

# 高知市下水道工事事故 再発防止検討委員会

## 報告書

平成 25 年 8 月 30 日

高知市下水道工事事故再発防止検討委員会

# はじめに

---

平成 24 年 10 月 27 日に高知市朝倉横町の下水道工事(工事名：南部 1 号汚水幹線管渠築造工事 (24-1))において発生した事故は、2 名の犠牲者を出す痛ましいものとなった。

当工事は泥濃式推進工法により内径 800mm の下水道管を地下約 8.0m 付近に埋設する工事である。事故発生時は、掘進機内で掘進機運転員と礫分級員の 2 名が作業をしており、掘進作業中突然、管内に土砂と水が流入し、管内で作業をしていた作業員 2 名が亡くなられた。

現在、全国の下水道工事における中大口径推進工事では、泥濃式推進工法を用いた工事が約 6 割近くを占めており、多くの施工実績があるが、今回のような事故事例は報告されていない。これまでの経験では想定していなかったような事象が原因となり、今回の事故が発生したことも考えられる。

今回、同一工法による類似事故の発生要因と再発防止策について、専門家による技術的な見地からの検討を行うことを目的に、平成 25 年 2 月 18 日に「高知市下水道工事事故再発防止検討委員会」が設置された。本報告書は委員会において議論された内容を取りまとめたものである。

なお、本委員会では今後の事故再発の防止を目的とし、今回の事故が発生した直接的な原因の特定は目的としない。

# 目次

---

はじめに

1	報告書の趣旨	1
1-1	報告書の趣旨	1
2	委員会の概要	2
2-1	委員会の概要	2
2-2	委員名簿	2
2-3	各委員会の議事要旨	3
(1)	第1回委員会	3
(2)	第2回委員会	4
(3)	第3回委員会	4
(4)	第4回委員会	5
3	工事の概要(高知市公表資料)	6
3-1	工事概要	6
3-2	地盤条件	8
(1)	地層構成	8
(2)	地下水位	8
(3)	推進管付近の土質性状	9
(4)	推進管付近の礫率,透水係数	9
3-3	事故発生までの施工内容	11
(1)	工程	11
(2)	推進工事の施工条件	11
4	事故の概要(高知市公表資料)	12
4-1	発生日時, 場所および被災者	12
(1)	発生日時	12
(2)	発生場所	12
(3)	被災者	12
4-2	事故発生の経緯	12
(1)	事故発生日の状況	12
(2)	事故発生時の状況	12
(3)	救助活動の状況	13
4-3	掘進機取り出し工事で確認された地盤条件	14

<b>5</b>	<b>泥濃式推進工法について</b> .....	17
5-1	泥濃式推進工法の概要.....	17
	(1) 推進工法の歴史.....	17
	(2) 泥濃式推進工法の実績.....	17
	(3) 泥濃式推進工法の特徴.....	17
	(4) 泥濃式推進工法の概要.....	18
	(5) 掘進中の作業員の役割と作業内容.....	19
5-2	泥濃式推進工法の掘進機.....	21
	(1) 掘進機.....	21
	(2) 排泥バルブ.....	22
	(3) チャンバーゲート.....	23
	(4) 緊急ゲート.....	24
	(5) 排泥バルブへのエア供給系統.....	25
<b>6</b>	<b>泥濃式推進工法で考えられる事故発生要因</b> .....	26
6-1	地盤に関する要因.....	26
6-2	機械に関する要因.....	28
6-3	人に関する要因.....	31
6-4	事故発生要因の整理とその背景因子.....	32
<b>7</b>	<b>事故の再発防止に向けて</b> .....	33
7-1	事故の再発防止策の基本方針.....	33
7-2	再発防止に向けた対策内容.....	33
	(1) <基本方針1>予防の徹底.....	34
	(2) <基本方針2>モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保.....	40
	(3) <基本方針3> 事故発生の背景因子の解消.....	43
	(4) 礫や玉石による排泥管やチャンバー内の閉塞解消作業に対する安全性の確保.....	46
7-3	再発防止策の総括.....	47

おわりに

# 1 報告書の趣旨

---

## 1-1 報告書の趣旨

本委員会では、委員会での議論の内容を踏まえて、泥濃式推進工法の工法協会や施工会社へアンケート調査を行い、想定されるトラブルや現在行われている安全対策、追加すべき事故防止機能などについて意見収集を行った。これらのアンケート結果や施工業者へのヒアリング内容、事故発生状況を踏まえた上で、今回の事故に限らず、泥濃式推進工法による下水道工事全般で考えられる事故発生要因を分析し、今後の事故再発防止策として「三つの基本方針」を示した。現時点で考えられる具体的な対策も例示したが、再発防止策については、発注者や施工会社、工法協会などにより、例示したものと同等以上の安全性を確保するための研究・工夫がなされることを期待する。

今後は、発注者や施工会社、工法協会など全ての関係者の協力によって、本報告書で示した「三つの基本方針」に沿った安全対策が確実に実施され、二度と同様の事故を発生させない工法となることを望む。

## 2 委員会の概要

### 2-1 委員会の概要

本委員会は、平成 24 年 10 月 27 日に高知市で発生した内径 800mm の泥濃式推進工法による下水道工事の事故を受けて、今後、同一工法による類似事故の発生要因と再発防止策の検討を目的に 5 名の専門委員により、平成 25 年 2 月 18 日に再発防止検討委員会を発足させた。

以来、4 回の委員会を開催し、事故現場の視察や事故発生状況の把握、泥濃式推進工法の工法協会や施工業者などへのアンケート調査結果を踏まえて、事故発生要因について分析を行い、事故の再発防止策を報告書としてまとめたものである。

### 2-2 委員名簿

表 2-1 委員名簿（敬称略）

氏名		所属・役職等
委員長	那須 清吾	高知工科大学 マネジメント学部長
副委員長	原 忠	高知大学 教育研究部 自然科学系 農学部門 准教授
委員	横田 敏宏 <sup>※2</sup> 小川 文章	国土交通省 国土総合技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 室長
委員	宮武 裕昭	独立行政法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ
委員	安井 成豊	一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所

※1 事務局：高知市役所 都市建設部 下水道建設課

※2 横田敏宏委員は平成 25 年 3 月 31 日付で離任（第 2 回委員会まで）

小川文章委員は平成 25 年 4 月 1 日付で就任（第 3 回委員会より）

## 2-3 各委員会の議事要旨

### (1) 第1回委員会

---

- 日時 平成25年2月18日(月)
  - 13時00分～13時30分 委嘱式
  - 13時30分～14時00分 委員会  
委員長，副委員長の互選  
委員会は非公開
  - 14時00分～15時30分 事故現場視察
  - 15時30分～17時15分 委員会
  
- 出席委員  
那須清吾委員長，原忠副委員長，横田敏宏委員，宮武裕昭委員，安井成豊委員
  
- 主な議題
  - 1) 現場視察について
  - 2) 今後の事故再発防止に向けた方向性の議論
  
- 議事概要
  - 1) 本委員会では，今後の類似事故の再発防止に関わる幅広い様々な視点での要因分析，議論，再発防止策の検討を行うこととし，当該事故の原因特定を目的としないことの確認がなされた。
  - 2) 本工事における現地の地盤状況，泥濃式推進工法のシステム等に関する基本的な情報の確認がなされた。
  - 3) 今後の事故再発防止の観点から，考える対策について，その方向性の議論がなされた。
  - 4) 上記の内容について，本委員会では最終報告書としてとりまとめることの確認がなされた。
  - 5) 主な論点
    - ① 推進機器に関する設備の点検とモニタリングについて
    - ② 作業員の安全確保方策(フェイルセーフ)について
    - ③ 作業員の役割について
    - ④ 無人化の可能性について

## (2) 第2回委員会

---

- 日時 平成 25 年 3 月 26 日(火)  
13 時 00 分～17 時 00 分 委員会
- 出席委員  
那須清吾委員長，原忠副委員長，横田敏宏委員，宮武裕昭委員，安井成豊委員
- 主な議題
  - 1) 工法協会，施工業者へのアンケート回答について
  - 2) 今後の事故再発防止に向けた安全対策の議論
- 議事概要
  - 1) 工法協会，施工業者(計 16 団体)に対して実施したアンケート回答などの技術資料を基に，工法の実際の運用や安全対策の現状を確認した。
    - ① 噴発の原因と予兆，防止方法について
    - ② 泥濃式推進工法の作業内容について
    - ③ トラブルに対するフェイルセーフ機能について
  - 2) 泥濃式推進工法は，排泥バルブ開放時に切羽と機内がつながるという特徴があり，今後の安全対策における重要なポイントとなる。
  - 3) 推進機器のモニタリングとフェイルセーフ機能を中心に必要な再発防止策と取り組むべき方向性について議論した。
  - 4) 今後の再発防止を考える上では，人の要素と機械の要素，予防とフェイルセーフといった視点が重要である。

## (3) 第3回委員会

---

- 日時 平成 25 年 4 月 18 日(木)  
13 時 00 分～17 時 00 分 委員会
- 出席委員  
那須清吾委員長，原忠副委員長，小川文章委員，安井成豊委員
- 主な議題
  - 1) 報告書の素案について
- 議事概要
  - 1) 第1回，第2回委員会で議論した内容を踏まえ，報告書(案)を作成し，それについて議論した。
  - 2) 考えられる事故発生要因を土質，機械，人に分類し，整理することにした。
  - 3) 事故の再発防止に向けた基本方針として，以下の3項目を定めた。
    - ① 予防の徹底
    - ② モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保
    - ③ 事故発生の背景因子の解消
  - 4) 人命確保を最優先とする事故再発防止策をまとめることにした。

#### (4) 第4回委員会

---

- 日時 平成 25 年 6 月 5 日(水)  
13 時 30 分～17 時 00 分 委員会
  
- 出席委員  
那須清吾委員長，原忠副委員長，小川文章委員，宮武裕昭委員，安井成豊委員
  
- 主な議題
  - 1) 報告書の案について
  - 2) 今後の予定について
  
- 議事概要
  - 1) 第 3 回委員会の議論内容を反映させた報告書(案)に基づき議論した。
  - 2) 報告書については, 再発防止に向けた以下の内容について最終案を作成する。
    - ① 再発防止の基本となる要因として, 地盤に関する要因, 機械に関する要因, 人に関する要因, 及び関連する背景因子に整理
    - ② 再発防止に向けて, 3 つの基本方針を取りまとめ。
      - 〈基本方針 1〉 予防の徹底
      - 〈基本方針 2〉 モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保
      - 〈基本方針 3〉 事故発生の背景因子の解消
  - 3) 再発防止に向けて, 今後, 上記の 3 つの基本方針を守るべきである。
  - 4) 本日の議論を踏まえて, 最終報告書を作成し, 市長に提出する。

### 3

## 工事の概要(高知市公表資料)

### 3-1 工事概要

- 工事名  
南部1号污水幹線管渠築造工事 (24-1)
- 工事場所  
高知市朝倉横町外
- 発注者  
高知市都市建設部下水道建設課
- 受注者  
福留・晃立特定建設工事共同企業体
- 契約工期  
平成24年6月29日から平成25年3月15日まで
- 工事内容  
本工事は、公共用水域の水質保全および生活環境の改善を目的として、朝倉地区の汚水を潮江下水処理場へ送水するため、南部1号污水幹線管渠の整備を行うものである。  
(内容)
  - 内径800mm 泥濃式推進工法 L=641.5m
  - 人孔設置工 1箇所
  - 立坑工 2箇所
  - 地盤改良工 1式
  - 付帯工 1式
- 位置図



図3-1 位置図

(Google マップより転載)

- ・ 平面図, 縦断面図

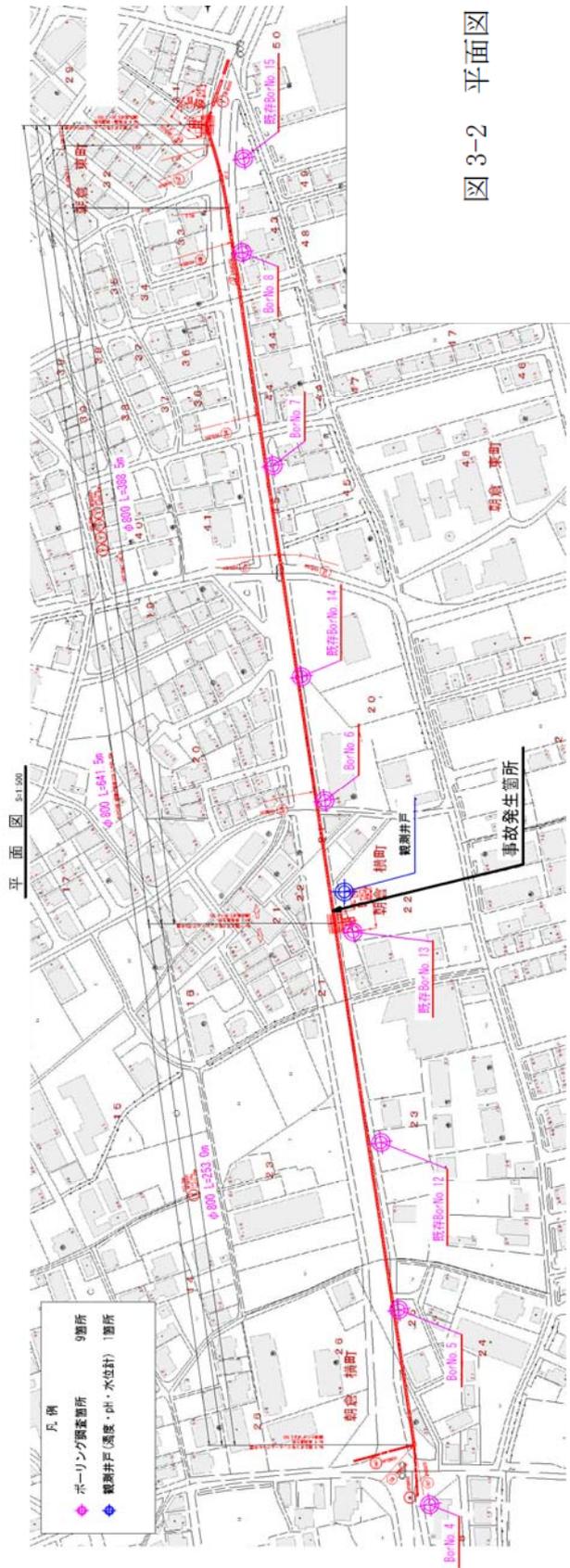


図 3-2 平面図

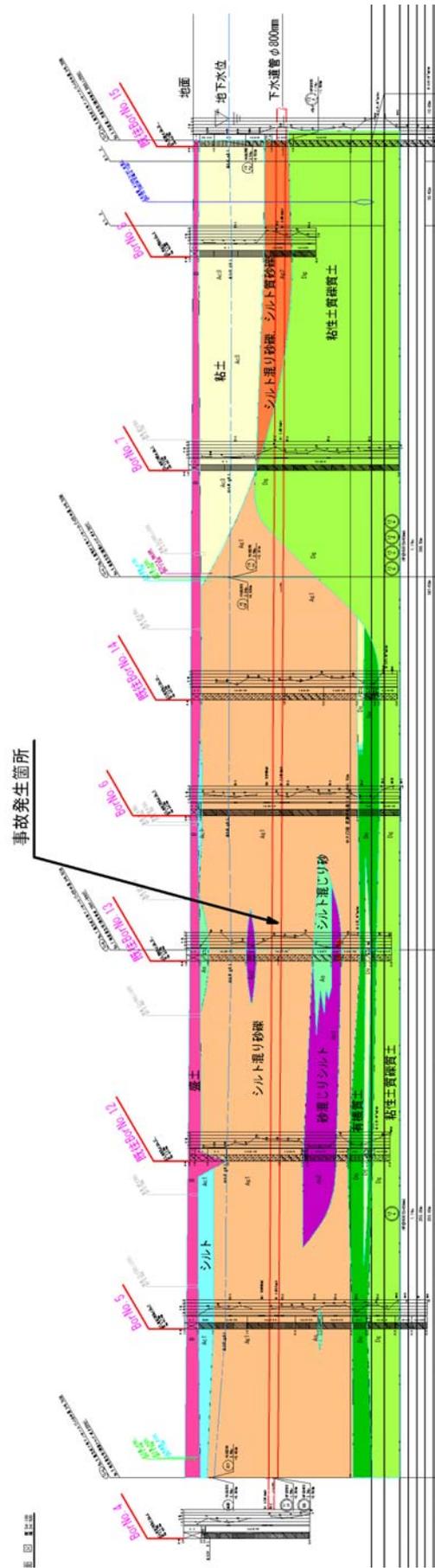


図 3-3 縦断面図

## 3-2 地盤条件

### (1) 地層構成

工事に先立って実施された地質調査業務では、工事区間 641.5m で合計 9 本の調査ボーリングを概ね 50~100m 程度の間隔で行っている。このうち、4 本の調査ボーリングは同一路線の他工事において実施された調査結果を参照している。

