

粉体圧送グラウチングによる基礎岩盤 遮水性改良に関する共同研究報告書

平成7年6月

建設省土木研究所ダム部
フィルダム研究室
川崎地質株式会社
株式会社熊谷組
清水建設株式会社
秩父小野田株式会社
戸田建設株式会社
日特建設株式会社

Copyright ©(1995) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced 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。

粉体圧送グラウチングによる基礎岩盤 遮水性改良に関する共同研究報告書

建設省土木研究所	ダ ム 部 長	松 本 徳 久
建設省土木研究所	フ ィ ル ダ ム 研 究 室 長	中 村 昭
建設省土木研究所	フィルダム研究室主任研究員	山 口 嘉 一
川 崎 地 質 (株)	本 社 技 術 本 部 部 長	川 村 泰 資
(株) 熊 谷 組	技術本部土木技術部副長	森 邦 夫
清 水 建 設 (株)	土木本部技術第二部副部長	和 田 正 道
秩 父 小 野 田 (株)	中央研究所特別研究員	小 沼 栄 一
戸 田 建 設 (株)	土木本部ダム技術室主任	栗 原 哲 夫
日 特 建 設 (株)	基礎本部グラウト部次長	澁 市 秀 雄

(土木研究所以外は代表者のみ)

(1995年3月現在)

要 旨

本共同研究では、まず表面改質した超微粒セメント粒子を圧縮空気地盤中に注入する粉体圧送グラウチングを実施した原位置地盤を開削し、その効果を明らかにした。また、既往研究成果の検証と検討、いくつかの実地盤から採取した不攪乱試料による室内注入試験により本工法の適用地盤を検討し、さらにモデル試料による室内注入試験により地盤中あるいは空気中の水分の影響。浸透限界となる地盤の粒度、適切な空気流量、水和効果等を検討し、標準的な注入仕様を作成した。

今後のダムサイトの地質やダム建設方法は益々多様化していくと考えられ、そうした中で本共同研究の成果が反映されることが期待される。

キーワード：グラウチング，ダム，軟岩基礎，浸透注入，粉体。

共同研究担当者名簿（1995年3月現在）

建設省土木研究所ダム部長	松本 徳久
建設省土木研究所環境部長 (前 同ダム部長)	竹林 征三
建設省土木研究所企画部先端技術開発研究官 (前 同ダム部フィルダム研究室長)	藤澤 侃彦
建設省土木研究所フィルダム研究室長	中村 昭
建設省土木研究所企画部企画課長 (前 同ダム部フィルダム研究室 主任研究員)	安田 成夫
建設省土木研究所フィルダム研究室 主任研究員)	山口 嘉一

川崎地質(株) 本社技術本部	川村 泰資
" 関東支社技術部	橋本 保
" "	森口 安宏
" "	中島 聖域
" 関西支社技術部	雨宮 松雄
" "	市原 浩司

秩父小野田(株) 中央研究所	小沼 栄一
" 資源リサイクル研究所	新田 耕二
" "	川村 洋二
" "	佐々木 豊
" "	平中 三夫

(株)熊谷組 技術本部	森 邦夫
" "	堀家 茂一
" "	小林 信一
" "	小林 正宏
前(株)熊谷組 技術本部	北 健二

戸田建設(株) 土木本部	栗原 哲夫
" "	福岡 俊一
" "	田原 則雄

清水建設(株) 土木本部	和田 正道
" "	米田 吉男
" "	高畑 研
" "	長谷川悦央

日特建設(株) 基礎本部	澁市 秀雄
" 技術本部	滝沢 紀夫
" "	岡 孝夫
" "	浜子 正
" "	山縣 秀年
" "	佐藤 洋
" "	大西 朝晴
" "	那須 敦

はじめに

本報告書は、粉体圧送グラウチングのダム基礎岩盤グラウチングへの実用化を目的とし、平成4年度から6年度の3ヵ年に渡り実施した官民共同研究の成果をとりまとめたものである。

近年の我が国におけるダムサイトの地質条件はますますその厳しさを増し、硬岩に比べると強度がかなり小さい軟岩を基礎にダムを建設しなければならない事例が多くなってきている。軟岩基礎を対象とした場合でも、亀裂性の硬岩などと同様、止水処理工法としては、他工法よりも廉価となることが多いセメントグラウチング工法が一般的に用いられている。しかし、軟岩地盤は強度が小さく注入時のリークの発生が懸念されるため効率的な高压注入が採用できないばかりでなく、低压注入によって浸透注入が達成できるほど大きな間隙も有していない。そのため、軟岩地盤でのセメントグラウチングでは、特有の問題、課題が発生することも珍しくない。従来、軟岩基礎のセメントグラウチングについては、対象地盤の限界圧力や最小水平地圧より幾分大きい圧力で注入することで比較的首尾よく行えるという工学的な研究成果があるが、残された課題も多い。

一方、粉体圧送グラウチングは、表面を改質した超微粒セメント粒子（以下、改質セメントと呼ぶ）を圧縮空気で地盤中に注入する工法である。本工法は、セメントミルク注入と比較して、セメント粒子の大きさは同じであるが、水に比べ遙かに粘性の低い空気を媒体としているという点で、浸透注入に優位性を発揮すると期待され、これまで室内および原位置試験がマサヤシラスを対象に実施されている。しかしながら、本工法の適用範囲、具体的注入仕様、効果判定方法等については、十分に系統立てた研究がなされていないのが現状である。

本研究では、粉体圧送グラウチングを実施した原位置地盤を開削し、その効果を明らかにすることから出発し、既往研究成果の検証と検討、いくつかの実地盤の不攪乱試料による室内注入試験により本工法の適用地盤を検討し、モデル試料による室内注入試験により地盤中あるいは空気中の水分の影響、浸透限界となる地盤の粒度、適切な空気流量、水和効果等を検討し、標準的な注入仕様を作成した。

現時点において、特定のダムサイトに対し本工法が最も優れた注入工法であるといった具体的な方向を示すには至らなかったが、ダムサイトの地質やダム建設方法は今後益々多様化していくと思われ、そうした中で本研究の成果が工法選定の一助になれば幸いである。また、ダム以外の建設、補修、補強工事などにおいても、利用されることを期待する。

目 次

はじめに

1. 研究概要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 粉体圧送グラウチング概説	2
1.3 実施内容	2
1.4 主な研究成果	2
2. 既往の研究開発成果	4
2.1 粉体圧送グラウチング工法の発想	4
2.2 粉体圧送グラウチング工法開発の経緯	4
2.2.1 粉体圧送グラウチング工法の実現可能性のための基礎試験	4
2.2.2 表面改質したセメント粉体の開発・室内注入試験	6
2.2.3 現場注入試験の実施	6
2.3 既往の特許・発表論文	6
2.4 共同研究開始以前の成果	9
2.4.1 室内試験・解析	9
2.4.2 原位置注入試験	10
2.5 共同研究開始前における課題	10
2.5.1 原位置試験による適用性の検討	10
2.5.2 セメント粉体圧送グラウチング工法の基本的条件の把握	10
2.5.3 遮水性および強度の改良度の把握	11
2.5.4 粉体圧送グラウチングシステムの確立	11
3. 小山ダムサイトにおける粉体グラウチングの実施とその評価	12
3.1 調査概要	12
3.1.1 概要	12
3.1.2 調査位置	15
3.2 地形・地質特性	21
3.2.1 地形概要	21
3.2.2 地質概要	21
3.2.3 調査地の地質特性	22

3.3 注入試験手順	2 5
3.3.1 注入試験	2 6
3.3.2 ボーリング・透水試験	2 8
3.3.3 立坑施工手順	3 1
3.4 ボーリングおよび透水試験結果	3 2
3.4.1 ボーリングコアの状況	3 2
3.4.2 透水試験結果	3 2
3.5 立坑観察結果	4 0
3.6 原位置試験結果	4 7
3.7 室内試験結果	5 1
3.8 顕微鏡観察結果	6 1
3.9 他地点における試験実績と結果	6 4
3.9.1 布目ダム（その1）における試験実績と結果	6 4
3.9.2 布目ダム（その2）における試験実績と結果	7 4
3.9.3 川辺ダム（その1）における試験実績と結果	8 1
3.9.4 尾原ダムにおける試験実績と結果	8 9
3.10 総合検討および総合評価	9 4
4. 粉体グラウチング改良のための室内試験	1 0 4
4.1 試験概要	1 0 4
4.2 改質セメントの改良	1 0 6
4.2.1 改良の方向付け	1 0 6
4.2.2 ハイグレード品の粉体物性	1 0 6
4.2.3 注入材料としての物性	1 1 0
4.2.4 浸透限界の把握	1 1 4
4.2.5 浸透性の総合比較	1 2 1
4.3 粉体注入における空気湿度の影響	1 2 2
4.3.1 試験の目的	1 2 2
4.3.2 試験装置及び試験方法	1 2 2
4.3.3 温度・湿度のコントロール方法	1 2 2
4.3.4 試験結果	1 2 4
4.3.5 結論	1 2 6
4.4 試料含水比の粉体注入に与える影響	1 2 7
4.4.1 試験概要	1 2 7
4.4.2 試験方法	1 2 7
4.4.3 試験結果	1 2 8

4.5 攪乱試料を用いたセメントミルクとの比較	1 3 1
4.5.1 浸透性比較試験	1 3 1
4.5.2 遮水性比較試験	1 4 4
4.6 不攪乱試料を用いた注入試験	1 4 9
4.6.1 試験概要	1 4 9
4.6.2 試験方法	1 5 3
4.6.3 試験結果	1 5 6
4.7 注入後の硬化試験	1 7 3
4.7.1 試験概要	1 7 3
4.7.2 試験方法	1 7 3
4.7.3 試験結果	1 7 6
4.8 総合検討および総合評価	1 7 8
5. 粉体圧送グラウチングの標準仕様（案）	1 8 0
5.1 はじめに	1 8 0
5.2 適用範囲	1 8 1
5.2.1 地質条件	1 8 1
5.2.2 対象地盤の物理特性	1 8 1
5.3 予備検討の手順	1 8 3
5.3.1 検討項目の概要	1 8 3
5.3.2 地質状況	1 8 3
5.3.3 室内試験	1 8 4
5.4 注入仕様の作成	1 8 5
5.4.1 注入仕様	1 8 5
5.4.2 注入材料	1 8 5
5.4.3 注入孔間隔	1 8 7
5.4.4 ステージ長	1 8 8
5.4.5 事前送気	1 8 9
5.4.6 粉体注入	1 9 2
5.4.7 誘導孔の検討	1 9 5
5.4.8 機械の能力	2 0 1
5.5 施工方法	2 0 4
5.5.1 施工手順	2 0 4
5.5.2 試験パターン	2 0 5
5.5.3 表層処理	2 0 5
5.5.4 機械据付	2 0 6

5.5.5 ボーリング方法	207
5.5.6 事前送気	208
5.5.7 粉体注入	209
5.5.8 注入完了後の処理	214
6. まとめ	215
6.1 改質セメント粉体の間隙充填の基本特性・条件の把握	215
6.2 改質セメント粉体の空気圧送による遮水性改良度の把握	216
6.3 原位置試験による適用性の検討	216
6.4 粉体圧送グラウチングの注入仕様	216

あとがき

巻末写真集

粉体注入試験状況

セメントミルク注入試験状況

浸透限界試験状況

硬化確認試験状況

透水試験状況

1. 研究概要

1.1 研究の目的

本研究は粉体圧送グラウチングのダム基礎処理グラウチングへの実用化を目指し、適用条件を明らかにし、本工法の標準的な注入仕様を提案することを目的としている。

1.2 粉体圧送グラウチング概説

粉体圧送グラウチングとは、表面を改質した超微粒セメント粒子を圧縮空気で地盤中に注入する工法である。本研究開始以前にこの工法に関連して公開された特許および報文は第2章に示すとおりである。本研究では、空気をセメントの圧送媒体とするこの工法の浸透性に着目し、浸透注入工法として位置づけている。

粉体圧送グラウチングに関する用語を表-1.2.1に説明する。

表-1.2.1 粉体圧送グラウチングに関する用語

用 語	用 語 の 説 明
改質セメント	セメント粒子の表面を水溶性シリコン樹脂によりコーティングすることにより、空気中における分散性・凝集性を高めた粉体圧送グラウチング用グラウト材。
改質セメント母材	改質前のセメント粉体。超微粒セメントを使用。
改質セメント 標準品	改質セメントの内、本共同研究開始以前より使用していたもの。以降、「標準品」と記す。
改質セメント ハイグレードⅠ	本研究で最初に改良・開発した改質セメント。以降、「HGⅠ」と記す。
改質セメント ハイグレードⅡ	本研究で最後に改良・開発した改質セメント。以降、「HGⅡ」と記す。
送気流量	粉体注入時あるいは事前送気時に対象地盤内に送る空気流量。標準状態（0℃、1気圧）の体積流量に換算し、単位はNm ³ /minまたはNm ³ /hで表す。
事前送気	粉体注入開始前に圧縮空気のみを注入対象区間へ注入すること。セメントミルクにおける水押しに相当するが、地盤内を乾燥させ送気流量を確保することが主目的である。
粉体供給速度	1分当たりの注入セメント量。粉体圧送グラウチングでは、フィーダー内の改質セメント残重量を経時計測することによりセメント注入量を求める。単位はg/minを用いる。

1.3 実施内容

平成4年度から平成6年度にわたる3年間に以下の研究を実施した。

- (1) 既往研究成果の調査および整理
- (2) 小山ダム試験サイトの開削調査
- (3) 改質セメントの改良
- (4) 改質セメントの硬化試験
- (5) 被注入材料（地盤）の粒度による浸透限界試験
- (6) 空気湿度の影響を把握するための室内注入試験
- (7) 地盤の含水比の影響を調べるための室内注入試験
- (8) セメントミルクとの浸透性および遮水性の比較
- (9) 適用地盤を検討するための各地ダムサイトより採取した不攪乱試料による室内注入試験
- (10) 標準注入仕様の検討

1.4 主な研究成果

前項(1)～(10)の実施内容に対する主な研究成果は下記の通りである。

- (1) 既往研究成果の調査により、粉体圧送グラウチングの成否に及ぼす影響因子は、地盤構成粒子の粒度、空気および地盤中の水分量であると想定した。
(第2章に記述)
- (2) 小山ダムサイトの開削調査により、注入箇所はおおむね楕円柱体を呈しており、周辺地盤と明らかに異なる強度および透水性を有する改良体を成していた。
注入地盤は未注入地盤に対し、間隙率が27%から16%に、有効間隙率が30%から15%に、現場透水係数が $3.7 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ から $3.4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ に、一軸圧縮強度が 0.7 kgf/cm^2 から 54 kgf/cm^2 以上に改良されていることがわかった。
また、注入箇所を光学顕微鏡で観察した結果、注入孔や割裂脈に近いほど改質セメントの浸透性が良く、遠く離れるほど微細脈の集合となることがわかった。
(第3章に記述)
- (3) 本共同研究開始以前に用いられていた改質セメント標準品に対し、粒径分布の均一化およびコーティング状況の均質化を図ることにより、より優れた改質セメントを開発した。
(第4章第2節に記述)
- (4) 改質セメントの初期水和は母材に対し相当程度の遅れを示すが、28日強度では母材の強度に対し80%の強度を発現していた。
(第4章第2節に記述)
- (5) 新しく改良された改質セメントは、セメントミルクの浸透し難い8号珪砂内に浸透し、注入条件にもよるが、平均粒径50ミクロンのホワイトビーズ内にも浸透できることが

わかった。

(第4章第2節に記述)

- (6) 粉体圧送グラウチングにおいて、空気湿度は高すぎても低すぎても浸透性が低下することがわかった。適性湿度は10～20%程度であった。

(第4章第3節に記述)

- (7) 含水比を調整した珪砂に対する室内送気試験を実施した結果、送気により試料内の含水比が著しく低下する傾向が見られた。

(第4章第4節に記述)

- (8) 従来工法である超微粒セメントミルクグラウチングと粉体圧送グラウチングとの浸透性を比較するため、それぞれ室内注入試験を実施した結果、これまでの改質セメント標準品では優位性が見いだせなかったが、改良品についてはセメントミルクより浸透性が優れていることがわかった。なお、この試験において粉体圧送グラウチングでは、0.8m/s以上の初期間隙実流速を確保した場合に良好な浸透性を得ることがわかった。

(第4章第5節に記述)

- (9) 各地のダムサイトより採取した不攪乱試料に対する室内注入試験より、粉体圧送グラウチングの適用地盤は亀裂が少なく、細粒分含有率が10%以下であり、初期間隙実流速が0.8m/s以上を確保できる地盤であることがわかった。

(第4章第6節に記述)

- (10) 本共同研究の成果をもとに粉体圧送グラウチングの標準的な注入仕様を提案した。

(第5章に記述)

2. 既往の研究開発成果

2.1 粉体圧送グラウチング工法の発想

粉体圧送グラウチングは、これまでの液体を注入媒体とするセメントミルク注入や薬液注入とは異なり、空気によりセメント粒子を運搬して地盤中に注入する工法である。その基本的アイデアは1977年に松下・清水・堀家により「地中止水壁形成方法」（特許第1333789号 地中止水壁形成方法、昭和52年8月9日出願）として特許出願されたものをその始めとする。この特許は「水硬性の粉末状硬化剤を圧縮空気により地盤中に吹き込み、次いで液状の硬化促進剤（珪酸ソーダ等）を注入するもの」であったが、構想に留まっていた。しかし、1983年に鶴巻・樋口・堀家・小林により、改良対象を軟岩に絞って「地盤中に圧縮空気を吹き込み、透気道を形成させた後、粉状または懸濁液状の硬化剤を注入する『空気式グラウチング工法』（特許第1707017号）」が出願された。この特許出願を契機として粉体圧送グラウチングの可能性を探るための基礎試験が（株）熊谷組において開始された。

2.2 粉体圧送グラウチング工法開発の経緯

共同研究以前の開発の流れを図－2.2.1に示し、以下に開発経緯の概要を述べる。

2.2.1 粉体圧送グラウチング工法の実現可能性のための基礎試験

「空気式グラウチング工法」特許では、地盤中に圧縮空気を吹き込むことで地盤空隙中の微細土粒子が移動して土粒子間空隙が広がり、空気やセメント粉体が通り易い「透気道」が形成されることを特徴とし、この透気道を形成させた後に粉状または懸濁液状の硬化剤を注入することとしている。

このアイデアの実現性の検討のために、まず送気後懸濁液状のセメントミルクを注入する工法の効果確認のための室内試験が開始され、その後、送気後セメント粉体を注入する工法の効果確認試験が平行して実施された。

懸濁液の注入は、砂質土に送水後セメントミルク注入した試料と、圧縮空気を送気して送水・セメントミルク注入した試料への浸透性を比較したもので、小型～大型モールドに充填した砂質土に対して圧縮空気の送気により浸透長が数十％向上する結果を得て、試験を完了した。

セメント粉体の注入は、軟岩への透気による透気道形成の確認、砂質土の透気特性の検討、粉体の分散・定量供給可能な粉体注入装置の製作、および砂質土・軟岩へのセメント粉体注入を行った。その結果、数十ルジオンの軟岩の透水性を1オーダー低下させることができたが、これはセメント粉体が微細亀裂を伝わったことによると考えられた。

しかし砂質土への浸透性はミルク注入より劣るため、浸透性に優れた新しい注入材料の開発が必要となった。

このため顔料をはじめ各種の材料を注入する中でシリコーンコーティングした滑石の粉

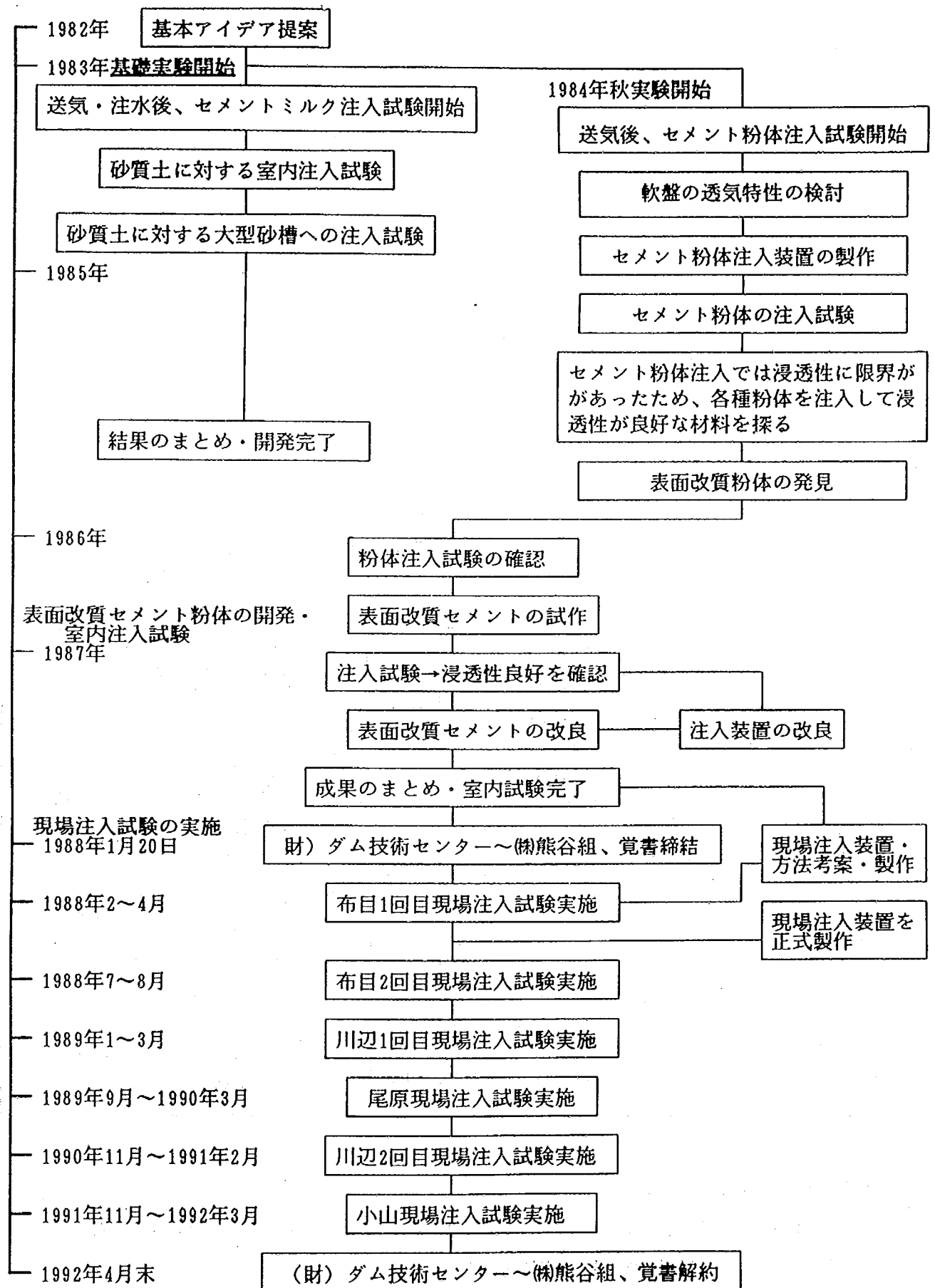


図-2.2.1 共同研究以前の開発の流れ

の浸透性が優れていることが判明し、分散性・再飛散性が浸透性に大きく寄与するとの仮説から、微粒セメントをシリコン被覆（表面改質）するアイデアが出された。

2.2.2 表面改質したセメント粉体の開発・室内注入試験

1986年度に、粉体の表面処理会社（シリコンコーティングした滑石粉を製造・販売）に依頼して製造したシリコンコーティングした微粒セメントを標準砂に注入したところ良好な浸透性が得られたことから、標準砂に対する注入試験を繰り返し行い浸透性・止水性をミルク注入と対比した。この結果、粉体圧送グラウチングが実用的な浸透性を有すると判断され、特許出願の手続きが取られた。また室内注入試験において精度の高いセメント粉体定量供給を実現するために室内試験用のセメント粉体供給装置が製作された。

2.2.3 現場注入試験の実施

1987年以降、財団法人ダム技術センターとの共同研究の基で粉体圧送グラウチングの現場注入試験が、布目ダムサイト（2回）、川辺ダムサイト（2回）、尾原ダムサイト、小山ダムサイトにおいて実施された。これらの現場試験結果は表－2.2.1に示す報告書にまとめられている。

表－2.2.1 現場注入試験報告書

ダム名	報告書名	対象地層	年 月 日	報告書作成
布目	ドライグラウト工法検討業務（布目ダムのマサに対する注入試験(1)）報告書	マサ	昭和63年3月	(財)ダム技術センター (株)熊谷組
	ドライグラウト工法検討業務（布目ダムのマサに対する注入試験(2)）報告書	マサ	平成元年2月	(財)ダム技術センター (株)熊谷組
川辺	昭和63年度川辺ダム調査委託（11工区）報告書	シラス	平成元年3月	鹿児島県加世田土木事務所 (株)熊谷組
	平成2年度川辺ダム調査委託（23工区）報告書	シラス	平成3年3月	鹿児島県加世田土木事務所 (財)ダム技術センター
尾原	平成元年度ダムグラウト検討業務報告書	マサ・貫入岩	平成2年3月	建設省中国地方建設局斐伊川・神戸川総合開発工事事務所 (財)ダム技術センター
布川尾目辺原	平成元年度ドライグラウト検討業務(3)報告書	マサ シラス	平成2年3月	(財)ダム技術センター (株)熊谷組
小山	平成3年度国補大北川総合開発事業第5003-84号ドライグラウト試験委託報告書	マサ	平成4年3月	茨城県久慈水系ダム建設事務所 (財)ダム技術センター

2.3 既往の特許・発表論文

共同研究開始前の成果に基づく粉体圧送グラウチングの出願特許の一覧表を表－2.3.1に、発表論文・報文の一覧を表－2.3.2に示す。

表-2.3.1(1) 共同研究開始前の成果による出願特許一覧

発明名称	出願日	概 要	発 明 者	出願人
地中止水壁 形成方法	S52.8.9	水硬性の粉末状硬化剤を圧縮空気により地盤中に吹き込み、次いで液状の硬化促進剤（珪酸ソーダ...）を注入する。	松下邦治郎 清水昭男 堀家茂一	熊谷組
地中止水壁 形成方法	S52.8.9	高圧空気で地下水位低下させ水硬性の粉末状硬化剤を圧縮空気により地盤中に吹き込み、次いで液状の硬化促進剤（珪酸ソーダ...）を注入する。	松下邦治郎 清水昭男 堀家茂一	熊谷組
空気式グラウ チング方法	S58.12.27	地盤中に圧縮空気を吹き込み、透気道を形成させた後、粉状または懸濁液状の硬化剤を注入する。	鶴巻末八 樋口智士 堀家茂一 小林信一	熊谷組
グラウチング 方法および 装置	S60.3.14	地盤に孔を穿ち、地盤に乾燥圧縮空気を吹き込み透気道を形成した後、グラウト材（粉体）を吹き込む。	堀家茂一	熊谷組
グラウチング 方法	S61.4.4	地盤に孔を穿ち、地盤に乾燥圧縮空気を吹き込み透気道を形成した後、粒径が $1\mu\text{m}$ 以下の疎水性超微粒子から成るグラウト材を注入する。	北健二	熊谷組
グラウチング 方法	S61.4.4	地盤に孔を穿ち、地盤に乾燥圧縮空気を吹き込み、送水した後、セメントミルクを注入する。	堀家茂一 高田利行 北健二	熊谷組
グラウチング 装置	S61.8.27	圧縮空気と気体または粉体のグラウト材を用いるグラウチング装置。	斉木義邦 堀家茂一 長尾直	熊谷組
手堀式シールドトンネル掘削方法および装置	S61.9.23	シールド本体前方の地盤切羽に開口する複数の孔を掘削し、取り外し可能な隔壁の前方に圧縮空気を送気して透気道を形成した後、圧縮空気とともに気体または粉体のグラウト材を注入する。	斉木義邦 長尾直 堀家茂一	熊谷組
シールド式トンネル掘削方法および装置	S61.9.23	気体または粉体の止水剤を含む圧縮気体を切羽に吹き付け、切羽からの湧水を阻止する。	長尾直 斉木義邦	熊谷組

表-2.3.1(2) 共同研究開始前の成果による出願特許一覧

発明名称	出願日	概 要	発 明 者	出願人
グラウト材およびこれを用いるグラウチング方法	S62.7.10	グラウチングをすべき領域の所定の部屋に孔を穿ち、表面の少なくとも一部にシリコンの被覆部を有する粉体を含む粉状のグラウト材を注入する。	横田高良 堀家茂一 北健二	熊谷組
グラウチング方法	S62.7.11	粒径が1~10 μ mの粉体を主成分とする粉状のグラウト材を注入する。 表面の少なくとも一部にシリコンの被覆部を有する粉体であって粒径が1~10 μ m粉体を主成分とする粉状のグラウト材を注入する。	横田高良 堀家茂一 北健二	熊谷組
グラウチング方法	S62.7.13	流動性が異なる複数の粉体を混合した粉状のグラウト材を注入する。 表面の少なくとも一部にシリコンの被覆部を有する粉体であって粒径が1~10 μ mの第1の粉体と、これより流動性が劣る第2の粉体を主成分とするグラウト材を注入する。	横田高良 堀家茂一 北健二	熊谷組
地盤の改良施工法およびその施工装置	S63.4.8	セメント粉体、空気にアンモニアまたはアンモニアを主体とするガスを注入する工法、および装置。	三木幸蔵	川崎地質
ドライグラウチング剤およびその製造方法	H3.2.26	平均粒径10 μ m以下のセメント粒子の表面に水溶性シランカップリング剤を均一に焼き付けコーティングしたドライグラウチング剤、および製法。	佐々木豊 小沼栄一 堀家茂一 小林信一 渡辺金之助 池本忠男	小野田セメント 熊谷組 三協パイオテク
混相流発生装置	H3.10.22	圧力装置内に特殊粉体供給機を格納し、圧力容器の上部にはストレージタンクを圧力室と圧力を等しくするように接続した固体・気体、固体・液体混相流発生装置。	堀家茂一 小林信一 池本忠男 斉藤和男	熊谷組 三協パイオテク
地盤浸透性細粒セメント、その製造法および地盤改良	H4.11.16	界面活性剤溶液に分散させたセメント懸濁液を水ガラスと混合し、さらに樹脂液と混合したゲルを乾燥した注入材、製造法、注入法。	三木幸蔵 堀家茂一 小林信一	川崎地質 熊谷組
地盤岩盤の乾式ボーリング工法及びその	H4.11.16	掘削部に圧力空気を噴射しつつ掘進する乾式ボーリング工法、装置。	三木幸蔵 堀家茂一 小林信一	川崎地質 熊谷組
粉体注入方法	H5.8.30	注入穴の底部に沈積する粉体量を検出しながら、粉体濃度・供給速度を制御する注入方法・検出器	北 健二 小林正宏	熊谷組

表-2.3.2 共同研究開始前の成果による発表論文・報文

著 者 名	表 題	発 表 誌
(1) 堀家・森・市川・柴田	多孔質岩盤の透気特性と粉体グラウト効果に関する研究	土木学会論文集第397号/VI-9 1988. 9(1987年11月投稿)
(2) 高樋	ドライグラウト工法による現(原)位置注入試験、	ダム技術No. 27, 1988
(3) 堀家・北・森	粉体注入工法の開発	第7回工口科学・技術研究討論会 1989. 8
(4) 北	地盤への微粉体注入技術	第7回粉体技術専門講座1990. 7
(5) 高樋・上大田	シラスに対するドライグラウト工法による原位置注入試験、	ダム技術No. 37, 1990
(6) 竹林・高樋・横塚・堀家・北	DRY GROUTING METHOD AND TESTS FOR PRACTICAL USE, ドライグラウティング工法とその実用化試験	ICOLD第17回提出報文, 1991 大ダノ. 139, 1992. 3
(7) 森・柴田・堀家	地盤中への粉体注入現象の研究	土木学会論文集No. 445/III-18, 1992. 3(1990年11月投稿)
(8) 森・柴田・堀家	地盤中への粉体注入現象の解析	土木学会論文集No. 481/III-25, 1993. 12(1992年8月投稿)
(9) 森	微粒セメント粉体の地盤中への粉体注入現象の解析	粉体工学誌第30巻第3号, 1993(1992年8月投稿)

2.4 共同研究開始以前の成果

2.4.1 室内試験・解析

(1) 改質セメントの基本的な物理特性（粒度、流動性等）の確認

改質セメントの粒度分布、流動性指数、引張・せん断試験結果など粉体物性値を測定し、未改質のセメントと比べて流動性の向上、引張・せん断強度の低下が見られることを確認している。

(2) 注入試験の実施による改質セメントの浸透性の確認

豊浦標準砂、および攪乱マサ土に対する改質セメントの注入試験から、セメント粉体が浸透注入すること、また懸濁液状の超微粒セメントミルクの注入と比較して浸透性・止水効果が優れていることを確認している。

(3) 注入現象の解明・解析

セメント粉体が空気流により地盤空隙を運搬・閉塞・崩壊されることにより浸透する注入過程を提案し、改質セメントの付着力よりセメント粒子が空気流により再飛散流速を0.8m/sと予測している。

2.4.2 原位置注入試験

(1) 注入実績

- ・布目ダムサイト；均一なマサ地盤に対して、最大半径80cmの楕円状の浸透注入が確認された。この範囲内の鉱物粒子間にはセメントが見られ、固結していた。
- ・川辺ダムサイト；脆弱なシラス地盤に対する注入でありセメントは亀裂を伝って面状に注入された。
- ・尾原ダムサイト；粗粒から細粒のマサとヒン岩・アプライト等の貫入岩とが混在する地盤であり、掘削による注入状況の目視観察は行われなかったが、注入前後の原位置透水試験結果からセメントミルク注入と対比して10ルジオン以下の透水性を示す岩盤への効率的な注入効果が認められた。

(2) 送気流量と浸透範囲の関係（布目ダムサイトにおける注入実験結果）

空気流速と浸透長（半径）の間に比例関係が見られることから、設計浸透長に対する空気流量を設定できる可能性が示唆された。

(3) 注入限界

シラスへのセメントの注入状況の観察結果から、シラスに対しては浸透注入しないことが確認された。このことからシラスのような空隙径の小さい地盤に対しては注入されないことが予測された。

2.5 共同研究開始前における課題

既往の研究成果に基づき粉体圧送グラウチング共同研究を開始したが、共同研究開始時点では以下の課題が残されていた。

2.5.1 原位置試験による適用性の検討

(1) 原位置での注入性の検討・評価

原位置での注入試験結果から、実地盤に対するセメント粉体の浸透性（浸透範囲）、浸透形態および遮水性を検討・評価すること

(2) 実用化のための課題検討

原位置試験より実用化のための問題抽出を行い、課題の解決案を整理すること

(3) 注入コストの分析

事前送気の短縮・削除、注入時間の短縮などによる施工コストの削減を図り、実用化した場合の本工法のフィージビリティスタディを行うこと

2.5.2 セメント粉体圧送グラウチング工法の基本的条件の把握

(1) 改質セメントの改良

既往の改質セメントを改良して浸透性に優れた注入材料を製造すること

(2) 注入限界の検討

浸透注入できる地盤材料の間隙径の限界を把握し、適用限界を探ること

(3) 注入メカニズムの提案

浸透性を左右する要因を抽出し、浸透性を向上させるための方法を提案すること

(4) 注入基準の検討

浸透性を左右する要因を分析し、良好な浸透長を得るための基準を見いだすこと

2.5.3 遮水性および強度の改良度の把握

各種土質材料へのセメント注入による遮水性の改良度および破壊抵抗性（強度）を検討すること

2.5.4 粉体圧送グラウチングシステムの確立

(1) 注入仕様の検討

注入孔の配置、ステージ長の決定、設計浸透長に対する空気流量・濃度の設定方法等の注入設計基準を検討すること

(2) 施工方法の検討

施工パターンやセメント粉体注入時の流量・濃度管理方法、注入完了基準・方法、および注水・養生方法等を検討し、粉体圧送グラウチング工法の標準仕様（案）を作成すること

3. 小山ダムサイトにおける粉体圧送グラウチングの実施とその評価

3.1 調査概要

3.1.1 概 要

本調査では、小山ダムサイト左岸部に分布する花崗閃緑岩の風化部（マサ）を対象に、粉体圧送グラウチング工法の注入特性と注入効果を確認し、この工法の適用性について検討する。現場注入試験は、以下の内容で実施した* **。

(1)調査位置：茨城県高萩市大字横川 小山ダムサイト左岸

(2)調査時期：平成3年11月16日～平成4年3月15日（平成3年度分）

平成4年10月16日～平成5年3月15日（平成4年度分）

(3)調査内容：

【平成3年度】

- ・ボーリング・・・変位測定孔 2孔（DM孔 ϕ 116mm 3m、DA孔 ϕ 116mm 24m）
注入孔（ ϕ 86mm 18.5m $\times$ 5孔）
チェック孔（ ϕ 66mm 18.5m $\times$ 3孔） 計175m
- ・透気・粉体注入試験・・・注入孔 5孔、5ステージ（1ステージ 1.5m） 計37.5m
- ・透水試験 注入前・・・3回（長時間透水2回、通常透水1回）
注入後・・・6回（長時間透水2回、通常透水4回） 計9回

【平成4年度】

- ・ボーリング・・・パイロット孔（16.5m $\times$ 3孔）、チェック孔（19.0m $\times$ 3孔）
計106.5m（ ϕ 66mm）
- ・透水試験・・・各孔1回 $\times$ 6孔
- ・立坑掘削・埋戻し・・・ ϕ 3.0m $\times$ 19.0m
- ・立坑内観察・・・9回（深度11.0m～19.0m間で掘削深度1m毎）

注入孔は5孔の三角形パターン（1辺約1.2m）配置とし、1ステージ1.5mの7.5m区間（5ステージ）で注入した。注入時は、変位測定孔により送気・注入中の地盤変位を測定し、圧力管理した。

グラウチングの注入効果の確認は、平成3年度においては注入孔配置の各三角形の中心位置でのチェックボーリング孔における透水試験とともに、注入実施深度相当のチェック孔のコア観察により行った。また、不飽和地盤での透水特性は、地盤の飽和度に影響されるため、通常の静水圧透水試験の後に、水頭高さを一定に保って注水量が安定するまで

* 茨城県久慈水系ダム建設事務所・（財）ダム技術センター：平成3年度 国補大北川総合開発事業 第5003-84号
ドライグラウト試験委託 報告書、1992年

** 茨城県・（財）ダム技術センター：平成4年度 大北川総合開発事業 小山ダムドライグラウト確認試験評価業務
報告書、1993年

(本調査では24時間までとした)測定する長時間透水試験も実施した。

平成4年度は、地山の透水特性を把握するため、パイロット孔の深度13.5m～16.5m区間において透水試験を実施した。また、この区間のコア観察により、透水試験実施深度の地質の確認を行った。チェック孔では止水効果を把握するため、同深度において透水試験を実施するとともに、粉体圧送グラウチング実施区間の地質、注入状況を確認するため、深度11.0m～19.0m区間のコア観察を行った。

また、直径3mの立坑を深度19mまで掘削し、深度11.0m～19.0m区間では掘削深度1m毎に、地質状況、注入状況の目視観察、記録を行った。観察終了後、立坑は掘削ずりにより埋め戻した。

実施数量一覧を表-3.1.1、3.1.2に、ボーリング仕様を表-3.1.3、3.1.4に、立坑数量を表-3.1.5に示す。

表-3.1.1 実施数量一覧 (平成3年度)

	孔名	孔数	最終孔径(mm)	孔長(m)	透水試験(回, GL-m)	送気・注入試験(ステージ)	孔曲り測定(回)
変位測定点孔・変位アンカー孔	DM	1	116	24	-----	-----	-----
	DA	1	116	3	-----	-----	-----
注 入 孔	A	1	86	18.5	通常測定(1回, 15.5～17m) 長時間(2回, 11～12.5m 測定 12.5～14m)	5	1
	B	1	86	18.5	-----	5	1
	C	1	86	18.5	-----	5	1
	D	1	86	18.5	-----	5	1
	E	1	86	18.5	-----	5	1
チ ェ ッ ク 孔	CH ₁	1	66	18.5	通常測定(1回, 11～12.5m) 長時間測定(1回, 11～16m)	-----	1
	CH ₂	1	66	18.5	通常測定(1回, 11～12.5m) 長時間測定(1回, 11～18.5m)	-----	1
	CH ₃	1	66	18.5	通常測定(2回, 11～12.5m 11～16m)	-----	1
計		10	-----	175	通常測定5回, 長時間測定4回	25回	8回

注) 注入孔を利用した注入前透水試験の孔径はφ86mm, 区間長1.5m, チェック孔による注入後透水試験の孔径はφ66mm, 区間長は1.5m, 5m, 7.5mとした。長時間透水試験は、通常の静水圧透水試験と、一定水頭高さのもとで注水量を24時間測定する過程を1試験とした。

表-3.1.2 実施数量一覧(平成4年度)

	孔名	孔数	最終孔径(mm)	孔長(m)	透水試験(回, GL-m)
パイロット孔	P1	1	66	16.5	1回、13.5~16.5m
	P2	1	66	16.5	1回、13.5~16.5m
	P3	1	66	16.5	1回、13.5~16.5m
チェック孔	CCH1	1	66	19.0	1回、13.5~16.5m
	CCH2	1	66	19.0	1回、13.5~16.5m
	CCH3	1	66	19.0	1回、13.5~16.5m
計		6	----	106.5	6回

注) 透水試験は静水圧透水試験とし、孔径がφ66mm、区間長は3.0mとした。

表-3.1.3 ボーリング仕様(平成3年度)

孔名	孔数	試料採取径	17採取延長	最終孔径	掘進延長
変位計測定点孔(DM)	1	—	—	116mm	3m
変位計アンカー孔(DA)	1	—	—	〃	24m
注入孔(A~E)	5	86mm	52.5m	116mm延55.0m 86mm延52.5m	92.5m
チェック孔(CH1~CH3)	3	66mm	31.5m	66mm	55.5m
計	10	-----			175m

表-3.1.4 ボーリング仕様(平成4年度)

孔名	孔数	試料採取径	17採取延長	最終孔径	掘進延長
パイロット孔(P1~P3)	3	66mm	9.0m	66mm	49.5m
チェック孔(CCH1~CCH3)	3	66mm	24.0m	66mm	57.0m
計	6	-----			106.5m

表-3.1.5 立坑数量

施工箇所	坑径	掘削深さ
A~E孔周辺	3.0m	19.0m

注) 表中のA~E孔は平成3年度に実施した原位置試験の注入孔を示す。

3.1.2 調査位置

図-3.1.1、図-3.1.2に、それぞれ調査位置平面図、調査位置断面図を示す。

図-3.1.3に平成3年度孔配置平面図、図-3.1.4に注入位置図、図-3.1.5に注入孔・変位計孔断面図を示す。

図-3.1.6に各孔と立坑の位置平面図を、図-3.1.7に平成4年度に実施したパイロット孔・チェック孔・立坑断面図を示す。

概要は以下の通りである。

(1) 全体配置

平成3年度は、調査地点にはレシーバータンク、プラント（粉体供給装置、エアードライヤー等）、計測用ユニットハウスを設置し、コンプレッサーを付替道路脇に設置した。コンプレッサーからレシーバータンクまでは、4インチ2系列のつるまき管を配置した。

平成4年度は、調査地点にはコンプレッサー、透水試験用加圧タンク、発電機、ユニットハウスを設置した。揚水設備は大北川より取水し、揚水ホースで調査地点へと導いた。

(2) 孔配置、立坑配置

注入深度は、ダム天端EL320.0mより1m上からとし、1ステージ長を1.5mの長さとして5ステージ（注入区間長 $1.5\text{m/st} \times 5\text{st} = 7.5\text{m}$ ）、孔配置は孔間隔1.2mの三角形パターンとした。

パイロット孔（P1～P3）は未処理地盤に設ける必要があるため、平成3年度に実施した原位置試験の注入孔から十分離れたところに配置した。

チェック孔については、平成3年度に実施したチェック孔（CH1～CH3）は三角形パターンの中央に配置し、平成4年度のチェック孔（CCH1～CCH3）は平成3年度のチェック孔付近とし、孔曲がりも考慮して配置した。

立坑は平成3年度に実施した原位置試験の注入孔をすべてカバーするように配置した。

(3) 注入孔・変位計孔断面

注入孔は、孔壁保護および送気中の空気漏れの防止のため注入深度（GL-11.0～18.5m）上端部分（GL-11m）まで3.5インチのケーシング（SGP）をたて込み、ケーシング下端をセメンテーションして孔壁と密着させた。セメンテーションに用いたセメントは、粉体圧送グラウチング時の改質セメントと区別できるように白色ポルトランドセメントを使用した。

変位測定用アンカー孔（不動孔）の下端1m区間、および変位測定点孔（可動孔）の下端50cm区間も白色ポルトランドセメントによりセメンテーションを行った。送気・粉体注入時の変位測定点（GL-2.5m）と変位測定アンカーバー頭部の相対変位をストレインゲージ式変位計（最大測定容量10mm）によって計測した。

注入孔ではコアをGL-8.0～18.5m区間（ $10.5\text{m} \times 5\text{孔} = 52.5\text{m}$ ）で採取し、注入は1ステージ1.5mの5ステージ（深度GL-11～18.5m）区間で行った。

図一3.1.1 調査位置平面図

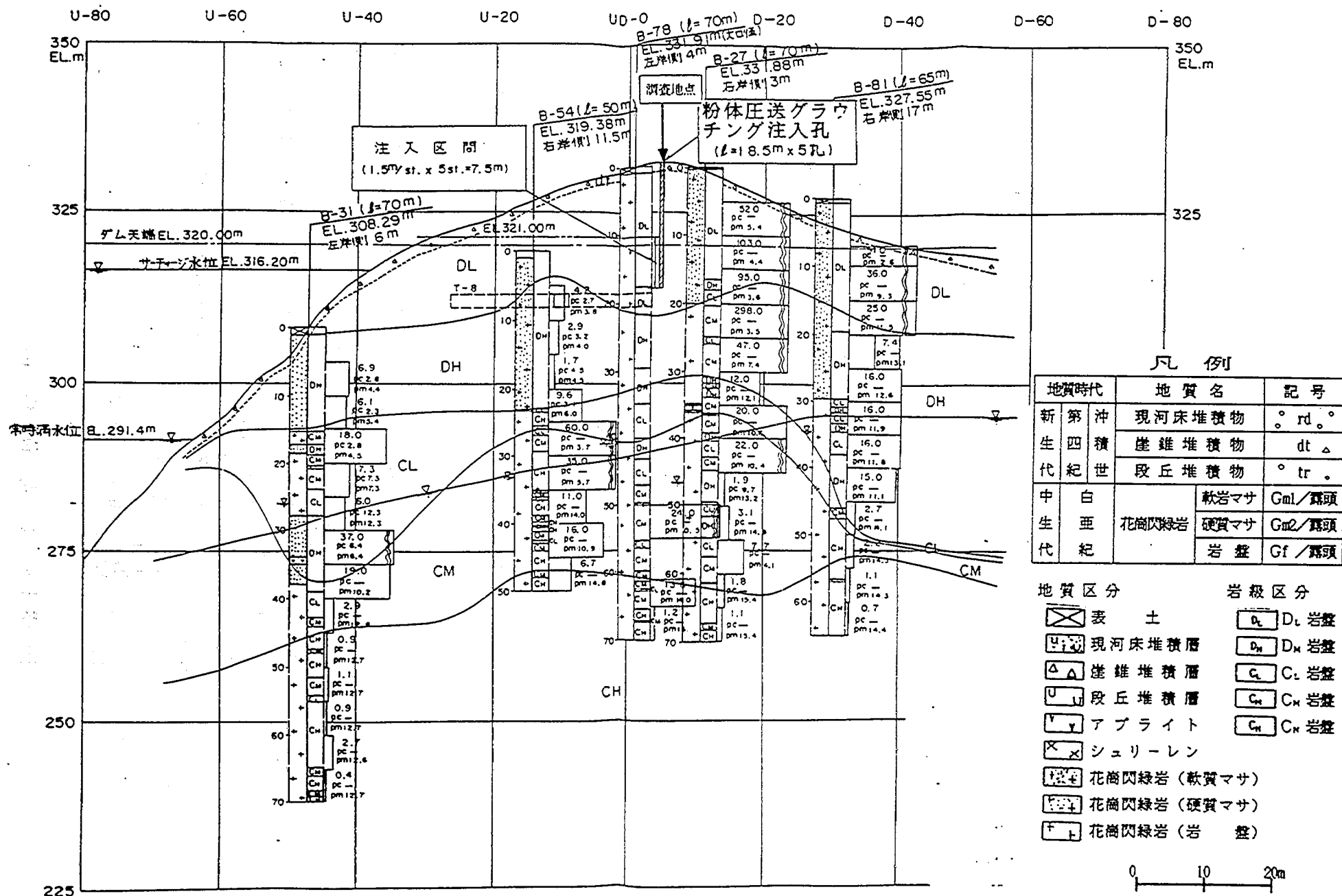


図-3.1.2 調査位置断面図

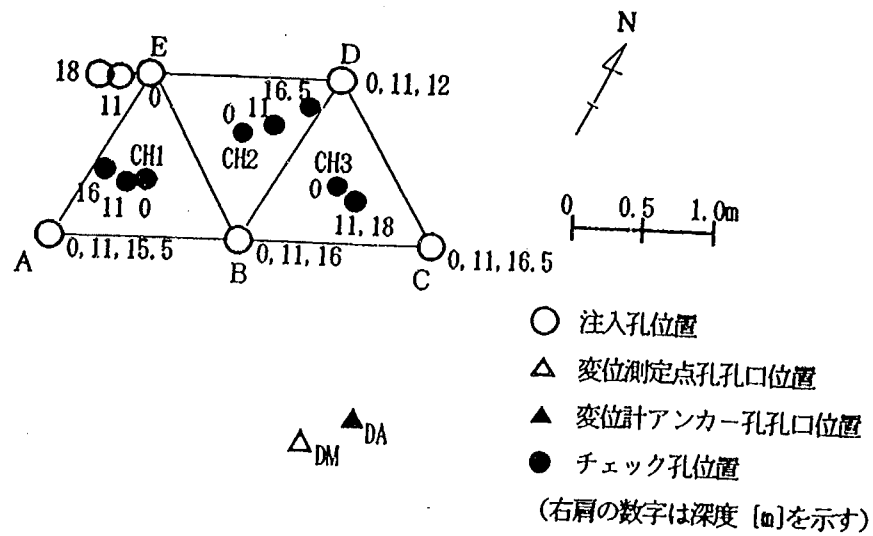


図-3.1.3 孔配置平面図 (平成3年度)

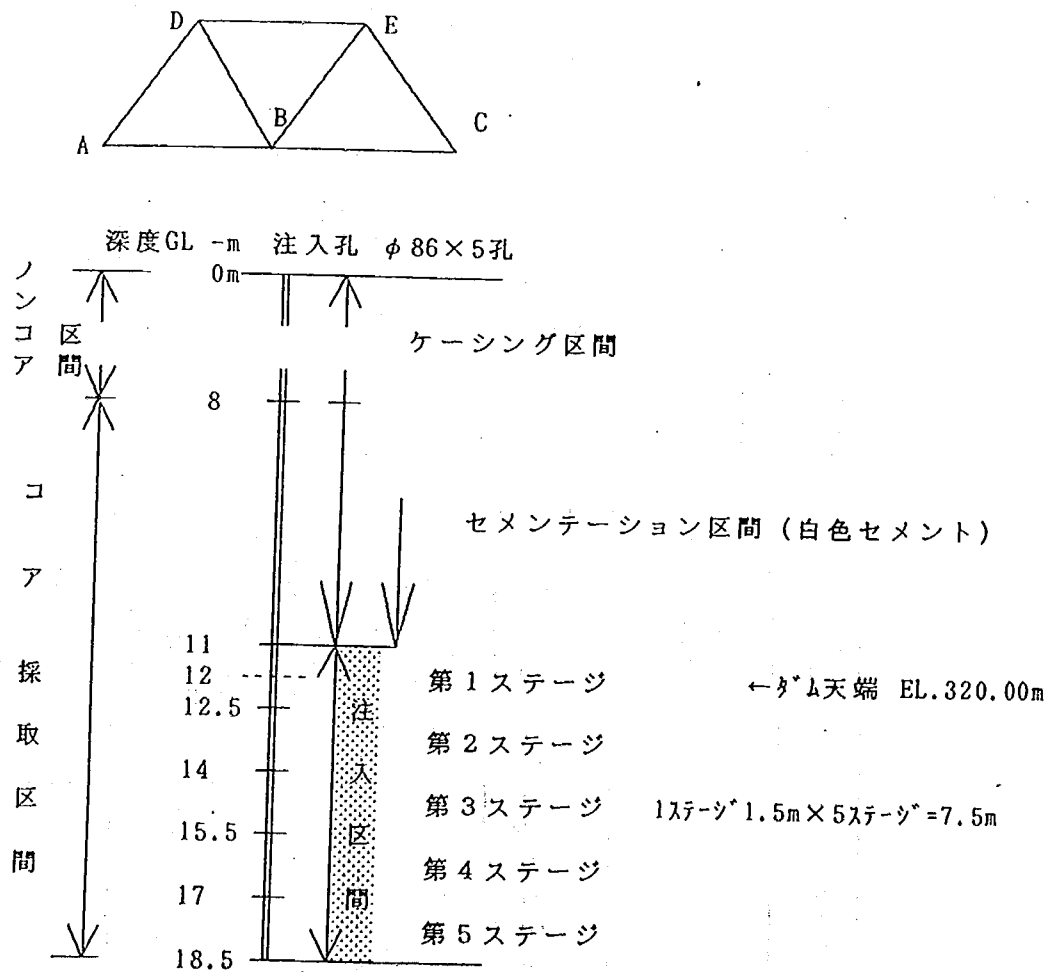


図-3.1.4 注入位置図

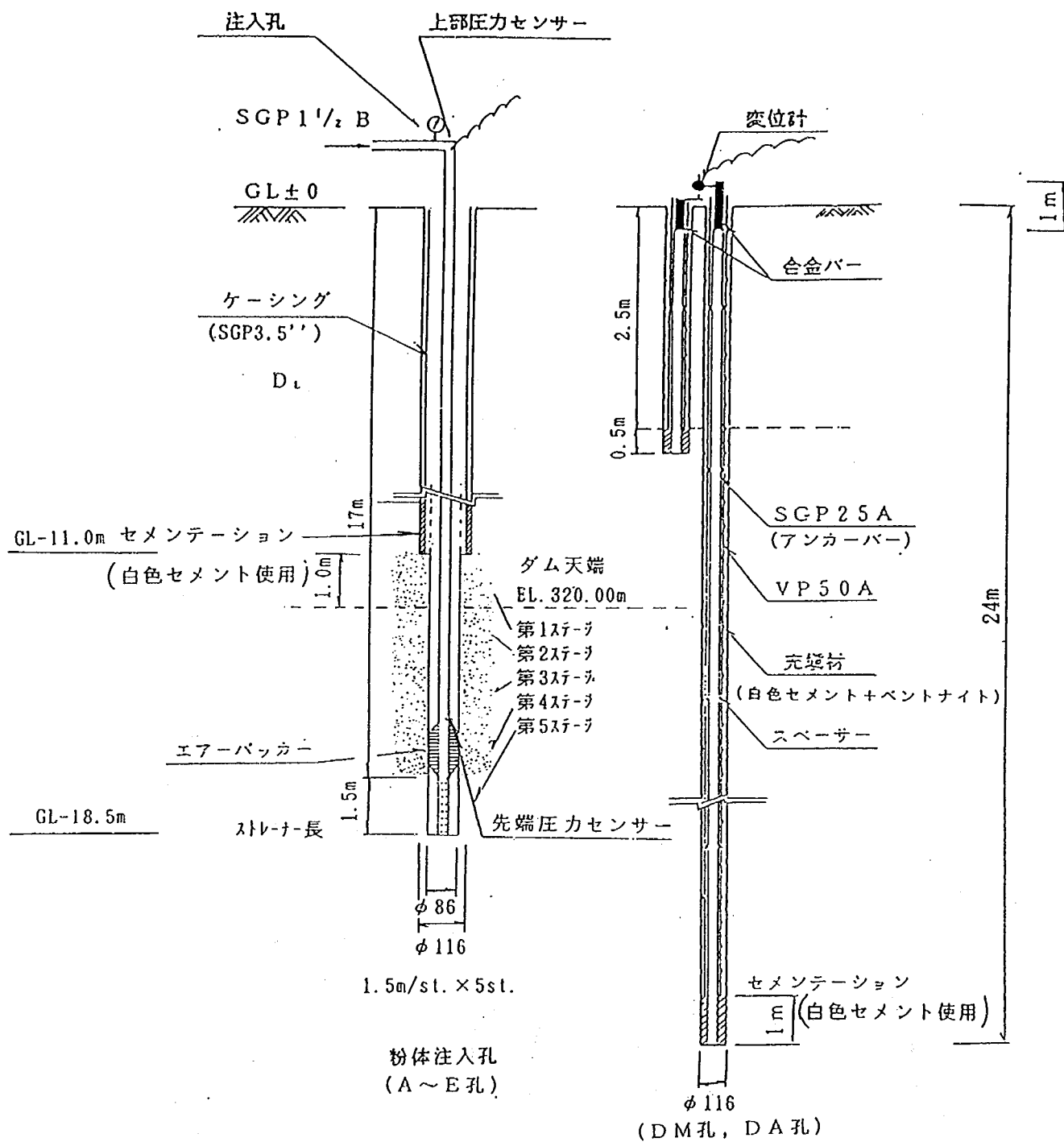


図-3.1.5 注入孔・変位計孔断面図

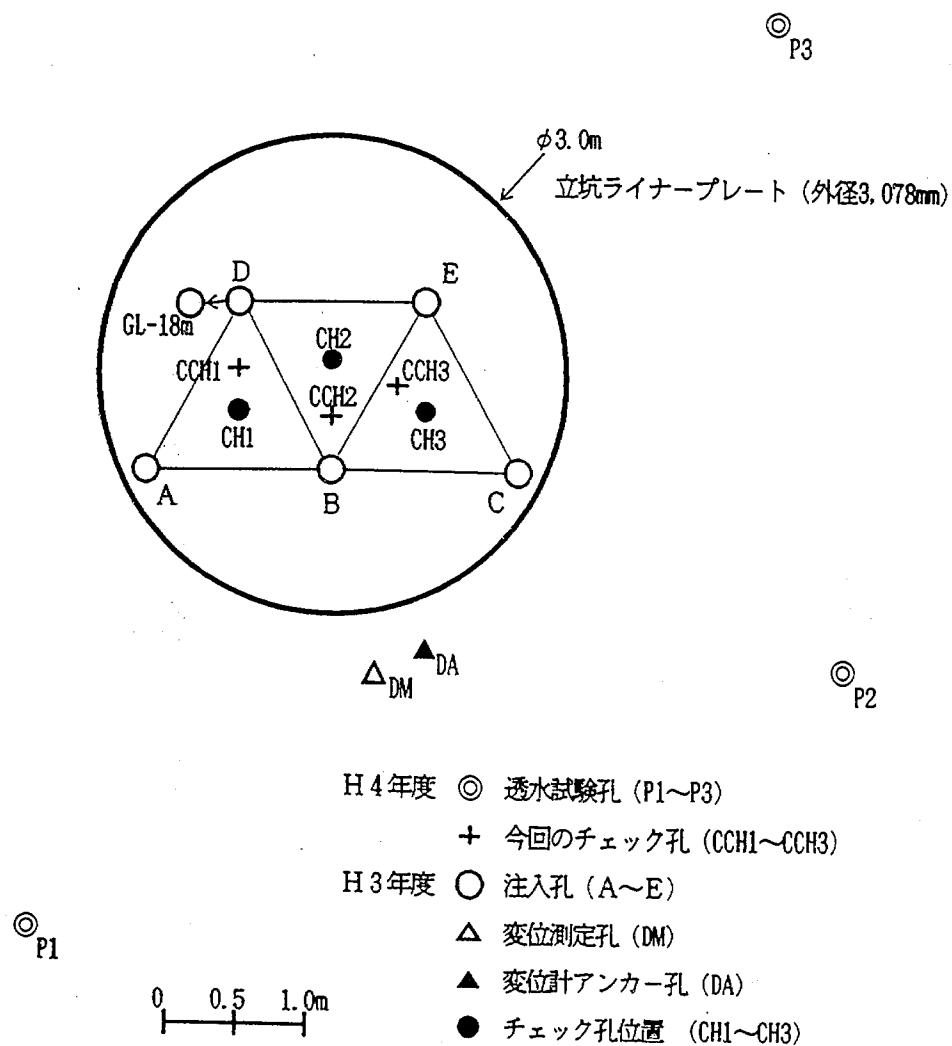


図-3.1.6 各孔と立孔位置平面図

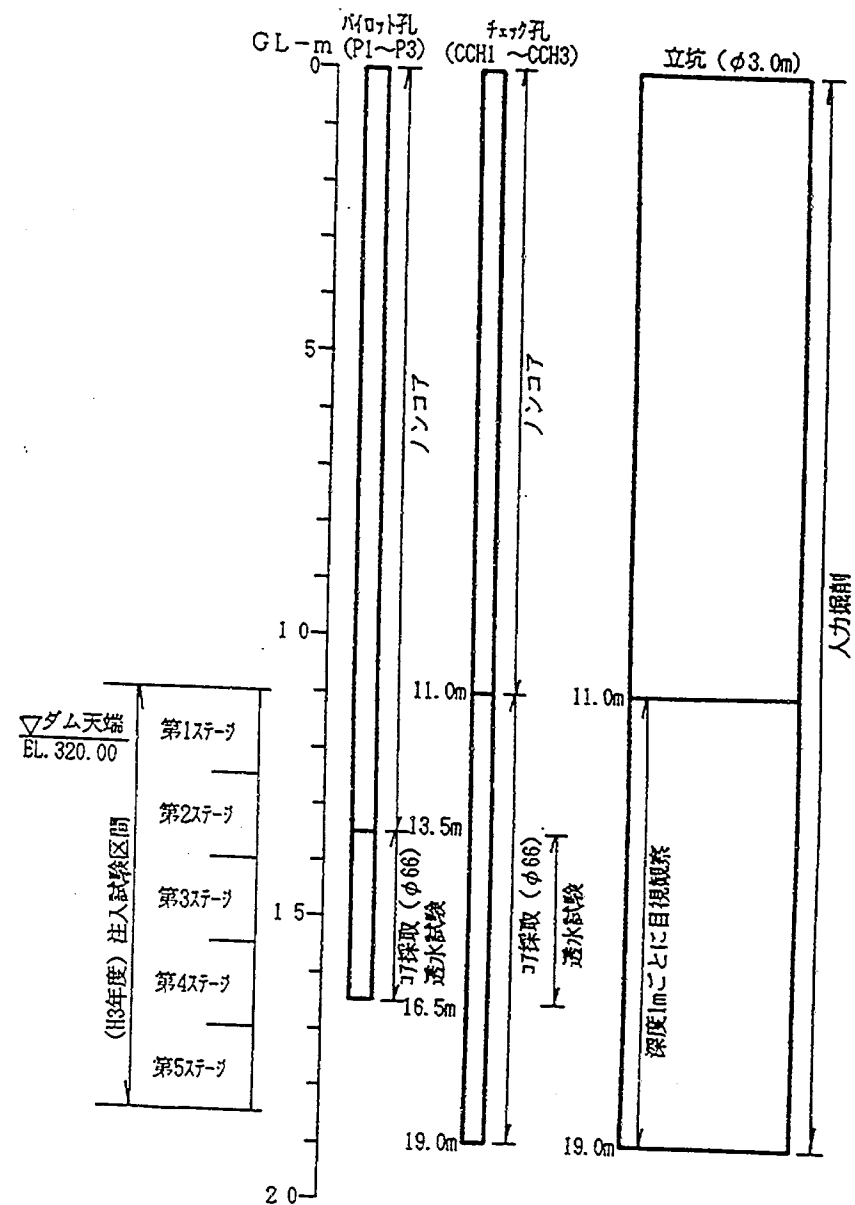


図-3.1.7 パイロット孔、チェック孔、立孔断面図

3.2 地形・地質特性

3.2.1 地形概要

大北川は、茨城県久慈郡里見村の花園花貫県立自然公園の山岳部（標高880m）を源に、途中木皿川、花園川等の支川を合流しながら北茨城市の中心部を流下して太平洋に注ぐ流域面積195.5km²、流路延長約23.0kmの茨城県最大の2級河川である。

ダムサイト周辺（茨城県北部地域）は、福島県東部から常陸太田市付近にほぼ南北に延びる阿武隈山地の一角をなし、茨城県の地形区分では、ダムサイト周辺は多賀山地と呼ばれる山地地形に属する。多賀山地は頂上部が比較的なだらかで、山麓部がむしろ急傾斜を示し、全体としてドーム様地形を呈する。ダムサイト付近はこのドーム様地形の平頂部に位置する。ダムサイトを流れる大北川は、この多賀山地を東流する河川で、ダムサイト付近（ドーム様地形の平頂部）では比較的河川勾配がゆるく河岸段丘を伴うが、サイト下流（ドーム様地形平頂部の端部）では、河川勾配が急になり“大北溪谷”と呼ばれる深い谷を刻み、沖積低地を経て太平洋に注ぐ。

調査地域は、大北川とその東側（下流側）約500mに並行する横川（大北川支流）とに挟まれた、やせ尾根の南端部にあたる。尾根の標高は330～350m（河床からの比高は70～90m）で、丸みを帯びた小丘と鞍部が繰り返す緩やかな地形を呈する。尾根の西側（上流部）斜面は、45度程度の急傾斜をなし、県道沿いには露岩が見られる。南側（現ダム軸方向）へは、20度程度の傾斜で河床部に続く。尾根より東側（下流部）は、幅広い緩傾斜の沢地形を挟んで丸い小丘（標高300m程度）へ続く。

左岸は全体にやせ尾根をなす。尾根幅は、県道北茨城・大子線が現ダム軸直上流で西側へ屈曲する所の東側付近で最も狭く、サーチャージ水位（標高316.2m）で85m、常時満水位（標高291.4m）で215mである。

本調査場所は、L-240m断面上の尾根筋の頂部（標高330m付近）に位置し、周囲は平坦面を形成している（図-3.1.1参照）。

3.2.2 地質概要

ダムサイトの位置する阿武隈山地南部は、いわゆる東北日本外帯（非グリーンタフ地域）の阿武隈帯に属し、中生代白亜紀深成火成活動により生じた花崗岩類（阿武隈花崗岩類）、および古生代の変成岩類（御斎所・竹貫変成岩、日立変成岩）などが広く分布する。

古期花崗岩類は一般に片状を呈し、阿武隈帯の中軸部を占める。阿武隈変成岩類は、阿武隈花崗岩の基盤（母岩）で大別して御斎所・竹貫変成岩と日立変成岩に分けられる。御斎所・竹貫変成岩は、低変成度の御斎所変成岩と高変成度の竹貫変成岩とに分けられ、前者は塩基性起源の緑色片岩と細粒角閃岩を主とし、阿武隈帯の東部に分布する。後者は竹貫変麻岩とも呼ばれ、珪質片麻岩と縞状片麻岩を主とする。

ダムサイトの地質は、中生代白亜紀の阿武隈花崗岩類（古期花崗岩）に属する花崗閃緑岩とそれを被覆する第四紀の堆積層から構成される。

花崗閃緑岩は、当ダムサイトの基盤岩をなし周辺に広く分布する。岩相は粗粒、優白色を呈し、主に石英・長石・有色鉱物の結晶からなる。有色鉱物は黒色を呈する角閃石と黒色～金色を呈する黒雲母からなる。岩石の硬さは、新鮮部では著しく堅硬であるが、風化部では花崗岩特有のマサ状を呈し、軟質である。また、断層周辺部では地下深部から上昇してきた熱水による変質を受け、変質鉱物が生成している。花崗閃緑岩には、黒色～優黒色を呈する硬質岩塊が処々に礫状に含まれる。それらは径数cm～数10cmの大きさで、塩基性捕獲岩、混成岩、花崗閃緑岩の有色鉱物濃集部から成る。この有色鉱物濃集部の分布は不規則であるが、ほぼダムサイト全域に散在する。これらと花崗閃緑岩との境界は、新鮮部では互いに密着するが、マサ部では不均質な風化を起こし有色鉱物濃集部のみがマサ風化から取残されていることがある。

また、花崗閃緑岩中には、白色～淡紅色を呈し、割れ目が著しく発達した幅数cm～数10cm程度の硬質のアプライト岩脈が処々にみられる。それらの走行傾斜はNNW～SSE方向40～60SW傾斜およびNNE～SSW方向80～90SE傾斜のことが多い。それらと花崗閃緑岩との境界は、有色鉱物濃集部と同様に、新鮮部では密着するが、マサ部では割れ目が多く、開口しており、硬質なまま残っていることが多い。

第四紀の堆積層は、主に完新世（沖積世）のもので、大北川河床～両岸に分布する段丘堆積層、谷・沢・山麓などを埋める崖錐堆積層、大北川河床に堆積する現河床堆積層などがあり、基盤の花崗閃緑岩を被覆する。段丘堆積層は、花崗閃緑岩の礫および砂からなり、現ダム軸より上流では、主に右岸側に広く分布し、層厚はおよそ5m以内である。現ダム軸より下流側では、主に左岸側に分布し、層厚は5m程度である。崖錐堆積層は、花崗閃緑岩の礫、砂、表土からなり、左岸では緩傾斜の谷を細粒の粘土化したマサが埋め、右岸では谷や沢部を花崗閃緑岩の角礫と分解した粗粒のマサが埋める。崖錐堆積層の厚さは左右岸とも3m以内であり、特に厚い部分は存在しない。また、尾根や斜面では全般に表土が薄い。

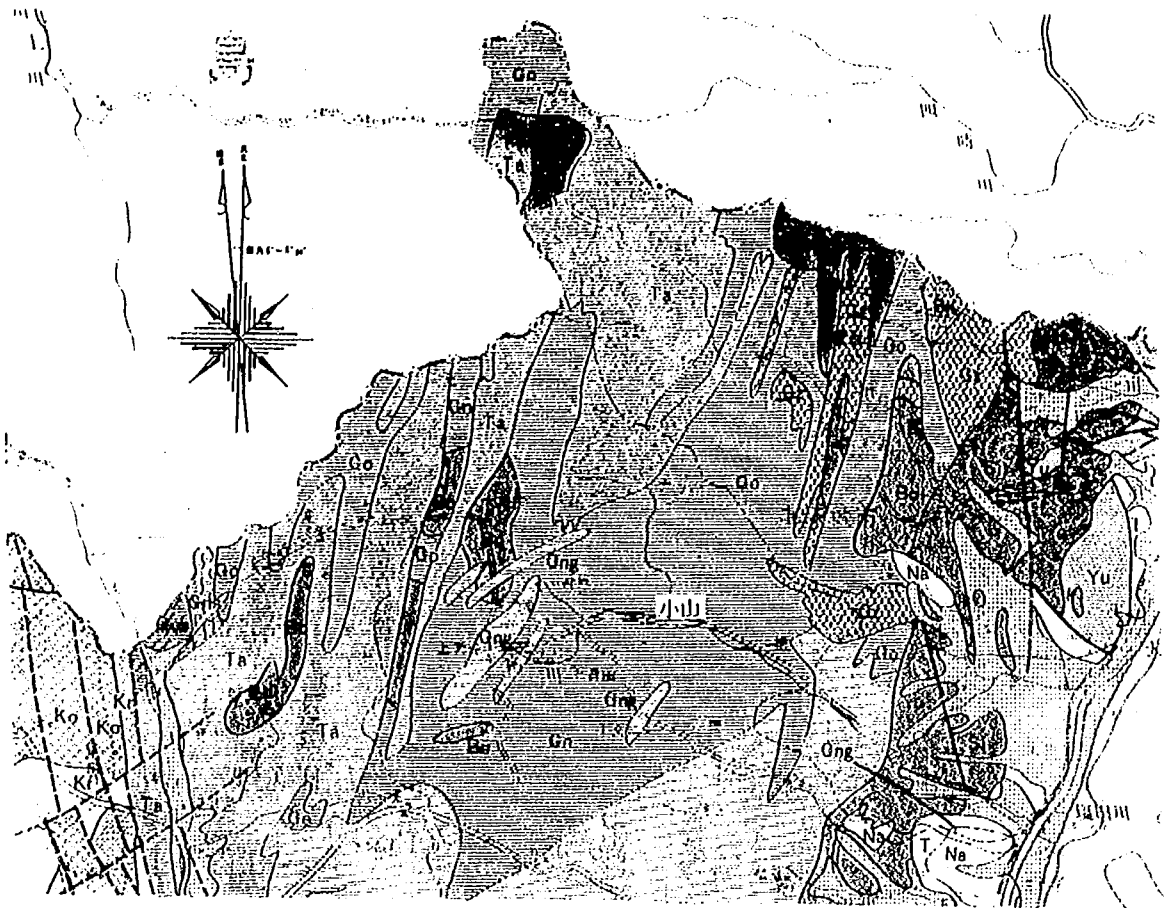
小山ダム付近の地質図を図-3.2.1に示す。

3.2.3 調査地の地質特性

調査地は、やや痩せた尾根部に当たり、この地点の地質はマサ状の風化が厚く、尾根上部で50m以上のマサ状風化帯がみられる。このマサ状部分の透水性は一般に 10^{-4} cm/sのオーダーを示している。

図-3.1.2をもとに調査位置と岩盤分類の位置関係を示した模式図を図-3.2.2に示す。

図-3.2.2より、ダム天端より下位ではD_H級かまたはD_H級にきわめて近いと考えられる。D級岩盤は、表-3.2.1の小山ダムサイト岩級区分基準に示すように、造岩鉱物および粒子は風化をうけて著しく軟質化しており、岩質も柔らかいとされ、グラウチングによる改良が困難とされている岩盤である。



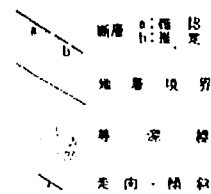
凡 例

堆 積 岩 類

火 成 岩 類

第四系	沖積域	Al	砂礫, 砂	
		Ds	粘土, 微粘土	
	洪積域	関東ローム層	Ki	褐色火山灰, 礫石 (砂, 粘土を含む)
		成田層群	Na	礫, 砂, シルト 粘土
新第三系	新統	久米層群	Ku	砂質泥岩・礫
		O_g O_g O_g T	O _g : 砂, 粘土 O _g : 礫 T: 礫層, 砂層, 頁岩	
	中部	小生浜層群	Ko	砂 礫 層
		黒沢層群	Ks	砂岩, 泥岩互層 礫岩
		淡川層群	As	礫岩, 砂 岩
	下部	食沢層群	Ks	礫層, 砂岩, 泥岩 火砕層, 礫灰岩
		Ya: 礫層被灰岩 Yu: 礫層 (基盤), 砂岩, 頁岩	Ya: 礫層被灰岩 Yu: 礫層 (基盤), 砂岩, 頁岩	
	古第三系	漸新統	白水層群	礫岩 (基盤), 砂岩 頁岩, 石灰
	白堊系	Nk: 礫岩 (礫層, 泥岩)	Nk: 礫岩 (礫層, 泥岩)	Nk: 礫岩 (礫層, 泥岩)
		O: 大波層	O: 大波層	O: 大波層
古生界	Tw: 鱒足層群	Tw: 鱒足層群	砂岩, 砂岩粘板 層互層, チャート	
	To: 奥子層群・八海層群 (時代未詳)	To: 奥子層群・八海層群 (時代未詳)	砂岩, 砂岩粘板 層互層, チャート	
	結川層群	結川層群	粘板岩, 千枚岩 石灰岩, 礫片層	
	赤沢層群	赤沢層群	結晶片岩 角閃片岩	
	生田層群	生田層群	角閃片岩	

中生代	Gm	新期花崗岩
	Gp	新期斑状花崗岩
	Gng	新期基性岩類
	Gn	古期花崗岩
	Gp	古期斑状花崗岩
	Gng	古期基性岩類 (一様圧砕)
	Glb	角閃母花崗岩
	Gpb	斑状角閃母花崗岩
	Gnb	角閃母花崗岩
	Gn	花崗閃岩
古生代	D	花崗岩
	D	花崗岩



変 成 岩 類

古生代	Tp	竹葉片麻岩類
	Tp	輝石片麻岩類

図-3.2.1 小山ダム付近の地質図 (20万分の1)

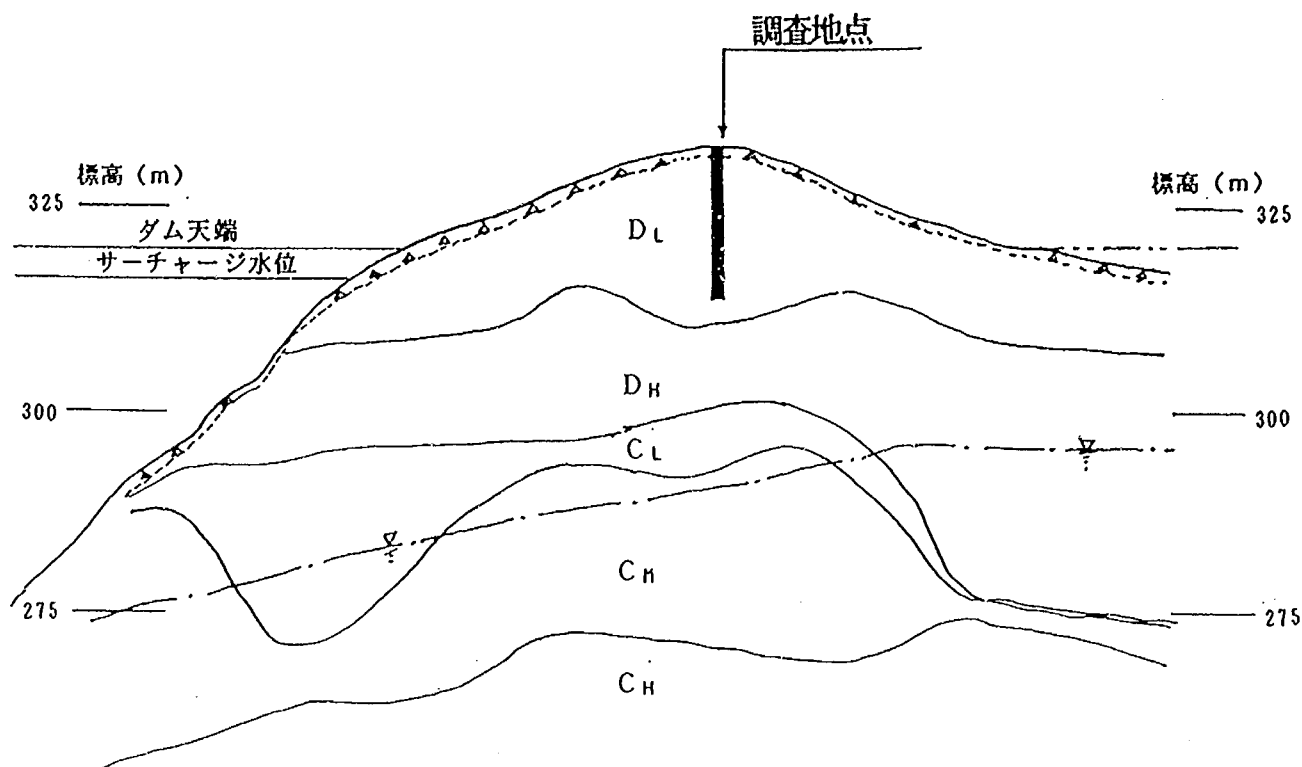


図-3.2.2 左岸L-240付近の岩盤分類模式図

表-3.2.1 小山ダムサイト岩盤分類基準 (D級岩盤)

岩区分		ボーリングコアの地質状況	調査横坑の地質状況
D	D _H	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化してマサとなっており、岩質も著しく軟らかい。節理、亀裂間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによって僅かな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剝脱面には粘土物質が残留する。指で押しても崩れるが少し抵抗感があり、指ですりつぶすと僅かに塊が残る。コアは軟質角礫状～マサ状（粗粒砂状）で採取される。時にスライムで採取されたりノンコアとなることがある。	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており、岩質も著しく軟らかい。節理、亀裂間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによって僅かな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剝脱面には粘土物質が残留する。ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出し、ピックで削ることができる。節理、亀裂は多くの場合やや不明瞭であるが原岩組織を保持していることが多い。時に風化残留部として硬質岩を礫状に包有することがある。支保工、矢板を必要とする。
	D _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化、粘土化した褐色のマサとなっており、岩質も著しく軟らかい。原岩組織は概して消失している。節理、亀裂は不明瞭であることが多いが薄い粘土を介在する。棒状に見えるコアでも指で押して容易に崩れる。指ですりつぶすことができ塊として残らない。剝脱面には粘土物質が残留する。コアは無水凝りとなり粘土状～砂状で採取されることが多く、時にノンコアあるいはスライムとして採取される。	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化、粘土化しており、岩質も著しく軟らかい。原岩組織は概して消失している。節理、亀裂は不明瞭であることが多いが薄い粘土を介在し、ハンマーによって僅かな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剝脱面には粘土物質が残留する。ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出し、ピックがささり指圧で容易にくだける。支保工、矢板を必要とする。

3.3 注入試験手順

図-3.3.1、3.3.2にそれぞれ平成3年度および平成4年度の注入試験手順を示す。

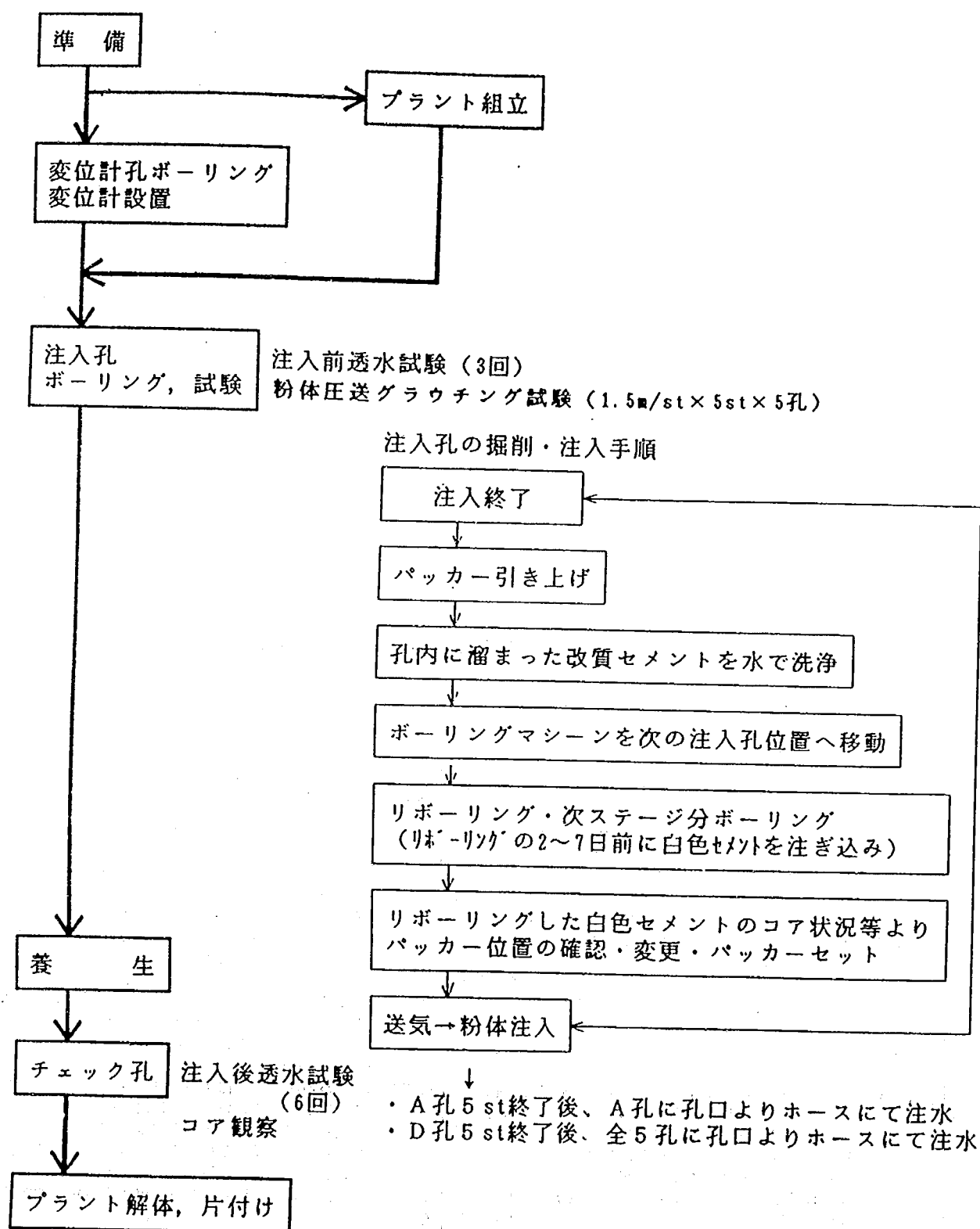


図-3.3.1 注入試験手順 (1) (平成3年度)

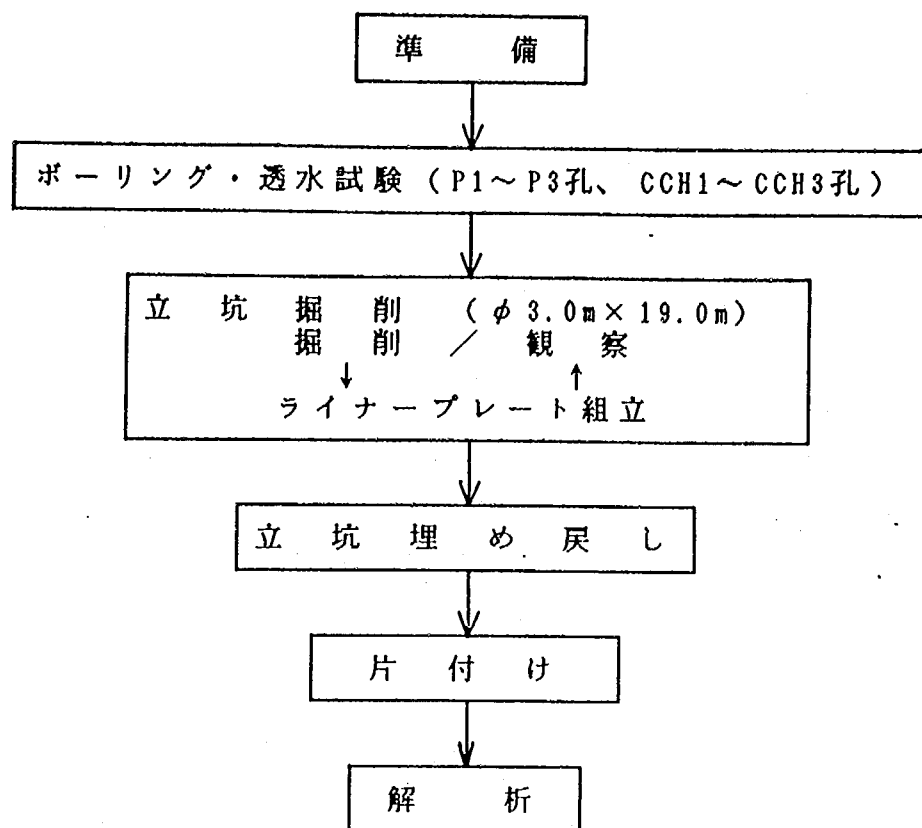


図-3.3.2 注入試験手順(2) (平成4年度)

3.3.1 注入試験

注入試験は、各ステージ毎にA～E孔についてボーリング、注入の順で、平成3年度に実施した。

本注入試験で用いた改質セメント（標準品）は、小野田セメント（株）製の超微粒セメント「アロフィクスMC」を母材に、その表面を水溶性シリコンコーティングしたものである。

図-3.3.3に注入装置概要、表-3.3.1にアロフィクスMCの化学成分・物理特性を示す。

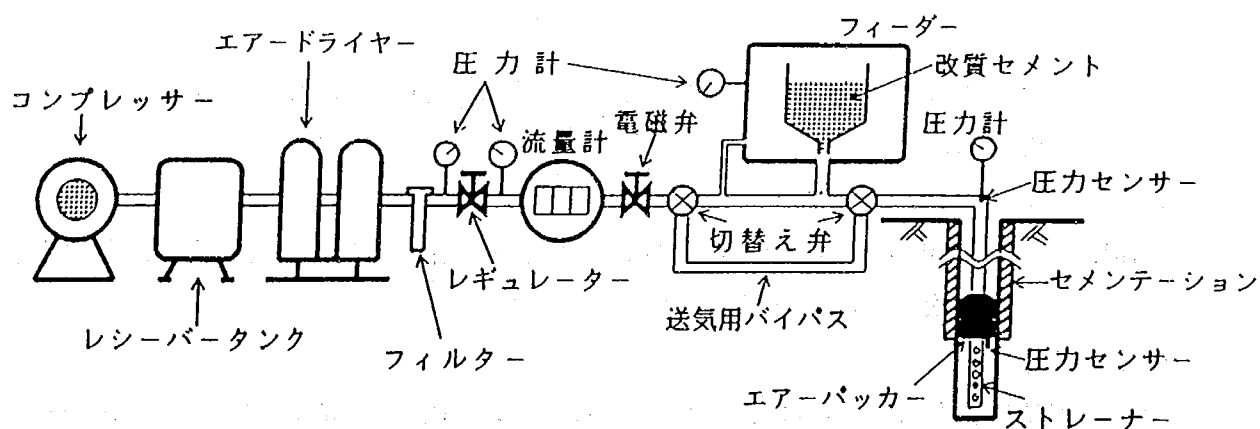


図-3.3.3 注入装置概要

表-3.3.1 アロフィックスMCの化学成分・物理特性

化学 ^{*1} 成分 (%)	ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl
	0.6	0.2	30.8	12.4	1.2	48.2	5.0	1.3	0.54	0.011
物 理 特 性	比 重	粉 末 度		凝 結 ^{*4}		圧縮強さ (kgf/cm ²) ^{*5}				
		比表面積 ^{*2} (cm ² /g)	10 μ m ³ 残分(%)	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)	1 日	3 日	7 日	2 8 日	
	3.00	9380	0	3-40	4-45	55	272	425	564	

