

4.5.1	圧気工法の効果	108
4.5.2	圧気工法と土質との関連	108
4.5.3	空気圧と空気消費量	110
4.5.4	漏気対策	111
第 6 章	地盤沈下と、その防止対策	113
4.6.1	地盤沈下と、その防止対策	113
4.6.2	既設構造物の沈下防止対策	114
第 7 章	坑外設備	114
4.7.1	坑外設備	114
4.7.2	低圧空気設備	115
4.7.3	高圧空気設備	117
4.7.4	材料置場および倉庫	117
4.7.5	ずり搬出および材料搬入設備	118
4.7.6	電力設備	119
4.7.7	連絡通信設備	120
第 8 章	坑内設備	120
4.8.1	坑内設備	120
4.8.2	ロック設備	121
4.8.3	運搬設備	122
4.8.4	排水設備	125
4.8.5	掘さく、ずり積設備	125
4.8.6	一次覆工設備	126
4.8.7	裏込め注入設備	126
4.8.8	二次覆工設備	127
4.8.9	後方台車	127
4.8.10	照明設備	128
第 9 章	施工管理	128
4.9.1	工程管理	128
4.9.2	品質管理	129
4.9.3	作業管理	130
4.9.4	安全衛生管理	131
4.9.5	公害対策	134

第 1 編 総 論

第 1 章 総 則

1.1.1 シールド工法の基本

シールド工法は、その目的に適合し、安全かつ経済的に行なわれるものでなければならない。

【解 説】 シールド工法は、河・海底などの軟弱地盤、帯水地盤にトンネルを施工する目的で開発されたものであるが、工事中地上におよぼす影響を少なくすることができるので、この目的のみで使用されることが多い。

シールド工法は地山の条件（土質、地層構成、地下水状態、等）や地表状況などに左右される要素がきわめて多いので、その調査、計画、設計および施工に際しては、これらを十分考慮して行なわなければならない。

シールド工法が登場したのは 19 世紀はじめで、その歴史はかなり古い。理論的解析もかなりの程度まで行なわれ、合理的、経済的な設計方法がとられているが、まだまだ不十分で未知数のところも多い。

わが国において、シールド工法がはじめて本格的に実施されたのは、1939～1944 年の関門鉄道トンネルであるが、広範囲にわたって積極的に採用されはじめたのは 1960 年以降である。

1.1.2 適用の範囲

この指針は、シールド工法の調査、計画、設計、および施工についての一般的な標準を示すものである。

【解 説】 ここにいうシールド工法とは、シールドを用いて行なうトンネル工事をいう。この指針は、シールド工法の一般的な標準を示したものであり、従来の理論や実績から判断して妥当と考えられるものであるが、細部については責任技術者の判断にゆだねられるべき事項が多い。圧入工法、等、標準的なシールド工法以外のものについても、この指針を準用してよい。

1.1.3 関連法規

シールド工法の実施にあたり、法規により工事が規制されたり、準拠すべき事項、その内容、手続き、対策、等、事前に十分調査しなければならない。

【解説】 工事の実施にあたり、法規による規制をうけるものがあるときは、場合によっては、計画の変更を余儀なくされることがあり、また関係諸官庁や管理者に対して諸手続きを行ない、許認可または承認を得なければ工事の施工ができない場合が多いので、工事に対する規制の程度、諸手続き、対策、等について、事前に十分調査、検討しておくなければならない。なお諸手続きおよび許認可、承認には相当日数を要する場合もあるので、事前に調査しておく必要がある。

おもなる関係法規類には次のようなものがある。

根拠法令	おもな規制事項
海岸法	海岸保全地域の行為の制限
河川法	河川区域内の行為の制限
公有水面埋立法	河川、湖沼、海等、公共用水流または水面の占有および行為の制限
自然公園法	国立公園、国定公園、都道府県立自然公園内の行為の規制
宅地造成等規制法	宅地造成工事規制区域内の行為の制限
地すべり等防止法	地すべり防止区域内の行為の制限
急傾斜地の崩壊による災害防止法	急傾斜地崩壊による災害防止指定地域内の行為の制限
道路法	道路の占用
道路交通法	道路の使用
都市計画法	都庁計画区域、風致地区、土地区画整理事業施工区域内の行為の制限
都市公園法	都市公園内の行為の制限
文化財保護法	史跡、名勝、天然記念物埋蔵文化財包蔵地内の行為の制限
公害対策基本法	
都道府県公害防止条例	
騒音規制法	
火薬類取締法	
労働安全衛生規則	
電気設備技術基準	
高圧気障害防止規則	
ボイラーおよび圧力容器安全衛生規則	
圧力容器構造規格	

第2章 調査

1.2.1 調査の意義

- (1) 調査は、シールド工法を安全、迅速かつ経済的に実施するための資料を得ることを目的として行なうものとする。
- (2) 調査は、大別して次のとおりとする。
 - (a) 立地条件調査
 - (b) 支障物件調査
 - (c) 地形および地質調査

【解説】 調査の目的とするところは、所要の構造物を安全、迅速かつ経済的に築造することにある。調査不十分のため思わぬ障害に遭遇し設計変更を余儀なくされたり、所定の工期に竣工できず、大きな損害をこうむったり、諸関係先に予想外の支障をおよぼしたり、また思わぬ事故の原因ともなるから調査は十分に行なうべきで、調査のための時間と費用を惜しむことは、厳に慎まなければならない。また、ここに述べる調査の資料は、トンネルのルート選定やシールド工法採用の可否決定のために用いるばかりでなく、シールド工法の規模や内容の決定から工事実施上の資料としても用いるものであり、なおかつトンネル完成後の維持補修のための資料ともなるものであるから、このことを十分考慮して行なわなければならない。ここにいう調査以外の工事に付随する諸測定や観測記録などについては、1.3.12を参照のこと。

