

## 第 4 編 施工および施工設備

### 第 1 章 総 則

#### 4.1.1 施工計画

施工に先立ち、工事の規模、工期、地山の条件、施工環境、等に適応したシールドおよび覆工材の詳細を決定し、作業坑、坑外、坑内設備、および施工順序、等について、安全で経済的な施工計画をたてなければならない。

【解 説】 工事の規模とは、トンネル断面の大きさと、その延長がおもなものである。シールドについては、1.3.5 および 第 3 編 シールドの各条を参照のこと。覆工材については、1.3.6 および 第 2 編 覆工およびセグメントの各条を参照のこと。作業坑については、1.3.9 作業坑と工事基地 および 4.3.1 作業坑の各条を参照のこと。

工専用機械、坑外、坑内設備については、それぞれ 第 4 編 第 7 章 坑外設備、および 第 8 章 坑内設備の各条を参照のこと。

工程を早める方法として作業坑の施工法およびその数、シールド掘進方式、および後方運搬設備、補助工法、等について検討する。

このようにしてきめた施工計画が予定工程を満足するかどうか、かつ、また各作業間のバランスがとれているかどうかを検討して、安全で経済的な全体の施工計画を確定しなければならない。

#### 4.1.2 施工法の変更

責任技術者は、施工中、施工法が現場の状況に不相当と認めたときは臨機の処置を取るとともに、遅滞なくその変更をしなければならない。

【解 説】 着工前の調査を入念に行なっても、シールド工事の特殊性として地質、その他の諸条件を全線にわたって的確に予想することは困難である。したがって、施工にあたっては前条に述べた観測、および調査を行なうとともに状況の変化により必要と認めたときには責任技術者は即刻施工法の変更を行ない、安全に施工ができるよう処置し、工事の進捗に遺憾のないようにしなければならない。

## 第2章 測 量

### 4.2.1 坑外測量

(1) 施工に先だち、中心線、および縦断測量を行ない、これらの基準となる適当な基準点を設けなければならない。

(2) 基準点の設定は、トンネルの長さ、地形の状況、等に応じて、トラバース測量、三角測量、等、適切な方法によって行なわなければならない。

基準点は、移動のおそれのない箇所にて設け、十分保護し、かつ引照点をとり検測復元が容易なようにしておかななければならない。

(3) 水準基点は、一等水準点、またはこれに準ずる点を原点として設けなければならない。

水準基点は堅固な箇所に設け、定期的な検測を行ない、変位の早期発見につとめ常に修正して使用しなければならない。

【解説】 施工にかかる時には、すでに工事計画のための測量が行なわれているのが一般であるが、施工に際しては、この工事計画時の測量結果の再確認、および施工上必要とする基準点の整備ということから測量を行なっておく必要がある。

(1) について この測量では、方向、および延長に重点をおいたものとし、地表面にトンネル中心線を描く意味での路線測量が主となる。

(2) について シールド工法による場合、施工区間のみでなく、その前後に接続する部分との関連も重要である。

市街地内においては、地形上の制約からトラバース測量による場合が多いが、十分の精度をあげようよう選点、測定を慎重に行なう必要がある。

基準点はもちろん施工中に必要な測点は、移動したり、紛失したりすることのないように注意して設けなければならない。考慮しておくべき事項としては、シールド施工による地表面への影響、市街地では交通状況、あるいは他工事の影響で測点が移動した場合にそなえての引照点の設置、等である。引照点を設ける場合には、念のため独立した2種類以上の方法で本杭を復元できるようにしておくのがよい。

(3) について 水準基点は、トンネル施工自体の水準測量の基点となるのはもちろん、特に市街地では、工事中、および工事終了後の地表面の変動についても観測する必要が生じる場合が多い。したがって、長期にわたって使用する関係上、その位置、構造、等に十分留意するとともに、定期的に検測し、常に修正して使用しなければならない。

### 4.2.2 坑内測量

(1) 坑内測量は、シールドトンネルの特性上、入念かつ高頻度で行なわなければならない。

(2) 立て坑への中心線、および水準の導入は、特に精密に行なわなければならない。

(3) 基準点は、推力の影響のない箇所にて施工中、狂いの生じないよう堅固に設けなければならない。

(4) 測点は、トンネルの大きさ、線形、等を考慮してその間隔を決定し、掘進するに従って、適当な方法、および頻度で検測しなければならない。

【解説】 (1) について 坑内測量の内容としては、シールドの位置を把握するためのシールド位置測量と、シールド掘進に伴い測点が順次前進するのを検測する坑内基準点検測測量である。シールドトンネルは、貫通後の切り広げ、あるいは修正ということはほとんど考えられないので、計画線からのかたよりを早めに把握して、シールド推進軌道の修正を遅滞なく行なうために高頻度に入念な測量を行なって、常に監視しなければならない。

シールド位置測量の頻度は、掘進速度、トンネルの線形、地質などにより一概にはいえないが、一般的には、少なくとも1日2回あるいは掘進5m程度ごとに、また曲線部では直線部の倍以上の頻度が望ましい。

なお、測量作業が他の作業、たとえば掘さく、セグメント組立てなどと競合して全体の作業能率を下げることのないように考慮しなければならない。そのため測量方法について十分検討し、日常のシールド位置測量はなるべく簡単な方法を考へて、その代り頻度を高めるような方法とし、坑内基準点の検測測量は他作業の全休日などを選んで定期的に十分な時間をかけて精密に行なう、等の配慮が必要である。

(2) について 地下への開口が立て坑しかない場合には、地上から地下へ導入する中心基線はきわめて短いものとなる。また立て坑が深い場合には、普通のトランシットでは視準できない場合も生ずる。したがって地上の基線を地下に降ろすためには、その方法を十分検討して精密に行なわなければならない。一般に立て坑を使用して降ろせる中心基線がきわめて短いことと、とくに立て坑から圧気工法を採用して施工する場合のように地下に下ろした中心基線の検測が行なえない場合のことも考慮して立て坑の近くに観測孔を設けておき、そこに到達したときに当初の中心基線の検測を早めに行なうなどの方法をとるのがよい。観測孔としては、シールドがその地点に到達する以前に設けておくのが一般であるが、シールドの通過した後に、セグメントを貫通して設ける方法もあり、ブライン

ド工法を採用する場合にはこの方法によることになる。いずれの場合でもシールドに圧気工法を採用している場合には、観測孔 および その周囲からの漏気、または噴発を防止する十分の手段を講じておかなければならない。なお中間に通過する立て坑がある場合には、それを利用して地上基準点との間の検測が行なえることはいうまでもない。

(3) について 坑内測量の基準点は、シールドの掘進に伴って順次前方へ移設していくことになるが、基準点を設ける場合には、シールド推進の推力の影響により組み立てたセグメントが変位する範囲があるため、あまり切羽に接近した箇所には危険であり、この範囲は地質、トンネルの線形、セグメントの種類、等によっても異なる。これらの基準点は、施工中の測量基準点であるとともに、貫通後の各種測量の基準点としても使用することになるものであるから長期間の使用に耐えるよう、また他の作業によって欠損したり移動したりすることのないような構造としなければならない。

(4) について 基準点の間隔はトンネルの大きさ、線形などのほかに、各種作業設備との関連、坑内空気の状態、あるいは使用測量機械などもあわせて考慮し、判断しなければならない。一般には曲線部で 20~30m 程度、直線部で 50m 程度が限度と考えられる。

基準点を先へ移す場合には、後方の数点を含む重複測量により位置をきめるようにし、なるべく早い時期に地上基準点、および坑内全測点との関連を検測しなければならない。

#### 4.2.3 推進管理測量

- (1) 推進に際しては、必ず推進管理測量を行なわなければならない。
- (2) 推進管理測量は、適当な器具などを利用して作業の単純化と合理化につとめるようにしなければならない。

【解説】(1) について 推進管理測量は、推進に際してシールドの動向を把握するために常に行なわなければならない。これは、組み立てられたセグメントに対するシールドの相対位置の測定、あるいはシールド自体のピッチング、およびローリング、等の諸量を測定してシールド位置を把握するためである。

(2) について 推進時間は限られたものであるから、必要にして、かつ十分なデータを迅速に把握するよう他の作業との関連も考慮し、なるべく単純化し、かつ合理化することが必要である。セグメントとシールドとの相対位置については、左右上下のジャッキのストローク差を測定すればおおむね目的が達せられるし、シールド自体のピッチング、ローリングなどは、シールド本体に下げ振り、Uチューブ、振り式傾斜計、等を設置して適宜測定できる。なお、最近開発されたレーザービーム装置は現在ではその直進性という

特性の利用にとどまっており、測距測角までの機能は今後の課題であり、また従来の測量機械にとって代るまでには至っておらず常時監視という点で利用されている場合が多い。

## 第3章 施 工

### 4.3.1 作業坑

(1) 作業坑は、シールド推進作業時にずり出し、覆工材の搬入、等の作業を所定の計画工程に従って進めうように設置しなければならない。

(2) 作業坑の構造は、シールドの組立て、発進時の反力の処理、開口構造、圧気の有無、発進点付近地山の安定処理、本構築との関連、等を考慮して設計しなければならない。

(3) 作業坑の施工は、その開さくされる地点の地質、路面の条件、交通量、等を考慮のうえ、安全かつ経済的に施工しうる工法を採らなければならない。

【解説】(1) について 発進立て坑は、発進基地に設けられるもので、シールドの搬入組立て、覆工、等の材料、および諸機械器具の搬入、ずりの搬出、作業員の入出、等のために設けられる。

中間立て坑は、トンネル延長が長くて、ずりの搬出、覆工材の搬入などの距離が長くなる場合、基地の一部または全部を移動するため設けるものである。

到達立て坑は、作業の終点に設けるもので、シールドの解体搬出に利用される。

方向変換立て坑は、急曲線でシールド推進による方向変換が不可能な場合、立て坑内でシールドを所定の方向に変換するために設けられるものである。

これらの立て坑は、さらにトンネル完成後、駅施設、人孔、換気口、出入口、等の目的で本構築に利用される場合が多い。

立て坑の位置はシールド トンネルの工事規模(トンネル延長と断面の大きさ)シールド通過地の土地の利用度、用地取得の難易度、ずりや材料の運搬、搬入出、等の工事作業内容、立て坑の施工しやすさ、使用目的などを考慮して、なるべく経済的、かつ効果的な場所、および形状を選ばなければならない。

(2) について 作業坑の構造は、細別してつぎのことに留意して設計、施工しなければならない。

- a) 作業坑は、前項に記したそれぞれの目的を満足する大きさと形状でなければならない

い。発進立て坑は、発進の方法、使用目的により、その大きさ形状を異にするが、最小限の規模は、シールドの搬入、あるいは現地組立て、および点検が可能で、かつ能率的にずりの搬出、覆工材、等の搬入、作業員の出入、等ができるものでなければならない。

一般に立て坑の内空は、シールドの大きさより両側にそれぞれ0.5~1.0m、下側に0.5~1.5m、前後にそれぞれ1.0~2.0m程度大きく造るのが通例である。

他の立て坑についても上記に準じた余裕を有し、かつ能率的な作業ができるよう配慮する必要がある。

b) シールド受け台は、シールドの自重、シールドの組立て時の仮移動にも十分耐え、かつ受け台の天端には軌条、その他適当なシールド推進用ガイドを設置して、坑内推進が容易で、方向に狂いの生じない構造でなければならない。

c) 発進時の反力は、仮組みされたセグメント、あるいは鋼製反力受けなどにより後方の立て坑壁、または地山に伝達される。したがって、このことを考慮のうえ、反力受け、立て坑壁、土留の方法、等を計画しなければならない。

d) 発進口の開口構造は、土圧に耐えることはもちろんであるが仮設物としての配慮が必要である。特に構造的には取りこわしが簡単で、かつ止水性に富むものとする。一般的には、鋼材、等を主材とし、薄いコンクリート壁で土留を行なう方法が用いられている。

その大きさは、理論的にはシールド外径に若干の余裕があればよいが、しかし、一般には、その施工誤差を加味してシールド外側より10~20cmくらい大きく造られている。ただし、立て坑の施工方法によっては、さらに、大きい余裕を考慮する必要がある。

到達口の開口構造についても、上記と同様の配慮をすればよいが、その大きさについては、蛇行による誤差を加味して発進口より若干大きくとる必要がある。

e) 立て坑圧気をする場合は、その圧気に十分耐える構造にしておかなくてはならない。

f) 発進口は、特に地山の崩壊、路面の陥没などの危険が多いので仮壁取りこわしに際しては、小区分ごとに取りこわし、シールド前面からただちに山留するなどの方法によりていねいに、かつ注意して行なわなければならない。

シールドが仮壁を通過したら、セグメントと立て坑の間げきは、ただちにコンクリートなどでてん充し、必要に応じて注入するなどして、土砂の流入、地山のゆるみを防止しなければならない。他の立て坑への進入、発進についても同様の配慮が必要である。

g) 地山の条件にもよるが発進地点の地山は、立て坑の施工によりゆるめられており、地盤改良を必要とする場合が多い。発進時から圧気をする場合は、漏気、噴発に対する配慮も必要である。

