

ボーリング孔内の多点水圧測定システムの 小型化に関する共同研究報告書

平成 5 年10月

建設省土木研究所ダム部
 フィルダム研究室
建設省土木研究所砂防部
 地すべり研究室
戸 田 建 設 (株)
日 本 国 土 開 発 (株)
(株)建設技術研究所
大 阪 セ メ ン ト (株)
日 特 建 設 (株)

Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ボーリング孔内の多点水圧測定システムの 小型化に関する共同研究報告書

建設省土木研究所	ダム部 長	竹林 征三
建設省土木研究所	フィルダム研究室 長	中村 昭
建設省土木研究所	フィルダム研究室主任研究員	山口 嘉一
建設省土木研究所	砂防部 長	矢沢 昭夫
建設省土木研究所	地すべり研究室 長	吉松 弘行
建設省土木研究所	地すべり研究室 主任研究員	檜 垣 大助
戸田建設(株)	土木技術開発室課 長	梅田 宏
日本国土開発(株)	技術研究所 地盤研究室 主席研究員	梅田 美彦
(株)建設技術研究所	ダム水工本部 地質部 長	宇田 進一
大阪セメント(株)	中央研究所 長	中野 錦一
日特建設(株)	技術本部 筑波研究所 長	黒川 武

(土木研究所以外は代表者のみ)

共 同 研 究 担 当 者 名 簿

建設省土木研究所ダム部長	竹林 征三
前建設省土木研究所フィルダム研究室長	藤沢 侃彦
建設省土木研究所フィルダム研究室長	中村 昭
建設省土木研究所フィルダム研究室	山口 嘉一
元建設省土木研究所砂防部長	渡辺 正幸
前建設省土木研究所砂防部長	浅野湧太郎
建設省土木研究所砂防部長	矢沢 昭夫
建設省土木研究所地すべり研究室長	吉松 弘行
前建設省土木研究所地すべり研究室	近藤 観慈
建設省土木研究所地すべり研究室	檜垣 大助
〃 〃	三輪 賢志

戸田建設(株) 土木技術開発室	梅田 宏
〃 〃	関根 一郎
〃 〃	原 敏昭
〃 ダム技術室	野々目 洋

日本国土開発(株) 技術研究所	梅田 美彦
〃 〃	鈴木 正人
〃 〃	宮内 鋭弐

(株)建設技術研究所 ダム水工本部地質部	宇田 進一
〃 〃	松岡 信
〃 〃	中尾 誠司
〃 〃	井宮 裕
〃 ダム水工本部応用理学部	斉藤 秀晴
〃 〃	長塚 正樹

大阪セメント(株) 中央研究所	中野 錦一
〃 〃	後藤 年芳
〃 〃	清水 和也
〃 〃	津呂 剛

日特建設(株) 技術本部	黒川 武
〃 〃	杉村 亮二
〃 〃	奥田 公也
〃 〃	宇次原雅之

は じ め に

ダム、地すべり、放射性あるいは有毒産業廃棄物処分、石油などのエネルギーの地下備蓄といった地盤を主たる対象とした工学分野においては、地盤内の地下水圧分布とその経時変化を時・空間的に密に測定し、その測定結果を対象構造物や斜面安定工の設計、安全管理に利用することが望まれる。しかし、地盤内の地下水圧分布は極めて複雑であることが多いので、上記の目的を達成するためには地下水圧測定点を三次元的に密に設ける必要がある。これを合理的かつ経済的に実施するためには、平面的に多くの地下水圧測定孔を設けることを前提に、一孔の多深度地点で地下水圧を測定する必要がある。この課題を解決すべく、昭和 63 年度から平成元年度の 2 年間に「ボーリング孔内の多段遮水方法に関する研究」と題して共同研究を実施し、孔径 116mm のボーリング孔を対象とした単孔多段式地下水圧測定システム（MGL システム： Multiple Groundwater Level Measuring System）を開発した。

本共同研究では、前回の共同研究で開発した MGL システムを一般に地質調査で用いられる孔径 66mm のボーリング孔に対応できるように小型化し、地下水圧測定のさらなる経済化を目指した。平成 3 年度からの 2 年間の研究により、孔径 66mm のボーリング孔対応の MGL システムを完成させ、加えて水圧測定精度の向上、比較的流速の大きな地下水流の存在する高透水性地盤や被圧地下水帯での対策等についても検討し、MGL システムの適用範囲の拡大を図った。

本報告では、平成 3 年度からの 2 年間の共同研究の成果を紹介する。

目 次

1. 研究概要	1
2. MGL パイプに関する検討	2
2.1 概 説	2
2.2 小口径化の条件	2
2.3 水圧計の耐久性	2
2.3.1 小口径MGLパイプ1号機の形状	2
2.3.2 小口径MGLパイプの設置時および長期耐久性	4
2.4 MGLパイプの構造	5
2.4.1 小口径MGLパイプ2号機開発の要点	5
2.4.2 信号ケーブル通過穴の改良	5
2.4.3 水圧計2個型MGLパイプの開発	5
2.4.4 スパイラルケーブルの採用	8
3. シール材およびフィルタ材の物性に関する検討	9
3.1 概 説	9
3.2 シール材の検討方針	9
3.3 シール材の配合選定	10
3.3.1 目 的	10
3.3.2 試験概要	10
3.3.3 試験結果および考察	12
3.4 シール材の圧送試験	13
3.4.1 目 的	13
3.4.2 試験概要	13
3.4.3 試験結果および考察	17
3.5 フィルタ材に関する検討	23
3.5.1 目 的	23
3.5.2 試験概要	23
3.5.3 試験結果および考察	24
3.6 シール材およびフィルタ材の決定	26
4. シール材・フィルタ材の設置方法および設置の留意点	28
4.1 概 説	28
4.2 ウレタン系およびセメント系シール材の設置	28
4.2.1 シール材の設置および設置位置確認方法	28
4.2.2 フィルタ材の設置および設置位置確認方法	30
4.3 エポキシ系シール材の設置	31

4.3.1	シール材の設置および設置位置確認方法	31
4.3.2	フィルタ材の設置および設置位置確認方法	32
4.4	シール材の孔外逸出に関する検討	34
4.4.1	試験目的	34
4.4.2	試験方法	34
4.4.3	シール材逸出試験結果	36
4.4.4	実施工におけるシール材逸出率	42
4.4.5	まとめ	43
4.5	孔壁状態による止水性の検討	44
4.5.1	孔曲りの影響	44
4.5.2	地盤変形に伴うシール材の止水性の検討	45
5.	サイト別の適用方法の検討	48
5.1	概説	48
5.2	地すべりサイト	48
5.2.1	材料およびシステムの検討	48
5.2.2	設置方法の検討	50
5.3	被圧地下水地帯	53
5.3.1	被圧地下水地帯での問題点	53
5.3.2	被圧地下水用MGLシステムの概念	53
5.3.3	実用化試験	54
5.3.4	シール材・フィルタ材の設置方法の検討	57
6.	実証試験	60
6.1	概要	60
6.2	実証試験Ⅰ	60
6.2.1	試験サイトの概要	60
6.2.2	水圧測定点の選定およびシステム設置計画	62
6.2.3	試験手順	64
6.2.4	試験結果	65
6.3	実証試験Ⅱ	69
6.3.1	試験サイトの概要	69
6.3.2	水圧測定点の選定およびシステム設置計画	69
6.3.3	MGLシステムの設置	71
6.4	実証試験Ⅲ	74
6.4.1	試験サイトの概要	74
6.4.2	水圧測定点の選定およびシステム設置計画	74
6.4.3	MGLシステムの設置	75

6.5	実証試験Ⅳ	77
6.5.1	試験サイトの概要	77
6.5.2	水圧測定点の選定およびシステム設置計画	77
6.5.3	MGL システムの設置	78
6.6	実証試験Ⅴ	81
6.6.1	試験サイトの概要	81
6.6.2	水圧測定点の選定およびシステム設置計画	81
6.6.3	試験手順	82
6.6.4	試験結果	82
7.	MGL システムによる地下水圧実測例	88
7.1	試験サイトと測定期間	88
7.2	Mダムサイト	89
7.2.1	多点水圧測定計画	89
7.2.2	測定結果	91
7.2.3	止水処理計画への利用	121
7.3	亀の瀬地すべり地	123
7.3.1	試験サイトの地質概要とMGL システムの設置目的	123
7.3.2	MGL システム埋設方法と水圧計設置位置	123
7.3.3	測定結果	128
7.4	怒田地すべり地	129
8.	まとめ	132
	あとがき	134

1. 研究概要

本共同研究の主な目的は、昭和63年度から平成元年度にかけて実施した「ボーリング孔内の多段遮水方法に関する研究」において開発したMGLシステム (Multiple Groundwater Level Measuring System) と称する単孔多段式地下水圧測定システムの小口径化を図り、孔径66mmのボーリング孔においても使用可能にすることにある。

先の共同研究で開発したシステムは、孔径66mmの調査ボーリング終了後、孔径116mm に拡孔し必要な測定点数の水圧計が所定の位置に内蔵されたパイプ (MGLパイプ) を孔内に建込み、水圧計周辺には目詰り防止用のフィルタ材を、その他の部分にはシール材を設置するというものである。本システムに対する需要が増え、具体的ニーズが明らかになるにつれ、孔径116mm という大口径孔を対象としたシステムを、従来から調査ボーリング孔として一般的に採用される孔径66mmのボーリング孔でも使用可能とするため、小口径化する必要性が生じた。よって、本共同研究では、図-1.1 に示すように孔径116mm への拡孔作業を伴わないMGLシステムの完成を目指した。

上記のMGLシステムを実現するため、

表-1.1 研究項目

表-1.1 に示す項目の研究を実施した。

さらに、地すべりサイトでのシステム設置後の滑動や被圧地下水を胚胎するサイトにも対応できるMGLシステムを開発するための応用研究も実施している。

なお、本システムの開発に際しては、ボーリング孔深さ100m、水圧測定段数5点以上を目標とした。

研究項目	研究細目
MGLシステムの小型化	間隙水圧計の小型化 MGLパイプ構造の改良
シール材、フィルタ材の物性改良と設置方法の確立	材料物性の改良 設置方法の検討 実証試験
研究成果の取りまとめ	研究の取りまとめ 成果の報告

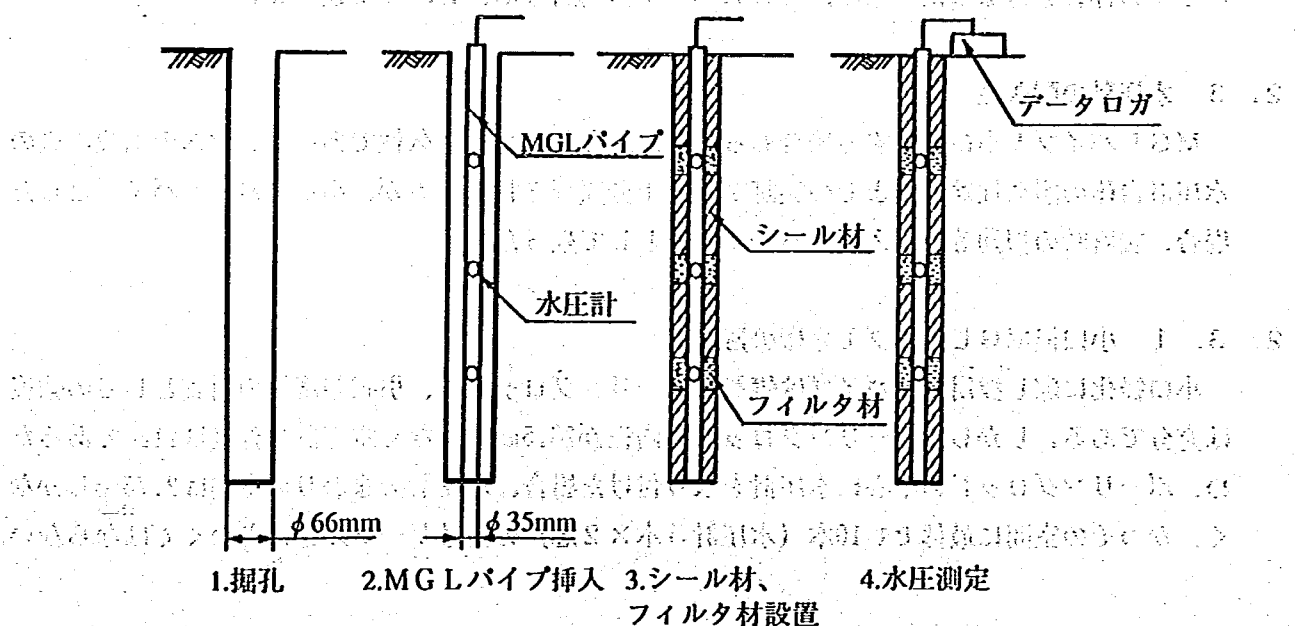


図-1.1 孔径66mmのボーリング孔対応のMGLシステムの作業手順

2. MGLパイプに関する検討

2. 1 概 説

昭和63年から平成元年度に「ボーリング孔内の多段遮水方法に関する共同研究」として、MGLシステムの開発研究を行なった。その結果外径43mmの水圧計内蔵鉄製パイプ（MGLパイプ）を開発し、これを用いて孔径116mmのボーリング孔において設置深度100m以上、水圧測定段数5段以上のMGLシステムを開発することができた。

今回の共同研究では、MGLシステムの更なる汎用化を目指し孔径66mmのボーリング孔で利用できる小口径のMGLパイプの開発を行なった。また、MGLシステムでは基本的に設置後のMGLパイプつまり水圧計の交換が極めて困難であることを考慮して、水圧計の故障時の対応とデータの信頼性の向上を目指して1測定点に2個の水圧計を設置できるよう2CH型水圧計内蔵パイプの開発も行ない実証試験を行なった。

2. 2 小口径化の条件

MGLシステムを小口径化（66mmのボーリング孔で可能とする）するためには、MGLパイプの細型化が必要となる。また、MGLパイプの細型化をするにあたり満足すべき条件を以下のよう設定した。

- 1) 形 状： 孔径66mmのボーリング孔で使用可能
- 2) 設 置 深 度： 100m以上
- 3) 水圧測定段数： 5段以上
- 4) 水圧測定精度： FSの0.25%以下
- 5) 耐 久 性： 最低でも1年以上

精度及び耐久性については、従来のMGLパイプに使用実績のある水圧計を採用する事で対応し、また形状については、鋼製のボーリングロッド（外径35mm，内径26.5mm）を使用してMGLパイプの作製を行なった。なお、MGLパイプの構造等は、2. 4で述べる。

2. 3 水圧計の耐久性

MGLパイプを小口径化する場合もっとも懸念された事が耐久性であった。システム設置後の水圧計自体の耐久性は、今までの実証試験で十分実証されているが、小口径MGLパイプとした場合、設置時の振動等に耐えられるかが課題として残った。

2. 3. 1 小口径MGLパイプ1号機の形状

小口径化に際し採用したパイプは鋼製のボーリングロッドで、引張強度等の材質としての強度は充分である。しかし、ボーリングロッドの内径が26.5mmしかなく水圧計の外径は21mmであるため、ボーリングロッドの中心に水圧計を取り付けた場合、水圧計のまわりの空間は2.75mmしかなく、かつその空間に最低でも10本（水圧計5本×2芯）の信号ケーブルを通さなくてはならない。

そのために水圧計取付金具に直径1.2mmのケーブル通過穴を4個あけ、1ヶ所に2～3本の信号ケーブルを通した。そして、MGLパイプ内を通った地下水の移動を防止するために水圧計の上部にシール材を充填した止水部を設けて管内の止水処理を行った（図-2.3.1参照）。

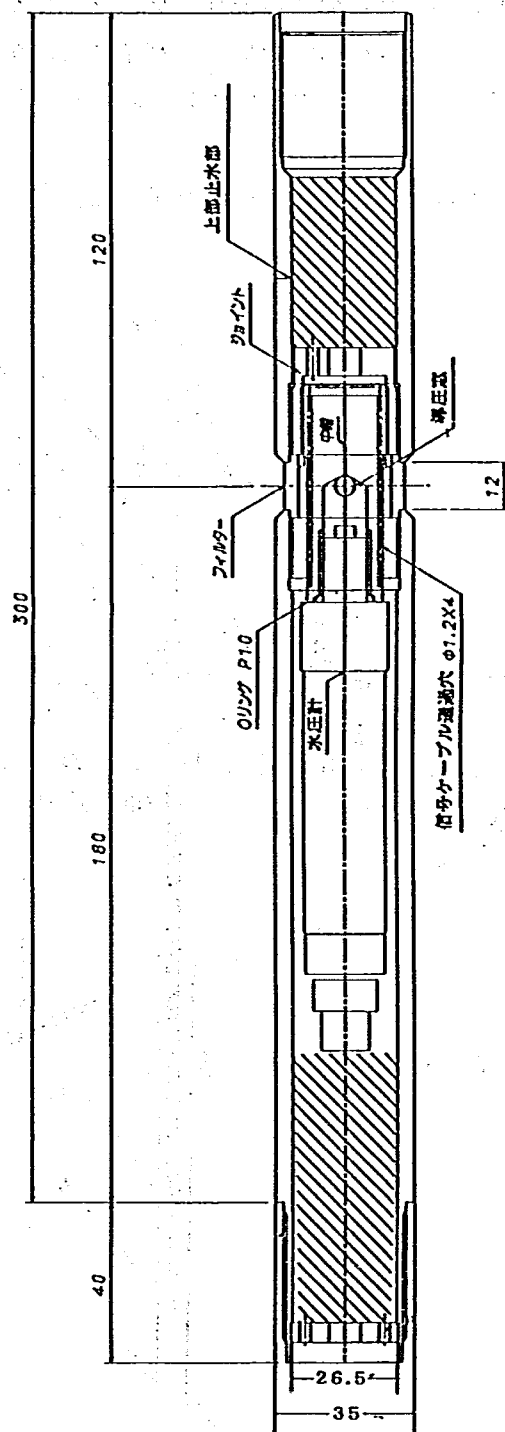


図-2.3.1 小口径MGLパイプ1号機の形状

2. 3. 2 小口径MGLパイプの設置時および長期耐久性

深度90m孔径66mmの3孔において、小口径化したMGLパイプの設置時及び長期耐久性試験を行なった。最初に設置を行なった孔では、設置途中に3個中2個のMGLパイプが不良となった。この原因は、MGLパイプを降下させるのにボーリングマシンのウインチ（図-2.3.2参照）を使用したか、降下を停止させたときの衝撃でMGLパイプに歪が発生し、信号線が断線したものと考えられる。そこで、チェーンブロックを使用して設置を行なったが、設置は順調に完了した。

設置後1年になるが9個（3孔×3個）のMGLパイプに異常は認められず、長期耐久性の問題はないものと判断した。

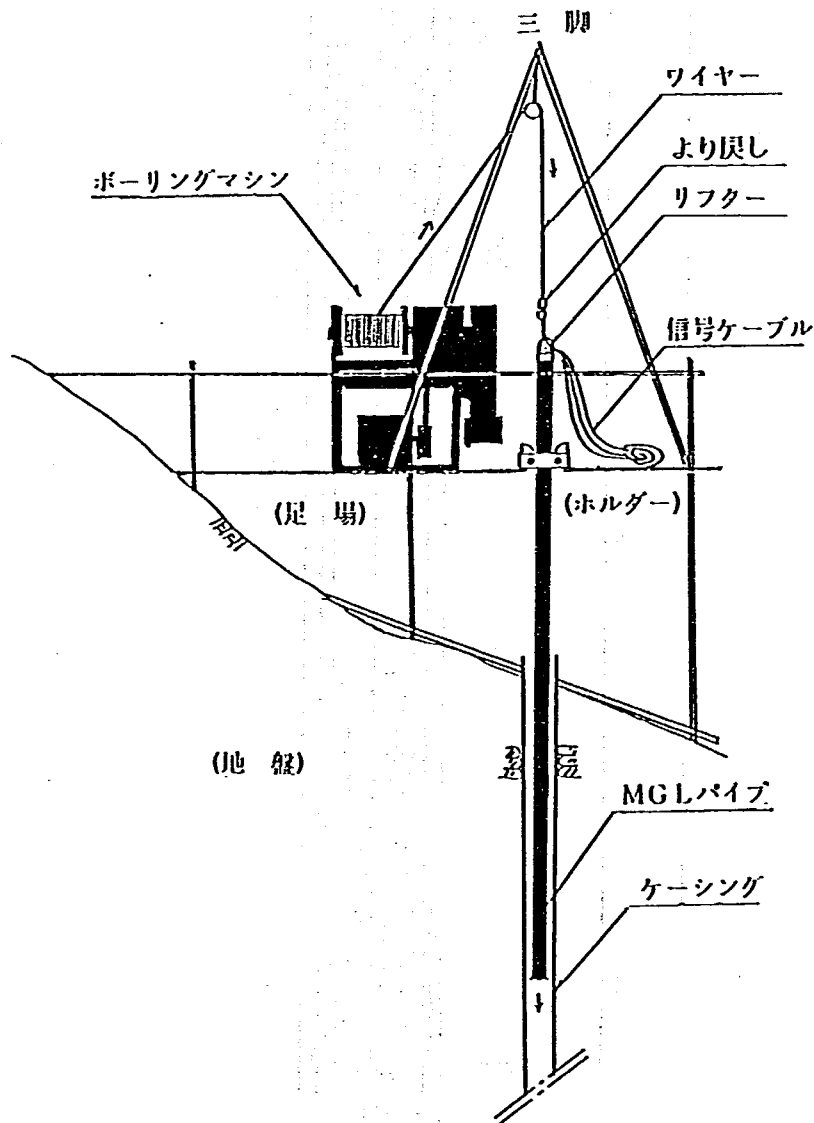


図-2.3.2 ボーリングマシンを使用するMGLパイプ設置方法

2. 4 MGLパイプの構造

2. 4. 1 小口径MGLパイプ2号機開発の要点

小口径MGLパイプ2号機の開発は、下記の要点で行なった。

- 1) 水圧計は従来と同じ仕様のものを採用した。
- 2) 信号ケーブルの通過穴の改良を行なった。
- 3) 1測定点に水圧計が、2個取付可能なMGLパイプの開発を行なった。
- 4) スパイラルケーブルを採用し、信号ケーブルの余長の処理を簡単にした。

2. 4. 2 信号ケーブル通過穴の改良

1号機では、信号ケーブルを水圧計取付金具に設けた直径1.2mmの穴からパイプ外へ通していたが、2号機では信号ケーブルを直径3.5mmのステンレスパイプの中を通すことにより空間を広くし（図-2.4.1参照）、振動歪発生による断線から保護できるようにした。

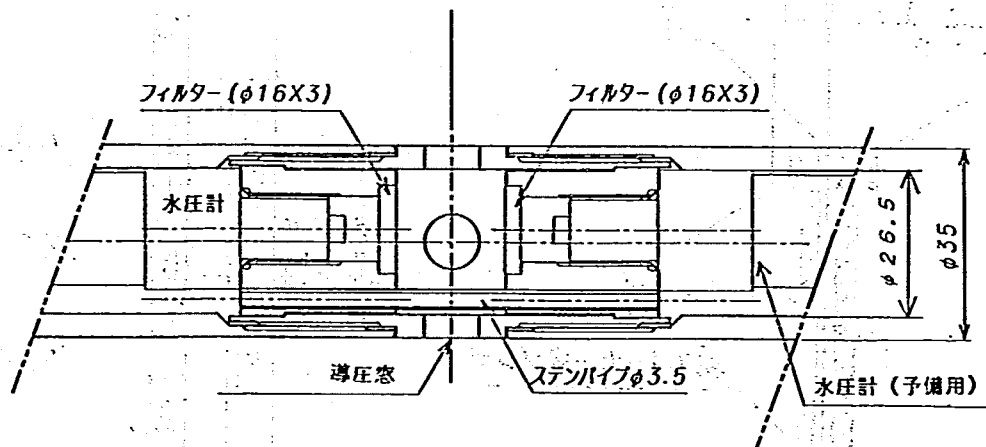
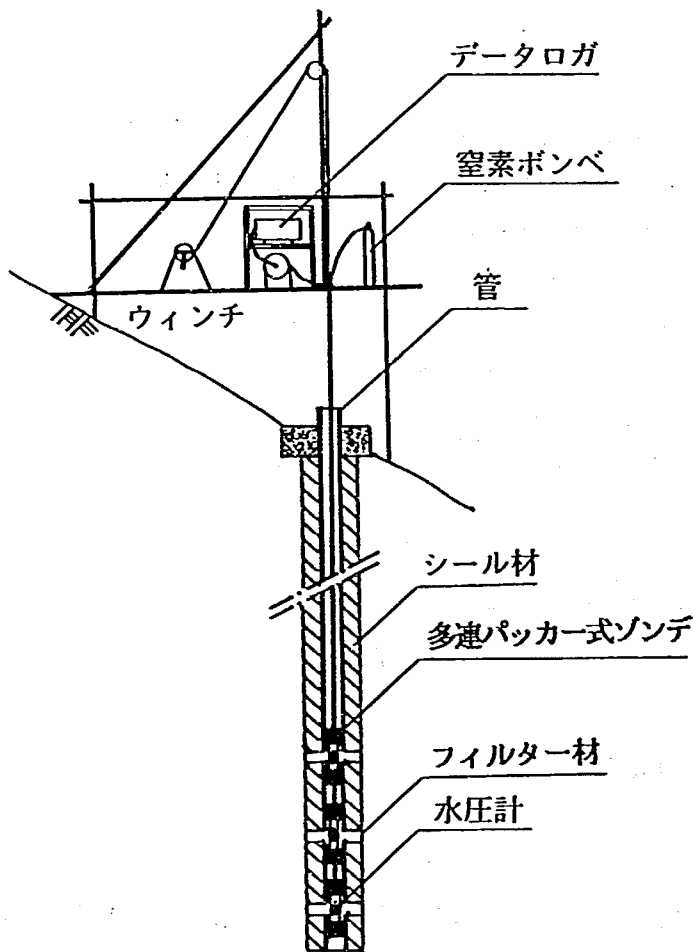


図-2.4.1 信号ケーブル通過穴形状

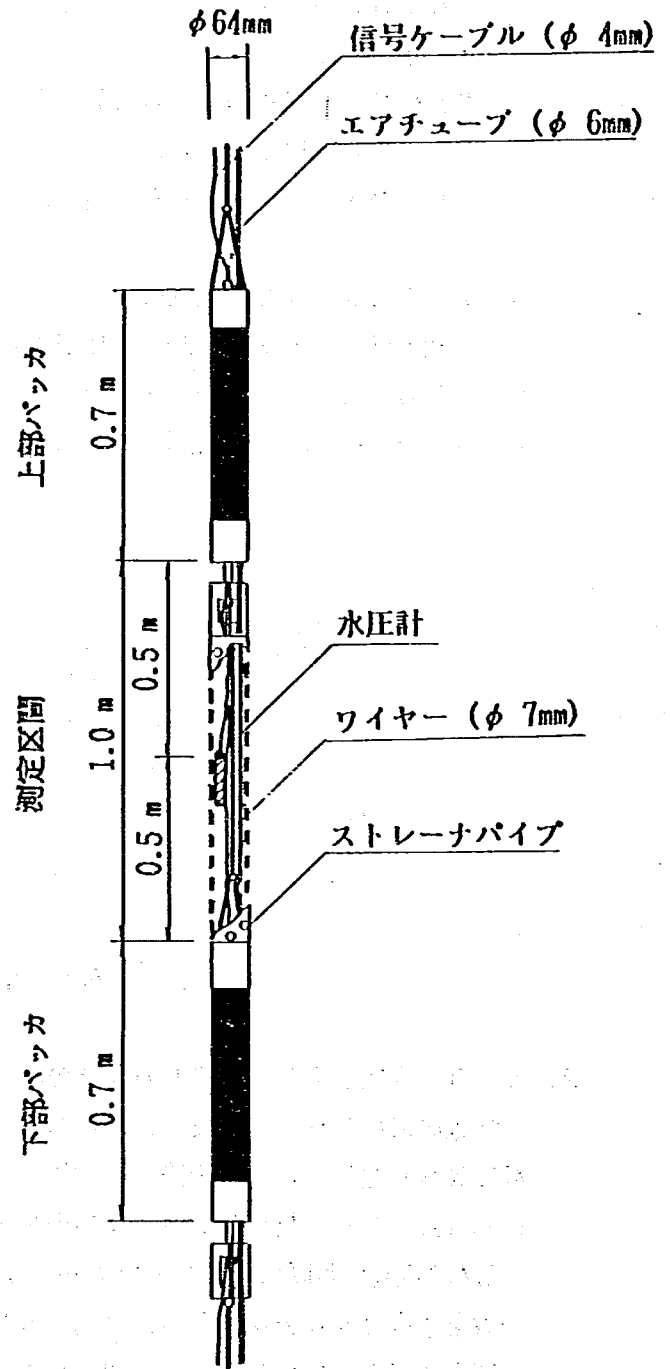
2. 4. 3 水圧計2個型MGLパイプの開発

従来のMGLシステムでは、MGLパイプ内で水圧計をシール材で埋設するため設置後に水圧計に異常が発生した場合の適切な対処方法がなかった。加えて水圧計指示値の検証も難しい状況にあった。シール材の代わりに多連のエアパッカーを使用して水圧計を回収可能とする方法（図-2.4.2参照）も既に開発しているが、今回は一つの水圧測定地点の上下に水圧計を2個取付け、一方を予備とする方法をとった（図-2.4.3参照）。

開発に当たって信号ケーブルの処理方法に問題が発生した。水圧計を2個取付けることにより信号ケーブルが最低でも20本（5段×2ヶ所×2本）となり、上述のステンレスパイプ内を通らなくなった。また20極の小型のコネクターが必要となった。その解決方法として2本の信号ケーブルに極性を逆にした2個の水圧計を取付け、スイッチで極性を切替ることで2個の水圧計の測定切替を行なう方法を採用した（図-2.4.4参照）。この事で、厳密には同時に同一地点の圧力



(a) 全体図



(b) 多連パッカー式ソンド

図-2.4.2 多連パッカーを使用したMGLシステム

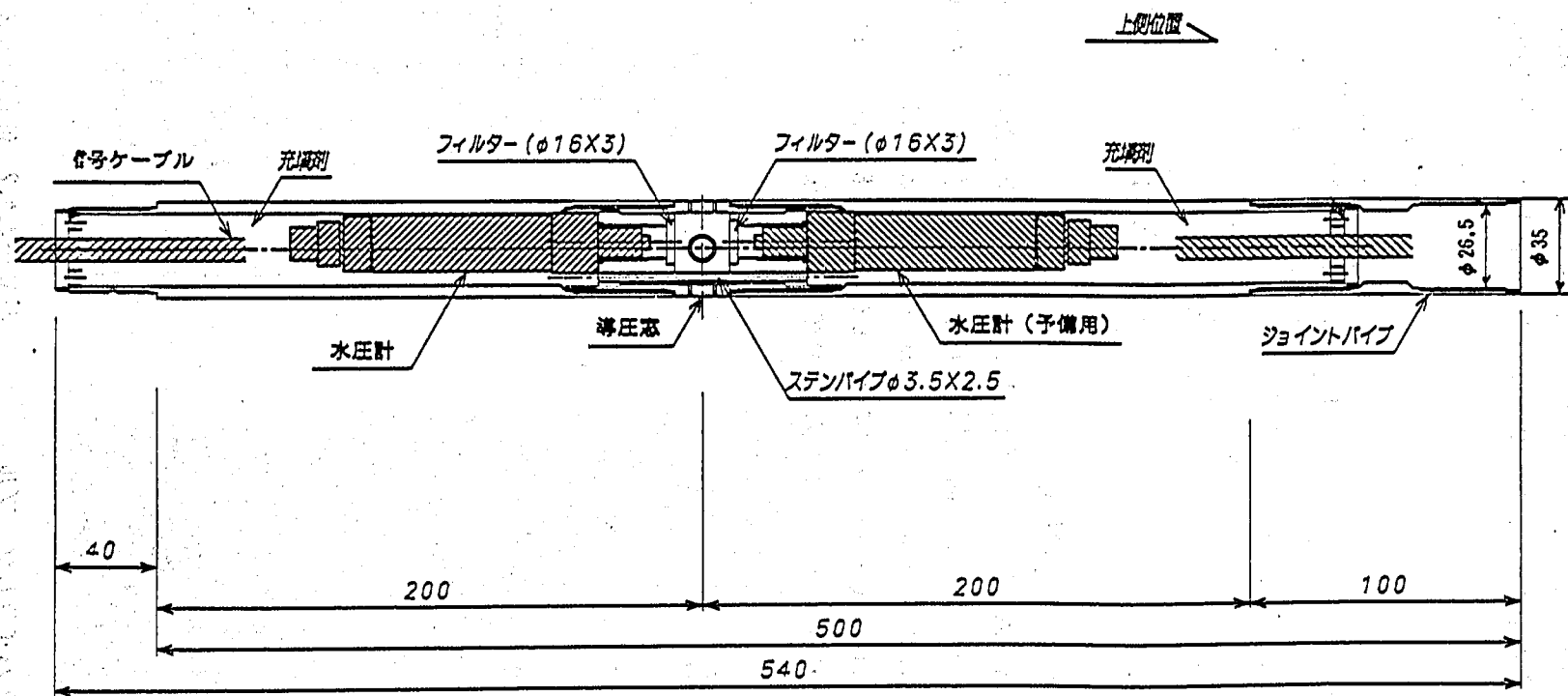


図-2.4.3 水圧計2個型MGLパイプの構成

を2個の水圧計で測定は出来ないが、1個の水圧計が故障した場合にも十分対応できるうえ、2個の水圧計の指示値を適宜比較することで水圧計の指示値の信頼性の検討が行なえる。加えて、信号ケーブルを増やさずに、また多極のコネクターを開発せずに従来のものを使用することで対応できた。

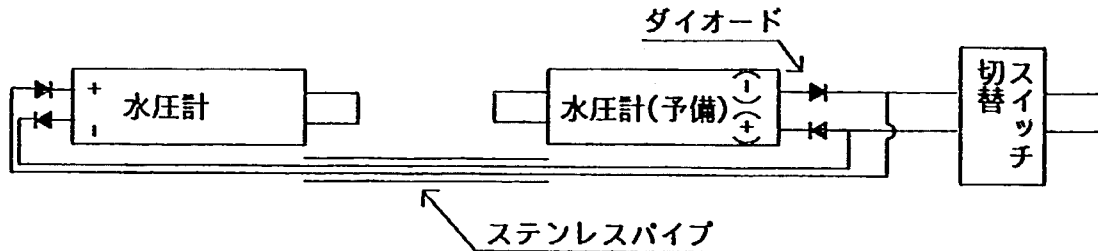


図-2.4.4 水圧計取り付け図

2. 4. 4 スパイラルケーブルの採用

従来のMGLシステムの信号ケーブル長は、区間長（直上下の水圧計間の距離）より1～2m程度長くし、コネクターを結線し防水処理を行なった後に延長パイプの中に折曲げて押し込んでいるが、今回は部分的に約2mのスパイラルケーブル（写真-2.4.1参照）を採用した。このスパイラルケーブルは6m（写真-2.4.2参照）まで伸長し、80kgfの張力まで耐えられる。このことにより、信号ケーブルの余長、およびねじれの処理を行なった。

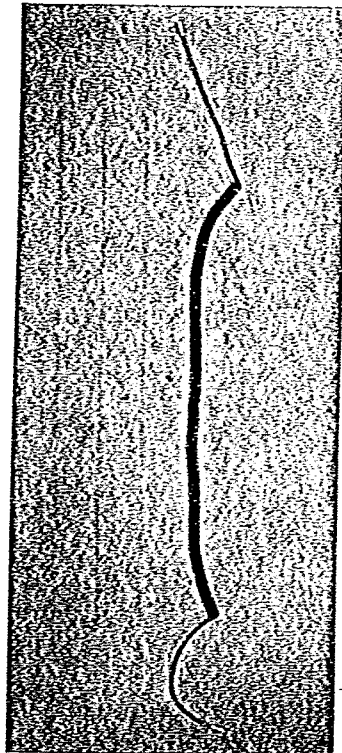


写真-2.4.1 スパイラルケーブル

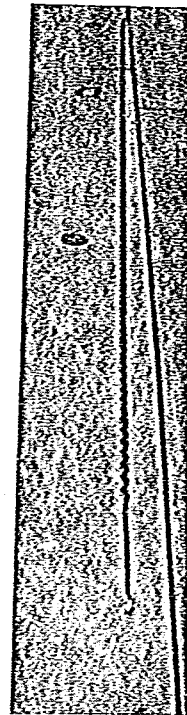


写真-2.4.2 伸長時のスパイラルケーブル

3. シール材およびフィルタ材の物性に関する検討

3.1 概説

孔径66mmのボーリング孔内にMGLシステムを設置するにあたって、設置方法そのものの変更およびシール材とフィルタ材の物性についての再検討の必要が生じた。このためにシール材（ウレタン・エポキシ・セメント）毎に、孔径66mm孔内に設置できるよう設置方法および配合の変更を行い、注入性能および各種物性の確認を行った。また、フィルタ材としては使用実績の多い砂を用いることにした。砂は化学的に安定しており、容易に粒度範囲（透水性）を変化させることが可能な材料である。しかし、地下水圧の測定に必要な透水性は対象地盤により異なるため、一概には砂の種類や粒度を規定できない。そこで代表的な砂について基本物性を調べるとともに、各シール材に対する耐浸透性の確認試験を実施した。

3.2 シール材の検討方針

昭和63年度～平成元年度に実施した共同研究において開発したシール材を基本に、MGLシステムの小口径化のために必要な検討を実施した。今回の共同研究で用いるシール材は添加剤の種類や添加量を調整する程度の変更で対応可能であったため、基本的に前回のものと同じである。したがって、各シール材の基本物性¹⁾に大きな変化はない。このため、一般的な物性試験は割愛し最低限必要な検討のみを加えた。以下にシール材毎の検討方針をに示す。

(1)ウレタン系シール材

孔径66mm孔への布パッカの挿入は困難であるため、設置方法としては直接法²⁾を採用した。それに伴いシール材の配合も粘性を低下させ、かつ分離の生じない配合を検討した。

(2)エポキシ系シール材

定格圧力100kgf/cm²の注入ポンプと注入管を用いて、深さ100mまでシール材を圧送するためには、シール材の粘度は2,600cP程度以下とする必要がある³⁾。エポキシの粘性は、温度の変化によって大きく変わるので、使用時の温度の影響を検討した。

なお、新たに開発した地すべり地対応型シール材については、5.2.1(2)に詳述する。

(3)セメント系シール材

シール材注入管を細径化し、それを用いて100m圧送可能であるシール材の粘度を計算により求めた結果³⁾は表-3.2.1に示すとおりとなった。増粘剤添加量を調整し目標の粘度となる配合を検討した。

表-3.2.1 セメント系シール材の注入管内径および圧送可能粘度

	注入管内径(mm)	圧送可能粘度 (cP)
116mm孔	21	6200
66mm孔	9.5	2300

3.3 シール材の配合選定

3.3.1 目的

各シール材について圧送可能と考えられる配合で、粘度測定を行った。

3.3.2 試験概要

(1)使用材料

1)ウレタン系シール材

ウレタン系シール材の構成材料の種類を表-3.3.1に示す。

表-3.3.1 ウレタン系シール材の構成材料の種類

材料名	商 品 名	メ ー カ ー
ウレタン	ポリグラウト W-600	第一工業製薬(株)
粘 土	C. S. C.	竹折鑛業所
増粘剤	ユニショット A-10、F-350	第一工業製薬(株)

2)セメント系シール材

セメント系シール材の構成材料の種類を表-3.3.2に示す。

表-3.3.2 セメント系シール材の構成材料の種類

材料名	商 品 名	メ ー カ ー
セメント	ライオンハイセット S	大阪セメント(株)
増粘剤	アスカクリーン D	信越化学工業(株)

3)エポキシ系シール材

エポキシ系シール材の構成材料の種類を表-3.3.3に示す。

表-3.3.3 エポキシ系シール材の構成材料の種類

エポキシ樹脂	商 品 名	メ ー カ ー
低粘度 ¹⁾ 2)	エポクレック 1517L	日本アドバンテック・インダストリアル(株)
高粘度 ¹⁾ 2)	エポクレック 1517	日本アドバンテック・インダストリアル(株)

(2)配合

1)ウレタン系シール材

試験に用いた配合を表-3.3.4に示す。

表-3.3.4 ウレタン系シール材の配合 (重量%)

	粘土	ウレタン	水	増粘剤* (ユニショット)	
配合 1	15	15	70	A-10 (0~2.5%)	F-350 (重量でA-10 の2.5倍)
配合 2	20	20	60	A-10 (2~2.5%)	

* : 水重量に対する百分率

2)エポキシ系シール材

主剤と硬化剤の混合比を2 : 1 (体積比) とした。

3)セメント系シール材

実験にはプレパクトフロー値15秒の配合である、表-3.3.5の配合を用いた。

表-3.3.5 セメント系シール材の配合

水・セメント比	増粘剤添加量*(%)
100%	0.6

: セメント重量に対する百分率

(3)粘度測定方法

1)ウレタン系シール材

20℃の室内に保存した表-3.3.4に示す各材料を混合して得たシール材をビーカーに入れ恒温水槽 (20℃) に浸し、回転型粘度計を用いて粘度の経時変化を測定した。配合 1 では増粘剤の添加量を0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%、配合 2 では2.0, 2.5%と変化させた。

2)エポキシ系シール材

エポキシ樹脂の主剤、硬化剤および混合液を、B型粘度計を用いて粘度を測定した。エポキシ系シール材の粘度は温度の影響を受けやすいため、現場で調整できると考えられる10~35℃の温度で粘度を測定した。

3)セメント系シール材

20℃の恒温室内に保存した材料をプロペラミキサにより3分間混合後、B型粘度計により粘度を測定した。その後、プロペラミキサにより低速で攪拌し続け、15, 30, 60, 90, 120分後に同様に測定した。

3.3.3 試験結果および考察

(1)ウレタン系シール材

2種類の配合での試験結果を図-3.3.1、図-3.3.2に示す。両配合とも、増粘剤添加量が増すにしたがい初期粘度が高くなり、かつ相対的に可使時間も短くなっている。確かに材料の分離を抑える意味で粘度を高くすることは有効である。しかし反対に、シール材を設置することを考慮すると、粘度が高すぎると孔内圧送に要する圧力が大きくなり、かつ可使時間が十分にとれなくなることから好ましくない。図-3.3.1から、増粘剤を1%添加すれば、無添加の場合に比べ粘度が大きく上昇していることがわかる。

上述の得失も考慮して、増粘剤の添加は1%がよいと判断した。

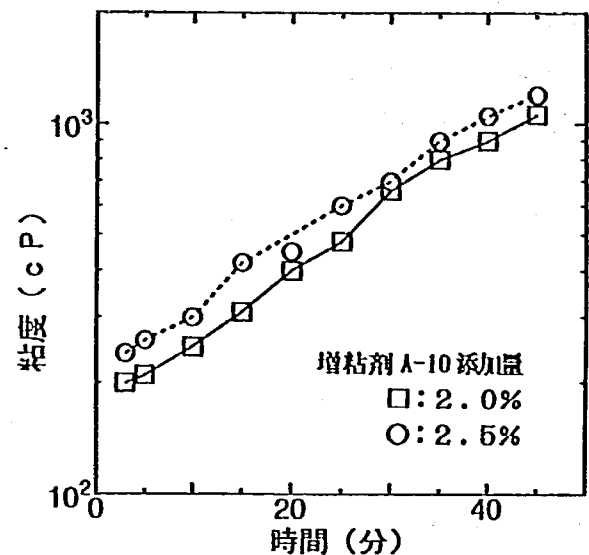
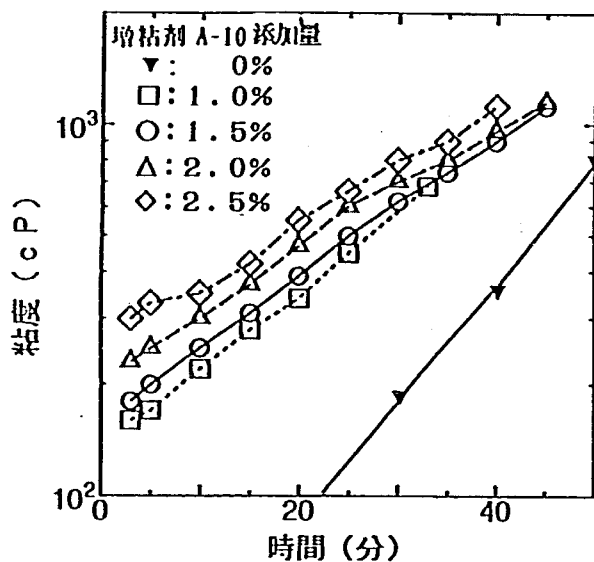


図-3.3.1 ウレタン系シール材の粘性 (配合1) 図-3.3.2 ウレタン系シール材の粘性 (配合2)

(2)エポキシ系シール材

主剤および硬化剤の温度と粘度の関係を図-3.3.3に示す。液温が低い場合には、3.2 シール材の検討方針に示した圧送可能粘度 (2,600cP) を上回る粘度を示している。圧送可能な粘度とするには低粘度エポキシで約15℃以上、高粘度エポキシで22℃以上とする必要がある。

よって冬季の施工等ではエポキシを加熱して使う必要がある。

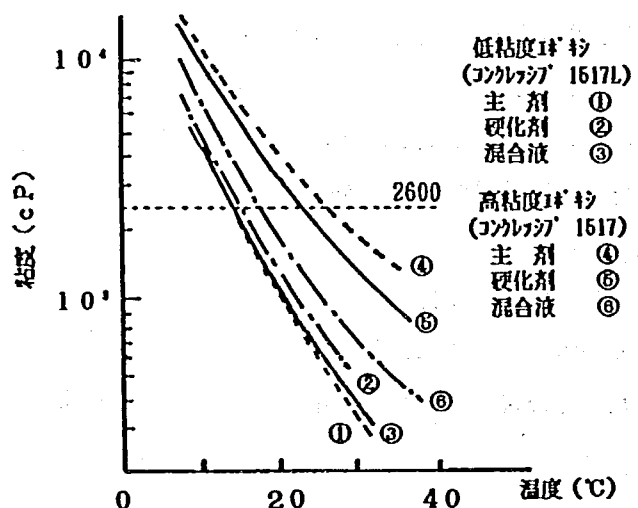


図-3.3.3 エポキシ系シール材の温度と粘度の関係

(3)セメント系シール材

粘度の経時変化を表-3.3.6および図-3.3.4に示す。セメント系シール材の100m圧送可能粘度は2,300cP（表-3.2.1参照）であるので、可使時間は60分間である。

表-3.3.6 セメント系シール材の粘度変化

経過時間（分）	0	15	30	60	90	120
粘 度（c P）	2,560	2,250	2,270	2,200	3,090	10,000以上

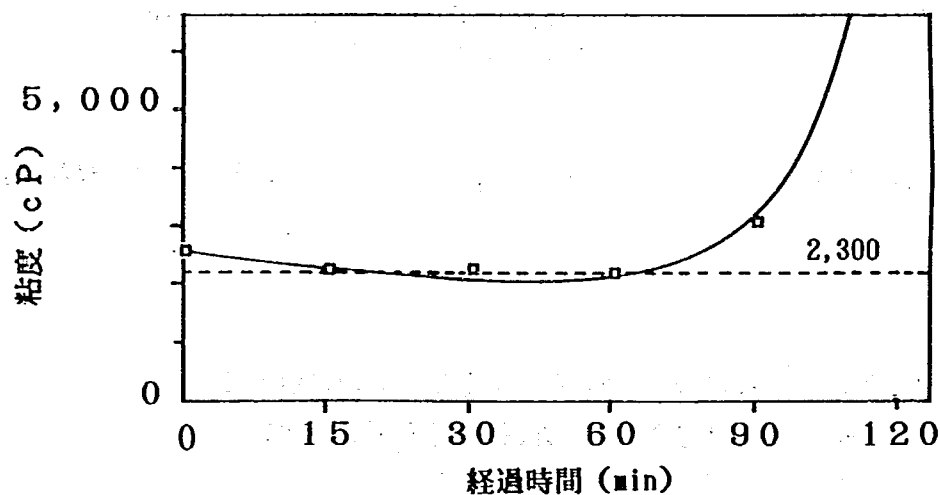


図-3.3.4セメント系シール材の粘度変化

3.4 シール材の圧送試験

3.4.1 目的

MGLシステムの小型化のためにシール材の注入に使用できる注入管の選定を行い、シール材の粘性と管内損失圧力との関係を明らかにする。これにより、シール材の設置作業の可能性を見出すことを目的とする。

3.4.2 試験概要

(1)注入管の種類及び長さ

孔径66mm孔内の空きスペースと作業性を考慮し、試験に用いる注入管は表-3.4.1に示す仕様のもので選定した。また表-3.4.2に示すケースで試験を行った。

表-3.4.1 試験に供する注入管の仕様

シール材	材 質	外 径 (mm)	内 径 (mm)	破壊圧力 (kgf/cm ²)	常用圧力 (kgf/cm ²)	備 考
ウレタン系 セメント系	ナイロン	15.88	11.0	70	23	
エポキシ系	鉄	18.0	13.0	—	—	一本の長さ3.96m

表-3.4.2 圧送試験ケース

シール材	水 平	鉛直	備 考
ウレタン系 セメント系	10m、25m 50m、100m	10m	表-3.4.3に示す配合のものを使用 表-3.4.4 “
エポキシ系	—	10m	低粘度エポキシ使用(表-3.3.3参照) 圧力測定位置出口から2、6、10m
	—	6m	高粘度エポキシ使用(表-3.3.3参照) 圧力測定位置出口から2、6m

(2)使用材料

試験に使用した材料はウレタン、エポキシ、セメント系シール材とも3.3.2 試験概要に示した材料と同じである。

(3)配合

1)ウレタン系シール材

試験に供するウレタン系シール材は300cP以下となるよう表-3.4.3に示す配合とした。

表-3.4.3 ウレタン系シール材の配合(重量比 %)

	ウレタン	粘 土	水	増粘剤*(ユニショット)
配合1	15	15	70	A-10(1%), F-350(2.5%)
配合2	20	20	60	A-10(1%), F-350(2.5%)

注)水重量に対する百分率

2)セメント系シール材

試験に供するシール材の粘性が、Pロートによるフロー値で12秒及び15秒となるよう表-3.4.4に示す配合とした。

表-3.4.4 セメント系シール材の配合

	水・セメント比	増粘剤添加量*(%)	フ ロ ー 値
配合1	100%	0.3	12±1秒
配合2	100%	0.6	15±1秒

* :セメント重量に対する百分率

3)エポキシ系シール材

配合は従来どおり、主剤：硬化剤を体積比で2：1とした。

(4) 試験装置

試験装置の構成を図-3.4.1～3.4.3に示す。

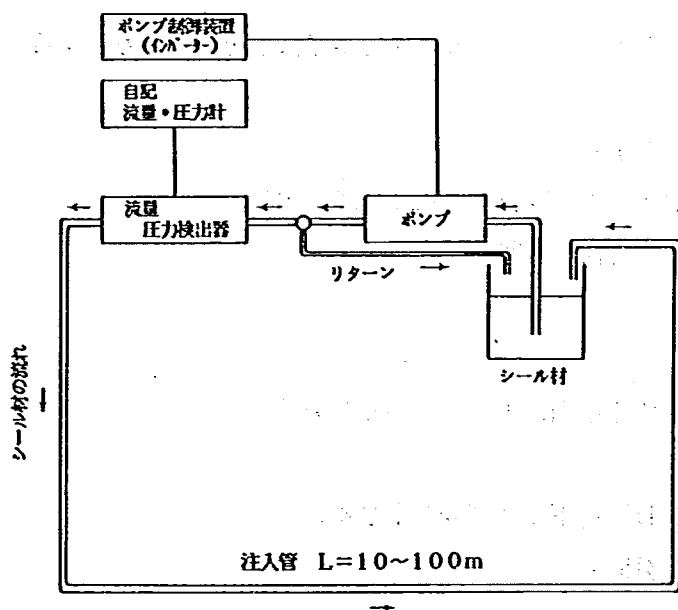


図-3.4.1 試験装置の構成
(注入管を水平に置いた場合)
(ウレタン系、セメント系)

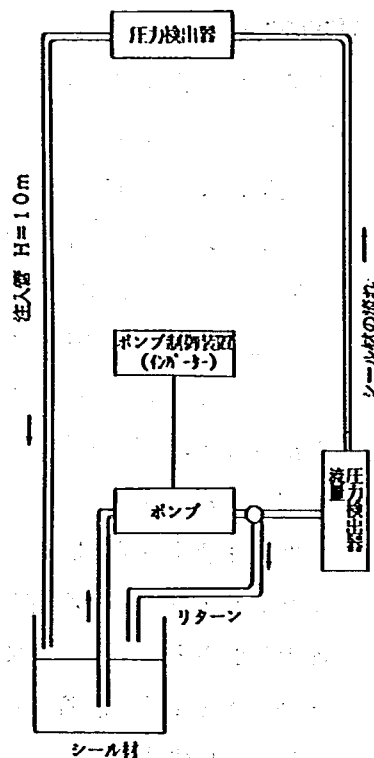


図-3.4.2 試験装置の構成
(注入管を鉛直に置いた場合)
(ウレタン系、セメント系)

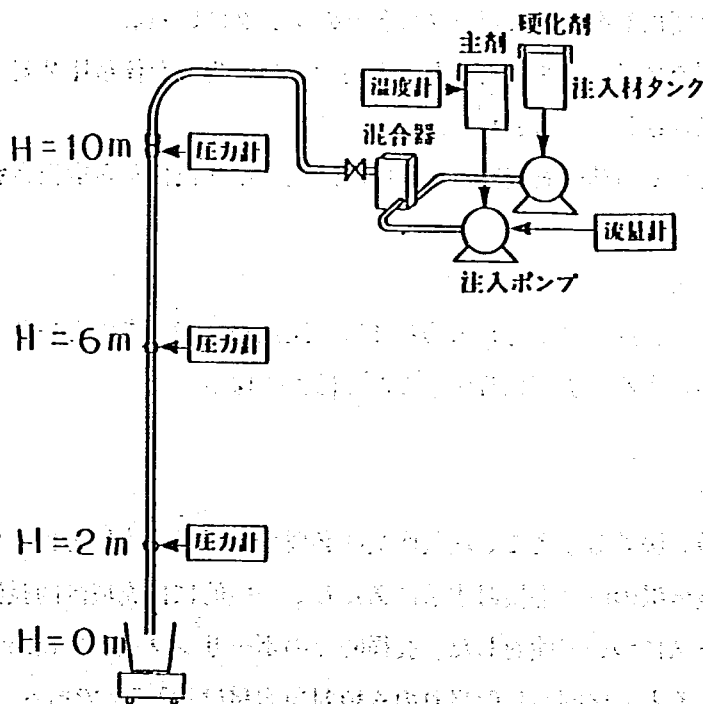


図-3.4.3 試験装置の構成 (注入管を鉛直に置いた場合)
(エポキシ系)

(5) 試験の方法

1) 作液及び品質管理方法

(a) ウレタン系シール材

一度に作液する量は、40kg（約35ℓ）とする。なお、作液する手順は下記のとおりとする。

- ① 水、ウレタン、粘土、増粘剤の計量
- ② 粘土と増粘剤(A-10)をドライブレンドする。
- ③ 上記②に水及び増粘剤(F-350)を加え、ミキシング（約3分間）する。
- ④ 上記③にウレタンを加え、ミキシング（約3分間）する。
- ⑤ 粘度の測定（回転粘度計）

(b) セメント系シール材

一度に作液する量は33.3ℓとし、作液する手順は下記のとおりである。

- ① 水、セメント及び増粘剤の計量
- ② セメントと増粘剤（アスカクリーンD）をドライブレンドする。
- ③ ハンドミキサによるミキシング（3分間）
- ④ フロー値の測定

(c) エポキシ系シール材

主剤と硬化剤の混合は、注入ポンプに付属した混合器により注入時に行われるので、あらかじめ作液する必要はない。試験は下記の手順で行う。

- ① 主材2に対して硬化剤1（体積比）の割合で合計10ℓ準備し、25℃に温める。
- ② 主材および硬化剤を、注入ポンプの各々のタンクにいれる。
- ③ 注入ポンプのスイッチを入れると、主剤および硬化剤が体積比2対1の割合でポンプに吸い込まれ、混合され、圧送される。
- ④ 品質管理としての粘度測定は、試験中に注入パイプ出口から排出される混合液について行う。

