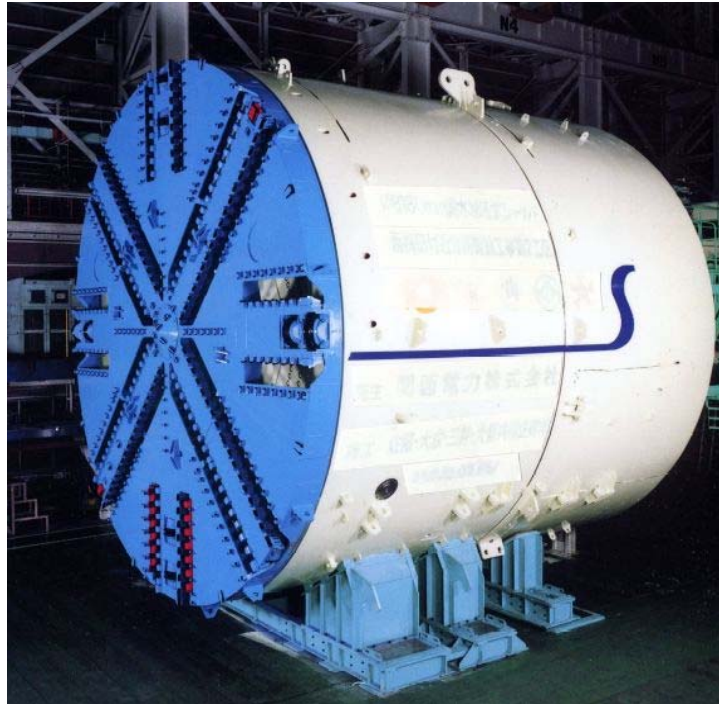


シールド工事占用許可条件と解説（案）



平成19年2月

近畿地方整備局

道路部

序

密閉型シールド工法は、世界の最高レベルにあると言われている。しかし、地盤条件や施工の巧拙によっては、過度な土砂の取り込みにより地山に緩みや空洞が生じ、場合によっては道路の陥没事故に至り交通支障が発生することがある。本解説書は、上記のような現状に鑑み、平成17・18年度に検討委員会を設け、道路陥没事故原因や陥没の発生メカニズムを分析考究するとともにそれに基づく適切な施工管理や事後監視のあり方について検討した結果を取りまとめたものである。

すなわち、道路下のシールド工事に対し、事前、施工中および事後の経過観察期間中における道路面下の状況を的確に確認すること、ならびに道路管理者と占有企業者が緊密な連携を常に保つことの重要性を強調した「シールド工事占有許可条件と解説（案）」として策定した。

おわりに、ライフラインの整備に欠かすことの出来ないシールド工法技術の一層の発展と事故のないシールド工事が実施されることを祈念するとともに、本解説書（案）の取りまとめに当たった委員各位、貴重な資料を提供して頂いた関係各位ならびにご苦勞を頂いた事務局の方々に深甚なる謝意を表する次第である。

平成19年2月

シールド工事等に伴う道路占有許可条件検討委員会
委員長 足立 紀尚

目 次

1. シールド工事占用許可条件（案）	1
2. 用語解説	4
3. シールド工事占用許可条件の解説（案）	9
4. 確認事項チェックシート（案）	23
参考資料(1)沈下と空洞・陥没	25
参考資料(2)空洞・陥没の分析	27
参考資料(3)空洞・陥没発生（占用工事）事例	37
参考資料(4)空洞調査記録（例）	43
参考資料(5)参考文献	45

1. シールド工事占用許可条件（案）

シールド工事占用許可条件(案)

- 1) 密閉型「泥土圧式、泥水式」シールド工事の施工にあたっては、周囲の地盤をゆるめないよう細心の注意をはらうこと。
- 2) 裏込め注入の工法、注入量、注入圧、および材料配合については、関係資料を出張所長に提出すること。
薬液注入工法を使用する場合には、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針（平成2年4月24日付け建設省技調発110号の1、および平成2年9月18日付け建設省技調発第188号の1建設事務次官通達）」によるものとする。
- 3) 占用企業者は、道路を常時良好な状態を保つように努め、変状や損傷を与えてはならない。また、一般交通の障害、交通事故、車両損傷事故、ならびに環境（騒音・振動）への影響の恐れがある場合、また、変状や損傷が発生した場合、あるいは発生が予測される場合には、速やかに出張所長に報告すること。
- 4) シールド工事において事故、トラブル、異常等が発生した場合には、速やかに出張所長に報告するとともに、必要な措置を講じること。
- 5) 地表面沈下管理については、地表面沈下計測計画、ならびに地表面沈下管理値を定め、出張所長に関係資料を提出するとともに、地表面沈下協議値については、道路管理者と協議して定めること。
地表面沈下量が地表面沈下管理値に達した場合は、ただちに出張所長に報告するとともに、原因の究明および対策を講ずること。
地表面沈下量が地表面沈下協議値に達した場合は、ただちに道路管理者と協議するとともに、必要な措置を講じること。
- 6) 事前、事後、ならびに工事終了後の経過観察期間において地表面沈下管理、空洞調査、および路面調査を占用企業者の負担において実施すること。
調査方法等については、関係資料を出張所長に提出し、調査結果については、速やかに出張所長に報告すること。

7) 工事終了後の経過観察期間は、施工管理記録等の工事関係資料に基づいて、道路管理者と協議して定めること。

8) かし担保

シールド工事においては、かしが原因で道路が損傷した場合は、道路管理者の指示に従い、占用企業者の負担においてただちに補修すること。期間は5年間とする。ただし、故意、または重大な過失により生じた場合は10年間とする。

以 上

2. 用語解説

用語解説

1. 道路管理者と維持出張所長

直轄国道における道路管理者は、国土交通大臣より権限を委任された地方整備局長である。維持出張所は、道路管理者の出先機関である。よって、報告、届け出は維持出張所長、協議は道路管理者とするが、道路管理者の窓口は維持出張所長となる。

1-1. 道路管理者

道路法上では、直轄国道は国土交通大臣の権限の委任により地方整備局長又は北海道開発局長となる。以下に道路法の関連箇所をあげる。

関係法規 道路法 第13条

道路法

(国道の維持、修繕その他の管理)

第13条 前条に規定するものを除くほか、国道の維持、修繕、公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法（昭和26年法律第97号）第2条第2項に規定する災害復旧事業（以下「災害復旧」という。）その他の管理は、政令で指定する区間（以下「指定区間」という。）内については国土交通大臣が行い、その他の部分については都道府県がその路線の当該都道府県の区域内に存する部分について行う。《改正》平11法087

関係法規 道路法 第97条

道路法

(権限の委任)

第97条の2 この法律及びこの法律に基づく政令に規定する国土交通大臣の権限は、政令で定めるところにより、その一部を地方整備局長又は北海道開発局長に委任することができる。ただし、第31条第2項の規定による裁定及び同条第5項本文の規定による決定については、この限りでない。

1-2. 維持出張所長

直轄国道については、占用許可申請の窓口は、維持出張所（出張所長）である。
以下に、維持出張所に関連する近畿地方整備局ホームページおよび道路法をあげる。

関係資料 近畿地方整備局ホームページ

近畿地方整備局ホームページ(平成19年1月現在)

「道路の占用とは」

道路にはみ出して看板や日よけを設置したり、道路に管路やケーブル等の施設を設置して、継続して道路を使用することを「道路の占用」といいます。この「道路の占用」には地上だけでなく、道路敷地の地下や上空に施設を設ける場合も該当します。

「道路の占用」をするためには、当該道路を管理している「道路管理者」の許可を受けなければなりません。国土交通大臣が直接道路を管理している指定区間内の国道については国土交通省の出先機関である「維持出張所」に道路の占用許可申請をすることとなります。

関係法規 道路法 第18条

道路法

(道路の区域の決定及び供用の開始等)

第18条 第12条、第13条第1項若しくは第3項又は第15条から前条までの規定によって道路を管理する者（指定区間内の国道にあつては国土交通大臣、指定区間外の国道にあつては都道府県。以下「道路管理者」という。）は、路線が指定され、又は路線の認定若しくは変更が公示された場合においては、遅滞なく、道路の区域を決定して、国土交通省令で定めるところにより、これを公示し、かつ、これを表示した図面を関係地方整備局若しくは北海道開発局又は関係都道府県若しくは市町村の事務所（以下「道路管理者の事務所」という。）において一般の縦覧に供しなければならない。道路の区域を変更した場合においても、同様とする。

2. シールド工事事故調査委員会等

シールド工事事故調査委員会等は、直轄事業関係を除く占用企業者等のシールド工事に係る工事に当たり、事故（沈下、空洞、陥没等）が発生したときに設置するものである。事故（沈下、空洞、陥没等）の発生状況、事故に係るシールド工法の工法及び地質等を調査し、事故の原因を技術的に分析することにより、事故の再発を防止し、シールド工事の安全かつ円滑な実施を図るものである。

3. 空洞・陥没と地表面沈下

3-1. 空洞・陥没

空洞は、シールドの掘進によってシールド上部または周辺の土砂を過剰に取り込みすぎることや、坑内への土砂の噴発などにより、シールドと地表面の間の地山の一部が流亡している状態である。陥没は、空洞が発達して地表面付近の土砂がシールド方向に流動し、地表面に穴が空くことを言う。

3-2. 地表面沈下

地表面沈下とは、シールドの掘進によって切羽、およびセグメント周辺の地山が一時的に解放されたことによって地盤がゆるみ、地表面が沈下することを言う。地山の解放は、泥水や泥土圧による抵抗、裏込注入の充填を適切に実施することにより収まるが、緩みが地表面に伝達されるまでに時間がかかり、地表面沈下がシールド通過後も一定期間まで続く。地山の取り込み過剰や、裏込注入不足などの管理不十分な場合は、地表面沈下の量が大きくなる。地表面沈下が収束しない場合は、陥没の可能性のあるものと考えられる。

4. 事前空洞調査と事後空洞調査

4-1. 事前空洞調査

シールド工事開始後に発見された空洞・陥没とシールド工事との因果関係を明確にするため、シールド工事を始める前に実施する空洞調査を言う。

4-2. 事後空洞調査

シールド工事完了後、空洞・陥没が発生していないか確認するために実施する空洞調査を言う。シールド完了後、数年間経過して空洞・陥没が発生する可能性があるため、事後空洞調査の終了時期については、シールド工事の状況等を勘案して決定する。

5. 工事終了時点

通常は契約工期の竣工時点を言うが、本書では占用区間のシールド一次覆工完了後、地表面沈下が収束し、空洞・陥没が無いことを確認した時点とする。

6. 経過観察期間

シールド工事完了後、数年間経過して空洞・陥没が発生する可能性があるため、シールド工事完了後も、地表面沈下計測、ならびに空洞調査などの状況観察を実施する期間を経過観察期間と言う。経過観察期間は、シールド工事の施工品質管理及び工事の状況等を勘案して決定する。

7. 地表面沈下計測

地表面沈下計測とは、シールド工事の掘進に伴い発生する地表面沈下量を計測することを言う。

8. 地表面沈下管理値

地表面沈下管理値は、占用企業者が地表面沈下協議値より小さい値として、予め定める。

地表面沈下量が管理値に達した場合は、占用企業者が何らかの対策を実施する。

9. 地表面沈下協議値

地表面沈下協議値は、道路管理者と占用企業者が協議して、予め定める。

地表面沈下量が協議値に達した場合は、関係者間で今後の施工方法や施工中止などを協議する。

3. シールド工事占用許可条件の解説（案）

シールド工事占用許可条件の解説(案)

(本解説(案)の内容)

「シールド工事占用許可条件(案)」は、直轄国道（近畿地方整備局管内）における占用工事（シールド工事）の施工管理（推進・沈下管理等）を適切に行うことにより、道路の損傷（空洞・陥没・その他）を未然に防止し、一般交通の安全を図るものである。本解説(案)は、この「シールド工事占用許可条件(案)」を効率的かつ円滑に適用するために、その内容を解説したものである。

なお、本解説(案)を利用する際には、現場条件を十分考慮したうえで総合的な判断を行わなければならない。

【 解 説 】 我が国において初めてシールド工法が用いられたのは、シールドがイギリス（テムズ川横断）で誕生してから約 100 年を経た 1917 年（大正 6 年）の折渡トンネル（青森県）工事である。以後、技術者のたゆまない工夫と努力により、我が国のシールドトンネル技術は世界最高水準と言われるまでに高い評価を受けている。

都市の発展と拡大のための生活環境整備（地下鉄、道路、上下水道等）に欠かす事のできないシールド工法は、地下深く自由自在に掘り進むことができるが、都市部においては、大半が公共道路の下を掘り進んでいる状況にある。

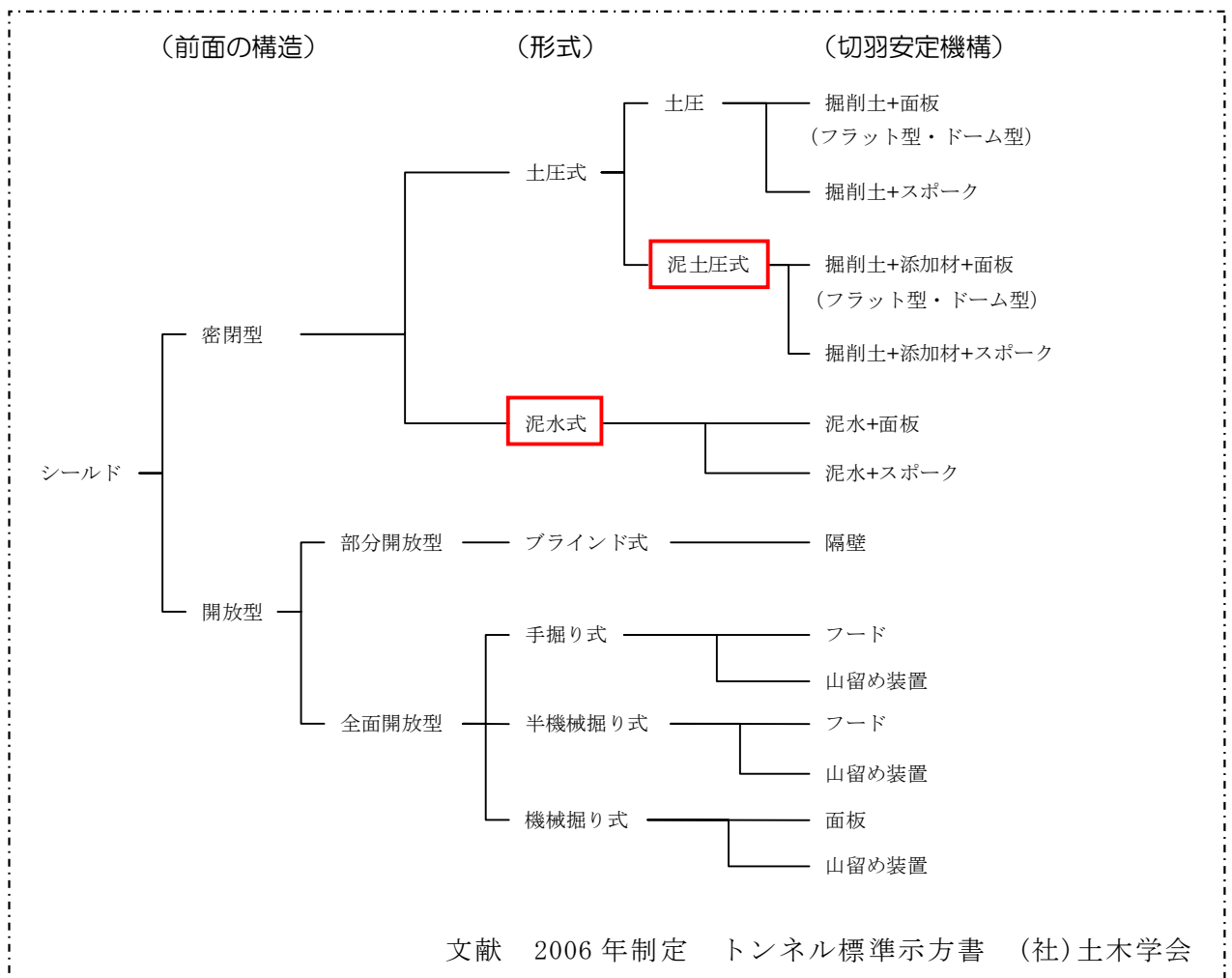
近年、都市部の道路では、シールド工事に起因する空洞・陥没等が見受けられ、一般交通の安全が脅かされている。このような状況を踏まえて、公共道路下で行われるシールド工事を原因とする空洞・陥没等の事故を未然に防止することを目的として、「シールド工事等に伴う道路占用許可条件検討委員会」を設立し、「シールド工事占用許可条件(案)」を策定した。