1.2.2 立地条件調査

立地条件調査は、次の項目について行なわなければならない。

- (a) 土地利用状況
- (b) 道路種別と路上交通状況
- (c) 用途地域の種別
- (d) 立て坑、その他工事用地取得の難易度
- (e) 河海の状況

【解説】 立地条件調査とは、ここに掲げる項目についてトンネル経過地付近の環境を調査するもので、おもにルート選定とシールド工法採用の可否決定、シールド工法の規模、

内容の選定に用いられ、工事実施上の資料としても利用される。

(a) について 土地利用状況とは、市街地、山岳、河海底の別と、市街地の場合には中心部か周辺部かの別を調べることで、シールド工法で施工する場合の周辺の一般的な地表、地下の制約条件を把握するものである。

(b) について シールド工法を道路敷下で用いる場合に、その道路種別と重要度、また路面掘り返しの規制の有無、および路上の交通量などを調査するもので、シールド工法実施により路面変状があった場合の周辺に与える影響や、工専用立て坑路上設置の可否、残土や諸材料運搬の難易などを把握するものである。

(c) について 都市内でシールド工法を行なう場合には、住居地域、商業地域、工業地域などの別、その繁华度によって施工条件が左右される要素が多く、特に立て坑付近の騒音、振動、等の公害防止に留意する必要がある。

(d) について 立て坑はシールド工法のルート選定の段階から工事実施までを通じて最も重要なものの一つである。特に市街地中心部でシールド工法を用いようとする場合は、立て坑とそれに直接関連する工専用用地取得については、難渋することが多いから十分調査し、必要な手段を講じておく必要がある。

(e) について 河川下をシールド工法で施工する場合、河川断面や堤防の構造、および地質を調査し十分安全な深度をとるのが普通であるが、やむを得ず河底防護を必要とするときは、締切り、切回しなどの河川敷の一時的な占用のため河川の水文、舟航、利水状況などを調査しなければならない。また、海底の場合もこれに準ずる。

1.2.3 支障物件調査

支障物件調査は次の項目について行なわなければならない。

- (a) 地上および地下建造物
- (b) 埋設物
- (c) 井戸および古井戸
- (d) 建造物跡、仮設工事跡
- (e) その他

【解説】 ルートの選定に先だてて直接支障があるか、または影響範囲にある諸物件について十分に調査しておかななければならない。

この調査の目的とするところは、シールド工法により既設物に影響を与える場合の既設物の保全上の必要と、既設物がシールド工法実施上に影響をおよぼす場合の自衛上の必要との二通りが考えられ、前者は既設物の変状や圧気による噴発、水かれ、井戸水汚染など

どであり、後者は偏土圧、過載荷重、漏気、等である。

これらの調査は、その管理者または所有者の所有している台帳や図書をもとにして、現地と照合して確認する方法が一般にとられているが、特に古い埋設物は現場状況が変わって台帳と合致しない場合もあり、古井戸などと同様に歴史的な調査とともに、現地踏査や試掘によって確認する必要がある。

1.2.4 地形および地質調査

(1) 地形および地質調査は次の項目について行なわなければならない。

- (a) 地形
- (b) 地層構成
- (c) 土質
- (d) 地下水
- (e) 酸素欠乏空気、有毒ガスの有無、その他

(2) これらの調査は踏査、ボーリング、試掘、物理探査、等、適当な方法により行なうものとし、調査位置や調査項目などについては責任技術者の判断によるものとする。

【解説】 地形および地質条件はシールド工法の設計ならびに施工の難易を決定的に左右するものであるから、その調査は特に入念に行なわなければならない。

1) 予備調査について 一般に調査は、まず既存資料の収集整理、踏査などの予備的な調査によりルート全体の全般的な地質状況の把握が行なわれる。地層構成が単純であるか、複雑であるか、問題となる不良地質が予想されるか否か、等の大局的な状況は一応この段階で知ることができる。責任技術者はこの結果にもとづき、本調査の必要な規模および内容を決める。

計画ルートに沿って十分な既存資料がある場合や、予備調査のデータから地山の条件が明らかにシールド工法に適合していると判断される場合、等においては、事後の本調査を省略し、あるいは確認のための少数のボーリング等で十分なこともある。

2) 本調査、地質断面図、精密調査について 一般に本調査においては、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした地質調査が行なわれる。ボーリングの本数、間隔、深さ、等は地形条件と予備調査により推定される地山の条件、トンネル土かぶり、および隣接環境条件、等によって決められる。これらの調査結果にもとづいてルートに沿う地質縦断面図を作成するが、地質縦断面図は水平方向 1/1 000~1/5 000、鉛直方向 1/200~1/500 程度の縮尺のものが便利である。また、地形、地質、等が横断方向で異なるときは地質横断面図を

作成しておく必要がある。

地質断面図が作成され、地層の構成と、各層の N 値などがわかった段階になれば、シールド工法に係る地質上の問題点が明確になるので、これにもとづいて代表的な箇所や問題箇所について、地質状況に応じて必要とされる精密な調査（たとえば各種土質試験、試掘、揚水試験、間げき水圧測定、等）を実施すればよい。

なおボーリングをはじめとする各種調査孔は、あとでシールド工事中、出水、圧気もれなどの原因となりやすいので、調査孔位置の選定や、あと埋めは十分このことを配慮して行なわなければならない。

3) 地形について 地形は地下の地山の条件を反映していることが多いので、調査の第一歩は地形の観察と把握から行なうのがよい。調査地点が丘陵地や台地であれば当然その地下には沖積層が存在することはなく、一般に軟弱な地層は少ない。一見低い沖積平地においても微細な地形の観察、ならびに地形的環境条件を考察することにより、地下の地山の条件をある程度推定することも可能である。