2) 流量・圧力測定

注入量にともなう管内損失圧力を求めるには①流量を制御して圧力を測定する方法と、②圧力を制御して流量を測定する方法があるが、ここでは①を採用した。

3) 流量の制御段階

流量の制御段階を決めるうえで、埋設作業に必要な最低限の流量を押さえておく必要がある。埋設作業に必要な最低限の流量を検討するにあたり、一般的には充填区間長は30m程度である場合が多いので、このケースについて検討した。孔径66mmのボーリング孔と外径35mmのMGLパイプとの組合せの場合を考えると、区間長1.0m当りの充填対象容積は約2.5ℓである。したがって、充填区間長30m当りの対象容積は約75ℓとなる。一方、シール材の可使時間はウレタン系で約40分（20℃）、セメント系で約60分、エポキシ系約40分（20℃）であるため、小分けしてシール材を練る等の対策を

施しても、安全をみて埋設作業は40分以内に終了することが望ましい。よって、この条件を満足するために必要な最低限の流量は、約2ℓ/minとなる。

以上の検討結果を考慮し、ウレタン系、セメント系では、流量可変式グラウトポンプを用い、流量の制御段階を下記のとおりとした。ただし、ある流量段階において圧送圧力が20kgf/cm²以上となった場合には、使用しているナイロン製注入管の常用圧力を越えるため、それ以上の流量段階は実施していない。

流量の制御段階：2.0 → 3.0 → 5.0 → 7.0 → 10.0 (単位：ℓ/min)

一方、エポキシ系については、ガス管および常用圧力60kgf/cm²の定量ポンプを用い、吐出量2.0ℓ/minと一定にして実験した。

4) 注入管長

ウレタン系、セメント系では、試験に用いる注入管の長さは注入管を水平に設置した場合で10m、25m、50m、100mの4種類とし、鉛直に設置した場合は10mとした。一方エポキシ系は鉛直のみで10mおよび6mとした。

3.4.3 試験結果および考察

(1)ウレタン系シール材

試験結果よりウレタン系シール材の管長10m当りの管内圧力損失を算出し、それを図-3.4.4, 3.4.5に、またその時の粘性を図-3.4.6~3.4.8に示す。なお、図-3.4.5において、全体(全長10m)の管内損失圧力は式(3.4.1)から求められる。

$$P = P_1 + \sigma_g g h / (9.8 \times 10^4) - P_2 \quad \dots \dots \dots (3.4.1)$$

P : 管内損失圧力 (kgf/cm²/10m)

P₁ : 注入管最上流端の圧力計指示値 (kgf/cm²)

P₂ : 下流端の圧力 (=0kgf/cm²)

h : 管の上下端の高低差 (=10m)

g : 重力加速度 (=9.8m/s²)

ρ_g : シール材の密度 (kg/m³) . . . (配合1 ; 1.12×10³, 配合2 ; 1.18×10³)

9.8×10⁴ : 単位系の変換定数 (1kgf/cm²=9.8×10⁴N/m²)

図-3.4.4, 3.4.5をみると、ウレタン系シール材の単位管内損失圧力には、管長によってばらつきがあるように見える。しかし、図-3.4.6~3.4.8からわかるように、ウレタン系シール材は、時間とともに粘度が上昇する。式(3.4.2)に示すように損失水頭は、注入量及び注入管の長さに比例することより、水平に圧送した時の各配合での100cP及び150cPおける管長1m、1ℓ/min当りの損失圧力を算出すると、それぞれ表-3.4.5、3.4.6のようになる。

$$H = f \cdot \frac{l}{b} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{64\mu l Q}{2gb^2 \rho A} \quad \dots \dots \dots (3.4.2)$$

ここに

H : 損失水頭 ρ : 密度 l : 注入管長さ
 f : 摩擦損失係数 μ : 粘性係数 Q : 注入量
 b : 注入管の直径 A : 断面積

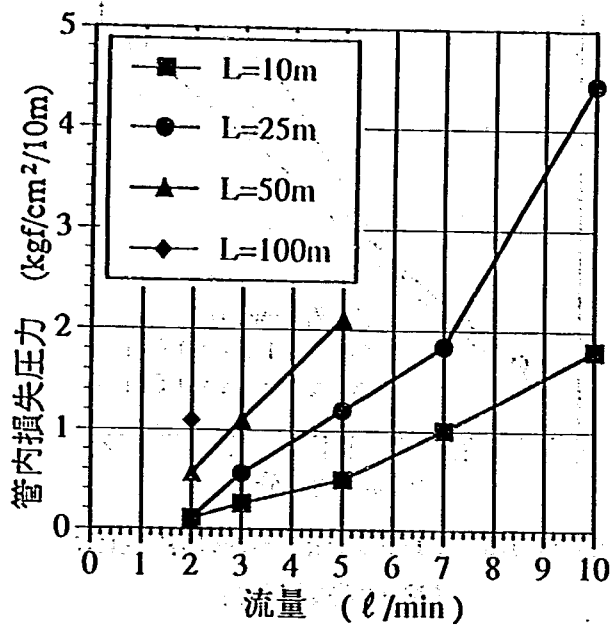
である。

表-3.4.5 100cPにおける管内損失圧力

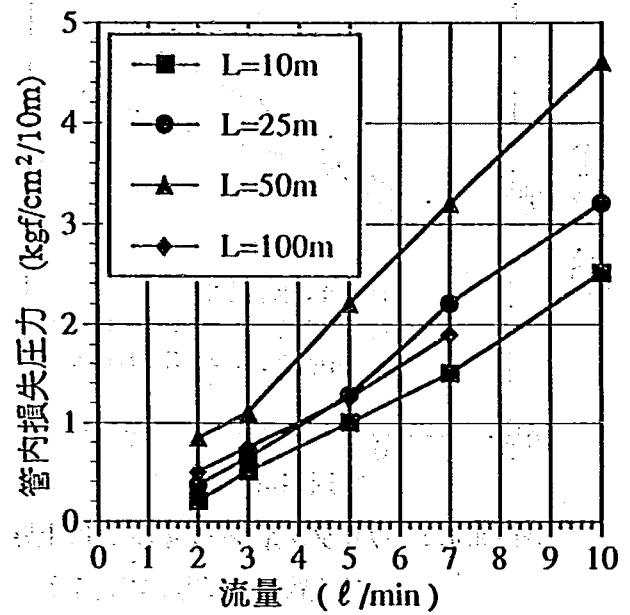
配 合	注入管の長さ (m)	流 量 (l/min)	圧 力 (kgf/cm ²)	管内損失圧力(kgf/cm ²) (1m, 1 l/min当たり)
1	10	10	1.8	0.0180
1	25	3	1.4	0.0187
2	10	5	1.0	0.0200
2	25	3	1.6	0.0213

表-3.4.6 150cPにおける管内損失圧力

配 合	注入管の長さ (m)	流 量 (l/min)	圧 力 (kgf/cm ²)	管内損失圧力(kgf/cm ²) (1m, 1 l/min当たり)
1	25	7	4.6	0.0263
1	100	5	12.5	0.0250
2	25	5	3.2	0.0256



(a) 注入管水平配置 (配合1)



(b) 注入管水平配置 (配合2)

図-3.4.4 ウレタン系シール材の管長10mあたりの管内損失圧力

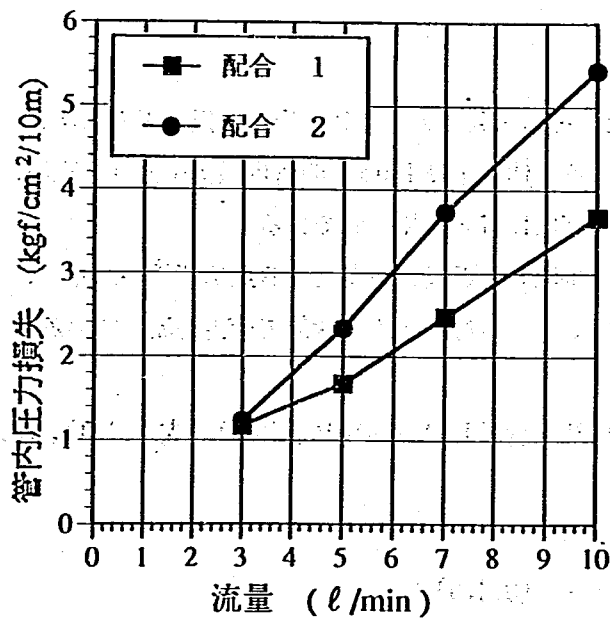


図-3.4.5 ウレタン系シール材の管長10mあたりの管内損失圧力 (注入管鉛直配置)

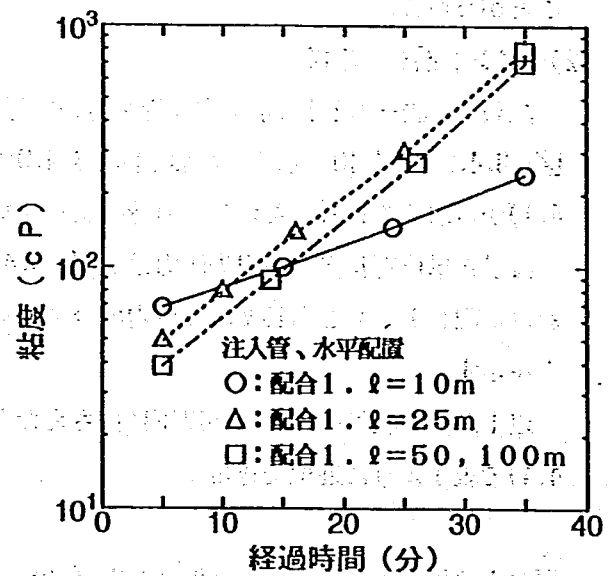


図-3.4.6 ウレタン系シール材の粘度上昇 (注入管水平配置, 配合1)

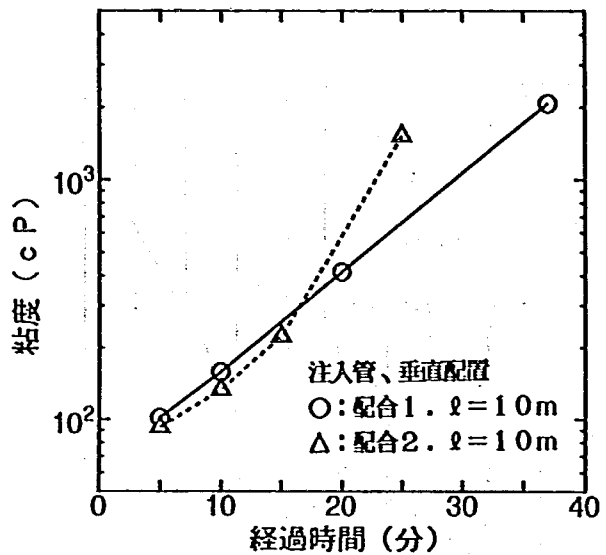
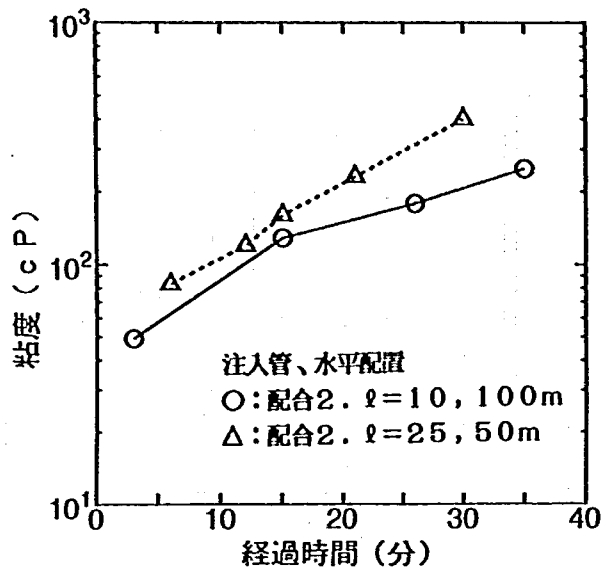


図-3.4.7 ウレタン系シール材の粘度上昇
(注入管水平配置, 配合1)

図-3.4.8 ウレタン系シール材の粘度上昇
(注入管鉛直配置)

表-3.4.5、3.4.6から、水平方向に注入管を設置した場合粘性が一定であれば、単位管内損失圧力は管長によらず一定であることがわかる。また、流量が2ℓ/minであればこの実験から水平方向であっても、管長100mの注入管にウレタン系シール材が圧送できることがわかった。さらに、図-3.4.5より注入管を鉛直にした場合を考えると、同様に流量が2ℓ/min程度であれば十分圧送できることがわかる。

(2)セメント系シール材

試験は、表-3.4.1に示す注入管を用いて行った。その試験結果を、10m 当りの損失圧力に換算し、図-3.4.9、3.4.10に示す。なお、図-3.4.9における全体（全長10m）の管内損失圧力は、式(3.4.1)から求められる。ただしこの時のシール材の密度は $1.47 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である。

流量と単位管長当りの損失圧力は、図-3.4.10に併記した近似式を満足する比例関係がある。これは、配合1、2とも10ℓ/min以内の流量であれば、シール材は層流の状態で管内を流れていることを示す。

以上から、流量を10ℓ/min以下に押さえたときの注入管長Lm当りの損失圧力は、式(3.4.3)、(3.4.4)で表すように近似できる。

$$\text{配合1の場合: } P = \frac{L}{10} \times (0.15 \times Q - 0.08) \quad \dots (3.4.3)$$

$$\text{配合2の場合: } P = \frac{L}{10} \times (0.27 \times Q + 0.38) \quad \dots (3.4.4)$$

ここに、 P : 管内損失圧力 (kgf/cm²)

Q : 注入流量 (ℓ/min)

L : 注入管長 (m)

である。

よって、注入圧力 23kgf/cm^2 （＝注入管の常用圧力）、注入管長 100m のときの圧送可能な流量は配合1で、約 16 l/min 、配合2で約 7 l/min である。一方、現場注入モデル（注入区管長 30m ）で必要とされた最小流量は約 2 l/min であるから、上記の圧送可能流量は十分な量といえる。しかし、注入管を鉛直にした場合を考えると、図-3.4.9より配

合1、2とも 10m あたりの管内損失圧力は水平に設置した場合よりも大きくなっていることがわかる。これは、管下端部が開放されているためエアが混入し、下端部付近で大幅な圧力低下をきたした結果と考えられる。実施工においてこのような現象は地下水位面よりも上位で発生すると考えられるので注意を要する。しかし、例えば深度 100m まで地下水が存在しなかった場合でも本試験結果から判断して、注入圧 23kgf/cm^2 では配合1で少なくとも 10 l/min 、配合2で約 4 l/min の注入速度で注入できることから実質的には問題ない。

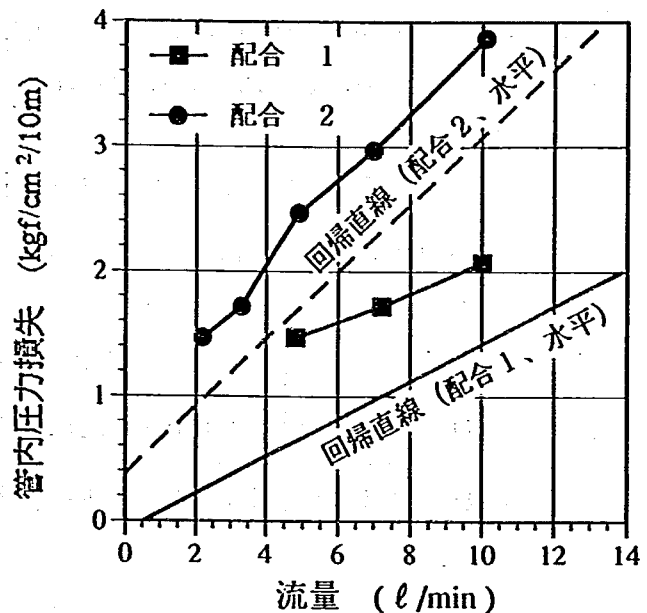
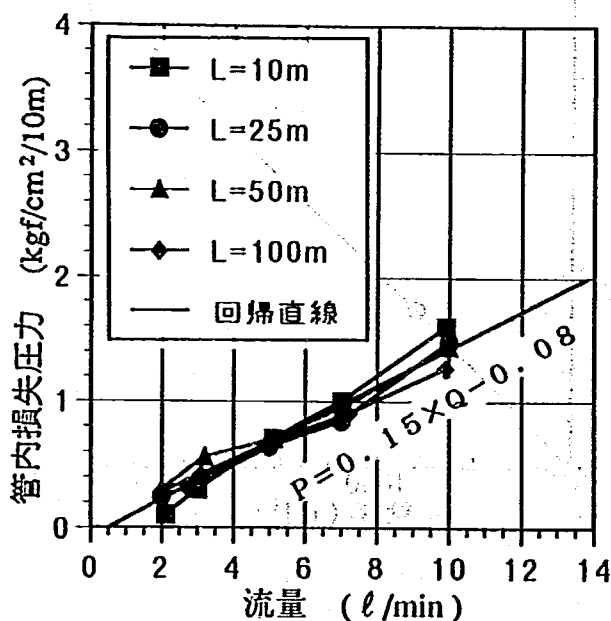
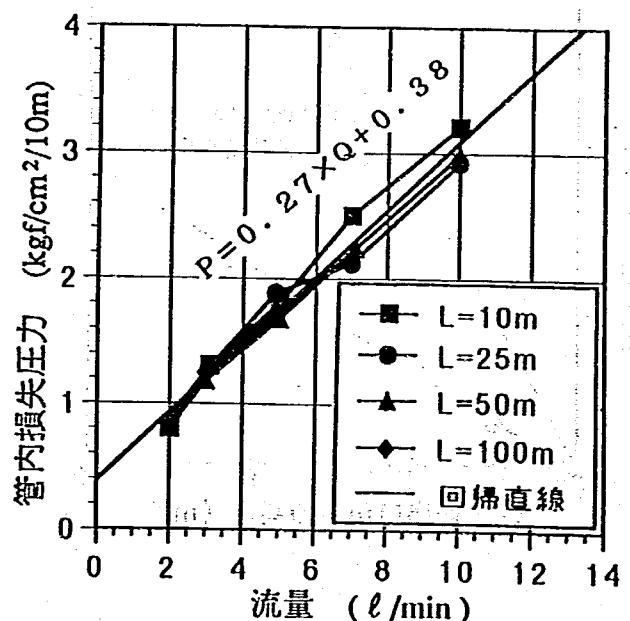


図-3.4.9 セメント系シール材の
管内損失試験結果 (注入管鉛直配置)



(a)配合1



(b)配合2

図-3.4.10 セメント系シール材の管内損失試験結果 (注入管水平配置)

(3)エポキシ系シール材

試験結果を表-3.4.7に示す。図-3.4.11はこれを図化したもので、管内圧力は吐出口からの距離に比例して増えていることが分かる。また、高粘度エポキシを送った場合には、低粘度エポキシに比べて管内圧力つまり損失圧力も高くなっている。また表-3.4.7には、試験の結果から直線近似により推定した垂直管長100mあたりの損失圧力も記入した。図-3.4.12はこれを粘度との関係で示した。損失圧力と粘度の間には比例関係が認められる。

表-3.4.7 エポキシ系シール材での管内損失圧力

エポキシ樹脂	粘度 (cP)	圧力(kgf/cm ²)			H=100mあたりの 損失圧力 (kgf/cm ²)
		H=2m	H=6m	H=10m	
低粘度エポキシ	800	0.27	0.90	1.57	16.3
高粘度エポキシ	2150	0.94	2.63	—	42.3

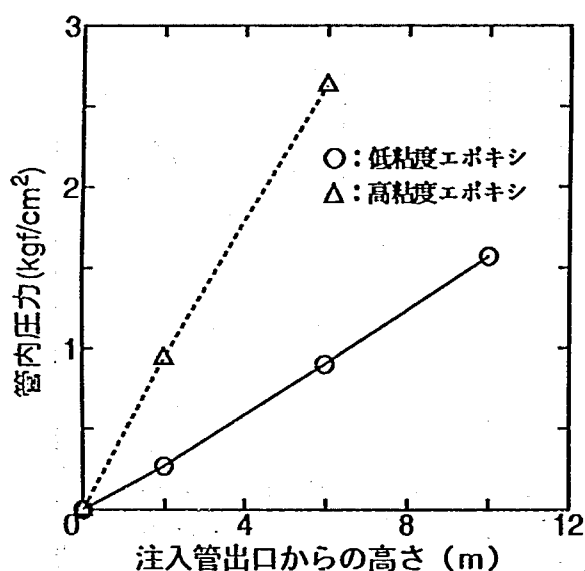


図-3.4.11 注入管出口からの高さ
と管内圧力の関係

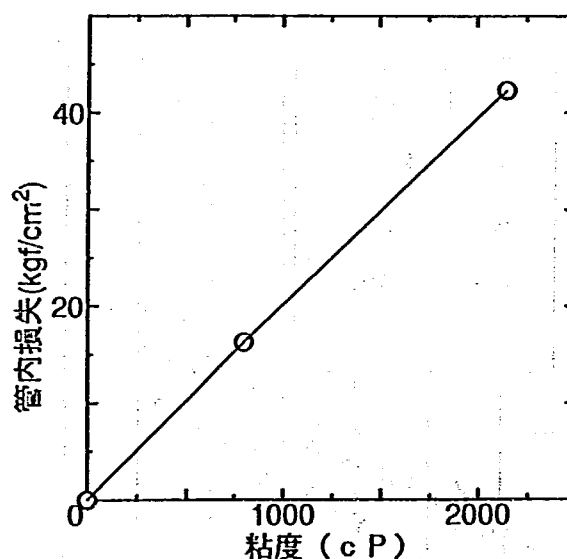


図-3.4.12 粘度と管長100mあたりの
損失圧力の関係

3.5 フィルタ材に関する検討

3.5.1 目的

シール材および設置方法の変更に伴い、各種のフィルタ材（砂）についてのその物性およびシール材に対する耐浸透性を確認することを目的とする。

3.5.2 試験概要

(1)使用材料

実験に使用したシール材はセメント、ウレタン、エポキシ系シール材で、3.3.2 (1)に示した材料と同じである。また、フィルタ材には、狭い孔内での設置という使用条件を考慮して、最大粒径2mm以下の砂を使用することにした。

(2)シール材の配合

実験に使用したシール材の配合は、セメント、ウレタン、エポキシ系シール材とも3.4.2 (3)で示した配合と同じである。ウレタン系シール材およびセメント系シール材は、それぞれ表-3.4.3および3.4.4に示す2配合とも試験に供した。

(3)試験方法

(a) 砂の物性試験

フィルタ材とした表-3.5.1に示す砂について、粒度試験、および透水試験を行った。

表-3.5.1 使用した砂の種類

分 類	種 類
標準砂	豊浦標準砂
珪 砂	4号, 5号*, 6号, 7号*, 8号*
山 砂	茨城産山砂
川 砂	利根川産川砂 鬼怒川産川砂(2mm7分ゲ-洗い砂)

* : 耐浸透試験に使用

(b)シール材耐浸透性確認試験

1)ウレタン系シール材

内径10cm、長さ12cmの亚克力パイプの下半分に標準砂をゆるく詰め、その上半分にシール材を注ぎ、3kgf/cm²（比重1.2程度、シール区間20mm想定）の圧力でフィルタ材中へ浸透させた。

2)エポキシ系シール材

内径6.6cm、長さ200cmの亚克力パイプに150cmの深さまでフィルタ材を水中落下により詰め、その上にシール材を40cm厚程注ぎ、3kgf/cm²の圧力（比重1.2程度、シール区間20mm想定）でフィルタ材中へ浸透させた。なお実験ケースを表-3.5.2に示す。

表-3.5.2 実験ケース (エポキシ系シール材)

砂の種類	低粘度	中粘度	高粘度
標準砂	740cP	1800cP	4240cP
珪砂7号	720cP	1760cP	4520cP
珪砂8号	680cP	1760cP	4120cP

3)セメント系シール材

内径5cm、長さ18cmの亚克力パイプの下半分に珪砂を自然落下により詰め、その上半分にシール材を注ぎ、3kgf/cm²の圧力（比重1.5程度、シール区間20mm想定）でフィルタ材中へ浸透させた。

3.5.3 試験結果および考察

(1)砂の物性試験

粒度試験および透水試験結果を図-3.5.1および表-3.5.3に示す。いずれの砂も 1×10^{-2} cm/sオーダーの透水係数の砂であった。

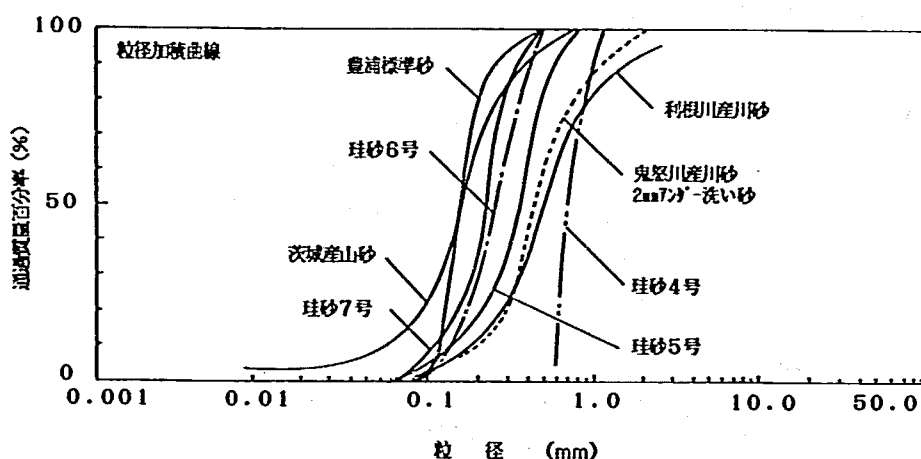


図-3.5.1 砂の粒度加積曲線

表-3.5.3 主な砂の透水係数

砂の種類	透水係数(cm/s)	備考
豊浦標準砂	1.8×10^{-2}	定水位透水試験
利根川産川砂	3.0×10^{-2}	定水位透水試験
茨城産山砂	3.4×10^{-2}	定水位透水試験
鬼怒川産川砂 (2mm7分洗い砂)	2.8×10^{-2}	定水位透水試験
珪砂4号	3.6×10^{-2}	A. Hazenの公式 ⁴⁾ より
珪砂5号	3.6×10^{-2}	定水位透水試験
珪砂6号	2.0×10^{-2}	A. Hazenの公式 ⁴⁾ より
珪砂7号	2.0×10^{-2}	定水位透水試験
珪砂8号	2.0×10^{-3}	A. Hazenの公式 ⁴⁾ より

(2) シール材耐浸透性確認試験

(a) ウレタン系シール材

それぞれの配合での浸透長を表-3.5.4に示す。フィルタ材への浸透は両配合共9mmと短く問題ない。

表-3.5.4 フィルタ材への浸透長 (ウレタン系シール材)

配合	浸透長(mm)
配合 1	9
配合 2	9

(b) エポキシ系シール材

それぞれの実験ケースでの最終浸透長を図-3.5.2に示す。目標粘度である2,600cP程度では、浸透長は10mm以下であり全く問題ない。

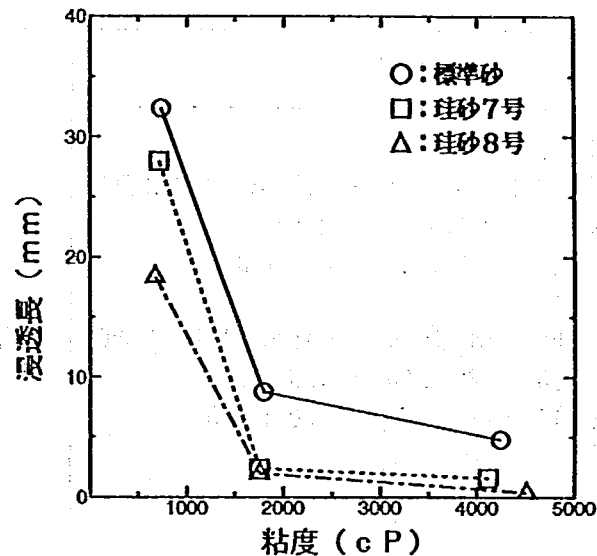


図-3.5.2 粘度とフィルタ材への浸透長 (エポキシ系シール材)

(c) セメント系シール材

それぞれの実験ケースでの最終浸透長を表-3.5.5に示す。

浸透長は最大でも2.5cmと短く、フィルタ材への浸透は全く問題ない。

表-3.5.5 フィルタ材への浸透長 (セメント系シール材)

砂の種類	配合 1	配合 2
珪砂 5号	2.5cm	2.5cm
標準砂	1.6cm	1.4cm
珪砂 7号	1.0cm	0.5cm

3.6 シール材およびフィルタ材の決定

以上の試験により、次のようにシール材の配合を決定した。

ウレタン系シール材は、いずれの配合でも圧送可能であり、フィルタ材への浸透もほとんどないことから両配合を使用可能とした。

エポキシ系シール材は、温度の影響が大きいいため、圧送性に余裕のある低粘性エポキシを用いた配合とした。

セメント系シール材は、2種類の配合とも圧送性、耐浸透性もよかったが、圧送性に余裕があるため、より浸透しにくい粘性の高い方の配合とした。

フィルタ材はいずれのシール材でも標準砂程度であれば十分であった。

よって、孔径66mm孔で使用するシール材の配合およびフィルタ材を、それぞれ表-3.6.1に示すとおりとした。

表-3.6.1 孔径66mm孔で使用するシール材およびフィルタ材

シール材の種類	シール材の配合	フィルタ材	備考
ウレタン系	・使用材料 ウレタン (ポリウレタンW-600:第一工業製薬) 粘土 (SCP-A:ベントナイト産業) 増粘剤 (エシヨット:第一工業製薬) ・配合 ウレタン:粘土:水:増粘剤*(A-10:F-350) 配合1 20:20:60:1.0:2.5 配合2 15:15:70:1.0:2.5	標準砂程度	・直接法に変更し、シール材の粘性を低下させた。 ・ウレタンの粘度は孔内の水温等に大きな影響を受けるので、現場状況に応じた配合とする。
エポキシ系	・低粘度エポキシ1517L ・配合 主剤(A液) 66.7% 硬化剤(B液) 33.3%	標準砂程度	・シール材の温度管理を厳重に行う。
セメント系	・配合 超速硬セメント 50% (ライオンセメント:大阪セメント) 水 50% 増粘剤* 0.6% (7スクリューD:信越化学工業)	標準砂程度 (珪砂5号程度でも可)	・注入パイプを細径化し、シール材の粘性を低下させた。

*水重量に対する百分率

参考文献

- 1)建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室ほか：ボーリング孔内の多段遮水方法に関する共同研究報告書，建設省土木研究所共同研究報告書，第43号，pp.18～46，1990年 8月.
- 2)山口嘉一：新しい地下水圧測定システム，土木技術資料，Vol.33，No.4，pp.12～13，1991年 4月.
- 3)前掲1)，第43号，pp.187～201，1990 年 8月.
- 4)土質工学会：土質工学ハンドブック，pp.69～70，1982年.

4. シール材・フィルタ材の設置方法および設置の留意点

4. 1 概説

3章においてMGLシステムの小口径化のために改良したシール材の基本的な物性を把握し、各材料が十分な機能を有することを確認した。また、同時に用いるフィルタ材の機能に関する検討を実施し、同様の結論を得た。本章では、現場施工を念頭におき、シール材・フィルタ材の設置方法、設置位置確認方法および設置したシール材の効果確認方法について述べる。さらに、シール材の孔外への逸出や孔壁の状態に応じたシール効果についても詳細に検討する。

なお、ウレタン系およびセメント系シール材を用いた場合と、エポキシ系シール材を用いた場合とでは、施工方法が若干異なるため、ここでは分けて述べる。

4. 2 ウレタン系およびセメント系シール材の設置

4. 2. 1 シール材の設置および設置位置確認方法

(1) 設置方法

(a) 使用機材

主な使用機材を表-4.2.1 に示す。

表-4.2.1 使用機材

名 称	仕 様 、 他
注 入 管	ナイロン製チューブ (表-3.4.1 参照)
注入管挿入用ガイド管	外径30mm、内径21mm鋼製管 (フィルタ材設置時、トレミ管として使用)
注入ポンプ	汎用グラウトポンプ
位置センサ	シール材液面位置感知センサ (図-4.2.3 参照)
	充填深度確認センサ (図-4.2.4 参照)
その他	ボーリングマシン、櫓、工具

(b) 設置方法

孔内に注入するシール材の量は、削孔による孔膨れはないものとして式 (4.2.1)より求める。

$$Q = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \quad (4.2.1)$$

ここで、
 Q : 孔内に圧送するシール材の量 (cm^3)
 D_1 : 孔 径 (cm) 6.6cm
 D_2 : MGLパイプの外径 (cm) ... 3.5cm
 h : シール区間長 (cm)

シール材充填作業は、以下の手順で実施する。

① 孔底深度を充填深度確認センサ (図-4.2.4 参照)

を用いて測定する。

② ガイド管を充填区間の最上部から1m程度上まで引き上げる。

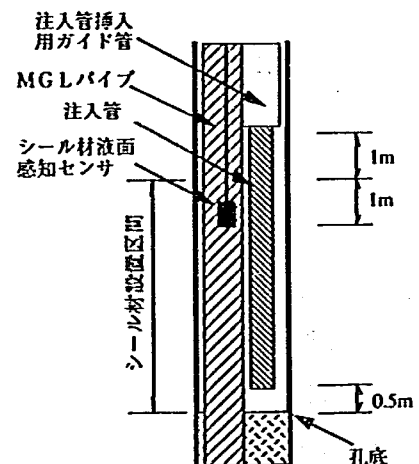


図-4.2.1 シール材注入時の孔内状況

③ 注入管およびシール材液面感知センサ（図-4.2.3 参照）を図-4.2.1 に示す位置にセットする。このとき、注入管はガイド管を介して挿入する。

④ 所定量のシール材をハンドミキサを用いて作液する。このとき、セメント系シール材に比べウレタン系シール材は可使時間が温度に大きく依存して異なる傾向があるため、ウレタン系シール材に関しては孔内水温、練混ぜ水温および気温等を勘案して配合を決定する必要がある。

⑤ グラウトポンプを用い、所定量のシール材を徐々に注入する。注入中は、液面感知装置を用いて過剰注入とならないように注意する。

⑥ 注入完了後、注入管を全て引き抜き、注入ガイド管中に清水を送り管内の清掃を行う。

⑦ シール材の養生（4時間以上）完了後、充填深度確認センサを用いてシール材の上面位置を測定する。このとき、予定よりも1m厚以上欠損している場合は、欠損部分の再注入を行う。

なお、ガイド管の挿入作業は、孔内に残された間隙が非常に少ないため、図-4.2.2 に示す先端ガイドを作製してMGLパイプと同時に孔内へ建込み、必要に応じて引き上げる方法を採用した。

(2) 設置位置確認方法

(a) シール材の液面位置の確認方法

一般に地下水は無色透明であるのに対し、ウレタン系およびセメント系シール材は懸濁液であることから、両者の光の透過度は著しく異なる点に着目し、図-4.2.3 に示すシール材液面感知センサを作製した。本センサは、光の強さにより抵抗値が変化する光センサと、光源（豆電球）とを組み合わせたもので、光源と光センサの間に懸濁液であるシール材が浸入すると光源からの光が遮断され、光センサの抵抗値が変化する仕組みとなっている。したがって、これを孔内に挿入しながら、地上でテスタを用いて光センサの抵抗値を監視すれば、シール材液面の位置を知ることができる。

(b) 硬化後のシール材上面位置の確認方法

充填区間の上面深度の測定には、図-4.2.4 に示す充填深度確認センサを用いる。

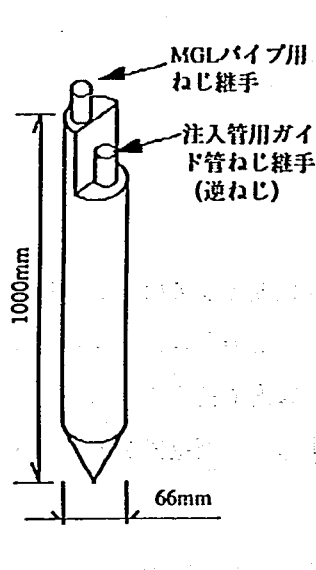


図-4.2.2 建込み用先端ガイド

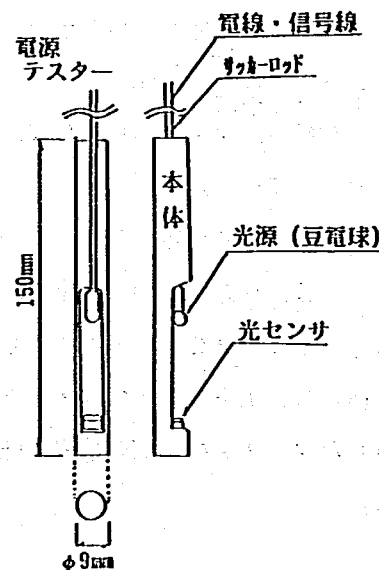


図-4.2.3 シール材液面感知センサ

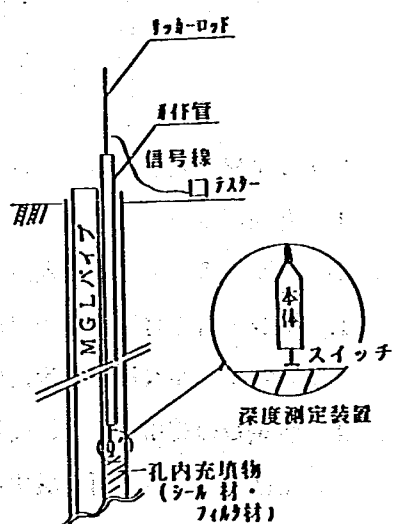


図-4.2.4 充填深度確認センサ

本センサの先端にはプッシュ式のスイッチが装着されており、これが何かに接触し、外力（圧縮）が作用するとスイッチの先端部が押し込まれ、“ON”の状態となる。したがって、地上でテスト等を用いてスイッチの“ON-OFF”を監視すれば、容易に設置区間の上面深度を知ることができる。

なお、誤作動を防止するため、ガイド管を介して本センサを挿入する必要がある。

(3) シール効果確認試験

シール効果確認試験は、設置したシール材が正常なシール効果を発揮していることを確認する目的で実施する。

試験方法を図-4.2.5 に示す。本試験では、孔壁とMGLパイプの間に注水し、孔内水位を上昇させながら、当該シール区間の上下に位置する水圧計AおよびBの指示値の変動状況を測定する。試験結果、水圧計Aの指示値が孔内水位の上昇に追従するのに対し、水圧計Bの指示値が変動しないか、あるいは水圧計Aと比較して著しく変動が鈍い場合、正常なシール効果を発揮していると判断できる。

4. 2. 2 フィルタ材の設置および設置位置確認方法

(1) 設置方法

孔内に設置するフィルタ材の量は、削孔による孔膨れはないものとして式(4.2.2)より求める。また、フィルタ材の湿潤単位体積重量は、砂の種類および含水状態によって異なるため、実際に用いる1kgの砂をメスシリング中で水中沈殿させ、占める砂の体積から求める。よって、ここでのいう湿潤単位体積重量とは、厳密な意味での湿潤単位体積重量ではない。

$$W = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \times \gamma_f \quad \dots \dots \dots (4.2.2)$$

ここで、
W : 孔内に圧送するフィルタ材の量 (g)
D₁ : 孔 径 (cm) 6.6 cm
D₂ : MGLパイプの外径 (cm) 3.5 cm
h : フィルタ材充填区間長 (cm)
γ_f : フィルタ材の湿潤単位体積重量 (g/cm³)

フィルタ材の設置作業は、以下の手順で行う。

- ① 孔底深度を充填深度確認センサを用いて測定する。
- ② トレミ管（注入管挿入用ガイド管）を充填区間の最上部から1m程度上まで引き上げる
- ③ トレミ管を経由して所定量のフィルタ材を水とともに流し込む。このとき、サッカーロッド（フレキシブルな棒）を管内に挿入し、上下動させてフィルタ材が管内で詰まらないようにする。
- ④ 所定量の充填完了後、設置したフィルタ材上面の位置を確認する。上面位置が予定よりも50cm以上低い場合は、再充填する。

(2) 設置位置確認方法

フィルタ材の設置位置確認方法は、4. 2. 1で述べた硬化後のシール材の設置位置確認方法と同様である。

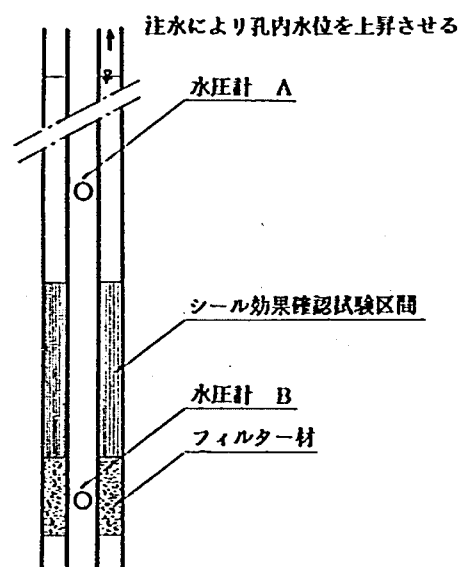


図-4.2.5 シール効果確認試験

4. 3 エポキシ系シーリング材の設置

4. 3. 1 シール材の設置および設置位置確認方法

(1) 使用機材と仕様

主な使用機材を表-4. 3. 1に示す。

表-4. 3. 1 使用機材

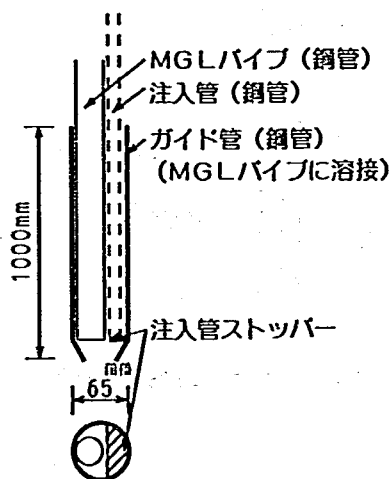
名 称	仕 様 ・ 他
注 入 管	内径13mm、外径18mmの銅管、1本の長さ4m
注入ポンプ*	二液混合型定量ポンプ*、流量2ℓ/分、定格圧力100kg/cm ²
エポキシ加熱装置	定格容量100ℓ
位置センサ	図-4. 3. 3参照
そ の 他	櫓、チェーンブロック、小型発電機、工具等

(2) 設置方法

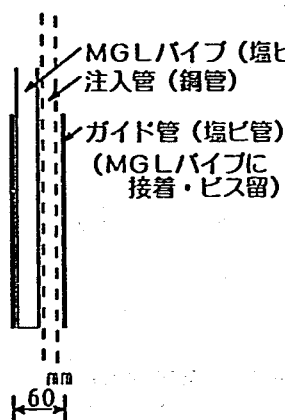
エポキシを孔内に送るための注入管は、MGLパイプと一緒に孔内に建て込む。この時、管の先端部に図-4. 3. 1に示すガイド管をつけている。このようにしている理由は、孔曲がりや孔壁の凹凸がある孔に対して、細い管を建て込むよりはむしろ孔径に近い太めの管を建て込む方が、スムーズに建て込めるという経験に基づいている。

MGLパイプは、鋼管を使用するケースと塩ビ管を使用するケース（地すべり地帯等）があり、使用するMGLパイプによってガイド管も異なる。鋼管MGLパイプの場合は、ガイド管も鋼管とし、両者を溶接する。ガイド管下部に半月状の鉄板を溶接し、注入管を受けるストッパーとしている。注入管はここに載せることができるので、建て込み作業中はMGLパイプのみを支えていれば良い。一方、塩ビ管MGLパイプを使用する場合、継ぎ手部の強度が大きいので注入管を載せて建て込む方法は使えない。そこで、輪切りにした塩ビ管をMGLパイプに固定してい

る。注入管は、先端をガイド管内もしくはガイド管よりもやや先行させる状態で、MGLパイプと一緒に建て込む。



(1) 鋼管用



(2) 塩ビ管用

図-4. 3. 1 建て込み用先端ガイド管

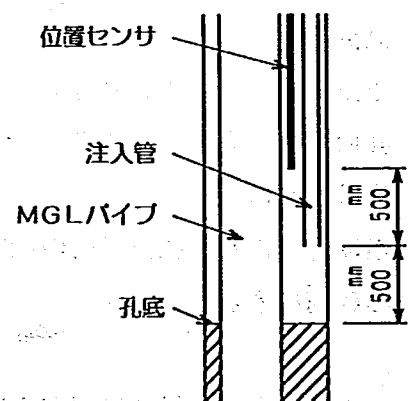


図-4. 3. 2 シール材充填開始時の孔内状況

エポキシは、以下の手順で設置する。

- ①位置センサ（図-4.3.3参照）で孔底深度を確認する。
- ②注入管と位置センサを図-4.3.2の位置にセットする。
- ③エポキシを30℃に加熱する。
- ④注入管に温水を送り、管内を暖める。
- ⑤エポキシの充填を開始する。
- ⑥位置センサがエポキシ面の到達を感知したら、充填を続けながら注入管と位置センサを0.5～1.0m引き上げる。
- ⑦⑥の方法を繰り返し、エポキシ面の位置を確認しながら予定深度まで充填する。
- ⑧注入ポンプ停止後、注入管をエポキシ面より上にあげて、管内のエポキシを温水で押し出す。
- ⑨孔内のエポキシの硬化を待つ（約1.5時間）、位置センサでエポキシの深度を確認する。
- ⑩エポキシ設置深度が計画範囲（地盤条件による差異はあるが、一般には水圧計の下1mから2mの範囲）に達しないときは、追加充填を行う。

エポキシ設置後、孔内注水試験を行って、エポキシの止水効果を確認する。具体的な方法は、4.2.1(3)を参照されたい。

(3) 設置位置確認方法

シール材やフィルタ材の設置位置の確認は、図-4.3.3に示す位置センサを使用して行う。樹脂ロッド（外径6mm）の先端に熱電対と電気抵抗センサを取り付けたもので、ケーブルはロッドに沿わせて固定しており、地上部で温度測定器と電気抵抗計に接続する。また、ロッドには、1m毎に深度目盛りをつけている。孔内へは、既設管（MGLパイプおよび注入管）と孔壁との隙間を利用して、直接、挿入する。測定項目と方法は、つぎのとおりである。

・物理抵抗を利用

挿入時の感触から、孔底深度、フィルタ材充填深度、硬化後のエポキシ深度を測定する。

・電気抵抗を利用

空気や水やエポキシの電気抵抗値の違いを利用して、孔内水位、充填中のエポキシ深度を測定する。

・温度計を利用

温度計により、孔内温度の測定、エポキシ硬化反応の確認をする。

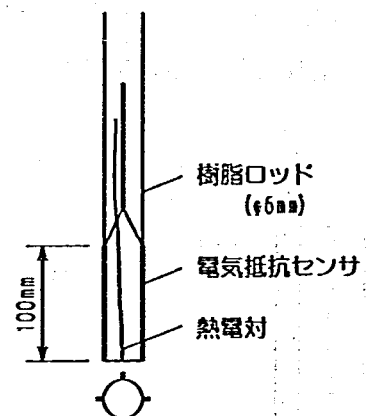
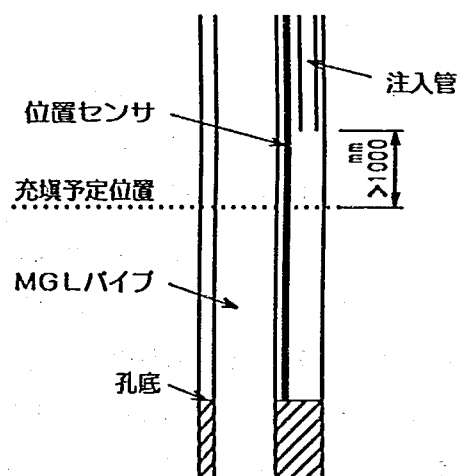


図-4.3.3 位置センサ

4.3.2 フィルタ材の設置および設置位置確認方法

フィルタ材としては、主に珪砂を使用している。設置手順は以下の通りである。

- ①位置センサで孔底深度を確認する。
- ②注入管はフィルタ材充填予定位置から1m以上上に固定し、位置センサは孔底に下ろす（図-4.3.4参照）。
- ③充填区間の容積から、充填に必要なフィルタ材の量を求め、その1/2を計量する。全量としないのは、フィルタ区間が予期した以上に長くなるのを防ぐためである。
- ④フィルタ材を、水とともに孔口から直接孔内に流し込む。この時、位置センサを上下させて、フィルタ材が途中で閉塞するのを防ぐ。
- ⑤孔底での堆積進行状況を位置センサによって調べ、堆積進行が止まるのを待って、設置深度を確認する。
- ⑥フィルタ材投入量と設置されたフィルタ区間長から、残りの区間を充填するために必要なフィルタ材の量を求め、計量する。
- ⑦④⑤の方法でフィルタ材を再充填し、設置深度を確認する。
- ⑧充填深度が計画範囲（地盤条件により異なるが、一般には水圧計の上1mから1.5mの範囲）に達しないときは、追加充填を行う。



設置位置確認方法は、4.3.1(3)を参照されたい。 図-4.3.4 フィルタ材充填開始時の孔内状況

4. 4 シール材の孔外逸出に関する検討

4. 4. 1 試験目的

シール材をボーリング孔内に設置する際、シール材が過度に孔外へ逸出すると、種々の問題点が生ずる。その問題点を列記すると、以下ようになる。

- 1) 本来の地盤の透水性に大きな変化をもたらし、測定孔周辺の水圧分布に変化を発生させる恐れがある。
- 2) 逸出したシール材が地盤を通じてフィルタ材あるいは水圧計部分にまで到達し、正確な水圧測定を困難にする恐れがある。
- 3) シール材注入量が増加しすぎて不経済であり、また、所定の深度までシール材を設置するのに時間及び注入回数が増える恐れがある。
- 4) シール材固化にも時間がかかる。

上記のような問題点が生ずるので、現状のシール材で、どのような透水係数の地盤でどの程度の動水勾配の地下水流条件下では逸出の問題なくシール材を孔内に設置することができるのかを検証する。また、現状のシール材の適用限界を明確にするとともに、いかなる改良をシール材に施すことができるのかを他の制約条件等も考え合わせて決定し、そのシール材配合についても言及できるように検討した。すなわち、透水性と流速（動水勾配）を数段階にわたって調整した透水性地盤に設けた模擬ボーリング孔において、各シール材（ウレタン、エポキシ、セメント系シール材）が注入作業によって固化前にどのくらい逸出するかを実験的に検証した。また使用した地盤材料（山砂及び川砂）に対して各シール材が、加圧下（3kgf/cm²）でどの程度浸透するのか検証した。

4. 4. 2 試験方法

(1) 模擬地盤材料の選定

模擬地盤に使用する材料は、その粒度によって透水係数の概略値を推定し、選定した。透水係数の推定は、Hazen 式あるいはCreager 等の方法によった。また、選定した模擬地盤材料について基本的な土質試験（粒度試験、透水試験、締固め試験等）も併せて実施した。

(2) シール材の配合

本試験に用いたシール材は、表-3.6.1に示した配合を用いて行った。

(3) 試験方法

試験としては、まず(a)で示す模擬地盤でのシール材の逸出試験を行い、その結果をふまえ、(b)で示すシール材の模擬地盤材料への浸透試験を行った。

(a) 模擬地盤でのシール材の逸出試験の方法

逸出試験での試験方法を以下に示す。ただし、模擬地盤の透水性の設定及び地盤内浸透流速（動水勾配）は表-4.4.1に示した。

- 1) 図-4.4.1に示す水槽のB部分に(1)でその透水性を試験・調整した地盤材料を詰める。
- 2) 1)で地盤材料を水槽内に詰める際に、開口率34%の穴を設けた塩ビパイプを50cmピッチで3本

一緒に建込み、模擬ボーリング孔とする。この塩ビ管の周囲には、網を巻き、地盤材料が模擬ボーリング孔内に入らないようにする。また、地盤内にマノメーターを設置して（図-4.4.2参照）地盤内の水位分布を把握する。

- 3) 模擬ボーリング孔底にフィルタ材（2mm アンダー洗い砂）を厚さ20cmで設置する。これは、模擬ボーリング孔の底部キャッピングのためである。
- 4) 水槽内の模擬地盤を十分に飽和させた後、模擬ボーリング孔を用い、透水試験を行う。これから得られた透水係数と、5)の水槽排出量から求めた透水係数とを比較する。
- 5) 水槽のA（上流側）、C（下流側）部分の水位を調整し、動水勾配を設定する。
- 6) シール材の注入前に下流側水槽の排水量と両水槽内の水位 H_1 （上流側）、 H_2 （下流側）を測定し、C部分からの排水量より、模擬地盤の透水係数を求める。
- 7) 2)で設けた孔内にそれぞれ、ウレタン系、エポキシ系、セメント系のシール材を所定量注入する。なお、使用したシール材について粘度と硬化時間等を測定し、品質管理を行う。
- 8) 注入したシール材が固化した後（養生後）、地盤中より固化したシール材を掘り出し、注入量と固化部分の体積等を比較し、その逸出率を求め、またシール材の逸出方向・形状等を観察する。

なお、逸出試験の試験ケースについては、模擬地盤の透水性（透水係数： k ）と、地下水の流速（動水勾配： i ）が重要な試験要素である。この k と i をそれぞれ2ケース設定し、それらの組み合わせで計4ケースの試験を行った。 k と i の基本的な組み合わせを表-4.4.1に示す。

表-4.4.1 逸出試験の試験ケースの組合せ

試験NO.	目標透水係数 k (cm/s)	地盤材料	動 水 勾 配 : i^*
1	10^{-3}	山 砂	0.27 ($H_1=140\text{cm}$, $H_2=100\text{cm}$, 水位差40cm)
2			0.60 ($H_1=140\text{cm}$, $H_2=50\text{cm}$, 水位差90cm)
3	10^{-2}	川 砂	0.27 ($H_1=140\text{cm}$, $H_2=100\text{cm}$, 水位差40cm)
4			0.60 ($H_1=140\text{cm}$, $H_2=50\text{cm}$, 水位差90cm)

* : $i = (H_1 - H_2) / L$, $L=150\text{cm}$, (図-4.4.1参照)

(b) シール材の地盤材料への浸透試験

(a) のシール材の逸出試験で使用した地盤材料（山砂及び川砂）に対して、各シール材が、 3kgf/cm^2 の加圧下でどの位浸透するのか検証した。その試験方法は以下の通りである。

- 1) 長さ1m、内径66mmの亚克力管に地盤材料を70cm詰める。
- 2) 地盤材料の上部にシール材を入れ、加圧装置により、 3kgf/cm^2 の圧力を6時間かける。
- 3) 加圧後、亚克力管よりシール材により固化しなかった地盤材料を洗い出し、シール材の浸透長を計測する（なお、亚克力管下端は開放された状態である）。

