

PNC--SJ176 83--01(2)

工学バリアのためのグラウト
技術の試験研究(Ⅲ)
(昭和57年度)

昭和58年5月

この試験研究は、昭和57年度に実施された「工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅰ)」の続編として、
「工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅱ)」の成果を踏まえ、
「工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅲ)」として実施されたものである。
この試験研究は、工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅰ)の成果を踏まえ、
「工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅱ)」の成果を踏まえ、
「工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅲ)」として実施されたものである。

鹿島建設株式会社

（株）動燃事業団
（株）九州電力の資料
資料番号

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため限られた関係者だけに
配布するものです。したがってその取扱いには充分注意を払って下さい。
なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要で
す。

工学バリアのためのグラウト技術の試験研究(Ⅲ)

鹿 島 建 設 株 式 会 社 取 締 役

技 術 研 究 所 長 亀 田 泰 弘
工 学 博 士

概 要

〔研究目的〕

地層処分の対象となる岩盤でも亀裂、節理などが存在し、又、処分場の建設で、横坑や立坑の掘削にともなってゆるみ域が発生する。このような部分の補強にグラウト技術の応用が考えられる。既往の研究では、花崗岩試料および野外における注入実験で、注入材料および注入方法などについての研究をすすめてきた。本年度は前年度までの成果を踏まえ、注入実験によって、各種グラウト材料の注入効果を明らかにするとともに、野外実験によって施工上の基礎資料をえる。

〔研究方法〕

次のような三項目について調査、研究を行った。すなわち、①グラウトに関する既往の研究の収集、整理、②室内実験として、グラウト材料の特性試験、注入装置の製作と試運転、グラウトモデル試験および超音波発振によるグラウト試験を行った。これによって、グラウト材料の選定、注入方法および固結体の耐久性などを明らかにする基礎資料をえた。③野外注入実験でグラウトの設計、施工上の基礎資料をえる。

〔研究結果〕

1) 工学バリアとして利用するグラウト材料には分散、流動性がよく、長期耐久性をもっている事などが要求される。このような条件をみだす材料として、ブリージング率 1.5% 以下、粘性係数 1000 cp 以下としてえらんだグラウト材料の配合を決定した。

2) 透水係数 10^{-5} cm/sec 以下の岩盤割れ目に注入できるようなグラウトポンプを開発した。このグラウトポンプは注入圧力 $0.5 \sim 100$ kg/cm² の範囲で、任意に制御でき、その精度は最大圧力の $\pm 0.5\%$ 以下である。

3) グラウトモデル試験で、グラウト材の時間毎の拡散状況は、ビンガム流体の拡散の理論式とよい一致がみられた。これより、注入には従来のセメントミルクよりビンガム特性をもつグラウト材の方が適している事が明らかになった。

4) ピンホール試験では透水量と透水経過時間との間には有意な差は認められなかったが、経過日数 50 日で透水量は若干増加している。

5) ピンホールを通過する水の PH 値を変えての実験では、酸性水 (PH=3) の方が中性、アルカリ性の水より溶食量が大きい。

6) 超音波発振の状態でのグラウト材の抵抗係数をみると開口巾 1 mm で 0.198, 開口巾 0.5 mm で 0.033 となり、水の場合の 12 倍 ~ 48 倍流れやすくなっている。

7) 超音波発振で注入したグラウト固結体と岩石境界部の剪断応力は平均 5.2 kg/cm² で、従来の注入方法による固結体の値より 1.24 倍大きい。

8) 野外注入実験では注入材の選定が適切であったため良好な注入効果がえられた。

9) 超音波グラウト工法は従来工法の 4 ~ 6 倍浸透性が優れている。そのため、グラウト効果でも止水性、付着性とも良好な結果が期待できる。実用化のためにはよりシステマチックな研究が必要である。

目 次

| | |
|--------------------|----|
| I. 結 論 | 1 |
| II. 調査研究の目的と範囲, 内容 | 2 |
| III. 文献調査 | 4 |
| IV. グラウト材料特性試験 | 32 |
| 1. 試験材料 | 32 |
| (1) セメント | 32 |
| (2) 混和材 | 39 |
| (3) 高性能減水剤 | 42 |
| 2. 試験装置及び器具 | 46 |
| 3. 試験方法 | 48 |
| (1) 配 合 | 48 |
| (2) 測定方法 | 49 |
| 4. 試験結果及び考察 | 49 |
| V. 注入装置の設計・製作 | 74 |
| 1. 設計仕様 | 74 |
| 2. 装 置 | 74 |
| (1) 装置の概要 | 74 |
| (2) 装置図面 | 77 |
| 3. 性能試験 | 84 |
| (1) 送水試験 | 84 |
| (2) 送グラウト材試験 | 87 |
| 4. 結果及び考察 | 90 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| VI. グラウトモデル試験 | 97 |
| 1. 試験材料 | 97 |
| 2. 試験装置 | 102 |
| 3. 試験方法 | 108 |
| 4. 試験結果 | 108 |
| 5. 考 察 | 113 |
| | |
| VII. ビンホール試験 | 119 |
| 1. 試験装置 | 119 |
| 2. 試験方法 | 122 |
| 3. 試験結果 | 123 |
| 4. 考 察 | 123 |
| | |
| VIII. 超音波発振によるグラウト試験の基礎実験 | 134 |
| 1. 浸透力試験 | 134 |
| (1) 試験体の作成 | 134 |
| (2) 注入材 | 134 |
| (3) 試験装置 | 134 |
| (4) 試験方法 | 140 |
| (5) 試験結果及び考察 | 141 |
| 2. 付着力試験 | 143 |
| (1) 試験体の作成 | 143 |
| (2) 注入材 | 145 |
| (3) 注入材の打設 | 146 |
| (4) 付着力試験 | 146 |
| (5) 試験結果及び考察 | 148 |
| | |
| IX. グラウト実験 | 149 |
| 1. 実験場所 | 149 |
| (1) ボーリングコア調査 | 152 |

| | |
|----------------------------|-----|
| (2) ボアホールテレビカメラによる調査 | 156 |
| (3) 物性試験 | 164 |
| (4) 位置設定調査 | 164 |
| 2. 実験装置 | 170 |
| 3. 実験方法 | 172 |
| (1) 注水実験 | 172 |
| (2) 注入実験 | 174 |
| 4. 実験結果 | 176 |
| 5. 考 察 | 183 |
| X. 結 論 | 187 |

I. 結 論

高レベル廃棄物の地層処分対象の一つと考えられている花崗岩でも既存の亀裂，風化部や掘削に伴うゆるみ域などによる不連続部がみられる。

既往の研究では，これらの不連続部を補強する工学バリアの一つとして，グラウトに関する研究をすすめてきた。これらの研究として，基礎的研究では，花崗岩試料に人工的な亀裂をつくり，そこに粘土やセメントなどを注入して，注入材の種類，注入方法と注入効果との関係を明らかにした。又，野外実験では，自然割れ目を有する花崗岩について，各種の微粒子セメントを注入して，注入前後の各種現位置試験でその注入効果を明らかにした。これらの試験結果からグラウト技術の地層処分への利用の用途がえられた。

本年度は前年度までの成果を踏まえ，注入実験によって，各種グラウト材料の注入効果を明らかにするとともに，グラウトの施工面からその適用性を検討することとした。

II. 調査研究の目的と範囲，内容

1. 目的

高レベル廃棄物の地層処分において，地下水の浸入および放射性核種の移行に対するバリア効果を補完あるいは強化する方法としてグラウト技術の利用がある。

本研究はグラウト技術を工学バリアに有効に利用するため，より止水効果が高く，長期健全性を確保できるようなグラウト技術を注入材料および施工法の面から研究開発することを目的とする。

前年度は花崗岩中の自然割れ目を対象として，微粒子セメントの注入実験を行いその注入効果を検討した。本年度は前年度までの研究成果を踏まえ，注入実験によって，各種注入材料の注入効果を施工面からその適用性を検討する。

2. 範囲，内容

研究の範囲は下記のとおりである。

- 1) グラウト技術に関する調査
- 2) グラウト材料特性試験
- 3) 注入装置の製作と予備実験
- 4) グラウトモデル試験
- 5) ピンホール試験
- 6) 超音波発振によるグラウト試験
- 7) グラウト野外実験

以上の夫々の範囲は下記のとおりである。

- 1) についてはグラウト技術に関する文献などより以下の事項について調査，検討した。調査項目としてはグラウトの施工例，グラウト材料，および各種地層への適用などである。
- 2) グラウト材料特性試験，既往の研究では微粒子セメント（日鉄スーパーファイン）はグラウトバリエーの点では優れている事が確認されたが，注入後の試験では止水性の点で満足できる結果がえられたが，付着力耐久性の点で十分納得できる結果ではなかった。
そこで，今回はグラウト材料について，耐久性，機械的特性等に関する試験を行い，グラウト材料の検討を行う。特に，粘性の高い材料については流体的特性を検討する。
- 3) 注入装置の製作と予備実験

既往の研究で小規模割れ目に対する注入装置の仕様が明らかになった。その仕様のもと

づく装置を製作し機械性能を確認するための予備実験を行った。

4) グラウトモデル試験

グラウト材料の浸透過程を把握し、注入条件とその性能との関係を明らかにするためのモデル試験を行った。この試験で以下の事項について明らかにする。1) 割れ目の開口巾とグラウト材料の粒子径および粘性との関係 2) ビンガム流体を示すグラウト材料の初期剛性。

5) ピンホール試験

グラウトによる固結体の耐久性を明らかにするためこの試験を実施し、透水性とピンホール径、流速、および時間との関係を明らかにする。

6) 超音波発振によるグラウト試験

亀裂が微小だったり、粘土の充填している場合、グラウトによって、地層処分に必要な止水性をえることはほぼ可能である。しかし、注入固結体と岩盤の付着強度で納得のいく結果はまれである。そこで、一般の注入工法より動的な加圧と、粘土の除去効果のある超音波発振を利用したグラウト試験を行うこととした。

7) グラウト野外実験

グラウト材料の特性試験や、グラウトモデル試験の結果をもとに、割れ目を対象として次のような条件でグラウト試験を行いグラウトの効果を調べる。・対象岩盤としては花崗岩で自然亀裂のあるところ。・対象割れ目の透水係数 1.0^{-5} cm/sec 程度、・注入圧力最高 20 kg/cm² 程度、・注入前調査、透水試験、・注入後調査、ボーリング、透水試験など。

Ⅲ. 文献調査

調査した、グラウチングに関する論文の全体像を把握するために、これらの論文をグラウチング対象の面から見た分類と、報告内容の性質から見た分類との2種類の分類法をもとにして展望してみた。以下にその分類結果について述べる。

全論文の中、グラウチング対象として最も多かったものは、ダム基礎処理に関するものであって、全部で33件(№1, 2, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 62, 72, 75)あり、全体の45%にも及んでいる。こうした傾向はダム建設にはグラウチングが必要不可欠なものになっている現状を、よく表わしているものと思われる。ダム基礎処理について多かったものは、坑道、立坑、貯蔵用洞窟等の地下空洞の補強を目的としたものであり、これは15件(№3, 4, 5, 6, 7, 18, 24, 32, 56, 57, 58, 59, 60, 67, 69)あった。これら15件のうち9件(№6, 18, 24, 32, 56, 58, 59, 67, 69)は圧力トンネルを対象としたものになっている。また、その他のグラウチング対象として、観光地の景観修復(№25)、石油プラットフォーム(№65)、ハイウェイ(№66)、超高層ビル(№68)、原子力施設(№70)、石造ポンプハウス(№71)、発電所(№73)がそれぞれ1件あった。残りは特に対象を限定したのではなくグラウチング技術そのものに対する解説や研究実験に関する報告となっている。

次に報告内容の性質から見た分類法として工事報告及び解説等を主体としたものと研究報告を主体としたものとの2つに全体を大きく分けてみた。ただし、これらの分類は厳密なものという訳ではなく、論文によってはどちらにも入りそうなものもあるが、そういうものに対しては主観を交えて大胆に分類して見た。まず始めに、工事報告及び解説等を主体としたものとしては39件(№3, 4, 5, 12, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73)あって、これらの論文の中で、工事報告については、工事現場の地質状況や具体的な工事の手順、グラウチング後の試験方法の内容、試験結果等について詳しく述べられている。№50はグラウト溶脱の監視を長期間にわたって行った結果について述べられたものである。№51と№62はエレクトロニクス技術を利用したグラウト管理技術について述べられている。次に研究報告を主体としたものであるが、研究内容は更に2つに細分することができる。すなわち、研究報告は、グラウト方法そのものに関するものと、グラウチング効果の評価法に関するものに分けられる。グラウト方法に関する研究報告としては18件(№7, 9, 10, 11, 32, 42, 43, 44, 45, 46, 52, 53, 54, 55, 63, 70, 74, 75)あって、№7, №9, №10, №63, №70,

No.74は注入方法に関するもので、残りが注入材料に関するものである。グラウト効果の評価法に関する研究は13件（No.1, 2, 6, 13, 15, 17, 19, 22, 26, 31, 34, 61, 64）あって、内容的には、透水性に関係した事柄を中心として述べたものがほとんどであるが、No.2とNo.19はダムの変形、強度に関する解析を中心に述べている。No.22はダムの強度、変形性、透水性に関する総合的な試験内容について論述している。また、No.64はグラウチング効果判定に強度試験を応用する試みについて述べたものである。グラウト効果の評価法として有限要素法（FEM）を用いた解析に触れている論文は7件（No.1, 15, 17, 18, 19, 20, 21）あった。以上に述べた分類結果をまとめると表-III.1のようになる。

表-III.1 論文の分類

| 内容 対象 | 工事報告及び解説 | 研究報告 |
|----------|--|---|
| ダムの基礎処理 | 12, 20, 21, 23, 27 28, 29, 30, 36, 37 38, 39, 40, 41, 47 48, 49, 50, 51, 62 72 | 1, 2, 13, 14, 15 17, 19, 22, 26, 31 34, 75 |
| 地下空洞の補強 | 3, 4, 5, 18, 24 56, 57, 58, 59, 60 67, 69 | 6, 7, 32 |
| その他対象物 | 25, 65, 66, 68, 71 73 | 70 |
| グラウト法開発 | | 9, 10, 11, 42, 43 44, 45, 46, 52, 53 54, 55, 63, 74 |
| その他 | | 33, 35, 61, 64 |

（数字は論文の番号）

次に1地点における工事に関する報告のうちグラウチング対象の地質が明らかになっているものに対して、どのような地質に適用したものがあるのかを調べてみた。地質が明らかになっている1地点における工事に関する報告は、全部で25件（No.3, 12, 15, 18, 20, 21, 22, 23,

24, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 50, 58, 59, 60, 73) がある。1地点の地質でも様々なものが混在しているが、代表的な地質を1つだけ取り上げてみたところ、堆積岩で代表されるものが15件 (No 12, 18, 22, 23, 24, 26, 29, 36, 37, 38, 39, 58, 59, 60, 73), 火成岩で代表されるものが8件 (No 15, 20, 21, 28, 30, 40, 41, 50), 変成岩で代表されるものが1件 (No 27), 固結していない堆積層が1件 (No 3) であった。

地質をもう少し細かく分類すると、堆積岩で代表されるものでは、No 18, 22, 26, 36が砂岩を中心とした地質であるが、特にNo 26は石灰質砂岩であり、地下水の浸食作用が問題になるものである。No 23, 24は角礫岩を中心とし、No 12, 29, 58, 73は泥岩を中心とした地質となっている。さらにNo 37, 38, 39は石灰岩、No 59, 60は石炭である。また、火成岩で代表されるものはNo 28が安山岩であるほかはすべて花崗岩類を中心とした地質となっている。ただし、No 20, 21は同一地点(高瀬ダム)に関する報告である。No 27の変成岩とは片麻岩類をさすが、この地点では変成度の低い部分に原岩の石灰岩が残っており、溶蝕空洞があったと報告されている。

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|--|--|---|---|--|----------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | |
| No. 1 | Hachirō NAGATOMO | Finite Element Analysis of Dam Grouting Pattern 大分工業高等専門学校研究報告, 昭和51 | ダムグラウチング工法を基礎岩盤中の浸透流をコントロールする問題として有限要素法により解析する。 | <ul style="list-style-type: none"> 60m重カラム・カーテングラウト厚5mとし、透水係数を10^{-5}と10^{-6}cm/sと設定し、有効なグラウト深度と深度に伴う揚圧力、浸透流量および転倒モーメントの減少率等の比較をシミュレートする。 排水孔・コンソリデーショングラウチングおよびカーテングラウチングの施工を2次元的にシミュレートし、揚圧力の変化を検討。 | <ul style="list-style-type: none"> カーテングラウチングの有効深度は、ダム高の約半分である。 カーテングラウチングの許容透水度の値は、1ルジオンが適当である。 カーテングラウチング、排水孔およびコンソリデーショングラウチングの相乗効果は、3次元浸透流理論により正確に解析するべきである。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>有限要素法によるダムグラウチングの解析</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. 2 | J. Laginha SERAFIM Marciano Q. GUERREIRO | Tests and Observed Behavior of Rock Foundations of Dams, Congress of Int. Society of Rock Mechanics, Vol. 3rd, No. 2-B, 1974 | コンクリートダムにおける基礎岩盤の変形試験の解説と、いくつかの地域で実施された現場試験や室内試験の方法と結果の紹介。 | 坑道内のジャッキ試験と室内三軸圧縮試験を中心に岩塊の異方性を考慮した試験方法と7の理論についての説明。 エクステンソメーターを用いてダムの動きを観測した例の説明。 | スフィアダムではグラウチングによりヤング率が片理面に平行な面では15~25%増加し、垂直な面では約100%増加した。 エクステンソメーターの観測から、現場試験結果と観測結果の一致。 ダムの荷重による鉛直方向の弾性係数の増加。 グラウチングによる岩盤の変形等がわかった。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>岩盤基礎試験と挙動観察</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. 3 | Jean JANIN Gabriel R. JORGE Juan M. ESCAMILLA | Grouting Treatment Prior to the Construction of Deep Shafts, Congress of Int. Society of Rock Mechanics, Vol. 3rd, No. 2-B, 1974 | メキシコシティの高い透水性をもちた岩盤に深い立坑を掘削するのに先立ってグラウチング処理が実施されたが、従来の方法と比べて効果のあったこの方法について述べている。 | 立坑掘削に平行して、立坑のまわりの垂直孔から15~30m単位でグラウチングを実施。 注入材料は(風化破砕岩盤) ・添加剤を加えたセメント液 ・従来の混合液(透水性のある平凡な地層や土) ・水ガラスとエチルアセテートの半硬化した混合物 | 立坑内の浸漏は、前処理しないとき、1.18~6.30 l/sec/meterであったのに対して、0.60~0.75 l/sec/meterとなった。 立坑の掘削速度は周回処理をしないとき6.4~12.1 m/月であったのに対して、16.3~23 m/月となった。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>深い立坑建設に先立って行われたグラウチングの説明</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|------------------------------|--|--|--|---|--|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| No. 4 | Peter A. LENZINI | Ground Stabilization: Review of Grouting and Freezing Techniques for Underground Openings, Underground Space, Vol. 1, No. 3, 1977 | 掘削工事における軟弱地盤安定化のためのグラウチング及び凍結工法の技術について複数の論文を紹介したもの。 | グラウチング ・新ブラックウォルトンネルにおけるグラウチング工法に関する論文の紹介 ・パリの地下鉄工事におけるグラウチング工法に関する論文の紹介 凍結工法 ・冷却方式や冷却剤に関する論文の説明 ・カナダの立坑工事における凍結工法に関する論文の紹介 | 軟弱地盤や軟岩中での掘削工事においてグラウチングまたは凍結工法を用いることにより、さまざまな作業工程を縮小したり、削減することができると。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No. 5 | Reidar LIEN Fredrik LØSET | A Review of Norwegian Rock Caverns Storing Oil Products or Gas under High Pressure or low Temperature, 1979 | ノルウェーにある23の岩盤中の貯蔵洞窟について、簡潔に述べたもの。これらの洞窟は液体、気体および食料を貯蔵する3つのタイプに分けられる。 | 洞窟は一般に覆工されておらず、しばしば安全のためにホルト留めされたり、コンクリート吹付けが行われている。また漏出を減らすために薬液注入が行われることもある。 | 10年以上たってもガスの漏出は記録されていない。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No. 6 | M. BOUVARD | Les fuites des galeries en charge en terrain sec Rôle du revêtement, des injections, du terrain, LA HOUILLE BLANCHE, No. 4, 1975 | 被圧地下水を含まない透水層中の高圧トンネルでは漏水が起りやすいが、ここでは起り得る漏水の程度を計算し、漏水が最も減少する方法を確立することを試みている。 | まわりの媒質の透水性と覆工のあるなしを考慮した漏水の程度を計算するいくつかの公式が導かれている。 | 漏水はグラウチングによって改良することができ、作業が困難であることや岩盤の変形によって制限を受ける。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-----|-------------------------------|--|--|---|--|---|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| № 7 | В.Р. ИМЕНИТОВ Е.В. КУЗЬМИН | Особенности смолоинъекционного упрочнения крепких трещиноватых горных пород 1981 | 3種類の樹脂剤の硬化特性を示し、硬いき裂性岩石に対する樹脂剤の注入方法について説明したもの。 | 樹脂と硬化剤の混合比と粘着耐久力の関係を図示。 樹脂は ・YCK-A ・YCK-B ・KCM-0.3Π の3種類で、硬化剤は、8% 蔞酸塩溶液を使用 | 木組みと金属梁を用いて坑道掘進するのに比べて、樹脂注入法を用いた場合の方が、経済的であると具体的に示している。最後に安全対策について触れている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 8 | | | | | | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 9 | M. WALLNER W. WITTKÉ | Theorie und Experiment zu Einem Neuen Injektionsverfahren, Congress of Int. Society of Rock Mechanics, Vol. 3rd, No. 2-B, 1974 | 水セメント比の低いセメントミルクをセメント固化の目的で多量に使用する新グラウト法に関する研究報告 | セメントペーストの構成 ・ポルトランドセメント PZ 550 ・活性ベントナイト B (ポルトランドセメントの3%) ・イントラプラスト (ポルトランドセメントの2%) ・水道水 (セメントと添加剤の合計の45%) | 平坦な割れ目の模型と枝分かれした割れ目の模型とを用いてグラウト液の浸透実験をしたところ理論とよく一致した。 新グラウト法の有効性は、 ・短時間のグラウチングが可能 ・割れ目の完全充填 ・急傾斜の割れ目の経済的なグラウチングが可能 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| | | | | | | | 新グラウト法の理論と実験 |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|------|---|--|--|---|--|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| № 10 | Ф.И. КУЧЕРЯВЫЙ А.В. МИХАЛЮК Н.А. ЛЫСЮК Б.М. БЕЛЯЕВ Н.С. САНАСАРЯН | Импульсное Нагнетание Жидких и Пастообразных Веществ в Породный Массив с Естественной или Искусственной Пустотностью 1981 | 有用鉱物を採取する場合に岩盤の割小目に流体あるいはペースト状の爆発性物質の圧入を行うが、ここでは、衝撃圧入を行う場合の圧力と注入特性の関係を実験により検討している。 | ピストンで衝撃荷重を加える装置と、電気雷管を使って衝撃荷重を加える装置とを用いて実験。 ・注入対象 石灰質頁岩 モルタルブロック 有機ガラス ・注入物質 水 グリセリン グリース | 衝撃圧入の実験結果をもとに、圧入量を算出するいくつかの実験式及び図表を提示している。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 11 | Ю.И. КАЛИМОВ А.И. ПТУШКО В.П. ШИШКИН | Изменение Прочностных Свойств Горных Порода под Воздействием Химических Реагентов 1979 | 鉱山での採掘効率を上げるために用いられる岩盤強度を低下させる薬剤に関して、種々の化学薬品を用いた研究報告。 | 岩盤を劣化させる薬剤として。 ・OP-10剤 ・ Na_2CO_3 ・ $NaCl$ ・ $NH_4OH \cdot HCl$ ・ $HCl + HF$ ・ $H_2N \cdot NH_2 \cdot 2HCl$ 等を用いて標準岩盤に対して実験。 ・トランジエン溶液の炭酸塩岩に対する実験 | 実験結果については、岩石の圧縮強度の変化割合、反応熱、試薬の濃度、注入圧力等の関係を図表を用いて説明している。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 12 | 鈴木 務弘 池上 雪男 | 軟岩を基礎とする亀山ダムグラウチングについて ダム日本, No. 421, 1979 | 亀山ダムの基礎となる岩盤は軟岩と呼ばれる泥岩と砂岩の薄層の互層であり、ここに建設されている重力式コンクリートダムの基礎処理であるグラウチングおよびその効果について概要を述べたもの。 | ・基礎処理の種類 1. コンソリデーショングラウチング 2. カーテングラウチング 3. その他グラウチング ・カーテングラウチングの改良効果の判断 1. ルジオン値 2. 限界圧力 3. 単位セメント注入量 4. 孔間隔 のそれぞれからみた改良効果 | 全体的には改良効果があったと確信している。また高い圧力で急激な改良は望みないので、低い圧力でゆっくりと時間をかけ厚みをもたせたグラウチングが必要であると考えている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 | | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|--|--|--|--|---|--|-------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|
| 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | | |
| No. 13 宮田 美幸 | 高瀬ダム基礎岩盤のグラウティングの検討(第一報) — 岩盤内の節理並びにその透水性について — 発電水力, No. 149, 昭和52.7 | | 高瀬ダムの基礎岩盤の節理並びにその透水性に関する基本的検討及び岩盤分離面の分布状況, 節理内浸透流の解析とその応用についての報告 | <ul style="list-style-type: none"> 岩盤分離面の分布状況を表層部では, 地表からの測定, 深層部では B.T.V. 装置による自然状態のまま直接観測した。 岩盤節理内の浸透流は非定常流として水理学的に検討を加え, 流体挙動の特性を定量的に把握 | 高瀬ダムでのグラウト注入の対象は, 殆ど節理間隙で, グラウトを効率的に実施するために, この節理の状況を定量的に把握する必要がある。数本の代表孔の B.T.V. 観測結果を利用して, 他の一般ボーリング孔における節理中, 本数を各注入ステーション毎に推定したが, 実用に満足する結果が得られた。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>グラウト注入対象の節理調査と透水性に関する検討</p> | | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. 14 原田 次夫 | フィルダム基礎処理における問題点 ダム日本, No. 387, 1977 | | ゾーン型フィルダムの基礎処理上の特異な問題点の指摘 <ul style="list-style-type: none"> ゾーン型と均一型フィルダムの基礎処理の差異 基礎表面の条件とダムの安定性 基礎内部の問題点のピックアップ | <ul style="list-style-type: none"> 各種ダムにおける基礎内の浸透流の比較 現場簡易セン断試験法 実例やセオリーをまじえながら説明している。 | ゾーン型フィルダムの基礎処理は, 他形式のダムと同等の処理をしなければならない。 基礎表面, 基礎内部について各種の問題に関する対策を示している。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>処理方法の検討をするのに利用できる。</p> | | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. 15 隅野 二郎 清水 洋 | 箕面川ダムのグラウト計画 ダム日本, No. 437, 1981 | | 箕面川ダムの基礎岩盤の地質特性とそれに対応するグラウト計画について述べたもの。 | 本ダムのグラウトは基礎岩盤表層部の改良を目的とする。ブランクートグラウトと岩盤深部の改良を目的とするカーテングラウトに分けられる。 基礎岩盤に対する浸透流解析の方法は汎用性の高い有限要素法が用いられている。 | 有限要素法を用いた解析結果をみる限りでは, カーテングラウトの深度を深くするよりもブランクートグラウトの幅を広く深く施工する方が効果的であるといえた。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>グラウト計画</p> | | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|--------|------------------------|--|---|---|--|------------------------|----------|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| No. 16 | | | | | | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| No. 17 | 松田 達 竹林 征三 田村 徳郎 | ダム基礎岩盤の透水特性とグラウチング 効果の評価について, 大ダム, No. 95, 1981.3 | 現時点でのグラウチング技術の課題について ダム基礎岩盤の透水特性とグラウチング効果の評価の面からの整理とそれらに対する若干の考察 | グラウチングの評価指標としては、現象的には基礎岩盤の強度増大と止水効果が挙げられ、その手段等を表にまとめてある。 グラウチングの評価方法として主として用いられているルジオン値について、主としてその分布特性について述べている。 | 多くのダムでルジオン値分布が対数正規分布で近似できることが確認されたが、このことはルジオン値がグラウチングの施工管理に利用できることを示唆している。 注入圧力と限界圧力に関して考察している。 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| | | | | | | グラウチングの施工管理 | |
| No. 18 | 篠原 淑郎 | 高水圧トンネルの周辺岩盤に対するグラウチングの効果判定について, 土木学会誌, 第59巻, 第12号, 1974年11月 | 高水圧トンネルの周辺岩盤に対して、グラウチングを実施するにあつての岩盤の改良度及び追加グラウチングの効果判定について | グラウト孔のセメント注入量とグラウチング前にその注入圧に等しい水圧で実施した透水量との関係から、一つの基準係数を設定して、岩盤の改良度を推測し、追加グラウチング指示の基準としている。 | グラウチング後の弾性波試験の結果から、岩盤は所定の改良度に達していることが明らかとなった。 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| | | | | | | 追加グラウト検討 | |
| | | | | | | 岩盤改良の判定, と追加注入の検討方法 | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|------|-----------|--|--|---|--|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| № 19 | 仲野 良紀 | ダム築造によるアパートメント部における亀裂の発生について, 大ダム, No. 83, 1978 | ダム自重や水圧による荷重でアパートメントの岩盤が動いて亀裂が入ったのではないかと考えられる例の紹介 | アパートメントのFEM解析 | 引張応力領域がアパートメント部に発生し、かつダム側に傾くよう変形する部分が生ずる。 ダムの載荷によって新たに生じた応力状態、変形状態に応じて改めてグラウティングを行う必要がある。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 (施工方法) 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 20 | 宮田 美幸 | 高瀬ダム着岩部の設計と施工, 大ダム, No. 83, 1978 | 高瀬ダム着岩部の設計と施工の実績を中心にとりまとめたもの。 | 表層部の透水性をグラウトで改良した場合の効果を実験相似法で求めた。 既設ダムの実績を十分に参考にして慎重に施工する事に重点をおいた。 | ブランクートの幅, 深さ共に増加すれば、コア直下流岩盤面浸出点の浸透圧は何れも減少するが、幅を広げた効果が大きいようである。 | 総合的解説 事前原位置調査 (注入計画, 設計) 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 (施工方法) 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 21 | 宮田 美幸 | 高瀬ダム基礎岩盤のグラウティングの検討(第=報) — 水, セメント溶液の浸透挙動について — 電力土木, No. 157, 昭和53.11 | 高瀬ダム基礎岩盤のグラウティングの検討(続報) ・岩盤節理内の浸透流の再検討。 ・グラウト注入法として、定圧法と変圧法を現場の実績と併せて比較検討。 | ・現場透水試験による実流量と計算流量との比較検討。 ・粘度等、セメント溶液の流動時の特性の把握 ・セメント粒子の沈澱挙動の検討 ・変圧法と定圧法のそれぞれ水の沈澱挙動についての比較検討 | ・浸透流は、全方向に拡散するだけでなく、局部流も1~1/20の比率で発生している。 ・定圧注入法は、数段階の濃度切換によって理想的な注入が可能 ・変圧注入法は、人工的圧力変化の規制と濃度切換速度を適正に組合せた設定が必要である。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 (施工方法) 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|----------------------|-------------------------|--|--|--|--|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| № 22 | 水資源開発公団試験所 | 一庫ダムグラウチングテストの考察, 水資源開発公団試験所年報, 昭和53年度, 昭和54 | 一庫ダム地点で コンソリデーショングラ ウチングを対象とし て試験を行い, セ メントグラウチングによ る改良効果を見る ことにより, ダム基礎 としての性状を把握 しようとした。 | ① 岩盤浮上り測定 ② 透水試験による改 良効果の判定 ③ 岩盤孔内水平載荷 試験 ④ 密度検層による 改良効果の判定 | ① 風化の進んだ粘土を 挟んだ岩盤でも, 直 切の孔間隙を明けば グラウチング改良を見込 むことができる。 ② 岩盤の密度, 変形性 は, ルジオン値で表示 される透水性の改良 で代表される。 ③ P-Q曲線から読み取 り難い風化岩の限界圧 力は実際に作用する 水圧が目安になる。 | 総合的解説 <u>事前原位置調査</u> 注入計画, 設計 注入材料 <u>注入効果原位置試験</u> 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| グラウチングテスト | | | | | | | |
| № 23 | 野地 正保 山際 実 小林 雄一 | 岩尾内ダムにおける地質構造とグラウトに 関する研究, 北海道開発局土木試験所月報, No. 267, 1975.8 | 地質構造, 透水試 験とグラウトのセメント ミルク注入量の関係 および岩質とグラウト の関係についての報 告 | 注入材料: 2.00mm のフルイを通過したホル トランドセメント 水対セメント比: 大部分 が 8:1 | グラウト計画は, 地質 的要素を考慮するこ とによって効果的に 立てられる。 | 総合的解説 <u>事前原位置調査</u> <u>注入計画, 設計</u> 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| 地質的要素を考慮した グラウト計画 | | | | | | | |
| № 24 | 牛田 太計志 足立 正安 白田 勇 | 奥多々良木発電所水路トンネルの グラウチング工事について, 発電水力, No. 139, 昭和50.11 | 大断面, 高耐圧で長大な 水路トンネルを施工す る場合は, 水圧の一部を 岩盤で負担させるため にグラウチングが必要 である。このグラウチング 工事についての報告であり, 短期間に効果的に 実施するため, 中央プラ ント方式が採用されて いる。 | 材料を直接トンネル内に 持込む従来の工法を採 用せず, 坑外に中央プラ ントを設置する中央プラ ント方式を採用 。装置 中央プラント 輸送設備 移動架台 廃液処理設備 。材料 セメント 骨材 混和剤 | 長大水路トンネルのグラ ウチング工事には 中央 プラント方式を採用す ることが工期的, 施 工的, 経済的に優 れていることが確かめ られた。 | <u>総合的解説</u> 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| グラウト技術全般の解説 | | | | | | | |

| 分類 | | 事項 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|------------|-------------------------|---|---|---|---|--|--|
| 著者名 | 目的, 論文内容の項目 | | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | |
| No 25 | 工藤 幸光 | 薬液注入工法による小弁天島修復工事, 防水ジャーナル, Vol. 9, No. 8, 1978. 8 | 観光名所である小弁天島では, 風化, 浸蝕による崩崖が著しく, 薬液注入による修復工事が行われた。その施工の概要について述べたもの。 | 1. エスタインジョイナー W で島体表面処理 2. エポキシ樹脂 (エスタイングラウト #22) を手動式の注入ポンプを使用して注入 3. TASS (T-022NF, T-023NF) をケミカルパッカー付きの特殊注入管を挿入して手動ポンプで注入 | 入念な施工技術により作業を行った結果, 採取したコアから亀裂には十分に薬液が浸入していることが判明し, また島体表面も施工前に比較して, 修復工事を行ったという形跡もないほどに江上り, 本工事の所期の目的を十分に達成できた。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 <u>長期耐久性</u> | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| 修復工事 | | | | | | | |
| No 26 | 篠原 淑郎 | 石灰岩地帯のダム基礎処理について, 大ダム, No. 92, 1980. 6 | 石灰質岩地帯に築造された Srinagarind ダムの基礎処理について報告し, 今後このような地帯に建設されるダムの基礎処理の検討の際の参考に供したものである。 | ・ カットオフレンチを設け浸透流路長の増大を計った。 ・ 3段のグラウチングギャリ-を設けて, この内部から実施する高圧グラウチングによって岩盤の透水性の改良を計った。 ・ 中の厚いグラウトカーテンの形成を企図した。 | 岩盤の透水性と注入度の相関係数は, セメントグラウトの場合, ほとんどのものが 0.8 以上で, かなり密接に相関する。 $Y = B X^A$ (X = 透水性, Y = 注入度) の式で A 値よりブロックの岩盤の改良度を推測することができ, 追加孔の指示の1つの目安を与えることができる。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| 石灰岩地帯の基礎処理 | | | | | | | |
| No 27 | 竹林 征三 西村 賢二 栗田 昭郎 | 真名川ダムの基礎の地質とグラウチングについて, 大ダム, No. 85, 1978. 9 | ダムの基礎処理の概要とその試験湛水結果についての報告 | 注入方法 水叩は1段式, 調査孔はパッカーグラウチング方式, その他はステージグラウチング方式 注入材料 普通ポルトランドセメント W/C = 8, 6, 4, 2, 1 の5種類 | 電算機によるデータ解析および作図を実施した。大規模なグラウト工事では電算機に全ての情報を記録させ, 施工途中における注入効果の分析, 施工方法の修正などにフィードバックすることが重要になってくると予測している。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 <u>データ解析</u> | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| 基礎処理 | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|--------|------------------------|--|--|--|--|-----------------------|----------|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| No. 28 | 安藤 吉平 | 刈谷田川ダム建設における断層処理について, ダム日本, No. 431, 1980 | 刈谷田川ダムの左岸リム部に分布する断層処理についての考察を加えた報告 | 孔配列は1列ないし2列の千鳥配列で, パンカーの効きが悪いと思われる場合にはリーシングセメントエーション工を用いた。注入材料は普通ポルトランドセメントを使用し, ステージグラウチング法及びパンカーグラウチング法で注入を行った。 | 断層処理グラウチングは十分所期の目的を達したものと思われ, これはテストグラウチングの結果に基づいて採用した施工方法が非常に効果的であったためであると考えている。 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| | | | | | | 断層処理グラウチング | |
| No. 29 | 村上 徳男 中西 真 瀬山 修平 | 野花南ダムの泥岩処理について, ダム日本, No. 406, 1978 | 野花南ダム(フィルタイプ)の基礎岩盤である泥岩の性質とそれに対する基礎処理(グラウチング)の設計・施工の報告 | コアゾーン基礎を通過する浸透水の規制を目的としたカーテングラウト。注入材料はセメントとし, 高炉B種を使用。注入配管は孔底まで達する注入管と自記圧力計を備えたリターンフロー方式とし, グラウトポンプは圧力および注入量が自由に調整できるものを使用し, 連続注入を行った。 | グラウチングの結果, 岩盤の透水性は, 注入前の2ルジオン以上から1ルジオン以下に改良された。各カーテングラウト実施の際のm当りの試錐時間およびm当り注入量, 注入時間について考察している。 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| | | | | | | 野花南ダムの基礎処理工事の施工 | |
| No. 30 | 田辺 幸義 田中 勝敏 | 山神ダムの基礎処理とグラウト結果について, ダム日本, No. 427, 1980 | 山神ダムの基礎処理方法とグラウト結果を詳しく説明したもの。 | ・グラウトテスト ・コンソリデーショングラウト ・カーテングラウト ・左右岸リムグラウト ・ブランケットグラウト(フィル部) ・堤体基礎排水工 | 特にフィル部および左右岸リム部における軟岩(真砂土)に対して, グラウトテストを行うなどして慎重に処理し, 改良目標を達成できた。堤体内排水孔からの漏水量の総量は 2.0 l/min 程度で, 現時水位までのグラウト効果は妥当なものと判断している。 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| | | | | | | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 |
| | | | | | | 注入計画, 設計 | 施工方法 |
| | | | | | | 注入材料 | 注入装置 |
| | | | | | | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 |
| | | | | | | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| | | | | | | 山神ダムの基礎処理方法とグラウト結果の説明 | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|------|----------------------------------|--|--|--|--|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| № 31 | 菊地 宏吉 斎藤 和雄 岡林 信行 春松 安司 | ダム基礎岩盤のコンソリデーション グラウチングにおける地質工学的評価法 電力土木, No. 179 昭和57.7 | コンソリデーショングラウチングの施工及び処理効果の検討における岩盤定数による評価法についての考え方および適用例について報告したもの。 | 地質要素の解析による岩盤評価 評価の対処としては ④ 割れ目密度による評価 ⑤ 岩盤, 岩質による評価 ⑥ 透水性による評価 | これらについて, ダム基礎岩盤に対する地質工学的評価の適用例について述べている。これによつて岩盤性状をより客観的に評価し, 基礎処理を効果的に行うのに有益。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 32 | 日本鉄道建設公団 青函建設局 | 長大海底トンネル用グラウトの耐久性に関する研究 | 既在の注入材のセメントミルクセメントケイ酸ナトリウムグラウトの注入は高圧水に伴う破砕帯等ではゲルタイムおよび圧縮強度に問題があるため長大海底トンネルに適するグラウトを開発する。 | 各種注入材(普通ポルトランドセメント, 高炉セメント及びケイ酸ナトリウムセメントミルクなど)の物性試験 グラウト材開発研究の結果えられた低モル比のケイ酸ナトリウムを用いたグラウトの耐久性試験, 劣化, 原因追求性試験 耐久性向上試験 | ・耐久性の劣化要因について明らかにした。 ・長大海底トンネルのグラウトとしてはセメントケイ酸ナトリウムグラウトの耐久性を向上するため潜在水硬性のある高炉渣スラグなど混入したものが適していることが明らかにした。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 33 | M. CYENGE | Nuclear Waste Vault Sealing, 13th Canadian Rock Mechanics Symposium, University of Toronto, May 28 and 29, 1980 | 既往のグラウト技術を高レベル放射性廃棄物の地層処分するためにどのように利用していかについて解説したもの。 | ・地層処分にグラウト材に要求される性質 ・地層処分の部位に応じたグラウト方法 ・グラウト効果としてどのようなことが要求されるか? | 地層処分のグラウトに要求される基準値としては下記の値を 1. 止水性 10^{-7} cm/sec 2. 耐久性の期間 1000年 3. グラウト固結体と岩盤の付着強度 不明 グラウト技術を利用する場合の研究分野 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|---|---|---|---|--|-------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|------------------|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | | |
| No 34 | Adam Clive HOULSBY | Cement Grouting for Dams | ダムセメントグラウチングについて、欧米全般のグラウチングの方法を系統的に述べたもの。 | <ul style="list-style-type: none"> グラウチングの種類についての概説 ルジオン値の説明 注入装置の種類についての概説 注入方法の概説 ホーリング方法の概説 | 筆者の経験に基づいたグラウチングの必要条件と改良目標の指針を流れ図を用いて提示。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | セメントグラウチングの概説 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 35 | John A. ALBRITTON | Cement Grouting Practices, U.S. Army Corps of Engineers | アメリカ陸軍工兵隊の行っているセメントグラウチング方法の説明 | <ul style="list-style-type: none"> 各種のグラウチング法の説明 注入材料は普通ポルトランドセメント、ベントナイト等の添加物および水 グラウトミキサーは高速ミキサーと低速ミキサーを使用 グラウトポンプは二重らせん状スクリュウタイプポンプを使用 | グラウト施工上の注意点と問題が生じたときの対策について具体的に述べている。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | セメントグラウチングの方法の解説 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 36 | D.A. BRUCE | Aspects of Rock Grouting Practice on British Dams | [A] Wimbleball ダム, [B] Kielder ダム, [C] Grimwith ダムを例にあげて、英国における岩盤グラウチングの方法を述べている。 | <ul style="list-style-type: none"> 3つのダム共にダウンステージ法により普通ポルトランドセメントを注入 [A], [C] ではロータリーパーカッションホーリングとフロイドミキサーを使用 [C] ではルジオン値の高いところでは、マンシエットチエーブ工法を採用 | [A] では、カーテンの効果はカサグラントピエゾメーター、リーフラスルおよびスタンドパイプで確かめられた。 [B] では、ルジオン値と注入結果との関係を吟味したところ有効な結果が得られた。 [C] ではグラウチング後、ルジオン値が改良された。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | 岩盤グラウチング |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|--|---|--|---|--|-------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | |
| No 37 | Zhang ZUOMEI Huo PINSHOW | Grouting of Karstic Caves with Clay Fillings | 石灰岩を基岩とする Wujiangdu 発電水カダムにおいて、カルスト空洞中を充填する軟弱粘土へグラウチングした例の解説 | <ul style="list-style-type: none"> • 高压 (20~40 kgf/cm²) により充填粘土中にハイドロリックフラクチャーをつくり、グラウトを置換、圧密および化学反応による硬化により粘土を一体化、強化する。 | <ul style="list-style-type: none"> • 高压グラウチングの実施後、パイピングや浸透破壊に対する抵抗性が著しく増加した。 • 限界動水勾配は 200~250 のオーダーであった。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>旋工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>カルスト空洞中の充填粘土への高压グラウチング</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 旋工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 旋工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 38 | John LOWE, III T.C. SANDFORD | Special Grouting at Tarbella Dam Project | Tarbela ダム (フィルダム, パキスタン) の補助決水口基礎 (ドロマイト質石灰岩) では、ドレーンカーテンが設けられていたが、細粒分が流出していることがわかったため、新たにグラウトカーテンを作った。この追加されたグラウチングについて述べている。 | <ul style="list-style-type: none"> • グラウトステージ工法でエキスパンションパンカーを使用。 • ボーリングはロータリー式 • ミキサーは Paddle ミキサー • グラウトポンプは二連ピストンポンプを使用 | <ul style="list-style-type: none"> • 長い水みちを遠くまでグラウトを行きわたらせることと、浸透圧に耐えて、グラウトの抵抗性を確保するために検討の結果、W:C=1.0 (重量比) B=1.5% x C の配合が選定された。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>旋工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>石灰岩地帯のグラウチング</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 旋工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 旋工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 39 | Armando RÁBAGO | Chicoásen Project Grouting and Drainage System | メキシコの発電水カダム (ロックフィルダム) のグラウチングについて述べている。この地質は、中期~後期白亜紀の層状ないし塊状石灰岩から成っている。 | <ul style="list-style-type: none"> • フランケットグラウチング及びカーテングラウチング • 注入材料はセメントと 2~10% のベントナイト (配合 W/C=6~1) • 注入圧力はハイドロリックプレスチャーから決定 | <ul style="list-style-type: none"> • 平均ルジオン値が 1~41 であったものが 1~6 となった。 • ダムサイトの静水圧等高線図により、満足すべきグラウトカーテンの有効性が確認された。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>旋工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>石灰岩地帯のグラウチング</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 旋工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 旋工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------|--|--|---|--|--|----------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|------------------------|--|--------------|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | |
| № 40 | Z. AZIZ J. LEVAY | Foundation Grouting of the LG-2 Main Dam La Grande Complex, Quebec | LG-2主ダム(アスロックフルダム, ケベック)の基礎グラウチングについて述べたもの。 基岩は先カンブリア紀の花崗岩と片麻岩から成る。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ブランクートグラウチングとカーテングラウチング ・中間内挿法をとり。 ・穿孔はパーカッション式(水送り機能具備) | 凍土地帯の冬期施工のため, グラウトの温度管理や対象地盤の凍結融解の監視を配慮した。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> <tr><td>温度監視</td><td></td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | 温度監視 | | 花崗岩地帯のグラウチング |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 温度監視 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| № 41 | Brian Raymond COLE | Grouting of the Foundation of Dartmouth Dam | Dartmouthダム(フルダム)の基礎グラウチングについて述べたもの。この地質は花崗片麻岩から成り, 強風化帯を含んでいる。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. セメントグラウチング <ul style="list-style-type: none"> ・ブランクートグラウチングとカーテングラウチング ・中間内挿法 ・アップステージグラウチング法 ・配合 W:C=5:1~1:1 (容積比) 2. ケミカルグラウチング (風化帯の一部) <ul style="list-style-type: none"> ・AM-9 (10% 溶液) を使用 | ケミカルグラウチングの透水試験結果では, 透水量は0であった。 EL 445mの貯水水位で, 浸透量は $750 \frac{cm}{min}$ であり, 止水効果があった。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | 花崗岩地帯のグラウチング | | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| № 42 | G.S. LITTLEJOHN | Design of Cement Based Grouts | セメントグラウトの性状(硬化性, 最終強度, グリージングの割合)を決定する要素について考察を加えたもの。 | <ul style="list-style-type: none"> ・D'Arcyの法則に基づいて推定されるブリージング率の式を提示している。 ・粉末アルミニウムを混合するとセメントグラウトの収縮を防止できる。 ・セメント重量比でCaCl₂を1%加えることにより, 強度が24時間後に30%増加する。 | セメントグラウトでの設計は, その目的に応じて, 試験をおこなない。構成材料などを決めなければならぬが, 品質管理を充分におこなわなければ, 求めた強度を得ることはむずかしい。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | セメントグラウトをベースとしたグラウトの設計 | | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|------------------------|--|---|---|--|---|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| No 43 | R.O. LANE J.F. BEST | Testing for Optimum Pumpability of Concrete | コンクリートの最適流動性に関する試験を行った結果について述べたもの。 | 水セメント比を0.25~0.70までに変化させて試験するとともに, 7の性状を水セメント重量比で20, 40, 60%のフライッシュを含んでいるグラウトと比較している。 | 実験結果からの最適な流動性域を明示している。 コンクリートの流動性の結果は, 7自体の性状ばかりでなく, 7の中に含まれる混合物(砂など)やスランプの比率にも関係づけられる。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 44 | Stephan A. JEFFERIS | Effects of Mixing on Bentonite Slurries and Grouts | ベントナイトスラリーとグラウトの混練効果に関して, ベントナイトの特性をミキシング速度と共に長期にわたって調べたもの。 | ベントナイトとセメントのミキシング方法は, 1. ドライミキシング 乾燥したセメントとベントナイトを混ぜた後, ミキサー中の水に入れる。 2. 水和させたベントナイトにセメントを入れる方法。 3. 水和させたセメントにベントナイトを加える方法 の3つの方法がある。 | ベントナイトスラリーは高攪拌速度でくり返し混練した方が粘度が大きく止水性が高い。 のみかけ粘度は, 3年間までの間に連続的に増加する結果が得られた。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 45 | Clive HOULSBY | Optimum Water: Cement Ratios for Rock Grouting | 岩盤注入のための最適水セメント比について現場の施工例から割れ目の大小をふまえた配合の選定を説いたもの。 | 容積比で水セメント比が2:1が基本的である。 割れ目の幅が0.75mm程度では3:1で始めるべきである。 1.25~2.5mmの場合は1:1で始めるべきである。 5:1より薄い場合は耐久性のよい注入となる。 | 低速ミキサーとピストンポンプの組合せよりも高速ミキサーとモノポンプの組合せの方が浸透性がすぐれていることが実験で証明された。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

コンクリートの最適流動性に関する試験

ベントナイトスラリーとグラウトのミキシング効果

割れ目の幅と最適水セメント比の関係の説明

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|--------|---------------------------------------|---|--|--|--|---|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| No. 46 | Don U. DEERE | Cement-Bentonite Grouting for Dams | セメントベントナイトの配合設計を照査するために現場試験として、スラリー密度と粘性の測定を行った結果について述べたもの。 | 容積比で W:C=6:1 のような非常にうすい配合では 2 時間後に 60% のセメント粒子の沈降が起こり、濃い程沈降率が低下する。 うすい配合でもわずかな量のベントナイトを添加することで、低い沈降量となる。 | 少量のベントナイトを含んだ比較的濃い配合のグラウトが安定であるといえる。 | 総合的解説 事前原位置調査 <u>注入計画, 設計</u> <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No. 47 | Robert C. FOX Martin C. JONES | Remedial Drilling and Grouting of Two Rockfill Dams | 東部カナダの 2 つのダムにおいて築堤後、漏水が増加して、コアの一部が流出しはじめた。そのためにコア部および堤体基礎岩盤に実施された補修グラウチングについて述べたもの。 | 1. コア部の配合 ・セメント, ベントナイト (セメント重量の 20%), 水ガラス (セメント重量の 5%) ・水セメント比 8:1~2:1 (容積比) 2. 基礎岩盤部 ・セメント, ベントナイト (セメント重量の 3.4%) ・水セメント比 6.3:1 (容積比) | 注入の結果, 浸透量が減少し、暗渠からの漏水も減少した。また細粒子の流出もなくなり、良い結果が得られた。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No. 48 | Michael G. JEFFERIES John B. DAVIS | Remedial Grouting at Hilton Falls Dam, Canada | カナダの Hilton Falls ダムにおいて、左岸アバット部のクラックから漏水が始まった。その補修のために実施されたグラウチングについて述べたもの。 | グラウトの配合は水セメント比 2:1 とし、5% (セメント重量比) のベントナイトを混入した。 | 比較的濃いグラウトを注入することによって、ほとんど漏水が止まった。 原因は初期のグラウトカーテンの計画が量的に不足していたものと思われる。 | 総合的解説 事前原位置調査 <u>注入計画, 設計</u> <u>注入材料</u> <u>注入効果原位置試験</u> 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|---|---|--|---|-------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|--------|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 49 | Jagan N. GOSAIN John R. KUNZ | Electric Lake Dam Grouting | <p>Electric Lake ダム (アスファルダム, Utah) では, ダム水位の上昇とともに漏水が増加し, sink hole が発生したため, 観測装置を設け測定しながら, 補修グラウティングが実施された。このグラウティングの内容について述べたもの。</p> | <ul style="list-style-type: none"> モータリング装置は, open stand pipe による観測井, pneumatic ピエゾメータおよび沈下計からなる。 削孔はワイヤラインにより NX, BX サイズの銼具を用いた。 ミキサーは高速コロイダルミキサーを使用。 カーテングラウティング及びシンクホールグラウティング | <p>補修グラウティングにより 33 l/s あった漏水が 14 l/s まで減少し, 改良された。現在も引き続きモータリング装置による観測が続けられている。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> <tr><td>モータリング</td><td></td></tr> </table> <p>補修グラウティング</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | モータリング | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| モータリング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 50 | Miron B. PETROVSKY | Leaching of Dam Grout Curtains | <p>ソ連の3つのダム(結晶質岩盤)において, 浸透水量, 浸透水の化学的性質の分析が長期にわたっておこなわれた結果について述べたもの。</p> | <p>セメントグラウトカーテンの溶脱の監視</p> <ul style="list-style-type: none"> 浸透水量の測定 浸透水の化学的性質の分析 <p>グラウトカーテンの寿命は4~16年にわたっている。</p> | <ul style="list-style-type: none"> カルシウム濃度と浸透水量の間の相関は, 透水経路の侵食を反映している。 セメントグラウトの侵食は古いものより若いものの方が激しい。 log CaO と log Q の線形関係は溶脱する石灰の量の計算に利用できる。 | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> <tr><td>リーチング</td><td></td></tr> </table> <p>グラウト溶脱の監視</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | リーチング | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リーチング | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 51 | Michael J. KLOSTERMAN Michael M. EASTERLY Wels G. JAHREN | Grouting at Clarence Cannon Dam: A New Approach | <p>Clarence Cannon ダム(ロックフィルとコンクリートの複合ダム, Missouri州)における, グラウティングの新しい手法について述べたもの。</p> | <p>コンピュータシステムを最大限に利用し, 注入量や注入効率を新しい手法で管理</p> | <p>掘削期間中に大規模な断層が発見され, グラウティング計画が大幅に変更されて新設問題により発展したダムサイトの地質を再検討し, 新しいグラウティング計画が立て直されたもの。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>コンピュータシステムを利用したグラウティングの管理</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|--|--|--|---|---|---|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| No 52 | Masaru HOSHIYA Shunsuke SHIMADA Hitaka KANEMARU Kenji KAYAHARA | A New Grouting Material of Non-alkaline Silica Sol | 水ガラスからアルカリ分を除くことにより得られる非アルカリ性のシリカゾルを主成分とする新しいグラウト注入材料の説明 | この注入材料の特性は 1. ゲル化の原理は凹曲線で示される。(図を併せて説明) 2. BOD値, COD値にも問題を起こさない。 3. 未反応の水ガラスが残留することはない。 4. 経済的である。 実施例として中性グラウトを用いた瞬結二重管工法について述べている。 | 注入地盤の地下水のpH値を中性領域内に保ち, 地下水に問題を起こさない。 さらに水ガラス系グラウト類よりも強度が高く, 浸透性も大きい。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 53 | Liu JIACAI Wang BAOCHANG Gui WENGGUANG Guo YUHUA Cheng HESHENG | Polyurethane Grouting in Hydraulic Engineering | ポリウレタン系グラウトの概要について述べグラウトの硬化時間とグラウトの設計拡散半径について考察したうえでポリウレタン系グラウトをダムに応用した事例について報告したもの。 | ・イソシアネート類とポリオールとの他の各成分との反応について説明 ・FengtengダムおよびChencunダムでポリウレタン系グラウト注入を岩盤の欠陥部および節理処理に応用 ・Zhuwoダムではコンクリートの割れ目へ水が流入するのを止めるために応用 | グラウト注入された砂の強度は極めて高く, 140 kg/cm ² にもなり, グラウトカーテンは38の動水勾配に耐えるものであった。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 54 | Richard M. BERRY | Injectite - 80 Polyacrylamide Grout | インジェクタイト-80 (アクリルアミド系グラウト) に関して, 毒性の面で, 従来のアクリルアミドグラウトと比較して述べたもの。 | インジェクタイト-80は活性塩素すなわち, サラシ粉を用いて低分子量のアクリルアミド系高分子を直接に架橋させる。 | インジェクタイト-80の毒性はエチルアルコールの毒性とはほぼ等しい程度であり, このグラウト中で最も毒性の強い化学物質は乾燥したサラシ粉である。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------------------------------|---|--|---|--|--|-------|----------|---------|----------|----------|------|------|------|-----------|----------|-------|-----|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | |
| No 55 | William J. CLARKE | Performance Characteristics of Acrylate Polymer Grout | <p>アクリレートポリマーグラウト (AC-40) に関して, 毒性の面で従来のアクリルアミドグラウトと比較して, 述べたもの。</p> | <p>AC-40はアクリルモノマーと少量のメチレンビスアクリルアミドとの混合物であり, 用いる触媒は, トリエタノールアミン (TEA) と過酸化アンモニウム (AP) とである。</p> | <p>AC-40は従来のアクリルアミド系グラウト中の毒性成分であったアクリルアミドモノマーを含有していないため, 毒性は 1/100 程度である。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>アクリルアミド系注入材料</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 56 | Hans K. O. DIETZ | Grouting Techniques Used in Deep South African Mines | <p>深度が 500~4,000 m におよぶ南アフリカの鉱山での代表的な注入の技術について述べたもの。</p> | <p>高圧下での注入材料は全てパイプラインで送られた。特異な地盤条件では, 特別な注入工法が求められ, 必然的に安全には厳しい予防手段が採られた。 ダイヤモンドドリル, パカッションドリルの安全装置を図示。</p> | <p>鉱山では膨大な排水システムが必要であり, 注入の必要性はそこにある。地盤は地下水を含む地層が厚く, 深いため圧力が高いうえ, 寒冷な湿気との闘いが求められる。メタンガスの噴出を防止する必要があった。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>深い坑道における注入技術</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 57 | Ray W. AMSTUTZ James E. HAWKINS | Cementing Steel Linings in a Deep Blind-Bored Shaft | <p>U. S. Bureau 鉱山 (コロラド州) で, 採鉱テストをおこなうために直径 120 インチ, 深度 2,400 フィートの立坑が掘削された。このときに実施されたグラウチングについて述べたもの。</p> | <p>特別なスラリー用ポンプが使用された。スチールパイプと多様な岩石がよく接着されるように配合設計がおこなわれた。</p> | <p>次のような改善がおこなわれた。 (1) 先端の開いたシンホールを使用 (2) パイプの設置を容易にするための大きな穴を作り, セメントインゲルした。 (3) 穴が不規則に増大することを防止するため, 泥水の改良がおこなわれた。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>深い立坑におけるセメント注入</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|--|--|---|--|--|--|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| No 58 | David A. GREENWOOD M. Thomas HUTCHINSON | Squeeze Grouting Unstable Ground in Deep Tunnels | トンネル内で遭遇した泥層や細かい割目や破碎帯の安定のための注入について記述したもの。 | これらの層は、浸透注入はできないため、高圧下でのセメントグラウトに続く、薬液による注入をおこなった。 | 7つの施工例についての評価を表にまとめて提示している。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 59 | Joseph CERVIK | Grouting Methane Drainage Holes in Coalbeds | ガスを含む炭層の中の水平ドレーン孔は作業坑にメタンガスが入らないようにするの役に立つが、ここではこのドレーン孔にセメントによるシールをおこなった例について述べている。 | 採炭機を用いてセメントによるシールをおこなった。 セメントスラリーはセメントとフライアッシュの液体化したものを用い、目詰りを避けるため、過度の配合水を用いた。 | これらの孔はスラリーで満たされ、炭層の割目の中に多量の水がしぼり出された。グラウトをおこなった後のドレーンホールからの湧水は、1.9 g/min以下であり、穴のシールは満足出来るものであった。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 <u>注入材料</u> 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 60 | James C. BLACK C. Alan POLLARD Graham P. DAW | Hydrogeological Assessment and Grouting at Selby | イギリスのヨークシャーにある新セルビー炭鉱の深い立坑の2ヶ所で地下水のコントロールのためにおこなった注入についての報告。 | 石炭を含有した地層に数ヶ所の固い滞水層があり、地下水処理のための色々な地盤改良工法が採用され、立坑や斜坑が築造された。 | 注入された地盤の多くは効果を發揮している。 立坑内の正確な圧力回復テストをおこない、注入手段や注入材料を選択し、注入することによって、注入しないものとは、明らかに異なることが認められた。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 <u>施工法</u> | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| | | | | | | 不安定 地盤への割裂注入 | |
| | | | | | | 炭坑におけるメタンガス抜孔の注入 | |
| | | | | | | 注入による地下水処理 | |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|--|---|--|---|--|-------|----------|---------|----------|----------|--------|------|------|-----------|----------|-------|-----|--------|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 61 | Richard A. MILLET Richard ENGELHARDT | Matrix Evaluation of Structural Grouting of Rock | <p>岩盤グラウチングで、不必要な孔をあけたりしないで施工を完了するために、その岩盤のマトリクスをどうとらせ、それをグラウト作業の中でどう反映していくかというケースにおいて一つの試みをおこなったもの</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 調査ボーリング等の他の観察からグラウトを検討する各所のモデルを作る。 2. 順序を決めて計画的にグラウトをおこなう。 3. データを集計して検討し、不十分な箇所があれば、追加グラウトをおこなう。 | <p>このようにすれば、不必要な注入孔を設けることなく合理的な施工ができる。</p> <p>このような事は、実際にはありおこなわれないが、常に必要なことであると述べている。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> <tr><td>(施工管理)</td><td></td></tr> </table> <p>岩盤グラウトの施工管理</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | (施工管理) | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (施工管理) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 62 | Michael G. JEFFERIES Denys W. READES | Electronic Monitoring of Grouting | <p>最新の電子技術をダム基礎グラウトに適用したシステムについて説明している。</p> | <p>このシステムは操作盤と記録計, 圧力制御装置, 流量計などからなる。</p> <p>このシステムでは各種のデータを知らることができ、そのうちルジオテストの結果を紹介している。</p> | <p>このシステムによって次のような節約が可能となった。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 監視する人員の節約 2. テストの時間の節約 3. グラウト時間の節約 4. 注入完了や注入不要などを知らることができ。 5. 全体的コストの節約 <p>これによって合理的な管理をおこなうことができる。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>施工方法</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> <tr><td>(施工管理)</td><td></td></tr> </table> <p>エレクトロニクスを用いたグラウト管理</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | 施工方法 | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | (施工管理) | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | 施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (施工管理) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No 63 | Reinhard E. MUELLER | Multiple Hole Grouting Method | <p>1台のポンプを用いて同時に多数の孔のグラウトをおこなった例の説明</p> | <p>1つのミキサーから多数の孔へ同時に注入され、それぞれに管理装置がついており、それによって所定の注入を個別におこなうことができる。</p> | <p>ストックホルムの地下鉄トンネルでの応用例が示されている。</p> | <table border="1"> <tr><td>総合的解説</td><td>注入対象岩盤調査</td></tr> <tr><td>事前原位置調査</td><td>事前岩石コア物性</td></tr> <tr><td>注入計画, 設計</td><td>(施工方法)</td></tr> <tr><td>注入材料</td><td>注入装置</td></tr> <tr><td>注入効果原位置試験</td><td>注入効果コア試験</td></tr> <tr><td>長期耐久性</td><td>耐熱性</td></tr> </table> <p>多孔式注入方式</p> | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | 注入計画, 設計 | (施工方法) | 注入材料 | 注入装置 | 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | 長期耐久性 | 耐熱性 | | |
| 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 事前原位置調査 | 事前岩石コア物性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入計画, 設計 | (施工方法) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入材料 | 注入装置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 注入効果原位置試験 | 注入効果コア試験 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 長期耐久性 | 耐熱性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|------|-----------------------------------|--|--|---|---|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| № 64 | Gerard BALLIVY Pierre NIEMANTS | New Laboratory Techniques to Test the Efficiency of Grouted Cut-Offs in Fractured Rock | コアサンプリングされた岩盤の中でクラックが入っているものなどに對して、モールドを作つてグラウトして、その試料をつぶすことによつて岩盤へのグラウト効果を予測しようとするもの。 | グラウト装置を利用して、破砕している岩盤のコアをグラウトケーシングで整形して、セメントグラウトをおこなう。 出来上がったもので三軸圧縮試験をおこなう。 | 試験結果の例がグラフに示されている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 65 | John COLIN | Cement Grouts in Offshore Steel Structures | 北海油田における石油プラットフォームの鋼製ジャケット・パイル構造物に用いられた、セメント注入の研究、改良結果に関する紹介 | 注入材料はポルトランドセメントに減水剤を使用。早期強度が要求される場合は高アルミナセメントを用いる。 ミキサーは自動ジェットミキサーを使用。注入ポンプはピストン型又はフラジジャー型ポンプを使用 | 注入材強度と注入充填状況はRIを利用した施工管理方法を採用し、その結果の例を図示している。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| № 66 | James M. POLATTY | Drainage Below a Concrete Pavement | ルイジアナ州のハイウェイにおける舗装破損部の修復を目的とする発泡セメント注入の施工例が紹介されている。 | 注入材 ポルトランドセメント、水、空気、塩化カルシウム 注入材の透水係数は排水管(ポラスパイプ)のフィルター砂の値と近似している。 | 注入材強度を統計的手法で解析するとサンプル値は正規分布曲線に概ね従っているが、強度のバラツキはコンクリート管理における標準値より大きいことが示されている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

グラウチングの室内試験

セメント注入

透水性グラウト

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|--------|--|--|---|---|---|--|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| No. 67 | Robin R.W. HARRIS | Pre-Stress Grouting of High Pressure Waterways | 南アフリカ共和国 Drakensberg 揚水発電所の圧力管路でのプレストレス注入の施工例を紹介したもの。 | 坑内プラントの注入機械 注入ポンプ 4台 アジテータータンク 4台 圧力と流量の制御台 プレストレス注入は最初水の注入により、分離面の開口を容易にし、段階的に水セメント比を濃くする。 | マンシエツトリングの開口時には注入圧力は 163 kg/cm^2 に達するが、注入中の圧力は約 51 kg/cm^2 を示し、理論的予測値と概ね一致した。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No. 68 | Clyde N. BAKER, Jr. Francisco A. ECHEVARRIA John P. GNAEDINGER | Use of Grouting in Caisson Construction | シカゴとデトロイトの超高層ビルでは、岩盤あるいは土丹を支持地盤とするケーソン基礎を採用することが多い。本論文はケーソン工事において、注入工事を施工した例が報告されている。 | 注入材はセメント系、水ガラス系、アクリルアミド系が使用され、ケーシングとパッカーを用いる注入方式が一般的である。 4つの現場の施工例が記載されている。 | 結論 1. 注入の設計施工に際しては、地盤と地下水の多様性に十分留意すること。 2. 施工条件に最適な注入材料と注入方法を選定するには試験注入が必要である。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> <u>注入装置</u> 注入効果コア試験 耐熱性 <u>注入予備試験</u> |
| No. 69 | G. Dan JOHNSON | Thorough Grouting Can Reduce Lining Costs in Tunnels | 圧力管路トンネルにおけるライニング設計上の留意点、コンタクトグラウトとコンソリデーショングラウトの注入設備、注入材料、注入圧力、注入方法について述べている。 | 注入管の配置を図示。 注入材 コンタクトグラウトの配合例がいくつか紹介されている。 コンソリデーショングラウトでは薄い濃度の配合で注入を開始する。 注入圧力 コンタクトグラウトの最大許容圧力は $2.1 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ 、コンソリデーショングラウトでも極力低圧で注入。 | 注入技術者は設計者に対し、十分な注入効果を岩盤に与え、かつ実証する義務がある。また設計者は岩盤に水圧を負担させることにより、ライニングコストを極力低減すべきであるとしている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> <u>注入装置</u> 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 著者名 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|---|---|---|---|--|--|--|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | 総合的解説 | 注入対象岩盤調査 |
| No 70 | Bruce A. LAMBERTON | Swedish Valve Tube Grouting | スウェーデンの「スカンスカセメント」社で開発した「アルビック」J"穿孔注入方式"を利用して、フロリダ州の原子力施設下の軟弱土砂の地盤安定処理に成功したことの紹介。 | 「バルブチューブ」を使った「アルビック」J"穿孔注入方式"の構造を図示。 グラウトは珪酸ソーダと共にホルムアミドや塩化カルシウム反応物を利用する「サイロック工法」を用いた。 | 原子力施設下の軟弱土砂の地盤安定処理に利用して成功した。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 71 | Alan N. STILLEY | Compaction Grouting for Foundation Stabilization | 石造ポンプハウスの基礎が不等沈下のおこるような地盤上に建設されているため地盤安定のためにグラウトが実施された例の紹介 | フーティングの下方に直接砂岩下約5~10mの深度まで拡散注入を実施して、建物の持上げや安定を計った。 注入には低スランプの砂セメントを使用。 | 注入の結果、建物の基礎揚程は、最大約8cmとなり、基盤沈下はなくなった。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 72 | Thomas L. NEFF John W. SAGER James B. GRIFFITHS | Consolidation Grouting at an Existing Navigation Lock | コロンビア川に既存するダム水門の変位に対し、セメントグラウトによる地盤改良で変位を防止した例の説明。 | 注入材料 セメント w/c = 5/1 注入圧 5~85 kg/cm ² 注入順序 構造物の外側から内側へ | 注入後、現在まで、変位は非常に少なく、セメントグラウトにより、地盤改良したことが、成功であったと考えている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 <u>施工方法</u> 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

| 分類 | 事項 | 論文題目, 雑誌名, 巻, 号, 発行年月 | 論文要旨 | | | 地層処分への利用の可能性, 分野など | |
|-------|--|---|---|--|---|--|---|
| | | | 目的, 論文内容の項目 | 方法, 装置, 材料 | 結果, 考察, 利用分野 問題点 | | |
| No 73 | R.D. HINKLE, Jr. B.C. YEN | Grouting Halts Chemically Induced Settlement | ニューメキシコ州北西部の発電所は、泥岩中の粘土の劣化による地盤沈下のため、被害を受けた。そのためライムセメント注入による地盤安定処理を行ったことについて報告している。 | ライムセメントの注入。モンテロロナイト粘土構造の混合層に於いて、カルシウムとマグネシウムが置換する。 | 注入前の地盤沈下率は年間で7-2cmであったが、注入後3年の時点で見れば以上の沈下は全く見られなくなった。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 74 | C.A. ORTIZ J.C. AGRELOT J.M. CARDONA | Grouting Caverns and Soft Zones by Concrete Pumps | 石灰岩又は石灰岩系空洞に於ける経済的な加圧注入法について述べたもの。 | φ6"の試錐とコンクリートポンプを使用して、空洞又は極めて軟弱な石灰岩系の岩盤にポルトランドセメントを急速注入した。 | 日本ではこの様な充填グラウトはモルタルポンプ等で施工されている。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |
| No 75 | Adam Clive HOULSBY | A Digest of Typical Cement Grouting Takes | ある程度典型的な地盤状況にある数種のダム工事現場で実施した広範囲の注入作業に於ける水並みにセメントについて述べたもの。 | 各固有の現場との比較に都合のよいように要約的な形式で述べている。 | データを比較する場合、各現場の持つ特異性に十分注意が払われねばならない。 | 総合的解説 事前原位置調査 注入計画, 設計 注入材料 注入効果原位置試験 長期耐久性 | 注入対象岩盤調査 事前岩石コア物性 施工方法 注入装置 注入効果コア試験 耐熱性 |