地盤改良の方法は、注入、凍結工法、地下水の低下工法、あるいはこれらの併用、等がある。

他の立て坑付近についても同様の配慮が必要である。

(3) について 作業坑の、施工は、一般にトンネルルート上に開さく工法で施工される場合が多い。その工法は、作業坑の規模、地山の条件、路面の条件、交通量、公害、等を勘案して、工期内に安全で最も経済的に施工しうる工法を採らなければならない。

市街地などで、本線上に適当な作業基地が得られない場合は、本線外の適当な位置に立て坑を設け、横坑、あるいは斜坑により本線に到達し、そこにシールドチャンバーを設けて施工する場合もある。

### 4.3.2 掘さくと山留

シールド切羽における掘さくと山留は、地山の条件、トンネル断面の大きさ等を考慮して切羽の安定をはかり、地山をできるだけゆるめないよう、その方法を選定しなければならない。

【解説】 1) 掘さくと山留の基本 シールド工法における掘さくと山留の基本は、シールド刃口を地山に貫入させ、フードの保護のもとで、切羽の地山の条件に応じて小部分ずつ掘さくを行ない、切羽ジャッキを用いてただちに山留をして、順次全断面の掘さく、山留をする。

山留は、切羽地山をゆるめないよう土圧に対して十分抵抗できる圧力で押え、推進中もこれをゆるめることなく推進完了まで当初押えた状態を維持するようつとめなければならない。このため、切羽ジャッキには、リリーフバルブを取りつけ、推進に伴って切羽ジャッキの圧力を自動的に調節するのがよい。

2) 掘さく断面との関係 切羽地山の安定は、地山の条件と、シールド断面の大きさに非常に左右されるので大断面の掘さく方法は慎重に決めなければならない。

#### 3) 地山の条件と掘さく山留方法

a) 開放型シールドの場合 切羽面が掘さくする間自立する程度の地山では、手掘り式開放型シールドが使用可能である。切羽地山が自立性にすぐれている場合は、可動床などを利用して切羽を二、三段に分け掘さくするが、この場合でも掘さく終了後、ただちに山留をなし、推進時の切羽の安定に留意しなければならない。

自立性に乏しい地山にあっては、原則として上部より部分的に掘さくを行ない、ただちに山留を行なう。

小口径のシールド等で、部分的な山留で十分切羽の安定が保てる場合は、一部の山留を省略することがある。

地山が硬く刃口の貫入が不可能な場合は、先掘りするが一推進分の先掘りが危険な場

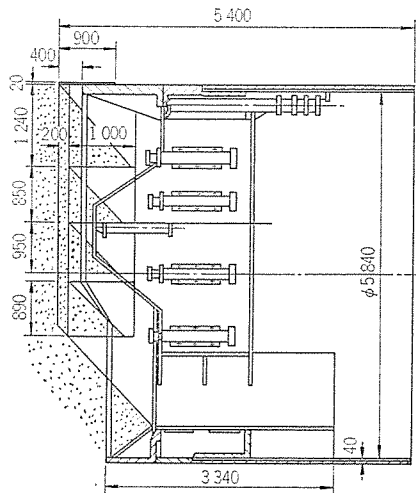
合は、一推進分を分割して掘さくしなければならない。

粘性土で切羽が自立する場合でもその性質によっては、切羽全面を開放しておく時間が長ければふくれ出て、地盤沈下の原因となるので、このような地山では、山留はできるだけ早期に行ない推進中もゆるめてはならない。

b) 閉そく型シールドの場合 軟弱な粘性土で流動性はなほはだしく、開放型シールドでは山留が困難な場合、閉そく型シールドを用い地盤の変状を生じないよう開口比を調整して掘さくしなければならない。閉そく形推進中、地山の状態が砂分が多くなったり、含水比が低下すると推力が増大するので注意を要する。

土質によっては開放型シールドの一部を閉そくして用いることもある。

c) 棚式シールドの場合 図示のように切羽の安定を土砂の安息角と棚との摩擦によって計り、シールドを地山に貫入して土砂を掘さくする工法である。ゆるい砂質土に適するといわれており、外国にはその施工例があるが、わが国ではまだ完全な棚式シールドは用いられていない。



解説 図 19 棚式シールド

d) 泥水加圧式シールドの場合 切羽を土留板、あるいは圧気で押えるかわりに適当な泥水圧で押え、安定を計りながら泥水内で機械により掘さく、かくはんし、ずりを流送する方式であるが、この方法では泥水がテールから流出し、泥水圧の保持が困難になることがあるので注意を要する。

e) 機械掘りシールドの場合 機械掘りシールドにも開放型と閉そく型とあるが、地

山の性質によっては、その能率が著しく左右されるので十分な地質調査のうえ、その地山に適した機械の選定をしなければならない。

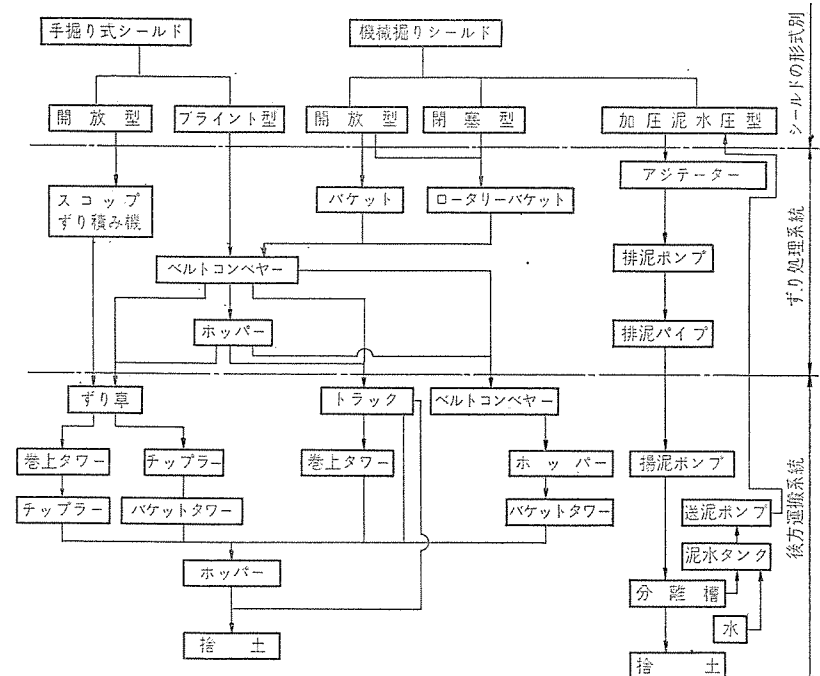
また、掘さくにあたっては、自立性に乏しい地山では過剰掘さくを生じ、これが地盤沈下、陥没の原因になるので注意しなければならない。

開放型は自立性の地山に適し、密閉型は掘さく休止時、山留として利用できる利点がある。

### 4.3.3 ずり出し

切羽のずり処理は、掘さく的方式に応じ、計画工程を満足する能力を有しかつ、ずりの性質に適応した処理方法をとらなければならない。

【解説】 掘さく方式別にずり処理、および運搬系統を示せば、大略次のとおりである。



解説 図 20 系統図

ずり処理、および運搬の能力は、全工程を左右することになるので、特にその計画は入念に行ない、トンネル断面の大きさ、延長、一推進の掘さく土量、そのサイクルタイム、圧気の有無、ずりの貯蔵能力、土捨場の条件、ずりの性質を勘案して計画工程を満足するように上記の系統図を参考に、その方法、および規模を決定しなければならない。

ずりの性質によるその処理方法については、上記系統図のほか 4.8.5 を、また運搬設備の規模については、4.7.5 および 4.8.3 を参照されたい。

また、その設備の配置については、セグメントの組立て、防水工など他の作業にできるだけ支障を与えないように配慮する必要がある。

#### 4.3.4 推 進

推進は地山の性質に応じ、必要なジャッキを適正に作動させ、切羽、等の安定をはかりながら、シールドが所定のルート上を正確に進むようにしなければならない。

【解 説】 推進にさいして留意すべきおもな点は次のとおりである。

1) 推進にあたっては、適正なシールド ジャッキの本数と配置により推力を作動させること 推進のための推力は地山の条件によって大きく異なり、一般的には、砂質土の場合は推力が大きく、粘性土の場合は小さいが、切羽地山の粒度組成（礫、砂、シルトおよび粘土などの混合割合）、地盤強度、含水量、推進方向、切羽の山留を要する場合の圧力、余掘りの可否などによって異なる。

2) 切羽の安定を損じないようにすること 推進は、セグメントを組み立て、準備完了後すみやかに行ない、連続推進または断続推進を通常とし、その速度は 50mm/min 程度を標準とする。

開放型シールドの場合は、地山が自立し特に山留を必要としない場合以外は、常に必要な圧力で切羽を押えながらフードが地山に貫入した状態で推進することが望ましい。

閉そく型シールドの場合は、土質、土かぶり、等を考慮して推力の大きさの範囲を決め、開口比を調整して、その範囲の推力で推進し、特に地表の隆起、沈下、陥没、等を生じないようにしなければならない。

泥水加圧式シールドの場合は、切羽の土質、掘さくずり量および切羽の状態を考慮して、所定の泥水圧を保持しながら推進しなければならない。

機械掘りシールドの場合は推進速度と切さく刃の回転数の関係を十分把握し、実際の取り出し量がシールド推進の計算容積を越えないように注意しなければならない。

3) セグメントなど後方構造物を破損ないようにすること 推進にあたっては、セグ

メントの強度を考慮のうえ、ジャッキ 1本あたりの最大推力を決め、それ以下のジャッキ推力で推進するようにして、後方構造物を損傷しないようにしなければならない。

したがって 1本あたりのジャッキ推力を小さくするために所要推力は全ジャッキを使用して得るのが望ましく、曲線部、勾配変換部、あるいは蛇行修正のためなどで、やむを得ず部分的にジャッキを使用する場合でも、できるだけ多く使用するように配慮しなければならない。

所定推力以上で押さなければならない場合は、地盤の安定を計って先掘りするなどして、所要推力の低下を計るか、あるいは、セグメントを補強するなどして推進するようにしなければならない。

4) シールドを所定のルート上に正確に推進させ、ローリングやピッチングの発生をできるだけ防ぐこと シールドの推進にさいしては、4.2.3 推進管理測量 を参照してシールドの位置、および方向を把握するとともに、適正な位置に推力を作用させなければならない。曲線部や勾配変換部の通過あるいは蛇行修正などの場合は、局部的にジャッキを使用して行ない、シールド中心とセグメント面が直交するように異形セグメントを用いながら推進する。

シールドが蛇行やピッチングあるいはローリングする原因は、地山の抵抗、ジャッキの押し方、シールドの個性などによるものであるから、すでに得られたそれらの関連による方向性のデータなどを利用するようにしなければならない。

軟弱地盤やシールドの構造などによって、前のめり（ノーズダウン）する場合は、シールド前面底部にコンクリートを打設したり、薬液注入をするなどの地盤改良を行ったり、あるいはシールド前面に そり をつけるなどして推進する。

先掘りが可能な土質で、かつ急激な方向変換を要する場合は、前方を先掘りして推進することもあり、また径長比の小さいシールドは曲がりにくいので、抵抗板を用いることもある。

蛇行修正は、できるだけ早期に行なうのが望ましいが、特に軟弱地盤では、急激な方向修正を行なうと、かえってその反対側での蛇行量を増したり急曲線が入る結果になる場合が多い。相当の長さの区間で、徐々に修正するように配慮する必要がある。推進中に土質が急変すると、大きな蛇行を生ずることがあるので、土質の変化点では特に注意しなければならない。

ローリングの防止に対しては、推進時に注意して、その防止を計るように行なうことはもちろんであるが、その予防措置として、スタビライザーなどが用いられている。

ローリングした場合は、スタビライザーの角度を変えたり、ローリングの反対側におもりを置いたり、シールド ジャッキとセグメントの間にキャンパーをそう入したり、あるいは先掘り可能な場合は、刃口部外面横に推進軸に対し角度をもったアングルなどを取り

つけ、推進することによって回転モーメントを与え修正するなどの方法がとられている。

ローリングが生ずると、施工能率が低下し、これが大きくなると、シールドの構造によっては、ずり処理が困難になる場合がある。

#### 4.3.5 一次覆工

一次覆工は、推進完了後にすみやかに行なう。一次覆工の施工は、計画された正規の位置に正確堅固に行なわなければならない。

【解説】 一般に、一次覆工は、いくつかのセグメントをリング状に組み立てて行なう。セグメントの種類については、2.1.2 参照のこと。一次覆工は、推進完了後すみやかに組み立て、切羽の状況によっては、いつでも次の推進ができるようにしておかなければならない。