さらに、本委員会では、「シールド工事占用許可条件(案)」の効率的かつ円滑な適用を目的として、本解説(案)を作成した。本解説(案)の利用の際には、内容を画一的に運用するのではなく、現場条件を十分考慮したうえで総合的な判断を行わなければならない。

1) 密閉型「泥土圧式、泥水式」シールド工事の施工にあたっては、周囲の地盤をゆるめないうような細心の注意をはらうこと。

【 解 説 】 シールド形式の分類を、解説 図 1 - 1 に示す。

「シールド工事占用許可条件(案)」は、現状でのシールド形式の大半を占める密閉型「泥土圧式、泥水式」シールド形式を対象として定めている。その他のシールド形式の場合は、別途協議とする。



解説 図 1 - 1 シールド形式の分類

2) 裏込め注入の工法、注入量、注入圧、および材料配合については、関係資料を出張所長に提出すること。

薬液注入工法を使用する場合には、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針（平成2年4月24日付け建設省技調発110号の1、および平成2年9月18日付け建設省技調発第188号の1建設事務次官通達）」によるものとする。

【 解 説 】 裏込め注入は、掘進に伴って発生するテールボイドに裏込め材を迅速かつ正確に充填することにより、地山の緩みや崩壊による地盤沈下を防止し、止水性の向上を図るために実施するものである。

さらに、セグメントを早期に固定することで、シールド機の操縦性とセグメント覆工の安全性を確保する役割も有する。

空洞・陥没等を防止するためには、裏込め注入管理（圧力管理、量管理、性状管理）は、非常に重要である。

3) 占用企業者は、道路を常時良好な状態を保つように努め、変状や損傷を与えてはならない。また、一般交通の障害、交通事故、車両損傷事故、ならびに環境（騒音・振動）への影響の恐れがある場合、また、変状や損傷が発生した場合、あるいは発生が予測される場合には、速やかに出張所長に報告すること。

【 解 説 】 下記の道路法第42条に示すように、道路は常時良好な状態に保つことが定められている。そのためには、変状・損傷を与えた場合には速やかな報告と対策が必要である。さらに、安全や環境（騒音・振動）の観点より、日頃から道路管理者と占用企業者等が連携を密にとっておくことが重要である。

関係法規 道路法 第42条

道路法

（道路の維持又は修繕）

第42条 道路管理者は、道路を常時良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならない。

2 道路の維持又は修繕に関する技術的基準その他必要な事項は、政令で定める。

4) シールド工事において事故、トラブル、異常等が発生した場合には、速やかに出張所長に報告するとともに、必要な措置を講じること。

【 解 説 】 シールド工事では、施工中の事故、トラブル、異常等が、空洞・陥没の発生の原因となる場合が多い。よって、事故、トラブル、異常等があれば、直ちに出張所長に報告すること。

チャンパー内土圧低下や、スクリーコンベア閉塞、噴発などの異常は、空洞、陥没の危険が高くなる。異常発生時には、速やかに沈下計測、空洞探査等を実施し確認することが重要である。

5) 地表面沈下管理については、地表面沈下計測計画、ならびに地表面沈下管理値を定め、出張所長に関係資料を提出するとともに、地表面沈下協議値については、道路管理者と協議して定めること。

地表面沈下量が地表面沈下管理値に達した場合は、ただちに出張所長に報告するとともに、原因の究明および対策を講ずること。

地表面沈下量が地表面沈下協議値に達した場合は、ただちに道路管理者と協議するとともに、必要な措置を講じること。

【 解 説 】 地表面沈下管理について基本的事項を以下に示す。

(1) 地表面沈下管理

占用企業者は、地表面沈下計測計画を定め、道路管理者と協議して地表面沈下協議値を定め、それより小さい値で地表面沈下管理値を定める。

- ① 地表面沈下計測計画 占用企業者が自ら計画し定める
- ② 地表面沈下管理値 占用企業者が自ら定める
(地表面沈下管理値<地表面沈下協議値)
- ③ 地表面沈下協議値 道路管理者と協議して定める

一般道路(アスファルト舗装)の地表面沈下協議値は、維持修繕要否判断の目標値の最小値30mmに割引率(50%)を乗じて算出した値(15mm)とする。なお、路面性状が不良と判断される箇所(路面変状箇所)については、許可条件6)の解説(P.17)に示す算定式(式-1)により算出した値を地表面沈下協議値とし、これに基づいて協議する。

ただし、コンクリート舗装は、アスファルト舗装とは設計法と維持修繕要否判断の目標値が異なるので、別途協議とする。また、自動車専用道路のアスファルト舗装は、一般道路のアスファルト舗装とは維持修繕要否判断の目標値が異なるので、別途協議とする。

(2) 維持修繕目標値 (30 mm)

本解説(案)では、地表面沈下協議値の設定基準を30 mmとする。解説 表5-1に示すように、道路維持修繕要綱では「段差」「わだち掘れ」等の維持修繕要否判断の目標値(アスファルト舗装)として30~40 mmを定めている。

本解説(案)では、市街地で多く用いられるシールド工法において、一般交通の安全、環境(騒音・振動)を考慮して、維持修繕要否判断の目標値の最小値30 mmを設定基準として採用している。

道路の種類	項目 わだち掘れ およびラベ リング (mm)	段 差 (mm)		すべり 摩擦係数	縦断方向の凹凸 (mm)	ひびわれ率 (%)	ポット ホール径 (cm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8m ⁷ ° プロファイル 90 (Pr1) 3m ⁷ ° プロファイル 3.5 (σ)	20	20
交通量の多い 一般道路	30~40	30	40	0.25	3m ⁷ ° プロファイル 4.0~5.0 (σ)	30~40	20
交通量の少ない 一般道路	40	30	-	-	-	40~50	20

注) 段差は自動車専用道路の場合は15mの水糸、一般道路の場合は10mの水糸で測定する。

なお、解説表5-1は舗装の寿命と供用性を主に考えたものであるが、このほか住居環境を重視する地域においては、振動、騒音についても考慮しなければならない。

文献：道路維持修繕要綱(昭和53年7月)より抜粋

6) 事前、事後、ならびに工事終了後の経過観察期間において地表面沈下管理、空洞調査、および路面調査を占有企業者の負担において実施すること。

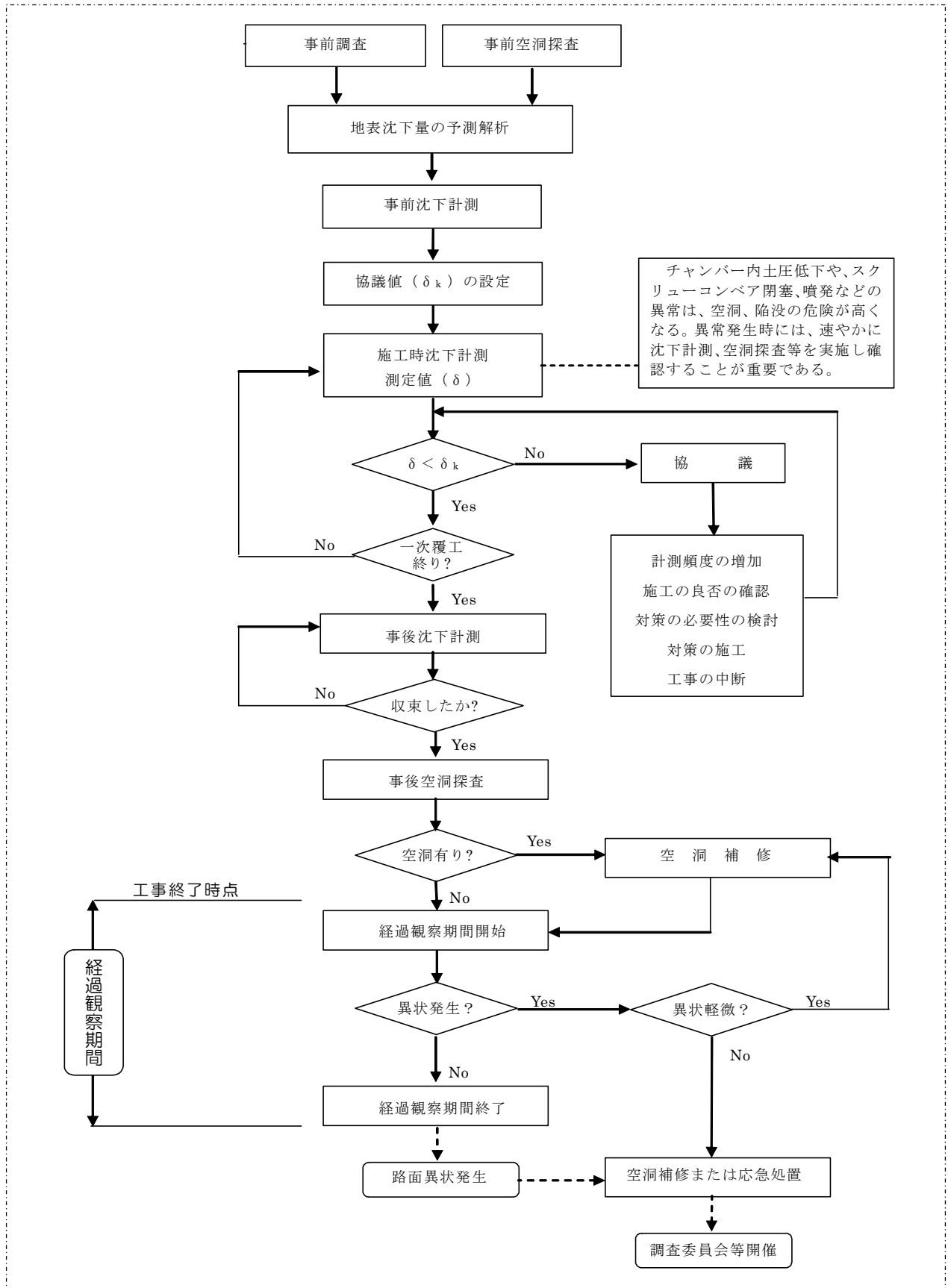
調査方法等については、関係資料を出張所長に提出し、調査結果については、速やかに出張所長に報告すること。

【 解 説 】 事前、事後、ならびに経過観察期間における地表面沈下管理、空洞調査、および路面調査の方法を以下に示す。

(1) 事前、事後、経過観察調査フロー

事前調査、事後調査、ならびに経過観察調査等は、解説 図6-1のフローにしたがって実施すること。

経過観察期間は、工事終了時点から始まる。工事終了時点は、通常では契約工期の竣工時点であるが、本解説(案)では占有区間のシールド一次覆工完了後、地表面沈下が収束し、空洞・陥没等がないことを確認した時点とする。



解説 図6-1 事前、事後、経過観察調査フロー

(2) 地表面沈下管理の方法

1) 一般事項

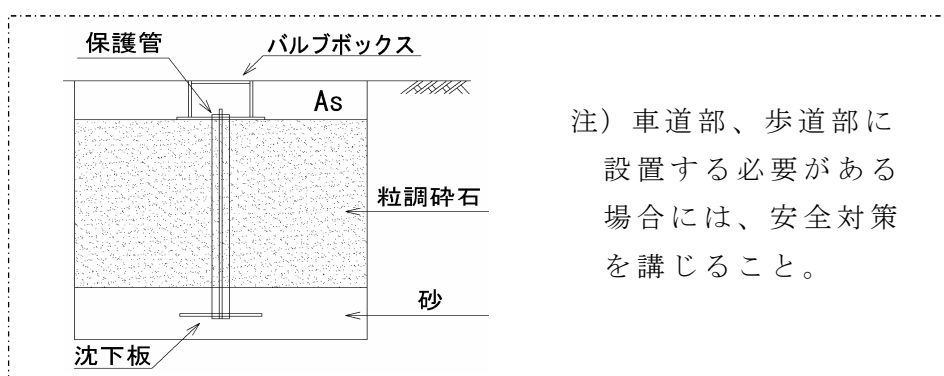
以下に地表面沈下管理に関係する一般事項を述べる。

＜基準点＞ 地表面沈下管理値・協議値を定める場合の地表高さは、シールド中心線上に基準点を設け測定すること。基準点間隔は40mとする。

＜沈下板＞ シールド中心線直上に、解説 図6-2に示す沈下板（路床部に設置）を設け、測定する。ただし、沈下板の設置位置は一般交通に支障を及ぼさない箇所とする。設置間隔は原則100mとする。

＜路面変状箇所調査＞ 路面に変状のある区間は、個別に調査測定する。

＜調査期間＞ 調査は、事前、事後、ならびに経過観察期間の1年目とする。ただし、経過観察期間1年目で変状がある場合は、その後も調査する。



解説 図6-2 沈下板概念

2) 調査方法

地表面沈下管理は、路面性状が良好か不良かによって異なる。下記に調査方法を示す。

①路面性状が良好な区間の調査方法

基準点における地表面沈下管理と沈下板による沈下管理を行う。

なお、良好な区間とは、目視等において路面変状が確認されず、道路管理者（出張所長）が良好な区間と判断した区間とする。

ただし、シールド工事施工により、路面性状の悪化が見られ、良好な区間より不良な区間へと路面性状が変化した場合には、下記の不良な区間の調査方法により実施すること。

②路面性状が不良な区間の調査方法

基準点における地表面沈下管理、ならびに沈下板による路床部沈下管理と併せて、路面変状箇所調査を行う。

路面変状箇所調査は、舗装試験法便覧に準じて実施し、地表面沈下管理は、算定式（式-1）により算出した協議値に基づいて行う。（式-1）のA、B、Cについては、解説 図6-3を参照すること。解説 表6-1に施工前の路面変状値（A）が異なる場合の地表面沈下協議値ならびに余裕値（地表面沈下協議値に達するまでの地表面沈下量）の算定例を示す。

