

## モニタリング装置用配管の設置に関する概念設計

Study of Groundwater Sampling Casing for Monitoring Device

沖原 光信 矢萩 良二 岩月 輝希 竹内 竜史  
村上 裕晃

Mitsunobu OKIHARA, Ryoji YAHAGI, Teruki IWATSUKI, Ryuji TAKEUCHI  
and Hiroaki MURAKAMI

核燃料・バックエンド研究開発部門  
東濃地科学センター  
地層科学研究部

Geoscientific Research Department  
Tono Geoscience Center

Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

March 2020

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2020

## モニタリング装置用配管の設置に関わる概念設計

日本原子力研究開発機構

核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

沖原 光信\*1, 矢萩 良二\*1, 岩月 輝希, 竹内 竜史, 村上 裕晃

(2019年12月12日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）東濃地科学センターでは、深地層の科学的研究の一環として、超深地層研究所計画（以下、MIU 計画）を進めている。MIU 計画においては、研究開発課題の 1 つとして地質環境特性の擾乱や回復、定常化プロセスに関するモニタリング技術の構築を挙げている。

本報告書では、現在、各深度の研究坑道に設置して使用している地下水の水圧・水質観測装置を活用し、地上において地下水を採水可能とすることを目的として、立坑に設置する採水用配管の概念設計を行ったものである。

**Study of Groundwater Sampling Casing for Monitoring Device**

Mitsunobu OKIHARA\*<sup>1</sup>, Ryoji YAHAGI\*<sup>1</sup>, Teruki IWATSUKI, Ryuji TAKEUCHI  
and Hiroaki MURAKAMI

Geoscientific Research Department, Tono Geoscience Center,  
Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received December 12, 2019)

One of the major subjects of the ongoing geoscientific research program, the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project in the Tono area, central Japan, is accumulation of knowledge on monitoring techniques of the geological environment.

In this report, the conceptual design of the monitoring system for groundwater pressure and water chemistry was carried out. The currently installed and used system in research galleries at various depths was re-designed to make it possible to collect groundwater and observe the water pressure on the ground.

**Keywords:** Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Groundwater, Monitoring, Long-term Monitoring

---

\*1: Shimizu Corporation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 採水用配管に関わる概念設計 .....	3
2.1 MP システムの概要 .....	5
2.2 採水用配管の要件 .....	8
2.3 ケーシングシステムの検討 .....	9
2.4 換気立坑の現状 .....	17
2.5 ケーシング本体の検討 .....	24
2.6 ポートの検討 .....	25
2.7 ケーシングレイアウトの一例 .....	28
2.8 ケーシング固定具の検討 .....	37
2.9 ケーシング金属防護の検討 .....	40
3. 採水用配管の立坑への設置方法の検討 .....	44
3.1 ケーシング設置位置の検討 .....	44
3.2 光ファイバーケーブルの設置について .....	54
3.3 金属防護板の充てん材料について .....	55
3.4 ケーシングの設置方法の検討 .....	58
3.5 設置したケーシングの回収可能性について .....	61
4. ケーシングの設置工程の検討 .....	65
4.1 設置工程の検討条件 .....	65
4.2 設置工程の検討 .....	65
5. ケーシング設置後のモニタリング方法について .....	69
5.1 採水方法の提案 .....	69
5.2 採水作業時間について .....	73
6. まとめ .....	75
6.1 採水用配管の概念設計に関するまとめ .....	75
6.2 採水用配管の立坑への設置方法の検討 .....	76
6.3 採水用配管の設置に関わる今後の課題 .....	76

Contents

1. Introduction.....	1
2. Conceptual design of water-sampling pipe .....	3
2.1 Overview of MP system.....	5
2.2 Requirement of water-sampling pipe .....	8
2.3 Consideration of casing system.....	9
2.4 Current status of the Ventilation Shaft.....	17
2.5 Consideration of casing .....	24
2.6 Consideration of port.....	25
2.7 Example of casing layout .....	28
2.8 Consideration of casing fixture .....	37
2.9 Consideration of casing guard.....	40
3. Consideration of water-sampling pipe installation method at the shaft.....	44
3.1 Consideration of casing installation position .....	44
3.2 Installation of optical fiber cable .....	54
3.3 Filling material in metal-guard plate.....	55
3.4 Consideration of casing installation method.....	58
3.5 Recoverability of casing.....	61
4. Consideration of casing installation process.....	65
4.1 Precondition of installation process consideration.....	65
4.2 Consideration of installation process.....	65
5. Monitoring method after casing installation .....	69
5.1 Sampling method.....	69
5.2 Time required for sampling.....	73
6. Summery .....	75
6.1 Conceptual design of water-sampling pipe.....	75
6.2 Installation method of water-sampling pipe .....	76
6.3 Future issues .....	76

## 図表リスト

図 1-1	瑞浪超深地層研究所の概要	2
図 2-1	既設の観測装置と採水用配管との接続イメージ	3
図 2-2	採水用配管の設置イメージ（全体）	4
図 2-3	MP システムの主な特徴	5
図 2-4	MP ケーシングシステム概念図	6
図 2-5	MP システムによる水圧自動計測システム概念図	7
図 2-6	MP システムによる地下水採水（ボトル採水）の概念図	7
図 2-7	固定方法 ケース 1：ステンレスケーシングのみ	11
図 2-8	固定方法 ケース 2：ステンレスケーシング＋金属防護	12
図 2-9	固定方法 ケース 3：ステンレスケーシング＋コンクリート防護	12
図 2-10	固定方法 ケース 4：塩ビ管＋金属防護	13
図 2-11	固定方法 ケース 5：塩ビ管＋コンクリート防護	14
図 2-12	塩ビ管の耐圧検討条件	16
図 2-13	計画されている採水観測点	18
図 2-14	換気立坑内の一般部の設備概念図	19
図 2-15	GL-100m 接続部周りの一般構造図	20
図 2-16	GL-200m 接続部周りの一般構造図	21
図 2-17	GL-300m, GL-400m 接続部周りの一般構造図	22
図 2-18	GL-500m 接続部周りの一般構造図	23
図 2-19	塩ビケーシングの接続方法	25
図 2-20	ステンレス製ポート試作機	26
図 2-21	塩ビケーシングの場合のポート区間のレイアウトの例	27
図 2-22	ステンレスケーシングの場合のポート区間のレイアウトの例	28
図 2-23	各ステージにおける採水数量の計画	29
図 2-24	GL-100m ステージのポート区間設置概念図	31
図 2-25	GL-200m ステージのポート区間設置概念図	31
図 2-26	GL-300m ステージのポート区間設置概念図	32
図 2-27	GL-400m ステージのポート区間設置概念図	32
図 2-28	GL-500m ステージのポート区間設置概念図	33
図 2-29	ケーシングブラケット概念図	38
図 2-30	ケーシングブラケット構造図	38
図 2-31	ケーシングバンド概念図	39
図 2-32	ケーシングバンド構造図	40
図 2-33	金属防護板の構造と設置イメージ	41
図 2-34	拡幅部の金属防護板の設置方法	42
図 2-35	サポートステイの増設概念図	43
図 3-1	換気立坑主要設備の鳥瞰図	44
図 3-2	ケーシング設置に関する検討フロー	45

図 3-3	立坑に設置されている現状設備	48
図 3-4	ケーシング設置位置の候補（撤去が可能な現状設備：青）	50
図 3-5	金属防護板設置後の鳥瞰図（イメージ）	51
図 3-6	スcaffolding定位置までケーシングを設置する場合の候補位置（青）	53
図 3-7	光ファイバーケーブルの設置概念	55
図 3-8	ケーシング設置までの作業フロー（坑底から設置する場合）	60
図 3-9	地下施設の埋戻し作業手順とケーシング設置作業手順の関係	61
図 3-10	ウォータージェット工法による MP ケーシングの切断状況（2005 年）	64
図 5-1	ボトル採水概念図	69
図 5-2	孔内ポンプ（HGP-5）による採水概念図	70
図 5-3	孔内ポンプ（HGP-10）による採水概念図	71
図 5-4	FTS ボトル採水概念図	72
図 5-5	FTS/HGP 採水概念図	73
表 2-1	MP システムとスタンドパイプ式の比較	6
表 2-2	塩ビ管とステンレス管の標準的な仕様	9
表 2-3	ケーシングシステムのまとめ（比較表）	15
表 2-4	各ステージに設置されるポート区間の構成と長さ・重量	30
表 2-5	塩ビケーシングのレイアウト案	35
表 3-1	立坑の埋戻し時に必要となる設備の例	49
表 3-2	現状設備（配管）撤去に対する要求事項（工程）の例	52
表 3-3	設置予定の光ファイバーケーブルの仕様	54
表 3-4	立坑の想定される埋戻し材料に対する金属防護板の充てん材料	57
表 3-5	上（地上）から設置する場合と下（坑底）から設置する場合の比較	59
表 3-6	立坑埋戻し後におけるケーシングの回収可能性の判定一覧	63
表 4-1	採水用配管の設置工程（実作業日数）	67
表 7-1	ケーシングシステムの仕様の検討結果	75

## Figure and Table

Figure 1-1	Monitoring layout of Mizunami Underground Research Laboratory.....	2
Figure 2-1	Connection image between monitoring systems and sampling casing .....	3
Figure 2-2	Layout of monitoring casing.....	4
Figure 2-3	Property of MP system .....	5
Figure 2-4	Conceptual illustration of MP system .....	6
Figure 2-5	Conceptual illustration of hydraulic data sampling using MP system .....	7
Figure 2-6	Conceptual illustration of groundwater sampling using MP system .....	7
Figure 2-7	Fixing method case 1: only stainless casing .....	11
Figure 2-8	Fixing method case 2: stainless casing + metal-guard plate .....	12
Figure 2-9	Fixing method case 3: stainless casing + concrete guard .....	12
Figure 2-10	Fixing method case 4: PVC casing + metal-guard plate.....	13
Figure 2-11	Fixing method case 5: PVC casing + concrete guard .....	14
Figure 2-12	Consideration of pressure resistance conditions of PVC casing.....	16
Figure 2-13	Groundwater sampling point.....	18
Figure 2-14	Equipment's layout in the ventilation shaft.....	19
Figure 2-15	Equipment's layout in the ventilation shaft at GL-100m.....	20
Figure 2-16	Equipment's layout in the ventilation shaft at GL-200m.....	21
Figure 2-17	Equipment's layout in the ventilation shaft at GL-300m and GL-400m .....	22
Figure 2-18	Equipment's layout in the ventilation shaft at GL-500m.....	23
Figure 2-19	Connection method of PVC casing.....	25
Figure 2-20	Prototype of stainless port .....	26
Figure 2-21	Layout of port section in the case of PVC casing .....	27
Figure 2-22	Layout of port section in the case of stainless casing .....	28
Figure 2-23	The number of sampling point at each stages .....	29
Figure 2-24	Conceptual illustration of port section at GL-100m .....	31
Figure 2-25	Conceptual illustration of port section at GL-200m .....	31
Figure 2-26	Conceptual illustration of port section at GL-300m .....	32
Figure 2-27	Conceptual illustration of port section at GL-400m .....	32
Figure 2-28	Conceptual illustration of port section at GL-500m .....	33
Figure 2-29	Conceptual illustration of casing bracket.....	38
Figure 2-30	Structural illustration of casing bracket.....	38
Figure 2-31	Conceptual illustration of casing band.....	39
Figure 2-32	Structural illustration of casing band .....	40
Figure 2-33	Structural illustration and installation image of metal-guard plate.....	41
Figure 2-34	Install method of metal-guard plate at widening part .....	42
Figure 2-35	Conceptual illustration of support stay .....	43
Figure 3-1	Bird view of the Ventilation Shaft .....	44
Figure 3-2	Study flow of casing installation.....	45

Figure 3-3	Current status of facility in the shaft.....	48
Figure 3-4	Candidacy of casing installation position.....	50
Figure 3-5	Bird view of the Ventilation shaft after metal guard installation.....	51
Figure 3-6	Candidacy of casing installation position until scaffold .....	53
Figure 3-7	Conceptual illustration of optical fiber installation.....	55
Figure 3-8	Workflow of casing installation.....	60
Figure 3-9	Relationship between shaft backfilling and casing installation.....	61
Figure 3-10	MP casing cutting by water jet method (2005).....	64
Figure 5-1	Conceptual illustration of bottle sampling .....	69
Figure 5-2	Conceptual illustration of pump sampling (using HGP-5) .....	70
Figure 5-3	Conceptual illustration of pump sampling (using HGP-10) .....	71
Figure 5-4	Conceptual illustration of bottle sampling (using FTS bottle) .....	72
Figure 5-5	Conceptual illustration of FTS/HGP sampling .....	73
Table 2-1	Comparison of MP system and standpipe type.....	6
Table 2-2	Standard specifications of PVC casing and stainless casing.....	9
Table 2-3	Comparison table of casing system evaluation .....	15
Table 2-4	Length and weight of port section at each stages.....	30
Table 2-5	Layout plan of PVC casing.....	35
Table 3-1	Examples of equipment required for shaft backfilling .....	49
Table 3-2	Example of requirements (process) for removal of existing equipment.....	52
Table 3-3	Specification of optical fiber cable .....	54
Table 3-4	Filling material in metal guard plate according to shaft backfill material.....	57
Table 3-5	Comparison of installation methods (from the ground and from the bottom of the shaft) .....	59
Table 3-6	Recoverability of casing after shaft backfilling.....	63
Table 4-1	Installation process of water-sampling piping (actual work days) .....	67
Table 7-1	Results of examination of casing system specifications .....	75

## 1. はじめに

瑞浪超深地層研究所では、坑道埋戻し技術の開発を課題の一つとして挙げている。この課題には、坑道の埋戻し方法に関わる研究技術開発に加え、坑道埋戻し時および埋戻し後の地質環境特性の回復や定常化の過程を理解するためのモニタリング技術の研究開発が含まれている。瑞浪超深地層研究所において、これまでに構築されたモニタリング技術には、地上から掘削されたボーリング孔を利用した地下水の水圧・水質モニタリング技術、研究坑道から掘削されたボーリング孔を利用した岩盤変位モニタリング技術および地下水の水圧・水質モニタリング技術等がある。これらの技術については、研究坑道掘削時とその後の維持管理時の地質環境特性の変化の観測により、それらの適用性が確認、実証されている。

地下水の水質モニタリングについては、坑道内に水質モニタリング装置を設置し、作業者が坑道内に入坑して採水することで、継続的にデータを取得してきた。一方で、工事等の工程により入坑が制限されてデータに欠測が生じる場合もあった。このことを受け、工事の影響を受けない採水方法として、地上から採水するシステムの構築が考えられた。

本報告書は、瑞浪超深地層研究所の研究坑道（図 1-1）において、現在、地下水観測に使用されている観測装置の採水チューブを立坑接続部まで延長し、採水用配管に接続して各観測区間の地下水を地上から採水するための採水用配管の概念設計を行ったものである。

立坑周囲の定常状態の地下水位は G.L.-50m にある。その水位条件において地上で各深度の地下水を採水可能な採水用配管とした。深度 100, 200, 300, 400, 500m の各研究坑道において、4～7 区間の観測区間から採水チューブ（外径 6 mm）が延長される前提として、採水用配管との接続方法を検討した。

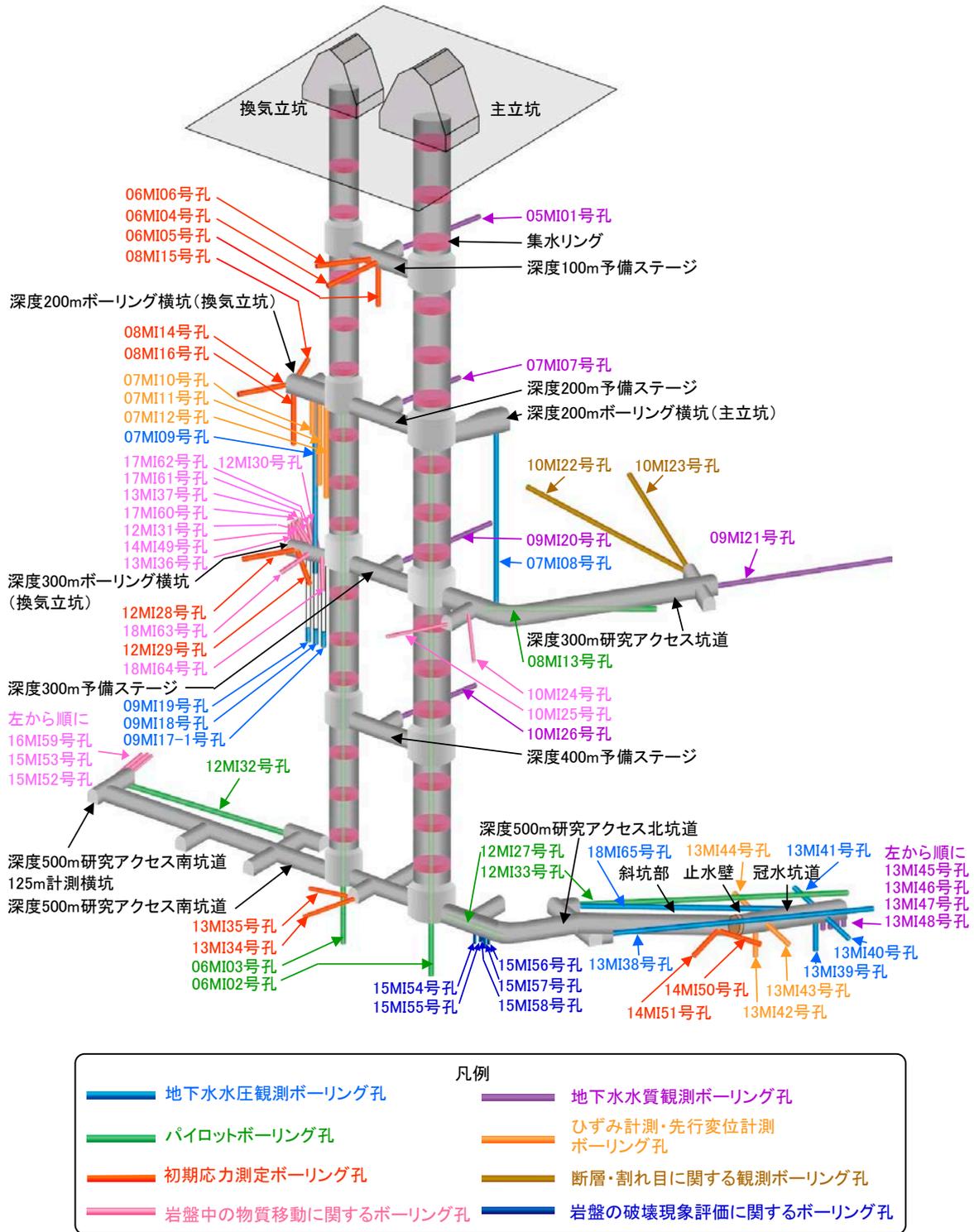


図 1-1 瑞浪超深地層研究所の概要

## 2. 採水用配管に関わる概念設計

採水用配管には、実績のある既往技術（MP システムやスタンドパイプ式システム等）を活用して検討を行った。図 2-1 に既設の観測装置と採水用配管との設置イメージを、図 2-2 に採水用配管の設置イメージを示す。

瑞浪超深地層研究所の換気立坑の既往設備の配置状況を踏まえて、採水用配管の設置レイアウト、設置方法の検討を行った。立坑は将来的に埋め戻されるため、埋戻し工事等で各深度から地上までの採水用配管が破損しない設置方法を検討した。また、以上の検討結果に基づき採水用配管の製作・設置に関わる基本工程等について検討を行った。

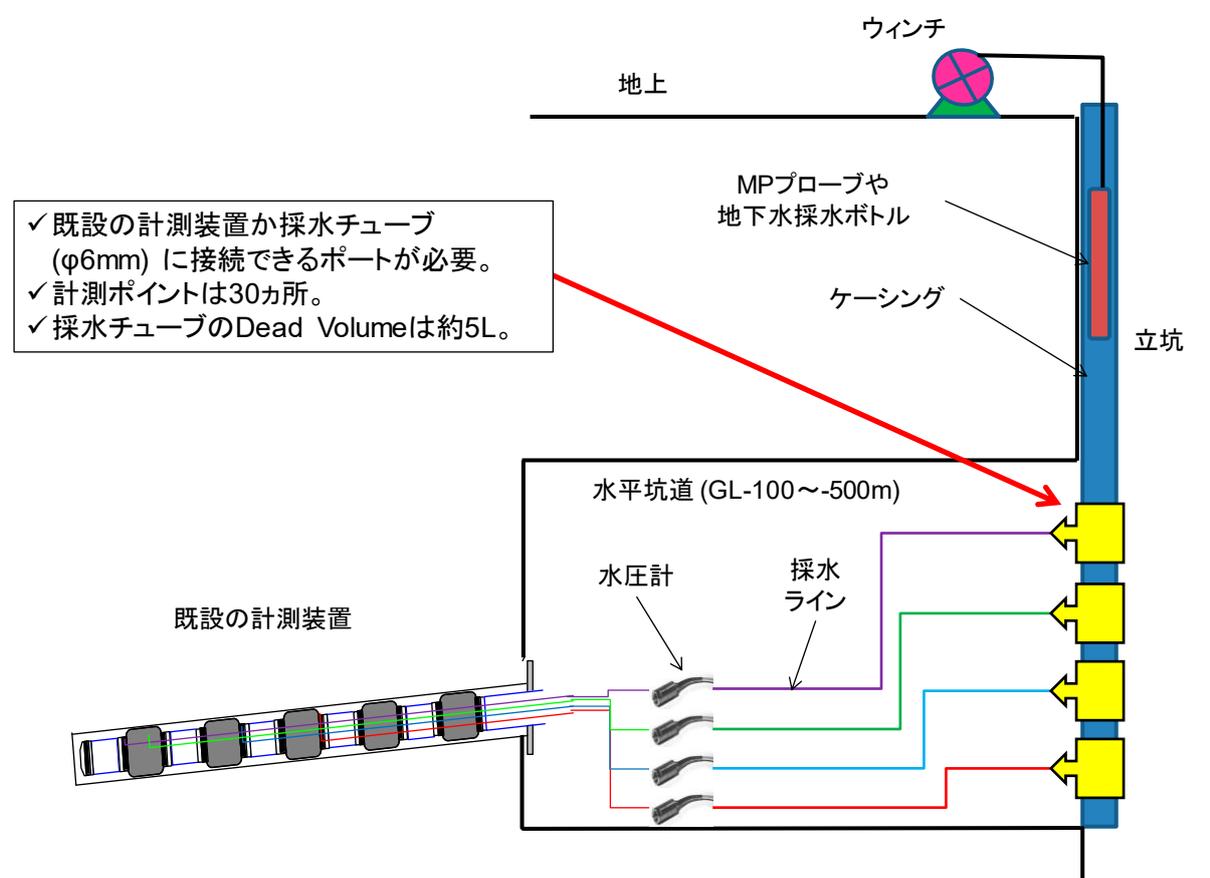


図 2-1 既設の観測装置と採水用配管との接続イメージ

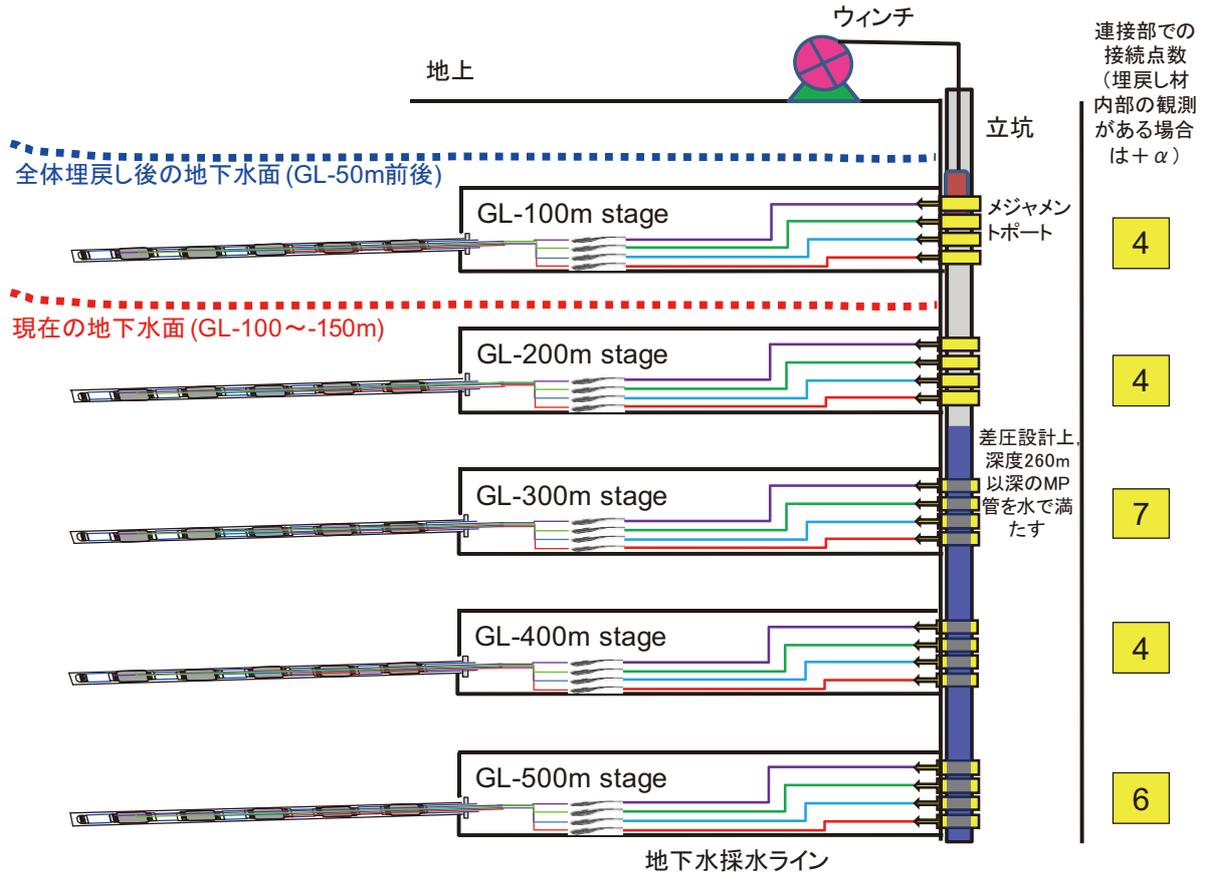


図 2-2 採水用配管の設置イメージ (全体)

