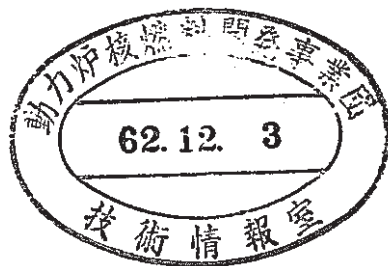


# 堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)

## 報 告 書

(昭和61年度)

1987年7月



三菱金属株式会社

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1987年7月

堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)※

柏木高明※※

要 旨

本試験は高レベル廃棄物地層処分技術開発の一環として実施されたものであり、第2段階の処分予定地の選定に係わる既存空洞を用いた試験・研究の第2年度にあたる。

本年度は昨年度開削した空洞内に認められる割れ目を対象として割れ目トレーサ試験および模擬廃棄物固化体の埋設試験と環境調査を実施した。各調査・試験の実施内容および成果の概要は次の通りである。

新規開削空洞（B空洞）に認められる割れ目を対象として35日間継続して割れ目トレーサ試験を行った。注水孔6孔に注水し、その約30cm下部のトレーサ注入孔3孔よりトレーサ液を注入して採水孔15孔に流出する液量とトレーサ濃度および水質測定を実施した。その結果、流出の認められたのは5孔で、継続して認められたのは1孔のみであった。また、各孔への流出量は大きな増減を示した。トレーサ濃度は試験中期ではほぼ原液濃度に近い値となったが、試験終了時には低くなった。また、トレーサが割れ目とともに岩盤内をも移行していること、水質測定からは岩盤内の移行により水質が変化すること、溶存酸素濃度は測定範囲においてはpH、Ehに影響を与えていないことがわかった。

模擬廃棄物固化体の環境調査においては、埋設孔により補給量が異なること、Ca-SO<sub>4</sub>型の水質を示したこと、埋設孔内水のpHは3.8～7.6、Ehは+0.2～+0.6Vの範囲であったことがわかった。1年埋設金属試験体分析からはSUS304、純チタン、ハステロイC-276に腐食生成物は認められず、軟鋼、無酸素銅にはそれぞれFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、ε-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、α-FeO・OHとCu<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>(OH)<sub>6</sub>・H<sub>2</sub>Oが腐食生成物として認められた。

---

※ 本報告書は、三菱金属株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

※※ 三菱金属株式会社原子力技術センター

JULY 1986

In Situ Tests in Sedimentary Rock ( Phase II (2) ) ※

Takaaki Kashiwaghi ※※

Abstract

This study has been conducted as part of the R & D on high level waste disposal. The purpose is to develop suitable techniques which make it possible to acquire data which is necessary to assess the isolation capacity of geological formations. FY 1986 is the second year of the second phase of the R & D. The in situ tracer test and water analysis of effluent of the test and examination of hydrological environment of buried site of glass and metal materials and the analysis of the metal materials have been done in FY 1985. The results are as follows;

Tracer injection was continued for 35 days and effluent volume, tracer concentration, pH, Eh, and concentration of dissolved oxygen were measured. Effluent was detected at five holes out of 15 sampling holes and effluent volume was not constant.  $C/C_0$  of effluent increased to about 1.0 after 20 days. There was the possibility that tracer migrated through rock mass as well as through fractures. It was revealed that concentration of dissolved elements changed due to water migration in rock mass, and that concentration of dissolved oxygen had nothing to do with pH and Eh in such a range of this measurement.

Investigation of groundwater at buried site revealed that volumes of supply water to each hole were not constant, and that the water in buried holes was of Ca-SO<sub>4</sub> type, in the range of 3.8 ~ 7.6 of pH and 0.2 ~ 0.6V of Eh.

Materials of SUS 304, CP titanium, and hastelloy C-276 were found to be uncorroded after 1 year emplacement. But, uniform corrosion was observed on the surfaces of mild steel and pure copper coupon specimens. And as corrosion materials, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, ε-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, α-FeO·OH, and Cu<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>(OH)<sub>6</sub>·H<sub>2</sub>O were detected in scales of mild steel and pure copper coupon specimens, respectively.

---

※ Work Performed by Mitsubishi Metal Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

※※ Mitsubishi Metal Corporation, Nuclear Engineering Center.

## 目 次

まえがき	1
第1章 試験要領	3
1.1 試験名	3
1.2 試験目的	3
1.3 実施場所	3
1.4 試験期間	4
1.5 試験計画	4
第2章 割れ目トレーサ試験	11
2.1 目的	11
2.2 試験対象割れ目の概要	11
2.3 実施方法	13
2.4 試験孔の掘削および透水性の調査	15
2.5 試験装置の設計・製作・据付	70
2.6 トレーサ試験	87
2.7 まとめ	154
第3章 模擬廃棄物固化体の埋設試験と環境調査	159
3.1 目的	159
3.2 試験の概要	159
3.3 環境調査	166
3.4 金属試験体の分析	199
3.5 まとめ	223
あとがき	225

LIST OF FIGURES

1 - 1	Fracture Distribution Pattern around Drifts A, B and C, and Location of the Tested Fracture. ....	5
1 - 2	Planned Layout of Boreholes for the Test. ....	6
1 - 3	Conception of the Test. ....	8
2 - 1	Geological Sketch of Walls and Roof of Drift B. ....	12
2 - 2	Implementation Flow of the Test. ....	14
2 - 3	Vertical Section Showing Locations and Inclinations of Water Injection Holes W-1~8. ....	16
2 - 4	Result of Core Observation of Water Injection Holes W-1~8. ....	17
2 - 5	RQD (Rock Quality Designation) of Holes W-1~8 and T-1~3. ....	19
2 - 6	Location of Water Injection Holes W-3~8. ....	26
2 - 7	Estimation of Continuity of the Tested Fractures due to Core Observation of Holes W-3~8. ....	29
2 - 8	Location, Inclination, and Direction of Water Injection Holes and Tracer Injection Holes. ....	33
2 - 9	Result of Core Observation of Tracer Injection Holes T-1~3. ....	34
2 - 10	Estimation of Continuity of the Tested Fractures due to Core Observation of Holes T-1~3. ....	37
2 - 11	Location of Borehole Wall Observation of Hole T-1, 2. ....	39
2 - 12	Location of Borehole Wall Observation of Hole T-3 (Above) and Legend of Sketch of Walls of Hole T-1~3 (Below). ....	40
2 - 13	Sketch of Wall of Hole T-1. ....	41, 42
2 - 14	Sketch of Wall of Hole T-2. ....	43, 44
2 - 15	Sketch of Wall of Hole T-3. ....	45, 46
2 - 16	Cross Section of Tracer Injection Holes and Water Injection Holes. ....	55
2 - 17	Sketch of Tested Fractures F-1~3 on the Roof of Drift B. ....	56
2 - 18	Relation of Located Sampling Holes S-1~15 and Fractures F-1~3 on	

the Roof of Drift B. ....	57
2—19 Relation between Fracture F-1 and Sampling Holes S-1~6, and 8. ....	58
2—20 Relation between Fracture F-2 and Sampling Holes S-9~11. ....	59
2—21 Relation between Fracture F-3 and Sampling Holes S-7, and 12~15. ....	60
2—22 Cross Section Showing Relationship between Holes S-1, S-12, T-1, and W-4. ....	62
2—23 Cross Section Showing Relationship between Holes S-2, S-13, T-1, and W-4. ....	63
2—24 Cross Section Showing Relationship between Holes S-3, S-14, T-1, and W-3. ....	64
2—25 Cross Section Showing Relationship between Holes S-4, S-9, S-15, T-2, and W-3. ....	65
2—26 Cross Section Showing Relationship between Holes S-5, S-10, T-3, and W-5. ....	66
2—27 Cross Section Showing Relationship between Holes S-6, S-11, T-3, and W-5. ....	67
2—28 Cross Section Showing Relationship between Holes S-7, S-8, T-3, and W-6. ....	68
2—29 Layout of Boreholes for the Test. ....	69
2—30 Apparatus for Water Injection. ....	71, 72
2—31 Apparatus for Tracer Injection. ....	75, 76
2—32 Flow Meter Instrument for Tracer Injection. ....	77
2—33 Apparatus for Sampling of Effluent and Chemical Analysis. ....	79, 80
2—34 Instrument for Sampling of Effluent. ....	81
2—35 Layout of Installed Apparatus. ....	85, 86
2—36 Packer Pressure as a Function of Time. ....	92
2—37 Water and Tracer Injection Pressure as a Function of Time. ....	93
2—38 Cumulative Injection Water Volume as a Function of Time. ....	95
2—39 Cumulative Change of Tracer Injection Volume to Holes T-1~3. ....	98

2—40	Purging Pressure as a Function of Time, .....	101
2—41	Effluent Volume as a Function of Time, .....	103
2—42	Relative Concentration of Tracer (Iodine) in Effluent as a Function of Time, .....	112
2—43	pH of Effluent as a Function of Time, .....	113
2—44	Oxidation Reduction Potential of Effluent as a Function of Time, .....	114
2—45	Concentration of Dissolved Oxygen in Effluent at Room Temperature 32°C as a Function of Time, .....	115
2—46	Concentration of Iodine and Bromine in Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water Tank and Hole W-3, 8 as a function of Time, .....	121
2—47	pH of Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 as a Function of Time, .....	122
2—48	Oxidation Reduction Potential of Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 as a Function of Time, .....	123
2—49	Concentration of Dissolved Oxygen in Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and W-3, 8 at Room Temperature 32°C as a Function of Time, .....	124
2—50	Comparison of Iodine Concentration which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent, .....	127
2—51	Comparison of pH Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent, .....	128
2—52	Comparison of Oxidation Reduction Potential which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent, .....	129
2—53	Correlation of Iodine Concentration which were Measured just after	



	Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent. ....	130
2-54	Correlation of pH Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent. ....	131
2-55	Correlation of Eh Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent. ....	132
2-56	Correlation of pH and Eh of Effluent and Injection Water. ....	134
2-57	Correlation of pH and Concentration of Dissolved Oxygen of Effluent and Injection Water. ....	135
2-58	Correlation of Eh and Concentration of Dissolved Oxygen of Effluent and Injection Water. ....	136
2-59	Correlation of pH and Eh of Effluent. ....	137
2-60	Correlation of pH and Concentration of Iodine of Effluent. ....	138
2-61	Correlation of Eh and Concentration of Iodine of Effluent. ....	139
2-62	pH as a Function of Time. ....	143
2-63	Oxidation Reduction Potential as a Function of Time. ....	144
2-64	Relative Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Time. ....	145
2-65(1), (2)	Hexadiagram of Major Cations and Anions of Effluent and Related Test Water. ....	149, 150
2-66	Key Diagram of Major Cations and Anions of Effluent and Related Test Water. ....	151
3-1	Geological Sketch of Wall (northeast side) at Test Place. ....	160
3-2	Layout of Boreholes. ....	161
3-3	Water Supply Instrument. ....	167
3-4	Cumulative Change of Supply Water Volume. ....	177
3-5	Hexadiagram of Major Cations and Anions of Supply Groundwater. ....	182
3-6	Key Diagram of Major Cations and Anions of Supply Groundwater. ....	183

3 - 7	Result of Identification of Precipitates by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	185
3 - 8	pH as a Function of Time. ....	194
3 - 9	Eh as a Function of Time. ....	195
3 - 10	Relation between Eh and pH of Groundwater in Boreholes. ....	197
3 - 11	Result of Identification of Scale on SUS 304 by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	214
3 - 12	Result of Identification of Scale on CP Titanium by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	215
3 - 13	Result of Identification of Scale on Hastelloy C-276 by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	216
3 - 14	Result of Identification of Scale on Mild Steel by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	217
3 - 15	Result of Identification of Scale on Pure Copper by X-Ray Powder Diffraction Method. ....	218

## LIST OF TABLES

2 - 1	List of Water Injection Apparatus. ....	74
2 - 2	List of Tracer Injection Apparatus. ....	74
2 - 3	List of Apparatus for Sampling of Effluent and Chemical Analysis. ....	83
2 - 4	Cumulative Volume of Tracer Injection Water as a Function of Time. ....	97
2 - 5	Result of Effluent Volume Measurement. ....	102
2 - 6	Effluent Volume Change to Hole S-5 as a Function of Time. ....	105
2 - 7	Hourly Effluent Volume Change to Hole S-1, 5, and 8. ....	105
2 - 8	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-1. ....	108
2 - 9 (1)~(3)	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-5. ....	108~ 110
2 - 10	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-8. ....	110
2 - 11	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-15. ....	111
2 - 12	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from the Roof around Hole S-4 and 5. ....	111
2 - 13(1), (2)	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Tracer Injection Water in Tracer Tank. ....	118, 119
2 - 14	List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Injection Water in Water Tank and Hole W-3, 8. ....	120
2 - 15	List of pH, Eh, and Iodine Concentration of Effluent Samples which were kept in situ for Days(upper, initial value). ....	126
2 - 16	pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Bubbling Time of Oxygen Gas. ....	141
2 - 17	pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Bubbling Time of Nitrogen Gas. ....	142

2-18	pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Contact Time with Air. ....	142
2-19	List of Samples for Measurement of Dissolved Chemical Parameters. ....	147
2-20	Chemical Analysis of Effluent and Related Test Waters. ....	148
3-1	List of Test Samples. ....	162
3-2 (1)	List of Metallic Samples (Coupons). ....	163
3-2 (2)	List of Metallic Samples (Double U Bends). ....	164
3-3 (1)	Chemical Composition of Type 304 Stainless Steel. ....	165
3-3 (2)	Chemical Composition of Commercially Pure Titanium. ....	165
3-3 (3)	Chemical Composition of Hastelloy C-276. ....	165
3-3 (4)	Chemical Composition of Mild Steel. ....	165
3-3 (5)	Chemical Composition of Pure Copper. ....	165
3-4	List of Implemented Main Items. ....	166
3-5 (1)~(4)	Water Volume Supplied to Test Holes. ....	169~ 176
3-6	Water Level Change in Boreholes. ....	178
3-7	Chemical Analysis of Supply Groundwater. ....	180
3-8	Semi-Quantitative Results by Emission Spectral Analysis. ....	187
3-9	Analytical Values of Major Elements. ....	188
3-10	Result of pH Measurement of Groundwater in Boreholes. ....	190
3-11	Result of Eh Measurement of Groundwater in Boreholes. ....	191
3-12	Result of Temperature Measurement of Groundwater in Boreholes. ....	192
3-13	Result of Electric Conductivity of Groundwater in Boreholes. ....	193
3-14	List of Weight and Size of Metallic Samples(Coupons). ....	200
3-15	List of Weight and Size of Metallic Samples(Double U Bends). ....	201
3-16	Surface Appearance of Metallic Samples after 1 Year Immersion Corrosion Test. ....	211
3-17	Results of WDX Qualitative Analysis. ....	212
3-18	Identified Materials in Scales by X-Ray Powder Diffraction Analysis. ....	219
3-19	Corrosion Rates based on Coupon Samples. ....	221

3-20 Local Corrosion of Coupon Samples..... 222  
3-21 Stress Corrosion of Coupon Samples. .... 222

LIST OF PHOTOGRAPHS

2 - 1	Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-1.	49
2 - 2	Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-2.	50
2 - 3	Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-3.	52
3 - 1 (1)	SUS 304 Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.	202
3 - 1 (2)	SUS 304 Test Sample after Descaling.	202
3 - 2 (1)	CP Titanium Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.	203
3 - 2 (2)	CP Titanium Test Sample after Descaling.	203
3 - 3 (1)	Hastelloy C-276 Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.	204
3 - 3 (2)	Hastelloy C-276 Test Sample after Descaling.	204
3 - 4 (1)	Mild Steel Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.	205
3 - 4 (2)	Mild Steel Test Sample after Descaling.	205
3 - 5 (1)	Pure Copper Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.	206
3 - 5 (2)	Pure Copper Test Sample after Descaling.	206
3 - 6 (1)	Double U Bend Test Sample of SUS 304 after 1 Year Immersion Corrosion Test.	207
3 - 6 (2)	Double U Bend Test Sample of SUS 304 after Descaling.	207
3 - 7 (1)	Double U Bend Test Sample of CP Titanium after 1 Year Immersion Corrosion Test.	208
3 - 7 (2)	Double U Bend Test Sample of CP Titanium after Descaling.	208
3 - 8 (1)	Double U Bend Test Sample of Hastelloy C-276 after 1 Year Immersion Corrosion Test.	209
3 - 8 (2)	Double U Bend Test Sample of Hastelloy C-276 after Descaling.	209

まえがき

我が国が高レベル廃棄物の処理処分の研究開発を本格的に実施したのは、昭和51年10月に原子力委員会が示した「放射性廃棄物対策について」において、その対策方針が明らかにされてからである。その後、昭和56年12月19日に原子力委員会の下部組織である放射性廃棄物対策専門部会は、それまでの高レベル廃棄物の研究開発計画やスケジュールの点検、見直しを行った結果として、「高レベル放射性廃棄物処理処分にに関する研究開発の推進について」をまとめた。この中で、高レベル放射性廃棄物の処分は当面地層処分に重点を置くこととし、5段階方式での研究開発計画を示した。

第1段階の最終年度である昭和59年8月7日に同専門部会は第1段階の研究開発成果を総括して「放射性廃棄物処理処分方策について」と題する中間報告をまとめた。同報告の中で高レベル放射性廃棄物処分方策は従来方針通り地層処分によることとし、さらに、従来の5段階の研究開発手順を見直し、既に終了した第1段階も含めて、4段階の開発手順を採用することとした。

翌昭和60年10月8日に同専門部会は、上記中間報告で今後の検討課題とされた、放射性廃棄物処理処分の実施主体およびその責任のあり方等についての検討結果を報告した際に、第3・4段階名を修正した。現時点でのこれら4段階名は以下の通りである。

- ① 有効な地層の選定
- ② 処分予定地の選定
- ③ 処分予定地における処分技術の実証
- ④ 処分場の建設・操業

昭和60年度は第2段階の「処分予定地の選定」の第1年度にあたる年である。

4段階の地層処分技術開発スケジュールにおける第2段階の研究開発において、動燃は第1段階からの継続課題として、第2段階における調査・研究に資する評価データの蓄積を図るため第1段階における「天然バリアに関する研究」および「人工バリアに関する研究」を発展的に継続する役割を担うこととされている。これらの研究課題は、

- ① 天然バリアに関する研究

既存空洞等を利用して、水理モデルの精度向上を図り、地震動の地下深部におけるデータの収集・解析手法の検討を行う他、岩石の熱・応力特性、透水性、核種吸着特性等

地層の包蔵性及び健全性に関する調査研究を継続する。

② 人工バリアに関する研究

処分場への地下水の侵入及び侵入後の核種移行を防止するオーバーパック材、緩衝材、埋め戻し材、グラウト材等の材質の選定及び開発を行うとともに、既存空洞を利用したの施工試験を行い、信頼性・安定性の高い施工技術の開発を行う。更に人工バリアの熱的、力学的特性を調査し、天然バリアとの両立性試験等によって人工バリアの有効性及び健全性を評価する。

とする内容のものであり、両研究とも既存空洞を利用した試験を行うことが示されている。

本「堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)」はまさにこの既存空洞を利用した試験に相当するものであり、上記研究課題解明のために積極的な調査・研究を推し進めて、「処分予定地の選定」に資する有効なデータ・評価方法の取得に努める必要がある。



## 第1章 試験要領

### 1.1 試験名

堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)

### 1.2 試験目的

本試験は高レベル廃棄物の地層処分技術開発の一環として昭和56年度より堆積岩を対象として実施してきた「地層の包蔵性の調査研究」成果をもととして、第2段階の「処分予定地の選定」に係わる技術開発スケジュールのうちの第1段階からの継続課題としての「天然バリアに関する研究」に関するもので、

- ① 地層で代表される地下環境の調査の実施とその調査方法の検討・開発
- ② 地層環境を示す水理・熱・化学・力学の現象の評価方法の検討・開発とその把握
- ③ 人工バリアを地層環境中に定置した状態における諸現象の測定方法・評価方法の検討・開発
- ④ 地層処分場の設計・施工に必要なデータの取得方法の検討・開発
- ⑤ シミュレーションモデルの検証

を目的とするものである。

前年度は新たな試験空洞の開削とそれに伴う試験およびTRU模擬核種を用いた室内収着試験を行った。また、ガラス固化体および固化体容器の長期健全性を評価するためにそれらを埋設した。

本年度は岩盤の不連続面である断層などの割れ目の透水性および非収着性トレーサの二次元的移行状況を検討する。また、埋設したガラス固化体および固化体容器の取り出し・分析を行うとともに、埋設箇所の環境調査を実施する。

### 1.3 実施場所

宮城県栗原郡鶯沢町字南郷荒町48番地 細倉鋳業㈱細倉鋳業所 坑内下10番坑大竹  
沢向立入（通洞坑口より北東方向に平面直距約1,250m、地表面下約340m）

#### 1.4 試験期間

昭和61年9月10日～昭和62年7月1日

#### 1.5 試験計画

##### 1.5.1 割れ目トレーサ試験

岩盤の不連続面である断層等の割れ目の透水性の評価をするとともに、非吸着性トレーサを用いて割れ目内の地下水の二次元的移行状況を把握することを目的として本試験を実施する。

昭和60年度に開削したFig. 1-1に示すB空洞の天盤に認められる割れ目（断層）を試験対象とした。対象とする割れ目はB空洞に斜交する断層帯である。その割れ目は西に80°程で急傾斜している。

Fig. 1-2に示すA空洞の北西側側壁約2.3mの高さより約35°の上向き傾斜で注水孔（径76mm、深度14m）を掘削する。掘削後、コア観察を行って、対象とする割れ目が会合している深度を把握する。その割れ目の手前にパッカを設置して、シングルパッカ法による注水試験を行う。B空洞の天盤の対象とする割れ目に流出する水量、流出部の概略を注入圧力との関係で把握する。

次に、注水孔口の下部より約25°の上向き傾斜でトレーサ注入孔（径76mm、深度14m）を3孔掘削する。これらトレーサ注入孔の方向は注水試験で把握した流出部の上位に位置するように、また、各孔間距離は割れ目との会合部で約50cmとなるように設定する。これらの掘削により、B空洞への平均的移行距離は地下水で約6.5m、トレーサで約3.5mとなる。

トレーサ注入孔掘削後、コア観察および孔壁観察を行う。孔壁調査においては試験対象とする割れ目の正確な位置、割れ目性状を把握するとともに、注水孔から圧入した水がトレーサ注入孔内のどの割れ目からどの程度流出するかを定性的に把握する。この観察によ

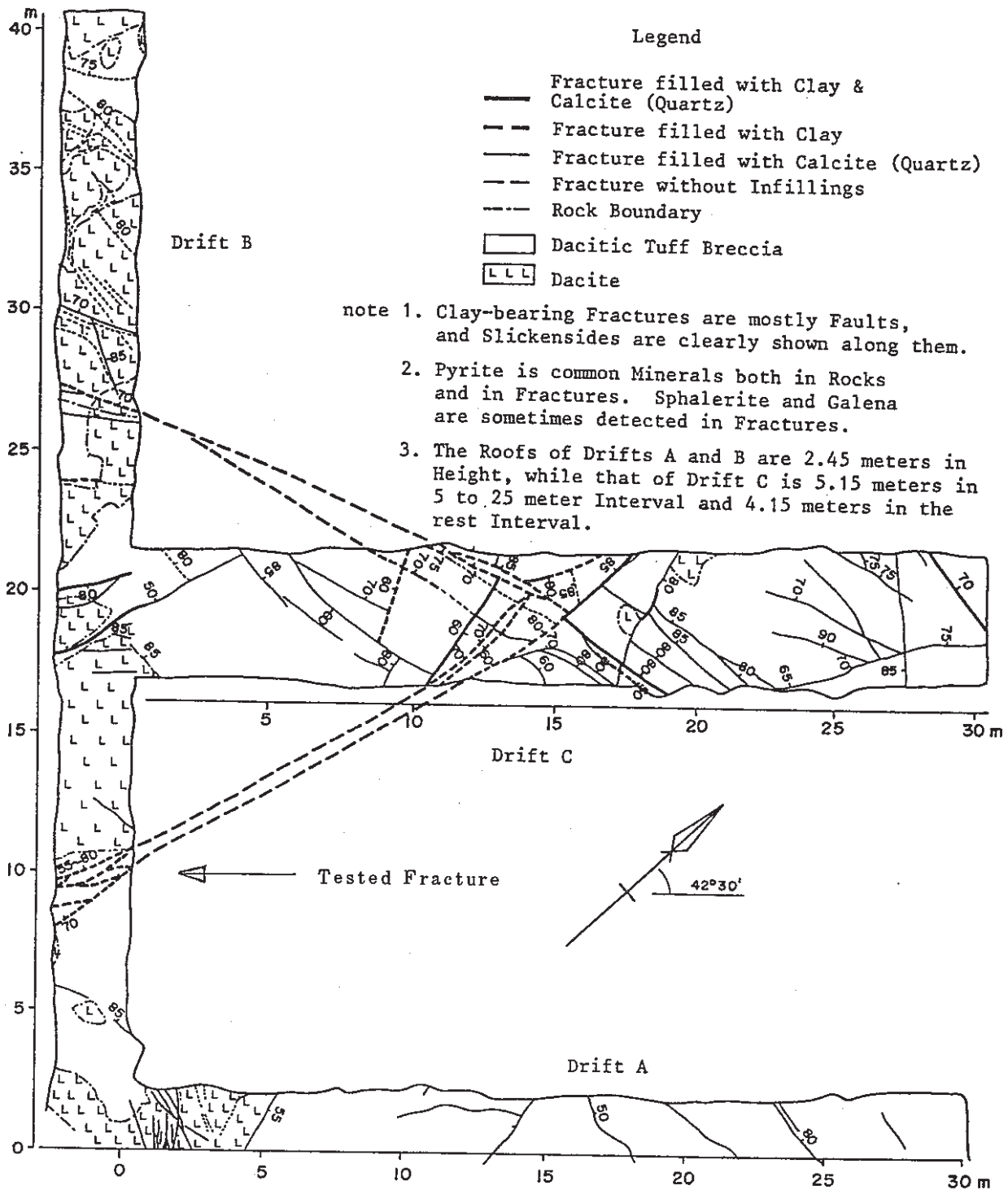


Fig. 1 —1 Fracture Distribution Pattern around Driftts A, B, and C, and Location of the Tested Fracture.  
 A, B, C 空洞周辺の割れ目の分布パターンおよび試験対象割れ目の位置

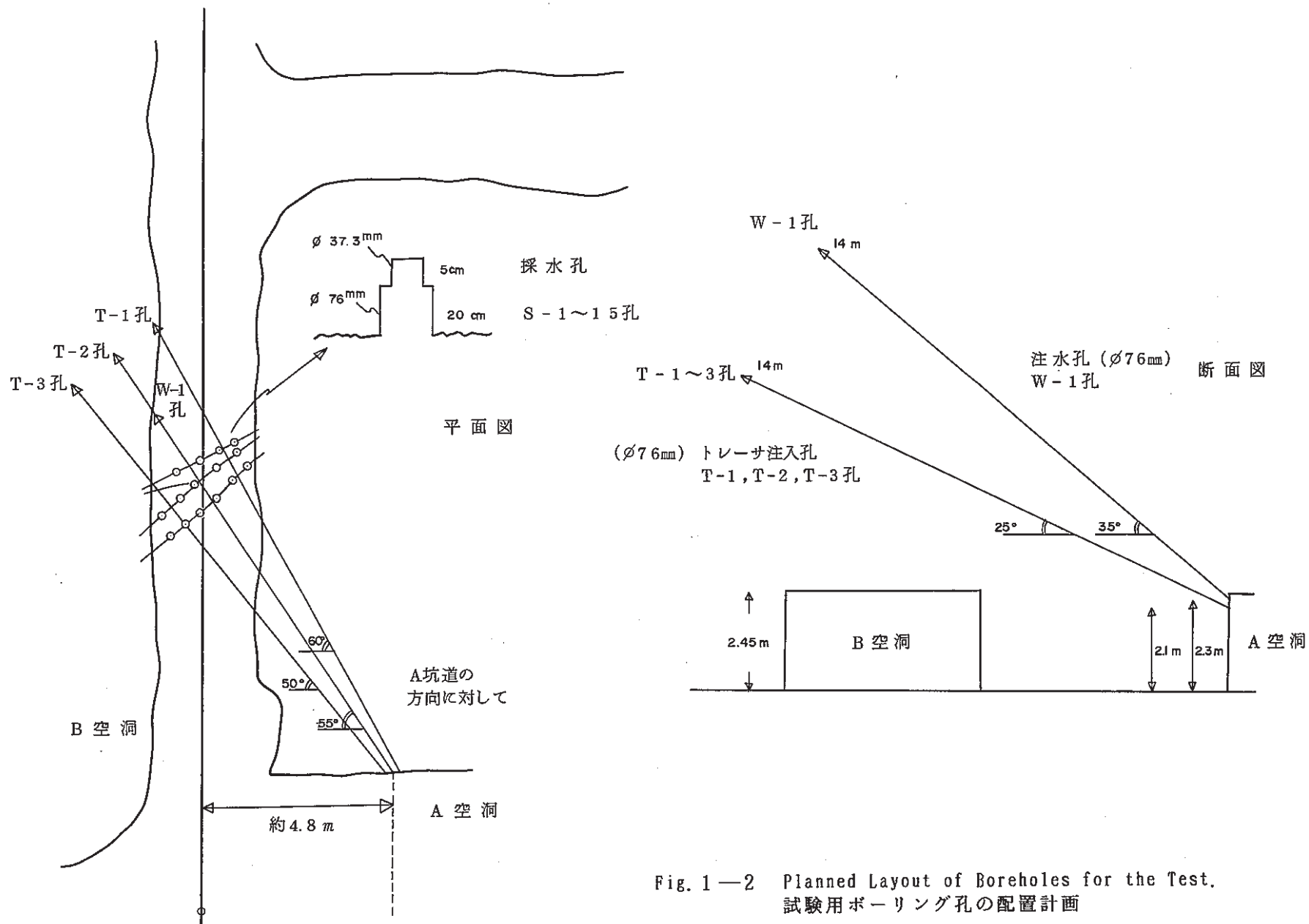


Fig. 1—2 Planned Layout of Boreholes for the Test.  
 試験用ボーリング孔の配置計画

り、トレーサ注入対象割れ目を決定する。

両透水試験により、B空洞天盤に認められる割れ目の採水孔設置箇所を決定する。同設置箇所は15箇所とし、流出量の多い箇所より順次選定するものとする。流出状況によっては流出量の非常に少ない箇所に採水孔が選定される可能性もありうる。採水孔は径76mm、深度20cmとし、さらに孔底に径37.3mm、深度5cmの孔を付け加えた形状とする

(Fig. 1-2参照)。孔間距離は最低約10cm離すものとするが、最終的には断層の上下盤の状況を考慮して現地にて決定する。従って、流出が広い範囲に渡って連続して認められる場合には、採水される部分は採水孔の部分だけとなる。

採水孔への採水装置の装着後、注水孔内の割れ目にダブルパッカを、トレーサ注入孔内の選定割れ目にダブルパッカを設置して、注水を行い、装置が順調に機能することを確認する。注水孔内に設置するダブルパッカはトレーサ注入孔内で選定した割れ目との間の透水連絡性が最大のものを選定することとする。限界圧力範囲内にて、注入圧と採水孔への流出量の関係を最終的に把握する。本試験における注入圧は、採水孔への最大流出量が約10cc/hとなる注入圧とする。

トレーサ試験装置の概念をFig. 1-3に示す。試験の実施には注水装置、トレーサ注入装置、採水装置、分析装置が必要である。これらは水およびトレーサ容器、ポンプ、窒素ガスポンプ、流量計、ダブルパッカ、注入コンパートメントなどからなる。これらは既存の装置を使用するとともに新たに設計製作を行う。水の注入には通常の流量計を用いるが、トレーサ水の注入は少量であることが予想されるので、チューブを多重巻した構造の流量計を用いることとする。採水孔に流出した水はFig. 1-3に示す採水装置にて各容器に採水するものとする。

