



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

平成2年8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 ©(1990) 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段遮水方法に 関する共同研究報告書

建設省土木研究所	ダ ム 部 長	下 村 周
建設省土木研究所	フィルダム研究室長	松 本 徳 久
建設省土木研究所	フィルダム研究室研究員	山 口 嘉 一
建設省土木研究所	フィルダム研究室研究員	安 仁 屋 勉
建設省土木研究所	砂 防 部 長	渡 辺 正 幸
建設省土木研究所	地 す べ り 研 究 室 長	中 村 浩 之
建設省土木研究所	地すべり研究室研究員	桧 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	
	地盤研究室主任研究員	梅 田 美 彦
(株)建設技術研究所	地 質 室 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)

要 旨

本報告書は、建設省土木研究所と上記5社との共同研究として実施した「ボーリング孔内の多段遮水方法に関する研究」の成果について取りまとめたものである。

本研究は、地盤工学分野において地盤内の地下水圧分布を正確に把握することの重要性に鑑み、ボーリング孔内の多深度地点において水圧を測定するシステムを開発することを目的としている。具体的には、遮水材、フィルタ材とその設置方法に関する研究、水圧測定方法に関する研究に分けて、研究を進めた。

キーワード：ダム，斜面，地下水圧，ウレタン樹脂，エポキシ樹脂，セメント

共同研究担当者名簿

前建設省土木研究所ダム部長	藤本 成
建設省土木研究所ダム部長	下村 周
前建設省土木研究所砂防部長	土井 功
建設省土木研究所砂防部長	渡辺正幸
建設省土木研究所フィルダム研究室	松本徳久
“ “	山口嘉一
“ “	安仁屋勉
建設省土木研究所地すべり研究室	中村浩之
“ “	桧垣大助

戸田建設（株）土木技術開発室	梅田 宏
“ “	関根一郎
“ “	野々目洋
“ “	原 敏昭

日本国土開発（株）技術研究所	梅田美彦
“ “	鈴木正人
“ “	宮内鋭次

（株）建設技術研究所地質室	宇田進一
“ “	松岡 信
“ “	中尾誠司
“ “	井宮 裕
“ 応用理学室	斎藤秀晴
“ “	長塚正樹

大阪セメント（株）中央研究所	中野錦一
“ “	嶋谷宏文
“ “	後藤年芳
“ “	清水和也

日特建設（株）技術本部	黒川 武
“ “	杉村亮二

目 次

1. はじめに	1
参考文献	2
2. 研究目的および研究分担	3
3. シール材フィルタ材の選定	4
3.1 概説	4
3.2 シール材の選定	5
3.2.1 机上調査	5
3.2.2 シール材の選定	9
3.3 フィルタ材の選定	11
3.3.1 机上調査	11
3.3.2 フィルタ材の選定	13
4. シール材に対する物性試験	15
4.1 概説と試験項目	15
4.1.1 概説	15
4.1.2 試験項目	15
4.1.3 各試験の意味と基準値	15
4.2 ウレタン系シール材	18
4.2.1 試験方法	19
4.2.2 試験結果	22
4.3 エポキシ系シール材	33
4.3.1 試験方法	33
4.3.2 試験結果	34
4.4 セメント系シール材	38
4.4.1 目的	38
4.4.2 使用材料	38
4.4.3 試験方法	38
4.4.4 試験結果	42
4.4.5 まとめ	45
4.5 まとめ	46

参考文献	49
5. フィルタ材に対する物性試験	50
5.1 概説	50
5.2 砂フィルタ	51
5.2.1 比重試験	51
5.2.2 粒度試験	51
5.2.3 透水試験	52
5.3 ジオテキスタイルフィルタ	54
5.3.1 実験目的	54
5.3.2 実験方法	54
5.3.3 実験結果	59
5.3.4 まとめ	63
5.4 まとめ	64
参考文献	65
6. MGLパイプの構造	66
6.1 概説	66
6.1.1 水圧計設置に必要とされる条件	66
6.1.2 水圧計設置方法の比較	66
6.2 パイプ構造(案)とその損失	69
6.2.1 パイプ構造(案)について	69
6.2.2 パイプ構造(案)の比較	71
6.3 採用したパイプ構造の詳細	73
6.3.1 採用したパイプ構造	73
6.3.2 採用したパイプの機能	75
6.3.3 水圧センサーの仕様	75
7. シール材, フィルタ材の設置に関する検討	77
7.1 概説	77
7.2 シール材の設置	78
7.2.1 ウレタン系シール材	78
7.2.2 エポキシ系シール材	94
7.2.3 セメント系シール材	100
7.3 フィルタ材の設置	106

7.3.1	砂フィルタ（対エポキシ系シール材）	106
7.3.2	砂フィルタ（対セメント系シール材）	109
7.3.3	ジオテキスタイルフィルタ	111
	参考文献	112
8.	実証試験	113
8.1	試験サイトの概要	113
8.2	ウレタン系シール材	115
8.2.1	概要	115
8.2.2	設置作業	116
8.2.3	まとめ	128
8.3	エポキシ系シール材	129
8.3.1	試験の概要	129
8.3.2	施工方法	129
8.3.3	施工結果	133
8.4	セメント系シール材	140
8.4.1	水圧計の埋設位置の選定	141
8.4.2	MGLパイプ組立・建込み	142
8.4.3	MGLパイプ埋設	143
8.4.4	埋設結果	146
8.4.5	水圧計作動チェック試験	148
8.4.6	シール効果確認試験	149
8.4.7	ベースコンクリートおよび水圧測定装置の設置	150
8.4.8	まとめ	150
8.5	水圧計の耐久試験	151
8.6	試験サイトの地下水圧分布と止水処理計画への利用	152
8.6.1	地下水圧分布	152
8.6.2	測定結果の止水処理計画への利用	153
8.7	新たに発生した検討項目	154
8.7.1	ウレタン系	154
8.7.2	エポキシ系	154
8.7.3	セメント系	154
8.7.4	小口径化	155
	参考文献	156

9. 追加検討	157
9.1 概説	157
9.2 ウレタン系	158
9.2.1 実験目的	158
9.2.2 センサーの選定	158
9.2.3 注入実験1	161
9.2.4 注入実験2	164
9.2.5 まとめ	167
9.3 エポキシ系	171
9.3.1 プレパックド工法の開発	171
9.3.2 パウダーミックスドエポキシの開発	177
9.4 セメント系	182
9.4.1 概要	182
9.4.2 シール材の物性	182
10. MGLシステムの小口径化	187
10.1 概説	187
10.2 ウレタン系から見た小口径化	188
10.2.1 埋設物の小型化	188
10.2.2 総合検討	190
10.3 エポキシ系から見た小口径化	191
10.3.1 小口径にした場合の問題点と解決策	191
10.3.2 エポキシ樹脂の圧送	191
10.3.3 フィルタ材の設置	192
10.3.4 確認方法	192
10.3.5 まとめ	194
10.4 セメント系から見た小口径化	196
10.4.1 現システムでの適用性の検討	196
10.4.2 システムの改良の検討	196
10.4.3 シール材に関する改良	196
10.4.4 フィルタ材に関する改良	201
10.4.5 設置深度確認方法の改良	201
10.4.6 結論	203
10.5 水圧計内蔵パイプの小口径化	204

11. まとめと将来展望	205
--------------------	-----

謝 辞	206
-----------	-----

1. はじめに

岩盤、地盤工学の分野のうちでも、ダム、斜面、放射性あるいは有毒産業廃棄物処分、石油の地下備蓄といった分野においては、岩盤、地盤内の複雑な地下水圧の分布やその経時的变化を正確に知ることが極めて重要である。例えば、ダムの分野においては、基礎の地下水圧の分布や経時的变化を把握することにより、地下水の流動形態を知ることができ、合理的なグラウチングの範囲の決定やダム湛水後の漏水経路の認定が可能となる。また、地すべりの分野においては、地下水位の季節変動や降雨に伴う地下水圧分布の変化を明確にとらえて、斜面の安定性を逐一評価していくことが必要である。

しかし、ダムなどで実施されている一般的な地下水圧測定法は次のとおりである。ダム高相当のボーリング完了後、孔壁保護の目的でストレーナ管を孔内に挿入し、その後長期間かつ定期的に孔内水位を測定するというものである。そのため、複雑な水圧分布を示す岩盤、地盤内の測定では水位観測孔の孔内水位面より上部から孔内への水の流入が認められたり、ボーリング時の孔内水位変動が激しいなど、測定結果の解釈が容易でないことが多く、とても地下水圧を正確に測定しているとは言い難い。さらに、多大な費用をかけて掘った1本の孔からたった1つの水圧データしか得られないというのも不経済である。よって、このような岩盤、地盤内の水圧分布を合理的かつ経済的に把握するためには、単一孔の多深度地点で水圧を測定することが必要になってくる（以下、単孔内多点水圧測定と呼ぶ）。こうした水圧測定方法については既に研究、開発がなされ、商業ベースに乗っているシステムもいくつかある^{1)～5)}。しかし、これらのシステムは必ずしも手軽に使用できるものとは言い難い点もあり、かつ水圧測定地点間の孔内遮水用のシール材の材質について詳しく議論されているものは少ない。そこで、建設省土木研究所においては、民間5社との共同研究（昭和63年～平成元年度の2箇年）を実施し、シール材物性も考慮した独自の水圧測定システムの開発を目指した。

参考文献

- 1) Dunnicliff, J. and Green, G.E. : Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley & Sons, pp.117~164, 1988.
- 2) Kovari, K. and Koeppe, J. : Head Distribution Monitoring with the Sliding Piezometer System "Piezodex", Field Measurements in Geomechanics, 2nd International Symposium, pp.3~15, 1987.
- 3) Westbay Instruments Ltd. : The MP System.
- 4) AGE Development : Groundwater Monitoring Equipment.
- 5) 岩崎好規ら : 間げき水圧計単孔多点埋設方法について、第14回土質工学会研究発表会講演集、pp.61 ~64, 1979年 6月.

2. 研究目的および研究分担

本共同研究の目的は、独自の単孔内多点水圧測定システムを開発することにある。ただ、共同研究の開始にあたり、土木研究所フィルダム研究室においては、図-2.1 に示すシステムの完成を目指したいという腹案があった。具体的な作業手順は、 $\phi 66\text{mm}$ の調査ボーリング終了後、 $\phi 116\text{mm}$ に拡孔し、孔内に測点数（図中では3点）の水圧計が所定の位置に内蔵されたパイプを挿入し、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遮水材を設置するというものである。なお、本システムをMGLシステム（Multiple Groundwater Level Measuring System）、水圧計を設置したパイプをMGLパイプと称した。

上記のMGLシステムを実現するために表-2.1 に示す項目について、分担研究を実施した。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。

表-2.1 研究の項目と分担

研究項目	研究細目	研究分担	
		甲	乙
1. 遮水材料及びフィルタ材に関する研究	1) 候補材料の検討 2) 材料物性試験	○	○ ○
2. 遮水材料及びフィルタ材の設置方法に関する研究	1) 設置方法の検討 2) 設置位置の確認方法の検討 3) 遮水効果の確認方法の検討 4) 実証実験	○ ○	○ ○ ○ ○
3. 水圧測定方法に関する研究	1) 間隙水圧計に関する研究 2) 水圧計の性能チェック方法の検討 3) MGLパイプの改良		○ ○ ○
4. 研究成果の取りまとめ	1) 研究のとりまとめ 2) 成果の報告	○ ○	○ ○

甲：建設省土木研究所

乙：民間 5社

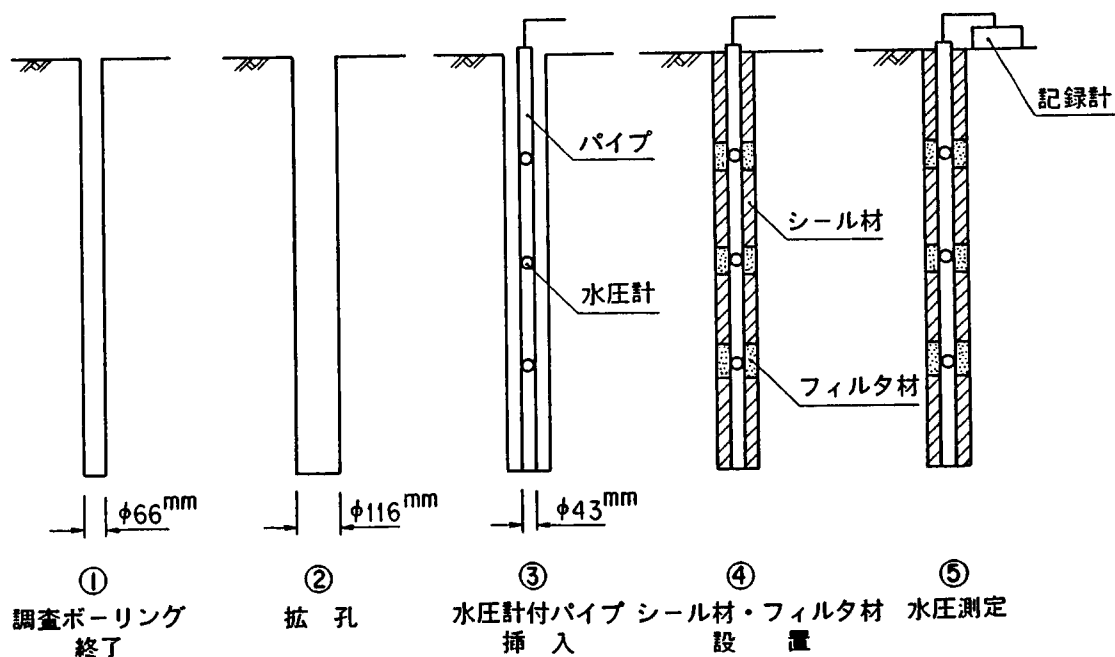


図-2.1 MGLシステムの作業手順

3. シール材、フィルタ材の選定

3. 1 概説

MGLシステムを完成するには、単孔内での多段遮水を確実に実施しなければならない。この多段遮水の達成のために第一に実施しなければならないことは、適切なシール材とフィルタ材を選定することにある（図-2.1 参照）。そこでこの章では、既存材料の中から多くのシール材、フィルタ材の候補をリストアップし、種々の机上検討を実施し、数種のシール材とフィルタ材を選定したので、ここに報告する。

3. 2 シール材の選定

3. 2. 1 机上調査

シール材の選定にあたっては、まず安全性が確認されている既存材料の中からシール材として適当と判断されるものを洗い出し、それらについて机上調査を行った。

以下に、調査項目および調査結果について述べる。

(1) 調査項目

本研究で取り扱うシール材は、次の条件を同時に満足しなければならない。

- ① 研究する材料として取り上げても、社会的な問題が発生しないこと
- ② シール材として求められる物性（機能）を充分備えていること
- ③ 測定の目的に対し、十分な期間にわたり使用できること
- ④ 研究の目的に対し、適用可能な物性（性状）であること
- ⑤ その他に問題点がないこと

条件①に関しては、工業所有権の有無を調査した。

条件②に関しては、材料自身が難透水性で、かつ孔壁およびMGLパイプに対し充分な付着力がある必要がある中で、材料自身の透水性および付着性について調査した。また、塑性体のシール材については、その自重で破壊しないことを確認する目的で一軸圧縮強度を調査した。

条件③に関しては、本システムがダムや地すべり地における地下水圧の調査を対象としていることから、最低でも5年間の使用に耐えうるものでなければならない。このような背景から、材料の耐久性・化学的安定性を調査した。また、止水効果を維持する点で経時的な体積の収縮は問題となるため、膨張・収縮の有無について調査した。

条件④に関する調査項目としては、粘性・硬化発熱による温度上昇・可使時間およびブリージング（セメント系材料）が挙げられる。つまり、限られた空間であるボーリング孔内において多段遮水を行い、各測定対象区間の地下水圧を測定するシステムを実現するためには、シール材として次の事項を満足しなければならない。

- ・フィルタ材および地盤中へシール材が過度に浸透したり、孔内水中へ拡散して非シール区間の孔壁および水圧計に付着し、測定に悪影響を与えないこと（以上を防止するためには、粘性が高いことが望ましい）
- ・硬化時の発熱により、水圧計に悪影響を与えないこと
- ・限られた空間の中での慎重な設置作業を要求されるため、充分な可使時間（＝作業時間）があること
- ・セメント系材料には、ブリージング（硬化時に材料と水が分離する現象）の問題がある。設置作業の管理上、ブリージングはないことが望ましい。

条件⑤に関しては、特に孔内への設置作業上、問題がないかを調査した。

以上を総括し、調査項目および調査目的を表-3.2.1に示す。

表-3.2.1 候補材料の調査項目と目的

調 査 項 目		調 査 細 目	調 査 目 的
概 要		品名（メーカー名称）	概要を把握する
		概略成分・内容	
		単価	
社 会 的 問 題		工業所有権の有無	工業所有権により拘束されていないことを確認する
物 性	シール材としての適性を判断するための項目	材料の透水性	遮水効果があることを確認する
		パイプ・孔壁への付着性	付着力があることを確認する
		一軸圧縮強度	材料の強度を知る
	経時的な変化に対する項目	耐久性・化学的安定性	耐久性があることを確認する
		膨張・収縮の有無	収縮性材料ではないことを確認する
	本研究への適用性を判断するための項目	粘性	フィルター材および地盤への浸透し易さ等を推定する
		硬化時の発熱による温度上昇	水圧計に悪影響を与えないことを確認する
		可使時間	作業時間が十分取れることを確認する
		ブリージング	材料の安定性を知る（セメント系）
そ の 他			その他の問題点を把握する

(2) 調査結果

リストアップした材料をその成分によりウレタン系・エポキシ系・セメント系およびその他に分類し、調査結果を表-3.2.2 に示す。

表-3.2.2 シール材に関する机上調査結果 (その1)

概 要			工 業 所有権	物 性									その他
品 名 会社名	内 容	単 価 (円/ℓ)		透 水 性	孔壁・パイプ への付着性	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	耐久性・化 学的安定性	膨張・ 収縮性	粘 性	硬化時の温度 (MAX. °C)	可使時間	ブリージング (懸濁型)	
ウレタン系	ポリグラウト 第一工業製薬	・親水性 ポリウレタン ・水硬性 95 (5 %溶液)	無	難透水性	有	1.3	有	無収縮 (水がない 時は収縮)	600 cP (25 °C)	25	60 分	—	—
	TACSS 朝日鋼材	・疏水性シリケート 系液 (非泡水ゲル) 285 (5倍 発泡時)	有	難透水性	有	110	有	膨 張 (300~ 800 %)	64 cP (25 °C)	問題なし	100 分	—	空間を充填する目的には不適当
	TBU 東海ゴム	・ウレタン系のイソシア ネート基とポリオールの 水酸基の尿素結合 375 (4倍 発泡時)	無	難透水性	有 (22 kg/cm ²)	40 (4倍発泡時)	有	膨 張 (400~ 1500%)	30~600 cP (25 °C)	80	10分	—	—
エポキシ系	コンクレツ 1517 日本7フレック	・低粘度水中注入 用エポキシ樹脂 2,690	無	難透水性	有	560	有	無収縮	400 cP (25 °C)	発熱量が多い	混合後 180分 (25°C)	—	—
	トホパイト CP472 東邦天然ガス	・液状エポキシ 樹脂 (湿潤硬化型) 3,422	無	難透水性	有	700 以上	有	無収縮	6,200 cP (20 °C)	硬化時の温度 が高い	混合後 80分 (20°C)	—	—
	TOKO-エスエポ 東京興業貿易	・エポキシ樹脂 3,000	不 明	難透水性	無 (水中)	730 ~ 800	有	不 明	1,800 ~ 3,000 cP (25 °C)	発熱量が多い	混合後 30 ~ 60分	—	—
セメント系	ライオンセメント-W 大阪セメント	・超速硬セメント 137 (W/C=100%)	無	難透水性	有	90 程度 (28日, W/C=100%)	有	若干収縮 (特に問題 はない)	400 cP (20 °C, W/C=100%)	問題なし	60分程度	20 % (W/C=100%)	—
	TOKO-FSC 東京興業貿易	・無収縮セメント 250 (W/C=100%)	不 明	難透水性	有	500 以上 (28日, W/C= 40%)	有	膨 張 (0 ~ 2 %)	7 秒以上 (J140-1)	60	60分程度	0 % (W/C=100%)	強度の発現に長時間を要し、作業性の面で問題あり
	超微粒子セメント	・超微粒子セメント 112 (W/C=100%)	無	難透水性	有	200 程度 (28日, W/C=100%)	有	若干収縮 (特に問題 はない)	10~ 11 秒 (P ロ-1, W/C=100%)	問題なし	60分程度	0 % (W/C= 40%)	強度の発現に長時間を要し、作業性の面で問題あり
	ジョイセメント	・ジョイセメント 50 (W/C=100%)	無	難透水性	有	100 程度 (28日, W/C=100%)	有	若干収縮 (特に問題 はない)	9~ 10 秒 (P ロ-1, W/C=100%)	問題なし	60分程度	3 % (W/C=100%)	強度の発現に長時間を要し、作業性の面で問題あり
	普通粒状セメント	・普通粒状セメント 17 (W/C=100%)	無	難透水性	有	200 程度 (28日, W/C=100%)	有	若干収縮 (特に問題 はない)	8~ 9 秒 (P ロ-1, W/C=100%)	問題なし	60分程度	25 % (W/C=100%)	強度の発現に長時間を要し、作業性の面で問題あり
	デンカES 電気化学工業	・セメント系 急硬材 37 ~ 49	有	難透水性	有	8 ~ 50 (ホモゲル)	有	膨 張 (0.3 %)	7 cP	問題なし	30秒~ 10 数分	0 %	—

(注) ■ は、シール材として不適当と判断した材料およびその問題点であることを示す

表-3.2.2 シール材に関する机上調査結果 (その2)

概 要			工 業 所有権	物 性									その他	
品 名 会社名	内 容	単 価 (円/ℓ)		透 水 性	孔壁・パイプ への付着性	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	耐久性・化 学的安定性	膨張・ 収縮性	粘 性	硬化時の温度 (MAX °C)	可使時間	ブリージング (懸濁型)		
セ メ ン ト 系	セメント・コン クリート グラウト	・普通ポルトランドセメント ・ベントナイト 13 (W/C=100%)	無	難透水性	有	5 ~ 200 (28 日)	有	若干収縮 (特に問題 はない)	9 ~ 10 秒 (P o-t)	問題なし	60分程度	0 ~ 25 %	産地によりベントナイトの性状が異なり、品質管理が難しい	
	シールド裏込材	・モルタル	無	難透水性	有	180 (170kg/ℓ)	有	膨 張	18~ 20 秒 (P o-t)	問題なし	30~ 60分程度	不 明 (10 %未満)	モルタルであるため、小口径チューブ圧送が困難	
	ポリウレタンフォーム用 充填材	・セメントモルタル (W/C=40%)	無	難透水性	有	350(7 日) 400(28 日)	有	膨 張 (6 %)	15 秒 (P o-t)	問題なし	30~ 60分程度	1 ~ 2 %	モルタルであるため、小口径チューブ圧送が困難	
	ポリウレタンフォーム用 充填材 (高強度)	・セメントモルタル ・減水材 (W/C=40 ~ 30 %)	無	難透水性	有	500(7 日) 700(28 日)	有	膨 張 (2 ~ 4 %)	40 ~ 60 秒 (P o-t)	問題なし	30~ 60分程度	1 ~ 2 %	モルタルであるため、小口径チューブ圧送が困難	
そ の 他	SEI 日東化学	・水ガラス系 ・懸濁型アルカリ系	46	無	難透水性	有	13 (ホモゲル)	無	収 縮	A液 4.5cP B液 4.1cP	問題なし	数秒~ 数十秒	——	——
	アロンSR 東亜合成化学	・水ガラス系 ・アルカリ系	46	無	難透水性	有	1 ~ 1.2 (ホモゲル)	無	収 縮 (10 %)	2 cP	問題なし	30秒~ 10 分	10 %未満	——
	ALFILON CG7 三信建設	・水ガラス系 ・懸濁型非アルカ	26	無	難透水性	有	自立する程度 (ホモゲル)	環境により 不 定	膨 張	2.5 ~ 3 cP	問題なし	数分~ 数十分	——	——
	シリカライザー 三信建設	・水ガラス系 ・非アルカリ系	50	無	難透水性	有	0.8 程度 (ホモゲル) 7 (サンダル)	環境により 不 定	収 縮	1.5 ~ 2.5 cP	問題なし	120分程度	——	——
	LW 日本塗料工業会	・水ガラス ・セメント懸濁液	30 ~ 40	無	難透水性	有	10 以下	不 明 (2年)	不 明	200 cP (水ガラス)	問題なし	数 分	——	——
	パーマロック 永久グラウト 研 究 会	・超微粒子シリカ ・中性塩or酸性塩	300 ~480	有	難透水性	有	6 ~ 9 (サンダル)	不 明 (5ヶ月)	膨 張 (1~2%)	15 cP以下	問題なし	10秒~40分	——	——
	ナイスシール 応用地質	・高分子系 ・吸収膨張性	4,700 ~ 6,200 (3m 当り)	有	難透水性	有	——	不 明 (3年)	膨 張 (25 倍)	——	——	3~ 4時間 で膨張	——	——
	ナイスストップ 応用地質	・高分子系 ・高吸水膨張性	5,800 (kg 当り)	有	難透水性	有	不明	不 明	膨 張 (50 ~ 1000倍)	—— (粉末)	——	1~ 2時間 で膨張	——	——
	ベントナイト 応用地質	・ベントナイト	790 (kg 当り)	無	難透水性	有	——	有	膨 張	——	——	2~ 3時間 で膨張	——	孔内への設置作業が、非常に困難

注) ■■■ は、シール材として不適当と判断した材料およびその問題点であることを示す

3. 2. 2 シール材の選定

(1) 選定基準

リストアップした各材料について適性の検討を行った。選定のフローを図-3.2.1 に示す。

候補材料を選定するにあたり以下の基準を設け、これらのうち一つでも満足しないものは除外した。

- ① 既存の工業所有権により拘束されていないこと
- ② 材料自身が、難透水性であること
- ③ パイプ・孔壁への付着力があること
- ④ 耐久性・化学的安定性が優れていること

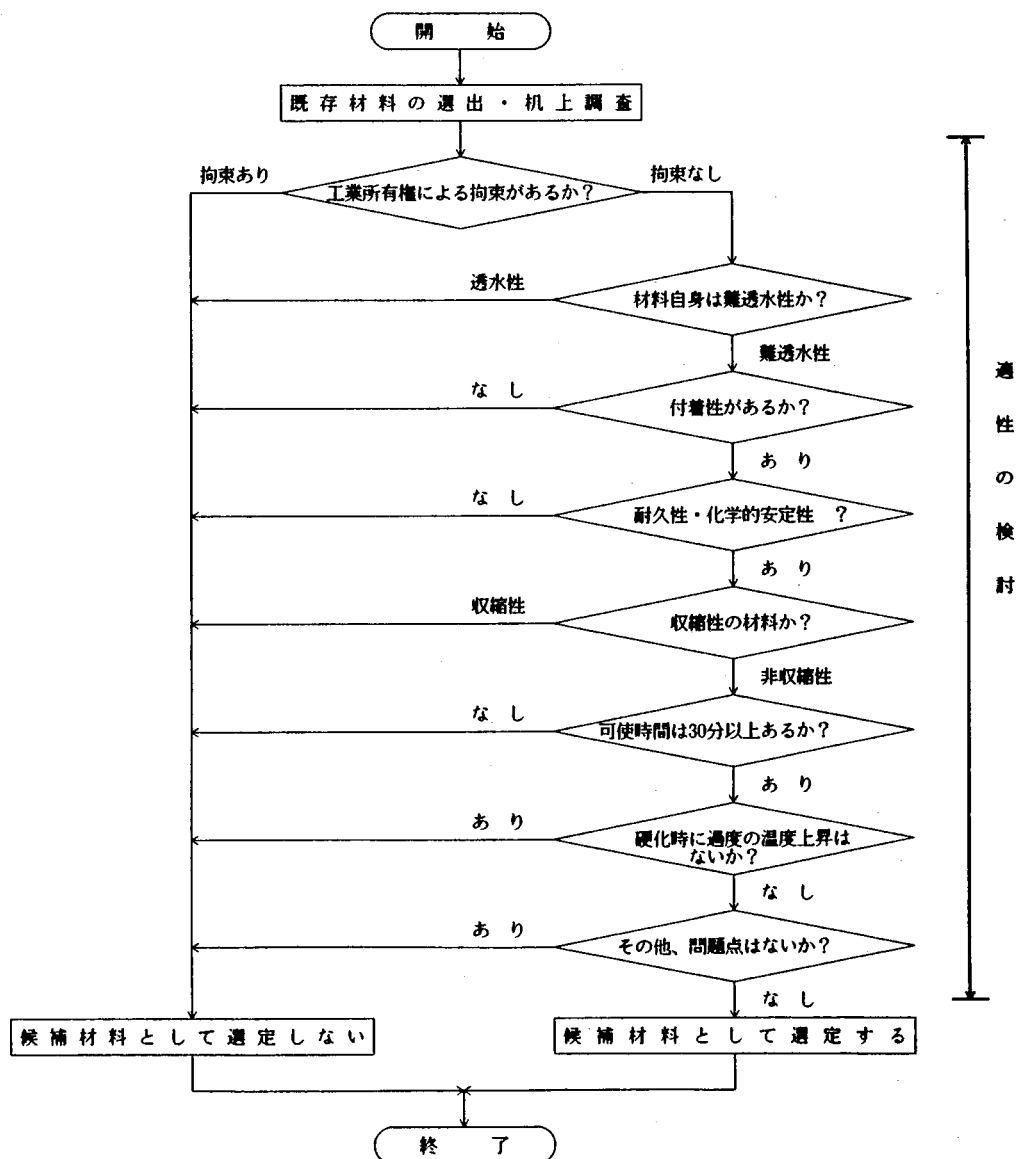


図-3.2.1 シール材選定のフロー

- ⑤ 収縮性（実用上、問題ないものは除く）を示さないこと
- ⑥ 硬化時の発熱による温度上昇が、著しく高いこと
- ⑦ 可使時間が、30分以上あること（設置作業には、経験的に30分以上必要）
- ⑧ その他の問題点がないこと

なお、机上調査項目のうち軸圧縮強度および粘性に関しては、シール材の設置方法の違いにより求められる基準が異なるため、判断項目から除外した。また、ブリージングに関しても、その配合の違いにより大きく異なるため、判断項目から除外した。詳しい物性は、シール材選定後の物性試験に譲った。

(2) 選定結果

選定基準に沿ってポリグラウト、コングレッシブ-1517 およびライオンハイセットを選定した。以下に選定した材料の特徴を述べる。

ポリグラウトは、ウレタン系材料に属する。ポリグラウトを含めたウレタン系材料の一般的な特徴として、硬化後に耐久性のあるゴム状弾性体となることが挙げられる。このため、設置後に地盤が変形しても破壊することなくこれに追従することが期待でき、変形性が大きい地盤に好適なシール材である。また、ウレタン系材料には発泡性のものと無発泡性のものがあるが、ここで選定したポリグラウトは後者に属するため充填量の管理が容易である。しかし、ポリグラウトは粘性が低いことから、そのままの状態では孔内へ注入・充填すると、下位のフィルタ材中および地盤中へ浸透しやすい等の問題がある。したがって、設置方法も考慮した物性の改良が必要である。

コングレッシブ-1517 は、エポキシ系材料に属する。コングレッシブ-1517 を含めたエポキシ系材料の一般的な特徴として、耐久性・化学的安定性が高く、硬化物の機械的性質が優秀であることが挙げられる。特に、化学的な浸蝕劣化に対して強いことから、水中イオン濃度の高い地盤に好適なシール材である。しかし、コングレッシブ-1517 は、硬化発熱量が大きい点に問題がある。また、粘性が低いことから、そのままの状態では孔内へ注入・充填すると、下位のフィルタ材中および地盤中へ浸透しやすい等の問題がある。したがって、設置方法も考慮した物性の改良が必要である。

ライオンハイセットは、セメント系材料に属する。ライオンハイセットを含めたセメント系材料の一般的な特徴として、耐久性・化学的安定性が高く、硬化物の機械的性質が優秀であることが挙げられる。このような性状に加えて、入手し易くかつ安価であることから、セメント系材料はシール材として一般的に使用され、実績も多い。また、一般的なセメント系材料の問題点として、硬化時間が長いことが挙げられる。つまり、そのような材料を単一ボーリング孔内の多段遮水に用いた場合、孔内に注入・充填した材料が硬化するまで後続作業を行えないため、作業性の点で問題がある。そこで、硬化時間が短いライオンハイセットを選定した。しかし、ライオンハイセットの懸濁液は粘性が低いことから、そのままの状態では孔内へ注入・充填すると、下位のフィルタ材中および地盤（特に岩盤の亀裂）中へ浸透しやすい等の問題がある。したがって、増粘剤を添加することにより粘性を高め、地盤中へ浸透しにくい性状に改良する必要がある。

3. 3 フィルタ材の選定

3. 3. 1 机上調査

フィルタ材の選定にあたっては、まず安全性が確認されている既存材料の中からフィルタ材として適当と判断されるものを洗い出し、それらについて机上調査を行った。

以下に、調査項目および調査結果について述べる。

(1) 調査項目

本研究で取り扱うフィルタ材は、次の条件を同時に満足しなければならない。

- ① 研究する材料として取り上げても、社会的な問題が発生しないこと
- ② フィルタ材として求められる物性（機能）を充分備えていること
- ③ 測定の目的に対し、十分な期間にわたり使用できること
- ④ 研究の目的に対し、適用可能な物性（性状）であること
- ⑤ その他に問題点がないこと

条件①に関しては、工業所有権の有無を調査した。

条件②に関しては、材料自身の透水性が測定対象地盤に対して十分に大きく、かつ地盤構成粒子がフィルタ材内に流入して目詰まりを起こさないことが必要である。砂に代表される粒状体をフィルタ材として用いる場合、その透水性および地盤構成粒子がフィルタ材中内に流入するか否かは、地盤構成粒子の粒度分布とフィルタ材の粒度分布との関係で決まる。したがって、ここでは材料の透水性、および形状（粒度等）の選択が容易か否かについて調査した。また、孔口から投入して設置するフィ

表-3.3.1 候補材料の調査項目と目的

調 査 項 目		調 査 細 目	調 査 目 的
概 要		品名（メーカー名称）	概要を把握する
		概略成分・内容	
		単価	
社 会 的 問 題		工業所有権の有無	工業所有権により拘束されていないことを確認する
物 性	フィルター材としての適正さを判断するための項目	材料の透水性	透水性があることを確認する
		形状選択の可否	形状（粒径等）を任意に選択できるか否かの確認
		比重	材料の比重を知る
	経時的な変化に対する項目	耐久性・化学的安定性	耐久性があることを確認する
	本研究に対する適用性を判断するための項目	シール材に対する耐浸透性	シール材の浸透し易さを推定する
そ の 他			その他の問題点を把握する

ルタ材については、孔内水の中で容易に沈澱しなければならないことから比重も調査した。

条件③に関しては、本システムがダムや地すべり地における地下水圧の調査を対象としていることから、最低でも5年間の使用に耐えうるものでなければならない。このような背景から、材料の耐久性・化学的安定性を調査した。

条件④に関する調査項目としては、シール材に対する耐浸透性が挙げられる。つまり、測定対象区間を限定し、深さ方向にできるだけ多くの測定点を設けるためには、シール材がフィルタ材中に過度に浸透することは好ましくないからである。

条件⑤に関しては、入手の難易と作業性について調査した。

以上を総括し、調査項目および調査目的を表-3.3.1に示す。

(2) 調査結果

調査結果を表-3.3.2に示す。リストアップした材料は、孔口から投入する粒状体とMGLパイプに巻きつけて孔内へ設置するジオテキスタイルとに大別できる。

表-3.3.2 フィルタ材料に関する机上調査結果

概 要			工 業 所有権	物 性					その他問題点 および備考	
品 名 会社名	内 容	単 価 (円)		透 水 性 (cm/sec)	形状の選択 (粒径・他)	比 重 (重量 g/m ³)	耐久性・化 学的安定性	シール材に対 する耐浸透性		
粒 状 体	砂	川砂or山砂	2,000 ~ 4,000 (m ³)	無	1 ~ 1×10 ⁻³ 程 度	可	2.6 程度	有	懸濁型シール 材に対しては 難浸透性	————
	ガラスビーズ	粒状ガラス	1,600 ~ 2,800 (kg)	無	有	可	1.5~ 1.6	有	粒径にもよる が、シール材 が浸透し易い	入手しづらい
	DIAION SK-1B 三愛化成工業	イオン交換樹脂	80,000 (m ³)	有	有	不可 (0.3~1mmの 正規分布)	1.29	有	浸透し易い	入手しづらい
ジ オ テ キ ス タ イ ル	サンドレンフ ィルター STA-10 日本メリン	アクリル樹脂製 フィルターマッ ト	680 (m ²)	無	1	———— (厚さ 10mm)	(550)	有	不明	耐衝撃性に優れる 空隙率は中
	KSMマッ ト クラレ	ポリエステルス パン系土木マッ ト	4,500 (m ²)	無	1×10 ⁻¹ ~ 1×10 ⁻²	———— (厚さ 10mm)	(1,400)	有	不明	動的摩耗に強い 空隙率は小
	ヘチマロン 新光ナイロン	熱可塑性合成樹 脂を織練とし、 カールしたもの	830 (m ²)	無	不 明 (大きい)	———— (厚さ 30mm)	(2,790)	有	不明	MGLパイプへの 巻きつけ困難 空隙率は大
	アストロターフ 三菱モンザント	ポリエチレン 人工芝	6,330 (m ²)	無	不 明 (大きい)	———— (厚さ 10mm)	(3,300)	有	不明	復元性は強いが、 2枚に割がれ易い 空隙率は大
	ステラシート S-10 日建工学	純植物性繊維（ ヤシ）から成る 吸出防止材	860 (m ²)	無	2.72 × 10	———— (厚さ 10mm)	(670)	有	不明	MGLパイプへの 巻きつけ困難 空隙率は中
	ステラシート SS-10 日建工学	合成繊維から成 る出防止材	910 (m ²)	無	1.01 × 10	———— (厚さ 10mm)	(550)	有	不明	空隙率は中

注) ■は、フィルタ材として不適当と判断した材料およびその問題点であることを示す

3. 3. 2 フィルタ材の選定

(1) 選定基準

リストアップした各材料に対して適性の検討を行った。選定のフローを図-3.3.1 に示す。

候補材料を選定するにあたり、材料の設置方法により求められる条件が異なることから、孔口から投入する粒状体材料およびMGLパイプに巻きつけて孔内に設置するジオテキスタイルごとに選定基準を設定した。以下に、選定基準について述べる。

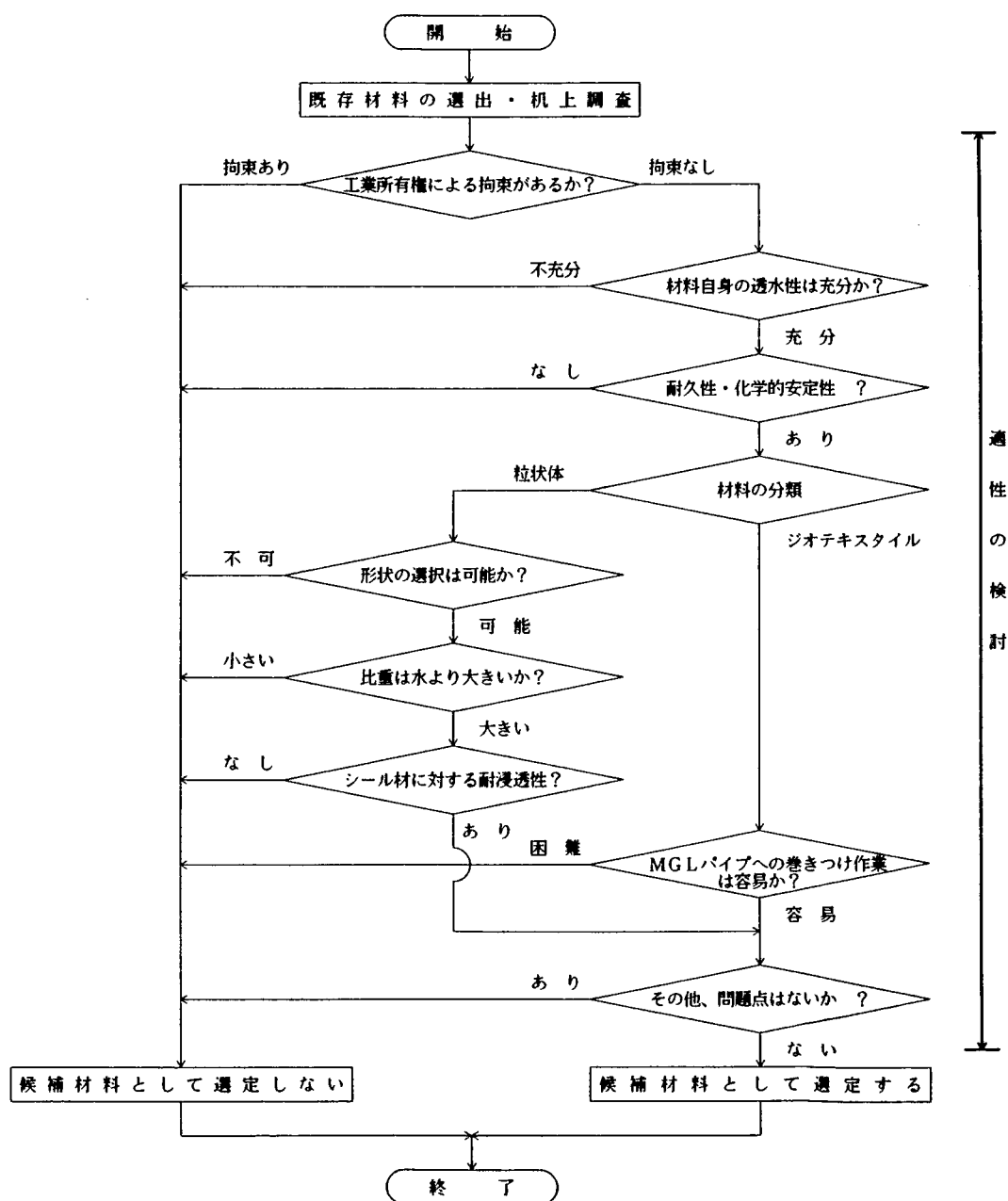


図-3.3.1 フィルタ材選定のフロー

＜粒状体材料の選定基準＞

- ① 既存の工業所有権により拘束されていないこと
- ② 十分な透水性があること
- ③ 形状（粒径）の選択が可能であること
- ④ 比重が水よりも大きいこと
- ⑤ 耐久性・化学的安定性が優れていること
- ⑥ シール材に対する耐浸透性が期待できること
- ⑦ その他の問題点がないこと

＜ジオテキスタイルの選定基準＞

- ① 既存の工業所有権により拘束されていないこと
- ② 十分な透水性があること
- ③ 耐久性・化学的安定性が優れていること
- ④ MGLパイプへの巻きつけ作業が容易であること
- ⑤ その他の問題点がないこと

ジオテキスタイルは、粒状体材料のように孔口から水中に投入するのではなく、MGLパイプに巻きつけて設置するため、比重は問題にならないので選定基準から除外した。同様に形状も問題にならないため、選定基準から除外した。また、シール材に対する耐浸透性については、リストアップした各材料とも不明であるため、ここでは選定基準から除外したが、最終選定材料については次章以降で検討しているので参照されたい。

(2) 選定結果

粒状体材料の中からは、砂を選定した。砂は従来からフィルタ材として使用されており、入手し易さおよび経済性からもフィルタ材に適した材料と言える。

ジオテキスタイルからは、サンドフィルター(STA-10)、KSMマットおよびステラシート(SS-10)の三つを選定した。しかし、地盤構成粒子の侵入による目詰まり等の詳細なデータがないため、さらに物性試験を実施して検討することにした。具体的検討内容は、次章以降に譲る。

なお、ジオテキスタイルをフィルタ材として用いた場合、MGLパイプに直接巻きつけて孔内に挿入するため孔内設置作業の容易さおよび品質の均一性の点で粒状体のフィルタ材よりも優れている。また、孔内水の流速が速い場合や湧水がある場合には、孔口から投入する粒状体材料を所定の位置に設置することは困難であるのに対し、ジオテキスタイルはパイプに巻きつけるため問題なく設置できるなどの利点もある。しかし、ジオテキスタイルはシール材に対する耐浸透性が小さいため、本材料をフィルタ材として用いる場合は、シール材を布パッカーの中に注入・充填することにより、フィルタ材中への浸透を防止する必要がある。この点については、7. 2に詳述するので参照されたい。

4. シール材に対する物性試験

4. 1 概説と試験項目

4. 1. 1 概説

前章で選定した、ウレタン系、エポキシ系およびセメント系の各シール材が、我々が目指しているMGLシステムの開発にとって適切なものなのか、あるいはどのような点を改善すれば適切なものになるのかを把握するために、各シール材に対して種々の物性試験を実施したので、その結果を以下に報告する。

4. 1. 2 試験項目

物性試験のうち各シール材に共通して実施したものは以下に示す通りである。

- (1) 粘度
- (2) 可使時間
- (3) 硬化時の温度上昇
- (4) 透水係数
- (5) 一軸圧縮強度
- (6) 付着強度
- (7) 膨張・収縮
- (8) 化学的安定性

なお、上記項目以外にも、エポキシ系のシール材については比重（比重がかなり水に近い場合、正確にとらえておくことで施工時の基礎資料とする。）、セメント系のシール材に対してはブリージングの測定を実施した。

4. 1. 3 各試験の意味と基準値

(1) 粘度と可使時間

粘性による可使時間の設定範囲は以下の考え方に従うものとする。

最低粘度……地盤の透水性を考慮して、極端に多くのシール材が地盤中に注入されない程度の粘性ということで規定できよう。例えば地盤の透水性が極端に大きくなければ（100Lu以下）、シール材が100cps程度の粘性を有していれば、シール材の地盤への注入はかなり少ないものとなろう。よって、この値を基準値とする。

最高粘度……実施工において、通常の注入機材を用いて注入可能な最粘性と規定できよう。

可使時間としては、現場での施工性を鑑みて、30分を基準とする。

(2) 硬化時の温度上昇

シール材硬化時の温度上昇により問題が発生するのは、間隙水圧計である。間隙水圧計の温

度補償範囲の上限である60℃以下で温度上昇を制限する必要がある。

(3) 透水係数

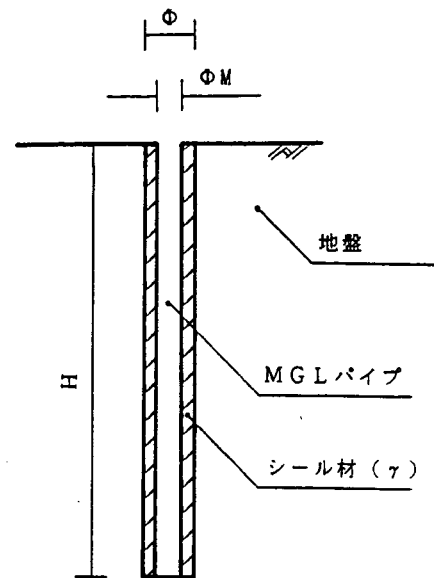
今までに使用されているシール材の透水係数を考えると、シール材の硬化後の透水係数が、 $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$ 以下であれば十分な遮水性を有していると考えてもよからう。

また、試験に要する時間、その間の通水量、蒸発量等を考え合わせると、余程特殊な機械、実験室を使用しない限りは、上記以下の透水係数を正確に把握することは事実上不可能である。

(4) 一軸圧縮強度

今、簡単のために図-4.1.1 に示すような形でシール材をボーリング孔内に設置したとする。ボーリング孔深度Hは100mが目標であり、シール材の単位体積重量 γ を $1 \sim 2 \text{ gf/cm}^3$ 程度と考えると、最深部の鉛直応力は $10 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ 程度となる。

しかし、設置されたシール材は実際には三軸応力状態にあり地下水位以下では浮力が作用する他、孔壁とシール材の付着があるため、一軸圧縮強度で安全性を評価すると安全側の設計となり、厳密な評価とはなり得ない。よって、一軸圧縮強度は参考値とする。



H : ボーリング孔深度

γ : 単位体積重量

Φ : ボーリング孔径

ΦM : MGLパイプ外径

図-4.1.1 モデル概要

(5) 付着強度

付着強度はMGLパイプとシール材のみで受け持つこととして、岩盤とシール材についてはシール材の少しの浸透を許すことで十分な付着があるものとする。というのは、岩盤は多種多様であり、岩盤とシール材の付着強度は施工にあたりその都度決定しなければならないと考えたためである。

a) 水圧を考慮しない場合 (下方へのずり落ちの検討)

(シール材の自重) < {(付着強度) × (面積)}

$$\gamma \cdot \frac{\Phi^2 - \Phi_M^2}{4} < \Gamma_0 \cdot \Phi_M \cdot \pi \cdot H$$

ここに、 Γ_0 は付着強度、その他の記号は図-4.1.1 参照。

$$\begin{aligned} \Gamma_0 &> \gamma \cdot \frac{\Phi^2 - \Phi_M^2}{4 \Phi_M} = (1 \sim 2 \text{ gf/cm}^3) \times \frac{(11.6 \text{ cm})^2 - (4.3 \text{ cm})^2}{4 \times 4.3 \text{ cm}} \\ &= 7 \sim 14 \text{ gf/cm}^2 \end{aligned}$$

b) 水圧を考慮した場合 (深度100mでの静水圧10kgf/cm²での押し上げ検討)

$$\{(\text{付着強度}) \times (\text{面積})\} + (\text{シール材自重}) > \{(\text{水圧}) \times (\text{面積})\}$$

$$\Gamma_0 \Phi_M + \gamma \frac{\Phi^2 - \Phi_M^2}{4\Phi_M} > P \times \frac{\Phi^2 - \Phi_M^2}{4\Phi_M H}$$

ここに、Pは水圧。

$$\Gamma_0 > 0 \sim -7 \text{ gf/cm}^2$$

以上より、シール材に要求される付着強度は極端に小さいことが判明した。

(6) 膨張・収縮

止水性の確保という観点からいくと、極端な収縮性があると大きな問題となる。

(7) 化学的安定性

重量、強度変化がpHによりほとんど異ならないことが望まれる。

(8) ブリージング

ブリージングは、まだ硬まらないコンクリートの安定性を評価するための指標であるので、セメント系シール材の検討項目として入れた。もちろんブリージングはゼロに近いことが望ましい。

4.2 ウレタン系シール材

本節では、ウレタン系シール材の性状試験結果について報告する。

ウレタン系薬液には、表-4.2.1のように大きく分けて水溶性ウレタン、非水溶性ウレタン、TBU（岩盤固結工法）がある。ここでは、注入量の管理、可使時間等を考慮して無発泡性の水溶性ウレタン（ポリグラウトW-600、第一工業製薬（株））を採用した。さらに、強度増加、目詰め効果、経済性の向上を目的として、粘土（シールド泥水作成用、SCP-A、ベントナイト産業（株））を加えることにした。

性状試験を行なったシール材の配合を表-4.2.2に示す。この配合は、使用温度20℃を基本に、後述する粘度及び可使時間の試験結果から決定したものである。シール材の可使時間は温度の影響を大きく受けるので、低温時及び高温時の使用に当たっては、硬化促進剤や遅延剤の使用、配合の修正を行ない、適切な可使時間に調整する必要がある。

表-4.2.1ウレタン系シール材

種 類	特 徴	商品名
水溶性ウレタン （ウレタン＋水）	無発泡性、弾性ゲル状、イソシアネート化合物を主体とする。	ポリグラウト O H - G R O U T
非水溶性ウレタン （ウレタン＋水）	高発泡性、強度大、ポリイソシアネート化合物を主体とする。	ポリグラウト T A C S S
発泡性ウレタン （2液タイプ）	発泡性、強度大、ポリプロピレングリコールを主体とする。	T B U、F C U （東海ゴム（株））

表- 4.2.2 シール材の配合

薬液の種類	水溶性ウレタン、ポリグラウトW-600（第一工業製薬）
粘土の種類	シールド用粘土、SCP-A（ベントナイト産業（株））
配 合	粘土 30%（全体重量に対する百分率） 水：ウレタン＝7：3

4.2.1 試験方法

ウレタン系シール材の物性について行なった試験方法を表-4.2.3に示す。

表-4.2.3 ウレタン系シール材の物性試験方法一覧表

試 験 項 目	試 験 内 容
1. 粘 度	回転型粘度計による測定 試験温度：5, 20, 30 ℃ 測定間隔：0, 30, 60, 90, 120分
2. 可 使 時 間	水、薬液計200 ccをビーカー中で30秒混合・攪拌し、ビーカーを90°傾けてこぼれなくなる時間 試験温度：5, 20, 30 ℃
3. ブリージング	—
4. 硬化時の温度上昇	20×20×25cmの発泡スチロール断熱容器中央にφ7cm、ℓ=12cmのアルミ製容器を設置し、密封する。その後、室温20℃で放置し、最高温度になるまで測定する。
5. 透 水 係 数	JIS A 1218に準拠：透水試験容器の中央にMGLパイプにみたてたφ43mmの鋼製円柱を設置後、容器内に材料を充填する。これを6 kg/cm ² の水圧で加圧し、24時間当たりの透水量を測定する。 養生：20℃、水道水中 試験材令：7日
6. 一軸圧縮強度	供試体寸法：φ5 × 10cm (9本) 養生：20℃、水道水中 試験材令：3時間, 1, 7日 (圧縮強度は、20%歪みの応力値とする)
7. 付 着 強 度	鋼管 (JIS G 3444、外径101.6mm、厚さ4.2mm、長さ6cm)の中央にφ43mm、長さ15cmのパイプを設置し、両管の間隙に材料を充填する。養生後、パイプの最大押し抜き力を測定する。 養生：20℃、水道水中 試験材令：7日
8. 膨張・収縮	ビーカーに水と薬液を計100cc採取し、30秒間混合・攪拌した。固結後、その重量及び水中重量を測定し、算出する。 養生：20℃、水道水中 測定材令：1, 2, 4, 8, 13, 26, 52週
9. 化学的安定性	試験項目：重量変化及び一軸圧縮試験 供試体寸法：φ5 × 10cm (27本) 養生水のPH：5, 7, 9 試験材令：1, 4, 13週

(1) 粘度

回転型粘度計により、5℃、20℃、30℃の各温度で粘度の経時的な上昇を測定した。ウレタン系シール材は、粘土含有量を表-4.2.2とは変えた数種類の配合のものも用いて、粘度上昇を測定した。

(2) 可使時間

ウレタン系シール材 200ccをビーカーの中で30秒混合・攪拌し、ビーカーを90°傾けてこぼれなくなる時間を測定し、可使時間とした。試験温度は5℃、20℃、30℃とした。尚、ウレタン系シール材は、粘土の含有率を表-4.2.2とは変えた配合のものに対しても可使時間を測定した。

(3) プリージング

実験対象外

(4) 硬化時の温度上昇

20×20×25cmの発砲スチロール断熱容器中央にφ7cm、ℓ=12cmのアルミ製容器を設置し、ウレタン系シール材を充填した。その中央に熱電対を設置し、最高温度に達するまで測定した（図-4.2.1参照）。ウレタン系シール材は、表-4.2.2の配合のものを使用した。

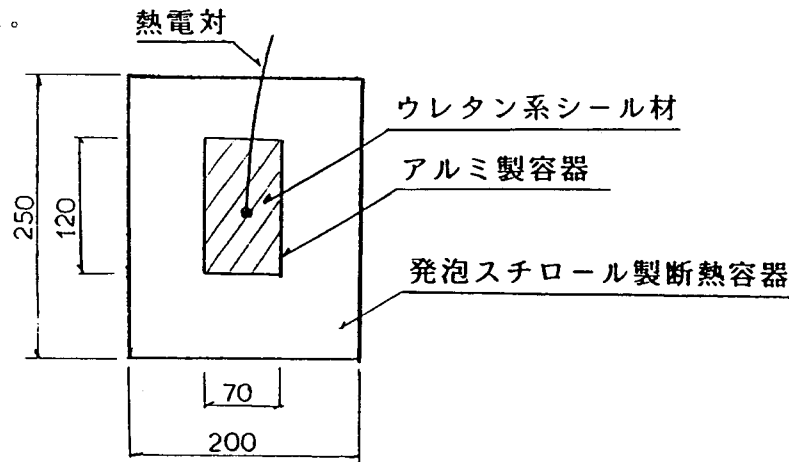


図-4.2.1 硬化時の温度上昇の測定装置

(5) 透水係数

図 4.2-2に示すように、中央にMGLパイプに見立てたφ43mmの丸鋼を埋設した供試体を作成し、1週間、20℃の水中で養生した後、加圧型の透水試験機を用いて透水試験を行った。水圧は6 kgf/cm²、加圧時間は24時間とし、浸透水量をメスシリンダーで測定した。

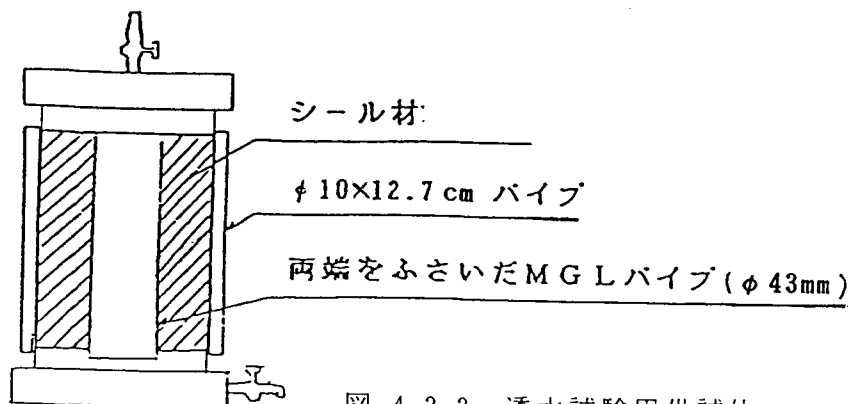


図-4.2.2 透水試験用供試体

(6) 一軸圧縮強度

φ5×10cmの供試体を9本作り、20℃の水中で養生し、材令3時間、1日、7日でそれぞれ3本ずつ一軸圧縮強度を測定した。尚、ウレタン系シール材はゴム状弾性体なので、圧縮強度は20%ひずみの時の応力の値をとることとした。

(7) 付着強度

図-4.2.3に示す供試体を作成し、1週間、20℃の水中で養生した後、これを一軸圧縮試験機で載荷し、付着強度を測定した。

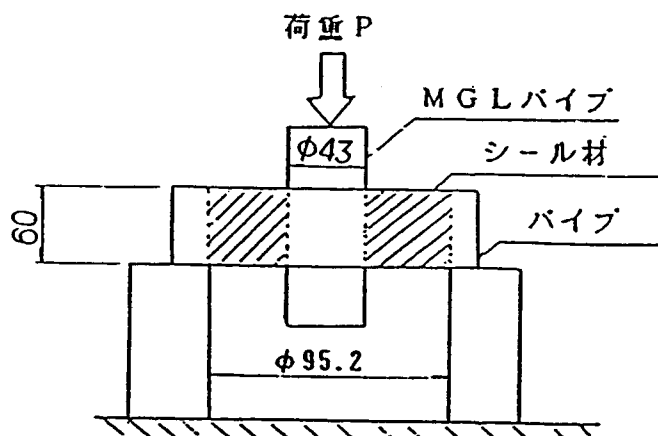


図-4.2.3 付着強度試験

(8) 膨張・収縮

ウレタン系シール材100ccをビーカーの中で30秒混合・攪拌し、固結させた後、20℃の水道水中で養生した。各材令で重量及び水中重量を測定し体積を求めて、膨張率を算定した。

(9) 化学的安定性

φ5×10cmの供試体を27本作り、PH5、7、9の水溶液中でそれぞれ9本ずつ養生した。試験項目としては、重量変化及び一軸圧縮強度を測定した。試験材令は、1週4週、13週とした。尚、実験(6)と同じく、圧縮強度は20%ひずみの時の応力値をとることとした。

4.2.2 試験結果

ウレタン系シール材の物性試験結果の一覧表を表-4.2.4に示す。

表-4.2.4 ウレタン系シール材の物性試験結果一覧表

試 験 項 目	試 験 結 果						
1.粘 度 (cps)	10分	30分	60分	90分	120分		
	5℃	180	290	460	700	950	
	20℃	220	1150	—	—	—	
	30℃	670	—	—	—	(—は1000以上)	
2.可 使 時 間	5℃： 310 分 20℃：65 分 30℃：23 分						
3.プリージング	—						
4.硬化時の温度上昇	最高温度：24.6℃						
5.透 水 係 数	浸透水量確認されず						
6.一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	材令	3時間	1日	7日			
	強度	0.124	0.181	0.164	(20%歪時の応力、供試体は破壊せず)		
7.付 着 強 度	0.154 kgf/cm ²						
8.膨張・収縮	材 令	1週	2週	4週	8週	13週	26週 52週
	膨張 (%)	42.8	56.1	69.7	97.6	113.3	153.3 199.4
9.化学的安定性	重量変化 (%)			強度 (kgf/cm ²)			
	1週	4週	13週	1週	4週	13週	
	34.6	46.2	75.5	0.191	0.145	0.085	
	33.4	47.3	83.5	0.164	0.130	0.090	
	35.2	47.8	90.1	0.177	0.132	0.065	

(1) 粘度

粘度の測定結果を表-4.2.5に示す。また、粘度上昇をグラフに示すと、図-4.2.4 図-4.2.5、図-4.2.6となる。これによると、5℃では粘度上昇は非常にゆっくりしており施工サイクルを考えると、粘土濃度を濃くするか、反応促進剤が必要である。20℃では可使時間が1～2時間である粘土含有率は、10～30%の配合が適している。また、30℃では粘度上昇が非常に速く、粘土濃度を薄くするか、反応遅延剤が必要である。

表-4.2.5 粘度試験 各温度における粘度と時間

時間(分)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	可使時間(分)	
粘土 5℃	30%	130	180	230	290	370	420	460	620	680	700	800	900	950	1100	2600	3200	3600	4200	6000	6500	310	
	粘土 40%	300	480	620	680	820	950	2750	3200													170	
20℃	粘土 0%	0	30	80	180	370	800	4500														95	
	粘土 10%		60	150	300	500	1250															110	
	粘土 20%		140	270	650	6000																90	
	粘土 30%		220	600	1150	6500																65	
	粘土 40%		650	5000																		40	
	30℃	粘土 20%	60	440																			30
		粘土 30%	200	670																			23

注1) 可使時間は、(2)の試験から決定されたものである

注2) 空欄は10,000cps 以上

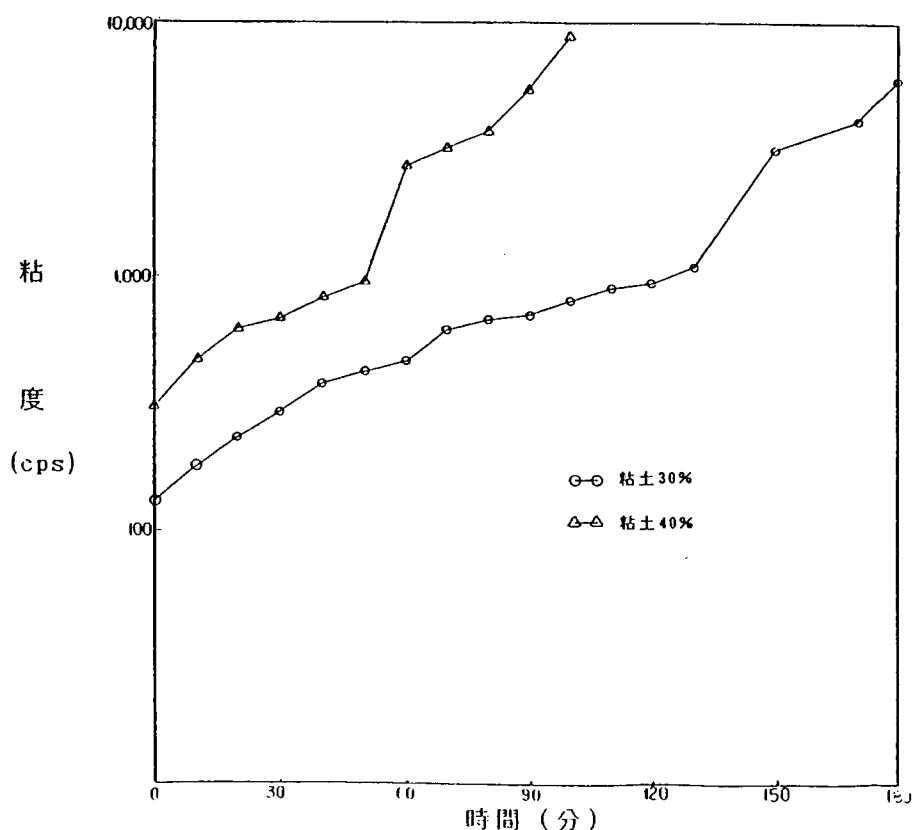


図-4.2.4 5℃における粘度と時間

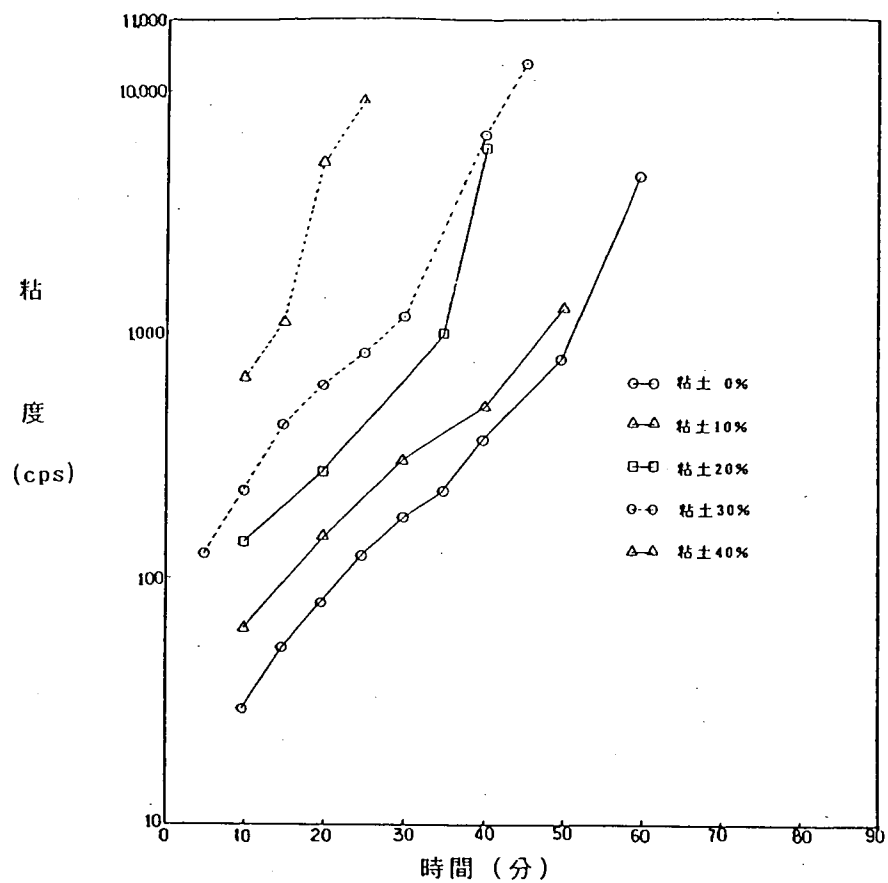


図-4.2.5 20°Cにおける粘度と時間

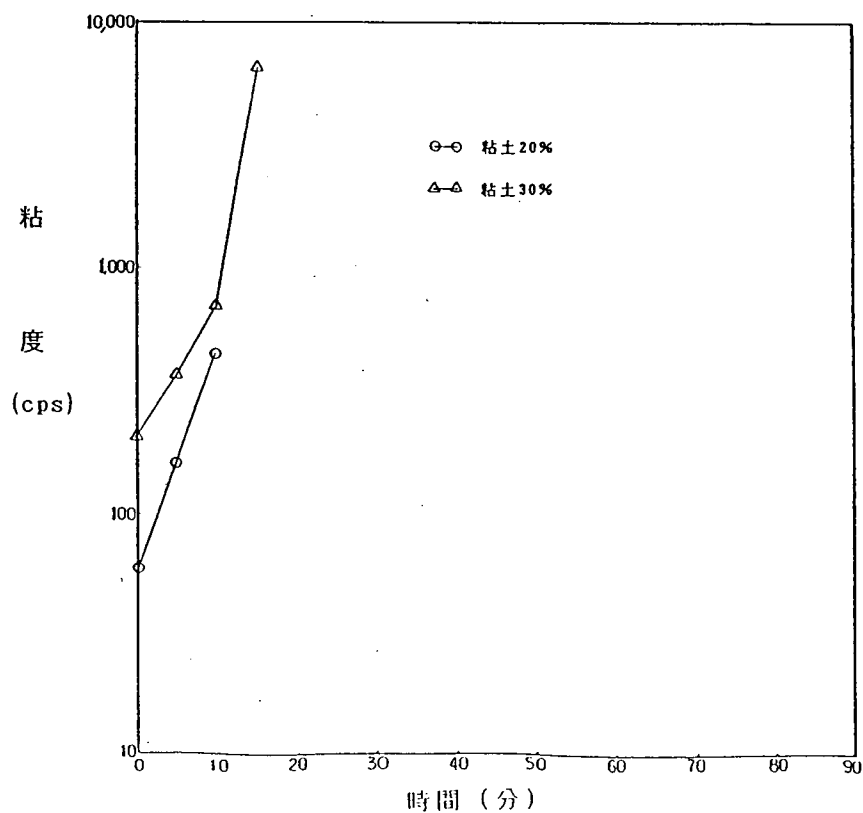


図-4.2.6 30°Cにおける粘度と時間

(2) 可使時間

試験結果を表-4.2.6、図-4.2.7に示す。5℃では粘土含有率の調整（濃く）、反応促進剤の使用が必要であり、30℃では粘土含有率の調整（薄く）、反応遅延剤が必要である。また20℃では、粘土含有率が10～30%が可使時間（1～2時間）から考えると適している。