工事区間の地層構成は、西側(上流側)より約 400m の位置で変化が見られる。西側(上流側)は地表面よりシルト質砂礫を主体とした盛土層(層厚 0.7~1.7m)の下層に Bor. No. 4, 5, 6 で確認されたシルト~礫混じりシルトを主体とする沖積粘性土層(Ac1)(層厚 0.3~1.4m)が局所的に分布している。そして、GL-1.0~3.5m 以深には、工区西端(上流側)から 400m 程度の範囲では、シルト混じり砂礫を主体とする沖積礫質土層(Ag1)(層厚 10.9~14.9m)が非常に厚く連続的に分布している。この Ag1 層の中にはシルト~砂混じりシルトを主体とする沖積粘性土層(Ac2)(層厚 0.9~3.1m)とシルト質砂を主体とする沖積砂質土層(As)(層厚 1.8m)がレンズ状で局所的に分布している。GL-15.9m 以深には、シルト~有機質シルトを主体とする洪積有機質土層(Do)(層厚 1.0~2.0m)と、粘性土質砂礫を主体とする洪積礫質土層(Dg)が連続的に分布している。

東側(下流側)では、盛土層の下に均質な粘土を主体とする沖積粘性土層(Ac3)(層厚 6.4~7.0m)が連続的に分布している。その下層には、シルト質砂礫を主体とする沖積礫質土層(Ag2)(層厚 0.0~2.7m)と粘性土質砂礫を主体とする洪積礫質土層(Dg)が連続的に分布している。

### (2) 地下水位

調査ボーリングで計測された孔内水位は、西側(上流側)では沖積礫質土層(Ag1)内に、東側(下流側)では沖積粘性土層(Ac3)内に分布しており、他の計測値と比べ特異値を示す No. 4 を除くと、孔内水位が TP. 3.46m~4.06m (GL-3.66m~4.00m) の範囲であり、地下水位は東側(下流側)に向かって緩やかに下る連続的な水位線と推測される。

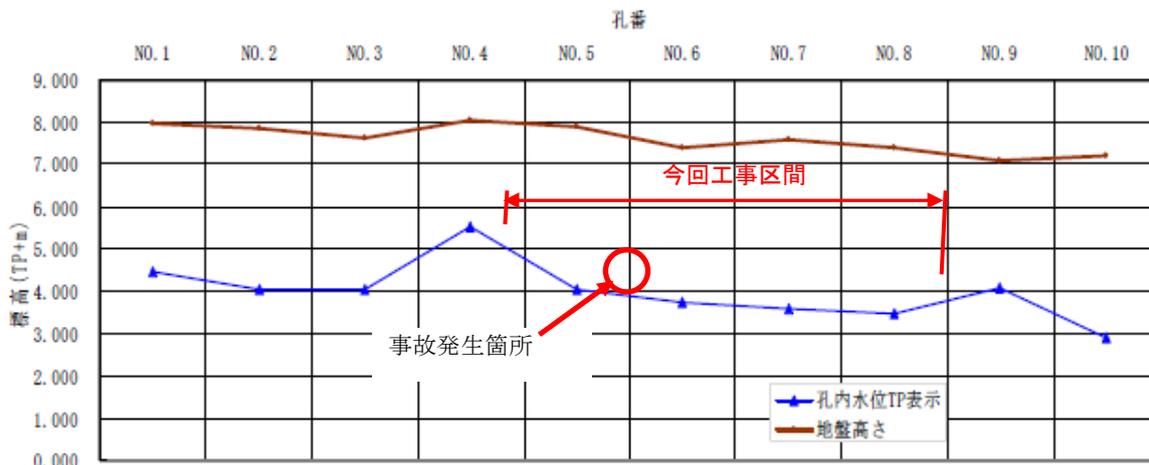


図 3-4 孔内水位

また、工事区間に近隣する宅地の多くが飲料用井戸を使用しており、工事期間中は工事による影響を監視するため観測井を設けて、地下水位を 10 分毎に継続して観測していた。平成 24 年 8 月 16 日~10 月 27 日(事故発生日)までは、事故発生箇所に最も近い観測井の水位は TP. 3.58m~4.25m の範囲で変動しており、降雨直後に一時的に水位が上昇する傾向があったが、概ね調査ボーリング時の孔内水位と同程度で安定していた。

### (3) 推進管付近の土質性状

推進管付近の土質は、施工区間の西側(上流側)ではシルト混じり砂礫を主体とする沖積礫質土層 (Ag1) , 東側(下流側)ではシルト質砂礫を主体とする沖積礫質土層 (Ag2)や粘性土質砂礫を主体とする洪積礫質土層 (Dg)である。地質調査業務で確認された推進管付近の礫径は、西側(上流側)の Ag1 層では  $\phi 2\sim 30\text{mm}$  の亜円礫が主体であるが、最大で  $\phi 100\text{ mm}$  程度の礫が確認されている。東側(下流側)の Ag2 層では  $\phi 10\sim 50\text{ mm}$  程度の亜円礫が、また、Dg 層では  $\phi 10\sim 50\text{ mm}$  程度の風化した礫が確認されている。

推進工法の選定は、地質調査で確認された最大礫径の3倍となる  $\phi 300\text{mm}$  を想定礫径として検討している。

工事開始後の発進立坑の掘削時には、推進管付近の土質性状は、図 3-5 のように少量のシルト分を含む砂礫層で最大  $\phi 130\text{mm}$  程度の礫径が確認されており、地質調査業務で想定した地盤条件と一致している。



図 3-5 発進立坑掘削時の土質写真

### (4) 推進管付近の礫率,透水係数

地質調査業務では、標準貫入試験の他に現場透水試験や粒度試験などの室内土質試験を実施している。表 3-1 に粒度試験による礫率と現場透水試験結果を一覧表にまとめている。推進管付近の礫率は 56.1~70.9% , 透水係数は  $1.43\sim 7.64\times 10^{-2}\text{cm/s}$  であり、礫率、透水係数の高い地盤であるといえる。

株式会社 藤原

調査名	H23-No.4	H23-No.5	H20-No.12	H20-No.13	H23-No.6	H20-No.14	H23-No.7	H23-No.8	H20-No.15
工事区間	南部24-1 滑動・直立/φ800区間長641.5m								
スパン別	No.6~No.7 68.7~70.9% 22~38(標準深層)								
標準	No.7~No.8 56.1~62.8% 23~36(標準深層)								
発進立坑からの距離	No.7~No.7-1 56.1~66.4% 21~38(標準深層)								
調査延長	+120m程度								
孔口標高	+200m程度								
推進部土質名	+335m程度								
地下水位	+365m程度								
試験項目	粒度試験の結果	透水試験結果 (調査深層)	粒度試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	粒度試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	粒度試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	粒度試験結果 (調査深層)
	初期試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	初期試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	初期試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	初期試験結果 (調査深層)	透水試験結果 (調査深層)	初期試験結果 (調査深層)
GL-1.0m									
GL-2.0m									
GL-3.0m									0.0%
GL-4.0m									2.00~2.80m
GL-5.0m	72.2%	66.6%	66.6%	59.9%	59.9%	0.0%	0.0%	0.0%	
GL-6.0m									
GL-7.0m									
GL-8.0m	70.9%	68.7%	68.7%	66.4%	66.4%	61.8%	62.6%	62.6%	
GL-9.0m	8.15~8.45m	8.15~9.0m	8.5~9.0m	8.5~9.0m	8.5~9.0m	8.5~9.0m	8.5~9.0m	8.5~9.0m	
GL-10.0m									
GL-11.0m									
GL-12.0m									
GL-13.0m									
GL-14.0m									
GL-15.0m									
GL-16.0m									
GL-17.0m									
GL-18.0m									
GL-19.0m									
区間平均値 64.4%									

※透水係数の単位は、cm/sである。

平成23年度土質調査  
平成20年度土質調査(水通商)  
推進部近傍深層

表 3-1 礫率と現場透水試験結果一覧表

### 3-3 事故発生までの施工内容

#### (1) 工程

本工事は平成 24 年 6 月 29 日に工事に着手し、8 月 1 日に現場作業が始まり、10 月 23 日に鏡切りを行って、推進工事の掘進作業を開始している。推進工事開始から 4 日後の 10 月 27 日に事故が発生しており、以下に、その間の経緯を示す。

6/ 29	工事着工
8/ 1	現場着手(付帯工)
8/ 16 ~ 9/ 19	発進立坑施工
9/ 20 ~ 10/ 12	防音ハウス設置, プラント設備工, 薬液注入工等
10/ 13 ~ 10/ 18	発進坑口工, 支圧壁工等
10/ 19 ~ 10/ 22	掘進機(L=5.4m)搬入・据付, 配線・配管
10/ 23	鏡切り, 初期掘進開始
10/ 27	事故発生
10/ 29	作業員救出

#### (2) 推進工事の施工条件

推進工事の施工条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 施工条件

項目	条件	備考
管の呼び径	φ 800mm	
管の土被り	7.7~7.9m	
管中心での水頭差	4.6~4.7m (水圧 47 kN/m <sup>2</sup> )	
最大推進延長	380.65m	
管路通過部の地盤条件		
土質種別	シルト混じり砂礫, シルト質砂礫	
N 値	5~38	
礫率	56.1~70.9 %	
想定最大礫径	φ 300mm	
透水係数	1.43~7.64×10 <sup>-2</sup> cm/s	
礫の圧縮強度	12.5~112.5 N/mm <sup>2</sup>	点載荷試験
発進立坑	7.6×8.0m (h=9.0m) (横引き式立坑)	
到達立坑	φ 2.5m (h=9.2m) (鋼製ケーシング小型立坑)	

上記の条件より、施工業者は下記の地盤条件に適用できる礫破碎型の面盤を装備した泥濃式掘進機を採用していた。

掘進機性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最大礫径 φ 640~800mm</li> <li>・最大礫率 80%</li> <li>・透水係数 1.0×10<sup>-1</sup> cm/s</li> <li>・水圧 300 kN/m<sup>2</sup> (水頭差 30mまで)</li> </ul>
-------	--

## 4 事故の概要(高知市公表資料)

### 4-1 発生日時、場所および被災者

#### (1) 発生日時

平成 24 年 10 月 27 日 (土) 13 時 54 分頃

#### (2) 発生場所

高知市朝倉横町 発進立坑より東側(下流側)7.7m付近

#### (3) 被災者

推進工事二次下請業者 作業員 男性 2 名

### 4-2 事故発生の経緯

#### (1) 事故発生日の状況

事故当日は、工事区間の中間部である No. 7 発進立坑から、東側(下流側)の No. 8 到達立坑方向に、内径 800mm の下水道管を泥濃式推進工法により、市道の地下 8m を掘進作業中であった。

事故発生日の午前は、1.80m 程度の掘進作業を行った後に 2 本目の推進管を設置し、管内に酸素ガス濃度検知器や水レベル計などを設置して、2 本目推進管を 0.10m 程度の掘進作業を行ったところで昼休みの休憩をとっている。

13 時頃から作業を開始し、0.46m 程度の掘進作業を行ったところで今回の事故が発生している。

#### (2) 事故発生時の状況

事故発生時に立坑内にいた作業員からの聞き取りによれば、管内から「あっ」という声が聞こえたため、ジャッキ操作員がジャッキ操作を止めて管内を覗いたところ、既に、管内は土砂で埋まっていた。ジャッキ操作員の感覚では、声がしてから管内の状態を確認するまでの時間は 2~3 秒程度であったとのことであり、内径 250mm の排泥管から土砂と水が一気に管内に流入していた。

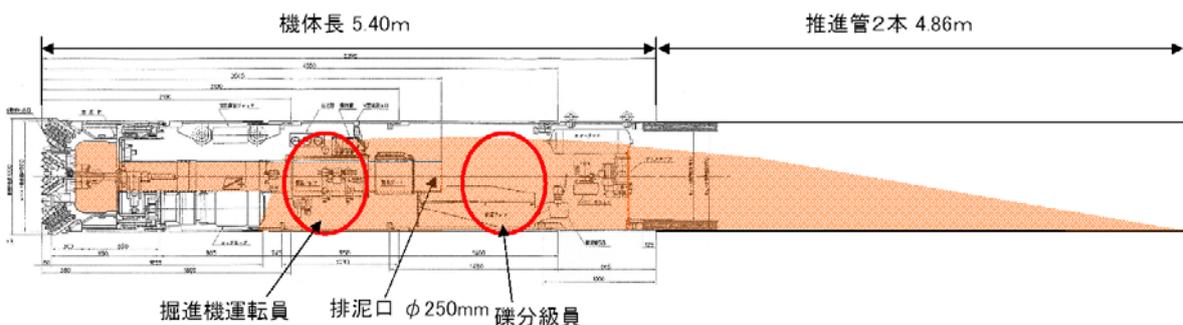


図 4-1 聞き取りによる事故発生直後の管内土砂流入状況

### (3) 救助活動の状況

#### 10月27日(土)

- 13時54分：測量員より元請け職員に事故報告
- 13時55分：警察，消防に救助要請
- 14時04分：警察，消防が現地に到着，救出活動を開始
- 15時25分：管内から異常出水が確認されたため消防の指示により全員地上へ避難
- 16時05分：管内への流入水を止めるため，市道上から掘進機周辺へ薬液注入を開始  
(1回目：3本，計9,000ℓ)
- 19時30分：排水作業開始，立坑内への流入水量確認 1,000ℓ/分
- 22時00分：追加の薬液注入開始(2回目：2本，計4,800ℓ)
- 23時30分：排水作業開始，立坑内への流入水量確認 1,000ℓ/分

#### 10月28日(日)

- 00時45分：追加の薬液注入開始(3回目：2本，計5,200ℓ)
- 03時40分：排水作業開始，立坑内への流入水量確認 300ℓ/分
- 04時02分：追加の薬液注入開始(4回目：1本，計1,200ℓ)
- 05時08分：排水作業開始，立坑内への流入水量確認 300ℓ/分  
薬液注入材料が尽きたため，注入材料の到着まで待機
- 08時45分：追加の薬液注入開始(5回目：21本，18,600ℓ)
- 21時30分：掘進機チャンバー内へ直接薬液注入開始(6回目：1本，600ℓ)
- 22時47分：排水作業開始，立坑内への流入水量確認 60ℓ/分  
立坑底面までの排水作業作業開始