## 2.1 MP システムの概要

採水用配管は、現在、瑞浪超深地層研究所の調査ボーリングにおいて多数の実績を有する Westbay 社（現 Westbay Instruments 社）製の MP システム（Multiple Packer）を基本として検討を進める。

MP システムの主な特徴を図 2-3 に示す。MP システムは、地質調査用のボーリング孔に複数のパッカーを設置することにより、深度別の水圧計測ならびに地下水サンプリングが可能なシステムであり、地層処分事業における地下水観測の要件を備えているシステムである。



図 2-3 MP システムの主な特徴

MP システム以外の地下水モニタリングシステムとしては、スタンドパイプ式があげられる。表 2-1 に、MP システムとスタンドパイプ式の比較表を示す。本検討では、観測区間数が約 30 点あることから、MP システムが適していると判断し、MP システムを基本として検討を進めることとした。

MP ケーシングシステムの概念図を図 2-4 に、水圧自動計測システムの概念図を図 2-5 に、地下水採水の概念図を図 2-6 に示す。

表 2-1 MP システムとスタンドパイプ式の比較

項目	MPシステム	スタンドパイプ式
パッカーの個数(深度分け)	制限無し	7個程度 <sup>1)</sup>
水圧計測点数	制限無し	7個程度 <sup>1)</sup>
採水点数	制限無し	7個程度 <sup>1)</sup>
自動水圧計測点数	最大32個	7個程度 <sup>1)</sup>
水圧計測方式	実深度で圧力計測	水位から換算して求めるため、管内水の密度に影響を受ける
採水方式	実深度で封圧採水 銅管サンプリング可能	ポートに直結された管を通して地上から連続採水が可能
区間水の排水	ポンピングポートの開閉による	ポートに直結された管を通して行う
適用ボーリング径	小口径(125~150mm)にも適用可能 (MP-55システムの場合)	大口径のボーリングが必要 小口径では計測点数が制限される
他の試験への利用可能性	原位置水質モニタリング等の 他の計測器が挿入可能	可能性は低い (採水管が多くあるため)

注 1) 小口径の場合

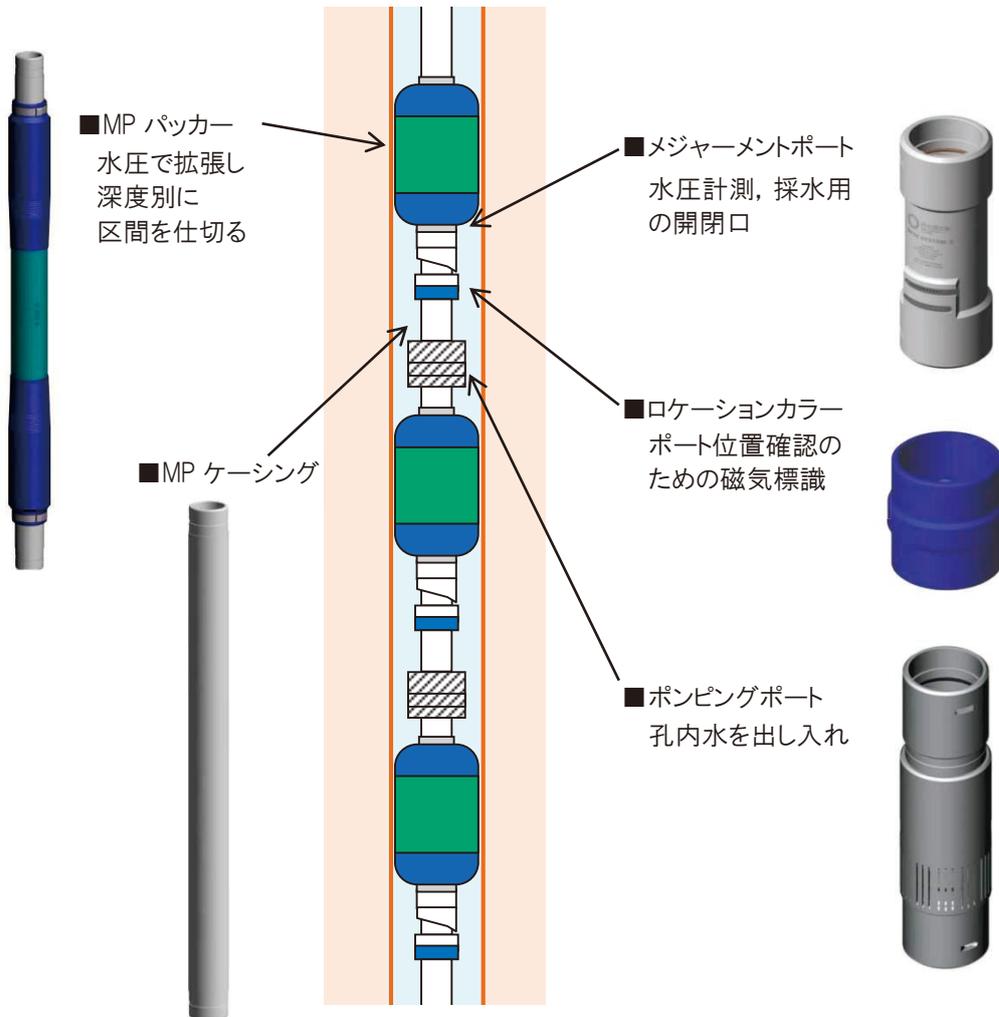


図 2-4 MP ケーシングシステム概念図

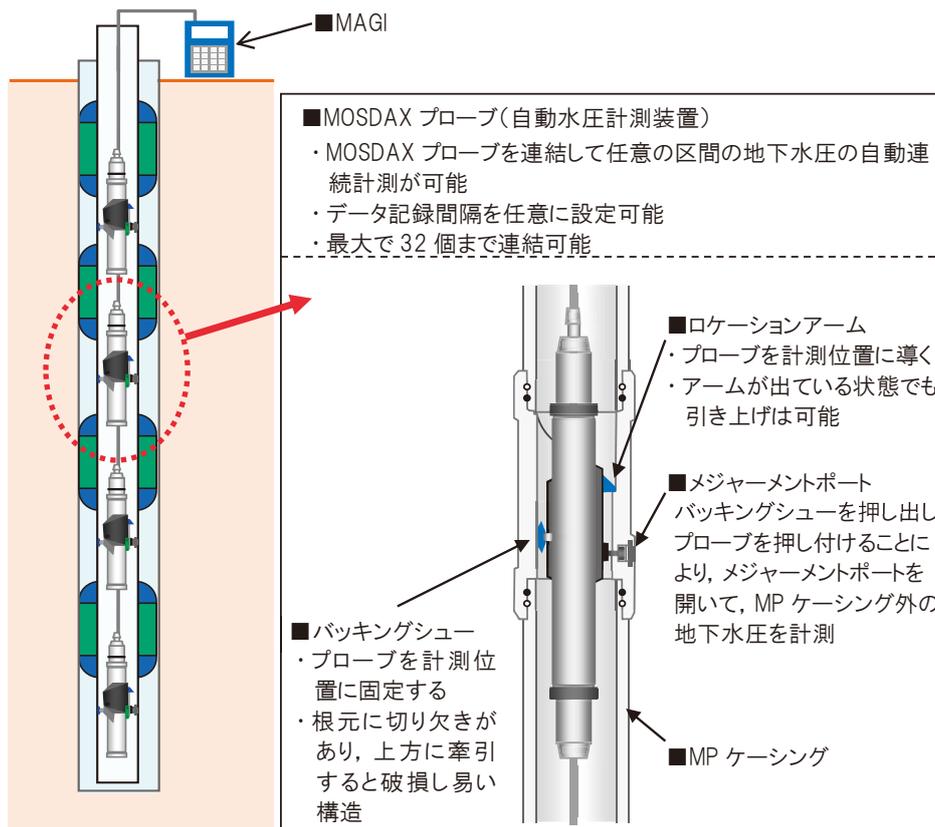


図 2-5 MP システムによる水圧自動計測システム概念図

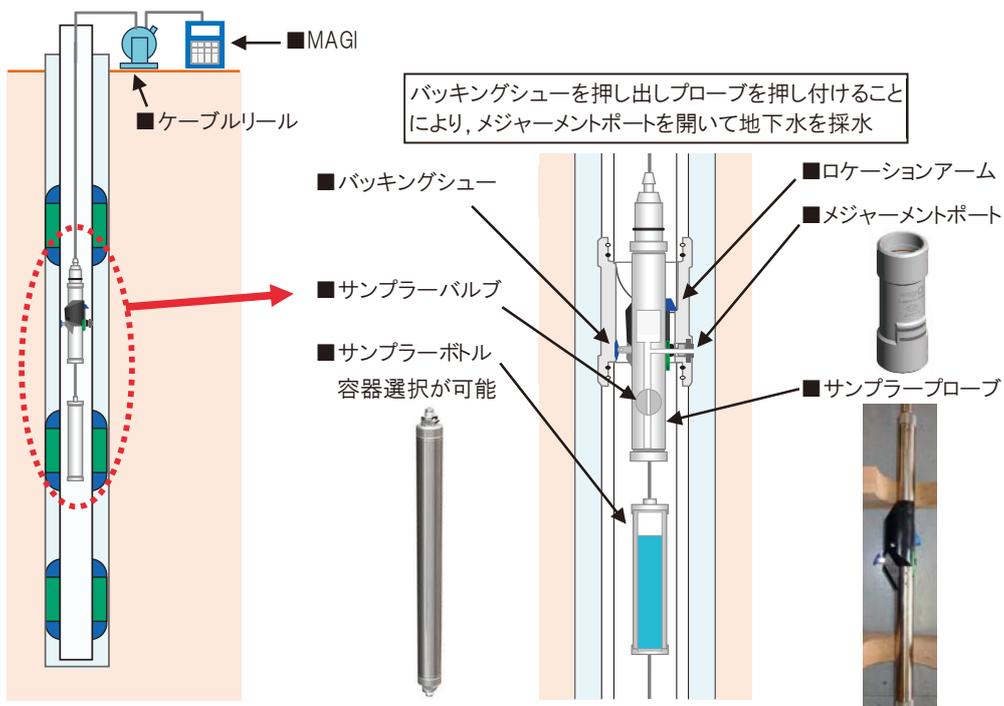


図 2-6 MP システムによる地下水採水（ボトル採水）の概念図

## 2.2 採水用配管の要件

採水用配管の概念設計作業の前に、採水用配管の要件について抽出・整理する。採水用配管の要件としては、以下が考えられる。

### 【要件①】研究施設の埋戻し作業を妨げないこと

ケーシングは、立坑の内壁に沿って設置することが考えられている。そのため、水平坑道および立坑の埋戻し作業を行う際に、ケーシングは、埋戻し作業を極力妨げない寸法・形状、設置位置である必要がある。すなわち、コンパクトかつ表面形状が複雑でなく、現在の立坑の設備を大きく改変させないような位置に設置することが望ましい。さらに、ケーシングの設置により、長期間、立坑や立坑の地上施設・設備、立坑内の設備を占有して埋戻し作業工程に大きな影響を与えないような設置手順、設置方法である必要がある。

### 【要件②】狭隘な場所でも設置可能であること

ケーシングは、立坑の内壁に沿って設置することが考えられている。そのため、設置作業のための作業ヤードが限られることとなる。このことを考慮すると、立坑の現在の運搬設備でも設置場所へ運搬できることや狭隘な場所でも取り回し作業が可能な作業性の良い大きさや重さのものが望ましい。

### 【要件③】十分な強度を有していること

ケーシングの設置完了後、もしくは、ある程度の長さのケーシングを設置した後で、立坑の埋戻し作業を行うことが予想される。埋戻し作業には、シャフトマッカーやバックホウ等の重機類を用いると考えられるため、設置したケーシングに十分に注意して埋戻し作業をしたとしても、埋戻し作業の転圧による振動や重機取り回し時の誤動作等による衝突は避けられないと考えられる。よって、ケーシングは、これらの衝突荷重等に耐えうる十分な強度を有している必要がある。

### 【要件④】止水性、耐圧性を有していること

深度 500m もの立坑を埋め戻すことにより、ケーシングには、大きな土圧が作用することになる。また、埋戻し完了後に立坑の地下水位が立坑掘削前の地下水位に回復するまでにはある程度の期間を有すると考えられる。ケーシング設置後は、計測方法によっては、ケーシング内に水を注水する可能性もあるため、立坑の地下水位の回復の速度によっては、ケーシング内水位と最大で 500m の水位差が生じる可能性もある。そのため、ケーシングには、大きな水位差が生じた場合でもケーシング内水がケーシングのジョイント部等からケーシング外に漏水しないように止水性を有している必要がある。もしくは、高い止水性を必要としない施工手順や計測方法を設定する必要がある。

**【要件⑤】長期耐久性および、長期の計測が可能であること**

立坑埋戻し後、地下水が本来のトレンドに回復するまでの期間にわたり、地下水圧の計測や地下水の採取を行うこととなる。そのため、大きな土圧や水圧等の過酷な環境においても長期間システムを維持できる耐久性や、地下水圧の計測や地下水採取が長期間継続できるように必要に応じて計測装置等のメンテナンスや更新・購入ができるシステムである必要がある。

**【要件⑥】他の作業に大きな影響を与えないコストであること**

ケーシングの購入費および設置費が、埋戻しや埋戻し後のモニタリング作業に大きな影響を与えるほどの膨大な価格になるものは避ける必要がある。

**2.3 ケーシングシステムの検討**

2.2 であげたケーシングの要件を念頭において、ケーシングの材質やシステムについて検討を行う。検討ケースを抽出する前に既存の MP システムを考慮して、検討ケースの設定を行う。

**2.3.1 ケーシングシステムの検討項目**

**(1) ケーシングの材料**

ケーシングの材料は、現在、多くの調査孔で採用されている硬質ポリ塩化ビニル (polyvinyl chloride, 以下、「塩ビ管」と示す) と、地下水温が 60°C 以上になると使用することを推奨しているステンレスの 2 種類とする。

Westbay 社製の MP ケーシングの塩ビ管とステンレス管の違いは、強度と重量のみであり、寸法は同じである。表 2-2 に塩ビ管とステンレス管の標準的な仕様を示す。

表 2-2 塩ビ管とステンレス管の標準的な仕様

		塩ビ管	ステンレス管
外径		73 mm	64 mm
内径		57 mm	57 mm
長さ		1m, 1.5m, 3m	1m, 1.5m, 3m, 6m
重量		2.5 kg/m	5 kg/m
定格水温		60°C以下 40°C以下を推奨	特になし
許容圧力差		2 MPa	2.4 MPa
引張荷重	極限	3,180 kg	降伏 10,200 kg
	短期 (1~2 週間)	1,360 kg	
	長期 (2 週間以上)	450 kg	
設置最大深度		1,200m	2,100m

## (2) ケーシングの固定方法

ケーシングは、立坑の内壁に沿わせて設置するが、内壁への固定方法としては、専用の固定具で固定する方法と、内壁に埋め込みモルタル等で埋め戻す方法が考えられる。しかしながら、内壁に埋め込む方法は、一時的に内壁の一部に断面欠損が生じることとなるため、立坑の構造や安全性に影響を与える可能性がある。そこで、ケーシングの固定方法は、専用の固定具によるものとする。

## (3) ケーシングの防護方法

ケーシングは、立坑の埋戻し時に締固めによる振動や重機の誤動作による衝突等の衝撃荷重から損傷を防ぐ必要がある。そのため、ケーシングは、ある程度の強度を有するステンレス管とする場合と、ステンレス管もしくは塩ビ管ケーシングを設置し、その周りにケーシングを衝撃荷重から保護するための防護具を設置する場合について検討を行う。なお、防護具は、金属製の防護板とケーシングの周囲をコンクリート打設する方法について検討する。

### 2.3.2 ケーシングシステムを検討する上での前提条件の設定

ここでは、ケーシングシステムの抽出を行って、立坑に設置するのに適したシステムについて検討を行う。なお、ケーシングシステムの抽出・検討を行ううえで以下の項目を前提条件として検討を進めた。

#### 【前提条件①】立坑の覆工コンクリートは、埋戻し時に撤去しない。

現在、換気立坑には一般部で厚さ 400 mm の覆工コンクリートが施工されている。この覆工コンクリートは、残置したまま埋戻すことを前提として、ケーシングは覆工コンクリートの壁面に固定することとして検討を進める。

#### 【前提条件②】採水チューブは、計測ポートに接続できる状態とする。

研究坑道に設置されている計測装置から延長される採水チューブは、計測ポートまで引き込んでいる状態として、採水チューブの計測装置からの取り回しやチューブの設置経路の検討は行わない。

#### 【前提条件③】資機材の搬出入や設置に際しては立坑内の設備を利用できる。

研究坑道内には、資機材の搬出入設備やスcaffoldingが設置されており、ケーシングの設置に際しては、これらの設備を使用できるものとして検討を進めることとし、別途、搬入出用の揚重装置等の検討は行わない。

【前提条件④】地上付近の検討については、埋戻しや地上施設の撤去方法が確定してからとする。

立坑の地上付近は複雑な構造であり、埋戻し時には、コンクリート等の構造物は撤去した状態で埋め戻すことも考えられるため、地上付近のケーシングシステムについては、一般部（深度 100m 以深）と異なる設置方法や防護方法の検討が必要な可能性もある。しかし、現時点では地上付近における立坑の埋戻し・撤去方法は確定していない。よって、本検討においては、深度 100m から地上までの検討も一般部と同じとして取り扱い、地上付近の設備の取り扱いが確定した後に、詳細な検討を行うこととする。

以上の前提条件を基に、以降の検討を進めることとする。

### 2.3.3 ケーシングシステムの抽出

#### (1) ケース 1：ステンレスケーシングのみ

図 2-7 にケース 1 の概念図を示す。ステンレス製のケーシングを固定具で設置する。ステンレスは強度を有するため、防護具は不要である。また、ステンレスは十分な強度を有しているため、埋戻し時の振動等の荷重に耐えうると考えられる。

メリットとしては、設置作業数が少ないことである。

デメリットとしては、ケーシングや固定具が剥き出しのため、埋戻し作業時に十分な締固めが行えず、充てん不足になることが懸念される。また、腐食防止の観点から固定具がステンレス製となるため、コストアップにつながる。さらに、ステンレスケーシングは重いため、搬入や設置の数量が塩ビ管に比べて不利である。

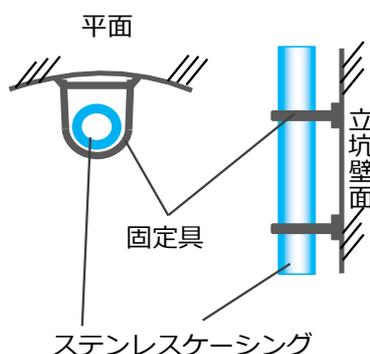


図 2-7 固定方法 ケース 1：ステンレスケーシングのみ

#### (2) ケース 2：ステンレスケーシング＋金属防護

図 2-8 にケース 2 の概念図を示す。ステンレス製のケーシングを固定具で設置した後、金属製の防護板をケーシングの周囲に設置して、ケーシングを埋戻し時の振動や重機等の衝突荷重から防護する。必要に応じて、防護板の中にはベントナイト等の低透水性材料を充てんし、立坑の埋戻し後に防護板の内側が水みちになるのを防止する。

メリットとしては、ケーシングが防護板により保護されること、防護板の表面を円滑に

すれば埋戻し作業の障害になりにくいことである。

デメリットとしては、腐食防止の観点から固定具がステンレス製となるため、コストアップにつながる。また、ステンレスケーシングは重いため、搬入や設置の数量が塩ビ管に比べて不利である。

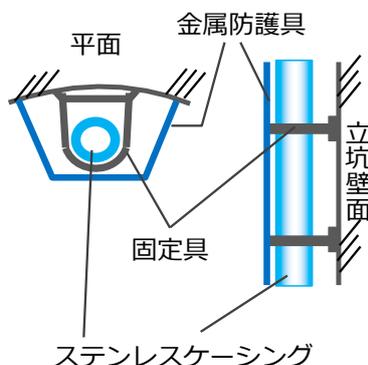


図 2-8 固定方法 ケース 2：ステンレスケーシング+金属防護

(3) ケース 3：ステンレスケーシング+コンクリート防護

図 2-9 にケース 3 の概念図を示す。ステンレス製のケーシングを固定具で設置した後、ケーシング周りに型枠を設置し、コンクリートを打設して、ケーシングを埋戻し時の振動や重機等の衝突荷重から防護する。

メリットとしては、ケーシングがコンクリートにより保護されること、コンクリート表面は円滑であるので、埋戻し作業の障害になりにくいことである。

デメリットとしては、腐食防止の観点から固定具がステンレス製となるため、コストアップにつながる。また、ステンレスケーシングは重いため、搬入や設置の数量が塩ビ管に比べて不利である。さらに、重機等が衝突すると、コンクリート部は欠けやひび割れが生じる可能性がある。加えて、ケーシングとの付着が弱いと、ひび割れが進行してコンクリートが剥落する可能性もある。

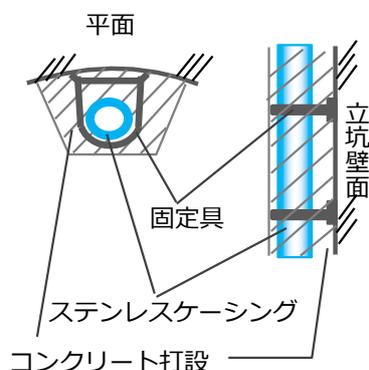


図 2-9 固定方法 ケース 3：ステンレスケーシング+コンクリート防護

#### (4) ケース 4：塩ビ管＋金属防護

図 2-10 にケース 4 の概念図を示す。塩ビ製のケーシングを固定具で設置した後、金属製の防護板をケーシングの周囲に設置して、ケーシングを埋戻し時の振動や重機等の衝突荷重から防護する。必要に応じて、防護板の中には、ベントナイト等の低透水性材料を充てんし、立坑の埋戻し後に防護板の内側が水みちになるのを防止する。

メリットとしては、塩ビ管は軽量であるため、搬入や設置等の施工性に有利である。現地にてカット等の加工も可能である。また、塩ビ管は軽量で腐食しないので、固定具の材質は金属だけでなく、固定バンド等も適用できると考えられる。さらに、塩ビ管自体は金属板で保護されて表面が円滑になるので、埋戻し作業の障害になりにくい。

デメリットとしては、耐圧性がステンレスに比べて低く、土圧に耐えられないおそれがある。また、ケーシング内外の水頭差が 140m 以上となると、ジョイントやポート等の止水性が確保できない可能性がある等の懸念がある。

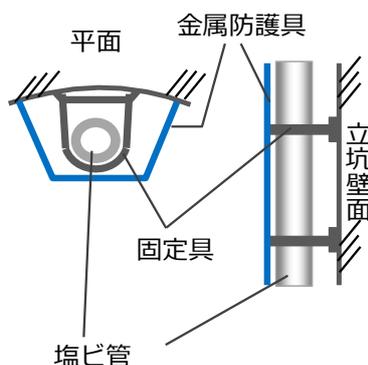


図 2-10 固定方法 ケース 4：塩ビ管＋金属防護

#### (5) ケース 5：塩ビ管＋コンクリート防護

図 2-11 にケース 5 の概念図を示す。塩ビ製のケーシングを固定具で設置した後、ケーシング周りに型枠を設置し、コンクリートを打設して、ケーシングを埋戻し時の振動や重機等の衝突荷重から防護する。

メリットとしては、塩ビ管は軽いため、搬入や設置等の施工性に有利である。現地にてカット等の加工も可能である。また、塩ビ管は軽量で腐食しないので、固定具の材質は金属だけでなく、固定バンド等も適用できると考えられる。さらに、塩ビ管自体はコンクリートで保護されるので、表面は円滑になり、埋戻し作業の障害になりにくい。

デメリットとしては、耐圧性がステンレスに比べて低く、土圧に耐えられないおそれがある。また、ケーシング内外の水頭差が 140m 以上となると、ジョイントやポート等の止水性が確保できない可能性がある等の懸念がある。さらに、重機等が衝突すると、ケーシングは防護するがコンクリート部は、欠けやひび割れが生じる可能性がある。加えて、ケーシングとの付着が弱いと、ひび割れが進行してコンクリートが剥落する可能性もある。