表-4.2.6 試験温度と可使時間 (分)

	5℃	20℃	30℃
粘土0%		120	
粘土10%		110	
粘土20%		90	30
粘土30%	310	65	23
粘土40%	170	40	

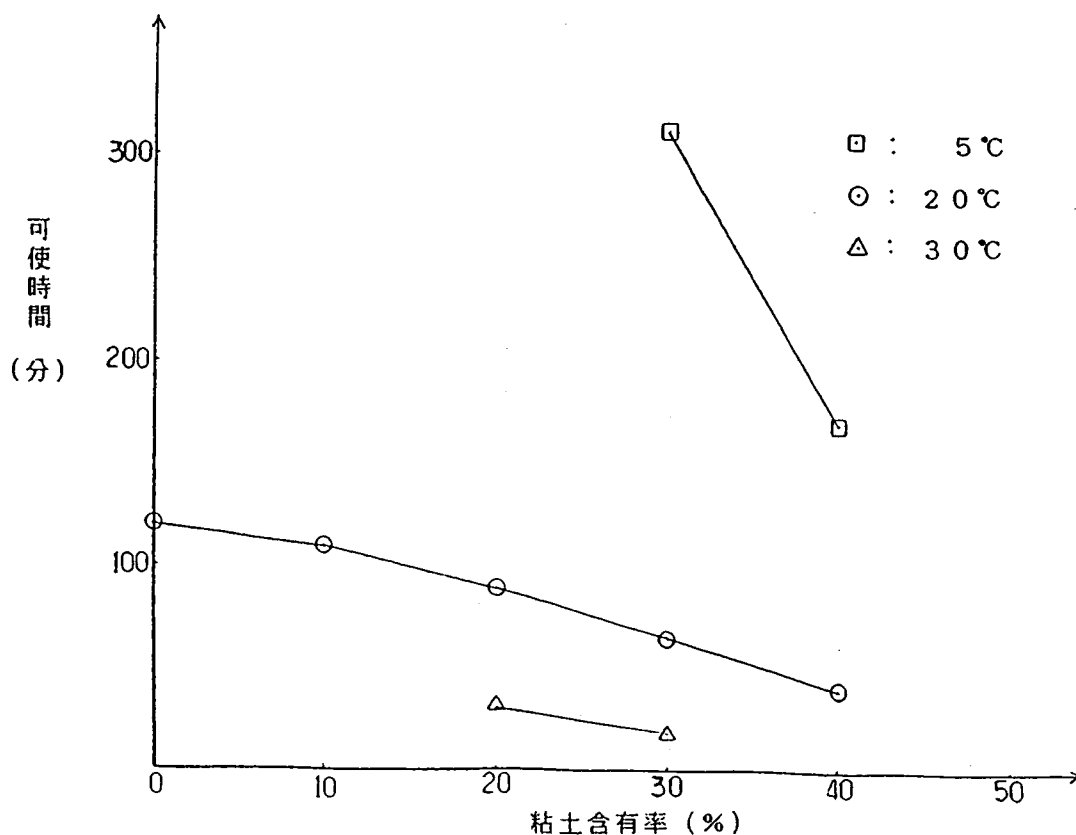


図-4.2.7 粘土含有率と可使時間

(3) ブリージング

ウレタン系シール材は、ブリージングをおこなわないので、実験は行わなかった。

(4) 硬化時の温度上昇

硬化時の温度上昇測定結果を図-4.2.8に示す。実験では、18.5℃の室内中（容器中）においてシール材は、試験開始34分後に最高24.6℃まで上昇した。このときの温度上昇は 6.1℃あったが、この程度であれば間隙水圧計に悪影響を与えないと考える。

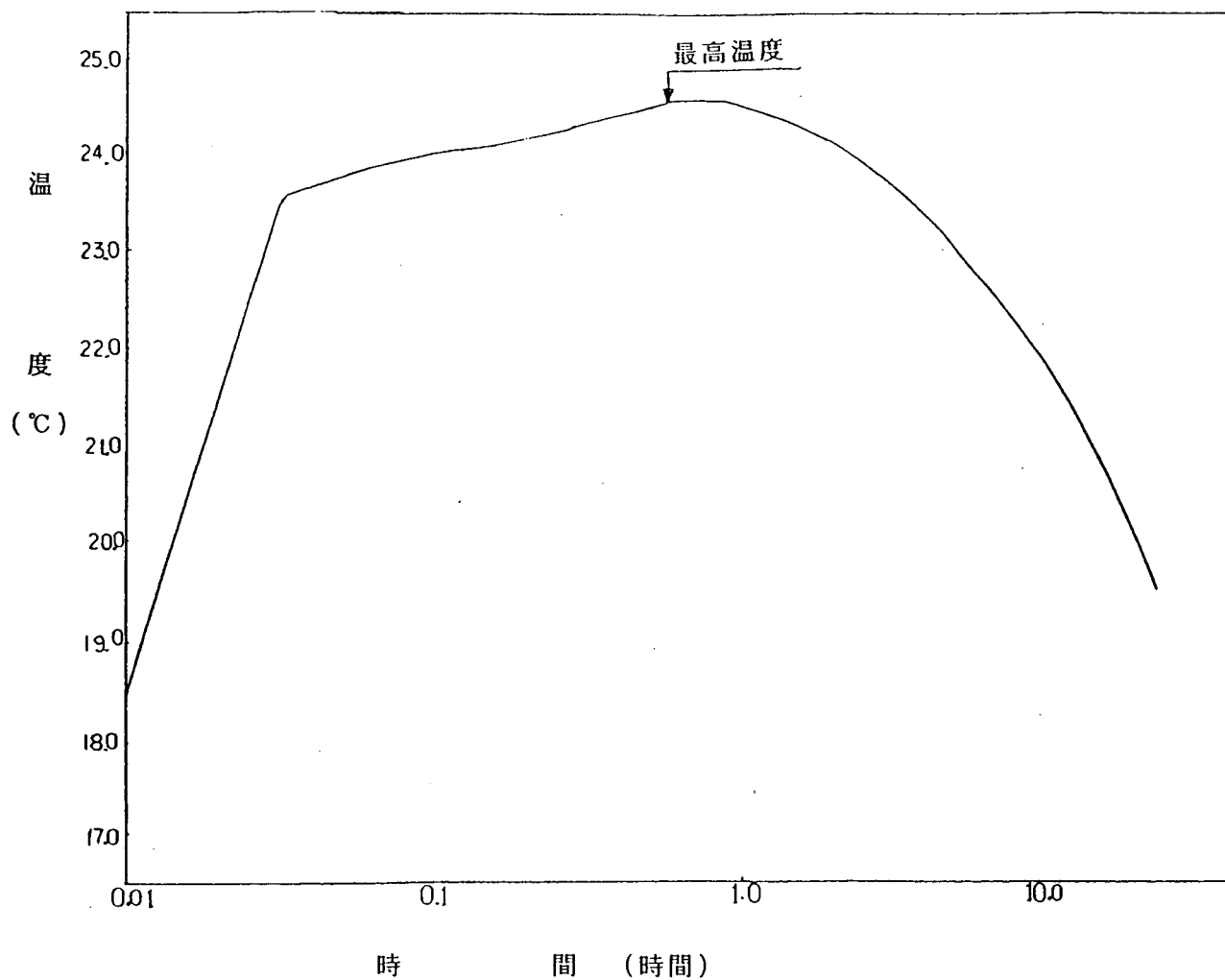


図-4.2.8 硬化時の温度上昇

(5) 透水係数

透水係数は式(4.2.1)により求めるが、今回の試験では供試体が高弾性ゴム状のため7日間の通水によっても浸透流量はゼロとなり、止水性は完全であった。

$$k = \frac{4 Q L}{\pi (\phi^2 - \phi_m^2) h} \dots\dots\dots (4.2.1)$$

k : 透水係数 (cm/s)

Q : 流量 (cm³/s)

L : 供試体長 (12.7cm)

ϕ_m : M G L パイプ直径 (4.3cm)

ϕ : 透水試験容器内径 (10cm)

h : 水頭差 (6,000cm)

(6) 一軸圧縮強度

一軸圧縮試験の結果を表-4.2.7及び図-4.2.8に示す。これによると、ウレタン系シール材はゴム状弾性体なので圧縮強度は非常に小さい。また、材令1日で最大強度となり、その後は吸水膨張により強度は低下する傾向にある。ただし、これらの供試体は40%ひずみでも破壊しなかった。

表-4.2.7 一軸圧縮強度 (kgf/cm²)

	3 時間		1 日		1 週間		備 考
	試 料	平 均	試 料	平 均	試 料	平 均	
P H 7 水中養生	0.105	0.124	0.184	0.181	0.158	0.164	
	0.127		0.172		0.160		
	0.139		0.188		0.175		

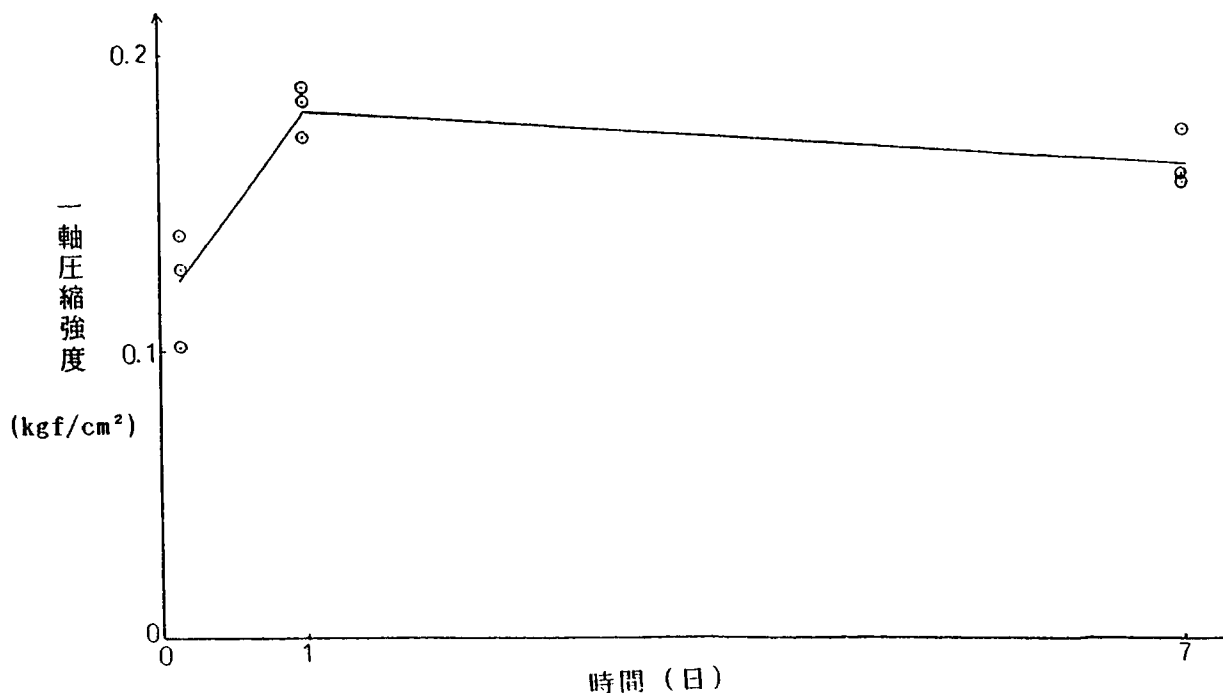


図-4.2.9 一軸圧縮強度

(7) 付着強度

付着応力は次式により求める。

$$\tau = \frac{P}{\pi \phi_M h} \dots\dots\dots (4.2.2)$$

τ : 付着応力 (kgf/cm²)

P : 荷重 (kgf)

ϕ_M : M G L パイプ直径 (4.3cm)

h : 付着長 (6.0cm)

表-4.2.8より付着強度は0.15kgf/cm² であることがわかる。また、その時の変形量は図-4.2.10 によると、15mmと大きく、本シール材がゴム状弾性体であることがよくわかる。

表-4.2.8 試験結果

変形量 mm	荷重 kgf	付着応力 kgf/cm ²
1.0	1.2	0.015
2.0	2.5	0.031
3.0	3.7	0.046
4.0	4.8	0.059
5.0	6.0	0.074
6.0	7.0	0.086
7.0	7.9	0.097
8.0	8.7	0.107
9.0	9.7	0.117
10.0	10.1	0.125
11.0	10.8	0.133
12.0	11.4	0.141
13.0	12.1	0.149
14.0	12.5	0.154
15.0	12.5	0.154

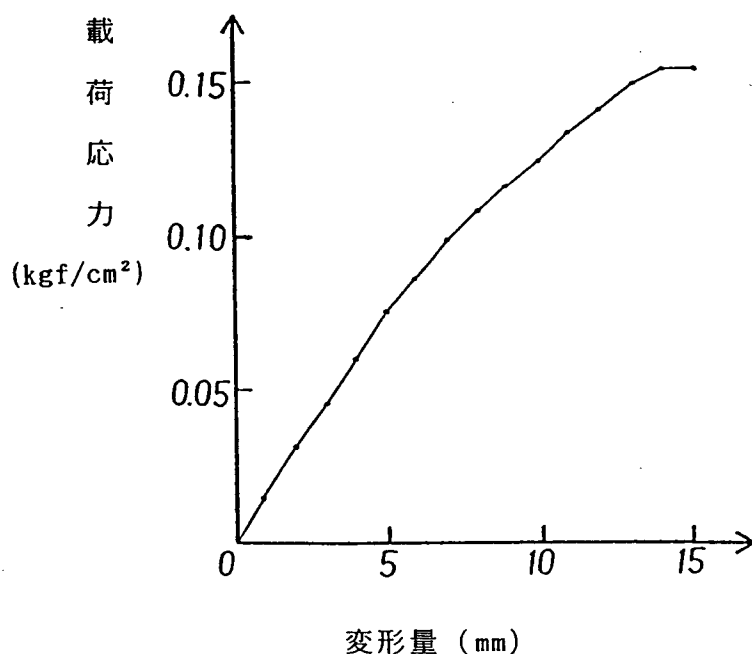


図-4.2.10 載荷応力と変形量

(8) 膨張・収縮

測定結果を表-4.2.9及び図-4.2.10 に示す。これによると、最初の1週間は急激に吸水膨張するが、それ以後は徐々に膨張率は、収束していく傾向にある。

表-4.2.9 膨張・収縮

時 間	項 目	重 量 (g)	水中重量 (g)	体 積 (cm ³)	体積膨張率 (%)	単位体積重量 (g/cm ³)	備 考
開 始	NO.1	124.60	24.60	100	0	1.25	
	NO.2	124.72	24.72	100	0	1.25	
	平均				0	1.25	
1 日	NO.1	138.50	25.81	112.69	12.7	1.23	
	NO.2	139.20	25.76	113.44	13.4	1.23	
	平均				13.1	1.23	
1 週間	NO.1	165.72	23.16	142.56	42.6	1.16	
	NO.2	166.69	23.61	143.08	43.1	1.17	
	平均				42.8	1.17	
2 週間	NO.1	180.54	24.88	155.66	55.7	1.16	
	NO.2	181.48	24.96	156.52	56.5	1.16	
	平均				56.1	1.16	
4 週間	NO.1	192.76	23.32	169.44	69.4	1.14	
	NO.2	193.41	23.37	170.04	70.0	1.14	
	平均				69.7	1.14	
8 週間	NO.1	220.49	23.27	197.22	97.2	1.12	
	NO.2	221.21	23.21	198.00	98.0	1.12	
	平均				97.6	1.12	
13週間	NO.1	236.70	23.51	213.19	113.2	1.11	
	NO.2	236.88	23.58	213.30	113.3	1.11	
	平均				113.3	1.11	
26週間	NO.1	277.48	24.30	253.18	153.2	1.10	
	NO.2	277.72	24.39	253.33	153.3	1.10	
	平均				153.3	1.10	
52週間	NO.1	323.48	25.04	298.44	198.4	1.08	
	NO.2	326.36	25.05	301.31	201.3	1.08	
	平均				199.4	1.08	

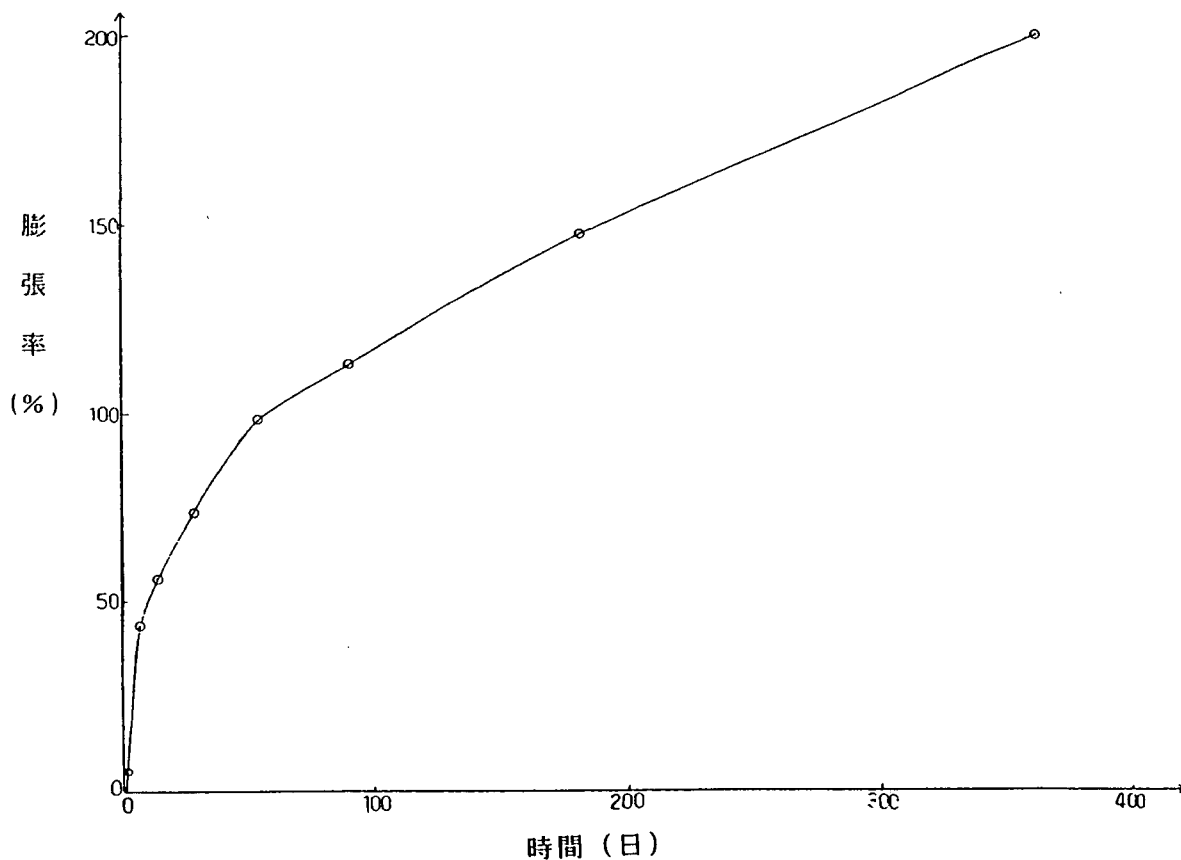


図-4.2.11 膨張・収縮

(9) 化学的安定性

一軸圧縮試験の結果を表-4.2.10、図-4.2.12 に重量変化の測定結果を表-4.2.11、図-4.2.13 に示す。これによると、強度は各PHとも材令1日が最高であり、その後は徐々に低下していく。PH7の水溶液養生のものがやや他に比べて強度が低い。PHの影響とされる程でもなく、全般的に養生水のPHは強度に影響を与えていない。また、どの供試体も40%ひずみでも破壊しなかった。重量は、各PHとも1週まで急激に増加するが、その後は徐々に膨張率は、収束していく傾向にある。膨張率もPHによる影響は認められない。

表-4.2.10 化学的安定性 (一軸圧縮強度) (kgf/cm²)

材令 PH	1 週 間		4 週 間		13 週 間		備 考
	試 料	平 均	試 料	平 均	試 料	平 均	
PH 5	0.182	0.191	0.144	0.145	0.0830	0.0852	
	0.203		0.150		0.0871		
	0.190		0.142		0.0856		
PH 7	0.158	0.164	0.116	0.130	0.0859	0.0903	
	0.160		0.137		0.0887		
	0.175		0.137		0.0962		
PH 9	0.180	0.177	0.127	0.132	0.0614	0.0645	
	0.174		0.135		0.0680		
	0.176		0.135		0.0641		

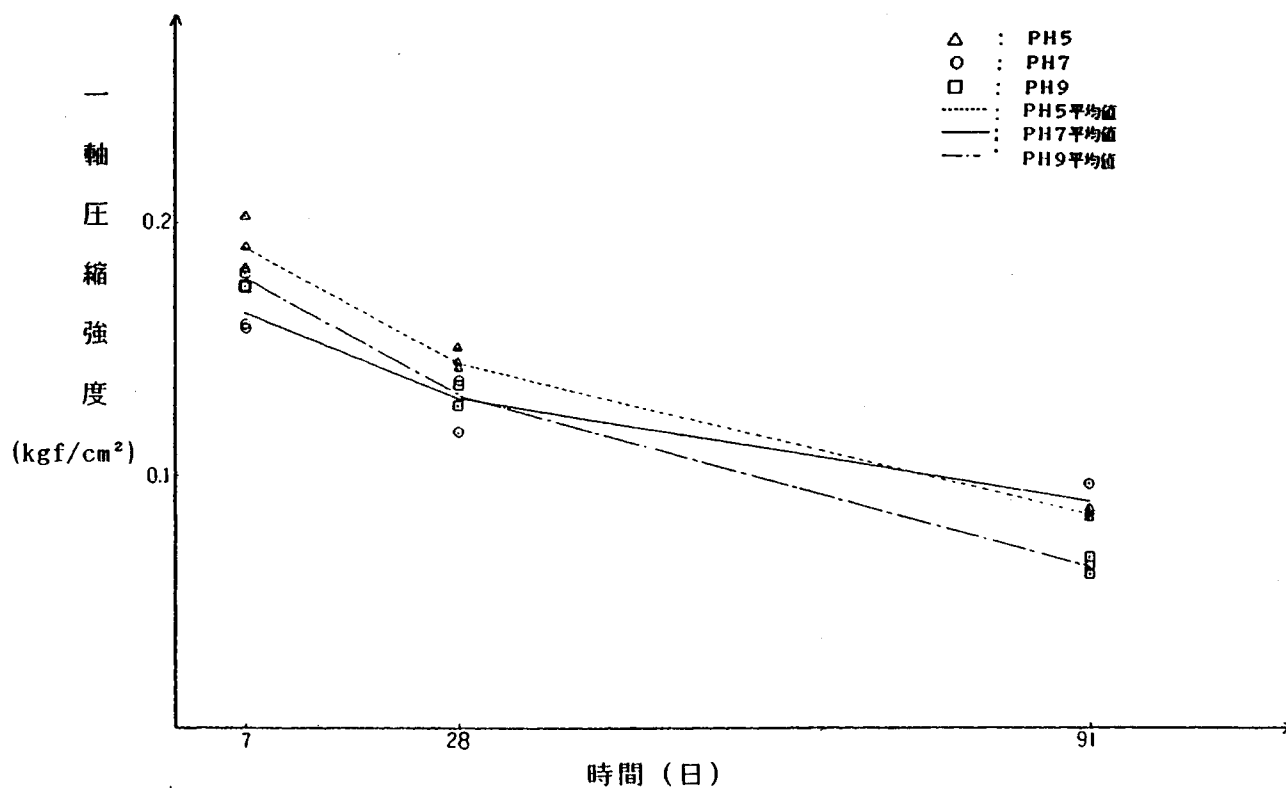


図-4.2.12 化学的安定性（一軸壓縮強度）

表-4.2.11 化学的安定性（重量変化）

項目	開始		1 週 間			4 週 間			13 週 間		
	試 料	平 均	試 料	膨張率	平 均	試 料	膨張率	平 均	試 料	膨張率	平 均
P H	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
P H 5	226.81	221.22	307.08	135.4	134.6	330.67	142.5	146.2	412.61	181.9	175.5
	221.09		296.02	133.9		323.53	146.3		359.40	162.6	
	215.76		290.05	134.4		315.97	146.5		392.75	182.0	
P H 7	225.92	226.89	301.38	133.4	133.4	333.44	147.6	147.3	415.51	183.9	183.5
	226.37		302.16	133.5		333.15	147.2		415.10	183.4	
	228.37		304.55	133.4		335.63	147.0		418.08	183.1	
P H 9	205.07	207.02	276.80	135.0	135.2	302.72	147.6	147.8	389.10	189.7	190.1
	206.19		278.05	134.9		395.65	148.2		393.72	191.0	
	211.91		287.46	135.7		312.71	147.6		401.86	189.6	

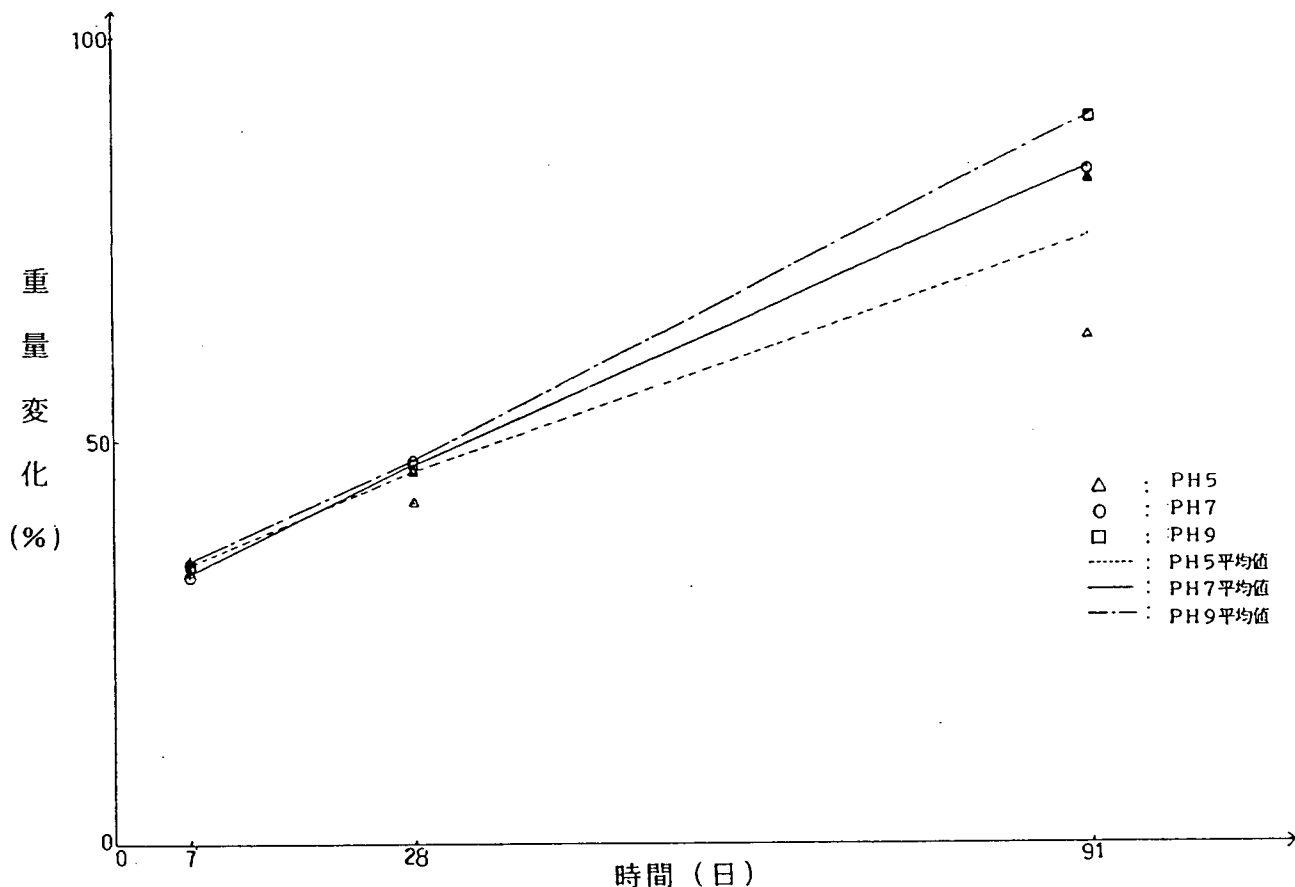


図-4.2.13 化学的安定性（重量変化）

(10) まとめ

ウレタン系シール材に対する物性試験の結果、次のことが判明した。

- ①粘度及び可使時間は試験温度の影響を大きく受けるので、現場での使用温度によっては、硬化剤の使用や配合の修正により適当な粘度及び可使時間となるように調整しなければならない。
- ②硬化時の温度上昇は6.1℃と小さく、間隙水圧計への影響はないと考えられる。
- ③透水試験では透水量がゼロであり、止水性は極めて高い。
- ④一軸圧縮強度は20%ひずみ時の圧縮応力で0.12~0.19 kgf/cm²と小さいが、高弾性ゴム状なので破壊することはなかった。また、PHによる強度の有意な差もなかった。
- ⑤付着強度は、0.154 kgf/cm²と小さいが、そのときの変形量は15mmと大きく、変形に対する追従性が認められた。
- ⑥一軸圧縮強度試験、膨張・収縮試験、化学的安定性試験などは、養生時、自由状態でおこなっており、今後、ボーリング孔内のような拘束状態での物性試験も行なう必要がある。

4.3 エポキシ系シール材

4.3.1 試験方法

1) 粘 度

エポキシ樹脂 (エポキシ-1517, 日本アビシブ) 300 g をビーカーに入れ恒温水槽に浸し、回転型粘度計を用いて0, 30, 60, 90, 120分後の粘度を測定した。養生温度は5, 20, 30℃とし、エポキシ材料の初期温度もこれにあわせた。

2) 可使時間

エポキシ樹脂300 g をビーカーに入れ恒温水槽に浸し、熱電対により材料中心部の温度を連続的に測定した。可使時間は、次の方法により求めた。

①温度上昇勾配に急変点が認められる場合は、その時間の70%の時間を可使時間とする。

②急変点が認められない場合は、最高温度に達する時間の50%の時間を可使時間とする。養生温度、エポキシ樹脂初期温度は、5, 20, 30℃とした。

3) 硬化時の温度上昇

断熱容器 (20x20x25cm, 発砲スチロール製) の中央部に設置したアルミ缶 (径7cm, 高さ12cm) にエポキシ樹脂を入れ、熱電対により材料中心部の硬化時の温度を連続的に測定した。

4) 透水係数

鋼管 (内径10cm, 高さ12.7cm) の中央にMGLパイプに見立てた鋼棒 (径4.3cm) を立て、間隙にエポキシ樹脂を流し込んで、20℃, 24時間の気中養生をした後、20℃の水道水中で6日間養生し供試体とした。JIS A 1218に準拠した方法で、供試体の上端に6kgf/cm²の水圧をかけ透水量を測定した。

5) 一軸圧縮強度

型枠 (供試体: 1.27x1.27x2.5cm) にエポキシ樹脂を流し込んで、20℃, 24時間の気中養生をした後、脱型して20℃の水道水中で養生した。材令8時間, 1, 7, 28日の一軸圧縮強度を一軸圧縮試験機で測定した。

6) 付着強度

鋼管 (内径9.32cm, 長さ6cm) の中央にMGLパイプに見立てた内管 (外径4.3cm, 長さ15cm) を立て、間隙にエポキシ樹脂を流し込んで、20℃, 24時間の気中養生をした後、20℃の水道水中で6日間養生し供試体とした。この内管を圧縮試験機で押し抜き、付着力を測定した。

7) 膨張・収縮量

型枠 (供試体: 4x4x16cm) にエポキシ樹脂を流し込んで、20℃, 24時間の気中養生を行い、脱型し、コンタクトポイントを貼りつけてポイント間の初期長さを測定した後、

20℃の水道水中で養生した。材令1, 2, 4, 8, 13, 26, 52週の膨張・収縮量をコンタクトゲージ法で測定した。

8) 化学的安定性

型枠（供試体：1.27x1.27x2.5cm）にエポキシ樹脂を流し込んで、20℃、24時間の気中養生を行い、脱型し、供試体の重量を測定した後、pH5, 7（水道水）、9に調整した液中で養生した。材令1, 4, 13週の重量変化、一軸圧縮強度を測定し、化学的安定性を調査した。

9) 比重

エポキシ樹脂は主剤と硬化剤の混合物である。各々について次の方法により比重を測定した。（硬化後のエポキシ樹脂は、一軸圧縮試験用の供試体で材令7日のものを使用した）

主剤、硬化剤、エポキシ樹脂（硬化前）	-----	比重浮ひよう
エポキシ樹脂（硬化後）	-----	水置換法

4.3.2 試験結果

1) 粘度

測定時間と粘度の関係を表-4.3.1に示す。

表-4.3.1 粘度

	0	30	60	90	120 分
養生温度 5℃	3580	3220	4900	8890	17660 cP
養生温度 20℃	704	1292	*	*	*
養生温度 30℃	300	*	*	*	*

*印は、強度発現にともなって粘度があがり測定限界である10万cPを超えたことを示している。

養生温度5℃では初期粘度は3580cP、硬化反応が進んだ120分後には18000cP近くに達する。これに対して、養生温度の高い30℃の場合には、初期粘度は300cPと低いが硬化反応が速く進むため、30分後には粘度測定が不可能となった。

2) 可使時間

温度上昇曲線を図-4.3.1に、可使時間を表-4.3.2に示す。

可使時間は養生温度が高いほど短くなり、5℃～30℃で111分～9分となった。20℃での可使時間が32分であることを考えると、施工はある程度迅速に行わなければならないのではないかとと思われる。

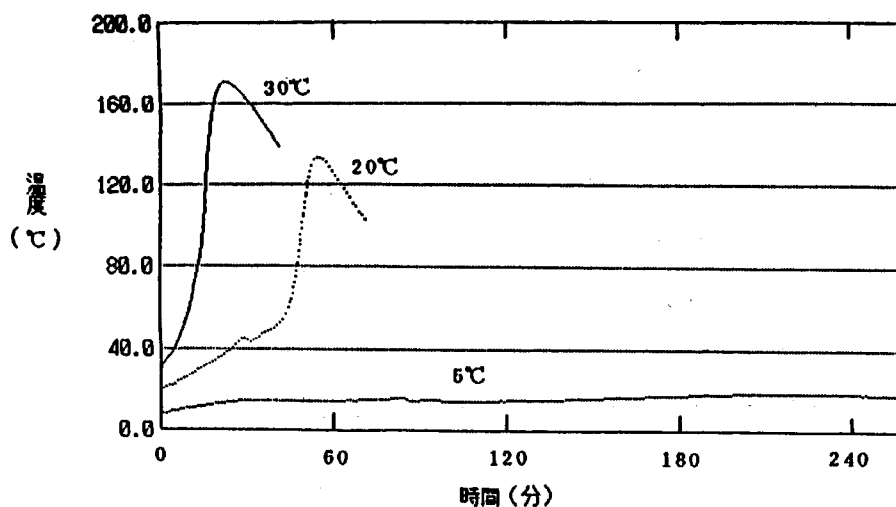


図-4.3.1 温度上昇曲線（可使時間試験）

表-4.3.2 可使時間

養生温度	可使時間
5℃	111分
20℃	32分
30℃	9分

3) 硬化時の温度上昇

エポキシ樹脂初期温度15℃、20℃の2ケースについて試験を行った。温度上昇曲線を図-4.3.2に、最高温度とそれに達するまでに要する時間を表-4.3.3に示す。最高温度は193、204℃と大きな差はないが、その値はかなり大きく間隙水圧計の耐熱性を超えている。ただし、今回の試験は閉塞系での試験なので、実施工を模擬した開放系での試験を行い再検討する必要がある。最高温度に達する時間は初期温度が20℃の方が2倍近くは早い。

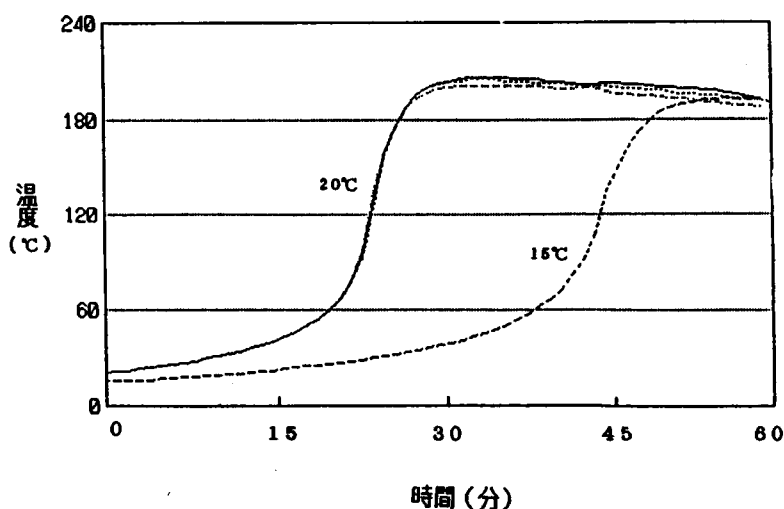


図-4.3.2 硬化時の温度上昇

表-4.3.3 温度上昇

初期温度	最高温度 時間
15℃	193℃ 56分
20℃	204℃ 34分

4) 透水係数

水圧 6 kgf/cm^2 のもとで7日間の総透水量は 0.0 ml であった。したがって、エポキシ材料は実用上不透水と見なせる。

5) 一軸圧縮強度

一軸圧縮強度試験の結果を表-4.3.4に示す。材令7日以降では、破壊歪約6%、一軸圧縮強度は $630 \sim 700 \text{ kgf/cm}^2$ と十分大きい。

表-4.3.4 一軸圧縮強度試験結果

	圧縮強度 (kgf/cm^2)	破壊ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm^2)
8 時間	0.72 0.75 0.94 0.81	15.00 15.00 15.00 15.00	5.6 6.6 8.8 7.0
1 日	84.2 105.9 120.2 103.5	15.00 15.00 15.00 15.00	710 1220 1936 1289
7 日	629.7 637.5 635.6 634.3	5.89 6.13 5.87 5.97	13174 12824 14092 13363
28 日	706.1 694.9 697.2 699.4	6.23 6.15 6.17 6.18	14680 13577 12749 13669
備考	供試体寸法 : $12.7 \times 12.7 \times 25.0 \text{ mm}$ 養生 : 20°C 水道水中		

6) 付着強度

内管の押し抜き力は、平均 3.54 tf ($4.12, 3.32, 3.18 \text{ tf}$) であった。この値を内管とエポキシ樹脂の接触面積 (81.1 cm^2) で割り、付着強度を求めると 43.6 kgf/cm^2 となる。この値は、付着強度として十分な値であると考ええる。

7) 膨張・収縮量

膨張・収縮量試験の結果を図-4.3.3、表-4.3.5に示す。

表-4.3.5 膨張量

52週までの結果を見ると、最大で0.05%程度収縮している。ただし、13週を経過するころから、変化は収まったと見ることが出来る。よって、収縮の問題はあまり大きくないと考える。

材 令	膨張量 (平均)
1 週	-0.024 %
2 週	-0.041 %
4 週	-0.046 %
8 週	-0.038 %
13 週	-0.034 %
26 週	-0.048 %
52 週	-0.031 %

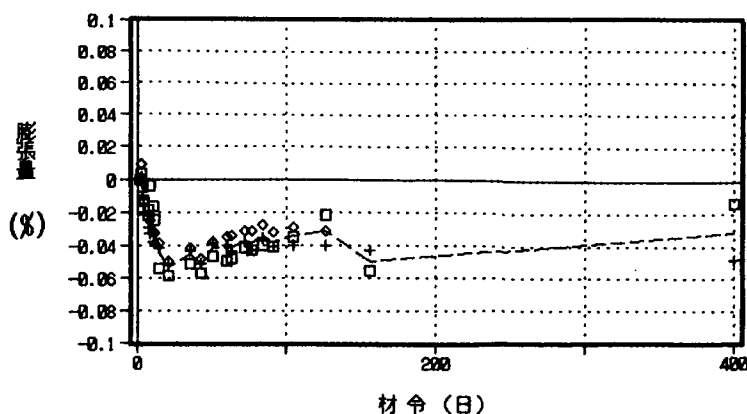


図-4.3.3 材令～膨張量

8) 化学的安定性

結果を表-4.3.6に示す。強度は4週で約700kgf/cm²と最も大きく、13週では若干低下している。重量は材令13週で2%増加している。pHの違いによる有為な差は認められない。

表-4.3.6 化学的安定性試験結果

pH	材 令	重量変化 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊ひずみ (%)	変形係数 (kgf/cm ²)
pH. 5	1 週	0.574	637.5	5.90	13503
		0.623	631.4	6.29	11526
		0.652	645.4	6.02	13245
	(平均値)	0.616	638.1	6.07	12758
	4 週	1.190	673.1	6.21	12801
		1.170	696.1	6.41	12467
		1.170	689.4	6.32	13292
	(平均値)	1.177	686.2	6.31	12853
	13 週	2.017	544.9	6.42	10186
		2.036	529.6	6.36	10766
		2.062	512.5	16.30	9779
	(平均値)	2.038	529.0	9.69	10244
pH. 7	1 週	0.583	629.7	5.89	13174
		0.550	637.5	6.13	12824
		0.584	635.6	5.87	14092
	(平均値)	0.572	634.3	5.97	13363
	4 週	1.170	706.1	6.23	14680
		1.130	694.9	6.15	13577
		1.120	697.2	6.17	12749
	(平均値)	1.140	699.4	6.18	13669
	13 週	2.080	509.6	6.66	9670
		2.136	506.6	6.37	9020
		2.150	514.2	7.09	9842
	(平均値)	2.122	510.1	6.71	9511
pH. 9	1 週	0.553	652.8	6.29	13344
		0.544	647.5	6.13	12329
		0.542	643.2	6.03	12426
	(平均値)	0.546	647.8	6.15	12700
	4 週	1.190	686.3	6.15	13360
		1.170	693.8	6.42	12376
		1.170	683.2	6.26	14019
	(平均値)	1.177	687.8	6.28	13252
	13 週	2.011	515.0	6.55	10565
		2.012	515.3	6.80	9560
		1.981	556.2	24.60	9535
	(平均値)	2.001	528.8	12.65	9887

9) 比 重

比重試験の結果は以下の通りである。

主 剤：1.114 エポキシ樹脂（硬化前）：1.095

硬化剤：1.062 エポキシ樹脂（硬化後）：1.157

4. 4 セメント系シール材

4. 4. 1 目的

ボーリング孔内にMGLパイプを用いて多段深度に間隙水圧計を設置する場合に使用するセメント系シール材の基本的性質を調べる。

4. 4. 2 使用材料

セメント：大阪セメント（株）製超速硬セメント（ライオンハイセット）

増粘剤：第一工業製薬製非イオン性セルロースエーテル系（ユニショット）

4. 4. 3 試験方法

シール材のミルクは、水セメント比を100%としあらかじめ超速硬セメントに粉体の増粘剤を加えよく混合した後、必要量だけ計り取った水の中に投入し、プロペラミキサーにより3分間攪拌し調整した。

表－4. 4. 1に増粘剤を添加した場合の超速硬セメントミルクのフロー値を示した。

増粘剤の添加量は、20℃条件下でPロートによるフロー試験を実施しフロー値20秒、25秒、30秒になるように決定し、以後の試験は、この3種類の配合で行った。

表－4. 4. 1 増粘剤を添加した場合の超速硬セメントミルクのフロー値

試料No	増粘剤量*	フロー値
1	0.7%	20秒
2	0.8%	26秒
3	0.85%	29秒

*セメントに対する重量百分率

以下に試験項目及び試験方法を示す。

1) 粘度試験

B型粘度計により粘度の経時変化を、試料混合後0、30、60、90、120分経過時に測定した。

2) 可使時間

B型粘度計により、10分ごとに粘度の経時変化を測定し10000cpsを超えた時間をその材料の可使時間とした。温度条件は5℃、20℃、30℃の3条件で行った。

3) ブリージング

土木学会基準プレパックド用モルタルのブリージング試験方法にしたがって直径約5 cmのポリエチレン袋にミルクを入れ、ミルクの上面とブリージング水の水面の高さを測定した。試験温度は20℃で1、2、3の3配合について行った。

4) 硬化時の温度上昇

図-4. 4. 1に示したように20×20×25 cmの発泡スチロール製断熱容器中にφ7×12 cmのアルミ製円筒容器にシール材を入れ熱電対によりシール材の温度変化を測定した。試験は20℃室内で温度上昇が完了するまで継続的に測定した。

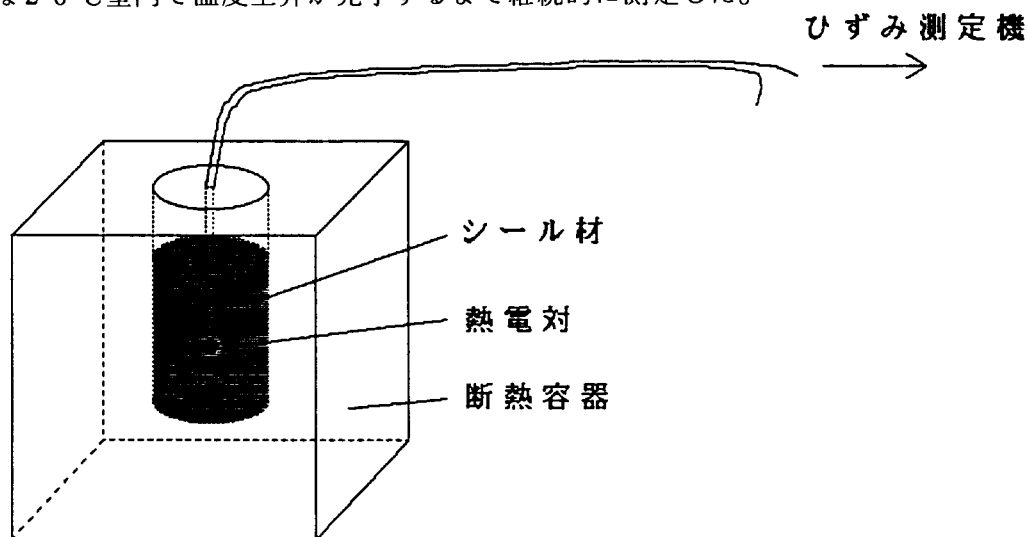


図-4. 4. 1 温度上昇試験装置

5) 透水試験

φ10×12.7 cmの土の突き固め試験用型枠の中心部にMGLパイプに見立てたφ4.6×12.5 cmの鋼製円柱を入れ、残りの部分をシール材で埋めて透水試験用供試体を作製した。試験は土の透水試験用の装置の一部を使いコンプレッサーにより6 kgf/cm²の圧力を加えて24時間透水させ、透水量を測定した。

6) 一軸圧縮強度試験

φ5×10 cm型枠にシール材をつめ材令5時間、1、7、28日でJIS A1120に準じて強度試験を行った。供試体の養生は、20℃水中で行った。

7) 付着強度試験

図-4.4.2に示すように、外径101.6mm厚さ3.2mm長さ6cmの中央部にMGLパイプに見立てた $\phi 43$ mm長さ15cmの鋼管をシール材により固定し材令1週で鋼管の押し抜き試験を行ない最大押し抜き荷重を測定して、鋼管の付着面積で割った値を付着強度とした。

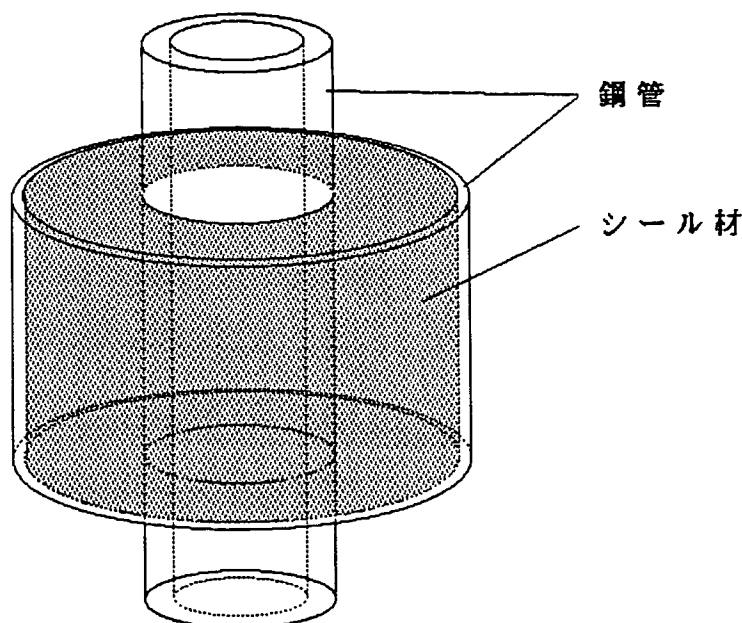


図-4.4.2 付着強度供試体

8) 膨張・収縮量試験

4×4×16cm供試体の両端に長さ変化測定用のポイントを埋め込みダイヤルゲージ法により両端のポイント間の長さを測定することにより、長さ変化を測定した。供試体は20℃水中で養生を行い材令1週、2週、4週、8週、13週、26週、52週で測定した。

9) 化学的安定性試験

$\phi 5 \times 10$ cmの円柱供試体を酸性(pH3)、中性、アルカリ性(pH11)に調整した水の中で養生し材令1週、4週、13週後の供試体重量の変化と一軸圧縮強度の変化を測定した。養生温度は、20℃としpHの調整は酸に硫酸、アルカリに水酸化カルシウムを使用した。試験は、No.2の配合のみについて行った。

10) フィルター材への浸透性試験

図-4.4.3に示した装置を用いて、内径5 cm長さ18 cmの亚克力パイプ下半分程度に海砂をゆるく詰め（間隙率38%）上部に配合No. 3のシール材を注ぎコンプレッサーにより 6 kgf/cm^2 の圧力を加え、砂中への浸透長を測定した。

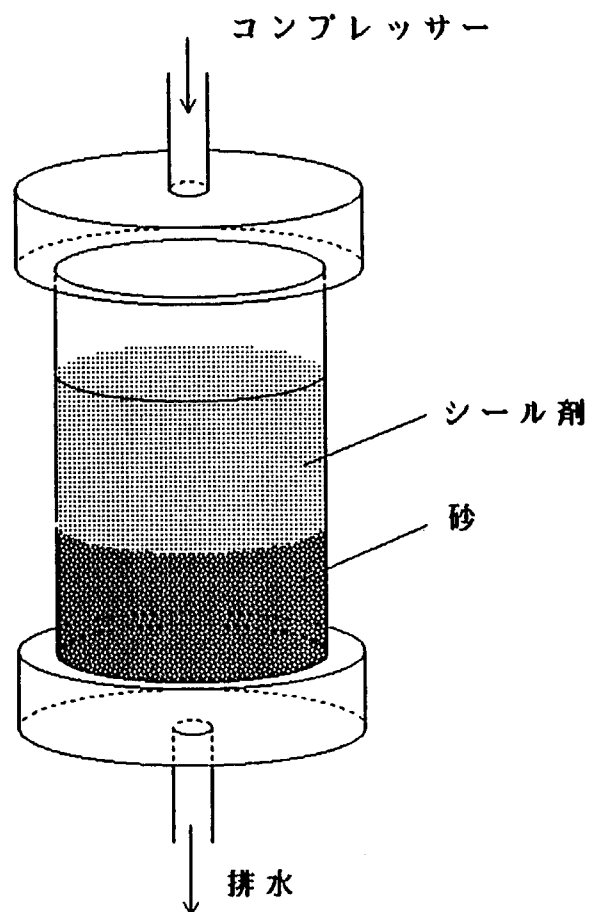


図-4.4.3 浸透性試験装置

4. 4. 4 試験結果

1) 粘度・可使時間・硬化時の温度上昇

各配合における作製直後の粘度と可使時間および温度上昇試験の最高温度を表-4. 4. 2に示した。5℃、20℃、30℃における粘度の経時変化を図-4. 4. 4に5時間までのシール材の温度変化を図-4. 4. 5に示した。

30℃では40～60分の間で20℃では70～110分の間で粘度が10000cpsを越え可使時間は表-4. 4. 2のようになった。5℃では、3時間以内には粘度の上昇はみられず可使時間は3時間以上であった。温度上昇は、最高温度で60℃以下であり、かつ実際の施工時には、地盤中への熱の放散があり実用上問題はないと考えられる。

表-4. 4. 2 粘度・可使時間・温度上昇試験結果

配合No.	作製直後の粘度(cps)			可使時間(分)			温度上昇の 最高温度 (℃)
	5℃	20℃	30℃	5℃	20℃	30℃	
1	5900	4100	5300	150	111	60	56
2	5200	4200	6500	150	86	45	59
3	6200	6200	4800	150	70	49	57

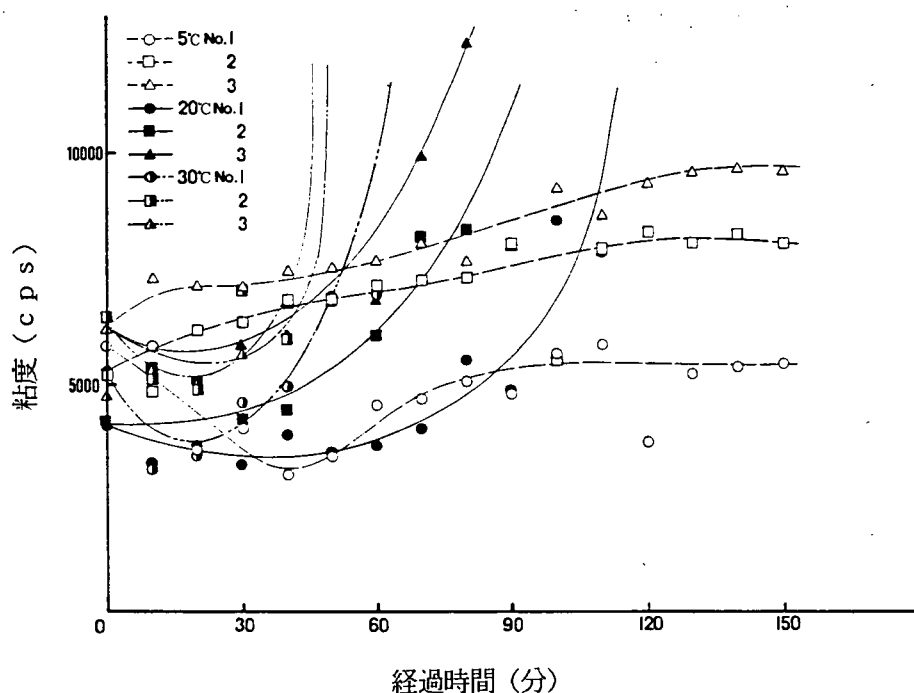


図-4. 4. 4 各温度における粘度の経時変化

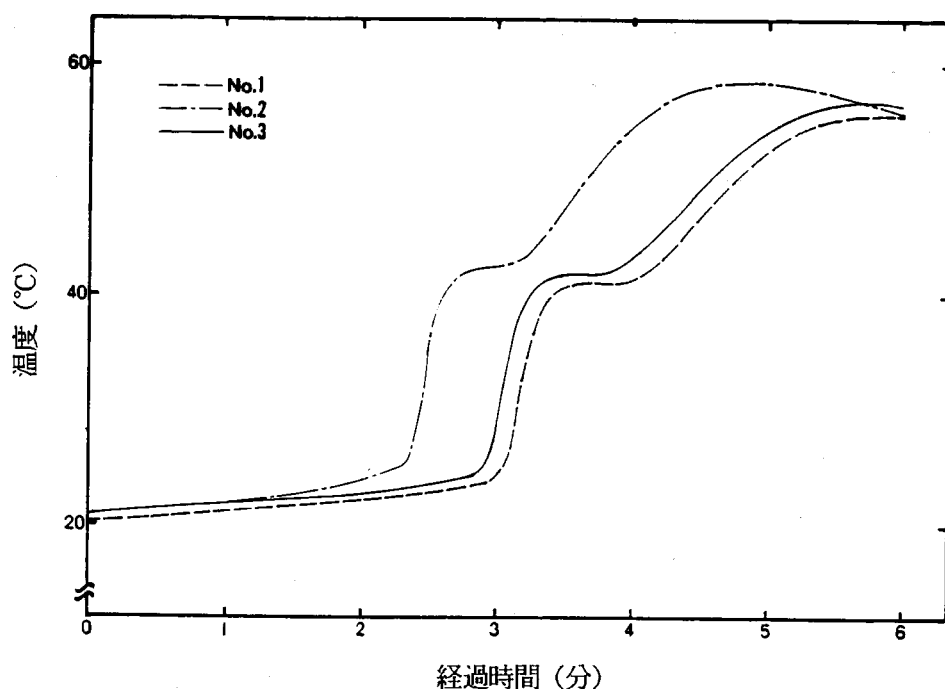


図-4. 4. 5 シール材の温度変化

2) 一軸圧縮強度・付着強度・ブリージング

一軸圧縮強度、付着強度、ブリージング試験結果を表-4. 4. 3 に示した。一軸圧縮強度は5時間で8 kgf/cm²、1日で40 kgf/cm²でありこれは、比重1.4のセメントミルクにして300 m分の高さに相当する強度となり十分な強度があるといえる。

付着強度は、1週強度で6.6 kgf/cm²でありケーシングパイプの重量を1000 kgと仮定すると、10 cmの付着長さで支持できる計算になり、安全率を見込んでも十分な強度であるといえる。

ブリージングは3配合とも完全に硬化するまで起きなかった。

表-4. 4. 3 一軸圧縮強度・付着強度・ブリージング試験結果

配合No.	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)				付着強度 (kgf/cm ²)	ブリージング (%)
	5 h	1 d	7 d	28 d		
1	8.9	41.2	64.0	65.2	10.3	0
2	7.8	41.7	61.2	62.1	9.5	0
3	8.0	41.5	53.9	55.3	6.6	0

3) 透水係数・膨張収縮量

透水試験結果及び長さ変化試験結果を表-4.4.4に示した。透水係数は、6 kgf/cm²加圧下で2.4時間経過後も透水が確認されなかったので、このときの透水量が1 ccであった場合の透水係数 4.0×10^{-10} cm/sec 以下であるとした。

長さ変化は、現在測定継続中であるが2週までの値では、若干の膨張傾向を示しているが4週以後は収束傾向にある。

表-4.4.4 透水試験・長さ変化試験結果

配合No.	透水係数 ($\times 10^{-10}$ cm/sec)	長さ変化率 ($\times 10^{-4}$)						
		1 w	2 w	4 w	8 w	13 w	26 w	52 w
1	4.0以下	1.96	4.53	4.66	4.90	5.21	6.12	7.18
2	4.0以下	0.89	3.20	3.86	4.31	4.96	6.30	7.30
3	4.0以下	2.13	4.41	4.52	4.65	5.00	5.86	6.90

4) 化学的安定性

安定性試験結果を表-4.4.5に示した。セメントがアルカリ性であるため1週経過後のpHがすべて11となっており以後はpHによる差は現れないと考えられる。4週以降の強度は同程度かやや低下しているがpHの影響というよりも、膨張によるものと考えられる。

表-4.4.5 安定性試験結果

	酸性			中性			アルカリ性		
	1w	4w	13w	1w	4w	13w	1w	4w	13w
重量変化率 (%)	4.8	5.4	5.9	4.7	5.3	6.1	4.6	5.3	6.0
強度 (kgf/cm ²)	59.6	59.3	52.8	58.2	59.6	52.9	61.2	59.0	53.7

5) フィルター材への浸透性

フィルター材中への浸透性試験の結果は、6 kgf/cm²加圧下で5時間経過後に浸透長にして2 cm程度であった。

4. 4. 5 まとめ

以上の試験結果より、強度、付着強度、透水係数、安定性において増粘剤の配合量による差があまり見られないため、硬化時間において有利であり、粘度の高いNo. 3配合で現場実証実験等行うこととした。

以下にNo. 3の配合および各物性値を表-4. 4. 6、表-4. 4. 7に示す。

表-4. 4. 6 シール材の配合

材 料	配 合 比
ライオンハイセット	1
増粘剤	0. 0085
水	1

表-4. 4. 7 シール材の物性値

試験項目	試験値
粘度 (c p s)	6 2 0 0
可使時間 (分)	8 6
ブリージング	なし
硬化温度 (°C)	5 7
透水係数 (c m / s e c)	$4. 0 \times 10^{-10}$ 以下
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	5 3. 9
付着強度 (kgf/cm ²)	6. 6
膨張収縮	微膨張性
化学的安定性	良

4. 5 まとめ

前章で選出したウレタン系、エポキシ系およびセメント系の各材料の適用性に関し、シール材として要求される物性とその最低限の基準を検討するとともに種々の物性試験を行った。実施した物性試験の種類、試験方法および満足すべき基準を表-4.5.1に、またそれらの結果を表-4.5.2に示す。

試験項目のうち粘度、透水係数、付着強度、膨張・収縮量、化学的安定性、比重（エポキシ系のみを対象）およびブリージング（セメント系のみを対象）に関しては、各材料ともその試験結果は基準を満足しており、問題がないことを確認した。しかし、可使時間に関しては試験温度30℃の場合にウレタン系およびエポキシ系が、硬化時の温度上昇に関してはエポキシ系が、それぞれ基準を満足しないことが判明した。

以下に、問題があった試験項目ごとに、基準を満足しなかった材料とその対策を示す。

(1) 可使時間（基準：30分以上）

試験温度が5℃および20℃の場合は、各材料とも基準を満足した。しかし、試験温度が30℃の場合は、ウレタン系が23分、エポキシ系が9分、セメント系が49分であり、ウレタン系およびエポキシ系が基準を満足しないことが判明した。したがって、シール材の温度が20℃以上になることが予想される環境下でウレタン系あるいはエポキシ系を用いる場合には、①シール材の温度を20℃以下に保つための対策を行うこと、②設置作業を迅速に行うこと等の施工管理が必要である。また、③反応遅延剤を添加することも検討すべきである。ただし、上記の①～③は難しいことではないため、実用上、問題はないと考える。

(2) 硬化時の温度上昇（基準：最高温度60℃以下）

硬化時の最高温度はウレタン系およびセメント系がそれぞれ24.6℃および59℃と基準を満足したが、エポキシ系は204℃と基準を満足せず、間隙水圧計の耐熱限界を越えることが判明した。ただし、今回の試験は閉塞系（断熱系）で行ったものなので、実施工を模擬した開放系での試験により再検討する必要がある。これについては、7. 2. 2に詳述するので参照されたい。

表-4.5.1 シール材料の物性試験項目および試験方法一覧

項 目		ウレタン系 内容および配合(重量比): ウレタン薬液(W-600:第一工業製薬) 21% シールド用粘土(SCP-A:ベッテ産業) 30% 水 49%	エポキシ系 内容および配合(容積比): コングレッツ1517(日本アドヒシブ) 主 剤(A液) 66.7% 硬化剤(B液) 33.3%	セメント系 内容および配合(重量比): 超速硬セメント(ライオンセメント-W:大阪セメント) 50% 水 50% 増粘剤(エシヨット-A10:第一工業製薬) 0.85% (増粘剤の配合はセメントに対する重量比)
粘 度		B 型粘度計により測定した。 試験温度: 5, 20, 30°C 測定時間: 0, 30, 60, 90, 120 分		
可 使 時 間		ビーカーに水と薬液を計200cc 採取し、30秒間混合・攪拌した。ビーカーを90°傾けてもこぼれなくなる時間を可使時間とした。 試験温度: 5, 20, 30°C	ビーカーに300gの材料を採取し、その温度変化を測定した。測定温度の急変点の70%あるいは最高温度に達する50%の時間を可使時間とした。 試験温度: 5, 20, 30°C	B 型粘度計により、10分ごとに粘度の経時変化を測定し、10000cpsより大きな値を示した時間を可使時間とした 試験温度: 5, 20, 30°C
硬化時温度上昇		φ 7cm、ℓ = 12cmのアルミ製容器に材料を採取し、これを20×20×25cmの発泡スチロール製断熱容器の中央に設置した。材料の中央に熱電対を設置後、これを密封した。その後、室温20°Cで放置し、最高温度に達するまで測定した。		
透 水 係 数		JIS A 1218に準拠: 透水試験容器(φ 10cm×12.7cm)の中央にMGLパイプにみたてたφ 43mmの鋼製円柱体を設置後、容器内に材料を充填した。これを 6kgf/cm ² の水圧で加圧し、24時間当たりの透水量を測定した。 養生: 20°C、水道水中 試験材令: 7日		
一軸圧縮強度		供試体寸法: φ 5×10cm (9本) 養生: 20°C、水道水中 試験材令: 3時間, 1, 7 日 (圧縮強度は、20% 歪みの応力値とした)	供試体寸法: 12.7×12.7×25.0mm (12本) 養生: 20°C、水道水中 試験材令: 3時間, 1, 7, 28 日	供試体寸法: φ 5×10cm (12本) 養生: 20°C、水道水中 試験材令: 3時間, 1, 7, 28 日
付 着 強 度		鋼管(JIS G 3444, 外径101.6mm, 厚さ4.2mm, 長さ6cm)の中央にφ 43mm、長さ15cmのパイプを設置し、両管の間に材料を充填した。養生後、パイプの最大押し抜き力を測定した。 養生: 20°C、水道水中 試験材令: 7日		
膨 張 ・ 収 縮 量		ビーカーに水と薬液を計100cc 採取し、30秒間混合・攪拌した。固結後、その重量および水中重量を測定し、算出した。 養生: 20°C、水道水中 測定材令: 1, 2, 4, 8, 13, 26, 52 週	コンタクトゲージ法により測定した。 供試体寸法: 4×4×16cm 養生: 20°C、水道水中 測定材令: 1, 2, 4, 8, 13, 26, 52 週	
化学的安定性		試験項目: 重量変化および一軸圧縮試験 供試体寸法: φ 5×10cm (27本) 養生水のpH: 5, 7, 9 試験材令: 1, 4, 13 週	試験項目: 重量変化および一軸圧縮試験 供試体寸法: 12.7×12.7×25.0mm (27本) 養生水のpH: 5, 7, 9 試験材令: 1, 4, 13 週	試験項目: 重量変化および一軸圧縮試験 供試体寸法: φ 5×10cm (27本) 養生水のpH: 5, 7, 9 試験材令: 1, 4, 13 週
その他の	比重試験	— (対象外)	液状試料: 比重浮ひょう 硬化物: 水置換法 (寸法: 12.7×12.7×25.0mm)	— (対象外)
	フリージング試験	— (対象外)	— (対象外)	土木学会基準「プレパックド用モルタルのフリージング試験方法」に準拠(φ 5cm、ℓ = 20cmのビニールチューブに充填)

表-4.5.2 シール材料の物性基準値および試験結果一覧

項 目	基 準	ウレタン系 内容および配合 (重量比) : ウレタン系液 (W-600:第一工業製薬) 21% シールド用粘土 (SCP-A:心付産業) 30% 水 49%	エポキシ系 内容および配合 (容積比) : コングレッシブ1517 (日本アドヒシブ) 主 剤 (A液) 66.7% 硬化剤 (B液) 33.3%	セメント系 内容および配合 (重量比) : 超速硬セメント (ライオンセメント-S:大阪セメント) 50% 水 50% 増粘剤 (エシヨット-A10:第一工業製薬) 0.85% (増粘剤の配合はセメントに対する重量比)
粘 度 (cP)	最低粘度: 100cP 以上	5 °C 0 30 60 90 120 分 20 °C 180 290 460 700 950 30 °C 220 1150 30 °C 670 -- (注: ---は10000 以上)	5 °C 0 30 60 90 120 分 20 °C 3580 3220 4900 8890 30 °C 704 1292 30 °C 300 -- (注: ---は10000 以上)	5 °C 0 30 60 90 120 分 20 °C 6200 7100 7700 8000 9400 30 °C 6200 5900 6800 30 °C 4800 6100 (注: ---は10000 以上)
可 使 時 間	30 分以上	温度 (°C) 可使時間 (分) 5 310 20 65 30 23	温度 (°C) 可使時間 (分) 5 111 20 32 30 9	温度 (°C) 可使時間 (分) 5 150 20 70 30 49
硬化時温度上昇	60 °C以下	最高温度 24.6°C	最高温度 204 °C	最高温度 59 °C
透 水 係 数	10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁸ cm/sec以下	透水量確認されず	透水量確認されず	透水量確認されず
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	—	材令 3 時間 1 日 7 日 強度 0.124 0.181 0.164 (20% 歪み時の応力)	材令 8 時間 1 日 7 日 28 日 強度 0.81 104 634 699 (材令 3時間は脱型不能)	材令 8 時間 1 日 7 日 28 日 強度 8.0 41.5 53.9 55.3 (材令 3時間は脱型不能)
付 着 強 度	7~14×10 ⁻³ kgf/cm ² 以上	0.154 kgf/cm ²	43.6 kgf/cm ²	6.6 kgf/cm ²
膨 張 ・ 収 縮 量	極端に大きな収縮性を示さないこと	材令 1 週 2 週 4 週 8 週 膨張 (%) 42.8 56.1 69.7 97.6 材令 13 週 26 週 52 週 膨張 (%) 42.8 153.3 199.4	材令 1 週 2 週 4 週 8 週 膨張 (%) -0.024 -0.041 -0.046 -0.038 材令 13 週 26 週 52 週 膨張 (%) -0.034 -0.048 -0.031	材令 1 週 2 週 4 週 8 週 膨張 (%) 0.021 0.044 0.045 0.047 材令 13 週 26 週 52 週 膨張 (%) 0.050 0.059 0.069
		(条件) 1 週 4 週 13 週 (材令) pH 5 34.6 46.2 75.5 pH 7 33.4 47.3 83.5 pH 9 35.2 47.8 90.1	(条件) 1 週 4 週 13 週 (材令) pH 5 0.616 1.177 2.038 pH 7 0.572 1.140 2.122 pH 9 0.546 1.177 2.001	(条件) 1 週 4 週 13 週 (材令) pH 5 4.8 5.4 5.9 pH 7 4.7 5.3 6.1 pH 9 4.6 5.3 6.0
化学的安定性	重量変化 (%)	pHにより、あまり差がないこと	pHにより、あまり差がないこと	pHにより、あまり差がないこと
	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	pHにより、あまり差がないこと	pHにより、あまり差がないこと	pHにより、あまり差がないこと
その他	比重試験	1.0 以上	主 材: 1.114 硬化材: 1.062 混合液: 1.094 硬化物: 1.157	(対象外)
	フリージング試験	0%に近いことが望ましい	(対象外)	0 %

注): 基準を満足しないもの
*: 参考値とし、特に基準は設けない

参考文献

- 1) 岩崎好規ら：間隙水圧計単孔多点埋設方法について、第14回土質工学会発表会講演集、 pp. 61～64、1979年 6月.

