

ホームページ掲載にあたっての注：
本資料は今後の検討により修正する予定です

(仮題)

シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン

(素案)

令和〇年●●月

シールドトンネル施工技術検討会

1
2
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
37
38
39

はじめに

シールド工法は、泥水あるいは泥土等で掘削面（切羽）の土圧と水圧に対抗して切羽の安定を図りながら、シールドを掘進させ、セグメントを組み立てて地山を保持し、トンネルを構築する工法である。一般的には、非常に軟弱な沖積層から洪積層や新第三紀の軟岩までの地盤に適用される。地質の変化への対応は比較的容易であり、硬岩に対する事例もある。主に都市内の下水道、道路、地下鉄などの工事に多く採用され、近年は、大土被り大断面の施工事例も多く見られる。

シールド工法は、多数の施工実績があり、地盤に応じて適切な形式で適切な施工を行えば安全に工事を遂行できる工法である。しかし、令和2年に、鉄道事業及び道路事業において、シールド工法によるトンネル工事で、地表面に影響を与える事故が発生した。それぞれ原因究明が行われた中で、施工に課題があり、再発防止対策が取りまとめられるなど施工の高度化を図る必要があることが指摘されており、今後もシールド工法を幅広く活用していくにあたって、シールド工法の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保が必要である。このため、本検討会において、シールドトンネルの設計・施工技術等に関する留意事項をまとめたガイドラインを策定することとした。

具体的には、本検討会において「近年のシールドトンネル工事における事故等とその対策」等についてヒアリングを行うとともに、「シールドトンネル工事に関する建設会社へのアンケート調査」を行い、事故の事例だけでなく、トラブルとその対策や施工における工夫について事例の収集・確認を行った。その内容を基に、本検討会として、シールドトンネル工事の安全性の向上や周辺地域の安心の確保のために必要と判断される事項について、平成24年2月に発生した岡山県倉敷市におけるシールドトンネル工事の事故を受けて再発防止を図るためにシールドトンネルの設計・施工に関する技術的な検討を行いとりまとめられた「シールドトンネル施工技術安全向上協議会報告書（H26.3）」に記載された提言を踏まえつつ、最新の技術的知見を総括し「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」をとりまとめたものである。

本ガイドラインに指摘する内容については、今後のシールドトンネル工事の安全性の向上や周辺地域の安心の確保に向けて、各学協会、事業者等が定めるシールドトンネルの設計・施工に関わる基準類において、その改訂等に合わせて反映されるよう強く望むものである。なお、シールドトンネル工事の実施に伴う当該工法に関する技術的知見の蓄積は、今回策定したガイドラインで完結するものではなく、今後、新たな事象や課題等が確認されれば、そこから得られる技術的知見を基に、将来的にガイドラインの充実を図っていくことが必要である。

シールドトンネル施工技術検討会

1
2
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

目次

1. 総則

- 1-1. 目的
- 1-2. 適用範囲
- 1-3. 用語の定義
- 1-4. リスクの想定と対応の考え方

2. 調査

- 2-1. 地質調査
- 2-2. 支障物調査

3. 設計

- 3-1. 覆工の設計
 - 3-1-1. セグメントの形状寸法
 - (1) セグメントの形状・寸法
 - (2) セグメントの分割
 - (3) Kセグメント
 - (4) Kセグメントの挿入代
 - 3-1-2. セグメントの構造等
 - (1) セグメントの本体と継手
 - (2) RCセグメントの鉄筋量
 - (3) RCセグメントのシール溝
 - (4) シールドジャッキ偏心量の影響
 - (5) シールドの施工計画を考慮したセグメントの設計
 - (6) 急曲線施工に対する対策
- 3-2. シールドの設計
 - 3-2-1. シールド形式の選定
 - 3-2-2. テールシール
 - 3-2-3. スクリューコンベヤーからの噴発防止
 - 3-2-4. 形状保持装置
 - 3-2-5. 電気設備、油圧設備
 - 3-2-6. シールドジャッキ

1	4. 施工
2	4-1. 突合せ継手の使用
3	4-2. セグメントの組立とシールドジャッキ操作
4	4-3. 裏込め注入工
5	4-4. シールドトンネルの浮上がり
6	4-5. 泥水・添加材の調整と管理
7	4-6. 切羽圧力の管理
8	4-7. 線形管理
9	4-8. テールグリスの管理
10	4-9. 排土量管理
11	4-10. シールドの姿勢制御
12	4-11. 掘進停止時の対策
13	4-12. 異常の兆候の早期感知と迅速な対応
14	4-13. 避難
15	
16	5. 周辺の生活環境への配慮
17	5-1. 周辺の生活環境への影響のモニタリング
18	5-2. 騒音・振動対策
19	5-3. 情報提供
20	5-4. トラブル時の対応
21	
22	6. その他の配慮事項
23	6-1. 記録およびその活用
24	6-2. 新技術の活用
25	
26	【付録①】 シールドトンネル施工技術検討会の概要
27	・ 検討会規約、委員名簿
28	・ 検討会の開催経過
29	【付録②】 シールドトンネル工事に関する事例集
30	・ トラブルとその対策事例
31	・ 工夫事例
32	・ 検討会でのヒアリング結果
33	
34	

1 1. 総則

1-1 目的

このガイドラインは、様々な事業分野のシールドトンネル工事において実際に発生したトラブル・事故とその対策から得られたシールドトンネルの設計・施工技術等に関する技術的知見をまとめ、今後も幅広く活用されることが期待されるシールド工法の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保を目的としてとりまとめたものである。

【解説】

シールド工法は、多数の施工実績があり、地盤に応じて適切な形式で適切な施工を行えば安全に工事を遂行できる工法である。しかし、令和2年に、鉄道事業及び道路事業において、シールド工法によるトンネル工事で、地表面に影響を与える事故が発生した。それぞれ原因究明が行われた中で、施工に課題があり、再発防止対策が取りまとめられるなど施工の高度化を図る必要があることが指摘されており、今後もシールド工法を幅広く活用していくにあたって、シールド工法の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保が必要である。このため、本検討会において、シールドトンネルの設計・施工技術等に関する留意事項をまとめたガイドラインを策定することとした。

本ガイドラインは、第1章「総則」、第2章「調査」、第3章「設計」、第4章「施工」、第5章「周辺の生活環境への配慮」、第6章「その他の配慮事項」から構成されている。本検討会で実施したアンケート調査およびヒアリングで得られたトラブルとその対策や工夫事例について、本文内で紹介するとともに、事例の詳細を巻末【付録②】「シールドトンネル工事に関する事例集」に掲載することとした。

安全にシールドトンネル工事を進めるため、各事業者がこのガイドラインを踏まえ、現場条件に応じたリスクを的確に評価し、安全性を有する設計を実施するとともに、リスクに対して適切な対応が可能となるよう施工計画を定め施工管理を実施することが重要である。

1-2 適用範囲

このガイドラインは、国土交通省の所管する事業分野におけるシールドトンネル工事に適用されることを想定しとりまとめたものである。

【解説】

本ガイドラインは、国土交通省の所管する事業分野におけるシールドトンネル工事に適用されることを想定しとりまとめたものである。しかしながら、言うまでもなく、国土交通省所管外の事業分野で進められるシールドトンネル工事においても参考になるものと考えている。

本ガイドラインは、シールドトンネルの設計・施工技術等全ての事項を網羅しているものではないため、ガイドラインに記載のない事項は「土木学会 トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説」（以下、示方書という）などの技術図書を参照されたい。

1-3 用語の定義

リスク……このガイドラインで扱うリスクは、地盤沈下、振動伝播、作業の安全性の低下等、周辺環境を含め、シールドトンネル工事の施工により生じる安全・安心に係るリスクとする

異常の兆候……単発的に施工監視項目の管理値が逸脱するなど平常時とは異なる軽微な事象

異常……管理値の逸脱が継続するなど明らかに平常時とは異なる事象

トラブル……排泥管や排土管が閉塞するなど複数の異常の発生や異常の継続により、通常の掘進を続けられない状態

重大なトラブル……度重なるカッターの回転不能など、トラブルのうち周辺環境に影響を及ぼす可能性のあるトラブル

事故・大きな被害……陥没や空洞など掘進により周辺環境に影響をおよぼしている事象

【解説】

シールド工法に関する用語は、示方書等の技術図書を参照されたい。

1-4 リスクの想定と対応の考え方

現場の条件について調査等により十分に把握した上で、シールドトンネルの施工により生じるおそれのあるリスクを体系的に整理し、設計での配慮を行うとともに、万一事故が発生した場合の被害の状況も想定し、施工時にトラブルが発生した場合の対応をあらかじめ定めること。

特に施工にあたっては、重大なトラブルが発生した場合に、直ちにシールドを停止し応急対策を実施すること。その後、必要に応じて、有識者に相談して、追加の調査を実施し、発生要因を明らかにするとともに、それを踏まえた対策を講じること。

【解説】

シールド工法により構築される地中のトンネルは、施工の影響を受ける構造物であり、地山内で安定するまでの間に受ける様々な影響を考慮して設計する必要がある。しかし、地質の状況は完全に把握できるものではなく、また、機材の不具合も含め、シールドトンネルの施工中に通常と異なる事象が発生する可能性を完全に排除できるわけではない。このため、シールドトンネル工事を安全に行うためには、本ガイドラインで記載する、調査、設計、施工の一連の流れの中で、調査において施工に伴い発生するリスクを体系的に整理し、設計において必要な配慮を施し、施工において異常の兆候を早期に把握するような施工管理を実施した上で異常やトラブルが発生した場合にあらかじめ定めた対応を取る、との考え方が重要である。

万一事故が発生した場合の被害の影響は、シールドトンネルを施工する現場の条件によって大きく異なるが、特に、海底下、河川下、湖沼下あるいは住宅地等の市街化された地域で施工するシールドトンネルで事故が発生した場合には、出水、陥没等大きな被害につながる可能性がある。

こうした大きな被害は、突然発生するわけではなく、地盤性状の把握、切羽圧力の管理、掘削土の過剰取込みの監視、過剰取込みによる地盤内の隙間形成の可能性の認識、地表面の監視、といった異常の兆候を複数の観点で把握する施工管理を行う中で、その全ての観点で異常の兆候を捉えない、あるいは捉えられないことにより、対策を講じないままに施工が進められ発生するものと考えられる。これに対し、シールドトンネル工事による大きな被害を未然に防ぐためには、地質、地歴、工事跡等の現場の条件について調査等により十分に把握した上で、現場