なお、不良な区間とは、目視等において路面変状が確認され、道路管理者（出張所長）が不良な区間と判断した区間とする。

注）良好な区間と不良な区間の判断が困難な場合には、不良な区間として調査を実施すること。

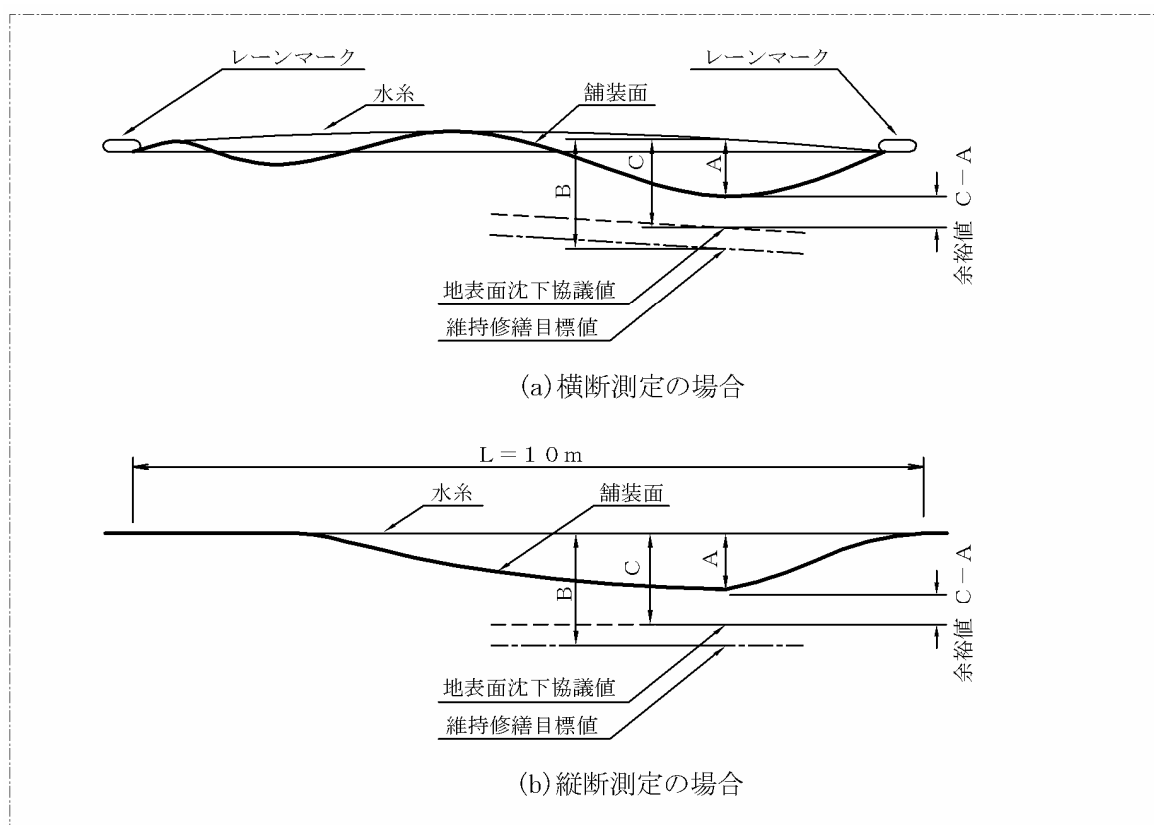
＜路面性状が不良な区間の地表面沈下協議値（C）の算定式＞

$$C = A + (B - A) \times 50\% \quad (\text{式-1})$$

A：施工前の路面変状値

B：維持修繕目標値（30 mm）

C：地表面沈下協議値



解説 図6-3 路面性状が不良な区間の（式-1）A、B、Cの定義

解説 表6-1 路面性状が不良な区間の地表面沈下協議値（C）
ならびに余裕値（C-A）の算定例

単位：mm			
施工前の路面変状値	維持修繕目標値	地表面沈下協議値	余裕値 ^{注)}
A	B	C	C-A
0	30	15	15
10	30	20	10
20	30	25	5
30	30	30	0

注）余裕値は地表面沈下協議値に達するまでの地表面地沈下量

(3) 空洞調査の方法

1) 調査時期

工事着手前（事前調査）、工事完成後（事後調査）および、事後調査終了後から観察期間終了までの経過観察期間中、1年毎に空洞調査を実施する。

2) 調査方法

空洞調査は、空洞探査車等により一次調査を実施し、その探査深度は1.5m以深とする。調査実施にあたっては、道路交通を妨げない様にする事。

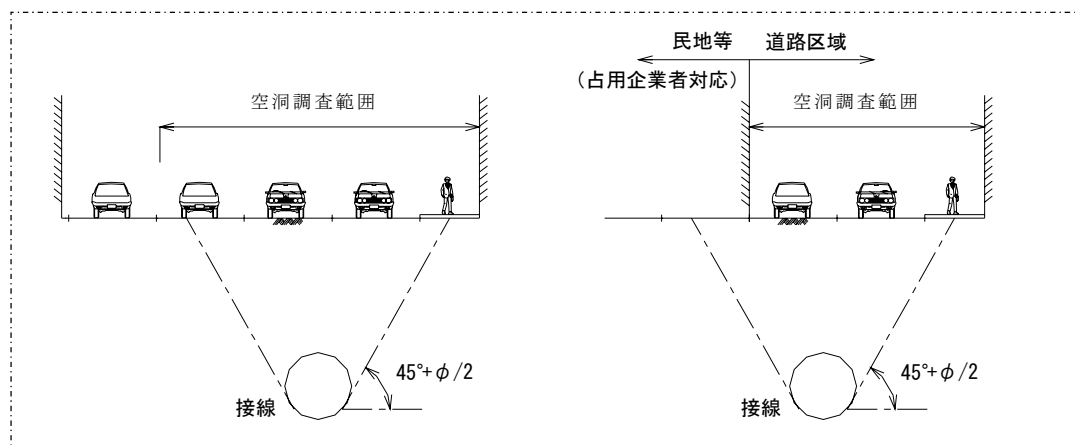
二次調査は、異常が認められた箇所においてボーリング調査等を実施し、空洞の有無、規模を確認する。

3) 調査断面

解説 図6-4に示す通り、シールド下部より $45^\circ + \phi/2$ (ϕ :土の内部摩擦角)の道路区域内の車線および歩道とする。土の内部摩擦角 ϕ は、一般的に砂質土が $\phi (= \phi_d) = 30 \sim 40^\circ$ 、粘性土が $\phi (= \phi_u) = 0 \sim 10^\circ$ である。ここに、 ϕ_d は圧密排水条件、 ϕ_u は非圧密非排水条件における土の内部摩擦角である。

4) 調査報告書（調査記録データ）

参考資料(4)に示す空洞調査記録(例)を参考として調査報告書を作成し、出張所長に報告、提出すること。



解説 図6-4 空洞調査断面

(4) 路面調査の方法

1) 調査時期

工事着手前（事前調査）と工事完成後（事後調査）、および事後調査終了後から観察期間終了までの経過観察期間中、1年毎に路面調査を実施する。

2) 調査方法

出張所長に計画書を提出し、協議すること。

3) 調査報告書

調査結果報告書を作成し、出張所長へ報告、提出すること。

7) 工事終了後の経過観察期間は、施工管理記録等の工事関係資料に基づいて、道路管理者と協議して定めること。

【 解 説 】 工事終了後、数年たって空洞・陥没等が発生することがある。空洞・陥没等の発生を予見、防止するために、経過観察期間を設定する。

(1) 経過観察期間の設定

経過観察期間は、工事終了時に原則として解説 図7-1のフローに従って決定する。

下記の空洞・陥没が起きやすい地盤条件や空洞・陥没の原因となる事象が生じた場合には、経過観察期間が長くなっている。ただし、シールド工事事故調査委員会等が組織された場合、経過観察期間の設定等は、当該委員会に委ねることとする。

<空洞・陥没が起きやすい地盤条件>

解説 図7-1に示す判定対象範囲（掘削断面とトンネル上部1Dを含む範囲）の土質が下記に示す土質であれば、空洞・陥没が起きやすいと考えられる。

- ・礫径200mmを超える巨礫がある場合。

巨石（礫径300mm以上）と粗石（礫径75mm～300mm以上）を含む地盤で、泥水式と泥土圧式シールドを適用するにあたっては検討を要する（土木学会「トンネル標準示方書」）。

- ・N値<5の粘性土地盤

一般にはN値0～4の地層を軟弱地盤としている。（地盤工学会「軟弱地盤対策工法」）

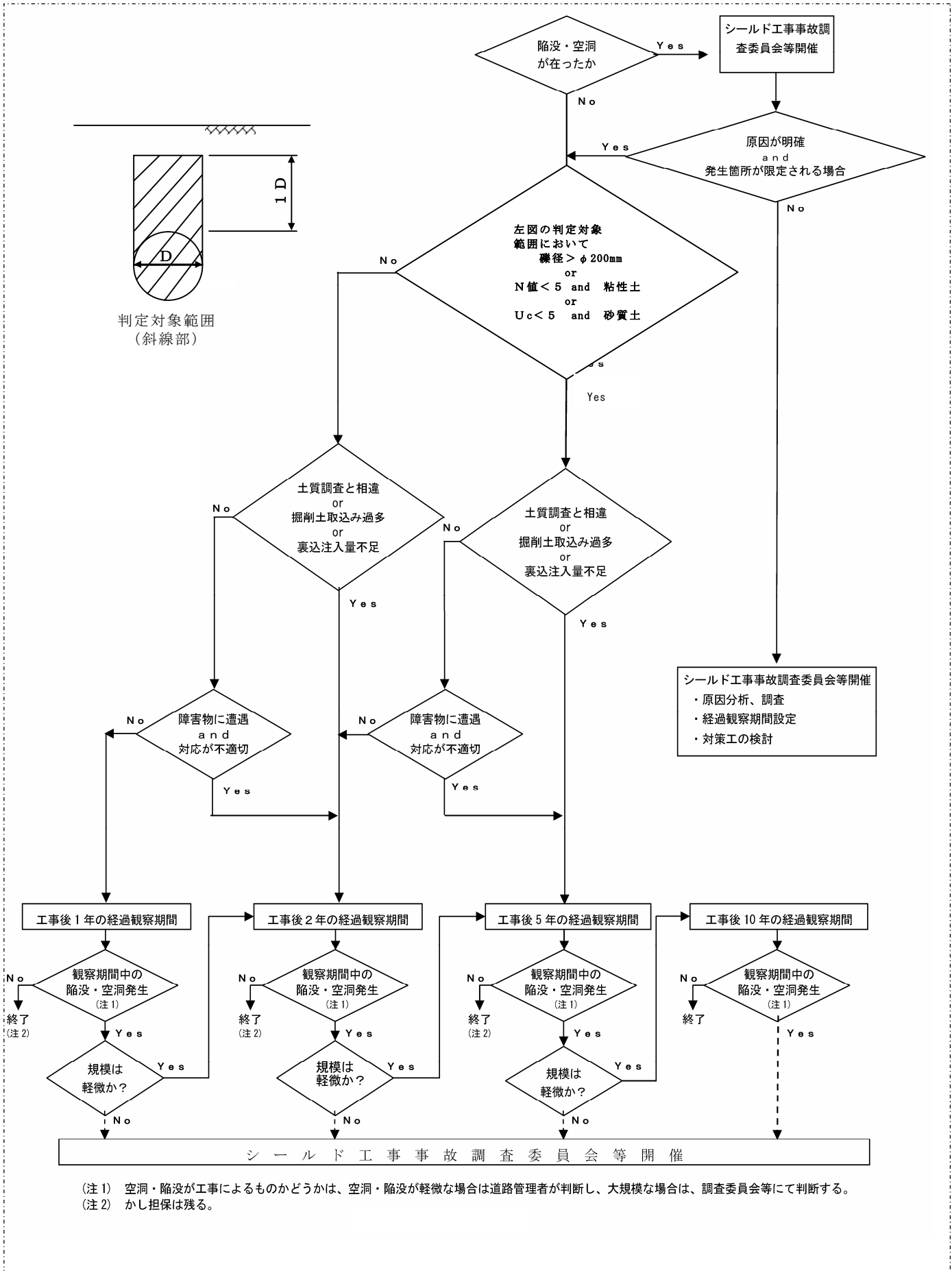
- ・均等係数 $U_c < 5$ の砂質土地盤

均等係数が小さい土は、粒径加積曲線が急立しており、粒度が均等である。一般に、 U_c が4～5以下の土は「粒度分布が悪い」（地盤工学会「土質試験の方法と解説」）と言われる。

<空洞・陥没の原因となる事象>

下記に示す事象が発生した場合は、空洞・陥没が起こりやすくなる。

- ・判定対象範囲の土質が事前調査と異なっていた場合
- ・掘削土量の取り込み過多があった場合
- ・裏込め注入量不足があった場合
- ・想定外の巨礫、流木、沈船、古井戸、その他障害物に遭遇した場合



(注1) 空洞・陥没が工事によるものかどうかは、空洞・陥没が軽微な場合は道路管理者が判断し、大規模な場合は、調査委員会等にて判断する。
 (注2) かし担保は残る。

解説 図 7-1 経過観察期間設定フロー

(2) シールド工事事務調査委員会等

経過観察期間設定フローの中のシールド工事事務調査委員会等の役割は、原因分析と調査、経過観察期間の設定、対策工の検討等を行って、事故の原因を技術的に分析することにより、事故の再発防止とシールド工事の安全で円滑な実施を図ることにある。

(3) 工事関係資料

「シールド工事占有許可条件(案)」7) 条における工事関係資料を下記に示す。

- 1) 施工記録
- 2) 掘進管理データ
 - ① 泥土圧式シールド
 - ・切羽土圧管理
 - ・加泥材注入管理
 - ・掘削土量管理
 - ・裏込め注入管理
 - ・その他
 - ② 泥水式シールド
 - ・泥水圧管理
 - ・泥水品質管理
 - ・掘削土量管理
 - ・裏込め注入管理
 - ・その他
- 3) 地表面沈下管理データ
- 4) 空洞調査データ
- 5) 路面調査データ
- 6) その他 施工報告書等

8) かし担保

シールド工事においては、かしが原因で道路が損傷した場合は、道路管理者の指示に従い、占用企業者の負担においてただちに補修すること。期間は5年間とする。ただし、故意、または重大な過失により生じた場合は10年間とする。

【 解 説 】 「シールド工事占用許可条件(案)」に示したかし担保は、道路占用工事共通仕様書および土木工事請負必携に記載された以下の条文を準用して定めている。

関連法規 道路占用工事共通仕様書 第3条

道路占用工事共通仕様書

(かし担保)

第3条 路面復旧工事完了後2箇年間に占用者等の施工した路面復旧工事のかしが原因で道路が損傷した場合は、道路管理者の指示に従い占用者の負担においてただちに補修しなければならない。
なお、推進工法による場合の期間は5年間とする。