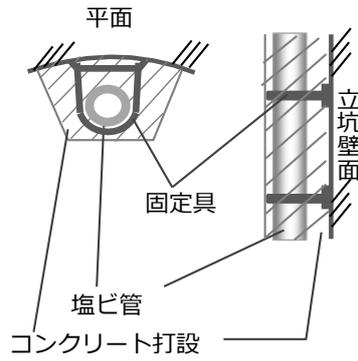
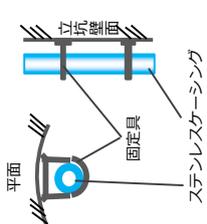
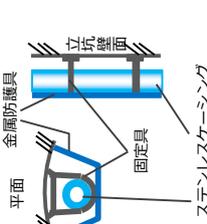
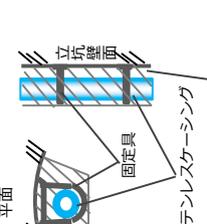
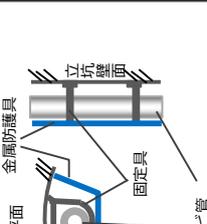
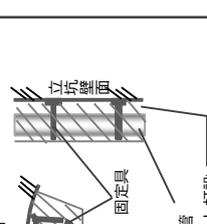


図 2-11 固定方法 ケース 5：塩ビ管+コンクリート防護

表 2-3 に，上記の 5 ケースの比較表を示す。設置性，埋戻し作業への影響，埋戻し作業時の耐衝撃性を考慮し，『ケース 2：ステンレスケーシング+金属防護』および，『ケース 4：塩ビ管+金属防護』の 2 ケースを選定し，概略検討を進めることとする。

表 2-3 ケーシングシステムのまとめ (比較表)

ケースNo.	1	2	3	4	5
ケース名	ステンレスケーシングのみ	ステンレスケーシング +金属防護	ステンレスケーシング +コンクリート防護	塩ビ管+金属防護	塩ビ管 +コンクリート防護
概念図					
概要	ステンレスケーシングを立坑壁面に固定具で設置する。	ステンレスケーシングの周囲を埋戻し作業や荷物の搬出入から保護するために、金属製のプレートを設置する。必要に応じて、ケーシングと防護具の隙間をモルタルやベントナイト等で充てんする。	ステンレスケーシングの周囲を埋戻し作業や荷物の搬出入から保護するために、コンクリートを打設する。	塩ビ管の周囲を埋戻し作業や荷物の搬出入から保護するために、金属製のプレートを設置する。必要に応じて、ケーシングと防護具の隙間をモルタルやベントナイト等で充てんする。	塩ビ管の周囲を埋戻し作業や荷物の搬出入から保護するために、コンクリートを打設する。
特徴	○ 設置作業数が少ない。 × ケーシングが重い。 × ケーシングがむき出しなので、埋戻し作業や、荷物の搬出入時の障害となる。また、衝突等でケーシングの破損の恐れがある。 × 埋戻し時にケーシング周辺が充てん不足となりやすい。 × 腐食防止の観点から、固定具はステンレスとなる。	○ 埋戻し作業等からケーシングが保護できる。 ○ 防護具の表面が円滑なので、直近の埋戻し作業が可能である。 ○ ケーシング内外の水頭差は350mまで許容できる。 × ケーシングが重い。 × 防護具内は空洞のため、将来、水みちどなる可能性がある。 → 充てんにより対応可 × 腐食防止の観点から、固定具はステンレスとなる。	○ 埋戻し作業等からケーシングが保護できる。 ○ 防護具の表面が円滑なので、直近の埋戻し作業が可能である。 ○ ケーシング内外の水頭差は350mまで許容できる。 × ケーシングが重い。 × 腐食防止の観点から、固定具はステンレスとなる。 → 充てんにより対応可 × 立坑壁面との一体化が課題である。 × コンクリートのクラックが弱点となりやすい。 × コンクリートの剥落の可能性がある。	○ 埋戻し作業等からケーシングが保護できる。 ○ 防護具の表面が円滑なので、直近の埋戻し作業が可能である。 ○ 塩ビ管は軽い。 ○ 固定具は、ステンレスである必要はない。 × 防護具内は空洞のため、将来、水みちどなる可能性がある。 → 充てんにより対応可 × ケーシング内外の許容水頭差はステンレスより少ない(200mまで)。 × ケーシング内外の許容水頭差はステンレスより少ない(200mまで)。	○ 埋戻し作業等からケーシングが保護できる。 ○ 防護具の表面が円滑なので、直近の埋戻し作業が可能である。 ○ 塩ビ管は軽い。 ○ 固定具は、ステンレスである必要はない。 × 立坑壁面との一体化が課題である。 × コンクリートのクラックが弱点となりやすい。 × コンクリートの剥落の可能性がある。 × ケーシング内外の許容水頭差はステンレスより少ない(200mまで)。
評価	×	○	△	○	△

### 2.3.4 塩ビ管の耐圧検討

埋戻し後に塩ビ管に土圧が作用した場合の耐圧検討を行う。検討条件を図 2-12 に示す。  
 なお、塩ビ管の強度情報は、以下のとおりである。

塩ビ管の圧縮強度 : 88.3 N/mm<sup>2</sup>

塩ビ管の許容圧縮強度  $\sigma_B$  : 17.7 N/mm<sup>2</sup> (圧縮強度に対して安全率 5 を考慮)

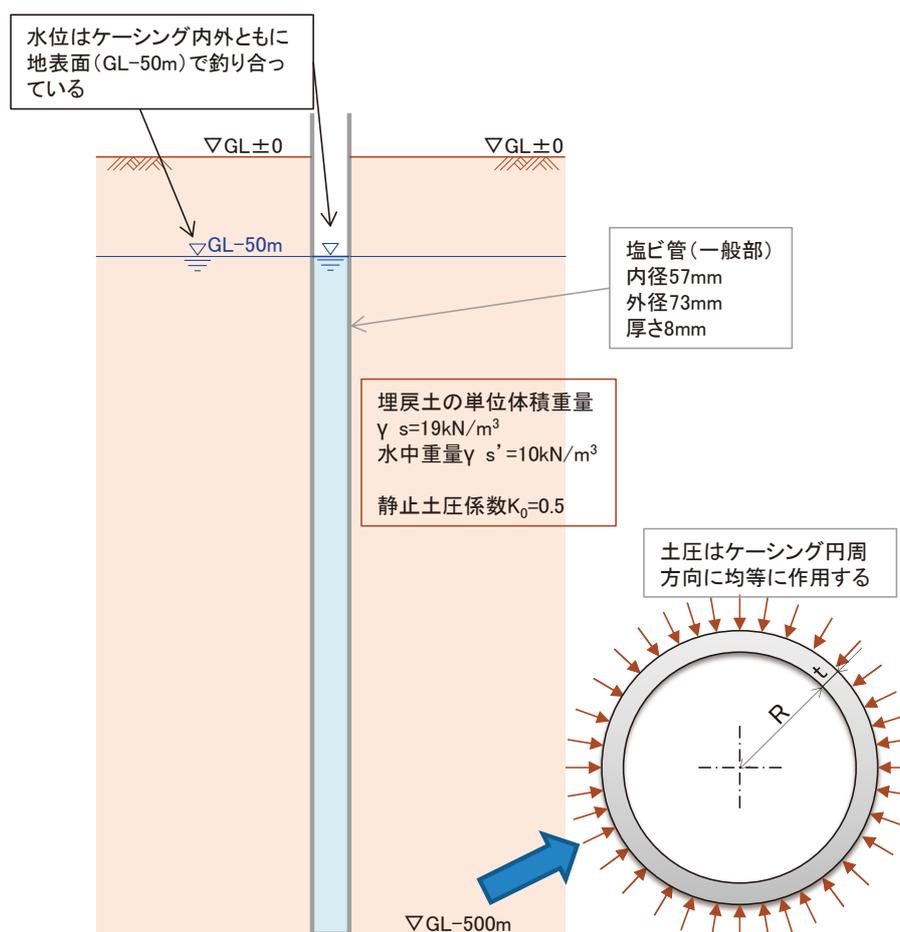


図 2-12 塩ビ管の耐圧検討条件

塩ビ管には、円周方向に均等に土圧が作用すると仮定し、深度 GL-500m での塩ビ管に作用する圧縮応力度を求める。

- ・ GL-500m における塩ビ管に作用する土圧  $p$  の算定

$$p = K_0 (\gamma_s \cdot H_1 + \gamma_{s'} \cdot H_2) = 0.5 \times (19 \text{ kN/m}^3 \times 50\text{m} + 10 \text{ kN/m}^3 \times 450\text{m}) = 2,725 \text{ kN/m}^2$$

- ・ 塩ビ管に作用する圧縮応力度  $\sigma_c$  の算定と応力照査

$$\sigma_c = \frac{R}{t} p = \frac{(57/2)}{8} \times 2,725 = 9,708 \text{ kN/m}^2 = 9.7 \text{ N/mm}^2 < \sigma_B = 17.7 \text{ N/mm}^2 \therefore \text{OK}$$

以上より、塩ビ管は、GL-500m 位置での等方土圧に対して耐圧性があると言える。

## 2.4 換気立坑の現状

### 2.4.1 換気立坑全体

主立坑を含む地下施設の現状を示す地下レイアウトに採水観測点を示したものを図 2-13 に示す。立坑は、主立坑が内径 6.0m、換気立坑が内径 4.5m であり、共に GL-500m まで掘削されている。深度 100m ごとに立坑が拡幅されており（「接続部」）、換気立坑の接続部では内径が 8.5m に拡幅されている。主立坑と換気立坑が水平坑道で連結されており、この水平坑道には、GL-100m、-200m、-300m、-400m で調査孔が設置されている。さらに、GL-200m、-300m、-500m には、横坑が掘削されており、横坑にも調査孔が設置されている。

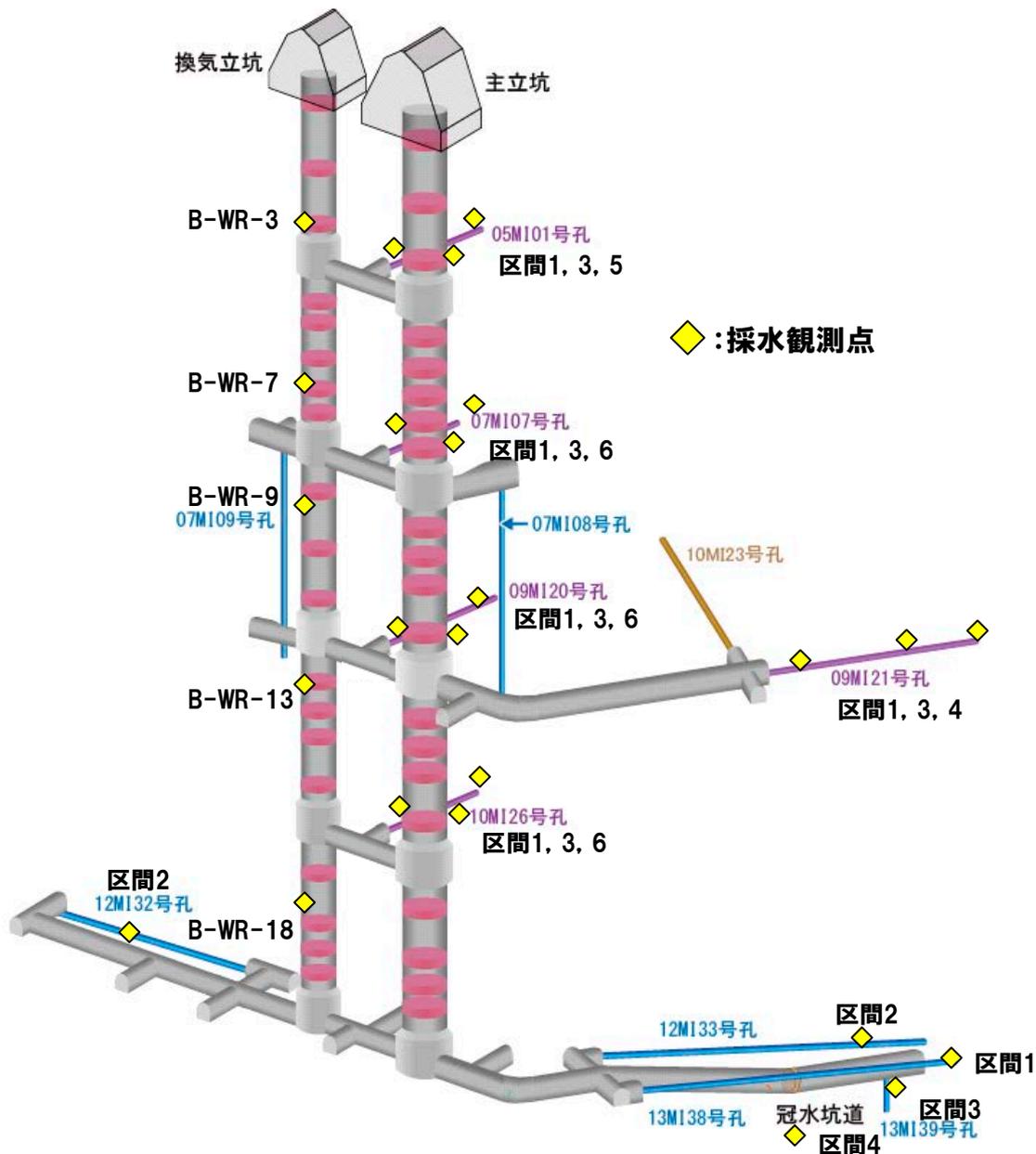


図 2-13 計画されている採水観測点

### 2.4.2 一般断面の現状

ケーシングは、立坑の内壁に沿って設置する計画であるが、立坑内には、多くの設備や装置が設置されており、地下施設の埋戻し作業時に使用される設備や作業の進捗に伴い徐々に撤去される設備があると想定されるため、ケーシングの設置位置が限定されると考えられる。

ケーシングの設置を優先して、既存の設備・装置の撤去や移設を行うと、地下施設の埋戻し作業に大きな影響を与えることとなるため、極力、埋戻し作業の妨げとならない位置に設置することが重要である。

現在，立坑内に設置されている設備・装置類は，以下のとおりである（図 2-14）。

- |                  |       |
|------------------|-------|
| ① 3床式スcaffold    | : 1 基 |
| ② 給気管 φ 450 mm   | : 1 本 |
| ③ 吸気用配管 φ 600 mm | : 2 本 |
| ④ 給気管            | : 1 本 |
| ⑤ 給水管            | : 1 本 |
| ⑥ 排水管            | : 1 本 |
| ⑦ 非常用給気管         | : 1 本 |
| ⑧ 非常用排水管         | : 1 本 |
| ⑨ その他通信ケーブル等     |       |

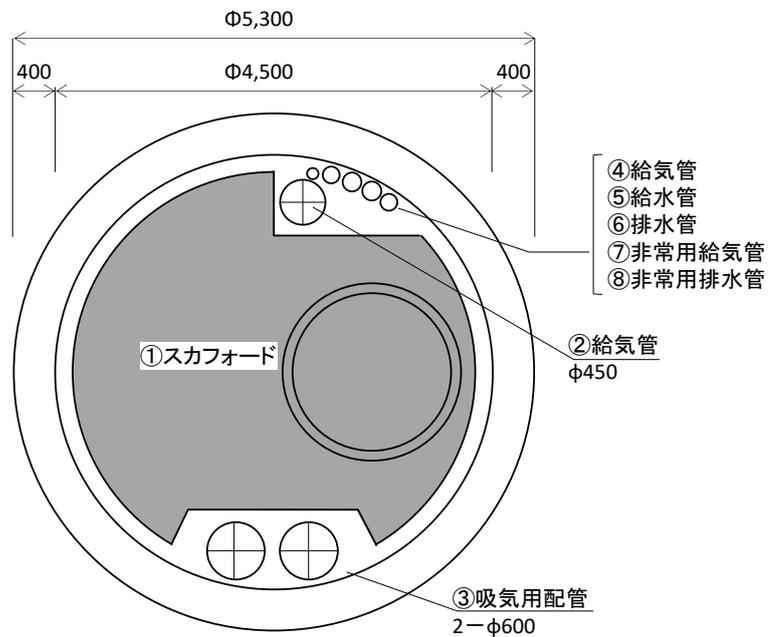


図 2-14 換気立坑内の一般部の設備概念図  
(寸法の単位は mm)

### 2.4.3 接続部の現状

図 2-15 に換気立坑の GL-100m の接続部周りの一般構造図を，図 2-16 に GL-200m の接続部周りの一般構造図を，図 2-17 に GL-300m，GL-400m の接続部周りの一般構造図を，図 2-18 に GL-500m の接続部周りの一般構造図を示す。





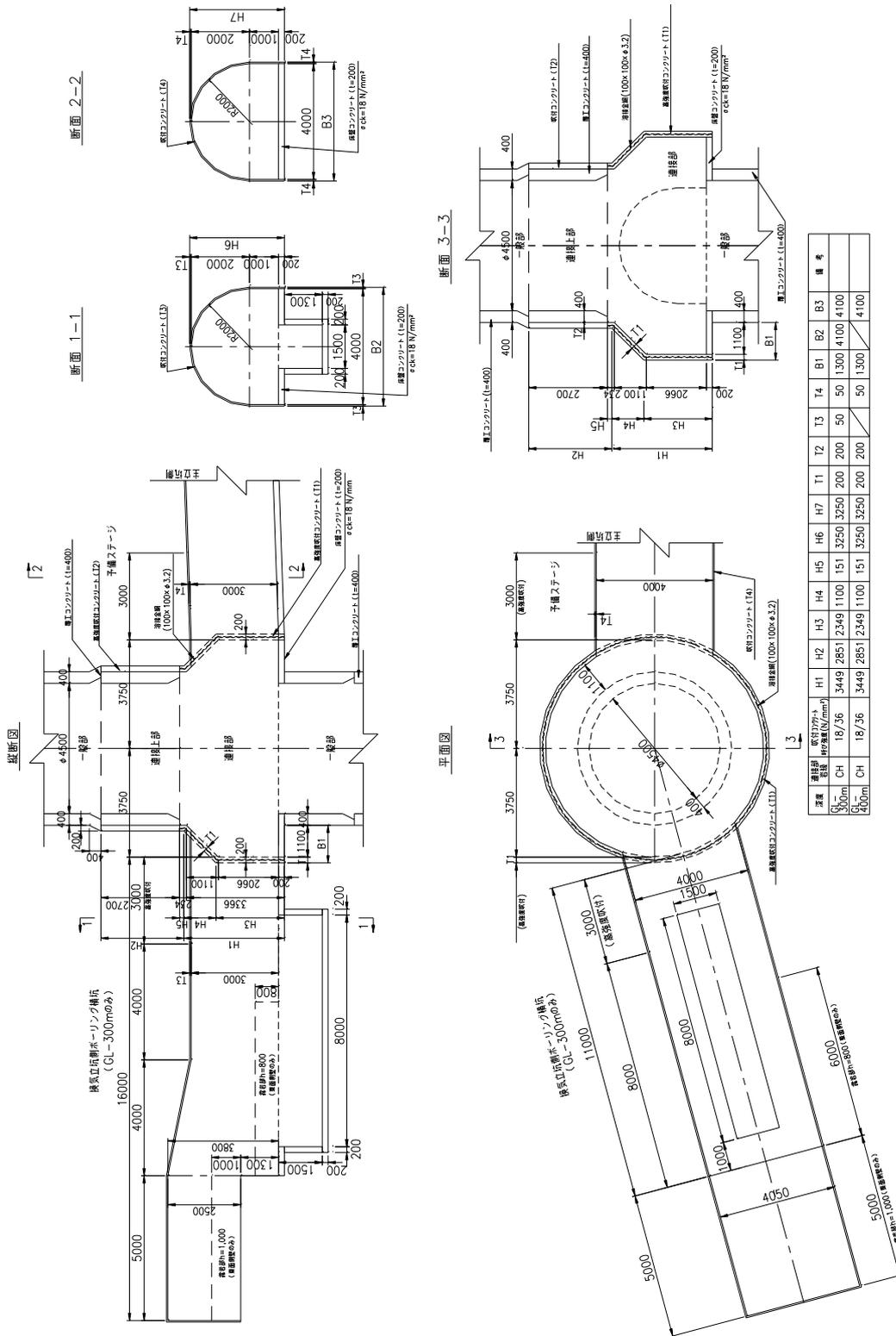


図 2-17 GL-300m, GL-400m 接続部周りの一般構造図  
 (寸法の単位は mm, GL-300m : ポーリング横坑あり, GL-400m : ポーリング横坑なし)

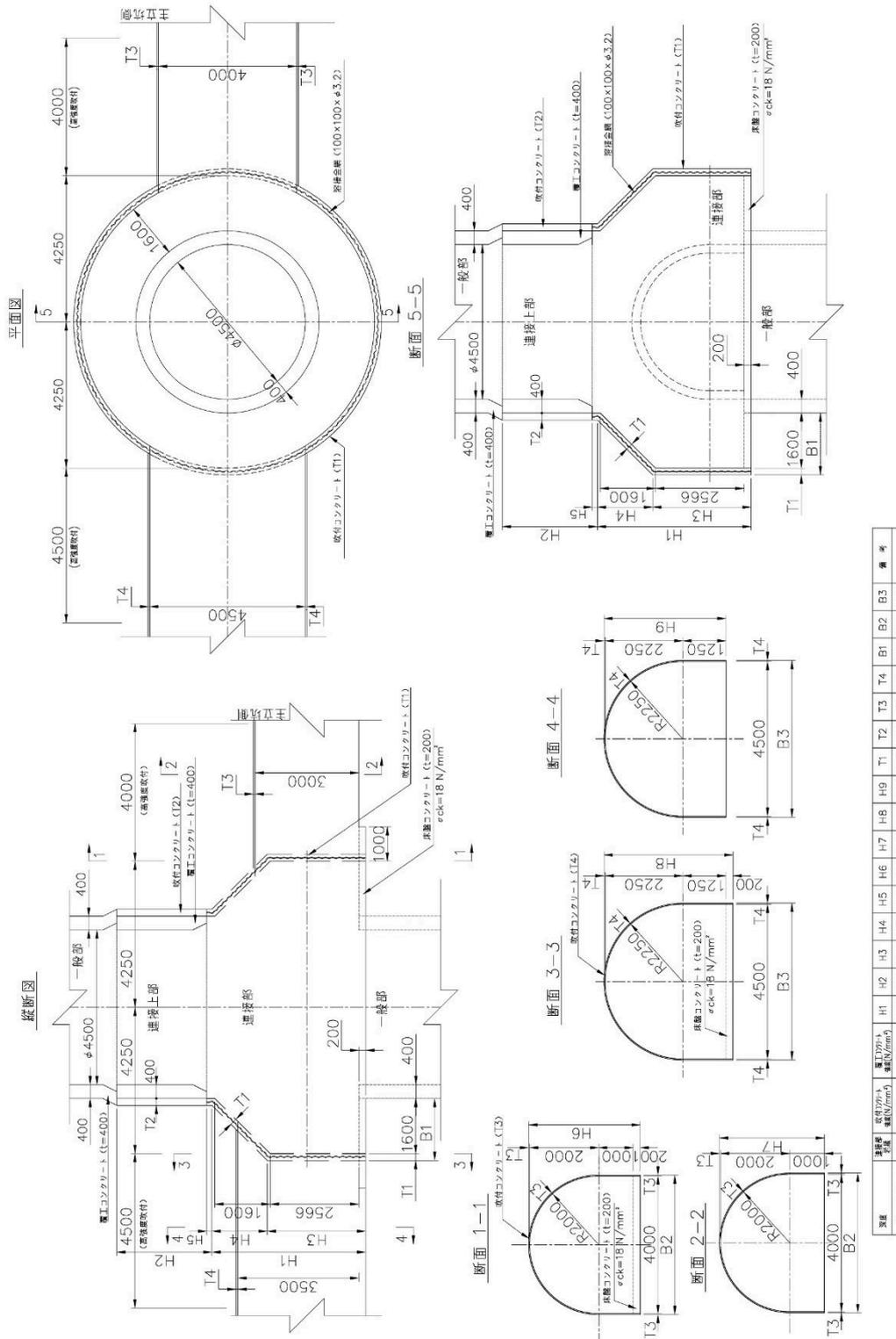


図 2-18 GL-500m 接続部周りの一般構造図  
(寸法の単位は mm)

深径	接続部 寸法	取付ボルト 径(N/mm <sup>2</sup> )	取付ボルト 径(N/mm <sup>2</sup> )	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	T1	T2	T3	T4	B1	B2	B3	備考
GL-500m	B	36	24	4449	2851	1600	151	3230	3030	750	3550	200	200	30	50	1800	4060	4600		

## 2.5 ケーシング本体の検討

### 2.5.1 ケーシングの要件

ケーシングの要件として以下が考えられる。

- ① 立坑内での設置作業が可能な大きさに分割されていること。

立坑内では作業スペースが限られているため、ケーシングは、運搬や設置時の取り回し性を考慮し、比較的小さい寸法に分割されていることが望ましい。MP ケーシングでは、塩ビ製の場合は、1m, 1.5m, 3m の 3 種類の長さのケーシングがあり、ステンレス製では、1m, 1.5m, 3m, 6m の 4 種類の長さのケーシングが用意されており、運搬性や作業性は良い。また、最短で 1m のケーシングもあることから、細かいケーシングレイアウト設定が可能となる。さらに、塩ビ製は、現地にて任意の長さにカットできるため、現地において微調整が可能である。

- ② ジョイント部で止水性が確保されていること。

MP ケーシングのジョイント部には、計測方法や採水方法によっては、止水性が必要となる。MP システムは、塩ビ製で最大 2 MPa までの水圧に対して止水性を有している。すなわち、ケーシング内外の水頭差 200m までの止水性がある。よって、塩ビ製の場合は、ケーシング内外の水頭差を 200m 以内に保つことによって、ケーシングジョイント部の止水性は確保される。一方、ステンレス製の場合は、5 MPa までの水圧に対して止水性を有しており、ケーシング内外の水頭差 500m までの止水性がある。