トレーサ試験の概念は以下の通りである。すなわち、ポンプにて注水孔に注入した水はB空洞の天盤に流出する。その時割れ目内においてはゆるやかな地下水の流動が生じていることになる。その流動面の3箇所にてトレーサ注入孔が会合しているが、地下水は通常割れ目内を全面流れるのではなく、チャンネルングと呼ばれるように選択的に流動することが知られている。したがって、会合した3箇所すべてにおいて地下水流が認められるとは限らない。本試験では地下水流の認められる箇所にてトレーサ水を添加するものとする。添加は地下水流動を攪乱しない範囲内（地下水圧の約10%増）にて行う。トレーサは沃素および臭素とし、流出液中の濃度変化を随時把握して、パルス状にあるいはステップ状

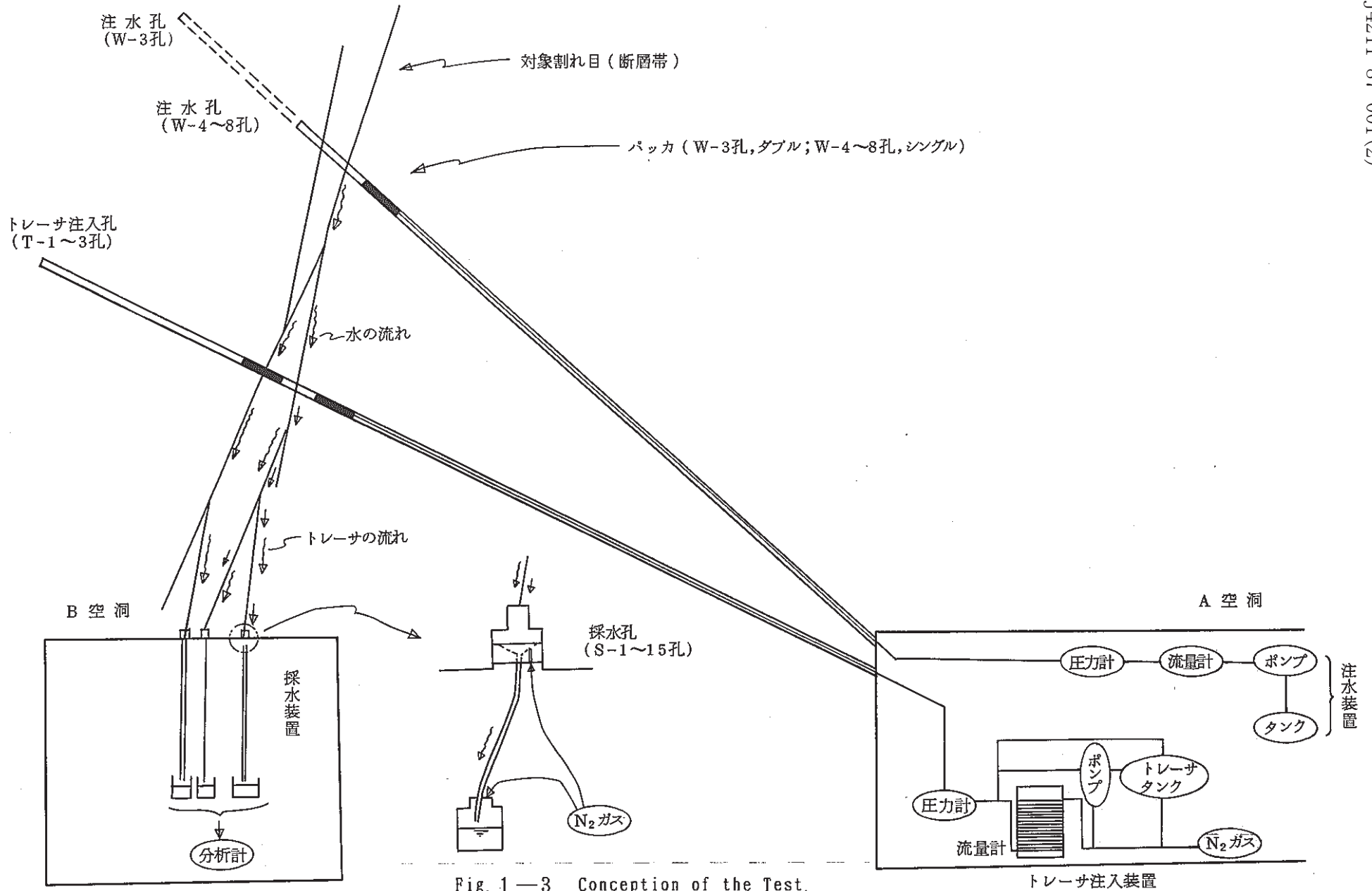


Fig. 1—3 Conception of the Test.  
試験の概念

にトレーサ水を注入する。

15 採水孔からの流出液中のトレーサ濃度・pH・Eh・溶存酸素濃度を現地にて定時測定する。流出量の多い孔は一日一回の測定とし、流出量の少ない孔は測定可能な量が得られた時点で測定するものとする。また、試験開始時、一ヶ月経過時、試験終了時に流出量の多い孔3孔より約2.5ℓを採取し、上記定時測定項目以外の水質分析を行う。これら水質分析項目はCa, Mg, Na, K, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>, Sr, Cs, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とする。このうち、Fe<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は採取後試験室にてできるだけ速やかに測定するものとする。

これらにより、割れ目内のトレーサの破過状況、水質を把握し、割れ目内の地下水移行状況・水質と流量との関係などを検討する。

#### 1.5.2 模擬廃棄物固化体の埋設試験と環境調査

地下深部環境におけるガラス固化体および容器（金属材料）の長期にわたる化学的耐久性、耐蝕性に関する現象を明らかにするため、ガラス固化体・容器と岩石・地下水・充填材との化学的相互作用を把握することを目的として前年度より本試験を行っている。今年度は前年度埋設した試験体の埋設環境条件の把握の継続と1年および1年3ヶ月経過試料の取り出しおよび取り出した金属材料の分析を行う。

環境調査は埋設箇所の水質分析を行うものである。試験体埋設孔内の水質調査は各孔内にて水温、pH、Eh、電気伝導度を測定するもので月1回の測定とする。最終回の測定時にはこれら項目にRpHを加える。また、試験体の取り出し時に天盤からの湧水の水質分析を行う。分析項目はCa, Mg, Na, K, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>, Sr, Cs, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>および溶存酸素濃度とする。このうち、Fe<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>および溶存酸素濃度は採取後試験室にてできるだけ速やかに測定するものとする。埋設試験体の取り出しは1年経過時と1年3ヶ月経過時に行う。前者は各1試料を、後者は各3試料を採取する。採取した試験体のうち、ガラス試料は動燃東海事業所に送付する。金属試料については観察・分析を行い、腐食減量・表面腐食状態などについて試験・検討結果を明らかにする。

## 第2章 割れ目トレーサ試験

### 2.1 目的

岩盤の不連続面である断層等の割れ目の透水性を評価することは、地層のバリア性能を評価するうえで重要である。また、水素イオン濃度(pH)・酸化還元電位(Eh)等は地下水の水質環境を規定する重要な因子であり、バリア性能を評価するうえでそれら因子が原位置試験環境でどのような特性を示すのかを把握しておくことは重要である。

本試験は昨年度実施した試験空洞の開削において得られたB空洞～C空洞に連なる断層(帯)を試験対象として、非収着性トレーサを用いた割れ目内トレーサ移行試験を実施して同割れ目の透水性およびトレーサ移行特性を評価すること、流出液の水質測定を行ってpH・Eh等の原位置特性を把握すること、およびそれらの試験方法について考察することを目的として実施するものである。

### 2.2 試験対象割れ目の概要

割れ目トレーサ試験の対象割れ目として、前年度の開削によって得られた空洞壁面に認められる割れ目のうち、規模の大きい割れ目を選定した。

Fig. 1—1に示すように新規開削空洞において認められる割れ目のなかで、規模の大きいものはB空洞よりC空洞に延びる走向N15°E傾斜70°～80°Wの割れ目(帯)であった。これはC空洞の床面調査においても最大の規模を示した。他の割れ目が本割れ目により変位を示していることから本割れ目は断層である。

本割れ目は数条の割れ目よりなり、粘土を主充填物とし、上下盤に粘土化帯を伴っている。また、一部には黄鉄鉱を挟在し、C空洞床面では閃亜鉛鉱が認められる。充填物の幅は最大10cmに達する。

B空洞天盤および側壁の地質状況をFig. 2—1に示す。本割れ目は同箇所では傾斜が様々な値を示しており、複雑な分布性状を示している。本試験の実施領域はB空洞天盤より上部の本割れ目の分布している部分とした。





## 2.3 実施方法

本試験の実施手順をFig. 2—2に示し、概略の実施方法を以下に示す。

まず、概略の試験計画を立案するとともに、試験の実施に必要な試験装置の選定および概略設計を行った。試験空洞壁面に認められる割れ目の中から試験の実施に適する割れ目を選定した。選定した割れ目の分布・性状および周辺空洞の配置から詳細な試験計画を立案した。

試験計画に従い、まず注水孔（W—1孔、傾斜 $+35^{\circ}30'$ 、深度14m、試験部割れ目長さ約6m）を掘削した。採取したコアを観察するとともに注水孔を利用してシングルパッカによる予備透水試験を行った。所要期間過ぎてもB空洞天盤に湧水が認められないため、試験部割れ目長さが3mとなるよう、再度注水孔（W—2孔、傾斜 $+24^{\circ}30'$ 、深度14m）を掘削した。コア調査と透水試験を同様に実施したが、所要期間を過ぎても同じくB空洞天盤には湧水が認められなかった。さらに、試験部割れ目長さを1.5mとして注水孔（W—3孔、傾斜 $+16^{\circ}30'$ 、深度14m）を掘削した。所要期間内においてB空洞天盤に湧水が認められたものの、その量は少なかった。試験部割れ目長さをさらに短くすることはかなり困難なため、同様の注水孔を平行に掘削することとした。最終的にさらに追加掘削した注水孔はW—3～8孔で傾斜はW—3孔とほぼ同じ傾斜で長さは約10～11mである。それらのコア観察をするとともに透水試験を行ったところ、適量の湧水が天盤で認められた。

次にトレーサ注入孔（T—1～3孔、傾斜 $+16^{\circ}30'$ 、深度14m）を掘削し、トレーサ注入孔のコア観察、対象割れ目会合部の孔壁観察を行って、トレーサ注入箇所を選定した。また、B空洞天盤の湧水部と天盤での割れ目の分布から採水孔位置を選定し、採水孔（S—1～15孔、孔径76mm+37.3mm、深度40cm～90cm、鉛直上向き）を掘削した。

引き続き試験装置を据え付け、装置の予備運転を行った。装置が適正に機能することを確認した後、トレーサ試験を実施した。

トレーサ試験時は各試験装置の圧力・流量などの記録をとるとともに、流出液を採取して、トレーサ濃度測定・水質測定を実施した。さらに、溶存成分の把握のために一定量を採水し、実験室にて分析した。それらのデータをまとめ、試験結果の解析を行った。

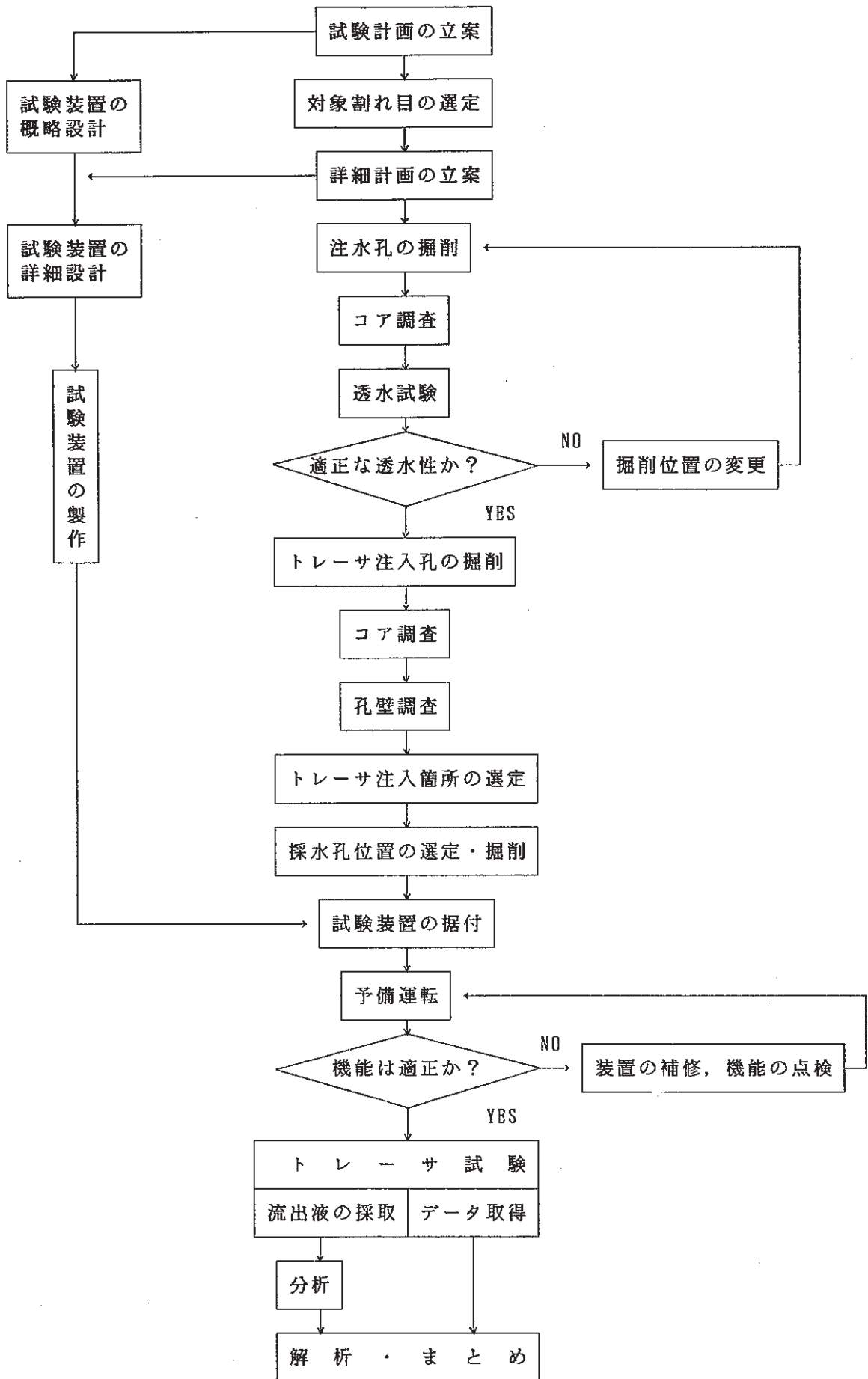


Fig. 2 — 2 Implementation Flow of the Test.  
試験実施フロー

以下に各実施項目別に実施結果の詳細を示す。

## 2.4 試験孔の掘削および透水性の調査

### 2.4.1 W-1注水孔の掘削および透水試験

#### (1) W-1注水孔の掘削およびコア調査

Fig. 1—2の試験計画に従い、W-1注水孔の掘削位置・方向・傾斜角を測量により求め、同孔を掘削した。A空洞での掘削位置はB空洞の上部に位置する対象割れ目の走向にほぼ垂直となるように方向を設定し、かつ会合した割れ目箇所から割れ目に沿ったB空洞天盤までの距離が約6mとなるように傾斜角を設定した（Fig. 1—2参照）。対象割れ目のスケッチと空洞開削断面の位置・形状を基に、測量の基準点はA・B空洞の会合部として、測量を実施した。掘削位置・方向・傾斜角の決定後、試錐機を設置して、径76mm、深度14mの孔を掘削した。径はこれまで当試験場で試験用に掘削した孔の径と同じとし、深度は対象割れ目の傾斜角が変動しても十分捕捉できる深度となるよう設定した。掘削は割れ目の分布が把握できるようにオールコア・ボーリングとした。A空洞、B空洞およびW-1孔の掘削位置の断面図中での関係をFig. 2—3に示す。当初35°の傾斜を予定したが、実傾斜は35°30′であった。また、掘削方向は計画方向より1°少ない、A空洞の方向から54°の方向である。

コア観察結果をFig. 2—4に示す。深度8mまでは顕著な割れ目は認められない。試験対象割れ目としては、

深度8.64～8.67mで傾斜不明の不連続な割れ目

が認められた。断層粘土および角礫様のものが付着しているが大部分は掘削により流出したか粉碎されたかして欠如している。さらに、

10.08～10.26mで傾斜60°～80°の灰黒色の断層粘土

(コア観察結果で述べる「傾斜」とはコアの軸方向に対する最大傾斜を示す。以下同様とする。)

が認められた。そのゾーンの中には1cm幅の黄鉄鉱染部を伴っていた。その他の割れ目としては、13.42～13.57m間に幅0.4～1cm傾斜35°の方解石細脈を認めたのみであった。岩質は2.2mまで自破碎熔岩状を呈する石英安山岩でそれ以深は同質の凝灰角

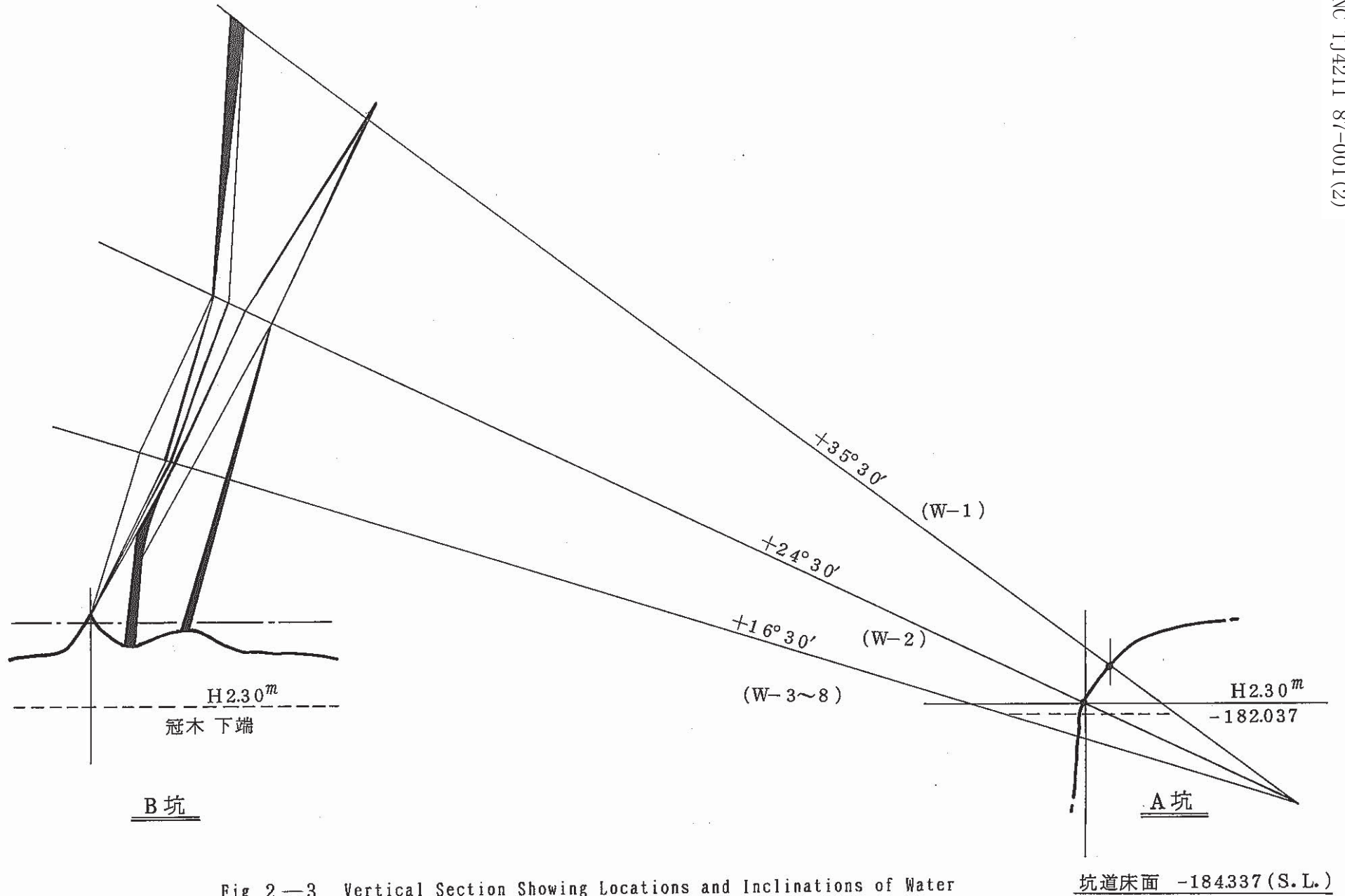


Fig. 2—3 Vertical Section Showing Locations and Inclinations of Water Injection Holes W-1~8.  
注水孔 W-1~8 の配置断面図

坑道床面 -184.337 (S.L.)

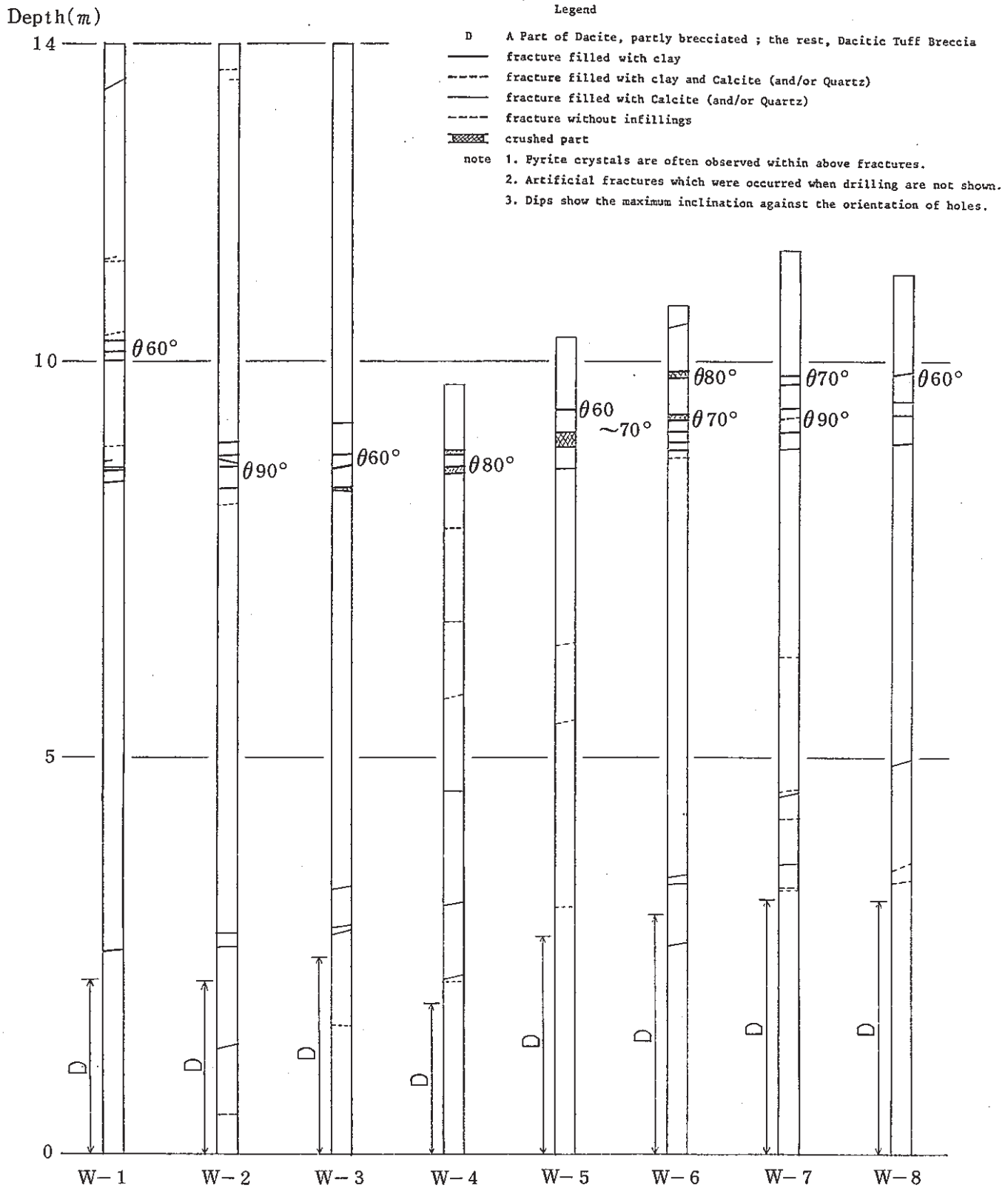


Fig. 2-4 Result of Core Observation of Water Injection Holes W-1~8.  
注水孔 W-1~8 のコア観察結果

礫岩であった。

R Q D 値を Fig. 2—5 に示す。本孔は一部を除いて掘削により 5～20 cm のコアに細分されたが、従来当試験場の試験孔の掘削コアの R Q D 値と比較して、劣る値である。これは上向きの傾斜掘が鉛直下向きの掘削に比して、採取コアを傷めるためと判断される。また、対象割れ目の位置する 8～9 m 間の R Q D 値は 29% と低い値であった。

(2) W—1 孔透水試験

上記調査後、透水試験を実施した。試験方法は対象割れ目手前にシングルパッカを設置し、プランジャーポンプを用いて加圧注水して B 空洞天盤に流出する概略の水量を把握する方法を採り、それにより W—1 孔と B 空洞天盤との間の透水性を評価した。試験条件および試験結果を以下に示す。

試験方法：シングルパッカ法

注入区間：深度 9.1～14 m（1回目），7.6～14 m（2回目）

パッカ圧：40 kg/cm<sup>2</sup>（設定値，2回とも）

注水圧力：1.2 kg/cm<sup>2</sup>（注入開始後 0～1 h）

3.5 "（1～20 h）

6.0 "（20～68 h）

10.0 "（68～92 h）

15.5 "（92～116 h）

18.5 "（116～164 h）

（1回目注水中止，パッカ設置位置変更）

10.0 kg/cm<sup>2</sup>（注入開始後 0～4 h）

15.0 "（4～23 h）

20.0 "（23～26 h）

22.0 "（26～144 h）

（2回目注水中止）

結果：（1回目の注入）

注入量は 1 m<sup>3</sup> タンク目盛りで測定した。同目盛りの 1 mm は約 785 m<sup>3</sup> に相当する。注入圧 18.5 kg/cm<sup>2</sup> で終了前 1 日間で約 785 m<sup>3</sup>（約 1 mm の低下）の注入量があったものの、天盤に湧水は認められず、割れ目が他の岩盤部分に比して、

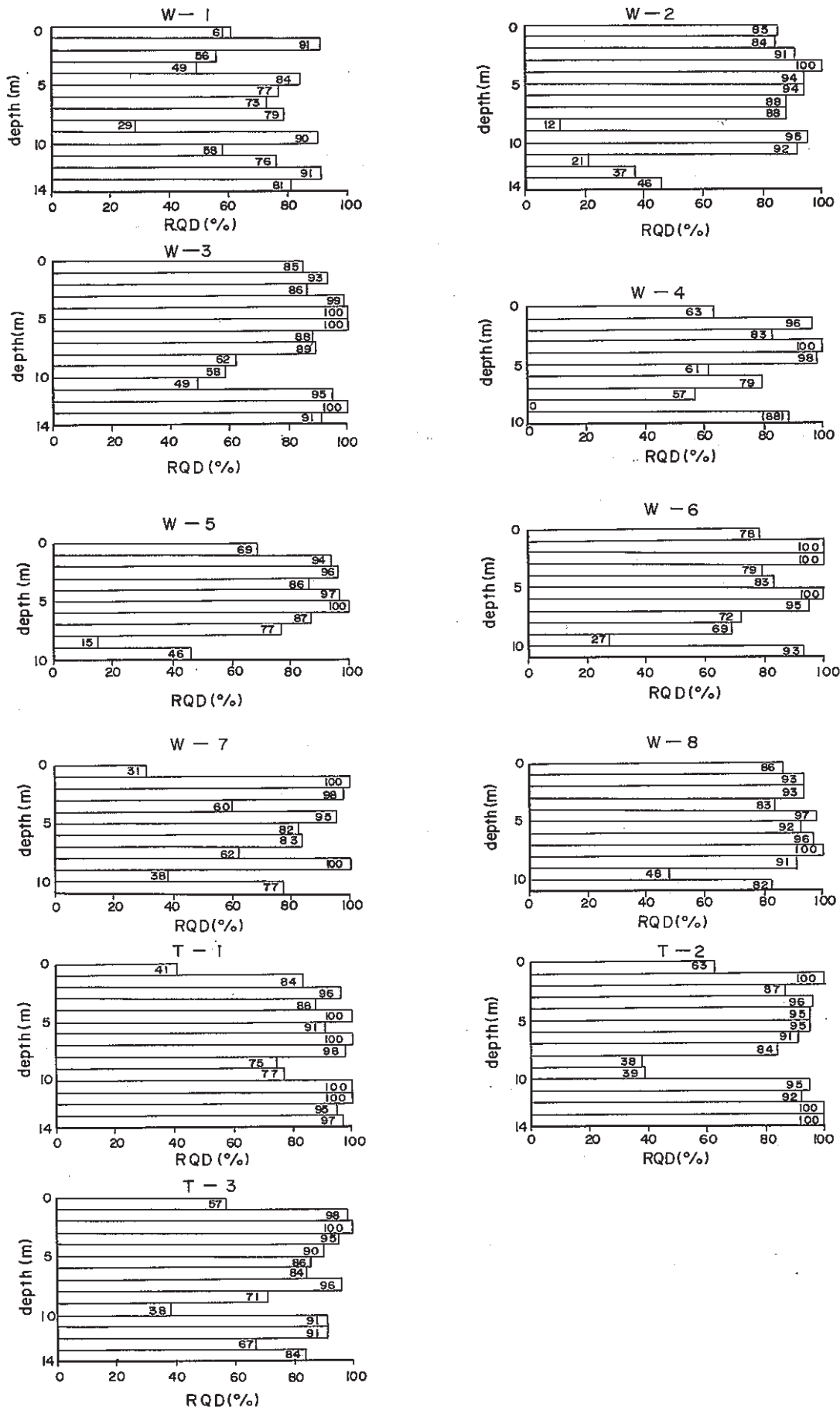


Fig. 2-5 RQD (Rock Quality Designation) of Holes W-1~8 and T-1~3.  
注水孔, トレーサ注入孔コアのRQD



透水性が高いとは判断されなかった。

注入量が定常状態である時，岩盤へ浸透していく水が放射状であり，この流速が動水勾配に比例するものと仮定できるならば，この岩盤の透水係数は次式から求めることができる。

$$K = \frac{Q}{2\pi L P} \ln \frac{L}{r} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ただし， K：透水係数 (cm/s)  
 Q：注入量 (cc/s)  
 L：試験区間長 (cm)  
 r：試験孔の半径 (cm)  
 P：注入圧 (g/cm<sup>2</sup> ≒ cm)

試験区間長は4.4 m，試験孔の半径は3.8 cmであるので，上式よりこの注入区間の透水係数として以下の概略の値が得られる。

$$K = 8 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$$

この値はこれまでの当試験場で得られている岩盤の平均透水係数と同じ桁であり，本試験において試験水が対象割れ目を選択的に流れてはいないことがわかった。本結果から深度10.08～10.26 mの断層粘土を伴う割れ目は透水に寄与しない割れ目であることがわかった。したがって，次に8.64～8.67 mに認められた不連続な割れ目を加えた透水性の評価を行うこととした。

(2回目の注入)

注入圧22.0 kg/cm<sup>2</sup>，注入時間118 hでの水槽水位の低下は6 mm (約4.7 ℓ)であった。また，1回目と同様，B空洞天盤に湧水は認められなかった。注入区間は6.4 mであるので(2.1)式により，

$$K = 6 \times 10^{-10} \text{ cm/s}$$

が得られる。この値は1回目の注水試験で求めた値とほぼ同じであり，6日間の注水によっても当試験場の岩盤の平均的透水性しか得られず，8.64～8.67 mに認められた不連続な割れ目も透水に寄与していないことがわかった。