1) 一次覆工の施工 セグメントを組み立てるためにシールド ジャッキを全部一度に引き込まず、漸次必要に応じて引き込みセグメントを組み立てる。

セグメントのリング継手は、千鳥型配列に組み立てるのを通常とする。組立ては、セグメント、および防水機能を損傷しないようにし、また組立て前に十分清掃し、たがいに良く密着するようにしなければならない。セグメントを真円に組み立てる方法として治具、およびタイバーを用いて自重による変形を防止する方法がある。セグメントの保管、運搬、テール内での取扱いは、注意深くていねいに行ない、適当な運搬台車および設備を備えよ。セグメントの仮置きについては、こぼ立てを原則とし、やむを得ないときでも変形を生じないように配慮しなければならない。

小口径シールドで、セグメントを人力で組み立てる場合もあるが、この場合でも、できるだけ補助工具を用いたり、セグメント ピースの重量を軽くするなどの配慮が必要である。

Kセグメントの組立ては、微動装置を使用し、正規の位置をつかみ、施回したとき、すでに組み立てたセグメントを損傷せぬよう正確に押し込み、シールド ジャッキを利用して組み立てる。

2) ボルト締付け工および再締付け セグメントの継手ボルトは、組立て時セグメントに損傷をあたえず、かつ定められた力で十分締め付けねばならない。ゆるみが生じた場合は、ただちに締め直しを行なわなければならないのはもちろんのこと、推進の影響がなくなったところで、再度十分締め付けねばならない。

3) リブ アンド ラグging リブ アンド ラグgingの場合は、推進にさいしては、特に蛇行に注意し、曲率の小さい曲線や急激な方向変更をするときは、リブ間隔を特に狭くすることがある。またリブの拡張に際しては、地山への密着を十分確認しなければならない。

#### 4.3.6 裏込め注入工

裏込め注入は、地山の性質に最も適合したてん充方法で、シールドの推進と同時に、あるいは直後に行ない、テールボイドを完全にてん充して地山のゆるみと沈下を防止するようにしなければならない。

【解説】 シールド テールがセグメント リングから脱け出すと、テールの厚さと、テールクリアランスからなるテール ボイドがセグメント外面と地山の間に残る。このボイドをてん充することを裏込め注入工という。

裏込め注入工を行なう代りにリブ アンド ラグging (Rib and Lagging) では、リブの拡張を行なう。他にセグメントの拡張、その他ボイドでてん充にかえる方法もある。

裏込め注入は、a) 豆砂利とモルタルをそれぞれ分離注入する方式、b) 豆砂利コンクリート、あるいはモルタル系材料を即時注入する方式などがあるが、一般には後者が多く用いられるので以下はこの方式について述べる。

1) 注入材料 材料は一般に砂、セメント、フライアッシュ、ベントナイト、等からなるモルタル、あるいはこれに豆砂利を混入した豆砂利コンクリートが用いられている。これらの材料は、材料分離を起こさず、流動性を失わず、注入後は容積減少を起こさず、かつ早期に地山の強度以上に達するものであることが望ましいが、硬化時間が早すぎると注入能率が悪くなるので調節を考えなければならない。

2) 注入方法 裏込め注入は、テールボイドの崩壊がはじまる以前に行なわなければならない。地山が強固でボイドを長時間維持できる場合は問題はないが、崩壊の早い軟弱地盤や、ゆるい砂質土では適切な注入方法をとらなければならない。

モルタル系材料のてん充方法としては、注入材が地山の強度に達するまで地山の土圧に見合った内圧が保持できるような注入方法でてん充するのが理想的で、常時加圧、またはこれに準ずる即時注入によるのが最良の方法である。

常時加圧が困難で、即時注入による場合は、再注入を行なうことによって、てん充状況を確認し、より完全にてん充するようにすることが望ましい。

小断面シールドなどは推進と同時に注入ができにくい、この場合でも推進後ただちに注入てん充しなければならない。注入はコンクリート ポンプを用いて、セグメントの注入孔より行ない、その順序は原則として下方より上方に向かって左右対称に注入し、セグメントに偏圧を生じないようにしなければならない。

注入材のシールド テール内への流入を防止するため、テール プレートとセグメント外面との間は、テール シールなどをそう入しなければならない。また、補助としてわら束、木毛などを使用する場合もある。

3) 注入量 現実の注入量は、計算数量の130～150%程度に達することもある。

4) 裏込め効果と推力の地山への伝達 裏込め注入は、地山のゆるみを防ぎジャッキ推力を地山に伝達するものであるから、十分な圧入と強度が必要である。裏込め注入が完全で強度があると推力の伝達は、すでに組み立てた遠くのセグメントにおよばない。

#### 4.3.7 防水工

トンネル内の漏水を防ぐためには、適当な防水工を、施さなければならない。

【解説】シールドトンネルは、地下水位下に構築されることが多いので、地下水圧に耐えうるような継手目地の防水工が必要である。トンネル内の漏水は、完成後の維持管理に種々の問題が起こるので注意しなければならない。

1) セグメントの防水工 セグメントによって覆工されるトンネルの防水工は、

- セグメント継手面にシール材を塗布、あるいは貼布する場合、
- コーキング溝にコーキング材をてん充する場合、
- a), b) を併用する場合、

等がある。以下これらについて述べる。

a) について シール材に必要な性質

- シールドジャッキによる繰返し推力に追従して、水密性を失わないものであること。
- シールドジャッキの推力、およびボルト締付け力との双方に耐えること。
- セグメントの組立て精度に悪影響を与えないものであること。
- シール材相互はもとより、セグメントに対して十分な接着性があること。
- 耐候性、耐薬品性にすぐれていること。
- 作業性がよく、ボルトを締め付けた状態で均一性に富んでいること。

以上の諸条件を満足するシール材は、不定形品（液状のものをセグメントに塗布して固めたもの）と定形品（一定寸法に定形されたものをセグメントに貼着したもの）があり、材質はプラスチック系統のチオコール系、エポキシ系、尿素樹脂系や合成ゴム系統のネオプレーンゴム系、ブチルゴム系、および天然ゴム系のものが多い。

水の多い砂層、または弱点となる箇所には、継手のシール材を2列にする場合もある。

施工にあたっては、塗布、あるいは貼着面にプライマーの処理が必要であるとともに、セグメントの隅角部は特に入念に貼着し、セグメント運搬時にシール材に損傷を与えないように処置しなければならない。

b) について セグメント組立て後、推力の影響のなくなった所、すなわち、切羽より約20～30m後方において、セグメントの内側の溝にコーキングを施し、漏水を防止しなければならない。この作業にあたっては、別途作業台車を設けて施工するのが一般である。

セグメント継手目地コーキング材として必要な条件は、

- 水密性はもとより、耐薬品性、耐候性にすぐれていること。
- 湿潤状態における施工性にすぐれていること。
- 伸縮および復元性に富んでいること。
- 硬化時に湿分によって影響されないこと。
- 施工後できるだけ早く非粘着となり、完全硬化期間の短いこと。
- 収縮の少ないこと。

以上の諸条件を満足することが望ましい。

コーキング材としては、プラスチック系統のエポキシ系、チオコール系、尿素系樹脂系のものを主剤としたものが一般に広く使用されているが、このほかに鋳鉄製セグメント類では、鉛が多く用いられている。

現在、コーキング材は、開発途上にあり、上記の条件を満足するとともに、コストの安い材料が期待されている。

コーキングの施工に際しては、コーキング溝の油、さび、水分、等は、きれいに拭き取ってからプライマー（接着材）を塗布し、てん充しなければならない。

c) について c) は最もいい防水工で、a) によって一次止水をして、b) によって、完全に漏水を止めるために行なうものである。すなわち、a) は b) のコーキング工の効果を完全に発揮させるための補助工法で、コーキング材が水圧に耐えるまでの間、一時的に止水をする目的で行なうものである。b) は永久防水工として施工するものである。

二次覆工を防水の目的で施工する場合は、一次覆工の水しまいを完全に行なってから施工しないと十分な防水効果は期待しにくい。したがって、圧気作業の場合は圧気下で二次覆工を行なうことも考えられる。

2) ボルト孔の防水工・グラメット工 ボルト孔には防水処理を施す必要がある。ボルトワッシャーとボルトホール間に、場合に応じて麻ひも、合成ゴム、あるいは合成樹脂系統の材料から作られたリング状のパッキングを入れる。ボルトを締め付けることによって、これらパッキングの一部が変形して、ボルト孔壁とボルトおよびワッシャーの外周で形成される空間を充てんし、締付け力の保持と同時に、ボルト孔からの漏水を防止するものである。したがって、ボルト締め付け時にねじ切れるような材料であってはならない。

最近では、合成樹脂系のパッキング材が一般に使用されている。

ボルトを締め付けた場合、ナット側はボルトのねじ山とパッキング材のくい込みがある



ので変形するが、ボルトの頭部側でも十分くい込む最適の材質のものを選ばなければならない。

ボルト締付け後、時間の経過とともに締付け力がゆるむことがある。この原因は種々考えられるが、パッキング材のクリープによる場合が少なくないので、防水の面からもボルトの再締めは入念に行なわなくてはならない。

#### 4.3.8 二次覆工

二次覆工は、一次覆工の整備確認をし、防水、清掃、等の前処理を完全に行なったのち、所定の材料によって必要な厚さを保つよう、入念に施工しなければならない。

【解説】 1) 二次覆工の施工法 二次覆工は、トンネルの設計条件により無筋および鉄筋コンクリートがある。その他モルタル、あるいはコンクリートの吹付けや上水道トンネルのように管を設置し、一次覆工と管との間げきにコンクリートをてん充する場合もあるが、いずれも一般トンネルにおける覆工コンクリートと同様の施工を行なう。

コンクリートの打込みは、プレーサー、またはコンクリートポンプが一般に使用されている。使用するコンクリートは、土木学会「コンクリート標準示方書」、ならびに「トンネル標準示方書」による。

コンクリートの打継目には止水板を入れ、打継目からの漏水を防止することもある。

2) 前処理 二次覆工を施す前、ボルトの締め直し、セグメントの清掃、および漏水箇所点検を行なわなければならない。漏水箇所はコーキングや注入、等で止水しなければならない。

3) 巻厚と内空の確保 巻厚は、設計条件、コンクリート打設時の施工性、および蛇行修正、等によりきまるが、その施工にあたっては必要な内空を確保するように注意しなければならない。

#### 4.3.9 地下切り広げと地下接合

(1) 地下切り広げは、地山の条件を考慮し、適切な方法で施工しなければならない。また偏圧による覆工の変形防止にも留意しなければならない。

(2) 地下接合は、あらかじめ双方のルートを修正のうえ、地盤の安定をはかりながら施工しなければならない。

【解説】 (1) について 地下切り広げは、a) 併列する2本のトンネルの間に地下駅などの構造物を設ける場合、b) 地中にシールドチャンバー（シールドを組み立てる部屋）を作る場合、c) 地中においてトンネルが分岐、またはある角度をもって接合する場合、等に必要となる。

一般に、先行の工事でトンネル周辺の地山はゆるんでいるので、必要に応じて十分な地山安定処理を行ない、小部分ずつ掘さくし、鋼製支保工や特殊セグメント、等で地山を押し、注意深く切り広げなければならない。

また、既設のトンネルが変形しないよう適切な処置を講じなければならない。地下切り広げ法の問題点は、切り広げ掘さく工法と切り広げ部構造と、シールドトンネル部との結合法で、この部分の構造強さと防水性の両面において設計施工上、特に注意を要する。

(2) について 地下接合とは、シールド施工延長が長く、工期が短い場合や、トンネルの路線が急角度で折れる場合、等で1本のトンネルを両端から2機のシールドで施工し、途中で接合させる方法である。

路線が直線の場合は接合地点はできるだけ条件のよい所を選び、双方のシールドが15m前後まで接近したら、片方のシールドを停止し、一方のシールドのみによって推進し接合する。

路線が90°に近い角度で折れる場合は、片方のシールドを先に接合地点を通過させておき、次にもう一方のシールドを先行トンネルの側方よりぶつけるようにし、両者の間げき部分は十分安全な山留をしながら掘さくして接合する。なお、地山がぐずれやすい場合は、接合箇所の周囲の地山を注入などで地盤改良をしておく必要がある。

## 第4章 地山安定処理工法

### 4.4.1 地山安定処理

地山が不安定で、切羽の崩壊、地表面の陥没、あるいは沈下のおそれのある場合は、地山の条件、施工環境、等を考慮し、圧気工法、地下水水位低下工法、注入工法、凍結工法、あるいはこれらの併用などにより、安全で、かつ経済的な方法で、地山の安定を計らなければならない。

【解説】 シールドを掘進する際、切羽面からの湧水や、切羽面の崩壊により、シールド工事自体に支障をきたすことがあり、また都市においては地盤沈下を起こし、地上の近接構造物、地中埋設物に被害を与える場合があるので、これらの場合や海底、河底を横断

するときには、特に注意を要する。

地山安定処理工法とは、以上のようなシールド工事に伴う種々の障害を防ぐために、地山を安定させる工法のことをいい、一般に、圧気工法、地下水位低下工法、注入工法、凍結工法、およびそれらの併用工法が採用されている。