### 2.5.2 ケーシングの材質

ケーシングの材質は、塩ビ製の方が軽量のため、運搬や設置時の取り回しに有利であるが、金属防護の内側の埋め戻す際に使用する材料によっては、塩ビ製が損傷する可能性がある。よって、ケーシングは、塩ビ製とステンレス製の 2 種類で検討を進める。

### 2.5.3 ケーシングの接続方法および止水性

ケーシングの接続においては、塩ビ製の場合は専用の接続キャップを使用する。接続方法は、図 2-19 に示すように、塩ビケーシングを接続キャップに挿入し、内側の溝に share ワイヤを挿入してロックする。share ワイヤのせん断抵抗により、ケーシングの引張荷重に抵抗する機構となっている（最大 450 kg）。さらに O リングで 2.0 MPa までの止水性が確保されている。ステンレスの場合は、ケーシング同士がねじ込み接合する機構となっているため、接続キャップは不要であり、この部位により、2.4 MPa までの止水性が確保されている。

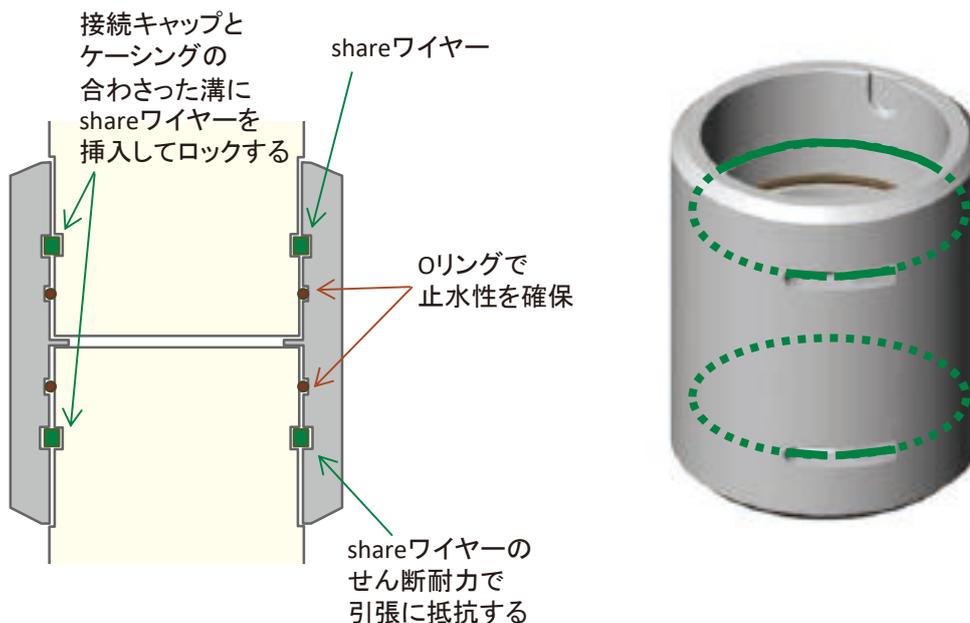


図 2-19 塩ビケーシングの接続方法

## 2.6 ポートの検討

### 2.6.1 ポートの要件

計測ポートは、既存の採水チューブから確実に採水（ボトル）でき、かつ、採水していない時に地下水を確実に止水（シール）できることが望まれる。また、採水用の装置（MPシステムのサンプラープローブ）が目的の位置に確実に設置できる必要がある。

### 2.6.2 ポートと採水チューブの接続方法

採水チューブは、テフロン製のチューブなので、ポートの接続部は、テフロンチューブが容易に接続でき、かつ、確実にシールが可能なボルト締め付け方式とした。

### 2.6.3 ポートの設計

ポートの試作品を図 2-20 に示す。ポートは MP システムのメジャーメントポートの改造型である。メジャーメントポートの内側は、採水用のサンプラープローブが計測部に確実に設置できる機構となっている。なお、メジャーメントポートの材質はステンレス製であるため、ポート部は、ケーシングの材質に関わらずステンレス製となる。なお、試作機の重量は、既製品より約 1 kg 重い 6 kg である。

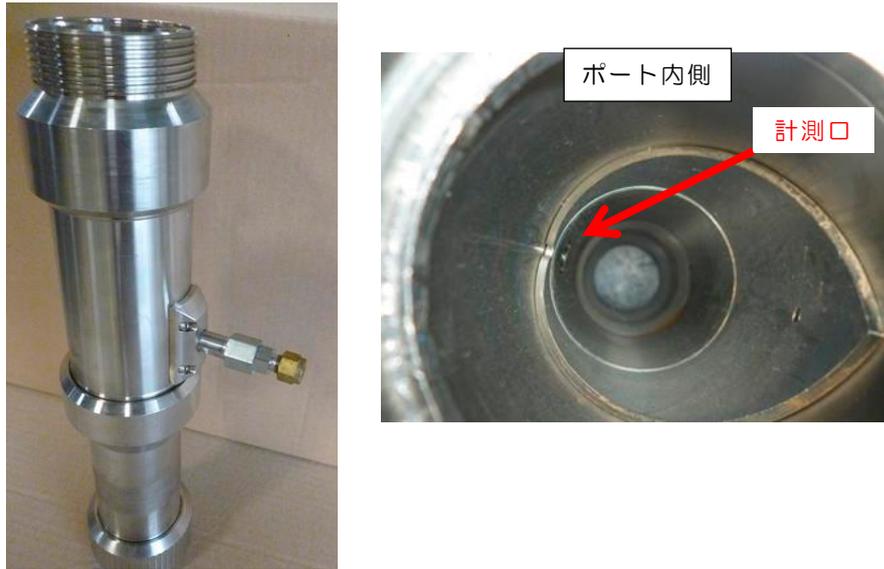


図 2-20 ステンレス製ポート試作機

#### 2.6.4 ケーシングの設計

ポートはステンレス製となるため、ポート間の接続管もステンレス製となる。ケーシングの一般部が塩ビ製となる場合は、ポート区間の両端に位置するステンレスケーシングと塩ビケーシングを接続するため、専用の接続キャップを使用する。

図 2-21 に塩ビケーシングの場合のポート区間のレイアウトの一例を、図 2-22 にステンレスケーシングの場合のポート区間のレイアウトの一例を示す。

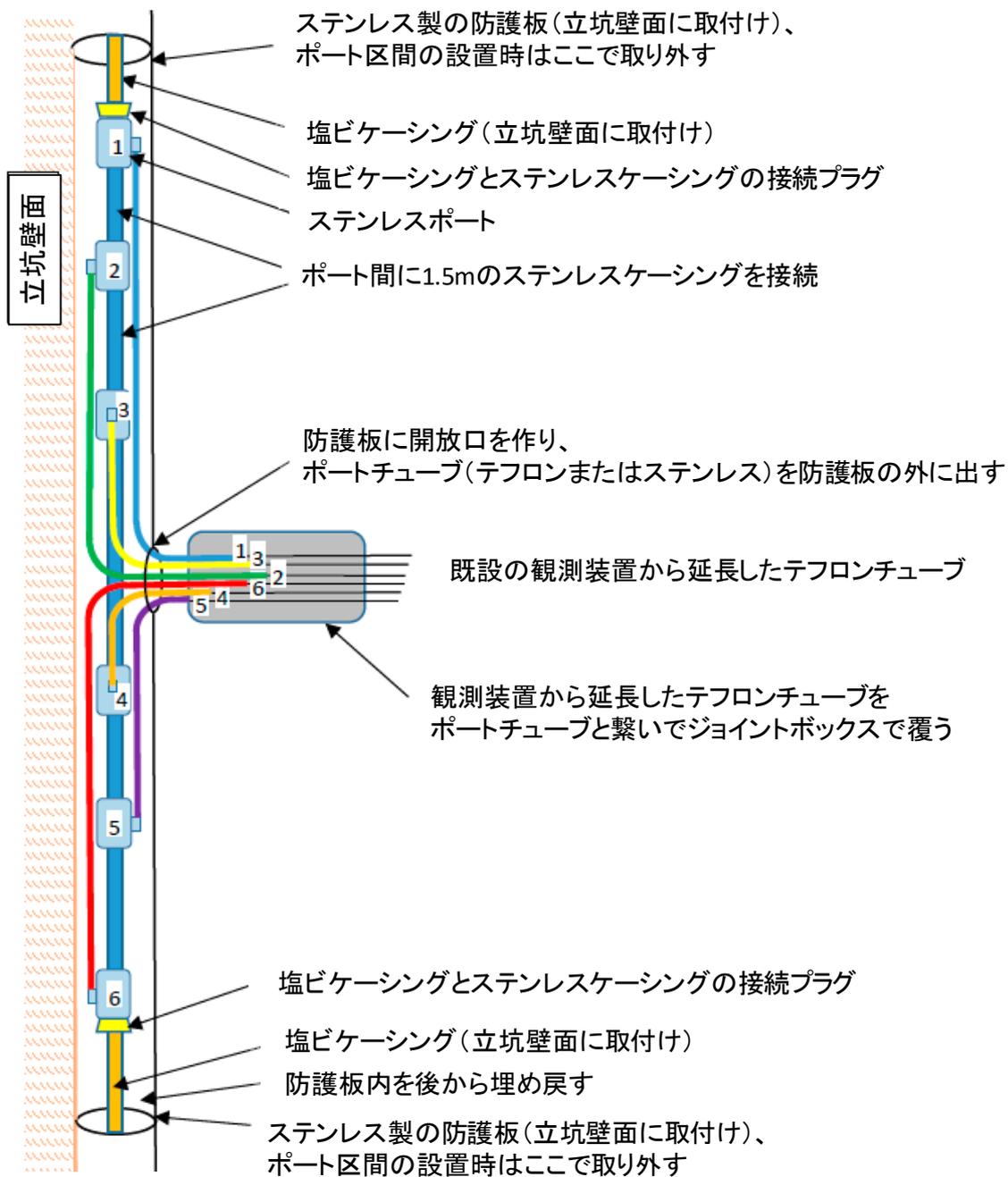


図 2-21 塩ビケーシングの場合のポート区間のレイアウトの例

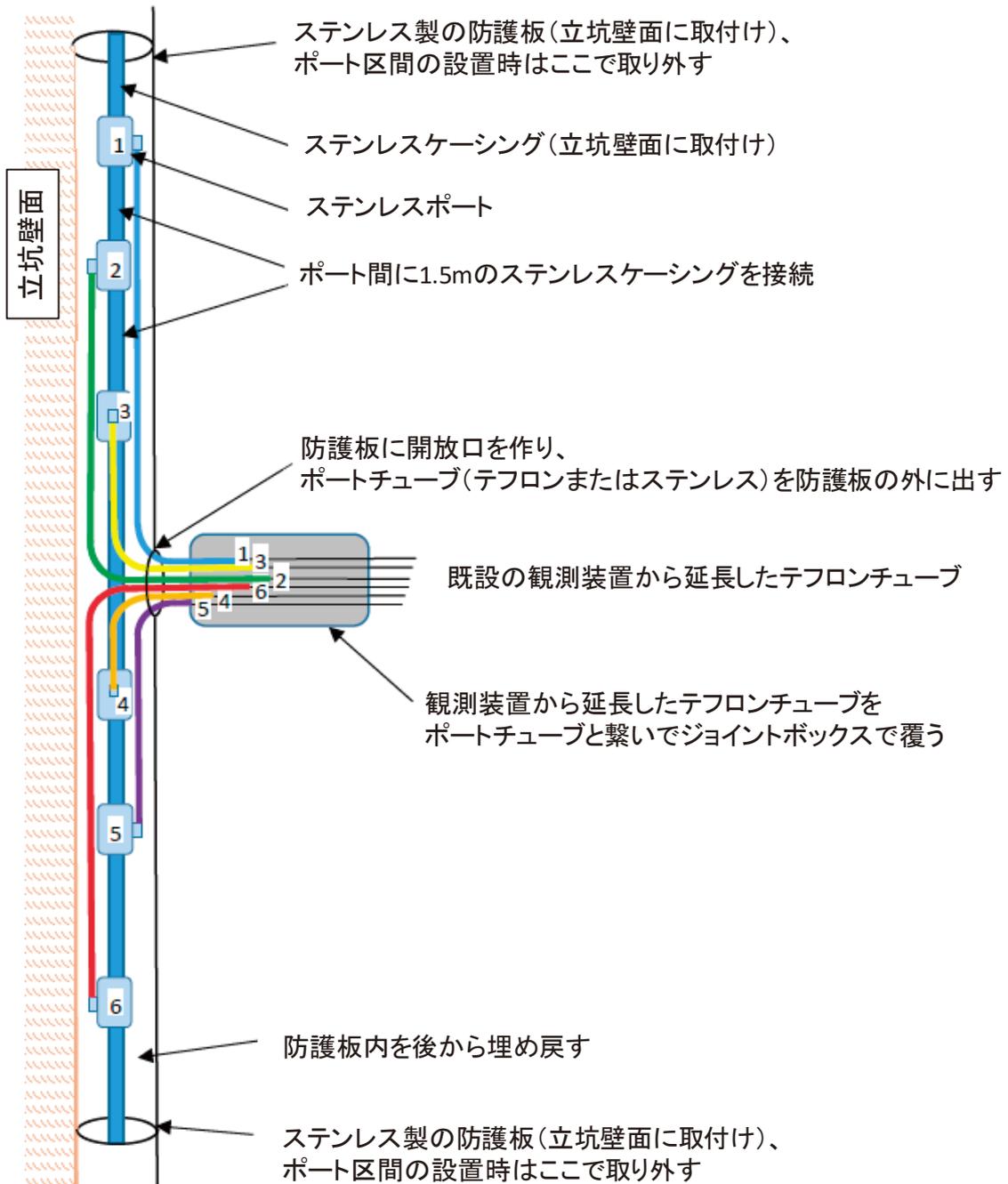


図 2-22 ステンレスケーシングの場合のポート区間のレイアウトの例

## 2.7 ケーシングレイアウトの一例

図 2-23 に、各ステージにおける採水数量の計画図を示す。採水数量は、GL-100m 坑道、GL-200m 坑道、GL-400m 坑道で 4 点ずつ、GL-300m 坑道で 7 点、GL-500m 坑道で 6 点の計 25 点が計画されている。

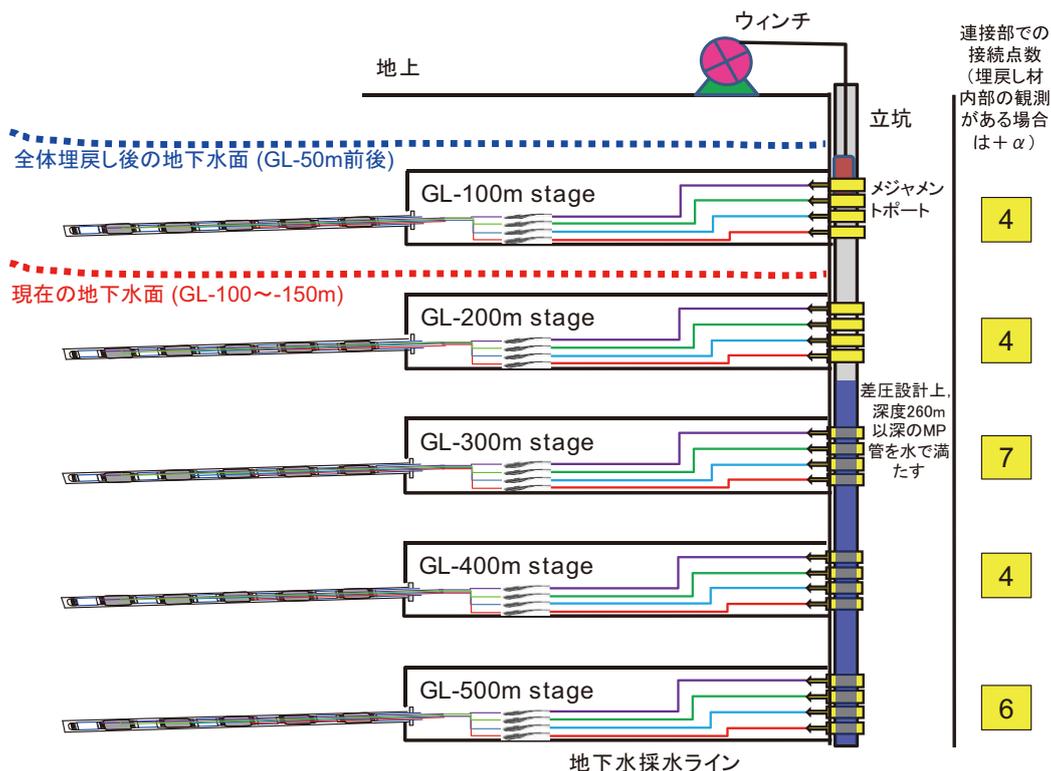


図 2-23 各ステージにおける採水数量の計画

表 2-4 に各ステージのポート区間の構成と区間長を示す。計測ポートの長さは 356 mm、ポート同士を接続するステンレス製ケーシングの長さは 1,500 mm なので、ポート区間にある採水位置は、1,856 mm 間隔となる (=356 mm+1,500 mm)。

一般部の材料が異なる (塩ビ製かステンレス製か) 場合の、ポート区間の組合せの違いは、ステンレスケーシングと塩ビ製の接続プラグの有無のみである。一般部が塩ビケーシングの場合、ポート区間と一般部との接続に専用の接続プラグが必要となるので、その分の重量 (=1 kg×2 個=2 kg) だけ各ステージで重くなる。

図 2-24 に GL-100m ステージのポート設置図を、図 2-25 に GL-200m ステージのポート設置図を、図 2-26 に GL-300m ステージのポート設置図を、図 2-27 に GL-400m ステージのポート設置図を、図 2-28 に GL-500m ステージのポート設置図を示す。GL-200m, 300m, 400m ステージについては、各ポート区間の一番下のポートの下端をステージの床と同じ高さとした。GL-100m ステージについては、ケーシングはこの区間まで設置した後、この位置から先行して、GL-500m~-100m 間のモニタリングを行う可能性もあることから、GL-100m ステージでのモニタリング作業に配慮し、計測ポート区間の上端が GL-100m となる配置とした。GL-500m ステージについては、サンプラーボトルによる採水の機構上、ポートから 3m 程度の深度が必要となるため、誤作動による余裕を考慮して、接続ケーシング 1.5m に 6m のステンレスケーシングを接続できる位置とした。

表 2-5 に塩ビ製のケーシングレイアウト案を示す。

表 2-4 各ステージに設置されるポート区間の構成と長さ・重量

PCVケーシングの場合										
	長さ (mm)	数量	単位	長さ (m)	単体重さ (kg)	重量 (kg)		長さ (mm)	数量	単位
GL-100m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	5	本	7.500	6.90	34.50		1,500	5	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
	SS-PCV接続プラグ	2	個		1.00	2.00		105	2	個
			計	8.924		61.88				
GL-200m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	8	本	12.000	6.90	55.20		1,500	8	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
	SS-PCV接続プラグ	2	個		1.00	2.00		105	2	個
			計	13.424		82.58				
GL-300m 坑道部	ステンレス製計測ポート	7	個	2.492	6.03	42.21		356	7	個
	SS接続ケーシング	8	本	12.000	6.90	55.20		1,500	8	本
	マグネチックカラー	9	個		0.21	1.89			9	個
	SS-PCV接続プラグ	2	個		1.00	2.00		105	2	個
			計	14.492		101.30				
GL-400m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	5	本	7.500	6.90	34.50		1,500	5	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
	SS-PCV接続プラグ	2	個		1.00	2.00		105	2	個
			計	8.924		61.88				
GL-500m 坑道部	ステンレス製計測ポート	6	個	2.136	6.03	36.18		356	6	個
	SS接続ケーシング	7	本	10.500	6.90	48.30		1,500	7	本
	マグネチックカラー	8	個		0.21	1.68			8	個
	SS-PCV接続プラグ	2	個		1.00	2.00		105	2	個
			計	12.636		88.16				
			合計	58.400		395.80				

ステンレスケーシングの場合										
	長さ (mm)	数量	単位	長さ (m)	単体重さ (kg)	重量 (kg)		長さ (mm)	数量	単位
GL-100m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	5	本	7.500	6.90	34.50		1,500	5	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
				計	8.924		59.88			
GL-200m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	8	本	12.000	6.90	55.20		1,500	8	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
				計	13.424		80.58			
GL-300m 坑道部	ステンレス製計測ポート	7	個	2.492	6.03	42.21		356	7	個
	SS接続ケーシング	8	本	12.000	6.90	55.20		1,500	8	本
	マグネチックカラー	9	個		0.21	1.89			9	個
				計	14.492		97.41			
GL-400m 坑道部	ステンレス製計測ポート	4	個	1.424	6.03	24.12		356	4	個
	SS接続ケーシング	5	本	7.500	6.90	34.50		1,500	5	本
	マグネチックカラー	6	個		0.21	1.26			6	個
				計	8.924		59.88			
GL-500m 坑道部	ステンレス製計測ポート	6	個	2.136	6.03	36.18		356	6	個
	SS接続ケーシング	7	本	10.500	6.90	48.30		1,500	7	本
	マグネチックカラー	8	個		0.21	1.68			8	個
				計	12.636		86.16			
			合計	58.400		383.91				



図 2-24 GL-100m ステージのポート区間設置概念図  
(寸法の単位は mm)

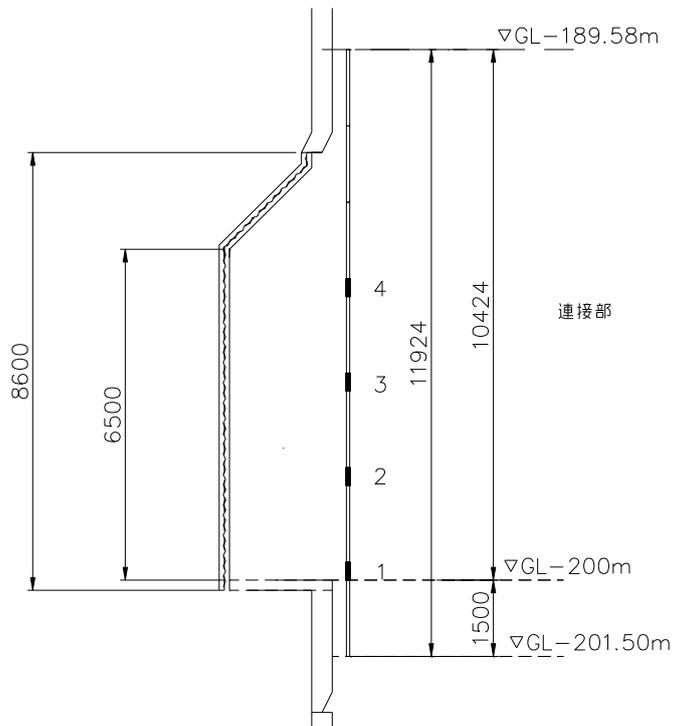


図 2-25 GL-200m ステージのポート区間設置概念図

(寸法の単位は mm)

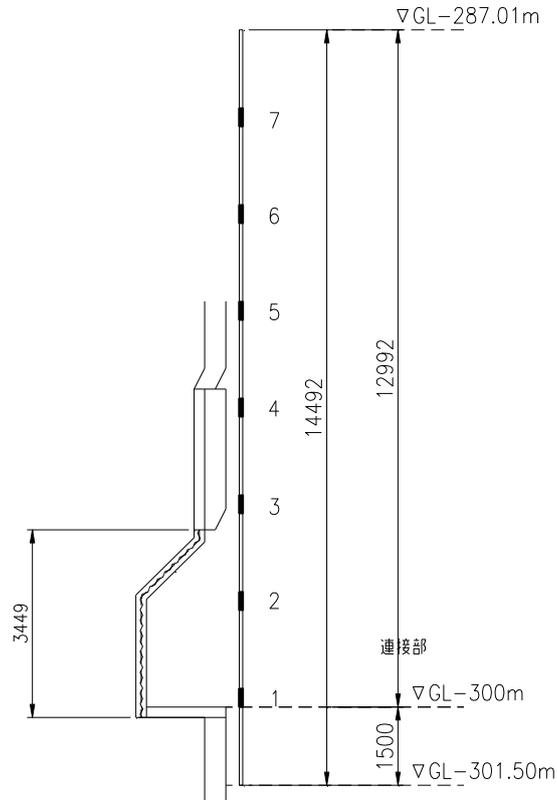


図 2-26 GL-300m ステージのポート区間設置概念図  
(寸法の単位は mm)

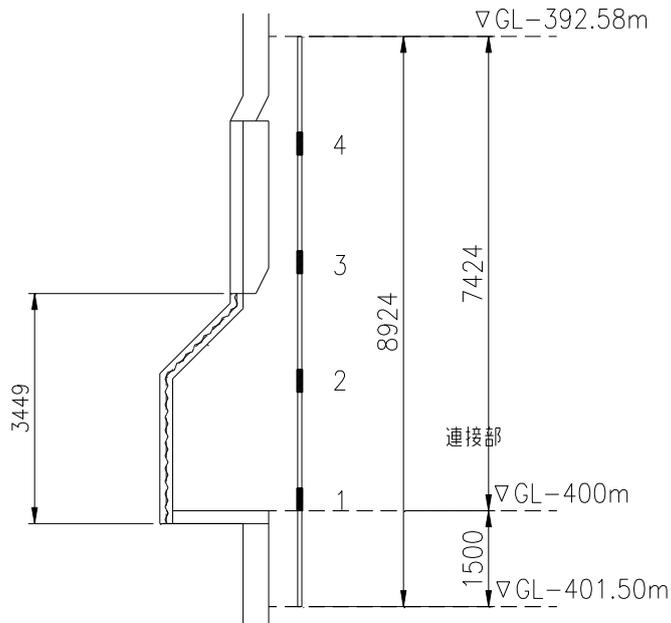


図 2-27 GL-400m ステージのポート区間設置概念図  
(寸法の単位は mm)

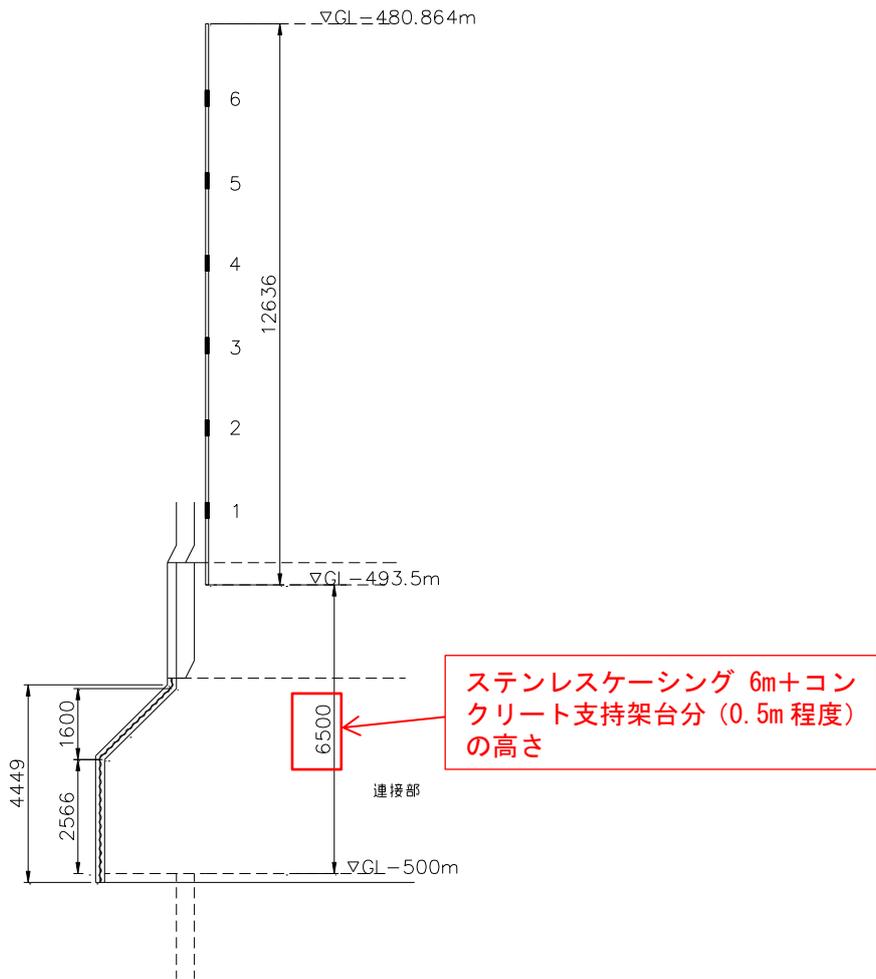


図 2-28 GL-500m ステージのポート区間設置概念図  
(寸法の単位は mm)

This is a blank page.



