および清掃に関する法律（廃棄物処理法）等さまざまな法令により規制されている。

(2) 処理水と廃棄物に関する法令

1) 法体系

汚濁水処理に関する法令は、環境基本法に基づく水質汚濁防止法、廃棄物の処理および清掃に関する法律等があり、それに関した政令・規則・条例により排出基準値等が定められている。また、その他の関連法令・基準において排水の水質の規制が行われている。これらの法体系を下図に示す。



出典：「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」

P.12より抜粋

図4.9.1 汚濁水処理に関する法体系

環境基本法(平成5年11月19日第91号)は、(旧)公害対策基本法および自然環境保全法を基礎に、新しい地球時代の環境問題の特質を踏まえ、環境の保全に関する基本理念と、新たな環境政策の枠組みを明示するものである。

2) 環境基準値

水質汚濁に係わる環境基準については、人の健康を保護し、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として定められている。環境基準は、行政上の政策目標であり、個別の工場や事業場に対する規制の基準である「排水基準」とは異なる。

排水基準は、個別の工場、事業場などから排出される汚染物質の許容限度であるのに対し、環境基準は、排出された汚染物質の集積によって生ずる地域(水域)全体の環境汚染の改善目標を示すものである。しかし、自治体での法律の運用上、目標値を法的規制基準として準用される場合もある。

環境基準は、

- ①人の健康の保護に関する環境基準
- ②生活環境の保全に関する環境基準(次頁参照)がある。

①は重金属等の有害物質に関するものであり、全国一律に定められている。②は水素イオン濃度(pH)、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、浮遊物質(SS)等の一般物質に関するものであり、水域分類別(河川、湖沼、海域)によって異なっており、さらに類型分類別(水道・水産・工業用水等の利水目的に応じた分類)によっても異なっている。

3) 排水規制

・概要

工場・事業場に対する排水規制は、公共用水域の水質保全のための重要な施策の一つとして、水質汚濁防止法に基づき行われている。

同法による規制の対象となるのは、特定施設を設置している工場及び事業場(特定事業場)から公共用水域に排出される水(排水)である。

同法における排水規制の制度は、公共用水域へ汚水を排出する特定施設を設置する工場及び事業場に、特定施設の設置等を届出させ、必要に応じ計画変更命令を出し排水処理体制を整備させるとともに、排水基準を設けこれを遵守すべき義務を課し、排水基準に違反するおそれのある場合には改善命令等を行うほか、排水基準に違反した場合には罰則を適用することにより、公共用水域の水質保全を図るものである。

ここで、水質汚濁防止法施行令において定められている特定施設の中に建設業の施設は含まれていないが、山岳トンネルにおける該当業種では、水質汚濁防止法第2条第2項より「生コンクリートを製造するプラントの総体(コンクリートミキサー車を除く)」が特定施設として指定されている。このことから、バッチャープラントは特定施設に該当し、特定施設の届出を都道府県知事に提出しなければならない。

・一律排水基準（環境省令で定める排水基準）

排水基準とは、環境基準を達成するため、特定施設を設置する工場・事業場などから公共用水域に排出される排水の規制基準を定めたものである。この基準は、排出に際して最低限守らなければならない基準であり、全国一律に環境省令によって定められている。

水質汚濁防止法施行令において定められている特定施設の中では、前述したトンネル工事の吹付けプラントが対象となるため、特定施設の届出を都道府県知事に提出しなければならない。

・上乗せ排水基準（都道府県条例で定める排水基準）

水質汚濁防止法の第3条第3項で各都道府県の区域に属する公共用水域のうちで、その自然的、社会的条件から判断して、前述の排水基準によっては人の健康を保護し、または生活環境を保全することが十分でないと認められる区域があるときには、各都道府県はその区域に排出される排水の汚染状態について、政令で定める基準に従い条例で環境省の全国一律基準よりも厳しい許容限度を定める上乗せ基準を定めることができる。

一般に都道府県は公害防止条例等を制定し、各地域の事情に適合した上乗せ基準を設定している。

・環境基準

生活環境の保全に関する環境基準

河川（湖沼を除く。）

項目 類型	利用目的の 適応性	基 準 値				
		水素イオン 濃度 (PH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全及 びA以下の欄に 掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	50MPN/ 100ml以下
A	水道2級 水産1級 水浴 及びB以下の欄 に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	2mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	7.5mg/ℓ以上	1,000MPN/ 100ml以下
B	水道3級 水産2級 及びC以下の欄 に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	3mg/ℓ以下	25mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	5,000MPN/ 100ml以下
C	水産3級 工業用水1級 及びD以下の欄 に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	5mg/ℓ以下	50mg/ℓ以下	5mg/ℓ以上	—
D	工業用水2級 農業用水 及びE以下の欄 に掲げるもの	6.0以上 8.5以下	8mg/ℓ以下	100mg/ℓ以下	2mg/ℓ以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/ℓ以下	ごみの浮遊が 認められないこと	2mg/ℓ以上	—
測 定 方 法		規格12.1に定める 方法又はガラス電 極を用いる水質自 動測定装置により これと同程度の計 測結果の得られる 方法	規格21に定める 方法	付表8に掲げる 方法	規格32に定める方 法又は隔膜電極を 用いる水質自動監 視測定装置により これと同程度の計 測結果の得られる 方法	最確数による定 量法
(備 考) 1 基準値は、日間平均値とする。（湖沼、海域もこれに準ずる。） 2 農業用利水点については、水素イオン濃度6.0以上7.5以下、溶存酸素量5mg/ℓ以上とする。（湖沼もこれに準ずる。）						

(注)

- 1 自然環境保全：自然探勝等の環境保全
- 2 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
水道2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの
水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの
- 3 水産1級：ヤマメ、イワナ等貧腐水性水域の水産生物用並びに水産生物用並びに水産2級及び水産3級の水産生物用
水産2級：サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産生物用及び水産3級の水産生物用
水産3級：コイ、フナ等、β-中腐水性水域の水産生物用
- 4 工業用水1級：沈殿等による通常の浄水操作を行うもの
工業用水2級：薬品注入等による高度の浄水操作を行うもの
工業用水3級：特殊の浄水操作を行うもの
- 5 環境保全：国民の日常生活（沿岸の遊歩等を含む。）において不快感を生じない限度

出典：環境省HP「水環境の保全 別表2. 生活環境の保全に関する環境基準(河川)」

・一律排水基準（環境省令で定める排水基準）

項 目		許容限度		検定方法
		日間平均	最大	
水素イオン濃度（pH）		海域以外	5.8～8.6	排水基準を定める省令(昭和46年総理府令第35号)第2条の規定に基づき環境大臣が定める排水基準に係る検定方法
		海域	5.0～9.0	
生物化学的酸素要求量（BOD）		120 mg/ℓ	160 mg/ℓ	
化学的酸素要求量（COD）		120 mg/ℓ	160 mg/ℓ	
浮遊物質（SS）		150 mg/ℓ	200 mg/ℓ	
ノニフェン抽出物含有量	鉱油類含有量	—	5 mg/ℓ	
	動植物油脂類含有量	—	30 mg/ℓ	
フェノール類含有量		—	5 mg/ℓ	
銅含有量（Cu）		—	3 mg/ℓ	
亜鉛含有量（Zn）		—	5 mg/ℓ	
溶解性鉄含有量（Fe）		—	10 mg/ℓ	
溶解性マンガン含有量（Mn）		—	10 mg/ℓ	
クロム含有量（Cr）		—	2 mg/ℓ	
大腸菌群数		3,000 個/cm ³	—	
窒素含有量（N）		60 mg/ℓ	120 mg/ℓ	
リン含有量（P）		8 mg/ℓ	16 mg/ℓ	

（備考）

- 「日間平均」による許容限度は、一日の排出水の平均的な汚染状態について定めたものである。
- この表に掲げる排水基準は、一日当たりの平均的な排出水の量が50立方メートル以上である工場又は事業場に係る排出水について適用する。
- 水素イオン濃度及び溶解性鉄含有量についての排水基準は、硫黄鉱業（硫黄と共存する硫化鉄鉱を掘採する鉱業を含む。）に属する工場又は事業場に係る排出水については適用しない。
- 水素イオン濃度、銅含有量、亜鉛含有量、溶解性鉄含有量、溶解性マンガン含有量及びクロム含有量についての排水基準は、水質汚濁防止法施行令及び廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令の一部を改正する政令の施行の際（昭49.12.1）現にゆう出している温泉を利用する旅館業に属する事業場に係る排出水については、当分の間適用しない。
- 生物化学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼以外の公共用水域に排出される排出水に限って適用し、化学的酸素要求量についての排水基準は、海域及び湖沼に排出される排出水に限って適用する。
- 窒素含有量についての排水基準は、窒素が湖沼植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある湖沼として環境大臣が定める湖沼、海洋植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある海域（湖沼であって、水の塩素イオン含有量が1リットルにつき9,000ミリグラムを超えるものを含む。以下同じ。）として環境大臣が定める海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排出水に限って適用する。
- リン含有量についての排水基準は、リンが湖沼植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある湖沼として環境大臣が定める湖沼、海洋植物プランクトンの著しい増殖をもたらすおそれがある海域として環境大臣が定める海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排出水に限って適用する。

・上乗せ基準

県条例[※]で定める上乗せ基準

水域	範囲
第1区水域	紀の川、橋本川、貴志川、土入川、大門川、有本川、真田堀川、市堀川(紀ノ川大橋から上流の水域)、和歌川(旭橋から上流の水域)、和田川、日方川(新湊橋から上流の水域)、山田川及び有田川(安謐橋から上流の水域)並びにこれらに流入する公共用水域
第2区水域	日高川及びこれに流入する公共用水域
第3区水域	次に掲げる海域等及びこれらに流入する公共用水域(第1区水域に含まれる水域を除く。) 1 和歌山市、海南市、有田市、湯浅町、広川町、由良町及び日高町の地先海域 2 築地川及び水軒川 3 市堀川紀ノ川大橋、和歌川旭橋、日方川新湊橋、女良川旭橋、加茂川碓橋及び有田川安謐橋の各下流の河川の区域に含まれる水域
第4区水域	新宮市鈴島の北緯33度40分53秒東経135度59分38秒の地点と赤島の北緯33度39分37秒東経135度59分49秒の地点を結んだ直線、同島の北緯33度39分35秒東経135度59分47秒の地点から北238度に見通した直線、三輪崎漁港北防波堤及び陸岸により囲まれた海域並びにこれに流入する公共用水域

※県条例；水質汚濁防止法第3条の規定に基づく排水基準等を定める条例
（昭和47年7月14日条例第33号）（和歌山県HPより）

(3) 管理基準値の設定

トンネル工事を施工する場合には、まず、水質汚濁防止法に規定されている「排水基準」を調べ、次に都道府県条例によってこれより厳しい規定をしている「上乘せ基準」を調べて、工事中の濁水をこれらの基準値以下に処理して排水する。

公共下水道(終末処理場を設置しているもの)に許可を得て排水する場合は、「下水道法」の基準値以下に処理して排水すればよい。

また、工事中の濁水を公共用水域(河川、湖沼、海域等)に排水する場合には、排水基準を守っても河川の水量、水質によっては環境基準値を超えることがあるので、工事着手前に行政当局、水利権者、漁業権者等と十分協議し、当該現場における排水基準値を定めることがある。

山岳トンネルの一般的な工事で使用する濁水処理設備の処理水が水質規制で関係する内容は実質的には次のものがある。

- ①SS濃度
- ②pH
- ③鉱油類含有量

トンネル工事用建設機械類からの油漏れ等は、現状では改良されているがまれに油漏れが原水(濁水)に混入することも予想される。この場合は原水層にてポリエチレン系の布状吸着材等が使用される。その他、油性対象とした高分子凝集剤も開発されて沈降が可能であり、問題はほとんど発生しない。したがって、油分対策は本検討では省略する。

工事によっては、処理水の規制値で生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、クロム含有量等が問われる場合もあるが、これらは明らかに処理水を放流する河川域に漁業権がある場合(鮎、鰻等の稚魚が生息する)や特殊な事情(県による厳しい条例がしかれている区域)によるものである。

各基準値の中で最大範囲を管理基準値とする。

- ・環境基準値 河川A
- ・一律排水基準
- ・上乘せ基準 (該当しない)

本工事では

- ・水素イオン濃度 → 一律排水基準：5.8～8.6
 - ・浮遊物質(SS) → 一律排水基準：200mg/リットル
- の基準値に準拠することとする。

表4.9.3 基準値のまとめ

項目	水素イオン濃度 (pH)	浮遊物質濃度 (SS)
一律排水基準	河川	200 mg/リットル
	5.8 以上	
	8.6 以下	

熊野川（くまのがわ） 公共用水域水質

熊野川（くまのがわ）

熊野川では和歌山県の区域に属する水域を類型Aとし、宮井橋、熊野大橋を環境基準とした全4地点において県及び近畿地方整備局で水質を測定しています。



出典：「水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定」和歌山県ホームページより

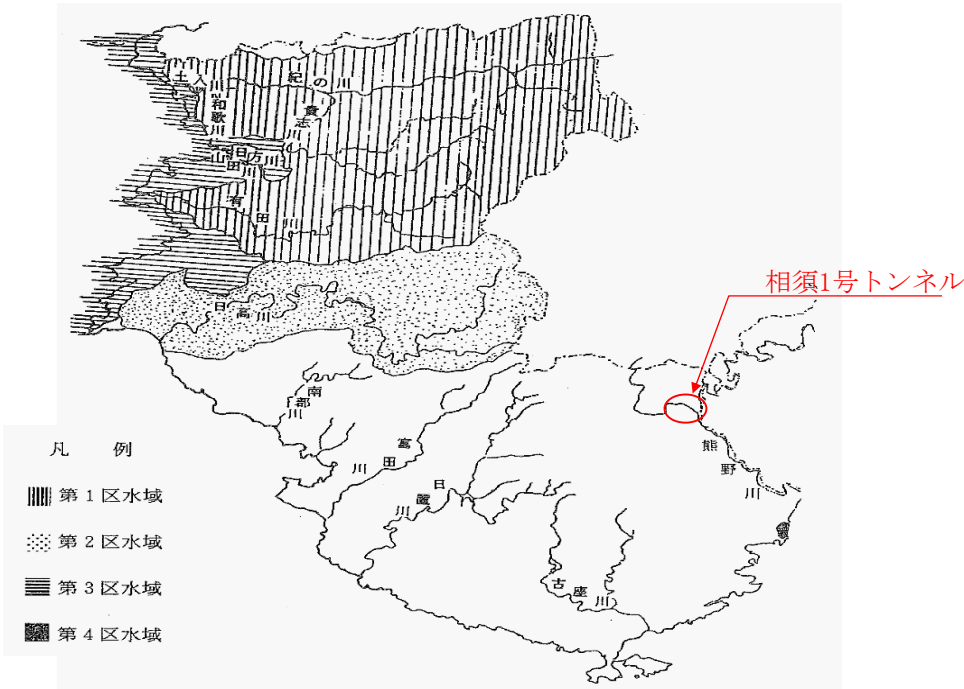


図4.9.2 上乗せ排水基準適用区域図系

4.9.5 計画条件

(1) 計画条件

処理方式	CO ₂ 中和＋凝集沈殿＋脱水処理＋推移室監視方式		
処理方法	原水（濁水） 汚泥	中和～凝集～固液分離～水質監視～放流（再使用） 貯留～脱水～処分	
原水の性状	原水量Q	最大値	23.340 m ³ /h
		平均値	20.670 m ³ /h
	SS		3,000 mg/ℓ
	PH（平均）		11.0
	SSの真比重		2.65
	粒径75 μm以上の粒度比率		20 %
処理水の性状	排出基準		
	SS		200 mg/ℓ
	PH（平均）		5.8 ～ 8.6
処理条件	設備稼働時間 T _p		24 h/日
	プレス稼働時間 T _F		8 h/日
	PAC添加量		100 ppm
	PAC比重		1.2
	高分子添加量		3 ppm
	高分子使用濃度		0.1 %
	脱水ケーキ含水量		40.0 %
	プレスサイクルタイム C _m		80 min
稼働期間	掘削時		20.25 ヶ月
	覆工のみ		1.00 ヶ月

・設備稼働時間

トンネルからの湧水は休日であっても24時間排出している。平日作業日はほとんどの現場でトンネルからの原水はpH、SS値などが規制値を超える。休日の排水もpH、SS値ともに規制値を超えることが多い。したがって、濁水処理の稼働は「共用日、24時間稼働」とする。

・プレス稼働時間

通常の現場においては、脱水装置は昼間のみの運転形態として、8～10時間程度で稼働している。本検討では運転時間を8時間として検討する。

・無機凝集剤（PAC）添加量

無機凝集剤（PAC）の標準的な添加量は下表より、50～150g/m³であるため、本検討では100g/m³を採用する。

・高分子凝集剤添加量

高分子凝集剤の標準的な添加量は下表より、1.0～3.0g/m³であるため、本検討では3.0g/m³を採用する。

表4.9.4 無機凝集剤添加量

添加量 (g/m ³)	実積比率 (%)
～ 50	4
51 ～ 100	49
101 ～ 150	24
151 ～ 200	15
201 ～	8

表4.9.5 高分子凝集剤添加量

添加量 (g/m ³)	実積比率 (%)
～ 1.0	7
1.1 ～ 2.0	45
2.1 ～ 3.0	39
3.1 ～ 4.0	8
4.1 ～	2

(2) 原水量（濁水量）

【濁水処理計算の考え方】

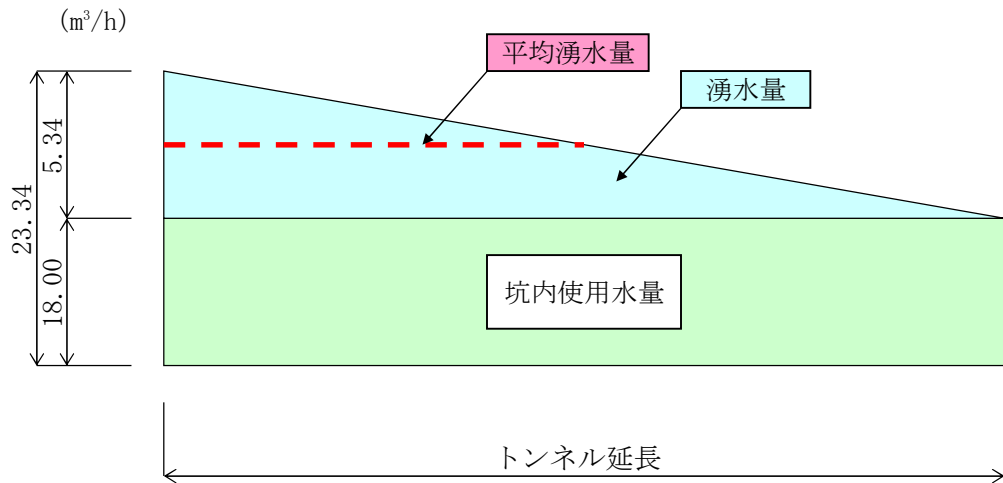


図4.9.2 濁水量の概念図

※ 湧水量については、掘進延長が進む毎に増加する。一方坑内使用水量については、掘削当初から掘削完了まで変化無とする。したがって、濁水処理量としては最大となる貫通直前の値を使用した濁水処理計画を行う。