関連法規 土木工事請負必携 第44条

土木工事請負必携

第44条 甲は、工事目的物にかしがあるときは、乙に対して相当の期間を定めてそのかしの修補を請求し、又は修補に代え若しくは修補とともに損害の賠償を請求することができる。ただし、かしが重要ではなく、かつ、その修補に過分の費用を要するときは、甲は、修補を請求することができない。

2 前項の規定によるかしの修補又は、損害賠償の請求は、第31条第4項又は第5項（第38条においてこれらの規定を準用する場合を含む。）の規定による引渡しを受けた日から2年以内に行わなければならない。ただし、そのかしが乙の故意又は重大な過失により生じた場合には、当該請求を行うことのできる期間は10年とする。

4. 確認事項チェックシート（案）

「確認事項チェックシート(案)」は、シールド工事による道路占用許可において、確認すべき事項をまとめたものである。

確認事項チェックシート(案)

占用工事名

占用企業者

項目	目	諸元	留意事項	
事前協議	工事概要	<input type="checkbox"/> シールド径	標準断面図添付	
		<input type="checkbox"/> シールド延長	平面図、縦断面図添付	
		<input type="checkbox"/> シールド形式	シールド形式による掘進管理項目の意に注意	
		<input type="checkbox"/> シールド構造	シールド構造図添付	
		<input type="checkbox"/> シールド線形	平面図、縦断面図添付	
	土質調査 (トンネル標準 示方書に準じる)	<input type="checkbox"/> 最大土被り、最小土被り	横断面図添付	
		<input type="checkbox"/> ボーリング調査位置(ボーリング間隔)	ボーリング調査間隔を確認し地層想定図の作成根拠を確認 100m～200mを標準	
		<input type="checkbox"/> 地盤急変部の有無	断層や土質急変部では、追加ボーリング等により調査間隔を小さくし地盤状況の精査	
		<input type="checkbox"/> 土質性の確認	基本的な土質状況(砂質土 or 粘性土)の確認	
		<input type="checkbox"/> 巨礫、玉石の有無 <input type="checkbox"/> 地下水位	礫径、玉石径を確認、排土設備の閉塞に注意 古地図等による過去の河川や地形状況の把握 地下水位が高い場合は、噴発等に対する注意	
事前空洞調査	事前空洞調査	<input type="checkbox"/> 均等係数の大きさ	潜水砂質土で均等係数の小さい場合は、地下水と共に取込みやすいため注意	
		<input type="checkbox"/> 軟弱粘性土の有無	粘性土の強度を確認。N値5以下では、土砂の取込み過多や流動化に注意	
		<input type="checkbox"/> 調査方法の確認	空洞調査の調査方法や調査可能範囲等の確認	
		<input type="checkbox"/> 工事開始前の空洞の有無確認	工事開始前の空洞の有無を確認 空洞がある場合は対応策を検討	
		<input type="checkbox"/> 地上、地下構造物等の有無	地上、地下構造物構築による地盤の緩みに注意 施工時期等の確認	
	支障物件調査	<input type="checkbox"/> 地下埋設物の有無	地下埋設物施工時による地盤の緩みに注意 施工時期等の確認	
		<input type="checkbox"/> 井戸、古井戸の有無	井戸の埋め戻し等による地盤の緩みに注意 設置、撤去時期等の確認	
		<input type="checkbox"/> 工程表	工事全体の施工時期を確認	
		<input type="checkbox"/> シールド継続停止の有無の確認	再発進時には地盤の締め付け等によるシールド日進量の低下と掘削土の取り込み過多に注意 シールド機が停止する場合は、停止位置、時期、停止時の切羽保持方法、再発進方法等を確認	
		<input type="checkbox"/> シールド掘進管理項目の確認	泥土圧式シールド 切羽土圧管理、加泥材注入管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他 泥水式シールド 泥水圧管理、泥水品質管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他	
施工時協議	全体計画	<input type="checkbox"/> 計測計画	事前、施工時、事後の計測方法と計測位置、計測頻度、計測時期・期間を確認 工事による影響前における温度変化あるいはその他の要因による自然変動を予め把握	
		連絡・協議体制	<input type="checkbox"/> 地上の地表面沈下管理値の確認	施工上の地表面沈下管理値の確認
			<input type="checkbox"/> 道路管理者と協議	シールド掘進中断等が必要と考えられる地表面沈下協議値を設定
			<input type="checkbox"/> 施工時の報告事項の確認(掘進管理データ、沈下計測データ、マシントラブルの有無、シールド機停止の有無)	施工時の報告事項の確認(掘進管理データ、沈下計測データ、マシントラブルの有無、シールド機停止の有無)
		施工管理	<input type="checkbox"/> 緊急時の連絡体制の確認	緊急時の連絡体制、協議体制の確認
	<input type="checkbox"/> 掘進管理項目データの週ごとに報告		掘進管理項目データを週ごとに報告	
	<input type="checkbox"/> 泥土圧式シールド 切羽土圧管理、加泥材注入管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他		泥土圧式シールド 切羽土圧管理、加泥材注入管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他	
	<input type="checkbox"/> 泥水式シールド 泥水圧管理、泥水品質管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他		泥水式シールド 泥水圧管理、泥水品質管理、掘削土量管理、裏込め注入管理、その他	
	<input type="checkbox"/> 岩、断層、玉石の出現やシールド掘削下部地山が硬質土に変化する等、土質の急変状況の報告と確認		岩、断層、玉石の出現やシールド掘削下部地山が硬質土に変化する等、土質の急変状況の報告と確認	
	事後協議	計測	<input type="checkbox"/> トラブルの確認	スキャベンジャア等排土設備からの番発や閉塞、シールド機の停止、ケーブル・セグメントの破損等、施工時トラブルの報告と協議の実施
<input type="checkbox"/> 沈下計測結果の確認			急激なデータの変化の有無や沈下量の収束傾向の確認	
<input type="checkbox"/> 事故時の体制の確認			緊急時連絡体制、協議体制、通行車両、通行者緊急保護対策、応急処置、復旧などの体制の確認	
<input type="checkbox"/> 計測			影響工完了後の路面の性状を追跡監視し地表面沈下量の収束を確認	
<input type="checkbox"/> 路面沈下の収束を確認後、事後空洞調査により空洞の有無を確認			路面沈下の収束を確認後、事後空洞調査により空洞の有無を確認 空洞が確認された場合は対策を実施	
事後事故対応		<input type="checkbox"/> 1年後の再調査	1年後に空洞の有無を確認	
		<input type="checkbox"/> 占用終了後の体制確認	緊急時連絡体制、協議体制、通行車両、通行者緊急保護対策、応急処置、復旧などの体制の確認	
		その他		

参考資料(1) 沈下と空洞・陥没

沈下と空洞・陥没

沈下と空洞・陥没の相違

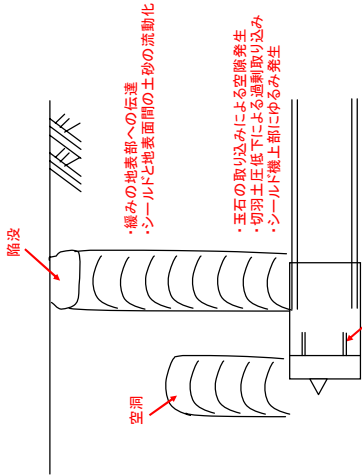
特徴	沈下		空洞・陥没	
	普遍的	局所的	部分的	局所的
	土砂の流亡に至っていない			
概要図				
	掘進管理不足 ・排土量 ・裏込注入量 土質変化による統計処理不能	掘進管理不足 ・排土量 ・裏込注入量 土質変化による統計処理不能	巨礫等の閉塞によるトラブル 土質急変	巨礫等の閉塞によるトラブル 土質急変
上部地盤硬質土	沈下量小	陥没可能性小	陥没可能性小	
上部地盤軟弱土	沈下量大 ただし取り込み過小の場合は隆起が起こる。	陥没可能性大	陥没可能性大	
上部地盤細砂	沈下量中	陥没可能性大	陥没可能性大	
掘削対象地盤 巨礫混り砂礫	沈下量が大きくなりやすい	トラブルが起こりやすく陥没可能性大	トラブルが起こりやすく陥没可能性大	
対策	掘進管理により沈下量低減可能	土質により事前の対策必要 トラブル発生時のマニュアル確保 沈下測定間隔、ピッチを密にする。	土質により事前の対策必要 トラブル発生時のマニュアル確保 沈下測定間隔、ピッチを密にする。	

【空洞・陥没】

陥没とは、シールドの掘進によってシールド上部または周辺の土砂を過多に取り込みすぎることや、坑内への土砂の噴発などにより、地表面付近の土砂がシールド方向に流動し、地表面に穴が空くことをいう。空洞はシールドと地表面の間の地山の一部が流亡している状態である。

陥没発生過程

- (1) 掘削土の取り込み過多や裏込注入不足により、シールド直上部に空洞発生
- (2) 空洞部上部の地山から軟弱粘性土や均等係数の小さい砂が、空洞部へ流入
- (3) 空洞が上部へ移動
- (4) 空洞部が上部へ移動するに伴い、地表沈下量が増大
- (5) 地表付近まで空洞が上がると、地表部が陥没



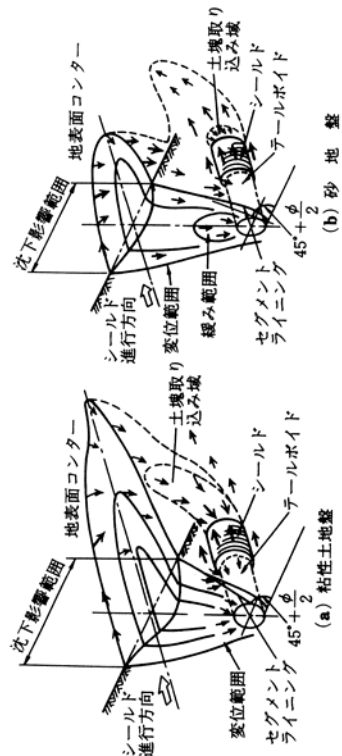
・掘削土の地表部への伝達
・シールドと地表面間の土砂の流動化

・玉石の取り込みによる空隙発生
・切羽土圧低下による過剰取り込み
・シールド機上部にゆるみ発生

掘進状況
・トラブル等によるマンシンの停止、再発進
・スクリーコンベンからの噴発等

【沈下】

沈下とは、シールドの掘進によって切羽および、セグメント周辺の地山が一時的に解放されたことにより地盤がゆるみ、地表面が沈下することを言う。地山の解放は、泥水や泥土圧による抵抗、裏込注入の充填が適切に実施されたことにより収まるが、緩みが地表面に伝達されるまでに時間がかかり、地表沈下がシールド通過後一定期間まで続く。地山の取り込み過多や、裏込注入不足などの管理不十分では、地表沈下量が大きくなる。地表沈下が収束しない場合は、陥没の可能性があると考えられる。地表沈下は、シールドと地表面の間の土砂が、流亡に至っていない状態での挙動をいう。



出典：「シールド工法入門」(社團法人地盤工学会)

参考資料(2) 空洞・陥没の分析

空洞・陥没原因のグルーピング

空洞・陥没発生メカニズム

空洞・陥没原因の分析

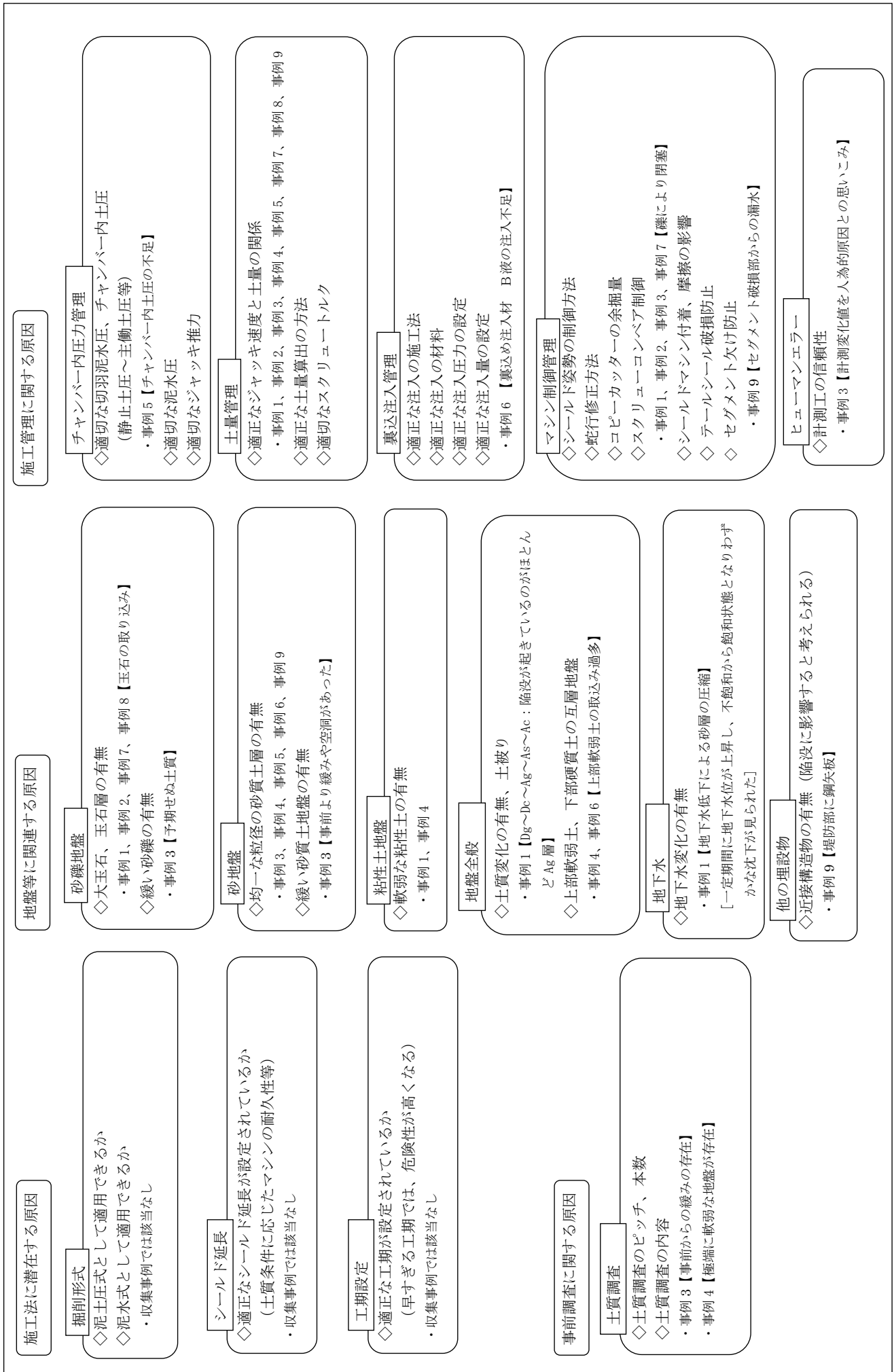
空洞・陥没と土質の関係

空洞・陥没の原因事象

カッターヘッドの形態分類と適用事例

経過観察期間シミュレーション

空洞・陥没原因のグルーピング



空洞・陥没発生メカニズム

◎【事例 1】

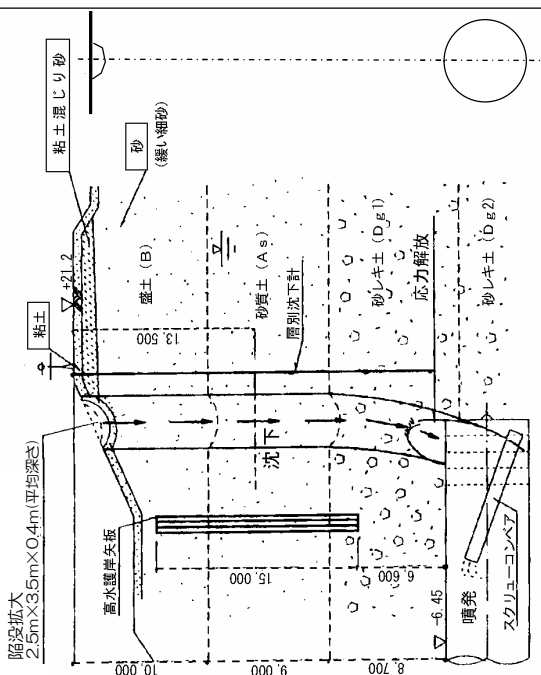
- ・スクリーコンベアの閉塞に伴う掘進停止後、再掘進時切羽土圧低下による過剰取り込み
- ・玉石の取り込みに伴う空隙の発生
- ・シールド掘進時の振動による緩く体積した玉石混じり礫地盤の沈下