## 2.8 ケーシング固定具の検討

通常、調査孔に MP ケーシングを設置する場合、図 2-4～図 2-6 に示すように区間を形成する役目となるパッカーがケーシングを孔壁に固定する役目も兼ねており、孔壁に固定するための固定具はない。しかしながら、当採水用配管は、既設の観測装置のチューブを直接計測ポートに接続して計測・採水を行う計画であるためパッカーを用いて区間を形成する必要はないが、立坑の内壁に沿って設置するため、坑壁に固定するための専用固定具が必要となる。ここでは、ケーシングを立坑坑壁に固定するための専用固定具について検討する。

### 2.8.1 ケーシング固定具の要件

ケーシングを坑壁に固定するための固定具の要件は、以下のとおりである。

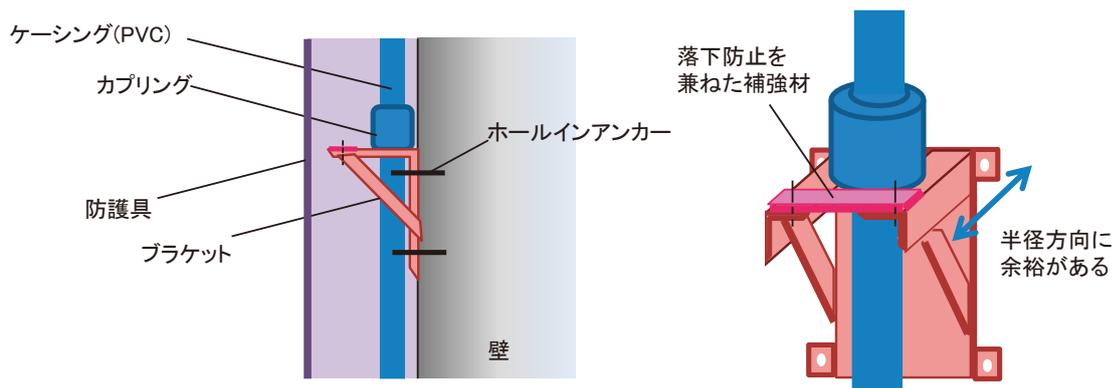
- ① ケーシングを確実に坑壁に固定できること。
- ② 固定に際して、ケーシングを傷付けないこと。
- ③ 坑壁表面は、完全な直線状態ではなく、僅かな段差や凹凸等があるため、これらの直線に対する誤差を許容できること。
- ④ 固定具の設置に特殊な技術や手間を要しないこと。

### 2.8.2 ケーシング固定具の設計

#### (1) ケーシングブラケット

ケーシングの接続部や採水ポート部では、ケーシングの外径がケーシングの一般部に比べて大きくなる。これを利用して、外径が大きくなる部位で図 2-29 に示すようなブラケットでケーシングの自重を支持する。ここで、立坑内壁は完全な円滑ではない。よって、多少の誤差がある場合でも支持可能なように、ケーシングブラケットは、半径方向に余裕を持たせた構造とする。図 2-30 にケーシングブラケット構造図を示す。

なお、ケーシングブラケットの設置間隔は、計測ポート区間の上下と、塩ビケーシングの場合は 50m 間隔（吊り荷重約 120 kg）、ステンレスケーシングの場合は 20m 間隔（吊り荷重約 100 kg）とする。



	PCV	ステンレス
ブラケット設置間隔	@50m	@20m
固定具の吊り荷重	120kg	100kg

図 2-29 ケーシングブラケット概念図

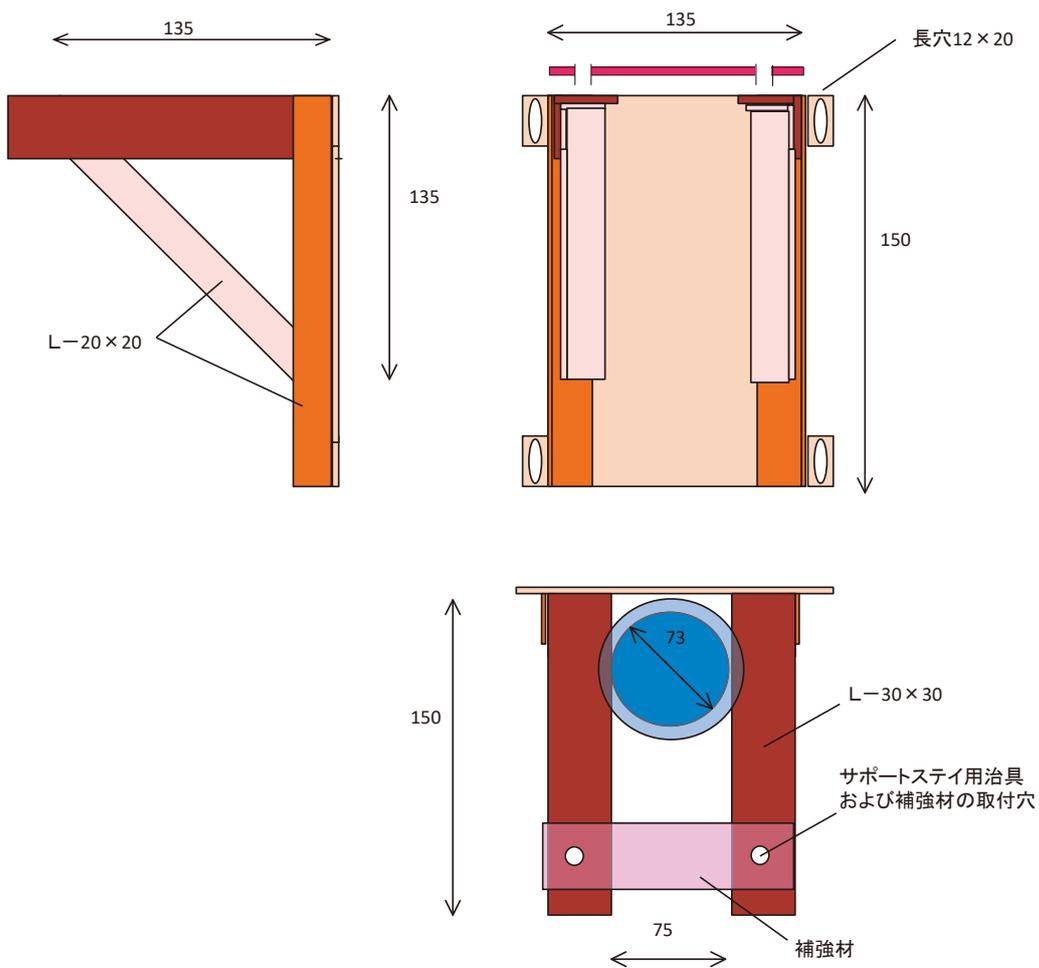


図 2-30 ケーシングブラケット構造図  
(寸法の単位は mm)

(2) ケーシングバンド

ケーシングブラケットでは、ケーシングの自重の支持，すなわち上下方向の固定を行う。一方で、ケーシングの設置間隔は、塩ビ製の場合は 50m 間隔と比較的長いため、円周方向もしくは半径方向にたわむ可能性がある。そこで、図 2-31 および図 2-32 に示すようなケーシングバンドにて壁面に固定することで、たわみを防止し、ケーシングの鉛直精度を確保することとした。

ケーシングバンドは、円周方向および半径方向の鉛直精度の確保を目的としており、鉛直荷重の支持は期待しない。また、ケーシングブラケットと同様に、立坑内壁の半径方向の不陸に対応可能な構造とした。

なお、ケーシングバンドの設置間隔は、塩ビケーシング，ステンレスケーシングともに、10m 間隔とした。

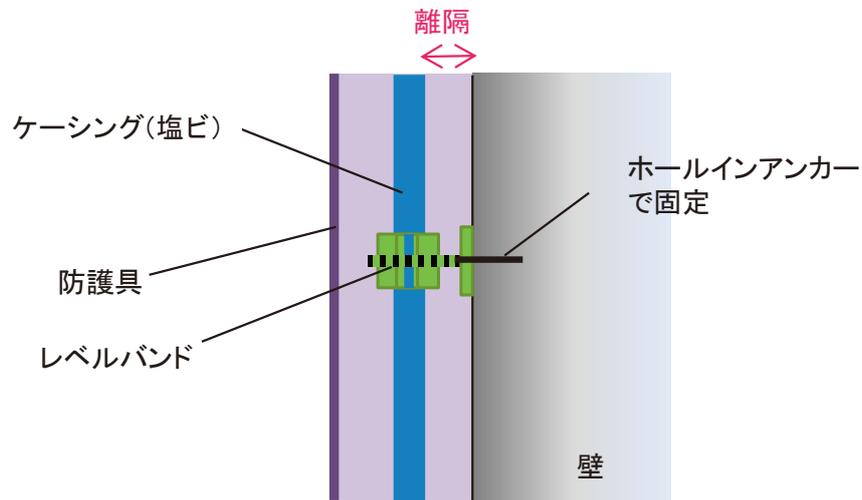


図 2-31 ケーシングバンド概念図

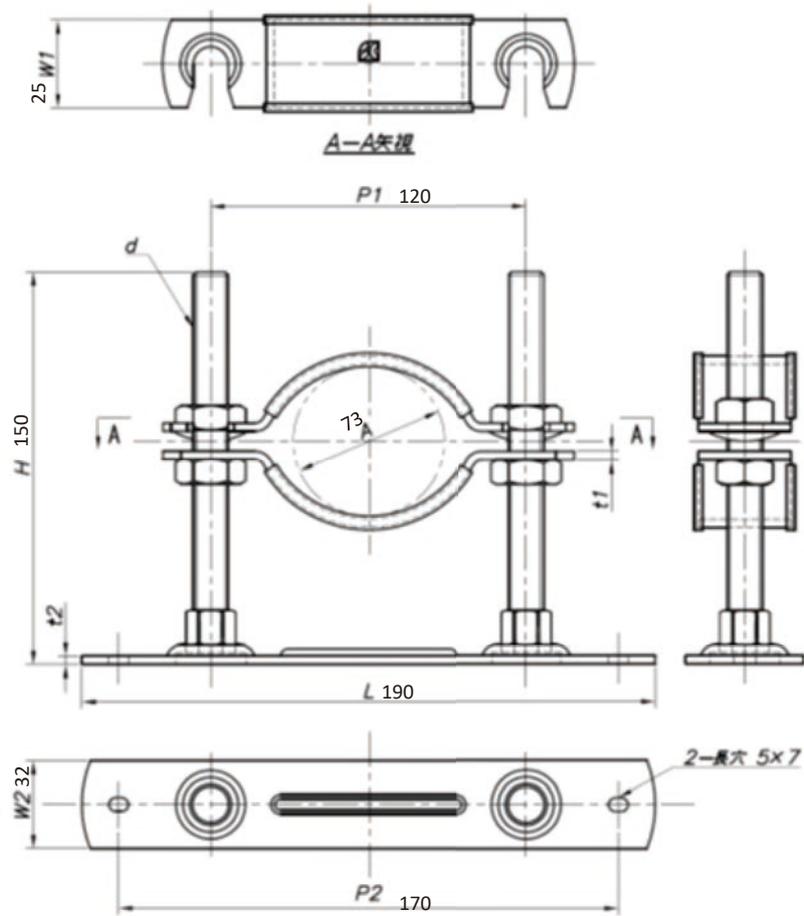


図 2-32 ケーシングバンド構造図  
(寸法の単位は mm)

## 2.9 ケーシング金属防護の検討

ケーシングは、埋戻し時作業時の振動や衝撃で損傷する可能性があることから、ケーシングを保護する防護板を設置することとする。なお、防護板の材質としては、2.3 の検討より、金属製の防護板とする。

### 2.9.1 ケーシング金属防護板の要件

ケーシングを保護するための金属防護板の要件は、以下のとおりである。

- ① ケーシングを埋戻し作業時の振動や衝撃から防護すること。
- ② ある程度の土圧に耐えうること（埋戻し時に金属防護板の内側も充てんすることで防護板には大きな土圧は作用しない）。
- ③ 埋戻し作業の妨げとならないような形状であること。
- ④ 確実に立坑内壁に固定できる構造であること。
- ⑤ 可能な限りコンパクトな寸法であること。
- ⑥ 設置性が良い大きさ・重量であること。

## 2.9.2 ケーシング金属防護板の設計

### (1) 一般部

防護板の概念図を図 2-33 に示す。防護板は、狭隘な空間でも設置できるように、極力小さな構造とした。厚さ 5 mm の金属板であり、施工性に配慮し、人力にて運搬できるよう、1 ピースの高さは 1m とし、4 角をアンカーで固定する構造とした。

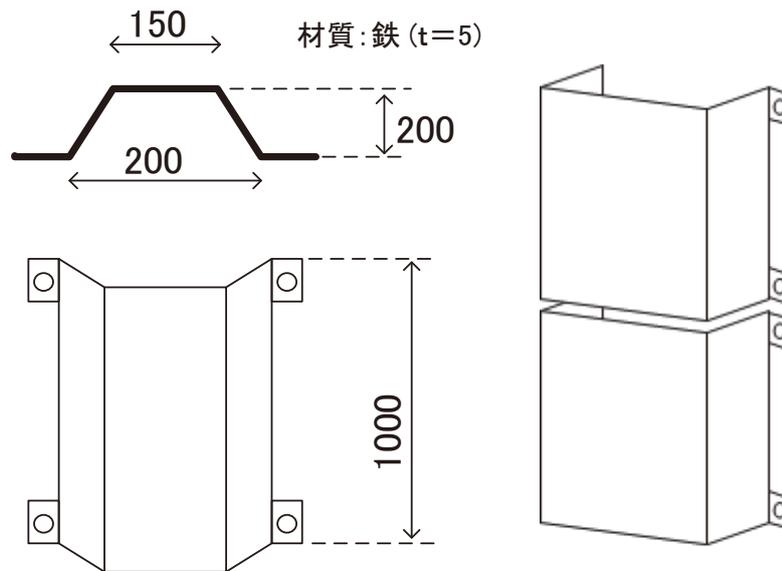


図 2-33 金属防護板の構造と設置イメージ  
(寸法の単位は mm)

金属防護板は、埋戻し作業時の振動や衝撃等からケーシングを保護するために設置するものであるため、防護板の設置は、埋戻し作業と並行して実施することになる。防護板の設置、防護板の内側の充てん、立坑の埋戻し作業の手順としては、

- ① 金属防護板を、設置しているケーシングの高さまで設置する。
- ② この時、ある程度の間隔で防護板は仮止めとしておく（例えば 5m 間隔）。
- ③ 仮止め防護板を一時外して、金属防護板内に充てん材料を充てんする。
- ④ 外した防護板を戻して本止めする。
- ⑤ 防護板内を充てんした高さまで立坑を埋め戻す。

上記の手順によって、金属防護板に作用する土圧（防護板の内側と外側の土圧の差圧）を抑えることができる。また、適切な金属防護板とするために、立坑の埋戻しの 1 回の高さや防護板内の充てん材料や充てん方法に応じて、防護板の板厚や構造(防護板の補強等)を検討する必要がある。

(2) 接続部

接続部は、図 2-15～図 2-18 および図 2-24～図 2-28 に示すように、一般部に比べて内径が 4m 拡幅されている。MP ケーシングは直線状に設置する必要があるが（ある程度の傾斜は許容可能）、一般部の内壁に沿って鉛直に設置されるため、拡幅部の坑壁には固定することができない。そこで、図 2-34 に示すようにケーシングブラケットを拡幅部の上下に設置し、ブラケットにサポートステイを固定し、このサポートステイでケーシングを仮止めしながらケーシングを接続する。接続部は全て強度と重量のあるステンレス製の計測ポート区間に該当するため、上下をケーシングブラケットで保持することで、計測ポート下の塩ビケーシングへの荷重負担の低減と計測ポート区間の揺動防止を図ることができる。なお、金属防護板は、一般部は埋戻し作業に先行して設置する計画であるが、拡幅部については、資機材等の重量物の搬出入が多いことから、誤作動等による衝突からケーシングを保護するために、ケーシングブラケットに固定したサポートステイを使用して、金属防護板を設置しておくこととした。サポートステイは、1ヶ所であるため、図 2-35 に示すように、必要に応じて坑壁にサポートステイを設置して金属防護板を固定する。

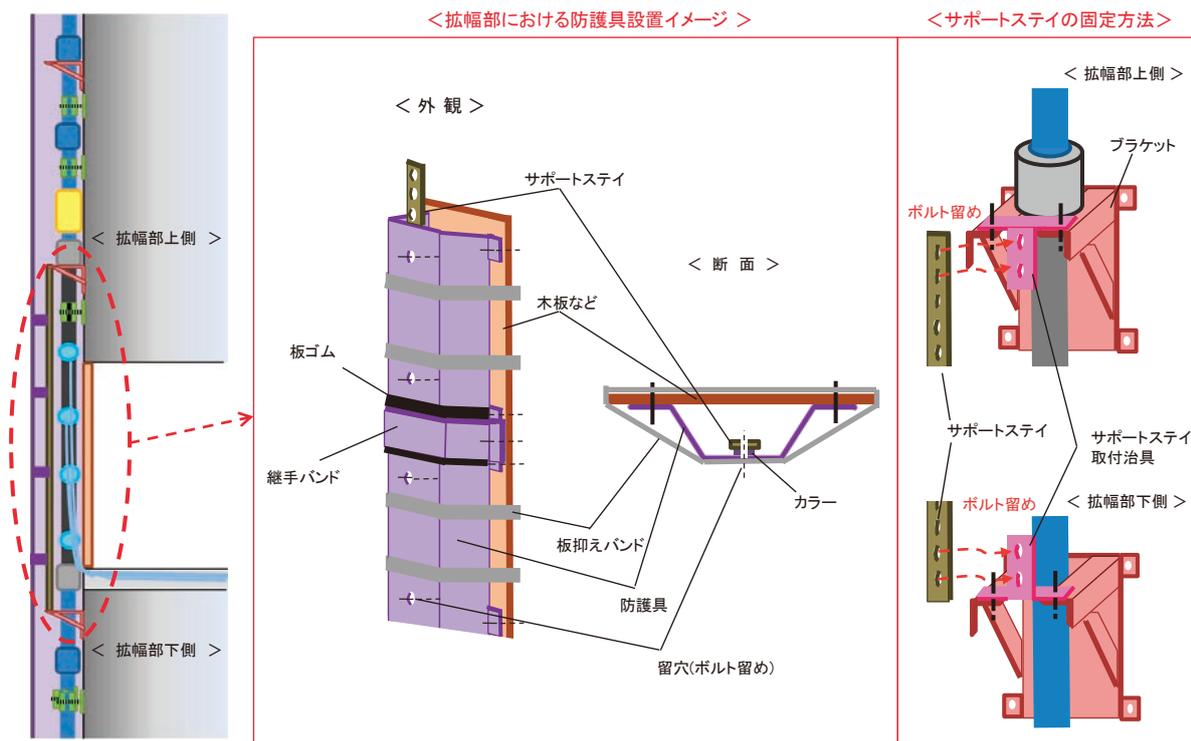


図 2-34 拡幅部の金属防護板の設置方法

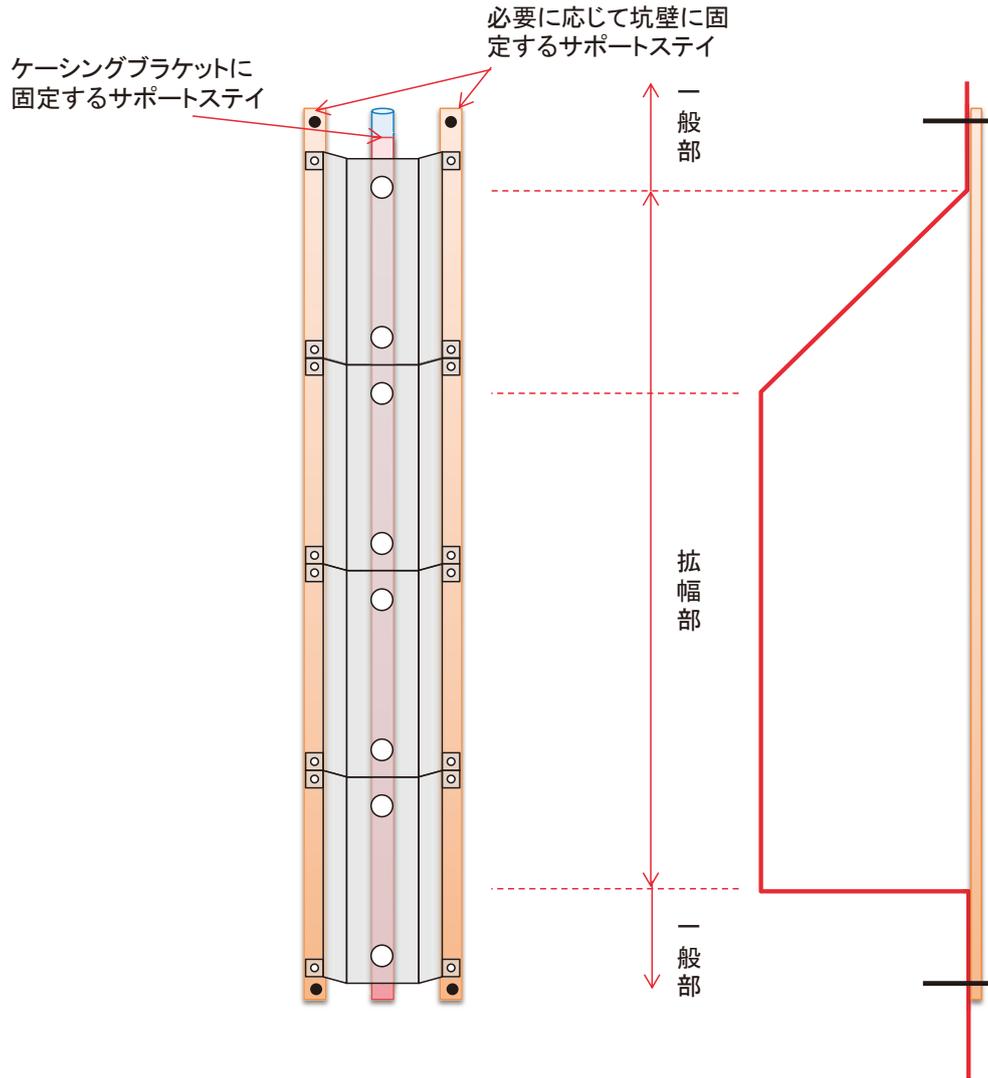


図 2-35 サポートステイの増設概念図

### 3. 採水用配管の立坑への設置方法の検討

ここでは、換気立坑（以下、立坑）を例に、採水用配管の設置に関して、その設置位置、設置方法や設置手順について検討を行う。また、検討結果に基づき、採水用配管の製作・設置に関わる基本工程および概算費用について検討を行う。