貫通直前の湧水量 23.340 m³/h

※ なお、工事全体における薬品使用量、脱水ケーキの発生量については上図に基づいて算定する。湧水量に該当する部分については平均湧水量として算定する。

原水量

最大値 : 18.000 + 5.340 = 23.34 m³/h

平均値 : 18.000 + 5.340 × 1/2 = 20.67 m³/h

ここで、濁水濁水処理設備を段階的に増設することで、工事費の縮小を図る。

最大量30m³まで : (20 - 18) / (5.340 / 1,268) = 475 m
→ 10.25 ヶ月

覆工完了まで : 20.25 ヶ月

①案：最大設備案（30m³/h）

60m³/h : 21.25 - 3.00 = 18.25 ヶ月 → 372 日（覆工完了まで）
工事費 : 38,370 千円 (+1,270 千円)

②案：入替案（20m³/h→30m³/h）

1台目 20m³/h : 10.25 - 3.00 = 7.25 ヶ月 → 149 日（L=475mまで設置）
2台目 30m³/h : 21.25 - 10.25 = 11.00 ヶ月 → 224 日（L=475mから覆工完了）
工事費 : 37,100 千円 (±0 千円)

本工事費内訳書

濁水処理比較（相須1号トンネル）

費目・工種・種別・細別・規格	単位	数 量	単 価	金 額	摘 要
①案：増設案 30m3/h×1台	式	1	38,370,000	38,370,000	1号代価表 2頁
②案：入替案 20m3/h級→30m3/h級	式	1	37,100,000	37,100,000	5号代価表 6頁
計				75,470,000	

代価表

①案：増設案
30m³/h×1台

(1号代価表)

1 式当り

名 称 ・ 規 格	単 位	数 量	単 価	金 額	摘 要	備 考
濁水処理設備設置撤去 処理能力30m ³ 級	箇所	1	841,800	841,800	2号代価表 3頁	[R3黄本P690 / R3赤本PIV-5- [WB450410]
濁水処理設備保守点検	回	373	15,180	5,662,140	3号代価表 4頁	[R3黄本P691 / R3赤本PIV-5- [WB450420]
濁水処理設備運転 処理能力30m ³ /h級	日	373	85,430	31,865,390	4号代価表 5頁	[R3黄本P691 / R3赤本PIV-5- [WB450440]
諸 雑 費	式	1		670	調整金	
計				38,370,000		
1 式 当 り				38,370,000		

代価表

濁水処理設備設置撤去
処理能力30m3級

(2号代価表)

1 箇所当り

名 称 ・ 規 格	単 位	数 量	単 価	金 額	摘 要	備 考
土木一般世話役	人	7	23,900	167,300		[R3.3]
電工	人	5	21,000	105,000		[R3.3]
設備機械工	人	13	22,700	295,100		[R3.3]
普通作業員	人	8	19,300	154,400		[R3.3]
ラフレン/ルン(作業料金)(長期割引あり) 25t吊 ホ゜レタ付 日極	台/日	3	40,000	120,000		[建設物価R03. 10. P809 : 近畿
計				841,800		
1 箇所 当り				841,800		

濁水処理設備保守点検
代価表
(3号代価表)
1 回 当 り

名 称 ・ 規 格	単 位	数 量	単 価	金 額	摘 要	備 考
設備機械工	人	0.200	22,700	4,540		[R3.3]
普通作業員	人	0.500	19,300	9,650		[R3.3]
諸雑費	%	7		990	諸雑費	泥土(濁水ケーキ)の積み込み機械,
計				15,180		
1 回 当 り				15,180		

代価表

濁水處理設備運轉
處理能力30m3/h級

(4号代価表)

1日目

[illegible]

代価表

②案：入替案
20m³/h級→30m³/h級

(5号代価表)

1 式当り

名 称 ・ 規 格	単 位	数 量	単 価	金 額	摘 要	備 考
濁水処理設備設置撤去 処理能力20m ³ 級、30m ³ 級	箇所	2	841, 800	1, 683, 600	6号代価表 7頁	[R3黄本P690 / R3赤本PIV-5- [WB450410]
濁水処理設備保守点検	回	373	15, 180	5, 662, 140	3号代価表 4頁	[R3黄本P691 / R3赤本PIV-5- [WB450420]
濁水処理設備運転 処理能力20m ³ /h級	日	149	71, 230	10, 613, 270	7号代価表 8頁	[R3黄本P691 / R3赤本PIV-5- [WB450440]
濁水処理設備運転 処理能力30m ³ /h級	日	224	85, 430	19, 136, 320	8号代価表 9頁	[R3黄本P691 / R3赤本PIV-5- [WB450440]
諸 雑 費	式	1		4, 670	調整金	
計				37, 100, 000		
1 式 当 り				37, 100, 000		

代価表

濁水処理設備設置撤去
処理能力20m3級、30m3級

(6号代価表)

1箇所当り

名 称 ・ 規 格	単 位	数 量	単 価	金 額	摘 要	備 考
土木一般世話役	人	7	23,900	167,300		[R3.3]
電工	人	5	21,000	105,000		[R3.3]
設備機械工	人	13	22,700	295,100		[R3.3]
普通作業員	人	8	19,300	154,400		[R3.3]
ラフレン/レン(作業料金)(長期割引あり) 25t吊 ホ゜レタ付 日極	台/日	3	40,000	120,000		[建設物価R03.10.P809：近畿
計				841,800		
1箇所当り				841,800		

代価表

濁水處理設備運轉
處理能力20m3/h級

(7号代価表)

1 日 1 月 6 日

[illegible]

代価表

濁水處理設備運轉
處理能力30m3/h級

(8号代価表)

1日目

[illegible]

4.9.6 物質収支

＜原水量最大値：23.340 m³/h＞

凝集剤注入量及び処理水に残存するSS分は、微量な為、無視して計算する。

(1) 原水SSの乾燥重量：S_Dおよび原水の水分量：W

$$\begin{aligned}
 S_D &= Q \times SS \times T_p \\
 &= 23.34 \text{ m}^3/\text{h} \times 3,000 \text{ mg}/\ell = 0.070 \text{ t}/\text{h} \\
 &\quad (0.070 \text{ t}/\text{h} \times 24 \text{ h} = 1.680 \text{ t}/\text{日}) \\
 W &= Q - S_D / \rho \\
 &= 23.34 \text{ m}^3/\text{h} - 0.07 / 2.65 \\
 &= 23.314 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (23.314 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 559.536 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

(2) 沈砂槽の沈降量：V_T

沈砂槽で粒径75 μm以上の粒度比率20%を沈降除去する。

乾燥重量：S_T

$$\begin{aligned}
 S_T &= S_D \times 0.2 \\
 &= 0.070 \text{ t}/\text{h} \times 0.2 = 0.014 \text{ t}/\text{h} \\
 &\quad (0.014 \text{ t}/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.336 \text{ t}/\text{日})
 \end{aligned}$$

沈砂槽でのスラッジの水分量は、含水率を70%とする。

$$\begin{aligned}
 W_{w1} &= S_T \times 70 / (100 - 70) \\
 &= 0.014 \times 70 / (100 - 70) \\
 &= 0.033 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (0.033 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.792 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

※ただし、このW_{w1}は、沈砂槽の排砂時以外は、原水層に送られる。

その容積は、同じく含水率70%、土粒子の真比重2.65とする。

$$\begin{aligned}
 V_T &= S_T \times (70 / (100 - 70) + 1 / 2.65) \\
 &= 0.014 \times (70 / (100 - 70) + 1 / 2.65) \\
 &= 0.038 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (0.038 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.912 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

(3) シックナでの沈降量： V_S

沈砂槽にて乾燥重量で S_T (0.014 t/h) だけ除去された後、シックナに送られる。
沈降するスラッジの乾燥重量 S_S は、以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} S_S &= S_D - S_T \\ &= 0.070 \text{ t/h} - 0.014 \text{ t/h} \\ &= 0.056 \text{ t/h} \\ &\quad (0.056 \text{ t/h} \times 24 \text{ h} = 1.344 \text{ t/日}) \end{aligned}$$

沈降したスラッジの水分量 W_{w2} は、含水率を85%とする。

$$\begin{aligned} W_{w1} &= S_S \times 85 / (100 - 85) \\ &= 0.056 \times 85 / (100 - 85) \\ &= 0.317 \text{ m}^3/\text{h} \\ &\quad (0.317 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 7.608 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

沈降したスラッジの容積 V_S は、同じく含水率を85%、土粒子の真比重2.65とする。

$$\begin{aligned} V_S &= S_S \times (85 / (100 - 85) + 1 / 2.65) \\ &= 0.056 \times (85 / (100 - 85) + 1 / 2.65) \\ &= 0.338 \text{ m}^3/\text{h} \\ &\quad (0.338 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 8.112 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

(4) 脱水ケーキの体積： V_K およびろ過水量： W_w

シックナでの沈降スラッジをフィルタプレスにより脱水する。

脱水ケーキ中の水分量は、ケーキの含水率を40%とする。

$$\begin{aligned} (W_{w3}) &= S_S \times 40 / (100 - 40) \\ &= 0.056 \times 40 / (100 - 40) \\ &= 0.037 \text{ m}^3/\text{h} \\ &\quad (0.037 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.888 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため、

$$W_{w3} = 0.888 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.111 \text{ m}^3/\text{h}$$

脱水ケーキの体積 V_K は、ケーキの含水率40%、土粒子の真比重2.65とする。

$$\begin{aligned} (V_K) &= S_S \times (40 / (100 - 40) + 1 / 2.65) \\ &= 0.056 \times (40 / (100 - 40) + 1 / 2.65) \\ &= 0.058 \text{ m}^3/\text{h} \\ &\quad (0.058 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 1.392 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため

$$V_K = 1.392 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.174 \text{ m}^3/\text{h}$$

ろ過水量： W_w (原水層へリターンされる量)

$$\begin{aligned} (W_w) &= V_S - V_K \\ &= 0.338 \text{ m}^3/\text{h} - 0.058 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 0.280 \text{ m}^3/\text{h} \\ &\quad (0.280 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 6.720 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため

$$W_w = 6.720 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.840 \text{ m}^3/\text{h}$$

<原水量最大値 : 20.670 m³/h >

凝集剤注入量及び処理水に残存するSS分は、微量な為、無視して計算する。

(1) 原水SSの乾燥重量 : S_Dおよび原水の水分量 : W

$$\begin{aligned}
 S_D &= Q \times SS \times T_p \\
 &= 20.67 \text{ m}^3/\text{h} \times 3,000 \text{ mg}/\ell = 0.062 \text{ t/h} \\
 &\quad (0.062 \text{ t/h} \times 24 \text{ h} = 1.488 \text{ t/日}) \\
 W &= Q - S_D / \rho \\
 &= 20.67 \text{ m}^3/\text{h} - 0.06 / 2.65 \\
 &= 20.647 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (20.647 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 495.528 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

(2) 沈砂槽の沈降量 : V_T

沈砂槽で粒径75 μm以上の粒度比率20%を沈降除去する。

乾燥重量 : S_T

$$\begin{aligned}
 S_T &= S_D \times 0.2 \\
 &= 0.062 \text{ t/h} \times 0.2 = 0.012 \text{ t/h} \\
 &\quad (0.012 \text{ t/h} \times 24 \text{ h} = 0.288 \text{ t/日})
 \end{aligned}$$

沈砂槽でのスラッジの水分量は、含水率を70%として

$$\begin{aligned}
 W_{w1} &= S_T \times 70 / (100 - 70) \\
 &= 0.012 \times 70 / (100 - 70) \\
 &= 0.028 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (0.028 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.672 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

※ただし、このW_{w1}は、沈砂槽の排砂時以外は、原水層に送られる。

その容積は、同じく含水率70%、土粒子の真比重2.65として

$$\begin{aligned}
 V_T &= S_T \times (70 / (100 - 70) + 1 / 2.65) \\
 &= 0.012 \times (70 / (100 - 70) + 1 / 2.65) \\
 &= 0.033 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (0.033 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 0.792 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

(3) シックナでの沈降量 : V_S

沈砂槽にて乾燥重量でS_T (0.012 t/h) だけ除去された後、シックナに送られる。

沈降するスラッジの乾燥重量S_Sは、以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
 S_S &= S_D - S_T \\
 &= 0.062 \text{ t/h} - 0.012 \text{ t/h} \\
 &= 0.050 \text{ t/h} \\
 &\quad (0.050 \text{ t/h} \times 24 \text{ h} = 1.200 \text{ t/日})
 \end{aligned}$$

沈降したスラッジの水分量W_{w2}は、含水率を85%とする。

$$\begin{aligned}
 W_{w1} &= S_S \times 85 / (100 - 85) \\
 &= 0.050 \times 85 / (100 - 85) \\
 &= 0.283 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\quad (0.283 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} = 6.792 \text{ m}^3/\text{日})
 \end{aligned}$$

沈降したスラッジの容積 V_S は、同じく含水率を85%、土粒子の真比重2.65とする。

$$\begin{aligned} V_S &= S_s \times (85 / (100 - 85) + 1 / 2.65) \\ &= 0.050 \times (85 / (100 - 85) + 1 / 2.65) \\ &= 0.302 \text{ m}^3/\text{h} \\ (0.302 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 7.248 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

(4) 脱水ケーキの体積： V_K およびろ過水量： W_W

シクナでの沈降スラッジをフィルタプレスにより脱水する。

脱水ケーキ中の水分量は、ケーキの含水率を40%とする。

$$\begin{aligned} (W_{W3}) &= S_s \times 40 / (100 - 40) \\ &= 0.050 \times 40 / (100 - 40) \\ &= 0.033 \text{ m}^3/\text{h} \\ (0.033 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 0.792 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため

$$W_{W3} = 0.792 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.099 \text{ m}^3/\text{h}$$

脱水ケーキの体積 V_K は、ケーキの含水率40%、土粒子の真比重2.65とする。

$$\begin{aligned} (V_K) &= S_s \times (40 / (100 - 40) + 1 / 2.65) \\ &= 0.050 \times (40 / (100 - 40) + 1 / 2.65) \\ &= 0.052 \text{ m}^3/\text{h} \\ (0.052 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 1.248 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため

$$V_K = 1.248 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.156 \text{ m}^3/\text{h}$$

ろ過水量： W_W （原水層へリターンされる量）は、

$$\begin{aligned} (W_W) &= V_S - V_K \\ &= 0.302 \text{ m}^3/\text{h} - 0.052 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 0.250 \text{ m}^3/\text{h} \\ (0.250 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} &= 6.000 \text{ m}^3/\text{日}) \end{aligned}$$

ただし、条件よりプレス設備稼働時間は8hであるため

$$W_W = 6.000 \text{ m}^3/\text{日} / 8 \text{ h} = 0.750 \text{ m}^3/\text{h}$$

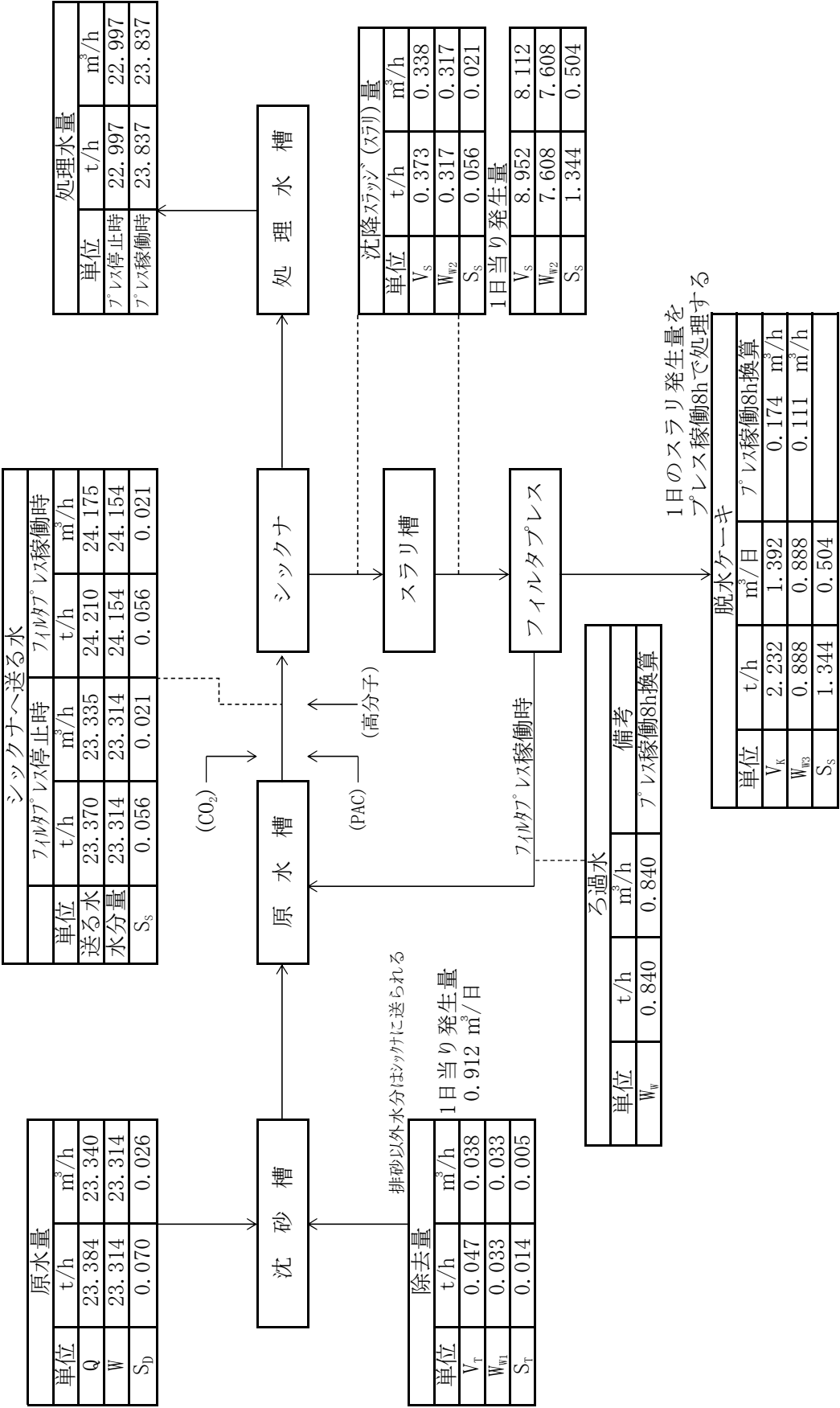


図4.9.3 物質収支フロー (原水量最大値)