◎【事例 2】

- ・掘進中に玉石、スクリーコンベアの閉塞が見られた
- ・チャンバ内内の玉石のかみ込みによる

◎【事例 3】

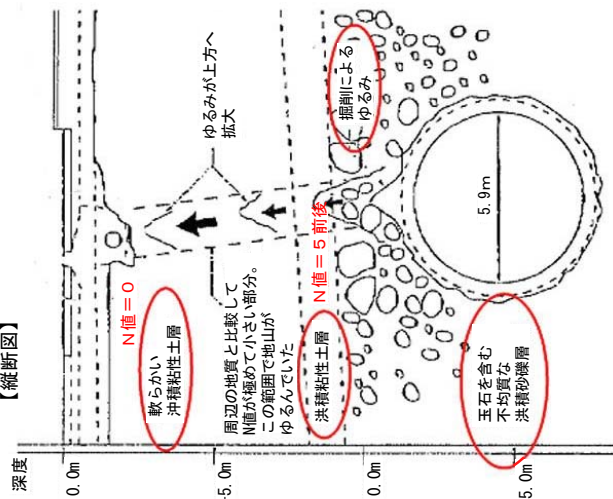
- ・地表面付近の潜在的な緩み領域の存在
- ・予期し得ない地盤条件との遭遇
- ・スクリーコンベアからの噴発の発生・土砂の過剰取り込み



◎【事例 4】

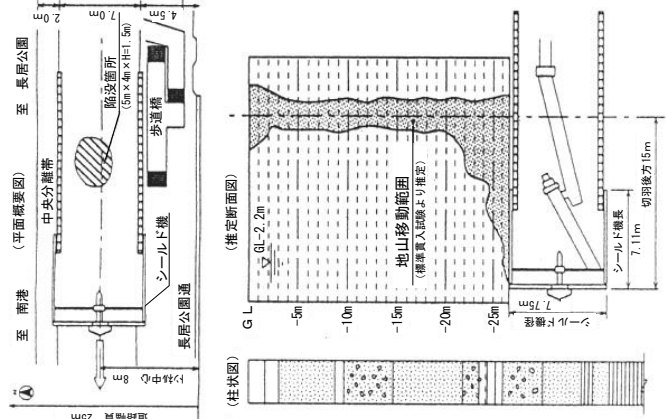
- ・礫により送泥管が3回閉塞
- ・シールド機上部の空隙の多い地盤にゆるみが発生
- ・事後ボーリングによりシールド直上から地表近くまで、円筒状の地山のゆるみが判明

【縦断面図】



◎【事例 5】

- ・事後のボーリング調査より、陥没部のN値がシールド位置まで連続して低下しているため、掘削の影響が推察される
- ・崩壊箇所付近は、「長居断層」に沿う破碎領域で、特異な地質状況であった
- ・掘削は、連休(GW)等により著しい断続運転であった
- ・マシン停止時のチャンバ内土砂充填が不十分で、その空隙が地山土砂と入れ代わり異なる土質状況のもとで、地山の崩壊が一箇所に集中した



【空洞・陥没の発生メカニズム】

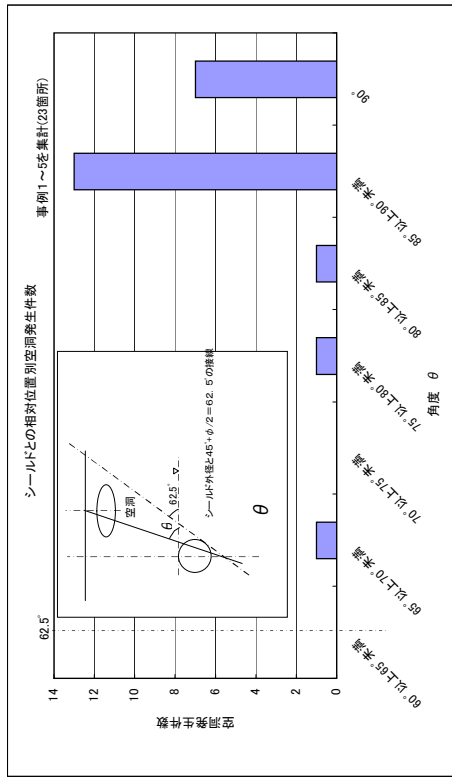
空洞・陥没は、シールドと地表面の間の地山の一部分が塑性流動している状態にあると考えられる

- ・シールドの掘進によるシールド上部または周辺の土砂の過多の取り込み(特にマシントラブルや連休等による掘進停止と再発進の繰り返し時等)
 - ・坑内への土砂の噴発
- などにより、シールド上部から地表付近までの土砂がシールド方向に流動化することにより、地表面付近の空洞発生や地表面に穴があく状態になると考えられる

空洞・陥没原因の分析

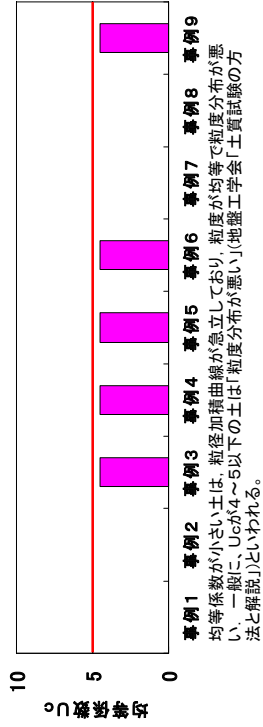
空洞・陥没分析結果

シールド工事による空洞・陥没の発生位置、発生経過年数、土質別の発生頻度等について、グラフにしたのが下図である。
これらの事例が、空洞探索範囲、経過観察期間やその設定方法に土質条件を考慮することなどを決定した基礎資料である。



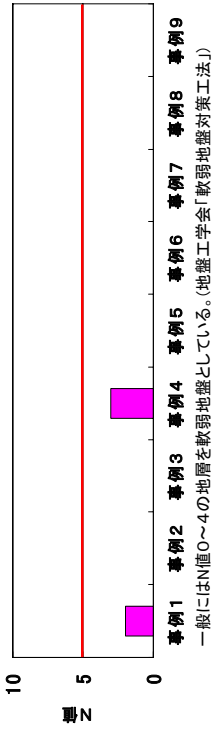
砂質土

陥没箇所の均等係数



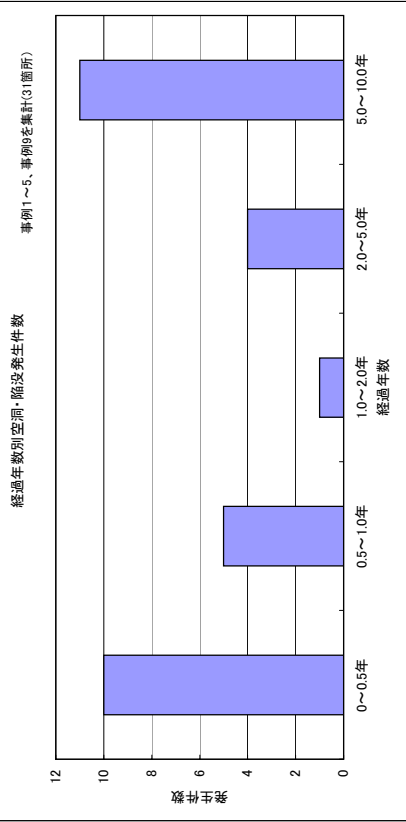
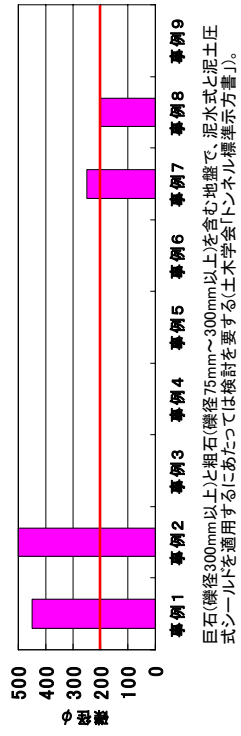
粘性土

陥没箇所のN値



砂礫質土

陥没箇所の礫径φ



空洞・陥没状況の整理

シールド工事による空洞・陥没が発生した事例を集計、分析した結果、収集した9事例のうち、5事例は詳細な空洞・陥没の位置、大きさのデータが得られ、6事例はシールド工事期間との関係が判る空洞・陥没の発生時期のデータが得られた。

1. 空洞発生位置について

事例のシールド外径と $45^\circ + \phi/2 = 45^\circ + 35^\circ/2 = 62.5^\circ$ の接線とシールドセンターの鉛直線の交点と陥没中心位置の直線と水平線のなす角度 θ を算出した。その結果、最も緩い角度でも 67.4° であり、 $45^\circ + \phi/2 = 62.5^\circ$ から 90° の中で空洞・陥没が発生していた。なお、摩擦角 ϕ については、土質条件により異なっており、せん断試験、三軸圧縮試験などにより測定するが、ここでは詳細は不明であるため、一般的な下記の値で算出した。事例1と事例2については砂質土の 35° を採用した。
砂質土: $\phi 30 \sim 35^\circ$ 、粘性土: $\phi 15 \sim 20^\circ$

2. 空洞・陥没発生時期について

各事例の空洞・陥没は、事例1、2、4については施工後に、事例3、5、9については掘進中に発生した。これら、6事例からまとめた結果、シールド掘進終了後、7年にわたって陥没がみられた。

事例3

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	砂礫 均等係数未満 (想定)	0.00	35.07	90.0	2.5	3.5	0.4	陥没	原因は地質調査不足と、それに伴う管理不足によってシールドセンターからの傾斜による掘削土取り込み過多

事例4

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	上部: 沖積粘土層 下部: 粗粒砂礫層	2.20	21.29	78.9	直径0.85m \times 1.1m			陥没	原因は地質調査不足と、管理不足によって陥没面の圧力バランス不均衡による掘削土取り込み過多

事例5

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	砂礫層 均等係数未満 (想定)	0.00	37.25	90.0	5.0	4.0	1.5	陥没	原因は管理不足によるシールド内への土砂充填不足となった掘削土取り込み過多

事例6

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	土が溜り、砂礫 均等係数未満 (想定)	不明	不明	不明	詳細不明、地表面下(家屋への影響)が発生			不明	原因はシールド掘削の調整ミスによる掘削土取り込み過多

事例7

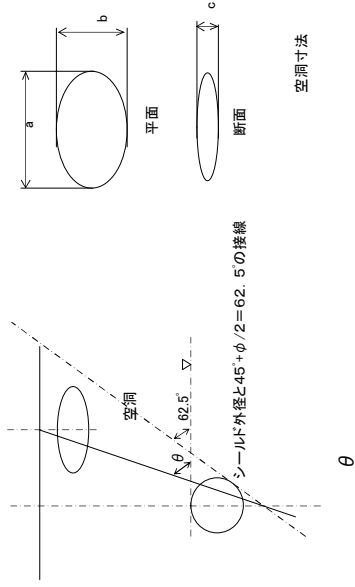
空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	砂礫層 粒径 $\phi 250$ mm	不明	不明	不明	16.0	16.0	0.45	陥没	原因は管理不足の噴出による掘削土取り込み過多

事例8

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	砂礫層 粒径 $\phi 200$ mm (想定)	不明	不明	不明	10.0	4.0	0.5	陥没	原因は管理不足の掘削土取り込み過多

事例9

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法(m)			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	沖積砂礫 均等係数未満 (想定)	不明	不明	不明	2.5	2.0	1.5	陥没	原因は、構架振盪時の管理不足によるシールド内土工圧低下による掘削土取り込み過多



陥没発生時期の集計

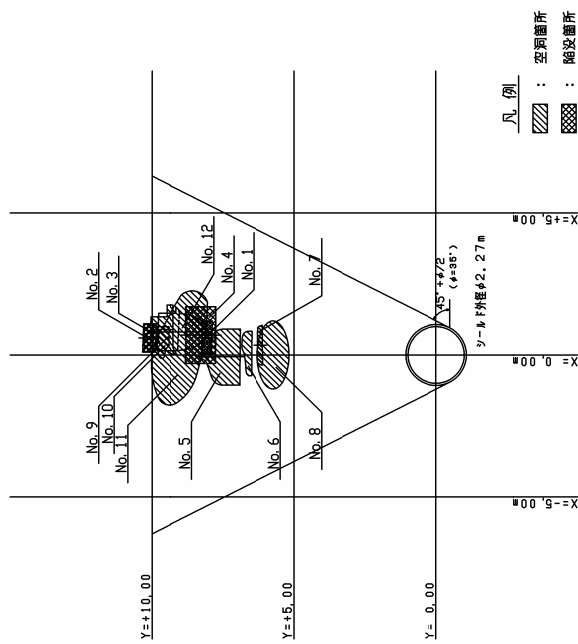
発生時期	陥没箇所数
0~0.5年	10
0.5~1.0年	5
1.0~2.0年	1
2.0~5.0年	4
5.0~10.0年	11
計	31