#### 3.1 ケーシング設置位置の検討

立坑に設置されている現状設備（図 3-1）は、立坑の埋戻し作業時に使用される物や、埋戻し作業前およびその進捗に応じて撤去される物があると想定される。ケーシングの設置位置は、現状の立坑の空スペースあるいは現状設備の今後の撤去予定等を考慮して計画する必要がある。

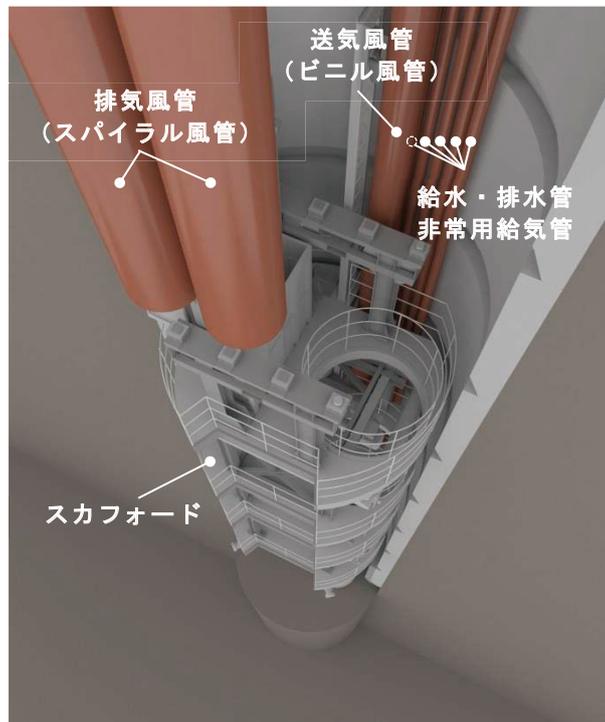


図 3-1 換気立坑主要設備の鳥瞰図

現状の立坑でケーシング設置のための十分なスペースが確保できれば、立坑の埋戻し作業に先立ちケーシングの設置が可能となる（図 3-2 の Case-1）。一方、ケーシング設置のための十分なスペースが確保できない場合、ケーシング設置の前に現状設備の撤去が必要となり、設備を撤去することでケーシングの設置が可能となる（図 3-2 の Case-2）。

また、現状設備を撤去してケーシングを設置する場合で、立坑の埋戻し前に現状設備を撤去することができれば（Case-2）ケーシングを一気に設置することが可能となるが、立坑の埋戻しと併行して現状設備を撤去する場合は、ケーシングも立坑の埋戻しと併行して設置することとなる（図 3-2 の Case-3）。

以上のように、ケーシングの設置位置の検討は、ケーシングの設置時期にも大きく係わる検討となる。

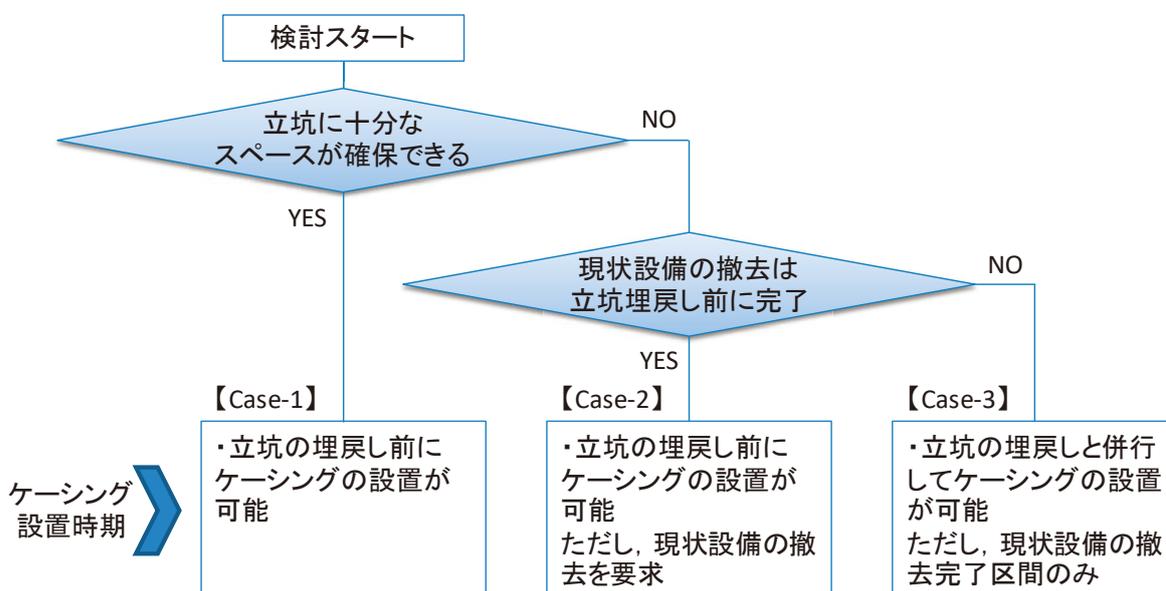


図 3-2 ケーシング設置に関する検討フロー

### 3.1.1 設置位置に関する制約条件について

ケーシングの設置位置には、図 3-2 に示した各ケースについて、共通した制約条件と、固有の制約条件がある。

#### (1) 共通の制約条件

- ・ケーシングは立坑の深度方向にほぼ直線状に設置しなければならない。したがって、立坑の深度方向に直線状のスペースが必要となる。
- ・立坑の深度 100m ごとに設置されている予備ステージや、深度 200m, 300m, 500m に設置されている横坑付近は、資機材の出し入れが頻繁に行われる可能性があるので極力避ける（絶対条件ではない）。

#### (2) Case-1 固有の制約条件

- ・立坑の埋戻し前にケーシングを設置することになるので、スcaffoldingと接触しない位置に設置スペースが必要となる。

#### (3) Case-2 固有の制約条件

- ・立坑の埋戻し前に現状設備（例えば給・排水管，風管等）の撤去が必要となる。
- ・撤去する設備は，立坑の埋戻し等の作業に支障がない範囲とする必要がある。

#### (4) Case-3 固有の制約条件

- ・現状設備の撤去，ケーシングの設置，立坑の埋戻しが併行作業となる。したがって，ケーシングの設置位置（区間）は，現状設備の撤去完了区間のみとなる。
- ・ケーシング設置位置（区間）がスcaffoldingよりも下になる場合には，スcaffoldingとの接触は制約条件にならない。

### 3.1.2 設置位置の選定

現状設備の撤去工程や，立坑の埋戻し方法が具体化されていない現段階では，ケーシングの設置条件を著しく制約する検討にならないよう留意する必要がある。

図 3-2 に示した各ケースについて，ケーシングの設置位置としての可能性を検討した結果を以下に示す。

#### (1) Case-1 に関するケーシング設置位置の検討

図 3-3 は立坑に設置されている現状設備の調査結果である。立坑ではスcaffoldingが上下に移動するため，図 2-14 に示したとおり，スcaffoldingと接触しないスペースは限られている。さらに，このスペースには，現時点で既に給・排水管や送気・排気用の風管が設置されている。

スcaffoldingと覆工との間にもわずかなスペースはあるが，現状設備の調査結果から，

φ 50mm 程度の管までしか設置できない。本検討のケーシングは外径 73mm で、さらに外側に金属防護板を取付ける必要があるため、スcaffoldingと覆工との間にケーシングは設置できない。

以上の結果より、Case-1 の場合は、ケーシングは設置できない。

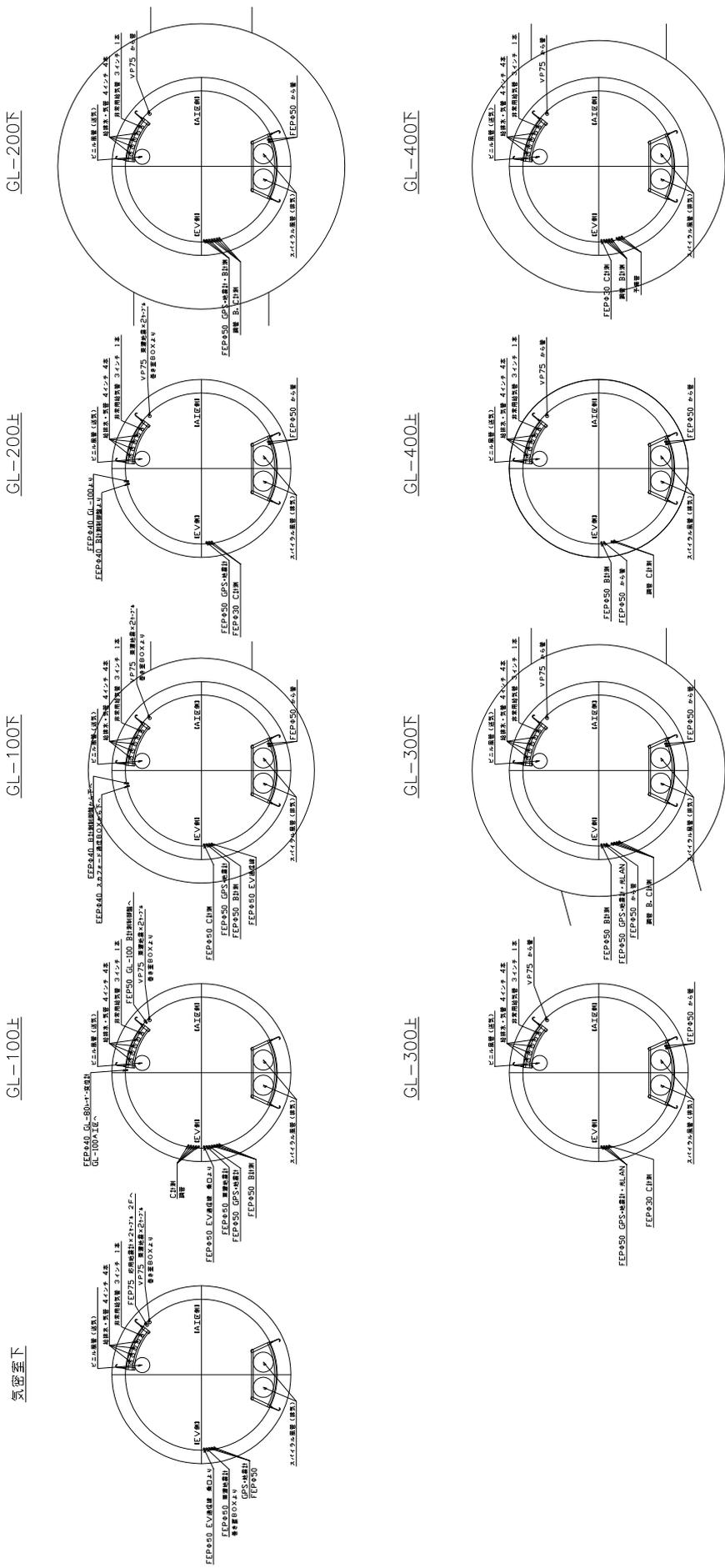


図 3-3 立坑に設置されている現状設備

(2) Case-2 に関するケーシング設置位置の検討

現段階では立坑の埋戻し方法は具体化されていないものの、ここでは立坑の埋戻し時に最低限必要となる設備を検討し、撤去が可能な設備を抽出し、ケーシング設置位置の候補とする。

埋戻し材料としては、水、コンクリート、砂・砕石（掘削ずりを含む）、ベントナイト混合土等が候補として考えられる。それぞれの材料にはさらにいくつかの施工方法が考えられる。施工に必要な設備は、材料と施工方法の組合せによって具体化されることになるが、ここでは埋戻し材料ごとに施工方法を仮定して、必要設備の抽出を試みた（表 3-1）。

表 3-1 立坑の埋戻し時に必要となる設備の例

	埋戻し材料	施工方法 (想定)	必要設備の候補	備考
①	水	注水	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給水管</li> <li>・排水管</li> <li>・非常用給気管</li> <li>・送気風管※</li> <li>・排気風管※</li> </ul>	坑内湧水によって充てん可能であるが、充てん時間短縮のための給水管、充てん時間コントロールのための排水管を候補として挙げた。 非常用給気管は非常時対応を想定（以降、同様の理由）。
②	コンクリート	充てん	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給水管</li> <li>・排水管</li> <li>・非常用給気管</li> <li>・送気風管※</li> <li>・排気風管※</li> </ul>	コンクリートの品質を考慮して排水管を候補として挙げる。また、洗い水として利用するため給水管も候補として挙げる。
③	砂・砕石 (掘削ずり)	転圧	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給水管</li> <li>・排水管</li> <li>・非常用給気管</li> <li>・送気風管※</li> <li>・排気風管※</li> </ul>	間隙を水充てんすることや粉じん抑制のため給水管を候補として挙げる。また、転圧前に材料が水没すると十分な締固めができなくなるため、排水管も候補として挙げる。
④	ベントナイト 混合土	転圧	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給水管</li> <li>・排水管</li> <li>・非常用給気管</li> <li>・送気風管※</li> <li>・排気風管※</li> </ul>	ベントナイト混合土の品質を考慮して排水管を候補として挙げる。また、混合土の急激な乾燥への対応として給水管も候補として挙げる。

※労働安全衛生上、坑内は一定風量を確保する必要がある。坑内の作業環境に応じて必要風量は変化することとなる。埋戻し方法によっては送気風管、排気風管のいずれかが撤去できる可能性はある。

検討結果より、埋戻し材料や施工方法によらず、給水管 1 本、排水管 1 本、非常用給気管 1 本、送気風管（ビニル風管）1 本、排気風管（スパイラル風管）2 本は撤去できないものと考えられる。このことを前提として、ケーシング設置位置の候補を図 3-4 に、金属防護板（内部にケーシング）設置後の鳥瞰図（イメージ）を図 3-5 に示す。

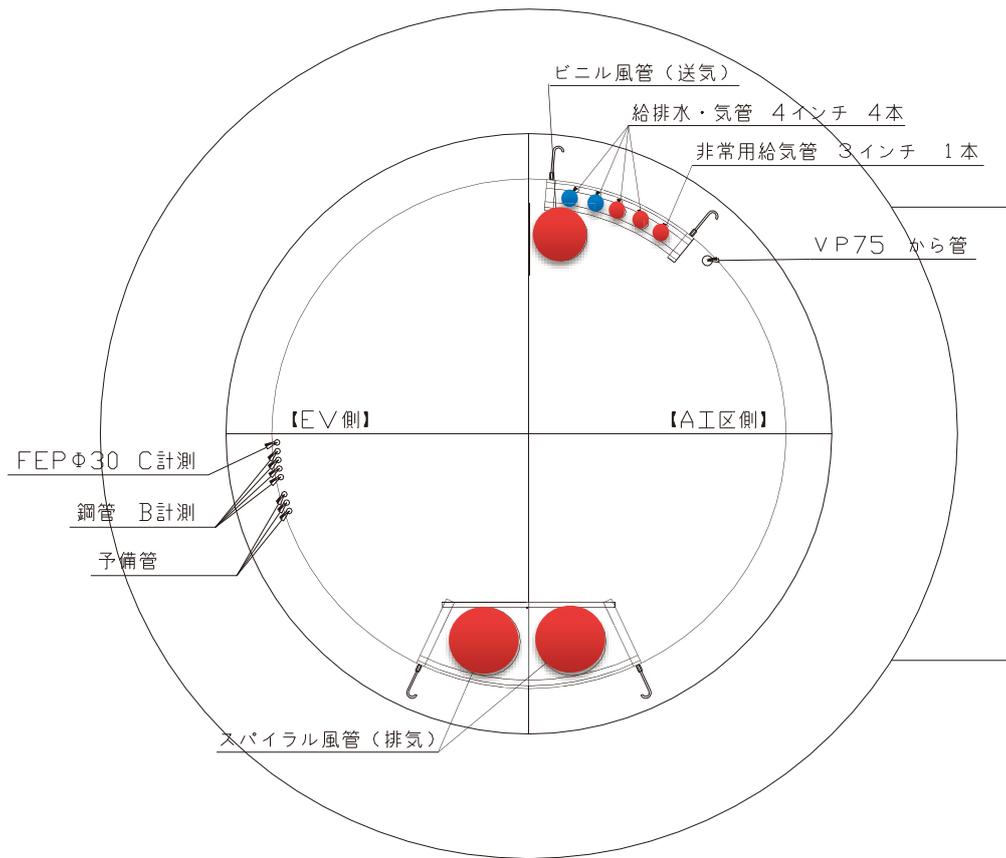


図 3-4 ケーシング設置位置の候補（撤去が可能な現状設備：青）  
 （GL-400～-500m 間の現状設備調査結果に追記）

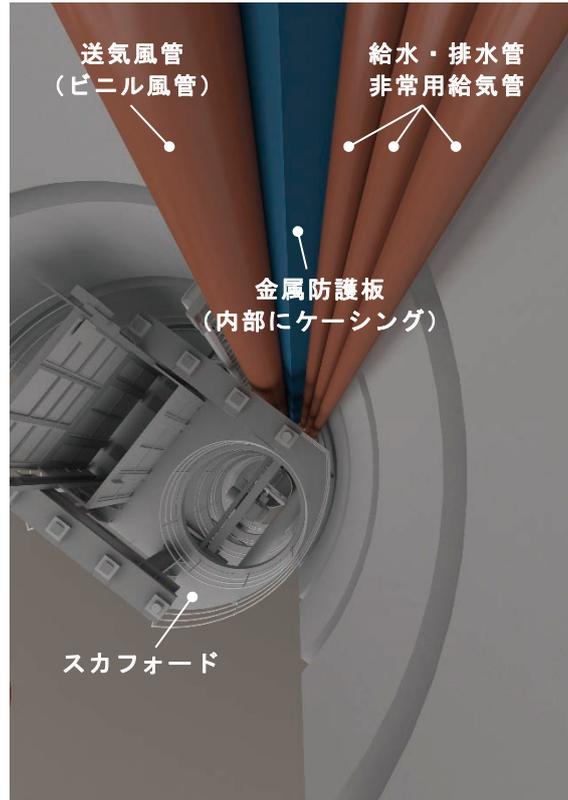


図 3-5 金属防護板設置後の鳥瞰図 (イメージ)

表 3-2 に、ケーシングの設置や動作確認等の作業および予備期間（不具合対応等）を考慮した、現状設備（配管）の撤去工程に対する要求事項を示す。GL-200～-300m 区間については、現段階で図 3-4 に示したケーシング設置位置の配管撤去が予定されているが、その他の区間については現段階では未定である。

配管撤去に必要な工程を考慮すると、Case-2 の実施にあたっては、遅くても立坑の埋戻し作業開始の 1 年前までには、ケーシングの設置位置の配管を撤去することが求められることとなる。

表 3-2 現状設備（配管）撤去に対する要求事項（工程）の例

	事前 工事	1年			2年			3年			4年
	3月	4~7月	8~11月	12~3月	4~7月	8~11月	12~3月	4~7月	8~11月	12~3月	
現状配管の 撤去工程	GL-200 ~300m	要求事項 GL-300~500m, GL±0~100m									
ケーシングの 設置工程		材料購入および詳細検討						GL-500m	GL-100~ -500m	予備期間	
立坑の 埋戻し工程 (想定)								■GL-300m 動作確認	■GL-100m 動作確認		→

### (3) Case-3 に関するケーシング設置位置の検討

Case-3 に対する制約条件を以下に再掲する。

- ・ 現状設備の撤去，ケーシングの設置，立坑の埋戻しが併行作業となる。したがって，ケーシングの設置位置（区間）は，現状設備の撤去完了区間のみとなる。
- ・ ケーシング設置位置（区間）がスcaffoldingより下になる場合には，スcaffoldingとの接触は制約条件にならない。

以上の制約条件から，ケーシングの設置位置は 2 種類の考え方ができる。

#### ① スcaffolding 定位置までケーシングを設置する場合

Case-2 で検討した位置は，Case-3 でも同様に，配管を撤去した後でケーシングを設置可能である。さらに，排気用風管（スパイラル風管）はスcaffolding 定位置まで延伸しておく必要がないため，排気用風管を撤去した後のスペースにもケーシングを設置可能である（図 3-6 参照）。

#### ② スcaffolding の下までケーシングを設置する場合

スcaffolding との接触を考慮する必要がないため，立坑のどの位置でもケーシングを設置できる。ただし，ケーシングを固定する必要があるため，覆工まわりとなる制約は変わらない。また，共通の制約条件に記載のとおり，予備ステージや横坑が位置する範囲は回避することが望ましい。

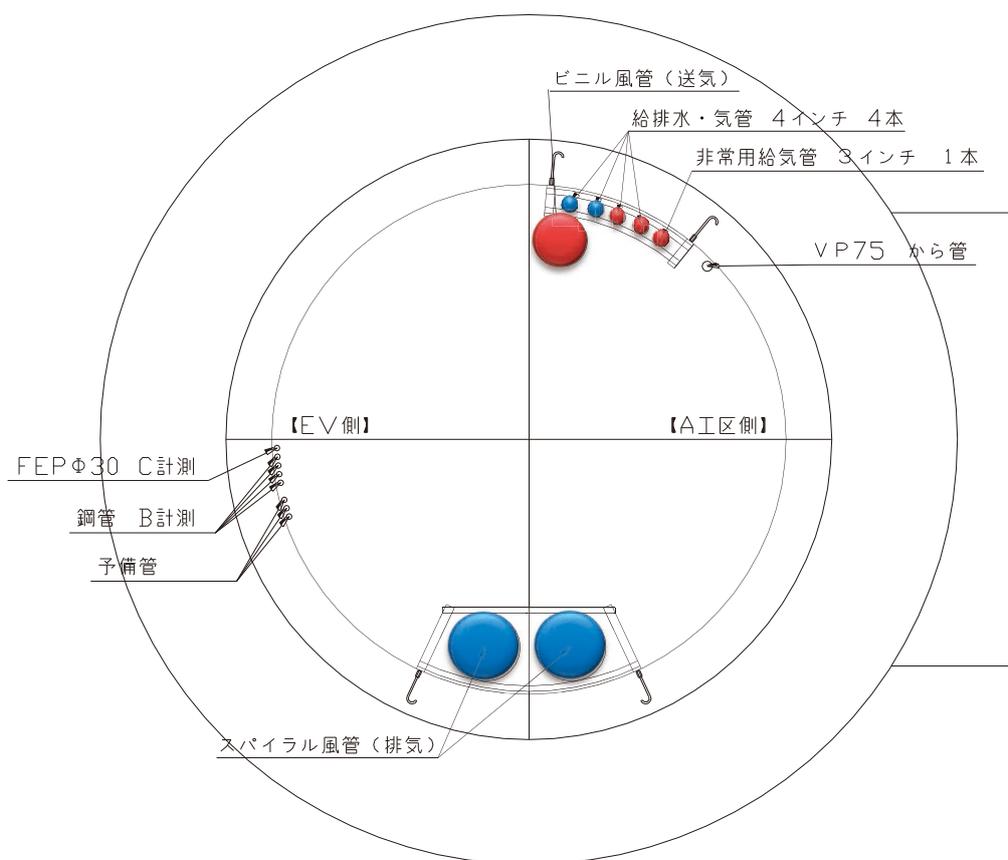


図 3-6 スカフォード定位置までケーシングを設置する場合の候補位置 (青)

#### (4) ケーシング設置位置の検討のまとめ

##### ① ケーシング設置位置の観点

Case-1 は、現状設備の調査結果から成立性がない。Case-2 は現状設備（配管）の撤去に対する要求事項を満足することで成立の見通しが得られる。Case-3 は他の 2 ケースと比較して自由度が高く、成立の見通しも得られる。

##### ② モニタリング設備としての設置の確実性の観点

ケーシング設置位置の観点で成立の見通しがある Case-2 と Case-3 について、モニタリング装置として用いる上での観点から考察すると、Case-2 はケーシングの延伸とともにモニタリング装置（水圧測定用プローブやサンプラーボトル等）の長距離動作確認が可能であり（例えば GL-300m まで延伸後に 1 回、GL-100m まで延伸後に 1 回実施）、予備期間を設けることで不具合発生時にも柔軟に対応できる。

一方、Case-3 はケーシングの延伸時にモニタリング装置の動作確認は可能であるが、動作確認によって不具合が確認された場合で、かつ不具合の発生箇所が埋戻し完了深度以深