*1：化学成分は、「JIS R 5202-1989 ポルトランドセメントの化学分析方法」による。

*2：物理特性のうち、10 μ m³残分(%)以外は、「JIS R 5201-1992 セメントの物理試験方法」による。

*3：10 μ m³残分(%)は、「セメント協会標準試験方法 CAJS K-03-1982 エアジェット式ふるい装置によるセメントの粉末度試験方法」による。

*4：凝結試験は、セメントペーストによる。砂は用いない。水量は、標準軟度となるように調整する。

*5：強さ試験は、セメントモルタルによる。配合は質量比で、セメント1：標準砂2、水セメント比0.65とする。供試体寸法は、40×40×160mmの角柱である。

改質セメント粉体はフィーダーにより定量供給され、圧縮空気とともにストレーナーパイプを通じて空気流により地盤内に注入される。フィーダーの最大粉体供給能力は300g/分である。粉体供給量はフィーダーに取り付けた計量装置により、空気流量は大（15～65Nm³/min）・中（5～20Nm³/min）・小（0～5Nm³/min）の3種類の流量計により、また注入圧力は配管口元部とパッカー部に取り付けた圧力センサーにより測定した。

空気流量、圧力、空気温度、湿度、粉体重量、地盤変位計の計測・管理、およびフィーダーの制御は、コントローラー部で集中して行った。また、これらの測定されたデータは、パソコンによりリアルタイムで処理・図化し、これによって試験の管理を行った。

粉体注入にあたっては、送気・粉体注入時の基準を以下の通り設定し、送気・注入時の空気流量、送気・注入圧、粉体濃度の制御を行った。

【送気・注入管理基準】

(1)地表面の変位量

送気および注入におけるダイヤルゲージ読み値の最小値と最大値の差が2mm以下であるように制御する。

(2)事前送気時

1)昇圧・・・0.1～0.3kgf/cm²づつ段階的に行い、昇圧後の変位量と送気流量が安定した後、次の昇圧を行う。

2)最大圧力・・・

① 昇圧時に送気流量あるいは変位量が著しく増加する限界圧力以下で、可能な限り大きな送気流量を得られる圧力とする。

② 2Nm³/min以下の流量において、変位あるいは流量が著しく増加する兆候が見ら

れる場合には、それ以降は $2 \text{ Nm}^3/\text{min}$ に相当する圧力まで速やかに昇圧し、これを最大圧力として速やかに粉体注入を開始する。

- ③ 当該ステージ以前のステージにおいて、注入中に透気性の増大が見られる場合には、そのときの空気流量に相当する圧力以下の圧力とする。

(一度降圧し再度昇圧する場合、既最大圧力以下の圧力段階であっても、再昇圧は変位・流量を監視しながら徐々に行う。)

- 3) 送気の継続・・・送気中および粉体注入までの間、送気は継続する。

(3) 粉体注入時

- 1) 圧力・・・事前送気時の最大圧力で注入を開始する。注入中、送気流量が著しく減少すれば、変位量を監視しながら、注入開始時の送気流量を超過しない範囲内で昇圧する。

- 2) 粉体供給速度 (濃度・・・単位時間あたりの粉体供給量)

・・・ $20 \text{ g}/\text{min}$ 程度で注入を開始し、送気流量が急激に減少しない範囲内で漸次、粉体供給濃度を増加させる。

- 3) 粉体注入中の透気性の増大等

・・・粉体注入中に圧力一定のもとで空気流量あるいは変位量が増大するときには、少し減圧して注入を継続する。空気流量が急増する場合には、さらに粉体供給速度を大きくして注入を継続する。

- 4) 注入の終了

・・・地表面からセメント粉体が噴出するか、あるいは送気流量が $0.6 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 程度に低下したときには注入を終了する。

3.3.2 ボーリング・透水試験

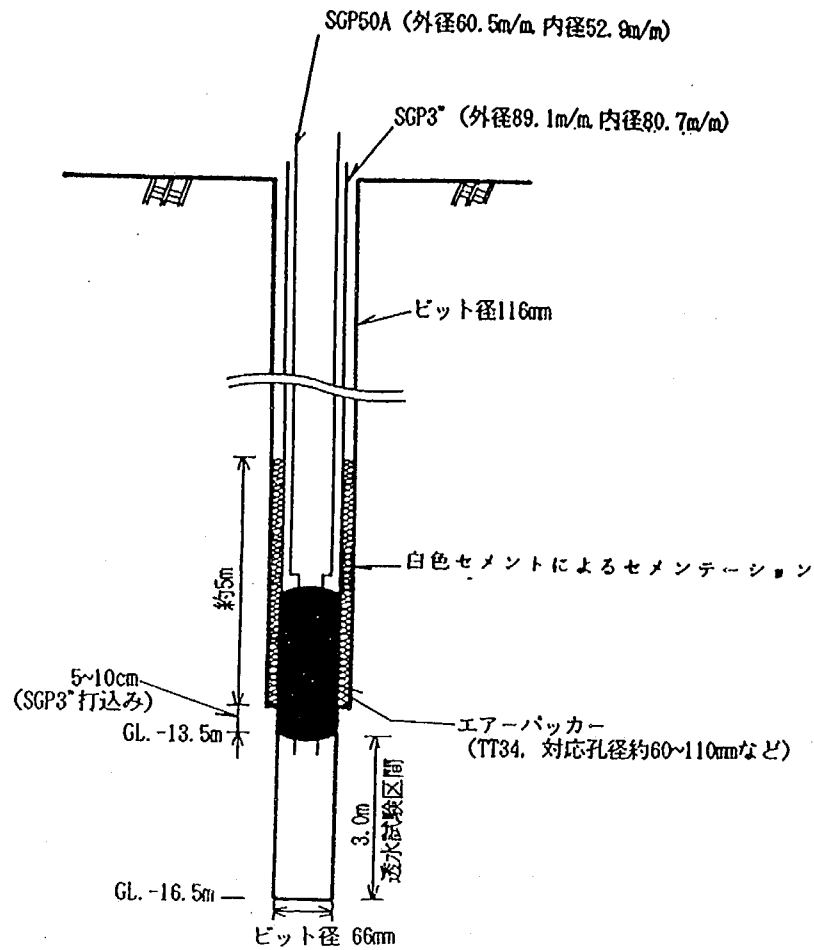
各ボーリング孔で孔径 66 mm のコアを採取した。

パイロット孔 (P1～P3) は GL- 13.5 m ～ -16.5 m の 3.0 m 区間、平成 3 年度実施のチェック孔 (CH1～CH3) は GL- 8.0 m ～ -18.5 m の 10.5 m 区間、平成 4 年度実施のチェック孔 (CC H1～CCH3) は GL- 11.0 m ～ -19.0 m の 8.0 m 区間でコア採取を行った。採取したコアについては、地山の状態、注入セメントの浸透状況等の観察を行った。

透水試験は、平成 3 年度においては各チェック孔ともに孔径 66 mm 、GL- 11.0 m ～ -16.0 m 区間で、平成 4 年度においてはパイロット孔、チェック孔ともに孔径 66 mm 、GL- 13.5 m ～ -16.5 m 区間で静水圧透水試験を行った。

透水試験の際、パイロット孔・チェック孔は孔壁保護ならびに透水試験時のパッカーがかりの孔壁補強のため、図-3.3.4に示すように透水試験区間の上端部分 (GL- 13.5 m) まで 3 インチのケーシングをたて込み、透水試験区間上端から上方約 5 m にわたり孔壁とケーシングの間を白色セメントで固定した。

透水試験時の昇圧-降圧パターンを表-3.3.2に示す。



※CCH2孔: GL-12.7mまでSGP3*打ち込み
透水試験区間はGL-13.9m~GL-16.5m

※P1孔: GL-13.6mまでSGP3*打ち込み
透水試験区間はGL-13.6m~GL-16.5m

図-3.3.4 パイロット孔、チェック孔での静水圧透水試験時の孔壁補強

表-3.3.2 透水試験時の昇圧-降圧パターン

(有効注入圧力: kgf/cm²)

	孔内水位調整透水試験	加圧静水圧透水試験
昇圧	0.3 → 0.6 → 0.9 → 1.2 → 1.5 →	→ 2.0 → 3.0 → 4.0 → 5.0 → 6.0
降圧	0.6 ← 0.9 ← 1.2 ← 1.5	← 2.0 ← 4.0 ← 6.0

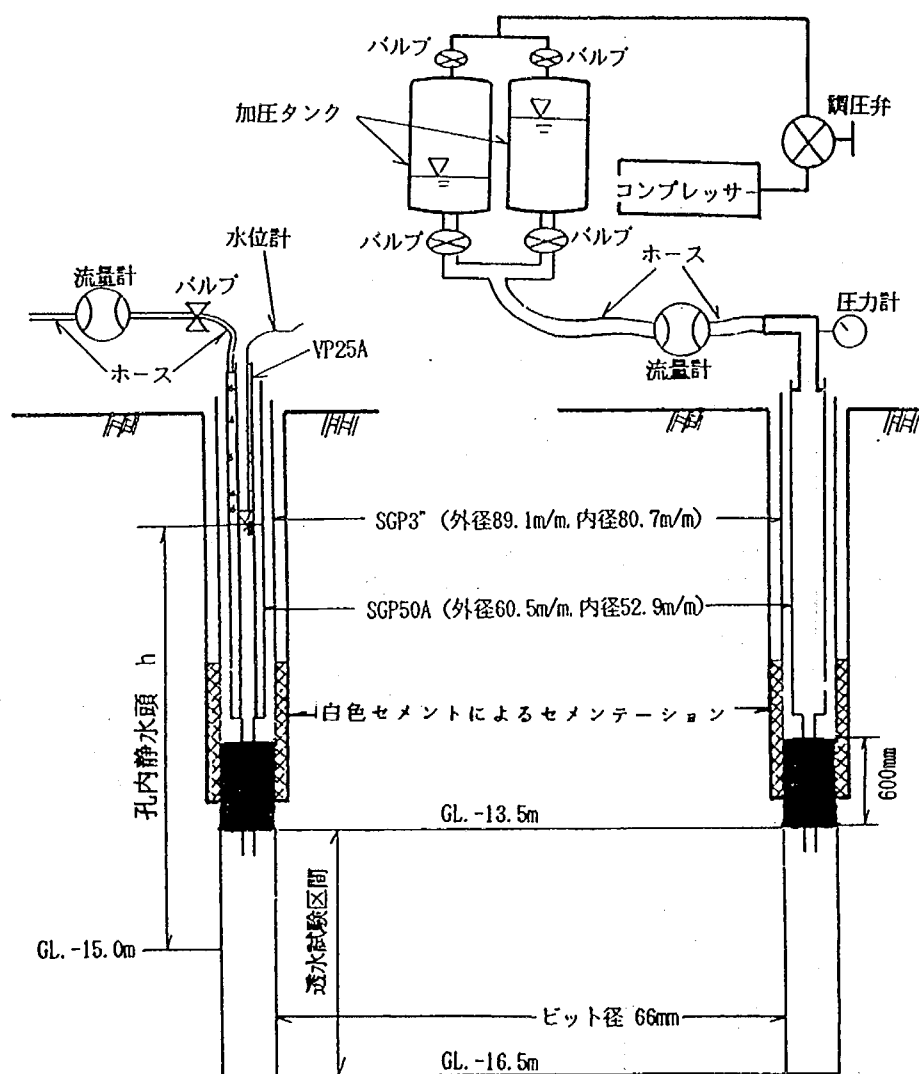
注) 最大圧力は6kgf/cm²とする。6kgf/cm²まで昇圧しても限界圧力が認められない場合は、以後降圧に移る。

最大圧力6kgf/cm²以前に限界圧力が認められた場合は、その時点で降圧に移る。

昇圧時は圧力1.5kgf/cm²までは孔内水位調整透水試験を行い、限界圧力が認められない場合は引続き2.0kgf/cm²から加圧静水圧透水試験に切り替えた。また、降圧時も圧力1.5kgf/cm²から下は孔内水位調整透水試験に切り替えた。

図-3.3.5は孔内水位調整透水試験ならびに加圧静水圧透水試験の概要を示している。その概要は以下の通りである。

- (a) 孔内水位調整透水試験は、SGP50Aのガス管にVP25Aの塩ビ管を差込み、中に水を入れ、水位は孔口手元のバルブと水位計で所定の圧力に調整した。水位が安定した後、流量計にて一定時間内の流量を測定した。



(a) 孔内水位調整透水試験

(b) 加圧静水圧透水試験

図-3.3.5 透水試験概要図

(b) 加圧静水圧透水試験は、コンプレッサーから送られる空気によって透水試験用加圧タンク内の水に圧力をかけ、孔内水位による圧力よりも高い圧力の水を注入し、一定時間当りの流量を流量計にて測定した。

圧力調整は、加圧タンク元のパルプと圧力計で行った。透水試験中の加圧タンク内の水不足を補うため、予め加圧タンクを2台使用した。

3.3.3 立坑施工手順

立坑施工手順を図-3.3.6に示す。

立坑観察はGL-11.0mから掘削深度1m毎に底面ならびに側壁面の観察を行った。また、1mの掘削途中で注入状況を2回に分けて観察した。

観察終了後、地表面から上部にライナープレート1段分(0.5m)を残し、掘削ずりでライナープレート上端まで埋め戻した。

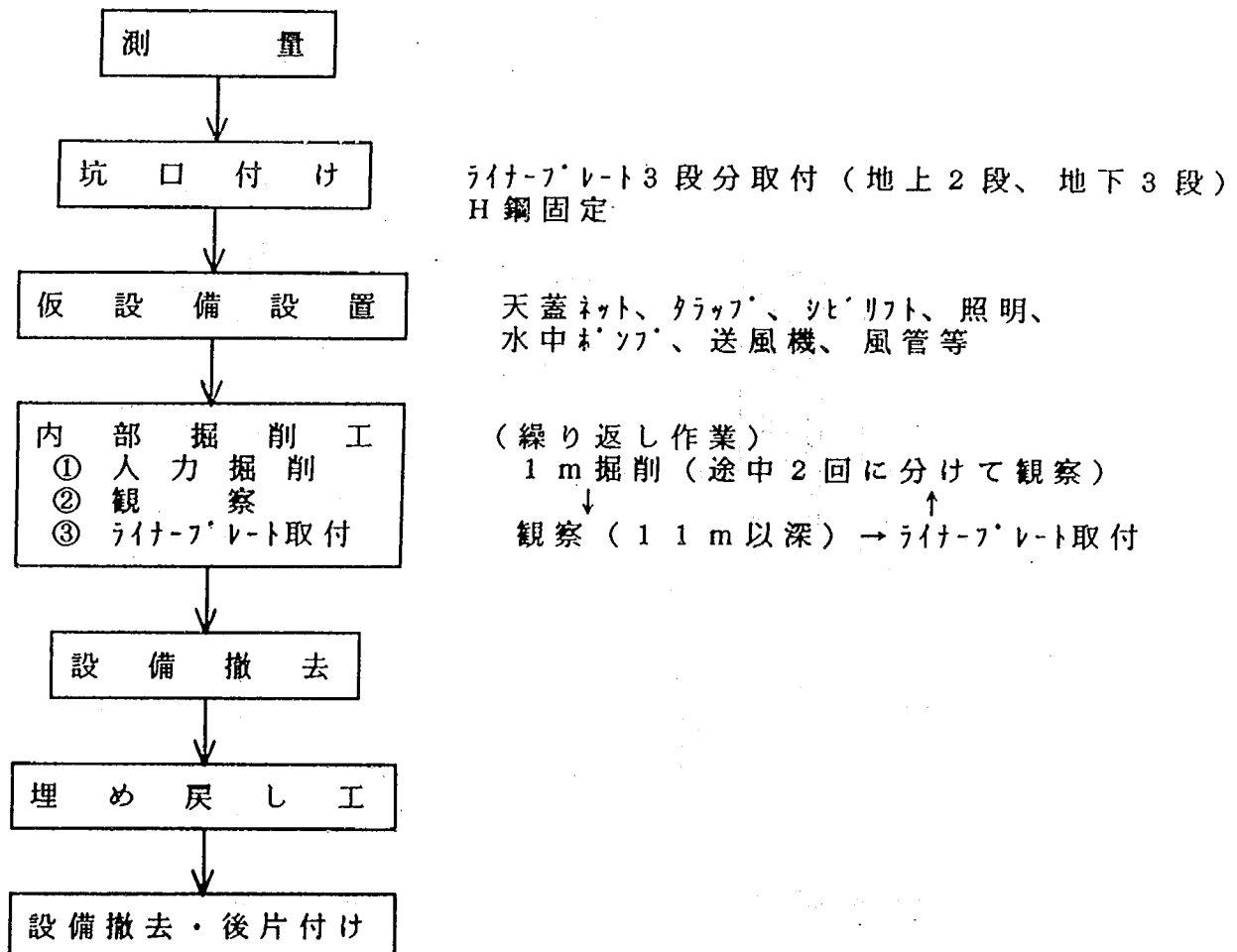


図-3.3.6 立坑施工手順

3.4 ボーリングおよび透水試験結果

3.4.1 ボーリングコアの状況

パイロット孔およびチェック孔のコア写真をそれぞれ写真-3.4.1、写真-3.4.2、3.4.3に示す。

パイロット孔については、平成4年度に透水試験区間である深度13.5～16.5m区間でコア採取をおこなった。P1孔のコアは砂状～細礫状で、すべてD₁₀級である。P2孔では砂状～細礫状で、岩級は深度13.5～15.5m区間がD₁₀級、15.5～16.5m区間がD₁₀級である。P3孔のコアの多くは細礫状で、すべてD₁₀級である。

チェック孔は、平成3年度では深度8.0～18.5m区間（CH1～CH3）、平成4年度では立坑観察区間と同じ深度11.0～19.0m区間（CCH1～CCH3）でコアを採取した。

CCH1孔では、深度12.85～13.02m区間、13.5～14.0m区間でセメントが見られ、軟岩状のコアとなっている。また、15.45～15.60m区間で弱いフェノール反応が認められ、コアも多少硬くなっている。

CCH2孔では、11.0～12.65m区間のほぼ全体でセメントが見られるが、軟岩状のコアは30%程度で残りは砂状である。12.65～13.9m区間は、岩片～柱状のコアで最大長は51cmで中硬岩状に硬質化しており、1～5mm幅のセメント脈と鉱物粒子間にセメントが見られる。13.9～14.6m区間は、岩片～短柱状のコアが約40%採取されている。14.6～17.1m区間は、軟岩～中硬岩状で岩片～短柱状のコアで、1～7mm幅のセメント脈と鉱物粒子間にセメントが見られる。17.1～19.0m区間は、セメントの充填した軟岩状のコアは20～30%程度である。

CCH3孔では、セメントは認められない。11.0～14.2m区間は砂状～細礫状で、14.2～19.0m区間は細礫状である。

また、平成3年度実施分のコアについては、概略以下のとおりである。

CH1孔：深度13.0～13.3m区間のコアの粒子間に改質セメントが充填されている。

CH2孔：深度10.8～11.2m区間のコアの粒子間に改質セメントが充填されている。

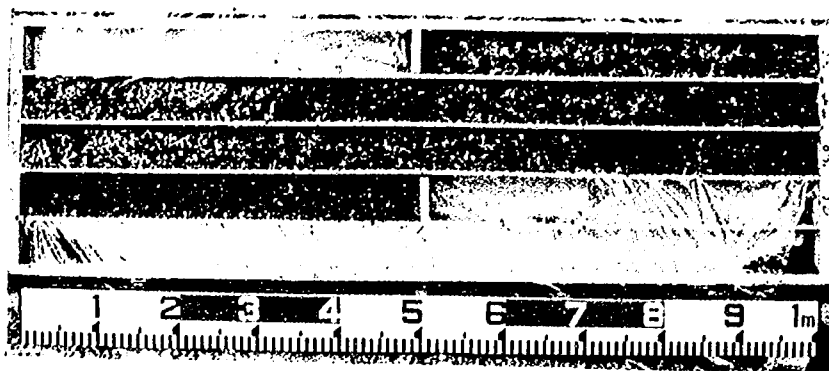
深度18.0～18.2m区間の亀裂面に改質セメントが付着している。

CH3孔：深度9.50～9.65m区間の傾斜70度の亀裂面に改質セメントが付着している。

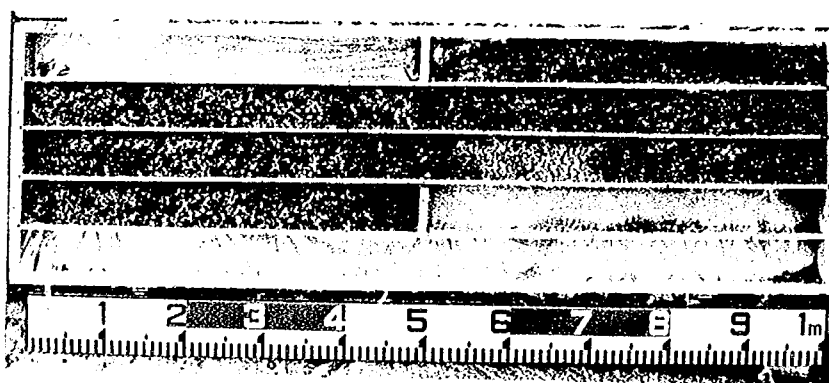
3.4.2 透水試験結果

図-3.4.1および図-3.4.2、3.4.3にパイロット孔（P1～P3）およびチェック孔（CCH1～CCH3、CH1～CH3）の透水試験結果を示す。いずれも地下水位より上部の不飽和地盤でのボーリング孔を利用した静水圧透水試験である。

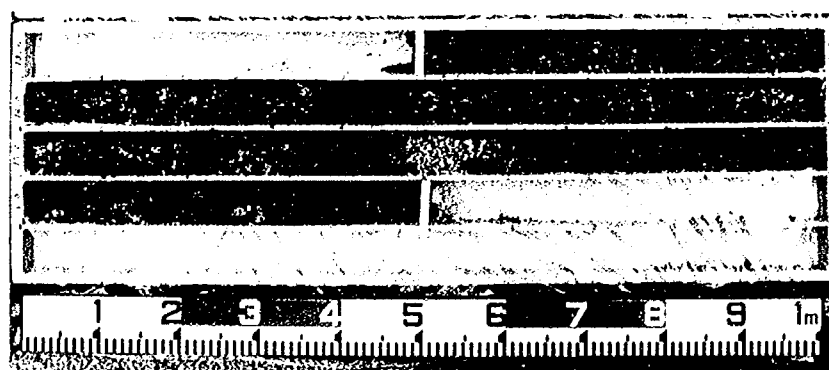
自然地山の透水性は、P1孔の換算ルジオン値が48ルジオン、P2孔では55ルジオンである。P3孔では7ルジオンと小さな値が得られたが、目詰まりの影響による可能性も考えられる。限界圧力はP1、P2孔ではおよそ2 kgf/cm²、P3孔では2.0 kgf/cm²と判定される。P1、P2孔では昇圧段階よりも降圧段階での透水性が小さい。このような現象は平成3年度の透水試験に



P 1 孔 (深度13.5~16.5m)

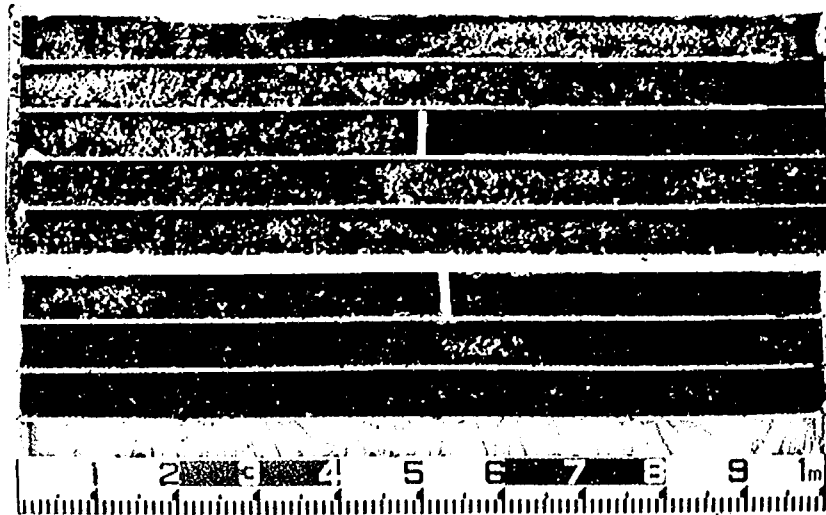


P 2 孔 (深度13.5~16.5m)

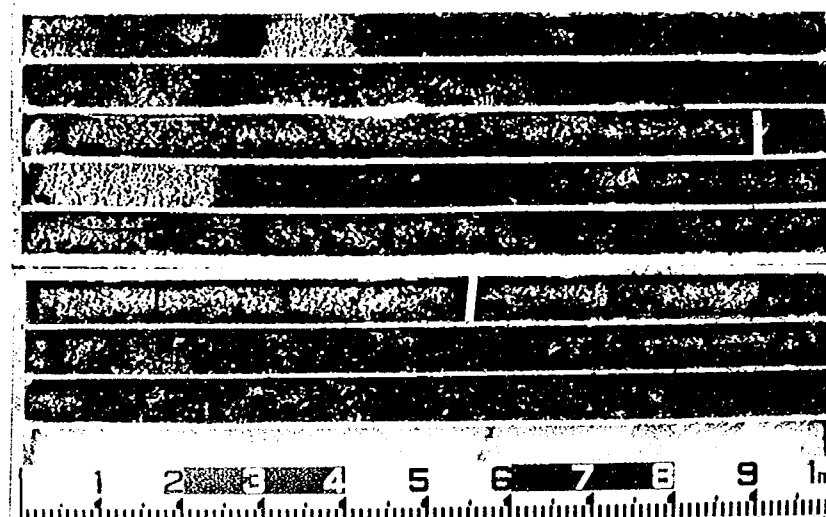


P 3 孔 (深度13.5~16.5m)

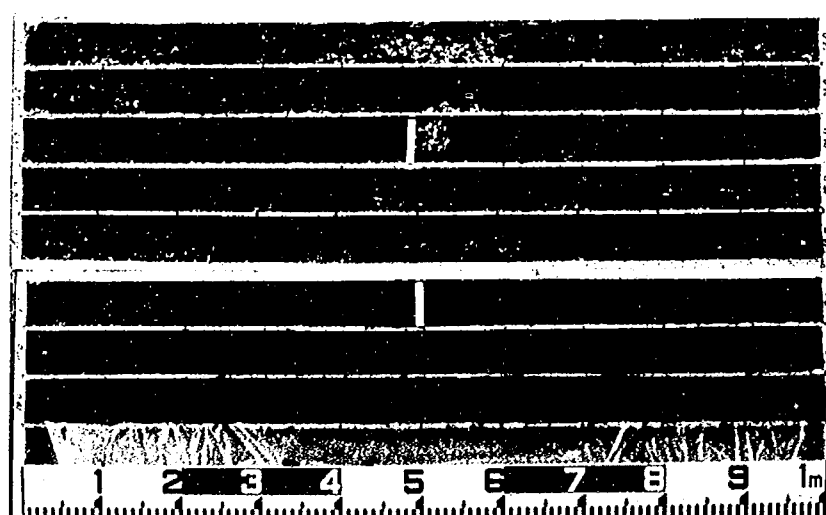
写真-3.4.1 コア写真 (パイロット孔)



CCH 1 孔 (深度11.0~19.0m)

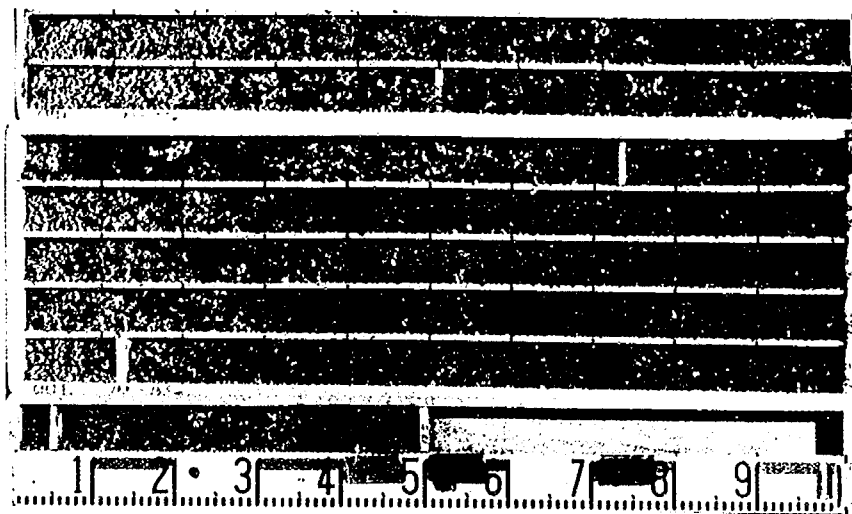


CCH 2 孔 (深度11.0~19.0m)

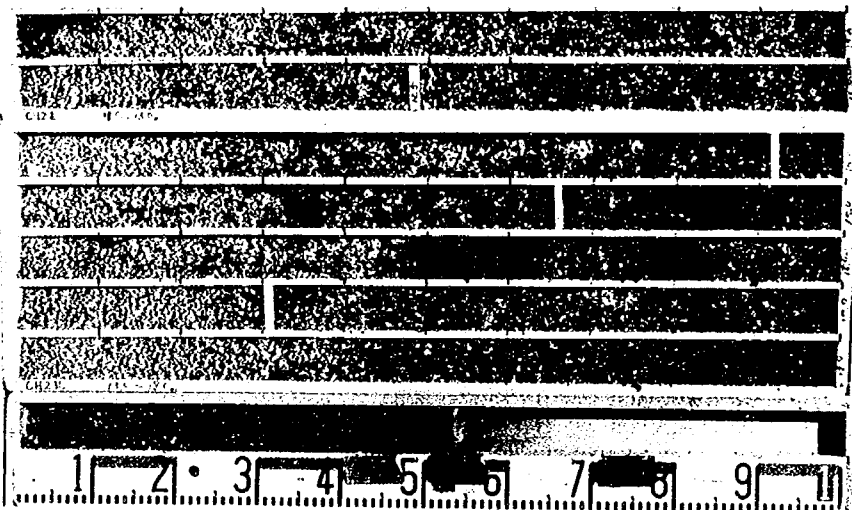


CCH 3 孔 (深度11.0~19.0m)

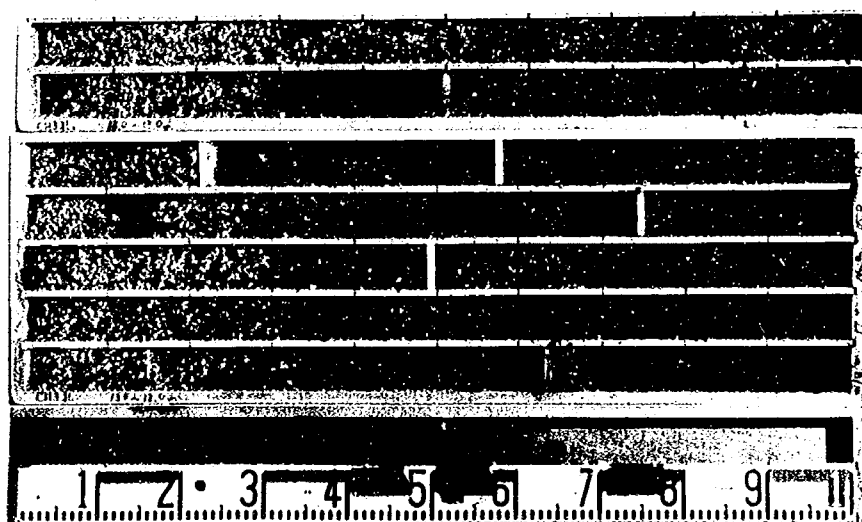
写真-3.4.2 コア写真 (チェック孔) (平成4年度)



CH 1 孔 (深度11.0~18.5m)



CH 2 孔 (深度11.0~18.5m)



CH 3 孔 (深度11.0~18.5m)

写真-3.4.3 コア写真 (チェック孔) (平成3年度)

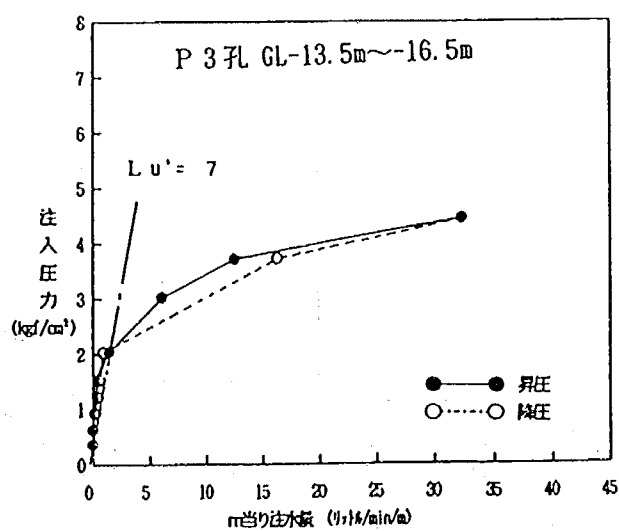
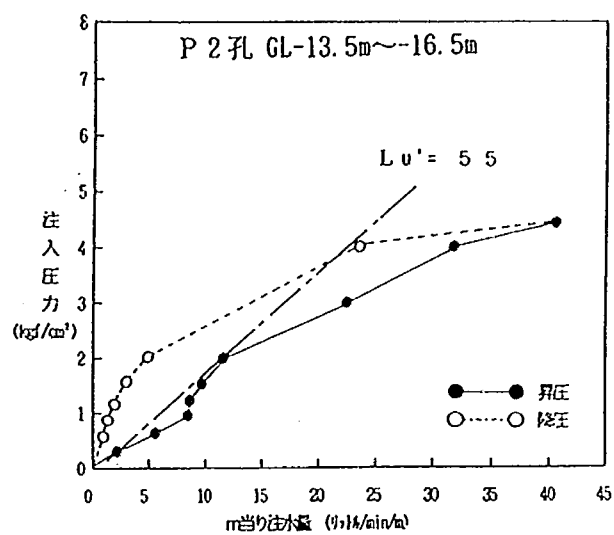
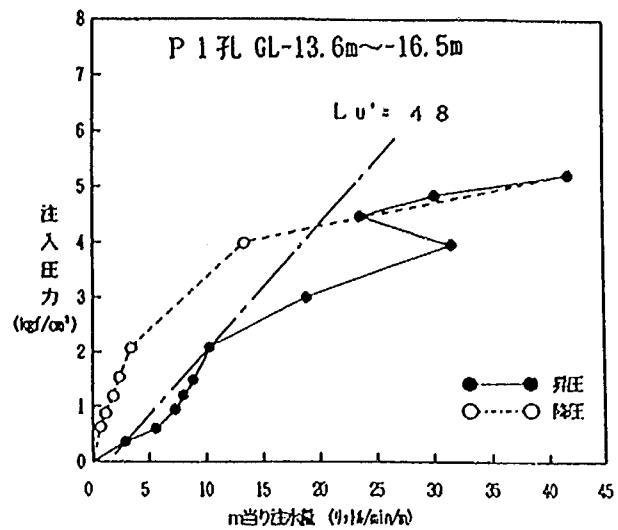


図-3.4.1 透水試験結果 (パイロット孔)

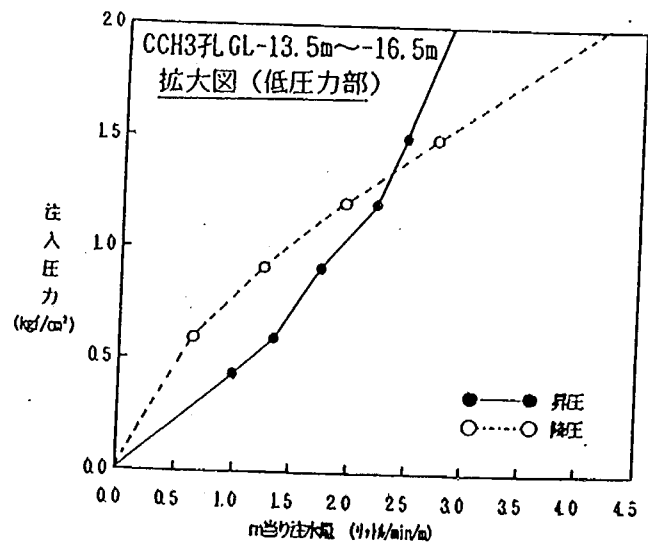
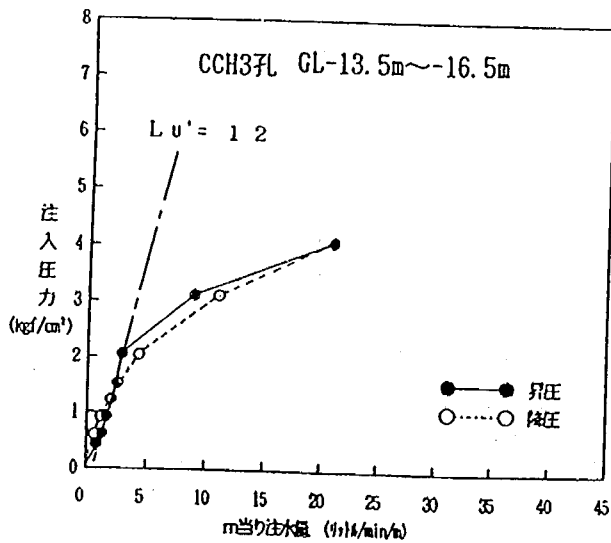
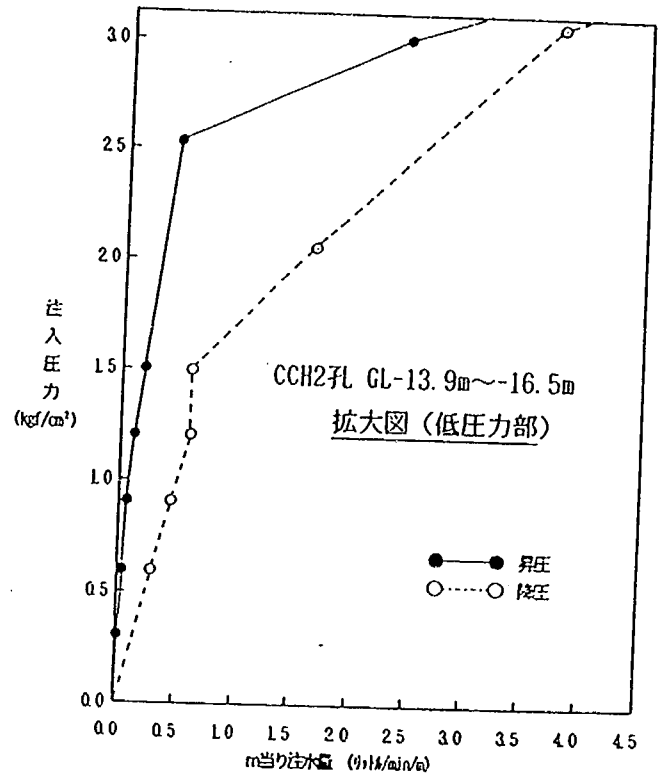
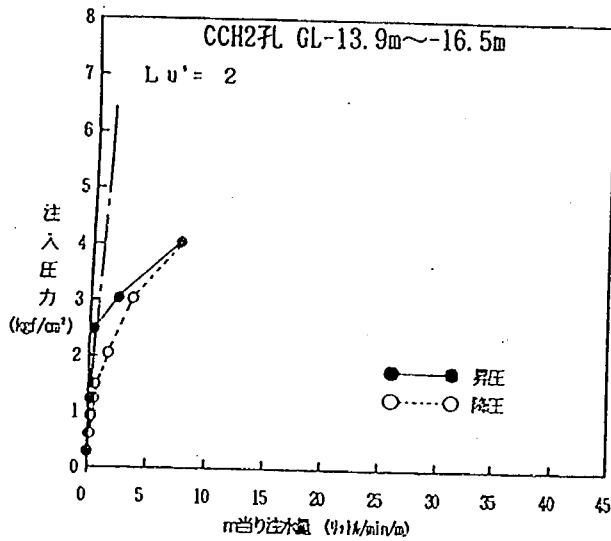
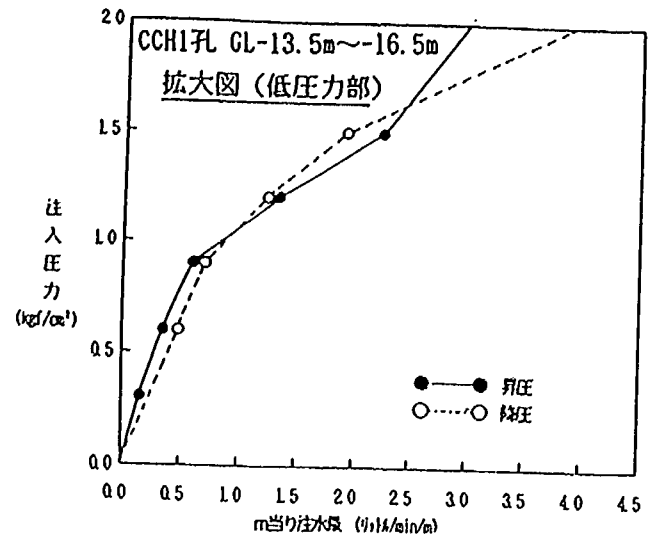
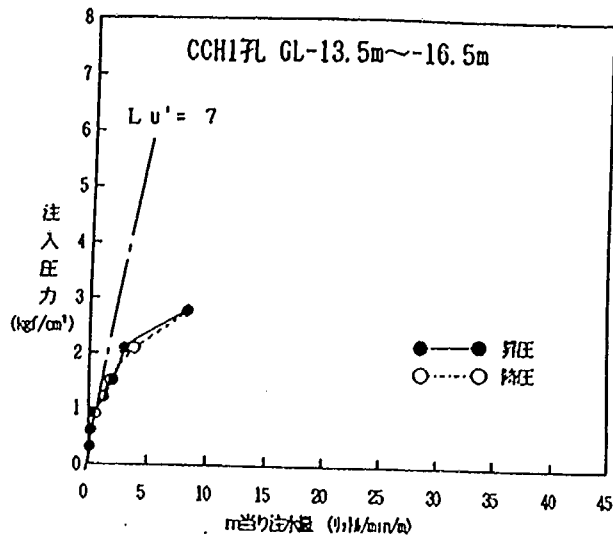


図-3.4.2 透水試験結果 (チェック孔) (平成4年度)

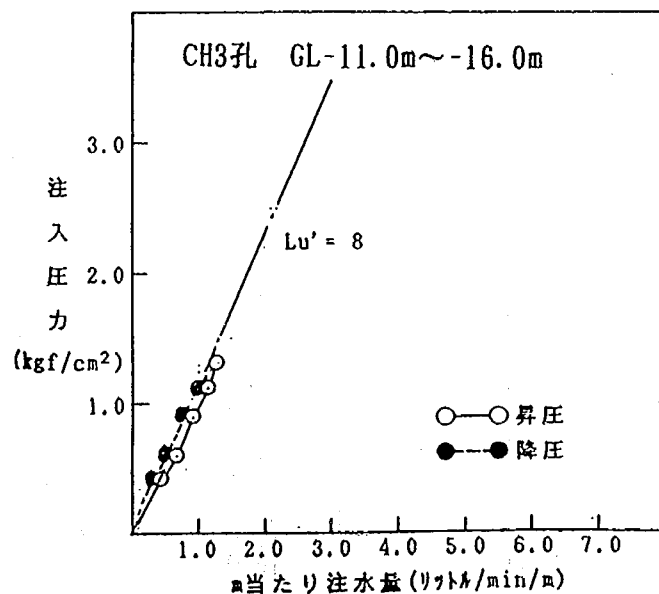
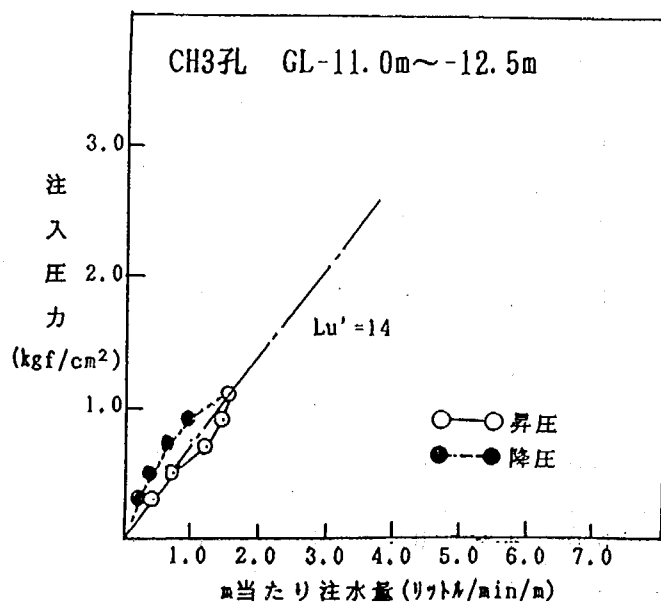
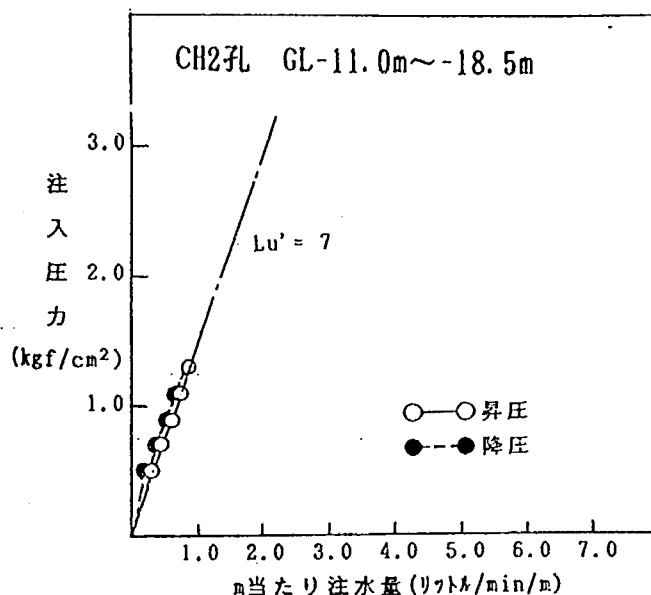
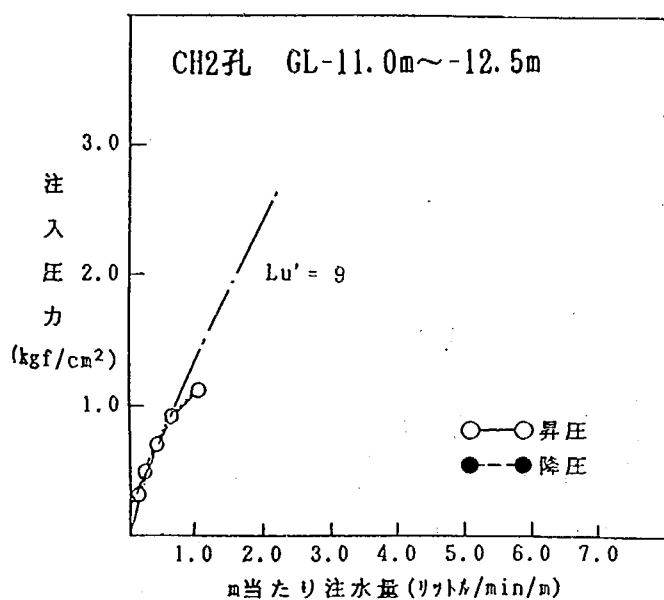
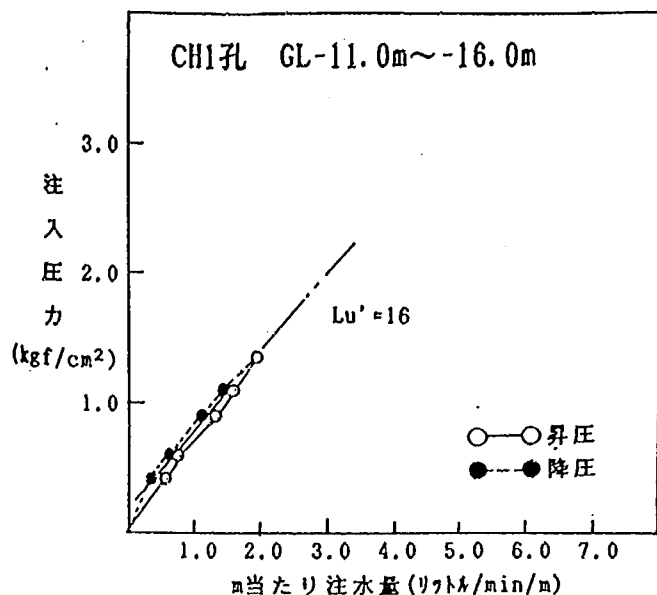
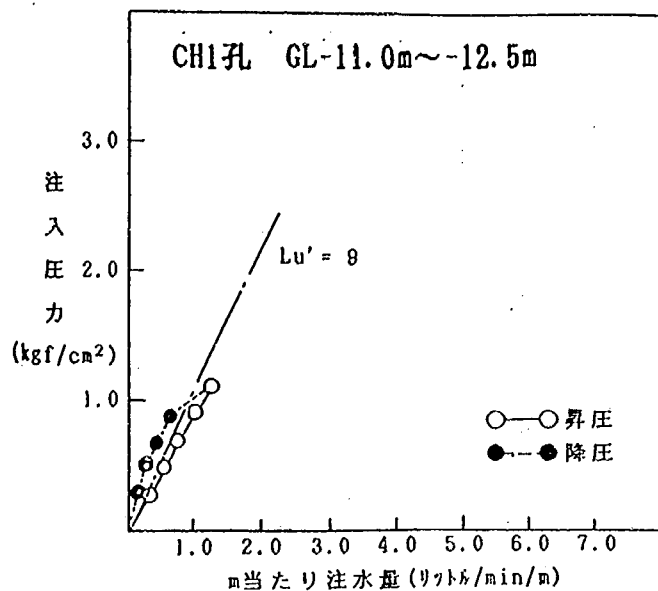


図-3.4.3 透水試験結果（チェック孔）（平成3年度）

においても見られたが、その原因として試験中の目詰まりあるいは不飽和条件の影響が考えられる。

チェック孔の透水性は、CCH1孔で7ルジオン、CCH2孔で2ルジオン、CCH3孔で12ルジオンであった。限界圧力は、CCH1孔で0.9～2.0kgf/cm²、CCH2孔で2.5kgf/cm²、CCH3孔では2.06kgf/cm²と、パイロット孔の値とほとんど変わらない。

透水試験区間は、CCH1およびCCH3孔ではGL-13.5～-16.5m区間であるが、CCH2孔では硬質化したコアであったので、裸孔にパッカーをかけてGL-13.9～-16.5m区間を試験区間とした。隣接する他チェック孔への影響を避けるため最高圧力は、CCH1孔では2.7kgf/cm²、CCH2孔では4.05kgf/cm²、CCH3孔では4.15kgf/cm²とした。

これらのチェック孔では、上記のような昇圧段階よりも降圧段階での透水性が小さいという現象は見られず、降圧時のほうが透水性はやや大きい。

表-3.4.1に平成4年度に実施したチェック孔と平成3年度に実施したチェック孔の透水試験結果を併せて示す。

注入された改質セメント粉体が水和硬化するための養生期間は、平成3年度のチェック孔（CH1～CH3孔）で10日～2.5ヶ月、平成4年度のチェック孔（CCH1～CCH3孔）で10～12ヶ月となっており、両者には約9ヶ月の差がある。

表-3.4.1 チェック孔での透水試験結果

チェック孔 No.	透水試験の 深 度 (m)	換 算 ルジオン値 Lu'	試験区間の 長 さ TL (m)	試験区間の 硬化コア延長 HL (m)	硬 化 率 HL/TL×100 (%)
CCH1	13.5 ～ 16.5	7	3.0	0.55	18
CCH2	13.9 ～ 16.5	2	2.6	2.6	100
CCH3	13.5 ～ 16.5	12	3.0	0	0
CH1	11.0 ～ 12.5	9	1.5	0	0
	11.0 ～ 16.0	16	5.0	0.2	4
CH2	11.0 ～ 12.5	9	1.5	0.1	7
	11.0 ～ 18.5	7	7.5	0.1	1
CH3	11.0 ～ 12.5	14	1.5	0	0
	11.0 ～ 16.0	8	5.0	0	0

3.5 立坑観察結果

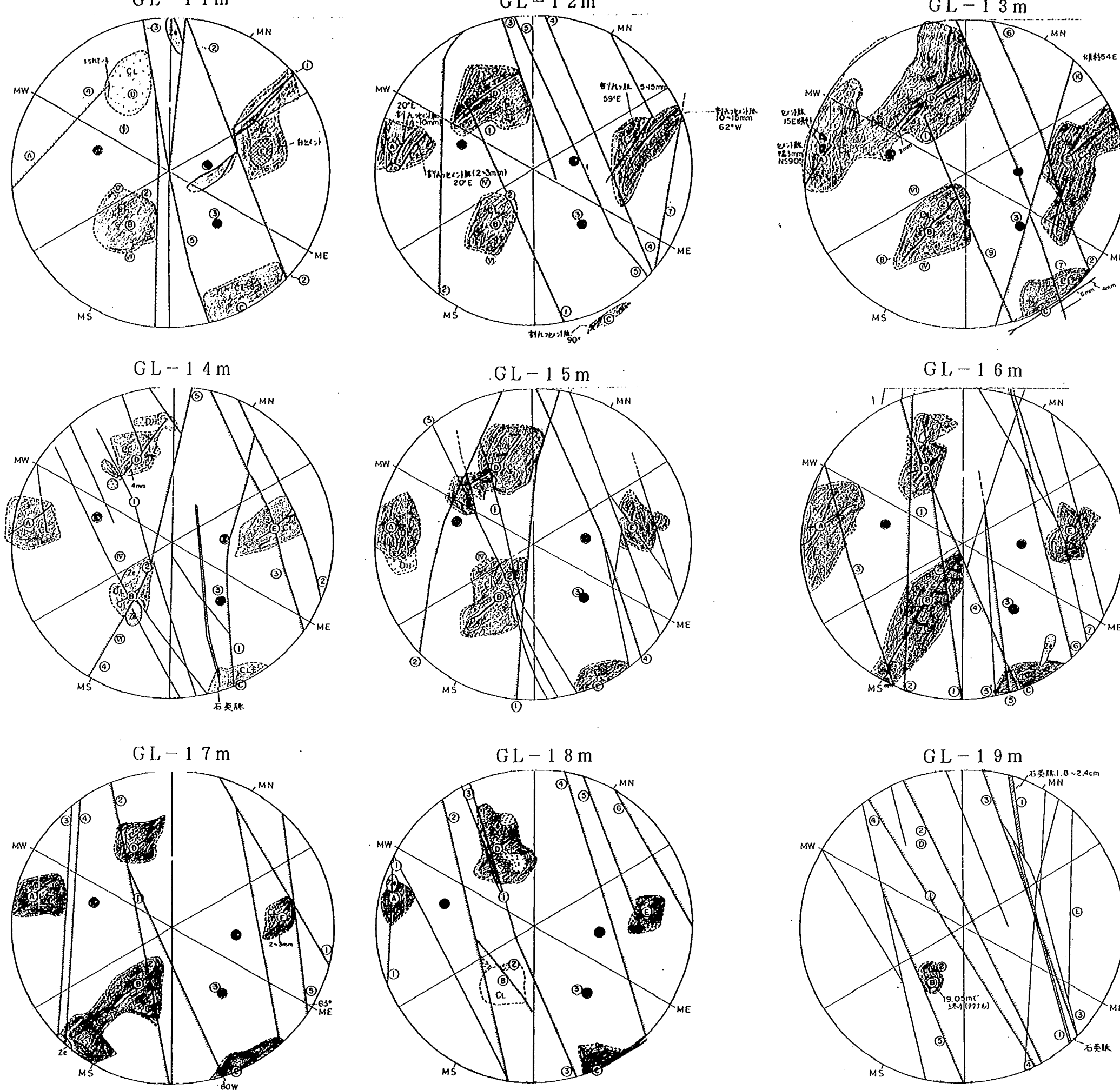
立坑内において、深度11m以深の地質および注入状況について観察した結果を以下に示す。深度10～11m区間は今回の注入対象外であるが、参考のため観察した。

立坑観察図（断面）を図－3.5.1、立坑観察図（周面）を図－3.5.2に示す。図－3.5.3に注入範囲断面図を示す。

観察記録写真を写真－3.5.1に示す。

観察記録をもとにコンピューターにより再現した注入範囲を図－3.5.4に示す。

立坑掘削中、写真－3.5.1に見られるように深度10.8mで人身大の注入塊が確認された。これらはその中央部に幅数mm～1cmのセメント脈（濃緑色）があり、そのセメント脈の周囲の鉱物粒子間にセメントが浸透（灰色）している。



FL 例

- セメント注入範囲
- 注入状況
- 鉱物粒子間に密に
- 鉱物粒子間にまばらに
- 脈状に
- 細区分 (微妙な状況の変化)
- 岩盤区分・不連続面
- 岩盤区分
- 開口性の割れ目
- 止水性のシーム
- 割れ目面
- ゼノリス (捕獲岩片)
- 注入孔
- 平成3年度チェック孔
- 平成4年度チェック孔

0 1 2 3 m

図-3.5.1 立坑観察図 (断面)

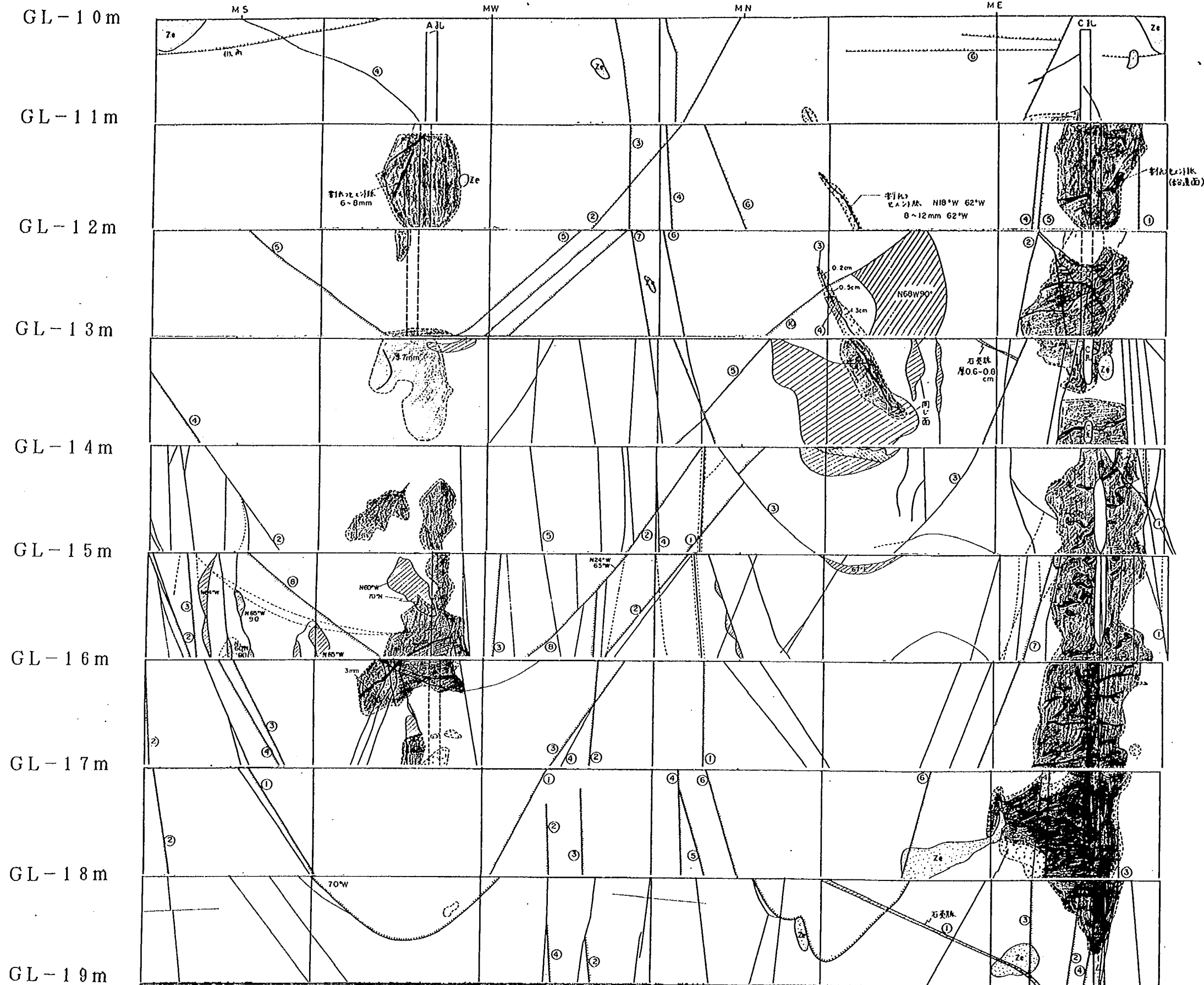


図-3.5.2 立坑観察図（周面）

観察・記録

位置	観察・記録
GL-11m	1. A孔の周辺には、改質セメントは見られない。 2. B、C、D、E孔の周囲はフェノール反応が弱い、地盤は硬くなっている。 3. E孔の横に幅1cm程の注入脈があり、N-S方向に延びている。 4. E孔の注入範囲は、②の止水性シームにより止められている。
GL-12m	1. A、B、D孔は注入孔を中心に卵型に注入範囲が広がっている。 2. A、B、E孔からN-S～NNB-SSW方向に注入脈が延びている。 3. E孔の注入孔を改質セメントが充填している。 4. 注入範囲は全体に硬くなっている。 5. 岩盤の割れ目はNW-SE方向が多い。
GL-13m	1. A、D孔の注入範囲が連続するが、A～D間の中程はあまり硬くない。 2. 各孔の注入範囲は、NNW-SSB～NNB-SSW方向に延びた注入脈を中心として、その両側に20～40cm程の幅で広がっている。 3. E孔から北側に延びた注入脈は幅1cm程度で周囲の注入範囲は狭い。また、E孔は注入孔に改質セメントが充填している。
GL-14m	1. 各孔の注入脈は幅4～6mm程度である。 2. GL-13m面に比べ各孔とも注入範囲が狭くなっている。 3. E孔から北側に延びた注入脈は、坑壁面ではGL-13.7m付近で消える。 4. NW-SE方向の割れ目が多い。 5. E孔注入孔の中心は改質セメントが充填し、周囲を白色セメントが覆っている。
GL-15m	1. C孔は坑壁に沿った方向(NNB-SSW方向)に注入脈が延びている。 2. A、B孔は14.5m付近で注入範囲が広くなり、GL-15m面ではやや狭くなる。
GL-16m	1. B孔はN-S方向に注入脈が延び、その両側に幅20～30cm程の注入範囲が認められる。 2. A、B、E孔内には注入セメントが充填している。 3. 止水性のシームを境として外側で注入範囲がやや狭くなっているが、注入脈は止水性シームを越えて延びていることが多い。 4. B孔は白色セメントの周囲を改質セメントが覆っている。また、白色セメントの縁には1～2cm程度の穴が開いており、圧縮空気が通った可能性がある。
GL-17m	1. B、C孔の注入範囲は注入脈を中心に長径80～130cm程度まで広がっているが、A、B、E孔の注入範囲は長径50～60cm程度である。 2. A、E孔の注入範囲は①、③の止水性シームの孔側に限られる。 3. 各孔の注入脈はN-S～NNW-SSWの方向に延びる。
GL-18m	1. C、D孔は長径50～100cm程度。 2. A、B、E孔は長径40～50cm程度。 3. D孔内は白色セメントが充填し、縁に改質セメントが薄く覆っている。 4. A、E孔はフェノール反応が弱い。
GL-19m	1. A孔は18.7mまで改質セメントを確認。 2. B孔は19.05mまで改質セメントを確認。 3. C孔は18.6mまで改質セメントを確認。18.4m以深の孔内にスライムがたまっている。 4. D孔は18.6mまで改質セメントを確認。 5. E孔は18.6mまで改質セメントを確認。

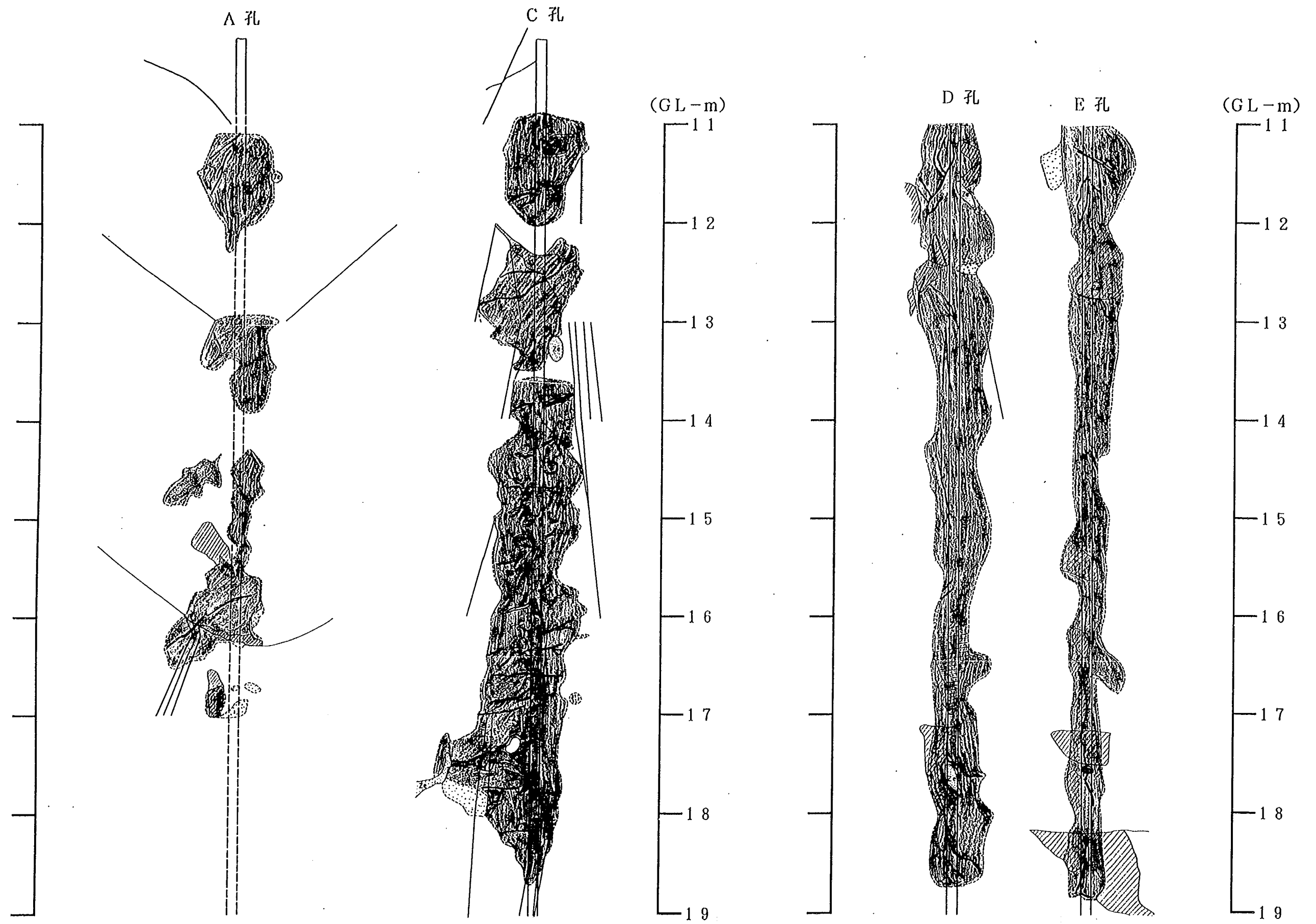


圖-3.5.3 注 入 範 圍 斷 面 圖



深度 10.8m の 注 入 塊

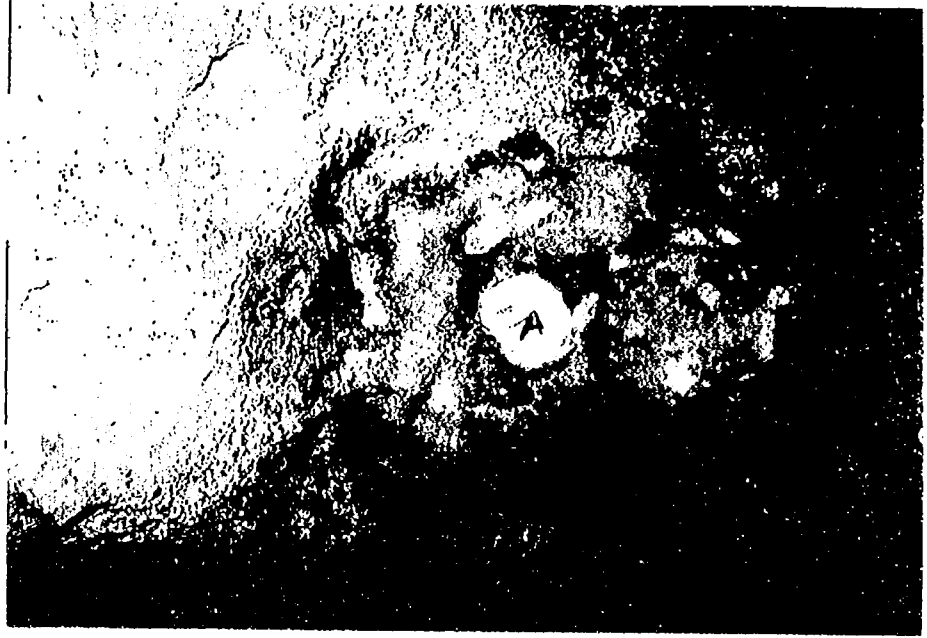


E 孔 掘削断面 (GL-11~12m)
縦方向の注入セメント脈が延びる



D 孔 注入状況 (GL-12m)
NNE-SSW方向の注入セメント脈が延びる。

写真-3.5.1(1) 観 察 記 録 写 真



A 孔 注入状況 (GL-12m)

注入範囲は50cm×80cm程度。注入孔を充填するのは白色セメント



A 孔 注入状況 (GL-16m)

写真-3.5.1(2) 観察記録写真

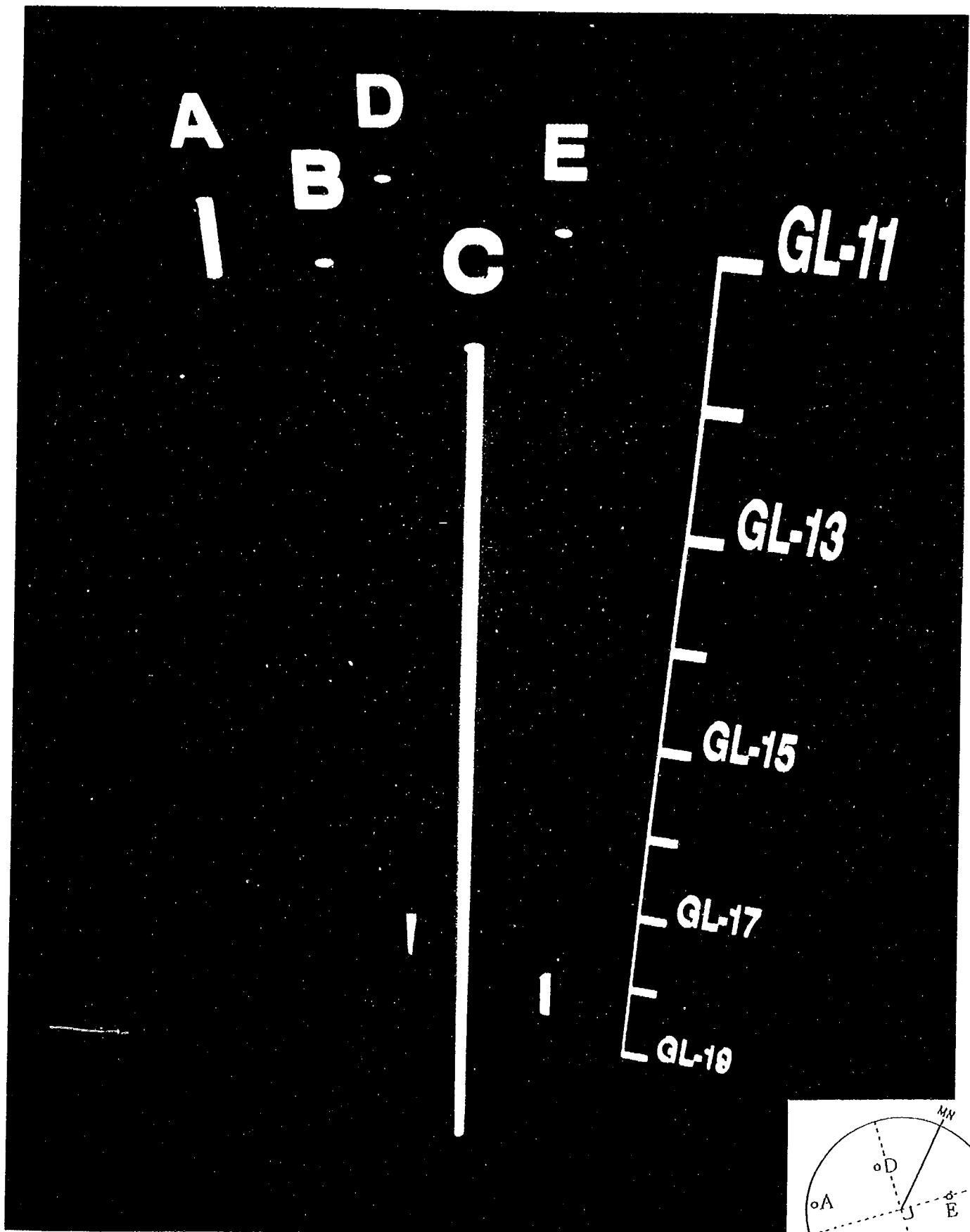
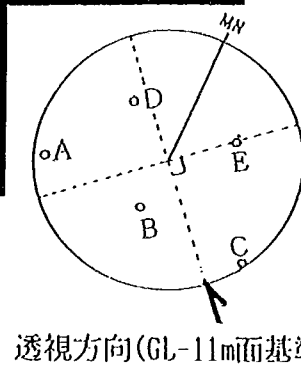


図-3.5.4 注入範囲コンピューター出力図



透視方向(GL-11面基線)

3.6 原位置試験結果

粉体圧送グラウチング完了後に、自然地盤および注入地盤を対象として、次の3種類の原位置試験を実施した。

- (1) 簡易弾性波測定
- (2) 土壌硬度計硬度・シュミットハンマー反発度
- (3) 現場密度および簡易透水試験

(1) 簡易弾性波測定結果

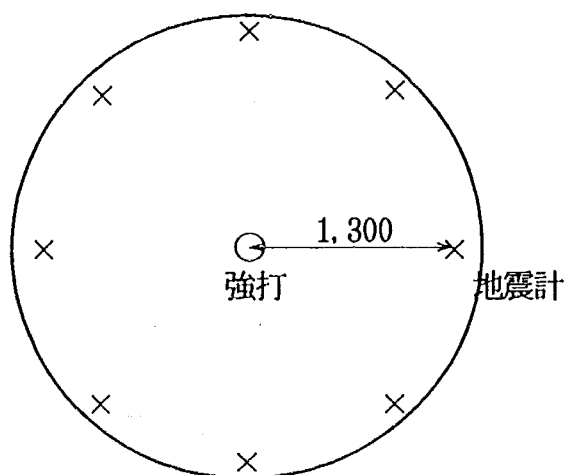


図-3.6.1 簡易弾性波測定

簡易弾性波測定は、立坑の掘削底面で中心から8方向で実施した(図-3.6.1参照)。

中心点をショットアーク付ハンマーで強打し、1.3m離れた外周8点にそれぞれ設置した地震計に到達する時間を測定し、弾性波速度を求めた。

図-3.6.2は各深度における弾性波速度と各測線上に位置するセメント注入区間長の関係を示す。測定結果をみると、弾性波速度が非常に遅く($V_p=0.2\sim0.4\text{km/sec}$ 程度の値が多い)、自然地盤・注入地盤を判別できない。ただし、GL-13mとGL-17mの一部のデータでは、弾性波速度とセメント注入区間長の間に相関がみられ、セメント注入後地盤では $1.5\sim1.9\text{km/sec}$ の平均弾性波速度が得られている。

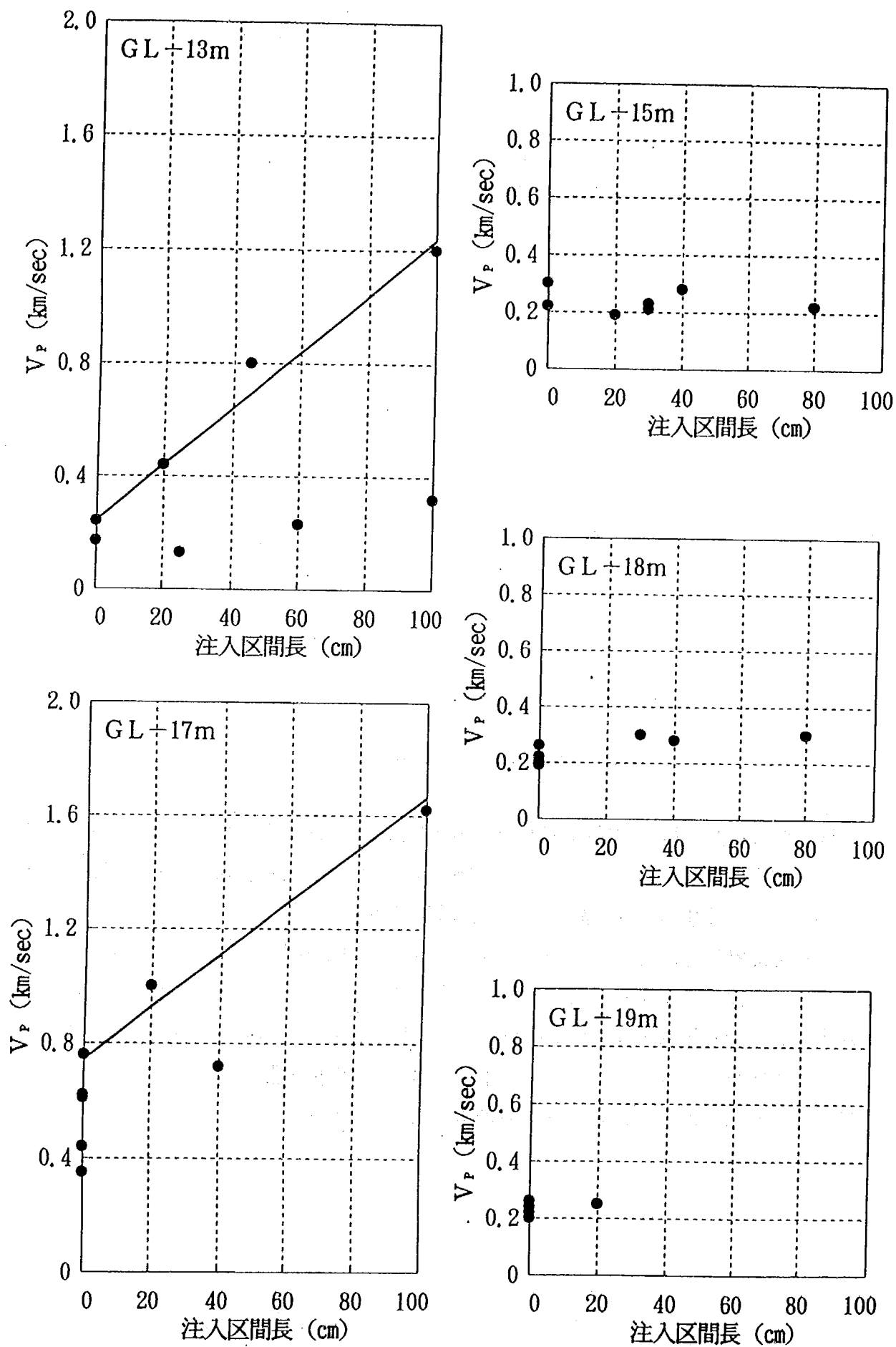


図-3.6.2 各深度における弾性波速度とセメント注入区間長

(2) 土壌硬度計硬度・シュミットハンマー反発度測定結果

立坑の各深さでの掘削底面で測定した。図-3.6.3に各深度ごとの土壌硬度計硬度・シュミットハンマー反発度を示す。

自然地盤の土壌硬度計バネの縮量は、GL-11m～-15m間では30mm以下であるが、GL-17m以深では30mm以上の測定値が多い。注入地盤では、深度と無関係に縮量32～37mm程度の値であり、自然地盤よりも強度が増加していることを示している。

シュミットハンマー反発度は、自然地盤では10以下で測定不能であるが、注入地盤では10～20程度の値を示しており、土壌硬度計測定と同様に、自然地盤よりも強度が増加していることを示している。

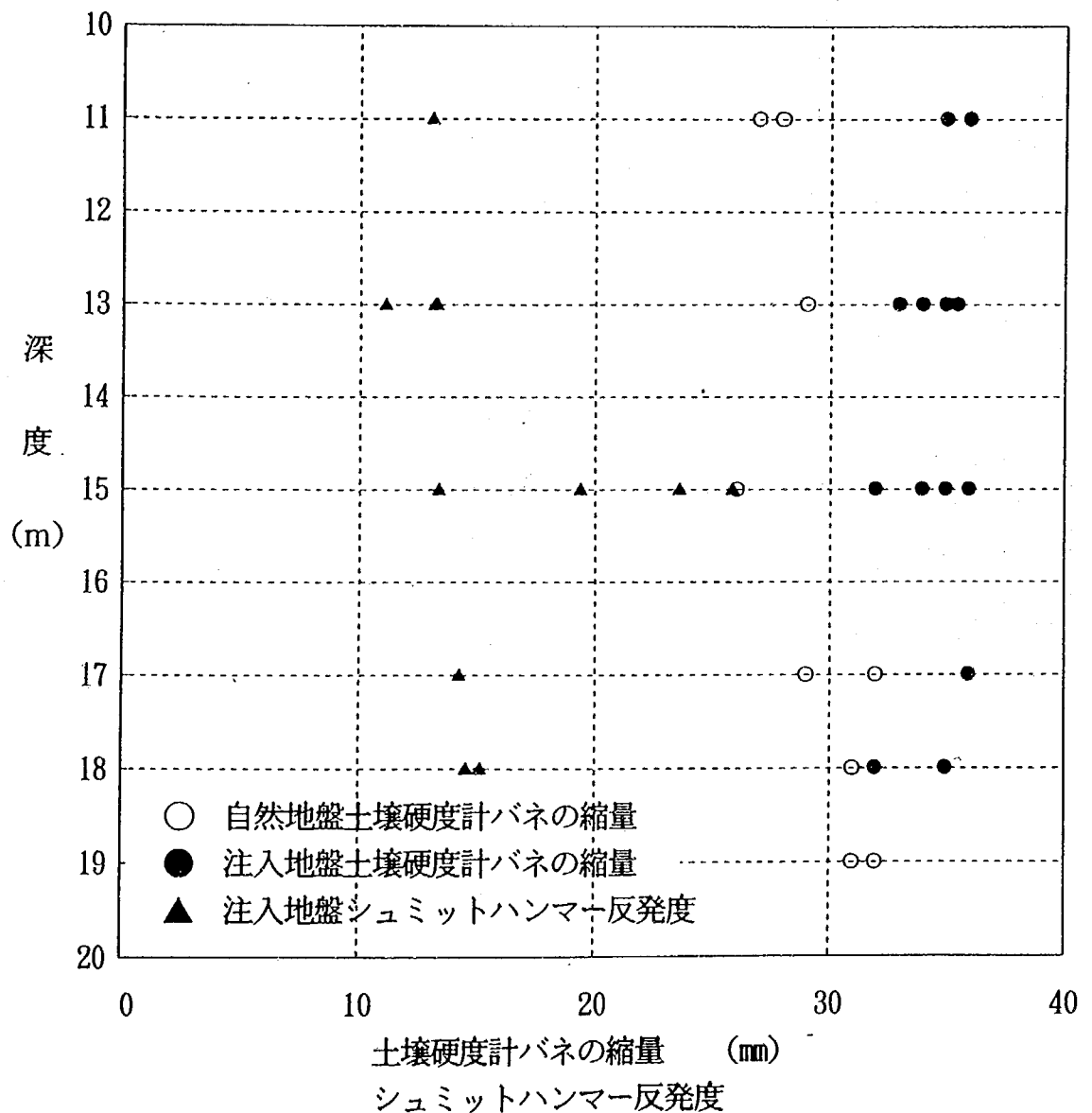


図-3.6.3 各深度ごとの土壌硬度計バネの縮量およびシュミットハンマー反発度

(3) 現場密度および簡易透水試験測定結果

現場密度は、自然地盤ではJIS A 1214により砂置換法で、注入地盤ではコアカッターで削孔した試料から求めた。簡易透水試験は、自然地盤では密度試験孔を利用して、注入地盤ではコアボーリング孔を利用し、注水法により求めた。測定結果を表-3.6.1に示す。

表-3.6.1 現場密度および簡易透水試験測定結果

試 験 位 置		地盤状況	湿潤密度 ρ_i (t/m ³)	含水比 ω (%)	乾燥密度 ρ_d (t/m ³)	透 水 係 数 k (cm/sec)
$\phi 2$ m立坑内 深度8.6m	中央部	未注	1.991	6.7	1.866	——
$\phi 3$ m立坑内 深度11m	DE間孔 (地山)	未注	2.159	4.1	2.074	5.82×10^{-3}
$\phi 3$ m立坑内 深度13m	D孔から18cm	注入	——	——	——	2.48×10^{-5}
	AD孔中間	注入	——	——	——	3.70×10^{-4}
$\phi 3$ m立坑内 深度15m	DE間孔 (地山)	未注	2.217	3.7	2.138	7.19×10^{-3}
	B孔から20cm	注入	——	——	——	3.04×10^{-5}
	D孔から28cm	注入	——	——	——	1.06×10^{-4}
$\phi 3$ m立坑内 深度17m	B孔から70cm	注入	——	——	——	3.91×10^{-4}
$\phi 3$ m立坑内 深度19m	BD孔中間 (地山)	未注	2.259	3.6	2.181	5.93×10^{-3}

3.7 室内試験結果

(1) 室内試験結果

未注入および注入地盤から試料を採取し、室内試験を行った。採取位置を図-3.7.1、3.7.2に、試験結果の一覧を表-3.7.1に、試料の粒度分布曲線を図-3.7.3に示す。

また、密度（見掛け比重）、吸水率および有効間隙率測定結果を表-3.7.2に、注入地盤の試料の超音波伝播速度測定結果を表-3.7.3に示した。

さらに、全調査深度の透水試験及び一軸圧縮試験結果を表-3.7.4に示した。

表-3.7.1 室内試験結果一覧表（未注入地盤）

試料番号 (深 さ)		<別孔> φ2m立坑 8.60(m)~ 8.90(m)	<No1> φ3m立坑 11.00(m)~ 11.30(m)	<No2> φ3m立坑 15.00(m)~ 15.30(m)	<No3> φ3m立坑 19.00(m)~ 19.30(m)
※ 一般	湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	※1.991	※2.159	※2.217	※2.259
	乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	※1.866	※2.074	※2.138	※2.180
	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.715	2.710	2.737	2.733
	自然含水比 $w_n(\%)$	6.7	4.1	3.7	3.6
	間隙比 e	※0.455	※0.307	※0.280	0.253
	間隙率 $n(\%)$	※31.27	※23.47	※21.89	20.22
	飽和度 $S_r(\%)$	※40.0	※36.2	※36.2	38.9
粒 度	礫分 2~75mm (%)	41	37	38	51
	砂分 75 μm ~2mm (%)	55	59	58	47
	シルト分 5~75 μm (%)	4	4	4	2
	粘土分 5 μm 未満 (%)				
	均等係数 U_c	9.59	7.92	9.47	7.46
	曲率係数 $U_{c'}$	1.54	1.48	1.48	1.48
	最大粒径 (mm)	9.50	9.50	9.50	9.50
◎ 力 学 特 性	透水係数 (cm/sec)	9.06×10^{-3} 5.39×10^{-3}	7.81×10^{-3} 4.24×10^{-3} 5.19×10^{-3}	4.00×10^{-3} 2.54×10^{-3}	3.15×10^{-3} 2.12×10^{-3}
	平均値 (cm/sec)	7.23×10^{-3}	5.75×10^{-3}	3.27×10^{-3}	2.64×10^{-3}
	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	0.28	0.43	0.094	2.11