5. フィルタ材に対する物性試験

5. 1 概説

3章では、フィルタ材として砂とジオテキスタイルを選定した。シール材のうち、エポキシ系とセメント系には砂フィルタを、ウレタン系のシール材にはジオテキスタイルフィルタを組み合わせた。前者の場合にはシール材とフィルタ材を地表から注入管を介して孔内に順次設置していく方法を採用、後者の場合にはジオテキスタイルフィルタはMGLパイプの所定の位置に巻きつけておき、シール材はMGLパイプを孔内に設置した後、同じくパイプに巻きつけてある布パッカ内に注入するという方法を採用した。

砂フィルタは、周辺地盤構成粒子の粒度に応じて、容易にかつ経済的にその粒度を変更できることが大きな利点である。しかし、砂フィルタがどのような性質を有していなければならないということを対象地盤を抜きにして現地点で明記することはできない。そこでここでは、代表的な砂の物性試験を実施し、基本的な物性を把握するに留めた。

ジオテキスタイルフィルタについては、代表的な砂と同程度のフィルタ機能を有しているかの検討を行うこととした。

5.2 砂フィルタ

砂フィルタは、地下水に対しては十分な透水性を有し、一方シール材（エポキシ系、セメント系）に対しては、その浸透を防止しなければならない。このため、フィルタ材として使用できる砂の粒径は限定される。シール材の浸透については、7.2で述べることとし、ここでは豊浦標準砂について実施した物理試験結果とコンクリート用細骨材の透水性について述べる。

5.2.1 比重試験

JIS A1202¹⁾により比重試験を行った。結果を、以下に示す。

- ・豊浦標準砂 (0.074~0.42mm) ---- 比重2.64
- ・川 砂 (0.84 ~2.0 mm) ---- 比重2.65
- ・川 砂 (2.0 ~5.0 mm) ---- 比重2.73

砂の比重は2.6~2.7程度であり、水中で容易に沈降する。

5.2.2 粒度試験

JIS A1204¹⁾により、豊浦標準砂の粒度試験を行った。結果を図-5.2.1に示す。

粒径105~250 μ の粒子が、90%（重量比）を占めている。

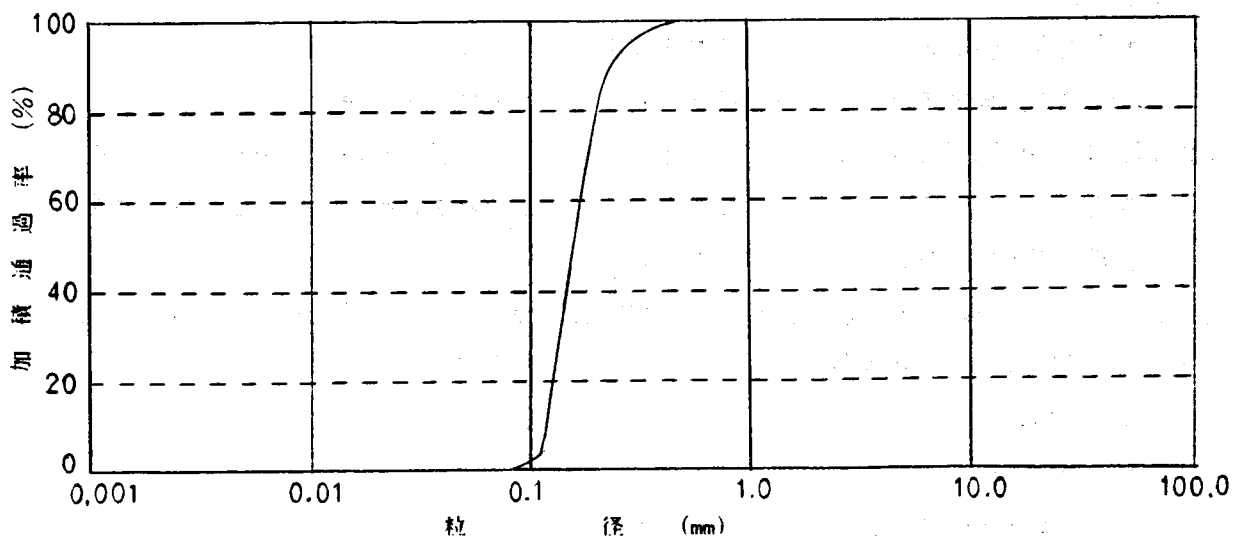


図-5.2.1 豊浦標準砂の粒径加積曲線

入手の容易な砂として、他にコンクリート用の細骨材が挙げられる。土木学会の「コンクリート標準示方書」²⁾に決められている細骨材の粒度範囲を図-5.2.2に示す。

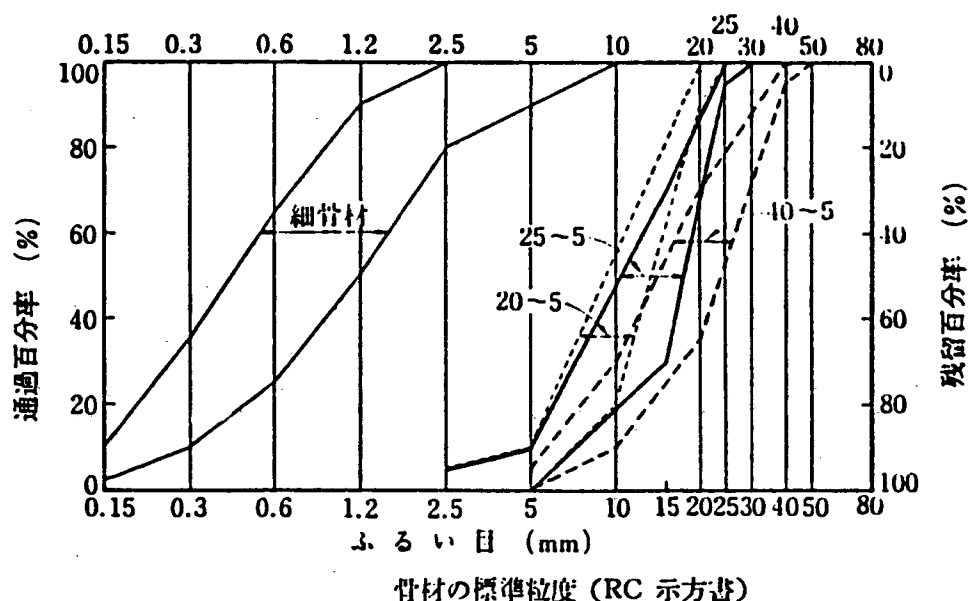


図-5.2.2 コンクリート用砂の粒度範囲

5.2.3 透水試験

JIS A1218¹⁾により、豊浦標準砂の定水位透水試験及び変水位透水試験を行った。結果を以下に示す。

- ・定水位透水試験結果 透水係数 1.8×10^{-2} cm/sec
- ・変水位透水試験結果 透水係数 5.6×10^{-3} cm/sec

両試験は別々の機関で実施しており、供試体の作成方法と試験方法の違いが結果の差になったものと考えられる。いずれにせよ、豊浦標準砂によって作成されるフィルタは、水圧計測を行う上で必要な透水性を有していると判断される。

粒径から透水係数を求める方法に、A.Hazenの公式とCreagerによる表 (表-5.2.1) がある。コンクリート用細骨材の透水係数をこれらの方法によって推定した。

A.Hazenの公式³⁾

$$K = CD_{10}^2 \quad (5.2.1)$$

K: 透水係数 (cm/sec)

C: 定数 (均一な砂に対しては100をとる)

D_{10} : 有効径 (粒径加積曲線における通過率が10%の粒径) (cm)

表-5.2.1 D_{20} と透水係数の関係 (Cregerによる)³⁾

d_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類	d_{20} (mm)	k (cm/s)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土	0.18	6.85×10^{-3}	微粒砂
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト	0.20	8.90×10^{-3}	
			0.25	1.40×10^{-2}	
0.02	4.00×10^{-5}	粗砂シルト	0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.03	8.50×10^{-5}		0.35	3.20×10^{-2}	
0.04	1.75×10^{-4}		0.40	4.50×10^{-2}	
0.05	2.80×10^{-4}		0.45	5.80×10^{-2}	
0.06	4.60×10^{-4}	極微粒砂	0.50	7.50×10^{-2}	
0.07	6.50×10^{-4}		0.60	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.08	9.00×10^{-4}		0.70	1.60×10^{-1}	
0.09	1.40×10^{-3}		0.80	2.15×10^{-1}	
0.10	1.75×10^{-3}		0.90	2.80×10^{-1}	
0.12	2.60×10^{-3}	微粒砂	1.00	3.60×10^{-1}	
0.14	3.80×10^{-3}		2.00	1.80	細礫
0.16	5.10×10^{-3}				

・ Hazenの方法

図-5.2.2によると $D_{10} = 0.15 \sim 0.3 \text{ mm}$ である。 D_{10} と C ($C=100$) を公式に代入すると $k = 2.3 \times 10^{-2} \sim 9.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ となる。

・ Creagerの方法

図-5.2.2によると $D_{20} = 0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ である。表-5.2.1より、 D_{20} に対応した k の値は、 $k = 8.9 \times 10^{-3} \sim 7.5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ となる。

Creagerによる表を用いた方が、透水係数は小さくなる傾向がみられる。

フィルタ材としてコンクリート用細骨材を用いた場合にも、作られるフィルタは十分な透水性を有していると判断される。

5.3 ジオテキフィルター

5.3.1 実験目的

ウレタン系シール材を用いたMGLシステムでは、MGLパイプ地下水位測定部位にフィルター材としてジオテキスタイルを巻き付けて挿入することになった。そこで、本節では、使用したジオテキスタイルのフィルター機能について砂フィルタと比較して実験検討した。

5.3.2 実験方法

ジオテキスタイルのフィルター機能の実験方法としては、主に2種類の方法が採用されている。一つは透水容器に敷いたジオテキスタイルの上に土試料を詰め、その上から水を流す方法である^(4, 5, 6)この方法は比較的簡便なフィルター機能の実験方法であるが、土とジオテキスタイルの2層を合わせた複合材の透水係数を測定しているため、ジオテキスタイルそのものの排水性能が試験結果にあらわれにくいという欠点が予想される。また、他の実験方法としてモールドにジオテキスタイルを敷き、その上から懸濁液を流す方法がある。⁽⁷⁾ どちらの方法も実施されている試験数がまだ少なく十分な試験実績があるとは言えないため、本実験では両方の方法で実験を行なった。

(実験A)

図-5.3.1に実験装置の概略図を示した。透水容器にフィルター材を2 cm詰めその上に土試料を2 cm入れ、突き棒で突き固めた。容器とフィルター材の接する部分はシリコングリースを塗布し、水みちができないようにした。

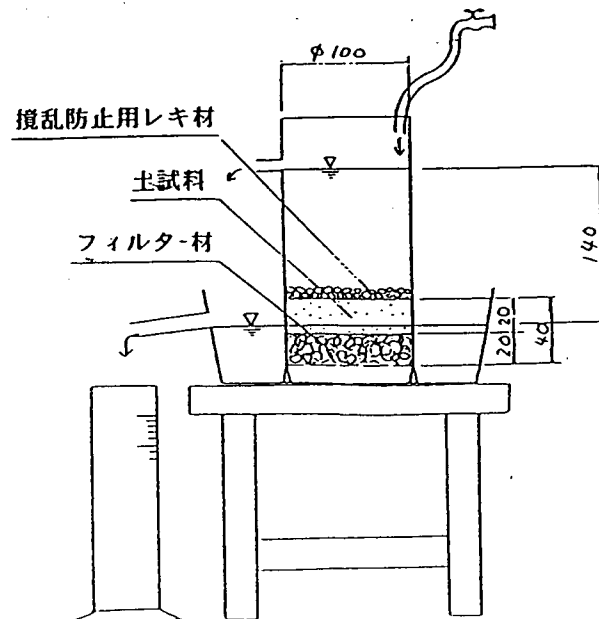


図-5.3.1 実験装置（実験A）

供試体は一昼夜水中で飽和させたが、連続して通水するために脱気水は使用せず、水道水を用いた。

実験に用いたフィルター材はジオテキスタイルが3種類と比較の対象としての2mmアンダー洗い砂の計4種類とした(表-5.3.1)。表中のジオテキスタイルの密度と透水係数は、メーカーの公表している値を用いた。また、図-5.3.2には2mmアンダー洗い砂の粒度分布曲線と、次式のフィルター基準⁽⁸⁾から決まる対象土の範囲を示した。

$$d_{15} < 5 \cdot D_{85} \quad (\text{パイピングに対する基準})$$

$$d_{15} > 5 \cdot D_{15} \quad (\text{透水性に対する基準})$$

$$d_{50} < 25 \cdot D_{50} \quad (\text{均一性に対する基準})$$

ここに d_{15} 、 d_{50} ：フィルター材の15%、50%粒径

D_{15} 、 D_{50} 、 D_{85} ：対象とする土の15%、50%、85%粒径である。

表-5.3.1 フィルター材一覧表

分類	名 称 (会社名)	内 容	乾燥密度	透水係数 (cm/s)
ジオテキスタイル	クレスター KM-1000 (クラレ)	ポリエステルスパン系 による土木マット	1,400 (g/m ² /cm)	1.5×10^{-1}
〃	サンドレソフィルター STB-10N (日本バイリーン)	アクリル繊維性フィルター マット	550 (g/m ² /cm)	5.3×10^{-1}
〃	ステラシート SS-10 (日建工学)	ニードルパンチ製法に よる合成繊維マット	550 (g/m ² /cm)	1.0×10^1
砂	川砂	2mmアンダー洗い砂	1.53 (g/cm ³)	2.8×10^{-2}

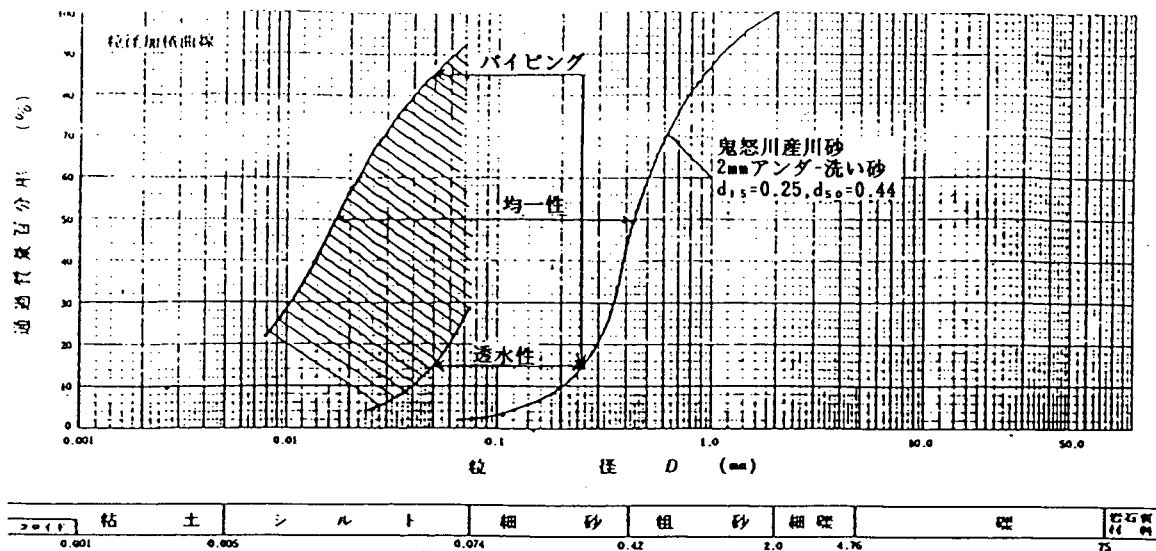


図-5.3.2 2 mmアンダー洗い砂の粒度分布曲線と対象土

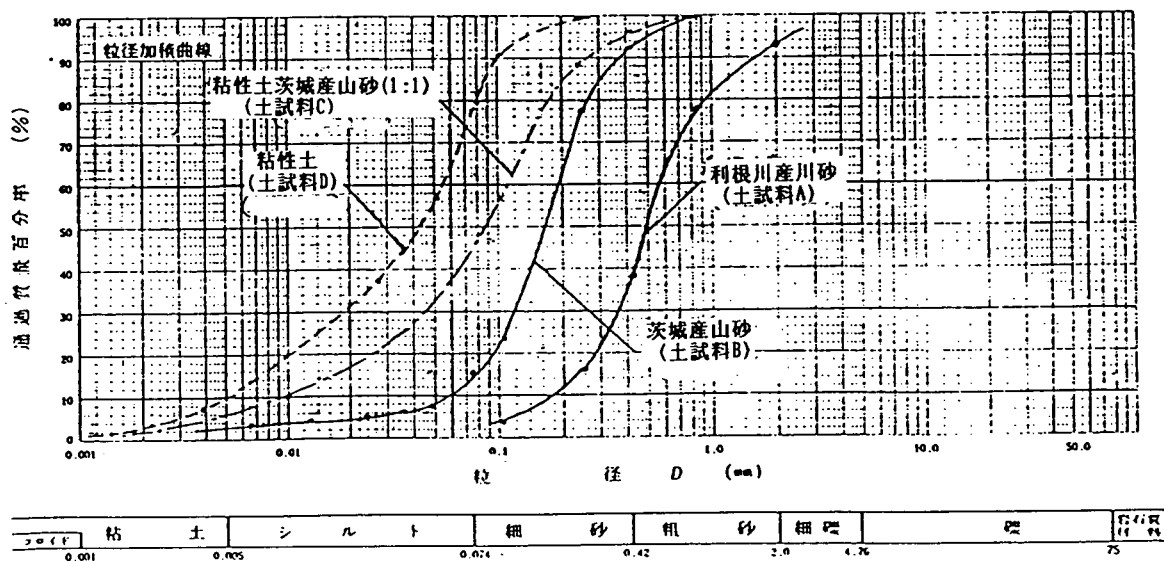


図-5.3.3 土試料の粒度分布

また、土試料としては図-5.3.3に粒度分布を示した4種類を実験に用いた。このうち最も粗い土試料Aは、2 mmアンダー洗い砂に近い粒度分布を持つものであり、土試料C及び土試料Dは、2 mmアンダー洗い砂のフィルターとしての対象土の基準を満たすものである。表-5.3.3に土試料A、B、C、D及び2 mmアンダー洗い砂について、定水位

透水試験 (JISA1218)を行なった結果とそのときの密度、含水比及、有効径 (D_{10})を示した。土試料の透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ のオーダーに分布している。

1.0×10^{-3} 以下の透水係数を示す土試料C、Dについては、本来、変水位透水試験を行なうべきであるが、変水位試験の場合動水勾配が一定とならないこと、土試料A、Bとの比較のためには同じ試験方法のほうが好ましいことから、定水位試験方法に統一して実験を行なった。

以上のフィルター材と土試料の組み合わせに対して図-5.3.1に示した実験装置を用いて24時間以上通水し、透水性の経時変化を調べた。

表-5.3.2 透水試験結果

試料名	内 容	透水係数 (cm/s)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	D_{10} (mm)
土試料A	利根川産川砂	3.0×10^{-2}	1.37	6.4	1.29	0.18
土試料B	茨城産山砂	3.4×10^{-3}	1.40	4.5	1.34	0.06
土試料C	茨城産山砂+粘性土	1.0×10^{-4}	1.51	1.5	1.49	0.010
土試料D	粘性土	7.0×10^{-5}	1.35	0.5	1.34	0.005
2mmアンダー 洗い砂	鬼怒川産川砂	2.8×10^{-2}	1.87	22.1	1.53	0.20

(実験B)

実験装置の概略図を図-5.3.4に示す。透水容器にフィルター材を入れ懸濁水をポンプで循環させ、透水性の経時変化とフィルター材を通過した懸濁水の濃度を測定した。フィルター材と容器の接する部分はシリコングリースを塗布した。懸濁水は、沈殿分離しないように頻繁に攪拌した。

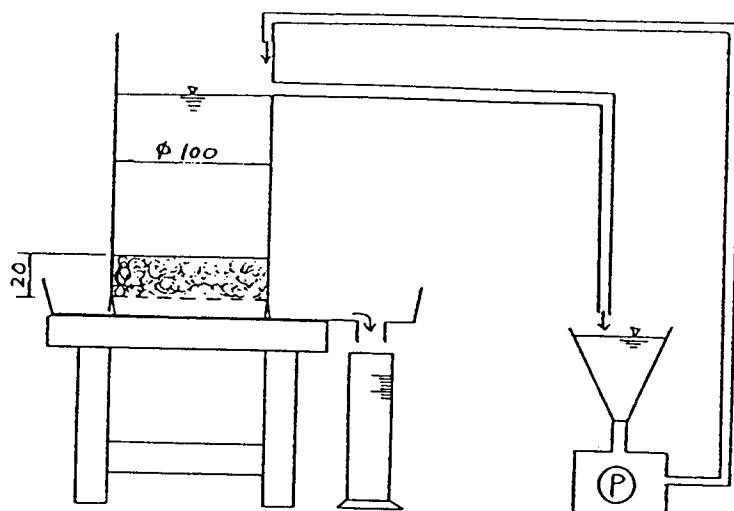


図-5.3.4

実験装置 (実験B)

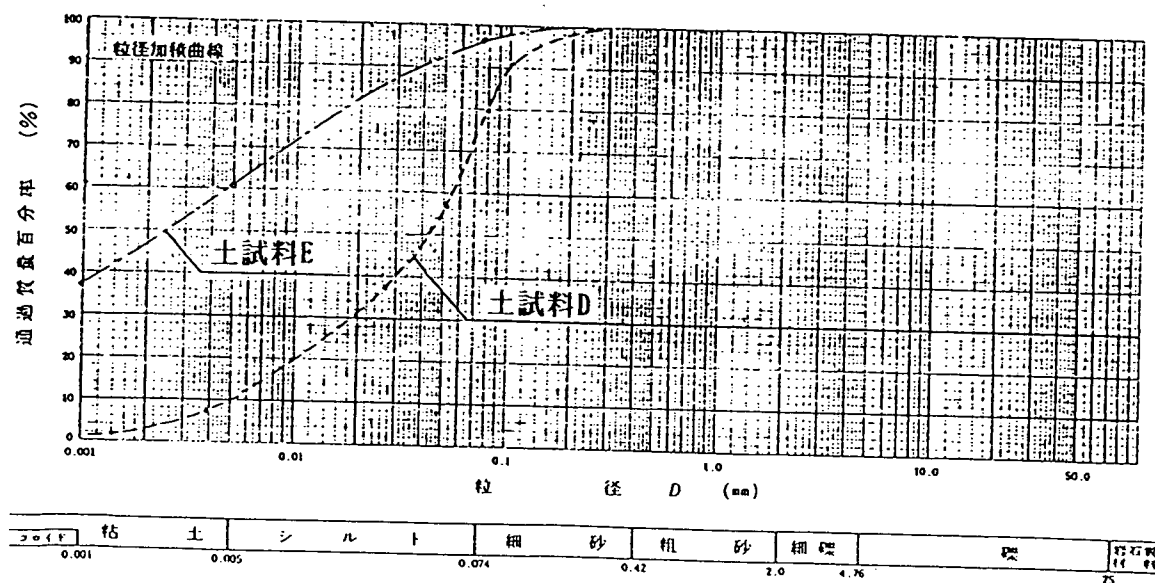


図-5.3.5 懸濁水の粒度分布 (実験B)

実験に用いたフィルター材は実験Aと同じ4種類とした κ (表-5.3.1参照)。また、土試料は実験Aに用いた土試料Dの他、更に細粒分の多い土試料Eの2種類を濃度5%の懸濁水にして用いた。図-5.3.5に土試料D、Eの粒度分布を示した。

5.3.3 実験結果

(実験 A)

フィルター材 2 cm、土試料 2 cm から成る厚さ 4 cm の複合材料に対して求めた透水係数の経時変化を示したのが図-5.3.6 である。この結果から以下のことが分かる。

- ① 複合材料の透水係数は土試料の透水係数に支配され、フィルター材の違いによる差を見出すことができない。
- ② また、実験 A ではフィルター材を通過した土試料の量は極微量であり、測定不可能であった。従って、2 mm アンダー洗い砂に対してパイピングと均一性のフィルター則を満たす土（今回使用した土試料 A、B、C、D はそれに相当する）に対しては、今回実験に用いたどのフィルター材もフィルターの土試料による目詰まりが複合材料の透水係数に支配的になることはなく、その上で土試料の流出を防いでいるのでフィルターとして十分な機能を有するものと思われる。
- ③ 2 mm アンダー洗い砂の場合、フィルター則を満たす土試料 C、D に対して通水初期に大きな透水性を示したが、10 分前後で低下し、ジオテキスタイルと同程度の透水係数になった。
- ④ 土試料 B（茨城産山砂）では 10,000 分間（約 1 週間）通水したが透水係数は収束することなく低下した。原因として、今回の実験では脱気水を使用していないため供試体内に微細な気泡が発生した、水道水中の不純物が長期の通水の間に土試料またはフィルター材を目詰まりさせた、土試料内で微粒子の移動があり目詰まりした、土試料内の微粒子がフィルター材を目詰まりさせた等が考えられるが、フィルター材の違いによる試験結果の有為な差は認められなかった。
- ⑤ 図-5.3.7 に実験に使用した土試料 A、B、C、D、及び、2 mm アンダー洗い砂について定水位標準透水試験を行なったときの透水係数の経時変化を示したが、透水性の低下の傾向は図-5.3.6 の複合材料の場合とほぼ同様になっている。このことから、複合材料の透水性の低下傾向はフィルター材にジオテキスタイルを使用した場合にのみ発生するとは考えにくいことがわかる。

実験 A ではフィルター材と土試料を複合材料として扱い、その透水係数の経時変化を調べたが、この実験方法ではフィルター材に比較して土試料の透水係数が小さいため、実験結果にフィルター材の違いによる有為な差がほとんど見られなかった。

次に実験 B で、懸濁水をフィルター材に流す方法で行なった実験結果から、ジオテキスタイルのフィルター機能について検討する。

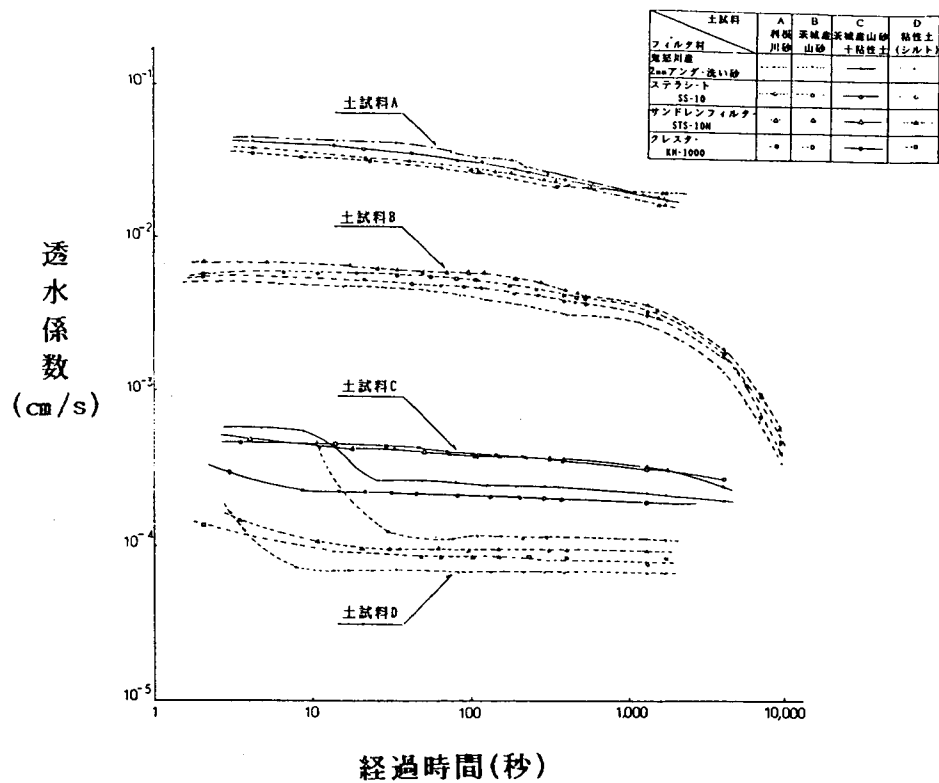


図-5.3.6 土とフィルタ材よりなる複合材料の透水性経時変化

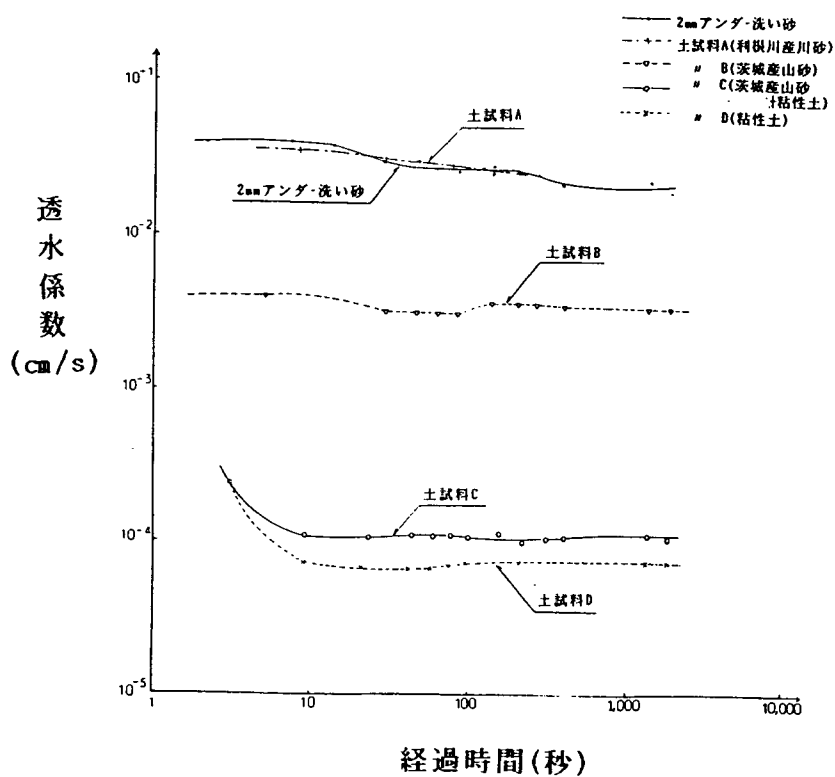


図-5.3.7 定水位標準透水試験結果

(実験B)

図-5.3.4の実験装置で懸濁水を流しフィルター材の透水係数の経時変化を測定した結果を図-5.3.8に、また、そのときのフィルター材を通過した懸濁水の濃度の経時変化を図-5.3.9に示した。これらの実験結果から、以下のことが分かる。

- ① ジオテキスタイルの中で、ステラシートSS-10は著しく粗なため、今回実験に用いた懸濁水を完全に通過させてしまった。したがって、土試料D、Eに対してはフィルター材として不適と考えられるので、以後の測定から除外した。
- ② 透水係数の経時変化を示した図-5.3.8では、土試料Dの懸濁水を流した結果にフィルター材による差は認められなかった。これは懸濁水を流したことにより、フィルター材の表面にマッドケーキが発生し、それがフィルター材の透水性を支配したためと思われる。
- ③ 土試料Eの懸濁水を流したときには、同じ経過時間のときのサンドレーンフィルターSTB-10Nの透水係数に比較して2mmアンダー洗い砂とクレスター KM-1000の透水係数は小さくなる傾向が認められた。これは図-5.3.9に示したように2mmアンダー洗い砂とクレスター KM-1000は懸濁水を捕捉するので、サンドレーンフィルターSTB-10Nに比較して透水係数が小さくなったものと思われる。
- ④ 図-5.3.8でクレスター KM-1000とサンドレーンフィルターSTB-10Nの場合、1万秒を経過しても透水係数が更に小さくなる傾向を示しているのに対し、2mmアンダー洗い砂は一定の透水係数に収束する傾向を示している。また、図-5.3.9で透過水の濃度は2mmアンダー洗い砂が最も低くなっており、粘土分を多く含んだ懸濁水（土試料Eは粘土分が60%）に対しては、ジオテキスタイルよりも2mmアンダー洗い砂の方がフィルター材として適しているといえる。
- ⑤ 図-5.3.8及び、図-5.3.9から今回実験したジオテキスタイルの中で2mmアンダー洗い砂に最も近い性質を示すのはクレスター KM-1000であることがわかった。

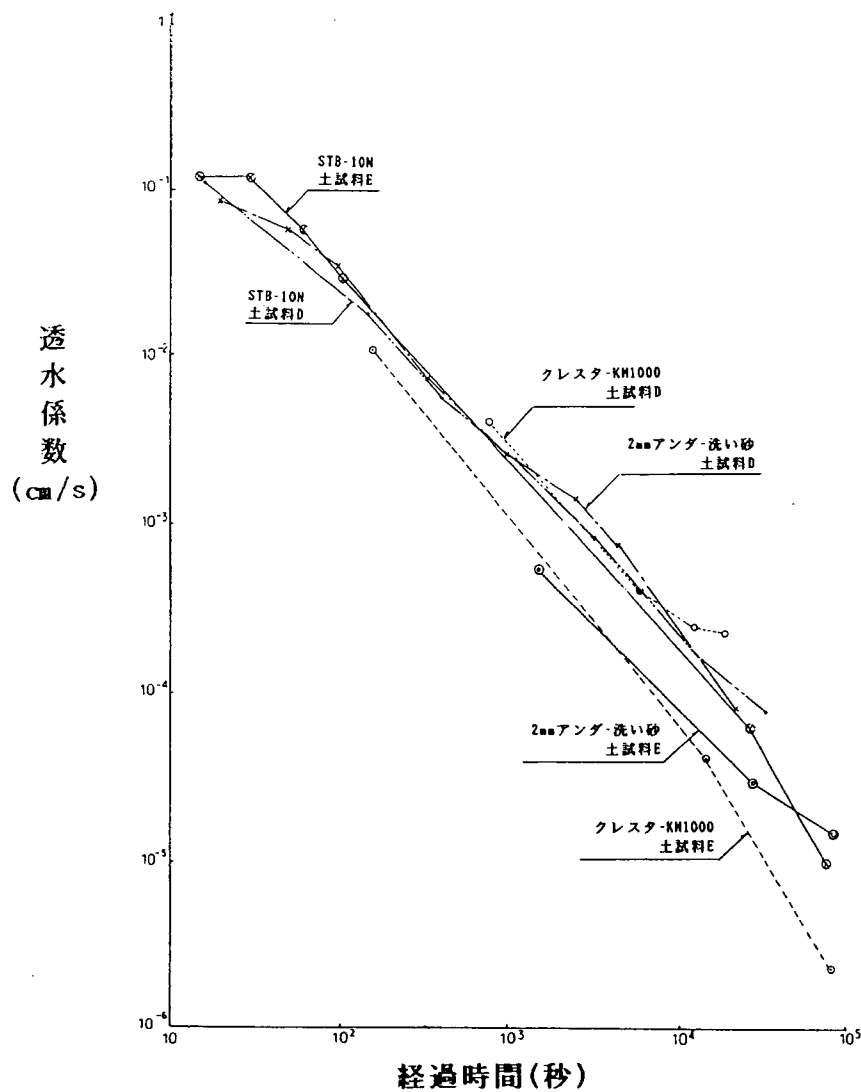


図-5.3.8 経過時間と透水係数の低下

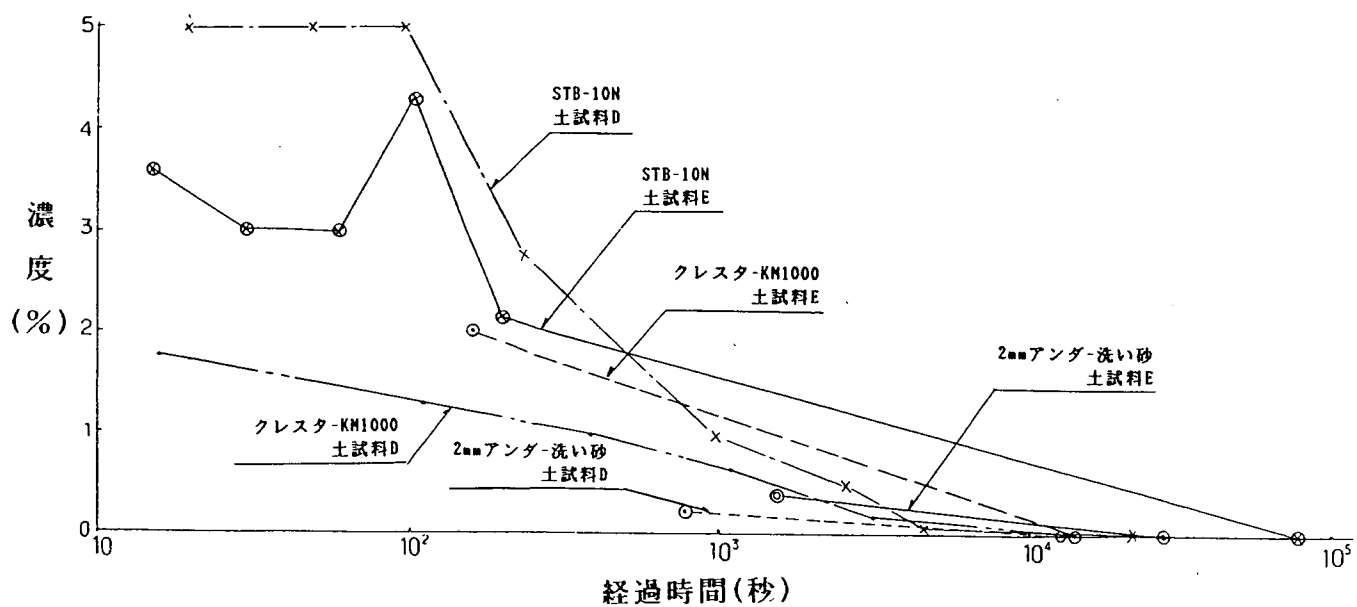


図-5.3.9 経過時間と透過水濃度の低下

5.3.4 まとめ

ジオテキスタイルのフィルター機能については、まだ、発表されている実験データが少なく、多数のフィルター材と土の組み合わせで実験をして一般性のある実験結果を出した論文は見当たらない。また、ジオテキスタイルには各種あるが、粗度を密なものから粗なものまで幅広く一般的に表現する方法もないのが現状である。さらに、目詰まりに対する実験方法も議論されている段階である。ジオテキスタイルのフィルター機能は今後、多くの研究課題を含んだ分野であり、土のフィルター則に相当するものをジオテキスタイルについて確立するためには、まだ、多くの研究事例を積み重ねる必要があろう。

今回の実験結果をまとめると以下の通りである。

- ①土とフィルター材を複合材料として扱った実験Aでは、土試料の種類によらずフィルター材による実験結果の有為な差は認められなかった。
- ②懸濁水を流した実験Bから、粗さの異なった3種類のジオテキスタイルの中で2mmアンダー洗い砂に最も近いフィルターとしての性質を示すのはクレスター KM-1000であることがわかった。

ジオテキスタイルを実際に現場で使用するにあたっては、水理的条件に留意する必要があると言われている。⁽⁹⁾ すなわち、使用する地盤の動水勾配が大きいときは特に目詰まりに対して注意する必要がある。今回、フィルター材を使用するのは水圧を測定することが目的なので、人為的に動水勾配が発生することはなく自然の地下水流れがあるのみである。したがって、水理的には極めて穏やかな条件で使用する事になり、フィルターとして2mmアンダー洗い砂に比較的近い性質を示すジオテキスタイル（クレスター KM-1000）を使用することで問題はないと思われる。

5.4 まとめ

本章においては、フィルタ材として選出した砂とジオテキスタイルの物性を把握する為の試験を行った。

砂フィルタは従来からフィルタ材として使用されている実績も多く、かなり優れたフィルタである。その1つの利点として、比較的安価に粒度範囲を変えたものを準備できることにある。そのため、逆に、砂フィルタの一般的性質を数の限られた試験から明確に定義することは難しいので、代表的な砂として標準砂、川砂(0.84~2.0mm、2.0mm~5.0mm)に対する物理試験にとどめた。

一方、ジオテキフィルタについては、その使用実績はまだ少なく、かつフィルタ機能を知る試験方法も未だ確立されているとはいえない。そこで、3種類のジオテキフィルタと2mmアンダーの川砂フィルタの機能試験を行い、両者の機能を比較した。その結果、川砂フィルタが最も優れてはいるものの、クレスト-KM1000はかなり川砂フィルタに近い能力を有していることがわかり、今後はこのクレスト-KM1000をジオテキスタイルフィルタとすることとした。

参考文献

- 1) 土質試験法、土質工学会編、pp. 5. 3. 1～5. 3. 38、1988.
- 2) コンクリート標準示方書（施工編）、土木学会編、pp. 18 ～20、1986.
- 3) 土質工学ハンドブック（1982年版）、土質工学会編、pp. 69 ～70、1982.
- 4) 山岡、西形、坪井：ジオテキスタイルのろ過機能と目詰まり現象、第30回土質工学シンポジウム、昭和60年.
- 5) 佐藤、吉田、二木：ジオテキスタイルの排水性能に関する実験（その2）、第23回土質工学研究発表会、昭和63年 6月.
- 6) 辰井、佐藤、二木：ジオテキスタイルの長期特性について、第24回土質工学研究発表会、平成元年 6月.
- 7) 林、茶山、森：ジオテキスタイル材の排水効率低下特性に関する室内試験結果、土木学会第41回年次学術講演会、昭和61年11月.
- 8) 渡：実例に基づくジオテキスタイル利用工法の設計と施工、建設図書、昭和62年.
- 9) 田中、山岡、廣田訳：ジオテキスタイル設計マニュアル、土木工学社、昭和62年.

6. MGLパイプの構造

6. 1 概 説

6. 1. 1 水圧計設置に必要とされる条件

『ボーリング孔内の多段遮水方法に関する研究』に付随する水圧の測定装置に必要とされる条件は以下に示す通りである。

- ・設 置 深 度：100m以上
- ・水圧測定段数：5 段以上
- ・水圧測定期間：数年間（最低 1 年以上）
- ・ボーリング孔内に埋め込み可能なもの（口径、耐久性等）

さらに水圧計設置に際しては次の内容を満足することが望まれる。

- ・水圧計の保護
- ・ケーブルの保護
- ・水圧計が正確な深度に設置可能なこと
- ・シール材の付着が良好なこと
- ・水圧計の精度、作動状況のチェックが可能なこと

6. 1. 2 水圧計設置方法の比較

上記の条件を考慮し、水圧計設置方法を検討した結果次の三案が比較の対象となった。以下にその内容を述べ、図-6. 1. 1 に示す。

① ケーブル法（図-6. 1. 1 ①参照）

〃 圧力計をケーブルにより支持する方法。

防水型圧力計をケーブルに接続し、張力を確認しながら、設定された深度に設置する。

深度は事前に地上でケーブル長を測定しておく。ケーブルに 1 cm 単位のスケーラを印刷することも可能である。

水圧計の設置は容易であり、費用も少ないが、シール材、フィルター材の設置作業（以下「埋設作業」とする）に対し、圧力計・ケーブルが保護されていない点、設置深度の確認に不安が残る点や、シール材の付着の点でも他の方法に比べ劣ると判断される。

② アングル材法（図-6. 1. 1 ②参照）

〃 圧力計をアングル材により支持し、ケーブルの保護を行う方法。

深度はアングル材の本数と残尺により設定可能である。

水圧計の設置はケーブル法に次いで容易であり、ケーブルの保護及び水圧計の設置深度が確認できるが、埋設作業に対する水圧計の保護が十分でなく、ケーブルの保護にも不安が残る。また、アングル材の形状がシール材の付着に不都合であろうと思われる。

③ M G Lパイプ法（図-6.1.1 ③参照）

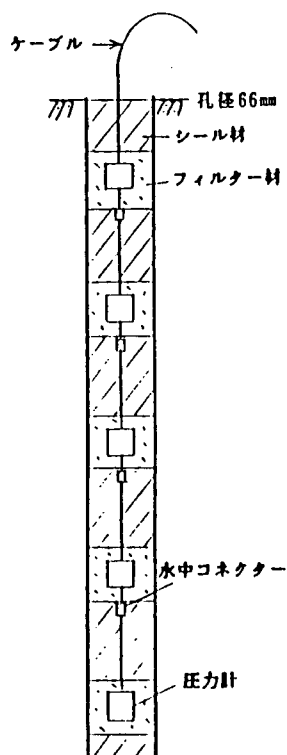
。JIS43 ケーシングパイプ（外径43mm、内径37mm）により、ケーブルの保護、設置深度の確認、圧力計の保護及び支持を行う。フィルター区間の水圧は、ケーシングパイプに設けられた導水圧管を通りパイプ内の圧力計の受圧部へ伝えられる。

水圧計の設置はパイプ中にケーブルを通す必要があるため、前2者に比べるとやや時間がかかるが、ケーブル、圧力計の保護、設置深度の確認が確実に行えると判断される。また、シール材の付着もケーシングパイプ表面は滑らかなため、前2者に比べ良好と判断される。

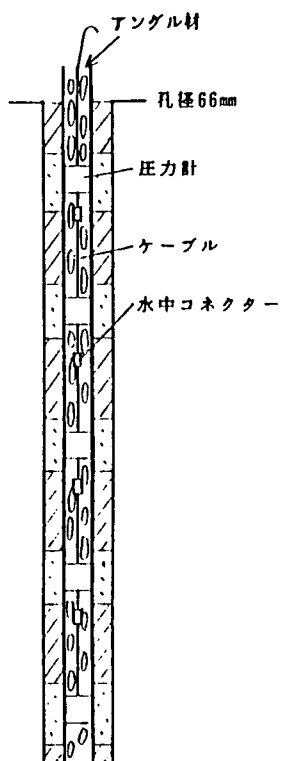
三案の比較を行った結果を表-6.1.1に示す。

測定が数年間にわたることや、設置時の圧力計・ケーブルの保護、シール材の付着等を考慮すると、圧力計が水没しない③M G Lパイプ法が有利と判定できる。

① ケーブル法



② アングル材法



③ MGLパイプ法

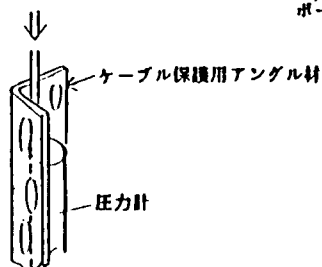
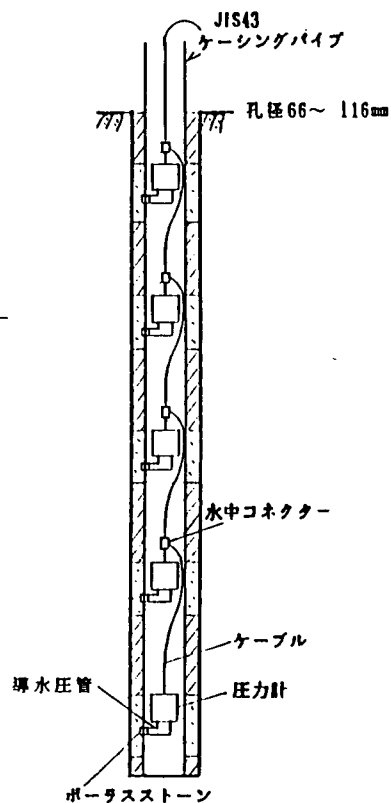


図6.1.1 水圧計設置方法

表6.1.1 水圧計設置方法の比較

	①ケーブル法	②アングル材法	③MGLパイプ法
設置し易さ	◎	○	△
埋設作業のし易さ	×	△	○
ケーブル保護	×	△	○
圧力計保護	×	△	○
設置深度の確認	×	○	○
シール材の付着	×	×	○
圧力計のチェック	×	×	△
可能なボーリング孔径	66 mm	66 mm	66 ~ 116 mm
費用	◎	○	△
総合評価	×	×	○

6. 2 パイプ構造（案）とその得失

前節にて、圧力計の設置方法を比較した結果、センサー・ケーブルをケーシングパイプにて保護するパイプ構造が適していることが明らかになった。本研究において、設置後の圧力計の性能チェック方法（正常、故障の判定、ドリフト量の測定、再校正等）を確立することが望ましく、ここではパイプ構造について埋設後の圧力計のチェックが可能な3案について検討する。

6. 2. 1 パイプ構造（案）について

3案を以下に述べ、その概要を図-6.2.1に示す。

(1) パイプ型（図-6.2.1 (1)参照）

センサーの保護、深度確認、ケーブルの保護をケーシングパイプにて行う。埋設後の圧力計のチェックは、最上部の圧力計のみ可能である。その方法は、導水圧管の下部に導圧窓（ストレーナー）を設け、ここからパイプ内に水位として導き、パイプ内の水位を測定するものである。

(2) 水位測定パイプ並列型（図-6.2.1 (2)参照）

センサー用のパイプと圧力計チェック用のパイプを並列し、圧力の測定とチェックをそれぞれのパイプで行う。センサー用のパイプは(1)と同様であるが、パイプに導圧窓は設けない。圧力計チェック用のパイプには水圧測定区間に地上から操作可能な弁を圧力計と同数設置し、チェックする圧力計に対応する弁を開きパイプ内に水位として導き、安定した水位を水位計にて測定する。これを繰り返すことにより、全圧力計のチェックが可能と予想される。しかし、水位が安定するまでには長時間がかかることが考えられ、ダブルエアパッカーの中央に圧力計を設けた水圧計を用いる等、短時間で測定できるように工夫する必要がある。

(3) 自動閉塞弁型（図-6.2.1 (3)参照）

水圧計を、フィルターチップと圧力計に分離して考え、パイプにフィルターチップを固定して配置し、生ゴム等の自動閉塞弁（ゴム球のヘソに相当するもの）を介してパイプ中の圧力計でフィルター区間の水圧を測定する。圧力計の先は針パイプでフィルターに通じるようになり、測定、チェックを含めて多段であっても一セットを順次設置することで測定できる。圧力計のチェックは地上で行うことが可能である。

(1) パイプ型

(2) 水位測定パイプ並列型

(3) 自動閉塞弁型

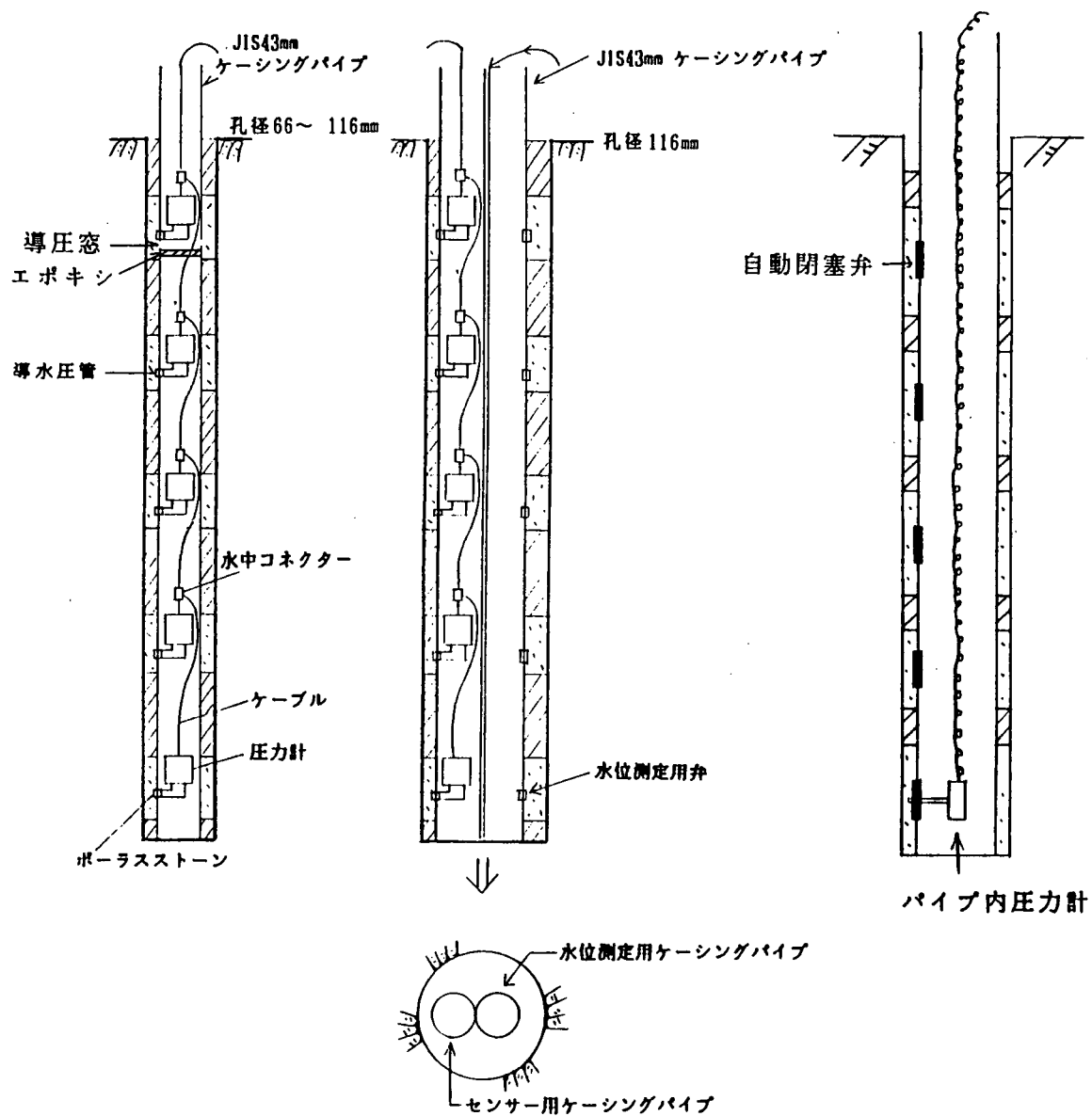


図-6.2.1 パイプ構造 (案)

6. 2. 2 パイプ構造（案）の比較

6. 2. 1 で述べた 3 つのパイプ構造（案）についてその得失を検討する。

(1) パイプ型

〔利 点〕

構造が比較的簡単であり、システムの作製も比較的容易である。設置及び埋設は比較的容易であり、孔径は66～116mmの間で可能と判断される。構造が簡単なことや孔径が小さく出来ることで経済性の面では有利である。

〔問題点〕

チェック可能な圧力計が最上部の圧力計のみに限られることや、圧力計の交換ができないことである。しかし、圧力計自体の耐久性や信頼性の確認は同時に別途試験を行うことにより解決することができよう。

(2) 水位測定パイプ並列型

〔利 点〕

全ての圧力計がチェック可能であり、水位測定用の弁も作製可能と判断される。

〔問題点〕

シール材の設置の際にパイプが2本あることから、パイプ間に隙間が生ずる恐れがあり、パイプ沿いの遮水に不安が感じられる。また弁の耐久性も検討する必要がある。パイプ内の水位が安定するのに長時間が必要となる場合も考えられ、検討が必要であろう。孔径は116mm以上必要と思われ、経済性の点でも不利である。

(3) 自動閉塞弁型

〔利 点〕

圧力計が地上でチェックでき、その圧力計ですべてのフィルター区間の水圧が測定可能である。従って圧力計の交換が可能である。

〔問題点〕

数kgf/cm²の耐圧を有し、数年間の耐久性を持つ自動閉塞弁が作製可能であるか、またパイプ内圧力計が自動閉塞弁を介してフィルター区間の圧力を測定し、順次移動するようなシステムが作製可能であるか等の機械工作上の問題を解決する必要がある。また、孔径は大きくならざるを得ない（φ150mm以上）と思われ、経済的にも不利であるうえ、自動計測にも向かない。

○ 比較結果

3案の比較を行った結果を表-6.2.1に示す。埋設後の全ての圧力計のチェックを行うためには、(2)、(3)案とも耐久性のある弁を作製しなければならないことや、機械工作上の点で開発までには時間が必要である。従って、圧力計の耐久性や信頼性の確認は別途試験を行って確認することにし、早期に最も実現可能であり、経済的な(1)案が望ましいと判断される。

表-6.2.1 パイプ構造(案)の比較

	(1) パイプ型	(2) 水位測定 パイプ並列型	(3) 自動閉塞弁型
チェック可能な圧力計数	1 (最上部のみ)	全て	全て
圧力計の交換	不可	不可	可
製作の容易さ	○	△	×
弁の耐久性	—	△	×
設置の作業性	○	△	○
遮水性	○	×	○
小孔径化	◎	△	×
経済性	○	△	×
総合評価	○	△	×
備考	圧力計の耐久性、 信頼性の確認は別 途行う。	パイプが2本ある ため遮水効果に不 安がある。	機械工作が実現可 能か。開発に長年 月を要す。

6. 3 採用したパイプ構造の詳細

6. 3. 1 採用したパイプの構造

MGLパイプは、JIS43 ケーシング（外径43mm、内径37mmのケーシングパイプ）を使用し、水圧測定部には同ケーシングパイプ中に水圧センサーをエポキシ樹脂で固定した水圧計内蔵パイプ（ $l=440\text{mm}$ ）を接続した（図-6.3.1、6.3.2）。

水圧計内蔵パイプの詳細を図-6.3.2に示す。全長 440mmのケーシングパイプの中間部には、ストレーナー（ $\phi 10\text{mm}$ の12ヶの穴、導圧窓と呼称する）が設けられており、ケーシングパイプの外側のフィルター区間の水圧が圧力センサーの受圧部へ伝えらるようになっている。受圧部は半導体圧力センサーからなり、信号はセンサー内のプリアンプにて増幅され、ケーブルを通して地上の記録部に送られる。信号ケーブルは1本となるように処理をした。

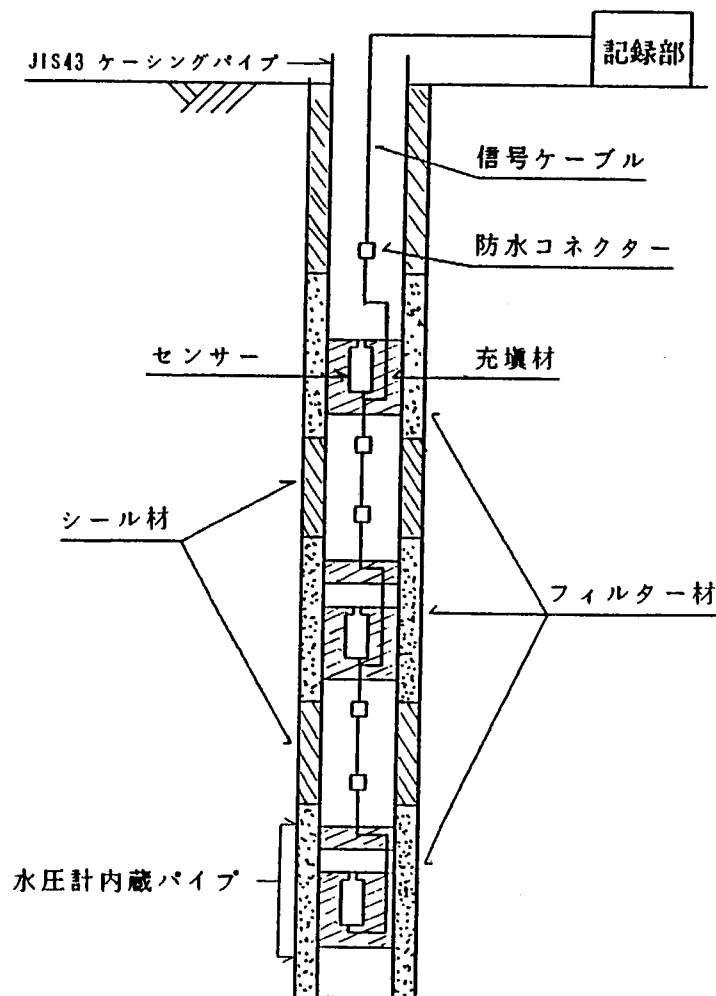
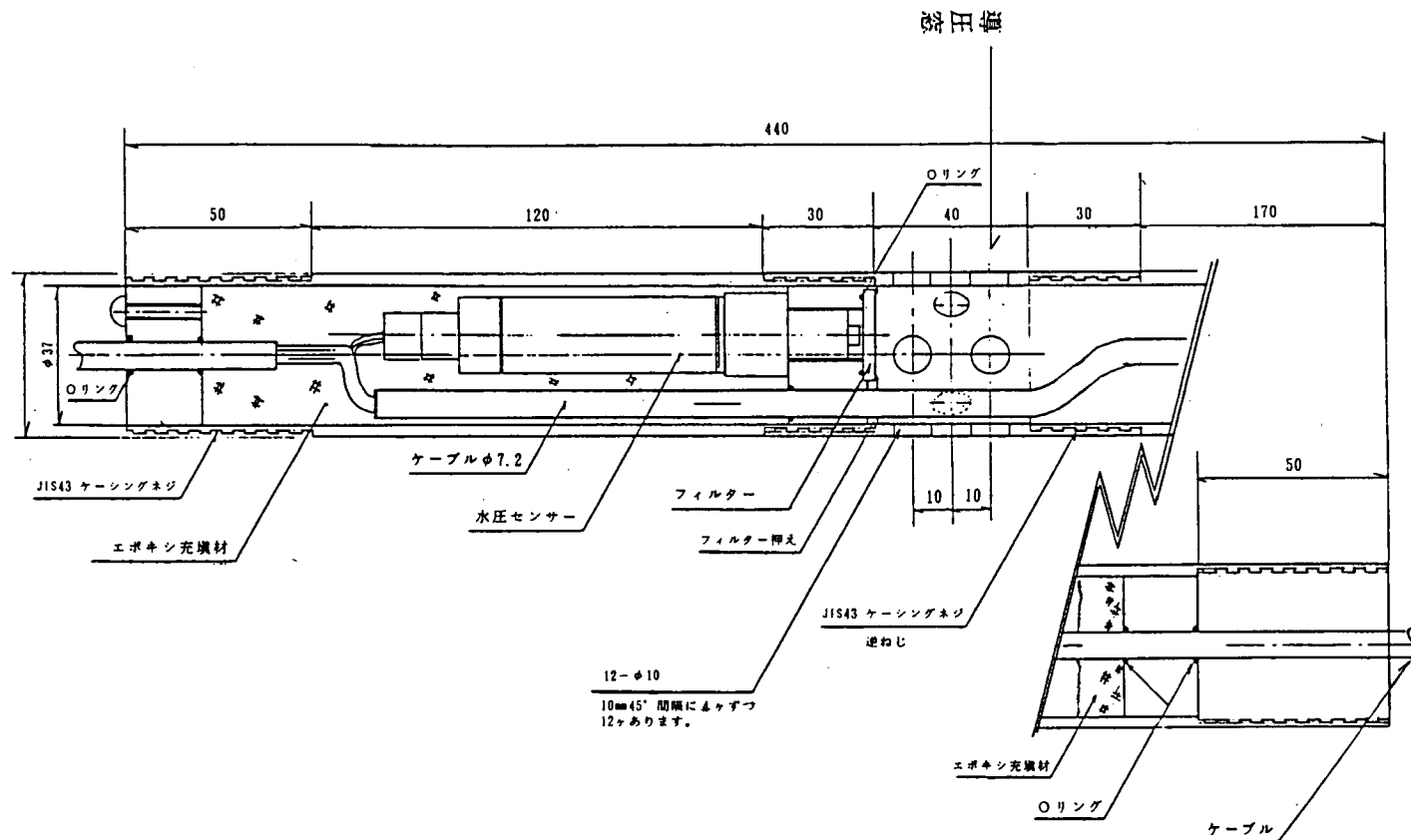


図-6.3.1. M G L パイプ 概要 図

図-6.3.2 水圧計内蔵パイプの構造



6. 3. 2 採用したパイプの機能

MGLパイプの機能

- 1) 水圧センサー及び信号ケーブルをケーシングパイプの中に取り付け、MGLパイプ設置時や埋設時等の不要な外圧から水圧センサー及び信号ケーブルを保護した。
- 2) 信号ケーブルをパイプの中を通すことにより埋設時等の切断等から保護した。
- 3) 多芯のケーブル及び多極の防水コネクターを使用することにより各センサーからの信号線が1本になるように処理し、信号線が複数本になりその隙間が“水みち”とならないようにした。また、MGLパイプ埋設時の作業能率の向上を計った。
- 4) 水圧計内蔵パイプはセンサーの取付け部及び上部パイプにエポキシ樹脂を充填し、上下の圧力を分断した。
- 5) 導圧窓を、45度間隔で開け圧力が一方に偏らないようにした。
- 6) 4 - 20mA出力のプリアンプ内蔵型圧力センサーを使用しノイズ対策とした。
- 7) 設置後の経時測定時に水圧計のチェックを可能にするため、上部の水圧計内蔵パイプはセンサー上方の充填剤を設置せずに、センサー受圧部の水圧がケーシングパイプ内の水位として測定できるようにした。