地盤安定の各種工法の内容とその適用範囲については、4.4.2、4.4.3、4.4.4 および第4編 第5章 参照のこと。

#### 4.4.2 地下水位低下工法

地下水位の低下にあたっては、特に施工環境に留意し、地上からのディープウェル工法、ウェルポイント工法、トンネル内からのウェルポイント工法、あるいはパイロットトンネルの利用、等により行なわなければならない。

【解説】 1) 地上よりの処理方法 地質の透気性が大きく、また施工環境により圧気工法が適用できない場合、地下水低下工法が採用される。この工法が適用される土質は、シルト質砂から砂礫層に至る透水係数が  $10^2 \sim 10^{-4}$  cm/sec の範囲である。

水位低下工法は、一般的にウェルポイント工法とディープウェル工法がある。シールドの下端が地表面から約 6~7m より浅い場合、地表面からのウェルポイントが効果的であるが、通常シールド設置位置が約 6~7m より深いことが多いので、地上からのウェルポイント工法の採用は困難となる。この場合、ディープウェル工法が採用される。設計に際して、切羽面からの湧水による切羽面の崩壊を防ぐために、低下水位はシールドの下端より、いくぶん下になるようにすることが望ましい。ただし、切羽断面に不透水層が表われてくる場合、完全に水位の低下が望めないため、局部的対策を立てる必要がある。

2) トンネル内よりの処理方法 立地条件によっては、地上よりのディープウェルが不可能な場合があるが、このような場合、トンネル内からのウェルポイント工法あるいは、水平ボーリングまたは水抜き坑の利用などにより水位の低下を行なう。本トンネルの内部から、ウェルポイントを施工する場合には、トンネル下方、または斜下方へウェルポイントを設置し、揚水する。水平ボーリングを切羽から行なう場合は、ボーリング作業中、掘さく作業を停止しなければならない。側壁を破ってボーリング作業坑を設ける場合や水抜き坑を利用する場合はシールドの掘進に支障はないが、工事費はかさむ。

本トンネルからウェルポイントをそう入する場合は、掘進速度はある程度制限される。

3) 実施の際の注意 シールド工事が都市で施工される場合は、揚水量の多いときには、下水道の容量不足で放流しきれないことがある。したがって、揚水量の調査とともに放流方法についても十分事前調査を行なわなければならない。また土質によっては圧密沈

下を生ずる場合もあるので注意を要する。

#### 4.4.3 注入工法

地山、および切羽の安定、または止水や漏気防止、等のため注入工法を用いる場合は、地山の条件を考慮し、所期の目的を満足する注入材、注入方法、注入範囲、等を決定しなければならない。

【解説】 発進立て坑よりシールドが発進する場合、圧気を使用しうる地点まで、すなわちロック設定までの区間は無圧気で推進される場合が多く、また発進到達して坑付近では、その設置の段階で周辺地山をゆるめるので、シールド通過にあたって難渋することが多い。また通過する地山が破壊を起こすおそれのある場合（特に河海底、重荷重構造物の下や近傍）や、漏気のはなはだしいことが予想されるとき、切羽、等よりの出水を止めることを目的とする場合、等のため注入工を行なう。

注入に使用される材料は、その地山の状態、注入の目的（地山の強化、あるいは止水）によって最適のものを選定しなければならない。

注入の方法としては、一般に、a) 地表面より行なう場合、b) 切羽より行なう場合、c) 水抜き坑より実施する場合などがあるが、a) の場合は進行に関係なく先行して施工しうるが、b) の場合は切羽をコンクリート、その他で閉そくしてから実施しなければならないため、その間シールドは停止せざるを得ないので、はなはだしく工程を阻害するので地表より実施できない場合や地表からでは信頼度の低い場合のみ実施される。また c) の場合、水抜き坑の施工を先行させてこのトンネルより注入を行なうが、水抜き坑の施工にあたっては、種々の問題について入念に検討する必要がある。

#### 4.4.4 凍結工法

地山安定処理のため、凍結工法を採用する場合は、地山の条件、施工環境等に留意し、この工法の特性を十分考慮して行なわなければならない。

【解説】 凍結工法を地山の安定処理工法として用いる場合に留意すべきおもなる点は次のとおりである。

a) 適当な観測方法（温度測定）により、凍結状態と、その範囲を確認すれば、その信頼度は高い。

b) 地下水に流動がある場合（流速 1~5 m/day 以上）は、凍結の進行が阻害される。

- c) 地山の含水比が小さい場合は（10%以下）、凍土の強度が期待できない。
- d) 凍結時の凍土および膨張と解凍時の地盤の沈下、収縮はさげがたい。

## 第5章 圧気工法

### 4.5.1 圧気工法の効果

切羽に対する圧気の効果は、止水、土留、地山の脱水強化、等であり、これらの作用により切羽の安定がはかられる。圧気は、これらの効果はその地山に対して最も有効に作用するように用いなければならない。

【解説】 1) 圧気の切羽安定作用 圧気による切羽の安定作用は、大きく次の三作用に分けられる。

- a) 切羽からの湧水を阻止し、切羽の崩壊を防止する。
- b) 空気圧自体の土留作用により切羽を安定させる。
- c) 圧気による地山の脱水作用により、土の強度を増大させて切羽の安定性を向上させる。

圧気による切羽崩壊防止作用は、圧気工法の最も顕著な効果であるが、透気性の大きい地盤では地下水圧に対応する空気圧を作用させても漏気が多くなり、切羽下部からの湧水を阻止することができない場合が多い。

空気圧自体は、土留作用は地山の性質によって大きく異なり、この効果が期待できるのは透気性の低い粘性土地盤の場合で、砂質や砂礫地盤のように透気性の大きい場合には、その土留効果も少ない。

一般に、空気圧は、切羽のいずれの部分に対しても同一圧力が作用するので、天端とふまへの作用水圧や土圧の相違に対して、すべての位置についての最適の条件を与えることはできない。

### 4.5.2 圧気工法と土質との関連

圧気的作用効果は地山の条件に大きく左右されるので、地質調査の結果を検討するとともに、施工中もその変化に十分留意しなければならない。

【解説】 1) 土質および地下水調査 圧気的作用効果は、土質と地下水の状態に大きく左右されるので、このための調査は最も重要であり、その必要な調査内容は次のとおり

である。

a) 地層構成 施工区域全般にわたって、ボーリング、試掘、等を行ない、サンプリングして土質を観察するとともに、地質縦横断図を作り、 $N$  値・ $q_u$  等を記入する。

b) 粒度組成 これは透気性を左右するもので、土の粒度組成は粒度試験より求め、土の透気係数を推定することができる。

c) 透水係数 土の透気係数は、その透水係数と密接な関係がある。透水係数は、現場揚水試験、あるいは透水実験により求めるのがよいが、大略の値は粒度試験結果から推定することができる。

d) 地下水の状態 圧気工法は、地下水湧出の阻止を主目的としているので地下水の状態を詳細に調査することが必要である。地下水圧の測定には、地層が複雑な場合、被圧水層が存在することがあるので、各層ごとにその水圧を測定し判断を誤らないう注意しなければならない。さらに水位の季節的な変動、潮汐の影響、等も調査しておく必要がある。

e) 圧気試験 所要空気圧、および空気消費量を求めるため、大径ボーリングを行ない、被試層以外は通気性を粘土などでシャ断して送気圧と送気量との関係を実験的に求めることもある。

2) 施工中の観察 工事の進行とともに、切羽の状態を観察しつつ、その粒度、貫入抵抗値等の測定を行ない、事前調査資料とを比較しつつ、施工法に反映させねばならない。

3) 圧気工法と切羽土質との関連 切羽の土質によって圧気の効果は著しく異なる。

a) 砂礫地盤の場合 透気性が大きいので、地下水がある場合には湧水も多くなり、また圧気圧を高くすると漏気が多くなり、圧気効果は明白にあらわれず、土留の作用も期待できず難工事となる場合が多い。したがって、ディーブウェル注入工法、等の補助工法の併用を考えなければならない。

b) 砂質地盤の場合 透気性がかなり良いので空気消費量が多くなり、土かぶりの少ない場合には、圧気圧が高いと噴発を起こす危険性が大きい。湧水量は砂礫地盤より少ないが、完全にこれを阻止することは困難である。湧水箇所では切羽面の崩壊の危険性が大きい。湧水が阻止された部分では、地山の含水比が低下して見掛けの粘着力が生ずるとともに間引き水が消滅してせん断抵抗力も増大するので、切羽はかなり安定化するように見える。ただし、圧気圧自体の土留作用はあまり顕著でなく、切羽を長期間放置すると脱水乾燥して粘着性を失い崩壊にいたることがあるので注意を要する。

c) シルト質地盤の場合 透水性が低く、圧気効果がかかなり期待でき、施工しやすい地盤である。土かぶり高と空気圧の関係に注意すれば、噴発を起こすことなく、湧水はほぼ阻止でき、空気圧自体の土留作用、地山の脱水による強度増加が期待できる。一般に、空気圧は小さくてすむので作業能率は高い。

d) 粘土質地盤の場合 土質が軟弱で、切羽が不安定な場合、空気圧自体の土留作用に

期待して圧気することが多い。

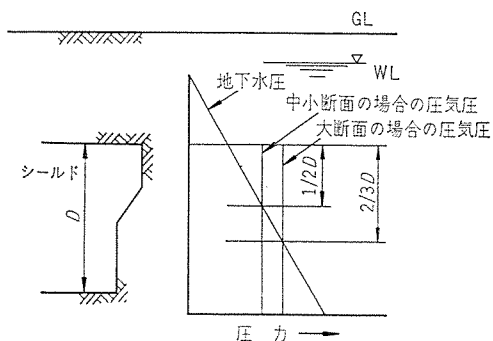
通常の地山は、各種の土質が互層をなしていて複雑であり、地下水圧も不透水層の介在によってシャ断されている場合がある。たとえば、砂礫、あるいは砂質層であっても切羽の上部にシルトや粘土、等の透気性の低い層がある場合は好都合である。ただし、地下水圧の高い透水層と低い層が不透水層をはさんで共存する場合には、後者からの漏気が膨大となるので空気圧を低下せざるを得なくなり、前者からの湧水が激しくなるなど問題が多い。一般的に透水係数が  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec より大きいときは、地山の条件にもよるが、圧気工法は困難となる場合が多い。

#### 4.5.3 空気圧と空気消費量

空気圧の決定にあたっては施工環境を考慮し、切羽の安定、湧水の防止をはかるために必要な圧力を維持するようにし、また必要な空気量を供給しなければならない。

【解説】 1) 空気圧の決定方法 空気圧は、切羽安定の作用効果を向上させるには高いほどよいが、一方、漏気・噴発の危険性、作業能率と健康管理の点では低いほど好ましい。したがって、これらを総合的に検討して、最適の空気圧を決定しなければならない。空気圧はトンネル中心線の地下水圧に対応する理論空気圧を基準として、その他の要素を考慮に入れ決定される。

一般には、空気圧のとり方は、土かぶりや地山の性質、等によって異なるが、シールド上端から中小断面にあっては  $1/2 D$ 、大断面では  $2/3 D$  の位置の地下水圧に等しい圧力とする。ただし、粘性土の地山で透気性の小さい場合では、上記の値より小さい空気圧で施工されている。



解説 図 21

施工されている。

また、透気性の大きい地層や海底や河底の横断、等のように地下水圧の高い場合、あるいは土かぶりが小さい場合、等では圧気圧をできるだけ小さくして、ウェルポイント、ディープウェル、注入工法、凍結工法、等の補助工法を併用したり、河床に粘土、等を被覆するなどの対策をたててはならない。

- 2) 空気消費量 一般に圧気工法における空気消費量は、
- 切羽より地山への漏気。
  - シールド テール部、および一次覆工部分からの漏気。
  - ロック開閉時の消費、および圧気排水による消費。

の合計であるが、主要な要素は a) で、これは主として地山の透気性、シールド断面積、圧気圧、土かぶり厚、等に左右される。b) は覆工部の面積、裏込め注入の可否、等によりかなり相違がある。c) は工事の規模、施工速度、等から算出することができる。

この空気消費量を算出する経験式として

$$Q = \alpha D^2$$

がある。

ここに、Q: 空気消費量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) (吸入側にて)

D: シールド径 (m)

$\alpha$ : 土質による係数

で与えられ、 $\alpha$  は前記 a)~c) を考慮して経験的に決められる係数で、均質な砂質シルトの場合に

$$3.66 < \alpha < 7.32 \text{ によって与えられる。}$$

#### 4.5.4 漏気対策

圧気工法区間においては、漏気または噴発の防止のために事前の調査結果を十分検討するとともに、その対策を講じ、施工中も、土質および空気圧・送気量の変化に留意しなければならない。

【解説】 1) 事前調査と対策 漏気、または噴発の防止のための事前調査と必要な対策は、次のとおりである。

- 土質、および地下水調査 (4.5.2 参照)
- 井戸、および地下壕調査とその対策 井戸調査は、現在使用中の井戸と古井戸に分けて調査する。現在使用中のものは確認しやすいので、できれば工事期間中閉鎖して施工し、閉鎖が不可能な場合には圧気を中止して他の補助工法によるか、または漏気量が少ない場合は注意深く監視しながら施工する。