注意 ※印は現場密度測定から求めたもの

◎印は不攪乱試料を用いて室内試験で求めた値

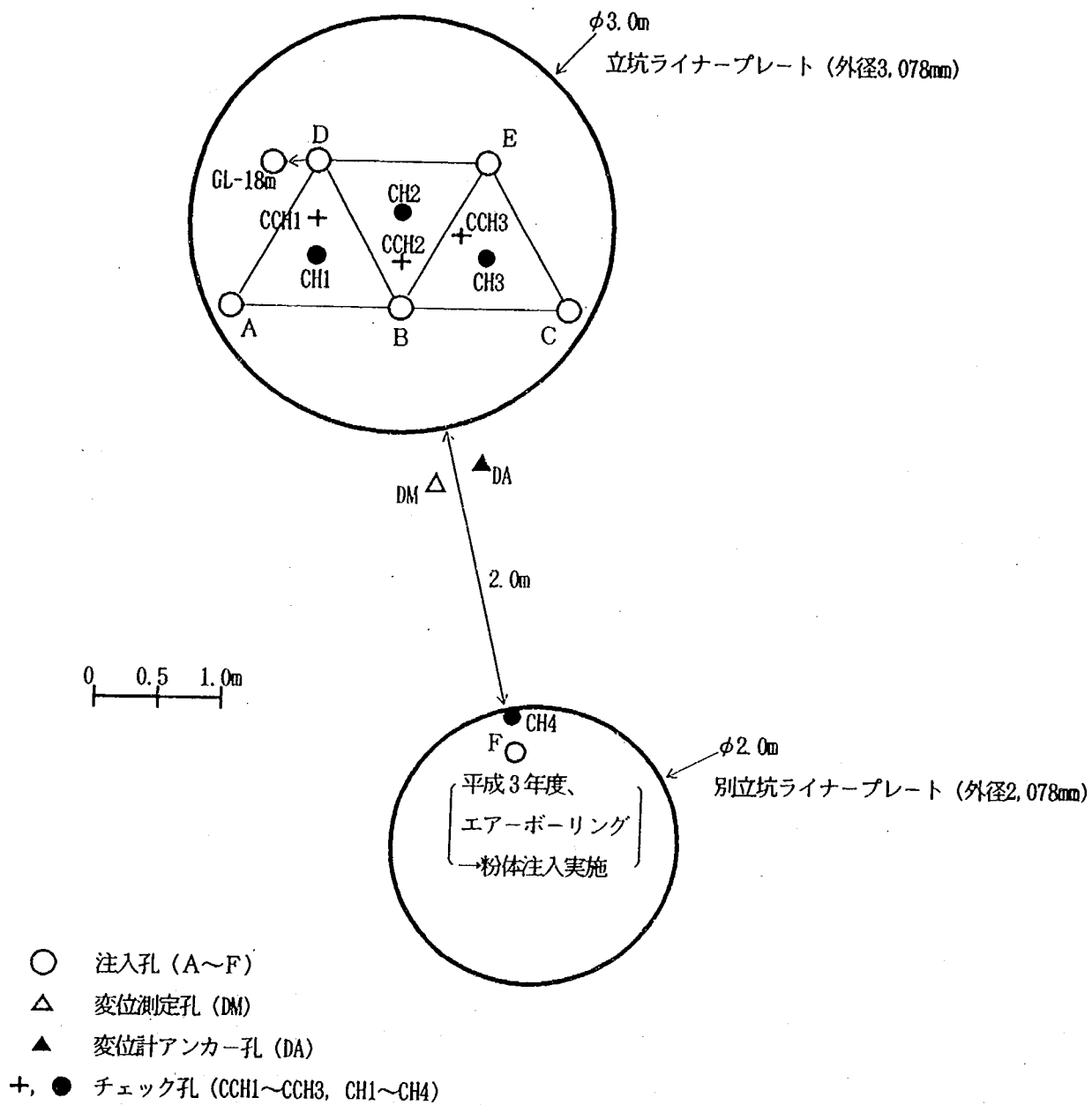


図-3.7.1 試料採取位置平面図

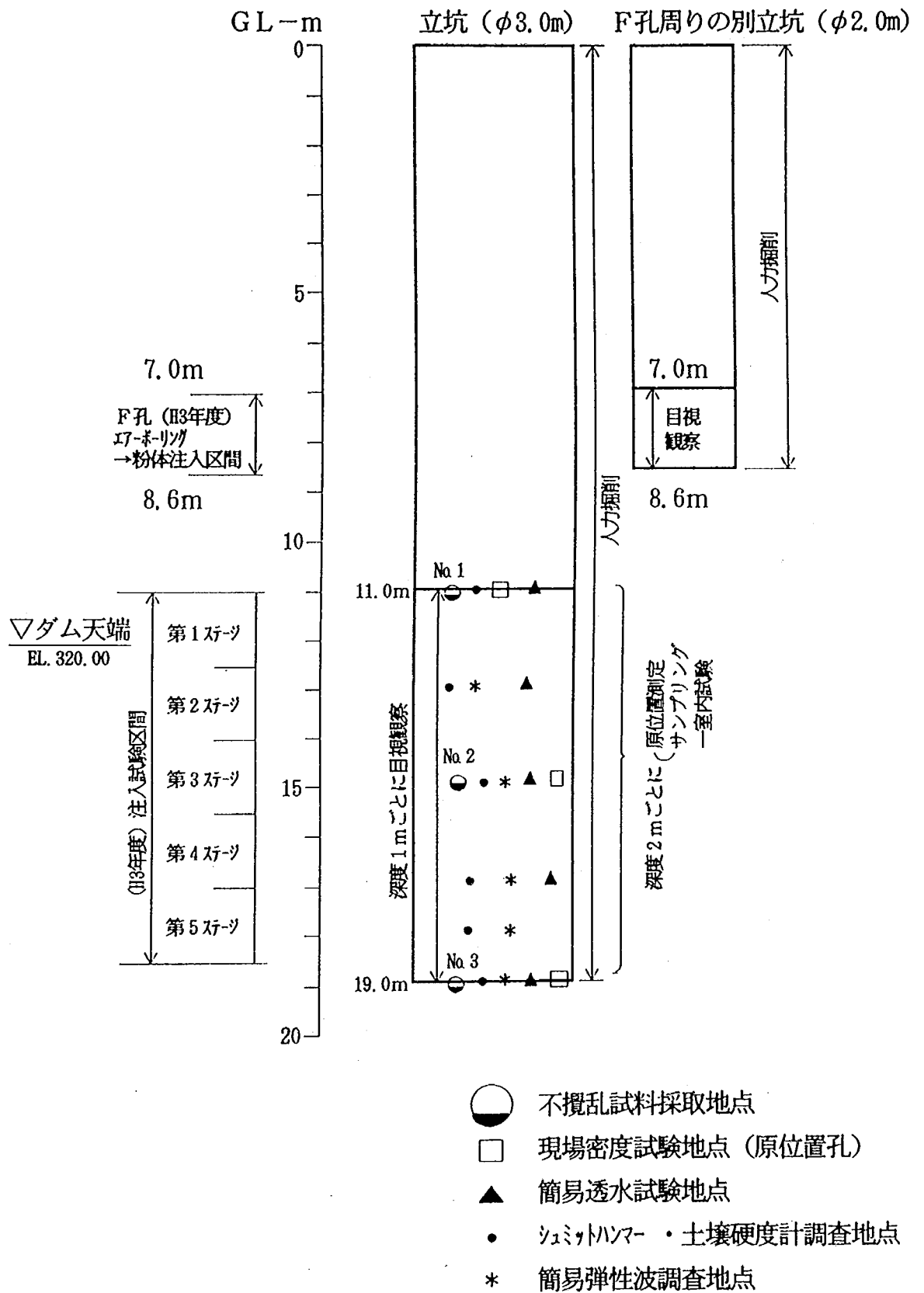
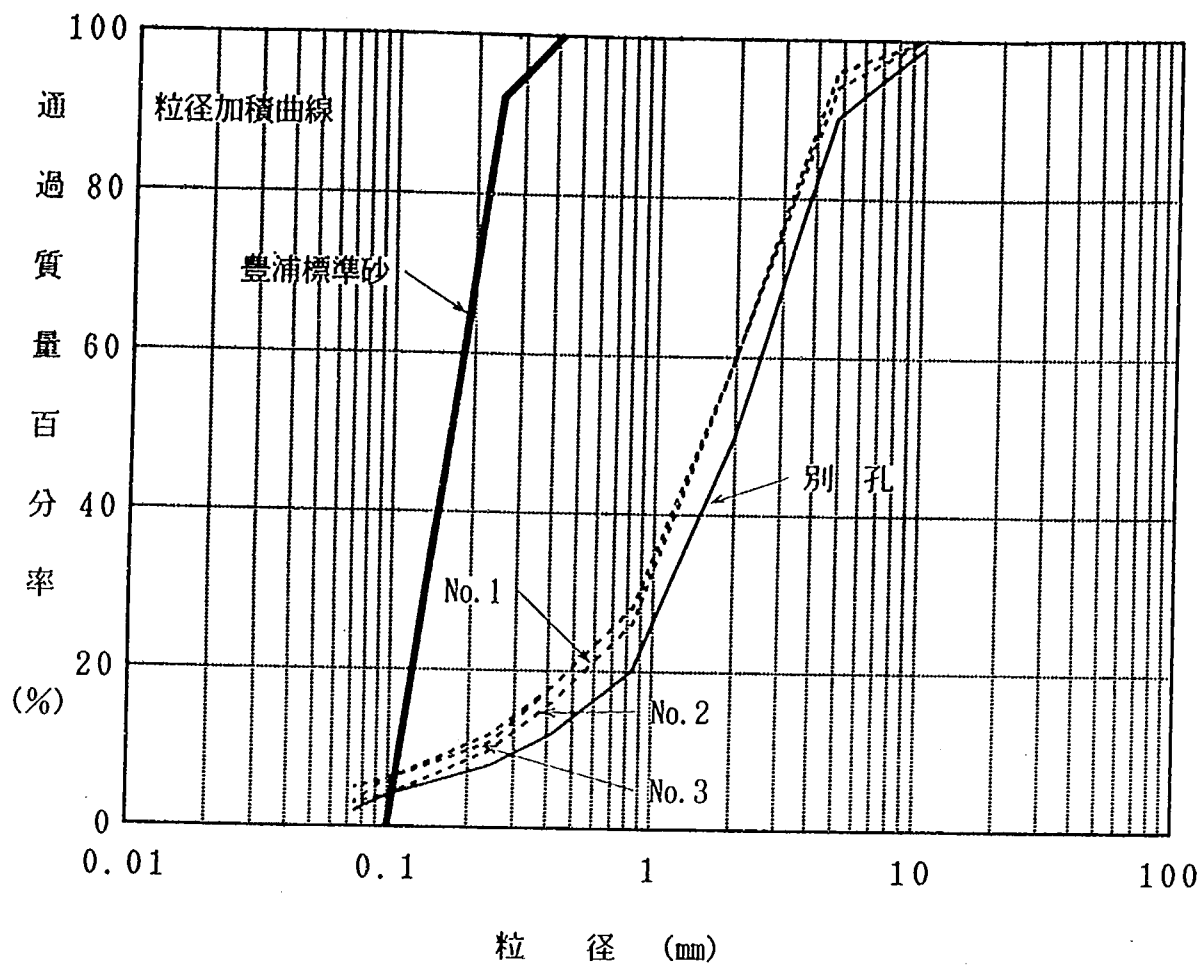


図-3.7.2 立坑内調査位置断面図



0.005	0.075	0.425	2	4.75	19	75	
粘土	シルト	細砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	

図-3.7.3 粒度分布曲線

表-3.7.2(a) 物理特性試験結果 (見掛比重、吸水および有効間隙率) 【未注入地盤】

試料 No.	採取 深度 (m)	注入孔より の距離 (cm)		見かけ比重		有効間 (%)	吸水率 (%)	含水率 (%)	含水比 (%)
			自然含水時	強制湿润	強制乾燥				
N-8 平均	8.60	φ 2 m立孔中央	1.808	2.099	1.690	40.90	24.20	11.78	6.97
N-1 平均	11.00	D孔より 50cmE	1.954	2.193	1.875	31.86	17.03	7.89	4.21
N-4 平均	15.00	D孔より 100cmE	2.086	2.241	1.996	24.50	12.29	9.02	4.52
N-6 平均	19.00	D孔より 100cmE	2.101	2.252	2.016	23.61	11.75	8.52	4.22
45	露頭 1	花崗岩	2.686	2.695	2.683	1.26	0.47	0.35	0.13
47	露頭 3	花崗岩	2.640	2.659	2.635	2.41	0.91	0.44	0.17

表-3.7.2(b) 物理特性試験結果 (見掛比重、吸水および有効間隙率) 【注入地盤】

試料 No.	採取 深度 (m)	注入孔より の距離 (cm)		見かけ比重		有効間 (%)	吸水率 (%)	含水率 (%)	含水比 (%)
			自然含水時	強制湿润	強制乾燥				
1 3	11.50	AV(20cm)	2.316	2.409	2.259	15.05	6.66	5.69	2.52
1 1	12.00	DV(20cm)	2.395	2.398	2.243	15.50	6.91	15.27	6.81
1 0 - 1	12.50	BH(20cm)	2.321	2.379	2.226	15.30	6.87	9.58	4.30
1 0 - 2	12.50	BH(40cm)	2.344	2.385	2.226	15.89	7.14	11.74	5.27
1 4 - 1	12.50	BH(40cm)	2.373	2.408	2.266	14.28	6.30	10.79	4.76
1 4 - 2	12.50	BH(10cm)	2.315	2.368	2.200	16.72	7.60	11.47	5.21
1 6 - 1	12.50	BH(40cm)	2.357	2.368	2.190	17.79	8.13	16.73	7.64
1 6 - 2	12.50	BH(10cm)	2.372	2.388	2.229	15.89	7.13	14.28	6.41
平均			2.347	2.383	2.223	15.98	7.19	12.43	5.60
2 1 - 1	13.00	DV(30cm)	2.341	2.423	2.284	13.91	6.09	5.67	2.48
2 1 - 2	13.00	DV(30cm)	2.359	2.440	2.310	12.96	5.61	4.86	2.10
2 2	13.00	AV(25cm)	2.317	2.429	2.298	13.07	5.69	1.89	0.82
2 3 - 2	13.00	EV(40cm)	2.312	2.407	2.270	13.76	6.06	4.24	1.87
平均			2.332	2.425	2.290	13.42	5.86	4.16	1.82
3 7	14.80	EX(20cm)	2.377	2.381	2.217	16.42	7.41	15.99	7.21
2 4 - 1	15.00	BV(15cm)	2.288	2.415	2.267	14.83	6.54	2.15	0.95
2 4 - 2	15.00	BV(20cm)	2.361	2.448	2.321	12.68	5.46	3.99	1.72
平均			2.342	2.414	2.268	14.65	6.47	7.38	3.29
3 3 - 1	17.20	DV(10cm)	2.363	2.384	2.222	16.25	7.31	14.11	6.35
3 3 - 2	17.20	DV(20cm)	2.342	2.387	2.224	16.26	7.31	11.84	5.32
3 4	17.20	DV(30cm)	2.360	2.429	2.285	14.36	6.28	7.48	3.27
3 5	17.20	DV(20cm)	2.402	2.411	2.270	14.02	6.17	13.14	5.79
平均			2.367	2.403	2.250	15.22	6.77	11.64	5.18
2 9 - 1	17.40	DV(10cm)	2.420	2.433	2.307	12.60	5.46	11.35	4.92
2 9 - 2	17.40	DV(20cm)	2.385	2.390	2.233	15.66	7.01	15.15	6.78
3 0 - 1	17.40	DX(5cm)	2.345	2.384	2.228	15.57	6.99	11.70	5.25
3 0 - 2	17.40	DX(10cm)	2.359	2.431	2.287	14.41	6.30	7.17	3.14
3 1	17.40	DX(15cm)	2.320	2.416	2.272	14.41	6.34	4.86	2.14
平均			2.366	2.411	2.265	14.53	6.42	10.05	4.45
4 1	18.00	D孔の注入境	2.386	2.400	2.241	15.98	7.13	14.57	6.50
4 2	18.00	D孔の注入境	2.385	2.409	2.267	14.26	6.29	11.84	5.22
4 4	17.50	C孔の注入境	2.290	2.410	2.255	15.51	6.88	3.50	1.55
平均			2.354	2.407	2.254	15.25	6.77	9.97	4.43

注意：注入孔よりの距離欄で、A, B, C, E は孔番で、V=鉛直方向、H=水平方向、X=水平クロス方向を示す。

表-3.7.3(a) セメント注入養生後の超音波伝播速度 (自然状態) 測定結果表

試料No.	採取深度 (m)	注入孔から の距離 (cm)	直 径 (cm)	長 さ (cm)	重 量 (g)	体 積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	縦波よみ (sec)	横波よみ (sec)	縦波 Vp (m/sec)	横波 Vs (m/sec)	動摩擦比 μ_d	動弾性係数 Ed(kg/cm ²)
1-0	12.5	BH(10~40)	8.04	6.20	736.4	314.8	2.339	1.60E-05	4.00E-05	3875.0	1550.0	0.370	1.57E+05
1-1	12.0	DV(20)	8.04	8.40	1001.0	426.5	2.347	2.10E-05	4.25E-05	4000.0	1976.5	0.291	2.42E+05
1-3	11.5	AV(20)	8.01	16.00	1863.1	806.3	2.311	4.30E-05	8.25E-05	3720.9	1939.4	0.264	2.24E+05
1-4	12.5	BH(40)	8.02	14.58	1732.3	736.5	2.352	3.70E-05	7.00E-05	3940.5	2082.9	0.256	2.62E+05
1-6	12.5	BH(10)	8.04	15.14	1832.3	768.7	2.384	3.50E-05	6.75E-05	4325.7	2243.0	0.267	3.10E+05
2-2	13.0	AV(25)	8.00	11.90	1380.7	598.2	2.308	4.25E-05	7.00E-05	2800.0	1700.0	0.161	1.58E+05
2-4	15.0	BV(20)	8.02	15.10	1776.0	762.8	2.328	5.60E-05	9.00E-05	2696.4	1677.8	0.140	1.52E+05
2-9	17.4	DV(20)	8.07	16.22	2005.1	829.6	2.417	4.40E-05	8.25E-05	3686.4	1966.1	0.251	2.39E+05
3-0	17.4	DX(10)	8.06	16.16	1950.4	824.5	2.365	4.50E-05	8.25E-05	3591.1	1958.8	0.238	2.29E+05
3-1	17.4	DX(15)	8.05	16.00	1855.6	814.3	2.279	5.80E-05	1.02E-04	2758.6	1561.0	0.214	1.38E+05
3-3	17.2	DV(20)	8.06	14.94	1809.5	762.3	2.374	5.00E-05	8.25E-05	2988.0	1810.9	0.163	1.85E+05
3-4	17.2	DV(30)	8.02	14.53	1698.1	734.0	2.313	5.26E-05	9.00E-05	2762.4	1614.4	0.191	1.47E+05
3-5	17.2	DV(20)	7.80	10.20	1173.0	487.4	2.407	4.20E-05	7.00E-05	2428.6	1457.1	0.171	1.22E+05
3-7	14.8	EX(20)	7.98	10.09	1136.2	504.6	2.251	4.40E-05	8.25E-05	2293.2	1223.0	0.251	8.60E+04
3-8	16.5	BX(30~5)	8.04	16.45	2011.7	835.2	2.409	4.60E-05	8.00E-05	3576.1	2056.3	0.203	2.50E+05

注意: H = 水平方向、V = 鉛直方向、X = 水平クロス方向を示す。

表-3.7.3(b) セメント注入養生後の超音波伝播速度 (湿潤状態) 測定結果表

試料No.	採取深度 (m)	注入孔から の距離 (cm)	直 径 (cm)	長 さ (cm)	重 量 (g)	体 積 (cm ³)	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	縦波よみ (sec)	横波よみ (sec)	縦波 Vp (m/sec)	横波 Vs (m/sec)	動摩擦比 μ_d	動弾性係数 Ed(kg/cm ²)
1-0	12.5	BH(10~40)	8.04	6.20	747.0	314.8	2.373	1.40E-05	2.60E-05	4428.6	2384.6	0.246	3.43E+05
1-1	12.0	DV(20)	8.04	8.40	1013.9	426.5	2.377	2.00E-05	3.60E-05	4200.0	2333.3	0.226	3.24E+05
1-3	11.5	AV(20)	8.01	16.00	1927.9	806.3	2.391	3.60E-05	7.00E-05	4444.4	2285.7	0.271	3.24E+05
1-4	12.5	BH(40)	8.02	14.58	1745.3	736.5	2.370	3.40E-05	6.60E-05	4288.2	2209.1	0.271	3.00E+05
1-6	12.5	BH(10)	8.04	15.14	1841.3	768.7	2.395	3.30E-05	6.00E-05	4587.9	2523.3	0.233	3.84E+05
2-2	13.0	AV(25)	8.00	11.90	1439.4	598.2	2.406	3.30E-05	7.40E-05	3606.1	1608.1	0.334	1.69E+05
2-4	15.0	BV(20)	8.02	15.10	1850.4	762.8	2.426	4.20E-05	8.40E-05	3595.2	1797.6	0.286	2.06E+05
2-9	17.4	DV(20)	8.07	16.22	2006.9	829.6	2.419	3.70E-05	6.20E-05	4383.8	2616.1	0.175	3.97E+05
3-0	17.4	DX(10)	8.06	16.16	1968.7	824.5	2.388	4.05E-05	8.00E-05	3990.1	2020.0	0.280	2.54E+05
3-1	17.4	DX(15)	8.05	16.00	1935.2	814.3	2.376	4.30E-05	9.40E-05	3720.9	1702.1	0.325	1.86E+05
3-3	17.2	DV(20)	8.06	14.94	1827.0	762.3	2.397	3.40E-05	7.80E-05	4394.1	1915.4	0.343	2.41E+05
3-4	17.2	DV(30)	8.02	14.53	1758.5	734.0	2.396	3.50E-05	7.80E-05	4151.4	1862.8	0.332	2.26E+05
3-5	17.2	DV(20)	7.80	10.20	1188.1	487.4	2.438	2.80E-05	6.40E-05	3642.9	1593.7	0.341	1.69E+05
3-7	14.8	EX(20)	7.98	10.09	1171.2	504.6	2.321	2.80E-05	6.00E-05	3603.6	1681.7	0.317	1.76E+05
3-8	16.5	BX(30~5)	8.04	16.45	2031.1	835.2	2.432	3.30E-05	6.60E-05	4984.8	2492.4	0.286	3.96E+05

注意: H = 水平方向、V = 鉛直方向、X = 水平クロス方向を示す。

表-3.7.4 試験結果一覧表 (透水および軸圧縮強度)

試料 No	深 度 (m)	試 験 位 置	地盤 状況	湿潤密度 ρ_t (t/m ³)	含水比 w_n (%)	間隙率 n (%)	簡易現場 透水係数 (cm/sec)	室 内 透水係数 (cm/sec)	一 軸 圧 縮 強度 q_u (kgf/cm ²)
砂置換孔	8.6	※ F孔より80cm外	未注	1.991	6.7	31.27	—	—	—
N-8		※ F孔より80cm外	未注	1.901	5.1	33.38	—	9.06E-03	0.28
N-9		※ F孔より80cm外	未注	1.898	6.5	34.36	—	5.39E-03	—
砂置換孔	11.0	※ DE孔の中間付近	未注	2.159	4.1	23.47	5.82E-03	—	—
N-1		※ D孔より50cmEへ	未注	1.991	5.2	30.16	—	7.81E-03	0.43
N-2		※ D孔より50cmBへ	未注	1.931	4.7	31.94	—	4.24E-03	—
N-3		※ B孔外に70cm	未注	2.013	4.2	28.71	—	5.19E-03	—
13	11.5	A孔より20cm	注入	2.311	2.5	16.80	—	1.86E-05	117.6
14	12.5	B孔より水平40cm	注入	2.352	4.8	17.19	—	6.11E-05	—
16		B孔より水平15cm	注入	2.384	6.4	17.32	—	2.86E-06	154以上
コア-リング	13.0	D孔より18cm	注入	—	—	—	2.48E-05	—	—
コア-リング		A孔より50cmD孔へ	注入	—	—	—	3.70E-04	—	—
22		A孔より25cm	注入	2.308	0.8	16.34	—	1.53E-05	72.3
砂置換孔	15.0	※ DE孔の中間付近	未注	2.217	3.7	21.89	7.19E-03	—	—
N-4		※ D孔より1mEへ	未注	2.051	4.2	28.08	—	4.00E-03	0.094
N-5		※ B孔外に70cm	未注	1.980	4.5	30.77	—	2.54E-03	—
コア-24		B孔より20cm	注入	2.328	1.7	16.37	3.04E-05	3.57E-05	89.9
コア-リング		D孔より28cm	注入	—	—	—	1.06E-04	—	—
38	16.5	B孔よりクロス30cm	注入	2.409	3.6	15.04	—	4.04E-06	125.3
コア-リング	17.0	B孔より70cm	注入	—	—	—	3.91E-04	—	—
33	17.2	D孔より20cm	注入	2.374	6.3	18.40	—	2.89E-05	110.4
34		D孔より30cm	注入	2.313	3.3	18.19	—	1.56E-04	106.2
29	17.4	D孔より鉛直20cm	注入	2.417	6.8	17.31	—	1.35E-05	—
30		D孔よりクロス10cm	注入	2.365	3.1	16.19	—	5.21E-06	75.5
31		D孔よりクロス15cm	注入	2.279	2.1	18.45	—	2.98E-05	53.8
砂置換孔	19.0	※ BD孔の中間付近	未注	2.259	3.6	20.22	5.93E-03	—	—
N-6		※ D孔より50cmEへ	未注	2.148	3.9	24.36	—	3.15E-03	2.11
N-7		※ B孔外に70cm	未注	2.150	3.5	23.99	—	2.12E-03	—

注) ① * 印はφ2m孔の別孔で実施。

② ※印は未注入に近い地盤(地山)で他の無印は注入地盤である。

③ 砂置換孔とは現場密度測定を砂置換法で行った孔である。

④ コアボーリング孔とはコアカッターでボーリングを行い現場簡易透水試験に利用した孔。

⑤ N-試料は未注入地盤でくぎ法で採取した不攪乱試料である。

⑥ 数字Noの試料は注入孔ノブロック(塊)よりコアカッターで抜き出したコアで行ったもの。

⑦ 未注: 未注入地盤を示し、注入: 注入地盤を示す。

(2) 未注入地盤の特性

- ① 未注入地盤を本試験地の特性としてとらえると、試験地の地層（マサ土）は含水比が4～7%、平均5%の非常に乾燥した地盤であり、土粒子の密度は 2.72 g/cm^3 で一般の土質と変わらない。
- ② 湿潤密度 ρ_t は $1.99 \sim 2.26 \text{ t/m}^3$ 、間隙比 e は $0.46 \sim 0.25$ 、間隙率 n は $31 \sim 20\%$ であるが深くなるにつれ密になっている。
- ③ 粒度構成についてはよりGL-8.60mからGL-19.00mの約10m間はほぼ同等な粒度分布を示し、粒径は $0.075 \text{ mm} \sim 10.0 \text{ mm}$ の範囲に分布している。均等係数は $7.5 \sim 9.6$ と小さく均等な粒径分布である。そして平均粒径 D_{50} は $1.8 \sim 2.0 \text{ mm}$ であった。この平均粒径 D_{50} は豊浦標準砂の12倍の粒径である。
- ④ 透水係数は室内透水試験結果では $2.64 \times 10^{-3} \sim 7.23 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ で、下層部は深くなるにつれ、若干透水係数が小さくなっている。
現場で求めた簡易透水試験結果では $7.19 \times 10^{-3} \sim 5.8 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ とほぼ同様な値であった。
この透水性は、豊浦標準砂による透水係数 $k = 1.8 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ より小さいが、透水性は良好な地盤である。また、注入前のボーリング孔での現場透水試験結果では40～50ルジオンで透水係数に換算すると $5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ が求まっている。この値は今回のピット法による簡易透水試験結果と比較すると1オーダー小さい。この理由として、動水勾配の変化に伴う透水係数の変化が考えられる。本調査地のまさ土もボーリングによる粒子破碎によって透水係数が低下したか、動水勾配の違いによって変化したか、いずれのものと推察される。
- ⑤ 注入後の試験結果から、一軸圧縮強度 q_u は $0.1 \sim 2.1 \text{ kgf/cm}^2$ とバラツキがあるが後項で述べる注入地盤での一軸圧縮強度から見てセメントによる硬化状況が認められず未注入地盤であることが判明できた。

(3) 未注入地盤と注入地盤の比較

物理特性、透水特性、強度特性から粉体圧送グラウチングの評価を行うと次のようになる。

注入孔付近の注入地盤と注入孔より、離れた未注入地盤（フェノール反応のない所）の各種データ値を比較すると表-3.7.5のようになる。

表-3.7.5 未注入・注入地盤の特性

項 目	未 注 入 地 盤	注 入 地 盤
自然含水比 (%)	3.9~6.7	1.7~6.8
湿潤密度 (t/m^3)	1.93~2.26	2.28~2.42
間隙率 (%)	20.2~34.4	15.0~18.2
強制湿潤比重	2.1~2.25	2.38~2.43
強制乾燥比重	1.69~2.01	2.19~2.29
吸水率 (%)	11.8~24.2	5.5~8.1
有効間隙率 (%)	24.0~41.0	12.6~17.8
Vp波 (km/sec)	測 定 不 能	2.29~4.0
Vs波 (km/sec)	測 定 不 能	1.22~2.2
動ポアソン比	——	0.14~0.37
動弾性係数 (kg/cm^2)	——	$8.6 \times 10^4 \sim 3.1 \times 10^5$
透水係数 (cm/sec)	$2.12 \times 10^{-3} \sim 9.1 \times 10^{-3}$	$1.56 \times 10^{-4} \sim 9.1 \times 10^{-6}$
一軸圧縮強度 (kgf/cm^2)	0.094~2.11	53.8 ~154
静変形係数 (kgf/cm^2)	$1.2 \times 10^2 \sim 7.4 \times 10^2$	$1.9 \times 10^4 \sim 3.1 \times 10^5$

強制湿潤比重：供試体を80~110℃で24時間以上乾燥させた状態の比重

強制乾燥比重：供試体を72時間以上水中につけ、十分吸水させた飽和含水状態の比重

表-3.7.5 より含水比はほぼ同等であるが、他の各項目の値について改質セメントによる注入地盤のデータは未注入地盤のデータに比べて明らかに変化している。つまりマサ土へのグラウト効果が判明される。グラウト範囲は、図-3.7.4に示す直径3 m立坑内の掘削による目視観察結果のとおりであった。

グラウト効果の評価指標として間隙率、及び有効間隙率、透水係数、強度特性の変化から、評価され具体的に数値（平均値）で示すと、

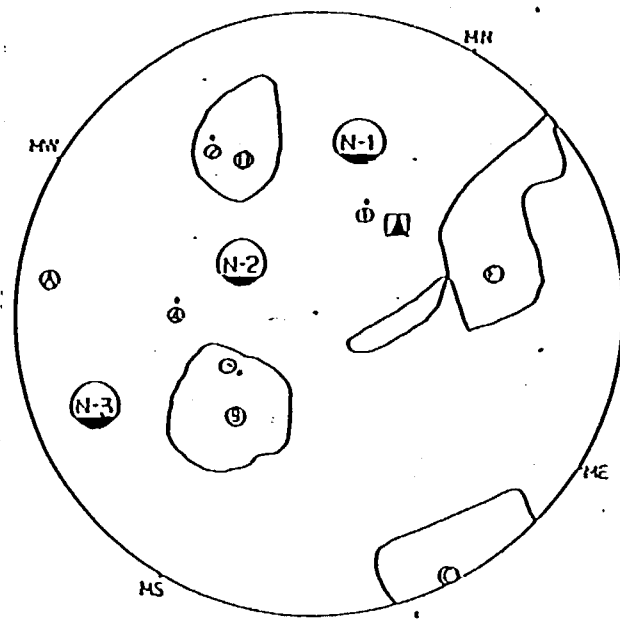
	未注入地盤		注入地盤
・間隙率 (n)	27%	→	16%
・有効間隙率 (n_e)	30%	→	15%

と注入後約50%減少している。その証左として、

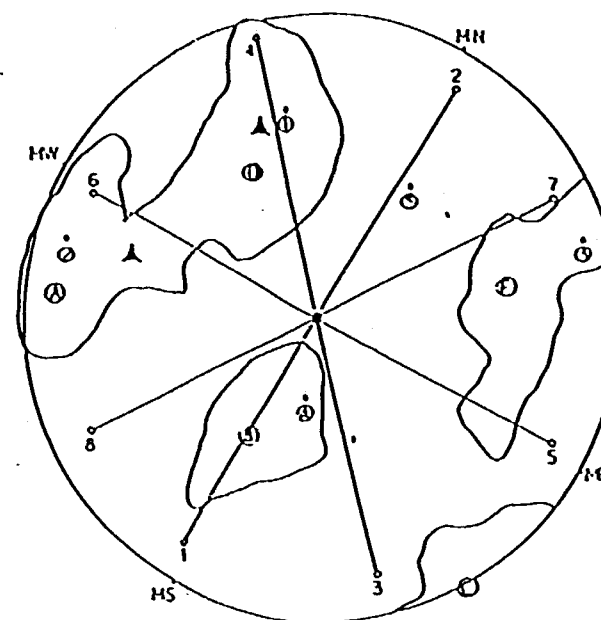
・透水係数	$3.7 \times 10^{-3} cm/sec$	→	$3.4 \times 10^{-5} cm/sec$
・一軸圧縮強度 (q_u)	0.7kgf/cm ²	→	54kgf/cm ² 以上

となり、透水係数は $10^{-5} cm/sec$ オーダの難透水性に変化、強度では値にバラツキがあるが、セメント硬化による強度上昇が見られた。

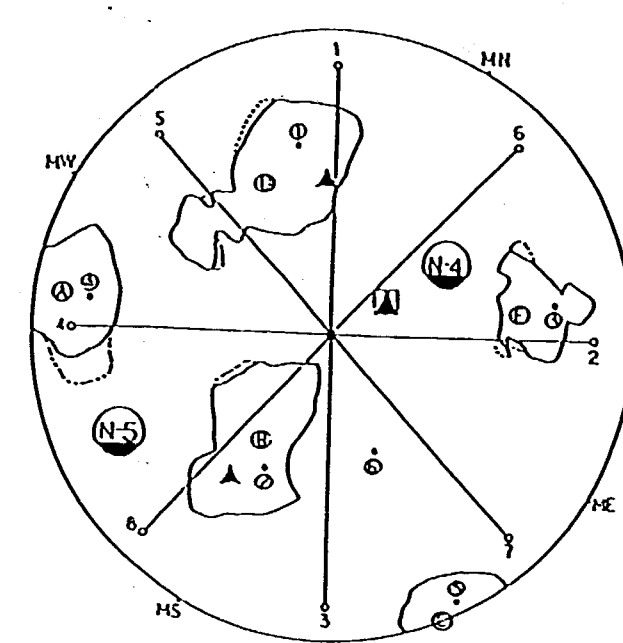
超音波伝播速度では未注入地盤では測定できなかったが、注入地盤では自然含水状態でP波が2.3~4.0km/sec、動弾性係数Edは $0.86 \times 10^5 \sim 3.1 \times 10^5 kgf/cm^2$ が求まり一般的な岩石と比べると、砂岩程度で岩盤分類ではCH級に属するほどまで粉体圧送グラウチングの効果が見られた。



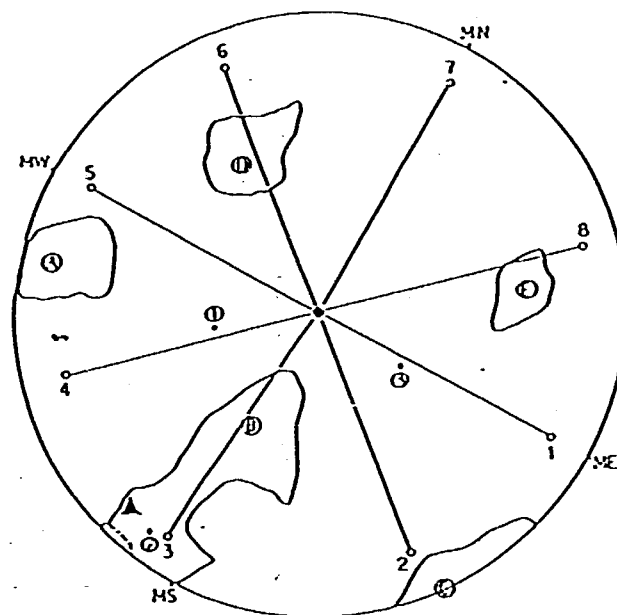
GL-11m底面 (=1/40)



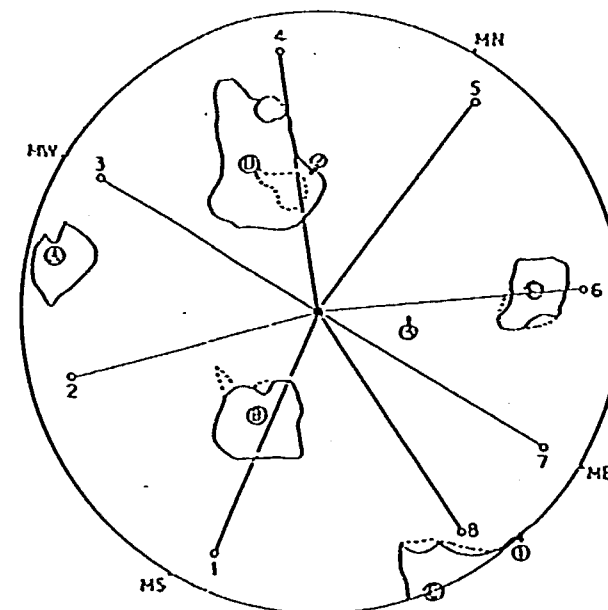
GL-13m底面 (=1/40)



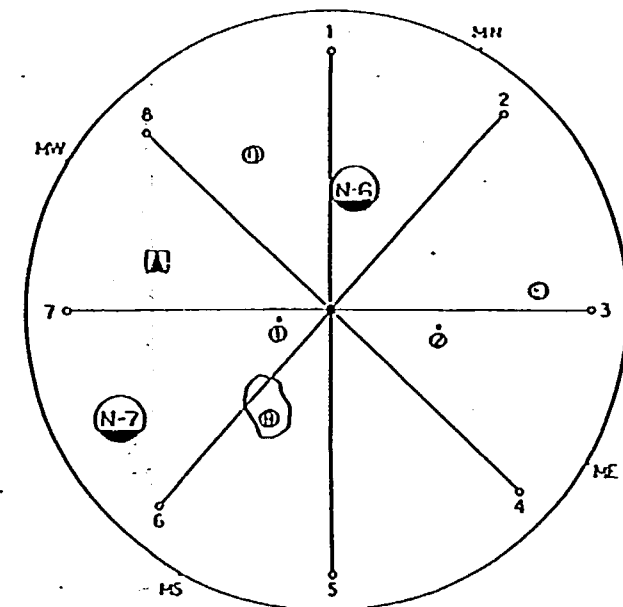
GL-15m底面 (=1/40)



GL-17m底面 (=1/40)



GL-18m底面 (=1/40)



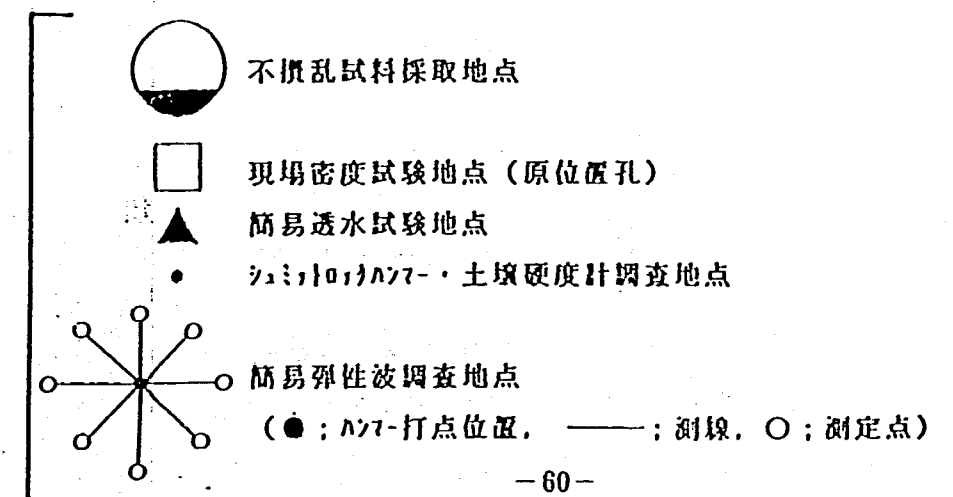
GL-19m底面 (=1/40)

図-3.7.4 φ3m立坑内の所定深度の目視観察結果

①~⑤ 注入孔

セメント注入範囲 (濃)

セメント注入範囲 (薄)



3.8 顕微鏡鑑定結果

(1) 風化花崗閃緑岩の間隙形状

注入対象地盤の風化花崗閃緑岩に存在する間隙は、図-3.8.1の2タイプに区分することができる。

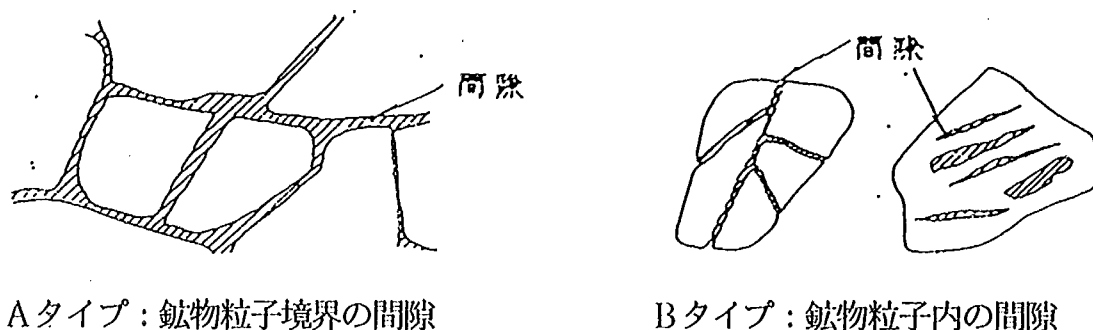


図-3.8.1 風化花崗閃緑岩の間隙形状の分類

Aタイプは、鉱物粒子の境界部に生じた間隙で、風化花崗閃緑岩の組織を特徴付ける間隙である。例えば、網の目の部分が鉱物粒子で、網の部分が間隙に相当する。間隙の幅は、0.1mm～1mm程度で、0.1mm以下の非常に狭い部分も多い。深度的には、上部のGL-8.6mの試料では幅の広い間隙が多く、下部のGL-19mでは0.5mm以上の幅の間隙は少ない。連続性は良好で、Aタイプでは閉塞した間隙はほとんどみられない。

Bタイプは、個々の鉱物粒子内に生じた割れ目や風化・変質に伴って生じた間隙で、形状は鉱物の種類により異なるが、連続は鉱物粒子内に限られる。また、間隙幅も0.1mm以下の繊細なものが多い。



写真-3.8.1 立坑GL-19m面の風化花崗岩の顕微鏡写真

黒色の線状に見える部分が間隙。鉱物粒子境界の幅の広い間隙と鉱物粒子内の細かい間隙がみられる。

中央部は小断層で、鉱物片や粘土状の狭在物が充填する。

XPL；クロスポジションレンズの使用を示す

写真-3.8.1 にみられる小断層は、立坑のスケッチでシームとして記載されている割れ目である。写真からも明らかなように、この面を境に間隙が連続せず、難透水面となっている可能性が強い。

(2) 注入セメントの形状

注入セメントは、図-3.8.1 に示したAタイプの間隙を中心として浸透している。すなわち、注入脈形状は鉱物粒子境界の間隙に沿って、網状～脈状の浸透をしており、浸透脈の一部は鉱物粒子内の繊細な間隙も充填する。

注入脈の多くの部分は、0.1mm以上の幅があるが、先端部等では最少0.02～0.03mm以下の幅の間隙まで充填しているのが観察される。

以下に、顕微鏡で観察された注入脈形状について列記する（写真-3.8.2 参照）。

- ① 浸透範囲にみられる割裂状の注入脈では、注入セメントの中に鉱物片が一部取り込まれている。
- ② 浸透範囲の注入セメントの形状は、自然地盤の鉱物粒子境界の間隙形状に類似しており、風化花崗閃緑岩の組織に顕著な乱れは認められない。
- ③ 注入セメントの浸透量は、試料によって異なり、割裂状の注入脈や注入孔に近い部分では、鉱物粒子境界の間隙の多くの部分に浸透しているが、浸透範囲の境界部ではセメント粒子の浸透していない間隙が多い。

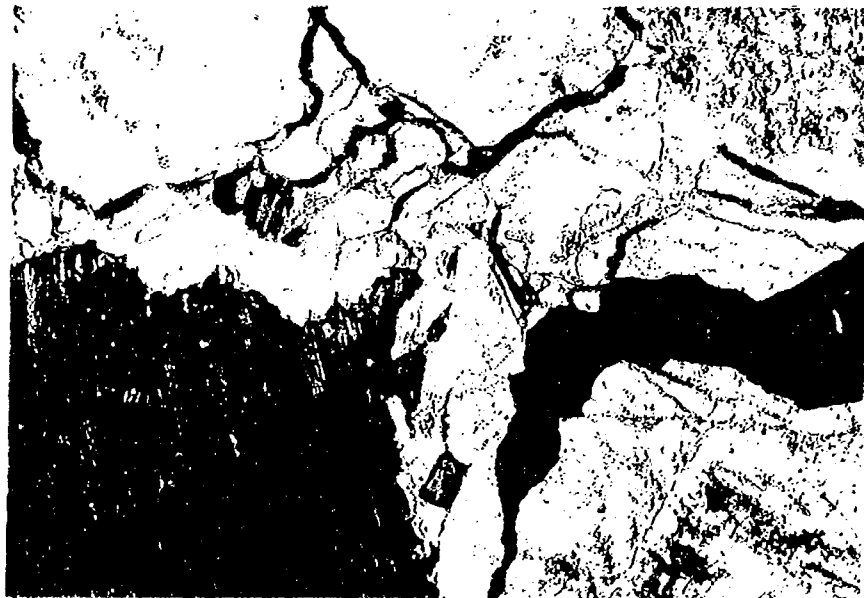


写真-3.8.2 D孔注入地盤 (GL-17.4m、No.3-1 試料)

写真上部および右側の脈状の黒色部が注入セメント。

上部の細脈部にみられる黒～褐色の粒状体が注入セメント粒子と思われる。

写真上の注入セメント脈で最も幅の広い部分で幅 0.5mm。

最も幅の狭い部分では、0.02mm以下の間隙に注入セメントが浸透している。

PPL ; パラルポジションレンズの使用を示す

(3) メッシュ法による間隙・注入セメント幅の測定結果

メッシュ法*による間隙・注入セメント幅の測定は、自然地盤1，注入地盤2の計3試料で行った。図-3.8.2は各試料の間隙・注入セメント幅の測定頻度を示したもので、0.2mm以上の幅では測定点数が3試料ともほぼ一致しているが、0.2mm以下の部分では自然状態の間隙に比べ、注入セメントは測定点数が少なくなっている。

測定個数が少ないので、測定精度に問題があるが、注入セメントは0.2mm以上の幅の間隙の大部分に充填されたものと考えられる。

また、顕微鏡観察の結果からみて、0.2mm以下で注入セメントが浸透しない部分の中には、前述した鉱物粒子内の間隙が多く含まれていると考えられ、連続した鉱物粒子境界の間隙については、注入セメントの充填した比率は高いといえる。

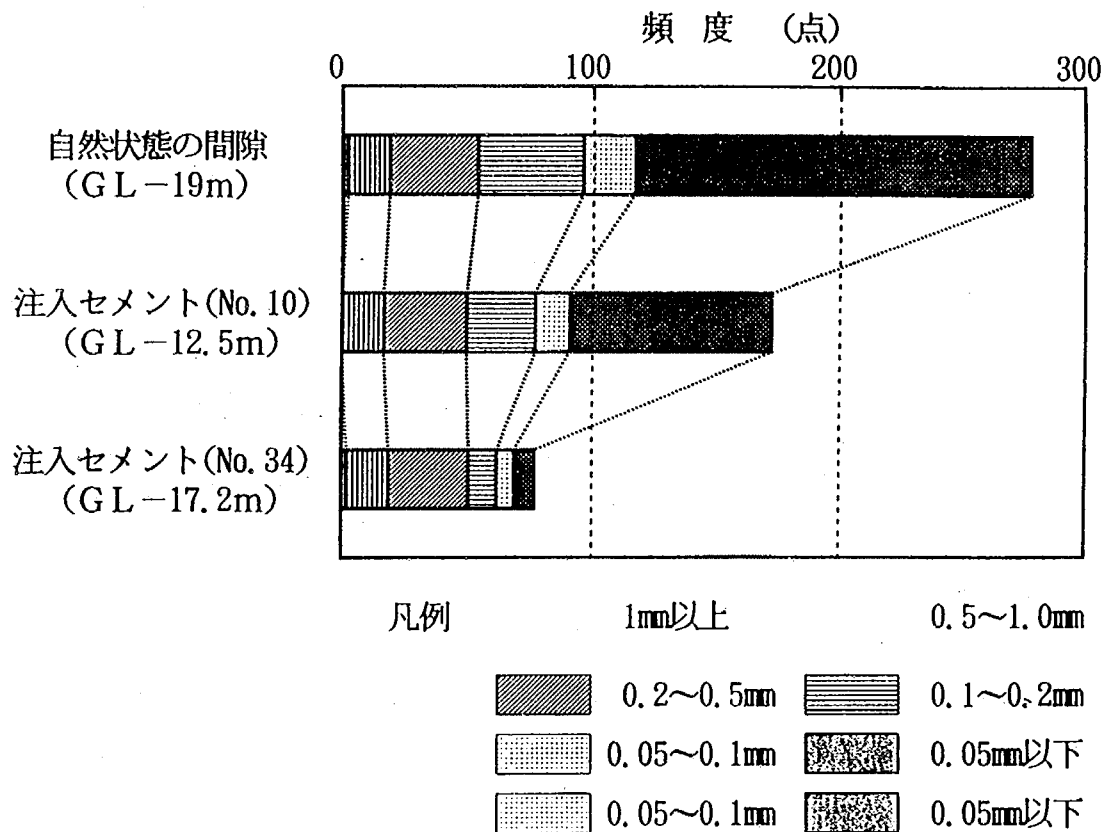
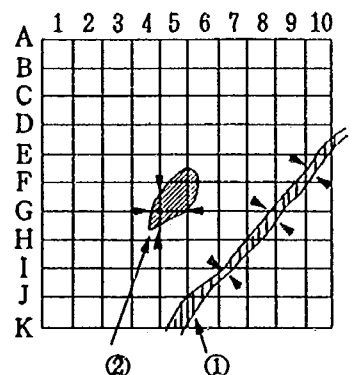


図-3.8.2 間隙・注入セメント幅の測定頻度分布

*メッシュ法

- (1) 観察試料から1cm×1cmの範囲を選び、10等分のメッシュを引く。
- (2) 各メッシュ上に位置する間隙の幅を測定する。
 - ① 脈状の場合：各メッシュ上の交点における間隙の幅 (→ ←) を測定。
 - ② 不定形の場合：各メッシュ上の間隙の長さを測定。
- (3) 間隙率は、メッシュ上で間隙部分の占める割合を求める。



3.9 他地点における試験実績と結果

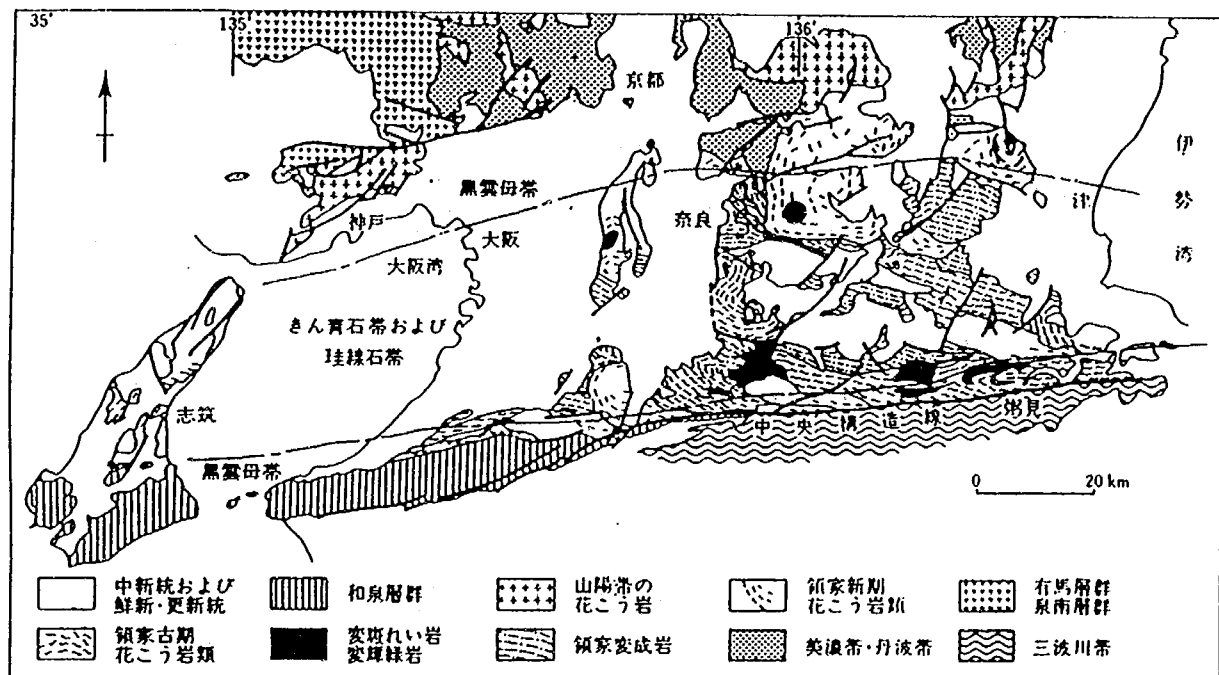
3.9.1 布目ダムにおける試験（その1）実績と結果

(1) 布目ダムの地質概要

布目ダムは、木津川水系布目川の中流に建設されている貯水ダムで、地理的には奈良盆地の東方の笠置山地に位置する。布目川は笠置山地を解析して北上し、笠置付近で木津川に合流しており、布目ダム周辺では、両岸に急峻なV字谷を形成するが、山腹から山頂にかけては緩傾斜面が多い。

地質的には、笠置山地は西南日本内帯（中央構造線以北）の領家帯に位置し（図-3.9.1 参照）、調査地付近には、領家花崗岩（柳生花崗岩）が分布する。

柳生花崗岩は、石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、角閃石等からなる花崗閃緑岩で、東西35km、南北20km程度の岩体である。



● 布目ダム

図-3.9.1 布目ダム付近の地質（日本の地質6 近畿地方（共立出版））

地質調査は、粉体注入前の地表面と、注入・養生後掘削面（主としてGL-0.3m面）において実施した。表-3.9.1 に調査結果を示す。

なお、岩盤分類は布目ダム総合岩盤分類基準による。

表-3.9.1(a) 布目ダム地質調査結果一覧（地表面）

地 点	弾 性 波 速 度 Vp(km/sec)	土壌硬度 計による 硬度指数	シュミット ハンマー 反発度	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	総合岩盤 評 価
A	0.62	33	13	2.25	2.18	3.2	M ₁
	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	C _L	
B	0.49	32	12	2.24	2.16	3.6	M ₁
	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	
C	0.39	31	10以下	2.16	2.07	4.4	M ₂
	M ₃	M ₂	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁

表-3.9.1(b) 布目ダム地質調査結果一覧（GL-0.3m面）

地 点	弾 性 波 速 度 Vp(km/sec)	シュミット ハンマー 反発度	湿潤密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	総合岩盤 評 価
A	0.69	12	2.25	2.20	2.4	M ₁
	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	C _L	
B	0.64	12	2.24	2.16	3.3	M ₁
	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	C _L	
C	0.52	11	2.21	2.14	3.5	M ₁
	M ₂	M ₁	M ₁	M ₁	M ₁	

上段 測定値の平均

下段 布目ダム岩盤分類基準によるマサ区分

M₃:軟弱、粘土状マサ

M₂:軟質、砂状マサ

M₁:軟質～硬質、小礫状マサ

C_L:硬質～堅軟、岩芯マサ～割れ目のみマサ状

調査結果をみると、弾性波速度V_pの測定結果以外は、概ね、M₁級の評価となっており、試験地盤の岩盤分類はA, B, C各地点ともM₁に区分される。

(2) 現場注入試験

注入孔、観測孔、地盤変位測定点の配置を図-3.9.2、3.9.3に示す。

各孔及び変位計はA・B・Cの3地点で同じ配置とした。各孔および変位計の仕様を表-3.9.2に示す。

表-3.9.2 注入孔・観測孔・変位計の仕様

種 類	ボーリング	ストレーナー (SGP2Bで加工、底は盲)	数量	計	備 考
注入孔	深度GL-1.0m 孔径φ101mm	深度GL-1.0m、ストレーナー 区間GL-0.8m～1.0m GL- 0 ～ 0.8m まではセメンテーション	1	3	ストレーナー区間の周辺 に径6～10mmの玉 砂利を充填
観測孔	深度GL-0.5m 孔径φ101mm	深度GL-0.5m、ストレーナー 区間GL-0.4m～0.5m GL- 0 ～ 0.4m まではセメンテーション	4	12	ストレーナー区間の周辺 に径6～10mmの玉 砂利を充填
変 位 測定点	—	—	3	9	ガ-コンクリート部に設 置。不動梁に固定 したダイヤルゲージによ り、ガ-コンクリート表面 の変位量を測定。 不動梁の支柱は、 ガ-コンクリート外約 0.5mの地盤中に 鋼材を埋設・固定 した。
カ バ - コンクリート	—	—	1	3	幅 3.0m×3.0m 長さ 3.0m。 厚さ 5～10cm。

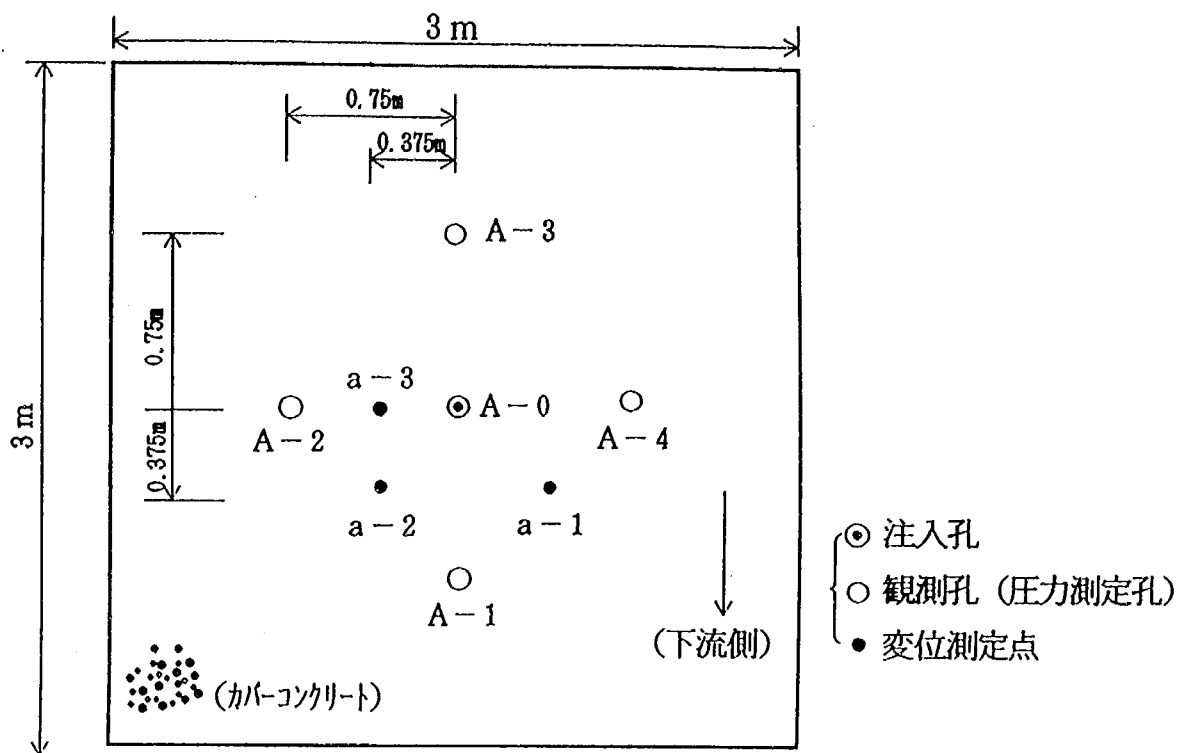


図-3.9.2 注入孔・観測孔・変位測定点配置平面図 (A～C共通)

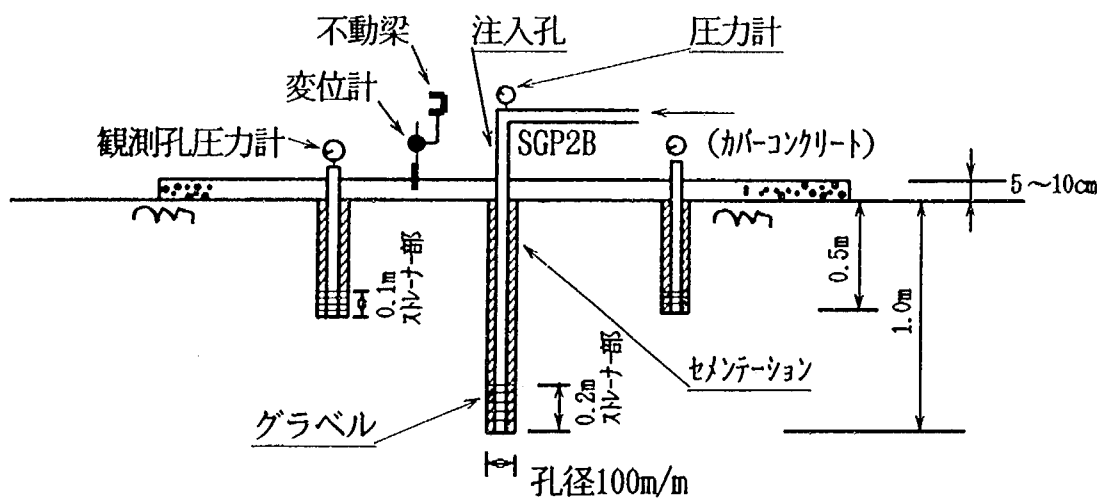


図-3.9.3 注入孔・観測孔・変位測定点配置断面図 (A～C共通)

(3) 注入状況

A地点では、主として低角度キレツ面（N40W走行、25° S傾斜）に沿ってセメント粉体が注入されている。粉体の広がり、面の走行方向（水平方向）に約2.5m、傾斜方向では2 mで、厚さは注入孔の周囲約50cmでは2～5 mm、その外側では2 mm以下である。

また、高角度キレツ面ではキレツ面に粘土を挟んでいるためか注入を妨げられている部分がある。縁辺部ではセメントは吹溜り状に凝集した部分がみられる。図-3.9.4に注入状況のスケッチを、図-3.9.5に注入面の断面を示す。

B地点では、平行した面に沿って面状に粉体が広がっている。図-3.9.6に注入状況のスケッチを、図-3.9.7に注入面の断面を示す。

C地点のスケッチを図-3.9.8に示す。スケッチ1では、90° 傾斜のキレツ面に沿った方向で、ほぼ全面に粉体が確認される。キレツ周囲の幅2～3 cmはキレツ面からの粉体の浸透がみられる。キレツ面の内側（注入孔側）では浸透注入がみられるが、外側では粉体はほとんどみられず、キレツ面により浸透が妨げられている。

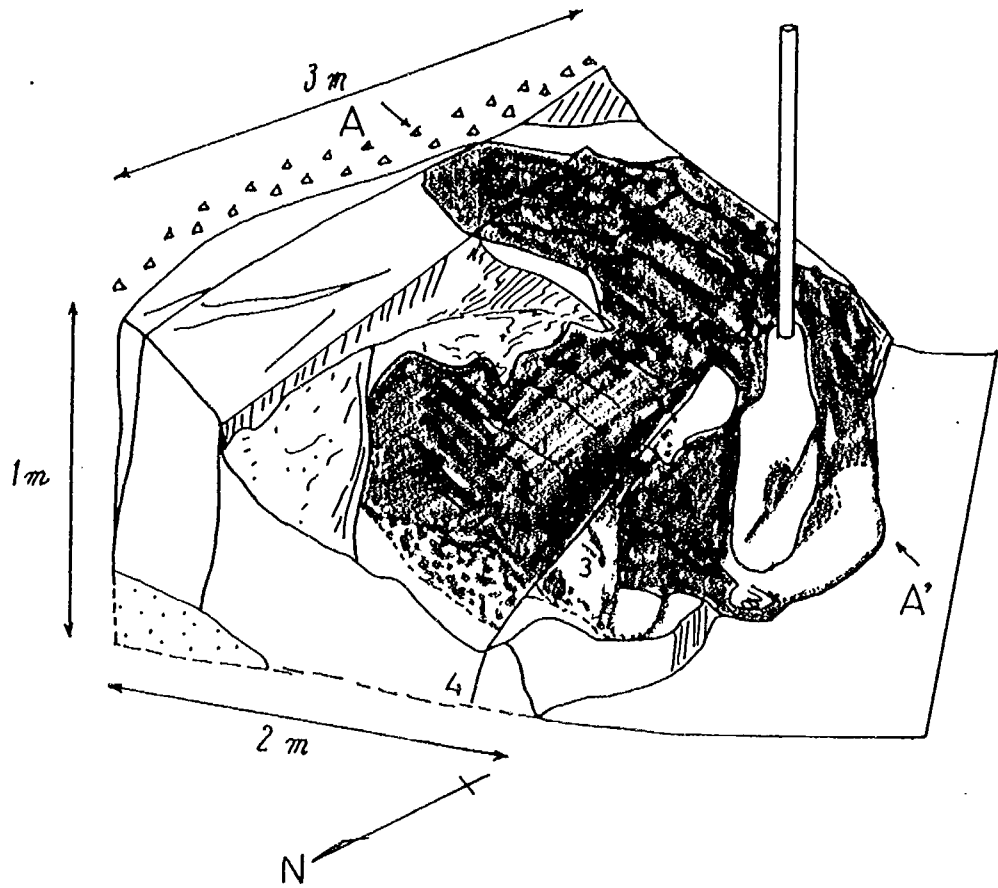


図-3.9.4 A地点注入状況のスケッチ

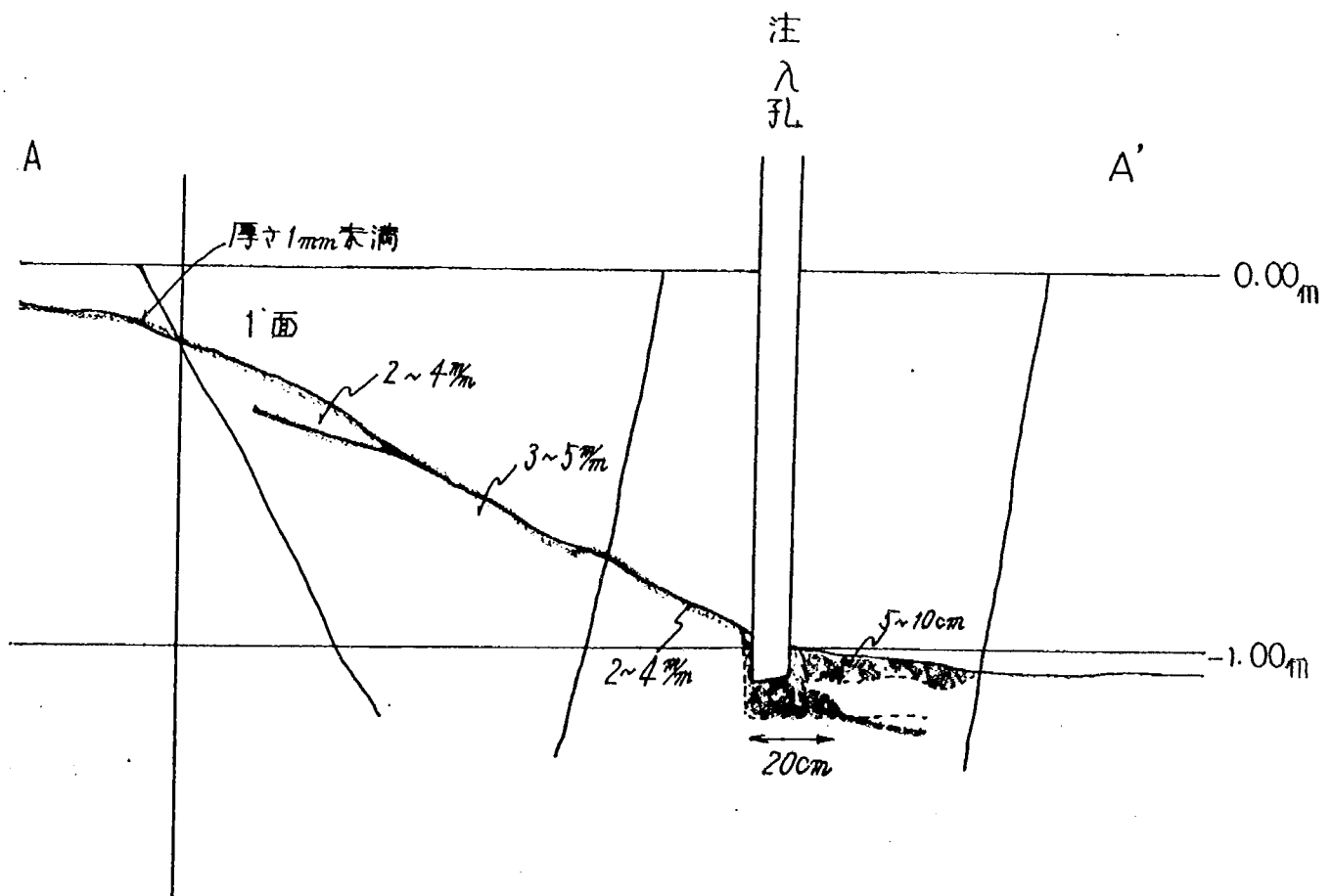


図-3.9.5 A地点断面図

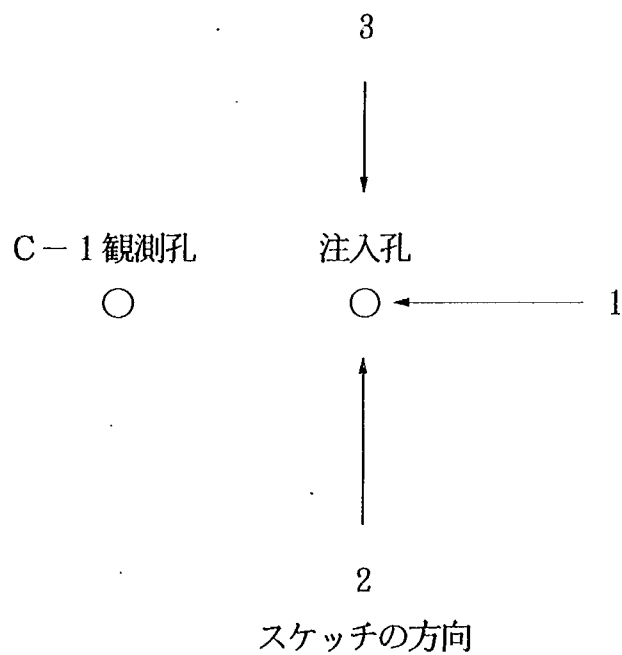
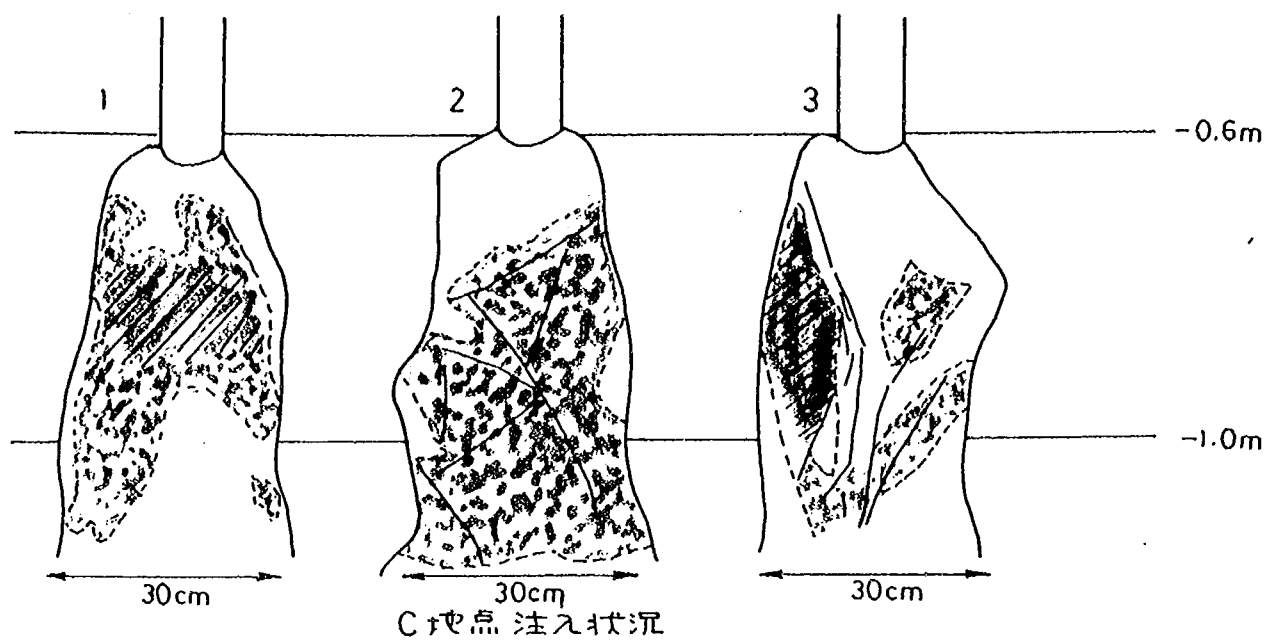


図-3.9.8 C地点注入状況のスケッチ

(4) 注入試験結果

現場注入試験の結果から、改質セメントを用いた粉体圧送グラウチング工法の、布目ダムのマサ ($M_1 \sim M_2$ 級) のような地質に対する評価は次のように考えられる。

- ① 注入深度が1 mと比較的浅いため、カバーコンクリート表面の変位が大きく、また地表面からの漏気および粉体の地表面への漏出も認められた。したがって、送気圧を上げることができず、十分な送気流量を確保することができなかった。このため注入結果も必ずしも期待を十分に満たすものではなかったが、ある程度均一にセメントがマサの組織内に浸透していることが確認され、実用化への可能性が認められた。
今後は、注入深度をさらに深くして、実際の注入に近い規模の注入試験を実施することによって、より大きな送気流量を確保でき、セメントの浸透範囲がさらに広がることが期待される。
- ② 地盤変位を測定する際の不動点は、注入深度に比べて十分深くするなどの方法によって、変位測定の精度を向上させる必要のあることが認められた。
- ③ 粉体注入の前に行う事前送気については、送気を中断すれば送気により次第に向上した地盤の透気性が、再び低下する結果が得られた。粉体注入実施までの間、送気は継続させることが望ましい。
- ④ A-0 孔の試験で見られたように、送気をはじめて行う際に昇圧を急速に行うと、地盤内で亀裂の発生や開口などが懸念される。
- ⑤ 今回の現場注入試験で用いた装置は、小型で簡便なものであった。注入試験、とりわけ一般的なグラウチングとは異なる粉体圧送グラウチングの注入試験を実施する場合には、圧力、流量、変位量をはじめとする種々のデータを監視しながら、地山状況や注入状況などの様々の変化に迅速に対応することが肝要である。また、さらに大規模に注入を実施するためには、より大きな供給能力のある粉体供給装置が必要である。
- ⑥ 現地で採取した攪乱試料を再構成した供試体に対する室内注入試験によって、粉体圧送グラウチングは透水係数が 10^{-3} cm/s オーダーの均質なマサ土まで、注入が可能であることが確認された (表-3.9.3、3.9.4 参照)。

表-3.9.3 透水試験結果

試料	突き固め回数	湿潤密度 (t/m^3)	透水係数 (cm/s)
A	5	1.703	2.55×10^{-3}
A'	50	1.957	3.00×10^{-4}
B	5	1.708	9.86×10^{-3}
B'	50	1.895	1.52×10^{-3}

表-3.9.4 注入条件・結果一覧表

試験 番号	試料	供試体 条件	送気・注入条件		注入長 (cm)	注入状況
			送気	注入		
1	M ₂ (A)	自然 状態		3.5~3.8kgf/cm ² で 105分間	17	
2	M ₂ (A)	自然 状態	2.5~3.0kgf/cm ² で 61分間	2.6~2.7kgf/cm ² で 40分間	32	内部では注入面 下20cmで未注入
3	M ₂ (A)	湿潤・ 飽和	4.9~7.2kgf/cm ² で 260分間	4.4~5.8kgf/cm ² で 65分間	通 過	底面まで殆ど注 入
4	M ₁ (B)	自然 状態		2.0kgf/cm ² で 40分間	通 過	底面中央部約5 cm円外部に注入
5	M ₁ (B)	自然 状態	1.8~2.0kgf/cm ² で 150分間	2.1kgf/cm ² で 24分間	通 過	底面中央部約6 cm円外部に注入
6	M ₁ (B)	湿潤・ 飽和	6.4~9.2kgf/cm ² で 150分間	6.1~6.2kgf/cm ² で 60分間	通 過	底面中央部約6 cm円外部に注入
7	M ₂ (A)	湿潤・ 飽和	5.9~8.4kgf/cm ² で 330分間	5.1~5.2kgf/cm ² で 45分間	通 過	底面周囲約2cm 幅で半月状注入

注) 供試体は全て5回の突き固めにより作製した。

3.9.2 布目ダムにおける試験（その2）実績と結果

(1) 現場注入試験

注入孔、観測孔、地盤変位測定点の配置図を図-3.9.9～3.9.11に示す。各孔および変位計の仕様を表-3.9.5に示す。

表-3.9.5 注入孔・観測孔・変位計の仕様

種 類	ボーリング	仕 様	数量	備 考
注入孔	深度GL-5.0m 孔径φ100mm	注入管はSGP1½Bで加工、 底は盲。 ストレーナ区間はGL-4.8～ 5.0mの下端20cm。ストレー ナの孔径は3mm。 GL0～-4.2mまではセメン テーション。 注入管の上部およびストレ ーナ部にストレインゲージ 式の圧力センサー（最大10 kgf/cm ² ）を取り付けた。	2	ストレーナ区間の 周囲に径4～15mm の玉砂利を充填
観測孔	深度GL-9.0m 孔径φ100mm	アンカーバー(SGP25A)頭部 の1mは合金バー（φ30mm） アンカーバーの下端1m（ GL-8.0～9.0m）はセメン テーション	1	
変 位 測定点	深度GL-0.5m 孔径φ100mm	測定点は、セメンテーション により固定された合金 バーの頭部	1	変位測定点と変位 測定アンカーバー 頭部の相対変位を ストレインゲージ 式変位計（最大測 定量10mm）によっ て測定

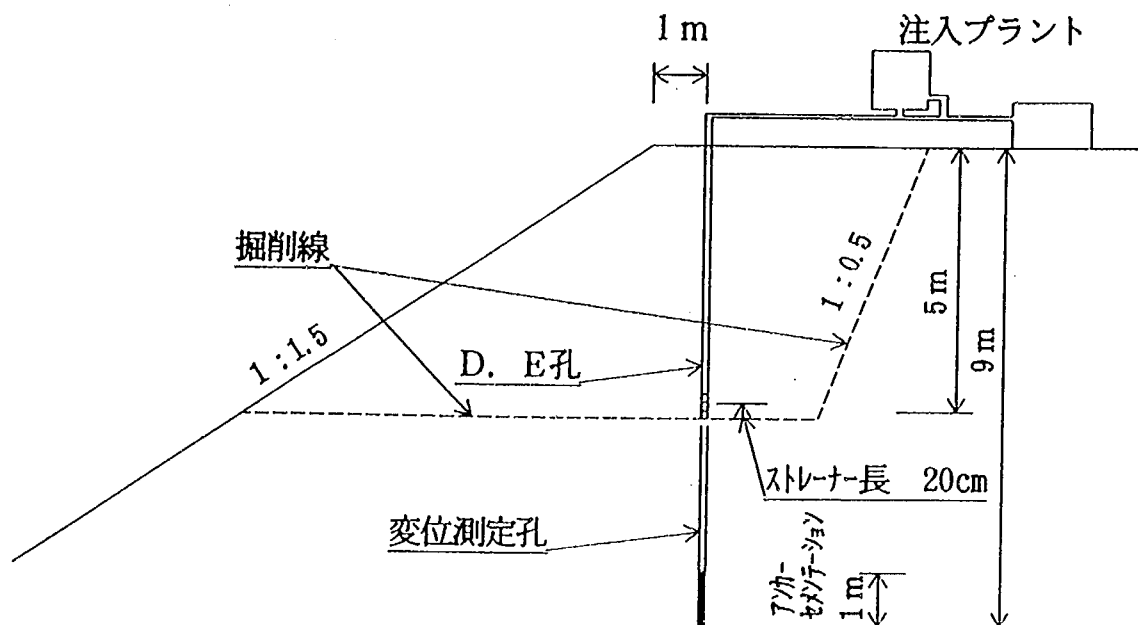


図-3.9.9 注入孔・変位測定孔配置断面図 (D、E)

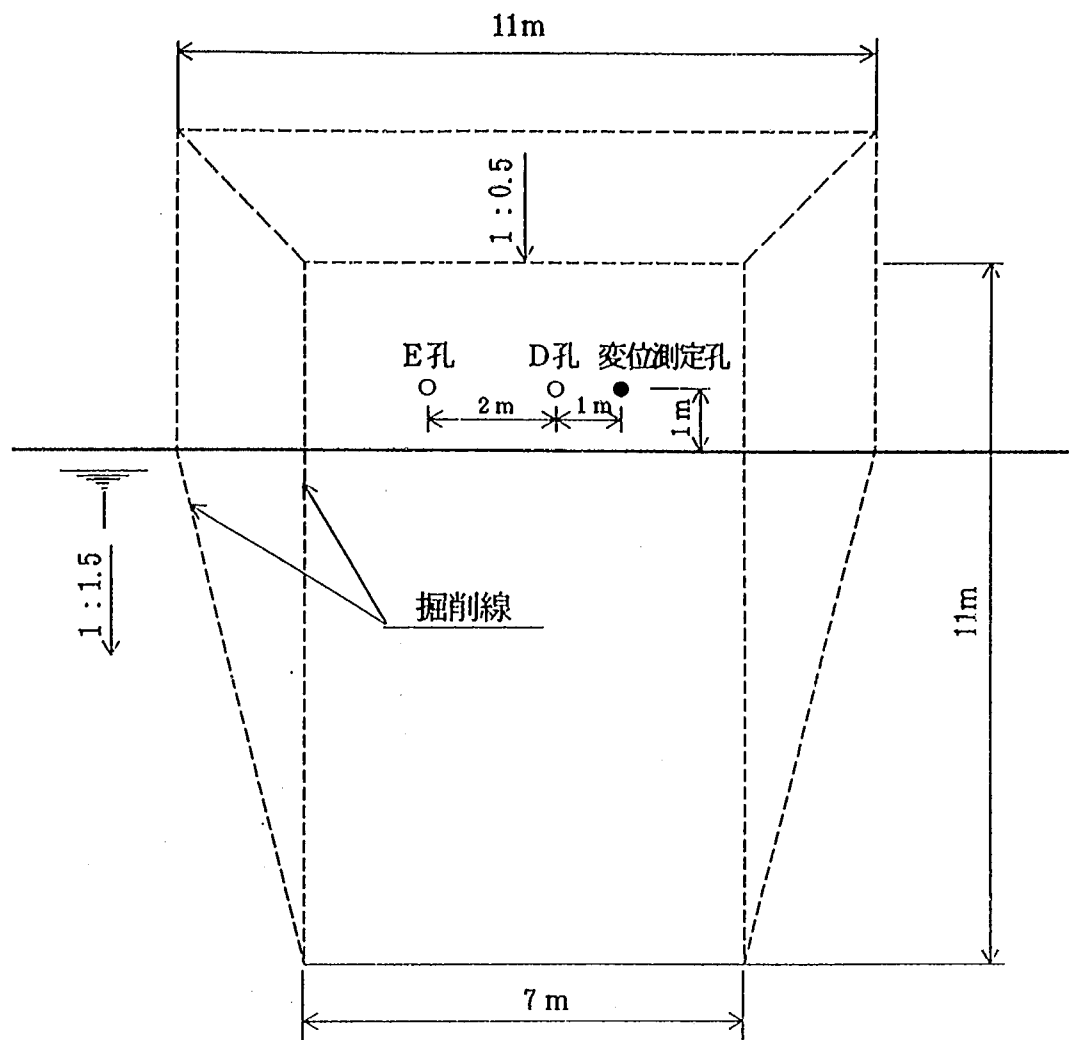


図-3.9.10 注入孔・変位測定孔配置平面図 (D、E)

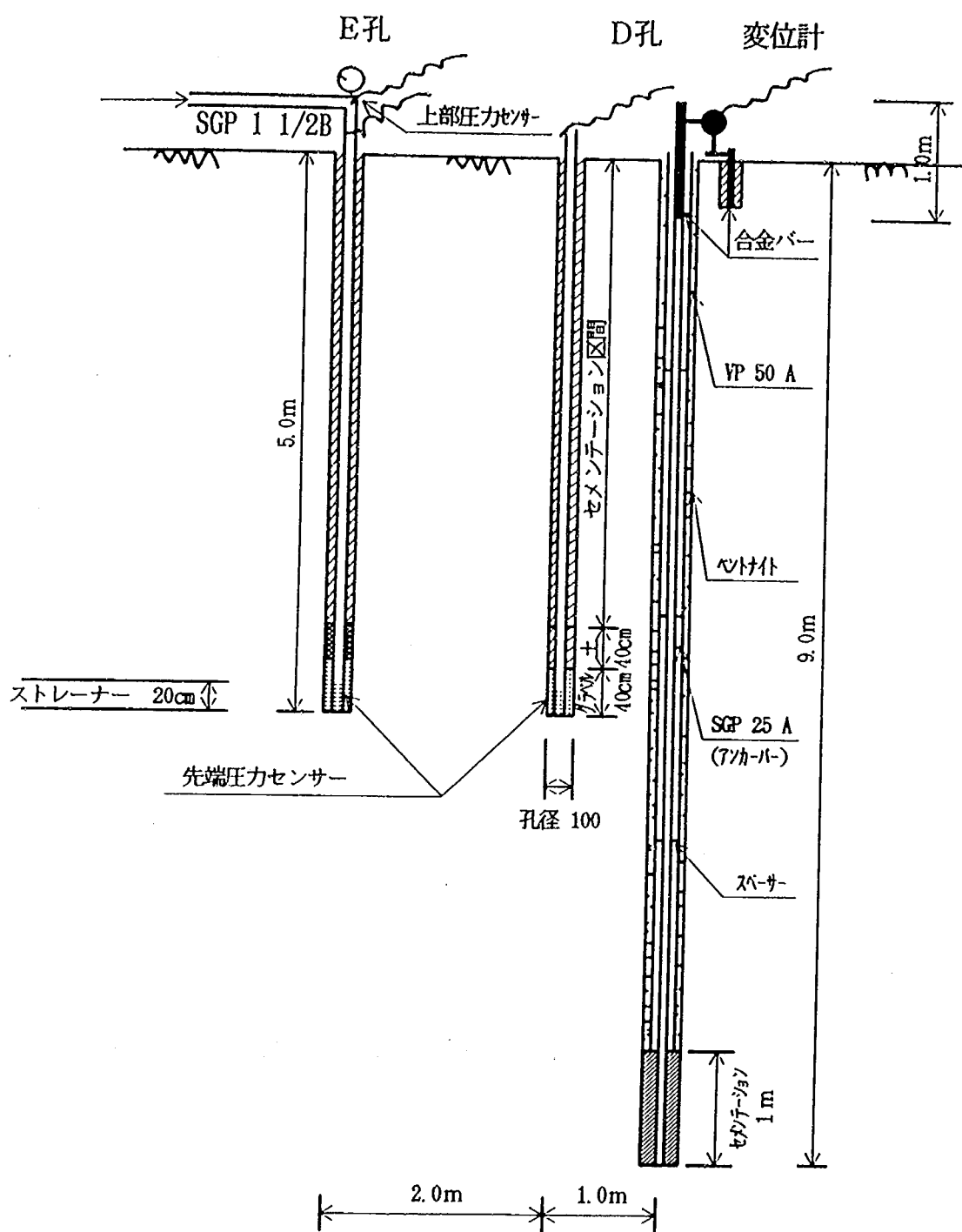


図-3.9.11 注入孔・変位測定孔配置断面図 (D、E)

(2) 注入状況

D孔では、注入孔（ストレーナ）から注入孔に沿った方向および側方にセメント脈がみられ、その周囲の風化花崗岩の鉱物粒子間のセメント粒子がほぼ均等に浸透している。注入範囲は、ストレーナから上方に浸透した部分と、水平方向（低角度）に浸透した部分が見られる。注入範囲は、上方で70cm、下方で10cm以下、側方45～30cmである（図-3.9.12参照）。