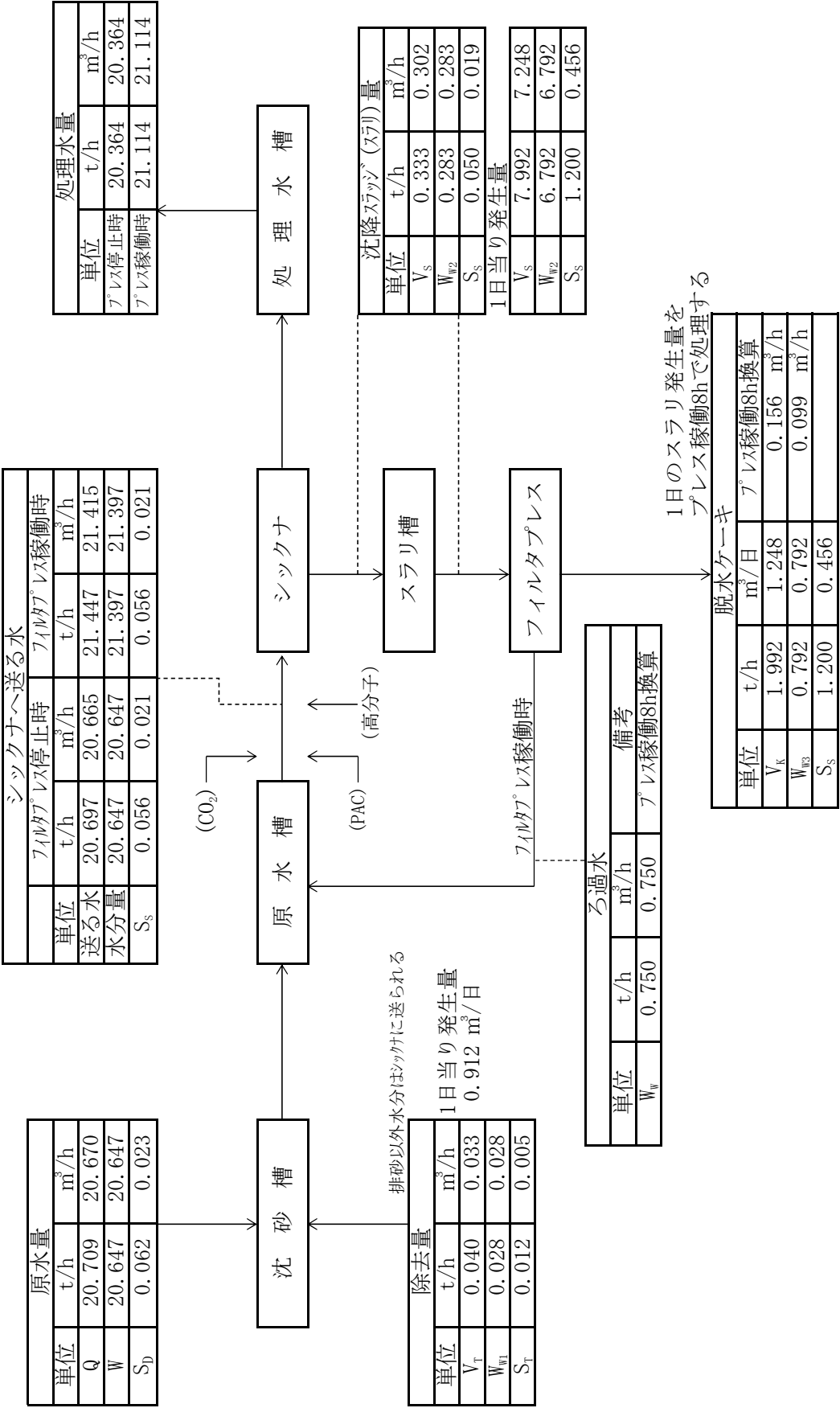


図4.9.4 物質収支フロー (原水量平均値)

4.9.7 主要設備の設計計算

(1) 沈砂槽の設計：原水量は最大値

沈砂槽は、処理施設の負荷軽減の目的で、粒径の大きい浮遊物質を除去する。ここでは、粒径 $75\mu\text{m}$ (0.075mm)以上の浮遊物質を除去することで計算する。

粒径 $75\mu\text{m}$ の沈降速度 v は、表4.9.5よりおおよそ 0.004m/sec である。

表4.9.6 土粒子の直径と沈降速度

直径 (mm)	沈降速度 (mm/s)	直径 (mm)	沈降速度 (mm/s)	直径 (mm)	沈降速度 (mm/s)
0.10	6.9	0.03	0.62	0.006	0.025
0.09	5.6	0.02	0.28	0.005	0.017
0.08	4.4	0.015	0.155	0.004	0.011
0.07	3.4	0.010	0.069	0.003	0.0062
0.06	2.5	0.009	0.056	0.002	0.0028
0.05	1.7	0.008	0.044	0.0015	0.00155
0.04	1.1	0.007	0.034	0.001	0.00069

ここで

$$Q = 23.3 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 6.483 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

有効断面積：A

$$\begin{aligned} A &= \alpha \times Q \times V \\ &= 2 \times 6.483 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec} \div 0.004 \text{ m/sec} \\ &= 3.2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

沈砂槽の形状は、長さ L と幅 W の比を $L(W) = 2$ とし、 $A = L \times W$ より

$$\begin{aligned} L &= (2 \times A)^{1/2} \\ &= (2 \times 3.2 \text{ m}^2)^{1/2} \\ &= 2.546 \text{ m} \rightarrow 3.000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= L/2 \\ &= 3.000 \text{ m} / 2 \\ &= 1.500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A' &= L \times W \\ &= 3.000 \times 1.500 \\ &= 4.500 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

1日の堆積厚 $h_{\text{日}}$ は

$$\begin{aligned} h_{\text{日}} &= V_{\text{T}}/A' \\ &= 0.912 \text{ m}^3/\text{日} \div 4.500 \text{ m}^2 \\ &= 0.203 \text{ m/日} \end{aligned}$$

排砂間隔を3日に一度とし、沈砂槽の排砂を計画する。実水深さ H を 1.5m とする。

$$\begin{aligned} h &= 1.5 \text{ m} - (0.203 \text{ m/日} \times 3 \text{ 日}) \\ &= 0.891 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) 原水層：原水量は最大値

フィルタプレス稼働時、原水層には、フィルタプレスからのろ過水 W_F が流入する。

原水層への流入量を Q' とすると図4.9.3 物質収支フロー（原水量最大値）より $24.175 \text{ m}^3/\text{h}$ となる。原水貯留時間 t を3分とすると、

原水槽容量： V

$$V = Q' \times t \div 60$$

$$= 24.175 \text{ m}^3/\text{h} \times 3 \text{ min} \div 60 \text{ min} = 1.209 \text{ m}^3 \text{以上}$$

鋼製： $2\text{m}^{\text{巾}} \times 2\text{m}^{\text{長}} \times 1.5\text{m}^{\text{高}}$

容量： 6.0 m^3

原水ポンプの種類は水中サンドポンプとし

$$Q' = 24.175 \text{ m}^3/\text{h} = 0.403 \text{ m}^3/\text{min} \quad \text{以上の能力とする。}$$

型式：水中サンドポンプ

能力：10.0m揚程 $\times 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ (7.5kw)

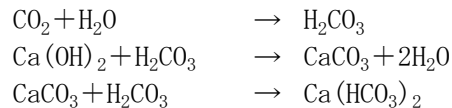
口径：100A

(3) pH中和処理装置：原水量は平均値

取り扱いの安全性および過剰注入時のpH以上低下がない（pH6.3以下にならない～水温 25°C 以上の時）等を考慮して、炭酸ガス中和方式を採用する。

・炭酸ガス消費量

トンネル工事の濁水がアルカリ性を示すのは、主にセメント成分に含まれる水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ によるものである。炭酸ガスとの中和反応は、以下による。炭酸ガスは、水中において、



pH11で $24.175 \text{ m}^3/\text{h}$ の濁水を炭酸ガスにてpH7に中和するのに必要な炭酸ガスの量を決定する。炭酸ガスの1グラム当量は、 22g $\{\text{CO}_2 = (12 + 16 \times 2) / 2 = 22\}$ である。

炭酸ガス中和の場合、上記のように2段階に反応が進行するため、pH11を中和するには $2 \times 22 \times 10^{-(14-11)} \text{ g/l}$ 必要となる

理論必要量 X は、

$$X = Q' \times 2 \times 22 \times 10^{-(14-11)}$$

$$= 21.415 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \times 22 \times 10^{-(14-11)} \text{ g/l} = 0.942 \text{ kg/h}$$

SS成分を見込み、実際の使用量は、理論必要量の2倍とする。

$$(X') = 0.942 \text{ kg/h} \times 2 = 1.884 \text{ kg/h}$$

1日の使用量は

$$X' = 1.884 \text{ kg/h} \times 24 \text{ h} = 45.216 \text{ kg/日}$$

・炭酸ガス気化器

型式：温水加温式

能力： 60 kg/h

- (4) PAC槽および注入ポンプ：原水量は平均値
 添加量100ppmとし、比重が1.2であるので日使用量Y、および注入量Y'は

PAC使用量：Y

$$\begin{aligned} Y &= Q' \times 100 \text{ ppm} \times 10^{-3} \times 24 \text{ h} \div 1.2 \\ &= 21.415 \text{ m}^3/\text{h} \times 100 \text{ ppm} \times 10^{-3} \times 24 \text{ h} \div 1.2 \\ &= 42.830 \text{ l/日} \quad (51.396 \text{ kg/日}) \end{aligned}$$

注入量：Y'

$$Y' = 42.830 \text{ l/日} \div 24 \text{ h} \div 60 \text{ min} \times 10^3 = 29.743 \text{ cc/min}$$

PAC水槽は1.2m³を使用するとして、使用日数は、
 $1,200 \text{ l} \div 42.830 \text{ l/日} = 28 \text{ 日}$

・PAC槽の形式

寸法 : 1.06m^巾×1.06m^長×1.26m^高
 容量 : 1.4 m³ 1槽

・注入ポンプ

型式 : ダイヤフラム式定量ポンプ
 能力 : 10kg/cm²×17~170cc/min

- (5) 高分子凝集剤溶解貯槽および注入ポンプ：原水量は平均値
 高分子凝集剤の添加量3ppm（粉体）とすると、日使用量Zは

高分子凝集剤使用量：Z

$$\begin{aligned} Z &= Q' \times 3 \text{ ppm} \times 10^{-3} \times 24 \\ &= 21.415 \text{ m}^3/\text{h} \times 3 \text{ ppm} \times 10^{-3} \times 24 \text{ h} \\ &= 1.542 \text{ kg/日} \end{aligned}$$

濃度を0.1%に溶解して使用すると1日当り使用量Z'は

注入量：Z'

$$Z' = 1.542 \text{ kg/日} \div 0.1\% = 1,542 \text{ l/日}$$

毎分注入量

$$Z' = 1,542 \text{ l/日} \div 24 \text{ h} \div 60 \text{ min} = 1.1 \text{ l/min}$$

1日の溶解作業を2回とし、0.1%溶液に溶解するための時間は水温によって異なるが、15℃で1時間程度必要とするため1.4m³の溶解槽を2層設け、交互に使用する。

・高分子溶解槽

型式 : 鋼製
 容量 : 1.4m³（攪拌装置付き）2槽

・注入ポンプ

型式 : ダイヤフラム式定量ポンプ（高粘度使用）
 能力 : 5kg/cm²×0.3~3.1l/min

(6) 凝集反応槽：原水量は最大値

凝集反応時間を t を1時間とする。

凝集反応槽容量： $V_{凝}$

$$\begin{aligned} V_{凝} &= Q' \times t \div 60 \\ &= 24.175 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ min} \div 60 \\ &= 0.403 \text{ m}^3 \text{以上} \end{aligned}$$

・凝集反応槽

型式：鋼製

容量： $0.75\text{m}^{\text{巾}} \times 0.80\text{m}^{\text{長}} \times 0.90\text{m}^{\text{高}} \times 2\text{槽} = 1.08\text{m}^3$

充分に攪拌するために2槽とする。

付属装置：攪拌機 0.2kw 2台

(7) シックナ：原水量は最大値

生成フロック沈降速度 v は2～5m/hの範囲で設定することが多いため、ここでは3.5m/hとして有効断面積 A_s を計算する。

$$\begin{aligned} A_s &= Q' \div v \\ &= 24.175 \text{ m}^3/\text{h} \div 3.5 \text{ m/h} \\ &= 6.9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

シックナ内での滞留時間を1時間とし、シックナ容量 V は

シックナ容量： V

$$\begin{aligned} V &= Q' \times 1\text{h} \\ &= 24.175 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} \\ &= 24 \text{ m}^3 \text{程度} \end{aligned}$$

・シックナ用水槽

型式：鋼製

寸法： $2.20\text{m}^{\text{巾}} \times 5.25\text{m}^{\text{長}} \times 2.68\text{m}^{\text{高}} \times 2\text{槽}$

容量： 31m^3

(8) スラリ槽：原水量は最大値

沈降スラッソン（スプリ）量は図4.9.3 物質収支フロー（原水量最大値）より、0.338 m³/hであるので、プレス稼働時間外（h24k-8h=16h）の16時間分を貯留可能な容量とする。

・スラリ槽容量： V_s

$$\begin{aligned} V_s &= 0.338 \text{ m}^3/\text{h} \times 16 \text{ h} \\ &= 5.41 \text{ m}^3 \text{程度} \end{aligned}$$

型式：鋼製 攪拌機付き

寸法： $1.9\text{m}^{\text{径}} \times 2.5\text{m}^{\text{高}}$

容量： 7m^3 1式

(9) フィルタプレス：原水量は最大値

脱水ケーキ量は図4.9.3 物質収支フロー（原水量最大値）より、 $1.392\text{m}^3/\text{h}$ である。

プレス稼働時間 $T_F=8\text{h}/\text{日}$ 、プレスサイクルタイム $C_m=80\text{min}$ とすると必要なプレスのろ室内容量 V_F は

ろ室内容量： V_F

$$\begin{aligned} V_F &= 1.4 \text{ m}^3/\text{h} \div 8 \text{ h/日} \times 80 \text{ min} \div 60 \text{ min} \\ &= 0.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ろ室容量 0.232m^3 以上のフィルタープレスを選定する。

表4.9.7 薬品添加量

薬品名	1日当り使用量 (kg)	工事全体使用量(kg)	
		日数	算定
炭酸ガス	45.216	372	16,820
P A C	51.396	372	19,119
高分子凝集剤	1.542	372	574

$$\text{運転日数} = 18.25 \text{ ヶ月} \times 20.4 \text{ 日} = 372 \text{ 日}$$

表4.9.8 汚泥量（脱水ケーキ）

項目	1日当り発生量 (m^3)	工事全体発生量(m^3)	
		日数	算定
汚泥 (脱水ケーキ)	1.248	372	464.3

4.9.8 濁水処理設備歩掛

表4.9.9 濁水処理設備設置撤去歩掛 (1箇所当り)

名称	規格	単位	組立	解体	合計
世話役		人	4	3	7
電工		人	4	1	5
機械工		人	9	4	13
普通作業員		人	5	3	8
ラフテレーンクレーン運転	排出ガス対策型 油圧伸縮ジブ型25 t 吊	日	2	1	3

- 注) 1) 上屋の設置、撤去を含む。
 2) 基礎については別途考慮する。
 3) ラフテレーンクレーンは、賃料とする。

出典：「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」IV-5-①-129より抜粋

表4.9.10 濁水処理設備保守点検歩掛 (1回当り)

名称	単位	数量	摘要
設備機械工	人	0.2	
普通作業員	人	0.5	
諸雑費	%	7	

- 注) 1) 濁水処理設備の保守点検は、濁水処理設備運転日に1回実施を標準とする。
 2) 保守点検は、濁水処理設備の日常の運転にかかわるすべての保守・点検を含む。
 3) 諸雑費は泥土（脱水ケーキ）の積込みに要する費用であり、労務費の合計に上表を乗じた金額を上限として計上する。

出典：「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」IV-5-①-130より抜粋

表4.9.11 ダンプトラック運搬作業歩掛 (1回当り)

運搬機種・規格		ダンプトラック 4 t 積			
DID区間 : 無し					
運搬距離(km)	6以下	13以下	19以下	35以下	60以下
運搬日数(日)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06
DID区間 : 有り					
運搬距離(km)	5.5以下	12以下	17以下	27以下	60以下
運搬日数(日)	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06

- (注) 1. 泥土運搬は、濁水処理設備運転日に1回実施を標準とする。
 2. 運搬距離が60kmを超える場合は、別途考慮する。
 (運搬距離は片道であり、往路と復路が異なる場合には平均値とする。)
 3. 本歩掛は、泥土の残土受入れ地等までの運搬のみであり、残土受入れ地等での処理及び廃棄料等が必要な場合は、別途計上する。

出典：「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」IV-5-①-130より抜粋

「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」Ⅳ-5-①-79によると、濁水処理設備は機械処理脱水方式を標準とし、処理能力は、 $30 \cdot 60\text{m}^3/\text{h}$ が標準とされている。

しかしながら、会計検査院の指摘より、湧水量に見合っていない不適切な処理設備の選定が指摘されている。これを受け、国土交通省事務連絡※では、設計濁水量が $20\text{m}^3/\text{h}$ 未満の場合には、建設機械損料算定表に記載のある処理能力 $20\text{m}^3/\text{h}$ の規格の選定を検討するなど設計濁水量に応じた適切な処理能力を有する規格を選定することとなっている。

※国土交通省事務連絡 平成29年9月7日
「トンネル工事における濁水処理設備の規格の選定について」

本トンネルでは最大原水量 $Q = 23.34 \text{ m}^3/\text{h}$ となることから、
処理能力 $20 \rightarrow 30\text{m}^3/\text{h}$ 級の濁水処理設備を選定する。

表4.9.12 濁水処理設備運転1日当り単価表

名 称	規 格	単 位	数 量	摘 要
電 力 料		kwh		
濁水処理装置運転	20m^3 級	日	1.0	L=475mまで
濁水処理装置運転	30m^3 級	日	1.0	475～1268mまで
諸 雑 費		式	1.0	
計				

出典：「令和2年度 土木工事標準積算基準書（河川・道路編）」Ⅳ-5-①-131より抜粋

濁水処理設備運転

掘削期間の供用日数とする				
20m^3 級				
運転日数	=	7.25 ヶ月 × 20.4 日	=	149 日
30m^3 級				
運転日数	=	11.00 ヶ月 × 20.4 日	=	224 日
泥土処理作業				
回 数	=	373 日 ÷ 1 日/回	=	373 回

表4.9.13 濁水処理工内訳表 (1式当り)

名 称	規 格	単 位	数 量	摘 要
濁水処理設備	設置・撤去	式	1.0	
泥土処理作業		(回) 式	(373.0) 1.0	
濁水処理設備運転	機械処理脱水方式 $20\text{m}^3/\text{h}$ 級	日	149	実日数
	機械処理脱水方式 $30\text{m}^3/\text{h}$ 級	日	224	実日数
薬品費	中和剤（炭酸ガス）	kg	16,820	
	無機凝集剤（PAC）	kg	19,119	
	高分子凝集剤	kg	574	

注）薬品を使用する場合は、変更設計で清算してもよい。（当初設計に計上しない場合）

4.11 火薬庫類（営繕費に加算する）

(1) 火薬庫類の計上区分

火薬庫の計上区分は、標準歩掛によると次のようである。

1) 大規模工事（1工事の火薬使用量が20t以上の工事）

表4.11.1 火薬庫類等の計上区分及び規格

火薬庫類等	規 格
火 薬 庫	2級火薬庫 鋼製移動式、2t庫 5.0m ²
火 工 品 庫	鋼製移動式、1t庫 3.2m ²
取 扱 所	鋼製移動式 3.2m ²
火 工 所	組立テント式 1.9m ²

注) 各都道府県等の条例、現場条件等により現場に火薬庫を設置することが不適当と判断される場合は小規模工事に準ずる。

2) 小規模工事（大規模以外の工事）

表4.11.2 火薬庫類等の計上区分および規格

火薬庫類等	規 格	摘 要
取 扱 所	鋼製移動式 3.2m ²	1日の使用量が25kg以下の場合 は計上しない。
火 工 所	組立テント式 1.9m ²	

注) 交通不便な箇所において火薬庫を設置して火薬類を保存する必要があると判断される場合、または各都道府県等で条例、その他別途定められている場合においては必要に応じて火薬庫を計上するものとする。

(2) 火薬庫類の設置基準

火薬庫は、含水爆薬の貯蔵庫であり、火工品庫は、雷管・導火線等火工品を貯蔵する。

取扱所は、含水爆薬及び火工品の受払いを行う場所であり、火工所は、取扱所で受領した含水爆薬、加工品で親ダイを作る場所である。

火薬取締法による火薬庫の設置位置は2t庫の場合次の通りである。

①第1種保安物件	国宝建造物・市街地の家屋・学校・保育所・病院・劇場・競技場・社寺及び教会)	200 m以上
②第2種保安物件	(村落の家屋及び公園)	180 m以上
③第3種保安物件	(家屋・鉄道・軌道・汽船常航路またはけい留所・石油タンク・ガスタンク・発電所・変電所及び工場)	100 m以上
④第4種保安物件	(国道・都道府県道・高圧電線・火薬取扱所及び火気の取扱所)	60 m以上
⑤火薬庫と火工品庫の離隔距離		20 m以上