また台地と低地の境界部に平行、または斜行してルートがあるときは、土質状況によっては著しい偏圧の原因となることがある。

4) シールド工事上問題となる土質について 自立しない砂礫層、大玉石層、等における掘さくは、手掘りと機械掘りを問わず困難を伴うことが多い。

地下水面以下のゆるい砂層で圧気を使用するとき空気圧を下げれば切羽下端より砂が水とともに流入してくるし、圧力を上げれば上端では乾燥がはなはだしくなり粘着性を失って漂砂状態を呈し、わずかの衝撃で流砂状態を示すこともある。特にこのような地山で土かぶりの浅い場合は、圧気効果の平衡を計りにくく、また噴発するおそれも大きい。以上のようなおそれのある砂層で施工されるときは、 N 値の測定のほか粒度試験、間げき比測定などの試験を行なう必要があり、また状況によっては透水係数や限界間げき比を測定しておくことが望ましい。

ごく軟弱なシルト・粘土層が存在するとき、シールドの切羽が自立しなくなり掘さく方式選定上の問題や、地盤全体の変位、変形などの問題があるので、 N 値が1～2程度以下の軟弱な場合には乱さない試料をシンオール チューブやフォイル サンプラー、等で採取し、一軸圧縮強度や変形特性を測定しておくのがよい。また、地下水圧低下などのため圧密沈下を生ずるおそれのある場合には、圧密試験を必要とする場合もある。一般にやわらかい粘土層の場合には上記の試験のほか、含水比、単位重量、塑性、液性限界、等を測定しておくことが望ましい。これらの数値は設計、施工上の判断資料として有用である。

5) 地下水条件について 地下水面位置は、通常ボーリング調査の際測定されるが、中間に介在する粘土、シルト層などの不透水層の下に砂層、砂礫層などの帯水層が存在しているときは、これらの帯水層中の地下水圧は必ずしも通常の地下水面に対応する静水圧分

布をしているとはかぎらないので、各帯水層について、それぞれ間げき水圧を測定しておくことが必要である。山地や台地の近くや、扇状地砂礫層内などでは通常の地下水面以上の被圧地下水頭をもつこともあり、シールド トンネルの深さによっては圧気工法のみによる掘さくは不可能になる場合もある。一方、都会地などでは、深井戸、等による人工的な過剰揚水のため、通常の地下水面に達しない低い水頭をもつ場合もあり、ときには全く水圧をもたないこともある。

これらの地下水面高や、被圧地下水頭は季節的な変動や人工的な変動をしていることが多いので、調査測定時の水頭がどのような条件のときのものであるか確認しておくことが必要である。都会地などでは年間 10m におよぶ変動をしていることがあるので特に注意を要する。

帯水層の水圧が大きく、シールド工事上、圧気のみでは問題があるときは、地下水を汲み上げて水圧を低下させたり、注入により止水を行なうことがある（1.3.8 および 第4編 第4章 参照）。したがって、これらの対策工法の設計に資するため、帯水層の透水係数や汲み上げを要する水量、およびその影響範囲が必要となることがある。透水係数は粒度分布からも概略値はつかめるが、一般には現地で揚水試験により、上記の諸数値を測定することが望ましい。

6) 酸素欠乏空気、有毒ガスについて 深井戸、過剰揚水、等により地下水が全く枯渇している砂礫層や砂層が不透水層下に存在するときには、これらの層の間げき中には酸素が欠乏した空気や有毒ガスが満たされていることがある。これは不飽和になった層中の土粒子中の鉄分や有機物が間げき水の空気により酸化作用を起こし酸素を消費してしまい、一方外界からの空気の供給が不足するため、窒素ガスを主とする酸素欠乏状態になったものと推定される。近時、東京や大阪などの都心部の地下工事で酸素欠乏による人身事故が報告されている。したがって、このようなおそれがある環境条件があるときは、間げき中のガスの性質を調べておかなければならない。酸素欠乏空気や有毒ガスの存在が確認された場合には、湧水をおさえるための圧気送気は必要でなくても、換気のための十分な送気を要すると考えられる。

以上のように地山の条件はシールド工事の難易に非常に関係するので、シールド位置と深さの決定にあたっては、正確な地質縦断面図にもとづいて地層の構成と各層の工事に与える影響について十分考慮するとともに、その設計、施工法を決めるべきである。

第3章 計 画

1.3.1 トンネル内空および断面形状と大きさ

(1) トンネル内空は、用途に応じた所要断面を有するとともに、施工上の問題も考慮して決めなければならない。

(2) シールドの断面形状は、おもに円形を用いるが、必要に応じて半円形、矩形、馬てい形、その他も用いられる。

(3) シールド断面の大きさは、所要のトンネル内空を確保できるものではない。

【解説】(1) について トンネル内空の大きさは、その必要内空と施工上の安全性を考慮して決められるべきであるが、その最少限はトンネル内の作業の安全性と能率を考慮して、一般に内径1.8m程度とするのが望ましい。

1) 鉄道、道路の場合 内空断面は、その建築限界に建築限界外余裕（軌道構造、保守用通路、信号通信、照明、換気、および排水、等の付属設備用空間）とシールド工事の施工誤差（上下または左右の蛇行、変形、および沈下、等）を加算して決めるのが一般的に行なわれている。施工誤差については、一般に中心から左右上下に各50~200mm程度が見込まれるが、施工条件（掘さく断面の大きさ、地山の条件、シールドの操縦性、掘進速度、二次ライニングの有無、曲線と勾配、等）を考慮して十分検討のうえ決めなければならない。