#### 2.4.2 W—2注水孔の掘削および透水試験

##### (1) W—2孔の掘削およびコア調査

W—1孔を対象とした注水試験において適量の湧水を認めなかったために、W—1孔とB空洞天盤の間の試験対象割れ目の長さが1/2となる傾斜角を求め、かつその他の条件(方向、深度、孔径)はW—1孔と同様にして、W—1孔に換わるW—2孔を掘削した。A空洞、B空洞およびW—1孔とW—2孔の掘削位置の関係をFig. 2—3に示す。W—2孔の実傾斜は $24^{\circ}30'$ 、方向はW—1孔と同じA空洞の方向から $54^{\circ}$ 振れた方向である。コア観察結果をFig. 2—4に示す。深度8 mまでは方解石細脈が数条認められたのみである。深度8.1~9.0 m間は粘土化を受けており、数条の割れ目(断層?)が認められた。それらは、

8.18~8.21 m間の幅0.5~1 cm傾斜 $55^{\circ}$ の緑泥石・黄鉄鉱細脈

8.39~8.42 m間の幅2 mm傾斜 $60^{\circ}$ の灰色粘土を伴う割れ目

8.66~8.69 m間の幅2 cm傾斜 $90^{\circ}$ の灰白色粘土を伴う割れ目

8.97~9.00 m間の幅2 cm程傾斜 $70^{\circ}$ の黒灰色粘土を伴う割れ目

である。この区間は小礫化したコアが多く認められた。9 m以深はほとんど掘削に伴う割れ目であった。岩質は2.2 mまでは自破碎熔岩状を呈する石英安山岩であったが、それ以深は同質の凝灰角礫岩であった。

RQD値をFig. 2—5に示す。W—1孔と比べ、良いRQD値を示したが、対象割れ目の分布する8~9 m間は1.2%と低い値であった。

## (2) W—2孔透水試験

上記調査後、W—2孔を対象とした透水試験を実施した。試験方法はW—1孔の場合と同じである。試験条件および試験結果を以下に示す。

試験方法：シングルパッカ法

注入区間：深度7.4~14 m

パッカ圧：40~50 kg/cm<sup>2</sup>

注水圧力：5.0 kg/cm<sup>2</sup> (注入開始後0~2 h)

10.0 " (2~22 h)

15.0 " (22~25 h)

20.0 " (25~240 h)

23.5 " (240~286 h)

23.8 " (286~310 h)

(310 h経過時点で注水中止)

結果：W—1孔注水試験と同様に段階的に昇圧し、都度B空洞天盤を観察したが湧水・壁面の浸出等は認められなかった。水槽水位の低下量は20.0 kg/cm<sup>2</sup>での加圧時で9 mm, 23.5 kg/cm<sup>2</sup>での加圧時で2.5 mm, 23.8 mmの加圧時で1 mmであった。

(2.1)式でそれぞれの条件での透水係数を求めると、

$$K = 6 \times 10^{-10} \text{ cm/s (20.0 kg/cm}^2\text{加圧時)}$$

$$6 \times 10^{-10} \text{ cm/s (23.5 kg/cm}^2\text{加圧時)}$$

$$5 \times 10^{-10} \text{ cm/s (23.8 kg/cm}^2\text{加圧時)}$$

となる。20.0 kg/cm<sup>2</sup>での加圧時間が長いので、その時の水位の低下量が一番信頼性があると判断される。この値 $6 \times 10^{-10}$  cm/sはW—1孔での2回目の透水試験で得た透水係数と同じであり、W—2孔においても会合した部分の対象割れ目は水みちではないことがわかった。

#### 2.4.3 W—3注水孔の掘削および透水試験

##### (1) W—3孔の掘削およびコア調査

W—2孔を対象とした注水試験においても湧水を認めなかったことと、割れ目が水みちとは判断されなかったために、さらにW—2孔とB空洞天盤との間の試験対象割れ目の長さが1/2となる傾斜角を求め、かつその他の条件(方向, 深度, 孔径)はW—1・2孔と同様にして、W—2孔に換わるW—3孔を掘削した。A空洞, B空洞およびW—1・2孔とW—3孔の関係をFig. 2—3に示す。W—3孔の実傾斜は $16^{\circ}30'$ , 方向はW—1・2と同じA空洞の方向から $54^{\circ}$ 振れた方向であった。

コア観察結果をFig. 2—4に示す。深度8 mまではW—1・2孔と同様に方解石細脈が数条認められたのみである。深度8.35 mから9.22 mまで試験対象割れ目と会合した。それらは、

8.35～8.42 m間の幅2～7 cmの灰色粘土および断層角礫

8.65～8.70 m間の断層と思われる傾斜 $40^{\circ}$ の密着割れ目

8.81～8.95 m間の幅1.5 cm程の角礫を含む黒灰色粘土を伴う傾斜 $60^{\circ}$ の断層

8.95～9.09 m間の破碎され、かつ粘土化された岩石部分

9.19～9.22 m間には鏡肌を伴う傾斜 $70^{\circ}$ の断層

である。9.09 m以深はほとんど掘削に伴う割れ目であった。岩質は2.5 mまで自破砕熔岩状を呈する石英安山岩であったが、それ以深は同質の凝灰角礫岩であった。

本孔のRQD値をFig. 2—5に示す。W—1・2孔と比べ、対象割れ目区間を含む8～11 m間を除いた部分は良いRQD値を示した。対象割れ目の上盤の深度10～11 m間が低いRQD値を示すのが注目される。

## (2) W—3孔透水試験

上記調査後、W—3孔を対象とした透水試験を実施した。試験方法はW—1・2孔の場合と同様である。試験条件および試験結果を以下に示す。

試験方法：シングルパッカ法

注入区間：深度7.4～14 m

パッカ圧：40～50 kg/cm<sup>2</sup>

注水圧力：5.0 kg/cm<sup>2</sup>（注入開始後0～2 h）

10.0 “（2～22 h）

15.0 “（22～25 h）

20.0 “（25～263 h）

1.5 “（263～358 h）

（358 h経過時点で注水中止）

結果：全注入期間を通じてB空洞天盤およびB・C空洞側壁に水の浸出は認められなかった。しかしながら、注入水量を示す水槽水位の低下量はW—1・2孔の試験時と比較して約3倍の量であった。すなわち、20.0 kg/cm<sup>2</sup>での加圧期間（238 h）で33.5 mmの水槽水位の低下が認められた。これは1日当たり約3.4 mmの低下に相当し、総量で26.3 ℓ注水されたことになる。この低下率は20.0 kg/cm<sup>2</sup>の加圧期間ではほとんど変化が認められなかった。（2.1）式で透水係数を求めると、

$$K = 1.9 \times 10^{-9} \text{ cm/s (20.0 kg/cm}^2\text{加圧時)}$$

が得られた。これはW—1・2孔での透水試験で求めた透水係数より1桁大きい値である。B空洞天盤に水の浸出が認められないものの、W—3孔周辺の透水性はW—1・2孔周辺のそれとは異なることが確認された。

しかしながら、この透水性ではトレーサ試験は困難であるので、W—3孔と平

行な（傾斜が同じ）注水孔をさらに5孔掘削することとした。傾斜をさらに緩くした孔を掘削しなかったのは、その場合には試験対象区間が短くなってしまうことと、それによりB空洞との間の岩盤を傷める可能性があることを考慮したためである。この検討は20.0 kg/cm<sup>2</sup>での加圧試験時に行い、20.0 kg/cm<sup>2</sup>での加圧後168時間経過時にこれら5孔（W-4～8孔）の掘削を開始した。したがって、それ以降の上記注水試験は5孔の掘削と平行して実施したものである。

W-3孔の隣の孔（W-4孔、約30cmの距離）を掘削後、同孔内に浸出が認められ、また断層粘土の膨潤も認められたことから、その範囲は注水の影響下にあることがわかった。また、その時点で注水圧力を1.5 kg/cm<sup>2</sup>に低下させた。その圧力では上記注水期間においては水槽水位の低下は認められなかった。

#### 2.4.4 W-4～8注水孔の掘削および透水試験

##### (1) W-4～8孔の掘削およびコア調査

Fig. 2-3に示すように、W-1～3孔の掘削で試験対象割れ目の位置が8～9 mの深度に位置することがわかった。したがって、W-4～8孔の掘削はこの付近の深度で試験対象割れ目と会合してから、1 m程さらに掘削した時点で終了することとした。これらの孔の掘削には約1週間を要した。なお、上記1.5 kg/cm<sup>2</sup>の加圧試験終了は本掘削の終了に合わせた。

A・B空洞平面に傾斜を考慮してW-3～8孔を投影した図をFig. 2-6に示す。W-3孔のB空洞天盤に対する投影位置を考慮して、W-4孔はW-3孔の南側に、W-5～8孔は北側に配置した。各孔とも孔径(76 mm)、傾斜(16°30′)、方向(54°、A空洞の方向から西側への振れ)はW-3孔と同じである。ただし、W-8孔の方向は鋼製支保の存在のため予定位置をずらし、54°40′とした。また、各孔ともそれぞれ、30 cmずつ離すことを基本としたが、A空洞の支保工であるH型鋼の配置位置の関係上、一部はW-8孔以外に平行移動した孔もある。

各孔の最終掘進長、試験対象割れ目会合部での位置および間隔は以下の通りである。

W-4孔： 9.7 mでW-3孔の南側45 cmの位置

W-5孔：10.3 mで " の北側33 cm "

W-6孔：10.7 mでW-5孔の " 31 cm "

W-7孔：11.4 mでW-6孔の " 30 cm "

W-8孔：11.1 mでW-7孔の " 30 cm "

コア調査結果をFig. 2-4に示す。各孔とも2～5 m間に方解石を伴う割れ目あるいは密着割れ目を数条伴うがそれらは小規模である。試験対象割れ目は8～10 m間に認められた。

W-4孔では、

7.89～7.93 m間に幅2 mmの方解石細脈を伴い黒灰色粘土を主充填物とする幅3 cm傾斜80°の破碎帯

7.96～7.98 m間に粘土化帯

8.19～8.24 m間に傾斜40°の割れ目(断層?)

8.57～8.69 m間に傾斜80°の黄鉄鉱の微細脈を伴う傾斜70°の黒灰色断層粘土

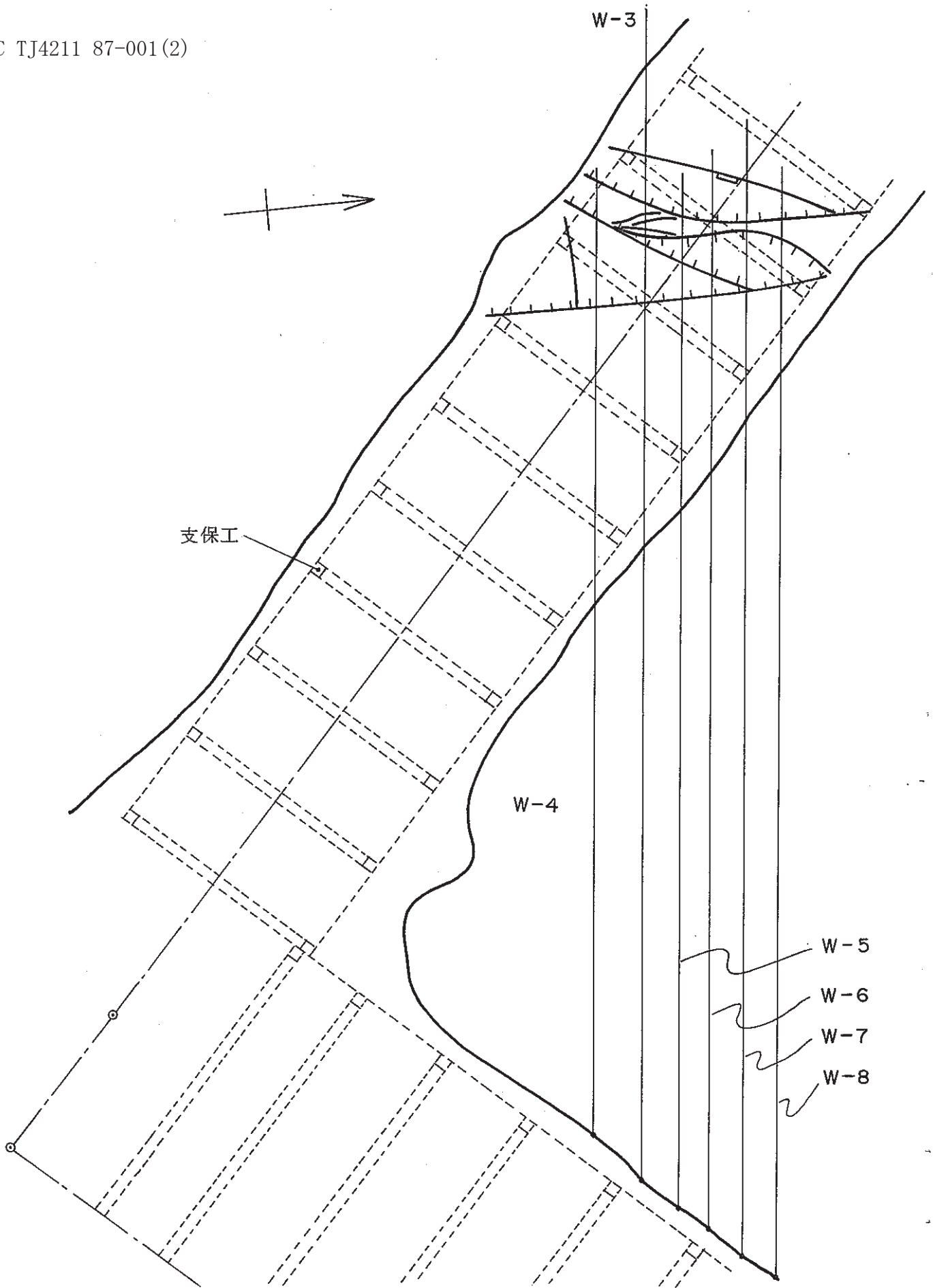


Fig. 2 — 6 Location of Water Injection Holes W-3~8.  
注水孔 W-3~8 の位置

8.50～8.79 m間は粘土化帯を伴う破砕部

8.83～8.87 m間に黄鉄鉱染を伴う傾斜80°の灰～黒灰色断層粘土

8.87～8.89 m間に粘土化した破砕帯

が認められた。

W-5孔では、

7.91～9.60 m間は弱粘土化および黄鉄鉱化を受けた部分

8.55～9.30 m間は破砕部

8.70 mに灰青色の断層粘土(?)

8.92～9.11 m間に角礫を含む灰～黒灰色の断層粘土

9.03 mに幅1 cm以下の黄鉄鉱の微細脈

9.35～9.49 m間に角礫を含む幅2～3 cm傾斜60°～70°の断層粘土

が認められた。

W-6孔では、

7.98～8.67 m間は弱粘土化を受けた部分

8.67～10.73 m(掘進終了深度)間は弱粘土化および黄鉄鉱染を受けた部分

8.78～8.79 m間に緑泥石を伴う、長さ0.5～3 mmの不連続な開口部の認められる

傾斜80°の割れ目

8.88～8.89 m間に幅0.5～1 cm傾斜85°の黒灰色断層粘土

8.96～8.99 m間に幅0.5 mm傾斜70°の灰色断層粘土

9.10～9.13 m間に断層粘土および角礫

9.13～9.25 m間は粘土化した破砕帯

9.25～9.34 m間に幅3～5 mm傾斜70°の黄鉄鉱微細脈を伴う断層粘土および角礫

9.34～9.44 m間は粘土化した破砕帯

9.44～9.59 m間は破砕部

9.59～9.68 m間に傾斜80°の黒灰色粘土を伴う断層

が認められた。

W-7孔では、

8.89～8.91 m間に幅1～2 mm傾斜70°の方解石細脈

8.97～10.60 m間は粘土化作用を受けた部分



9.10～9.12 m間に黄鉄鉱染を伴う幅0.5 cm傾斜70°の黒灰色断層粘土  
9.12～9.28 m間は黄鉄鉱染および粘土化帯  
9.28～9.31 m間に0.5 cmの粘土を伴う幅2 mm傾斜60°の方解石細脈  
9.35～9.84 m間は粘土化した破碎帯  
9.40～9.42 m間に黄鉄鉱染を伴う幅2 cm傾斜90°の黒灰色断層粘土  
9.63 mに幅不明の粘土  
9.70～9.73 m間に傾斜50°幅不明の断層と思われる粘土を充填物とする割れ目  
9.83～9.84 m間に傾斜70°の黒灰色断層粘土  
10.60～11.42 m間は弱粘土化作用を受けた部分  
が認められた。

W—8では、

8.04～8.70 m間は弱粘土化および黄鉄鉱化作用を受けた部分  
8.70～9.99 m間は粘土化および黄鉄鉱化作用を受けた部分  
8.95～8.98 m間に傾斜70°の断層と思われる灰青色粘土  
9.31～9.43 m間は破碎部  
9.33 mに幅1 cmの黒灰色断層粘土  
9.50 mに断層粘土らしき部分  
9.70～10.02 m間は粘土および角礫を含む断層破碎帯  
9.83～9.87 m間に傾斜60°の断層と思われる部分  
9.99～11.10 m（掘進終了深度）間は弱粘土化および黄鉄鉱染を受けた部分  
が認められた。これらをまとめると試験対象割れ目は、

「上下盤に幅1～2 mの粘土化および黄鉄鉱化作用を受けたゾーンを有する、傾斜70°～80°の数条の黒灰色粘土よりなる断層で、中心の最大の断層（F—1割れ目と呼称する）を充填する粘土の幅は1～20 cmに達する。その上下盤30～70 cmは粘土化帯および破碎帯となっている。また、上下盤には一部粘土を挟み、一部密着しているF—1割れ目よりも規模の小さい割れ目（上盤側をF—2割れ目、下盤側をF—3割れ目と呼称する）を伴っている。」

と特徴づけることができる。

Fig. 2—7に各孔で認めた主要割れ目部分を繋げてB空洞に投影した図を示す。Fig. 2

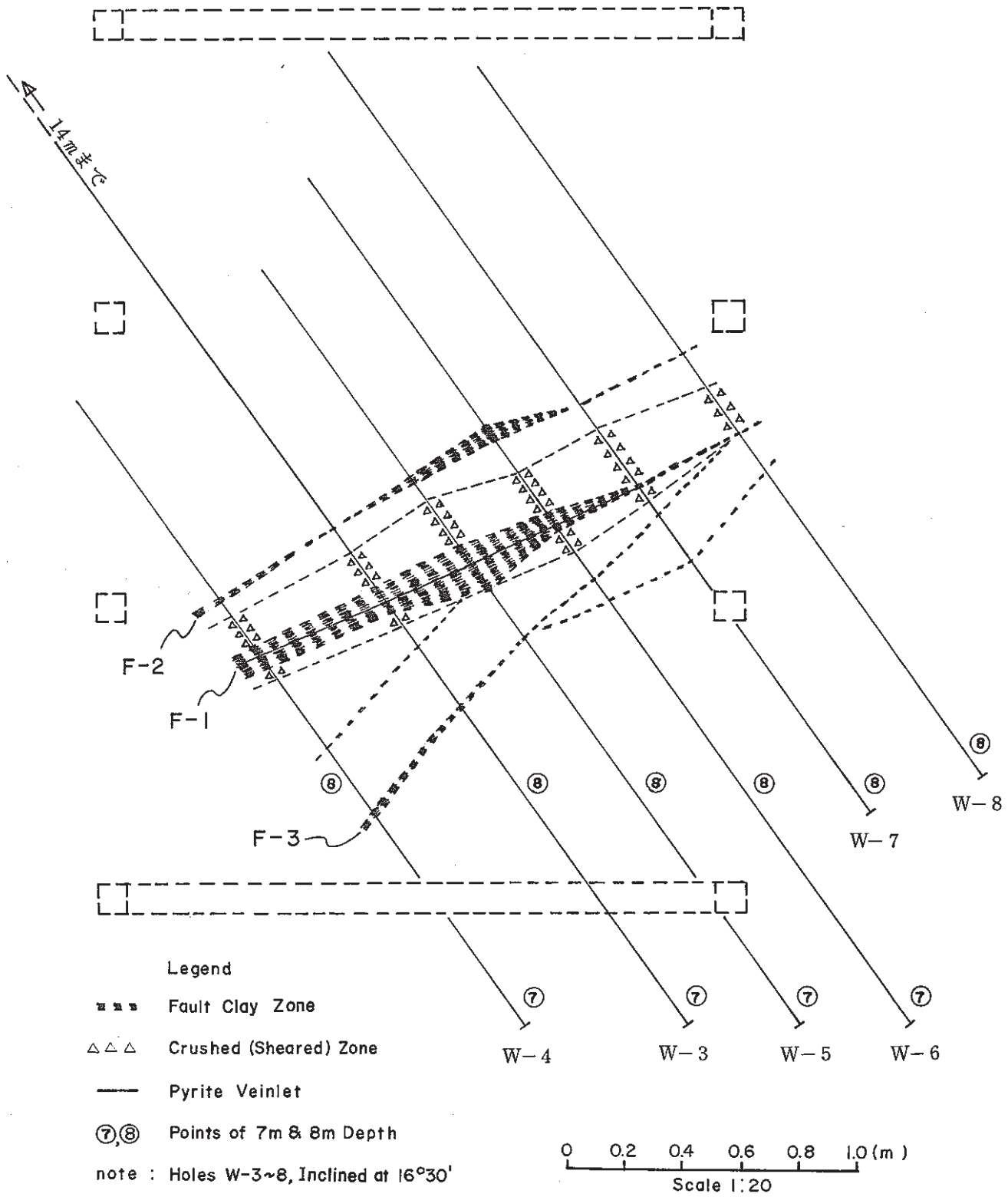


Fig. 2—7 Estimation of Continuity of the Tested Fractures due to Core Observation of Holes W-3~8.  
 コア観察による試験対象割れ目の分布とB空洞への投影

—6に示す天盤での割れ目の位置と比べ、1.6 m程上部では割れ目は70～80 cm程東側に位置している。高々2 m程の間においても割れ目はその分布・性状を変化させていることが認められる。上下方向においても同様の分布・性状の変化があると判断される。

岩質はW—4～8孔それぞれ、1.9 m、2.7 m、3.0 m、3.2 m、3.2 mまでは自破碎熔岩状を呈する石英安山岩であるが、それら以深は同質の凝灰角礫岩であった。

これらの孔のRQD値をFig. 2—5にまとめて示した。対象割れ目の位置する区間のRQD値は0、15、27、38、48%と前後の値と比べ極めて低い値であるのがわかる。これらは試験対象割れ目付近が強い粘土化、破碎を受けていることによる。

## (2) W—3～8孔透水試験

上記調査後、W—3～8孔全孔に注水してB空洞天盤への湧水量を測定する透水試験を実施した。各孔とも下記に示す箇所が圧入区間となるように試験対象割れ目の手前にシングルパッカを装着した。

孔名	圧入区間 (長さ)	対象割れ目分布深度
W—3孔	8.20～14.0 m (5.80 m)	8.35～9.22 m
W—4孔	7.70～9.70 m (2.00 m)	7.89～8.89 m
W—5孔	8.40～10.30 m (1.90 m)	8.55～9.49 m
W—6孔	8.60～10.70 m (2.10 m)	8.78～9.68 m
W—7孔	8.60～11.40 m (2.80 m)	8.89～9.84 m
W—8孔	9.10～11.10 m (2.00 m)	8.95～9.87 m

各孔への注水、各孔のパッカへの注水に際しては、注入圧が一定となるよう既存試験場で用いた円状のそれぞれのヘッダを1/3に分解して設置した。透水試験の試験条件および試験結果を以下に示す。

試験方法：シングルパッカ法

注入区間：上記に示した。

パッカ圧：30～50 kg/cm<sup>2</sup>

注水圧力：2.0 kg/cm<sup>2</sup> (注入開始後0～1 h)

5.0 " (1～20 h)

10.0 " (20～23 h)

15.0 " (23～68 h)

20.0 " (68~92 h)

25.0 " (92~188 h)

(188 h経過時点で注水中止)

結果：2.0 kg/cm<sup>2</sup>の加圧注入は孔内に水を満たすために行ったものである。19 hで5.0 kg/cm<sup>2</sup>の加圧注入により、水槽水位が3 mm低下した。15.0 kg/cm<sup>2</sup>の加圧注入時に圧入用プランジャーポンプから約40 ml/hの漏水が認められたが、試験孔、B・C空洞の天盤・側壁からは浸出は認められなかった。45 hで11.5 mmの水槽水位の低下を示した。漏水量を考慮すると約7.2 l/45 hの注入量である。20.0 kg/cm<sup>2</sup>では6 mmの水槽水位の低下があり、830 ml/24 hのポンプからの漏水量を引くと約3.9 l/24 hの注入量であった。B・C空洞の天盤・側壁からは浸出は認められなかった。各孔の注入区間の長さが異なり、また、各孔間距離が短いことによる干渉があるため、透水性の評価は困難であるが、仮に注水区間を総合した16.60 mの長さを有する単一孔に注水したのと同じであるとして透水係数を(2.1)式により求めるとそれぞれ、

$$K = 4.0 \times 10^{-9} \text{ cm/s (5.0 kg/cm}^2 \text{ 加圧時)}$$

$$1.7 \times 10^{-9} \text{ cm/s (15.0 kg/cm}^2 \text{ 加圧時)}$$

$$1.3 \times 10^{-9} \text{ cm/s (20.0 kg/cm}^2 \text{ 加圧時)}$$

となる。

25.0 kg/cm<sup>2</sup>の加圧注水開始後24 h経過時に、明瞭な浸出は認められないものの、B空洞天盤の割れ目の断層粘土が吸水によりべとつた状態になっているのが認められた。プランジャーポンプからの漏水量は3.1 l/96 h(約32 ml/h)であったが、W-4孔からの漏水が認められた。これはパッカと耐圧ホースの接続部からの漏水と判断した。漏水量は322 ml/h(約30.9 l/96 h)と多量であった。水槽水位は58.5 mm/96 hの低下量であり、漏水量を減じると11.9 l/96 hの浸透量が得られる。上記と同じ方法により透水係数を概略求めると、

$$K = 3.1 \times 10^{-9} \text{ cm/s (25.0 kg/cm}^2 \text{ 加圧時)}$$

となる。

透水性が本岩盤の平均透水係数より1桁大きいことと、B空洞の天盤がべとつ

いたことにより、天盤への割れ目面あるいは充填粘土の部分を経由した透水が確認されたことから、W—3～8孔をトレーサ試験の注水孔とすることとし、トレーサ注入孔の掘削を開始した。

#### 2.4.5 T—1～3トレーサ注入孔の掘削およびコア観察

##### (1) T—1～3トレーサ注入孔の掘削

注水孔のレイアウトが変更になったことにより、T—1～3トレーサ注入孔の傾斜・方向を以下のごとく変更した。

深度：14 m（変更せず）

孔径：76 mm（ ” ）

傾斜：15° 50′（T—1孔）

15° 15′（T—2孔）

15° 45′（T—3孔）

方向：54°（A空洞の方向からの振れ、注水孔の方向と同じ）（T—1・2孔）

54° 30′（T—3孔）

方向・傾斜は基本的にW—3～8注水孔と同様としたが、孔口の高さ・孔径の大きさ・試錐機の大きさと形状・鋼棒の存在等を考慮して、割れ目会合部深度で注水孔との上下間隔とトレーサ注入孔相互の間隔が30 cmとなるようにそれらの値を変更した。Fig. 2—8に注水孔とともにトレーサ注入孔のA空洞壁面孔口付近での平断面を示す。

T—1～3孔の位置をW—3～6孔間の下部にしたのは、前項での透水試験で認められた天盤の含水部分がこれらの注水孔の下部にあたるためである。

##### (2) T—1～3トレーサ注入孔のコア調査

コア観察結果をFig. 2—9に示す。注水孔と同様深度8 mまでは方解石細脈が数条あるのみである。試験対象割れ目は深度8～10 m間に認められた。

T—1孔では、

7.78～9.00 m間は粘土化を受けた部分

8.24 mに幅0.5～1 cm傾斜80°の黒灰色断層粘土

8.76～9.02 m間に灰色～黒灰色断層粘土

8.88 mで0.5 cm傾斜60°の黄鉄鉱細脈

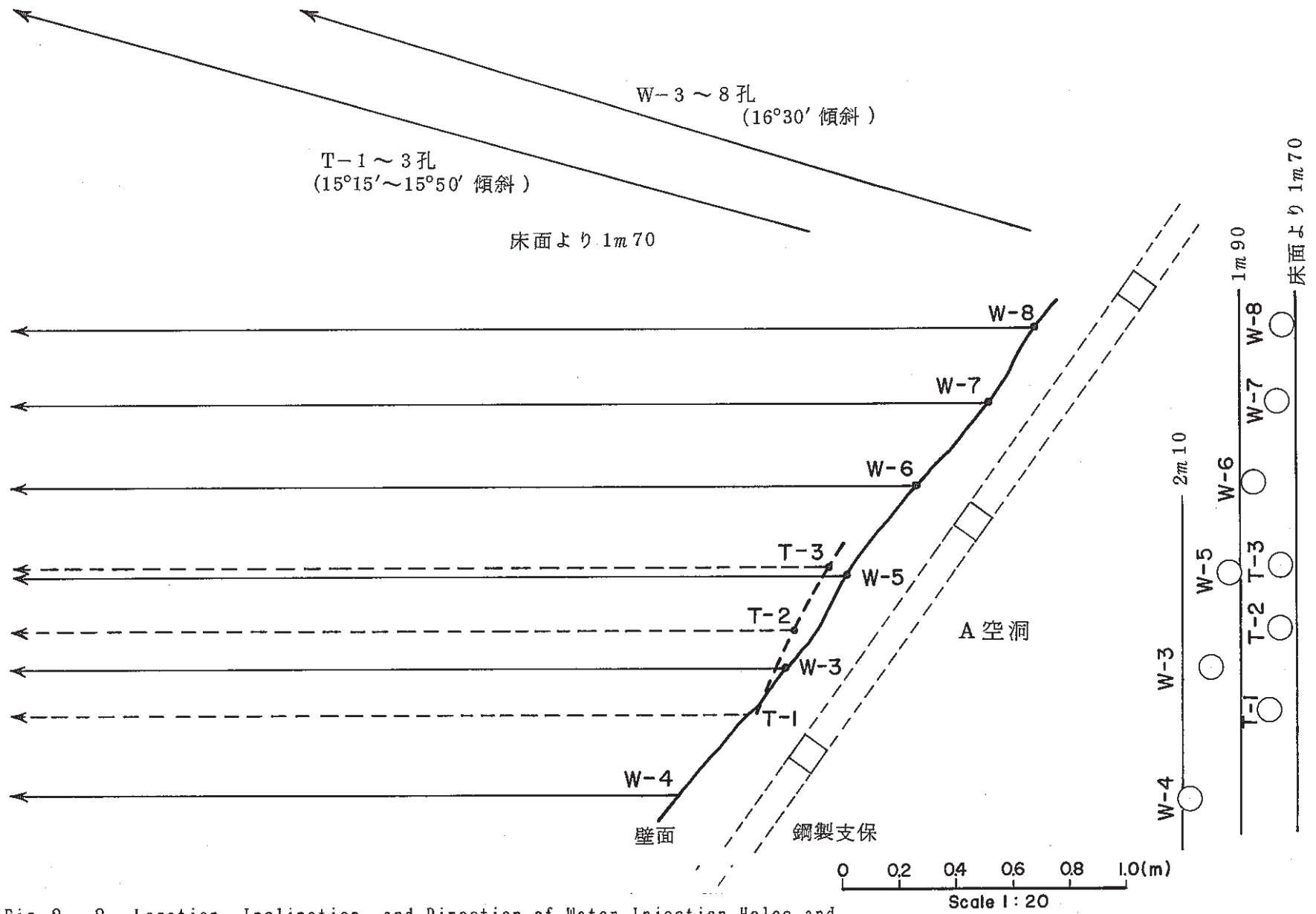
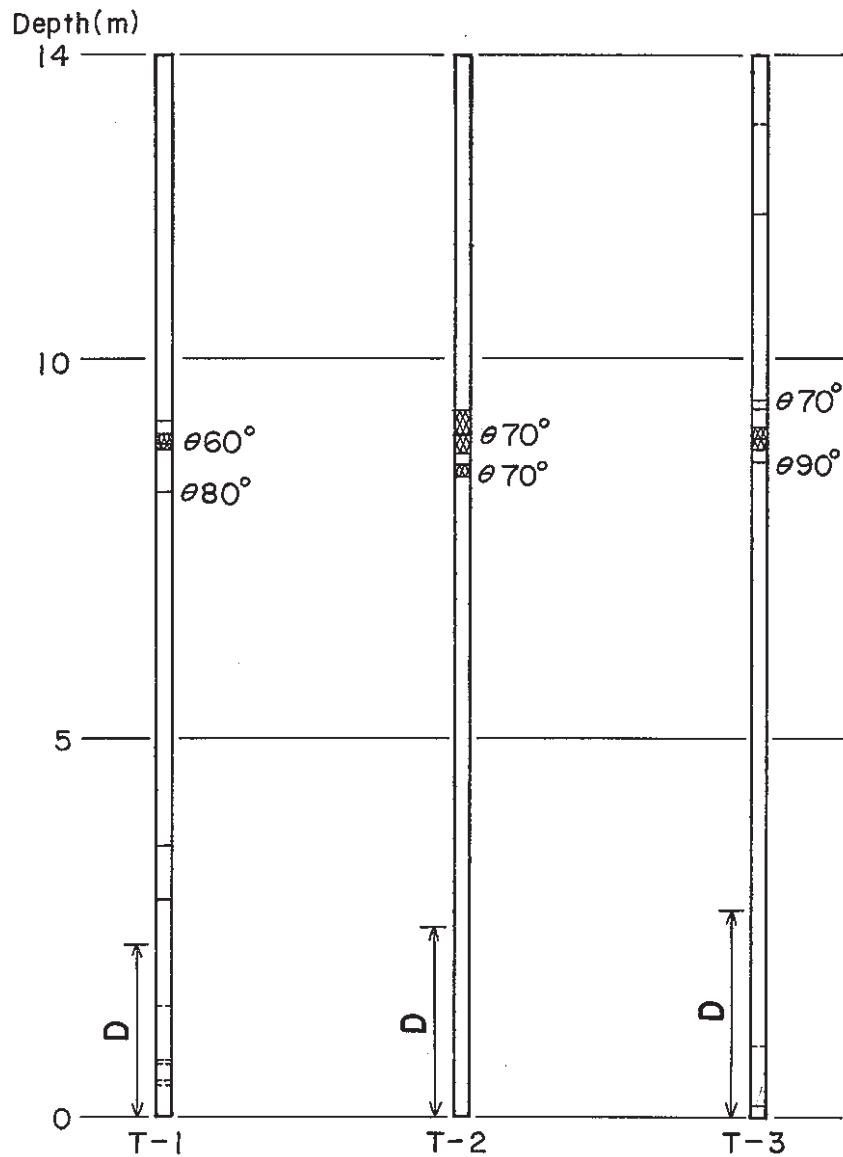


Fig. 2 — 8 Location, Inclination, and Direction of Water Injection Holes and Tracer Injection Holes.  
注水孔, トレーサ注入孔の位置, 方向, 傾斜



Legend

- D A Part of Dacite, partly brecciated ; the rest, Dacitic Tuff Breccia
- fracture filled with clay
- fracture filled with clay and Calcite (and/or Quartz)
- fracture filled with Calcite (and/or Quartz)
- fracture without infillings
- ▨ crushed part

- note
1. Pyrite crystals are often observed within above fractures.
  2. Artificial fractures which were occurred when drilling are not shown.
  3. Dips show the maximum inclination against the orientation of holes.