火薬取扱所、火工所の設置位置は、通路、通路となる坑道、動力線、火薬庫、火気を取扱う場所、人の出入りする建物等に対し安全かつ、湿気のない場所に設けることになっている。

(3) 本トンネルの火薬庫類

本トンネルの1現場当りの火薬使用量は「第2章 施工計画」において総薬量は、約58.4t程度で1現場当り火薬使用量が20 t 以上となることから大規模工事として区分し、火薬庫および火薬取扱所、火工所を計画することとなる。

4.12 仮設備保守費

(1) 仮設備保守編成人員

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(濁水処理設備は除く)

表4.12.1 仮設備保守歩掛 (1箇月当り)

職 種	単位	数 量	摘 要
普通作業員	人	40.8	
設備機械工	人	40.8	
電 工	人	40.8	

- (注) 1. 坑内作業において、掘削作業～支保工作業は2方、支保工作業後は1方を
 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。

(2) 仮設備保守費の作業内容

1) 電工

- (a) 坑内照明用器具(配線含む)の設置・移設及び破損修理。
- (b) 坑内動力用配線の設置・移設及び破損修理。
(坑内動力とは、バイブレータ、ターンテーブル、換気用ファン、各種ポンプ類、溶接機等をいう)
- (c) バッテリーの蓄電池交換及び充電、整備等。
- (d) 各種電気機器の配線及びその点検業務等。

2) 設備機械工

- (a) 坑内作業機械及び空気圧縮機等(坑内作業用の動力)の点検整備等。
- (b) 坑内、外の各種配管類(給・排水及び送・換気管)の保守点検業務等。

3) 普通作業員

- (a) 電工及び機械工の補助作業。
- (b) 坑内運搬路補修及び排水処理作業の補助等。
(各種配管類の設置移設含む)

4.13 工事用機械一覧

表4.13.1 工事用機械一覧表

種 類			仕 様	単位	数量	摘 要		
発 破 掘 削	全 断 面 ・ 上 下 半	ドリルジャンボ	トンネル工事用排出ガス対策型 ホイール式3ブーム2バスケット ドリフタ170kg超級	台	1	1次基準値 55KW×3		
		ホイールローダ	トンネル工事用排出ガス対策型 サイドダンプ式(山積 2.3m ³ 級)	台	1	1次基準値 140KW ずり積込		
		ダンプトラック	トンネル工事用 オンロード型 10t積	台	n	246KW ずり運搬		
		大型ブレーカ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧式 1,300kg級	台	1	1次基準値 104KW こそく		
	イン バー ト	大型ブレーカ	トンネル工事用排出ガス対策型 油圧式 1,300kg級	台	1	1次基準値 104KW		
		バックホウ	トンネル工事用排出ガス対策型 クローラ型 山積0.45m ³ (平積0.35m ³)	台	1	1次基準値 60KW ずり積込		
		ダンプトラック	トンネル工事用 オンロード型 10t積	台	n	246KW 下半併用		
吹 付 コン クリ ート	共 通	コンクリート吹付機		台	1	1次基準値 走行時 108kw 作業時 171kw		
		集塵機	電気式	Q=2,000? /h		台	1	42kw
		吸引捕集用風管		φ 150 L=100m		台	1	
		トラックミキサ		4.4～4.5m ³ 級		台	n	213KW
ロ ック ボ ルト	共 通	ドリルジャンボ (発破掘削)		台	1	1次基準値 55KW×3		
		モルタル注入機		台	1	6.0kw		
		トラック		トンネル工事用 2 t 積	台	1	98KW モルタル注入機台車	
		トラック		トンネル工事用 クレーン装置付4 t 積 2.9t吊	台	1	132KW ロックボルト運搬用	

表4.3.2 工事用機械一覧表

種 類			仕 様	単位	数量	摘 要
鋼製支保工	共通	ドリルジャンボ (発破掘削)	トンネル工事用排出ガス対策型 ホイール式3ブーム2バスケット ドリフタ170kg超級	台	1	ロックボルト と併用
		トラック	トンネル工事用 クレーン装置付4 t 積 2.9t吊	台	1	ロックボルト と併用
覆工 コンクリート	共通	鋼製移動型枠	スライドセントル 標準部 10.5m	台	1	
		コンクリートポンプ車	トラック架装・配管式 圧送能力55? /h級	台	1	121KW
		バイブレータ	肩掛け（軽便） φ 60mm	台	5	1.1kw×5台
		トラックミキサ	4.4m ³ 級	台	n	
		防水工台車	半径4～6m，長さ6.0m	台	1	
		コンクリートポンプ車	トンネル工事対応 ブーム式圧送能力90～110m ³ /h級	台	1	199KW インバート
インバート埋戻	共通	ブルドーザ	トンネル工事対応 排出ガス対策型 普通15t級	台	1	3次基準値 敷均し・敷固め
		タイヤローラ	トンネル工事対応 排出ガス対策型 8～20t	台	1	1次基準値 敷均し・敷固め
		バックホウ	トンネル工事用排出ガス対策型 クローラ型 山積0.45m ³ （平積0.35m ³ ）	台	1	1次基準値 60KW ずり積込

表4.3.3 工事用機械一覧表

種 類		仕 様	単位	数量	摘 要
坑 内	共 通	風 管	樹脂加工布風管(ファスナ式) φ 1500mm	m	1,238
		排水ポンプ(切羽)	工事用水中モータポンプ φ 50×20m×2.2kw	台	4
		排水ポンプ(中継)	工事用水中モータポンプ φ 100×10m×3.7kw	台	2
		排水管	φ 100mm(SGP鋼管)	m	1,268
		給水管	φ 65mm(SGP鋼管)	m	1,268
		防水シート張台車	L=6.0m	台	1
坑 外	共 通	送風機	反転軸流ファン Q=1,500m ³ /min 圧力4.9kpa 80kw×2	台	1
		給水ポンプ	小型多段遠心ポンプ φ 80mm×40m×7.5kw	台	1
		給水管	φ 80mm(SGP鋼管) 貯水槽～坑口・プラントまで	m	45
		取水ポンプ	工事用水中モータポンプ φ 50×30m×3.7kw	台	1
		取水管	φ 50mm(硬質塩化ビニール管) 取水位置～貯水槽まで	m	70
		排水管	φ 100mm(SGP鋼管) 坑口～濁水処理設備まで	m	35
		鋼製水槽	20m ³ 用	台	1
		吹付プラント	定置式25m ³ /h 35.0kw	基	1
		骨材ホッパ	フィーダー付 15m ³ ×3 3.2kw	基	1
		セメントサイロ	30 t 15.0kw	基	1
		濁水処理設備	シックナ 20m ³ /h級 22kw	式	1
			シックナ 30m ³ /h級 24kw	式	1
		トラック	黒煙浄化装置付 クレーン装置付4 t 積 2.9t吊	台	1

5. 工事用仮設電力計画

5. 工事用仮設備電力計画

5.1 電力設備計画

(1) 負荷設備容量

負荷設備容量は、工事用電力設備から次の通りとする。

表5.1.1 負荷設備容量（動力）

区分			機械名	容量 (kw)	台数	容量計 (kw)	備 考 (V)
坑内動力	掘削	440V (低圧)	ドリルシャフト 3フーム	165.0	1	165.0	440
			コンクリート吹付け機	170.0	1	170.0	
			集塵機	42.0	1	42.0	
			計			377.0	
		覆工	220V (低圧)	モルタル注入機	6.0	1	6.0
	注入ポンプ（補助工法）			2.2	3	6.6	
	排水ポンプ（切羽）			2.2	4	8.8	
	排水ポンプ（中継）			3.7	2	7.4	
	計					28.8	
	バイブレータ（標準部）			1.1	5	5.5	
	バイブレータ（非駐帯）			1.1	5	5.5	
	スライダセトル（標準部）			16.8	1	16.8	
	スライダセトル（非駐帯）			9.7	1	9.7	
	防水工作業台車（標準部）			4.0	1	4.0	
	防水工作業台車（非駐帯）	4.0	1	4.0			
計			45.5				
220V（低圧）		計			74.3	220	
坑内動力合計					451.3		
坑外動力	440V (低圧)	送風機	160.0	1	160.0	440	
		計			160.0		
		220V (低圧)	取水ポンプ	3.7	1		3.7
	給水ポンプ		7.5	1	7.5		
	吹付プラント		53.2	1式	53.2		
	濁水処理設備（20m ³ 級）		22.0	1	22.0		
	濁水処理設備（30m ³ 級）		24.0	1	24.0		
	計		22.0		110.4		
	坑外動力合計					270.4	
坑内外動力合計					721.7		

表5.1.2 負荷設備容量（照 明）

区分		機械名	容量 (kw)	台数	容量計 (kw)	備 考 (V)
坑内外照明	坑 内 (低 圧)	坑内一般部	0.04/5m	254	10.1	蛍光灯 白熱灯 220V
		切羽部 上 半	0.5	4	2.0	
		下 半	0.5	2	1.0	
		覆工部	0.5	4	2.0	
		計			15.1	
	坑外(低压)	坑外照明	0.5	3	1.5	
坑内外照明合計					16.6	

表5.1.3 合計負荷容量

負 荷 種 別		負荷容量 (kw)
坑内	坑内動力（440V）	377.0
	〃（220V）	74.3
坑外	坑外動力（440V）	160.0
	〃（220V）	110.4
照 明	坑内照明（220V）	15.1
	坑外照明（220V）	1.5
負荷設備容量合計		738.3

※濁水処理設備設置は重複させないこととし大なる30m³級を対象とする。

738.3 - 22.0 = 716.3 kw（最大負荷設備容量）

(2) 受電電力、電圧並びに周波数

受電電圧は、受電電力2,000KW未満となるので普通高圧3相3線式6,600Vとなる。
周波数は、関西電力管内であり60Hzとなる。

(3) 変圧器容量の算定

別表負荷容量算定表より負荷容量を算定し、その使用場所毎の最大時の負荷容量で変圧器容量を算定する。

変圧器容量は次式により算出する。

$$B \text{ (KVA)} = (A \times Df) / \cos \theta$$

但し、
 B : 求める変圧器容量
 A : 負荷入力容量 (KVA)
 負荷設備容量 (KW) に力率 (cos θ) を乗じたもの
 Df : 需要率
 cos θ : 力率=0.95

表5.1.4 標準変圧器容量

単相	5	7.5	10	15	20	30	50	75	100	150	200	300	500 KVA
三相	5	7.5	10	15	20	30	50	75	100	150	200	300	500 KVA

表5.1.5 需要率

P	需要率
100 kw以下	75 %
200 kw以下	70 %
300 kw以下	65 %
500 kw以下	60 %
700 kw以下	55 %
1000 kw以下	50 %

- 注1. 変圧器容量は、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。
 注2. 1台の電動機に1台の変圧器を設備する場合の需要率は100%とする。
 注3. 数台の電動機に対して変圧器容量を求める場合は上記需要率による。

1) 坑外動力用変圧器 (固定負荷)

① 220～440V級用 (坑外) ※電力工程表参照

送風機	160.0	×	1	=	160.0	kw
取水ポンプ	3.7	×	1	=	3.7	kw
給水ポンプ	7.5	×	1	=	7.5	kw
吹付プラント	53.2	×	1	=	53.2	kw
濁水処理設備 (30m ³ 級)	24.0	×	1	=	24.0	kw
合 計				=	248.4	kw

変圧器容量

$$B = (248.4 \times 0.65) / 0.95 = 170.0 \text{ KVA} \quad (\text{設備容量①})$$

変圧器は標準定格のものとし、 3相 200 KVA×1台 (6.6KV/220, 440V) とする。

$$\text{※1割以内考慮} \quad 170.0 \times 0.9 = 153 \text{ KVA}$$

2) 坑内動力用変圧器 (移動負荷)

② 220～440V級用 (坑内移動) ※電力工程表参照

37°ムドリルジヤホ	165.0	×	1	=	165.0	kw
コンクリート吹付け機	170.0	×	1	=	170.0	kw
集塵機	42.0	×	1	=	42.0	kw
モルタル注入機	6.0	×	1	=	6.0	kw
注入ポンプ (補助工法)	2.2	×	3	=	6.6	kw
排水ポンプ (切羽)	2.2	×	4	=	8.8	kw
排水ポンプ (中継)	3.7	×	2	=	7.4	kw
パイプレータ (標準部)	1.1	×	5	=	5.5	kw
パイプレータ (非駐帯)	1.1	×	5	=	5.5	kw
スライドセントル (標準部)	16.8	×	1	=	16.8	kw
スライドセントル (非駐帯)	9.7	×	1	=	9.7	kw
防水工台車 (標準部)	4.0	×	1	=	4.0	kw
防水工台車 (非駐帯)	4.0	×	1	=	4.0	kw
切羽照明 (掘削上半)	0.5	×	4	=	2.0	kw
切羽照明 (掘削下半)	0.5	×	2	=	1.0	kw
切羽照明 (覆工)	0.5	×	4	=	2.0	kw
合 計				=	456.3	kw

変圧器容量

$$B = (456.3 \times 0.6) / 0.95 = 288.2 \text{ KVA} \quad (\text{設備容量②})$$

変圧器は標準定格のものとし、 3相 300 KVA×1台 (6.6KV/220, 440V) とする。

$$\text{※1割以内考慮} \quad 288.2 \times 0.9 = 259.4 \text{ KVA}$$

3) 坑内外動力・照明用変圧器 (220V用)

③ 220V用 ※電力工程表参照

坑内一般照明 (掘削)	1268.0	×	0.008	=	10.1	kw
坑外照明 (投光器)	0.5	×	3	=	1.5	kw
合 計				=	11.6	kw

変圧器容量

$$B = (11.6 \times 0.75) / 0.95 = 9.2 \text{ KVA} \quad (\text{設備容量④})$$

変圧器は標準定格のものとし、 3相 10 KVA×1台 (6.6KV/220V) とする。

$$\text{※1割以内考慮} \quad 9.2 \times 0.9 = 8.3 \text{ KVA}$$

4) 変圧器容量及び設置台数

発破掘削時

- ・ 坑外固定動力 (220, 440V用) : 200 KVA × 1 台 (設備容量①)
- ・ 坑内移動動力 (220, 440V用) : 300 KVA × 1 台 (設備容量②)
- ・ 動力・照明 (220V用) : 10 KVA × 1 台 (設備容量③)

合 計 : 200 + 300 + 10 = 510 KVA

3) 設備容量

① 発破掘削時

$$170.0 + 288.2 + 9.2 = 467.4 \text{ KW} \quad (< \text{設備容量} 500\text{KW})$$

※本検討では、負荷容量が小さく高圧受電設備容量が500KVAを下回るためグラフによる積算が可能であるが参考として次項に配線計画を行う。

上記より500KVA+10KVAの組み合わせで計画する。

表5.1.6 本トンネルで使用する高圧受電設備容量

	使用機器
220V. 440V 坑内外負荷	500 KVA (6. 6KV/220. 440V)
	10 KVA (6. 6KV/220. 440V)
高圧受電設備容量合計 (換算)	510 KVA

5.2 契約電力

契約電力の算定に当たっては、契約期間が1年以上となるため、デマンド契約を基本とする。ここでは負荷設備と受電設備（変圧器容量）両者の基本算定を行うこととし、次頁にデマンド契約の基本となる電力使用量の推移表を示す。

- (1) 負荷設備容量による契約電力
 1) 圧縮容量の計算及び契約電力
 ・圧縮容量

表5.2.1 負荷設備容量の圧縮容量（17ヶ月目）

負荷名称	負荷容量 (KW)	入力換算係数	入力容量	圧縮係数	圧縮容量 (KW)
コンクリート吹付け機	170.0	1.25	212.5	1.00	418.8
3ブームリジリジャンボ	165.0	1.25	206.3		
送風機	160.0	1.25	200.0	0.95	239.9
集塵機	42.0	1.25	52.5		
坑内動力 (440V)	0.0	1.25	0.0	0.90	191.9
坑内動力 (220V)	67.7	1.25	84.7		
坑外動力 (440V)	0.0	1.25	0.0		
坑外動力 (220V)	88.4	1.25	110.5		
坑内照明 (220V)	13.2	1.25	16.5		
投光器 (220V)	1.5	1.00	1.5		
計	707.8		884.5		850.6

- 2) 契約電力

最初の	6 KW	につき	100 %	・・・	6.0 KW	
次の	14 KW		90 %	・・・	12.6 KW	
	30 KW		80 %	・・・	24.0 KW	
	100 KW		70 %	・・・	70.0 KW	
	150 KW		60 %	・・・	90.0 KW	
	200 KW		50 %	・・・	100.0 KW	(302.6 KW)
	500 KW	を超える容量	30 %	・・・	105.2 KW	
計					407.8 KW	

契約電力 408 KW

- (2) 受電設備容量による契約電力

- 1) 受電設備容量

変圧器容量とする。

動力用	三相	200 KVA	(設備容量①)
動力用	三相	300 KVA	(設備容量②)
照明用	三相	10 KVA	(設備容量③)
計		510 KVA	

- 2) 契約電力

最初の	50 KW	につき	80 %	・・・	40.0 KW	
次の	50 KW		70 %	・・・	35.0 KW	
	200 KW		60 %	・・・	120.0 KW	
	300 KW		50 %	・・・	105.0 KW	
	600 KW	を超える容量	40 %	・・・	0.0 KW	
計					300.0 KW	

契約電力 300 KW

- (3) 契約電力の決定

受電設備容量（変圧器容量）による契約電力が小さいので、それを契約電力とする。なお、契約電力は役務費で計上する。

表5.2.4 契約電力の決定（発破掘削時）

	設備容量	備考
負荷設備による契約電力	408 KW	
受電設備による契約電力	300 KW	採用
発破掘削時 契約電力	300 KW	

契約種別が50kw以上500kw未満で、契約期間が1年以上となるため、下図フローから契約種別は「**高圧電力A（常時）**」となる。

表5.2.5 契約種別（電気供給約款）

常時契約	低圧電力	低圧で電気の供給を受けて、動力を使用する需要で契約電力が原則として50kWh未満のもの	3相3線式 200V
	高圧電力A	高圧で電気の供給を受けて、動力（付帯電灯を含む）を使用する需要で、契約電力が50kWh以上500kW未満	3相3線式 6,000V
臨時契約	低圧電力 高圧電力A	動力（高圧は付帯電灯を含む）を使用する需要で、契約期間1年未満のものに適用される。 契約種別及び適用範囲は、5kWh以下は定額制、それ以外は常時契約と同じ扱い	常時契約に 同じ

- 注) 1. 低圧とは、標準電圧100V又は、200Vをいう。
 2. 高圧とは、標準電圧6000Vをいう。
 3. 動力とは、電灯及び小型機器以外の電気機器をいう。
 4. 付帯電灯とは、動力を使用するために直接必要な作業用の電灯その他これに準ずるものをいう。
 5. 臨時契約は、常時契約該当料金に20%増が適用される。