1 の周辺環境に応じてシールドトンネルの施工により生じるおそれのあるリスクを体系的に整理
2 し、想定される事象に対応した設計を実施することが必要である。この他、工事事故が発生し
3 た場合、関連する施工中の事業を含め、より安全な施工を最優先とし、実際に発生したトラブ
4 ル・事故とその対策を踏まえ、必要に応じて設計・施工の見直しを実施することが重要である。
5 また、万一事故が発生した場合の被害の状況も想定し、異常の兆候及び異常そのものや、複数
6 の異常の発生、異常の継続によりもたらされるトラブルに対し、取るべき対応をあらかじめ定
7 めて施工計画や施工管理に反映することが必要である。例えば、掘削時の異常の兆候を検知す
8 る仕組みの導入や、シールドの停止を判断する基準や停止後の対応方針の作成等が挙げられる。
9 リスクの整理にあたっては、「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン
10 (令和2年3月)」が参考になる。

11 施工管理の中で異常の兆候及び異常そのものの把握と対応に努めた上で、それでもなお、周
12 辺環境に影響を及ぼすおそれのある重大なトラブルが発生した場合には、直ちにシールドを停
13 止して応急対策を実施した後、各種施工管理データの検証を行うとともに、必要に応じて、有
14 識者に相談して、追加の調査を実施し、発生要因について明らかにしつつ、それを踏まえて、
15 変状への対処と、その後の掘削におけるトラブルを防ぐための対策を実施していくことが必要
16 である。

17 なお、想定以上の沈下や陥没などの変状をもたらした事例の発生状況を踏まえれば、掘進が
18 地盤の変状を発生させる可能性があることを常に意識しつつ、実際の施工において異常の兆候
19 を見逃さないようにする施工計画、施工管理を立案・実行することが必要である。具体的に配
20 慮すべき事項については、「4. 施工」に記載するが、シールドの断面形状および寸法、施工延
21 長、地盤の性質、トンネルの土被りや地表の状況等を踏まえ、工事ごとに適切な施工計画や施
22 工管理の立案・実行することが必要である。

23
24

25 2. 調査

2-1 地質調査

シールドトンネル工事の地質調査は、掘進対象地盤の地質状況およびその変化を把握するた
め、地形・地歴等を考慮した上で適切な計画のもとにボーリング調査等を実施すること。また、
地下水の状況およびその変化、可燃性ガスの状況等の必要な調査を実施すること。注意すべき
地質の分布範囲・性状等が不確実なことによる地質リスクに関する情報は、設計及び施工に確
実に引き継ぐこと。

海／河川／湖沼を小さい土被りで横断して掘進するシールドトンネルを計画する場合は、海
底／河床／湖沼底の探査等を十分に実施すること。

26 【解説】

27 (地質調査全般)

28 シールドトンネル工事の地質調査は、シールド工法の設計全般ならびに施工計画に大きく影
29 響を及ぼすため、現地の条件を考慮しながら資料調査から現地調査まで系統的かつ十分に行う
30 ことが必要である。特に、周囲の地形変化が激しい地域や旧河道も含めた河道の下等では、地
31 質等が急激に変化することが多く施工の難易度が高い場合があるため、地形・地歴等を十分に

1 調査し考慮した上で調査計画を定め、適切にボーリング調査や物理探査等の現地調査を実施す
2 ることが必要である。

3 既存の調査等において十分に地質の変化を読み取ることができない場合は、地形や地質の位
4 置的および時間的な変化や、シールド施工の際に想定される切羽不安定化や地盤変状発生等の
5 地盤性状に関連する問題点を勘案した上で、ボーリング調査や物理探査等を追加することなど
6 によつて的確に地質の状態を把握しなければならない。また、シールドの設計・施工で重要と
7 なる設計水圧は正確に把握する必要があるため、被圧水の有無を含め、年間の水位変化等、時間
8 的な変化も調査することが重要である。

9 また、地盤の特性はN値を用いておおよその推定を行うことが一般的であるが、礫分の多い
10 地盤等では実質的な地盤の剛性や強度以上にN値が高く測定されることがあるため、粒度分布
11 等各種情報を踏まえた適切な判断が必要である。

12 カッタービット、泥水式シールドにおける排泥管や泥土圧シールドにおけるスクリーコン
13 ベヤー等の設計には、粒度分布や礫の形状、寸法、含有率および硬さ、透水係数等の調査が必
14 要である。実際の施工では、巨礫による排泥管やスクリーコンベヤーにおける閉塞や、細粒
15 分が少なく均等係数が小さい砂質層などにおけるトンネル切羽の不安定化が課題となる場合が
16 あることから、礫が排出可能か、地盤の自立性が保てるかなどの評価に留意することが必要で
17 ある。特に、よく締まった砂礫地盤については、N値が大きく、事前調査の結果として良好な
18 地盤と評価されたとしても、実際に掘進する際に、粘着力が小さく一旦応力が解放され緩めら
19 れると自立性が悪くなる場合もあるため、切羽の自立性評価では注意が必要である。

20 泥水式シールドでは、泥膜の形成、比重や粘性等の泥水品質、泥土圧シールドではチャンバ
21 ー内土砂の塑性流動性や止水性確保が重要である。事前の調査により、これらの確保が困難な
22 地質の存在が想定される場合、

- 23 ・腐植土や非常に軟らかい粘性土での地盤変状
- 24 ・細粒分が少ない地盤での切羽不安定
- 25 ・泥水式シールドにおける透水性の高い地盤や巨石地盤での泥水の逸水
- 26 ・泥土圧シールドにおける高水圧地盤でのスクリーコンベヤーの止水性の低下、空隙があ
27 る地盤での気泡剤の逸失

28 等が問題となることが多いため、該当する地質の特性と分布等の把握に努めることが必要であ
29 る。

30 ただし、多くの場合、十分な調査を行っても注意すべき地質の特性や分布範囲等に不確実な
31 点が残ることから、こうした地質上の不確実性に起因するリスクに関しても調査の中で整理し
32 た上で、確実に設計及び施工に引き継ぎ、設計者及び施工者においても、こうしたリスクの有
33 無を確実に確認した上で、設計・施工を進めることが必要である。

34 その他、硬質層と軟質層の互層、既存の空洞が存在する場合等においても施工時にトラブル
35 が生じる例があるため、同様に注意して調査を行うことが重要である。

36 事前調査に基づく想定と異なる地質状況がシールド施工中に確認され、トンネル切羽の安定
37 性が乏しくなるなど施工管理上、苦慮する事象が想定される場合、事前に補助工法や切羽安定
38 および止水性確保に対する添加材などの検討を行っておくことが必要である。

39 (水底探査)

40 海域等の水底においてシールドトンネルを施工する場合、水底の探査が必要である。海底、
41 河床、湖沼底等は、経年変化が生じやすく、かつ、調査が困難であることもあり、その情報を

1 正確に把握し難い場合がある。しかし、シールドトンネルの線形計画、覆工計画および施工計
2 画等において、重要となる土被り設定には海底、河床、湖沼底等の情報は欠くことができない。
3 このため、海、河川、湖沼等を横断して掘進するシールドトンネルの調査・計画・設計にあた
4 っては、当該地域の堆積環境を念頭に置いて、海底、河床、湖沼底等の探査を十分に実施し、
5 地形、土質、将来の経年変化を十分把握しなければならない。また、将来の浚渫の可能性(計画
6 河床高さ)についても調査する必要がある。ただし、既往の調査結果、過去の施工例等を調査し、
7 十分な土被りが確保できると判断される場合は探査を省略してもよい。
8

■ 想定外地質によるトラブルとその対策の事例

・ 泥水式シールド :

事前の地質調査で想定していた以上の巨礫等が掘削地盤に存在したことにより排泥管が閉塞し、これに対し、薬液注入による止水、計測強化と切羽の安定管理、マシンの一部設備の解体による礫の除去やカッターヘッドの補修により対応した。参照：【付録②】2-1（事例1-2、事例1-5、事例1-11、事例1-12、事例1-14、事例1-15）

・ 泥土圧シールド :

事前の地質調査で想定していた以上の巨礫等が掘削地盤に存在したことによりスクリーコンベヤー、流体圧送管が閉塞し、これに対し、掘進管理の強化や土砂搬出方式の変更等により対応した。参照：【付録②】2-1（事例2-5、事例2-16）

9

2-2 支障物の調査

シールドトンネルの掘削断面において支障となる諸物件について十分に調査した上で、必要な対策を講じること。

【解説】

11 掘進中に想定しない支障物に遭遇した場合には、一時的に掘進不能になることや、掘削に伴
12 う地盤のゆるみ等により近接構造物に対応困難な変状が生じることなどが想定されることから、
13 ルート選定に先だち、シールドトンネルの掘削断面において支障となる諸物件について、入念
14 な事前の調査が必要である。その結果を踏まえ、支障物によっては直接掘削することができる
15 技術も開発されているものの、支障物を極力回避するとともに、どうしても回避できない場合
16 には杭や土留め壁等の支障物をシールド施工の前に除去することが望ましい。埋設物などは、
17 各管理者の台帳での調査が一般的であるが、施工誤差等が台帳に反映されていないケースもあ
18 るため、近接施工となることが想定される場合などには、必要に応じて物理探査や試掘等によ
19 って現地で実際の位置、規模、深さ、老朽化度等を確認することが有効である。さらに、過去
20 の調査ボーリング跡や仮設工事跡等は、地山が著しく乱れていることや、空気や水の通り道と
21 なることなどがあるが、一般的には調査により全てを把握できない場合も多く、必要に応じて
22 土地の管理者等から事情を聞いておくことが望ましい。また、工事中に一時的に設置され、工
23 事完了後に残置された仮設材については完成後の図面等に残っていないことが多い一方、これ
24 らの仮設材が原因となり工事が大きく遅延する例もあるため、特に規模の大きな土木構造物な
25 どについて、対象構造物の施工方法を考慮して仮設材が存在するかどうかを可能な範囲で想定

1 して、事前の支障物撤去工事の際やトンネル施工時のリスク対応を定める際に留意することが
2 望ましい。

3 支障物の調査において、図面等に記録が残されていない地中の支障物の調査で試掘が不可能
4 な場合、支障物の確認に弾性波、レーダー、磁気による物理探査が行われることがある。今後、
5 シールド施工時にこれらを事前に把握可能とする切羽前方探査手法の技術開発も望まれる。
6

■ 予期せぬ支障物によるトラブルとその対策の事例

・ 泥水式シールド：

事前調査で予期できなかった残置物の出現により排泥管の閉塞やそれによりシールドが停止し、これに対し、シールド停止時に土量等データを時系列で管理、予備排泥管や送排泥バイパスバルブの開放操作、圧力変動監視による閉塞物の早期回収などにより対応した。参照：【付録②】2-1（事例1-6、事例1-7）