Fig. 2—9 Result of Core Observation of Tracer Injection Holes T-1~3.  
 トレーサ注入孔のコア観察結果

9.02～9.55 m間は黄鉄鉱化および弱粘土化を受けた部分

9.02～9.14 m間は破碎部

9.14～9.19 m間に幅2 cm?の黒灰色断層粘土

が認められた。

T—2孔では、

8.42～9.81 m間は粘土化を受けた部分

8.42～8.59 m間に傾斜70°の粘土および角礫よりなる破碎帯

8.68 mに幅1～2 mm傾斜80°の緑泥石細脈

8.73～9.12 m間に8.99 mで幅1 cm傾斜70°の黄鉄鉱細脈を伴う粘土および角礫  
よりなる破碎帯

9.12～9.47 m間は黄鉄鉱の鉱染を伴い、角礫および青灰色～灰色粘土よりなる破碎  
帯、9.31 mに掘削(?)による割れ目

が認められた。

T—3孔では、

8.00～10.30 m間は粘土化および黄鉄鉱化を受けた部分

8.60～8.64 m間に幅2～3 cm傾斜90°の断層粘土

8.74～8.79 m間は破碎部

8.79～9.10 m間に8.93 mで黄鉄鉱細脈を伴う破碎帯

9.10～9.31 m間は破碎部

9.31～9.39 m間に断層粘土および断層角礫

9.43～9.45 m間に幅0.5～1 cm傾斜70°の灰色断層粘土

が認められた。

これらをまとめると、試験対象割れ目とトレーサ注入孔とが交わる深度は、

T—1孔では8.24～9.19 m

T—2孔では8.42～9.31 m

T—3孔では8.60～9.45 m

であり、各孔において、

8.9 m付近で黄鉄鉱細脈を含む幅26～39 cmの断層粘土よりなる割れ目

8.2～8.6 m付近で幅0.5～3 cmの断層粘土よりなる割れ目



9.1～9.5 mでの幅0.5～2 cmの断層粘土

に大きく分けられることがわかる。これらT—1～3孔と交わった割れ目をFig. 2—10に示す。トレーサの注入はこれらの割れ目から選ばれることになる。

岩質はT—1～3孔それぞれ、2.3 m、2.5 m、2.7 mまで自破碎熔岩状を呈する石英安山岩、それら以深は同質の凝灰角礫岩であった。

RQD値をFig. 2—5に注水孔とともに示した。各孔とも対象割れ目が深度9 m前後に位置したが、T—1孔付近は割れ目の上下盤が良好なためそれほど低い値ではない。

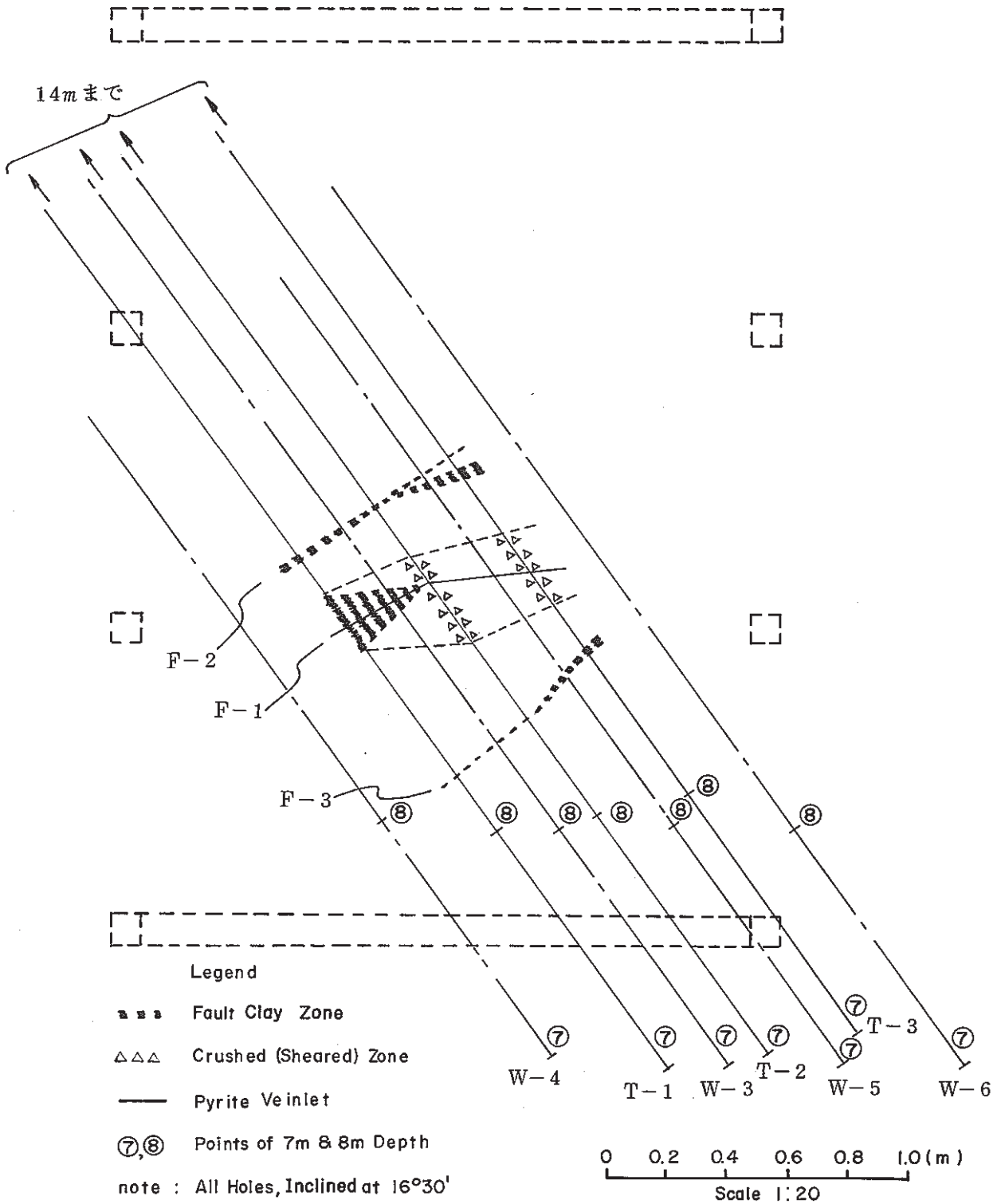


Fig. 2—10 Estimation of Continuity of the Tested Fractures due to Core Observation of Holes T-1~3.  
トレーサ注入孔に会合した試験対象割れ目

## 2.4.6 孔壁観察

トレーサ注入箇所を選定するため孔壁観察を実施した。

孔壁観察はW—3～8注水孔に圧入した時に、T—1～3トレーサ注入孔内に流出する水の位置と概略の量を、試験対象割れ目が認められる各トレーサ孔内の対象深度にカメラを挿入して孔壁面を観察することにより、把握することを目的とした。

調査孔の内径は76mmであるため、内周は約24cmとなる。カメラの視野は約3cm四方強のため、1視野で約45°強の範囲を観察することになる。本来であれば、カメラを3cmごとにずらし、その度にカメラを360°回転させて全孔壁を観察すべきであるが、カメラの移動を人力に頼らざるを得ないため、回転を連続させることは非常な労力を要することと、1回転ごとに位置決めをしなければならないことなどから生じる観察画面の位置の不正確さなどの理由により、一定方向の観察を主とし、必要部分について360°方向の観察を行うこととした。

加圧注水前に予定区間の孔壁面を観察した後、11、15、20 kg/cm<sup>2</sup>に段階的に注水圧を昇圧させて流出状況の観察を行った。Fig. 2—11にT—1・2孔の観察位置を、Fig. 2—12にT—3孔の観察位置と観察結果図の凡例を、Fig. 2—13～15にT—1～3孔の観察結果を示した。以下に各孔ごとにその結果を示す。

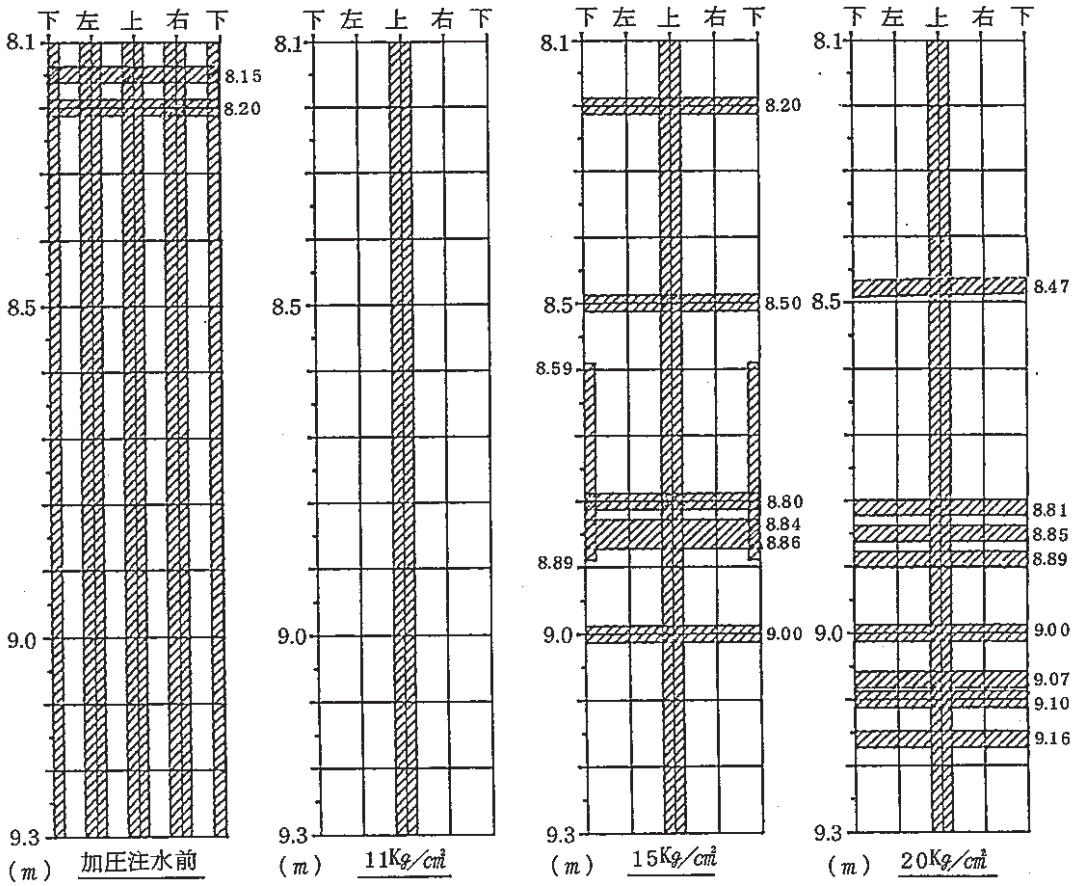
### (1) T—1孔観察結果

#### (a) 加圧注水前の孔壁面の観察

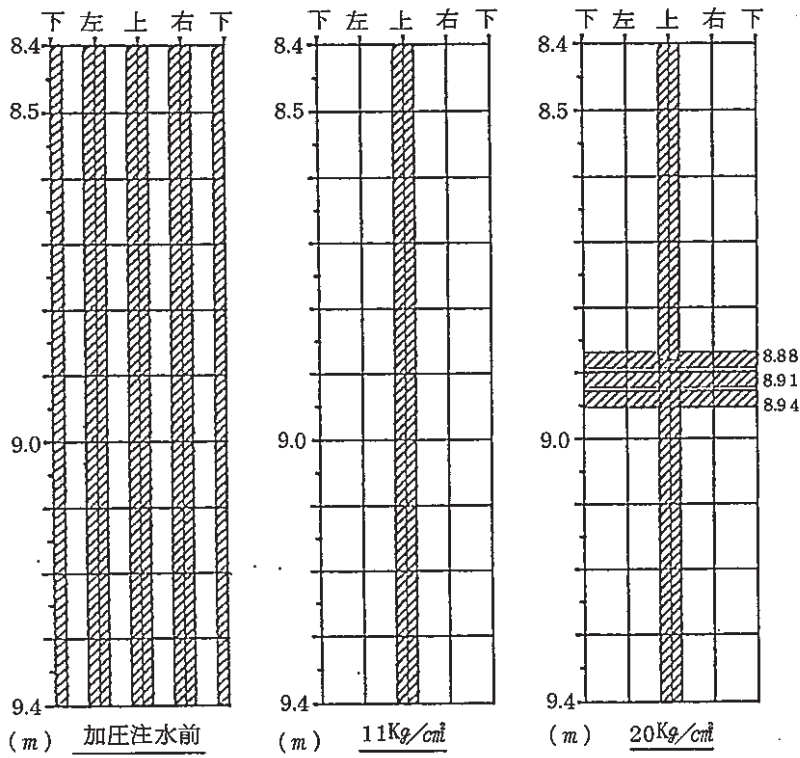
Fig. 2—11に示すように、上下・左右の4方向の孔壁を観察した。観察孔が上向き傾斜であるため、孔の奥から手前に向けてカメラを移動することにより観察を行った。観察区間はコア観察結果を参考にして9.30～8.10 mとした。明瞭な割れ目と判断した8.15、8.20 mではカメラを回転させて全方向の観察を行った。

8.2 m、8.7～8.9 m、9.1～9.2 mで大きく3条の割れ目を認めている。これはコア観察で確認した3条の割れ目(F—1～3)に相当する。ただし、F—1の割れ目は膨潤性を示す断層粘土を伴うため、カメラの挿入の度に膨潤した部分が削剥されることとなった。したがって、F—1割れ目の掘削面および境界部の観察は困難であった。ただし、F—1の割れ目に伴う断層粘土ゾーン(削剥した跡としてのもの)が8.70～9.20(9.10) m間に連続して広く認められた。

#### (b) 11 kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

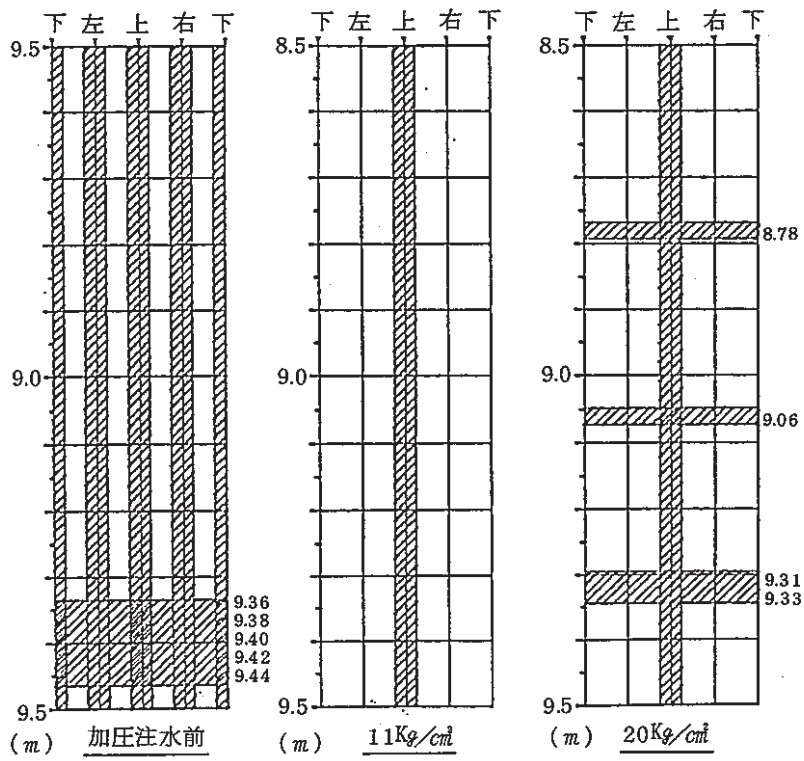


孔壁観察位置図 ( T - 1 )



孔壁観察位置図 ( T - 2 )

Fig. 2 —11 Location of Borehole Wall Observation of Hole T-1,2.  
T-1,2 孔での孔壁観察位置



孔壁観察位置図 (T-3)

凡	例
	割れ目・ひび割れ
	剝離部・破砕部
	面状に付着した粘土
	粘土化している箇所
	孔壁の濡れが観察された箇所
	水の湧出が観察された箇所
	礫
	確認された境界
	推定した境界

Fig. 2-12 Location of Borehole Wall Observation of Hole T-3 (Above) and Legend of Sketch of Walls of Hole. T-1~3 (Below).  
T-3 孔での孔壁観察位置 (上) および孔壁スケッチの凡例 (下)

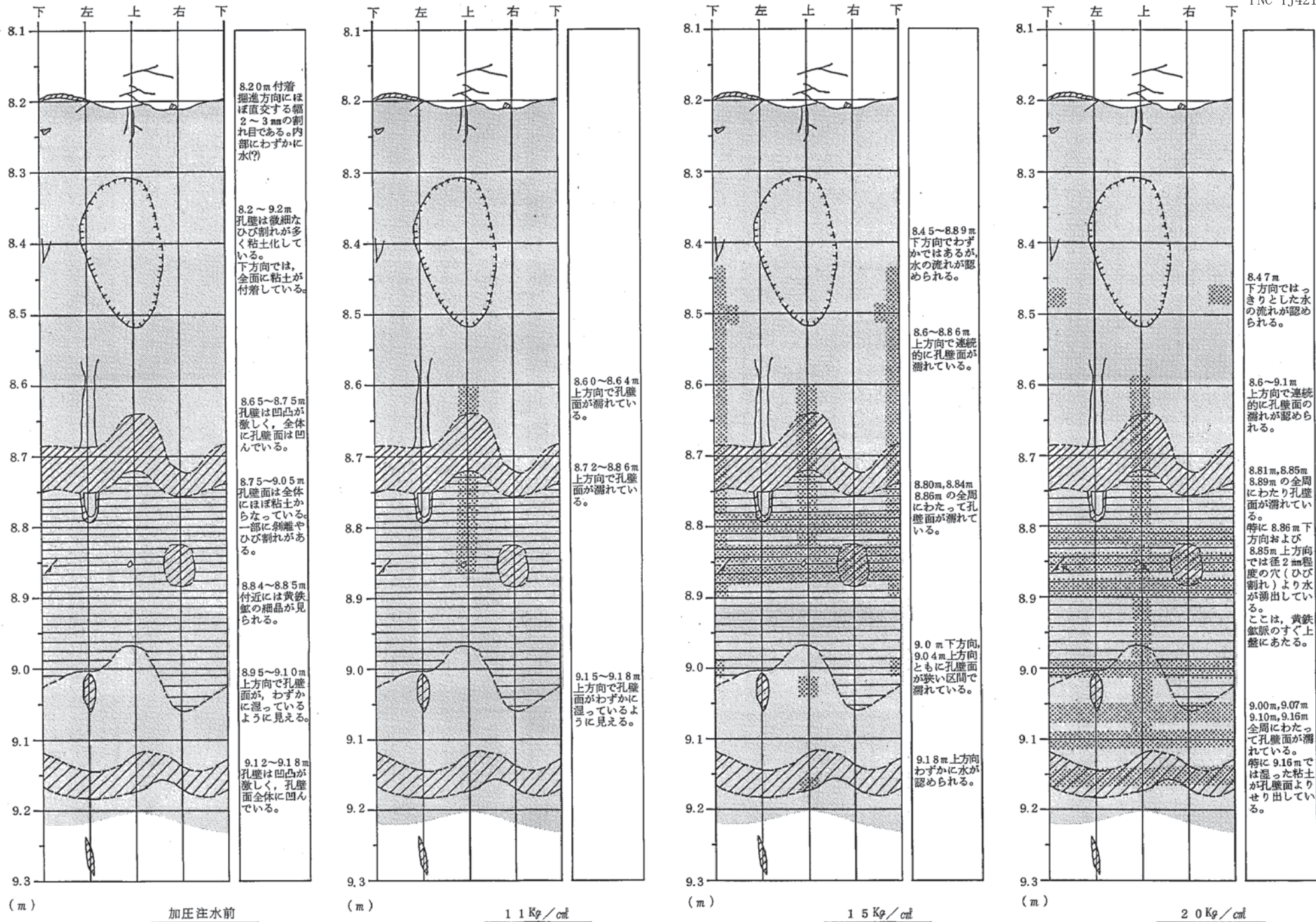


Fig. 2-13 Sketch of Wall of Hole T-1.  
孔内観測図 (T-1)

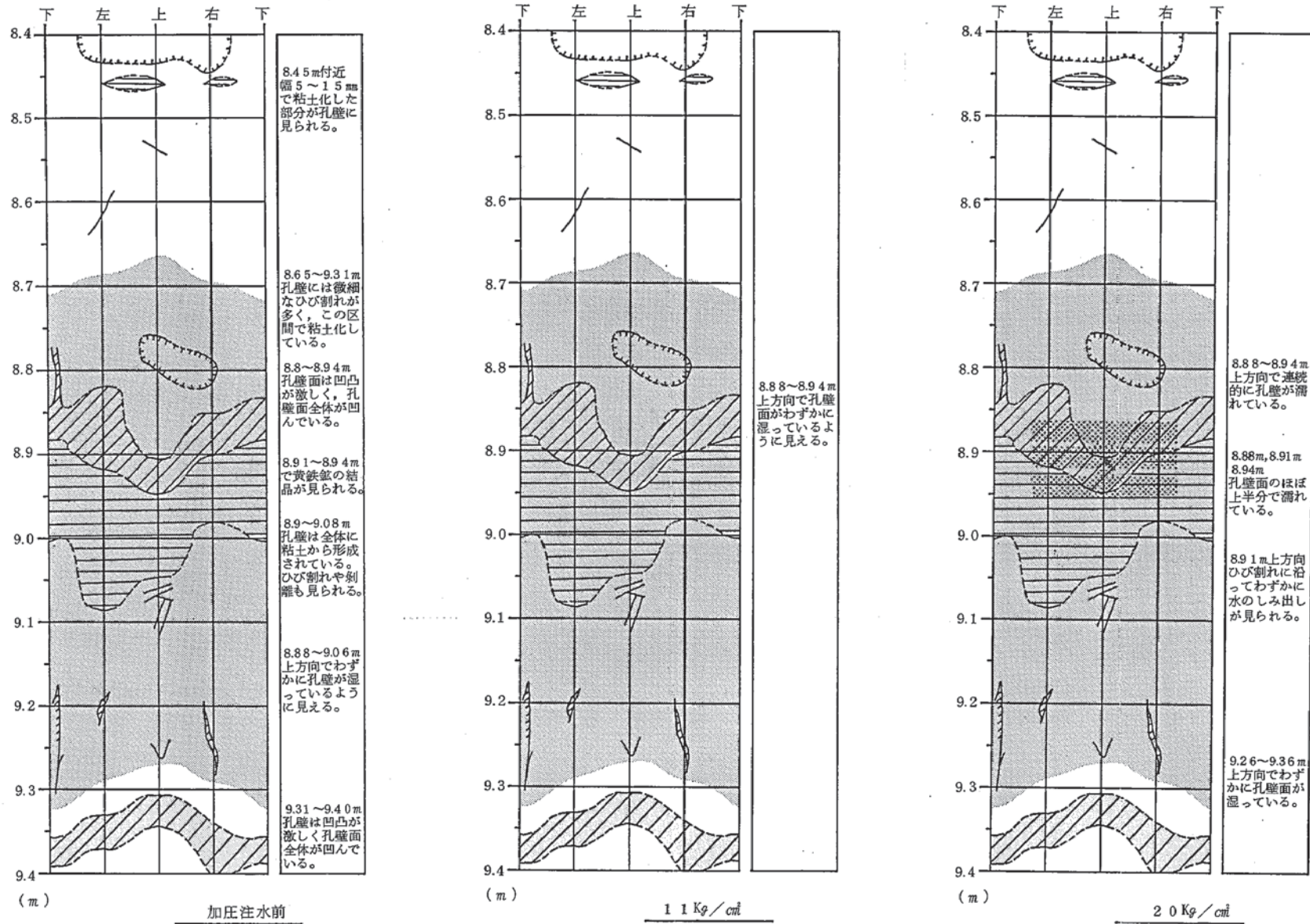


Fig. 2-14 Sketch of Wall of Hole T-2.  
孔内観測図 (T-2)

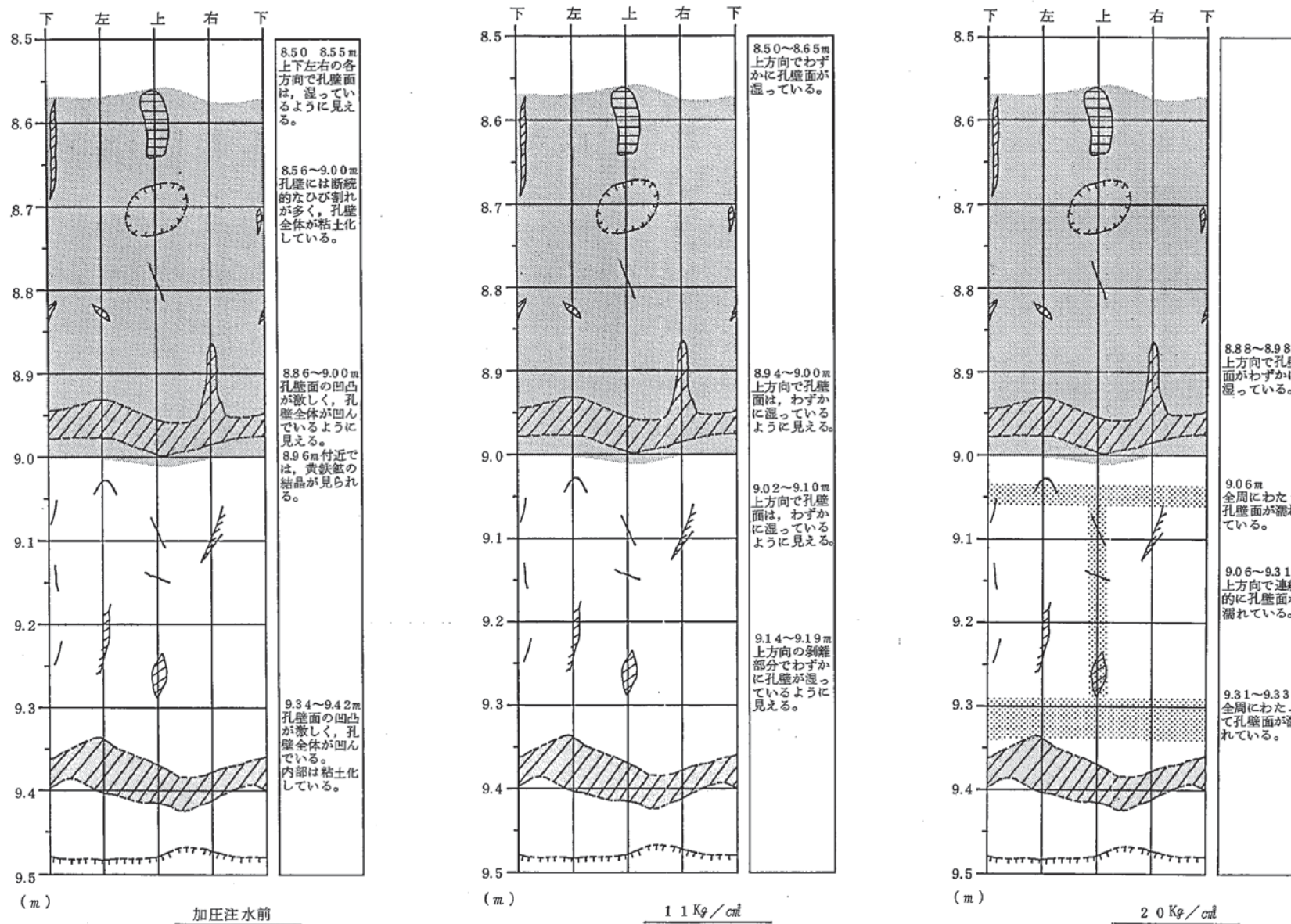


Fig. 2—15 Sketch of Wall of Hole T-3.  
孔内観測図 (T-3)



パッカ圧を  $3.6 \text{ kg/cm}^2$  とし、 $2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 10 \text{ kg/cm}^2$  と順次昇圧させて W—3～9 孔に注水し、最終的に  $11 \text{ kg/cm}^2$  の注入圧とした。その加圧透水条件下で 1 時間～1.5 時間加圧継続し、孔壁の観察を行った。