IV. グラウト材料特性試験

工学バリアとして利用するグラウト技術は岩盤の割れ目の補強を主目的とする。
そのために必要なグラウト材料の条件は下記の事項である。

- a) 分散が良く、ブリージングが少なく流動性が良い。
- b) 所要の強度があり、収縮を起さない。
- c) 長期耐久性がある。
- d) 難透水性である。
- e) 熱特性が岩盤に近い。

前年度の材料試験では、上記のグラウト材料の必要条件を考慮すると、スーパーファイン(SF)セメントに減水剤(マイティ150R)を主材比1%添加した材料が最も良い結果を得ることができた。しかし現位置の割れ目への注入に利用するには条件を完全に満足する段階に到っていない。そこで、本年度の研究では、さらにグラウタビリティを良くできる材料を選定するための材料特性試験を実施した。

基本的な組合せとして、長期安定性が最も期待できるセメント系材料(普通ポルトランドセメント、コロイドセメント、SFセメント)と混和剤(シリカフラワー、フライアッシュ、木節粘土、ベントナイト)を各々一種ずつ混合した材料を用いた。

これらの材料についての流動性試験、沈降試験結果から第1次判断規準を満足する組合せ材料について減水剤(マイティ150R、ポゾリスNL4000)を添加し、同様の試験を実施した。その結果から、第2次判断規準を満足する材料について圧縮強度試験を実施した。その試験フローを図-IV.1に示す。

1. 試験材料

注入材料としては主材、混和材及び減水剤として下記の材料を選んだ。

- セメント …… 普通ポルトランドセメント、コロイドセメント、
超微粒子セメント
- 混和剤 …… シリカフラワー、フライアッシュ、木節粘土、ベントナイト
- 減水剤 …… マイティ150R、ポゾリスNL4000

(1) セメント

普通ポルトランドセメントは表-IV.1の試験成績表に示す日本セメントのアサノセメントを使用した。コロイドセメントは日鉄セメントのコロイドセメントを使用した。

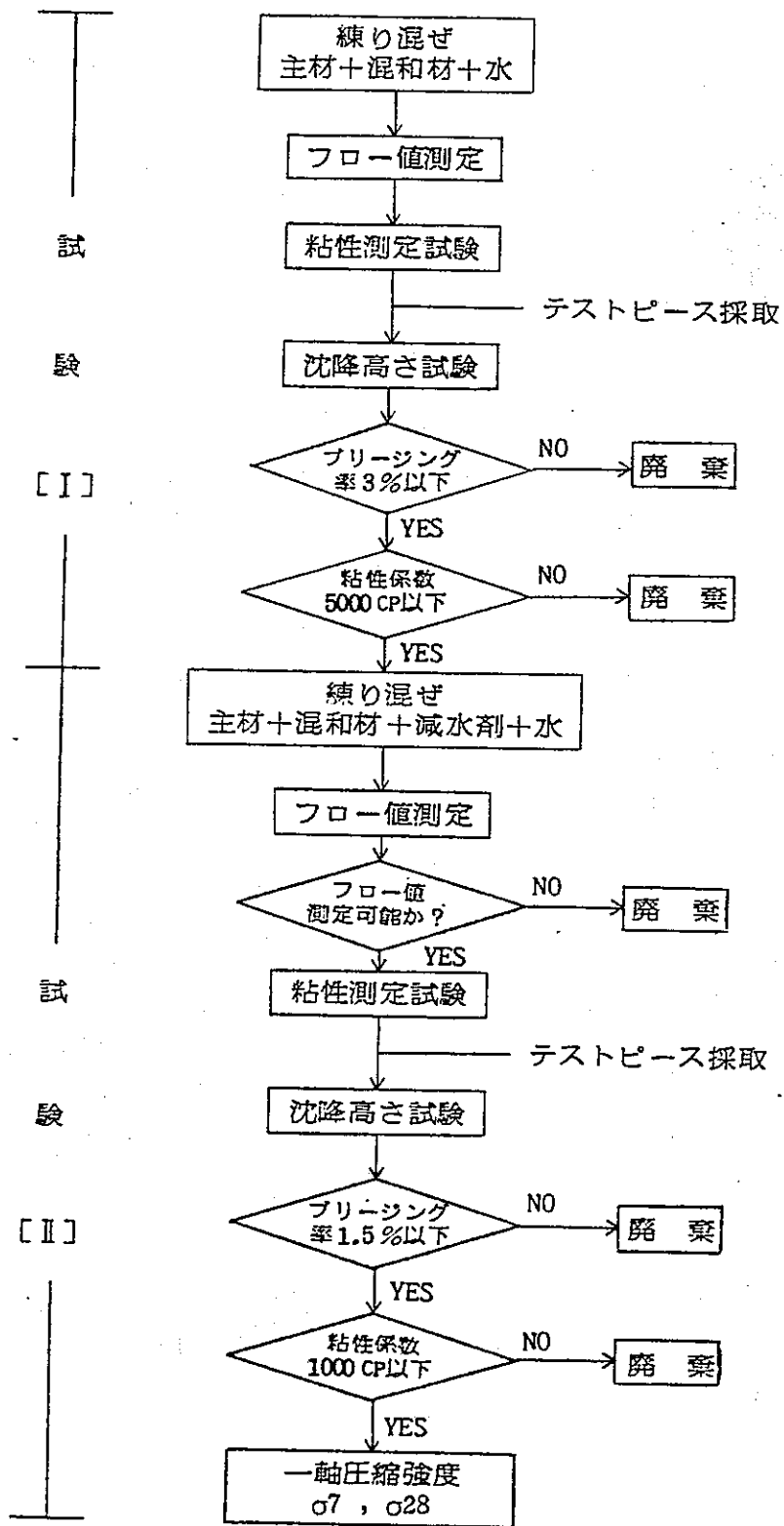


図-N. 1 グラウト材料特性試験フロー図

表-N. 1 普通ポルトランドセメント試験成績表



アサノセメント試験成績表

昭和 58 年 3 月 1 日

日本セメン



| 種類 | 比重 | 比表面積 (ブレン方法) (cm ² /g) | 凝 結 | | | | | 安定性 (煮沸方法) | 酸化マグ ネシウム % | 三酸化 硫 黄 % | 強熱減量 % | けい酸 三カルシウム % | アルミン酸 三カルシウム % | |
|-------------------------|--------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------------------|------|
| | | | 室温 (℃) | 湿度 (%) | 水量 (%) | 始 発 (h-min) | 終 結 (h-min) | | | | | | | |
| 普通 | 3.16 | 3110 | 20.0 | 94 | 27.8 | 2-31 | 3-46 | 良 | 1.3 | 2.0 | 0.6 | — | — | |
| ベロ | 3.14 | 4380 | 20.0 | 94 | 29.6 | 2-18 | 3-25 | 良 | 1.3 | 2.8 | 0.7 | — | — | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| JIS R 5210 (1979) | 普通 | — | 2500以上 | 20±3 | 80以上 | — | 60min以上 | 10h以下 | 良 | 5.0以下 | 3.0以下 | 3.0以下 | — | — |
| | 早強 | — | 3300以上 | 20±3 | 80以上 | — | 45min以上 | 10h以下 | 良 | 5.0以下 | 3.5以下 | 3.0以下 | — | — |
| | 超早強 | — | 4000以上 | 20±3 | 80以上 | — | 45min以上 | 10h以下 | 良 | 5.0以下 | 4.5以下 | 3.0以下 | — | — |
| | 中庸熱 | — | 2500以上 | 20±3 | 80以上 | — | 60min以上 | 10h以下 | 良 | 5.0以下 | 3.0以下 | 3.0以下 | 50以下 | 8以下 |
| 種類 | フロー値 (mm) | 曲げ強さ (kgf/cm ²) | | | | 圧縮強さ (kgf/cm ²) | | | | 水和熱 (cal/g) | | 養生温度 (℃) | | |
| | | 1 d | 3 d | 7 d | 28 d | 1 d | 3 d | 7 d | 28 d | 7 d | 28 d | 室温 | 水温 | |
| 普通 | 259 | — | 34 | 48 | 69 | — | 139 | 237 | 418 | — | — | 20.2 | 20.0 | |
| ベロ | 251 | 34 | 52 | 64 | 77 | 140 | 257 | 360 | 465 | — | — | 20.2 | 20.0 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| JIS R 5210 (1979) | 普通 | — | — | — | — | — | 70以上 | 150以上 | 300以上 | — | — | 20±3 | 20±2 | |
| | 早強 | — | — | — | — | — | 65以上 | 130以上 | 230以上 | 330以上 | — | — | 20±3 | 20±2 |
| | 超早強 | — | — | — | — | — | 130以上 | 200以上 | 280以上 | 350以上 | — | — | 20±3 | 20±2 |
| | 中庸熱 | — | — | — | — | — | — | 50以上 | 100以上 | 230以上 | 70以下 | 83以下 | 20±3 | 20±2 |
| 備考 | | | | | | | | | | | | | | |

表-N. 2 日鉄コロイドセメント成績表

昭和58年2月

日鉄セメント株式会社

| 項 目 | | 試 験 成 績 | |
|----------------------------------|----------------------|-----------|--------------|
| 高炉スラグの分量 (重量%) | | 55 | |
| 比 重 | | 3.02 | |
| 粉 末 度 | 比 表 面 積 (cm^2/g) | 6160 | |
| | 残 分 (%) | $40\mu m$ | 0.5 |
| | | $15\mu m$ | 24.4 |
| 凝 結 | 水 量 (%) | 31.3 | |
| | 始 発 (時一分) | 2-35 | |
| | 終 結 (時一分) | 3-35 | |
| 強 さ (Kgf/cm^2) [Mpa] | 曲 げ | 3日 | 32 [3.1] |
| | | 7日 | 45 [4.4] |
| | | 28日 | 73 [7.2] |
| | 圧 縮 | 3日 | 135 [13.2] |
| | | 7日 | 233 [22.8] |
| | | 28日 | 426 [41.8] |
| 化 学 成 分 (%) | 強 熱 減 量 | 0.6 | |
| | 不 容 残 分 | 0.1 | |
| | 二 酸 化 け い 素 | 28.5 | |
| | 酸 化 アル ミ ニ ウ ム | 10.5 | |
| | 酸 化 第 二 鉄 | 1.6 | |
| | 酸 化 カ ル シ ウ ム | 52.1 | |
| | 酸 化 マ グ ネ シ ウ ム | 4.4 | |
| | 三 酸 化 硫 黄 | 1.6 | |

注 [] を付けた数値及び単位は、国際単位系 (SI) によるものを示す。

K 5210
(1979)

表-N. 3 日鉄スーパーファイン試験成績表
[水硬性超微粒子注入材]

日鉄セメント株式会社

| 項 目 | | 試 験 成 績 | |
|--|------------------------------|---------|--------------|
| 比 重 | | 3.00 | |
| 粉 末 度 | 比 重 面 積 (cm ² /g) | 9.120 | |
| | ふるい残分 (%) | 20 μ | 0.0 |
| | | 15 μ | 0.0 |
| | | 10 μ | 1.6 |
| 凝 結 | 水 量 (%) | 43.0 | |
| | 始 発 (h-min) | 1-50 | |
| | 終 結 (h-min) | 2-55 | |
| 安 定 性 | | 良 | |
| 強 さ (Kgf/cm ²) (MPa) | 曲 げ | 3日 | 34 { 3.3 } |
| | | 7日 | 45 { 4.4 } |
| | | 28日 | 76 { 7.5 } |
| | 圧 縮 | 3日 | 184 { 18.0 } |
| | | 7日 | 302 { 29.6 } |
| | | 28日 | 521 { 51.1 } |
| 化学成分 (%) | 強 熱 減 量 | 0.8 | |
| | 不 溶 残 分 | 0.0 | |
| | 二 酸 化 け い 素 | 27.3 | |
| | 酸 化 ア ル ミ ニ ウ ム | 10.6 | |
| | 酸 化 第 二 鉄 | 1.6 | |
| | 酸 化 カ ル シ ウ ム | 52.6 | |
| | 酸 化 マ グ ネ シ ウ ム | 4.3 | |
| 三 酸 化 硫 黄 | 2.1 | | |

注1. 試験方法 JIS R-5201, 5202 準拠

2. { }内の数値はSI単位

表-N. 4 各種セメントの比較

| 種別 | 比重 | 比表面積 (cm^2/g) | 28日曲げ 強さ (Kg/cm) | 28日圧縮 強さ (Kg/cm^2) | 化学成分 (%) | | | | | | |
|------------------------|------|------------------------------------|--|--|----------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | | igloss | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | SO_3 |
| 普通 ポルトランド セメント | 3.16 | 3380 | 70 | 408 | 0.5 | 21.8 | 5.4 | 3.0 | 64.6 | 1.4 | 2.1 |
| コロイド セメント | 3.02 | 6560 | 72 | 433 | 1.1 | 20.8 | 5.5 | 3.0 | 63.8 | 1.3 | 2.8 |
| 日鉄スーパ ーファイン セメント | 3.00 | 9120 | 76 | 521 | 0.8 | 27.3 | 10.6 | 1.6 | 52.6 | 4.3 | 2.1 |

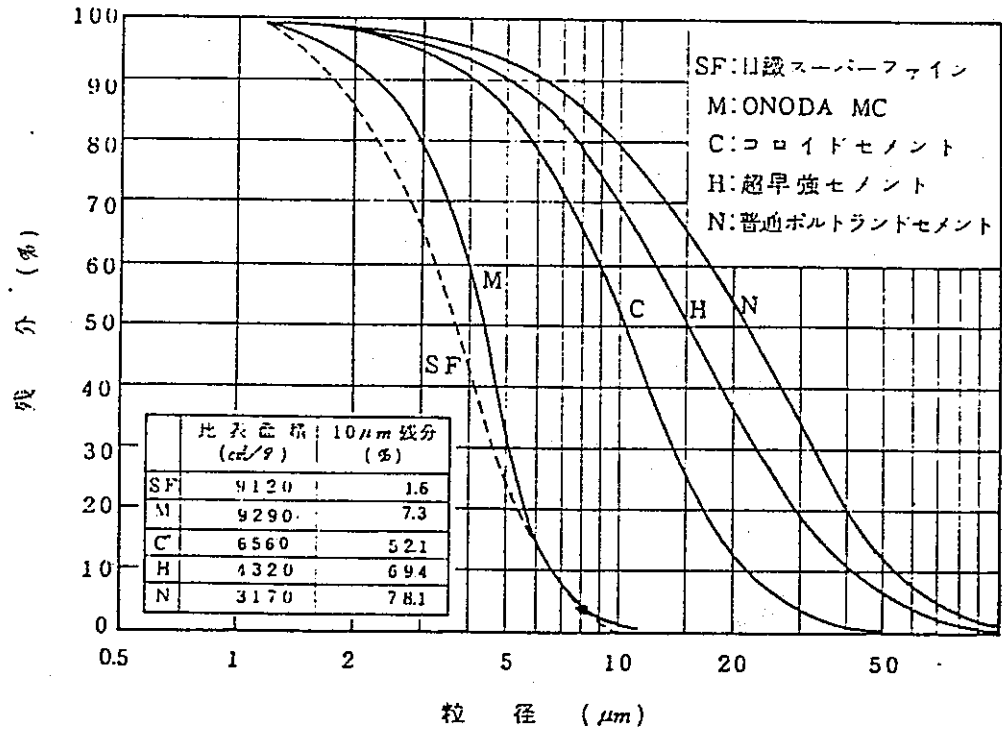
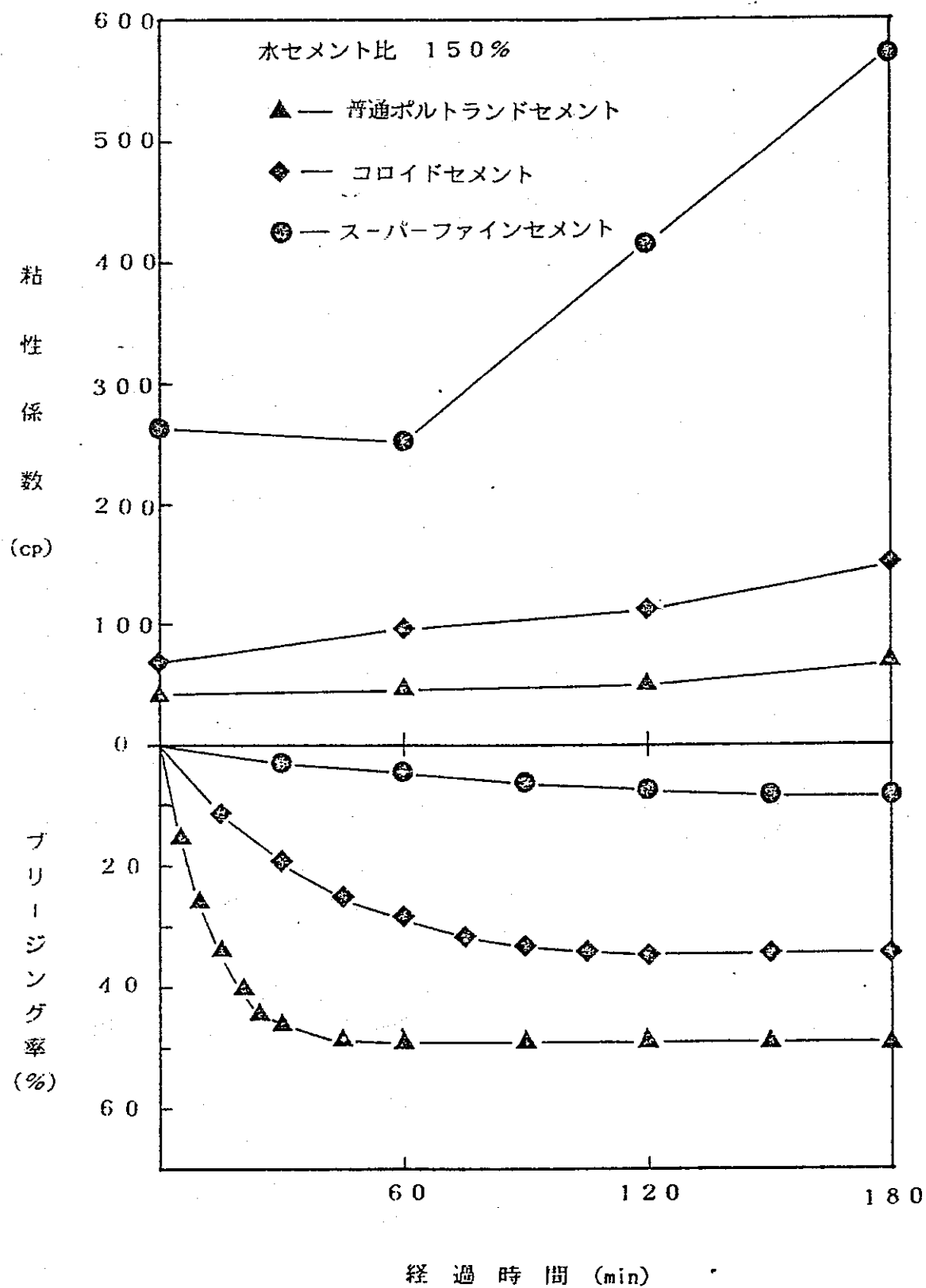


図-N. 2 各種セメントの粒径分布曲線



比表面積 (m²/g)
28.32

図-IV. 3 各種セメントの粘性係数及びブリーディング率の経時変化

その試験成績表を表-IV.2に示す。超微粒子セメントは日鉄セメントのスーパーファインセメント(SFセメント)を使用した。SFセメントは注入材料として開発された水硬性超微粒子セメントでその試験成績表を表-IV.3に示す。表-IV.4には各種セメントの比較を示す。この表から明らかなようにセメントの種類間に化学成分の相違は見られない。更に図-IV.2に粒径分布曲線の比較を示す。これらのセメントに対し、混和材及び減水剤を添加する前の試験として沈降試験及び粘性試験を実施した。その結果を図-IV.3に示す。

(2) 混和剤

a) シリカフラワー

シリカフラワーはフェロシリコン製造の際、電気炉で熔融したケイ石がヒューム(煙霧)状に発生したものをバグフィルターで捕集した SiO_2 を主体とした微粉である。表-IV.5に化学分析結果を示す。

表-IV.5 シリカフラワーの化学分析結果

| 試料名 | 真比重 | 嵩比重 | P. H | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|-----|------|--------------|------|-------------|----------------|-------------------------|------|------|-------------------------|------|
| | | | | ig. Loss | SiO_2 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | Al_2O_3 | F. C |
| 32 | 2.33 | 0.15 -0.2 | 7-8 | 0.72 | 92.41 | 3.85 | 0.35 | 0.63 | 1.47 | 0.37 |

平均粒径は0.2~0.5 ミクロンと小さく、嵩比重0.15~0.2 g/cm^3 と非常に軽いものである。

b) フライアッシュ

フライアッシュは、天然の火山灰にかわる人工のポゾラン材で、欧米ではすでに戦前より、火力発電所の微粉炭灰が天然ポゾランよりすぐれていることが発見され、フライアッシュとよんで、セメント混和剤に利用されてきた。

規格では「フライアッシュとは、微粉炭燃焼ボイラの煙導ガスから集じん器で採取するアッシュをいう」と定義されている。

微粉炭燃焼ボイラで石炭が燃焼する際には、高温燃焼ガスのため融点の低い灰分は溶けて液体になる。燃焼ガスが排気煙導付近に達するとガスの温度が下がるので、液体の灰分は、その表面張力によって球形のガラス状の粒子に凝固する。微小の粒子は排出ガス中を浮遊して逸出するが、これをサイクロンやコットレル電気集じん器で捕集したものがフライアッシュである。したがって、フライアッシュは球状をしたガラ

ス状の微小粒子の石炭灰のことである。

フライアッシュの品質を表-IV.6に示す。

表-IV.6 フライアッシュの品質

| 粉 末 度 比表面積ブレン方法 (cm ² /g) | 比重 | 化 学 成 分 (%) | | |
|---|------|------------------|-----|----------|
| | | SiO ₂ | 湿分 | ig. Loss |
| 2930 | 2.16 | 56.5 | 0.1 | 0.2 |

c) 粘 土

一般に粘土とは粒径の小さな微細な粒子の集合体であり、粘着性を有し、主として珪素、アルミニウム、鉄、マグネシウム、アルカリ金属、アルカリ土金属、水分より成る化学成分を有している天然物であると定義してある。表-IV.7に粘土の種類と鉱床との関係を示す。我国で産する粘土質原料で資源的に重要なものは鉱業統計上次のように分類されている。

○カオリン鉱物を主成分とするもの

耐火粘土、カオリン質ロウ石、カオリン（陶磁器、耐火物、るつぼタイル、製紙用粉剤）

○パイロフィライトを主成分とするもの

ロウ石（耐火物、製紙用粉剤）

○雲母鉱物を主成分とするもの

陶石、セリサイト質粘土（陶磁器、製紙用粉剤）

○モンモリロナイト鉱物を主成分とするもの

酸性白土、ベントナイト

これらの中で実験に用いたのはカオリン鉱物を主成分とする木節粘土とモンモリロナイト鉱物を主成分とするベントナイトである。

木節粘土は岐阜県産のもの、その化学分析結果を表-IV.8に示す。更に粒度分布を図-IV.4に示すが、10 μ 以下の粒径が72%である。

ベントナイトは白色ないし帯微灰色でモンモリロナイトを主成分としており、水を含めば5~10倍の体積に膨張する膨潤性、水に分散されてコロイド状の懸濁液となる懸濁性、著しい粘性、容易にゾル \rightarrow ゲルに転化するチクソトロピー性、強力な塩基置換性等、

普通の粘土には見られない特異な性質である。主要な産地として知られているのは山形県中部，新潟県北部，長野県北部，群馬県南西部である。

本実験では群馬県産の豊順洋行のベントナイト（穂高印300メッシュ）を使用した。表-IV.9に化学分析結果を示す。更に粒度分布を図-IV.4に示すが 10μ 以下の粒径が92%である。

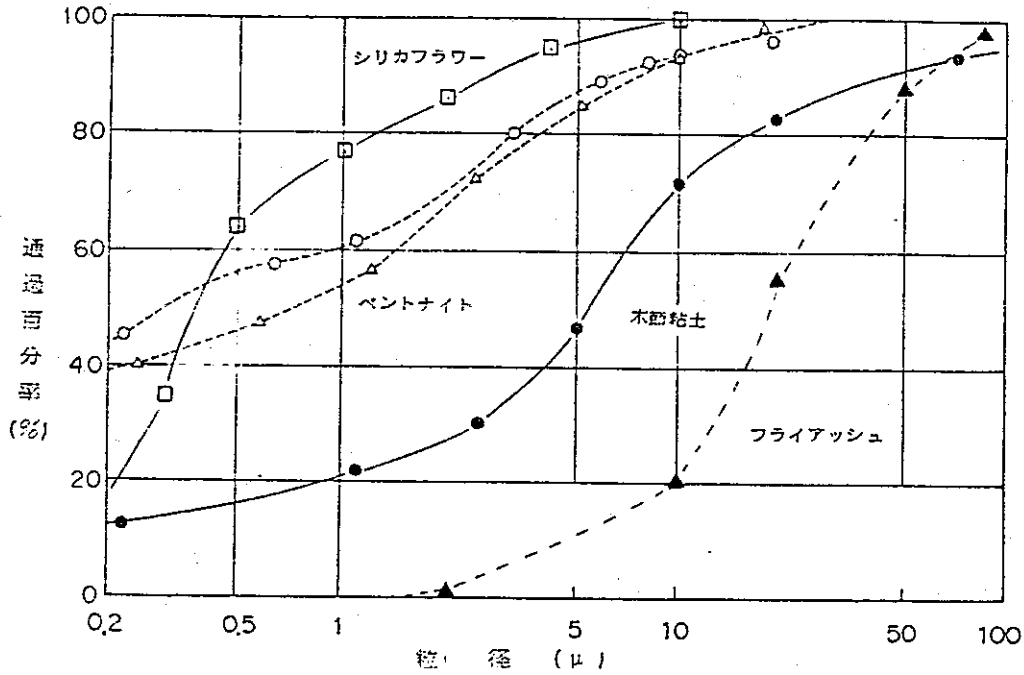


図-IV.4 粘土の粒径分布曲線

表-IV.9 ベントナイトの化学分析結果

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | lg. Loss | 比重 |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-------------------|------------------|----------|------|
| 63.2 | 13.8 | 2.7 | 2.1 | 3.1 | 2.3 | 1.1 | 7.5 | 2.54 |

図-IV.5に粘土の膨潤度曲線を示す。ベントナイトが6倍以上の膨潤度を有するのに対して、木節粘土はほとんど膨潤しない。この点が最も異なる性質である。

(3) 高性能減水剤

高性能減水剤は，従来の減水剤と比べ，著しい減水性，低起泡性及び低凝結遅延性を特徴としており，セメントの水和に必要とする理論水量に相当するような低い水セメント比でもワーカブルなコンクリートをつくることことができる。また，いったん練り混ぜた

山形
した。
粒径

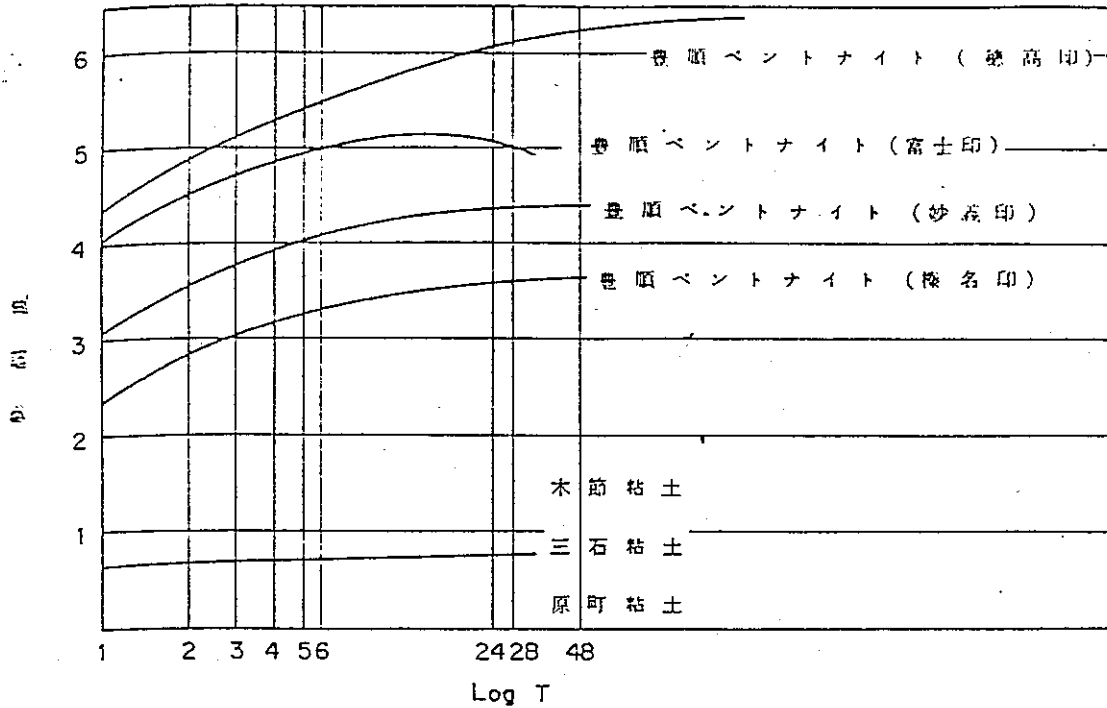


図-IV. 5 粘土の膨潤度曲線

コンクリートに後から添加することにより、コンクリートの諸性質を害することなく著しい流動性を付与することも可能である。

高性能減水剤 (Superplasticizer, High-range Water-reducing admixture) はナフタリンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩の系統に属するものと、メラミンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩の系統に属するものの、いずれかを主成分としている。高性能減水剤は次の4つのカテゴリーに分類できる。

- メラミンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩系
- ナフタリンスルホン酸ホルムアルデヒド高縮合物塩系
- 改良リグニンスルホン酸塩系
- その他

現在、我国で市販されている減水剤を表-IV.10に示す。この中で実験に使用したのはナフタリンスルホン酸塩系のマイティ150R(花王石鹼)とリグニンスルホン酸塩系のボゾリスNL4000(ボゾリス物産)である。減水剤の物性の比較を表-IV.11に示す。

表-IV. 11 各種減水剤の物性の比較

| 減水剤の種類 | 形態 | 色調 | 主成分 | 毒性 | 比重 | PH |
|------------|----|-----|------------------|----|-------------|------|
| マイティ150R | 液状 | 淡褐色 | 高縮合トリアジン系化合物 | 無 | 1.13±0.01 | 7~9 |
| ボゾリスNL4000 | 液状 | 黒褐色 | ポリアルキルアリルスルホン酸Na | 無 | 1.235±0.015 | 8~10 |

表一Ⅳ. 10 市販コンクリート減水剤一覧表

| 品名 | 性状 | 主成分 | 用途 | 使用量 (C×%) | 社名・電話 | 備考 |
|---------------|----|---------------------------------|----------------|-------------------------------------|---|---|
| マイテイ 150 | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 高強度 | 0.8~2.4 | 花王石鹼(株) 03-665-6319 | |
| マイテイ 150R | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 高強度 | 0.6~2.0 | | |
| マイテイ HS | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 高強度 | 1.0~4.0 | | |
| マイテイ 150RA | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 高強度 | 0.6~2.0 | | |
| マイテイ 100 | 粉末 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 高強度 | 0.4~1.2 | | |
| サンフロー PS | 液体 | ナフタリンスルホン酸とリグニンスルホン酸の共縮合物 | 高強度 | 0.6~2.0 | 山陽電業パルプ(株) 03-211-3411 | |
| サンフロー PSR | 液体 | ナフタリンスルホン酸と変性リグニンの縮合物に特殊リグニンを配合 | 高強度 | 0.7~2.4 | サンフロー(株) 03-464-2911 | |
| ホームファイン 510N | 液体 | アルキルアリルスルホネートポリマー | 高強度 | 1.0 | 竹本油剤(株) 0533-68-2111 | |
| NL-4000 | 液体 | 高縮合トリアジン系化合物 | 高強度 | 1,500~4,000cc (セメント 100kg当たり) | 日曹マスタービルダーズ(株) 03-582-8811 ボゾリス物産(株) 03-582-8811 | |
| NL-1450 | 液体 | 高縮合芳香族スルホン酸塩 | 高強度 | 700~1,500cc (セメント 100kg当たり) | | |
| NL-1440 | 液体 | 高縮合芳香族スルホン酸塩 | 高強度 | 700~2,000cc (セメント 100kg当たり) | | |
| シーカメント-S | 液体 | 変性オリゴアルキルアリルスルホン酸塩 | 高強度 | 0.8~3 | 日本シーカ(株) 03-436-6031 | |
| リグラック G | 液体 | アルキルアリルスルホネート | 高強度 | 0.4~ | 福井化学工業(株) 07767-3-3335 | |
| バリック K | 液体 | ナフタリンスルホン酸塩系縮合物 | 高強度 | 0.5~2.5 | 藤沢薬品工業(株) 06-222-6081 | |
| ダーレックス スーパー20 | 液体 | アルキルナフタリン-ナフタリンスルホン酸ホルマリン共縮合物塩 | 高強度 | 0.6~2.5 | W.R.グレース(株) 03-436-4241 新東産業(株) 03-585-6411 | |
| デンカ FT-500 | 液体 | アルキルアリルスルホン酸 | 高強度 | 1~2 | 電気化学工業(株) 03-507-5371 | |
| マイテイ FD | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 流動化 | 0.2~1.5 | 花王石鹼(株) 03-665-6319 | |
| マイテイ FDR | 液体 | ナフタリンスルホン酸ホルマリン高縮合物 | 流動化 | 0.2~1.0 | | |
| サンフロー FB | 液体 | ナフタリンスルホン酸とリグニンスルホン酸の共縮合物 | 流動化 | 0.2~1.0 | 山陽電業パルプ(株) 03-211-3411 | |
| サンフロー FBF | 液体 | ナフタリンスルホン酸と変性リグニンの縮合物に特殊リグニンを配合 | 流動化 | 1.0~3.0 | サンフロー(株) 03-464-2911 | |
| ハイフルード | 液体 | アルキルアリルスルホン酸塩高縮合物 | 流動化 | 0.5 | 竹本油剤(株) 0533-68-2111 | |
| ハイフルード R | 液体 | アルキルアリルスルホン酸塩高縮合物 | 流動化 | 0.5 | | |
| NP-10 | 液体 | ナフタリンスルホン酸塩系縮合物 | 流動化 | 200~1,000cc (セメント 100kg当たり) | 日曹マスタービルダーズ(株) 03-582-8811 ボゾリス物産(株) 03-582-8811 | |
| NP-20 | 液体 | メラミンスルホン酸塩系縮合物 | 流動化 | 400~1,600cc (セメント 100kg当たり) | | |
| NP-20R | 液体 | メラミンスルホン酸塩ポリオール複合体 | 流動化 | 400~1,600cc (セメント 100kg当たり) | | |
| シーカメント | 液体 | 変性オリゴアルキルアリルスルホン酸塩 | 流動化 | 0.4~ | 日本シーカ(株) 03-436-6031 | |
| リグラック F | 液体 | アルキルアリルスルホネート | 流動化 | 0.2~ | 福井化学工業(株) 07767-3-3335 | |
| バリック FL | 液体 | ナフタリンスルホン酸塩系縮合物 | 流動化 | 0.2~1.0 | 藤沢薬品工業(株) 06-222-6081 | |
| ノルメント F-10 | 粉末 | スルホン化メラミン縮合物 | 流動化 | 0.5~1.2 | 昭和電工(株)建材部 03-432-8939 | プレミックスモルタル、SL材、プラスチック等か既製材料に添加して流動性を与える |
| デンカ FT-80 | 液体 | アルキルアリルスルホン酸 | 流動化 | 0.4~1.2 | 電気化学工業(株) 03-507-5371 | |
| セルフロー DF | 液体 | ジニナリナフタリンのホルマリン縮合物 | 流動化コンクリート用流動化剤 | 0.1~0.2 | 第一工業製薬(株) 075-343-1181 | |

通常セメントペーストはビンガム流動として近似できる。従ってそのレオロジー特性は降伏値 τ_0 と塑性粘度 η_{PL} とで示すことができる。高性能減水剤の効果も τ_0 と η_{PL} に及ぼす効果という観点から見る事ができる。

高性能減水剤の高度な分散作用のため、セメントペーストの見掛け粘度は、使用量とともに大幅に低下し、ある添加量以上ではほぼ一定になる。

この高性能減水剤の効果は塑性粘度よりも降伏値に顕著に現われると言われている。この降伏値の低下は、高性能減水剤の吸着によるジータ電位の変化によく対応している。高性能減水剤の使用量と降伏値に関する測定結果を図-IV.6に、また、水セメント比50%のペーストにおける高性能減水剤の同時添加、遅延添加の降伏値に関する実験結果を図-IV.7～図-IV.8に示す。

高性能減水剤とセメントペーストとの相性については明らかでない点が多いが、その一つの要因として、セメントの粉末度(CFM値)が挙げられる。高性能減水剤を用いた場合、セメントペーストの塑性粘度はほとんど変わらないが、降伏値はCFM値が小さいほど顕著な増大を示している。

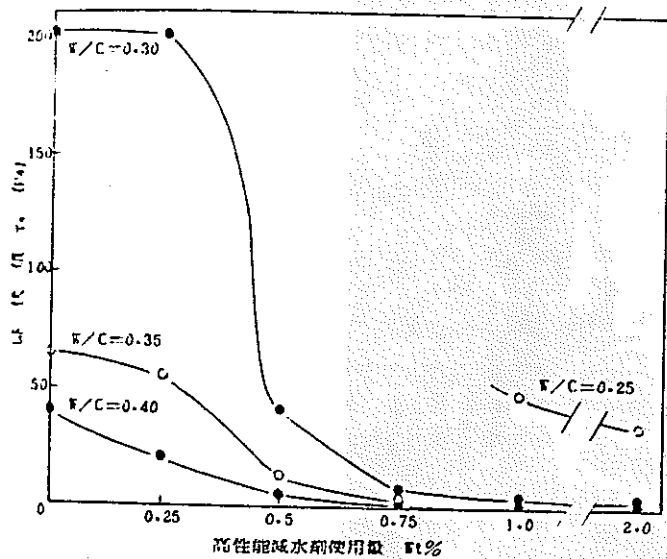


図-IV. 6 高性能減水剤の使用量と降伏値との関係

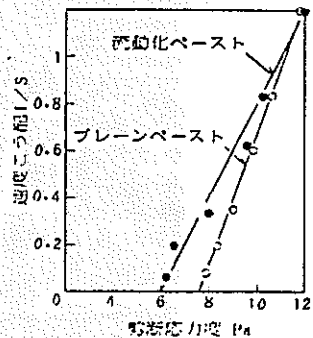


図-IV. 7 流動化剤の添加による流動曲線

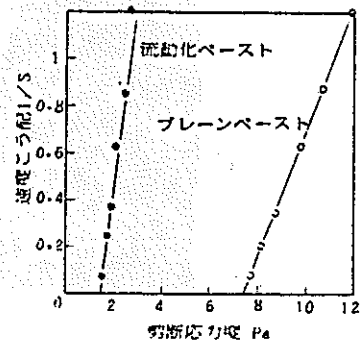


図-IV. 8 流動化剤の遅延添加による流動曲線

2. 試験装置及び器具

本実験で使用した機器を以下に記す。

a. 攪拌機

写真-IV.1に示す丸東製攪拌機を使用した。内容量5ℓ，回転数60 r.p.mである。攪拌時間は10分とした。攪拌時間は分散性に影響するため長めの時間とした。

b. 粘性の測定

攪拌したセメントペースト等の粘性は写真-IV.2に示す回転粘度計を使用して測定した。フロー値は写真-IV.3に示すプレパクトフローコーンを使用して計測した。

c. 強度の測定

写真-IV.4に示すマルイ製5t圧縮試験機を使用して行った。載荷速度は1%/minに設定した。

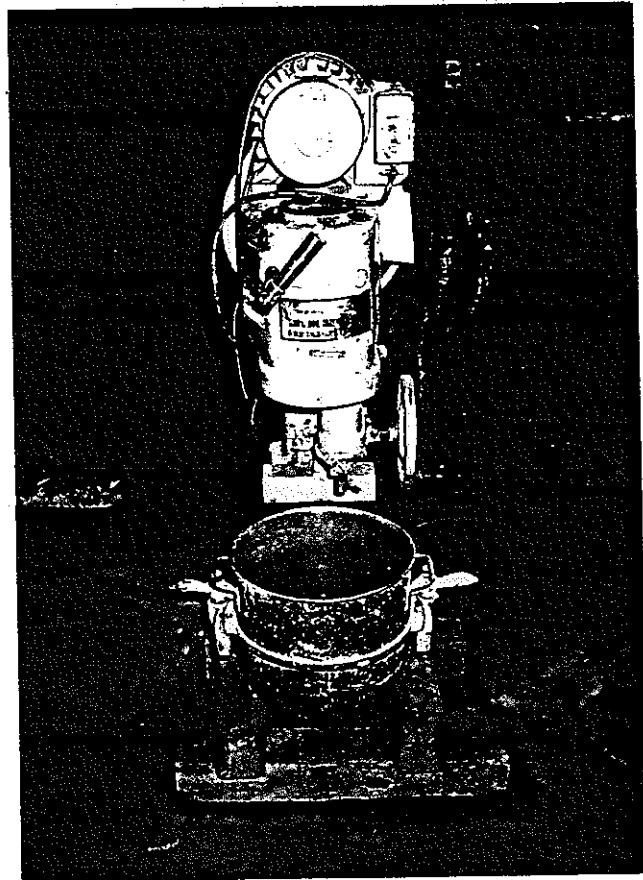


写真-IV.1 攪拌機

ある。

測定し

1/min

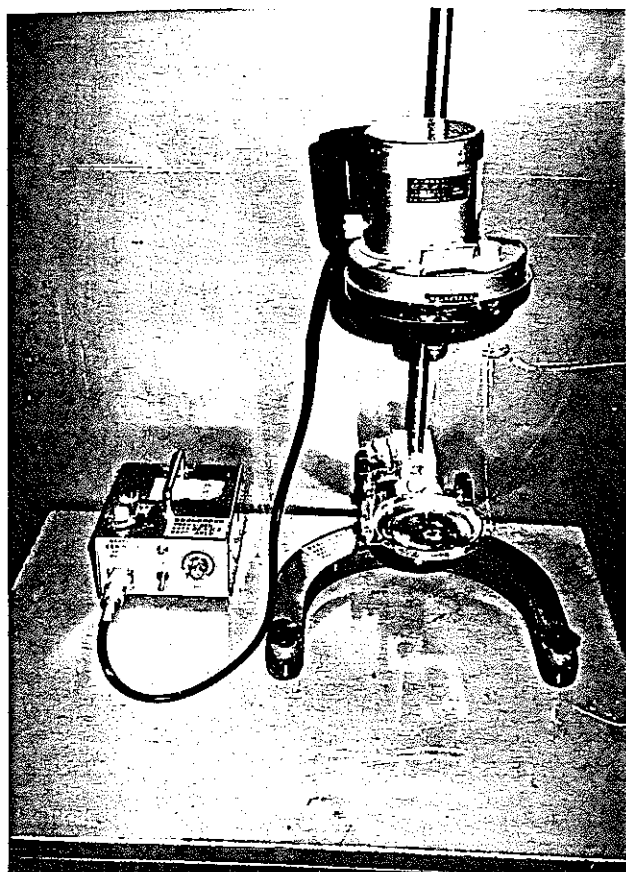


写真-N. 2 回転粘度計

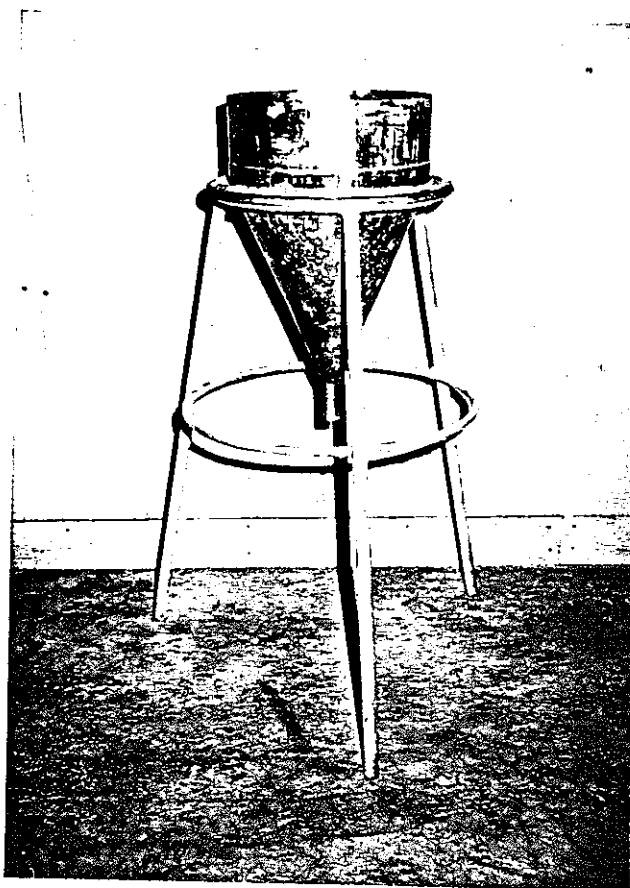


写真-N. 4 圧縮試験機

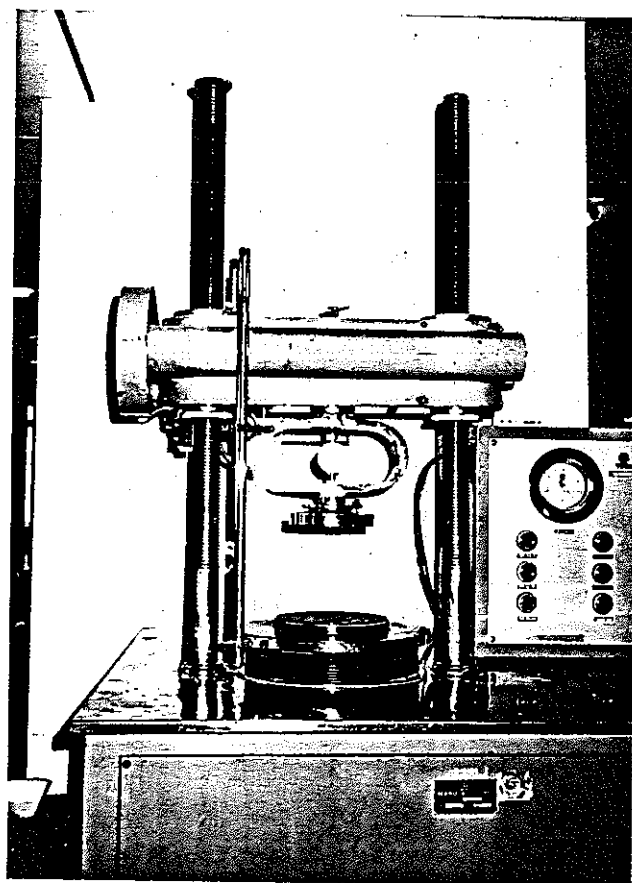


写真-N. 3 プレパクトフローコーン

3. 試験方法

試験は、試験(I)として高性能減水剤を添加しない配合のもので行い、その結果から第1次判断規準を満足するものを選び、その配合の材料に高性能減水剤を添加する試験(II)を実施した。その中で第2次判断規準をクリアーする配合を拡散試験などに使用した。試験フローは図-IV.1 に示してある。判断規準は表-IV.12 に示す。

表-IV.12 グラウト材料特性試験の判断基準

| 判断時間 | 物性 | ブリージング率 (%) | 粘性係数 (cP) |
|---------|----|-------------|-----------|
| 第1次判断基準 | | 3.0以下 | 5000以下 |
| 第2次判断基準 | | 1.5以下 | 1000以下 |

(1) 配 合

試験(I)における配合は表-IV.13 を標準としたが主材及び混和材の種類によって配合を変更、追加したものもある。

表-IV.13 試験 (I) における標準配合

| 主 材 | 混 和 材 | | | |
|---------|-------------|-------------|---------|---------|
| | シリカ フラワー | フライ アッシュ | 木節粘土 | ベントナイト |
| W/C (%) | S/C (%) | f/C (%) | K/C (%) | b/C (%) |
| 100 | 20 | 20 | 20 | 5 |
| 150 | 40 | 40 | 40 | 10 |
| 200 | 60 | 60 | 60 | 15 |
| 250 | 80 | 80 | 80 | 20 |
| 300 | 100 | 100 | 100 | 25 |

試験Ⅲでは第1次判断規準をクリアした配合に減水剤をそれぞれ表-IV.14の割合を標準として添加した。

表-IV.14 試験(Ⅱ)における減水剤の添加率

| 減水剤の種類 | 添 加 率 | | |
|---------------------|-------|-----|-----|
| マイティ150R (Cwt%) | 1.0 | 2.0 | 2.5 |
| ポゾリスNL4000 (cc/Ckg) | 10 | 20 | 30 |

ただしCはセメント

(2) 測定方法

a. フロー値測定

所定の配合で練り上げた材料をプレパクトフローコーンに入れ全量がフローコーンを通過する時間 (Sec) を計測した。

b. 粘性の測定

計算した比重と練り上がりペーストの比重がくい違ってない事を比重計で確認した後、B型粘度計で初期粘性を測定した。測定は3試料について実施した。

c. 沈降高さの測定

試験(I)ではφ50mm×ℓ400mmのブリージング袋を使用して、1配合につきテストピースを6個採取して沈降高さを測定した。試験Ⅲにおいてはメスシリンダーを使用して同様の計測を行い、ブリージングの測定を行った。

d. 一軸圧縮強度の測定

第2次判断規準をクリアした配合の材料についてのみ1週強度 (σ_7), 4週強度 (σ_{28}) を測定した。

4. 試験結果及び考察

試験(I)のブリージング率及び粘性係数の測定結果を混和材の主材に対する混和率(重量%)との関係で図-IV.9~図-IV.20に示す。第1次規準(ブリージング率3%以下, 粘性係数5000cp以下)で判断すると、混和材にフライアッシュを用いたものはどの主材についても満足するものはない。これらのデータから第1次規準を満足する配合を選び、それぞれに減水剤を表-IV.14の割合で添加した材料のブリージング率及び粘性係数の測定結果を試験Ⅲの結果として図-IV.21~図-IV.30に示す。

セメント単体の試験では、ブリージング率は普通ポルトランドセメント>コロイドセメント>スーパーファインセメントの順になり、粘性係数ではその順位が逆転する。混和材を入れた場合シリカフラワー及び木節粘土では混和率が増すとともにブリージング率が急激に減少するが、フライアッシュ及びベントナイトでは、減少度合が緩やかである。また、粘性係数にも同様の傾向が見られる。

第1次規準をクリアした23種類の配合に減水剤を添加したがマイティ150Rの場合には2.0wt%を超えるとブリージング率が急激に増加するため添加率は2wt%付近が限界と考えられる。ポゾリスNL4000の場合は減水剤添加率とブリージング率との間に相関は見られないが粘性係数は徐々に低下する。ただし、20cc/kgと30cc/kgの差は僅かである。

試験Ⅳの結果からブリージング率1.5%以下、粘性係数1000cp以下として選んだ配合を表-IV.15に示す。同時に一軸圧縮強度も示す。

圧縮強度は混和材の種類によって異なり、シリカフラワーを混和すると強度が高くなる。しかしながら、シリカフラワーは凝集性が強く、狭い割れ目への注入に適用するには問題がある。その点、木節粘土は膨潤性もなく安定したグラウト材料であるところから注入材料として適当である。

コイドセメント。混和材の割合が急激に増える。また、10R の場合、付近が限られた間に約 1kg の差は選んだ配合が高くなる。異なるには問題から注入

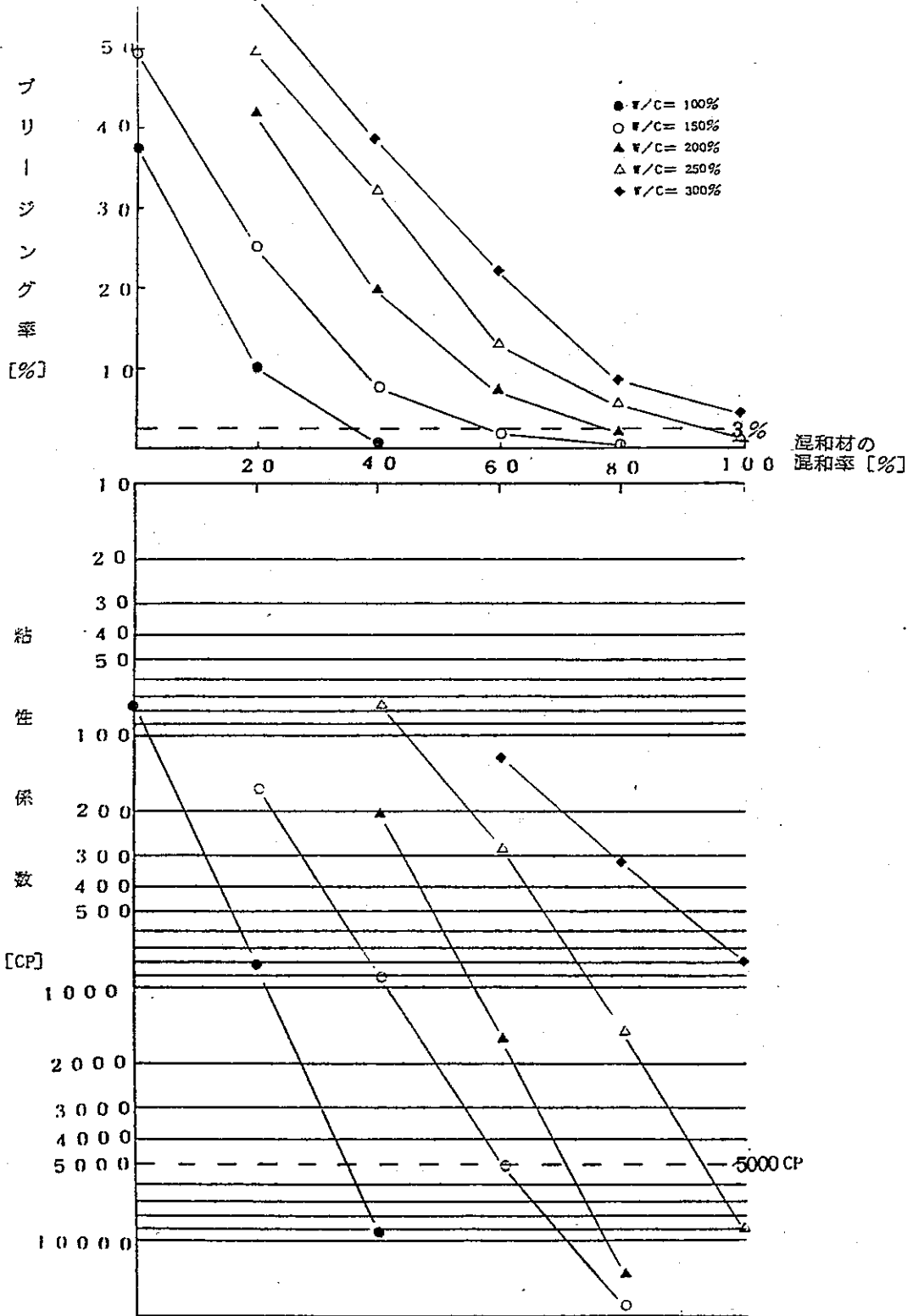


図-IV.9 注入材料の配合試験結果【試験 I】
 主材に対する混和材の混和率によるブリーディング率及び粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：シリカフラワー]

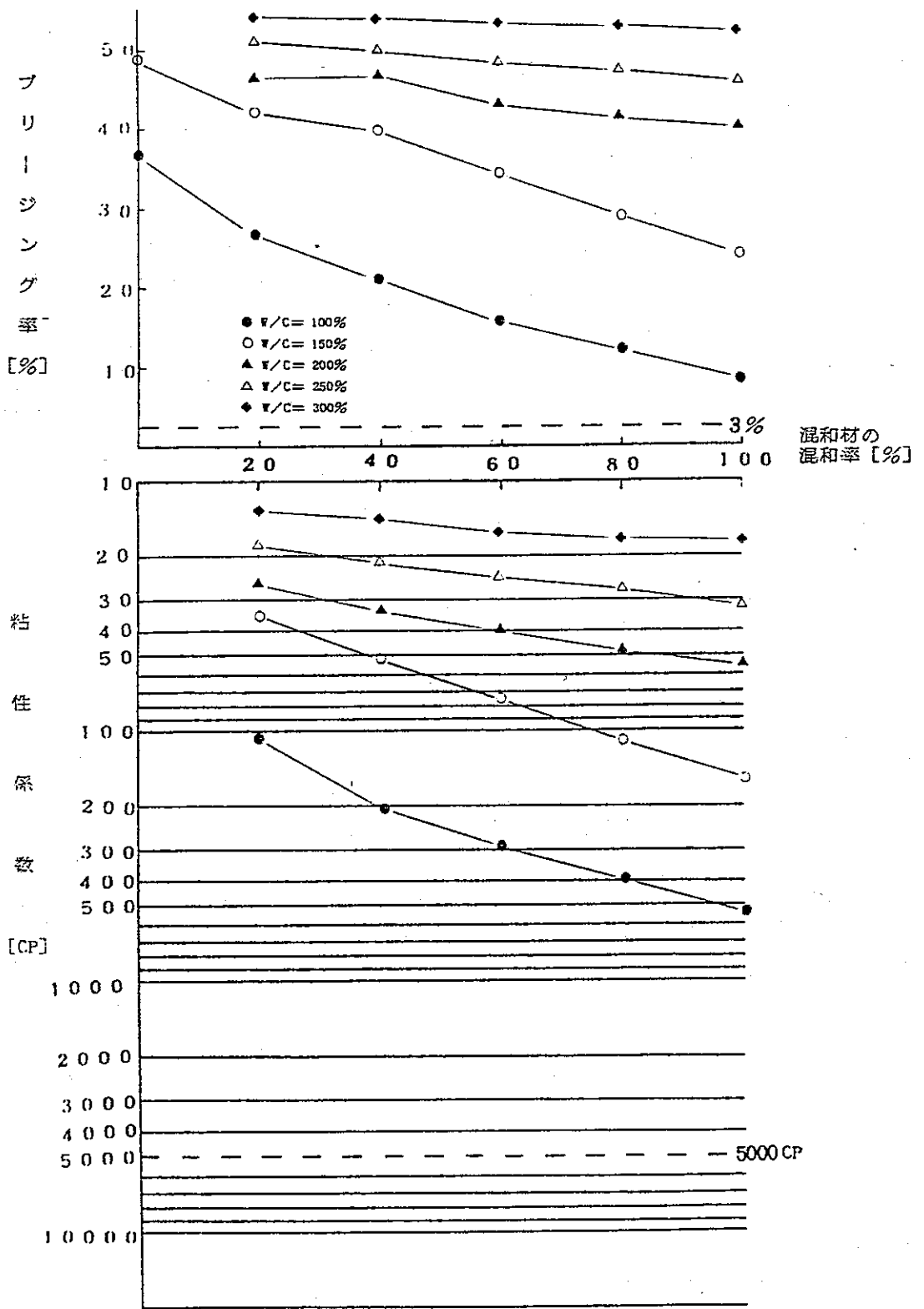


図-N.10 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：フライアッシュ]

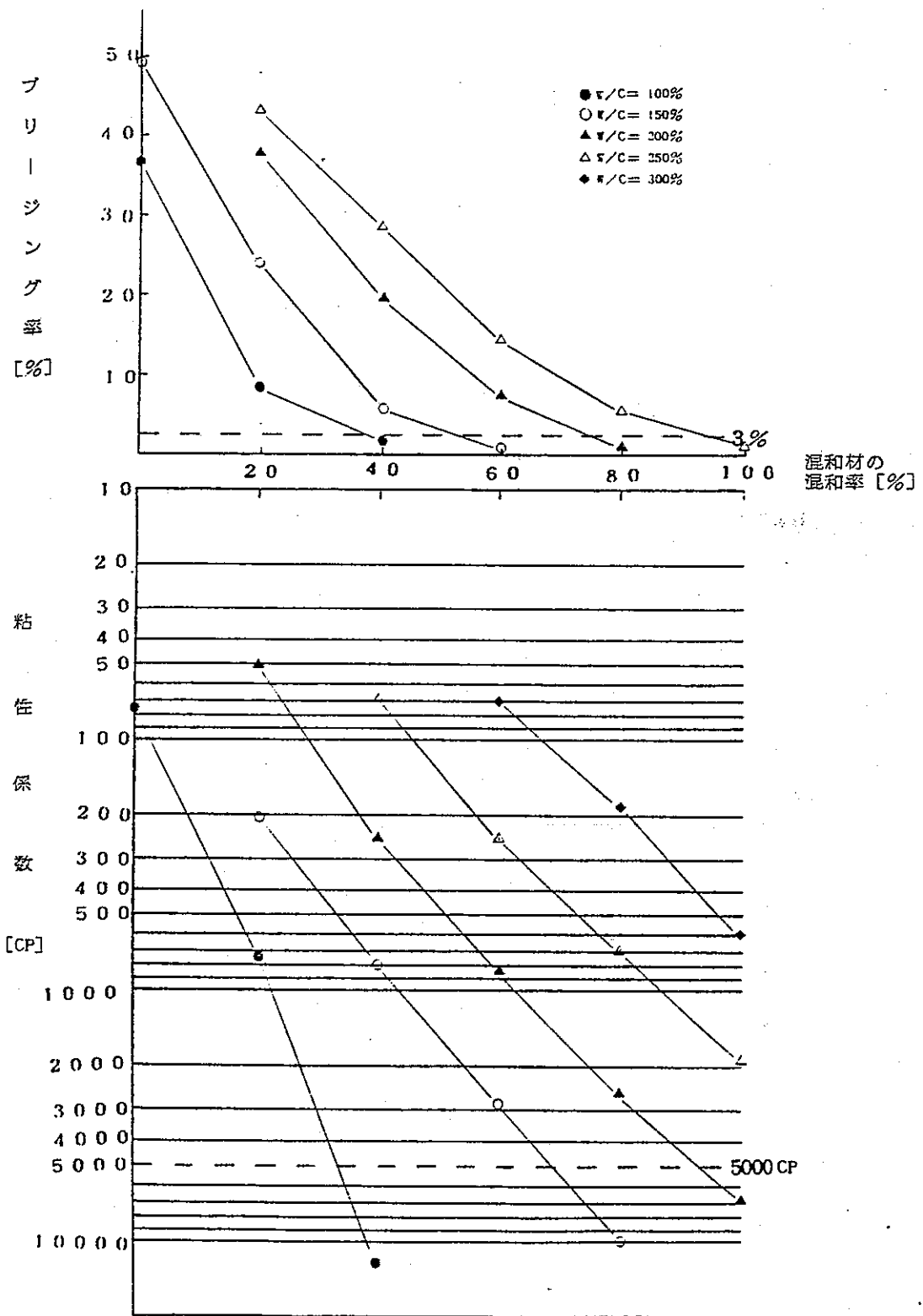


図-N.11 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：木節粘土]

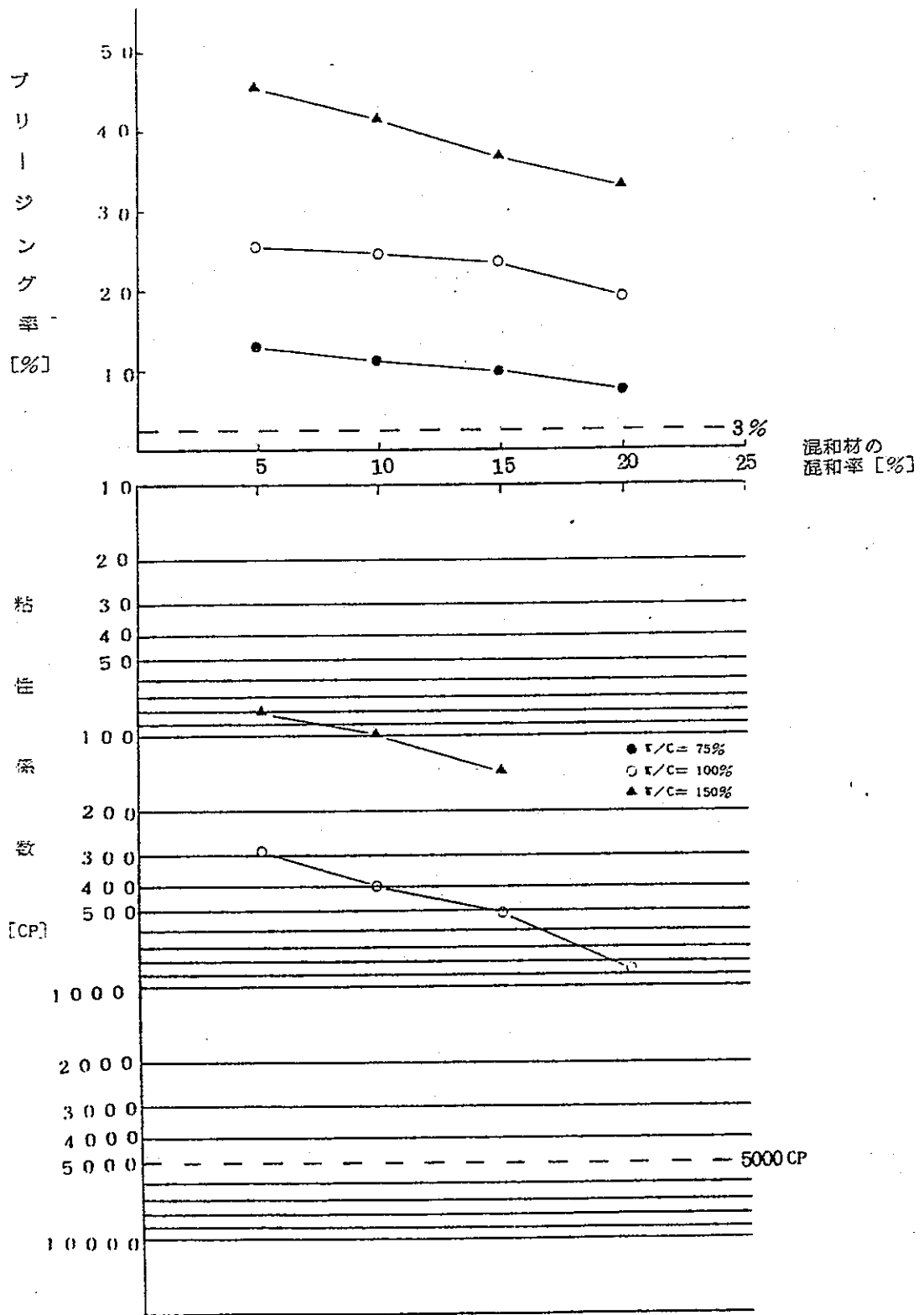


図-N.12 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：ベントナイト]

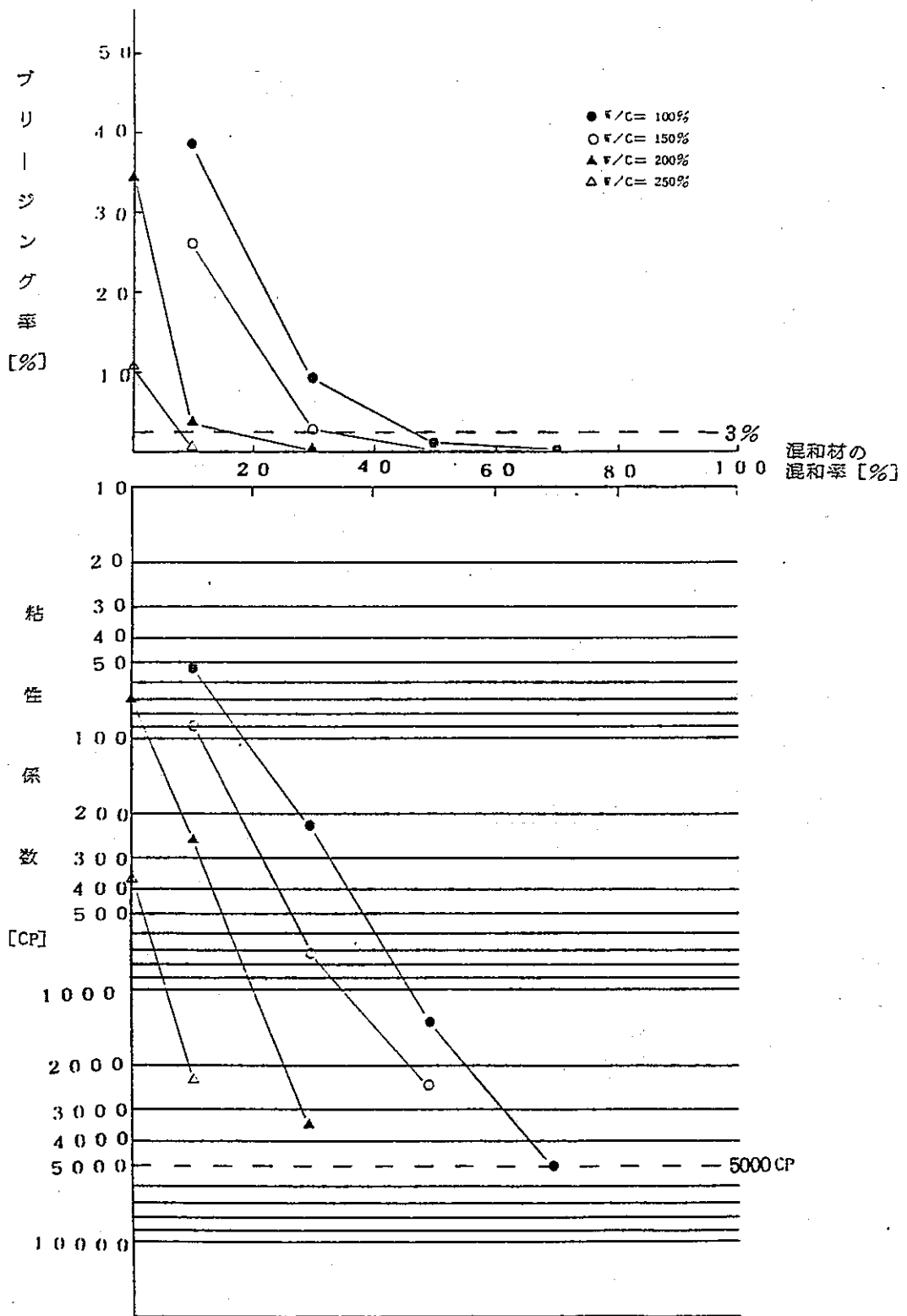


図-N-13 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるプリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：シリカフラワー]