6. 3. 3 水圧センサーの仕様

水圧センサーの仕様

測定方式	半導体圧力センサー*
測定範囲	0 - 10kg f / cm ² (0 - 100m)
入力電圧	D C 24 V
出力	4 - 20mA D C
直線性	± 0.2% F S
ヒステリシス	0.05% F S
温度特性	± 0.015% / °C 以下
応答性	1 mS 以下

* 次頁参照

- * シリコン結晶ウェハの電気抵抗層のパターン（Si基板）を形成し、その上を薄い保護膜（絶縁膜）で覆い、その上に引出端子（電極）を形成する。（図-6.3.3 参照）。そのシリコンウェハに溝をほり、シリコンウェハ自体がダイヤフラムとなっている（このダイヤフラムの厚さにより測定範囲が決定する）。圧力が加えられるとシリコンダイヤフラムに応力が生じ、ピエゾ抵抗効果により抵抗層の電気抵抗が変化し、この抵抗層がホイーストンブリッジ回路になっており出力電圧が発生する。

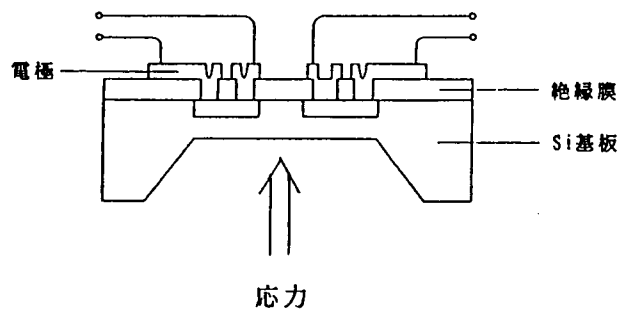


図-6.3.3 半導体圧力センサー構造図

7. シール材、フィルタ材の設置に関する検討

7. 1 概説

3章で本研究に供するシール材、フィルタ材を選定し、4、5章ではそれぞれ選定したシール材、フィルタ材に対する物性試験を実施し、各材料が十分な機能を有するか、あるいはどのような改善を施せば十分な機能を有するものとなるかを検討した。

これらの結果をうけて本章においては、上記シール材、フィルタ材を現場で設置することを前提として、発生するであろう問題点の抽出、問題点に対する対策について検討したので以下に報告する。

7.2 シール材の設置

7.2.1 ウレタン系シール材

【布バッカーの検討】

深度約30mのボーリング孔内で多段に間隙水圧計を測定する場合、従来、シール材とフィルター材は、ベントナイトと砂を落とし込みによって設置し、上部から鉄筋棒を挿入して、その上部位置を確認してきた。しかし、本研究では、ボーリング孔の深度が深く（約100m）、また、親水性かつ膨張性のあるウレタン系シール材を使用する際、鉄筋棒による位置確認は難しく、かつ、ボーリング孔上部からの落とし込みによるシール材・フィルター材の設置も不可能である。

そこでウレタン系シール材は、図-7.2.1に示す様な布バッカーをMGLパイプに取り付けておき、パイプを孔内挿入後、その中に送液チューブを介して充填する方法を採用する事とした。この方法よれば、ウレタン系シール材の拡散防止及びフィルター材への浸透防止になり、また、布バッカー内にシール材が充填されたことが確認できれば、設置位置の確認も容易となる。

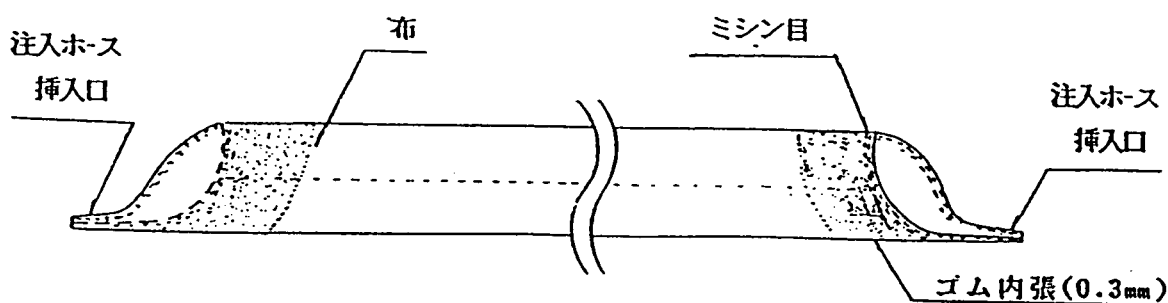


図-7.2.1 布バッカー（注入前）

この布バッカーを使った方法の特徴は以下のとおりである。

- (I) 布バッカー内にシール材を充填することにより、シール材の上下の位置が確認できる。
- (II) シール材の注入圧力により送液量が管理できる可能性がある。
- (III) バッカーに布を使うことにより、孔壁形状にフレキシブルに追随できる。
- (IV) フィルター材への浸透を押えられる。
- (V) 地下水の流速が速い場合や高透水性地盤への適応性が高い。

一方、この方法の欠点としては、

(Ⅰ) 布バッカーに送液する為のチューブが必要な為、MGLパイプに密着させて設置しても、ボーリング孔径を大きくしなければならない傾向がある。

(Ⅱ) 送液チューブと布バッカー、MGLパイプとの隙間を確実にシールする必要がある。

(Ⅲ) パイプ建込時に布バッカー破損の可能性がある。

(Ⅳ) パイプ建込が煩雑になる。

この布バッカーの性状を調べる為、模擬ボーリング孔にパイプに取り付けた布バッカーを設置し、ウレタン系シール材を注入する実験を行なった。その中で代表的なものを実験A、実験B、実験Cとして以下に記す。

(1) 注入実験 A (布パッカーへの注入実験)

④実験方法

図-7.2.2に示す装置で布パッカーへのシール材注入を行ない、充填性、止水性、孔内汚染状況を調べた。このとき使用したポンプ、フィルター材、布パッカー、注入チューブは表-7.2.1の通りである。実験は模擬ボーリング孔として、内径 $\phi 107\text{mm}$ (塩ビパイプ使用)と内径 $\phi 86$ (アクリルパイプ使用)の2ケースについて実施した。

また、送液量を一定速度として実験を行なった。

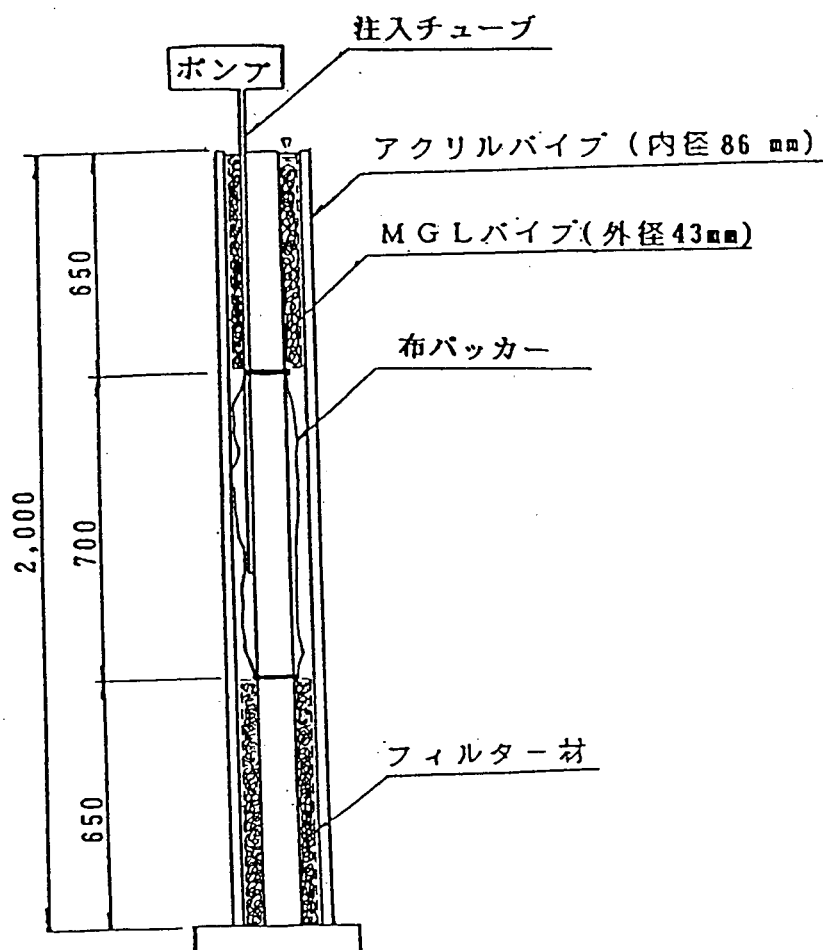


図-7.2.2 布パッカー注入実験

表-7.2.1 使用機材一覧表

ポンプ	モルタルポンプ (手動) . 吐出量 7 l / 分
フィルター材	ジオテキスタイル (合成繊維製) 厚さ $t = 20\text{mm}$
布パッカー	長さ $L = 700\text{mm}$ 直径 $\Phi 86\text{mm}$ 素材 ナイロン高強力糸
注入チューブ	内径 $\Phi 8\text{mm}$

⑤実験結果

1) 充填性

模擬ボーリング孔としてアクリルパイプを使った注入実験の注入後状況を写真-7.2.1に、また、塩ビパイプを使った注入実験の注入後状況を写真-7.2.2に示す。塩ビパイプを使った実験では、注入後パイプを縦に切断して充填状況を確認した。いずれもシール材の充填状況は良好と判断される。

表-7.2.2に布パッカーからのシール材浸出量をロス率として示した。布パッカーはナイロン繊維を素材としているため、シール材の若干の浸出は避けられないが、その量は今回の実験では、約5%と見積もられる。また、注入はいずれの実験も送液量を一定の速度で行なったが、その時の注入圧力は $1.0 \sim 1.1 \text{ kgf/cm}^2$ であり、布パッカーが満杯に近くなった状態で、 $1.4 \sim 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ を示した。

表-7.2.2 シール材浸出量

実験ケース	布パッカー 設計量 $X(\ell)$	注入量 $Y(\ell)$	ロス率 $(Y-X)/X(\%)$	平均ロス率 (%)
孔径 $\phi 107$ (塩ビパイプ使用)	5.28	5.62	6.4	4.4
孔径 $\phi 86$ (アクリルパイプ使用)	3.05	3.12	2.3	

2) フィルター材への浸透及び上部孔内汚染状況

写真-7.2.3にシール材注入後のシール区間上部の状況、写真-7.2.4にシール区間下部の状況を示す。布パッカーからの若干のシール材の浸出と孔内水の濁りが認められるが、少量でありフィルター材の目詰りは認められなかった。

(2) 注入実験B (孔壁への追従性)

④実験方法

図-7.2.3に示す様な装置でボーリング孔内にがある場合の布バッカー (ウレタン系シール材) の止水状況を調べた (使用機器は実験Aと同じである)。この実験は凸凹のある模擬ボーリング孔として内径 $\phi 100$ のエフレックス管を用いた。

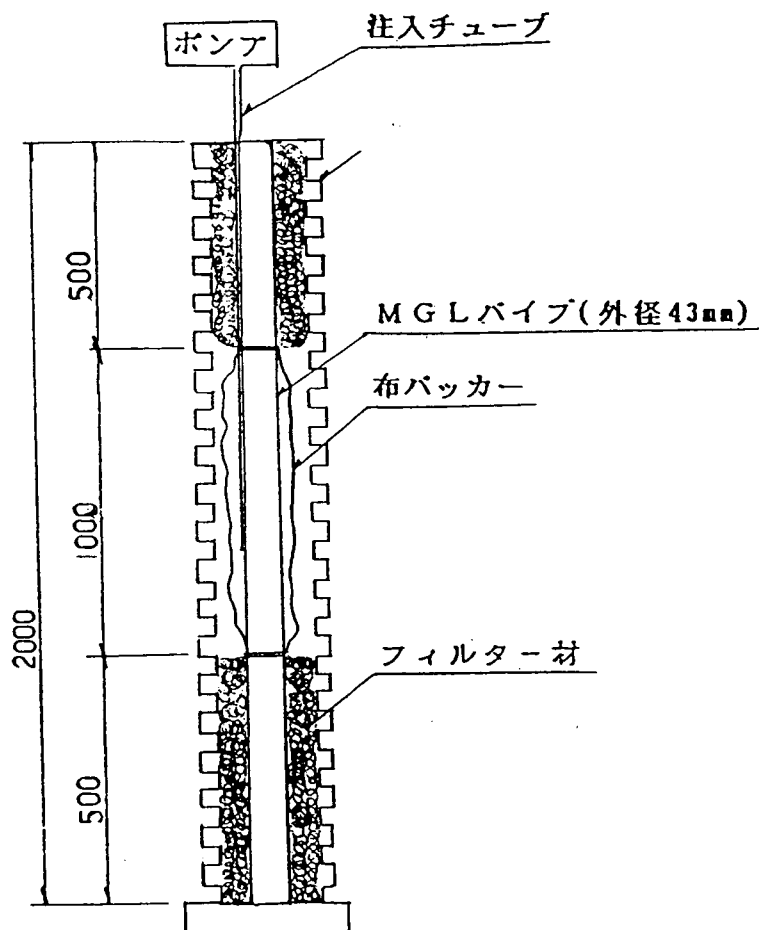


図-7.2.3 布バッカー注入実験

⑥実験結果

凸凹のある模擬ボーリング孔としてエフレックス管を使った注入実験の注入後状況を写真-7.2.5に示す (写真は注入後、パイプを縦に切断したものである)。これによれば、凸凹のある孔壁に対しては布バッカーより滲み出したウレタン系シール材が孔壁に追従して止水性を保っていることがわかる。

前記実験も含め、各種の性状実験、注入実験を経て改良した布バッカーの特徴は次のとおりである。

- (Ⅰ) ナイロン高強力系を使用しているので、破損が少ない。
- (Ⅱ) 縦方向は伸びが小さく、横方向の伸縮が大きいので鋼管への接着性・孔壁への追従性に優れている。
- (Ⅲ) 上下にゴムシートを取り付けてあるので、フィルター材を侵さない。
- (Ⅳ) モルタル、ウレタンを注入して止水を行なった実績がある。

以上により、ウレタン系シール材を布バッカーに注入する方法は有効であり、現場に適応可能であることが判明した。そこで、現場においては、図-7.2.5の注入量管理フローにしたがってシール材の注入量管理を行うこととした。

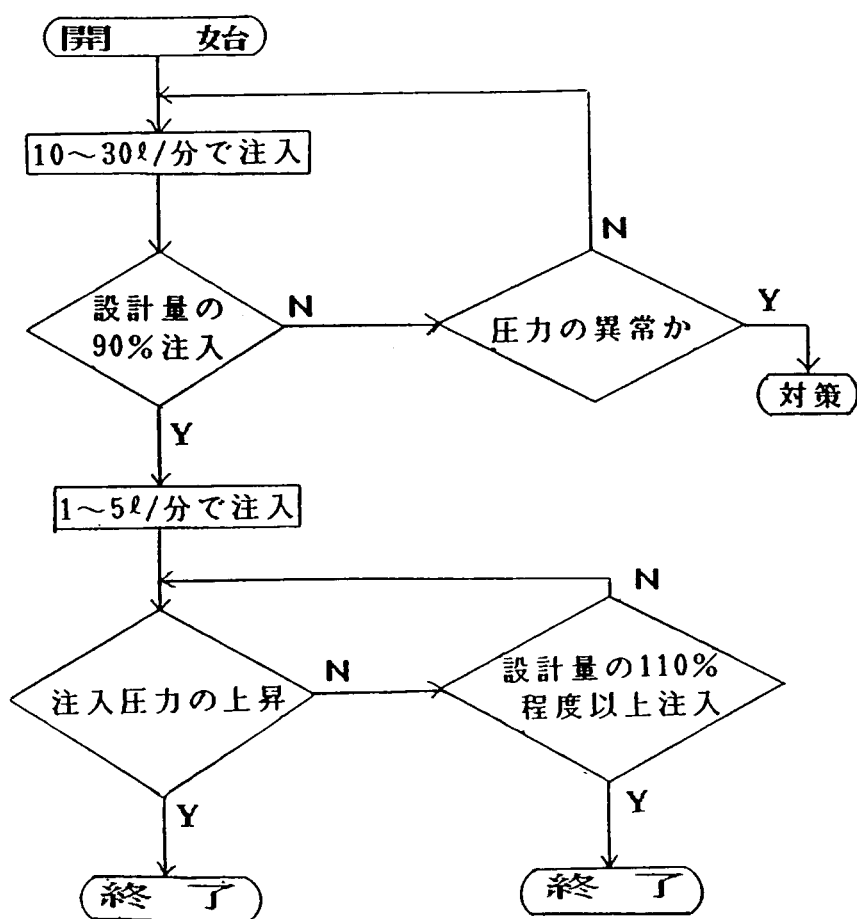


図-7.2.5 注入量管理フロー

【ウレタン系シール材の設置工】

(1) ウレタン系シール材による多段遮水方法の概要

ウレタン系シール材による多段遮水方法の特徴は、

- ①ウレタン系シール材は、無発泡性の親水性ウレタンを使用する。これは、均一高弾性ゲル（ゴム状）であり、孔壁の変形に追従しうる。
- ②シール材の周囲を拘束しない場合、注入固結後、約2週間で体積が無拘束状態であれば、50%程度吸水膨張する。したがって、止水が確実である。
- ③シール材は、布パッカー内に注入する。これは、設置位置の特定、シール材の拡散防止に有効である。
- ④フィルター材は、ジオテキスタイルを使用する。これは、設置位置の特定、フィルター材設置工程の省略に有効である。

このウレタン系シール材による多段遮水方法の概略図を図-7.2.6に、また、この遮水システムの詳細図を図-7.2.7に示す。

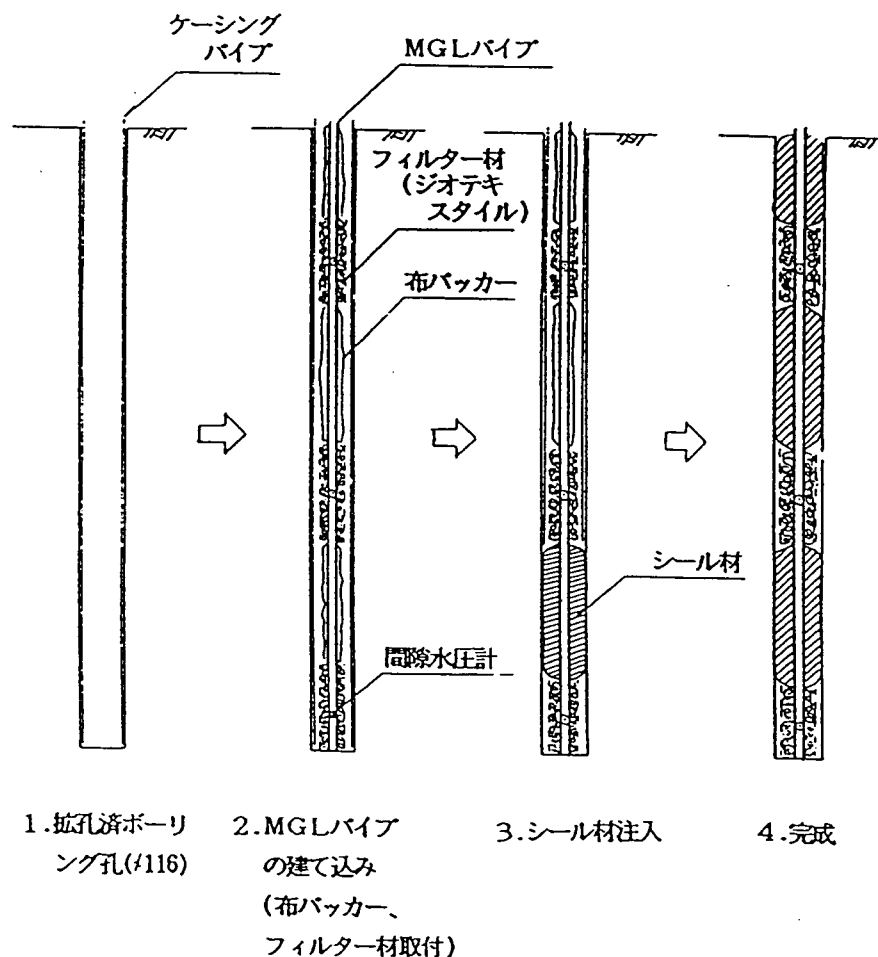


図-7.2.6 ウレタン系シール材による多段遮水方法概略図

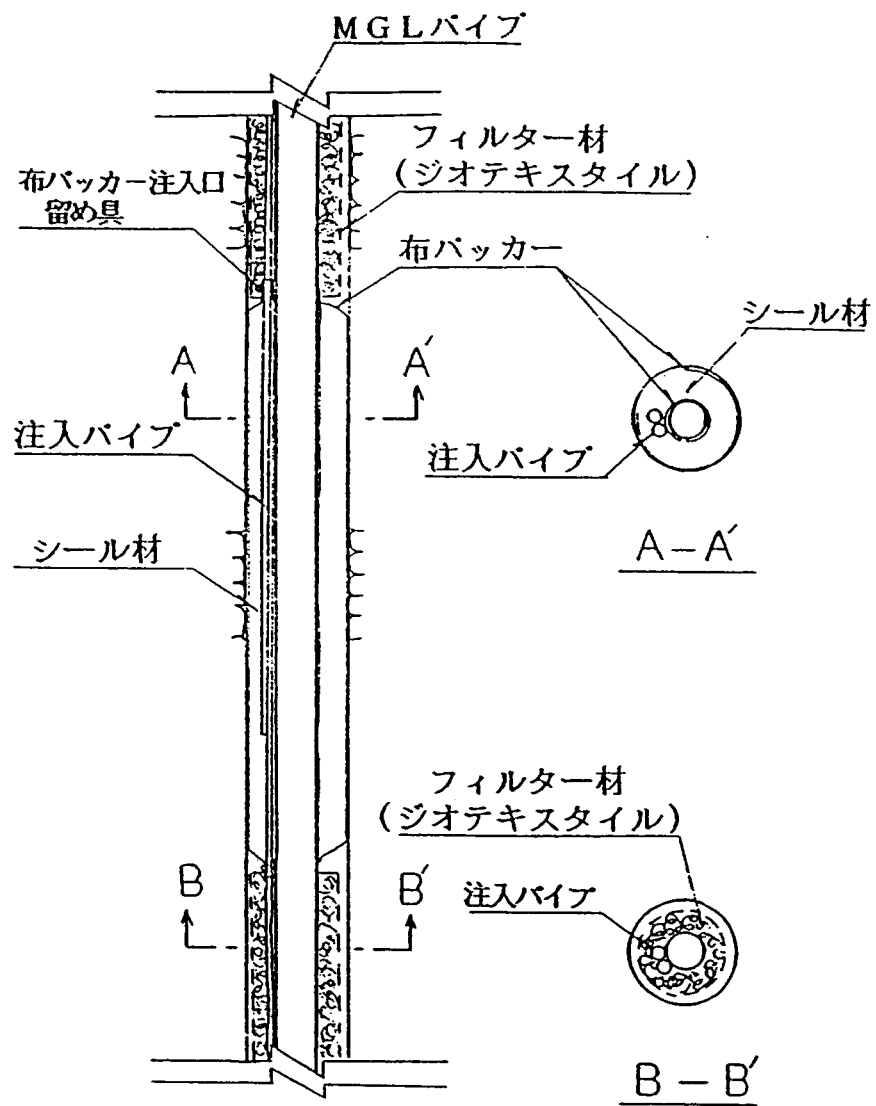


図-7.2.7 布バックー、ジオテキスタイルを用いた
多段遮水システム詳細図

(2) ウレタン系シール材の孔内設置工

概略の施工手順フローを図-7.2.8に示す。施工は、1) MGLパイプの建込、2) シール材の充填、3) シール効果の確認の順で行なう。

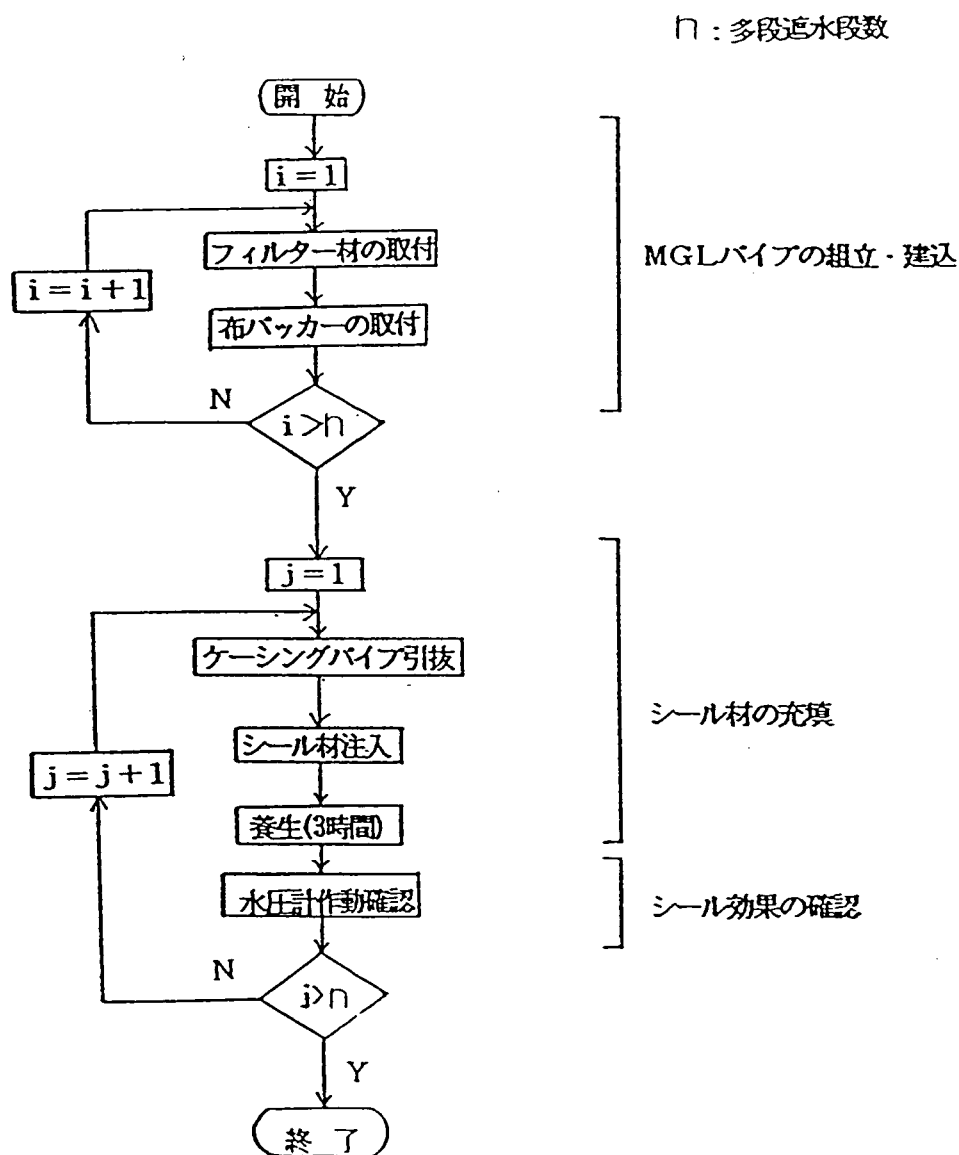


図-7.2.8 作業全体のフロー

1) MGLパイプ建込工

水圧計取付けパイプを設置する位置（深度）は、ボーリングコアの観察資料及び孔内水位の調査結果等から、定める。MGLパイプの組立・建込要領は以下の通りである。

- ①フィルター材は、耐久性にすぐれ、目詰りしにくいジオテキスタイルを使用する。
- ②フィルター材は、所定の幅に切ったジオテキスタイルを、MGLパイプに接着・固定させ、建込む。
- ③布バッカーは、MGLパイプを包み込む形で設置し、両端を確実に固定する。尚、注入ホースは、ジオテキスタイルの中に巻き込む。

2) シール材充填工

シール材の仕様を表-7.2.3に示す。現場での使用にあたっては、ボーリング孔内の温度条件、孔内水位等によって、表-7.2.3の配合を基本に、配合の変更（粘土、薬液量の修正）、硬化促進剤の使用を行ない、可使時間を調整する。

孔内に圧送する充填区間1.0m当りのシール材の量（Q）は、(7.2.1) 式より
(9.1+ a) ℓとする（孔径φ116 の場合）。

$$Q = Q' + a \dots \dots \dots (7.2.1)$$

$$Q' = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \times 10^{-3} \dots \dots \dots (7.2.2)$$

- Q : 孔内に圧送するシール材の量（ℓ）
D₁ : 孔径（cm）11.6cm
D₂ : MGLパイプの外径（cm）4.3cm
h : シール区間長（m）1.0m
a : 注入ホース内残留量及び孔荒れ等による追加充填量

表-7.2.3 シール材の仕様

薬液の種類	親水性ウレタン（ポリグラウト W-600）
粘土の種類	シールド用粘土（SCP-A）
配 合	粘土20%又は30%（全体重量に対する百分率） 水：ウレタン＝7：3
粘 性	300cps以下程度

シール材の充填手順を以下に示す。

- ①シール材充填区間の孔内ケーシングを引き抜く。
- ②所定量のシール材をハンドミキサを用いてミキシングする。このとき、粘土と水をあらかじめミキシングした後、ウレタンを入れて混合・攪拌する。再度、ミキシングする場合は、器具を十分洗浄してから用いる（図-7.2.9参照）。
- ③シール材の品質管理は、粘性測定によって行なう。
- ④シール材をポンプにより、布パッカーに注入する（図-7.2.10 参照）。
- ⑤注入量は図-7.2.5のフローに従って管理する。
- ⑥注入完了後、ボーリング孔口許でホースを切断し、ポンプを清掃する。
- ⑦注入完了後、3時間以上養生する。

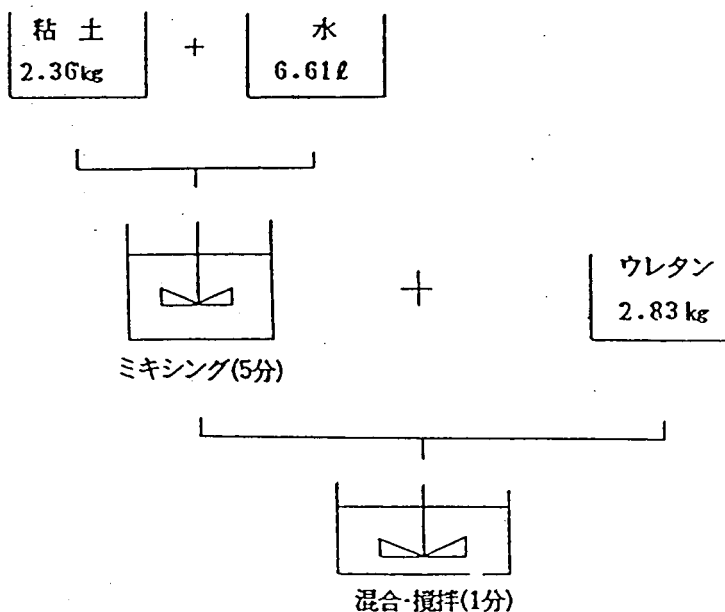


図-7.2.9 シール材ミキシング方法
(配合 A)

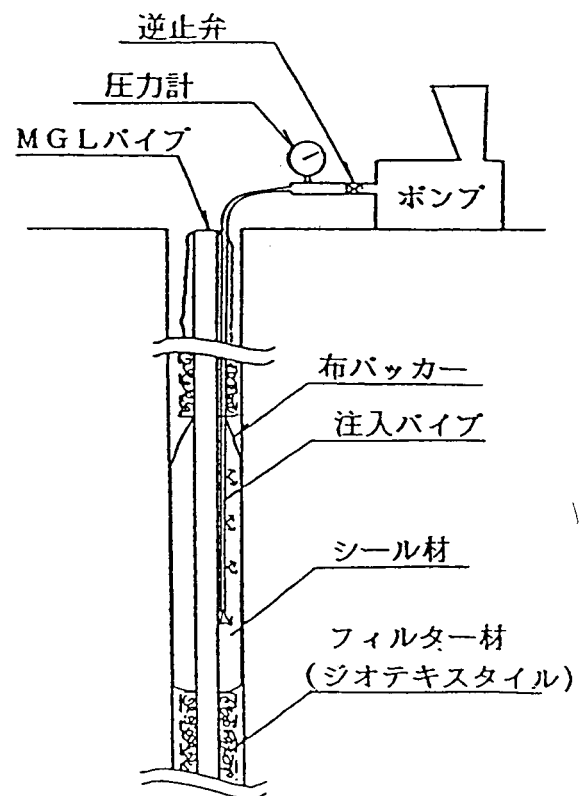


図-7.2.10 シール材の充填

3) シール効果の確認

シール材を注入し養生した後、孔内水位を注水により上昇させ、シール区間上下の水圧を測定し、シール効果を確認する。

このとき、孔内水位上昇に対して水圧計 A が追従し、水圧計 B が反応しなければ、シールが正常に施工できたものと判断する（図-7.2.11 参照）。

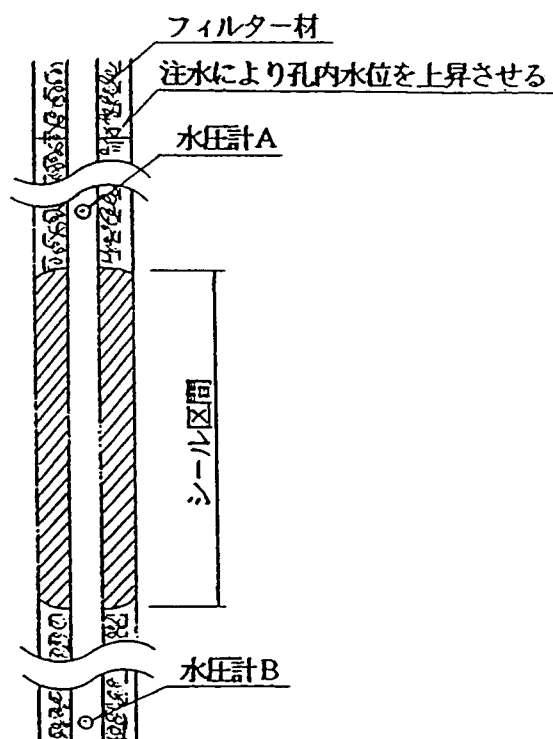


図-7.2.11 シール効果の確認

(3) 実験C (布パッカーの止水性確認実験)

②実験方法

図-7.2.12 に示すような10mの模擬ボーリング孔を作り、ポンプにてウレタン系シール材を注入し養生した後、バルブを通して布パッカーに加圧し、その止水性を確認した。

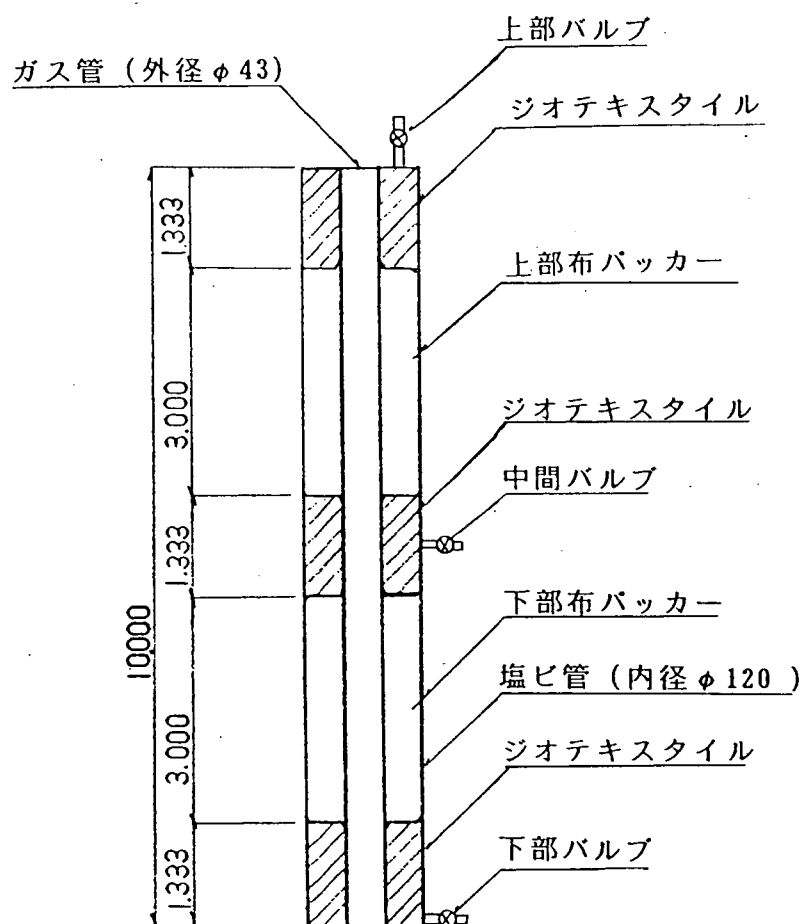


図-7.2.12 布パッカーの止水性確認実験

①実験結果

表-7.2.4に実験Cの加圧条件、実験結果等を記す。

表-7.2.4 布バッカー止水性確認実験

バッカー	加圧場所	加圧 (kgf/cm ²)			上 部 バルブ	中 間 バルブ	下 部 バルブ	加圧時間 (時間)	漏水量 (cc)	透水係数 (cm/s)
		圧 力	水頭差補正	実質圧力						
下 段	中間バルブ	2.5	0.5	2.0	閉	—	開	24	2.4	4.23×10^{-8}
		5.5	0.5	5.0	閉	—	開	24	0.5	3.67×10^{-9}
上 段	上部バルブ	3.0	1.0	2.0	—	開	閉	24	15.0	2.64×10^{-7}
		6.0	1.0	5.0	—	開	閉	24	473.1	3.33×10^{-6}

上表より透水係数の対数平均を求めると $k = 1.08 \times 10^{-7}$ (cm/s) となった。これは、布バッカーが十分止水性をもつことを表わしている。

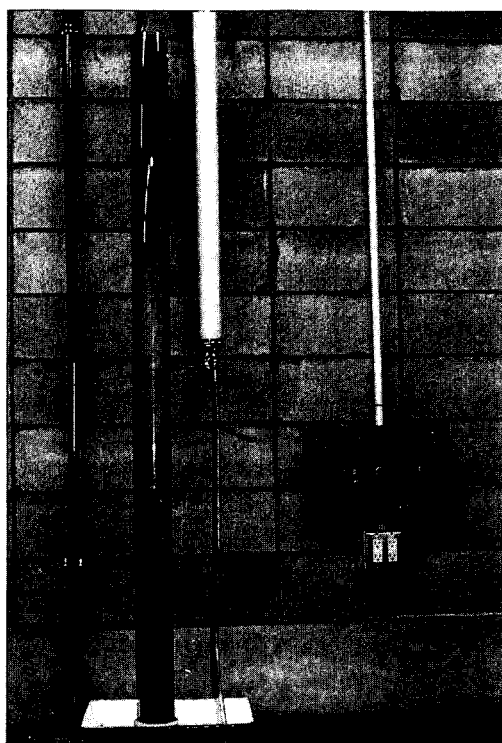


写真-7.2.1 注入実験 A (アクリルパイプ使用)

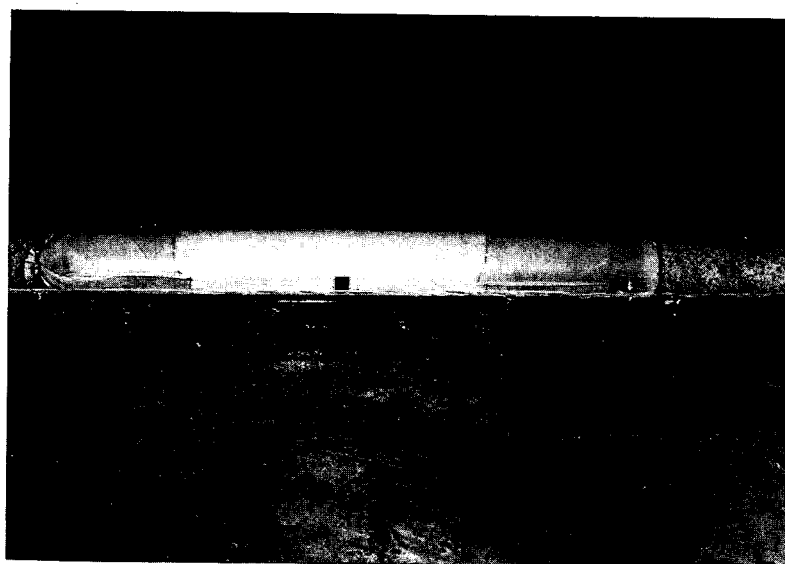


写真-7.2.2 注入実験 A (塩ビパイプ使用)

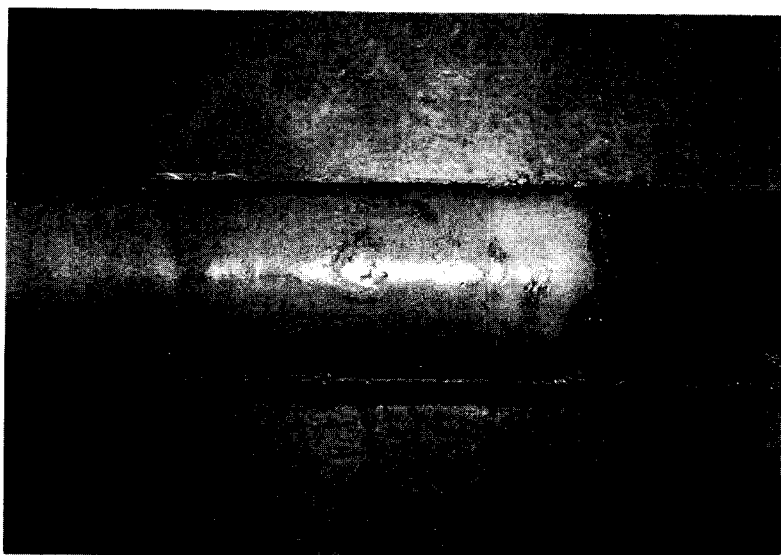


写真-7.2.3 注入実験 A
シール区間上部

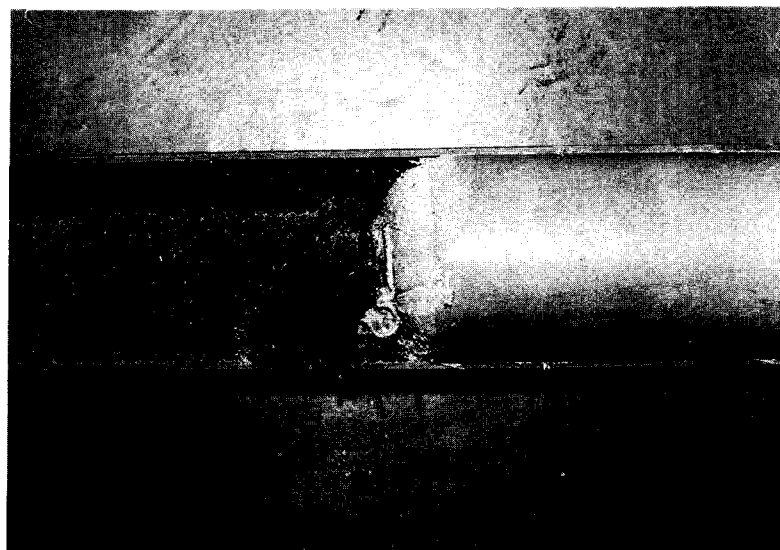


写真-7.2.4 注入実験 A
シール区間下部

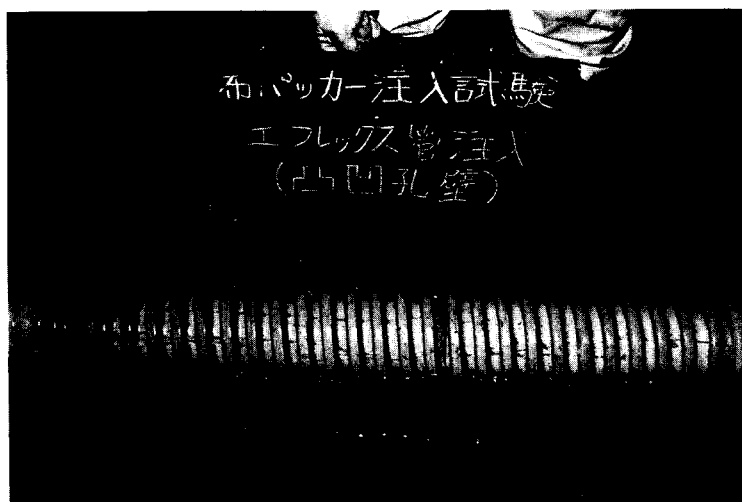


写真-7.2.5 注入実験 B
(エフレックス管使用)

7.2.2 エポキシ系シール材

エポキシ樹脂の設置に関する諸問題を解決するため、つぎのような実験を行った。

- ・エポキシ樹脂の設置に関する野外実験
- ・エポキシ樹脂のフィルタ層への浸透に関する実験
- ・エポキシ樹脂硬化時の温度上昇と周辺への影響に関する実験

これらの実験について、以下に概略を述べる。

1) 野外設置実験

(1) 目的

本実験の主な目的は、次のようなものである。

- ・圧送管を使用して、圧送圧力と圧送量の関係を把握する。
- ・エポキシ樹脂のフィルタ層への浸透量を把握する。
- ・エポキシ樹脂の温度上昇量を把握する。
- ・エポキシ樹脂設置位置を確認する手法を開発する。
- ・実施工での問題点を抽出する。

(2) 実験方法

生コンプラントの施設を利用することにより18mの落下高さを確保して、エポキシ樹脂の設置に関する種々の実験を行った。

(3) 結果

a. エポキシ樹脂圧送圧力

1/4" のガス管16.5mを鉛直に立て、上部からエポキシ樹脂を圧送して管内圧力を測定した(図-7.2.13)。

この結果、圧送量0.22 L/min に対して、管内圧力は、最も大きい上段で1.7 kgf/cm^2 、圧送管1本(5.5m)当たりの圧力損失は0.6 kgf/cm^2 となった。

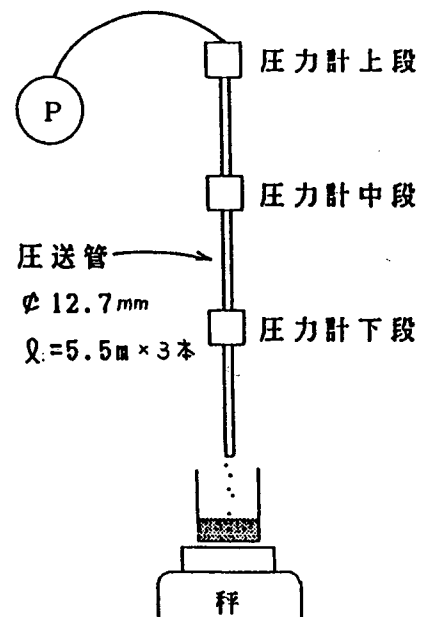


図-7.2.13 圧送圧力測定実験

b. エポキシ樹脂注入

ボーリング孔にみたてたビニールホース（内径10cm）に水を入れ、フィルタ材（砂）を投入した後、エポキシ樹脂を注入して、硬化の様子等を観察した（図-7.2.14）。

実験では、硬化時にエポキシの温度が140℃になった。このためエポキシ樹脂注入時にとりこまれた僅かな水が沸騰し、止水性のある層は形成されなかった。このことから、硬化時の温度は、100℃以下にする必要があることが判明した。

なお、注入管内の圧力は1.0kgf/cm²、フィルタ層へのエポキシ浸透長は、2cmであった。管内圧力がaで述べた結果に比べて低かったのは、エポキシ樹脂の温度を上げて粘度の低下をはかったためである。

c. エポキシ設置位置の確認

b.の実験に先だって電気抵抗方式のエポキシ面確認センサーをエポキシ樹脂注入予定深度に設置し（図-7.2.14）、エポキシ面がセンサーに到達する前後の指示計の値を記録した。

この結果、エポキシ面の到達によって指示値は大きく変化し（図-7.2.15）、当センサーがエポキシ面の位置確認に有効であることが確認された。

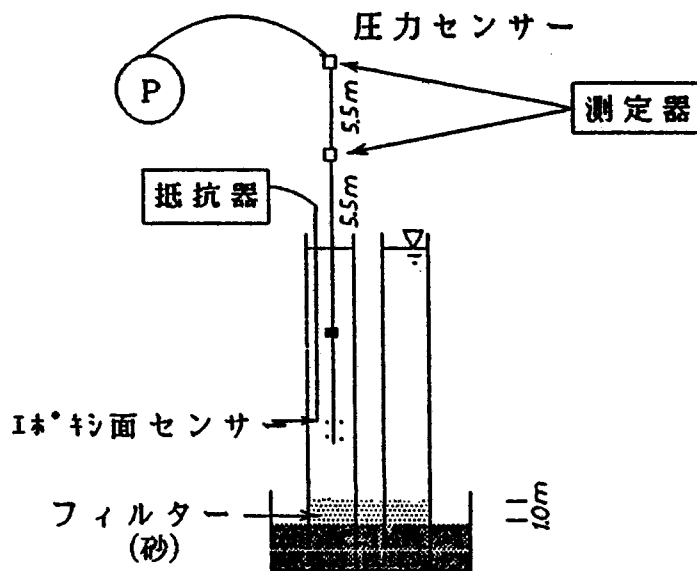


図-7.2.14 エポキシ樹脂注入実験

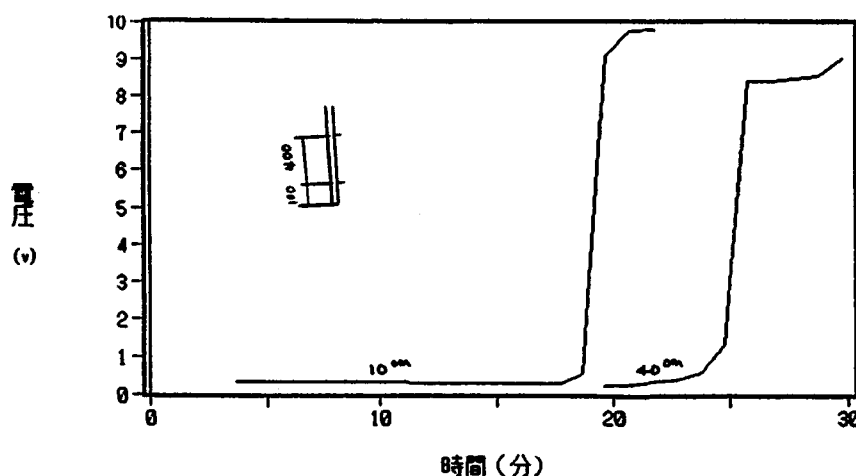


図-7.2.15 エポキシ面確認センサーの挙動

2) フィルタ層への浸透実験

(1) 目的

エポキシ樹脂は浸透性の優れた材料であるため、注入時にフィルター層中へ浸透し水圧計に悪影響を及ぼす可能性がある。本実験の目的は、エポキシ樹脂の粘度やフィルタ材の粒度がエポキシのフィルタ層への浸透長に及ぼす影響を調べ、施工に際してのそれらの条件を決定することである。

(2) 実験方法

アクリルパイプ（内径9.7cm、長さ33cm）内にフィルタ材を投入し飽和させた後、上部にエポキシ樹脂を流入し、液面上部に3kgf/cm²の空気圧をかけてエポキシ樹脂のフィルタ層への浸透長を測定した。実験装置を図-7.2.16に示す。使用した材料は次のものである。

フィルタ材：粒径1～2mmの砂、豊浦標準砂

シール材：エポキシ樹脂（増粘剤添加量と温度コントロールにより粘度をかえた）

(3) 結果

フィルタ材として粒径1～2mmの砂を用いた場合には、エポキシ樹脂は20cm以上浸透した。一方、フィルタ材として豊浦標準砂を用いた場合には、浸透長を5～10cmに抑えられることが確認出来た。豊浦標準砂を用いた場合の浸透時間と浸透長の関係を図-7.2.17に、同じくエポキシ樹脂の粘度と最終浸透長の関係を図-7.2.18に示す。

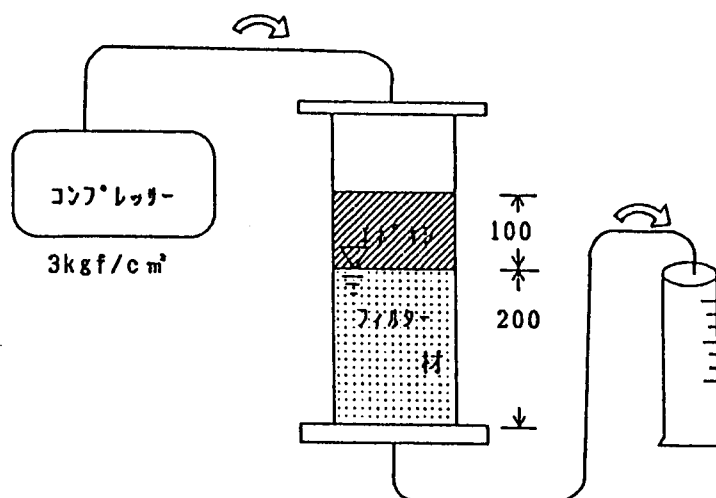


図-7.2.16 浸透実験

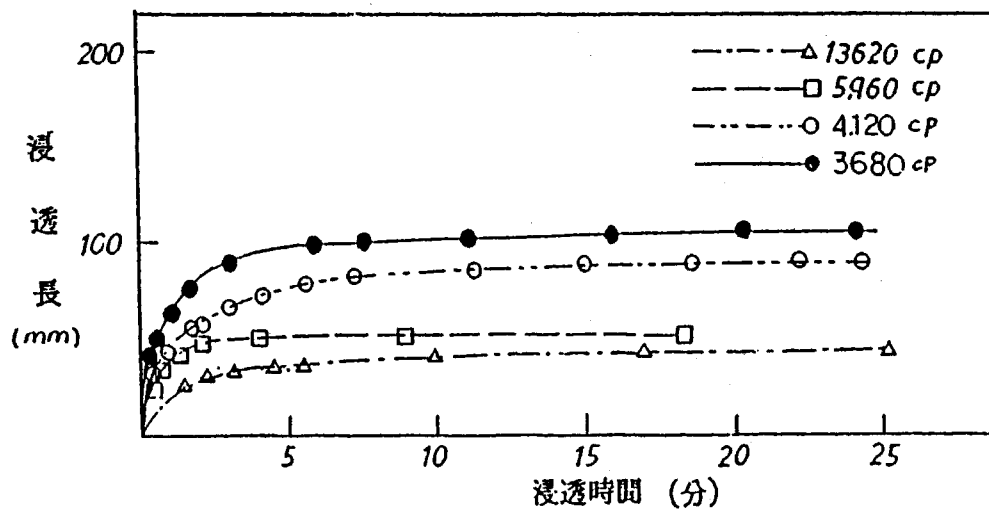


図-7.2.17 浸透時間と浸透長（豊浦標準砂）

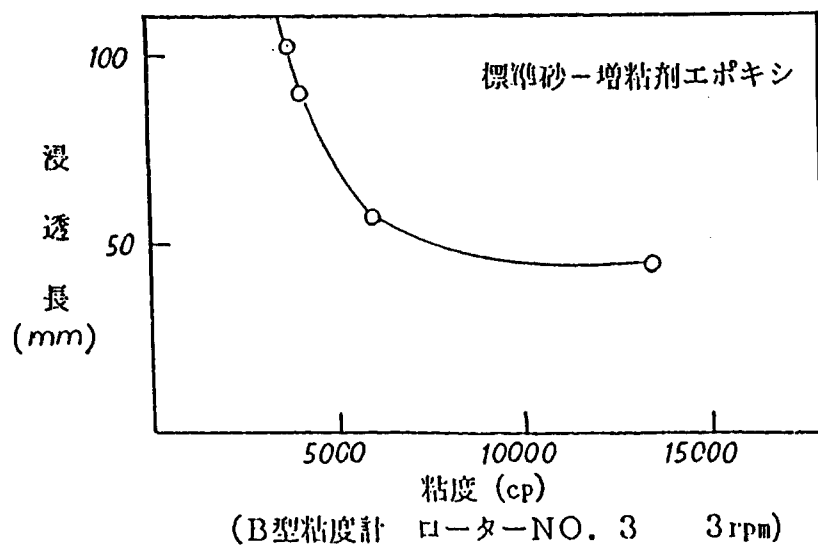


図-7.2.18 粘度と最終浸透長（豊浦標準砂）

3) 岩盤内温度上昇実験

(1) 目的

多段遮水に使用する水圧計の耐熱温度は60℃とされている。エポキシ樹脂は硬化時に100～200℃（断熱時）の発熱をするので、水圧計に与える影響を調べておく必要がある。

本実験の目的は、施工時に岩盤内（開放系）で生じるエポキシ樹脂およびその周辺の温度上昇を推定することにより、水圧計に悪影響を与えない樹脂を選定することである。

(2) 実験方法

実験には、岩盤を想定したモデル（図-7.2.19）を使用した。このモデルは、径55cm、高さ39cmのコンクリート製で、中心部に径11cmの孔が開いている。この孔内にMGLパイプを設置して、エポキシ樹脂を流入し、硬化時の樹脂およびモデル内部の温度上昇量を測定した。実験に使用したエポキシ樹脂は、断熱温度上昇量や硬化時間の異なる6種類（表-7.2.5）である。

表-7.2.5 使用材料の断熱温度上昇試験結果

項目 材料	初期温度 (℃)	最高温度 (℃)	最高温度までの時間 (分)
①	15	193	55
②			
③	13	95	200
④			
⑤	13	127	74
⑥	13	122	105

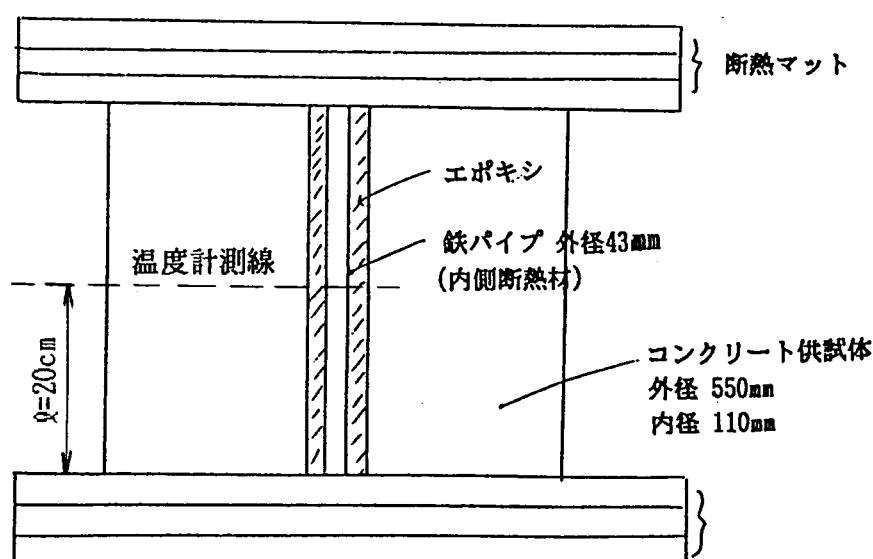


図-7.2.19 温度上昇実験モデル

(3) 結果

図-7.2.20, 7.2.21は材料⑥を使用したときの、樹脂およびコンクリート内部の温度変化を示したもので、各計測点は放射線上に並んでいる。これらの図より、温度は中心部に近い程高く、また、孔壁から10cm離れたコンクリート内部の温度上昇は、2℃程度であることが分かる。

エポキシ樹脂の最高温度（パイプに接する位置）と孔壁から2cm離れたコンクリート内部の温度を各樹脂について表-7.2.6に示す。断熱温度上昇が130℃以下の樹脂を使用すれば、孔内での樹脂の温度を60℃以下に抑えられることが分かる。

また、FEM熱伝導解析によりエポキシ樹脂が発熱しても水圧計の上下に設置されるフィルタ層が熱を吸収するので計器近傍の温度上昇にはほとんど影響しないことが分かった。

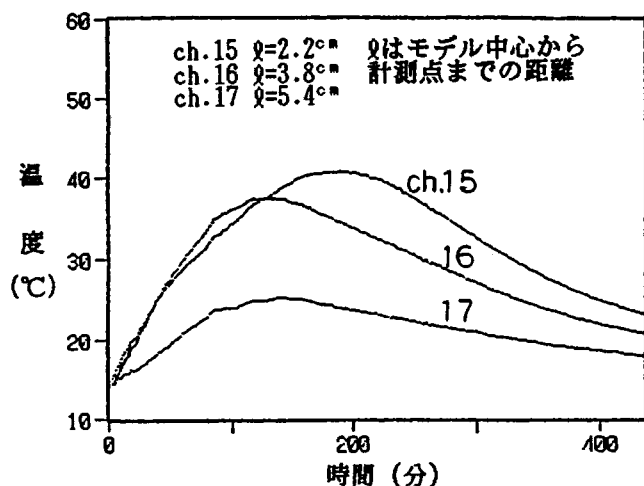


図-7.2.20 温度上昇曲線（エポキシ内）

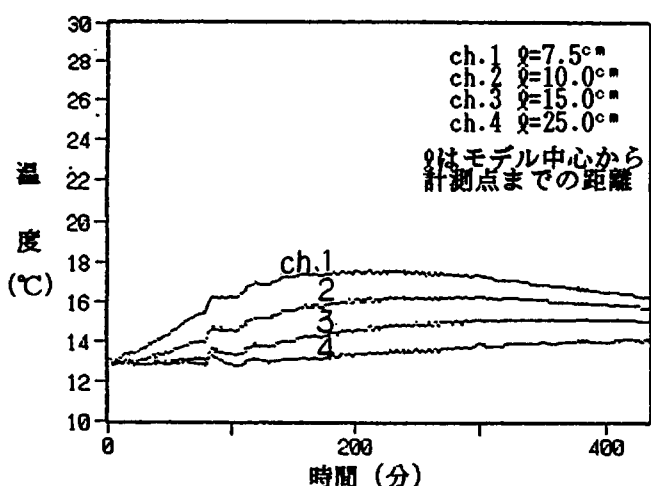


図-7.2.21 温度上昇曲線（コンクリート内）

表-7.2.6 結果一覧表

材料	断熱試験時の 最高温度 (℃)	初期温度 (℃)	注入試験時の最高温度 (℃)	
			エポキシ (ch.15)	コンクリート (ch.1)
①	15→193	13	141	24
②		13	98	22
③	13→95	13	27	16
④		13	32	17
⑤	13→127	13	53	18
⑥	13→122	13	41	18

7. 2. 3 セメント系シール材

セメント系シール材の設置に関し、下記の実験および検討を行った。

- ① フィルタ材中への浸透実験
- ② 設置方法の検討
- ③ 使用機器の検討
- ④ 設置位置の確認方法の検討

以下に、これらの実験および検討について述べる。

(1) フィルタ材中への浸透実験

(a) 目的

セメント系シール材が、フィルタ材（砂）中へほとんど浸透しないことを確認する。

(b) 実験方法

アクリルパイプ（内径 5cm、長さ18cm）内にフィルタ材をゆるく詰め（間隙率 38 %）、その上にセメント系シール材を流し込み、コンプレッサーを用いてシール材の上面を 6kgf/cm^2 で加圧した状態で放置し、シール材の浸透長を調べた（図-7.2.22参照）。

なお、実験に使用したシール材およびフィルタ材は下記のとおりである。

シール材 …… セメント系シール材（配合は、表-7.2.7 参照）

フィルタ材 …… 海砂

(c) 実験結果

5時間経過後の浸透長は約 2cmであり、実用上問題がないことが確認できた。

(2) 設置方法

本シール材は、フィルタ材（砂）中へはほとんど浸透しない（フィルタ材中への浸透実験）。また、超速硬性でかつ粘性が高いことから孔外への逸出量も少ないと予想できる。以上から、特別な設置方法を講じなくとも問題は生じないと判断し、図-7.2.23に示すように注入管と注入ポンプを用いて孔内へ圧送し、そのままの状態を設置することにした。

ただし、孔内水とシール材とを完全に置換させ、か

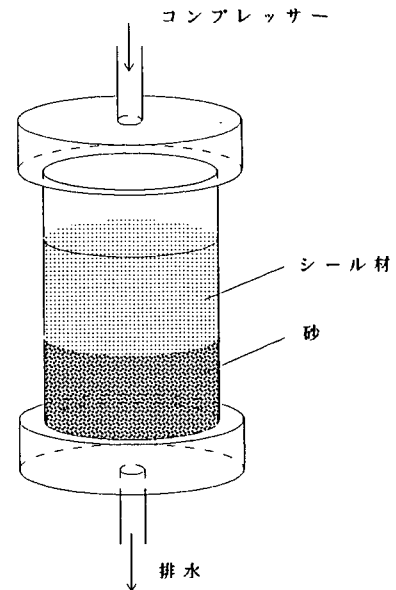


図-7.2.22 浸透実験装置

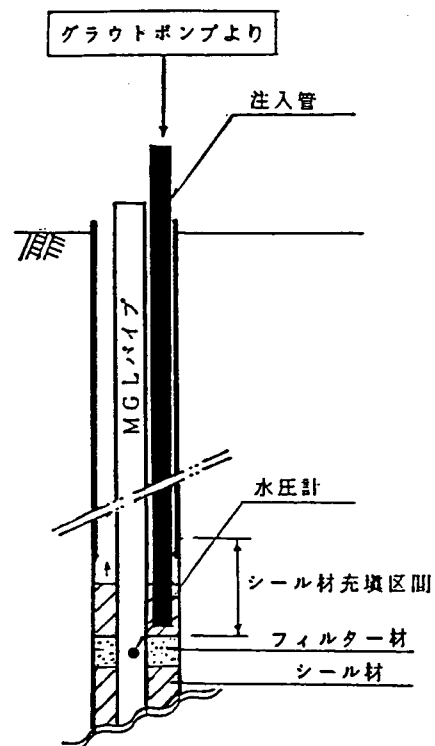


図-7.2.23 セメント系シール材の設置方法

つシール材の孔内水中への拡散を防止するため、充填区間の最下部付近まで注入管を挿入したうえで注入作業を行う必要がある。

(3) 使用機器

注入管の形状および設置に必要な注入ポンプの最低限の能力について検討する。

(a) 注入管

本シール材は、粘性が高い(6200cP, 20℃)ことから、管内圧力損失が大きく、必然的に大きな圧送圧力が必要である。一般的に用いられる注入ポンプの能力には限度があるため、汎用性を考慮すると圧送圧力は小さいほうが望ましい。そのためには、管内圧力損失は管径の二乗に反比例して大きくなることから、注入管の径をできるだけ太くすることが、効果的である。

注入管がとりえる最大径は、ボーリング孔内にMGLパイプを挿入した状態で、残されているクリアランスにより規定される。現実には、保孔を目的とするケーシングパイプ(以下、単にケーシングと記す)がボーリング孔内に挿入されていることが多いため、ここではその内径とMGLパイプの外径に着目し、注入管の外径を決定する。

孔径 116mm用のケーシングの内径は、90mmである(材質により若干異なる)。この中に外径43mmのMGLパイプを挿入すると、残されたクリアランスは47mmである。この状態で、注入管の挿入作業空間として 15mm 程度は必要であるため、使用可能な注入管の外径は 32mm である(図-7.2.24参照)。

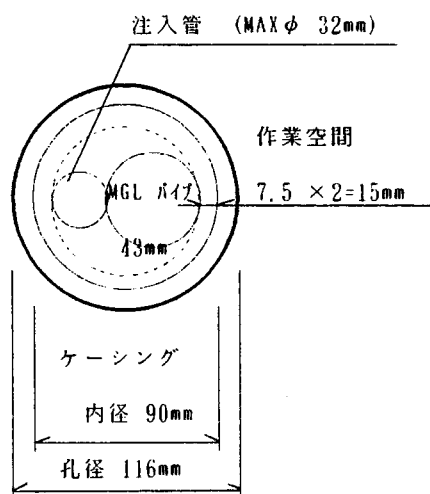


図-7.2.24 孔内のクリアランス

以上の条件に合うものとして、外径 30mm、内径 21mm の鋼製管を作成し、これを注入管とした。

(b) 注入ポンプ

ここでは、下記の作業条件でMGLパイプを埋設するために必要な注入ポンプの能力について検討する。

＜作業条件＞	a. ボーリング孔径	: 116 mm
	b. ボーリング孔長	: 100 m
	c. 地下水圧測定点数	: 5点
	d. 最長シール区間長	: 30 m
	e. 使用する注入管	: 外径 30.0 mm、内径 21.0 mm