この圧力段階では孔壁上部面だけの観察を行った。Fig. 2—13 に示すように、深度  $8.60 \sim 8.64 \text{ m}$  および  $8.74 \sim 8.86 \text{ m}$  付近で孔壁面に濡れが認められ、流出が確認された。特に、 $8.83 \text{ m}$  では微量のにじみ出しが認められた。

#### (c) $1.5 \text{ kg/cm}^2$ での加圧注入時の観察

昇圧後、20 分～1 時間の間に孔壁上部面と一部の下部面および 5 箇所で  $360^\circ$  方向の観察を行った。

Fig. 2—13 に示すように、孔壁上部面で  $11 \text{ kg/cm}^2$  の時に認められた区間が拡大し、 $8.55 \sim 8.90 \text{ m}$  ではほぼ連続して壁面の濡れが観察された。下部面では  $9.0 \text{ m}$  深度付近から濡れが認められ、 $8.5 \text{ m}$  前後では湧出水の流下がわずかに認められた。また、左右方向においては、 $8.80$ 、 $8.86 \text{ m}$  付近でそれぞれ壁面の濡れと思われる水の反射が認められた。

孔口では  $25 \text{ ml} / 15 \text{ min}$  ( $5.4 \text{ 滴} / \text{min}$ ) の流出量が計測された。

#### (d) $2.0 \text{ kg/cm}^2$ での加圧注入時の観察

加圧後、1 h で Fig. 2—11 に示すように上部面および数箇所での  $360^\circ$  方向の観察を行った。

観察を実施する前の T—1 孔からの流出量は、昇圧後 5 分で  $8.2 \text{ 滴} / \text{min}$ 、40 分で  $9.6 \text{ 滴} / \text{min}$  であった。

$9.15 \text{ m}$  付近の F—2 割れ目が全体に湿っているのが認められた。また、F—1 割れ目を含む  $8.6 \sim 9.1 \text{ m}$  深度で上部面にほぼ連続して壁面の濡れが認められた。 $8.85 \text{ m}$  深度の下部面と上部面で流出水の湧き出ている様子が明瞭に認められた。その状態は気泡を伴ったものであり、加圧された試験水に溶解していた空気が圧力の減少で気化し、湧きだし部の微小穴から発生したものと推測される。下部面での湧きだしは地下水経路が必ずしも最短距離を通るのではないことを示している。F—3 割れ目には流出は認められなかった。

流出が認められた深度の手前には黄鉄鉱の鉱染部があり、それは F—1 割れ目の中心に位置している。すなわち、本割れ目での流出の中心は黄鉄鉱の直近の上盤の粘土部分であることがわかった。

加圧後2時間30分経過時には約200滴/minの流出量が計測された。

T-1孔内3箇所の観察状況をPhoto 2-1に示した。8.80m上部箇所では加圧前と11.15kg/cm<sup>2</sup>での加圧時の観察結果を示した。粘土質の表面が15kg/cm<sup>2</sup>の加圧時では湿潤しているのが明瞭にわかる。8.85m上部および8.86m下部では加圧20kg/cm<sup>2</sup>時に観察された流出状況を示した。粘土のなかに微小な穴が生じており、そこから気泡を伴いながら流出し、かつ穴口の大きさが流出により変化しているのも認められる。これらはF-1割れ目内の黄鉄鉱微細脈の上盤側に位置している。

## (2) T-2孔観察結果

### (a) 加圧注水前の孔壁面の観察

Fig. 2-10に示すように、T-1孔と同様上下・左右の4方向の孔壁を観察した。カメラを回転させた観察は行っていない。

観察区間はコア観察結果を参考にして9.40~8.40mとした。

F-1割れ目を含む8.7~9.3m間が粘土化しているのが認められた。また、F-3割れ目はやや不明瞭に観察された。

### (b) 11kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

観察のための加圧条件はT-1孔の場合と同様である。

この圧力段階では孔壁上部面だけの観察を行った。8.58mおよび8.80~8.94mで濡れ面らしき箇所を観察したが、確認できなかった。

### (c) 15kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

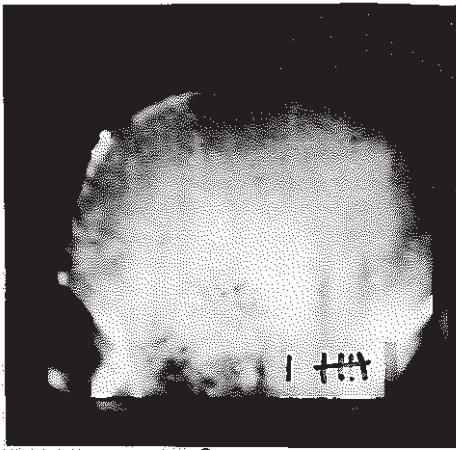
T-2孔では実施していない。

### (d) 20kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

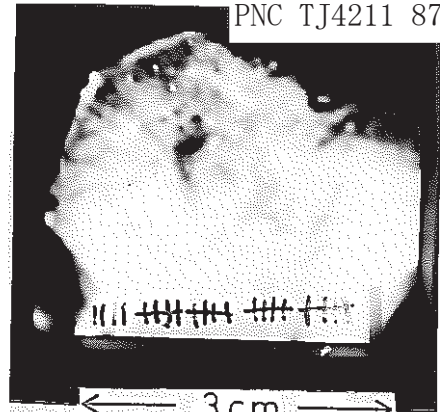
観察のための加圧条件はT-1孔の場合と同様である。上部面と深度8.88~8.94m間での360°方向の観察を行った。

8.90m付近の上部面で凹凸の認められる部分および粘土状を呈する部分で濡れが認められた。特に深度8.91mでは微量のにじみ出しが認められた。この深度では360°方向の観察を行っているが他の箇所では濡れは認められていない。その他の深度では濡れは認められなかった。

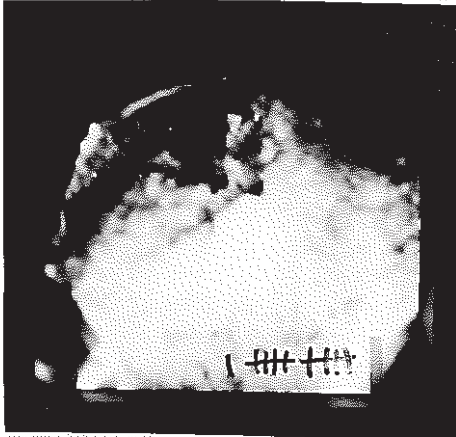
T-2孔内2箇所の観察状況をPhoto 2-2に示した。8.94m上部箇所では加圧前と20kg/cm<sup>2</sup>での加圧時の観察結果を示した。粘土質の表面が20kg/cm<sup>2</sup>の加圧時では発汗



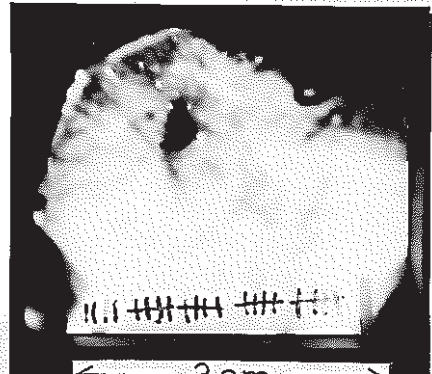
← 3 cm →  
T-1孔 8.80 m 上部 加圧前



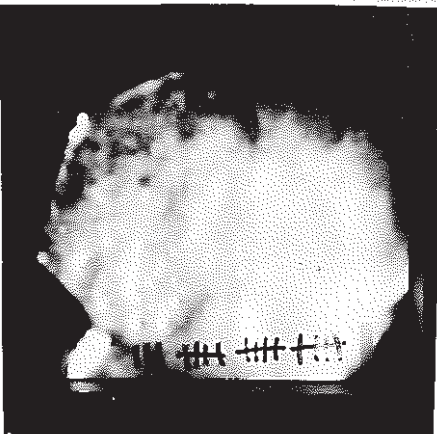
← 3 cm →  
T-1孔 8.85 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>



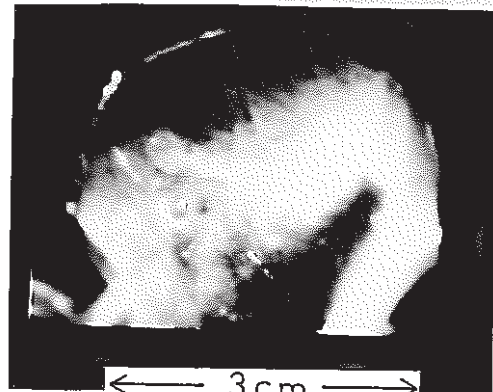
← 3 cm →  
T-1孔 8.80 m 上部 11Kg/cm<sup>2</sup>



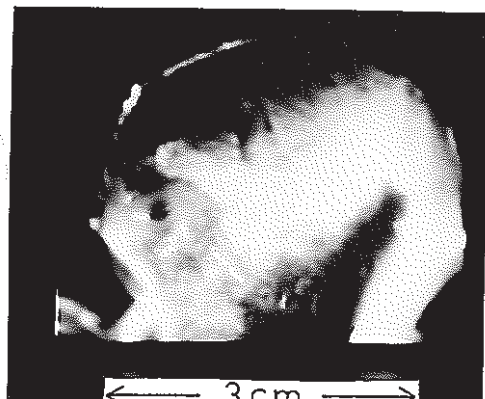
← 3 cm →  
T-1孔 8.85 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>



← 3 cm →  
T-1孔 8.80 m 上部 15Kg/cm<sup>2</sup>

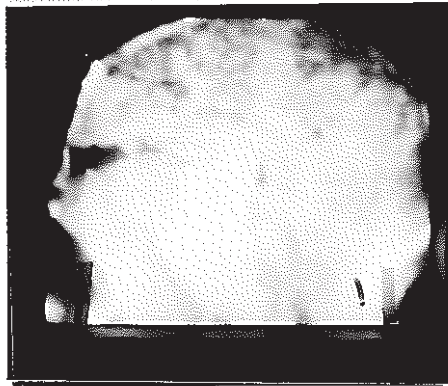


← 3 cm →  
T-1孔 8.86 m 下部 20Kg/cm<sup>2</sup>

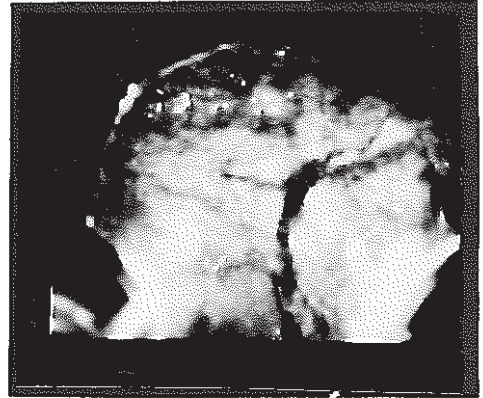


← 3 cm →  
T-1孔 8.86 m 下部 20Kg/cm<sup>2</sup>

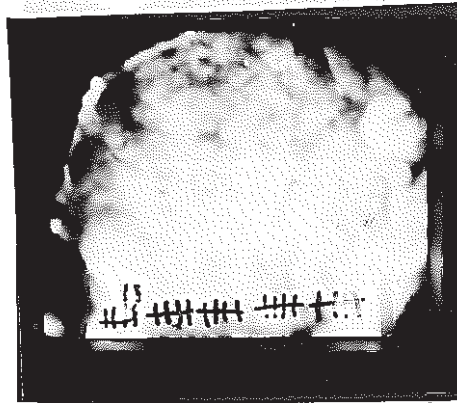
Photo 2—1 Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-1.  
加圧注入時の T-1孔壁における流出状況



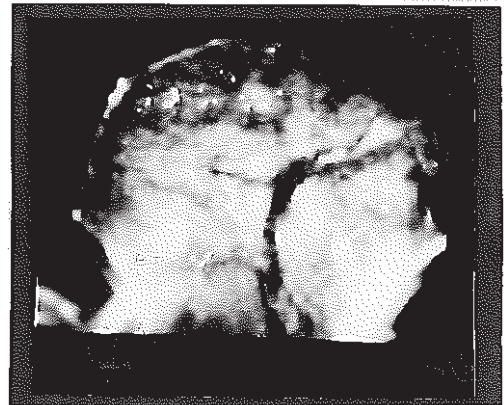
← 3 cm →  
T-2孔 8.94 m 上部 加圧前



← 3 cm →  
T-2孔 8.91 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>



← 3 cm →  
T-2孔 8.94 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>



← 3 cm →  
T-2孔 8.91 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>

Photo 2—2 Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-2.  
加圧注入時の T-2孔壁における流出状況

しているように水滴が生じているのが明瞭にわかる。この箇所では多孔質部分を浸透してきた水が孔壁面ににじみ出ているものと推定される。8.91 m上部では加圧20 kg/cm<sup>2</sup>時に観察された流出状況を示した。それは微量のにじみ出しを示すもので、中心に反射のためと思われる模様の変遷が観察される。これらはF-1割れ目内に認められるものである。

### (3) T-3孔観察結果

#### (a) 加圧注水前の孔壁面の観察

Fig. 2-10に示すように、T-1孔と同様、上下・左右の4方向の孔壁を観察した。また、深度9.36~9.44 m間でF-2割れ目を対象として360°方向の観察を行った。観察区間はコア観察結果を参考にして9.50~8.50 mとした。

F-1割れ目を含む8.6~9.0 m間が粘土化しているのが認められた。また、F-3割れ目は明瞭には認められなかった。

#### (b) 11 kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

観察のための加圧条件はT-1孔の場合と同様である。

この圧力段階では孔壁上部面だけの観察を行った。8.97~9.07 mで濡れ面らしき箇所を観察したが、確認できなかった。

#### (c) 15 kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

T-3孔では実施していない。

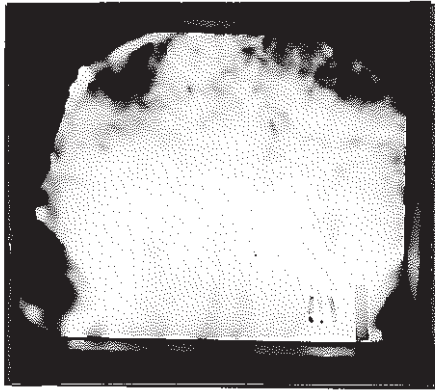
#### (d) 20 kg/cm<sup>2</sup>での加圧注入時の観察

観察のための加圧条件はT-1孔の場合と同様である。上部面と8.78, 9.06, 9.31~9.33 m間での360°方向の観察を行った。

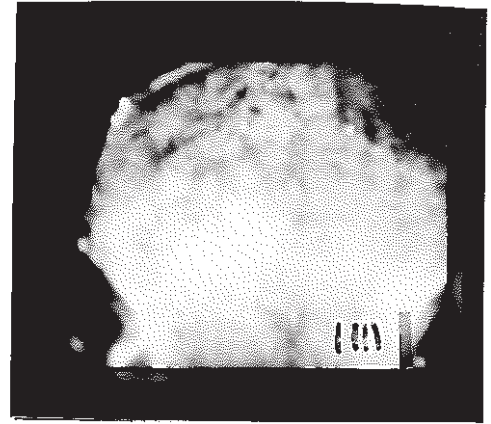
9.0~9.3 mの上部面で連続して濡れが認められた。また、9.1~9.2 m間および9.32 m付近ではほぼ360°方向に濡れが認められた。したがって、9.0~9.3 m間では壁面全体が濡れている可能性が大きいと思われる。

この部分はT-1孔と異なり、断層粘土を伴ったり、粘土化の強い部分ではない。コア観察結果の解析によれば、この部分はF-1割れ目の上盤の部分で、かつF-2割れ目との間に位置しており、岩盤がせん断応力を受け、脆くなっている部分であるために流出が認められた可能性がある。

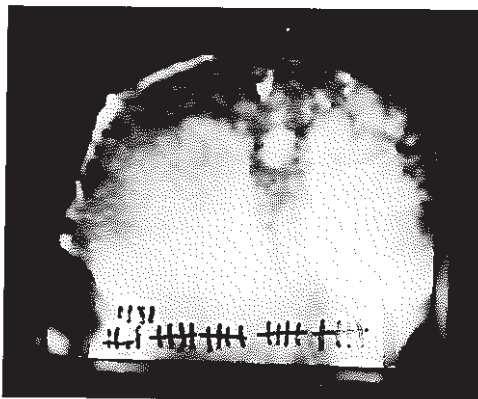
T-3孔内2箇所の観察状況をPhoto 2-3に示した。9.16 m上部箇所では加圧前と



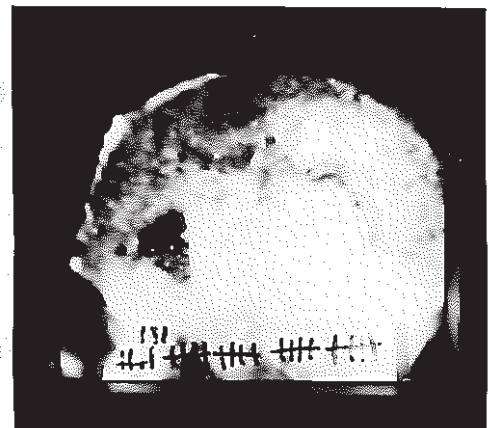
← 3 cm →  
T-3孔 9.16 m 上部 加圧前



← 3 cm →  
T-3孔 9.24 m 上部 加圧前



← 3 cm →  
T-3孔 9.16 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>



← 3 cm →  
T-3孔 9.24 m 上部 20Kg/cm<sup>2</sup>

Photo. 2—3 Photographs Showing Discharge Conditions on the Wall of Hole T-3.  
加圧注入時の T-3孔壁における流出状況

20 kg/cm<sup>2</sup>での加圧時の観察結果を示した。9.24 m上部箇所では同じく加圧前と20 kg/cm<sup>2</sup>での加圧時の観察結果を示した。共に、異質礫の認められる孔壁面に発汗状に水滴が付着しているのが認められる。T-2孔の深度8.94 mの写真と同様、その観察状況から割れ目でない多孔質部分を浸透してきた地下水が壁面ににじみ出したものと推定される。これらはF-1割れ目の上盤（F-2割れ目との間の部分）に認められるものである。

#### 2.4.7 トレーサ注入箇所の選定

試験箇所においては、試験対象割れ目はF-1～3の三つの割れ目に大別されることは前述の通りである。トレーサ試験でのトレーサの注入は当初の予定では流出の認められる箇所に対して行う予定であったが、対象とする割れ目が複数の割れ目からなっており、これら全ての割れ目を対象とする方が割れ目の規模・性状の違いをも評価対象とすることができると判断し、三つの割れ目すべてを対象とすることとした。

孔壁観察で対象とした孔と割れ目が20 kg/cm<sup>2</sup>までの加圧注水条件下においてどのような透水性であったかを概略示すと次の通りとなる。

	F-1	F-2	F-3
T-1孔：	透水性相対的に大	透水あり	透水認められず
T-2孔：	透水少量あり	透水認められず	”
T-3孔：	透水認められず	”	”

（上盤部にあり）

この結果と、B空洞天盤での流出箇所がT-3孔よりはT-1孔寄りであったことから、T-1孔で対象割れ目の中心をなすF-1割れ目を対象としてトレーサ試験を行うこととした。また、それと割れ目・孔の配置の関係からT-2孔ではF-3割れ目を対象として、T-3孔ではF-2割れ目を対象としてトレーサ試験を行うこととした。

また、トレーサ注入区間はダブルパッカのパッカ間が32 cmであることから、コア調査結果と上記の浸出箇所の深度を考慮し、各孔の注入深度を次のように決定した。

孔名	トレーサ注入深度
T-1孔：	8.60～8.92 m
T-2孔：	8.35～8.67 m
T-3孔：	9.24～9.56 m

また、パッカのゴム長はそれぞれ1 mであるので、他の割れ目を閉塞し、影響を除外することは十分可能であった。

トレーサ注入箇所と上位のW—3～8孔と各トレーサ注入孔およびA・B空洞との位置関係をFig. 2—16に示す。

#### 2.4.8 採水孔の掘削

##### (1) 掘削位置の選定

トレーサ注入箇所の選定を受けて採水孔15孔の掘削箇所を選定した。Fig. 2—17にB空洞天盤に認められる試験対象割れ目のスケッチを示す。同スケッチは天盤を上方から見下ろす形で描いたものである。これから、トレーサ孔コアで認めた割れ目と同じく、黄鉄鉱微細脈を中央に伴う幅5～10 cm傾斜80°程の黒灰色断層粘土よりなる割れ目(F—1)とその上盤の幅2～3 cm傾斜60～80°黒灰色断層粘土よりなる割れ目(F—2)および下盤の幅1～2 cm傾斜70°の黒灰色断層粘土よりなる割れ目(F—3)が主要な割れ目であると判断される。

W—3～8孔への透水試験時の浸出域と割れ目の分布から、Fig. 2—18に示す位置に採水孔(S—1～15)を設けた。S—1～6・8はF—1割れ目を、S—9～11はF—2割れ目を、S—7・12～15はF—3割れ目を対象としたものであり、各割れ目の下盤側に掘削位置を設けた。F—1割れ目は規模が大きいため、対象とする本数を多くした。また、F—3割れ目を対象とした採水孔は支保工の位置の関係上、T—1孔寄りに設けた。

同図のF—1～3割れ目の位置はFig. 2—17の位置と異なり、一部下盤側に移動している。これは採水孔の掘削前に天盤の一部が崩落したことによるもので、特にF—1割れ目の中心付近が著しく、そのため走向が湾曲しているのが認められる。

各孔の位置は当初割れ目そのものに対して設ける予定でいたが、傾斜が緩かったり、割れ目上下盤が脆かったり、下盤側の盤の状態が良い箇所を選んで最終的に決定した。さらに、天盤全体が支保を必要とする状態であったため、支保工の存在によりS—9～11孔についてはF—2割れ目から離さざるを得なかった。

Fig. 2—19～21に対象とする割れ目ごとの天盤、トレーサ注入孔、注水孔高さでの各割れ目の位置と対象採水孔の位置およびトレーサ注入孔を重ね合わせて示した。これら



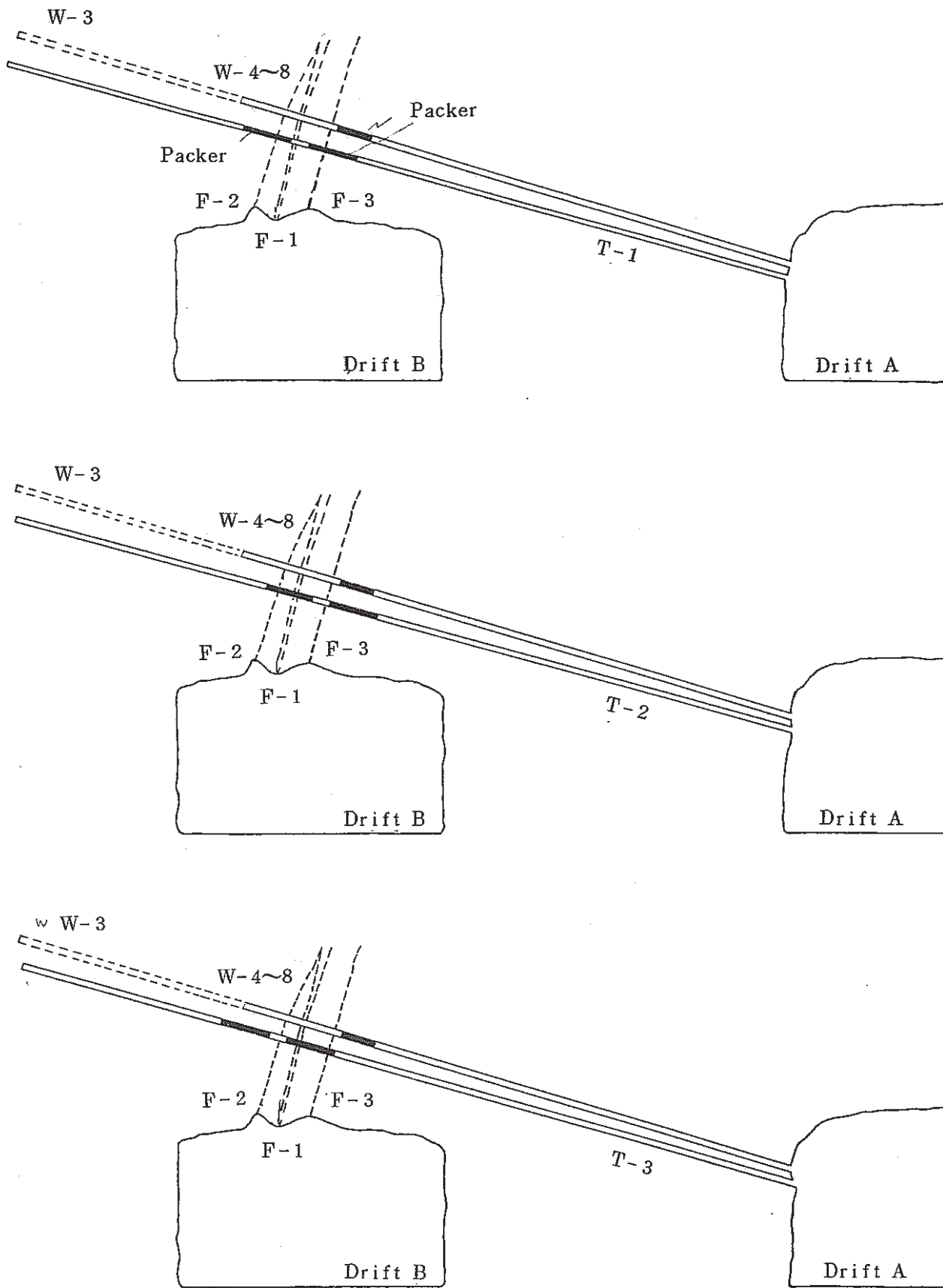


Fig. 2-16 Cross Sections of Tracer Injection Holes and Water Injection Holes.  
 トレーサ注入孔および注水孔沿いの断面図

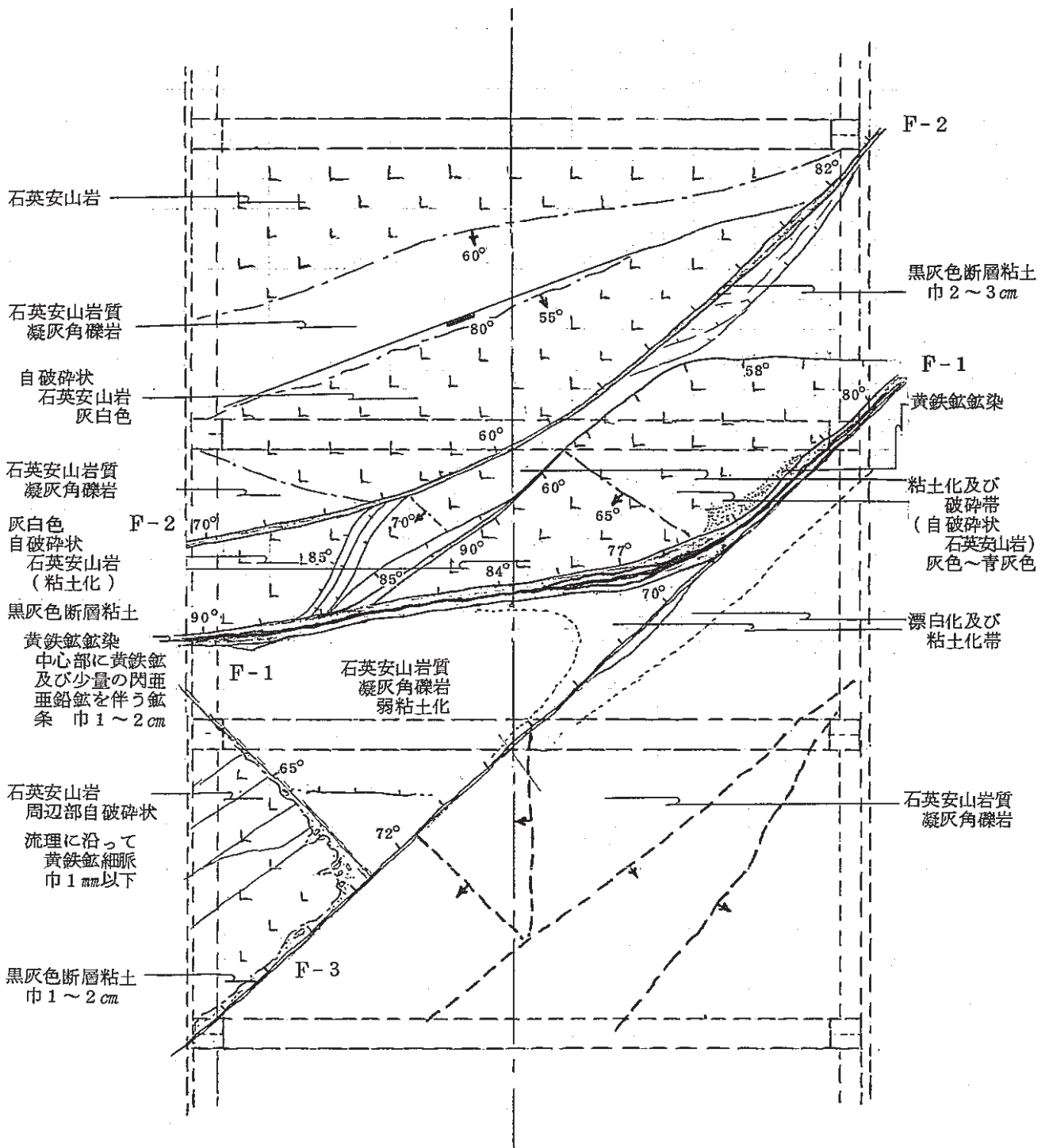
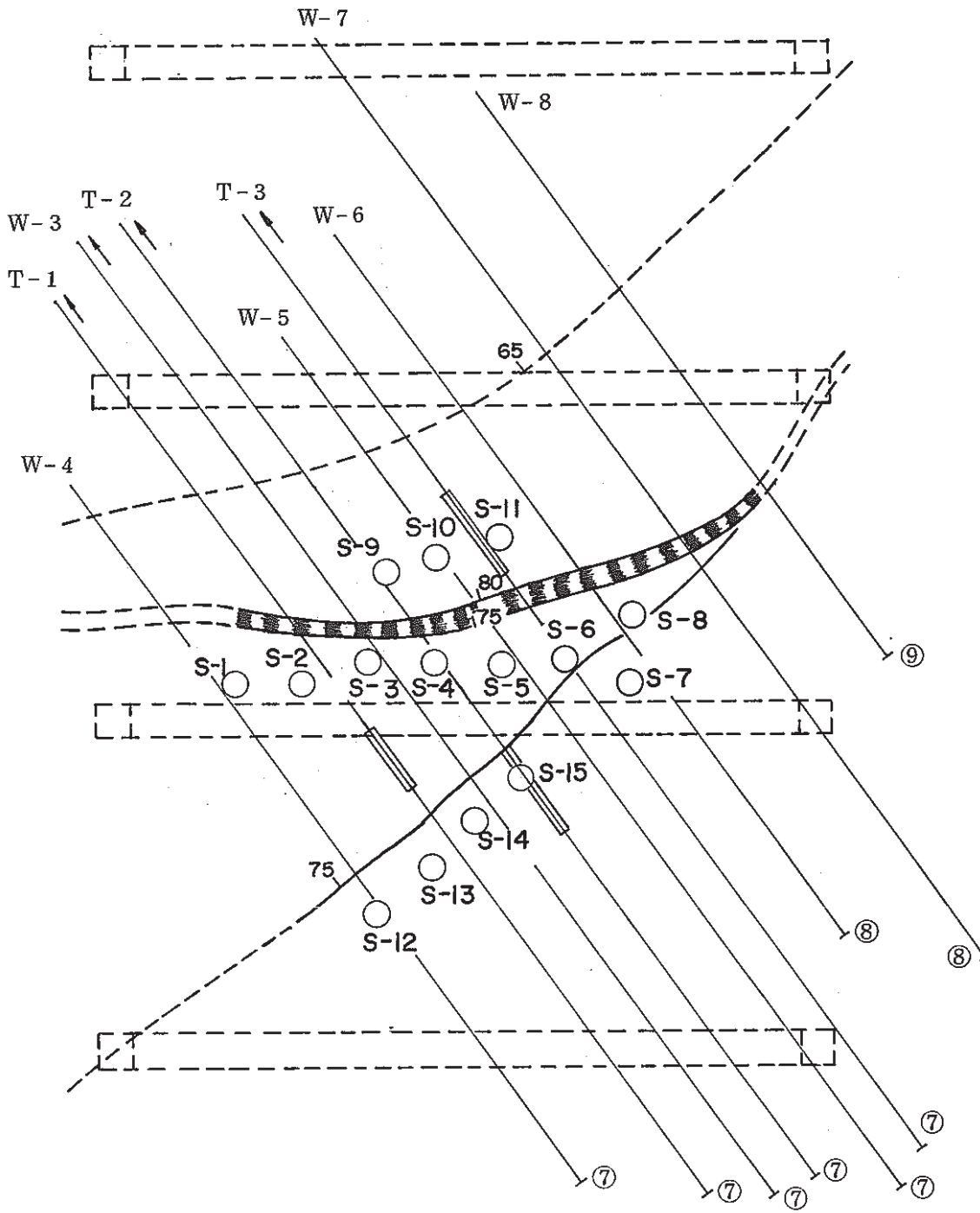


Fig. 2—17 Sketch of Tested Fractures F-1~3 on the Roof of Drift B.  
試験対象割れ目のB空洞天盤スケッチ



⑦, ⑧, ⑨ : Points of 7, 8, & 9m Depth  
 ——— : Interval for Injection

Fig. 2 —18 Relation of Located Sampling Holes S-1~15 and Fractures F-1~3 on the Roof of Drift B.