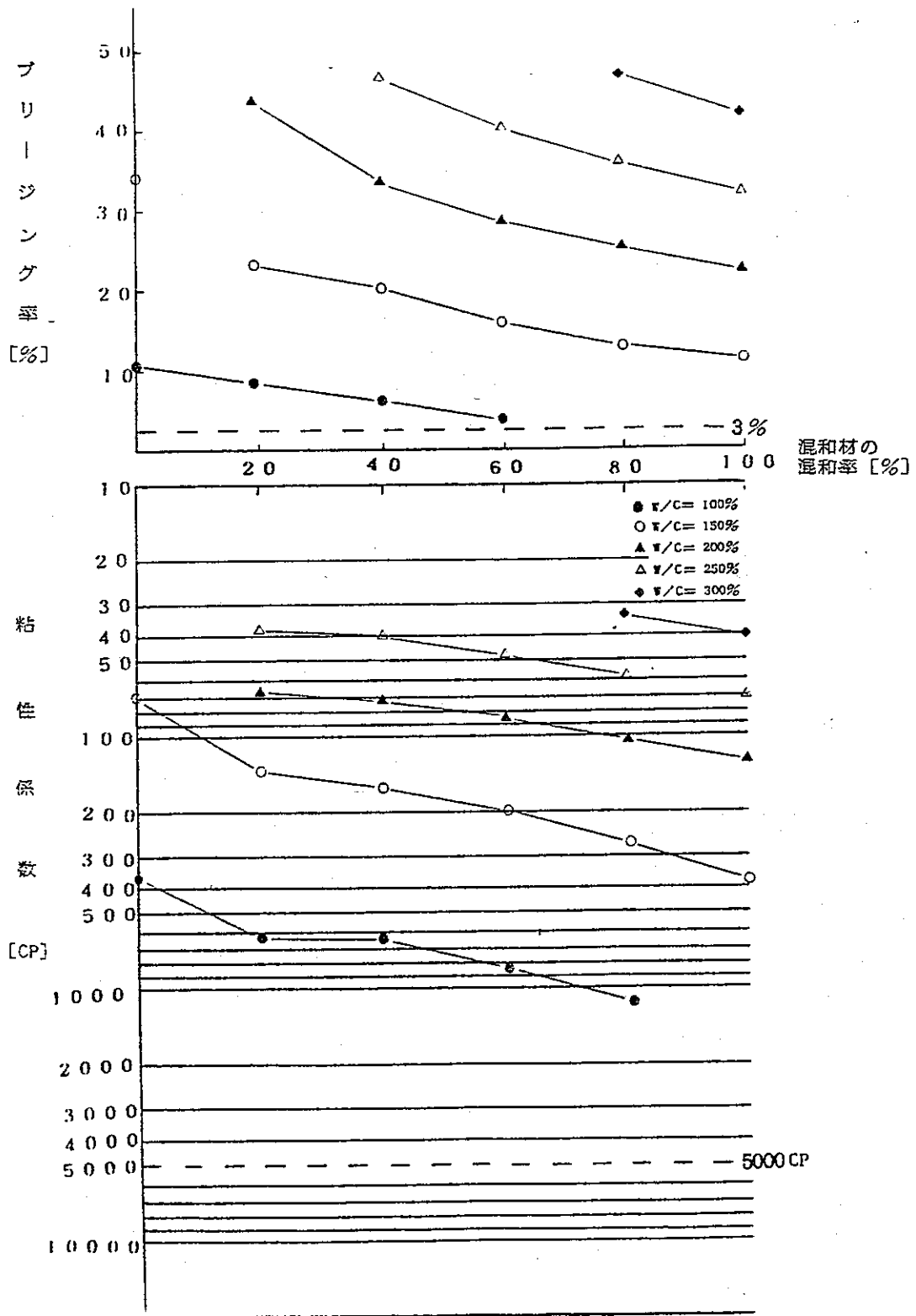


図-N.14 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：フライアッシュ]

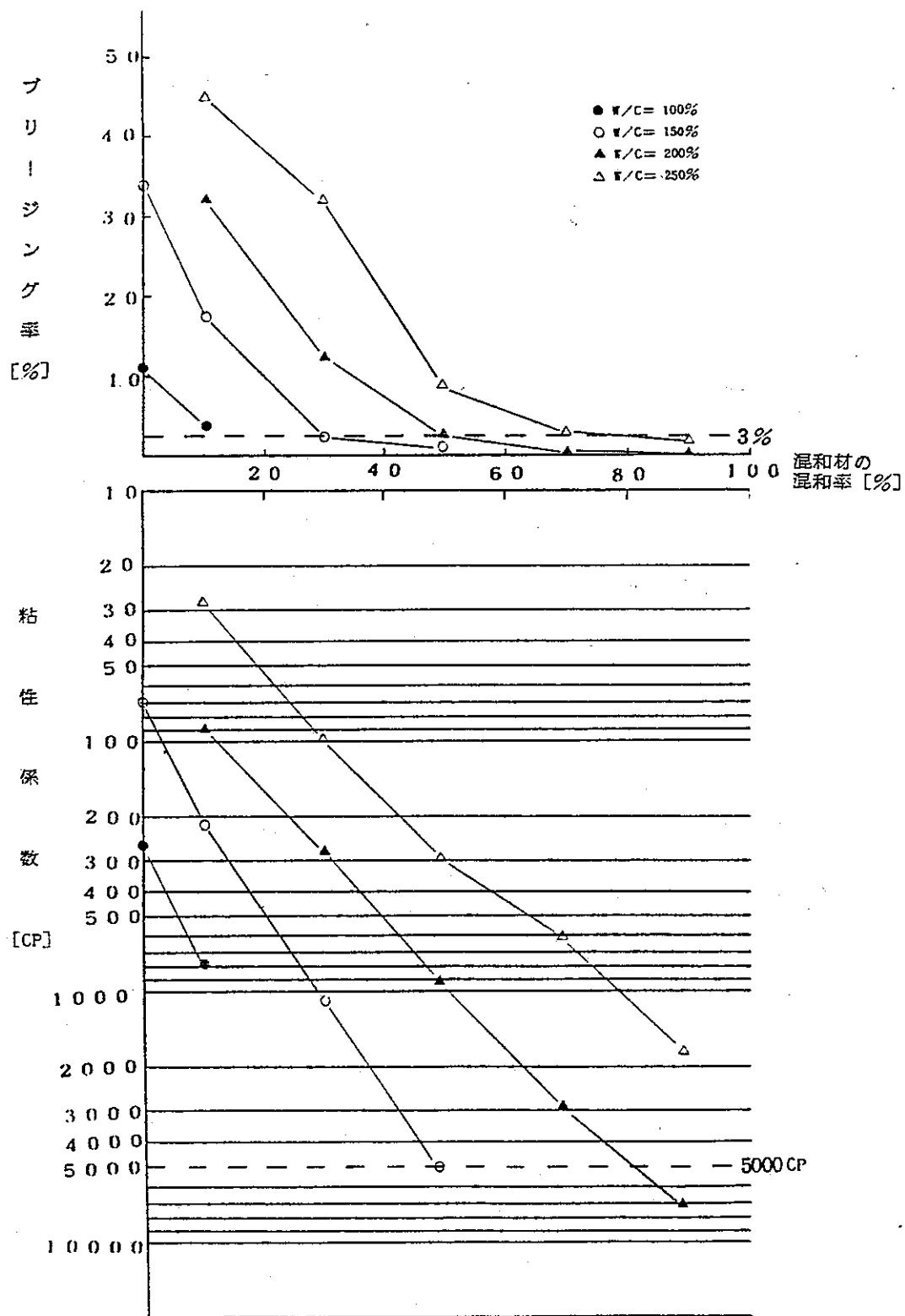


図-N-15

注入材料の配合試験結果 [試験 I]

主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び粘性係数の変化

[主材：コロイドセメント] [混和材：木節粘土]

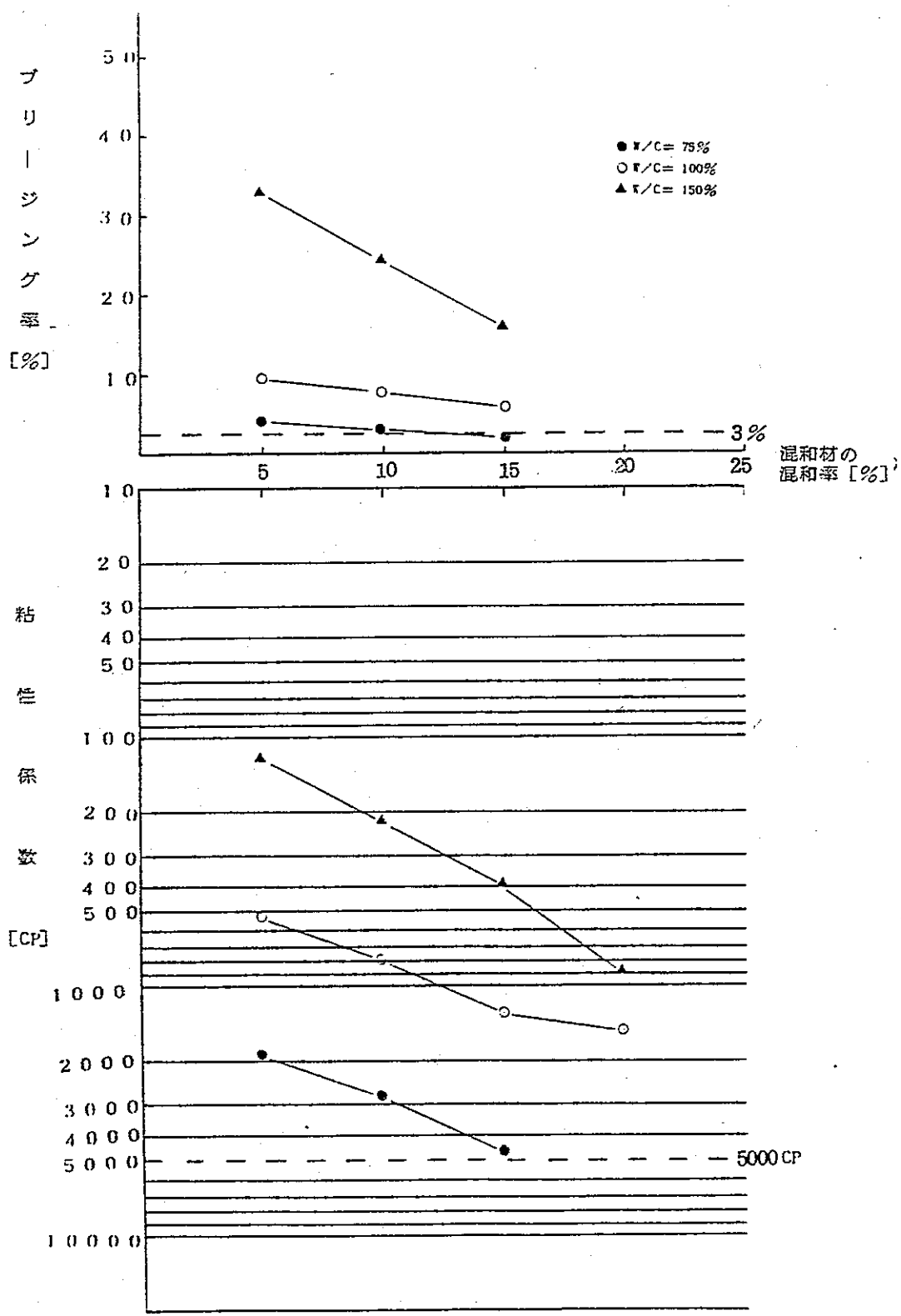


図-N.16 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：ベントナイト]

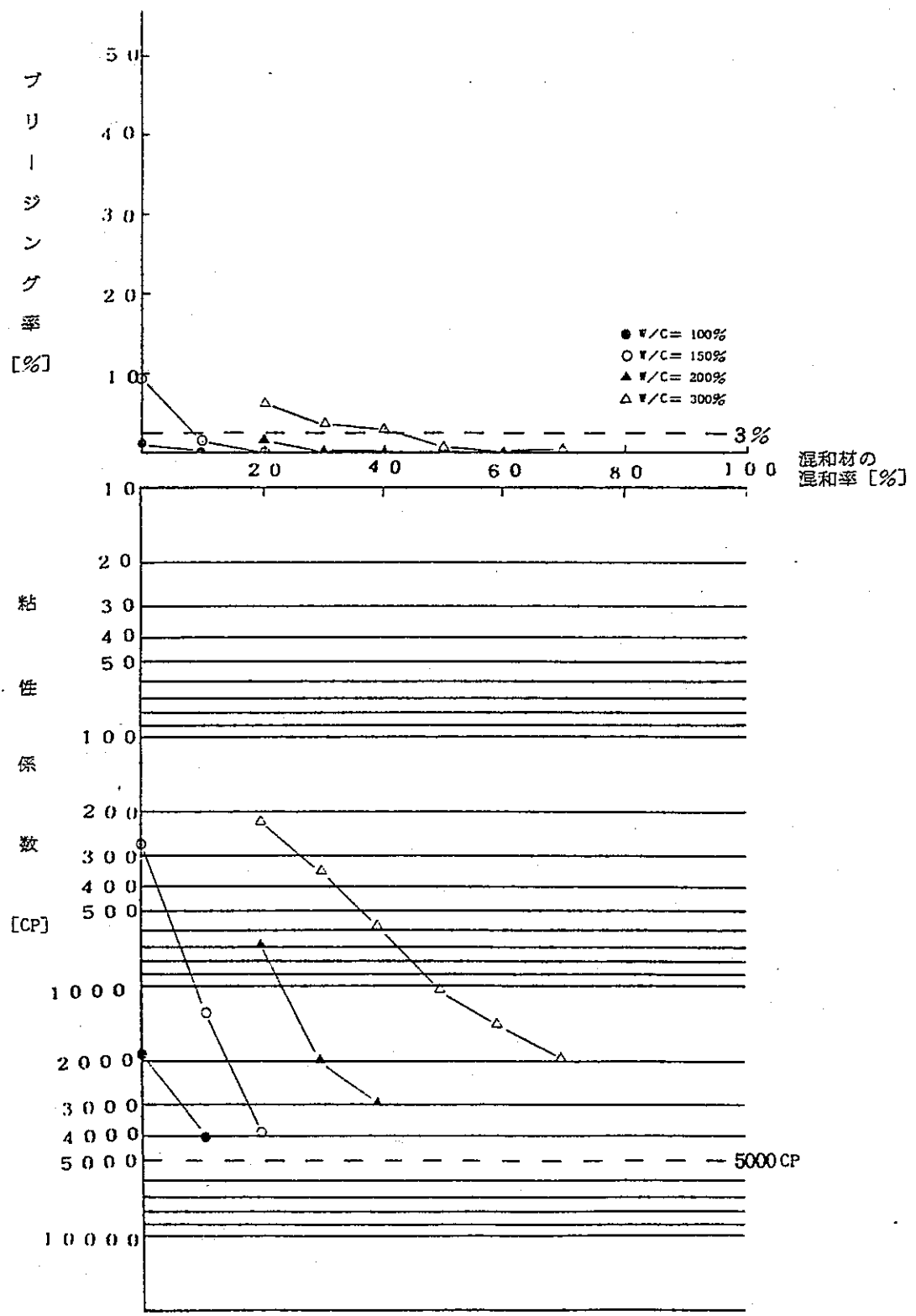


図-Ⅳ-17 注入材料の配合試験結果〔試験Ⅰ〕
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：シリカフラワー]

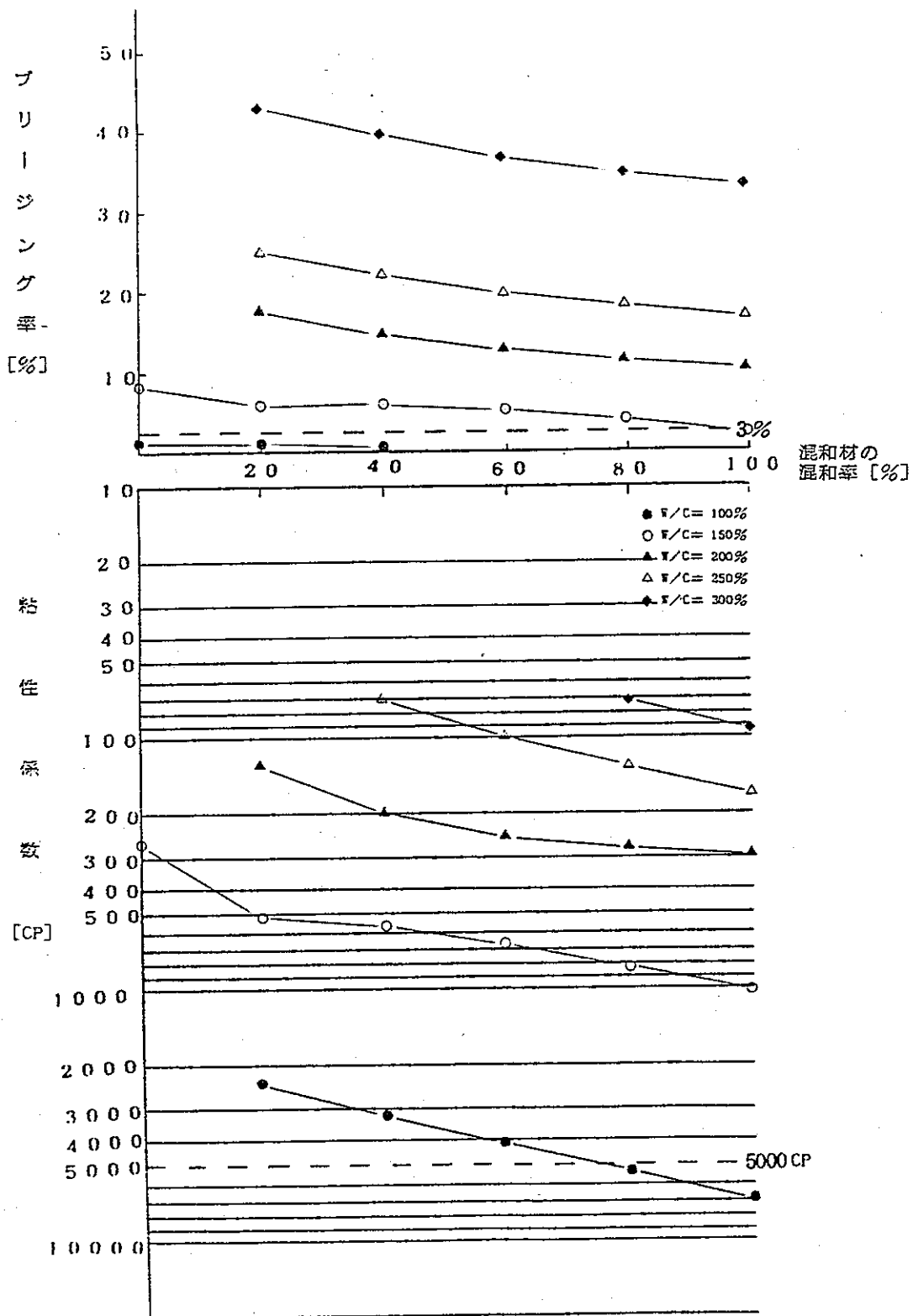


図-N.18 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるフリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：フライアッシュ]

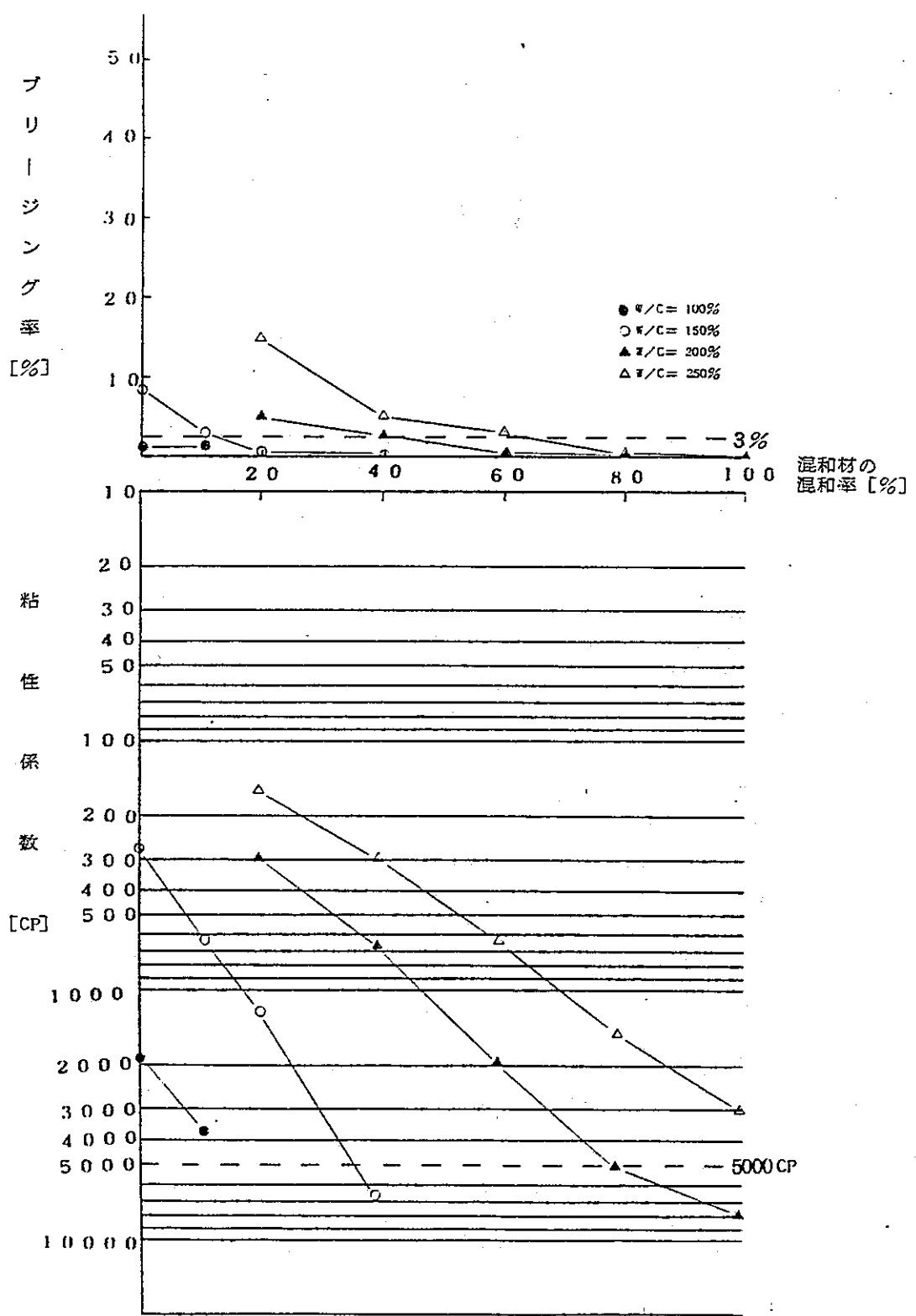


図-Ⅳ・19 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅰ]
 主材に対する混和材の混和率によるフリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：木節粘土]

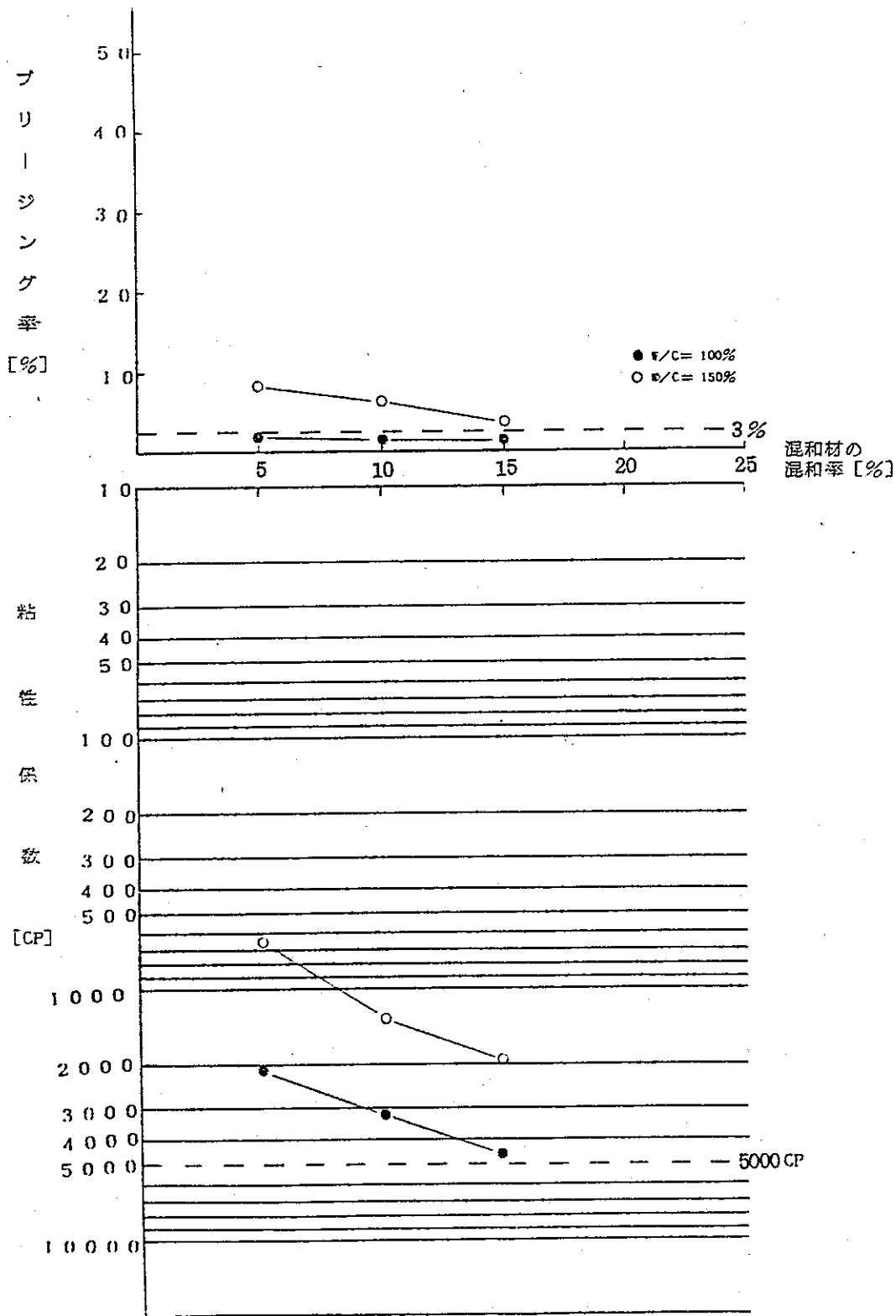


図-N.20 注入材料の配合試験結果 [試験 I]
 主材に対する混和材の混和率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：ベントナイト]

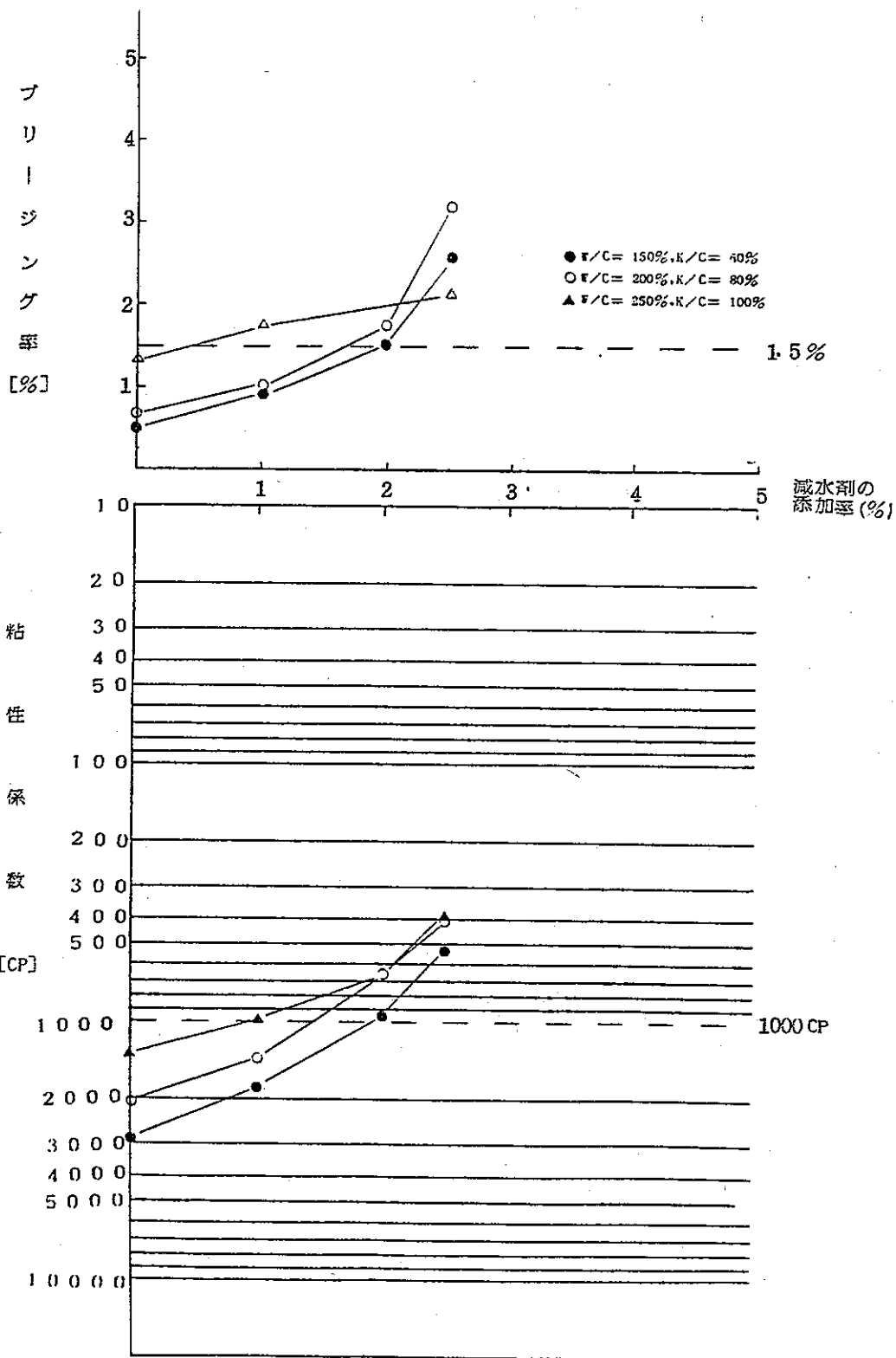


図-N.21 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるフリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：木節粘土]
 [減水材：マイテイ150R]

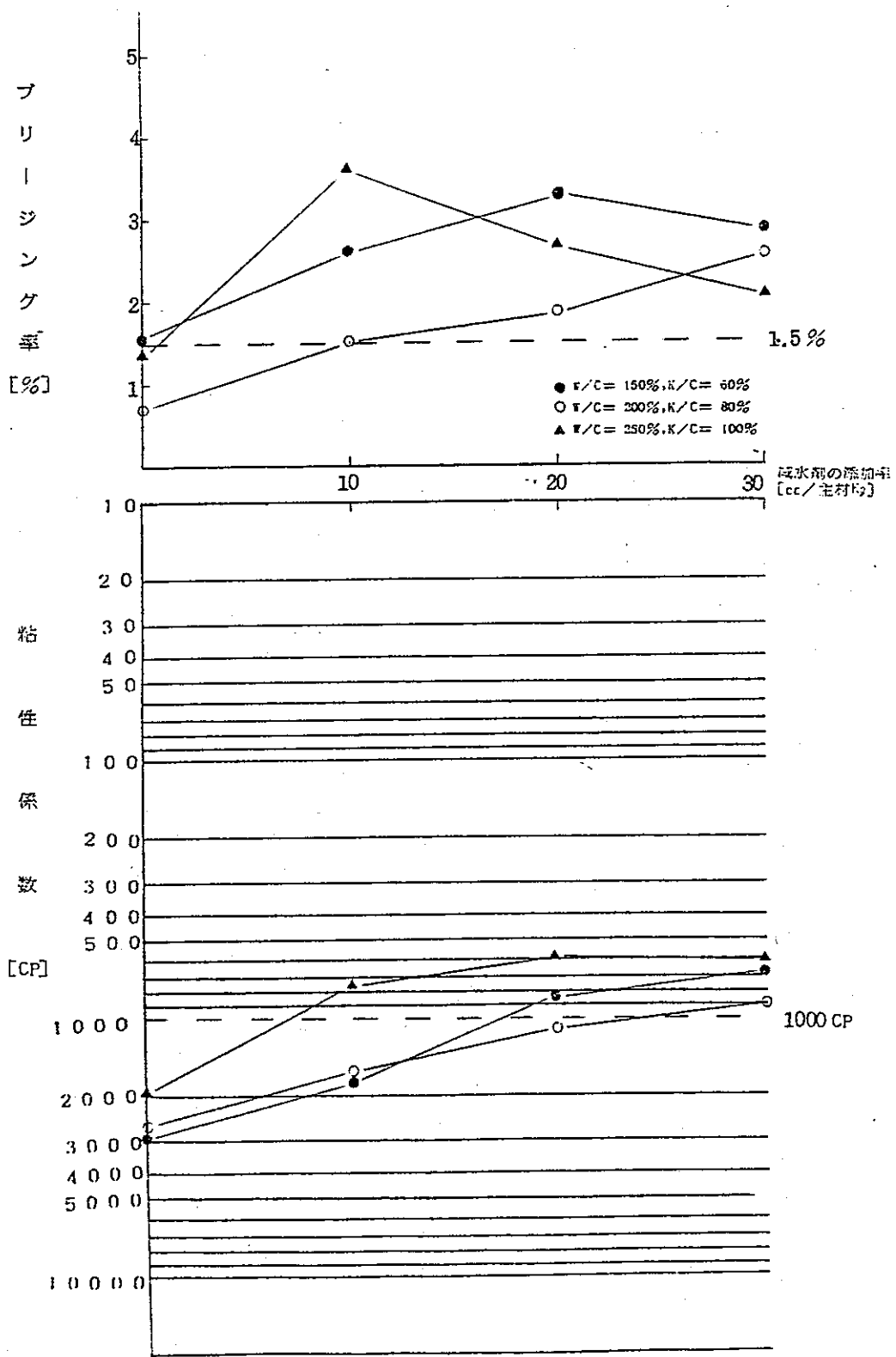


図-IV.22 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：普通ポルトランドセメント] [混和材：木節粘土]
 [減水剤：ポゾリス NL4000]

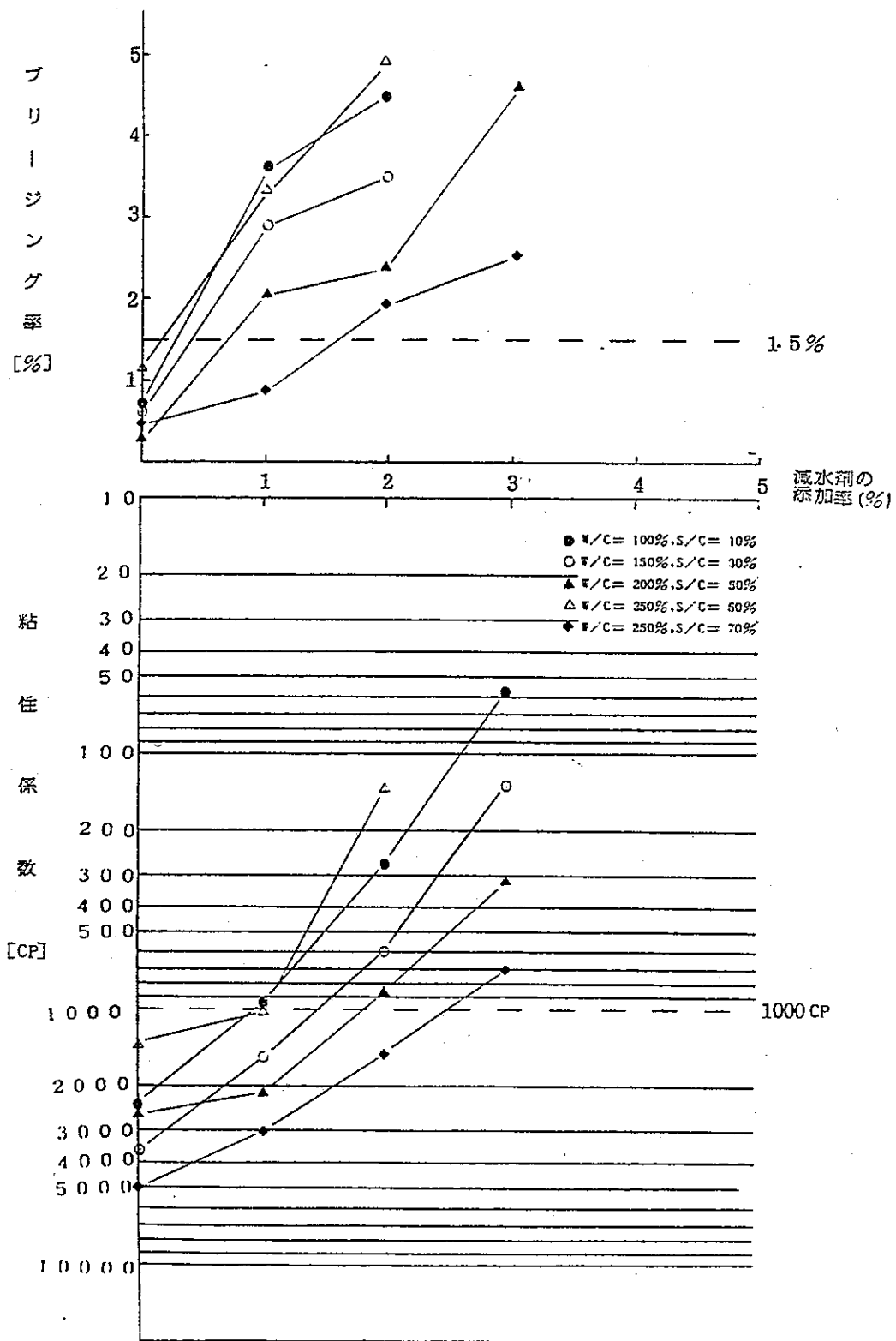


図-N.23 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるプリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：シリカフラワー]
 [減水剤：マイテイ150R]

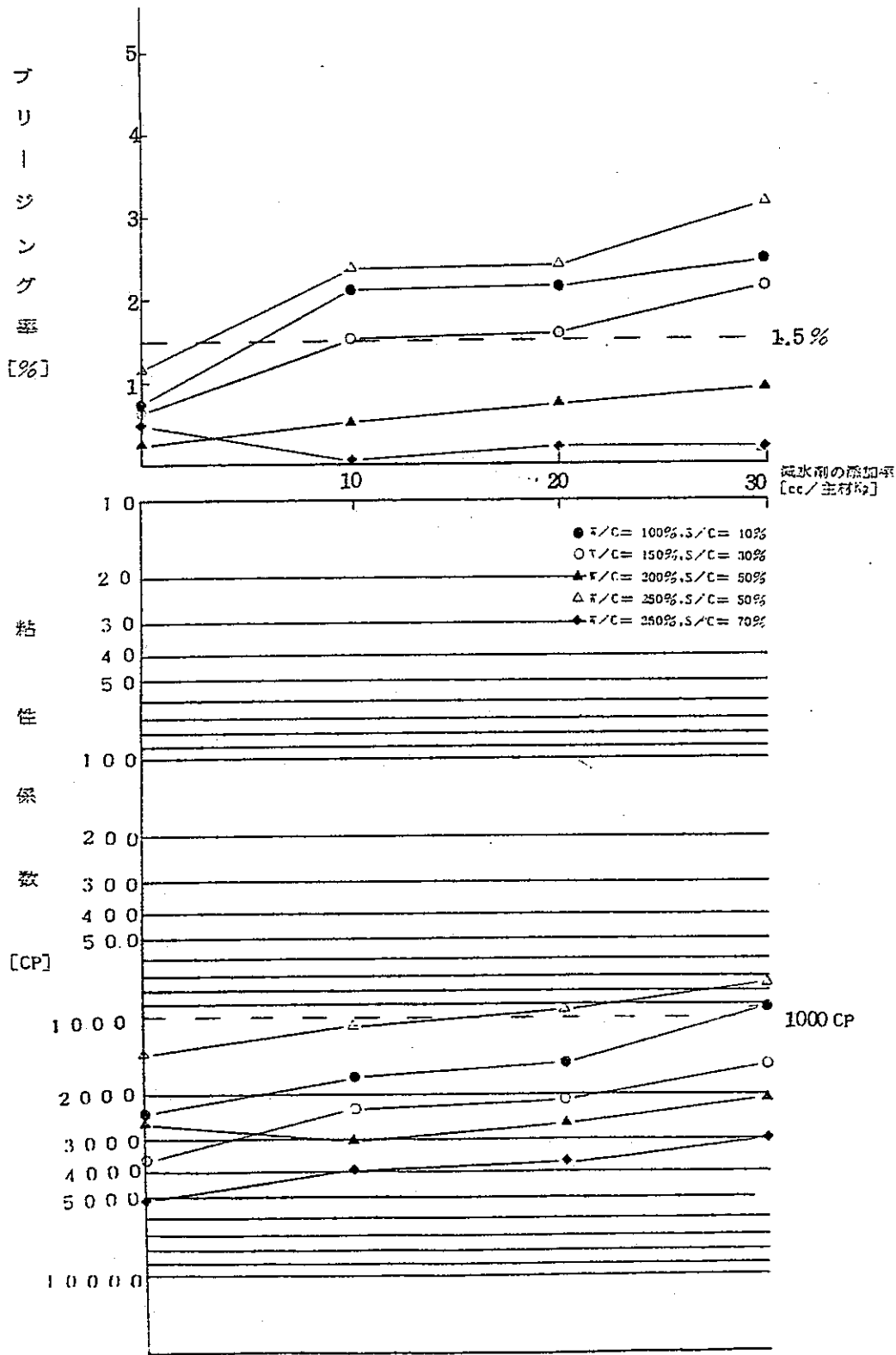


図-Ⅳ.24 注入材料の配合試験結果〔試験Ⅱ〕
 主材に対する減水剤の添加率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：シリカフラワー]
 [減水剤：ポゾリス NL4000]

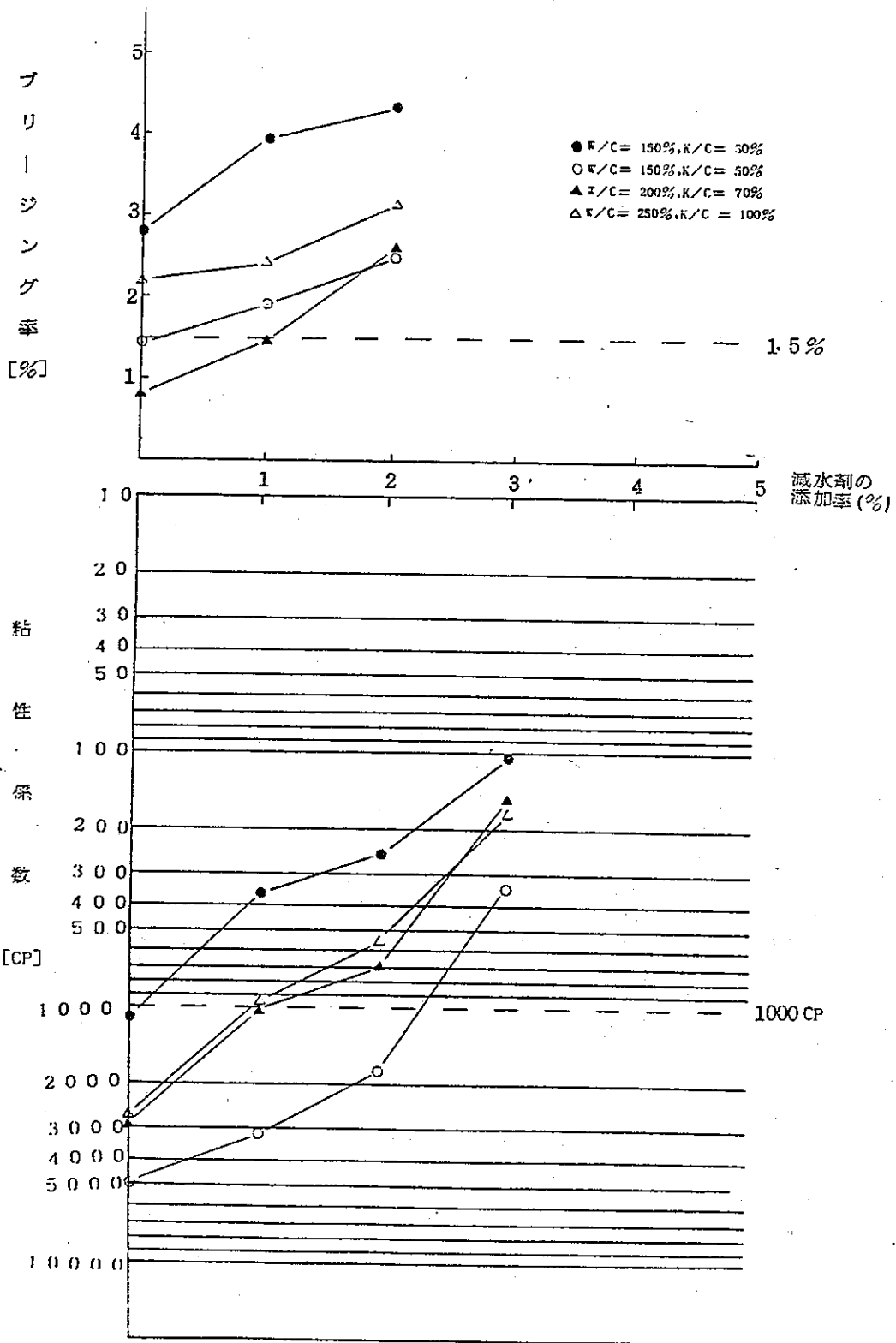


図-IV.25 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるプリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：木節粘土]
 [減水剤：マイテイ150R]

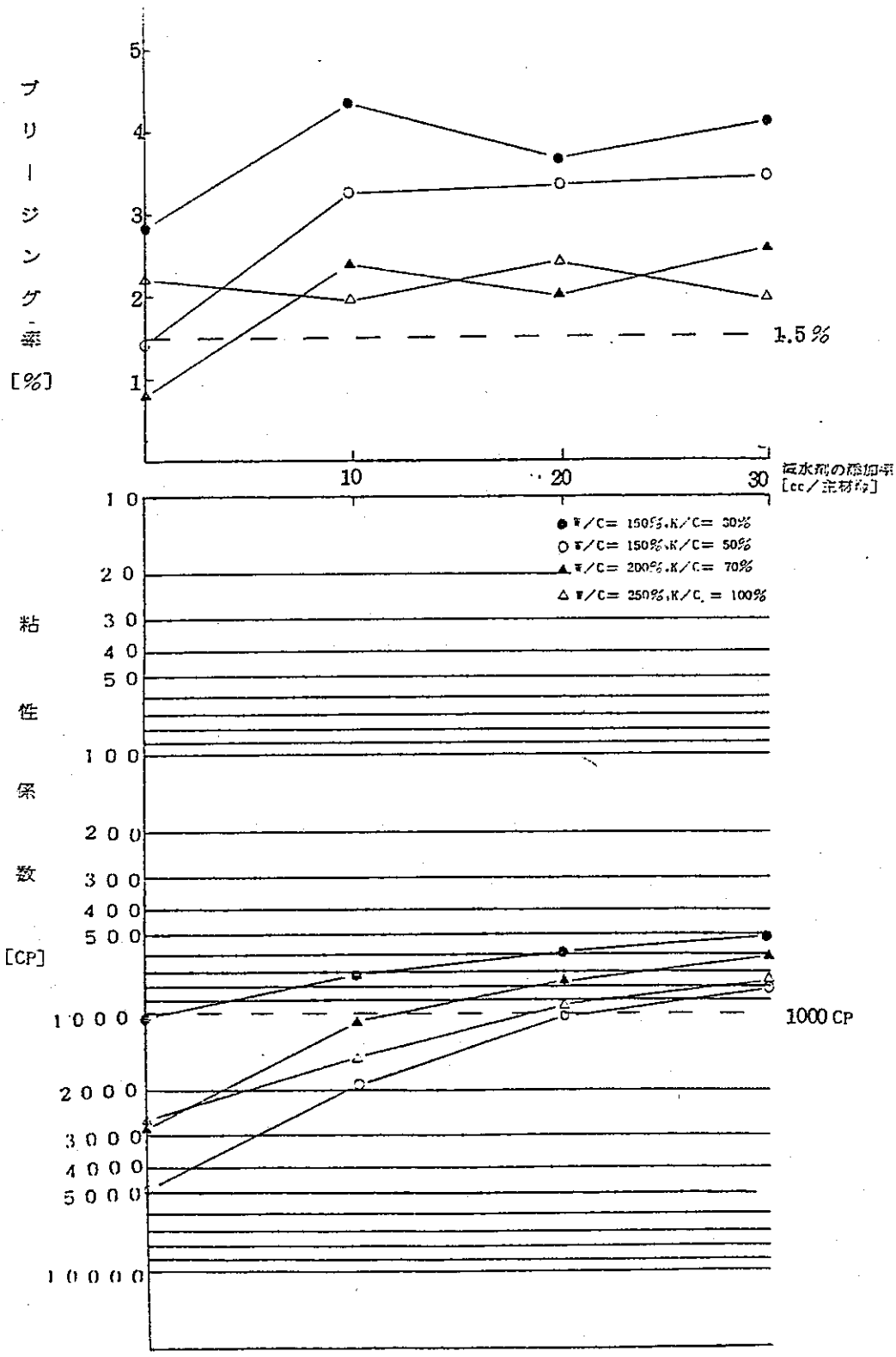


図-N.2.6 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：コロイドセメント] [混和材：木節粘土]
 [減水剤：ポゾリス NL4000]

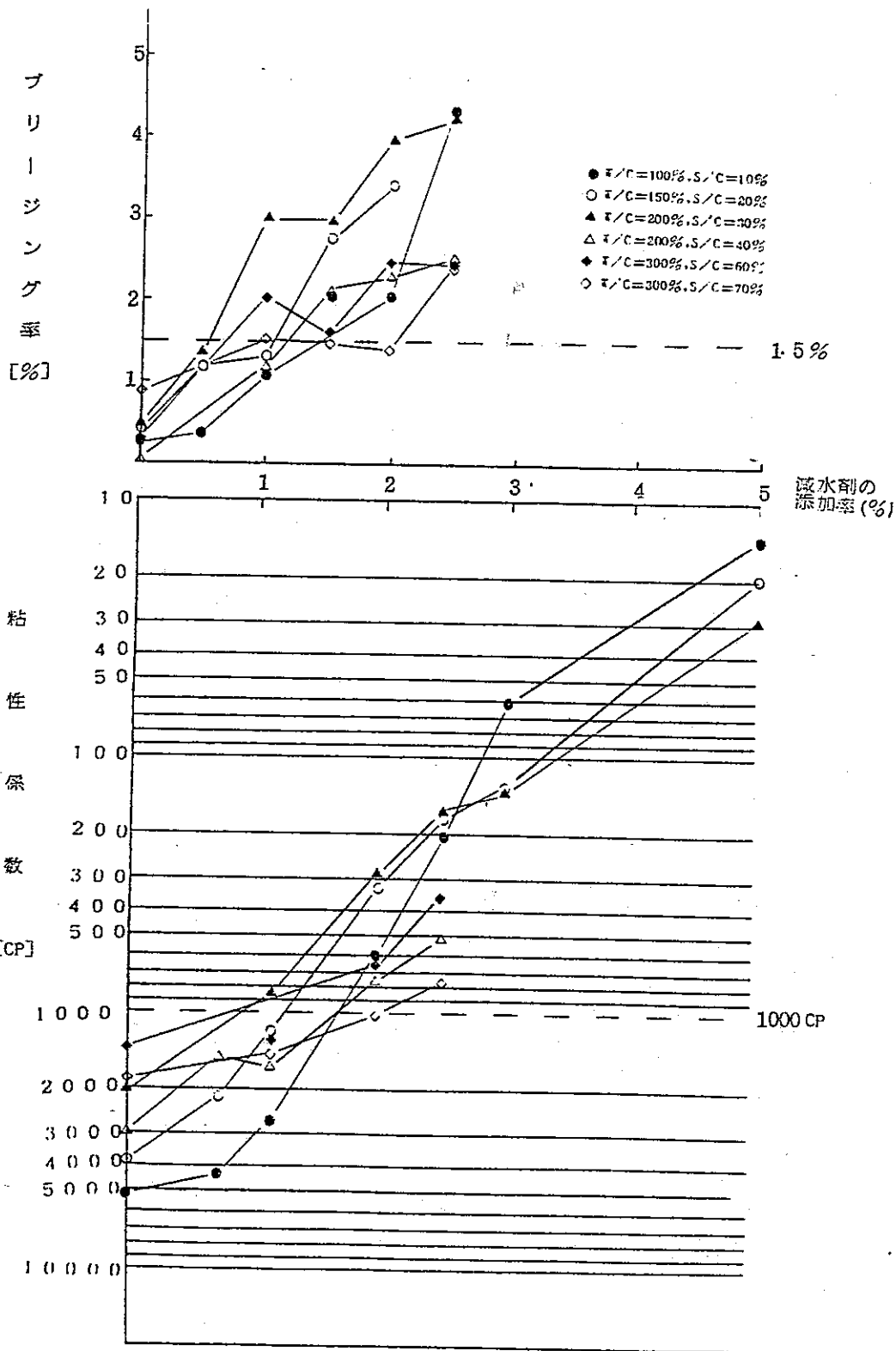


図-IV.27

注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]

主材に対する減水剤の添加率によるフリージング率及び粘性係数の変化

[主材：スーパーファイン] [混和材：シリカフラワー]

[減水剤：マイティ150R]

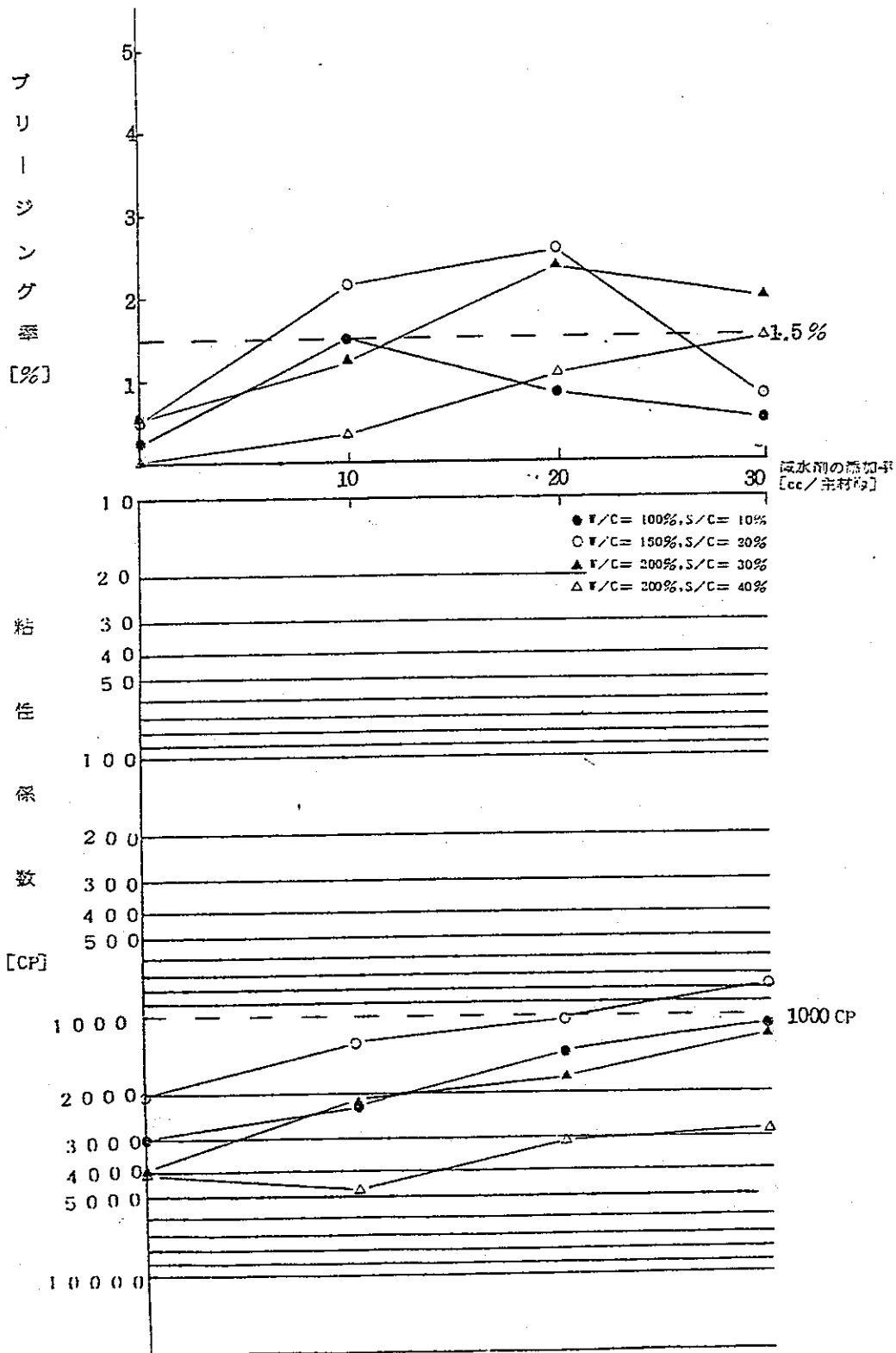


図-IV-28 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるブリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：シリカフラワー]
 [減水剤：ポゾリス NL4000]

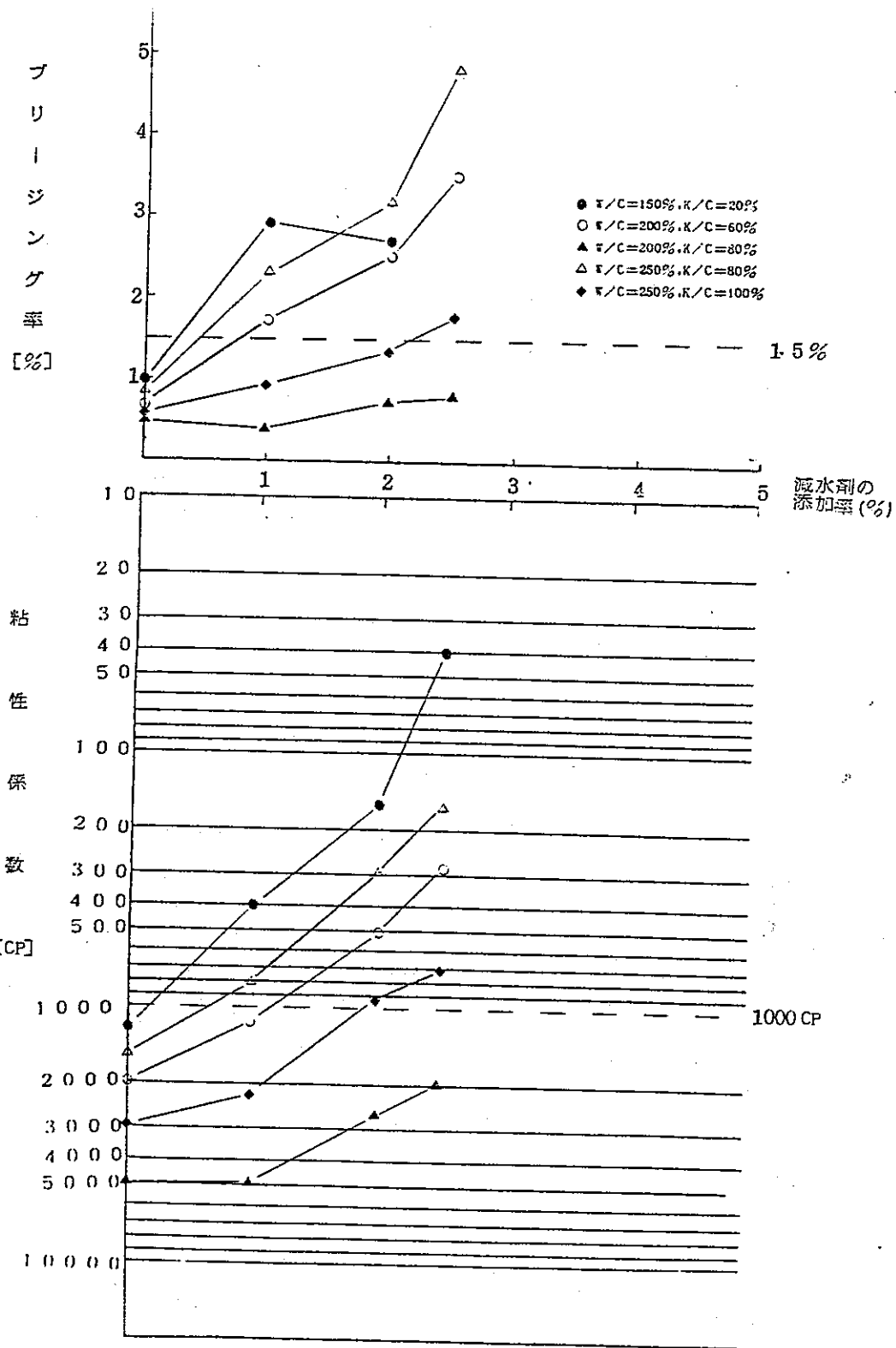


図-N-29

注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]

主材に対する減水剤の添加率によるブリージング率及び粘性係数の変化

[主材：スーパーファイン] [混和材：木節粘土]
 [減水剤：マイティ150R]

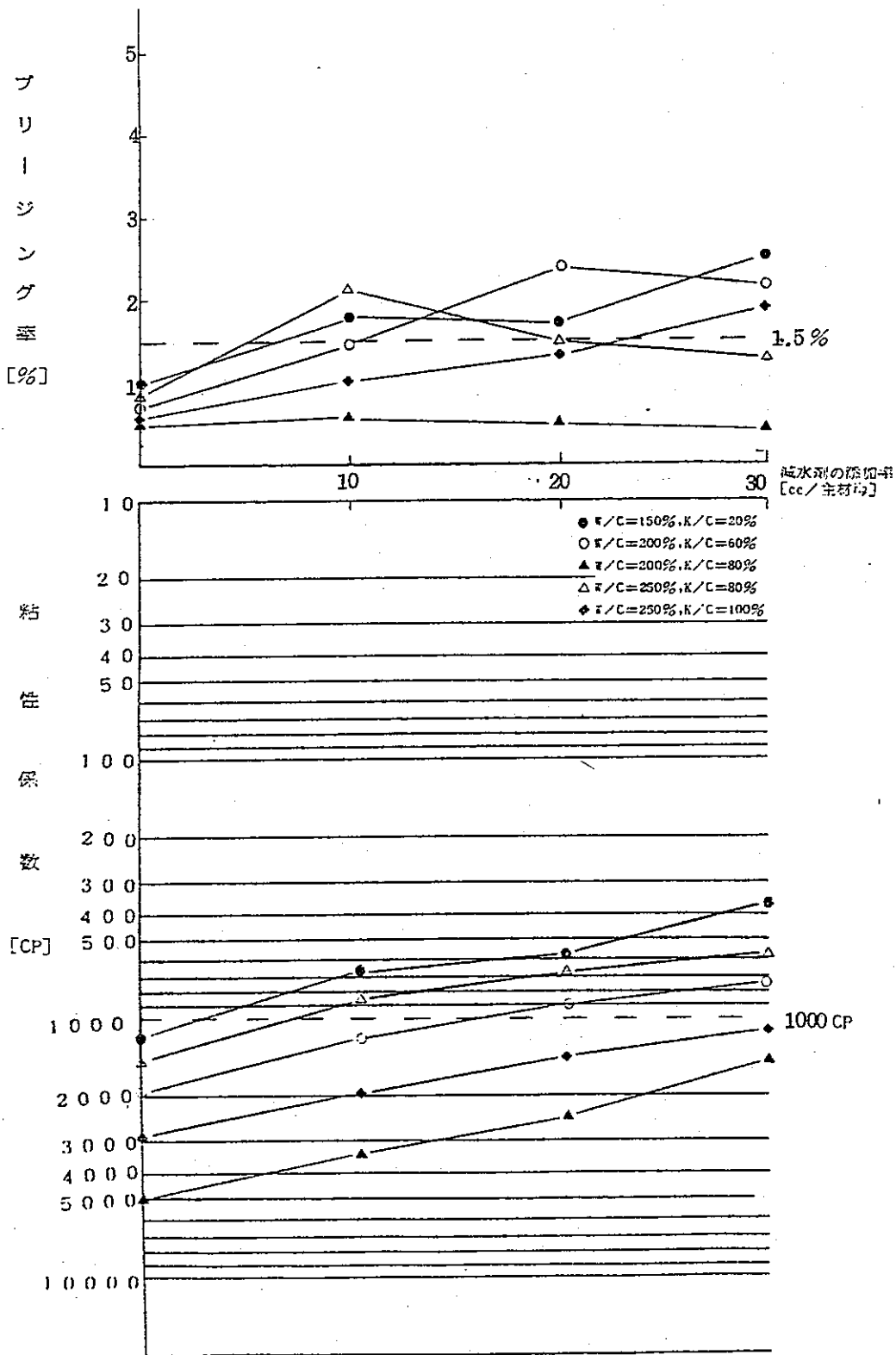


図-IV. 30 注入材料の配合試験結果 [試験Ⅱ]
 主材に対する減水剤の添加率によるフリージング率及び
 粘性係数の変化
 [主材：スーパーファイン] [混和材：木節粘土]
 [減水剤：ポソリス NL4000]

表-N. 15 グラウト材料特性試験結果より選択した配合と試験結果

| 主 材 | 水セメント 比 (%) | 混和材 | 混和率 (%) | 減水剤 | 添加率 % cc/kg | ブリーシング 率 (%) | 粘生係数 (C.P) | 圧縮強度 (kg/cm ²) | |
|--------------|-------------------|-------------|------------|------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | | | | | | | σ_7 | σ_{28} |
| 普 通 | 150 | 木節粘土 | 60 | マイティ | 2.0 | 1.5 | 1000 | 4.4 | 8.6 |
| コロイド | 200 | 木節粘土 | 70 | マイティ | 1.0 | 1.4 | 1000 | 8.4 | 15.1 |
| スーパー ファイン | 200 | シリカ フラワー | 40 | マイティ | 1.0 | 1.1 | 820 | 24.5 | 36.8 |
| スーパー ファイン | 150 | シリカ フラワー | 20 | マイティ | 1.0 | 1.3 | 570 | 78.1 | 142.3 |
| スーパー ファイン | 300 | シリカ フラワー | 70 | マイティ | 2.5 | 1.4 | 780 | 12.8 | 21.9 |
| スーパー ファイン | 250 | 木節粘土 | 100 | マイティ | 2.0 | 1.3 | 940 | 1.8 | 3.4 |
| スーパー ファイン | 250 | 木節粘土 | 80 | ボゾリス | 2.0 | 1.5 | 700 | 4.2 | 7.6 |
| スーパー ファイン | 250 | 木節粘土 | 80 | ボゾリス | 3.0 | 1.3 | 580 | 3.9 | 7.7 |

V. 注入装置の設計・製作

昭和56年度の試験結果から、従来の注入装置をそのまま使用すると微少な「割れ目」の少流量測定は不可能であると判断された。その為56年度は従来の装置を改良して使用した。その時の基礎データによって57年度では注入装置の設計・製作を行なった。本注入装置は、システム透水係数が 10^{-5} cm/sec以下の微少な「割れ目」への注水及び注入において、その管理と測定が可能である。