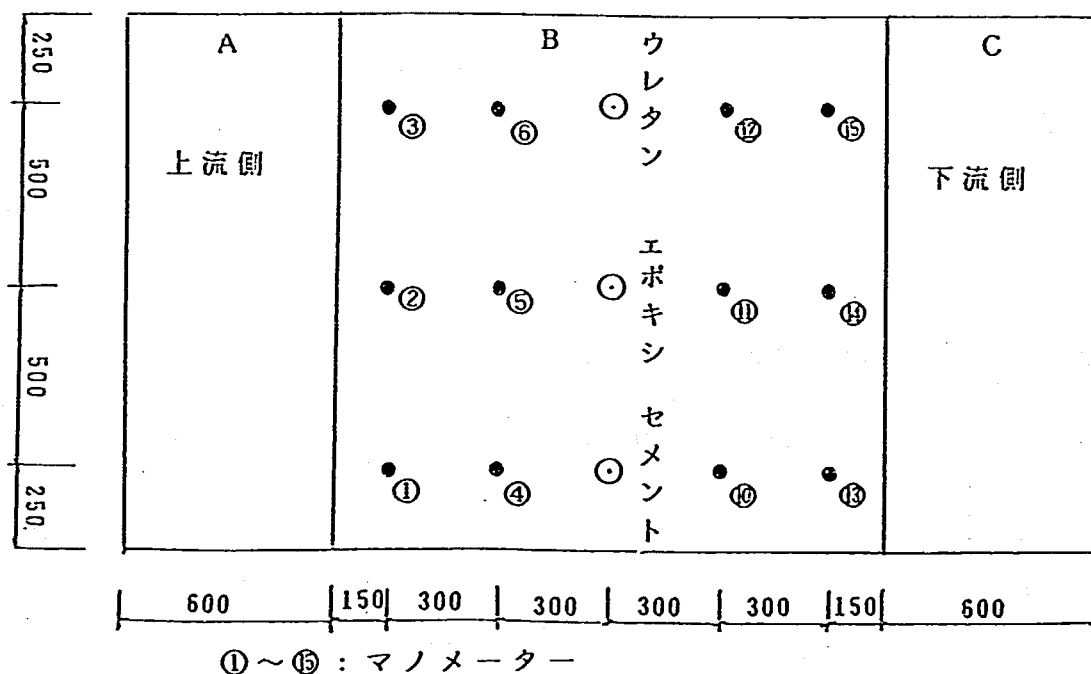
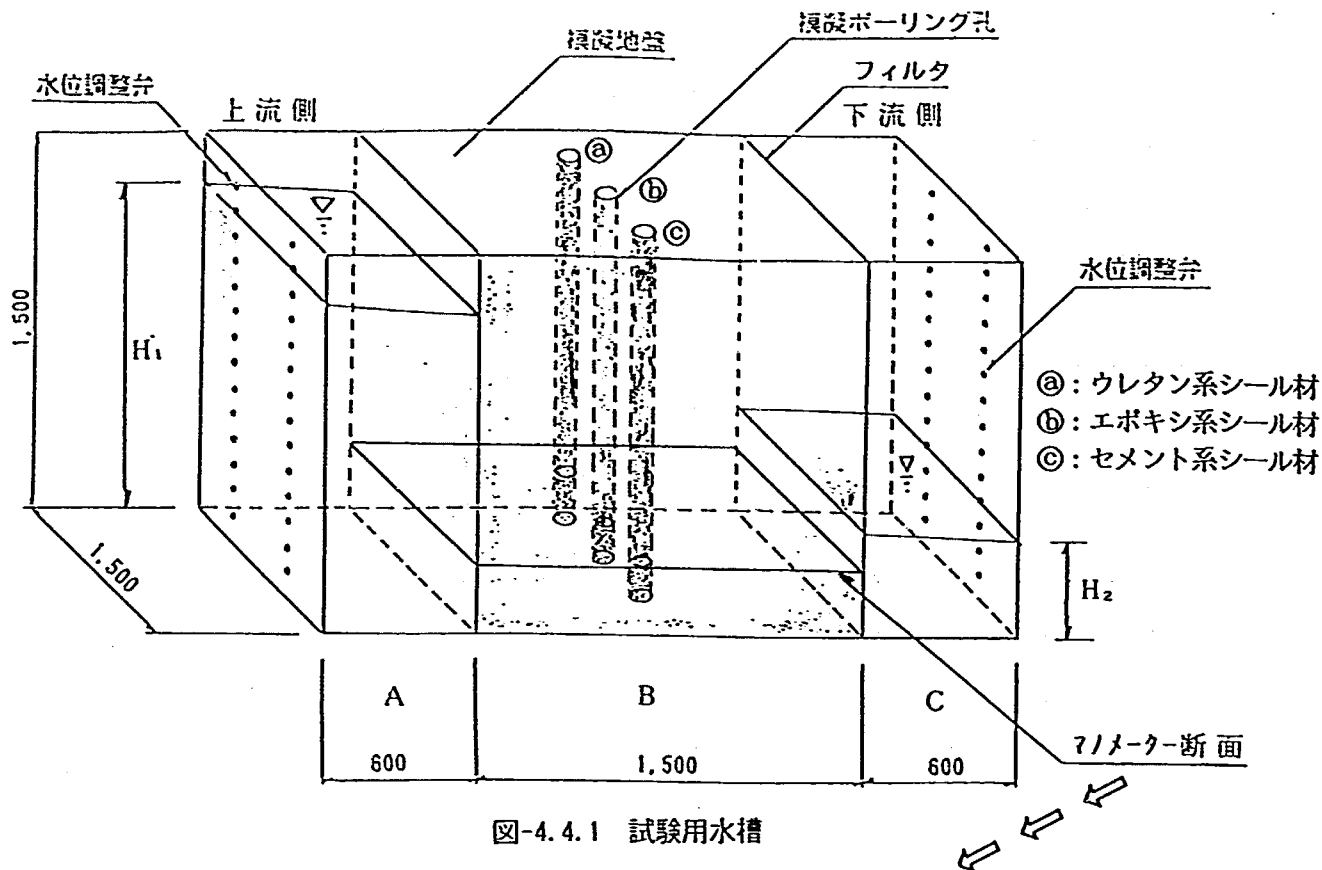


図-4.4.2 マノメーター設置位置

4. 4. 3 シール材逸出試験結果

(1) 模擬地盤でのシール材の逸出試験

使用した模擬地盤材料については、粒度試験、室内定水位透水試験（表-4.4.2参照）、締固め試験等を行った。

これらの試験結果に基づき、4.4.2(a) に示した作業手順に従って水槽内に所定の品質を満たす砂

を投入、締め固めた。砂の投入時には、密度を砂置換法により4カ所の高さで測定した。また、模擬地盤完成後、水槽内を水で飽和させ、模擬孔を用いて定水位透水試験を行った。その測定値を、上・下流水槽内水位に差をつけ、浸透流を発生させ、下流側水槽からの排出水量によって求めた透水係数と比較した。表-4.4.2に模擬地盤材料に対して行った室内透水試験の結果概要を、また表-4.4.3に逸出試験での地盤材料の物性試験結果一覧、すなわち密度、透水係数及び流速を示した。

表-4.4.2 室内定水位透水試験結果

材 料	湿潤密度 (g/cm^3)	透水係数 (cm/s)
山 砂	1.60	6.71×10^{-3}
	1.65	1.69×10^{-3}
	1.70	8.49×10^{-4}
川 砂	1.60	3.10×10^{-2}
	1.65	2.31×10^{-2}
	1.70	2.17×10^{-2}

表-4.4.3 地盤材料の物性試験結果一覧

実験NO.	地盤材料	湿潤密度 (g/cm^3)	透水係数① (cm/s)	透水係数② (cm/s)	動水勾配 i	流速 (cm/s)
1	山 砂	1.74	2.19×10^{-3}	1.92×10^{-3}	0.27	5.84×10^{-4}
2	山 砂	1.74	4.40×10^{-3}	3.52×10^{-3}	0.60	2.64×10^{-3}
3	川 砂	1.75	2.33×10^{-2}	9.31×10^{-3}	0.27	6.21×10^{-3}
4	川 砂	1.73	1.70×10^{-2}	1.26×10^{-2}	0.60	1.02×10^{-2}

注) 透水係数①は下流側水槽からの排出水量、透水係数②は模擬孔での定水位透水試験により求めたものである。なお、流速は、排水量から求めた透水係数①により計算した。

(a) の 8) に示した試験方法に基づき、シール材の養生後、模擬ボーリング孔として使用した塩ビ管を掘り出し、図-4.4.3に示す①～⑧の8方向に対し、長手方向 5cm毎に塩ビ管に垂直に逸出厚さを計測した。また、図-4.4.4に、縦断方向断面積の求め方を示した。各実験での模擬孔から深度方向に 5cm毎の平均逸出幅を示したものが図-4.4.5であり、各測定点でのシール材の逸出量の、模擬孔に対して縦断方向の面積をまとめたものを図-4.4.6に示す。またこの結果をシール材毎にまとめたものが図-4.4.7である。以下に各々の試験状況及び結果を記す。

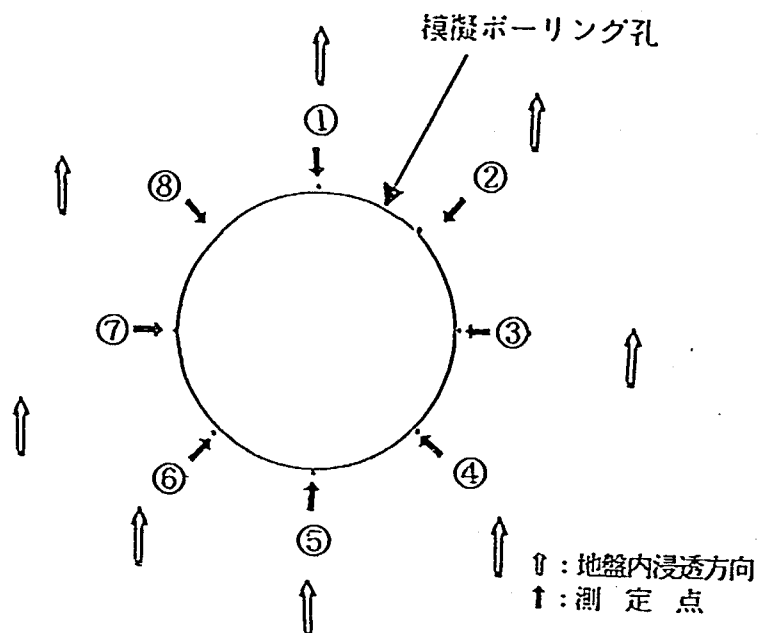


図-4.4.3 逸出量の測定点

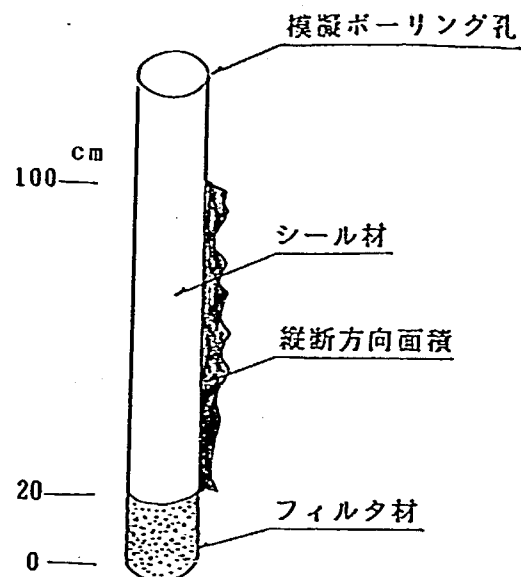


図-4.4.4 縦断方向断面積の求め方

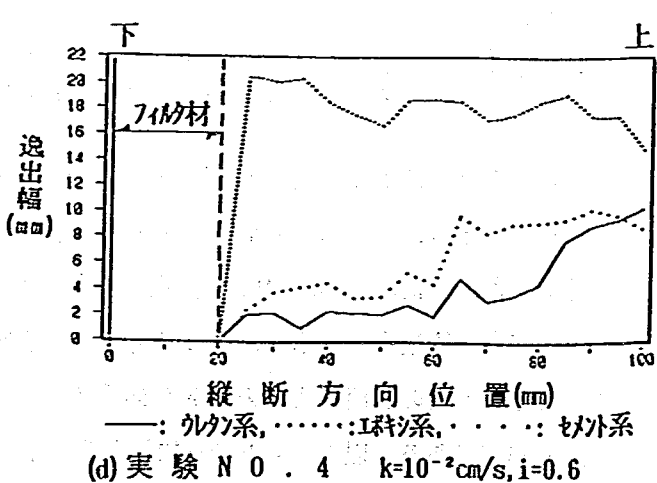
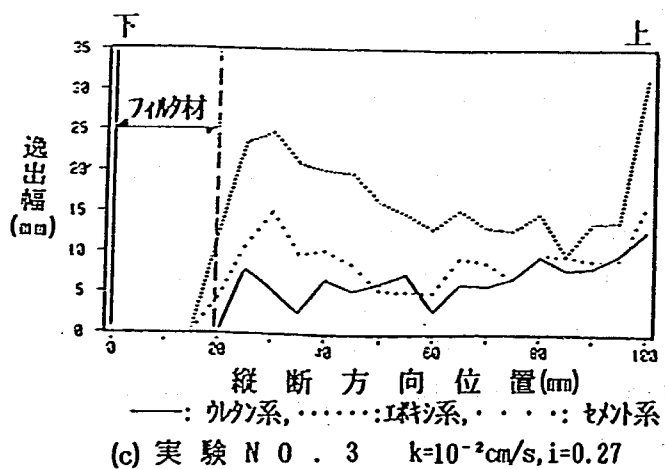
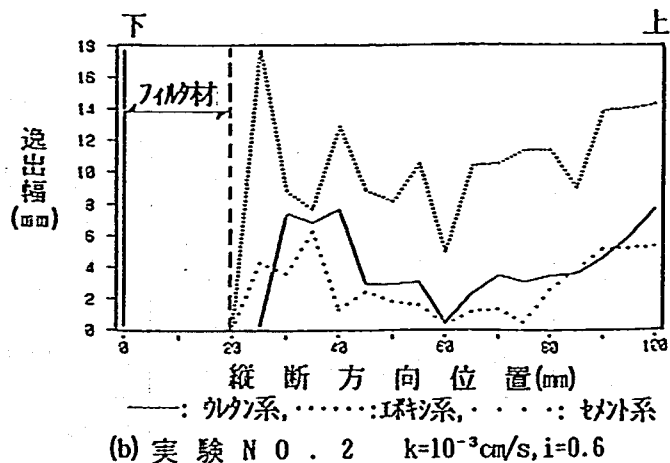
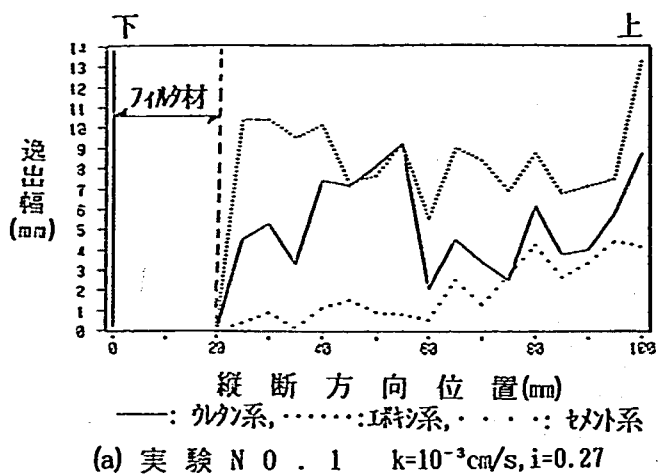
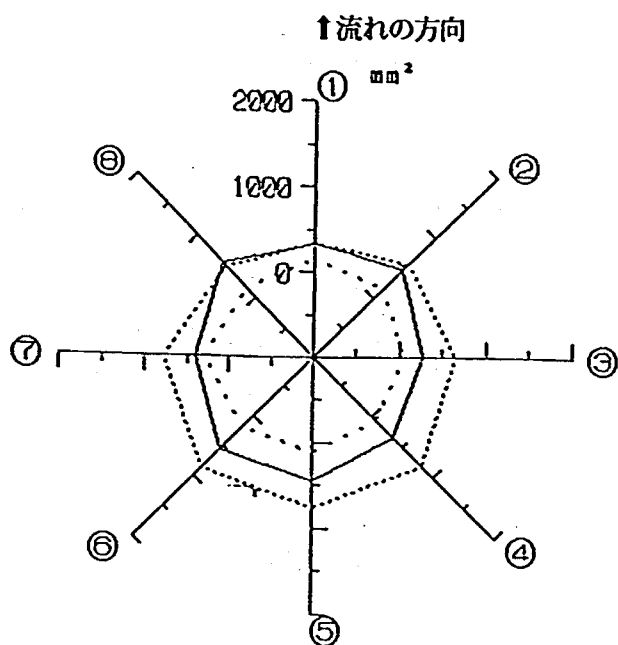
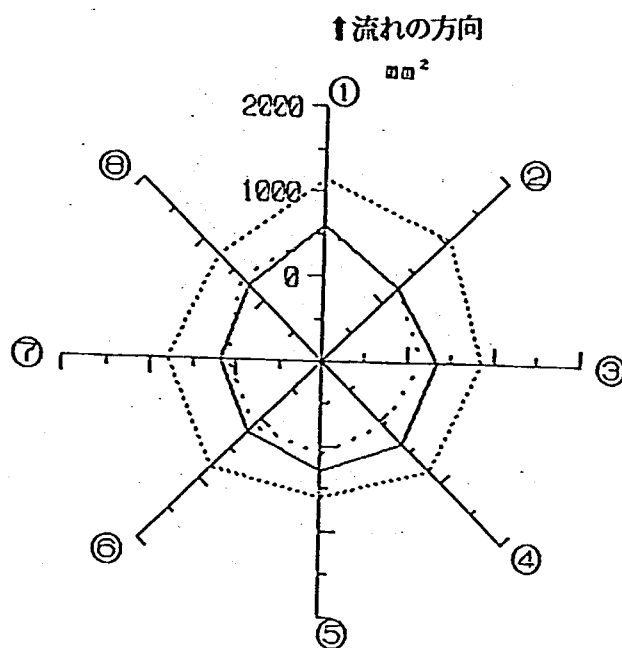


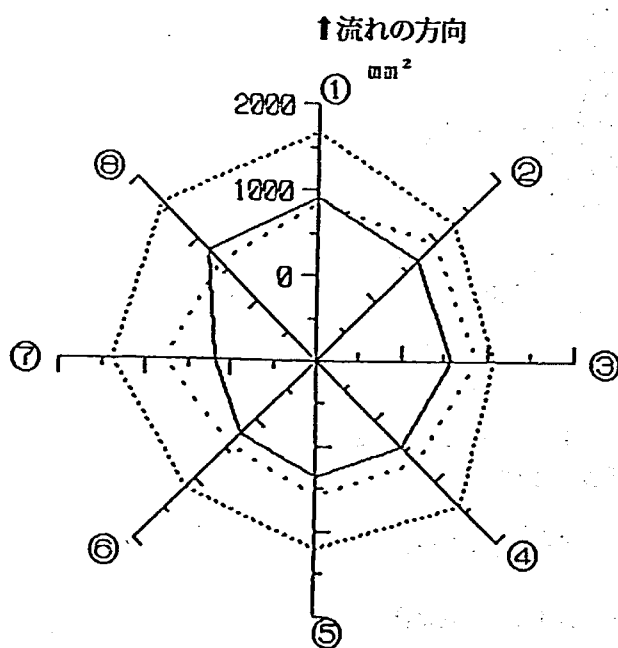
図-4.4.5 シール材の逸出幅



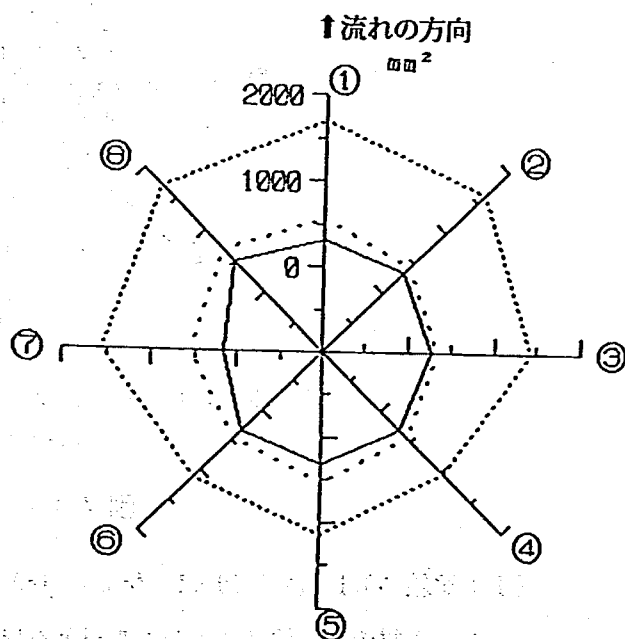
—: ウチノ系, ...: I科ノ系, - · - ·: セノ系
(a) 実験 N 0 . 1 $k=10^{-3}\text{cm/s}$, $i=0.27$



—: ウチノ系, ...: I科ノ系, - · - ·: セノ系
(b) 実験 N 0 . 2 $k=10^{-3}\text{cm/s}$, $i=0.6$

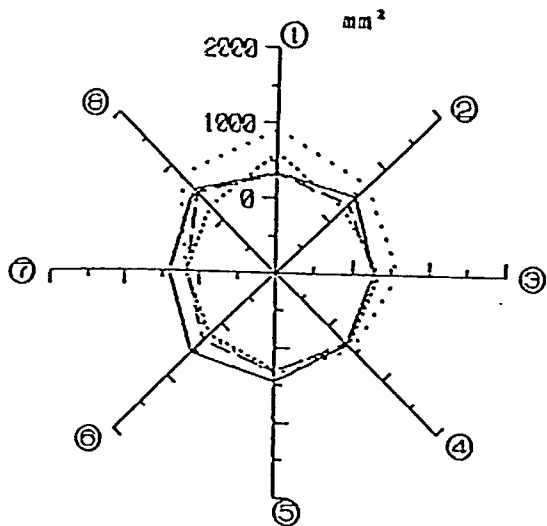


—: ウチノ系, ...: I科ノ系, - · - ·: セノ系
(c) 実験 N 0 . 3 $k=10^{-2}\text{cm/s}$, $i=0.27$



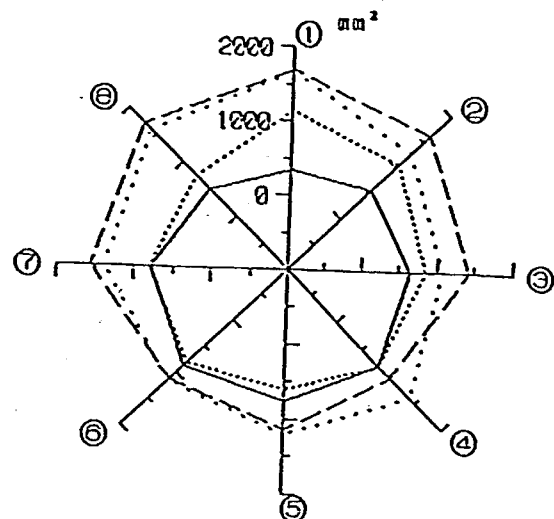
—: ウチノ系, ...: I科ノ系, - · - ·: セノ系
(d) 実験 N 0 . 4 $k=10^{-2}\text{cm/s}$, $i=0.6$

図-4.4.6 縦断方向面積



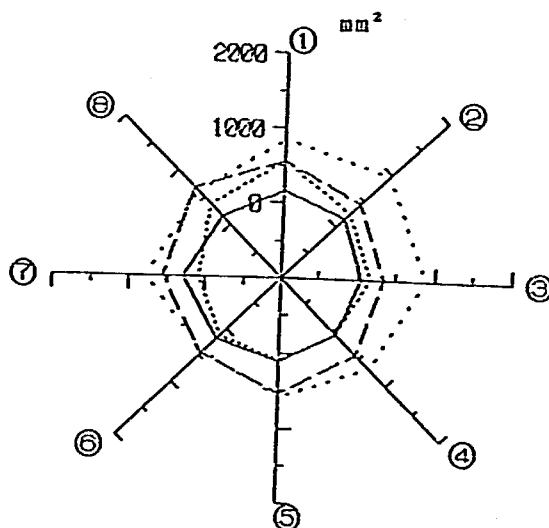
—: 実験NO.1 : 実験NO.2 : 実験NO.3 ---: 実験NO.4

(a) ウレタン系シール材



—: 実験NO.1 : 実験NO.2 : 実験NO.3 ---: 実験NO.4

(b) エポキシ系シール材



—: 実験NO.1 : 実験NO.2 : 実験NO.3 ---: 実験NO.4

(c) セメント系シール材

図-4.4.7 各シール材の逸出傾向

(I) 実験 NO.1 ($k=2.19 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, $i=0.27$, $v=5.84 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$)

シール材の逸出幅は、各シール材ともほぼ 0～10mm 程度、最大でもエポキシ系シール材の 13mm 程度であり、周辺地盤へ影響を与える逸出量とは考えられない。また、地盤内浸透方向に対しても顕著な特徴は見られない (図-4.4.6(a) 参照)。

(Ⅱ) 実験 NO.2 ($k=4.40 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, $i=0.6$, $v=2.64 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$)

図-4.4.6(b) によれば、各シール材とも流速方向に対してややシール材の逸出が大きい傾向がある。しかし、(Ⅰ)と同様に逸出幅はウレタン・セメント系シール材で5~8mm、エポキシ系シール材で20mm程度と小さく、周囲への大きな影響は考えられない。

(Ⅲ) 実験 NO.3 ($k=2.33 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$, $i=0.27$, $v=6.21 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$)

(Ⅰ) 及び (Ⅱ) に比べて逸出量はやや大きい。図-4.4.6(c) によれば、浸透下流方向への逸出が顕著になる傾向にある。

(Ⅳ) 実験 NO.4 ($k=1.70 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$, $i=0.6$, $v=1.02 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$)

エポキシ系は、流速方向等に関係なく一様にシール材が逸出している。しかし、ウレタン・セメント系はエポキシ系に比べ、逸出量は小さいが、流速の影響を受けている。図-4.4.6(d) によればエポキシ系の逸出幅は、高さ(位置水頭の影響)に関係ない。

(Ⅴ) 実験 NO.1 ~ NO.4 まとめ

(Ⅰ) ~ (Ⅳ) の結果を見ると、多少流速の影響を受けてはいるが、最大でもシール材の逸出幅は30mm程度と小さく、周辺地盤に悪

影響を及ぼす程の逸出ではな

い。深度による逸出状況の差に

ついては、上下流水位差が大き

い場合は自由水面近傍となる浅

部ほど、またシール材自体の自

自重圧の影響を考えると、下端部

ほど逸出量が多くなるはずであ

る。試験結果は図-4.4.5に示し

た通り、部分的には上記のよう

な傾向が見られるが、全体とし

てはバラツキが大きく、あまり

明瞭な傾向とはなっておらず、

試験ケースによってはまったく

認められない場合もある。これ

は模擬ボーリング孔長があまり

長くないので、上下端での流

速、自重圧による差が小さく、明瞭な差がでにくいこと、模擬地盤締固め状態が必ずしも均一になっ

ていないことなどが影響しているものと考えられる。流向の影響については、図-4.4.7から、ウレタ

ン系及びセメント系は、逸出量は小さいが逸出したシール材は流向(地盤内浸透方向)の影響を受け

る傾向がある。またエポキシ系シール材は流向の影響は無く、ほぼ一様に模擬ボーリング孔の周囲へ

逸出する。図-4.4.8に流速とシール材の逸出率との関係を示す。本図から各シール材とも流速に比例

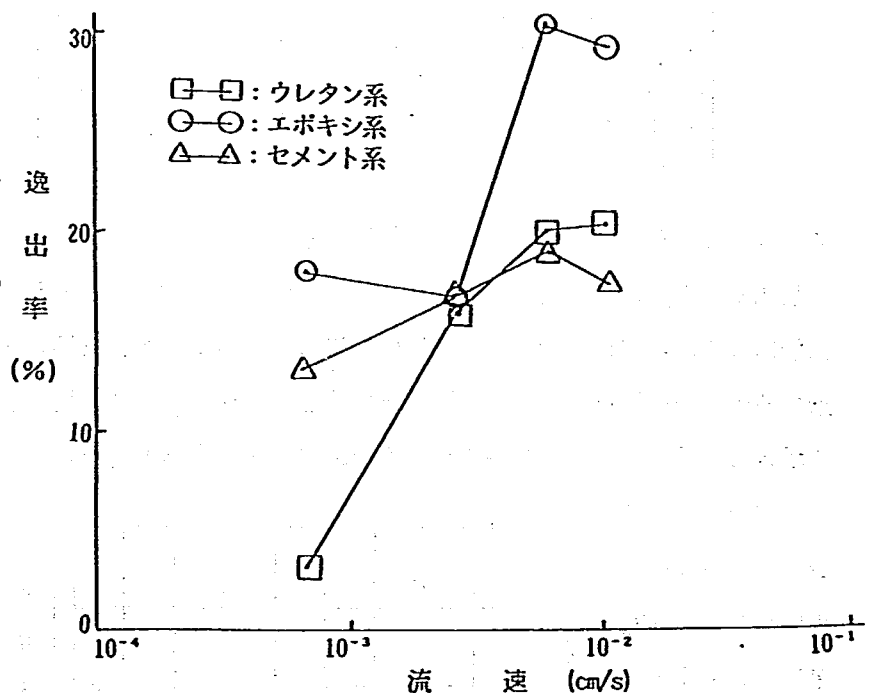


図-4.4.8 流速とシール材の逸出率

して逸出率が大きくなる傾向が認められる。

(2) シール材の地盤材料への浸透試験

表-4.4.2から、アクリルパイプに詰める地盤材料（山砂及び川砂）の湿潤密度は 1.70g/cm^3 とした。また、その時の含水比は、山砂12%、川砂9%であった。表-4.4.4に、シール材浸透長の測定結果一覧を示す。ウレタン系、セメント系シール材は、10mm程度の浸透で殆ど材料中には浸透しなかったが、エポキシ系シール材は最大で400mm程度浸透し、他のものと比べるとやや浸透長が長い。しかし現場施工の際は、本実験で採用した加圧力(3kgf/cm^2)に比べ、加圧力が小さいことから他への悪影響は及ぼさないと考えられる。

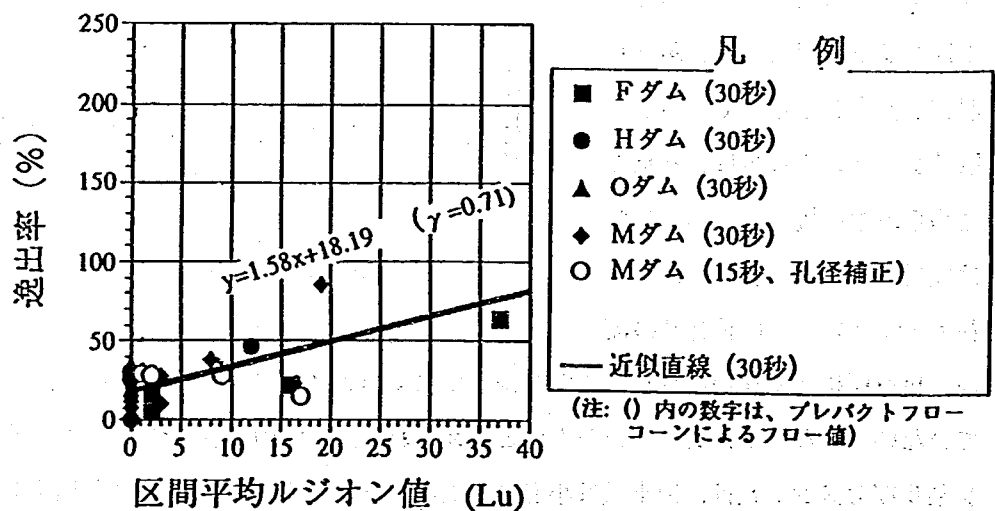
表-4.4.4 シール材浸透長の測定結果一覧

地盤材 シール材	模 擬 地 盤 材 料	
	山 砂 (mm)	川 砂 (mm)
ウレタン系	12	10
エポキシ系	181	420
セメント系	10	8

4. 4. 4 実施工におけるシール材逸出率

前項までにおいて、殆ど注入圧が作用しない場合の地下流速とシール材逸出に関する関係及び実験に使用した地盤材料（山砂および川砂）に対して各シール材を 3kgf/cm^2 で加圧したとき、どの程度浸透するのか検証した。本項では既往現場施工データを基に注入圧（最大 3kgf/cm^2 程度）が作用している場合の地盤の透水性とシール材の逸出率に関する考察を行う。

図-4.4.9にセメント系シール材を用いたシール材充填区間の平均ルジオン値とシール材逸出率との関係を示す。図中には、プレバクトフローコーンによるフロー値が30秒のものと15秒のものと



プロットしてあり、かつフロー値30秒のもののみを対象として求めた近似直線とその相関係数を示した。なお、Mダムのフロー値15秒のデータ以外はキャリバー検層を実施していないため、孔径補正は行っていない。したがって、孔径補正を行っていないものに関しては、孔膨れの影響を含み、シール材逸出率はやや過大に評価されていると考えられる。フロー値30秒のシール材の逸出率と区間平均ルジオン値との間には式(4.4.1)に示す関係があり、その相関係数は0.71と比較的良好な相関性が認められる。

$$Y = 1.58X + 18.19 \dots \dots \dots (4.4.1)$$

式(4.4.1)によれば10ルジオン(およそ $k=1 \times 10^{-4}$ cm/s)で約30%、100ルジオン(およそ $k=1 \times 10^{-3}$ cm/s)で約190%のシール材が逸出することになる。4.4.3の結果と比較すると、100ルジオンで約190%のシール材逸出率は異常に大きな値といえる。これは、先述の通り、孔膨れの影響を含むため式(4.4.1)のY切片が+側へシフトしていることに加え、高ルジオン値のデータが少ないために必ずしも正しい傾きが得られていないことにも起因しているが、主な原因は4.4.3では砂地盤を対象としているのに対し、現場施工では割れ目性岩盤を対象にしていることであろう。つまり、セメント系シール材は、同程度の透水性であれば、粒状地盤に比べ割れ目性岩盤でより浸透し易い傾向があることをあらためて示した結果といえる。シール材逸出率とシール材の逸出による地盤の透水性の変化との定量的な関係は不明であるが、少なくとも20ルジオン以上の透水性を示す割れ目性岩盤を対象として施工する場合には、数回に分けてシール材を設置することにより、実質的な注入圧を小さくする等の対策を講じる必要がある。

4.4.5 まとめ

本実験をまとめると以下ようになる。

- 1) 比較的地下水流速が大きい粒状地盤においては、ウレタン・エポキシ・セメント系の各シール材は設置地盤に悪影響を及ぼすほどの逸出を発生することなく設置できることが判明した。
- 2) 実施工から判断して、割れ目性岩盤において注入圧(最大3kgf/cm²程度)が作用している場合はシール材の逸出率が大きくなる可能性があるためその場合には即応した対策を講じる必要がある。

4. 5 孔壁の状態による止水性の検討

4. 5. 1 孔曲りの影響

(1) 目的

MGLシステムの設置に際して、孔曲りを考慮し、孔壁にMGLパイプが接する場合を想定して各シール材の止水性について検討する。

(2) 試験方法

下記の 1)、2) のケースでは、①ウレタン系、②エポキシ系、③セメント系の3種類のシール材を図-4.5.1に示すような試験装置に入れ、固化後、水圧をかけ、その透水量を測定する。水圧をかける時間は1時間とし、水圧は1.0、2.0、3.0kgf/cm²の3段階とする。また、加圧はしないが、下記3)の実験も行う。なお、各シール材の配合あるいは種類は、4. 4. 2 (2) と同じである。

1) 孔壁が滑らかな場合 (アクリル管をそのまま使う)

2) 孔壁が滑らかでない場合 (アクリル管の内壁に接着剤で砂をつける)

3) 図-4.5.2に示すように、孔壁の凸凹が大きい場合で、かつMGLパイプがボーリング孔内で中央に設置できない場合を想定してシール材の回り込みを調べる。

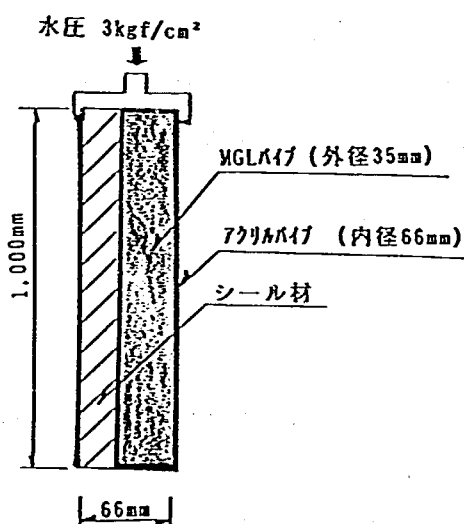


図-4.5.1 加圧試験

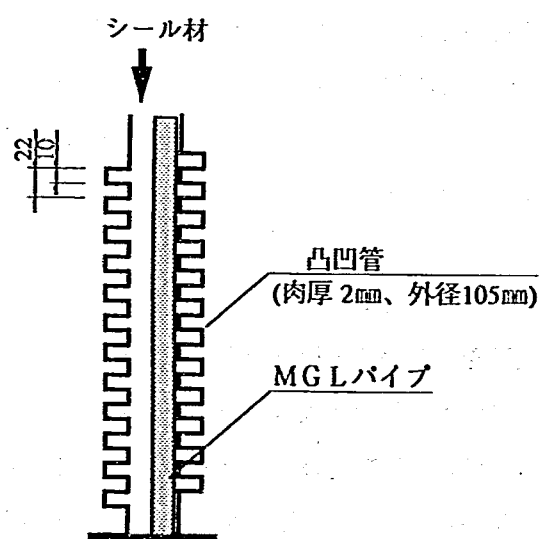


図-4.5.2 孔壁の凸凹が大きい場合の試験装置

(3) 試験結果

試験結果を表-4.5.1に示す。

表-4.5.1 透水試験結果

シール材 \ 圧力 (kgf/cm ²)	(1) アクリルパイプの内面が平滑			(2) アクリルパイプの内面に砂		
	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0
ウレタン系シール材	0	0	多量	0	0	0
エポキシ系シール材	0	0	0	0	0	0
セメント系シール材	0	0	0	0	6 (#1)	20 (#2)

注1) 透水量の単位はccである。

注2) #1、#2 を透水係数に換算すると #1 = 2.4×10^{-6} 、#2 = 5.4×10^{-6} cm/s となる。

ウレタン系シール材は、他のものに比べてアクリルパイプの平滑面に対する付着性が悪く、 3kgf/cm^2 の圧力下で多量の透水があったが、逆にアクリルパイプに砂をつけて表面に粗度を持たせた場合は 3kgf/cm^2 の圧力下でも透水はなかった。一方、孔壁の状態を考慮すると一般にある程度の粗度があるため、透水の可能性は非常に低く、実用上の問題はないと考えられる。

エポキシ系シール材はすべての透水試験で、透水量はなく、孔曲りにより孔壁にMGLパイプが接した場合でも非常に止水性がすぐれていることが判明した。

セメント系シール材は、アクリルパイプの内面に砂を付着させた場合のみ、少量の透水があった。しかし、その透水係数は $2.4 \sim 5.4 \times 10^{-6}\text{cm/s}$ と小さく、実用上の問題はないと考えられる。

また、試験3)はシール材の固化後、縦断及び横断方向にパイプを切断して、シール材の凸凹への回り込みを確認した。各シール材とも凸凹に対し、シール材が密に回りこんでおり、孔壁の凸凹に対応できることが判明した。

4. 5. 2 地盤変形に伴うシール材の止水性の検討

(1)目的

地すべり滑動に伴い発生する地盤変形時のシール材の止水効果を検討する。

(2)試験方法

試験のシステムを図-4.5.3に示す。本試験では、図-4.5.3における ε を $0 \sim 200\text{mm}$ の間で段階的に変化させ、かつ各 ε 段階で水圧 P を段階的に変化させたときの透水量を測定した。試験に供したシール材は、①ウレタン系、②エポキシ系、③セメント系の3種類とし、材令1週間で試験を実施した。水圧をかける時間はそれぞれ1時間、水圧は、 $1.0, 2.0, 3.0\text{kgf/cm}^2$ とした。なお、 ε を変化させていく過程で明らかなシール材の破壊が確認された時は、そこで試験を中止した。また変形の特性も測定した。なお、ボーリング孔を想定したフレキシブル管には、コンクリート圧送用のゴム性高压管を用い、MGLパイプには、塩ビ管を用いた。また、ウレタン系およびセメント系シール材の配合は4.4.2(2)と同様としたが、エポキシ系シール材は地すべり対応型の高弾性ゴム状のコングレッシブ1527を用いて実験を行った。

なお、4.5.1で述べたとおり、他のシール材に比べ、ウレタン系シール材は平滑面との付着性がやや劣ることが判明していたため、事前にウレタン系シール材と塩ビ管を用いて同様の予備試験を行った結果、 $\varepsilon=0\text{mm}$ 、 $P=2\text{kgf/cm}^2$ で、シール材と塩ビ管の間から多量の水が噴出した。このため、試験条件の統一という点からは外れるが、ウレタン系シール材の場合に限り、サンドペーパーを用いて塩ビ管表面に粗度をつけて使用した。

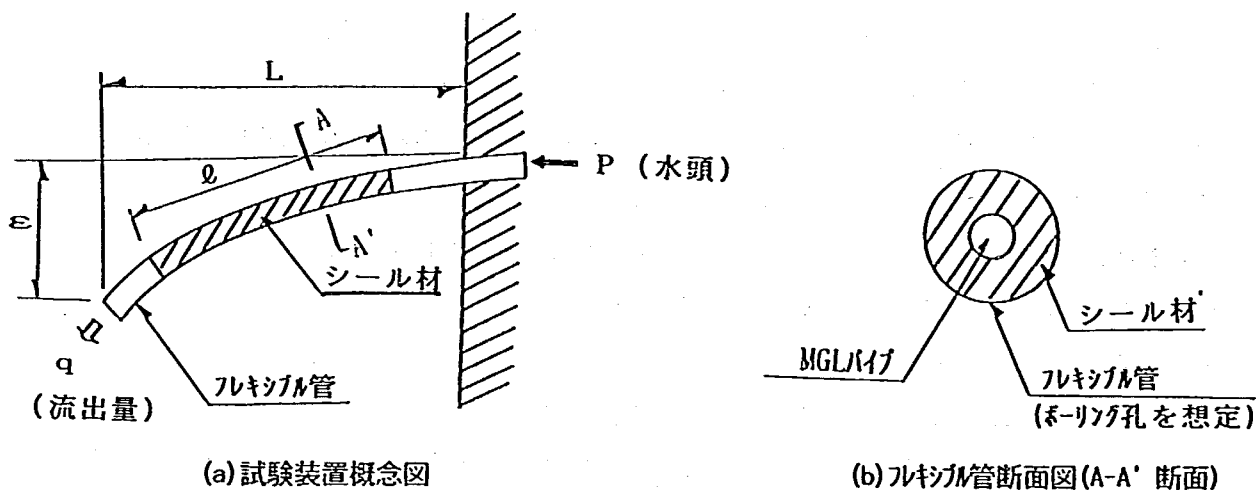


図-4.5.3 シール材の変形に対する止水性の検討試験装置

(3) 試験結果

透水量の測定結果を表-4.5.2に示す。なお、MGLパイプに添って出てくる透水量 q とフレキシブル管に添って出てくる透水量 q' は分離して測定することは困難であったので、一緒に測定した。

表-4.5.2 透水量の試験結果一覧表

P q ε	ウレタン系			エポキシ系			セメント系		
	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0
ε	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$	$q + q'$
0	0	0	多量	0	0	0	0	0	0
5	0	0	〃	0	0	0	0	0	0
10	0	0	〃	0	0	0	0	0	0
30	0	0	〃	0	0	0	0	0	0
50	0	0	〃	0	0	0	0	0	0
100	0	0	〃	0	0	0	0	0	0
200	0	0	〃	0	0	0	0	0	0

注) 単位. ε : mm、 P : kgf/cm^2 、 q : cc

ウレタン系シール材は 2kgf/cm^2 までは透水量が0 ccであったが、 3kgf/cm^2 では载荷約10分後、かなり多量の水が、シール材と高圧ホース（模擬ボーリング孔）の間から吹き出した。これは、4.5.1 孔曲がり試験の時と同じく、高圧ホースの内面が平滑であるためウレタン系シール材との付着性が良くなかったことによる結果と考えられる。

エポキシ系シーリング材は、いずれのケースの透水量も0 ccであった。また試験後、ホースを切断しても水がまわりこんだ形跡はなく、変形に追従しながら、止水性を保っていたことが確認できた。

セメント系シーリング材は、透水量はいずれも0 ccであった。しかし、試験終了後、模擬ボーリング孔である高圧ホースを切断したところ、ホースを固定していた上部ではセメント系シーリング材が破壊されて、水が回り込んでおり、逆に引っ張った下部ではシーリング材は破壊しておらず、この下部で止水していたため、透水量が0 ccであったことが判明した。セメント系シーリング材の破壊特性から、 $\varepsilon = 10\text{mm}$ 程度で既に破壊していたと考えられる。なお、図-4.5.4に示すa～dの位置で測定した $\varepsilon = 200\text{mm}$ の時の変形量を表-4.5.3に示す。

(4) まとめ

以上の実験結果から考察すると、地盤の移動が無い地盤の場合にはセメント系シーリング材が適し、移動性地盤の場合には、エポキシ系およびウレタン系シーリング材が適する。ただし、ウレタン系シーリング材を用いて設置作業を行う場合は、MGLパイプの材質を検討する必要がある。

表-4.5.3 $\varepsilon = 200\text{mm}$ の際のフレキシブル管の変形特性 (mm)

地点 シーリング材	a	b	c	d
ウレタン	24	75	150	200
エポキシ	10	60	125	200
セメント	20	68	128	200

単位：mm

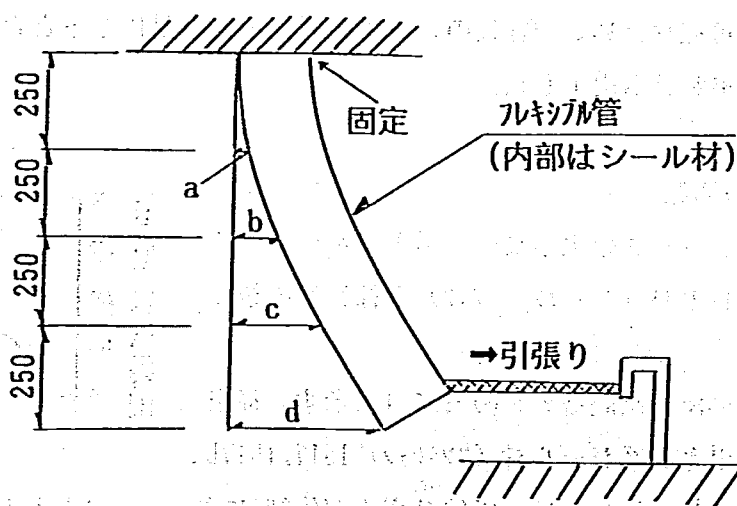


図-4.5.4 フレキシブル管の変形特性の測定方法

5. サイト別の適用方法の検討

5. 1 概説

MGLシステムをより一般性のある水圧測定システムとするためには、地盤の特性に合ったシステムを構築する必要がある。そこで、今回新たに地すべりサイト、および被圧地下水地帯の2種類の特殊条件地盤への適用について検討した。

地すべりサイトでは、計測期間中に地盤が変形することが予想されるので、これに追従可能なシステムとする必要がある。また、地盤が脆弱なため、ボーリング孔を掘削する際、孔壁保護の目的から長区間にわたってケーシングを設置する場合も多く、システム設置作業の合理化に対する検討も必要である。

一方、被圧地下水地帯では、シール材設置作業の際、孔内に送ったシール材が上昇地下水流によって巻き上げられ、止水効果を損なう恐れがある。よって、確実なシール材の設置方法について検討する必要がある。

5. 2 地すべりサイト

5. 2. 1 材料およびシステムの検討

地すべりサイトに設置するMGLシステムは、地盤の変形に追従し、機能を損なわないものとしなければならない。そこで、以下に述べる検討およびシステムの改善を行った。

(1) MGLパイプおよび計測コードの改善

標準MGLパイプには鋼製パイプを使用しているため、剛性が高く、地盤の変形に追従しにくい。そこで、より剛性の低いパイプについて検討を行い、塩ビパイプ(VP25)を使用することとした。ただし、水圧計取付け部は、従来通り鋼製とした。

また、水圧測定用計測コードの一方の端に、2. 4. 4に述べたスパイラル線部を設けた。スパイラル線は伸縮が可能なため、結線後のコード余長処理が容易になるとともに、地盤変形にともなう伸び等に対する追従性も向上した。

(2) 可撓性シール材の開発

大きく変形してもクラックの生じないエポキシ系のシール材(コクレッツァ 1527、日本7ド・ヒツツ・インダストリアル(株))を新たに開発した。

このシール材の一軸圧縮試験結果を図-5. 2. 1に示す。従来より使用しているエポキシ系シール材(コクレッツァ 1517, 1517L、日本7ド・ヒツツ・インダストリアル(株))は、圧縮ひずみが約6%にな

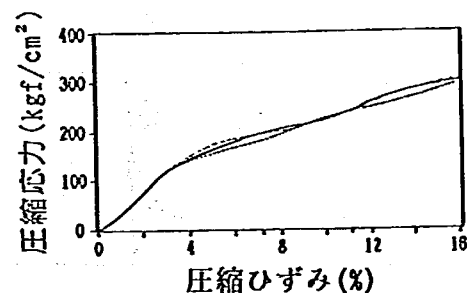


図-5. 2. 1 一軸圧縮試験結果

るとクラックが発生し破壊する¹⁾が、当シール材は15%を越えても破壊せず、また、水みちとなり易いクラックも全く発生しない。また、実用上十分な強度を有しているといえる。

そこで、当シール材を地すべり地対応型シール材として使用することとした。

当シール材の他の物性は、以下の通りである。なお、粘度および可使時間の試験法については、参考文献1)を参照されたい。

- ・主剤は粘度が高い(20℃で主剤9400cP、硬化剤730cP)ので、使用時は温度を30℃以上として粘度を下げる必要がある。
- ・混合液の可使時間は、初期の液温が30℃のときに26分、35℃のときに17分であり、従来より使用のエポキシ系シール材(30℃のとき9分)に比べて長い。エポキシ系の場合、主剤と硬化剤は、注入ライン上で混合される方式なので、この時間内にポンプから充填位置まで達すれば良い。注入管の内径13mm、注入流量2ℓ/分として、エポキシが100mの深度に到達する時間を計算すると、約7分となることから、可使時間について問題はない。
- ・アクリルパイプ内に自然落下によって珪砂6号を詰め、上面に50℃まで温めたシール材(推定粘度200~400cP)を入れて、3kgf/cm²の圧力で浸透させたところ、最終浸透長は20cmとなった。フィルタ部は一般に水圧計の上1mまで設置する。よって、フィルタ材として珪砂6号程度の粒径の砂を使用すれば、シール材が水圧計に達することは無い。

(3) 変形したシール材の止水性の検討

変形したシール材の止水性を確認するため、図-5.2.2に示す試験装置を用いて、水圧を作用させた状態でシール材を段階的に曲げ、透水量を測定した。試験条件は、水圧(P)=1.0, 2.0, 3.0kgf/cm²、 $\varepsilon=0\sim200\text{mm}$ 、供試体の材令:1週間、各圧力段階の透水量測定時間:1時間とした。

詳しい試験方法と結果は4.5.2で述べたが、結果を要約すると以下ようになる。

エポキシ系: 全ての条件で透水せず、シール材の損傷も認められなかった。

ウレタン系: 水圧2kgf/cm²までは透水しなかったが、3kgf/cm²のときに多量の水が噴出した。こ

れは、表面が平滑な樹脂部材(模擬ボーリング孔、MGLパイプ)とシール材の付着力不足によるものであり、シール材自体には損傷は認められなかった。

セメント系: 全ての条件で透水しなかったが、変位集中部分に細亀裂が発生していた。当材料の特性から判断して、 $\varepsilon=10\text{mm}$ 程度で既にクラックが生じていたと考える。

以上の結果より、地すべりサイト用シール材としては、エポキシ系とウレタン系が適していること、ただし、ウレタン系を使用する場合には、塩ビ製MGLパイプの表面を粗くするなど接着力の向上をはかる必要があることがわかった。

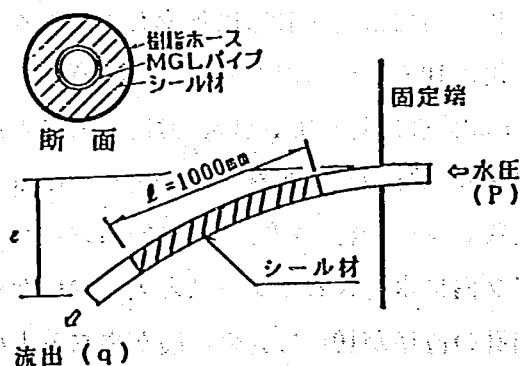


図-5.2.2 曲げ試験装置

5. 2. 2 設置方法の検討

地すべりサイトでは、地山が脆弱なため、ボーリングの際ケーシングを数十メートルにわたって設置しなければならないケースもある。これらのケーシングは、フィルタ材やシール材の充填作業に先立って撤去しなければならないが、孔壁の崩壊が心配されるため一度に抜くことはできず、充填作業の進捗に合わせて段階的に抜くことになる。この方法は、作業が煩雑なうえ、常に孔壁崩壊の危険性ははらんでいる。

この対策として、ケーシング設置区間に有孔外管（周囲に孔をあけた管）を挿入して、充填作業に入る前にケーシングを全て引き抜く方法について検討した。ケーシングを抜くことによって孔壁が崩れても、崩壊土砂は有孔外管の外側に堆積するので、管内からフィルタ材やシール材の充填作業を行うことができる。つまり、管に適切な寸法の孔（排出孔）を開けておくことにより、管と孔壁の間隙も充填できると考えられる。この方法により、孔壁崩壊による孔閉塞の危険がなくなり、また、作業の簡素化と工期の短縮も期待できる。

(1) 管の選定

有孔外管として用いる管について、寸法、加工性、強度、重量、入手のしやすさ、価格等を検討した結果、塩ビ管VP65を孔開け加工して使用することとした。

この管は内径が67mmであり、MGLシステム設置作業に必要な内径66mmにほぼ一致している。また、管の肉厚は4.5mmあるので、接続作業の容易な角ネジ継手の加工が可能である。さらに、1本（4m）当たりの重量は5.8kgと軽いため、建込み時の作業性の向上が期待できる。

(2) フィルタ材とシール材の流出試験

有孔外管内から充填するフィルタ材やシール材が、滑らかに管外に流れ出るのに必要な排出孔の寸法を知るため、図-5.2.3に示す方法で流出試験を行った。透明なアクリルパイプ（内径96mm）の中に、種々の寸法の孔を開けた塩ビ管（VP65）を入れ、塩ビ管の中にはMGLパイプを入れた。3つの管はいずれも底を閉じている。塩ビ管とMGLパイプの隙間にフィルタ材あるいはシール材を流し込み、塩ビ管からの流出状況を観察した。

フィルタ材は珪砂6号、シール材はエポキシ系（コクレック1527）を用いた。エポキシ系シール材は、施工時には20～30℃に加熱して粘度を下げて使用するが、当試験では、より厳しい条件として、温度10℃、かつ混合する二液のうち粘度の高い主剤のみを使用した。このため、施工時の粘度2千cP前後に対して、試験時は約3万cPと高い。

フィルタ材やシール材を流し込む速度は、出来る限り施工時の速度（フィルタ材：6,000cm³/分前後、シール材：2ℓ/分）に合わせた。孔内水の有無も影響すると考えられるので、アクリルパイプ内に水を入れたケースと入れないケースの両方について試験を行った。塩ビ管の種類は、排出孔の直径が10mmで孔の間隔が異なるもの2種類、排出孔の直径20mmのものと40mmのもの各1種類の計4種類である。

結果を、表-5.2.1に示す。フィルタ材を気中投入した場合、下位の排出孔から順調に流れ出て

塩ビ管の周囲にも充填された。充填面の高さを塩ビ管の内側と外側で比較すると、内側の方がやや高いが、その差は排出孔の上下間隔（5～10cm）以内であった。水中に投入した場合、フィルタ材は水に舞いながら沈降・堆積し、塩ビ管内外で同じ高さに充填された。

シール材の場合、気中投入、水中投入ともほぼ同じ結果になった。即ち、排出孔の直径10mmの管では、シール材の排出が間に合わず、投入中、塩ビ管内側の充填面が外側に比べてしだいに高くなっていった。排出孔の直径が20mm以上の管では、投入中の充填面の高さの差は、排出孔の上下間隔（10cm）以内に収まっていた。フィルタ材の場合、管内外の充填高さの差が投入停止後も保持されるのに対して、シール材の場合は、投入を停止すると内外の高さは一定になった。

以上の試験の結果判明したことをまとめると、次のようになる。

- ・フィルタ材およびシール材が塩ビ管の外側に滑らかに流れ出るためには、直径20mm以上の排出孔を開ける必要がある。
- ・フィルタ材を気中投入した場合、塩ビ管の内側と外側で充填深度に差ができるが、その量は孔の上下間隔以内である。
- ・排出孔を出たフィルタ材およびシール材は、塩ビ管外周に良く回り込み、間隙に充填される。

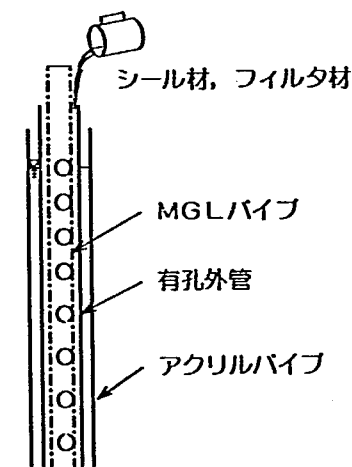


図-5.2.3 流出試験装置

表-5.2.1 流出試験結果

管 No.	排 出 孔 仕 様			フィルタ材		シール材	
	径(mm)	数*	方向数	気中	水中	気中	水中
10-4	10	4	2	○*	○	×	×
10-8	10	8	4	○	○	△	×
20-2	20	2	6	○	○	○	○
40-2	40	2	4	○	○	○	○
備 考	*排出孔の数に、管の長さ10cm たりで示す。 *記号凡例 ○ 順調に流れ出し、問題無し △ やや流出量不足 × 流出量不足						

さらに最終確認として、図-5.2.4に示した方法により下部注入方式の試験を行なった。使用した塩ビ管はVP65、排出孔は直径20mmとし、深さ方向に10cm間隔で2箇所ずつ開けた。塩ビ管の底部付近まで注入管を入れ、注入ポンプによる実際的な方法で、シール材注入を行なった。エポキシ温度は10℃としたが、二液（主剤と硬化剤）混合方式のため、主剤のみで行った前記試験よりも粘度は低く、7000cPである。試験の結果、シール材は排出孔から順調に流れ出て、下部注入方式においても問題のないことが確認できた。

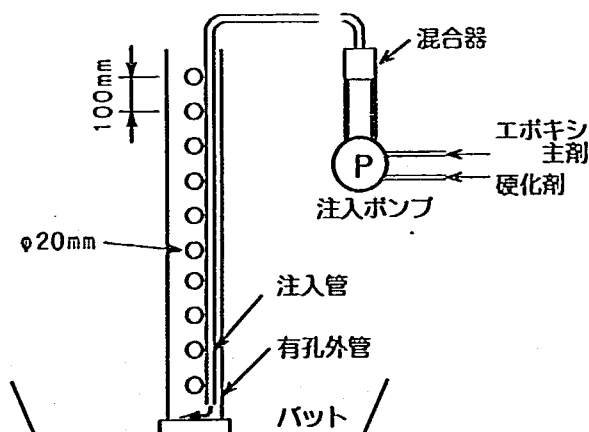


図-5.2.4 流出試験装置（下部注入）

(3) 有孔外管の仕様決定

以上の結果を踏まえ、有孔外管の仕様を次のように決定した（図-5.2.5参照）。

- ・塩ビ管VP65を使用する。
- ・排出孔は、直径20mmとし、深さ方向に10cm間隔で2箇所（向かい合う位置）ずつ開ける。断面上でみた孔の方向は、1段上がる毎に60度ずつ回転させて管の外周への充填性を良くするとともに、仮に1方向が孔壁に密着して排出不能となっても、管の周囲5方向での排出が可能な構造とする。
- ・4mの管の両端に、継手のためのネジ切り部（角ネジ、100mm）を設ける。

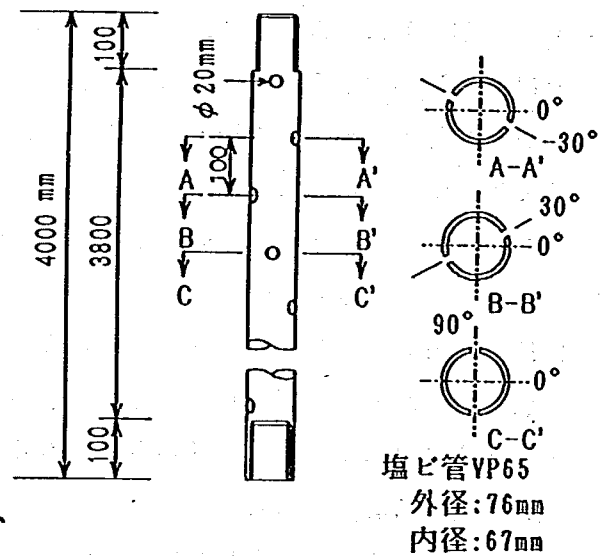


図-5.2.5 有孔外管

なお、この方法は、6.5 実証試験Ⅳで採用し、地すべりサイトでのMGLシステム設置作業の確実性向上と省力化に対して、有効であることを確認した。

5. 3 被圧地下水地帯

5. 3. 1 被圧地下水地帯での問題点

被圧地下水を胚胎する地山でボーリングを行うと、孔内から湧水が発生することが多い。MGLシステムの設置方法²⁾には直接法とパッカ法とがあるが、孔内湧水を伴うボーリング孔に通常の直接法でMGLシステムを設置すると、湧水の上昇に伴って孔内に注入したシール材が硬化する間に移動（上昇）したり、湧水量によっては孔外へ噴出し、意図する位置にシール材を設置できない可能性が高い。また、フィルタ材に関しても砂を用いる場合には同様である。したがって、直接法によるMGLシステムの設置は不可能といえる。

一方、同様の条件下でパッカ法によってMGLシステムを設置する場合は、注入したシール材は布パッカの中に保留されているのでシール材の移動は発生せず、基本的には設置可能である。しかし、現状のパッカ法は、布パッカの中がシール材で充分充填されたことを確認した後、直ちに注入を終了し、養生にはいる。このとき、湧水圧がシール材の自重に勝ると、孔壁と布パッカの間を介して孔内水が上昇あるいは噴出し、この間隙を残したままの状態ではシール材が硬化する恐れもあるため、結論としてシール効果は期待できない。

以上から、孔内湧水を伴うボーリング孔に現状のMGLシステムをそのまま適用することは極めて難しく、パッカ法を基本に改良を加え、被圧地下水用MGLシステムを考案する必要がある。

5. 3. 2 被圧地下水用MGLシステム
被圧地下水用MGLシステムは、図-5.3.1に示すとおりMGLパイプ、布パッカおよびエアパッカ等の組合せからなる。

シール材の注入はシール区間ごとに独立して設けた注入管を介して行い、硬化するまで湧水圧以上の圧力で布パッカの中に注入し続ける。こうすることにより、孔壁と布パッカの間を介した孔内水の上昇を未然に防止でき、シール材硬化後のシール効果が期待できる。また、このとき、当該区間のエアパッカを作動させ、孔内湧水を一時的に遮水するとともに、布パッカからしみ出るシール材が水圧計にまわり込み、水圧計への導水経路を閉塞することを防止する。

被圧地下水用MGLシステムの標準構成を図-5.