事例2

空洞・陥没 No.	土質	空洞位置			空洞寸法			状況	空洞・陥没発生原因
		L	D	θ	a	b	c		
1	不明	0.00	不明	—	1.00	1.10	0.04	空洞	原因は掘進中の玉石によるスクリーンコンベアの閉塞及び掘削土量管理が原因となり、掘削土取り込み過多
2	不明	0.00	不明	—	0.50	0.80	0.14	空洞	
3	不明	1.00	不明	—	1.50	1.00	0.94	空洞	
4	不明	—	不明	資料不明	—	—	—	空洞	
5	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.00	8.61	90.0	0.6	0.60	0.26	約3.9年	
6	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	3.60	8.65	67.4	1.2	0.80	0.14	約5.9年	
7	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.30	8.54	88.0	0.6	1.00	0.25	約3.9年	
8	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	1.22	8.36	81.7	0.6	1.00	0.21	約3.9年	
9	不明	—	不明	資料不明	—	—	—	空洞	
10	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.46	11.12	87.6	0.7	2.00	0.33	約5.9年	
11	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.41	11.50	88.0	0.5	1.50	0.50	約5.9年	
12	不明	1.50	不明	—	1.0	1.10	0.01	約7.0年	
13	不明	1.00	不明	—	1.6	1.00	0.88	約7.0年	
14	不明	1.00	不明	—	0.6	2.00	0.08	約7.0年	
15	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.00	12.63	90.0	0.9	2.20	0.08	約7.0年	
16	砂礫 粒径 $\phi 300 \sim 500$ mm	0.00	8.19	90.0	0.8	0.50	0.11	約7.0年	
17	不明	1.60	不明	—	0.8	1.10	0.09	約7.0年	

凡例

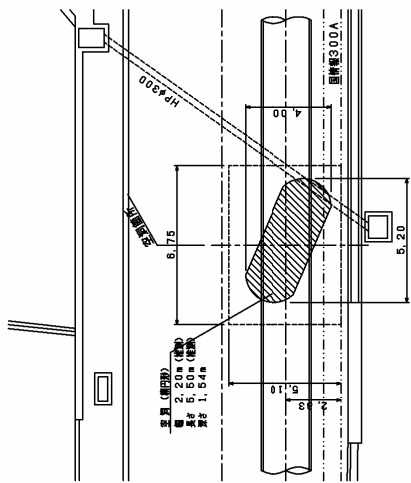
【事例1 空洞・陥没分布図】



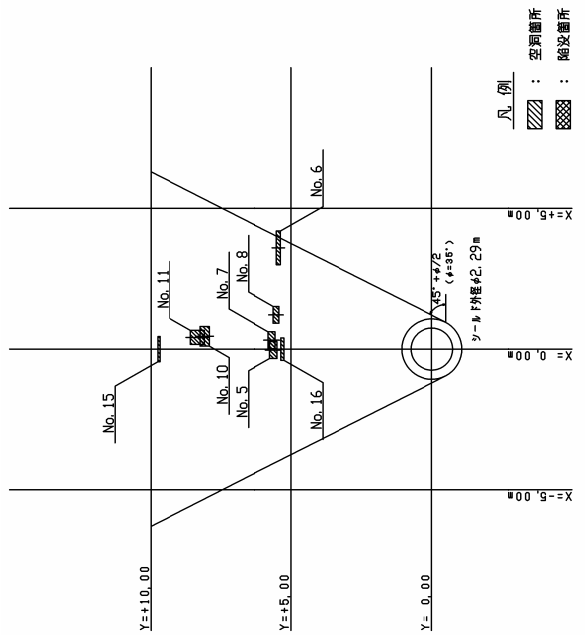
【事例1】(代表箇所)

HI7.6.2 kp538.355

平面図



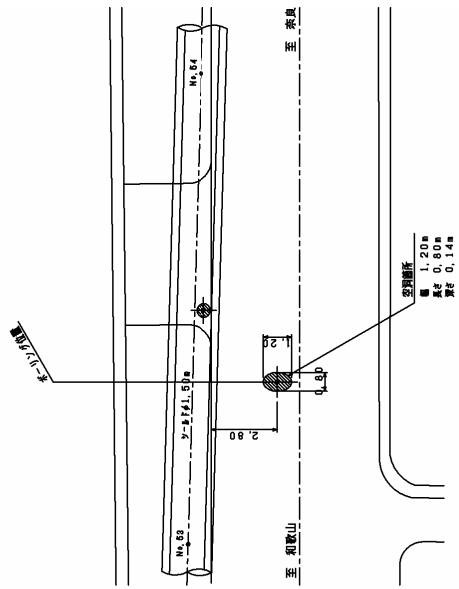
【事例2 空洞・陥没分布図】



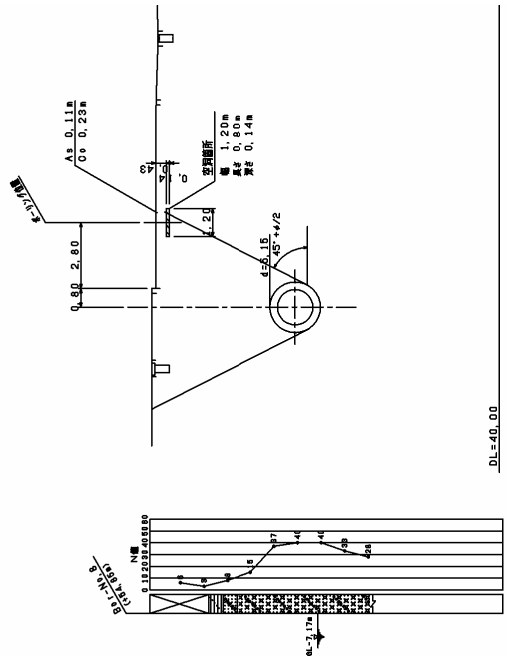
【事例2】(代表箇所)

HI6.11.10 kp105.151

平面図



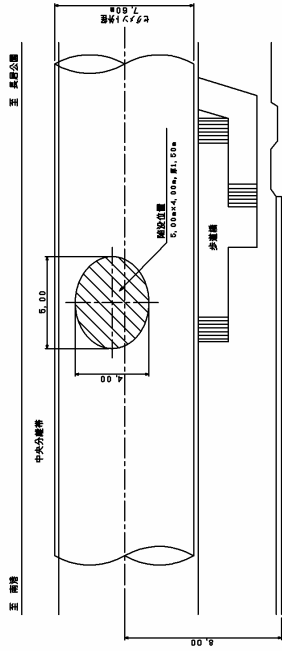
No. 53



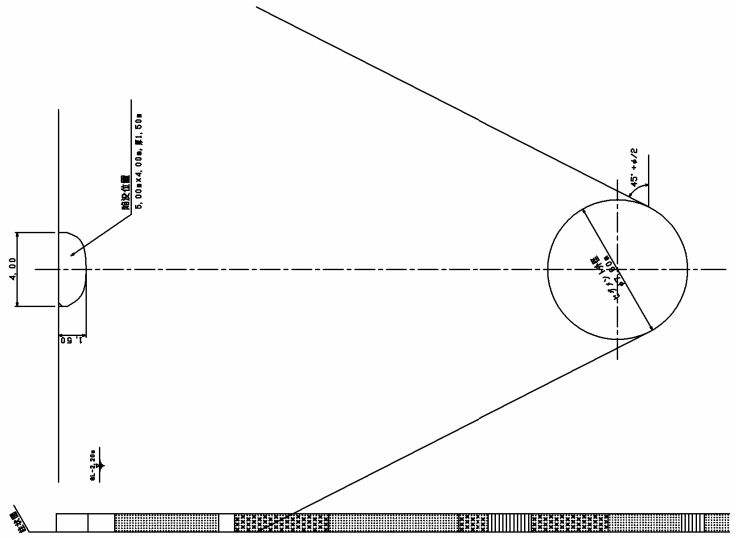
DL=49.00

【事例5】

平面図

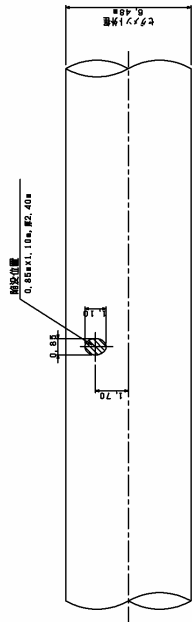


断面図

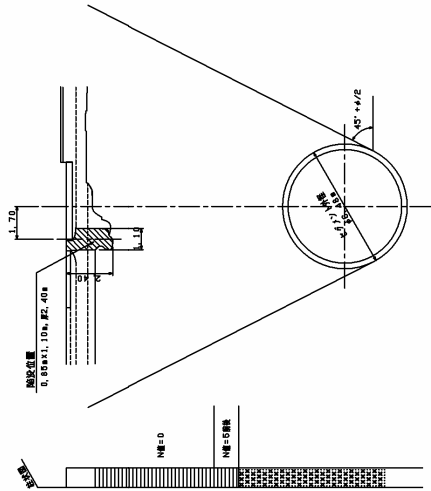


【事例4】

平面図

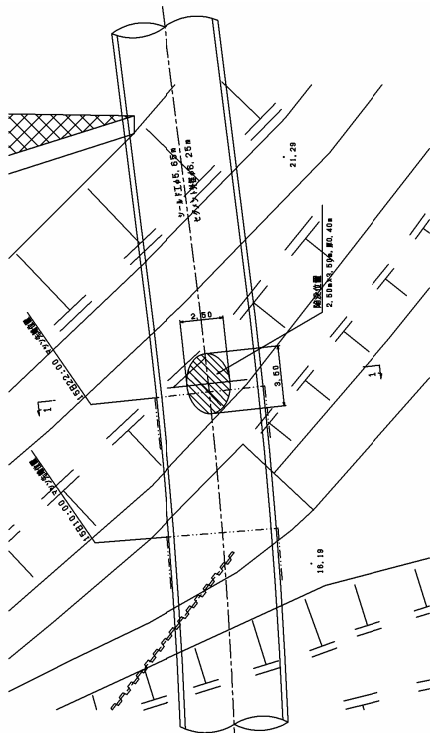


断面図

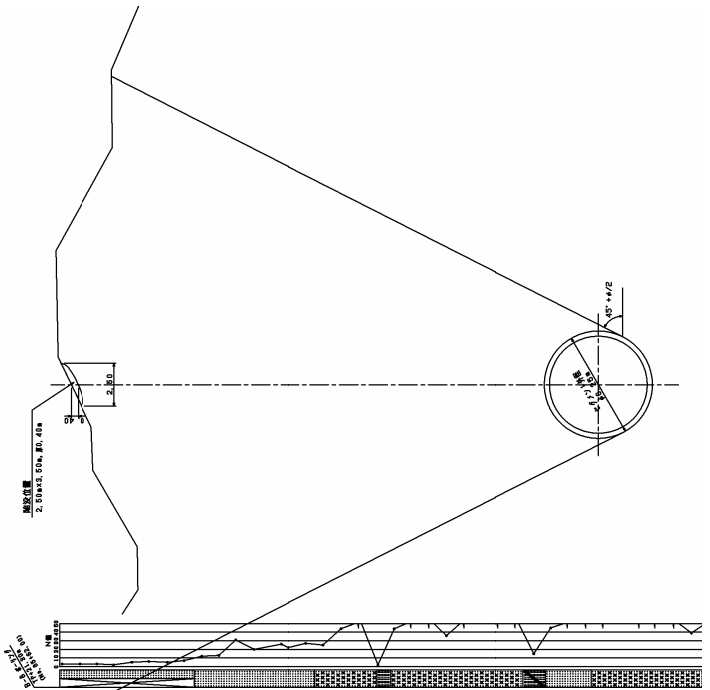


【事例3】

平面図



断面 1-1



空洞・陥没と土質の関係

陥没の可能性が高い土質について整理した。

【トンネル直上～1D間の土質】

均等係数の大きな砂質土、粘着力の大きな粘性土は自立性が高く、地山が流動化する可能性は小さいと考えられる。

☆陥没の可能性が懸念される土質

◎滞水細砂 (均等係数 5 未満、細粒分 15%以下)

◎軟弱粘性土 (N 値 5 未満)

【掘削対象土質】

均等係数の大きな砂質土、粘着力の大きな粘性土は自立性が高く、地山が流動化する可能性は小さいと考えられる。

礫径が小さい場合は、トラブルが少ない。

☆陥没の可能性が懸念される土質

◎砂質土 (均等係数 5 未満、細粒分 15%以下)
均等係数が小さい土は、粒径加積曲線が急立しており、粒度が均等で粒度分布が悪い、一般に、Ucが4～5以下の土は「粒度分布が悪い」(地盤工学会「土質試験の方法と解説」と)といわれる。

◎軟弱粘性土 (N 値 5 未満)

一般には N 値 0～4 の地層を軟弱地盤としている。(地盤工学会「軟弱地盤対策工法」)

◎巨礫混じり砂礫層(径 200mm オーバーの礫を含む)

巨石(礫径 300mm 以上)と粗石(礫径 75mm～300mm 以上)を含む地盤で、泥水式と泥土圧式シールドを適用するにあたっては検討を要する。(土木学会「トンネル標準示方書」)

◎ 上記地盤を含む互層

陥没の可能性の高い土質と陥没原因

掘削対象土質 土質		特徴		陥没原因	事例1 泥土圧	事例2 泥土圧	事例3 泥土圧	事例4 泥水式	事例5 泥土圧	事例6 泥土圧	事例7 泥土圧	事例8 泥土圧	事例9 泥土圧
砂質土	均等係数 Uc<5 細粒分 15%以下	シールドが脛締めにより前進せず、掘削土取り込みが過多	○	スクリーコベンバからの噴発									
					停止中のジャッキ張り忘れによるシールド後退								
粘性土	N 値< 5	テールシールド破損による坑内への土砂流出	○	セグメントの欠け等による坑内への土砂流出						Uc< 5 (想定)			
					細砂、軟弱粘性土崩壊による掘削土量管理不足								
巨礫 混じり 砂礫	礫径 > φ 200mm	裏込注入管理不足	△	チャンバー内の礫滞留により前進せず、掘削土取り込みが多くなる									
					スクリーコベンバの礫による閉塞、噴発								
		排泥管の礫による閉塞、トラブル解除で掘進管理不能を招く	○	最大礫径 φ 500～300mm の巨礫が多い。									
					巨礫により掘進速度低下となり掘削土量管理不足								
		テールシールド破損による坑内への土砂流出	○	セグメントの欠け等による坑内への土砂流出									
					裏込注入管理不足								
		セグメントの欠け等による坑内への土砂流出	○	N=1～2(実測)									
					裏込注入管理不足								
		テールシールド破損による坑内への土砂流出	○	N=3(実測)									
					裏込注入管理不足								
		チャンバー内の礫滞留により前進せず、掘削土取り込みが多くなる	△	△									
					スクリーコベンバの礫による閉塞、噴発								
		排泥管の礫による閉塞、トラブル解除で掘進管理不能を招く	○	礫径 φ 500～300mm の巨礫が多い。									
					巨礫により掘進速度低下となり掘削土量管理不足								
		テールシールド破損による坑内への土砂流出	○	最大礫径 φ 450mm									
					セグメントの欠け等による坑内への土砂流出								
		裏込注入管理不足	△	△									
					スクリーコベンバの礫による閉塞、噴発								