・ 泥土圧式シールド：

事前調査で予知できなかった残置物の出現により接触や排土悪化、泥土圧の変動などのトラブルが発生し、これに対し、残置物の切削等により対応した。参照：【付録②】2-1（事例2-10、事例2-11、事例2-12、事例2-13）

7
8

9 **3. 設計**

10 **3-1 覆工の設計**

11 **3-1-1 セグメントの形状寸法**

(1) セグメントの形状・寸法

セグメントの形状・寸法の決定にあたっては、構造計算のほか、類似工事等の実績も参考に
して検討すること。

12 **【解説】**

13 セグメントの形状・寸法は、一般に構造設計等で計画するが、施工時荷重の大きさと作用状
14 態、発生応力、施工誤差等に設計では予測できない不明確な点もあることから、類似工事のセ
15 グメントの厚さと外径の比率、セグメント幅と厚さの比等の実績も勘案して検討する必要があ
16 る。ただし、実績の下限値付近では、事故や損傷を生じた事例があり、そのリスクを評価した
17 セグメント構造の決定や施工上の対策等を行う必要がある。また、継手の種類によっては、継
18 手に求められる引張強度やせん断強度を確保するために、一定以上のセグメントの厚さが必要
19 になることから、セグメント厚さの検討にあたっては継手の構造や配置を考慮して決定するこ
20 とが重要である。
21

(2) セグメントの分割

セグメントの分割は、リングとしての構造的な安定性、製作性、施工性のほかに、K セグメ
ントの安定性に配慮して決定すること。

22 **【解説】**

1 セグメントの分割数が少ない場合は、1ピースの弧長と重量が大きくなるため、運搬性やト
2 ンネル坑内等での取扱いやすさが低下することがある反面、型枠や継手のコストが軽減できる
3 ことや組立回数の低減によって組立速度が向上することが期待できるため、運搬性や取扱いに
4 支障がなければ分割数を少なくする傾向にある。また、Kセグメントは分割形式を等分割にし
5 てその中心角を大きくすることなどによって、拔出しに対する安定性が高まると考えられるが、
6 Kセグメントの重量が増えるとともに、等分割のKセグメントは挿入時にオペレータが両側のB
7 -K間のセグメント継手の離隔を同時に見られずB・Kセグメントの隅角部の欠け等の不具合が
8 出ることがあるため施工性にも配慮して分割形式を決定する必要がある。

9 セグメントの分割形式の選定にあたっては、経済性や組立時間の短縮だけでなくセグメント
10 組立のためにジャッキを引抜いたときの影響やKセグメントの安定性、組立時のセグメントの
11 損傷防止についても十分配慮することが重要である。

(3) Kセグメント

Kセグメントの型式、形状・寸法は、漏水等の原因となるリング継手の目開きを生じさせない
ように配慮するとともに、Kセグメントの拔出しの可能性を照査すること。また、必要に応
じてKセグメントの滑動を防止する対策を講じること。

【解説】

13 Kセグメントは、最終的にリングを閉合して完成させるセグメントである。すなわち、セグ
14 メントの組立誤差が累積された部分に挿入するものであり、最も組立に注意が必要な部分であ
15 る。このため、Kセグメントの型式、形状（挿入角度、継手角度）・寸法は、完成時はもちろ
16 ンのこと、施工性についても十分配慮して決定する必要がある。

17 軸方向挿入型Kセグメントでは、挿入角度を大きくすると施工上は有利なことが多いが、継
18 手面がトンネル軸と斜交するため、継手面の力の伝達がより複雑となるので適切な角度とする
19 必要がある。軸方向挿入型のKセグメントが拔出そうとする力は、セグメントのリング方向の
20 軸圧縮力によって生じ、挿入角度が大きくなると大きくなる。セグメントを組立てるため、K
21 セグメントを押さえているジャッキを抜いた場合、この力は、KセグメントとBセグメントと
22 の間の摩擦、リング継手、セグメント継手の抵抗によって保持される。ボルト形式のセグメン
23 ト継手が用いられている場合は、ボルトのせん断力によって拔出し力が保持力を超えることは
24 少ないと考えられる。しかしながら、近年、多く用いられるようになってきているワンパス式
25 の継手では、セグメント継手のせん断抵抗が期待できる場合を除いて、KセグメントとBセグ
26 メントとの摩擦、リング継手の強度で拔出し力を保持する必要がある。KセグメントとBセグ
27 メントとの摩擦力は摩擦係数に依存するが、要素実験の結果、条件によって摩擦係数が0.1を
28 下回ることが明らかとなった。Kセグメントの拔出しは、漏水の原因になるとともに、状況に
29 よっては、重大災害につながる可能性があるため、Kセグメントの拔出しについて十分な照査
30 を行う必要がある。拔出しの検討にあたっては、Kセグメント挿入時におけるシール材への滑
31 剤の塗布等の影響についても考慮する必要がある。

32 照査の結果、拔出し力が保持する力を上回る場合は、施工時に仮の保持力を付加するなど適
33 切な対策を講じる必要がある。保持力を付加する方法としては把持金具を用いて、隣接する既
34 設のセグメントにKセグメントを固定する方法等が用いられている。

35 また、半径方向挿入型Kセグメントでは、半径方向への拔出し力に対して、セグメント継手
36

1 やリング継手のせん断強度を十分に確保するなどの摩擦に頼らない構造上の防止対策を講じな
2 ければならない。
3

(4) Kセグメントの挿入代

軸方向挿入型Kセグメントを使用する場合のKセグメント挿入代（セットバック量）は、施工性が確保できる長さとなるよう配慮すること。

4 【解説】

5 軸方向挿入型Kセグメントは、トンネル軸方向にテーパーをつけてトンネル縦断方向の切羽
6 側から挿入する構造であるため、テール内でのスペース確保が必要である。

7 シールドテールでのKセグメントの挿入代を短くするとセグメント組立時におけるセグメン
8 トの損傷、組立精度の低下等、覆工の品質に支障をあたえる可能性がある。さらに、継手の挿
9 入角度を大きくすることや継手角度を設ける必要が生じ、Kセグメントの安定性を低下させる
10 要因となる。このため、適切な施工性とKセグメントの安定性が確保できる挿入代となるよう
11 十分配慮する必要がある。

12

13 3-1-2 セグメントの構造等

(1) セグメントの本体と継手

セグメントの本体と継手は、完成時の安全性の確認はもとより、施工状況を考慮した設計を行
い、万一の場合にも重大な事故につながらないよう安全性の確保に配慮すること。

14 【解説】

15 シールドトンネルのセグメントは、水圧、土圧等トンネル完成時に作用する荷重に抵抗する
16 主体構造物であると同時に、施工時にはシールド掘進時のジャッキ推力、シールドテール内か
17 ら地山側へ出る際のテールシールやテールグリス圧による拘束圧、裏込め注入圧のほか、既に
18 組立てたセグメントリングの組立精度や変形状況によって生じる外力等の施工時荷重にも抵抗
19 する構造物である。

20 セグメントの設計にあたっては、対象トンネルの施工条件を十分考慮したうえで、地盤条件
21 のほかに、トンネルがおかれている諸条件を考慮し、完成時はもちろん施工中における安全性
22 と機能が確保されるように配慮する必要がある。

23 このため、セグメントの設計は、施工時荷重のほか、裏込めの注入時期や注入位置等を含め
24 て、施工時の状況を十分に考慮して行う必要がある。

25 とくに、締結力が入らない突合せ継手等のセグメント継手を採用した場合は、継手の構造形
26 式によっては、裏込め注入の状況、リング継手の強度等によって、構造耐力が著しく低下し、
27 急激な崩壊を招く可能性がある。したがって、セグメント継手の選定にあたっては、現場の状
28 況、施工条件等を的確に反映させてリスクを評価し、適切な継手構造を採用する必要がある。

29 リング継手は、セグメント継手と同様に、種々の施工時荷重に配慮したうえで、継手の構造
30 形式や強度を決定することが重要である。とくに、リング継手の引抜き耐力はシールドの曲線
31 施工や蛇行修正時を想定し、トンネル軸方向の引張力と断面方向のせん断力とが複合して作用
32 することに配慮した設計を行う必要がある。また、リング継手の破壊形態は、コンクリートの
33 破壊による脆性的な破壊形態にならないようにしなければならない。

34

(2) RC セグメントの鉄筋量

RC セグメントの鉄筋量は、構造計算による許容応力度の照査のほか、セグメントの破壊形態や類似工事等のセグメントの設計実績も参考にして検討すること。

【解説】

RC セグメントの鉄筋量は、一般にトンネル完成時における作用荷重に対する構造設計等で求めるが、施工時の影響も考慮する必要がある。しかし、施工時の影響は施工時荷重の大きさと作用状態、施工誤差等に影響され、設計では予測できない不明確な点もあるため、RC セグメントの鉄筋量および構造細目の決定にあたっては設計荷重に対する許容応力度の照査のみによらず、単純曲げの破壊形態が鉄筋の降伏よりもコンクリートの圧縮破壊が先行して発生する鉄筋量とならないことや、曲げひび割れ発生時に中立軸が極端に上がり背面コンクリートが急激に圧縮破壊する鉄筋量にならないことを確認するとともに、類似工事等のセグメントの最小鉄筋量、最大鉄筋量、主鉄筋最小径、鉄筋間隔等の実績も勘案して決定することが重要である。

(3) RC セグメントのシール溝

RC セグメントのシール溝は、適切な位置、寸法・形状とすること。

【解説】

RC セグメントのシール溝は、シール材の接面応力により、セグメント端部に欠けやひび割れが生じる可能性がある。とくに、水膨張性シール材を採用する場合には、セグメント組立後の膨張圧の影響等によりセグメント端部に損傷を与える可能性がある。

このため、シール溝の位置や寸法・形状およびシール材の形状・種類を検討し、セグメントが損傷せず、十分な止水効果が得られる仕様にしなければならない。

(4) シールドジャッキ偏心量の影響

セグメントの設計にあたっては、テールクリアランスの影響を考慮してシールドジャッキ偏心量の影響に対する安全性の検討を行うこと。

【解説】

セグメントの設計にあたっては、シールドテール内でのセグメントリングの偏りを考慮し、シールドジャッキの偏心量にテールクリアランス分の誤差を加味して、RC セグメントでのひび割れの発生、鋼製セグメントにおけるトンネル軸方向の座屈に対する安定を検討する必要がある。とくに、セグメントの厚さが薄い場合には重要である。また、セグメント幅が広い場合には、セグメント厚さが薄いことの影響が顕在化することが考えられるため十分注意して設計する必要がある。