採水孔 S-1~15と対象割れ目の位置関係

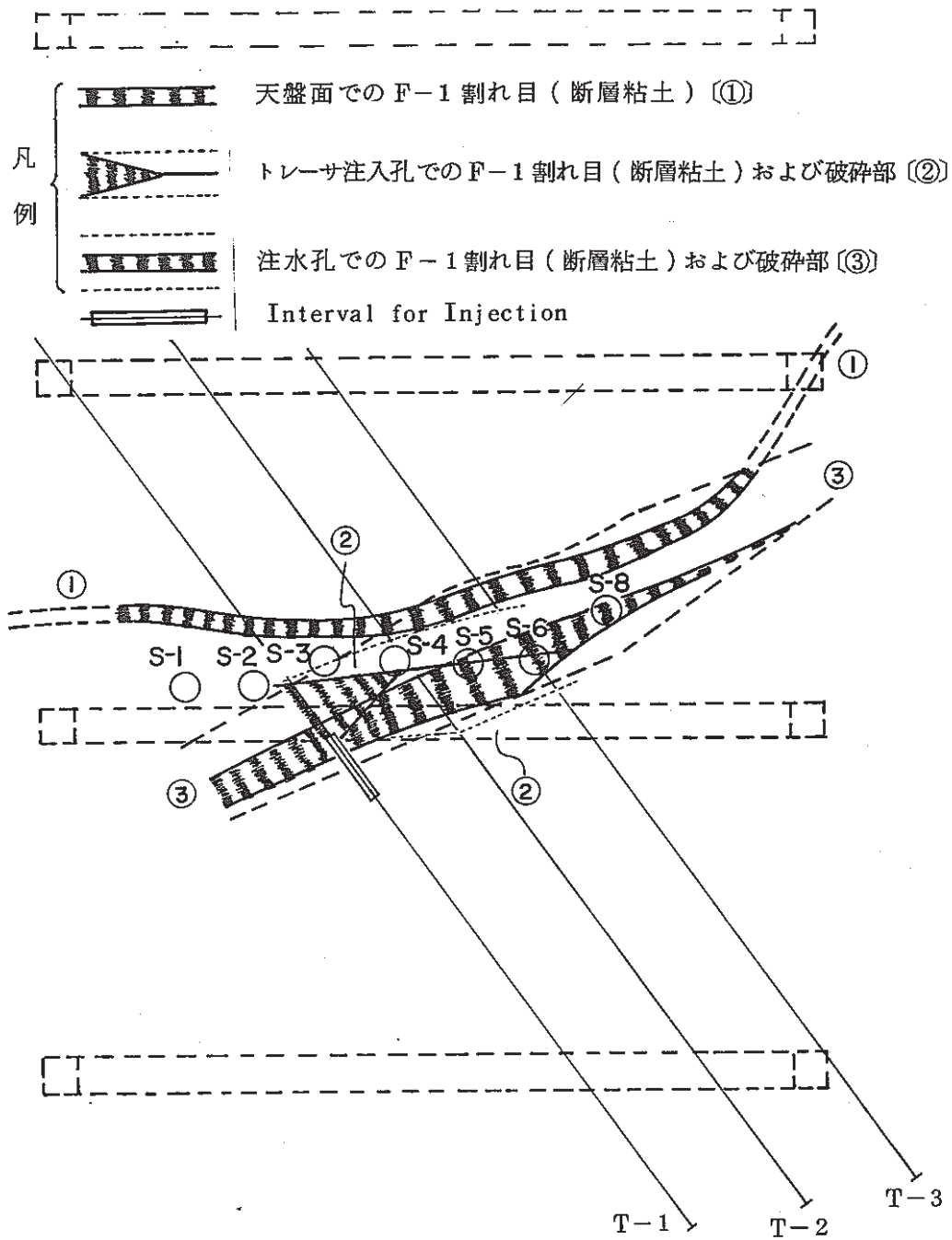


Fig. 2—19 Relation between Fracture F-1 and Sampling Holes S-1~6, and 8.  
F-1 割れ目と採水孔との位置関係

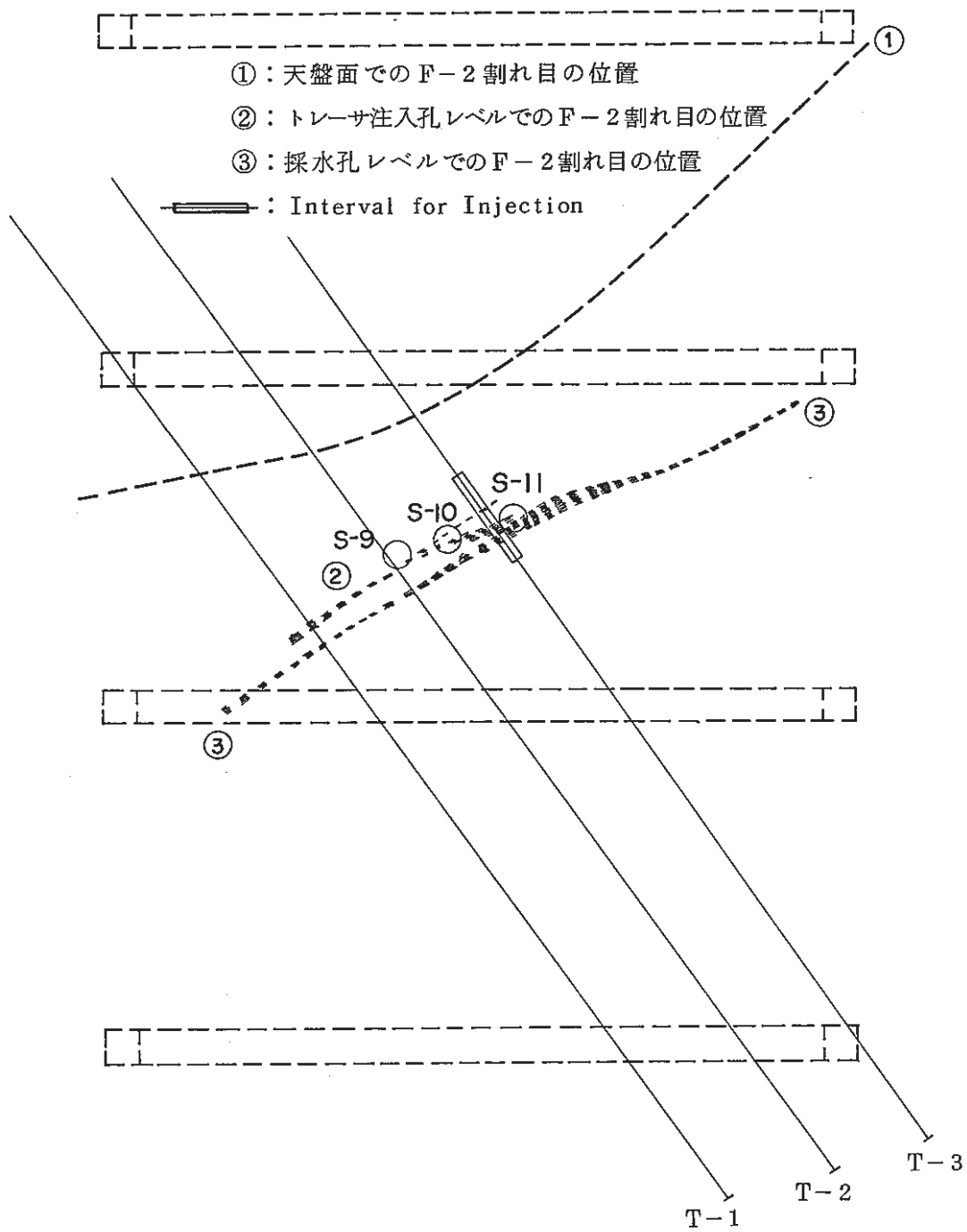


Fig. 2—20 Relation between Fracture F-2 and Sampling Holes S-9~11.  
 F-2 割れ目と採水孔との位置関係

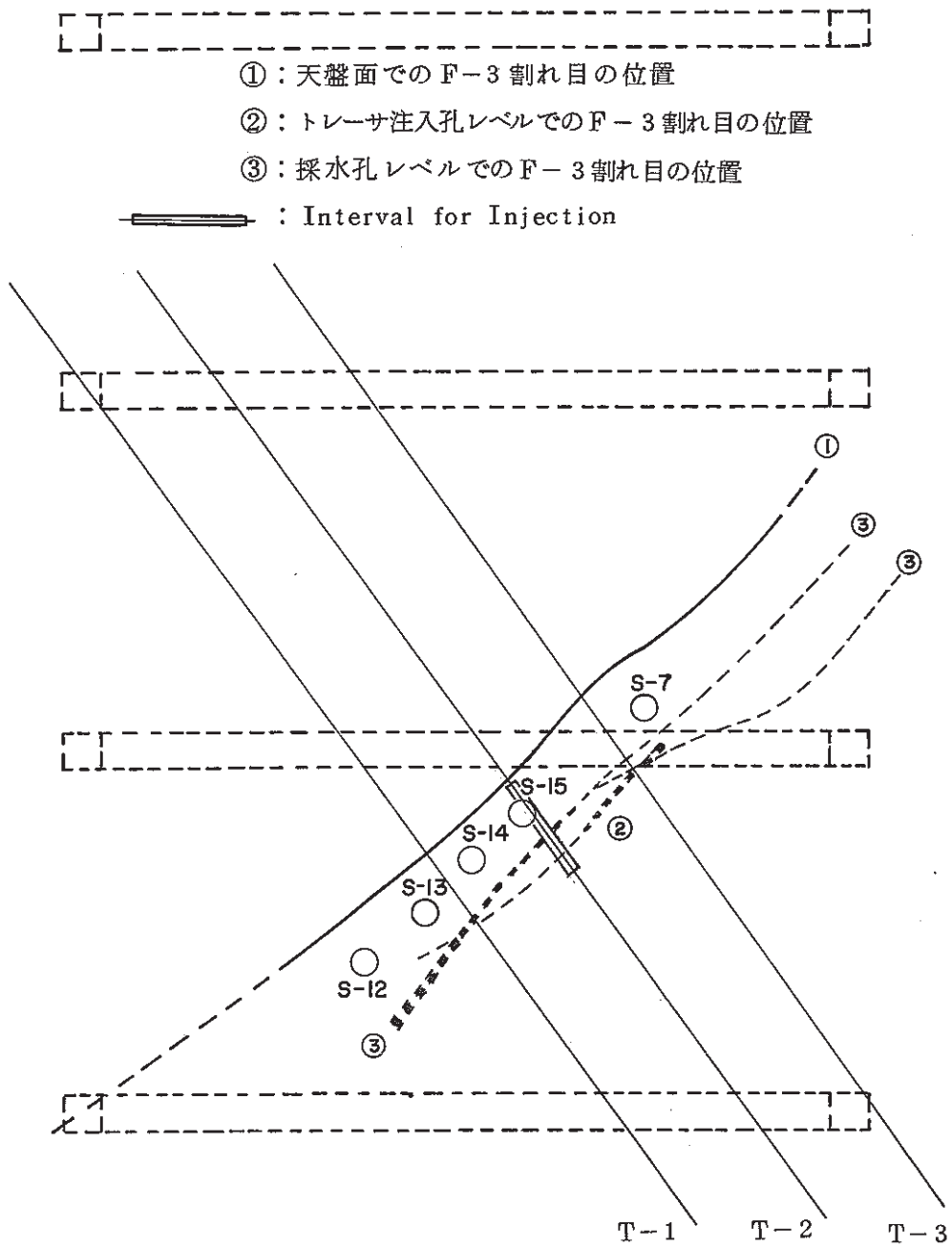


Fig. 2 —21 Relation between Fracture F-3 and Sampling Holes S-7, 12 ~ 15.  
F-3 割れ目と採水孔との位置関係

の図から F-1・2 割れ目を対象とした採水孔はトレーサ孔高さで対象割れ目に会合するような位置に設けられていることがわかる。特に、F-2 割れ目を対象とした S-9~10 孔はほぼ対象割れ目の下盤に位置している可能性が大きいことがわかる。F-3 割れ目を対象とした採水孔は天盤での割れ目位置とトレーサ注入孔高さでの割れ目位置の中間に位置しており、どの孔も対象割れ目と交わっていると判断される。

## (2) 採水孔の掘削

当初、採水孔は径 76 mm で深度 20 cm とする予定であったが、下盤側に掘削位置を設けたため、割れ目が急傾斜であるがゆえにその深度では割れ目に会合しないので、さらに径 37.5 mm の小孔径掘削を実施して対象割れ目と会合させた。一部は、離れた距離と割れ目の傾斜からして、割れ目に会合しない孔もあったが、トレーサ注入孔の位置までは最低 30 cm の距離を設け、それ以上近接しないようにした。

泥水を用いたコアボーリングを行ったが、鉛直上向きのため泥水が十分上部に到達しないことと、天盤が比較的高いために試錐機と天盤がやや離れすぎてビットの回転の振動が大きくなったことと、岩盤が比較的脆いことから、掘削時に天盤の一部が剝離する孔が特に F-1 割れ目を対象とした孔のなかで見られた。したがって、最終的な天盤高さは掘削により 30 cm ほど高くなったものがある。また、採水孔壁面に微小な崩落や天盤面に沿った小割れ目（剝離面）の発生が認められた孔があった。コアは小口径であるために掘削中に粉碎されたものが多く、深度と対象させたコア調査は不可能であった。各孔とも掘削終了後、清水による孔内洗浄を行った。

Fig. 2-22~28 に各採水孔の掘削位置の天盤高さと掘削深度およびトレーサ注入孔、採水孔との関係をそれぞれ断面図で示した。

F-1 および F-3 割れ目を対象としている S-1~8, 12~15 はそれぞれの対象割れ目と会合しているが、S-9~11 は対象とする F-2 割れ目の下盤に位置している。後者については天盤を支えるための支保工が S-9~11 孔と F-2 割れ目の間に施工しており、やむを得ない配置であった。これらの孔については、割れ目を対象とした試験から割れ目下盤の多孔質岩盤のトレーサ移行特性評価を行う試験用の孔として位置づけることとした。

採水孔の掘削により、本割れ目トレーサ試験に用いる全試験孔の掘削を終了した。Fig. 2-29 に本試験に用いた注水孔、トレーサ注入孔および採水孔の配置を示す。

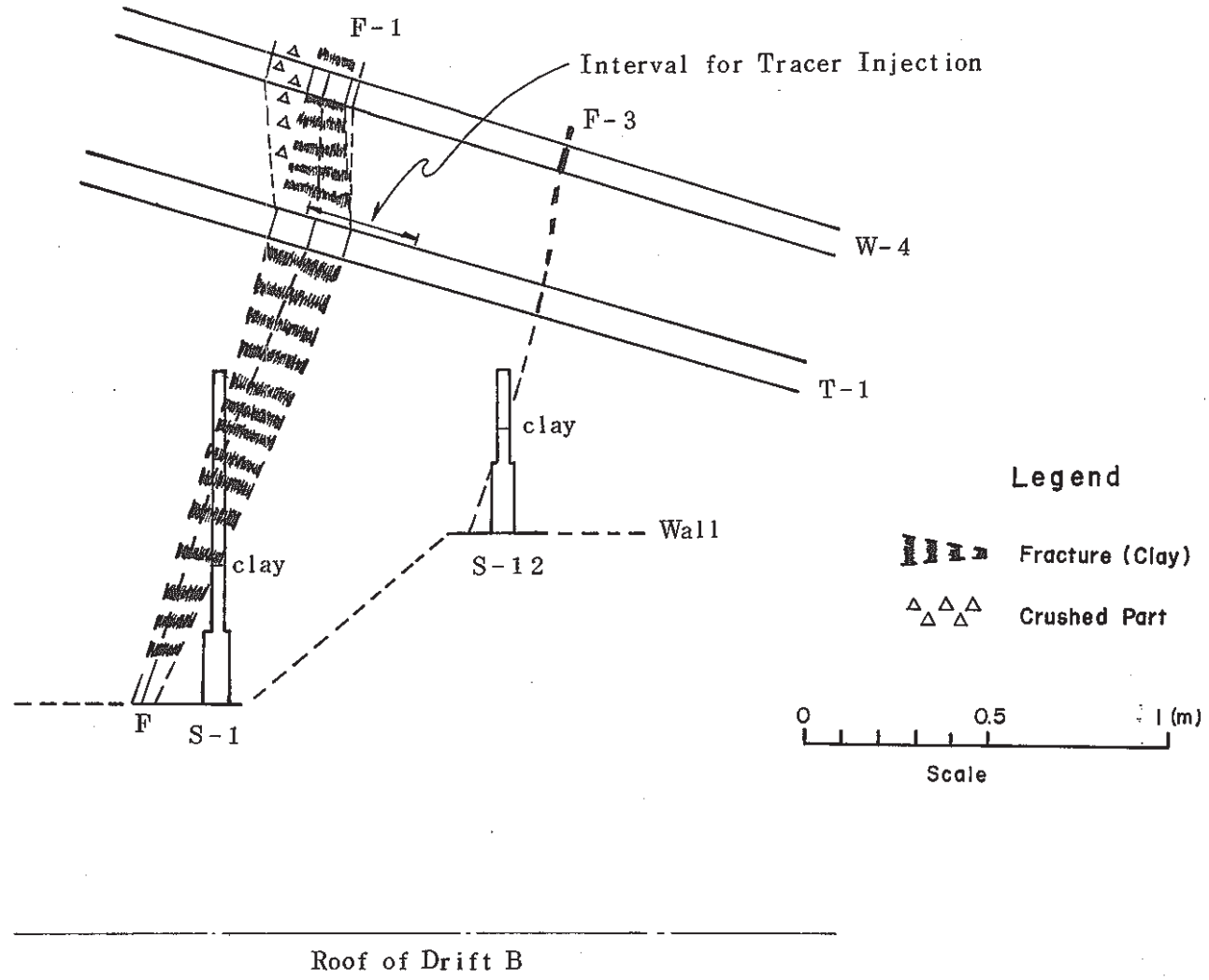


Fig. 2—22 Cross Section Showing Relationship between Holes S-1, S-12, T-1, and W-4.  
 採水孔 (S-1, S-12), 注入孔 (T-1), 注水孔 (W-4) の位置関係



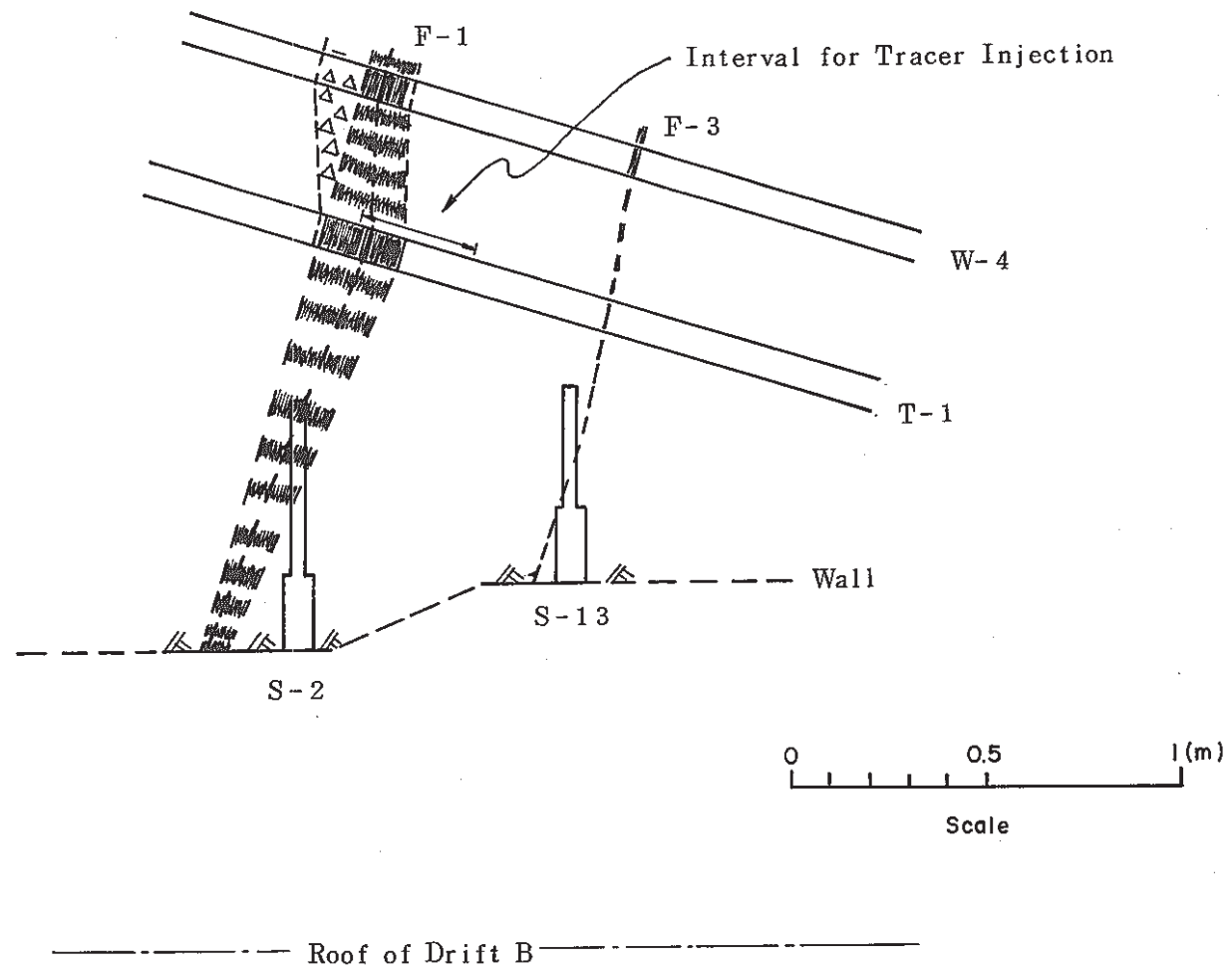


Fig. 2—23 Cross Section Showing Relationship between Holes S-2, S-13, T-1, and W-4.  
採水孔 (S-2, S-13), 注入孔 (T-1), 注水孔 (W-4) の位置関係

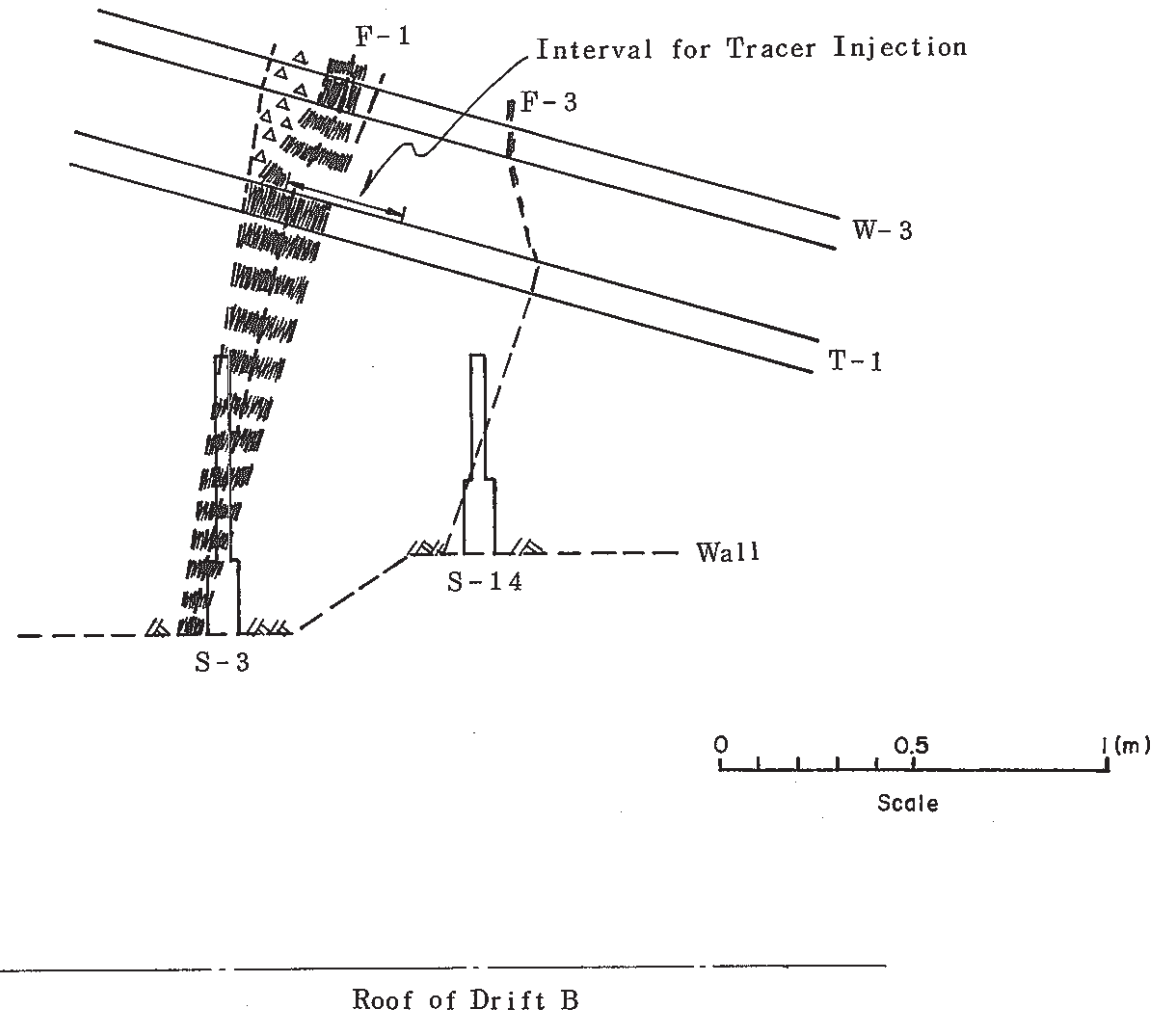


Fig. 2—24 Cross Section Showing Relationship between Holes S-3, S-14, T-1, and W-3.  
採水孔(S-3, S-14), 注入孔(T-1), 注水孔(W-3) の位置関係

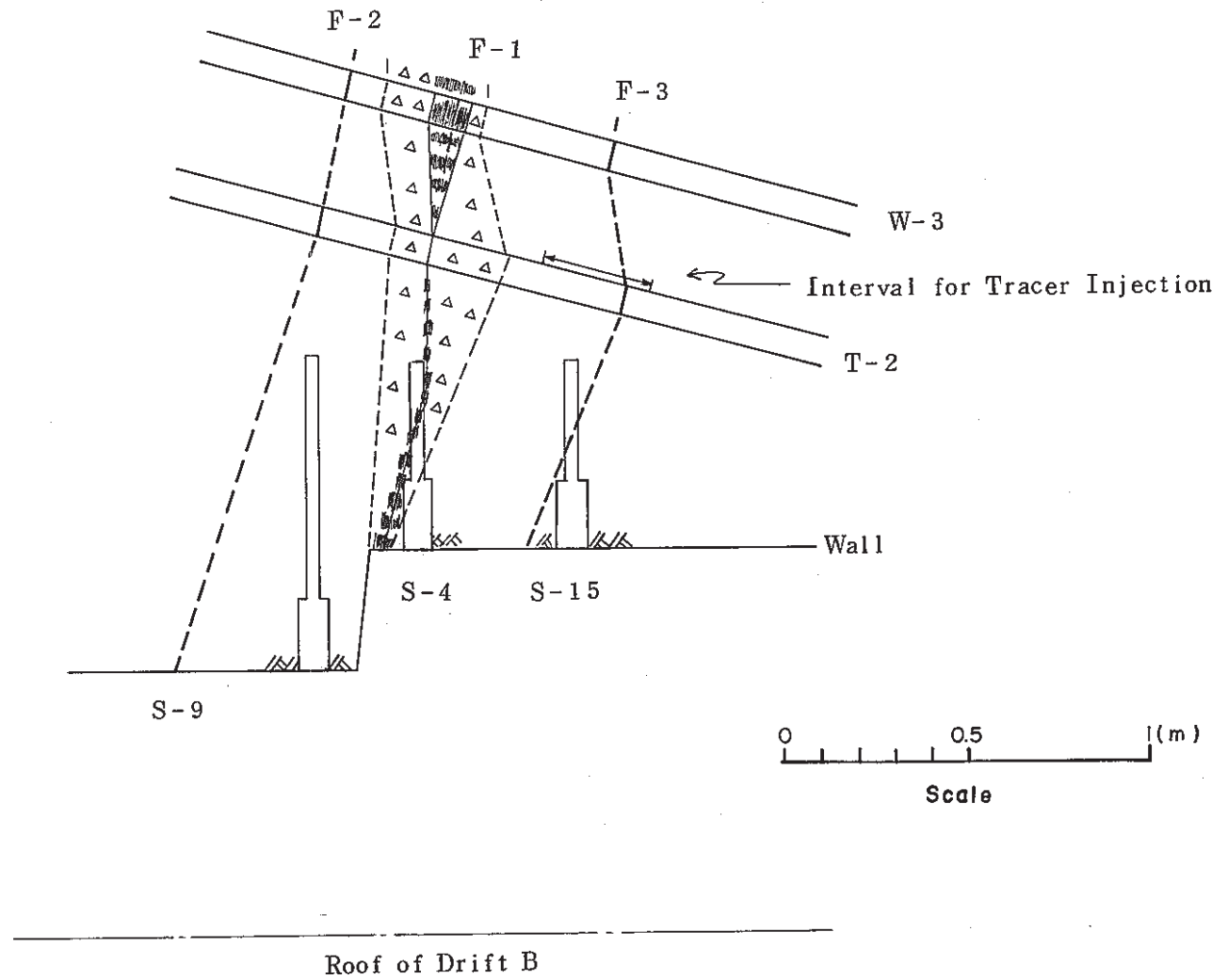


Fig. 2—25 Cross Section Showing Relationship between Holes S-4, S-9, S-15, T-2, and W-3.  
探水孔(S-4, S-9, S-15), 注入孔(T-2), 注水孔(W-3) の位置関係