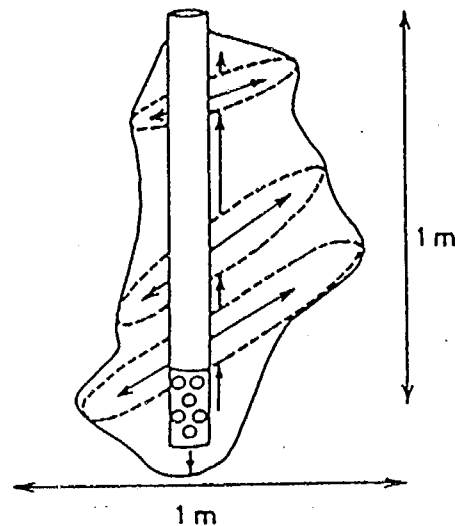


図-3.9.12 D孔注入状況

E孔では、D孔と同様ストレーナから上方および側方にセメント脈がみられ、その周囲の風化花崗岩の鉱物粒子間のセメント粒子が浸透している。注入範囲は、ほぼ楕円状（長径1.4m、短径0.8m）を呈するが、この楕円をえぐるような形で未浸透部を残している。注入範囲は、上方で100cm、下方で10cm、側方80～30cmである（図-3.9.13参照）。

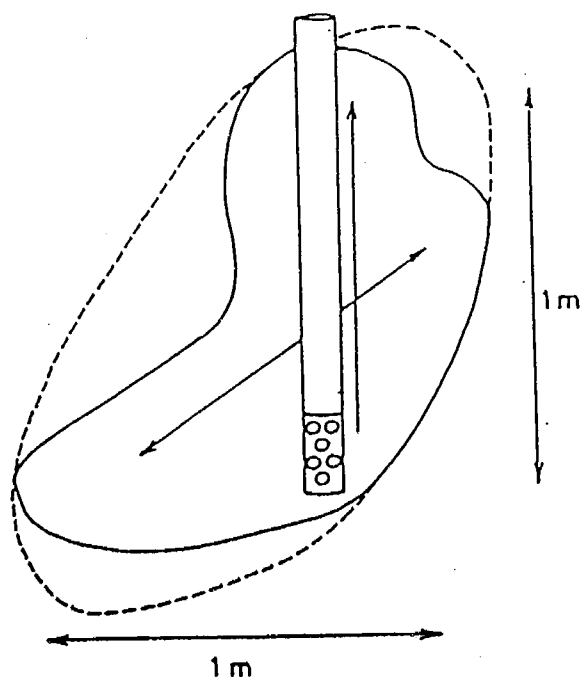


図-3.9.13 E孔注入状況

(4) 注入試験結果

現場注入試験の結果から、改質セメントを用いた粉体圧送グラウチングの布目ダムのマサ ($M_1 \sim M_2$ 級) のような地質に対する評価は、次のように考えられる。

- ① 軟岩固有の潜在亀裂にセメントが浸透していると同時に、鉱物粒子間にもセメントが浸透している。これは、粒子空隙間における改質セメント粉体の流動性が良いことを示している。
- ② 浸透半径は最大で80cm程度確保されており、実用上の目安が得られている。
- ③ 浸透範囲の大きさや総注入量は、注入圧と深く関係する。また注入粉体濃度（単位時間当たりの粉体供給量）も影響しているようである。
- ④ 注入前後の岩塊試料に対して行った室内試験（図-3.9.13、表-3.9.6、3.9.7参照）で改良が見られる。これは一体的なセメント粒子の浸透を示すものと考えられる。
- ⑤ 注入前後の原位置透水試験は実施していないので、直接的な遮水性の改良は定量的には把握できていない。

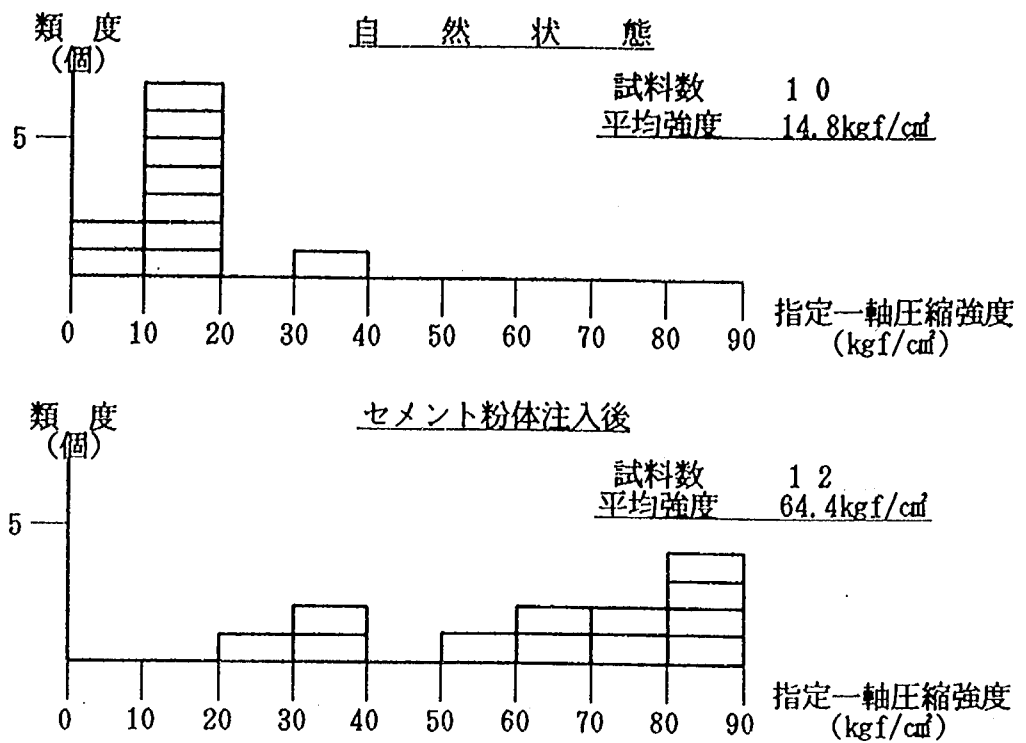


図-3.9.13 ポイントロード試験による推定一軸圧縮強度

表-3.9.6 試料の透水係数

	透 水 係 数	
注入前の試料	4.1×10^{-3}	2.7×10^{-3}
注入後の試料	9.8×10^{-5}	3.7×10^{-6}

表-3.9.7 物理試験結果

項 目		測 定 値						
見掛け比重 (強制乾燥 状態)	注入前	1.976	2.122	2.058	2.129	1.872	2.102	2.084
	注入後	2.340	2.347	2.317	2.370	2.312	2.323	2.341
有効間隙率 (%)	注入前	25.68	20.27	21.71	18.67	29.32	19.76	20.65
	注入後	12.54	12.02	13.22	10.59	12.88	13.39	12.20

項 目		測 定 値		平 均
見掛け比重 (強制乾燥 状態)	注入前			2.048
	注入後	2.348	2.364	2.340
有効間隙率 (%)	注入前			22.29
	注入後	11.96	11.48	12.25

3.9.3 川辺ダムにおける試験（その1）実績と結果

(1) 地形および地質概要

ダム地点の万之瀬川は延長約30kmの2級河川で、鹿児島市の南、谷山とその西隣地の日置郡吹上町の境界付近にある上鬼燈ヶ谷（ふつつがだに、標高400m）に源を発し南西に2km流れた後、鹿児島市と金峰町の境界付近の西山で南南東に流れを変え、鹿児島市と川辺町の境界沿いに流れ、約4km下った後、川辺町の火の河原（ひのこら）で権現ヶ尾からの支流と合流している。これまでは河床標高約170m以上の山地中の流れであり、ここから下流の約10km間は標高約110～170mの丘陵地を深く刻み込んで流下し、左右両岸は現河床からの比高約60mの連続した急崖を生じている。

本調査地付近の地形は、比較的緩傾斜～ほぼ平坦な丘陵地性地形と急峻な山地性の地形を示す区域とに大別することができる。

丘陵地性の区域は火の河原付近より万之瀬川沿いの下流域にみられるもので、比較的急峻な山地に挟まれて分布しており、平均幅600～800mを有しており、火砕流堆積層の分布とほぼ一致している。これらの平坦地は地形・地質的に段丘面と考えられ、一度形成された火砕流堆積層が旧万之瀬川の側法侵食によって平坦地となったものと考えられる。

ダムサイト付近における万之瀬川は、このような地形区域のほぼ中央を深くえぐって南南西に流れており、両岸には急崖が形成されている。調査地はダムサイトの左岸地にあり平坦地形に位置している。

一方、比較的急な斜面から構成される山地性の区域は火の河原より上流地域および丘陵地の両岸の分水領域であり、火砕流堆積層の基盤をなす四万十層群から構成されている。

本調査地の地質的基盤をなしているのは中生代四万十層群と呼ばれる地層である。本層は砂岩、および頁岩からなるが、ダムサイト近傍の寺野～市崎野付近では砂岩が卓越している。地質構造は、概ね北東～南西方向の走行を示し、万之瀬川を挟んで右岸側では西側へ、左岸側では東側へ傾斜した背斜構造を呈している。

四万十層群を被覆して新生代第四紀更新世の「伊作火砕流堆積層」や「阿多火砕流堆積層」が分布している。これら火砕流堆積層は陸上では低いところを埋設する性質を有するため、旧万之瀬川の谷筋を埋めて、分布している。また、伊作火砕流と阿多火砕流では堆積時期を異にしており、伊作火砕流は阿多火砕流の下位に分布している。

これら火砕流堆積層は堆積物の中心から外縁に向かって溶結度が異なっており、中心部から外縁部に向かって、高溶結部、中溶結部、低溶結部および非溶結部の4層に区別することができる。

上記の阿多火砕流と伊作火砕流、そして伊作火砕流と基盤の四万十層群との間には、それぞれ旧期・古期岩砕屑堆積層と旧期・古期河床堆積層が存在している。

阿多降下軽石堆積物と称せられる降下軽石層が厚さ30cm程度の薄層として分布している。

これら火砕流堆積層を覆って段丘堆積層および成層したシラスが分布している。段丘堆積層は成層シラスの基底部をなす。成層シラス層および段丘堆積層以前の地層を覆ってローム層が分布している。このローム層は降下火山灰からなり、堆積時には地表全体に分布したと思われるが、現在では平坦面や緩傾斜にのみ残って分布している。そして、崖裾部や沢部には新期の崖錐堆積物が分布している。

調査地の位置図を図-3.9.14に、平面図を図-3.9.15に、地質断面図を図-3.9.16に示す。

図より、本調査での粉体圧送グラウチング実施予定深度は、阿多火砕流堆積層非溶結部のほぼ中央であると予想される。調査地点の透水係数は、既存調査結果より調査対象深度で約数十ルジオン、限界圧力は数kgf/cm²以下と推定されている。

(2) 地質調査結果

ダム地点の地質特性は以下のように整理される。

① 表土層

黒褐色の有機質土を主体とし、礫、シラス、ロームを含む。本層は、本来の表土としてのロームなどにより構成されるものと考えられる。

② 砂質土層

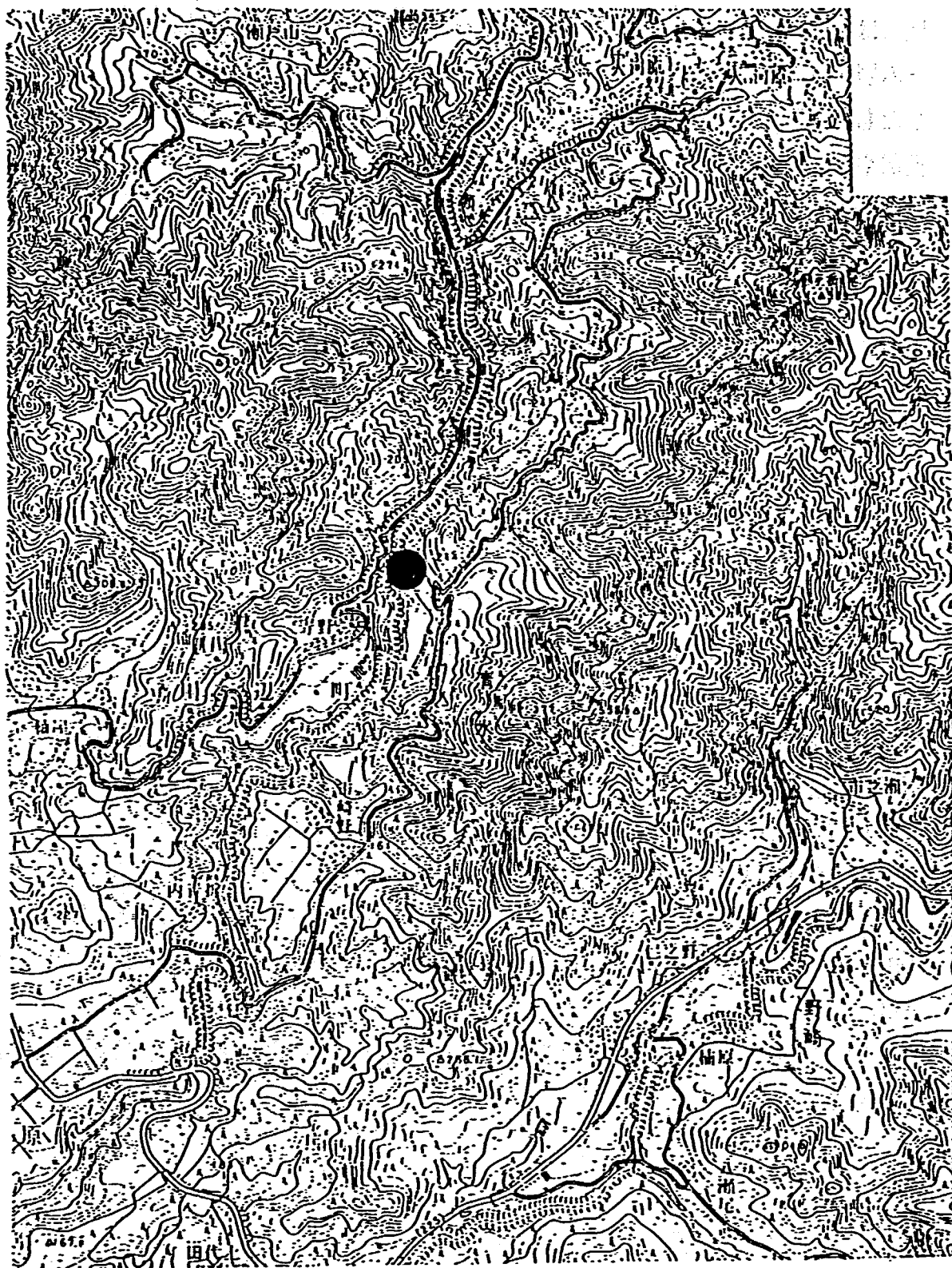
砂状の成層シラスを主体とし、有機質土、礫などを含む。色調は暗灰～褐灰色を有する。

③ 非溶結シラス層

細粒なシラスでGL-10m付近までは砂～シルト状の粒子を主体とし、所々に浮石、岩礫を含む。浮石は白色で軟らかい。岩礫はφ5～30mmの亜角～亜円状である。

シラスは下部になるほど締まりが良くなる。標準貫入試験結果によると、GL-10.15mでN=14、GL-15.15mでN=26、GL-20.15mでN=35、GL-27.15mでN=50/27cmである。

採取コアは砂～礫状であるが、礫状コアも指圧で容易に砂状となる。色調は灰～暗灰色を有する。



● 調查地

0 100 200 300 400 500 (m)

圖-3.9.14 調查位置圖

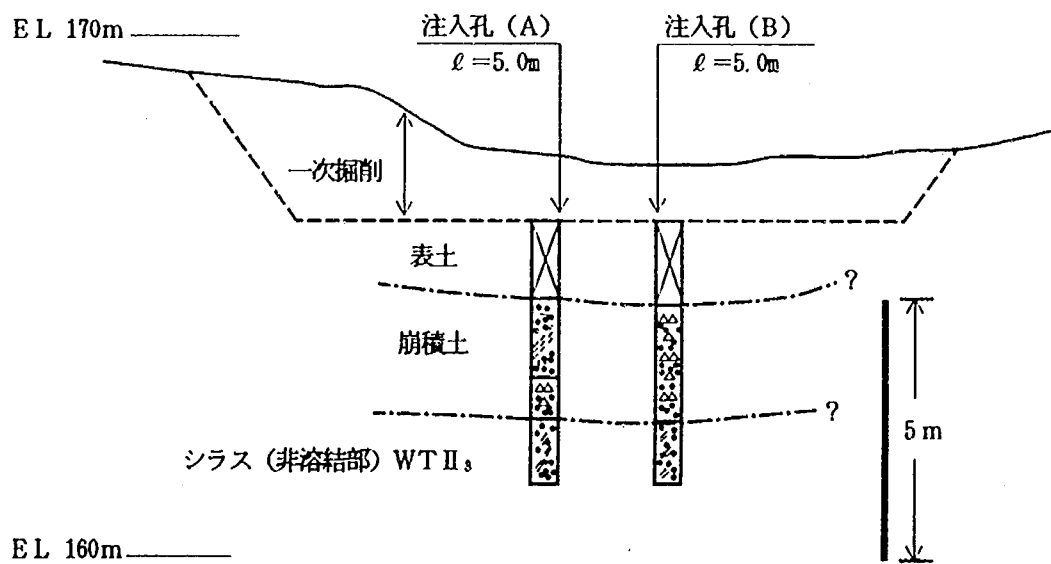
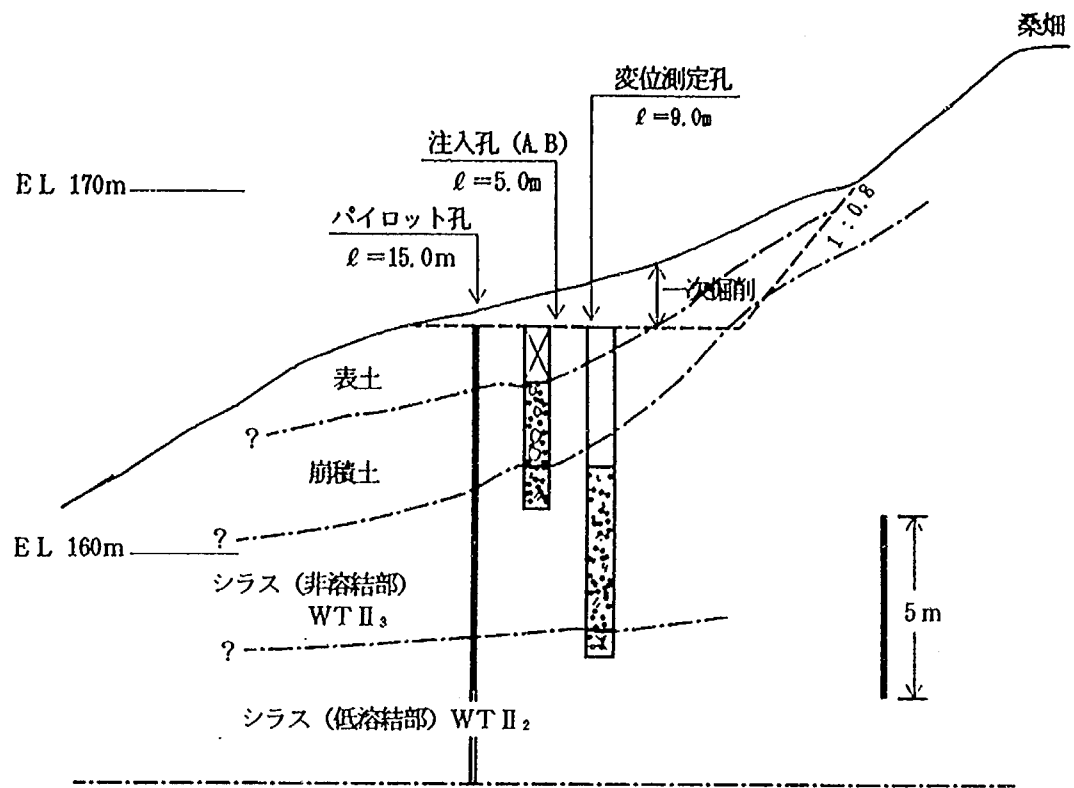


図-3.9.16 調査地付近の地質断面図

(3) 注入状況

手掘り掘削による、注入状況の観察結果を表-3.9.8に示す。

表-3.9.8 注入状況観察結果

地 点	注入深度	注 入 状 況	注 入 方 向	シラス中の概略形状
A 孔	GL-4.8 ~5.0m	板 状 注入孔に沿って径 5 cmのパイプ状の 空洞を形成し、そ の周囲にセメント が板状に広がる。	NW-S E方向 80° ~90° S傾斜	縦 2. 0 m 横 1. 0 m 幅 0.1 ~5 cm
			N-S方向 45° W傾斜	縦 0. 7 m 横 0. 7 m 幅 0.1 ~3 cm
B 孔	GL-4.8 ~5.0m	板 状 注入孔からSW方 向に約1 m、NE 方向に数10cm程度 セメントが板状に 広がる。	NE-SW方向 85° W傾斜	縦 2. 0 m 横 1. 3 m 幅 0.1 ~3 cm

A孔では、注入孔の横にパイプ状の空洞が生じており、この空洞を中心として周囲に幅10cm~1 cm程度の固結したセメント粒子が、板状に延びている。また、この板状セメントの周囲では、シラスの粒子間にセメント粒子が付着している。注入状況は、NW-S E方向の注入面を主とし、注入深度から45° の傾斜で延びた注入面や、パイプ状の空洞に沿った縦方向の注入面が観察される。パイプ状の空洞は、シラスと砂礫層の境界部にまで達している。また、上部の崩積土中に厚さ2~10cmの板状にセメントの注入が確認されており注入したセメントが空洞を通じてシラス上部の地盤に広がったと考えられる（図-3.9.17参照）。 GL-3.00

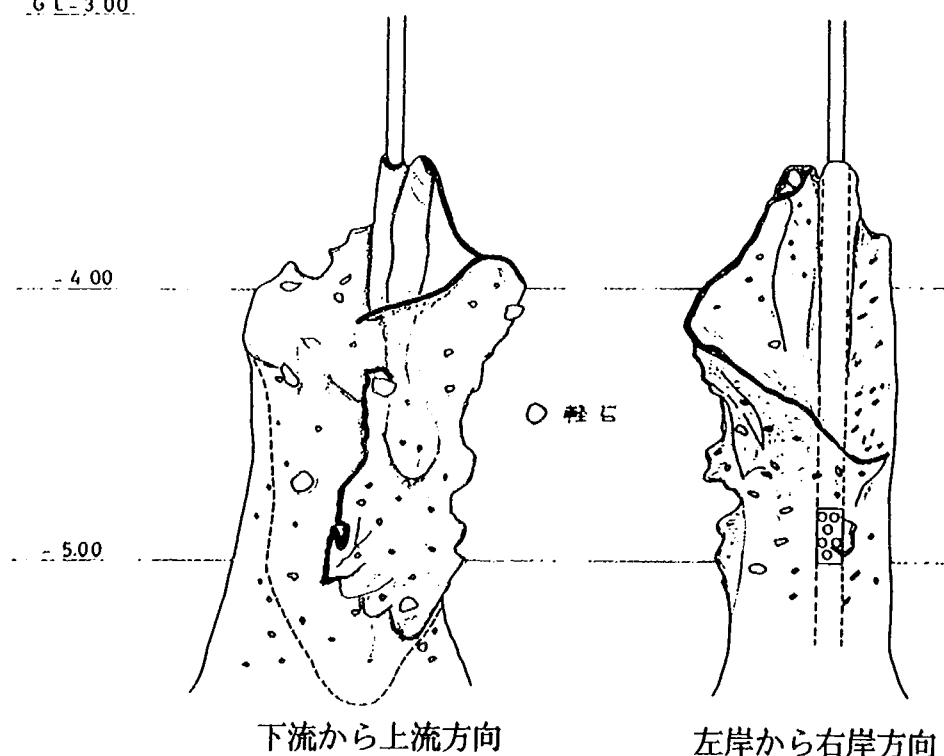


図-3.9.17 A孔での注入状況スケッチ

B孔では、NW-S E方向に延びた縦方向の注入面に沿って、幅10cm～1 cm程度の固結したセメント粒子が板状に広がり、その周囲1～3 cmでシラスの粒子間にセメントの浸透がみられる。板状に固結したセメント脈の片側には、1 cm程度の空隙が生じておりセメント粒子は、この空隙を伝って広がったものと考えられる。また、A孔と同様に、上部の崩積土中に板状にセメントの注入が確認された（図-3.9.18参照）。

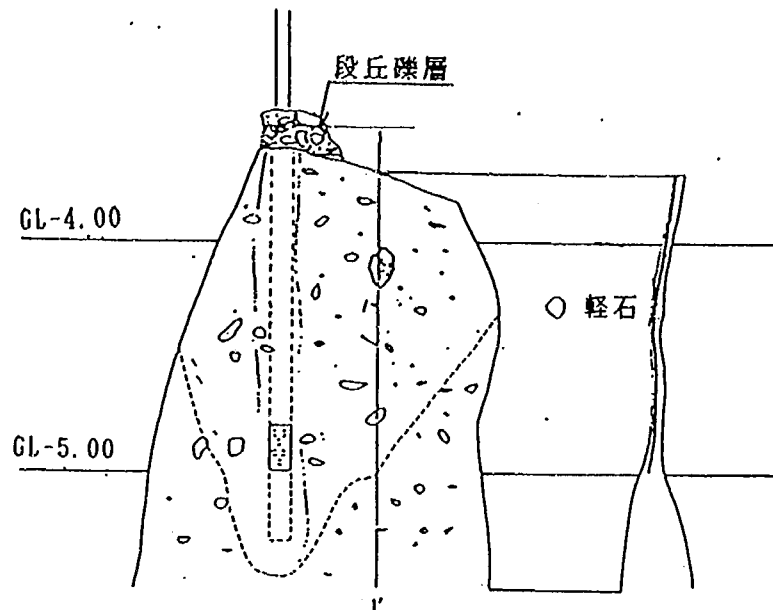


図-3.9.18 B孔での注入状況スケッチ（左岸から右岸方向）

以上、本注入試験条件のもとでは、セメントは主として板状に注入されていることが観察された。

このように板状に注入された原因としては、以下のようなことが想定される。

- ① ボーリング時の送水圧による亀裂の形成。
- ② 送気圧による亀裂の形成。
- ③ 送気・注入中の微細粒子の流出による弱面の形成。

これらの要因については、基本的な検討を含めて、今後解明されることが望まれる。

(4) 注入試験結果

送気および注入試験結果より以下のことがわかった。

- ① 一夜間、一定圧力で送気した効果（送気性の改善、送気流量の増加）は認められない。
- ② A孔では送気流量と送気圧力との関係図より、昇圧～降圧を繰り返すことにより、1回目の昇圧時よりも2回目以降の昇圧時のほうが、同じ圧力のもとでの送気流量が大きい送気性が改善される傾向が見られる。
- ③ A孔では地盤変位と、送気流量、送気圧と地盤変位の関係図より、昇圧～降圧を繰り返すことにより、1回目の昇圧時よりも2回目以降の昇圧時のほうが、同じ圧力のもとでの変位が大きい傾向が見られる。
- ④ 送気圧力と空気流量、地盤変位の関係図からは、昇圧時に送気流量、あるいは変位量が著しく増加する限界圧力は明確には認められなかった。
- ⑤ 送気中、地表面や変位計アンカー孔付近からの漏気が観察された。

粉体注入試験結果より以下のことがわかった。

- ① A孔では粉体注入中、急速に空気量が増大する傾向が現れ、注入圧と空気流量の関係図より、空気流量が急増する時点までの地盤の透気性と、空気量が急増した後の透気性は全く異なっていると考えられた。地盤変位との関係においても同様の傾向が見られた。
- ② 注入中、地表面や変位計アンカー孔からの漏気はあったが、粉体の噴出は認められなかった。
- ③ A孔では、これらのことから送気試験中、あるいは粉体注入中に、パイピングや亀裂の開口等の現象が生じた可能性が考えられた。しかし、送気試験中の各種関係図、経時変化図からは、これらの現象が生じたと判断しうる顕著な兆候は、見られなかった。
- ④ 測定している変位量は対象としているシラス層のものではなく、崩積土を介しての変位量であるため、シラス自身の変位が緩和されていることから、限界圧力を捉えきれなかった可能性が残された。

3.9.4 尾原ダムにおける試験実績と結果

(1) 地形および地質概要

ダム地点は、斐伊川中流域に位置し、周囲は標高300m前後の山々が連なる。調査地はダムサイト右岸部の山頂部・標高260m付近の平坦面である。

ダムサイト付近の地質は、中生代白亜紀（約 6,500万年前～1.35億年前）に形成された閃緑岩類および中生代白亜紀～新生代古第三紀（約 2,500万年前～6,500万年前）に形成された花崗岩類を基盤とする。また、これらを貫いてヒン岩、石英斑岩、アプライトなどの貫入岩脈が分布する。

調査地点は、花崗岩が分布しており、ヒン岩、アプライトの岩脈（p h - 2）の貫入がみられる。

花崗岩は、粒径 5 mm 程度の粗粒なもの、粒径 1 ～ 5 mm 細粒～粗粒まで岩相変化の著しいものがあり、前者は、深層風化によるマサ化が激しいが、後者は、風化の程度は不均一である。

調査地の各岩石の特徴を表-3.9.9 に示す。調査地の地質は、細粒～粗粒の風化花崗岩およびヒン岩、アプライトの貫入岩が分布する。

調査地において最も多い岩相は、中粒花崗岩である。本岩は粒径が細粒～粗粒まで変化し、同一深度においても風化状況は多少異なるが、概ね、GL-15m 付近までマサ状風化する。

細粒花崗岩に分類したものは、中粒花崗岩の一部分と考えられるが、一部はアプライト同様貫入岩の可能性もある。

表-3.9.9 岩相区分一覧

地 質	分 類	粒 度	風 化 の 度 合	特 徴
花 崗 岩 類	細粒花崗岩	1 ～ 2 mm 程 度	弱い。 マサ状風化し難い。	岩相は、アプライトに類似する。風化による岩質劣化はみられるが、地表付近を除いてマサ化は弱い。
	中粒花崗岩	2 ～ 5 mm 程 度	マサ状風化する	粒径 2 ～ 5 mm 程度まで、岩相変化の著しい花崗岩。風化程度は、粒径により異なる。
	粗粒花崗岩	5 mm 程度	強い。 深部まで、マサ状風化する。	粒径 5 mm 程度で岩相変化の少ない花崗岩。有色鉱物の多い細粒部を所々挟む。
ア プ ラ イ ト		1 mm 以下	弱い。マサ状にならない。	優白質・細粒花崗岩。岩脈状。亀裂性岩盤となる
ヒ ン 岩		1 mm 以下	(弱 い)	調査地においては、淡緑色を呈する軟質な変質岩

(2) 注入試験結果

注入孔の配置を図-3.9.19に示す。

対象岩盤は不均一な透水性を有するマサであり、注入深度における透水性は一辺 1.2m の三角形パターンの中で数千ルジオンから数ルジオンまでと大きなバラツキをもっている。粉体注入地点ではC_L級を含む岩盤であるのに対して、通常注入地点ではD級を主体とした岩盤であり透水特性も異なっている。試験結果は次のとおりである。

- ① 透気は地盤を破壊しないように圧力流量関係（以下、P Q関係）、それぞれの経時変化に注目して行った。パイロット孔での透水試験時の限界圧力が1 kgf/cm²付近で生じているため、送気時の圧力は1kgf/cm²以下で制御するようにしたが、破壊の兆候が見られない地点（9地点中3地点）については2 kgf/cm²まで注意して昇圧した。

このように注意して昇圧を行い最大送気圧力を規制したため、送気量を比較的小さく抑える結果となった。

- ② 大気圧換算空気流量～上部圧関係は2次の曲線で得られることが明らかとなり、数十ルジオン相当岩盤の送気量の解析結果と良く一致することがわかった。

また送気時のP Q曲線はルジオン値と対応していないが、この原因としてルジオン試験では低透水ゾーンではルジオン値は孔周辺の数～数十cmの小範囲の地盤の不均一性に大きく影響されるのに対して、透気試験はより広い範囲の透過性を平均的にとらえているためと考え、透気試験結果と透水試験の平均値とは数十ルジオンとよい一致を示していることを明らかにした。

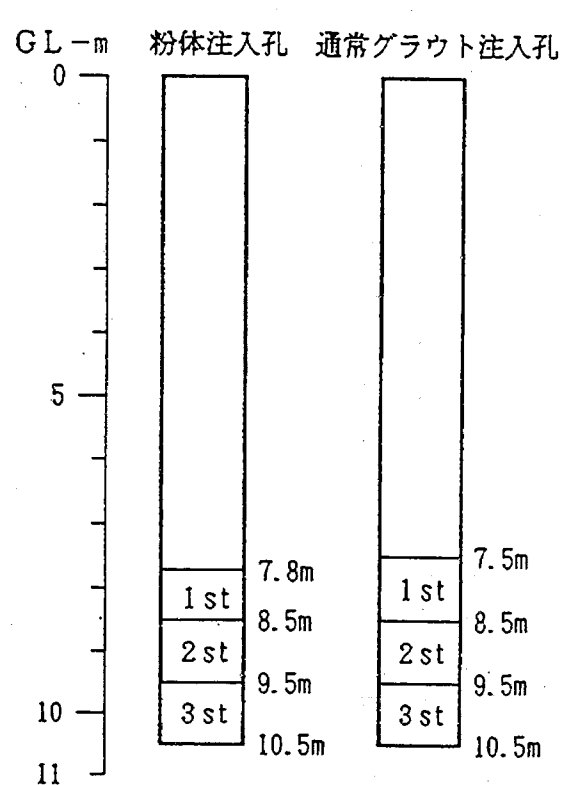
- ③ 注入圧も地盤を破壊させないように注意して制御したためほとんどの地点で2 kgf/cm²以下であり、最大送気量も5 Nm³/minを越えたのは9地点中3地点であった。また濃度は20～200 g/minで注入した。注入セメント量は、1ステージ(1.5m)あたり7 kg～110kgで注入量は最大送気量とほぼ比例関係にある。

送気・注入は地盤の破壊の兆候を注意して観測しながら行ったため、総送気・注入時間は1～1.5日かかった。

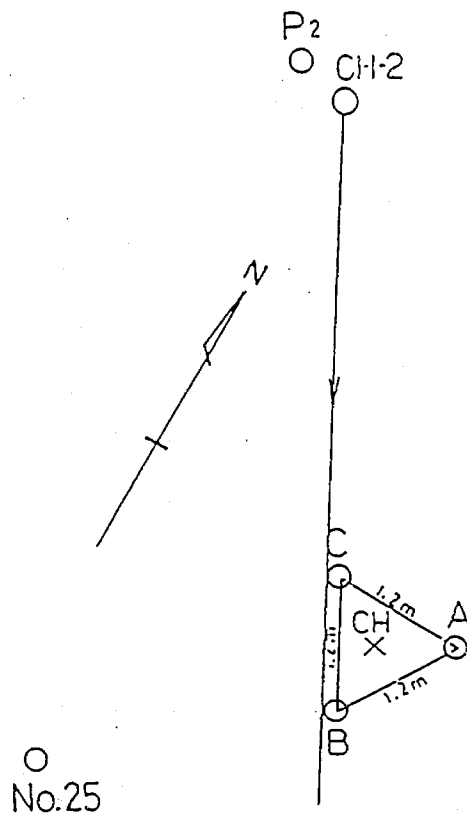
- ④ チェック孔による透水試験の結果、止水性は元地盤の透水ゾーンに対して、表-3.9.10の結果が得られた。

表-3.9.10 注入による透水性の低下

チェック孔の透水試験ステージ	換算ルジオン値	対応透水ゾーン	注入前ルジオン値
1	4 1	A孔1ステージ	2 2 3
2	1 7	C孔1ステージ	2 8 5
		C孔2ステージ	1 2 8
3	2	B孔1ステージ	4 9
		A孔3ステージ	1 8
		C孔3ステージ	3 4
対応するチェック孔の透水区間なし		A孔2ステージ	0. 8
		B孔2ステージ	7
		B孔3ステージ	6



断面図



平面図

- | | | | |
|----|-----------|------|-------------|
| A | 粉体注入孔 | HA | 変位計アンカー孔 |
| B | " | HA' | " |
| C | " | HS | 変位計測定点孔 |
| A' | 通常グラウト注入孔 | HS' | " |
| B' | " | CH | 粉体注入チェック孔 |
| C' | " | CH-2 | " |
| P1 | パイロット孔 | CH' | 通常グラウトチェック孔 |
| P2 | " | | |

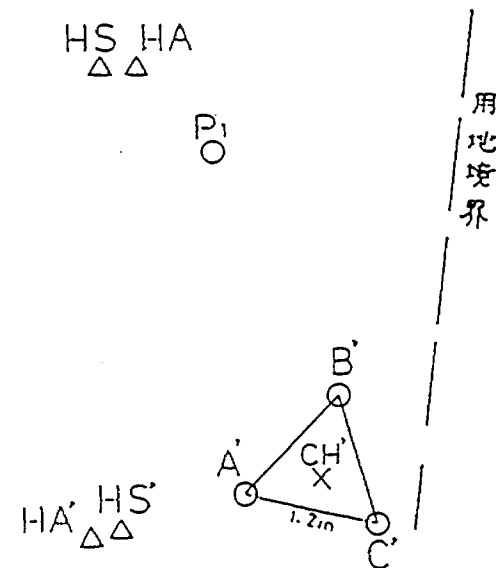


図-3.9.19 注入孔配置図

この結果、高透水ゾーン（100ルジオン以上）では十〜数十ルジオン、中透水ゾーン（10〜100ルジオン）では数ルジオンまで低下していることがわかった。また、低透水ゾーンに対応するゾーンはチェック孔透水試験区間には該当する区間はなかった。このことから中透水ゾーンの改良効果は十分にあったことが考えられた。また高透水ゾーンの透水性が十分に低下しなかった理由としては、最大送気量が全体に小さかったため広範囲の注入やキレツ部への注入が不十分であったためと考えられた。

- ⑤ 既往試験結果から地盤内の実空気流速が10〜20cm/sの流域までは粉体の注入が確認されているが、粉体が再飛散する限界流速を5 cm/s（粉体が注入される地盤内実空気流速を15cm/sとおき、空隙率0.3程度と想定）の条件のもとで送気量から限界流速範囲を試算すると送気量7 Nm³/minで48cm、送気量3.5 Nm³/minで34cm、1 Nm³/minで18cmの注入半径が得られた。空隙率0.1〜0.2と想定すれば試算注入半径は2〜3倍と大きくなり、キレツを想定すると数m単位で注入されると考えられることから、第1ステージでキレツ性の透水性が卓越していると考えれば方向性をもったキレツに沿って遠くまで注入されているが、粗粒の地盤に注入されているとすれば空隙率はさらに大きくなることもあり上の試算例より浸透注入半径は小さくなる可能性もあること、第2、第3ステージの難透水性の箇所では空隙率が試算例より小さくなると考えられるならば試算例より大きな浸透注入半径が期待できることが推定された。
- ⑥ チェック孔のコア観察結果より粉体の注入方向は、アプライト及び細粒花崗岩の貫入方向により特定の方向に卓越している可能性が考えられ、C孔では注入した粉体はアプライトを通じて地表面に近いところで観察された。またB孔ではヒン岩脈に沿った方向に伸びている可能性が強い。チェック孔コア観察結果から得られた注入半径と推定半径を比較すると、推定結果に比べて注入粉体は若干広い範囲で確認されているもののよい一致を示していると考えられる。
- ⑦ 孔内検層結果より7.5〜9.0mで速度・密度とも顕著な変化がみられるが、C_L級に分類される岩盤があることからセメントが注入されているとは断定できない。しかし、C_L級岩を挟在している区間であり密度にばらつきがあると考えられるのに対して、深度による密度変化が小さいことはセメントが均質に注入されている可能性もあると考えられた。また、密度値から判断すると4.5m以深で注入の影響が見られた。

通常注入の結果は次のとおりである。

- ① 水押しの有効注水圧力は0.34～2.00kgf/cm²で、ほとんどの地点で1.5kgf/cm²で行った。このときの透水性は5～2985ルジオンであり、100ルジオン以上の高透水ゾーンが多かった。この換算ルジオン値は粉体圧送グラウチング注入孔地点よりかなり大きく砂地盤に相当する透水性を有していることから地盤は崩壊状態にあると考えざるを得ない。コアが岩盤分類上D級に分けられるものの、このような透水性を示す原因としては限界圧力を超えてルジオン値を求めている可能性があると考えられた。また数十ルジオンの透水性を示す箇所についても破壊した後の透水性を評価している可能性もあった。
- ② 有効注入圧力は2.2～3.3kgf/cm²でありほとんどの地点で2.5kgf/cm²であった。注入圧力は、粉体圧送グラウチング試験の注入圧力より約1kgf/cm²大きくなる場合が多い。注入セメント量は2.7～1025.5kg/mであり、注入セメント量が大きいことから割裂注入が主であったと考えられる。
- ③ チェック孔による透水試験の結果、止水性は元地盤の透水ゾーンに対して、表-3.9.11に示す結果が得られた。
この表より、高透水ゾーン（100ルジオン以上）、中透水ゾーン（10～100ルジオン）で数ルジオンまで低下することを示している。
- ④ チェック孔のコア観察よりキレツ部に注入されていることが観察された。
- ⑤ 孔内検層結果、特に密度検層結果より局所的なばらつきが著しく、割裂性の注入である可能性が強い。

表-3.9.11 注入による透水性の低下

チェック孔の透水試験ステージ	換算ルジオン値	対応透水ゾーン	注入前ルジオン値
1	6	A' 孔1ステージ B' 孔1ステージ C' 孔1ステージ C' 孔3ステージ	957 2985 158 108
2	4	A' 孔2ステージ B' 孔2ステージ	96 70
3	5	C' 孔2ステージ A' 孔3ステージ	32 25
対応するチェック孔の透水区間なし		B孔3ステージ	5

3.10 総合検討および総合評価

小山ダムにおける粉体圧送グラウチングにおける結果は次のとおりである。

(1) 深度と地質特性

立坑の各深度における岩盤状況に大きな変化は認められないが、深度方向に徐々に硬度が増している。

表-3.10.1は、立坑内において自然地盤の密度を、砂置換法によって測定した結果である。密度は深度とともに増加している。たとえば、注入区間深度で湿潤密度を比較してみると、11mと15mとでは3%の差、15mと19mとでは2%の差が、また11mと19mとでは5%の差が認められる。

図-3.10.1は山中式土壌硬度計による硬度指数の深度変化を示すグラフである。自然地盤では、硬度が深度方向にわずかに増大していることがわかる。また、各深度で注入により硬度が増加していることがわかる。

表-3.10.1 自然地盤の原位置密度

深 度 (m)	湿 潤 密 度 (t/m^3)	含 水 比 (%)	乾 燥 密 度 (t/m^3)
8.6	1.991	6.7	1.866
11.0	2.159	4.1	2.074
15.0	2.217	3.7	2.138
19.0	2.259	3.6	2.181

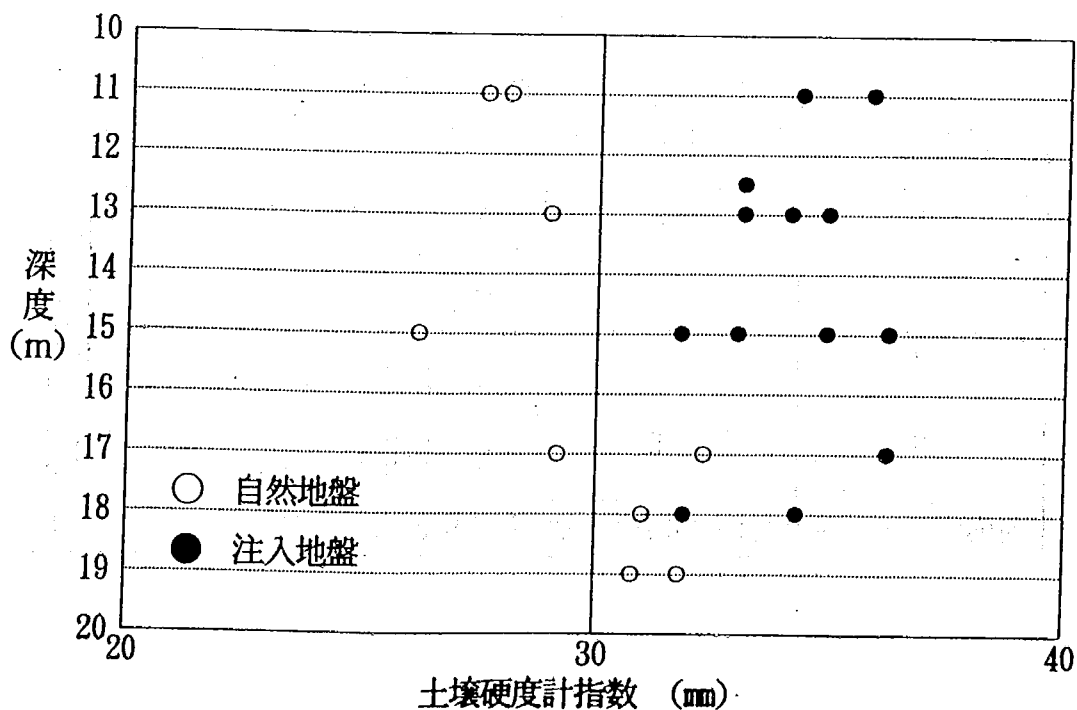


図-3.10.1 土壌硬度の深度方向への変化

また、過去のボーリング調査においても、GL. -16m付近をD_L級とD_{II}級との境界としている。したがって、ここでは注入区間の1～3ステージ（GL. -11～-15.5m）をD_L級、4～5ステージ（GL. -15.5～-18.5m）以深をD_{II}級と区分する。

(2) 注入範囲の広がり

セメントの注入範囲は、A孔およびC孔をはじめとして立坑範囲外へも広がっている。

注入状況の特徴として、水平方向では、各孔周辺の注入範囲がやや偏平で南北に近い方向に長く伸展していることと、やはり南北に近い方向に伸びるセメント注入脈の存在が挙げられる。

観察結果をもとに各深度において、注入範囲の断面積、注入脈の長さ、楕円状の注入範囲の直径と短径、およびこれから求めた偏平率、注入脈の伸展方向に対する直径方向の角度差について調べた結果を表-3.10.2に示す。

図-3.10.2は、注入時に注入前後の注入孔内の状態について、孔底にたまったスライムの量、パッカーの位置、注入後に孔内にたまっていた改質セメント粉の量に着目して記したものである。以下、この状態図も参考にして注入状況について考察を加える。

図-3.10.3に注入範囲の断面積の深度変化を示す。A孔の12～12.5m付近および14m付近、B孔の12～12.5m付近および14m付近、D孔の14m付近、E孔の12.5m付近での注入範囲断面積の減少が認められる。これらも、側壁C孔部の注入域の中断と同じ原因によるものと考えられる。他孔他ステージの例もあわせて考えると、注入ステージ上端でのパッカー位置に少し余裕をとれば、このような注入域の中断は避けることができるものと判断される。

表-3.10.2より、注入範囲断面の直径の方向は、セメント注入脈の方向と一致する場合が多い。しかし、必ずしも常に一致するわけではない。一致しない場合その角度差は最大で70°である。なお、注入脈が存在しない注入範囲の断面では、偏平率（直径の長さの比）は最大で1.5である。注入脈が存在する場合には、偏平率は最大5.3と大きい。

直径の長さは、注入脈の存在しない注入範囲では0.3～0.65m、注入脈が存在する注入範囲では0.4～1.6mである。

図-3.10.4～3.10.8は、注入範囲の断面積、注入範囲断面の直径の長さ、偏平率、セメント注入脈の長さについて、それぞれの相関性について検討したグラフである。これらの図では、注入脈の有無を問わないケースと、注入脈がある場合のみのケースとの両方を示している。調査した全ケースのうち、注入脈が存在しない場合は約20%であった。

図-3.10.4と3.10.5の比較より、注入範囲の断面積すなわち注入範囲の水平方向の広がり、セメント注入脈の長さよりもむしろ直径の長さとの相関性のがやや強い。

図-3.10.6より、偏平率と注入範囲の断面積とは相関性がない。

図-3.10.7より、直径の長さは偏平率にやや比例する傾向にあるといえる。

図-3.10.8からは、直径の長さが注入脈の長さに比例するとはいえない。

表-3.10.2 注入範囲の断面積と偏平性

深 度 (m)	坑壁外 への広 がり	注入孔	面 積 S (m^2)	注入脈の長さ L (m)	長 径 a (m)	短 径 b (m)	偏平率 a/b	注入脈の方向に対する 長径の角度差 θ (+は 時計回り) 度
11	○	A B C D E E横	0 0.286 0.225 0.21 0.362 0.053	0 0 0.83 0.58	0.65 0.64 1.14 0.58	0.61 0.45 0.54 0.11	1.07 1.42 2.11 5.27	-25 0, -18
11.5	○ ○	A B C D E	0.264 0.304 0.106 0.331 0.331					
12	○ ○ ○	A B C D E	0.198 0.215 0.408 0.328	0 0.78 1	0.6 0.85 1.1	0.4 0.78 0.46	1.5 1.09 2.39	-7 0, -15
12.5	○	B C	0.188 0.211					
13	○ ○ ○	A B C D E	0.398 0.371 0.162 0.817 0.511	0.8 1.33 1.17	1.02 1.64 1.46	0.6 0.72 0.5	1.7 2.28 2.92	0 0, -35 0, -25
13.5	○	A B D	0.423 0.286 0.408					
14	○ ○	A B C D E	0.174 0.118 0.087 0.185 0.205	0.49 0.26 0.68 0.42	0.6 0.58 0.5 0.7	0.52 0.4 0.47 0.37	1.15 1.45 1.06 1.89	-20 -40 0 0
14.5		B	0.594					
15	○ ○	A B C D E	0.202 0.341 0.091 0.421 0.157	0.3 0.71 0	0.96 1.12 0.62	0.54 0.6 0.5	1.78 1.87 1.24	-10 0
15.5	○ ○	A B	0.192 0.452					
16	○ ○ ○	A B C D E	0.392 0.515 0.117 0.235 0.182	1.42 0.37 0.29	1.45 0.88 0.6	0.37 0.35 0.4	3.92 2.51 1.5	-5 -20 0
16.5	○ ○	A B C	0.347 0.334 0.139					
17	○ ○	A B C D E	0.162 0.44 0.098 0.155 0.085	0.56 1.05 0.59 0.42	0.56 1.2 0.6 0.45	0.47 0.6 0.46 0.3	1.19 2 1.3 1.5	0 -5 0 0
17.5	○ ○	A B C	0.169 0.159 0.287					
18	○	A B C D E	0.088 0.155 0.089 0.297 0.082	0 0 0.55 0.2	0.42 0.48 0.84 0.45	0.32 0.46 0.55 0.3	1.31 1.04 1.53 1.5	-70 0
18.5	○	A B C	0.131 0.17 0.063					
19		B	0.052	0	0.3	0.2	1.5	

○印は、立坑外に注入範囲が広がっていることを示す。

※GL-11.0m以上

A 孔

B 孔

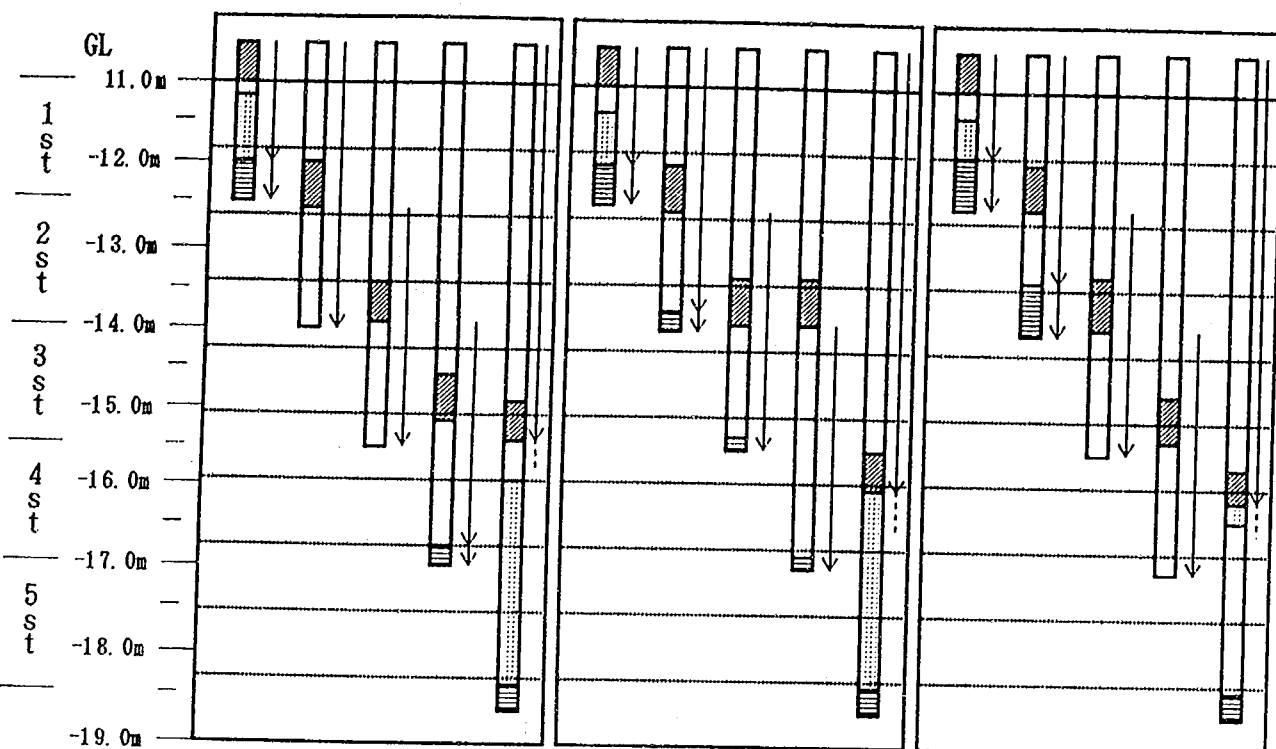
C 孔

は鋼管埋設

1st 2st 3st 4st 5st

1st 2st 3st 4st 5st

1st 2st 3st 4st 5st



※GL-11.0m以上

D 孔

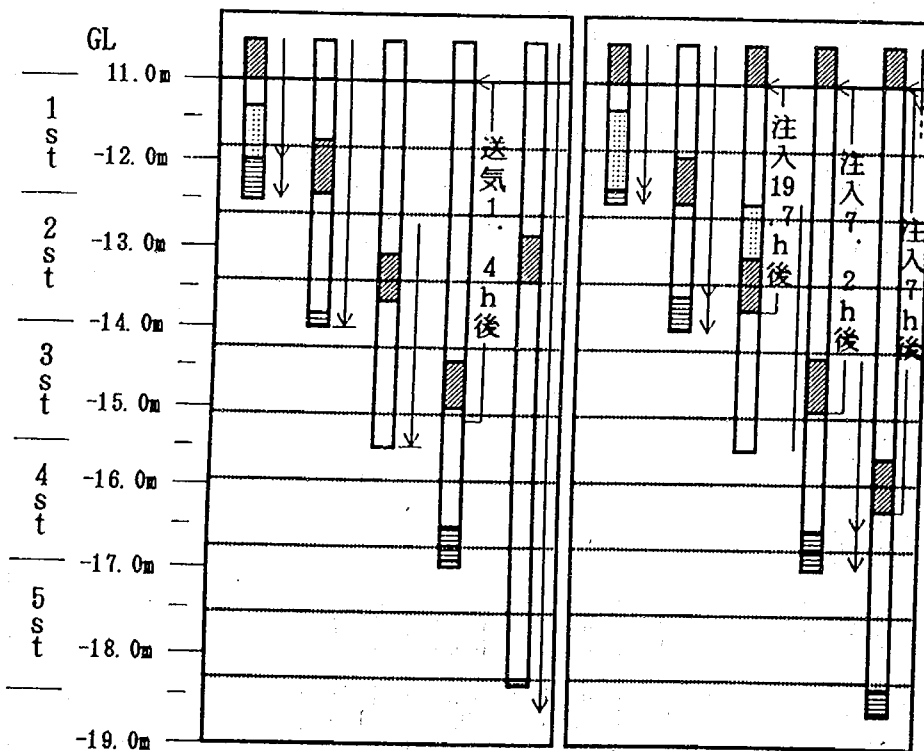
E 孔

は鋼管埋設

1st 2st 3st 4st 5st

1st 2st 3st 4st 5st

※各ステージの注入開始時のパッカー位置は、ボリングコアを見て孔壁の状態が硬い位置を選んだ。



注入終了後の孔内
水洗および白色セ
メント粉での孔埋め
区間
パッカー移動
パッカー位置
注入終了後の改質
セメント粉のたまり
(未記入は測定なし)
孔内のスライム溜り

図-3.10.2 平成3年度注入前後の注入孔内の状態

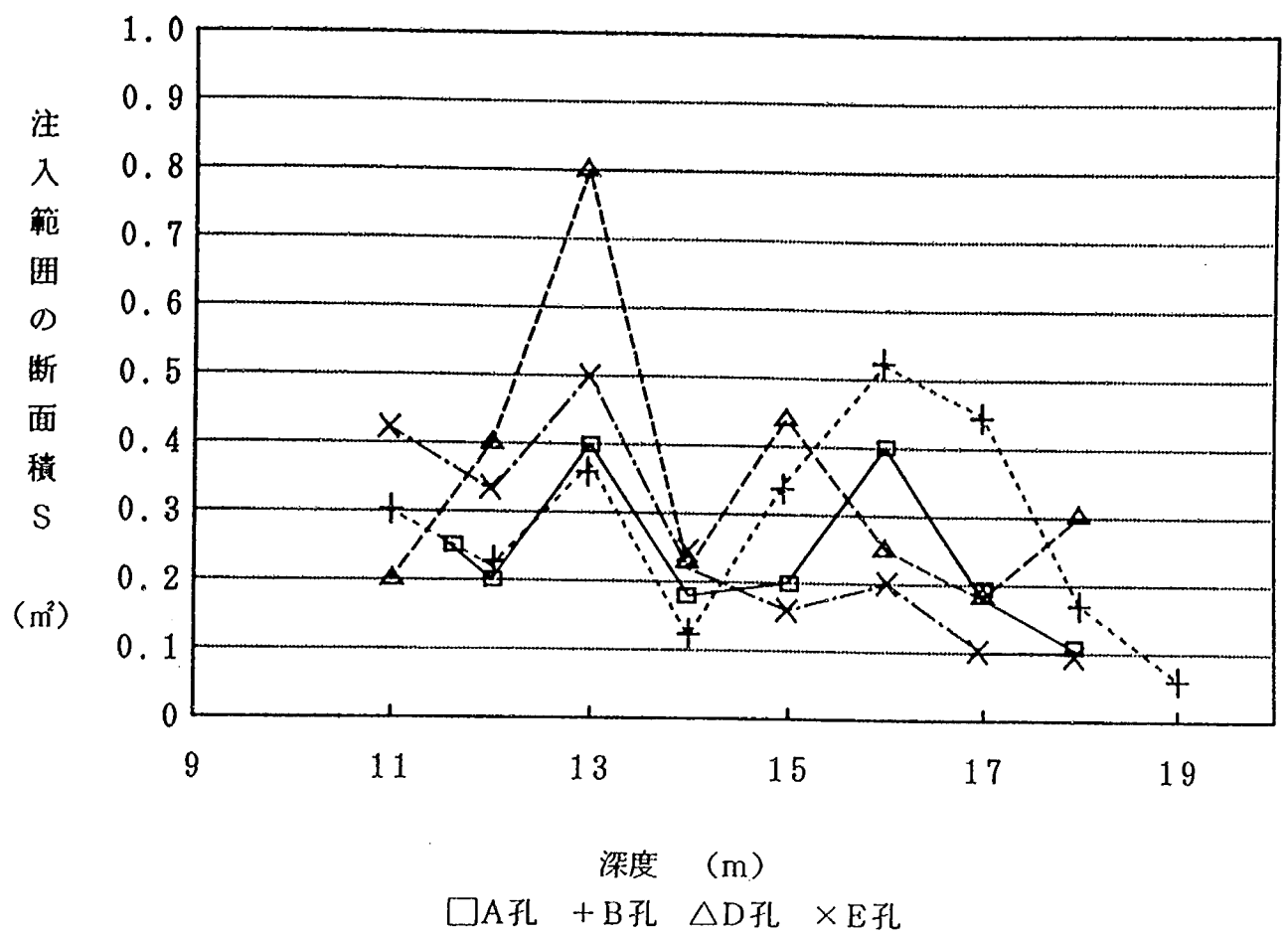


図-3.10.3 注入範囲の水平断面積の深度変化

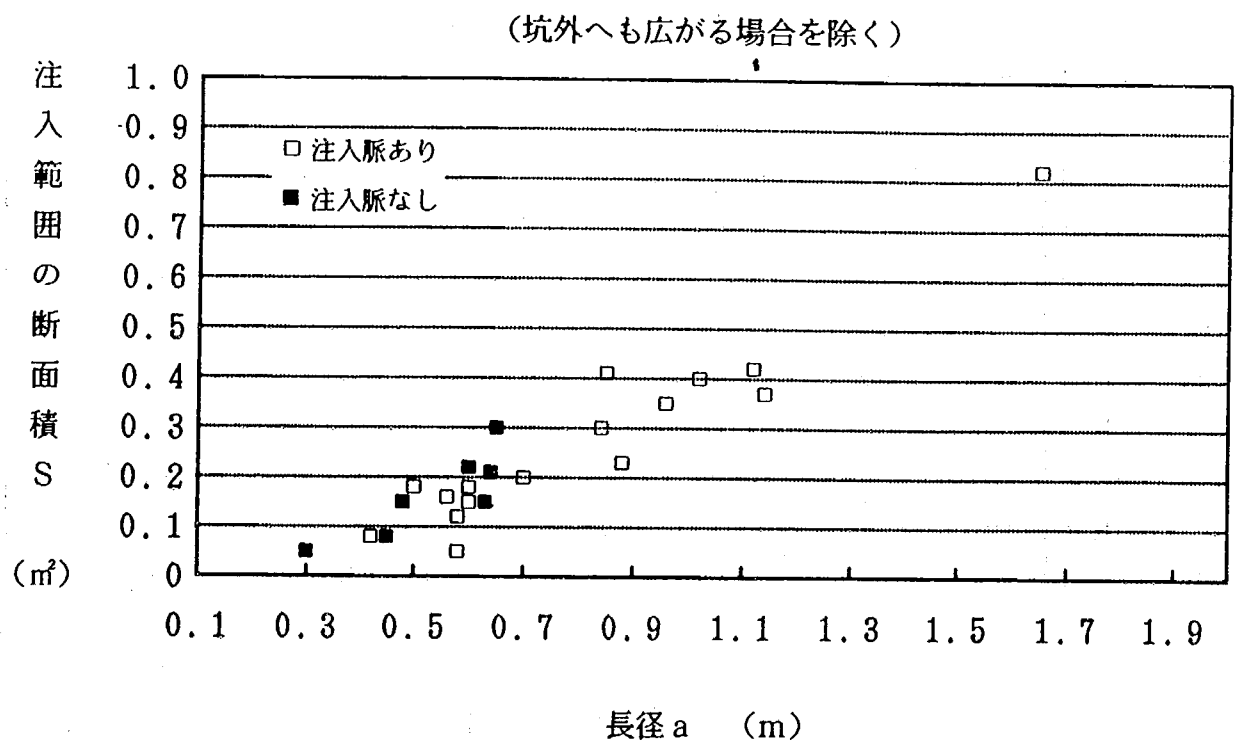


図-3.10.4 注入範囲水平断面積と長径の長さ

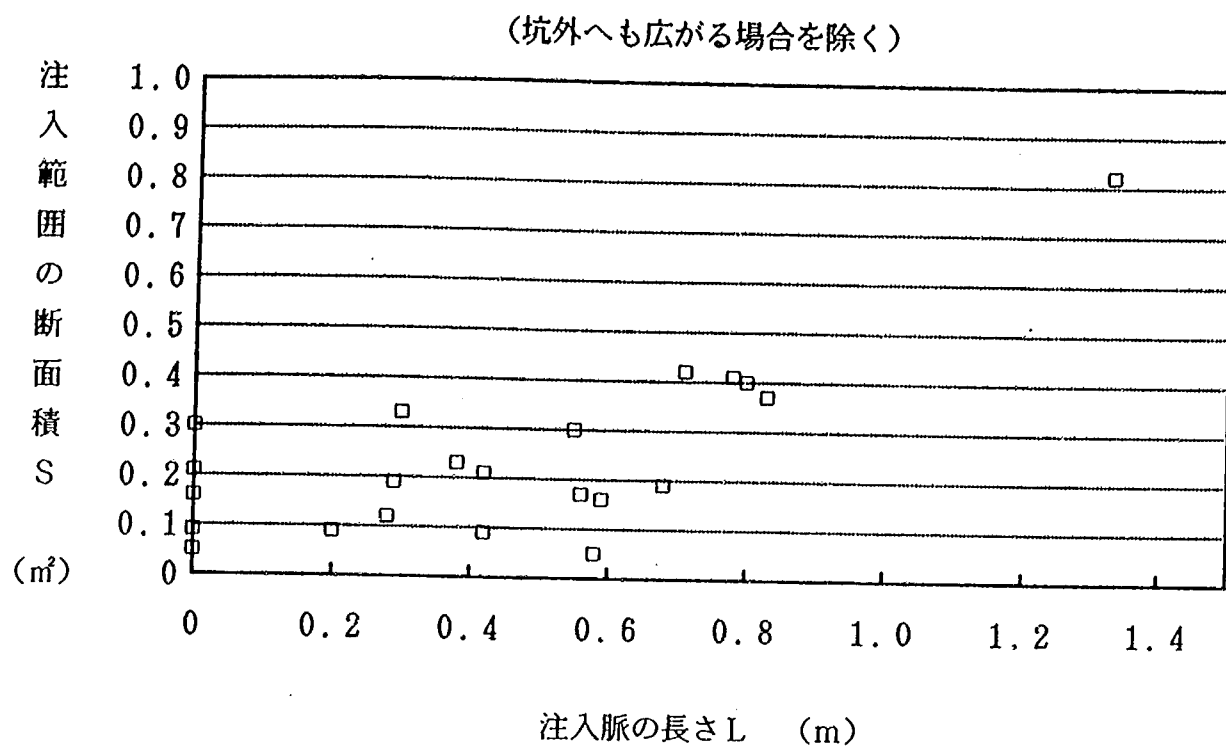


図- 3.10.5 注入範囲水平断面積と注入脈の長さ

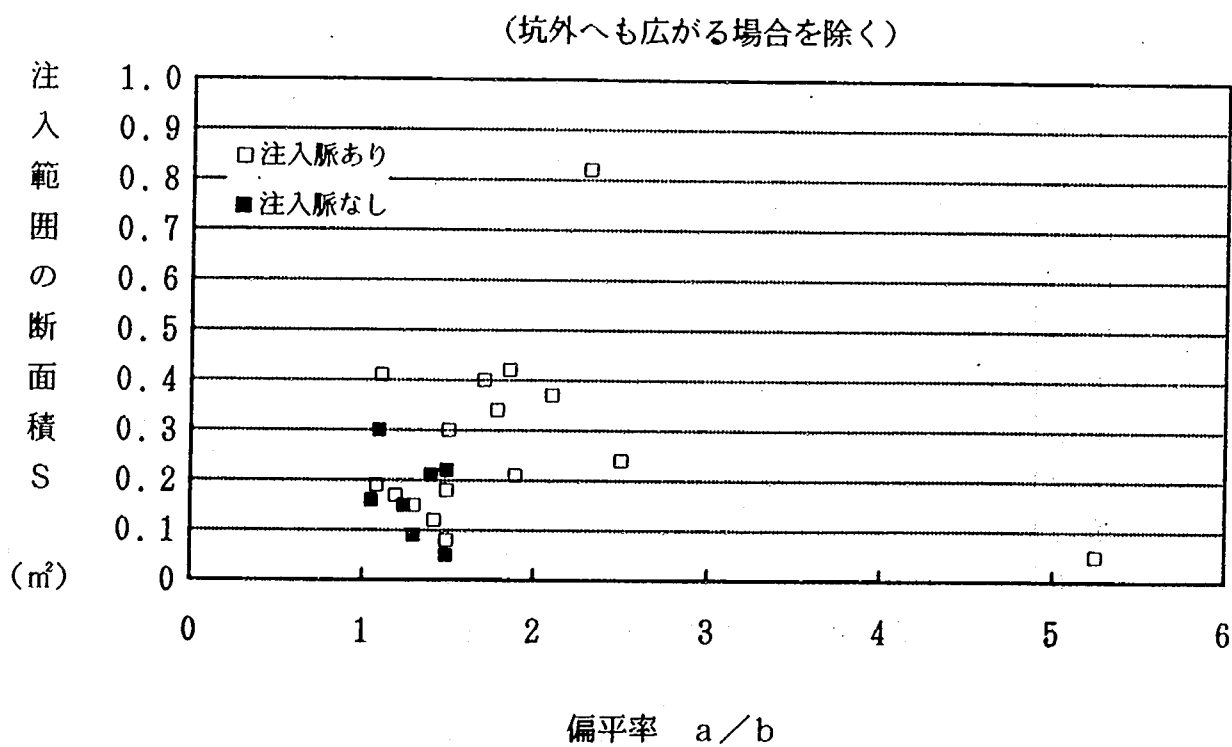


図- 3.10.6 注入範囲水平断面積と偏平率

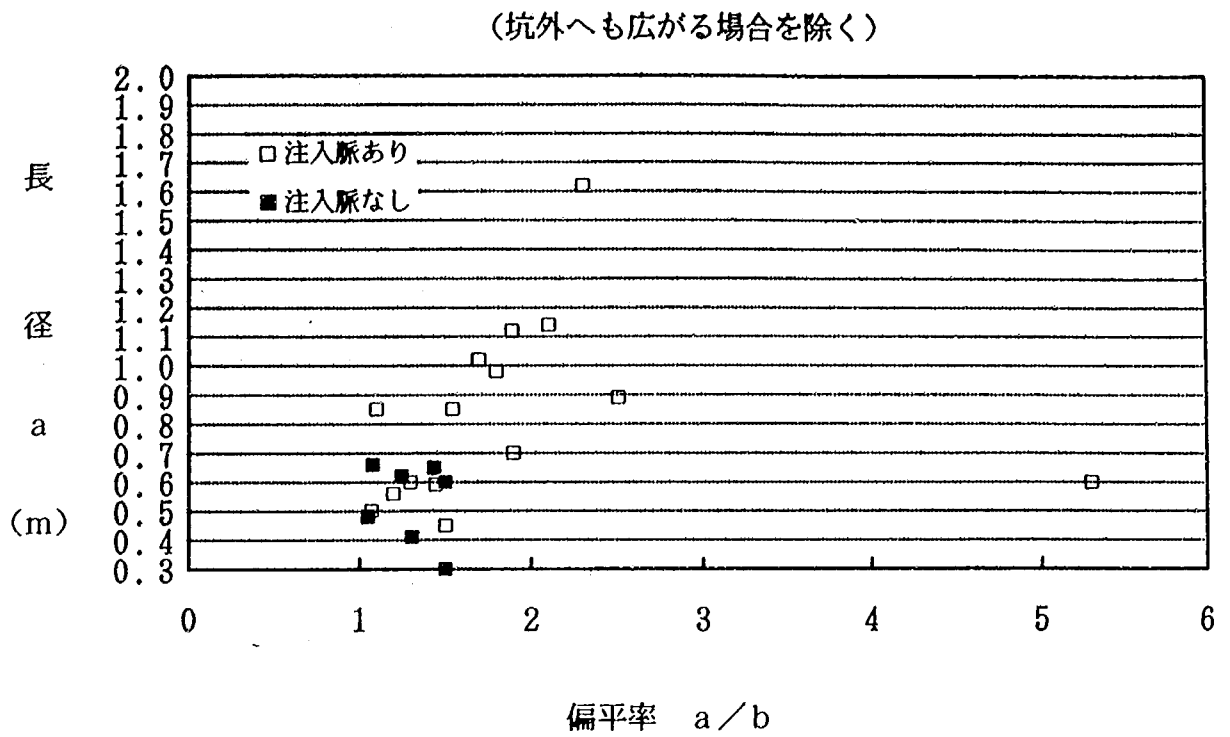


図- 3.10.7 注入範囲水平断面積の長径の長さ と 偏平率

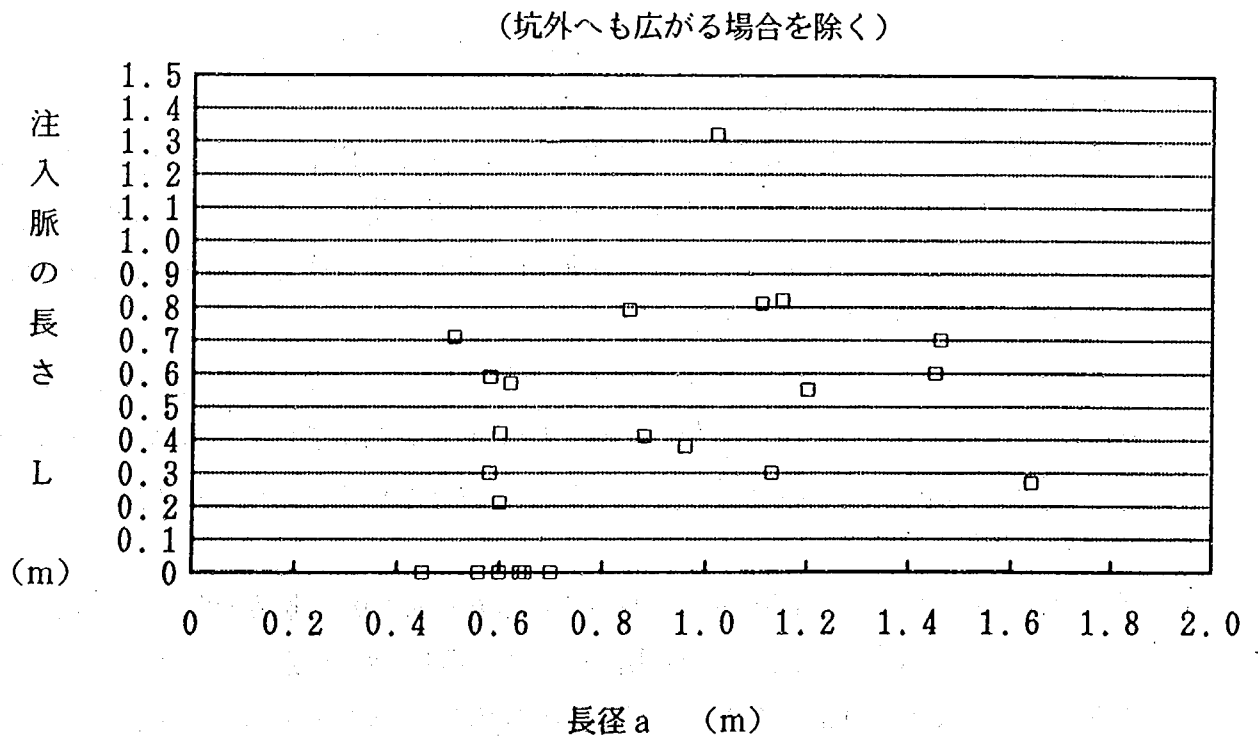


図- 3.10.8 注入範囲水平断面の長径の長さ と 注入脈の長さ

地山には北西-南東方向の割れ目（難透水性のシーム、開口性の割れ目）が目立つ。また注入形態としては、上述のセメント注入脈と、マサの鉱物粒子間への浸透注入範囲の水平面上での偏平な広がり特徴的である。

マサの鉱物粒子間へのセメントの浸透注入は、粘土をはさんだ止水性のシームやゼノリスにより止められていることがある。しかし、注入孔からつづく面状のセメント注入脈がこれらのシームやゼノリスを横断して存在すれば、そのセメント面の周囲の鉱物粒子間にもセメントは浸透している。したがって、このような場合には、シームやゼノリスを越えてセメントの注入範囲が広がっている。

脈状に伸展するセメント注入面の厚さは2～15mmである。E孔の1～2ステージでは1cm前後の厚い注入脈が目立ったが、他孔他ステージにおいては10mm以下の厚さであった。

E孔の1～2ステージで観察された比較的厚い注入脈の発生原因については、後述する。その他の厚さ数mm～10mm以下の注入脈については、過去の注入中のデータからもその発生は予測のつかないものであった。

以上のように、脈状の注入もともなった、鉱物粒子間への浸透状の注入が特徴的であり、粘土をはさむ割れ目が存在する地盤内で浸透状の注入範囲が広がるためには、このような注入脈の存在は必要であると考えられる。

(3) 粉体圧送グラウチング工法の注入特性と注入効果

さらに注入状況の目視観察結果から、粉体圧送グラウチング工法の注入特性と注入効果を総合的に検討・評価すると以下のとおりとなる。

- ① 注入範囲の端部から15cm程度外側の位置では10ルジオン以下、さらに注入範囲の端部あるいはその内部では、2～3ルジオンの止水効果が得られるものと期待できる。
- ② 注入量が多いほどより大きな注入範囲が期待できる。最大空気流量が増加すれば、注入量が多くなる傾向もみられる。
- ③ 注入形態としては、厚さ2～15mmのセメント注入脈と、マサの鉱物粒子間への浸透注入範囲の水平面上での偏平な広がり特徴的である。粘土をはさむ割れ目が存在する地盤内で浸透状の注入範囲が広がるためには、厚さ数mmオーダーの注入脈の存在は必要であると考えられる。

- ④ E孔の1～2ステージで観察された厚さ1cm前後の厚い注入脈が伸展したのは、E孔第5ステージ注入中の空気流量の急増がおもな原因ではないかと考えられる。

注入中に、空気流量が急増したときの送気圧力は、つぎのとおりであった。

E孔第1ステージの注入中で4.1kgf/cm²、D孔第4ステージの注入中で6.2kgf/cm²、

E孔第4ステージの注入中で5.3kgf/cm²、E孔第5ステージの注入中で6.5kgf/cm²。

これら空気流量の急増時には、パッカーは第1ステージ上端に移設していた。したがってこれらの圧力は、第1ステージの深度で透気性が急増するときの圧力である可能性が高い。

また、空気流量の急増に起因する注入脈が伸展すれば、注入範囲が縮小する可能性がある。

(4) 小山ダムにおける粉体圧送グラウチング工法の適用性

粉体圧送グラウチング工法の現地での適用性については以下のように考えられる（表-3.10.3参照）。

孔間隔を1.2mとした注入パターンでは、2～16ルジオンの止水性が得られる。さらに止水性を確保する方法としては、注入範囲のより大きな広がり確保するか、あるいは孔間隔を狭くする方法が考えられる。

孔間隔1.2mとして注入範囲のより大きな広がり確保するためには、粉体注入開始時の圧力を平成3年度の1～3 kgf/cm²よりも大きな4～6 kgf/cm²以上とすることにより、透気性が急増しない範囲内で空気流量を大きくして、注入セメント量を増やす方法が考えられる。

また、長期的な課題として、以下の項目を挙げることができる。

- ① 注入範囲の水平方向への広がりが、より等方的になるような注入法の検討。
- ② 本工法に関する実績および基本データの蓄積にもとづく、より合理的な注入基準の検討。

表-3.10.3 グ라우チング試験結果比較一覧

昭和 年度		5 4	5 5	5 6	5 8	6 0	平成3(4)年度
パ タ ー ン		1辺3mの正三角形	1辺1mの正三角形	1辺2mの正三角形 (2次孔は1辺1m)	1辺1.5mの正三角形 2つ	1辺1.5mの正三角形	1辺1.2mの正三角形2つ
注 入 材 料		普通ポルトセメント	高炉コロイドセメント*1)	スーパーファインセメント*2)	スーパーファインセメント*3)	同 左	改質セメント粉体
注 入 方 法		ステーツ注入	ステーツ注入	ステーツ注入	スリープ注入	スリープ注入	ドライグラウチング
最大注入圧 (kgf/cm ²)		1.5 ～10.0	3.0 ～20.0	3.0 ～20.0	1.5 ～25.0	1.2 ～30.5	2.8～6.9
リツル 透水性	D _L	20～50Lu	20～70Lu	5～30Lu	18～40Lu	30～36Lu	7～55Lu
	D _H	5～20Lu	5～35Lu	10Lu以下	8～19Lu	14Lu	
限界圧 kgf/cm ²	D _L	3以下	2～5	3～11	1.3～2.8	0.7～2.8	2
	D _H	3～8	5～8	7～14	3.8～5.2	3.3	
注 入 セメント量 (kg/m)	D _L	70～384	10～408	20～488	182	495	39～57
	D _H	1～143	12～168	2～548	162	503	40～92
注入後 透水性	D _L	64Lu	8～15Lu	13～24Lu	12～29Lu	4.5～7Lu	2～16Lu
	D _H	4～34Lu	8～8.8Lu	3～12Lu	5.5～12Lu	5Lu	

注) *1) リツルNo. 5L 0.25%添加。 *2) マテ4150R 2%添加。 *3) マテ4150R 1.5%添加。

4. 粉体圧送グラウチング改良のための室内試験

4.1 試験概要

本共同研究では、最終目標である本工法の適用範囲を考慮した標準注入仕様の確立を目指して、表-4.1.1に示す研究項目・室内検討項目を設定し、表-4.1.2に示す室内試験を実施した。

本章では、室内試験の結果ならびに成果を報告する。

表-4.1.1 研究項目および室内検討項目

研究項目	室内検討項目	記載箇所
(1)浸透性向上を目指した 注入材料の改良	①注入材料の物性把握	4.2 節
	②改良品の浸透限界の把握	
	③従来品との浸透性比較	
(2)本工法の基本特性(浸透 特性・遮水特性・硬化特性) の把握	④送気湿度と浸透性の関係	4.3 節
	⑤事前送気の有効性評価	4.4 節
	⑥含水比と浸透性の関係	
	⑦ミルク注入工法との浸透性・遮水性比較	4.5 節
	⑧浸透メカニズムの把握	
	⑨注入後の硬化特性の把握	4.7 節
(3)不攪乱試料による適用 地盤・注入方法の検討	⑩地盤の物性による適用性評価	4.6 節
	⑪地盤の種類による適用性評価	
	⑫粉体注入濃度による注入時間の短縮	

「4.2 改質セメントの改良」では、浸透性の改善を目的として改良した改質セメント（HGⅠ・HGⅡ）について開発の経緯・開発内容・品質・粉体物性を明らかにした後、凝結試験・攪乱試料への注入試験より改良品の物理特性・浸透性・浸透限界について検討を行った。

「4.3 粉体注入における空気湿度の影響」では、相対湿度 5～30%の圧縮空気による注入試験より、本工法による浸透注入における最適空気湿度を明らかにした。

「4.4 試料含水比の粉体注入に与える影響」では、0～5%の含水比を有する攪乱試料への注入試験より、事前送気による地盤の乾燥特性および含水比と改質セメントの浸透性との関係を検討した。

「4.5 攪乱試料を用いたセメントミルクとの比較試験」では、改質セメント（標準品およびHGⅠ・HGⅡ）の浸透メカニズム・遮水特性をセメントミルクのそれと比較・検討することにより明らかにした。

「4.6 不攪乱試料を用いた注入試験」では、現地から採取した試料への試験結果より、判明した本工法の適用地盤を示すとともに、粉体供給濃度と注入時間との関係を検討した。

表-4.1.2 室内試験概要

検討項目	室内試験概要			
	試験項目	対象試料	パラメーター	評価項目
①注入材料の物性把握	物性試験		改質セメント (標準品, HG I, HG II)	成分/組成 /粒度分布
②改良品の浸透限界の把握	粉体注入試験	ガレージ 7号珪砂 (攪乱/絶乾)	対象試料の平均粒径 (50, 70, 100 μ m)	浸透固結長
③従来品との浸透性比較		7号珪砂 8号珪砂 豊浦標準砂 (攪乱/絶乾)	改質セメント (標準品, HG I, HG II)	浸透固結長 注入時間
④送気湿度と浸透性の関係		豊浦標準砂 7号珪砂 (攪乱/絶乾)	空気湿度 (RH5%~30%)	浸透固結長 供試体通過時間
⑤事前送気の有効性評価	送気試験	7号珪砂 (攪乱/含水)	含水比(2%, 5%)	含水比の経時変化
⑥含水比と浸透性の関係	粉体注入試験	7号珪砂 8号珪砂 (攪乱/含水)	含水比(0%, 2%, 5%)	浸透固結長 注入時間
⑦ミルク注入工法との浸透性・遮水性比較	粉体注入試験 ミルク注入試験 透水試験	7~8号珪砂 マサ土 ^{*1} (攪乱/絶乾 ^{*2})	対象試料/改質セメント (標準品, HG I, HG II) /注入操作条件 ^{*3}	浸透固結長 注入時間 透水係数
⑧浸透メカニズムの把握				
⑨注入後の硬化特性の把握	地中養生試験	マサ土 ^{*1} (攪乱/含水)	含水比(5%, 10%)	針貫入強度 硬化時間
⑩地盤の物性による適用性評価	粉体注入試験	マサ土 ^{*4} シラス ^{*5} (不攪乱/自然含水)	対象試料/改質セメント(標準品, HG II)/地盤の物性 ^{*6} /注入操作条件 ^{*3}	浸透固結長 注入時間
⑪地盤の種類による適用性評価				
⑫粉体供給速度による注入時間の短縮		マサ土 ^{*1} (不攪乱/自然含水)	粉体供給速度 (2, 5, 10, 15g/min)	浸透固結長 供試体通過時間

注^{*1}: 小山ダムサイトより採取したマサ土注^{*2}: ミルク注入試験時は飽和状態注^{*3}: 注入圧力/注入時間/粉体供給速度/初期間隙実流速注^{*4}: 小山、小里川、竜門の各ダムサイトより採取したマサ土注^{*5}: 稲葉ダムサイトより採取したシラス注^{*6}: 細粒分含有率/50 μ m粒径/有効間隙率/空気間隙率/透水係数/含水比/地山の強度

「4.7 注入後の硬化試験」では、重量比5%のHG IIを混合した小山ダムサイトの攪乱試料を含水比5~18%のもとで養生した後の針貫入試験結果より、改質セメントの硬化時間および硬化に必要な水分量を明らかにした。

「4.8 総合検討および総合評価」では、今回の室内試験より得られた成果を整理するとともに、今後の現場試験・実用化に対する本工法の問題点・今後の課題を示した。

4.2 改質セメントの改良

4.2.1 改良の方向付け

本共同研究開始以前に用いられていた改質セメント(以後標準品と称す)は、市販のミルク注入用超微粒注入材(アロフィクスMC)を水溶性シリコン樹脂により表面改質したものであり、未改質品に比べ、空気中における分散性・凝集性については格段の差異が認められるものの、砂層への浸透性をミルク注入のデータと比較した場合、4.5に示されるように工学的検討に値するだけの優位性を結論づけることは困難であった。一方、これまでの原位置試験等により、改質セメントの水和硬化性は使用目的に対しては充分適合していると考えられたので、初期水和速度を若干犠牲にして浸透性の一層の改良を目指す方向で検討を開始した。

改質セメントの浸透性を規制している要因としては、

- ①砂層間隙に対し、充分小さくない粒径の粒子が含まれていること
- ②改質セメント中の超微粉分(例えば $1\mu\text{m}$ 以下)の凝集力が強いため全体の浸透性を阻害すること
- ③水溶性シリコン樹脂による表面改質が部分的に不均質のため未改質部分が露出し凝集する可能性があること

が考えられた。そこで、これらの要因を除去するため、

a)改質セメントの粒径分布の均一化

b)これに伴う表面改質条件の最適化によるコーティングの均質化

について検討を行うこととした。

標準品は、既公開特許^{*}、^{**}をベースとし、これに改良を加えた方法で製造されており、この方法について、 $10.55\mu\text{m}\sim 1.01\mu\text{m}$ の粒径区分の粒子をできるだけ増加させ、これにあわせてコーティング条件(薬剤量及び時間、温度など)の最適化を行った結果、標準品に比して浸透性が顕著に改善されたハイグレード品(段階に応じてHGⅠ品及びHGⅡ品とする)の製造方式を確立することができた。

4.2.2 ハイグレード品の粉体物性

表-4.2.1に、標準品、HGⅠ品、HGⅡ品の代表的な粉体物性値を浸透性試験の結果とともに示す。ここで、浸透性は、図-4.2.1の装置により、表-4.2.2の試験条件で測定した豊浦標準砂層に対する改質セメント粉体通過時間で代表させている。図-4.2.2は、これらのうち主なものを図示したものである。これから、以下のことが読み取られる。

- ① $10.55\mu\text{m}$ 通過分を増加させ、同時に $1.01\mu\text{m}$ 通過分を減少させることより、豊浦標準砂に対する浸透性は顕著に向上した。

* 特開平4-270784

** 特公平3-25473

②これに伴い、安息角は減少し、FF (Flow Function)*、fc*などの粉体特性値も易流動性の方向へ動いている。

③接触角**の値の変化は、有意な程度であるか否か不明である。

安息角などの粉体物性値は、上述のように、概括的には改質セメントの浸透性と強い相関をもった動きを示すが、改質セメント標準品の製造条件をシリコン樹脂銘柄、改質操作条件など粒径分布以外についても種々変更した場合の試製品のデータについて整理すると、図-4.2.3に示されるように、ほとんど相関が認められない結果となる。このことは、改質セメント製造時の日常管理試験を安息角などのみに頼ることは危険であることを示している。日常管理にあたっては、粒径分布以外のコントロール要因の変動を極力防止し、粒径分布はこまめにチェックし、しかも浸透性チェックをかなりの頻度で行って最終試験とするのが当を得ているように思われる。なお、同じ標準品でも、安息角などの粉体物性値には、ロット及び測定箇所・測定者によってかなりのぶれが認められ、これも試験管理方法のマニュアル化の際には注意すべきことである。