古井戸、および地下壕については確認しにくいので、市区町村役場、等の資料を十分調査するとともに、古老の記憶を聞く必要がある。対策としては埋戻すのが最も安全で、普通粘土と砂礫とを交互によく締めて埋戻し、注入パイプをそう入して注入するのがよい。

- 施工区域付近の他の施工中の工事の調査とその対策 施工区域付近の他の施工中の

工事、特に根切り工事やディープウェル等の排水工事を行なっているものがあれば、これを調査する必要がある。特に、危険であると考えられる場合には止水矢板、注入、等により圧気の影響をその工事におよぼさないよう保護壁を作るなどの対策が必要となる。

d) 施工区域付近の構造物の調査とその対策 施工区域付近に既設の建物、橋脚、地下埋設物、地下鉄、等がある場合には、その状態を事前に十分調査しなければならない。構造物の底面にゆるんだ部分があるか否か、その荷重による地山の応力状態はどうか、また、すでに破壊している部分はないか、等を調査する。

また、すでに完了した工事により地盤にゆるんだ部分があったり、透気層があると、この部分からの漏気が激しくて、ついには噴発を起こす危険があるので、この部分は注入などにより十分充てんするなどしておかなくてはならない。

2) 送気および漏気の測定 送気量の測定は、送気管にオリフィス型流量計、等を設置して行なう。漏気は常にその変化を監視するため、熱線型風速計、等により、坑内の断面、および延長方向の風速の変化を実測して、各点の漏気状況を把握することができる。最も簡単には切羽にてテープなどの流れの状態を観察したり、あるいは降雨時に地表面よりの気泡の漏出状態より漏気の種類を知ることができる。

3) 漏気および噴発の防止法 漏気とは、坑内の空気が、かぶり地山を破壊しないで継続的に漏洩することをいい、噴発とは、かぶり地山が破壊されて暴発的に噴出する場合をいう。これらに対する防止法は次のようである。

a) 切羽に対して 切羽の漏気ははなはだしい場合には掘さく完了したとき、適当なビニール布などを貼りつけ、漏気量を少なくできるが、掘さく中は避けることができない。切羽の噴発は土かぶりが少なく、かつ透気性の良好な場合に発生しやすく、河・海底通過の場合など必要に応じてクレーブランケット（粘土の置土）などによって、これを防止することが多い。

b) テール、および一次覆工部分に対して テール部の漏気は、テール シールにその機能を与えることもできるので必要によって行なう。一次覆工部分は継手目地の防水工を完全に行ない、かつ裏込め注入をていねいに行なうことにより漏気量を少なくすることができる。

## 第6章 地盤沈下と、その防止対策

### 4.6.1 地盤沈下と、その防止対策

地盤沈下は地山の条件、切羽の作業性、裏込め注入の状況、等によって起こるので、常に地表の挙動を監視し、適切な方法で地盤沈下の少なくなるようつとめなければならない。

【解説】 シールド工法による場合、地盤沈下は地山の条件にもよるが完全にこれを避けることはむずかしい問題である。しかし施工法いかんによっては、沈下量を小さくすることができるので、掘さく、山留、推進、一次覆工、裏込め注入、等の各作業について入念な管理を行ない、それぞれに適応した沈下防止対策をとらなければならない。

1) 沈下の挙動 沈下は、次の諸要因が複合して発生し、さらに、また地山本来の弾性変形なども加わって経時的に漸増し、最終値に到達する。

a) 先行沈下 切羽で掘さくが行なわれている間、切羽面は、山留が解除されているため、切羽前方の地山はフード内に流入することがある。この影響によって、ルート上、切羽前方において、シールド到達前に沈下が発生する。これとは反対に推進時に周辺地山、さらにシールド上部地山に作用する推力がそのせん断力より大きくなると、かぶり地山はシールドとともに前方に押し出され地表に隆起を生ずることもある。これは土かぶりの薄い貫入式推進の場合やブラインド式の場合に発生することが多い。

b) 後続沈下 シールドが推進されると、地山はテールプレートの支持を失い、無支保状態になるので、裏込め充てんが行なわれる以前に地山の沈下崩落が発生するとその影響は地表面に沈下となって現われる。軟弱な地山や自立性の乏しい地盤にこの傾向が強い。また、一次覆工の変形、裏込め充てん材の注入不足、ブリージングや蛇行修正、曲線通過による余掘り等も後続沈下の原因と考えられる。

c) 湧水、または圧気による脱水圧密沈下 地下水のトンネル内への流入、あるいは未圧密の地盤で圧気工法が用いられ、これによって地山が脱水されると、圧気流の通過とともに圧密され体積収縮を生ずる。この現象は切羽、および一次覆工部のいずれにおいても漏気のある地帯に見られる。

2) 沈下の測定 トンネル中心線上とその両側の影響範囲に適当な測点を設け、水準測量を行なう。シールド通過直前・直後の測量は、密に行ない、それ以降は経時的に疎にすることができる。

一般に、最終的な沈下量はシールド径、地山の圧密係数 ( $C_v$ )、土かぶり厚さ、等によっ

て影響をうける。

3) 沈下防止対策 先行沈下に対しては山留解放時間をできうる限り短縮して、地山の塑性的な流入量を抑制し、推進も山留をゆるめずに行ない、推進と同時に裏込め注入を励行し、必要によっては二次注入を行なう等によって沈下を最少限にとどめるようにしなければならない。また、不透気性地山では圧気圧を高め、山留効果を増加させて先行沈下を抑制することができるといわれている。

#### 4.6.2 既設構造物の沈下防止対策

既設構造物に近接して、あるいはその下をシールドが通過する場合は、必要に応じて、あらかじめ沈下防止のため、アンダーピニング、注入工、シャ断壁工、等の補助工法により、その基礎の補強をはからねばならない。

【解説】 橋脚、橋台、中高層建築、地下鉄、地中管路、等に接近して、シールドトンネルを施工する場合、これらの基礎にゆりみを生ずるおそれのあるときは、注入工、シャ断壁工、等によって、その影響の除去につとめねばならない。またこれらの構造物の下を通過する場合には、アンダーピニング等によりその荷重を通過地点以外に移し、シールド通過時に既設構造物に全く影響を与えないようにしなければならない。

## 第7章 坑外設備

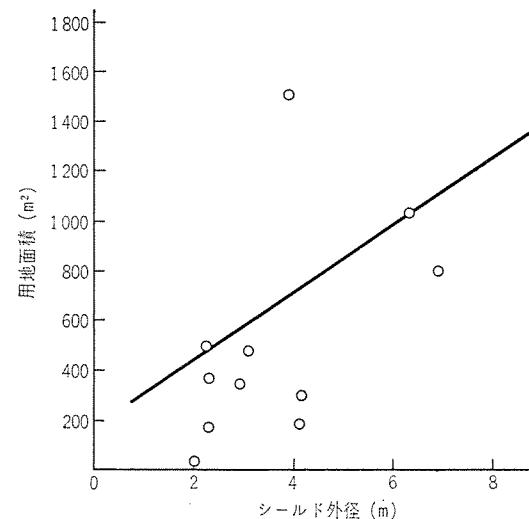
### 4.7.1 坑外設備

坑外設備は、作業に必要な動力の供給、材料の搬入、ずりの搬出、等を行なうもので、工事の規模、工程を満たす能力をもち、合理的な運営ができるものでなければならない。

【解説】 坑外設備としては、一般に全工事の運営上必要な電力の受配電、非常用発電設備、高低圧空気設備、材料置場、坑内との連絡、材料、ずり等の搬入出設備、排水設備、諸試験設備、等を含む。

都市内では立て坑との関連もあるが、工事用地に十分な面積を取ることが困難な場合が多く、地上での用地の利用が不可能な場合は、立て坑坑内、あるいは路面下を利用することもある。

「わが国シールド工法の実施例・第1集」における用地面積（立て坑用地を除き）、シールド径の関係は、解説 図 22 に示すとおりである。



解説 図 22 用地面積とシールド外径との関係図（坑外設備）

### 4.7.2 低圧空気設備

圧気工法によって作業が行なわれる場合には、計画された空気圧力、送気容量の圧縮機を予備機とともに設置し、駆動電力設備、冷却設備、レシーバータンク、送気配管、等を設備し、清浄で適温、適湿の空気を供給しなければならない。

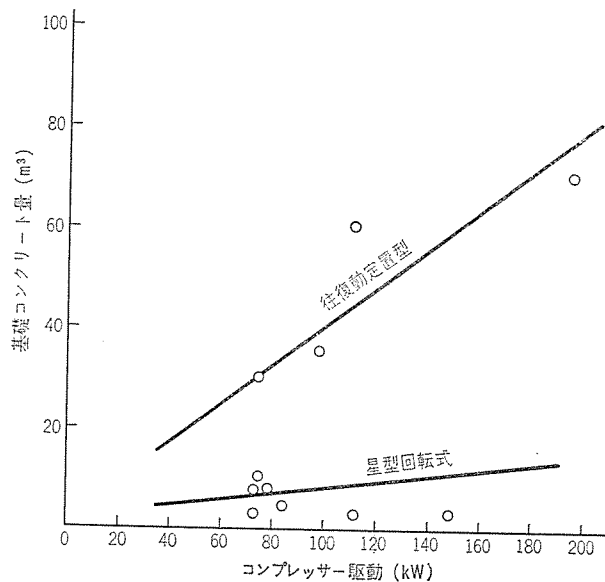
【解説】 1) 設備容量について 空気消費量については、4.5.3 に詳記されているが、空気圧縮機はこの予想される最高圧力、所要送気量を供給しうるものでなくてはならない。また、最低圧力に対しては、圧力調整弁、または補助弁によって調整可能なようにしなければならない。

最高圧力、所要送気容量が与えられれば、予備機を考慮して、設備容量、機械台数を決定するが、敷地面積、その他の条件より、台数はなるべく少ないことが望ましい。しかし、

機械の単位容量を大きくすると、予備機の容量も大きくなるので、安全性、経済性、増設の時期、等を考慮のうえ、単位、容量、台数、設置の時期を決定しなければならない。

2) 機械基礎について 実用に供されている空気圧縮機は、基礎と地盤との関連によって、付近一帯に振動をおよぼし、あるいはその騒音のために付近に公害を与えるケースが多いので、a) 建家を防音構造とする、b) 軟弱地盤、あるいは粘弾性的な地層の場合は、周辺地盤と縁を切って、基礎を設置するなどして公害防止につとめねばならない。

実例による基礎コンクリート量と、駆動電動機出力 kW との関係を 解説 図 23 に示す。



解説 図 23 コンクリート量と駆動 kW との関係図

3) 冷却用水 空気圧縮機に必要な冷却水量は、圧力 3.5 kg/cm<sup>2</sup> の常温 (25°C) 空気を作るために、冷却水温 (25°C) を考慮して概算すると、その量は 1.8 l/min kW 程度が必要とされている。

4) 送出空気の状態 一般に、坑内空気の状態は、湿度、温度ともに高く油分、等を含むので、乾球温度 30°C、湿球温度 25°C、坑内実効風速 0.2 m/sec (不快指数 80) 程度以下となるよう管理することが望ましい。コンプレッサーは無給油式シリンダーを使用されることが推奨されている。

5) 付帯設備について レシーバータンクは、圧縮空気の圧力の脈動、分溜水、油分の除去、放熱効果等が期待されるため、十分な容量を確保しなければならない。吸込み空気に対しては、吸気清浄器を通じて吸込みを行ない、そのエレメントは定期的に清掃、または交換、等を行なう必要がある。

#### 4.7.3 高圧空気設備

切羽、その他において、高圧空気が使用される場合、その供給のため所要容量の高圧コンプレッサー、ならびにこれに必要な付帯設備を設置するものとする。

【解説】 1) 高圧空気の使用 坑内において使用する機器の動力として、高圧空気を必要とする場合、a) ずり積機、b) セグメント組立て用、その他に使用するパワーレンチ、コーキングハンマー類、c) 切羽掘さく用コールピック (ときにライトドリフター) 類、d) 裏込め注入用カニフミキサ、e) コンクリート プレーサー、f) その他で、予定機種台数、また、同時に使用される稼動状態を考慮して、高圧空気の所要容量を決定する。ずり積機は別にして、通例、切羽面積 35 m<sup>2</sup> 程度の場合では約 50 HP、80 m<sup>2</sup> 程度では 100 HP 程度が準備されている。高圧空気設備に対しては、停電、故障が直接重大事故に連なる危険性が少ないので、これを減圧圧気を使用する場合を除き予備機は考えないのが通例である。

2) 高圧空気より減圧圧気を使用する場合 小規模工事で高低圧の両設備が要求される場合に、低圧空気を高圧より減圧装置を通じて供給することがある。この方法は、圧縮効率が低いことと、減圧装置に故障を生じた場合、これがただちに重大事故に連なる可能性を有するので特殊な場合を除いて採用しないことが望ましい。