これらの注入装置は、大別してグラウト材混練装置、グラウト材注入装置、制御・計測・記録装置に分けられる。

1. 設計仕様

注入装置の仕様を、表-V.1に示す。

2. 装置

(1) 装置の概要

装置のブロックダイアグラムを図-V.1に示し各々の装置の概要を以下に記す。

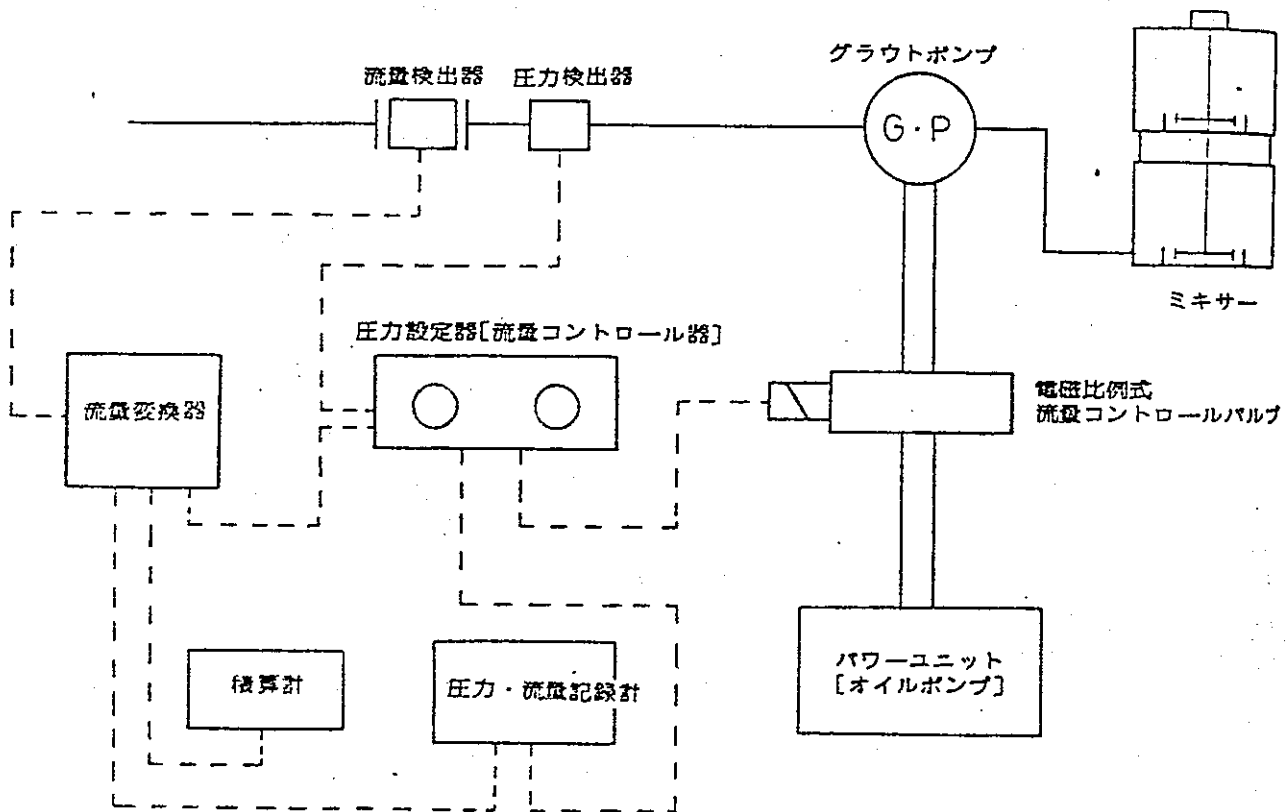


図-V.1 注入装置ブロックダイアグラム

表-V・1 注入装置仕様一覧表

| 区分 | 名称 | 基本仕様 | 項目 | 仕様 | |
|---------------|----------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| グラウト材 混練装置 | ミキサー | ポンプの小吐出に適合した 小型で超微粒子セメントを短 時間で均一に攪拌し、ミキサ ー内に練り残し及び附着が無 い構造。 | 形 式 | タービン式上下2槽 | |
| | | | 槽 容 量 | 80ℓ×2槽 | |
| | | | 攪 拌 容 量 | 60ℓ×2槽 | |
| | | | 回 転 数 | 100~600 rpm | |
| | | | 電 動 機 | 1.5kw×4p | |
| | | | 吐 出 口 | 1 1/2吋 | |
| | | | 寸 法 | 1.17(高)×0.6(幅)×1.07(長) | |
| | | | 重 量 | 200 kg | |
| グラウト材 注入装置 | グラウト ポンプ | 0.5kgf/cm ² ~100kgf/cm ² の範囲で任意に設定可能な圧 力制御型ポンプとし、無漏で、 ほとんど脈動の無い構造。 吐出量は、微少割れ目を考 慮し0~12ℓ/minとする。 | グ ラ ウ ト ポ ン プ 側 | 吐 出 量 | 0~12ℓ/min |
| | | | 吐 出 圧 力 | 0.5~100 kgf/cm ² | |
| | | | 油圧シリンダー径 | 50mm | |
| | | | グラウトシリンダー径 | 50mm | |
| | | | ストローク長 | 150mm | |
| | | | ストローク数 | 3.5~3.9 rpm | |
| | | | 吸 込 口 径 | 1 1/2吋 | |
| | | | 吐 出 口 径 | 1/4吋 | |
| | | | パ ワ ー ユ ニ ツ ト 側 | 形 式 | 自動可変吐出量形フランジャー |
| | | | 回 転 数 | 960 rpm | |
| | | | 吐 出 量 | 0~11ℓ/min | |
| | | | 吐 出 圧 力 | max 140kgf/cm ² | |
| | | | オイルタンク容量 | 114ℓ | |
| | | | 電 動 機 | 3.7kw/6P | |
| | | | 圧 力 側 口 径 | 3/8吋 | |
| リターン側口径 | 3/4吋 | | | | |
| 制御・計測 記録装置 | 電 磁 式 流 量 計 | 圧力を0.5kgf/cm ² ~100 kgf/cm ² の範囲で、任意に 制御し、圧力精度は、最大圧 力の±0.5%以内 流量精度は、最大流量の ±0.5%以内とする。 | 制 御・計 測 (圧 力) | 0.5~100 kgf/cm ² | |
| | | | " (流 量) | 0~12ℓ/min | |
| | | | 精 度 (圧 力) | ±0.5kgf/cm ² 以内 | |
| | | | " (流 量) | ±60cc/min 以内 | |
| | | | 消 費 電 力 | 10VA | |

i) 制御・計測・記録装置（電磁式流量計）

グラウトポンプ吐出圧力が設定圧力に達すると、自動的にグラウトポンプを停止して、吐出圧力が設定値以下になるとグラウトポンプを徐々に働かして、常にグラウトポンプ吐出圧力が設定圧力に保つ様に管理する装置である。制御・計測・記録装置を写真-V・1及び写真-V・2に示す。

グラウトポンプ吐出圧力は、検出器で電圧に変換され、増幅して1~5Vの信号にし、この信号を設定値と比較演算するものである。比較演算器は、設定値に吐出圧力信号値が近づくと、1Vの電圧信号を出し、吐出信号値が設定値より下ると、徐々に1Vから5Vの電圧信号に変わる様コントロールを行なう。比較演算器からの信号（1~5V）は、流量コントロール器に入り、流量コントロール器は、1~5Vの電圧信号を250mA~800mAの電流信号に変換して電磁比例式流量コントロールバルブをコントロールする構造となっている。

電磁比例式流量コントロールバルブは、250mAの時はオイルポンプの吐出量は120ℓ/minであり、800mAの時はオイルポンプ吐出量は最大となるように設定され、流量コントロールは手動によっても250mA~800mAの間で設定する事が出来る。

ii) グラウト材注入装置（グラウトポンプ）

小容量注入ポンプ専用ポンプとして開発され以下の機能を有する。グラウト材注入装置を写真-V・3に示す。

- a) 全油圧式なので、自由に吐出量、吐出圧力を設定出来る。又、注入量及び注入圧力を極めて容易に変更出来る。
- b) 設定注入圧力を厳守出来る。油圧ポンプ吐出圧力を最初の設定圧力にセットしておけば注入対象物及び注入ホース等の閉塞が生じても最初のセット圧力以上に注入圧力が上昇する事がない。
- c) グラウトシリンダー及び油圧シリンダーが差動方式なので、吐出量、吐出圧力の変動が極めて少ない。

iii) グラウト材混練装置（ミキサー）

ベントナイト、セメント、超微粒子セメント等を速やかに混合する様開発されたタービンミキサーで、無段変速機で、運転中に於いても無段階（100~600rpm）に攪拌回転数が選択出来る。グラウト材混練装置を写真-V・4に示す。

(2) 装置図面

注入装置図を図-V・2 ミキサー外形組立図, 図-V・3 グラウトポンプ外形図, 図-V・4 グラウトポンプ組立図, 図-V・5 グラウトポンプ油圧ユニット部組立図, 図-V・6 制御・計測・記録装置図として示す。

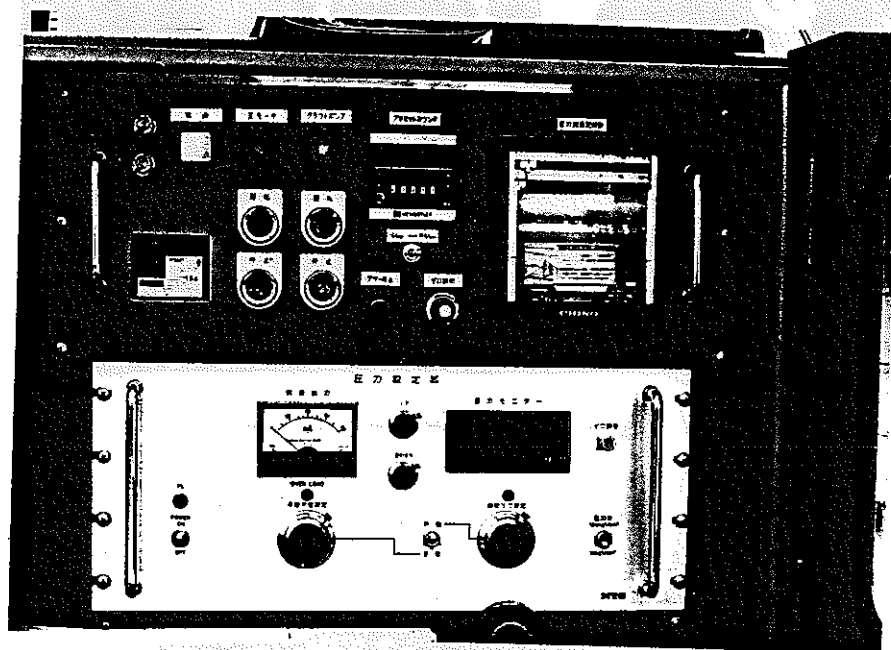


写真-V・1 制御・記録パネル



写真-V・2 検出・制御装置

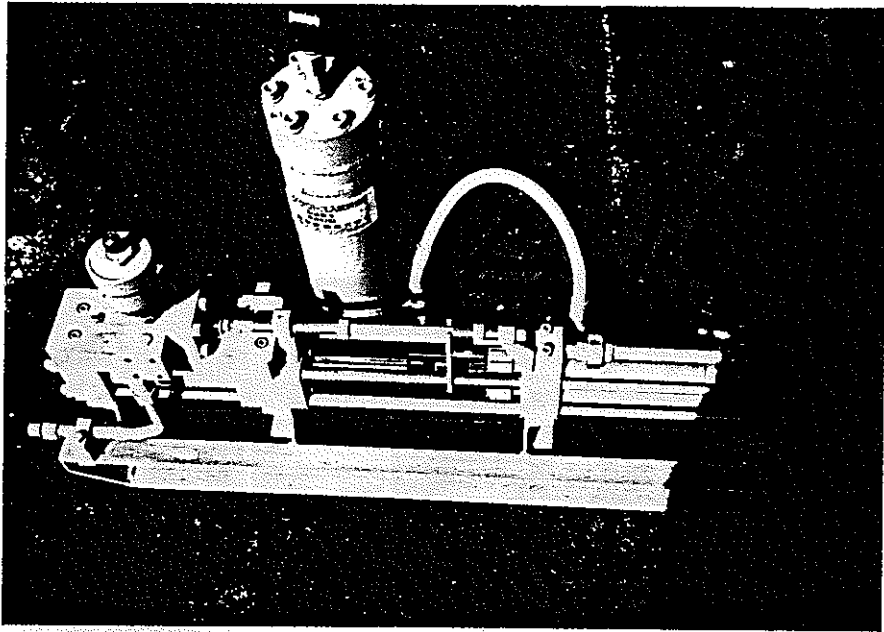


写真-V. 3 グラウトポンプ

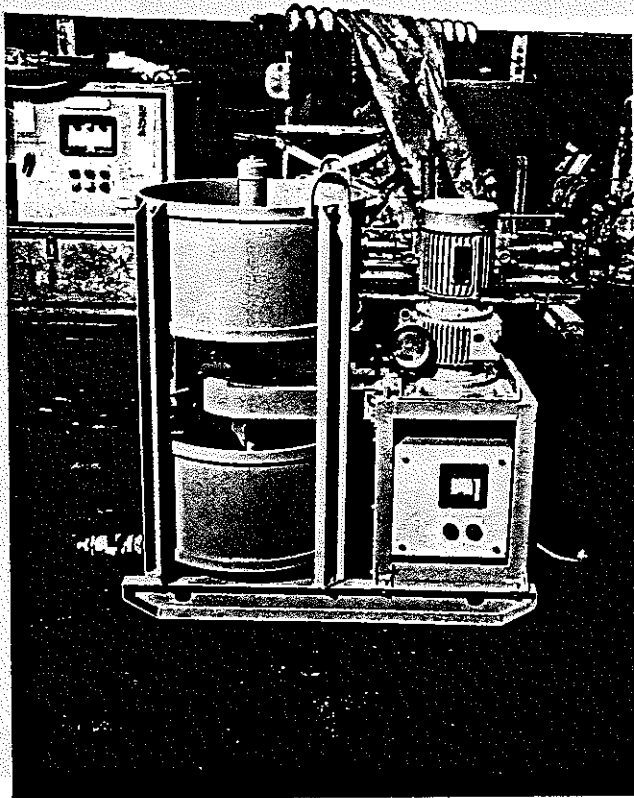
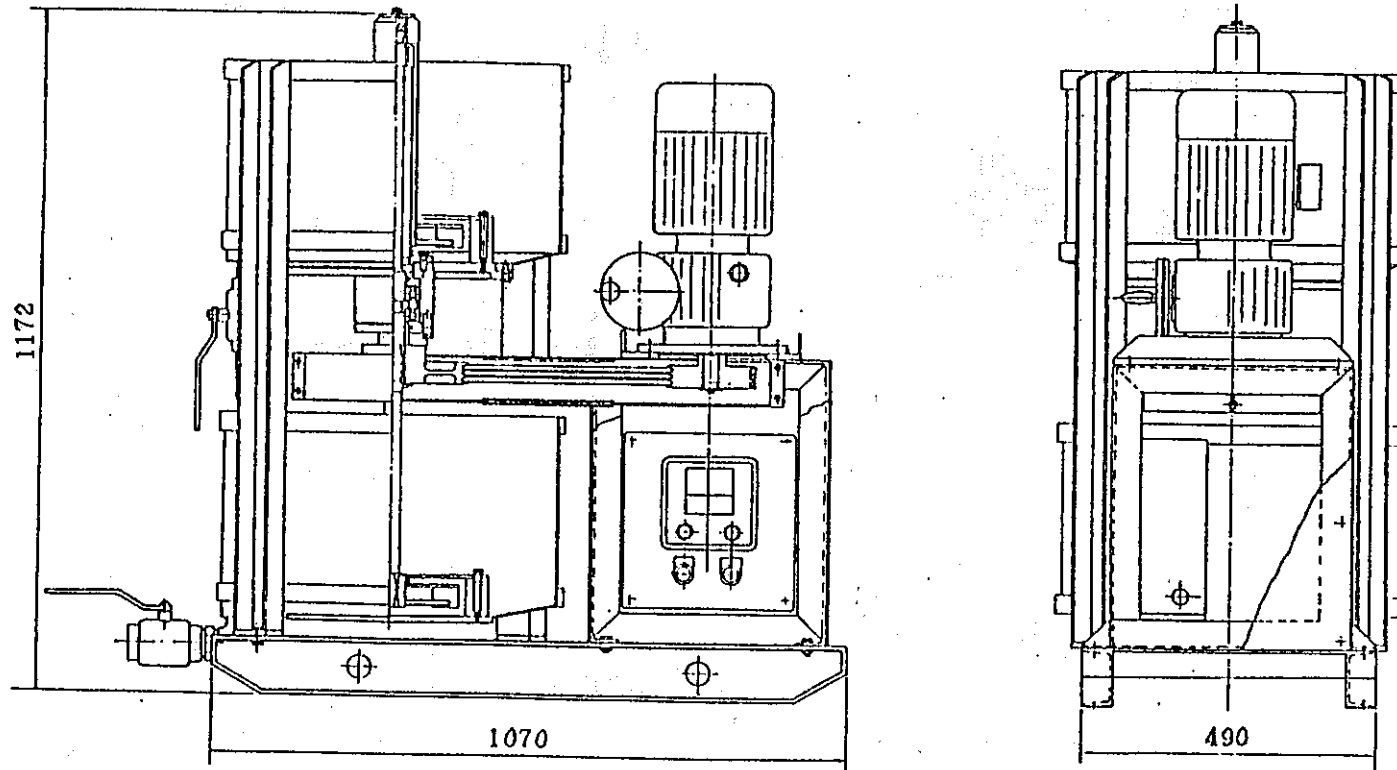
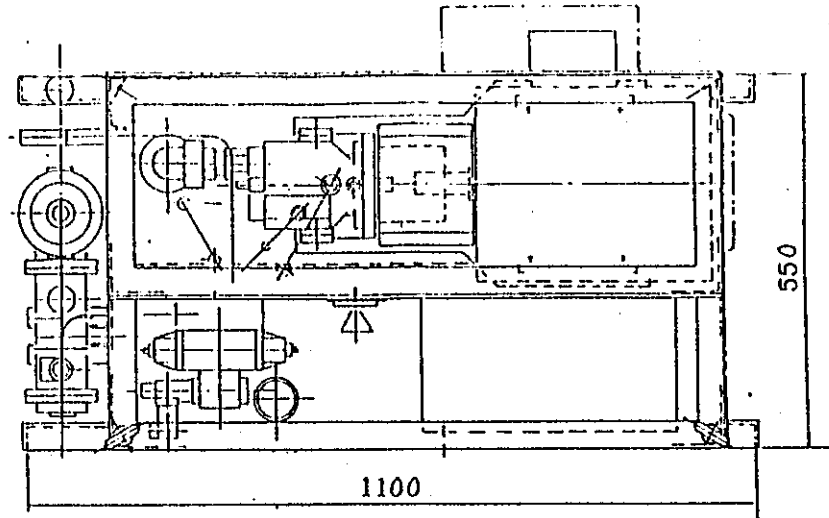
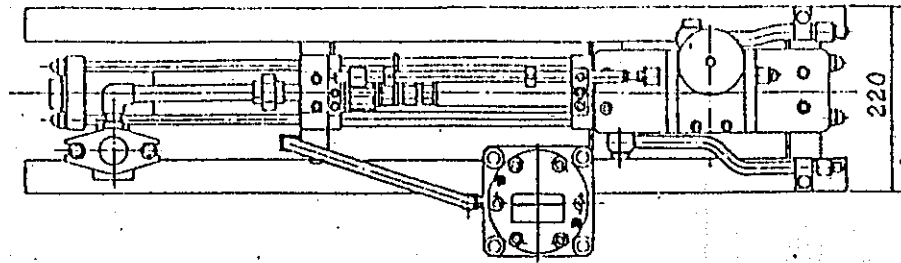


写真-V. 4 ミキサー

| 仕 | | 寸 |
|----------------|-------|---------------|
| 型 式 | | タービン式上下二槽式 |
| 槽 容 量 | ℓ | 80×2 |
| 脱 作 容 量 | ℓ | 60×2 |
| 回 転 数 | r p m | 100~600 |
| 電 動 機 | kw×P | 1.5×4 |
| 吐 出 口 | 吋 | 1 1/2 |
| 機体寸法 (高さ×幅×長さ) | m | 1.13×0.6×1.07 |
| 重 量 | kg | 約200 |



図一V. 2 ミキサー外形組立図



| グラウトポンプ仕様 | | | パワーユニット仕様 | | |
|------------|--------------------|--------|-----------|--------------------|-------|
| 吐出量 | ℓ/min | 1~10 | 形式 | 可変吐出量プランジポンプ | |
| 吐出圧力 | kg/cm ² | 1~100 | 吐出量 | ℓ/min | 1.1 |
| オイルシリンダー径 | mm | 50 | 吐出圧力 | kg/cm ² | 140 |
| グラウトシリンダー径 | mm | 50 | 回転数 | r.p.m. | 960 |
| ストローク数 | r.p.m. | 3.5~39 | 電動機 | kw×P | 3.7×6 |
| ストローク長 | mm | 150 | 計器重量 | kg | |
| 計器重量 | kg | | | | |

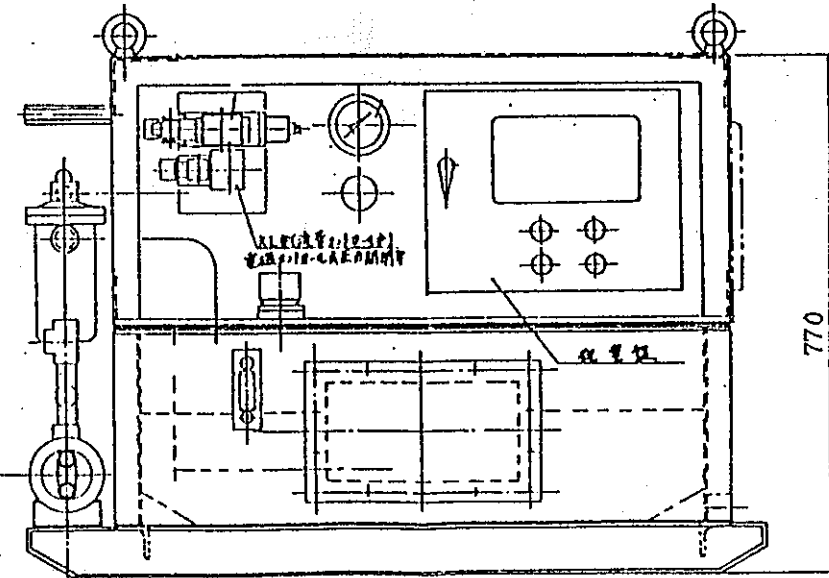
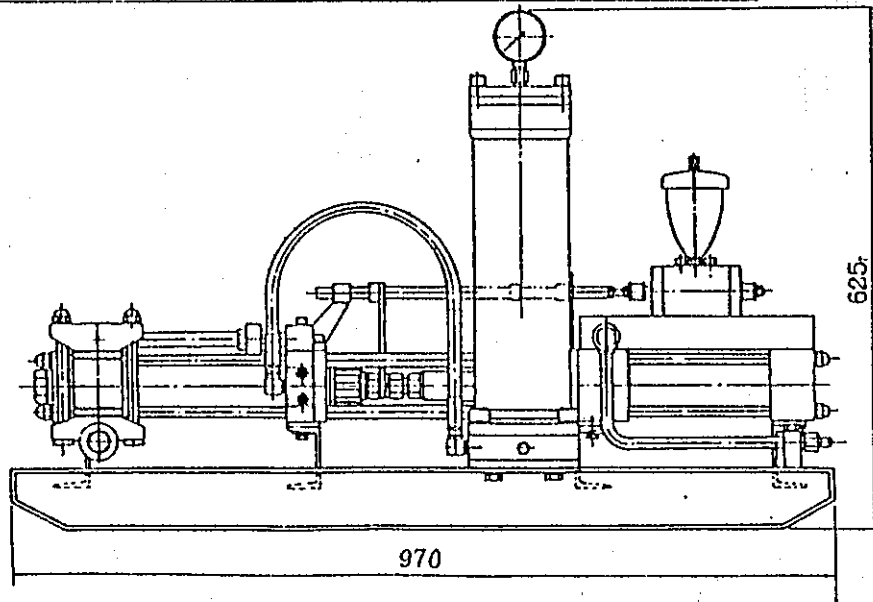


図-V. 3 グラウトポンプ外形図

図-V. 3 グラウトポンプ外形図

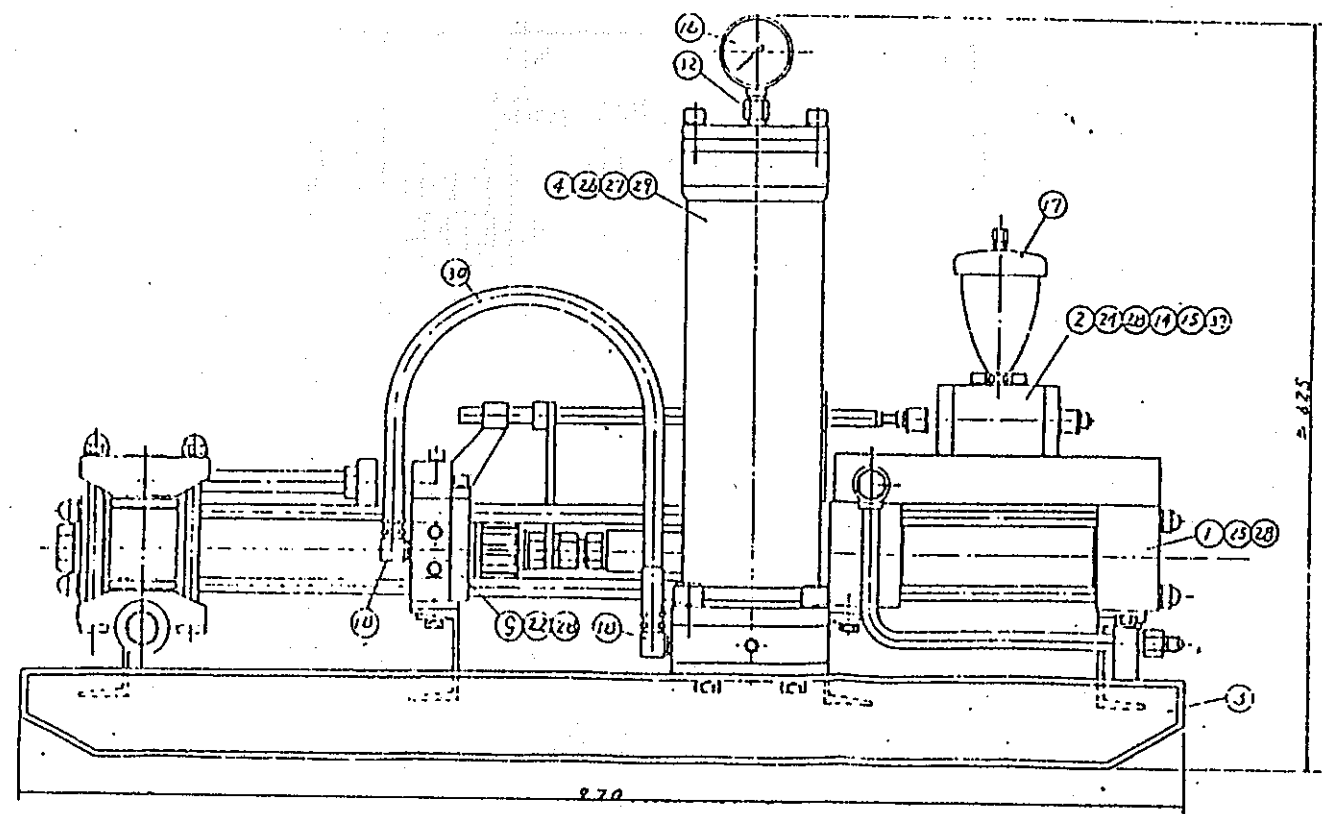
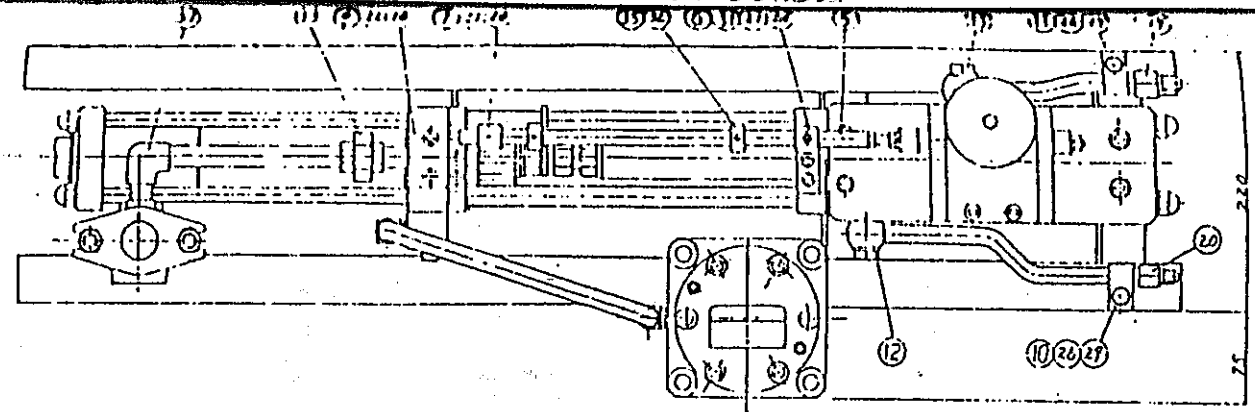


図-V. 4 グラウトポンプ組立図

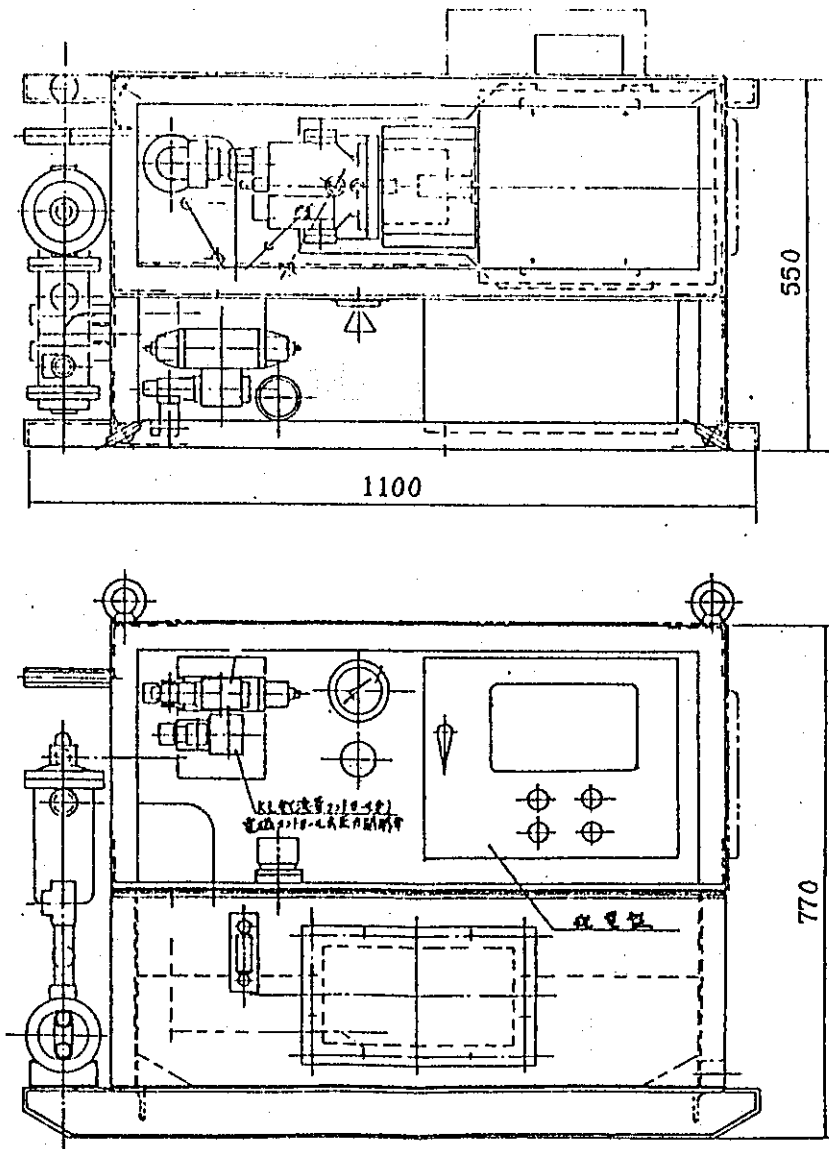
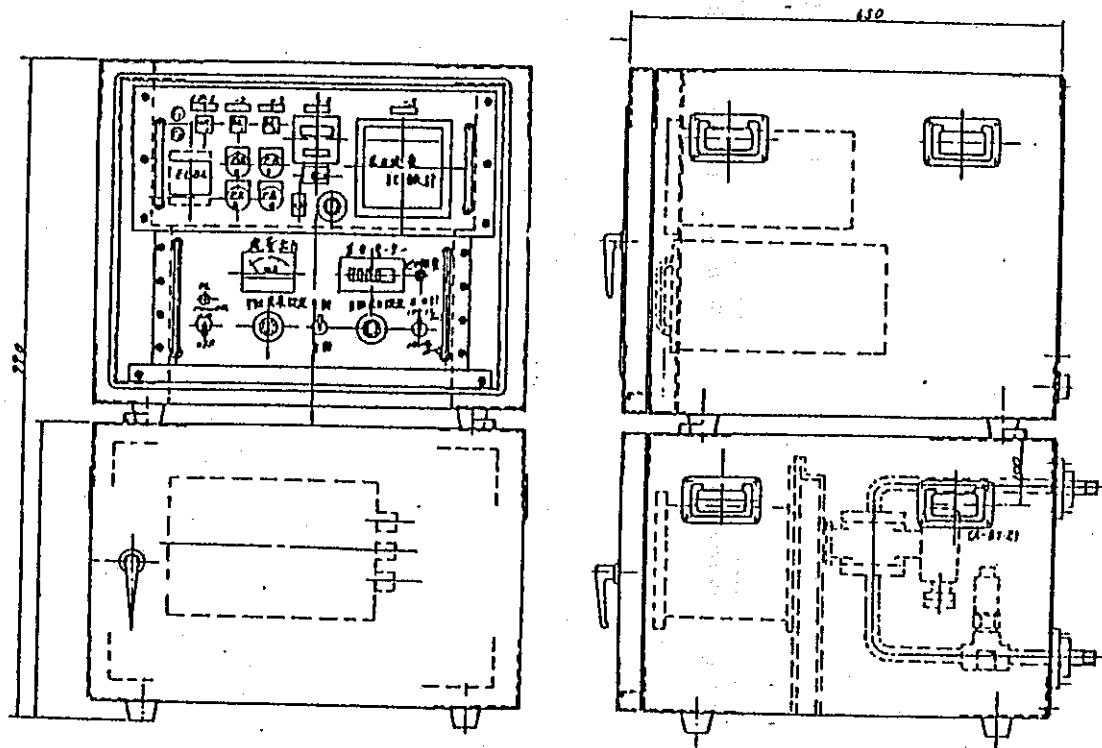


図-V. 5 グラウトポンプパワーユニット組立図



| 仕 | | 保 | |
|---------|---------------|--------------------|-------------------|
| 記 | 流量記録範囲 | ℓ/min | 0~10 (0~1) |
| | 圧力記録範囲 | kg/cm ² | 0~10 (0~100) |
| | チャート送り速度 | mm/hr | 300, 600, 1200 |
| 録 | 記録紙幅 | mm | 100 |
| | 流量記録精度 | % | 0.5 |
| 計 | 圧力記録精度 | % | 0.5 |
| | 重 | kg | 5.4 |
| 流 | 流量計測範囲 (二段切換) | ℓ/min | 0~10 (0~1) |
| | 流量計測精度 | % | F.S.O.S (FS1) |
| | 計測可能液体 | | スラリー及び溶液 |
| | ライニング | | テフロン |
| 圧力 | 圧力設定範囲 | kg/cm ² | 1~10 (検出器交換1~100) |
| | 流量設定範囲 | ℓ/min | 1~10 |
| 検出器設置距離 | m | | 10以内 |
| 圧力設定精度 | % | | ±FS1 |

図-V. 6 制御・計測・記録装置図

3. 性能試験

注入装置の精度を確認する為に、注水予備試験及び注入予備試験を行なった。試験は、手動時は流量設定で行ない、自動時は圧力設定で行なう。測定は、全注入（水）量を重量法及び容積法で行なった。さらに、精密圧力計及び精密流量計を取り付けて、精度を再確認しながら試験した。試験配置図を図-V・7に示す。

(1) 送水試験

1) 手動時注水予備試験

a) 方法

流量計の流量設定カウンターを一定量に設定し、デジタルボルトメーターによる換算流量及び全流量の重量とを比較し、精度を確認した。

b) 段階

試験段階を表-V・2に示す。

c) 試験結果

注水予備試験手動時の結果を表-V・3に示す。

表-V・2 送水試験（手動時）段階表

| 測定No. | 設定流量 (ℓ) | 設定流量 (ℓ/min) | 測定時間 (min) |
|-------|----------|--------------|------------|
| 1 | 5 | 0.2 | 25.0 |
| 2 | 15 | 0.4 | 37.5 |
| 3 | 40 | 1.0 | 40.0 |
| 4 | 20 | 2.0 | 10.0 |
| 5 | 30 | 3.0 | 10.0 |
| 6 | 40 | 4.0 | 10.0 |
| 7 | 50 | 5.0 | 10.0 |
| 8 | 70 | 7.0 | 10.0 |
| 9 | 100 | 10.0 | 10.0 |
| 10 | 120 | 12.0 | 10.0 |

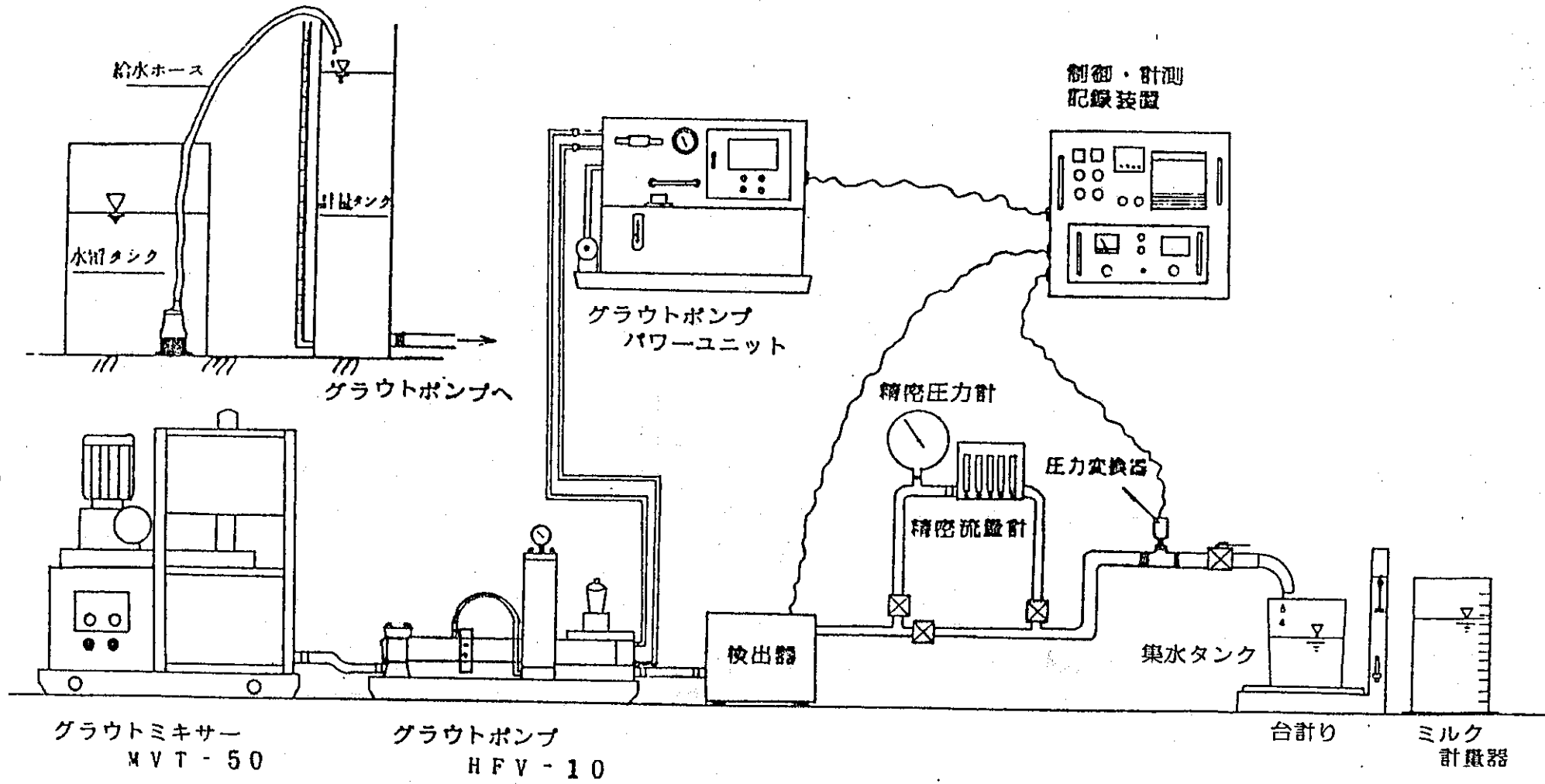


図-V.7 試験配置図

表 - V . 3 送 水 試 験 (手 動 時) 結 果

| 項目 測定No. | カウンター 設定量 (ℓ) | 測定時間 (分) (秒) | 全流量重量 (kg) | カウンター 設定流量 (ℓ/min) | 流量計 Vmeter 換算流量 (ℓ/min) | 実質流量 (ℓ/min) | 許容流量範囲 実質流量 ± 60 cc/min (ℓ/min) | 対フルスケール (12 ℓ/min) 比精度 (%) | |
|-------------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| | | | | | | | | カウンター 設定流量 (%) | 流量計 Vmeter 換算流量 (%) |
| 1 | 5 | 26' 11" | 5.150 | 0.191 | 0.201 | 0.197 | 0.137~0.257 | -0.05 | +0.03 |
| 2 | 15 | 39' 22" | 15.310 | 0.381 | 0.395 | 0.389 | 0.329~0.449 | -0.07 | +0.05 |
| 3 | 40 | 42' 30" | 40.880 | 0.941 | 0.958 | 0.962 | 0.902~1.022 | -0.18 | -0.03 |
| 4 | 20 | 10' 03" | 19.930 | 1.990 | 2.011 | 1.983 | 1.923~1.043 | +0.06 | -0.23 |
| 5 | 30 | 10' 02" | 29.850 | 2.990 | 3.000 | 2.975 | 2.915~3.035 | +0.13 | +0.21 |
| 6 | 40 | 9' 58" | 39.870 | 4.013 | 4.007 | 4.000 | 3.940~4.060 | +0.11 | +0.06 |
| 7 | 50 | 9' 57" | 49.870 | 5.025 | 5.019 | 5.012 | 4.952~5.072 | +0.11 | +0.06 |
| 8 | 70 | 9' 57" | 69.740 | 7.035 | 7.028 | 7.009 | 6.949~7.069 | +0.22 | +0.16 |
| 9 | 100 | 9' 56" | 99.640 | 10.067 | 10.049 | 10.031 | 9.971~10.091 | +0.30 | +0.15 |
| 10 | 120 | 9' 55" | 119.760 | 12.101 | 12.099 | 12.077 | 12.017~12.137 | +0.20 | +0.18 |

ii) 自動時注水予備試験

a) 方法

流量計の設定カウンターを一定量に設定し、注入口先端コックをしぼって圧力設定を行なう。計測は、デジタルボルトメーターによる換算流量及び全流量の重量で行ない精度を確認した。

b) 段階

試験段階を表-V・4に示す。

c) 試験結果

注水予備試験自動時の結果を表-V・5に示す。

表-V・4 送水試験 (自動時) 段階表

| 測定No. | 設定圧力 (kgf/cm ²) | 設定流量 (ℓ) |
|-------|-----------------------------|----------|
| 11 | 1 | 5 |
| 12 | 3 | 10 |
| 13 | 5 | 15 |
| 14 | 7 | 15 |
| 15 | 10 | 15 |
| 16 | 30 | 15 |
| 17 | 50 | 20 |
| 18 | 70 | 20 |
| 19 | 100 | 20 |

(2) 送グラウト材試験

IV章のグラウト材料特性試験で選択されたグラウト材を使用し、注入装置の注入予備試験を行なった。試験は、流量計で一定量を設定し、自動時における精度を容積法にて確認した。

i) 配合

グラウト材の配合を表-V・6に示す。

表-V・6 配合表

| 主材 | 混和材 | 高性能減水剤 | 水 | 練り上り | 水・主材比 重量% (%) | 主材・混和 材比重量% (%) | 主材・高性能 減水剤比重量 % (%) |
|----------|------|----------|-----|-------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| コロイドセメント | 水節粘土 | マイティ150R | (ℓ) | (ℓ) | | | |
| 10kg | 7kg | 0.1kg | 20 | 26.32 | 200 | 70 | 1.0 |

表 - V . 5 送 水 試 験 (自 動 時) 結 果

| 項目 測定No. | 設定圧力 (kgf/cm ²) | 実質圧力 (kgf/cm ²) | 許容圧力範囲 設定圧力 ± 0.5 (kgf/cm ²) | 対フルスケール (100kgf/cm ²) 比 精度 (脈動幅) (%) | カウン ター 設定量 (ℓ) | 測定時間 (分) (秒) | 全流量 重量 (kg) | カウンター 設定流量 (ℓ/min) | 流量計 V meter 換算流量 (ℓ/min) | 実質流量 (ℓ/min) | 許容流量範囲 実質流量 ± 60cc/min (ℓ/min) | 対フルスケール (12ℓ/min) 比%精度 | |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|---|---|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------|---|------------------------|------------------------|
| | | | | | | | | | | | | カウンター 設定流量 (%) | 流量計 Vmeter 換算流量 (%) |
| 11 | 1 | 1.00-1.02 | 0.5-1.5 | 0.02 | 5 | 21' 39" | 5.820 | 0.231 | 0.287 | 0.269 | 0.209-0.329 | -0.32 | +0.15 |
| 12 | 3 | 2.96-3.05 | 2.5-3.5 | 0.09 | 10 | 21' 11" | 10.630 | 0.472 | 0.502 | 0.502 | 0.442-0.562 | -0.25 | 0 |
| 13 | 5 | 4.89-5.06 | 4.5-5.5 | 0.17 | 15 | 24' 33" | 16.030 | 0.611 | 0.664 | 0.653 | 0.593-0.713 | -0.35 | +0.09 |
| 14 | 7 | 6.92-7.04 | 6.5-7.5 | 0.12 | 15 | 19' 58" | 15.410 | 0.751 | 0.782 | 0.772 | 0.712-0.832 | -0.18 | +0.08 |
| 15 | 10 | 9.87-10.10 | 9.5-10.5 | 0.23 | 15 | 16' 54" | 15.580 | 0.888 | 0.930 | 0.922 | 0.862-0.982 | -0.28 | +0.07 |
| 16 | 30 | 29.7-30.4 | 29.5-30.5 | 0.70 | 15 | 7' 57" | 15.200 | 1.887 | 1.921 | 1.912 | 1.852-1.972 | -0.21 | +0.08 |
| 17 | 50 | 49.4-50.7 | 49.5-50.5 | 0.80 | 20 | 9' 28" | 20.270 | 2.113 | 2.141 | 2.131 | 2.071-2.191 | -0.15 | +0.08 |
| 18 | 70 | 69.4-70.4 | 69.5-70.5 | 1.00 | 20 | 6' 41" | 20.370 | 2.993 | 3.058 | 3.048 | 2.988-3.108 | -0.45 | +0.08 |
| 19 | 100 | 99.5-100.5 | 99.5-100.5 | 1.90 | 20 | 6' 16" | 20.240 | 3.191 | 3.211 | 3.230 | 3.170-3.290 | -0.33 | -0.16 |

表-V. 8 送グラウト材予備試験結果

| 項目 測定No. | 設定圧力 (kgf/cm ²) | 実質圧力 (kgf/cm ²) | 許容圧力範囲 設定圧力 ±0.5 (kgf/cm ²) | 対フルスケール (100kgf/cm ²)比 精度(脈動幅) (%) | カウン ター 設定量 (ℓ) | 測定時間 (分)(秒) | 全流量 重量 (kg) | カウンター 設定流量 (ℓ/min) | 流量計V meter 換算流量 (ℓ/min) | 実質流量 (ℓ/min) | 許容流量範囲 実質流量 ±60cc/min (ℓ/min) | 対フルスケール(12ℓ/min)比%精度 | |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---|-------------------------|----------------|-------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------|--|----------------------|----------------------|
| | | | | | | | | | | | | カウンター 設定流量(%) | 流量計Vmeter 換算流量(%) |
| 20 | 1 | 1.03-1.10 | 0.5-1.5 | 0.07 | 5 | 28'54" | 5.721 | 0.173 | 0.229 | 0.198 | 0.138-0.258 | -0.21 | +0.26 |
| 21 | 3 | 3.09-3.14 | 2.5-3.5 | 0.05 | 10 | 23'38" | 11.390 | 0.423 | 0.519 | 0.482 | 0.422-0.542 | -0.49 | +0.31 |
| 22 | 5 | 4.91-5.00 | 4.5-5.5 | 0.09 | 15 | 22'46" | 15.693 | 0.659 | 0.680 | 0.689 | 0.629-0.749 | -0.25 | -0.08 |
| 23 | 7 | 6.92-7.03 | 6.5-7.5 | 0.11 | 15 | 19'30" | 15.788 | 0.769 | 0.834 | 0.810 | 0.750-0.870 | -0.34 | +0.20 |
| 24 | 10 | 9.89-10.14 | 9.5-10.5 | 0.25 | 15 | 12'00" | 14.555 | 1.250 | 1.258 | 1.213 | 1.153-0.273 | +0.31 | +0.38 |
| 25 | 30 | 29.75-30.15 | 29.5-30.5 | 0.40 | 15 | 9'34" | 19.590 | 2.091 | 2.086 | 2.048 | 1.988-2.108 | +0.36 | +0.32 |
| 26 | 50 | 49.73-50.37 | 49.5-50.5 | 0.64 | 20 | 8'42" | 19.545 | 2.299 | 2.294 | 2.247 | 2.187-2.307 | +0.43 | +0.39 |
| 27 | 70 | 69.61-70.39 | 69.5-70.5 | 0.78 | 20 | 7'01" | 20.327 | 2.850 | 2.947 | 2.897 | 2.837-2.957 | +0.39 | +0.42 |
| 28 | 100 | 99.48-100.39 | 99.5-100.5 | 0.91 | 20 | 6'28" | 20.220 | 3.093 | 3.168 | 3.127 | 3.067-3.187 | +0.28 | +0.34 |

ii) 方 法

表-V・6に示した配合をミキサーで練り、一定設定量の精度を容積法で確認した。

iii) 段 階

試験段階を表-V・7に示す。

表-V・7 送グラウト材予備試験段階表

| 測定No. | 設定圧力 (kgf/cm ²) | 設定流量 (ℓ) |
|-------|--------------------------------|-------------|
| 20 | 1 | 5 |
| 21 | 3 | 10 |
| 22 | 5 | 15 |
| 23 | 7 | 15 |
| 24 | 10 | 15 |
| 25 | 30 | 20 |
| 26 | 50 | 20 |
| 27 | 70 | 20 |
| 28 | 100 | 20 |

iv) 試験結果

試験結果を表-V・8に示す。

4. 結果及び考察

本注入試験装置はシステム透水係数が 10^{-5} cm/sec 以下の微少割れ目へ注入し、測定、制御、記録する事を目的として開発した装置である。

V-3 注水・注入予備試験の試験結果(表-V・3, 5, 8)から注入試験装置の注入精度が当初の目的であった精度(圧力, 流量ともに, フルスケールの±0.5%以内)を満たしている事が解った。注水・注入予備試験結果精度分布図を, 横軸を重量法及び容積法で計測した実質流量, 縦軸を流量計のVmeter換算流量, カウンター設定流量として図-V・8~図-V・12に示す。これらの図から, カウンター流量及びVmeter流量ともに許容精度(フルスケール±0.5%以内)の範囲内にあるが, 特にVmeter流量が注水予備試験結果と注入予備試験結果を比較して注水予備試験結果の方が精度良く分布しているが,

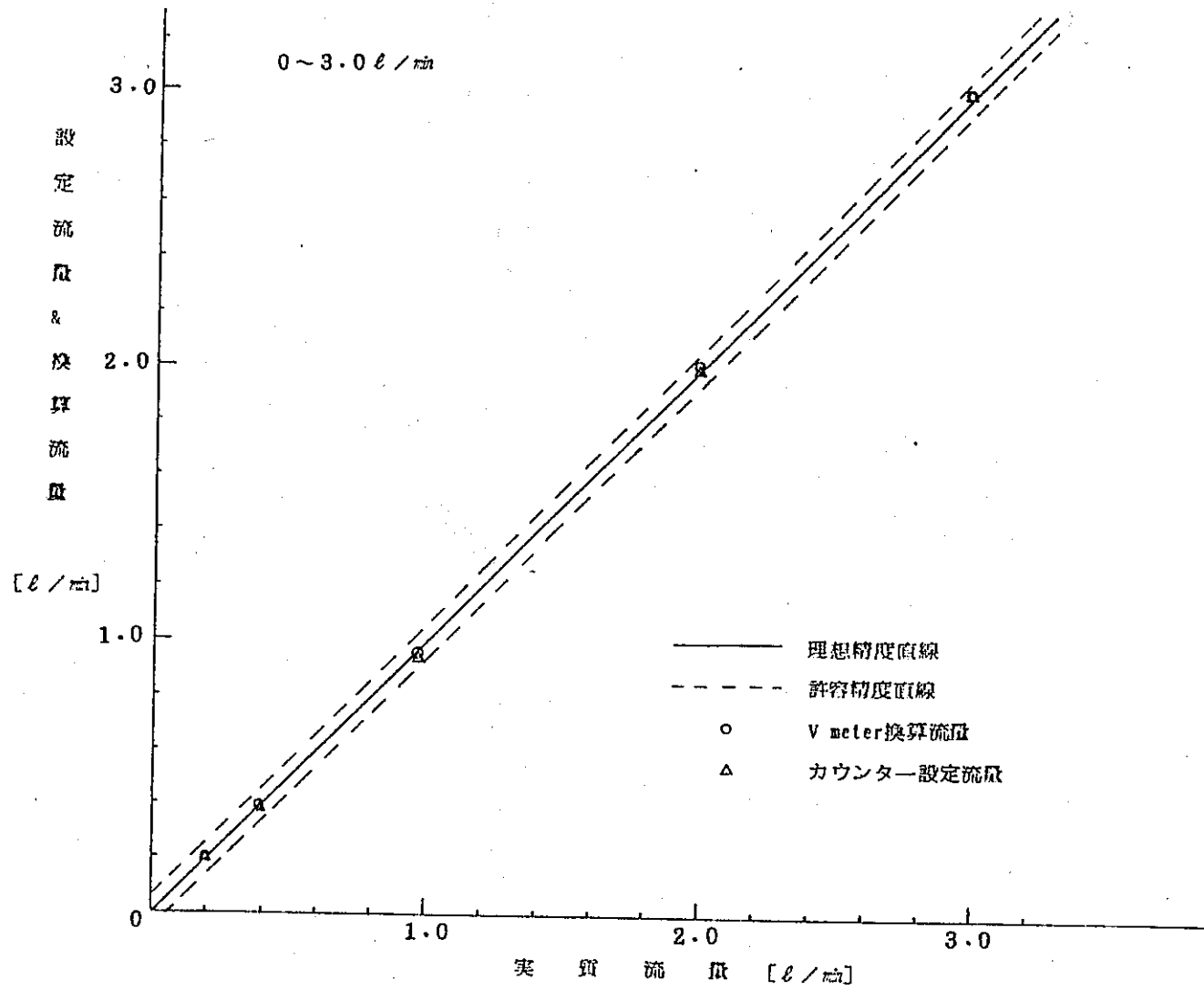


図-V. 8 送水試験 (手動時) 精度分布図

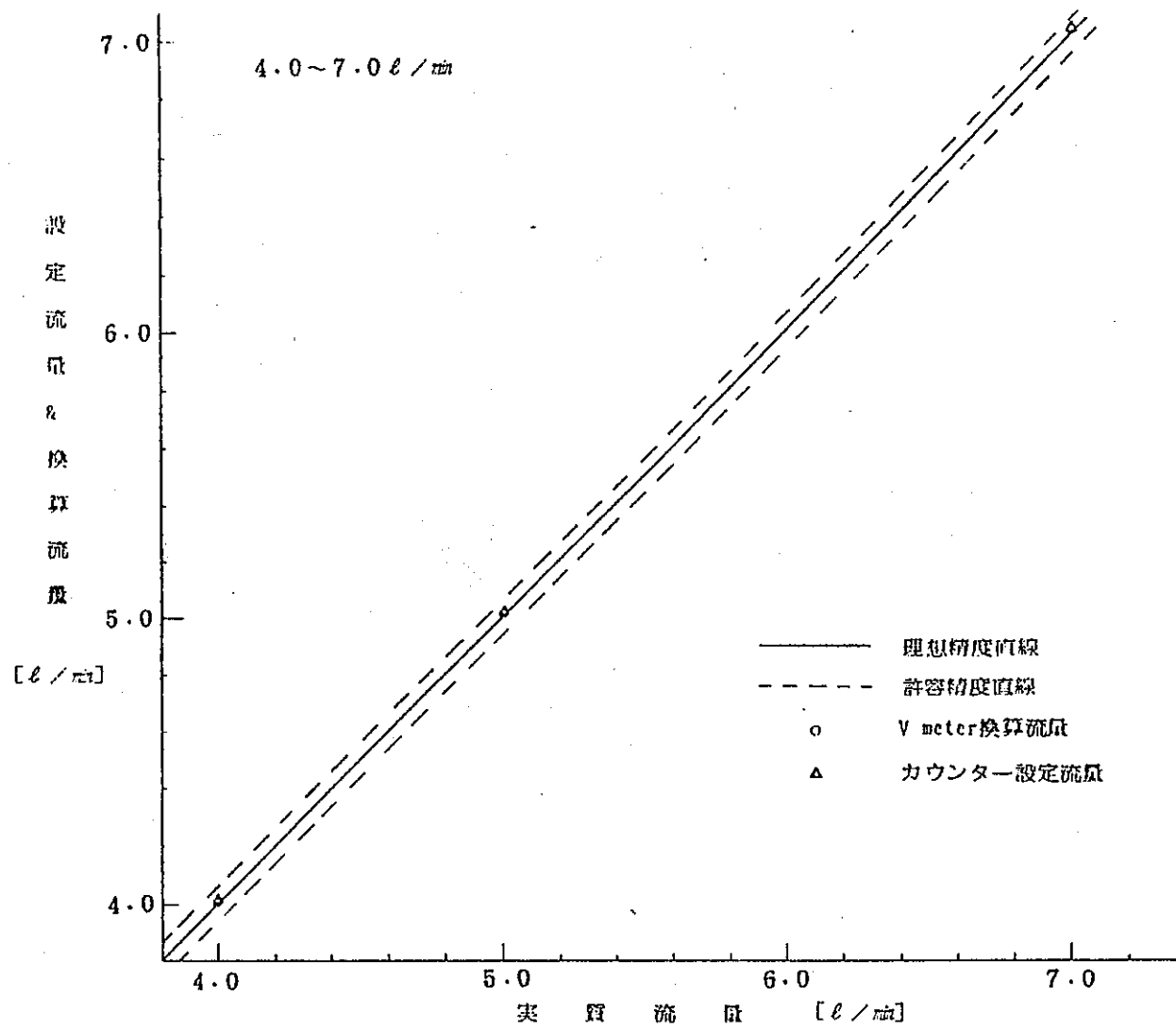


図-V. 9 送水試験 (手動時) 精度分布図

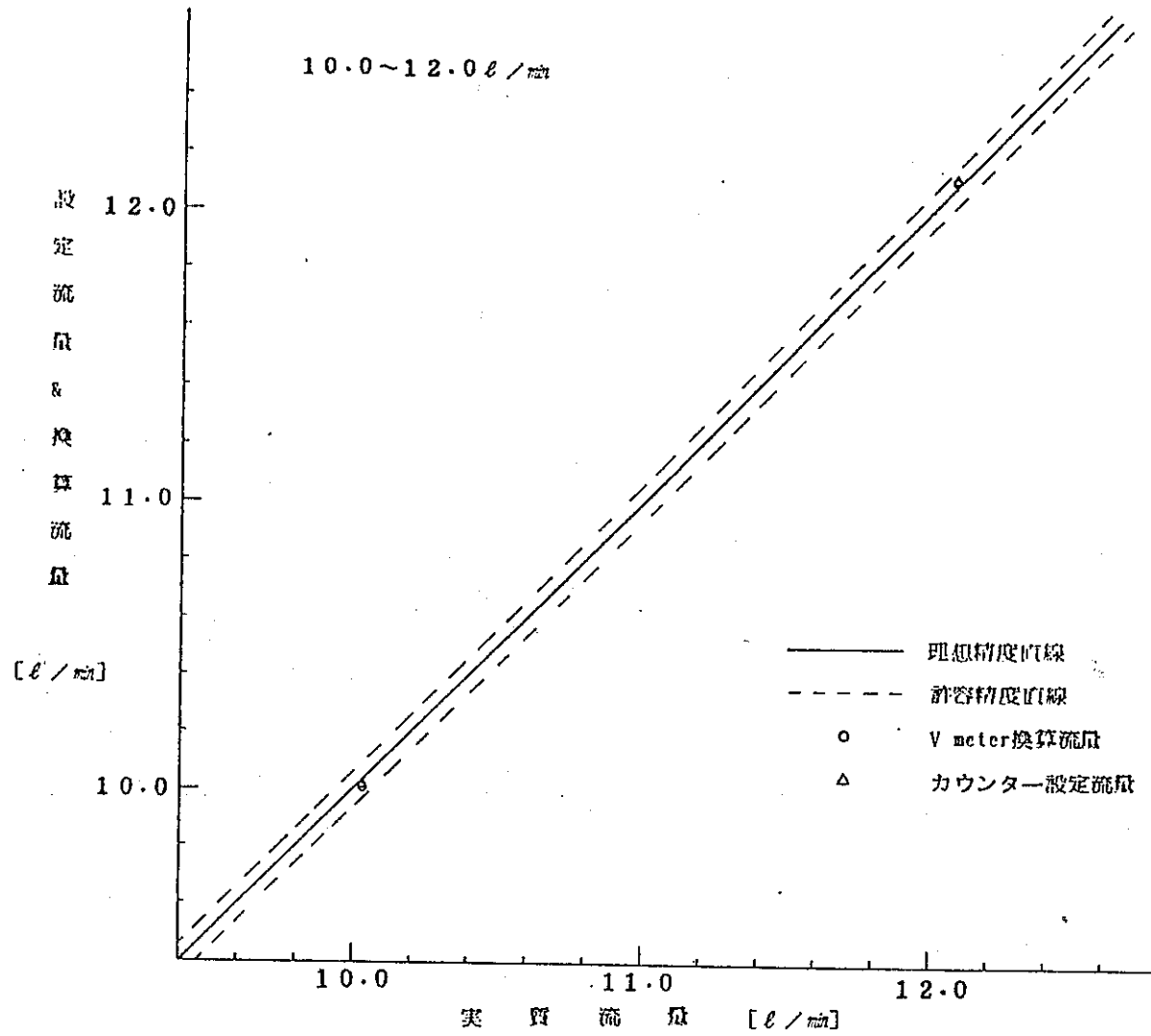


図-V. 10 送水試験 (手動時) 精度分布図

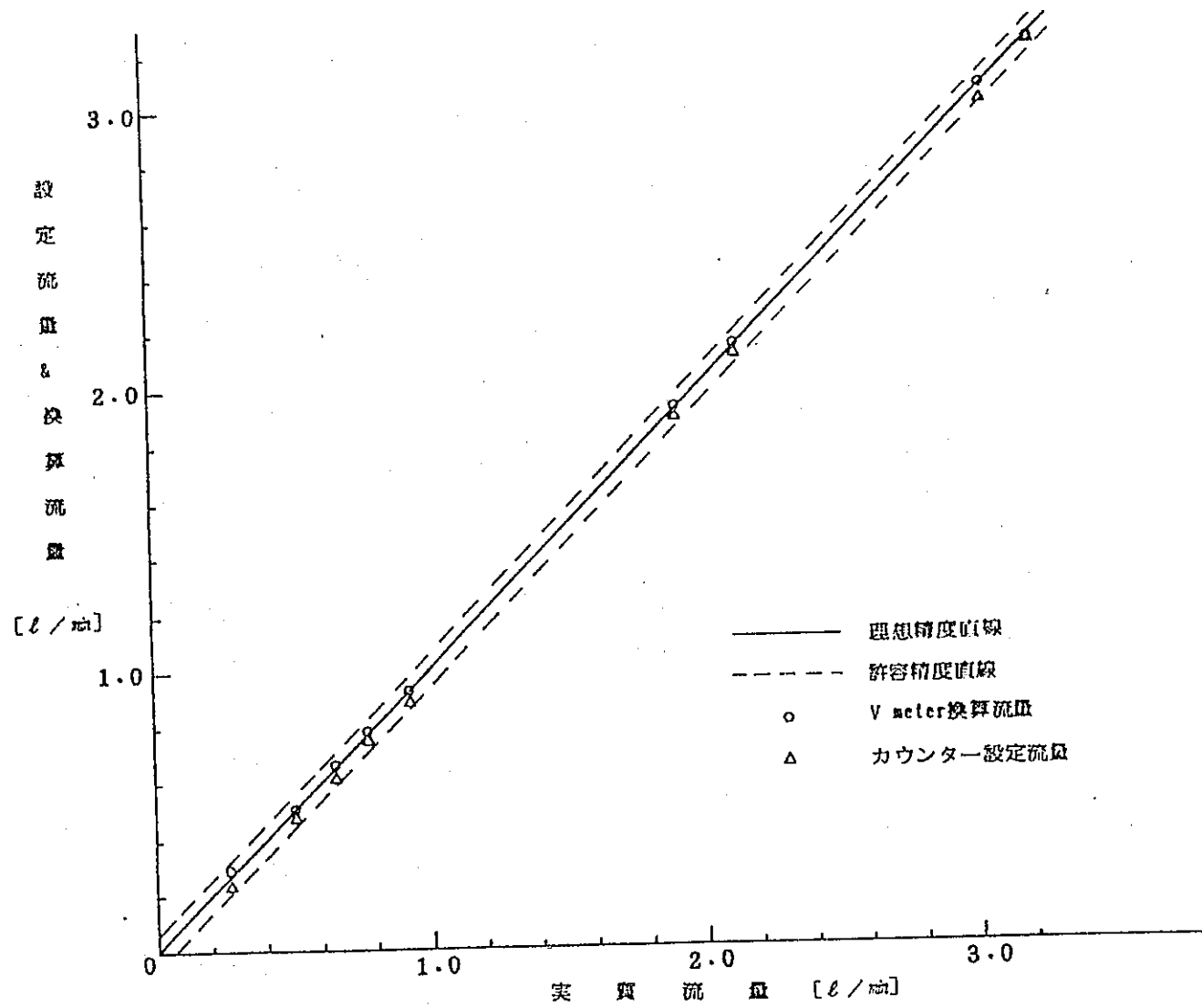
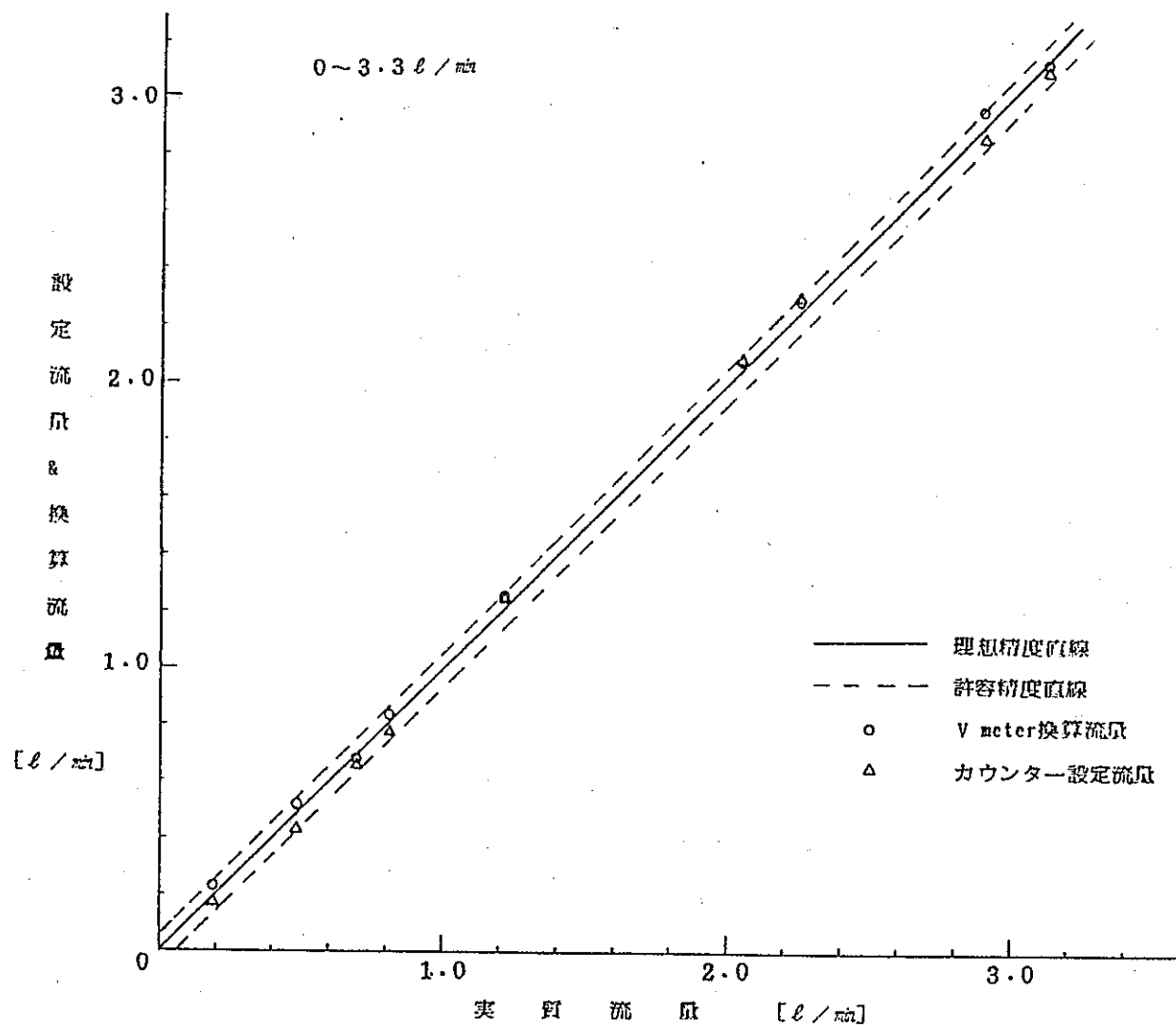


図-V. 11 送水試験 (自動時) 精度分布図



図一V. 12 注入予備試験精度分布図

これは Vmeter の動きが注水予備試験時より大きかった為の測定時誤差及び完全に練り切れなかった注入材料の "カス" の管内付着による影響と思われる。

今後の注入装置の課題としては、下記の事項が考えられる。

- 1) 圧力、流量とも、当初目標であったフルスケール $\pm 0.5\%$ 以内を満足しているが、注水時と注入時の差異をなくする事。
- 2) 設定圧力、設定流量に安定はするが、やや時間がかかりすぎる。特に、少流量 (100 cc/min 以下)、低圧力 (0.5 kg/cm^2 以下) における制御を速やかにおこなえる様なシステムを付加する。
- 3) ミキサーで練った後の注入材料の "カス" が、注入系列配管に混入しない為のスクリーン装置の再見当を行なう。

VI グラウトモデル試験

割れ目へのグラウト材の浸透過程を平板（ガラス板）隙間モデルを使用して定性的に把握するために実施した試験である。

1. 試験材料

使用したグラウト材料はIV章で得られた以下に示す5配合である。これら各配合のブリ

表-VI-1 グラウト材の配合表

| グラウト材 の記号 | 主 材 | | 混 和 材 | | 高 性 能 減 水 剤 | |
|--------------|--------------|------------|---------|---------|-------------|-----------|
| | 名 称 | 水セメント比 (%) | 名 称 | 配合比 (%) | 名 称 | 配合比 (%) |
| 1 | コロイドセメント | 200 | 木 節 粘 土 | 70 | マイティ150R | 1.0 |
| 2 | スーパーファインセメント | 250 | 木 節 粘 土 | 80 | ポゾリスNL4000 | 3.0 cc/kg |
| 3 | スーパーファインセメント | 250 | 木 節 粘 土 | 80 | ポゾリスNL4000 | 2.0 cc/kg |
| 4 | スーパーファインセメント | 250 | 木 節 粘 土 | 100 | マイティ150R | 2.0 |
| 5 | 前造ポルトランドセメント | 150 | 木 節 粘 土 | 60 | マイティ150R | 2.0 |

ージング率及びB型回転粘度計で求められた粘性係数、平均粒径、最大粒径等を表-VI-2に示す。又、グラウト材の粒径分布を図-VI-1に示す。これらの配合のグラウト材はレオロジー的性質をもつ塑性流体（Bingham流体）である。このような流体の特性を分類して流動曲線（flow curve）を描くと図-VI-2の如くなり、その流動方程式を表-VI-3に示す。