表-4.2.1 改質セメントの粉体物性と浸透性

材 料	物 性	粒 径 分 布 ¹⁾				粉 体 物 性					浸 透 性 ²⁾		
		平均径 (μm)	通 過 分 (%)				安息角 ($^{\circ}$)	接触角 ³⁾ ($^{\circ}\text{C}$)	せん断試験値 ⁴⁾			通過時間 (分)	風量差 ⁵⁾ (Nm^3/hr)
			14.92 μm	10.55 μm	5.27 μm	1.01 μm			t _s ⁵⁾	FF ⁶⁾	fc ⁷⁾		
標準品		5.5	100	88.5	47.9	7.3	37	96	1.06	1.37	8.34	41	21.9
ハイクレイト®品(HGI)		5.6	100	94.3	45.9	4.5	28	—	—	—	—	23	4.6
ハイクレイト®品(HGII)		5.3	100	95.1	50.2	5.0	26	103	1.01	1.69	5.84	18	3.3

- 1) レーザー回折式(マイクロトラック)による
- 2) 豊浦標準砂層(供試体長360mm)通過試験
- 3) 三協バイオテック(株)ウェットテスターによる。(値が大きいくほど水に対する濡れ性 少)
- 4) 三協バイオテック(株)パウダーベットテスターによる。
- 5) 予圧密応力29.7 g/cm^2 、垂直応力1.28 g/cm^2 の際のせん断応力定常値
- 6) Flow Function (値が大きいく → 流動性良好)
- 7) 単位面積を持つ粉体柱が単軸の応力を受けた時の崩壊限界
(値が大きいく → 流動性悪化)
- 8) 標準砂層に90分浸透させた時点の風量減少量

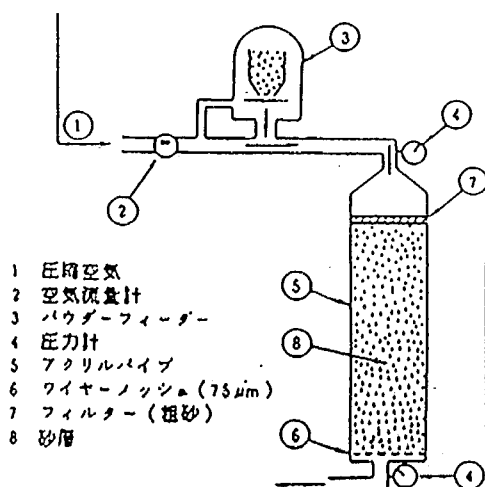


図-4.2.1 浸透性試験装置

表-4.2.2 豊浦標準砂を用いた浸透性試験の試験条件

試験条件	供 試 体			注入圧力 ¹⁾ (kgf/cm^2)	粉体供給速度 (g/min)
	径 (mm)	長さ (mm)	充填乾燥密度 (g/cm^3)		
豊浦標準砂	98.5	360	1.63	3.8	3.5

1) 上部圧力計の値

* Jenike, A. W. ; Utah Engng. Exper. Station, Univ. of Utah, Bull., 1964

** 松本幹治他 ; 定流量法による粉粒体の濡れ特性の測定, 粉体工学会誌20巻1号, 1983年

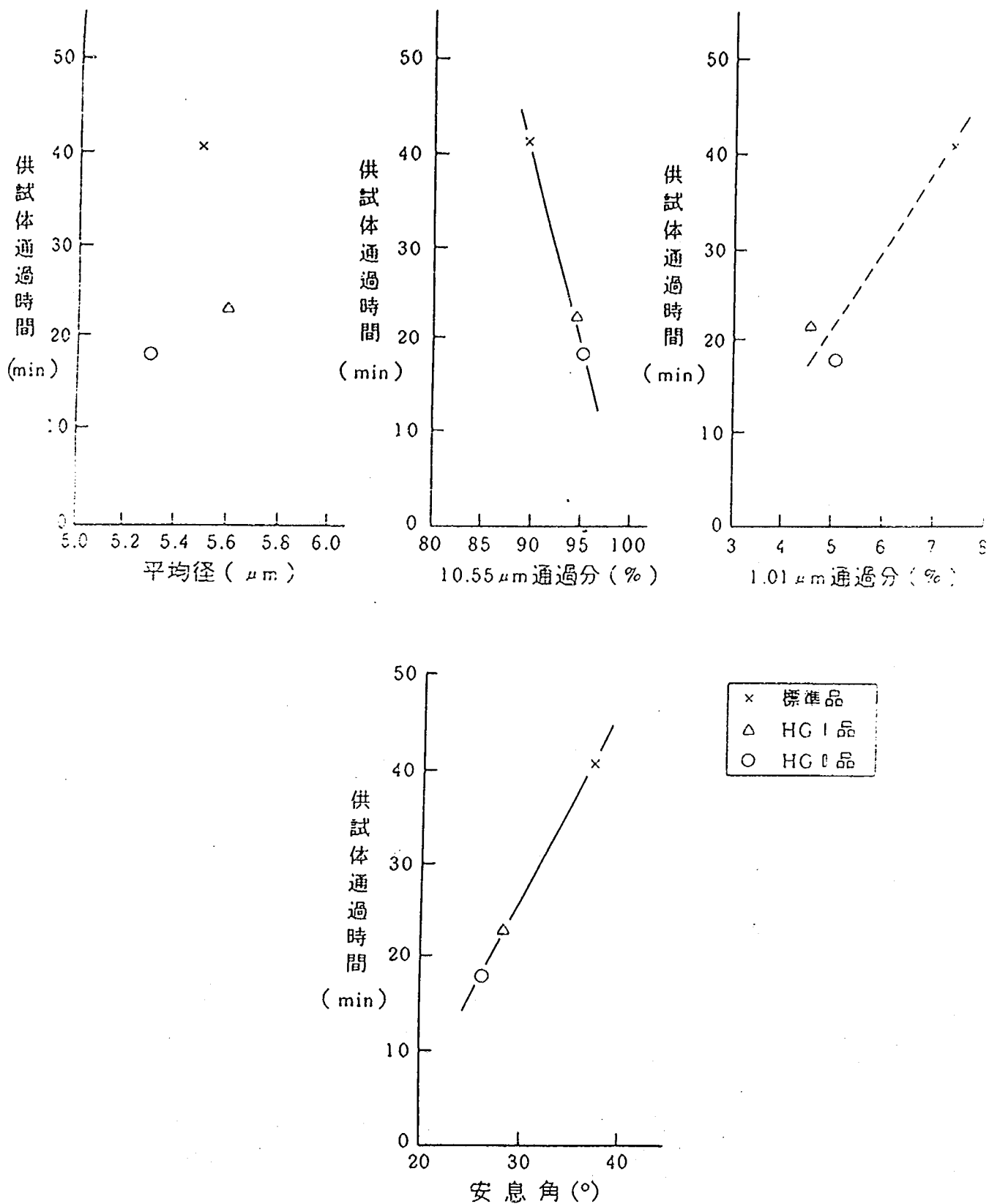


図-4.2.2 改質セメントの粉体物性と浸透性

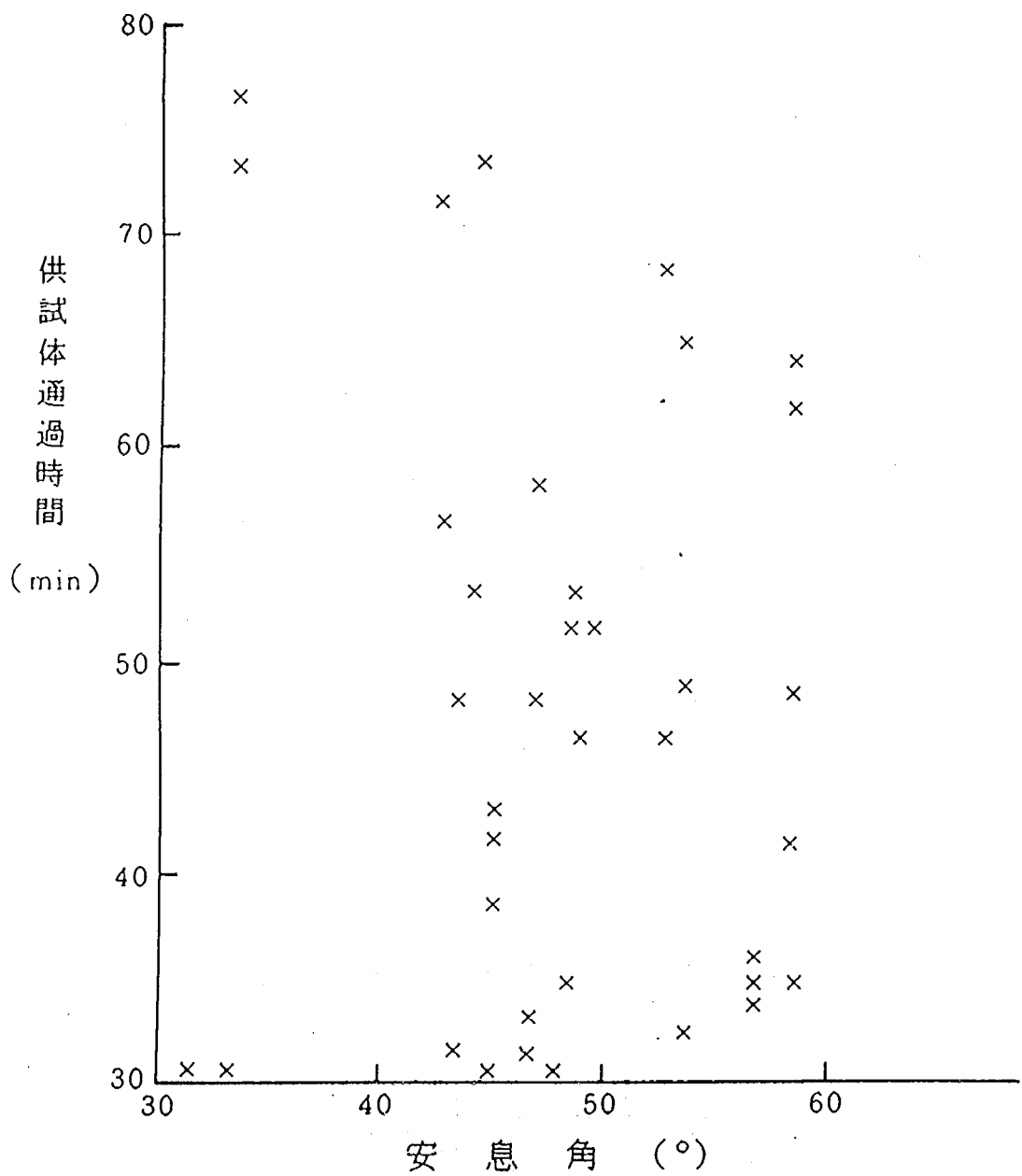


図-4.2.3 製造条件を広範囲に変えて得られた改質セメント試製品(標準品に相当)における安息角と浸透性

4.2.3 注入材料としての物性

改質セメントは、表-4.2.3に示す化学成分の超微粒セメント、アロフィクスMCを水溶性シリコン樹脂により表面改質したものであり、表-4.2.4に示すとおり、有害物質は含まれていない。表-4.2.5と表-4.2.6はセメントとしての物理試験結果であり、図-4.2.4は表-4.2.5を図示したものである。なお、フロー試験結果は、標準品で287mm、HGⅡ品で253mmであった。

改質セメントは、セメント粒子の表面を改質しており、通常のセメントとは水和反応速度が異なることが予想される。上記の結果は、これを裏付けており、未改質セメント（アロフィクスMC）－改質セメント標準品－改質セメントHGⅡ品、と進むに従って、強度発現の遅れが目立つようになっている。モルタル圧縮強さは、標準品の場合7dで200kgf/cm²を越えるが、HGⅡ品では28dでようやく150kgf/cm²付近である。しかし、これらの値は「JIS R 5201-1992セメントの物理試験方法」をそのまま用いて試験した場合であり、脱型直後重量の値が異常に低いことなどからみて、供試体中に多量の空気が進行され、見かけ上の強度低下を招いたことが考えられる。これは、水に対するぬれ速度の小さい改質セメントを大量に含む供試体に対し、混練条件が適合していないためと考えられる。実際、図-4.2.5に示す条件（砂に対し改質セメント10%混合、水量は砂+改質セメントに対し20%以下）では、HGⅡ品であっても、7dの圧縮強さはアロフィクスMCの約50%程度となり、28d圧縮強さはアロフィクスMCの約80%近くとなる。4.5.2に示されるように、HGⅡ品による遮水性改良の程度は、ミルク注入と同等であり、このことも併せ考えれば、HGⅡ品は、ダム岩盤注入用として、目的に適った物性を有していると考えられる。

表-4.2.3 アロフィクス MCの化学成分

成 分	ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl
(%)	0.6	0.2	30.8	12.4	1.2	48.2	5.0	1.3	0.54	0.011

表-4.2.4 改質セメント HGⅡ品の有害物分析結果

項 目	結 果
カドミウム又はその化合物(mg/kg)	ND(0.1未満)
鉛又はその化合物 (mg/kg)	30
水銀又はその化合物 (mg/kg)	ND(0.005未満)
六価クロム又はその化合物(mg/kg)	ND(0.2未満)
ひ素又はその化合物 (mg/kg)	ND(0.05未満)
シアン又はその化合物 (mg/kg)	ND(0.1未満)

注) ND=検出されない(定量限界未満の値)

表-4.2.5 改質セメントのモルタル強さ試験結果
(JIS R 5201-1992 による)

配 合 = 豊浦標準砂 2 : セメント 1 : 水 0.65
 混練機 ホバートミキサー (4分)
 供試体寸法 40 mm × 40 mm × 160 mm

			3 d	7 d	28 d	91 d
			圧縮	圧縮	圧縮	圧縮
改質セメント 標準品	強 さ (kgf/cm ²)	曲 げ	28.0	227.0	336.0	410.0
		脱型直後	13.7	43.2	49.7	52.5
	重 量 (g)	水没後	476.8	475.2	475.3	474.9
		水没後	—	487.8	489.0	490.1
改質セメント HG II 品	強 さ (kgf/cm ²)	圧 縮	—	36.0	144.0	163.0
		曲 げ	—	16.0	28.0	28.5
	重 量 (g)	脱型直後	—	380.3	381.0	381.4
		水没後	—	—	411.1	418.0
アロフィクス M C	強 さ (kgf/cm ²)	圧 縮	204.0	335.0	511.0	660.0
		曲 げ	40.0	53.0	69.5	74.0
	重 量 (g)	脱型直後	527.7	526.5	526.4	528.0
		水没後	534.1	534.2	536.6	539.3
普通ポルランド セメント	強 さ (kgf/cm ²)	圧 縮	156.0	245.0	417.0	512.0
		曲 げ	41.0	52.0	71.5	80.5
	重 量 (g)	脱型直後	550.1	546.9	549.1	549.4
		水没後	555.3	553.9	559.0	561.1

表-4.2.6 改質セメントの凝結試験
(JIS R 5201-1992 による)

標準軟度 ・ 標準品 混水率 36.2% (外割)
 ・ HG II 品 混水率 35.0% (外割)

	始 発	終 結
標 準 品	5 5 分 1 5 秒	3 時 間 4 8 分
HG II 品	3 6 分 3 0 秒	1 時 間 1 8 分

配合割合 豊浦標準砂 2 : セメント 1 : 水 0.65

試料名	試験項目	圧縮強さ	曲げ強さ
改質セメント標準品		--○--	—○—
改質セメントHGD品		--◇--	—◇—
フロフィクスMC		--△--	—△—
普通セメント		--□--	—□—

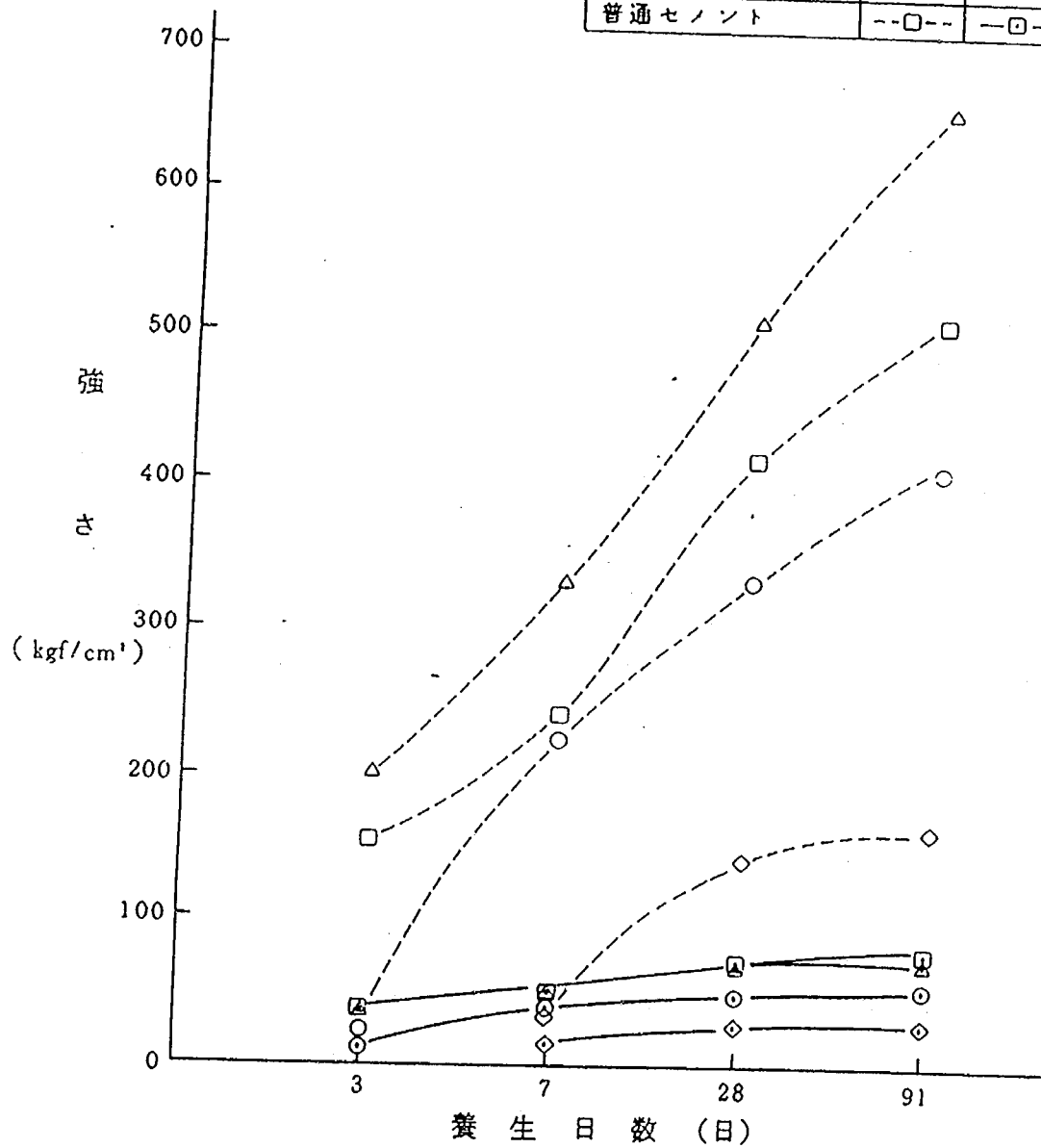


図-4.2.4 改質セメントのモルタル強さ試験

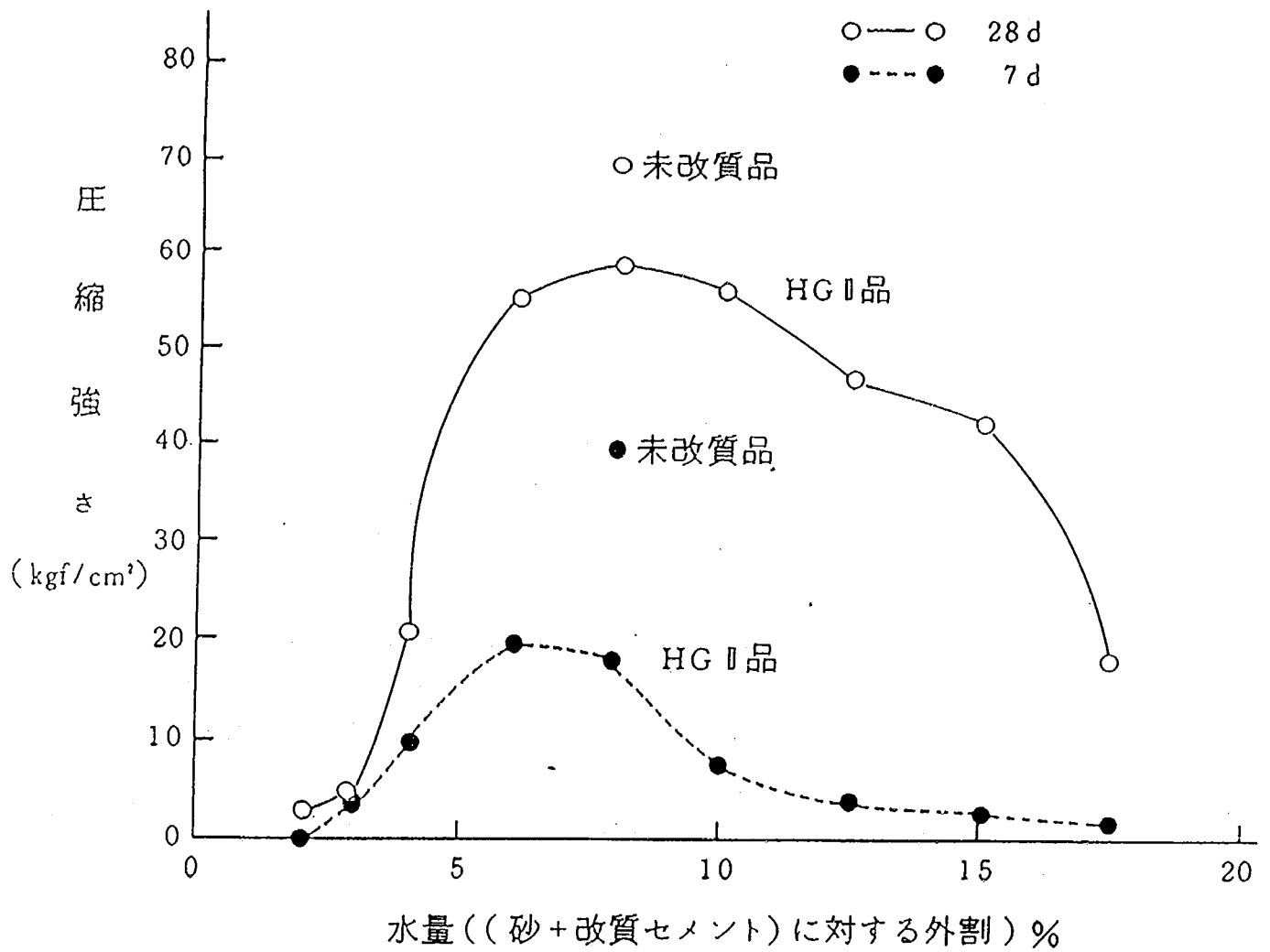


図-4.2.5 改質セメント／豊浦標準砂混合硬化体の圧縮強さ試験結果
(豊浦標準砂に対し改質セメント10%混合(外割))

4.2.4 浸透限界の把握

(1) 試験概要

試料の粒径による粉体注入の浸透限界を見極める目的で行い、先行して4.5.1(3)で行った粉体注入結果を踏まえ、粒径の小さい攪乱土（8号珪砂A、ホワイトビーズ）を用い、試料の最小粒径をもとにHGⅡ粉体の注入可能範囲を求めた。

(2) 試験内容

浸透限界粒径の測定を行うためにHGⅡ粉体注入試験を下記の試験条件で行い、注入後水浸養生し硬化した部分の供試体上端からの距離（浸透長）を求めた。供試体中を粉体が通過しなかった試料の粒径から後述の(4.2.1)式より浸透限界粒径を算定した。

(3) 試験方法

1) 試験条件

①注入材料 : HGⅡ

②攪乱試料 : 8号珪砂A（粒径 0.130～0.069mm）
ホワイトビーズNo.007（粒径 0.088～0.063mm）
ホワイトビーズNo.005（粒径 0.063～0.037mm）

③供試体の寸法 : 直径5cm、長さ10cmの円柱形
注）今回用いた注入試験装置にて初期間隙実流速0.8m/sを確保できるように設定した。

④送気圧力・送気流量 : 初期間隙実流速0.8m/sを確保できる送気圧力、送気流量
注）ここで初期間隙実流速0.8m/sは、マサ土の不攪乱試料による室内注入試験から良好な浸透性を示すと判断された流速である（4.6 参照）。

⑤粉体供給速度 : 1.0g/min、2.0g/min（主として2.0g/min）

⑥含水状態 : 気乾状態（含水比＝0%）

2) 注入終了条件

①HGⅡが供試体（供試体長10cm）下部を通過した場合。

②送気流量が1.0Nm³/h以下となった場合。

3) 試験装置

試験装置（図-4.2.6 および写真-4.2.1 参照）は、圧縮空気により粉体を定量的に供試体へ圧送注入し、コンピューターでリアルタイムに注入状況を計測する装置である。

①構成

エアーコンプレッサー、流量計、マイクロフィーダー（粉体定量供給装置）、注入試料（供試体）、コンピューター計測システムより構成されている。

②計測方法

供給圧、注入圧力（供試体上部圧力）、マイクロフィーダー内圧力、出口圧力（供試体下部圧力）、送気流量、空気湿度および空気露点温度をリアルタイムで計測する一方、経

時データは計測値を目視で読み取ることにより採取した。

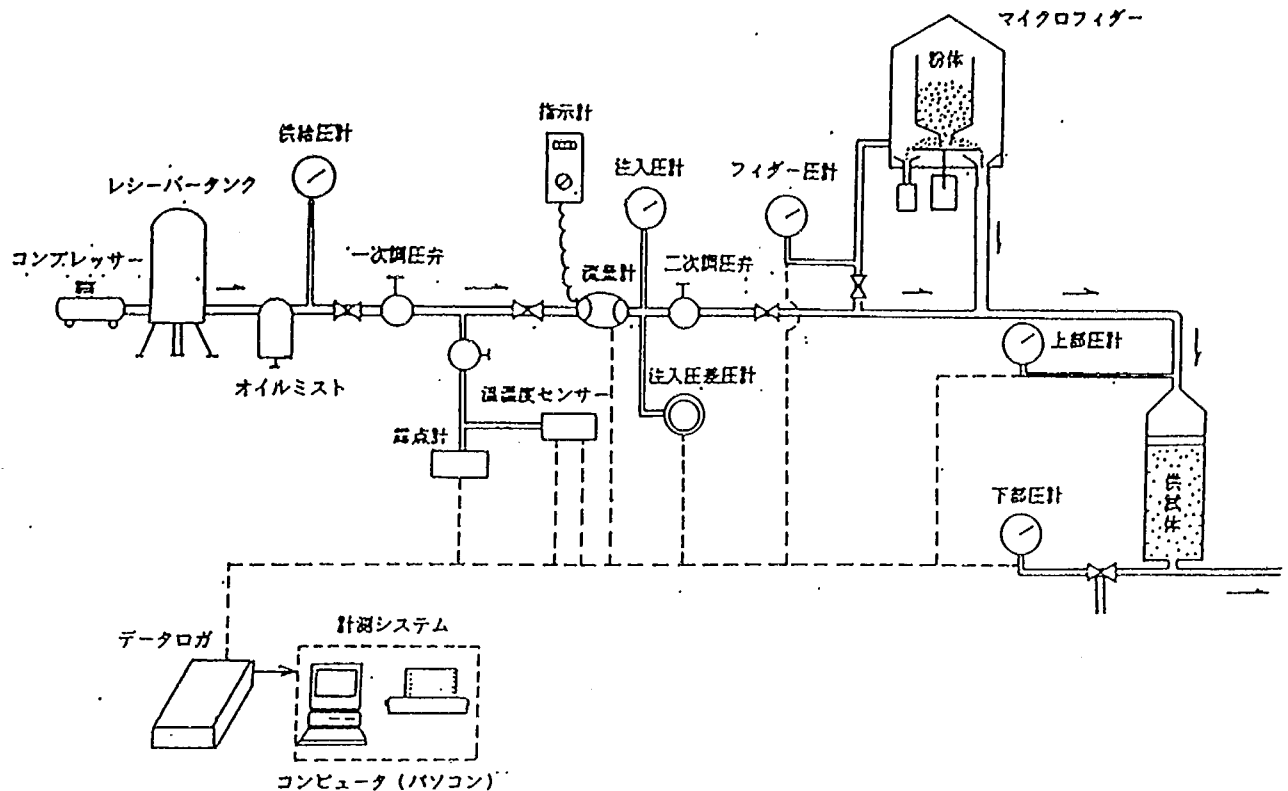


図-4.2.6 粉体注入試験装置の構成

4) 供試体の作製

① モールド

内径50mm、肉厚7mm、長さ200mm のアクリル樹脂製の円筒形モールドを用いた。

② フィルター材

3号珪砂をふるいにて2mm通過し $425\mu\text{m}$ に残ったものを使用した。

③ 金網の選定

試料中の細粒分が流出しないよう、呼び寸法 $425\mu\text{m}$ のものを使用した（「薬液注入による安定処理土の供試体作製方法」：土質工学会 土質試験の方法と解説参照）。

④ 作製方法

図-4.2.7 に供試体作製手順を示したように、下部にスペーサーディスク、金網を取り付けたモールドへ試料を表-4.2.8 に示した充填密度になるよう1層約3cmずつ投入・突き固めを繰り返し、全4層で10cmの供試体を作製した。その後、供試体上下部に金網、フィルター材、多孔板を設置した。

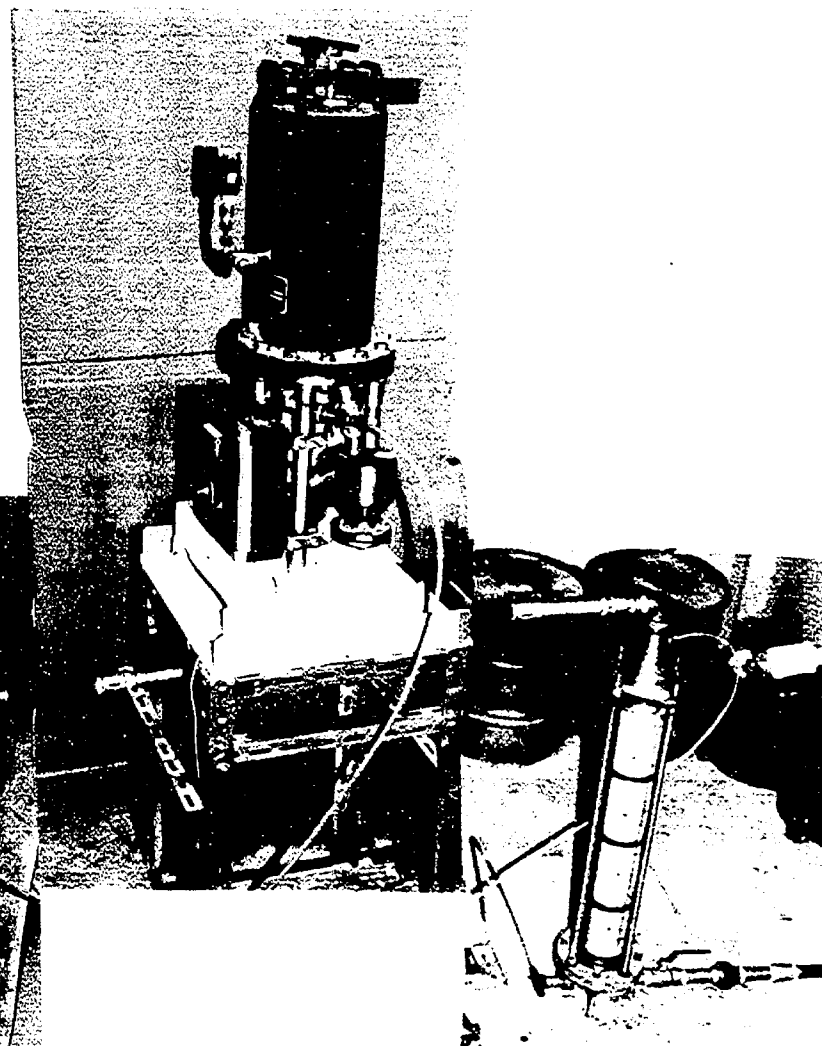
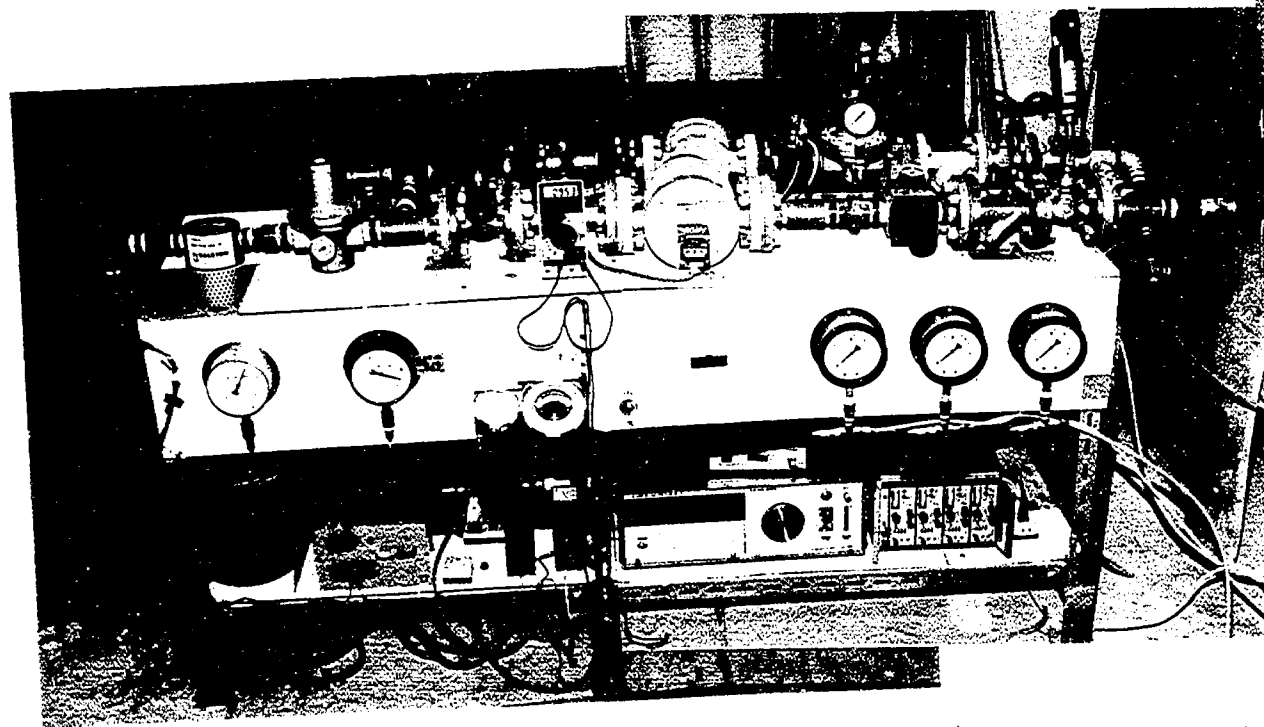


写真-4.2.1 粉体注入試験装置全景

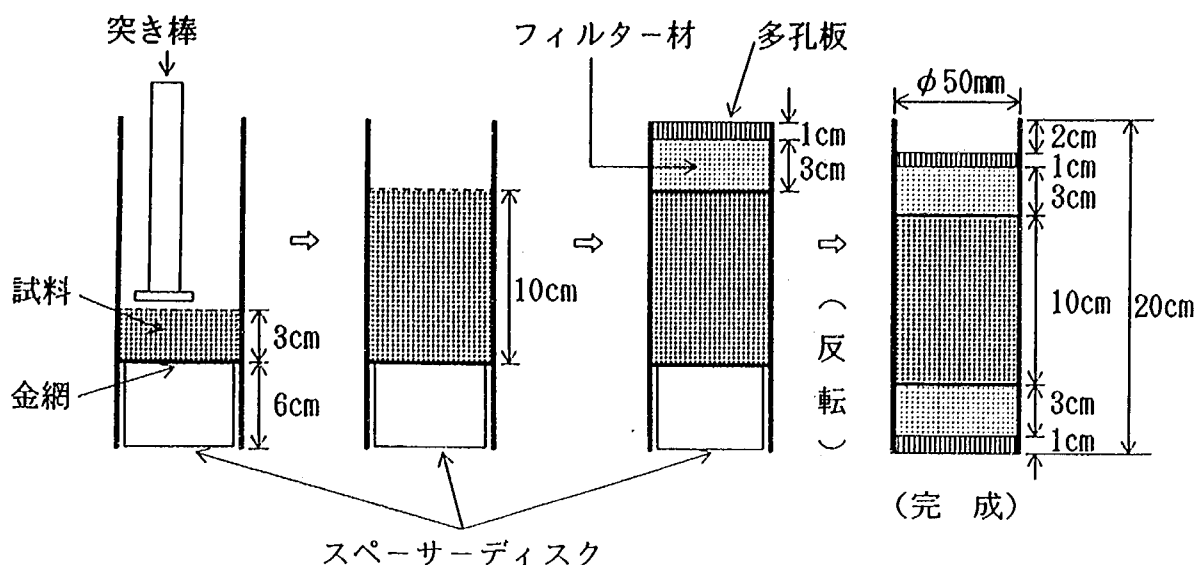


図-4.2.7 供試体作製手順概要

5) 試験手順

- ①供試体を試験装置にセットする（図-4.2.8 参照）。
- ②所定の注入条件に合わせ、供試体上部圧力（注入圧力）が所定圧力に達した時点で粉体注入を開始する。
- ③注入中は5分毎に供試体上部圧力、送気流量を読み取るとともに、粉体の浸透長をモールド外壁から目視観察することにより記録する。
- ④粉体が供試体下部を通過または送気流量が $1.0\text{Nm}^3/\text{h}$ 以下となった時、注入を終了する。

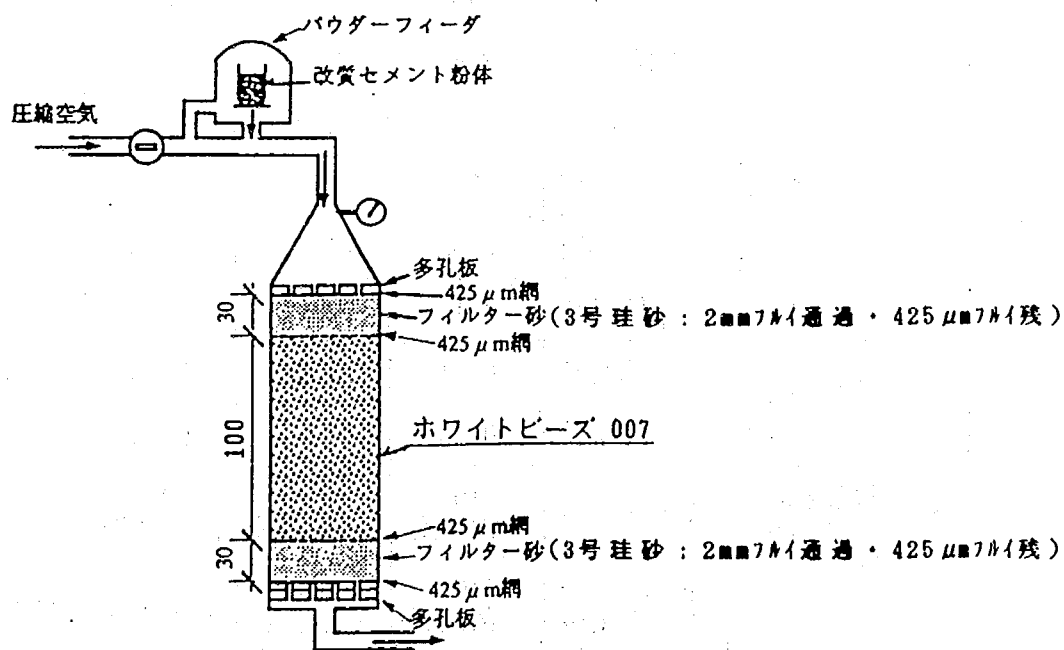


図-4.2.8 粉体注入装置への供試体設置状況

(4) 試験数量

試験数量を表-4.2.7 に示す。

表-4.2.7 試験数量

試 料 名	粉体供給速度	
	2.0g/min	1.0g/min
8号珪砂A	○	○
ホワイトビーズNo.007	○	○
ホワイトビーズNo.005	○	×
合 計	5 供試体	

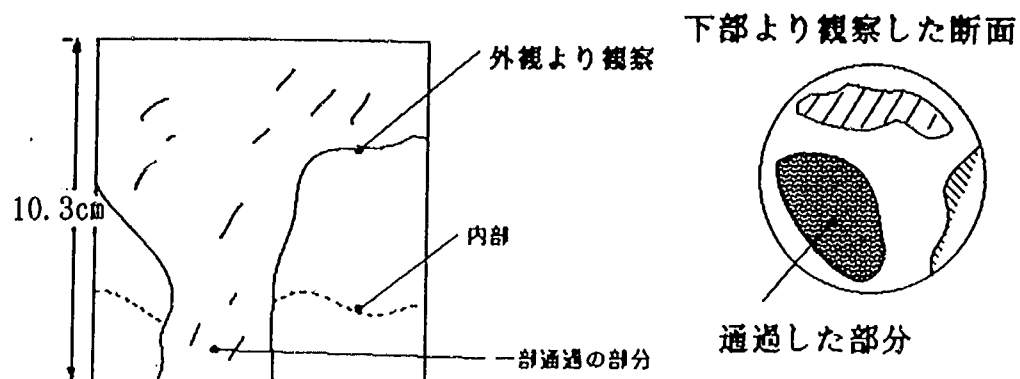
(5) 試験結果

試験結果を表-4.2.8 に示す。ホワイトビーズNo.005 の供試体は平均浸透長2.5cm であったが、他の供試体はいずれも長さ10cmの供試体を通して。

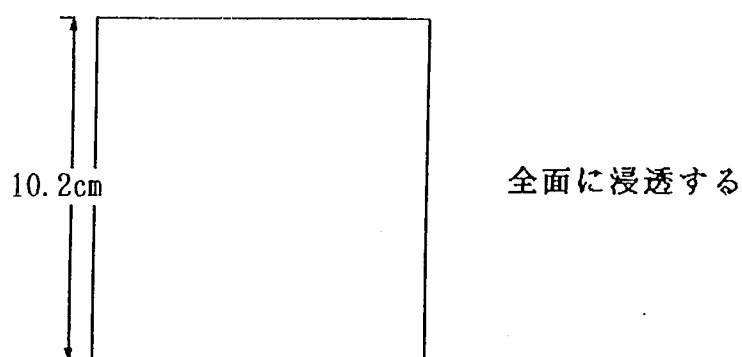
表-4.2.8 注入試験結果

試 料 名			8号珪砂 A-1	8号珪砂 A-2	ホワイトビーズ No.007	ホワイトビーズ No.007	ホワイトビーズ No.005
供試体寸法	直 径 [cm]		4.94	4.94	4.94	4.94	4.94
	長 さ [cm]		10.2	10.3	10.2	10.2	9.7
	充 填 密 度 [g/cm ³]		1.443	1.467	1.489	1.478	1.544
	間 隙 率 [%]		45	44	39	39	38
注 入 条 件	注 入 圧 力 [kgf/cm ²]		2.4	3.4	2.3	2.3	6.6
	粉体供給速度 [g/min]		1.0	2.0	1.0	2.0	2.0
	注 入 時 間 [min]		65	80	140	50	110
	送 気 流 量 [Nm ³ /h]	開始時	8.58	10.85	8.30	7.76	17.43
		終了時	4.12	0.81	5.25	5.10	0.96
	間隙実流速 [m/sec]	開始時	0.81	0.81	0.96	0.87	0.86
		終了時	0.39	0.06	0.59	0.57	0.05
	注 入 結 果	目視観察による平均浸透長 [cm]	注入終了時	10 一部通過	10 一部通過	9 筋状通過	全面通過
注入終了→水浸養生後			10 一部通過	10 一部通過	全面通過	全面通過	平均2.5
判 定			○	○	◎	◎	×

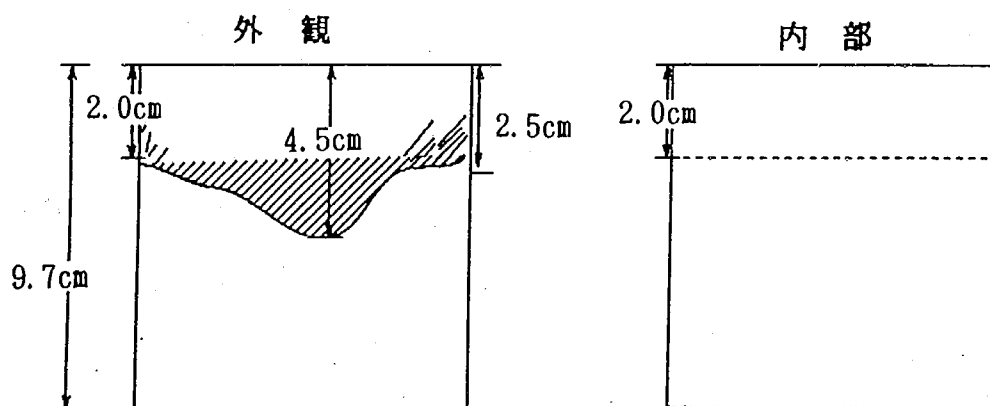
注入後の水浸養生（7日間）後、フェノール反応（赤紫色）による浸透状況の観察スケッチを図-4.2.9 に示す。



(a) 8号珪砂 (粉体供給速度 2 g/min)



(b) ホワイトビーズ No.007 (粉体供給速度 2 g/min)



(c) ホワイトビーズ No.005 (粉体供給速度 2 g/min)

図-4.2.9 注入後の粉体の浸透状況

(6) 浸透限界粒径の算定

初期間隙実流速0.8m/sを達成できる注入圧力(2~4kgf/cm²に相当)下での粉体浸透限界は、ホワイトビーズNo.005(粒径0.037 ~0.063mm)における供試体平均浸透長が2.5cmであったことより、浸透限界粒径は平均浸透長を供試体長で除して求めた粉体浸透率を用いて(4.2.1)式より求めた。

$$D_x = D_{max} - [(D_{max} - D_{min}) \times R] \quad \dots (4.2.1)$$

ここに、 D_x : 浸透限界粒径 [mm]

D_{max} : 試料の最大粒径 [mm]

D_{min} : 試料の最小粒径 [mm]

R : 粉体浸透率 [-]

ホワイトビーズNo.005 の注入試験結果より、

$$D_{max} = 0.063 \text{ mm}$$

$$D_{min} = 0.037 \text{ mm}$$

$$R = 2.7/9.7 = 0.28$$

であるから(4.2.1)式より、

$$D_x = 0.063 - [(0.063 - 0.037) \times 0.28] = 0.056 \text{ mm}$$

よって、浸透限界粒径は0.056mm と判定される。

各種の試料粒径加積曲線に上記で求めた浸透注入可能最小粒径を示すと図-4.2.10の通りである。

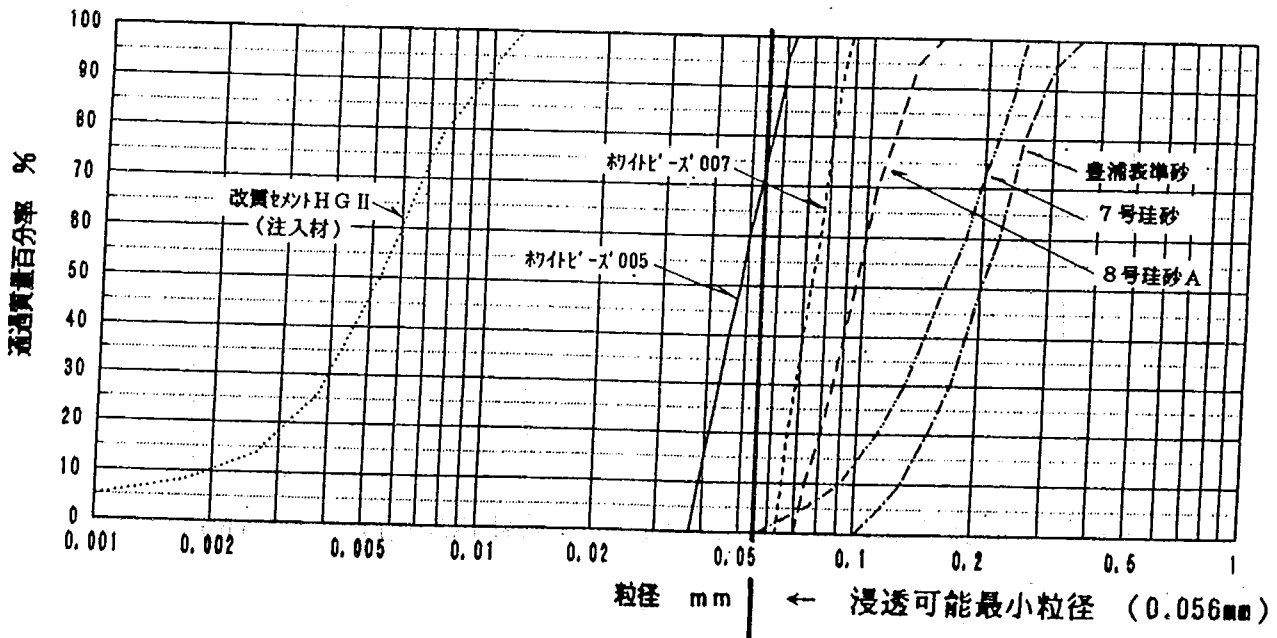


図-4.2.10 各種試料の粒度曲線と粉体浸透注入可能最小粒径の関係

4.2.5 浸透性の総合比較

以上に述べた改質セメントの浸透性の改良状況をまとめて比較したものが表-4.2.9である。未改質セメントから改質セメント標準品、ハイグレード品と進むに従い、安息角が低下し、空気圧送浸透性が顕著に改善されている状況が示されている。

なお、HGⅡ品($D_{85}=8.7\mu\text{m}$)は、ホワイトビーズNo.007($D_{15}=65\mu\text{m}$)については浸透可能であり、ホワイトビーズNo.005($D_{15}=40\mu\text{m}$)についてはほとんど浸透不能であった。これからグラウタビリティG.F.(砂の D_{15} /セメントの D_{85})を求めてみると、G.F.=7.5で浸透可能、G.F.=4.6では浸透不能となり、ミルク注入について一般にいわれている浸透可能領域 $G.F>15\sim25$ *よりも細粒側に浸透可能領域が広がっていることを示している。

表-4.2.9 改質セメントの浸透性の総合比較

材 料	物 性	平均粒径 ¹⁾		通過分(%) ¹⁾		安息角	空気圧送浸透性(分) ²⁾	
		(μm)		10.55 μm	1.01 μm	(度)	豊浦標準砂	7号珪砂
未改質セメント(7071XSMC)		4.9		89.3	8.9	50	不 通	不 通
改質セメント	標準品	5.5		88.5	7.3	37	41	不 通
改質セメント	HGⅠ品	5.6		94.3	4.5	28	23	—
改質セメント	HGⅡ品	5.3		95.1	5.0	26	18	3~7

1) レーザー回折式(マイクロトラック)による。

2) 試験装置は図-4.2.1、試験条件は表-4.2.10による。

表-4.2.10 空気圧送浸透性試験条件

試験条件 注入砂層	供 試 体			注入圧 kgf/cm^2	粉体供給 速度 g/min
	径(mm)	長さ(mm)	充填乾燥密度(g/cm^3)		
豊浦標準砂	98.5	360	1.63	3.8	3.5
7号珪砂	74.2	150	1.48	2.0	30~50

* 米田俊一，中川浩二；粒子径を変えた各種セメントグラウトの基礎的性質と浸透性比較，土木学会論文集NO.462/VI-18，1993年

4.3 粉体注入における空気湿度の影響

4.3.1 試験の目的

4.2.2で既述した粉体圧送グラウチングにおける改質セメントの浸透性試験において、送気湿度の影響が無視できない程度に存在することが判明した。そこで、

①浸透性試験方法の標準化

②実注入における送気湿度のコントロールの要否の検討

について基礎データを得るため、以下の試験を行った。

4.3.2 試験装置及び試験方法

試験装置を図-4.3.1に、また試験方法を表-4.3.1に示す。

4.3.3 温度・湿度のコントロール方法

(1) 温度

図-4.3.1における空気配管をリボンヒーターで加熱することにより行った。

(2) 湿度

図-4.3.1において、レシーバタンクの入口配管及び周辺空気を加熱することにより、過湿空気を調製し、次いでその一部をエアードライヤーで除湿することにより除湿空気を調製し、過湿空気と除湿空気を混合することにより、湿度コントロールを行った。

表-4.3.1 送気湿度変更浸透性試験方法

注入砂層	浸透性の指標	試験条件				
		供試体			注入圧力 ¹⁾ (kgf/cm ²)	粉体供給速度 (g/min)
		径 (mm)	長さ (mm)	充填乾燥密度 (g/cm ³)		
豊浦標準砂	20minにおける浸透長(cm)	98.5	360	1.63	3.8	3.5
7号珪砂	供試体全長浸透に要する時間(min)	74.2	150	1.48	2.0	30~50

1) 上部圧力計の値

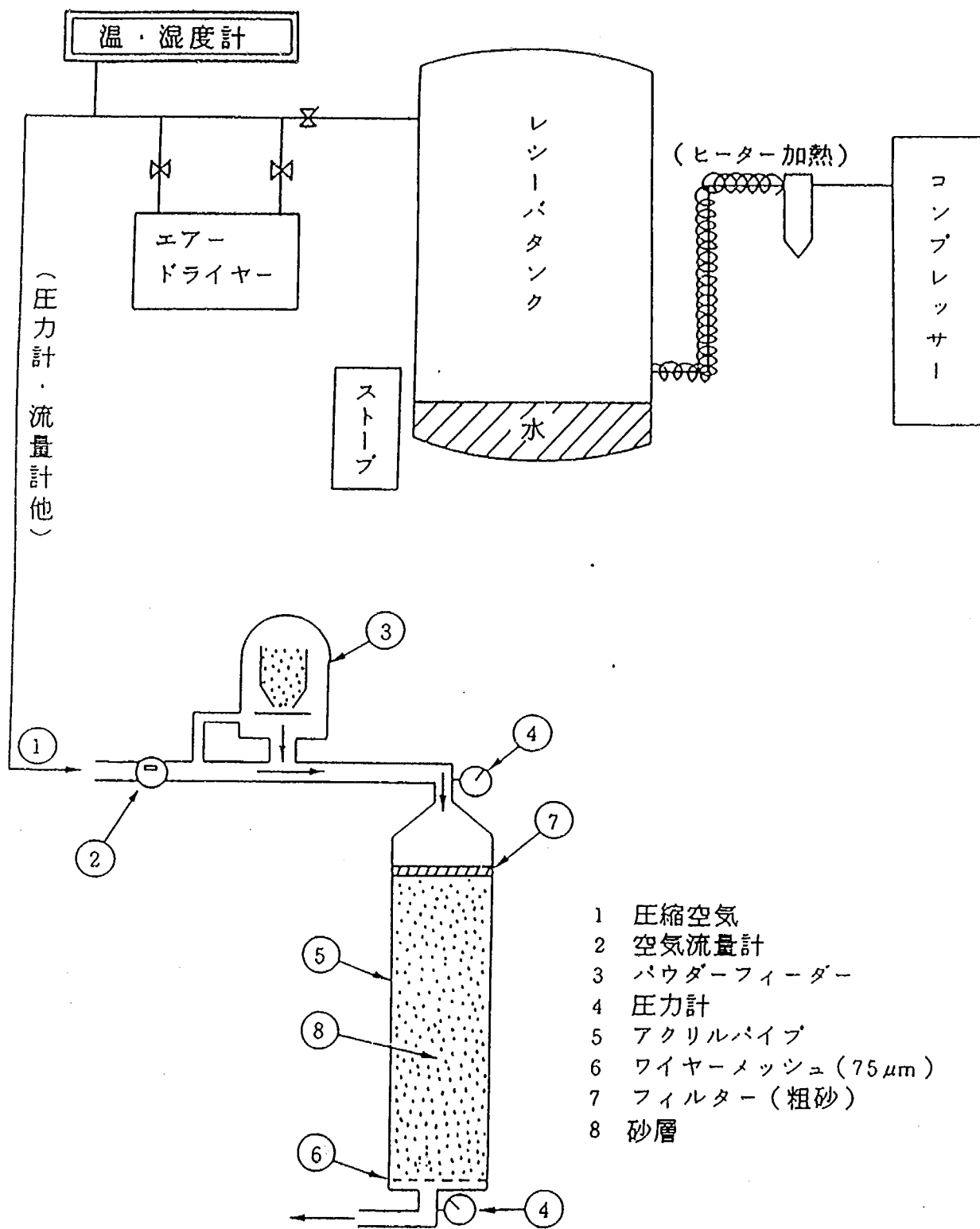


図-4.3.1 浸透性試験装置

4.3.4 試験結果

豊浦標準砂供試体を用いた浸透性試験結果を図-4.3.2及び図-4.3.3に、また7号珪砂供試体を用いた浸透性試験結果を図-4.3.4に示す。

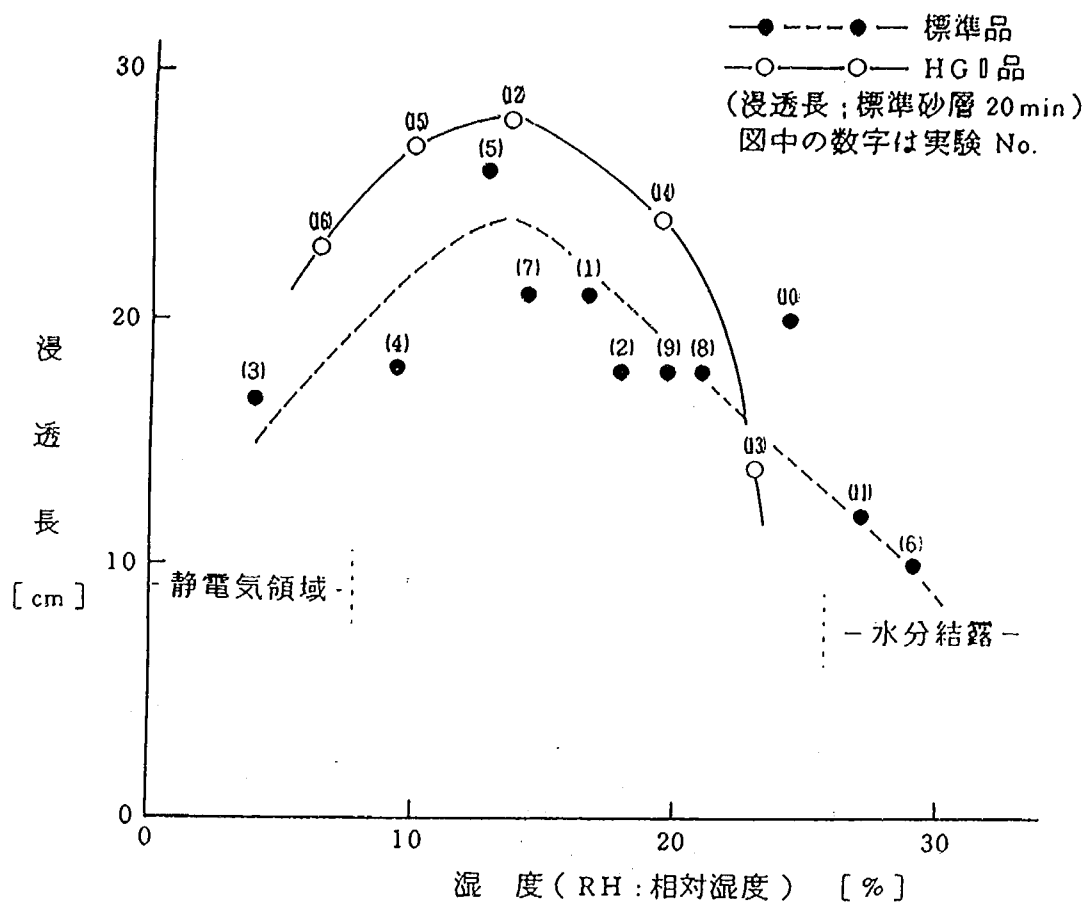


図-4.3.2 豊浦標準砂層における送気湿度と浸透性

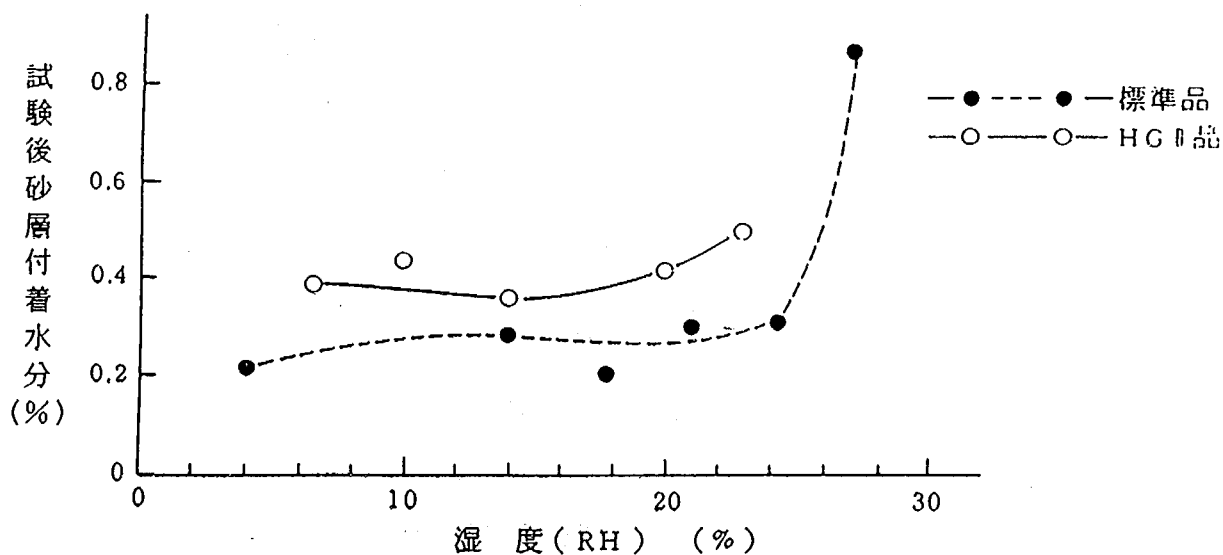


図-4.3.3 豊浦標準砂層における送気湿度と試験後砂層付着水分

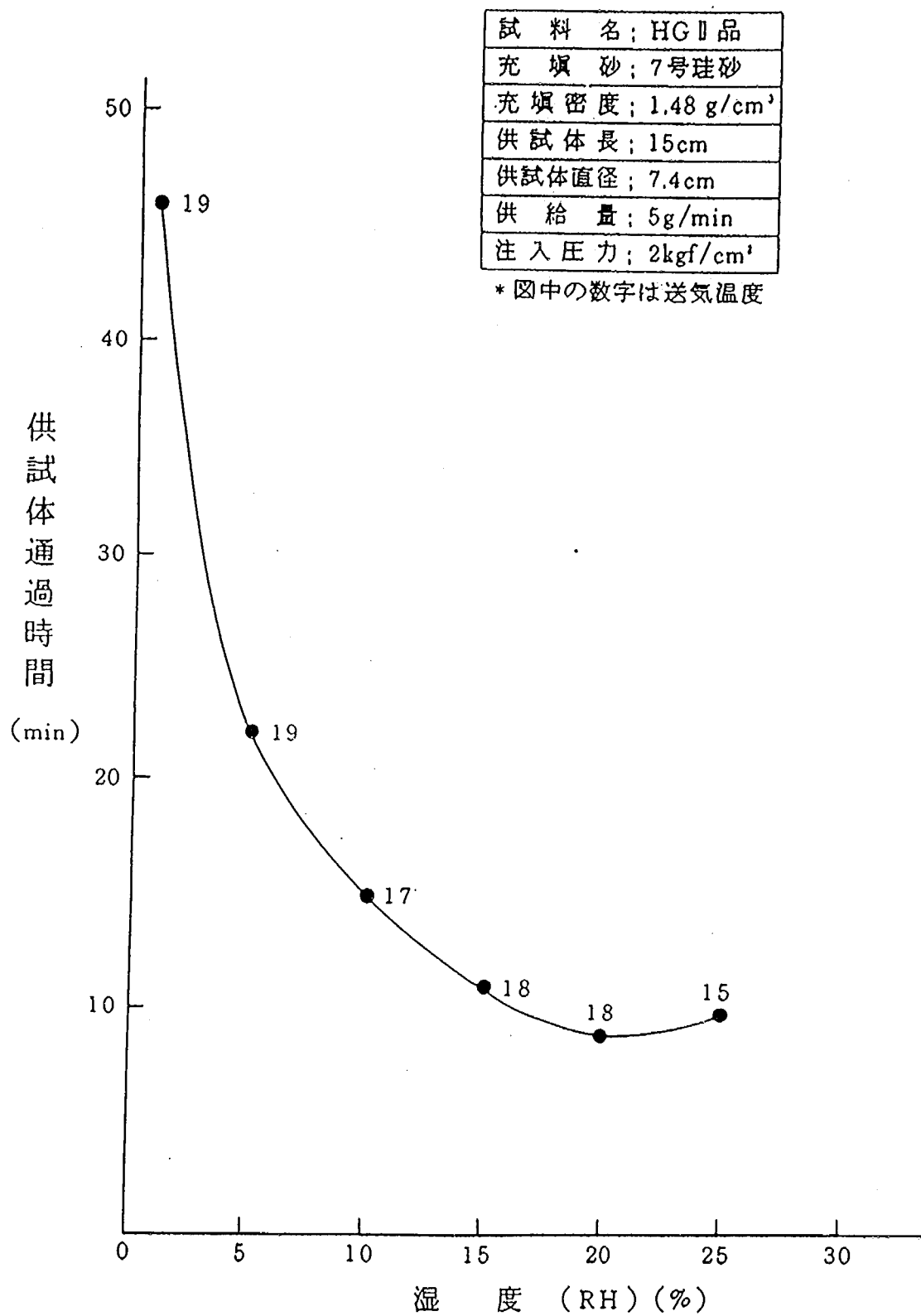


図-4.3.4 7号珪砂層における送気湿度と浸透性

4.3.5 結論

- (1) 表-4.3.1 の試験条件で行われる粉体圧送グラウチングにおける改質セメントの浸透性について、送気湿度の影響は無視できない。
- (2) 改質セメントの浸透性試験においては、送気湿度の適正範囲があり、これより低湿度側でも高湿度側でも浸透性は悪くなる。前者は静電気発生によるものであり、後者は表面水分による付着性増加のためと考えられる。送気湿度の適正範囲は、標準品、HGⅡ品とも10～20%付近と考えられる。
- (3) 実注入においても、送気湿度は浸透性に影響を及ぼす要因の一つとなる可能性があるが、注入岩盤中に保持されている水分の影響が大きいと推察される。従って、ここでは可能性を示唆するにとどめたい。

4.4 試料含水比の粉体注入に与える影響

4.4.1 試験概要

粉体注入に際し、試料が湿っている場合、注入効果に悪影響を及ぼす恐れがあると考えられる。そこで試料に含まれる水分、すなわち含水比と粉体注入度合いの関係を室内試験により行い検討した。

4.4.2 試験方法

送気による含水比の低下と事前送気なしによる粉体注入について、珪砂（攪乱試料）を用いて行う。

具体的な試料として、粉体注入限界に近い粒径の7号、8号Aの珪砂を用い、含水比はマサ土の自然地盤の含水比に近い5～7%を最大値（4.6参照）として設定した。

(1) 試験条件

1) 供試体作製

- ① 供 試 体：7号珪砂および8号珪砂A
- ② 試料の含水比：0%，2%，5%
- ③ 試料の密度：乾燥密度 $\rho_d = 1.48 \text{ g/cm}^3$
- ④ 試料の間隙率：42 ～ 44%
- ⑤ 供試体寸法：直径 7.5cm，長さ 15cm の円柱形
- ⑥ モ ー ル ド：アクリル樹脂製モールド

2) 送気による含水比低下試験

- ① 送 気 圧 力：2.0 kgf/cm²
- ② 含水比の測定：送気中の含水比変化を所定送気時間前後での重量で求め、初期と終了後の含水比を炉乾燥で求める。

3) 粉体注入試験

- ① 粉 体 注 入 材：HGⅡ粉体
- ② 注入圧力（送気圧力）：2.0 kgf/cm²
- ③ 粉 体 供 給 速 度：2 g/min
- ④ 供試体含水状態：含水比0%（気乾状態），2%，5%
- ⑤ 事前送気：なし
- ⑥ 注 入 終 了 条 件：供試体長を粉体が通過のとき、または空気流量が 1.0 Nm³/h 以下になったときとする。

(2) 試験数量

試験数量は表-4.4.1に示すとおり。

表-4.4.1 試験数量

試料	7号珪砂			8号珪砂A			合計
含水状態	0%	2%	5%	0%	2%	5%	---
送気による含水比低下測定	×	○	○	×	×	×	4 供試体
粉体注入	○	○	○	○	○	○	6 供試体

4.4.3 試験結果

(1) 送気による含水比低下試験

試験結果を表-4.4.2(1)、(2)に、送気時間と含水比の関係を図-4.4.1に示す。

1) 初期含水比2%の場合

表-4.4.2(1) 試料の初期含水比2%時の送気試験結果

試料名	湿润	乾燥	間隙率	送気 時間 min	送気流量		間隙実流速		
	密度 g/cm ³	密度 g/cm ³			開始 Nm ³ /h	終了 Nm ³ /h	開始 m/s	終了 m/s	
7号 w=2%	1.528	1.497	0.433	10	20.6	20.7	1.1	1.1	
7号 w=2%	1.524	1.494	0.435	60	19.8	19.4	1.1	1.1	
試料名	送気 時間 min	初期 含水比 %	送気後重量から求めた推定含水比 %				試験後実測含水比		
			10分後	15分後	30分後	60分後	上部	中部	下部
7号 w=2%	10分	2.03	0.06	----	---	----	0.04	0.06	0.06
7号 w=2%	60分	2.06	0.05	----	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02

2) 初期含水比5%の場合

表-4.4.2(2) 試料の初期含水比5%時の送気試験結果

試料名	湿潤 密度 g/cm ³	乾燥 密度 g/cm ³	間隙率	送気 時間 min	送気流量		間隙実流速		
					開始 Nm ³ /h	終了 Nm ³ /h	開始 m/s	終了 m/s	
7号 w=5%	1.538	1.465	0.445	15	20.7	23.5	1.1	1.2	
7号 w=5%	1.538	1.465	0.445	60	19.4	21.7	1.0	1.1	
試料名	送気 時間 min	初期 含水比 %	送気後重量から求めた推定含水比 %				試験後実測含水比		
			10分後	15分後	30分後	60分後	上部	中部	下部
7号 w=5%	15分	5.00	2.00	0.04	---	----	0.89	1.18	1.38
7号 w=5%	60分	4.97	1.82	----	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

3) 初期試料含水比設定による粉体注入試験

試験結果を表-4.4.3に示す。また、初期含水比を浸透率（浸透長／供試体長）の関係を図-4.4.2に示す。

表-4.4.3(1) 粉体注入試験結果

試料名				7号珪砂			8号珪砂			
項目		(単位)		703	723	753	801	802	821	851
試 体 条 件	直径	D	(cm)	7.4	7.4	7.4	4.9	4.9	7.4	7.5
	長さ	L	(cm)	15.0	15.0	15.6	10.2	10.3	15.1	16.2
	含水比	w	(%)	0.06	1.67	5.07	0.39	0.39	2.07	4.83
	湿潤密度	ρ_t	(g/cm ³)	1.492	1.521	1.503	1.443	1.474	1.413	1.407
	乾燥密度	ρ_d	(g/cm ³)	1.491	1.496	1.430	1.438	1.468	1.385	1.343
	間隙率		(%)	43.56	43.38	45.87	45.69	44.54	47.69	49.28
注 入 条 件	注入圧力		(kg/cm ²)	2.00	2.00	2.00	2.40	3.40	2.00	2.00
	粉体供給速度		(g/min)	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0
	注入時間		(min)	65	70	40	65	80	160	140
注 入 結 果	送気流量	開始時	(Nm ³ /h)	7.80	7.71	9.65	0.83	0.78	4.31	4.28
		終了時	(Nm ³ /h)	13.92	15.59	21.96	3.82	0.76	1.23	5.64
	間隙実流速	開始時	(m/sec)	0.617	0.610	0.725	0.187	0.180	0.306	0.289
		終了時	(m/sec)	0.738	0.826	1.106	0.384	0.060	0.058	0.256
	透気係数	開始時	(cm/sec)	4.03E-01	3.98E-01	5.19E-01	1.74E-01	1.64E-01	2.20E-01	2.31E-01
		終了時	(cm/sec)	2.41E-01	2.70E-01	3.97E-01	7.41E-02	8.08E-03	2.11E-02	1.02E-01
	目視観察 による 浸透長	注入直後	状況(cm)	通過	通過	通過	一部通過	一部通過	一部通過	6~14.6
		水浸養生後	(cm)	12~15	14~15	12~15.6	5~10.2	6~10.3	15	12.4~16
		平均浸透長	(cm)	15	14.8	15.3	10	9.9	14.6	14.6
	浸透率		(%)	100.0	98.7	98.1	98.0	96.1	96.7	90.1

4) 含水比が粉体注入に与える影響

① 送気による含水比低下試験

攪乱試料（7号、8号珪砂A）で送気による試料の含水比低下が図-4.4.1に見られるように、送気圧 2kgf/cm^2 のもとで初期含水比が2%の試料が、約10分の送気で0.06%になり、初期含水比5%の試料は約15分で0.89%に低下した。更に送気1時間で0%近くに乾燥した。

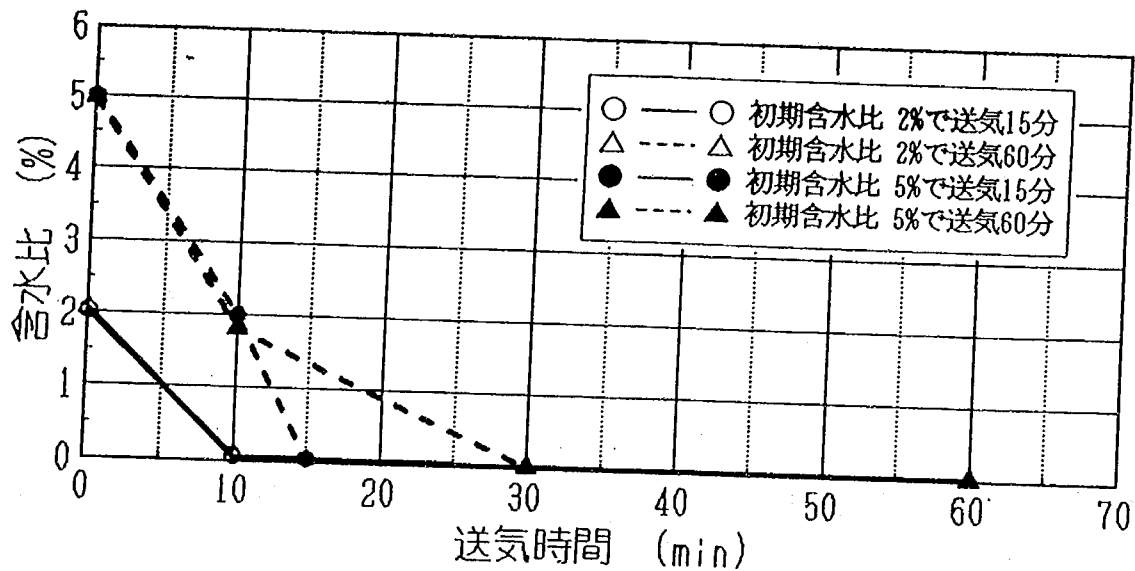


図-4.4.1 含水比と送気時間の関係

② 粉体注入試験（事前送気なし）

粉体注入試験結果では7号珪砂の場合、含水比5%でも粉体を通過させているが、8号珪砂Aになると含水比2%までは一部通過で含水比5%になると約90%の浸透に止まった（図-4.4.2参照）。従って、均一粒子である試料であっても、細粒子の多い8号珪砂Aでは含水比の影響があることが判明した。

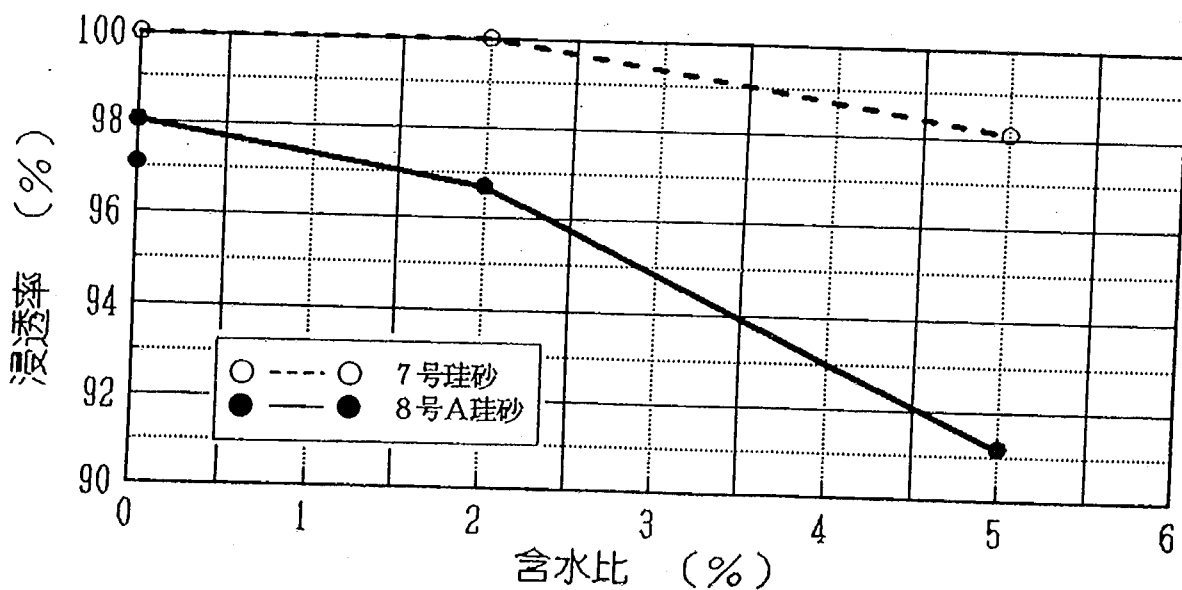


図-4.4.2 含水比と浸透率の関係

4.5 攪乱試料を用いたセメントミルクとの比較

4.5.1 浸透性比較試験

(1) 試験概要

粉体の浸透性をより明確にするために、セメントミルクとの浸透限界比較試験を再現性の高い珪砂を中心とした攪乱試料を用いて行った。試験は、一定の圧力のもとで一次元流れの注入を行い、浸透長および透気性の経時変化を測定した。

試験は、以下の2段階により進めた。

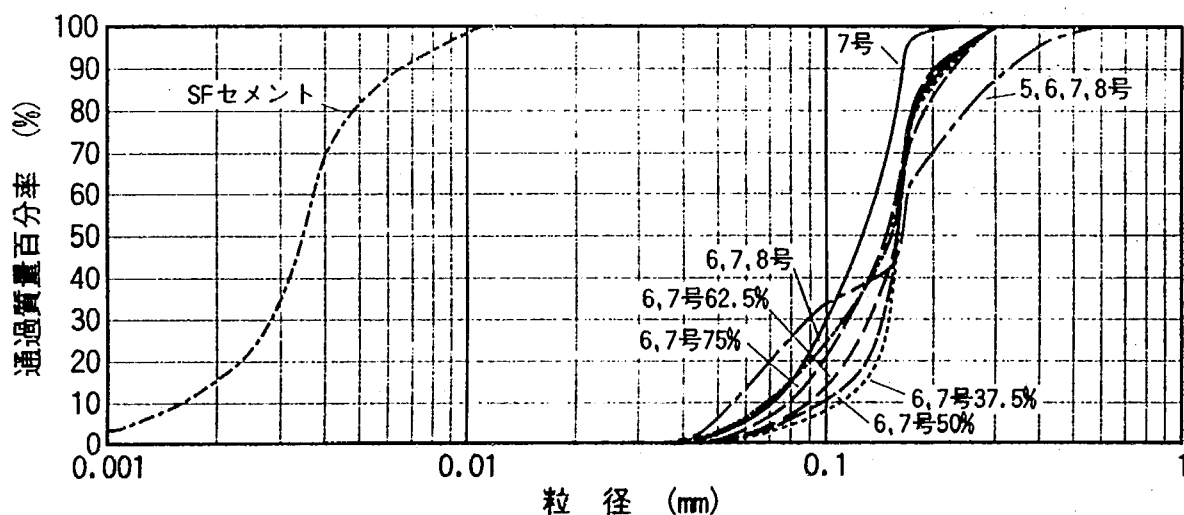
- ① セメントミルクによる注入対象試料選定試験
- ② 改質セメント及びセメントミルクの浸透性比較試験

(2) 注入対象試料選定試験

1) 試験内容

粉体圧送グラウチングとの浸透性比較のための注入対象試料を検討するために、珪砂数種類を用いて（あるいは混合して）、一次元流れでの浸透限界を独自の浸透性評価基準により検討した。

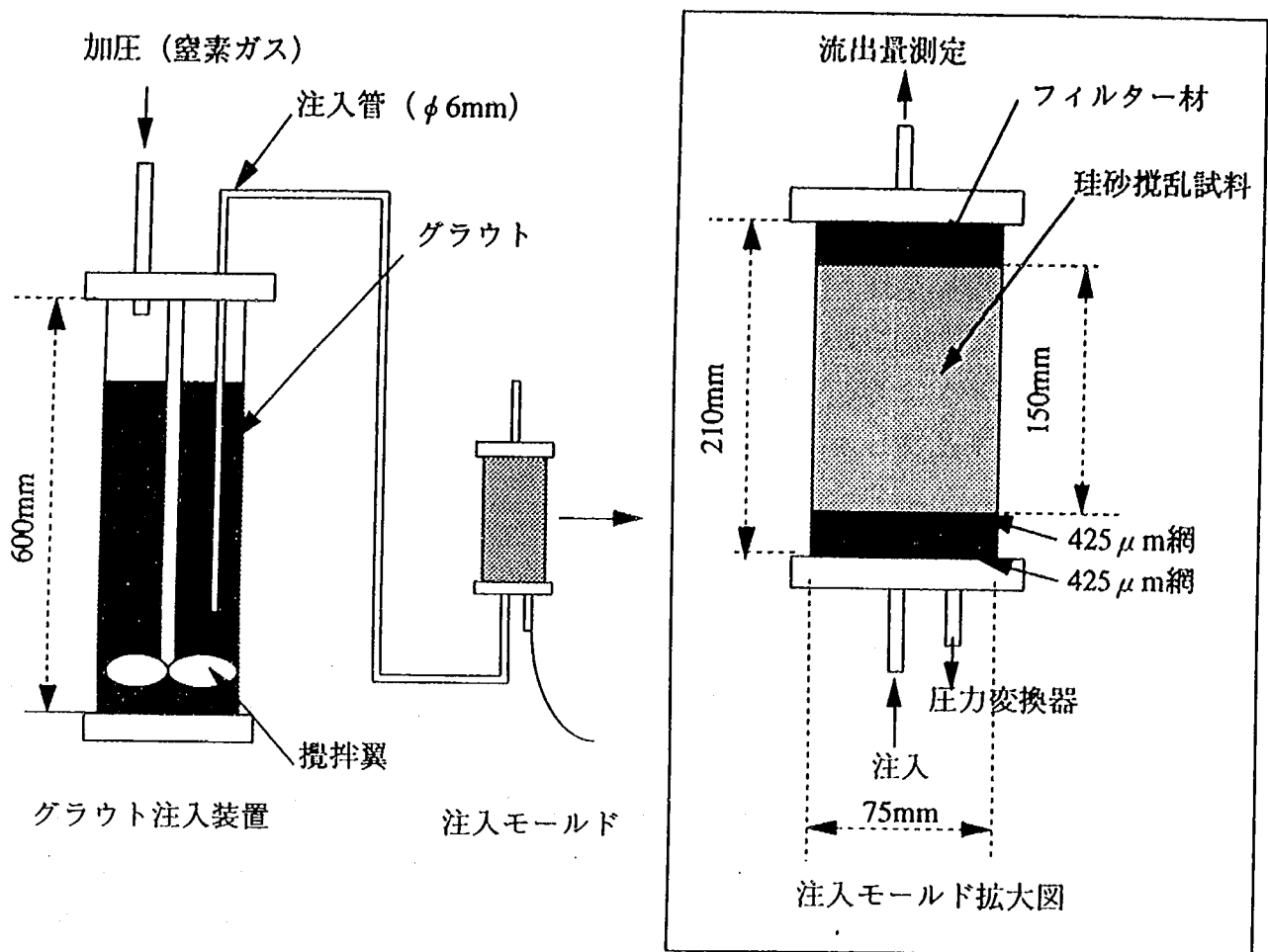
注入材料は、一般にグラウト材料として用いられる日鐵セメント(株)のスーパーファイン(SF)を使用した。砂試料に関しては、5,6,7,8号珪砂を単体あるいは混合して使用した。注入対象の砂試料は、注入材料の粒度分布と砂試料の粒度分布を考慮し、全部で7種類用意した（図－4.5.1 参照）。



図－4.5.1 5,6,7,8号珪砂の配合比による粒度分布

2) 試験方法

使用した注入材料は水セメントの配合比を1000%とし、分散剤としてマイティ150Rをセメント重量の2%添加した。注入材料は、20℃の恒温槽で水温を20℃に保ち、ホバートミキサーを使用して水と分散剤で30秒攪拌した後にセメントを投入し、3分間攪拌して作製した。



図ー4.5.2 セメントミルク加圧浸透試験装置および供試体

試験は以下の手順で行った（図ー4.5.2 参照）。

①モールド（砂供試体の作製）

・フィルター材の選定

篩いにて2mmを通過し425 μ mに残ったものを使用した。

・金網の選定

試料中の細粒分が流出しないよう、呼び寸法425 μ mとした。

・締め固め方法

乾燥砂をモールド内に3cmずつ入れ管を叩いたり、突き棒で突いて表ー4.5.2の各モールドの充填密度になるよう締め固めた。

②透水試験

注入に先だち定水位透水試験を行ない、試料の透水係数を求めた。なお、試料は透水試験を行なう前に1時間以上水を通し飽和させた。

③注入

窒素ガスを用いた1kgf/cm²の定圧力でモールド下部よりグラウト材を注入した。注入中はタンク内の攪拌翼を回転させ、セメント粒子の沈殿を防いだ。

* 土質工学会：薬液注入による安定処理土の供試体作製、土質試験方法と解説、pp.263～270、1990

④流量、圧力の測定

注入中はモールド上部からのグラウトの流出量および口元の圧力を15秒間隔で測定した。流量の測定はメスシリンダーを用いて行ない、圧力はセンサーにより測定した。

⑤注入終了

注入開始後10分間経過した時点で終了とした。

⑥評価

グラウトの浸透の可否の判断は、どこまで目詰まりを許容するかによって変わるので適切な指標の設定が難しい。試料選定試験では、同様の試験を行なった文献等^{*}を参考に、浸透距離、総流出量（試験装置の流出口からの排出量）等を用いて表－4.5.1のような評価基準を設定した。なお、評価の基準とした10分間の流出量600cc、1200ccはそれぞれ試料間隙体積の約2倍、4倍である。

表－4.5.1 浸透試験評価基準

評価	判断基準
浸透不可 (不可)	① 注入開始後10分間経過しても、セメント粒子が試料内（15cm）を通過しない場合。
	② セメント粒子が試料内（15cm）を通過せず閉塞した場合。
浸透難 (難)	① 注入開始後10分以内に流出水が清水に変わった場合。
	② 注入開始後10分以内に、セメント粒子が試料内（15cm）を通過した後、閉塞した場合。
	③ 注入開始後10分間の流量が600cc以下の場合。
浸透可 (可)	・ 注入開始後10分間の流量が600cc～1200ccの場合。
	（閉塞，流出水の清水への変化なし）
浸透良 (良)	・ 注入開始後10分間の流量が1200cc以上の場合。
	（閉塞，流出水の清水への変化なし）

3) 試験結果

試料砂の各配合比における透水試験結果と、注入試験結果を表－4.5.2に示す。表－4.5.2より、7、8号珪砂の占める割合と浸透距離、ならびに7、8号珪砂の占める割合と流出量との関係を図－4.5.3,4.5.4に示す。

6,7号珪砂をブレンドした供試体については、7号珪砂の供試体中占める割合が50%以下であれば供試体を通過し、75%以上になると浸透長が9cm程度で変化がなくなる傾向を示した。8号珪砂を配合した2供試体については、いずれの試験も占める割合が25%で浸透長が4.9、4.8cmと同様で、6,7号珪砂をブレンドした供試体に比べ細粒分の占める割合が大きくなるため浸透長は延びない結果となった。流出量に関しては、7号100%配合以外は、供試体中に占める細粒分の割合が増えれば流出量がさがる傾向を示した。したがって、各配合における珪砂の注入特性の比較は以下ようになる。