2) 下水道の場合 内空断面は、計画流量を遅滞なく流下せしめるに必要なものとする。施工誤差（上下または左右の蛇行、変形、および沈下）は、勾配の増減や断面縮少による疎通能力の減少をもたらすので、できるだけ少なくすべきであるが、設計上は、一般に30~50mm程度考えられている。

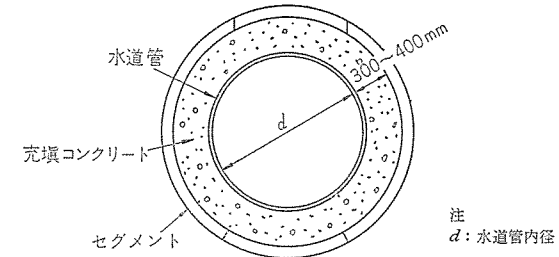
3) 上水道の場合 水道管は普通圧力管路であるので、コンクリートで二次覆工したトンネルのままでは、水圧に抵抗することができないので、鋼管またはダクタイル鋳鉄管、等の耐圧管をトンネル内にそう入する方式が一般にとられる。その方式として現在のところ用いられている代表的なものは、次のとおりである。

① コンクリート充てん方式：水道管の径より、半径で300~400mm程度大きな内径の一次覆工を全長築造後、鋼管またはダクタイル鋳鉄管などの水道管を順次そう入し、トンネルと同じ位置に配管接合し、さらに一次覆工と管との間げきをコンクリートで充てんする方式で、現在最も一般的に用いられている。この方式の場合、管の接合作業は内面より行なわねばならぬから、鋼管では、裏当金溶接、鋳鉄管ではU形管（内面継手）、

等が用いられる。

一次覆工と管との間隔はシールドが蛇行（排気、排水のため、縦断蛇行に注意）しても管を所定の位置に配管できるための余裕と、最小限の巻厚を考慮して決めなければならない。

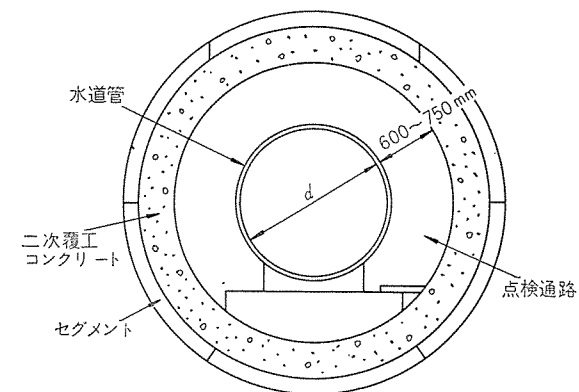
この方式は次の方式に比べ、シールド断面が小さく工費は低いが、トンネル管の点検や補修時には、断水する必要があり、維持管理上やや不便である。



解説 図1 コンクリート充てん方式

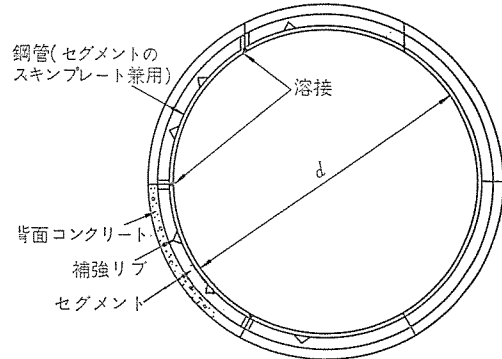
② 点検通路方式：水道管の径より、半径で600~750mm程度大きい二次覆工内空断面のトンネルを築造し、この中に水道管を配管する方式で、水道管は一般に、鋼管またはダクタイル鋳鉄管であるが、その接合は外面接合でよい。

覆工と管との空間は、点検通路に利用する。この方式は、前の方式に比べシールド断面が大きく工費は高いが、トンネルおよび管の点検、補修時にも断水の必要はなく維持管理上好都合である。この方式では蛇行などの施工誤差に対する余裕は、空間が大きいので一般に必要なない。



解説 図2 点検通路方式

③ セグメント型鋼管方式：一次覆工セグメントを板厚の大なる鋼板で製造し、これを組立て後溶接して、そのまま水道管に兼用する方式で、工費は前二方式より割安といわれるが、溶接は比較的悪条件下で行なうので、熟練工が特に入念に行なう必要がある。蛇行に対する余裕は、この方式では作ることができないので、施工は特に入念を要する(3.3.2 参照のこと)。



解説 図3 セグメント型鋼管方式

4) 電力・通信の場合 電力通信の場合の方式として洞道式と管路式がある。

洞道式の場合の内空断面は、計画ケーブル条数を収容し、かつ点検用の通路、照明、排水および換気用、等のスペースを考慮して必要最少限度の大きさとしなければならない。

管路式は、一般にケーブル条数が少なく、洞道とする必要がない場合に用いられ、その断面の大きさは施工上から決められる。

(2) について シールドの断面形状として一般に円形断面が用いられているおもな理由は、

- 外圧に対して一般に強固である、
- 施工上シールドの推進やセグメントの製作、組立てに便利である、
- シールドがローリングしても断面利用上支障が少ない、

等である。

しかし、トンネルの断面を有効に利用するためやその他の理由で半円形、矩形、馬蹄形なども用いられることがあり、この場合、シールドとセグメントの強さや形状および施工上の問題点について十分検討しておかなければならない。

(3) について (3.3.2 参照のこと)。

1.3.2 トンネルの線形

(1) トンネル線形の設計にあたっては、なるべく直線、あるいはゆるやかな曲線を用い、立地条件、支障物件および地山の条件を含めて施工上の便宜を考慮しなければならない。