の場合の対応が困難となる（Case-2 も、埋戻し中に不具合が確認された場合には不具合発生箇所によっては対応困難な場合がある）。

### 3.2 光ファイバーケーブルの設置について

金属防護板の中には、採水用配管だけでなく、水圧計測用の光ファイバーケーブルの設置も計画されている。

光ファイバーケーブルの仕様は、表 3-3 のとおりである。

表 3-3 設置予定の光ファイバーケーブルの仕様

項目	仕様
形式	光ファイバー24心ケーブル
外径	11 mm
重量	200 g/m/本
設置本数	2本

光ファイバーケーブルは軽量なため、ケーシングブラケットおよびレベルバンドに結束バンドで固定し、必要に応じて配管部に結束バンドで固縛する（図 3-7）。

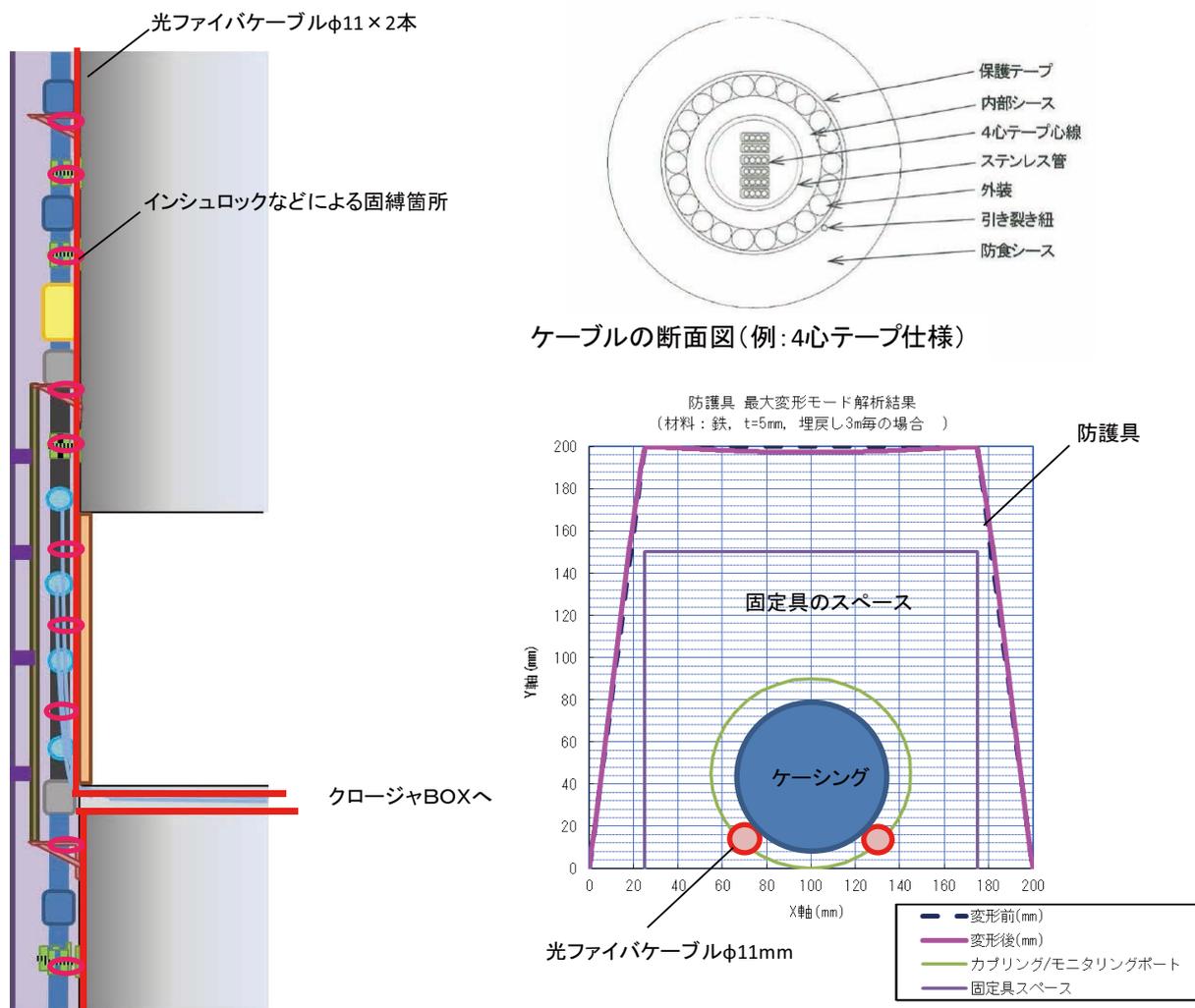


図 3-7 光ファイバケーブルの設置概念

### 3.3 金属防護板の充てん材料について

金属防護板の内側の充てん材料は、立坑の埋戻し材料と同じ、もしくは同等の材料である必要がある。金属防護板の充てん材料の要件は以下のとおりである。

- ① 充てん作業時に、ケーシング、採水チューブ、光ファイバケーブルを損傷させない材料であること。
- ② 金属防護板の中の狭隘な空間に、隙間を残すことなく確実に充てんできる材料であること。
- ③ 充てん材が沈下を生じてケーシングにネガティブフリクションを発生させないこと。
- ④ 立坑の埋戻し材料に止水性・低透水性が求められている場合は、充てん材も同等の性能を有する材料とし、将来、充てん部が水みちとならないようにすること。
- ⑤ 周辺環境に影響を与えない材料であること。

表 3-4 に、立坑の想定される埋戻し材料に対して候補となる金属防護板の充てん材料を

示す。施工性やケーシング，ケーブル等への影響を考慮すると，充てん材料は砂とし，防護板の上方からの落下方式による充てん方法が適切であると考えられる。ただし，この工法には，止水性能は期待できないため，金属防護板の内側にも止水性が要求される場合は，コンクリート充てんもしくは，ベントナイト系材料を用いた充てん方法を適用するべきと考えられる。

表 3-4 立坑の想定される埋戻し材料に対する金属防護板の充てん材料

想定される立坑埋戻し材料	立坑埋戻しの施工方法	防護板内の埋戻し材料への要求	金属防護板の充てん材料候補	充てん方法	課題
水	注水 (水位回復)	・周辺地下水位とのバランス	・水	・防護板は止水性を有していないため、防護板内への注水は不要である。 ・充てん性に配慮し、高流動モルタル・ソイルセメントによる充てん板の外側から型枠バイブレータを用いる。	・埋戻し作業がないため、防護板の設置が不要。 ・充てん後の硬化まで時間を要する。 ・クラックが生じた場合、そこが水みちとなる可能性がある（止水性が必要な場合）。 ・ケーシングやポート部等との付着性が良好でない場合、境界面が水みちとなる。
コンクリート	充てん	・止水性 ・埋立部の安定性	・モルタル ・ソイルセメント	・基本的に防護板の上部からの投入。ケーブル損傷の可能性があることから突固めや転圧は適用不可。水締めは適用可と考えられる。	・十分に締め固まっていないと、将来、沈下する可能性がある。 ・粘土分が混入していると、充てん性が低下する可能性がある。
砂・碎石 (掘削ずり)	転圧	・掘削ずりの活用 ・埋立部の安定性	・砂 ・碎石は、塩ビケーシングや光ファイバケーブルの損傷の可能性があるため適用できない。	・基本的に防護板の上部からの投入。突固や転圧は適用不可。よって、ベントナイト混合土については、粘性を有している場合は適用が困難。ペレットの場合、ペレット間の間隙は、吸水させることにより、膨潤して間隙は埋まる。	・ベントナイト混合土では、充てん不足となる箇所が発生する。 ・ペレットはコストアップ。 ・膨潤圧がケーブルに悪影響を与える可能性もあるため、充てん度の詳細な検討が必要。
ベントナイト混合土	転圧	・遮水性（立坑部を水みちにさせない）	・ベントナイト混合土 ・ベントナイトペレット		

### 3.4 ケーシングの設置方法の検討

これまでに、ケーシングの材質、レイアウト、ケーシングの壁面への固定具、ケーシングの防護具、ケーシングの設置位置、防護具内の充てん材料・充てん方法について、検討を行ってきた。ここでは、これらのシステムの設置方法について検討を行う。

#### 3.4.1 設置時の制約条件・施工条件について

ケーシングの設置については、立坑内での設置作業という都合上、様々な制約や施工時の条件があると考えられるため、これらの制約条件を考慮した上で設置方法の検討を進めることが重要である。換気立坑内にケーシングを設置するうえでの制約条件、施工条件としては、以下が考えられる。

- ① ケーシングの設置位置は、図 3-6 に示す青色の配管を撤去した場所とする。
- ② 設置作業は、スcaffordが利用できる範囲においては、スcafford上から設置する。ただし、他の作業もあるため、スcaffordを使用する時間は短時間であることが望ましい。
- ③ 資機材の立坑への搬出入を除き、揚重機等は多用できないため、人力による設置作業が主体となる。
- ④ 立坑坑口は、櫓や建屋等があるため、資機材の吊り下ろし可能なサイズは、6m 程度までである。
- ⑤ 立坑坑口の一部を占有しての作業は、他の作業の妨げとなるため、基本的に地上からの設置は不可と考えられる。ただし、スcaffordは、深度 50m 以浅は使用できないため、地表面～深度 50m 区間においては、地上からの設置となる。
- ⑥ 設置においては、水や火力は極力使用しないこと。

#### 3.4.2 設置方法と設置手順

前項にて設定した、制約条件、施工条件を基に設置方法、設置手順の検討を行う。設置方法の検討を行う上で、ケーシングを上（地上）から設置するか、下（坑底）から設置するかを選定する必要がある。表 3-5 に両者の比較結果を示す。

検討の結果、上（地上）からの設置では、ケーシングの重量による引張荷重が塩ビケーシングの接続部の短期許容引荷重を上回り現実的で無いことや、立坑の開口部に身を乗り出しての作業となり安全性が懸念される等、デメリットが多い。一方、下（坑底）から設置する場合は、下から設置するという実績がない、資機材を坑内に搬入する必要がある等のデメリットがあるものの、ケーシングブラケットやケーシングバンドで固定しながら設置でき、ケーシング接続部に負担が無く、固定しながら設置することで設置精度、安全性が確保される等、設置実現性を示唆するメリットが多い。よって、下（坑底）から設置する方法を選定することとする。

表 3-5 上（地上）から設置する場合と下（坑底）から設置する場合の比較

	上（地上）から設置する場合	下（坑底）から設置する場合
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上からの設置は、調査ボーリングの設置では一般的であり、手順が確立されている。</li> <li>・ケーシング、ポートを立坑内に搬入する必要がない。</li> <li>・資機材は、別で保管し、1日に設置する分だけ坑口部に持ち込むことで、施工ヤードの効率化が図れる。</li> <li>・吊った状態であるので、直線性を確保できる。</li> <li>・作業員の立坑への搬入出の手間がない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑底からケーシングブラケット、ケーシングバンドで坑壁に固定しながら設置できるため、ケーシングの引張荷重に対する負担が小さい。</li> <li>・固定しながら設置するため塩ビケーシングの鉛直方向の伸びがなく、設置精度が確保される。</li> <li>・施工誤差を確認しながらケーシングの接続ができる。塩ビ製は、現地での切断が容易にできるため、計測ポート区間の設置位置の現地調整が可能である。</li> <li>・塩ビ製であれば、水平坑道の空きスペースを使って、人力でも運搬できる長さに数本接続して、接続部まで運んで設置することができる。</li> <li>・各深度の水平坑道が、資機材の保管場所や作業ヤードとして活用できる。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩ビケーシングの接続部の短期引張荷重は1,360 kgであるが（表 2-2）、表 2-5のレイアウトの場合の総重量は約 1,500 kgとなる。よって、全てのケーシングを接続する前に接続部の引張荷重を超えてしまう。</li> <li>・鉛直荷重によって、塩ビケーシングに伸びが生じて、施工誤差が大きくなる。</li> <li>・一日の作業終了時はケーシングを吊った状態で放置することとなる。</li> <li>・ケーシング挿入時は、立坑開口部に乗り出しての作業となるため、地上部に専用の構台が必要となる。また、構台架設時には、立坑からの資機材等の搬入出の作業の妨げとなる。</li> <li>・最大で500m分のケーシングを吊り下げた状態となるため、揺動によるスカフォードや坑壁への衝突・損傷の可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・MP ケーシングの設置において、下から設置した実績はない。</li> <li>・設置するケーシング、ポートを坑内に搬入する必要がある。</li> <li>・スカフォードの移動限界深さ（GL-50m）以下は、地上から吊り下げて設置、もしくは、別の設置方法の検討が必要である。</li> <li>・作業員の立坑への搬入出の手間がかかるため、その分作業時間が少なくなる。</li> </ul>

図 3-8 に、坑底からケーシングを設置する場合のケーシング設置までの作業フローを示す。

作業は、各深度の 100m ごとに分けて作業する手順とした。各深度の水平坑道の空きスペースを、資機材の仮置き場や設置前の確認やケーシングの接続等の作業ヤードとして活用する。こうすることで、搬入する資機材を設置する区間の近くに仮置きできるので、ケーシングの接続場所までの移動や運搬を少なくすることができ、作業の効率化を図ることができると考えられる。なお、坑内に搬入する資機材については、地上において、現地に搬入されたケーシングの数量や長さ計測、ポートの動作確認等の検品を行い、合格したもののみを搬入する。また、塩ビケーシングの接続は専用の接続キャップを使用するため、地上で塩ビケーシング 1 本に対して接続キャップ 1 個を接続しておき、坑内での作業を極力少なくすることとする。

図 3-9 に、地下施設の埋戻し作業手順とケーシング設置作業手順の関係を示す。ケーシングを設置する前に、ケーシングの設置予定位置に設置されている配管類を撤去する必要がある。ケーシングは、深度 500m の最下端から上方に向かって設置し、深度 100m まで設置する（ケーシング固定具は、ケーシングの設置に先行して実施）。その後、金属防護板とその中の充てん作業を、地下施設の埋戻しに先行しながら、上方に向かって進めていく。深度 100m まで埋戻しが終了した後は、地表面までケーシングの設置と金属防護板を設置して、地下施設の残りの部分である地表面までを埋め戻して、埋戻し作業は終了となる。

ケーシングの最下端部には、ケーシングの支持と最下端部の高さ調整を目的として、コンクリート製の台座を施工する。コンクリート製台座の寸法は、300 mm×300 mm×高さ 500 mm 程度とする。コンクリート製なので、塩ビケーシングの総重量約 1,500 kg 分の鉛直荷重が作用しても支持は可能である。ただし、ケーシングは、鉛直方向に 50m 間隔で設置するケーシングブラケットによって鉛直方向に支持されるため、コンクリート製台座に実際に作用する鉛直荷重はほぼないと考えられる。

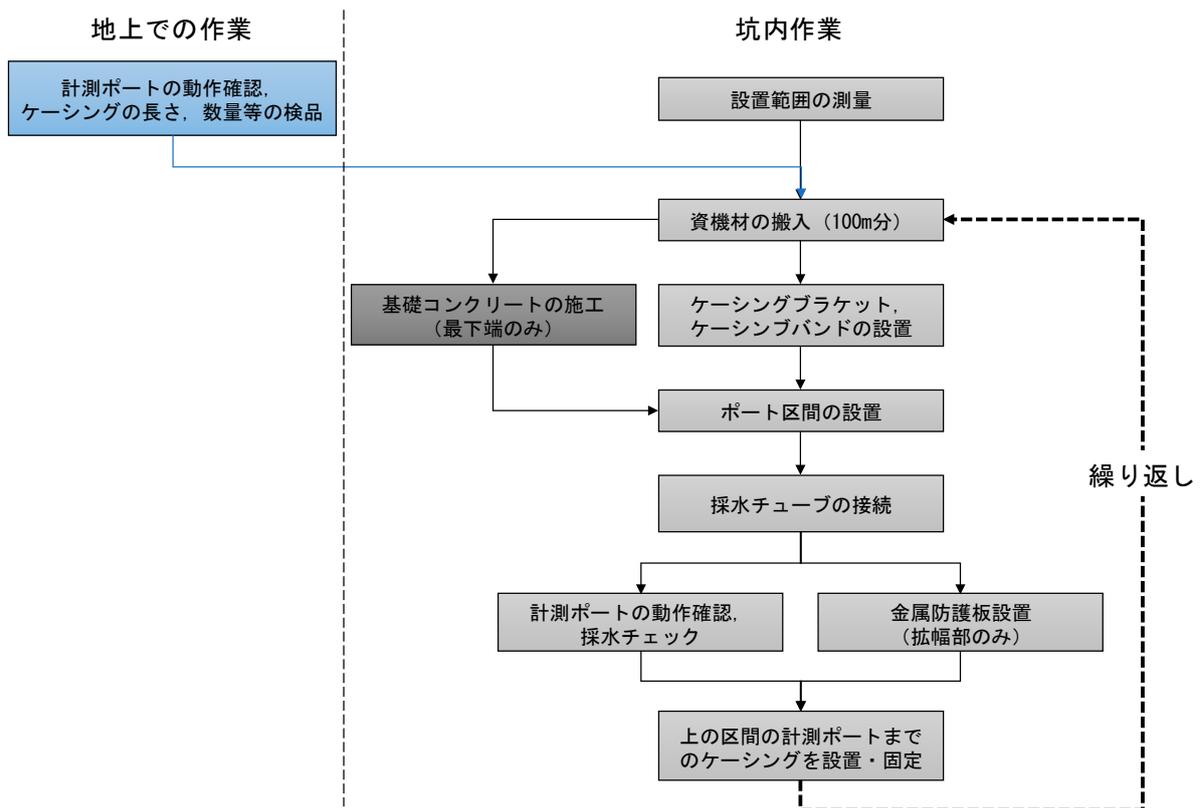


図 3-8 ケーシング設置までの作業フロー（坑底から設置する場合）

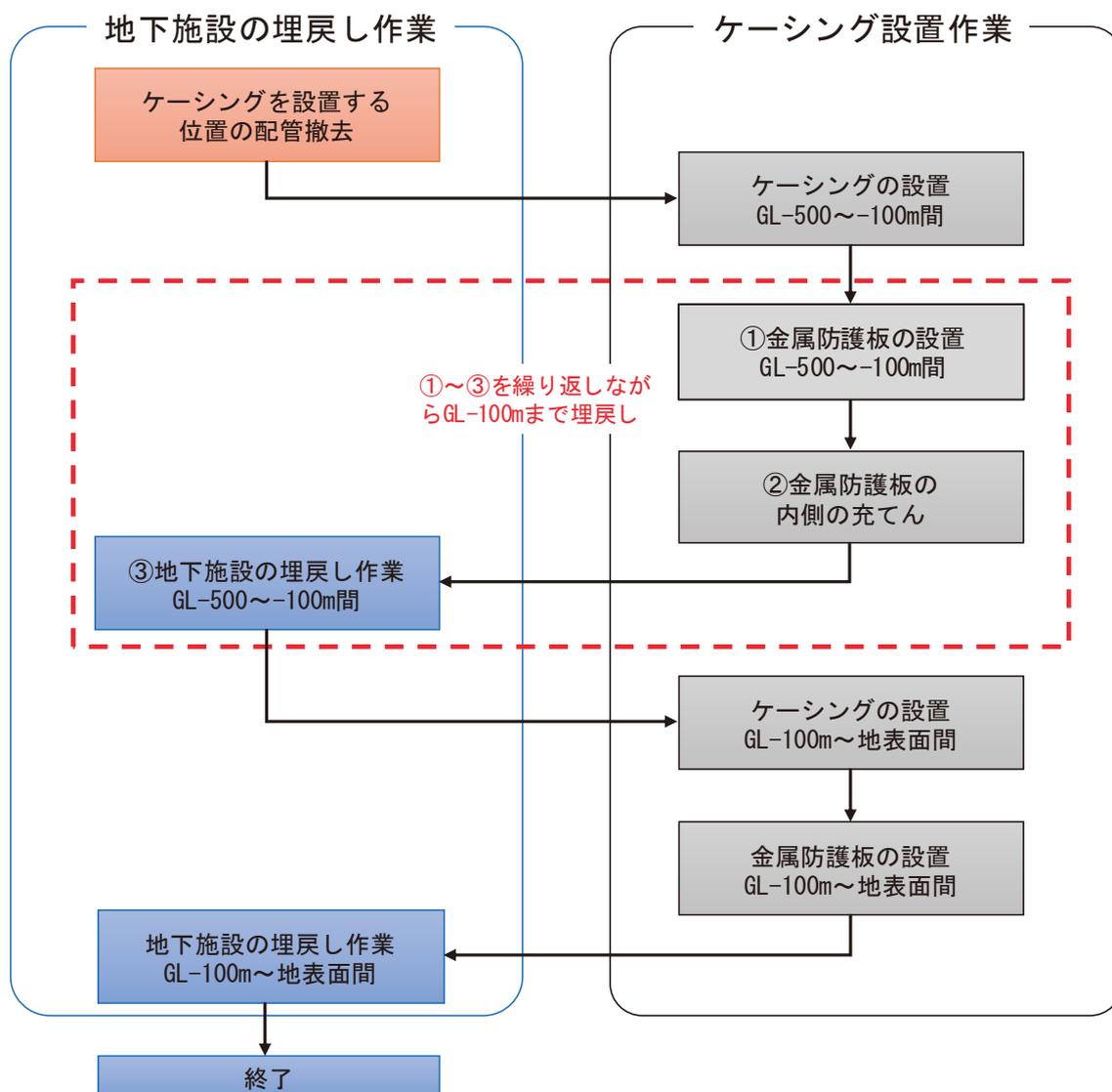


図 3-9 地下施設の埋戻し作業手順とケーシング設置作業手順の関係

### 3.5 設置したケーシングの回収可能性について

地下施設を埋戻した後、地下水圧や水質の計測が行われるが、計測の必要がなくなった際、設置したケーシングを回収する必要性が生じた場合を想定して、その回収方法について検討を行う。

ここまで、ケーシングはケーシングブラケットやケーシングバンドで壁面に固定しながら設置し、埋戻し時の振動・衝撃からケーシングを保護するために金属防護板を設置し、さらに防護板の内側を砂もしくはベントナイト系材料にて埋戻すこととした。表 3-6 に、地下施設埋戻し後のケーシング等の回収可能性について、ケーシングとその他の設備について示した。埋戻しをした後にケーシング等を回収する必要性が生じた場合、埋戻し範囲を再度掘削すれば、掘削した範囲のケーシングや固定具、防護具を回収することは可能と考える。しかし、再度掘削をせずに地上部からケーシング類を回収しようとした場合は、防護板、固定具の回収可能性は極めて低い。ケーシングについては、以下に示す条件に限り

地上から回収することは可能である。

- ・ 回収するケーシングは塩ビ製である。
- ・ ケーシングブラケット，ケーシングバンド等の固定具を設置していない範囲である。
- ・ 充てん材がない，もしくは除去できている範囲である。

上記の条件を考慮すると，ケーシングブラケットの一番浅い設置深度はGL-50mなので，GL-50m以浅において，ケーシングバンドでケーシングを固定せず，かつ防護板の中を充てんしなければ，孔内（防護板内）から塩ビケーシングを切断することで，切断した位置から上の塩ビケーシングは地上に引き上げることが可能と考える。ケーシングバンドについては，GL-50m以浅におけるケーシングの設置時には，ケーシングの鉛直性や安全性確保のために仮止めしておき，地上部でケーシングを固定した後は，GL-50m以浅の金属防護板の設置時に根元から外すこととすればよい。ただし，GL-50m以浅の防護板内に充てん材を充てんしない場合は，立坑を地上まで埋め戻した際に50m分の土圧が金属防護板に作用することとなるため，この範囲の防護板の構造については別途検討する必要がある。

なお，孔内における塩ビケーシングの切断については，原子力機構で2005年に実施済みの技術である。切断は，高圧のウォータージェット工法を用いて行われた（旧 関東建設（株）（現 関東天然瓦斯開発（株））のウォータージェット洗浄工法を応用）。鋼製井戸の洗浄に用いられている工法であり，水圧を調整することにより，ケーシングの切断も行うことができる。

図 3-10 に 2005 年の MP ケーシングの切断状況を示す。

表 3-6 立坑埋戻し後におけるケーシングの回収可能性の判定一覧

設置物	埋戻し後の回収方法	回収するための条件	埋戻し部を掘削しない場合の回収可能性の判定
ケーシング部 (ポート含む)	塩ビケーシング孔内から切断して地上回収。ただし、固定具を外し、充てん材を除去する必要がある。	充てん材と固定具がない場合は、孔内からケーシングを切断することにより回収可能。ただし、ステレンレスケーシングおよび計測ポート部は切断が困難。	ケーシングブラケットは、50m 間隔で設置するため、GL-50m~地上間にケーシングバンドを設置せず、かつ防護板内を充てんしないことで、回収は可能となる。
固定具	固定しているアンカーを地上から切断する。	充てん材の有無にかかわらず、地上部からアンカーの切断もしくは外すことは困難である。	地上からの回収は不可。
防護板	防護板の周囲の埋戻し土を除去するし、壁面に固定しているアンカーを地上から切断する。	埋戻し材がある状態では回収は不可能。	地上からの回収は不可。
光ファイバーケーブル	ケーシングと一緒に切断、回収できる。	ケーシングと同じ。	ケーシングと同じ。
充てん材	高圧水の噴射による回収等があるが、充てん材がベントナイト系材料の場合は、狭隘なスペースのため回収は困難。	砂の場合は、ある程度の高さまでなら回収できる。	砂の場合に限り回収可能。ただし、防護板をコンバクトにする設計上、ケーシングがある状態では装置を挿入するスペースがほとんど無いため、回収可能性は低い。



図 3-10 ウォータージェット工法による MP ケーシングの切断状況（2005 年）

## 4. ケーシングの設置工程の検討

### 4.1 設置工程の検討条件

ケーシングの設置工期の検討をする上での条件としては以下に示すとおりである。

- ・ 現在、ケーシングを設置する位置にある配管は、ケーシングの設置作業前には撤去されているとする。すなわち、配管の撤去作業は、設置工程には含まない。
- ・ ケーシングを発注してから最初の納品までの期間は約 4 ヶ月であるが、ケーシング等の発注から納品までの期間は、設置工程には含まない。
- ・ 他の工事によって生じるケーシングの設置作業の中断や待機の時間・日数については、ここでは考慮しない。よって、設置作業に必要な実作業工期の検討とする。
- ・ 各深度の研究坑道から敷設する採水チューブは、同深度の計測ポートまで延長されており、計測ポートに接続できる状態になっているとする。
- ・ 設置中や設置後に発生するケーシングの損傷による交換や補修作業は、工程に含まない。
- ・ 坑口付近の構造物の撤去等については現時点では不明なため、地上付近のケーシングの固定方法や設置方法は、それ以深の一般部と同様とする。GL-100m 坑道の計測ポートより上から地上部までの区間については、坑口部の取り扱いが確定した後で、設置方法、手順や設置工期等をあらためて検討する必要がある。