(5) シールドの施工計画を考慮したセグメントの設計

セグメントの設計にあたっては、シールドの施工計画を考慮して設計条件や照査項目を定めること。

【解説】

セグメントは施工中にジャッキ推力や裏込め注入圧等の荷重を受けるとともに、完成後の土圧、水圧等の永久荷重に抵抗するトンネルの主体となる構造物である。このため、施工時にセグメントに損傷を与えると長期的に主体構造物に求められる機能や性能の低下を招く要因とな

1 る可能性がある。また、シールドの施工においては変化する地質条件に適宜対応しながら、大
2 きな土水圧、切削抵抗に対抗するためのジャッキ推力を取扱う必要がある。ジャッキ推力のセ
3 グメントに与える影響は大きく、シールドの推進にあたっては、シールドとセグメントの位置
4 を適正な範囲に保つ必要がある。しかし、地盤状況の変化、シールド推進の制御方法等の影響
5 を受けて適正範囲を超えることが少なからず生ずる。また、裏込め注入の実施時期を状況によ
6 って遅延せざるを得ない場合が生ずることもある。このため、シールドの施工時の地盤条件や
7 施工の計画、施工時の状況を反映させたセグメントの構造設計とすることが施工時における不
8 具合を避け、セグメントの損傷を防止するうえで、また、重大な事故を防ぐために重要である。

9 一方、工事実施にあたって施工計画を立てる場合は、設計条件に適合した計画にすることが
10 必要である。このためには、下記に配慮することが重要である。

- 11 ① 施工計画を立案する際、設計結果を反映した施工計画が行えるよう、想定した施工条件を
12 明示すること。
- 13 ② 施工時には、セグメント設計時に想定した施工条件を反映した施工計画を立案するととも
14 に、施工上の留意点を周知すること。
- 15 ③ セグメントの構造設計条件が、施工計画において設計時に想定した施工条件と異なる場合
16 には、施工計画に合わせて適切に構造設計を見直すこと。
- 17 ④ 施工中に不具合や施工計画と異なる状況が生じた場合は、原因の究明と設計に及ぼす影響
18 を検討すること。

19 (6) 急曲線施工に対する対策

急曲線施工ではセグメントに局所的な施工時荷重が作用することがある。このため、セグメ
ント本体や継手の損傷を防止するため、十分な対策を講ずること。

20 【解説】

21 急曲線施工におけるセグメントには、シールドジャッキの片押しや場合によってシールドテ
22 ールでの競り等により、セグメントリングに大きな偏圧が作用するなど、局所的な施工時荷重
23 が一時的に作用することがある。とくに、シールドテールとの競りやテールブラシへの裏込め
24 注入材の侵入、固着によって、局所的な荷重や過度なセグメントの拘束力が発生する場合は、
25 セグメント本体や継手部に損傷が生じている施工事例が多い。

26 このため、急曲線部では以下に留意することが必要である。

- 27 ① セグメントは急曲線区間だけでなくその前後の区間においても大きな施工時荷重を受ける
28 ことがあるため、急曲線区間を含む前後の一定区間においても適切なセグメントの構造・
29 形式、幅・厚さ等の形状、および継手構造とする。
- 30 ② 急曲線施工にあたって、シールドは高い操作性ならびに適切なテールクリアランスを確保
31 し、シールド掘進時のシールドジャッキによるセグメントへの偏圧を防止するため、中折
32 れ装置の採用とともにシールドジャッキのシリンダーの小型化や配置についても検討する。
- 33 ③ 急曲線区間はシールドとセグメントリングとのずれやセグメントリングの変形により、テ
34 ールブラシ内に裏込め注入材が侵入して固結しないように対策を検討する。
- 35 ④ 急曲線区間で外径を縮小した鋼製セグメントを用いる場合は、テールシールド内へ裏込め注
36 入材が侵入しやすくなり、急曲線区間通過後のRCセグメントに対して局所的な施工時荷重
37 が作用することによって損傷が生じることが考えられるため、その対策を十分に検討する。

1
2

3-2 シールドの設計

3-2-1 シールド形式の選定

シールド形式を選定する際には、安全を最優先に、切羽の安定を保つことができるよう、掘削地盤への適応性を十分に検討すること。それに加え、断面形状および寸法、施工延長、トンネルの土被りや地表の状況、工事用地等の諸条件に配慮し、経済的に施工できることも含め、総合的な観点でシールド形式の選定を行うこと。

3 【解説】

4 シールド形式の選定にあたって、最も留意すべき点は安全に掘進できることであり、シールドトンネルを構築する全延長において、掘削地盤の地質や地下水の条件に適合し、切羽の安定が図れる形式を選定することが必要である。それに加えて、断面形状、寸法、施工延長、トンネルの土被りや地表の状況、工事用地、立坑周辺環境、周辺環境への影響や経済性等も十分に検討した上で、総合的な観点で最適な工法を選定することが必要である。

9 近年、泥水式シールドや泥土圧シールドなど密閉型シールドが一般的である。密閉型シールドでは切羽は隔壁で仕切られており、切羽を直接目視できず、計器による値から間接的に切羽の状態の把握を行うこととなる。このため、泥水式シールドの泥膜形成・泥水品質確保、泥土圧シールドのチャンバー内土砂の塑性流動性・止水性、各方式の排土機構など切羽の安定を確保するための特徴と地盤との適合性を十分考慮して、適切な形式を選定することが必要である。なお、工事事務が発生した場合、関連する施工中の事業を含め、より安全な施工を最優先とし、実際に発生したトラブル・事故とその対策を踏まえ、必要に応じて設計の見直しを実施することが重要である。

17

3-2-2 テールシール

テールシールは、トンネル通過地盤の土質条件や地下水位、間隙水圧等を総合的に検討し、十分な止水性が確保できるよう配慮すること。また、テール部のセグメントかかり代の設定にあたっては、地盤条件、セグメント幅、テールシールの取付け長さ、施工性および実績等を総合的に勘案して検討すること。

18 【解説】

19 テールシールは、シールドトンネルの施工期間にわたって地下水等のトンネル内への流入を防止するための性能を有し続けなければならない。

21 このため、テールシールは、トンネルの規模、延長、土被り、土質条件、地下水位、間隙水圧、トンネル線形等を考慮して設計し、とくに河川、海底横断の場合は十分な止水性が確保できる構造、機構、段数としなければならない。また、テールシールそのものの耐久性を考慮するとともに、テールシールの性能低下を防ぐために、適切なテールグリス材の選定とテールグリス圧の確保方法（給脂方法、管理方法等）についても検討する必要がある。

26 セグメントはテールを抜ける過程において、テール内部に位置するセグメントにはテールシールとテールグリスを介して荷重が作用し、テールから抜出したセグメントには裏込め注入圧、水圧等が複雑に作用する。これらの荷重が作用する状況によっては、トンネル全体の構造安定性に影響を与えることがある。このため、テール内のセグメントのかかり代の設定はセグメント設計における施工時荷重の考え方と整合を図り、セグメントに対して過大な荷重が作用する

1 ことのないよう、セグメントの幅とテールスキンプレート長、テールシールの取付け長さ（シ
2 ール段数）等のバランスに配慮するとともに、施工性や実績を総合的に勘案して設計しなけれ
3 ばならない。

4 また、セグメントの注入孔から注入を行う場合は、テールシールとセグメント裏込め注入孔
5 との位置関係を考慮し、テール部セグメントのかかり代をテール部まで確実に裏込め注入が行
6 えるように設計する必要がある。

7

3-2-3 スクリューコンベヤーからの噴発防止

スクリューコンベヤーからの噴発防止対策について十分検討すること。

8 【解説】

9 泥土圧シールドの排土機構であるスクリューコンベヤーは、地下水がシールド内へ噴発しな
10 いようにチャンバー内の土圧を保持するための重要な設備である。

11 このため、地下水圧、掘削地盤の透水性、土質性状等に基づき二次スクリューコンベヤーの
12 必要性等も考慮し適切なスクリューコンベヤーを選定する。また、止水性等の圧力保持能力の
13 確保に課題が残る地盤条件や、トンネルがおかれている諸条件によっては、排土口への緊急遮
14 断装置等の緊急時対策や掘進中の停電時に備えた噴発防止対策を検討する必要がある。

15

3-2-4 形状保持装置

形状保持装置の検討にあたっては、覆工の規模だけでなく、セグメント継手の締結力の有無
等に配慮すること。

16 【解説】

17 セグメントは正確に組立てなければ、次のセグメントの組立が困難になるばかりか、テール
18 を抜出した後に地盤によってはリングの変形を助長する恐れもある。この傾向はとくにセグメン
19 ト継手に締結力を有さない場合に顕著となる。

20 新規に組立てるセグメントリングは、既設のセグメントリングに倣って組まれるため、既設
21 のセグメントリングの組立精度の影響を受ける。一方、既設のセグメントは、新規のセグメン
22 トの組立のためにシールドジャッキを解放することによって変形することがある。このため、
23 裏込め注入によりセグメントの形状が固定されるまで、形状保持装置を設け組立精度を確保す
24 ることがある。

25 形状保持装置の検討にあたっては、セグメント継手に締結力を持たない自立性の低いセグメ
26 ントを使用する場合には、トンネルの規模、地盤条件、施工方法等に配慮して、その設置の要
27 否の判定を慎重に行う必要がある。

28

3-2-5 電気設備、油圧設備

シールドトンネル内の電気設備、油圧設備は、緊急時にも問題が生じないように計画すること。

29 【解説】

30 出水やセグメントの大規模な損傷等の緊急事態が生じた場合にも、電気設備、油圧設備は正
31 常に機能することが求められる。しかし、緊急事態においてはその影響を受けることが避けら
32 れない場合もある。したがって、通信機能、制御機能の途絶やジャッキ圧力の低下等緊急事態
33 の対応に大きな影響を与える設備については、バックアップ機能や油圧回路の独立性を高める

1 など影響を最低限に留めるようにする必要がある。

2

3-2-6 シールドジャッキ

シールドジャッキとスプレッダーの偏心量によるジャッキロッドの変形に対する安全性を確認すること。

3 【解説】

4 一般的に、セグメントへの偏心作用荷重を小さくするため、スプレッダー中心とジャッキの
5 中心を偏心させ、セグメント中心にスプレッダーをあわせる場合が多い。この時、ジャッキロ
6 ッドには、その偏心分の曲げ荷重が作用して変形しやすくなるため、シールドジャッキとスプ
7 レッダーの偏心量によるジャッキロッドの変形に対する安全性を確認する必要がある。