(2) シールド工法における掘進可能な最少曲線半径は、地山の条件、掘さく断面の大きさ、シールドの長さ、施工方法、シールドの構造、およびセグメント、等により異なるが、小さい曲線半径を用いる場合は、特に設計施工上注意しなければならない。

(3) 上下水道や電力通信用シールド工法で、路線が急角度に折れるか、極端に小さい曲線半径で曲がる場合、または途中で接続の必要がある場合は立て坑を築造するか、地下接合方式を用いる。

(4) トンネルを2本以上併設し、または他の構造物、等に接近してトンネルを設置するにあたっては、相互の影響について、特に注意しなければならない。

【解説】(1) について シールド工法は、一般に市街地に用いられることが多く、その線形の選定にあたっては、立地条件、支障物件、地山の条件、等に制約されるが、使用目的およびシールドの掘進などの面から、できうる限り直線とし、やむを得ない場合でも、できるだけ曲線半径の大きな線形としなければならない。

シールドの通過地点は、おもに施工時の立て坑位置、工専用設備の配置、地表面の利用状況や直接・間接の支障物件、シールド工法の影響により予想される地上・地下構造物の変状、等からその範囲を制約されるが、できるだけ掘進作業、および湧水処理などの施工上の安全有利な地質を通過するよう選定しなければならない。また、完成後における維持管理についても考慮しておく必要がある。

(2) について シールドが曲線掘進する場合の施工性を左右する要素は、シールド通過地の地盤の硬軟とその分布、掘さく断面の大小、シールドの長さ、勾配の緩急、掘さく工法(手掘り、機械掘り、閉そく形かの別、先掘りの有無、掘進速度、あるいは1推進の掘進長、等)、シールドの形状構造(スタビライザーの有無、その他)やセグメントリングの幅やテーパ量などが影響し、これらの各要素により掘進可能な曲線半径は異なる。補助工法を用いない手掘りシールド工法での最少曲線半径の目安は次の程度である。

用途	別	曲線半径(R)
鉄	道	R=300m

上下水道、電力通信など

$R=100\sim 200\text{m}$

しかし、この曲線半径以下でも施工した例もあり、その限界については明確でないが、これより小さい曲線半径の曲線を用いる場合は上記の各要素について考慮して、補助工法が必要であれば、シートパイル打設、薬液注入、先掘り、シールドの構造やセグメントの改良などの補助工法を行なうとか、後述の地下接合を検討する必要がある。

現時点では、一般に機械化シールドは、手掘りシールドに比べて、曲線施工上、特に慎重な配慮が必要である。

(3) について 上下水道や電力通信の中小断面シールド工法では、道路交差点などにおいて、やむを得ずきわめて小さい半径の曲線を設ける場合、接続を必要とする場合、道路状況や支障物件、等から、前項の補助工法によるシールド掘進のほかに、方向転換用立て坑の築造、シールド立て坑による接合、あるいはシールドとシールドの地下接合などを行なう。

(4) について トンネルを併設する場合は、単独トンネルの場合とは異なった土圧が作用するから、地盤沈下や隣接トンネルの変状を防止し、また後続トンネルの施工を安全に行なうため、適当な離間距離を設けなければならない。

併設シールド工法における必要な相互の間隔は、通過地点の地質、掘さく断面の大きさ、掘さく方法、施工時期のずれ、等により異なり、一概には定められないが、一般にシールドの直径（外縁間隔）以上をとっている。

同一立て坑から併進する場合の発進直後の区間や道路幅や支障物件などの制約から最少1.0m程度までの例もあり、このような場合は薬液注入など、地盤強化のための補助工法を併用するのが一般である。

文献によると、山岳トンネルにおける併設トンネルの中心間隔については、地山が完全弾性体と考えられる場合には掘さく幅の2倍、粘土などの軟弱な地山でも5倍とすれば、ほとんど影響がないと報告されている（日本鉄道技術協会：双設ずい道の離間距離に関する報告書、昭和34, 35, 36年参照）。

シールドが地下構造物や地下鉄、地下埋設物あるいは既設構造物の基礎、等に接近する場合には、これら構造物の設計条件や現況を十分調査して、これらに偏圧や沈下および振動などの悪い影響を与えないよう、上下や左右方向に必要な間隔をとらなければならない。また必要に応じて、薬液注入などによる地盤強化やアンダーピニングによる構造物の補強、等を考慮しなければならない。

1.3.3 トンネルの最小土かぶり

シールド掘進のために必要な最小土かぶりは、地表や地下構造物の状況、地山の条件、掘さく断面の大きさ、および施工方法、等を考慮して十分安全な土かぶりとしなければならない。

【解説】 ここでいう施工方法とは、掘さく方式（機械掘りか手掘りかの別、切羽土留めの程度、掘さく速度、等）、地下水位低下法や各種注入工法およびアンダーピニング工法、等の補助工法、圧気使用の有無などをいう。

一般に、シールドトンネルでは、その深度は施工時の作業能率（材料の搬入出や作業員の昇降）のよさ、立て坑築造の簡易さ、使用空気圧の低さ、水処理の簡易さ、等や、竣工後の構造物の保守運営上の便利さなどからは浅いほうが望ましいが、この場合は、十分安全な施工を行ない、かつ、周辺に悪影響をおよぼさないために、本条に示す各要素について慎重な考察を加え、必要、かつ十分な土かぶり厚さをとらなければならない。必要な土かぶり厚さとして一般に、 $D\sim 1.5D$ （ D ：掘さく外径）といわれているが、これより小さい土かぶりでも成功した例や、これより深くても陥没やエアブローなどの例があるので、実施にあたっては上記のことに留意し、必要に応じて、適当な補助工法を勘案のうえ、慎重に決めなければならない。