#### 4.7.4 材料置場および倉庫

セグメント等の構築材料および仮設備用諸材料は、工程の進捗に応じて必要量を貯蔵準備しなければならない。施工用諸機械器具も工程に応じて搬入貯蔵されるが、これらに必要な置場、倉庫は、適切な面積のものとしなければならない。

【解説】 1) セグメントは、シールドの予定進行に対して、輸送条件、等を考慮して必要なリング数を貯蔵保有するものとする。セグメントの製造場所が作業場所と近接して

いる場合でも、少なくとも2日分程度の貯蔵が必要である。

コンクリートセグメントは、野積みでさしつかえないが、鋼製および鋳鉄製セグメントの場合は、シート等によりおおい防水するなどして、発錆を避ける配慮が必要である。ボルト類、防水目地材、等は、屋内貯蔵とする必要がある。

2) 仮設材、レーン、まくらぎ、パイプ、等は野積みでさしつかえないが、いずれも水はけのよい場所に整理整頓して貯蔵することが必要である。パイプ、パイプ継手、金物類、電線類、電気材料、等は、屋内に整頓して貯蔵しなければならない。

3) 施工機械は、なるべく屋内貯蔵とするが、大型のもので搬入不可能のものは、乾燥した場所を選んで防水性の床の上に置きシート等でおおい防水貯蔵するものとする。機械部品類は、すべて屋内貯蔵とする。

#### 4.7.5 ずり搬出および材料搬入設備

ずりの搬出および材料の搬入設備は、掘進サイクルと路上の条件を考慮して、経済的でその工程を満足するものでなければならない。

【解説】1) ずりの搬出設備 ずりの搬出設備は、ずりの性質を考慮した坑内からのずり出し方法、ずり捨場への運搬方法および坑内への材料、等の搬入方法を把握し、十分な能力をもったものとしなければならない。ずりを坑内からずりビンに搬出する方法は、ずりを運搬車に積んだままずりビン上に運び、直接投入する方法、ずりを立て坑内で運搬車から排出させ、スキップエレベーター、グラブバケットで、バケットコンベヤ、ベルトコンベヤなどの機械を利用し、ずりビンに投入する方法が代表的なものである。

2) ずりビン設備 ずりビンの容量は、所定の掘進速度に支障をきたさないように一サイクル分のずりを貯蔵できることが望ましい。ただし、大断面のシールド工事においては、坑外設備用地の大きさなどから困難なことが多い。このような際には、ずり運搬車も含めて、ずり搬出の調整を考えなくてはならない。ずりビンの排出ゲートは、ずりの性質、貯蔵高さ、排出量、等を考慮して適切な機能のものとしなければならない。

3) 材料の搬入設備 材料の搬入設備は、ずりの搬出に支障を及ぼすことなく、必要な材料を、とどこおりに搬入できるものでなければならない。

4) 作業員の出入設備 作業員の坑内への通路は、ずりの搬出、材料の搬入などの設備を考慮して、安全な位置に労働安全衛生規則にもとづいて設置しなければならない。

#### 4.7.6 電力設備

(1) 電力設備は、すべて電気設備技術基準に準拠して設置ならびに維持管理しなければならない。

(2) 特高または高圧の設備は、キュービクル型機器、等を使用し、線路には絶縁ケーブルを使用して、すべて充電部分の露出することを避けなければならない。

(3) 電力供給の中断は、重大な事故につながる可能性をもっているので二系統受電、あるいは自家用発電設備を必要によって設置しなければならない。

【解説】(1) について 受電、変電などの設備は、大容量の機械設備が集中する発進作業坑付近に設けるのが望ましい。使用する電気機器の入力および種別ごとの負荷率等を考慮し、最大負荷容量を算出し、受電設備容量を決定する。この算定に際して、コンプレッサー運転に必要な動力が設備容量の主要部分を占めるので、4.7.3を参考として十分検討し、決定しなければならない。

設備計画が決定した時点で、自家用電気工作物を設置する手続を通商産業局、電力会社、消防署、等に対して、行なわなければならない。圧気を使用する場合、電気関係の事故は、大きな事故を誘発するおそれがあるので、維持、管理にあたって細心の注意を払うことはもちろん、設備、防護も十分に行ない、万全を期さなければならない。

(2) について キュービクル型受電設備は、施工が簡単で、保守点検が容易でかつ安全である。

(3) について 二系統受電では、a) 変電所が異なる予備電源を備える。b) 配電径路の異なる予備電源を備える、の二つの方法があるが、双方とも大きな地域停電の場合はその効果はない。

特に、a) の場合において、二系統受電では、予備線契約、等のため、地域によっては工事負担金が多額になる。しかし、海底、河底トンネルの場合は特に、二系統受電または、予備発電設備をしておくべきである。

自家発電設備では、少なくとも停電中の排水用動力、切羽を維持する給気動力および照明をうるための容量が必要である。また、停電時の照明の設備としては充電式の保安灯を利用することができる。



#### 4.7.7 連絡通信設備

坑内の工程を把握し、坑内作業の安全を確保し、各作業箇所および各設備間の連絡を緊密にするため通信設備を設けなければならない。

【解説】 工事用の電話設備は、作業の安全確保および相互の連絡に有効な設備である。坑内は非常に湿度が高いので、防湿形の機器を用いなければならない。

ロックの内外などの単純な連絡には、ベルと押ボタンを組み合わせた信号設備が使われる場合が多い。危険を予想されるトンネルでは、非常事態に備え、大型ベル、ブザー、またはサイレン、等を主要な場所に設置し、非常事態の発生を早急に知らせる設備を備えることが望ましい。通信設備は、事故を考慮して、できうるかぎり二系統にすべきである。作業を事務所等で総合的に管理するためには、工業用テレビを利用することがある。

## 第8章 坑内設備

#### 4.8.1 坑内設備

坑内設備は、作業坑より切羽に至る間に設備されるシールド以外の設備をいい、これらの設備機器、等はシールドおよび坑外設備と関連を考慮して、安全にして経済的なものでなければならない。

【解説】 ずり出し、セグメント運搬、動力設備および裏込め注入、後方設備、等の坑内設備は、シールド掘進作業の重要な設備であり、これら設備計画の基本は掘進作業の能力を考え、各作業の稼働サイクルを組み立て、おのおのの作業が滞滞なく安全に施工できるよう必要な設備をしなければならない。ロック、排水、照明、等の設備は、現場における地山の条件、施工環境を考慮し、工事が安全に施工できるよう合理的な設備をしなければならない。また、これらの諸設備は、予備設備を含めて配置計画することが必要である。

#### 4.8.2 ロック設備

ロック設備は、労働安全衛生規則、高気圧障害防止規則、ボイラー、および圧力容器安全衛生規則、ならびに圧力容器構造規格に準拠して、設置、管理しなければならない。

【解説】 1) 設備 シールド工事におけるロックには、横ロック、立てロック等があり、施工条件に適合するよう用いられている。坑内圧気設備は計画坑内圧を保つためのバルクヘッド、入出坑用ロック、および送・排気管、等がある。これらの諸設備は、関係法規に準拠して設置管理しなければならない。

##### 2) ロック

a) 種類、および大きさ ロックには、マンロック、マテリアルロック、非常用ロックがある。

マンロックは、入出人員数より定められ、その必要気積、および床面積は、高気圧障害防止規則第3条により、1人あたり0.6m<sup>3</sup>以上、および0.3m<sup>2</sup>以上とされている。一般に、シールド工事のマンロックは、φ1.8m～2.2m、l=3.0m程度のものが多く使用されている。マテリアルロックの断面寸法は、トンネル断面の大きさ、運搬機器、立て坑設備、床面高、等によって決定され、長さは運搬設備の編成(4.8.3参照)によって定まる。

大断面で複線、および袋線などの設備が可能な場合は、編成予備を持って長さを短くすることもできるが、中小断面では、一般に長くする方が能率的となる。非常用ロックについては、4.9.4参照のこと。

b) 製作 ロックは、取付け方法により、内外圧力容器として使用最大圧力に十分耐える構造として、通産省、および労働基準監督所の認定工場にて設計、製作し、所定の検査、手続に合格した容器を使用しなければならない。

ロックは、第2種圧力容器の適用を受け、設計、製作検査、等はすべて労働省告示「圧力容器構造規格」にしたがわなければならない。詳細は、ボイラー協会「圧力容器構造規格の解説」を参照のこと。

c) すえつけ、配置 すえつけは、トンネル構築、あるいはこれに設けられたバルクヘッドに水平に固定し、坑内圧、および運搬車の荷重振動に十分耐えるものでなくてはならない。

配置は、マンロック、マテリアルロックを可能な限り区別して設けることが望ましいが、シールド断面が小さく両者を併設することがむずかしい場合は、これを共用させることもある。この場合、人貨別にバルブを区別して設け、高気圧障害防止規則に従わなければならない。

3) バルクヘッド バルクヘッドの構造は、地山の条件、施工環境より想定される最大圧力を用いて設計し、坑内使用圧力に十分耐え、かつ、ロックを内蔵し、振動、衝撃に耐える構造とする。バルクヘッドは、一般に鋼製、コンクリート製、等が用いられ、これには、送・排水管、高低圧送気管、排気管、電線路、通信用線路、坑内圧力ゲージ管、予備管、等が取付けられる。

4) 配管 送気管は、供給主管より、マンロック、マテリアルロック、坑内に分け配管する。送気管は、不時の故障を考慮して、2本配管し、おのおのに逆止弁をつけなければならない。坑内送気は、必要圧力に応じて空気の供給ができるよう調整弁を設け、管理しなければならない。現在、自動圧力調整弁が用いられる傾向が多くなっている。また、送気の放出は、できるだけ切羽至近点で行なうことが望ましい。ロックの配管は、高気圧障害防止規則第4条、第6条に規定されている。

マンロックの排気は、法規の定める減圧速度を超過しないよう内径53mm以下の排気管を用いなければならない。

5) 管理 圧気設備の管理は、すべて、法の定めるところによって行なわれなければならない。

〔高気圧障害防止規則〕労働省令……昭和36年3月23日付省令第5号

高気圧(1.0kg/cm<sup>2</sup>以上)を用いて行なわれる作業の設備、およびその管理、運営に対する規則であり、1.0kg/cm<sup>2</sup>以下の気圧使用についても、同法規に準じた取扱いを受ける。

### 4.8.3 運搬設備

坑内の運搬設備は、トンネル断面の大きさ、予定行程、等を考慮して最も適切な能力を有し、かつ安全な方法を採用しなければならない。

【解説】 シールド工事における坑内運搬設備は、ずりの搬出、覆工材の搬入、仮設諸機材の搬入出などに供し、トンネル断面の大きさ、坑内作業方法、等より運搬方法を定め、トンネル延長、予定工程、立て坑設備などを勘案し、最も合理的な設備容量を決定することが望ましい。現在、一般に考えられている運搬の方法については、次のようなものがある。

#### 1) 軌道方式による場合

a) ずり運搬車および機関車 ずり運搬車の形状、寸法、および所要台数は、トンネル断面の大きさ、坑内運搬サイクル、立て坑設備などを考慮のうえ決定しなければならない。運搬車の形状は、坑外搬出時の方法によって決められるが、一般的に用いられるものは次の形状のものである。

- ① 底開型ずり運搬車
- ② 片開型ずり運搬車
- ③ 箱型ずり運搬車 {
  - 固定式
  - 脱着式

寸法は、トンネル断面の大きさによって決定するが、シールド工事においては立て坑設備および圧気工法においてはロック寸法、等による制限を受けるため、一般には容量1.0~3.0m<sup>3</sup>程度のもものが多く使用されている。所要台数は、シールド推進のサイクルタイム作業坑の大きさなどを考慮して配置する。

解説 表 15 ずり運搬車寸法表

容量(m <sup>3</sup> )	全幅(mm)	全高(mm)	全長(mm)	けん引用機関車(t)
1.0	900~1000	1100~1200	1000~1500	2.0
1.0~3.0	1100~1200	1200~1300	1200~2000	4.0
2.0~4.0	1200~1300	1300~1400	1800~2500	6.0
3.0~5.0	1300~1400	1300~1400	2000~3000	8.0
4.0~6.0	1500~1600	1400~1500	2500~3500	10.0

ずり運搬は、一般にバッテリーカー(まれに、ディーゼルカー、または電気機関車)が使用されるが、小断面トンネルの場合には人力、急勾配の場合、ウインチ等を使用することもある。