#### 10月29日(月)

- 00時25分：立坑底面までの排水作業作業完了
- 00時40分：消防による救出活動再開
- 08時02分：礫分級員救出(死亡確認)
- 14時33分：掘進機運転員救出(死亡確認)

### 4-3 掘進機取り出し工事で確認された地盤条件

掘進機の取り出し工事は、φ2500mmの鋼製ケーシング立坑を掘進機前面から30cm程度の離隔距離をとり、掘進機より2m程度深くまで施工している。そして、平成25年2月7日～8日に行った立坑掘削時には、地表付近では約1m毎に、推進管深度付近では約50cm毎に地盤の性状を確認している。

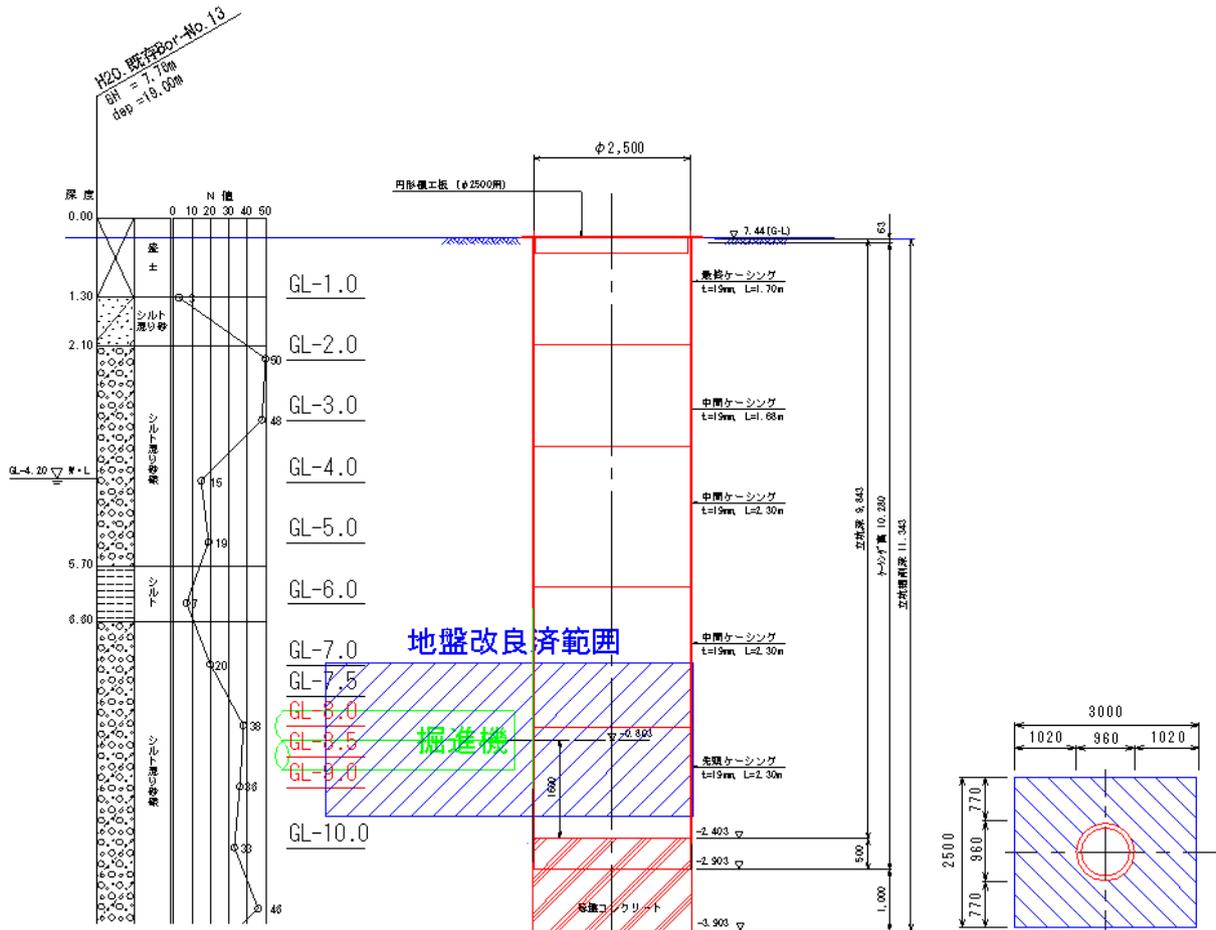


図 4-2 掘進機取り出し工事における鋼製ケーシング立坑施工状況

図 4-3 の写真は、各深度において採取された土質のサンプルを並べたもので、配置された数字板は地表面からの深さを示している。図 4-4 は GL-7.5m (推進管上端付近)、図 4-5 は GL-8.0m (推進管中心付近)、図 4-6 は GL-8.5m (推進管下端付近) のそれぞれの土質状況であり、写真左側がクラムシェルで掘削した土砂をダンプトラックに積み込んだ状況で、写真右側が採取した土質サンプルの状況写真を示している。なお、土質サンプルの写真は、最大礫径や薬液注入塊の大きさを確認するために礫や玉石を特に取り出しており、礫の混入状況は掘削した土砂のダンプトラックへの積み込み時に確認している。

この結果、地盤状況は、地表面から GL-2m 程度までは細粒分が豊富なシルト質砂礫を主体とする盛土層、GL-6m 程度まではシルト混じり砂礫層であった。GL-6.0~6.5m 付近には層厚が 1m 程度の礫混じりシルト層を挟み、GL-6.5m 以深は、 $\phi 2\sim 50\text{mm}$  程度の亜円礫を主体とする細粒分の少ないシルト混じり砂礫層で  $\phi 150\sim \phi 200\text{mm}$  程度の玉石の混入割合は  $1\text{m}^3$  に 1~4 個程度であった。

今回の立坑掘削時の地盤調査結果は、工事に先立って実施した地質調査業務の調査結果と同じ地盤状況であり、特異なものは確認されなかった。



図 4-3 各深度の土質サンプル

GL-7.5m (推進管上端付近) の土質は、 $\phi 2\sim 30\text{mm}$  程度の亜円礫が主体で細粒分が少ないシルト混じり砂礫層であった。最大礫径は  $\phi 200\text{mm}$ 、最大薬液注入塊は  $\phi 350\text{mm}$  が確認され、 $\phi 150\text{mm}$  程度以上の大きな玉石は  $1\text{m}^3$  に 1 個程度の混入割合であった。



図 4-4 GL-7.5m (推進管上端付近) の掘削土砂と土質サンプル

GL-8.0m (推進管中心付近)の土質は、 $\phi 2\sim 50\text{mm}$  程度の亜円礫が主体で細粒分が少ないシルト混じり砂礫層であった。最大礫径は $\phi 170\text{mm}$ ，最大薬液注入塊は $\phi 380\text{mm}$ が確認され， $\phi 150\text{mm}$  程度以上の大きな玉石は $1\text{m}^3$ に3～4個程度の混入割合であった。



図 4-5 GL-8.0m (推進管中心付近)の掘削土砂と土質サンプル

GL-8.5m (推進管下端付近)の土質は、 $\phi 2\sim 50\text{mm}$  程度の亜円礫が主体で細粒分が少ないシルト混じり砂礫層であった。最大礫径は $\phi 150\text{mm}$ ，最大薬液注入塊は $\phi 150\text{mm}$ が確認され， $\phi 150\text{mm}$  程度以上の大きな玉石は $1\text{m}^3$ に3～4個程度の混入割合であった。



図 4-6 GL-8.5m (推進管下端付近)の掘削土砂と土質サンプル

## 5 泥濃式推進工法について

### 5-1 泥濃式推進工法の概要

#### (1) 推進工法の歴史

日本における推進工法の歴史は、1948年に軌道下を内径600mmの鑄鉄管をさや管として施工したのが始まりである。当初の推進工法はガス、水道、通信ケーブル等のさや管を軌道や道路等を横断して埋設するための特殊な工法であったが、1963年12月の生活環境施設整備緊急措置法に基づく第1次下水道整備5箇年計画以降は、推進工法も下水道事業に多く活用されるようになった。

さらに、需要の拡大に伴いシールド工法等の技術を取り入れ、安全性の高い工法へと進展し、泥水式や土圧式といった機械式推進工法が開発され下水道工事で採用されるとともに、泥濃式推進工法を含む現在の密閉型の推進工法が確立されてきた。

(推進工法体系 I 推進工法技術編 2013年版  
公益社団法人日本推進技術協会より一部抜粋)

#### (2) 泥濃式推進工法の実績

表 5-1 中大口径の工法別発注延長実績 (km)

形式	H17年	H18年	H19年	H20年	H21年	H22年	合計
刃口式	11.4	9.4	12.0	11.0	12.3	6.3	62.4 (8.3%)
泥水式	43.7	43.6	43.2	28.4	26.2	15.0	200.1 (26.6%)
土圧式	8.0	11.0	9.8	8.8	12.1	6.1	55.8 (7.4%)
泥濃式	102.2	91.3	76.7	70.3	43.8	40.8	425.1 (56.6%)
その他	0.8	3.1	2.2	0.6	1.0	0.7	8.4 (1.1%)
合計	166.1	158.4	143.9	119.1	95.4	68.9	751.8

(公益社団法人 日本推進技術協会HPに一部追記)

#### (3) 泥濃式推進工法の特徴

泥濃式推進工法は、泥水式推進工法(1965年初施工)や土圧式推進工法(1976年初施工)より遅れて、1981年に初めて施工された。当初は、泥水式や土圧式の砂礫地盤への課題に注視して、大きな礫の取り込みを可能とする掘進機の開発を行い、掘進効率向上のために排泥口径を大きくした取込方式となった。その結果、掘削時の掘進機への負荷が軽減され、礫の摘出能力が向上した点に特徴がある。

また、地盤条件に合わせた高濃度泥水の配合や注入量の変更により、粘性土層から砂礫地盤まで幅広い地盤への対応が可能であることや、推進管に対する余掘り量が多いため、管周面に高濃度泥水や固結型滑材を加圧充満させることにより管周面摩擦力が低減でき、長距離施工や曲線施工に適応しやすいという特徴がある。

その一方で、礫や玉石を排泥管の排泥バルブを開放して取り込むため、排泥バルブの開放時には土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内が一時的に直結するリスクを伴い、また、地盤条件に応じて高濃度泥水の配合や注入量を適切に変更することは現場作業員の経験に負うところが大きいことや、管内で吸引排土ができる粒径以下に排泥を分級する必要があるなど、安全性を重視した施工管理が必要である。

#### (4) 泥濃式推進工法の概要

泥濃式推進工法は、掘進機前面のカッターヘッドで地盤を掘削しながら立坑内に設けた元押しジャッキの推進力により推進管を地中に圧入して管渠を埋設していく工法である。掘進作業は、高濃度泥水を切羽部に注入することにより、切羽と隔壁間のチャンバー内を掘削土砂と高濃度泥水を攪拌混合した泥土で充満させ、泥土の圧力を切羽面に作用する土水圧を上回る圧力に保持することにより切羽の安定が図られる。この泥土は、掘進機内の排泥バルブを開閉することにより切羽と掘進機内の圧力差で間欠的に貯泥槽に排泥される。排泥された泥土は搬送可能な粒径以下に分級され、バキュームの吸引力により立坑外へ搬出される。吸引が不可能な大きさの礫や玉石は管内作業員が分級し、トロバケットにより立坑内に搬出される。

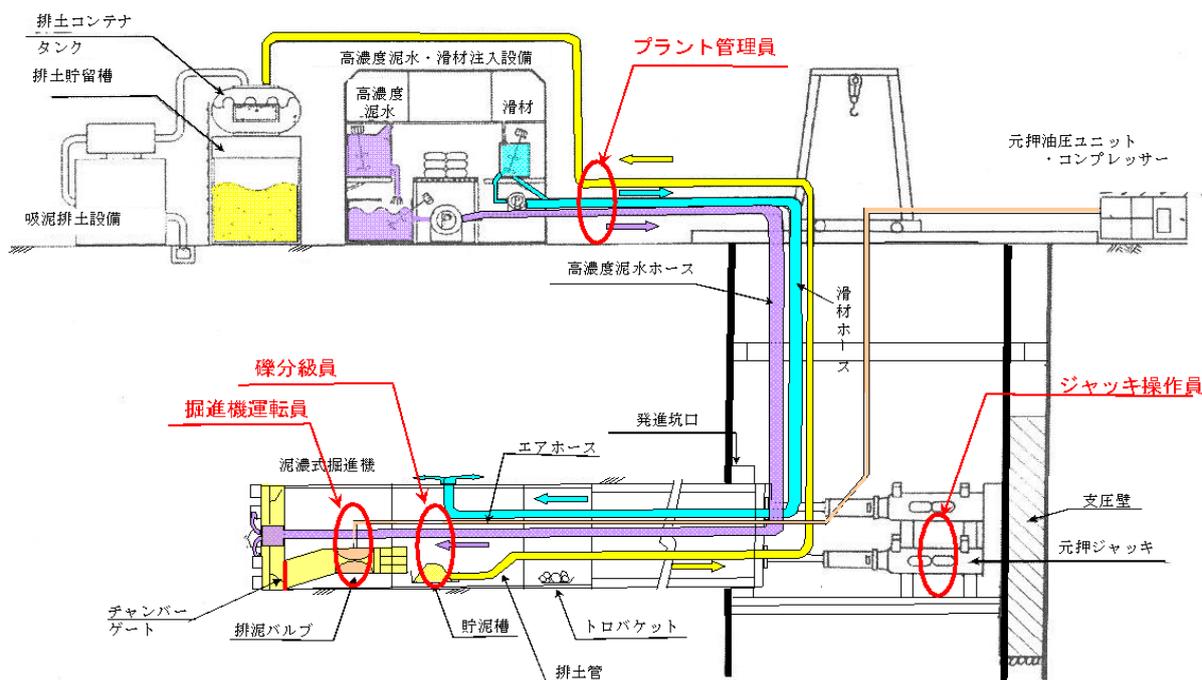


図 5-1 泥濃式推進工法説明図

(推進工法体系 I 推進工法技術編 2013 年版

公益社団法人 日本推進技術協会より抜粋して一部追記)

※○で示した人員配置は、機内操作型の掘進機を用いた場合のものである。

チャンバー内の泥土は、排泥バルブの開閉により間欠的に排出するため、チャンバー内の圧力が変動するが、一般にチャンバー内の泥土の保持圧力は次のように設定している。  
 下限保持圧力・・・地下水圧+20kN/m<sup>2</sup>  
 上限保持圧力・・・地下水圧+50～60kN/m<sup>2</sup>