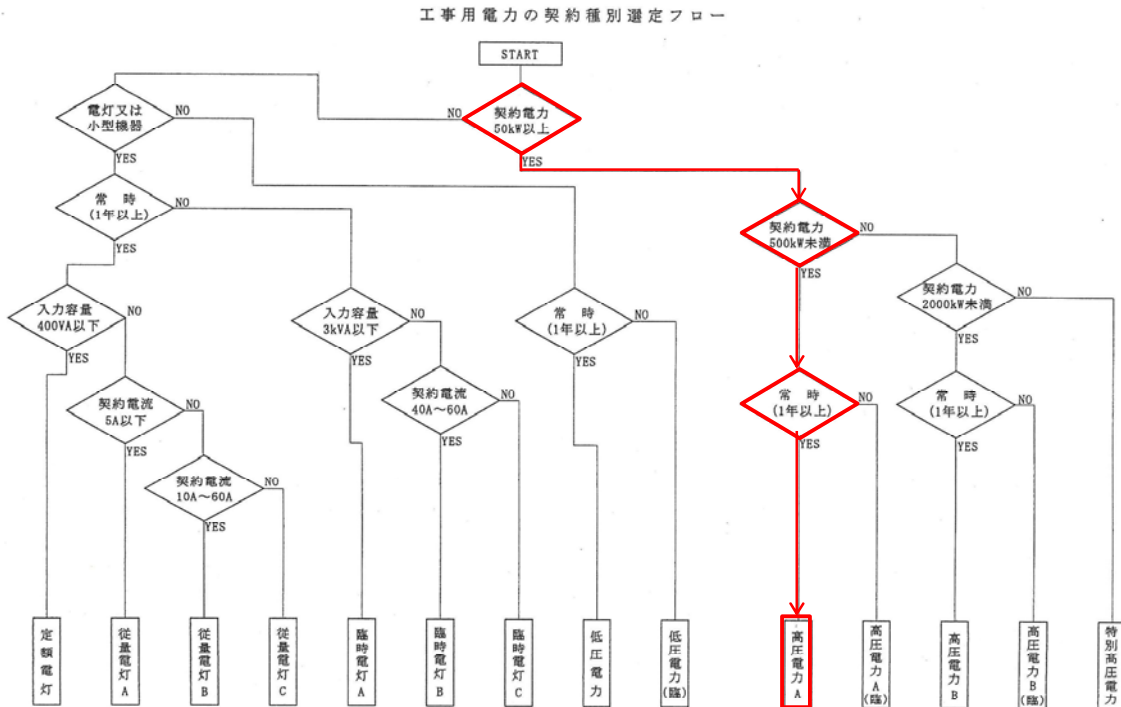


図5.2.1 工事用電力の契約種別選定フロー

表5.2.6 誘導電動機の入力換算係数

3相低圧 電 動 機	出力が馬力表示のもの	93.3 %
	出力がキロワット表示のもの	125.0 %
3相高圧 電 動 機	出力が馬力表示のもの	87.8 %
	出力がキロワット表示のもの	117.6 %
溶 接 機	1次側最大入力表示がkVA	70.0 %
電 灯	蛍 光 灯	125.0 %
	白 熱 灯	100.0 %

表5.2.7 圧縮率の係数

(i) 契約電力設備のうち

最大出力 のものから	最初の2台入力につき	100.0 %
	次の2台入力につき	95.0 %
	上記以外のものの入力につき	90.0 %

(ii) (i)によって得た値の合計のうち（最大契約電力）

最初の6キロワットにつき	100.0 %
次の 14キロワットにつき	90.0 %
次の 30キロワットにつき	80.0 %
次の100キロワットにつき	70.0 %
次の150キロワットにつき	60.0 %
次の200キロワットにつき	50.0 %
500キロワットを超える部分につき	30.0 %

(iii) 契約受電設備

受電用変圧器群と受電電圧と同位の電圧で使用する負荷設備の総入力に対して

最初の50キロワットにつき	80.0 %
次の 50キロワットにつき	70.0 %
次の 200キロワットにつき	60.0 %
次の 300キロワットにつき	50.0 %
600キロワットを超える部分につき	40.0 %

5.2.2 契約電力算出（2）

契約 負荷 設備 による 契約 電力	工事中電力使用期間				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
	最 初 の 2 台		1台目		0.0	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	30.0	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
			100%		0.0	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	212.5	30.0	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
			2台目			206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
			100%			206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	206.3	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	次 の 2 台		3台目			100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	200.0	200.0	200.0	200.0	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
			95%			95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	95.0	190.0	190.0	190.0	190.0	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			4台目			66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			95%			63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	63.2	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	残 り す べ て		残りの機器			115.9	116.6	109.1	109.8	110.4	111.2	111.9	166.2	166.9	167.7	168.4	169.2	198.6	199.3	176.0	176.8	177.5	177.6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			90%			104.3	104.9	98.2	98.8	99.4	100.1	100.7	149.6	150.2	150.9	151.6	152.3	178.8	179.3	158.4	159.1	159.8	159.9	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	合 計				0.0	681.3	681.9	675.1	675.8	676.4	677.0	677.7	726.5	727.2	727.9	728.6	729.2	755.7	756.3	830.4	831.1	831.7	831.8	76.4	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	最初の	6 kWにつき	100%		0.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	次の	14 kWにつき	90%		0.0	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	次の	30 kWにつき	80%		0.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	次の	100 kWにつき	70%		0.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	次の	150 kWにつき	60%		0.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	次の	200 kWにつき	50%		0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	500 kWを超える部分につき		30%			54.4	54.6	52.5	52.7	52.9	53.1	53.3	68.0	68.2	68.4	68.6	68.8	76.7	76.9	99.1	99.3	99.5	99.6																		
	合 計 A					357.0	357.2	355.1	355.3	355.5	355.7	355.9	370.6	370.8	371.0	371.2	371.4	379.3	379.5	401.7	401.9	402.1	402.2	61.1	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
契約 受電 設備 容量 による 契約 電力	工事中電力使用期間				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
	坑 内	Tr-1	220～440V			300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	坑 外	Tr-2	220～440V			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	照 明	Tr-3	220V			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	合 計				0	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
	最初の	50	80%		0	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0		
	次の	50	70%		0	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	次の	200	60%		0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	次の	300	50%		0	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	600 kWを超える部分につき		40%		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	合 計 B				0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	8	8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	
契約電力（合計AとBを比較して小さい方）				0	300	300																																			

5.3 仮設備の構成及び選定

(1) 受電設備

受電設備は原則として1現場1ヶ所とし、高圧受電設備はキュービクル方式を標準とする。

(2) 配電線路

1) 低圧配電線路

低圧配電線路は電柱による架線式とし、負荷容量と配電距離及び電線（0W）サイズは次によるものとする。

表5.3.1 低圧配電線サイズ

負荷/距離	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m	400m	450m	500m
10KW以下	2.6	3.2	14	22	22	22	38	38	38	38
20KW以下	3.2	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	-	-	-	-	-	-

(注)電線規格は、3.2までは直径（mm）を、14以上は断面積（mm²）を示す。

2) 高圧配電線路

高圧配電線路は電柱による架線式とし、電線（0E又は0C）サイズは許容電流により決定する。

3) 坑内配電線路

坑内電線路は側壁ケーブル配線とし、ケーブル支持は5m毎にケーブル支持金具により支持する。

配電電圧は低圧(600V以下)及び高圧に区分し使用する。

ケーブルは次の通りである。

表5.3.2 ケーブルの種類

区分	ケーブル種類
低圧ケーブル	VVRケーブル-3C
高圧ケーブル	CVケーブル-3C

4) ころがし配線

ころがし配線は低圧電動設備～電動機までの距離が配置上10m以上が必要な場合計上する。ころがし電線は使用環境が悪く、傷みやすいのでブチルゴム被覆のキャプタイヤケーブル（2RNCT）を原則使用する。

以上の使用区分に基く各ケーブルおよび断面積での許容電流は、表5.3.3～5.3.6の通りとする。

表5.3.3 6600V（架橋）ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル（CV）

6,600V（架橋）ポリエチレン絶縁ビニル外装（CV）の許容電流値（単位：A）

公称 断面積	布設 条件	空中、暗きょ布設			直接埋設布設			管路引入れ布設			
		単心	3心	トリプレックス	単心	3心	トリプレックス	単心	3心	単心	トリプレックス
		3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	4孔3条 布設	4孔3条 布設	6孔6条 布設	4孔3条 布設
mm ²											
8		78	61	—	82	70	—	76	49	68	—
14		105	83	—	110	90	—	100	66	90	—
22		140	105	120	140	120	135	130	84	115	90
38		195	145	170	190	160	180	180	110	160	120
60		260	195	225	250	210	235	235	140	205	155
100		355	265	310	330	280	310	310	190	270	205
150		455	345	405	415	350	390	390	235	335	255
200		540	410	485	485	405	450	455	275	395	295
250		615	470	560	545	455	510	515	310	440	340
325		720	55	660	630	525	585	595	350	510	390
400		810	—	750	705	—	650	665	—	565	435
500		930	—	855	790	—	725	745	—	635	485
600		1,040	—	950	865	—	785	820	—	695	525
800		1,295	—	—	1,045	—	—	990	—	830	—
1,000		1,480	—	—	1,170	—	—	1,105	—	925	—
基底温度		40℃			25℃			25℃			
導体温度		90℃			90℃			90℃			

(JCS 168-Dによる)

表5.3.4 600V（架橋）ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル（CV）

600V（架橋）ポリエチレン絶縁ビニル外装（CV）の許容電流値（単位：A）

公称 断面積	布設 条件	空中、暗きょ布設			直接埋設布設			管路引入れ布設				
		単心	2心	3心	単心	2心	3心	単心	2心		3心	
		3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	4孔3条 布設	2孔1条 布設	2孔2条 布設	2孔1条 布設	2孔2条 布設
mm ²												
2		31	28	23	38	39	32	－	28	27	24	22
3.5		44	39	33	52	54	45	－	40	38	33	31
5.5		58	52	44	66	69	58	－	52	49	43	41
8		72	65	54	81	85	71	－	64	60	53	50
14		100	91	76	110	115	97	－	88	83	74	69
22		130	120	100	140	150	125	－	115	105	97	90
38		190	170	140	190	205	170	－	160	145	130	120
60		255	225	190	245	260	215	－	210	190	170	160
100		355	310	260	325	345	285	310	280	255	230	210
150		455	400	340	405	435	360	390	355	325	295	270
200		545	485	410	470	505	420	460	420	380	350	315
250		620	560	470	525	570	470	520	475	430	395	355
325		725	660	555	605	650	540	600	550	495	455	410
400		815	－	－	670	－	－	670	－	－	－	－
500		920	－	－	745	－	－	750	－	－	－	－
600		1,005	－	－	805	－	－	820	－	－	－	－
800		1,285	－	－	965	－	－	980	－	－	－	－
1,000		1,470	－	－	1,060	－	－	1,095	－	－	－	－
基底温度		40℃			25℃			25℃				
導體温度		90℃			90℃			90℃				

(JCS 168-Dによる)（内線規定）

表5.3.5 600V ビニル絶縁ビニルシースケーブル (VV R)

600Vビニル絶縁ビニル外装 (VV) の許容電流値 (単位：A)											
公称 断面積	布設 条件	空中、暗きょ布設			直接埋設布設			管路引入れ布設			
	単心	2心	3心	単心	2心	3心	2心	2心	3心	3心	
	3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	3条布設 S=2d	1条布設	1条布設	2孔1条 布設	2孔2条 布設	2孔1条 布設	2孔2条 布設	
mm											
1.0	11	10	8	17	17	14	12	12	10	10	
1.2	14	12	11	21	20	17	15	15	13	12	
1.6	20	18	15	29	28	24	21	20	18	17	
2.0	26	23	20	37	37	31	28	26	23	22	
2.6	36	32	27	49	50	42	38	36	32	30	
3.2	47	42	36	62	63	53	49	46	41	39	
mm ²											
2	20	18	15	28	28	24	21	20	18	17	
3.5	28	25	21	39	40	33	30	28	25	24	
5.5	37	33	28	50	51	34	39	37	33	31	
8	47	42	36	61	63	53	49	46	41	38	
14	66	59	50	83	85	72	67	63	56	53	
22	88	78	66	105	110	92	88	82	73	69	
38	120	110	93	140	150	125	120	110	100	94	
60	165	145	120	185	195	160	155	145	130	120	
100	230	200	165	245	260	215	210	195	175	160	
150	295	255	220	305	325	270	265	245	220	205	
200	350	310	260	355	375	315	315	290	265	240	
250	400	355	300	400	425	350	355	325	295	270	
325	470	420	355	455	485	400	410	370	340	310	
400	525	—	—	505	—	—	—	—	—	—	
500	590	—	—	560	—	—	—	—	—	—	
600	645	—	—	605	—	—	—	—	—	—	
800	825	—	—	750	—	—	—	—	—	—	
1,000	940	—	—	830	—	—	—	—	—	—	
基底温度	40℃			25℃			25℃				
導体温度	90℃			90℃			90℃				

(JCS 168-Dによる) (内線規定)

表5.3.6 キャブタイヤケーブル

絶縁物がブチルゴム混合物およびエチレンプロピレンゴム混合物のキャブタイヤケーブルの許容電流

(絶縁物の最高許容温度80℃)

(周囲温度30℃以下)

導体公称断面積 (mm ²)	許容電流 (A)			
	単 心	2 心	3 心	4心及び5心
0.75	18	15	13	11
1.25	24	20	18	16
2.0	32	28	24	22
3.5	47	41	36	32
5.5	63	53	46	41
8	80	65	56	50
14	113	91	80	71
22	148	122	107	95
30	180	142	126	115
38	213	167	142	129
50	251	193	161	148
60	290	219	193	174
80	348	—	—	—
100	406	—	—	—

- 備考) 1. この表は、キャブタイヤケーブルを通常の配線として用いる場合のもので、ドラム巻きなどで使用する場合は、製造業者などが指定する電流減少係数を用いる必要がある。
2. この表において、中性線、接地線及び制御回路用の電線は、心線数に数えない。すなわち、単相3線式に使用する3心キャブタイヤケーブルは、うち1心が中性線であるので、2心に対する許容電流を適用し、三相3線式電動機に接続する4心のキャブタイヤケーブルのうち1心をその電動機の接地線として使用する場合は、3心に対する許容電流を適用する。

表5.3.7 屋外用絶縁ケーブル

導体の種類	導体		許容電流 (A)				
			DV電線		屋外用絶縁電線		
	直径又は公称断面積若しくは素線数 (mm又はmm ²)		2個より	3個より	OW電線	OE電線	OC電線
銅	単線	2.0	28	25	—	—	—
		2.6	38	34	35	—	—
		3.2	50	44	45	—	—
		4.0	—	—	57	—	—
		5.0	—	—	73	110	140
	より線	14 7/1.6	70	62	60	—	—
		22 7/2.0	92	80	78	120	150
		38 7/2.6	130	113	100	165	210
		60 19/2.0	174	152	130	220	280
		100 19/2.6	238	209	175	300	390
鋼心アルミ	より線線線	12 6/SB	45	45	—	—	—
		19 6/SB	60	55	—	—	—
		25 6/SB	70	65	64	95	125
		32 6/SB	80	70	73	115	145
		58 6/SB	115	110	99	160	205
		95 6/SB	150	140	125	210	275
		120 6/SB	—	—	135	240	305

(3) 低圧高圧電動機設備

低圧電動機設備は機械台数より下表より選定する。

高圧電動機設備は機械1台に1台とする。

表5.3.8 低圧高圧電動機設備

接続する機械台数	仮設ボックス回路数	寸法
3台以下	3回路	400× 300×200
5台以下	5回路	500× 400×200
7台以下	7回路	600× 700×200
10台以下	10回路	700× 1200×200

(4) 照明設備

1) 工事用照明

工事現場で使用する投光器は500Wを標準とする。

2) 坑内照明

坑内照明は蛍光灯（40W）を片側5m間隔設置を標準とする。

ケーブルサイズは下表による。

なお、使用電力量は次式で計算する。

使用電力量（KWh）＝14H/日×0.04KWh×個数×照明日数

表5.3.9 照明用配電線サイズ

トンネル長	320m	430m	590m	700m	890m	1150m	1500m
ケーブルサイズ	5.5	8	14	22	38	60	100

（注）ケーブルサイズは、断面積（mm²）である。

3) 切羽照明

トンネル工事用の切羽照明及び覆工照明は（500W）投光器を標準とする。

使用電力は次式で計算する。

使用電力量（KWh）＝17h/日×0.5KWh×灯数×照明日数

4) 照明電力の計算

表5.3.10 照明電力使用量の算出

区 分	出力 (kw)	灯数	照明時間 (h)	電力量(kwh) (照明時間×出力)
坑内照明 (本坑掘削)	0.04	254	254灯×17h×{(608-90)×1/2}× 20.4/30=760,486	30,419
坑内照明 (排水・舗装)	0.04	254	254灯×8h×(160)×20.4/30= 221,082	8,843
切羽照明	0.5	6	6灯×17h×(608-90)×20.4/30 =17,964	8,982
切羽照明(覆工)	0.5	4	4灯×8h×(638-297)×20.4/30 =7,420	3,710
坑外照明	0.5	3	3灯×9h×(608-90)×20.4/30 =9,510	4,755
合計				56,709 kwh

注1) 坑内照明日数（掘削：D1、排水・舗装：D2）

D1＝掘削開始から掘削完了までの日数×1/2×20.4/30

電力使用量＝日当り点灯時間は17時間とする。

◎掘削関係工事日数の算定：掘削開始 ⇒ 3.00 × 30 日 = 90 日
掘削完了 ⇒ 20.25 × 30 日 = 608 日

D2＝排水・舗装工完了までの日数×20.4/30

電力使用量＝日当り点灯時間は8時間とする。

◎排水・舗装工事完了日：排水・舗装完了⇒ 5.33 × 30 日 = 160 日

注2) 坑内照明日数（覆工：D3）

D3＝覆工開始から覆工完了までの日数

◎覆工関係工事日数の算定：覆工開始 ⇒ 9.90 × 30 日 = 297 日
覆工完了 ⇒ 21.25 × 30 日 = 638 日

2) 交換ランプ

a) 坑外照明（投光器：白熱灯500w、平均寿命は2,000時間）

(9,510 ÷ 2,000) = 5 （交換ランプは 5 個となる。

5.4 配線計画

(1) 受電設備

本トンネル工事における受電設備は、次の構成とする。

- ・ 高圧受電設備 → CB形受電専用（屋外式）
 - ・ 受電設備 → 変電専用（屋外式）
-
- | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------|-----------|
| ・ 坑内低圧動力用 (220, 440V) : | 200 KVA × 1 台 = | 200 KVA | } 510 KVA |
| ・ 坑外低圧動力用 (220, 440V) : | 300 KVA × 1 台 = | 300 KVA | |
| ・ 坑内外動力・照明用 (220V) | 10 KVA × 1 台 = | 10 KVA | |

(2) 配電線路

使用電圧におけるケーブルサイズ計算は次式によるものとする。

$$\begin{aligned} \text{3相3線式 } A &= 30.8 \times L \times I / 1000 \times e \quad (\text{mm}^2) \\ \text{単相3線式 } A &= 17.8 \times L \times I / 1000 \times e' \quad (\text{mm}^2) \end{aligned}$$

ただし、
 A : 電線の断面積 (mm^2)
 L : 電線の長さ (m)
 I : 負荷電流 (A)
 e : 電圧降下 (V)
 e' : 中性線に対する電圧降下 (V)

電圧降下の許容は動力、下表の通りとする。

表5.4.1 電 圧 降 下

供給変圧器の二次側端子または引込線取付点から最遠隔の負荷に至る間の電線のこう長 (m)	電 圧 降 下 (%)	
	電気使用場所内に設けた変圧器から供給する場合	電気事業者から低圧で電気の供給を受けている場合
60 以下	3 以下	2 以下
120 以下	5 以下	4 以下
200 以下	6 以下	5 以下
200 超過	7 以下	6 以下

電線の最小太さは、次の通りとする。

低圧 電線	5.5 mm ²	以上	
高圧 電線	5 mm	以上	
ケーブル	14 mm ²	(坑内)	