表-VI-2 グラウト材の特性表

| グラウト材 | 比 重 | ブリージング率 (%) | 粘性係数 (cP) | 平均粒径 (μm) | 最大粒径 (μm) |
|-------|------|-------------|-----------|------------------|------------------|
| A | 1.41 | 1.4 | 1000 | 8.8 | — |
| B | 1.35 | 1.3 | 580 | 4.1 | — |
| C | 1.35 | 1.5 | 700 | 4.1 | — |
| D | 1.38 | 1.3 | 940 | 4.2 | — |
| E | 1.50 | 1.5 | 1000 | 14.5 | — |

使用したグラウト材のビンガム流体としての特性を求めるために、共軸二重円筒型回転粘度計（KK.協和科学製）を用いて測定した。この装置により得られた値から、剪断応力及び剪断速度を下記の如く計算して求めた。

内径の半径を r_b 、外径の半径を r_o とし、外筒を回転するときの剪断応力 τ は

$$\tau = T / 2\pi r_b^2 \cdot h \quad (6.1)$$

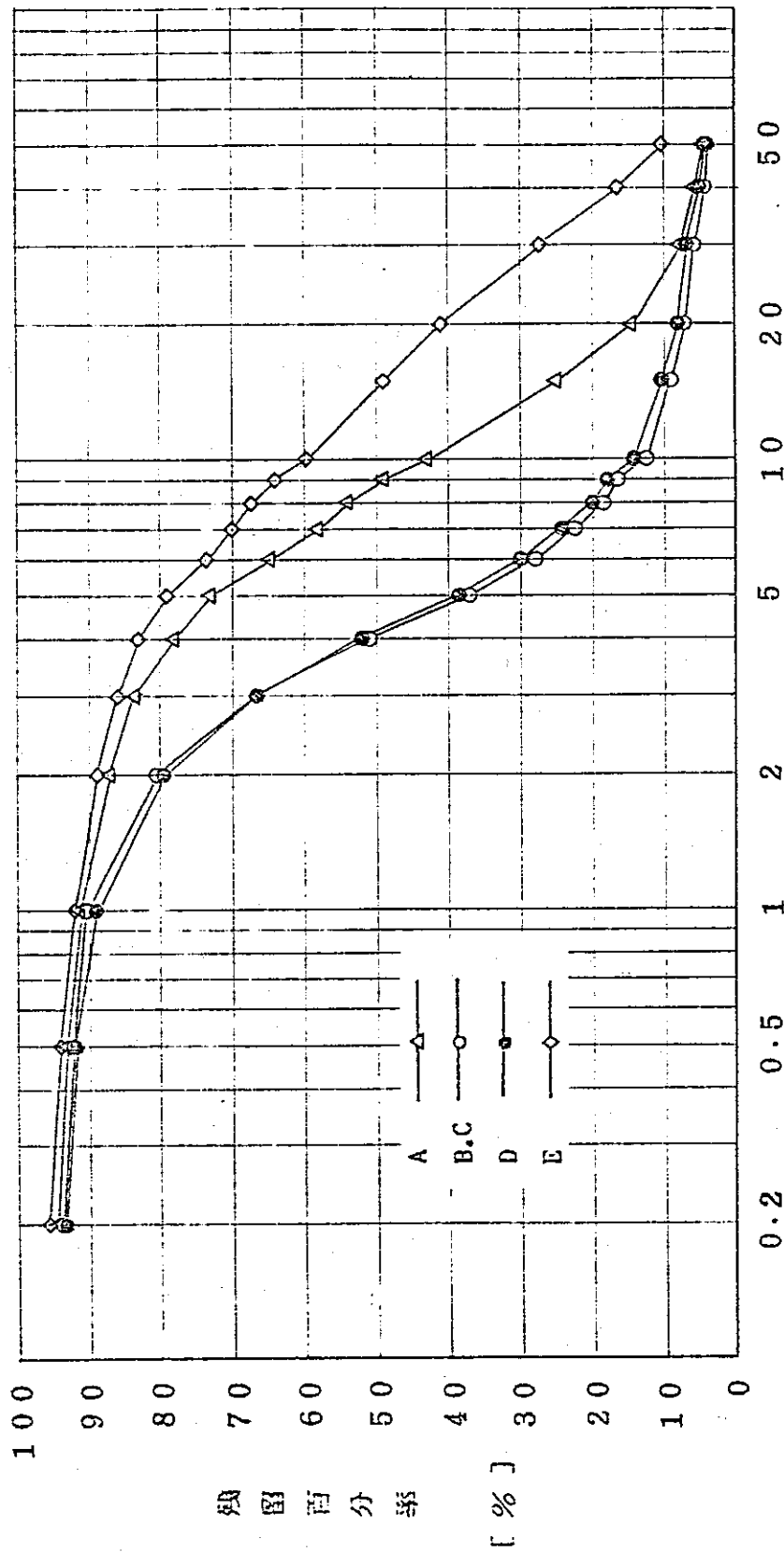


图-VI. 1 粒 径 分 布 曲 线

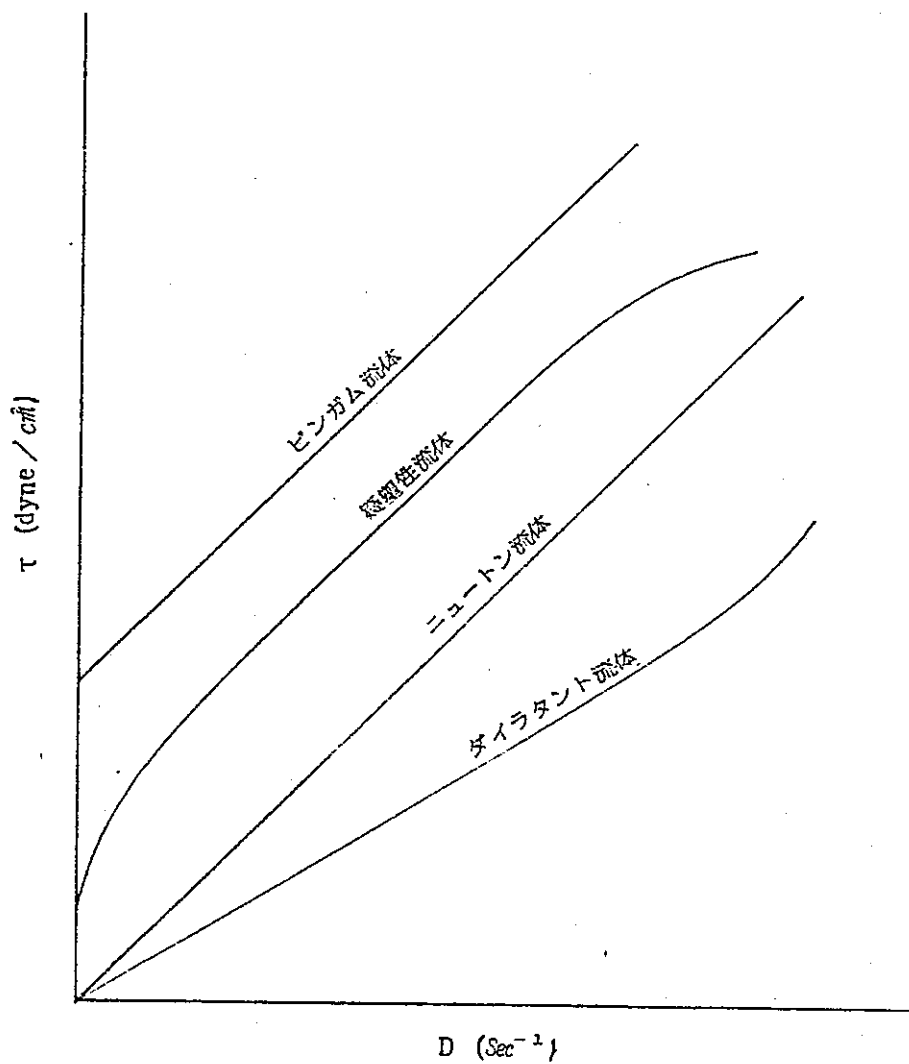


図-VI. 2 流動曲線

で与えられる。ここで、 T はトルク、 h は内筒の長さである。また剪断速度 D は次式で与えられる。

$$D = \frac{2 \cdot r_c^2 \cdot \Omega}{r_b^2 - r_c^2} \quad (6.2)$$

ここで、 Ω は角速度である。ニュートン流体の場合は、その粘性係数 η は、

表-VI. 3 各種流体の流動方程式

| 流体の種類 | 流動方程式 | 見かけ粘度 η_a | 記号 | 流体名 |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|---|
| ニュートン流体 Newtonian | $\tau = \eta D^n$ $n = 1$ | $\eta = \tau / D$ | | 水, 普通の油 ガスなど |
| 擬塑性流体 Pseudo- Plastic | $\tau^n = K \cdot D'$ $n > 1$ | $\eta_a = \frac{K}{\tau^{n-1}}$ | K, n は流体 によってき まる定数 | 澱粉泉濁液 紙パルプスラリー ペイント 有機重合物 |
| 塑性流体 Bingham | $\tau - f_y = \eta_b \cdot D'$ | $\eta_a = \frac{\eta_b}{1 - (f_y/\tau)}$ | f_y : 降伏値 η_b : 塑性粘度 | 鉍石・砂の水中泉 濁液, 石炭・セメ ント・岩石のスラ リー, 下水汚物ス ラリー |
| ダイラタント流体 Dilatant | $\tau^n = K \cdot D'$ $0 < n < 1$ | $\eta_a = \frac{K}{\tau^{n-1}}$ | K, n は流体 によってき まる定数 | 海岸砂, 顔料色素 雲母, 澱粉, 水晶, 粉末など |

$$\eta = \frac{\tau}{D} = \frac{T/2\pi r_c^2 \cdot h}{2 \cdot r_c^2 \cdot \Omega / (r_c^2 - r_b^2)}$$

$$= \frac{T(r_c^2 - r_b^2)}{4\pi h \cdot r_c^2 \cdot r_b^2 \cdot \Omega} \quad (6.3)$$

で与えられる。ここで装置によって一定になるものをまとめて

$$A = \frac{r_c^2 - r_b^2}{4\pi h \cdot r_c^2 \cdot r_b^2} \quad (6.4)$$

とおける。ここで、Aは装置定数といわれる。ニュートン流体の場合、 η は次式のように簡単な形となる。

$$\eta = A \cdot T / \Omega \quad (6.5)$$

内筒を吊るワイヤのねじり定数を T_0 , ねじれ角を θ とすれば

$$T = T_0 \cdot \theta \quad (6.6)$$

であるから, (6.5)式は

$$\eta = A \cdot T_0 \cdot \theta / \Omega \quad (6.7)$$

となり, Ω は

$$\Omega = 2\pi N / 60 = 9.55 N \quad (6.8)$$

となるので, 実際の計算は次式で容易に η を計算できる。

$$\eta = 9.55 \cdot A \cdot T_0 \cdot \theta / N \quad (6.9)$$

ここで, N は外筒の回転数である。したがって N を変え, 対応するねじれ角 θ を読みとれば直ちに粘性係数(粘度)を求めることができる。

非ニュートン流体の場合は, せん断速度とせん断応力の関係が定まらないので, 次のような見かけの流動率(Apparent fluidity)という定義を導入して, せん断速度を補正し, 非ニュートン流体の流動曲線を求める。

見かけの流動率 ϕ_α は, ニュートン流体と仮定したときの見かけ粘度の逆数に相当し, 次式で与えられる。

$$\phi_\alpha = \frac{4\pi \cdot r_b^2 \cdot r_c^2 \cdot h \cdot \Omega}{T(r_c^2 - r_b^2)} = \frac{2\Omega}{\tau(1 - 1/\alpha^2)} \quad (6.10)$$

非ニュートン流体の見かけ流動率は

$$D'/\tau = \phi_\alpha \left[1 + K_1 \frac{d \log \phi_\alpha}{d \log \tau} + K_2 \left(\frac{d \log \phi_\alpha}{d \log \tau} \right)^2 \right] \quad (6.11)$$

で与えられ、 D' は非ニュートン流体のせん断速度である。 K_1, K_2 は定数で次式で与えられる。

$$K_1 = \frac{\alpha^2 - 1}{2\alpha^2} \left(1 + \frac{2}{3} \ln \alpha\right) \quad (6.12)$$

$$K_2 = \frac{\alpha^2 - 1}{6\alpha^2} \cdot \ln \alpha \quad (6.13)$$

いま、

$$\Delta S = K_1 \left(\frac{d \log \phi_\alpha}{d \log \tau} \right) + K_2 \left(\frac{d \log \phi_\alpha}{d \log \tau} \right)^2 \quad (6.14)$$

とおけば、

$$D'/\tau = \phi_\alpha (1 + \Delta S) \quad (6.15)$$

となり、ニュートン流体は $\Delta S = 0$ に相当する。したがって τ および対応する ϕ_α を (6.8) 式で計算すれば D'/τ が得られ、その逆数から見かけ粘度 η_a が、また τ を入れて D' を決定できる。

以上の計算をして求めた剪断応力及び剪断速度 (τ and D') の関係をグラウト材をパラメーターにして図-VI・3 に示す。

2. 試験装置

グラウト材の拡散 (浸透) モデル装置は割れ目モデルを2枚のガラス板に隙間を設定できるものとし、その隙間は任意に変えられる。装置全体は図-VI・4 及び写真-VI・1 に示すもので、以下にその概要を記す。

i) 注入装置

V 章で記した装置を使用した。

ii) 載荷装置

油圧ポンプ及び制御盤は山本扛重機製、22KW、油圧 500 kg/cm^2 、 55 l/min 、3速である。ジャッキは載荷用は200t、装置の移動用は30t、いずれも山本扛重機製を使用した。

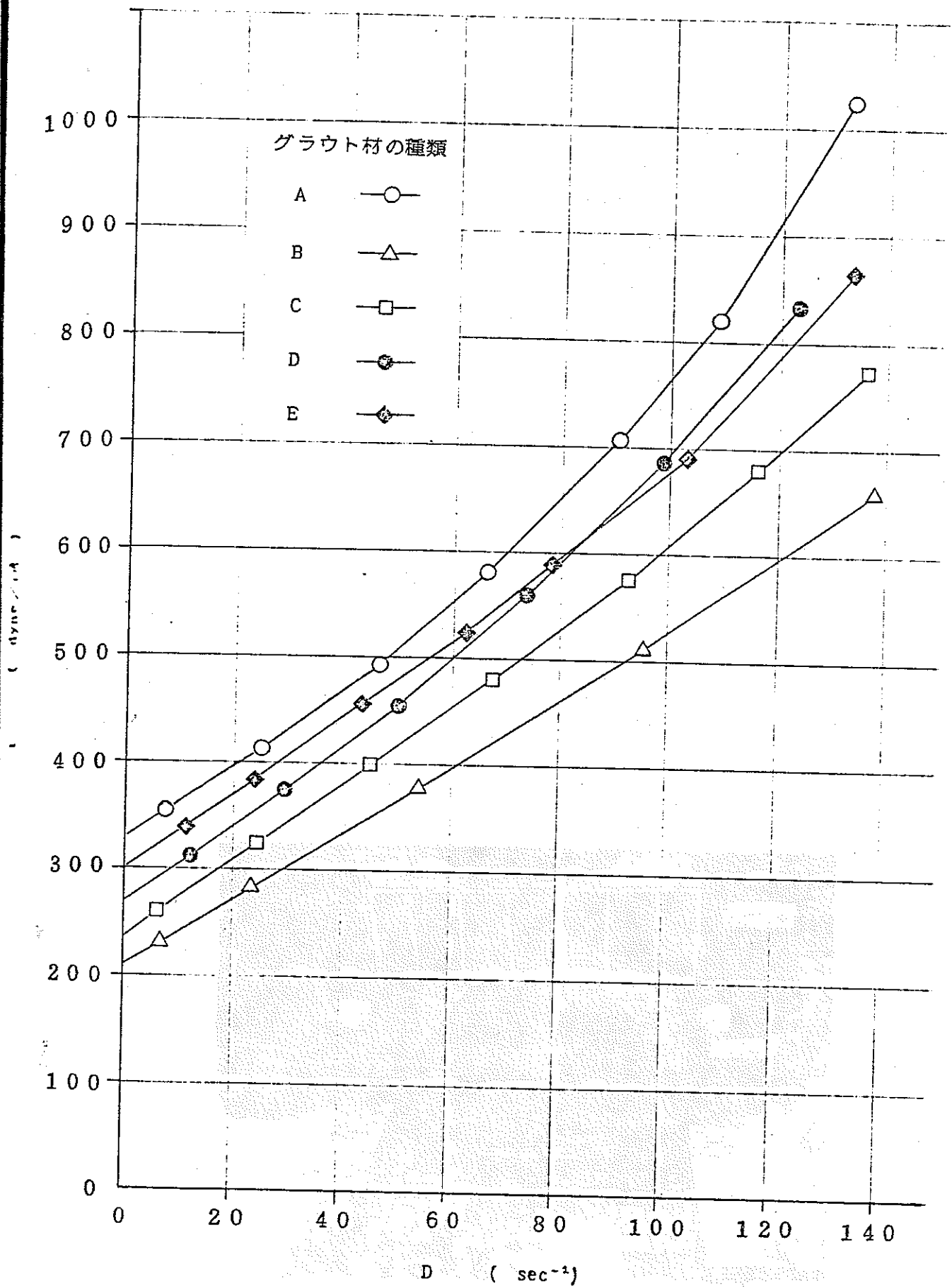


図-V. 3 グラウト材の流動曲線

iii) 載荷架台及びフレーム

図-VI・4に示すようにH鋼を利用して組んだもので、最大荷重200tに十分耐える設計である。

iv) 拡散モデル装置

図-VI・5に詳細図を又、写真-VI・2に全景を示す。

本装置は以下のものによって成っている。即ち、

- 上部ガラス板 1m×1m×19mm厚
- 下部ガラス板 1m×1m×19mm厚、中心孔φ20mm
- ガラス受け鉄板 1m×1m×35mm厚
- 下部テーブル H鋼組立て
- 中央部載荷板
- 外周押え具
- 補強板、締付けロッド
- 隙間ゲージ (1.0mm, 0.5mm, 0.3mm)
- グラウト注入孔 (ジョイント、ホース)

グラウト注入圧力は最大20kg/cm²で、ガラス板間の隙間(岩盤の割れ目に相当する)は隙間ゲージで調整する。低圧で注入し、グラウト材の拡散を直接観察する時は、中央部載荷板を除き、外周押え具で保持して行なう。(写真-VI・3にその状況を示す)

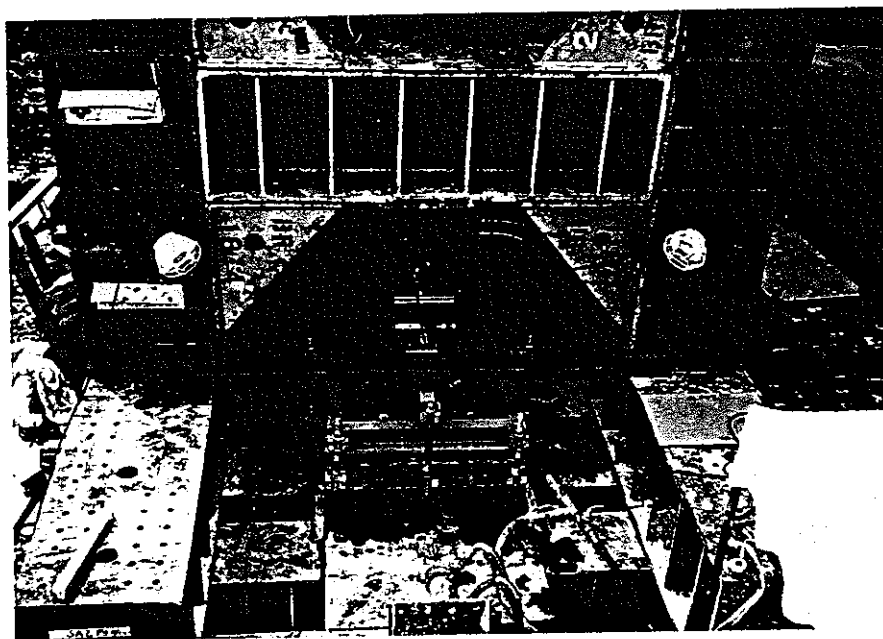
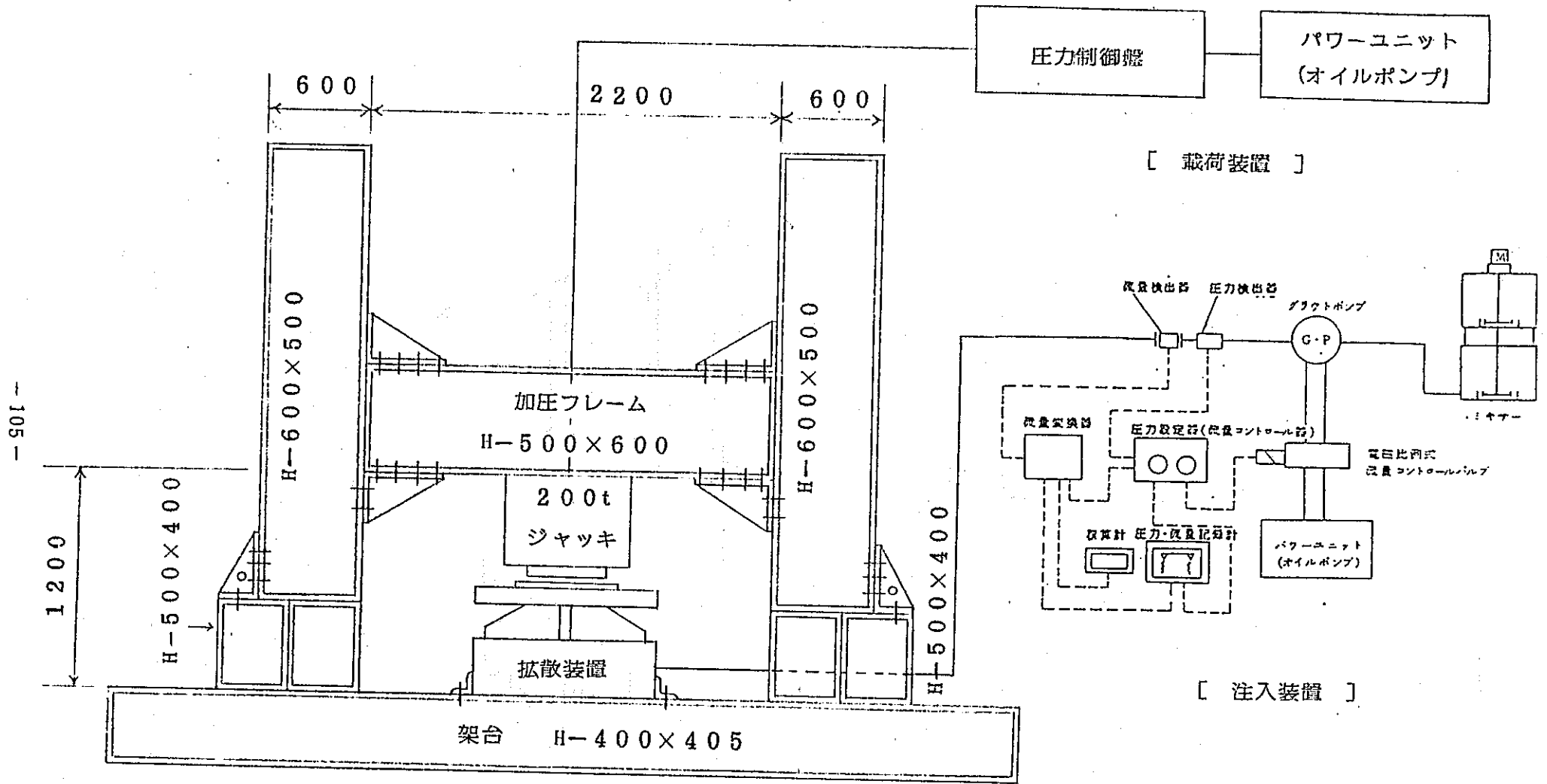


写真-VI・1 全 景 図



【 拡散モデル装置と載荷架台及びフレーム 】

図-V. 4 グラウトモデル試験装置

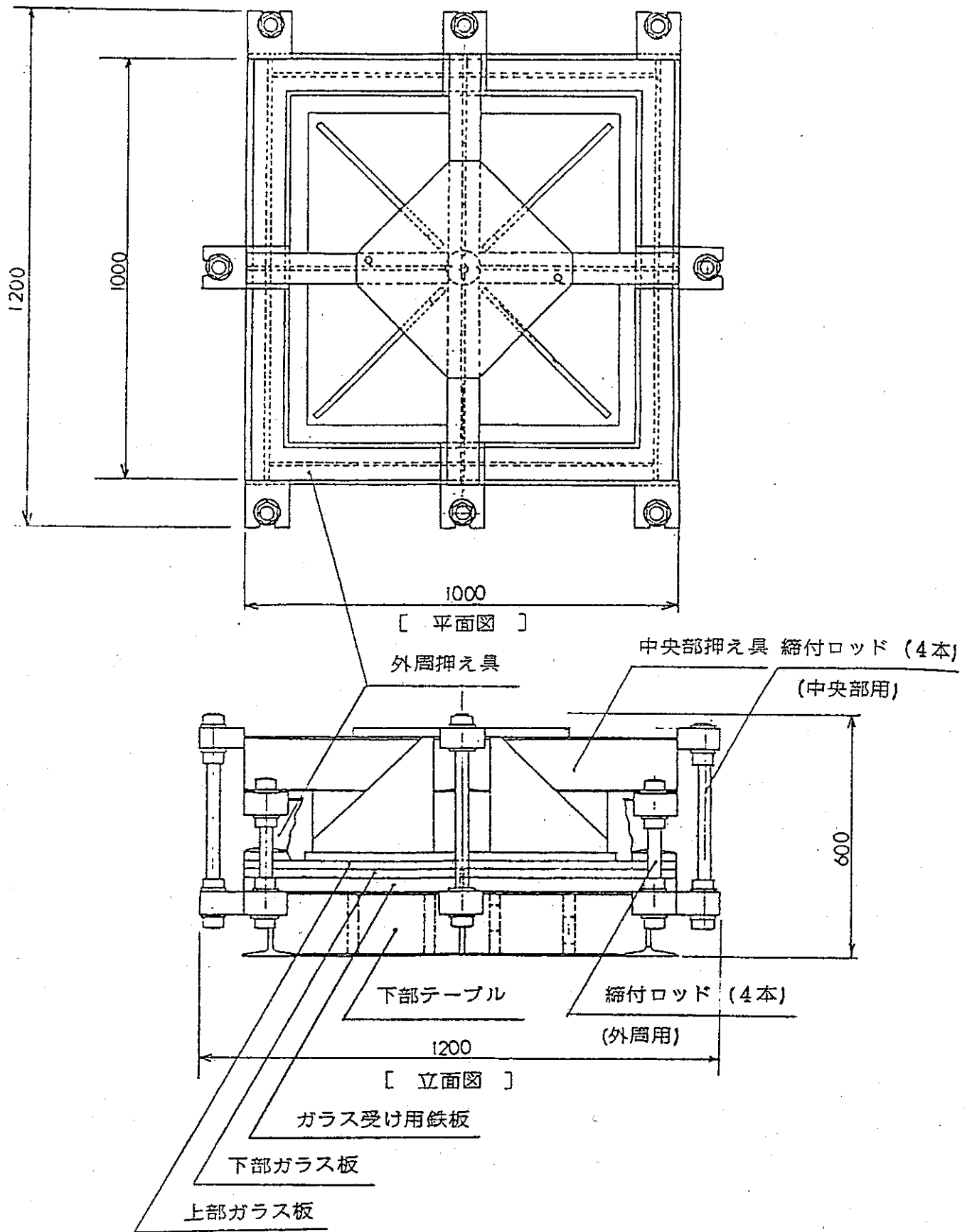


図-V. 5 拡散モデル装置

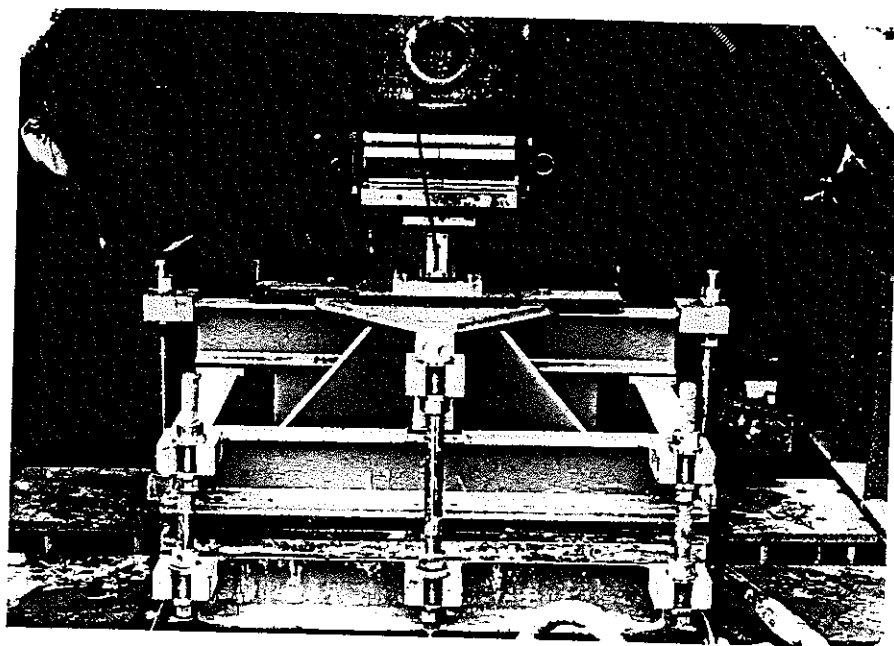


写真-VI. 2 全 景 图

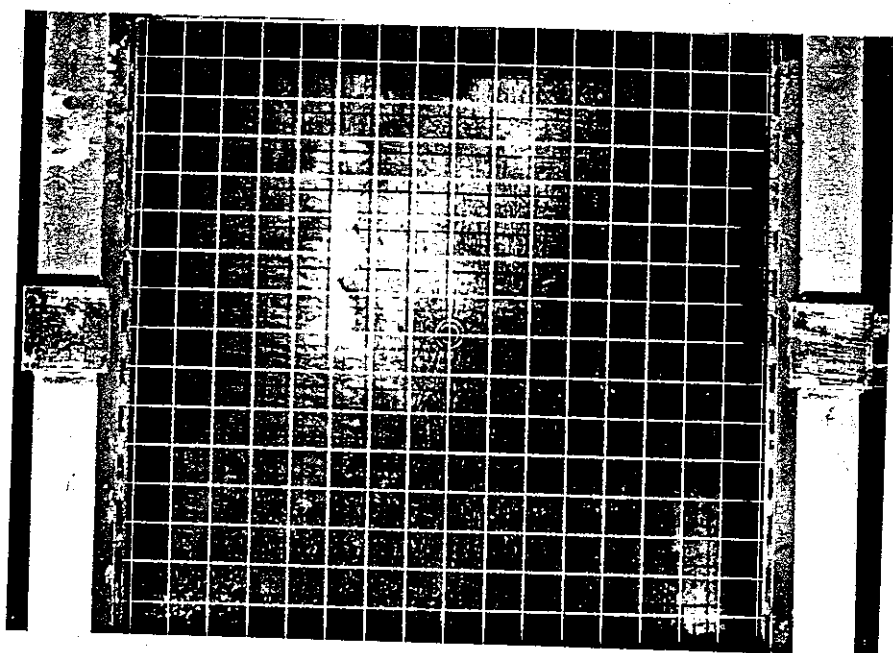


写真-VI. 3 拡散状況

3. 試験方法

実験因子と水準は表-VI・4に示す。

表-VI・4 実験因子と水準

| 実験因子 | 水準 |
|----------------------|--------------------------------|
| グラウト材 | 水とVI・1に記したA～Eの5種類 |
| ガラス板の隙間 (割れ目の開口幅) | 1.0 mm, 0.5 mm, 0.3 mm |
| 注入圧力 | 最高20 kg/cm ² までの5種類 |

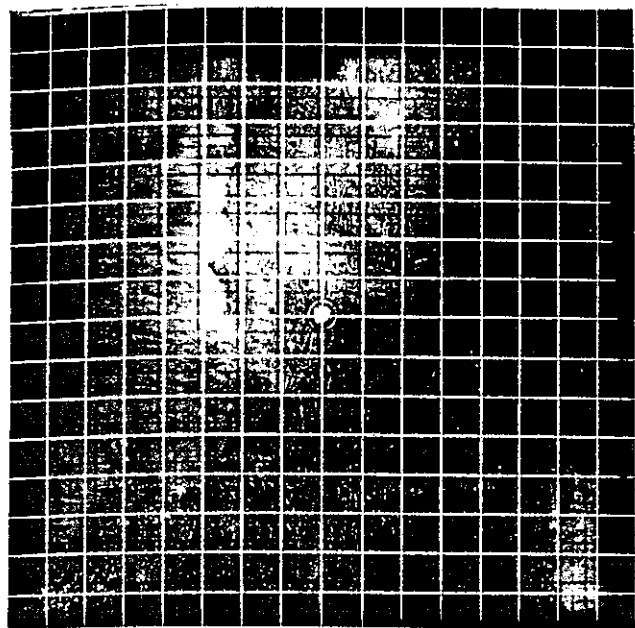
試験は以下の手順で行った。

- a. 所定の隙間ゲージを用いてガラス板をセットし、周辺押え金具で保持する。
- b. 変形測定ダイヤルゲージをセットし、注入装置等を接続する。
- c. 水による予備試験でガラス板の変形がない事を確認する。
- d. 所定のグラウト材を用いて圧力制御(所定圧力)で注入し、ガラス板内のグラウト材の拡散状況を記録し、写真撮影する。(非定常浸透試験)
- e. ガラス板内、配管、接続ホース、注入ポンプ内のグラウト材をクリーンアップする。
- f. 中央部押え板等装置を完全に組立てる。
- g. 水を使用して、所定の圧力にて注水する。注入圧力および注入量が安定するまで注水続ける。この時、ガラス板が変形しないようにジャッキでガラス板に載荷する。安定時の圧力及び流量を記録。
- h. 更に注水圧力を加圧して、gの操作を行なう。注水圧力は最大20 kg/cm²まで5段階とした。(定常状態浸透試験)
- i. 水を所定のグラウト材に変更してg, hの作業をする。
- j. 更にグラウト材を変えて、5種類のグラウト材でiの作業をする。
- k. eの作業を行なう。
- l. ガラス板の隙間を変えて、a～kの作業をする。

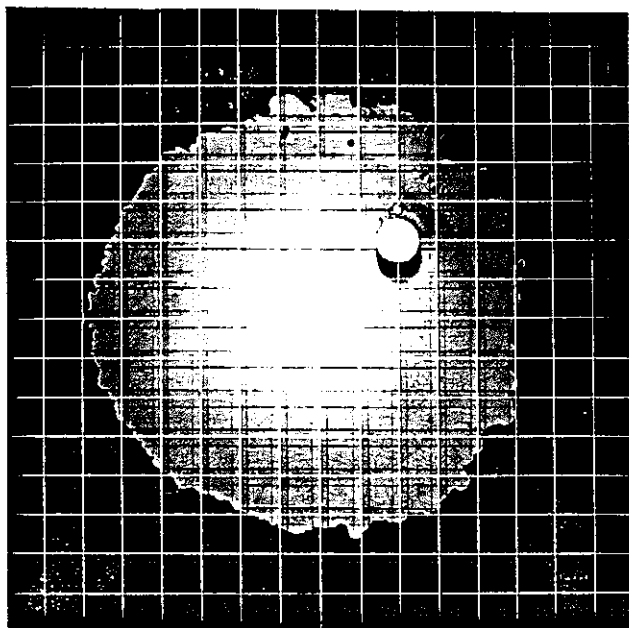
4. 試験結果

グラウト材のガラス板内への拡散の状況を開始からの時間別に、開口幅1mmの場合で写真-VI・4～写真-VI・5に示す。図-VI・6に注水した場合の注水圧力と注水量の関

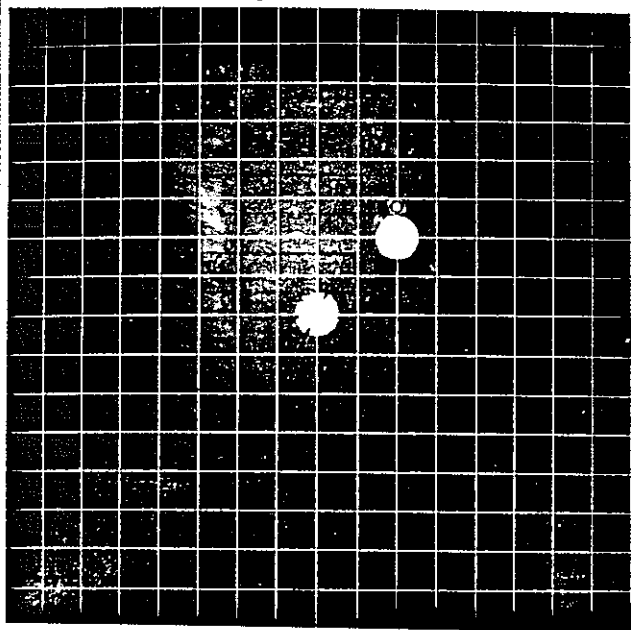
T = 0 Sec



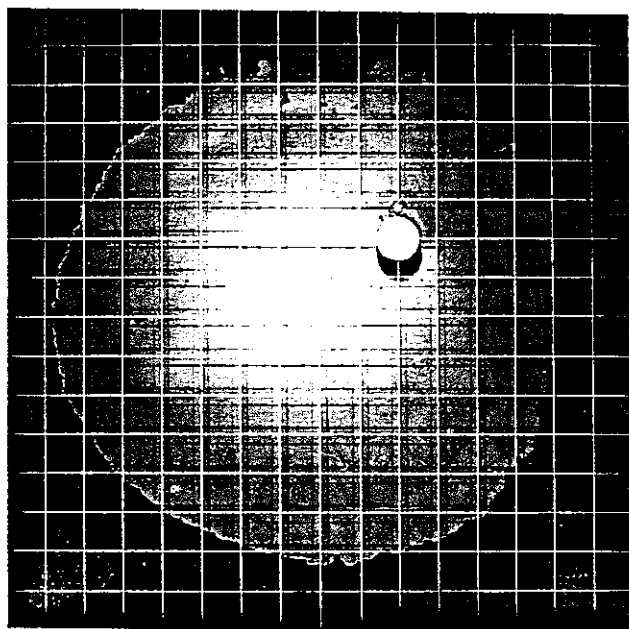
T = 15 Sec



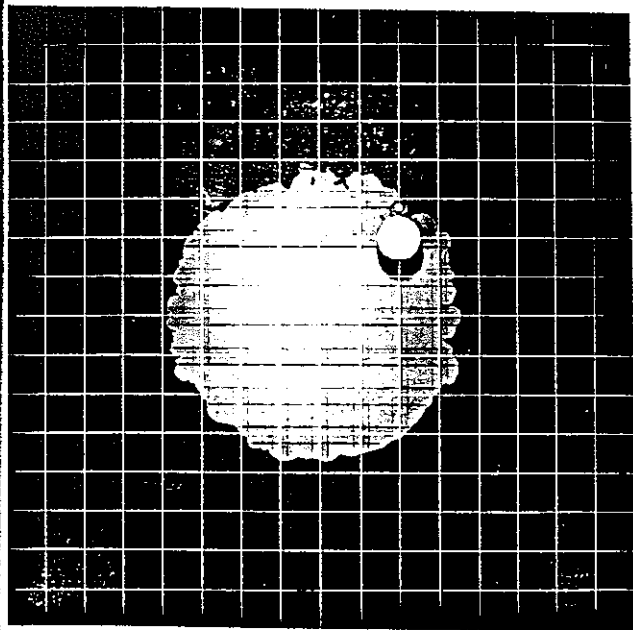
T = 5 Sec



T = 20 Sec



T = 10 Sec



T = 25 Sec

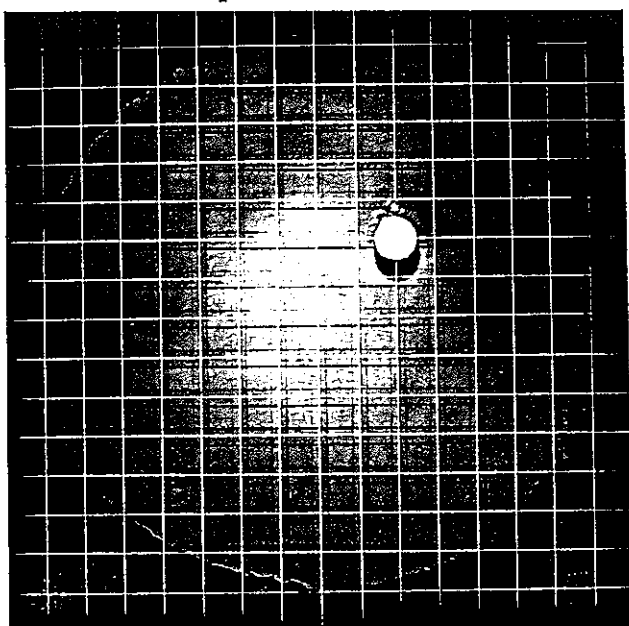
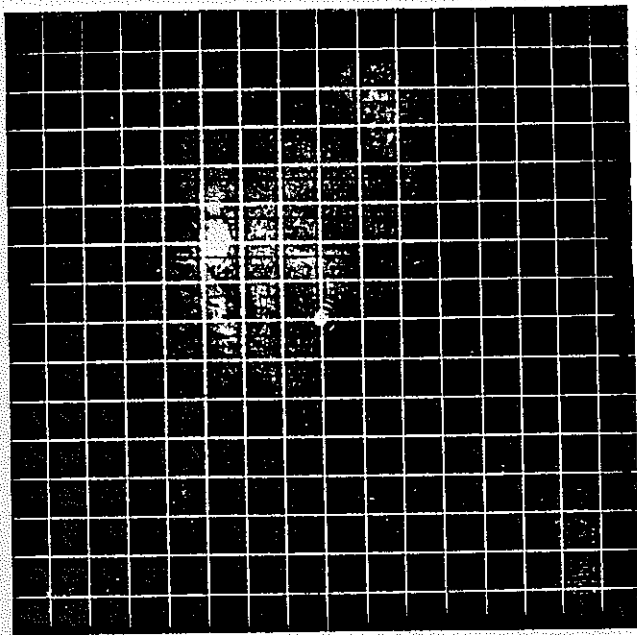
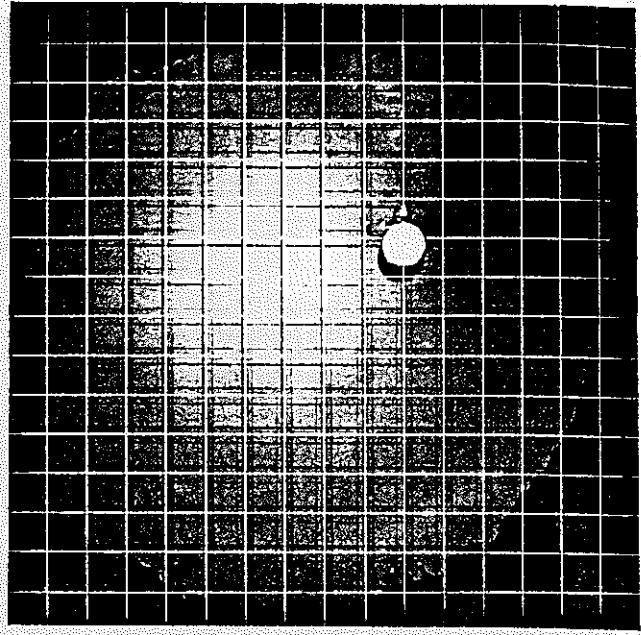


写真-VI. 4 グラウト材の拡散状況 (開口幅 0.3 mm)

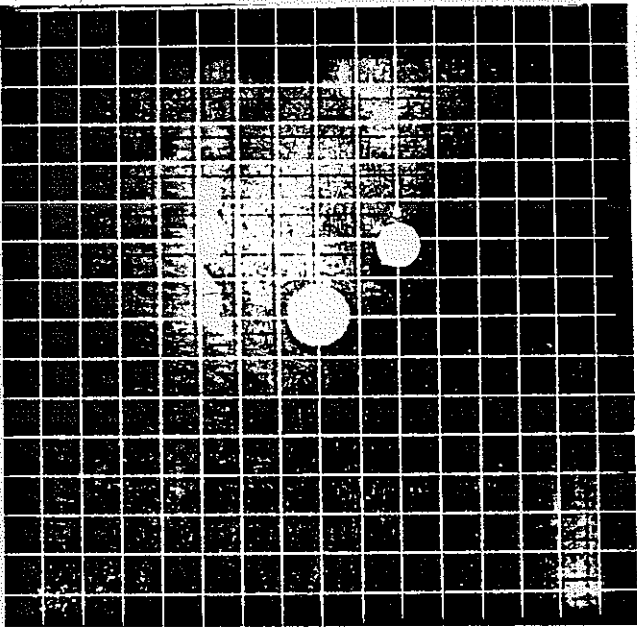
T = 0 Sec



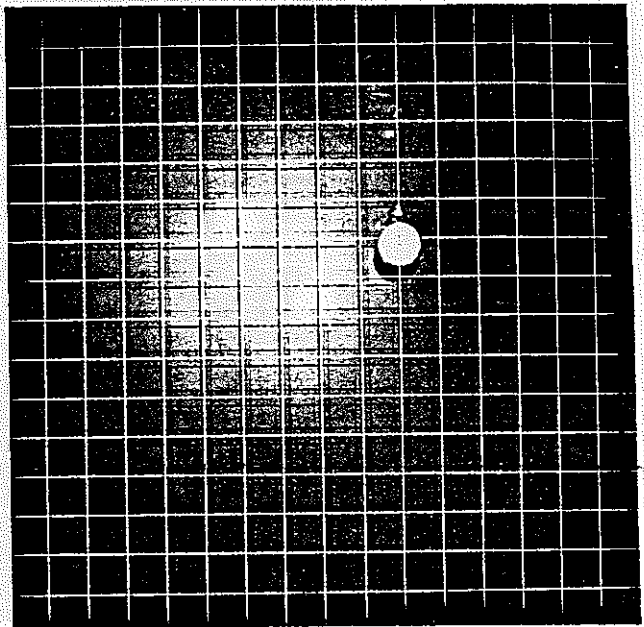
T = 15 Sec



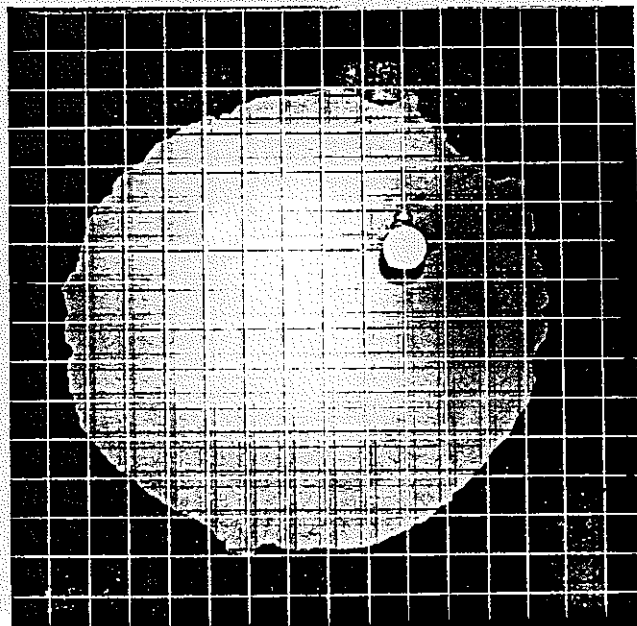
T = 5 Sec



T = 20 Sec



T = 10 Sec



T = 25 Sec

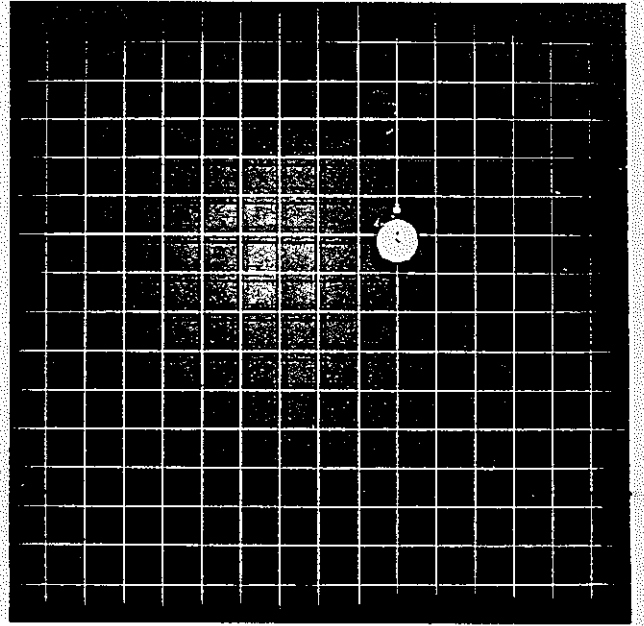


写真-VI. 5 グラウト材の拡散状況 (開口幅 0.5 mm)

————— : 理論解
 ○ ● : 実測値
 A : スリット幅 1.0 mm
 B : スリット幅 0.5 mm
 C : スリット幅 0.3 mm

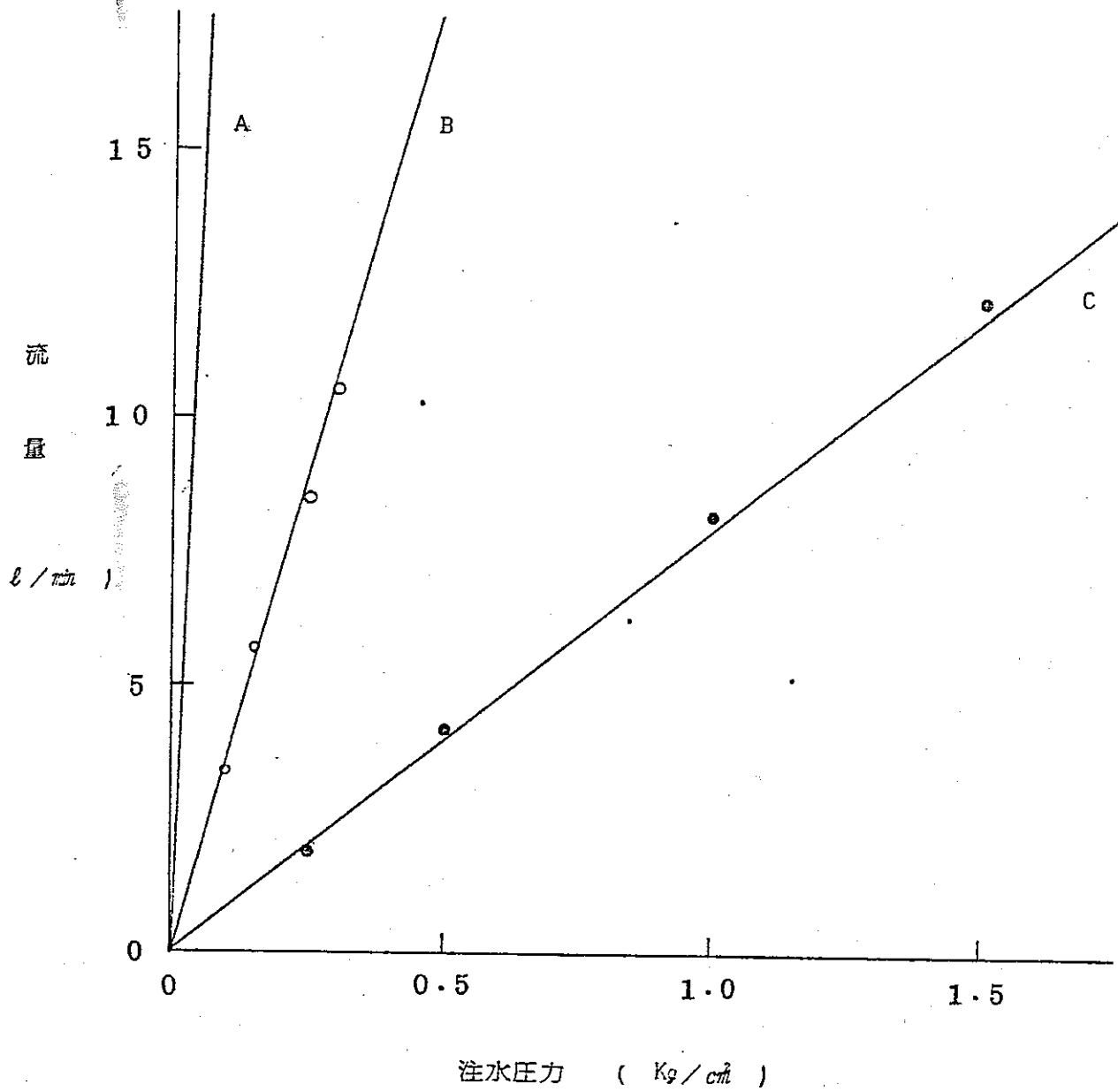


図-VI. 6 注水圧力と流量の関係

- : スリット幅 1.0 mm
- : スリット幅 0.5 mm
- △— : スリット幅 0.3 mm

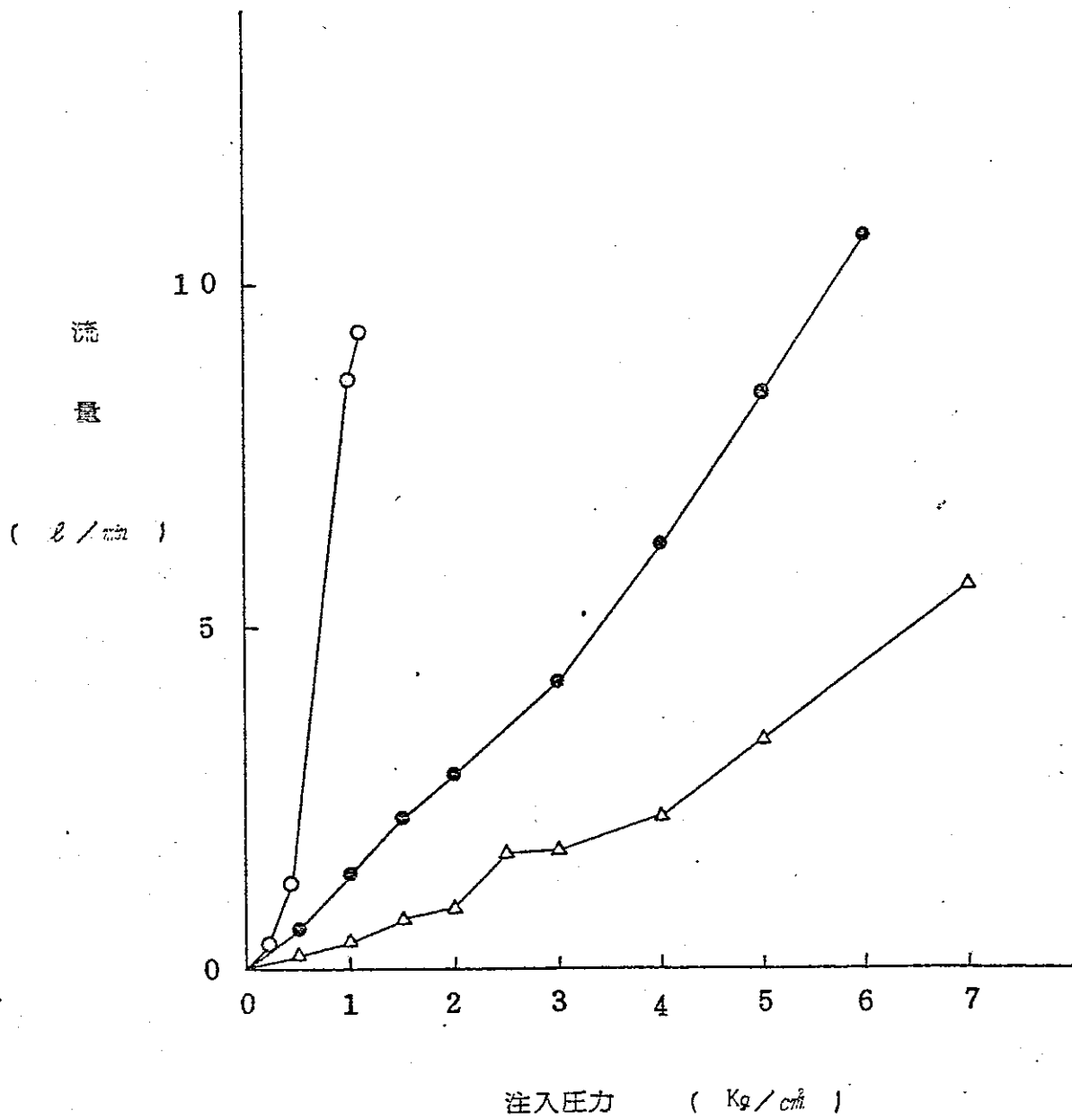


図-V. 7 グラウト材の注入圧力と流量の関係

係を開口幅（ガラス板間隔）1mm, 0.5mm, 0.3mm をパラメーターにとって示す。同様にグラウト材 A の場合の注入圧力と注入量の関係を図-VI・7 に示す。

5. 考 察

岩盤中の割れ目にグラウティングする場合、従来のセメントミルク（懸濁液）を使用すると、過剰な水がセメント粒子を搬送する役目をしている。従って、割れ目の充てん部が十分な水密性と強度を持つためには、この過剰水をグラウティングの間に圧出しなければならない。この作用するのがセメントミルクのろ過現象と沈積現象である。しかしながら、56年度の実験で明らかのようにセメントミルクを使用すると、水密性はともかく、強度とくに付着力がほとんどない事が判明した。

このような過剰水を防ぐためには全体として水分を少なくし、不安定な懸濁液をより安定な懸濁液にする必要がある。そこで本実験に使用したグラウト材料はV章で述べたようにより安定し、ブリーディングの少ない懸濁液となっている。この液は当然、粘性が増加し、図-VI・2の流動曲線に示すようにビンガム流体となる。このような液体を使用すると、次のようなメリット、デメリットが考えられる。

- a. 割れ目内の充てん度が高く、その内容はグラウト材自身で均質である。
- b. 注入量が割れ目の充てん量と等しく、ろ過現象や沈積現象が起きない。
- c. 注入の流速が小さいため、圧力損失が小さい。
- d. 注入されたグラウト材は初期剪断応力以下では流出しないため、注入後グラウト材が流れ出す事はない。
- e. 粘性が高いため、配管が長いと高い圧送圧力が必要となる。
- f. 注入時の増圧は必ず拡散の増大となるから、セメントミルクのように飽和圧力によりグラウティングの終了とはならない。

以上の a～f の効果を確認するために行った拡散実験の結果、a と d は目視で確認された。c は測定できないが、理論的に説明できる。b の効果は以下の事で明らかとなった。ある時間での拡散面積に割れ目の開口幅をかけた割れ目の容積と、注入量の関係を図-VI・8 に示すが、これらはほぼ 1 : 1 の関係がある。これから注入量は拡散量に等しい事になる。e に関しては注入装置を出来るだけ注入孔に近づける事で防げるし、又、注入圧力の高いポンプの製作は容易であるから、デメリットにはなり難い。f の項は逆にメリットとなる。何故ならば、セメントミルクによる飽和圧力だけで注入を管理しても、セメント

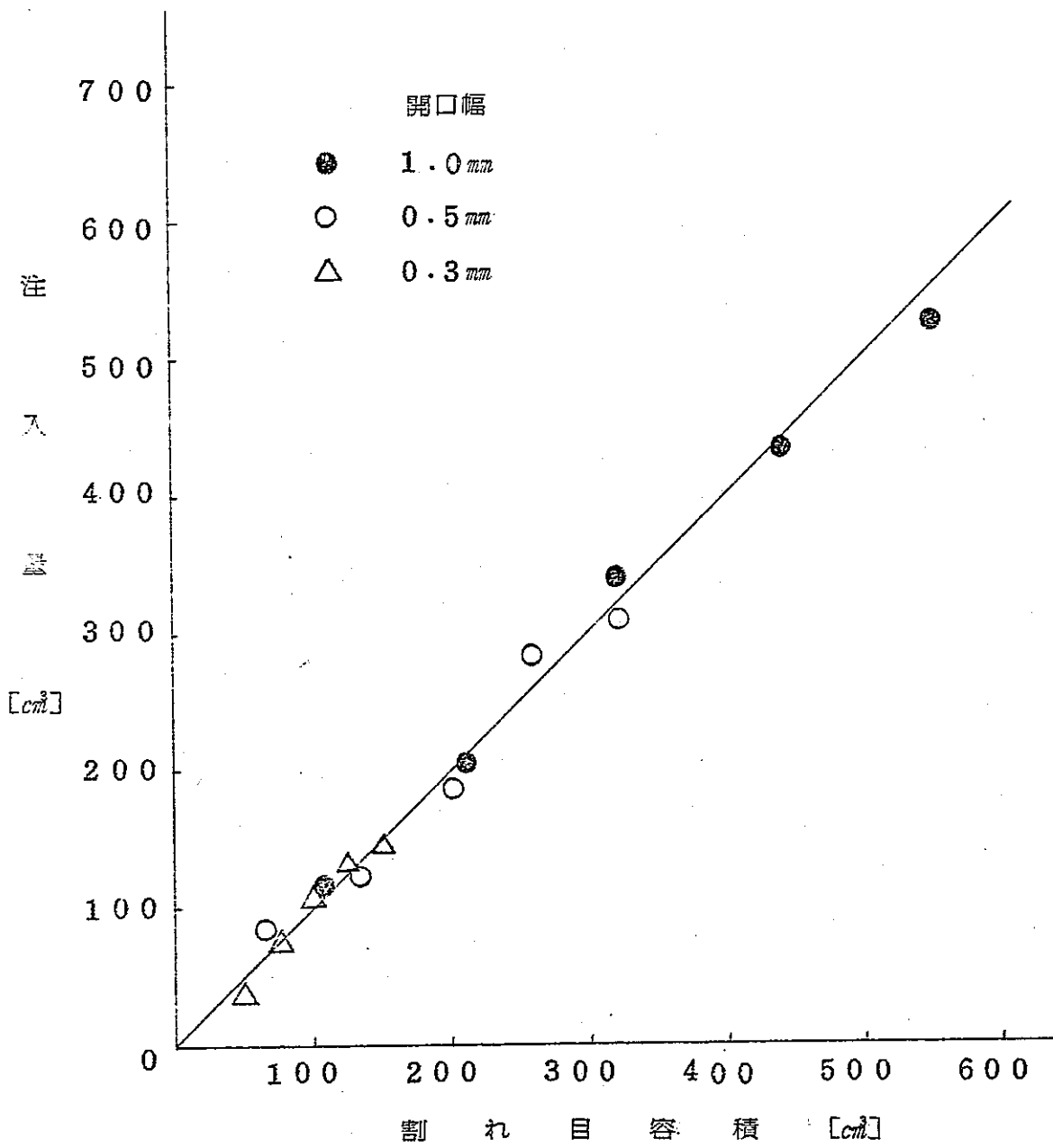


図-Ⅳ・8 割れ目容積と注入量との関係

ミルクは予定注入領域を100%満たしているわけではない。これに対して、ビンガム流体は、目標とする到達距離内の割れ目は十分に充てんされるので、割れ目形状が正確にわかれば、注入したグラウト材の量だけで所定領域への注入の完了を確実に知る事が出来るし、そのグラウト材はセメントミルクと異なって流出しないから、注入後も安定しており、沈積しない。実際の注入では割れ目容積は正確に知る事が出来ない。従って、ビンガム流体を注入する場合は所定の注入圧で一定の時間内に注入量が予定量に達した時に終了と考えれば良い。注入量が予定量より小であれば割れ目の開口幅が予想より小であると考えられ、この場合は注入圧を高めなければ予定領域の注入は完了しない。逆に割れ目の開口幅が予想より大きい場合は、注入量のはっきり減少するまで注入を続ける必要がある。このように注入の管理はセメントミルクより容易で確実といえる。

割れ目のある岩盤に於けるグラウト拡散の理論のベースは、ボーリング孔から任意の傾斜の亀裂への拡散の計算である。

グラウト材の流れの法則はビンガムの液体とほぼ合致している。一次元の流れについてビンガムによって定式化された流れの法則は、ホーエネムザーとプラーガーにより、テンソル的な関係によって任意の三次元の流れ状態に敷衍された：

$$2\eta V_{ij} = \begin{cases} T'_{(2)} > \tau_0^2 & \text{の時} & (1 - \frac{\tau_0}{\sqrt{T'_{(2)}}}) T_{ij}' \\ T'_{(2)} \leq \tau_0^2 & \text{の時} & 0 \end{cases} \dots\dots\dots (6.16)$$

但し、

V_{ij} = ひずみ速度

T_{ij}' = 応力偏差係数

$T'_{(2)}$ = 応力偏差係数の第二定数

τ_0 = 流れ限界

η = 動粘度

この流れの法則により、非圧縮性のビンガムの液体の一般運動式が得られる：

$$\eta(V_i + V_j + V_{i,j}) = K_i - P_{,i} + \eta V_{i,jj} + \tau_0 \left(\frac{V_{ij}}{\sqrt{V'_{(2)}}} \right)_{,j}$$

$$V_{i,j} = 0 \dots\dots\dots (6.17)$$

但し, V_i = 速度

K_i = 質量の力

P = 圧力

$V_{(2)}$ = ひずみ速度の第二定数

η = 密度

開口部の幅がわずかな任意の傾斜の割れ目に於ける流れという特殊な場合については、部分的には割れ目での水の流れの計算から周知である。いくつかの簡略化のための仮定を行なうことができる。

1. 割れ目に垂直な流れ速さは無視できる程小さい。
2. 割れ目に平行な速度の変化は、割れ目に対して正常な速度変化と較べて無視できる程小さい。
3. 慣性の力は無視する。
4. 平方位数よりも高い位数の導かん数は無視する。
5. 割れ目に対して正常な圧力の変化に対する流れ限界 τ_0 の影響は無視する。

上記 1～5 の仮定により運動式 (6.17) は下記の形に縮小される：

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{g}{V} \frac{\partial}{\partial x} \left(Z + \frac{P}{\gamma} \right)$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = \frac{g}{V} \frac{\partial}{\partial y} \left(Z + \frac{P}{\gamma} \right)$$

$$V_{(2)} = \frac{1}{4} \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\} > 0 \quad \dots\dots\dots (6.18)$$

こうして残った等式は、ニュートンの液体の割れ目に於ける流れについての対応する微分方程式系とは、流れの法則の付帯条件によってのみ相違する((6.18)のうちの第3の等式)。すなわち、ニュートンの液体と異なり、ビンガムの液体の場合の流れは、流れ限界 τ_0 を超えた後でなければ起こらない。このことから、ビンガムの液体の割れ目に於ける流れについては、割れ目中心に対して対称に形成される層が変形せずに硬直した状態でのみいっしょに滑動するということが明らかである(図-VI・9)。この層の厚さ ($2Z_{gr}$) は、

力のつり合い条件との関係で運動式(6.18)から導き出すことができる。これは次のようになる

$$2Z_{gr} = \frac{+ 2\tau_0}{- \gamma \cdot I} \dots\dots\dots (6.19)$$

但し, γ = 液体の比重

I = 生じる勾配の大きさ

グラウト材の拡散中は, 流速, ピエゾメータの値, 流量および流れの生じる領域の大きさは経時的に変化する。但し, 運動式(6.17)の中の時間は独立変数なので, 或る任意の時点の流れは静的に考察することができる。或る時点 t = 一定に於けるこの静的な流れ状態については, 運動式((6.18)のうちの第1と第2の等式)の積分によって, 割れ目中の速度分布が得られる。

$$\begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = -\frac{g}{V} \begin{Bmatrix} I_x \\ I_y \end{Bmatrix} \left[\frac{Z^2}{2} - Z_{gr}Z + Z_{gr}a_i - \frac{a_i^2}{2} \right] \dots\dots\dots (6.20)$$

硬直していっしょに滑動する層については次のようになる:

$$\begin{Bmatrix} U_{gr} \\ V_{gr} \end{Bmatrix} = -\frac{g}{V} \begin{Bmatrix} I_x \\ I_y \end{Bmatrix} \left[-\frac{Z_{gr}}{2} + Z_{gr}a_i - \frac{a_i^2}{2} \right] \dots\dots\dots (6.21)$$

結局, 割れ目中での平均速度は下記になる:

$$\{\bar{V}\} = \frac{g(2a_i)^2}{12V} \{I\} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{Z_{gr}}{a_i} + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_{gr}}{a_i} \right)^3 \right] \dots\dots (6.22)$$

等式(6.22)から, $2Z_{gr} = 2a_i$ 時には速度がゼロになることがわかる。このことは明らかに, いっしょに滑動する層が割れ目を完全に満たしていれば流れが静止するということを意味する。

ビンガムの液体の静的な割れ目に於ける流れを計算するために, 第1の計算段階では, Z_{gr} に依存する項は無視する。すると, 等式(6.22)からニュートンの液体の割れ目に於ける流れについての等式が得られるが, これは有限要素の方法によって計算することができる。このようにして得られるグラジエント I を用いて, 第2の計算段階で等式(6.19)から Z_{gr} につ

いての値を求め、等式(6.22)に代入するとビンガムの液体の近似の速度分布が得られる。この反復を続けて、実際の流れ速度、流量およびピエゾメータの値に対して収束させる。

定常流については最終的に、時間の関数である周辺条件と併わせて一連の静的な流れ状態によって近似値を得る。或る任意の時点に存在する、流れの生じた領域は、或る先行する時点に拡散の最前線で見られた速度に基づいて補外することができる。

図-VI・10に写真-VI・4~写真-VI・5のグラウト材の拡散から解析して、時間毎のグラウト材の拡散を示す。この結果は上記のビンガム流体の拡散の理論式とかなり良い一致を示す。

定常状態における注入(水)圧力-注入(水)量の関係図から、このモデルにおいて、水の場合は56年度に解析した下式

$$Q = 2\pi r_b V_r = \frac{\pi \gamma}{6\mu} b^3 \frac{h_i - h_o}{\ell_n \frac{r_o}{r_i}} \quad (6.23)$$

が比較的良い一致を示すが、今回使用したグラウト材は上式と一致しない。即ち、ニュートン流体では解析できない事が判った。従って、前述のビンガム流体の拡散式を利用して解析する事が必要である。然しながら、現場での注入では注水試験ですら、ニュートン流体の解析式と一致しない。その理由は壁の粗度、圧力損失等のためである。今後はこれらの条件は理論に取り入れる事が重要である。