(i) 吐出量

本シール材の可使時間と注入量との関係から、注入速度の下限を決定する。すなわち、下限度を下回る注入速度では、注入作業中にシール材の硬化が始まり、所期の目的を達しないことになる。

注入量は、孔膨れおよびシール材の孔外逸出がないものとして、式(7.2.3) から算出する。本式よ

りシール材充填対象区間 1m あたりの注入量が 9.1ℓであるから、上記の条件である最長シール区間長 30mでの注入量は 273ℓである（シール区間長とは、二つの測定点間の距離、厳密にはフィルタ間の距離を意味する）。

$$Q = \{ (D/2)^2 - (d/2)^2 \} \times \pi \times L \times 10^{-3} \quad \dots \dots \dots (7.2.3)$$

ここで、 Q : 注入量 (ℓ)
D : ボーリング孔径 (cm) ————— 11.6cm
d : MGLパイプの外径 (cm) ————— 4.3cm
π : 円周率
L : シール区間長 (cm)

セメント系シール材の可使時間は70分（20℃）であるが、ミキシング時間および余裕の時間をとって注入作業時間は40分以内にすることが望ましい。したがって、注入量 273ℓに対する注入速度の下限値は約 7ℓ/minであり、注入に用いるポンプにはこれ以上の吐出能力が必要である。

(ii) 吐出圧力

採用した注入管（外径 30 mm, 内径 21mm）を用いて本シール材を孔内に設置するために必要な最低限の吐出圧力を調べる目的で管内圧力損失試験を実施した。試験にあたっては、先の物性試験に供した配合のうち表-7.2.7 に示すものを用いた。

表-7.2.7 シール材の配合

水・セメント比 (%)	増粘剤添加量 (%)	セメント (kg)	水 (kg)	増粘剤 (kg)	作液量 (ℓ)	備 考
100	0.85	75	75	0.637	100	フロー値 : 30秒 ブリージング: 0%

注) 使用材料 ・セメント : ライオンハイセット (大阪セメント㈱)
・増粘剤 : ユニショット A-10 (第一工業製薬㈱)
・水 : 水道水 17℃

管内圧力損失試験の使用機器を表-7.2.8 に、配管を図-7.2.25に示す。

試験はシール材を循環させながら行い、自動流量制御装置を用いて流量を 1.0、2.5、5.0、10.0 および18.0ℓ/minとしたときの圧力損失を求めた。

表-7.2.8 使用機器

名称	機種名 (メーカー)	数量	備 考
グラウトポンプ	HFV-40 (ヤマト)	1台	
グラウトミキサー	MVM-5 (東邦地下)	1台	
グラウト流量計	FPC-100-30 (明昭)	1台	流量・圧力コントローラ付
圧力計		2個	ブルドン管式
注入管		30 m	外径 30mm、内径 21mm
グラウトホース 配管材・他		1式	サクションホース 2インチ その他ホース 1インチ

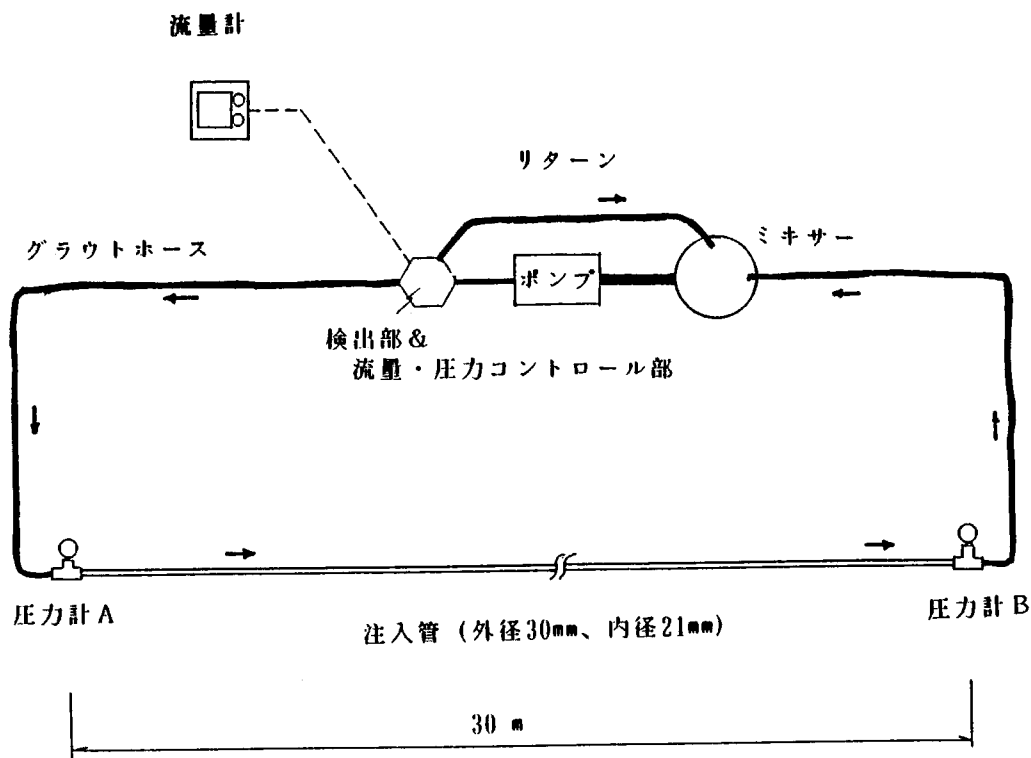


図-7.2.25 管内圧力損失試験の方法

試験結果を表-7.2.9 および図-7.2.26に示す。なお、注入管の内径が既知であることから、管内を流れるシール材の平均流速(V)を式(7.2.4)から求め、図-7.2.26に併記する。

$$V = \frac{1000 \times Q}{60 \times D} \quad \dots \dots \dots (7.2.4)$$

ここで、 V: 平均流速 (cm/sec)
 Q: 流量 (ℓ/min)
 D: 管の断面積 (cm²) ... 3.46 cm²

設定したシール最長区間長と可使用時間との関係から求めた最低限の注入速度 7ℓ/minに対応する1.0m当りの管内圧力損失は図-7.2.26より 0.14 kgf/cm²であるから、圧送距離(=ボーリング孔長) 100m当りの管内圧力損失は14kgf/cm²である。したがって、注入に用いるポンプには、これ以上の吐出能力が必要である。

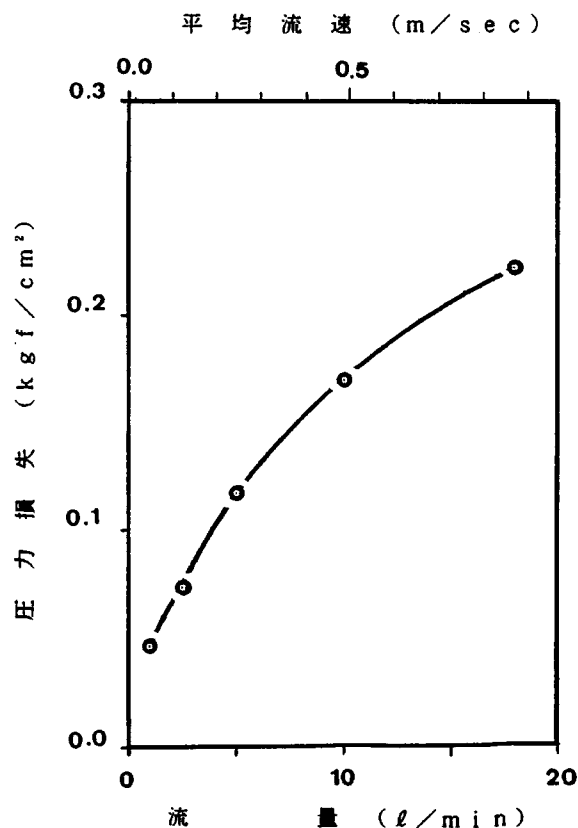


図-7.2.26 流量・平均流速と管内圧力損失 (1mあたり) の関係

表-7.2.9 管内圧力損失試験の結果

流 量 (Q) (ℓ/min)	測定圧力 (kgf/cm ²)		圧力損失 (ΔP) ΔP = P _a - P _b (kgf/cm ²)	測定区間長 (L) (m)	1m 当たりの 圧力損失 (Δp) Δp = ΔP / L (kgf/cm ²)
	圧力計 A (P _a)	圧力計 B (P _b)			
1.0	2.2	0.8	1.4	30	0.046
2.5	3.7	1.5	2.2		0.073
5.0	6.0	2.5	3.5		0.117
10.0	8.2	3.1	5.1		0.170
18.0	9.9	3.3	6.6		0.220

(iii) まとめ

意図する作業を行うために必要な注入ポンプの最小限の能力を表-7.2.10に示す。

なお、汎用のグラウトポンプであれば、表-7.2.10に示した以上の能力があるため、現場作業において、特殊なポンプを用意する必要はない。

表-7.2.10 ポンプに求められる
必要最小限の能力

吐出量	7.0 ℓ/min
吐出圧力	14.0 kgf/cm ²

(4) 設置位置の確認方法

シール材の過剰充填は、フィルタ材充填区間を侵してMGLパイプに内蔵する水圧計まで埋め殺すことになるため、避けなければならない。過剰充填の基本的防止対策はシール材充填対象区間の容積以上のシール材を孔内に注入しないことであるが、不測の事態に備える意味からも、シール材が硬化する前にその液面の位置を知る必要がある。また、硬化後のシール材上面の位置を知ることは、所定の位置まで充填されているか否かを判定し、次のフィルタ材の投入量を決める上で重要である。

ここでは、硬化する前のシール材の液面位置の測定方法と硬化後のシール材上面の深度測定方法について述べる。

(a) シール材の液面位置の測定方法

シール材の液面は孔内にあるため、それを目視により直接確認することは不可能である。また、棒状のものを孔内に挿入しても、液体であることから手応え等により判断することもできない。したがって、何らかの物理量を測定し、これから間接的に判断することになる。孔内水がない場合には、触針式の水圧計と同じ原理で電気抵抗値を測定すればシール材の液面の位置を知ることができる。しかし、孔内水位よりも下位にシール材の液面がある場合には、孔内水とシール材の抵抗値に大きな違いがない限り、両者を区別することは困難である。そこで、これ以外の方法により孔内水と本シール材

とを区別する簡易な方法を検討し、以下の方法および装置を提案した。

一般的に地下水は無色透明であるため光の透過度が高いのに対し、本シール材はセメントを主とする懸濁液であるため透過度が非常に悪い。この違いに着目し、図-7.2.27に示す孔内挿入式のシール材液面感知装置を作成した。本装置は光源（豆電球）と光センサー（Cds チップ）とを一体にしたもので、使用した光センサーは光の強さにより抵抗値が変化するタイプのものである。ここで、孔内に挿入した本装置の光センサーと光源の間に懸濁液であるシール材が入り込むと、光源からの光が減衰するため、光センサーの抵抗値は変化する。したがって、地上でテスターを用いて光センサーの抵抗値を測定することによりシール材の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の位置測定方法

硬化後のシール材上面の位置（以下、単に充填深度と記す）を測定する方法および装置について以下に述べる。充填深度を測定するため、図-7.2.28に示す孔内挿入式の深度測定装置を作成した。本測定器の先端にはプッシュ式のスイッチが装着されており、これに何かが接触し、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、地上でテスター等を用いてスイッチの“ON-OFF”を判断すれば、容易に充填区間の上面深度を知ることができる。

なお、充填深度の測定に際しては、孔壁の乱れ等による誤作動を防止するために、MGLパイプと孔壁の隙間にφ30mm程度の管を充填予定深度の上部付近まであらかじめ挿入しておき、その中に本測定装置を挿入して用いることが望ましい。

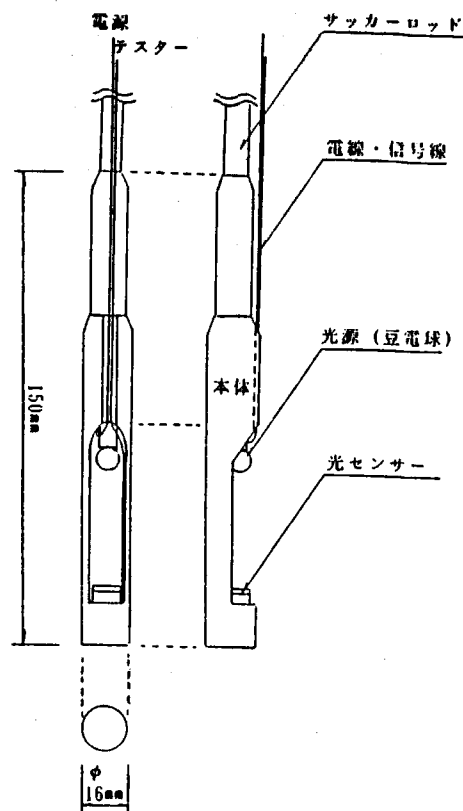


図-7.2.27 シール材の液面感知装置

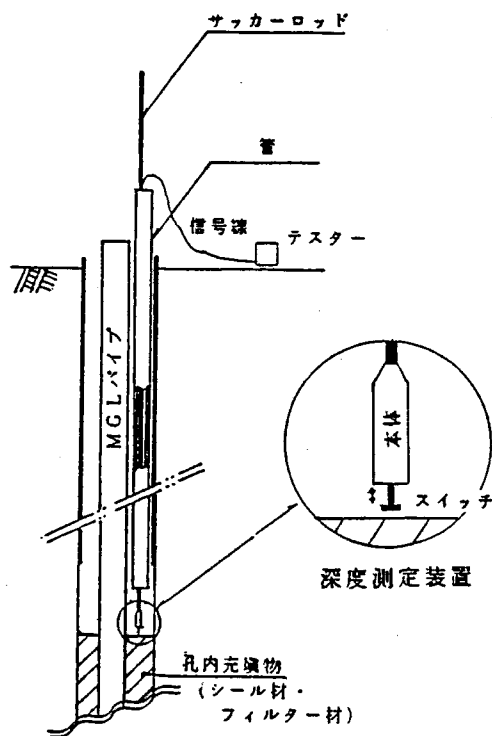


図-7.2.28 深度測定装置

7.3 フィルタ材の設置

7.3.1 砂フィルタ（対エポキシ系シール材）

砂フィルタは、砂を地上から孔内に自由落下させて設置することを基本とした。この際、砂の供給方法と設置位置の確認手法を確立しておく必要があり、実験を行った。

以下に、これらの実験について概略を述べる。

1) 砂フィルタ設置実験

(1) 目的

本実験の目的は、次のとおりである。

- ・孔詰まりを起こさず、所定の位置まで確実に砂が沈降するような砂の供給方法を確立する。
- ・砂フィルタの性状を把握する。

(2) 実験方法

ビニールホース（内径25mm）17.6mを高所より下げ、ホース内に水を満たした後、上端より乾燥砂を投入して砂の沈降状況を観察した。投入速度を一定に保つため、砂はロートを介して投入した。

使用したロート : 口径 5, 10, 13, 17mm

砂の種類 : 豊浦標準砂、川砂 (0.84 ~ 2.0mm)、川砂 (2.0 ~ 5.0mm)

(3) 結果

水中での砂の沈降速度は空中での落下速度よりも小さいので、ロート径が大きくなって砂が多量に供給された場合には、沈降が間に合わなくなり孔内水面の上部で閉そくすることがあった（図-7.3.1）。ロート径と砂の供給量の関係を図-7.3.1に示す。×印は閉そくしたことを示す。標準砂を使用した場合、1分間当たり0.8kgf以下の供給量では閉そくしない。

表-7.3.1 ロートによる砂の供給量

単位 (kgf/min)

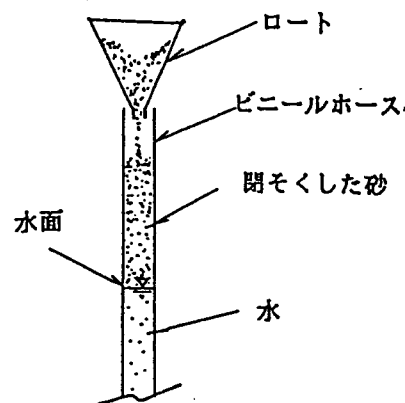


図-7.3.1 砂の閉そくする状況

口径(mm)	10	13	17	20
砂種				
標準砂	0.792	1.338×	3.246×	—
川砂 0.82~2	0.75	0.858	2.466×	—
川砂 2~5	—	—	—	2.301

また、水中に投下された砂は渦を巻きながら沈降する（この傾向は粒子が細かいほど顕著である）。この渦巻き現象によって砂粒子が分散するため、水中を落下するときには閉そくしにくいことが分かった。

図-7.3.2は、粒径と沈降速度の関係を示したもので、半無限水中の砂の沈降速度に対するRubeyの実験式¹⁾も一緒に示した。今回得られた値は、この実験式と良く一致していることが分かる。

沈降、堆積した砂の密度を、表-7.3.2に示す。

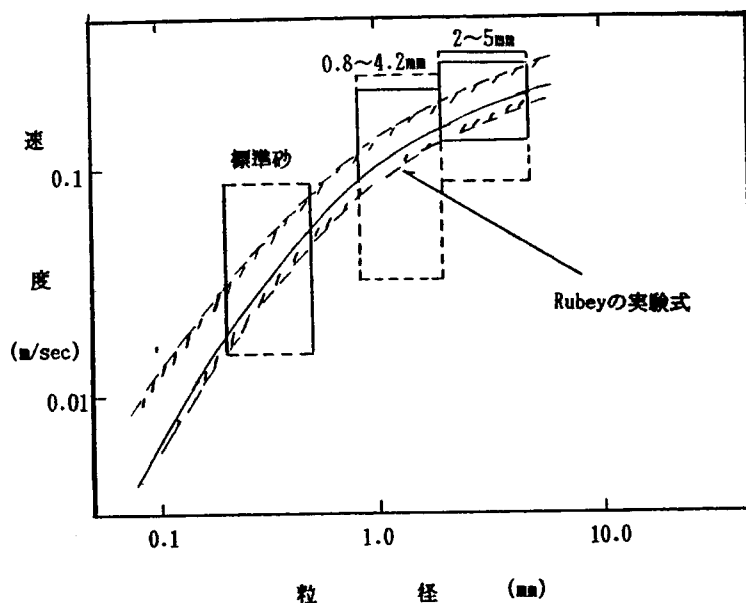


図-7.3.2 粒径と沈降速度

表-7.3.2 沈降砂の密度

砂	砂の重量 (kg)	入った長さ (cm)	密度 (g/cm ³)
標準砂	1.235	135	1.865
川砂(0.84~2)	2.126	224	1.934
川砂(2~5)	1.559	205	1.551

2) 砂フィルタ設置位置確認実験

(1) 目的

砂フィルタの設置位置を確認する手法を確立する。

(2) 実験方法

位置検出には、エポキシ設置位置の確認と同じく電気抵抗方式のセンサーを用いた。

長さ1mのアクリルパイプ（内径100mm）内に、位置センサーを取り付けた塩ビパイプ（外径25mm）を設置した後、アクリルパイプ内に水を満たし、砂を投入して砂面の位置と測定機指示値の関係を測定した（図-7.3.3）。

(3) 結果

砂面の位置と測定機指示値の関係を図-7.3.4に示す。指示値は砂面の位置によって大きく変化する、この方法がエポキシ面のみならず砂面の位置検出にも有効であることが確認された。

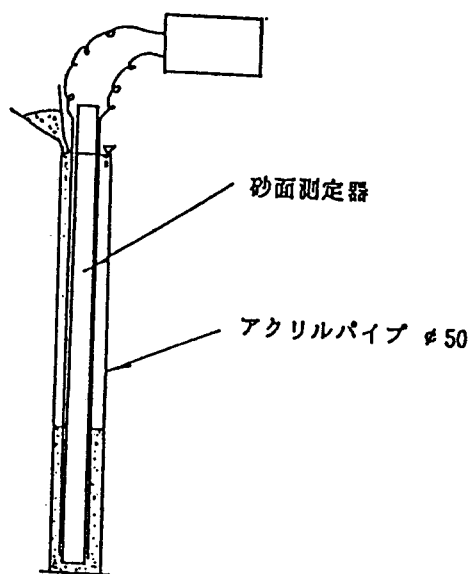


図-7.3.3 砂面測定法

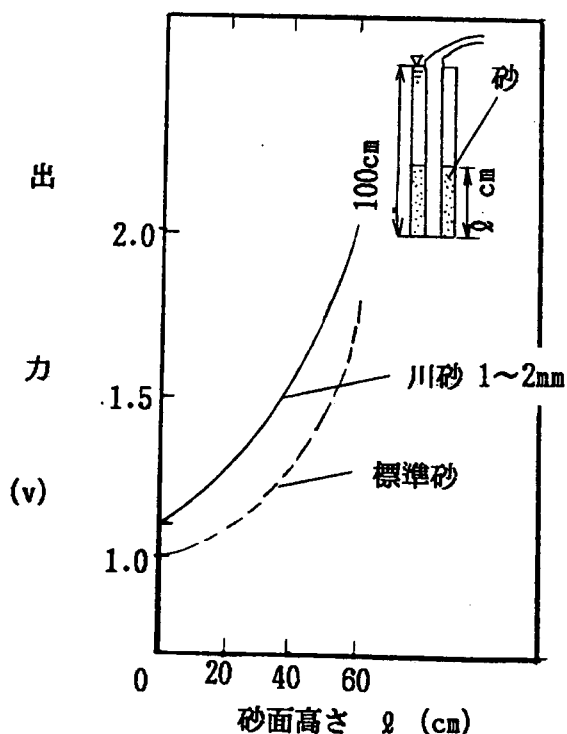


図-7.3.4 測定結果

7. 3. 2 砂フィルタ（対セメント系シーリング材）

（1） 設置方法

砂フィルタ（以下、単に砂と記す）を孔内に設置する方法として、下記の三つが考えられる。

- ① ポンプを用いて圧送する
- ② そのまま孔口から投入する
- ③ トレミ管を介して孔口から投入する

上記①の方法は、砂を粘性の高い溶液中に分散させて流動体とし、ポンプで圧送するものである。このとき、砂のフィルタ機能を損なわないために、粘性剤は時間の経過とともに粘性を失うものを用いる。この方法は、大量の砂を圧送する手段として有効である。しかし、本研究では孔内の限定された空間を充填するので、取り扱う量は少ない。したがって、目的に対して過剰な設備を要し、不適当である。

上記②の方法は、砂をそのまま孔口から投入し、自然落下させて設置するものである。したがって、特別な装置は必要とせず、簡便な方法である。この方法は、経験的に孔壁が著しく乱れていない限り、特に問題を生じない。しかし、投入した砂が途中で詰まる事態が発生した場合、回復することは困難である。以上のことから、本方法の適用に際しては、孔内の状況を詳細に把握し、その適否を判断する必要がある。

上記③の方法は、水と共に砂をトレミ管の中へ流し込み、孔口から充填対象区間までトレミ管の中を自由落下させるものである（図-7.3.5 参照）。この方法では、充填作業ごとにトレミ管を挿入する必要があるが、そのかわり孔壁の状態に左右されずに作業ができる。また、万一、トレミ管の中で砂が詰まってもトレミ管ごと回収すれば良いから、何ら問題にならない。

以上から、孔壁の砂の円滑な落下を妨げる状態でないことを事前に確認できる場合にはそのまま孔口から砂を投入する方法が適切であり、孔壁の状態に問題がある場合およびそのような確認がない場合にはトレミ管を介して孔口から投入する方法が適切である。

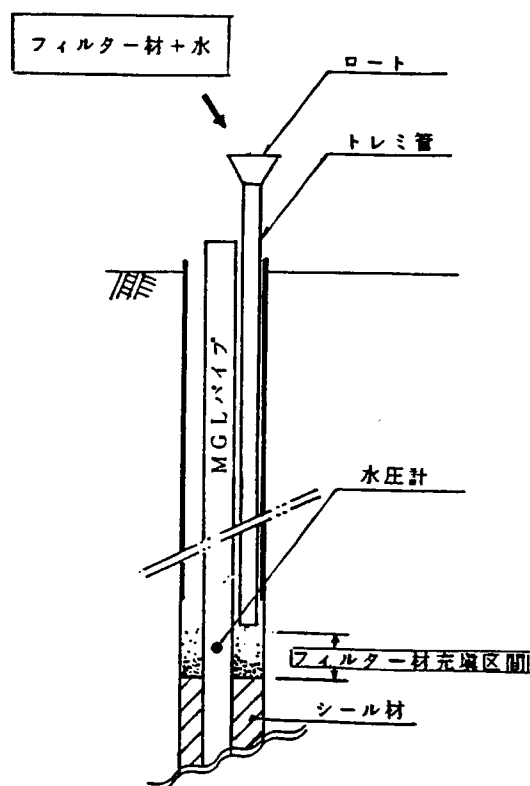


図-7.3.5 砂フィルタの設置方法

（2） 設置位置の確認方法

孔内に充填した砂の上面の位置（以下、充填深度と記す）を知ることは、所定の位置まで充填されているか否かを判定し、次のシーリング材区間に注入・充填するシーリング材の量を決めるうえで重要である。

砂の充填深度の測定方法として下記の二つが考えられるが、ここでは①に関して述べる。

- ① 検測棒を孔内へ挿入して直接測定する
- ② あらかじめMGLパイプの外側に電極を設けておき、電気抵抗値の変化により間接的に測定する。

砂フィルタは自然落下方式により設置するから、あまり締まっていない状態で堆積している。したがって、単純な検測棒で手応えを得られるほど密には堆積していないので、正確な測定をするために、硬化したシール材の充填深度の測定に用いた方法および装置（図－7.2.28参照）を適用する。

7.3.3 ジオテキスタイルフィルタ

ウレタン系シール材を用いた多段遮水方法では、シール材の設置方法として、布パッカーを用いる。この方法でフィルター材に砂を使用した場合、砂をボーリング孔の上部から落とし込みによって設置すると、途中で引っ掛かる可能性が大きい。或は、トレミー管を使用しても、トレミー管の挿入が難しく、孔壁とMGLパイプ間に砂を十分に充填するのは難しい。そこで、フィルター材にジオテキスタイルを選定し、5.3 に示す様な物理試験を行なって、その有効性を確認した。また、使用量・運搬費等を考えれば砂との費用の差も大きくない。ジオテキスタイルフィルタを最初からMGLパイプに巻き付けておけば、布パッカーと共にMGLパイプと一緒に設置でき、能率的である（写真-7.3.1参照）。これにより、シール材と同様に設置位置が明確になるという利点もある。

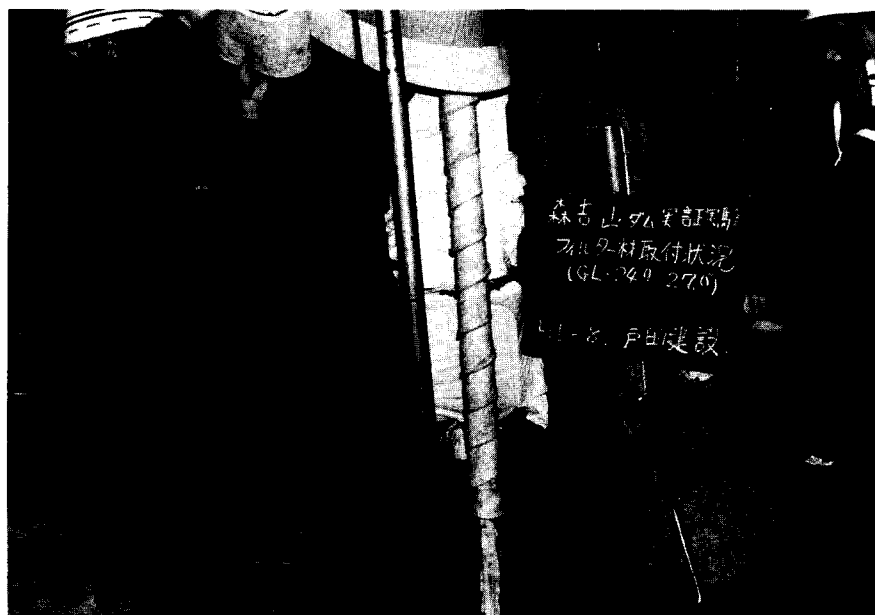


写真-7.3.1 ジオテキスタイルフィルタ材設置状況

参考文献

- 1) 河村三郎：土砂水理学 1、森北出版、pp. 23 ～24、1982.

8. 実証試験

8. 1 試験サイトの概要¹⁾

前章までに紹介したシール材、フィルタ材およびMGLパイプをもって、一応完成したMGLシステムの実証試験を行い、不備な点を抽出し、システムをより完全なものに近づけることを目指した。

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）の地質縦断面図を図-8.1.1に示す。この図からもわかる通り、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路となっており、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路が存在することが判明している。

方、地下水位の分布状況を説明するために地山の一番奥深い部分にある既設孔BL-3の掘進時の孔内水位の変動を図-8.1.2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、安定した地下水層が3層（EL. 164, 200, 217 m）存在することが読み取れる。

なお、BS-3孔については全体が高透水路を貫いたこともあってEL. 163mに1枚の安定地下水層があるのみであったが、BS-1孔においてはEL. 160m, 197mの2枚の地下水位層が存在することが読み取れた。

リム部のグラウチング範囲を決定する根拠となる地下水位は、上記の最終安定孔内水位EL. 165m程度とみなされる。Mダム貯水池のサーチャージ水位がEL. 177.3mであることを考えると、リム部のグラウチングは現在調査しているよりもさ

らに地山深くまで施工しなければならないことになる。²⁾しかし、詳細な調査により、上位地下水層が安定した状態で存在することの確認と詳細な水圧分布の把握ができれば、かなり合理的なグラウチ

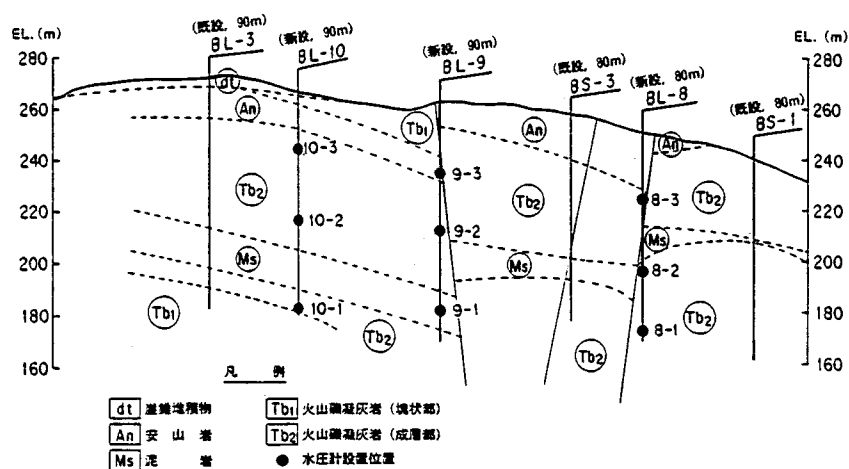


図-8.1.1 左岸ダム軸の地質断面図(Mダム)

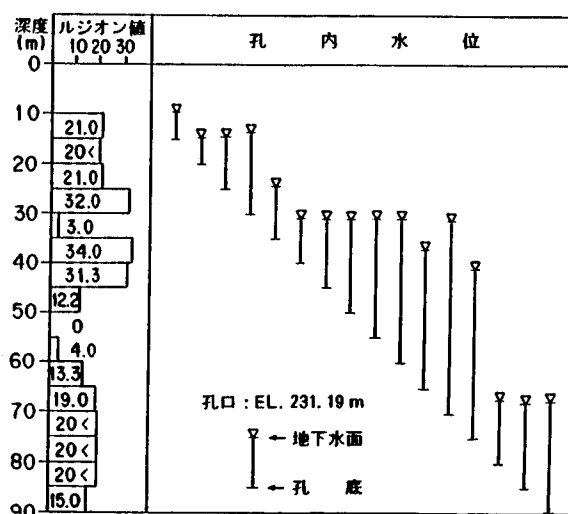


図-8.1.2 孔内水位の変動状況

ング範囲の決定が可能になるのではないかと考える。そこで、このMダムサイトにおいて、我々のMGLシステムを実証試験を兼ねて実施した。

なお、新設の試験孔3本（BL-8, 9, 10）とシール、フィルタ材の組み合わせは、表-8.1.1 のとおりとした。BL-8, 9, 10の新設孔で実施した調査ボーリングの結果を図-8.1.3 に示す。この結果をもとに決定した水圧計の設置位置も図中に示しておいた。

表-8.1.1 試験孔とシール、フィルタ材の組合せ

試験孔	シール材	フィルタ材
BL- 8	ウレタン系	ジオテキ
BL- 9	エポキシ系	砂
BL-10	セメント系	砂

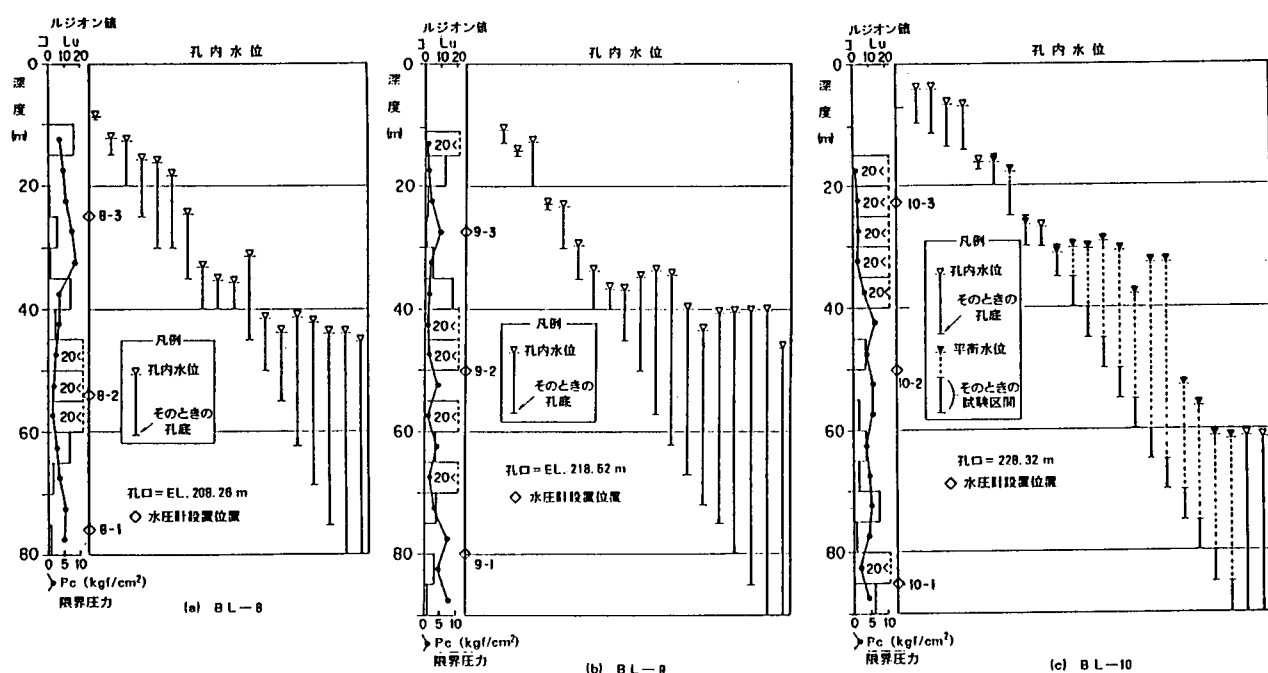


図-8.1.3 調査ボーリング結果

8.2 ウレタン系シール材

8.2.1 概要

森吉山ダムサイト調査ボーリング孔B Lー8においてM G Lパイプを用いた単孔式多点水圧測定を行なうため、ウレタン系シール材を用いたボーリング孔内多段遮水を実施した。本章では、M G Lパイプを用いた地下水圧測定システムの設置作業について報告する。

なお、試験に用いた機器、材料を表-8.2.1、8.2.2 に示す。

表-8.2.1 使用機器

機 種	名 称	仕 様	数 量
グラウトポンプ	M G - 1 0 (鉦 研)	最大圧力 50kgf/cm ² 最大吐出量 80ℓ/min 動力 7.5kw	1 台
圧力流量 制御装置	FPC-100-30 (東 都 電 気)	流量 0-60、0-120ℓ/min 圧力 0-30、0-60 kgf/cm ²	1 台
発電機		200/220v、20KVA	1 台
粘度計	リオンメーター		1 台
攪拌機	ハンドミキサー		1 台
攪拌容器	バケツ等		1 式
ホッパー			1 台
台秤			1 台
工具等			1 式

注) ボーリング業者で用意したものは含まない
表-8.2.2 使用材料

工 種	名 称	仕 様	数 量
M G L パイプ 建 込	水圧計	(支 給 品)	3 台
	M G L パイプ	φ 43、ℓ =80m	1 式
	フィルター材 (ジオ テキスタイル)	KM-1000、(クラレ) 13.0m × 0.2 × 2	5.2m ²
	布バッカー	ℓ =24.0m, 25.5m, 17.5m	67.0m
	取付用材料	両面テープ他	1 式
シール材充填	ウレタン	W=600 (第一工業製薬)	250kg
	粘土	SCP-A (ベントナイト産業)	210kg
	洗浄液	ソルベント	36kg

8.2.2 設置作業

図-8.2.1の設置作業フローにしたがって、水圧計の設置を行なった。以下に各作業について詳述する。

(1) 水圧測定位置

水圧測定深度とシール区間、フィルタ区間の割り付けはボーリング調査の結果から、図-8.2.2の通りとした。

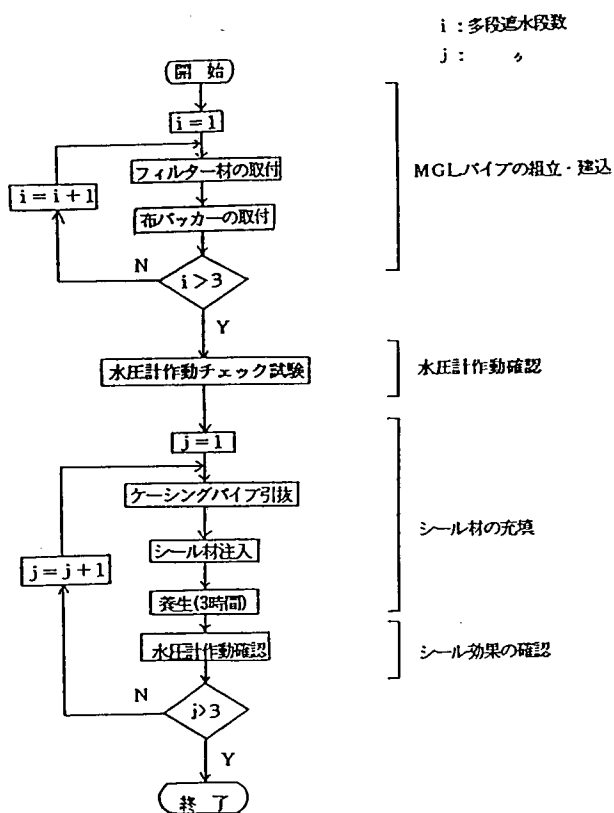


図-8.2.1 設置作業フロー図

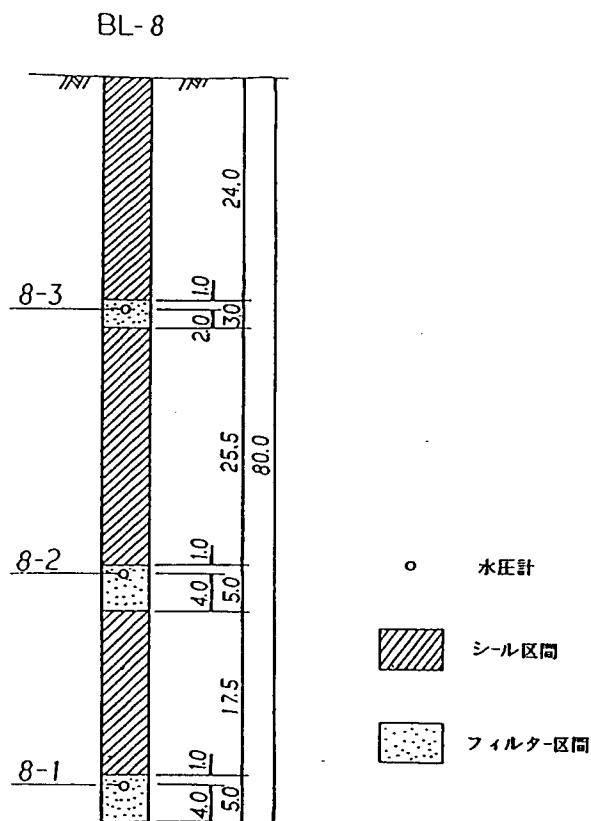


図-8.2.2 水圧測定深度と

シール区間、フィルタ区間

(2) MGLパイプの組立・建込

MGLパイプの組立図を図-8.2.3に示す。

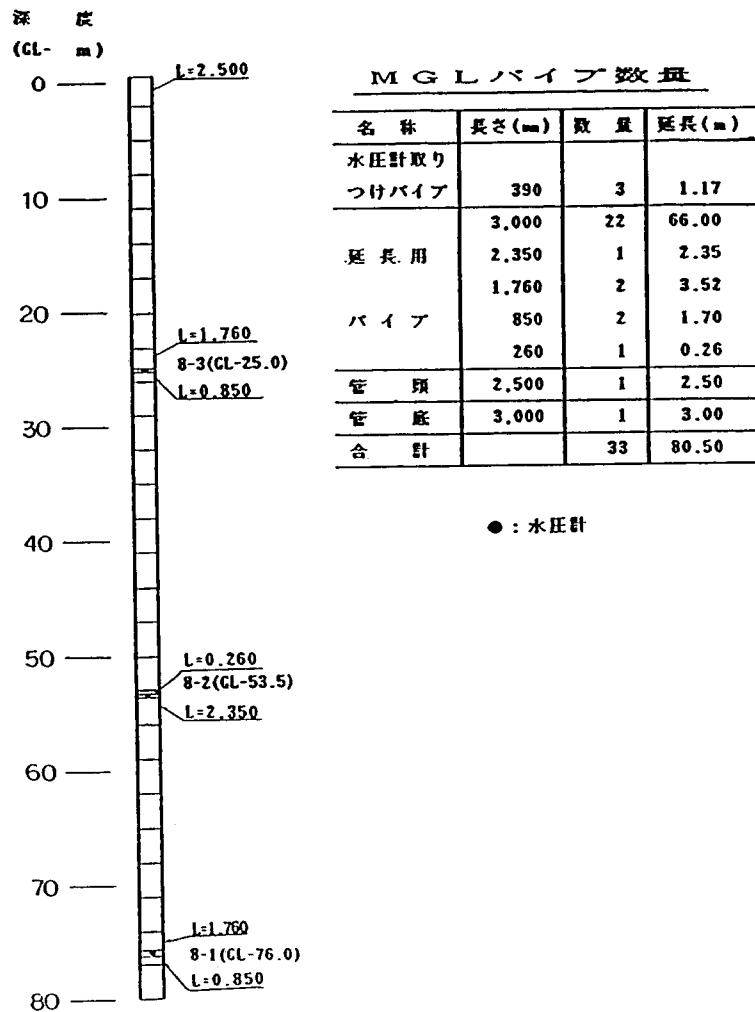


図-8.2.3 MGLパイプの組立図

ウレタン系シール材による多段遮水方法は、従来の落とし込み方法に比べ、MGLパイプの建込に大きな特徴がある。それは、シール区間には布バッカーを、フィルタ区間には、ジオテキスタイルを取り付ける事である。以下にこの方法の要綱を示す。

1) フィルタ区間について

- ① フィルタ材はジオテキスタイルを所定の幅に切り、アスファルト系の両面テープによりMGLパイプに巻き付けながら接着させた（写真-8.2.1参照）。
- ② フィルタ区間は、番線により1mピッチで結束させジオテキスタイルがずれないようにした。
- ③ 中段、上段のフィルタ区間では、注入ホースをジオテキスタイルの中に巻き込んだ。
- ④ 水圧計取付け部分は、その区間両面テープを削除した。

2) シール区間について

- ①布バックカーを薄肉の塩ビパイプに通して圧縮し、塩ビパイプを布バックカーに取り付ける際のガイド管とする（写真-8.2.2参照）。
- ②注入ホースは、布バックカーの内側に、下側より3mの位置に来るように設置し、1mピッチで7.5mの穴を貫通させておいた。
- ③布バックカーは、両端をアスファルト系の両面テープ及び番線によって接着・固定し、さらに漏液防止の為、油粘土を口元部に充填し、止水した（写真-8.2.3参照）。
- ④塩ビ管に圧縮された布バックカーをMGLパイプに通し、③の方法で下端を固定してから、塩ビ管を吊上げ（MGLパイプを吊下げ）、布バックカーを伸ばしながらMGLパイプを建込んだ（写真-8.2.4、5参照）。
- ⑤布バックカーは、1mピッチでビニールテープにより仮止めし、孔内で開かないようにした。

3) その他

- ①MGLパイプの建込作業は、図-8.2.4に示す通り、ボーリングマシンのウインチを用いて作業を行った。
- ②作業の能率化の為に、ロッドホルダーを2個用意し、1個は単管足場上で使用し、1個はワイヤーで吊って作業した。尚、リフタは使用しなかった。
- ③延長用パイプのうち、最下段のパイプは、底が盲のものを使用した。
- ④MGLパイプの組立は、水圧計の信号ケーブルを管内に通しながら行った。

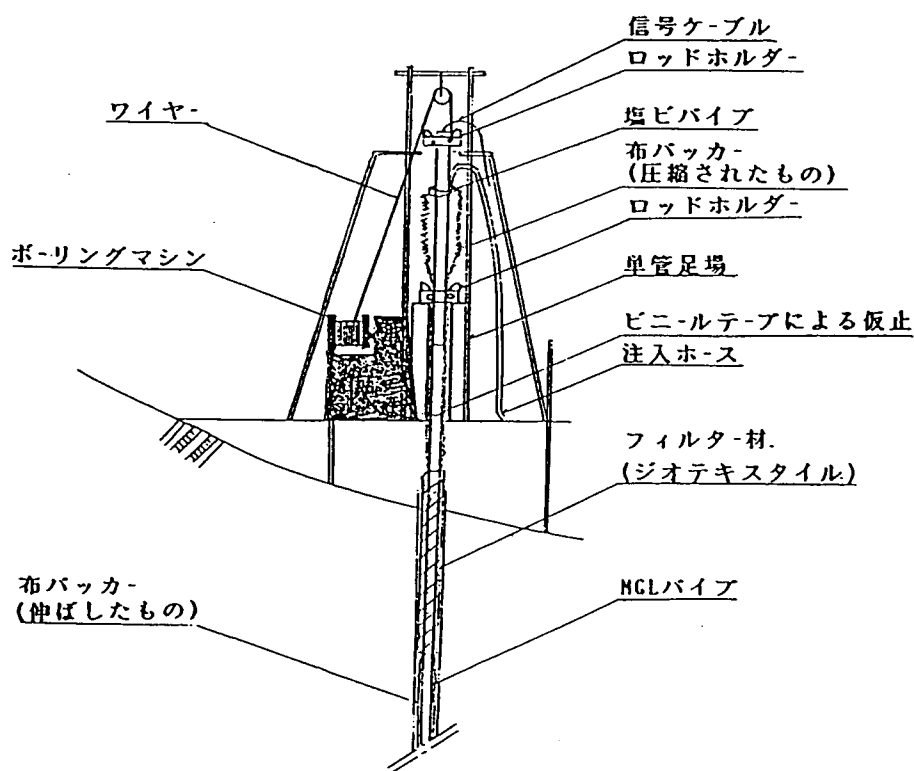


図-8.2.4 MGLパイプ建込

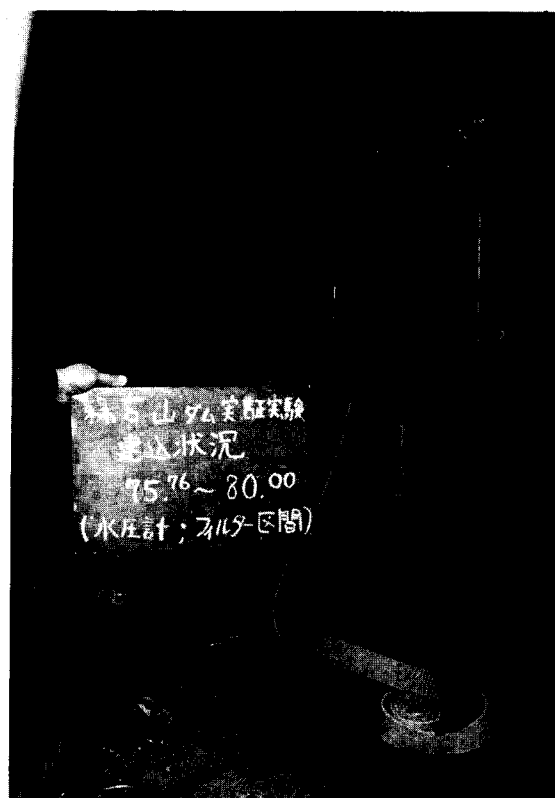


写真-8.2.1 ジオテキスタイルフィルタ
設置状況



写真-8.2.2 布バッカー（圧縮状態）

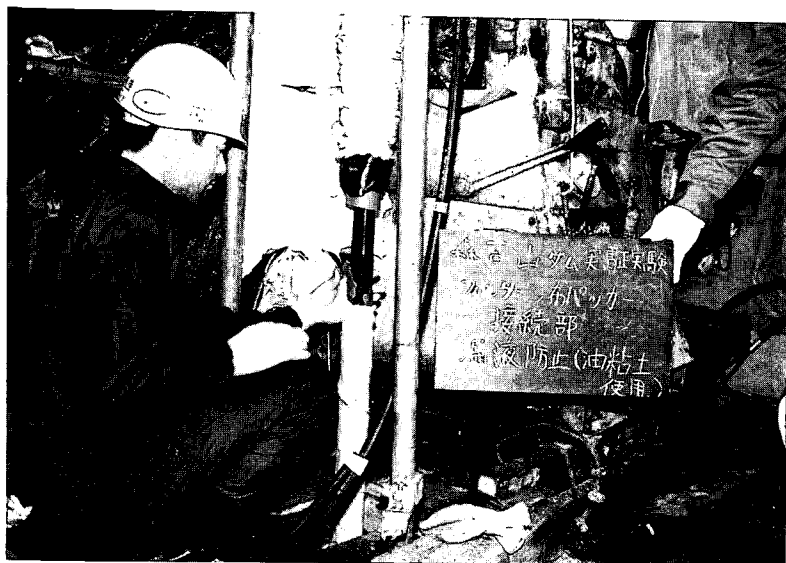


写真-8.2.3 布バッカー漏液防止

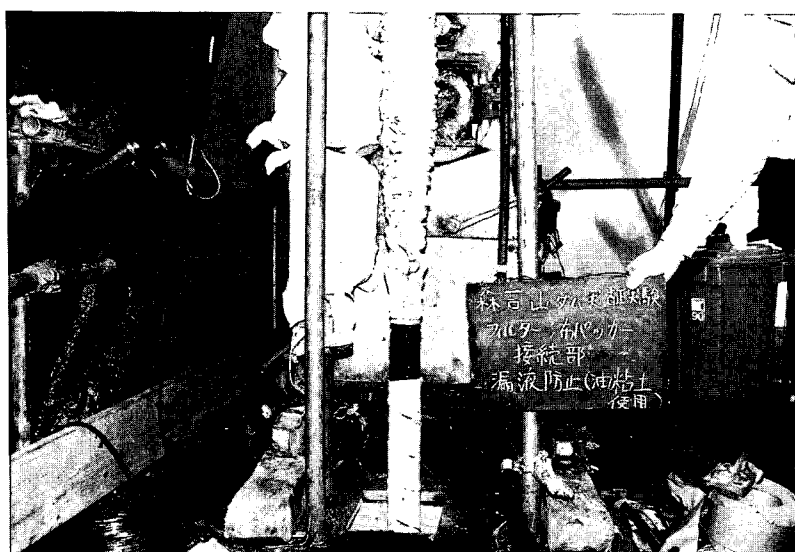


写真-8.2.4 MGLパイプ建込状況
(布バッカー・フィルタ接続部)



写真-8.2.5 MGLパイプ建込状況
(布バッカー設置状況)

(3) 水圧計作動チェック試験

M G Lパイプをボーリング孔内に建込んだ後、シール材注入前にボーリング孔内に注水し、水圧計作動チェックを行なった。以下に試験方法と試験結果を示す。

1) 試験方法

M G Lパイプに布バッカー及びフィルター材を取付けてボーリング孔内に建込んだ後、M G Lパイプとボーリング孔壁の隙間に注水した。このときの注水量はポンプの能力から約 150ℓ/minとした。注水時の各水圧計の指示値を読取り、静水圧分布に一致すれば各水圧計は正常と判断できる。

2) 試験結果

孔内水位の上昇に伴う水圧計の圧力水頭の変化を図-8.2.5に示す。岩盤に亀裂が多いため逸水が激しく水位を孔口まで上昇させることは出来なかったが、3個の水圧計の指示値から、ほぼ静水圧分布状態にあると思われる。

尚、最上段の水圧計 (GL-25m) は注水時にやや大きな値を示しているが、これはボーリング孔内に流れがあるため、水圧計指示値が大きくなったものと思われる。

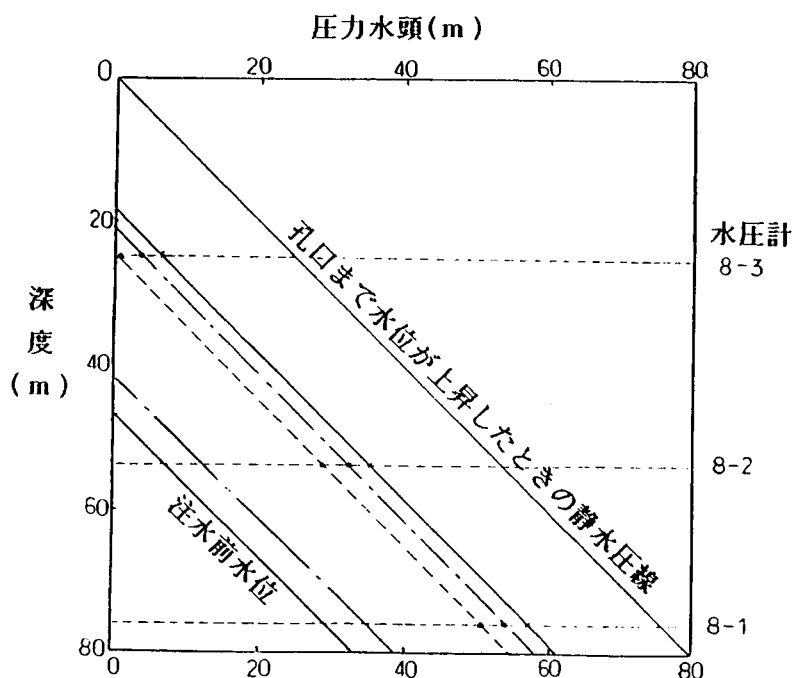


図-8.2.5 孔内注水による水圧計作動チェック

(4) M G Lパイプの埋設

1) シール材の配合

ボーリング孔内に建込んだM G Lパイプに取り付けた布バッカーにシール材を充填した。シール材の仕様及び10リッター当りの配合表を表-8.2.3、4に示す。注入作

業を容易にするために、粘土の量は20%と少くし粘性を低くした。また、厳寒期ではなかったため硬化促進剤等は使用しなかったが、練り混ぜ水の水温が5℃程度だったので、孔内水温程度（12~13℃）に暖めて使用した。

表-8.2.3 シール材の仕様

薬液の種類	親水性ウレタン（ポリグラウトW-600）
粘土の種類	シールド用粘土（SCP-A ベントナイト産業）
配 合	粘土20%（全重量に対する百分率） 水：ウレタン＝7：3
粘 性	300 cps 以下程度

表-8.2.4 シール材配合表（10リッター当り）

粘 土 (kg)	水 (ℓ)	ウレタン (kg)
2.36	6.61	2.83

2) 充填量及び注入時の圧力

充填区間1.0m当りの充填対象容積Vは、(8.2.1) 式より9.12 l/minとした。

$$V = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \times 10^{-3} \quad \text{--- (8.2.1)}$$

D_1 : 孔径 (mm) --- 116mm

D_2 : MGLパイプの外径 (mm) --- 43mm

h : シール区間長 --- 1.0m

充填対象容積と実際のシール材注入量は表-8.2.5のようになった。

表-8.2.5 充填対象容積と実際のシール材注入量

区間	区間深度 (GL- ～ m)	区間長 (m)	充填対象容積 V (ℓ) 注1)	実際の注入量 Q (ℓ) 注2)	Q / v (%)
上段	0 ～ 24.0	24.0	257.4 注3)	355.7	138
中段	27.0 ～ 52.5	25.5	232.6	255.9	110
下段	57.5 ～ 75.0	17.5	159.6	175.6	110

注1) 孔荒れの分は含まない

注2) ポンプ、ホース内のロス量は含まない

注3) GL- 0 ～ 8m まではケーシング挿入のためφ140

下段、中段のシール区間は充填対象容積の 110% まで注入した。また、図-8.2.6 に中段シール区間注入時の圧力の経時変化を示した。注入初期には 10 ℓ/min で注入し、注入量が充填対象容積の 90% に達した時 4 ℓ/min に絞って布パッカーが満杯になったことを注入圧力で検知することを試みたが、圧力の上昇は認められなかった。上段のシール区間は、ボーリング孔口元まで充填したが（写真-8.2.6）、注入量は 138% とかなり多くなった。この原因としては地表付近は風化が進んでいるため孔荒れしていること、建込み時に GL-23m 付近で MGL パイプが一時挿入不能になったように本来の $\phi 116$ の孔に沿って調査ボーリング時の孔があること等が考えられる。

上段のシール区間注入時、布パッカーが満杯になったときに圧力変化があったようであるが、圧力の変動する要因は他にもあり（図-8.2.7 参照）、また、模擬ボーリング孔として塩ビパイプを使った室内試験とは異なり孔荒れや岩盤に亀裂等があるため、圧力変化で布パッカーが満杯になったことを検知するのは困難と思われる。従って今後布パッカーが完全に充填されたことの管理は他の方法を考える必要がある。



写真-8.2.6

上段布パッカー
注入完了状況

3) 埋設作業中の水圧計の状態

図-8.2.8 に埋設作業中の水圧計の指示値の経時変化を示す。水圧計 8-1 (下段) 及び 8-2 (中段) はシール材充填前はどちらも GL-46.6m 程度を示していたが、シール材充填後水圧計 8-1 (下段) が GL-47.2m、8-2 (中段) が GL-44.0m と約 3 m の水位差を示している。

また、水圧計 8-3 (上段) は上段シール材充填後、水圧計の上 1 m 程度の水位を示したがその後水位は水圧計より下に下がっている。シール材充填完了後、MGL パイプ内に注水し水圧計 8-3 (上段) の反応を調べたが、水位が MGL パイプ上端まで上昇した時の水圧計の読みが GL-7.8m までしか上昇しなかった。今後、水位の観測データを見て、水圧計の指示値を分析していく必要があると思われる。

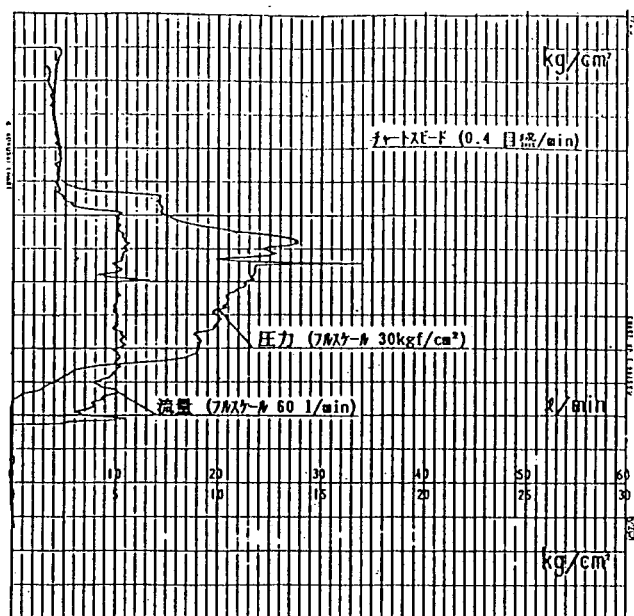


図-8.2.6 注入量と注入時の圧力
(中段シル区間、GL-52.5~27m)

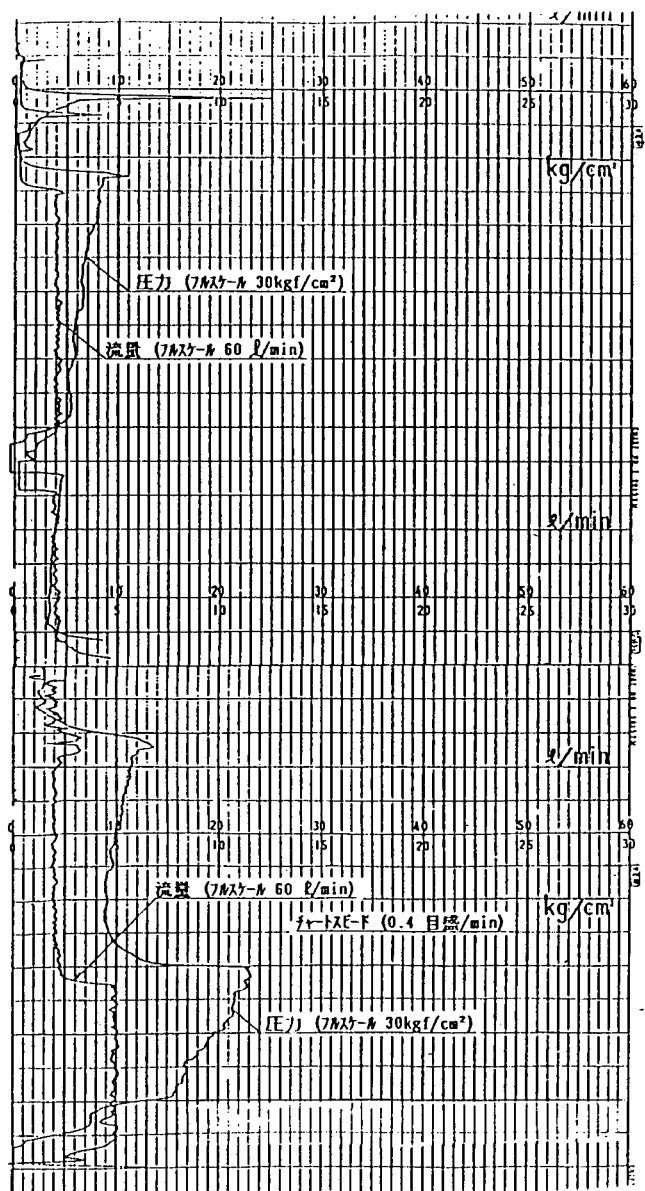


図-8.2.7 注入量と注入時の圧力
(上段シル区間、GL-24~0m)

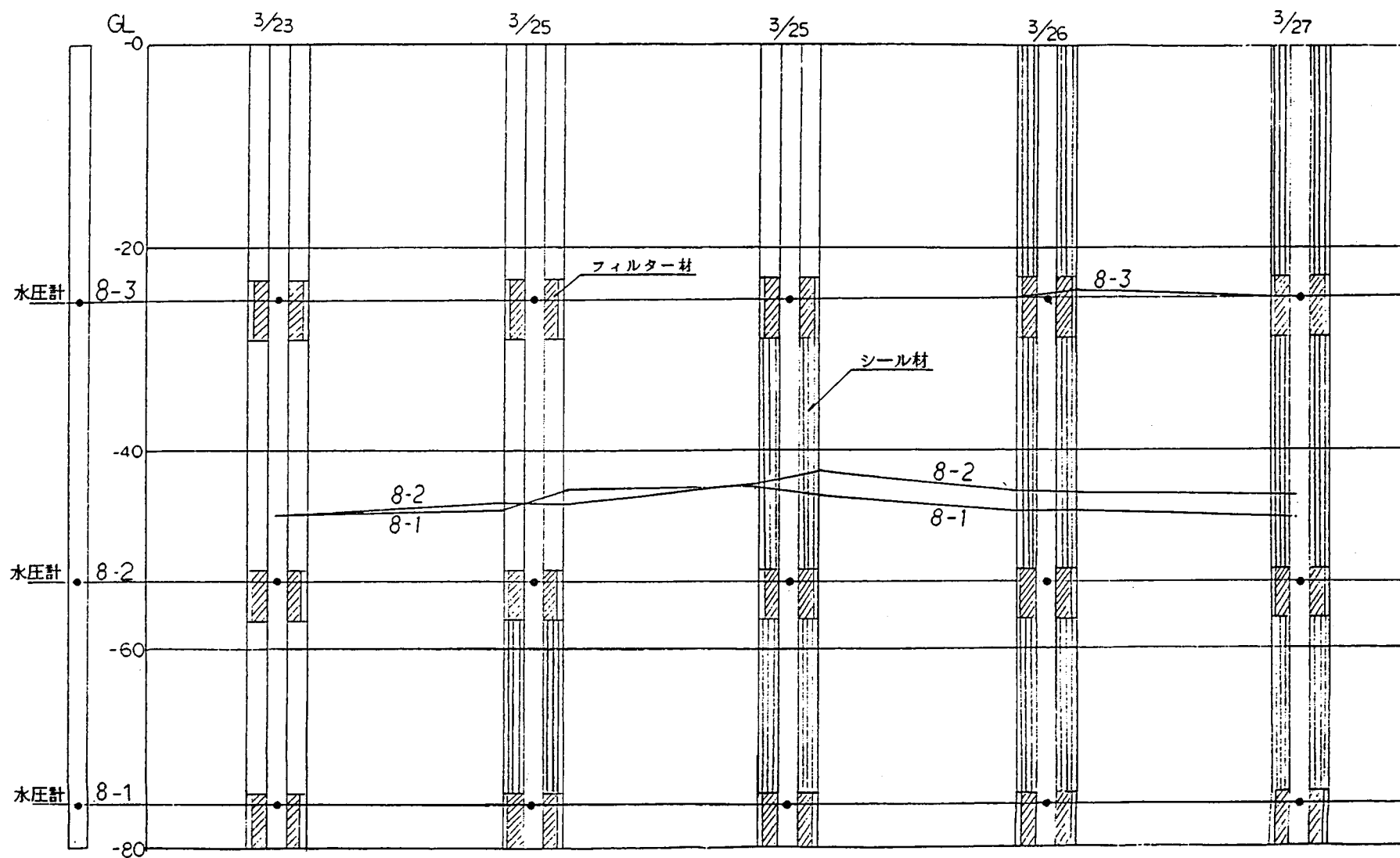


図-8.2.8 埋設作業中の水圧計の状態

(5) シール効果確認試験

シール材注入後、シール効果を確認するための試験を行なった。以下に試験方法と試験結果について示す。

1) 試験方法

シール材を注入し養生した後、孔内水位を注水により上昇させ、シール区間上下の水圧計の指示値を読み、シール効果を確認する（図-8.2.9参照）。

このとき、水圧計Aに対して水圧計Bの反応が鈍く、両水圧計の反応に明瞭な差が認められれば当該シール区間にはシール効果があり、正常と判断した。

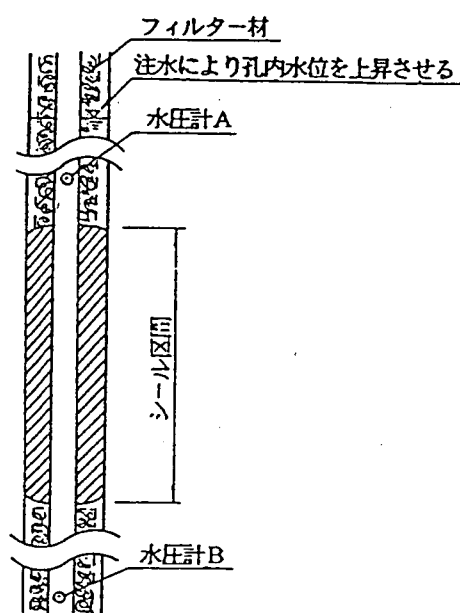
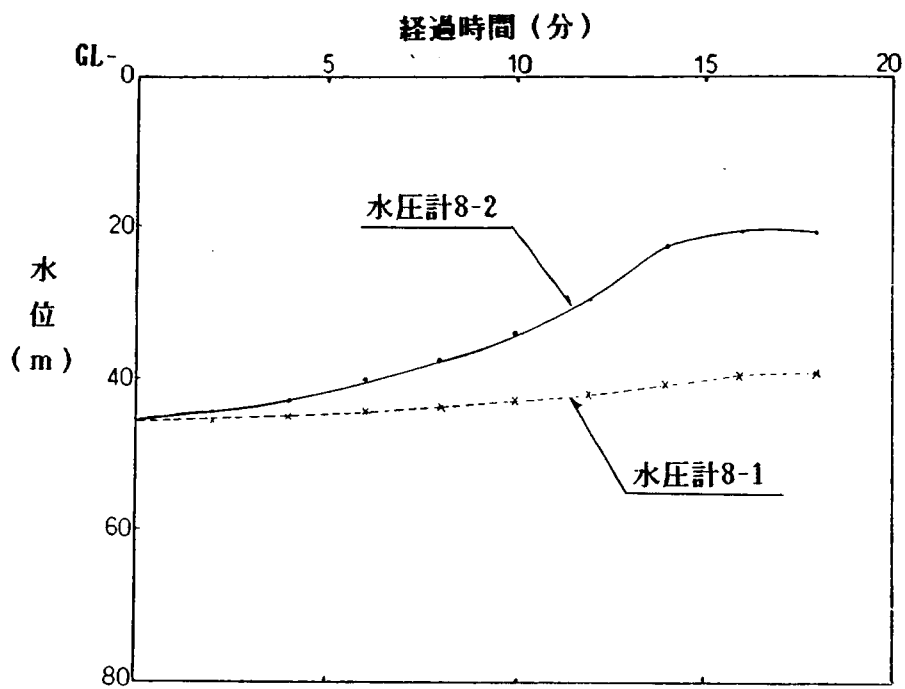