水底トンネルの場合は最少限1.5D以上とるのが通例である。

1.3.4 トンネルの勾配

トンネルの勾配は、自然流下による排水をさまたげない範囲で、なるべくゆるい上り勾配とし、この勾配は少なくとも0.2~0.5%程度とするのが望ましい。

ただし、下水道の場合は、設計上、必要な勾配によらなければならない。

【解説】 トンネルの勾配は、本来その使用目的に合致するように決められるべきであるが、一般には、河川、地下構造物、埋設物、等の支障物件の制約から決定されることが多い。施工中の湧水を自然流下させるためには、少なくとも0.2~0.5%程度の上り勾配とする必要がある。また、立地条件や支障物件の制約から勾配が2%程度以上となる場合は、シールドの推進、および施工中のずり出しや、材料の運搬などの作業能率の低下の影響を考慮しなければならない。

完成後のトンネルの勾配は、道路、鉄道、電力、通信、等のトンネルでは湧水を自然流

下で排水ができる程度のゆるやかな勾配とするのが原則であり、このためには、少なくとも0.2%程度以上の勾配が望ましい。

下水道の勾配は、目的に応じた通水量、流速、等により定め、できるだけ一律な勾配としなければならない。

上水道の場合、隣接する両立て坑間は管内排水および排気の関係上、片勾配としなければならない。

1.3.5 シールドの選択

シールドは、地山の条件、施工条件、等を考慮して、施工方法を検討し、安全で経済的な施工を行なえるように、その形式を決めなければならない。

【解説】 1) 手掘りシールドと機械掘りシールドについて シールドは手掘りシールドと、機械掘りシールドに大別される。現時点での実施例によると手掘りシールドが圧倒的に多いが、機械掘りシールドが漸次普及する傾向にある。機械掘りシールドとは、シールドの切羽における掘さくと、ずりの積込み作業を機械的に処理する方法を採用したものをいう。

機械掘りシールドのねらいとするところは

- a) 掘進速度の向上、
- b) 労力の節減、
- c) 有効な切羽土留めによる安全施工と、地表面沈下の防止、

などが、そのおもなものであるが、一方、機械掘りシールドを採用しようとする場合には、次の諸点について十分検討しなければならない。

- ① 機械掘りシールドの製作コストは非常に高くなるが、施工延長、工期、等を勘案した場合の高効率掘進の必要性と経済性。
- ② 地山の条件や、その変化に適応した掘進可能な程度、および岩石埋木など地中障害物の処理方法、推進不能の場合の対策。
- ③ 機械掘りシールドに対応する坑内設備、坑外設備、および基地条件。
- ④ 施工精度の確保（曲線施工、蛇行修正、等）。

2) 開放形と閉そく形について シールド前面の構造は、切羽の土質によって開放形と閉そく形とに大別される。開放形は切羽の地山が自然状態、または圧気その他の補助工法によって少なくとも部分的に自立可能な場合に用いられ、閉そく形は切羽の地山が軟弱で、流動性はげしいときに用いられる。なおシールドの形式と選定については3.1.1を参照のこと。

1.3.6 覆工

覆工は、地山を直接支持して所定のトンネル内空を保持するとともに、トンネルの使用目的および施工に応じた機能を有する構造物で通常はセグメントを組み立てて構築する一次覆工とその内側に巻立てる二次覆工とからなる。

【解説】 覆工の役割は要約して、

- a) トンネルに作用する荷重に対して十分に抵抗できること、
- b) トンネルの使用目的に適した機能を有すること、
- c) トンネルの施工条件に応じた覆工構造を有すること、

に大別される。

a) および b) についてはシールドトンネルの覆工も山岳トンネルの場合と同様である。シールドトンネルにおける覆工の特徴は c) にあり、施工法と関連してこれを一次覆工と二次覆工に分けて構築するのが普通である。ことに一次覆工は、一般にセグメントを用いたプレハブ構造からなり、セグメントの製作費はトンネル全工事費のかかなりの部分を占めるので、シールド工法実施上きわめて重要な要素である。

一次覆工は、シールドの推進にあたってそのジャッキ推力受けになると同時に、シールドテールから離れたあとにはただちに支保工としての役割も果たすことになるから、所定の期間にわたり覆工に作用する荷重に対して抵抗できるように設計される。ここに所定の期間とは、二次覆工の施工完了までの間を指すこともあるが、この期間に作用する荷重の経時変化に不確定な要素があり、また一次、二次覆工相互の荷重分担についても推定が困難である現状から、一般にセグメントを長年にわたってトンネルに作用する荷重に対しても抵抗できるように設計し、一次覆工だけを覆工構造の主体として用いる考え方が多く用いられている。この場合には、二次覆工は省略されるか、またはトンネルの蛇行修正、防水、その他トンネルの使用目的に応じた機能を有する仕上げ工として施工される。しかし、覆工の考え方には一次覆工を単に支保工とし、二次覆工だけを覆工構造の主体とする山岳トンネルに準ずる考え方もあるし、また不明確とはいえ、一次覆工と二次覆工との間に上述の荷重分担を認め、さらに二次覆工に b) の役割を果たさしめる中間的考え方も行なわれている。

1.3.7 トンネルの付属設備

トンネルにはその使用目的に応じ、あるいは完成後の維持管理の便を考え、必要に応じて排水、換気、等の設備やマンホールなどを、あらかじめ設計しておかなければならない。

【解説】(1) 鉄道、道路の場合 鉄道、道路、人道、等のトンネルでは、トンネルの延長や交通量に応じて、点検用通路、排水、換気および照明、等の設備を設けなければならない。