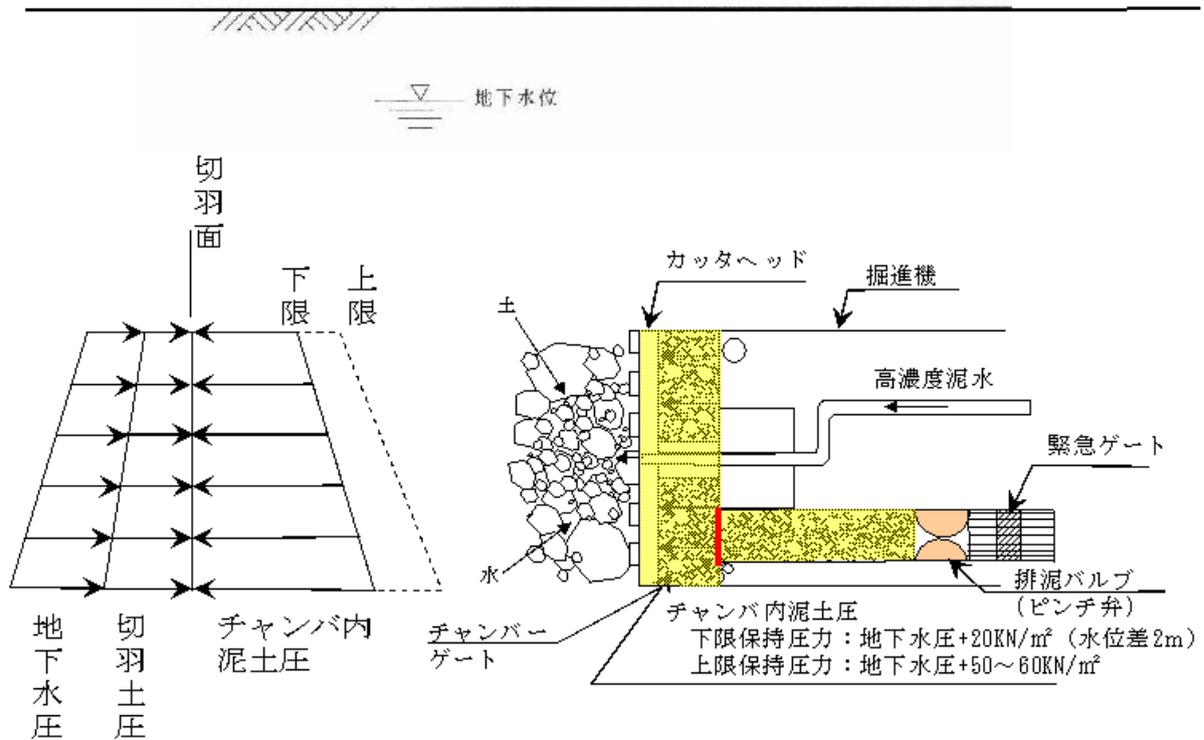


図 5-2 泥濃式の切羽管理方法

(推進工法体系 I 推進工法技術編 2013 年版)

公益社団法人 日本推進技術協会より抜粋して一部追記)

## (5) 掘進中の作業員の役割と作業内容

図 5-3 に「業界団体」，「工法協会」，「施工業者」へのアンケート結果より作成した標準的な掘進中の作業内容を記載する。掘進作業は掘進機運転員を中心に、礫分級員，ジャッキ操作員，プラント管理員の 4 人で行う。なお、礫分級員は管内での礫分級作業が必要な砂礫地盤を施工する場合に必要な。

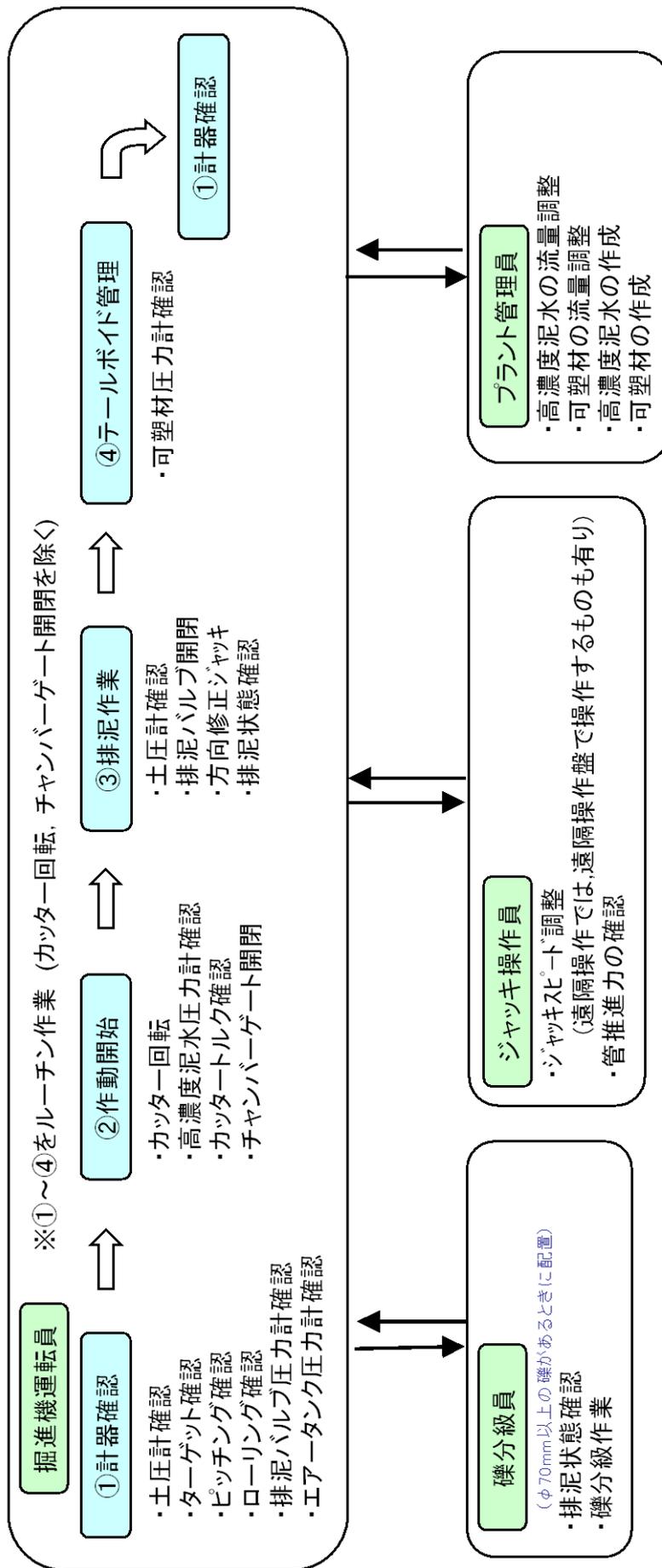


図 5-3 掘進作業中の標準的な作業内容

## 5-2 泥濃式推進工法の掘進機

### (1) 掘進機

掘進機の操作方式は機内操作方式と遠隔操作方式があるが、泥濃式推進工法では機内操作方式が多く普及している。普通土地盤用のカッターヘッドは一般にスポーク形式になっており、スポークにはカッタービットが取り付けられている。岩盤や砂礫地盤用は破碎形式になっており、ローラービットが装備されている。

図 5-4 に機内操作方式の掘進機仕様図(礫破碎型)を示す。前面のカッターヘッド部の開口寸法は、排泥管に取り込める寸法の礫や玉石しかチャンバー内に入らないように制限されており、取り込める寸法になるまでカッター前面のローラービットで礫を破碎する構造となっている。

掘進機内には、高濃度泥水と掘削土砂を攪拌混合した土砂をチャンバー内から排出するための排泥管が装備されており、一般的には排泥管の閉鎖装置として、切羽側から順にチャンバーゲート、排泥バルブ、緊急ゲートの3点が装備されている。

機内操作方式の掘進機を用いた場合の一般的な管内作業員の作業位置は、掘進機運転員が排泥バルブ付近、礫分級員が貯泥槽付近である。

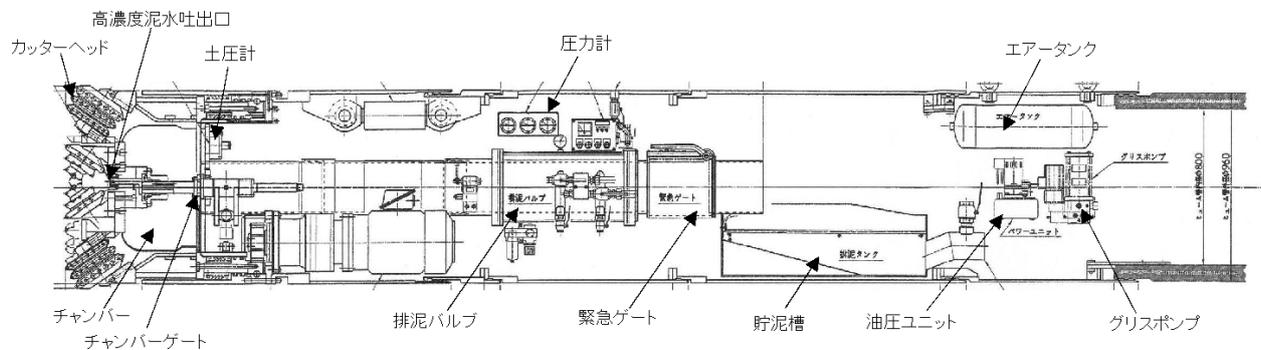


図 5-4 機内操作方式の掘進機仕様図(礫破碎型)



図 5-5 掘進機前面写真(礫破碎型)

## (2) 排泥バルブ

排泥バルブは、排泥管内に設置されたゴムにエアを注入して、空気圧により排泥管を閉鎖する構造である(図 5-6 参照)。排泥バルブ操作装置はジョイスティック型になっており(図 5-7 参照)、スティックを傾ける方向によりゴムへのエア注入・排出を制御して排泥バルブを開閉し、スティックが中立の状態ではエアの注入・排出は停止している。

機械製作メーカーへのヒアリングによると、排泥バルブの閉鎖に要する時間は1秒程度で8~9割の面積は閉鎖が可能であり、その後、4秒程度で完全に閉鎖される。

排泥バルブの開閉作業は、切羽とチャンバー内の圧力バランスを保つ重要な役割を担っており、排泥作業中は常に開閉作業が繰り返される。



図 5-6 排泥バルブ写真

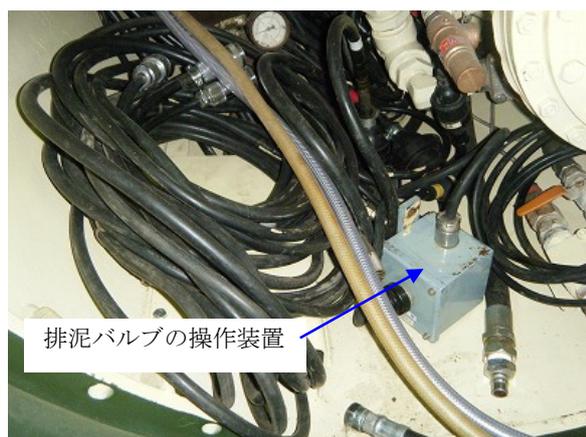


図 5-7 排泥バルブの操作装置写真



図 5-8 排泥バルブ設置位置写真

### (3) チャンバーゲート

チャンバーゲートは、チャンバーと掘進機内のある隔壁部に設置されたゲート板(図5-10参照)を油圧ジャッキでスライドさせることにより、排泥管の取り込み口を閉鎖する装置である。チャンバーゲートの操作は、操作盤にあるスイッチで油圧パワーユニットを起動させて、開閉を行う。

機械製作メーカーへのヒアリングによると、チャンバーゲートの閉鎖に要する時間は30秒程度である。

チャンバーゲートは掘進作業中には常時開放しており、一般的には作業終了時や昼休み、管据付時など、長時間掘進作業を行わない時に閉鎖する。

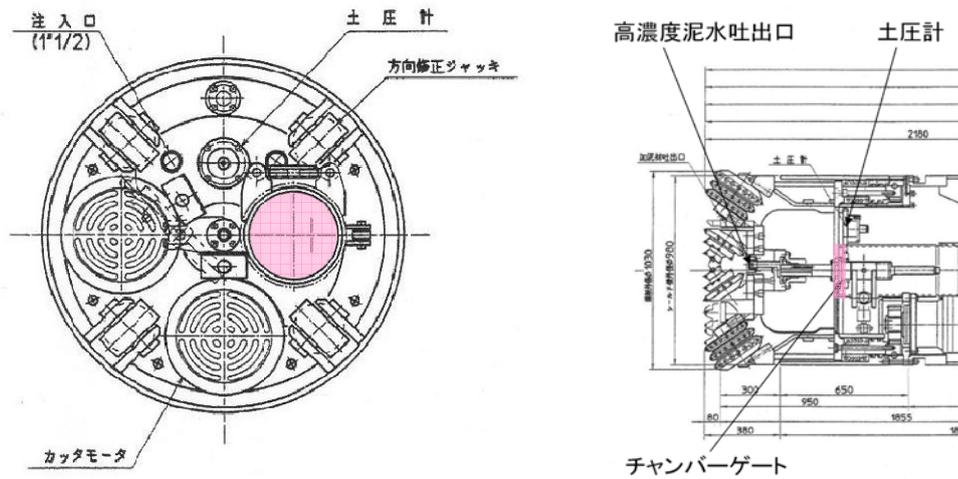


図5-9 チャンバーゲート周辺の図面

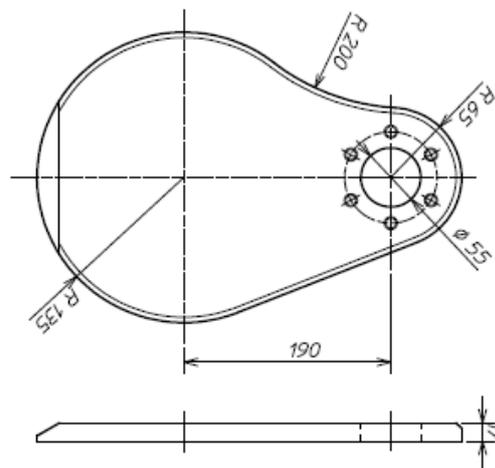


図5-10 ゲート板図面

#### (4) 緊急ゲート

手動式の緊急ゲートは、排泥バルブ後方の排泥管内に設置されており、解除レバーを外すとハンドルが下に落ちて、緊急ゲートが閉鎖される構造である。

緊急ゲートは不測の事態に備えて設置された排泥管の閉鎖装置であり、通常の作業で使用することはない。また、一度閉鎖するとゲート室の分解組立作業が必要となる。

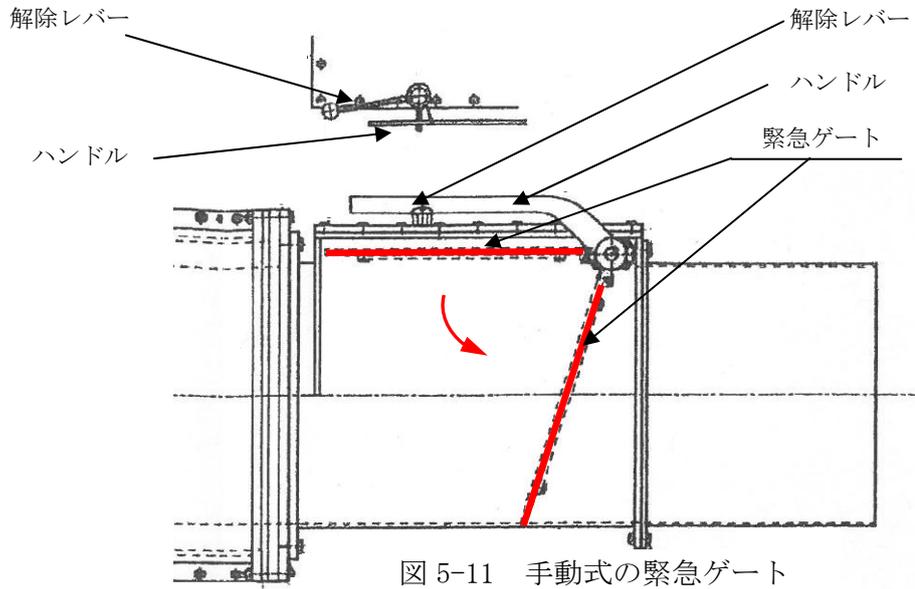


図 5-11 手動式の緊急ゲート

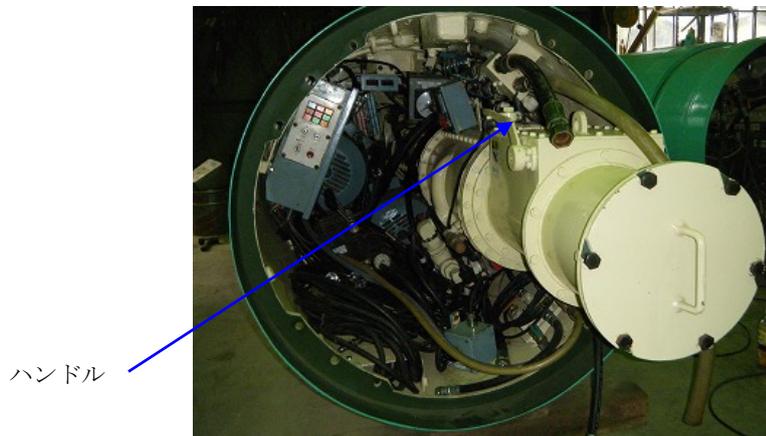


図 5-12 手動式の緊急ゲート写真

## (5) 排泥バルブへのエア－供給系統

排泥バルブはゴムへエア－を注入・排出することにより空気圧で開閉される構造である。図 5-13 に排泥バルブへのエア－供給系統図を示す。立坑上に設置されたコンプレッサーで圧縮空気を送り出し、掘進機内のエア－タンクに  $70 \text{ N/cm}^2$  程度の空気圧でエア－が供給される。エア－タンクは流入部にチェック弁(逆止弁)が付いており、コンプレッサーからのエア－供給が停止して圧力が低下した場合はタンク内にエア－を蓄えることができ、リリーフ弁により想定外の圧力上昇に対応する構造となっている。