図-8.2.9 シール効果の確認方法

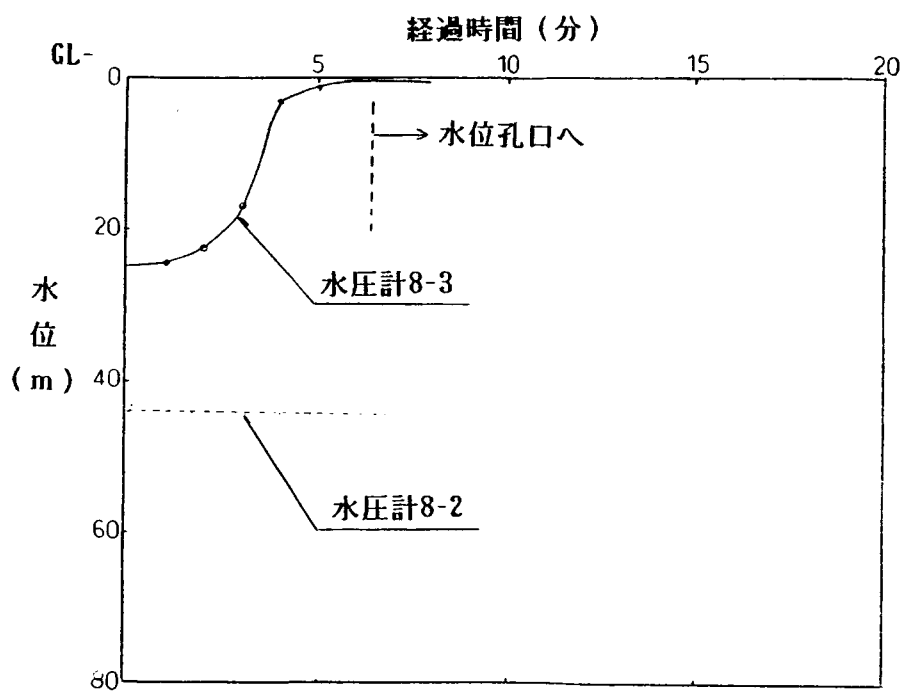
2) 試験結果

図-8.2.10 に試験結果を示す。下段シール区間（GL-75 ～-57.5m）、中段シール区間（GL-52.5～-27m）共にシール区間より上側の水圧計の反応が大きく、下側の水圧計の反応が小さいため、シール効果は十分と判断できる。

尚、下段シール区間（GL-75 ～-57.5m）では、注水に伴って、シール区間より下側の水圧計（8-1）も反応しているが、これは水圧計設置深度のGL-76mから-53.5mの間が同一滞水層に属するためではないかと考えられる。



a) 下段シール区間GL-75~57.5m



b) 中段シール区間GL-52.5~27m

図-8.2.10 孔内注水によるシール効果の確認

8.2.3 まとめと今後の課題

森吉山ダムダムサイトのボーリング孔 (BL-8) にウレタン系遮水材を用いた水圧計の多段埋設を行なった。今回の現場実証実験で得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) MGLパイプ建込み作業は布パッカー、フィルター材を取付けながら挿入する作業であったが、無事に完了できた。布パッカーについてはさらに取付けが容易になるように今後改良したい。
- 2) シール材充填作業では布パッカーが満杯になったことを注入時の圧力で検知するのは困難であった。今後、センサーによる充填状況の管理等を考えたい。
- 3) シール材充填後、注水してシール効果を確認した結果、十分なシール効果が得られていることがわかった。
- 4) 埋設作業中、および、シール効果の確認試験中の水圧計指示値の変化から、水圧計は正常に作動しているものと思われる。尚、今後の水位の観測データを分析し、水圧計の指示値を比較検討する予定である。

8.3 エポキシ系シール材

8.3.1 試験の概要

1) 水圧計埋設計画

試験工事では、1本のボーリング孔内のそれぞれ深度の異なる位置3ヶ所に水圧計を設置する(図-8.3.1)。寸法仕様は、以下の通りである。

- ・ボーリング孔底：GL.-90m
- ・水圧計設置位置：GL.-80m, -50m, -27.5m
- ・ボーリング孔径：116mm
- ・MGLパイプ径：43mm

孔内に建て込んだMGLパイプと孔壁との隙間に水圧計の近傍ではフィルタ材を、それ以外のところではシール材を充填する。

これまでの研究により、フィルタ材として砂を、シール材としてエポキシ樹脂を使用することとした。

2) 試験の目的

実証試験の目的は、次のようなものである。

- ・砂、エポキシ樹脂を設置する方法を確立する。
- ・設置した砂、エポキシ樹脂の位置を計測する方法を確立する。
- ・設置したエポキシ樹脂の硬化反応状況を確認する。
- ・エポキシ樹脂の遮水効果を確認する。
- ・当手法の多段遮水手法としての適性を確認する。

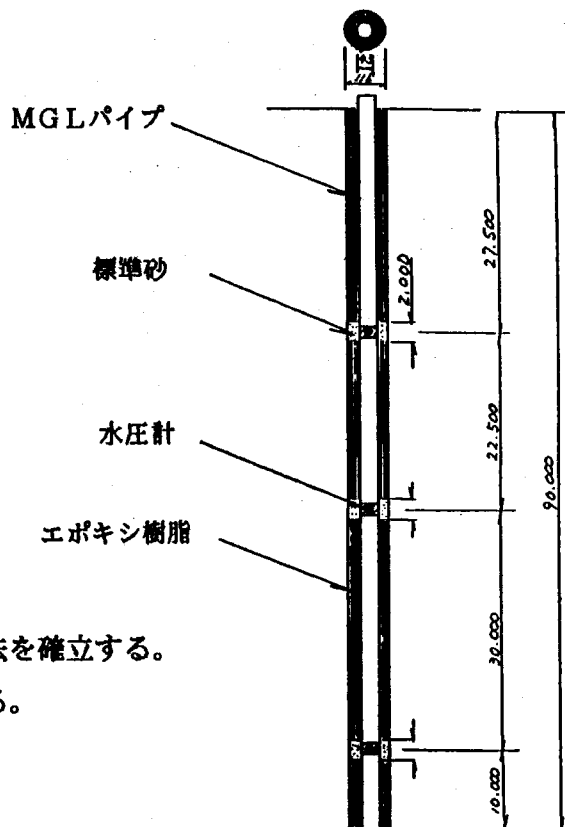


図-8.3.1 水圧計埋設計画図

8.3.2 施工方法

1) 施工手順

図-8.3.2に、施工手順を示す。水圧計の作動確認を行った後、MGLパイプを孔内に建て込む(①)。つづいて注入管を建て込み、エポキシ樹脂を注入する(②)。エポキシが所定の位置に設置出来たことを確認した後、注入管を上げ、エポキシ樹脂の硬化を待つて砂を投入する(③)。砂が所定の位置に設置出来たことを確認した後、次の遮水層作成のためのエポキシ注入を行う(④)。以下、これらの作業を繰り返す(⑤~⑧)。但し、⑤、⑧の砂の投入の前には、止水性確認試験を行う。

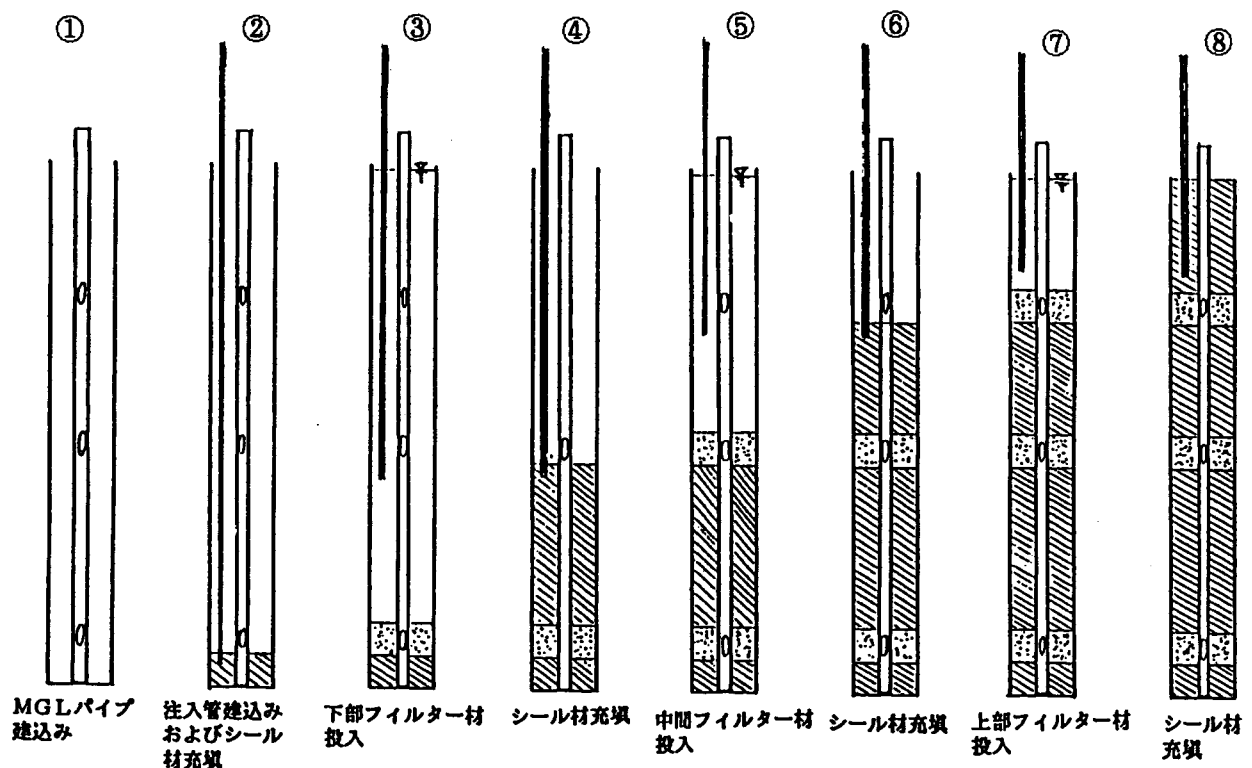


図-8.3.2 埋設手順概念図

2) 主機材及び材料

使用した主機材、および材料は以下の通りである。

- ・ 注入ポンプ ——— 2.0l/min (定量式)、常用圧力 60 kgf/cm²
- ・ 注入管 ——— 1/2 インチ ガス管
- ・ シール材 ——— エポキシ樹脂 (エンクレシア[®]1517、1517L)

エンクレシア[®]1517 : 低粘度 (1000cP以下)、断熱温度上昇 120~130℃

フィルタ層への浸透を考慮する必要のない最下段のシール層設置用

エンクレシア[®]1517L : 高粘度 (5000cP以上)、断熱温度上昇 120~130℃

- ・ フィルタ材 ——— 豊浦標準砂

3) 計測方法

計測項目一覧表を表-8.3.1に示す。

計測は、間隙水圧、エポキシ樹脂及びフィルタ材使用量、設置位置確認、エポキシ樹脂及び室温等の各種温度、エポキシ樹脂の粘度及び強度、エポキシ樹脂注入圧等について行った。

シール層の止水性確認は、孔内に注水し、孔内水位の変化が水圧計に影響を与えるか否かで判断した。

エポキシ樹脂の注入量は、注入ポンプに光センサーを取り付け、ポンプの回転数を測ることによって計測した。砂（フィルタ材）は、バネ秤によって計量した。

砂およびエポキシ樹脂の設置位置の確認は、次の3通りの方法を併用して行った。

- ① あらかじめ位置センサーをMGLパイプに取り付けておき、砂あるいはエポキシ樹脂が所定の位置に到達したことを検知する。
- ② フレキシブルなロッドの先端に位置センサーを取り付けて孔内に下げ、注入作業中のエポキシ面の位置を随時測定する。また、投入後の砂面の位置を測定する。
- ③ フレキシブルなロッドを孔内に入れて、感触により、硬化後のエポキシ面および砂面の位置を測定する。

エポキシ樹脂の品質管理として温度、粘度、強度を測定した。特に温度はエポキシ樹脂の性状を大きく左右することから、主剤、混合液、断熱養生試料、作業場気温、外気温、および、注入したエポキシ樹脂の孔内での温度を熱電対によって連続的に計測した。粘度は、注入中にサンプルを取り出し、B型粘度計で測定した。また、サンプルの一部から一軸圧縮試験用の供試体を作製した。強度試験は2週間後に実施した。

表-8.3.1 計測項目一覧表

目 的	計 測 項 目		使 用 計 器
止 水 性 確 認	間隙水圧		間隙水圧計 (10kgf/cm ² , 3回)
材料使用量確認	エポキシ注入量		ポンプ回転計 (光センサー)
	フィルター投入量		バ ネ 秤
充 填 位 置 確 認	注入中のエポキシ面および フィルター面の深度		MGLパイプ取付位置センサー 独立位置センサー
	固化後のエポキシ面深度		フレキシブルロッド
品 質 管 理	温 度	主 剤	熱 電 対
		混合液	
		孔内エポキシ樹脂	
		断熱温度上昇	
		室 温	
		外気温	
	粘 度		B型粘度計
	一軸圧縮試験		(現場では供試体作成まで)
そ の 他	エポキシ注入圧		ブルドン管ゲージ ひずみゲージ型圧力センサー (100kgf/cm ²)

8.3.3. 施工結果

1) 実施工程

施工実施工程は、表-8.3.2のようであった。

表-8.3.2 作業工程一覧表

日 時	作 業 内 容
3月20日	作業機器の荷上げ
21	作業用ハウスの増設 作業機器・計測器の組立, チェック 水圧計コードの修正
22	MGLパイプ建込み作業 (建込み不能)
23	MGLパイプ建込み作業 (建込み不能)
24	MGLパイプ建込み終了 第1段エポキシ注入 (GL -90m ~ -81m)
25	第1段フィルター材料設置 (GL -81m ~ -79m) 第2段エポキシ注入 (GL -79m ~ -63m)
26	第2段エポキシ注入 (GL -63m ~ -55m)
27	第2段エポキシ注入 (GL -55m ~ -51m) 第2段フィルター材料設置 (GL -51m ~ -49m) 第3段エポキシ注入 (GL -49m ~ -30m)
28	第3段エポキシ注入 (GL -30m ~ -28m) 第3段フィルター材料設置 (GL -28m ~ -26.5m) 第4段エポキシ注入 (GL -26.5m ~ -20m)
29	第4段エポキシ注入 (GL -20m ~ -15.6m) 第4段砂礫設置 (GL -15.6m ~ -11m) 第4段エポキシ注入 (GL -11m ~ -5m)
30	第4段エポキシ注入 (GL -5m ~ 0m)
31	片付け

注) 1989年に実施

* 水圧計作動確認およびシール層の止水性確認試験は、作業開始時と、作業の区切りに随時実施した。

2) MGLパイプの建込み

MGLパイプの建て込み作業は、外径43mm、長さ3mのパイプをつなぎ合わせながら孔底まで建て込む作業である。作業を開始したところ、GL-36mのところで、貫入不能となった。原因は、孔壁の曲がりと考えられた。そこで、パイプを引き上げ、先端に外径116mmの拡孔用ビットを取り付け、再び建て込みを行った。この結果、拡孔用ビットがガイドの役目をし、計画通り孔底までパイプを建て込むことが出来た。

3) シール材、フィルタ材の設置

エポキシ樹脂、砂の設置結果一覧表を表-8.3.3に示す。

(1) シール材の設置

孔底には若干のスライムが堆積していたので、最下段のエポキシ樹脂はGL-88.57mから上に設置した。

注入作業中は、孔内に位置センサーを入れ、上昇するエポキシ面の位置を常に監視した。図-8.3.3に、その例を示す。硬化後はロッドにより測定し、面が下がりすぎていることを確認した場合には追加注入を行った。エポキシ樹脂は、水圧計の1m下方まで設置することを当初の目標としたが、注入量とエポキシ面上昇量の関係が常に変化したり、注入停止から硬化までの間にエポキシ面が下がるなどの理由により、水圧計の0.45~1.51m下方の設置となった。

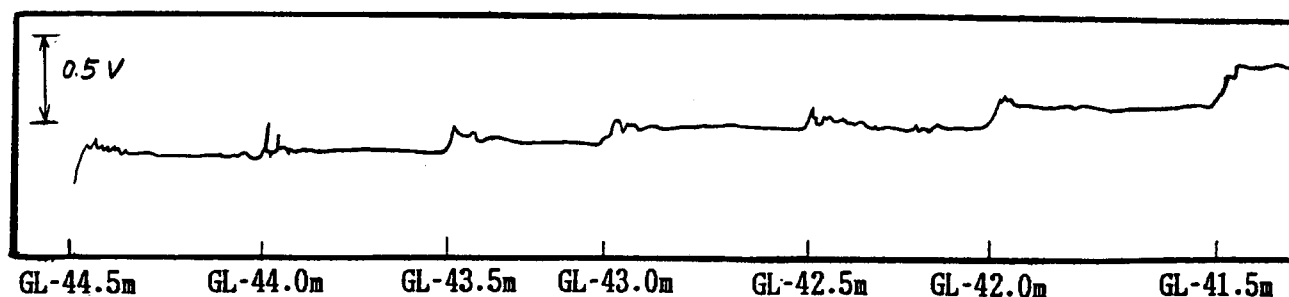


図-8.3.3 センサーによるエポキシ面確認状況の例

注入を続けてもエポキシ面が全く上昇しないところがあり、次のように対処した。

- ・ GL-15.6m : 再注入しても効果がなく、砂を投入して通過
- ・ GL-55.0m : 注入を一時中止し、硬化後に再注入して通過

また、GL-5.5mの位置では、再注入、砂の投入をしても面は上昇せず、結局、孔壁がくずれて上部で孔が閉そくした。

充填部容量に対する注入量の比は、位置による差が大きいですが、特異なところを除けば1.1~1.5程度であった。

水圧計の1.6m下側の位置にはMGLパイプに熱電対を取り付けてあり、注入されたエポキシ樹脂が孔内で硬化発熱をする様子を確認することが出来る。図-8.3.4は、計測例を示したもので、このような図をリアルタイムで表示することにより、追加注入やフィルタ材投入までの養生期間を最短にすることが出来た。

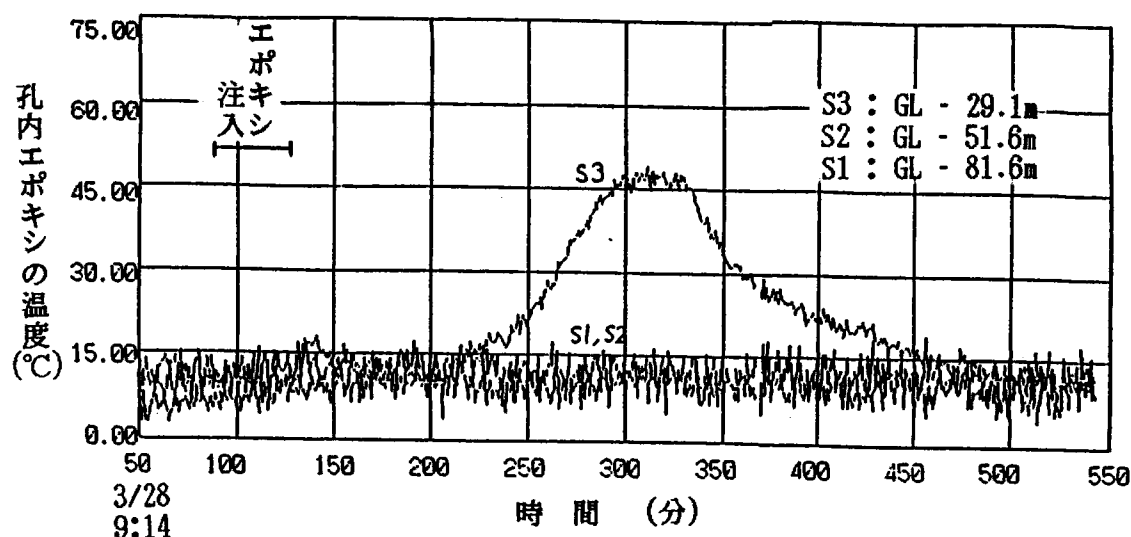


図-8.3.4 孔内エポキシの温度上昇

使用したポンプの性能から、注入圧力は 60 kgf/cm^2 以下に抑える必要があった。そこで、エポキシ樹脂の粘度をコントロールすることとし、深部 (GL-88.57m ~ -81.52m) の充填には低粘度の製品 (エポキシ1517L、他の部分はエポキシ1517) を用いた。また、エポキシ樹脂の粘度は、温度によっても大きく左右されるので、照明器を利用した簡易な加熱・保温設備を作り、使用時のエポキシ温度をおよそ $15 \sim 25^\circ\text{C}$ とした。このことにより、注入圧力を 30 kgf/cm^2 以下に抑えることができ、注入作業を支障なく行うことができた。

その他の品質管理試験の主な結果は、次の通りである。

- ・エポキシ粘度：低粘度エポキシ 840 cP 、高粘度エポキシ $5000 \sim 10000 \text{ cP}$
- ・断熱温度上昇： $119 \sim 127^\circ\text{C}$
- ・孔内エポキシ最高温度： $45 \sim 60^\circ\text{C}$
- ・一軸圧縮強度： $308 \sim 340 \text{ kgf/cm}^2$

(2) フィルタ材の設置

投入速度を一定に保つため、ロート型の砂投入器を作り、予備実験によってバルブの開閉量を決めて使用した。砂の投入は、充填部の容量から投入すべき砂の重量を算出し、あらかじめ計量した。投入中、投入後に設置位置の確認を行った (方法は、8.3.2 3))。

孔内での砂の密度を 1.4 kgf/l (室内実験結果) と仮定すると、充填部容量に対する投入量の体積比は、 $1.04 \sim 1.19$ となった。

表-8.3.3 シール材およびフィルタ材の設置結果

深度 (m)	施工日	使用材料	注入温度 (°C)	粘度 (cp)	断熱温度 (°C)	注入圧 (kgf/cm²)	一軸 圧縮強度 (kgf/cm²)	注入量 (ℓ)	注入量 充填部容積	注入量／充填部容量			
										1	2	3	4
0.85	3/30	1517	15-25	6,920	138	2-8	320	26.0					
5.45							(礫)	(206.8kg)					
10.60	3/29	"	15-23	6,880		10-20	260	98(30日) 170.3					
15.65		礫				10-20	(礫)	(101.7kg)					
20.79		1517	10-25	7,600	141 131	10	310	104.3	2.20				
26.4	3/28	"	20-26			10	(礫)	(74.4kg) 42.9					
27.95		1517	12-24	7,720	138	10	(標準砂)	(23.5kg)	1.19				
33.39	3/27							82.5	1.68				
48.68		"	16-20	6,720	138	15-20	310	225.8	1.61				
51.18		標準砂					(標準砂)	(34.2kg)	1.07				
54.99	3/26	1517	18-25	10,200	129	23	320	50.0	1.44				
64.17		"	18-28	10,600	130	10-30	340	200.0	2.39				
78.72	3/25	"	20-26	5,000	157	8-20	308	179.8	1.37				
81.52		標準砂					(標準砂)	(37.0kgf)	1.04				
88.57	3/24	1517L	18-19	840	138	23-26	330	76.4	1.19				

フィルタ材(砂)

シール材(エポキシ)

水圧計

4) 止水性確認試験結果

止水性確認試験の結果を図-8.3.5に示す。

横軸に時間を、縦軸に水位（水圧計の示す値から換算した値）を示している。図中、注水と書いているところが、孔内に注水をした期間である。水圧計は下から順にN o. 1、2、3としており、図中では実線、細破線、粗破線で区別した。また、(1)～(4)の試験を行った時の孔底（施工部上面）の位置は左図に示した。試験結果について、深度毎に以下に述べる。

(1) 孔底がGL-64.17mでの試験

エポキシ樹脂の設置面が水圧計よりも下であるため、止水性の確認とはならないが、水圧計のチェックのために試験を行った。

孔内水は、注水によりGL-40mまで上昇した。この水位より下側に設置されているN o. 1とN o. 2の水圧計は、孔内水位の上昇に伴って同じように水位上昇を示し、また、注水停止後は、どちらもゆるやかに水位低下を示している。初期値に若干の差はあるものの、両水圧計は正常に作動していることが確認できる。

N o. 3の水圧計はGL-27mの水位を示しているが、この位置には水がないので計測はできていない。この値は、水圧計の特性によるものである。

(2) 孔底がGL-51.18mでの試験

水圧計N o. 1の上部までエポキシ樹脂を設置している。この水圧計が注水による影響を受けるか否かによって、設置したエポキシ樹脂の止水性を調べることが出来る。

試験の結果では、孔底より上位に位置するN o. 2の水圧計は注水によって孔内水位が上昇したことを示しているが、N o. 1の水圧計は全く影響を受けていない。このことから、N o. 1とN o. 2の水圧計の間に設置したエポキシ樹脂は、止水性を確保していることが確認できた。

(3) 孔底がGL-33.39mでの試験

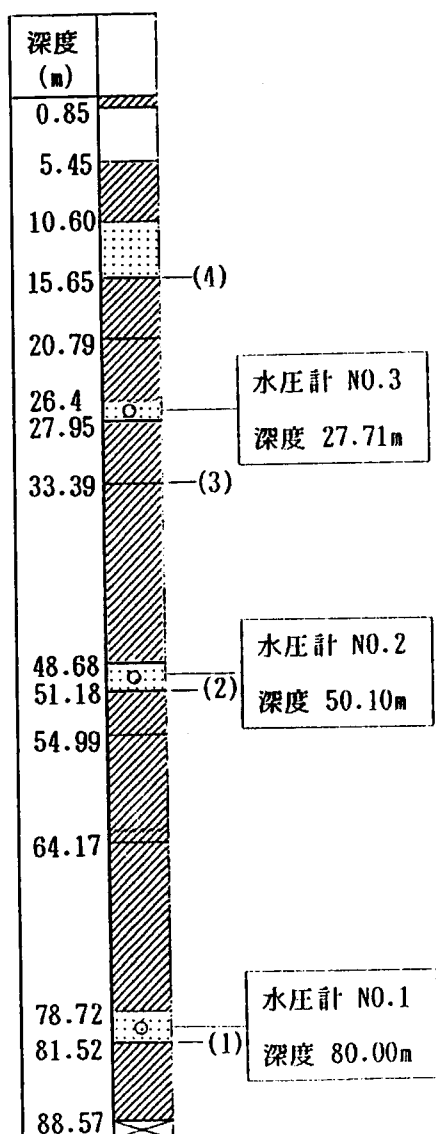
水圧計N o. 2の上部までエポキシ樹脂を設置している。

試験の結果では、孔底より上位に位置するN o. 3の水圧計は注水によって孔内水位が上昇したことを示しているが、N o. 2の水圧計は全く影響を受けていない。このことから、N o. 2とN o. 3の水圧計の間に設置したエポキシ樹脂は、止水性を確保していることが確認できた。

(4) 孔底がGL-15.65mでの試験

水圧計No. 3の上部までエポキシ樹脂を設置している。従って、注水をしたときにすべての水圧計が影響を受けてはならない。試験では、位置センサーにより孔内水位を確認した。

注水によって、孔内水位（図中△印で示す）はGL-16mからGL-11mまで上昇した。しかし、No. 1、2、3の水圧計はいずれもその影響を受けておらず、No. 3の上部に設置したエポキシ樹脂も止水性を確保していることが確認できた。



凡例

エボキシ

標準砂

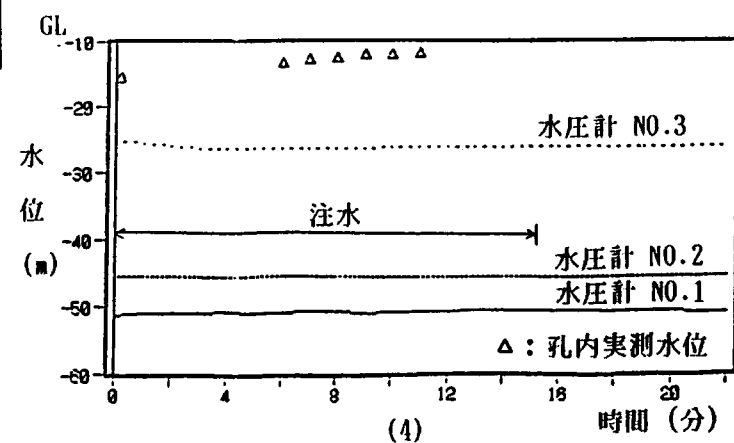
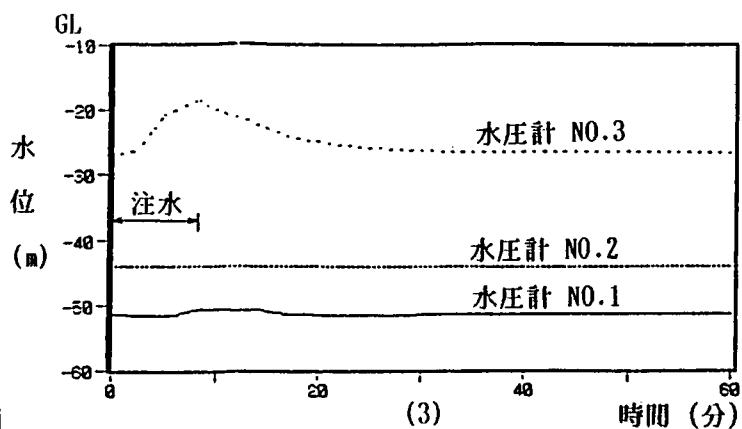
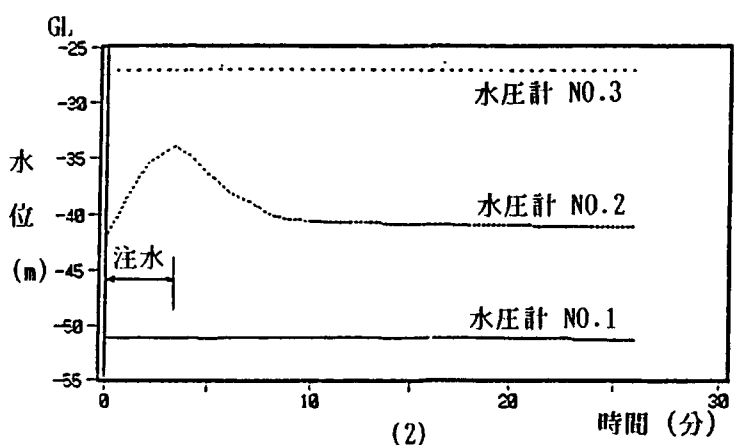
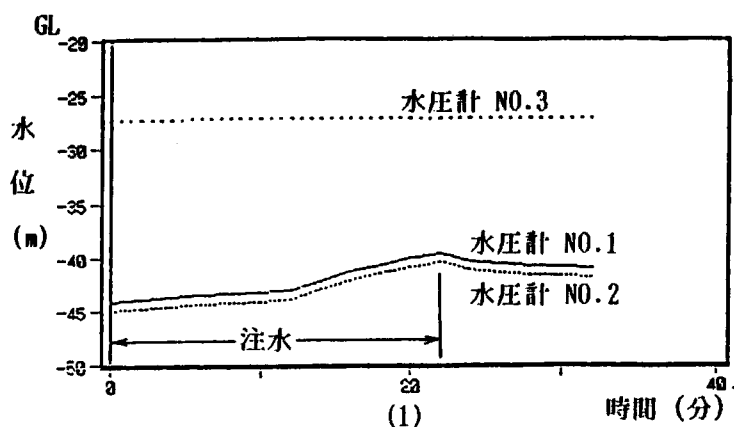


図-8.3.5 止水性確認試験結果

8. 4 セメント系シール材

実証試験は、孔径 66mm の調査ボーリングが完了し、同孔を孔径116mm に拡孔したBL-10 孔（孔口標高：228.32、図-8.1.1 参照）を用いて行った。本孔の孔長は 90mであり、この間に 3箇所の地下水圧測定点を設けた。

本実証試験の実施手順を図-8.4.1 に、主な使用機器類を表-8.4.1 に示す。

本実証試験では、所定の位置（深さ）に水圧計が設置できるようにMGLパイプを組み立てながら孔内に建込み、水圧計取り付けパイプ部には砂フィルタを、その他の部分にはセメント系シール材を、

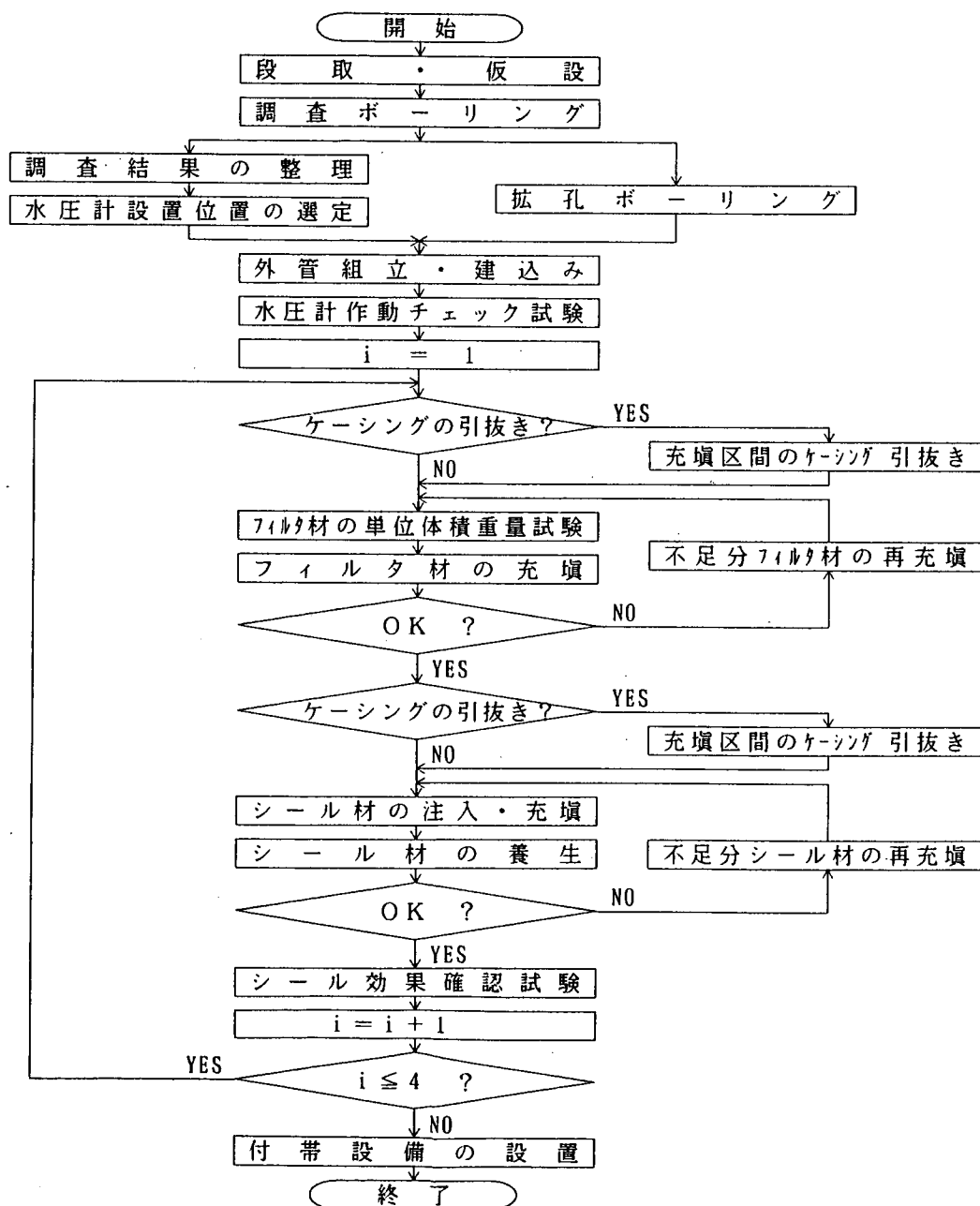


図-8.4.1 実施フロー

表-8.4.1 使用機器一覧

機 種	名 称	仕 様	数 量	摘 要
ボーリングマシン	THS-5 (利根)	掘進能力 400 m	1 台	MGLパイプの建込み等
給水ポンプ	MS-1503 (丸山)	最大圧力 30 kgf/cm ² 最大吐出量 150 l/min 所要動力 5.5 kw	2 台	
グラウトポンプ	MG-10 (鉦研)	最大圧力 30 kgf/cm ² 最大吐出量 105 l/min 所要動力 3.7 kw	1 台	シール材の充填
ミ キ サ	ハンドミキサ		1 台	シール材ミキシング
MGLパイプ		最大測定水圧 10 kgf/cm ²	90 m	水圧計 3基
シール材液面 感知装置		最大測定深度 100 m	1 式	硬化前のシール材充填 深度の管理
充填深度測定装置		最大測定深度 100 m	1 式	シール材(硬化後)とフィルタ 材の充填深度の管理
注入管 (トミ管)		外径 30 mm、内径 21 mm	95 m	シール材・フィルタ材充填
配 管 材			1 式	
水圧測定装置			1 式	
足場材・仮設材・他			1 式	

孔壁とMGLパイプの間隙に充填するとともに、各作業段階に応じて水圧計作動チェック試験およびシール効果確認試験を実施した。

なお、本実証試験は、下記の点に着目して行った。

- ① シール材の孔内での硬化時間の把握する ———— 孔内水温との関係
- ② シール材の孔外逸出率を把握する
- ③ フィルタ材充填方法の有効性を確認する
- ④ 充填区間上面の位置確認方法の有効性を確認する

8. 4. 1 水圧計の埋設位置の選定

水圧計の埋設位置(深度)は、事前に実施された本孔の地質調査ボーリング(φ66mm)から得られた調査資料および既存の調査資料をもとに選定した。図-8.1.3(c)に示したように本孔の孔内水位は掘進が進むにつれて段階的に低下しGL-61.4mで最終的に安定したが、最終孔内水位以外のGL-16m付近およびGL-30m付近にも一時的に安定した孔内水位が認められた。以上から、本地点にはGL-16m付近、GL-30m付近およびGL-61m付近に地下水面を有する三つの帯水層が存在する可能性が高いと判断した。

本地点には上記の三つの帯水層が存在するという仮定の下に、各帯水層の中に一個の水圧計を設置することとし、それぞれの水圧計埋設位置(深度)として、下位からGL-85.00m、GL-50.00mおよびGL-22.25mの計3箇所を選定した。以下、それぞれの水圧計を下位から、NO.1、NO.2、NO.3と称する。

8. 4. 2 MGLパイプ組立・建込み

(1) 組立・建込み方法

図-8.4.2 にMGLパイプの組立図を示す。

MGLパイプの建込みは、足場より 2～3m の高さまでMGLパイプを組立てた段階で、ロードホルダー型のリフタを同パイプの最上部に取り付け、ボーリングマシンのウィンチ装置を用いて孔内に挿入する作業を繰り返すことにより実施した。また、建込み作業中に同パイプが回転しないように、ワイヤーの先端には「より戻し」を装着した。

なお、作業開始前に孔内水位および孔内水温を測定・記録したほか、MGLパイプに内蔵した水圧計の検定および作動チェックを実施した。

(2) 組立・建込み結果

計画した位置に各水圧計を設置できるようにMGLパイプの組立・建込み作業を実施したが、何らかの原因により、MGLパイプが10cm沈下した。したがって、N0.1～N0.3の各水圧計の設置位置も計画に対して10cmづつ下がり、それぞれGL-85.10m、GL-50.10mおよびGL-22.35m となった（図-8.4.3 参照）。

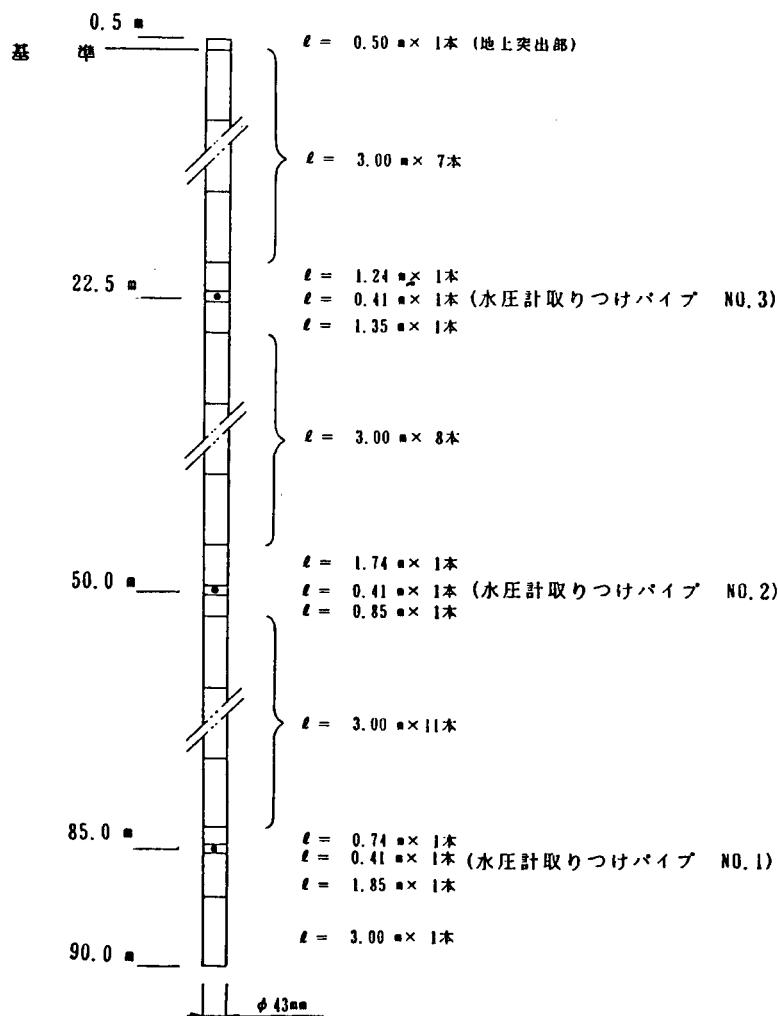


図-8.4.2 MGLパイプ組立図

8. 4. 3 MGLパイプ埋設

建込んだMGLパイプと孔壁との間隙に水圧計取り付けパイプ部にはフィルタ材を、その他の部分はシール材を充填することにより、MGLパイプを埋設した。MGLパイプ埋設計画を図-8.4.3に示す。

なお、MGLパイプ建込み終了時には水圧計の作動チェック試験を、各段のシール材充填作業の完了時には該当区間のシール効果確認試験を実施した。また、毎日の作業開始前に孔内水位および孔内水の温度を測定・記録した。

以下に、シール材およびフィルタ材の充填方法について述べる。

(1) シール材の充填

(a) シール材

シール材は、超速硬セメント（ライオンハイセッターW：大阪セメント㈱）に増粘剤（ユニショットA-10：第一工業製薬㈱）および消泡剤（DKディフォーマー：第一工業製薬㈱）を添加した超速硬強粘性グラウトを用いた。表-8.4.2に本シール材の配合および性状を示す。

本シール材の硬化時間は、養生温度が低いと長くなる傾向がある。使用した練り混ぜ水が河川水であり、かつ冬季であったことからその水温は低く、3℃前後であった。これをそのまま用いると硬化時間が長くなる可能性があったため、水温10℃に調整してミキシングに用いた。

(b) 設置方法

シール材の充填対象区間にケーシングが挿入されている場合にはそれを引き抜いた後、MGLパイプと孔壁の間隙に注入管（外径30mm、内径21mm）を当該区間の最深部から50cm上位まで挿入し、グラ

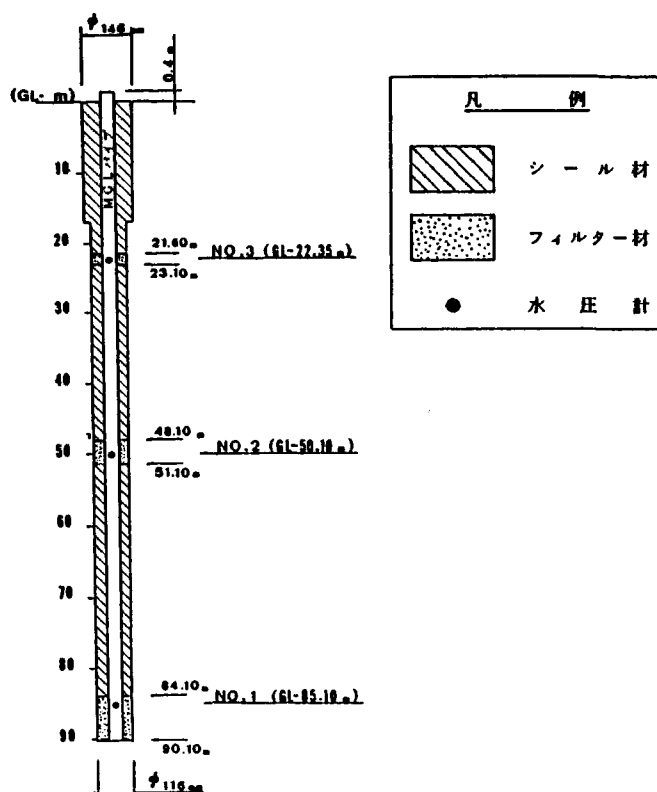


図-8.4.3 MGLパイプの埋設計画

表-8.4.2 シール材の仕様

セメントの種類	超速硬セメント（ライオンハイセッターW）	
配 合	W/C = 1	
	増粘剤(ユニショット A-10)	0.85 %
性 状	消泡剤(DK ディフォーマー)	0.1 %
	(増粘剤、消泡剤の添加量はセメント重量に対する百分率)	
性 状	フリージング率	5%以下
	ブレパクトフロー値	30±5 sec
	比 重	1.47 (at 10℃)
	(硬化時間	4 時間 (at 5℃))

ウトポンプを用いてシール材を注入・充填した。注入管を当該区間の最深部付近まで挿入してシール材を注入・充填した目的は、下記の二つである。

- ① 孔内水とシール材とを、より確実に置換させる
- ② シール材が孔内水中へ拡散することを防止する

孔内に注入するシール材の量は、孔膨れはないものとして式 (8.4.1) より算出した。したがって、充填区間 1.0m 当たりのシール材の量 (Q) は、約 9.1ℓ である。

$$Q = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \times 10^{-3} \quad \dots (8.4.1)$$

ここで、
 Q : 孔内に圧送するシール材の量 (ℓ)
 D₁ : 孔 径 (mm) ----- 116.0 mm
 D₂ : MGLパイプの外径 (mm) ----- 43.0 mm
 h : シール区間長 (m)

1 シール区間長が 20m以上であったため、孔内水がない区間では、一度に注入・充填すると3 kgf/cm² 以上のヘッドが下位のフィルタ材の上面にかかる。また、フィルタ材は後述するように「砂」を用いたことから、シール材が下位のフィルタ材中に浸透することも考えられた。このような事態を防止するため、1 シール区間を2回に分けて注入・充填し、初回の対象区間長を10 m、2回目のそれを残りの区間長とした。なお、室内試験によりシール材の注入圧力が 6.0kgf/cm² の条件で、フィルタ材中に約 2cmしか浸透しないことを確認している。

注入・充填作業に際しては、事前に充填予定深度の上面位置までシール材液面感知装置 (図-7.2.27参照) を挿入しておき、予定深度以上までシール材の液面が上昇していないことを確認しながら行った (図-8.4.4 参照)。また、注入終了後、本装置を更に深部まで挿入し、シール材液面の位置を測定した。その結果、充填予定深度に対してシール材の液面が著しく低いことが判明した場合は、連続して不足分のシール材を追加注入した。

シール材の養生時間は、4時間以上とし、この間はフィルタ材の充填等の後続作業を行わないこととした。養生完了後、図-7.2.28に示す深度確認装置を孔内に挿入し、充填されたシール材の上面深度を測定・記録した。この時、シール材充填区間上面の深度が予定よりも 1.0m 以上欠損していることが確認された場合は、欠損部分のシール材を再注入した。

なお、シール材の品質管理試験としてプレパクトフロー値・ブリージングおよび比重の測定を実施し、表-8.4.2 に示した性状を満足していることを確認した。

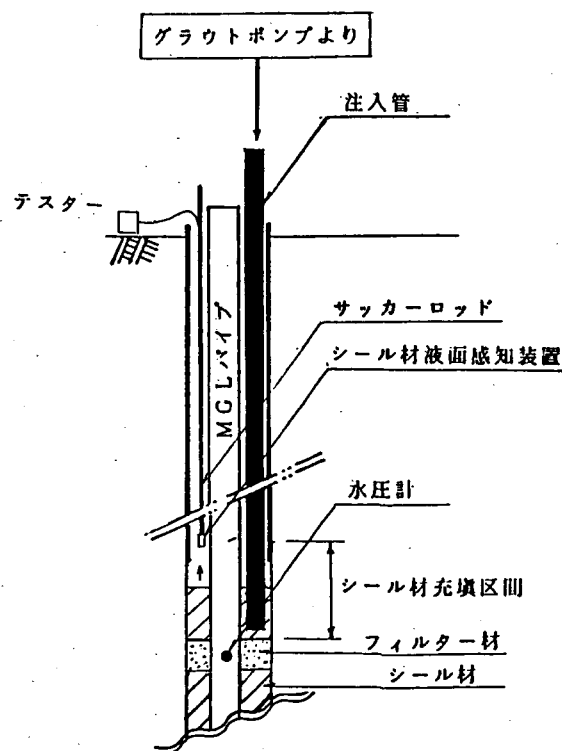


図-8.4.4 シール材の注入・充填方法

(2) フィルタ材の充填

(a) フィルタ材

フィルタ材として 2mm アンダーの洗い砂で、かつ砂の中に含まれる 0.074 mm 以下の細粒分を水洗いにより除去したものを用了。図-8.4.5 にその粒度分布を示す。

なお、フィルタ材の透水性を確認する意味から、事前に室内透水試験を実施した。その結果、良く締まった状態（間隙比 $e = 0.7$ ）でも、その透水係数は $k = 1.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であり、地下水圧の測定に支障がないことが確認できた。

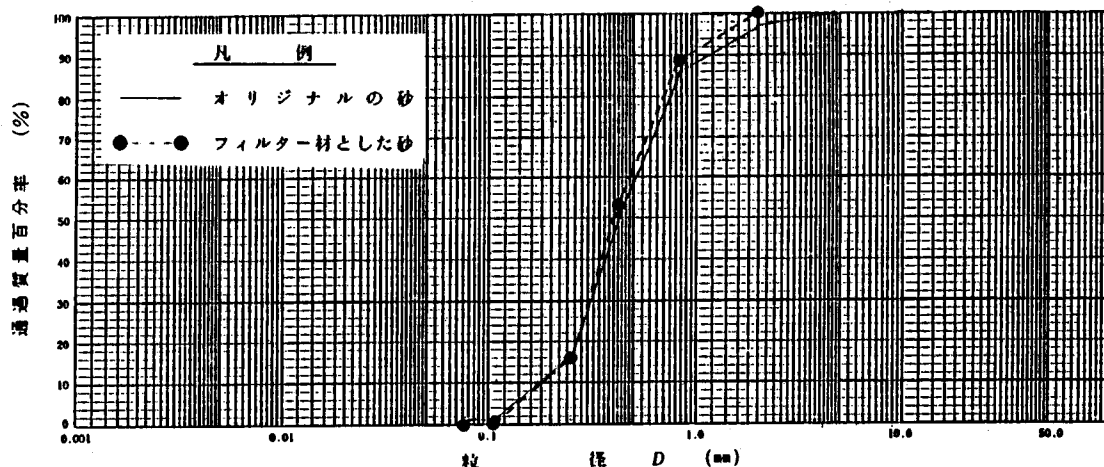


図-8.4.5 フィルタ材に用いた砂の粒度分布

(b) 設置方法

MGLパイプと孔壁の間にトレミ管（外径30mm、内径21mm）を当該区間の最上部まで挿入し、所定量のフィルタ材をトレミ管を経由して水とともに流し込み、これを充填した（図-8.4.6 参照）。この時、サッカーロッド（径 5mm のフレキシブルな棒）をトレミ管の中にあらかじめ挿入しておき、これを常に上下動させながら行うことにより、フィルタ材が管内で詰まることを防止した。

孔内に投入する一箇所あたりのフィルタ材の重量（W）は、孔膨れはないものとして、式(8.4.2) から算出した。ただし、砂の単位体積重量（ γ_s ）は、2 kg の砂をメスシリンダー（2000ml）内で水中沈澱させ、その時の砂の占める体積を測定することにより求めた。

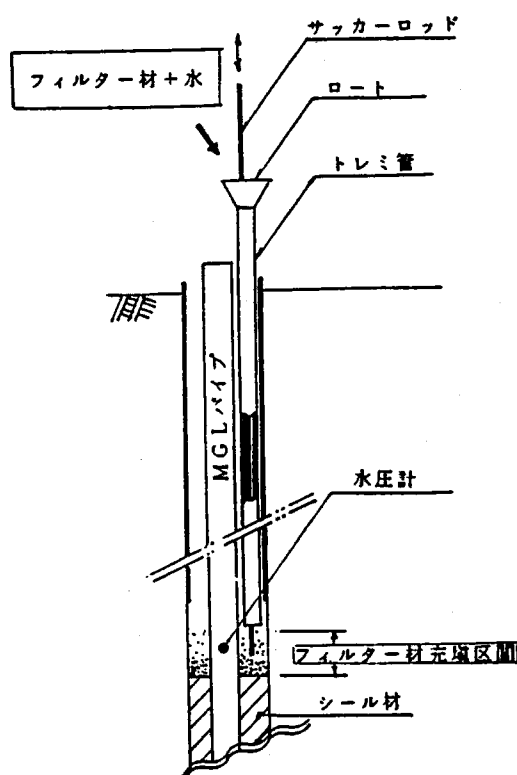


図-8.4.6 フィルタ材の充填方法

砂の単位体積重量 (γ_t) は、測定時の含水状態により 1.47 ~ 1.72 gf/cm³ の異なった値を示したが、仮に $\gamma_t = 1.7$ gf/cm³ とすると、充填区間長 (L) 1.0m あたりの重量 (W) は、15.49 kg である。

$$W = \{ (D_1/2)^2 - (D_2/2)^2 \} \times \pi \times h \times \gamma_t \times 10^{-3} \quad \dots (8.4.2)$$

ここで、
 W : 一箇所当たりの孔内に投入するフィルタ材の量 (kg)
 D_1 : 孔 径 (mm) ----- 116 mm
 D_2 : MGLパイプの外径 (mm) ----- 43 mm
 h : フィルタ材充填区間長 (m)
 γ_t : フィルタ材の単位体積重量 (t/m³) ----- 現場実験

充填完了後、トレミ管内に図-7.2.28に示した深度測定装置を挿入し、充填区間上面の深度を測定した。この時、予定の充填区間の上面深度に対し 50cm 以上の欠損が認められた場合は、不足分のフィルタ材を再充填した。

8. 4. 4 埋設結果

図-8.4.7 にMGLパイプの埋設完了図、および埋設作業の進捗と孔内水位の変動を示す。調査ボーリング中にGL-16m付近とGL-30m付近で一時的に孔内水位が安定する現象が認められたことは、既に述べた(図-8.1.3(c)参照)。これに対し、MGLパイプの埋設作業中には、ボーリング掘進中のGL-30mに対応すると考えられる一時的な孔内水位の安定現象がGL-31m ~ 34m付近で認められたものの、掘進中のGL-16mに対応する孔内水位の安定現象は認められなかった。

各段のシール材充填対象容積 (V) と実際の注入量 (Q_s) との比率 (以下、 Q_s / V と記す) を表-8.4.3 に示す。以下、各シール区間を下位から S-1区間、S-2区間および S-3区間と称する。各シール区間の Q_s / V は113 ~ 186 % の間にあり、バラツキが大きい。この原因は、充填対象地盤の透水性の不均一性にあると考えられる。つまり、 Q_s / V と充填対象地盤の透水性との関係には相関性が認められ、大きなルジオン値を示す地盤を充填対象とした区間の Q_s / V は大きな値を示し、小さなルジオン値を示す地盤を充填対象とした区間の Q_s / V は小さな値を示している。特に、充填対象区間の約70 %が換算ルジオン値 30Lu 以上の高透水性地盤で占められたS-2 区間では、 Q_s / V は三つのシール区間の中で最高の186 % を示し、注入したシール材の約半分が孔外に逸出している。

各段のフィルタ材充填対象容積 (V) と実際の投入量 (Q_f) との関係を表-8.4.4 に示す。以下、各フィルタ区間を下位から F-1区間、F-2区間および F-3区間と称する。F-1区間および F-2区間で

表-8.4.3 各シール区間の充填対象容積と実際のシール材注入量およびその比率

区間 名称	シール充填 区間深度 (GL- ~ m)	区間長 (m)	充填対象容積 V^*1 (ℓ)	実際の注入量 Q_s (ℓ)	充填対象容積と実際の 注入量との比率 $Q_s / V \times 100$ (%)
S-1	51.80 ~ 84.10	32.30	294.3	385.1	131
S-2	22.90 ~ 48.34	25.44	231.8	431.0	186
S-3	0.00 ~ 21.70	21.70	363.4	412.0	113

*1: Vは、孔膨れを考慮しない計算値

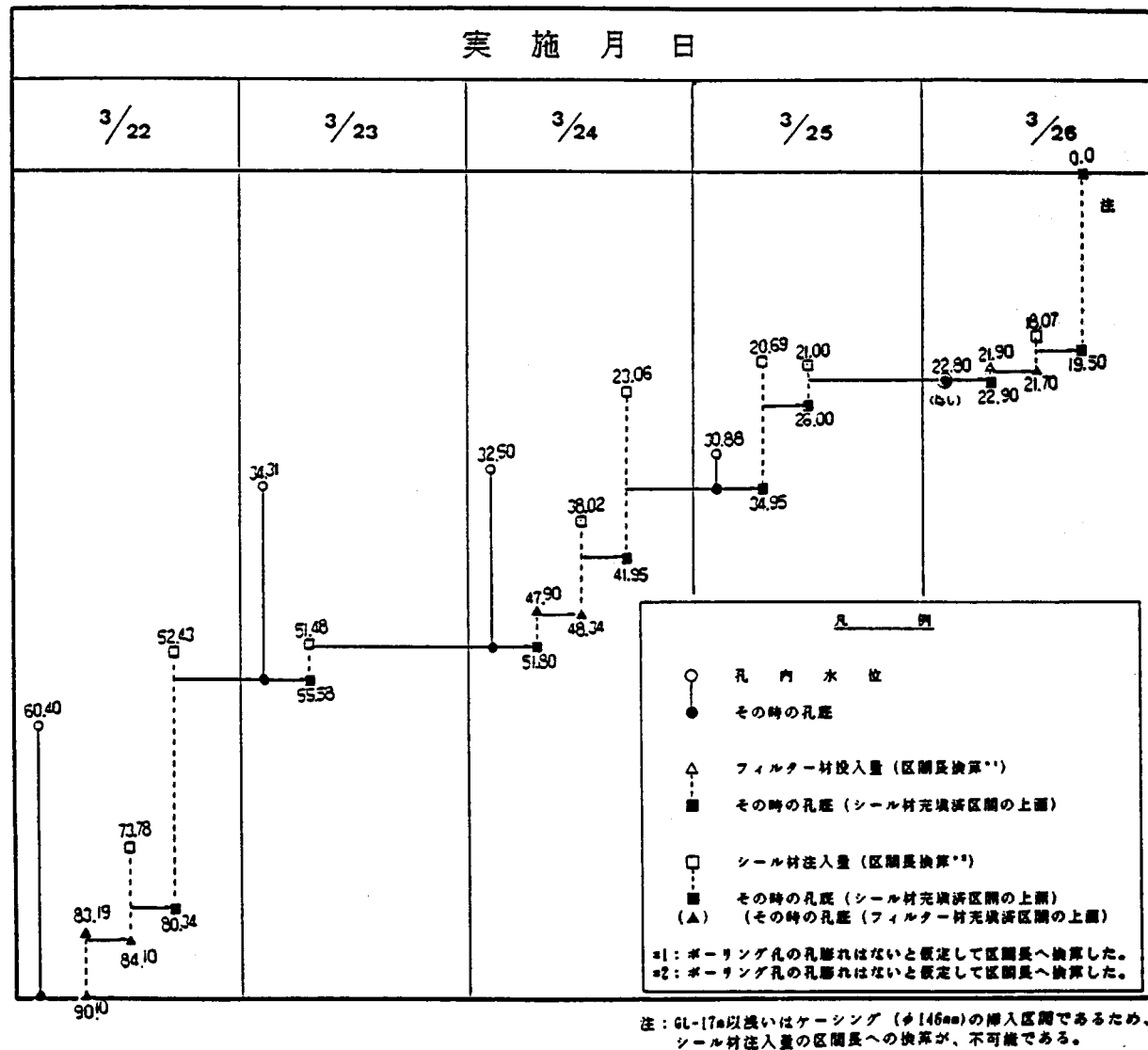
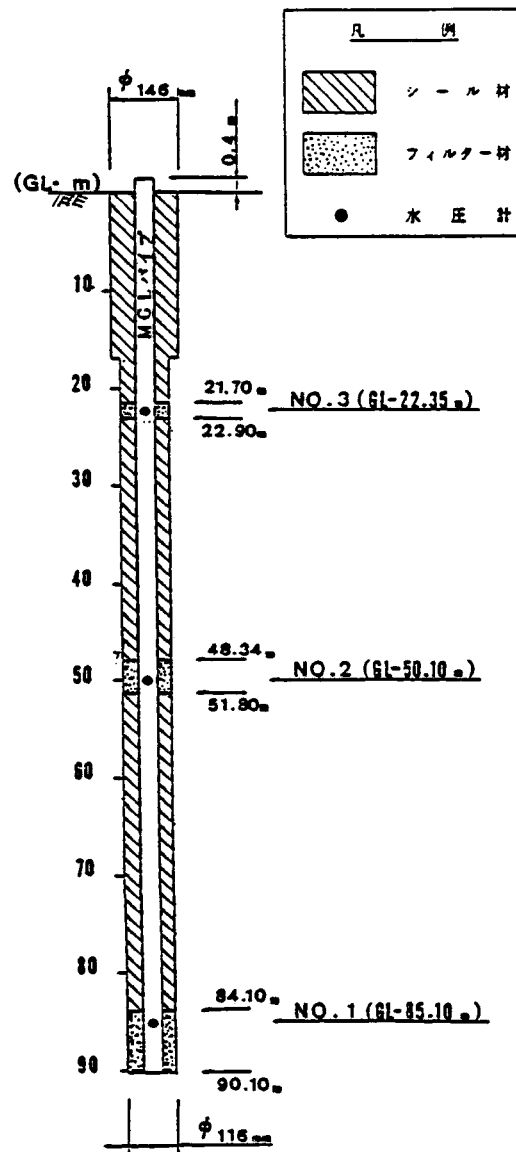


図-8. 4.7 MGLパイプの埋設作業の進捗と孔内水位の変動

表-8.4.4 各フィルタ区間の充填対象容積と実際のフィルタ材投入量およびその比率

区間 名称	フィルタ材 区間深度 (GL- ~ m)	区間長 (m)	充填対象 容 積 V^{*1} (ℓ)	砂の単位 体積重量 γ_s (gf/cm ³)	実際の投入量		充填対象容積充 実際の投入と との比率 量 $f/V \times 10Q$ (%)
					重 量 W (kg)	体 積 Qf ^{*2} (ℓ)	
F-1	84.10 ~ 90.10	6.00	54.7	1.47	90.1	61.3	112
F-2	48.34 ~ 51.80	3.46	31.5	1.72	61.0	35.4	112
F-3	21.70 ~ 22.90	1.20	10.9	1.54	28.0	18.1	166

*1: Vは、孔膨れを考慮しない計算値

*2: Qfは、それぞれの γ_s とWから算出

は、充填対象容積と実際の投入量の比率が共に 112% であったのに対し、F-3区間では 166 %を示した。F-3区間で大きな値を示した主な原因として、①ボーリング孔自体が孔膨れしていた、あるいは②充填区間に開口亀裂があり、これにフィルタ材の一部が逸出したことの二つが考えられる。しかし、調査ボーリングで採取したコアを観察した限りでは、当該区間に分布する亀裂は概ね密着しており、原因が上記②である可能性は低い。したがって、F-3 区間で大きな値を示した主な原因は、上記①のボーリング孔の孔膨れにあったと推察される。また、F-3 区間の上位にあたる S-3シール区間の Q_s/V が113 % と小さな値を示していることから判断すると、この孔膨れは F-3区間の上位にはないか、または少なかったと考えられる。

8. 4. 5 水圧計作動チェック試験

MGLパイプの組立・建込み作業を終了し、シール材あるいはフィルタ材を孔内に充填する前に、各水圧計の正常な作動を確認する目的で本試験を実施した。

以下に、その試験方法と試験結果を示す。

(1) 試験方法

本試験では、MGLパイプと孔壁の間隙に注水 (250 ℓ /min) し、孔内水位を上昇させながら各水圧計の値を測定・記録した。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それぞれの静水頭と一致すれば各水圧計は正常と判断できる。

(2) 試験結果

地盤の透水性が高かったため、GL-30m付近までしか孔内水位を上昇させることができなかった。したがって、本試験では、水圧計N0.3の作動チェックおよび口元まで上昇させたときの各水圧計の指示値がそれぞれの静水頭と一致するか否かの確認は行えなかった。

孔内水位の上昇に伴う各水圧計の水頭に換算した指示値 (以下、単に指示値と記す) の変化を図-8.4.8 に、また試験開始前の各水圧計指示値と孔内水位が最も上昇した経過時間10分の時点での各水圧計の指示値およびそれぞれの指示値から求めた孔内水位を表-8.4.5 に示す。

本試験開始前の水圧計N0.2およびN0.3の指示値は、ともに 0m を示しているが、これは開始前の孔

内水位がGL- 60.4m にあり、孔内水位よりも上位に両水圧計が位置しているためである。また、孔内水位よりも 24.7m だけ下位に位置する水圧計NO.1の指示値は24.8mを示した。したがって、10cmの誤差が認められたものの、NO.1は正常に作動していることが確認された。