3.2に示す。図示した各部材の機能は、以下のとおりである。

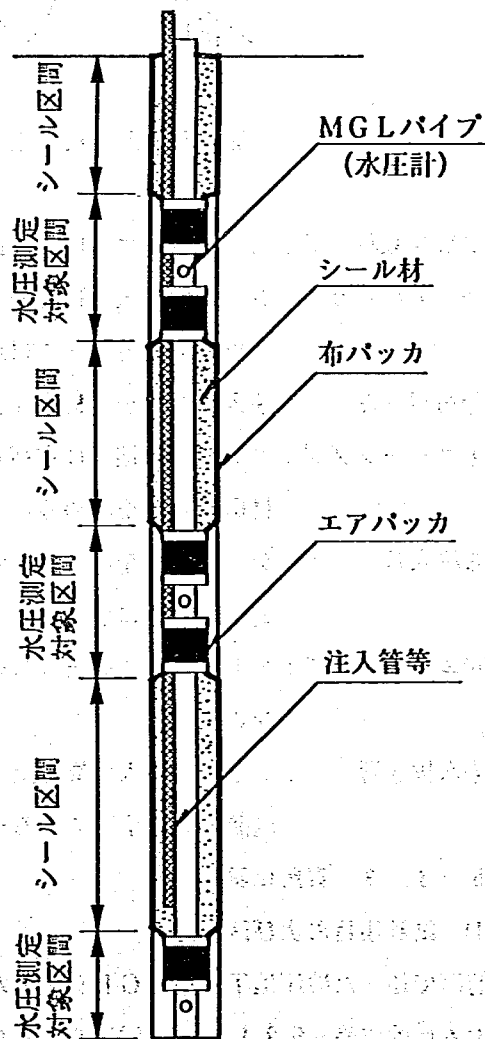


図-5.3.1 被圧地下水用MGLシステム

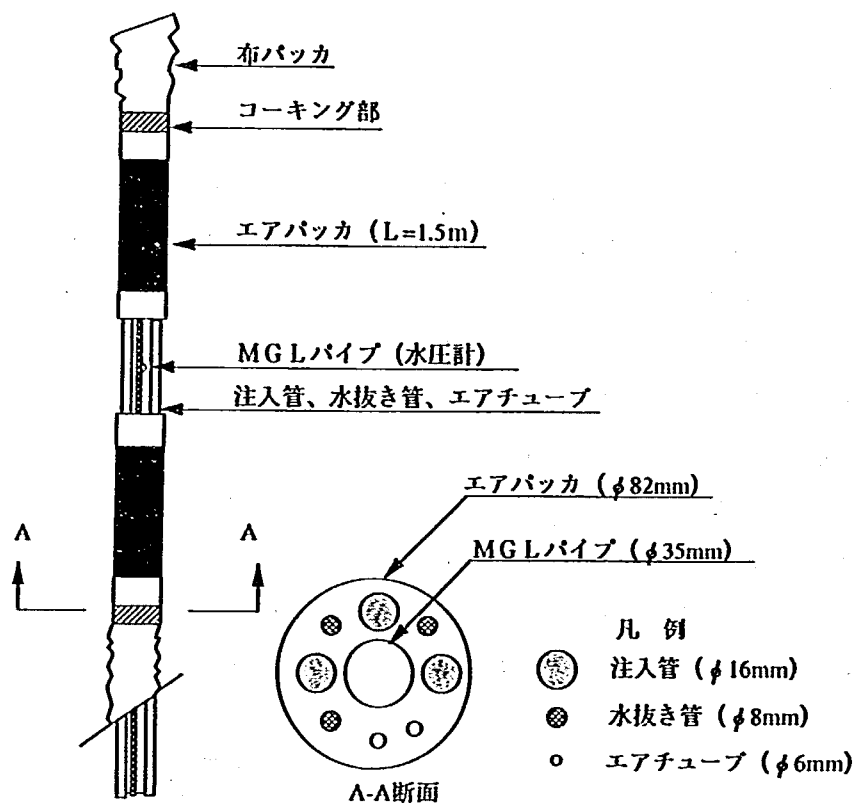


図-5.3.2 被圧地下水用MGLシステムの標準構成

- ①MGLパイプ：所定の位置に水圧計を設置し、地下水圧を測定する。
- ②エアパッカ：シール材注入時に孔内湧水を一時的に遮水する。また、布パッカからある程度しみ出してくるシール材が水圧計取付けパイプ部に浸入しないよう、保護する。
- ③布パッカ：注入したシール材を保留する。
- ④コーキング部：エアパッカ端部に布パッカを被せ、これを緊束し、布パッカが果たすべきシール材保留効果を高める。
- ⑤注入管：シール材を布パッカの中に圧送するライン。シール材の管内圧力損失を考慮し、表-3.4.1に示したナイロン製の管を用いる。
- ⑥エアチューブ：エアパッカに高圧ガスを供給、あるいはエアパッカ内の高圧ガスを放出するライン。
- ⑦水抜き管：シール材注入作業は上下をエアパッカで区切られた部分に対して行うため、当該区間に発生するであろう過剰圧力の低減を目的とするライン。

5.3.3 実用化試験

(I) 試験項目および試験方法

前節で述べた被圧地下水用MGLシステムの実用化を目指し、用いる布パッカおよびシール材を決定する目的で表-5.3.1に示す試験を実施した。

試験に供した布パッカの種類は、表-5.3.2に示すとおりである。また、試験には表-3.6.1に示した配合2のウレタン系シール材、および同表に示した配合のセメント系シール材を用いた。

表-5.3.1 実用化のための室内試験

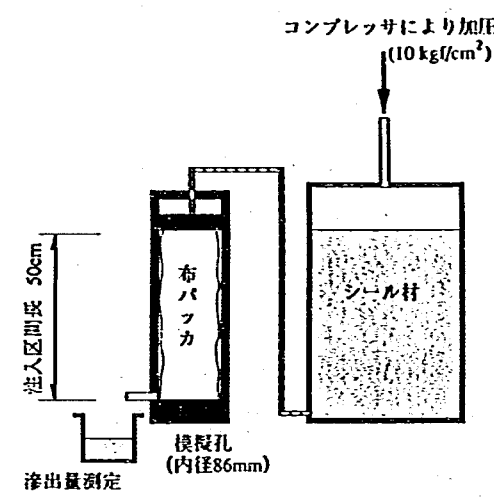
試験項目	目 的	内 容
布パッカ耐圧試験	布パッカの耐圧強度を把握し、用いる布パッカの種類を決める。	表-5.3.2 に示した 4種類の布パッカに対し、下図に示す試験装置を用いてシール材を10kgf/cm² の圧力で注入し、経過を観察する。  〈試験装置〉
シール材の滲出量測定	布パッカから滲出してくるシール材の量を把握することにより、実施工上の悪影響がないか検討する。	布パッカ耐圧試験に引続き、シール材が硬化するまで、そのまま注入を続け、その間に布パッカから滲出してくるシール材の量を測定した。(布パッカ耐圧試験で10kgf/cm² の注入圧に耐えられた布パッカに対してのみ実施)
供試体透水試験	シール材で充填された布パッカを供試体としてその遮水性を把握し、実用に耐えうるか検討する。	シール材の滲出量測定後、そのままの状態でシール材を 1週間養生し、これを供試体とした。供試体の上部から 6kgf/cm² の水圧で加圧し、24時間あたりの透水量を測定した。
孔壁への追従性確認試験 ¹⁾	凹凸のある孔壁に対する布パッカの追従性を確認する。	内径100mm の表面に凸凹がある管 (図-4.5.2 参照) を模擬ボーリング孔とし、この中に布パッカを挿入後、シール材を注入した。シール材硬化後、凸凹管を切断し、充填状況を目視で観察した。

表-5.3.2 試験に供した布パッカの種類

名 称	筒径 (mm)	布の伸縮性	備 考
濾過布 A	86	無	縫い合わせにより筒状にして用いる
濾過布 B	86	無	縫い合わせにより筒状にして用いる
グラウトジャケット	165	有	縫い合わせにより筒状にして用いる
シームレス	220	無	筒型織布

(2) 試験結果

(a) 布パッカ耐圧試験

試験結果を表-5.3.3 に示す。

シームレスは10kgf/cm² 以上の耐圧性があった。しかし、これ以外のものは、3～4kgf/cm² 程度で主に縫い合わせ部分から破裂し、大量のシール材が噴出した。

なお、本試験はセメント系シール材を先行して実施したため、濾過布A、Bおよびグラウトジャケットとウレタン系シール材との組合せでの試験は実施しなかった。

(b) シール材の滲出量測定結果

本試験は、シームレスに対してのみ実施した。測定結果を表-5.3.3 に示す。

セメント系の場合は、セメント分をほとんど含まない高粘性の増粘剤水溶液が総注入量の35% 滲出した。また、ウレタン系の場合は、ウレタン溶液が総注入量の17 %滲出した。4. 4. 4で述べたように直接法による実施工では総注入量の20～40% 程度は孔外へ逸出している事実を考慮すると、この程度の量であれば実用上は問題はないと考える。特に、セメント系の場合の滲出物は、水なので全く問題はない。

(c) 供試体透水試験結果

本試験は、シームレスに対してのみ実施した。試験結果を表-5.3.3 に示す。

試験圧力が6kgf/cm² のときの24時間あたりの透水量は、セメント系シール材が22000cc、ウレタン系シール材が0 ccであった。試験条件とこの値をもとに見かけ上の透水係数を算出すると、セメント系シール材が 3×10^{-5} cm/s、ウレタン系シール材が0cm/sとなり、布パッカの中にセメント系シール材を注入した場合、遮水性に問題があることが判明した。

なお、セメント系シール材の透水量は、3時間の実測値を24時間あたりに換算している。

(d) 孔壁への追従性確認試験

シームレスの中にシール材を注入して作成した供試体を切断して断面を観察した結果を図-5.3.3 に示す。

セメント系シール材を注入した布パッカは模擬孔壁面の凹凸に追従できず、両者の間に空隙が残っ

表-5.3.3 試験結果（耐圧試験、浸出量測定、透水試験）

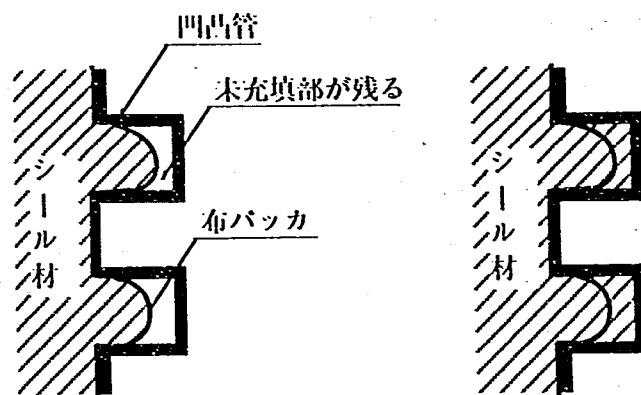
布パッカの 名 称	布パッカ 耐圧試験	シール材の滲出量 ¹⁾ (%)		供試体透水試験(cc) (24時間透水量)	
		セメント系	ウレタン系	セメント系	ウレタン系
濾過布A	× ¹⁾	— ²⁾	—	—	—
濾過布B	×	—	—	—	—
グラウトジャケット	×	—	—	—	—
シームレス	○ ²⁾	35	17	22000	0

注：1) 布パッカが破裂したことを示す。3) 総注入量に対する滲出量の百分率。
2) 問題がなかったことを示す。4) 布パッカが破裂したため、試験は実施不可。

ていた。一方、ウレタン系シール材を注入したものは、同様に布パッカ自体は孔壁面の凹凸に追従できていないものの、両者の間隙を滲出したウレタン系シール材が充填しており、シール効果について実用上は問題ないことが確認できた。

(e) 結論

被圧地下水用MGLシステムに用いるシール材と布パッカは、ウレタン系シール材とシームレスの組合せが最良であることが判明した。



(a)セメント系シール材 (b)ウレタン系シール材
図-5.3.3 供試体の縦断（孔壁への追従性確認試験）

5. 3. 4 シール材・フィルタ材の設置方法の検討

(1) シール材の設置方法の検討

(a) シール材の種類および配合

実用化試験の結果から、シール材はウレタン系を使用し、その配合は表-3.6.1 に示した配合 2 とする。

(b) シール材の設置方法およびシール効果確認試験方法

シール材の設置手順を図-5.3.4 に示す。

シール材の設置作業とは、グラウトポンプあるいは窒素ガスポンプに接続した注入用加圧容器を用い、あらかじめMGLパイプに取り付けた布パッカ内の注入管を介し、対象とする布パッカ内にシール材を注入する作業である。

作業にあたり、まず水圧計保護用のエアパッカを作動させ、充填対象容積の70%の量のシール材をグラウトポンプを用いて注入する。充填対象容積の算出は、当該区間に設置してある注入管やパッカ用エアチューブ等の体積は無視し、かつ孔膨れはないものとして式(4.2.1)によって求める。

その後、図-5.3.5 に示すようにシール材を注入用加圧容器内に入れ、容器とガスポンプを接続し、容器内のシール材上面を加圧することにより布パッカ内へシール材を徐々に注入する。

このとき、布パッカを破裂させないため、孔内水位等を考慮したうえで当該区間の最深部で有効圧力が 10kgf/cm^2 を越えないように、レギュレータを用いて圧送圧力（ガスの給圧）を調整する必要がある。容器内のシール材がなくなったら追加し、シール材が硬化するまでこの作業を繰り返す。ただし、実用上はシール材の注入速度が $1\ell/\text{min}$ 未満になれば、注入作業を終了しても問題はないと考える。

注入作業中は、当該区間の上下に位置する水圧計指示値の変動状況を常に把握する必要がある。異常に指示値が高くなるときは、何らかの理由でエアパッカが正常に作動していないか、岩盤の割れ目等を介してシール区間と水圧測定対象区間が連絡していることが考えられる。このような状況のもとで過剰にシール材を注入すると水圧計周辺の導水経路を閉塞してしまいかねないので、万一に備えシ

ール材の注入量は先に算出した
充填対象容積とすべきであろう。
また、このような事態を回避す
る意味で、事前に調査ボーリン
グ資料等から水圧測定対象区間
およびエアパッカを設置する位
置を慎重に決定すべきである。

シール材の養生時間は、5時
間以上とする。養生終了後、水
圧計保護用のエアパッカのガス
圧を開放し、シール材の設置作
業を終了する。

(c) シール効果確認試験方法

シール材の設置作業終了後、
これに引続きシール効果確認試
験試験を行う。本試験は当然エ
アパッカのガス圧を開放した状
態で実施する。本試験の目的、
方法および解析方法に関しては
4. 2. 1に詳述したので参照
されたい。

(2) フィルタ材の設置方法 の検討

MGLパイプのうち水圧計取
付けパイプ部にのみ、ジオテキ
スタイルフィルタ²⁾を巻付ける
ことにより設置する。

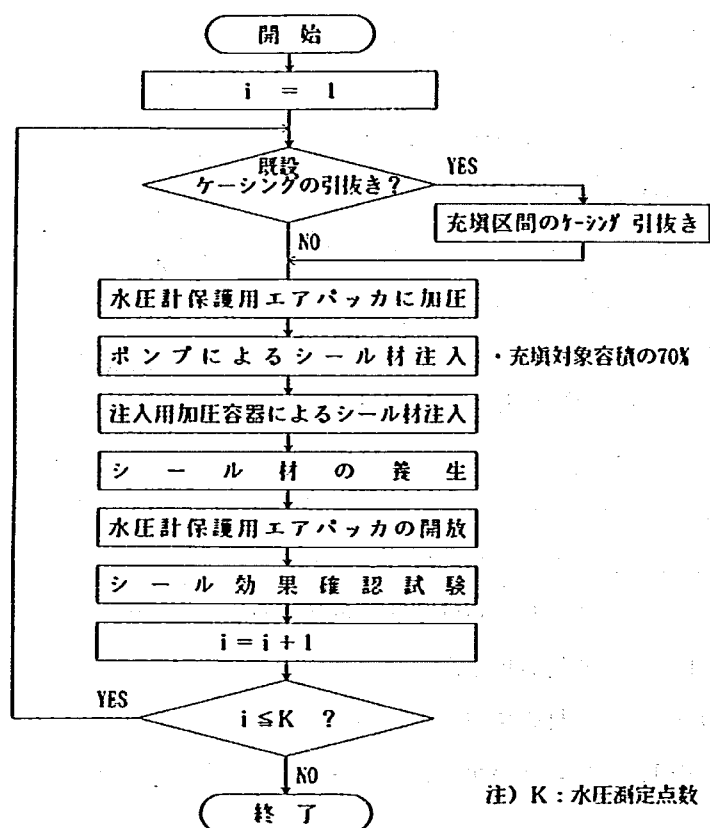


図-5.3.4 シール材の設置フロー

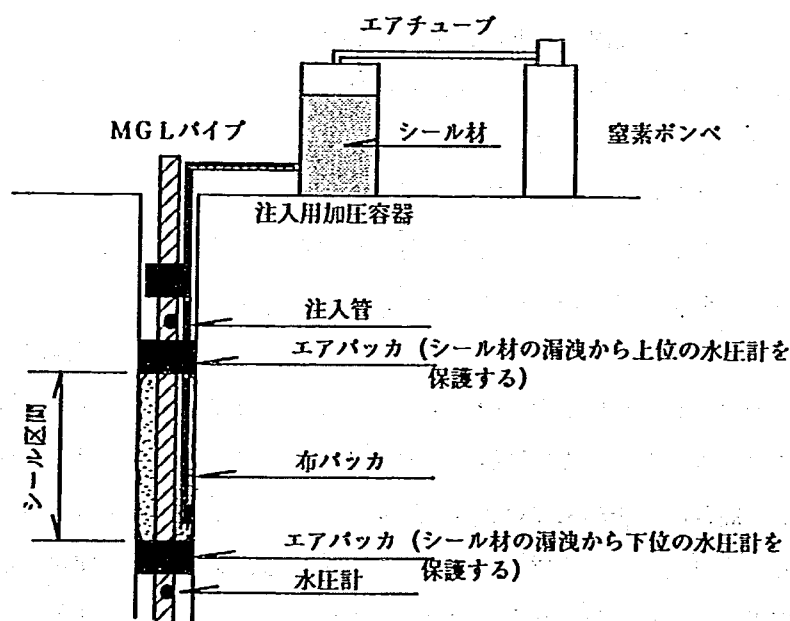


図-5.3.5 シール材の設置方法

(注入用加圧容器を用いた場合)

参考文献

- 1)建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室ほか：ボーリング孔内の多段遮水方法に関する共同研究報告書，建設省土木研究所共同研究報告書，第43号，1990年 8月。
- 2)建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室ほか：MGLシステム技術資料，1991年10月。

6. 実証試験

6. 1 概要

前章までの孔径66mm対応のMGLシステム開発および地すべり地域、被圧地下水帯等の特殊条件を考慮したシステムの改良を受けて実施した実証試験について述べる。この実証試験によりシステムの問題点をさらに抽出し、システムのさらなる改善を図る。

実証試験を行なったサイトとその概要を表-6.1.1 にまとめて示し、次節以降に個々の実証試験について詳しく述べる。

表-6.1.1 実証試験の概要

試験NO.	試験サイト	試験内容						備考
		孔長(m)	孔径(mm)	孔数	測定点数	設置方法	シーリング材	
I	Mダム	90	66	3	3点/孔	直接法	ウレタン エポキシ セメント	シーリング材の種類は、孔ごとに異なる
II	怒田地すべり	30	66	1	3点/孔	直接法	エポキシ	地すべり用システム
III	八畝地すべり	40	66	1	3点/孔	直接法	ウレタン	地すべり用システム
IV	平根地すべり	45	86	1	3点/孔	直接法	エポキシ	地すべり用システム
V	Mダム	80	100	1	3点/孔	パッカ法	ウレタン	被圧地下水用システム

6. 2 実証試験 I

6. 2. 1 試験サイトの概要

実証試験を実施したのは、建設省東北地方建設局が建設を進めているMダムサイトの左岸地山においてである。本サイトでは本システムの前身である孔径116mm用のMGLシステム孔が共同研究として実施したBL-8～10孔を含めて既に5カ所設置されており、それらの長期観測結果と既往調査結果から地山内の地下水圧分布状況がある程度判明している。また、これをもとに合理的なグラウチング範囲の決定方法が提案されている^{1)～2)}。

本ダムサイトは、主に新第三紀中新世の火山砕屑岩類により構成されている。左岸ダム軸（現在のところあくまで案である）沿いの地質縦断面図を図-6.2.1

に示す。なお、図中に示したBL-8、9、10孔は、孔径116mm用のMGLシステム

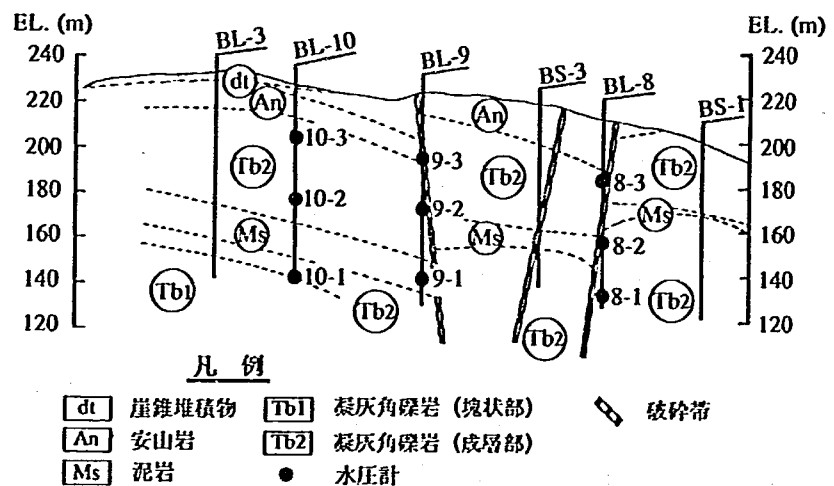


図-6.2.1 ダム軸沿いの地質断面 (Mダム)

設置孔である。この図からもわかるとおり、左岸地山は火山礫凝灰岩の塊状部 (Tb₁) と成層部 (Tb₂) が主体をなし、地表付近には安山岩、地中やや深部には泥岩が分布している。既往の調査により、地表から20~30m程度の深度までの部分は高透水部となっており、40~50mの深部においても急傾斜の割れ目や小断層が原因と思われる高透水部が存在することが判明している。一方、地下水位の分布状況を説明するためにBL-3の掘進時の孔内水位の変動を図-6.2.2に示す。この図より、孔掘進に伴い孔内水位が低下する傾向にあるが、

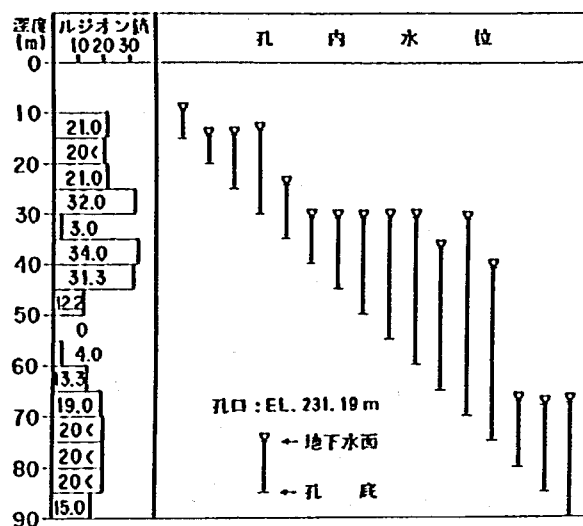


図-6.2.2 孔内水位の変動状況 (BL-3孔)

孔内水位の安定状況から安定した地下水層が3層 (EL. 164, 200, 217m) 存在することが推定された。また、既設MGLシステム孔の長期観測結果から、ダム軸では少なくともEL. 165m 付近およびEL. 180m 付近に地下水面を有する2層の帯水層が存在していることが判明している。ただし、下位の帯水層は安定して地山内に存在するのに対し、上位の帯水層は破碎帯の影響を受け、一部で欠落あるいは地下水面が急激に低下している部分の存在が推察されている³⁾。

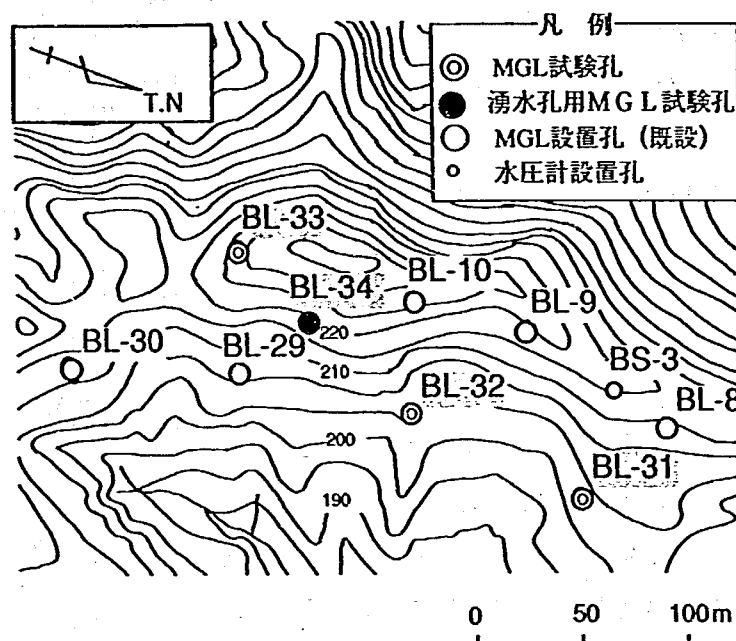


図-6.2.3 試験孔の位置

孔径66mmのボーリング孔対応のMGLシステムの実証試験に供したボーリング孔はBL-31~33孔であり、その平面的な位置を図-6.2.3に示す。また、各孔の諸元と使用したシール材およびフィルタ材の組合せを表-6.2.1に示す。

なお、MGLシステム設置孔の長期観測結果および考察は、第7章で詳述するので参照されたい。

表-6.2.1 試験孔の諸元およびシール材とフィルタ材の組合せ

孔名	孔口標高 (EL. m)	孔長 (m)	シール材とフィルタ材の組合せ	
			シール材	フィルタ材
BL-31	197.98	90	エポキシ系 (表-3.6.1、参照)	珪砂 6号
BL-32	200.76	90	ウレタン系 (表-3.6.1、配合 2)	2mm アンダー洗い砂
BL-33	227.64	90	セメント系 (表-3.6.1、参照)	2mm アンダー洗い砂

6. 2. 2 水圧測定点の選定およびシステム設置計画

(1) 水圧測定点の選定

試験に供したBL-31 ～ 33 孔の調査ボーリング結果と掘進時の孔内水位変動を図-6.2.4 に示す。

BL-31 孔では掘進の進捗に伴って段階的に孔内水位は低下しており、EL. 190m 付近に地下水面を有する最上位の帯水層と、EL. 180m 付近に地下水面を有する中位の帯水層および最終安定孔内水位に当たるEL. 160m 付近に地下水面を有する下位の帯水層の計 3 層の存在が予想された。

BL-32 孔ではEL. 195m 付近に地下水面を有する上位の帯水層と、最終孔内水位に当たるEL. 180m 付近に地下水面を有する下位の帯水層の存在が予想された。

BL-33 孔の孔内水位の変動状況を見ると、掘進に伴ってほぼ連続的に低下しているが、EL. 180m 付近で一時的にやや安定する傾向が認められ、EL. 165 m 付近で最終安定水位に至った。

以上の調査結果および既往の調査資料をもとに決定した各孔の水圧測定点と対象とする帯水層を表-6.2.2 に示す。本表に示したとおり各孔に設置した水圧計は 3 個であり、各水圧計の設置位置は図-6.2.4 に示した。また、ここでは詳述しないが、各孔とも地表付近の地下水位、例えばBL-31 孔で認められたEL. 190m 付近の地下水位を観測する目的でMGLパイプとは別に有孔管を埋設し、触針式測定が実施できる状態にした(図-6.2.5 参照)。

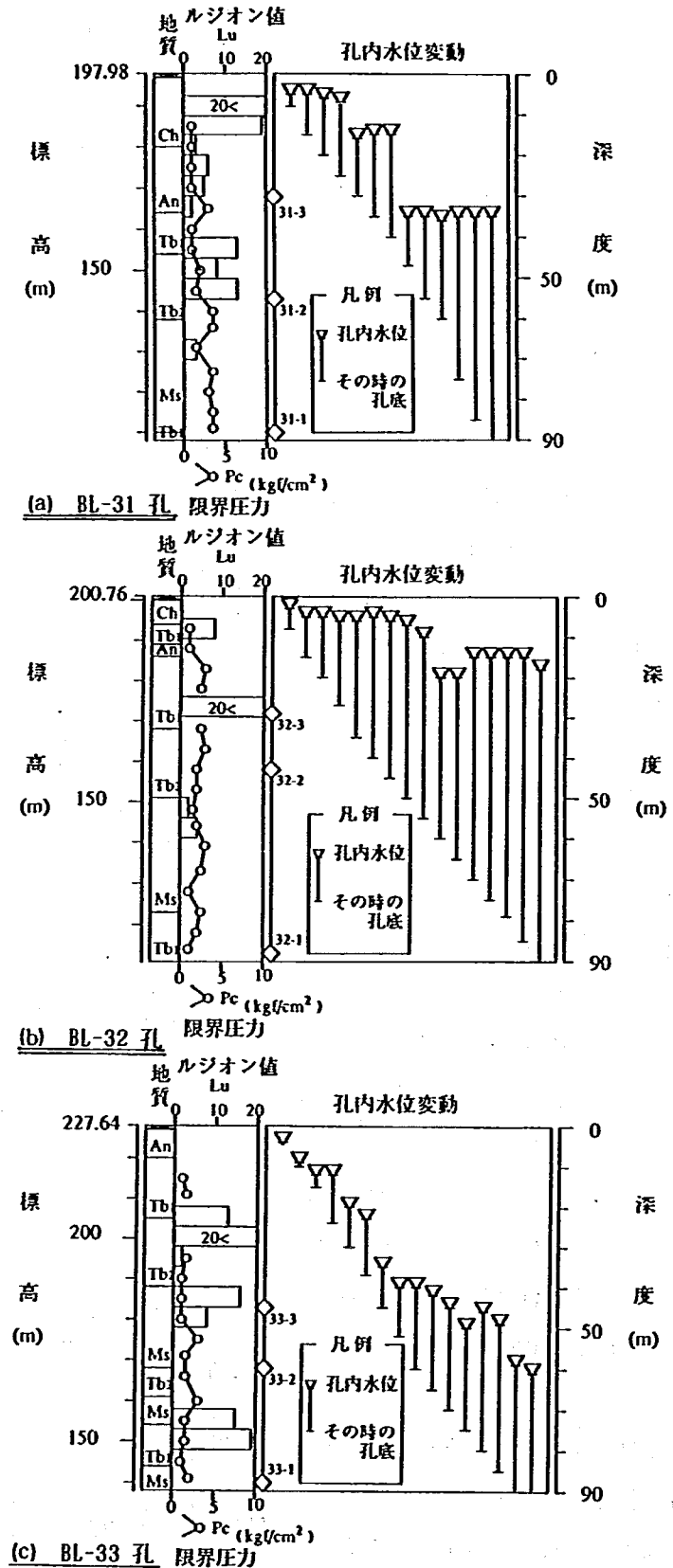


図-6.2.4 試験孔の調査結果一覧

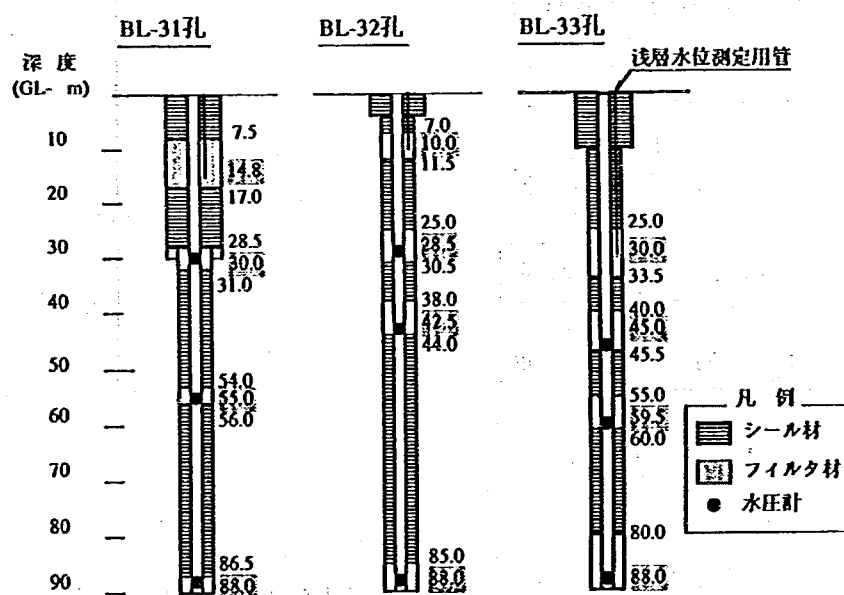
表-6.2.2 水圧測定点の位置と測定対象水位

孔 番	測定点 NO.	設置深さ (GL- m)	設置標高 (EL. m)	対象とする帯水層 (地下水位)	備 考
BL-31	31-1	88.0	110.0	EL. 160m 付近	
	31-2	55.0	143.0	EL. 160m 付近	
	31-3	30.0	168.0	EL. 180m 付近	
BL-32	32-1	88.0	112.8	EL. 180m 付近	
	32-2	42.5	158.3	EL. 195m 付近	上位帯水層の飽和状況の確認
	32-3	28.5	172.3	EL. 195m 付近	
BL-33	33-1	88.0	139.6	EL. 165m 付近	
	33-2	59.5	168.1	EL. 190m 付近	上位帯水層の飽和状況の確認
	33-3	45.0	182.6	EL. 190m 付近	

(2) システム設置計画

岩盤の割れ目の分布等を考慮して孔内に各フィルタ区間を決定し、これ以外をシール区間とした。ただし、水圧計周辺にシール材がまわることを防止する意味でフィルタ区間の下限（下位シール区間の上限）の位置は水圧計の位置から50cm以上ととした。また、上位シール区間のシール材がある程度フィルタ材中に浸透することを考慮し、フィルタ区間の上限位置は水圧計の位置から100cm以上ととした。

各試験孔でのシステム設置計画を図-6.2.5 に示す。



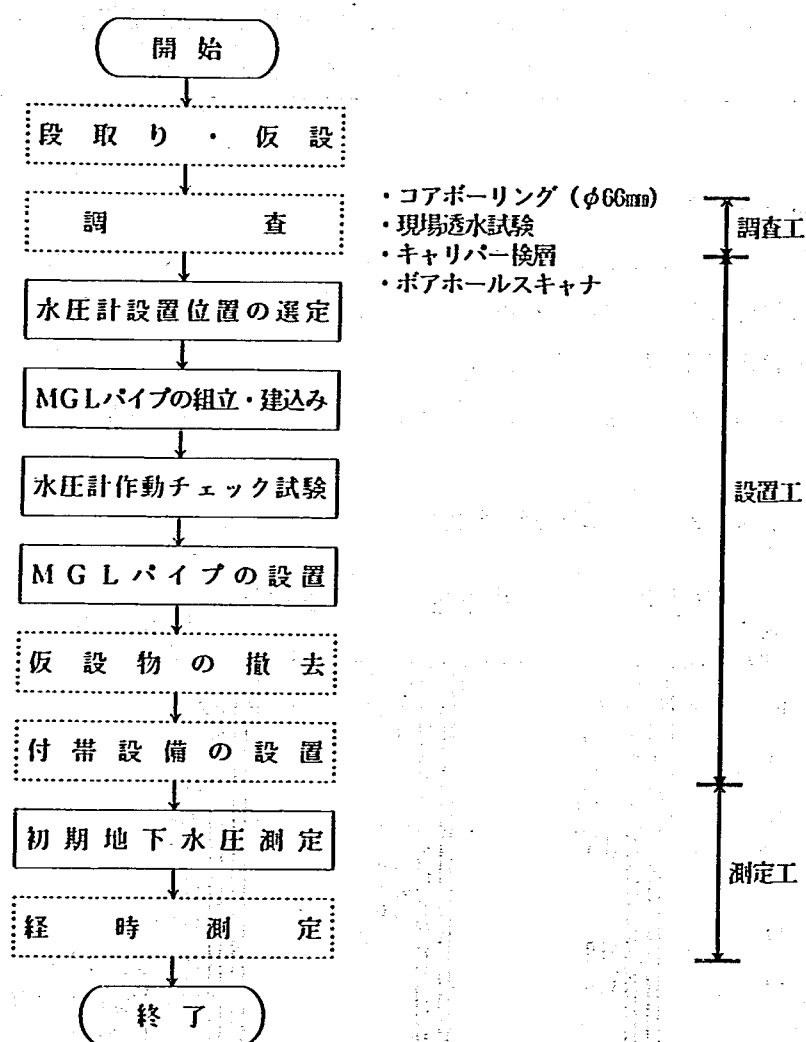
注) 図中に示した数字は水圧計設置深さ、あるいは浅層水位測定用管の先端深さを示す。また、その他の数字は境界面の深さを示す。

図-6.2.5 各試験孔でのシステム設置計画

6. 2. 3 試験手順

MGLシステム設置の施工手順を図-6.2.6に示す。

本図に示したMGLパイプの設置とは、シール材およびフィルタ材の設置、設置位置確認および設置したシール材に対するシール効果確認試験を指す。それらの具体的方法は、4章に詳述した方法に従ったので参照されたい。また、水圧計作動チェック試験とは、MGLパイプの組立・建込み作業が終了後、孔内に注水し、孔内水位を上昇させながら各水圧計の値を測定するもので、各水圧計の正常な作動を確認することを目的としている。ここで、各水圧計指示値が孔内水位の上昇に伴って調和的に変動し、かつその圧力水頭と指示値とが一致すれば、正常と判断できる。



注) 破線で示した部分は、ここでは言及しない

図-6.2.6 作業フロー

6. 2. 4 試験結果

(1) MGLパイプ建込み

ボーリング孔の孔径が66mmであることから外径35mmのMGLパイプを孔内に建込むと、別途にシール材用注入管を挿入するスペースがほとんどないことから図-4.2.2あるいは図-4.3.1 (1)に示した先端ガイドを作製し、MGLパイプとシール材用注入管（あるいは注入管ガイド管）を同時に孔内へ建込む方法を採用した。

その結果、円滑に両者を同時に建込むことができた。

(2) 水圧計作動チェック試験

3孔の試験孔の代表としてBL-32孔の試験中の各水圧計指示値の変化を図-6.2.7に、孔口まで満水になった時の各水圧計に作用する圧力水頭と水圧計指示値の関係を図-6.2.8に示す。

図-6.2.7に示したように各水圧計指示値とも孔内水位の上昇に伴って調和的に変動した。また、0.01～0.03kgf/cm²の測定誤差は認められたものの、図-6.2.8に示したとおり各水圧計指示値と圧力水頭とが高い精度で一致した。

他の2孔に関しても同様であり、すべての水圧計が正常に作動することを確認できた。

(3) シール材およびフィルタ材の設置

各孔のシール材およびフィルタ材の設置実績を図-6.2.9に示す。

シール材およびフィルタ材の設置は、各孔ともほぼ計画したとおり（図-6.2.5参照）設置することができた。また、シール材およびフィルタ材の設置位置の確認方法にも概ね問題はなかった。しかし、BL-32孔およびBL-33孔で用いたシール材液面感知装置（図-4.2.3参照）を孔内に挿入する際、途中で引っ掛かり挿入しづらいこともあったため、一層の小型化と形状の改善の余地はある。

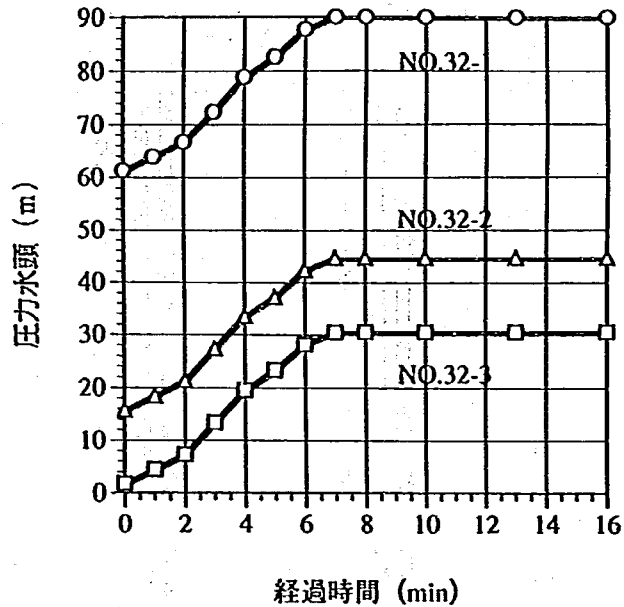


図-6.2.7 水圧計作動チェック試験中の各水圧計指示値の変化 (BL-32 孔)

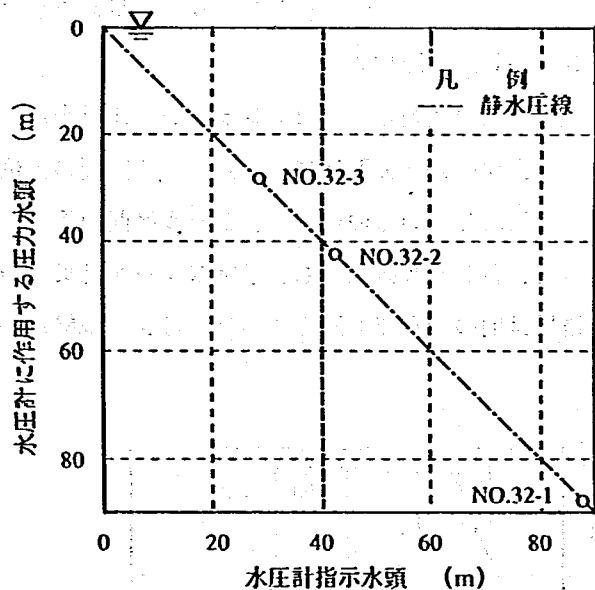
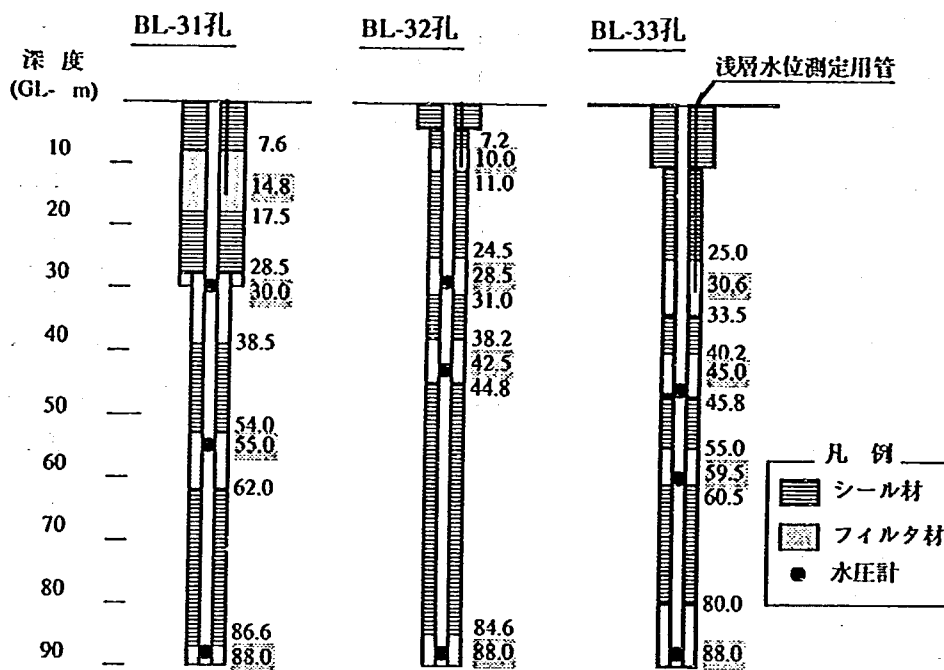


図-6.2.8 水圧計指示値と圧力水頭の関係 (BL-32 孔)



注) 〇で示した数字は水圧計設置深さ、あるいは浅層水位測定用管の先端深さを示す。また、その他の数字は境界面の深さを示す。

図-6.2.9 シール材およびフィルタ材の設置実績

(4) シール効果確認試験

3孔の試験孔の代表としてセメント系シール材を用いたBL-33 孔のシール効果確認試験中の各水圧計指示値の変化を図-6.2.10に示す。シール区間の上位に位置する水圧計の指示値は孔内水位の変化(上昇)に反応しているのに対し、シール区間の下位に位置する水圧計の指示値は反応していない。したがって、各シール区間とも、正常なシール効果を発揮していることが確認できた。

この結果は他の 2孔でも同様であり、各シール材とも正常なシール効果を発揮することを確認した。

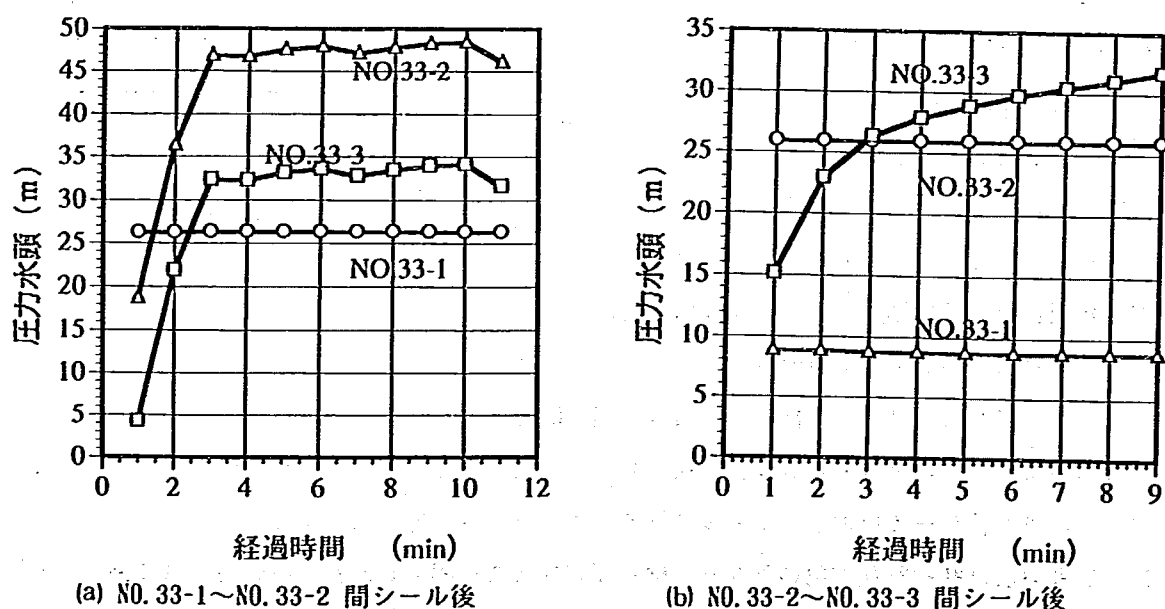


図-6.2.10 シール効果確認試験結果 (BL-33 孔)

(5) 初期地下水压測定結果

MGLパイプ設置作業が終了し、2日間経過した時点での測定データを用いた各孔の地下水压分布を図-6.2.11に示す。本図には、各水圧計指示値を含む静水压線（圧力水頭が地下水面からの深さに等しいとした場合に図示される線）を併記した。また、水圧計ごとに、当初想定した地下水位（表-6.2.2 参照）と地下水压測定により求めた地下水位を表-6.2.3 に示す。

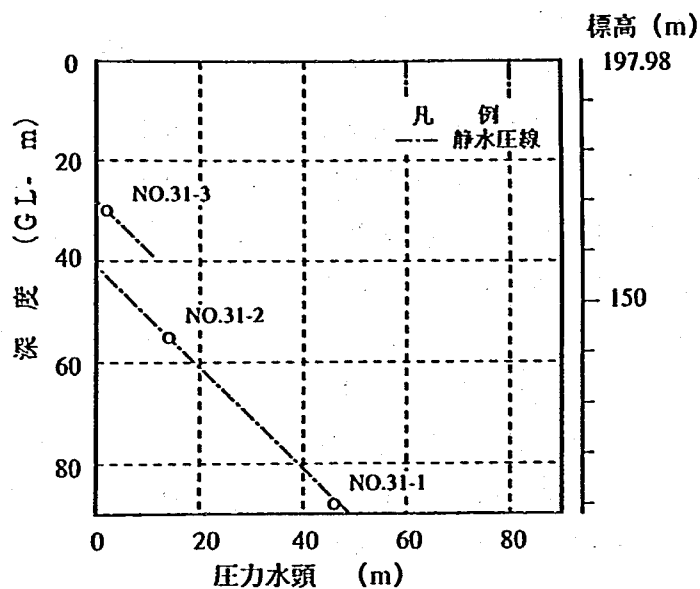
図-6.2.11に示したBL-31 孔の結果をみると、水圧計N0.31-1 およびN0.31-2 のデータは同一の静水压線上に概ね分布するのに対し、N0.31-3 のデータは明らかにこの静水压線上には分布しない。これは、地山内に異なる帯水層が存在し、N0.31-1 およびN0.31-2 が下位の帯水層中に位置しているのに対し、N0.31-3 はこれとは異なる上位の帯水層中に位置していることを示す。同様に、BL-32 孔で2層、BL-33 孔で3層の地下水層の存在が、この時点で推察された。ただし、経時測定の結果、BL-33 孔のN0.33-3 の水圧計指示値はその後減少し、最終的に 0kgf/cm^2 となったため、本孔周辺には2層の安定した地下水層が存在していることが判明した（7章参照）。以上から、大局的には当初想定したとおり、異なる2層の地下水層の存在を確認できたといえる。