トンネルの排水設備は、トンネル内の使用水やトンネル覆工からの漏水をすみやかに排水するために、トンネル内に必要な断面の排水溝、ためます、排水用機械室、および排水ダクト、等を、あらかじめ設計しておかなければならない。

トンネルの換気設備は、その使用目的により異なるが、必要な換気量を満たす換気口の大きさや設置間隔、あるいは換気に必要な換気機械室、ダクトスペース、等を設計しておかなければならない。

(2) 下水道の場合 下水道用トンネルでは、完成後のトンネル内の掃除、点検、等の作業のために、また作業時の換気通風口にもなるので、適当な間隔にマンホールを設計しておかなくてはならない。マンホールの間隔は、一般には最大限としてトンネル内径の120倍、あるいは300mのどちらか小さい距離以内に設けなければならない。

(3) 上水道の場合 上水道ではその維持管理上から、縦断勾配の凹部凸部に立て坑を設け、その中に空気弁（凸部に設置）、泥吐管（凹部に設置）、人孔管を設置するとともに、トンネルおよび立て坑内の排水、換気、等の設備を考慮しておく必要がある。また維持管理上、立て坑およびトンネル内への材料搬入や点検、補修、等の作業のために、立て坑にマンホールを設計しておかなければならない。

(4) 電力、通信の場合 電力・通信用トンネルでは、トンネル内への材料搬入、ケーブルの引込み接合作業、点検、等のために、トンネル延長200～300mごとにマンホールを設けるのが通例であり、作業時の立て坑として利用している。洞道式のトンネルではケーブル設置用受棚設備、排水設備、換気設備および非常脱出口、等についても考慮しておかなければならない。また電力用トンネルでは、送電による熱の発生についても検討しておく必要がある。

1.3.8 圧気とその他補助工法

シールドトンネルを軟弱地盤あるいは滞水地盤に計画する場合は、切羽地山の安定や湧水処理のために、シールド通過地点の地山の条件、施工条件、等を考慮して、必要に応じて圧気工法、注入工法あるいは地下水位低下工法などの補助工法を行わなければならない。なお、周辺の既設構造物に沈下、損傷などの変状を与えるおそれがある場合には、別途アンダーピニング、基礎補強、等の対策を検討しておく必要がある。

【解説】シールド工法を安全に施工するには、切羽地山の安定と、湧水処理が重要であり、付随的に生じる地表面、および周辺の変状防止対策としても、本条に示すような補助工法を検討しておく必要がある。補助工法のうち圧気工法や注入工法は、湧水阻止と地山の強化などを目的とするものであり、地下水位低下工法は、ウェルポイントやディープウェルなどを用い湧水量の減少と地山改良などを目的とするものである。

このほかシールド掘進により、変状の懸念される周辺の構造物に対して、沈下、損傷防止のため、アンダーピニング、基礎補強、等の施工を必要とすることが多い。わが国ではシールド工法の補助手段として、圧気工法が多く用いられる傾向が強いが、圧気工法採用のための労働条件の悪化、各種作業能率の低下、等について、十分留意しなければならない。

圧気工法を採用する場合、安全上からは立て坑から坑内全体を圧気下におく立て坑圧気方式が望ましいが、シールドの後方設備の都合や作業能率の向上のため、立て坑付近の一定区間は、圧気を使用せずトンネル坑内に、エアロックを設置するまで、注入工法などにより大気圧下でシールドの掘進を行なう方式が一般に用いられている。近年トンネル坑内を全面的に圧気下におかず、切羽付近のみを部分的に圧気下におき、坑内諸作業を大気圧下で行なう部分圧気工法および泥水加圧工法、等が開発されつつある。なお、圧気内で人間の作業しうる空気圧の限度は、せいぜい3.5気圧程度と一般にいられている（労働安全衛生規則 参照）。

1.3.9 作業坑と工事基地

シールド工法では、一般に発進箇所付近に立て坑と工事基地を設け、立て坑は必要に応じてトンネル中間部あるいは終端部にも設ける。

立て坑は、シールド通過地の立地条件や施工条件などを考慮して、安全かつ能率的な施工ができるよう、立て坑の位置、規模およびその機能、等を計画しておく必要がある。

工事基地は立て坑、坑外設備、材料や、ずりの集積などのため、かなりの敷地面積を必要とする。

【解説】作業坑とは、シールドの発進立て坑、中間立て坑、到達立て坑、方向変換立て坑、等をいう。

シールドの発進箇所付近に設ける立て坑は、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、作業員の出入、等に用いられる。

また必要に応じて、方向転換用、あるいはシールド取出し用、等のためにトンネル中間

あるいは終端にも立て坑を設ける。

これらの立て坑はトンネル完成後トンネルの付属設備に利用されることが多い。立て坑の位置はシールドトンネルの工事規模（トンネルの延長と断面の大きさ）、シールド通過地の土地の利用度、用地の取得の難易度、ずりや材料の運搬、搬入出の工事作業内容、立て坑の施工しやすさ、等を検討のうえ選定しなければならない。

立て坑の規模は、その使用目的およびシールド断面を考慮して決めるが、立て坑の内空およびその詳細については4.3.1参照のこと。

工事基地は、シールドトンネル工事の規模、施工方法などを考慮して、立て坑、坑外設備、ずりや材料の集積などのために、シールド発進箇所付近に十分な敷地面積を確保しておくのが望ましい。たとえば地下鉄用シールド工事程度では、工事用敷地面積を目安として、少なくとも1000m²以上程度が必要といわれている。用地の詳細については4.7.1参照のこと。

1.3.10 沿道対策

シールドトンネル工事の影響で、変状または公害などが懸念される範囲の沿道および地表面の状態、あるいは地下の諸物件については、あらかじめ予想される状態について検討のうえ、その対策を講じておかなければならない。