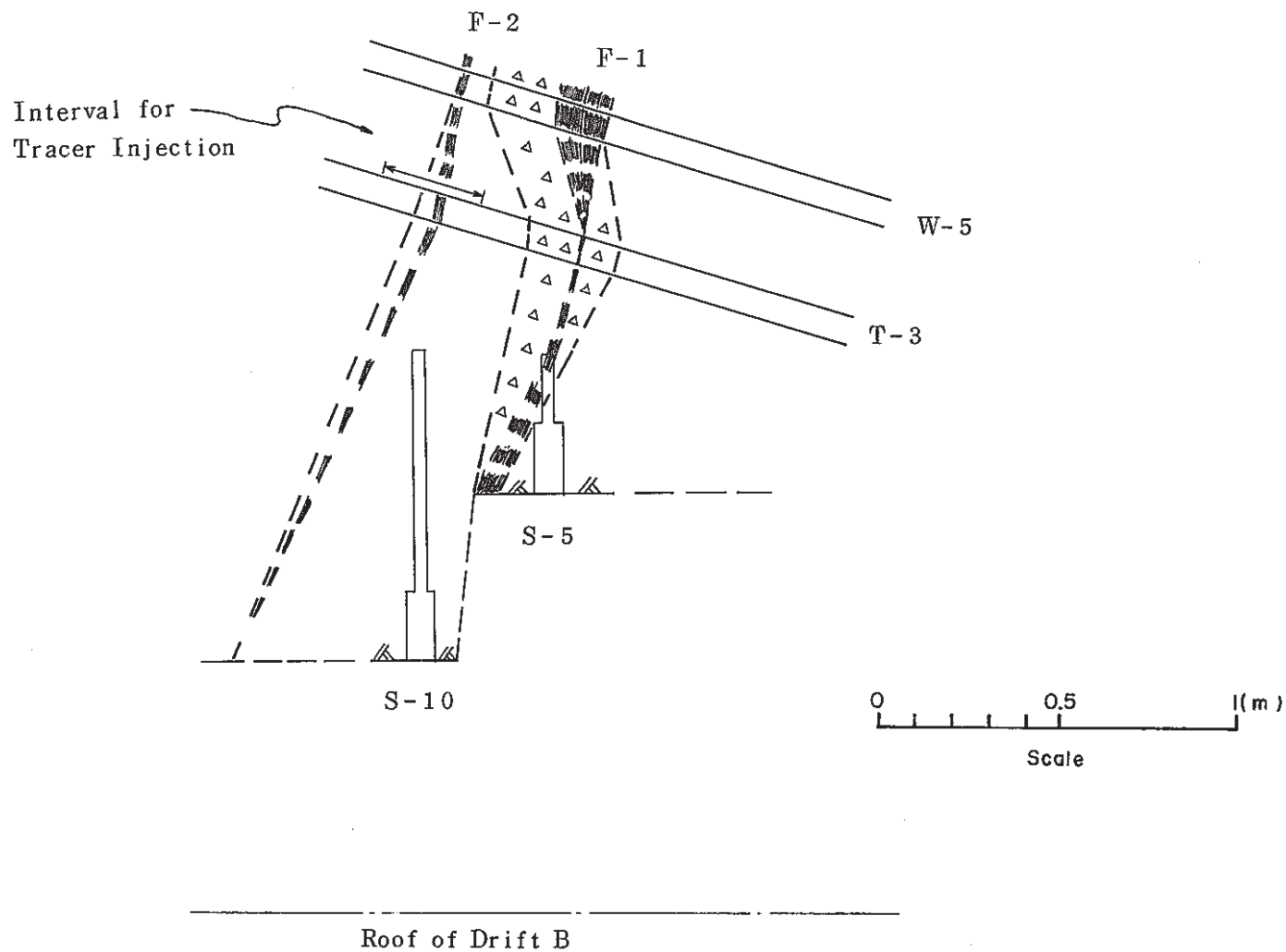


Fig. 2—26 Cross Section Showing Relationship between Holes S-5, S-10, T-3, and W-5.  
採水孔 (S-5, S-10), 注入孔 (T-3), 注水孔 (W-5) の位置関係

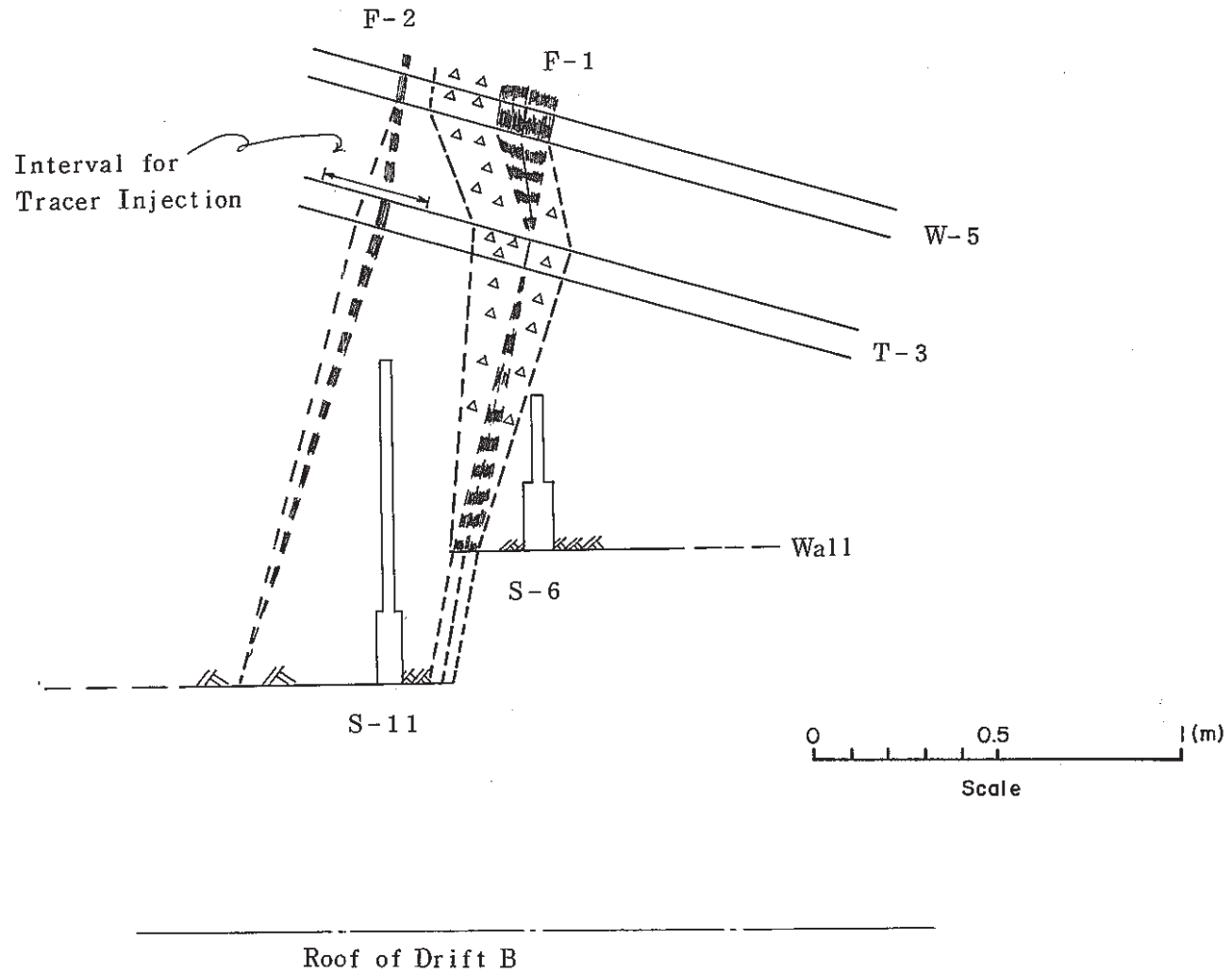


Fig. 2—27 Cross Section Showing Relationship between Holes S-6, S-11, T-3, and W-5.  
採水孔 (S-6, S-11), 注入孔 (T-3), 注水孔 (W-5) の位置関係

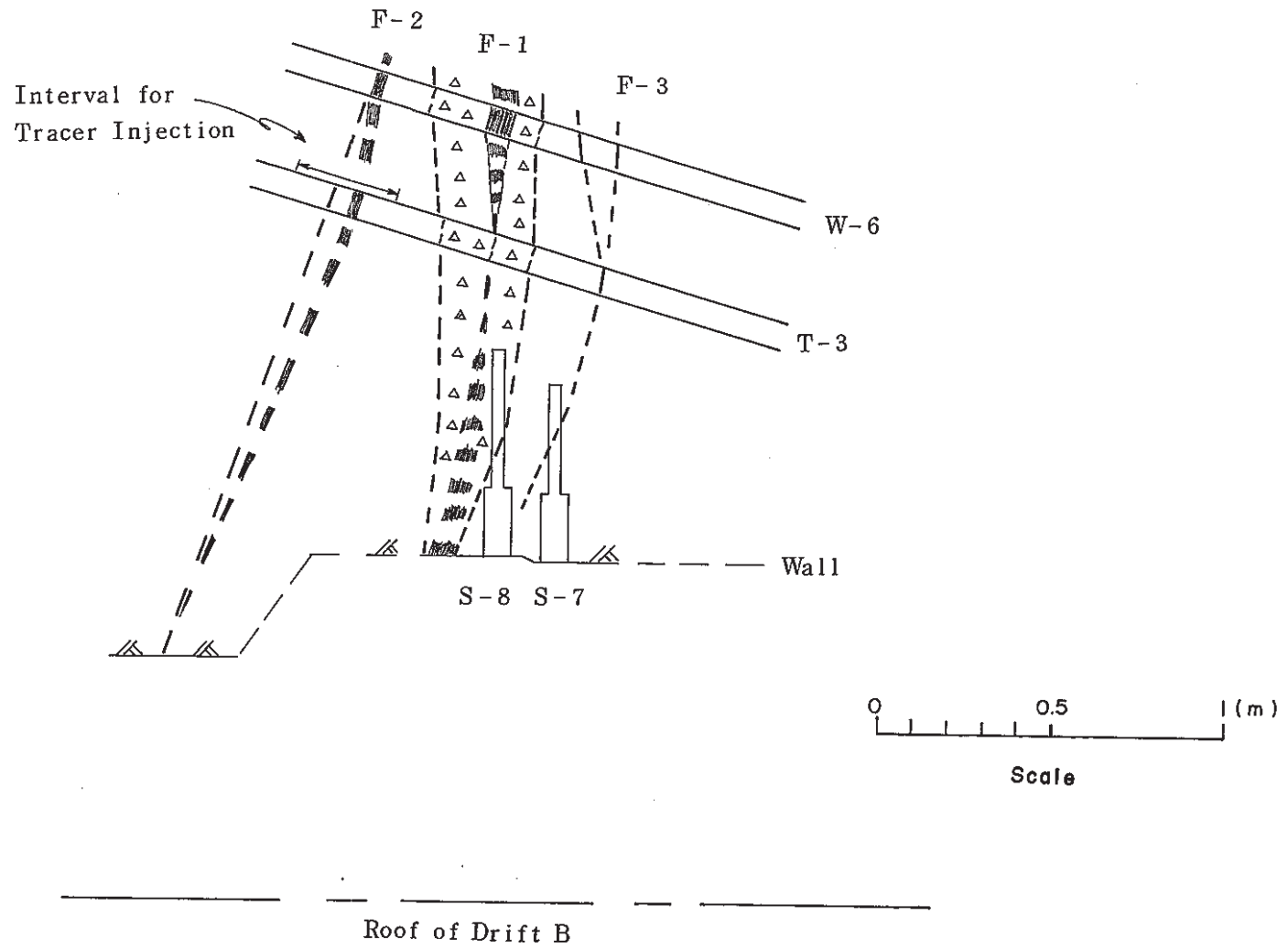


Fig. 2—28 Cross Section Showing Relationship between Holes S-7, S-8, T-3, and W-6.  
 採水孔 (S-7, S-8), 注入孔 (T-3), 注水孔 (W-6) の位置関係

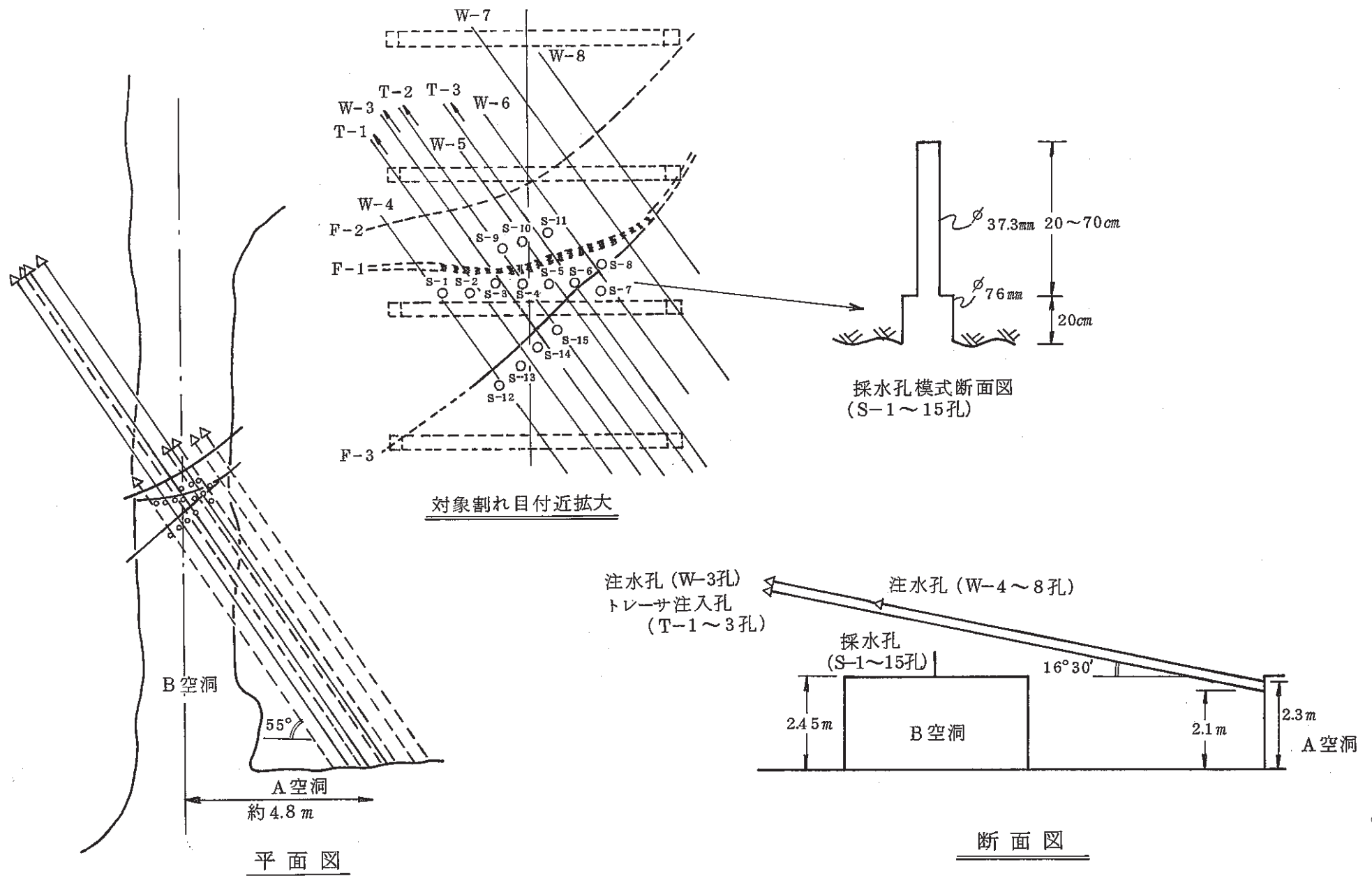


Fig. 2—29 Layout of Boreholes for the Test.  
注水孔, 注入孔, 採水孔の配置

## 2.5 試験装置の設計・製作・据付

トレーサ試験装置の設計・製作はトレーサ試験実施概念を履行できることを基本理念として行った。

トレーサ試験を実施するうえでの基本概念は次の通りとした。すなわち、現在の試験対象空洞周辺は上部からの地下水流がない乾燥区域であるので、注水装置によって強制的に人工の地下水流が割れ目を通してB空洞天盤に達する状況を作る。それは、もし自然の地下水が流れている状況下であれば、それに類似した状況であろうと想定されるものである。その地下水流をなるべく乱さないよう地下水圧の約10%増にてトレーサ水を地下水流に添加し、B空洞に流出してくる地下水流出水を割れ目面に設置した採水装置で採取して、トレーサの濃度変化を測定する。ただし、圧力調整が困難な場合には流量調整が可能なものとする。また、空気に触れないように採水を実施して、水質に与える空気の影響を排除するものとする。

この実施概念を履行できるよう以下に述べる試験装置を設計・製作し、試験場に据え付けた。

### 2.5.1 注水装置

トレーサ試験に用いた注水装置のシステムをFig. 2—29に示す。

注水用水は既存試験場での透水試験に用いた水と同じ地上水を用いることとし、水槽、注水ポンプは従来の透水試験と同じ装置を用いることとした。注水孔に設置する注水用パッカは割れ目に注水できるようなダブルパッカとし、注水区間を1mに設計した。

注水ポンプとパッカ間には、異なる注入量に対応できるよう、 $1\sim 10\text{ ml/min}$ （適用圧 $10\text{ kg/cm}^2$ 以下）と $0.3\sim 3\text{ l/h}$ （適用圧 $10\text{ kg/cm}^2$ 以上）の2種類の流量計を設置した。また、同時に流量計を経由しないで直接送水できる設計も行った。それらの手前には $0\sim 25\text{ kg/cm}^2$ の範囲を測定できる圧力計と逆止弁を設置した。

しかしながら、透水試験の結果から注水孔は当初の計画で予定したW—1孔ではなくW—3～8孔の計6孔となったため、これら全ての孔に注水できるよう既存試験場にあるパッカを代用して、シングルパッカ法で注水できるように装置を変更した。さらに、各孔に一定圧の注水が可能となるよう、既存試験場にある円形の注水用載荷ヘッドを取り外し、



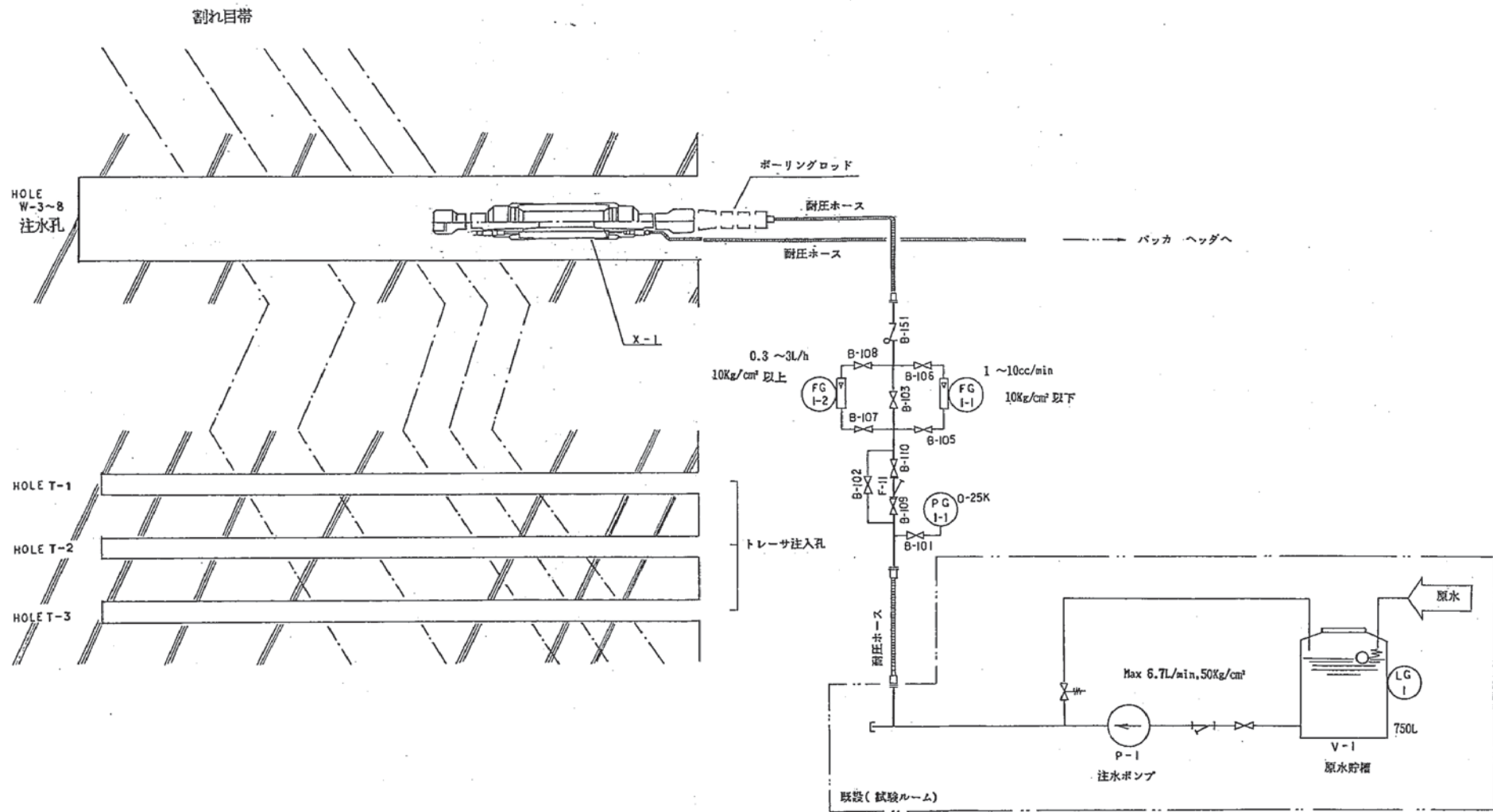


Fig. 2—30 Apparatus for Water Injection.  
注水装置

1 / 3 に短縮して、流量計とパッカの間に設置した。同時にパッカ圧も一定となるよう、既存試験場にあるパッカ用載荷ヘッダを取り外し、同様に 1 / 3 に短縮して、パッカに連絡させた。昇圧はパッカ用載荷ヘッダに接続させた手押ポンプを用いて行った。

Table 2—1 に注水装置用機器の名称および主な仕様を掲げた。

## 2.5.2 トレーサ注入装置

トレーサ注入システムを Fig. 2—30 に示す。

同システムはトレーサの注入に係わるシステムとそれを補佐するパッカシステムに分けられる。

前者は、トレーサタンク（貯槽）・注入ポンプ・窒素ポンプ・パッカ注入部に分けられる。

トレーサタンクの容量は 50 ℓ とした。これは次の理由による。すなわち、 $10^{-9}$  cm/s のオーダの透水性では  $10 \text{ kg/cm}^2$  の加圧時に 1 m の長さで数  $10 \text{ ml/day}$  の流量であり、その 10% の量は数  $\text{ml/day}$  に相当する。透水性が 1～2 桁大きくても、1 回の試験で継続して 2 ヶ月は流せる量であり、十分な量であると判断したことによる。さらにこれは注水圧を制御することによっても容易に対応できるものである。また、トレーサタンク内は窒素雰囲気とし、次項で述べる採水装置で用いるバージヘッダから窒素を供給した。

トレーサタンクからテフロンチューブのドラム式流量計へは  $10 \text{ kg/cm}^2$  の注入圧で最大  $20 \text{ ml/min}$  ( $= 72 \text{ ml/day}$ ) の吐出能力のあるポンプを設置した。この能力のポンプとしたのは、直接ポンプで注入する事態も想定し、上記に示した微量注入を可能にするためである。

テフロンチューブ製のドラム式流量計は極微量の注入が可能となるよう設計・製作したものである (Fig. 2—31 参照)。テフロンチューブは  $10 \text{ kg/cm}^2$  の耐圧性を有する内径 6 mm の透明な PFA 製チューブであり、ドラムに巻いた時のチューブ中心間距離は 50.3 mm のため 1 周の容量は  $44.6 \text{ ml}$  に相当する。1 回の満杯充填量を 3 ℓ とするよう約 65.5 周を巻きつけた。3 ℓ の容量としたのは最大の流量を想定しても少なくとも 1 日 1 回の充填回数で済ませるためである。

加圧注入は基本的に脈動を発生させないためと微量流量が制御できるようにガス圧によ

Table 2-1 List of Water Injection Apparatus.  
注水装置機器リスト

名 称	数量	主 な 仕 様
受 水 槽	1	容量 750 ℓ
ポ ン プ	1	最高吐水圧力 50 kg/cm <sup>2</sup> , 容量 6.7 ℓ/min, 圧力制御弁付
圧 力 計	3	注水ポンプ付属 0~100 kg/cm <sup>2</sup> , 流量計付属 0~25 kg/cm <sup>2</sup> パッカ付属 0~20 kg/cm <sup>2</sup>
流 量 計	2	ミニ磁気追従式流量計耐圧 20 kg/cm <sup>2</sup> , 0.3~3 ℓ/h, フロート式流量計耐圧 10 kg/cm <sup>2</sup> , 1~10 mℓ/min
パ ッ カ	6	NX用, 最高使用圧 50 kg/cm <sup>2</sup>
ヘ ッ ダ	2	25A (パッカ用), 65ASUS (載荷用)

Table 2-2 List of Tracer Injection Apparatus.  
トレーサ注入装置機器リスト

名 称	数量	主 な 仕 様
窒 素 ポ ン プ	1	充填圧力 150 kg/cm <sup>2</sup>
減 圧 弁	1	150/0~10 kg/cm <sup>2</sup>
減圧弁付フィルタ	3	ろ過度 5 μm, 0~10 kg/cm <sup>2</sup> 圧力計付
トレーサタンク (貯槽)	3	容量 50 ℓ
トレーサ注入ポンプ	3	イワキ電磁定量ポンプ最大吐出量 20 mℓ/min 最大吐出圧力 10 kg/cm <sup>2</sup>
ドラム式流量計	3	塩ビ製ドラム PFA チューブ巻内容積 3 ℓ
圧 力 計	10	0~10 kg/cm <sup>2</sup> 6個 (トレーサ注入用), 0~35 kg/cm <sup>2</sup> 3個, 0~50 kg/cm <sup>2</sup> 1個 (以上パッカ用)
ダ ブ ル パ ッ カ	3	使用圧 50 kg/cm <sup>2</sup>
手 押 ポ ン プ	1	使用圧最大 200 kg/cm <sup>2</sup>
ヘ ッ ダ	1	15ASch 40 STPG

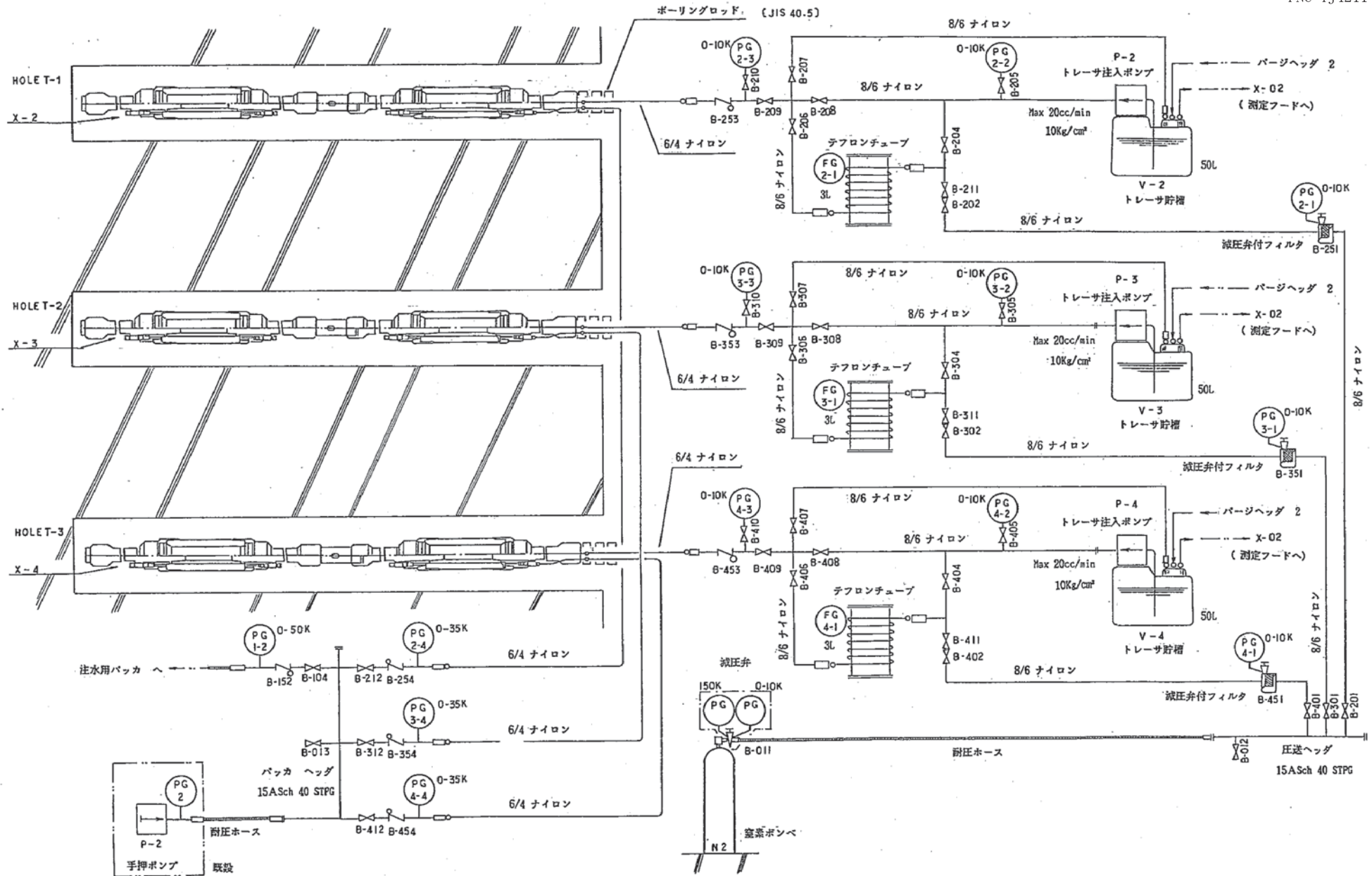


Fig. 2—31 Apparatus for Tracer Injection.  
トレーサ注入装置

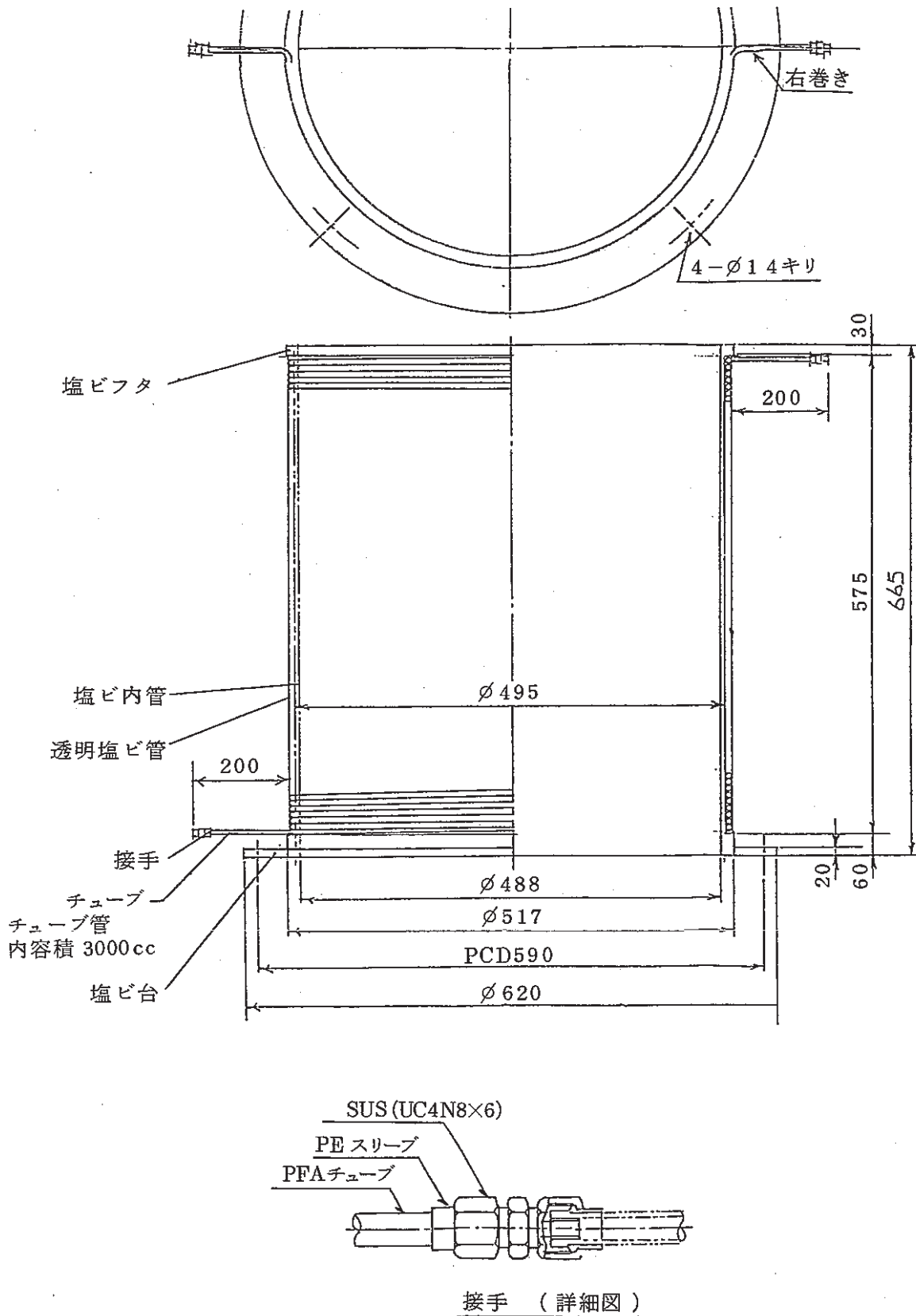


Fig. 2—32 Flow Meter Instrument for Tracer Injection.  
 注入装置用流量計

る注入とした。ガスは窒素ガスを用いることとし、窒素ガスポンペは通常 $150\text{ kg/cm}^2$ にて加圧注入されているので、減圧弁により $10\text{ kg/cm}^2$ に減圧し、さらに圧力可変のフィルタ付減圧弁( $0\sim 10\text{ kg/cm}^2$ )で適切な注入圧を設定できるものとした。ドラム式流量計に充填されたトレーサ水は設定された窒素圧力でパッカ内トレーサ注入部に送られる設計とした。その間には圧力計を設置した。