^{*}米田・中川：粒子径を変えた各種セメントグラウトの基本的性質と浸透性比較、土木学会論文集、No.462/VI-18、1993
森崎・田村・青木：超微粒子注入材量の浸透限界、土木学会論文集、No.426/V-14、1991

表-4.5.2 各配合における試験結果

試料 No.	試料砂の配合	モールド					空隙率 %	透水係数 cm/s	注入結果			
		内径	断面積	砂重量	砂体積	充填密度			浸透距離	流出量	注入状況	浸透性
		φ cm	cm ²	g	cm ³	g/cm ³			cm	ml/10min		
S 1	7号珪砂 100%	7.38	42.75	952	641.32	1.484	42	4.2×10^{-3}	9.3	1154		不可
S 2	6、7号珪砂 (7号珪砂75%)	7.34	42.29	1044	634.39	1.646	36	2.8×10^{-3}	9.1	950		不可
S 3	6、7号珪砂 (7号珪砂62.5%)	7.40	42.99	1038	644.80	1.61	37	4.3×10^{-3}	10.9	1127		不可
S 4	6、7号珪砂 (7号珪砂50%)	7.38	42.75	1060	641.32	1.653	35	4.8×10^{-3}	15以上 (通過)	1280	セメント通過まで その後、清水に変	難
S 5	6、7号珪砂 (7号珪砂37.5%)	7.38	42.75	1050	641.32	1.637	36	8.3×10^{-3}	15以上 (通過)	2350	セメント通過まで	良
S 6	5、6、7、8号 (1:1:1:1)	7.39	42.87	1160	643.06	1.804	30	1.6×10^{-3}	4.9	490		不可
S 7	6、7、8号珪砂 (1.5:1.5:1)	7.38	42.75	1100	641.32	1.715	33	1.7×10^{-3}	4.8	440		不可

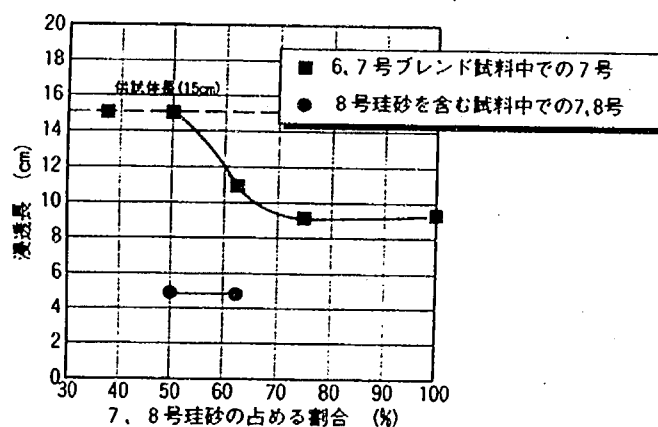


図-4.5.3 7,8号珪砂の占める割合と
浸透長の関係

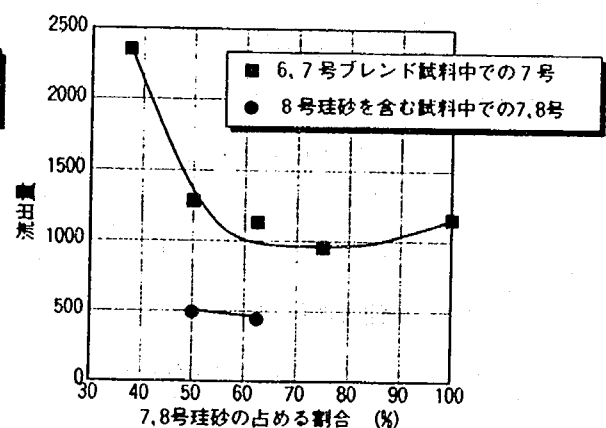


図-4.5.4 7,8号珪砂の占める割合と
流出量の関係

①浸透距離 (6、7号珪砂のみを使用したもの)

6、7号珪砂 < 7号珪砂 < 6、7号珪砂 << 6、7号珪砂, 6、7号珪砂
(7号75%) (7号100%) (7号62.5%) (7号50%) (7号37.5%)

②流出量 (6、7号珪砂のみを使用したもの)

6、7号珪砂 < 6、7号珪砂 < 7号珪砂 < 6、7号珪砂 << 6、7号珪砂
(7号75%) (7号62.5%) (7号100%) (7号50%) (7号37.5%)

上記の中でセメントミルクの浸透性が高すぎず浸透性比較試験に適当なものとしては、独自の評価基準から7号の供試体中に占める割合が62.5%、75%および100%が当てはま

るが、他の珪砂とブレンドすると、試料作成過程でばらつく恐れがあるため、7号100%を中心に浸透性比較試験を行なうこととした。また、粒度の違いによる浸透性を把握するため、浸透性評価が7号100%より良い7号50%と、7種類の中で最も浸透性の悪い6,7,8号珪砂(1.5:1.5:1)についても試験を行なうこととした。

注入時間については、全て10分として試験を行ったが、その妥当性を探るため、20分間注入した場合の浸透長変化を確認した。試験は、試料選定試験と同様な方法で7号珪砂100%試料に対して注入圧力を 2.0kgf/cm^2 として実施した。

結果は、図-4.5.5に示すとおりである。この結果からセメントミルクは、閉塞過程を経て6~7分程度で目詰まり状態となり、それ以降流出量に変化が見られないことが分かる。

浸透長に関しては、10分注入で4.0~9.8cm、20分注入で3.5~9.9cmと同程度の浸透性を示した。

したがって、注入時間は、目詰まりを起こした状態以上に延長しても浸透性に影響しないことからセメントミルクの注入時間を10分固定で行うこととした。

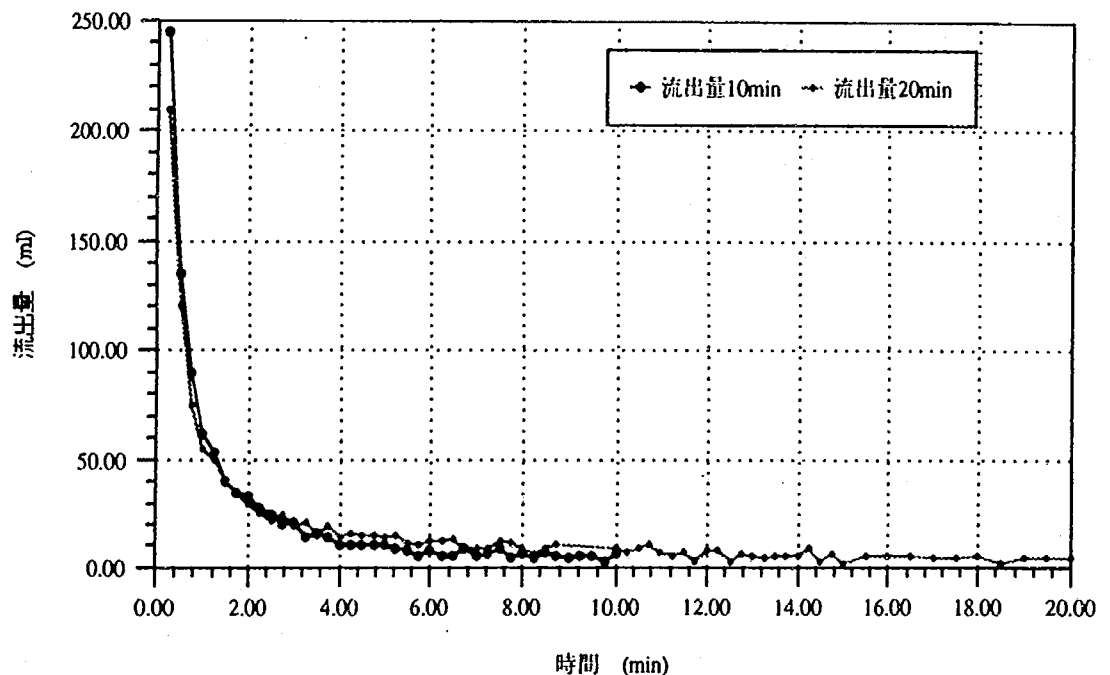


図-4.5.5 7号珪砂におけるSFミルクの注入時間の違いによる注入状況 ($P=2.0\text{kgf/cm}^2$)

(3) セメント粉体とセメントミルクとの浸透性比較試験

1) 試験内容

注入対象試料選定試験により決定した3種類の砂試料に加え、細粒分を調整した8号珪砂および小山マサ土+細粒分を調整した8号珪砂に対しても試験を行った。注入材料として、セメントミルクは、改質セメントの母材である秩父小野田セメント(株)のアロフィックスMC(以降MCとする)を使用し、粉体圧送用材料は、従来から利用してきた改質セメント(以降標準品とする)および本共同研究で新たに開発したハイグレード品2種類(以降HG I, HG IIとする)を使用した。粉体とセメントミルクの比較を行った試験数量は表-4.5.3に示す通りである。試験は、7号珪砂を中心に行った。この表中のSFミルクを使用した試験は、注入対象試料選定試験での数量とミルク注入時間の浸透長への影響を調べるために行った試験(2回)を含めたものである。また、HG IIは、送気湿度の影響試験における送気湿度15%時の試験を含めたものである。

試験で使用した注入材料および注入対象試料の粒度分布を図-4.5.6に示す。なお改質セメントの粒度分布は、測定データの一例である。

表-4.5.3 比較試験数量一覧

注入対象試料	注入材料	試験数
7号珪砂	SFミルク	3
	MCミルク	5
	改質セメント標準品	16
	改質セメントハイグレード I	4
	改質セメントハイグレード II	6
6・7号珪砂 (1:1)	SFミルク	1
	改質セメント標準品	3
6・7・8号珪砂 (1.5:1.5:1)	SFミルク	1
	改質セメント標準品	1
8号珪砂A	MCミルク	1
	改質セメント標準品	3
8号珪砂B	改質セメント標準品	1
	改質セメントハイグレード I	1
小山マサ土 + 8号珪砂C	MCミルク	4
	改質セメント標準品	11
	改質セメントハイグレード I	1

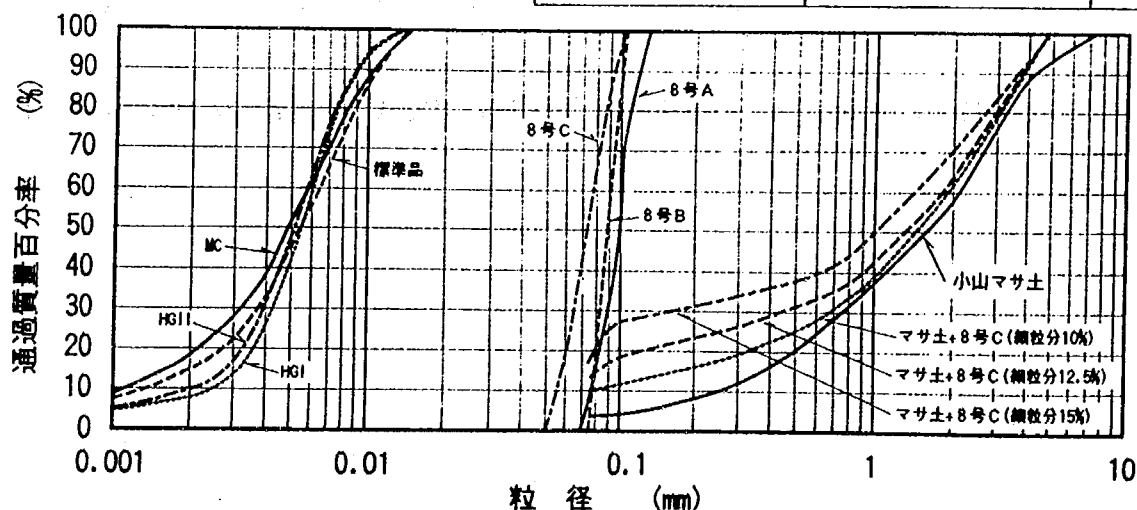


図-4.5.6 注入対象試料および注入材料の粒度分布

2) 試験方法

ミルク注入は、試料選定試験で行った方法により行った。セメントミルクの注入方向は、基本的には上昇流で行った。注入圧力は $1.0 \sim 7.6 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で行った。ただし、7号珪砂を使用したMCミルク注入時の注入圧力 4.4 、 7.0 kgf/cm^2 のみ下降流での注入を行った。

供試体の作製に当たっては、ミルク、粉体ともに図-4.5.7、8に示すように行い、間隙率が同じになるように試料の充填密度を砂容器の容積と砂の重量により管理した。供試体長さは、注入圧力に応じて15、21、30、41cmの4種類を用意した。

粉体注入は、図-4.5.7に示す装置により、供試体上部からセメント粉体を圧縮空気とともに注入を実施した。珪砂への注入では、試料が気乾状態であるため事前送気なしで注入を行い、マサ土を使用した試料については、自然含水状態であるため、注入圧力と同圧力で事前送気を120分間行い、試料を乾燥させてから注入を行った。注入中は、口元圧力、送気流量および目視観察による供試体中のセメント粉体の浸透長を一定時間毎に観測した。

試験終了後は、1週間の水中養生を行い、その後供試体をモールドからはずし浸透長の計測を行った。

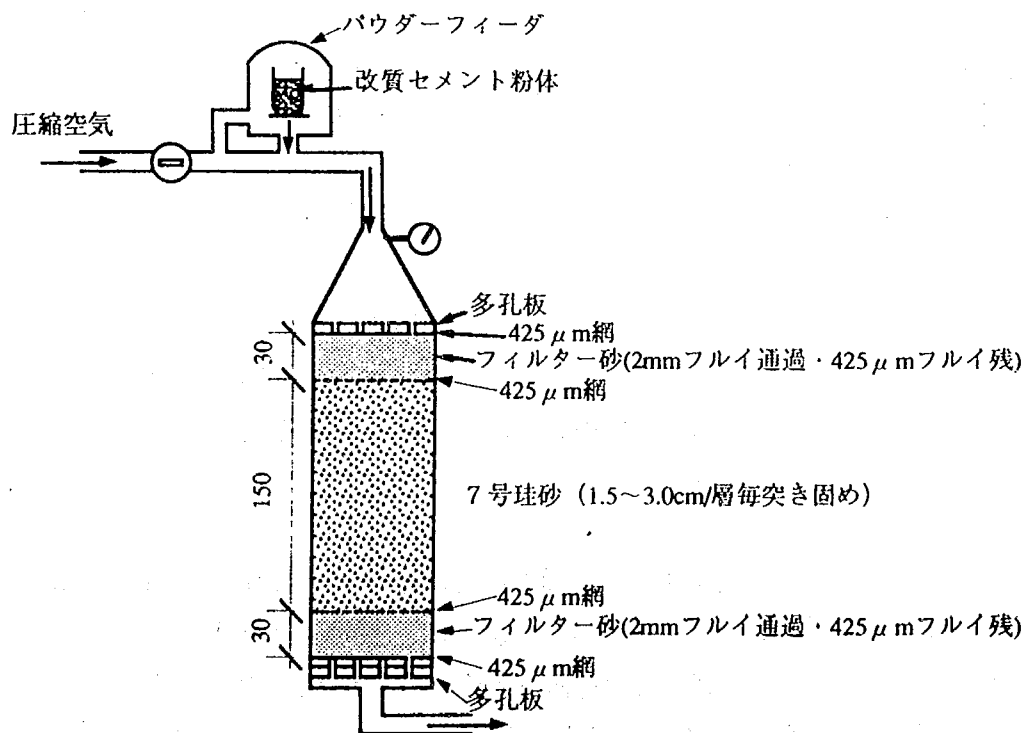
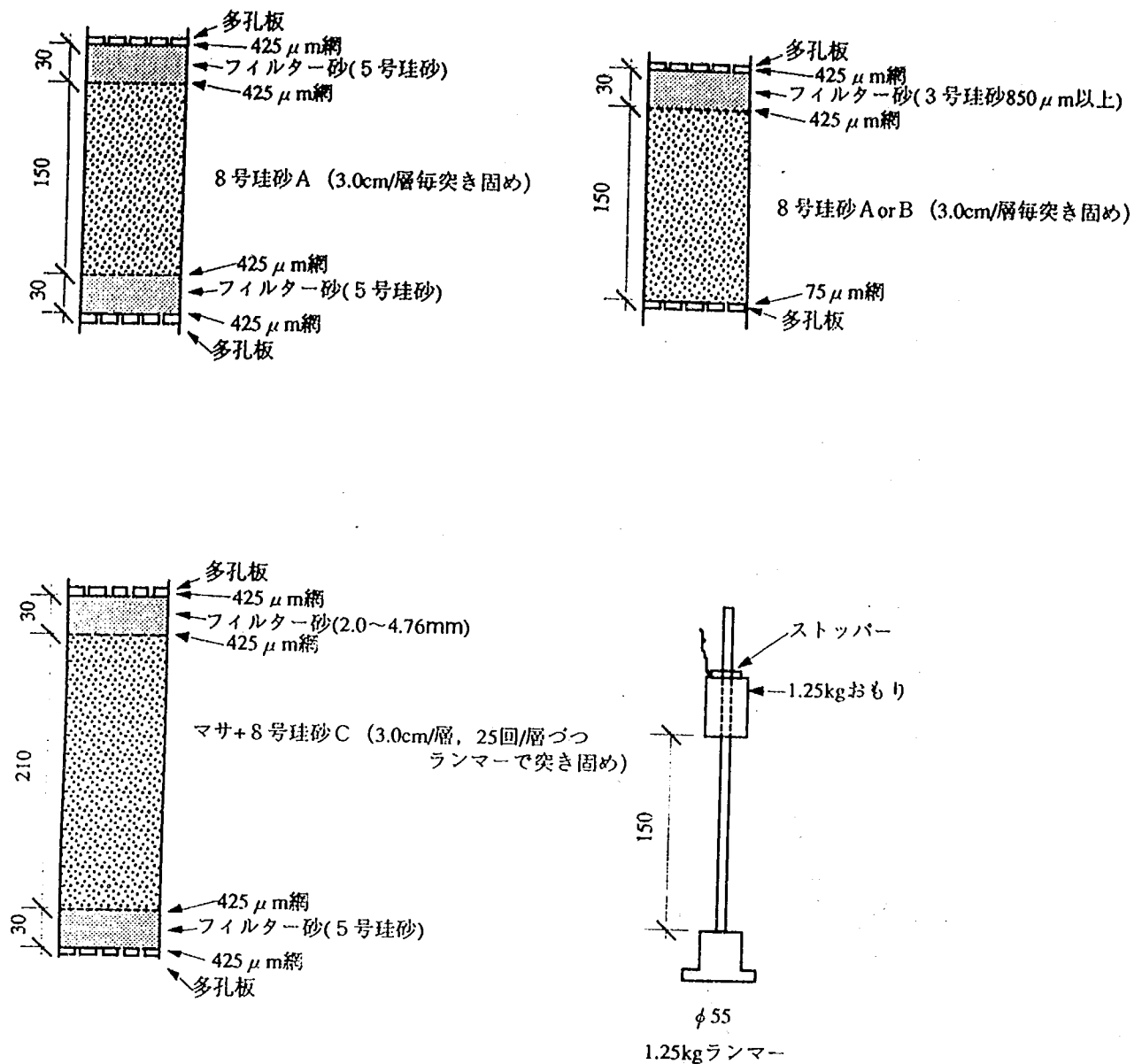


図-4.5.7 粉体注入装置および7号珪砂供試体形状



(単位: mm)

図-4.5.8 供試体形状およびランマー形状

3) 試験結果

粉体との浸透長の比較結果一覧は、注入対象試料毎に表-4.5.4~4.5.9に示すとおりである。表中の試料No.に通し番号ついているものは、標準品を使用した注入試験である。ダッシュ () の付いているものは、その番号の付いた標準品での試験と同じ条件でHG Iを使用して試験を行ったものあるいは同じ標準品で追加試験を行ったもの (6'のみ) である。またSが付いているものは、注入対象選定試験時に行ったSFミルクの試験をMが付いているものは改質セメントの母材であるMCミルクでの試験を表している。IIがついているものは、送気湿度影響試験の結果である。

図としてまとめたものが図-4.5.9~4.5.13である。

結果に関して以下に箇条書きする。

- ① 図-4.5.9から注入圧力が大きいほどセメントミルク、改質セメントともに浸透長は延びる傾向を示した。
- ② 改質セメントの標準品、HG Iは母材であるMCミルクと同程度の浸透性を示し、HG Iは、場合により多少浸透性が良い結果となった。特に細粒分の多い8号珪砂を使用した試験では、図-4.5.9 (c)、(d) に示すようにHG Iの方が標準品、MCミルクに比べ浸透長が長いことが7号珪砂に対する場合よりも顕著である。
- ③ HG IIは、図-4.5.9 (b)、4.5.11に示すようMCミルク、標準品、HG I比浸透性に優れている。粉体供給速度は、50g/minにおいても単位時間当りの浸透長が30g/minに比べ延びる傾向にあり、供給速度を更に上げられる可能性を示している。
- ④ 図-4.5.10から7号珪砂における注入圧力2kgf/cm²での粉体注入は、注入初期の試料上部における空気実流速を間隙率で除した間隙実流速が、0.8m/s以上確保できれば安定した浸透長が得られた。
- ⑤ 図-4.5.13から粉体の注入は、注入時間を掛ければ注入長が延びる傾向を示す。しかしながら、粉体注入はHG II以外、同圧でのミルク注入に比べ注入時間が長い。このため、時間効率を向上させるため粉体供給速度 C_i (g/min) を大きくすることが考えられる。図-4.5.13の注入圧力2 kgf/cm²時の C_i が1.0g/minと2.0g/minを比べれば C_i を濃くすれば浸透長にばらつきが生ずるがほぼ同様の範囲に浸透していることがわかる。しかし、濃くし過ぎると、目詰まりを起し透気性が著しく低下し、浸透長が短くなる可能性も考えられる。したがって、図-4.5.11に示す粉体供給速度における単位時間当りの浸透長の傾きが最大になる粉体供給速度が効率的な供給速度と考えられる。以上から注入圧力2kgf/cm²時における標準品の最適な注入供給速度は、10g/min前後の範囲に存在すると考えられ、またHG IIに関しては、50g/minでも傾きが大きくなる傾向があることから、粉体供給速度をまだ大きくできる可能性があると考えられる。

上記の結果をまとめると以下のようなになる。

- ① HG IIは、非常に優れた浸透性を示す。
- ② 改質セメントを地盤間隙中に輸送するためには、最低必要な流速すなわち注入圧力を確保しなければならないと考えられる。
- ③ またこの流速に合わせた最適な粉体供給速度を求めるためには、粉体供給速度を変化させその時の単位時間当りの浸透長の傾きが最大になる供給速度をもって最適供給速度とする方法で行えば良いと考えられる。

表-4.5.4 7号珪砂100%注入結果一覧 (注入圧力毎粉体供給速度-注入時間順)

試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
S1	SF	15	1.485	0.44	1.0	10	—	—	—	9.3	k=4.2×10 ⁻³ cm/sec
1 標準			1.487	0.44	1.0	160	1.0	5.9	0.61	6.0~9.5	
1' HG I			1.474	0.44	1.0	150	1.0	7.3	0.89	5.5~9.5	
II-1 HG II			1.496	0.43	1.0	20	11.0	6.5	3.1	8.5~12.0	
II-7 標準			1.485	0.44	1.0	10	30.0	7.0	3.2	1.2~4.7	
II-3 HG II			1.485	0.44	1.0	10	30.0	5.9	2.7	1.5~10.8	
S8	SF	15	1.488	0.44	2.0	10	—	—	—	4.0~9.8	k=3.5×10 ⁻³ cm/sec
S9	SF		1.483	0.44	2.0	20	—	—	—	3.5~9.9	k=3.5×10 ⁻³ cm/sec
M1	MC		1.479	0.44	2.0	10	—	—	—	9.0~13.0	
M6	MC		1.484	0.44	2.0	10	—	—	—	7.0~10.5	MC出荷Lotチェック
2 標準			1.479	0.44	2.0	10	1.3	15.8	15.0	0.0~1.5	
3 標準			1.483	0.44	2.0	160	1.3	15.4	5.1	9.5~13.5	
3' HG I			1.478	0.44	2.0	160	1.0	15.9	5.8	13.5~14.0	
4 標準			1.480	0.44	2.0	10	4.7	15.6	14.8	3.5~5.0	
5 標準			1.484	0.44	2.0	62	4.7	15.5	0.01	8.0~13.5	
5' HG I			1.492	0.44	2.5	58	4.8	15.5	0.08	10.0~15.0	
6 標準			1.467	0.44	2.0	63	4.7	16.0	1.9	6.5~12.0	
6' 標準			1.480	0.44	2.1	18	11.0	16.3	0.55	3.5~9.5	
II-2 HG II			1.495	0.43	2.0	20	11.0	18.2	11.5	15.0通過	
II-4 HG II			1.485	0.44	2.0	10	30.0	15.9	6.7	15.0通過	
II-8 標準			1.485	0.44	2.0	10	50.0	18.7	0.2	4.6~9.0	
II-5 HG II			1.485	0.44	2.0	5	50.0	17.8	10.6	15.0通過	
II-6 HG II			1.485	0.44	2.0	10	50.0	16.8	4.3	15.0通過	
M2	MC	15	1.484	0.44	4.4	10	—	—	—	15.0通過	下降流
7 標準			1.456	0.45	4.3	10	1.0	44.6	43.4	1.5~2.5	
8 標準			1.481	0.44	4.3	70	1.0	40.6	23.9	11.0~13.0	
8' HG I			1.478	0.44	4.5	50	1.0	37.7	27.3	12.0~15.0	
9 標準			1.477	0.44	4.4	10	5.0	44.1	30.0	13.0~15.0	
10 標準			1.481	0.44	4.5	10	13.8	44.0	26.3	12.0~15.0	
M3	MC	30	1.487	0.44	6.5	10	—	—	—	30.0通過	
11 標準			1.471	0.44	6.5	86	3.3	45.0	0.00	21.0~30.0	
M4	MC	41	1.480	0.44	7.0	10	—	—	—	41.0通過	下降流
12 標準			1.473	0.44	7.0	160	1.0	39.4	1.3	14.0~17.5	
12' HG I			1.481	0.44	7.4	160	1.2	37.0	16.8	13.0~22.5	
13 標準			1.468	0.44	7.0	31	7.6	38.8	1.9	10.0~14.0	
14 標準			1.477	0.44	7.0	120	7.6	40.4	16.3	11.5~18.0	

：空気流量が低下し作業を終了したもの

表-4.5.5 6・7号珪砂(1:1配合)注入結果一覧

試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
S4	SF	15.0	1.653	0.38	1.0	10	—	—	—	15.0通過	k=4.80×10 ⁻³
15	標準	15.0	1.628	0.38	1.0	160	1.0	7.8	3.7	6.0~15.0	
16	標準	15.0	1.632	0.38	4.4	10	1.3	44.1	42.7	3.0~4.0	
17	標準	15.1	1.632	0.38	4.3	30	1.4	45.3	38.0	10.0~14.0	7xノール反応長15cm

表-4.5.6 6・7・8号珪砂(1.5:1.5:1.0配合)注入結果一覧

試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
S4	SF	15.0	1.715	0.35	1.0	10	—	—	—	4.8	k=1.70×10 ⁻³
18	標準	15.0	1.691	0.36	6.8	30	5.0	44.4	1.2	1.7~9.3	

表-4.5.7 8号珪砂A注入結果一覧 (粉体供給速度-注入時間順)

試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
M7	MC	15.0	1.485	0.44	7.6	10	—	—	—	0.0	k=5.44×10 ⁻⁴
19	標準	15.1	1.485	0.44	7.6	120	2.0	6.0	2.0	0.0~0.3	
20	標準	15.0	1.481	0.44	7.6	180	0.2	46.1	24.6	0.0~0.1	2g/minで注入30秒→送気4.5分繰返
21	標準	15.1	1.483	0.44	7.5	60	2.2	48.1	9.4	0.0~0.6	下フィルター砂なし

*: 75 μ以下細粒分 8.0%

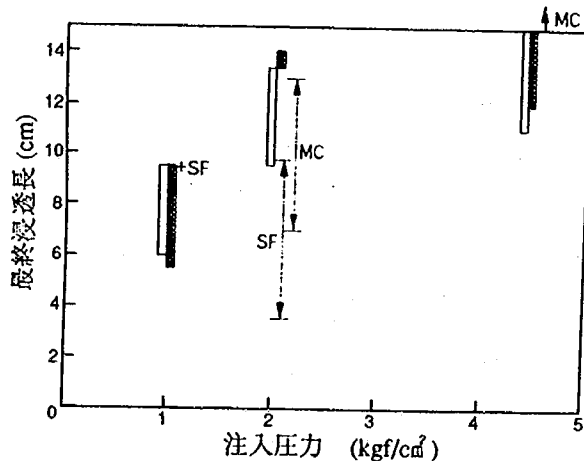
表-4.5.8 8号珪砂B注入結果一覧 (粉体供給速度-注入時間順)

試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
22	標準	15.3	1.467	0.45	7.6	60	0.8	44.3	23.1	0.0~0.3	下フィルター砂なし
22'	HG I	15.0	1.468	0.45	7.6	60	0.8	44.7	25.7	0.6~1.9	〃

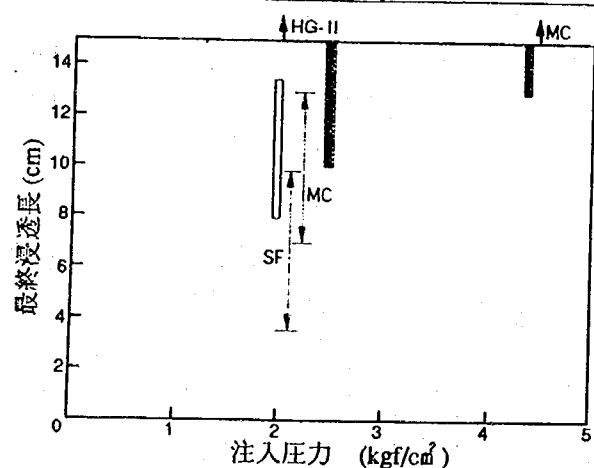
*: 75 μ以下細粒分 3.0%

表一 4.5.9 小山マサ土 + 8号珪砂C 注入結果一覧 (注入圧力毎粉体供給速度・注入時間順)

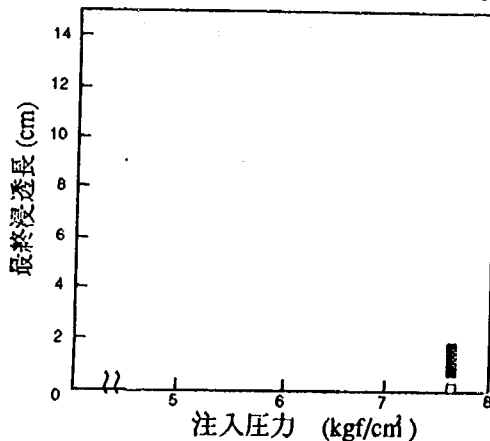
試料 No.	注入 材料	供試体			注入 圧力 kgf/cm ²	注入 時間 min	粉体 供給 速度 g/min	流量(Nm ³ /h)		浸透長 cm	備 考
		長さ cm	密度 g/cm ³	間隙率 n				初期	終了時		
M8	MC	21.0	1.799	0.37	2.0	10	—	—	—	0.7~ 1.7	k=8.60×10 ⁻⁴
26	標準	20.9	1.763	0.38	2.0	60	2.2	13.7	9.8	0.5~ 1.5	細粒分:10.0%
27	標準	21.0	1.769	0.38	2.0	43	6.3	15.4	1.7	0.5~ 3.0	〃
23	標準	21.1	1.692	0.42	3.4	30	2.3	45.9	36.3	0.0~ 0.5	小山マサ土のみ
24	標準	21.1	1.669	0.42	3.2	45	2.0	41.2	28.3	0.0~ 0.8	細粒分:5.5%
M9	MC	21.0	1.760	0.39	4.0	10	—	—	—	1.0~ 1.7	k=1.44×10 ⁻³ (細粒分10%)
28	標準	20.9	1.756	0.39	4.0	60	2.2	28.1	18.0	1.0	細粒分:10.0%
25	標準	20.5	1.757	0.39	5.3	63	2.0	44.1	25.9	0.7~ 1.0	細粒分:7.2%
M10	MC	21.0	1.759	0.39	6.0	10	—	—	—	0.7~ 2.0	k=9.06×10 ⁻⁴ (細粒分10%)
29	標準	20.4	1.784	0.38	6.1	60	2.2	46.0	23.8	1.0~ 3.0	細粒分:10.0%
30	標準	20.9	1.774	0.37	7.1	60	2.1	46.4	13.3	0.0	細粒分:12.5%
33	標準	20.5	1.846	0.34	7.0	30	6.3	23.7	1.0	0.0~ 0.8	細粒分:19.0%
M5	MC	21.0	1.810	0.36	7.6	10	—	—	—	0.3~ 2.0	k=6.33×10 ⁻⁴ (細粒分14%)
31	標準	20.7	1.785	0.37	7.6	60	2.0	45.7	14.8	0.0	細粒分:13.2%
32	標準	20.5	1.818	0.36	7.6	75	3.3	33.0	1.2	0.0~ 0.3	細粒分:14.0%
32'	HG I	21.0	1.803	0.36	7.6	75	3.3	36.6	1.3	0.8~ 4.4	〃



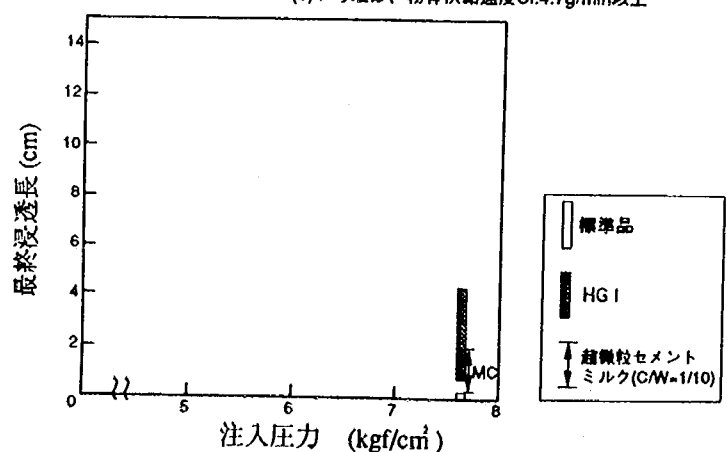
(a) 7号珪砂, 粉体供給速度Cl:1.0~1.3g/min



(b) 7号珪砂, 粉体供給速度Cl:4.7g/min以上



(c) 8号珪砂B, 粉体注入速度Cl:0.8g/min



(d) マサ土+8号珪砂, 粉体注入速度Cl:3.3g/min

図一 4.5.9 超微粒子セメントミルクおよび粉体の浸透長結果

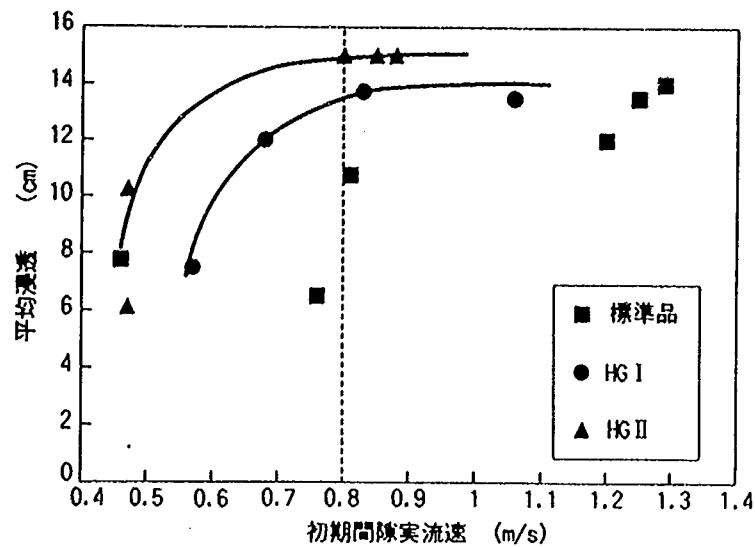


図-4.5.10 7号珪砂における初期間隙実流速と平均浸透長

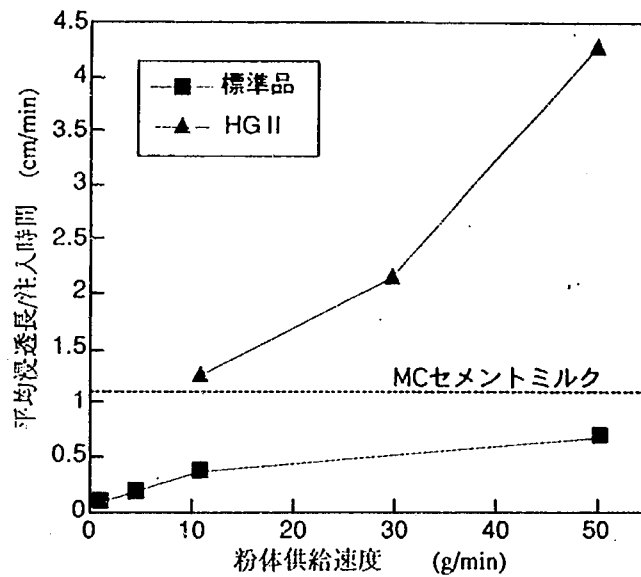


図-4.5.11 7号珪砂における粉体供給速度の影響 ($P=2\text{kgf/cm}^2$)

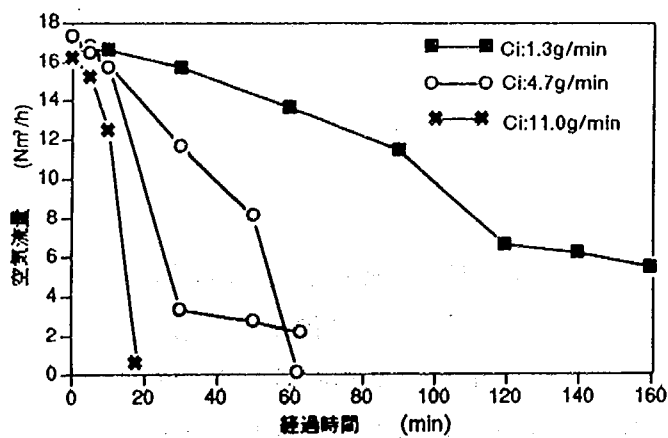


図-4.5.12 7号珪砂における空気流量変化

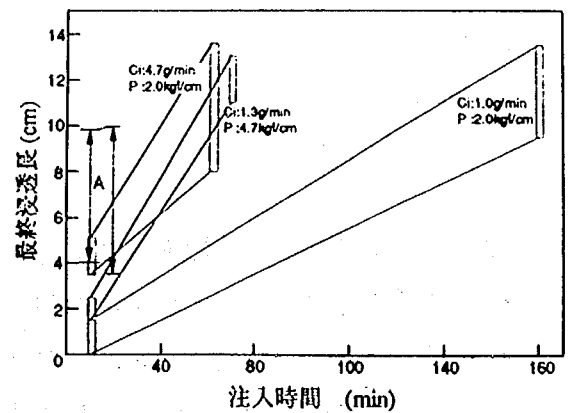


図-4.5.13 7号珪砂における注入時間の浸透長への影響

4.5.2 遮水性比較試験

(1) 試験概要

改質セメント (HG II) 注入によるの遮水特性を調べるために、セメントミルクとの浸透性比較試験と同様に HG II による粉体注入と母材である MC セメントミルク注入を同様な試験条件で行い、注入後の遮水性を透水係数分布により比較する。試験は、浸透性の比較試験方法と同様に 7 号珪砂 100% を使用した攪乱試料による一次元流で行う。

(2) 試験方法

試験は、セメント粉体、ミルクともに浸透性比較試験と同様の装置、方法により行った。供試体形状および試験条件は下記に示すとおりで、試験はそれぞれ 1 回ずつ実施した。注入材料の注入方向は、粉体が下降流、ミルクが上昇流で行った。

【供試体形状】

注入対象試料：7 号珪砂 100%

供試体寸法： ϕ 7.4cm $\times$ ℓ 53.5cm

供試体充填密度：1.485g/cm³ (気乾)

【試験条件】

①粉体注入

注入材料：HG II

注入圧力：4kgf/cm²

注入濃度：3g/min

終了条件：浸透長 54cm 以下かつ 1Nm³/h

②ミルク注入

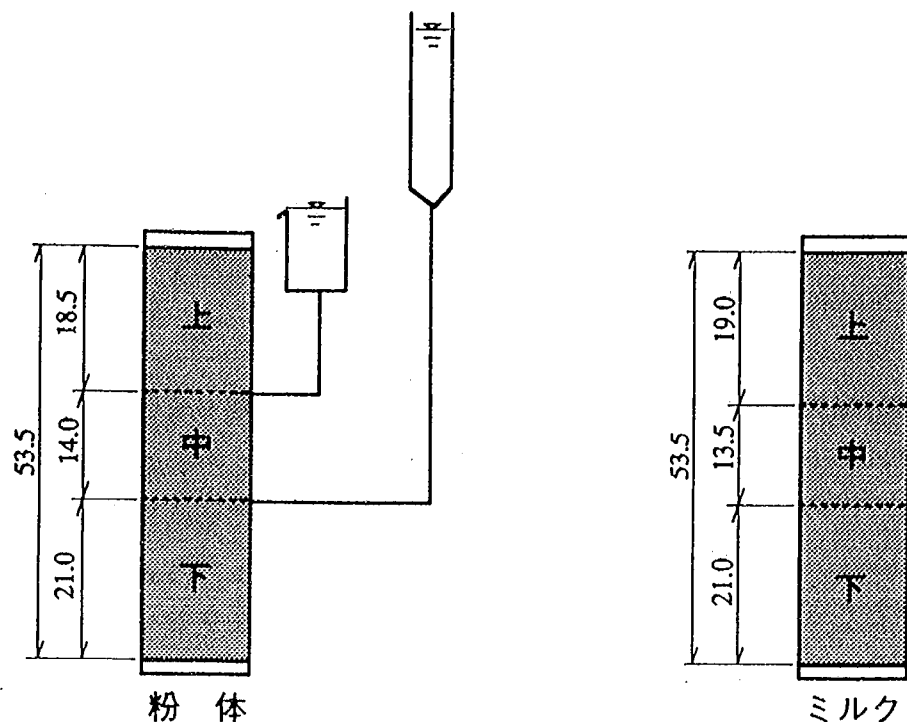
注入材料：アロフィックス MC (秩父小野田セメント製)

注入圧力：4kgf/cm²

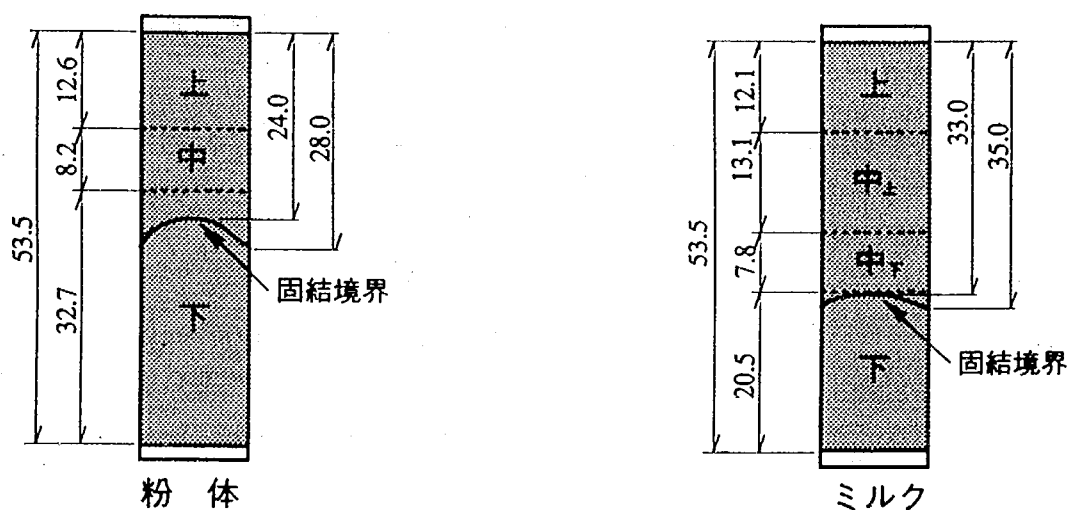
注入濃度：c/w=1/10

終了条件：30 分注入

試験終了後供試体は、水浸養生を行った。養生期間中に、透水係数を計測するために 3 日目、1 週目、2 週目および 4 週目に図一 4.5.14 に示すように供試体を 3 区間に分けて透水試験を実施した。試験は、それぞれの区間の上下端に予め開けておいた穴（注入時は目詰りしておいた）へビューレットからの水管を差し込みビューレット内の水位の変化を計測することで実施した。4 週目には、図一 4.5.15 に示すように供試体を切断し固結した部分に関して供試体の透水係数を同様な変水位透水試験法により算出した。



図一 4.5.14 透水試験方法と計測区間



図一 4.5.15 供試体分割位置および注入状況

(3) 試験結果

浸透長に関しては、HG II が 24～28cm、MC ミルクが 33～35cm となりミルク注入の方が延びる結果となった（浸透性比較試験 (4.5.1 参照) では、HG II の方が優れた浸透性を示した）。各供試体の注入前の物性は表一 4.5.10 に示すとおりである。

表一 4.5.10 注入前各供試体物性値

供 試 体	気乾密度 (t/m^3)	間隙率 (%)	透水係数 ($\times 10^{-3} cm/s$)
HG II 用	1.493	43.5	4.63
ミルク用	1.482	43.9	4.52

この表から注入前の供試体の物性は、HG II 用もミルク用もほぼ同様なものと見なせる。したがって遮水性比較試験に使用した HG II は、浸透性比較試験時のものと多少材料特性に違いがある可能性があったため、標準砂を使用した供試体の通過時間 (15cm 供試体) を測定し、浸透性比較試験時にチェックのため行った結果と比較した。通過時間の結果は、

浸透性比較試験に使用した HG II : 25 分

遮水性比較試験に使用した HG II : 40 分

となり、遮水性比較試験で使用した HG II は浸透性能が若干劣っていた。特に浸透性比較試験時の HG II と比べ粘性があるように感じられたことから細粒分の全体に占める割合が大きく、このため静電気による凝集化が進み浸透性に悪影響を与えたと考えられる。このことから遮水性の結果へも影響があるものと考えられる。

上記を踏まえて以下に結果を示す。透水係数の計測結果一覧は表-4.5.11 に、また透水係数分布の経時変化を図化にしたものを図-4.5.16、17 に示す。この結果から下記のことを言える。

- ① HG II および MC ミルクは図-4.5.16 からほぼ同様な透水係数分布を示している。

表-4.5.11 遮水性比較試験透水係数測定結果一覧

水浸養生後		3 日	7 日	14 日	28 日
粉 体 (HGII)	全 体	6.20×10^{-5}	3.10×10^{-6}	3.20×10^{-6}	2.94×10^{-6}
	上 部		2.62×10^{-6}	2.19×10^{-6}	1.76×10^{-6}
	中 部		3.82×10^{-6}	2.21×10^{-6}	2.28×10^{-6}
	下 部		1.63×10^{-3}	1.09×10^{-3}	1.98×10^{-3}
	分 割				
	上 部				1.16×10^{-6}
	中 部				3.70×10^{-6}
ミ ル ク (MC)	全 体	4.65×10^{-5}	5.09×10^{-6}	2.24×10^{-6}	3.25×10^{-6}
	上 部	4.74×10^{-6}	3.73×10^{-6}	2.04×10^{-6}	3.30×10^{-6}
	中 部	2.38×10^{-6}	4.39×10^{-6}	2.09×10^{-6}	2.13×10^{-6}
	下 部	2.02×10^{-3}	1.95×10^{-3}	2.09×10^{-3}	2.06×10^{-3}
	分 割				
	上 部				3.06×10^{-6}
	中 部 上				6.78×10^{-6}
	中 部 下				8.45×10^{-6}

(単位は cm/s)

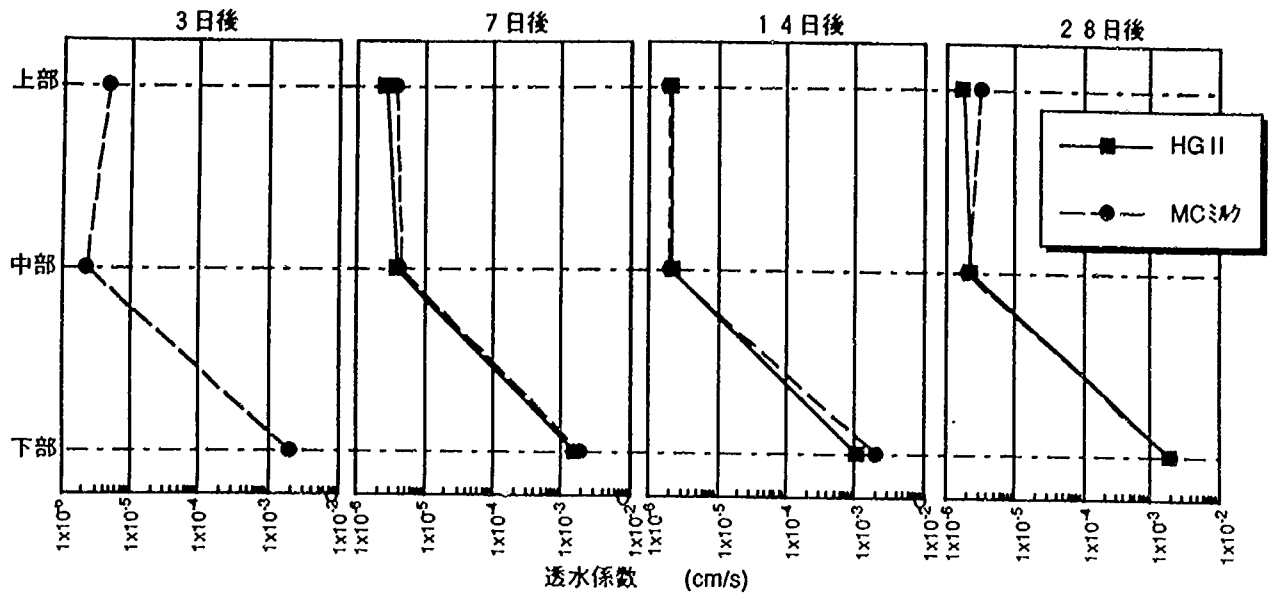


図-4.5.16 透水係数分布の経時変化

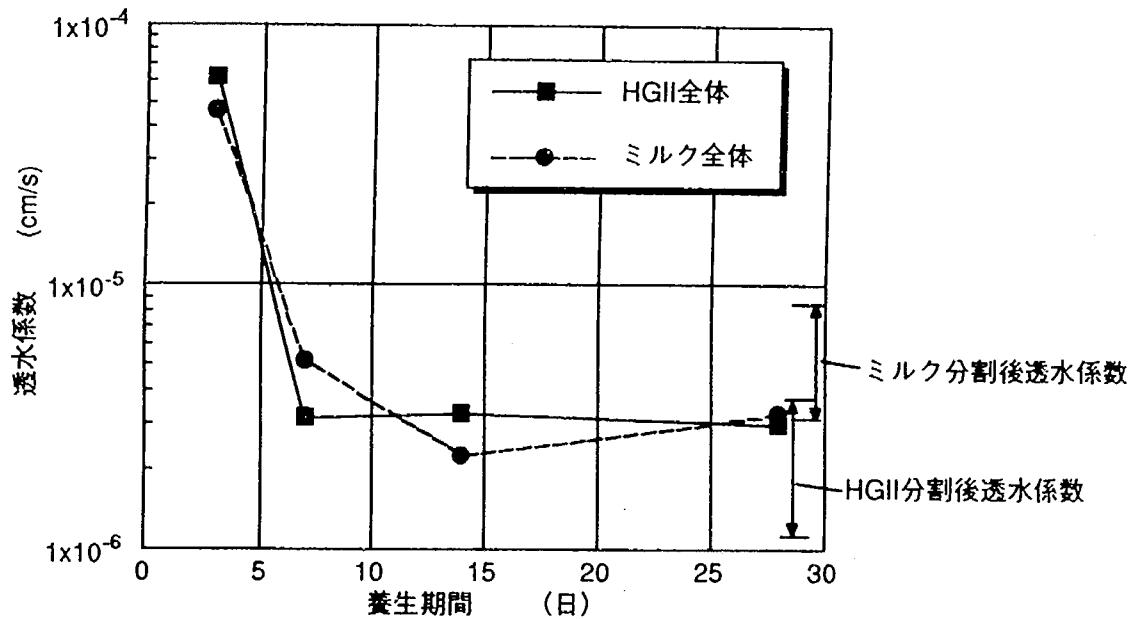


図-4.5.17 供試体全体の透水係数経時変化

- ② セメント浸透区間の透水係数分布は、図-4.5.16 から両者ともほぼ均一な値を示している。
- ③ 図-4.5.17 から供試体全体の透水係数は、時間が経過すると減少する傾向を示し、7日以降、透水係数はほぼ一定となる。
- ④ 分割した後の透水係数の結果からは、HG IIの方が区間毎の透水係数がセメント浸透部分に関して低く、特に注入上部は、遮水性に優れていることを示している。

セメントが浸透した部分の透水係数は、 10^{-6} cm/s 台であるうえ、供試体にゴムスリーブをかぶせ側圧を加えるなどの処置を講じていないことから、供試体とモールドとの境界部分を浸透した水の透水係数を計測している可能性もある。これが全体の透水係数と

区間毎の透水係数や分割後の透水係数の関係が調和していないことの一つの原因かもしれない。

以上をまとめると、

- ① 遮水性に関する全体的な傾向としては、有効間隙中にセメント材料が浸透すれば、粉体、ミルクともに同様な遮水性が期待できる。
- ② HG IIの方がMCミルクに比べ分散性に優れていると考えられることから、より微細な間隙に浸透する可能性があり、MCミルクに比べ遮水性能が高いことも考えられる。

4.6 不攪乱試料を用いた注入試験

4.6.1 試験概要

(1) 目的

粉体注入の適用地盤の把握と粉体の注入メカニズム（浸透性、亀裂浸透注入等）を解明する。

(2) 試料

試料の採取は内径24cm、長さ30cmの塩化ビニールパイプを用いてネイルサンプリング（釘法）（図-4.6.1(1), (2)参照）で行う。供試体径を約22cm、長さ約26cmに整形し注入試験に供した。

試験には、表-4.6.1に示すダムサイトより採取した不攪乱試料を用いた。また、試料の各種物性を表-4.6.2に示し、粒度分布を図-4.6.2に示した。

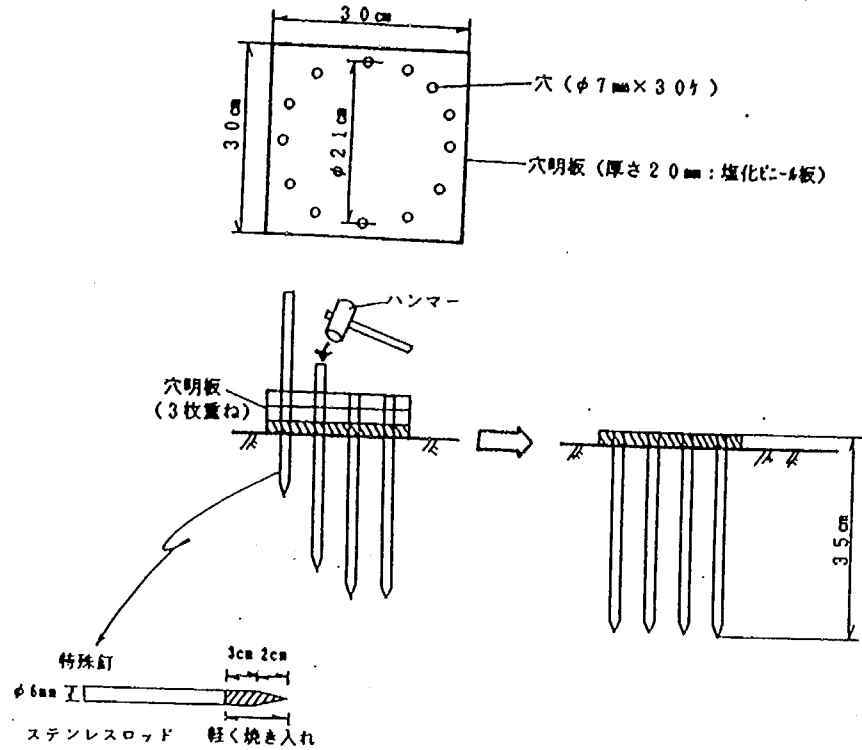
表-4.6.1 不攪乱試料の採取地

小 山	(まさ土)	5 試料	(平成4年度採取)
小 山	(")	9 試料	(平成6年度採取)
小里川 D1	(")	1 2 試料	(平成6年度採取)
小里川 D2	(")	1 2 試料	(平成6年度採取)
竜 門	(")	1 2 試料	(平成6年度採取)
稲 葉	(シラス)	6 試料	(平成6年度採取)

表-4.6.2 不攪乱試料の各種物性

試料採取 物性項目 地	小 山	小里川 D1	小里川 D1	竜 門	稲 葉
自然含水比 (%)	3.1~7.4	5.8~9.4	5.9~11.9	5.3~8.9	21~27
乾燥密度 (g/cm ³)	1.73~2.16	1.59~1.70	1.78~1.91	1.79~1.94	1.34~1.49
間隙率 (%)	20.9~34.5	33.1~39.9	28.0~32.8	26.7~32.4	44.7~50.3
細粒分含有率(%)	2.0~4.0	6.0~9.0	6.0~9.0	4.0~8.0	20
透水係数 ($\times 10^{-3}$ cm/s)	2.5~7.8	18~35	4.1~5.7	9.6~5.8	未測定

Step. 1 地表面を平らにならして、穴明板をセットし、特殊釘を打ち込む。



※ハンマーで釘を打ち込む前に、 $\phi 6\text{mm}$ のドリル（地盤が硬い時は $\phi 7\text{mm}$ ）にて穴を開けておく。
 ※釘を垂直に打ち込むため、始めに穴明板を3枚重ねて打ち込む。その後、穴明板を上部から順次取り除き、最終的に穴明板1枚を残してその上面まで釘を打ち込む。

Step. 2 特殊釘の周辺を掘り込み、試料の周辺長を測定する。

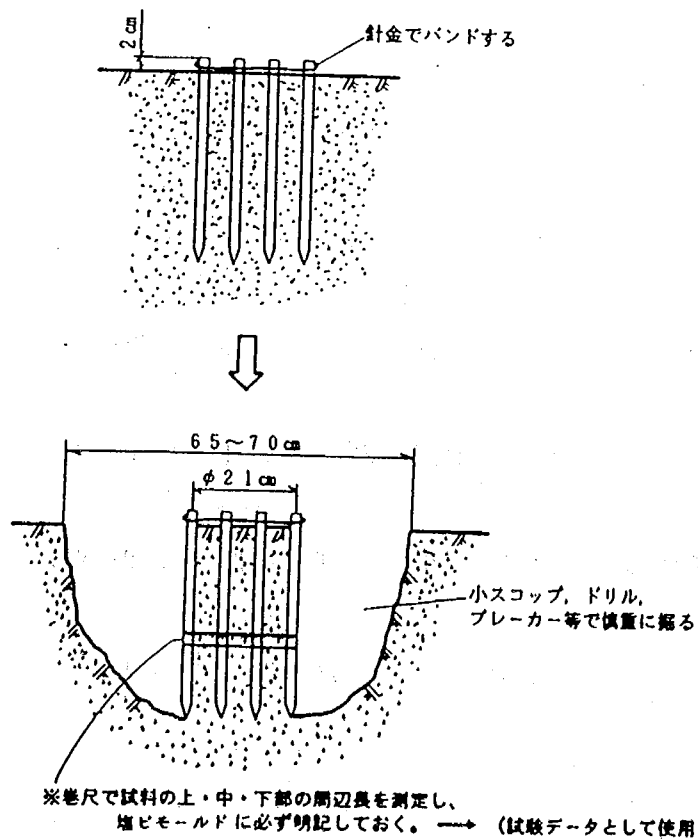
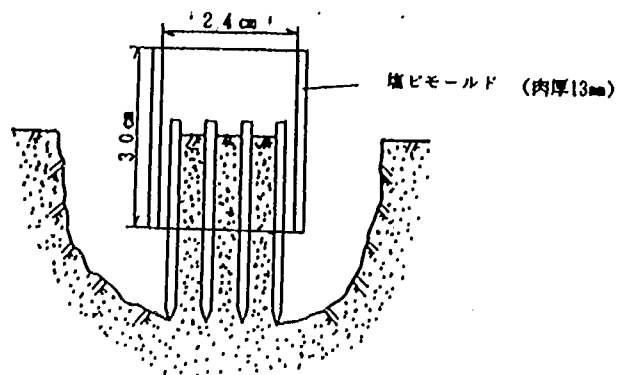


図-4.6.1(1) ネイルサンプリング概要

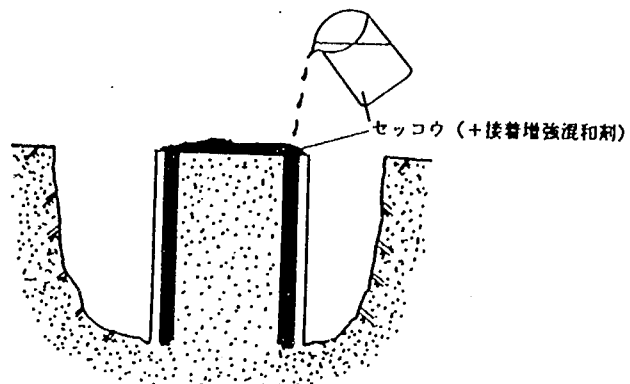
Step. 3

塩ビモールドを挿入する。



Step. 4

セッコウを入れ、試料—モールド間を充填する。



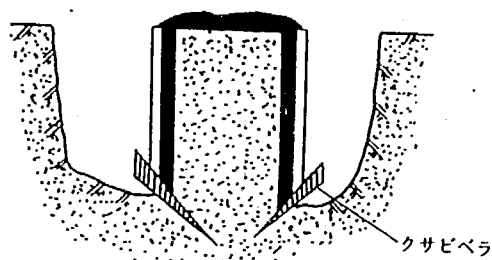
*セッコウを入れた後、すぐに特殊釘を抜く。

(隙間のないようにセッコウを追加充填する。)

*セッコウ、水、混和剤の混合比は適量。

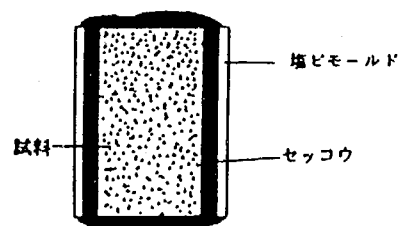
Step. 5

セッコウ硬化後、クサビペラを打ち込み地山と縁切りする。



Step. 6

縁切り側表面を平らに仕上げ、セッコウでシールする。



Step. 7

採取した不攪乱試料を下記の要領で梱包する。

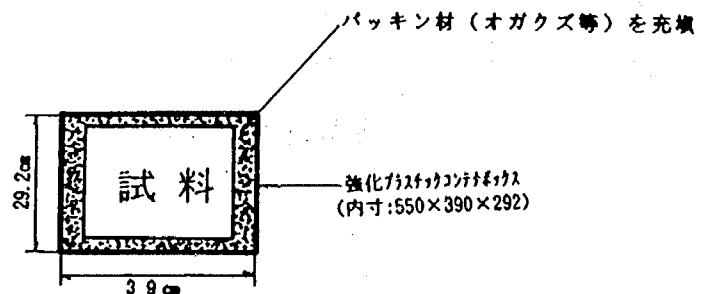


図-4.6.1(2) ネイルサンプリング概要

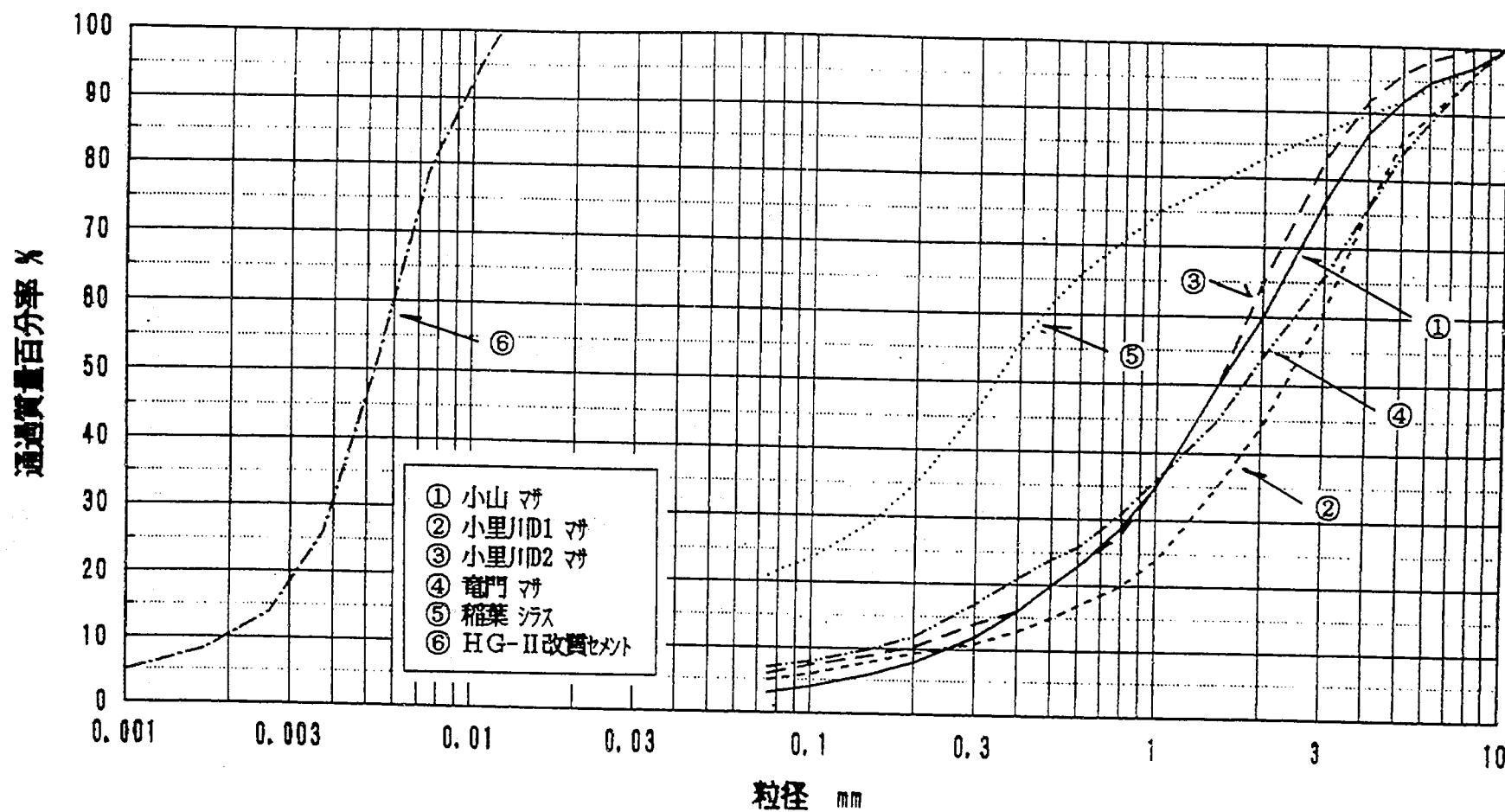


図-4.6.2 不攪乱試料の粒度分布曲線

4.6.2 試験方法

(1) 試験条件

- 1) 試料整形 : 不攪乱試料は上下部とも2cm程度削り、平らに整形した後、粗砂、金網、多孔板を装着する。塩化ビニールパイプはそのままモールドとして用いる。
- 2) 注 入 材 : 改質セメント標準品とH G II
- 3) 注入方法 : 注入圧力一定法（注入圧力制御法）と初期間隙実流速設定法で行う。
- 4) 注入条件 : 注入圧力等の注入条件を表-4.6.3に示す。
- 5) 注入終了基準 :
 - ① 供試体の下部より改質セメントの通過が認められたとき。
 - ② 送気流量が約 $1 \text{ N m}^3/\text{h}$ になったとき。
 - ③ 注入時間が300分近くに達したとき。
- 6) 注入前の透水試験 : 表-4.6.4に示す試料について行う。
- 7) 注入前の送気試験 :
 - ① 試料含水比の影響による浸透性を調べる目的で 0.3 kgf/cm^2 程度の圧力で10時間程度行う。
 - ② 供試体の含水比がその採取地の自然状態時の平均含水比と比較して大きい場合、その試験試料の自然含水比の重量になるまで実施する。例えば、小山の場合、自然含水比5%であるのでその含水比を基準とする。

表-4.6.3 注 入 条 件

項 目	注入圧力一定法	初期間隙実流速設定法	備 考
試 料 の 条 件	注 入 圧 力 (kgf/cm^2)	初期間隙実流速 (cm/sec)	粉体供給速度 (g/min)
自 然 状 態	0.6~1.0	0.8	5
気 乾 (低 圧 送 気)	0.6~1.0	----	5
	----	0.8	濃度変化2、5、10、15
	----	0.4	2
事前透水後→気乾 (低 圧 送 気)	----	0.8	5

(2) 試料の割付と試験内容

試験条件に従った試料の割付を表-4.6.4に示す。

表-4.6.4 粉体注入条件別不攪乱試料割付

試料名		粉体供給速度 g/min	注入前 透水 試験	注入前 透水後 注入	注入前 送気後 注入	注入圧 一定法 kgf/cm	初期間隙 実流速 設定法 m/s	注入後 透水 試験	注入後 の目視 観察
小	8.6m	5					0.8(0.8)	○	○
	11m-1	5				0.6			○
	11m-2	5				0.6			○
	15m	5				0.6			○
	19m	5				1.0			○
山	K-1	5					0.8(0.8)		○
	K-2	2			○		0.4(0.4)		○
	K-3	15			○		0.8(0.8)		○
	K-4		○						○
	K-5	5			○		0.8(0.8)		○
	K-6	5			○		0.8(0.6)		○
	K-7	10			○		0.8(0.6)		○
	K-8	2			○		0.8(0.7)		○
	K-9	2			○		0.4(0.3)		○
小 里 川 D1	D1-1	5				0.4~0.6			○
	D1-2	5				0.4			○
	D1-3	5				0.4			○
	D1-4	5					0.8(0.6)		○
	D1-5	5					0.8(0.7)		○
	D1-6	5	○	○			0.8(0.8)	○	○
	D1-7	5	○	○			0.8(0.7)	○	○
	D1-8	5					0.8(0.8)		○
小 里 川 D2	D2-1	5				0.6			○
	D2-2	5				1.0			○
	D2-3	5				0.6			○
	D2-4	5			○	1.0			○
	D2-5	5			○	2.0			○
	D2-6	5	○	○			0.8(0.4)	○	○
	D2-7	5	○	○			0.8(0.5)	○	○
	D2-8	5					0.8(0.6)		○
	D2-9	5					0.8(0.6)		○
竜 門	R-1	5				0.6			○
	R-2	5				0.9			○
	R-3	5				0.6			○
	R-4	5				1.0			○
	R-5	5					0.8(0.4)		○
	R-6	5	○	○			0.8(0.6)		○
	R-7	5	○	○			0.8(0.5)	○	○
	R-8	5					0.8(0.8)		○
	R-9	5					0.8(0.7)	○	○
	R-10	5					0.8(0.7)		○
稲 葉	I-1	5				1.0			○
	I-2	5					0.8(0.4)		○
	I-3	5					0.8(0.2)		○
	I-4	5					0.8(0.2)		○
合計 (個数)			7	6	9	17	21	6	45

注意：初期平均間隙流速で（）内の数値は試験時の値である。コンプレッサ能力とエアリストの関係から制約されたため。

(3) 試験手順

試験手順は原則として下記の図-4.6.3 に示すフローに従い行った。

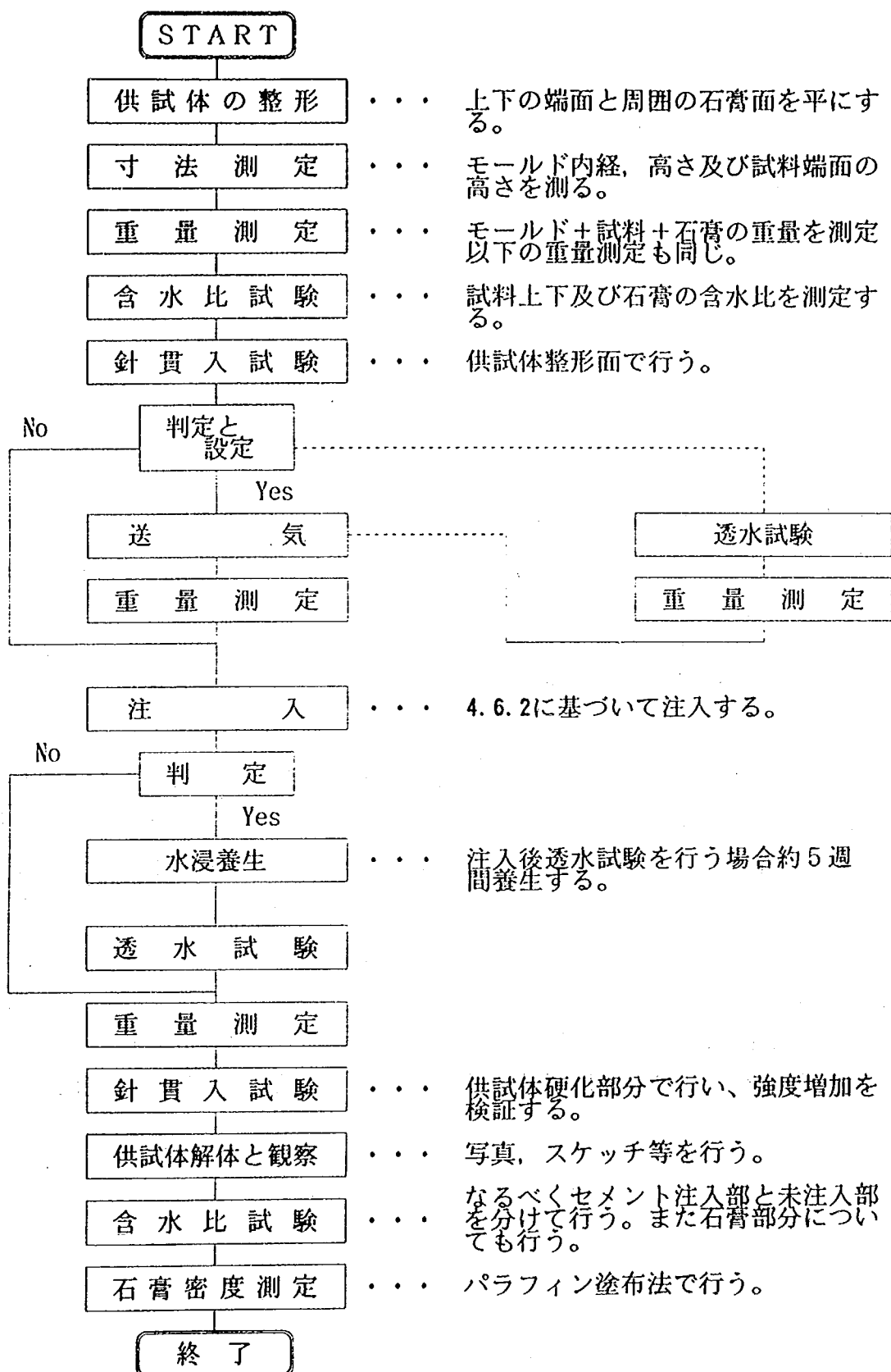


図-4.6.3 試験手順

4.6.3 試験結果

注入試験結果を各採取地別に表-4.6.4~4.6.8に一覧表で示した。

初期間隙実流速とセメント粉体の平均浸透長及び注入時の試料含水比とセメントの平均浸透長の関係を、粉体供給速度5g/minのものに限ってそれぞれ図-4.6.4、図-4.6.5に示す。亀裂及びコーキング部を通して改質セメントが試料下部から漏出したものは除外した。

図-4.6.4より、初期間隙実流速の上昇に伴い、平均浸透長が伸びる傾向を示している。一旦間隙内に付着したHGⅡ改質セメントが再飛散する空気流速は標準品を対象とした数値解析から約0.8m/sと予測されており^{*}、小山、小里川D1の結果と一致する。また、図-4.6.5では、注入時の試料含水比が高いと平均浸透長が急激に小さくなる傾向を示すことがわかる。

含水比の変化による影響は、小山、小里川D1と細粒分の少ない地域の試料全体の傾向としては比較的顕著であり、小里川D2、竜門では、潜在亀裂中の粘土分の影響も受け、やや小さくなっている。これは、攪乱試料による含水比影響度試験(4.4参照)でも同様の結果を得ている。

小山ダムサイトでは既に標準品により原位置実証試験を実施しているが、注入時の含水比5%程度、初期間隙実流速0.4m/s~1.2m/sで、0.3m~1.6mという実用的な浸透長が得られている。これにより小山、小里川地域では現地盤の含水比が6%より大きい場合には注入前に送気などを行い含水比を5%程度に下げると共に、HGⅡ改質セメントを用いて、かつ適切な初期間隙実流速を発生させることにより、小山での原位置実証試験以上の浸透長が期待できると考える。

一方、竜門、稲葉の試料の平均浸透長は、それぞれ5cm以下、1cm以下であった。この原因として、竜門の試料は粘土分を挟んだ亀裂が存在し、改質セメントが亀裂内の粘土を挟まない部分のみに浸透している状況が観察されたことから、亀裂内に卓越して浸透した改質セメントが粘土分により亀裂面周辺への浸透を妨げられ、急速に目詰まり現象を起こしたためと考えられる。また、稲葉の試料は特に細粒分が多く、改質セメントの通過する間隙が小さかったためと考えられる。

また、粉体供給速度とセメント浸透率について検討した結果、図-4.6.6より不攪乱試料に対する室内注入試験における最適な粉体供給速度は3~5g/minと推定される。

* 森・柴田・堀家：地盤中への粉体注入現象の解析，土木学会論文集，No. 481/Ⅲ-25，1993

表-4.6.4(1) 小山ダム不擾乱試料の注入試験結果一覧

項 目 供試体 No. 供試体の含水状態			注入圧一定で注入				初期平均間隙流速0.8m/sec 以上で注入		
			11m-1 自然	11 m-2 自然	15m 自然	19 m 自然	8.6m 自然	k-1 自然	k-5 自然
供試体長さ h cm			25.6	26.0	26.2	26.4	23.9	26.2	26.0
注 入 前	針貫入からのqu値 kgf/cm ²		—	13.5	17.4	14.8	1.9	1.4	4.7
	初期含水比 W %		4.2	3.1	4.6	3.2	5.5	7.2	7.2
	土粒子の密度 ρs g/cm ³		2.710	2.716	2.737	2.733	2.715	2.702	2.702
	湿潤密度 ρt g/cm ³		2.167	2.018	2.110	2.231	1.873	1.967	2.156
	乾燥密度 ρd g/cm ³		2.080	1.957	2.017	2.162	1.775	1.835	2.012
	間隙比 e		0.303	0.388	0.357	0.264	0.529	0.473	0.343
	間隙率 n %		23.2	27.9	26.3	20.9	34.6	32.1	25.5
	飽和度 Sr %		37.6	21.7	35.3	33.4	28.2	41.4	56.4
	空気間隙率 Va %		14.5	21.9	17.0	13.9	24.8	18.8	11.1
	有効間隙率 n' %		31.9		24.5	23.6			
	細粒分の含有率 %		4	5	4	2	7	4	
	平均粒径(50% 径) mm		1.43	1.83	1.46	2.03	1.53	1.51	
	透水係数 Kw cm/s		4.24E-03	5.19E-03	2.54E-03	2.12E-03	5.39E-03	—	—
注 入 時	セメントの種類		標準改質	HG-2改質	標準改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度 g/min		5	5	5	5	5	5	5
	注入圧 kgf/cm ²		0.6	0.6	0.6	1.0	0.5	1.4	2.4
	初期送気流量 Nm ³ /h		43.7	44.1	30.5	42.4	59.1	88.2	80.0
	初期間隙実流速 m/sec		0.82	0.69	0.49	0.69	0.76	0.75	0.85
	初期透気係数 cm/sec		8.44E-01	8.59E-01	5.64E-01	3.93E-01	1.25E+00	4.52E-01	2.51E-01
	終了時送気流量 Nm ³ /h		1.6	12.1	0.9	4.5	28.3	1.5	19.5
	終了時間隙実流速 m/sec		0.03	0.19	0.01	0.07	0.36	0.01	0.21
	終了時透気係数 cm/sec		3.00E-02	2.28E-01	1.61E-02	4.05E-01	5.99E-01	7.42E-02	5.86E-01
	注入時間 t min		290	160	130	300	170	150	0.0586
注 入 後	試料含水比 %		3.4	2.6	3.4	2.5	3.4	5.4	4.8
	セメント混入試料含水比 %		1.5	1.4	2.2	1.6	3.4	5.1	2.8
	供試体の含水比 %		2.3	1.5	3.2	1.9	3.4	5.2	4.2
	乾燥密度 ρd g/cm ³		2.115	2.011	2.037	2.199	1.837	1.851	2.022
	間隙率 n %		22.0	26.0	25.6	19.5	32.3	31.5	25.2
	飽和度 Sr %		22.0	11.9	25.2	21.6	19.1	30.4	34.1
	空気間隙率 Va' %		17.1	22.9	19.1	15.3	26.2	21.9	16.6
	セメント注入量 g		373	590	234	426	637	190	82
	セメント平均浸透長 cm		15	23	5	17	23.94	6	7
	セメント浸透率 %		58.5	88.5	19.1	64.4	100.0	22.9	26.9
透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—	—	—	—	
注入後からの経過日数 (日)			—	8.0	8	24	—	—	31
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	17	48.5	34.8	—	—	14.9
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	—	—	—
観察記事			通過せず	中央部 通過	通過せず	端部より 一部通過	全面 通過する	通過せず	通過せず

表-4.6.4(2) 小山ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目 供試体 No. 供試体の含水状態			注入セメント供給速度変化試験					
			平均間隙流速0.4m/sec		初期平均間隙流速0.65m/sec以上で注入			
			k-2 送気後	k-9 送気後	k-8 送気後	k-6 送気後	k-7 送気後	k-3 送気後
供試体長さ h cm			26.2	25.7	26.4	26.5	26.0	23.9
注 入 前	針貫入からのqu値 kgf/cm ²		5.2	3.0	3.7	2.8	2.6	4.3
	初期含水比 W %		6.1	5.9	5.1	4.9	6.1	6.4
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
	湿潤密度 ρ_t g/cm ³		1.929	1.953	2.013	1.984	1.937	2.053
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.817	1.845	1.915	1.891	1.825	1.929
	間隙比 e		0.487	0.465	0.411	0.429	0.480	0.400
	間隙率 n %		32.7	31.7	29.1	30.0	32.5	28.6
	飽和度 S_r %		34.0	34.2	33.6	30.8	34.4	43.2
	空気間隙率 V_a %		21.6	20.9	19.3	20.8	21.3	16.3
	有効間隙率 n' %							
	細粒分の含有率 %							
	平均粒径(50% 径) mm							
	透水係数 K_w cm/s		—	—	—	—	—	—
注 入 時	セメントの種類		HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度 g/min		2	2	2	5	10	15
	注入圧 kgf/cm ²		0.6	0.4	1.6	1.2	1.2	1.3
	初期送気流量 Nm ³ /h		34.3	22.7	72.6	62.8	61.9	66.7
	初期間隙実流速 m/sec		0.426	0.34	0.65	0.64	0.57	0.75
	初期透気係数 cm/sec		6.08E-01	6.93E-01	3.11E-01	4.24E-01	4.05E-01	3.97E-01
	終了時送気流量 Nm ³ /h		12.0	3.1	46.3	19.3	1.0	0.8
	終了時間隙実流速 m/sec		0.149	0.046	0.41	0.20	0.01	0.01
	終了時透気係数 cm/sec		2.13E-01	9.47E-02	2.01E-01	1.30E-01	6.17E-03	4.64E-03
	注入時間 t min		400	445	210	240	90	60
注 入 後	試料含水比 %		5.5	5.2	2.3	2.4	5.9	5.1
	セメント混入試料含水比 %		1.2	1.1	1.8	1.5	5.3	5.6
	供試体の含水比 %		2.4	3.3	1.9	1.6	5.8	5.2
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.861	1.886	1.945	1.959	1.838	1.949
	間隙率 n %		31.1	30.2	28.0	27.5	32.0	27.9
	飽和度 S_r %		14.3	20.7	12.9	11.2	33.6	36.2
	空気間隙率 V_a %		26.7	24.0	24.4	24.4	21.2	17.8
	セメント注入量 g		499	455	335	775	146	179
	セメント平均浸透長 cm		19	12	22	24	3	5
	セメント浸透率 %		72.6	46.7	83.3	90.4	11.6	20.9
	透水係数 K_w cm/s		—	—	—	—	—	—
注入後からの経過日数(日)			6	4	21	23	24	32
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			7.9	4.3	20	17.1	39.5	65.8
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	—	—
観察記事			通過せず	通過せず	端部で 通過確認	通過確認	通過せず	通過せず

表-4.6.4(3) 小山ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			注入前 透水試験	注入後の透水試験	
供試体 No. 供試体の含水状態			k-4 自然	8.6m 注入後	k-1 注入後
供試体長さ h cm			16	23.9	26.2
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	5.0	1.9	1.3
	初期含水比	W %	7.3	5.5	7.2
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.702	2.710	2.702
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.984	1.873	1.967
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.848	1.775	1.835
	間隙比	e	0.462	0.527	0.473
	間隙率	n %	31.6	34.5	32.1
	飽和度	Sr %	42.9	28.3	41.4
	空気間隙率	Va %	16.7	24.8	18.8
	有効間隙率	n' %			
	細粒分の含有率	%			
	平均粒径(50% 径)	mm			
	透水係数	Kw cm/s	2.22E-03	—	—
注 入 時	セメントの種類				
	粉体供給速度	g/min			
	注入圧	kgf/cm ²			
	初期送気流量	Nm ³ /h			
	初期間隙実流速	m/sec			
	初期透気係数	cm/sec			
	終了時送気流量	Nm ³ /h			
	終了時間隙実流速	m/sec			
注 入 後	終了時透気係数	cm/sec			
	注入時間	t min			
	試料含水比	%		14.8	11.8
	セメント混入試料含水比	%		14.8	12.4
	供試体の含水比	%		14.8	11.9
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³		1.837	1.851
	間隙率	n %		32.3	31.5
	飽和度	Sr %		84.1	70.1
	空気間隙率	Va' %		26.2	21.9
	セメント注入量	g		637	190
	セメント平均浸透長	cm		23.94	6
	セメント浸透率	%		100.0	22.9
	透水係数	Kw cm/s	—	2.05E-05	5.76E-05
注入後からの経過日数(日)			—	55	55
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	—	—
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	43.5	41.5
観察記事			—	—	—

表-4.6.4(4) 小山ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			供 試 体 採 取 時 の 状 態					
供試体 No. 供試体の含水状態			k-2 自然	k-9 自然	k-8 自然	k-6 自然	k-7 自然	k-3 自然
供試体長さ h cm			26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	5.2	3.0	3.7	2.8	2.6	4.3
	初期含水比	W %	8.2	7.3	7.2	6.7	7.7	7.4
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702	2.702
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.967	1.979	2.053	2.019	1.966	2.072
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.817	1.845	1.915	1.891	1.825	1.929
	間隙比	e	0.487	0.465	0.411	0.429	0.480	0.400
	間隙率	n %	32.7	31.7	29.1	30.0	32.5	28.6
	飽和度	Sr %	45.8	42.4	47.4	42.4	43.3	49.9
	空気間隙率	Va %	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
	有効間隙率	n' %						
	細粒分の含有率	%						
	平均粒径(50% 径)	mm						
	透水係数	Kw cm/s	—	—	—	—	—	—
注 入 時	セメントの種類							
	粉体供給速度	g/min						
	注入圧	kgf/cm ²						
	初期送気流量	Nm ³ /h						
	初期間隙実流速	m/sec						
	初期透気係数	cm/sec						
	終了時送気流量	Nm ³ /h						
	終了時間隙実流速	m/sec						
	終了時透気係数	cm/sec						
注 入 後	注入時間	t min						
	試料含水比	%						
	セメント混入試料含水比	%						
	供試体の含水比	%						
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³						
	間隙率	n %						
	飽和度	Sr %						
	空気間隙率	Va' %						
	セメント注入量	g						
	セメント平均浸透長	cm						
	セメント浸透率	%						
透水係数	Kw cm/s							
注入後からの経過日数 (日)								
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)								
注入水浸後の針貫入からのqu値								
観察記事								

表-4.6.5(1) 小里川ダムD1不攪乱試料の注入試験結果一覧.