一方、表-6.2.3 をみると、下位の地下水層に関しては概ね当初の想定にそった結果が得られている。しかし、上位のものに関しては、結果的に水圧計N0.33-3 を地下水位よりも上位に設置してしまった等、大きく想定と異なっている。調査ボーリング時の孔内水位変動からは大局的な地下水の分布状況を把握できるものの、これにはボーリングの残り水や浅層に存在する水が孔内に流れ込む影響があるため、孔内水位変動から地下水の分布状況を想定するのは精度の点で問題があることを改めて示したものと見える。

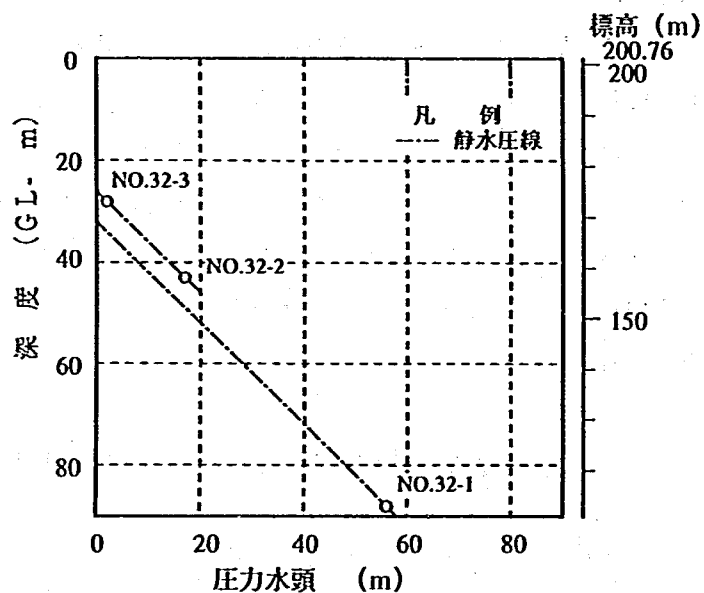
表-6.2.3 水圧計指示値から求めた地下水位

孔 名	水圧計N0.	当初想定した 地下水位 (EL. m)	地下水位 (EL. m)
BL-31	31-1	160	158
	31-2	160	159
	31-3	180	170
BL-32	32-1	180	169
	32-2	195	176
	32-3	195	176
BL-33	33-1	165	164
	33-2	190	172
	33-3*	190	(184)

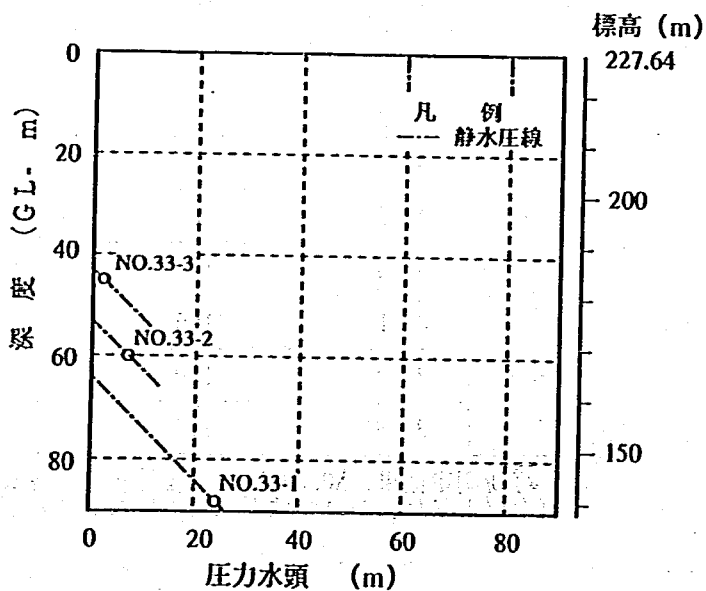
注) 経時測定結果、N0.33-3 の水圧計指示値は最終的に 0kgf/cm^2 となり、これが地下水層中ではないことが判明した。



(a) BL-31 孔



(b) BL-32 孔



(c) BL-33 孔

圖-6.2.11 地下水压分布 (初期地下水压测定結果)

6. 3 実証試験II

6. 3. 1 試験サイトの概要

試験は、四国山地のほぼ中央部、吉野川水系南小川の左支流南大王川の右岸側に位置する怒田地すべり地¹⁾域内で行なった。

当地域の地すべりは典型的な結晶片岩地帯の地すべりで、大規模な地すべり地形の中に多数の地すべりブロックが認められる。現在、地すべり滑動が認められ、あるいは推定されるのは、これらの小ブロックのうちのいくつかであり、今回、試験場所として選んだN-3ブロック（図-6. 3. 1参照）もそのひとつである。このブロックについては、平成3年まで傾斜計による地表変動計測がなされ、今後、全孔ストレーナ孔での地下水位観測も予定されている。

なお、MGLシステムによって得られる間隙水圧測定データは、以下の目的で使用される。

- 1) 地下水位と、すべり面および移動土塊中の深度別間隙水圧の変動パターンを比較し、複数の帯水層が確認されることの多い破碎帯地すべり地での地下水文構造を把握する。
- 2) すべり面での変位と間隙水圧変動との関係を明らかにする。

6. 3. 2 水圧測定点の選定およびシステム設置計画

(1) 水圧測定点の選定

MGLシステム設置孔は、N-3地すべりブロック内上部（図-6. 3. 3参照）とし、水圧計の設置深度は以下の点を考慮して、表-6. 3. 1のように決定した。

- 1) ボーリングコアの観察からGL-15.7m以深は硬質な岩盤から構成され、GL-14.3~-14.7mに粘土が見られることから、ここがすべり面と考えられる。
- 2) 削孔時に、図-6. 3. 4に示した圧力センサー付きエアパッカーを使用して、限定区間内の圧力を測定し、水位に換算した。この結果、図-6. 3. 2に示すように、GL-4m、-12m、-15m、-18mの4層の水位が認められた。

なお、パッカー法による水位測定は、孔底がGL-9.6m、-14m、-18m、-21.7m、-28m、-30mの時に、パッカー設置位置をほぼ1m間隔で変化させて実施した。

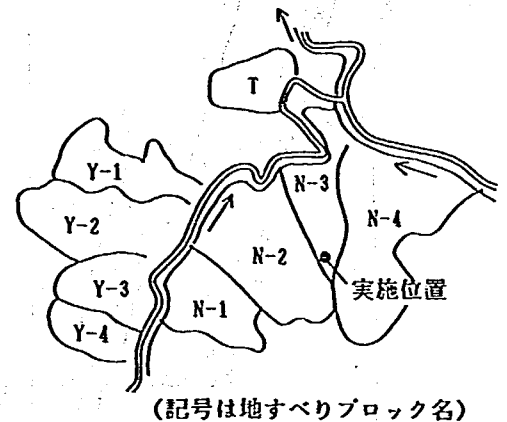


図-6. 3. 1 試験実施位置

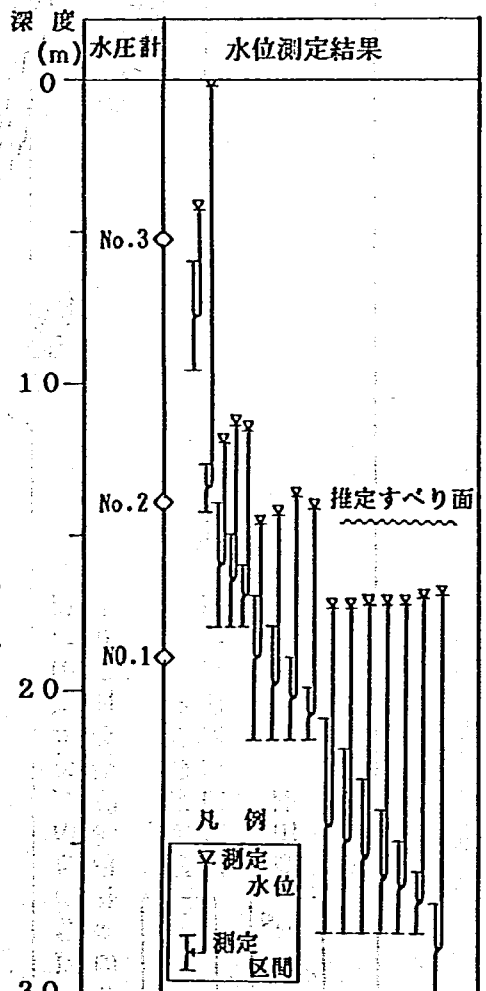


図-6. 3. 2 水位測定試験結果

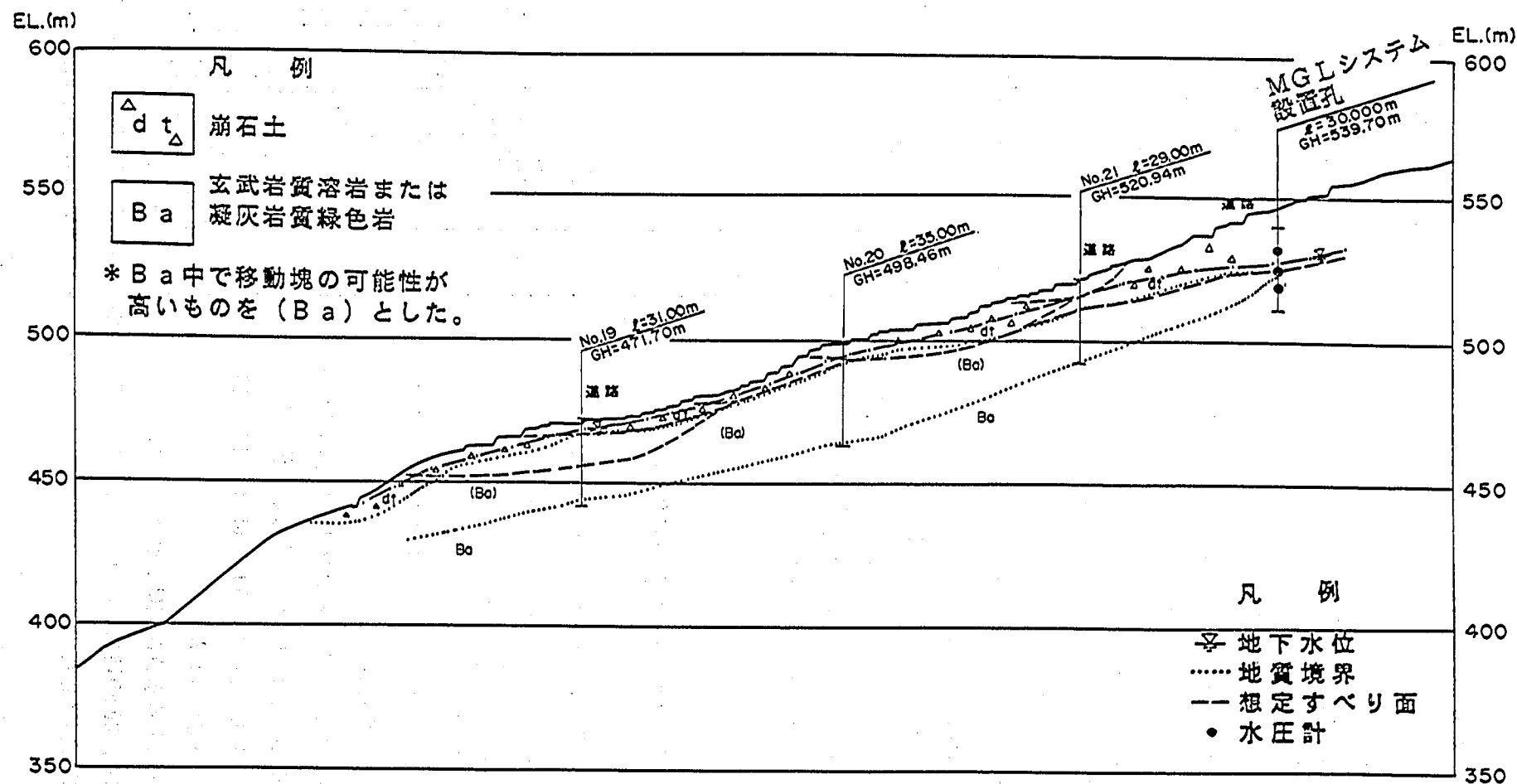


図-6.3.3 地質断面図 (N-3ブロック)

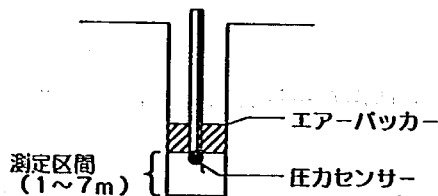


図-6.3.4 孔内水位測定方法

(2) システム設置計画

試験孔の直径は66mm～90mmと予定していたが、地盤が予想以上に悪く、ケーシングを多段に設置する竹の子掘りとなったため、表-6.3.2に示すような径の大きい孔となった。このため、注文生産品であるシール材は多めに準備していたものの、逸出区間で追加注入を繰り返しているとシール材が不足し、上部区間の充填が出来なくなる恐れがあった。そこで、標準的な充填仕様（水圧計の下側1～2mから上側1～1.5mの間をフィルタ部とし他をシール部とする）にはこだわらず、水圧計上部のシールが確実に行われていれば、逸出による充填面の低下があった場合でも原則として追加注入は行わないこととした。ただし、下から1段目と2段目の水圧計の間隔は5mと短く、フィルタ部を除いたシール区間としては、最大2～3mしか確保できないため、この区間では必要に応じて追加注入を行うこととした。

水圧計No	水圧計設置位置	すべり面との位置関係
No. 3	GL-5.3m, EL. 534.4m	すべり面上位の帯水層
No. 2	GL-14.0m, EL. 525.7m	すべり面付近
No. 1	GL-19.0m, EL. 520.7m	すべり面下位の帯水層

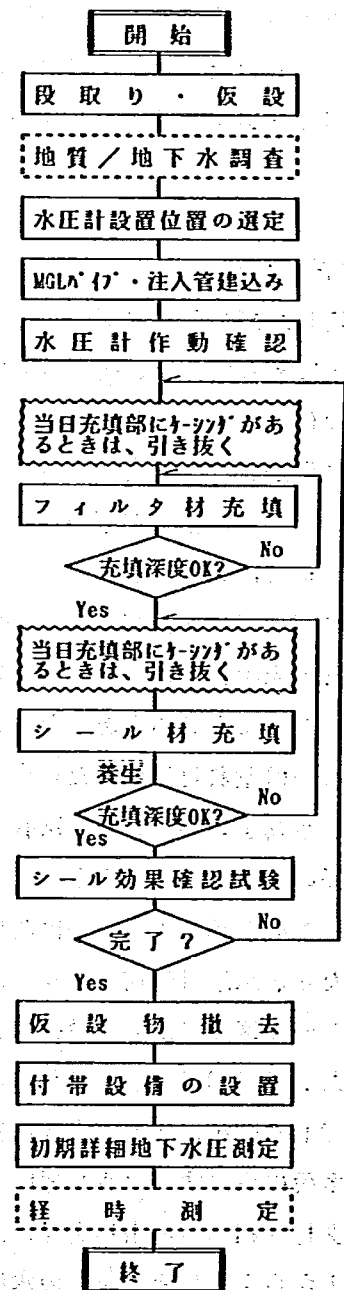
表-6.3.2 試験孔の寸法

深度 m	孔径 mm	断面積 cm ²	備考
0	140	154	ケーシング
3	115	104	
10	90	64	
18	66	34	素掘
30			

6.3.3 MGLシステムの設置

地すべり地帯対応型のMGLシステムの開発については、5.2に詳述しているが、当実証試験の段階で開発されていたものは、塩ビ製MGLパイプ（接着剤継手方式。後に6.5実証試験Ⅳより角ネジ継手を採用。どちらも水圧計取付部は鋼製）と可撓性シール材（ポリ樹脂コックレッツ 1527、日本フットイングエンジニアリング（株））である。これらは、はじめての現地使用となる。余長部をスパイラル線にした計測コード、長区間ケーシング設置孔でのシステム設置作業に有利な有孔外管（図-5.2.5参照）は、未開発であった。

なお、フィルタ材としては、珪砂6号を使用した。



注）破線で示した部分は、当実証試験の範囲外。

図-6.3.5 作業手順

(1) 施工手順

図-6.3.5にMGLシステム設置の施工手順を示す。

水圧計は建て込み前に電気的な性能確認を行なった。また、建て込んだ後は孔内注水により水位を上昇させて、水圧計が正常に作動することを確認した。

MGLパイプおよび注入管は、先端に図-4.3.1(2)に示したガイド管をつけて建て込んだ。建て込み作業は、MGLパイプ（塩ビ製）は手持ち、注入管はチェンブロックにより行なった。

ケーシング設置区間を充填する場合は、充填に先立って、当日充填予定部のケーシングを抜いた。

シール材とフィルタ材の充填方法、および充填位置確認方法については、4.3を参照されたい。

各水圧計上部のシール材を充填する毎に、シール効果確認試験（4.2.1(3)参照）を行った。

(2) 試験結果

塩ビ製MGLパイプは、重量が軽いので、手持ちで順調に建て込むことができた。接着剤による継手であったため、接続の度に数分間の硬化待ち時間を設けたが、ネジ継手にすれば、作業はより迅速化できると思われた。

気温が4℃前後と低かったことから、可撓性シール材は流動性が悪かったが、湯煎によって温めると、しだいに粘度が下がり流動性が増した。シール材は、深度

図-6.3.6に設置完了図を示す。硬化後に確認したシール材の充填位置は、充填直後の位置に比べて数メートルも下がったところもあった。これは、周辺地盤への浸透あるいは割れ目に沿った逸出の影響と考えられる。今回は、当初予定していた試験孔寸法に対して、かなり大きな径の孔となったことから、シール材の不足が懸念された。このため、1シール区間に対して1回の充填作業としたが、水圧計近傍までシール材を設置する場合には、1シール区間に対して数回の充填作業を行う必要がある。また、表-6.3.2からも分かるように、孔径ではわずかな差でも断面積にすると大きな差になるので、ケーシングを多段に設置するような悪い地盤では、シール材やフィルタ材を相当量の余裕を見込んで準備する必要がある。

下から1段目と2段目の水圧計（No.1とNo.2）の間隔は5mと短かったが、フィルタ材、シール材ともに問題なく予定深度に設置できた。図-6.3.7は、この区間のシール材充填後に行なったシール効果確認試験（4.2.

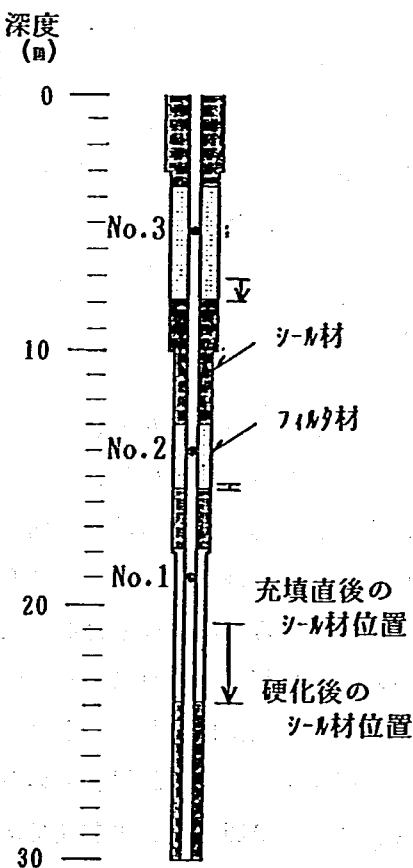


図-6.3.6 設置完了図

1 (3) 参照) の結果である。2 段目の水圧計は、注水開始直後から孔内水位が上昇したことを示しており、3 段目の水圧計 (No. 3) は、孔内水位が水圧計位置 (GL-5.3m) よりも下にあるときは、圧力ゼロ (図では孔内水位 GL-5.3m) を示しているが、その後、2 段目の水圧計と同じ水位上昇を示している。これに対して、1 段目の水圧計は指示値が全く変動せず、この水圧計上部のシールが確実に行われたことを示している。

ケーシング設置部の充填作業では、ケーシングは充填作業の進捗に合わせて段階的に引き抜いたが、そのつど、計測コードの孔口での保護処理、注入管の一時撤去 (MGLパイプが鋼管の場合は注入管を抱かせて処理することができるが、塩ビ製 MGLパイプでは強度上不安があり不可能) をしなければならず、より合理的な施工法の必要性を感じた。

設置終了後、翌日測定した水圧測定結果を図-6.3.8に示す。No. 1, 2, 3の水圧計は、削孔時に測定された GL-18m, GL-12m, GL-4mの各水位に対応する水位を示している。このことから、各水圧計間のシールは確実に機能していることが、改めて確認された。

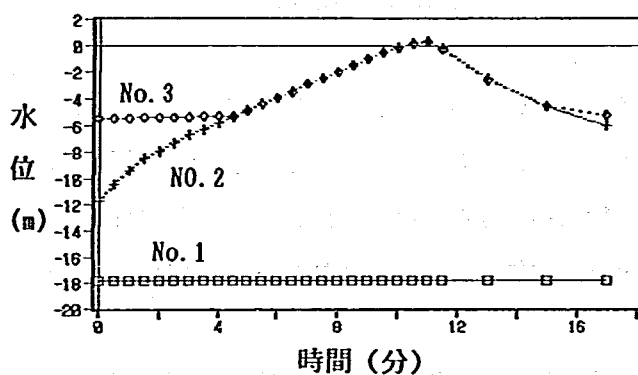


図-6.3.7 シール効果確認試験結果
(充填上端位置: GL-15.4m)



図-6.3.8 初期水圧測定結果

6. 4 実証試験Ⅲ

6. 4. 1 試験サイトの概要

八畝地すべり地⁴⁾は、吉野川の右支川南小川と、南小川の左支川南大王川との合流点付近、南大王川の左岸一帯に広がり、標高 200～700mの緩斜面に位置している。地すべり防止区域の面積は174.1ha、地質的には御荷鈴帯に属している。地域内には人家と耕地があり、耕地はそのほとんどが水田として利用されている。地すべり地は大きく4つのブロックに分けられ（図-6.4.1参照）、平均勾配は20°、移動量は地表面勾配の大きい地域で多い傾向がある。

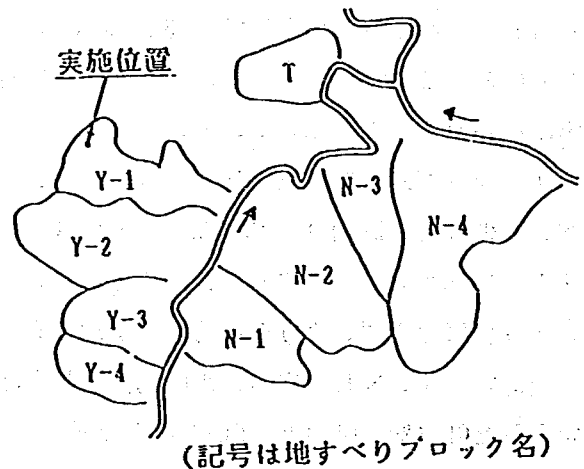


図-6.4.1 試験実施位置

6. 4. 2 水圧測定点の選定およびシステム設置計画

図-6.4.2にMGLシステム設置孔で実施した地下水検層の結果を示す。この調査結果図と過去の調査結果によれば地すべり面はGL-17.0～18.0m付近にあると考えられる。また孔内微流速測定によれば、GL-14.5m付近と、GL-18～19.0m付近に孔内で比較的大きな流速の流れがある可能性がある。そこで、これらの結果と調査ボーリング掘進の進捗と孔内水位の変動の関係およびボーリングコアから水圧計設置位置を以下に示す3点に決定した。

NO.1……………GL-37.0m (GL-20m以下は、ほぼ塊状の緑色片岩であり、同じ帯水層であると考えられるので、GL-32～40m までをフィルタ区間として、間隙水圧を測定する。)

NO.2……………GL-19.0m (地すべり面付近の間隙水圧の測定)

NO.3……………GL-14.5m (地すべり面の上位層の地下水圧の挙動の計測。孔内流速が認められる深度)

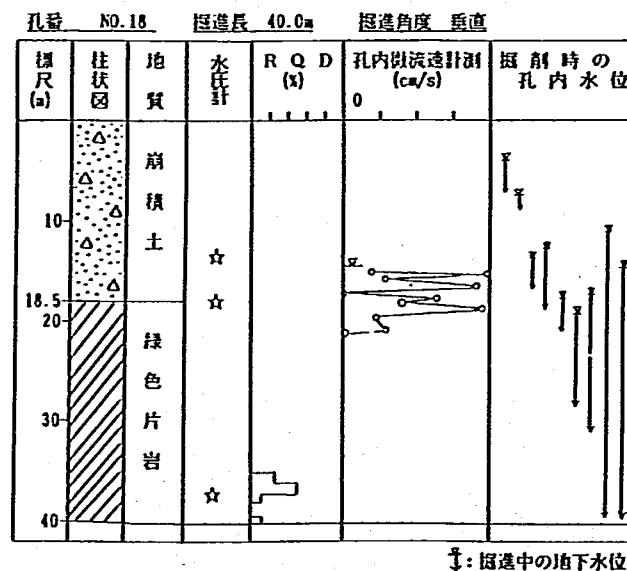


図-6.4.2 ボーリング柱状図及び地下水検層結果

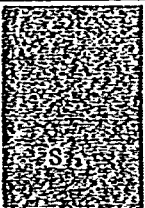
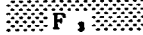
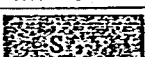
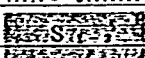
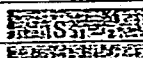
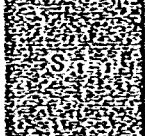
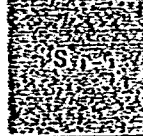
6. 4. 3 MGLシステムの設置

(1) 施工手順

実施手順および設置方法は、4. 2. 1に示した方法にしたがって行った。なお、本地すべり地は現在でも年数cmの移動が確認されているので、水圧測定精度の向上及びシール効果保全のため、地すべり面付近の水圧計上下のMGLパイプ（フィルタ区間）に塩ビ管を用いた。表-6.4.1に使用したウレタン系シール材の配合及び性状を、図-6.4.3に水圧計及びシール区間、フィルタ区間の設置計画と実際の設置位置を示す。

表-6.4.1 シール材の配合および性状

項 目		内 容
材料の種類	ウレタン	ポリグラウトW-600A（第一工業製薬）
	粘 土	C. S. C（竹折鑛業所）
	増粘剤	ユニショット A-10、F-350
配 合	重 量 配合. 1	ウレタン：粘土：水＝15：15：70
	比 配合. 2	ウレタン：粘土：水＝20：20：60
	配 合. 3	ウレタン：粘土：水＝25：25：50
増粘剤添加量		A-10⇒1%、F-350⇒2.5%（水重量に対する百分率）
性 状	粘性(cP)	300cPs以下（回転型粘度計による）
	比 重	1.12～1.24
	硬化時間	5 時間以内（15℃）

計 画 位 置			実 施 位 置		
深 度 (GL- m)	水 圧 計	区 間	深 度 (GL- m)	水 圧 計	区 間
5.0			5.0		
10.0			10.0		
14.0			13.7		
14.5	☆		14.4	★	
15.0			15.0		
15.5			15.4		
18.5			18.3		
19.0	☆		18.9	★	
20.0			20.1		
25.0			22.3		
30.0			25.0		
32.0			30.0		
35.0			31.9		
37.0	☆		35.0		
			36.8	★	

注) F:フィルタ層、S:シール層、☆:水圧計、★:MGLパイプ

図-6.4.3 水圧計及びシール区間、フィルタ区間の設置計画と施工実績

(2) 試験結果

(a) MGLパイプ建込

- ・今回のボーリング孔は、途中までケーシングが挿入されていたこともあり、MGLパイプの建込は順調に終了した。地すべり地においてはボーリング孔の保護及び施工性向上のため、ケーシングを用いることが多くMGLシステムの建込には有利に働く場合が多いと考えられる。しかし、その引き抜き作業には細心の注意を払う必要がある。また、Mダムサイトでの実証試験と同じく建込用ガイド（図-4.2.2参照）を用いたが、これは非常に効果があり、その使用は今後とも必要であると考え
- ・本試験は地すべり地内ということで、地すべり面近くの水圧計設置部の上下（フィルタ区間）に地すべりへの追従性を考慮してMGLパイプ延長用として塩ビ管を用いた。今後も地すべり地にMGLシステムを設置する場合、その現場状況に応じたMGLパイプの材質の選定が必要である。

(b) シール材・フィルタ材の設置

- ・ボーリング孔深度がGL-40mと比較的浅く、注入の際のシール材による管内損失が小さいと考えられたので、ウレタン及び粘土の割合の多い配合、3（表-6.4.1参照）のウレタン系シール材を注入した。また、この配合は最小シール区間が3mと短いときにも確実にシール効果が期待できる。
- ・シール材の逸出率がMダム等では約50～60% あったが、本ボーリング孔周辺の地盤は比較的透水性が低いいため本試験では20～30% と小さかった。

(c) 初期詳細地下水圧測定

- ・設置終了後の約2日間の計測でNO.1センサは約0.4kgf/cm²、NO.3センサは約0.3kgf/cm²の水圧が計測されているが、この値は徐々に減少しており、注水試験時に残留した水圧を計測しているものと考えられる。なお、NO.2センサは約0kgf/cm²を示していた。

6. 5 実証試験Ⅳ

6. 5. 1 試験サイトの概要

試験は、山形県新庄市より南西約15kmの平根地すべり地域内で実施した。平根地すべり地域は、出羽丘陵と奥羽山脈に挟まれた内陸盆地および周辺丘陵地帯に属し、標高200～300mのシラス台地に位置する、シラス層と第三紀層に起因する地すべり地である。大規模な地すべりは、ほぼ10年周期に発生しているが、小規模な地すべり活動や田畑の亀裂は、融雪期になると恒例的に発生している⁵⁾。試験場所は、地すべり地域内のほぼ中央部に位置する（図-6. 5. 1参照）。

6. 5. 2 水圧測定点の選定およびシステム設置計画

(1) 水圧測定点の選定

既調査資料による、地盤状況を図-6. 5. 2に示す。

地すべり面は、GL-15～-45mの第三紀風化岩中にあると予想されるが、特定されていない。そこで、水圧計は、この範囲の下部、中部、上部の3ヶ所に設置することとした。深度は、GL-43m、-31m、-14.8mである。

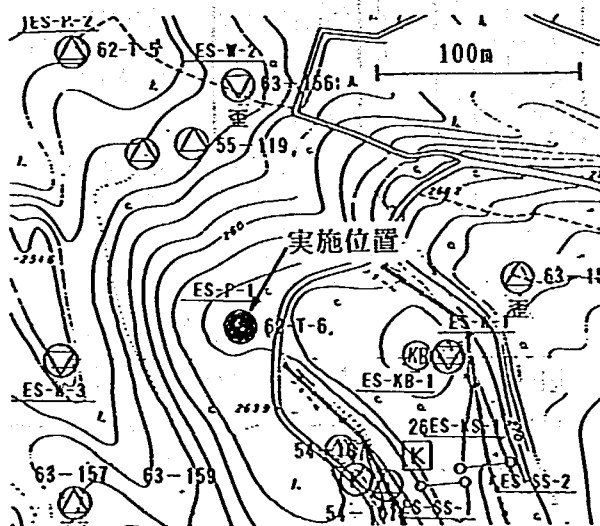


図-6. 5. 1 試験実施位置

深度 m	土質区分	すべり面	水圧計
10	軽石流堆積物 (シラス)		
	粘性土		No.3 ○
20	強風化泥質砂岩	(推定される範囲)	
	強風化シルト岩		
30	強風化泥質砂岩		No.2 ○
40	風化泥質砂岩		
	泥質砂岩		No.1 ○

図-6. 5. 2 地盤状況（既調査資料による）

(2) システム設置計画

水圧計周囲に設置するフィルタ部の長さを短くしようとして、水圧計下側のシール部を水圧計に近づけすぎると、シール材が水圧計にかぶって水圧計を壊す恐れがある。また、同じ目的で、フィルタ材を少量しか充填せず、水圧計上側の水圧計に近い位置からシール材充填を再開すると、シール材が地盤内あるいはフィルタ内を浸透して、水圧計まで達する恐れがある。そこで、標準的な仕様として、水圧計の下側1～2mから上側1～1.5mの範囲をフィルタ部とし、他をシール部とし

表-6. 5. 1 試験孔の寸法

深度 m	孔径 mm	断面積 cm ²	備考
0			
7	135	143	ケーシング
	115	104	
33			
45	86	58	素掘

ている。当試験孔でも、この仕様を設置目標とした。

なお、地盤は自立が困難な風化地盤であったため、試験孔を掘る際、孔壁保護のためのケーシングを深さ33mまで設置した。深さ33m以深の素掘部は孔径66mmとする予定であったが、孔壁の押し出しが予想されるとのことから、86mmに変更された。表-6.5.1に、深度と孔径の関係を示す。

6.5.3 MGLシステムの設置

地すべり地帯対応型のMGLシステムについては、5.2に詳述している。そこに述べた塩ビ製MGLパイプ（6.3 実証試験IIでは接着継手方式であったが角ネジ継手方式に改良。水圧計取付部は銅製）、余長部をスパイラル線にした計測コード、可撓性シール材（エポキシ樹脂「コンクレッブ」1527、日本7ドバイ「エプソニック」製）、そしてケーシング対策としての有孔外管（図-5.2.5参照）を用いた設置方法は、全て採用した。

有孔外管を用いた設置方法は、ケーシング設置部を対象として開発したものであり、外管の外径は76mmとなっている。このため、ケーシング区間が終わり径66mmの素掘部になれば孔壁にあたって止まるが、当試験孔の場合、深さ33m以深の素掘部の孔径は86mmとなっている（表-6.5.1参照）ため、先端部に細工をしなければ途中では止まらない。しかし、有孔外管を孔底（深度45m）まで設置しても、何等支障がないことから、あえて途中で止める細工はせず、孔底まで設置することとした。

また、エポキシ系シール材を温めるため、従来、エポキシ樹脂の入った18ℓ缶を浴槽に入れて湯煎加熱していたが、缶内部の攪拌が十分に出来ないため加熱に長時間（2時間程度）を要する、人手がかかるなどの課題があった。そこで、図-6.5.3に示した攪拌羽根と温水ヒートパイプを併用したシール材加熱装置を開発し、採用した。当加熱装置は、100ℓのエポキシ系シール材を10分足らずで30℃以上に温

めることが出来る。排出口は注入ポンプと直結するので、エポキシを加熱槽に入ればあとはスイッチの操作だけで良い。温水は、小型のガス浴槽から供給する。攪拌羽根と温水循環ポンプを稼働させるための電源は、小型発電機1台である。当加熱装置によって高粘度（5℃で約5万cP）のエポキシ樹脂（「コンクレッブ」1527の主剤）を温めた室内試験の結果を図-6.5.4に示す。67ℓ、5℃のエポキシ樹

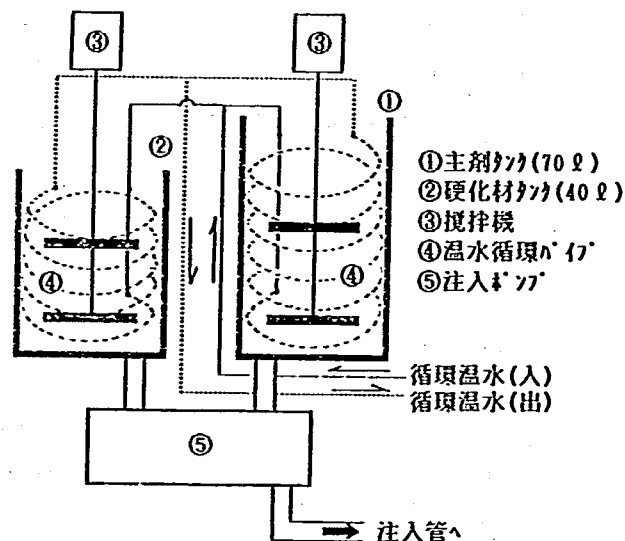


図-6.5.3 エポキシ系シール材加熱装置

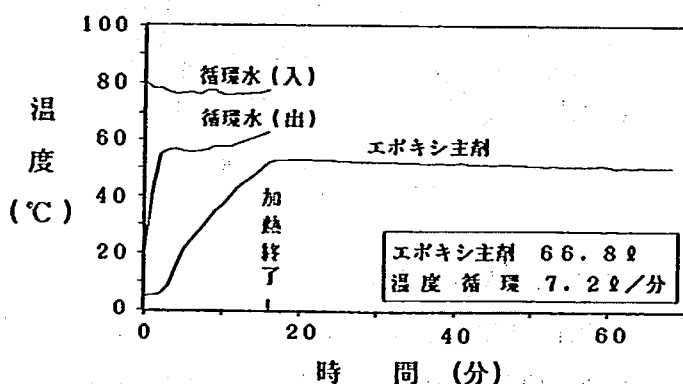


図-6.5.4 エポキシ主剤加熱試験結果

脂が7～8分で30℃以上に温まっていることが分かる。

なお、フィルタ材には、珪砂6号を使用した。

(1) 施工手順

図-6.5.5に施工手順を示す。

試験孔掘削後、孔内水位の確認をした後、有孔外管（図-5.2.5参照）を孔底まで人力にて建て込んだ。

ボーリング機械を使ってケーシングを全て引き抜いた後、ボーリング機械を撤去した。

水圧計の電氣的な性能確認をした後、MGLパイプを人力にて建て込み、つづいて注入管をチェーンブロックにて建て込んだ。塩ビ製の有孔外管が孔底まで設置されていることから、ガイド管（図-4.3.1参照）は必要ないと判断し使用しなかった。

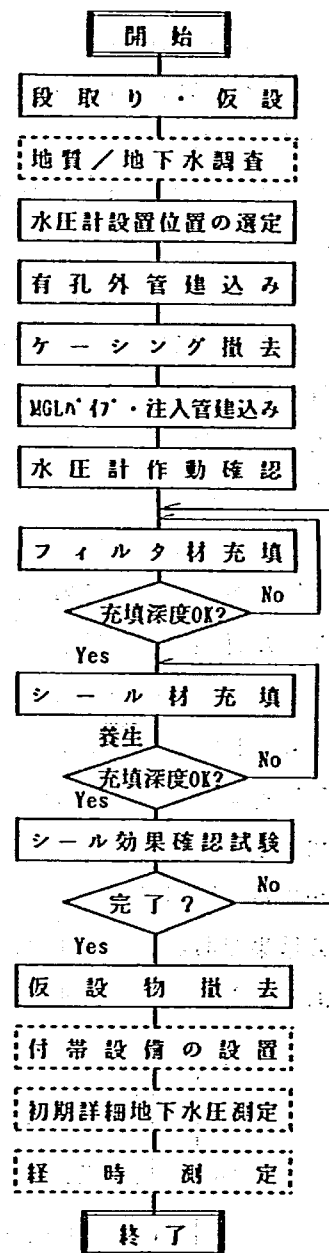
孔内注水によって水位を上昇させて、水圧計が正常に作動することを確認した。

以上の準備を終え、フィルタ材およびシール材の充填作業を行った。6.3で報告した地すべり地帯での実証試験では、有孔外管を用いた設置方法は未開発であったため、シール材やフィルタ材の充填に先だって当日充填予定部のケーシングをそのつど段階的に抜かねばならなかった（図-6.3.5参照）。これに対して、当実証試験では有孔外管を導入し、ケーシングをあらかじめ全て引き抜いているので、充填作業途中のケーシング引き抜きはない。この点が、大きな違いである。充填方法および位置確認方法については、4.3を参照されたい。

各水圧計上部のシール材を設置する毎に、シール効果確認試験（4.2.1（3）参照）を行った。

(2) 試験結果

有孔外管（図-5.2.5参照）は、ケーシング設置区間を対象としたものであるが、本孔は最小孔径86mmで掘削したため、有孔外管（外径76mm）は孔底まで設置した。このため設置深度は45mとなったが、チェーンブロック等の器具は使わず、人力にて順調に建て込むことができた。人力で建て込めたのは、孔内水位（GL-20m）より深いところでは浮力が働いたこと、有孔外管に開いている排出孔を活用し支えのための鉄筋を差しながら建て込んで行ったことなどによる。有孔外管は、設置後、ケーシング引き抜き作業の障害とならないよう、地上に出ている部分を切断した。



注）破線で示した部分は、当実証試験の範囲外。

図-6.5.5 作業手順

圖-6.5.6 設置完了圖

設置方法についての結論として、今回新たに採用した有孔外管、ネジ継手式塩ビ製MGLパイプ、シール材加熱装置は、いずれも作業の省力化に対して有効であった。また、シール材の逸出が激しい部分は、砂を充填してからシール材を注入して通過する方法が、現実的であり、有効であった。

The diagram illustrates a vertical borehole with a depth scale on the left ranging from 0 to 40 meters. Three observation points are marked: No. 3 at the surface (0m), No. 2 at approximately 30m depth, and No. 1 at approximately 45m depth. A legend box in the upper right corner defines the symbols: a horizontal line with a vertical tick for '測定水位' (Measurement Water Level) and a horizontal line with a vertical tick and a downward arrow for '圧力計位置' (Pressure Gauge Position). A horizontal line at the surface is labeled 'No. 3 (孔内水位無)' (No. 3 (No water level in hole)). To the right of the borehole, a vertical double-headed arrow indicates the 'すべり面が推定される範囲' (Range where the slip surface is estimated).

時間 (分)	No. 1 水位 (GL (m))	No. 2 水位 (GL (m))
0	-19.90	-19.90
1	-19.90	-19.85
2	-19.90	-19.75
3	-19.90	-19.65
4	-19.90	-19.30
5	-19.90	-19.30
6	-19.85	-19.90
7	-19.85	-19.90
8	-19.88	-19.90
9	-19.90	-19.90
10	-19.90	-19.90

图-6.5.7 初期水压测定结果

6. 6 実証試験V

本実証試験は、湧水を伴うボーリング孔でもMGLシステムの設置を可能とするため、5. 3で詳述した被圧地下水用MGLシステムの適用性の確認および問題点の抽出を目的として実施した。

6. 6. 1 試験サイトの概要

本実証試験の実施地点は、先に述べた実証試験Iを行ったサイトと同じMダムサイトの左岸地山に位置するBL-34 孔（孔口標高 EL. 218.46m、孔長 90m、孔径 66mm）である。試験に際しては、同孔を深度80m まで孔径100mm に拡孔した。試験サイトの概要は、6. 2. 1 に述べたので参照されたい。また、試験孔の位置は、図-6.2.3 に示した。

なお、本来であれば被圧地下水を胚胎する地山で試験を行うことが望ましいが、本試験サイトには被圧地下水は存在しない。本試験サイトを選定した理由は、被圧地下水を胚胎する適当な試験サイトが少なかったこと、被圧地下水用MGLシステムの装置をチェックする意味で必ずしもそのようなサイトで実施する必要がないこと、および本試験サイトには多くの地下水圧データの蓄積があり今後の解析を考慮すると利点が多いと判断したことによる。

6. 6. 2 水圧測定点の選定およびシステム設置計画

(1) 水圧測定点の選定

試験孔の調査ボーリング結果を図-6.6.1 に示す。

調査ボーリング時の孔内水位の変動状況からEL. 200m 付近およびEL. 170m に地下水位を持つ2層の帯水層の存在が予想される。水圧計の設置は、調査ボーリング結果および既往調査資料を考慮し、表-6.6.1 に示す3ヶ所とした。また、図-6.6.1 に選定した測定点の位置を併記したので、参照されたい。

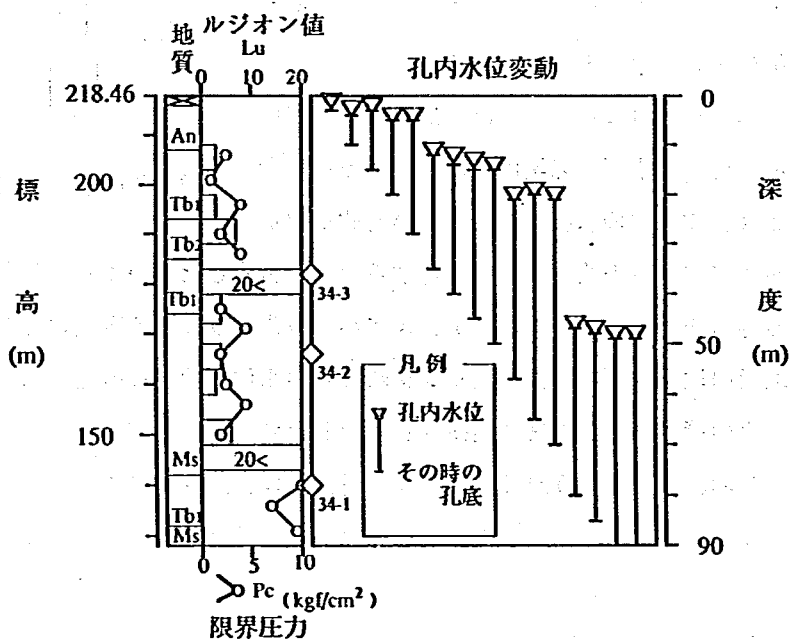


図-6.6.1 調査ボーリング結果 (BL-34 孔)

表-6.6.1 水圧測定点の位置と測定対象水位

水圧計 NO.	設置位置		測定対象区間 (GL- ~ m)	対象とする 帯水層 (地下水位) (EL. m)	備 考
	深さ (GL- m)	標高 (EL. m)			
34-1	79.0	139.46	68.5 ~ 80.0	170m 付近	
34-2	52.5	165.96	50.0 ~ 54.0	200m 付近	上位帯水層の飽和状況の確認
34-3	36.5	181.96	34.5 ~ 38.0	200m 付近	

(2) システム設置計画

岩盤の割れ目の分布状態を考慮して水圧測定対象区間を決定し、これ以外をすべてシール区間とした。設置計画を図-6.6.2に示す。

なお、本図に示した布パッカ部にシール材を注入するため、これがシール区間となる。また、エアパッカは観測孔の設置期間中時のみ作動させ、経時測定時には作動させないため、水圧測定対象区間に含まれる。各水圧計ごとの水圧測定対象区間は、表-6.6.1に併記したので参照されたい。

6. 6. 3 試験手順

被圧地下水用MGLシステムの設置は、水圧計作動チェック試験の終了直後にエアパッカ作動試験を実施したことを除き、図-6.2.6に示した手順と同じである。

エアパッカ作動試験とは、MGLパイプに取り付けた水圧計保護用のエアパッカを作動させ、作動中の水圧計指示値の経時的变化からエアパッカの遮水効果を確認する目的で実施した。つまり、作動前は各水圧計指示値は孔内水位による静水圧分布に従っているが、エアパッカ作動後には各区間の孔内水は遮断され、各水圧計設置位置の地盤の地下水圧（調査ボーリング時の孔内水位変動から推定）に近い値に収束することをもってエアパッカの遮水効果が正常に発揮されていると判断した。

なお、ここでいうMGLパイプの設置とは、MGLパイプに取り付けた布パッカの中にウレタン系シール材を注入することおよびシール効果確認試験を指し、それらの具体的方法は5. 3. 4に詳述したので参照されたい。

6. 6. 4 試験結果

(1) MGLパイプ建込み

事前に長さの異なる延長用パイプを数種類用意し、これらを適当に組み合わせることにより先に決定した水圧計の埋設深度に水圧計取り付けパイプおよびエアパッカが設置できるようにMGLパイプの組立および孔内への建込み作業を行った。このとき、注入管や布パッカ等も同時にMGLパイプに取りつけながら行った。その結果、当初の予定どおりMGLパイプを建込むことができた。

なお、水圧計取付けパイプ部には、ジオテキスタイルフィルタ²⁾を巻き付けた。

(2) 水圧計作動チェック試験

注水中の各水圧計の指示値の変化を図-6.6.3に、孔内水位を口元まで上昇させたときの各水圧計

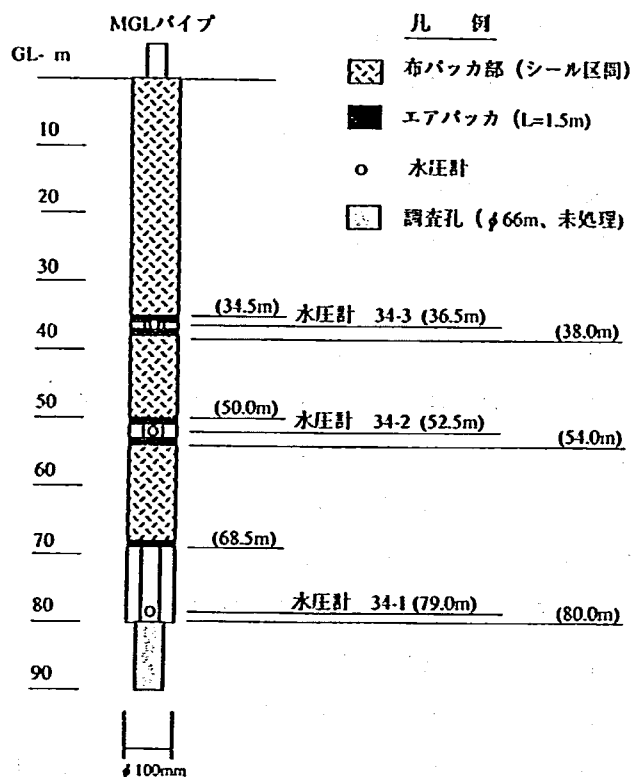


図-6.6.2 MGLシステム設置計画 (BL-34 孔)

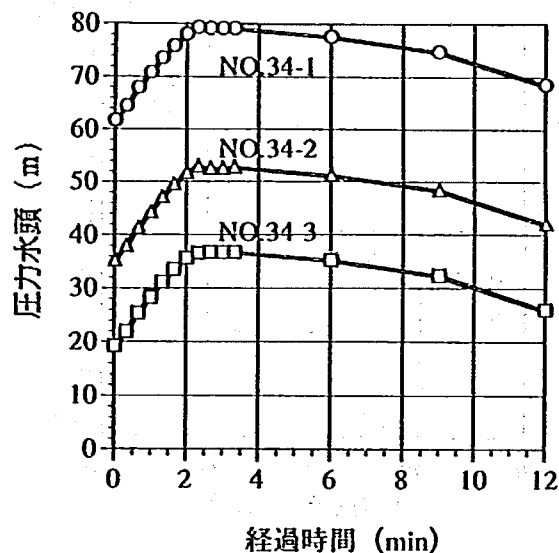


図-6.6.3 試験中の各水圧計指示値の変化

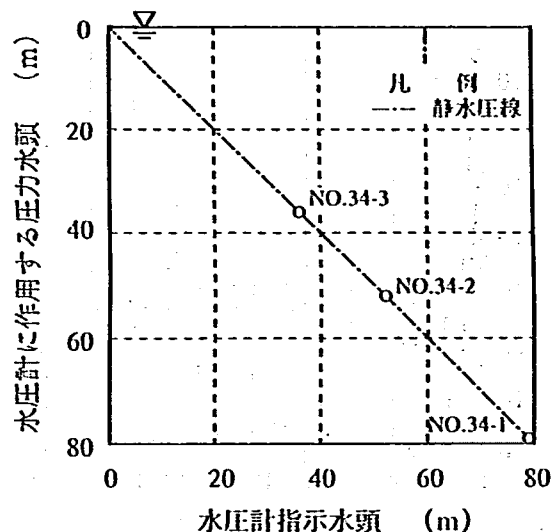


図-6.6.4 水圧計指示値と圧力水頭の関係

の静水頭と指示値との関係を

表-6.6.2 および図-6.6.4

に示す。

図-6.6.3 から注水中の各水圧計の指示値が孔内水位の上昇に伴って調和的に変化し、かつ表-6.2 および図-6.6.4 から孔内水位を口元まで上昇させたときの各水圧計の指示値が静水頭と一致している

ことがわかる。以上から、各水圧計とも正常に作動していることが確認できた。

なお、測定点NO.34-1 およびNO.34-2 は、2個の水圧計を内蔵する水圧計取付けパイプを用いた(2.4.3 参照)。図-6.6.3 および図-6.6.4 は、そのうち正の水圧計指示値を用いて作図している。

(3) エアパッカ作動試験

エアパッカ作動直後に各水圧計指示値とも、一瞬上昇した。これは測定区間にパッカの膨張に伴い、測定区間の孔容積が縮小したために過剰圧力が発生したものであり、パッカが正常に作用している証明である。

エアパッカを作動中の各水圧計の指示値の経時変化を図-6.6.5 に示す。本図には、エアパッカを作動させたことによって各測定区間の孔内水とその他の部分の孔内水とが遮断され、徐々に本来の地下水圧に収束していく過程が示されている。ここで、水圧計NO.34-1 およびNO.34-2 は 2時間以内に収束しているのに対し、NO.34-3 では収束するために 4～6時間を要している。NO.34-3 の設置位置の透水性は20Lu以上と高いことを考慮すると、過剰圧力の消散時間としては異常に長い。これは、

表-6.6.2 水圧計作動チェック試験結果

水圧計 NO.		設置深さ GL- m	満水時の 静水圧(A) kgf/cm ²	水圧計 指示値(B) kgf/cm ²	誤差 A-B kgf/cm ²
34-1	正	79.0	7.90	7.91	0.01
	副			7.92	0.02
34-2	正	52.5	5.25	5.27	0.02
	副			5.24	-0.01
34-3		36.5	3.65	3.64	-0.01

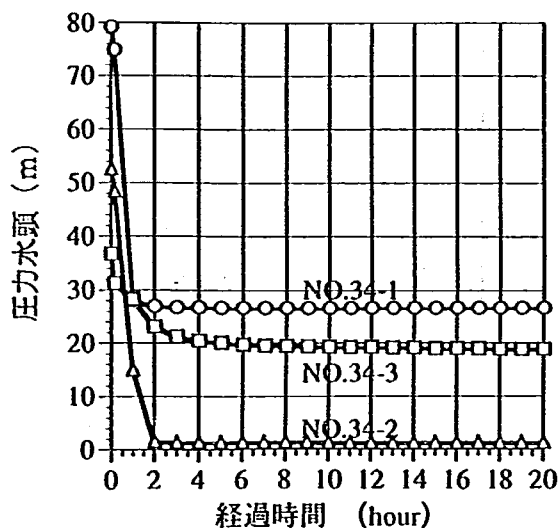


図-6.6.5 エアパッカ作動中の測定値の変化

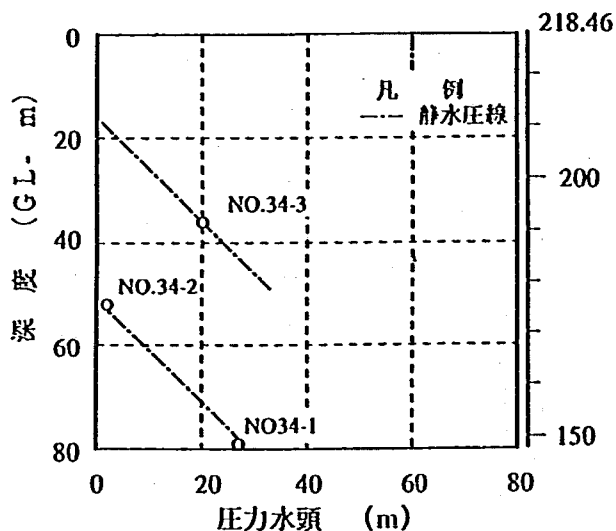


図-6.6.6 地下水圧分布

岩盤の割れ目を介してエアパッカの上下の孔内水が連絡しているため、直前に行った水圧計作動チェック試験で孔口まで注水したときの残り水が消散していく過程をNO.34-3 がとらえていると解釈すべきであろう。

本試験終了時(エアパッカ作動後、約20時間)のデータによる地下水圧分布状況を図-6.6.6、示す。これより、本地点にはGL-52m (EL.166m) 付近に圧力水頭を持つ地下水層と、GL-18m(EL.201m) 付近に地下水面と持つ帯水層の存在が予想された。