いずれにしても、今回の実験で注入には従来のセメントミルクよりビンガム流体のグラウト材の方が適している事が判り、その解析にも一応の目途がたったといえる。

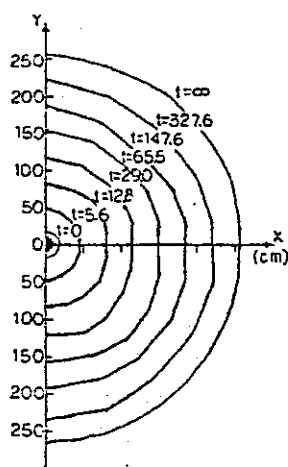


図-VI・10 経時拡散図

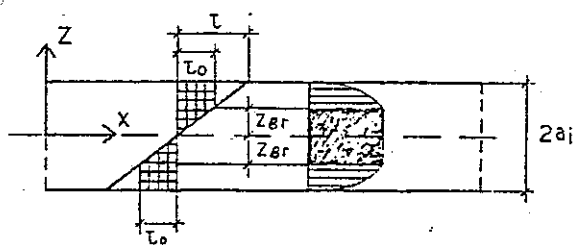


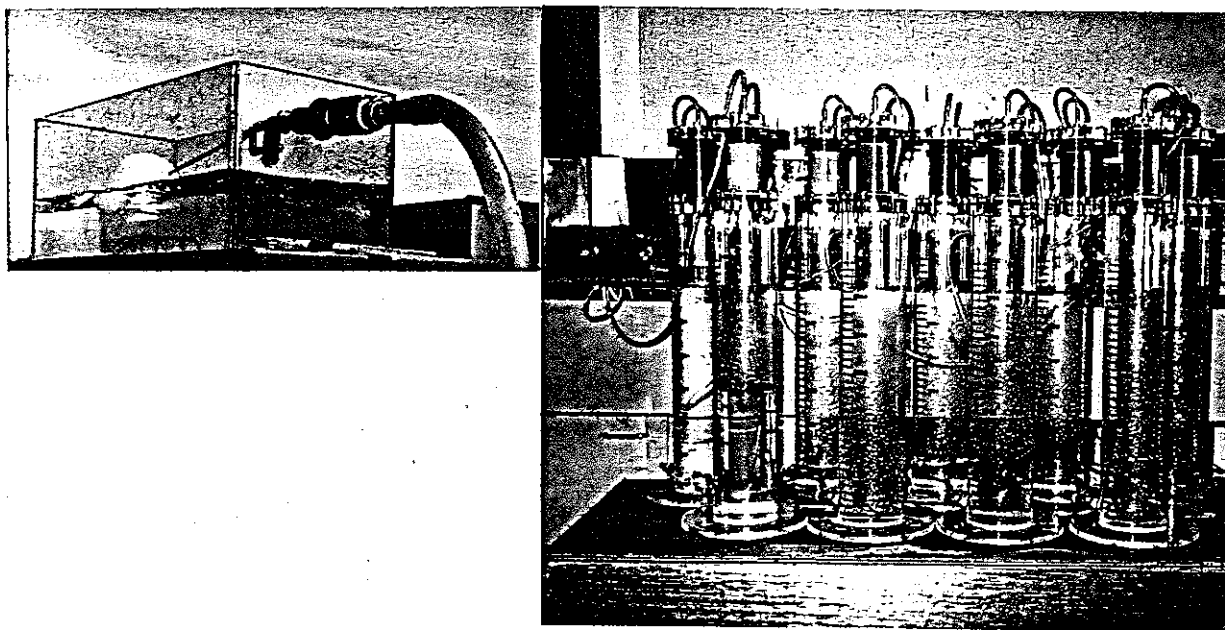
図-VI・9 流れの模式図

Ⅶ ピンホール試験

岩盤内に注入され、割れ目内部で固結したグラウト材も長期的には、そのわずかな間隙を
通って流れる地下水によって、エロージョンやセメント材料の溶食が考えられる。これらの
現象は非常に長期的な観測によって認める事が出来る。前者のエロージョンは地下水の流れ
速度に比例すると考えられ、後者は化学的なものである。従って、エロージョンは地下水の
流れ速度を速くする事で時間を縮める事が出来る。この試験は上記の現象を定性的に観察す
るためと、今後の試験方法を定める基礎データとするために実施するものである。

1. 試験装置

試験装置は写真Ⅶ・1及び図Ⅶ・1のブロック図に示すように、a.定水位槽、b.分
流器、c. 試料容器、d.浸透量(透水量)測定シリンダーより成る。定水位槽はアクリル
製で300×250×500の寸法である。この位置はホースを取り付ければいくらかでも高く
出来る。分流器は定水位槽よりの水を10個の試料容器に分流させるもので、100φ、長
さ1100の塩化ビニール製のパイプを加工した。試料容器は図Ⅶ・2に示すように、
ベッセル内に直径5.0cm、高さ約10cmの試料が設置でき、試料上・下の止水はソフトゴ
ムで行ない、周辺の余剰水は別出口より排水する構造になっている。試料容器全体はアク
リル樹脂製である。試験水は上部より下部に流れる。浸透量測定は各試料容器毎に容量4
ℓのシリンダーで行ない、この各シリンダーの水は1ヶ所に集めて、定水位槽に循環出来
るようになっている。



写真Ⅶ・1 ピンホール試験装置

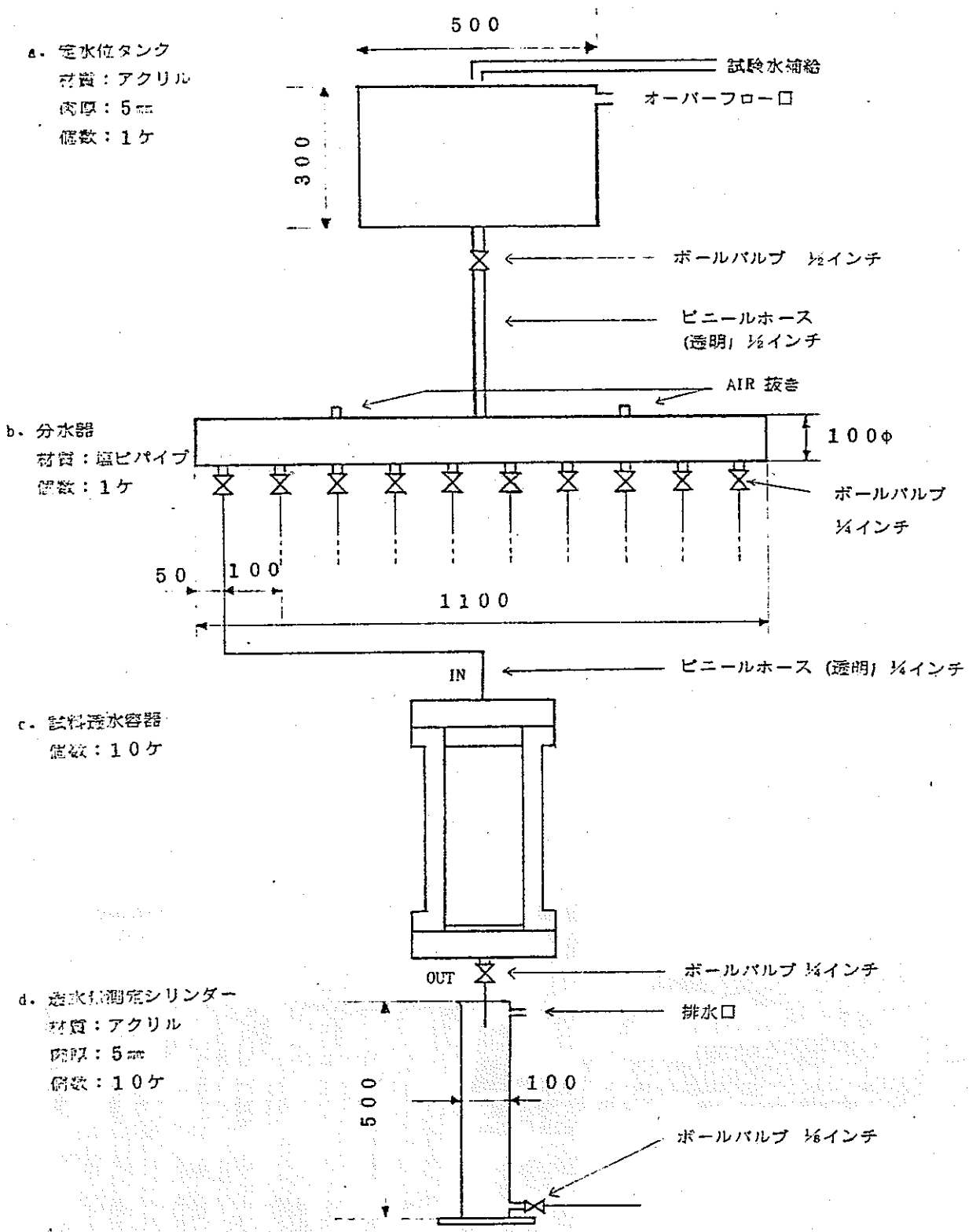
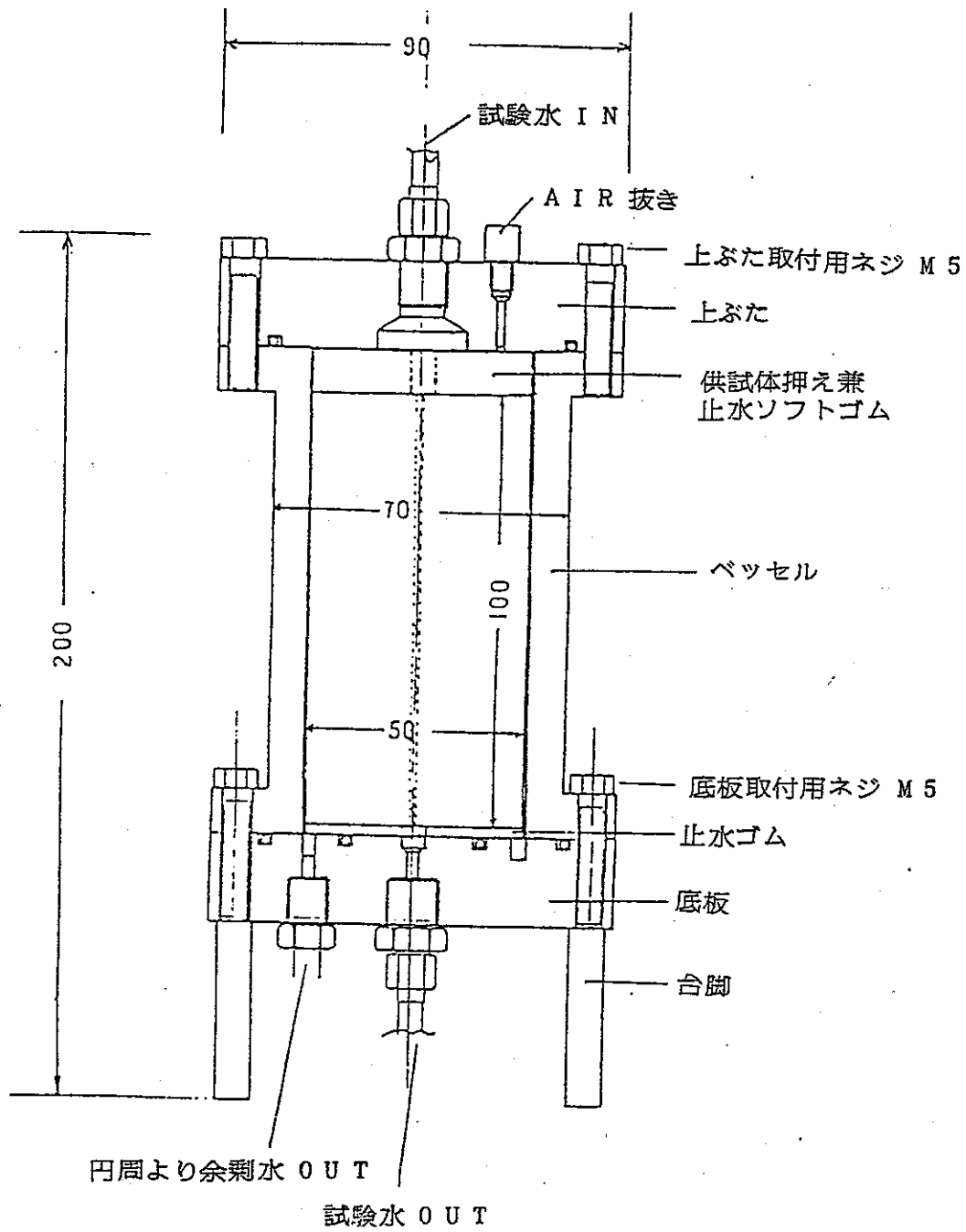


図-Ⅶ. 1 ピンホール試験ブロック図



図一Ⅶ. 2 試料容器詳細図

2. 試験方法

ピンホール試験に使用したグラウト材は表一Ⅶ・1に示す5種類である。

表一Ⅶ・1 グラウト材料配合表

| グラウト材 番号 | 主 材 | | 混 和 材 | | 高 性 能 減 水 剤 | |
|-------------|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|
| | 名 称 | ホセメント比(%) | 名 称 | 重量比(%) | 名 称 | 重量比(%) |
| 1 | コロイドセメント | 200 | 水 筋 粘 土 | 70 | マイティ150R | 1.0 |
| 2 | スーパーファインセメント | 250 | 水 筋 粘 土 | 80 | ボソリスNL4000 | 30 cc/kg |
| 3 | スーパーファインセメント | 250 | 水 筋 粘 土 | 80 | ボソリスNL4000 | 20 cc/kg |
| 4 | スーパーファインセメント | 250 | 水 筋 粘 土 | 100 | マイティ150R | 2.0 |
| 5 | 普通ポルトランドセメント | 150 | 水 筋 粘 土 | 60 | マイティ150R | 2.0 |

試験体は上記配合のグラウト材を直径5cm、高さ10cmのモールドに打設したものを使用した。打設前に所定のピンホール径に等しいピアノ線をモールド中心に設置し、グラウト材が固結した後、ピアノ線を引き抜いてピンホールとした。養生は水中で28日以上行なった。ピンホール径は0.3mm、0.5mmおよび1.0mmのピアノ線を利用して作成した3種類である。

試験は以下の手順で実施した。

- a. 試験体を試料容器にセットする。
- b. 各配管を接合し、水漏れのない事を確認する。
- c. 定水位槽を一定高さに固定し、透水量の測定を行なう。
- d. 24時間毎に透水量の測定を行なう。
- e. 7日後までの測定で、透水量の減少が認められたら、定水位槽を更に高くして、d・eの操作を実施する。
- f. 7日間ほゞ一定の透水量の水位高さで1ヶ月間24時間毎の透水量測定を実施する。試験水は通常地下水（東京都調布市）と、その地下水に硫酸を加えてPH=3に調整した酸性水で実施した。前者の水は使い捨てとするが、後者の酸性水は循環して使用した。試験状況を写真一Ⅶ・2に示す。

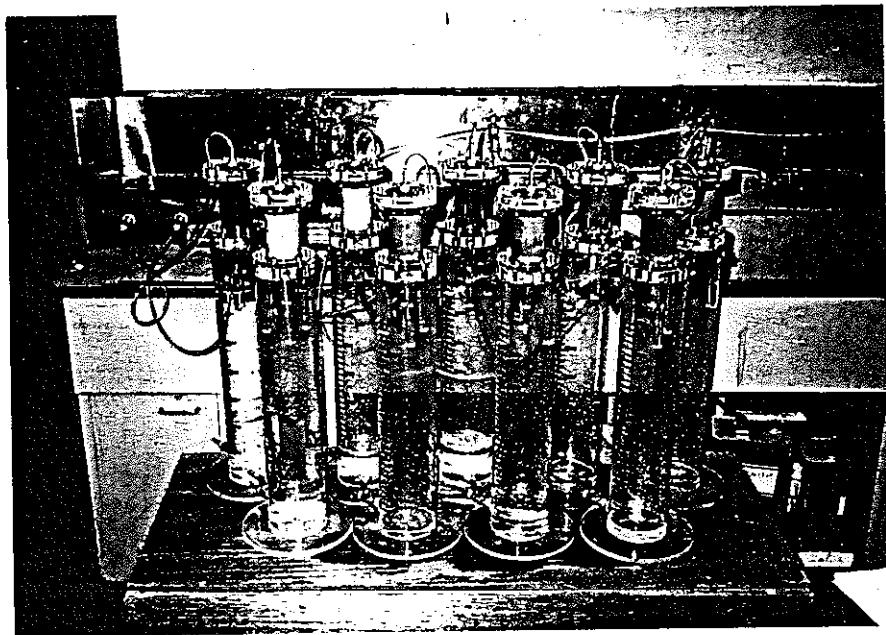


写真-Ⅶ・2 ピンホール試験状況

3. 試験結果

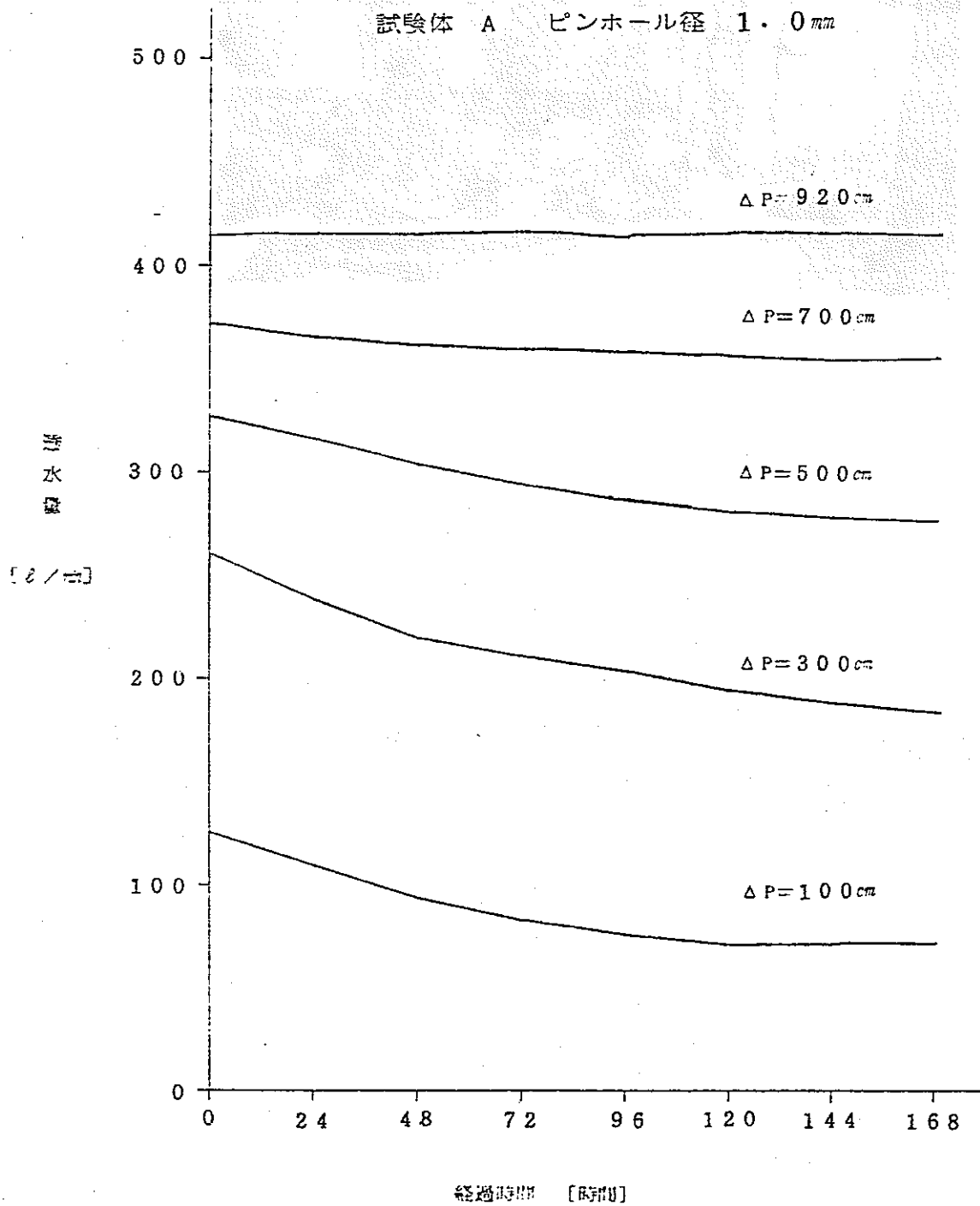
図-Ⅶ・3に水頭差をパラメーターにした透水量(Q)と経過時間(T)の関係をピンホール径1.0mm(=D),試験体Aについて示す。同様に,試験体Aでピンホール径を0.5mm,0.3mmにした図を図-Ⅶ・4及び図-Ⅶ・5に示す。

図-Ⅶ・6は地下水での透水量(Q)と経過日数(T)の関係を水頭差920cm,ピンホール径1.0mmで,試験体をパラメーターとして示す。図-Ⅶ・7~図-Ⅶ・8は同様の条件でピンホール径0.5mm,0.3mmの場合を示している。更に,図-Ⅶ・9~図-Ⅶ・11は酸性水での同様の結果を表わしたものである。

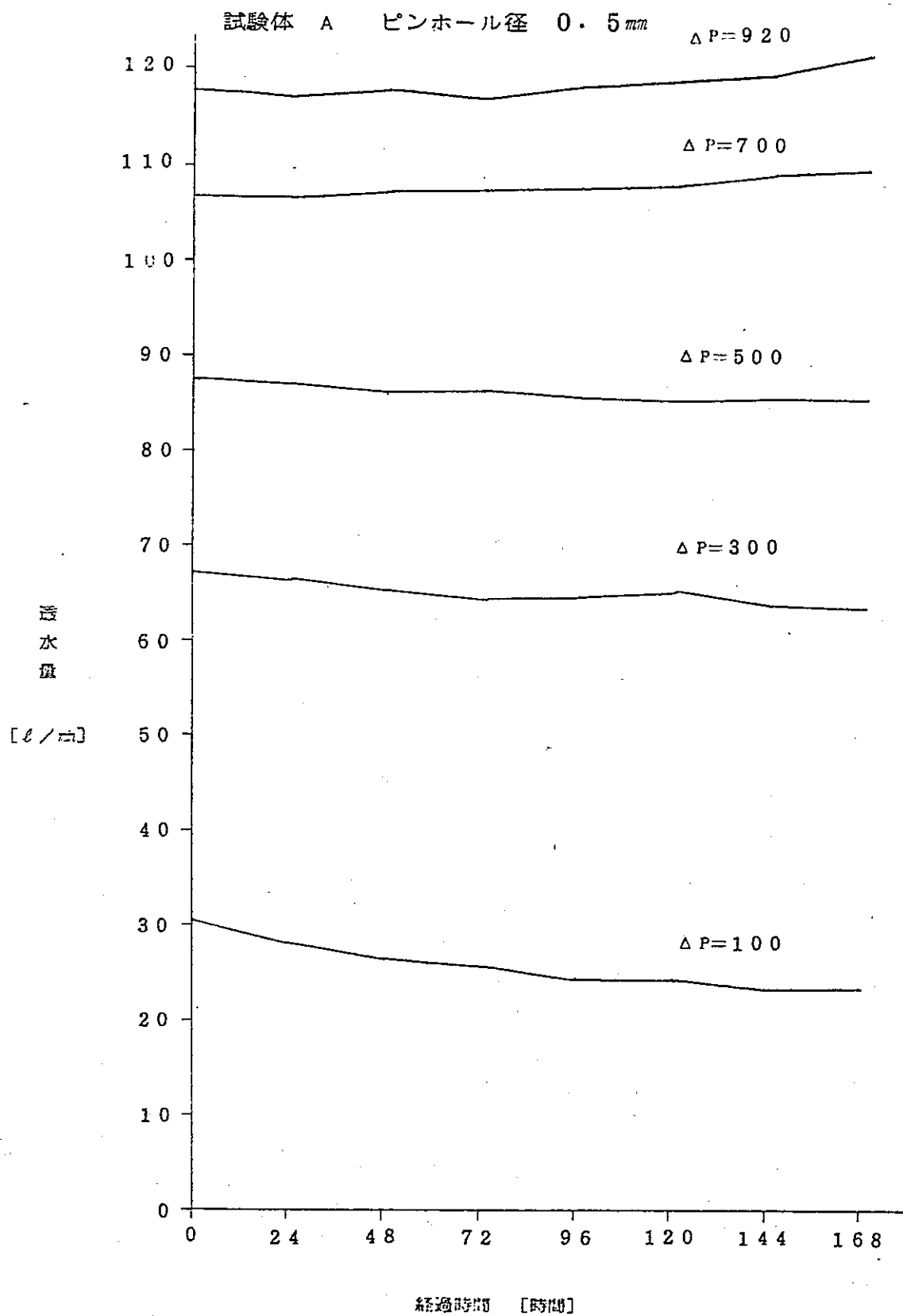
4. 考 察

図-Ⅶ・3~図-Ⅶ・5に示すように透水量は水頭差 ΔP が小の場合,経過時間と共に減少する傾向がある。逆に,水頭差が大きい場合,増加の傾向が見られる。これは,ピンホール内を流れる流速が小の場合はピンホール内に流れにより削られたグラウト材の粒子がつまる事によると考えられる。又,逆に大の場合は削られた粒子は流出するため,ピンホール径が大きくなる。この傾向はピンホール径1.0mmが最も顕著で0.5mm,0.3mmと小さくなる。水頭差が920cmになると,全てのピンホールで水により粒子が削られる。

ピンホールを流れる液体に関してはPoiseuilleの法則により下式で透水量(Q)を求



図一Ⅶ. 3 透水量と経過時間の関係



図一VII. 4 透水量と経過時間の関係

試験体 A ピンホール径 0.3mm

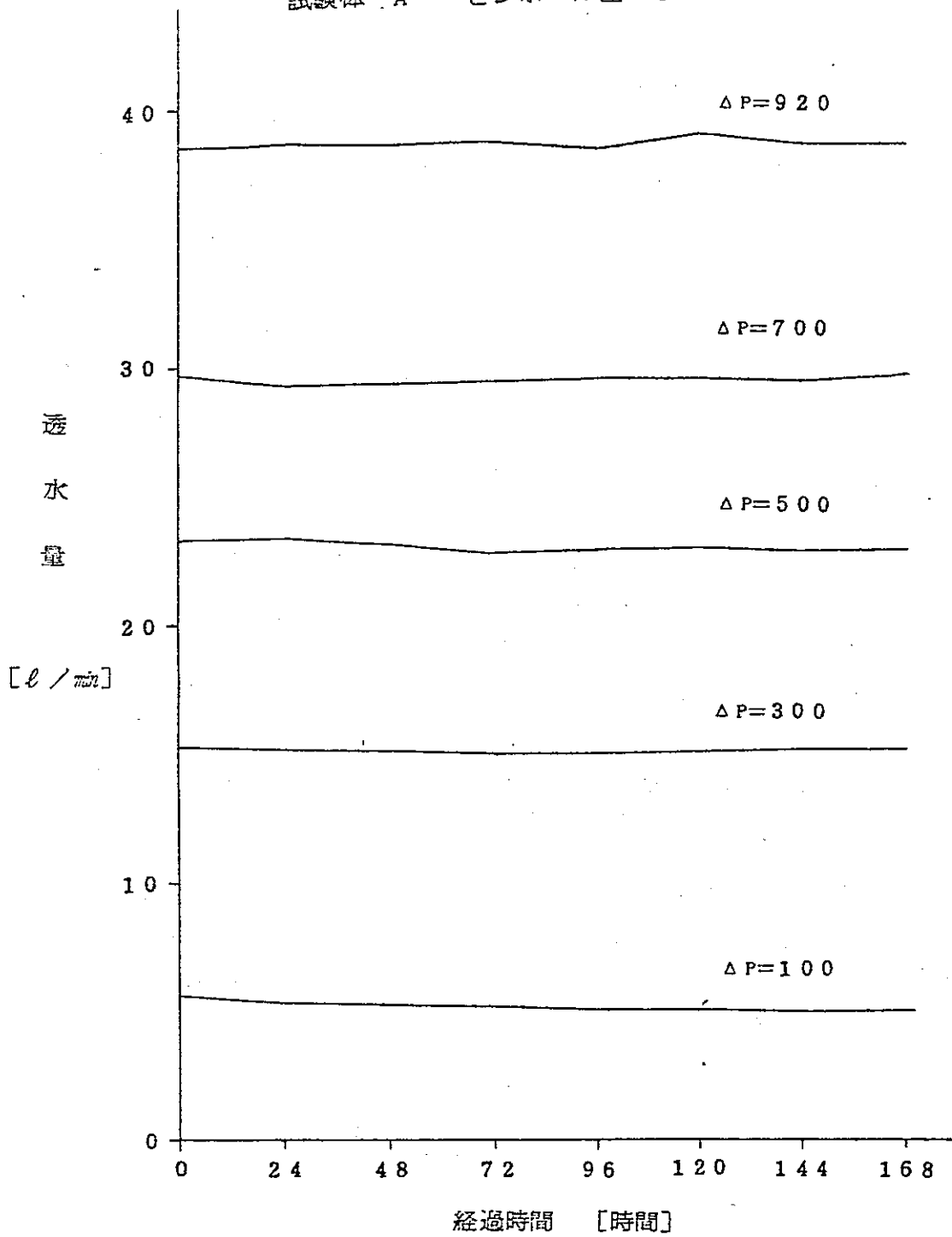


図-VI. 5 透水量と経過時間の関係

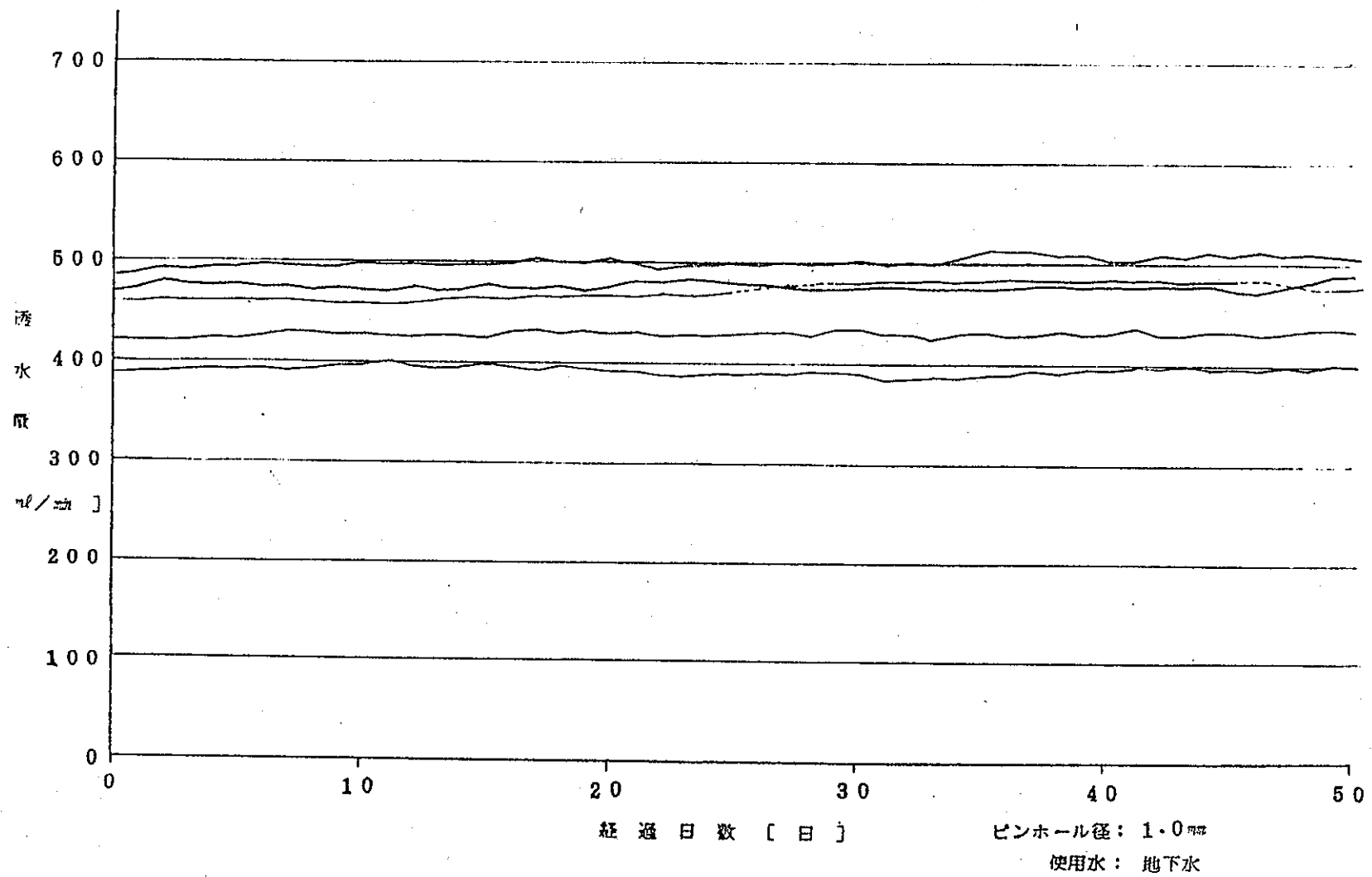
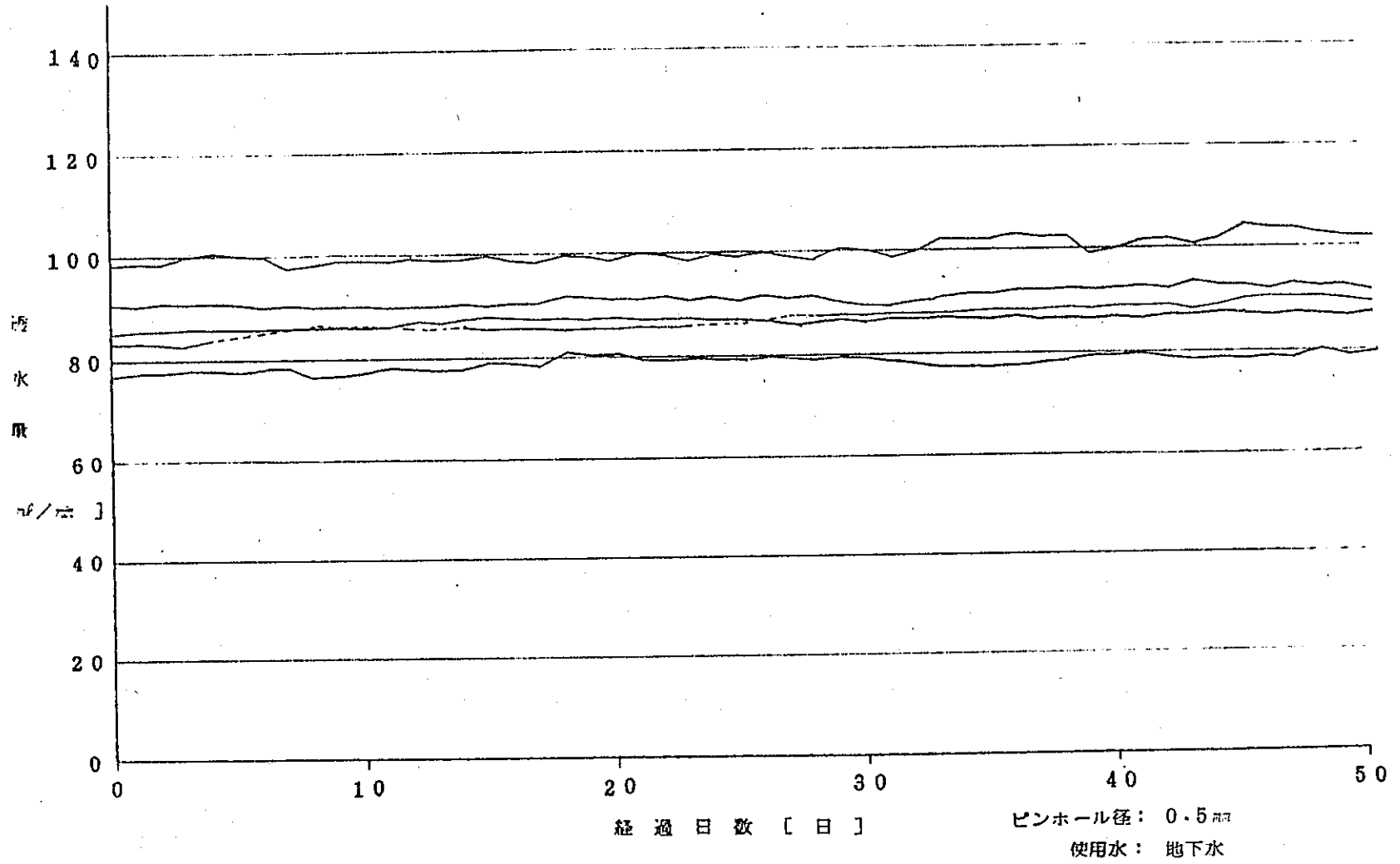
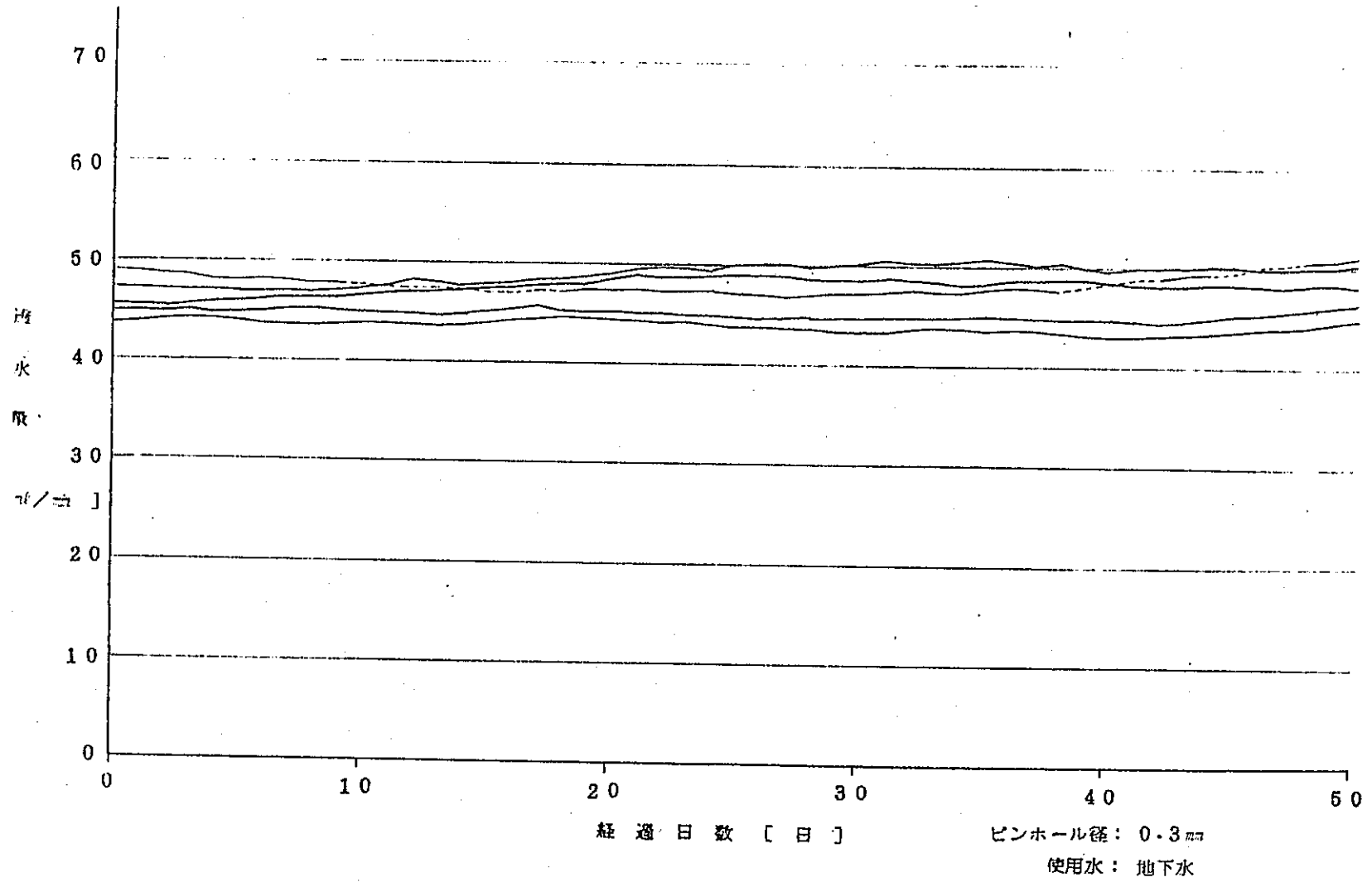


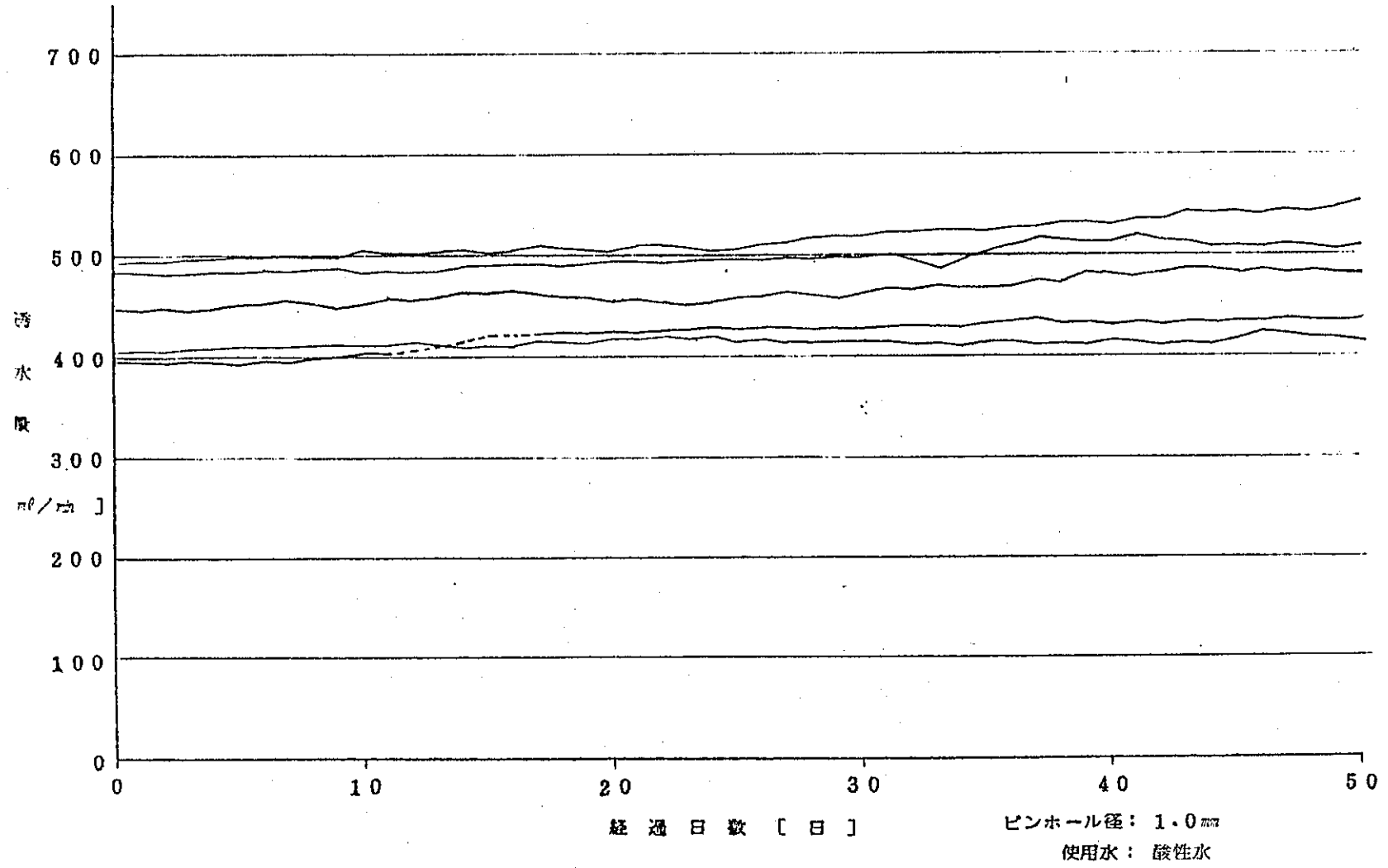
図-VII. 6 透水量と経過日数の関係



図一VII. 7 透水量と経過日数の関係



図一VII. 8 透水量と経過日数の関係



図一VII. 9 透水量と経過日数の関係

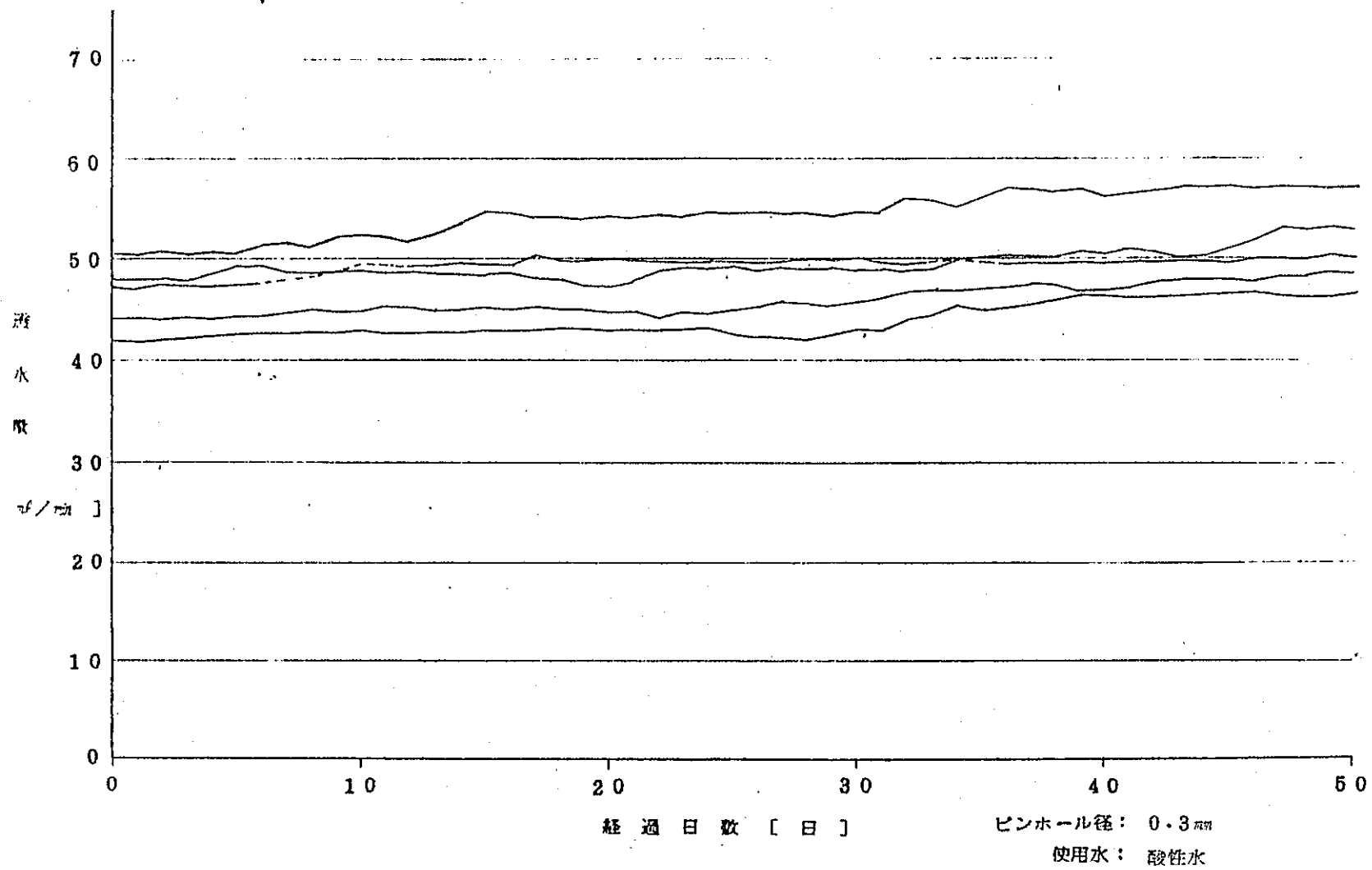


図-VII・11 透水量と経過日数の関係

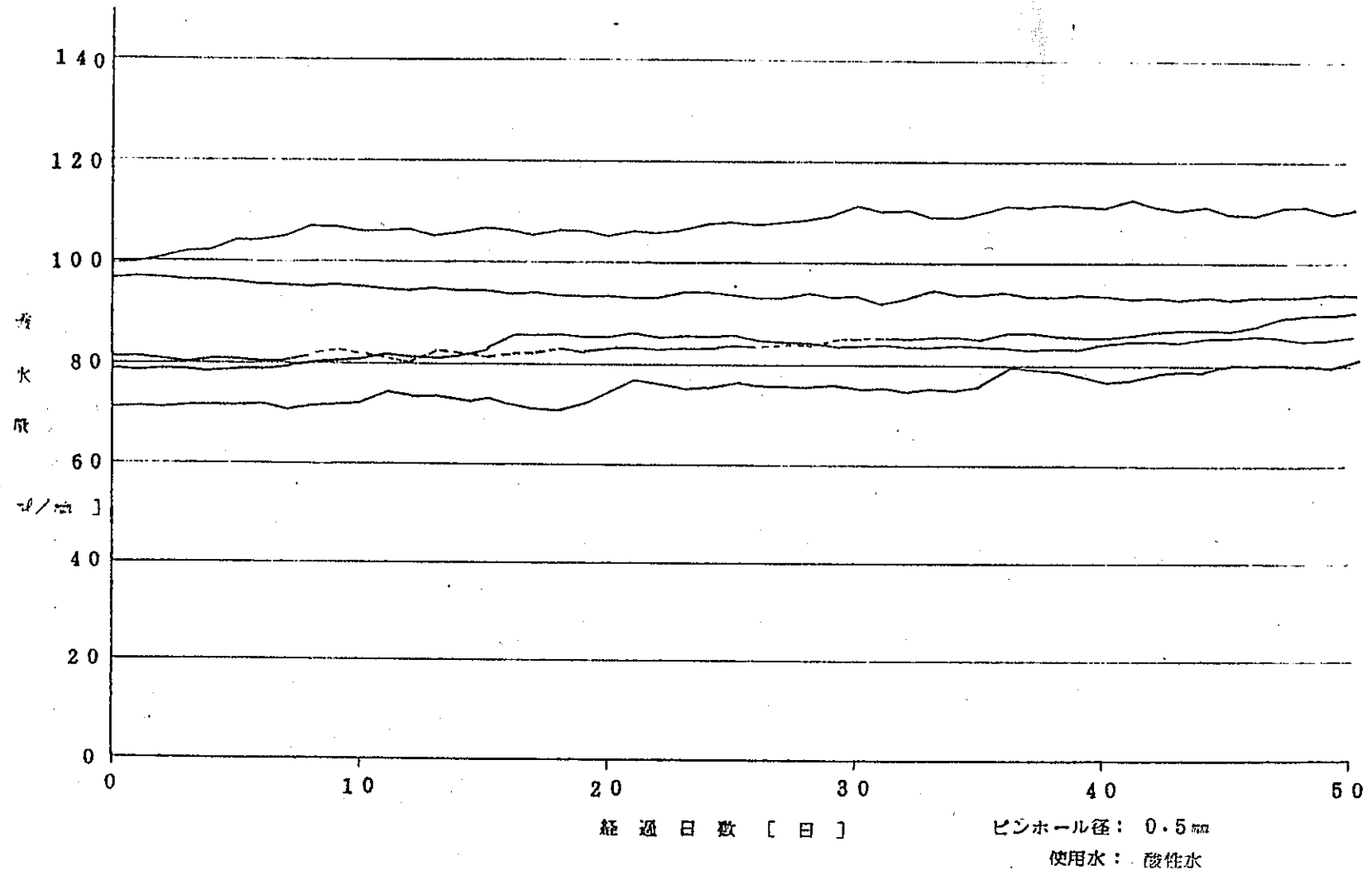


図-Ⅶ・10 透水量と経過日数の関係

める事ができる。

$$Q = \frac{\pi \cdot a^4 \cdot \Delta P}{8 \cdot \mu \cdot l}$$

ここで、 a ；ピンホールの半径， ΔP ；水頭差， μ ；流体の粘性係数， l ；ピンホールの長さである。

実測値の Q_{OB} と上式の Q の比を K とすると， K がそのピンホール内の粗度を考慮した抵抗係数になる。水頭差920 cmの場合のピンホール内の速度(V)を求めると、次のようになる。

| | | | |
|--------|--------|---------------------------------|--------------------------|
| ピンホール径 | 1.0 mm | $Q_{OB} = 400 \text{ cc/min}$ | $V = 849 \text{ cm/sec}$ |
| | | $Re = 8320$ | |
| ピンホール径 | 0.5 mm | $Q_{OB} = 117.5 \text{ cc/min}$ | $V = 997 \text{ cm/sec}$ |
| | | $Re = 4890$ | |
| ピンホール径 | 0.3 mm | $Q_{OB} = 38.4 \text{ cc/min}$ | $V = 905 \text{ cm/sec}$ |
| | | $Re = 2662$ | |

この結果から明らかなように、ピンホール内の流速は早く、 Re 数から乱流である事が分る。この時の計算流量 Q を求めると、ピンホール径1.0 mmで1562 cc/min，0.5 mmで97.5 cc/min，0.3 mmで12.7 cc/minである。従って $K = Q_{OB}/Q$ はピンホール径1.0 mmで0.26，0.5 mmで1.2，0.3 mmで3.0となる。

図-VII・6～図-VII・8に示す、地下水での透水量と経過日数の関係から、試験体による有意なる差は認められないが経過日数50日で透水量は若干増加している。又、ピンホール径による有意な差は認められない。セメント固結体(グラウト材)のエロージョンは、もっと長期の測定が必要である。又、流速とエロージョンの関係も今後の問題である。

図-VII・9～図-VII・11の酸性水($PH=3$)での透水量と経過日数の関係も前述の地下水と同様な傾向であるが、地下水よりも酸性水の方が透水量が大きくなる。これは化学的な溶食の関係と考えられる。これについても定量的な測定が今後必要である。

Ⅷ 超音波発振によるグラウト試験の基礎実験

超音波発振を利用した注入実験の室内試験として、超音波発振による効果を確認するため次の3項目の試験を実施した。

- a. 浸透力試験
- b. 付着力試験
- c. 夾在物（粘土）洗浄試験

以下にこれらの試験について記す。

1. 浸透力試験

岩盤内の割れ目への注入材の浸透が超音波発振によりどの程度増加するかを調査するために実施した試験である。

(1) 試験体の作成

使用した岩石は昭和56年度に試験した恵那蛭川村の苗木花崗岩である。試験体の作成は以下の手順で行なった。

- a. 直径5.0 cm, 高さ10 cm の円柱状花崗岩コアを岩石カッターで切断する。この時、カッターの刃厚を考慮して、片面のみ半円に切断する。
- b. 使用する半円状のコアの切断面を平面研削機により、1/100オーダーの平滑面に仕上げる。
- c. この半円状のコア2個をはり合せて試験体とするが、割れ目を作るために図-Ⅷ・1に示すように隙間ゲージを貼りつけて合せる。
- d. 隙間ゲージは0.1 mm, 0.5 mm, 1.0 mm を使用し、その開口幅の割れ目を作成した。

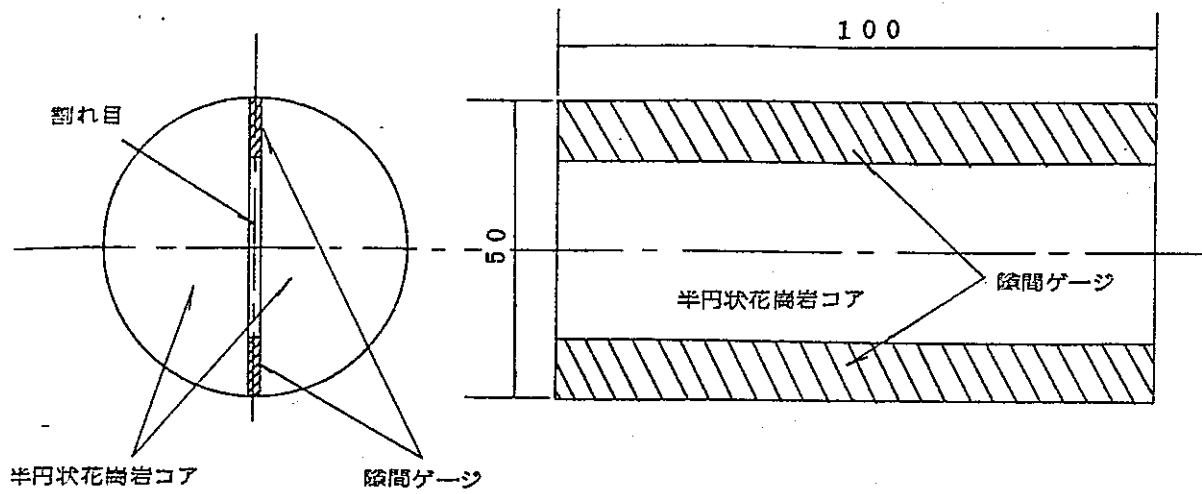
(試験体3個)

(2) 注入材

注入材は、主材(S.Fセメント)、混和材(シリカフラワー)、減水剤(マイティ150R)を水セメント比150%, 混和材20%, 減水剤1.0%で混練して使用した。

(3) 試験装置

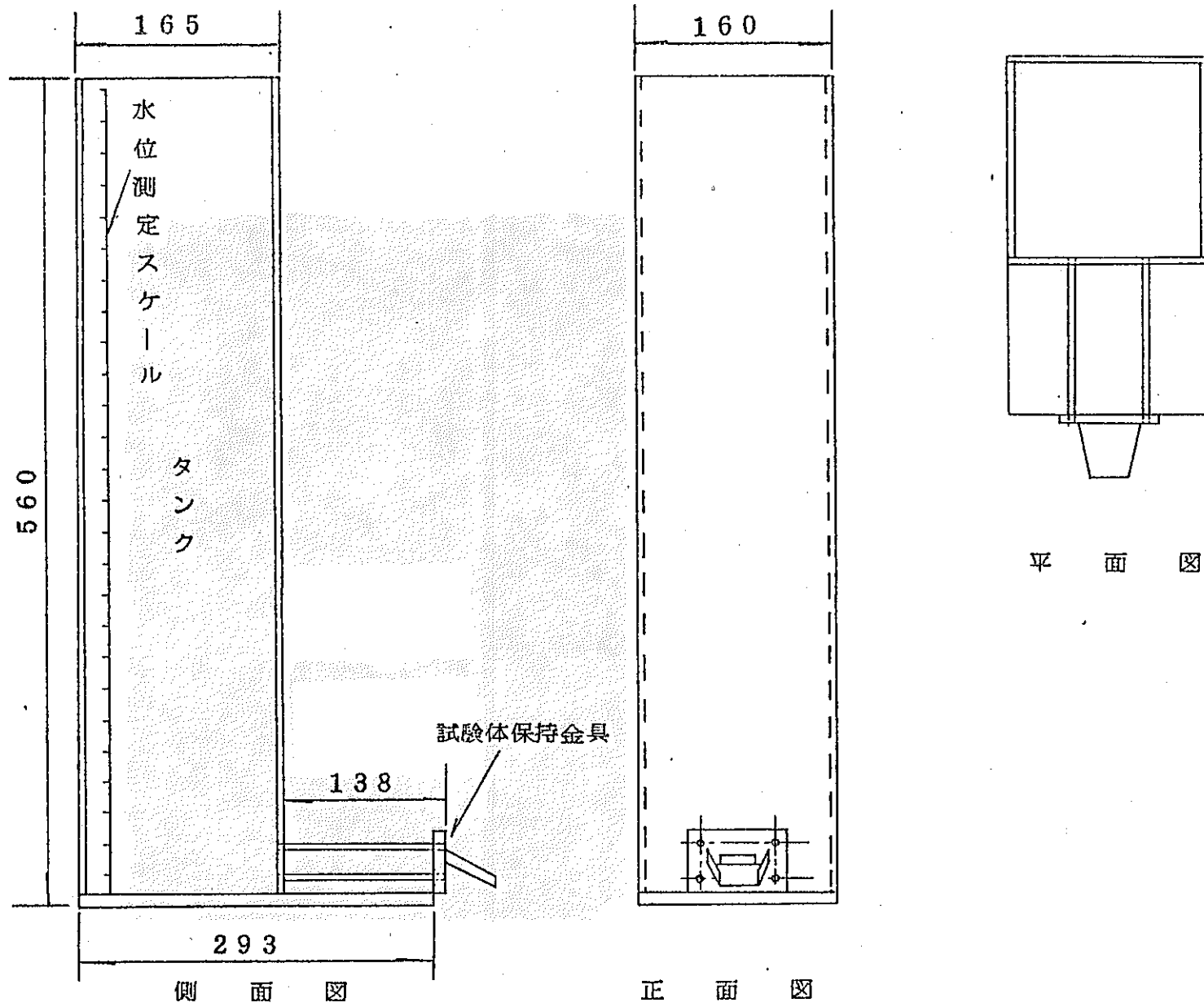
浸透装置は図-Ⅷ・2及び写真-Ⅷ・2に示すような装置を設計製作して使用した。超音波発振装置はその全景を写真-Ⅷ・3に示す。その構成はパワーアンプ(TOKIN UOD-WB-500)、ファンクションジェネレーター(菊水電子 MODEL 458A)、ユニバーサルカウンター(岩通 UC-8001)、高周波電圧計(菊水電子 183E)である。



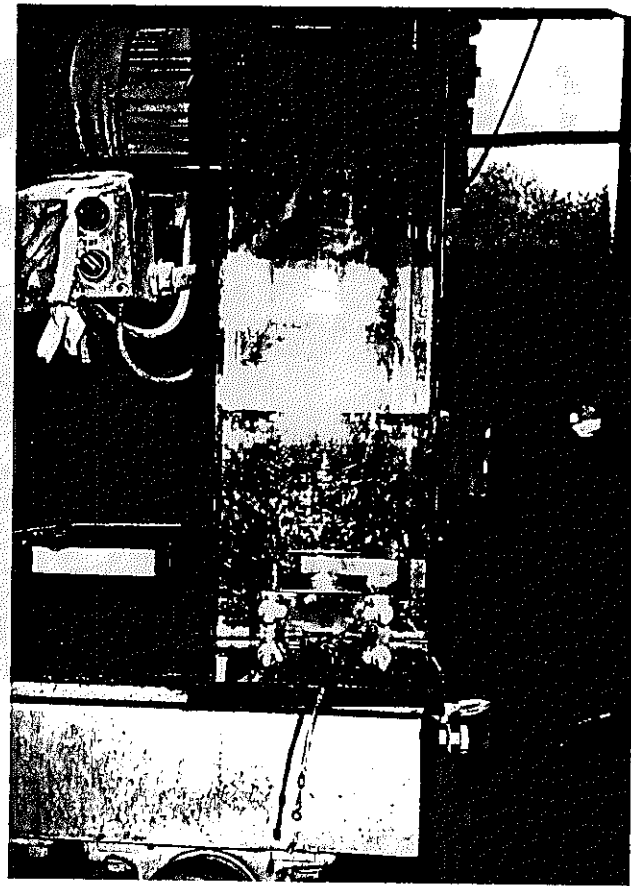
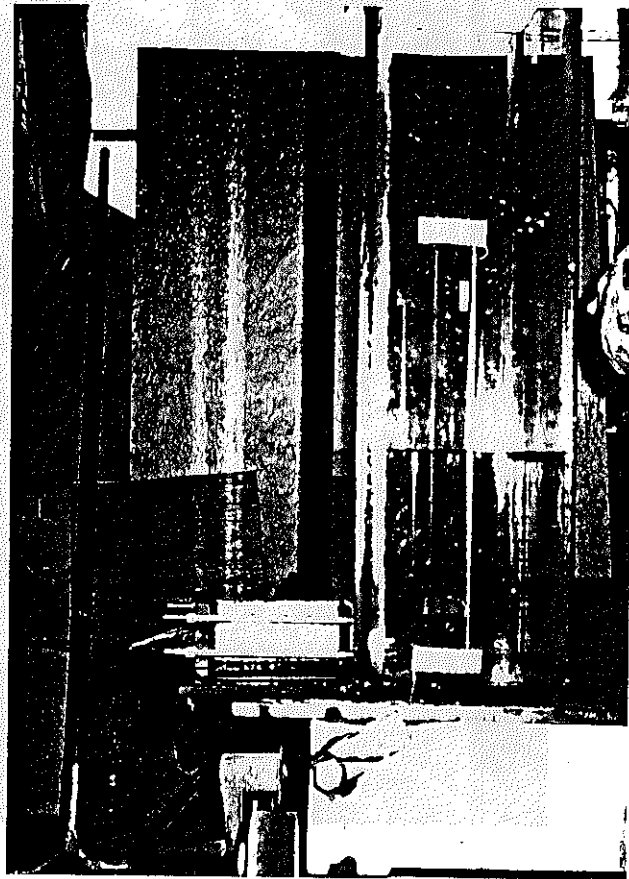
図一Ⅷ・1 浸透試験・花崗岩割れ目試験体



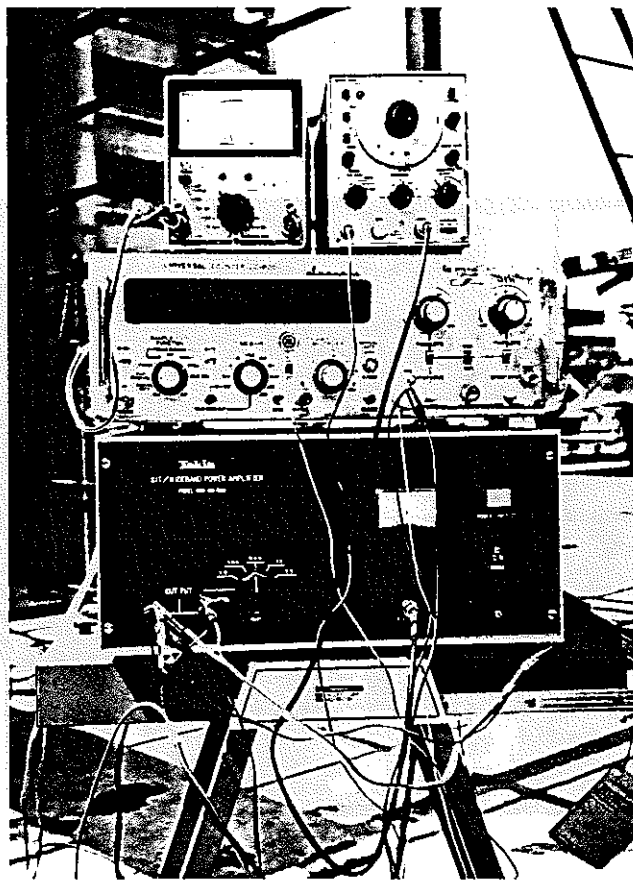
写真一Ⅷ・1 割れ目の試験体



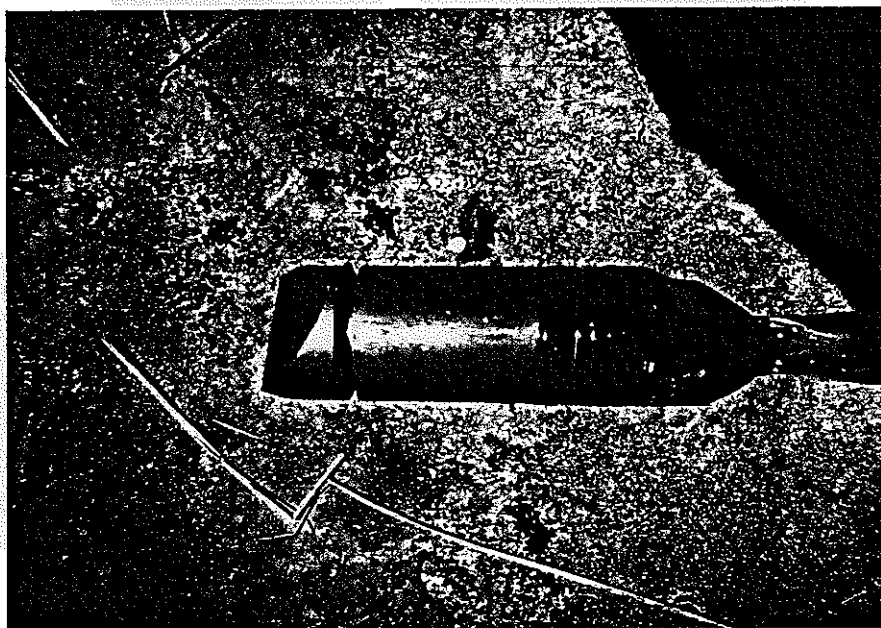
図一Ⅷ. 2 浸透装置



写真一Ⅷ. 2 浸透装置



写真一Ⅷ. 3 超音波発振装置



写真一Ⅷ. 4 超音波発振部全景

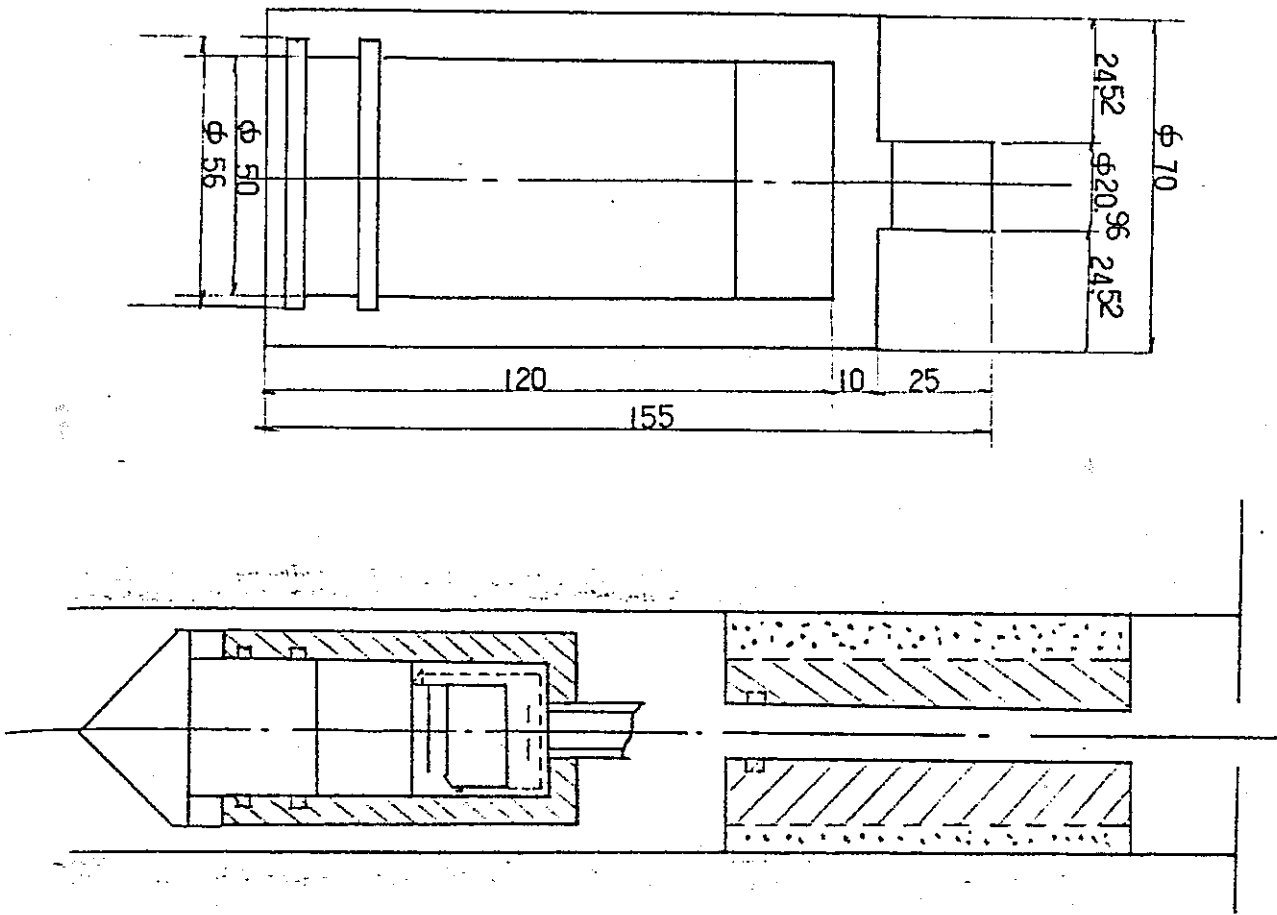


図-VIII. 3 超音波発振部及びホーン組立図

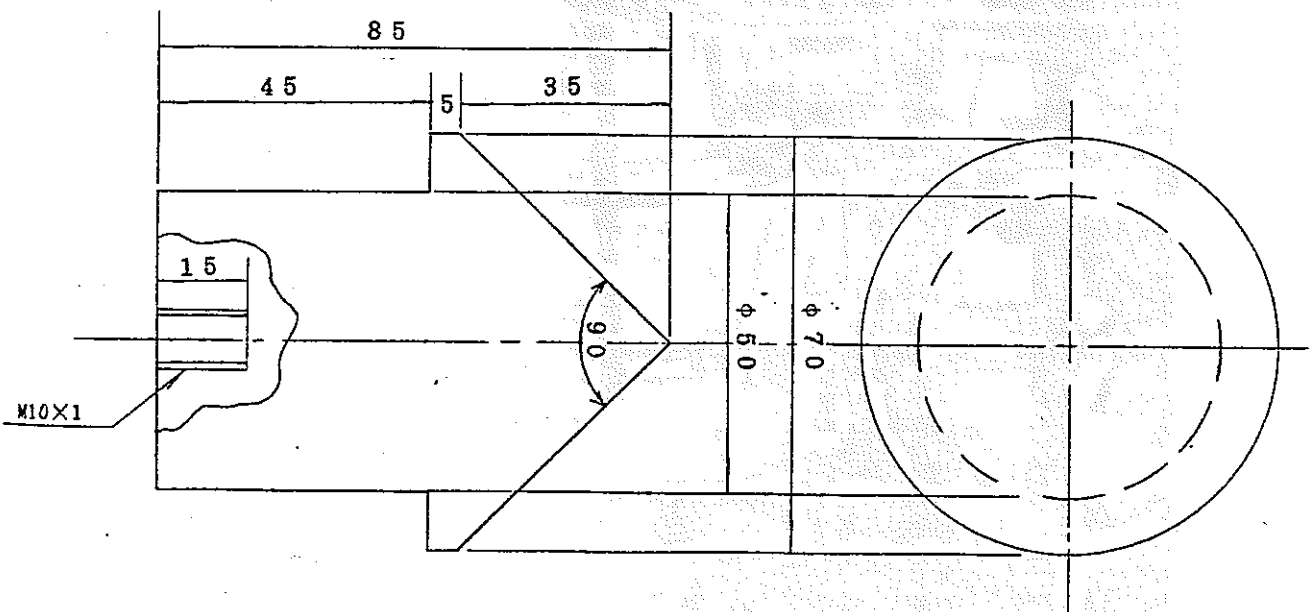


図-VIII. 4 先端ホーン部概略図

発振部は東北大学工学部資源工学科 小林良二教授 の考案によるもので、その振動子は東北金属製のジルコチタン酸鉛である。その組立図を図-VIII・3 及び写真-VIII・4 に示す。発振先端部は三角錐状である。(図-VIII・4 参照)