項 目			注入圧一定法で注入			初期平均間隙流速 0.6m/sec以上で注入		
供試体 No.			D1-1	D1-2	D1-3	D1-4	D1-5	D1-8
供試体の含水状態			自然	自然	自然	自然	自然	自然
供試体長さ h cm			26.7	24.9	23.9	22.0	25.3	26.5
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	—	3.2	0.7	1.2	0.7	1.4
	初期含水比	W %	5.8	8.2	6.1	8.9	5.6	9.4
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.650	2.650	2.650	2.634	2.634	2.634
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.798	1.723	1.702	1.803	1.630	1.867
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.699	1.593	1.604	1.656	1.543	1.707
	間隙比	e	0.560	0.664	0.652	0.591	0.707	0.543
	間隙率	n %	35.9	39.9	39.5	37.1	41.4	35.2
	飽和度	Sr %	27.6	32.6	24.8	39.5	21.0	45.4
	空気間隙率	Va %	26.0	26.9	29.7	22.5	32.7	19.2
	有効間隙率	n' %	37.0	37.2				
注 入 時	細粒分の含有率	%	6	9				
	平均粒径(50% 径)	mm	2.30	1.00				
	透水係数	Kw cm/s	—	—	—	—	—	—
	セメントの種類		標準改質	HG-2改質	標準改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度	g/min	5	5	5	5	5	5
	注入圧	kgf/cm ²	0.4~0.6	0.4	0.4	1.8	0.7	1.5
	初期送気流量	Nm ³ /h	41.8	43.6	44.1	86.3	69.2	82.9
	初期間隙実流速	m/sec	0.65	0.59	0.58	0.63	0.731	0.84
	初期透気係数	cm/sec	1.62E+00	1.54E+00	1.41E+00	2.88E-01	1.09E+00	5.60E-01
	終了時送気流量	Nm ³ /h	15.2	2.1	11.4	79.1	68.7	36.7
注 入 後	終了時間隙実流速	m/sec	0.20	0.03	0.15	0.58	0.725	0.37
	終了時透気係数	cm/sec	3.31E-01	7.03E-02	3.54E-01	2.78E-01	1.09E+00	2.31E-01
	注入時間 t min		110	300	80	22	7	30
	試料含水比	%	4.9	5.4	5.5	7.7	5.3	8.9
	セメント混入試料含水比	%	2.4	5.3	5.1	7.4	4.9	6.4
	供試体の含水比	%	3.7	5.3	5.2	7.6	5.2	8.5
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.728	1.625	1.640	1.667	1.545	1.713
	間隙率	n %	34.8	38.7	38.1	36.7	41.3	35.0
	飽和度	Sr %	18.6	22.5	22.4	34.6	19.5	41.9
	空気間隙率	Va' %	28.3	30.0	29.6	24.0	33.3	20.3
注 入 後	セメント注入量	g	302	319	349	96	16	54
	セメント平均浸透長	cm	12.0	13.0	16.0	3.0	5.0	4.0
	セメント浸透率	%	45.0	52.3	66.9	13.6	19.7	15.1
	透水係数	Kw cm/s	—	—	—	—	—	—
注入後からの経過日数(日)			—	7	5	35	40	36
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	12.3	13.1	4.3	2.5	8.1
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	—	—
観察記事			通過せず	通過せず	周りより 一部通過	※	※	※

※印は、石膏とモールド内壁より漏れ浸透していた。

表-4.6.5(2) 小里川ダムD1不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			自然含水状態での 注入前透水試験		透水後に送気した後 0.7m/sec以上で注入		注入後透水試験	
供試体 No.			D1-6	D1-7	D1-6	D1-7	D1-6	D1-7
供試体の含水状態			自然	自然	透水後	透水後	注入後	注入後
供試体長さ h cm			25.0	26.8	23.5	23.4	23.5	23.4
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	1.0	1.3	1.0	1.3		
	初期含水比 W %		6.8	8.5	6.3	6.1		
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.640	2.640	2.64	2.64		
	湿潤密度 ρ_t g/cm ³		1.787	1.829	1.778	1.789		
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.673	1.686	1.673	1.686		
	間隙比 e		0.578	0.566	0.578	0.566		
	間隙率 n %		36.6	36.2	36.6	36.2		
	飽和度 Sr %		31.2	39.7	28.7	28.5		
	空気間隙率 Va %				26.1	25.9		
	有効間隙率 n' %							
	細粒分の含有率 %		9	10		8		
	平均粒径(50% 径) mm		1.40	1.53		1.25		
	透水係数 Kw cm/s		3.52E-03	1.29E-03	—	—	—	—
	セメントの種類		—	—	HG-2改質	HG-2改質	—	—
注 入 時	粉体供給速度 g/min				5	5		
	注入圧 kgf/cm ²				0.9	1.5		
	初期送気流量 Nm ³ /h				77.2	71.9		
	初期間隙実流速 m/sec				0.82	0.68		
	初期透気係数 cm/sec				8.75E-01	4.22E-01		
	終了時送気流量 Nm ³ /h				37.8	3.6		
	終了時間隙実流速 m/sec				0.40	0.03		
	終了時透気係数 cm/sec				3.81E-01	1.93E-02		
	注入時間 t min				125	155		
	試料含水比 %				2.4	4.6	16.1	18.7
注 入 後	セメント混入試料含水比 %				2.2	4.4	17.7	19.7
	供試体の含水比 %				2.4	4.4	17.4	18.9
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³				1.723	1.703	1.723	1.703
	間隙率 n %				34.7	35.5	34.4	35.5
	飽和度 Sr %				11.8	21.2	87.9	90.7
	空気間隙率 Va' %				30.6	28.0	4.7	3.3
	セメント注入量 g				470	141	470	141
	セメント平均浸透長 cm				20.0	5.0	20.0	5.0
	セメント浸透率 %				85.1	21.4	85.1	21.4
	透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—	3.83E-05	1.37E-04
注入後からの経過日数 (日)			—	—	—	—	37	40
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	—	—	—	—	—
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	55.5	18.1
観察記事			—	—	40'で部分 過する	石膏セツ より通過	—	—

表-4.6.6(1) 小里川ダムD2不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			注 入 圧 一 定 法 で 注 入				
供試体 No.			D2-1	D2-2	D2-3	D2-4	D2-5
供試体の含水状態			自然	自然	自然	自然	自然
供試体長さ h cm			25.9	26.9	26.2	26.4	27.4
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	6.6	9.2	8.1	7.1	10.9
	初期含水比	W %	7.2	7.5	7.1	8.2	6.9
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.648	2.648	2.648	2.648	2.648
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.967	1.976	2.010	1.976	2.014
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.835	1.837	1.877	1.826	1.884
	間隙比	e	0.443	0.441	0.410	0.450	0.405
	間隙率	n %	30.7	30.6	29.1	31.1	28.8
	飽和度	Sr %	43.0	45.2	45.6	48.4	44.9
	空気間隙率	Va %	17.5	16.8	15.8	16.0	15.9
	有効間隙率	n' %	28.7	28.7			
	細粒分の含有率	%	9	7		9	11
	平均粒径(50% 径)	mm	1.20	1.43		1.33	1.22
	透水係数	Kw cm/s					
注 入 時	セメントの種類		標準改質	HG-2改質	HG-2改質		
	粉体供給速度	g/min	5	5	5		
	注入圧	kgf/cm ²	0.6	1.0	0.6		
	初期送気流量	Nm ³ /h	10.4	19.1	12.1		
	初期間隙実流速	m/sec	0.16	0.24	0.20		
	初期透気係数	cm/sec	2.07E-01	1.97E-01	2.47E-01		
	終了時送気流量	Nm ³ /h	0.7	1.0	0.9		
	終了時間隙実流速	m/sec	0.01	0.01	0.02		
	終了時透気係数	cm/sec	1.33E-02	9.60E-03	1.87E-02		
	注入時間	t min	120	180	120		
注 入 後	試料含水比	%	6.9	6.1	6.1		
	セメント混入試料含水比	%	5.5	5.6	5.6		
	供試体の含水比	%	6.9	6.1	6.1		
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.839	1.844	1.888		
	間隙率	n %	30.5	30.4	28.7		
	飽和度	Sr %	41.5	36.8	39.8		
	空気間隙率	Va' %	17.9	19.2	17.3		
	セメント注入量	g	44	67	105		
	セメント平均浸透長	cm	1.0	1.0	2.0		
	セメント浸透率	%	3.9	3.7	7.6		
後	透水係数	Kw cm/s	—	—	—		
	注入後からの経過日数(日)		10	4	8		
	注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)		10.9	13.2	13.3		
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—		
観察記事			通過せず	通過せず	通過せず		

表-4.6.6(2) 小里川ダムD2不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			送気した後 注入圧一定法で注入		初期平均間隙流速 0.6m/sec以上で注入	
供試体 No.			D2-4	D2-5	D2-8	D2-9
供試体の含水状態			気乾	気乾	自然	自然
供試体長さ h cm			26.4	27.4	26.9	26.2
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	7.1	10.9	17.1	11.6
	初期含水比	W %	3.5	6.2	7.2	5.9
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.648	2.648	2.650	2.650
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.890	2.001	2.033	2.019
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.826	1.884	1.898	1.907
	間隙比	e	0.450	0.405	0.397	0.390
	間隙率	n %	31.1	28.8	28.4	28.0
	飽和度	Sr %	20.8	40.4	47.8	40.1
	空気間隙率	Va %	24.6	17.2	14.8	16.8
	有効間隙率	n' %				
	細粒分の含有率	%				
	平均粒径(50% 径)	mm				
	透水係数	Kw cm/s				
注 入 時	セメントの種類		HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度	g/min	5	5	5	5
	注入圧	kgf/cm ²	1.0	2	3.0	3
	初期送気流量	Nm ³ /h	36.7	42.2	94.0	92.4
	初期間隙実流速	m/sec	0.45	0.43	0.61	0.58
	初期透気係数	cm/sec	3.71E-01	2.16E-01	1.58E-01	1.38E-01
	終了時送気流量	Nm ³ /h	37.0	37.6	24.7	23.4
	終了時間隙実流速	m/sec	0.46	0.39	0.16	0.15
	終了時透気係数	cm/sec	3.74E-01	1.93E-01	3.98E-02	3.29E-02
	注入時間 t min		18	19	40	60
注 入 後	試料含水比	%	3.4	5.3	6.9	5.0
	セメント混入試料含水比	%	2.7	5.1	5.9	4.7
	供試体の含水比	%	3.1	5.2	6.7	4.9
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.830	1.890	1.906	1.920
	間隙率	n %	30.7	28.4	27.4	26.9
	飽和度	Sr %	18.8	34.9	47.2	35.2
	空気間隙率	Va' %	25.2	18.8	15.3	18.2
	セメント注入量	g	42	57	89	139
	セメント平均浸透長	cm	10.0	10.0	5.0	9.0
	セメント浸透率	%	37.9	36.5	18.6	34.3
透水係数 Kw cm/s			—	—	—	—
注入後からの経過日数 (日)			3	5	35	37
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			10.1	9.8	30.4	107.2
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—
観察記事			潜在亀裂 より通過	潜在亀裂 より通過	石膏キレツ より通過	石膏キレツ より通過

表-4.6.6(3) 小里川ダムD2不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			自然含水状態での 注入前の透水試験		透水後に送気した後 0.45m/sec以上で注入		注入後の透水試験	
供試体 No. 供試体の含水状態			D2-6 自然	D2-7 自然	D2-6 送気後	D2-7 送気後	D2-6 注入後	D2-7 注入後
供試体長さ h cm			26.8	25.3	26.8	25.3	26.8	25.3
注 入 前	針貫入からのqu値 kgf/cm ²		12.7	8.2	12.7	8.2		
	初期含水比 W %		6.6	6.4	6.5	6.5		
	土粒子の密度 ρs g/cm ³		2.648	2.648	3	3		
	湿潤密度 ρt g/cm ³		2.043	1.922	2.041	1.925		
	乾燥密度 ρd g/cm ³		1.917	1.807	1.917	1.807		
	間隙比 e		0.381	0.466	0.381	0.466		
	間隙率 n %		27.6	31.8	27.6	31.8		
	飽和度 Sr %		45.5	36.4	44.9	37.2		
	空気間隙率 Va %		15.0	20.2	15.2	20.0		
	有効間隙率 n' %							
	細粒分の含有率 %				6			
	平均粒径(50% 径) mm				1.88			
	透水係数 Kw cm/s		4.10E-03	5.72E-03				
注 入 時	セメントの種類				HG-2改質	HG-2改質		
	粉体供給速度 g/min				5	5		
	注入圧 kgf/cm ²				3.5	2.4		
	初期送気流量 Nm ³ /h				70.9	73.8		
	初期間隙実流速 m/sec				0.44	0.50		
	初期透気係数 cm/sec				9.12E-02	1.63E-01		
	終了時送気流量 Nm ³ /h				39.4	23.6		
	終了時間隙実流速 m/sec				0.31	0.16		
注 入 後	終了時透気係数 cm/sec				8.50E-02	5.20E-02		
	注入時間 t min				24	53		
	試料含水比 %				4.3	4.1	10.3	12.7
	セメント混入試料含水比 %				4.2	3.2	10.7	16.4
	供試体の含水比 %				4.2	3.3	10.4	13.2
	乾燥密度 ρd g/cm ³				1.929	1.865	1.929	1.865
	間隙率 n %				27.0	31.2	26.5	29.0
	飽和度 Sr %				30.4	19.4	76.6	85.5
	空気間隙率 Va' %				19.0	23.4	7.0	5.0
	セメント注入量 g				120	596	120	596
	セメント平均浸透長 cm				10.0	3.0	10.0	3.0
	セメント浸透率 %				37.3	11.8	37.3	11.8
	透水係数 Kw cm/s						7.65E-04	5.45E-04
注入後からの経過日数 (日)			—	—	—	—	50	45
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	—	—	—	—	—
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	37.3	65.3
観察記事			—	—	一部分 通過する	モルタル壁 より通過	—	—

表-4.6.7(1) 竜門ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目		注入圧一定方法で注入			
供試体 No.		R-1	R-2	R-3	R-4
供試体の含水状態		自然	自然	自然	自然
供試体長さ h cm		26.8	26.5	27.1	26.6
注 入 前	針貫入からのqu値 kgf/cm ²	6.5	4.1	5.3	2.7
	初期含水比 W %	6.3	7.1	7.4	7.9
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.648	2.648	2.648	2.648
	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	2.053	2.002	1.948	1.955
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.931	1.869	1.814	1.812
	間隙比 e	0.371	0.417	0.460	0.461
	間隙率 n %	27.1	29.4	31.5	31.6
	飽和度 S_r %	45.1	45.2	42.5	45.1
	空気間隙率 V_a %	14.9	16.1	18.1	17.3
	有効間隙率 n' %		35.4	35.4	
	細粒分の含有率 %		4	5	
	平均粒径(50% 径) mm		1.77	1.76	
	透水係数 K_w cm/s	—	—	—	—
注 入 時	セメントの種類	標準改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度 g/min	5	5	5	5
	注入圧 kgf/cm ²	0.6	0.9	0.6	1.0
	初期送気流量 Nm ³ /h	13.47	44.99	25.13	33.62
	初期間隙実流速 m/sec	0.24	0.59	0.39	0.42
	初期透気係数 cm/sec	2.96E-01	5.27E-01	5.53E-01	3.55E-01
	終了時送気流量 Nm ³ /h	0.67	1.42	0.90	0.95
	終了時間隙実流速 m/sec	0.01	0.02	0.01	0.01
	終了時透気係数 cm/sec	1.49E-01	1.64E-02	1.99E-02	9.88E-02
	注入時間 t min	170	150	120	200
注 入 後	試料含水比 %	4.1	5.8	6.2	7.1
	セメント混入試料含水比 %	2.8	4.2	4.3	7.0
	供試体の含水比 %	4.1	5.6	6.0	7.1
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.935	1.884	1.828	1.827
	間隙率 n %	26.9	28.9	31.0	31.0
	飽和度 S_r %	29.1	36.4	35.6	41.5
	空気間隙率 V_a %	19.1	18.4	20.0	18.1
	セメント注入量 g	43	153	142	148
	セメント平均浸透長 cm	1.5	4.0	3.0	3.0
	セメント浸透率 %	5.6	15.1	11.1	11.3
	透水係数 K_w cm/s	—	—	—	—
注入後からの経過日数(日)		10	7	4	3
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)		7.5	18.4	18.7	3.1
注入水浸後の針貫入からのqu値		—	—	—	—
観察記事		通過せず	通過せず	通過せず	通過せず

表-4.6.7(2) 竜門ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			平均間隙流速 0.4m/sec以上で注入			
供試体 No.			R-5	R-8	R-9	R-10
供試体の含水状態			自然	自然	自然	自然
供試体長さ h cm			26.2	26.2	25.8	26.3
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	2.8	4.2	1.9	6.8
	初期含水比 W %		7.2	5.3	8.3	6.4
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.648	2.637	2.637	2.637
	湿潤密度 ρ_t g/cm ³		2.044	2.077	2.014	2.099
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.907	1.973	1.859	1.973
	間隙比 e		0.388	0.337	0.419	0.337
	間隙率 n %		28.0	25.2	29.5	25.2
	飽和度 Sr %		49.0	41.3	52.5	50.1
	空気間隙率 Va %		14.3	14.8	14.0	12.6
	有効間隙率 n' %					
注 入 時	細粒分の含有率 %					
	平均粒径(50% 径) mm					
	透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—
	セメントの種類		HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質
	粉体供給速度 g/min		5	5	5	5
	注入圧 kgf/cm ²		1.5	2.6	3.3	3.2
	初期送気流量 Nm ³ /h		33.44	92.57	91.62	91.06
	初期間隙実流速 m/sec		0.35	0.773	0.661	0.69
	初期透気係数 cm/sec		1.71E-01	2.08E-01	2.05E-01	1.51E-01
	終了時送気流量 Nm ³ /h		26.93	7.13	8.1	8.84
注 入 後	終了時間間隙実流速 m/sec		0.282	0.06	0.058	0.067
	終了時透気係数 cm/sec		1.38E-01	1.51E-02	1.71E-02	1.39E-02
	注入時間 t min		26	90	80	80
	試料含水比 %		6.2	5.1	7.1	5.2
	セメント混入試料含水比 %		6.0	4.9	6.8	4.7
	供試体の含水比 %		6.2	5.1	6.8	5.2
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³		1.910	1.986	1.863	1.978
	間隙率 n %		27.9	24.7	29.3	25.0
	飽和度 Sr %		42.6	40.9	43.1	41.2
	空気間隙率 Va' %		16.0	14.6	16.7	14.7
注 入 後	セメント注入量 g		32	138	43	54
	セメント平均浸透長 cm		1.0	4.0	1.5	2.0
	セメント浸透率 %		3.8	15.3	5.8	7.6
	透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—
	注入後からの経過日数 (日)		40	33	32	33
	注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)		11.8	23.0	10.5	30.7
	注入水浸後の針貫入からのqu値		—	—	—	—
	観察記事		通過せず	通過せず	通過せず	通過せず
			※	▼		▼

※ 印は石膏とモルタル内壁よりわずかに漏れる。

▼ 印は、石膏セメント及び、石膏と試料境よりわずかに漏れて通過している。

表-4.6.7(3) 竜門ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			自然含水状態での 注入前の透水試験		透水後に送気した後 0.5m/sec以上で注入		注入後透水試験	
供試体 No. 供試体の含水状態			R-6 自然	R-7 自然	R-6	R-7	R-7	R-9
供試体長さ h cm			25.6	26.5	25.6	26.5	26.5	25.8
注 入 前	針貫入からのqu値	kgf/cm ²	3.4	8.8	3.4	8.8		
	初期含水比	W %	8.9	6.1	8.7	5.2		
	土粒子の密度	ρ_s g/cm ³	2.691	2.691	2.691	2.691		
	湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.940	2.044	1.937	2.027		
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.782	1.927	1.782	1.927		
	間隙比	e	0.510	0.396	0.510	0.396		
	間隙率	n %	33.8	28.4	33.8	28.4		
	飽和度	Sr %	46.8	41.1	45.8	35.3		
	空気間隙率	Va %	18.0	16.7	18.3	18.4		
	有効間隙率	n' %						
	細粒分の含有率	%	6	8				
	平均粒径(50% 径)	mm	1.25	1.15				
	透水係数	Kw cm/s	.56E-03	5.61E-03	—	—	—	—
注 入 時	セメントの種類				HG-2改質	HG-2改質		
	粉体供給速度	g/min			5	5		
	注入圧	kgf/cm ²			2.4	2.8		
	初期送気流量	Nm ³ /h			83.33	69.72		
	初期間隙実流速	m/sec			0.577	0.52		
	初期透気係数	cm/sec			2.01E-01	1.33E-01		
	終了時送気流量	Nm ³ /h			60.72	4.85		
	終了時間隙実流速	m/sec			0.421	0.04		
	終了時透気係数	cm/sec			1.47E-01	9.27E-03		
	注入時間	t min			20	110		
注 入 後	試料含水比	%			7.6	4.2	10.4	14.7
	セメント混入試料含水比	%			4.6	3.9	11.0	15.4
	供試体の含水比	%			7.4	4.0	10.5	14.7
	乾燥密度	ρ_d g/cm ³			1.786	1.935	1.935	1.863
	間隙率	n %			33.6	28.1	28.1	29.3
	飽和度	Sr %			39.5	27.3	72.3	93.5
	空気間隙率	Va' %			20.3	20.4	7.8	1.9
	セメント注入量	g			37	78	78	43
	セメント平均浸透長	cm			1.0	3.0	1.0	3.0
	セメント浸透率	%			3.9	11.3	3.9	11.3
透水係数 Kw cm/s			—	—	—	—	8.76E-05	8.43E-05
注入後からの経過日数 (日)			—	—	5	—	50	32
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)			—	—	4.2	—	—	—
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	12.6	10.5
観察記事			—	—	通過せず	通過せず	—	—
					※			

※印は石膏とモルタル内壁よりわずかに漏れていた。

表-4.6.8 稲葉ダム不攪乱試料の注入試験結果一覧

項 目			注入圧一定 注入法	初期平均間隙流速 0.20m/sec以上で注入			
供試体 No. 供試体の含水状態			1-1 自然	1-2 自然	1-3 自然	1-4 自然	
供試体長さ h cm			25.6	26.9	25.8	25.3	
注 入 前	針貫入からのqu値 kgf/cm ²		3.4	4.2	5.7	2.9	
	初期含水比 W %		26.9	19.1	24.1	21.2	
	土粒子の密度 ρs g/cm ³		2.685	2.685	2.685	2.685	
	湿潤密度 ρt g/cm ³		1.886	1.729	1.692	1.692	
	乾燥密度 ρd g/cm ³		1.486	1.452	1.363	1.363	
	間隙比 e		0.807	0.849	0.969	0.969	
	間隙率 n %		44.7	45.9	49.2	49.2	
	飽和度 Sr %		89.6	60.2	66.7	58.8	
	空気間隙率 Va %		4.7	18.3	16.4	18.4	
	有効間隙率 n' %		55.1				
	細粒分の含有率 %		20	21	19		
	平均粒径(50% 径) mm		0.34	0.37	0.45		
	透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—	
注 入 時	セメントの種類		HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	HG-2改質	
	粉体供給速度 g/min		5	5	5	5	
	注入圧 kgf/cm ²		1.0	2.9	7.0	5.6	
	初期送気流量 Nm ³ /h		4.96	83.78	86.76	74.65	
	初期間隙実流速 m/sec		0.04	0.35	0.16	0.172	
	初期透気係数 cm/sec		4.72E-02	1.58E-01	2.94E-02	3.84E-02	
	終了時送気流量 Nm ³ /h		1.11	75.39	30.1	20.31	
	終了時間隙実流速 m/sec		0.01	0.136	0.55	0.047	
	終了時透気係数 cm/sec		1.05E-02	3.16E-01	1.01E-02	1.03E-02	
	注入時間 t min		180	12	70	61	
注 入 後	試料含水比 %		22.2	18.0	15.8	17.0	
	セメント混入試料含水比 %		19.5	16.9	14.3	15.0	
	供試体の含水比 %		22.1	18.0	15.8	17.0	
	乾燥密度 ρd g/cm ³		1.493	1.454	1.370	1.400	
	間隙率 n %		44.4	45.8	49.0	47.8	
	飽和度 Sr %		74.3	57.0	44.1	49.7	
	空気間隙率 Va' %		11.4	19.7	27.4	24.1	
	セメント注入量 g		72	26	68	41	
	セメント平均浸透長 cm		0.5	0.5	0.5	0.3	
	セメント浸透率 %		2.0	1.9	1.9	1.2	
	透水係数 Kw cm/s		—	—	—	—	
注入後からの経過日数 (日)			—	35	35	35	
注入後の針貫入からのqu値(kgf/cm ²)				4.8	11.5	10.3	
注入水浸後の針貫入からのqu値			—	—	—	—	
観察記事			通過せず	通過せず ※	通過せず ▼	通過せず ▼	

※ 印は、注入時間12分で下部より通過確認したが石膏とセメントの間より多量に漏れ通過浸透していた。

▼ 印は、石膏とセメント及び、石膏とセメント内壁の間より漏れて通過していた。

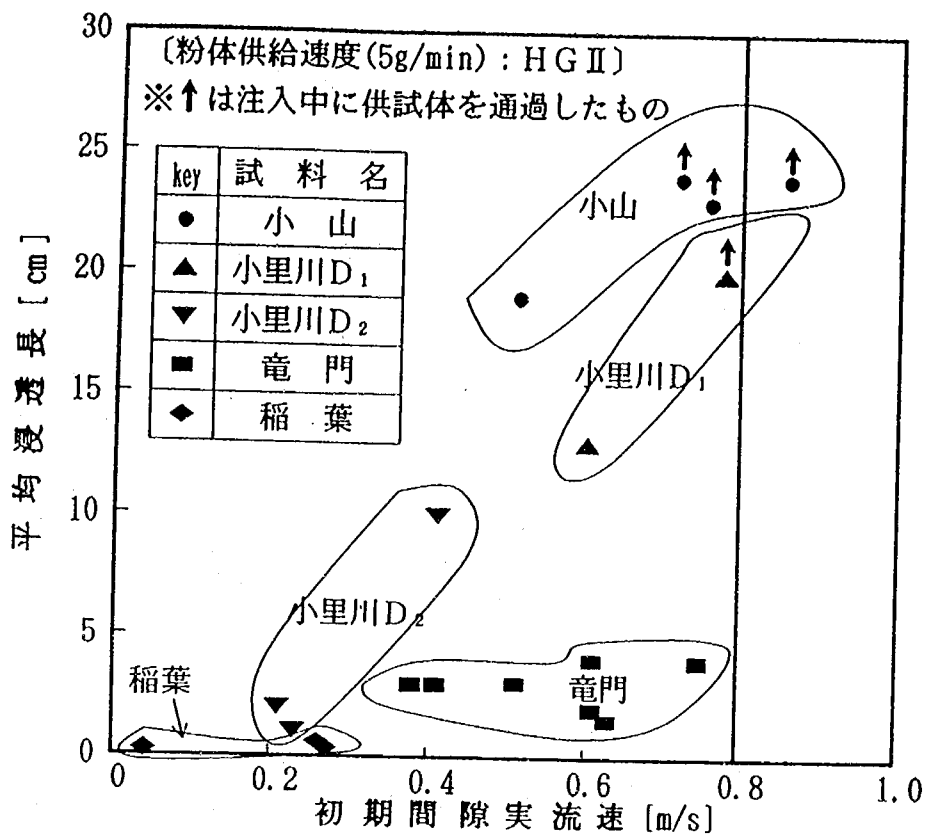


図-4.6.4 初期間隙実流速とセメント平均浸透長の関係

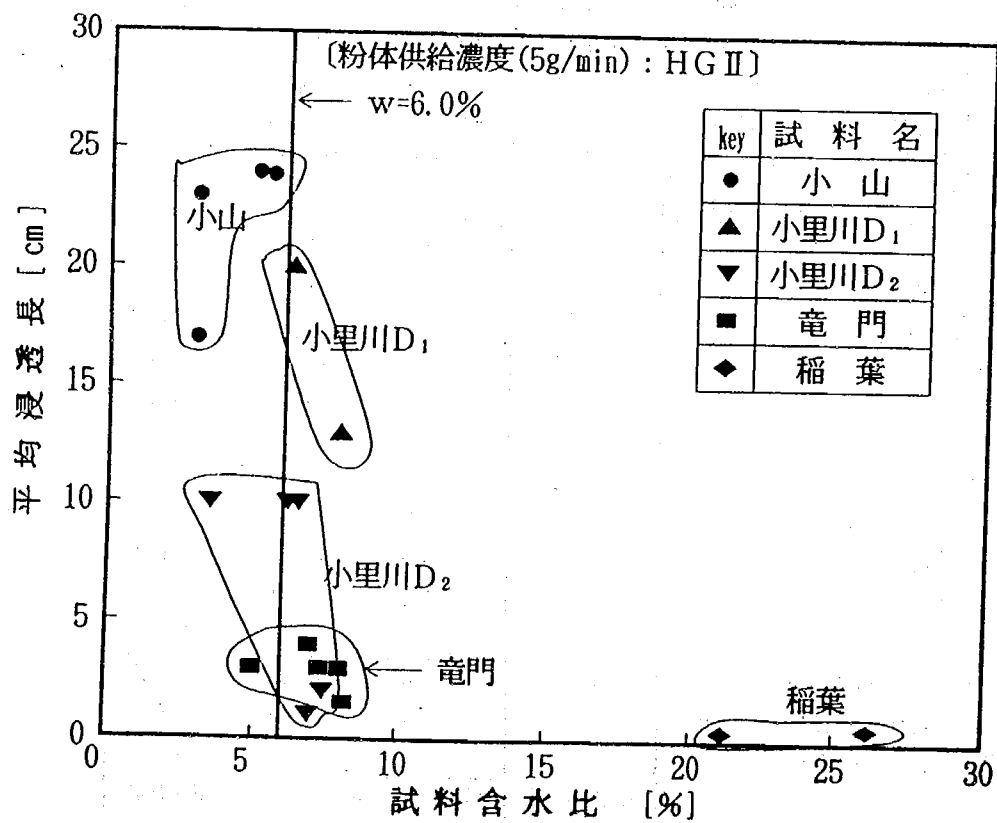
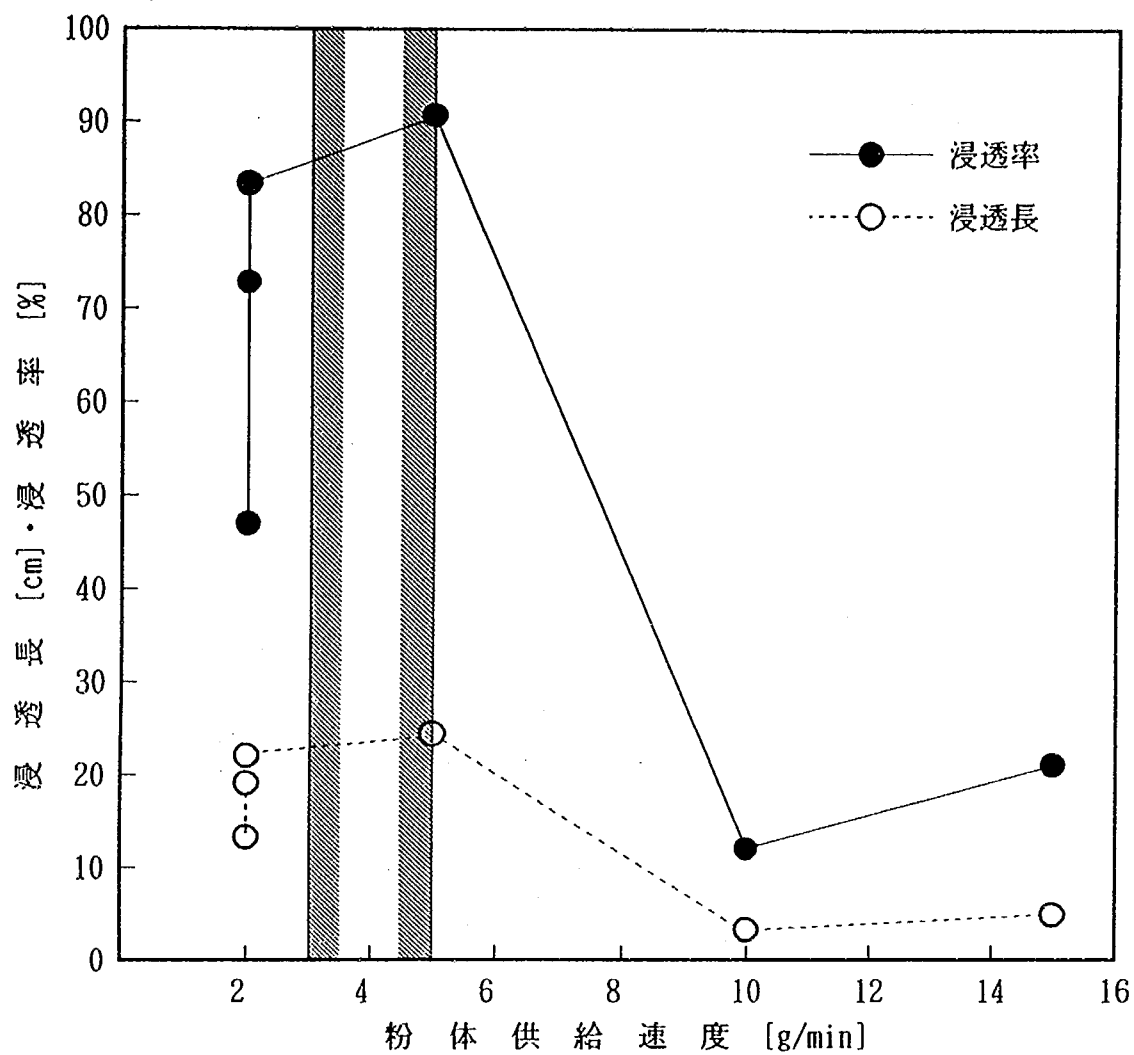


図-4.6.5 注入開始時の試料含水比と平均浸透長の関係



図一4.6.6 粉体供給速度とセメント浸透率の関係

次に表-4.6.9にセメント粉体注入・養生（35日間）後の試料の透水係数を注入前のそれと比較したものを示す。注入後の透水試験に際しては、試料表面を数cm程度削り取った後行った。表-4.6.9において注入前は 10^{-3} cm/s程度を示していた透水係数が、注入後には試料全体で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sまで低下していることがわかる。また、セメント粉体が均質に浸透していないと判断された試料でも透水係数が低下していることから、部分的に浸透したセメントが遮水性向上に寄与したと考えられる。

表-4.6.9 注入前後の透水試験結果

採取場所	試料名	透 水 係 数 k_{15} (cm/sec)				平均 浸透長 (cm)
		注入前	注 入 後			
		試料全体	試料全体	試料上部	試料下部	
小山	8.6m	未測定	2.05×10^{-5}	2.22×10^{-5}	1.44×10^{-5}	23.9
	K-1	未測定	5.76×10^{-5}	3.44×10^{-5}	2.08×10^{-4}	6.0
小里川	D1-6	3.52×10^{-3}	3.83×10^{-5}	2.91×10^{-5}	2.02×10^{-4}	20.0
	D1-7	1.29×10^{-3}	1.37×10^{-4}	1.67×10^{-4}	8.81×10^{-4}	5.0
	D2-6	4.10×10^{-3}	7.65×10^{-4}	5.26×10^{-4}	1.06×10^{-3}	10.0
	D2-7	5.72×10^{-3}	5.45×10^{-4}	4.05×10^{-4}	5.69×10^{-3}	—
竜門	R-7	5.61×10^{-3}	8.76×10^{-5}	7.19×10^{-5}	3.60×10^{-4}	3.0
	R-8	未測定	8.43×10^{-5}	9.61×10^{-5}	1.26×10^{-4}	1.5

注) 小山の他試料の注入前透水係数 k_{15} は、 $2.54 \sim 7.81 \times 10^{-3}$ cm/s。
 小里川D1-7 は、セッコウ部から漏出。
 小里川D2-7 は、モールド内壁面から漏出。

4.7 注入後の硬化試験

4.7.1 試験概要

地盤中に注入されたH G IIの硬化特性を把握するため、地山の自然含水比5%に調整し突き固めたマサ土の攪乱試料の中間部にH G IIを乾燥重量比で5%添加混合した混合土をセットし、以下に示す3種の養生方法（放置法、加水法、促進法）による試験を行った。

(1) 試験の種類

- ① 放置法 ; 突固めによって作製した試料を密閉状態で所定の期間まで放置する方法。
- ② 加水法 ; 突固めによって作製した試料に加水し、その後、密閉状態で所定の期間まで放置する方法。
- ③ 促進法 ; 含水比を一定に保ちながら所定の期間まで放置する方法。短期間で長期放置後の硬化状態が予測できる。

(2) 試験条件

- ① 小山マサ土を用いて、3種の試験法のうち放置法、加水法は含水比を5%に調整したものを、促進法は含水比5%と10%に調整した試料を用いる。
- ② セメント混合試料はH G IIをマサ土試料の乾燥重量の5%添加混合して作製する。
- ③ 供試体作製時の突固め方法はJIS 5.6エネギーに準拠するものとし、突固めランマーは重量2.5kg、落下高さ30cmのものを用いる。

4.7.2 試験方法

(1) 放置法および加水法

供試体の作製および試験手順を以下に示す。

- ① 内径10cm、高さ20cm軽量モールドに高さ15cmになるように、3層各29回（JIS 5.6 エネルギー）で突固めて作製する。
- ② 2層目は図-4.7.1 に示すように、直径8cm×厚さ3cm程度になるようにセメント混合マサ土を埋め込む形で作製する。
- ③ 加水法の場合は、①、②工程後（完成供試体）に所定量 0, 90, 150, 250ccの水道水を加水した後、2cm厚のフィルターを敷きビニールシートで密封する。その後、所定の放置期間空気養生する。
- ④ 養生後は14日目、28日目、56日目に針貫入試験を行い硬化度（推定一軸圧縮強度）を求める。

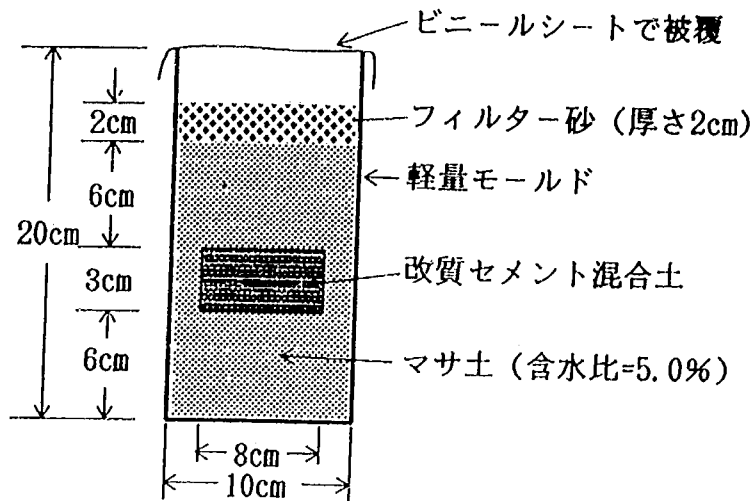


図-4. 7. 1 放置法及び加水法の供試体状況

(2) 促進法

供試体作製および試験手順を以下に示す。

- ① 内径15cm、高さ32cmのモールドに高さ18cmになるように、3層各79回（JIS 5.6 エネルギー）突固めて作製する。
- ② 2層目は前述(1)②同様に供試体中央部に、直径10cm、厚さ3cm程度になるようにセメント混合マサ土を埋め込む形で作製する（図-4. 7. 2参照）。
- ③ 供試体下部に地下水想定層を設け上部より微小の負圧（約0.02kgf/cm²）で吸引し、下部から水分上昇を促進させる方法を採用する。供試体の養生中においても、試料の含水比を変えない範囲で、自然蒸発量と促進蒸発量の促進比が2.0になるよう上部より微小の負圧で吸引し、マリOTT管を用いて常時水を供給させ、同時にその供給水量を測定管理する方法で行う。
- ④ 硬化状況を、放置法および加水法と同様に針貫入試験で所定期日（養生後14日目、28日目、56日目）に行い硬化度を測定する。

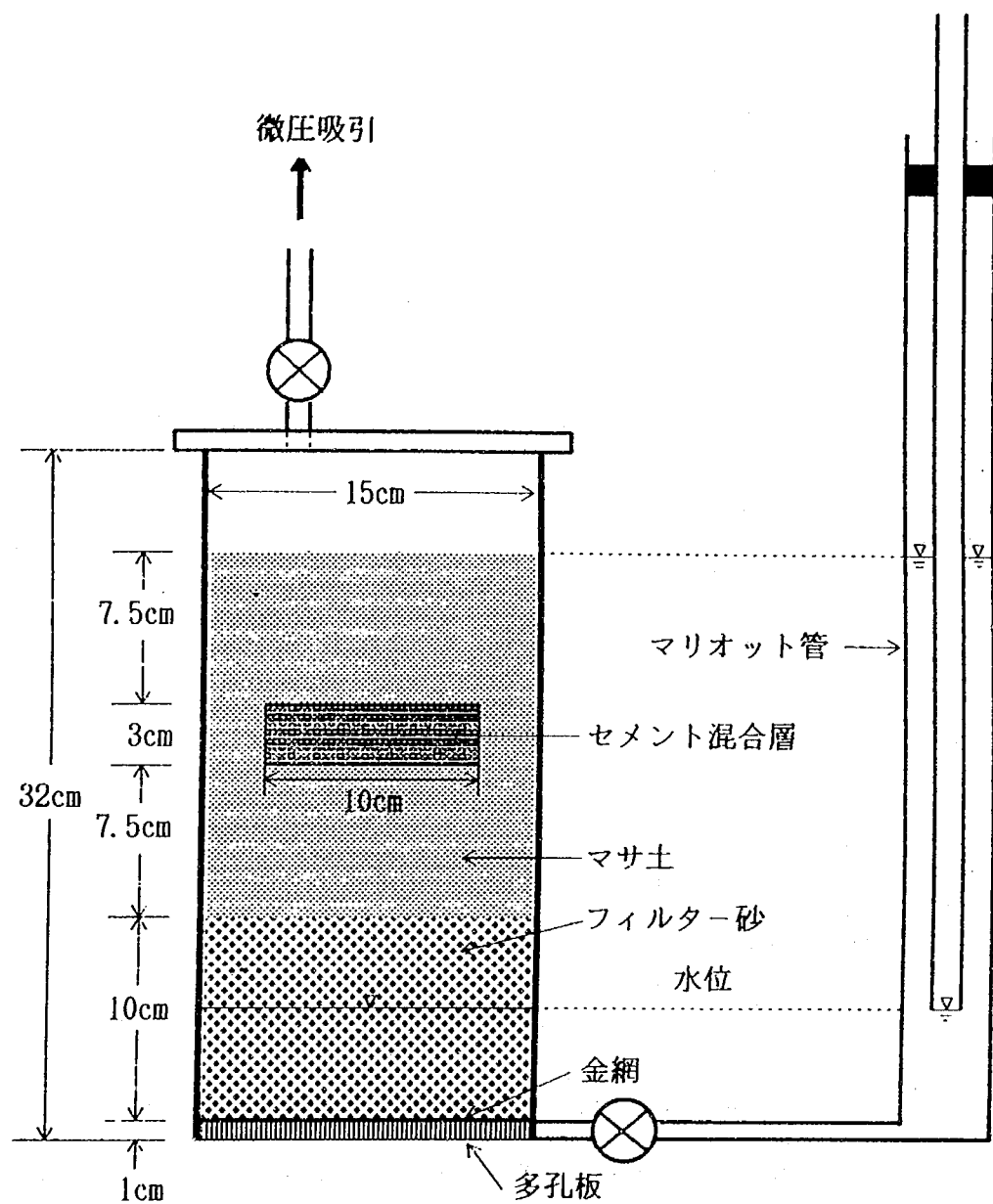


図-4.7.2 促進法の供試体状況

4.7.3 試験結果

試験結果を表-4.7.1に、硬化度（推定一軸圧縮強度）と養生期間との関係を図-4.7.3に示す。

図-4.7.3より、放置法（含水比5%）では13kgf/cm²以上の硬化度を得られていることから、HGⅡは自然含水比と同等の水分で十分硬化することがわかった。また、加水法の硬化度は同一養生期間における促進法の硬化度より概ね大きい値を示していることから、粉体注入後に注入孔から注水することにより硬化時間を促進できることがわかった。さらに、促進法の硬化度の経時変化より、HGⅡは注入後約100日（3.5ヶ月）で硬化が完了すると予測できる。

表-4.7.1(1) 放置および加水法による硬化試験結果

試験方法	供試体寸法		開始時 含水比 (%)	湿潤 密度 g/cm ³	加水量 (cc)	加水後推 定含水比 (%)	養生期間 (day)	計測時 含水比 (%)	推定一軸 圧縮強度 (kg/cm ²)
	直径 (cm)	長さ (cm)							
放置法	10.0	15.2	5.0	1.767	0	5.6	14	5.7	5.2
	10.0	15.0		1.783			28	5.3	11.3
	10.0	15.2		1.758			56	5.7	13.5
	10.0	15.1		1.779			56	5.7	13.5
加水法	10.0	15.1	5.6	1.779	90	10.1	14	12.4	4.8
	10.0	15.2		1.766			28	13.0	14.6
	10.0	15.1		1.769			56	11.9	16.5
	10.0	15.2	5.6	1.760	150	13	14	17.2	6.8
	10.0	15.0		1.784			28	16.6	11.8
	10.0	15.2		1.780			56	16.7	20.0
	10.0	15.1	5.6	1.787	250	18	14	19.3	2.3
	10.0	15.2		1.777			28	17.8	12.6
	10.0	15.1		1.782			56	19.5	9.3
	10.0	15.1		1.782			56	19.5	9.3

表-4.7.1(2) 促進法による硬化試験結果

試験方法	供試体寸法		開始時 含水比 (%)	湿潤 密度 g/cm ³	養生 期間 (day)	吸引 促進比	換算 養生期間 (day)	計測時 含水比 (%)	推定一軸 圧縮強度 (kg/cm ²)
	直径 (cm)	長さ (cm)							
自然蒸発 の放置	14.95	17.7	5.2	1.907	14	1.0	14.0	----	----
					28	1.0	28.0	----	----
					56	1.0	56.0	4.6	11.8
促進法	14.95	17.6	5.2	1.856	14	2.0	28.0	5.8	7.6
		17.8		1.825	28	2.1	58.8	5.3	9.3
		18.0		1.838	56	1.8	100.8	5.7	11.0
	14.95	17.5	9.4	1.859	14	2.9	40.6	10.4	14.2
		17.5		1.854	28	2.9	81.2	11.4	17.6
		17.5		1.856	56	2.6	145.6	15.4	16.2

注：推定一軸圧縮強度は針貫入勾配（NP値：kgf/mm）から以下の式により求めた。

$$\text{推定一軸圧縮強度(kg/cm}^2\text{)} = 10 [0.978 \times \text{LOG}(\text{NP}) + 1.599]$$

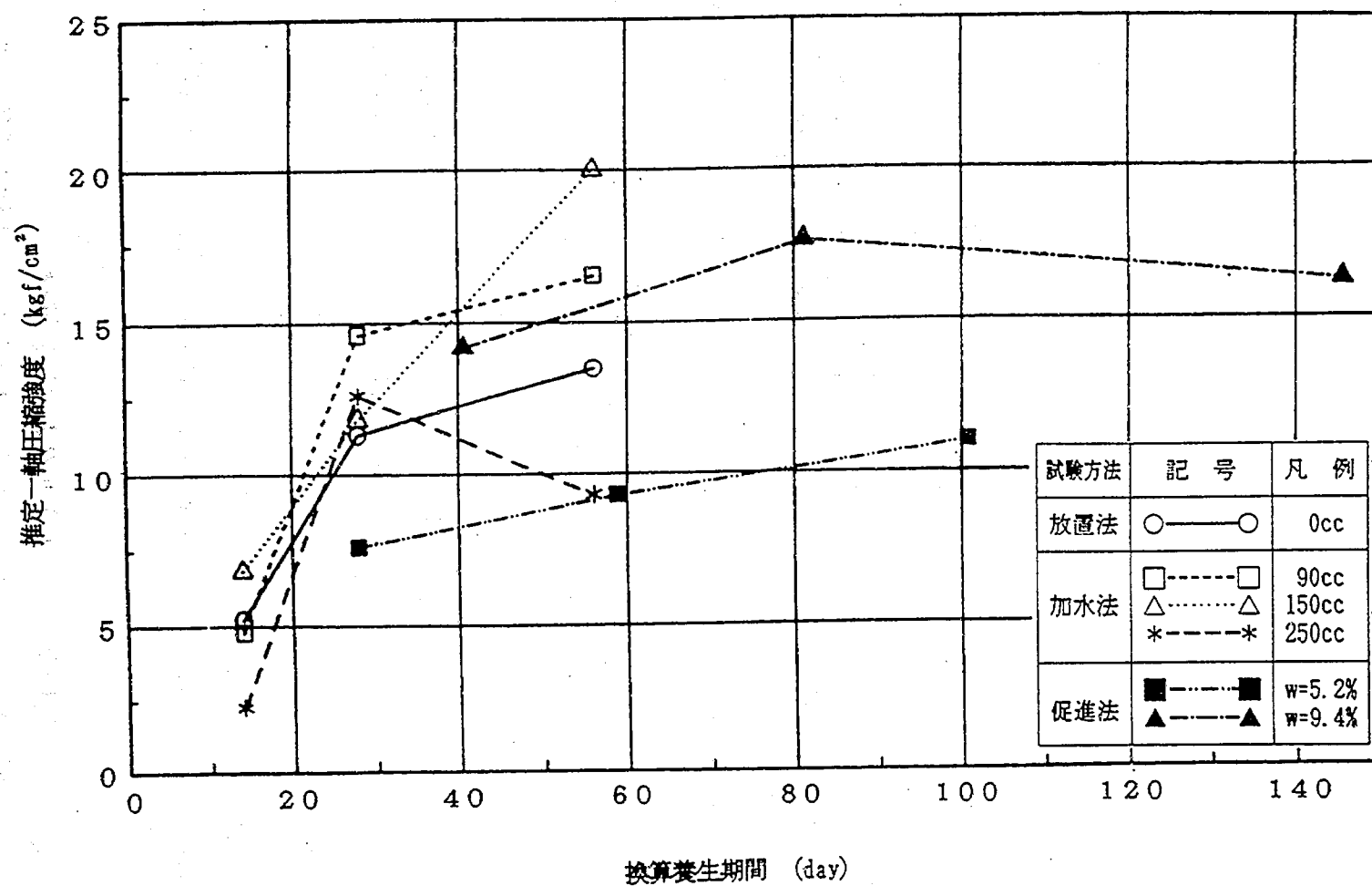


図-4.7.3 硬化度（推定一軸圧縮強度）と養生期間の関係

4.8 総合検討および総合評価

本章では、改質セメントをさらに改良して粉体圧送グラウチングの浸透性を向上させるとともに、浸透性に影響を与える要因として空気湿度、含水比の影響を検討した。またこれらの結果を受けて、改良した改質セメントとセメントミルクの浸透性・遮水性の比較を攪乱試料について行い、さらに不攪乱試料に対する注入試験から本工法の各種地盤への適用性を検討した。

これらの結果を以下に整理する。

(1) 改質セメントの改良

標準品（共同研究開始前に用いられていた改質セメント）の浸透性を改良する目的で、粒径分布とコーティングの均質化を行ったハイグレード品を製造した。

未改質セメント、標準品、ハイグレード品（HGⅠ・HGⅡ）の粉体物性と浸透性を表-4.8.1に整理したが、1ミクロン以下の微粒分が少なくなると浸透性が向上することがわかる。

また改質セメントは通常のセメントとは水和反応速度が異なることから、HGⅡの豊浦標準砂混合硬化体の一軸圧縮強さも未改質品と比して7日強度で約50%、28日強度で約80%となり初期水和の遅れが見られることがわかった。

しかし遮水性向上という目的に対しては、改質セメントを改良することで粉体圧送グラウチング材料として好適な材料を製造することができた。

表-4.8.1 改質セメントの粉体物性と浸透性

材 料	物 性 平均 粒径 [μm]	通過分 [%]		安息角 [度]	空気圧送浸透性 [分]	
		10.00[φ]	1.01[φ]		豊浦標準砂	7号珪砂
未改質セメント	4.9	89.3	8.9	50	不通	不通
改質 セメント	標準品	5.5	88.5	7.3	37	41
	HGⅠ	5.6	94.8	4.5	28	23
	HGⅡ	5.3	95.1	5.0	26	18

注：試料長は豊浦標準砂が36cm、7号珪砂が15cm。
粒度分布はレーザ回折法により求めた値である。

(2) 粉体注入における空気湿度の影響

粉体注入における空気湿度の適性範囲は、10~20%付近と考えられ、これより空気湿度が低いと静電気発生により、高いと表面水分によると考えられる原因により付着性増加が起こることがわかった。

(3) 含水比の粉体注入に与える影響

攪乱試料に対して含水比0~5%のもとで注入試験を行ったが、浸透長には大きな差が見られなかった。

(4) 攪乱試料を用いたセメントミルクとの比較試験

7号珪砂に対してセメント懸濁液によるグラウチング工法と粉体圧送グラウチング工法

の浸透性を比較した結果、以下のことがわかった。

- ①注入圧力を上げると改質セメント、セメント懸濁液とも浸透長が増加する。
- ②HGⅡはセメント懸濁液、標準品、HGⅠに比べて浸透性に優れていた。
- ③改質セメントは注入時間の増加とともに浸透長が伸びる傾向を示した。一方、セメント懸濁液は注入開始から7分程度で目詰まり状態となり、その後の浸透長の伸びは見られなかった。
- ④粉体圧送グラウチングでは時間当りの浸透長が大きくなる粉体供給速度が存在することがわかった。
- ⑤初期間隙実流速が0.8m/s以上を確保できれば、改質セメントは安定した浸透長が得られることがわかった。

(5) 不攪乱試料を用いた注入試験

4地域、5か所から採取した直径23cm×高さ30cmの不攪乱試料に対する室内注入試験結果より、以下のことがわかった。

- ①小山、小里川D1の試料に対しては、初期間隙実流速が0.8m/s以上のときに極めて大きい浸透長が得られる。
- ②HGⅡを用いた場合、標準品を用いた小山ダムサイトでの現場試験での浸透長0.3～1.6mを越える浸透長が期待できる。
- ③竜門の試料のように粘土分を挟んだ亀裂が存在する場合や、稲葉のように細粒分が多い場合には、浸透は小さい。
- ④注入前の透水係数が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/sの不攪乱試料は、注入後には試料全体で $10^{-4} \sim 10^{-5}$ cm/sまで低下することがわかった。

(6) 注入後の硬化特性の把握

小山の不攪乱試料に重量比5%のHGⅡを混合して作製した供試体を含水比5～13%で養生し、針貫入試験により一軸圧縮強度を検定した結果、28日強度で最高20kgf/cm²を得た。このことから、HGⅡは自然含水比と同等の水分で十分硬化することがわかった。

以上より粉体圧送グラウチング工法は、実用的な工法になりうるということが明らかになったが、今後の課題として以下の項目が残っている。

- ① 室内試験による注入効果判定方法の確立
- ② 現場試験における最適な注入条件の確立
- ③ 現場装置の自動化・小型化・省力化
- ④ 粉体圧送グラウチング工法の経済性検討

5. 粉体圧送グラウチングの標準仕様（案）

5.1 はじめに

本章では、本共同研究以前よりこれまでに実施された室内試験および現場実証試験の結果をもとに今後の粉体圧送グラウチングの現場実証試験に対する標準仕様（案）を示した。

「5.2 適用範囲」では、対象地盤の細粒分含有率・50%粒径・有効間隙率・空気間隙率・現場透水係数・初期間隙実流速・自然含水比・地盤強度の各因子に対し、本工法の標準適用範囲を示した。

「5.3 予備検討の手順」では、本工法の原位置地盤への適用性を判定するための室内試験方法および検討手順について示した。

「5.4 注入仕様の作成」では、本工法を現場に適用する際の注入材料・注入孔間隔・事前送気・誘導孔・機械の能力について、過去の現場実証試験の実績および数値解析の結果を整理し、注入仕様とした。

「5.5 施工方法」では、本工法を現場で施工するための施工手順・試験パターン・表層処理・機械据付け・ボーリング方法・注入方法等について過去の現場実証試験の実績を参考に標準仕様として整理した。

5.2 適用範囲

5.2.1. 地質条件

ここでは、粉体圧送グラウチングをダム基礎の止水を目的として行う場合を念頭において検討する。

ダム基礎岩盤は、その空隙分布によって水理的性質が異なるが、大別すると、亀裂性岩盤と粒状地盤とに区分できる。粉体圧送グラウチングは、浸透注入をその特徴とする工法であり、その特徴が最も生かされるのは粒状地盤を対象としたときである。ここで言う、粒状地盤とは、たとえば花崗岩の風化したマサ、未固結の砂岩、あるいは砂礫層などである。しかしながら、粉体圧送グラウチングは乾燥状態のセメントを空気により地盤中へ圧入する工法であるため、地盤内の空隙に水が存在するとセメント粒子の浸透が阻害される。したがって、地盤空隙内の水を排除する特別な方法を講じないかぎり地下水位以下の地盤には適さない。

5.2.2 対象地盤の物理特性

粉体圧送グラウチングの浸透性に特に関わるものが判明している対象地盤の物理特性は、空隙の大きさに関わる物性と空隙内の湿潤状態に関わる物性である。

空隙の大きさに関わる物性

- ① 粒度、特に細粒分含有率および50%粒径
- ② 有効間隙率
- ③ 透水係数

空隙内の湿潤状態に関わる物性

- ① 自然含水比
- ② 飽和度

粉体圧送グラウチングの各パラメータに基づく標準的な適用範囲を不攪乱試料による室内試験および現場実証試験結果から示すと表-5.2.1のようになる。

特に小山(A)における結果は、浸透性に関して比較的良好な結果が得られたことから小山の各パラメータを基準に標準適用範囲を設定した。

これら範囲を設定したパラメータの中でも細粒分の含有率と初期間隙流速および自然含水比は、浸透長に大きく影響することが、3章の現場試験、4章の室内試験の各結果から明らかされている。これらパラメータの内、初期間隙流速および自然含水比は、装置の送気量の増大や、事前送気によりある程度まで調整できるが、細粒分に関しては、調整できないため、シラス等の細粒分が多い地盤に対しては、浸透不可能となる。

したがって、人為的に調整可能なパラメータに関しては、標準適用範囲に収めることが可能であるかを検討し、それ以外のパラメータに関しては、標準適用範囲から大きくはずれることがないかを充分検討する必要がある。

表-5.2.1 対象地盤の適用範囲

項 目	適 用 範 囲 の 概 数 値
①細粒分含有率 (%)	Range diagram for fine particle content (%). The x-axis represents the percentage from 0 to 11. Data points are marked at 2, 4, 5, 6, 7, and 11. Horizontal lines with arrows indicate ranges: A (2-4), D,E (4-5), B (5-6), and E (6-11). A thick black bar representing the standard application range is shown from 0 to 7. On the right side, there are labels 19 G and 25 C with arrows pointing to the right.
②50%粒径 (mm)	Range diagram for 50% particle size (mm). The x-axis represents the particle size from 1.0 to 2.5. Data points are marked at 1.0, 1.4, 1.8, 2.0, 2.3, and 2.5. Horizontal lines with arrows indicate ranges: A (1.4-2.0), H (1.8-2.0), and E (1.0-2.3). A thick black bar representing the standard application range is shown from 1.5 to 2.5.
③有効間隙率 (%)	Range diagram for effective porosity (%). The x-axis represents the porosity percentage from 24 to 37. Data points are marked at 24, 29, 32, 35, and 37. Horizontal lines with arrows indicate ranges: A (24-32), E (29-35), and F,H (35-37). A thick black bar representing the standard application range is shown from 25 to 35. Below the bar, the text "(間隙率で25%~40%)" is written. On the right side, there is a label 55 G with an arrow pointing to the right.
④空気間隙率 (%)	Range diagram for air porosity (%). The x-axis represents the air porosity percentage from 14 to 30. Data points are marked at 14, 15, 16, 18, 22, and 30. Horizontal lines with arrows indicate ranges: F (15-18), E (16-22), and A (14-22). A thick black bar representing the standard application range is shown from 14 to 20.
⑤透水係数 (cm/s)	Range diagram for permeability coefficient (cm/s). The x-axis represents the permeability coefficient on a logarithmic scale from 10^{-4} to 10^{-3}. Data points are marked at 2.5×10^{-3}, 4.1×10^{-3}, and 7.8×10^{-3}. Horizontal lines with arrows indicate ranges: A (2.5×10^{-3} to 7.8×10^{-3}) and E (4.1×10^{-3} to 10^{-3}). A thick black bar representing the standard application range is shown from 10^{-4} to 10^{-3}.
⑥初期間隙流速 (m/s)	Range diagram for initial pore water velocity (m/s). The x-axis represents the velocity from 0.16 to 0.9. Data points are marked at 0.16, 0.22, 0.61, 0.64, 0.57, and 0.9. Horizontal lines with arrows indicate ranges: F (0.22-0.61), E (0.16-0.64), and A (0.57-0.9). A thick black bar representing the standard application range is shown from 0.8 to 0.9. Below the bar, the text "0.8以上(透気試験より求める)" is written.
⑦自然含水比 (%)	Range diagram for natural water content (%). The x-axis represents the water content percentage from 0 to 8.2. Data points are marked at 2.4, 3.1, 3.2, 4.6, 5.1, 5.8, 6.3, 6.4, 7.9, and 8.2. Horizontal lines with arrows indicate ranges: A (3.1-4.6), D (2.4-5.1), B (3.2-6.4), F (6.3-7.9), and E (5.8-8.2). A thick black bar representing the standard application range is shown from 0 to 5. Below the bar, the text "(5%にできる範囲)" is written. On the right side, there are labels 23 G and 18 C with arrows pointing to the right.
⑧地山の強度 (kgf/cm ²)	Range diagram for soil strength (kgf/cm²). The x-axis represents the strength from 0.4 to 20. Data points are marked at 0.4, 7.1, 7.9, 10.9, 13.5, 17.4, and 20. Horizontal lines with arrows indicate ranges: F (7.1-7.9), E (0.4-10.9), and A (13.5-17.4). A thick black bar representing the standard application range is shown from 13 to 20. Below the bar, the text "(針貫入より直接地山強度を推定 $q_u = 13 \sim 20$)" is written.

: 現場実証試験、不攪乱試料での実績値(A:小山、B:尾原、C:川辺、D:布目、E:小里川、F:竜門、G:稲葉)

: 標準適用範囲

5.3 予備検討の手順

5.3.1 検討項目の概要

粉体圧送グラウチングの適否判断を行うための方法および手順について、地質状況、地下水位状況、材料の物理特性と力学特性より適切な判定基準をもって検討する。検討手順を以下に示す。

(1) 地質調査

- 1) 地質区分（岩種、岩質）
- 2) 岩盤分類
- 3) 割れ目、断層、岩脈など不連続面の状況および分布
- 4) 地下水位
- 5) 透水係数、ルジオン値

(2) 室内試験

- 1) 岩石の物理特性（単位体積重量、土粒子の密度、間隙率、自然含水比、粒度等）
- 2) 力学特性（一軸圧縮強度(q_u)、ポイントロード指数(I_s)、針貫入勾配(NP))
- 3) 透水特性
- 4) 顕微鏡観察

5.3.2 地質状況

粉体圧送グラウチングの地質調査は、各ダムサイトの地質調査に準じて、特に5.3.1に示した項目の把握を目的に実施する。

具体的には下記の項目を組み合わせた調査を行う。

(1) 資料収集

- 1) 既存資料収集
- 2) 空中写真の判読

(2) 地表地質踏査

(3) 原位置試験

- 1) シュミットロックハンマー反発度測定
- 2) 土壌硬度計測定および針貫入試験
- 3) ポイントロード試験
- 4) 現場透水試験
- 5) 現場密度試験（砂置換法など）

(4) 試料採取

- 1) 攪乱試料および不攪乱試料（くぎ法など）を採取する

(5) 横坑、テストピット調査

- (6) ボーリング調査（原位置試験を含む）
 - 1) 透水試験（ルジオンテストなど）
 - 2) 透気試験
 - 3) 地下水位測定
 - 4) 孔内水平載荷試験（横方向K値測定など）
 - 5) 密度検層
 - 6) P S 検層
 - 7) 電気検層

5.3.3 室内試験

調査地より攪乱試料を採取し、注入対象地盤の物理特性を求める。また不攪乱試料を採取し、室内透水および送気試験、粉体注入試験を実施し、粉体圧送グラウチングの適否の判断をより明確にさせる。

- (1) 試料は攪乱試料および不攪乱試料とする。不攪乱試料の採取方法は、クギ法などで行う。
- (2) 物理特性の把握のために、密度、有効間隙率、吸水率、土粒子の密度、含水比、粒度試験などを行う。
- (3) 力学特性の把握のために、一軸圧縮強度またはポイントロード、針貫入試験を行う。
- (4) 室内透水試験、送気試験、粉体注入試験を行う。試験方法は、4.6に基づく。
- (5) 地層の岩片の顕微鏡観察により粒子間の間隙幅、配列構造などを調べる。

5.4 注入仕様作成

5.4.1 注入仕様

粉体圧送グラウチングの注入メカニズムは、従来のミルク注入とは根本的に異なるため、注入仕様の作成にあたっては、注入材料、孔間隔、事前送気、機械の種類とその能力等を総合的に検討しなければならない。

- ① 粉体圧送グラウチングの注入対象地盤は、風化マサ等の粒状地盤である。この微細な空隙に注入する材料としては、空気中における分散性に優れ、かつ粒子径の小さいセメントが望ましい。
- ② グ라우チングの注入孔間隔およびステージ長は、粉体圧送グラウチングと従来のミルク注入で特に異なるものではないが、粉体圧送グラウチングの対象とする地盤が風化マサ等の粒状地盤であるため孔壁崩壊等も予想され、通常の亀裂性岩盤のように孔間隔、ステージ長を長くとることは難しい。したがって、これまでの現地試験の実績を参考にして計画することが望ましい。
- ③ 粉体圧送グラウチングでは、従来のミルク注入の「水押し」に相当する事前送気を実施する。これは地盤を乾燥状態とすることにより、送気流量をできるだけ多く確保するとともに、注入機器系統および漏気箇所を点検するためのものである。
- ④ 注入を効率的に行うため誘導孔を設置して、注入に方向性をもたせる方法や、誘導孔による含水比の低下効果も考慮に入れて計画する。
- ⑤ ボーリング機械は、基本的にはミルク注入の場合と同じと考えてよいが、注入機械・器具はミルク注入と大きく異なる。注入仕様の作成にあたっては、各機器・計測器を十分検討し、適切な機械を選定・組合せ、計画する必要がある。

現在までの粉体圧送グラウチングの現場試験実施例は4現場と少なく、注入仕様についてもそれぞれの現場の試験条件に応じて計画されている。したがって、注入仕様を作成するにあたっては、これまでの現場試験実績を十分参考のうえ総合的に検討して綿密な計画を立てることが望ましい。

5.4.2 注入材料

風化マサのような粒状地盤では、一般の岩盤のような割れ目をもたず不均質な大小の間隙を主体にし、また水圧に対する抵抗力も小さい。このような基礎に対して、マスとしての所要の遮水効果を期待するには浸透性が良く、かつゲルタイムを調整できる薬液が注入できれば好都合であるが、耐久性や薬液の薬禍に問題があって、最近ではダムのような恒久施設での使用は皆無に近い。

粉体圧送グラウチングは、風化マサ等の粒状基礎の空隙にセメント粒子を直接圧送するもので、その空隙の大きさや状態および注入の目的を考慮して、最も適した注入材料を使

用しなければならない。

粒状基礎の空隙に圧送する注入材料には、以下の条件が必要とされる。

- ① 注入材料の粒子が小さく、均一粒度に近いこと。
- ② 圧送空気中でセメント粒子が均等に分散し、流動性が良好なこと。
- ③ 空気中における凝集性が小さく、圧送中に粒子が付着しないこと。
- ④ 粒子表面の形状・粗さ・すべり易さが適度で、地盤中の浸透性に優れていること。
- ⑤ 固結した後は所要の強度を有し、長期間の水圧に抵抗しうること。
- ⑥ 浸透水との化学反応に対して安定であること。
- ⑦ 安全性に優れ、有害成分を溶出しないこと

これらの条件から、粉体圧送グラウチングに用いる注入材料は、市販のセメントに改良を加えて作製した改質セメントとする。改質セメントは、未改質超微粒セメントをベースとし、これに粒度調整および水溶性シリコン樹脂による表面コーティングを行ったもので、浸透性に優れているうえに通常のセメントと同様に水と反応して硬化する。改質セメントは生理的に無害で、化学的に安定している。

改質セメントの母材としては、超微粒セメントの1つである「アロフィックスMC」とする。この化学成分と物理成分を表-5.4.1に示す。

改質セメント（標準品）はさらに改良が加えられ、特にハイグレード品（HGⅡ）においては、空気中における粒子の分散性が高められ、室内試験における浸透性が未改質超微粒セメントに比べて大幅に改良されている。注入後の地盤の遮水特性などの物性も目的に沿うものであり、環境負荷上問題となるような有害成分も何等含まれていない。

表-5.4.2に、本材料と代表的な未改質超微粒セメントの物性および注入試験結果を示す。

表-5.4.1 アロフィックスMCの化学成分・物理特性

化学 ^{*1} 成分 (%)	ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl
	0.6	0.2	30.8	12.4	1.2	48.2	5.0	1.3	0.54	0.011
物 理 特 性	比 重	粉 末 度			凝 結 ^{*4}		圧縮強さ (kgf/cm ²) ^{*5}			
		比表面積 ^{*2} (cm ² /g)	10μm ⁷ M ¹ 残分 ^{*3} (%)	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)	1 日	3 日	7 日	28 日	
	3.00	9380	0	3-40	4-45	55	272	425	564	

*1；化学成分は、「JIS R 5202-1989 ポルトランドセメントの化学分析方法」による。

*2；物理特性のうち、10μm⁷M¹残分(%)以外は、「JIS R 5201-1992 セメントの物理試験方法」による。

*3；10μm⁷M¹残分(%)は、「セメント協会標準試験方法 CAJS K-03-1982 エアジェット式ふるい装置によるセメントの粉末度試験方法」による。

*4；凝結試験は、セメントペーストによる。砂は用いない。水量は、標準軟度となるように調整する。

*5；強さ試験は、セメントモルタルによる。配合は質量比で、セメント1：標準砂2、水セメント比0.65とする。供試体寸法は、40×40×160mmの角柱である。

表-5.4.2 物性および注入試験結果

材 料 \ 物 性	平均粒径* (μm)	通過分 (%) *		安息角 (度)	空気圧送浸透性 (分) **	
		10.55 μm	1.01 μm		豊浦標準砂	7号珪砂
未改質超微粒セメント	4.9	89.3	8.9	50	不 通	不 通
粉体圧送用改質セメント (標準品)	5.5	88.5	7.3	37	41	不 通
粉体圧送用改質セメント (ハイグレード品 HG II)	5.3	95.1	5.0	26	18	3 ~ 7

* レーザー回折式 (マイクロトラック) による

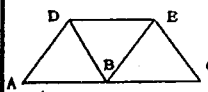
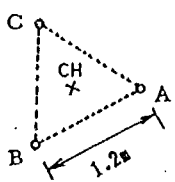
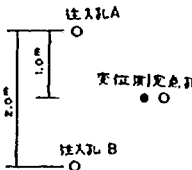
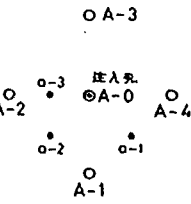
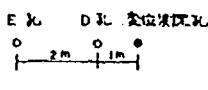
** 砂層通過所要時間 (豊浦標準砂供試体長360mm、7号珪砂供試体長150mm)

5.4.3 注入孔間隔

注入孔間隔は、コンソリデーショングラウチング、ブランケットグラウチング、カーテングラウチング等、グラウチングの目的と種類によって改良目標値と注入対象範囲が異なるため、各々の目的、種類にあった注入後の効果を考慮したうえで決定する。計画当初における注入孔の孔間隔は、基礎地盤の性状、透水性等を考慮し、類似地盤の実施例を参考の上、決定するのが望ましい。

これまでの現地試験における孔間隔の実績を表-5.4.3に示す。

表-5.4.3 孔 間 隔 実 績

	小 山	尾 原	川 辺	布 目	
				一 次	二 次
配孔パターン	三角パターン	三角パターン	直 線	単 独	直 線
孔 数 (孔)	5	3	2	1	2
孔間隔 (m)	1.2	1.2	2.0	—	2.0
平面配置					

5.4.4 ステージ長

グラウチングのステージ長は、地盤の不均一性、ダム基礎の透水性等の性状、注入圧力、注入効果および経済性を総合的に考慮して決定する。

粉体圧送グラウチングの対象とする地盤は、風化マサ等の粒状地盤である。通常のミルク注入におけるステージ長は、一般に5mで実施される例が多いが、風化マサ等の透水性の大きい基礎地盤では、入念にグラウチングを行う必要があり、これまでの実施例ではステージ長を0.2～1.5m程度の短区間で注入している。

また、崩壊性の高い地盤においては、無理をして所定のステージ長まで掘進してパッカーを挿入しても、注入ステージの下層には崩壊土が堆積されているため、注入区間の全ステージにわたってセメントが注入されていることにはならない。掘進中に激しい崩壊に出会ったならば、所定のステージ長にこだわらず、その時点で注入を開始することも考慮しなければならない。

これまでの現地試験におけるステージ長の実績を表-5.4.4に示す。

表-5.4.4 ステージ長の実績

項目 ダム名	ステージ数 (st)	ステージ長 (m)	備考
小 山	5	1.5	ステージ長 1.5m
尾 原	1	1.0	ステージ長 1.0m
川 辺	1	0.2	ステージ長 0.2m
布 目 1次	1	0.2	ステージ長 0.2m
2次	1	0.2	ステージ長 0.2m

5.4.5 事前送気

粉体圧送グラウチングにおける「事前送気」は、改質セメント注入前に圧縮空気を初期注入圧力まで段階的に昇圧しながら地盤内に送気するもので、セメントミルク注入グラウチングにおける「水押し」に対応する。

本項では事前送気の目的、注入圧力と送気流量の関係・送気時間の設定に関し、概要および今後の課題を以下に示す。

(1) 目的

目的1.「地盤を乾燥状態とすることにより送気流量をできるだけ多く確保し、粉体の浸透性を高める。」

送水ボーリング後の注入孔周辺地盤の空隙に残った水分は粉体の浸透注入を妨げる。よって事前送気により水分量を低下させ、地盤の限界圧力以下の範囲で送気流量を多く確保する。

目的2.「注入機器系統および漏気箇所を点検する。」

事前送気により注入機器系統の作動状態およびプラント・注入管等からの漏気の点検を行う。

(2) 初期注入圧力の設定および送気流量

粉体圧送グラウチングは改質セメントを地盤中に均質に浸透注入させることを特徴としており、事前送気の過程で地盤内に亀裂を発生させないことが課題となる。ここに一例として過去に行われた実証試験の事前送気管理基準を表-5.4.5に示す。この基準のもとでの送気・注入ではマサ地盤内に卓越流を生じるような亀裂は生じていないことが確認されている。

表-5.4.5 事前送気の管理基準の例（小山ダムサイト、マサ）

管理項目	管 理 基 準
地盤変位量	最小値と最大値の差が2mm以下であるように制御する。
昇圧	①0.1~0.3kgf/cm ² づつ段階的に行い、昇圧後の地盤変位量と送気流量が安定した後に次の昇圧を行う。 ②一度降圧し再度昇圧する場合、最大圧力以下の圧力段階であっても、再昇圧は地盤変位量・送気流量を監視しながら徐々に行う。
最大送気圧力	①昇圧時に送気流量あるいは地盤変位量が著しく増加する限界圧力以下とし、可能な限り大きな送気流量を得られる圧力とする。 ②2Nm ³ /min以下の送気流量において、地盤変位量あるいは送気流量が著しく増加する兆候が見られる場合には、それ以降は2Nm ³ /minに相当する圧力まで速やかに昇圧し、これを最大圧力として速やかに粉体注入を開始する。 ③当該ステージ以前のステージにおいて、注入中に透気性の増大が認められた場合には、そのときの送気流量に相当する圧力以下の圧力とする。

次に布目ダムサイトでの原位置実証試験によれば、図-5.4.1に示すように浸透注入範囲の大きさは粉体注入時の最大送気流量にほぼ比例している。このことから、広い浸透注入範囲を確保するためには大きな送気流量での粉体注入が有効であることがわかる。

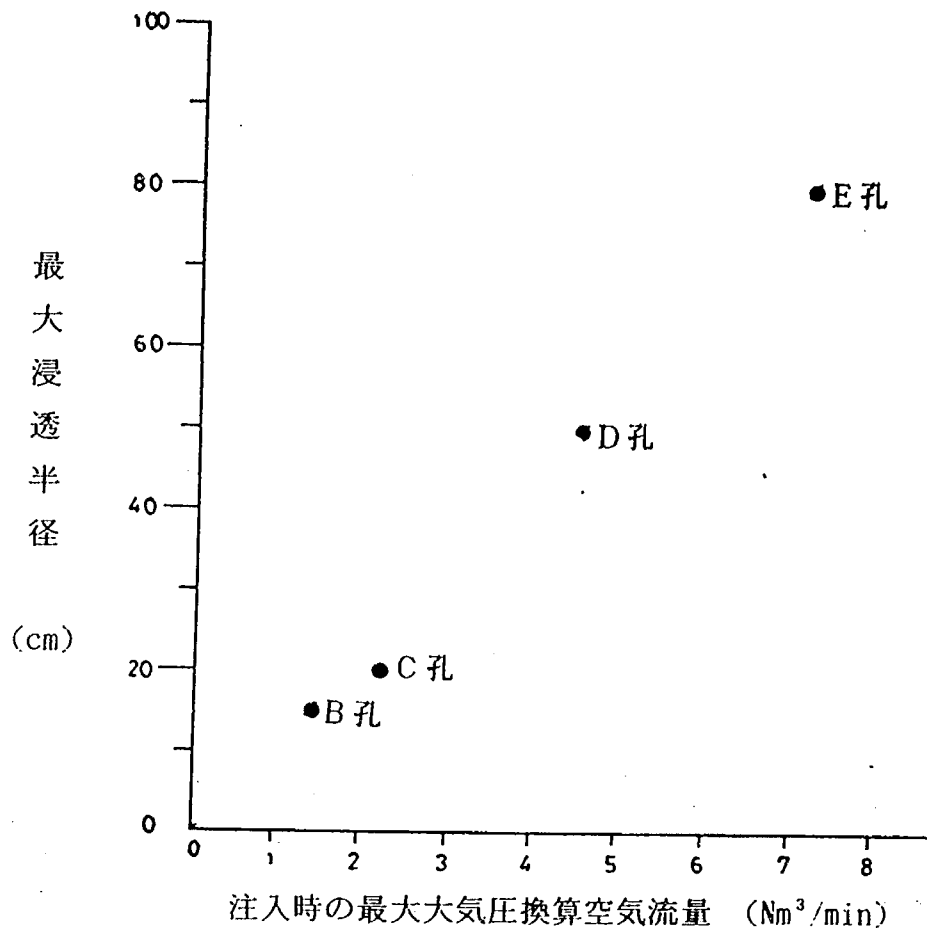


図-5.4.1 改質セメントの浸透範囲の大きさと注入時の送気流量の関係
(布目ダムサイト、マサ)

(3) 送気時間

小山ダムサイトでの粉体圧送グラウチングの原位置実証試験における事前送気・粉体注入時間は表-5.4.6よりそれぞれ 6~13.7hr (乾式ボーリングによるF孔は除く)、23.5~48.4hrとセメントミルクグラウチングに比べ極めて長い時間となっている。このように事前送気・粉体注入に長時間をかけて実施しているのは、昇圧ステップを小さく設定し、それぞれの圧力段階での送気流量が安定するまで地盤を乾燥させたためであり、また粉体注入にあたっては出来るだけ薄い粉体供給速度で長時間注入したためである。しかし、実用化に際してはこの事前送気時間、注入時間の大幅な短縮が必要となる。

例えば、表-5.4.6に示す乾式ボーリングを行ったF孔では、同じ事前送気基準をとりながら送気時間を 3.4hrまで短縮している。また、昇圧ステップを粗くかつ送気流量が完全

表-5.4.6 事前送気時間と粉体注入時間（小山ダムサイト、マサ）

注入孔 (ステージ No.)	事前送気 時間(hr)	注入時間 (hr)	注入孔 (ステージ No.)	事前送気 時間(hr)	注入時間 (hr)
A(1)	13.3	30.5	C(4)	6.9	31.9
A(2)	11.8	31.4	C(5)	9.0	29.5
A(3)	7.6	31.8	D(1)	11.7	30.5
A(4)	6.1	27.3	D(2)	12.6	20.0
A(5)	8.2	23.5	D(3)	6.0	32.7
B(1)	13.7	26.0	D(4)	10.4	29.2
B(2)	12.0	28.4	D(5)	8.8	28.7
B(3)	11.0	29.3	E(1)	8.8	32.5
B(4)	6.3	31.0	E(2)	9.0	30.1
B(5)	7.8	28.1	E(3)	8.6	34.2
C(1)	12.0	28.2	E(4)	9.0	25.6
C(2)	12.0	28.0	E(5)	9.3	28.4
C(3)	7.0	32.9	F	3.4	30.9

に安定するまで放置せずに昇圧することにより、事前送気時間をさらに短くすることも考えられる。

(4) 今後の課題

事前送気における今後の課題について以下に整理する。

- ①事前送気時間の短縮または省略のため、乾式ボーリング孔での送気・粉体注入の実績の蓄積。
- ②事前送気による地盤含水比の変化および改質セメントの浸透性に与える影響の把握。
- ③事前送気による止水効果の向上の可能性の検討。

5.4.6 粉体注入

(1) 注入圧力

グラウチングの注入圧力は、岩盤性状等を考慮し基礎岩盤に有害な変形や破壊を生じさせない範囲で、グラウチングの効果が最大となるように設定する。

ミルク注入と同様に、粉体圧送グラウチングにおいても注入圧力を高めることにより、以下のような効果があると考えられる。

- ① グ라우チングの到達距離が増すため、一孔による処理範囲を広げることができ、グラウチングの孔の間隔を広げることができる。
- ② より細かな間隙までセメント粒子を圧送することができる。

以上のことから、注入圧力は他の条件が許す限り高くするのが有利である。一方、注入圧力を許容限界以上に高めると岩盤を浮き上がらせ有害な変形を生じさせたり、隣接孔あるいは地表面からセメント粉体が噴出することが予想されるため、注入圧力は注入深度、上載荷重、最大送気流量、限界注入圧力、その他岩盤性状等を考慮して決定される。

一般に、限界注入圧力は深度とともに大きくなることが多いが、風化マサ等の粒状地盤では限界圧力が小さいことが多いので、注入圧力は通常の岩盤基礎よりも小さくし、ゆっくり時間をかけて注入することが原則である。

また、このような粒状地盤では、一般に強度（引張り強度）が小さく、注入圧力を大きくすると割裂注入してしまう。表-5.4.7は、これまでに実施した現場注入試験の実績を示したものである。4地点のうち布目と川辺では、注入圧力が2～3 kgf/cm²程度で割裂注入の兆候が見られた。

したがって、マサ土やシラス地盤では、土被りの影響もあるが限界注入圧力として大きな値は望めず、注入圧力はこれまでの実績値である2～7 kgf/cm²程度を目安に実施することが望ましい。

(2) 送気流量

粉体圧送グラウチングにおいても、セメント注入量が最大空気流量（実流速）に比例することはミルク注入の場合と基本的には同じである。ただし、マサやシラスのような粒状

表-5.4.7 注入圧力の実績

項 目 ダム名		試験ステージ数 (st)	最大注入圧力 (kgf/cm ²)
小 山		25	2.3～6.9
尾 原		9	0.9～2.5
川 辺		2	2.3
布 目	1次	3	0.8～1.1
	2次	2	1.7～2.5

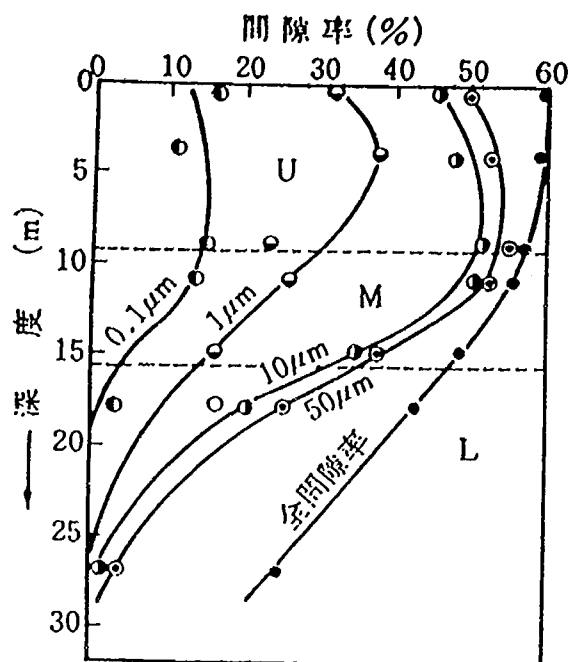


図-5.4.2 風化と間隙率

地盤のグラウチング注入（浸透注入）特性は、その地盤のもつ空隙形状とその大きさに大きく影響される。

図-5.4.2は、マサ（風化花崗岩）の風化状況と間隙率の関係を示しているが、ここですべての間隙がグラウト注入に寄与しているとは考えられない。一般には、 $50\mu\text{m}$ 以上の間隙の形状が、注入特性に大きな影響を与えると考えて良い。また、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 程度の間隙の増加は、粘土鉱物等の細かい粒子の増加を示すものと考えれば、間隙率が小さいほどセメント粒子の注入される割合が低くなることを意味する。また、風化マサの間隙形状は、このように深度によって変化すると同時に平面的にも大きく変化する。

第4章で既に述べているように、珪砂および珪砂とマサ試料との混合砂を用いた粉体注入の室内試験では、注入圧力すなわち空気流量が大きいほど試料中へのセメント粒子の浸透長は延びる傾向を示し、7号珪砂では初期の間隙平均実流速が 0.8m/s 以上あれば良好な浸透長が得られた。したがって、現場試験を実施するにあたって間隙平均実流速が 0.8m/s を目安に送気流量を決定する。

また、最大送気流量はコンプレッサーの能力に大きく影響するので、これについても十分に検討することが肝要である。

(3) 粉体供給速度

粉体供給速度を決定するにあたって考慮すべき項目には、セメントの種類、注入圧力、送気流量、送気時間、経済性等がある。粉体供給速度が小さい場合、付着抵抗が小さく注入は容易であるが、供給速度が大きい場合に比べ同量のセメントを注入するのに時間がかかる。また、間隙率が大きく透水性の高いステージにセメントの粉体供給速度の小さいものを注入しても、いたずらに注入時間が伸びるだけで注入効率は非常に悪い。

粉体注入では、時間効率を向上させるため粉体供給速度 C_i (g/min) を大きくすることが考えられる。第4章の図-4.5.11に見られるように、改質セメント（標準品）では、 C_i を大きくすれば浸透長は少々短くなるが、時間効率の向上に寄与している。しかし、 C_i を大きくし過ぎると透気性が著しく低下し、浸透長もかなり短くなってしまふ。したがって、図-4.5.11に示す粉体供給速度における単位時間当たりの浸透長の傾きが最大になる供給速度が最も効率的な粉体供給速度と考えられる。室内試験では、標準品については10 g/min前後の範囲に最適な粉体供給速度が存在すると考えられ、HGⅡに関しては、50g/minでも注入時間効率が大きくなる傾向がある。また、現場注入の場合には、粉体供給速度をまだ大きくできる可能性がある。

(4) 注入完了基準

グラウチングの効果を確実にするため、注入が終わりに近づいた後の一定時間、所定の圧力を維持して余剰水をしぼり出すためのだめ押しが行われる。一般的には、規定注入圧力のもとで、単位時間当たり注入量が 0.2 l/min/m ないし 0.1 l/min/m 以下になって流量の増加が見られない場合、約30分程度のだめ押しを行って注入完了としている。

一方、粉体圧送グラウチングでは、セメント硬化に必要な水を注入材料として使用しないため、従来のミルク注入では必要な余剰水を絞り出すためのだめ押しは不要である。

したがって、粉体圧送グラウチングの注入完了基準は、ミルク注入のだめ押し30分に替わるものとして、適切な注入効果が得られるように以下の場合に完了とする。

- ① 隣接孔または地表面からのセメント粉体の噴出観測
- ② 送気流量の低下 ($1.0 \text{ N m}^3/\text{min}$ 以下)

5.4.7 誘導孔の検討

粉体圧送グラウチングの現場実験の結果から、セメントの最大浸透半径（長） L と注入時の最大大気圧換算送気流量 Q_N の間には図-5.4.3のように比例関係が認められている。

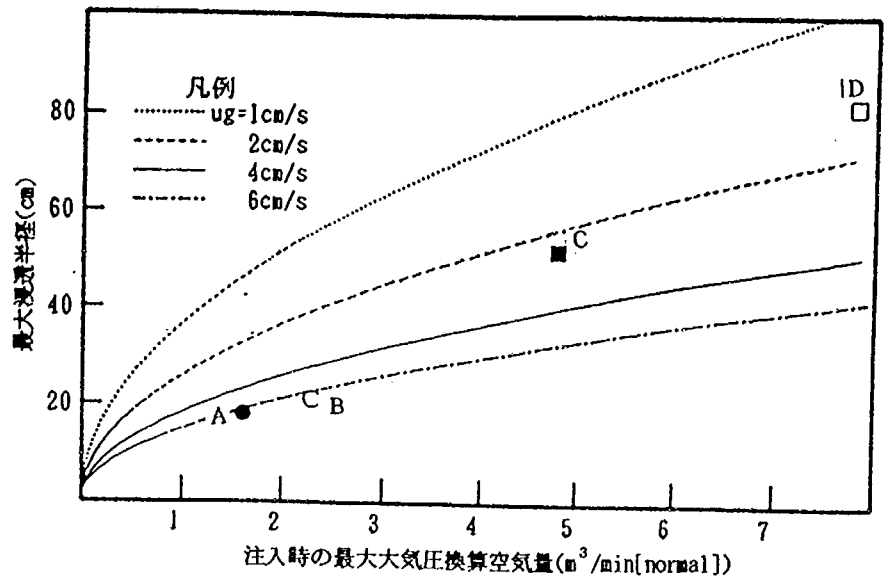


図-5.4.3 空気流量と浸透長の関係

図中に空気が注入ポイントから球状に広がり最大浸透半径での空気圧は大気圧に等しいと仮定したときの注入端での空気流速 u_g をパラメーターとする空気流量と浸透半径の関係もあわせて示している。ここで空気流速 u_g は、最大大気圧換算送気流量 Q_N を半径 L （最大浸透長）の球の表面積 S （ $S=4\pi L^2$ ）で除した値（ $u_g=Q_N/(4\pi L^2)$ ）である。