また、エア－タンクにはコンプレッサーによる空気圧の不連続性を補い、排泥バルブに安定した圧力でエア－を供給する空気圧調整機能と、何らかのトラブルによりエア－供給が途絶えた場合に予備空気残量を確保する機能がある。エア－供給系統の異常によりエア－供給が途絶えた場合は、エア－タンクに設置された圧力計を確認することで、異常の発生を感知することができる。

エア－タンクと排泥バルブの間にはレギュレーターを設置しており、空気圧を  $70 \text{ N/cm}^2$  程度から  $25 \text{ N/cm}^2$  程度まで減圧している。排泥バルブへのエア－注入・排出は電磁弁で制御しており、排泥バルブを開放するにはエア－を排出し、閉鎖するにはエア－を注入する構造となっている。

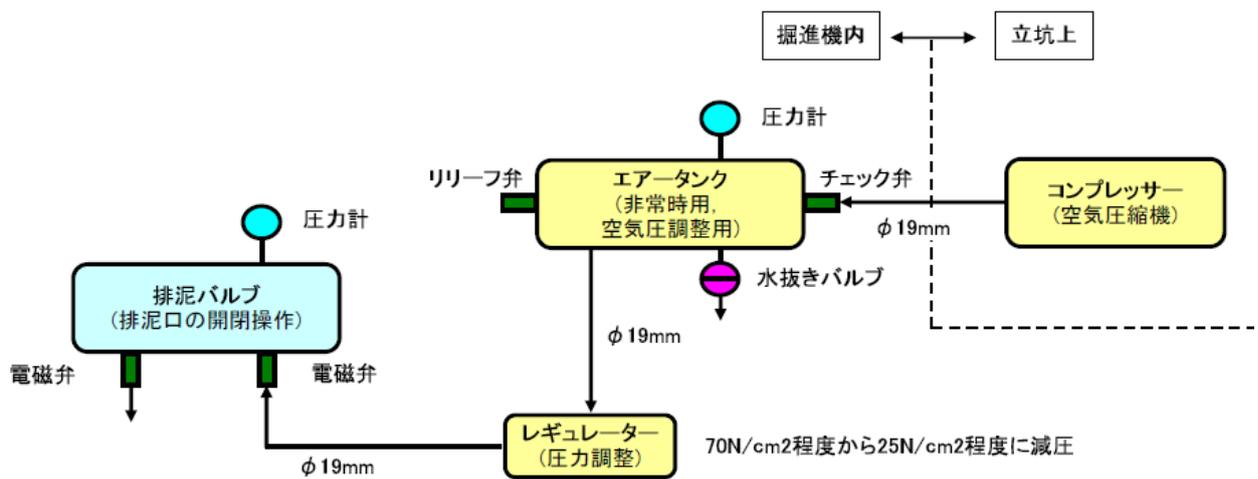


図 5-13 排泥バルブへのエア－供給系統図

※レギュレーター：供給側の変動する圧力に対し、出口側の圧力を一定状態にコントロールしたり、圧力を減じたりするもの。

## 6

# 泥濃式推進工法で考えられる事故発生要因

本委員会では、委員会での議論の内容を踏まえて、「業界団体」、「泥濃式推進工法の工法協会 6 団体」、「泥濃式推進工法を行う施工業者 9 社」の計 16 の団体、会社に対してアンケートを実施し、泥濃式推進工法における作業内容や想定されるトラブル、現在行われている安全対策や追加すべき事故防止機能などについて意見を頂いた。委員会では、これらのアンケート結果や施工業者へのヒアリング内容および今回の事故事象等をもとに、泥濃式推進工法について「地盤」・「機械」・「人」に着目して事故発生要因の分析を行った。

### 6-1 地盤に関する要因

#### 要因① 多様な地盤に適用できる工法のリスク

泥濃式推進工法は、地盤の変化に応じて高濃度泥水の配合や注入量を変更することにより、粘性土から砂礫、玉石まで多様な地盤に適用できる工法とされ、細部仕様が異なる多数の掘進機が存在している。このため、地盤条件に対応した掘進機を用い、常に排泥される泥土の状態に応じて高濃度泥水の配合や注入量、ジャッキスピードの変更などの確かな施工管理が求められる。

施工管理では、掘進機運転員は常に「高濃度泥水と掘削土砂を攪拌混合した泥土により、切羽の崩壊を防止する難透水性の泥膜が形成できているか」、「チャンバー内からの排泥は、排泥速度を適切に保ちつつ貯泥槽からの吸引排土を円滑に行うための適度な流動性が確保できているか」、「高濃度泥水と掘削土砂がうまく攪拌混合された状態で礫分を排出できているか」などの泥土性状を確認しなければならない。

高濃度泥水の濃度や注入量が適正でない場合は、切羽が安定を保てずに周辺地下水がチャンバー内の泥土に混入し、泥土の流動性が高まって噴発が発生しやすくなる。特に高水圧で透水係数が高い(例えば、均等係数の小さい礫地盤)などの施工難易度が高い地盤では、切羽から土砂と水が掘進機内に流入することも考えられる。

多様な地盤に適用できる泥濃式推進工法による施工の確実性や安全性は、排泥された泥土を確認し、高濃度泥水の配合や注入量を調整することにより対応されている。地盤条件への対応が適切でない場合やその対応が遅れた場合には、噴発などのトラブルが発生するリスクが拡大するため、安全な管内作業を可能とする対策が必要となる。

## 要因② 事前調査で把握しきれない地盤条件変動のリスク

推進工事実施前の土質調査は、1 スパン(立坑間)毎に必ず1ヶ所は実施し、長距離推進施工または土質の変化状況に応じて50~100m間隔で行う。ただし、地盤の状態が著しく変化すると考えられる場合は、さらに調査間隔を狭めて行うこととなる。(参照：推進工法体系 II 計画設計・施工管理・基礎知識編 2013年版 公益社団法人 日本推進技術協会)

もともと地盤は不均一に堆積しており、水みちや被圧地下水、透水係数の変化や部分的な地盤の緩み、地層境界など標準的な調査では把握しきれないことが多い。このように限られた事前調査で地盤条件を明確に把握し、設計に反映することは困難であるとともに、施工中のチャンバー内の泥土状況は排泥バルブの開放前に確認することができない。したがって、これらの不明確な地盤条件やその変動への対応は、現場作業員の施工管理技術に多くを委ねてきている。

施工時に変化する地盤条件への対応が適切でない場合やその対応が遅れた場合には、噴発などのトラブルが発生するリスクが拡大するため、様々な地盤条件の変動に対して、現場作業員の安全が確実に確保できる対策が必要である。

## 6-2 機械に関する要因

### 要因③ 停電や漏電などの電気トラブル

排泥バルブの開閉は、エア流入部、排出部に設置された電磁弁を制御して、排泥管内のゴムにエアを供給することで行っている。電磁弁が流入部、排出部ともに通電時に弁が開く構造となっている場合は、排泥バルブを開放した状態で電気供給が途絶えると、両方の弁が閉まってエア供給・排出ともに停止するため、排泥バルブが開放状態のままとなり、切羽から土砂と水が掘進機内に流入する結果となる。

停電や漏電などの電気トラブルは起きうるものであり、この発生確率をゼロにすることは不可能であることを考えれば、発生確率を小さくする取り組みや発生した場合の対応が必要である。

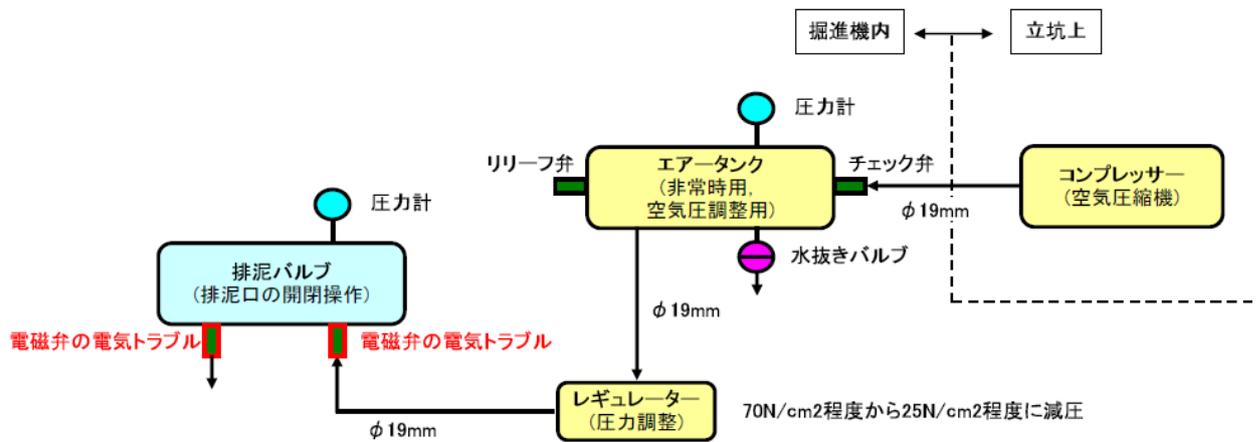


図 6-1 排泥バルブの電気トラブル発生箇所

工法協会や施工業者に対するアンケート結果より、現時点で実施されている電気トラブルに対応した安全対策は以下の通りであった。

- ① 緊急ゲートを閉鎖する。
- ② 手動バルブにより排泥バルブを閉鎖する。
- ③ 電気供給停止時に排泥バルブが自動閉鎖する。

①、②の対策は、土砂と水が流入した後に作業員が実施する対策であり、人に頼った安全対策となる。人の対応が遅れた場合は土砂と水の流入が拡大するため、③のように自動的に閉鎖する安全対策が必要である。

#### 要因④ 排泥バルブへのエア供給停止

コンプレッサーの故障やエアホースの破損などにより、排泥バルブへのエア供給が停止すると、排泥バルブは操作不能となる。

エアータンクより立坑側で発生したトラブルによりエア供給が停止した場合は、エアータンク内の予備空気を使用して、数回の排泥バルブ操作が可能である。エアータンク圧力計の異常低下を予備空気残量がある時に確認できれば、排泥バルブを閉鎖して土砂と水の流入を回避できるが、エアータンクの圧力低下に気付かず作業を続けた場合は、エア供給の停止により排泥バルブが開放状態で操作不能となり、切羽から土砂と水が掘進機内に流入する結果となる。

この状況を回避するためには、エアホース等の点検や定期的な交換を行うとともに、現場作業員がエア供給の停止を速やかに察知することが必要である。

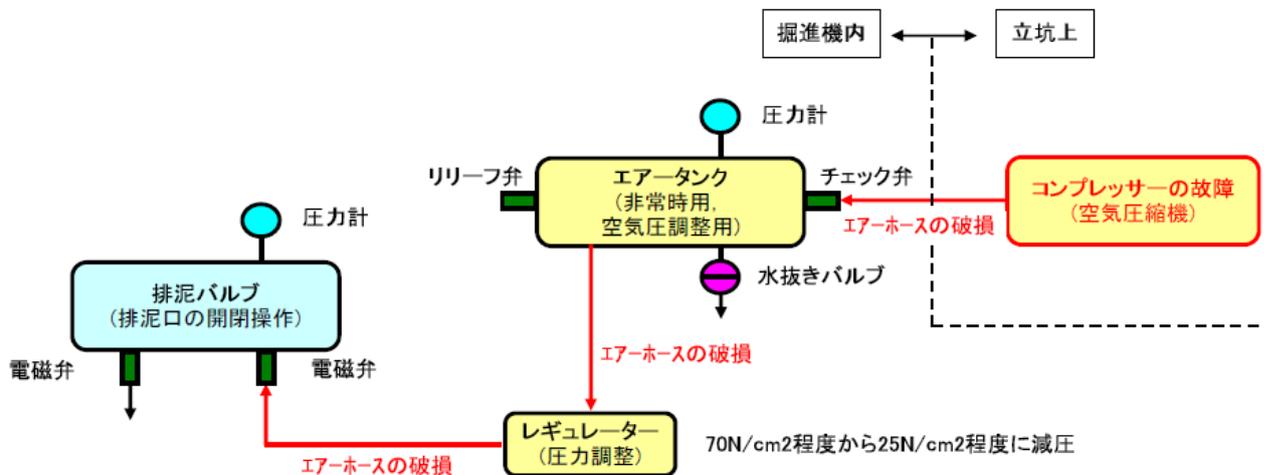


図 6-2 排泥バルブのエア供給停止トラブル発生箇所

工法協会や施工業者に対するアンケート結果より、現時点で実施されている排泥バルブへのエア供給停止に対応した安全対策は以下の通りであった。

- ① 緊急ゲートを閉鎖する。
  - ② エアータンク圧力計を確認する。
  - ③ エアータンク圧力低下時に警報が鳴り作業停止する。
- ※エアータンク圧力低下時に、排泥バルブが自動閉鎖する機種もある。

①は土砂と水が流入した後に作業員が実施する対策で、②はエアータンクの圧力状況を作業員が常に確認して行う対策である。③は作業員に対応を促す機能であり、警報作動後に作業を中止するのに十分な予備空気量を確保する必要がある。安全対策としては、異常警報に連動して自動的に排泥管を閉鎖する安全対策が必要である。

## 要因⑤ 排泥バルブのゴム破断

排泥作業中に角礫との摩擦などで排泥バルブのゴムが破断すると、排泥管の閉鎖ができずに土砂と水の掘進機内への流入を止めることができなくなる。関係者へのヒアリングの中では、排泥バルブ内のゴムは多層構造となっており、一瞬で閉鎖不能となる可能性は低いとの意見もあったが、逆にゴムが破断することはないと過信する危険性もある。