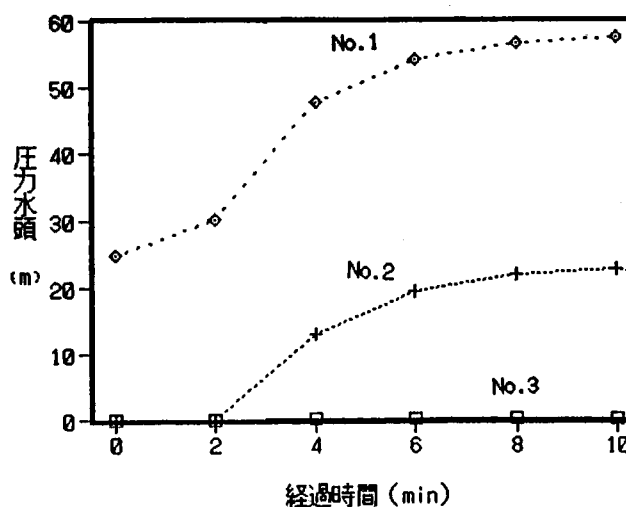


図-8.4.8 試験中の各水圧計の指示値の変化

図-8.4.8 から試験中のNO.1およびNO.2の指示値の変化は整合性が認めらる。また、経過時間 10

分で指示値から逆算した孔内水位は、両者の間で30cmの差が認められ、これは誤差の範囲といえる。したがって、NO.1およびNO.2は、正常に作動していると判断した。

なお、水圧計NO.3の作動状況は、本実証試験に引き続き実施する経時測定により判定する。

表-8.4.5 水圧計作動チェック試験結果

水圧計NO.	設置深度 (GL- m)	試験開始前の 指示値* (m)	経過時間 10 分の 時点での指示値* (m)	指示値から逆算 した孔内水位 (GL- m)	判 定
NO. 1	85.10	24.8	57.6	27.5	正 常
NO. 2	50.10	0.0	22.9	27.2	正 常
NO. 3	22.35	0.0	0.2	—	—

* : 圧力水頭に換算した値

8. 4. 6 シール効果確認試験

各シール区間のシール作業が終了した時点で、それぞれのシール効果を確認する目的で実施した。以下に、本試験の試験方法と試験結果について述べる。

(1) 試験方法

本試験は孔壁とMGLパイプの間隙に注水することにより、孔内水位を上昇させながら当該区間の上下に位置する水圧計Aおよび水圧計Bの指示値を測定した(図-8.4.9 参照)。測定結果、水圧計Aが孔内水位の上昇に追従するのに対し、水圧計Bが変化しないか水圧計Aと比

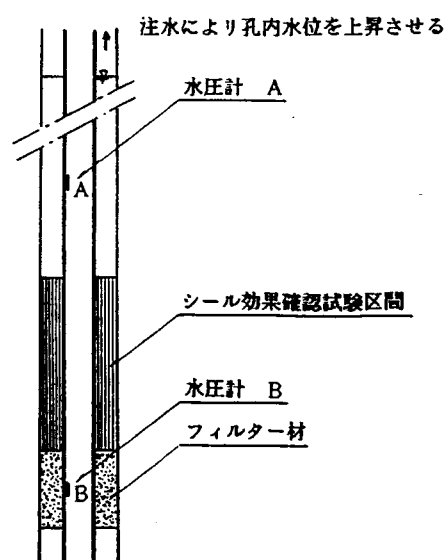


図-8.4.9 シール効果確認試験方法

較して反応が著しく鈍い、あるいは全く反応しないときは、シール効果があると判断した。

(2) 試験結果

本試験は S-1 および S-2 シール区間を対象に実施したが、S-1 シール区間で行った試験データは水圧測定装置からコンピュータに転送する段階でエラーが発生し、データが消滅してしまった。

S-2 シール区間の試験結果を図-8.4.10に示す。本図からわかるように、シール区間の上位に位置するNO. 3が孔内水位の変化に反応しているのに対し、シール区間の下位に位置するNO. 2は全く反応していない。したがって、S-2 シール区間では、正常なシール効果が確認できた。

なお、S-1 シール区間のシール効果については、既に述べた理由から、直接的に判断することができない。しかし、地下水圧が静水圧分布に従っていると仮定すると、

S-2 シール区間を対象に実施した試験中に測定したNO. 1 およびNO. 2の指示値とそれらの埋設深度から逆算した地下水面の位置は、NO. 1がGL-64.0m、NO. 2がGL-34.0mであることから、両者は明らかに別の帯水層の中にあり、かつ S-1 シール区間は正常なシール効果を発揮していると判断できる。

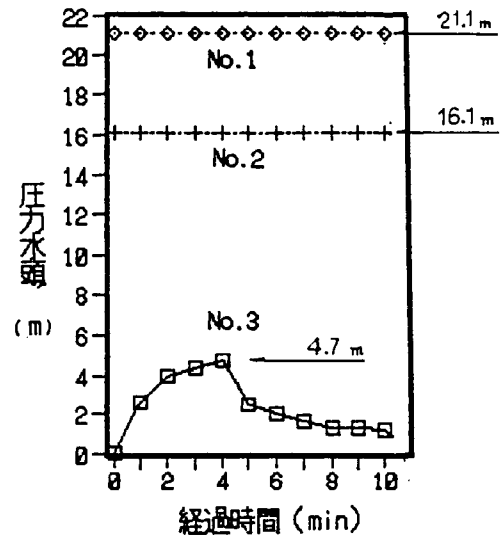


図-8.4.10 試験結果(S-2区間)

8. 4. 7 ベースコンクリートおよび水圧測定装置の設置

孔口を保護する目的で1.0m×1.0m×30cmのベースコンクリートを打設した。また、経時的な地下水圧の変動を知る目的で水圧測定装置を設置した。

8. 4. 8 まとめ

シール材・フィルタ材の充填作業および充填上面深度の確認は、特記すべき問題もなく、順調に完了し、充填方法および充填深度の確認方法の有効性を確認できた。また、シール材も、当初の目標であったブレパクトフローコーンのよるフロー値 30 ± 5秒、可使時間 1時間、硬化時間 4時間以内の性状が現場でも比較的容易に得られることを確認した。特に、孔内水温 9~10℃の条件において硬化時間を 4時間以内に制御できたことにより、1日に 2~3サイクルのシール材充填作業を実施でき、施工性の点でも優れていることが確認できた。

8. 5 水圧計の耐久試験

水圧計の耐久性及び測定値のチェックを目的としてMGLパイプを埋設した近くのボーリング孔（BS-3）に今回用いたのと同種のセンサーを4本設置し、孔内水位による水圧を水圧計で経時測定し、水位計による孔内水位と比較した。その結果を表-8.5.1にまとめた。なお、水圧計測定値はセンサー設置位置（EL. m）に測定された圧力水頭（m）を加えた値である。

表-8.5.1 水 圧 計 測 定 値

センサー設置位置	水 圧 計 測 定 値 (EL. m)					
	5/12	6/13	7/10	8/16	9/07	11/10
No. 1 EL. 136.3m	161.5	159.3	158.3	156.9	157.1	165.4
No. 2 EL. 136.5m	161.5	159.3	158.2	156.9	157.1	165.5
No. 3 EL. 137.4m	161.5	159.2	158.1	157.0	157.2	165.5
No. 4 EL. 137.6m	161.5	159.4	158.3	157.2	157.4	165.6
孔内水位 (EL. m)	161.5	159.2	158.1	157.1	157.2	165.5

（考察）

水圧計測定値は、0.1 ～ 0.2mの誤差が認められるが、FS（フルスケール：0 ～ 100m）の0.1 ～ 0.2%の範囲にあり設置後6ヶ月の間では正常に作動しているものと考えられる。

8. 6 試験サイトの地下水圧分布と止水処理計画への利用¹⁾

8. 6. 1 地下水圧分布

Mダムサイトの調査ボーリング時の孔内水位の変動状況を参照して複数の地下水位層をより正確に知るために設置された水圧計で求めた水圧値を水圧計設置標高に加えて求めた地下水位と、掘進時の安定孔内水位（既設孔の値も含む）とを図-8.6.1 に併記する。これらの図から以下のことがいえる。

- ① 安定した地下水面はEL. 165m, 200m, 220m付近に合計 3 枚存在する。ただし、EL. 220m付近の地下水面を10-1の水圧計で探知することはできなかった。よってこの標高付近の地下水の供給量は非常に少なく 1 本のボーリング孔の貫通によりその水位を失う程度のものであると推定できる。
- ② 孔内水位が地下水位と平衡状態に達していると考えて求まる地下水面と、水圧計の読み値から算定した地下水面はほぼ一致しているように思われる。よって、当ダムサイトでの調査に限れば、孔掘進時に孔内水位の丹念な調査を実施しておけば十分な精度で複数の地下水位層を知ることができよう。

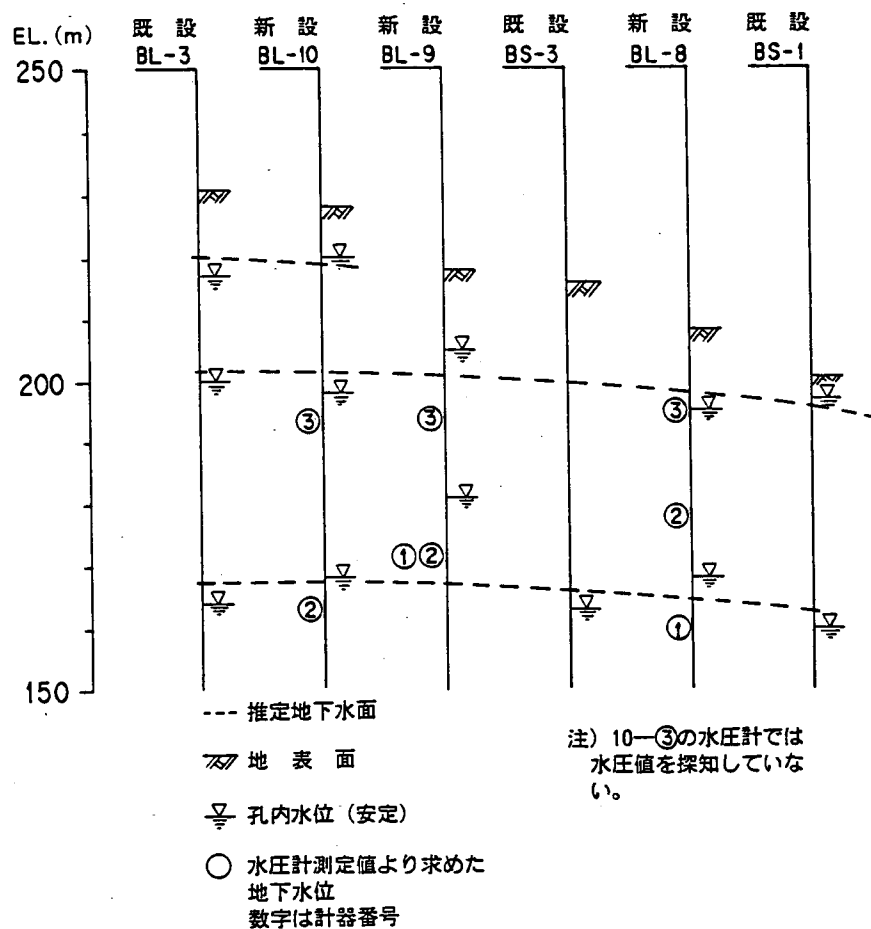


図-8.6.1 推定地下水面

8. 6. 2 測定結果の止水処理計画への利用

孔掘進時の孔内水位測定および単孔内多点水圧測定の結果からMダム左岸地山にはEL. 165, 200, 220 m程度の3枚の地下水位層があることが判明した。うちEL. 220mを除く2枚は非常に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方法によれば最も低いEL. 165m付近の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、Mダムの計画サーチャージ水位は EL. 177.30mであり、この標高に上記の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いうことになるとその施工量は非常に膨大なものになる。

Mダム左岸地山の地形は上下流方向に非常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位分布の把握が必要と思われるが、今回のダム軸断面での結果に限れば、EL. 165mの次のEL. 200m付近の地下水面も安定した状態で存在することがわかった。さらに、ボーリング孔がある透水性の低い層を貫き孔内水位がEL. 200m付近からEL. 165m付近に低下した時点でも孔内の水位が低透水位層以下に落ちることはない。透水性の低い地盤は本来保水性もよいこともありEL. 200m付近以深の地盤は全て飽和しているものと考えられる。ただし、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。

今回明らかになった地下水位分布を貯水池（サーチャージ水位）も含めてポンチ絵で示したものが、図-8.6.2である。本来、地山のポテンシャルが貯水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、今後の調査で三次元的な地下水位分布を把握してからでないと断定的なことはいえないが、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。

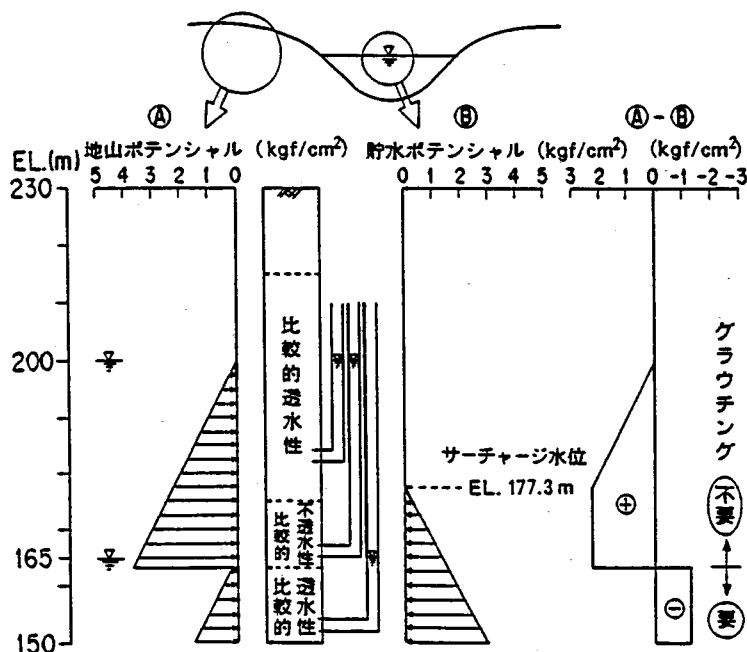


図-8.6.2 地山ポテンシャル分布

- ① 下段グラウチングトンネルを調査により得られたもっとも低い地下水位 (EL. 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に実施するが、改良項目は設定しない。

8.7 新たに発生した検討項目

実証実験の結果、当初の予定と異なって種々の問題点が発生した。ここでは、実験の結果新たに発生した検討項目について述べる。

8.7.1 ウレタン系

シール材充填作業では、布パッカーが満杯になったことを注入時の圧力上昇により管理することを試みたが、困難であることがわかった。今後、センサーによる充填状況の管理の検討が必要である。

8.7.2 エポキシ系

- ① ボーリング孔径が116mmであっても、径43mmのMGLパイプが挿入できなかった。原因は明確ではないが、岩盤状況とボーリング孔の掘削状況が影響していると考えられる。MGLパイプの確実な挿入方法を開発してゆく必要がある。
- ② 岩盤状況によって、シール材が孔壁から異常に多く浸透する場所があった。このような場所にも対処できるようなエポキシ材料を開発してゆく必要がある。
- ③ ①、②の解決のためには、ボーリング孔内状況を事前に調査しておき、岩盤および孔内状況に合ったパイプの挿入、材料の注入をするのが望ましい。このためには、孔内状況を確認する手法を開発してゆく必要がある。
- ④ エポキシ樹脂は比較的成本が高い。今後は、樹脂自体のコスト低減と、小口径ボーリングを使用した測定手法の開発により、全体コストを低減する必要がある。

8.7.3 セメント系

- ① 今回の実験では、シール材及びフィルタ材の充填上面の深度測定装置をMGLパイプに内蔵させず、必要に応じて孔内へ挿入する形式で行った。今回は孔の状態が良好であったため挿入作業が順調に行えたが、孔の状態が良くない場合や小口径での設置を考えれば、MGLパイプ内蔵方式・注入管併設方式についても検討する必要がある。
- ② シール材の物性試験で使用した材料はライオンハイセットS（夏期用）であったが、実証試験では施工時期が冬季であったため、低温下で早期強度が得られるライオンハイセットWに変更した。また、シール材のミキシング中に気泡が発生することが確認され、そのまま孔内へ注入・充填すると上位の孔内水中を気泡とともにシール材の一部が上昇し非シール材充填対象区間の孔内水を汚染する恐れがあった。そこで、このような事態を防止する目的で、シール材にセメント重量に対して0.1%の消泡剤を添加し、これを孔内に注入・充填した。したがって、実証試験で使用したシール材の物性は、シール材の物性試験で得られた結果と若干異なっていると考えられる。また、今後も本配合のシール材を用いるケースが予想されるため、本配合のシール材に対し追加物性試験を実施し物性を把握しておく必要がある。

8.7.4 小口径化

通常、地質調査で実施するボーリングは孔径が66mmである。今回の実証実験では、 $\phi 116$ mmのボーリング孔を使用した。これは $\phi 66$ mmの孔を拡孔したものである。施工の容易さ、コストを考えると、 $\phi 66$ mmのボーリング孔を使用して水圧測定を実施することが望ましい。したがって、今後は小口径のボーリング孔で多段遮水ができるよう検討してゆく必要がある。

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) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、pp. 51 ～53, 1983年11月.

9. 追加検討

9. 1 概説

8章に示した実証試験を行うことにより、我々の開発したMGLシステムは、かなり有効な水圧測定システムであることがわかった。しかしその一方で、本システムをより充実させたものに仕上げるために解決すべき検討項目が発生した。その内容については、8.7 に示したとおりである。なお、本章においては、抽出した項目のうち小口径化以外の検討結果について示し、小口径化については次章に譲る。

9.2 ウレタン系

現場実証実験では、ウレタン系シール材の充填作業において、シール材の充填量管理を注入圧力の上昇で行うことを試みたが、困難であることがわかった。そこで、センサーによる充填量管理を考え、その実証試験を行ったので、その結果を以下に示す。

9.2.1 実験目的

ウレタン系シール材を用いた多段遮水システムの実証実験では、布パッカー内にシール材が充填された事を注入圧力の上昇によって管理する事を試みたが、実際のボーリング孔では、孔荒れ、孔曲がりや岩盤の亀裂等により、圧力だけでは注入管理が不可能な場合があることがわかった。そこで、センサーによる充填状況の管理を実験検討した。

9.2.2 センサーの選定

各種センサーの中から、ウレタン系シール材の性質を考慮して、下記3つのセンサーを選定し、実験する事とした。

(1) 熱電対

性質：ボーリング孔内の水温と、ウレタン系シール材の温度差を利用してシール材の充填位置を検知する。

取付方法：布パッカーの上方の内側に高さを変えて数箇所に熱電対をMGLパイプに取り付け孔内水とシール材の温度差の違いを検知する事によりシール材の充填位置を確認する。

(2) クリップ型変位計（写真-9.2.1, 図-9.2.1参照）

性質：このセンサーは、クリップ先端間の広がりをも測定するものである。

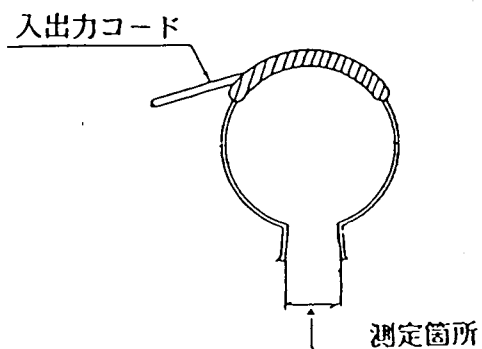


図-9.2.1 クリップ型変位計

取付方法：布パッカー上端のパイプとの固定部よりやや下の位置に、布パッカーをクリップ部で包み込む形で設置し、シール材充填による布パッカーの広がりをも検知する。

(3) C D S センサー

性 質 : C D S センサーは、光量を抵抗値に変換するもので、光量の多少によりその抵抗値は変化する。この性質を利用し、防水処理を施した C D S センサーに、光源（発光ダイオード）を取り付け、ウレタン系シール材の濁りによる光の遮断により、充填状況を確認する。

取付方法 : C D S センサーに光源を取り付けたもの（写真-9.2.2参照）を布バック外側の上部に取り付け、布バックからの漏液による濁度を測定し、シール材の布バックへの充填を検知する。尚、布バックの上下端は、ゴムの内張をしており、かつ、シール材は粘土を目詰めとして混合してあるので、漏液の量は多くはならない。

このセンサーに関しては、注入実験前にウレタン系シール材の濁度の検知試験をおこなった。

【 C D S センサーによる濁度検知実験 】

実験方法 : ウレタン系シール材をそれぞれ0,1,2,5,10,20,30,50,75,100%含む溶液をビーカーに用意し、この中に C D S センサーに光源を取り付けたものを順次入れ、各濃度に対する抵抗値を測定する（写真-9.2.3、図-9.2.2 参照）。

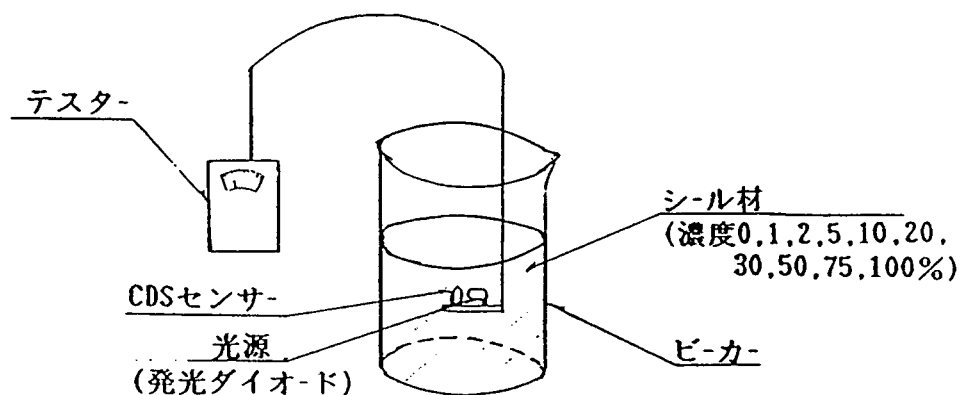


図-9.2.2 C D S センサーによる濁度検知実験

実験結果 : 実験結果を、図-9.2.3 に示す。これによると、どのセンサーも、シール材の濁度の上昇につれ、抵抗値は上昇している事がわかる。

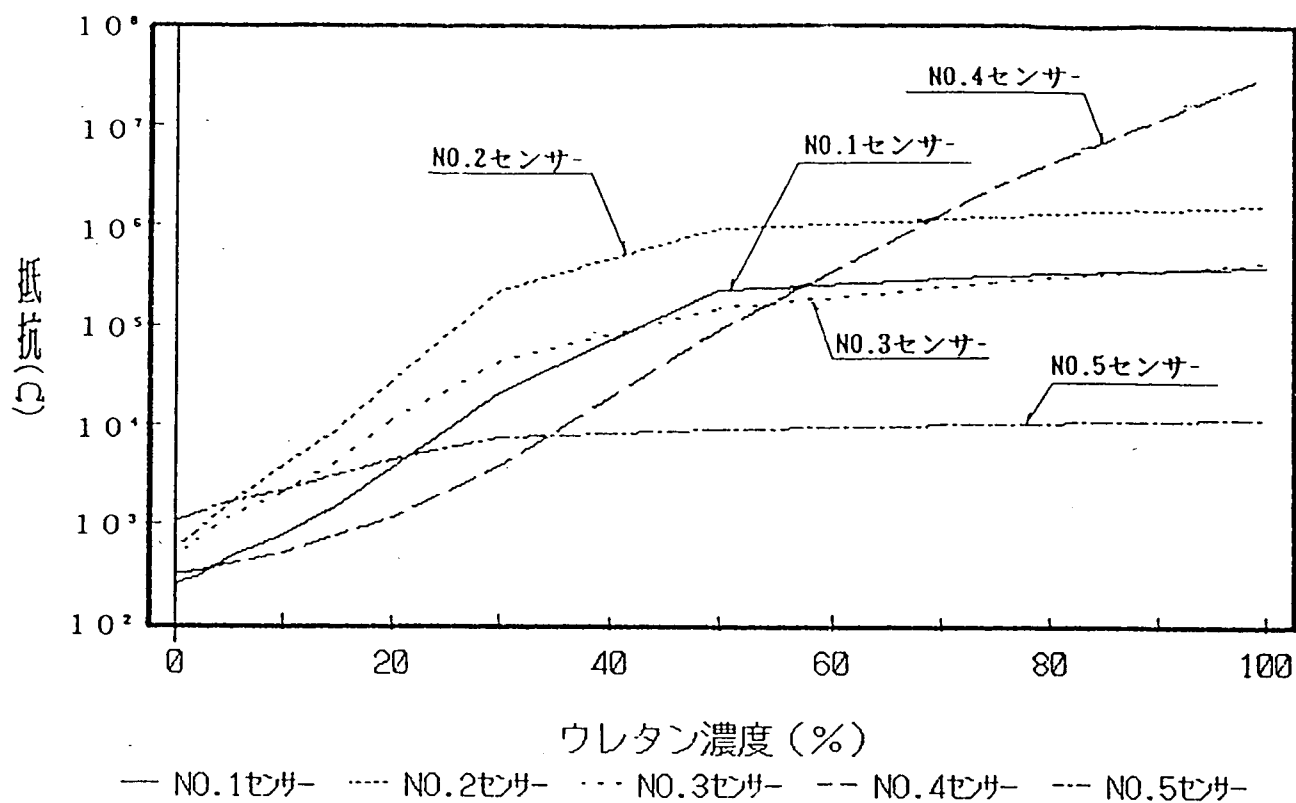


図-9.2.3 CDSセンサーを用いたウレタン系シール材の濁度測定

9.2.3 注入実験1

(1) 実験方法

9.2.2で挙げた3種類のセンサーを用いて、センサーの注入量管理への適応性を確認する為、塩ビ管をボーリング孔に見立てて注入実験を行った。センサーは9.2.2で説明した取付方法で設置した(図-9.2.4参照)。また、測定は、下記の方法・仕様で行った。

測定器：熱電対，クリップ型変位計…UCAM-5BT(共和電業)

CDSセンサー……………テスター

測定間隔：10秒毎

シール材：粘土含有率…20%、ウレタン濃度…24%(ウレタン:水=3:7)

シール材温度…26.0℃

塩ビ管内水温：19.4℃

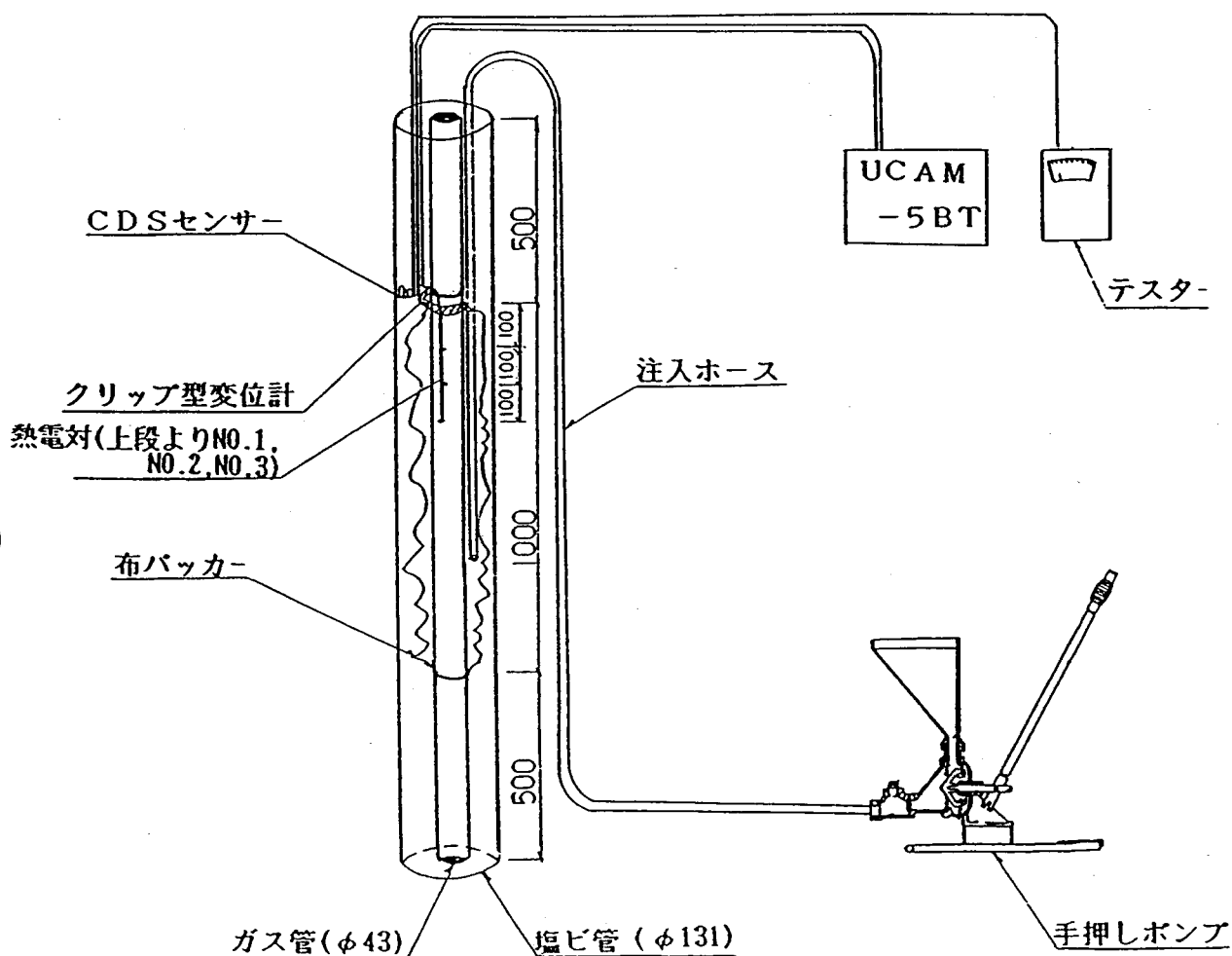


図-9.2.4 注入実験1

センサーの適応性確認実験

(2) 実験結果

設計量の注入を終了し、実験後、塩ビ管を解体したところ、注入量は適量であった(写真-9.2.7,8照)。測定結果を、図-9.2.5に示し、以下に、それぞれのセンサーの測定結果を示す。

- a) 熱電対……熱電対は、下段のものより順次温度は上昇していき、やがて、3個ともほぼ同じ温度となり、温度上昇勾配も水平となった。温度上昇は、下段のものより、2.8, 2.7, 2.2℃であった。注入前の両者の温度差は、6.5℃であったが、熱の放散により温度上昇は、小さくなったと考えられる。注入前に孔内水温を測定し、シール材の温度を調整すれば、熱電対によるシール材の注入量管理は、有効であると考えられる。
- b) クリップ型変位計……注入初期は、変位計は全く変化しなかったが、注入開始10分後頃(最上段に取り付けた熱電対の温度上昇が始まった頃)から変位が現れ始め、注入終了時には、約19mmまで変位量は上昇した。これは、布パッカーの広がりに対応しており、シール材の注入量管理には、有効であると考えられる。
- c) CDSセンサー……CDSセンサーは、9.2.2.(3)で濁度検知実験を行ったN0.1センサーを用いた。CDSセンサーは、熱電対N0.3(最上段)の温度上昇が始まった後、徐々にウレタンの濁度に反応しはじめ、緩やかなカーブを描いて上昇していき、注入終了時には、濁度15%に対応する抵抗値を示していた。

以上、上記3種類のセンサーの反応を比較すると、図9.2.5からもわかるように、それぞれ、シール材の充填に対応していることがわかる。

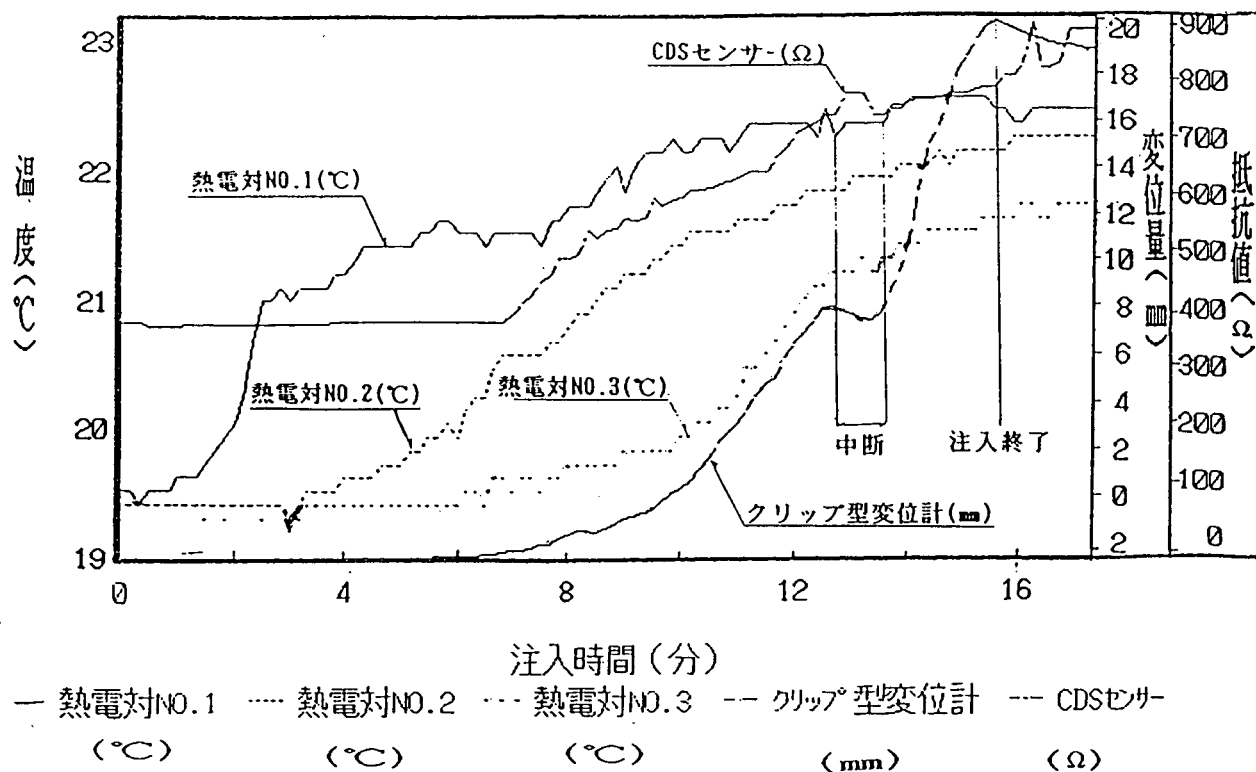


図-9.2.5 各センサー測定値

(3) 問題点及び課題

注入実験1では、センサーはシール材の充填に対応する事が確かめられたが、実際、ボーリング孔内での注入に対しては、解決すべき問題点が多い。それらを列挙すると、下記の様になる。

- i) シール材の注入を終了する基準値をどう設定するのか。
- ii) 注入量管理をパソコンを用いて簡略化できないか。
- iii) センサーは、単独で使用するのか、複数で使用するのか。
- iv) 実際のボーリング孔内の水圧に、センサーは耐えられるか。
- v) その他

9.2.4 注入実験2

(1) 実験方法

9.2.3で、前記の3種類のセンサーが有効である事が確認されたが、問題点及び課題も残された。そこで9.2.3(3)のi)~iii)までの課題を解決すべく、シール材の注入実験を行った。

実験方法としては、注入実験1で用いた3種類のセンサーを用い、熱電対とクリップ型変位計からの測定値は、UCAM-5BTとパソコン(PC-9801)により、10秒毎にデータを自動計測し、温度変化及び変位量を計測、ディスプレイ上でグラフ化した。また、CDSセンサーからの抵抗値は、テスターを用いて計測した(図-9.2.6参照)。

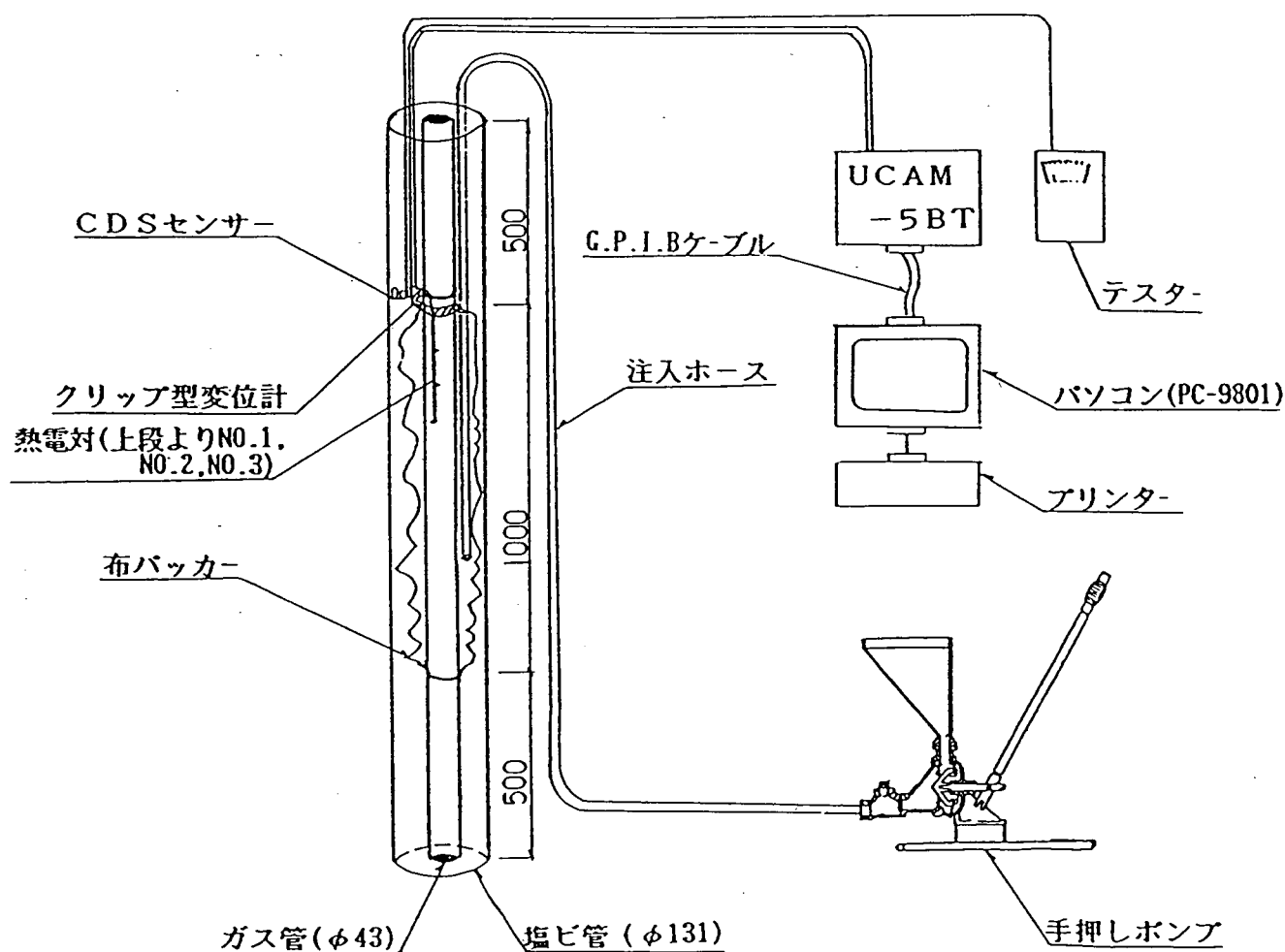


図-9.2.6 注入実験2

(2)実験結果

実験1の結果に基づいて、センサーの測定結果により注入を終了する事とした。この実験では、注入終了の基準値(状況)を仮に下記の様に定めた。

- a)熱電対……………各熱電対がほぼ同じ温度を示し、一定温度となること。
- b)クリップ型変位計…変位量20mm程度
- c)CDSセンサー……濁度20%以上

実験2における各センサーの測定値を図-9.2.7,図-9.2.8示す。以下にそれぞれのセンサーの測定結果を示す。尚、図9.2.7は、パソコンによる注入量管理に用いたグラフの複写である。

- a)熱電対………シール材注入温度は、20.4℃、塩ビ管内の水温は、14.3℃で、その差は6.1℃であり、実験1とほぼ同じ温度差で実験した。

熱電対の温度上昇は実験1と同様に、下段のものから上昇し始め、やがて一定の温度となった。注入終了時には、3個の熱電対は下段から、5.3,4.3,3.4℃温度が上昇し、それぞれ、一定の温度となった。

- b)クリップ型変位計………これも実験1と同じく、注入初期は、変位計は全く変化しなかったが、最上段の熱電対の温度上昇が始まった頃より変位が現れ始め、約19mmの変位量が測定された。
- c)CDSセンサー………CDSセンサーは、9.2.2(3)で濁度検知実験を行ったNO.3センサーを用いた。センサーは、最上段の熱電対の温度上昇が始まった頃から、急激に濁度を感知し始め、約30%に相当する濁度を示した。

前記の基準値にほぼ合致したと判断されたので、シール材の注入を終了し、注入実験に用いた塩ビ管を、養生後、解体したところ、注入量は適量であった(写真-9.2.11, 12参照)。これから分かるように、注入量は適正な範囲にあり、センサーによる注入量管理が有効なことがわかった。孔荒れの全く無いボーリング孔は存在しないから、これらのセンサーによる注入量管理は現場での施工時に極めて有効な手段となる。

この実験2及び実験1の結果より、9.2.3.(3)で挙げた問題点i)～iii)に対し、以下の解答を考えることができた。

- i)各センサーの終了基準値及び状態を下記に示す。

- a)熱電対………下段に設置したものから温度上昇が始まり、各センサーともほぼ同じ温度まで上昇し、かつ、一定となること。
- b)クリップ型変位計………変位量20mm程度
- c)CDSセンサー………検知濁度20%～30%。但し、設置位置の検討、センサー

の品質の画一化等の問題点もある。

ii) 熱電対及びクリップ型変位計は、UCAM-5BTとパソコン(PC-9801)により、自動計測し、ディスプレイ上でグラフ化した。今後、CDSセンサー或は他のセンサーを用いる場合も、同様の管理方法を用いたい。

iii) 各センサーとも、好結果ではあったが、単独で使用するより、複数で相互の関連性を見ながら使用するのがよいと考えられる。

尚、今回の実験で各センサーを使用したところ、明らかになった各々の性質・適応性をまとめると、表-9.2.1のようになる。

表-9.2.1. 各センサーの特性表

	耐久性	高水圧での測定	作業性(施工難易)	φ66への対応	経済性	測定精度	適応性	備考
熱電対	◎	◎	○	◎	◎	○	ほぼすべてに適する。	シール材の温度調整が必要
クリップ型変位計	○	○	○	○	○	◎	孔曲がり小さい場合	
CDSセンサー	△	△	△	○	◎	△	設置深度が浅い場合	品質のばらつきが大きい

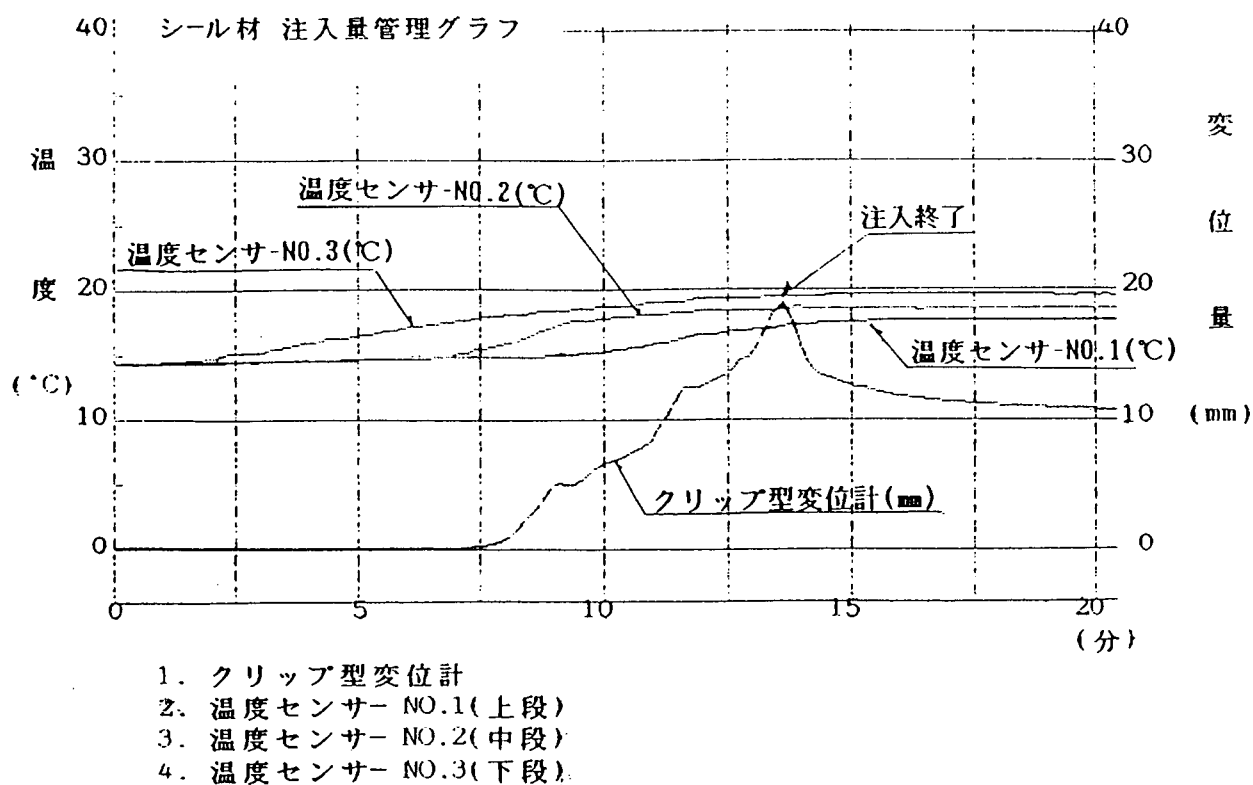


図-9.2.7 注入実験2 クリップ型変位計と熱電対の測定結果

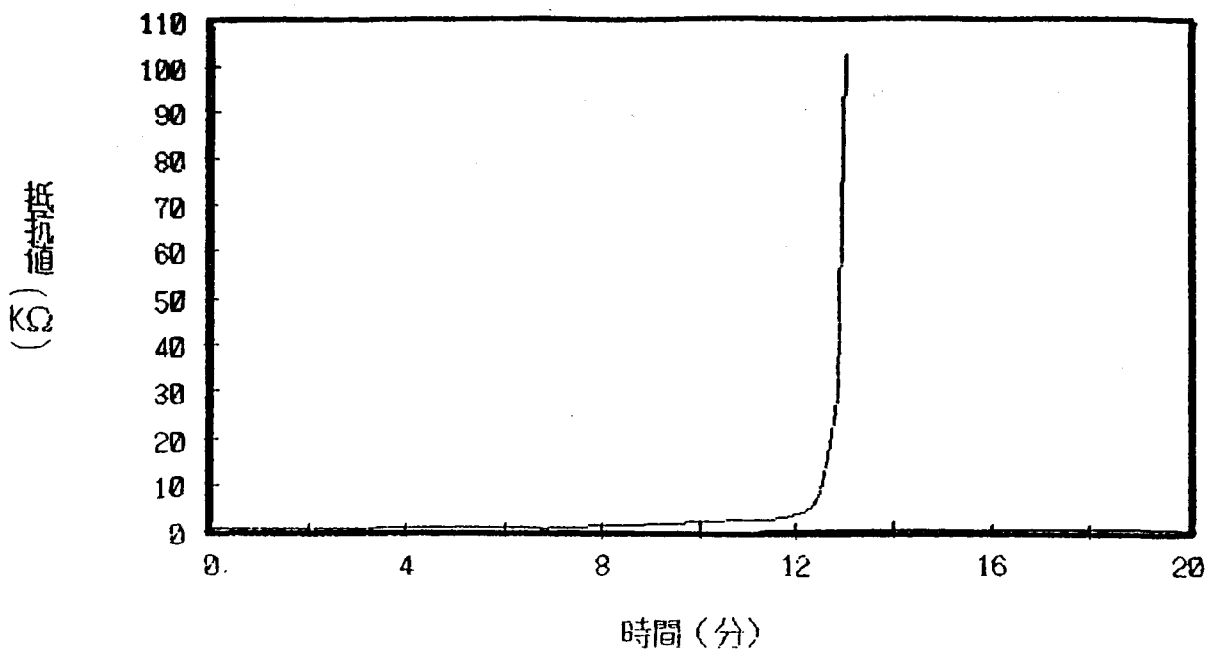


図-9.2.8 注入実験2 CDSセンサーによる濁度測定結果

9.2.5 まとめ

今回の実験結果をまとめると、以下の通りである。

- ①本実験に使用した3種類のセンサーは、ウレタン系シール材の充填状況の管理に非常に有効である。
- ②各センサーは、ボーリング孔の条件を考慮して設置位置・設置方法を検討すべきである。
- ③センサーは単独で使用するのではなく、複数個設置し、相互の関連性を検討しながら充填状況の管理を進めることが望ましい。
- ④データ・ロガー及びパソコンでの自動計測によるシール材の充填状況の管理は、機器の運搬等の問題もあるが、管理は簡略・確実で有効な方法である

以上、ウレタン系シール材の充填状況の管理に用いるセンサーを検討してきたが、これらのセンサーを用いることにより、シール材の設置位置の施工精度が向上すると考えられる。

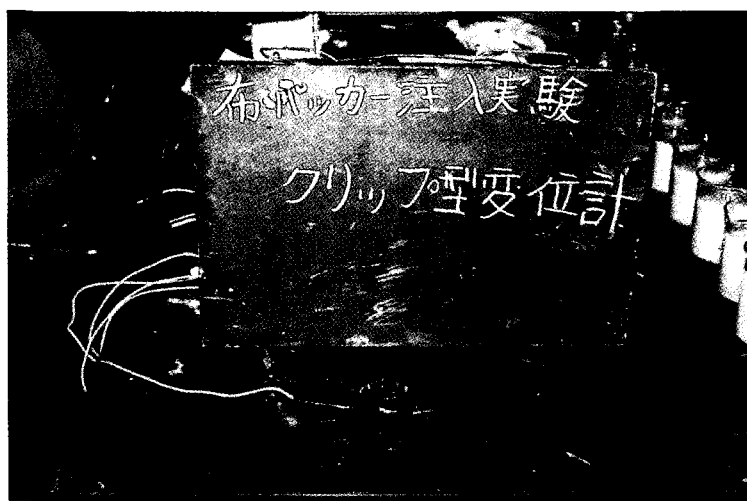


写真-9.2.1

クリップ型変位計

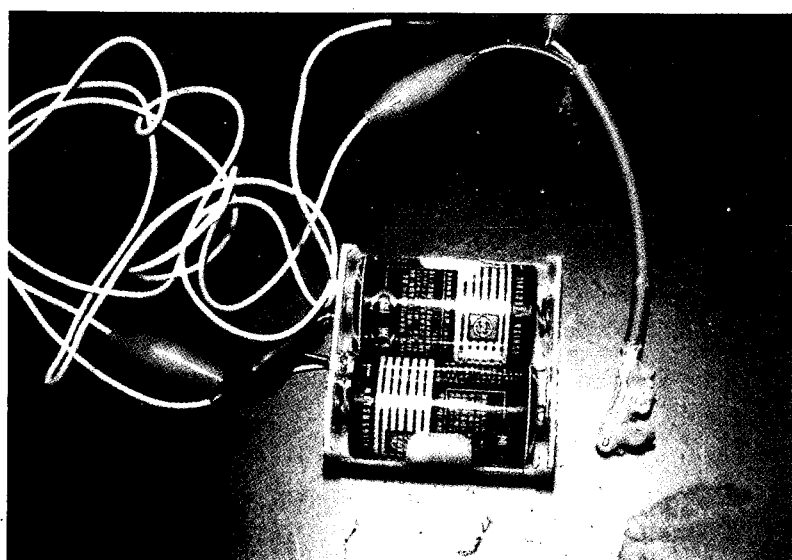


写真-9.2.2

CDSセンサー及び光源

(発光ダイオード)

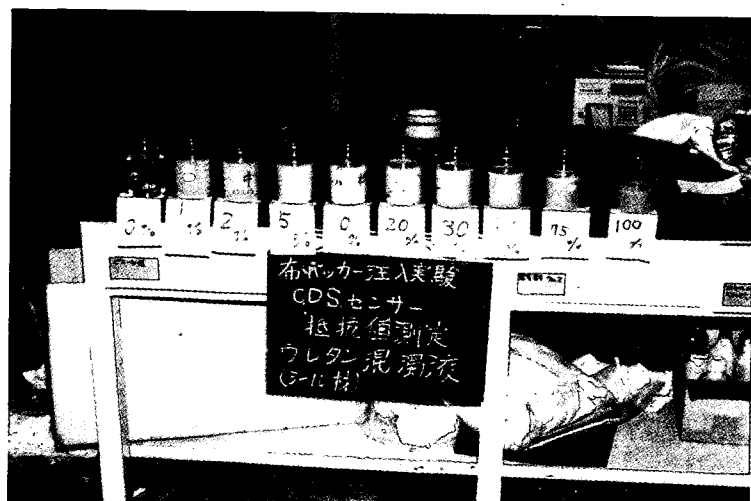


写真-9.2.3

CDSセンサーによる濁度検知実験

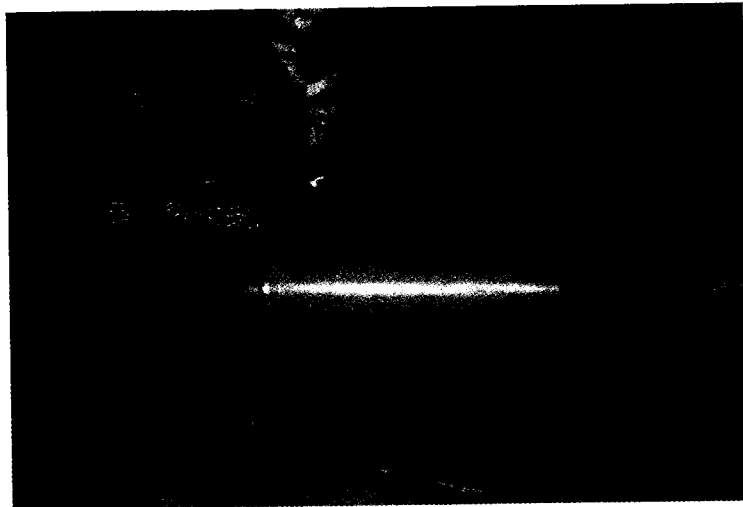


写真-9.2.4

注入実験1 注入後状況

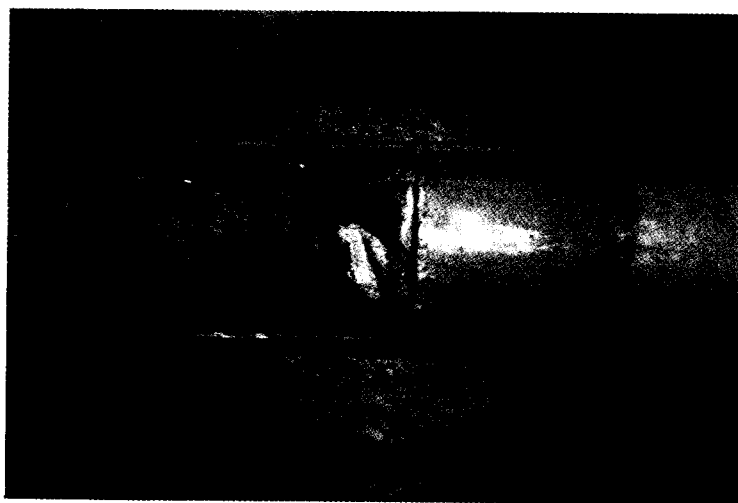


写真-9.2.5

注入実験1 注入後状況

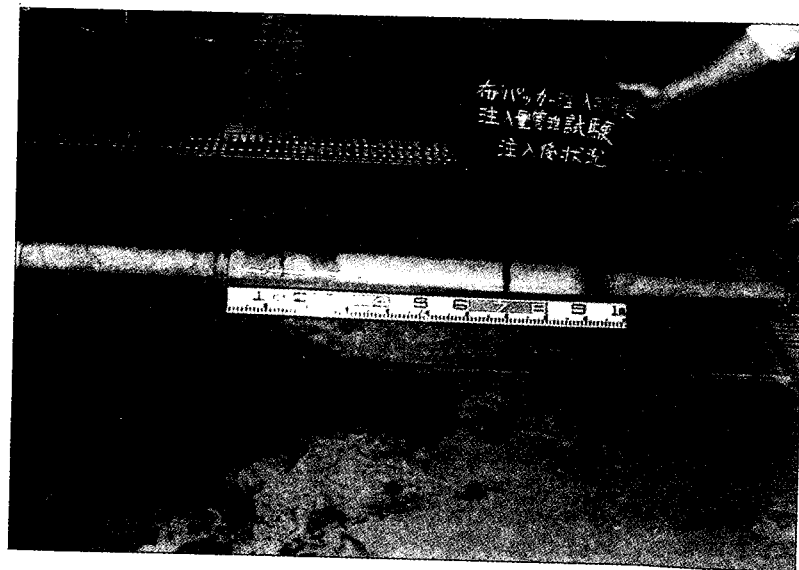


写真-9.2.6

注入実験 2 注入後状況

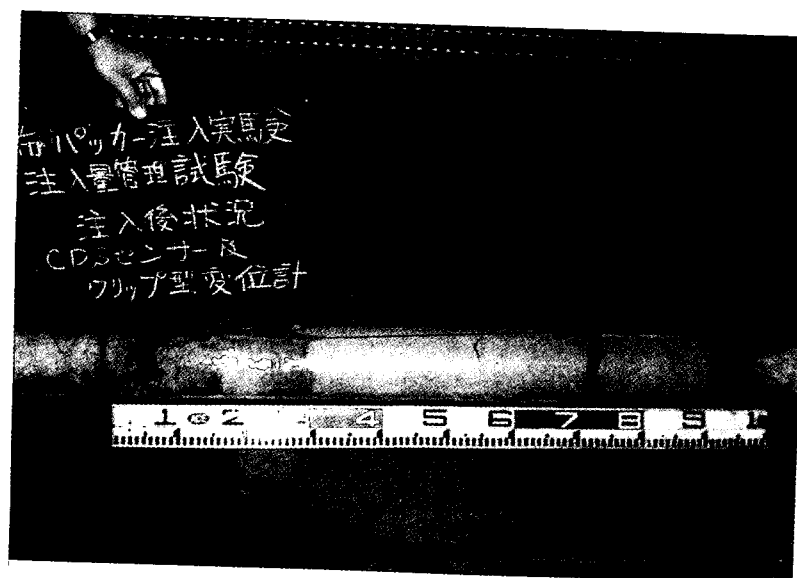


写真-9.2.7

注入実験 2 注入後状況

9.3 エポキシ系

シール材として、エポキシ樹脂を用いるときの利点、欠点は、先に述べられている（8.7参照）。この内欠点としては、以下の点が挙げられる。

- ① コストが高い
- ② 温度上昇が大きい

②については、すでに実用に合うエポキシ材料を開発し、実証試験によってその有用性を確認したが、この点も含めてさらに良好な製品を作ることを目的として、プレパックド工法・パウダーミックスドエポキシの開発を試みた。

9.3.1 プレパックド工法の開発

1) 開発概要

エポキシ樹脂シール材のコスト低減、硬化時の温度上昇の低下を目的として、プレパックド工法の開発を行った。この工法は、あらかじめボーリング孔内に礫を設置しておき、礫の間隙にエポキシ樹脂を注入するものである。当工法を確立するための問題点として、

- ① エポキシ樹脂が浸透しやすい礫の選定
- ② 礫の間隙中へ注入しやすいエポキシ樹脂の調整
- ③ エポキシ樹脂の注入方法
- ④ 出来上ったシール材の遮水性
- ⑤ エポキシ浸透面の確認方法

等が挙げられる。

これらの問題点を解決するために、室内浸透実験、室内施工実験を実施した。以下にこれらの実験結果について述べる。

2) 室内浸透実験

(1) 実験方法

本実験は、プレパックド工法の可能性をさぐるために行った基礎的な実験である。

実験は、図-9.3.1に示すように、 $\phi 100\text{mm}$ のパイプ内部に礫を水中落下させて設置しておき、底部からエポキシ樹脂を圧入して実施した。この実験によって、礫内への注入の可能性と、シール層の透水性を調査した。

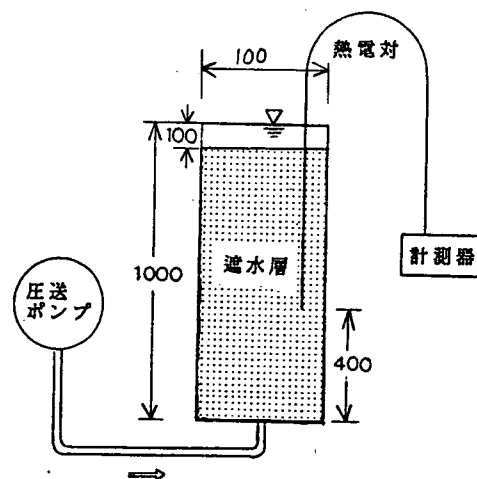


図-9.3.1 実験方法

(2) 実験材料

実験には次のような材料の組み合わせにより、6ケースについて実施した。

シール材： エポキシ樹脂（粘度：500,3700,13000 cp）

礫： 川砂利 粒径（1~2mm, 2~5mm）

シール材の圧入は、エポキシ圧送ポンプを使用して行った。

(3) 実験結果

a. 礫への注入の可否

圧入によるエポキシ浸透面の経時変化を図-9.3.2に示す。礫径が2~5mmのケースでは、エポキシ面が一定速度で浸透したが、1~2mmのケースでは、途中で浸入が停止した。これは、1~2mmでは礫が浮き上がるボイリング現象が生じたためである。。

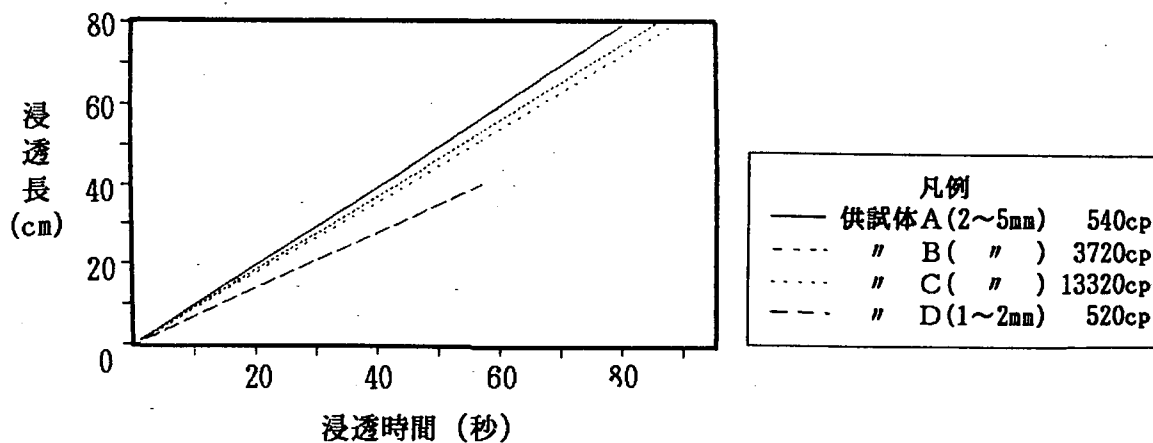


図-9.3.2 エポキシの浸透速度

この結果、礫径が大きければ注入に問題はないが、小さい場合にはボーリング現象が発生し、良好な状態で注入できないことが判明した。

b. 透水係数

礫中へエポキシ樹脂を注入して得られたシール層を切り出して透水試験を実施した。実験結果を表-9.3.1に示す。

表-9.3.1 透水試験結果

ケース	A	B	C
透水係数 (cm/s)	0	1.06×10^{-9}	6.84×10^{-10}

この結果から、礫の径が 2mm以上であればエポキシ樹脂との混合体は十分な遮水性が得られることが判明した。

(4) 結果の考察

この実験では、圧入によって事前設置された礫がボーリング現象を生ずることが判明した。実施工でボーリングが生じると、シール位置が変化するため好ましくない。

一次元浸透の場合、ボーリングが生じるのは、エポキシの圧入圧力が礫の上載圧力を上まわるためである。エポキシの圧入時の圧力は、

$$h = \frac{Q \times l}{K \times A} \quad \text{----- (9.3.1)}$$

ここに、h：圧力（水頭） Q：流量
 K：透水係数 l：試料長
 A：断面積

で表わされる。またKは、流体の粘性係数に反比例する。以上から、圧入圧力は流量とエポキシ樹脂の粘性係数に比例し、礫の透水係数に反比例することになる。

実施工に当たっては、これらのファクターを現場条件に合わせて選定する必要がある。

3) 室内施工実験

(1) 実験概要

プレパックド工法の可能性をより詳細に調査するために、ボーリング孔を模した条件で室内施工実験を実施した。

実験には、図-9.3.3に示すような装置を用いた。この装置を用いてエポキシ注入の施工性、硬化時の温度上昇、強度、止水性およびエポキシ面の位置検出の確認実験を実施した。

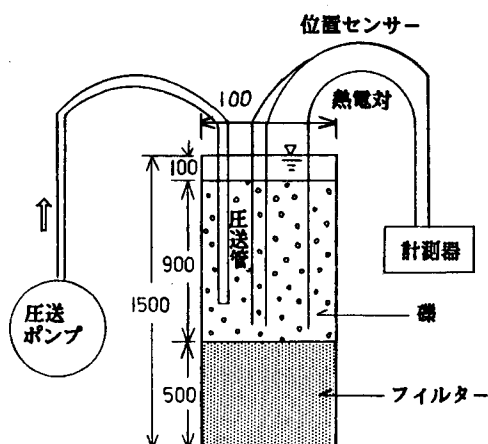


図-9.3.3 実験装置図

エポキシの圧送には、圧送ポンプを用いている。

(2) 実験ケース

実験は、プレパックド工法用の礫として2～5mm径のものを使用した。また、フィルター材の粒径、エポキシ樹脂の粘度をそれぞれ変化させて、表-9.3.2に示すような3ケースについて実施した。

表-9.3.2 実験ケース

ケース	A	B	C
エポキシ粘度 (cp)	536	1,080	13,520 (増粘剤)
礫 径 (mm)	2～5	2～5	2～5
フィルター径 (mm)	1～2	標準砂	1～2

(3) 実験結果

a) エポキシ樹脂の浸透状況

図-9.3.4に目視によって観察した、礫内を浸透するエポキシ面の位置の経時変化を示した。

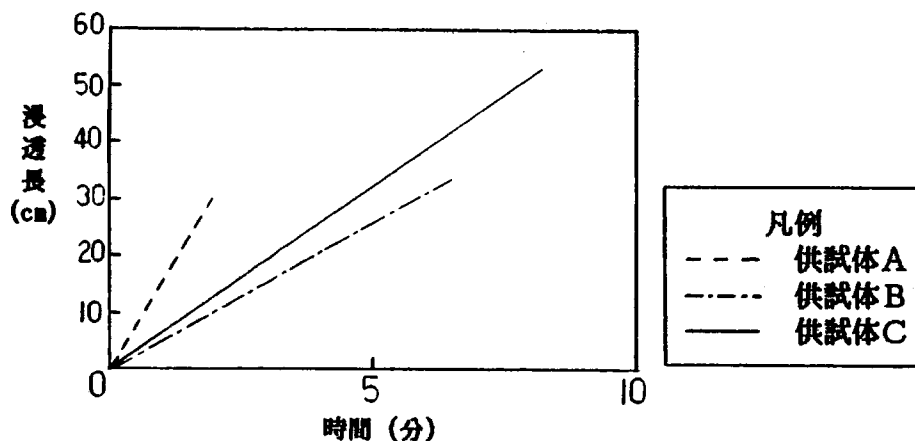


図-9.3.4 圧入されたエポキシの時間ごとの浸透長

図にみられるように、エポキシ樹脂は定速度で礫中を浸透している。また、ケースA，Bでは、粘度が低い程浸透速度が速くなっている。ケースCはエポキシに増粘剤を添加しているため、他とは傾向が異なっている。

b) 硬化時の温度

図-9.3.5にエポキシ樹脂が硬化する時のシール材内部の温度測定結果を示す。

図に見られるように、いずれのケースにおいても硬化時の最高温度は、エポキシ樹脂単体を用いた場合より低くなっている。この結果から、当工法は硬化時の温度低下に対しては有効な方法であることが分かる。