図中、A、BはGL-1.0m、C、DはGL-5.0mと同一場所の注入実績であり、この図より同一場所、同一深度での空気流量と浸透長の関係は同じ空気流速 u_g の線上にあることが示唆されている。図中の注入実績の地盤はほぼ均質であり同一深度での空隙率はほぼ等しいと考えれば、地盤内の実空気流速は u_g を空隙率で除した値となる。例えばC、Dポイントでは $1.5 \sim 2 \text{ cm/s} \div 0.15$ （C、Dポイントの空隙率） $= 10 \sim 15 \text{ cm/s}$ がセメントが注入される限界空気流速と推定できる。A、Bポイントでの空隙率は不明であるが地表面に近いこと、風化がすすみ亀裂なども多いことなどを考慮して空隙率を0.3～0.4と仮定すると、 $6 \text{ cm/s} \div 0.3 \sim 0.4 = 15 \sim 20 \text{ cm/s}$ とほぼ同じ値となる。

また室内注入試験からも空気流速が80cm/s以上であれば効率的に良好な浸透性が得られることも確認されている。

これらのことから粉体圧送グラウチングでは浸透範囲の流速を一定値以上に制御することが、セメント粉体を注入領域へ効率的に注入する上で重要となることがわかる。

従って粉体圧送グラウチングの上記の浸透・注入特性を利用すれば、注入孔に近い場所に孔を穿ち空気流の誘導孔として地盤中の空気・セメント粒子の流れを誘導するなどの工夫により浸透長を改善する方法も考えられる。

ところで地盤中の空気の流れを制御する方法としてはブローホール工が知られている*。ブローホール工は、圧気工法で地盤中の難透水性の被覆層下部の砂層などの気体透過層を水平に拡散する酸欠空気を圧気部の周辺に設置した排気孔から排出し、地下掘削部への漏出を防止することを目的とする。しかし、粉体圧送グラウチングが対象とするような均質

* 鈴木礼彦、堀家茂一：ブローホール工、土木施工24巻2号，1983年

な軟岩層では改良地盤の上部に難透水性の地層は存在しない場合が多く空気は注入部から周囲にほぼ均等に拡散するため、ブローホール工は空気流を制御する上で必ずしも有効とは言いきれない。

そのため粉体圧送グラウチング工法での誘導孔の有効性の是非を検証するため、誘導孔設置による地盤中の空気の流れの検討をFEMによるシミュレーション解析を行い、誘導孔の誘導性を検討する。

(1) 解析式

地盤中の定常状態の空気流を記述する式は次式のように得られている*。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k_{ij}}{\mu} \frac{\partial p^2}{\partial x_j} \right) = 0$$

ここで

k_{ij} : 透気係数

P : 空気圧力

x : 距離

である。

(2) 地盤・解析条件

地盤・解析条件を表-5.4.8に示す。

表-5.4.8 地盤・解析条件

項 目	設定条件・設定値
地盤条件	均質軟岩
透水係数	10^{-4} cm/s
注入孔径	$\phi 86$ mm
注入区間	GL-4.0~5.0m, GL-3.0~5.0mの2ケース
注入圧力	5 kgf/cm ²
誘導孔径	$\phi 86$ mm
誘導孔の位置	注入孔中心より0.5m, 1m, 2mの2ケース

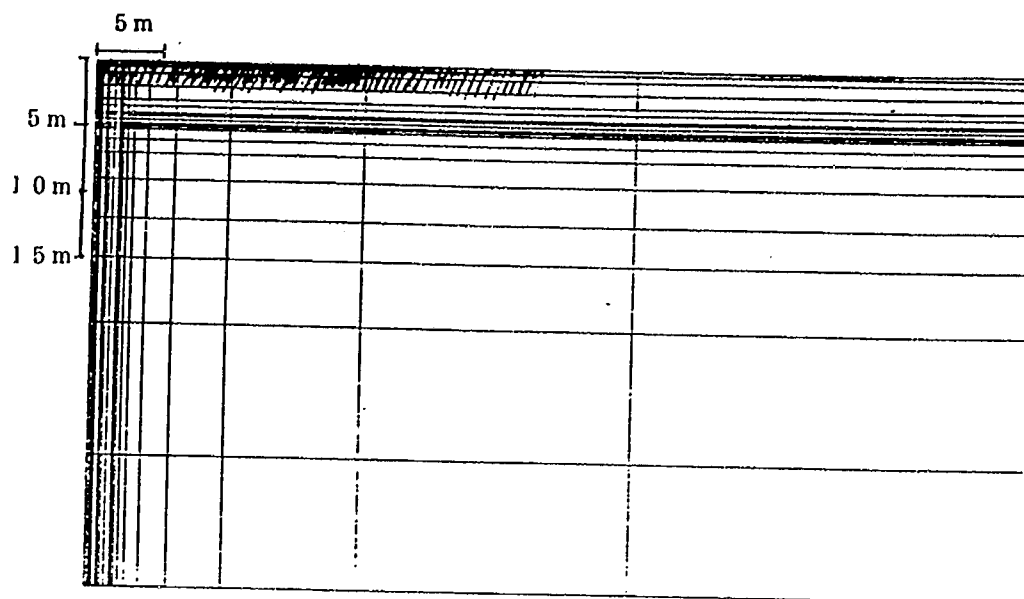
ここで地盤が均質の場合、圧力分布は透気係数に影響を受けないが一応上記の値を設定した。

(3) 解析結果

定常状態の空気流の式に基づき均質軟岩中の空気流の圧力分布を二次元断面の有限要素法で求めた。

* P. S. ファーゴ, G. F. ヒンター: 地下水解析の基礎と応用、現代工学社、1988年

図一5.4.4に注入孔周辺のメッシュ分布図を示す。



図一5.4.4 メッシュ分割図

1) 注入区間長1mの場合

図一5.4.5に注入区間をGL-4~5mとした時の地盤内空気圧力分布図を、誘導孔がない場合、誘導孔の設置位置を注入孔から水平方向に2m、1m、0.5mと近づけた場合の4ケースについて示す。

空気流はこの圧力分布を山と見立てたとき斜面を滑降する方向に、すなわち等圧力線を直交するように流れる。

図一5.4.5より、誘導孔がない場合には注入孔から送気した空気は地盤中をほぼ楕円状に拡散し、注入孔周辺で急速に低下して注入孔から約1m程度（ステージ長とほぼ同じ距離）離れた地点で空気圧力は約1kgf/cm²となることがわかる。

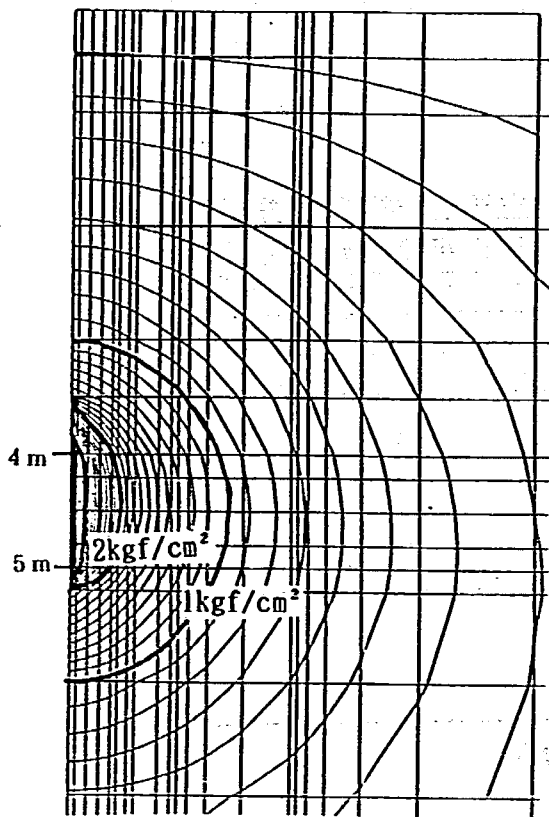
ここで注入孔から水平方向に2m程度離れた地点に誘導孔を設置した場合、圧力分布は1kgf/cm²以下の勾配の小さい部分が誘導孔周辺で多少歪められる程度であり、誘導孔方向に空気流を制御することは難しいことがわかる。

次に注入孔から1m（ステージ長と同じ長さ）離れた地点に誘導孔を設置した場合、圧力分布は3kgf/cm²以下の部分が誘導孔方向の間で歪められて誘導孔に向かう流れが形成されていることがわかる。また注入孔から0.5mの距離に誘導孔が設置された場合も同じである。

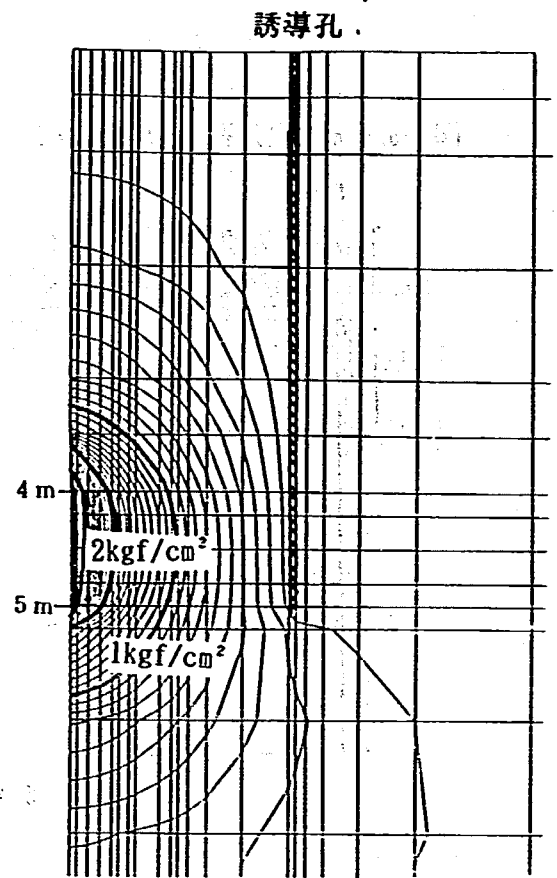
以上より注入ステージ長が1mの場合、誘導孔を注入孔から1m以下の距離に設置できれば有効となる可能性があることを示している。

2) 注入区間長2mの場合

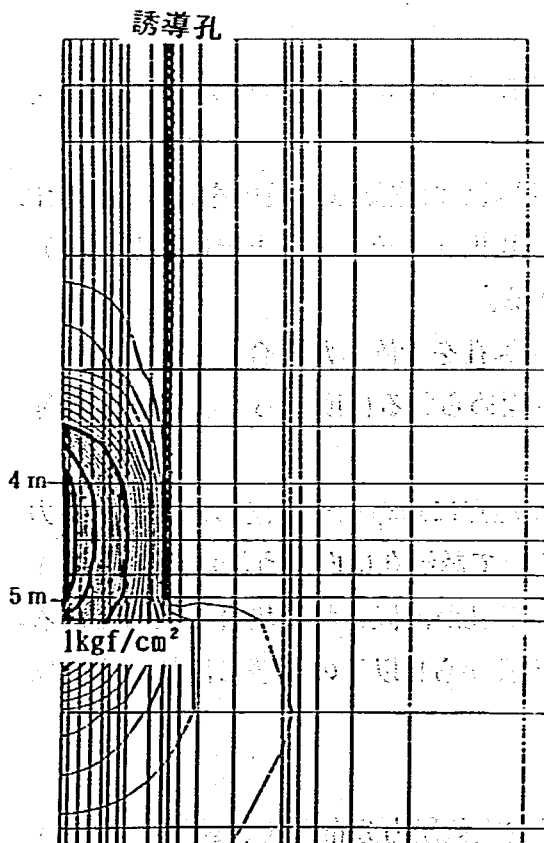
次に図一5.4.6に注入区間をGL-3~5mとした時の地盤内空気圧力分布図を、誘導孔がない場合、誘導孔の設置位置を注入孔から水平方向に2m、1m、0.5mと近づけた場合の4ケースについて示す。この図から注入ステージ長が2mの場合には誘導孔を注入孔から2m以下の距



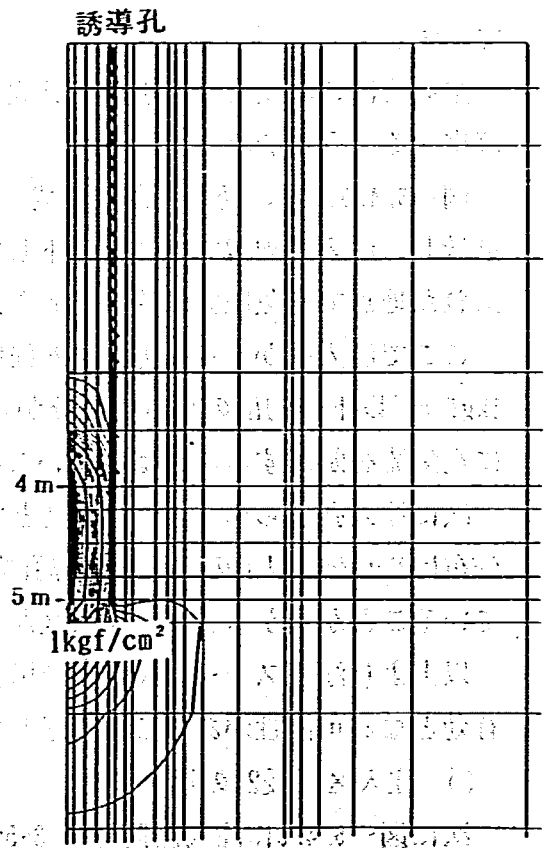
誘導孔なし



誘導孔までの距離2m



誘導孔までの距離1m



誘導孔までの距離0.5m

図-5.4.5 誘導孔設置による空気圧分布への影響 (注入区間GL-4~5m)

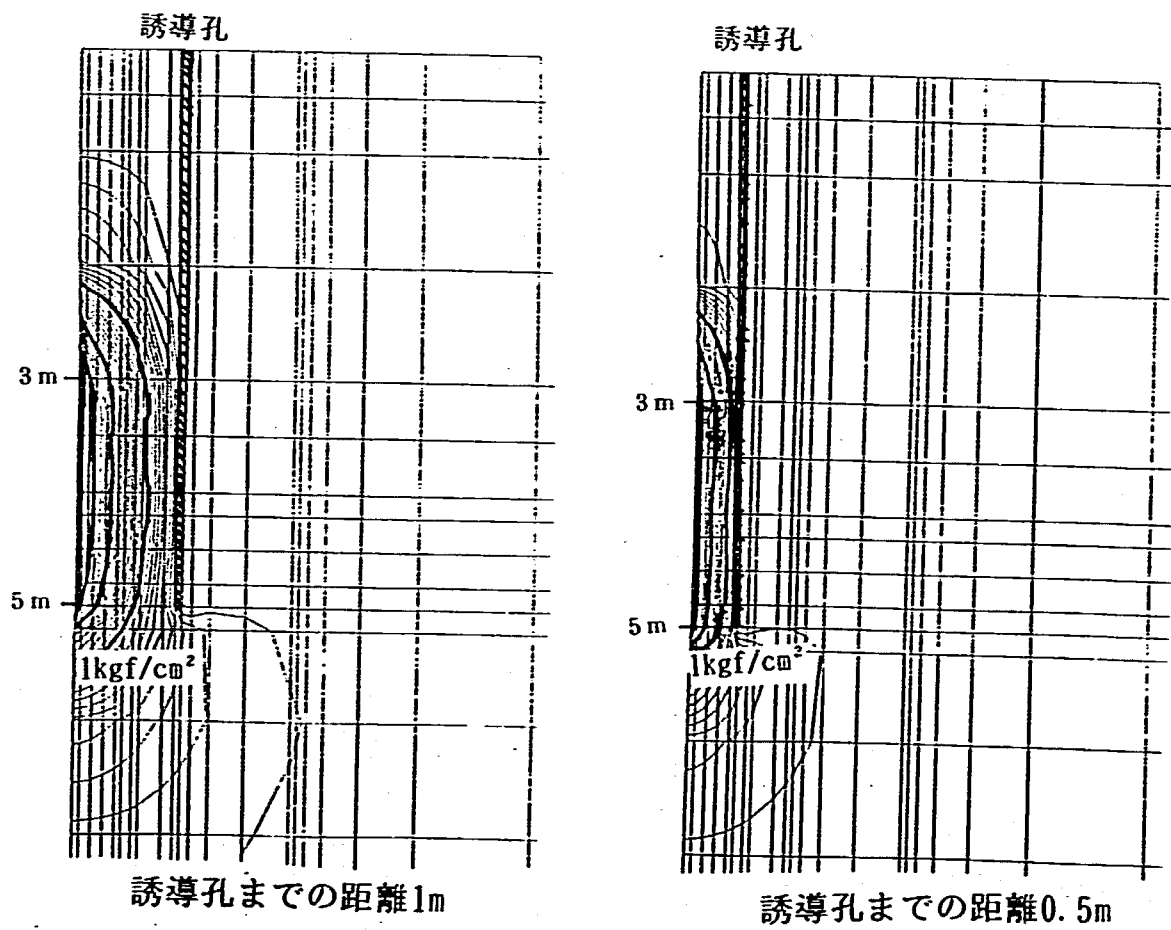
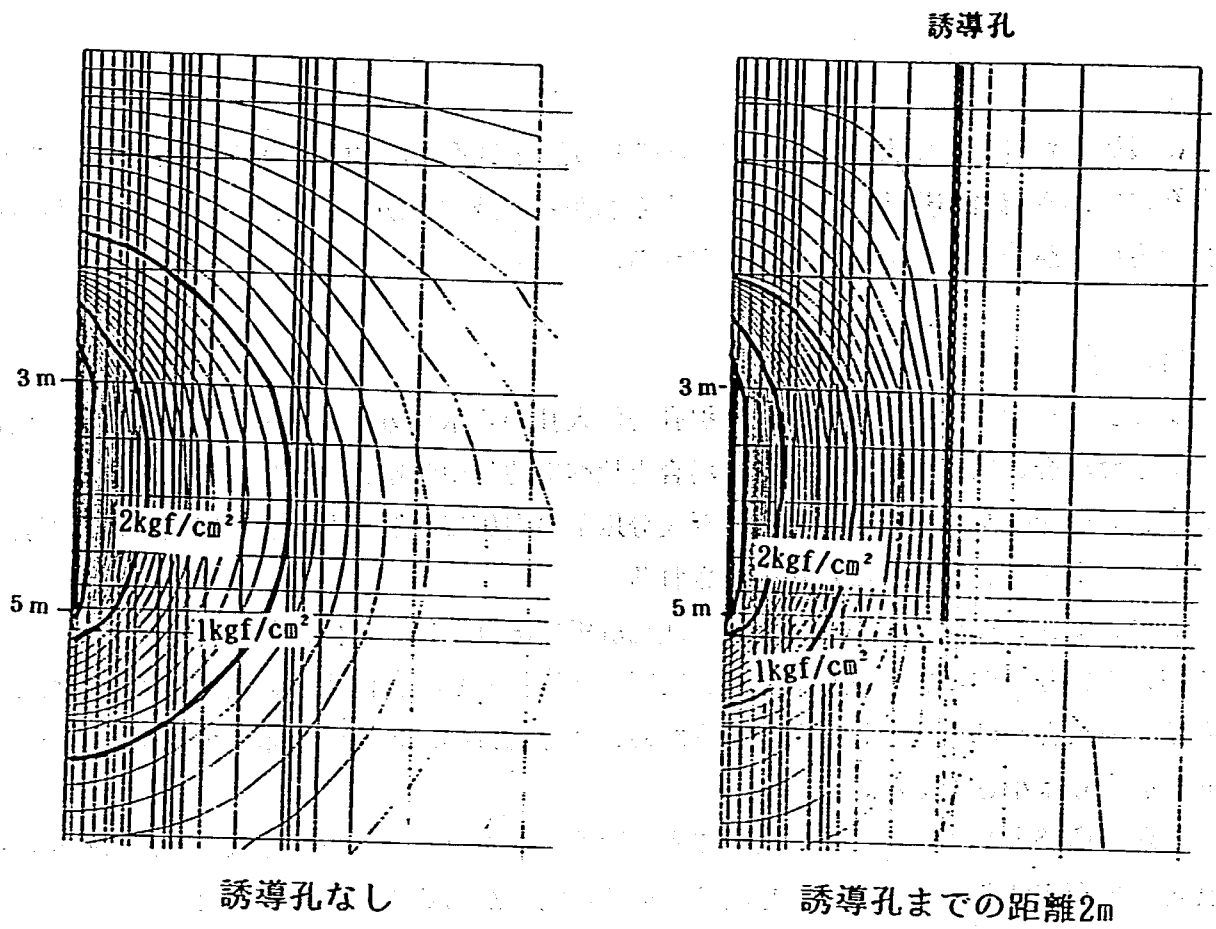


図-5.4.6 誘導孔設置による空気圧分布への影響 (注入区間GL-3~5m)

離に設置した場合、圧力分布は 2kgf/cm^2 以下の部分が誘導孔方向の間で若干歪められて誘導孔に向かう流れが形成されていることがわかる。誘導孔がさらに近づけば空気流は誘導孔の方に卓越流として流れることがわかる。

(4) 考察

シミュレーション結果より、①誘導孔を注入孔から水平方向にステージ長分以上外側に設置した場合、誘導孔を設置しない場合と比べて地盤中の空気圧力はほとんど変わらないこと、②誘導孔を水平方向にステージ長分以下の内側に設置した場合、空気流は誘導孔に向かって卓越流を生じることが推測される。

このシミュレーション解析は断面二次元解析であり奥行き方向に誘導孔と注入孔が溝状に続いているモデルを想定しており、実際の誘導孔としては注入孔の周囲に設置した数孔の他の注入孔を誘導孔として利用するため、誘導孔方向への空気流の誘導はシミュレーション解よりは小さくなる。

しかし概略として、ステージ長を注入孔間隔より大きくとれば近接する注入孔を誘導孔として利用することで空気流を制御できる可能性があることがわかった。

5.4.8 機械の能力

本項では、小山ダムサイトにおける原位置実証試験（平成3年度実施）に使用した粉体注入プラント（図-5.4.7参照）より、プラントの概要・機械の役割と仕様について整理した後、現装置の問題点と今後に向けての課題を述べる。

（1）プラントの概要

図-5.4.7をもとにプラントの概要を以下に述べる。

コンプレッサー①より供給された圧縮空気は、レシーバータンク②・エアードライヤー③・オイルミストフィルター④を通過し、電磁弁⑧より定圧供給される。その後、事前送気時は送気用バイパス⑩より圧縮空気のみを、粉体注入時はパウダーフィーダー⑪より定量供給された改質セメントとともに注入区間へ供給される。

エアードライヤー③は圧縮空気の結露防止用として結露時のみ運転する。流量計⑥は3種類（3系統）設置しており、送気・粉体注入時の送気流量に応じて切り替える。

制御室は主にモニター・自動計測用機器・制御盤により構成されている。モニターには計測値のリアルタイム表示に加え、モード選択により計測値の経時変化図・相関図が表示される。プラント運転中、作業員はモニターを監視しながら手順に従い注入圧力・粉体供給速度の操作、改質セメントの補給を行う。表-5.4.9にプラント運転時の計測管理項目を示す。

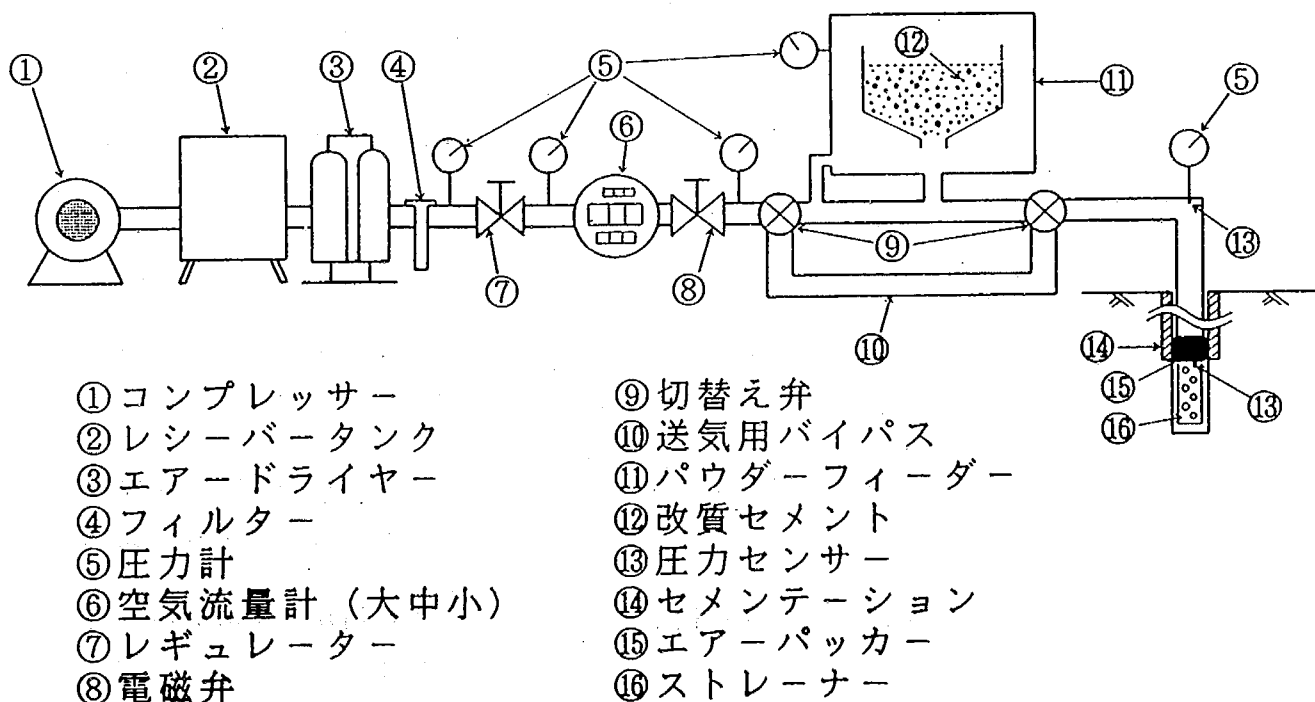


図-5.4.7 プラント概要図

表-5.4.9 プラント運転時の計測管理項目

計測管理項目	単位	計測箇所	表示箇所
上部注入圧力	kgf/cm ²	注入孔直上部	モニター
下部注入圧力	kgf/cm ²	注入区間最上部	モニター
フィーダー内圧力	kgf/cm ²	フィーダー内	モニター
送気流量	Nm ³ /min	流量計設置部	モニター
注入孔変位量 ¹⁾	mm	注入区間近傍	モニター
空気温度	℃	フィーダー内	モニター
粉体供給速度	g/min	フィーダー内	制御盤
粉体重量	kg	フィーダー内	モニター
露点温度	℃	フィーダー内	モニター

注¹⁾：注入区間近傍に変位測定孔を設置

(2) 既存機械の仕様

表-5.4.10に小山ダムサイトにおける原位置実証試験に使用した機械の仕様を示す。

表-5.4.10 既存機械の仕様

機械名	用途	仕様
フィーダー	改質セメント定量供給	最大使用圧力：10 kgf/cm ² 粉体供給速度：10～300 g/min 粉体供給様式：テーブル式
コンプレッサー	圧縮空気の供給	最大使用圧力：10.5 kgf/cm ² 吐出空気量：15.3 Nm ³ /min
エアードライヤー	圧縮空気の結露防止（-40℃露点のドライヤーとして排出）	最大使用圧力：9.9 kgf/cm ² 処理能力：24 Nm ³ /min
フィルター	圧縮空気内のオイルミストの除去	最大使用圧力：9.9 kgf/cm ² オイルミスト除去率：99 %
レシーバータンク	圧縮空気の安定供給	最大使用圧力：9.9 kgf/cm ² 容量：1.24 m ³
発電機	電源供給	20kVA、60kHz
掃除機	粉塵清掃	200V、2.2kW

(3) 今後の課題

基本的には前項までに触れたプラントで粉体圧送グラウチングが可能であるが、ここでは既往の原位置実証試験の経験および今後の実証試験に対応するプラントのあり方に焦点を絞り、今後の課題として以下に整理した。

1) フィーダー内での改質セメントのフラッシング防止

改質セメント補給時（8～9 kg消費毎に手作業にてフィーダー内へ補給）、フィーダー内圧が瞬時に変化した場合、フィーダー内ホッパーに堆積した改質セメントが開口部から噴出する現象（フラッシング）が頻繁に発生している。フラッシングが起こると改質セメントを再度補給しなければならないため、作業手間・材料の無駄が生ずる。よって、材料補給を自動化するなどの対策を講じる必要がある。

2) プラントからの改質セメントの漏出防止

改質セメントは微粒であると同時に粉体としての気中流動性に優れているので、機器や配管の接合箇所からの僅かの漏気であっても、粉体注入の継続に伴い多量の漏出に進展する。粉体注入中プラントから改質セメントが漏出した場合は、直ちに送気を停止し漏出箇所を速やかにコーキングするもしくは部品交換をしなければならない。

過去の実証試験では改質セメントの漏出が随時見られた。よって、漏出対策として配管接合部のチェック（ボルトの増締め、パッキンの交換等）、事前送気時の漏気チェックが重要である。

3) 圧力損失を考慮した配管設備の検討

小山ダムサイトでの原位置実証試験では注入孔径66mm・注入区間1.5mの注入範囲に対し吐出空気量 $15.3 \text{ Nm}^3/\text{min}$ のコンプレッサー2台で実施したところ、最大 $15.0 \text{ Nm}^3/\text{min}$ の送気流量までしか得られなかった。これは管内の圧力損失によるものと思われる。今後、試験サイト・注入条件においてさらに送気流量を必要とする場合は管内の圧力損失をも考慮した配管設備が必要である。

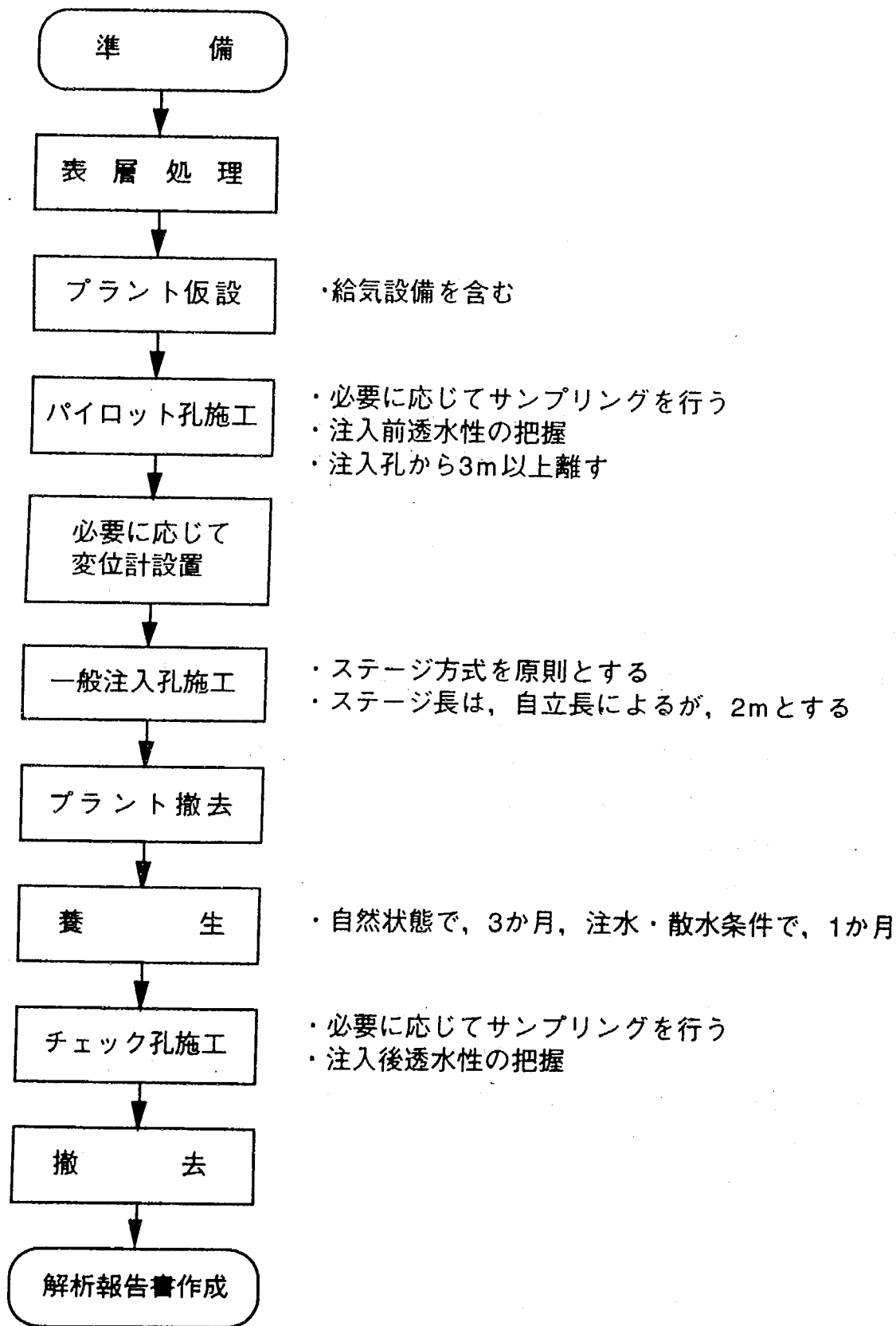
4) 注入装置の小型化

現在の注入装置は直径2m×高さ2mの円筒圧力容器を高さ1.5mの台に乗せており、最上部の改質セメント供給ホッパーは4mの高さに達する。使用時は注入装置を固定し周辺に仮設プラント（高さ5m）を設ける必要があった。よって、離れた注入孔に注入する場合あるいは注入孔から離れて設置した場合は、配管の圧損による注入能力の低下が予想される。そこで今後、注入装置は移動可能な小型の装置とすることが望まれる。

5.5 施工方法

5.5.1 施工手順

試験グラウチングに粉体圧送グラウチングを適用する場合の施工手順を図－5.5.1に示す。

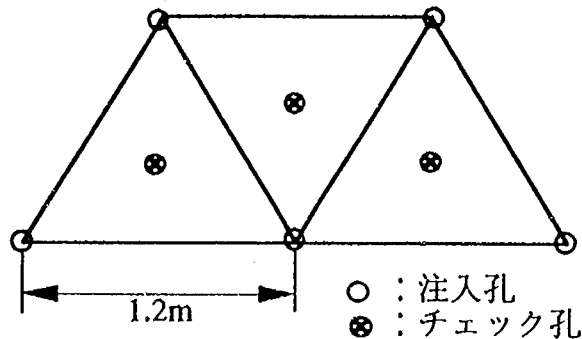


図－5.5.1 注入試験フロー

5.5.2 試験パターン

通常の試験グラウチングと同様でよいが、注入前地盤に注水することはグラウトの浸透を妨げる要因となるので、パイロット孔は、注入孔から3 m以上離して配置する。また、変位計測孔は試験パターンから1 m程度離して設置する。

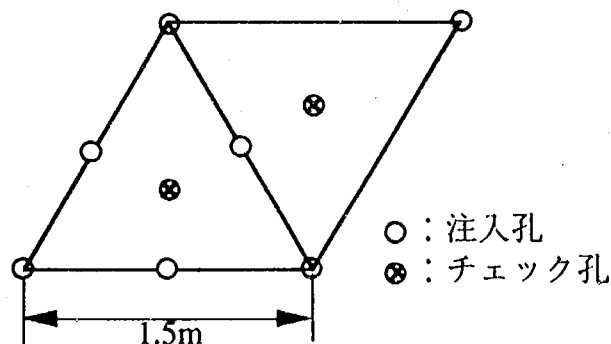
試験パターンの実施例を図ー5.5.2に示す。



図ー5.5.2 小山ダムの試験パターン

試験は図ー5.5.3に示すパターンを基本として実施するものとする。ステージ長は、自立長によるが、2 mを原則とし、ステージ数については、改良深度と地下水位により決定する。これまでの実績では、地下水位面より上部のみの改良を行っており、小山ダムにおいては土被り11m以深の5ステージ（7.5m区間）の注入を実施している。

また、地下水位以下で注入を行う場合には、地下水低下工を実施するか、送気の方法を工夫するなどの対策を講じて地盤を乾燥させてから注入する必要がある。



図ー5.5.3 試験パターン例

5.5.3 表層処理

グラウチングを目的とした表層処理は、岩盤性状、注入圧力、注入効果等総合的に検討して決定するものである。

粉体グラウチングの対象とする地盤は、風化マサ等の粒状地盤であるため、亀裂性岩盤と異なり、留意が必要である。「軟岩地盤の遮水工法」[＊]によれば、軟岩浅所を対象とするグラウチングの表層処理方法として、下記の方法が挙げられている。

＊ 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、1983 年

＊ (財) 国土開発技術研究センター：軟岩地盤の遮水工法、1993 年

- ① モルタル吹き付け（ラス入り、スチールファイバ入りも含む）
- ② カバーコンクリート
- ③ スラッシュグラウチング
- ④ カバーロック
- ⑤ カバーグラウチング

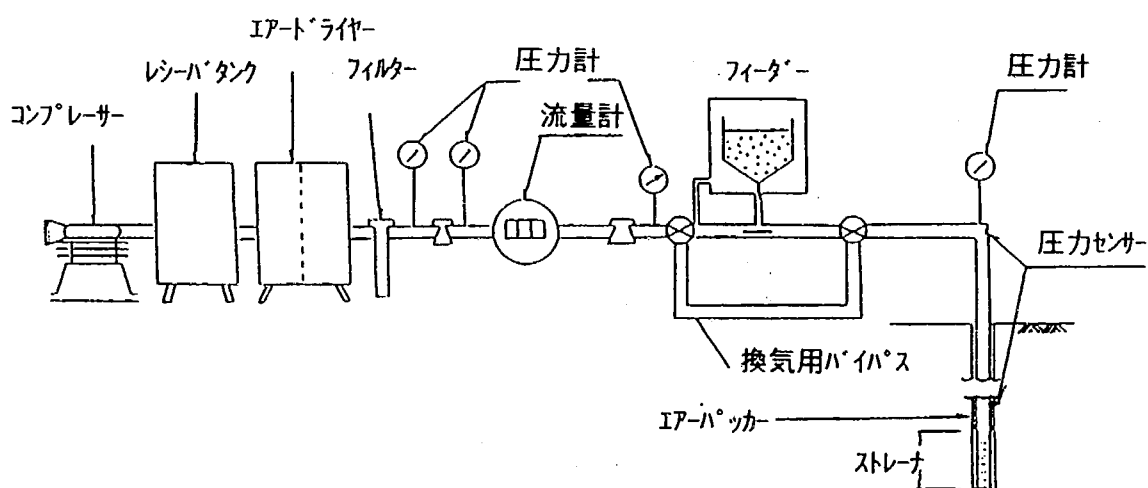
これまでの粉体グラウチングの実績では、カバーロック4.8～11mで実施しており、これより浅い箇所で施工する場合は、岩盤状況、施工条件および経済性を考慮して処理方法を選定する必要がある。

軟岩地盤においては、モルタル吹き付けが最も簡易なことから採用されるケースが多いが、リークの激しい箇所には、引っ張り曲げに強いスチールファイバー入りモルタルを10cm程度の厚さで吹き付けることが効果的とされている。また岩盤変位を抑制するためには、カバーロック、カバーコンクリートが有効とされている。

5.5.4 機械据付

注入装置の接続例を図－5.5.4に示す。

また、注入装置などを格納したプラントの例を図－5.5.5に示す。

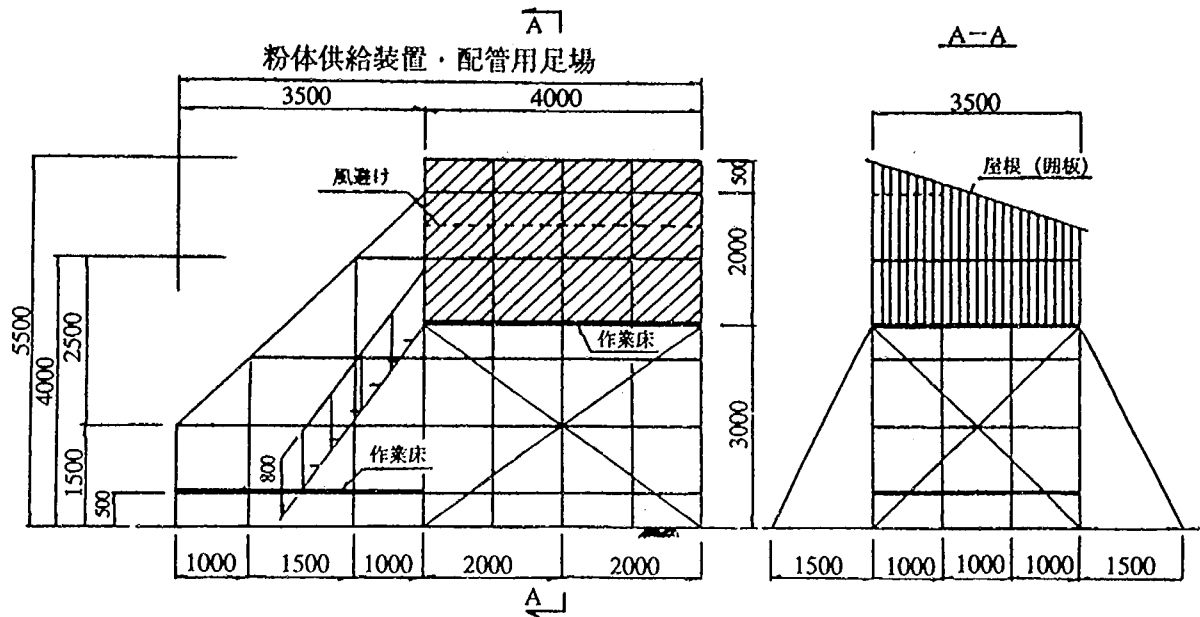


図－5.5.4 注入装置配置

粉体供給装置・配管用足場 空体積

$$V=(1.5+5.0) \times 3.5/2 \times 1.0+(5.5+4.5) \times 3.0/2 \times 4.0$$

$$=71.4 \text{ 空m}^3$$

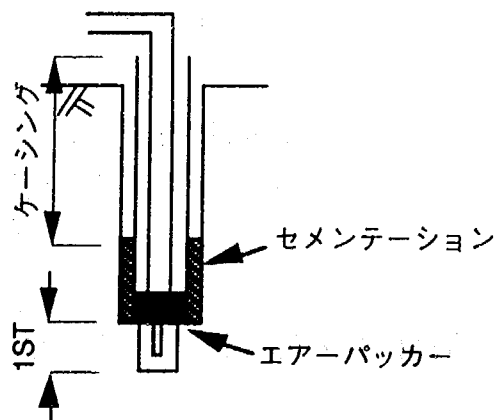


図ー 5.5.5 仮設プラント設置例

5.5.5 ボーリング方法

対象地盤が粒状地盤であり孔壁の崩壊が予想されるため、孔壁の維持、パッカ設置部周辺の補強を要する。特に第1ステージは、パッカーがかりとして図ー5.5.6に示すセメンテーション処理が必要となる。

また、水を多量に使用すると周辺地盤が湿潤化することから、粉体注入時は、周辺地盤乾燥のための事前送気時間を長く取る必要が生じ、注入効率に悪影響を与えるため、水の使用を最小限にとどめる必要がある。実績によると、マサ地盤では、通常のロータリーボーリングの機材を用いて水の替わりにエアーを用いる方法でも削孔が可能であることが確認されている。注入孔の径は、実績で $\phi 86\text{mm}$ となっているが、ストレーナ、注入管の外径寸法から考えると $\phi 46\text{mm}$ でも可能と思われる。



図ー 5.5.6 パッカー設置箇所の補強

5.5.6 事前送気

(1) 事前送気基準の設定

注入地盤が含水比5%以上の場合は、室内試験の結果から事前送気を必要とする。実地盤における自然含水比と事前送気時間の実績を表一5.5.1に示す。

表一5.5.1 自然含水比と事前送気時間の実績

ダム名	自然含水比 (%)	最大送気流量 (Nm ³ /min)	注入区間長 (m)	事前送気時間 (hour)
小山	3.6～6.7	7.1～11.7	1.5	6.0～13.7
尾原	4.0～9.8	0.7～6.4	1.5	3.3～24.5
川辺	17.7～18.8	2.5～10.9	0.2	2.2～55.4
布目	2.4～3.5	1.4～7.2	0.2	1.3～51.0

事前送気は注入領域の乾燥、送気流量の確保を目的として行う。これまでの実績から、最大送気流量が5Nm³/minとなることを目標とする。また、室内試験結果から、平均間隙流速が0.8m/s以上になると、浸透長が延びるという結果が得られている。このことから、孔壁から同心円状に粉体が浸透すると仮定し、改良範囲の平均間隙流速が0.8m/sになるような送気流量をシミュレーションから求めても良い。シミュレーションは、軸対象のFEM解析が適当と考えられる。

但し、パイロット孔実施の際に限界圧力を確認するための送気試験を実施し、地山の限界圧力分布を把握している場合は、限界圧力に達しない最大の送気量とする。

(2) 事前送気基準

事前送気は以下の管理基準に基づいて行なう。

1) 送気圧力

昇圧は、0.1～0.3kgf/cm²単位で行う。昇圧後の変位量と送気流量が安定した段階で次の昇圧を行ない、機械最大能力の約70%の7.0kgf/cm²になるまで送気を続ける。但し、限界圧力値が分かっている場合は、限界圧力値以上に昇圧を行わない。

2) 変位量

地盤の変位量は、1回の注入において、2mm以内になるように制御する。変位が著しく増加し、限界圧力になっていると考えられる場合には、変位量が許容最大値を越えない範囲まで圧力を調整する。

3) 漏気

地表面から漏気している場合には漏気が収まるまで降圧する。

4) 送気流量

送気流量が著しく増加し、限界圧力になっていると考えられる場合には昇圧を行わない。

5) 送気温度・湿度

地盤内で露点しない温度とし、湿度については室内試験結果から、エアードライヤー等を利用して15%程度に制御することが望ましい。

(3) 送気管理

送気を適切に行なうため、以下の項目につきリアルタイム処理で計測・管理を行なう。

- 1) 供給圧力：コンプレッサーから供給される空気圧力を管理する。
- 2) 空気流量：送気流量を大気圧換算空気流量で管理する。流量計は、流量に応じて3種類程度用意し、切り替えて使用する。
- 3) 空気温度：空気温度を測定する。
- 4) 露点温度：露点温度を測定し、結露しないかを管理する。
- 5) 注入先端圧、注入上部圧：注入時の圧力を管理する。
- 6) 注入孔変位：変位測定孔の変位を管理する。
- 7) 流量レンジ：数種類の流量計を流量により切り替えて流量管理を行うため、その時利用している流量計のレンジを記録する。

5.5.7 粉体注入

(1) 注入基準の設定

<前提条件>

粉体注入に際し、機械能力およびこれまでの実績から次の基準を想定して記述する。

- 1) ステージ長：2.0m
- 2) 最大注入圧力：7.0kgf/cm² 未満
- 3) 最大送気流量：20Nm³/min
- 4) 最大粉体供給量（注入セメント濃度）：275g/min
- 5) 注入量：50kg/m を目標
- 6) 注入時間：10hour/m（単位注入区間当り）
- 7) 注入材料：改質セメント

表一 5.5.2 注入実績および注入基準の提案

項目 \ ダム名	小 山	尾 原	川 辺	布 目	提案ケース
ス テ ー ジ 長(m)	1.5	1.0	0.2,1.0	0.2	2
最大 注 入 圧 力(kgf/cm ²)	6.9	2.5	6.0	5.19	7
最大 送 気 流 量(Nm ³ /min)	15	7	13	10.2	20
注 入 量(kg/m)	48.9	41.7	166	48.5	50
最大粉体供給量(g/min/st)	205	200	110	150	275
平均粉体供給量(g/min/st)	40.3	—	—	—	80
平均単位区間当り注入時間 (hour/m)	20.2	17.3	31.8	90	10

(解 説)

小山ダムのケースを基本とし、ステージ長を1.5 mから2.0 mに延ばす。表-5.5.2の提案ケースでは、ステージ長を4/3倍にしているのので、最大送気流量および注入効率を上げるための最大粉体供給量もそれぞれ4/3倍としている。注入時間について小山では、単位注入区間当り平均約20時間だが、送気（改質セメント補給時と再飛散時）・注入の繰り返りで、注入時間の半分は送気時間となっている。地山を十分乾燥させ、十分な送気流量を確保できれば送気の時間を省略できる。したがって平均粉体供給量を80g/min/stまで増やすことが可能となる。このため目標注入量を50kg/mとすると、単位注入区間当り10時間で施工可能となる。

(2) 注入基準

注入は以下の管理基準に基づいて行なう。

1) 注入圧力

事前送気時の最終圧力とする。注入は送気から引き続いて行なう。送気を中断してしまうと地下水の蒸発散及び毛細管現象などにより地盤の空隙に地下水が付着し、事前送気を終了した時点での送気量が確保できなくなる。

2) 粉体供給速度

20g/min程度で注入を開始し、送気流量が急激に減少しない範囲内で漸次粉体供給速度を上昇させていき、最大で275g/minまで上昇させる。

3) 変位置

地盤の変位置は1回の注入において2mm以内になるように制御する。変位が著しく増加する場合には、圧力を低下させて注入を継続させる。

4) リーク処理

これまでの実績では、リークは地表面あるいは隣接孔から漏気する程度である。（土被り1 m程度の浅い地盤で変位によりクラックが発生し、セメント粉体が噴出したことが1度あった。）このことから、セメント粉体を運搬するために必要な送気流量がリーク時点で確保されてなければ、セメント粉体はリーク前に沈降し、漏気のみとなることを示していると考えられる。したがって、セメント粉体が噴出した場合は、送気流量を低下させることでリーク対策は、充分可能と考えられる。

5) 送気流量

送気流量が著しく増加する場合には、圧力を低下させて注入を継続させる。送気流量が急増する場合には、さらに粉体供給速度を大きくして注入を継続する。また、送気流量が著しく減少する場合には、注入開始時の送気流量を越えない範囲内で昇圧する。送気流量が低下し $0.6\text{Nm}^3/\text{min}$ になった場合には、注入を終了する。

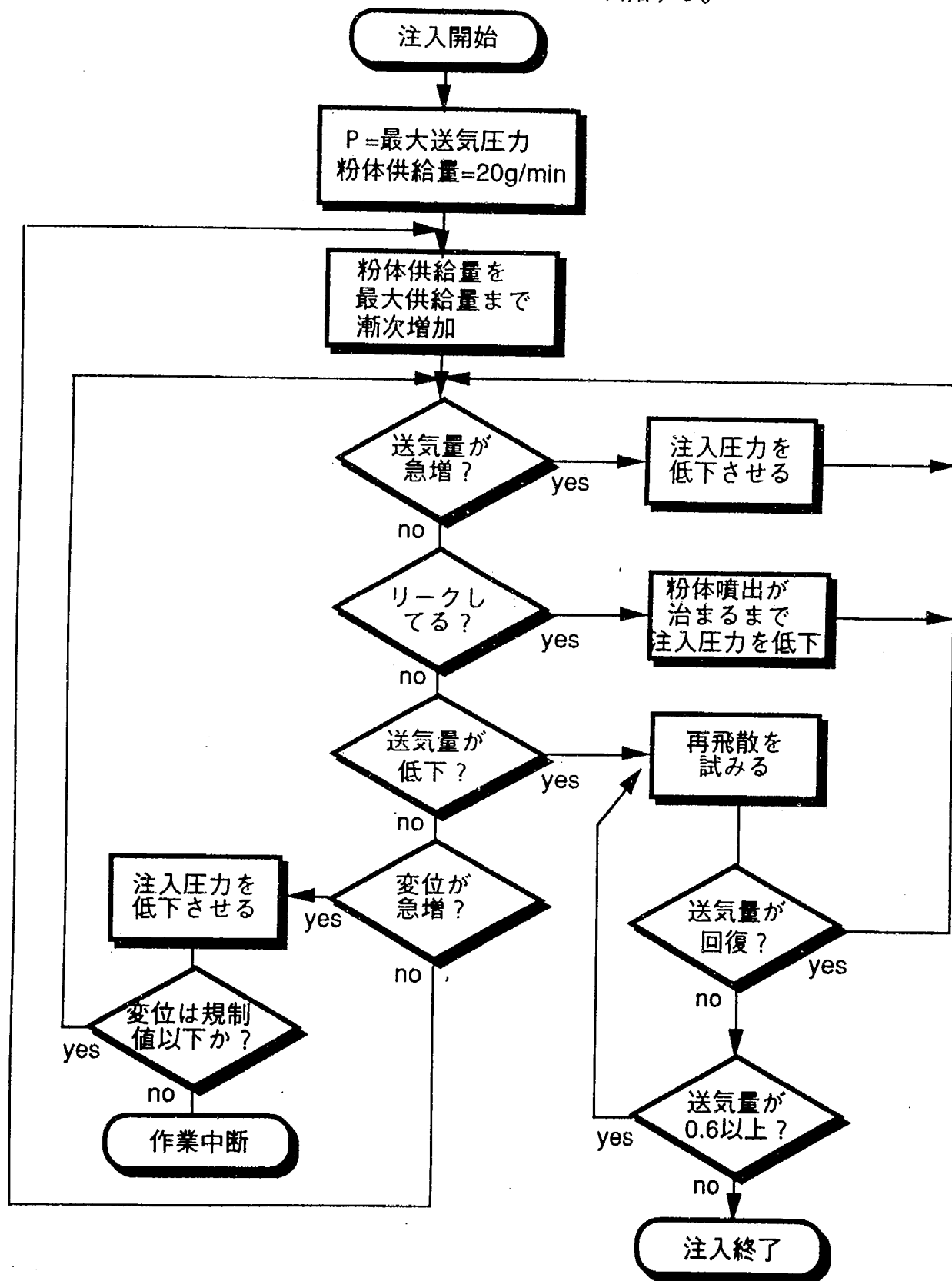
6) 再飛散

基本的に粉体材料補給時間中（数分程度）は送気のみとなるため通常、ここで再飛散による送気量の回復が見込める。ただし、粉体補給時に送気流量の回復が認められない

場合あるいは粉体注入中に大幅な送気量の減少が起きた場合は、粉体供給を中止し、昇圧を行い再飛散による送気量確保を行う。

7) 機械故障

機械故障時には注入を中断し、再開時は送気から開始する。



図一 5.5.7 注入制御フロー

8) 送気温度・湿度

地盤内で露点しない温度とし、湿度については室内試験結果から、エアドライヤー等を利用して15%程度に制御することが望ましい。

以上をフローにまとめると図-5.5.7に示すようになる。

(3) 注入管理

注入を適切に行なうため、以下の項目につきリアルタイム処理で計測・管理を行なう。

(ここに、1)～7)までは事前送気の場合と共通する項目である)

- 1) 供給圧力：コンプレッサーから供給される空気圧力を管理する。
 - 2) 空気流量：送気流量を大気圧換算空気流量で管理する。流量計は、流量に応じて3種類程度用意し、切り替えて使用する。
 - 3) 空気温度：空気温度を測定する。
 - 4) 露点温度：露点温度を測定し、結露しないかを管理する。
 - 5) 注入先端圧、注入上部圧：注入時の圧力を管理する。
 - 6) 注入孔変位：変位測定孔の変位を管理する。
 - 7) 流量レンジ：数種類の流量計を流量により切り替えて流量管理を行うため、その時利用している流量計のレンジを記録する。
 - 8) フィード圧：フィーダ内の空気圧力を管理する。
 - 9) 粉体重量：ホッパー内の粉体重量を管理し、粉体供給速度、総供給粉体重量を求める。また、ホッパー内への粉体の追加を判断する。
- 計測結果の例を図-5.5.8に示す。

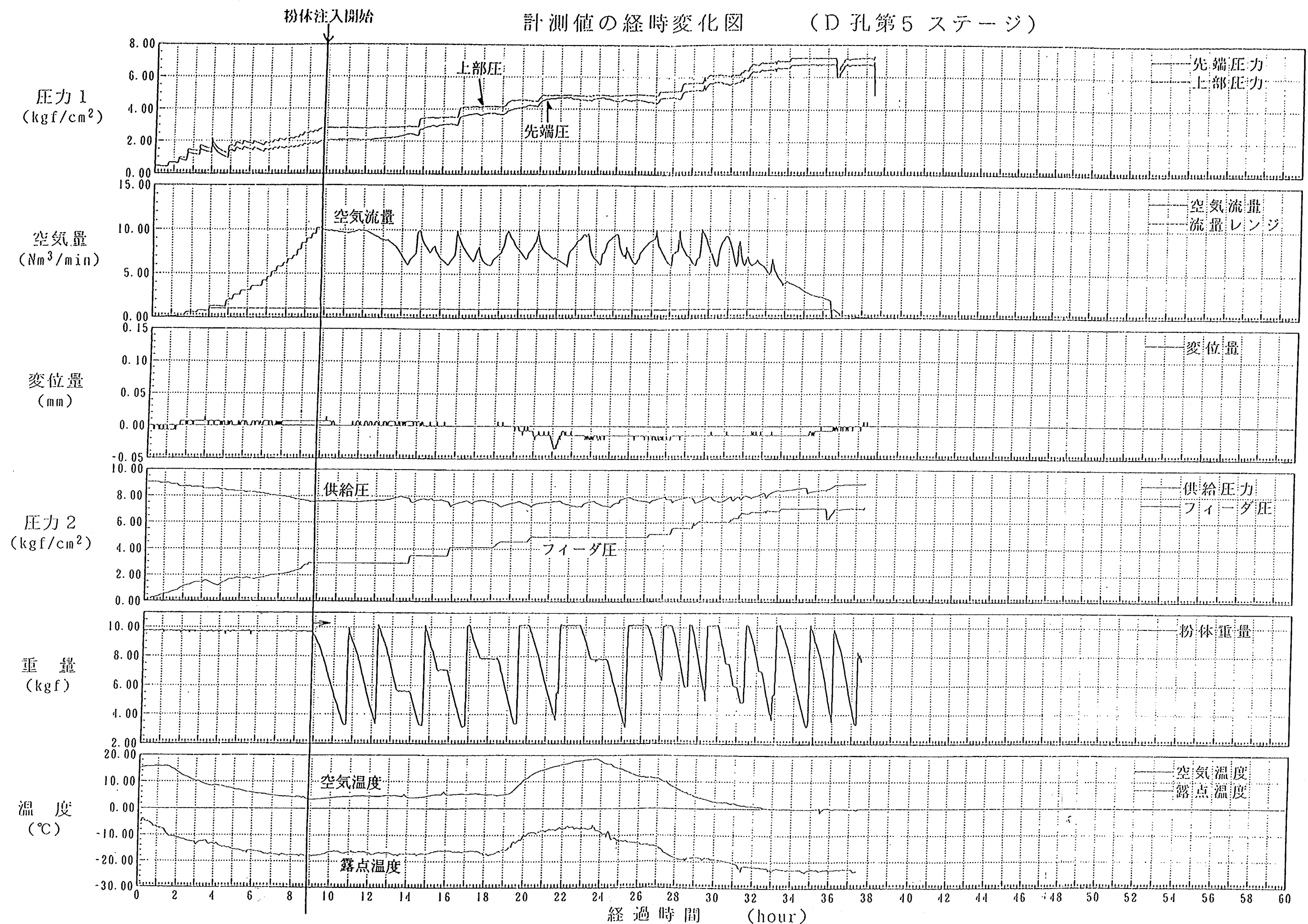


図-5.5.8 粉体注入計測結果例

5.5.8 注入完了後の処理

(1) セメント養生

地盤の状況に応じて適宜注入孔への注水または、地表部への散水を行なう。散水の場合は、注入孔上部にピットを掘削しそこへ水をプールする。

(2) 効果の確認

セメントを養生した後、チェック孔を実施して、ボーリングコア採取・観察と透水試験を行なうものとする。また、必要に応じて下記の項目についても選択して効果確認を行なう。

- ①注入地盤の掘削による目視観察
- ②ボアホールテレビ観察
- ③キャリパー検層
- ④電気検層・密度検層
- ⑤P S 検層
- ⑥簡易弾性波測定
- ⑦シュミットロックハンマー反発度測定と土壌硬度測定
- ⑧各種トモグラフィー試験
- ⑨室内透水試験
- ⑩一軸圧縮試験
- ⑪超音波伝播速度測定（室内試験）
- ⑫顕微鏡観察
- ⑬比抵抗電気探査

6. まとめ

ダム基礎岩盤遮水性の改良は、これまで主としてセメントミルクをボーリング孔より圧入するグラウチングにより実施されてきた。しかし近年、マサ、未固結砂岩、未固結あるいは低固結の溶結凝灰岩のようなセメントミルクによる遮水性の改良が困難であるダム基礎も増加しており、これらの基礎に対する効率的な改良工法の開発が望まれている。

本研究では、セメントミルクを用いた浸透グラウチングによる改良がその高粘性および粒子凝集のために困難である軟岩に対し、その間隙に表面を改質したセメント粉体（改質セメント）を空気圧送することによりセメントの流動性を向上させ、浸透性の改良を図る工法の開発を目指した。

粉体圧送グラウト工法を開発する本研究の研究課題として、(1)改質セメント粉体の間隙充填の基本特性・条件の把握、(2)改質セメント粉体の空気圧送による遮水性改良度の把握、(3)原位置試験による適用性の検討、(4)粉体圧送グラウチングシステムの確立を挙げ、これらの研究項目に対し平成4年度から平成6年度まで表-6.1 に示す内容の研究を実施した。

表-6.1 研究項目および実施内容

研 究 項 目	研 究 細 目	平成4年度	平成5年度	平成6年度
1. 基本条件の把握	①対象岩盤基礎物性の把握	○	○	◎
	②セメント粒度、空気圧等圧送性の検討	○		◎
2. 遮水性改良度の把握	①透水破壊抵抗性・強度把握	◎		
	②セメント注入状況、遮水性改良度の検討	○	○	◎
3. 粉体圧送グラウチング手法の検討	原位置実証試験	◎		
4. とりまとめ	①報告書作成			◎
	②グラウチングシステムまとめ			◎

注) ◎：主検討，○：予備・補充検討

本共同研究の成果を以下に整理する。

6.1 改質セメント粉体の間隙充填の基本特性・条件の把握

(1) 改質セメントの改良

標準品（共同研究開始前に用いられていた改質セメント）の浸透性改良を目的としてこれに粒度分布の均等化とコーティングの均質化を行ったハイグレード品（HG I・HG II）を開発した。特にHG IIは15%粒径65ミクロンのホワイトビーズにも浸透可能でグラウチビリティ比はセメント懸濁液注入で言われている15～25を上回る7.5 が得られた。

(2) 粉体注入における空気湿度の把握

粉体圧送グラウチングにおける空気湿度の適性範囲は10～20%であることがわかった。

(3) 含水比の粉体注入に与える影響

含水比5%以下の範囲のもとで注入試験を実施したが、浸透長には大きな差は見られなかった。

(4) 最適注入条件

- ①初期間隙実流速が0.8m/s以上を確保できれば、改質セメントは安定した浸透長が得られることがわかった。
- ②粉体供給速度は単位時間当りの浸透速度が最大となる最適値が存在することがわかった。

6.2 改質セメント粉体の空気圧送による遮水性改良度の把握

(1) セメントミルクとの遮水性改良度の比較

HGⅡおよびセメントミルクを注入して、水中養生後の室内透水係数を測定した結果、同程度の遮水性が得られた。

(2) 原地盤の遮水性改良度

粉体圧送グラウチングにより改良された原地盤は自然含水分のみで水和硬化することが示されるとともに、注入前には 10^{-3} cm/s $\sim 10^{-4}$ cm/sの地盤の透水係数が現場レベル（現場注入→散水養生→現場透水試験）で1オーダー以上、室内試験レベル（不攪乱試料注入→水中養生→室内透水試験）で2オーダー以上低下することがわかった。

6.3 原位置試験による適用性の検討

小山ダムサイトにおける現場注入試験後の開削調査より以下の成果を得た。

- ①改質セメントは注入孔を中心にセメント脈が形成され、その周囲の鉱物粒子間に最大80cm程度浸透していることがわかった。
- ②注入セメントの分析結果(CaO含有量)より、注入されたセメント量は原地盤の乾燥密度の5%程度であることがわかった。
- ③注入地盤は未注入地盤に対し、間隙率が27%から16%に、一軸圧縮強さが0.7kgf/cm²から54kgf/cm²以上に改良され、現場透水係数は1オーダー $\sim$ 2オーダー低下していることがわかった。

6.4 粉体圧送グラウチングの注入仕様

本共同研究の成果より粉体圧送グラウチングの注入仕様を以下のように作成した。

(1) 粉体圧送グラウチングの適用地盤

不攪乱試料に対する室内注入試験の結果、粉体圧送グラウチング工法の適用地盤は亀裂が少なく、細粒分含有率が10%以下であり、室内試験において初期間隙実流速が0.8m/s以上を確保できる地盤であることがわかった。

(2) 粉体圧送グラウチングにおける適用地盤を判定するための室内試験

1) 室内試験方法

現地にて採取した不攪乱試料（高さ25cm程度）に対し、初期間隙実流速0.8m/s以上（0.8m/s以上確保出来ない場合は試験装置における最大流量）、粉体供給速度5g/min、の条件

でHGⅡによる室内注入試験を実施する。注入途中で亀裂およびコーキング部より改質セメントが漏出した場合は再試験を行う。注入終了後は供試体から試料を抜き出し平均浸透長を求める。

2) 適用地盤の判定方法

供試体下部より改質セメントの通過が確認された場合、原位置において80cm以上の浸透長が期待できると判定する。

(3) 原位置での粉体圧送グラウチングの注入方法

①注入材料

HGⅡを使用する。

②事前送気

乾式のボーリング方法を採用した方が時間の短縮化を図れる。

③送気流量

注入孔壁部では初期間隙実流速0.8m/s以上を確保できる送気流量を目安とし、現地盤を破壊させない程度でできるだけ多く確保する。

⑤養生方法

注入孔の最終ステージ注入後、散水を行う。

あとがき

今回の3ヵ年にわたる共同研究においては、軟岩地盤の遮水性改良を目的として開発された粉体圧送グラウチングの実用化を目指した。最も重点をおいたのが本工法の適用地盤を考慮した注入仕様の作成であった。これについては、現場試験サイトの開削調査、室内における注入試験・硬化試験によって得られた数々の成果より標準的な注入仕様を作成することができた。今後、この工法が多く現場で適用され、実用化されることは本共同研究に携わった全員が切望するところである。

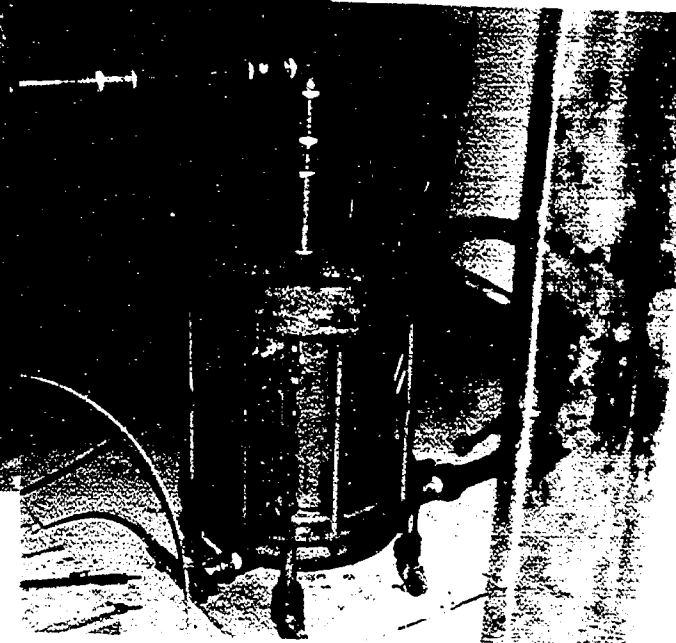
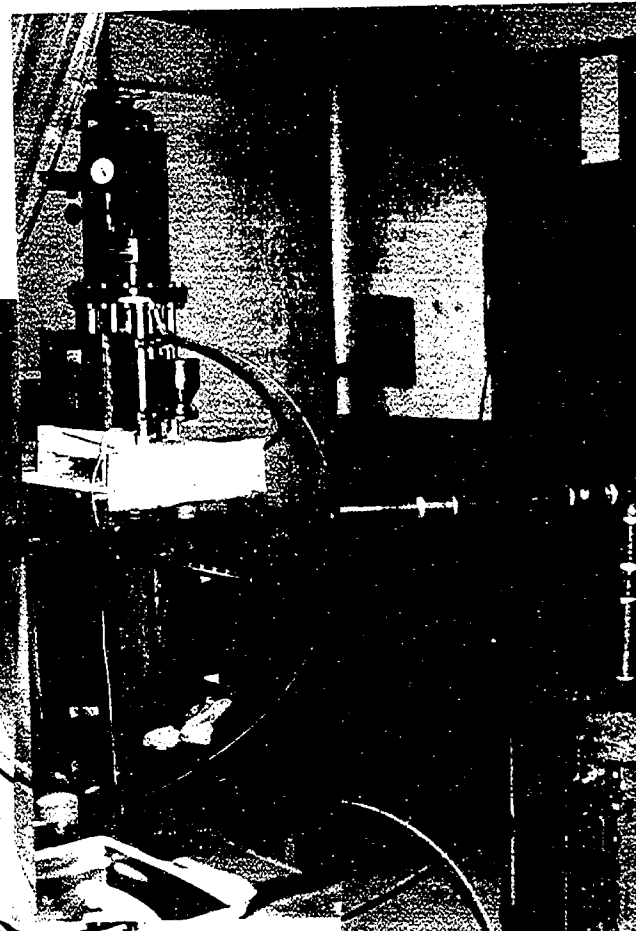
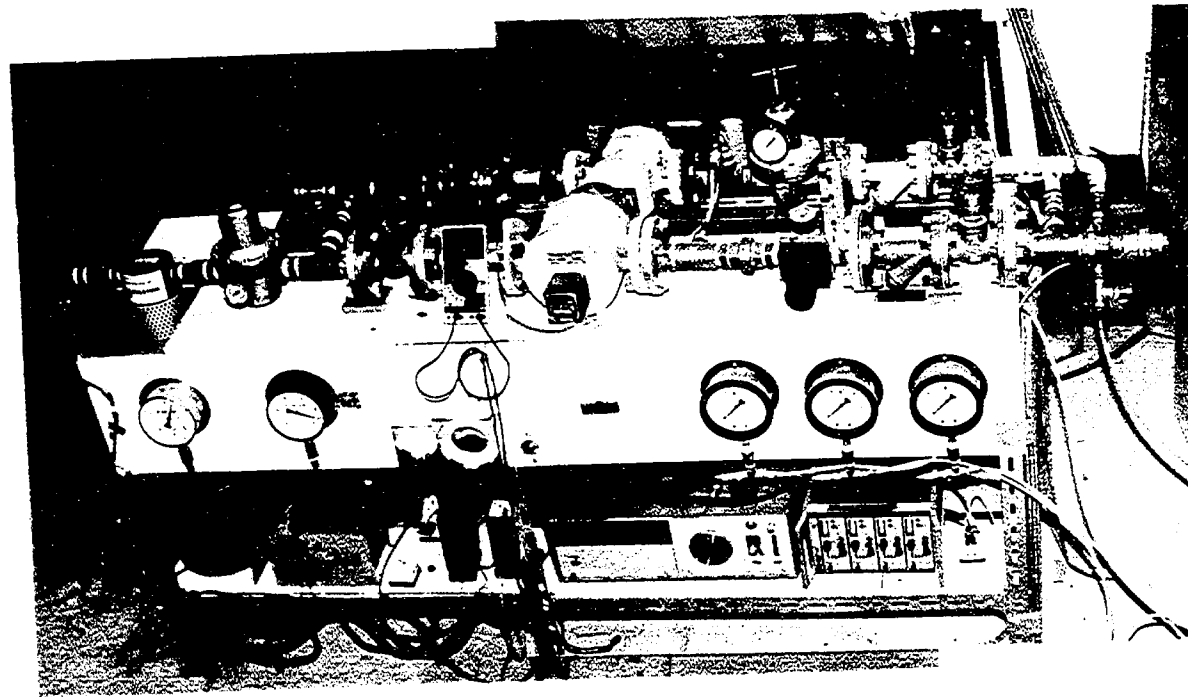
上記のような数多くの成果を得られたのは試料を御提供頂いた現場の方々など本共同研究を後方支援して頂いた方々のご協力によるものである。末筆ながら、記して本共同研究参加者全員の謝意を表明いたします。

卷 末 写 真 集

粉 体 注 入 試 験 状 況
セメントミルク注入試験状況
浸透限界度試験状況
硬化確認試験状況
透 水 試 験 状 況

粉体供給装置
(マイクロフィーダー)

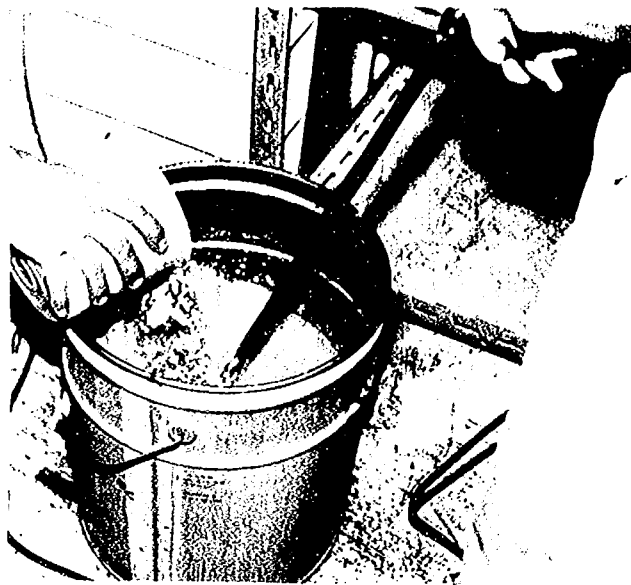
計測器



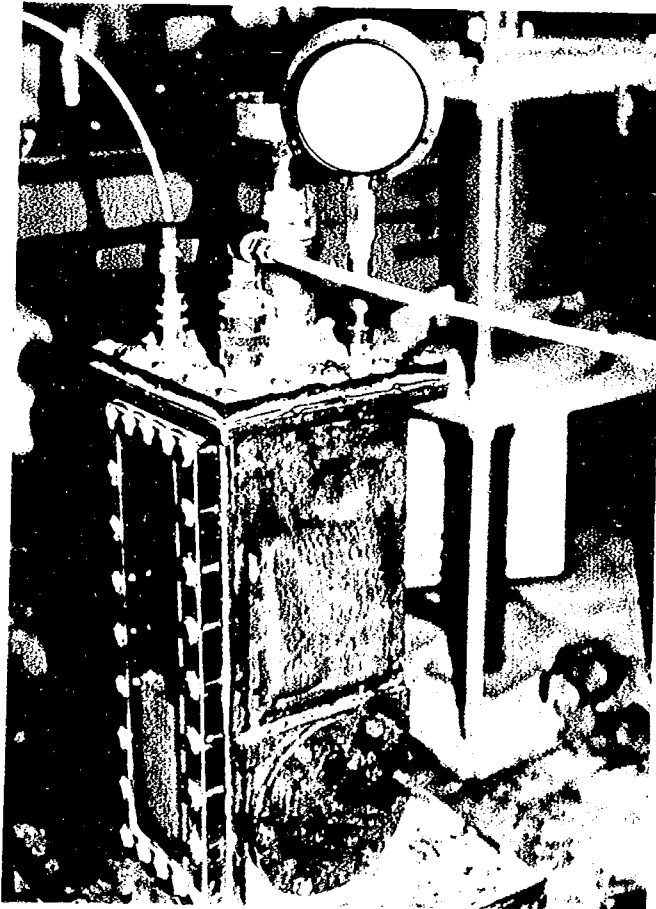
室内粉体注入試験装置全景

粉体注入試験状況

供試体
(不攪乱試料)



セメントミルクの作成



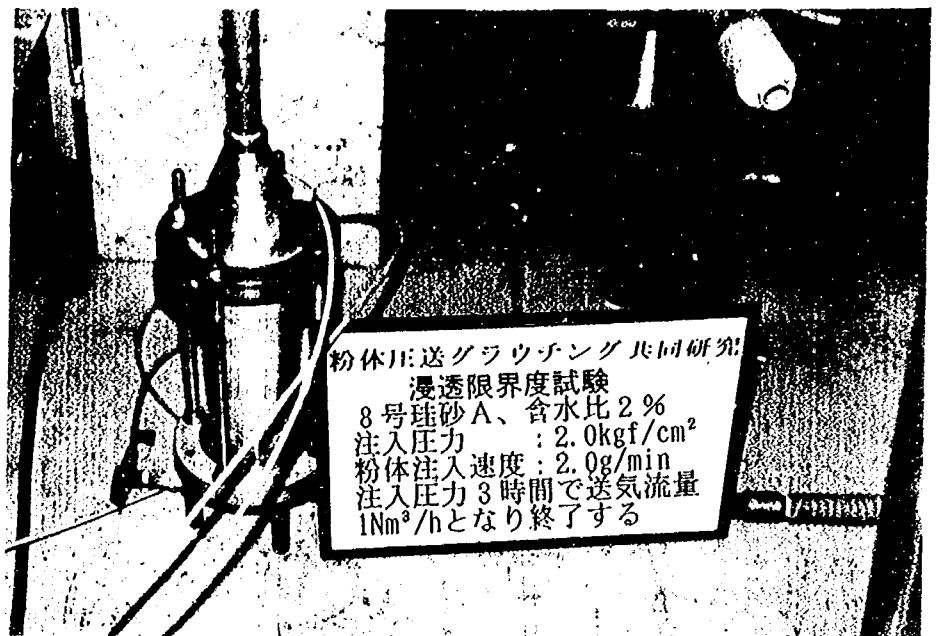
注入タンク



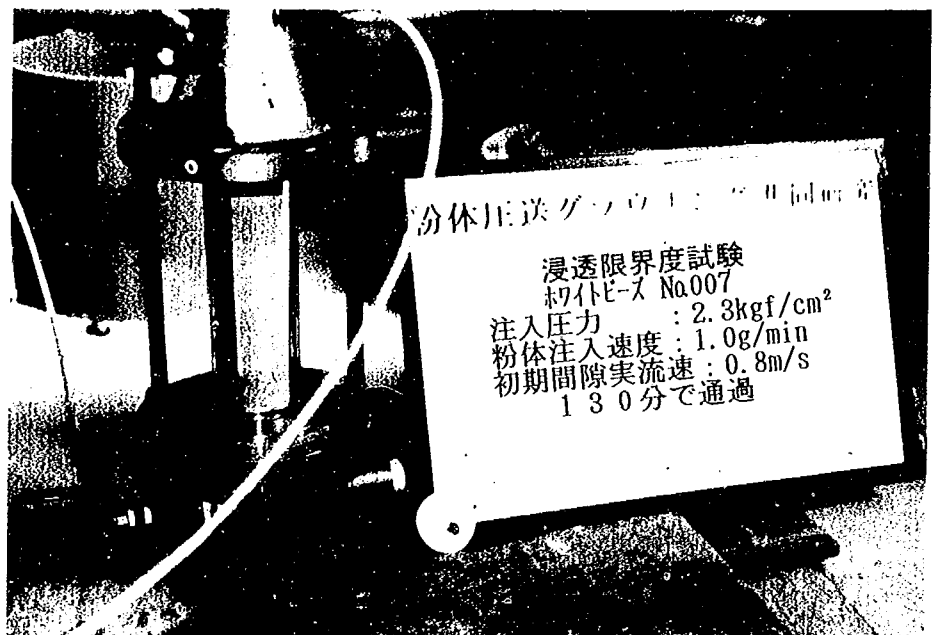
試験状況

セメントミルク注入試験状況

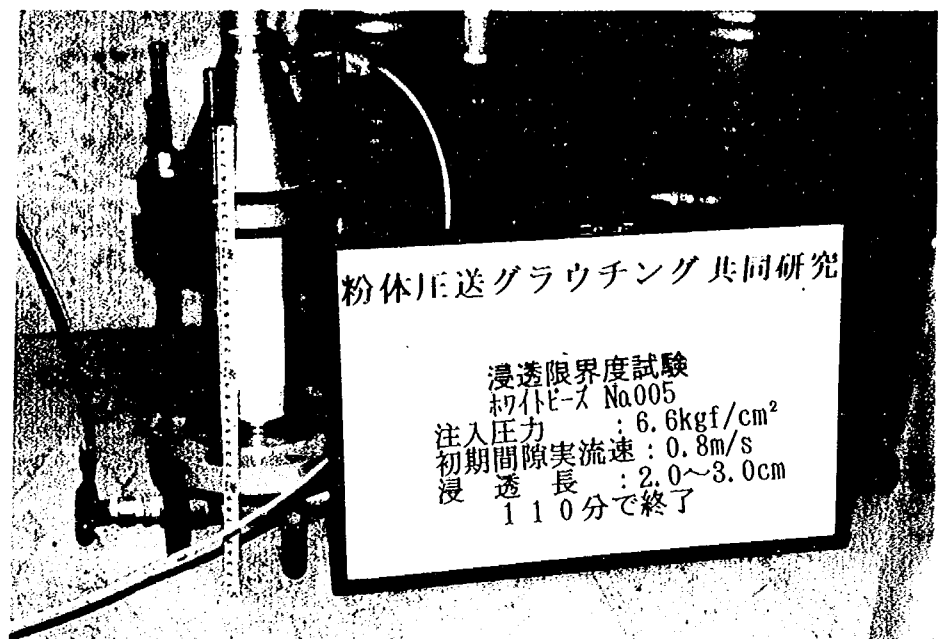
8号珪砂A



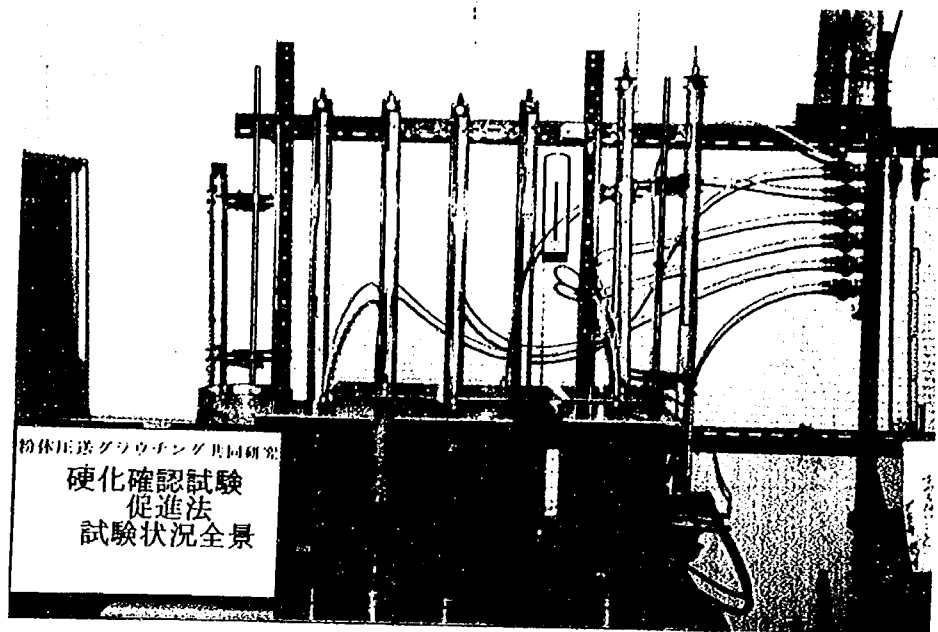
ホワイトビーズ007



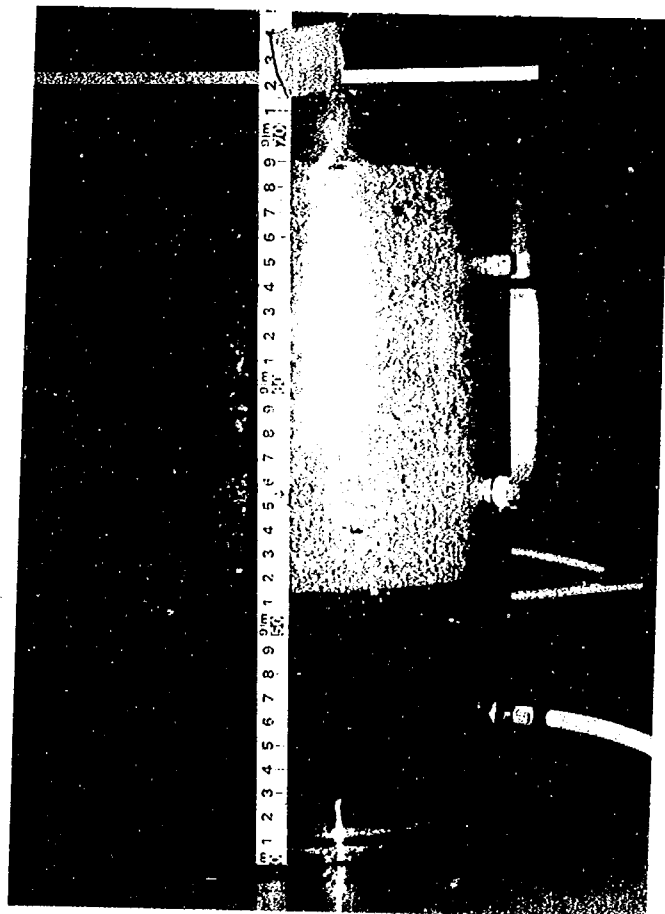
ホワイトビーズ005



浸透限界度試験状況

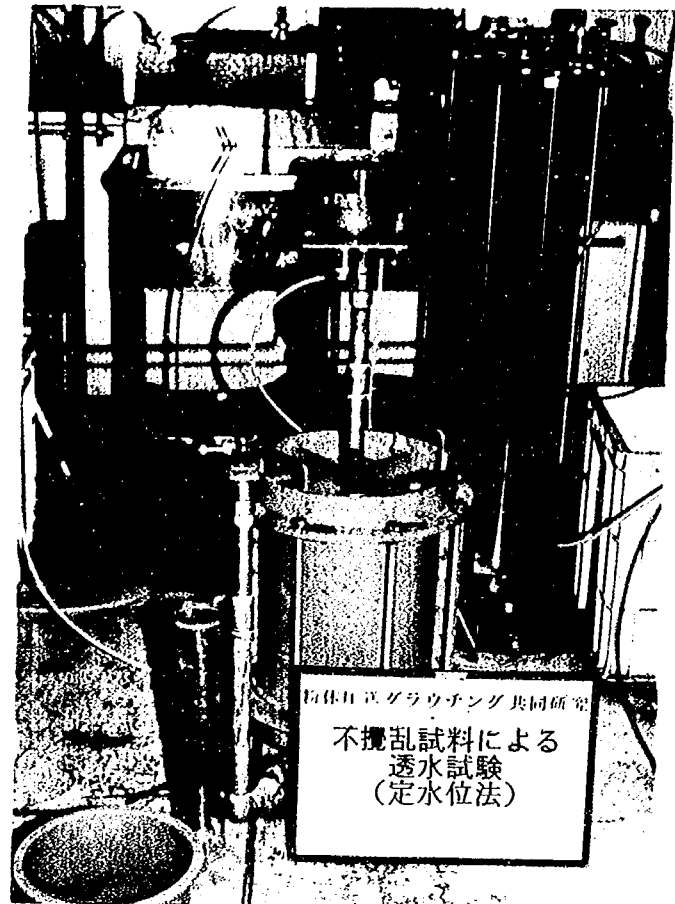


促進法試験全景



供試体状況

硬化確認試験状況



注入前の透水試験



注入後の透水試験

透 水 試 験 状 況

粉体圧送グラウチングによる基礎岩盤 共同研究報告書第129号
遮水性に関する共同研究報告書 平成7年6月(1995)
フィルダム研究室

要 旨

本共同研究では、まず表面改質した超微粒セメント粒子を圧縮空気で地盤中に注入する粉体圧送グラウチングを実施した原位置地盤を開削し、その効果を明らかにした。また、既往研究成果の検証と検討、いくつかの実地盤から採取した不攪乱試料による室内注入試験により本工法の適用地盤を検討し、さらにモデル試料による室内注入試験により地盤中あるいは空気中の水分の影響。浸透限界となる地盤の粒度、適切な空気流量、水和効果等を検討し、標準的な注入仕様を作成した。

今後のダムサイトの地質やダム建設方法は益々多様化していくと考えられ、そうした中で本共同研究の成果が反映されることが期待される。

キーワード：グラウチング，ダム，軟岩基礎，浸透注入，粉体。

郵便はがき

3 0 5 - □ □

50円切手
をはって
下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

ダム部フィルダム研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料 第129号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印