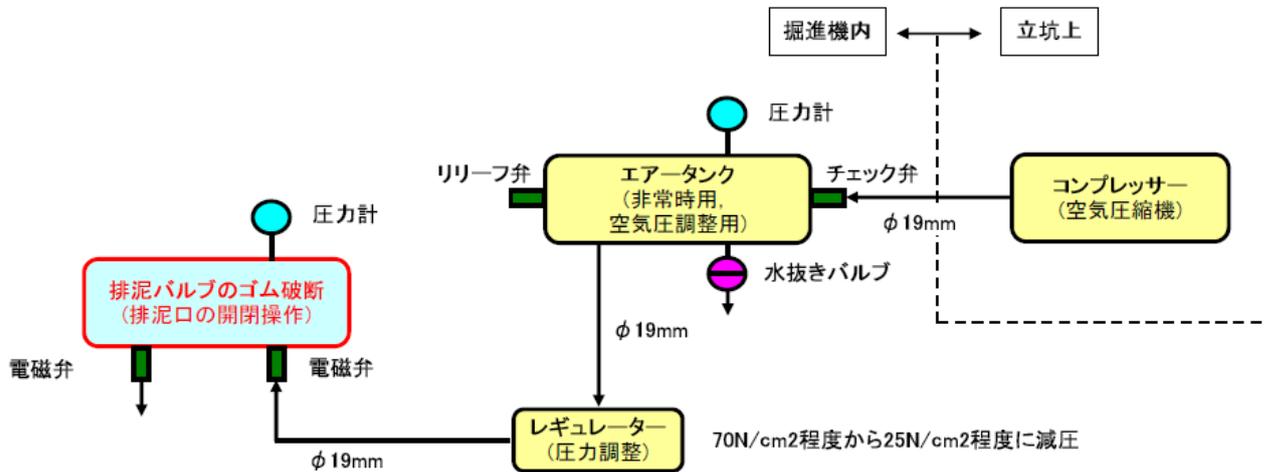


図 6-3 排泥バルブのゴム破断トラブル発生箇所

工法協会や施工業者に対するアンケート結果より、現時点で実施されている排泥バルブのゴム破断に対応した安全対策は以下の通りであった。

- ① 緊急ゲートを閉鎖する。
  - ② チャンバーゲートを閉鎖する。
  - ③ ゴムの交換，点検を徹底する。
  - ④ 排泥バルブを直列2連化する。
- ※④は高水圧の場合のみ採用しているものも含む。

①，②は土砂と水が流入した時に作業員が実施する対策である。③は予防保全対策として現実的なものであるが、排泥バルブのゴム破断は、いつ何が原因で起こるか分からない。このようなトラブルが発生することを前提に、点検や定期的交換などの確実な実施による事故発生確率の減少対策，発生した場合の安全対策が求められる。

## 6-3 人に関する要因

### 要因⑥ 作業員の知識や経験の不足

掘進機運転員には、多様な地盤条件に対応する施工管理技術、掘進機を含む推進機器設備の操作技術、マシントラブルへの対応能力、作泥材の種類や配合などに対する知識と経験など多くのものが求められる。

作業員の施工経験が不足している場合、適用工法に関するシステム全体に対する理解が不足する場合、また推進機器設備の点検やメンテナンスが不十分である場合、高濃度泥水の配合などが地盤の変化に対応できていない場合には、噴発などのトラブルが発生するリスクが拡大する。

どのような状況においても、作業員の知識や経験の不足などの人的要因によって事故が発生する事態は避けなければならないが、あらゆる施工条件に対して適切な対応ができる作業員を配置できるとは限らない。また、人間は大小の差こそあれミスを犯す可能性があり、人為的ミスが大きな事故の発生に至らないために機械やシステムでカバーする安全対策を行うことが必要である。

### 要因⑦ 作業員の情報共有不足

機内操作型の掘進機では、管内作業員は計器類や排泥した泥土の状態から様々な判断を行い、立坑内にいるジャッキ操作員や立坑上にいるプラント管理員に対して安全に推進できるように、ジャッキスピードや高濃度泥水の配合などの指示を行っている。したがって、立坑側にいる作業員は泥土性状を含む掘進状況をリアルタイムに把握できる環境にはなく、管内作業員から伝えられる情報により切羽の状態を推測するだけとなる。このため、管内作業員の判断を超えるような状況が発生した場合は、噴発などのトラブルが発生するリスクが拡大する。

また、「停電や漏電などの電気供給停止」、「排泥バルブへのエア供給停止」、「排泥バルブのゴム破断」、「泥水注入ポンプの故障による高濃度泥水の注入停止」などの事故発生要因となるトラブルが発生した時に管内作業員への連絡が遅れると、適切な対応ができずに事故につながる可能性がある。

このような事態を防ぐ対策としては、掘進機内と立坑側のそれぞれで管理されている情報を共有できるようなシステムを構築し、複数の者が作業の適否を判断するとともに、トラブル発生時に全ての作業員が速やかに状況把握できる環境の整備が必要である。

### 要因⑧

#### 礫や玉石による排泥管やチャンバー内の閉塞を解消する作業に対する安全性の不足

玉石を多く含む砂礫層などでは、排泥管やチャンバー内に礫や玉石などが詰まって閉塞を生じる場合がある。閉塞を解消する作業では、排泥バルブを一時的に開放して閉塞箇所を介して土水圧が作用している切羽と大気圧下の掘進機内を直結した状態とし、排泥口から閉塞箇所まで棒などを挿入して礫や玉石を移動させるなど、噴発のリスクがある危険な状態で作業を行っているケースも報告されている。この行為は管内作業員を巻き込む事故に発展する可能性があり、安全に排泥管やチャンバー内の閉塞状態が解消できる方法で作業を行う必要がある。

## 6-4 事故発生要因の整理とその背景因子

これまで述べた泥濃式推進工法における事故発生要因とその背景因子の関係を、図 6-4 に示している。これらが人的被害につながる事故発生の要因となるのは、「排泥バルブ開放時に、土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内が一時的に直結し、退避が困難な狭い掘進機内にいる管内作業員が排泥箇所の間近にいる」という泥濃式推進工法特有の状況が背景因子として考えられる。

このような状況では、以下のように各要因が複合して事故が発生する可能性がある。

- ・事前の土質調査で把握できなかった被圧地下水に遭遇し(要因②)、チャンバー内の圧力管理が対応できず(要因⑥)、切羽が崩壊に至り、チャンバー内泥土に周辺水が混入して泥土が高い流動性を持つものとなり、排泥バルブの開放時に排泥バルブの閉鎖が間に合わないほどの速さで土砂と水が掘進機内に流入する。
- ・透水係数が高い地盤を掘進中に(要因①)、停電が発生し、排泥バルブが開放状態で操作不能となったため(要因③)、掘進機内に大量の土砂と水が流入する。

「機械に関する要因」により排泥バルブが操作できない状況に陥った場合は、単独要因で事故に直結する。この背景因子のもとでは、それぞれの要因が単独もしくは複合して事故となる可能性があることから、二重、三重の安全対策が必要となる。

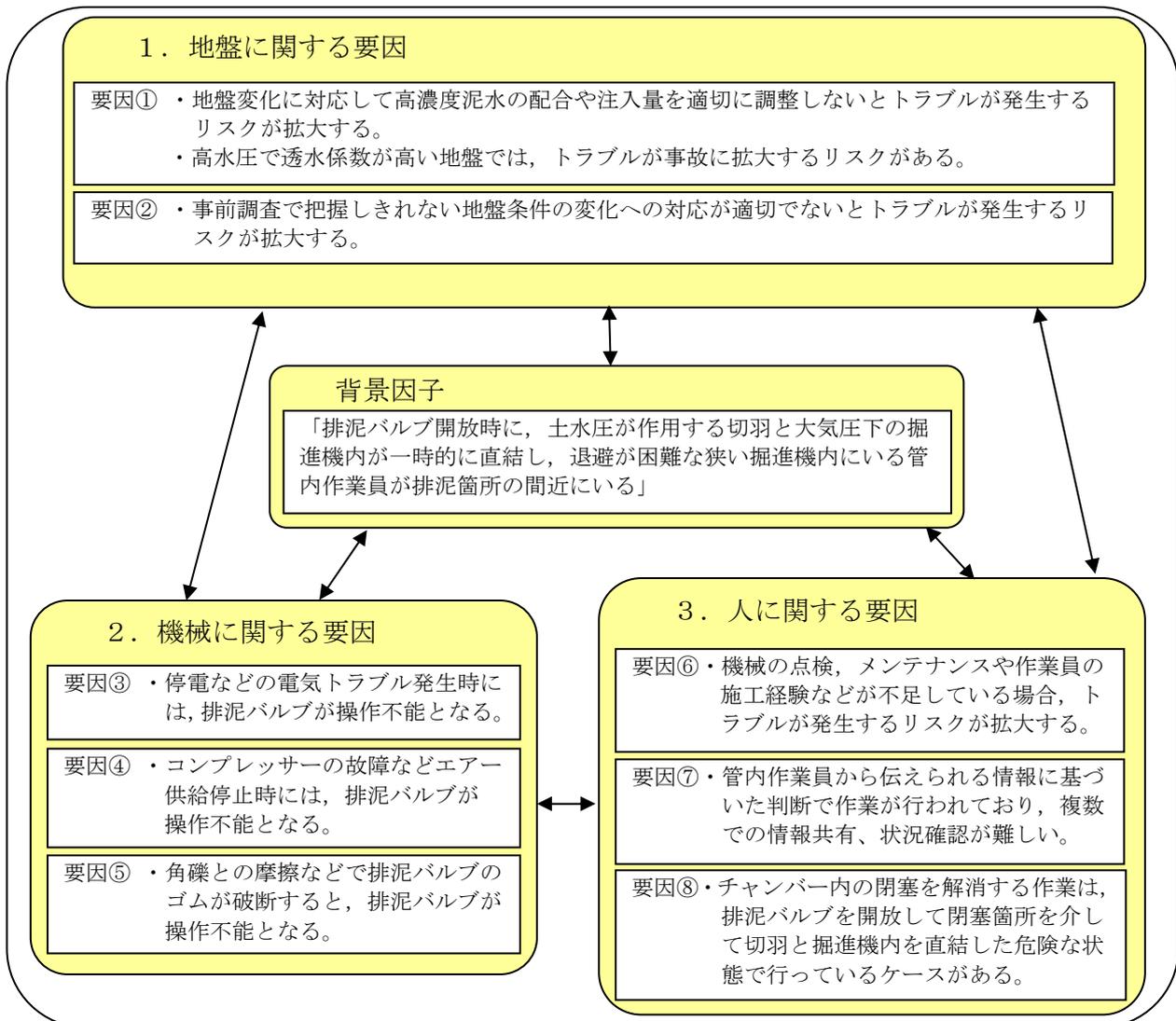


図 6-4 事故発生要因とその背景因子

## 7 事故の再発防止に向けて

### 7-1 事故の再発防止策の基本方針

事故発生背景因子があるなかで管内作業員が安全に施工を行うには、

- ・十分な推進機器設備の点検，メンテナンスが実施されており，推進機器設備にトラブルが発生しない
- ・地盤条件の変動に適切な施工管理技術で対応できる
- ・作業員は作業手順を遵守する

などにより泥濃式推進工法のシステムを正常に稼働させることが必要である。

しかし、「人は置かれた環境条件によってはミスを犯すこともある」，「地盤条件の変動を完全に把握することはできない」，「停電を含めた不測の事態が発生することがある」などの事故発生要因の全てを，上記に述べた対応のみで解消することは不可能と考える。

管内作業員が十分な対応を行うことが難しいほどの短時間で，管内に土砂と水が流入する可能性もあり，管内作業員のみ依存した対応だけでは十分な安全対策とはならない。そのため，システムが正常に作動しているかをモニタリングし，異常を検知した場合には自動的に安全装置が作動するフェイルセーフ機能が必要であることを確認した。

事故の再発防止には，人が犯すミスや地盤条件の変動および不測の事態によってトラブルが発生することを想定し，事故発生背景因子の解消とあわせて最低限人命を守るための安全対策が必要である。よって，再発防止策として以下の基本方針を示す。

#### 基本方針1 予防の徹底

泥濃式推進工法のシステムを正常に稼働させるためには，十分な推進機器設備の点検，メンテナンスや作業手順の遵守，地盤変化に対応した高濃度泥水の管理が必要である。また，排泥バルブ，緊急ゲートなどの排泥管閉鎖装置については，緊急時にも確実に閉鎖できる性能を有することが必要である。さらに，高透水係数，高水圧などの厳しい条件に対しては，安全な施工ができる掘進機の仕様や工法の適用可能条件を公的機関でも精査し確認する必要がある。

#### 基本方針2 モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保

土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内をつなぐ排泥管に設けられた排泥バルブの故障は，事故発生に直結する。したがって，排泥バルブにおいて想定されるトラブルに対しては，モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能を確保する必要がある。

#### 基本方針3 事故発生背景因子の解消

装備したモニタリング機能でも把握できないような急激な地盤条件の変化や施工難易度が高い地盤での作業員の対応の遅れなどによる現象には，基本方針1，2でも対応できない場合がある。そのようなリスクに対しては「排泥バルブ開放時に，土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内が一時的に直結し，退避が困難な狭い掘進機内にいる管内作業員が，排泥箇所の間近にいる」という状況を解消し，管内作業員の安全を確保する必要がある。

## 7-2 再発防止に向けた対策内容

以下では、前述の「三つの基本方針」に沿って、6章でとりまとめた要因に対して有効と考えられる対策を例示する。

### (1) <基本方針1> 予防の徹底

対策①： 推進機器設備の点検，メンテナンスの徹底

※関連する要因

「要因③ 停電や漏電などの電気トラブル」

「要因④ 排泥バルブへのエア供給停止」

「要因⑤ 排泥バルブのゴム破断」

(解説)

○泥濃式推進工法のシステムを正常に稼働させるためには、掘進機のみならず元押し装置、コンプレッサー、吸引設備、注入設備、電気供給設備などの周辺機器も含めた推進に関連する全ての機器が正常に稼働する必要がある。以下に、これらの設備にトラブルが発生した時に生じるリスクの事例を列記する。

- (a) 電力系統に漏電，破断などが発生し，電気供給ができない。  
→排泥バルブ，チャンバーゲートが閉鎖できず，土砂と水が流入する。
- (b) { コンプレッサーが故障して，圧縮空気が送れない。  
エアーホースの破断，脱落などにより，圧縮空気が送れない。  
排泥バルブのゴムが破断し，ゴムが膨らまない。  
→排泥バルブが閉鎖できず，土砂と水が流入する。
- (c) { 掘進機内の油圧ユニットが故障し，油圧機器が操作できない。  
油圧ホースに破断，脱落が生じ，油圧機器が操作できない。  
→油圧式チャンバーゲートが閉鎖できない。
- (d) { 注入設備が故障し，高濃度泥水が注入できない。  
注入ホースに破断，脱落などが生じ，高濃度泥水が注入できない。  
→高濃度泥水が不足し，切羽の安定保持ができない。

○上記のようなリスク事例を踏まえ、泥濃式推進工法において事故につながる危険性を考慮した各機械設備の定期点検や日常点検の項目を設定し、消耗品の耐用年数や交換時期を確認することが必要である。また、これらの点検や部品交換が適正に実施されるための記録の作成・保管・伝達などを含めた仕組み作りも重要となる。

対策②： 施工前の事前準備の徹底

※関連する要因

「要因⑥ 作業員の知識や経験の不足」

(解説)