(4) MGLパイプ設置

削孔による孔膨れはないものとして式(4.2.1)によって求めた各シール区間の容積と実際の注入量を表-6.6.3に示す。

上段のシール区間は、エアパッカを作用させても上位の孔内水が岩盤の割れ目を介して連絡していることが推定されたため(エアパッカ作動試験結果参照)、まず下位10m分のシール材を注入、養生した。これは、34.5m分を一度に注入するとかかなりの自重圧となるため、布パッカから多量のシール材が漏洩し、割れ目を介して水圧計部に浸入する恐れがあったためである。その後、残りの部分に対

表-6.6.3 各シール区間の容積と実際の注入量

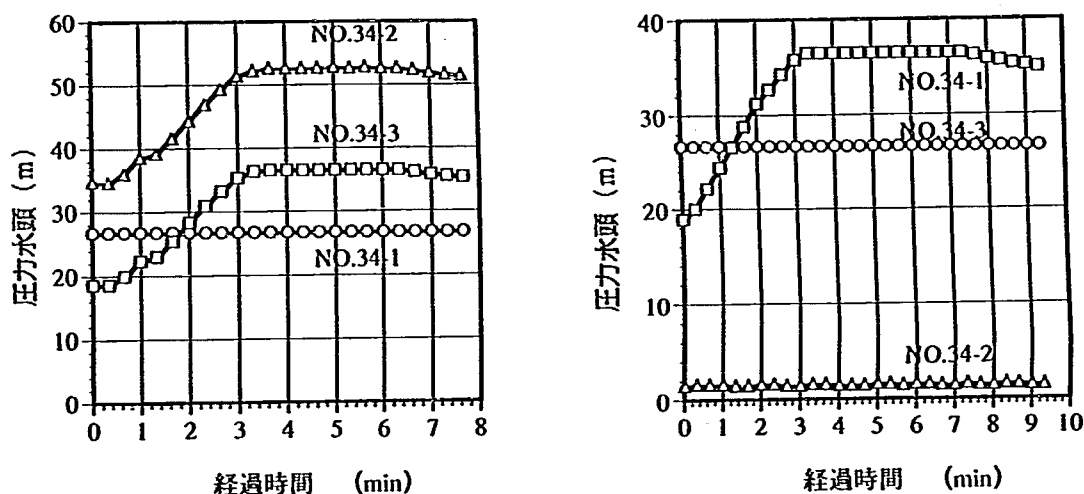
位置	シール区間 (GL- m)	区間長 (m)	容積 (A) (ℓ)	注入量 (B) (ℓ)	注入量容積比 $B \div A \times 100$ (%)	備 考
上段	0.0～ 34.5	34.5	238.1	290	122	目視により注入終了
中段	38.0～ 50.0	12.0	82.8	160	193	注入圧* :4kgf/cm ²
下段	54.0～ 68.5	14.5	100.0	100	100	規定量のみ注入

注) * : 注入用加圧容器使用時の注入圧

する注入を行い、孔口まで布パッカの中がシール材で充填されたことを確認し、注入を終了した。また、下段のシール材注入量に限り、規定量（計算上の区間容積）にとどめた。これは、下段のシール区間の注入中に水圧計NO. 34-2の指示値が異常に上昇したため、シール材が岩盤の割れ目を介して水圧測定対象区間に浸入する恐れがあると判断したためである。

(5) シール効果確認試験

各シール区間ごとに注水中の各水圧計の指示値の変化を図-6.6.7に示す。図では埋設が終了した区間の上位に位置する水圧計の指示値は孔内水位の上昇に追従するのに対し、下位の水圧計の指示値は変化していない。これによって、各シール区間とも正常なシール効果が発揮されていることが確認できた。



(a) 下段シール区間 (GL-68.5m~GL-54.0m) (b) 中段シール区間 (GL-38.0m~GL-50.0m)

図-6.6.7 シール効果確認試験結果

(6) 初期地下水圧測定結果

MGLパイプ埋設作業が終了し2日間経過した時点での各水圧計指示値は、エアパッカ作動試験で得られたパッカ作動後20時間のデータとほぼ同じであった。よって、図-6.6.6より、本地点にはEL. 165m付近とEL. 200m付近に地下水面と持つ2層の帯水層が存在していることが判明した。

(7) 残された問題点

地下水が孔内から自噴するような場合にもMGLシステムが対応できることを目指し、布パッカを用いたウレタン系シール材とMGLパイプによるシステムをベースに下記のオプションを導入して実証試験にのぞんだ。

①孔内湧水を一時的に止水するためのエアパッカ

②布パッカ内のシール材が希釈されること防止するため、湧水圧力よりも大きい一定圧力でシール材が硬化するまで連続的に注入するシステム（注入用加圧容器）

本実証試験の成果はほぼ満足できる。しかし、注入管等を組み込んだエアパッカの工作に難渋し、目標としていた規模よりも断面が大きくならざるを得なかった。このため、当初計画した孔径86mmの

ボーリング孔での設置は不可能となり、孔径100mm のボーリング孔を用いて実証試験を行った。試作したエアパッカの外径は82mmであるが、実用に供するためには強度の点でまだ不安があるため、鋼材の肉厚を厚くする等いくつかの改善が必要である。これらを満足させると必然的に外径が90~95mm程度なると見込まれ、今後実施する場合は孔径116mm のボーリング孔が必要となる。

参考文献

- 1) 山口嘉一・松本徳久：ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定，第22回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp. 81 ～ 85，1990 年 2月．
- 2) 建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室ほか：ボーリング孔内の多段遮水方法に関する共同研究報告書，建設省土木研究所共同研究報告書，第43号，1990年 8月．
- 3) 大西崇夫・松本徳久・山口嘉一：ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定（第 2報），第23回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp. 197～201，1991 年 2月．
- 4) 太田原幸亘：吉野川流域の地すべり対策事業，土と基礎，Vol. 39, No. 9, 土質工学会，pp. 94 ～98, 1991年 9月．
- 5) 利根コンサルサルトン編：平根地すべり，建設省東北地方建設局新庄工事事務所発行，1978年 3月．

7. MGLシステムによる地下水压実測例

7. 1 試験サイトと測定期間

MGLシステム^{1)~4)}は、既に20以上のダムサイトや地すべり地で設置され、その地下水压測定結果は調査設計および安全管理に大いに活用されている。ここでは表-7.1.1に示す3つのサイトにおける地下水压測定結果について詳述し、結果の利用法についての考察を行う。

表-7.1.1 試験サイトとMGLシステムの諸元

試験サイト	孔 数	水圧計数	設置年月	測定期間 (平成4年12月まで)	孔 径
M ダ ム	合計 9孔	27個			
	3孔	9個	平成元年4月 (1989)	3年8ヶ月	116mm
	2孔	6個	平成3年7月 (1991)	1年6ヶ月	116mm
	3孔	9個	平成3年12月 (1991)	1年	66mm
	1孔	3個	平成5年2月 [*] (1993)	—	100mm
亀の瀬地すべり地	1孔	4個	平成2年2月 (1990)	2年10ヶ月	116mm
怒田地すべり地	1孔	3個	平成4年2月 (1992)	11ヶ月	66mm

* Mダムの平成5(1993)年2月に設置した1孔については設置してまもないため、とりまとめから除外した。

7. 2 Mダムサイト

7. 2. 1 多点水圧測定計画

(1) MGLシステムの配置

図-7.2.1にMダムサイトのMGLシステム設置孔の配置を示す。測定システム孔は、基礎岩盤の地質および透水性などから有効と思われる止水ラインを想定し、その止水ラインの上下流に配置した。このように、配置することにより、止水ライン付近の詳細地質を把握し、さらに地下水位の分布およびその経時変化を止水ライン平行方向のみならず上下流の横断方向にも把握できる。MGLシステム設置孔の諸元を表-7.2.1に示す⁵⁾。

なお、Mダムサイト左岸には既設調査ボーリング孔の掘進時の孔内水位の変動状況から複数の帯水層の存在が推察されている。本ダムサイトの概要は6.2.1に述べたので参照されたい。

表-7.2.1 MGLシステム設置孔の諸元

調査孔名	水圧計 番 号	設置標高 (EL. m)	孔 径 (mm)	シール材	フィルタ材	設 置 年 月
BL-8	BL 8-1 BL 8-2 BL 8-3	132.2 154.2 183.3	116	ウレタン系	ジオテキスタイル	平成元年3月 (1989)
BL-9	BL 9-1 BL 9-2 BL 9-3	138.5 168.4 190.8	116	エポキシ系	砂	平成元年3月 (1989)
BL-10	BL10-1 BL10-2 BL10-3	143.2 178.2 205.7	116	セメント系	砂	平成元年3月 (1989)
BL-29	BL29-1 BL29-2 BL29-3	119.4 154.4 173.4	116	セメント系	砂	平成3年6月 (1991)
BL-30	BL30-1 BL30-2 BL30-3	127.1 154.1 176.1	116	セメント系	砂	平成3年6月 (1991)
BL-31	BL31-1 BL31-2 BL31-3	110.0 143.0 168.0	66	エポキシ系	砂	平成3年12月 (1991)
BL-32	BL32-1 BL32-2 BL32-3	112.8 158.3 172.3	66	ウレタン系	砂	平成3年12月 (1991)
BL-33	BL33-1 BL33-2 BL33-3	139.6 168.1 182.4	66	セメント系	砂	平成3年12月 (1991)
BL-34	BL34-1 BL34-2 BL34-3	139.46 165.96 181.96	100	ウレタン系	ジオテキスタイル	平成5年2月 (1993)
計9孔	27個	—	—	—	—	—

(2) 水圧計の設置深度の決定

水圧計の設置位置は、調査ボーリング時の孔内水位を参照し、かつ1孔あたりの設置点数が3点であることも考慮して以下の基準により決定した。

- i) 調査ボーリング時の孔内水位変動により確認あるいは推察された帯水層に対し、それぞれ少なくとも1カ所は設置する。
- ii) 帯水層が2層以下の場合、その飽和状態を確認する目的で、同一帯水層中の異なる深度に複数の水圧計を設置する。
- iii) 水圧計が常に地下水面下となるように、経年変動幅を考慮して想定される地下水面よりも10m程度下位に設置する。

(3) 計測方法

計測はデータロガーによる自動測定とし、測定間隔は6時間（4回/日）とした。また、データの回収は、約3カ月に1回の割合で行った。

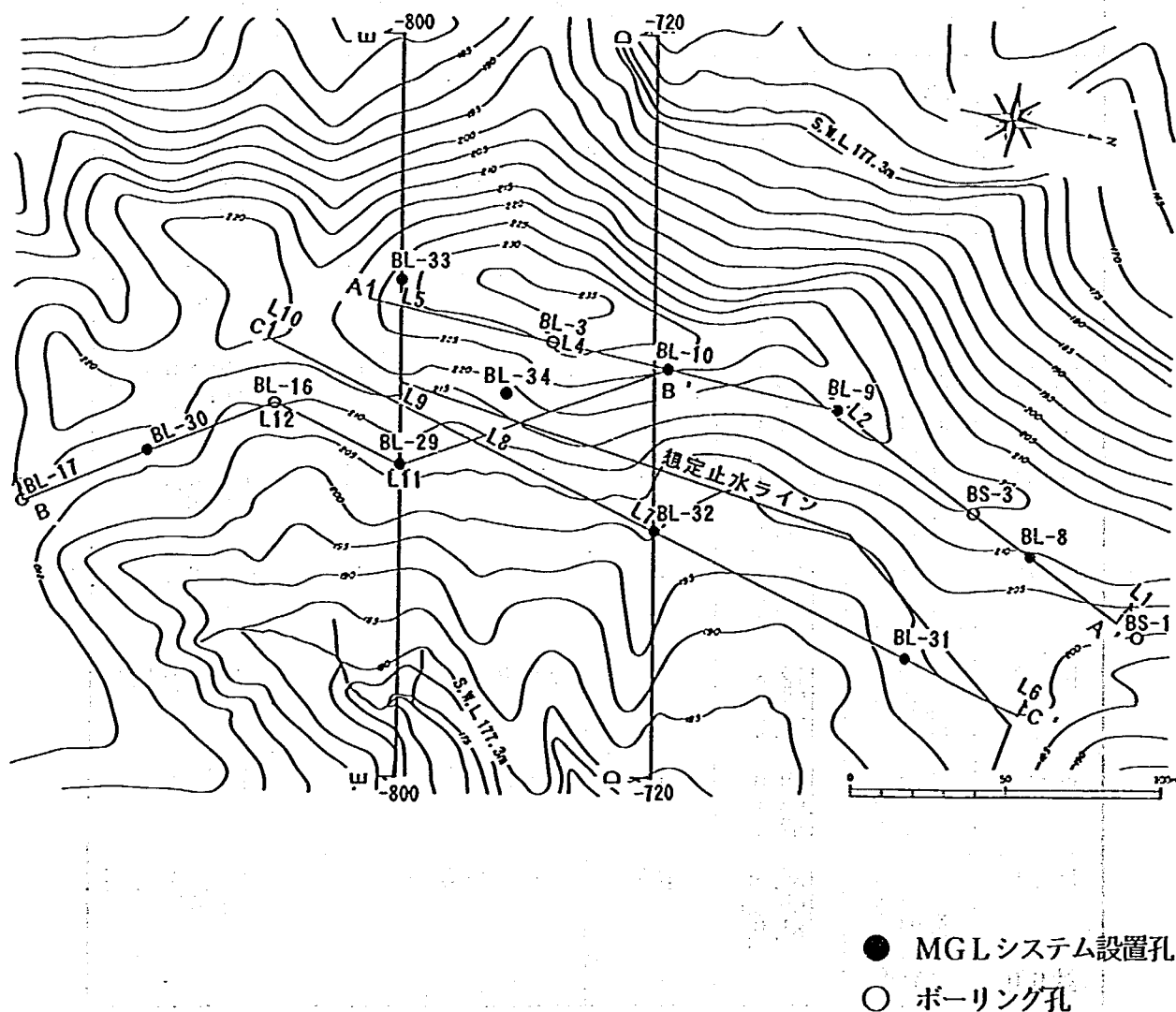


図-7.2.1 MGLシステム設置孔の位置

7. 2. 2 測定結果

ダムサイト左岸尾根部で実施されたMGLシステムによる地下水圧の測定結果を以下に述べる。

なお、BL-34孔の測定結果については、表-7.2.1に示したとおり設置して間もないため、十分なデータを収集しているとは言えないことから、ここでは言及しない。

(1) 融雪量の推定

水圧の経時変化をグラフ化するにあたり、横軸は年月、縦軸（右側）には各水圧計の水頭値を標高に換算した値を示した。また、ダムサイト近くの雨量観測所で観測された雨量と積雪深も表示した（縦軸左側）。さらに積雪深の変化から推定した融雪量も表示した。融雪量の推定方法は以下の通りである。

積雪深とBL10-2の水圧変化について検討したところ、積雪深が前日に比べ浅くなった期間には水圧上昇が認められた（図-7.2.2中①～⑤）。積雪深が浅くなるということは融雪と雪の圧縮の2つの要素が考えられるが、雪の圧縮については不明な点が多いので今回はすべて融雪によるものと仮定した。また、「雪の状態や地域により大きく変化するが、概略、積雪深1cmは降水量1mmに相当する」（日本気象協会：談）とされている。このため下線部の数値を1mm、2.5mm、5mmとした場合についてグラフを作成して検討したところ（図-7.2.3）、降雨時の雨量と水圧変化の関係と積雪深の変化と水圧変化の関係との対応から積雪深1cmは降水量2.5mmに相当すると仮定することが最も適当と判断した。融雪量は積雪深が前日に比べ、低くなった場合のみ求められ、図-7.2.4に示すような場合、1月4日の融雪量は積雪深の減少量（40cm）と（2.5mm/cm）の積から100mmとなる。

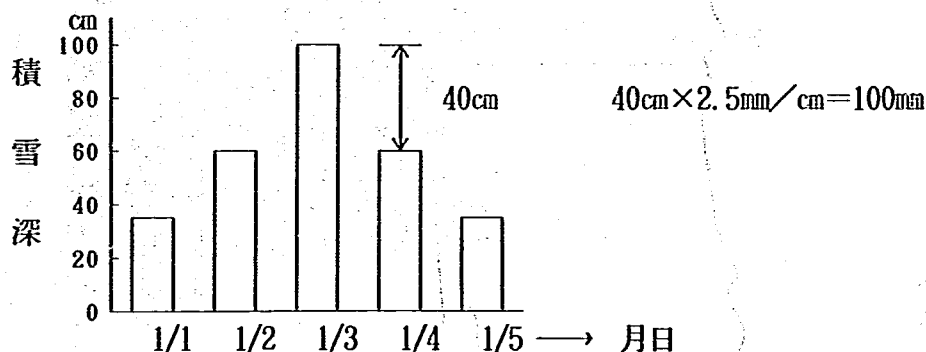


図-7.2.4 推定融雪量の算出方法

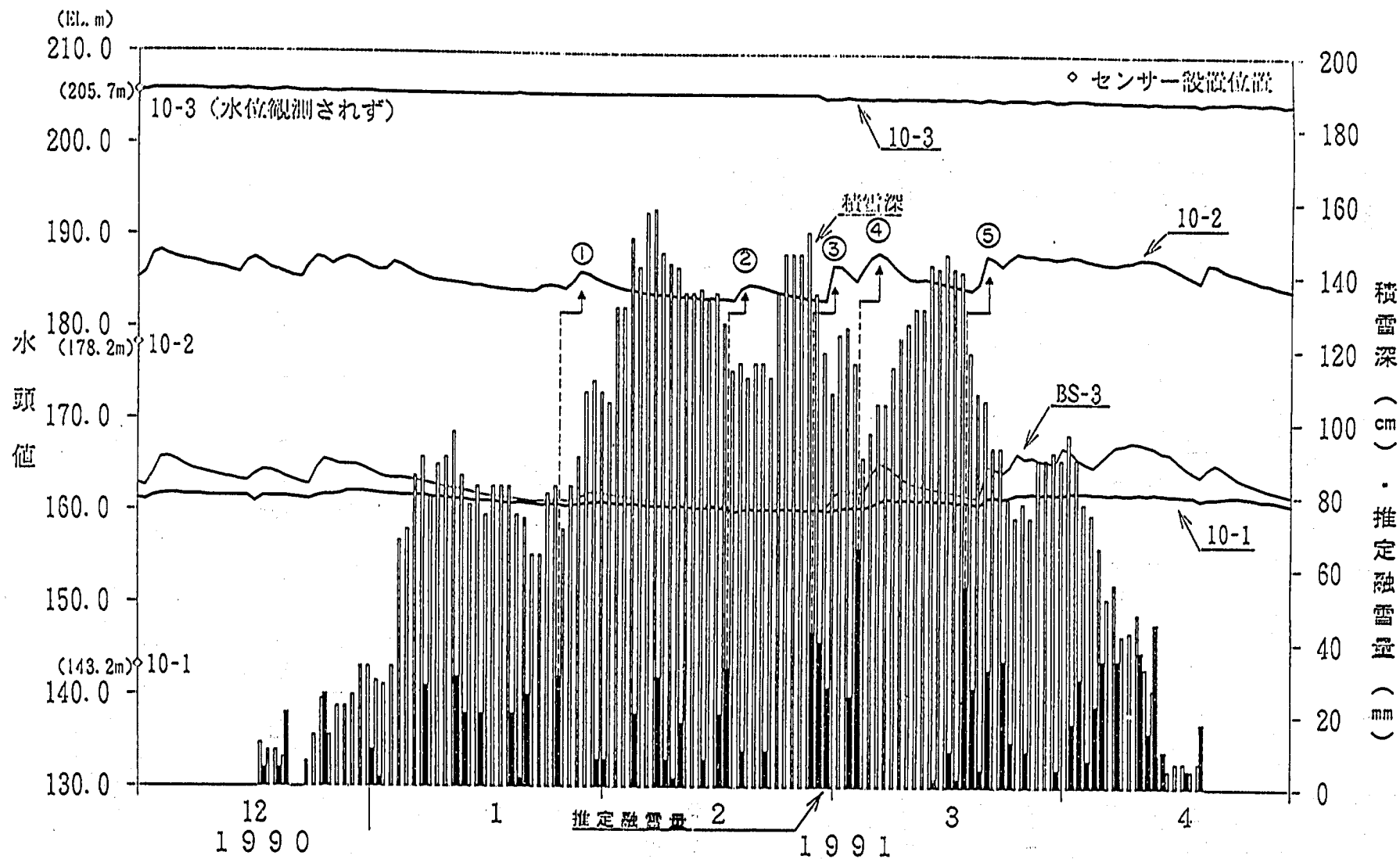
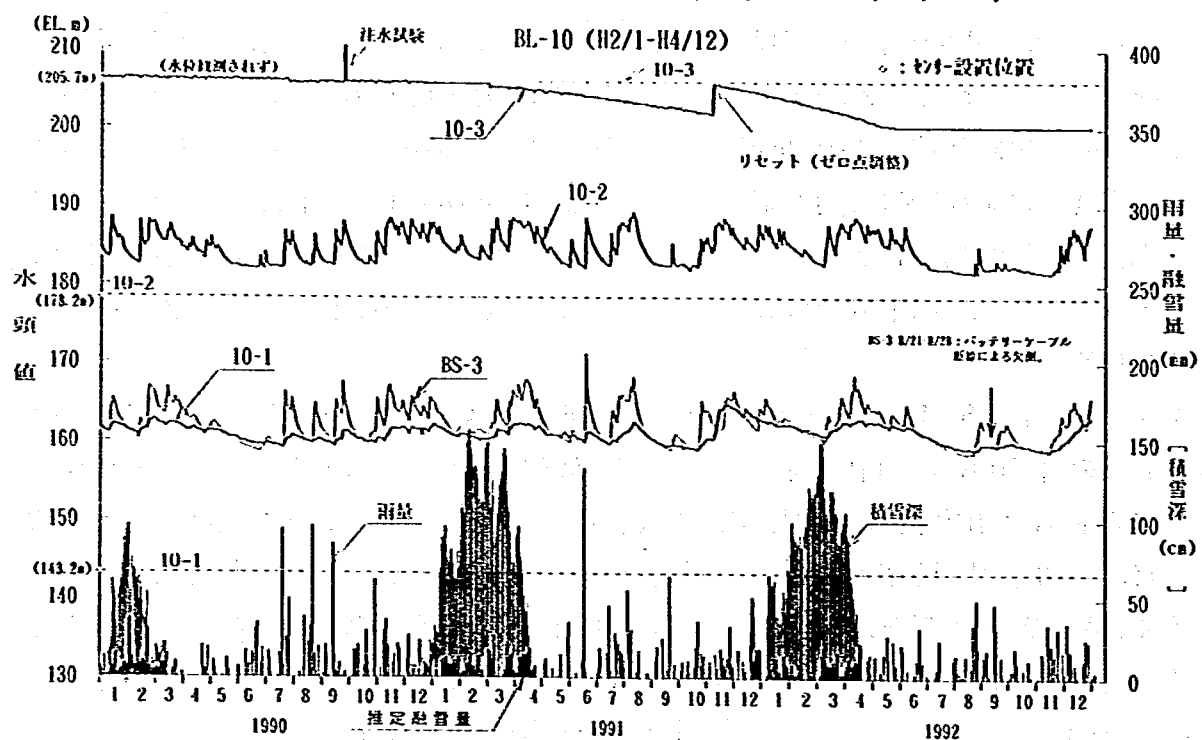
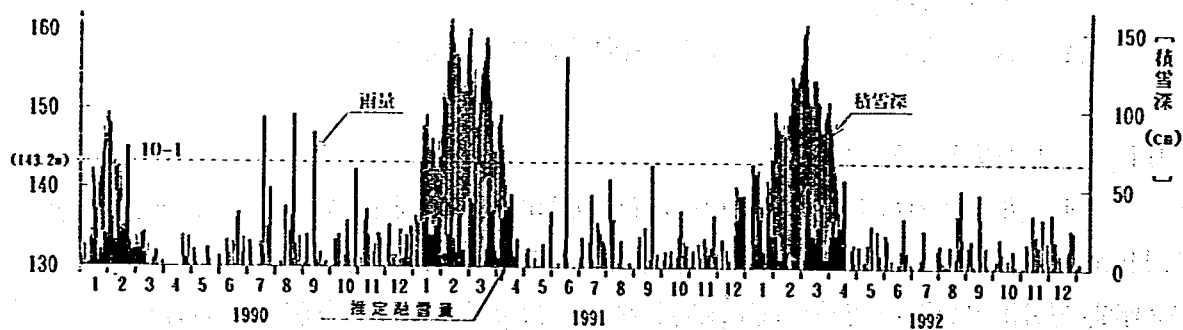


図-7.2.2 積雪深変化と地下水圧（水頭値）（BL-10：平成2（1990）年12月～3（1991）年4月）

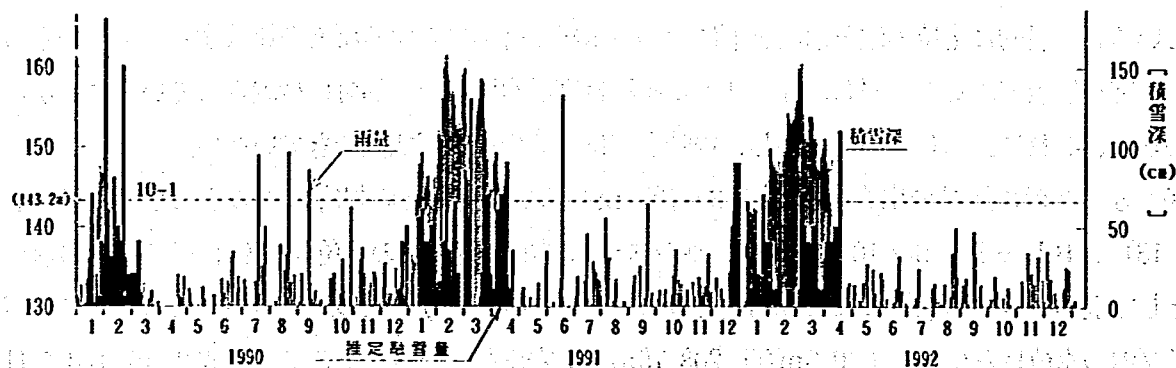
$$\text{融雪量 (mm)} = \text{積雪深減少量 (cm)} \times X \text{ (mm/cm)}$$



(a) $X = 1 \text{ mm}$ の場合



(b) $X = 2.5 \text{ mm}$ の場合



(c) $X = 5 \text{ mm}$ の場合

図-7.2.3 融雪量の推定方法の検討

(2) 地下水圧の経時変化

各孔の調査ボーリング時に得られた透水試験（ルジオンテスト）の結果と孔掘進に伴う孔内水位の変化をそれぞれ図-7.2.5～12に示す。これらの孔の孔内水位の変動状況からも本サイトには複数の地下水層があることが推定できる。この孔内水位の変動状況を参照して複数の地下水位をより正確に知るために、水圧計を各孔に3箇所ずつ所定の位置（7.2.1の(2)参照）に設置した。これらの水圧計により計測した6時間毎のデータから正午になるべく近いものを1日毎のデータとして選んで描いた地下水圧（水頭表示）の経時変化も、同様に図-7.2.5～12に示している。

なお、図-7.2.5～12の全ての図中には調査地近傍のスクリーン（ストレーナ）管を挿入しただけの調査孔BS-3孔の同一深度に設置した4個の水圧計（MGLシステム用と同じ型式）で測定された孔内水位の平均も示している。BS-3孔の4個の水圧計で測定した水頭値の間には、図中に示す測定期間に渡って水頭測定値25～35mにつき0.1～0.2m程度のばらつきがなく、かつその値は触針式の水圧計による測定値とも良く一致している。このことから使用した水圧計は耐久性に優れ、かつ測定精度はフルスケールに対して1%程度であり、信頼性が高いことがわかった。また、この4個の水圧計も含めて本サイトに設置して1年以上経過した水圧計28個のうち水圧計が故障したと考えられるのは1～3個であり、その生存率は96%（27/28）～89%（25/28）と高い。

以下、孔ごとの、地下水圧値について考察を加えた結果を述べる。

i) BL-8孔（図-7.2.5参照）²⁾

① 8-1、8-2の水圧計により測定された水頭値はそれぞれ平成2（1990）年1月時点でBL.145m、160m、平成4（1992）年12月時点でBL.154m、159mと両者の差は小さくなっているが3年間の長期間に渡って2枚の地下水層が安定して存在していることが確認された。

② 8-1、8-2の水圧計で測定された水頭は両者とも降雨の影響をあまり受けず四季を通して安定しているが、両者を比較すると8-1で測定された水頭は降雨の影響を受けた波形を呈している。一般的に上位の地下水層と下位の地下水層の降雨に対する反応を比較すると上位のものの反応が鋭敏であるのに対し、8-2の水圧計は高透水性を示す部分に設置されているにもかかわらず、これに該当しない。しかし、現時点では、その機構が把握できていない。

③ 8-3の水圧計の出力値はBL.193～197 mを示すが降雨との対応は認められない（図-7.2.13）。BL-8・9・10孔に設置したシステムでは、最上部の水位はMGLパイプ内の水位として別途触針式の水圧計により測定できる構造となっており、その測定結果によるとMGLパイプ内の水位は常にGL+0.5m（BL.208.76m）で安定している。そこで、平成2（1990）年7月にMGLパイプ内の水をGL-8mまで汲み出したが、水位の回復は見られなかった。このことから、8-3の水圧計周辺にはシール材が入り込み、地盤からの導水および排水を妨げたのではないかと考える。したがって、絶縁抵抗低下等の異常が認められないことから水圧計は正常に作

動しているものの、本水圧計の出力値は地盤内の地下水圧を示していないものと判断される。なお、上記の検証後は、孔口まで水を張り、経時測定を継続した。ただし、②の結果に加えて、ボーリング調査の結果から8-2の水圧計が設置されている地下水層の上に相対的な難透水層が存在することが判明しており、8-3の水圧計周辺にも地下水層が存在するものとする。

④ 8-1の水圧計の出力値は3年間で9mとゆるやかに上昇している。この原因としては水圧計のドリフトまたはシール効果の長期的な低減等測定システム上の問題点の場合と、シールされていないBS-3孔を介した地下水の流入により8-1の水圧計で観測している水位が上昇した場合が考えられる。同様な傾向が9-1の出力値にも認められるが、現時点では原因を特定できない。

ii) BL-9孔 (図-7.2.6参照) ²⁾

① 長期的な測定結果を見ると、9-2の水頭の方が9-1の水頭よりも大きい。

② 降雨の影響については9-1で測定された水頭は降雨の影響を余り受けずほぼ安定しているが、9-2で測定された水頭は降雨の影響を受けて反応し、BS-3孔の孔内水位とほぼ同様の波形を呈している。これより両地下水層の間には、難透水層が存在することがわかる。この難透水層の存在は、調査ボーリングの結果からも判明している。

③ 9-3の水圧計では、小さいながら安定した地下水圧が計測されている。しかし、触針式の水圧計による測定では9-3設置部に水位は認められなかった。また、9-3の設置標高に地下水層が存在するとすると、それが最上層となる訳であるが、降雨の影響を全くと言っていいほど受けていないのは不自然である。さらに、本孔ではシステム埋設時にケーブルの現場結線を行っており、9-3の水圧計の絶縁抵抗を調べたところ、かなり低下していた。よって、9-3付近には安定した地下水層は存在せず、図-7.2.6中の水圧値は絶縁抵抗低下による異常値と判断した。

④ 9-1の水圧計の出力値は3年間で5mとゆるやかに上昇している。その原因は8-1同様、現時点では特定できない。

iii) BL-10孔 (図-7.2.7参照) ²⁾

① 10-1、10-2の水圧計により測定された水頭値から2枚の地下水層が長期間安定して存在していることが判明した。

② 10-1、10-2の水圧計で測定された水頭の長期変動を見ると、下位の地下水層内にある10-1で測定された水頭は降雨の影響をあまり受けず安定しているが、上位の地下水層にある10-2で測定された水頭は降雨の影響の受けストレーナ管を挿入しただけのBS-3孔の孔内水位とほぼ同様の波形を呈している。これより両地下水層の間には、両層を分ける相対的な難透水層が存在することがわかる。この難透水層の存在は、調査ボーリングの結果からも判明している。

③ 10-3の水圧計の測定では水頭値の出力を得られず、かつ触針式の水圧計でも水位は認めら

れなかった。よって、地下水層は存在しないと判断される。設置後2年経過した平成3(1991)年3月以降マイナス側にドリフトが生じている。

iv) BL-29孔(図-7.2.8参照)⁵⁾

① 孔掘進に伴う孔内水位の変動から3層の地下水層の存在が予想されたが、MGLシステムにて設置した29-2、29-3の水圧計により測定された水頭値では最上位の地下水層は認められなかった。しかし、中層と最下層の2枚の地下水層が長期間安定して存在していることが確認された。

② 29-2、29-3の水圧計で測定された水頭の長期変動を見ると、上位の地下水層内にある29-3で測定された水頭は降雨の影響をあまり受けず四季を通して安定しているが、下位の地下水層内にある29-2で測定された水頭は降雨の影響を受け、ストレーナ管を挿入しただけのBS-3孔の孔内水位とはほぼ同様の波形を呈している。この結果は、上位と下位の地下水層の間には、両層を分けるルジオン値が比較的低く亀裂の分布密度が低い火山礫凝灰岩(Tb₂)を主とする難透水層が存在するものの、深度50.5~51.5mや深度70.0~71.5m付近などの泥岩における高角度(70°~80°)の傾斜をもつ高透水性の割れ目によって地下水層が連結されている可能性を示唆している。しかし、上位の地下水層と下位の地下水層の降雨に対する反応を比較した場合、一般的に上位のものの反応が鋭敏であることを考慮すると、水圧計が故障している可能性もあり、今後のデータの動きを見極めた上で十分吟味する必要がある。

③ 29-1は設置(平成3(1991)年6月1日)後3週間経過してからの出力が安定せず(2~3秒でデータが変化する)、出力がフルスケール(100m 標高換算では219.4m)以上を示すことがあった(図-7.2.14(a))。このためデータロガーを交換して出力を確認したが、同様であり、水圧計の故障と考えられる。水圧計部の故障としては以下の場合が考えられる。a)コネクタ部へ水が入り絶縁不良となった。b)水圧計部へ水が入り絶縁不良となった。c)水圧計チップの劣化。d)誘導雷等による水圧計の故障。e)水圧計の導水窓をシール材がシールしてしまった。これらのうち、データ異常が生じたのは設置後3週間以降なので、c)(水圧計チップの劣化)とe)(シールされてしまった)の可能性は少なく、d)(誘導雷)については不明である。したがって、故障はa)(コネクタ部への水)またはb)(水圧計部への水)によるものと判断される。いずれの場合も防水不良ということであり、品質管理の強化が重要である。

平成4(1992)年8月11日~8月20日の6時間間隔での測定結果(図-7.2.14(b))をみるとBL29-2、BL29-3もBS-3孔の水圧計に比べ出力値が安定しないことからBL29-2、BL29-3についても故障の可能性がある。

v) BL-30孔(図-7.2.9参照)⁵⁾

① 30-1と30-2の水圧計で得られた水頭値の差は3m未満であり、同一の地下水層内に設置しているものと判断する。

- ② 30-1、30-2の水圧計で得られた水頭値は、降雨の影響をあまり受けていない。
- ③ 30-3の水圧計の測定では水頭値の出力を得られなかった。また、絶縁抵抗低下などの異常も認められないため水圧計は正常に作動していると判断できる。よって、30-3設置部には地下水層は存在しないと判断される。

調査ボーリング時に認められた深度5~10mの一時的安定水位が観測されない原因として、次の二つが挙げられる。

- a) 30-3の上位に設置したシール材により、一時的安定水位と30-3とが遮水され、ボーリング孔を介した地下水の移動がなくなった。
- b) 深度12~32m間に分布する岩盤は2ルジオン未満の難透水層であるのに対し、30-3付近の岩盤はルジオン値は同程度とみなせるものの褐色化したやや開口性を示す割れ目が発達することから相対的透水層とみなせる。つまり、上位からの給水量に比べて下位への排力能力が大きいため、地下水が存在し難い状況にある。

しかし、上述のとおり、深度12~32m間に相対的難透水層が存在することに加え、②の結果を考慮すると、本孔に設置したMGLシステムでは観測できなかった地下水層が30-3の上位に存在すると推察される。

vi) BL-31孔 (図-7.2.10参照)

- ① 31-1と31-2の水圧計で得られた水頭値の差は3m未満であり、同一の地下水層内に設置されているものと考えられる。
- ② 31-1、31-2の水圧計で得られた水頭値は、降雨の影響をあまり受けていない。
- ③ 31-3の水圧計の測定ではほぼ一定の2mの水頭値の出力を得ており、絶縁抵抗低下などの水圧計の異常も認められない。しかし、31-3の設置標高に地下水層が存在するとすると、それが最上層となる訳であるが、降雨の影響を全くと言っていいほど受けていないのは不自然である。よって、31-3付近には安定した地下水層は存在せず、図-7.2.10中の水圧値はゼロ点の設定不良と判断した。

調査ボーリング時に孔口より5~15mの深さに認められた一時安定孔内水位が検出されなかった原因は30-3の水圧計の場合と同様と判断される。つまり、ボーリングコアおよびボアホールスキャナーの観察から水圧計下方のフィルター区間に開口性の割れ目が存在する事が確認されており、フィルター区間の水はここから排水されとともに、上方からの供給はシール材により遮断されてしまうため、31-3付近には地下水がないと判断される。

しかし、②の結果に加えて、地質調査の結果から31-3の水圧計が設置されている地下水層の上に相対的な難透水層が存在することが判明しており、31-3の水圧計の上位には地下水層が存在するものと推察される。

vii) BL-32孔 (図-7.2.11参照)

- ① 孔掘進に伴う孔内水位の変動から2枚の地下水層の存在を予想したが、果たして32-1、32-2の水圧計により対応する2枚の地下水層が安定して存在していることが確認された。
- ② 32-1、32-2の水圧計で測定された水頭の長期変動を見ると、両者とも降雨の影響をあまり受けず四季を通して安定しているが、下位の地下水層内にある32-1で測定された水頭は32-2に比べ若干降雨に対応した変動が認められる。これは32-2の水圧計が割れ目のない難透水層内に設置されているのに対し、32-1の水圧計は酸化変色が見られる割れ目がある岩盤に設置されているためと考える。
- ③ 32-3では32-2の水頭ととの差は3 m以内であり、同じ地下水層の水圧を測定しているものとする。しかし、平成4(1992)年4月以降は水位は32-3の水圧計設置標高以下に低下したため、水位に対応する出力値は得られていない。

viii) BL-33孔 (図-7.2.12参照) ⁵⁾

- ① BL-10孔と同様に、33-1、33-2の水圧計により測定された水頭値から2枚の地下水層が長期間安定して存在していることが確認された。
- ② 33-1、33-2の水圧計の測定値から、下位の地下水層内にある33-1で測定された水頭は降雨の影響を受けず安定しているが、上位の地下水層にある33-2で測定された水頭は降雨の影響を受けて反応し、BS-3孔の孔内水位とほぼ同様の波形を呈している。これより両地下水層の間には、難透水層が存在することがわかる。
- ③ 33-3の水圧計の測定では水頭値の出力を得られず、地下水層は存在しないと判断される。

以上のように個別に述べてきた各水圧計の経時測定結果の特徴を表-7.2.2にまとめた。
経時変化の特徴は次のように区分した。

A型：10-2の水圧計に代表される降雨に鋭敏に反応するもの。

B型：10-1の水圧計に代表される降雨にあまり影響されないが若干反応するもの。

C型：8-2の水圧計に代表される降雨に影響されず安定しているもの。

表-7.2.2 水圧計の経時測定結果の特徴

水圧計No.	経時変化 の特徴	平均水頭値 EL.	経年変化	備考
8-1	B型	154 ± 2 m	+ 7 m(平成2(1990)年4月から平成4(1992)年12月まで)	
8-2	C型	159 ± 2 m	なし	
8-3	—	—	—	シールされている
9-1	B型	170 ± 3 m	+ 6 m(平成2(1990)年6月から平成4(1992)年12月まで)	
9-2	A型	173 ± 4 m	なし	
9-3	水位なし	—	ゼロ点のドリフト+ 4 m(4年間で)	
10-1	B型	162 ± 3 m	なし	
10-2	A型	185 ± 3 m	なし	
10-3	水位なし	—	ゼロ点のドリフト-5.4m(4年間で) リセット1回実施	
29-1	—	—	—	故障
29-2	(A型)?	164 ± 7 m	なし	故障の可能性あり
29-3	(A型)?	186 ± 2 m	なし	故障の可能性あり
30-1	B型	158 ± 3 m	なし	
30-2	"	"	"	
30-3	水位なし	—	なし	
31-1	B型	157 ± 3 m	測定期間が短いため不明	
31-2	"	"	"	
31-3	水位なし	—	—	
32-1	B型	162 ± 3 m	測定期間が短いため不明	
32-2	C型	169 ± 2 m	"	
32-3	水位なし	—	—	
33-1	B型	163 ± 3 m	測定期間が短いため不明	
33-2	A型	171 ± 4 m	"	
33-3	水位なし	—	—	

A型：10-2の水圧計に代表される降雨に鋭敏に反応するもの。

B型：10-1の水圧計に代表される降雨にあまり影響されないが若干反応するもの。

C型：8-2の水圧計に代表される降雨に影響されず安定しているもの。

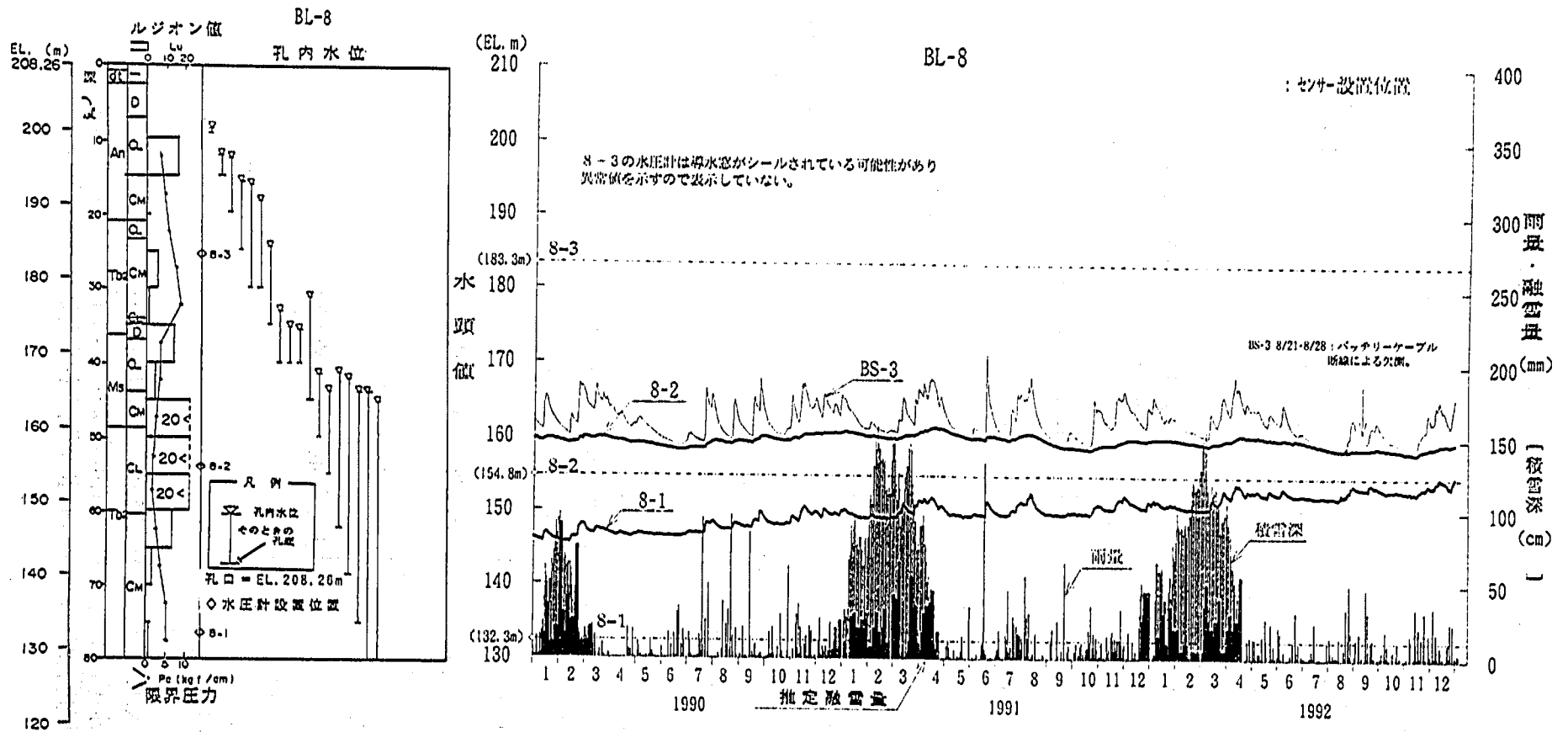


図-7.2.5 BL-8 経時測定結果 (平成2(1990)年1月～4(1992)年12月)

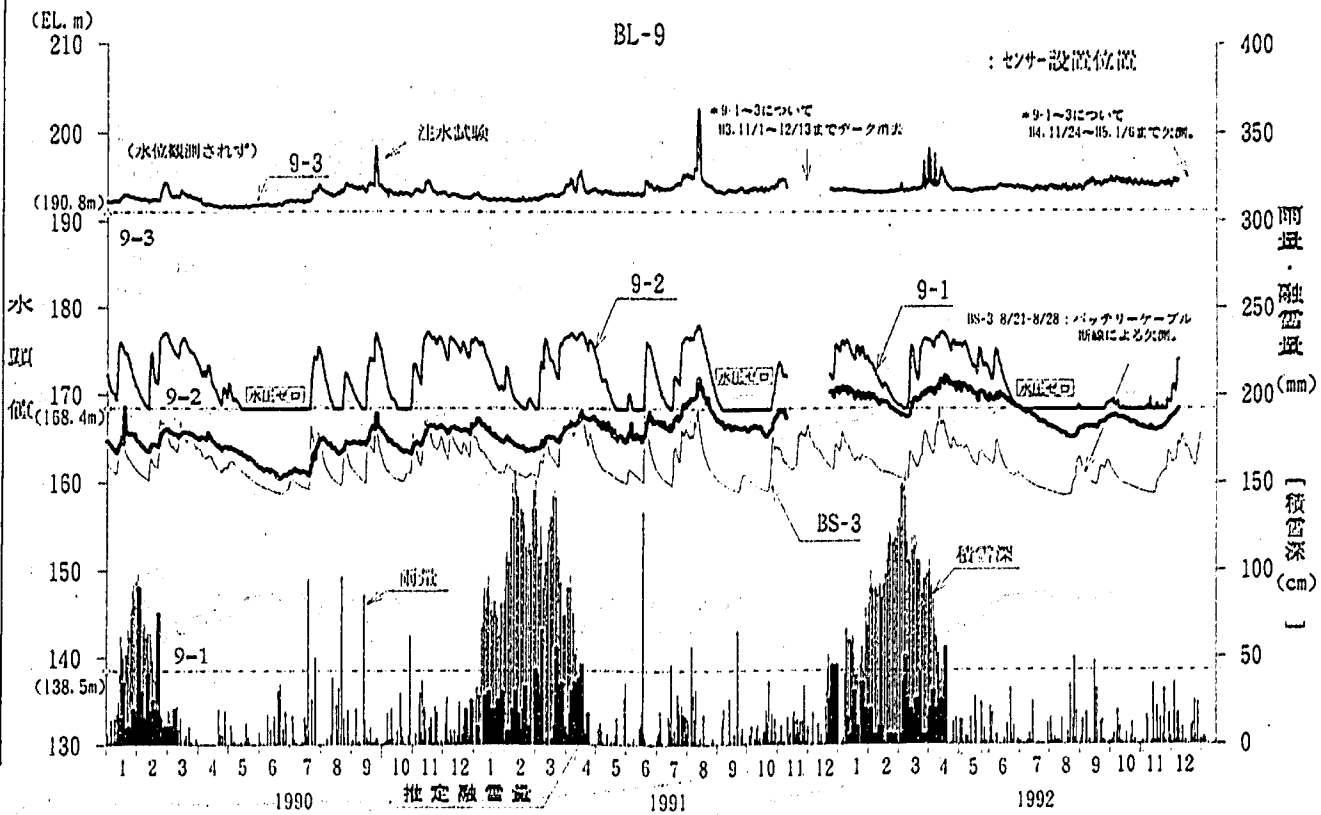
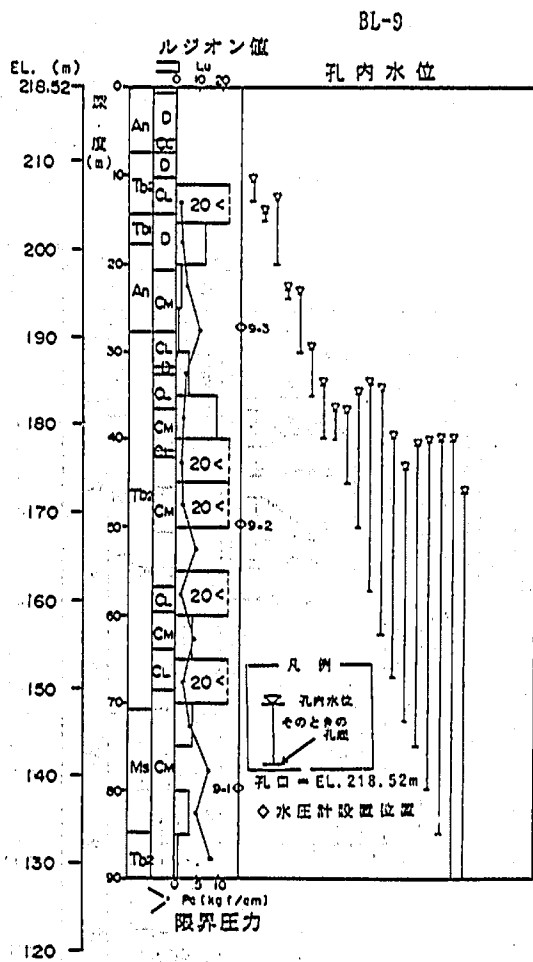


図-7.2.6 BL-9 経時測定結果 (平成2(1990)年1月～4(1992)年12月)

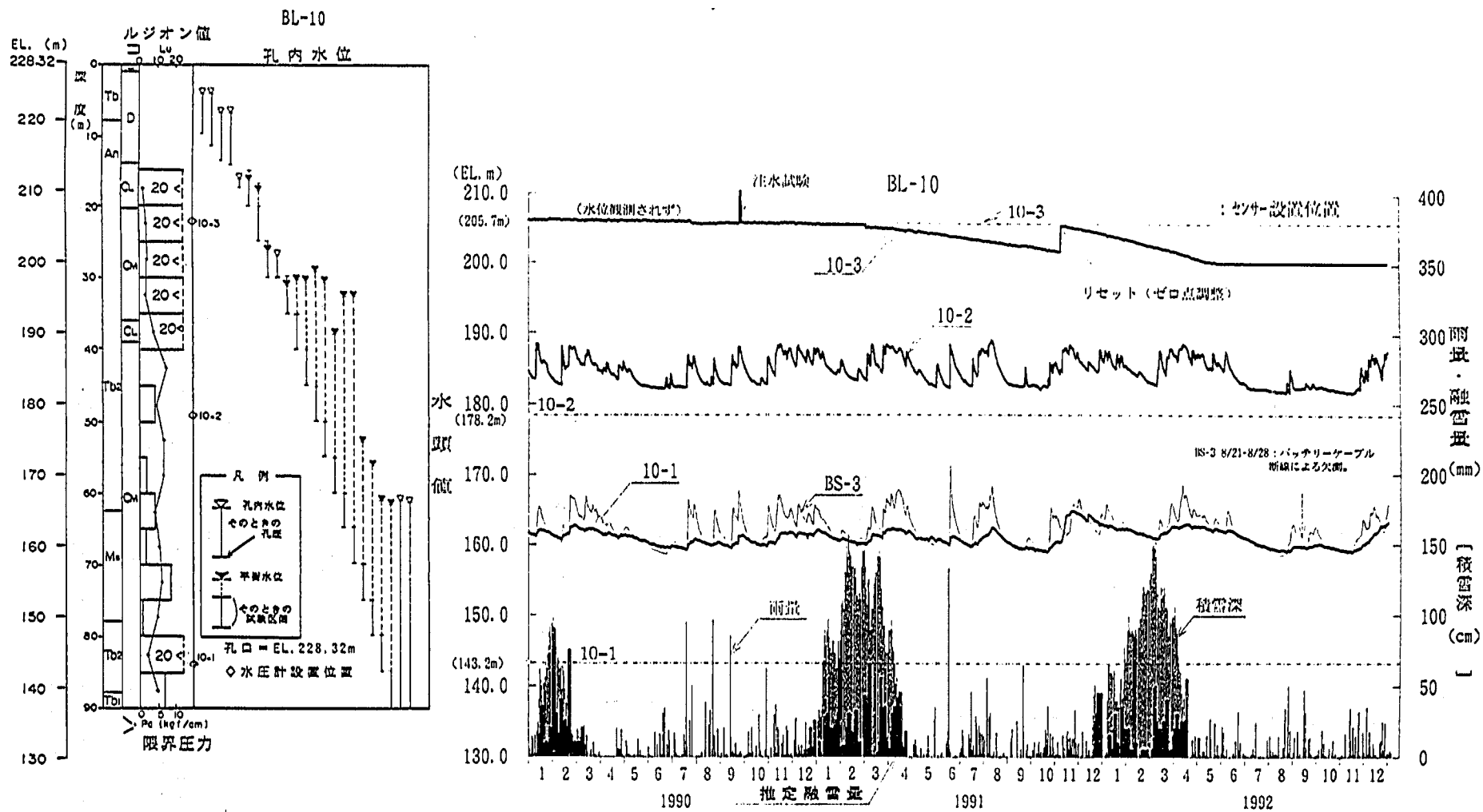


図-7.2.7 BL-10経時測定結果 (平成2(1990)年1月～4(1992)年12月)