負荷電流の算出は次による。

$$\text{動力 } I = P \text{ (kw)} \times 1000 / K \times E \times n \times \cos \theta$$

ここに

P	: 設備容量(kw)
K	: 定数
	動力 : $\sqrt{3}$
	照明 : 1.0
E	: 電圧 (V)
n	: 効率 : 0.85
$\cos \theta$	: 力率 : 0.95

(3) 配線寸法計算

1) 高圧引込ケーブルサイズの選定

ケーブルサイズは電圧降下および許容電流を考慮して決定する。
許容電流は負荷電流を安全に通電出来るものとし、電圧降下率は内線規程に準ずる。
尚、高圧引込ケーブルに関しては、事故時の短絡電流に対する検討も行う。

①短絡電流に対するケーブルサイズ

$$A = \frac{I_s \times \sqrt{t}}{K}$$

A : ケーブル断面積 (sq)
Is : 短絡電流 (A)
t : 短絡継続時間 (sec) CBの場合
5 (3サイクル+リレータイム2サイクル)
= 0.08 秒
50
K : 係数 (CVケーブルの場合 134)

②ケーブルサイズの計算

高圧引込ケーブルサイズの選定

・短絡電流より決まるケーブルサイズ

$$A = \frac{12,500 \times \sqrt{0.08}}{134} = 26.4 \rightarrow 38 \text{ sq.}$$

・許容電流より決まるケーブルサイズ

$$I = \frac{0 \text{ kW} \times 1,000}{\sqrt{3} \times 6,600 \text{ V} \times 0.95 \times 0.85} = 0 \text{ A} \rightarrow 22 \text{ sq. (6kV CV)}$$

・電圧降下より決まるケーブルサイズ

$$A = \frac{30.8 \times 40 \text{ m} \times 0 \text{ A}}{1,000 \times 6,600 \text{ V} \times 0.03} = 0 \rightarrow 14 \text{ sq.}$$

∴ 最大サイズ 38 sqを決定サイズとする。

2) 坑外配線

a) 送風機-1用坑外低圧配線

電線延長 = 20 m (受配電室からの位置)

①電圧 3相3線 440 V

②負荷容量 160 kw (80KW×2)

③負荷電流による配線寸法

$$I = \frac{160 \times 1000}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.85 \times 0.95} = 260.0 \text{ (A)}$$

→ 0C 60 mm² -3C × 1 本

④電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 440 \times 0.03 = 13.2 \text{ V (20 m < 60 m、降下率 3 \%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 260 \times 20\text{m}}{1000 \times 13.2} = 12.1 \text{ mm}^2$$

→ 0W 14 mm² -3C × 1 本

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → 0C 60 mm² -3C × 1 本 → ◎ 採用
電圧降下による → 0W 14 mm² -3C × 1 本 → × 不採用

表5.4.2 送風機 用配線寸法

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	ケーブルサイズ
送風機-1	160	20 × 1 本 = 20	0C 60 mm ²

b) 220V低圧配線

坑外低圧配線は、OW（屋外用ビニル絶縁電線）を標準とし、その寸法は次の通りとする。

表5.4.3 坑外低圧配線寸法

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	ケーブルサイズ
濁水処理設備 (20m ³ 級)	22.0	25	OW 14 mm ²
濁水処理設備 (30m ³ 級)	24.0	25	OW 14 mm ²
取水ポンプ	3.7	85	OW 5.5 mm ²
給水ポンプ	7.5	35	OW 5.5 mm ²
吹付プラント	53.2	45	OW 22 mm ²

本計画での
最小径とする
本計画での
最小径とする

3) 坑内配線

a) 高圧配線 (受電盤～坑内変電盤)

$$\text{延長} = \frac{10.0\text{m}}{\text{坑外}} + \frac{1268.0\text{m}}{\text{坑内}} = 1278.0\text{m}$$

① 電圧	3相3線	6,600 V		
② 負荷容量	ドリルジャンボ、集塵機等	377.0 kw	(440V)	
	モルタル注入機, 排水ポンプ等	28.8 kw	(220V)	
	その他の坑内動力	6.0 kw	(覆工機器は含まない)	
	合 計	411.8 kw		

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 411.8 \times \frac{1000}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.85 \times 0.95} = 44.6 \text{ (A)}$$

→ CV 14 mm² -3C × 1 本

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 6,600 \times 0.07 = 462.0 \text{ V (1278 m > 200 m、降下率 7 \%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 44.6 \times 1278\text{m}}{1000 \times 462.0} = 3.8 \text{ mm}^2$$

→ CV 14 mm² -3C × 1 本 (最低寸法とする)

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → CV 14 mm² -3C × 1 本 → ◎ 採用
 電圧降下による → CV 14 mm² -3C × 1 本 → ◎ 採用

表5.4.4 坑内高圧配線寸法

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
坑内動力 (一式)	411.8	1278.0 × 1 本 = 1,278.0	CV 14 mm ² -3C (高圧配線)

b) 低圧配線

坑内配線においてはVVRよりCVケーブルのほうが規格が上位だが、太いVVRは需要が少なく、22mm²より太いものはCVのほうが安価であることから22mm²以上の電線はCVケーブルを採用する。

i) 坑内変電盤～3ブームドリルジャンボ用分電盤

$$\text{延長} = 10.0\text{m}$$

① 電圧	3相3線	440 V	
② 負荷容量		165.0 kw	
③ 負荷電流による配線寸法			
		$I = 165.0 \times \frac{1000}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.85 \times 0.95} = 268.1 \text{ (A)}$	
		→ CV 150 mm ² -3C × 1 本	

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 440 \times 0.03 = 13.2 \text{ V (10 m < 60 m、降下率 3 \%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 268.1 \times 10\text{m}}{1000 \times 13.2} = 6.3 \text{ mm}^2$$

→ CV 8 mm² -3C × 1 本

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → CV 150 mm² -3C × 1 本 → ◎ 採用
 電圧降下による → CV 8 mm² -3C × 1 本 → × 不採用

表5.4.5 坑内低圧配線 (3ブームドリルジャンボ用配線寸法)

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
3ブーム ドリルジャンボ	165.0	10.0 × 1 本 = 10.0	CV 150 mm ² -3C (低圧配線)

ii) 坑内変電盤～吹付け機用分電盤

延長 = 10.0m

① 電圧 3相3線 440 V

② 負荷容量 170.0 kw ※本坑用吹付け機

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 170.0 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 440 \times 0.85 \times 0.95) = 276.2 \text{ (A)}$$

$$\rightarrow \text{CV } 150 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本}$$

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 440 \times 0.03 = 13.2 \text{ V (10 m < 60 m、降下率 3 \%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 276.2 \times 10\text{m}}{1000 \times 13.2} = 6.4 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{CV } 8 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本}$$

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による $\rightarrow \text{CV } 150 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \textcircled{\text{O}}$ 採用電圧降下による $\rightarrow \text{CV } 8 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \times$ 不採用

表5.4.6 坑内低圧配線（吹付け機用配線寸法）

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
吹付け機	170.0	10.0 × 1 本 = 10.0	CV 150 mm ² -3C (低圧配線)

iii) 坑内変電盤～集塵機用分電盤

延長 = 10.0m

① 電圧 3相3線 440 V

② 負荷容量 42.0 kw

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 42.0 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 440 \times 0.85 \times 0.95) = 68.2 \text{ (A)}$$

$$\rightarrow \text{VVR } 14 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本}$$

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 440 \times 0.03 = 13.2 \text{ V (10 m < 60 m、降下率 3 \%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 68.2 \times 10\text{m}}{1000 \times 13.2} = 1.6 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本}$$

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による $\rightarrow \text{VVR } 14 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \textcircled{\text{O}}$ 採用電圧降下による $\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2\text{-3C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \times$ 不採用

表5.4.7 坑内低圧配線（集塵機用配線寸法）

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
集塵機	42.0	10.0 × 1 本 = 10.0	VVR 14 mm ² -3C (低圧配線)

iv) 坑内変電盤～モルタル注入機・注入ポンプ用分電盤

延長 = 10.0m

① 電圧	3相3線	220 V	
② 負荷容量	モルタル注入機	6.0 kw	
	注入ポンプ	6.6 kw	
	合 計	12.6 kw	

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 12.6 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.95) = 40.9 \text{ (A)}$$

$$\rightarrow \text{VVR } 14 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本}$$

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 220 \times 0.03 = 6.6 \text{ V (10 m < 60 m、降下率 3\%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 40.9 \times 10\text{m}}{1000 \times 6.6} = 1.9 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本}$$

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による $\rightarrow \text{VVR } 14 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \odot$ 採用 (最小寸法)電圧降下による $\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \times$ 不採用 (最小寸法)

表5.4.8 坑内低圧配線 (モルタル注入機・注入ポンプ用配線寸法)

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
モルタル注入機 注入ポンプ 他	12.6	10.0 × 1 本 = 10.0	VVR 14 mm ² -3C

v) 坑内変電盤～排水ポンプ (切羽) 用分電盤

延長 = 10.0m

① 電圧	3相3線	220 V	
② 負荷容量	排水ポンプ (切羽)	8.8 kw	
	合 計	8.8 kw	

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 8.8 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.95) = 28.6 \text{ (A)}$$

$$\rightarrow \text{VVR } 8 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本}$$

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 220 \times 0.03 = 6.6 \text{ V (10 m < 60 m、降下率 3\%)}$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 28.6 \times 10\text{m}}{1000 \times 6.6} = 1.3 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本}$$

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による $\rightarrow \text{VVR } 8 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \odot$ 採用電圧降下による $\rightarrow \text{VVR } 5.5 \text{ mm}^2 - 3\text{C} \times 1 \text{ 本} \rightarrow \times$ 不採用 (最小寸法)

表5.4.9 坑内低圧配線 (排水ポンプ：切羽用配線寸法)

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
排水ポンプ (切羽用)	8.8	10.0 × 1 本 = 10.0	VVR 8 mm ² -3C

vi) 坑内変電盤～排水ポンプ（中継）用分電盤

延長 = 10.0m

① 電圧	3相3線	220 V	
② 負荷容量	排水ポンプ（中継）	3.7 kw	
	合 計	3.7 kw	

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 3.7 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.95) = 12.0 \quad (\text{A})$$

→ VVR 5.5 mm²-3C × 1 本

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 220 \times 0.03 = 6.6 \text{ V} \quad (10 \text{ m} < 60 \text{ m}、\text{降下率 } 3\%)$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 12 \times 10\text{m}}{1000 \times 6.6} = 0.6 \text{ mm}^2$$

→ VVR 5.5 mm²-3C × 2 本

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → VVR 5.5 mm²-3C × 1 本 → ◎ 採用電圧降下による → VVR 5.5 mm²-3C × 2 本 → ◎ 採用（最小寸法）

表5.4.10 坑内低圧配線（排水ポンプ：中継用配線寸法）

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
排水ポンプ (中継用)	3.7	10.0 × 2 本 = 20.0	VVR 5.5 mm ² -3C

vii) 坑内変電盤～スライドセントル、バイブレータ、防水工台車、覆工照明用分電盤

$$\text{延長} = \frac{0.0\text{m}}{\text{坑外}} + \frac{500.0\text{m}}{\text{坑内}} = 500.0\text{m} \quad \text{※覆工開始時期と掘削切羽位置までの距離を最大配線距離とする。}$$

① 電圧	3相3線	220 V	
② 負荷容量	バイブレーター	11.0 kw	(1.1Kw×5台×2箇所)
	防水工台車	8.0 kw	(4.0Kw×1台×2箇所)
	セントル	26.5 kw	(16.8Kw+9.7kw)
	覆工照明	2.0 kw	
	合 計	47.5 kw	

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = 47.5 \times 1000 / (\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.95) = 154.4 \quad (\text{A})$$

→ CV 60 mm²-3C × 1 本

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 220 \times 0.07 = 15.4 \text{ V} \quad (500 \text{ m} > 200 \text{ m}、\text{降下率 } 7\%)$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 154.4 \times 500\text{m}}{1000 \times 15.4} = 154.4 \text{ mm}^2$$

→ CV 200 mm²-3C × 1 本

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → CV 60 mm²-3C × 1 本 → × 不採用電圧降下による → CV 200 mm²-3C × 1 本 → ◎ 採用

表5.4.11 坑内低圧配線（覆工用）

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
スライドセントル バイブレーター他	47.5	500.0 × 1 本 = 500.0	CV 200 mm ² -3C (低圧配線)

4) 照明設備配線

a) 坑外変電盤～坑内一般照明用分電盤（参考計算）

$$\text{延長} = \frac{10.0\text{m}}{\text{坑外}} + \frac{634.0\text{m}}{\text{坑内負荷中心}} = 644.0\text{m} \quad \text{にて計算する。}$$

① 電圧 3相3線 220 V

② 負荷容量

坑内照明	10.1 kw
合 計	10.1 kw

③ 負荷電流による配線寸法

$$I = \frac{10.1 \times 1000}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.85 \times 0.95} = 33.0 \quad (\text{A})$$

→ CV 14 mm² -3C × 1 本

④ 電圧降下による配線寸法

$$\text{電圧降下 } e = 220 \times 0.07 = 15.4 \quad \text{V} \quad (644 \text{ m} > 200 \text{ m}、\text{降下率 } 7\%)$$

$$\text{配線寸法} = \frac{30.8 \times 33 \times 644\text{m}}{1000 \times 15.4} = 42.5 \quad \text{mm}^2$$

→ CV 60 mm² -3C × 1 本

以上より、配線寸法の大きくなる方の配線寸法を選定する。

負荷電流による → CV 14 mm² -3C × 1 本 → × 不採用電圧降下による → CV 60 mm² -3C × 1 本 → ◎ 採用

表5.4.12 坑内低圧配線（坑内一般照明用）

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
坑内照明	10.1	644.0 × 1 本 = 644.0	CV 60 mm ² -3C (低圧配線)

b) 切羽および覆工照明

$$\text{灯数} = 10 \text{ 灯} \quad (5.0 \text{ kw})$$

表5.4.13 切羽および覆工照明

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
切羽および 覆工照明	5.0	10.0 × 10 本 = 100.0	2PNCT 3.5 mm ² -2C

c) 坑外照明

$$\text{灯数} = 3 \text{ 灯} \quad (1.5 \text{ kw})$$

表5.4.14 切羽および覆工照明

負荷設備	負荷容量(kw)	配線長(m)	配線寸法
坑外照明	1.5	10.0 × 3 本 = 30.0	VVR 5.5 mm ² -2C

5.5 仮設電力設備数量表

表5.5.1 電力設備数量表(1)

工 種	種 別	細 別	単位	数 量	摘 要
電力設備	高圧電力 (A) 常 時		式	1	467.4 KVA
受電設備	高 圧	C B型屋外式 500KVA+10KVA(換算)	箇所	1	高圧気中開閉器 6.6 KV 300 A
変電設備	坑外低圧動力用 (220, 440V級) 共通 (坑内用)	200 KVA 1 台	日	548	掘削開始～覆工完了 (21.25 - 3.00)×30= 548
	坑内低圧動力用 (220, 440V級) 共通 (坑外用)	300 KVA 1 台	日	548	掘削開始～覆工完了 (21.25 - 3.00)×30= 548
	坑内外照明用 220V級 (坑外用)	10 KVA 1 台	日	722	掘削開始～舗装工完了 (27.08 - 3.00)×30= 722
	高圧気中開閉器	6.6 KV 1 台	日	722	掘削開始～舗装工完了 (27.08 - 3.00)×30= 722
低圧電機 設 備 (坑 内)	3 ブームドリル ジャンボ	3回路(400×300×200) ELB 3P 440V 200A, 100A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	吹付け機	3回路(400×300×200) ELB 3P 440V 200A, 100A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	集 塵 機	3回路(400×300×200) ELB 3P 440V 100A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	モルタル注入機, 注入ポンプ	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 50A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	覆工関係	7回路(600×700×200) ELB 3P 220V 100A	面	2	覆工開始～完了 (21.25 - 9.90)×30= 341
	排水ポンプ	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	下り勾配掘削開始～完了 (20.25 - 10.12)×30= 304
	中継ポンプ ①	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	下り勾配掘削開始～完了 (20.25 - 10.12)×30= 304
	中継ポンプ ②	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	増設開始～完了 (20.25 - 15.25)×30= 150
	照 明 用 (投 光 器)	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	照明用は3回路とする
	照 明 用 (坑内照明)	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 50A	面	13	舗装工完了まで。1268/100=13 (27.08 - 3.00)×30= 722
低圧電機 設 備 (坑 外)					
	濁水処理設備 (20～30m³級)	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 100A	面	1	掘削開始～覆工完了 (21.25 - 3.00)×30= 548
	取水ポンプ	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	給水ポンプ	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 30A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518
	吹付けプラント	3回路(400×300×200) ELB 3P 220V 200A	面	1	掘削開始～完了 (20.25 - 3.00)×30= 518

表5.5.1 電力設備数量表(2)

工 種	種 別	細 別	単 位	数 量	摘 要
	配 線		式	1	
坑 外	高圧引込み線	CV 38 mm ² -3C	m	10	高圧配電線路 責任分界点 ～受電盤までの引き込み線
	送 風 機	OC 60 mm ²	m	20	低圧配電線路
	取水ポンプ	OW 5.5 mm ²	m	85	低圧配電線路
	給水ポンプ	OW 5.5 mm ²	m	35	低圧配電線路
	濁水処理設備 (20～30m ³ 級)	OW 14 mm ²	m	25	低圧配電線路 配線は共有する。
	吹付プラント	OW 22 mm ²	m	45	低圧配電線路
	投 光 器	VVR 5.5 mm ² -2C	m	30	(10m×3灯)
				0	
坑 内	受電盤 ～坑内変電盤	CV 14 mm ² -3C	m	1,278	高圧配電線路 ドリルジャンボ他
	3ブーム ドリルジャンボ	CV 150 mm ² -3C	m	10	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	コンクリート吹付け機	CV 150 mm ² -3C	m	10	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	集 塵 機	VVR 14 mm ² -3C	m	10	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	モルタル注入機 注入ポンプ 他	VVR 14 mm ² -3C	m	10	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	排水ポンプ (切羽用)	VVR 8 mm ² -3C	m	10	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	排水ポンプ (中継用)	VVR 5.5 mm ² -3C	m	20	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	ハイフレタ、セントル 防水工台車、 覆工照明	CV 200 mm ² -3C	m	500	低圧配電線路 坑内変電盤～分電盤
	坑 内 照 明	CV 60 mm ² -3C	m	644	低圧配電線路 (積算上の配線長)
	投 光 器	2PNCT 3.5 mm ² -2C	m	100	(10m×10灯)
灯 具	坑内照明	蛍 光 灯 FLR-40	個	254	
	投光器	白 熱 灯 500W	個	13	坑内10+坑外3
	交換用投光器	白 熱 灯 500W	個	5	

低圧電動機設備

- ・低圧電動機設備とは分電盤を指す。
- ・電動機設備は、機械台数より下表の値に近いものを選定する。

電動機設備構成内訳表

接続する 機械台数	区 分	仮設ボックス (屋外用)	漏電遮断器台数 (台)				接地 (C及D種)
			30AF	50AF	100AF	225AF	
3台以下	3回路	400×300×200	—	2	1	—	1ヶ所
5台以下	5回路	500×400×200	1	2	1	1	1ヶ所
7台以下	7回路	600×700×200	2	2	2	1	1ヶ所
10台以下	10回路	700×1200×200	3	3	3	1	1ヶ所