【解説】 一般にシールド工法は、都市の地上・地下構造物や埋設物のふくそうした軟弱地盤の比較的土かぶりの浅い所に計画され、シールドはこれらの支障物件に接近して施工されることが多いのでその施工による影響については、十分検討しておく必要がある。

なお、工事の影響で、変状が懸念される範囲の地上および地下の諸物件については、着工前にその原状を写真や各種測定によって記録し、おのおのその管理者や所有者の確認を得おく必要がある。施工による影響で、通過地周辺の地表面、地上および地下構造物ならびに埋設物などに沈下損傷が懸念される場合には、これらになるべく変状を与えないよう、あらかじめ注入工法による地盤強化やアンダーピニング、等の対策を考慮しておかなければならない。

また、シールド通過地付近の井戸や地下水については、施工時の湧水処理工法や土質を考慮して漏気噴発防止や地下水位低下による水がれや地盤沈下、圧気による地下水の汚濁、等に対する対策を検討しておく必要がある。立て坑を居住地、あるいは家屋に接近して設ける場合は、工事用設備（特にコンプレッサー）による騒音や振動、等について考慮し、その防止対策を計画しておかなければならない。

1.3.11 工程

シールドトンネル工事の工程は、工事の規模、順序、工期および施工条件等を考慮して安全、かつ経済的に計画しなければならない。

【解説】 シールドトンネル工事における工程は、作業坑および本坑の建設（掘さく、土砂搬出、セグメント組立て、裏込め注入、二次覆工巻立て）における工事量の大きさや工事速度が主体となって決まるが、これらの主体工事についてはもちろん、その他、シールドおよび付属機器の製作、仮設備のすえつけおよび撤去に要する期間、さらに地上工作物の防護方法や地山の条件など種々の施工条件を考慮して総合的に決定しなければならない。

このように数多くのしかも複雑な部分工程から構成される全体工程を適切に管理するためには、複雑な作業の関連メカニズムを明確に表現でき、しかも種々の問題点を計画の段階で発見できることはもちろんのこと、施工途上においても計画基準に対する進行管理が可能となるように有効な手法を導入しなければならない。この目的のために、たとえばPERT手法などのネットワーク表示にみられる図形化や記号化が有力な手段となる。

工程表は、全体工程表、部分工程表、等その使用目的に従い（あるいは重点的に使用できるように）活用しやすいものを作成する必要があるため、完成したネットワークを集約したり、細分化したりできるように常に管理されていなければならない。

1.3.12 観測、測定、工事記録

シールド工法の実施にあたっては、観測、測定および工事記録、等をなるべく詳細にとり、保存につとめることが望ましい。

【解説】 シールド工法の実施における観測、測定および工事記録とは次のようなものである。

1) 観測

- a) 切羽の状態
- b) 湧水の量および質
- c) シールド工法の施工による付近の地表面および他の構造物や埋設物の変状
- d) トンネル内作業時の空気圧、空気消費量および漏気の状態
- e) 地下水位状態の変化
- f) ジャッキ推力

- g) セグメントの変状
- h) シールドの蛇行および回転

2) 測定

- a) シールドまたは覆工に作用する土圧および水圧
- b) シールドまたは覆工に生じる応力および変位

3) 工事記録

- a) 工事誌
- b) 竣工図（平面図，縦断面図）
- c) 地質図
- d) 映画，写真，等

これらの観測，測定および工事記録，等をとるおもな目的は，

- ① シールド工法の安全な施工を行なうため，
- ② 工事による事故や紛争が発生した場合の原因究明や補償の資料とする，
- ③ 竣功後の施設の維持管理および補修，等の資料に用いる，
- ④ 将来のシールド工法の改善，発展，等のための技術資料とする，

などであり，種々の利益があるので，できるだけ正確で詳細な記録をとることが望ましい。

また，これらのデータは整理し保存につとめ，以後の利用に便利なようにしておかなければならない。

第 2 編 覆工およびセグメント

第 1 章 総 則

2.1.1 適用範囲

この第2編は，円形シールドによるトンネルの覆工およびセグメントに関する設計ならびに製作の基本となる事項を示す。ただし，責任技術者の承認を得て他のシールドトンネルに準用することができる。

【解 説】 シールドトンネルでは，施工法はもとよりトンネルの断面形状などによってもその力学的挙動が相違すると考えられるから，覆工およびセグメントの設計はこれらに応じて行なうことを原則としなければならない。しかし，シールドトンネルにおいては円形断面が圧倒的に多く，単にシールドトンネルといえばこれを指すのが実状であるので，円形断面を対象として指針を提示することにとどめ，他の断面形に対しては，責任技術者の判断により適当と認められる条項の準用を認めることとした。

2.1.2 覆工およびセグメント

セグメントは，一般に一次覆工材として単独か，または二次覆工材と併用して覆工に用いられるが，トンネルの使用目的と施工に適合するように強度，構造，形式および種類，等を選定しなければならない。

【解 説】 セグメントの使用目的は，

- a) シールドの推進にあたってそのジャッキ推力受けとする，
- b) トンネル施工中の支保工材とする，
- c) トンネル完成後に単独か，または二次覆工材と併用して永久的な覆工構造とする，

などである。セグメントの強度は永久的な構造物として設計されるのが一般的であるが，上下水道用や電力・通信用などでは工事中の支保工のみを目的とする場合もある。覆工の設計にあたっていかなる考え方をを用いるかは，覆工構造の種類とこれに対する責任技術者の判断にゆだねられねばならない（1.3.6 参照）。

一次覆工の構造および形式については，わが国では箱形あるいは平板形セグメントをボルト継手で組み立てたリング構造を剛性一様なリングとして取扱う考え方が一般的に普及