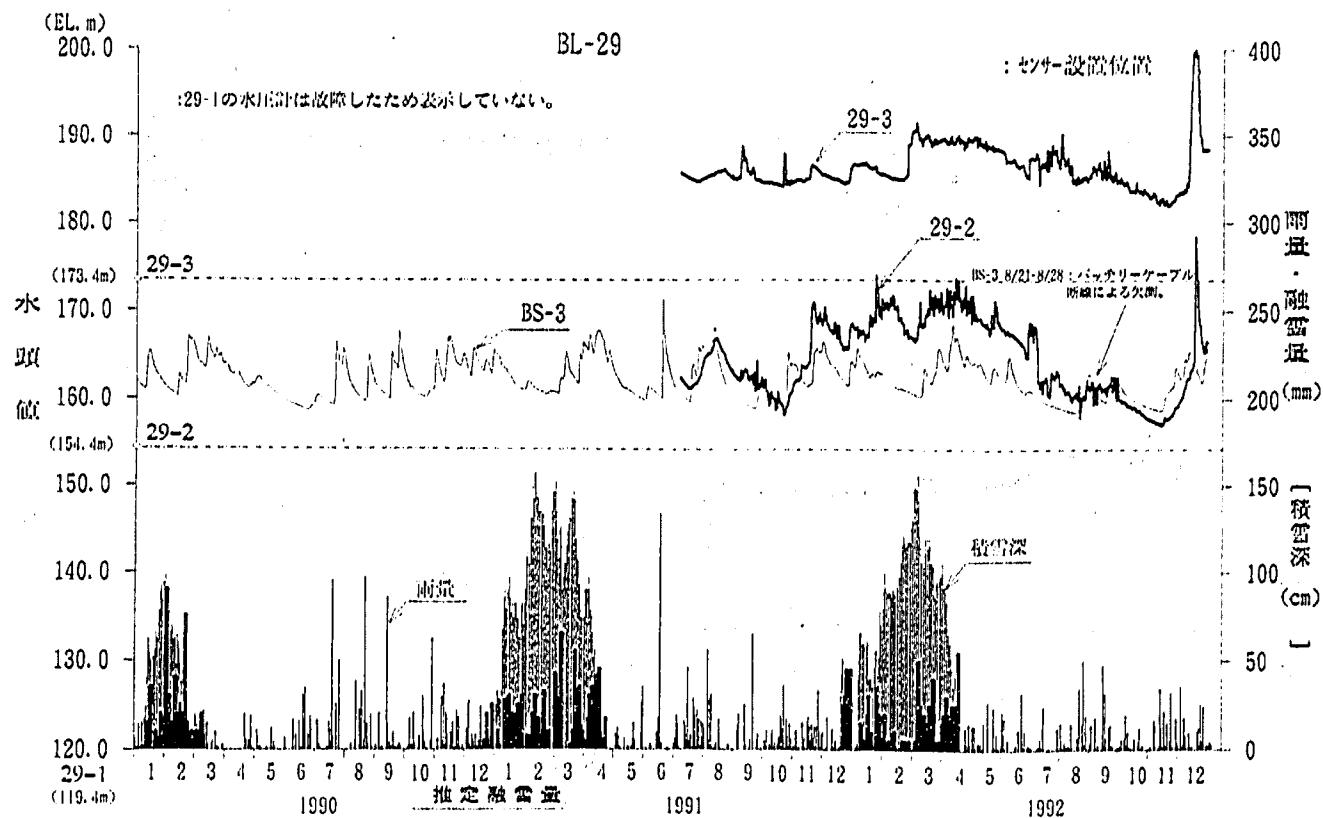
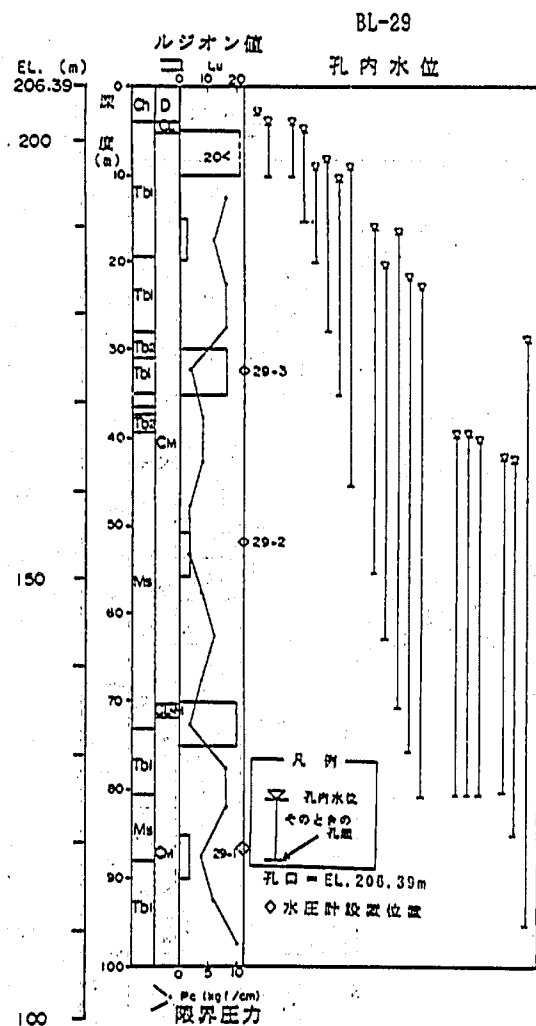


図-7.2.8 BL-29経時測定結果 (平成3(1991)年7月～4(1992)年12月)

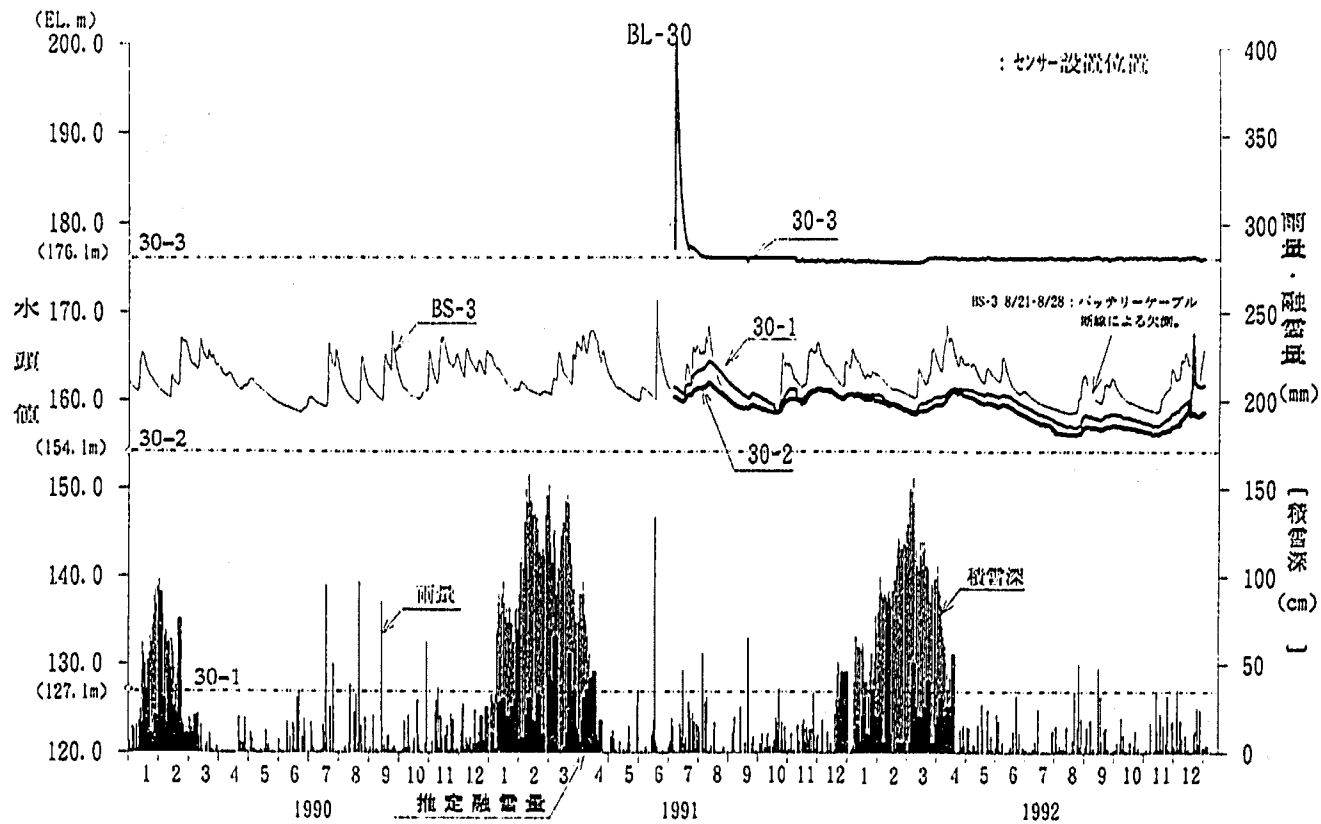
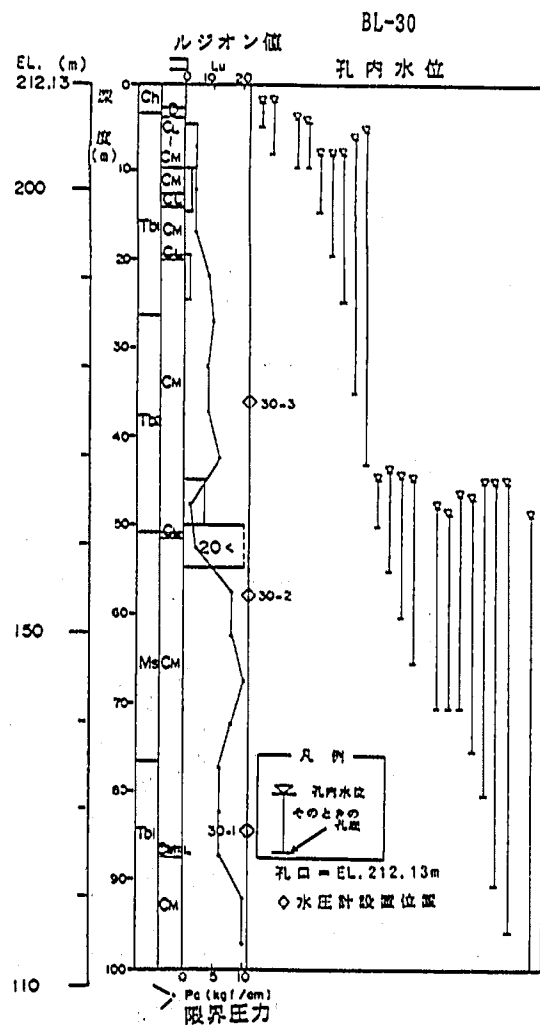


図-7.2.9 BL-30経時測定結果 (平成3(1991)年7月～4(1992)年12月)

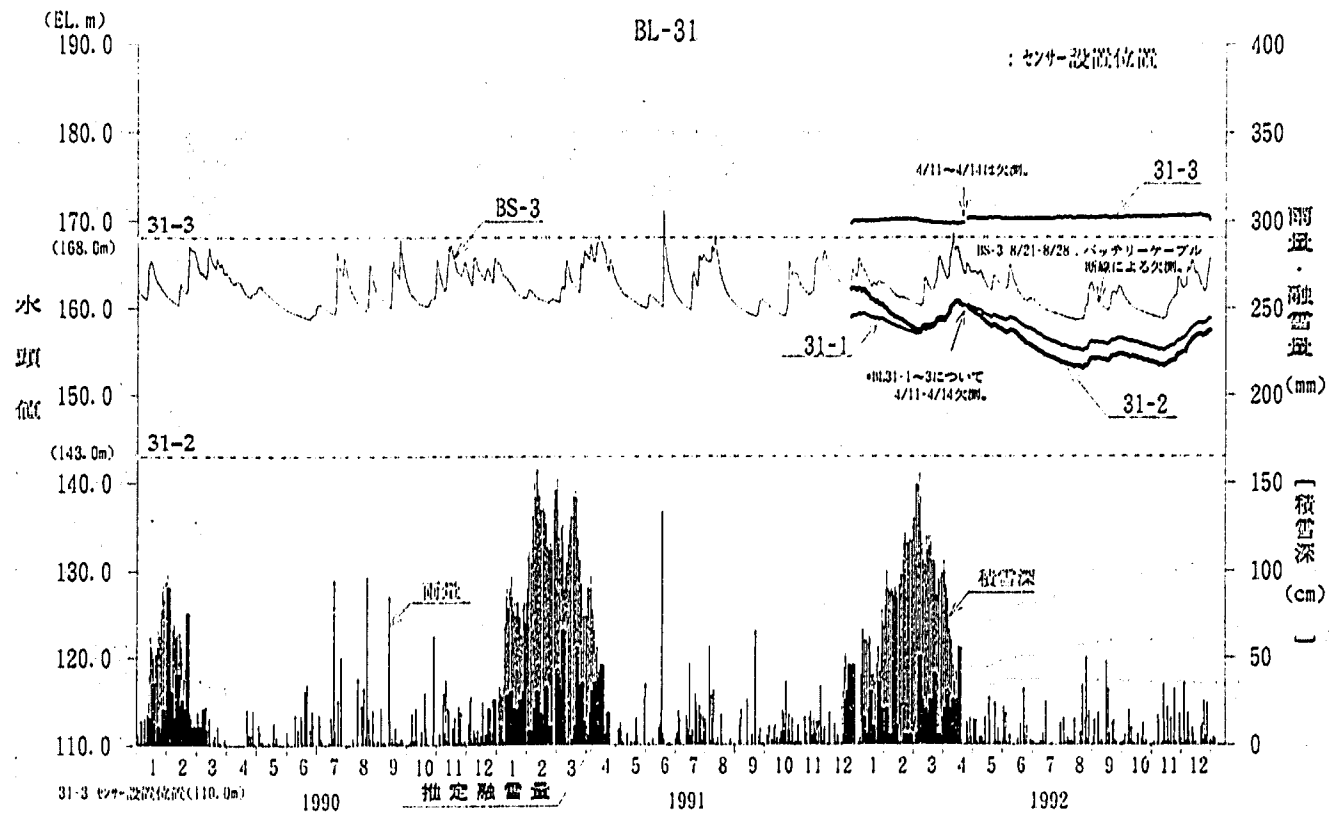
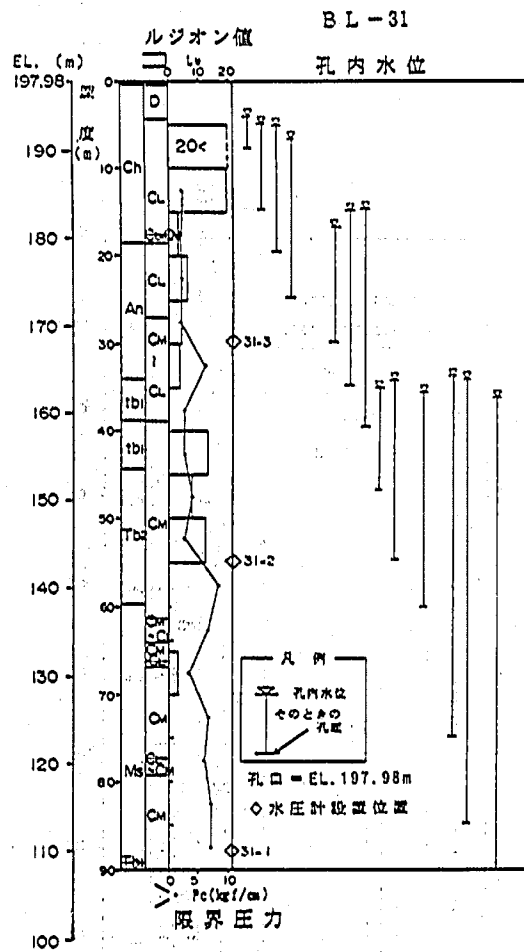


図-7.2.10 B L-31経時測定結果(平成3(1991)年12月~4(1992)年12月)

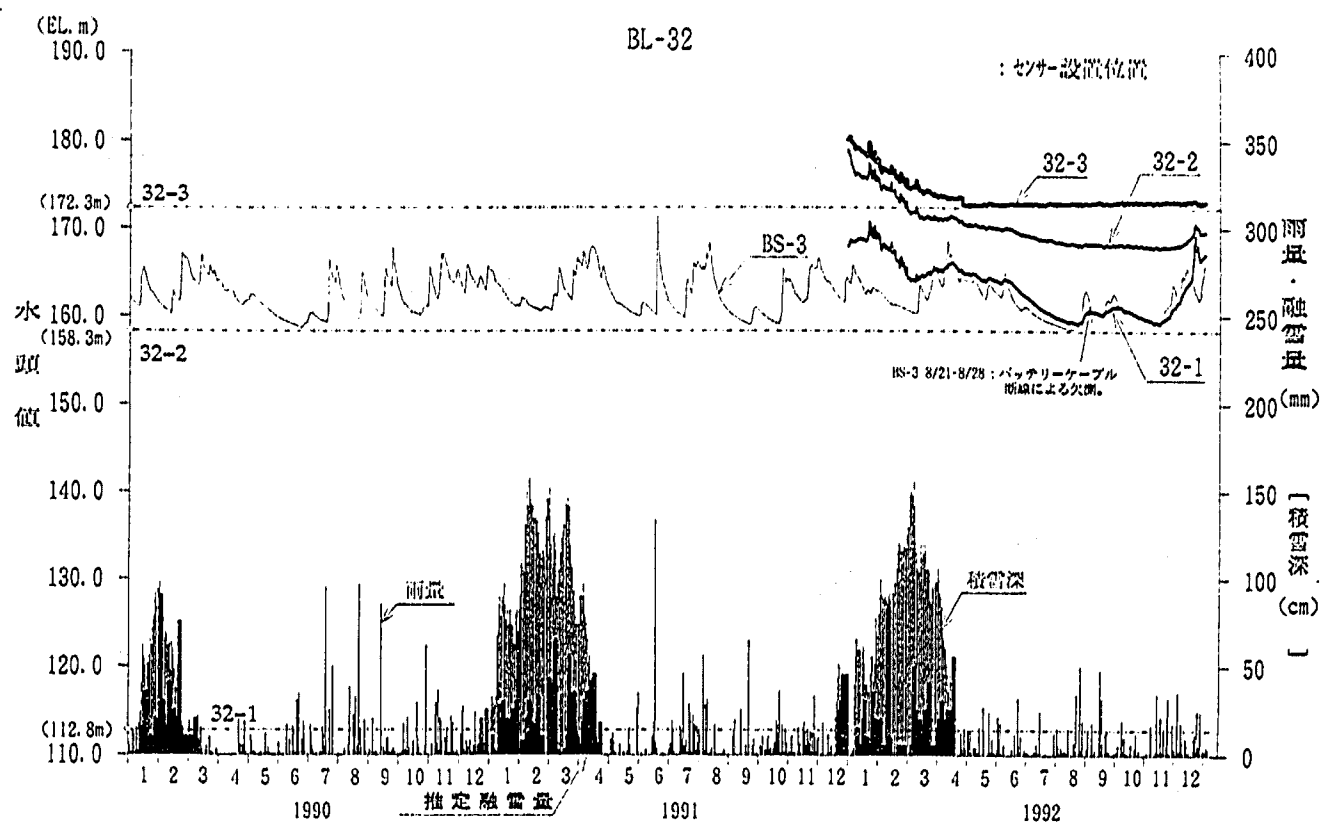
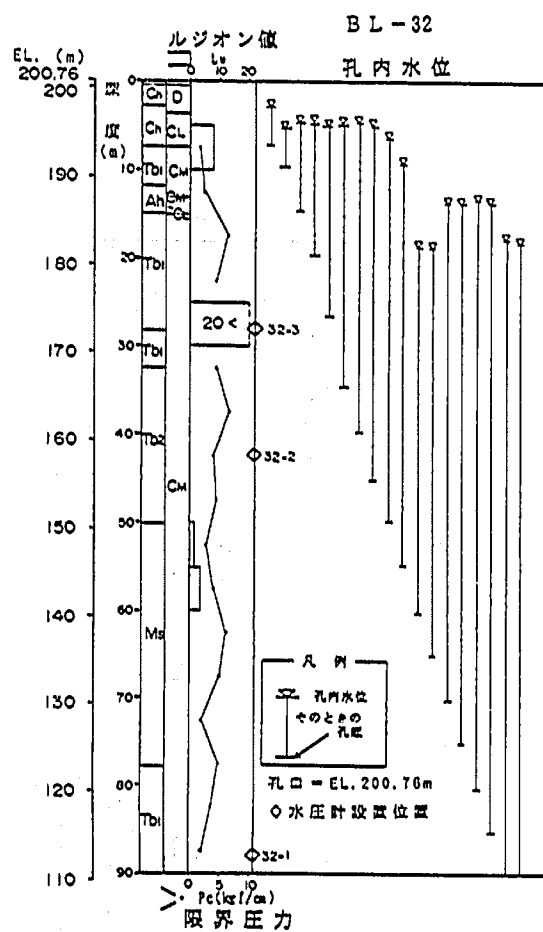


図-7.2.11 B L-32経時測定結果(平成3(1991)年12月~4(1992)年12月)

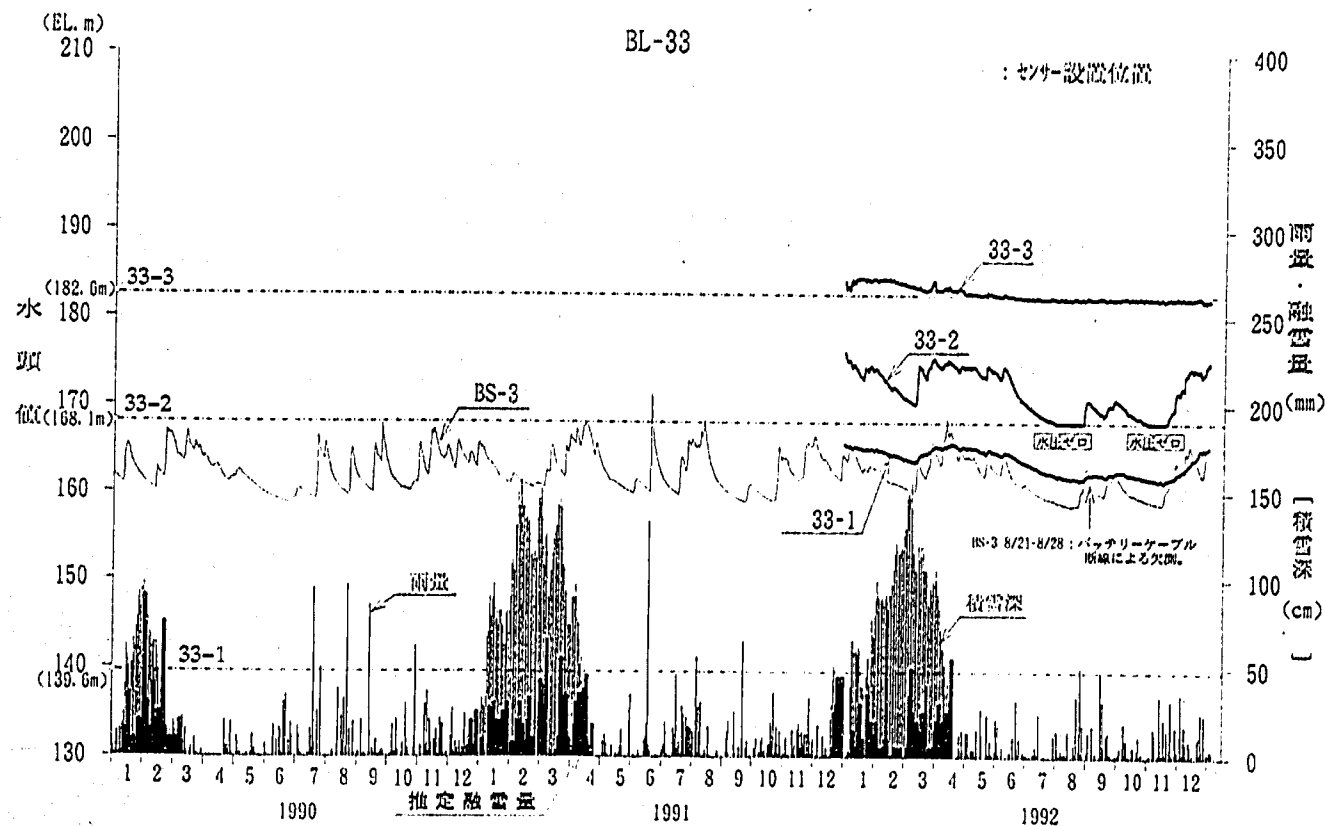
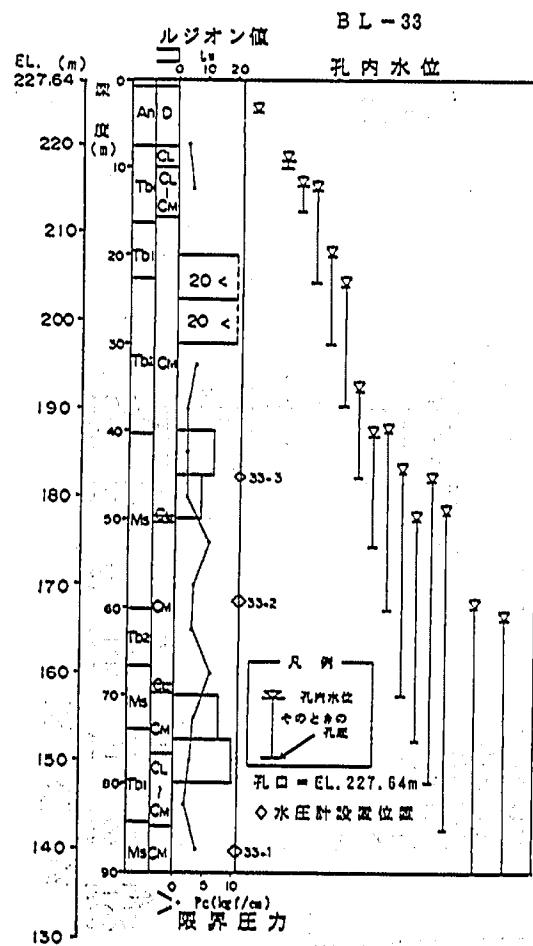


図-7.2.12 B L-33経時測定結果(平成3(1991)年12月~4(1992)年12月)

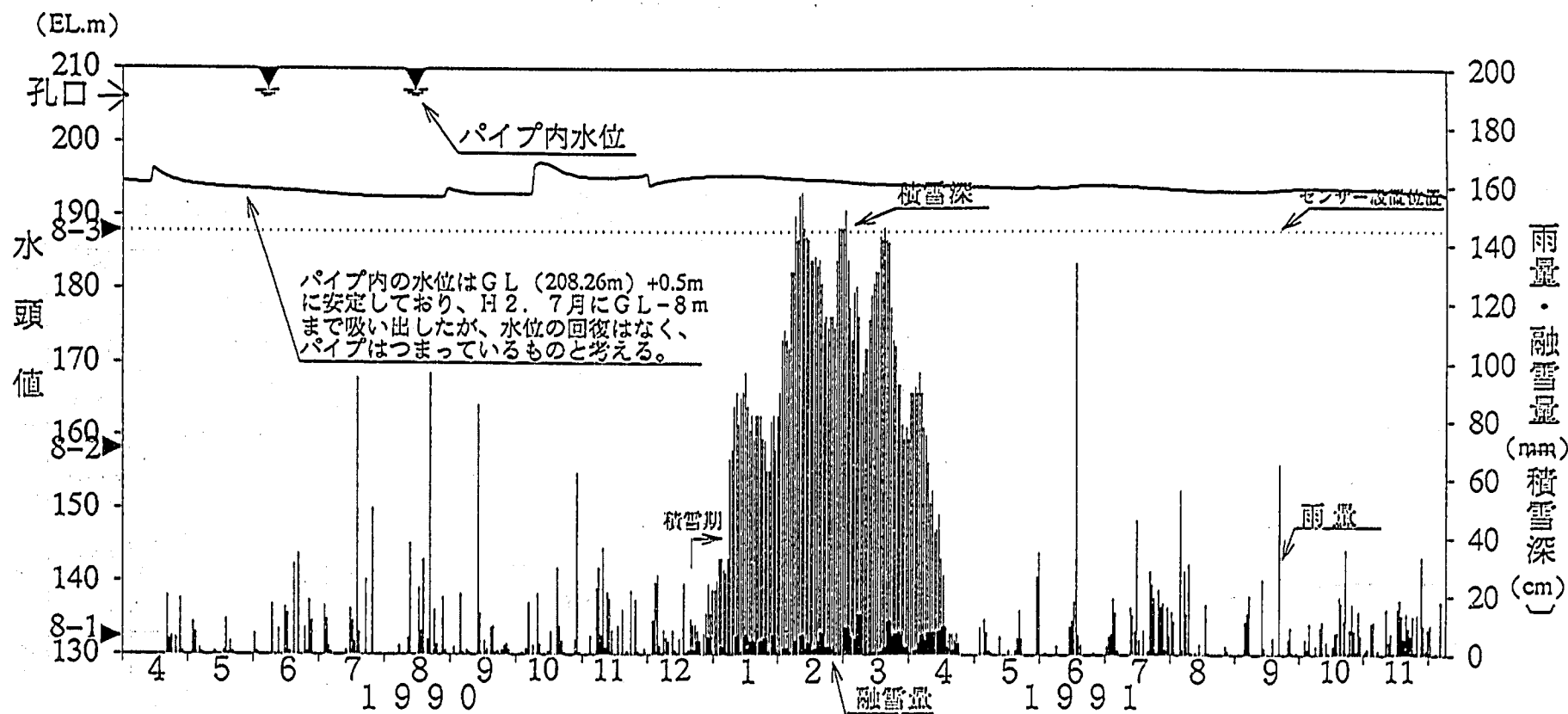
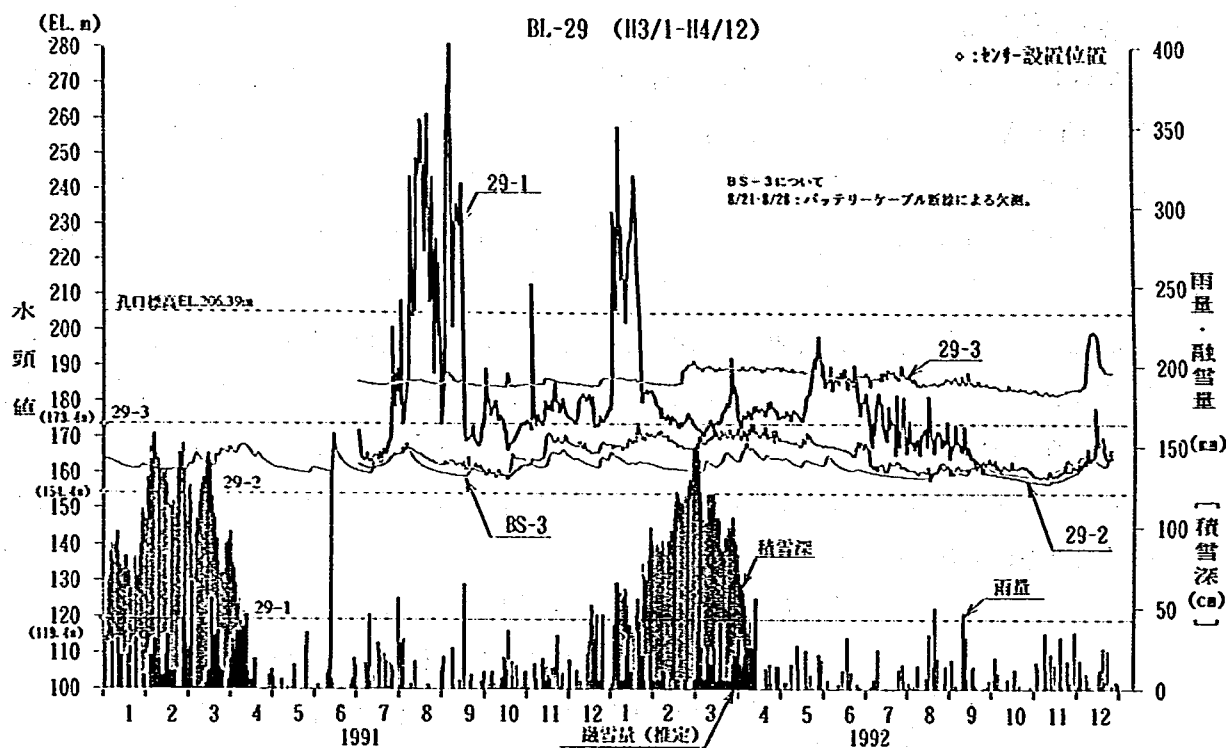
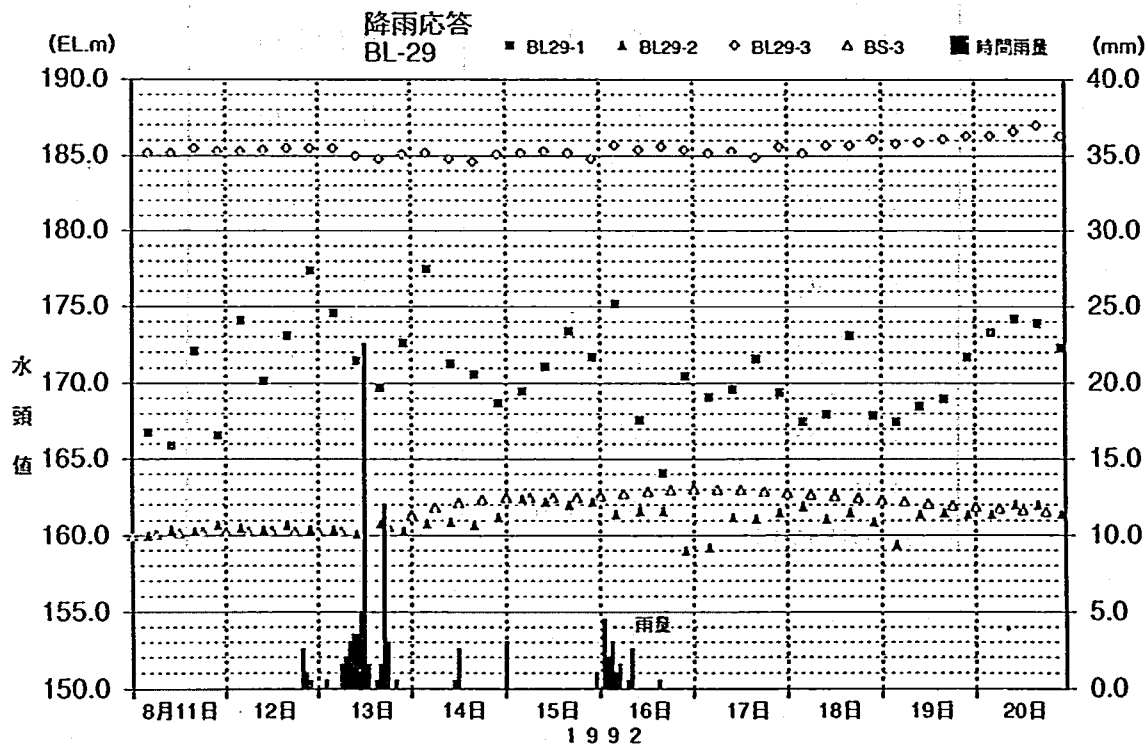


図-7.2.13 水圧計BL-8-3での水圧経時測定結果 (平成2(1990)年4月～3(1991)年11月)



(a) 1日1点



(b) 6時間毎

図-7.2.14 BL-29で測定された水圧標高換算値

(3) 地下水位分布

MGLシステム設置孔の地下水位の経時測定結果を基に、ダム軸方向の断面図として図-7.2.15 (A-A' 断面)、図-7.2.16 (B-B' - A' 断面)、図-7.2.17 (C-C' 断面) に、上下流方向の断面図として図-7.2.18 (D-D' 断面)、図-7.2.19 (E-E' 断面) に示す。各断面の位置は図-7.2.1 を参照されたい。また、上記の断面図をもとに推定した平面的な地下水位等高線図を図-7.2.20に示す。

なお、図-7.2.15~7.2.20は、表-7.2.3 に示した各孔の平成4 (1992) 年1月~12月の平均的な水頭値を採用して作図した。ただし、先述のとおりBL-34孔は設置して間もないため、解析に耐えうる十分なデータを収集していないことから、ここでは除外した。

以下に、ダム軸方向断面、上下流方向断面および平面的な地下水面の形状について特徴を述べるとともに考察を加える。

表-7.2.3 各孔の平均水頭値

(平成4 (1992) 年1月~12月)

孔 番	水位 (1層目) (EL.)	水位 (2層目) (EL.)
BL-8	159±2 m	154±2 m
BL-9	173±4 m (水圧計標高は168.4m)	170±3 m
BL-10	185±3 m	162±3 m
BL-29	186±2 m	164±7 m
BL-30	————	158±3 m
BL-31	————	157±3 m
BL-32	169±2 m	162±3 m
BL-33	171±4 m	163±3 m
BS-3 (一般の孔内水位)	(158±10m)	————

i) ダム軸方向 (A-A'、B-B'-A' および C-C') 断面

図-7.2.15に示すダム軸方向 (A-A') 断面では各孔で2枚の地下水層が存在するが、上位地下水位に対応する各水圧計の経時変化の特徴をみると8-2だけが降雨の影響を受けないC型であり、AあるいはB型の経時変化を示す地下水層を確認出来なかった。BL-8孔付近だけがAあるいはB型が次除していると判断するのは不自然であり、かつ同孔の調査ボーリング結果からは前述のとおり、8-3付近に別の地下水層が存在する可能性を示唆するデータが得られていることを考慮すると、同孔付近にはBL.185m付近に地下水位をもつ地下水層(宙水程度?)が存在する可能性が高い。

図-7.2.16に示すダム軸方向 (B-B'-A') 断面では、BL-29孔において2枚のA型(?)の経時変化を示す地下水層が存在し、BL-30孔ではB型の経時変化を示す1枚の地下水層しか存在しない。A型の経時変化を示す上位の地下水位を有する地下水層が存在する可能性が高く、ボーリング調査の結果からもBL-30孔のBL.205m付近に水位が存在するものと推定される。

図-7.2.17に示すダム軸方向 (C-C') 断面ではBL-32孔において上方より、C型、B型の経時変化を示す2枚の地下水層が存在し、BL-31孔ではB型の経時変化を示す1枚の地下水層しか存在しない。ボーリング調査の結果からもBL-31孔のBL.180m付近、BL-32孔のBL.185m付近にA型の経時変化を示す上位地下水位が存在する可能性が高い。

なお、上述のうち存在する可能性が高いと指摘した上位の地下水位については、確認されておらず推察の域を出ないため、図-7.2.15~7.2.20には図示していない。

ii) 上下流方向 (D-D'、E-E') 断面

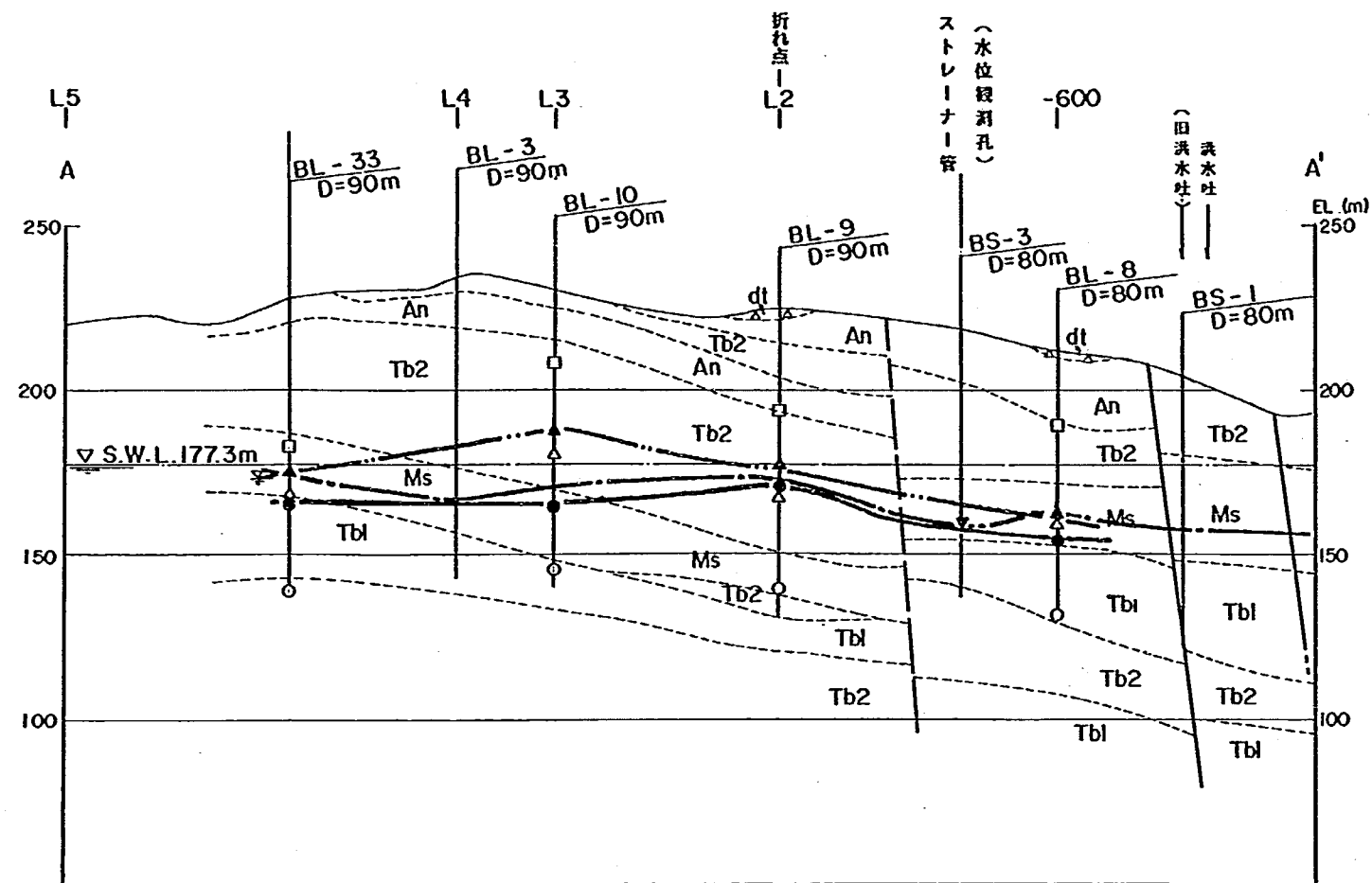
図-7.2.18に示す上下流方向 (D-D') 断面では、BL-32孔において上方より、C型、B型の経時変化を示す2枚の地下水層が存在し、BL.185m付近にA型の経時変化を示す上位地下水位が存在する可能性が高い。

図-7.2.19に示す上下流方向 (E-E') 断面では、上位地下水層の分布の標高は、尾根の高い部分に設置したBL-33孔に比べ尾根の低い部分に設置したBL-29孔の方が高くなっており、尾根の地形形状と相違がみられる。

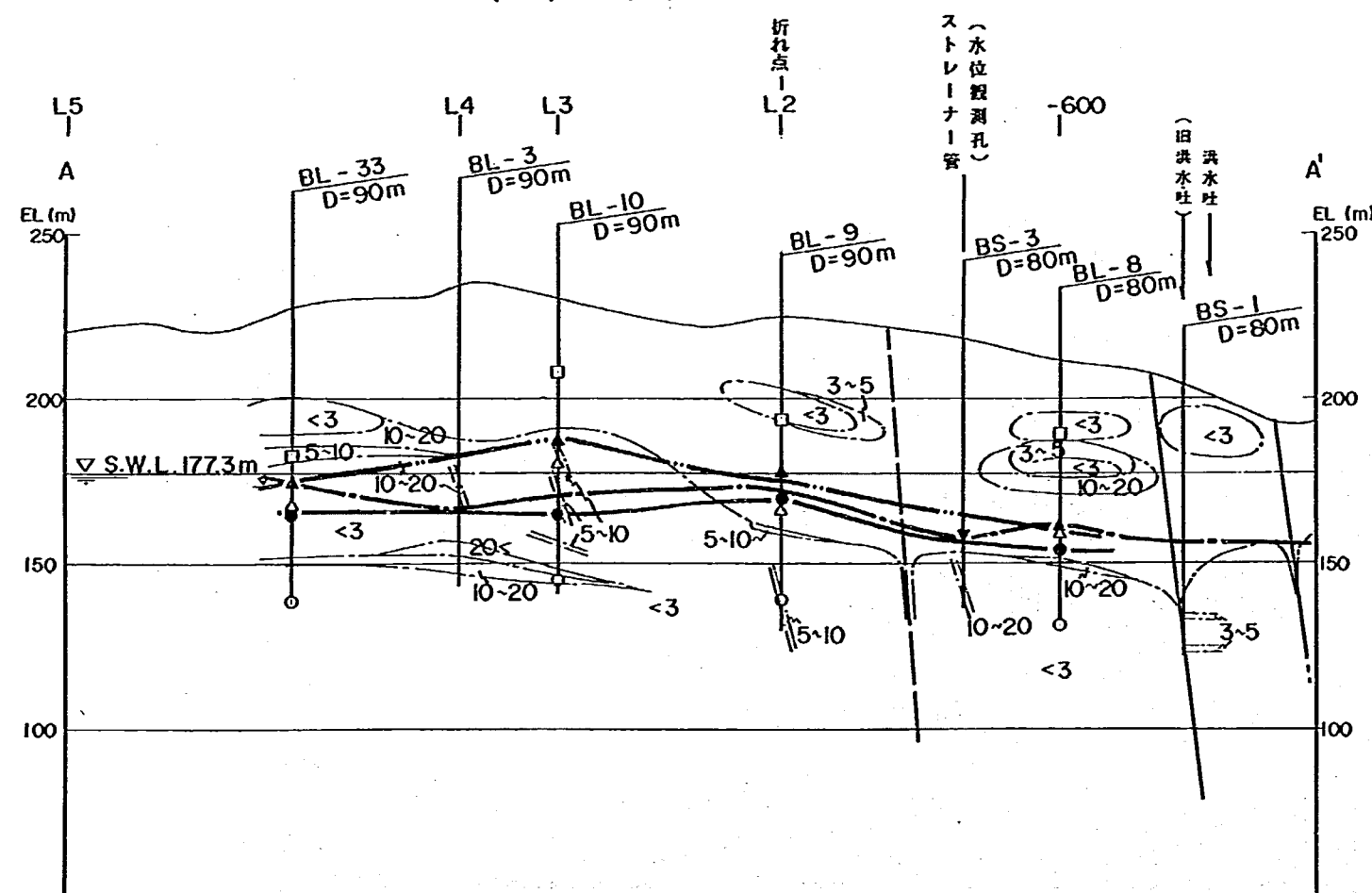
iii) 地下水位等高線図

① 上位地下水位は図-7.2.20によれば尾根の地形形状と相違がみられ、尾根の延びる方向と35°斜交したBL-10孔とBL-29孔をむすんだ部分に高まり(BL.185m)が認められる。BL-29孔の左岸側に位置するBL-30孔ではBL.205m付近に上位地下水位が存在すると推定されるが水圧計によっては確認されておらず、今後の確認が必要となる。

② 下位地下水位は図-7.2.20によれば尾根から30~50m上流側のBL-9孔とBL-16孔をむすんだ部分に高まり(BL.164~165m)が認められ、地形形状とほぼ同様な形を示す。



(a) 地質区分



(b) ルジオン値区分

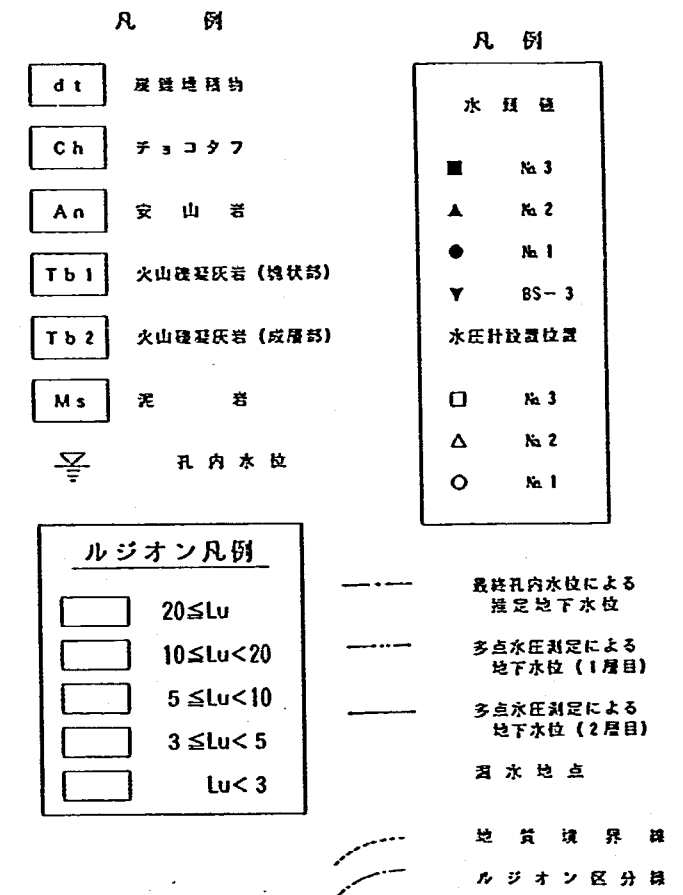
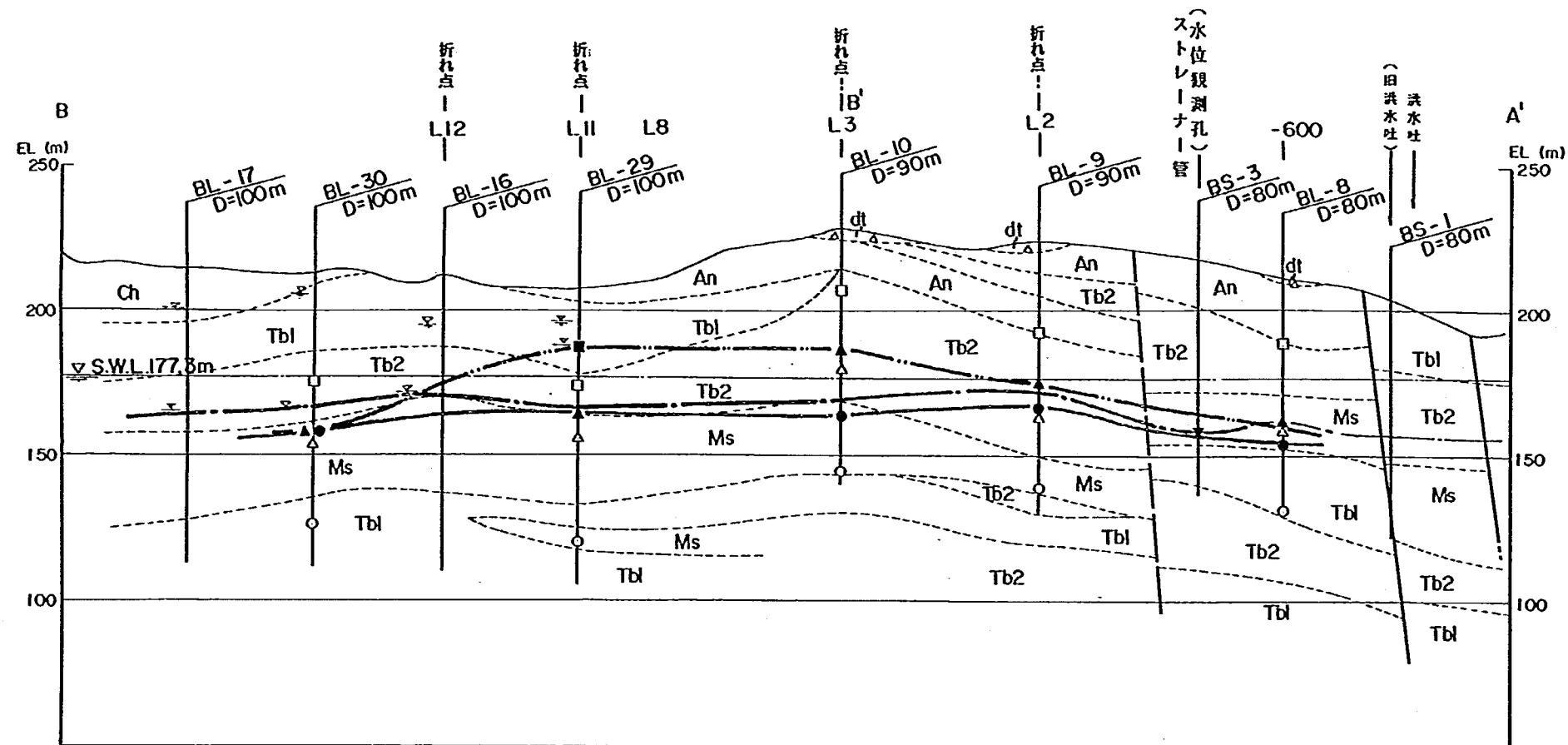
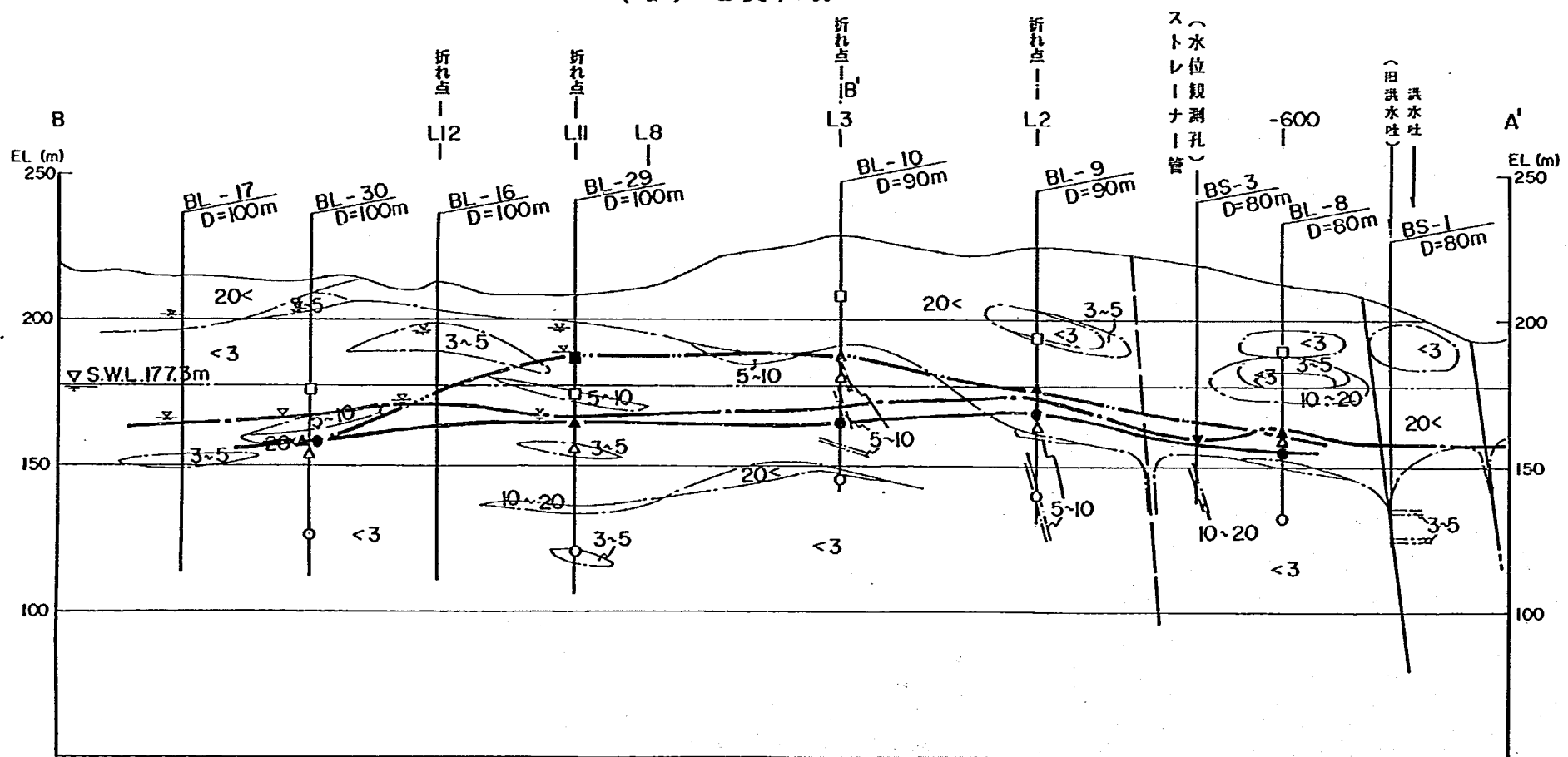
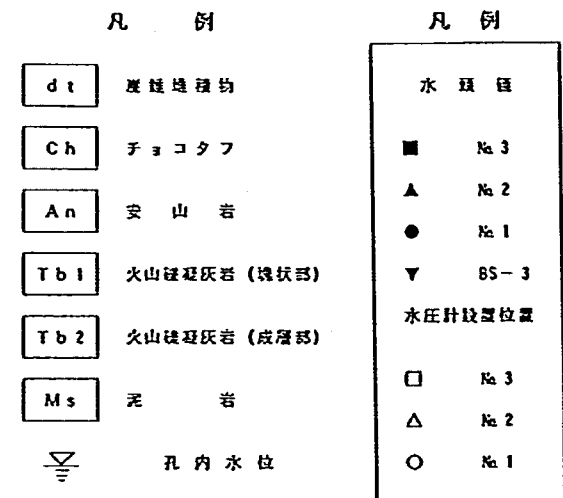