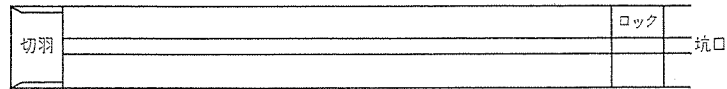
通常使用されているバッテリーカーの寸法は、次のようなものである。

解説 表 16 バッテリーカー寸法

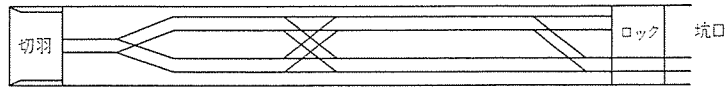
公称(t)	軌間(mm)		全長(mm)	全幅(mm)	全高(mm)
2.0	508	610	1860~2340	887~1000	1115~1213
4.0	508	610 762	3100~3300	1100~1250	1165~1240
6.0	610	762	3680~3800	1150~1310	1240~1385
8.0	610	762	4340~4500	1250~1300	1300~1380
10.0	762	1067	5500~5230	1500~1600	1350~1800

b) 配線方式 軌道の配置、構造は、坑内運搬のサイクルが円滑に行なえ、かつ走行する機器の重量に対し十分安全な設備でなければならない。シールド工事においては、使用されるセグメントの幅によって、まくらぎの間隔が定まる場合が多く、機器の重量に見合った寸法のレールを布設する。軌道の配置方法は、次の方法がある。

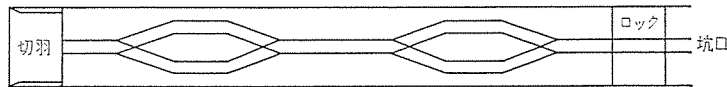
## ① 単線式



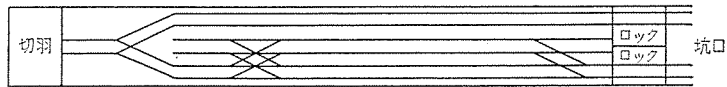
## ② 複線式



## ③ 中間単線式



## ④ 3線式



c) 運転保安 軌道運搬において車両の逸走防止，交通事故防止のため，車両の制動装置，連結器の離脱防止装置，暴走停止装置，人道，退避所の設置，信号の確立を計るとともに，運転にあたっては勾配の下の方に機関車を配置したり，車両の留置時の安全の確保，坑内運転速度の制限などにより運転の安全を計らなければならない。

2) コンベヤ方式による場合 ベルトコンベヤは，トンネル断面が小さくて，ずり運搬車の配線が困難な場合，あるいはセグメントの搬入，組立て作業を併行する際などで，ベルトコンベヤを用いたほうが有利な場合に使用される。コンベヤ方式は，掘さく容量に合わせた容量で連続の運搬が可能であるが，圧気工法のシールドではロック通過が困難である。

3) トラック方式による場合 トラックは，大断面トンネルで横坑，斜坑によって直接坑外に搬出できる場合，特に有効な方法である。内燃機関は，ディーゼル機関を用いなければならない。使用に際しては触媒，その他の方法，等による排気ガス処理装置を取付けるとともに，常に機械の整備，および換気等を行ない，坑内空気の浄化につとめなければならない。

4) 泥送管路方式による場合 泥送管による搬出は，泥水加圧式シールドなどの場合に

用いられるもので，送水と排泥用の2本の管により，排泥ポンプを用いて地上の沈殿槽に送る方式である。

排泥管，および排泥ポンプは，掘さく量，土質，含泥量，最大骨材径，等を考慮のうえ決定しなければならない。

5) 小口径トンネルにおける運搬 軌道運搬が基本となり，この場合，単線布設に限定されるため，理想としては一掘さく，一編成でずり処理を行なうことが望ましい。

6) 機械掘りシールド等における運搬 掘進能力の大きなシールドでは，運搬設備の適否が直接シールドの進行能率に影響するため，掘進能力に見合った容量の運搬設備を配置しなければならない。

## 4.8.4 排水設備

坑内の排水設備は，予想される湧水量を十分に揚水しうる能力を有し，工事期間中確実に維持，運転されるものでなければならない。また，切羽における不測の出水に対しては，予備機を準備しておかなければならない。

【解説】1) 坑内排水 坑内の排水は，切羽の湧水，トンネルの漏水，作業用水，等の処理である。

シールド工事においてフード内，テール内のインパートの排水は切羽が常に移動するため，できるだけポータブルな設備を用いて行なうことが必要である。圧気トンネルにおける排水方法は，坑内外の圧力差を利用し排水管にバルブを設け，排水することができる。

2) 立て坑排水 立て坑排水は，坑内からの排水のほか，周辺の雨水，その他を含めて考慮しておかなければならない。

3) 予備設備 排水の停止は，作業中止を意味するため，非常災害に備え，運転動力を別系統，または自家発電，等により確保する必要がある。予備機は，十分な容量を備えなければならない。

## 4.8.5 掘さく，ずり積設備

掘さく，ずり積設備は，地山の性質，発生ずりの性状に最も適当な機能を有し，かつ，計画工程を満足するに必要な能力を有するものとしなければならない。これらの設備は常に完全な機能を発揮しうるよう，維持管理されなくてはならない。

【解説】 掘さく、ずり積設備の容量、規格、等は、計画工程、地山の条件、施工環境、シールドの種類、掘さく方法などによって決まる。手掘りシールドの場合、掘さく土砂は一般にショベルにより積み込まれるが、大断面の場合にはずり量も多いので、ロッカーシャベル、バケットローダー、等が利用されることもある。

ずり出し設備は、ベルトコンベヤが主として使用され、大口径シールドの場合には上段および中段のずり搬出路としてシュートが利用される。

機械掘りシールドの場合にはバケットローダーとベルトコンベヤの組合せが一般的に使用され、泥水掘さく型、等では送泥管が使用される。

これらのずり積み設備の能力は、平均掘さく能力に対して 1.5~2.0 倍程度のものとす。ずり積設備の終端部にストックホッパーを設け、ずり車入替時の掘さくの中断を防ぐことも行なわれている。

#### 4.8.6 一次覆工設備

一次覆工用設備器具は、セグメントの材質、寸法、重量、等を十分考慮して、覆工が正確にできるものでなければならない。

【解説】 一次覆工用設備器具のおもなものはエレクター、セグメント組立て用締付け具（スパナ、トルクレンチ、インパクトレンチ）および真円保持用の器具などである。エレクターについては、第3編 第6章 参照のこと。真円保持用の器具については 3.6.3 参照のこと。

#### 4.8.7 裏込め注入設備

裏込め注入用機械設備は、所定の作業サイクル内にテールボイドを完全に充てんしうる能力を有し、能率的に配置しなければならない。

【解説】 注入材は、材料運搬台車、あるいはパイプ輸送、等によって注入地点まで搬入される。注入設備としては、グラウト ミキサ、吹込み装置、グラウト ポンプ、注入配管、等がある。

グラウト ミキサには、グラウト材の練りまぜを目的としたミキサと、分離沈殿を防ぐアジテーターとがある。グラウト ポンプには、ピストン式とスクリュウ式とがあり、ピストン式は最も広範囲な適用性を有し、スクリュウ式は貧配合モルタル、エアモルタル等による注入に使用される。

高圧注入（二次注入の場合）の圧力設定、ならびに注入量の測定および記録が必要とされる場合には、油圧によるグラウト ポンプが利用される。

大口径トンネルの場合には、大容量の注入能力を必要とするので、後方台車上に注入材料の荷役設備を設けるとともに、能率的な注入ができるよう、その配置を考慮しなければならない。小口径トンネルにおいて、注入設備が切羽付近に置けない場合には、注入設備を台車上に装備し、そのつど移動して注入を行なうか、あるいは立て坑内に設置し、パイプ輸送による注入を考慮しなければならない。

#### 4.8.8 二次覆工設備

二次覆工の設備としては一般に移動式鋼製型わくと、コンクリートの運搬ならびに打設機械が用いられる。これらは計画工程を満足するような能力を有するものでなくてはならない。

【解説】 移動式鋼製型わくには、ノンテレスコピック形式とニードルビーム形式のものがあり、インパートを別に打設する場合には前者が使用され、全断面を一度に打設する場合には後者が使用される。ゆるい曲線部には、マイター（バチ型わく）が併用され、急曲線部や、工事規模が小さい場合にはセントルが用いられる。コンクリートの運搬ならびに打設機械としては、それぞれアジテーターカー、コンクリート ポンプ、コンクリート プレーサーなどがある。

#### 4.8.9 後方台車

後方台車は掘さく、覆工、裏込め注入、その他切羽の作業に必要な材料、機械装置を配慮するとともに、各種作業足場としての機能を有しなければならない。

【解説】 一般に、シールドの直後に後方台車を設置するのが望ましいが、小口径シールドなどで後方台車を用いることが困難なときは、これにかわる特別な配慮が必要である。

後方台車に積載するものは、シールドの付属設備、エレクター、変電設備、ずり出し設備、注入設備およびセグメント荷役用ホイスト等である。またセグメント組立ておよびボルト再締付けや推進時の計測足場としても使用さる。

一般には、複線軌道の外側に後方台車専用の軌道を敷設するか、またはブラケットをセグメントに取り付け、その上を走行させる。移動方法としては、シールド本体よりロッド

で結ばれ、推進と同時に進行する。

#### 4.8.10 照明設備

坑内の照明は、作業の安全性を確保しうる照度を維持し、屋外用防水型器具、またはこれに準じたものを使用しなければならない。

【解説】 坑内照明には白熱電球、蛍光灯、ナトリウム燈、等があり、配電方式には、単相2線式または単相3線式などがあり、配線は碍子により固定する。切羽の照明は、シールド内に装備し作業の能率をよくするよう、一様な照明方法を取り、局部的に照明が必要な場合には、投光器を使用する。坑内の作業場所は、その照度を50ルクス、その他の場所では5ルクス程度以上に保たれることが望ましい。坑内の階段、等では、輝度の高いものの使用を避け、またロック内においては排気時に霧が発生するため、黄色燈、あるいはナトリウム燈を使用し見通しを良くすることが望ましい。燈器、電球、等の破損箇所はただちに補修、維持しなければならない。

## 第9章 施工管理

### 4.9.1 工程管理

工程管理は、たえず作業の実体、実績を把握し、計画工程と対照し、所要の手段を行ない全体工程を満足せしめるように実施しなければならない。

【解説】 計画工程に従って行なわれる施工に関する工程管理は、定められた示方どおりの工事を有効かつ経済的に完成するために行なうものである。シールド工事一般の山岳トンネル工事の特殊性と同様に、着工前に行なった地山の状況および近接構造物の状態等の調査にもとづき決定された計画および設備が工事実施にあたって、必ずしも予想と一致するものでないため、特に下記事項に留意して、工程管理を行なうことが必要である。

1) サイクルタイムの検討 トンネルの地山の条件は、同一工区でもしばしば変動することもあり、また与えられた機械、設備の能力が計画と異なることもあるので、計画工程の基本となる計画サイクルタイムが実施作業とほぼ合致しているか否か、また、このほか材料、ずりの運搬（特に市街地の道路交通渋滞、土捨場の位置、等）および材料置場、労務者の確保状況、等、各方面からの実体を検討し、あらかじめ作成した工程表に実績を記入し、工程が確保されているか否かを常に管理しなければならない。もし予定工程に遅れを生じ

た場合は、すみやかにその原因を分析し、必要な処置を行ない工程回復につとめなければならない。

（参考）付図1は、サイクルタイムの記載例を示す。

2) 施工法の変更 施工法の変更を要するときの処置については4.1.2参照。

なお、この場合、その工程の遅延が全体工程に対しどのような影響を与えるかを早急に判断することが大切であり、このため工程表は相互の作業関連が明確に把握できることが最も重要である。

### 4.9.2 品質管理

トンネル構築に使用する主要材料、ならびに製品は、所要の試験、検査を行ない、示方にもとづくその品質、寸法、強度、等を確認したものを使用しなければならない。

また、材料によっては破損、変質、等のおそれがあるから、その品質管理には十分留意しなければならない。

【解説】 1) 試験および検査 試験、および検査を要する主要材料をあげれば、次のとおりである。

- a) セグメント
- b) シールド
- c) 裏込め注入材
- d) 一次覆工防水材

a) セグメント 製品精度の良否は、一次覆工の組立て時間ならびに組立ての難易、等に直接関係し、ひいては、トンネルの変形、地山の沈下、等にも影響があるので、常に厳格な管理のもとに、慎重に製作しなければならない。なお製作に関する詳細は、第2編第7章を参照されたい。

b) シールド 製作精度の低下は掘進に際して、蛇行、回転など種々の弊害を発生する原因となるので慎重な製作管理が必要である。詳細については、第3編第10章を参照。

c) 裏込め注入材 裏込め注入材は一般に流動性、強度および収縮率、等が重要な要素となっているので、現場では下記事項の試験検査を行ない、品質管理を行なわなければならない。

① 材料 セメント、細骨材、混和剤については土木学会「コンクリート標準示方書」による。

② 試験検査項目

モルタル圧縮強度試験……JIS A 1108 および土木学会「プレパックドコンクリート施工指針(案)」

モルタル コンシステンシー試験……土木学会「プレパックド コンクリート施工指針(案)」および「プレストレスト コンクリート設計施工指針」

詳細については 4.3.6 参照。

d) 一次覆工防水材 一次覆工防水材は、トンネルの用途目的、セグメントの形状および施工環境などにより、おのおの特異性があり、その材料も多種多様となっているが、いずれの場合でも、示方および施工条件に最も適し、かつ経済的な材料を選択し、その接着性、伸び、強度、耐久性、耐薬性、硬化時間、等、必要事項について試験および施工実績を参考にして、品質の確認を行なうのがよい。詳細については、4.3.7 を参照。