注 ○：主原因と推定される項目 △：原因の1つと推定される項目

空洞・陥没の原因事象

【主な空洞陥没原因事象】

- ◎ 掘削対象土質が事前調査と異なる。
- ◎ 掘削土量の取り込み過多
- ◎ 裏込め注入量不足
- ◎ 想定外の巨礫、流木、沈船、古井戸、その他障害物に遭遇

主な原因事象別の空洞、陥没発生事例

陥没原因	事例1 泥土圧	事例2 泥土圧	事例3 泥土圧	事例4 泥水式	事例5 泥土圧	事例6 泥土圧	事例7 泥土圧	事例8 泥土圧	事例9 泥土圧
掘削対象土質が事前調査と異なっている(地質調査不足・・・極端に緩い土質の存在等)		○		○					
掘削土量の取り込み過多(○内数字は下記の注を参照)	①	②	②	①③	①		②	①	①
裏込め注入量不足(事例6・・・B液不注入)						○			
想定外の巨礫、流木、沈船、古井戸、その他障害物と遭遇(事例9・・・横矢板)									○

注) ○：主原因と推定される項目

①切羽土圧低下による取り込み過多、②スケルトンパイルの閉塞・噴発による取り込み過多、③均等係数の小さい土砂の取り込み過多(泥水式)

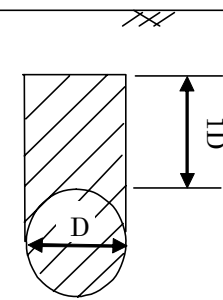
カッターヘッドの形態分類と適用事例

カッターヘッドの形態分類と適用事例

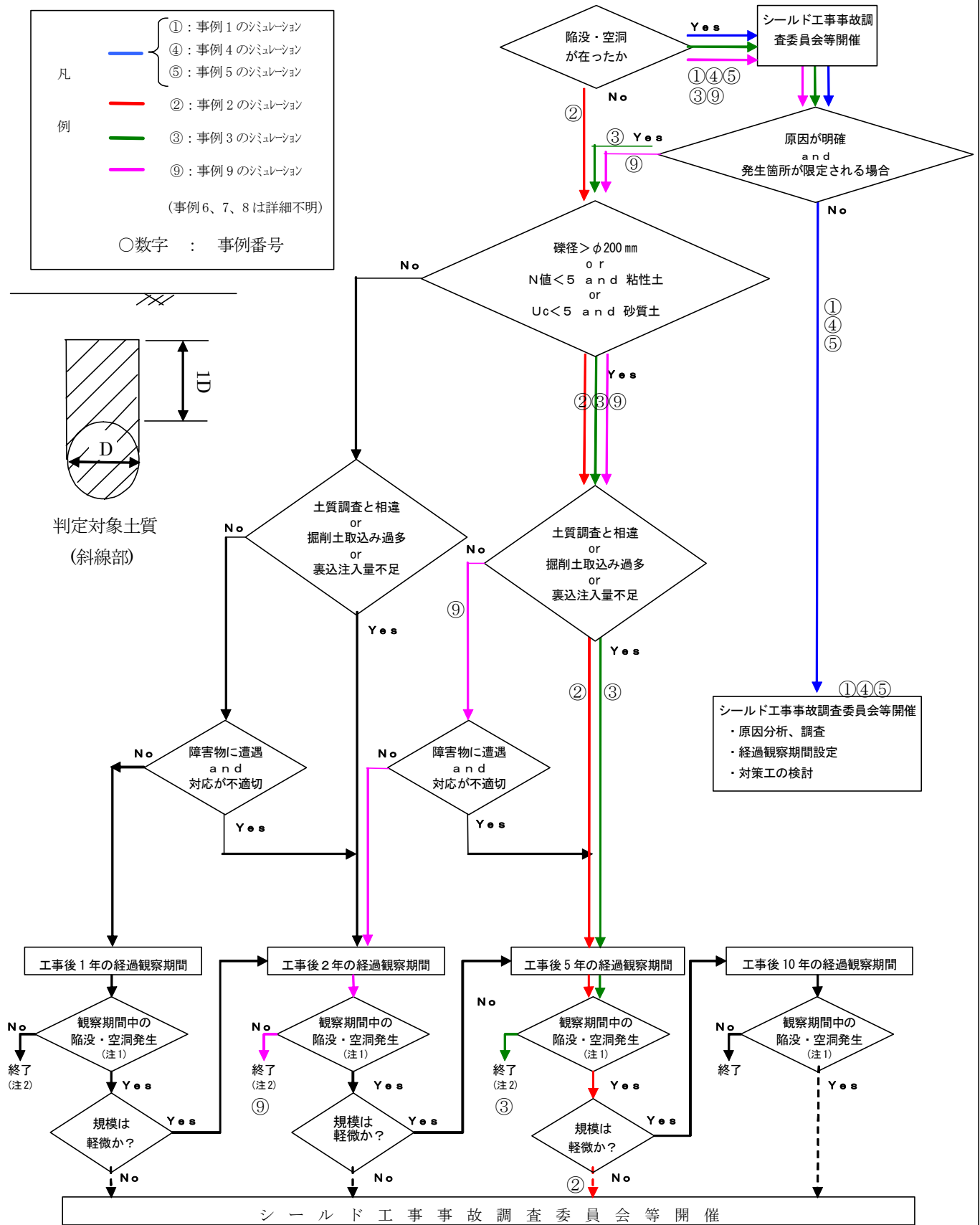
シールド形式	カッターヘッド形状		適用土質	事例1	事例2	事例3	事例4	事例5	留意事項
	正面形態	断面形態							
泥水式	面板型	フラット型	細粒土全般・砂礫						
		セミドーム型 ドーム型	巨礫・岩盤		(上部軟弱) ○ (セリム型)				・上部土砂の取り込み
泥土圧式	面板型	フラット型	細粒土全般・砂礫	(玉石) ○		(特殊地盤) ○		(断層) ○	・上部土砂の取り込み ・面板とチャンバー間で泥土の閉塞や空洞箇所が発生し、泥土充填不十分となり加圧不足になる
		セミドーム型 ドーム型	巨礫・岩盤		(巨礫) ○ (ドーム型)			・上部土砂の取り込み ・面板とチャンバー間で泥土の閉塞や空洞箇所が発生し、泥土充填不十分となり加圧不足になる	
	スポーク型	フラット型	細粒土全般・砂礫						・上部土砂の取り込み

※ 事例6～9 はカッターヘッド形状が不明

- 凡例
- ①：事例1のシミュレーション
 - ④：事例4のシミュレーション
 - ⑤：事例5のシミュレーション
 - ②：事例2のシミュレーション
 - ③：事例3のシミュレーション
 - ⑨：事例9のシミュレーション
- (事例6、7、8は詳細不明)
- 数字：事例番号



判定対象土質
(斜線部)



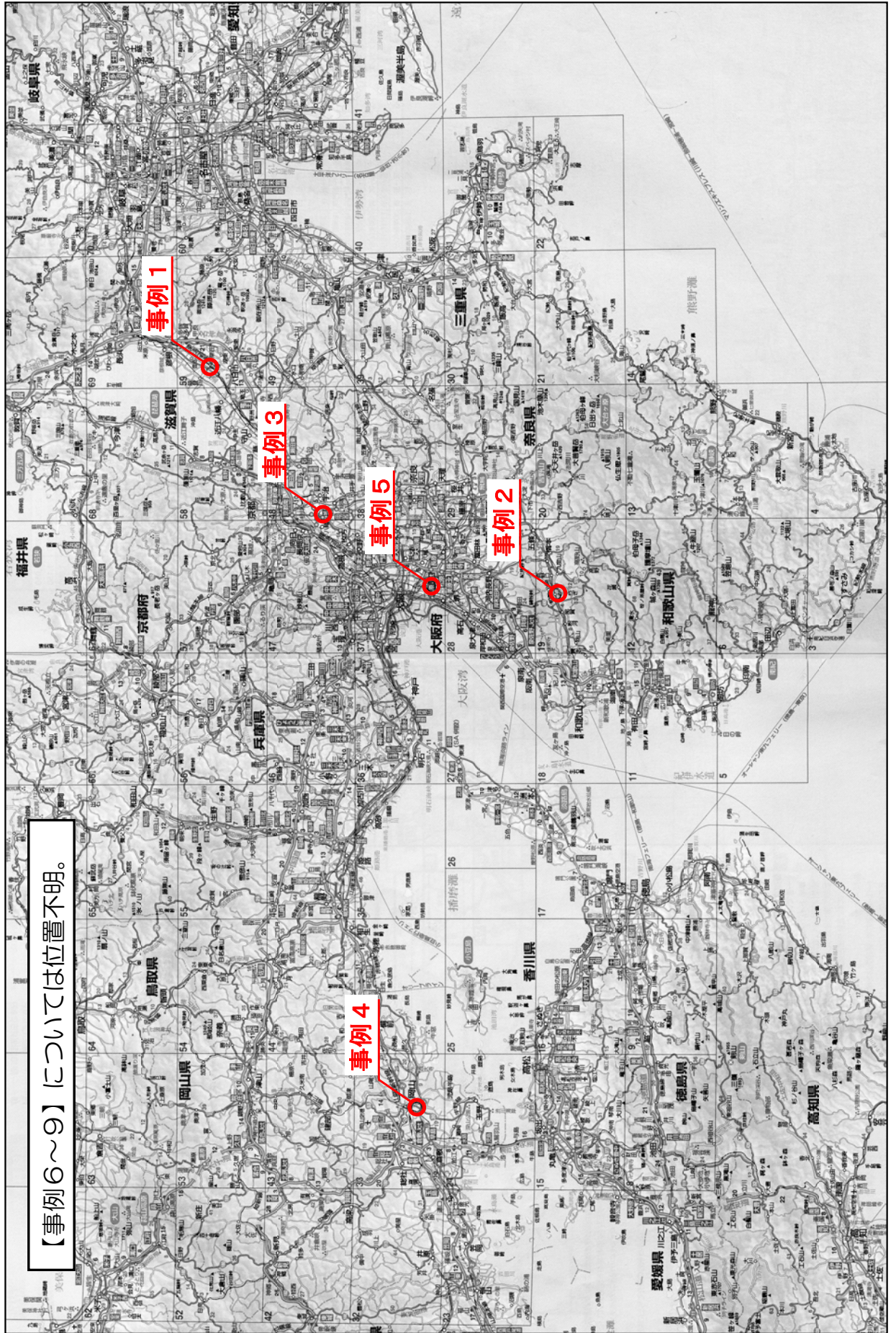
(注1) 空洞・陥没が工事によるものかどうかは、空洞・陥没が軽微な場合は道路管理者が判断し、大規模な場合は、調査委員会等にて判断する。
(注2) かし担保は残る。

経過観察期間設定フロー

参考資料(3) 空洞・陥没発生（占用工事）事例

シールド工事空洞陥没発生事例位置図

【事例6～9】については位置不明。



シールド空洞・陥没発生事例

路線	① トンネル諸元		② 対象地盤		③ 陥没・空洞発生状況		④ シールド施工状況		推定される空洞発生メカニズム	留意点 施工と空洞発生時期の関連 他工区との関連 その他特記事項
	地質名	着目点	発見時期等	特徴	トラブル・閉塞・噴 発の有無	掘進スピード等				
(事例1)	<p>掘削形式：泥土圧式 土被り：約8m シールド径：外径φ2270mm カッターヘッド：7ツブ型 延長：4846m 切替機：鋼製切替機 切替機径：外径φ2150mm 掘進時期：H16.4～H17.5</p>	<p>細粒分が少なく、N値は砂礫地盤と比べて小さい。 シールド上部に軟弱粘性土がある。 最大礫径φ450mm</p>	<p>(発見時期) H16.7.15(約1.5ヶ月) (図N0.1) H17.2.22(約3.0ヶ月) (図N0.2) H17.5.29(約2.5ヶ月) (図N0.3) H17.6.2(約2.5ヶ月) (図N0.4) H17.6.2(約2.0ヶ月) (図N0.5) H17.6.2(約1.5ヶ月) (図N0.6) H17.6.2(約1.5ヶ月) (図N0.7) H17.6.2(約1.5ヶ月) (図N0.8) H17.6.2(約8.0ヶ月) (図N0.9) H17.6.2(約8.0ヶ月) (図N0.10) H17.6.2(約8.5ヶ月) (図N0.11) H17.7.14(約9.0ヶ月) (図N0.12) H17.10.16(約12.0ヶ月) (位置不明) (調査時期と内容) 路面監視、空洞探査車で発見 (空洞寸法) 資料がある事例のみ後記 (規模) 資料がある事例のみ後記</p>	<p>陥没・空洞はシールド位置上部の道路舗装板下部に存在した。陥没・空洞位置の大半がスクリーナーコンベア閉塞位置と一致した。</p>	<p>玉石の取り込みによるスクリーナーコンベアの閉塞が多発。スクリーナーコンベアの閉塞に伴う掘進停止後、再掘進時切羽土圧低下による過剰取り込み ・玉石の取り込みに伴う空隙の発生 ・シールド掘進時の振動による緩く堆積した玉石混じり砂礫地盤の沈下</p>	<p>(取込み土量) 0.13Mpa (取込み土量) 掘進機による体積管理と重量管理 (裏込め注入) 注入圧力0.2～0.25Mpa 注入量100%以上</p>	<p>掘削中、玉石によりスクリーナーコンベアの閉塞が見られた(300mm～500mmの玉石が閉塞の原因であった) ・地下水が低いいため、粘性を確保するため、作泥材に注意した→スラリーシミック工法(粘土系作泥材、高分子凝集剤の2液混合方式) ・裏込め注入が設計数量130%に対し、200%入った→所定の圧力まで注入： 2kgf/cm² 掘進機内玉石が、チェーンバー内でかみ込むことも多く、反転→正転を繰り返すし、玉石を破砕または外部にかき出すようにして施工した。→カッターの負荷が大きかった ・切羽の泥土圧は、主動土圧と静止土圧の間を目標とした ・土量はスリッパの容量により管理していた。 ・掘進記録等の資料は処分され、現在は無い。</p>			
(事例2)	<p>掘削形式：泥土圧式 土被り：約5～8m シールド径：外径φ2290mm カッターヘッド：トール型 延長：2092m 切替機：鋼製切替機 切替機径：外径φ2150mm 工期：H17.12.22～H18.8.17</p>	<p>φ300mm～φ500mmの大きさが多く存在 ・透水性が高い</p>	<p>(発見時期) H14.7.9(約3.9年) (図N0.5) H14.7.9(約3.9年) (図N0.7) H14.7.9(約3.9年) (図N0.8) H15.8.7(約5.0年) (位置不明) H15.8.7(約5.0年) (位置不明) H16.7.22(約5.9年) (図N0.6) H16.7.22(約5.9年) (図N0.10) H16.7.22(約5.9年) (図N0.11) H17.7.28(約7.0年) (位置不明) H17.7.28(約7.0年) (位置不明) H17.7.29(約7.0年) (位置不明) H17.7.29(約7.0年) (位置不明) H17.7.29(約7.0年) (図N0.15) H17.7.29(約7.0年) (図N0.16) 発見時期不明2箇所 (調査時期と内容) H17.7.28において路面下に空洞が発見され緊急復旧を行ったが、当該復旧工事では確認しうるH14年7月以降、今回復旧を含めて17箇所は掘削もしくは空洞が確認されている。 (空洞寸法)</p>	<p>掘進中に玉石によりスクリーナーコンベアの閉塞が見られた。</p>	<p>(取込み土量) 掘進機による体積管理 (裏込め注入) 注入量200%</p>	<p>掘削中、玉石によりスクリーナーコンベアの閉塞が見られた(300mm～500mmの玉石が閉塞の原因であった) ・地下水が低いいため、粘性を確保するため、作泥材に注意した→スラリーシミック工法(粘土系作泥材、高分子凝集剤の2液混合方式) ・裏込め注入が設計数量130%に対し、200%入った→所定の圧力まで注入： 2kgf/cm² 掘進機内玉石が、チェーンバー内でかみ込むことも多く、反転→正転を繰り返すし、玉石を破砕または外部にかき出すようにして施工した。→カッターの負荷が大きかった ・切羽の泥土圧は、主動土圧と静止土圧の間を目標とした ・土量はスリッパの容量により管理していた。 ・掘進記録等の資料は処分され、現在は無い。</p>				