図-7.2.15 ダム軸方向(A-A')断面の地下水分布



(a) 地質区分



(b) ルジオン値区分

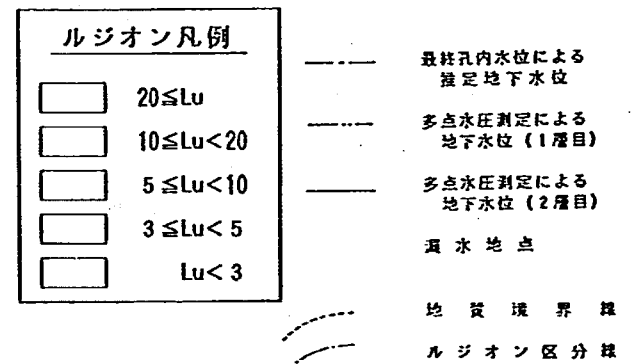


図-7.2.16 ダム軸方向 (B-B'-A') 断面の地下水分布

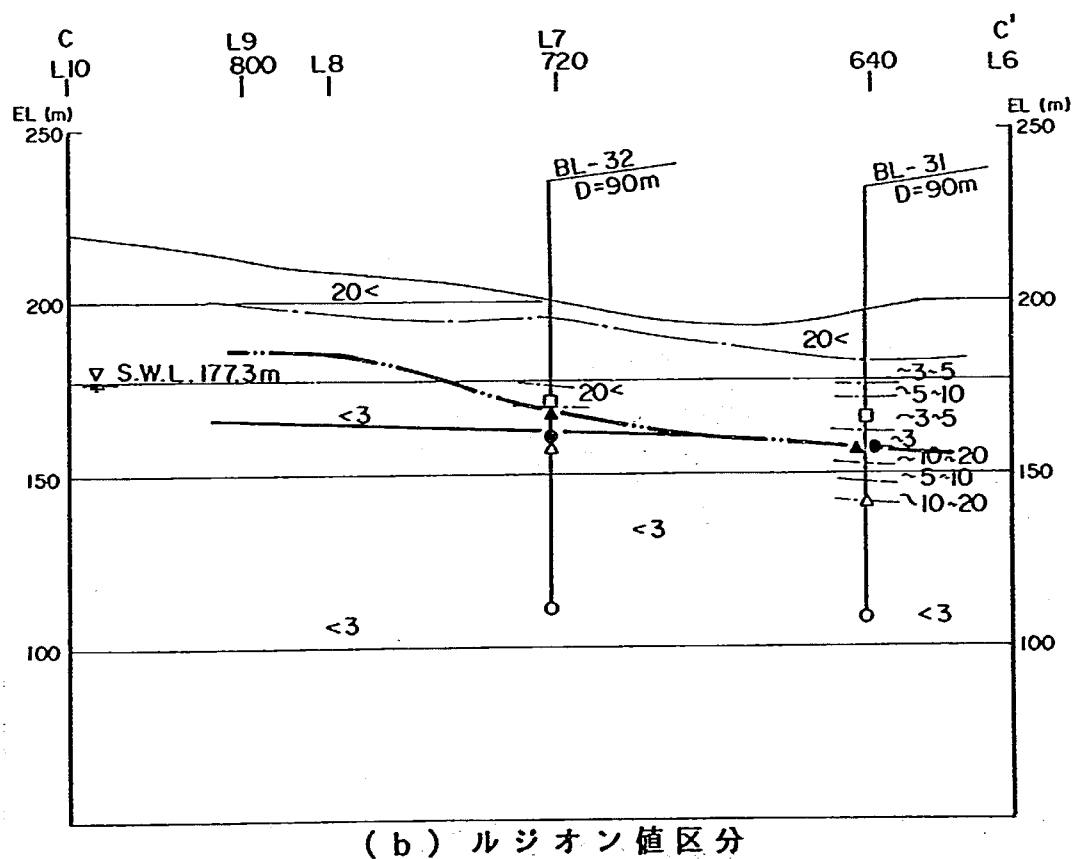
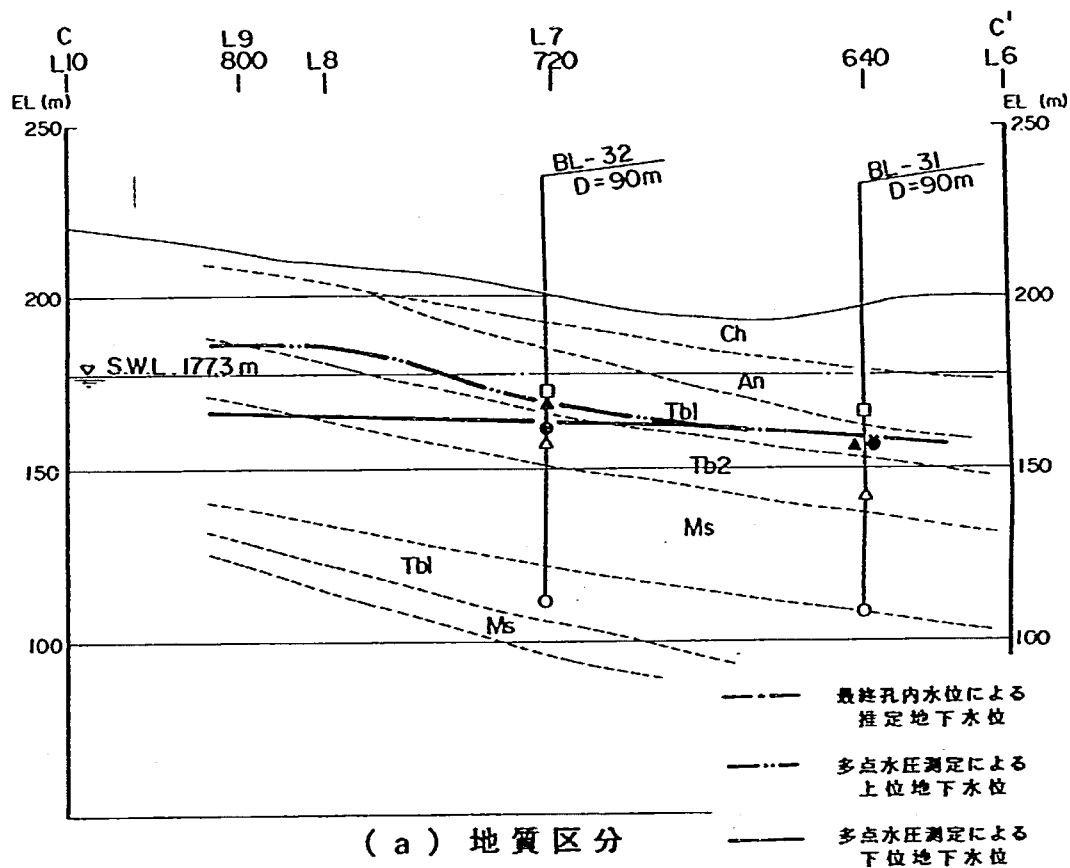


図-7.2.17 ダム軸方向 (C - C') 断面の地下水分布

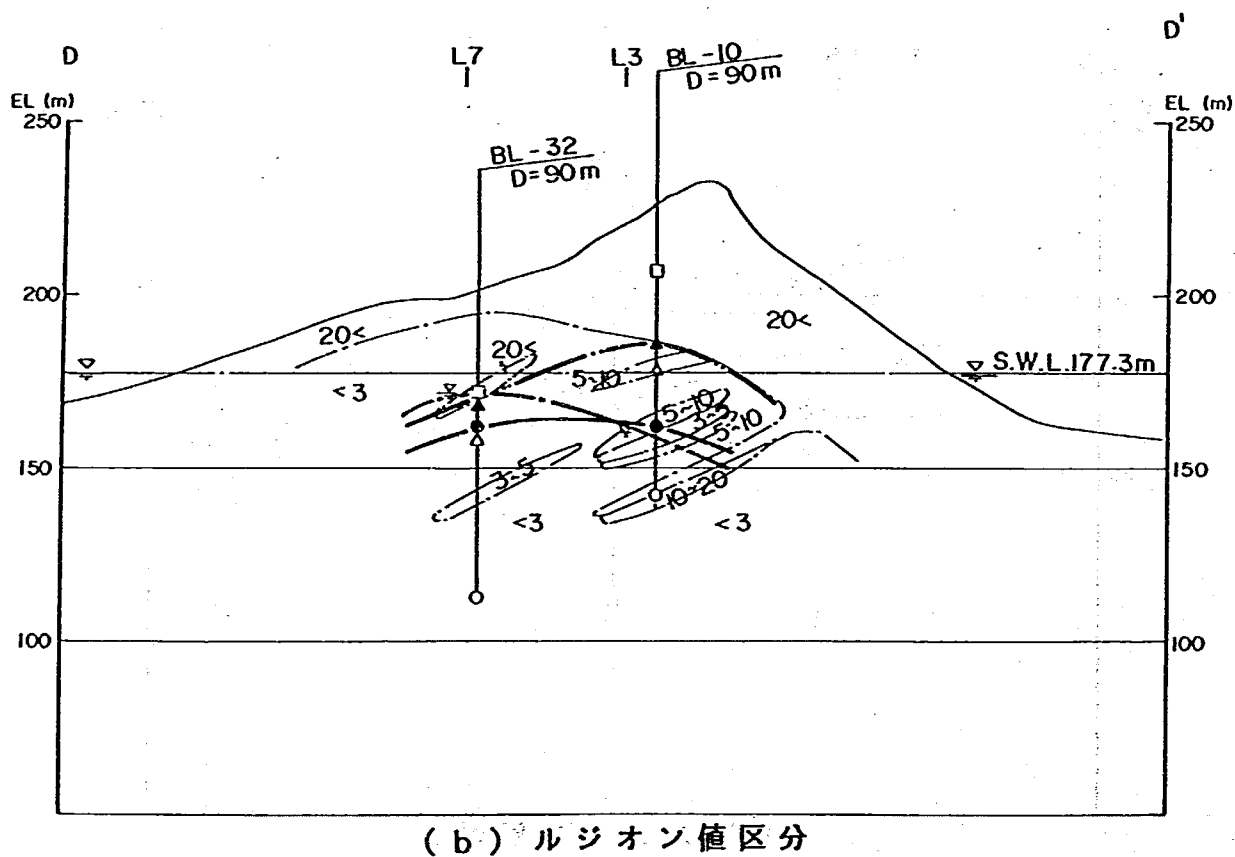
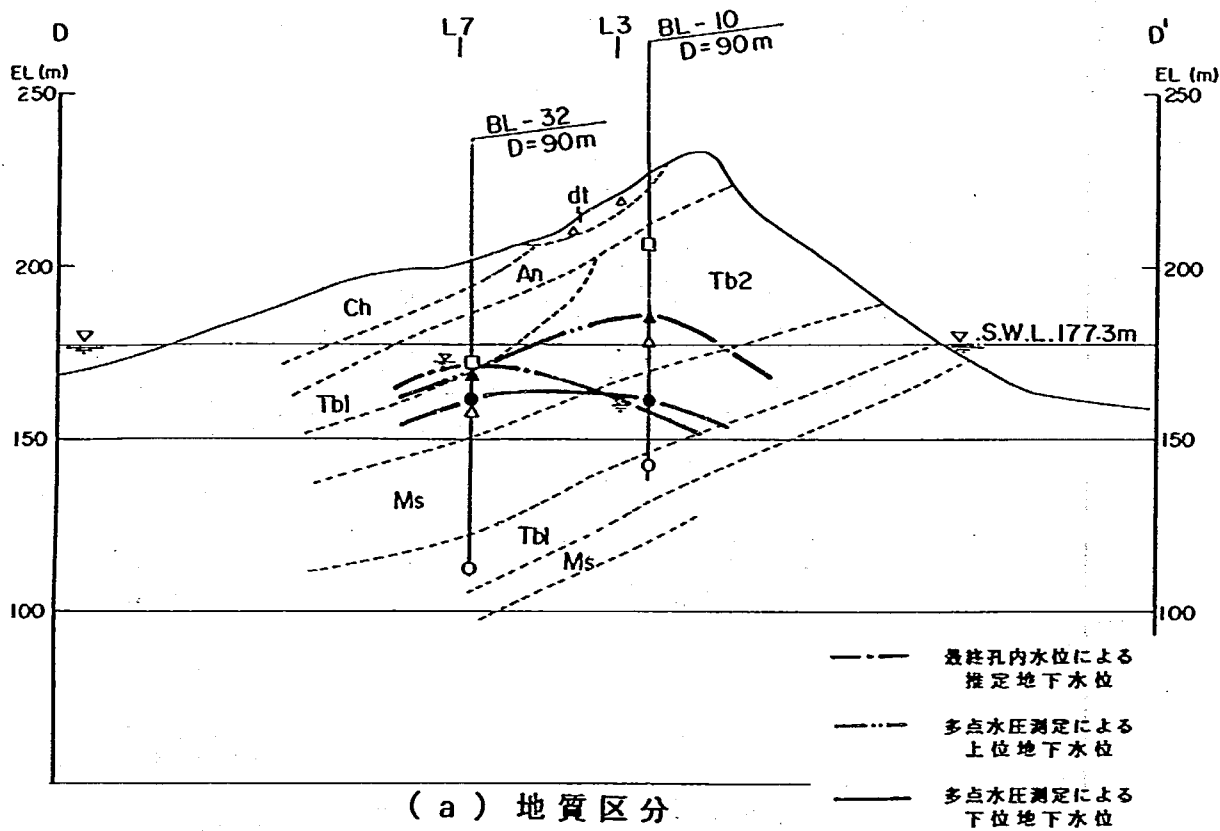


図-7.2.18 上下流方向 (D - D') 断面の地下水分布

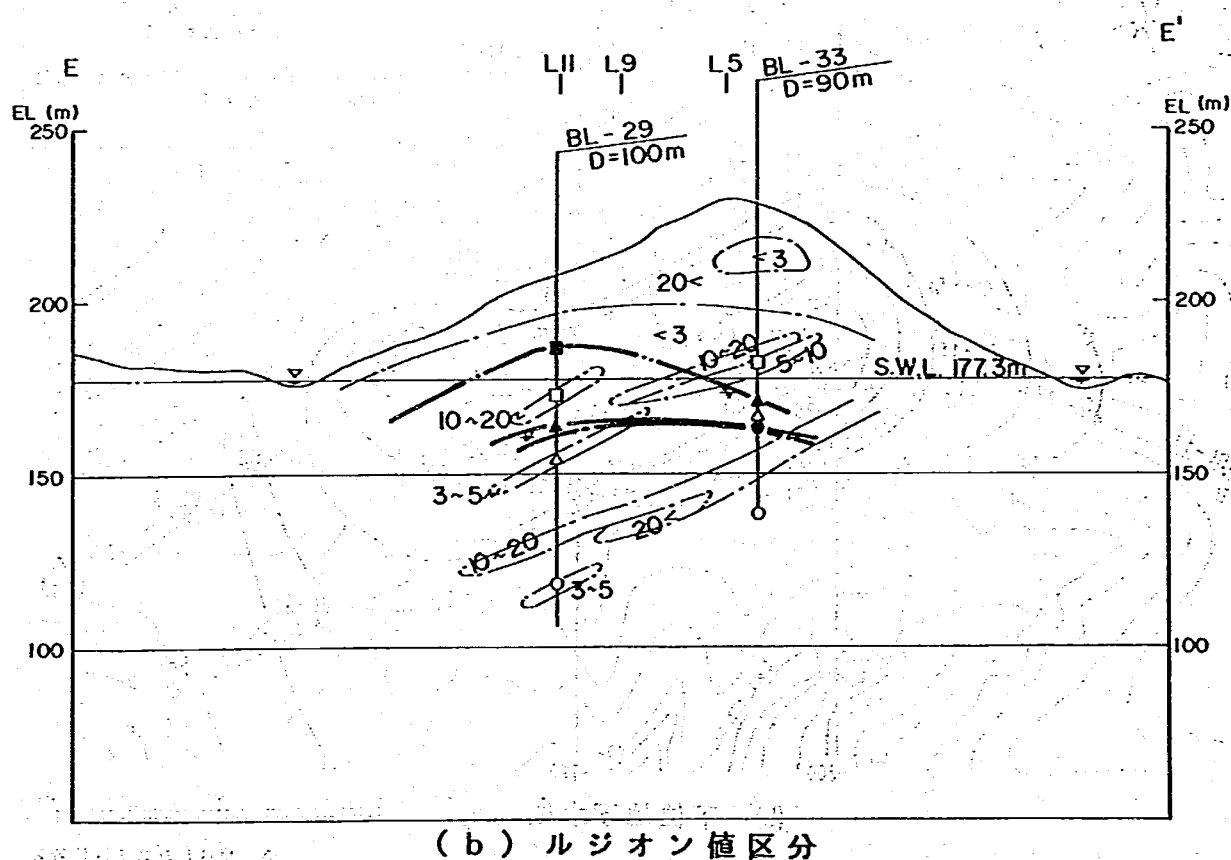
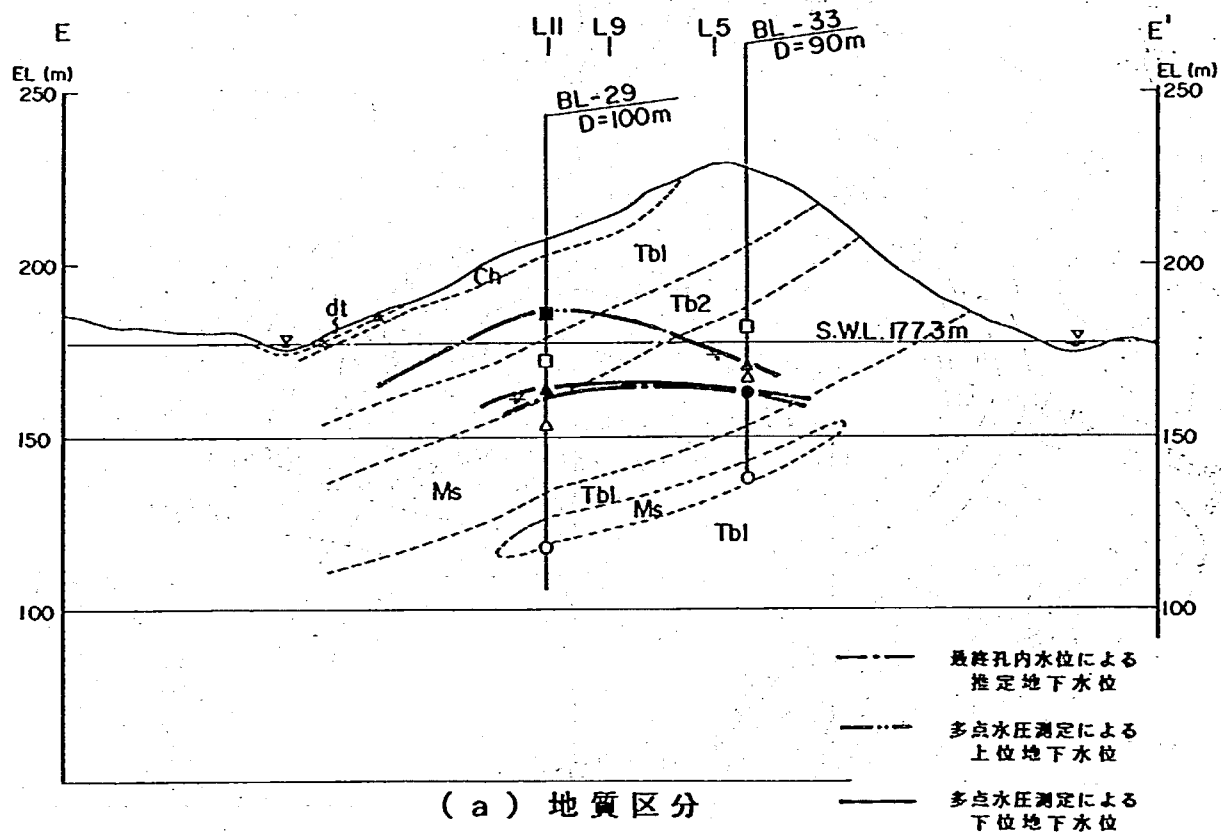


図-7.2.19 上下流方向 (E - E') 断面の地下水分布

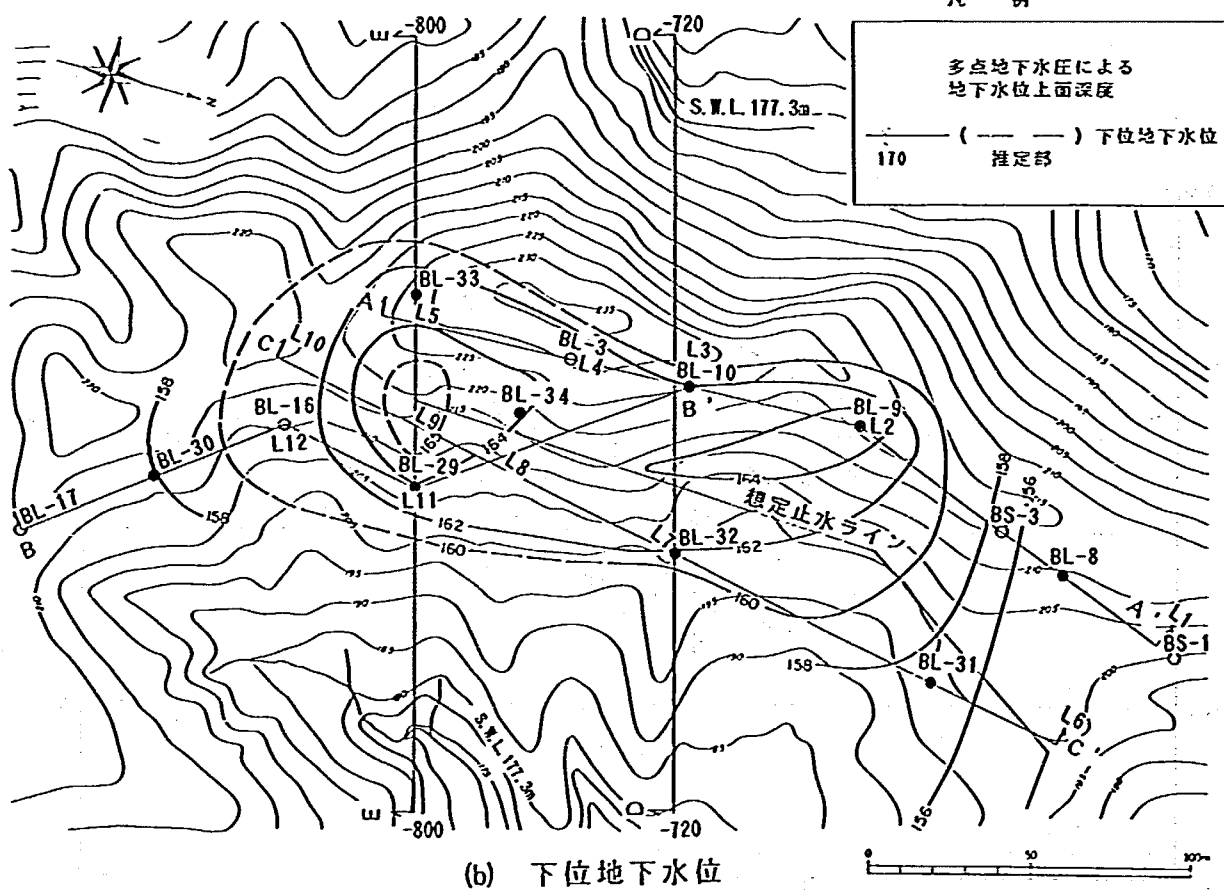
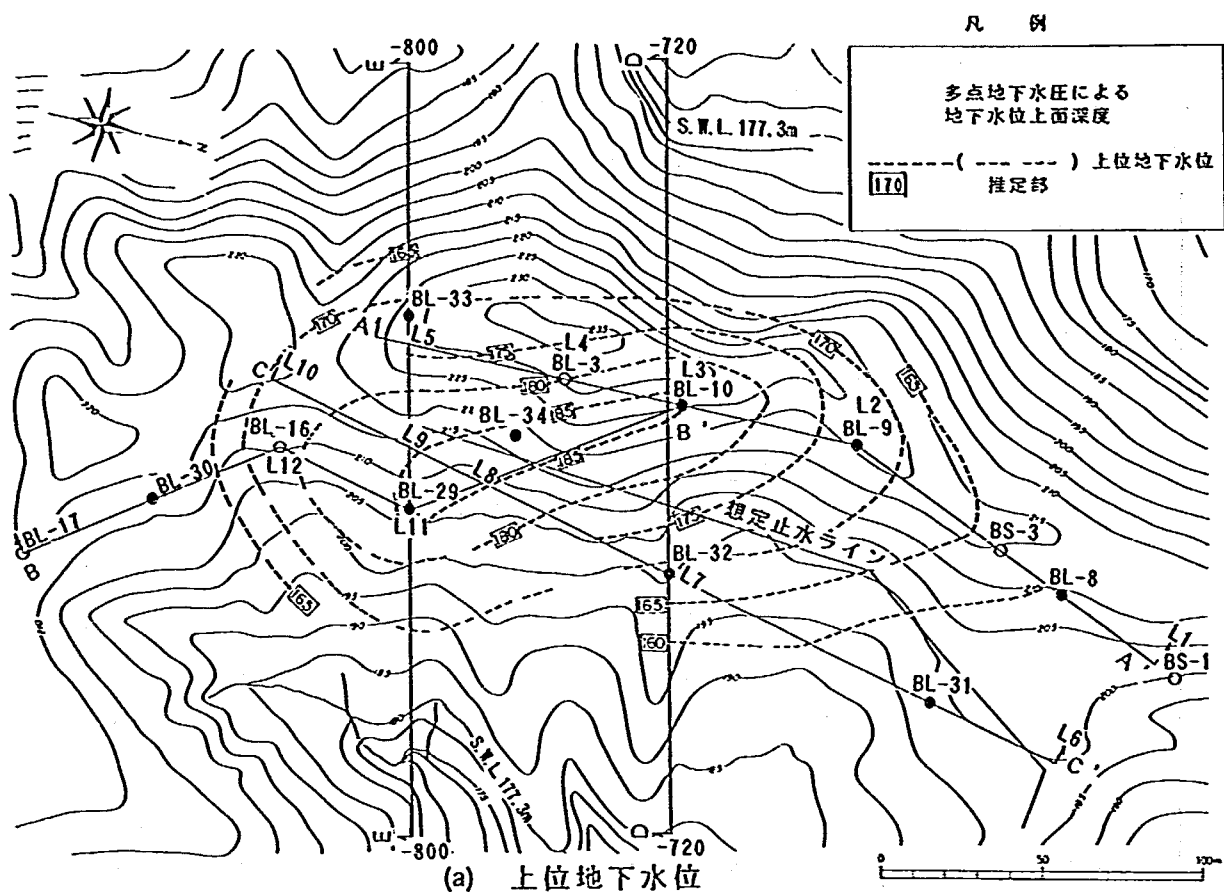


図-7.2.20 地下水位等高線図

- MGLシステム設置孔
- ボーリング孔

7. 2. 3 止水処理計画への利用^{1), 5)}

MGLシステムによる地下水圧測定の結果から左岸尾根部のBL-10孔からBL-29孔の周辺領域にはBL.165および185m付近に地下水面を有する2枚の地下水層があることが判明した。この2枚の地下水層は年間を通じ安定した状態で存在している。しかし、従来の一本の孔の最終地下水位をもとにリムグラウチング範囲を決定する⁶⁾方法によれば最も低いBL.165m付近の下位地下水位を基準にリムグラウチングの範囲を決定することになる。しかしながら、Mダムの計画サーチャージ水位はBL.177.30mであり、この標高に上記の下位地下水位が一致するところまでリムグラウチングを実施するとするとその施工量は膨大なものになる。

左岸尾根部の地形は上下流方向に複雑であるため平面的にもう少し多くの調査を行い、三次元的な地下水分布の把握が必要と思われるが、今回の結果に限れば、BL.165mの上位のBL.185m付近の地下水位も安定した状態で存在することがわかった。さらにBL.185m付近からBL.165m付近に分布する比較的透水性が低い地盤は保水性がよいと推察されることから、この間の地盤の飽和度は高いものと考えられる。地盤の飽和状態については今後検討すべき項目ではあるが、上位地下水位がBL.185m付近以深からBL.165m付近までの地盤を十分に飽和しているものと評価がなされれば、図-7.2.21の模式図に示すとおり地山における水位ポテンシャルがサーチャージ水位における貯水位ポテンシャルよりも大きい領域にはグラウチングを施工する必要はなく、従来のリムグラウチングの考え方に加えて、以下の3案も検討の余地があるように思われる。

- ① 下段グラウチングトンネルを調査により得られた最も低い地下水位 (BL.165m) よりも少し高い標高に設けて、トンネルよりも下位標高の岩盤だけにグラウチングを施工する。
- ② グ라우チング用のボーリングは上段グラウチングトンネルより実施するが、地山ポテンシャルが貯水位ポテンシャルよりも大きい範囲にはグラウチングを施工しない。
- ③ あるいはグラウチングは念のため実施するが、改良目標は設定しない。

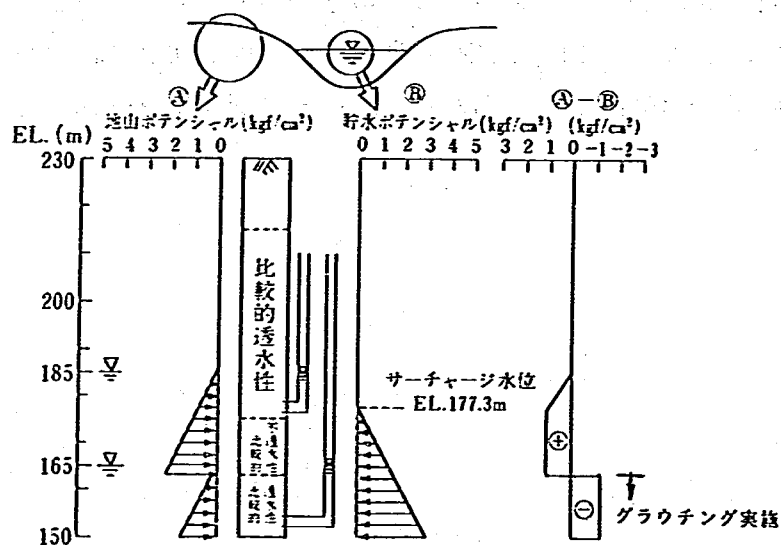


図-7.2.21 地山ポテンシャル分布と止水処理範囲の考え方

しかも、EL. 165m付近の下位地下水位以深の岩盤の透水性等に問題がなければ、止水範囲もEL. 185m付近の上位地下水位とサーチャージ水位の交差する範囲に限定できる可能性もある。ただし、前述した高角度の透水性割れ目については、集中的な浸透の発生が懸念されるため、地山における水位ポテンシャルと貯水位ポテンシャルの状況を問わず確実な止水処理が必要である。

ダムサイト左岸尾根部の地質は上位より、チョコタフ (Ch)、安山岩 (An)、凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩 (Tb₁)、成層火山礫凝灰岩 (Tb₂)、泥岩 (Ms)、火山礫凝灰岩 (Tb₁) から構成される。左岸尾根部において比較的透水性の高い地質は、表層部のチョコタフ (Ch)、安山岩 (An) および凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩 (Tb₁) と深部の泥岩 (Ms) である。表層の高透水部は、風化の進行したC_L～D級岩盤で割れ目が密集しているゾーンであるが、大部分はサーチャージ水位以上の標高部に分布しており、止水処理の対象にはならない。

一方、深部の泥岩 (Ms) は、概ね新鮮・硬質なC_M級岩盤が主体をなすが、上位の成層火山礫凝灰岩 (Tb₂) と下位の火山礫凝灰岩 (Tb₁) の地質境界面付近に高透水性ゾーンが分布する傾向にある。泥岩 (Ms) は、深度40～50m以深に分布し、地層の走向はダム軸とほぼ平行であり、上流側に20°程度で傾斜、その層厚は20～30mである。割れ目の傾斜は、層理に沿った10～20°の角度のものと、70～80°の高角度のものにわかれ、前述した高透水性ゾーンは高角度の割れ目が分布する箇所に多くみられるが、連続性はあまり明瞭でない。また、現時点までの調査では、泥岩 (Ms) より深部において高透水性ゾーンはごく僅かしか認められない。従って、今後の調査の進展や浸透流解析の結果により最終的な検討が必要であるが、現時点においてのダムサイト左岸尾根部の止水処理の改良深度としては、少なくとも泥岩 (Ms) と下位の火山礫凝灰岩 (Tb₁) の地質境界面以深とする必要があろう。

以上、止水計画を検討するポイントについてふれてみたが、最終的なリムグラウチング施工範囲の決定に際して現時点では左岸尾根部における地下水分布の把握が充分とはいえず、また、上位地下水層と下位地下水層を連結させる高角度の透水性割れ目の把握・評価など検討すべき課題も多い。従って、大まかな止水範囲を把握できるものの、決定要素に乏しいのが現状であり、今後、上位地下水層の平面的な広がりなど、3次元的な地下水分布をさらに詳しく把握することが必要と考える。

7. 3 亀の瀬地すべり地

7. 3. 1 試験サイトの地質概要とMGLシステムの設置目的

試験サイトは建設省近畿地方建設局が対策を行っている亀の瀬地すべり地である。亀の瀬地すべり地は二上火山の北方に位置し、南に傾斜した丘陵地帯となっている。本地域は、領家変帯に属し、花崗岩類を基盤とし、その上位に新第三紀中新世の火砕岩類およびそれらの二次堆積物からなる二上層群が分布している。

亀の瀬地すべり地南東部に位置する峠ブロックは移動地塊が新期ドロコロ溶岩（安山岩）、不動地盤が旧期ドロコロ溶岩（安山岩・凝灰角礫岩）からなる。

峠ブロックの東部では、北側より、すべり面下の旧期ドロコロ溶岩中を流れる被圧地下水の存在が推定されている。そこで、その存在を確かめ、またすべり面にその被圧地下水が作用しているか否かを確認するため、MGLシステムを設置した。

試験サイトのMGLシステム設置孔の位置図と地質断面図を図-7.3.1・7.3.2に示す。

7. 3. 2 MGLシステム埋設方法と水圧計設置位置

MGLシステム設置孔は孔径116mmのボーリング孔である。シール材はウレタン系、フィルタ材はジオテキスタイルを使用し、MGLパイプを孔内に挿入する際、所定の位置に布パッカおよびジオテキスタイルを同パイプに取り付け、布パッカにシール材を注入するパッカ法を採用した（図-7.3.3）。

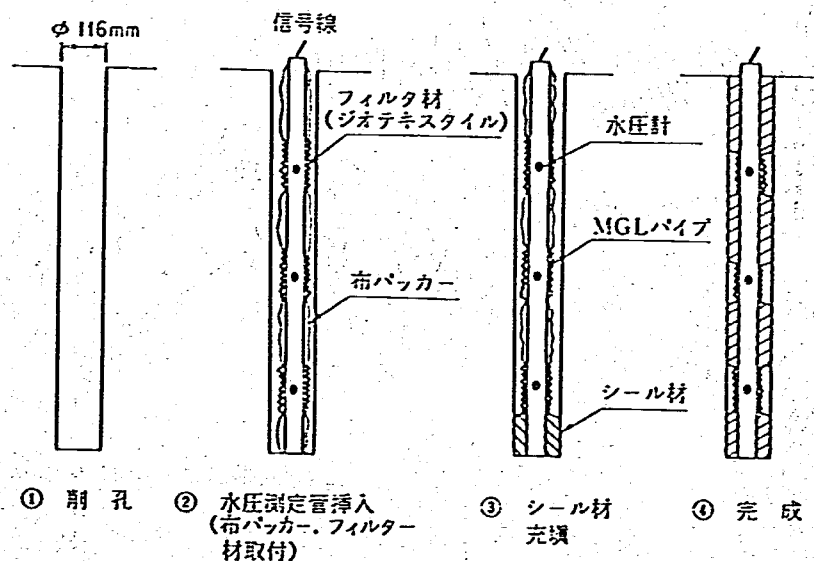


図-7.3.3 パッカ法によるMGLシステム埋設方法

図-7.3.4に示す調査ボーリングの掘進時の孔底深度と孔内水位の変化から以下のことがわかる。

- ① 掘進中に初めて孔内水位が確認されたのは孔底がGL-22mの時点であり、そのときの孔内水位はGL-20mである。
- ② 孔内水位は掘進の進捗とともに低下する傾向がある。

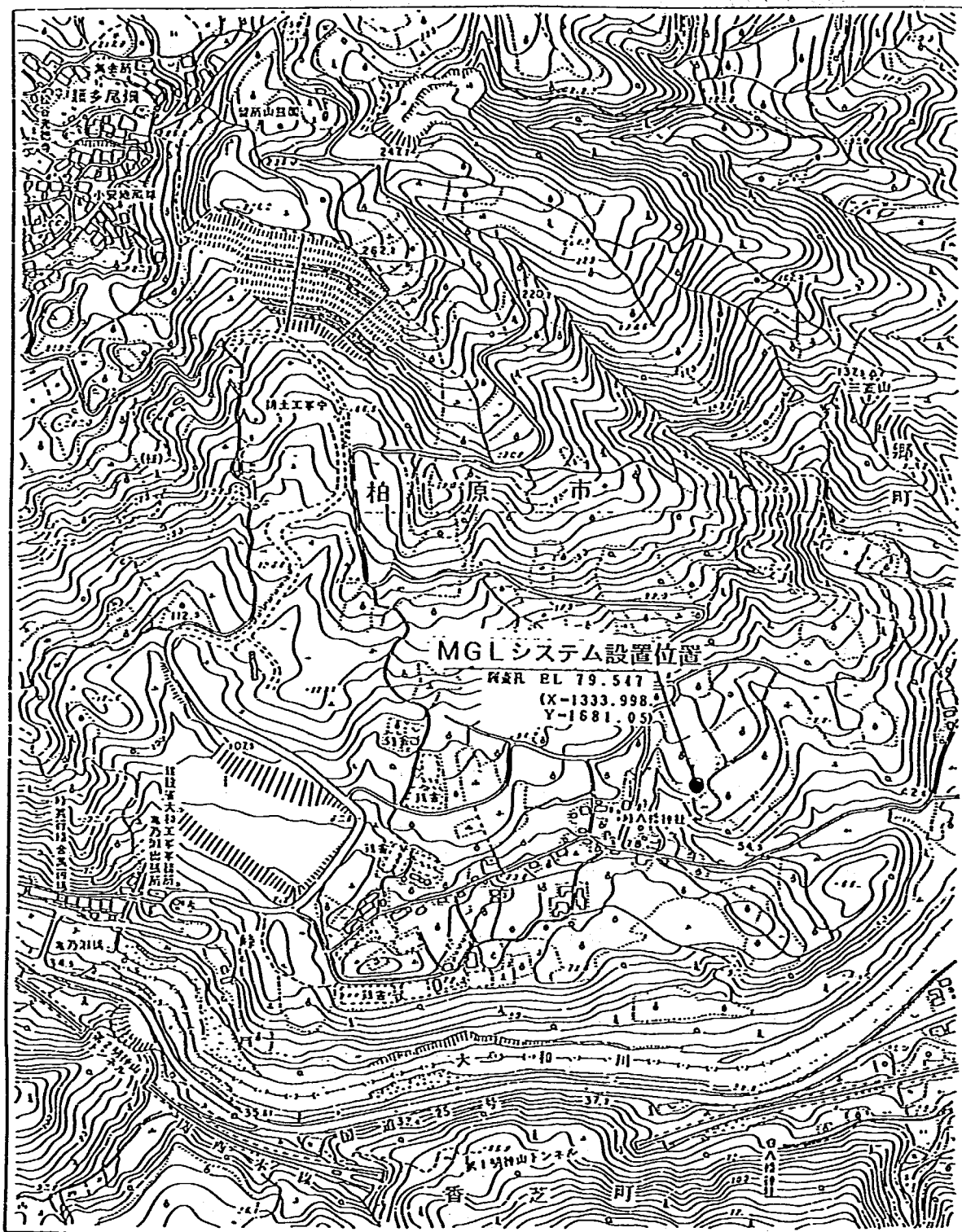


図-7.3.1 MGLシステム設置孔位置図

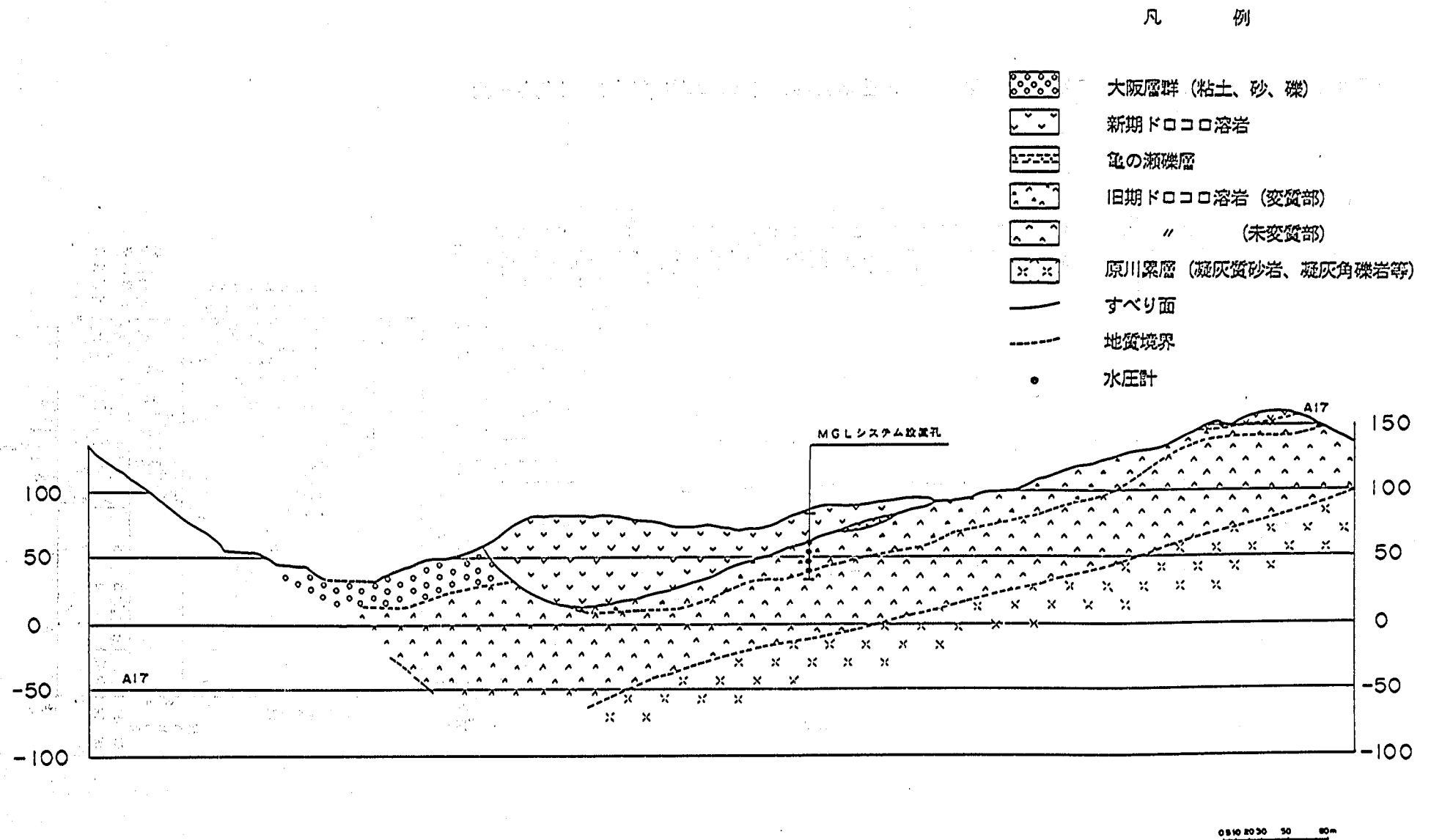


図-7.3.2 亀の瀬地すべり地質断面図

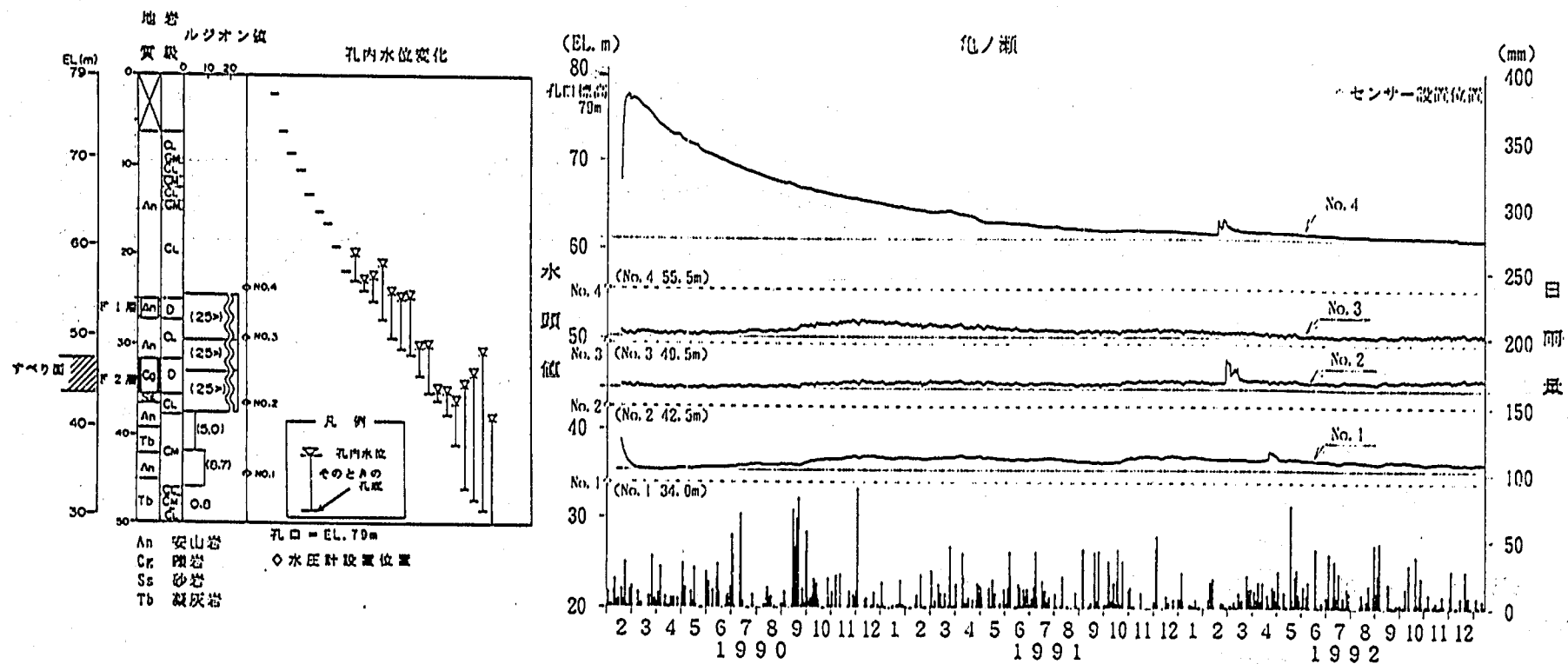


図-7.3.4 亀の瀬地すべり地の地下水圧経時測定結果 (平成2(1990)年2月～4(1992)年12月)

③ 最終孔内水位はGL-38.45mである。

上記から少なくともGL-20mより上位に帯水層がある可能性は低いと言える。なお、GL-40～49m付近を掘進しているときに孔内水位の上昇が見られるが、地盤の透水性および最終孔内水位を考慮すると被圧水ではなく、掘進時の降雨(平成2(1990)年1月18日:15mm、1月19日:3mm)の影響と考えられる。ボーリングコア状況から判断するとGL-24.85～27.15mに認められた角礫まじり粘土層(以下、F1層と記す)およびGL-31.60～35.30mに認められた砂質粘土層(以下、F2層と記す)の2層がすべり面の可能性があると考えられ、不透水層である可能性が高いと考えられる。既存資料と対比した結果、F2層が地すべり面と判断された。ここで、F1層およびF2層が不透水層であると仮定すると、本調査地点には以下の三つの帯水層が存在する可能性がある。

① F1層より上位(地下水面の位置はGL-20m以深)

② F1層とF2層に挟まれた区間

③ F2層より下位

以上の推察をもとに、上記の各帯水層に少なくとも1個の水圧計を設置することとし、表-7.3.1に示す位置を選定した。

表-7.3.1 水圧計の設置位置

水圧計番号	水圧計設置位置	粘土層(F1層およびF2層)との位置関係
No.4	GL-23.5m	F1層より上位の帯水層
No.3	GL-29.5m	F1層とF2層に挟まれた区間の帯水層
No.2	GL-36.5m	F2層の下位の帯水層
No.1	GL-45.0m	F2層の下位の帯水層

7. 3. 3 測定結果

各水圧計の水頭値を標高に換算し、その経時変化を図-7.3.4に示した。

No.1～3の水圧計はそれぞれ1～2.5m、2～3m、1.5～2mの水頭を示し、降雨への明瞭な反応は認められないが、平成2(1990)年9月から11月にかけて日雨量50mm以上の降雨があり、これに対応した穏やかな水圧上昇が認められる。

この降雨に対する水圧上昇はNo.1および3が1.5m、No.2が1mと変動量が小さくかつ値が異なっている。これはNo.1、No.2間には5ルジオンとやや透水性の低い部分が存在し、No.2、No.3間にはすべり面と考えられるF2層があり、それぞれが不透水盤を構成しているためと考えられる。

No.4の水圧計は設置後10日間にわたって水頭が22mにまで上昇した後、徐々に低下し設置後2年10カ月後に水頭5.7mまで低下し、ほぼ平衡状態に至った。この異常な変動はシール作業中にシール材がフィルター区間まで侵入し、水圧計No.4をシールしてしまったためと思われる。

No.1、2、4とも平成4(1992)年2月～4月に降雨に反応しているとは思われない数日間の水圧上昇が認められる。しかし、この原因については不明である。

7. 4 怒田地すべり地

サイトの地質概要およびMGLシステムの設置に関しては6.3に詳述したため、ここでは経時測定結果について述べる。

図-7.4.1はボーリング柱状図・掘進時の孔内水位変化図とMGLシステムにより設置したNo.1～3の3つの水圧計の1日毎の出力値を水頭に換算し、水圧計の設置標高を加算した標高換算値の経時変化を示したものである。また、日雨量を棒グラフ、すべり面での変位量を折れ線グラフで示した。

No.1の水圧計は掘進中に測定されたBL.522m(安定水位)の水位に対応する水位を示す。降雨に対する反応が認められ、日雨量50mm程度の雨に対して水位上昇が認められる。

No.2の水圧計は掘進中に測定されたBL.528m(宙水と考えられる)の水位に対応する水位を示している。降雨に対する反応はNo.1および3に比べ小さく、穏やかである。

No.3の水圧計は掘進中に測定されたBL.535m(宙水と考えられる)の水位に対応するものを測定していると思われる。常時は水位は観測されない。しかし、降雨に対して敏感に反応し、一時的に(降雨時にのみ)水位が認められる。

以上の事から調査孔周辺には3層の水位があり、下位の安定した水位はBL.522m付近にある。降雨に対する反応が異なることから、No.1とNo.2の間には不透水層が存在し、これにはBL.525mのすべり面が対応すると考えられる。No.3 (BL.534.4m)とNo.2 (BL.525.7m)との間に不透水層があり、この上位に宙水が存在し、降雨時のみNo.3の水圧計に水位が達するものと考えられる。

70m川側のボーリングの深度10m付近には比較的明瞭なすべり面が認められ、孔内傾斜計により約10mm/年の変位が観測された。このすべり面の連続部が本孔のBL.525m付近に推定される。

すべり面での変位量は通年微増の傾向があるが、間隙水圧との関係をみると、平成4(1992)年8月の降雨により水圧上昇がみとめられ、これにより変位が増大したことが読み取れる。

図-7.4.1 怒田地すべり地の地下水压経時測定結果(平成4(1992)年2月～5(1993)年2月)

参考文献

- 1) 山口嘉一・松本徳久：ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定，第22回岩石力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp. 81～85，1992年 2月。
- 2) 大西崇夫・松本徳久・山口嘉一：ダム基礎岩盤内の地下水圧分布測定（第2報），第23回岩石力学に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp. 197～201，1992年 2月。
- 3) 松本徳久ほか：孔内多点水圧測定に関する基礎的検討，建設省土木研究所資料，第2904号，1990年 10月。
- 4) 建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室ほか：ボーリング孔内の多段遮水方法に関する共同研究報告書，建設省土木研究所共同研究報告書，第43号，1990年 8月。
- 5) 中村明ほか：森吉山ダムの孔内多点水圧測定について，ダム技術，No79，pp. 44～56，1993年 4月。
- 6) 建設省河川開発課監修：グラウチング技術指針・同解説，(財)国土開発センター，pp. 51～53，1983年 11月。

8. まとめ

本研究では孔径66mmのボーリング孔内に設置可能なMGLシステムについて研究・開発を実施した。この課題の解決のためにMGLパイプそのものの小型化を実施するとともに、シール材については、孔径116mmのボーリング孔で使用したものを基本に検討、改良を実施した。また孔内の条件に対する適応性を検討するためシール材の逸出試験、地すべり地など孔曲がりに適応できるシール材の評価試験なども実施し、各シール材の適応性を明らかにした。水圧計が何らかの条件で作動しなくなった時に対応するための2CH型水圧計についても試作・設置を行った。さらに孔壁がくずれやすい地すべり地域などでの設置に有孔外管を用いた設置法や、被圧地下水の存在による上昇流がある場合のエアパッカーを採用したシステムについても有用性を実証実験により確認することができた。

以上の検討の結果、各シール材の適応性がより明かになるとともに、岩盤や地すべり地帯等においてもMGLシステムの設置が可能であることが確認された。表-8.1には小口径化、および岩盤や地すべり地帯等での設置のために開発した方法の概要を示し、表-8.2および表-8.3にはそれぞれ、いずれのシール材も適用可能な条件および、特殊な条件と適応可能なシール材の種類を示した。

表-8.1 開発項目と内容

項 目	開 発 内 容
小 口 径 化	・ MGLパイプの小型化 ・ 水圧計の小型化 ・ シール材の低粘性化 ・ 温度管理システムの導入（エポキシ系シール材） ・ 直接法の採用（ウレタン系シール材）
地すべり地 対策	・ 塩ビ管を用いたMGLパイプの開発 ・ スパイラル線を用いた水圧計接続線の開発 ・ 変形に追従可能なシール材の検討
被圧地下水 対策	・ エアパッカーと布パッカの併用 ・ 窒素ポンプを用いたシール材の注入（布パッカ）
水圧計故障時 対策	・ 2CH型水圧計の開発
くずれやすい 孔壁への対応	・ 有孔外管を用いた設置法の開発

表-8.2 いずれのシール材も適用可能な条件

項 目	条 件
対象地盤	粘土～粗砂程度の地盤 一般的な岩盤
地 下 水	流速が遅い場合
孔内温度	数℃～30℃程度
孔内水pH	$5 \leq \text{pH} \leq 11$
対象深度	150m程度まで (100mまで実証済み)

表-8.3 特殊な条件と適したシール材

特 殊 条 件	シ ー ル 材 の 種 類
地すべり地など移動性地盤	ウレタン系、エポキシ系
被圧水（孔内上昇流）がある	ウレタン系（布パッカ、エアパッカを使用）
酸性地下水 $\text{pH} < 5$	エポキシ系
アルカリ性地下水 $11 < \text{pH}$	エポキシ系、セメント系

システムの小型化による工費の節減、適用範囲の拡大によりますますMGLシステムの需要が、今後飛躍的に伸び続けることは想像に難くない。ただし、自然地盤を対象とした場合、予期せぬ悪条件に遭遇することも珍しくない。よって今後も、現場でのMGLシステムの実績を積み重ねるとともに、MGLシステムのさらなる改良を図っていく必要があると考えられる。

あとがき

今回の2ケ年にわたる共同研究においては、前回の共同研究で開発した単孔多段式地下水圧測定システム（MGLシステム）の汎用化を目指した。最も重点をおいたのが66mm径のボーリング孔対応の小型MGLシステムの開発であった。これについては基礎的な検討を経て、複数の実証試験を行い達成することができた。また、このシステムの小型化の研究の途中で、システム汎用化にむけての数多くの項目の研究開発も行い、数々の成果を得ることができた。その代表的なものとして、地すべり地対応のMGLシステムや被圧地下水帯対応のMGLシステムなどが挙げられる。今後このシステムが多く現場で適用され、調査・設計および構造物の安全管理などに利用されることが本共同研究に携わった全員が切望するところである。

なお、本共同研究で開発したMGLシステムに対して第一回ダム工学会技術開発賞が授与された（平成5年5月7日）。

上記のような数多くの成果を得られたのは建設省土木研究所企画課、(財)土木研究センターなどの関係各位の御協力によるものです。末筆ながら、記して本研究参加者全員の謝意を表します。

ボーリング孔内の多点水圧測定
システムの小型化に関する共同
研究報告書

共同研究報告書
整理番号 第93号
平成5年10月(1993)

フィルダム研究室
地すべり研究室



郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
ダム部フィルダム研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



共同研究報告書第93号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印