### 4.2 設置工程の検討

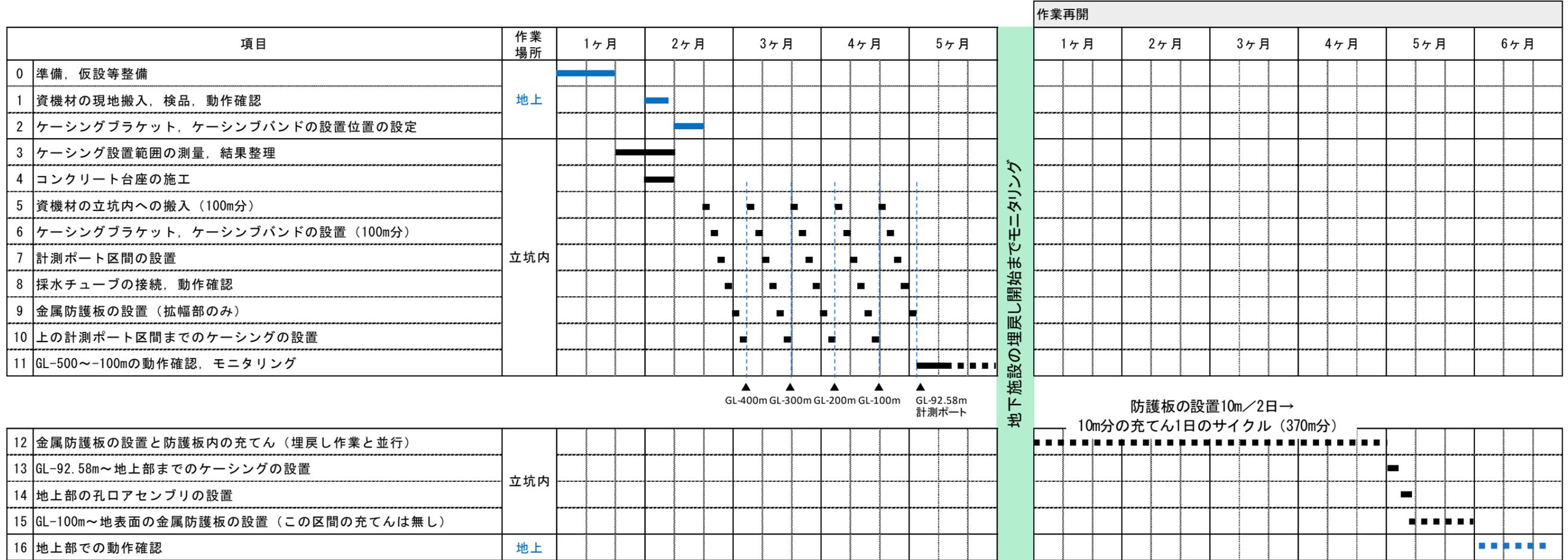
表 4-1 に、採水用配管の設置工程を示す。工程は、設置に要する実作業日数で示しており、大きく以下の 4 つの工期に分かれている。

- ① 地下施設の埋戻し前に、GL-500m から GL-100m の計測ポート区間までを設置する期間
- ② 設置したケーシングの動作確認を主目的として行う試験的なモニタリング期間
- ③ 地下施設を埋戻しつつ、GL-500m から GL-100m まで防護板の設置および防護板内の充てんを行う期間
- ④ GL-100m から地上部までの地下施設を埋戻しつつ、ケーシングと防護板を設置する期間

設置作業は、現地の計測と資機材の搬入（約 1.5 ヶ月を想定）後に開始される。①GL-500m から 100m 単位で資材の搬入・設置を行うが、GL-500m から GL-100m までケーシングを設置するまでの実作業期間（実労働日数）は、約 2.5 ヶ月である。この後、②ケーシングの動作確認のためのモニタリングを実施する（約 1 ヶ月で動作確認を行い、それ以降は立坑の埋戻し開始までモニタリングを継続）。設置作業の再開後は、③地下施設の埋戻

し作業と並行して、GL-500m から GL-100m まで金属防護板の設置と内側の充てん作業を実作業日数 4 ヶ月で行う（金属防護板の設置 10m/2 日＋内側の充てん 10m/日なので、3 日で 10m、400m 分だと 120 日）。その後、④GL-100m から地上までのケーシングの設置と金属防護板の設置期間（3 日で 10m、100m 分だと約 30 日）を含めて、合計で約 10 ヶ月（300 日）となる。なお、この期間は実作業日数であるため、1 ヶ月の稼働日数を 20 日間とすると、ケーシングの設置に関わる作業期間は 15 ヶ月程度となる。なお、この期間は、ケーシングの設置に係わる作業のみの期間であるため、他の工事等による作業の中断や待機等の期間は考慮していない。

表 4-1 採水用配管の設置工程（実作業日数）



地下施設のGL-500~GL-100mの  
埋戻しと平行作業

GL-100m~  
地上の  
埋戻しと  
並行作業

## 5. ケーシング設置後のモニタリング方法について

ケーシング設置後は、モニタリングの一環として計測ポートを使用して、研究坑道に設置している観測装置から採水を行う計画である。ここでは、ケーシング設置後に行われる採水作業の方法について概略的に述べる。

### 5.1 採水方法の提案

MP システムを用いた採水にはいくつかの手法があり、目的や作業条件に応じて採水方法を選定することとなる。以下に、MP システムを用いた採水方法の種類とそれぞれの概要を述べる。

#### (1) ボトル採水

サンプラープローブとサンプラーボトルを連結して採水する方法（図 5-1）。メジャーメントポートから採水し、1回の採水で、ボトル1本につき最大1 Lの採水が可能である。地下水圧の水圧を保持したまま採水が可能である。MP システムにおける最も簡便な採水方法であり、これまで最も多く行われている。

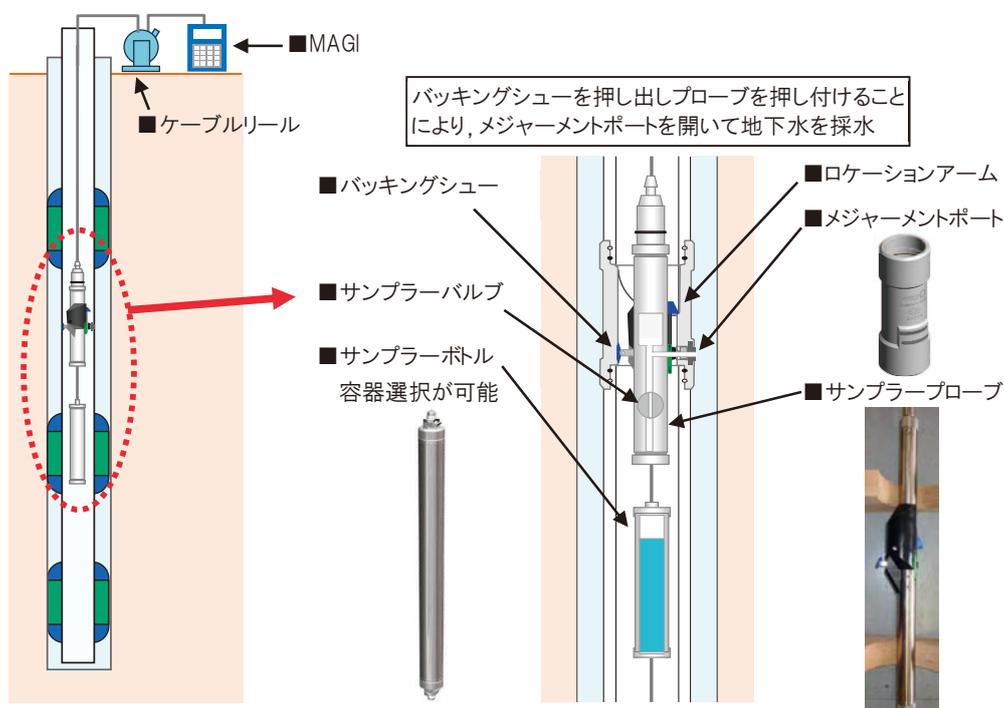


図 5-1 ボトル採水概念図

#### (2) 孔内ポンプ（HGP-5）による採水

MP55 ケーシング内で使用可能なダブルパッカー型の連続採水ポンプの一つである

HGP-5 (Hydro-Geochemical & Piezometric Logger for 500m-deep borehole) を用いて採水する (図 5-2)。ポンピングポートから採水を行い、50~200 mL/分の連続採水が可能である。水質分析や希ガスの分離作業等は地表で行う。原位置での水質モニターや原位置圧力下でのサンプリングはできない。採水手順は以下のとおりである。

- ① MP ケーシング内の水位を採水する区間の水位 (水圧) よりも下げる。
- ② ポンピングポートをオープンする。
- ③ HGP-5 ポンプをケーシング内に挿入し、オープンしているポンピングポートの上下にダブルパッカーを設置する。
- ④ 連続採水を行う。

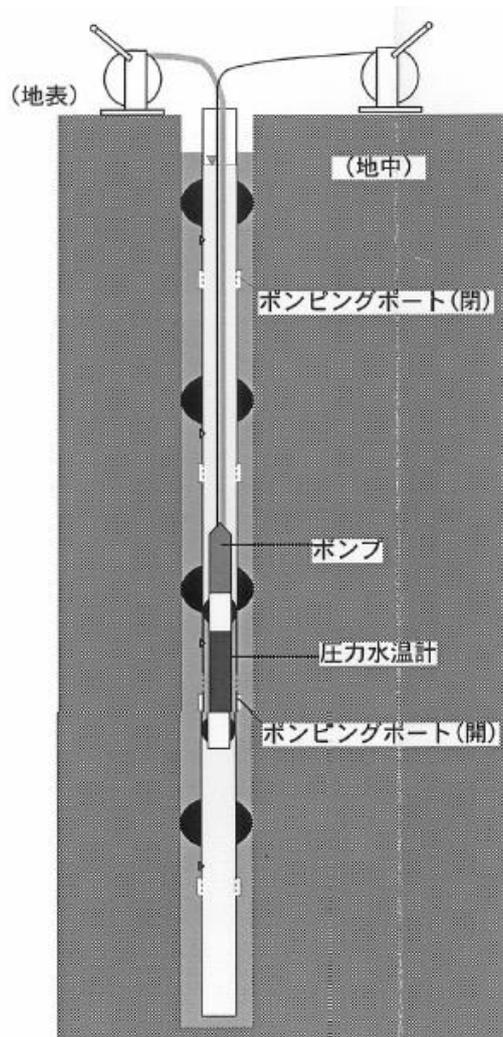


図 5-2 孔内ポンプ (HGP-5) による採水概念図

### (3) 孔内ポンプ (HGP-10) による採水

MP55 ケーシング内で使用可能なダブルパッカー型の連続採水ポンプの一つである HGP-10 (Hydro-Geochemical & Piezometric Logger for 1,000m-deep borehole) を用い

て採水する（図 5-3）。ポンプ内に水質観測センサー（温度，圧力，pH，電気伝導度，溶存酸素量）を内蔵しており，連続採水をしながら水質モニターが可能である。ポンピングポートから採水を行い，50～200 mL/分の連続採水が可能である。採水および希ガスの分離作業は地表で行う。採水手順は以下のとおりである。

- ① MP ケーシング内の水位を採水する区間の水位（水圧）よりも下げる。
- ② ポンピングポートをオープンする。
- ③ HGP-10 ポンプをケーシング内に挿入し，オープンしているポンピングポートの上下にダブルパッカーを設置する。
- ④ 連続採水を行う。

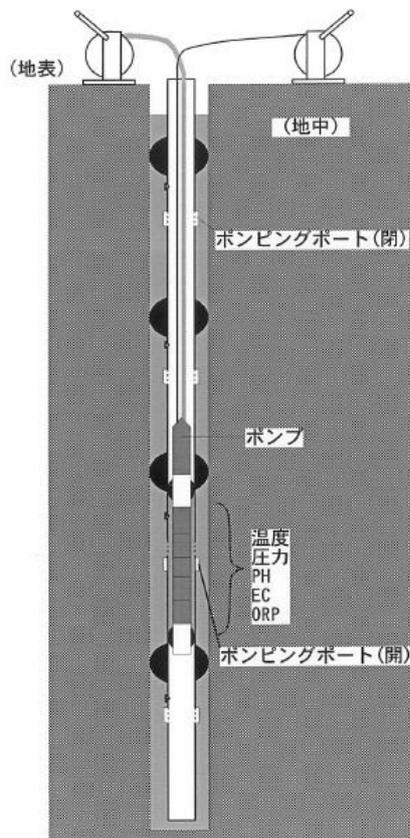


図 5-3 孔内ポンプ（HGP-10）による採水概念図

#### (4) FTS ボトル採水

FTS プロブ（Flow Through Sampler）を用いてメジャーメントポートから採水する（図 5-4）。メジャーメントポートから FTS プロブを通過した水は FTS プロブに接続している銅管を通過し，FTS プロブの上部から MP ケーシング内に流れ込む。水の循環は，MP ケーシング内の水位を採水区間の水位（水圧）より低くすることで採水可能となる。地下水圧の水圧を保持したままで採水が可能である。

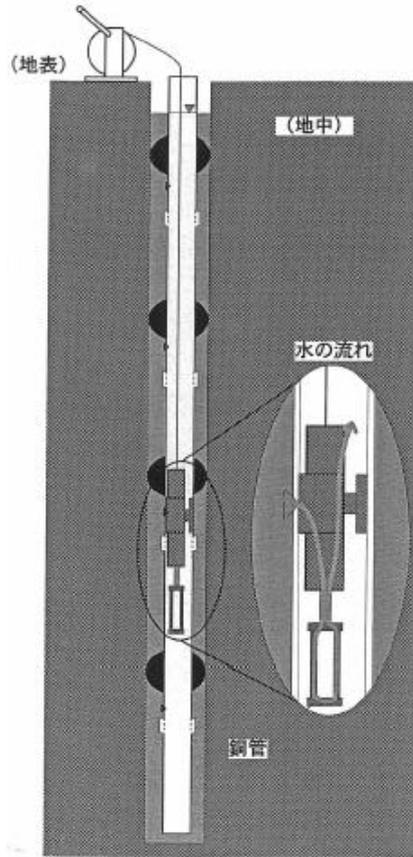


図 5-4 FTS ボトル採水概念図

#### (5) FTS+HGP 採水

FTS プローブの上部に HGP ポンプを接続して採水する（図 5-5）。HGP ポンプを接続することで、FTS 内の水の循環を可能とする。計測方法や計測項目は、FTS と同じである。ボトル採水だけでなく、連続採水も可能である。また、(4)FTS ボトル採水の場合は、装置の挿入前に MP ケーシング孔内の水位を下げる必要があるが、(5)の方法では、水位を下げる必要はないと言う利点がある。地下水圧の水圧を保持したままでボトル採水が可能である。

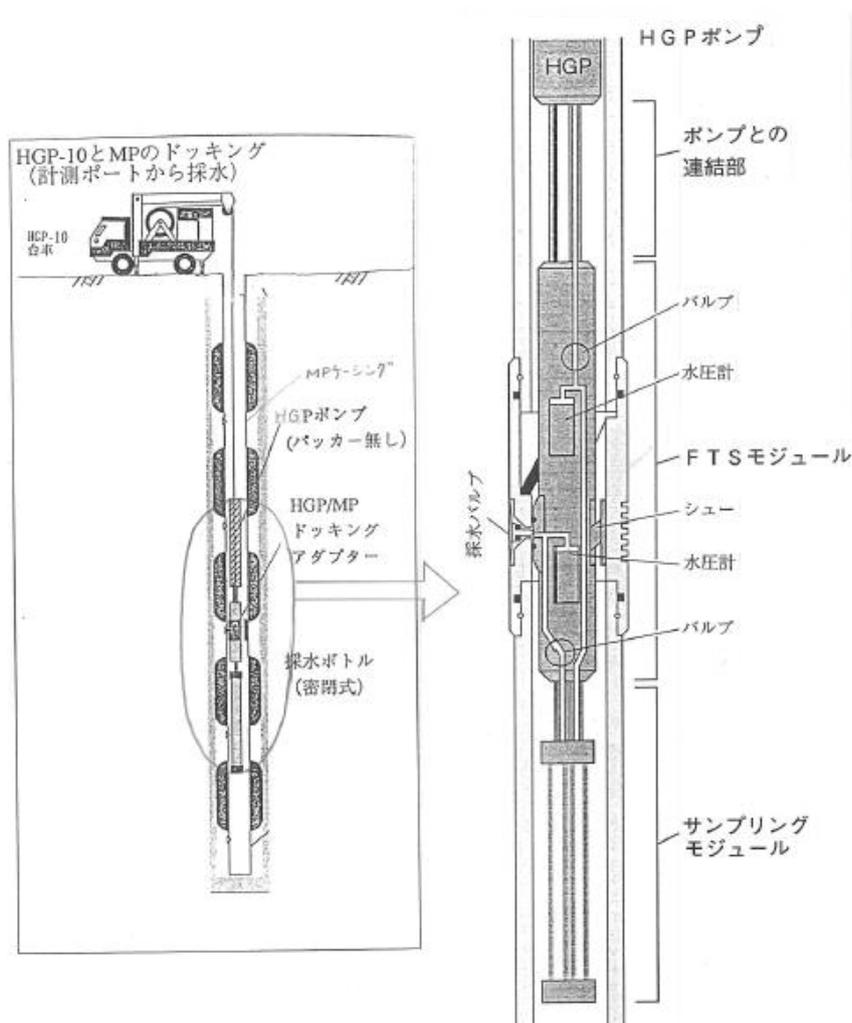


図 5-5 FTS/HGP 採水概念図

ただし、本検討で設定したケーシングレイアウトの場合は、ポンピングポートは設置されない。このことから、本検討のレイアウトどおりにケーシングを設置した場合に適用可能な採水方法は、(1)ボトル採水、(4)FTS ボトル採水、(5) FTS+HGP 採水の 3 手法である。

予備排水が不要で封圧採水のみを行う場合は、(1)ボトル採水が最も簡易である。予備排水と封圧採水を行う場合は、(5)FTS+HGP 採水が、MP ケーシング孔内の水位を下げる必要がないため、作業手順および作業時間の効率化の観点で適している。

## 5.2 採水作業時間について

採水作業は、各坑道に設置してある水圧・水質観測装置から採水用配管まで延長された採水チューブ内に滞留している地下水を排水させる予備排水と、予備排水後にサンプラーボトル内に地下水を採取するボトル採水とに分けられる。採水チューブ内に滞留している地下水の体積 (Dead Volume) は、最大で 5 L 程度である。

採水作業の日数は、既設の観測装置が設置されている地盤の透水係数と採水量に大きく依存される。これまでのMPシステムによるボトルサイズの実績から、ある一深度で2 L分のボトル採水を行う場合を想定すると、透水性の良い地盤で、予備排水とボトル採水で1日程度、透水性の低い地盤で2～3日程度の作業日数が必要になると考えられる。

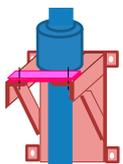
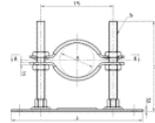
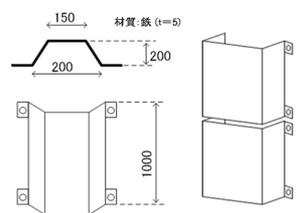
## 6. まとめ

瑞浪超深地層研究所の深度 500m までの各深度の研究坑道で使用している地下水の水圧・水質観測装置を活用し、地上において地下水を採水可能とすることを目的として、立坑に設置する採水用配管とその設置方法について概念的に検討を行った。ここでは、本検討のまとめと採水用配管の設置に向けた課題について述べる。

### 6.1 採水用配管の概念設計に関するまとめ

採水用配管は、MP システムの MP ケーシングを基本として検討を行った。その結果、ケーシングのシステムは表 6-1 に示すような仕様となった。ケーシングの一般部については、MP システムの既存の製品を使用することとし、計測ポート（採水用）は、既存のメジャーメントポートを一部改造して使用することとした。これにより、既存の MP システムの観測装置を使用して、地下水の水圧計測や採水が可能となる。

表 6-1 ケーシングシステムの仕様の検討結果

項目	仕様	
ケーシングの材質	一般部	塩ビ製もしくはステンレス製
	採水用ポート	ステンレス製
	採水用ポート間の接続管	ステンレス製
ケーシングレイアウト	全長：500m（+地上部） ポート数：25 個	
固定具	ケーシング ブラケット の基本設置間隔 	一部塩ビケーシングの場合：50m 間隔 オールステンレスケーシングの場合： 20m 間隔
	ケーシングバンド の基本設置間隔	10m 間隔 
防護具	材質：金属製（厚さ 5 mm） 外寸法：幅 200 mm X 厚さ 200 mm X 高さ 1,000 mm 	

ケーシングの一般部（計測ポート区間以外のケーシング）の材質は塩ビ製とステンレス製があるが、本検討では塩ビ製を基本ケースとして、設置方法や概算コスト試算等を行った。ただし、地下施設の埋戻し方法や埋戻し材料により、ステンレスケーシングの使用が必須となる可能性もあると考えられたため、固定具については、ステンレスケーシングを

使用する場合についても検討を行った。また、防護具については、ケーシングの材質に係わらず同じ仕様とした。ただし、防護板は、防護板の内側の充てんと立坑の埋戻しの作業を並行して行い、防護板の内側と外側の土圧の差圧を抑えて施工することを想定しているため、施工方法により、この差圧が大きくなる場合は、防護板の板厚や構造については、再検討する必要がある。

## 6.2 採水用配管の立坑への設置方法の検討

瑞浪超深地層研究所の換気立坑の既往設備の配置状況を踏まえて、採水用配管の設置レイアウト、設置方法の検討を行った。また、これらの検討結果に基づき採水用配管の製作・設置に関わる基本工程について検討を行った。

設置方法の検討については、まず、換気立坑内での設置位置について検討した。換気立坑の既存設備の位置と使用状況等の現状と地下施設の埋戻し作業時に必要となる給排水、吸排気用の配管類について検討した。その結果、採水用配管の設置位置の候補として、給排水・給気管 4 本のうち、2 本は埋戻し作業前に撤去可能と判断し、この位置に設置することとした。

次に、設置手順について検討した。設置は、地上で接続して立坑内に下ろしながら設置する方法（上から設置）と坑底から地上に向かって接続する方法（下から設置）があるが、設置時の安全性、設置位置の精度、ケーシングへの負担等に配慮して、下から設置することとした。また、下から設置する際には、基本的にはスcafford上に作業員が乗って作業できることを想定した。

防護板を含めた全体の設置の手順としては、GL-500m から GL-100m までの区間について、設置と動作確認を行い、立坑の埋戻し作業が GL-100m まで終了した後、残りの GL-100m から地上までを設置することとした。

次に、設置工程について検討した。現地の測量後にケーシングの設置を行うが、測量から全体設置後の地上での動作確認を含めると、実作業日数で 10 ヶ月間となった。

また、立坑の埋戻し後における採水用配管の回収可能性について検討を行った結果、塩ビケーシングを使用した場合で、かつ防護板の内側の充てんを行わなければ、GL-50m 程度（ケーシングブラケットの設置位置より上）の範囲までなら、ケーシングを回収できると考えられる。

## 6.3 採水用配管の設置に関わる今後の課題

採水用配管の設計、設置方法・設置手順等の検討を行ったが、設置の実現に向けて、現時点の課題は以下に示すとおりである。

### ① 地下施設の埋戻し方法の確定

ケーシングの材質や設置手順については、地下施設の埋戻し作業の手順や埋戻し材

料に依存する。また、ケーシングの設置は埋戻し作業に先行して行われる。したがって、これらの内容を確定させるためには、地下施設の埋戻し方法や埋戻し材料について確定させる必要がある。

## ② 地上付近の埋戻しの状態について

地上付近におけるケーシングの設置手順の検討において、立坑の深度 100m から地上部については構造が複雑であり、地上付近は構造物を撤去して埋戻す可能性もあるが、現時点では地上付近の埋戻し手順が確定していないことから、この範囲におけるケーシングの設置手順については、一般部（GL-100m 以深）と同じ手順として検討を行った。よって、地下施設の埋戻し方法と同様に、立坑の地上付近の埋戻し方法についても検討を進め、その工法について確定する必要がある。

## ③ ケーシング設置位置の確保

ケーシングの設置位置については、現時点での換気立坑内の設備の配置等を考慮するとケーシングを設置する場所が確保できないため、将来の埋戻し作業時には不要になると考えられる配管を抽出し、そのうち 2 本の配管をケーシングの設置時期までに撤去して、ケーシングの設置範囲を確保することとした。よって、立坑の埋戻し方法の検討および埋戻し計画を策定する際は、これらの配管は埋戻し作業時に使用しないことを前提に検討する必要がある。

## ④ 地下施設の埋戻しとの兼ね合いについて

立坑排水は、現在 GL-400m の予備ステージにて主立坑と換気立坑の排水を合流し、主立坑側から排水している。立坑の埋戻しが開始された際にも、現在の排水システム（合流方式）が採用されると考えると、埋戻しの進捗に合わせて合流箇所が GL-300m, GL-200m と徐々に浅部へ変更されていくことが想定される。このような排水システム（合流方式）を採用する場合には、主立坑と換気立坑の埋戻しの進捗を合わせる必要がある。したがって、換気立坑の埋戻し時にケーシングの金属防護板の取付けや金属防護板内の充てんを実施する場合には、主立坑の埋戻しサイクルと整合がとれるよう、十分な調整が必要となる。

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(e)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr <sup>(e)</sup>	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> = s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> = s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ジュール毎立方メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe <sub>e</sub> =(10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