8 とくに、セグメント幅が広い場合にはジャッキロッドもそれに伴って長くなり、また、セグ
9 メント厚さが薄い場合にはジャッキのロッドを細くすることがあることから、ジャッキロッド
10 の変形に対して十分に注意しなければならない。

11

12

13 4. 施工

4-1 突合せ継手の使用

セグメントに締結力のない継手を採用する場合は、形状の保持に努め、とくに漏水等の原因
となるリング継手の目開きや目違いが生じないように配慮すること。

14 【解説】

15 セグメントの組立に際しては目開きや目違いを原因とした漏水が発生しないように努めるこ
16 とが重要である。

17 とくに、セグメントに締結力のない継手を採用する場合は、形状の保持に努めて漏水等の原
18 因となる有害な目開きや目違いが生じないように配慮することが重要である。また、K セグメ
19 ントの挿入時に滑剤を使用する場合は、セグメント継手面の摩擦力が低下し、セグメントの抜
20 出しに対する抵抗力が低下することに注意する必要がある。セグメント継手面の摩擦係数につ
21 いては、シール材の貼付、滑剤の塗布等、実際の施工に応じた状態での既往の試験結果に基づ
22 いて設定するか、実際の施工に応じた状態での摩擦試験を行い、設計結果の確認をすることが
23 重要である。

24

4-2 セグメントの組立とシールドジャッキ操作

セグメントの組立は、“たれ”ができるだけ生じないようにすること。Kセグメントを押さえ
ていたジャッキの引抜き操作は特に慎重に行うこと。また、セグメント組立時のシールドジャ
ッキの解放パターンは組立中のセグメントリングの安定性を十分検討したうえで選定するこ
と。

25 【解説】

26 セグメントに“たれ”等施工誤差による変形を要因とした損傷が生じないように、組立には
27 高精度で慎重な作業が要求される。とくに、Kセグメントに隣接するBセグメントは寸法も大
28 きく、リング上部にあるため、“たれ”を生じやすいので注意が必要である。Kセグメントの挿

1 入時にBセグメントを拘束しているジャッキを解放する場合は、ジャッキの解放の影響を検討
2 し、慎重な作業に努める必要がある。

3 セグメントの組立効率を向上させる目的で、セグメントを軸方向に固定しているシールドジ
4 ャッキの解放範囲を必要以上に大きくすると、シールドの後退やリング継手の目開き、セグメ
5 ントの“たれ”が生じる可能性があるほかシールドの姿勢が大きく変化する可能性があり、注
6 意が必要である。

7

4-3 裏込め注入工

裏込め注入はセグメントが早期に安定するように、テールボイドへの確実な充填をすみやかに実施すること。また、裏込め注入工の施工管理は、注入圧と注入量で行うこと。

8 【解説】

9 裏込め注入工は、セグメントを固定し、地山の緩みと沈下を防ぐとともに、セグメントから
10 の漏水防止、セグメントリングの早期安定やトンネルの蛇行防止等を図るために、すみやかに
11 行わなければならない。

12 裏込め注入はシールドの掘進と合わせて実施する同時注入、または、掘進後すみやかに実施
13 する即時注入を採用することが一般的である。セグメントの設計においては、裏込め注入材が
14 テールボイドに速やかに充填され、セグメントを早期に安定させることを前提としている。こ
15 のため、実施工においては設計の前提条件を踏まえテールボイドへの確実な充填を早期に実施
16 することが求められる。

17 一般に裏込め注入工の施工管理方法は、注入圧管理によるものと注入量管理によるものがある
18 が、どちらか一方だけでは正確な充填状況を確認することが難しい。このため、両方法を併
19 用することで総合的に管理することが望ましく、実施工においては初期段階に注入量、注入圧
20 の設定値を試行し、注入効果および地上、近接構造物等への影響を確認のうえ、裏込め注入工
21 の施工管理値を決定する必要がある。また、地盤条件の変化、余掘りの状況等を考慮して、一
22 定の区間ごとに確実に充填されていることを施工管理データ等で確認し、その結果を施工に反
23 映させることが望ましく、注入量、注入圧が施工前の想定と大きく異なる場合は、直ちに原因
24 を究明し、必要な対策を検討・実施することが重要である。

25

4-4 シールドトンネルの浮上り

施工時においては、テールボイド内におけるセグメントリングの浮上りに対して、セグメントの継手や裏込め注入方法を適切に選定し、施工時の安全性を確保するとともに、トンネルの浮上りについての確認を常に怠らないこと。

26 【解説】

27 施工時に裏込めの注入時期が遅れると、テール脱出後のセグメントリングがテールボイド内
28 で浮上り、セグメント本体および継手部に過大な力が作用する場合がある。このため、シールドの掘進と同時あるいは直後の裏込め注入の実施に努めるとともに、テールクリアランスの計測や坑内測量の結果等からトンネルの浮上りが生じていないかを確認し、浮上りによるリング間のずれ等のトンネルの安全性に関わる問題が生じないように留意することが重要である。

32 施工設備等の関係で早期の裏込め注入ができない場合には前述した現象を十分に考慮したうえで、セグメント本体および継手構造の設計を行う必要がある。

33

4-5 泥水・添加材の調整と管理

泥水式シールドの泥水の品質、泥土圧シールドのカッターチャンバー内土砂の状態は、切羽の安定が前提となることから、地山の状況に応じ、泥水式シールドでは泥水の比重および粘性等について所定の品質を確保すること、また、泥土圧シールドでは適切な添加材を付与して所定の性状を満足するようにすること。

2 【解説】

3 泥水式シールドでは、適切な泥水圧が地山に伝達するよう、十分な泥膜が形成に努め、かつ、
4 比重や粘性等の泥水品質が確保されていること重要である。このため、泥水式シールドにおい
5 て掘削から泥水処理までが以下のように一連のシステムとして運用される中で、品質が確保さ
6 れた泥水を循環させることが必要である。

7 (泥水式シールドにおける泥水の循環利用)

- 8 ・掘削にあたり、泥水を地上設備から配管を通じてシールド前面まで送泥
- 9 ・泥水と掘削土を一体でシールド内に取込み、配管を通じて流体として輸送し、地上処理設
10 備において分離
- 11 ・掘削土が分離された余剰泥水に、地山条件に応じて水、粘土、ベントナイト、増粘材等を
12 加えて再び加圧循環

13 この際、再利用される泥水の品質が重要であり、密度計など各種計器での数値のみでなく、
14 事前に基本特性を試験により把握した上で、泥水を地盤の性状に合わせ調整することが必要で
15 ある。

16 泥土圧シールドでは、切羽における圧力を保持し安定性を維持するよう、カッターチャンバ
17 ー内の掘削土の塑性流動性や止水性を高めることやカッターチャンバー内やカッターヘッドへ
18 の付着を防止することが重要である。このためには、地山の状況に応じた鉱物系、界面活性剤
19 系、高吸水性樹脂系、水溶性高分子系などの適切な添加材をチャンバー内土砂に付与し所定の
20 性状を満足するよう、調整を行うことが必要である。この際、土質試験結果を踏まえた添加材
21 の選定や、事前配合試験等により添加材の配合及び量の設定を行い、地山に適した添加材であ
22 るかを確認することが必要である。

23 また、掘進中の掘削土の確認において、土質が変化した場合など、所定の性状の確保が不十
24 分であると判断された場合には、掘削する地盤の性状に合わせ、泥水・添加材の調整を改めて
25 検討するなど適切な対応が必要である。

26

■泥水の品質および泥土圧の添加材によるトラブルとその対策の事例

・泥水式シールド：

泥膜形成不足、泥水の品質が確保できず泥水が地上部に流出し、これに対
し、泥水品質の改良や地表面計測の強化等により対応した。参照：【付録②】
2-1（事例 1-1、事例 1-3）

・泥土圧シールド：

東京外かく環状道路では、細粒分が少なく均等係数が小さく、礫が卓越し
て介在する地盤で夜間休止時に掘削土の塑性流動性・止水性が低下した。今
後の対策として、土質調査結果や夜間休止時間を踏まえた気泡材などの添加

材の事前配合試験、チャンバー内圧力勾配などのリアルタイム監視などを行うこととしている。参照：【付録②】3（ヒアリング結果③）

【参考となる工夫事例や新技術】

1) 調査、試験

- ・同種地盤における施工実績の調査、確認
- ・ボーリング採取土による添加材の配合試験練り
- ・掘削土を用いた添加材の配合試験練り
- ・立坑掘削土による添加材の配合試験練り
- ・加圧下での気泡配合試験の実施

2) 添加材選定

- ・機能の異なる複数種類の添加材の使い分け
- ・粘性の高い硬質粘性土に粘性低下材の使用
- ・排土性状確認について日々の現地確認に加え WEB カメラを用いて中央制御室で常時監視

3) 変更対応

- ・余剰泥水層に高濃度泥水をストック
- ・添加材の配合を即座に変更出来るよう、添加材設備を坑内後続台車に設置

1

4-6 切羽圧力の管理

切羽圧力は切羽の安定性が保たれるように管理し、切羽圧力に急激な変動があった場合は、直ちにその原因を究明し、適切に対応すること。

2 【解説】

3 シールド工法は、土砂の取込み過多やシールド前面の圧力変化によって切羽のバランスを失
4 うと、地盤変位（地表面沈下・隆起等）を引き起こす可能性があるため、切羽圧力の管理は適
5 切に行わなければならない。

6 切羽における掘削土の状態を直接見ることでできない密閉型シールドでは、切羽圧力、排土
7 量、シールド負荷（シールドジャッキ推力、カッタートルク等）を計測することで、施工中の
8 切羽の状態を間接的に確認している。とくに、切羽圧力に大きな変化が確認された場合は、シ
9 ルド施工になんらかの異常があった可能性を示すものと考えられる。

10 このため、切羽圧力の常時計測管理を行い、急激な変動があった場合は、重大な事故につな
11 がないように、ただちに原因を究明し、適切な対応を迅速に行う必要がある。

12 切羽の安定に関して、泥水式シールドの泥水圧、泥土圧シールドのチャンバー内圧力により
13 管理を行うが、管理圧力は主働土圧や静止土圧、あるいは緩み土圧を用いる方法などがあり、
14 変動圧も考慮して各シールドで設定した上下限圧力の間でチャンバー内圧力を管理することが
15 一般的である。この際、設定した上下限圧力は地盤状況や掘進中の地盤変状計測値、施工状況
16 等を考慮して見直すことが必要である。特に、泥土圧シールドにおいては、切羽圧力はシール
17 ド機停止状態の圧力を最低値として、掘進による変動を考慮して安定した状態を保っているこ
18 とが切羽圧力の管理において重要であり、排土量が多すぎると掘進中に停止時の切羽圧力を下
19 回ることがあるため、切羽の安定を確保するうえでも切羽圧力の変動に十分に留意する必要が