- 泥濃式推進工法では、排泥バルブ開放時に土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内が一時的に直結する状態にもかかわらず、排泥箇所の間近で掘進機運転や礫分級作業を行っており、作業員の施工経験や泥濃式推進工法に対する知識の不足が大きな事故につながる危険がある。以下に、これらのトラブルが発生した時に生じるリスクの事例を列記する。
  - (a) 地盤条件に対する事前の認識が不足し、透水係数が高い地盤に対して高濃度泥水の配合や注入量の管理ができていなかったため、噴発が発生して電気線が漏電し、排泥バルブが閉鎖できずに大量の土砂と水が流入する。
  - (b) 緊急ゲートの開閉動作確認をしていなかったため、排泥バルブにトラブルが発生した時に、緊急ゲートの操作ができず、土砂と水が掘進機内に流入する。
  - (c) 排泥状況や土圧計の変化、異常な計測値などの噴発予兆を見逃したまま作業を続けたため、噴発が発生して、大量の土砂と水が流入する。
- 上記のようなトラブルを回避するためには、各現場作業員が泥濃式推進工法を十分に理解し、地盤条件、施工条件の変化に対して適切に対応できるようにすることが必要となる。これらの施工管理技術は、各現場作業員がもつノウハウに依存しているのが現状であり、施工手順や噴発対策などを記載したマニュアル作成や教育制度の構築などにより、現場作業員のもつ技術のノウハウが確実に受け継がれる方法を確立することが重要である。
- 事故発生の防止には、各現場特有の地盤条件や施工条件を踏まえた事故発生要因の分析や危険予知運動の徹底と想定外に発生した事故への対応策について事前検討するなどの予防対策を行うことが重要である。さらに、掘進機内に大量の土砂と水が流入するような噴発が発生した場合を想定した緊急ゲートの動作確認や事故発生時の役割確認などの事前準備が重要である。

対策③：高濃度泥水の管理方法の確立

※関連する要因

「要因① 多様な地盤に適用できる工法のリスク」

「要因⑥ 作業員の知識や経験の不足」

(解説)

○泥濃式推進工法は、排泥される泥土の状態を常に確認し、地盤変化に応じて高濃度泥水の配合や注入量、ジャッキスピードの変更など、現場条件に応じた適切な施工管理が必要とされる工法である。そのため、地盤変化に対応した施工管理が十分でない場合には大きな事故につながる危険がある。このようなリスクの事例を以下に示す。

(a) 高濃度泥水の濃度や注入量が不足すると切羽が安定を保てずに崩壊し、周辺地下水がチャンバー内の泥土に混入することにより、泥土の流動性が高まり噴発が発生しやすくなる。特に高水圧で透水係数が高い地盤では、大量の土砂と水が掘進機内に流入する事態も考えられる。

○高濃度泥水と掘削土砂を攪拌混合した泥土には、切羽の崩壊を防止する難透水性の泥膜形成や、チャンバー内からの排泥を適切な排泥速度に保ちつつ貯泥槽からの吸引排土を円滑に行うための適度な流動性が必要となる。工法協会の技術資料などに記載されている高濃度泥水の配合は、土質や礫率によって分類された標準的な作泥材料による配合と比重が示されており、掘削土砂に対する高濃度泥水の注入量は礫率に応じて算出される。しかし、実際の現場では作泥材も多種多様で、地盤も均一でないことから、高濃度泥水の配合や注入量は、排泥の状態を現場作業員が確認しながら適宜設定されており、定量的な指標やマニュアルなどは整備されていない。現場作業員の施工経験が十分でない場合や、新しい作泥材を用いる場合などは、地盤条件に適合した高濃度泥水の作成が迅速に実施できない場合も考えられる。

○このようなリスクを回避するためには、現場作業員の技術のノウハウが確実に受け継がれる方法の確立とともに、地盤条件と高濃度泥水の配合や注入量の関係をデータベース化することによりノウハウを蓄積し、現場作業員の判断を助けるためのマニュアルを整備することが望ましい。また、現場でサンプリングした土砂と高濃度泥水の試験練りにより、配合や注入量を事前検討することも必要である。

対策④： 急激な噴発発生にも対応可能となる排泥管閉鎖装置の性能規定

※全ての要因による噴発発生時に対応できる対策

(解説)

- 泥濃式推進工法では、土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内をつなぐ排泥管の閉鎖装置として、排泥バルブ、チャンバーゲートおよび緊急ゲートの3点が一般的に装備されている。排泥バルブは、排泥管内に設置されたゴムにエアーを注入し空気圧で排泥管を閉鎖する構造で、排泥作業時に常時使用される装置である。チャンバーゲートは、排泥管入口に油圧式で鋼板をスライドさせて蓋をする構造で、作業休止時などに使用される。緊急ゲートは、排泥管出口にゲート板を降ろして蓋をする構造で手動式と油圧式のものがあり、緊急時以外には使用されない。
- 排泥管の閉鎖装置には、大量の土砂と水が掘進機内に流入するような状況においても、確実に閉鎖できる性能規定を明確にする必要がある。
- 排泥バルブには、水圧に応じた給気圧や排出する玉石や礫に対する十分な強度以外に、急激な噴発発生時にも対応が可能となる閉鎖速度などの性能規定が求められる。また、手動落下式の緊急ゲートは、土砂が排泥管内に堆積した後では閉鎖できない可能性があることから、油圧式の採用や排泥管の外から出口を封鎖する形式の採用など排泥管内に土砂が堆積していても強制的に閉鎖できる構造にするとともに、緊急時には瞬時に閉鎖できる性能規定が求められる。

対策⑤：掘進機の適用条件の精査と明確化

※関連する要因

「要因① 多様な地盤に適用できる工法のリスク」

(解説)

- 泥濃式推進工法は、高濃度泥水の配合や注入量を変更することで、幅広い地盤条件への対応が可能であり、特に礫率が高い地盤や、礫径が大きな地盤への適用性が高いとされている。多くの工法協会で、透水係数は $1 \times 10^{-1}$ (cm/s)、被水圧は20～30m程度までが適用範囲とされている。
- 現状、高水圧下での施工では、排泥バルブを2連式として交互にバルブ操作を行うなどの噴発防止対策が実施され、透水係数が高い地盤では高水圧下の施工と同様の対策や、高濃度泥水の注入量、比重および粘性を増す対策などが実施されている。透水係数が高い地盤で噴発が発生した場合は、周辺の地下水を引き込み、大量の水と土砂が掘進機内に流入する事態も考えられるため噴発対策の検討が必要である。
- 泥濃式掘進機の仕様は、各工法協会により異なるものとなっている。透水係数が高い、高水圧下であるなどの厳しい地盤条件に対しては、噴発の発生が大きな事故につながる可能性が高くなるため、安全で確実な施工が可能となる掘進機の仕様や適用条件を明確化し、公的機関でも精査、確認する必要がある。

対策⑥： 情報共有システムの構築

※関連する要因

「要因⑦ 作業員の情報共有不足」

(解説)

- 機内操作型の掘進機では、管内作業員が排泥される泥土の状態を確認して、ジャッキスピードや高濃度泥水の配合などの指示を行っており、他の作業員は管内作業員からインターホンで伝えられる情報により、切羽の状態を推測している。管内作業員の判断を超えるような状況が発生した場合は、噴発などのトラブルが発生するリスクが拡大する。このため、立坑側にいる他の作業員も排泥される泥土の性状や計器類の情報をTVモニターなどにより確認した上で、その情報に対する判断を複数の者が行うことにより管内作業員の判断を助け、トラブルが発生するリスクを最小限にするシステムの構築が望ましい。
- 停電や漏電などの電気供給停止や排泥バルブへのエア供給停止、排泥バルブのゴム破断、泥水注入ポンプの故障による高濃度泥水の注入停止などの事故発生要因となるトラブルが発生した時には、警報装置の作動によって管内、立坑側の作業員全てが異常の発生を認識すべきである。特に、管内作業員が異常の発生を確認することによって、適切な措置と速やかな退避が可能となる体制を構築する必要がある。

## (2) <基本方針2> モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保

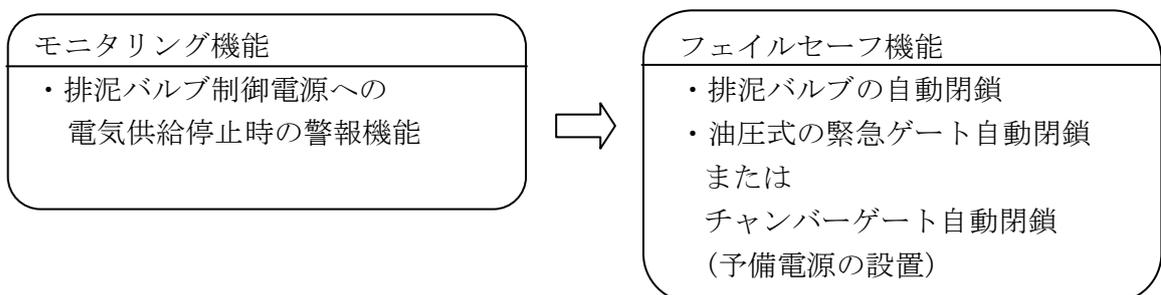
対策①： 停電や漏電などの電気トラブルへの対策

※関連する要因

「要因③ 停電や漏電などの電気トラブル」

「要因⑦ 作業員の情報共有不足」

停電や漏電などで電気供給が停止すると、排泥バルブにエアーを供給するコンプレッサーの停止や電磁弁の操作不能により、排泥バルブが閉鎖できず、大量の土砂と水が掘進機内に流入する結果となる。このようなトラブルに対処するために必要となるモニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能について以下に示す。



※モニタリング機能：日常かつ定期的な監視機能。

※フェイルセーフ機能：故障や操作ミスなどの障害があらかじめ発生することを想定し、起きた時の被害を最小限にとどめる安全機能。

(解説)

- 停電や漏電などの電気トラブルにより、排泥バルブ制御電源への電気供給が停止した時には、音や光などの警報により作業員に注意喚起を促し、可能とされる対処措置を行うとともに速やかな退避を行う。
- 電気トラブル発生時の警報で作動するフェイルセーフ機能として、排泥バルブの自動閉鎖機能が有効であり、安全対策としての実績もある。
- 手動落下式の緊急ゲートは、土砂が管内に堆積した後では閉鎖できない可能性もあることから、瞬時に閉鎖でき、排泥管内に土砂が堆積していても確実に閉鎖できる性能を備えた油圧式緊急ゲートの採用も想定される。電気供給が途絶えた場合には、油圧式の緊急ゲートまたはチャンバーゲートが自動的に閉鎖するシステムとし、それに必要な予備電源を確保する。

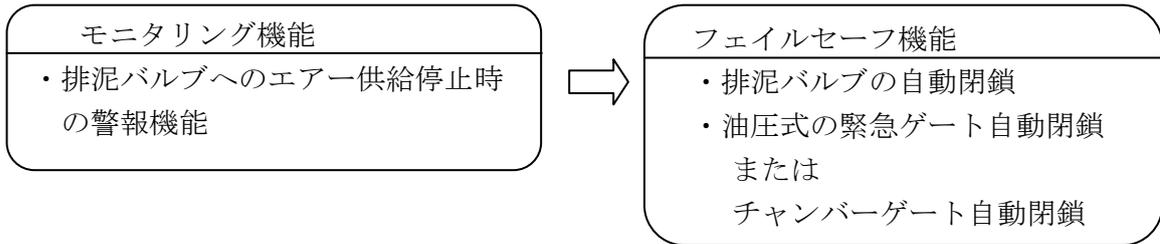
対策②： 排泥バルブへのエア供給停止に対する対策

※関連する要因

「要因④ 排泥バルブへのエア供給停止」

「要因⑦ 作業員の情報共有不足」

コンプレッサーの故障やエアホースの破損などで排泥バルブへのエア供給が停止すると、排泥バルブが閉鎖できず、大量の土砂と水が掘進機内へ流入する結果となる。このようなトラブルに対処するために必要となるモニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能について以下に示す。



(解説)

- 排泥バルブへのエア供給が停止し、エアータンク圧力が規定値以下となった時には警報が作動するシステムとする。
- 警報により排泥バルブ操作を中止した場合は、エアータンク内の予備空気により排泥バルブを自動閉鎖して安全を確保できるフェイルセーフ機能を設ける。また、油圧式緊急ゲートまたはチャンバーゲートが自動的に閉鎖するシステムとする。

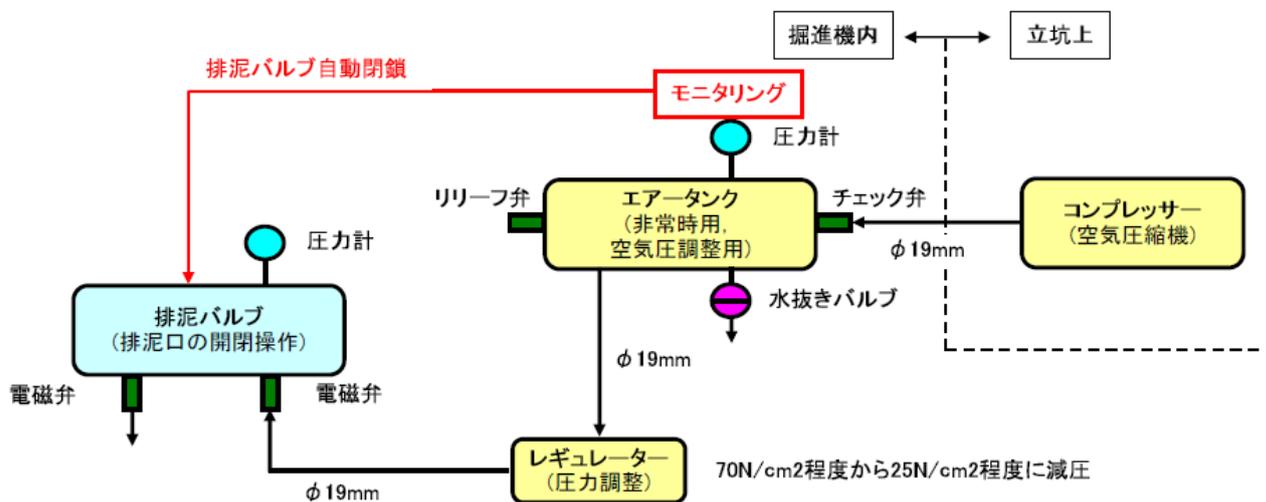


図 7-1 排泥バルブへのエア供給停止の対策図

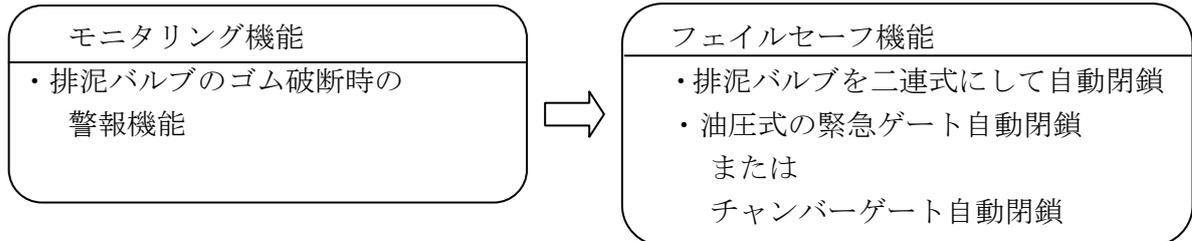
対策③： 排泥バルブのゴム破断への対策

※関連する要因

「要因⑤ 排泥バルブのゴム破断」

「要因⑦ 作業員の情報共有不足」

排泥作業中に角礫との摩擦などで排泥バルブのゴムが破断すると、排泥バルブが閉鎖できず、大量の土砂と水が掘進機内へ流入する結果となる。このようなトラブルに対処するために必要となるモニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能について以下に示す。



(解説)

- 排泥バルブのゴムは多層構造で、工場整備時には交換や点検を行い予防保全に努めている。このことから、ゴムが一瞬で破断して排泥バルブが閉鎖不能となる可能性は低いですが、絶対に発生しないとは言い切れず、万一破断が生じた場合には事故発生につながる恐れがある。
- モニタリング機能は、排泥バルブにエアーを供給しても所定の時間内に排泥バルブが閉鎖されない場合や、排泥バルブへの給気圧が規定値に達しない場合に警報が作動するシステムの採用も考えられる。
- ゴム破断時のフェイルセーフ機能としては、排泥バルブを二連式として同時に複数の排泥バルブが破断することを防止する方法や、上記の警報が作動した時には排泥バルブと油圧式緊急ゲートまたはチャンバーゲートが自動的に閉鎖するシステムとする。