(4) 試験方法

試験は次の手順で実施した。

- a. 試験体を装置にセットする。設置状況を写真-VIII・5 に示す。
- b. 水を所定高さに入れる。(約30cm)
- c. 水位の下降を所定の時間計測する。(割れ目の透水性の計測)
- d. 出口をふさぎ、高さ約25cmまで水を入れる。(ストッパーのセット)
- e. ストッパーをとり、水の流出までの時間を計測、更に3分後の水位下降高さを計測する。
- f. dとeの操作を注入材で実施する。
- g. ストッパーをセット後、超音波発振部を挿入し、注入材を約25cmの高さまで入れる。
- h. 超音波を発振し、ストッパーをとり、eの操作を行なう。
- i. 他の試験体を用いてa～hの操作を実施する。

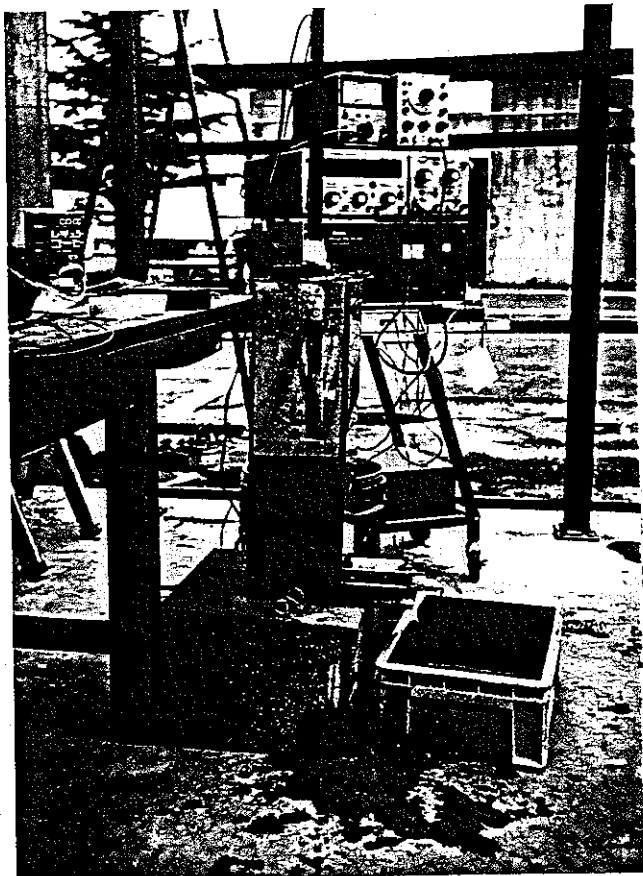


写真-VIII・5 試験体の設置状況

(5) 試験結果及び考察

水による浸透試験結果を表-Ⅷ・1に示す。

長方形の空隙断面をもつ割れ目を流れる流体はポアズイユの法則とナビエーストークスの公式から解析し、高次の項を無視すると次式が求まる。(昭和54年度報告書参照)

$$Q = \frac{a^3 \cdot b \cdot 4P}{12 \cdot \mu \cdot \ell} \left[1 - \frac{192}{\pi^5} \cdot \frac{a}{b} \left(\tanh \frac{\pi a}{2b} + \frac{1}{35} \tanh \frac{3\pi a}{2b} + \frac{1}{55} \tanh \frac{5\pi a}{2b} \right) \right]$$

ここで、 Q ；流量、 a ；空隙の短辺の長さ、 b ；空隙の長辺の長さ
 $4P$ ；水頭差、 μ ；粘性係数、 ℓ ；浸透長さ

上辺では流体と壁面はスムーズと仮定されているが、壁面の粗度の影響があるため、その効果を X とし、上式の〔 〕内を A とすると、

$$Q = \frac{a^3 \cdot b \cdot 4P \cdot A}{12 \cdot \mu \cdot \ell \cdot X} \quad \text{で表わされる。}$$

浸透試験では水頭が変化しているため、上式を変えて

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{a^3 \cdot b \cdot A \cdot (\rho h)}{12 \cdot \mu \cdot \ell \cdot X} \quad \rho ; \text{水の密度}$$

$$dQ = -B \cdot dh \quad B ; \text{水位の断面積}$$

従って、

$$-\frac{dh}{h} = \frac{a^3 \cdot b \cdot A \cdot \rho}{12 \cdot \mu \cdot \ell \cdot B \cdot X} dt$$

$$\ell_n \frac{h_1}{h_2} = \frac{a^3 \cdot b \cdot A \cdot \rho}{12 \cdot \mu \cdot \ell \cdot B \cdot X} (T_2 - T_1)$$

ここで T_1 時の水位 h_1 , T_2 時の水位 h_2 とする。

表-VIII. 1 浸透試験結果

| 割れ目の幅 (mm) | 0.5 | | 0.1 | | 1.0 | |
|----------------|-------|--------------|--------|-------------|------|-----------------|
| 割れ目の長さ (mm) | 25.4 | | 24.9 | | 25.0 | |
| 浸透長さ (mm) | 98.6 | | 98.6 | | 98.6 | |
| 水の浸透試験結果 | 0分 | 26.3 cm | 0分 | 29.8 cm | 0分 | 29.5 cm |
| | 1.0分 | 24.4 cm | 5.0分 | 28.7 cm | 0.5分 | 25.7 cm |
| | 2.0分 | 22.7 cm | 11.0分 | 27.5 cm | 1.0分 | 22.3 cm |
| | 3.0分 | 21.1 cm | 20.0分 | 25.7 cm | 2.0分 | 16.4 cm |
| | 5.0分 | 18.1 cm | 30.0分 | 23.8 cm | 3.0分 | 11.8 cm |
| | 10.0分 | 12.1 cm | 78.0分 | 16.2 cm | 5.0分 | 5.7 cm |
| | 20.0分 | 5.6 cm | 120.0分 | 11.8 cm | | |
| 無発振でグラウト材の浸透試験 | 0分 | 25.1 cm | 0分 | 27.3 cm | 0分 | 25.3 cm |
| | 3分 | 40秒で停止(24.7) | 3分 | 30秒で停止 | 3分 | 1分10秒で停止(23.85) |
| 発振してグラウト材の浸透試験 | 0分 | 25.0 cm | 0分 | 24.85 cm | 0分 | 24.95 cm |
| | 3分 | 24.5 cm | 3分 | わずかずつにじんて出る | 3分 | 21.3 cm |

上式で X は割れ目内の流れの抵抗係数に相当し、この値が大であると抵抗が大きい事を示している。表-Ⅷ・1の結果から水の場合の抵抗係数を求めると、下表の如くなる。

| | | | |
|------|--------|--------|--------|
| 割れ目幅 | 1.0 mm | 0.5 mm | 0.1 mm |
| 抵抗係数 | 2.34 | 1.60 | 0.58 |

グラウト材の粘性係数は 500~600 cp であるから、抵抗係数が同じであるとすると、流量は水に対して $\frac{1}{500} \sim \frac{1}{600}$ に低下する。表-Ⅷ・1の試験結果では数10秒から1分程度でグラウト材の流れは停止している。

これに対して、超音波発振の状態だと流れが発生し、その量を観察できる。この場合の抵抗係数を平均粘性係数 550cp を用いて計算すると、(割れ目幅 0.1mm は計算不可能)

開口幅 1.0mm で 0.198, 開口幅 0.5 mm で 0.033 となる。水の場合の抵抗係数と比較すると、 $\frac{1}{12} \sim \frac{1}{48}$ に低下している。従って、浸透に関しては超音波発振の効果は大きく、発振すると、無発振に比べて 12~48 倍は流れ易くなっていると考えられる。

2. 付着力試験

人工的に作成した岩盤割れ目に注入材を自然打設し、その打設時に超音波発振し、無発振との付着力の比較を行なう試験である。

(1) 試験体の作成

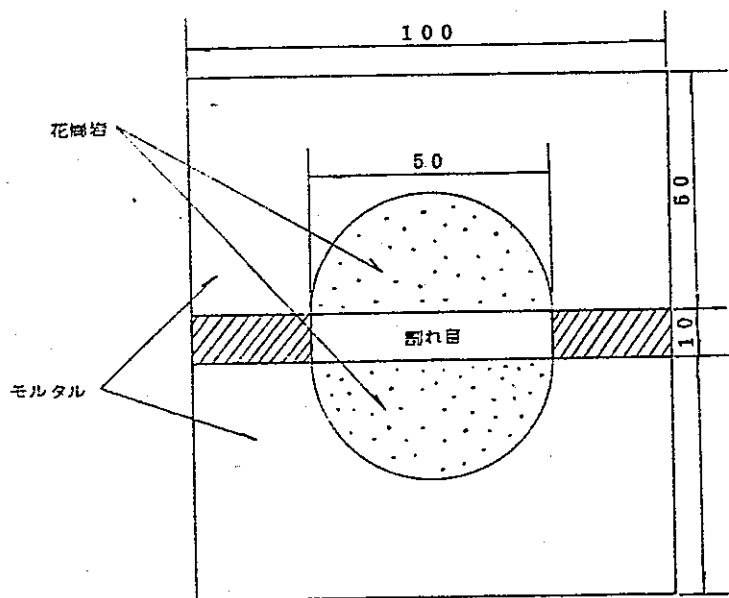
試験体は前記試験と同じ花崗岩である。人工的な割れ目は、A; カッターによる切断割れ目, B; 圧裂による割裂割れ目 の2種類である。Aの割れ目の試験体は以下の手順で作成した。

- a. 直径 5.0 cm, 高さ 10 cm の花崗岩コアを 10 cm × 10 cm × 10 cm の箱形モールドの中心部にセットする。
- b. モールド内に水:セメント:砂を 1:1.7:3.45 の配合で練ったモルタルを打設し、2週間以上養生する。
- c. モールドより試験体を取り出し、岩石カッターを用いて、花崗岩コアを半分に切断出来るように切断する。

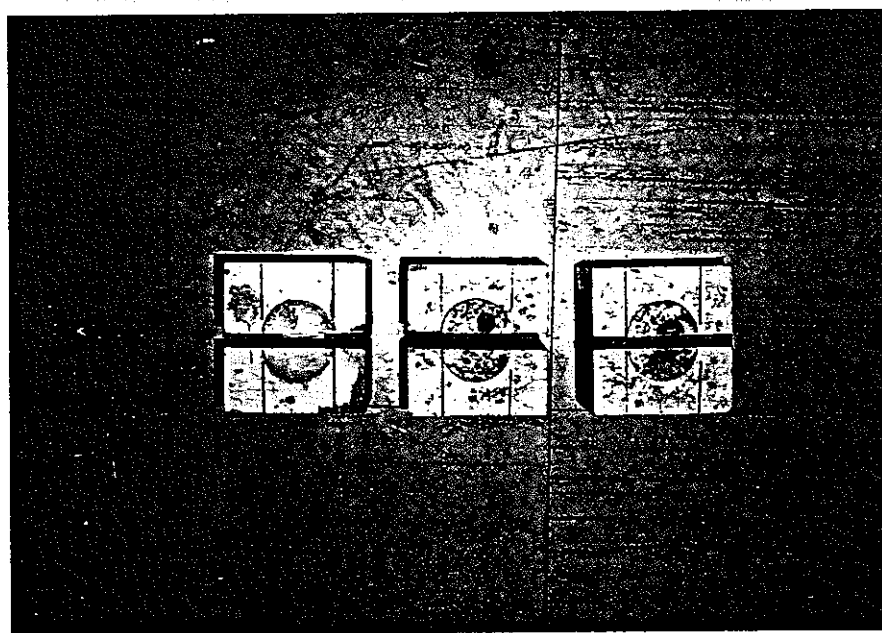
d. 切断面のモルタル部に図一Ⅷ・5に示すように厚さ1 cm, 幅約2.0 cm, 長さ10 cmの硬質ゴムをはさみ, ボンドG17(コニシ製)を用いて接着する。写真一Ⅷ・6に作成後の試験体を示す。

e. 割れ目に水を注水し, その量で平均割れ目幅を測定する。

Bの割れ目の試験体は, モルタル打設後に切断するのではなく, 予め圧裂して割れ目を作り, モールドにセットしてモルタルを打設する方法で, その他はAと同様である。



図一Ⅷ・5 試験体作成図



写真一Ⅷ・6 完成した試験体

作成した試験体の平均割れ目開口幅を表-Ⅷ・2に示す。

表-Ⅷ・2 試験体の平均割れ目幅

| 試 験 体 A | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.95 | 0.98 | 0.96 | 0.96 |
| IX | X | XI | XII | XIII | XIV | XV | XVI |
| 1.15 | 0.94 | 1.02 | 1.13 | 1.06 | 1.11 | 1.11 | 1.11 |
| 試 験 体 B | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1.36 | 1.32 | 1.23 | 1.30 | 1.26 | 1.28 | 1.40 | 1.23 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1.23 | 1.40 | 1.28 | 1.15 | 1.28 | 1.40 | 1.28 | 1.19 |

(単位 cm)

(2) 注 入 材

注入材は主材は日鉄スーパーファインセメントで、その配合は前節の注入材配合試験で決定した次表に示す4種類である。

表-Ⅷ・3 グラウト材の配合

| | ホセメント比 (%) | 混 和 材 | 混和材の割合 (%) | 高性能減水剤 | 高性能減水剤の割合 (%) |
|---|------------|-------------------------|------------|------------|---------------|
| A | 150 | シリカフラワー | 20 | マイティ150R | 1.0 |
| B | 150 | 木 節 粘 土 | 40 | ボゾリスNL4000 | 40 |
| C | 100 | フライアッシュ | 20 | マイティ150R | 0.5 |
| D | 125 | シリカフラワー + フライアッシュ | 15 5 | マイティ150R | 2.0 |

(3) 注入材の打設

超音波と発振しない試験体は、その割れ目に注入材を注ぎ込んで、一日放置後、水中養生した。各配合で、試験体A、B共に各2個に注入材を打設した。

超音波を発振して打設する試験体は、その打設状況を写真一Ⅷ・7に示すように、試験体の上に直径86mm、高さ20cmの塩化ビニール製のパイプを建て、超音波発振部をそのパイプ内に入れ、注入材を満たして、超音波を発振した。発振時間は3分間である。発振終了後、直ちにパイプを取り除き、一日放置後、水中養生した。各配合、各々2個の試験体に注入材を打設した。

超音波発振時のデータは、電圧420~430V、電流5.0~5.5A、発振周波数27.3~27.4KCである。



写真一Ⅷ・7 超音波発振での注入材打設状況

(4) 付着力試験

注入材を打設した試験体は図一Ⅷ・6に示す剪断試験装置で花崗岩と注入材の剪断力を求めた。試験体は28日水中養生した。

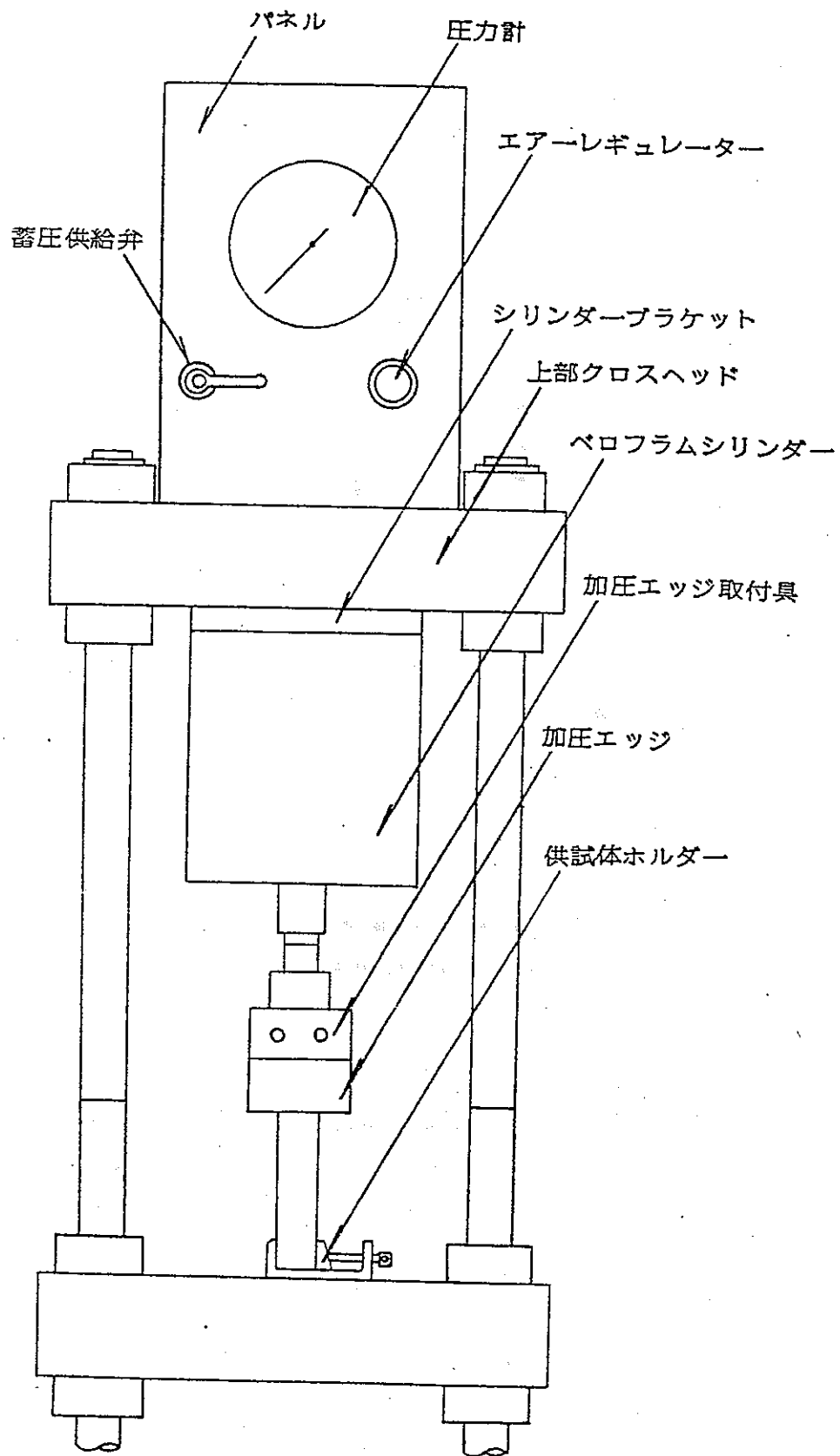


図-Ⅷ. 6 剪断試験装置

(5) 試験結果及び考察

剪断試験の結果、図-Ⅷ・7に試験体の種類と剪断応力の関係を示す。これらの結果、剪断応力を特性値にとって超音波発振の有無と試験体の種類を因子として二元配置の分散分析をすると、超音波発振の有無は高度に有意で試験体の種類は有意でない。従って、超音波発振の効果は、平均で発振で 5.2 kg/cm^2 、無発振で 4.2 kg/cm^2 となり、発振すると1.24倍剪断応力が増加した事になる。表-Ⅷ・4に結果を示す。

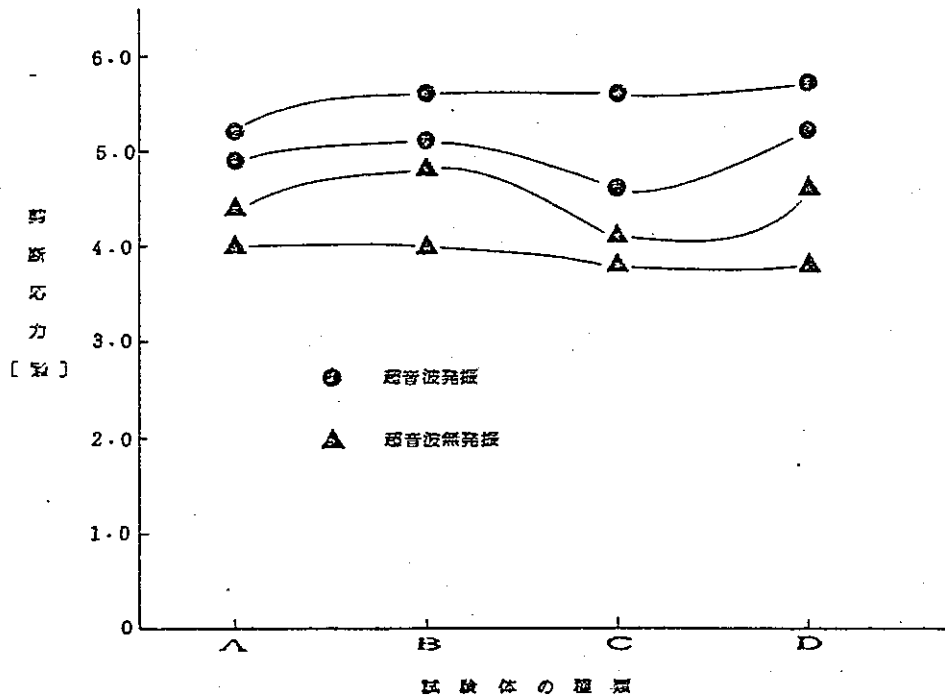


図-Ⅷ・7 試験体の種類と剪断応力の関係

表-Ⅷ・4 剪断試験結果

| 試験体 | 発振した剪断応力 (kgf/cm ²) | | 無発振の剪断応力 (kgf/cm ²) | | a / b |
|-----|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|-------|
| | 測定値 a | 平均値 | 測定値 b | 平均値 | |
| A | 5.2 | 5.1 | 4.4 | 4.2 | 1.21 |
| | 4.9 | | 4.0 | | |
| B | 5.6 | 5.4 | 4.8 | 4.4 | 1.23 |
| | 5.1 | | 4.0 | | |
| C | 5.6 | 5.1 | 4.1 | 4.0 | 1.27 |
| | 4.6 | | 3.8 | | |
| D | 5.7 | 5.5 | 4.6 | 4.2 | 1.31 |
| | 5.2 | | 3.8 | | |
| 平均値 | 5.2 | | 4.2 | | 1.24 |

IX. グラウト実験

56年度までの実験結果及び前章までの基礎実験の成果をもとに、システム透水係数 10^{-5} cm/sec程度の実際の岩盤の“割れ目”を対象としてグラウト効果を総合的に把握する為、グラウト野外実験を行なった。

注入材料は、IV章グラウト材料特性試験で選択された新しい注入材料を用い、注入装置は、V章注入装置の設計製作で新たに開発された注入装置を使用した。

注入方法も、同レベルの割れ目で、超音波発振法を用いた注入方法を加えて、従来の超音波発振法を使用しない注入方法と比較出来る様に野外実験を実施した。

1. 実験場所

実験場所は、岐阜県恵那郡蛭川村田原にある56年度野外試験地の北西約1.5 Kmの岐阜県花崗岩販売組合内の敷地で、表面の表土及び風化花崗岩が取り除かれた(4 m弱のはぎ取り深さ)比較的フラットな平面40 m × 20 mの場所である。実験場所の近辺図を図IX・1に示す。この地域の地質は、56年度調査結果と同じなので省略する。(56年度報告書参照)

実験場所の周囲は、ほとんど花崗岩の切り出しを行なっており、その切り出し断面調査と地表踏査の結果から当実験地にグラウト試験に適する水平な2本以上の割れ目があると判断された。

グラウト試験に先立ち、これらの割れ目の状況を三次元的に詳細に把握する為、以下に述べる調査を実施した。写真IX・1にグラウト実験場所の全景、図IX・2に実験場所詳細を示す。



写真IX・1 実験場全景

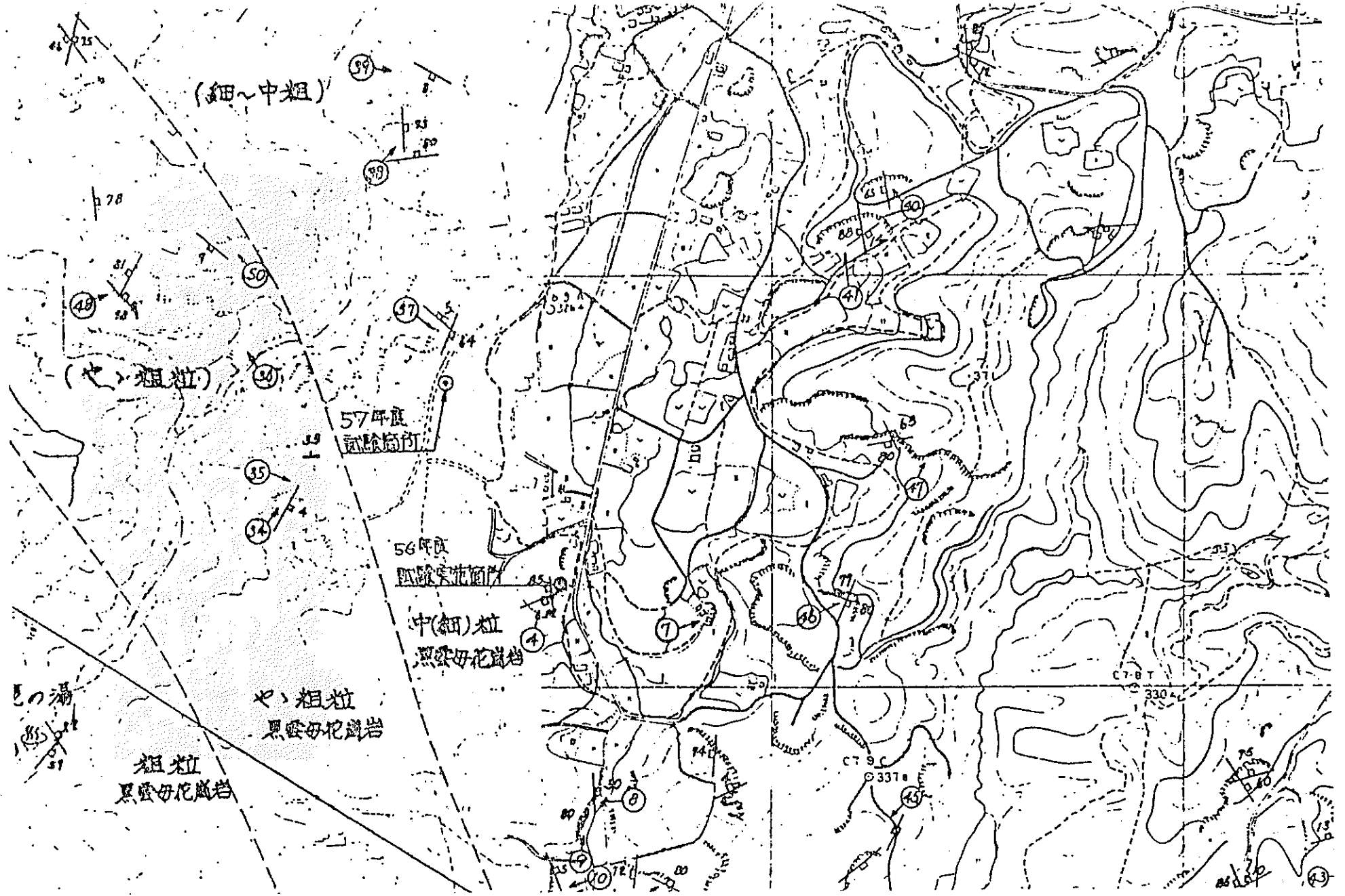


図-IX. 1 グラウト実験場所地図

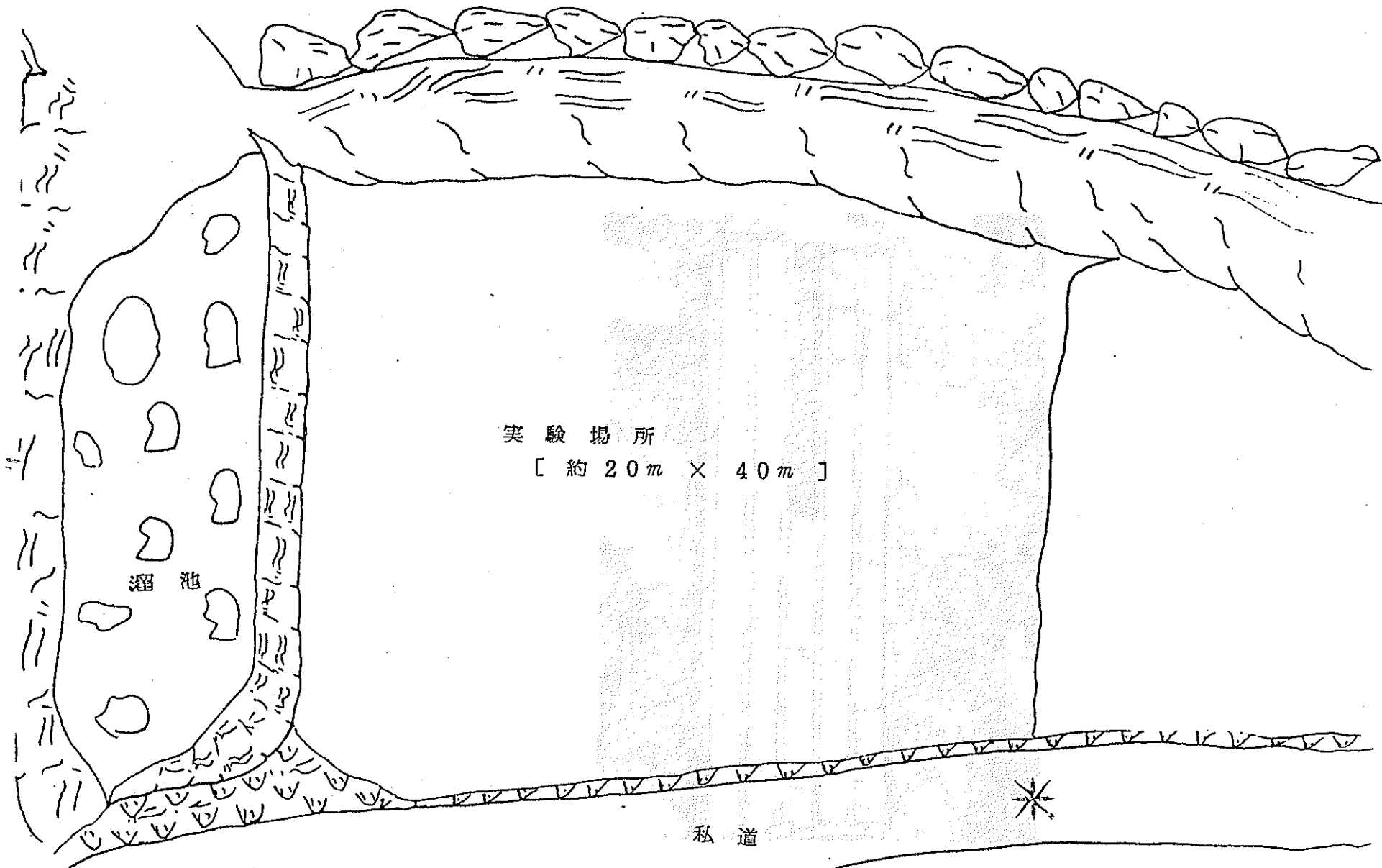


図-IX. 2 実験場所詳細図

(1) ボーリングコア調査

i) 調査方法

図一Ⅸ・3に実験場所のボーリング孔配置図を示す。ボーリングは、深度 $5.0m$ $\phi 66m/m$ 孔数14孔を穿孔した。グラウト実験場所の花崗岩の割れ目の状況を詳細に把握する為に、ボーリングは、ダイヤモンドビット($\phi = 66m/m$)・ダブルコアチューブを使用した。コア状況の一例を写真一Ⅸ・2に示す。



写真一Ⅸ・2 ボーリングコア状況

ii) 調査結果

各ボーリング孔より採取したコアの観察結果を図一Ⅸ・4ボーリング柱状図に示す。更に、図一Ⅸ・5にボーリング柱状図の三次元展開図を示す。

iii) 考 察

実験場所の基盤を構成している岩石は苗木地方から今回の実験場所地域にまたがって分布している黒雲母花崗岩より成り、石英粒は、中粒程度である。また石英は黒味を帯びている。

ボーリングコア調査から見ると、コアは、花崗岩の節理が発達している部分、割れ目のある箇所が赤味を帯びて風化が若干進んでいる部分等が見られるが、特に深度GL-2.5~3.0mの約50cm区間においては、風化の度合が著しくマサ化している為、コアは、ほとんど採取出来なかった。しかし、GL-2.5~3.0m以外の区間でも節理が1~3本有り、完全

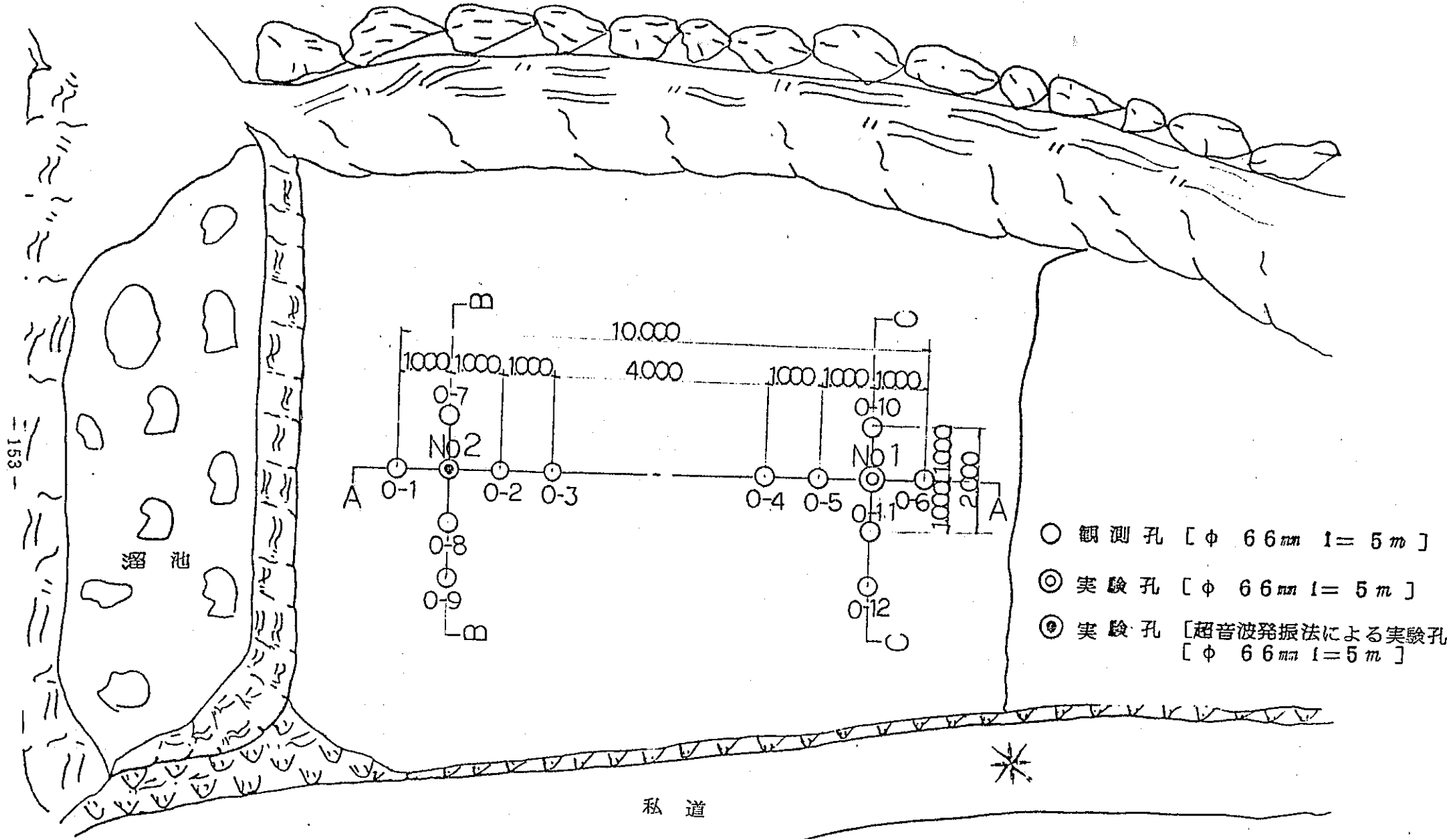


図-IX. 3 ボーリング孔配置図

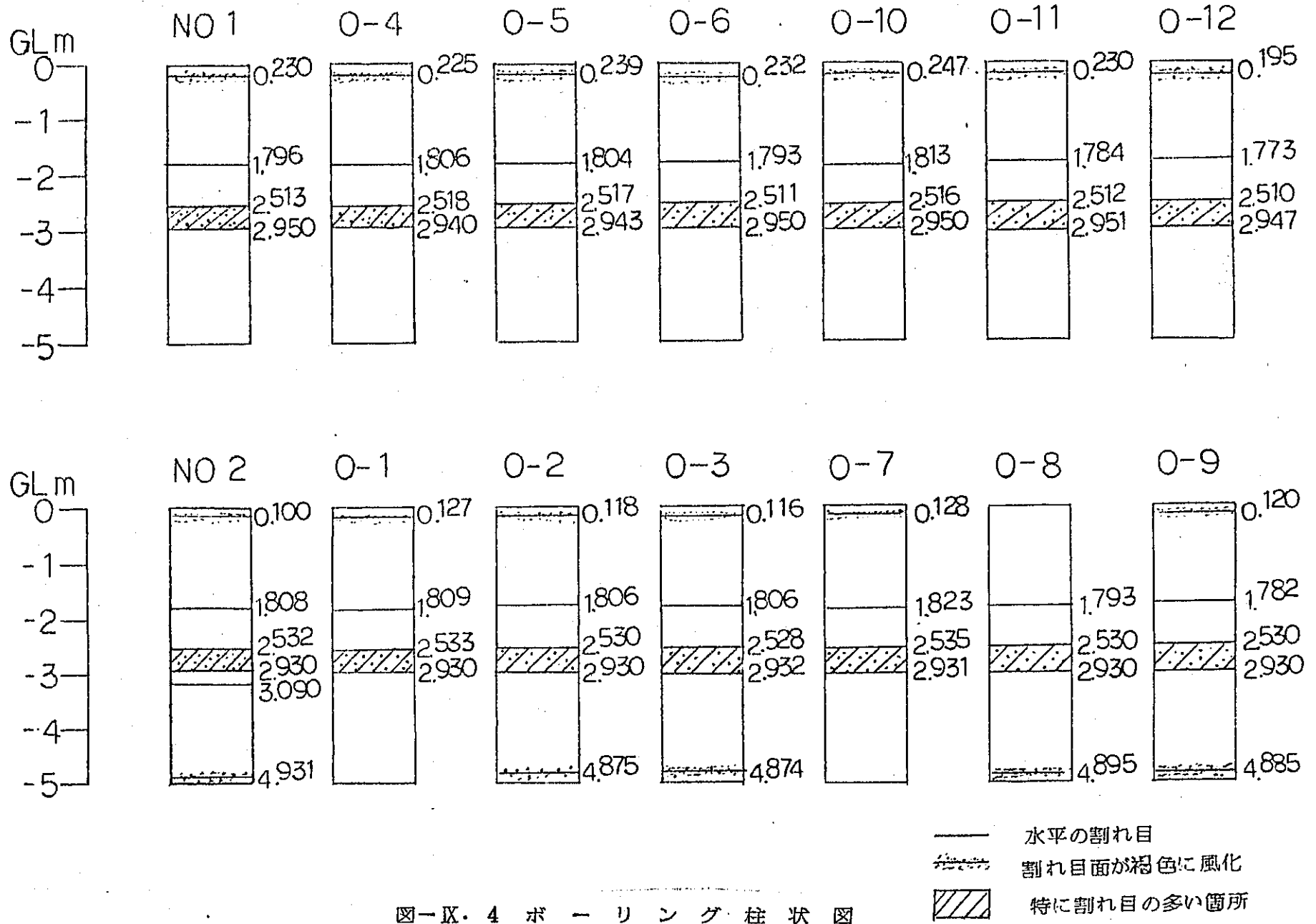


図-IX. 4 ボーリング柱状図

— 水平の割れ目
— 割れ目面が粉色に風化
— 特に割れ目の多い箇所

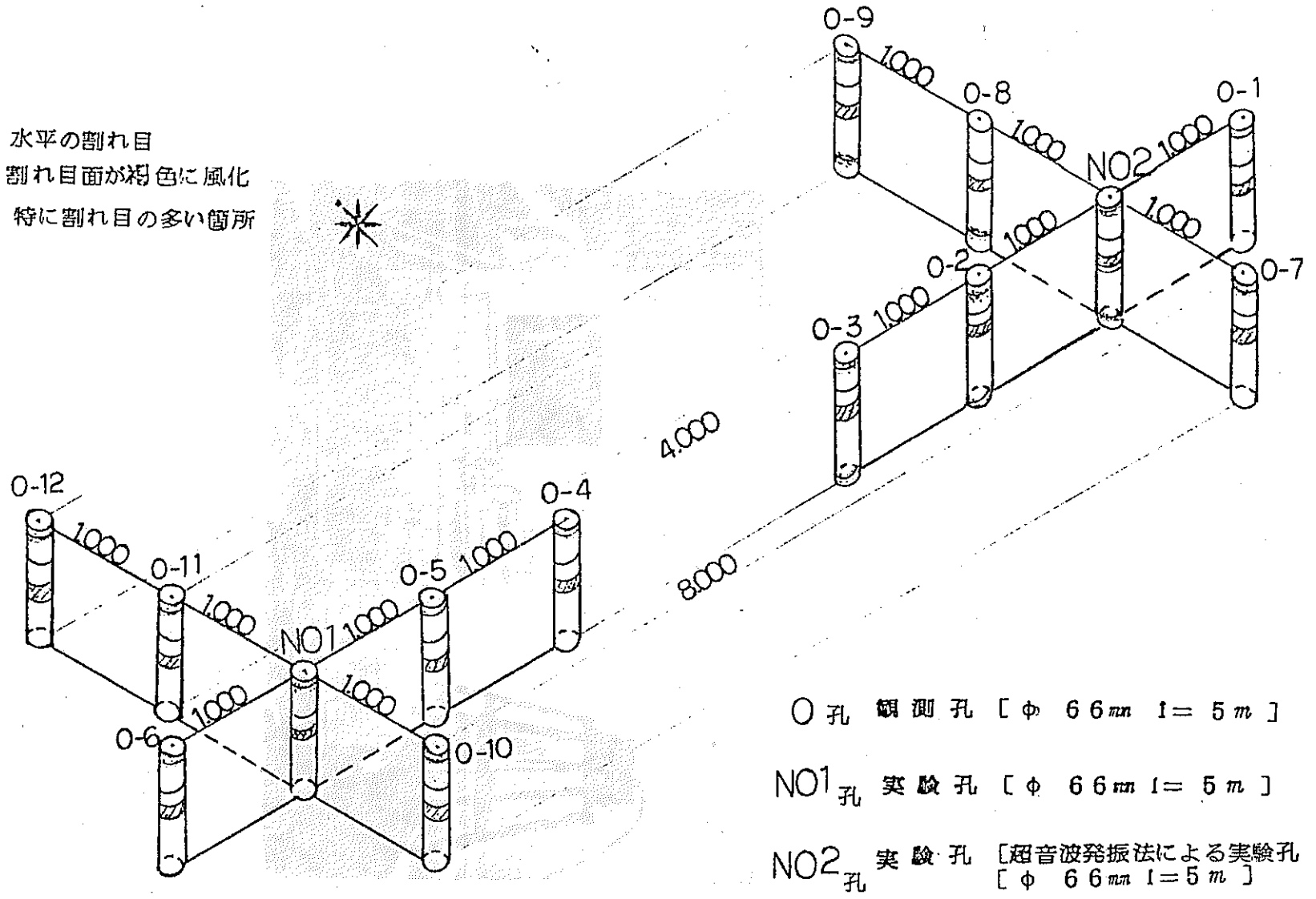


図-IX. 5 ボーリング柱状図三次元展開図

な棒状コアは認められなかった。節理の傾斜は、コアである為、その走向については明らかではないが、 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ のものが多い。これらの節理面は、一部風化している部分もあるが、多くは岩盤中では密着していたものと考えられる。

(2) ボアホールテレビカメラによる調査

i) 装置・方法

図-K・3 ボーリング孔配置図に示した実験孔 (No. 1 及び No. 2) 及び、観測孔 (全 12 孔) に対して、ボアホールテレビカメラ調査を実施した。

観察方法は、地表面よりカメラを降下させ、割れ目が確認されるとカメラをゆっくり回転させ、ビデオテープに記録し、測定後、再生・解析を行った。

ボアホールテレビカメラ装置を写真-K・3 に示し、その系統図を図-K・6、カメラ部を図-K・7、制御器を図-K・8 に示す。

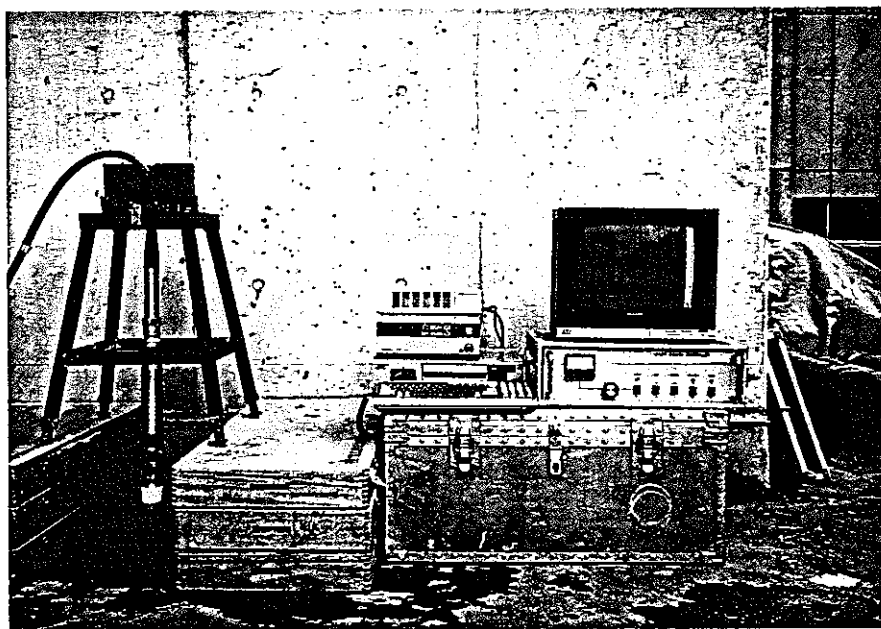


写真-K・3 ボアホールカメラ装置

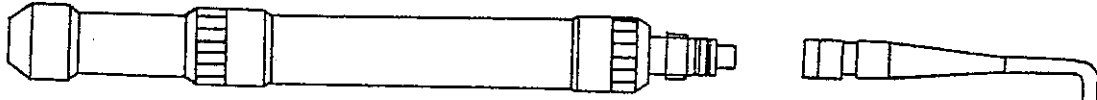
ii) 調査結果

ボアホールテレビカメラによる孔内観察の結果の一例を図-K・9、孔内観測図として示し、代表的な割れ目の展開図を図-K・9<1>の中に図-K・10として示す。

iii) 考察

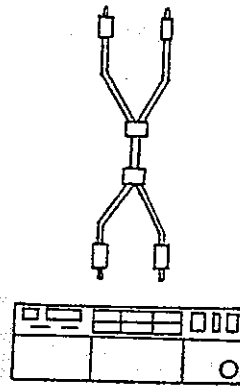
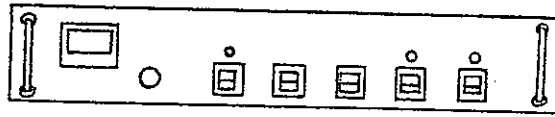
ボアホールテレビカメラによる孔内観察の結果、割れ目の位置は、ボーリングコアの観

ボアホールカメラ

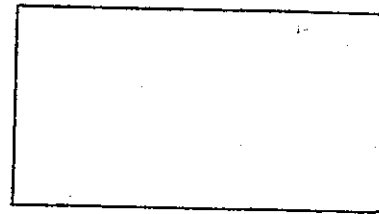


ケーブル 70 m

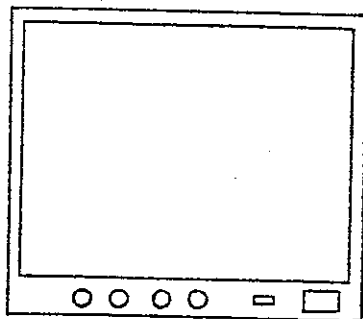
制御器



VIR HR 7 6 5 0



VCG 2000



モニター

図-IX-6 ボアホールテレビカメラ系統図

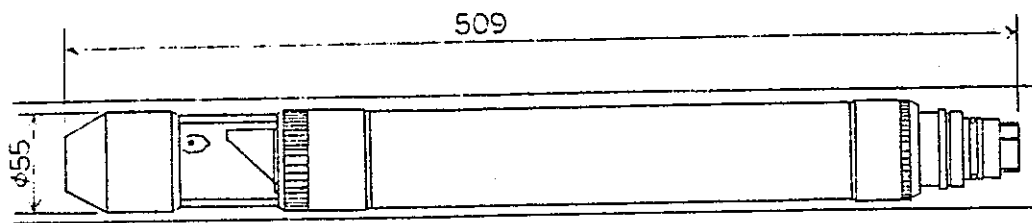


図-IX. 7 ボアホールテレビカメラ部外觀図

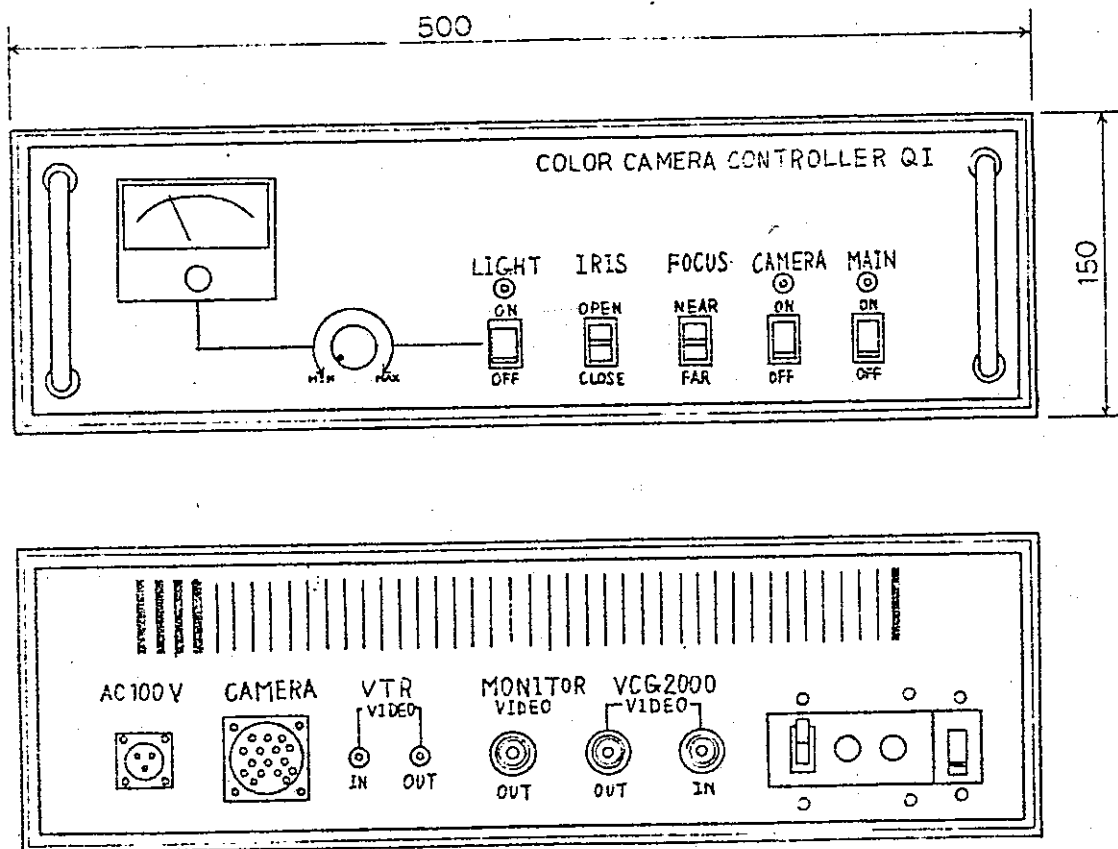


図-IX. 8 ボアホールテレビカメラ制御器外觀図

図-IX. 9.1 孔内観測図 [1]

件名 工学バリアのためのグラウト技術の試験研究 (Ⅲ)

調査年月 58年 2月 日 孔番 NO 2 観測深度 0.0 M ~ 2.0 M

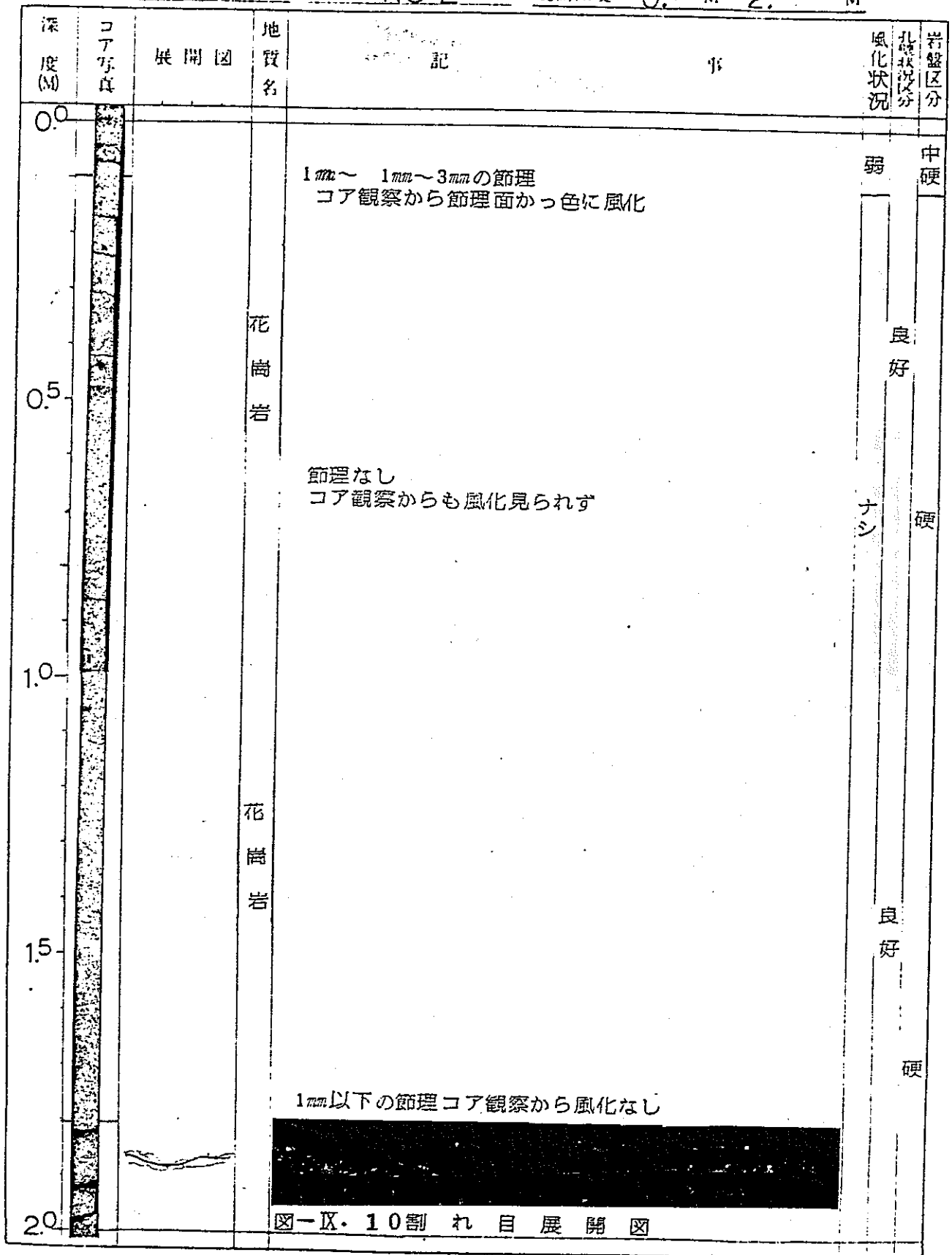


図-IX. 10 割れ目展開図

図-IX. 9.2 孔内観測図 [2]

件名 工学バリアのためのグラウト技術の試験研究 (Ⅲ)

調査年月 58年 2月 日 孔番 NO.2 観測深度 2.0 M ~ 4.0 M


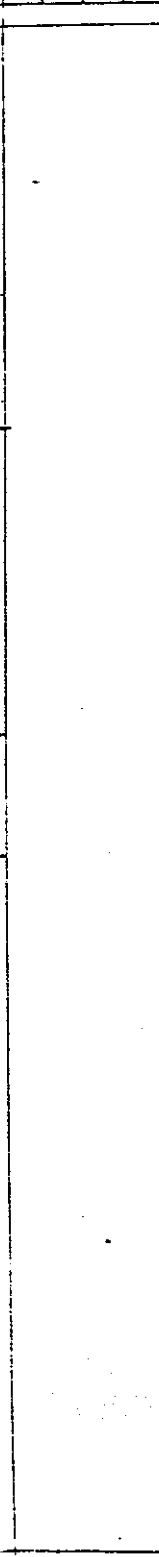
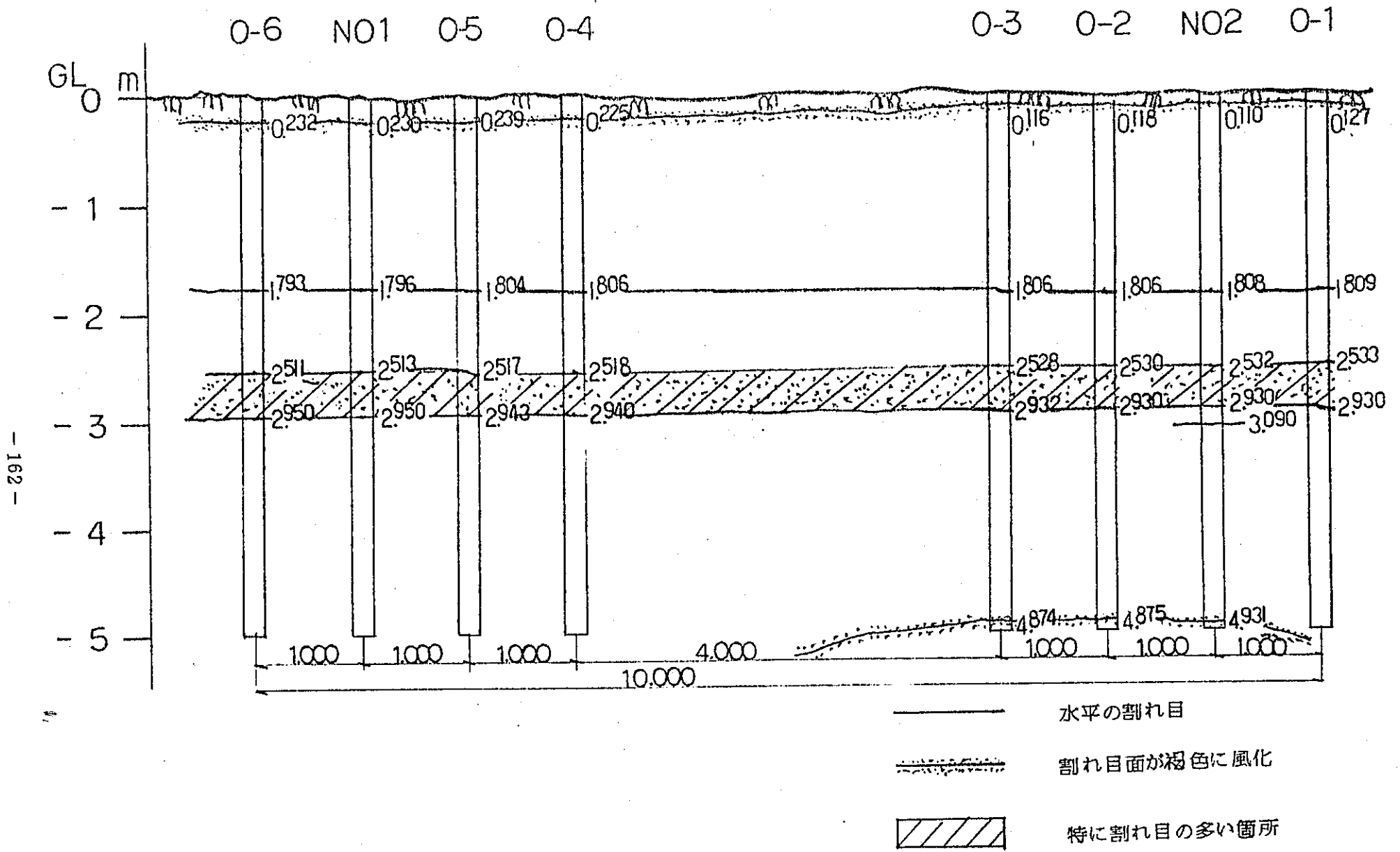
| 深 度 (M) | コア 写真 | 展開図 | 地 質 名 | 記 事 | 風 化 状 況 | 孔 壁 状 況 | 岩 盤 区 分 |
|---------------|--|--|-------------|--|------------------|------------------|------------------|
| 2.0 |  |  | 花 崗 岩 | <p>1mm~3mm程度の複数の節理が縦横に複雑に発達 ボーリングコアが採取不可であり全体がマサ化傾向にある</p> | ナシ | 硬 | 良好 |
| 2.5 | | | 花 崗 岩 | | 強 | | |
| 3.0 | | | 花 崗 岩 | ナシ | 硬 | 良好 | |
| 3.5 | | | | | | | |
| 4.0 | | | | | | | |

図-IX. 9.3 孔内観測図 [3]

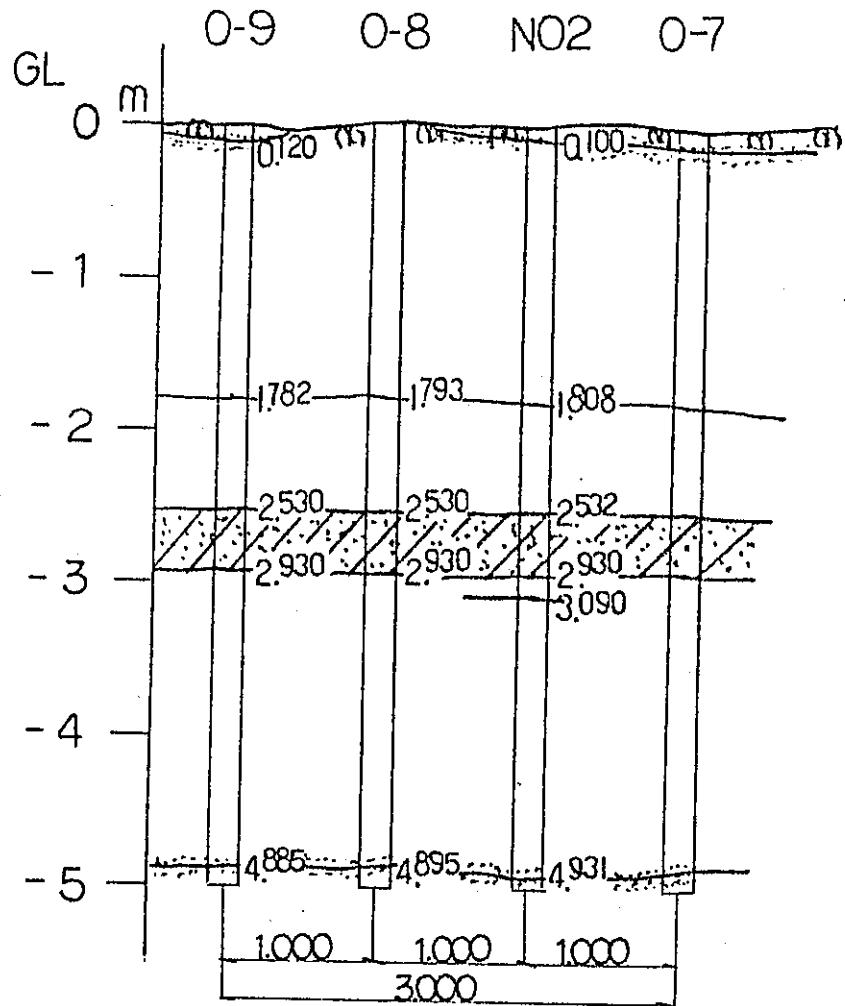
件名 工学バリアのためのグラウト技術の試験研究 (Ⅲ)

調査年月 58年 2月 日 孔番 NO.2 観測深度 4.0 M ~ 5.0 M

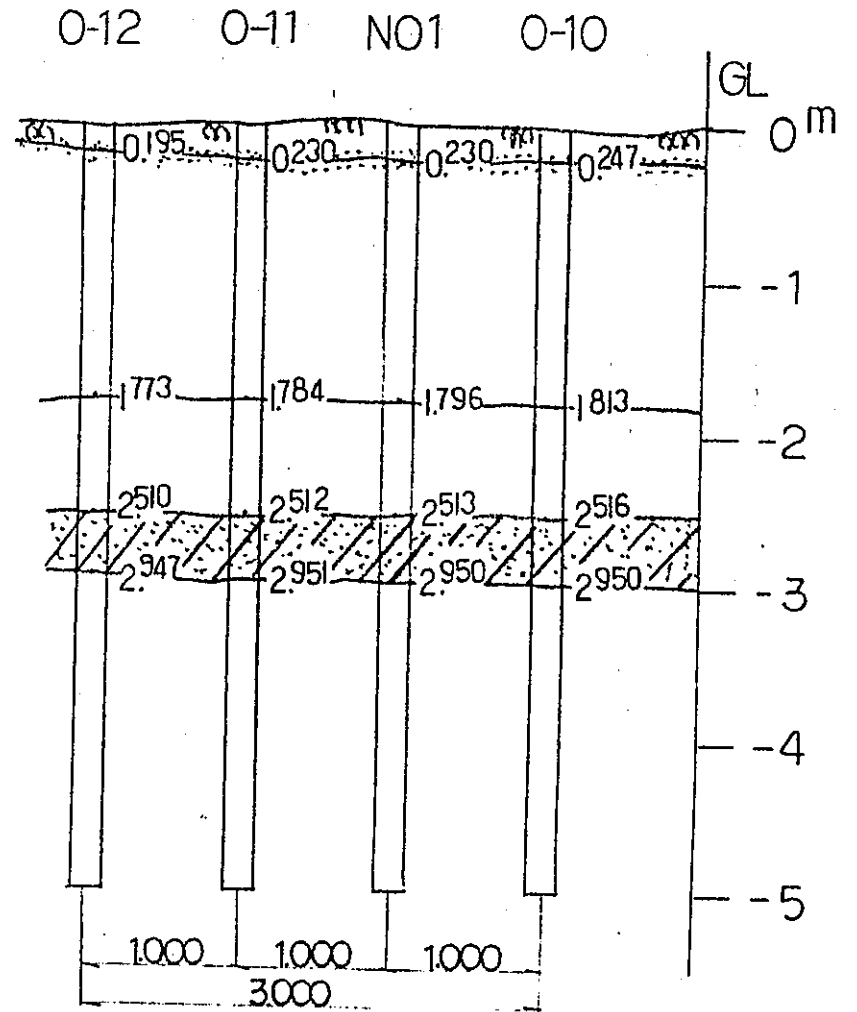
| 深 度 (M) | コア 写真 | 展 開 図 | 地 質 名 | 記 事 | 風 化 状 況 | 孔 壁 状 況 分 | 岩 盤 区 分 |
|---------------|----------|-------------|-------------|----------------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| 4.0 | | | 花 崗 岩 | 節理なし コア観察からも風化見られず | ナシ | 硬 | 良 好 |
| 4.5 | | | | 1mm~2mmの節理 ボーリングコアでは節理面かっ色に風化 | 弱 | 中 硬 | |
| 5.0 | | | | | | | |