1 ある。

2 また、圧力管理の前提となる泥水式シールドでの泥水品質、泥土圧シールドでのチャンバー

3 内塑性流動性・止水性の管理が重要である。この管理にあたっては、切羽圧力の管理だけでは

4 なく、カッタートルク等のシールドの機械負荷に加え、泥水式シールドでは泥水の比重と粘性、

5 降伏値、濾過特性といった泥水品質について、泥土圧シールドではチャンバー内の圧力と掘削

6 土の手触・目視、スランプ試験、粒度分布試験により確認される掘削土の性状について、併せ

7 てモニタリングを行うなどにより、総合的に評価した上で判断することが重要である。

8 密閉型シールドであっても掘削断面が大きくなれば、切羽安定の難易度は上がる傾向にある。

9 特に、大断面では、断面内において、上下の圧力差が大きくなり、土質構成が複雑となる可能

10 性が高いため、チャンバー内圧力の鉛直方向の勾配や直線性にも留意することが必要である。

11

■切羽圧力管理におけるトラブルとその対策の事例

- ・泥水式シールド：
土被り変化を契機とし泥水が流出し、泥水品質の改良や計測強化により対応した。参照：【付録②】 2-1（事例 1-4）
- ・泥土圧シールド：
過大な推力とカッタートルクに対し、地表面への影響を確認しながら切羽圧を下げ安定化を図り掘進を完了した。
参照：【付録②】 2-1（事例 2-1）

【参考となる工夫事例や新技術】

- 1) 装備・事前対応
 - ・攪拌固定翼に添加材注入孔を装備
 - ・地層に傾斜がある時は追加ボーリングを実施
 - ・掘進初期段階や近接施工前に、地中変位計を設置してトライアル施工を行い管理土圧の妥当性を検証
- 2) 施工管理
 - ・土圧計の数を増やしてチャンバー内の切羽圧力分布や変動を可視化
 - ・泥水の比重管理において自動計測と人による計測を実施
- 3) 大断面对応
 - ・中央部にアジテーターを装備
 - ・切羽の圧力計を標準より増設
 - ・周辺環境への影響が懸念されるケースでは、ベントナイト加泥材を供給
- 4) 緊急時準備
 - ・シールド機停電による噴発に対して、排土口閉鎖のためのアキュムレーターの装備
 - ・不測の事態（コンピューターエラー等）に備え緊急圧抜き弁を設置

12

13

14

4-7 線形管理

線形管理は、要求される線形の誤差の範囲に収まるよう的確に実施する必要があるとともに、線形管理に問題が生じた場合は、急激なシールドの姿勢の変化や過大な余掘りを避け、計画的かつ緩やかに行うこと。

【解説】

シールドの線形管理は、トンネルの使用目的や用地条件等によって求められる精度が異なることが一般的である。一方、シールドは極めて大きな質量を持つ機械であり、地盤条件の変化やシールドの‘くせ’等によって、計画通りのトンネル線形からずれることがあり、適宜、蛇行修正を行うこととなる。

このとき、急激な蛇行修正を行うと、過大な余掘りやシールドジャッキの片押しを行うことによって、セグメントに損傷を与える原因となる。さらに、シールドのテールとセグメントとのクリアランス（テールクリアランス）が不足し、セグメントリングに偏荷重が作用することも考えられる。

また、急曲線施工においては、シールドが計画線形に沿って円滑に掘進することができるようにコピーカッター等を用いて適切な余掘りを行うことが重要である。余掘りが過大な場合には周辺地盤に変状を生じさせる原因となり、過小な場合にはシールドの姿勢制御が困難になることやジャッキ推力が増大すること等によってセグメントに損傷を与える原因となる。

近年、硬質地盤での工事が増加しているが、硬質地盤ではあらかじめシールドが通過する形状に合わせて、コピーカッター等を用いて地盤を掘削しておく必要がある、線形形状と掘削軌跡を3次元で把握し、精度の高いシールドの推進を行う必要がある。このためには、可視化やシールド推進の自動化等より高度な手法が必要である。また、シールドの高速化が進んでいるが、高速化されたシールドでは、より速やかな対応が必要であり、各種の機械データを含めて迅速に総合的な判断、運用ができるシステムを構築することが望ましい。

4-8 テールグリスの管理

テールからの漏水や裏込め注入材の侵入を防止するため、テールグリスは、適切な材料を使用して、掘進前にテールブラシに確実に充填するとともに、掘進中はその量と圧力を適切に管理すること。

【解説】

テールシールの止水性を確保するためには、適切なテールグリス材を使用し、掘進前に十分な量を確実にテールブラシに練り込むように充填するとともに、掘進中はテールグリスをテールシール内に封入し、その圧力を適切に管理することによって地下水や裏込め注入材の侵入を防止することが重要である。このとき、テールグリスの圧力は地下水圧や裏込め注入圧より高く保たれることが必要である。

小断面シールドで一般的に行われている、セグメント注入孔から断続的にテールグリスを補充する方法では、テールグリス圧力を常時モニターし管理することが難しい。したがって、自動給脂装置等の確実に圧力が保持できる装置を設けることが望ましい。

また、テールグリスの材質によっては裏込め注入材と反応して硬化する性質をもつものもあることから、テールグリスの材料選定にあたっては、裏込め注入材と混合した場合の反応を確認する必要がある。

4-9 排土量管理

掘削土の過剰な取込みは、周辺地盤を緩めてシールドの掘進制御を困難にすることにつながる。一方、取込み不足はジャッキ推力が上昇してセグメントに作用する施工時荷重が増大する。このため、掘進時の土砂の取込み量の管理を適切に行い、過剰な取込みや取込み不足を防止すること。排土量管理は、精度の維持・向上と異常の兆候等の早期把握に努めること。

2 【解説】

3 排土量管理はシールドの形式や掘削土の運搬方法によって適用可能な手法が異なるため、そ
4 れぞれの施工設備に応じて適切に実施する必要がある。

5 掘削土の過剰な取込みが発生した場合、地表面沈下等の周辺への影響が大きくなるばかりで
6 なく、シールドの切羽周辺の地盤を緩め、シールドの姿勢制御を困難にすることが想定される。
7 一方、取込み不足が発生した場合には、地表面隆起等の周辺への影響が懸念されるほか、ジャ
8 ッキ推力が上昇しセグメントに作用する施工時荷重が増大することが想定され、セグメントの
9 損傷要因となる。このため、掘進時の土砂の取込み量の管理を適切に行い、過剰な取込みや取
10 込み不足を防止することが必要である。

11 泥水式シールドでは、送排泥管に設置した流量計と密度計のデータをもとに偏差量や掘削乾
12 砂量により排土量を確認することが一般的である。また、泥土圧シールドでは、掘削土運搬車
13 重量や、ベルトコンベヤーに設置したベルトスケール重量、スクリーコンベヤーの回転数に
14 よって排土量を管理する方法がとられることが多い。チャンバー内の掘削土の塑性流動性が適
15 切に管理されて、安定した掘削が行われている場合には一定の精度を確保した排土量管理が可
16 能である。しかし、地山条件は常に変化し、塑性流動性の状態は変わるので、地山条件等に
17 じた補正が必要である。

18 排土量の管理は、測定誤差や、地山条件の変化による比重・単位体積重量などの変化もある
19 ことも踏まえた上で、ボーリング調査の結果や掘削土の各種試験結果等に基づく補完を行い、
20 直前の区間の掘進における計測値の平均からの変化を確認するだけでなく、例えば、地山掘削
21 土量と設計地山掘削土量の比率（排土率）をリング毎に確認するなど、精度の維持・向上と異
22 常の兆候等の早期把握に努めることが必要である。

23 また、シールド径を踏まえた管理基準値の設定についても事前に十分に検討するとともに、
24 管理基準値を超過した場合の対応（チャンバー内圧力の再設定、泥水・添加材の調整、裏込め
25 の追加注入等）を定めておくことが必要である。

26 特に掘進停止および再開時には、継続的な掘進時よりも慎重に排土量を管理することが必要
27 であり、具体的に配慮すべき事項については、「4-1-1 掘進停止時の対応」に記載する。

■排土量管理におけるトラブルとその対策の事例

・泥水式シールド：

相鉄・東急直通線新横浜トンネルでは、排泥管閉塞後の掘進・停止の繰り返しや閉塞物除去作業時にシールド上部の砂質土層が泥水に長時間さらされるとともに閉塞に伴う圧力変動を受けることにより不安定化し、天端部より砂質土層が流動的に切羽内に流入し陥没事象が発生した。当初の掘削土量管理手法では過剰な土砂の取込みを認知できなかった。時系列データを分析し、以下の乾砂量の計算式により算出した全積算乾砂量と想定計画乾砂量とを比較することにより乾砂量の取込み

過多の有無を推定できることを確認した。再発防止対策として、各リングにおける全工程でのリアルタイムでかつ連続的な土砂の過剰な取込みの有無を監視することにより掘進を完了した。参照：【付録②】3（ヒアリング結果①）

【参考】泥水式シールドの乾砂量の計算

地盤工学会：地盤工学実務シリーズ29シールド工法（H24.2）pp.174より

計算乾砂量は、 $V=100Q/(G_s w+100)$

ここで、 Q ：計算掘削体積、 G_s ：土粒子の真比重、 w ：地山の含水比（%）

計測による乾砂量は、 $V_3=V_2-V_1=\{(G_2-1)Q_2-(G_1-1)Q_1\}/(G_s-1)$

ここで、 V_1 ：送泥乾砂量、 V_2 ：排泥乾砂量、 V_3 ：掘削乾砂量、 G_1 ：送泥水比重、

G_2 ：排泥水比重、 Q_1 ：送泥流量、 Q_2 ：排泥流量

V と V_3 の対比により逸泥状態（ $V>V_3$ ）、余掘り状態（ $V<V_3$ ）かの判定を行う。

・泥土圧シールド：

細粒分が少なく透水性が高い地山において取込み過多が生じ、これに対し、排土量管理の強化により地表への影響を未然に防止し掘進を完了した。

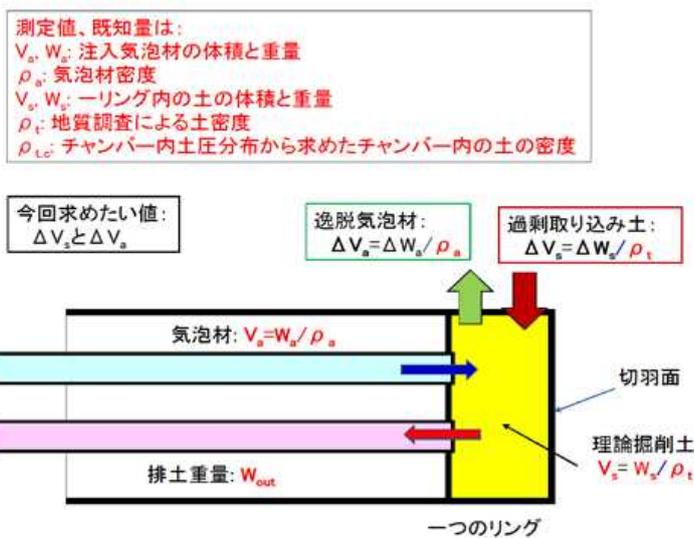
参照：【付録②】2-1（事例2-6）

東京外かく環状道路では、令和2年度に地表部での陥没の発生を受け、今後の対策として、排土量の管理値をより厳しく設定することとしている。

参照：【付録②】3（ヒアリング結果③）

また、仮定を置きつつも、既知の土密度や計測される土の重量などを用いて、過剰取込み土量をリアルタイムで評価できるかどうか、検証を行っている。参照：付録事例（ヒアリング結果③）