表5.5.2 低圧電動機設備

負荷名称	電圧	負荷容量	負荷電流	負荷電流計	回路数	規 格	開閉器容量	数量(面)	設置場所
							ELB 3P 100A		
油圧削岩機(3ブーム)	440V	165.0	268.1	268.1	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 200A	1	坑内
集塵機	440V	42.0	68.2	68.2	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 100A	1	坑内
							ELB 3P 100A		
吹付機	440V	170.0	276.2	276.2	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 200A	1	坑内
							ELB 3P 100A		
送風機	440V	160.0	260	260.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 200A	1	坑外
モルタル注入機	220V	6.0	19.5	40.9	3	屋外用400×300×200		1	坑内
注入ポンプ	220V	6.6	21.4				ELB 3P 50A		
スライドセントル	220V	16.8	54.6	92.0	7	屋外用600×700×200		2	坑内
パイプレーター	220V	5.5	17.9						
防水工台車	220V	4.0	13						
覆工照明	220V	2.0	6.5				ELB 3P 100A		
排水ポンプ(切羽)	220V	8.8	28.6	28.6	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	1	坑外
排水ポンプ(中継)	220V	3.7	12.0	12.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	2	坑外
吹付けプラント	220V	53.2	172.9	172.9	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 200A	1	坑外
濁水処理設備	220V	24.0	78.0	78.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 100A	1	坑外
濁水処理設備	220V	24.0	78.0	78.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 100A	1	坑外
取水ポンプ	220V	3.7	12.0	12.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	1	坑外
給水ポンプ	220V	7.5	24.4	24.4	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	1	坑外
切羽照明	220V	3.0	9.7	9.7	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	1	坑内
坑内照明	220V	10.1	33	33.0	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 50A	26	坑内
坑外照明	220V	1.5	4.9	4.9	3	屋外用400×300×200	ELB 3P 30A	1	坑外

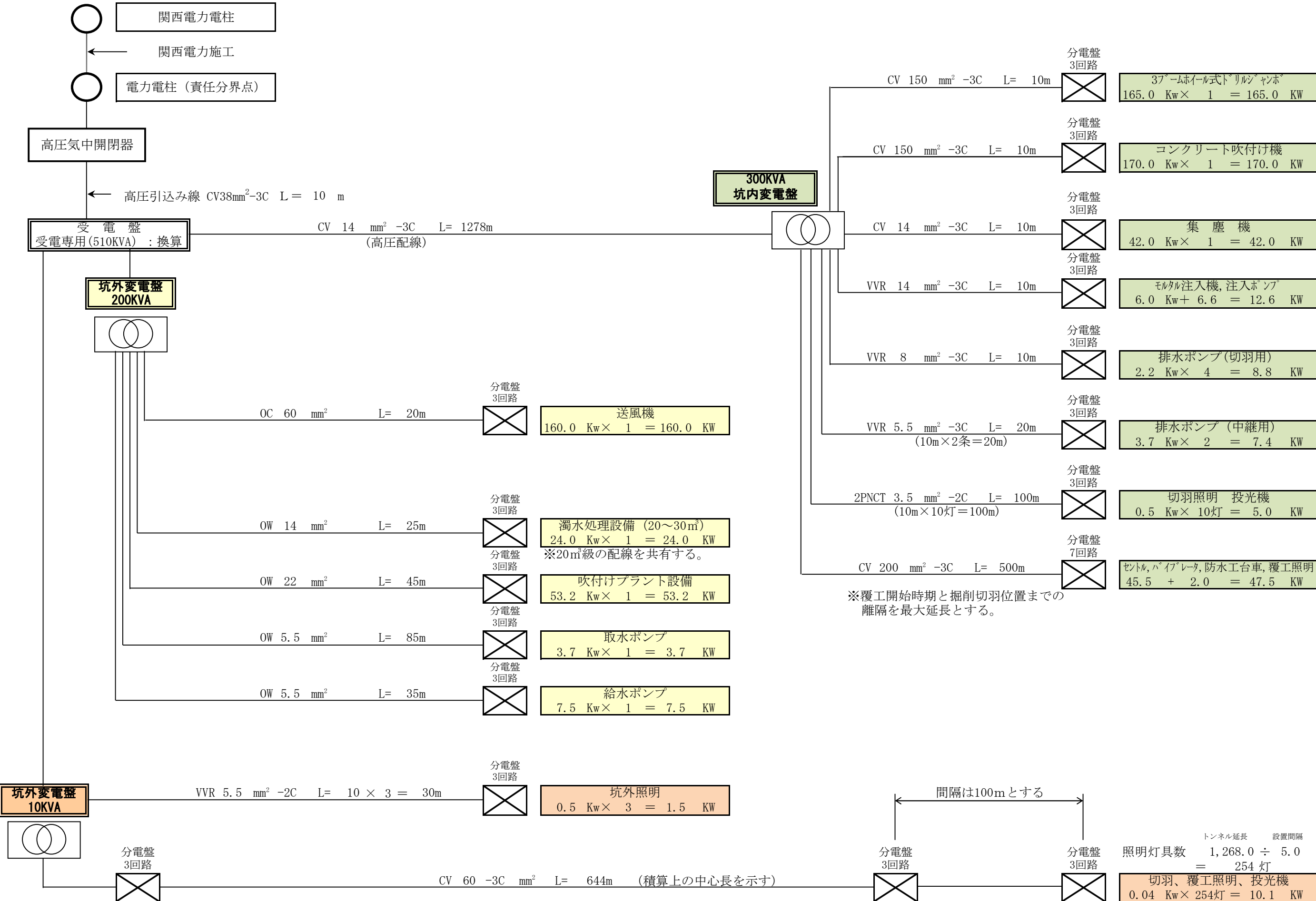


図5.5.1 工事用仮設配線系統図

5.6 フリッカ対策検討

5.6.1 概要

(1) フリッカ抑制装置の必要性

フリッカとは、電源電圧の変動により照明のちらつきや機器の誤作動が発生するという現象である。需要家側でフリッカの原因となる数値を計算し、その値が電力会社の規制値以上となる場合は、需要家にてフリッカ抑制装置を設置し対策する必要がある。

(2) フリッカの発生原因

フリッカの発生源としては、下記のものが挙げられる。

① 大容量負荷設備の始動

大きな始動電流が流れることで、大きな電圧降下が起こる。

⇒ 電圧変動率(ΔV)を計算する。

(ΔV ：ある基準電圧に対して何%の電圧変動が生じるかを表すもの。)

② 大容量負荷設備の負荷変動

運転中の大容量負荷設備の負荷変動により負荷電流が変動し、大きな電圧変動が断続的に起こる。

⇒ フリッカ値(ΔV_{10})を計算する。

(ΔV_{10} ：電圧変動によるちらつきを数値化したもの。)

(3) フリッカ抑制装置の検討方法

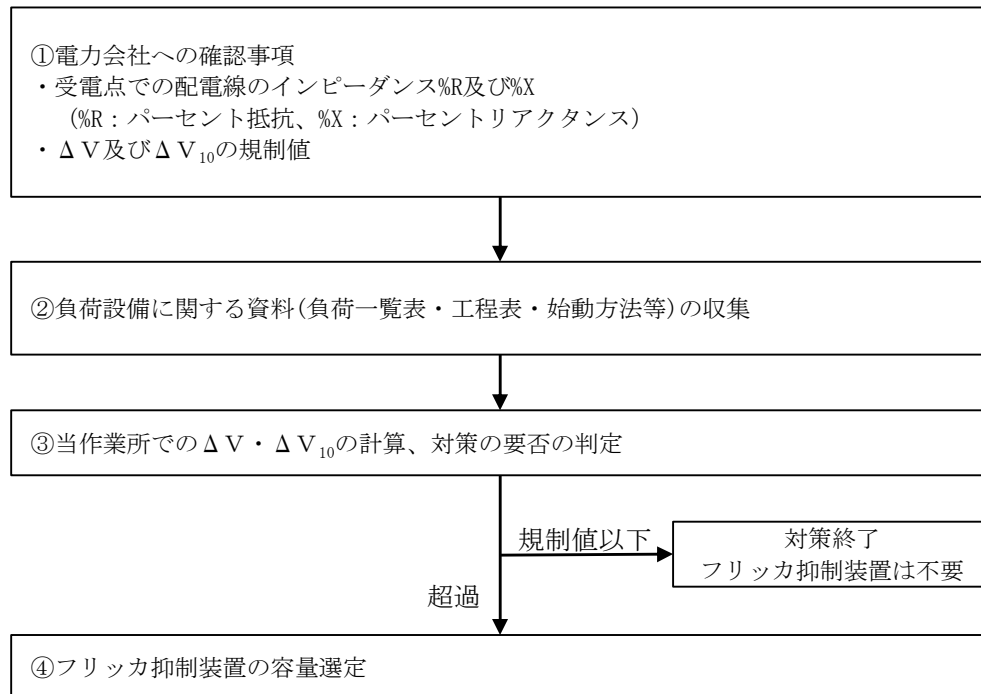


図5.6.1 フリッカ抑制装置検討フロー

5.6.2 検討結果要約

(1) 電力会社からの提供値

1) 配線インピーダンス

下記のように配電線のインピーダンスを仮定する。

表5.6.1 配電線インピーダンス

インピーダンス	数値
%R	14.50
%X	64.44

※関西電力株式会社より提供

2) ΔV ・ ΔV_{10} の規制値

ΔV 、 ΔV_{10} の規制値は以下の値が設けられている。

表5.6.2 配電線インピーダンス

検討項目	規制値
ΔV	3.0%
ΔV_{10}	0.23

※関西電力株式会社より提供

(2) 本現場の ΔV ・ ΔV_{10} 算出値

本現場では、フリッカ現象を引き起こす原因として次にあげる負荷がありそれぞれの ΔV 、 ΔV_{10} は以下になる。

表5.6.3 本現場の ΔV ・ ΔV_{10} 算出値

項目	負荷名称（検討条件）	ΔV [%]	ΔV_{10}	
			始動時	運転時
①	ドリルジャンボの順次始動	3.63	0.131	—
②	吹付機(油圧)の順次始動	3.10	0.107	—
③	集塵機の単体始動	0.83	0.033	—
④	送風機の順次始動	1.27	0.044	—
				—
	最大値→	3.63	0.131	

(3) 規制値と計算値の比較

電力会社からの ΔV 、 ΔV_{10} の規制値は上記の値が設けられており、その値と詳細計算により算出された結果の比較は下記の表になる。

表5.6.4 規制値と算出値の比較

検討項目	規制値	当現場での最大値	対策の要否
ΔV	3.0%	3.63	必要
ΔV_{10}	0.23	0.131	不要

よって、本現場ではフリッカ抑制装置による対策が必要となる。

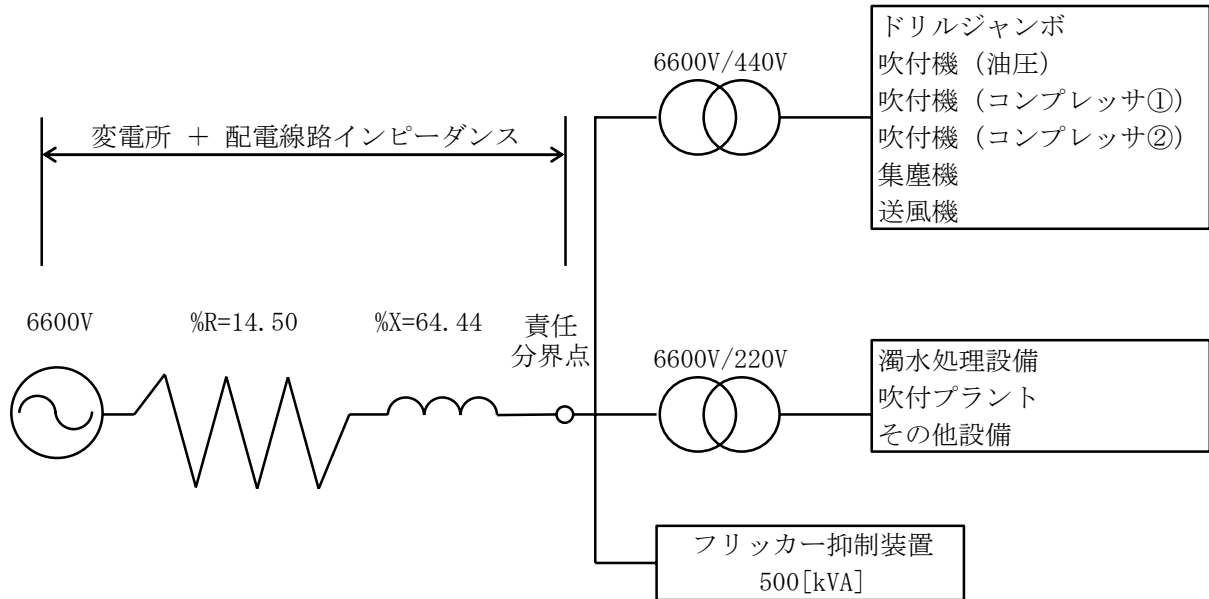
(4) 対策容量の選定

詳細計算によるフリッカ抑制装置の対策容量は次の様になる。

必要対策容量	フリッカ抑制装置： 500 kVA 方式：アクティブフィルタ
--------	-----------------------------------

(5) フリッカ抑制装置

本現場では、下図の様にフリッカ抑制装置を接続する。



以上により、フリッカ抑制装置500[kVA]を設置することで、急峻な負荷変動によるフリッカを規制値以下に抑制し電力の安定供給を受けることができる。

5.6.3 詳細検討

(1) 対象負荷

表5.6.5 対象負荷

No	負荷名称	電圧	容量	台数	合計 容量	定格 電流	始動 電流	力率		効率	始動 方法	視感度係数		始動時	始動時	運転時
		[V]	[kW]	[台]	[kW]	[A]/1台	A/1台	定格	始動	[%]		始動時	運転時	Δ V	Δ V ₁₀	Δ V ₁₀
												/1台	[%]/1台	/1台	/1台	
1	ドリルジャンボ	440	55	3	165	97.0	679.0	80.0	50.0	93.0	直入れ	0.04	-	3.26	0.131	-
2	吹付機(油圧)	440	45	1	45	79.4	555.6	80.0	50.0	93.0	直入れ	0.04	-	2.67	0.107	-
3	吹付機(コンプレッサ①)	440	90	1	90	158.7	370.4	80.0	30.0	93.0	Y-Δ	0.04	-	1.86	0.074	-
4	吹付機(コンプレッサ②)	440	37	1	37	65.3	456.8	80.0	50.0	93.0	直入れ	0.04	-	2.20	0.088	-
5	集塵機	440	42	1	42	74.1	172.8	80.0	50.0	93.0	Y-Δ	0.04	-	0.83	0.033	-
6	送風機	440	55	2	110	97.0	226.3	80.0	50.0	93.0	Y-Δ	0.04	-	1.09	0.044	-
7	濁水処理設備 (20m³級)	220	24	1	24	84.7	-	80.0	-	93.0	-	-	-	-	-	-
8	吹付プラント	220	53.2	1	53.2	187.7	-	80.0	-	93.0	-	-	-	-	-	-
9	その他雑設備	220	51.4	1	51.4	181.3	-	80.0	-	93.0	-	-	-	-	-	-

$$\text{※定格電流} = \frac{\text{容量}}{\text{定格力率} \times \text{効率} \times \text{電圧} \times \sqrt{3}}$$

$$\text{※始動電流} = \text{定格電流} \times \text{始動倍率}$$

(始動電流については、実測値が機器仕様よりわかるものはその値を使用する)

※力率について、定格力率は80[%]、始動力率は55kW以下について50%、55kW超について30%としている。

(参考資料：三菱誘導電動機<技術資料>)

(定格力率および始動力率については、実測値が機器仕様よりわかるものはその値を使用する)

※ドリルジャンボの台数については、ブームの数量を表わしている。

$$\text{※始動容量 (皮相電力)} = \text{定格電圧} \times \text{始動電流} \times \sqrt{3}$$

$$\text{※始動時有効電力} = \text{始動容量} \times \text{始動力率}$$

$$\text{※始動時無効電力} = \text{始動容量} \times \sqrt{1 - (\text{始動力率})^2}$$

$$\text{※定格容量 (皮相電力)} = \text{定格電圧} \times \text{定格電流} \times \sqrt{3}$$

$$\text{※定格時有効電力} = \text{定格容量} \times \text{定格力率}$$

$$\text{※定格時無効電力} = \text{定格容量} \times \sqrt{1 - (\text{定格力率})^2}$$

※始動頻度および変動回数は、一般的な運転パターンの値とする。

(始動頻度および変動回数は、実際の運転パターンがわかるものはその値とする)

※負荷の始動頻度は1回/分とし、視感度係数 $k \cdot \alpha = 0.04$ とする。

※ ΔV_{10} は始動時が最大となるため、運転時は考慮しないものとする。

※ ΔV 、 ΔV_{10} の算出について

$$\Delta V = PS (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \quad [\%]$$

PS : 皮相電力[kVA] %R, %X : 配電線のインピーダンス (10MVAベース)

$\cos \theta$: 力率 $\sin \theta$: $\sqrt{1 - \cos^2 \theta}$

$$\Delta V_{10} = \Delta V \times k \cdot \alpha$$

$$\Sigma \Delta V_{10} = \sqrt{(\Delta V_{10-1})^2 + \dots + (\Delta V_{10-n})^2} \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数}$$

始動倍率
直入れ…7
Y-Δ…7÷3
(クロスドY-Δにて切替時間
10sec以上の場合)
リアトル…4.55
コントルファ…2.96
インバータ…1.5

社団法人 日本電気協会
「分散型電源系統連系技術指針」
(JEAG 9701-2001) 準用

(2) ΔV 、 ΔV_{10} の詳細検討

1) 各工程における検討条件

詳細検討条件として、掘削、吹付け、ロックボルト工の各工程が重ならないとし、下表の運転状態時の各負荷の電圧変動率・フリッカ値を検討する。

※検討条件：1分以内に連続して起動する負荷を対象とする。

表5.6.6 負荷容量と運転状態

No	負荷名称	容量	台数	運転状態	①～⑤項の検討条件				
					①	②	③	④	
1	ドリルジャンボ	55	1	起動	○				
				定常					
1	ドリルジャンボ	55	1	起動					
				定常	○				
2	吹付機(油圧)	45	1	起動		○			
				定常					
3	吹付機(コンプレッサ①)	90	1	起動					
				定常		○			
4	吹付機(コンプレッサ②)	37	1	起動					
				定常		○			
5	集塵機	42	1	起動			○		
				定常					
6	送風機	55	1	起動				○	
				定常					
6	送風機	55	1	起動					
				定常				○	

①ドリルジャンボの順次始動

ドリルジャンボの順次始動について検討する。
 起動完了後(ドリルジャンボ×2台)の負荷率は50[%]とする。

運転 状態	No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	負荷率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	ΔV_{10}
始動	1	ドリルジャンボ	55	1	55	—	517	259	447	0.131
定常	1	ドリルジャンボ	55	2	110	50	74	59	45	—
合計							586	318	492	

この場合の力率 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ は、上記の皮相電力、有効電力、無効電力の合計より下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{皮相電力} &= \sqrt{(\text{有効電力})^2 + (\text{無効電力})^2} \\
 &= \sqrt{(318)^2 + (492)^2} = 586 \\
 \cos \theta &= \text{有効電力} / \text{皮相電力} = 318 / 586 = 0.543 \\
 \sin \theta &= \text{無効電力} / \text{皮相電力} = 492 / 586 = 0.840
 \end{aligned}$$