図一Ⅸ. 11 割れ目想定断面図 [A - A 断面図]



図一Ⅸ. 1.2 割れ目想定断面図 [B - B 断面図]



図一Ⅸ. 1.3 割れ目想定断面図 [C - C 断面図]

察と一致していた。これらの割れ目の想定断面図を図-K・11, 12, 13にA-A断面, B-B断面, C-C断面として示す。これらの結果から以下の事が判明した。

- a) GL-1.8 m 附近にほぼ水平な割れ目が存在する。
- b) コア観察によって判明した割れ目でもボアホールカメラで確認出来ない割れ目があった。これは、岩盤中では密着した節理であり、コア採取時に分離したものである。
- c) GL-2.5 ~ -2.95 m の区間は、大小の割れ目 (1 mm 以下 ~ 数 mm の範囲) が、複雑に入り組んだ強風化帯で、マサ化している。
- d) GL-2.5 ~ -2.95 m 以外の区間の割れ目は、1 mm 以下のものがほとんどであったが、ボーリング中の剝落もあるので、実際の割れ目は、観察された割れ目開口幅よりかなり狭いと考えられる。

(3) 物性試験

i) 試験概要

採取コアに対し、以下の物性試験を実施した。使用コアは、深度 1 m ~ 2 m, 3.5 m ~ 4.5 m 間で採取された物を使用した。

- a) 密度試験 (自然・湿潤・乾燥の3状態) 有効空隙率・吸水率, 含水比試験
- b) 弾性波速度試験 (自然・湿潤・乾燥状態)
- c) 圧裂試験
- d) 一軸圧縮試験
- e) 三軸圧縮試験
- f) 透水試験

各々の試験は、日本国有鉄道偏「地質調査標準示方書」の岩石試験に準じて行なった。尚、力学試験は、試験体を3日間以上水中に放置し水中より出した直後に行なった。

ii) 試験結果

各々の試験結果の一例を表-K・1~5及び図-K・14~17に示す。

(4) 位置設定調査

グラウト実験の為の割れ目は、下記の条件を満たさなければならない。

- i) 表層割れ目の影響を受けない適切な深度に垂直割れ目との連続性を持たない。独立水平割れ目が 2 m × 2 m 以上の区域にわたって存在する。

表-IK. 1 密度試験結果表

| 試料 番号 | 自然重量 (g) | 乾燥重量 (g) | 湿潤空中 重量 (g) | 湿潤水中 重量 (g) | 自然状態 の密度 | 湿潤状態 の密度 | 乾燥状態 の密度 | 有効間隙 率 (%) | 吸水率 (%) | 含水比 (%) |
|----------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------|------------|
| 1 | 359.47 | 358.59 | 360.72 | 221.85 | 2.589 | 2.598 | 2.582 | 1.534 | 0.594 | 0.245 |
| 2 | 345.74 | 344.74 | 347.22 | 213.32 | 2.582 | 2.593 | 2.575 | 1.852 | 0.719 | 0.290 |
| 3 | 356.25 | 354.99 | 357.03 | 219.69 | 2.594 | 2.600 | 2.585 | 1.485 | 0.575 | 0.355 |
| 平均 | | | | | 2.588 | 2.597 | 2.581 | 1.624 | 0.629 | 0.297 |

表-IK. 2 弾性波速度試験結果表

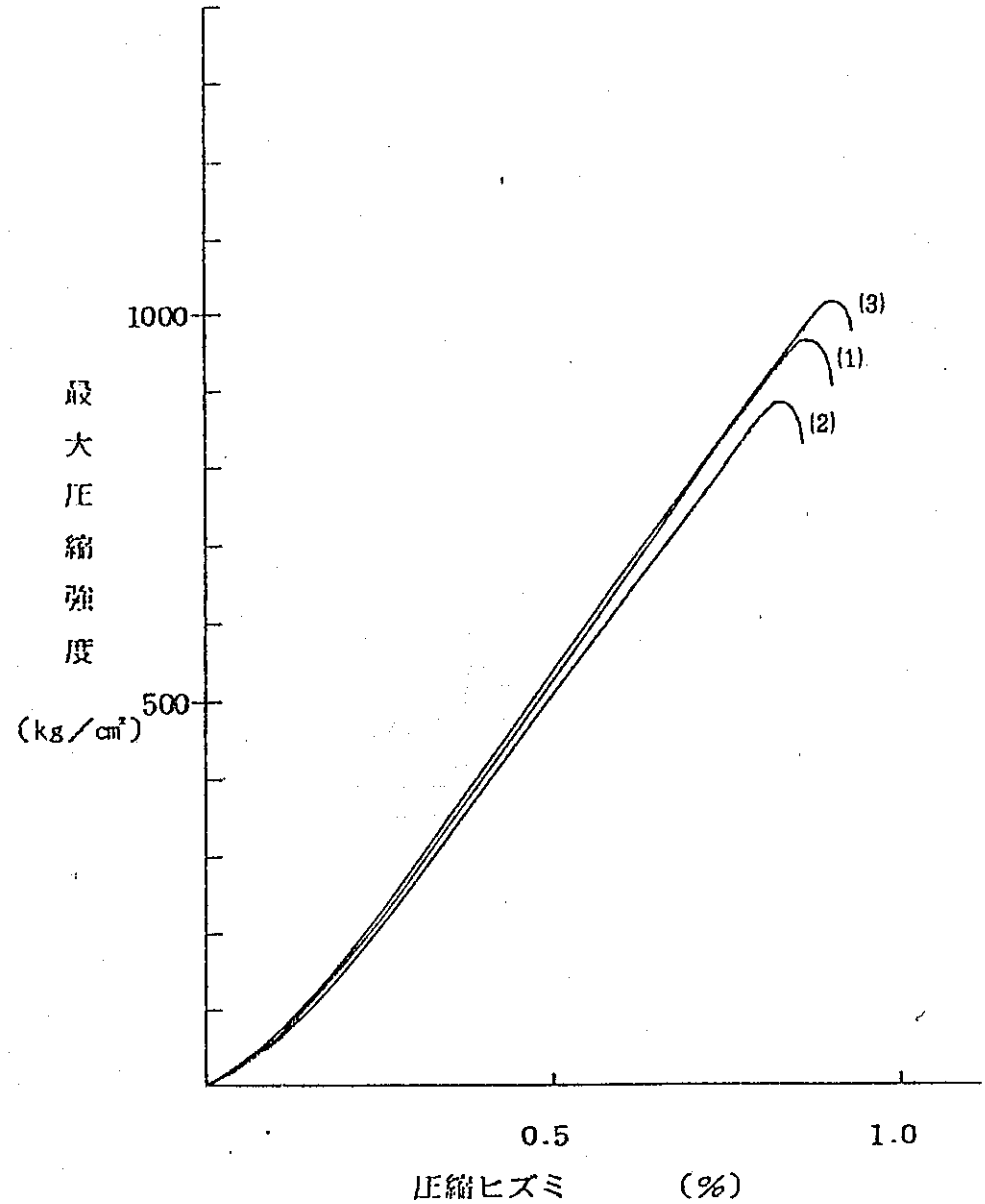
| 試料 番号 | 試料 長さ (cm) | 自然状態 | | | | | | | | | 乾燥状態 | | | | | | | | | 湿潤状態 | | | | | | | |
|----------|------------------|------------------------|------|------|------------------------|------|------|----------------------------|----------------------------|------------------------|------|------|------------------------|------|------|----------------------------|----------------------------|------------------------|------|------|------------------------|------|------|----------------------------|----------------------------|--|--|
| | | 縦波伝播時間 (μ sec) | | | 横波伝播時間 (μ sec) | | | 縦波伝 播速度 (km/sec) | 横波伝 播速度 (km/sec) | 縦波伝播時間 (μ sec) | | | 横波伝播時間 (μ sec) | | | 縦波伝 播速度 (km/sec) | 横波伝 播速度 (km/sec) | 縦波伝播時間 (μ sec) | | | 横波伝播時間 (μ sec) | | | 縦波伝 播速度 (km/sec) | 横波伝 播速度 (km/sec) | | |
| | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | 1 | 2 | 平均 | 1 | 2 | 平均 | | | | |
| 1 | 7.18 | 19.6 | 19.2 | 19.4 | 34.1 | 34.1 | 34.1 | 3.70 | 2.11 | 20.2 | 19.8 | 20.0 | 39.2 | 39.0 | 39.1 | 3.59 | 1.84 | 15.0 | 15.1 | 15.1 | 3.77 | 3.60 | 3.69 | 4.75 | 1.95 | | |
| 2 | 6.95 | 18.7 | 18.7 | 18.7 | 36.6 | 35.4 | 36.0 | 3.72 | 1.93 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | 39.7 | 40.0 | 39.9 | 3.56 | 1.74 | 14.7 | 14.7 | 14.7 | 3.80 | 3.88 | 3.84 | 4.73 | 1.81 | | |
| 3 | 7.10 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 31.2 | 31.2 | 31.2 | 4.93 | 2.28 | 14.3 | 14.3 | 14.3 | 33.9 | 32.7 | 33.3 | 4.97 | 2.13 | 12.2 | 12.2 | 12.2 | 3.35 | 3.05 | 3.20 | 5.82 | 2.22 | | |
| 平均 | | | | | | | | 4.12 | 2.11 | | | | | | | 4.04 | 1.90 | | | | | | | 5.10 | 1.99 | | |

表-IK. 3 圧裂試験結果表

| 試料 番号 | 試料直径 (cm) | 試料長さ (cm) | 試料重量 (g) | 単位体積重量 (g/cm^3) | 破壊荷重 (Kg) | 圧裂強度 (kg/cm^2) |
|----------|--------------|--------------|-------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| 1 | 4.99 | 5.06 | 256.22 | 2.589 | 1450 | 36.6 |
| 2 | 4.99 | 5.01 | 254.30 | 2.595 | 1400 | 35.7 |
| 3 | | | | | | |
| 平均 | | | | 2.592 | | 36.2 |

表一Ⅸ. 4 一軸試験結果表

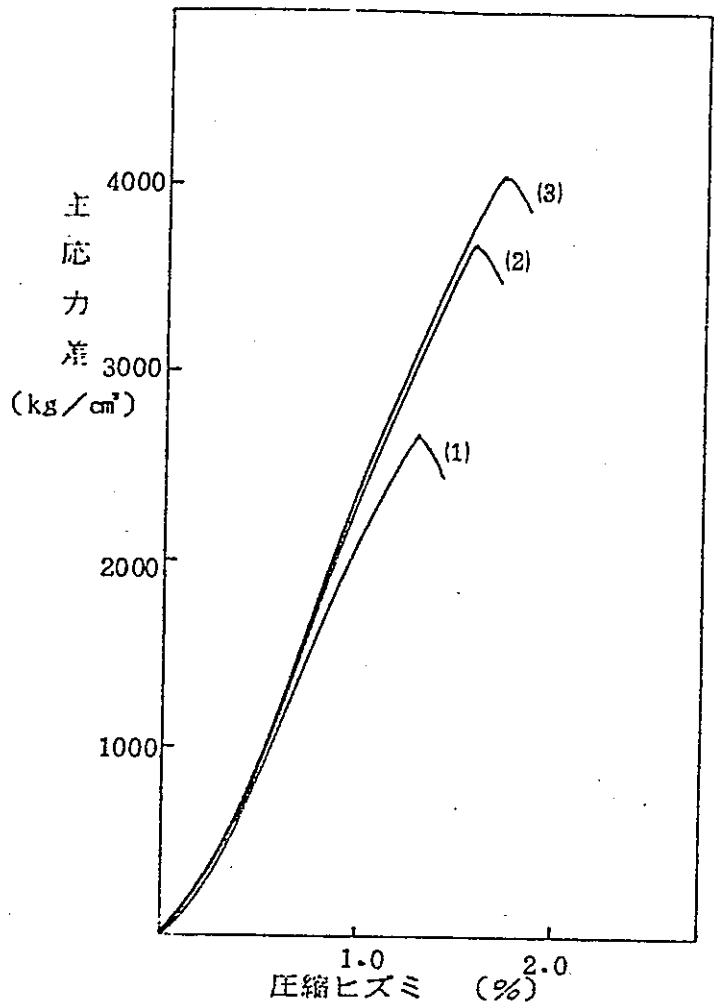
| 試料番号 | 1 | 2 | 3 | 平均 |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 試料の直径 (cm) | 5.00 | 5.00 | 4.99 | |
| 試料の高さ (cm) | 10.00 | 10.02 | 10.13 | |
| 試料の重量 (g) | 507.10 | 508.91 | 514.31 | |
| 単位体積重量 (g/cm ³) | 2.583 | 2.587 | 2.596 | 2.589 |
| 最大破壊荷重 (kg) | 19000 | 17450 | 19875 | |
| 最大圧縮強度 (kg/cm ²) | 968 | 889 | 1016 | 958 |
| ϵ_{max} (%) | 0.857 | 0.823 | 0.901 | 0.866 |
| 変形係数 E | 1.53×10^5 | 1.51×10^5 | 1.49×10^5 | 1.51×10^5 |



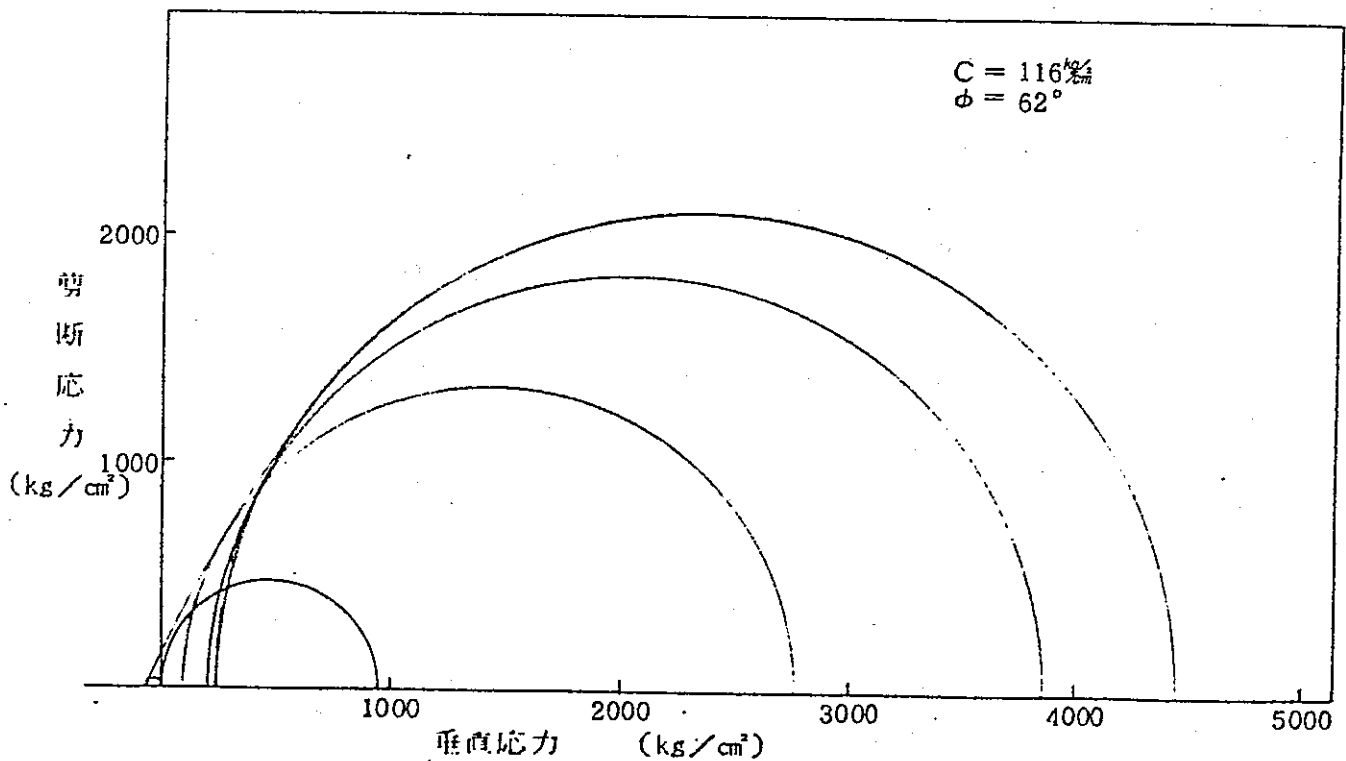
図一Ⅸ. 14 一軸圧縮試験における応力-ひずみ曲線図

表一Ⅸ. 5 三軸試験結果表

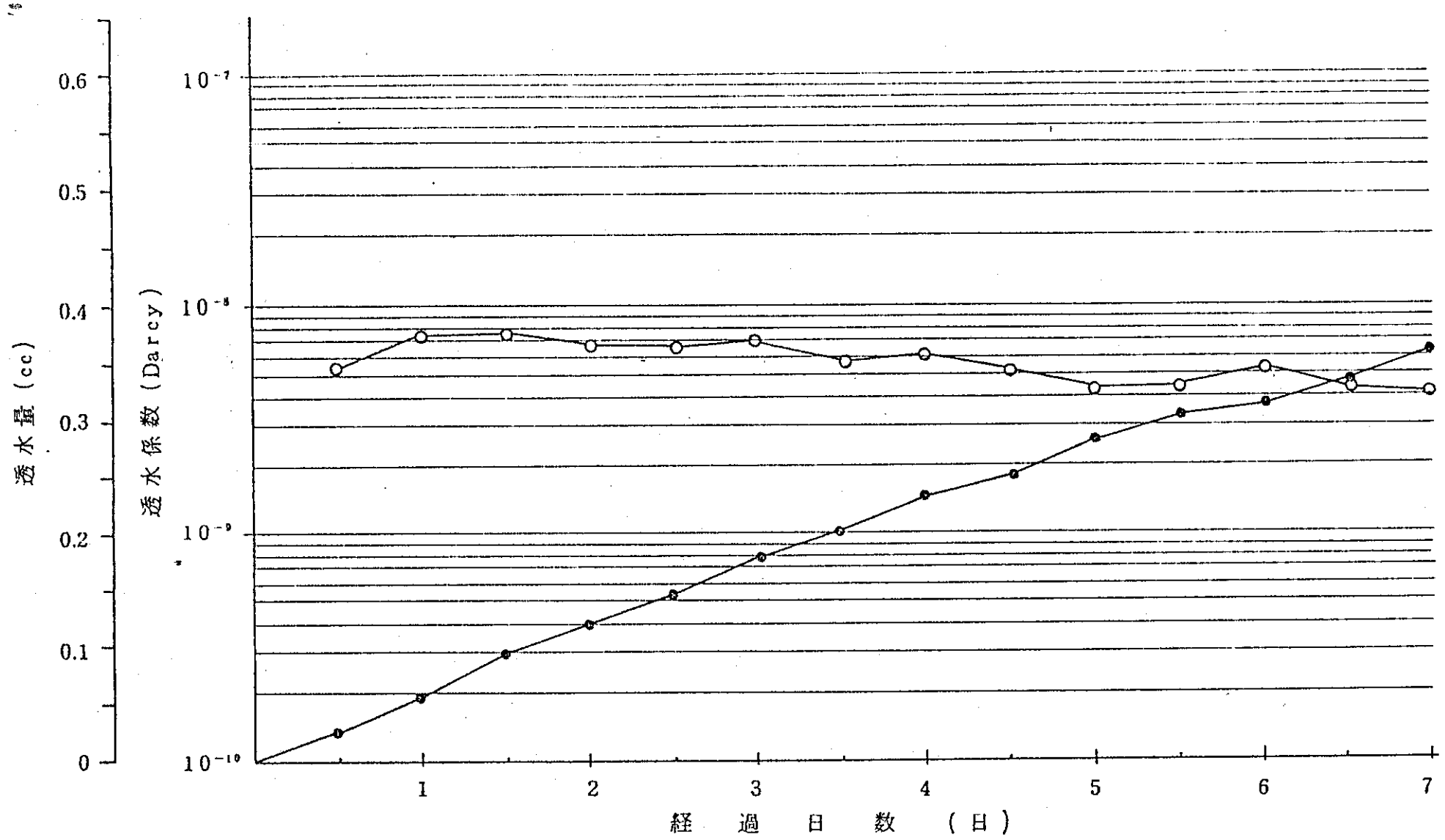
| 試料番号 | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 直径 (cm) | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| 高さ (cm) | 10.11 | 10.05 | 10.07 |
| 重量 (g) | 513.45 | 511.61 | 512.00 |
| 単位体積重量 (g/cm ³) | 2.587 | 2.593 | 2.589 |
| 最大破壊荷重 (kg) | 54200 | 76000 | 87400 |
| 最大圧縮強度 (kg/cm ²) | 2760 | 3871 | 4451 |
| 側圧 (kg/cm ²) | 100 | 200 | 250 |
| 主応力差 (kg/cm ²) | 2660 | 3671 | 4201 |
| ϵ_{max} (%) | 1.28 | 1.55 | 1.71 |
| E (kg/cm ²) | 2.99×10^5 | 3.17×10^5 | 3.18×10^5 |



図一Ⅸ. 15 応力-ひずみ曲線図



図一Ⅸ. 16 モールの応力円図



図一Ⅸ. 17 透水試験における経過日数と透水量及び透水係数の関係

- ii) 水の移動が可能な独立水平割れ目
- iii) バッカーセットが確実に出来得る岩盤

ボーリングコア調査及びボアホールカメラ調査の結果から、上記 i), ii), iii) を満たす割れ目は GL-1.8m 附近の割れ目のみであった。(GL-2.5 ~ -2.95 m 間は、強風化帯なので不可) 従って、グラウト実験対象割れ目は、No. 1 孔 GL-1.796 m, No. 2 孔 GL-1.808 m と設定した。

グラウト実験対象割れ目の延長と思われる割れ目露出部(南側崖)を、写真-IX・4及び写真-IX・5に示す。



写真-IX・4
割れ目露出部
(No.1 孔付近)

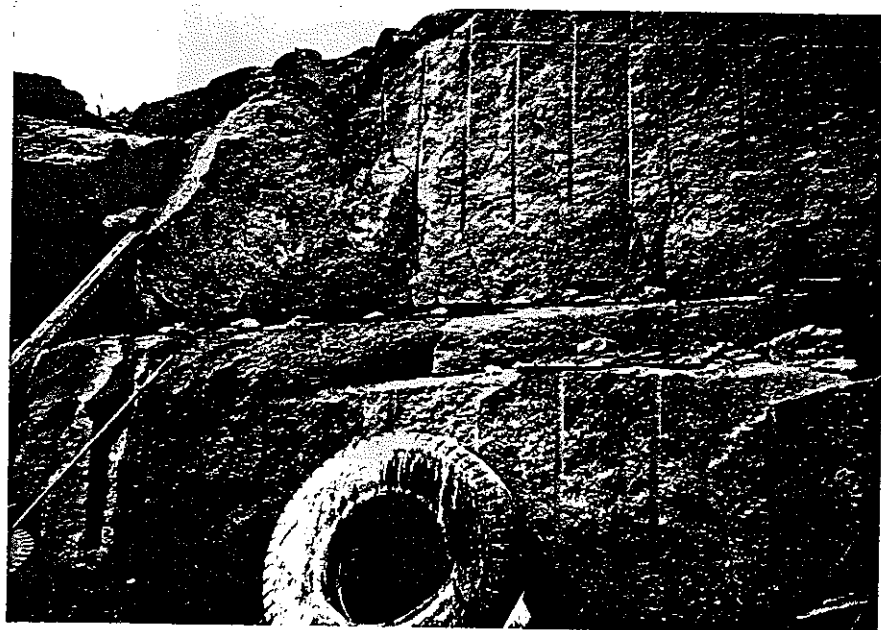


写真-IX・5
割れ目露出部
(No.2 孔付近)

2. 実験装置

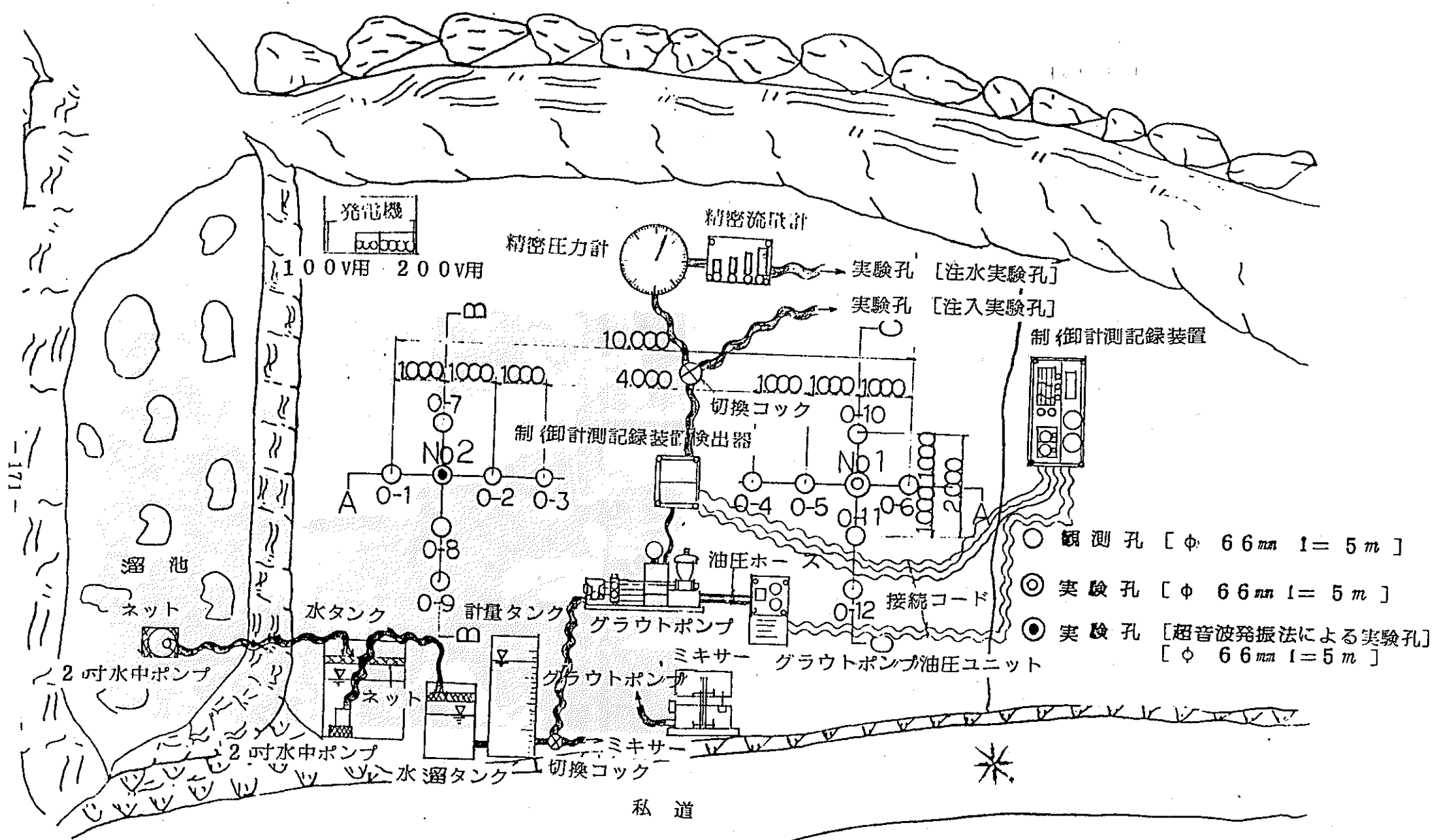
主要使用装置を一覧表にして表-IX・6に示す。グラウト実験場所の機械配置図を図-IX・18に、実験全景を写真-IX・6に示す。

表-IX・6 装置一覧表

| 区 分 | 名 称 | 製 作 会 社 | 備 考 |
|---------------------|----------|-------------|---|
| ボーリング調査 | ボーリングマシン | 鉦 研 試 験 工 業 | 一 式 |
| ボアホールカメラ調査 | ボアホールカメラ | 川 崎 地 質 (株) | 一 式 |
| 送水・送グラウト材 試験 | グラウト注入装置 | 鹿 島 建 設 (株) | 計測・制御記録装置 圧送ポンプ ミキサー } 一 式 |
| | 精密流時計 | 小 島 製 作 所 | (流量) 0.5~5000 cc/cm |
| | 精密圧力計 | 兵 野 計 器 | (圧力) 25 kgf/cm ² (0.1 kgf/cm ² 級) |
| | パッカー | クリステンセンマイカイ | エキスパンションダブルパッカー |
| | 計量タンク | 三 和 工 業 | 200 l (最小目盛10 cc) |
| | 水中ポンプ | 桜川ポンプ製作所 | 2 吋 |
| 超音波発振によるグラウト試験の基礎実験 | 超音波発振装置 | 鹿 島 建 設 (株) | |



写真-IX・6 実験全景



図一Ⅸ. 18 実験場機械装置配置図

3. 実験方法

実験対象割れ目の透水性を把握する為、注入実験に先立ち、注水実験を実施した。実験対象割れ目は、(4)位置設定で決定した。No.1孔GL-1.796m, No.2孔GL-1.808mの他、No.1孔GL-2.513m, No.2孔GL-2.532mの風化帯区間の割れ目に対しても注水・注入実験を行なった。なお、割れ目へのパッカーは、56年度野外実験で使用したエキスパンションパッカーを使用した。

注入実験は、No.1孔の割れ目(GL-1.796m, GL-2.513m)は、従来の注入方法(超音波発振を用いない注入方法)で行ない、No.2孔の割れ目(GL-1.808m, GL-2.532m)は注入圧力をNo.1孔と同圧力に設定し、超音波発振法によって注入を行った。

注入実験完了後、約2週間の養生期間をおいて、注入効果の確認をする為、各々の割れ目の最大注入圧力程度の注水圧で効果確認注水実験を実施した。

(1) 注水実験

注水実験の流量測定フローを図-X・19に示す。水タンク内の清水は、2吋水中ポンプによって、計量タンクに溜められる。リーク及び湧水時に、色別出来る様に色素(フローレステン)を混入した。色素混入水は、注入試験装置を經由して、ボアホールテレビカメラによって確認された割れ目に注水される。注水状況を写真-X・7に示す。



写真-X・7

注水試験状況

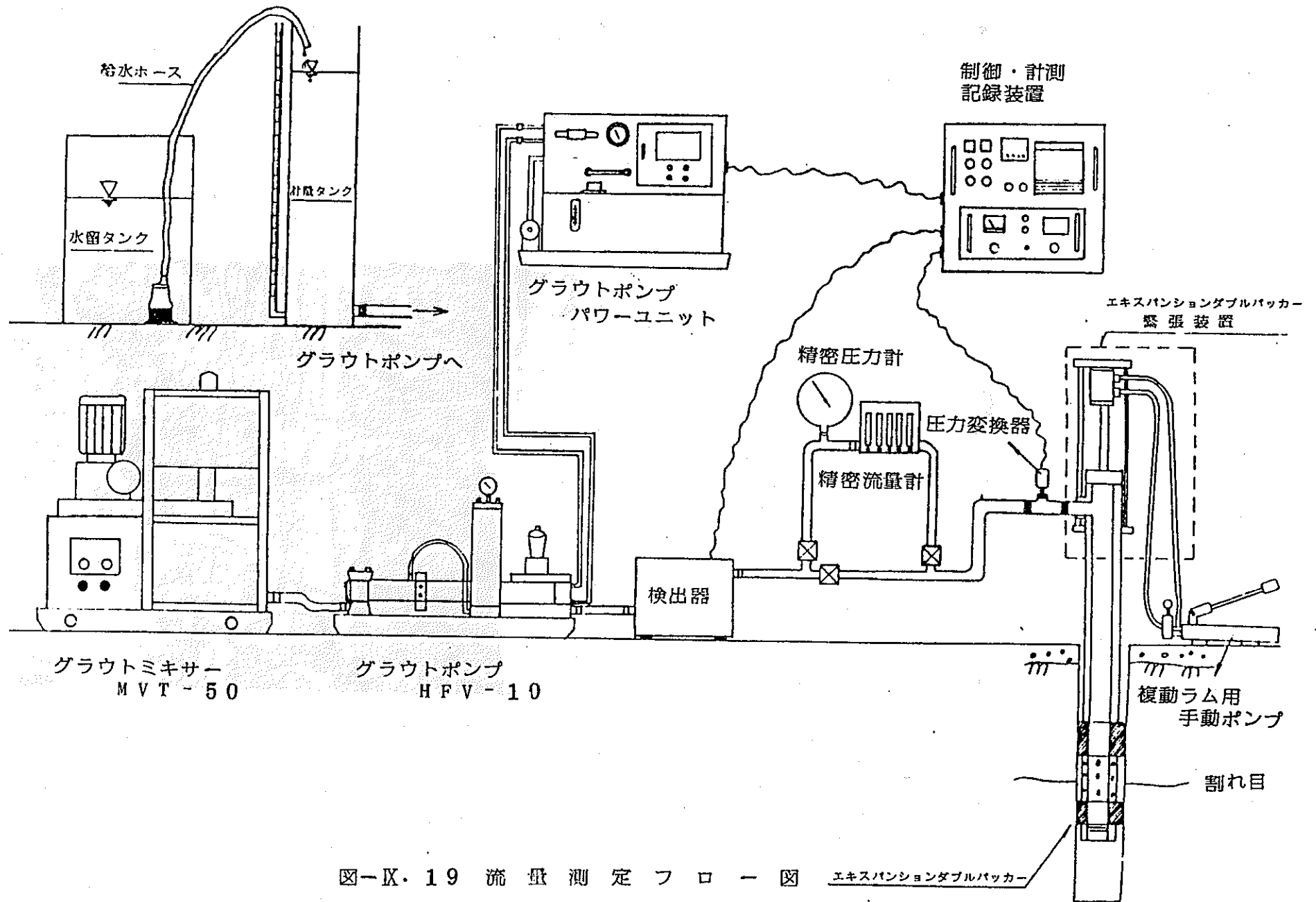


図-IX. 19 流量測定フロー図

i) 注水実験段階

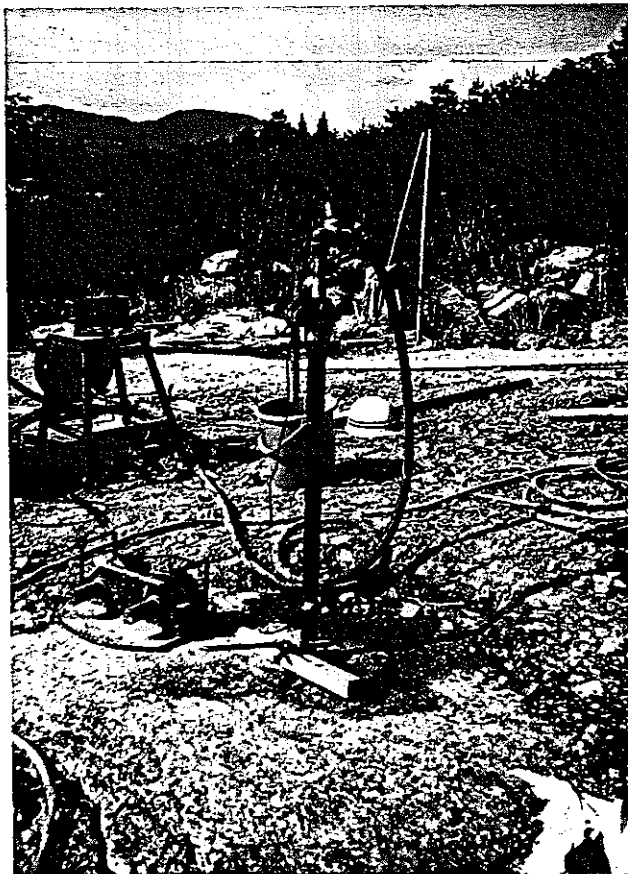
No. 1 孔及び No. 2 孔の各々の割れ目に対する注水圧力段階を表一Ⅸ・7に示す。注水時間は、各注水圧力で、圧力、注水量が安定した段階で、上部割れ目（No. 1 孔 GL-1.796m, No. 2 孔 GL-1.808m）では 20 分間、下部割れ目（No. 1 孔 GL-2.513m, No. 2 孔 GL-2.532m）では 10 分間とする。

表一Ⅸ・7 注水実験段階表

| 工種 | 割れ目深度 (m) | 設定注水圧力段階 (kgf/cm ²) | 注水時間 (分) |
|---------|-----------|---------------------------------|----------|
| No. 1 孔 | 1.796 | 1 ≧ 3 ≧ 5 ≧ 7 ≧ 10 | 20 |
| No. 2 孔 | 1.808 | 1 ≧ 3 ≧ 5 ≧ 7 ≧ 10 | |
| No. 1 孔 | 2.513 | 0.2 ≧ 0.4 ≧ 0.7 | 10 |
| No. 2 孔 | 2.532 | 0.2 ≧ 0.4 ≧ 0.7 | |

(2) 注入実験

注入実験の流量測定フローは、図一Ⅸ・19と同様である。注入方法は、No. 1 孔を従来通りの注入方式（超音波発振を用いない）とし、No. 2 孔を、Ⅷ章で説明した超音波発振注入方式とした。注入実験状況を写真一Ⅸ・8に示す。



写真一Ⅸ・8

注入試験状況

i) 注入材の配合

注入材は、IV章グラウト材料特性試験で、選択された配合のうち、表-IX・8に示す配合を使用した。

表-IX・8 注入材の配合

| W/C (%) | 混和材の混和率 木節粘土 (%) | 高性能減水剤の混和率 マイティ150R (%) |
|---------|---------------------|----------------------------|
| 200 | 70 | 1.0 |

主材 : コロイドセメント

ii) 注入圧力段階

注入圧力は、No.1孔及びNo.2孔の各々の割れ目の注水実験結果を元に表-IX・9の通りとした。

表-IX・9 注入実験段階表

| 対象割れ目 | 設定送水圧力 (ksf/cm ²) | 切 換 基 準 | 切換後圧力 (ksf/cm ²) |
|--|-------------------------------|--|------------------------------|
| No.1孔 No.2孔 上部割れ目 No.1孔1.796 No.2孔1.808 | 5 | 送水開始後20分間20分後10ksf/cm ² に切換 | 10 |
| | 10 | 30分間 | 15 |
| | 15 | 30分間 | 20 |
| | 20 | 30分間 | — |
| No.1孔 No.2孔 下部割れ目 No.1孔2.513 No.2孔2.532 | 0.5 | 30分間 | 1.0 |
| | 1.0 | 30分間 | 1.5 |
| | 1.5 | 30分間 | 2.0 |
| | 2.0 | 30分間 | — |

iii) 効果確認注水実験

注入実験終了後、約2週間の養生期間をおいて、注入効果を確認するために、注水実験を実施した。注水実験の注入圧力を表-IX.10に示す。

表-K・10 効果確認注水実験段階表

| 対象割れ目 | 設定注水圧力 (kgf/cm ²) | 注水時間 (分) |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 上部割れ目 No.1 孔1.796 No.2 孔1.808 | 5 | 圧力注水量安定後 各20分後 |
| | 10 | |
| | 15 | |
| | 20 | |
| 下部割れ目 No.1 孔2.513 No.2 孔2.532 | 5 | 圧力注水量安定後 各20分後 |
| | 10 | |
| | 15 | |
| | 20 | |

4. 実験結果

注水実験の結果を、表-K・11及び表-K・12に示す。表の中で、注水量は、デジタルポルトメーターによる換算流量で示した。これは、V章の注入装置の性能試験の結果、カウンター積算流量より、デジタルポルトメーター換算流量の方が精度において優れていた為である。尚、参考の為にカウンター積算表示流量を、表中の全注水量()内に示した。

さらに、注水実験の結果を、横軸を注水圧力、縦軸を注水量として、割れ目における注水圧と注水量の関係を、図-K・20及び図-K・21に示す。

注入試験の結果を、表-K・13に示す。表の中の注入量は、注水試験時の結果と同様、デジタルポルトメーターによる換算値である。注入試験時の注入圧と注入量の関係を図-K・22及び図-K・23に示す。

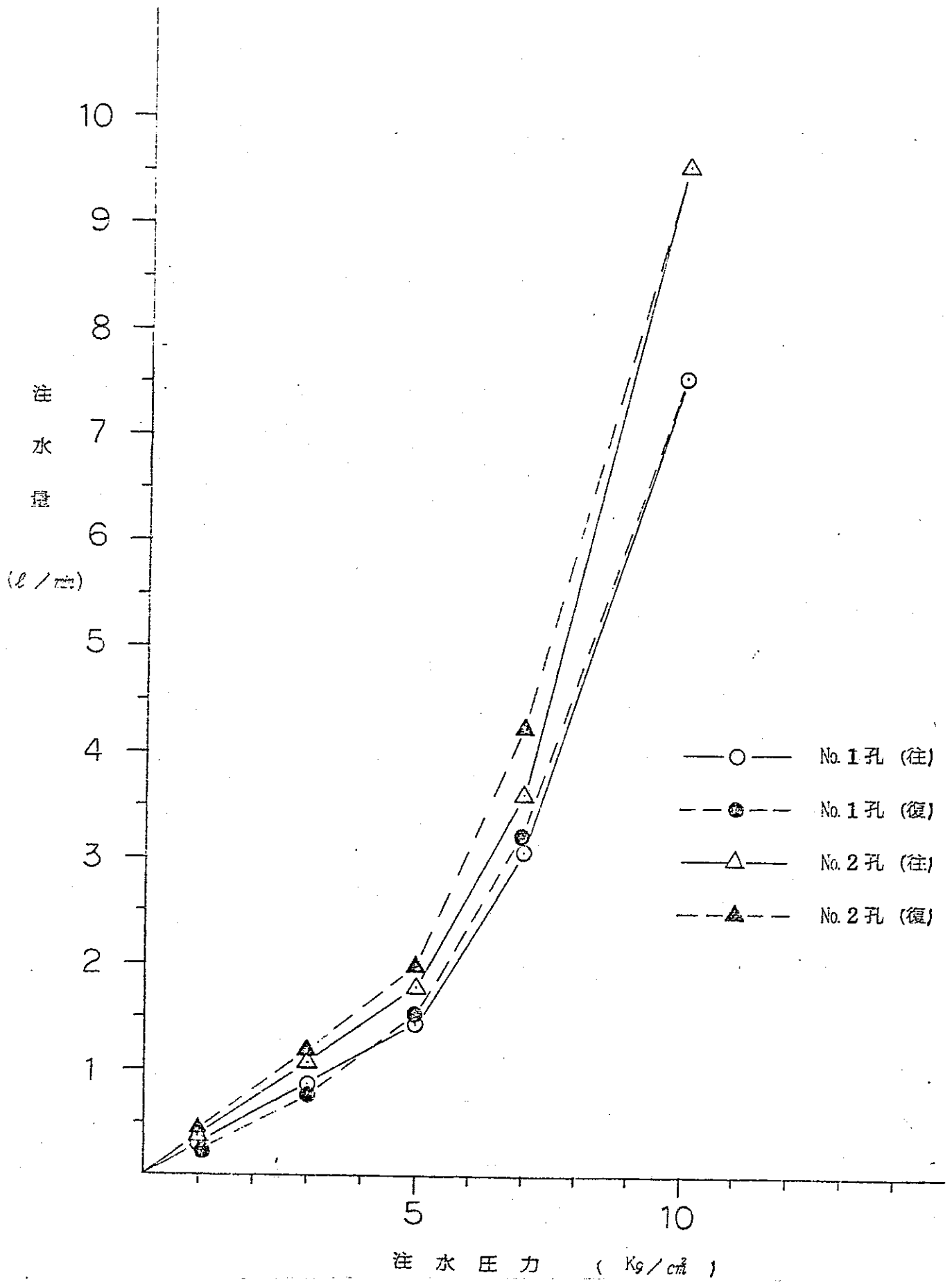
注入効果の確認の為、注入実験終了後、約2週間の養生期間において注入試験を行なったが、注入圧力と同じ注水圧力(上部割れ目で最大20kg/cm² 下部割れ目で3kg/cm²の注水圧力)では、注水量は0l/minであった。

表-IX. 11 注水实验结果表

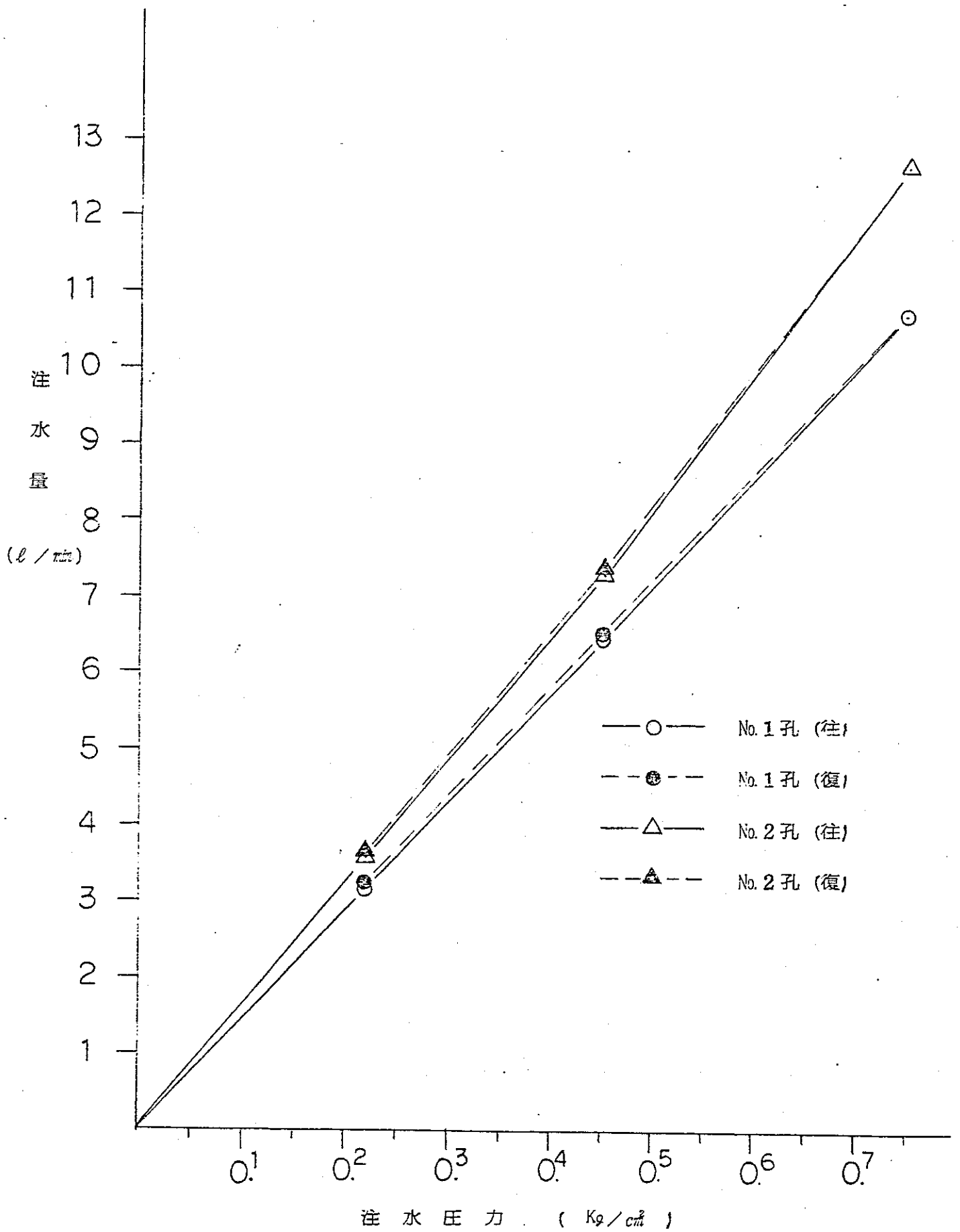
| 孔号 | 测孔日深度 (m) | 送水压力 (kgf/cm ²) | 全送水量 (ℓ) | 送水时间 (分) | 送水量 (ℓ/mm) |
|---------|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------|---------------|
| No. 1 孔 | G1-1.796 | 1.03 | 5.84 (5.5) | 20 | 0.298 |
| | | 3.01 | 17.10 (16.7) | 20 | 0.855 |
| | | 5.01 | 28.44 (27.9) | 20 | 1.422 |
| | | 7.00 | 61.00 (60.6) | 20 | 3.050 |
| | | 10.03 | 151.02 (151.4) | 20 | 7.551 |
| | | 7.01 | 64.10 (63.7) | 20 | 3.205 |
| | | 5.00 | 29.96 (29.5) | 20 | 1.498 |
| | | 3.02 | 15.10 (14.7) | 20 | 0.755 |
| | | 1.02 | 6.06 (5.8) | 20 | 0.303 |
| | G1-2.513 | 0.22 | 31.41 (31.3) | 10 | 3.141 |
| | | 0.45 | 64.25 (64.4) | 10 | 6.425 |
| | | 0.74 | 107.33 (107.5) | 10 | 10.733 |
| | | 0.44 | 64.44 (64.6) | 10 | 6.444 |
| | | 0.20 | 32.67 (32.5) | 10 | 3.267 |

表-IX. 12 注水实验结果表

| 孔号 | 测孔日深度 (m) | 送水压力 (kgf/cm ²) | 全送水量 (ℓ) | 送水时间 (分) | 送水量 (ℓ/mm) |
|---------|--------------|--------------------------------|-------------------|-------------|---------------|
| No. 2 孔 | G1-1.808 | 1.03 | 7.24 (7.1) | 20 | 0.362 |
| | | 3.01 | 21.14 (20.8) | 20 | 1.057 |
| | | 5.01 | 35.20 (34.6) | 20 | 1.760 |
| | | 7.00 | 72.10 (71.4) | 20 | 3.605 |
| | | 10.03 | 191.10 (191.4) | 20 | 9.555 |
| | | 7.01 | 84.20 (83.7) | 20 | 4.210 |
| | | 5.00 | 39.06 (38.7) | 20 | 1.953 |
| | | 3.02 | 24.26 (23.9) | 20 | 1.213 |
| | | 1.02 | 7.60 (7.4) | 20 | 0.380 |
| | G1-2.532 | 0.22 | 35.72 (35.5) | 10 | 3.572 |
| | | 0.45 | 73.07 (73.2) | 10 | 7.307 |
| | | 0.74 | 126.67 (126.8) | 10 | 12.667 |
| | | 0.44 | 73.15 (73.4) | 10 | 7.315 |
| | | 0.20 | 35.81 (35.6) | 10 | 3.581 |



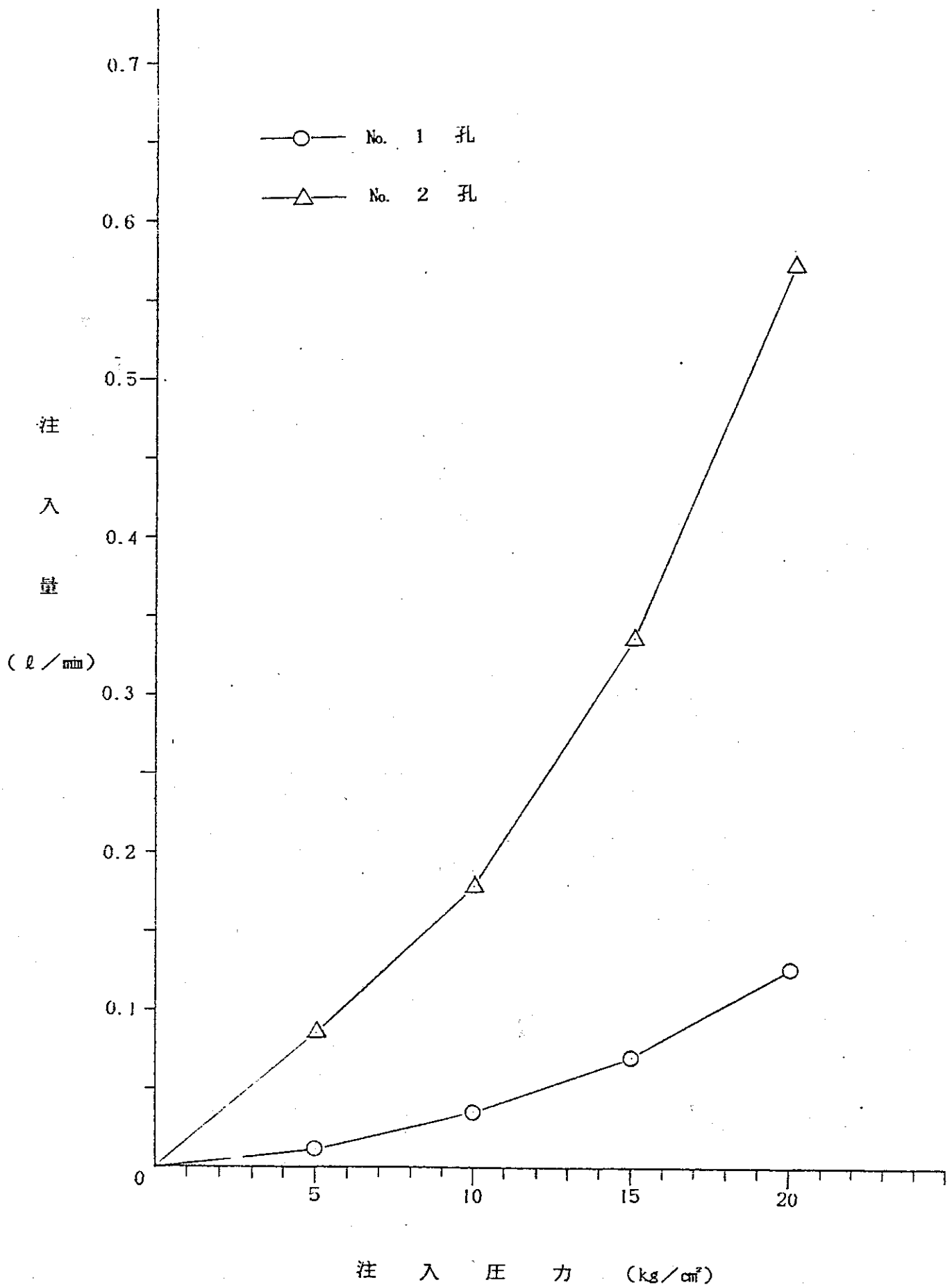
図一Ⅸ. 20 上部割れ目における注水圧と注水量の関係



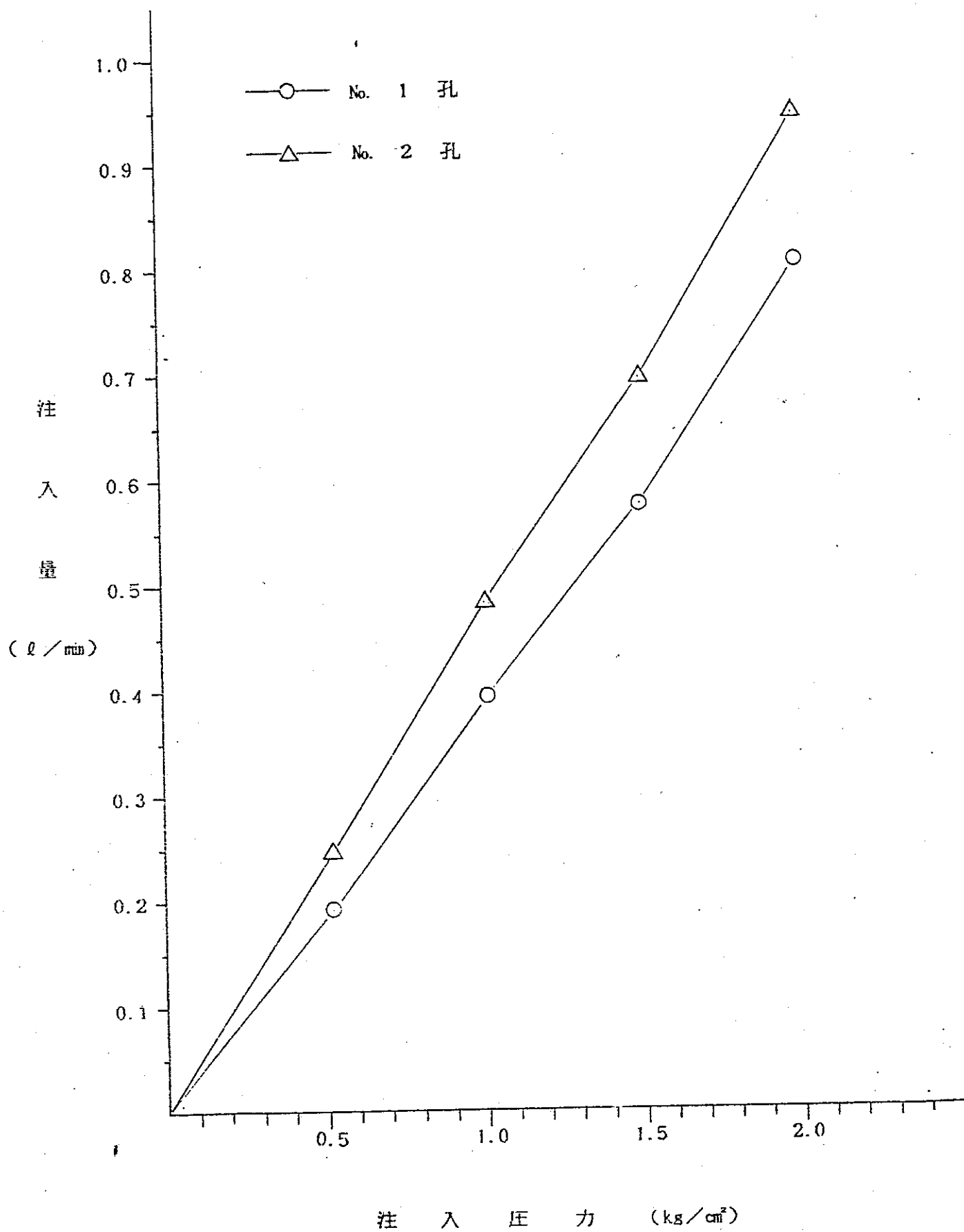
図一Ⅸ. 21 下部割れ目における注水圧と注水量の関係

表-IX. 13 注 入 実 験 結 果 表

| 孔 番 | 割れ目深度 (m) | 注入圧力 (kgf/cm ²) | 注 入 水 量 (ℓ) | 注入時間 (分) | 注 入 量 (ℓ/min) |
|---------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------|------------------|
| No. 1 孔 | GL-1.796 | 5.0 | 0.33 | 30 | 0.011 |
| | | 10.0 | 1.05 | 30 | 0.035 |
| | | 15.0 | 2.13 | 30 | 0.071 |
| | | 20.0 | 3.78 | 30 | 0.126 |
| | GL-2.513 | 0.5 | 5.79 | 30 | 0.193 |
| | | 1.0 | 11.79 | 30 | 0.393 |
| | | 1.5 | 17.25 | 30 | 0.575 |
| | | 2.0 | 24.09 | 30 | 0.803 |
| No. 2 孔 | GL-1.808 | 5.0 | 2.61 | 30 | 0.087 |
| | | 10.0 | 5.37 | 30 | 0.179 |
| | | 15.0 | 10.11 | 30 | 0.337 |
| | | 20.0 | 17.19 | 30 | 0.573 |
| | GL-2.532 | 0.5 | 7.35 | 30 | 0.245 |
| | | 1.0 | 14.49 | 30 | 0.483 |
| | | 1.5 | 20.85 | 30 | 0.695 |
| | | 2.0 | 28.38 | 30 | 0.946 |



図一Ⅸ・22 上部割れ目における注入圧と注入量の関係



図一Ⅹ. 23 下部割れ目における注入圧と注入量の関係

5. 考 察

(1) 実験対象割れ目の開口幅の推定

水平割れ目を放射状に流れるニュートン流体の透水量は，ダルシーの法則を適用して，次式で与えられる。

$$Q = \frac{\pi \gamma}{6 \mu} \cdot b^3 \cdot \frac{\Delta h}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \quad \dots\dots\dots (A)$$

Q : 透水量

μ : 粘性係数

γ : 流体密度

b : 割れ目の開口幅

Δh : 水頭差

r_i : ポアホール半径

r_o : 影響半径

注水実験結果のP～Q曲線（図-X・20，図-X・21）から，(A)式を用いて割れ目の平均的開口幅を求めると，表-X・14のようになる。

表-X・14 割れ目平均開口幅

| 開口幅 | 割れ目深度 (m) | No. 1 孔 | No. 2 孔 | No. 1 孔 | No. 2 孔 |
|----------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | | GL-1.796 | GL-1.808 | GL-2.513 | GL-2.532 |
| 平均開口幅 | (mm) | 0.068 | 0.073 | 0.251 | 0.262 |
| ポアホールテレビカメラ 測定開口幅 | (mm) | 1以下 | 1以下 | 3.7～4.5 | 3.9～4.6 |

No. 1 孔及びNo. 2 孔の風化部分（下部割れ目No. 1 孔GL-2.513m，No. 2 孔GL-2.532m）の開口幅の大幅な相違は，12ℓ/min程度の注水量では，割れ目内が，飽和状態に全く達していない事を示している。さらに，割れ目における割れ目透水係数と，割れ目開口幅の関係，注水量とシステム透水係数との関係は，下記(B)式及び(C)式で表わされる。

$$K_f = \frac{r b^2}{12 \mu} \dots\dots\dots (B)$$

$$K_s = \frac{Q}{2 \pi L \Delta h} \cdot \ln \frac{L}{r i} \dots\dots\dots (C)$$

K_f : 割れ目透水係数

K_s : システム透水係数

L : 試験区間長

(B)式及び(C)式で算出された K_f 及び K_s を表Ⅸ・15に示す。

表Ⅸ・15 割れ目透水係数とシステム透水係数

| 割れ目・深度 (m) | No.1孔 | No.2孔 | No.1孔 | No.2孔 |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 透水係数 | GL-1.796 | GL-1.808 | GL-2.513 | GL-2.532 |
| 割れ目透水係数 (K_f , cm/sec) | 0.378 | 0.435 | 5.147 | 5.608 |
| システム透水係数 (K_s , cm/sec) | 2.57×10^{-5} | 3.18×10^{-5} | 1.29×10^{-5} | 1.47×10^{-5} |

表Ⅸ・15より、上部割れ目 (No.1孔GL-1.796m, No.2孔GL-1.808m) が、注入実験対象割れ目のオーダー (システム透水係数 10^{-5} cm/sec程度) に乗っている事が解ったので、次に上部割れ目に対しての注入量の相違について考察を加える。

(2) 注入法の違いによる注入量の相違

図Ⅸ・22から、同じ注入圧力でも超音波を使用した場合 (No.2孔) と、使用しない場合 (No.1孔) を比較すると、注入量において、大幅に異なっている事が解った。

No.1孔の上部割れ目の開口幅は、0.068mmであり、No.2孔の上部割れ目の開口幅0.073mmより小さな開口幅である。(A)式より注入量は、割れ目の開口幅の三乗に比例する事が解っている。従って、No.1孔の割れ目の開口幅を b とし、No.2孔の割れ目の開口幅を $b + \Delta b$ とすると、次式が成立する。

$$Q_1 = A \cdot b^3 \dots\dots\dots (D)$$

$$Q_2 = A \cdot (b + \Delta b)^3 \dots\dots\dots (E)$$

ここで

$$A = \frac{\pi \gamma}{6 \mu} \cdot \frac{\Delta h}{\ln \frac{r_o}{r_i}} = \text{const}$$

Q_1 : No 1 孔の実測注入量

Q_2 : No 1 孔の割れ目開口幅が Δb だけ大きくなった時の換算注入量

(E)/(D)より,

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{A \cdot (b + \Delta b)^3}{A \cdot b^3} = \left(\frac{b + \Delta b}{b}\right)^3$$

$$\therefore Q_2 = Q_1 \left(\frac{b + \Delta b}{b}\right)^3 \dots\dots\dots (F)$$

(F)式より, No 1 孔の割れ目開口幅をNo 2 孔の割れ目開口幅と同幅にして, No 2 孔の実測注入量とNo 1 孔の同幅換算注入量とを比較して, 表-IX-16に示す。この時, No 1 孔及びNo 2 孔の理論注入量とその実測注入量との比較も合わせて示す。

表-IX-16 比較表

| 種 別 | 注入圧力 | 5 | 10 | 15 |
|----------------------------|------|--------|-------|-------|
| No. 1 孔実測流量 (ℓ/min) | | 0.011 | 0.135 | 0.071 |
| No. 2 孔実測流量 (ℓ/min) | | 0.087 | 0.179 | 0.337 |
| No. 1 孔換算流量 (ℓ/min) | | 0.014 | 0.043 | 0.088 |
| No. 1 孔推定流量 (ℓ/min) | | 0.002 | 0.004 | 0.006 |
| No. 2 孔推定流量 (ℓ/min) | | 0.0024 | 0.005 | 0.007 |
| No. 2 孔実測流量 No. 1 孔換算流量 | | 6.21 | 4.16 | 3.83 |
| No. 1 孔推定流量 No. 1 孔実測流量 | | 0.182 | 1.114 | 0.085 |
| No. 1 孔推定流量 No. 2 孔実測流量 | | 0.028 | 0.028 | 0.021 |

比較表より、同じ割れ目開口幅であれば超音波を使用した方が、3.8倍～6.2倍注入量が多い事が解った。また、理論流量と実測流量が、昨年度注入実験時よりも大幅に異なっている。これは、昨年度の注入材料（日鉄SF+水+マイティ150R）が、ニュートン流体として割れ目内を流れたのに対し、今回の注入材料がビンガムな流れとなった事と、割れ目の内部の壁面の粗度に大きく影響されてしまった為と思われる。

また、注入効果確認の注水実験の結果、注水量が0ℓ/分であった事は、昨年度以上の止水効果があった事を示し、注入材料の配合の選択が適切であったといえる。

以上の事から下記の二点が要約される。

- a) 注入材が適切であれば、ビンガム特性を持つ注入材であっても、微少な割れ目にも充分、注入が可能であり、粉動体として流れる性質から止水効果も非常に優れ、注入範囲も把握し易い。
- b) 超音波を使用した注入は、使用しない場合より約4～6倍浸透性が優れている。ビンガム特性を持つ注入材を使用して超音波を用いると、割れ目の空隙を完全に充填しつつ、注入範囲を拡大し、止水効果、岩盤と注入材の一体化などが従来よりも一層期待される。

X. 結 論

以上の調査，試験研究より次の結論がえられた。

I グラウト材料特性試験

工学バリアとして利用するためにグラウト材料に要求される性質として分散，流動性がよく，長期耐久性などが挙げられる。これらの性質をもったグラウト材を選定する試験で下記の事項が明らかになった。

- 1) ブリージング率3%以下，粘性係数5000 cp 以下という基準で判断すると，混合材にフライアッシュを用いたものではどの主材でも満足するものはない。
- 2) セメント単体については，ブリージング率は普通ポルトランドセメント>コロイドセメント>スーパーファインセメントの順となる。粘性係数についてはこの逆になる。
- 3) 混合材をいれた場合，シリカフラワー，木節粘土で混和率の増加に伴ってブリージング率が急激に減少する。フライアッシュ，ベントナイトでは減少割合が緩かである。
- 4) ブリージング率3%以下，粘性係数5000 cp 以下の基準をクリアするための減水剤の添加率は2 wt% 付近が限界である。
- 5) これらの結果をもとにブリージング率1.5%以下，粘性係数1000 cp 以下として選んだグラウト材料の配合を決定した。

II 注入装置の製作

本装置はシステム透水係数が 10^{-5} cm/sec以下の岩盤割れ目の改良を目的とするグラウトに利用するものである。この装置の大きな特色は 1) 全油圧式だから自由に吐出圧力，流量を設定できる。2) 設定注入圧力の変動がない。注入対象物，ホームが閉塞しても最初の注入圧力より上昇しない。3) グラウトシリンダー，油圧シリンダーが差動方向なので，吐出圧力，流量，の変動が極めて少い。これについては予備実験で圧力を $0.5\sim 100$ kg/cm²の範囲で任意に制御することが出来，その精度は最大圧力の±0.5%以内であった。

III グラウトモデル試験

隙間のあるガラス平板モデルを使用し，割れ目へのグラウト材の浸透過程を定性的に把握するための試験で下記の事項が明らかになった。

- 1) セメントミルクの注入では，過剰な水がセメント粒子の搬送の役目をしている。グラウト

ではこの過剰水を圧出することになり、この作用をしているのがセメントミルクの口過現象と沈積現象である。

- 2) このような過剰水をできるだけ少なくするためには、できるだけ安定な懸濁液にする必要がある。この場合の注入液は当然粘性が増加したビンガム液体となる。この注入液の長所、短所を明らかにした。
- 3) ビンガム流体の注入では、所定の注入圧で、一定の時間内に注入量が予定量に達した時をもって終了と考えればよく注入管理が容易である。
- 4) グラウト材の時間毎の拡散状況を見ると、ビンガム流体の拡散の理論式とよい一致を示す。これより、注入には従来のセメントミルクよりビンガム流体のグラウト材の方が適している事が明らかとなった。

IV ピンホール試験

岩盤の亀裂部へのグラウト固結体が、その僅な間隙を流れて地下水でどの程度、浸食、溶食されるかの目途をえるための本試験で下記の事項が明らかとなった。

- 1) 透水量と経過時間との間に有意な差は認められないが、経過日数 50 日で透水量は若干増加している。
- 2) ピンホール径、グラウト材の種類および流速と溶食、浸食の間には有意な差異は認められなかった。この関係を定量的に把握するためにはより長期の実験が必要である。
- 3) ピンホールを通過する水の PH 値を変えての実験では、酸性水 (PH=3) の方が中性、アルカリ性の水より溶食量が大きい。

V 超音波発振を利用した注入実験

従来の注入工法に比べて、より大きな浸透力、付着力が期待でき、粘土などの夾雑物の除去といった洗浄効果を期待した超音波グラウトについての試験で下記の事項が明らかとなった。

- 1) グラウト材の粘性係数は 500~600 cp で、注入の対象となる割れ目が小さくなればなる程流れにくくなる。これに対して超音波発振の状態だと抵抗係数は開口巾 1 mm で 0.198 , 開口巾 0.5 mm で 0.033 となり水の場合の 1.2 倍~4.8 倍流れやすくなっている。
- 2) 超音波発振で注入したグラウト固結体と岩石境界部の剪断応力は平均 5.2 kg/cm² で、従来の注入方法による固結体についての値より 1.24 倍と大きい。

VI 野外注入実験

- 1) 注入実験の結果が求めた割れ目の平均開口巾はNo 1はG.L. -180.8cmで0.068mm, G.L. -250cmで0.251mmである。又, No 2ではG.L. -179.2cmで0.073mm, G.L. -248cmで0.262mmであった。
- 2) 注入材の選定が適切であったため微小な割れ目に充分浸透しており, 良好な止水効果がえられた。
- 3) 超音波グラウト工法は従来工法より4~6倍浸透性が優れている。そのため, グラウト効果としての止水性および付着性で良好な結果が期待できる。実用化のためにはよりシステムチックな研究が必要である。