【参考】東京外かく環状道路における気泡材の浸透を考慮した排土率の算出の例



$$\Delta V_a = V_a - \frac{\rho_t - \rho_{tc}}{\rho_t - \rho_a} \times \frac{W_{out}}{\rho_{tc}}$$

ΔV_a ：気泡材浸透量、 V_a ：気泡材注入量、 W_{out} ：ベルトスケール重量、 W_s ：理論排土重量

ρ_t ：ボーリング単位体積重量、 ρ_{tc} ：チャンパー内圧力勾配による単位体積重量、 ρ_a ：気泡材単位体積重量

【参考となる工夫事例や新技術】

1) リアルタイムでの排土量、重量管理

- ・泥土圧シールドで排土重量をベルトスケール、排土体積をレーザースキャナーで計測

- ・泥水式シールドで配管密度計（ γ 線）と配管流量計を用いて乾砂重量をリアルタイムで計算

- ・泥水式シールドで、流体データ（密度、流量）および掘削地盤の土粒子真比重、含水比により排土量を常時演算

2) 精度向上

- ・機械誤差をなくすため計測機を複数台設置

- ・システム自動判別で特異値の有無を管理。土砂ピット容量変化は人により計測し、システムとの整合を図る

- ・2種類以上の排土量管理方法を用いる

3) 性状確認、切羽安定

- ・排土の比重や含水比も定期的に測定

- ・地山探査装置により取込み過多による地山崩壊を探查

1

4-10 シールドの姿勢制御

セグメントの線形とシールドの姿勢を常に監視し、セグメントとシールドのテールとの間に適切なクリアランスが確保できるように管理すること。

2 【解説】

3 シールドの向きがセグメントの線形とずれることにより、テールクリアランスが均等でなく
4 なりテールクリアランスに大小が発生する。テールクリアランスが極端に小さくなった側では、
5 テール部でセグメントとの競りが生じ、セグメントリングに偏荷重が作用することとなる。こ
6 の偏荷重は、一般的にセグメントの設計においては考慮されていない荷重であるため、セグメ
7 ントリングに過大な影響を与えないように施工管理しなければならない。

8 テール部に偏荷重が発生したことを想定した三次元の構造解析では、K セグメント周辺に大
9 きな断面力が発生し、セグメントリングが不安定になる可能性が確認されている。このことか
10 ら、セグメントリングに過大な偏荷重が作用しないようにシールドの姿勢を制御し、適切なテ
11 ールクリアランスを確保できるよう管理する必要がある。

12 一方、掘削土の過剰な取込み等によって周辺地盤を大きく乱した場合には、シールド周辺の
13 地盤が不安定となり、シールドの姿勢制御に大きな影響を与えることが予想される。このよう
14 な姿勢の変化に対して、シールドジャッキの操作（下方のジャッキを偏って使用することによ
15 ってノーズアップを図る）によって姿勢を修正しようとした場合、トンネル下部のセグメント
16 に、シールドジャッキの片押し推力が作用するとともに、トンネル上部のテールクリアランス
17 が急激に減少して偏荷重が発生する可能性がある。したがって、このような事態が生じた場合
18 には、急激な姿勢の修正を行わずに、掘進線形に合わせてセグメントリングを組立てながら徐々
19 にシールドの姿勢と線形を修正することが必要である。その際、切羽圧管理や排土量管理等を
20 適切に行うことにより、周辺地盤の乱れを最小限に抑制することが重要である。

1 シールドの姿勢の管理に用いるピッチング計やローリング計等の計測機器の値は、誤差を含
2 むことがあるため、データのキャリブレーションを行いその精度を維持する必要がある。この
3 ため、測量と計測機器のデータの差に留意することが必要である。

4

4-1-1 掘進停止時の対応

切羽の不安定化の可能性がある長時間の掘進停止は、夜間、休工、段取り替え等やむを得ない場合を除きこれを極力回避すること。また、停止する場合には、掘進再開時も含め、切羽の安定を図ること。

【解説】

5 シールドは、セグメント組立、夜間、休工、段取り替え等、停止せざるを得ない場面もある。
6 その停止は、泥水の地山への浸透による泥水圧の低下やチャンバー内での土砂沈降による圧力
7 不均衡の発生などによる切羽面の不安定化、それらに伴う発進困難などの影響を及ぼす懸念が
8 あり、この影響は長時間となればより顕著となる。やむを得ない場合を除き、通常時の施工に
9 おいて切羽の不安定化の可能性がある長時間の一時停止は出来る限り回避することが望ましい。
10 やむを得ず長時間の一時停止を行う場合は切羽の安定を図る対策が必要であり、泥水式シール
11 ドでは、泥水循環をバイパスラインへ切り替えや良質な泥水の循環を継続しながら切羽圧力を
12 監視することが望ましい。また、泥土圧シールドでは、あらかじめ停止期間を想定した添加材
13 試験を行うことなど、適切な添加材を選定することで切羽安定を確保することが必要である。
14 また、チャンバー内土砂の分離を防ぐため定期的にチャンバー内土砂の攪拌を実施することが
15 望ましい。

16 シールドを長時間一時停止せざるを得ない場合は、トラブルによる影響ができるだけ小さく
17 なるよう停止位置等について配慮することが必要であり、安定性が乏しい地盤、重要構造物直
18 下、改良を行った地盤などの停止を極力避け、より安全性が高い位置まで掘進し停止すること
19 が望ましい。この際、最優先にすべきは周辺環境への影響であり、周辺環境への影響が想定さ
20 れる場合には直ちに掘進を停止して応急対策を実施することが必要である。

21 特に、やむを得ず、掘進停止時に排土を行う場合は、それにより切羽を緩め、場合によって
22 は陥没等の原因となることから、その必要性、手順の妥当性について、十分な検討を行うとと
23 もに、停止時においても排土量を管理することが必要である。

24 また、掘進再開時には、継続的な掘進時よりも慎重に排土量管理を行うとともに、一時停止
25 が長時間に及ぶ場合は機械設備の点検や作動確認、状況に応じて試運転を行うことが必要であ
26 る。

27
28

■掘進停止再開時におけるトラブルとその対策の事例

・泥水式シールド（再掲）：

相鉄・東急直通線新横浜トンネルでは、排泥管閉塞後の掘進・停止の繰り返しや閉塞物除去作業時にシールド上部の砂質土層が泥水に長時間さらされるとともに閉塞に伴う圧力変動を受けることにより不安定化し、天端部より砂質土層が流動的に切羽内に流入し陥没事故が発生した。当初の掘削土量管理手法では過剰な土砂の取込みを認知できなかった。時系列データを分析し、以下の乾砂量の計算式により算出した全積算乾砂量と想定計画乾砂量とを比

較することにより乾砂量の取込み過多の有無を推定できることを確認した。再発防止対策として、各リングにおける全工程でのリアルタイムでかつ連続的な土砂の過剰な取込みの有無を監視することにより掘進を完了した。参照：【付録②】3（ヒアリング結果①）

・泥土圧シールド（再掲）：

東京外かく環状道路では、細粒分が少なく均等係数が小さく、礫が卓越して介在する地盤で夜間休止時に掘削土の塑性流動性・止水性が低下した。今後の対策として、土質調査結果や夜間休止時間を踏まえた気泡材等の添加材の事前配合試験、チャンバー内圧力勾配などのリアルタイム監視などを行うこととしている。参照：【付録②】3（ヒアリング結果③）

■掘進停止時の対策の事例

【参考となる工夫事例や新技術】

1) 事前対応

- ・シールド設計段階での回転抵抗低減
- ・掘進停止時は事前に地盤改良

2) 停止時の保全対応

- ・掘進停止中、定期的にカッターを回転させてチャンバー内の掘削土を攪拌し、分離、沈降を防止
- ・泥土：長期間の掘進停止中は、チャンバー内土砂を超粘性可塑状充填材に置き換え、分離、沈降を防止
- ・泥水：別系統の送泥ラインを解放し切羽圧を自動的に保持する。
- ・泥水：地盤により事前に比重や粘性を高めた高濃度泥水を送泥
- ・「切羽圧が作用するようにジャッキを張り直す
- ・「シールドの締め付け防止対策として、高分子材等を胴体注入
- ・微小な保全掘進

3) 掘進再開時対応

- ・掘進再開時には、安定した掘削状態となるまで、掘進速度を上げ過ぎず、低負荷の掘進となるように管理

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

4-12 異常の兆候の早期感知と迅速な対応

シールドの掘進は、地山の条件、トンネル断面の大きさ等を考慮し、地山の安定が確実に保たれるように管理すること。

その際、泥水式シールドの泥水品質や泥水圧、泥土圧シールドでのチャンバー内塑性流動性や圧力を適切に管理し、土量を出せるだけ正確に計測・分析し、カッタートルクや推力等を把握して、切羽を緩めることがないように施工管理を行うこと。

複数の項目を総合的に計測・分析し、異常の兆候の早期感知に努め、異常の兆候が確認された場合には、速やかに関係者間で共有し兆候の解消に努めるとともに、兆候が継続する場合には、その原因を究明した上で対策を検討し講じること。なお、異常やトラブルは言うまでもなく、兆候を確認した際の情報共有等の対応について、あらかじめルール化して関係者間で共有しておくこと。