2) 主材料、製品の保管 主材料および製品の保管については、2.8.2 および 4.7.4 を参照。

#### 4.9.3 作業管理

施工にあたっては、常に切羽の状況、坑内圧気、トンネル中心線の偏位、一次覆工の変形破損および地山の沈下、等に留意し、所要の調査、測定、等を行ないながら慎重に作業を進め、工事が示方に従って完成しうよう、たえず日常作業の管理につとめなければならない。

【解説】 日常作業におけるおもな管理項目をあげれば次のとおりである。

- 1) 切羽の管理および調査
- 2) 坑内圧気の管理
- 3) 推進管理
- 4) 一次覆工管理
- 5) 裏込め注入管理

シールド施工に伴う日常作業の管理方法としては、切羽、あるいはその掘進状況、等の主要作業について、なるべく現場内で簡単にチェックできる方法を採用し、確実に毎日測定、調査を行ない、これを作業日報などに整理記載し、翌日以降の作業の参考資料として活用することが最も適切である。

1) 切羽の管理および調査 詳細については、4.3.2 参照のこと。なお、下記の場合は特に注意し、必要に応じて土質関係試験を行なうのがよい。

- a) 地層の不整により、事前調査からは予想できなかった弱点部が存在する場合。
- b) 埋没された旧小河川、古井戸、あるいはその周辺を通過するとき。

c) 下水、上水管などの漏水、または局所的な溜り水により局所的に地盤がゆるめられたり、地下湧水量が増加した場合。

d) 地質調査で発見できなかった薄い層が存在する場合。

切羽での日常調査および観測方法の一例は、次のとおりである。

- ① 切羽の土質状況……目視またはコーンペネトロメーター
- ② 呼び込み調査……目視
- ③ 漏気……テープ等による目視、風向風速計

2) 坑内圧気の管理詳細については 4.9.4 解説 参照のこと。

3) 推進管理 蛇行、回転防止については、4.3.2 および 4.3.4 参照のこと。

4) 一次覆工管理 一次覆工の変形は、トンネルに対する偏荷重、地山の沈下、等の悪影響を惹起する原因となり、トンネル内の漏水はそのトンネルの使用目的、セグメントの材質および地下水の水質、等により、その影響度合も異なるが、特に鉄道用トンネルの電化区間では電触の問題を生ずることがある。また、圧気工法による工事施工中は、これら防水工の不良が漏気の原因ともなるので、特に慎重な作業管理が必要である。なお、詳細については、4.3.5 および 4.3.7 参照のこと。

5) 裏込め注入 セグメントの裏込め注入の施工の良否は、トンネルに対する偏土圧、地盤沈下など種々の悪影響を起こす原因となるので、注入材料の選定はもちろん、その配合、注入圧、注入量および注入方法、等につき十分検討を行ない、あらかじめ注入管理図などを作成し、これにもとづき慎重に作業を行なわなければならない。なお、詳細については 4.3.6 参照のこと。

(参考) 付表 1 シールド工事作業日報例を示す。

#### 4.9.4 安全衛生管理

シールド工事は、一般に、地下水位下で地質の悪い、かつ狭隘な坑内作業となることが多く、現場環境が悪いので、施工にあたっては関係諸法規等を厳守し、作業の安全確保のため所要の設備を設けるとともに作業員に対し安全教育ならびに健康指導を行なう等、常に安全衛生管理につとめなければならない。

【解説】 安全衛生管理について注意すべきおもな項目は次のとおりである。

- 1) 関係法規
- 2) 安全保安設備
- 3) 健康管理

1) 関係法規 シールド工事は、圧気工法と併用する場合が多く、この場合は、「労働安全衛生規則」のほかに労働省令「高圧障害防止規則」、および同省告示第23号「高圧室管理者講習および潜水士講習規程」等を厳守しなければならない。

ただし、「高圧障害防止規則」はゲージ圧力が1 kg/cm<sup>2</sup> 以上の場合を対象としているが、1 kg/cm<sup>2</sup> 以下の場合でもこれに準拠して行なうことが望ましい。なお、高圧作業に対する注意事項については、労働省労働基準局編「高圧室管理者必携」等を参照するのがよい。

2) 安全、保安管理 坑内の安全管理および保安設備については、関係諸法規に明示されているが、特に下記事項については十分な配慮をしなければならない。

a) 坑内の一般安全管理

① 入坑者の管理 坑内は関係者以外の立入りを厳禁し、その旨を坑外の見やすい所に掲示して置く。また、作業員の入坑、退坑時には作業室長は人員点呼を行なうことになっているが、入坑者の氏名は坑外に常に標示しておくことが人員把握上望ましい。

② 坑内圧力の確認 坑内への送気調節に常に留意し、特にこれらの調整弁、またはコックの操作箇所には坑内圧力を表示する圧力計を設けるなど、万全を期さなければならない。また、送気、排気の調整弁またはコックの操作は指定した者以外に行なわせるはならない。

③ 設備の点検 各設備は故障などの発生しないよう、常に点検整備につとめなければならないが、特に高圧作業に伴う主要設備の点検周期については規程にもとづき確実に行なわなければならない。

送気管、排気管、連絡設備	1回/日 以上
送気調節の弁またはコック	“
排気 “ “	“
空気圧縮機	1回/月 以上
圧力計	“
空気清浄装置	“

④ 安全教育 高圧下の作業では、あらゆる物体が燃えやすい状態となっているので、坑内作業は、一般の災害予防のほかに、特に下記事項に注意するよう指導教育するとともに、その管理を行なわなくてはならない。

- ⑩ マッチ、ライター、等、発火のおそれのあるものの持込み禁止。
- ⑪ 溶接、溶断、等、火花またはアークの使用禁止。
- ⑫ 電燈、電線類の漏電、スパークの防止と引火しやすい物体の隔離および電気機器に対するアース設置。

b) 故障時対策 圧気工法の関係設備は、すべて故障率の少ない安全度の高いものを使用することが必要で、特に空気圧縮機系統および電力設備の故障は切羽、作業員に及ぼす

危険度が大きいので停電、その他の不測の故障時でも最小限の機能が確保できるよう配慮しなければならない。

予備施設の必要なものは、おおむね下記のものである。

- ① 電源……二系統電源または自家発電装置
- ② 低圧空気設備
- ③ 排水設備
- ④ 坑内外の通信連絡設備

c) 応急設備 水底下の長大トンネル等で、特に出水のおそれが多い場合には、トンネル内に「セーフティースクリーン」や「非常用ロック」等の緊急避難設備を設置することが必要である。

なお、「非常用ロック」は常に圧気側に開放して非常時に備えなければならない。

また、開放型シールドの場合は、特に非常、または長時間休止する場合は切羽の全面を閉塞しうよう、土留板ならびに地山との空げき填充用材料を準備しておくことが必要である。

なお、付図2に「セーフティースクリーン」「非常用ロック」設置例を示した。

d) 応急医療設備 高圧下で作業する場合は、法規で再圧室（ホスピタルロック）の設置、あるいは、応急に利用できるような措置が義務づけられている。その構造設備は付図3に示すごとくで、その設置箇所については現場に近接し、なるべく直射日光を避けられるような場所が望ましい。

また、常時作業圧が低く、現場に再圧室を設置する必要のない場合にはこれらの設備のある病院をあらかじめ定めておくのがよい。

ホスピタルロックの取扱いは、労働省の定める緊急再圧員の資格保有者によることとなっており、加圧、減圧の状況を記録しておくことが規定されている。

3) 健康管理

a) 健康診断 圧気内で作業する者については、あらかじめ健康診断を行ない、また適合者も6ヵ月以内ごとに定期診断を受けることとなっているが、その他各人が日々の健康状態に留意するよう、常に指導する等、健康管理につとめなくてはならない。

b) 加圧、減圧ならびに坑内作業時間等 ロック内の加圧、減圧時間、圧気坑内での作業時間ならびに作業終了後のガス圧減少時間については、いずれも関係法規に示す時間を厳守し、潜函病防止に努めなければならない。なお、潜函病は減圧後1～2時間以内に発病することが多いので、減圧後ガス圧減少時間内は現場付近で休息させることが必要である。

c) 坑内換気 坑内には炭酸ガスその他有害ガスによる危害を防止するための換気設備を設けるとともに有害ガスの測定等、必要な措置を講じなければならない。換気の方法と

しては送風と排気方式とがあり、有害ガスの測定法としては現在種々の方法があるが、簡単に数分以内に知るためには検知管法が最も便利である。

また切羽の地質が砂礫層などで地下水がない場合は酸化現象のため切羽より無酸素ガス（酸欠……酸素含有率 16% 以下）を湧出し中毒現象を起こすこともあるので無酸素ガス湧出を押えるための圧気と送風換気が必要となる場合がある。

参考表 有害ガス・可燃性ガスの許容限界濃度

ガスの種類	単位	労働省	通産省	ACGIH
一酸化炭素 (CO)	ppm	—	**200 (100)	50
一酸化窒素 (NO)	"	—	—	25
二酸化窒素 (NO <sub>2</sub> )	"	—	** 50 (25)	5
炭酸ガス (CO <sub>2</sub> )	%	1.5	1.0	0.5
硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	ppm	—	**100 (50)	10
亜硫酸ガス (SO <sub>2</sub> )	"	—	** 20 (10)	5
メタンガス (CH <sub>4</sub> )	%	1.5*	1.5	—
酸素 (O <sub>2</sub> )	"	16.0	19.0	—

- 注：1. 労働省：労働省労働安全衛生規則。  
 2. 通産省：通産省鉱山保安規則，通産省鉱山保安局長通達（28保局第756号）。  
 3. ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1967 年による。  
 4. 労働安全衛生規則の数値は就労禁止とすべき値である。  
 5. 通産省の数値のうち  
 \*\* の値は立入禁止とすべき値であり、( )内数値は係員が毎月一回以上有毒ガスの含有率およびその範囲を測定すべき場合の値である。  
 \* 労働安全衛生規則では「可燃性ガスの濃度は爆発下限界の値の 30% 以下」と規定されているが、表には、これを数値で便宜的に示したものである。

#### 4.9.5 公害対策

作業は、工事の行なわれる沿線に対し、なるべく公害または環境の変動を与えないよう配慮して行なわなくてはならない。

なお、公害発生が予想される場合は、その対策を検討し、解決に努力しなければならない。

【解説】 シールド工事は、一般に市街地内で昼夜兼行して施工される場合が多いので、工事着手前に公害防止のため沿線の建造物、井戸および地下埋設物等の位置、構造等の調査を行ない、適切な対策を講じなければならない。また、工事施工にあたっては下記の項目に留意するとともに沿線関係者に対し十分な事前説明を行ない、協力を得られるよ

う対処しなければならない。

- 1) 騒音防止
- 2) 振動防止
- 3) 地盤沈下障害
- 4) 井戸および漏気対策
- 5) 地盤注入による障害

1) 騒音防止について 工事に伴う騒音規制については、一部の作業について「公害対策基本法」（昭和42年法律第132号）および「騒音規制法」（昭和43年法律第98号）の制定に伴い、「騒音規制法施行令」（昭和43年政令第324号）が制定されたので、当該作業はこれを遵守することはもちろん、その他の作業もこれらの法律および関係法令、同指導等の精神を尊重し、騒音防止につとめなくてはならない。

2) 振動防止について 工事施工に伴う一時的な振動の規制の法律等は、まだ制定されておらず、また、振動は土かぶり、地質、他物体との共振、および個人の感受性によりそれぞれ程度が異なるものであるが、公害防止の精神を尊重し、振動の少ない施工法の採用等その対策を考慮しなければならない。

特に土かぶりの浅いトンネルの場合は、シールド推進に伴う地中振動が問題となるので十分その対策に注意を要する。

3) 地盤沈下障害について シールド施工に伴う地盤沈下は、地質、土かぶり、施工の良否によりおのおの異なるが、一般に皆無とすることは困難であるので、この対策については十分注意しなくてはならない。なお、その対策については 4.6.1 を参照のこと。

4) 井戸および漏気対策 詳細については 4.5.4 参照のこと。

5) 注入による障害について 地山の強化、あるいは止水のため地表または切羽よりの注入実施に際しては周辺の地山、建造物の基礎等を扛上させ種々問題を惹起することがしばしばあるので、注入に際しては、注入管理を十分に行ない、慎重に施工しなければならない。

また、あらかじめ周辺の状況から地盤打上げ等が重大な影響をおよぼすおそれがある場合には、あらかじめ観測用杭、沈下計、傾斜計、あるいは地すべり計、等の測定装置を設置し、常に観測しながら慎重に施工しなければならない。なお、注入材料によっては有害なものもあるので作業の取扱い、ならびに井戸、等への流入などについて十分注意しなければならない。