### (3) <基本方針3> 事故発生の背景因子の解消

急激な地盤条件の変化や施工難易度が高い地盤における作業員の対応の遅れなどにより発生する噴発には、基本方針1, 2でも対応できない可能性がある。

噴発には予兆があると言われており、アンケートの回答では、「小規模な噴発が始まる」、「排泥速度が上昇する」、「排泥が高含水となる」、「排泥の攪拌混合が悪くなる」、「土圧計やトルク計の値の異常」などの予兆が報告されている。土圧計やトルク計の値の異常をモニタリングにより確認することは可能であるが、土圧計の精度面や推進作業時の土圧計の脈動などにより噴発の予兆を定量的に捉えることは難しい。

よって、事故発生の背景因子となっている「排泥バルブ開放時に、土水圧が作用する切羽と大気圧下の掘進機内が一時的に直結し、退避が困難な狭い掘進機内にいる管内作業員が排泥箇所の間近にいる」という泥濃式推進工法特有の作業環境を解消し、噴発が発生しても管内作業員の安全を確保できる対策が必要である。

#### 対策①：掘進機内に土砂と水を一気に流入させない対策

(解説)

- 噴発発生時に大量の土砂と水が掘進機内に一気に流入することを防ぎ、管内作業員の安全を確保できる構造として、排泥箇所と排土管吸気孔を閉鎖型の貯泥槽で覆うなどの対策が考えられる。この方法は、遠隔操作方式と併用での施工実績があり、排泥状態の確認を目視確認窓より行う。なお、排土管の吸引力を切羽に直接影響させないために逆止弁付きの吸気孔を設けるなどの工夫が必要となる。(図7-2参照)

#### <取り組み事例>

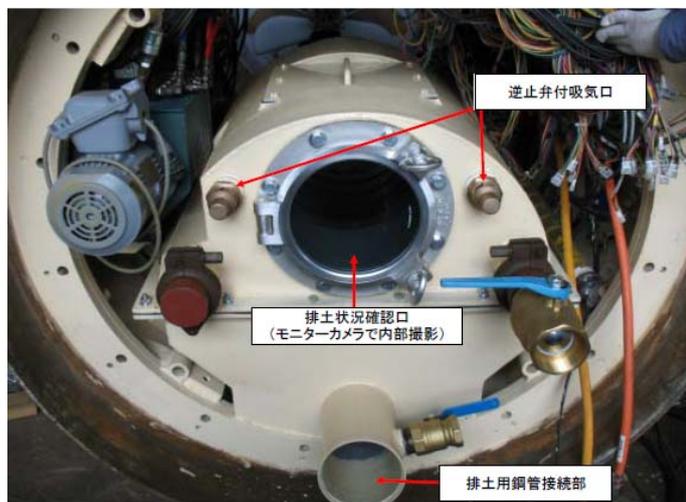


図7-2 密封型貯泥槽  
(株)アルファシビルエンジニアリングより提供)

対策②：管内作業員が噴発の影響を回避できる後方での安全対策

(解説)

- 遠隔操作方式の掘進機を用いることにより、掘進機運転員は安全な立坑上で作業を行う安全対策である。(図 7-3 参照)
- 吸引排土できないような大きな礫がある地盤では、管内に礫分級機を配置する必要がある。この場合は、礫分級機(図 7-4 参照)などを用いて礫分級作業を機械的に行い、管内作業員は噴発の影響を回避できる後方に控えて安全を確保する(図 7-3 参照)。礫分級機に溜まった礫を搬出するときは、事前に排泥バルブとチャンバーゲートを遠隔操作で閉鎖し、TVモニターで排泥管が完全に閉鎖されたことを確認した後に、管内作業員が礫分級位置に移動して礫搬出作業を行う。
- 管内の待機場所には、立坑上の掘進機運転員と連絡可能な通信設備を設け、緊急ゲートの操作は待機場所からも行える構造とする。

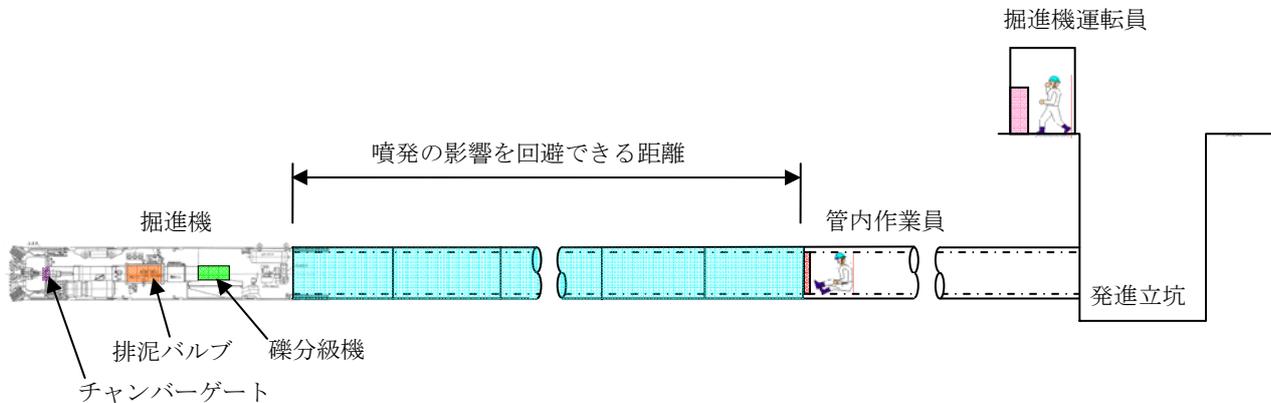


図 7-3 管内作業員が噴発の影響を回避できる後方に位置して、安全を確保する対策



図 7-4 トロンメル方式分級機

(株)アルファシビルエンジニアリングより提供)

### 対策③：掘進作業の管内無人化施工

(解説)

- 遠隔操作方式の掘進機による「掘進作業の管内無人化施工」は作業員の安全を確実に確保できる対策である。急激な噴発によって大量の土砂と水が掘進機内に流入した場合、管内作業員が迅速に退避することが困難な管径の推進工事では、遠隔操作方式による管内無人化施工を将来的に標準化すべきである。
- 遠隔操作方式では、排泥状態の確認をTVモニター越しに行うため、「排泥される泥土の性状把握に慣れと経験を必要とする」、「掘進中の管内状況を音や振動などの五感で捉えることができない」、「掘進機の構造が複雑となり、価格や整備費用が高くなる」などのデメリットがある。一方で、「掘進機を立坑上で操作できるため、作業員の安全が確保できる」、「排泥される泥土の性状や計器類の情報を坑外の作業員間で共有し、その情報に対する判断を複数の者が行うことでトラブルが発生するリスクを最小限にできる」などの大きなメリットもある。
- 管内無人化施工では礫分級員を配置しないため、吸引排土できないような大きな礫は、「掘進機前面で吸引排土できる大きさまで破碎する」、「チャンバー内または掘進機内に設けた礫破碎装置で吸引排土できる大きさまで破碎する」などの対策が必要となる。

### 対策④：管内作業員が迅速に退避できる管径の確保

(解説)

- 噴発発生時に、管内作業員が迅速に退避できる管径が確保できている推進工事では、事故発生背景因子は解消できていると言える。ただし、十分な管径を確保した場合でも、管内作業員が退避しやすいように、礫分級員は貯泥槽の後方で作業し、掘進機操作盤は礫分級員の後方に設置する。また、噴発発生時のリスクを低減するため、排泥口の寸法をできる限り小さくすることが望ましい。

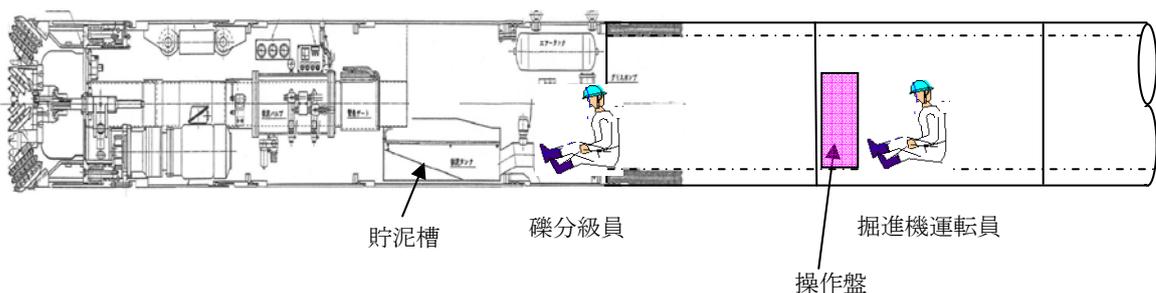


図 7-5 噴発発生時にも管内作業員が迅速に退避できる管径の確保

#### (4) 礫や玉石による排泥管やチャンバー内の閉塞解消作業に対する安全性の確保

##### ※関連する要因

「要因⑧ 礫や玉石による排泥管やチャンバー内の閉塞を解消する作業に対する安全性の不足」

(解説)

- 泥濃式推進工法では、排泥管径と同程度の大きさの礫径までが取り込み可能とされているが、排泥作業中に排泥管内やチャンバー内に礫や玉石が詰まって排泥ができなくなる閉塞が発生する場合がある。特に透水係数が高く、礫率が高い地盤では閉塞状態が発生しやすいことがアンケートの回答から複数報告されている。閉塞を解消する作業では、排泥バルブを一時的に開放して閉塞箇所を介して土水圧が作用している切羽と大気圧下の掘進機を直結した状態とし、排泥口から閉塞箇所まで棒などを挿入して礫や玉石を移動させるなど、噴発のリスクがある危険な状態で作業を行っているケースが報告されている。この行為は管内作業員を巻き込む事故に発展する可能性があり、これまで検討してきた安全対策を自ら否定する行為となるため、本質的に行ってはならない。
- アンケートの回答では、「排泥管内が閉塞した場合はチャンバーゲートを閉鎖して安全を確保した上で閉塞解消作業を行う」、「チャンバーゲートが礫や玉石により動かない場合やチャンバー内が閉塞した場合は、薬液注入工を実施して切羽の安定を確保した上で閉塞解消作業を行う」との回答が多数であった。
- 閉塞解消作業の安全対策は、上記のように安全が確保できる作業手順を遵守することが基本的な対策である。また、「排泥口部に固定式の蓋をして排泥管を一時的に閉鎖した上で、蓋に設置した穴から突き棒などを挿入して礫を移動させるなどの安全な作業を可能とする閉塞解消装置の開発」や、「礫破碎型面盤を使用して閉塞が発生しない大きさまで礫を破碎するか、適用土質範囲を制限することにより、チャンバー内への取り込み礫径を小さくして閉塞を発生させない対策」などの対策も考えられる。
- 閉塞解消作業は、推進工事において特殊な行為ではあるが、実際の現場では閉塞発生時に必要となる行為である。そのため、ここまでに示した通常掘削時に対する再発防止策とは異なる方法ではあるが、通常掘削時と同等の安全性が確保できる対策を実施しなければならない。

### 7-3 再発防止策の総括

「基本方針1 予防の徹底」では、「推進機器設備の点検，メンテナンスを徹底して，泥濃式推進工法のシステムを正常に稼働させる」，「事故発生要因の分析など事前準備を十分に行う」，「工法の適用限界を明確にした上で施工管理手法を確立する」，「地山の状況を含む切羽状況を作業員間で共有し，トラブル発生を早期に発見できる体制をとる」などの重要な安全対策を示している。事故の発生を未然に防ぐためには，これらの安全対策を徹底することが大前提であることから，全ての項目を実施すべきである。なお，技術の蓄積が必要で実施までに期間を要する項目についても，速やかに取り組むべきである。

しかしながら，人はミスを犯さないとは言えないことや，停電など不測の事態が発生することも考えられることから，「基本方針1 予防の徹底」だけで事故発生要因の全てを解消することは不可能である。

「基本方針2 モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保」では，このような不測の事態に備えるための安全対策を示している。管内で発生した異常を検知して早期に対処するためのモニタリング機能は全ての項目を実施すべきである。その上で，モニタリング機能に連動するフェイルセーフ機能は今回例示した安全対策のいずれか，または同等以上の安全性が確保できる対策を行うことにより，万一の対応の遅れやミスに対応する必要がある。

「基本方針3 事故発生の背景因子の解消」では，基本方針1，2を実施しても対応できない施工中の急激な地盤条件の変化や，施工難易度が高い地盤での作業員の対応の遅れなどによる噴発に有効な安全対策を示しており，今回例示した安全対策のいずれか，または同等以上の安全性が確保できる対策を行う必要がある。

また，礫や玉石により排泥管やチャンバー内に閉塞が発生した場合にも，通常掘削時と同等以上の安全性が確保できる対策を実施しなければならない。

## 再発防止策

### 基本方針1 予防の徹底

- ①推進機器設備の点検，メンテナンスの徹底
- ②施工前の事前準備の徹底
- ③高濃度泥水の管理方法の確立
- ④急激な噴発発生にも対応可能となる排泥管閉鎖装置の性能規定
- ⑤掘進機適用条件の精査と明確化
- ⑥情報共有システムの構築

### 基本方針2 モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保

- ①停電や漏電などの電気トラブル，排泥バルブへのエア供給停止，ゴム破断などに対するモニタリング機能の設置
- ②警報装置の設置によるモニタリング機能で感知した異常事態の周知
- ③異常感知時の排泥管自動閉鎖装置によるフェイルセーフ機能の確保

### 基本方針3 事故発生の背景因子の解消

- ①掘進機内に土砂と水を一気に流入させない対策
- ②管内作業員が噴発の影響を回避できる後方での安全対策
- ③掘進作業の管内無人化施工
- ④管内作業員が迅速に退避できる管径の確保

# おわりに

---

本委員会では、事故の再発防止の観点より関係者からの聞き取りやアンケート調査などを行い、幅広い角度から泥濃式推進工法で考えられる事故発生要因の分析と再発防止策の検討を行った。泥濃式推進工法は30年余りの施工実績の中で、今回発生した事故のように掘進機内に短時間で土砂と水が大量に流入する事態に至った報告はないが、当委員会ではこのような事故が今後も起こりうるという前提のもとに、泥濃式推進工法で考えられる事故発生要因について「地盤」・「機械」・「人」に関する視点から検討を進めてきた。本報告書では、

- ・「予防の徹底」
- ・「モニタリング機能を備えたフェイルセーフ機能の確保」
- ・「事故発生の背景因子の解消」

の「三つの基本方針」を中心に再発防止策を報告するものである。

安全対策の基本は、掘進機を含む一連の機械設備を用いて地盤という自然に対して人が安全に施工を進められる環境を作ることであり、そのために点検および定期的部品交換などの予防の徹底をすることが大前提である。ただし、予期しない機械設備の故障を防げない場合があることや、それを操作する人はミスを犯す可能性があることを前提としたシステム設計やフェイルセーフ機能の確保が必要である。泥濃式推進工法は多様な地盤条件に対応可能とされる工法であるが、安全面においても誰からも信頼を得られる工法として発展していくことを望むものである。

今後は、発注者や施工会社、工法協会など全ての関係者の協力により、本報告書で示した「三つの基本方針」による安全対策を創意工夫して実施していただき、二度とこのような不幸な事故が発生しないよう安全・安心な下水道工事の施工を期待する。

最後に、本委員会に対してアンケートや聞き取り調査を通してご協力頂いた関係各位に謝意を表して報告書の終わりとする。