重大なトラブルが発生した場合に、直ちにシールドを停止し応急対策を実施すること。その後、必要に応じて、有識者に相談して、追加の調査を実施し、発生要因を明らかにするとともに、それを踏まえた対策を講じること。

1 【解説】

2 地質の状況は完全に把握できるものではなく、機材の不具合も含め、シールドトンネルの施
3 工中に通常と異なる事象が発生する可能性を完全に排除できるわけではない。このため、施工
4 においては、異常やトラブルが発生した場合に取るべき対応をあらかじめ定めておいた上で異
5 常やトラブルに対処することが必要である。

6 シールドの掘進管理は、泥土圧シールド、泥水式シールドの各工法原理を十分に理解した上
7 で、常にシールドと覆工の挙動や出来形、切羽圧力、排土量、シールドの負荷（カッタートル
8 クや推力等）、裏込め注入量・注入圧など複数の項目を総合的に計測・分析し、計測値の傾向を
9 確認しながら適切に施工管理を行うことが必要である。

10 シールド施工におけるトラブルは、突然発生するわけではなく、地盤性状の把握、切羽圧力
11 の管理、掘削土の過剰取込みの監視、過剰取込みによる地盤内の隙間形成の可能性の認識、地
12 表面の監視、といった異常の兆候を複数の観点で把握する施工管理を行う中で、その全ての観
13 点で異常の兆候を捉えない、あるいは捉えられないことにより、対策を講じないままに施工が
14 進められ発生するものと考えられる。

15 施工中に得られた計測値等施工管理システム上で通常と異なる事象につながる可能性のある、
16 地盤性状の変化、切羽圧力の変動、カッタートルクや推力など機械負荷の増減、掘削土の取込
17 量の管理値逸脱、裏込め注入量の増、地表面変位等の異常の兆候の早期感知に努め、兆候が確
18 認された場合には、速やかに関係者間で情報共有し兆候の解消に努めるとともに、兆候が継続
19 する場合には、その原因を究明した上で、対策を検討し講じることが必要である。なお、異常
20 やトラブルについては言うまでもなく、兆候を確認した際の情報共有等の対応については、あ
21 らかじめルール化して関係者間で共有しておくことが重要である。

22 想定以上の沈下や陥没などの変状をもたらした事例の発生状況を踏まえれば、掘進が地盤の
23 変状を発生させる可能性があることを常に意識しつつ、実際の施工において異常の兆候の把握
24 と対策に努めることが必要である。

25 泥水式シールドにおける排泥管、泥土圧シールドにおけるスクリーコンベヤーの閉塞、カ
26 ッターの回転不能やカッタートルク、切羽圧力・排土量・推力等の急激な変動などの重大なト

1 ラブルが発生し、周辺環境への影響が懸念される場合には、直ちにシールドを停止して応急対
2 策を実施した後、各種施工管理データの検証を行うとともに、必要に応じて、有識者へ相談し
3 て、追加の調査を実施し、発生要因について明らかにしつつ、それを踏まえて、変状への対処
4 と、その後の掘削における周辺環境に影響を与えない対策を定めて実施していくことが重要で
5 ある。

6 工事の事故が発生した後、その付近で、別の工事も含め、シールドを掘進する場合は、同様
7 な事故を引き起こさないよう追加の地盤調査や監視の体制および対策を強化するなど細心の注
8 意を払い進めることが必要である。

9

4-13 避難

漏水、出水等の工事上の異常やトラブルが発生した場合における避難基準を定め、遅滞なく適切な避難が行えるようにすること。

10 【解説】

11 地盤を対象とするシールドトンネル工事では、調査や条件の把握に限界があり、不測の事態
12 が生ずることを避けられない場合がある。異常やトラブルが生じた場合、修復、復旧に努める
13 必要があるが、場合によっては、避難の機会を失うことになる可能性がある。したがって、あ
14 らかじめ避難すべき状況を定め、迅速な避難ができるように計画しておく必要がある。

15

16

17 5. 周辺の生活環境への配慮

5-1 周辺の生活環境への影響のモニタリング

施工の安全性確保、周辺の生活環境への影響の抑制のためのみでなく、地域の安心を確保す
るために、地盤変位量、地下水位、騒音・振動等について定期的にモニタリングを行うこと。

18 【解説】

19 施工時の安全対策として施工状況等のモニタリングを確実に行うとともに、地盤変位量（主
20 に地表面の沈下量や沈下勾配）や地下水位等の工事箇所周辺の影響についてのモニタリングを
21 定期的に行うことが必要である。この際、工事による影響を確認するため、掘進前の段階から
22 モニタリングすることが重要である。また、地盤変位量については平面的にモニタリングする
23 ことが必要である。

24 また、住宅地等の市街化された地域の地下におけるシールドトンネル工事の施工にあたって
25 は、騒音・振動の影響についてのモニタリングを定期的に行うことが必要である。

26

5-2 騒音・振動対策

住宅地等の市街化された地域におけるシールドトンネルの施工にあたっては、施工に起因す
る騒音・振動の抑制に努めること。

27 【解説】

28 シールドトンネル施工時の騒音・振動は、主に立坑周辺が発生源とされているが、シールド
29 トンネル掘進時にも、シールドが前進する際のスキンプレートと周辺土砂の摩擦に起因する騒
30 音・振動や、カッターヘッドで地山を削り取る際の騒音・振動が発生することがある。これら

1 の騒音・振動は、地中を伝播する間に一定程度減衰するが、地盤状況によっては減衰が小さく、
2 住民等が不快に感じる場合がある。また、掘進時の振動について、建築物の基礎を通じて伝播
3 するなど、局所的な条件により伝わり方が異なる可能性があることにも留意が必要である。こ
4 のため、状況に応じて、スキンプレートと地山との間に滑剤を充填することや、掘進速度やジ
5 ャッキストロークを調整しながら掘進することにより、騒音・振動の抑制に努めることが必要
6 である。

7 騒音・振動は、感じ方の個人差が大きく、測定値が環境基準を満たしていても人によっては
8 感知し不快に感じる場合もあるため、計測による管理に加え、情報提供などの現場ごとの丁寧
9 な対応が重要である。また、騒音・振動の抑制対策と併せ、住宅地の周辺で工事を行うなど住
10 民の日常生活等への影響が大きいと想定される場合には、住民と相談し対応を行うことが有効
11 な場合があり、掘進期間中に一時的に滞在可能な場所を確保し提供することを検討している事
12 例もある。

13

■騒音・振動トラブルとその対策の事例

・騒音・振動に関する住民からの問い合わせがあり、掘進速度の低下により対応した。参照：付録事例（事例 2-22）

【参考となる工夫事例や新技術】

1) 夜間停止や制限

- ・夜間の掘進を制限
- ・夜間の坑内運搬の制限、夜間の材料搬入停止、坑内運搬の緩衝

2) カッター部

- ・カッター回転速度、掘進速度の低下

3) シールド胴体部締め付け

- ・シールド周辺に縁切りの可塑状充填材等の注入
- ・シールドの方向制御において蛇行修正を最小化

14

5-3 情報提供

地域の安心を確保するために、シールドトンネル工事の掘進状況と併せ、地域住民への適切な情報提供を行っていくことが望ましい。

【解説】

16 住宅地等の市街化された地域の地下におけるシールドトンネル工事の施工にあたっては、地
17 域の安心を確保するために、地盤変位、地下水位変動、騒音・振動等について定期的にモニタ
18 リングを行い、シールドの現在地などのシールドトンネル工事の掘進状況に関する情報と併せ、
19 地域住民への適切な情報提供を行っていくことが望ましい。

20 なお、地盤を対象とするシールドトンネル工事では、調査や条件の把握に限界があり、不測
21 の事態が生ずることを避けられない場合がある。このため、住宅地等の市街化された地域にお
22 ける大断面のシールドトンネル工事では、事故発生時の速やかな周知や住民等の避難について、
23 自治体や警察、消防などの関係機関と事前に相談しておくことが望ましい。

24

5-4 トラブル時の対応

工事上の異常やトラブルが発生し、地域住民など第三者への影響が懸念される場合、遅延なく必要な措置を行い、影響を最小限とすること。

【解説】

工事上の異常やトラブルが発生し、地域住民など第三者への影響が懸念される場合、遅延なく応急的な措置を実施し、安全を確保した上で、影響範囲の各種調査、周辺住民への説明、影響に対する補償に関する相談窓口の設置など、第三者の安心の確保に向けた取り組みを行うことが重要である。

6. その他の配慮事項

6-1 記録およびその活用

調査、設計、施工において得られる各種データは、今後のシールドトンネル設計・施工のみでなく、供用後のシールドトンネルの維持管理においても重要であるため、とりまとめ・保管の上、維持管理主体も含め、いつでも活用できるようにしておくことが望ましい。

【解説】

シールドトンネル工事に起因する変状は、切羽通過時だけではなく、切羽通過後に時間が経過して発生する場合や、供用後に顕在化する場合がある。その場合の原因究明において、調査、設計、施工において得られる各種データは、貴重な情報資源である。それらのデータは、今後のシールドトンネルの設計・施工のみでなく、供用後のシールドトンネルの維持管理においても重要であるため、とりまとめ・保管の上、維持管理主体も含め、いつでも活用できるようにしておくことが望ましい。

6-2 新技術の活用

シールドトンネル工事の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保のため、また、今後のシールド技術の発展に寄与すべく、新技術の開発・活用が重要である。

【解説】

シールドトンネル工事の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保のため、また、今後のシールド技術の発展に寄与すべく、新技術の開発・活用が重要である。新技術の開発・活用は、コスト削減に偏重することなく、安全性や品質の向上にも十分留意することが望ましい。また、新技術は、必ずしもその確実性が十分に裏付けられていないものも少なくないため、その技術を過信することなく、従来の技術での確認、経験に裏付けられた工学的判断による確認が重要である。

■シールドトンネル工事の更なる安全性の向上や周辺地域の安心の確保に資する新技術

1) 可視化

- ・チャンバー内塑性流動性と止水性、切羽管理の可視化
- ・三次元CIM等による地質や近接構造物のリアルタイム可視化

2) 調査・探査・測量

- ・シールドからの近接する廃坑に対する弾性波探査
- ・シールド掘進位置の地上リアルタイム確認システム
- ・超音波式・電磁波レーダー・貫入式等の地山崩壊探査
- ・カッタービット振動計内蔵支障物判定システム
- ・前方探査
- ・リアルタイム路面沈下管理
- ・電磁波地中レーダーによる路面下空洞調査

3) 施工安全性向上

- ・添加材開発
- ・機械式ビット交換
- ・ICT監視・管理

4) 周辺的生活環境対策

- ・振動低減アクティブ制振技術