電圧変動率 ΔV [%]、フリッカ値 ΔV_{10} は、下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= P_s (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \\
 &= 586 (14.50 \times 0.543 + 64.44 \times 0.840) \times 10^{-4} \\
 &= 3.63 \text{ [%]} > 3 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策要} \\
 P_s &: \text{皮相電力[kVA]} \\
 \%R, \%X &: \text{配電線のインピーダンス(10MVAベース)} \\
 \cos \theta &: \text{力率} \\
 \sin \theta &: \sqrt{1 - \cos^2 \theta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{10} &= \Delta V \times k \cdot \alpha \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数} \\
 &= 3.26 \times 0.04 \\
 &= 0.131 \text{ [%]} < 0.23 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 &\text{※始動時 } \Delta V_{10} \text{ は単体始動時 } \Delta V \text{ より計算する。}
 \end{aligned}$$

社団法人 日本電気協会
 「分散型電源系統連系技術指針」
 (JEAG 9701-2001) 準用

②吹付機(油圧)の順次始動

吹付機(油圧)の順次始動について検討する。

起動完了後(吹付機(コンプレッサ①等)) 負荷率は50[%]とする。

運転 状態	No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	負荷率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	ΔV_{10}
始動	2	吹付機(油圧)	45	1	45	—	423	212	366	0.107
定常	3	吹付機(コンプレッサ①)	90	1	90	50	60	48	37	—
定常	4	吹付機(コンプレッサ②)	37	1	37	50	25	20	15	—
合計							503	280	418	

この場合の力率 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ は、上記の皮相電力、有効電力、無効電力の合計より下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{皮相電力} &= \sqrt{(\text{有効電力})^2 + (\text{無効電力})^2} \\
 &= \sqrt{(280)^2 + (418)^2} = 503 \\
 \cos \theta &= \text{有効電力} / \text{皮相電力} = 280 / 503 = 0.557 \\
 \sin \theta &= \text{無効電力} / \text{皮相電力} = 418 / 503 = 0.831
 \end{aligned}$$

電圧変動率 ΔV [%]、フリッカ値 ΔV_{10} は、下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= P_s (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \\
 &= 503 (14.50 \times 0.557 + 64.44 \times 0.831) \times 10^{-4} \\
 &= 3.1 \text{ [%]} > 3 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策要} \\
 P_s &: \text{皮相電力[kVA]} \\
 \%R, \%X &: \text{配電線のインピーダンス(10MVAベース)} \\
 \cos \theta &: \text{力率} \\
 \sin \theta &: \sqrt{1 - \cos^2 \theta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{10} &= \Delta V \times k \cdot \alpha \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数} \\
 &= 2.67 \times 0.04 \\
 &= 0.107 \text{ [%]} < 0.23 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 &\text{※始動時 } \Delta V_{10} \text{ は単体始動時 } \Delta V \text{ より計算する。}
 \end{aligned}$$

社団法人 日本電気協会
「分散型電源系統連系技術指針」
(JEAG 9701-2001) 準用

③集塵機の単体始動

集塵機の始動時について検討する。

運転 状態	No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	負荷率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	ΔV_{10}
始動	5	集塵機	42	1	42	-	132	66	114	0.033
合計							132	66	114	

この場合の力率 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ は、上記の皮相電力、有効電力、無効電力の合計より下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{皮相電力} &= \sqrt{(\text{有効電力})^2 + (\text{無効電力})^2} \\
 &= \sqrt{66^2 + 114^2} = 132 \\
 \cos \theta &= \text{有効電力} / \text{皮相電力} = 66 / 132 = 0.500 \\
 \sin \theta &= \text{無効電力} / \text{皮相電力} = 114 / 132 = 0.864
 \end{aligned}$$

電圧変動率 ΔV [%]、フリッカ値 ΔV_{10} は、下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= P_s (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \\
 &= 132 (14.50 \times 0.5 + 64.44 \times 0.864) \times 10^{-4} \\
 &= 0.83 \text{ [%]} < 3.00 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 P_s &: \text{皮相電力[kVA]} \\
 \%R, \%X &: \text{配電線のインピーダンス(10MVAベース)} \\
 \cos \theta &: \text{力率} \\
 \sin \theta &: \sqrt{1 - \cos^2 \theta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{10} &= \Delta V \times k \cdot \alpha \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数} \\
 &= 0.83 \times 0.04 \\
 &= 0.033 \text{ [%]} < 0.23 \text{ [%]} (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 &\text{※始動時 } \Delta V_{10} \text{ は単体始動時 } \Delta V \text{ より計算する。}
 \end{aligned}$$

社団法人 日本電気協会
「分散型電源系統連系技術指針」
(JEAG 9701-2001) 準用

⑤送風機の順次始動

送風機の単体始動について検討する。

運転 状態	No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	負荷率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	ΔV_{10}
始動	6	送風機	55	1	55	—	172	86	149	0.044
定常	6	送風機	55	1	55	50	37	30	22	※始動時
合計							207	116	171	

この場合の力率 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ は、上記の皮相電力、有効電力、無効電力の合計より下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{皮相電力} &= \sqrt{(\text{有効電力})^2 + (\text{無効電力})^2} \\
 &= \sqrt{116^2 + 171^2} = 207 \\
 \cos \theta &= \text{有効電力} / \text{皮相電力} = 116 / 207 = 0.560 \\
 \sin \theta &= \text{無効電力} / \text{皮相電力} = 171 / 207 = 0.826
 \end{aligned}$$

電圧変動率 ΔV [%]、フリッカ値 ΔV_{10} は、下記のようになる。

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= P_s (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \\
 &= 207 (14.50 \times 0.56 + 64.44 \times 0.826) \times 10^{-4} \\
 &= 1.27 [\%] < 3.00 [\%] (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 P_s &: \text{皮相電力[kVA]} \\
 \%R, \%X &: \text{配電線のインピーダンス(10MVAベース)} \\
 \cos \theta &: \text{力率} \\
 \sin \theta &: \sqrt{1 - \cos^2 \theta}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V_{10} &= \Delta V \times k \cdot \alpha \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数} \\
 &= 1.09 \times 0.04 \\
 &= 0.044 [\%] < 0.23 [\%] (\text{規制値}) \quad \dots \text{対策不要} \\
 &\text{※始動時 } \Delta V_{10} \text{ は単体始動時 } \Delta V \text{ より計算する。}
 \end{aligned}$$

社団法人 日本電気協会
「分散型電源系統連系技術指針」
(JEAG 9701-2001) 準用

(3) 対策の要否

ΔV 、 ΔV_{10} の許容値は下記のようになる。

$$\Delta V < 3.00 [\%] \quad \Delta V_{10} < 0.23$$

前項までの検討について、対策の要否の判定をする。

①ドリルジャンボの順次始動の場合

$$\begin{array}{llll} \Delta V & = & 3.63 [\%] & > 3.00 [\%] \dots \text{対策要} \\ \Delta V_{10} & = & 0.131 & < 0.23 \dots \text{対策不要} \end{array}$$

②吹付機(油圧)の順次始動の場合

$$\begin{array}{llll} \Delta V & = & 3.1 [\%] & > 3.00 [\%] \dots \text{対策要} \\ \text{始動時 } \Delta V_{10} & = & 0.107 & < 0.23 \dots \text{対策不要} \end{array}$$

③集塵機の単体始動の場合

$$\begin{array}{llll} \Delta V & = & 0.83 [\%] & < 3.00 [\%] \dots \text{対策不要} \\ \Delta V_{10} & = & 0.033 & < 0.23 \dots \text{対策不要} \end{array}$$

④送風機-1の順次始動

$$\begin{array}{llll} \Delta V & = & 1.27 [\%] & < 3.00 [\%] \dots \text{対策不要} \\ \Delta V_{10} & = & 0.044 & < 0.23 \dots \text{対策不要} \end{array}$$

上記のように許容値を超えるため、何らかのフリッカ抑制対策が必要となる。

(4) フリッカ抑制装置の選定

作業所内に点在するフリッカ対象負荷に対して、受電所付近にて一括でフリッカの抑制を行うための対策容量を選定する。

選定にあたっては、 ΔV および ΔV_{10} で最大のものを抑制できる容量とする。

各負荷の同時起動等が無いものとして、フリッカ抑制装置の容量を選定する。

【 ΔV の補償の場合】①ドリルジャンボ始動時についてフリッカ対策容量を検討する。

フリッカ補償容量

$$\begin{aligned}
 &= \text{定常負荷の無効電力} + (\Delta V_{\text{最大値}} - \Delta V_{\text{許容値}}) \div \% X \times 10^4 \div \text{補償率} \times \text{安全率} \\
 &= 301 + (3.63 - 3.00) \div 64.44 \times 10^4 \div 0.85 \times 1.2 \\
 &= 439 \text{ [kVA]}
 \end{aligned}$$

【 ΔV_{10} の補償の場合】①ドリルジャンボ始動時についてフリッカ対策容量を検討する。

フリッカ補償容量

$$\begin{aligned}
 &= \text{定常負荷の無効電力} + (\Delta V_{10\text{最大値}} - \Delta V_{10\text{許容値}}) \div \text{視感度係数} \div \% X \times 10^4 \div \text{補償率} \times \text{安全率} \\
 &= 301 + (0.131 - 0.23) \div 0.04 \div 64.44 \times 10^4 \div 0.85 \times 1.2 \\
 &= -241 \text{ [kVA]}
 \end{aligned}$$

フリッカ抑制装置の補償率を0.85、安全率を1.2としている。

定常負荷の無効電力は、掘削、吹付け、ロックボルト工の各工程が重ならないとし、ドリルジャンボ始動時に集塵機等が運転中であり、稼働率を80%とした無効電力を考慮する。ドリルジャンボが始動する場合の定常負荷の無効電力は、下表の通りとなる。

No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	力率 [%]	稼働率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]
2	集塵機	42	1	80.0	80	45	36	27
3	送風機	55	2	80.0	80	118	95	71
7	吹付プラント	53	1	80.0	80	57	46	34
8	濁水処理プラント20m ³	24	1	80.0	80	26	21	15
9	その他設備	51.4	1	80.0	80	55	44	33
合 計						302	241	181

また、当作業所では、配電線のインピーダンスが大きいこと、負荷機器の容量が大きいことなどから、有効電力による電圧降下分を補償する必要がある。

定常負荷の有効電力から線路抵抗補償時に必要な無効電力を換算計算するとドリルジャンボが始動する場合の定常負荷の無効電力(有効電力換算)は、下表の通りとなる。

No	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	効率	係数	稼働率 [%]	無効電力 [kvar]
2	集塵機	42	1	93	0.5	80	18
3	送風機	55	2	93	0.5	80	47
4	吹付プラント	53	1	93	0.5	80	23
5	濁水処理プラント20m ³	24	1	93	0.5	80	10
6	その他設備	51	1	93	0.5	80	22
合 計							120

※定常負荷の無効電力(有効電力換算) = 容量×台数÷効率×係数×稼働率

フリッカ抑制装置 500 KVA 型式: AFH-532C

方式: アクティブフィルタ

5-11-4 参考資料

(1) フリッカとは

フリッカとは、電源電圧の変動により照明のちらつきや機器の誤作動が発生するという現象である。電圧降下との違いは、電圧降下は定常的な負荷電流により電圧が降下するのに対し、フリッカは急峻な負荷電流の変化によって電圧が変動する現象を指し、電力会社の定める値以上のフリッカが発生した場合は需要家で対策する必要がある。

フリッカを表わす数値として電圧変動率 ΔV [%] とフリッカ値 ΔV_{10} があり、それぞれ次のように求めることができる。

※ ΔV 、 ΔV_{10} の算出について

$$\Delta V = PS (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \quad [\%]$$

PS : 入力容量[kVA]

%R : 配電線のインピーダンス (10MVAベース)

%X : 配電線のインピーダンス (10MVAベース)

$\cos \theta$: 力率

$\sin \theta$: $\sqrt{1 - \cos^2 \theta}$

$$\Delta V_{10} = \Delta V \times k \cdot \alpha$$

$$\Sigma \Delta V_{10} = \sqrt{(\Delta V_{10-1})^2 + \dots + (\Delta V_{10-n})^2} \quad k \cdot \alpha : \text{視感度係数}$$

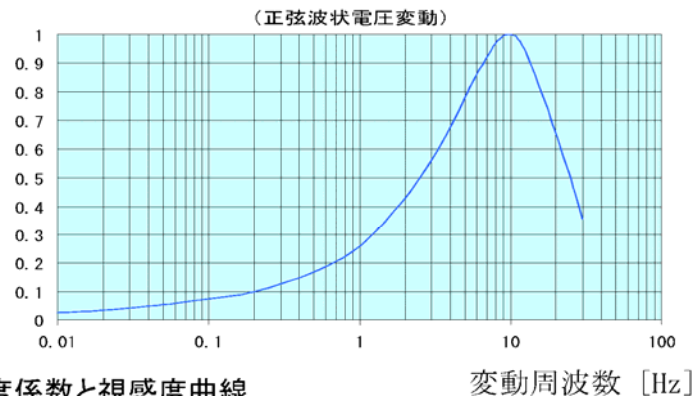
視感度係数とは

フリッカ値 ΔV_{10} は、電圧変動によるちらつきを数値化したものである。

人の目は電圧変動の度合い、変動の周期によりちらつきの感じ方が異なり、 ΔV_{10} は電圧変動によるちらつきを、10Hzの周期のちらつきに換算すると、いくらの電圧変動に相当するかを表すものである。

視感度係数とは、電圧変動によるちらつきを、10Hzの周期のちらつきに換算するための係数である。

変動周波数	視感度係数
0.6回/分	0.026
1回/分	0.040
3回/分	0.055
6回/分	0.075
10回/分	0.080
1回/秒	0.260
3回/秒	0.563
5回/秒	0.780
10回/秒	1.000
15回/秒	0.845
20回/秒	0.655

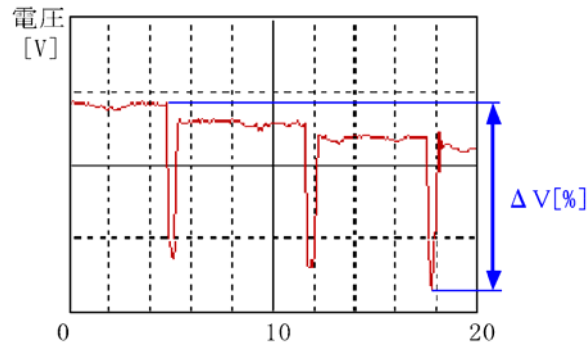


(2) 電圧変動率 ΔV [%] の考え方

ΔV [%] は、ある基準電圧に対して何%の電圧変動が生じるかを表わすものである。そこで、重要になるのは基準電圧をどこに置くかということである。

基本的には定常負荷による電圧降下は、電力会社の設備により各需要家の受電点での供給電圧の調整が行われる。したがって、問題となるのは急峻な負荷変動による電圧降下ということになる。

よって、数分以内に関連をもって起動する負荷群の順次起動や、運転時の負荷変動による電圧変動の発生が考えられる負荷を検討対象とすることが適当である。



(3) 規制値について

各電力会社の供給約款の「40 電気使用にともなうお客様の協力」（東京電力のみ 41項）のなかで、次のように定められている。

お客さまの電気の使用が、次の原因で他のお客さまの電気の使用を妨害し、もしくは妨害するおそれがある場合、または当社もしくは他の電気事業者の電気工作物に支障を及ぼし、もしくは支障を及ぼすおそれがある場合（この場合の判定は、その原因となる現象が最も著しいと認められる地点で行ないます。）には、お客さまの負担で、必要な調整装置を需要場所に施設していただくものとし、とくに必要がある場合には、供給設備を変更し、または専用供給設備を施設して、これにより電気を使用していただきます。

- イ、負荷の特性によって各相間の負荷が著しく平衡を欠く場合
- ロ、負荷の特性によって電圧または周波数が著しく変動する場合
- ハ、負荷の特性によって波形に著しいひずみを生ずる場合
- ニ、著しい高周波または高調波を発生する場合
- ホ、その他、イ、ロ、ハまたはニに準ずる場合

上記項目 ロ項に従い電力会社より規制値の設定を受け、その設定値を上回る ΔV 、 ΔV_{10} の発生が予測される場合は、フリッカ抑制装置を施設する必要がある。

この規制値は配電システムのインピーダンス等の状況、他需要家の状況をもとに、各電力会社により決定され、当現場では下記数値となっている。

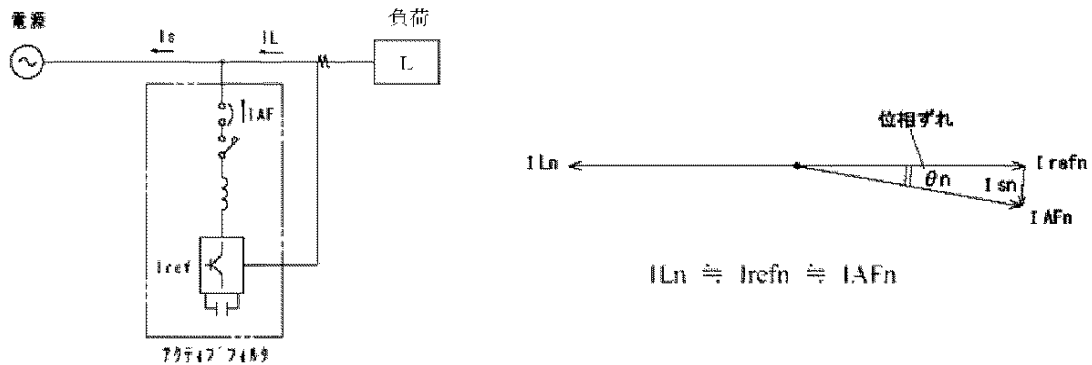
配電線インピーダンス

検討項目	規制値
ΔV	3.0%
ΔV_{10}	0.23

※関西電力株式会社より提供

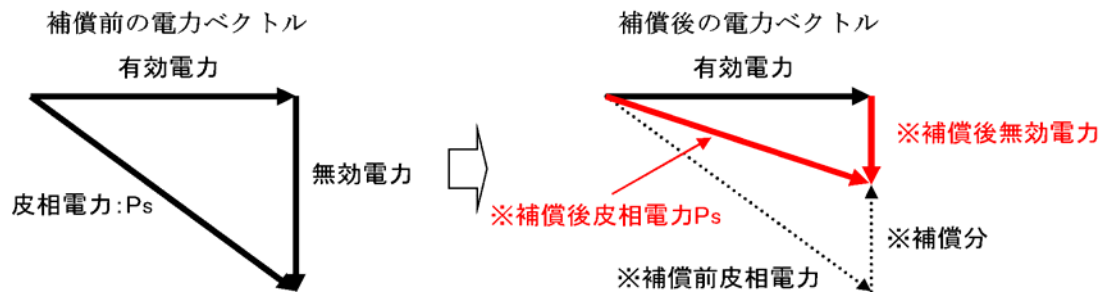
(4) 補償率・安全率について

補償率 0.85 … 一般的にアクティブフィルタは負荷電流を検出してから補償電流を出力するために、必ずタイムラグが生じます。そのタイムラグにより、補償すべきベクトル I_{ref} と補償電流のベクトル I_{af} の間に位相差が生じるため、補償率が100%になることはありません。その為、実測値をもとに補償率を 0.85として考慮する必要があります。



安全率 1.2 … 設計段階のある一定条件のもとに検討を行ない対策容量を算出していますが、実際には負荷状況や工事工程、電源系統などの変動に対しても影響を受けます。抑制装置の容量が不足してしまうと、十分なフリッカ抑制効果が得られないため、安全率を1.2として対策容量を検討する必要があります。

(5) 無効電力補償について



補償後の電力ベクトルより、上図のように無効電力を補償すれば、皮相電力 [P_s] が小さくなる為、下式より電圧降下 $\Delta V[\%]$ が抑制される。

$$\Delta V = PS (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} [\%]$$

PS : 入力容量 [kVA]