路線	① トンネル諸元	② 対象地盤		③ 陥没・空洞発生状況		④ シールド施工状況		推定される空洞発生メカニズム	留意点 施工と空洞発生時期の関連 他工区との関連 その他特記事項
		地質名	着目点	発見時期等	特徴	トラブル・閉塞・噴 発の有無	掘進スピード等		
(事例3)	掘削形式：泥土圧式 (二段カッターコブバ式) 土被り：約28m(事故箇所直下) 20m(水直下) シールド径：外径φ6390mm カッターヘッド：777型 延長：918m 工期：H11.3.18～H14.2.28	砂礫層 砂層	地表面近くに事前から緩みもしくは空洞の存在が認められた。推定されたUcは、5未満と想定される。 砂層の均等係数	(発見時期) H13.5.15(シールド通過中) (調査時期と内容) 掘削作業中に堤防に陥没が生じた (空洞寸法) 幅2.5m×長さ3.5m×深さ0.4m	地表面付近に事前からゆるみ領域が存在した。	掘進中に断続的に4ヶ所から噴発した。	—	・陥没事故の主要因は、過去の破堤により地表面近くに工事前から緩みもしくは空洞が存在したと推定 ・シールド掘進に伴う地山の乱れや振動の影響により地表面が陥没した可能性 ・予期し得ない地盤条件との遭遇 ・噴発の断続的発生により、最終的な陥没規模に至る。	噴発直後、直上で50mmの沈下を確認し、地上で陥没を発見。
(事例4)	掘削形式：泥水式 (縦対応型ECL工) 土被り：約11.4～16.6m シールド径：外径φ6600mm カッターヘッド：E1D-A型 延長：1860m 切ノメト：内径φ5500mm 工期：H6.3～H12.3	シールド上部は軟弱な沖積粘土層(N=0) シールド下部は洪積砂礫層	沖積層の下の洪積粘土層は1mしかない。 シールド上部にN値3の軟弱粘性土がある。	(発見時期) H9.7.21(1年後) (調査時期と内容) 陥没直後に試験 (空洞寸法) 直径0.85～1.1m	沈下量は管理直以下	陥没箇所(約1.2mの幅)直下を通過時に3回閉塞	—	・切羽面の圧力バランスが不均衡になり、シールド機上部の空隙の多い地盤にゆるみが生じた ・事後ボーリング調査で、陥没箇所ではシールドトンネルのすぐ上から地表近くまで直径3mの円筒状に地山がゆるんでいたことが判明 ・他区間との地質状況の相違。他区間は沖積層に砂層を含み、洪積層粘土は2倍のN値だった。沖積層の下の洪積粘性土質は1m程度の厚さしかなかった。 ・極端に地盤が軟弱だったため、シールドトンネルのすぐ上部で生じた地盤の緩みが、狭い範囲で徐々に地表面に達して空洞部ができた。	陥没箇所のシールド工事は、1年前に終了
(事例5)	掘削形式：泥土圧式 土被り：22.3～28.8m シールド径：外径φ7750mm カッターヘッド：777型 延長：2000m 切ノメト：RC切ノメト 工期：S62.8～H3.3	砂層～砂礫層	・長居断層による破砕帯がある。 ・高所的に軟弱な個所が存在する可能性がある。 ・砂～砂礫層に連続性の乏しい粘性土層が薄層でレンズ状に挟在し、全体的にはかなり乱れた土層構成である。 砂層の均等係数Ucは、5未満と想定される。	(発見時期) 詳細不明 (空洞寸法) 長さ5m×幅4m×深さ1.5m	—	・運休等により著しい断続運転 ・チャンバー内の土砂充填が不十分	—	①ボーリング調査の結果より、陥没部のN値がシールド位置まで連続して低下していることから、掘削の影響が推察される。 ②運転実績 ・JR転運通過後より、運休(GW)等により著しい断続運転になった。 ・掘削運転中の特別な操作異常は認めず。 ・休止中の管理状況も特別な異常は認めず。 上記①②より、各停止時において、チャンバー内の土砂充填が十分でなく、その空隙が地山土砂と入れ代わり、特異な土層状況のもとで地山の崩壊が一箇所集中する形となって陥没に到ったものと推定される。	切羽土圧管理値を上げ、停止時にはチャンバー内密度を高めた結果、それ以後は陥没等もなく無事完成した。

路線	①トンネル諸元		②対象地盤		③陥没・空洞発生状況		④シールド施工状況		推定される空洞発生メカニズム	留意点 施工と空洞発生時期の関連 他工区との関連 その他特記事項
	掘削形式 土被り シールド径 延長	掘削形式 土被り シールド径 延長	地質名	着目点	発見時期等	特徴	トラブル・閉塞・噴 発の有無	掘進スピード等		
(事例6)	掘削形式：泥土圧式 土被り：3.3~8.0m シールド径：外径φ2280mm 延長：264m	土丹層、砂層、砂礫層(切羽部)	切羽の土質が土丹層から砂礫層に変化した 砂層の均等係数Ucは、5未満と想定される。	(発見時期) H6(シールドとの関連不明) (調査時期と内容) 地表面沈下(家屋への影響)が発生 (空洞寸法) 詳細不詳	—	—	(掘込め注入) ゲル/48秒	真込め注入材料は、右記配合で計画。配合2は、排水層で主材が希釈されると判断して量を多くした。ゲルタイムは8秒にて計画した。切羽の土質が土丹層から砂礫層に変化したため、配合の変更やポンプの吐出量の調整を行い施工したが、25~30mmの沈下が発生し水道管の管スレおよび家内扉の開閉に支障をきたした。原因を調査した結果、プラント機器の調整ミスによりB液が十分に圧送されず、真込め注入材料が全くゲルしていないことが判明した。	本トブラブルの事例は、単純な施工ミスであり以降のシールド掘進は土被り対策を施した。 ①真込め注入材のゲルタイム測定を注入吐出で1回/日実施する。 ②道路上下への真込め材の流出防止のため、路上に監視員を配置する。 ③5リットル手前から注入していた真込めを3リットル手前からとした。(シールド機テールからの噴出が若干見られた)	
(事例7)	掘削形式：泥土圧式 土被り：約22m シールド径：仕上り内径φ4750mm 延長：491.8m	上部より砂礫混じり砂、砂質シールド径内、砂、砂礫混じり中砂、砂礫	礫径250mm	(発見時期) H6(シールドとの関連不明) (調査時期と内容) 初期掘進時のカクコッパからの土砂噴発による地盤陥没(空洞寸法) 長さ16m×幅16m×深さ45cm	・玉石がスクリュウコンベアに詰り多少噴発傾向にあった。 ・作泥材にバグカーを使用したため、均一な塑性流動化ができず噴発傾向が大きくなった。作泥材を高分子系改良材を同時に注入することに変更。 ・スクリュウコンベア内の残土を改良時に、排土口から地下水が噴発したので、ゲートを締めようとしたが、ゲート口に25cm程度の玉石が咬み込んで閉まらなくなった。	噴発時にスクリュウゲートが開閉しない	—	①5目細割の切羽土質はCJG杭と地山との変化点であり、CJG杭の破片・玉石がスクリュウコンベア内に混入して均一な塑性流動化が困難となり、スクリュウコンベア内に止水プラグが形成されなかった。 ②噴発時にスクリュウゲートが締まらなかった。 ③攪拌力が強度的に問題があり、十分な推進力が確保できなかった。	埋設管(ガス管、水道管、下水管)の補修を行い、空洞部の充填注入(9kL)の一次的対策を行った。シールド掘進に対してスクリュウコンベアの泥土改良を行い、以下の対策を講じた。 ①シールド切羽上部への地盤強化のために薬液注入工(V=50.4kL)を施工。 ②作泥材と泥土改良剤の同時注入を施工。 ③スクリュウゲートに新設ゲートを取り付けて二重構造とした。 ④切羽管理土圧を2.6kgf/cm ² (2.1+0.5)にて管理する。	
(事例8)	掘削形式：泥土圧式 土被り：約24m シールド径：マシンの外径φ6750mm 延長：1376.9m	砂礫層	想定礫径φ200mm以上	(発見時期) H1(詳細不明) (調査時期と内容) 到達防護工内の到達手前30cmで地上部が陥没 (空洞寸法) 長さ10m×幅4m×深さ50cm	・シールド到達手前2m付近を掘進中、到達立坑に設置した至計には異常がなかったが、立坑が変形するような異常が発生して立坑土留壁への影響が懸念された。 ・シールド切羽は到達防護工(CJG工)に真入していることから、切羽土圧を2.2kgf/cm ² から1.0kgf/cm ² に下げた到達しようとしたが、到達手前30cmの位置で地上部を陥没させた。	掘削残土量を十分把握できなかった。	(掘進スピード) 1cm/min以下	①砂礫層でのCJG工が確実に造成されていなかった。 ②掘進スピード(10mm/min以下)が遅く到達まで長時間を要したため、掘削残土量を十分に把握できなかったことによる取り込み過ぎ。 ③至計を設置していたが、施工管理の上で計測管理を有効に反映できていなかった。(異音だけで異常と判断した)	陥没箇所を残土により埋戻しを行い、到達防護部に再度薬液注入を施工して到達させた。立坑(連壁)掘削後、シールド機を立坑内に1m程度入させたが、土砂の流出等は見られなかった。	

路線	① トンネル諸元		② 対象地盤		③ 陥没・空洞発生状況		④ シールド施工状況		推定される空洞発生メカニズム	留意点 施工と空洞発生時期の関連 他工区との関連 その他特記事項
	地質名	着目点	発見時期等	特徴	トラブル・閉塞・噴 発の有無	掘進スピード等				
(事例9)	掘削形式：泥土圧式 土被り：5.0～31.0m シールド径：φ3280mm 延長：1100m セグメント：RCセグメント 外径φ3150mm	粘性土 砂質土	第一天満砂礫層	(発見時期) S60.5(詳細不明) (調査時期と内容) Kセグメントから補足裏込め注 入(空洞寸法) 陥没には到らなかつたが対策が 遅れれば重大な事故になつたと 推察される。		セグメントの真円保 持にやや問題があつ た。	(掘進スピード) 3cm/min前後 (土水圧) 2.0kgf/cm ² (取込み土量) 掘削土量はベルトコ ンベアーに取り付け たロードセルによる 重量管理 (裏込め注入) TAC II S Max 5kg/cm ² 200% 200ℓ/min	後続仕下の抑制のため推進完了後にマ シンテール通過後、後続台車との間で 裏込めの補足注入をセグメントから裏 施。注入圧がセグメントに作用し破断す るとともにKセグメントが局部破断し リング間から出水し、危険な状態に なつたが、スクリーンコーンベアーから 支柱をとりセグメントの脱落を防ぎ、 圧気を掛けた。再度、裏込めを掛け た。	・施工時荷重により全工事のボルト の耐力チェックを実施。 ・リング間ボルトを4T～8Tにラン クアップした。 ・特に組み立て後の真円度の計測を 行なつた。 ・ボルト締め付け力をトルクレンチ でチェック	
		粘性土 砂質土	沖積砂層 砂層の均等係数 Ucは、5未満と想 定される。	(発見時期) S60.11(詳細不明) (調査時期と内容) 到達手前で支障物撤去するため 数日間マシンを停止、再掘進時 に陥没 (空洞寸法) 長さ2.5m×幅2.0m×深さ1.5m	マシン切羽直上で陥 没の兆候が現れたの で、即、交通遮断し たため大きな混乱は なかつた	マシン推進停止後 チャンバー内土圧が 若干低下していた様 様。	(掘進スピード) 3cm/min前後 (土水圧) 0.5kgf/cm ² (取込み土量) 掘削土量はベルトコ ンベアーに取り付け たロードセルによる 重量管理 (裏込め注入) TAC II S Max 4kg/cm ² 200% 200ℓ/min	S.49年 到達立坑構築時に残置してい た土留横矢板の撤去を立坑内から実施 した。その間シールドマシンは到達に 伴う地盤改良範囲の一部食い込ませ4日 間停止した。再掘進を掛けた時、チャ ンバー内に砂が生じていた空隙にノック ンブにより砂が流れ込み道路陥没に 到つたものと想定された。	・再掘進と殆ど同時に沈下が発生し 陥没した。 ・以後の推進は昼夜兼行とし切羽で 工事引継ぎを行い、推進を止めるこ となく一機に推進を行なつた。	

参考資料(4) 空洞調査記録 (例)

空洞調査記録（例）

調 査 記 録 デ ー タ							
占用工事名				占用企業者名：			
事務所	〇〇国道（〇〇維持出張所）			地先名	〇〇市〇〇町		
路線名	国道〇号	上下	上り車線	KP（台帳）	5K809	探索距離	
一次調査	H〇年〇月〇日	判定	異常あり	車線	路肩より第一車線目		
二次調査	H〇年〇月〇日	判定	空洞あり	位置	右側		
				異常箇所No.	〇〇		

空 洞 規 模				
縦（進行方向）	横（横断方向）	厚さ	深さ	面積
3.6m	2.7m	0.60 m	0.35 m	9.72㎡

平面図

: 異常箇所

計測平面図

一次調査画像

CH5拡大図

孔内観察記録

異常箇所 No. 緊急京郡1

撮影深度0.00~0.98(m)	構成	層厚(m)
0.00~0.16	アスコン	0.16
0.16~0.35	砕石 (セメント安定処理)	0.19
0.35~0.98	空洞	0.60
0.98~1.00	崩落砕石	

信号位置特定画像

縦断方向
異常信号位置

横断方向
異常信号位置

参考資料(5) 参 考 文 献

- ・トンネル標準示方書〔シールド工法・同解説〕 平成18年 (社)土木学会
- ・道路維持修繕要綱 昭和53年 (社)日本道路協会
- ・舗装試験法便覧 昭和63年 (社)日本道路協会
- ・シールド工法の調査・設計から施工まで 平成9年 (社)地盤工学会
- ・線路下横断工計画手引き 平成12年 (社)日本鉄道施設協会
- ・トンネル年報2005 平成17年 (社)日本トンネル技術協会
- ・土木工事施工管理基準 近畿地方整備局

平成19年2月

事務局 近畿地方整備局 道路部 路政課
(財)道路保全技術センター