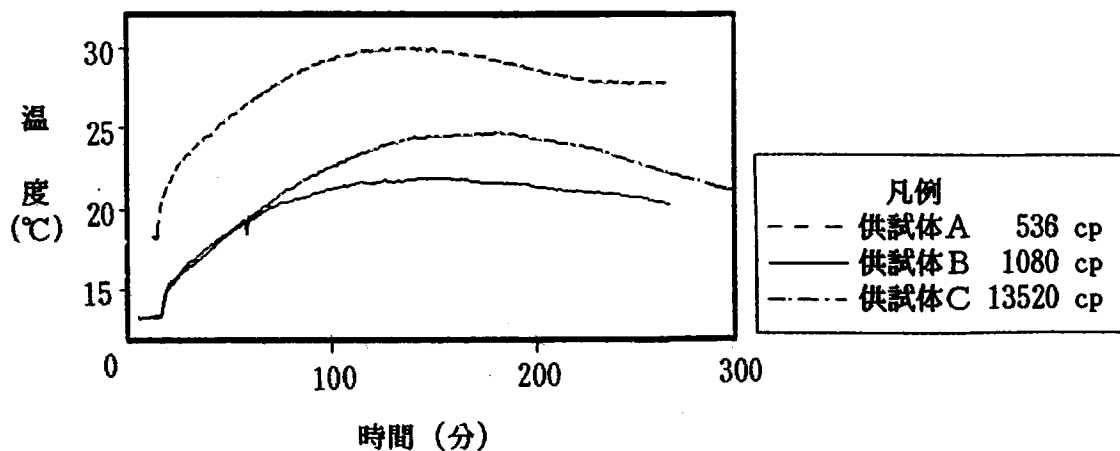


図-9.3.5 硬化時の温度測定結果

c) 強度

施工実験で得られたシール層から供試体を切り出し、一軸圧縮試験を行った。試験結果を表-9.3.3に示す。

表-9.3.3 一軸圧縮試験結果

ケース	A	B	C
強度 (kg/cm ²)	173	178	162

いずれのケースでも、160kg/cm²以上の一軸圧縮強度が得られており、シール材の強度としては十分であることが分かった。

d) 透水試験

強度試験と同様に、実験で得られたシール層から供試体を切り出して透水試験を行った。試験結果を表-9.3.4に示す。

表-9.3.4 透水試験結果

ケース	A	B	C
透水係数 (cm/s)	9.0×10^{-8}	3.2×10^{-8}	4.8×10^{-6}

この実験では、エポキシ樹脂の粘度の高いケースCが大きな透水係数を示した。また、先に行った圧入試験によって得られた結果と比較するといずれも透水係数は高くなっている。当試験の供試体は、エポキシ浸透の前面に近い部分から試料を切り出したため、このような結果が得られたものと考えられる。

(4) 実施工への適用性

礫内へのエポキシ樹脂の圧入実験、及び注入実験によって得られた結果は次のようである。

- ① プレパックド工法を実施するためには、礫の粒径を2mm 以上にする必要がある。
- ② 当工法により、エポキシ樹脂硬化時の温度を低下させることができる。
- ③ シール層の強度は遮水層として十分満足できる。
- ④ シール層の透水係数は、浸透面付近や高粘性の樹脂を使用すると高くなる傾向にあるが、浸透が十分になされれば、遮水層としての透水性は満足する。

以上より、プレパックド工法は実用に耐えらるる。今後はエポキシ樹脂の浸透面の確認手法について検討してゆく必要がある。

9.3.2 パウダーミックスドエポキシの開発

1) 開発概要

エポキシ樹脂シール材のコスト低減、硬化時の温度上昇の低減、ボーリング孔壁、フィルター材へのエポキシ樹脂の浸透の低減を目的として、エポキシ樹脂に粉末を混入した、パウダーミックスドエポキシの開発を行った。

パウダーミックスドエポキシは、低粘土のベースレジンと微粉状充填材の組み合わせで構成されている。充填材はベースレジンに対し約30%加えている。充填材を添加するメリットは、チクソトロピック効果によるフィルター材に対する浸透深さの低減、硬化時の反応温度の抑制、シール材価格の低減などである。価格の点では従来のエポキシシール材に比較し、約30%のコストダウンが可能となる。

開発に当たっては、パウダーミックスドエポキシの物性試験、フィルター材への浸透実験を実施し、シール材としての適性を判定した。

以下に実験結果について述べる。

2) 物性試験

パウダーミックスドエポキシの物性を知るため、物性試験を実施した。試験方法は4.3.1に準じた。以下項目別に試験結果を述べる。

(1) 粘度

測定時間と粘度の関係を表-9.3.5に示す。

表-9.3.5 粘度試験結果

(cP)

時間(分) \ 養生温度(℃)	0	30	60	90	120
5	1936	2328	2896	4300	4710
20	992	1064	1436	3500	3850
30	528	712	1000	3520	9000

養生温度により初期粘度が異なり、時間が経過するにつれ各温度とも粘性が増加する。プレーンエポキシ樹脂に比べると、温度による粘性低下の割合が小さくなっている。

(2) 可使時間

温度上昇曲線を図-9.3.6に示す。可使時間は、4.3.2に述べた②の方法より求めた。結果を表-9.3.6に示す。

表-9.3.6 可使時間

養生温度	可使時間
5℃	150分
20℃	45分
30℃	25分

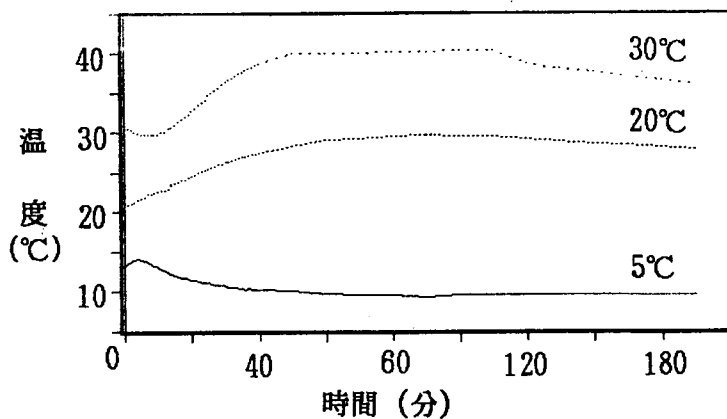


図-9.3.6 温度の経時変化

(3) 透水試験

水圧 6 kgf/cm^2 のもとで7日間透水試験を行ったが透水は認められなかった。したがって不透水であるといえる。

(4) 一軸圧縮強度

一軸圧縮試験の結果を表-9.3.7化学的安定性の表中に示す。

今回開発したエポキシは塑性変形を示さず弾性体の挙動を示し、弾性範囲が広い。そこで表には20%及び50%のひずみでの値を、その時点の一軸圧縮強度として示した。

(5) 付着強度

内管の押し抜き力は 3.68 tf である。内管とエポキシ樹脂の接触面積 (81.1 cm^2) で割り、付着強度を求めると 45.4 kgf/cm^2 となる。

(6) 膨張・収縮量

膨張・収縮の試験結果を表-9.3.8に示す。

表-9.3.8 膨張・収縮量

材 令	収縮量(平均)
1 週	0.051 (%)
2 週	0.057

(7) 化学的安定性

結果を表-9.3.7に示す。

表-9.3.7 化学的安定性

pH	養生時間	重量変化 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
			20%ひずみ	50%ひずみ
pH.5	1 週	0.126 0.127 0.132	56.0 58.6 58.3	343.0 360.6 362.2
	(平均値)	0.128	57.6	355.3
pH.7	1 週	0.140 0.135 0.142	54.9 55.6 57.6	348.0 344.9 324.4
	(平均値)	0.139	56.0	339.1
pH.9	1 週	0.145 0.145 0.138	59.0 57.2 55.1	370.1 346.2 339.5
	(平均値)	0.143	57.1	351.9

表からpHによる強度低下は特に見られず、化学的に安定であることが分かる。

(8) 比重

比重試験の結果は以下の通りである。

主 剤：1.461

硬化剤：0.997

3) フィルター材への浸透実験

(1) 実験概要

開発したエポキシ樹脂（パウダーミックスドエポキシ）のフィルター材への浸透性を調べる目的で、浸透実験を実施した。

a) 実験方法

実験は、7.2.2 に準じて実施した。

b) 実験材料

実験材料には、以下のものを使用した。

シール材： パウダーミックスドエポキシ （粘度別3種類）

フィルター材： 豊浦標準砂

これらの材料を用いて、表-9.3.8に示すような3ケースについて実験を実施した。

表-9.3.8 実験ケース

試料 No	1	2	3
フィルター層密度 (g/cm ³)	1.435	1.435	1.435
エポキシ温度 (°C)	18	19	19
粘度 (cp)	1440	5840	7960

なお浸透の空気圧は3kgf/cm²とした。

(2) 実験結果

以下に実験結果について述べる。

図-9.3.7にエポキシが浸透した長さの経時変化を示す。

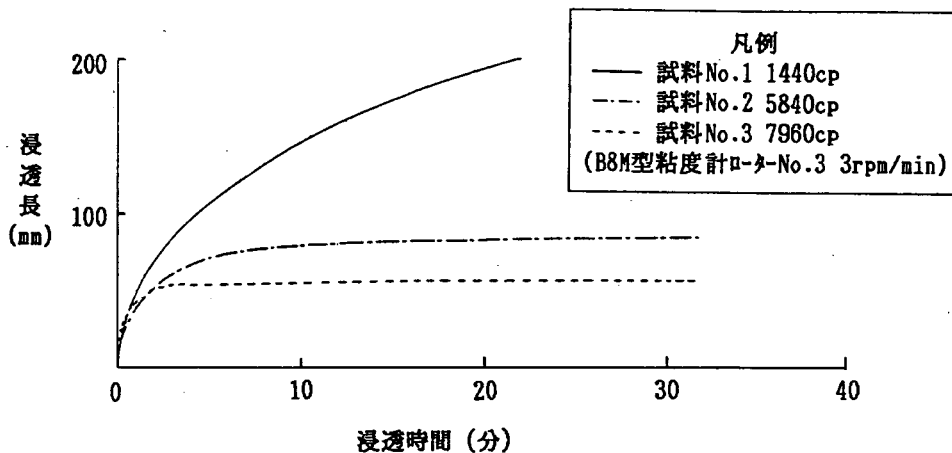


図-9.3.7 浸透長の経時変化

エポキシの浸透長は、粘度が大きくなるほど短くなる。また、粘度が5000cp以上では、エポキシのフィルター層への浸透が停止している。

図-9.3.8に粘度とエポキシの浸透長の関係を示す。

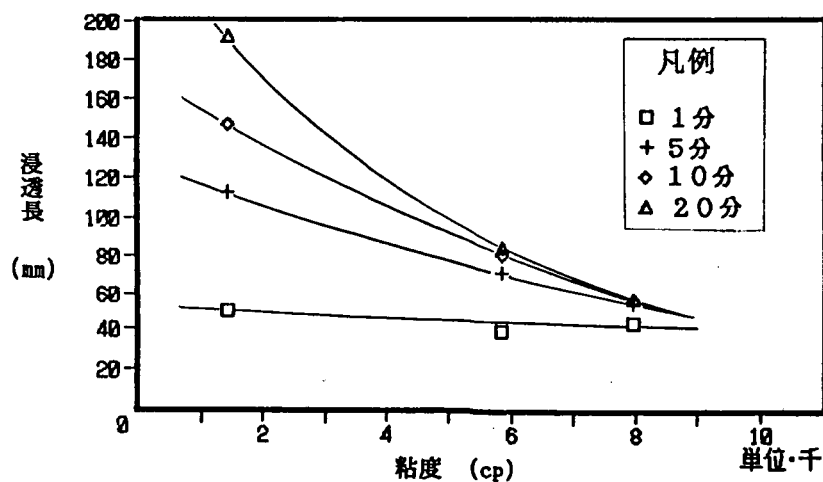


図-9.3.8 粘度と浸透長

これによると、浸透初期には粘度による浸透長の差はほとんど認められないが、時間が経つにつれ、粘度による浸透長に違いが表れている。高粘度ほど早い時間に浸透は停止し、浸透長も短いことが分かる。

4) 実施工への適用性

新たに開発したエポキシ樹脂（パウダーミックスドエポキシ）の物性試験、浸透実験によって以下の点が判明した。

- ① エポキシ樹脂の物性については、各項目ともシール材としての適性をそなえており、実用に供することができる。特に広い範囲にわたって弾性的挙動を示すことから、シール材としての適性に優れていると考えられる。
 - ② 特に開発目標とした、コスト低減、温度上昇の低下に対しては初期の目的を達成できた。
 - ③ フィルター材への浸透については、エポキシ単体を用いるよりも浸透しやすい結果となり、初期の目的が達成できなかった。ただし、現状でもシール材としての使用は可能である。
 - ③項については、今後石粉の粒度を変えることによってより良いシール材が開発できると考えている。
- 以上の結果から、当シール材は十分な実用性をそなえていると考えられる。

9.4 セメント系

9.4.1 概要

8.7で示したように冬用超速硬セメントハイセットWを用いたシール材の物性試験結果は、以下のようであった。

9.4.2 シール材の物性

1) 使用材料

試験に使用した材料を表-9.4.1に示した。

表-9.4.1 追加試験に使用した材料

	使用材料	混合量
セメント	ハイセットW	W/C=100%
増粘剤	ユニショットA-10	0.85%
消泡剤	DKディフォーマー	0.1%

2) 試験方法

表-9.4.2に追加試験で行なった試験項目と材令の一覧表を示す。試験方法は、4.4.3セメント系シール材の試験方法と同様である。シール材は、現場実証実験の時と同じようにハイセットWに1に対して増粘剤0.85%、消泡剤0.1%の配合とした。追加試験は、現場実証試験で低温での硬化時間を短くするために、セメントをハイセットWに変更したための物性試験であるので、一軸圧縮試験においては短期の材令を増やして、3時間、6時間、1日、3日、1週、2週、3週、4週、8週、13週、26週の11材令で行なった。膨張収縮量についても脱型後1日から測定を開始した。

表-9.4.2 追加試験で行なった試験項目

試験項目	測定条件
粘度変化	80分まで
硬化時温度上昇	最高温度まで
一軸圧縮強度	3, 6時間、1, 3日、1, 2, 4, 8, 13, 26週
膨張収縮量	1日～26週

3) 試験結果

粘度試験の結果を表-9.4.3と図-9.4.1に示した。粘度は混合後120分程度経過後から急激に高くなっており、可使時間は20℃で90分程度である。

表-9.4.3 粘度試験結果

時間(min)	0	30	60	90	120
粘度(cps)	7040	7480	12260	14560	51700

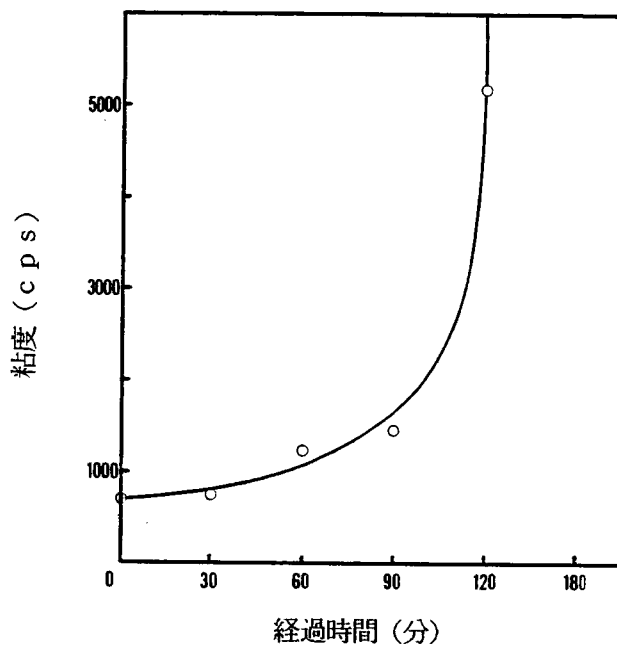


図-9.4.1 粘度試験結果

硬化時温度上昇の結果を図-9.4.2に示す。到達最高温度は、65.3℃でありハイセットSの場合よりやや高いが、現場打設時には地中への熱の拡散もあるので問題にはならない程度である。

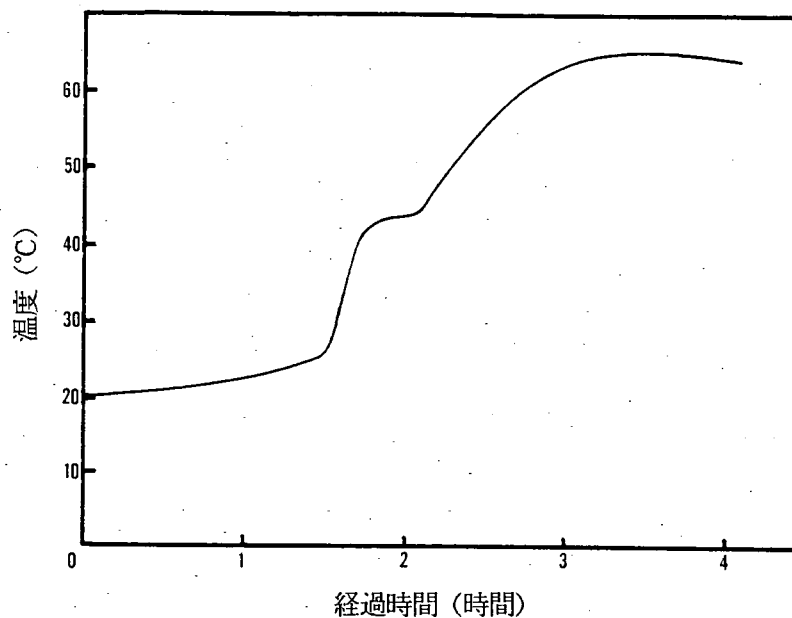


図-9.4.2 硬化時温度上昇試験結果

一軸圧縮強度の結果を表-9.4.4および図-9.4.3に示す。一軸圧縮強度は材令1日以降では約50kgf/cm²で安定しており強度発現は1日で終了している。

表-9.4.4 一軸圧縮試験結果

材 令	3時間	6時間	1日	3日	1週
強度(kgf/cm ²)	11.1	21.0	48.0	52.2	49.6
材 令	2週	4週	8週	13週	26週
強度(kgf/cm ²)	49.9	51.8	52.1	49.3	50.8

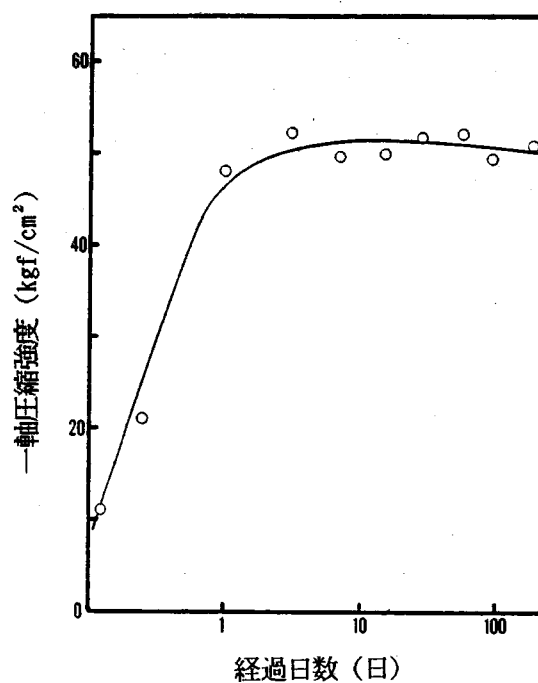


図-9.4.3 一軸圧縮強度試験結果

膨張収縮量の結果を表-9.4.5、図-9.4.4に示す。打設後13週を経過した後も膨張傾向にある。しかし、無拘束の条件での膨張量が0.15%であるが、実際の現場では地中で拘束されており、孔壁をMGLパイプ間に密着しシール効果が保たれると考えられる。

表-9.4.5 膨張収縮量試験結果

材 令	1 日	3 日	1 週	2 週	3 週
膨張量($\times 10^{-6}$)	4 0 7	4 7 9	8 0 0	1 0 4 6	1 0 5 5
材 令	4 週	5 週	6 週	7 週	8 週
膨張量($\times 10^{-6}$)	1 1 2 2	1 1 6 4	1 1 6 8	1 2 2 9	1 2 8 4
材 令	1 3 週	2 6 週			
膨張量($\times 10^{-6}$)	1 4 4 7	1 9 1 0			

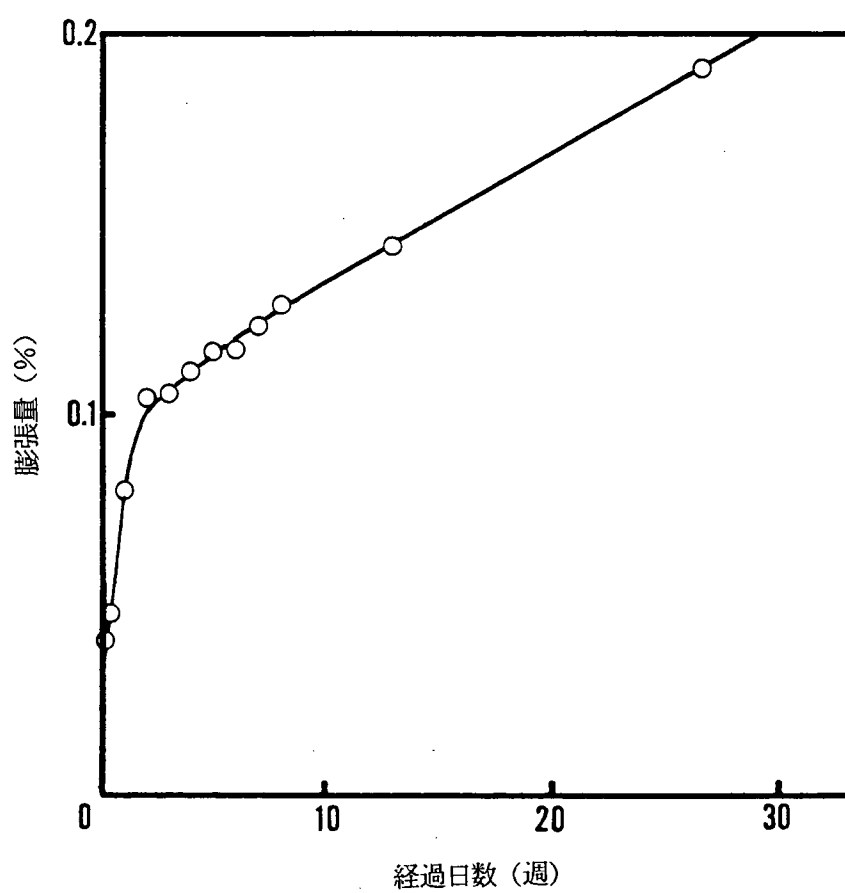


図-9.4.4 シール材の膨張収縮量

10. MGLシステムの小口径化

10.1 概説

MGLシステムの経済化を目指すうえで最も重要なのが、このシステムの小口径化である。そこで以下に、やや机上論的ではあるが、小口径化についての検討結果を示す。

10.2 ウレタン系から見た小口径化

現場実証実験では、孔径 $\phi 116\text{mm}$ のボーリング孔を用いて実験を行ったが、一般の地質調査では、 $\phi 66\text{mm}$ のボーリング孔が多用されており、当システムを普遍的におこなうには、ボーリング孔径を小型化することが必要である。

本研究では、ボーリング孔深さ 100m 、水圧計設置箇所5箇所を目的としている。これを基本条件に当システムにおけるボーリング孔径の小型化を検討する。

10.2.1 埋設物の小型化

(1) 注入ホースの小型化

当システムでは、シール材の布バッカーへの注入を、高圧ホースを使用している。この注入ホースの選定には下記の式(10.2.1)及び表-10.2.1をもとにこの内径(外径)を決定している。

$$P(hs) = f \cdot \frac{\ell}{b} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{\ell}{b} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{64\nu}{vb} \cdot \frac{\ell}{b} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$= \frac{64\nu\ell v}{2gb^2} = \frac{64\mu\ell Q}{2gb^2\rho A} \quad \dots\dots\dots (10.2.1)$$

$P(hs)$: 損失水頭
 f : 摩擦損失係数
 b : 注入管の直径 (m)
 v : 流速
 g : 重力加速度 (9.8m/s^2)
 Re : レイノルズ数
 μ (粘性)
 ν :
 ρ (密度)
 Q : 注入量
 A : 断面積
 ℓ : 注入管長さ (m)

表-10.2.1 高圧ホース既製品 (東海ゴム工業 (株))

名称	呼称	内径 (mm)	外径 (mm)	最高使用圧力 (kgf/cm ²)	最小破壊圧力 (kgf/cm ²)	備考
IB15×22	6N	6.3	12.7	15	60	
IB15×22	9N	9.5	16.2	15	60	
IB15×22	12N	12.7	19.5	15	60	
IB35×52	6N	6.3	12.7	35	140	
IB35×52	9N	9.5	16.2	35	140	
IB35×52	12N	12.7	19.5	35	140	
IB70×105	6N	6.3	13.1	70	350	
IB70×105	9N	9.5	16.3	70	350	
IB70×105	12N	12.7	19.8	70	350	
IB70×105	15N	15.9	23.8	70	350	

式(10.2.1)より注入管の直径を小さくする為には、 Q （注入量）、 μ （粘性）を小さくすればよい。そこで下記の方法を用いることとした。

①シール材の混合を20～30ℓずつ行ない、シール材の粘性が200cps以下のうちに2ℓ/分の速度で注入を行なう。

②シール材に加える粘土の量を20%にし、粘度の上昇を抑える（図-4.2.5参照）。

①及び②を式(10.2.1)に代入し、また、注入管長を基本条件に照らしてそれぞれ、20、40、60、80、100 mとすると、必要な注入管の直径（mm）は表-10.2.2のようになる。

表-10.2.2 注入管の検討

注入管長 (m)	必要内径 (mm)	使 用 注 入 管			注入対象 布パッカー
		内径(mm)	外径(mm)	名 称	
20	6.3	6.3	12.7	IB15×22,6N	最上部
40	6.1	6.3	12.7	IB35×52,6N	上部から2番目
60	5.6	6.3	13.1	IB70×105,6N	上部から3番目
80	6.1	6.3	13.1	IB70×105,6N	上部から4番目
100	9.4	9.5	16.2	IB15×22,9N	最下部

（2）MGLパイプの小型化

10.5で後述するように、パイプはφ35mmまで小型化できる。

（3）ジオテキスタイルフィルタ

現場実証実験ではジオテキスタイルフィルタは、クラレのクレスター KM-1000を使用した。これと同じ性質を有する厚さ5mmの KM-500 を使う事もできる。

10.2.2 総合検討

10.2.1での検討をもとに、作業条件を下記のようにした場合、最も埋設するものが多く、孔径が大きくなる最上部のフィルタ区間は、図-10.2.1 のようになる。

作業条件	ボーリング孔径	: $\phi 66\text{mm}$
	ボーリング孔長	: 100m
	地下水圧測定点数	: 5点
	注入管長・注入管外径	: [表-10.2.2 注入管の検討] 参照
	MGLパイプ外径	: 35mm

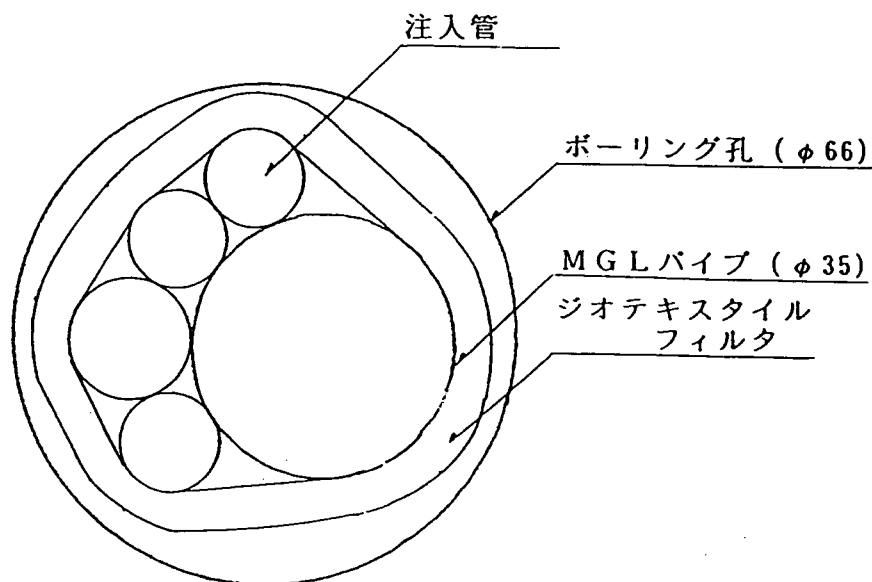


図-10.2.1 ボーリング孔 ($\phi 66\text{mm}$) 断面図

図10.2.1によれば、ボーリング孔径が $\phi 66\text{mm}$ でも、ウレタン系シール材を使ったシステムは適用できる。しかし、これは机上検討の理想状態であり、実際のボーリング孔では孔曲がり、孔荒れ等が予想されるので、それらの対策が必要である。

また、注入管の改良、特注MGLパイプの開発等、小口径化に対する今後の検討課題は多い。

10.3 エポキシ系から見た小口径化

ボーリング径をφ66mmにした場合の多段水圧測定の可能性について検討する。

10.3.1 小口径にした場合の問題点と解決策

ボーリング口径を小さくした場合の問題点と、その解決策として考えられる事項を図10.3.1に示す。主な問題点は、

- ① ボーリング孔へのパイプ（MGLパイプ、シール材注入管）の挿入
- ② 計測用ロッドの挿入
- ③ フィルター材（砂）の投入

に対して、φ66mmのボーリング孔の断面積が十分な大きさであるか否かが問題である。また、その解決策としては、①のパイプの小口径化、②のロッドのより細いものへの改良、③のフィルター材の砂の粒径の検討などが考えられる。

以下に特に問題となる点について検討する。

10.3.2 エポキシ樹脂の圧送

(1) 注入管径について

MGLパイプについては、最小径をφ35mmとする（10.5参照）。ボーリング孔内にMGLパイプと注入管を挿入する場合に注入管に許される径は、10mmの余裕を取れば

$$66 - (35 + 10) = 21 \text{ mm}$$

となる。

通常のガスパイプを使用した場合、これに合う注入管は、3/8'管となる。この場合管の接続をニップルで行った場合には、外径は23mm程度である。またその管内径は、12.7mmとなる。

(2) 圧送圧力について

エポキシを内径12.7mmの注入管を使用して、100m圧送するのに必要な注入圧力を実験結果から推定する。

野外実験結果によれば、注入管による圧力損失は次のようであった。

条	管径	12.7mm	管長	16.5m	→ 圧力損失 12kgf/cm ²
	流量	2.0 l/min	粘度	2,600cp	
件	温度	25℃			

したがって、100mでは同様の条件で

$$1.2 \times \frac{100}{16.5} = 72.7 \text{ kgf/cm}^2$$

また実験での混合器の圧力損失は、 15kgf/cm^2 であった。これより、全体での圧力損失は、 $72.7 + 15.0 = 87.7\text{kgf/cm}^2$

となる。

現在のエポキシ圧送ポンプの最高圧送圧力は、 100kgf/cm^2 である。

以上から、現在のエポキシ圧送ポンプを使用することによって、エポキシの圧送は可能と考えられる。

10.3.3 フィルター材の設置

フィルター材を孔口から自由落下により設置する方法について検討する。

水中施工の場合については、先に示した実験結果から、 $\phi 25\text{mm}$ (4.9cm^2)程度の口径があれば途中で閉塞することなく施工が可能なが実証されている。 $\phi 66\text{mm}$ のボーリング孔内に、 $\phi 35\text{mm}$ のMGLパイプが入ると、残される間隙の大きさは 31mm (24.5cm^2)となり、フィルターの落下には十分な面積が確保される。したがって、フィルターの設置は可能と考えられる。

また、空気中でのフィルター材のつまりに対しては、ロート径と砂の供給実験から、標準砂については、 5mm 以上の口径であれば砂は落下した。MGLパイプが挿入された状態で残される間隙はこれより十分大きく、フィルターの設置は可能と考えてよい。

砂が水分を含んだ状態で、空気中を落下する場合には、途中で閉塞しやすくなることが考えられる。この場合には、孔口から水を流し込むことで対処できると思われる。

10.3.4 確認方法

実証実験ではシール材とフィルター材の位置検出には、MGLパイプに取り付けたセンサーと独立センサーを使用した。

小口径にした場合には、独立センサーのみにより位置検出を行うものとする。独立センサーはロッドを使用しているが、ロッド径は、 $4\sim 6\text{mm}$ である。注入管、MGLパイプ、センサーロッドを挿入した場合、ボーリング孔内は図-10.3.2のようになり、測定は可能と思われる。

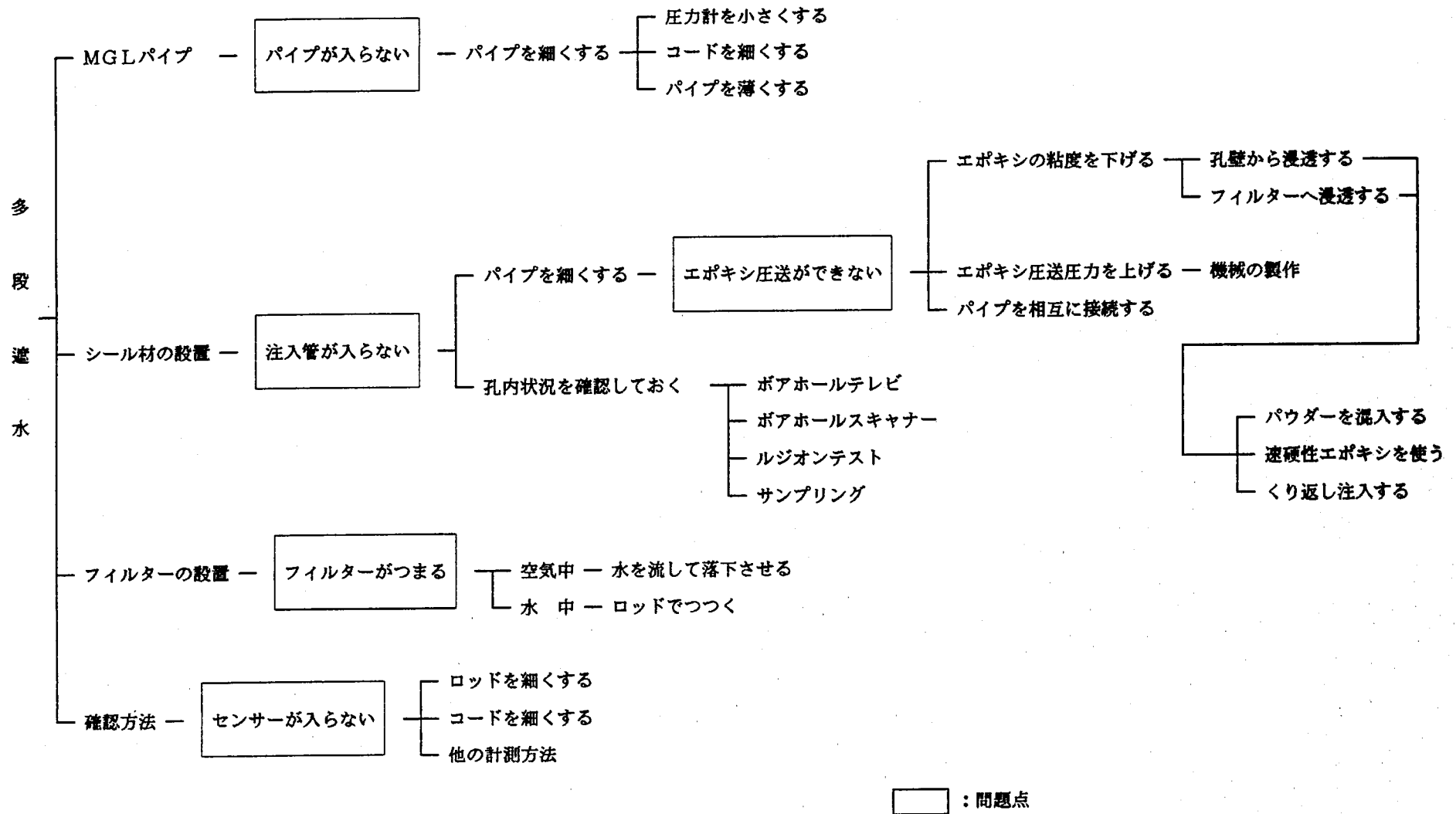


図-10.3.1 小口径化の問題

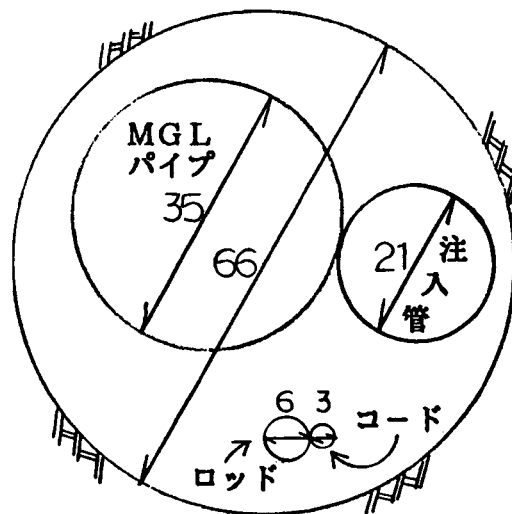


図-10.3.2 ボーリング孔内概念図

10.3.5 まとめ

以上、各問題点について机上検討を行ったが、この限りでは $\phi 66\text{mm}$ ボーリング孔でもほぼ施工は可能と考えられる。しかし、実証試験時に見る如く、ボーリング孔の孔曲がり、孔壁崩壊などにより $\phi 116\text{mm}$ の孔径に対して $\phi 43\text{mm}$ のMGLパイプの挿入も難しかったように、実際の施工に当たっては孔の状態によって施工不可能となることも考えられる。

この困難なパイプ等の挿入を確実にする方法として以下の方法が考えられる。

- ① ボーリング孔全長にスリットを切った外管を用いる(図-10.3.3参照)
- ② MGLパイプ先端に $\phi 66\text{mm}$ 、長さ1~1.5mの外管を付けガイドとする。この外管には挿入時注入管を添わせて同時に入れる(図-10.3.4参照)

実施工の可能性については、以上のような種々の不確定な要素があり、今後実際の施工実験を行って確認してゆく必要がある。

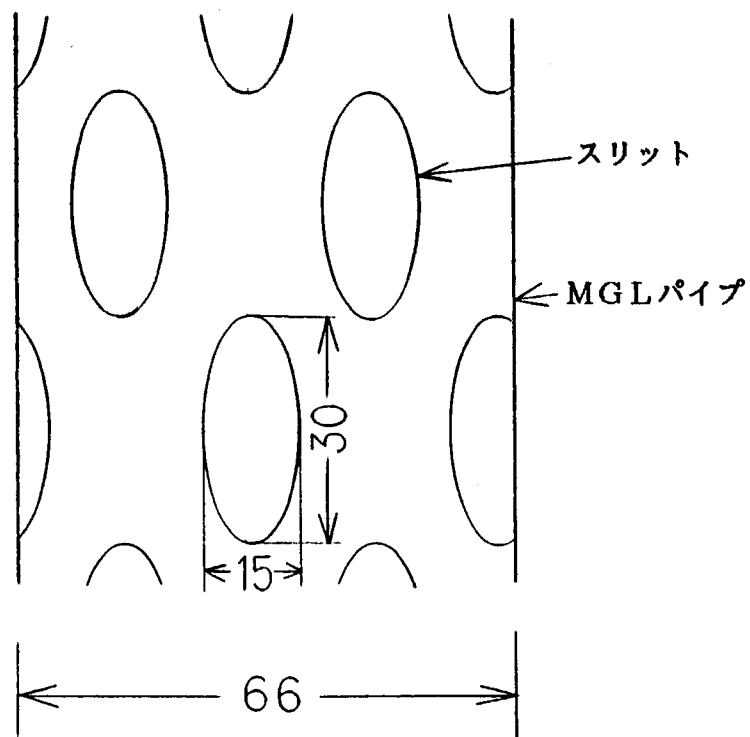


図-10.3.3 スリット入り外管

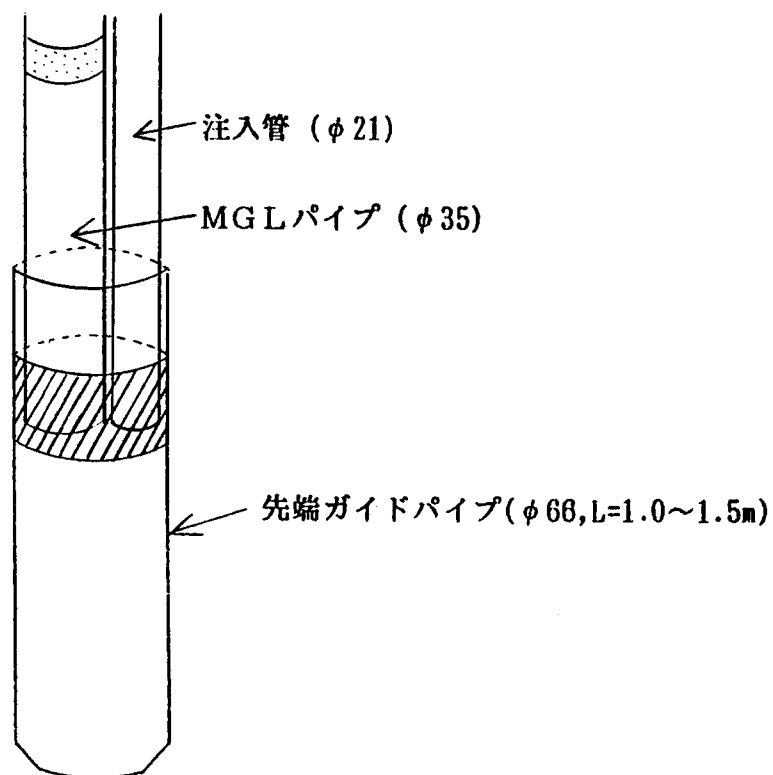


図-10.3.4 先端ガイドパイプ

10.4 セメント系から見た小口径化

10.4.1 現システムでの適用性の検討

現在のシステムを孔径66mmのボーリング孔に適用できるか否かについて検討する。

MGLパイプの外径は43mmであるから、これを孔径66mmのボーリング孔へ挿入すると、MGLパイプと孔壁のクリアランスは23mmである。この状態でシール材注入チューブの挿入作業用の空間として15mm程度は必要である。したがって、使用可能な注入チューブの外径は8mmとなる（図-10.4.1参照）。ここで、同チューブの肉厚を2mmとすると、内径は4mmとなる。詳細な検討は省略するが、内径4mmでは、セメント系シール材を圧送することは不可能である。したがって、現在のシステムをそのまま孔径66mmのボーリング孔に適用することはできない。

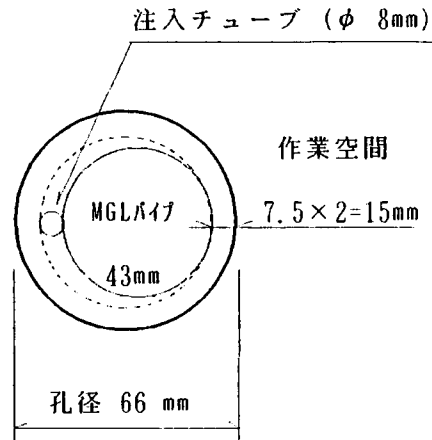


図-10.4.1 現システムの適用性

10.4.2 システムの改良の検討

現在のシステムがクリアランスの問題により、そのままでは孔径66mmのボーリング孔に適用できないとなると、対策として必然的にMGLパイプの小型化が考えられる。ここでは、MGLパイプの外径が35mmに小型化したと仮定し（10.5 参照）、孔径66mmのボーリング孔への適用性に関する①、②および③の検討を行う。

- ① シール材に関する改良
- ② フィルタ材に関する改良
- ③ シール材およびフィルタ材の設置深度の測定方法に関する改良

10.4.3 シール材に関する改良

(1) シール材注入チューブ

仮にMGLパイプの外径が35mmとすると、孔壁とMGLパイプのクリアランスは31mmである。したがって、注入チューブの挿入作業用の空間として15mm程度を確保したうえで、外径16mm程度の注入チューブの使用が可能となる。この寸法では、現在の注入管（外径30mm・内径21mm）より圧送に要する圧力が大きくなるが、その上限は注入ポンプの能力で規定される。すなわち、本システムが調査現場で採用されることを考慮すると、汎用機の吐出圧力はMAX 30～50 kgf/cm²であるから、注入チューブに要求される耐圧力は必然的にその限度内である。

注入チューブについて市場調査したところ、外径16.2mm・内径9.5mm、常用耐圧35kgf/cm²ものがあった。今後の検討は、シール材注入チューブとしてこの耐圧チューブを用いることを前提として行う。

(2) シール材の粘性

ここでは、下記の仮想作業で意図するMGLパイプ（外径 35mm）を埋設するために、シール材の粘性をどのように改良すればよいかを検討する。

〈作業条件〉

- | | | |
|--------|-------------|---------------------------------|
| ① 埋 設 | a. ボーリング孔径 | : 66 mm |
| | b. ボーリング孔長 | : 100 m |
| | c. 地下水圧測定点数 | : 5点 |
| | d. 最長シール区間長 | : 30 m |
| ② 使用機械 | a. 注入チューブ | : 外径 16.2 mm
内径 9.5 mm |
| | b. 注入ポンプ | : 最大吐出圧力 30 kgf/cm ² |

1) 注入速度の下限度

使用するシール材の可使時間と注入量との関係から、注入速度の下限度を決定する。すなわち、下限度を下回る注入速度では、注入作業中にシール材の硬化が始まり、所期の目的を達しないことになる。

注入量は、孔膨れおよびシール材の孔外逸出がないものとして、式(10.4.1)から算出する。この式よりシール材充填対象区間 1m あたりの注入量が 2.5ℓであるから、上記の条件である最長シール区間長 30mでの注入量は75ℓである（シール区間長とは、二つの測定点間の距離、厳密にはフィルタ間の距離を意味する）。

$$Q = \{ (D/2)^2 - (d/2)^2 \} \times \pi \times L \times 10^{-3} \dots\dots\dots (10.4.1)$$

ここで、 Q : 注入量 (ℓ)
D : ボーリング孔径 (cm) 6.6cm
d : MGLパイプの外径 (cm) 3.5cm
π : 円周率
L : シール区間長 (cm)

セメント系シール材の可使時間は70分（20℃）であるが、ミキシング時間および余裕の時間をとって注入作業時間は40分以内にするのが望ましい。したがって、注入量75ℓに対する注入速度の下限度は、約2.0 ℓ/minである。

2) シール材の粘性

シール材の粘性は、下記の理由から高いほうが良いといえる。

- ① シール材が孔外へ逸出することを防止する
- ② フィルタ材（砂）の中へシール材が過度に浸透することを防止する
- ③ 孔内水中へシール材が拡散することを防止する

シール材の粘性の増加は圧送圧力の増大を伴うが、その上限はポンプの能力に規定され、一般には 30 kgf/cm² である。ここで、本検討の作業条件（注入チューブの内径 9.5mm、ボーリング孔長（=圧送距離）100m）において、圧送圧力 30 kgf/cm²、注入速度 2.0 ℓ/min（前項の下限度速度を採用）

とした場合の圧送可能なシール材の粘性を検討する。

シール材が圧送中は層流であると仮定すると、粘度は式(10.4.2) (Hagen-Poiseuilleの式) で示される。

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot r^2 \cdot g}{32 \cdot u \cdot l} \quad \dots \dots \dots (10.4.2)$$

ここで、
 μ : 粘度 (kgf/m・sec)
 ΔP : 管内圧力損失 (kgf/m²)
 r : 管の内径 (m)
 g : 重力加速度 (m/sec²)
 u : 平均流速 (m/sec)
 l : 管の長さ (m)

セメント系シール材は非ニュートン流体であるため、式(10.4.2)で求められる粘度は見掛け粘度 (μ') である。式(10.4.2)に各値を代入すると、

$$\mu' = \frac{(3 \times 10^5) \times (0.0095)^2 \times 9.8}{32 \times (0.47) \times (100)} = 0.18 \quad \text{kgf/m} \cdot \text{sec}$$

$$= 180 \text{ cP} \quad \text{である。}$$

現システムで使用しているシール材 (6200cP) の管内損失試験 (7.2.3 参照) から注入速度 2.0 ℓ/min (平均流速 : 0.47m/sec) のときの見掛け粘度と粘度との比(K) を求めると、両者の比は 12.9 である (表-10.4.1参照)。この比がそのまま適用できると仮定すると、求める粘度は下記のとおり、約2300cPである。したがって、粘度 2300cP が、意図する改良型システムに適合する粘性の上限値であり、この値を上回れば、汎用ポンプでの圧送ができなくなる。

表-10.4.1 管内損失試験から導いた見掛け粘度と粘度の比(K)

注入速度 (Q) (ℓ/min)	平均流速 (u) (m/sec)	見掛け粘度 (μ') (kgf/m・sec)	粘 度 (μ) (kgf/m・sec)	両者の比(K) $k = \mu / \mu'$
2.0	0.47	0.48	0.48	12.9

注) 見掛け粘度 (μ') は、図-7.2.26から読み取った値である

3) 問題点

シール材の粘性を6200cP (現システムの適合配合による) から2300cPに低下させることにより生じると予想される下記の三つの問題点およびそれぞれの対策について述べる。

- (a) シール材の孔外逸出量の増加
- (b) シール材のフィルタ材中への浸透
- (c) シール材の孔内水中への拡散

なお、シール材の粘性を低下させることに伴う一軸圧縮強度・硬化時の温度上昇等の物性の変化については、水・セメント比を現在の100 % に据え置いたままで増粘剤の添加量を加減する方法で粘性を調整すれば、それがシール材としての機能に及ぼす影響は小さい。

(a) シール材の孔外逸出量の増加

シール材の孔外逸出量が過大であれば、測定対象地盤の透水性を変化させ、ひいては自然の地下水のバランスを崩す可能性がある。また、シール材の孔外逸出量は、対象地盤の種類により変化するため、粘性低下による影響の度合いについては一概にいけない。しかし、一回あたりのシール材充填対象区間長を短く設定し、注入・硬化待ち・再注入を繰り返すことにより、過大なシール材の孔外逸出は防止することができると考える。

(b) シール材のフィルタ材中への浸透

シール材が既に充填した下位のフィルタ材中へ浸透すると、フィルタ機能を損なうことになる。したがって、この現象を防止することは、非常に重要である。

地盤改良の分野では、注入材の地盤への浸透性を表すグラウタビリティの概念があり、その難易度をグラウタビリティ比で示している。このグラウタビリティ比とは、注入材の粒度（G）と注入対象地盤の粒度（D）との比であり、式(10.4.3)あるいは式(10.4.4)の関係を満足すれば、注入材は地盤へ浸透することができるというものである（実験則）。

$$\frac{D_{15}}{G_{85}} \geq 15 \quad \dots\dots\dots (10.4.3)$$

$$\frac{D_{10}}{G_{95}} \geq 8 \quad \dots\dots\dots (10.4.4)$$

ここで、 D_{10} 、 D_{15} ：土の粒径加積曲線の10、15% の径
 G_{85} 、 G_{95} ：注入材の粒径加積曲線の10、15% の径

上記の実験則をもとに、注入材をシール材に、注入対象地盤をフィルタ材に置き換えて、シール材がフィルタ材中へ浸透するか否かについて検討する。なお、グラウタビリティ比はフィルタ材の粒度分布の違いにより異なることから、ここではフィルタ材として豊浦標準砂を用いた場合について検討する。

シール材の主原料であるライオンハイセットとフィルタ材の粒径加積曲線を図-10.4.2に示す。本図から読み取った各該当値を式(10.4.3)および式(10.4.4)へ代入すると、次の結果を得る。

$$\frac{D_{15}}{G_{85}} = \frac{(0.12 \text{ mm})}{(0.032 \text{ mm})} = 3.75 < 15$$

$$\frac{D_{10}}{G_{95}} = \frac{(0.12 \text{ mm})}{(0.053 \text{ mm})} = 2.08 < 8$$

したがって、ライオンハイセットを主原料とする本シール材は、標準砂から成るフィルタ材中へは

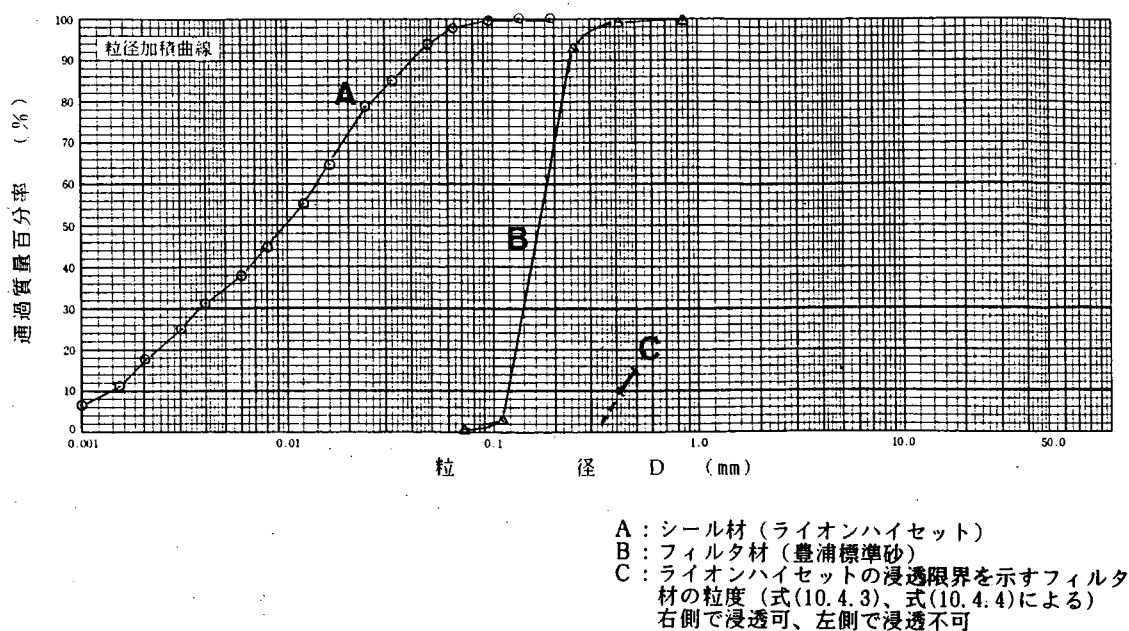


図-10.4.2 シール材 (ライオンハイセット) とフィルタ材 (豊浦標準砂) の粒径加積曲線

大きく浸透しない。また、図-10.4.2の曲線Cは、式(10.4.3)および式(10.4.4)から導いたライオンハイセットの浸透限界を示すフィルタ材の粒度分布であり、曲線Cよりも左側に D_{10} および D_{15} をもつ砂を使用すれば、シール材がフィルタ材中へ浸透することはない。このように、グラウタビリティの実験則からフィルタ材の粒度分布を調整することにより、シール材がフィルタ材中へ浸透することを防止できる。

なお、グラウタビリティの実験則は、あくまでも注入材と注入対象地盤の粒度分布の関係から導かれたものであり、注入材の粘性は加味されていない。したがって、意図するシール材には増粘剤が添加されていることから、一般的にはさらに浸透を防止する要素が加わっていることになる。

(c) シール材の孔内水中への拡散

シール材が孔内水中へ拡散すると、地下水圧測定対象区間の孔壁、ならびに水圧計に取りつけられているフィルタ (ポーラスメタル) にセメント粒子が付着し、測定に悪影響を与える恐れがある。この拡散の度合いは、主に①シール材の物性 (粘性および比重)、②注入・充填方法の二つの要因によって決まる。

まず、シール材の物性面では、粘性および比重 (水・セメント比= 100%として、その比重は約 1.5である) とも、水との差が大きいことから、水との界面における拡散は生じにくい。実際に、予備実験で2300cP程度のセメント系シール材 (ただし、セメントおよび増粘剤の種類は本研究のものと異なる) を水中で自由落下させ、そのときの状況を観察したが、ほとんど拡散しなかった。

次に、注入・充填方法面では、本システムはトレミ管方式に準じて行っているため、もともとシール材が拡散しづらい。

以上から、粘度2300cPのシール材を用いても、それが孔内水中に拡散する程度は軽微であると考え
る。

(d) まとめ

孔外逸出・フィルタ材中への浸透および孔内水中への拡散について検討したが、シール材の粘度を
2300cPまで低下させても不都合は生じない。ただし、この結論は、実験則や経験的判断から導かれた
ものであるため、実験等により正しいことを確認する必要がある。

10. 4. 4 フィルタ材に関する検討

(1) フィルタの材料

現在のシステムを孔径66mmのボーリング孔に適用する場合に、フィルタの材料として砂を用いるこ
とについては、特に取り上げる問題はない。したがって、現システムと同様の考えでフィルタ材とし
て砂を用いる。

(2) フィルタ材の設置方法

意図するMGLパイプ（外径 35mm）を孔径66mmのボーリング孔内へ挿入すると、残されたクリアラ
ンスは31mmであるため、現在のシステムのようにフィルタ材をトレミ管を用いて孔内に設置すること
は不可能である。したがって、フィルタ材は、孔口から投入することになる。

フィルタ材を孔口から投入する方法は、経験的に孔壁が著しく乱れていない限り、特に問題を生じ
るものではない。しかし、万一、投入した砂が充填対象区間に達する前に棚をつくり、そこで詰まっ
てしまう事故が発生した場合、これを回復することは非常に困難である。したがって、このような事故
を引き起こさないための対策を考案する必要がある。

10. 4. 5 設置深度確認方法の改良

現システムにおける孔内充填物の測定装置には、シール材の液面の位置を検出するための液面感知
装置（図-7.2.27参照）と、硬化したシール材およびフィルタ材上面の位置を検出するための深度測
定装置（図-7.2.28参照）の二種類があり、これらの装置の大きさは外径 16mm、長さ 150mm程度で
ある。また、設置位置の確認方法は、サッカーロッド（フレキシブルなロッド）の先端に液面感知装
置あるいは深度測定装置を取りつけ、孔内充填物の上面を検出するまでこれを孔内へ挿入し、その挿
入長を測定するものである。

この方法を孔径 66mm のボーリング孔にそのまま適用する場合、MGLパイプ（外径35mm）と注入
管（外径16mm）が挿入された残りの部分で作業しなければならず、現在の装置（外径16mm）の挿入は
不可能である。また、測定装置を挿入可能な大きさに小型化してもクリアランスが少ないため、装置
の上げ下げにより孔壁を破壊し徐々に挿入が困難になることも考えられる。

これらの問題を解決するための方法として次の三つを挙げ、それぞれの方法について以下に検討す
る。

① MGLパイプ内への検出器の内蔵化

② 現測定システムの小型化

③ 音波を用いた測定

(1) MGLパイプ内への検出器の内蔵化

MGLパイプに検出器を内蔵させた場合、検出器を移動させることが不可能になるため、測定したい箇所の数だけの検出器を設置しなければならない。ここで、一つのシール区間に設置する検出器の数を考えると、シール材注入時にシール材液面の上面位置を測定するための光学的な検出器が3箇所程度、シール材の硬化面の位置を測定するための温度検出器が5箇所程度は必要である。したがって、今回の研究の目的である孔長100mのボーリング孔内に5箇所の水圧計を設置する場合では、最低でも五つのシール区間があることから、MGLパイプの40箇所に検出器を内蔵させなければならない。すなわち、水圧計の信号線のほかに80本の信号線をMGLパイプに内蔵させなければならないことになる。また、この他にもフィルタ材用の検出器を内蔵させなければならないことから、MGLパイプ内蔵方式は実現不可能であろう。

(2) 現測定システムの小型化

挿入方式によって行う場合に解決しなければならない問題点として下記の二つが挙げられる。

① 測定装置の小型化

② 孔壁の保護対策

上記①の装置の小型化については、深度測定装置は検出部がプッシュ式スイッチのみであるため、小型のスイッチを使用することにより解決できる。また、液面感知装置は、発光素子である豆電球と受光素子であるCdsとを向かい合わせに取りつけたものである。このうち豆電球は直径3mm程度のものからあるが、Cdsは最小のもので直径7mm程度であるため、やや工作が難しいものの装置の直径を10mm程度することは可能である。なお、受光素子はCds以外にもあり、それらの中から小型のものを捜せば、さらに小型化することも可能である。

上記②の孔壁の保護対策については、測定装置のガイドパイプとして有孔管をあらかじめ挿入しておき、装置の上げ下げを含むすべての測定作業をこの中で行う方法が考えられる。35mmのMGLパイプと16mmの注入管とが挿入された残りの部分にガイドパイプを挿入するため、その外径は14mm程度以内でなければならない。また、測定装置を挿入することから、ガイドパイプの内径は10mm以上必要である。これら条件に合致するものを調査したところ、外径14mm、内径10mmのポリエチレン管があった。

以上から、測定装置を小型化し、かつガイドパイプを用いた孔壁の保護対策を実施すれば、孔径66mmのボーリング孔に適用できると考えられる。

(3) 音波を用いた測定

音波の反射を利用した非接触の測定方法が考えられる。しかし、狭いボーリング孔内での測定であるので、現在ある音響による深度測定の方法で可能か否かの検討から行わなければならない。また、可能であった場合でも、音響測定装置および音響解析装置を用意する必要があり、これらは現場の設備としてはかなり特異であると考えられる。したがって、汎用性を考慮した場合、問題が残る。

(4) まとめ

孔径66mmのボーリング孔内における充填物の設置位置確認方法について三つの方法を挙げ、個々について検討した。その結果、現測定システムの小型化する方法が現実的であり、適用可能であることがわかった。

10.4.6 結論

MGLパイプを外径35mmに小型化し、さらに現在のシステムに対し表-10.4.2に示す改良を加えることにより、孔径66mmのボーリング孔に適用することが可能である。ただし、この結論は、机上検討であることから適切な実験を行い、実証する必要がある。また、フィルタ材の設置方法については、不安な要素があることから、さらに検討する必要がある。

表-10.4.2 改良点

項 目	現在のシステム	改良後のシステム
シール材の粘性	6200 cP (20℃)	2300 cP (20℃)
シール材の 注入・充填方法	注入管 外径： 30.0 mm 内径： 21.0 mm 注入速度 : 10 ℓ/min	注入チューブ 外径： 16.2 mm 内径： 9.5 mm 注入速度 : 2 ℓ/min
フィルタ材	砂	砂（現行のまま）
フィルタ材の 充填方法	トレミ管を用いて、水と供 に流し込む	孔口から投入する
孔内充填物の設置 深度測定方法	シール材液面感知装置およ び充填深度測定装置を、必 要に応じて孔内へ挿入して 測定する	現測定システムを小型化し、 かつ測定装置の挿入はあら かじめ孔内に設置した有孔 ガイドパイプを介して行う

10. 5 水圧計内蔵パイプの小口径化

水圧計内蔵パイプの小口径化が可能ならば、通常多く実施されているφ66mm、あるいはそれ以下の孔径のボーリングでも本方法による地下水圧の多段測定を可能とするため、次の問題を考慮して検討した。

- 1) 入手が容易な市販のパイプを使用する。
- 2) 精度の確保のために現状と同じセンサーを使用する。

その結果、図-10.5.1の様に外径35mm（内径26.5mm）のケーシングパイプを使用して製作することが可能と思われる。よって遮水方法との兼ね合いもあるが、 $\phi 66\text{mm}$ 程度のボーリング孔での測定の可能性が開けた。

今後、より小口径化を行うためには小型の水圧センサーの開発が必要となる。

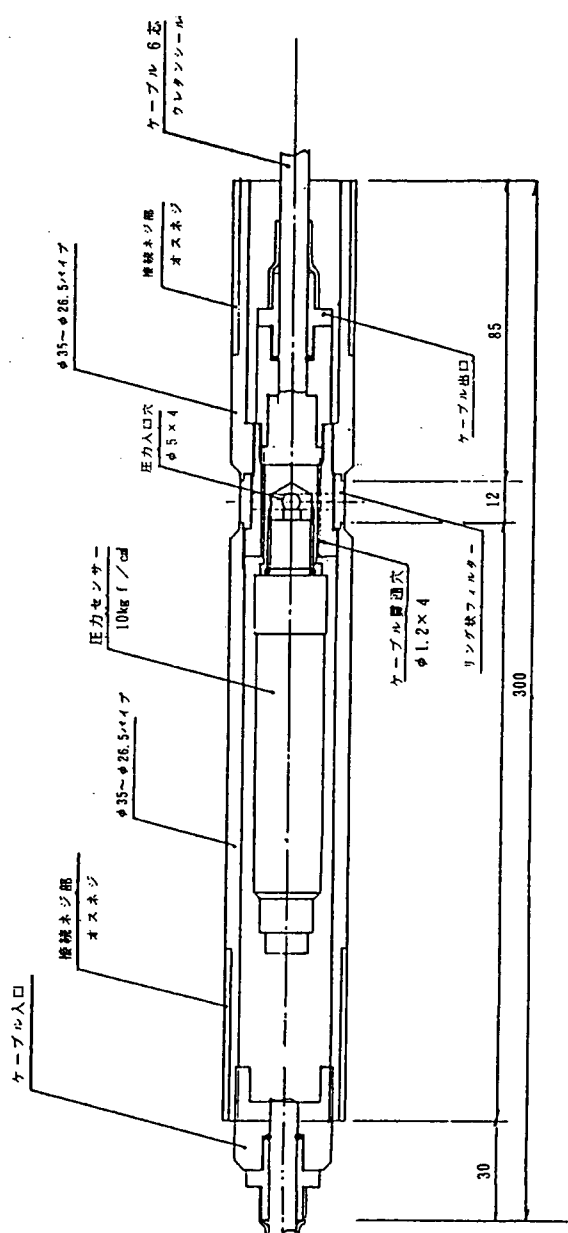


図-10.5.1 水圧センサー外觀図

11. まとめと将来展望

本共同研究は、多くの地盤を対象とする工学分野において、地盤の地下水圧分布を正確に把握することの重要性を鑑み、単孔内多点水圧測定の独自システムを開発することを目的として開始された。2年間の研究の結果、試験孔径 $\phi 116\text{mm}$ という条件下においては、ボーリング孔深度100m、水圧計設置点数5という当初目標を達成したシステムを開発することができた。なお、このシステムはシール材の種類により、ウレタン系、エポキシ系、セメント系の3つにわけられることは、本報告全編を通して述べてきたことである。完成したシステムについては、特許も出願中で、その完成度については、本共同研究に携った全員が自信をもっている。ただし、完成したシステムは現在のところ $\phi 116\text{mm}$ の口径の試験孔を用いた場合にのみ有効であるため、 $\phi 66\text{mm}$ の調査ボーリング後の拡孔という作業を伴う。よって、施工性、経済性に問題がないとは言えない。そこで、本報告の10章では机上の議論ではあるものの $\phi 66\text{mm}$ の試験孔を利用するシステムの完成へ向けての道標を示した。今後は、このシステムの小型化を課題とした継続的研究が望まれる。

謝辞

本研究において開発した水圧測定システムの実証試験に際して、建設省東北地方建設局の関係各位に多大なる御協力を賜った。また、研究全搬にわたり、建設省土木研究所企画課および財団法人土木研究センターの関係各位には多大なる御協力を賜った。

末筆ながら、記して、本共同研究参加全員の謝意を表します。

共同研究報告書第43号
平成2年8月(1990)
フィルダム研究室
地すべり研究室

本研究は、地盤工学分野において地盤内の地下水压分布を正確に把握することの重要性に鑑み、ボーリング孔内の多深度地点において水压を測定するシステムを開発することを目的としている。具体的には、遮水材、フィルタ材とその設置方法に関する研究、水压測定方法に関する研究に分けて、研究を進めた。

郵便はがき

郵便切手をはって下さい

$$\boxed{3} \boxed{0} \boxed{5} - \boxed{} \boxed{}$$

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ファイルダム研究室 御中

No. **6**No. **6**

配布先氏名

配布先住所

土木研究所共同研究報告書

第 43 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印