ダブルパッカの注入区間は注入対象とする割れ目が区別できるようになるべく短く設計した。最終的に設計製作したダブルパッカの注入区間(孔壁に密着するゴムの端部間の距離)は $32\text{ cm}$ である。この注入区間の中心部に4方向に流出できるよう、注入用穴を設けた。

パッカシステムは注水用パッカと同じ手動ポンプで加圧することとし、パッカ用ヘッドから逆止弁・圧力計( $0\sim 35\text{ kg/cm}^2$ )を経由して各パッカに接続するように設計した。注入圧が最大 $10\text{ kg/cm}^2$ と想定され、差圧が $25\text{ kg/cm}^2$ あればパッカ効果は充分であるので、圧力計の最大目盛りを $35\text{ kg/cm}^2$ とした。

Table 2—2 にトレーサ注入装置用機器の名称および主な仕様を掲げた。

### 2.5.3 採水装置および分析装置

採水装置および分析装置のシステムをFig. 2—3 2 に示す。

これらのシステムは流出液を受ける採水装置、流出液を溜めるポット、採水装置・ポット内を窒素雰囲気にするための窒素ガス供給装置および分析装置よりなる。

採水装置は割れ目を伝って流出してくる水を採取できるよう、割れ目に沿って設けた採水孔に設置できるメカニカルパッカ式採水装置を設計・製作した。Fig. 2—3 3 にその仕様を示す。採水空間は空気に触れないよう窒素雰囲気となるよう窒素ガス注入パイプが設けられている。流出液は常時窒素ガスにより押し出される仕組みとなっている。

流出液を溜めるポットは微量流量が測定できるよう $100\text{ ml}$ の容量を有する量水器とオーバーフローを採取できる貯水ポットよりなる。量水器の下部には溜まった水を採取できるよう $100\text{ ml}$ のサンプルポットを設置し、全て窒素雰囲気となるようにチューブを配管した。

窒素ガス供給装置は $150\text{ kg/cm}^2$ の窒素ガスポンペと減圧弁、フィルタ付減圧弁、圧力調整器、圧力計( $0\sim 300\text{ mmHg}$ )、ページ用ヘッド、接点付圧力計( $0\sim 300\text{ mmHg}$ )、

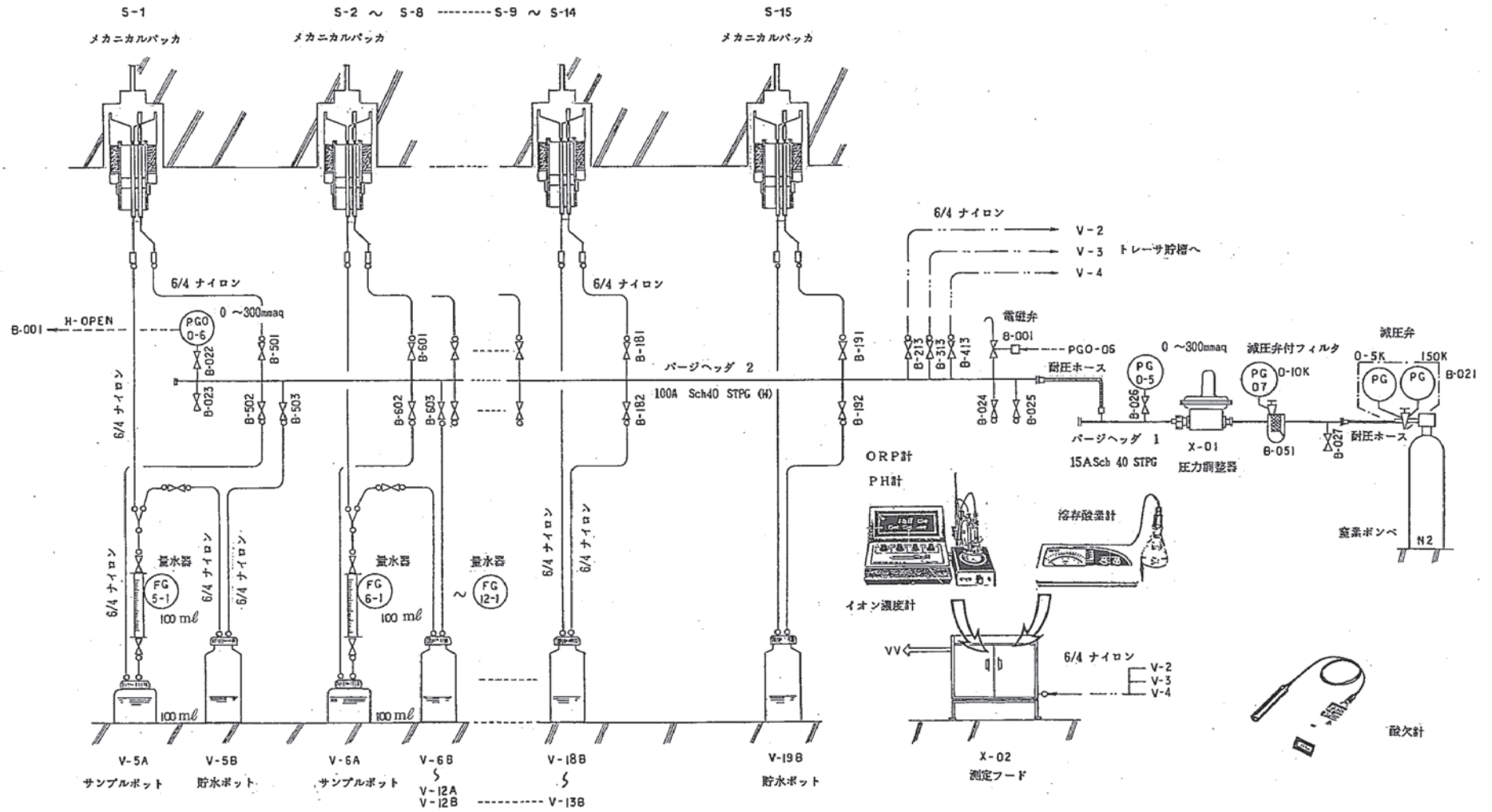


Fig. 2—33 Apparatus for Sampling of Effluent and Chemical Analysis.  
流出液採水装置および化学分析装置

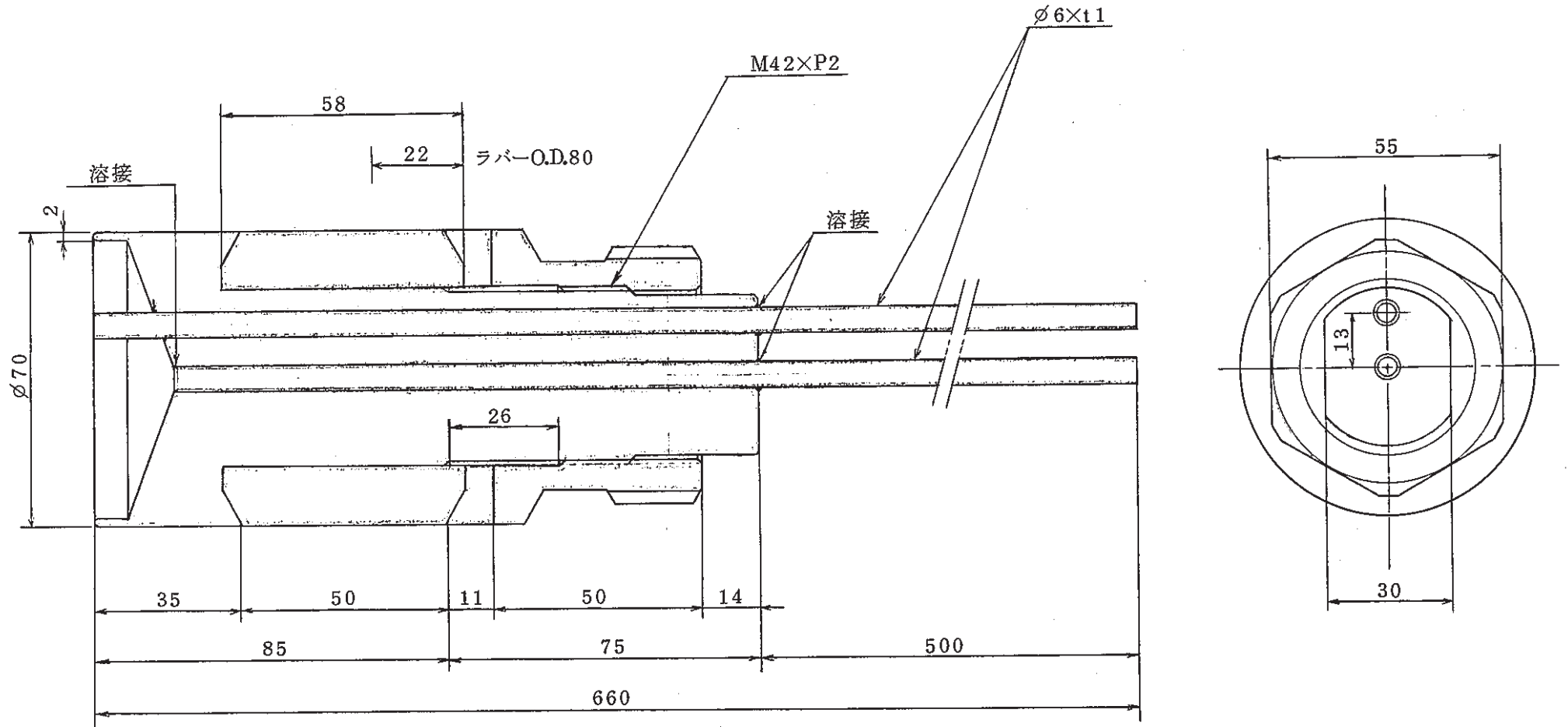


Fig. 2—34 Instrument for Sampling of Effluent.  
メカニカルパッカ式採水装置



電磁弁およびこれらをつなぐナイロンチューブよりなる。接点付圧力計はパージヘッド内圧力が設定圧以上になると電磁弁を開き、圧力を下げるための安全装置である。パージ用ヘッドからは採水装置、集水器（ポット）、トレーサタンク、次に述べる測定フードに接続し、これらの内部を同圧の窒素ガス雰囲気とした。

分析装置は集水した流出液を窒素ガス雰囲気内で溜めておくためと窒素ガス雰囲気中で測定するための測定用フードと溶存酸素計、イオンメータ（ORP・pH・イオン濃度測定用）よりなる。一定量溜まった流出液は両測定器で溶存酸素、ORP、pH、イオン濃度を測定し、さらに一部は水質分析のために実験室に送られる。

Table 2—3 にトレーサ注入装置用機器の名称および主な仕様を掲げた。

#### 2.5.4 試験装置の据付

試験装置の配置図をFig. 2—3 4 に示す。

採水孔の掘削後、A・B空洞床面を整理し、上記機器を据え付けた。採水箇所为天盤はもろく、一部で小規模の崩落があったため、当初の設計を変更して、採水孔下部には試験装置を据え付けないこととし、測定フード、パージヘッド、サンプルポット、貯水ポットは採水空間の奥に配置した。その他の装置は設計通り据え付けた。

Table 2—3 List of Apparatus for Sampling of Effluent and Chemical Analysis.  
採水装置・分析装置機器リスト

名 称	数量	主 な 仕 様
窒 素 ポ ン ペ	1	充填圧力150 kg/cm <sup>2</sup>
減 圧 弁	1	150/0~10 kg/cm <sup>2</sup>
減圧弁付フィルタ	1	ろ過度5 μm, 0~10 kg/cm <sup>2</sup> 圧力計付
圧 力 調 整 器	1	3 kg/cm <sup>2</sup> / 100~200 mm a q
圧 力 計	2	0~300 mm a q
パ ー ジ ヘ ッ ダ	1	15 A S c h 40 S T P G
メカニカルパッカ	15	NX用ラバー部外径70 mm, SUS304
量 水 器	8	100 ml 用
サンプルポット	8	100 ml 用
貯 水 ポ ッ ト	15	1 l 用
測 定 フ ー ド	1	アルミ型枠樹脂製, 内径435×480×990 mm
溶 存 酸 素 計	1	DO1Bパーセント目盛(0~150%)精度±3%, ppm目盛(0~15 ppm)精度±2℃
イオンメーター	1	東亜電波工業製イオン濃度0.01~19.9×10 <sup>3</sup> ppm, ORP 0~±1999 mV, pH 0.00~14.00

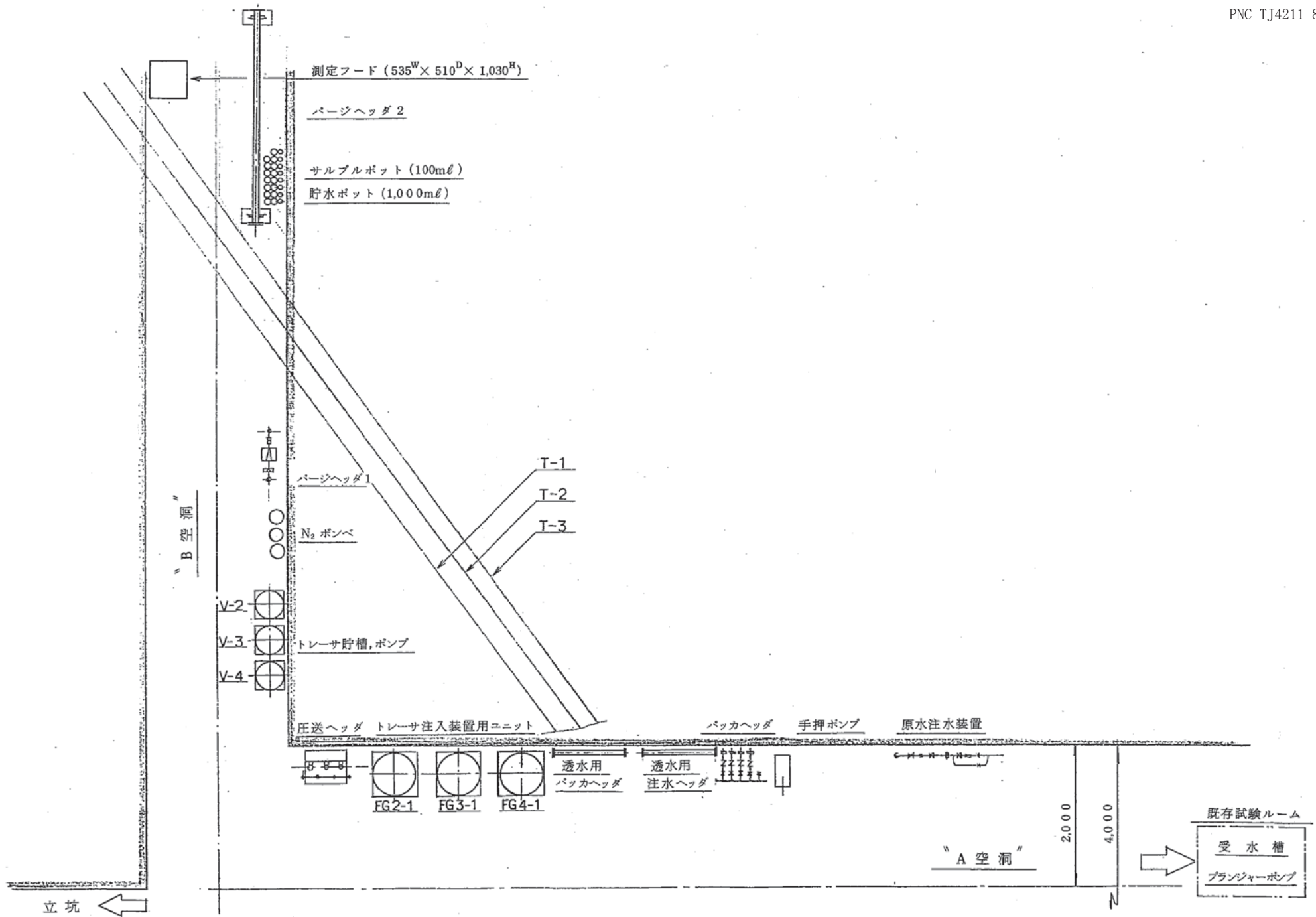


Fig. 2—35 Layout of Installed Apparatus.  
試験装置配置図

## 2.6 トレーサ試験

透水試験により概略の透水性を把握し、コア調査および孔壁調査によりトレーサ試験の対象割れ目箇所を選定したのを受けて、本トレーサ試験を実施した。

### 2.6.1 試験方法

本トレーサ試験の概念はFig. 1—3に示した通りである。すなわち、注水孔に水を圧入し、B空洞天盤に向かう地下水流を人工的に生じさせる。その地下水流は対象とする割れ目を主として通ることを透水試験で確認しているが、岩盤が多孔質であることから割れ目以外の部分をも微量流れている可能性がある。しかしながら、本試験の計画においてはストリパ鉱山において実施された単一割れ目トレーサ試験概念を参考としたことと、割れ目を通る流量の方が割合としては大きいと判断されることから、割れ目を対象として一定数量の採水孔を設置し、同孔内に流出する地下水を採取して、トレーサの移行および水質を評価することとした。採水孔の数を限定したのは、割れ目面全てを流れる地下水流を把握するために採水孔を連続的に設置するのが岩盤の強度上、困難であることによる。

人工的に生じさせた地下水流の途中にトレーサ孔よりトレーサを添加した試験水を注入し、流出液中のトレーサ濃度変化の測定と水質分析を実施した。

以下に本トレーサ試験の方法・条件を述べる。

#### (1) トレーサ溶液の調整

沃素、臭素が非収着性トレーサとして有効であることは既存試験場でのこれらトレーサを用いた試験で確認されている。本試験においてもこれらの元素をトレーサとして用いることとしたが、注入箇所が3箇所であるので、中央のF—1割れ目を対象として沃素を用い、F—2・3割れ目を対象として臭素を用いた。F—2・3の割れ目を対象として同じトレーサを用いたのは、F—2・3は相互に1 m程離れており、トレーサの移行距離はそれよりも短いので相互のコンタミネーションはないと判断したことによる。

使用した試薬は次の通りである。

沃素：三津和化学薬品(株)製沃化リチウム Lithium Iodide Dihydrate  $LiI \cdot 2H_2O$

臭素：関東化学(株)製臭化リチウム Lithium Bromide  $LiBr \cdot H_2O$

これらを原液濃度が  $100 \text{ mg} / \ell$  となるよう電子天秤で秤量し、トレーサタンク内の

水に加えた。F—1～3の割れ目へ注入されるトレーサ液を溜めておくT—1～3のそれぞれのトレーサタンク内の原液濃度は以下の通りである。

タンク	トレーサ	原液濃度
T—1	沃素	96 mg / ℓ
T—2	臭素	106 "
T—3	臭素	103 "

#### (2) トレーサ液の圧入

各割れ目を対象として設置したトレーサ注入用ダブルパッカ内の地下水圧を測定し、そのほぼ10%増しの注入圧となるようトレーサ液を圧入した。その調整は可変式の減圧弁付フィルタで行った。しかしながら、圧力の設定が困難であるので、試験の中途(3日目以降)から注入量がほぼ一定となるように注入圧を設定した。

ドラム式微量流量計内のトレーサ液が減少した時には、注入を一時停止し、トレーサタンクよりトレーサ液をドラム式微量流量計へ送り、流量計内のトレーサ液が満たされた後に圧入を再開した。流量計内への注入には約2時間かかるため、その間はドラム式微量流量計からは注入が一時停止している状態にあったことになる。しかし、流量計とダブルパッカ間には逆止弁が設置されており、圧入を一時停止した後も圧力が地下水圧と同じになるまでは、注入が継続していた。

#### (3) 流出液の採取

各採水孔に連絡している量水器および貯水ポットを1日定時にチェックし、流出が認められている場合には流出量を測定した。さらに、流出量の合計が300mlを越えた場合にはその液をトレーサ濃度・溶存酸素・pH・Eh測定用の1単位容量とし、そのなかから300mlを測定に供した。残りの液は水質分析用に保存し、2.5ℓ溜まった時点で実験室に送付して水質分析を行った。

#### (4) トレーサの分析

トレーサの分析には東亜電波工業(株)製1M-20Eデジタルイオン濃度計を用いた。同イオン濃度計の仕様を以下に示す。

イオン濃度計：東亜電波工業(株)製イオンメータ Eシリーズ, 1M-20E

(仕様) 測定レンジ  $X^+$ ,  $X^-$ ,  $X^{2+}$ ,  $X^{2-}$ , mV, pH

表示法 デジタル表示

## 測定範囲

ppm	$0.01 \sim 19.9 \times 10^3$ ppm
mV	$0 \sim \pm 1999$ mV
pH	$0.00 \sim 14.00$

## 指示器精度

ppm	$\pm 1\%$ r.d.g. $\pm 1$ digit
mV	$\pm 1\%$ r.d.g. $\pm 1$ digit
pH	$\pm 0.01$ pH $\pm 1$ digit

## 出力

ppm	10 mV F. S.
mV	$\pm 20$ mV F. S.
pH	$\pm 35$ mV F. S.

電源 AC100V 50, 60Hz

消費電力 約6VA

本体寸法 276 (幅)  $\times$  183 (高)  $\times$  280 (奥) mm

本体重量 約3.2kg

ORP電極 東亜電波工業(株)製PTS-5011C

比較電極 飽和AgCl電極

沃素イオン電極 I-125

測定レンジ X<sup>-</sup>

測定範囲(mol/l)  $10^{-7} \sim 10^0$

" (ppm) 0.013 ~ 127000

臭素イオン電極 BR-125

測定レンジ X<sup>-</sup>

測定範囲(mol/l)  $10^{-5} \sim 10^0$

" (ppm) 0.8 ~ 80000

比較電極 HS305DP

外筒液 10W/V%硝酸カリウム溶液

イオン強度調整剤 ISA-CL

沃素イオン電極を用いる場合、 $S^{2-}$ は共存不可のイオンであるが、本地下水中には含まれていないためその影響はない。また、臭素イオンは選択係数が $10^{-4}$ （共存イオンが測定イオンの選択係数倍含まれると同一の指示値を示すことを意味する。臭素濃度が沃素濃度の1千倍含まれても指示値の誤差は10%程でしかないことになる。）であり、問題はない。しかしながら、臭素イオン電極にとっては、沃素イオンの選択係数は逆に $10^{-4}$ となり、 $0.01\text{ mg/l}$ の沃素濃度は $100\text{ mg/l}$ の臭素濃度値を示すことになり、その影響は非常に大きいことになる。臭素の測定値の解釈にはこの点に注意を払った。

#### (5) 水質分析

水質分析項目は溶存酸素濃度、pH、Ehおよび溶存成分（Ca、Mg、Na、K、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、Al、 $Cl^{-}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $SiO_2$ 、Sr、Cs、 $HCO_3^{-}$ ）である。それらの測定機器として以下のものを使用した。

溶存酸素計：東亜電波工業(株)製DO1B溶存酸素計

#### (仕様) 温度計

検出方式	ガラスサーミスタブリッジ法
指示計目盛	0～50℃
精度	±1℃
出力	1mV/℃

#### 溶存酸素計

検出方式	隔膜電極法
パーセント目盛	
指示計目盛	0～150%F・S
精度	±3%
応答速度	約20秒(90%指示)
出力	15mV F・S.

#### ppm目盛

指示計目盛	0～15ppm
温度設定精度	±2℃
出力	15mV F・S.

電源 UM-2×1コ(温度計用)

電池動作	UM-3×8コ
商用電源動作	ACアダプター (AC 100V-DC 12V用)
寸法	約300(幅)×100(高)×185(奥) mm
重量	約1.6 kg

イオン濃度計：東亜電波工業(株)製イオンメータ Eシリーズ, 1M-20E

(仕様は前出)

溶存成分分析：Ca, Mg, Fe<sup>3+</sup>, Al, SiO<sub>2</sub>, Sr

プラズマ発光分光 (ICP) 法

Na, K, Cs 炎光光度法

Fe<sup>2+</sup> 比色法

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> イオンクロマトグラフ法

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 塩化ストロンチウム—塩酸滴定法

## 2.6.2 試験結果および考察

試験データは注水圧, 注水量, トレーサ注入圧, トレーサ注入量, 流出量, 流出液中ト  
レーサ濃度・溶存酸素・pH・Eh・溶存成分に大別される。

### (1) 注水圧およびトレーサ注入圧の経時変化

注水用シングルパッカおよびトレーサ液注入用ダブルパッカのヘッド圧の経時変化をFi  
g. 2—35に示す。試験継続期間中, それぞれのパッカヘッド圧はそれぞれの注入圧より  
ほぼ10 kg/cm<sup>2</sup>以上高い圧力を維持したので, パッカは十分その能力を発揮したと判断さ  
れる。また, 上向きの各トレーサ注入孔からの漏水は試験期間中認められていない。

注水用パッカヘッド圧は試験開始後4日間は40 kg/cm<sup>2</sup>程に維持したが, 3日目から注  
水圧が数kg/cm<sup>2</sup>と低下させたのに伴い, 5日目以後は圧力を戻さず, 放置した。試験終了  
時の同圧は約14.5 kg/cm<sup>2</sup>まで低下したが, その値でもその時の注水圧約7.2 kg/cm<sup>2</sup>より  
は十分高い値である。

一方, トレーサ液注入用パッカ圧は試験開始時に約21 kg/cm<sup>2</sup>, 終了時でも約19~2  
0 kg/cm<sup>2</sup>であり, 2~6 kg/cm<sup>2</sup>のトレーサ注入圧に比べて十分高い値である。一部に変動  
が認められるのは, 注水圧の変動にしたがってパッカ圧が変動したことによる。

注水孔への注水圧力およびトレーサ注入孔へのトレーサ液注入圧力の経時変化をFig. 2



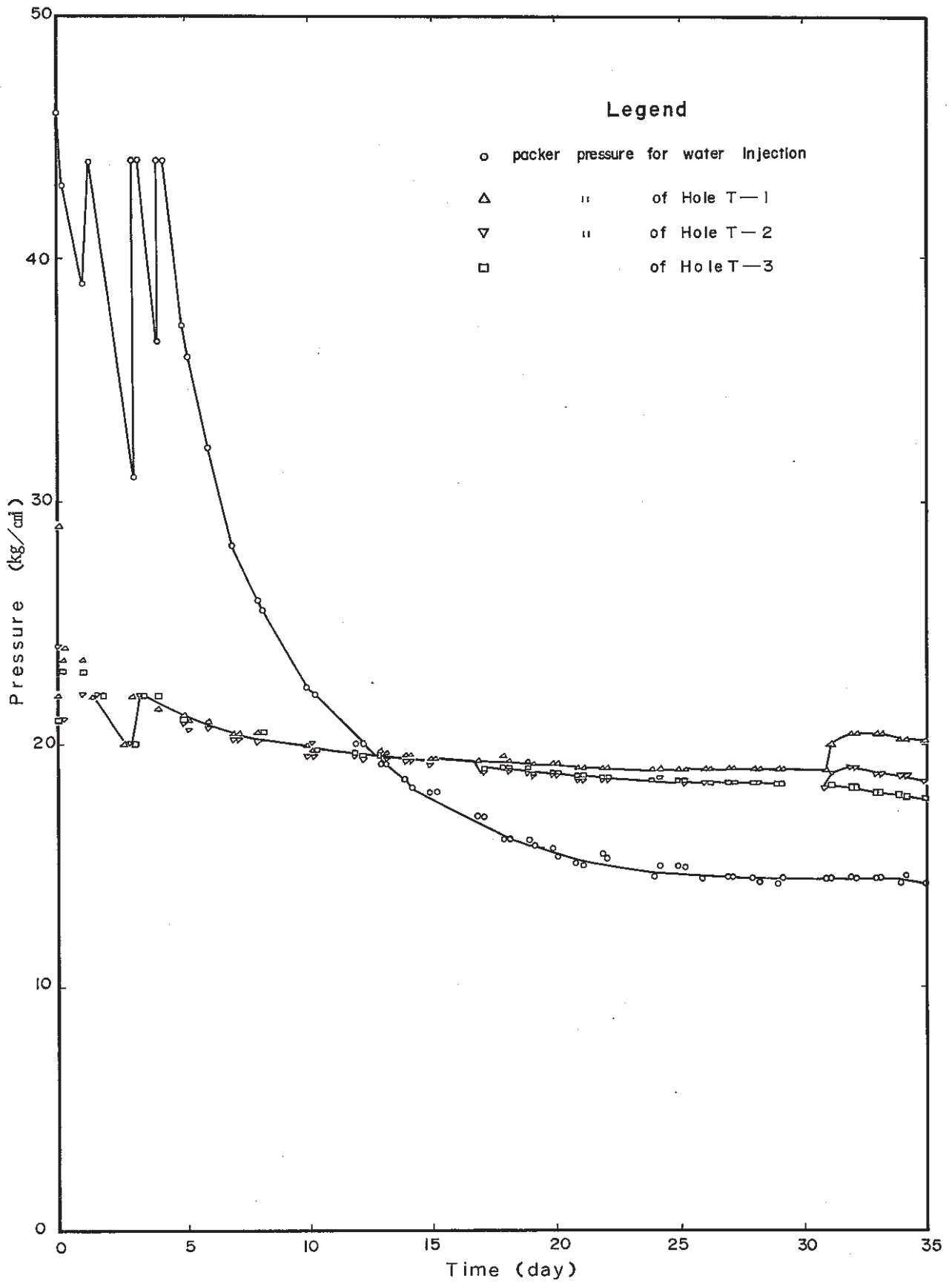


Fig. 2—36 Packer Pressure as a Function of Time.  
 パッカ圧の経時変化

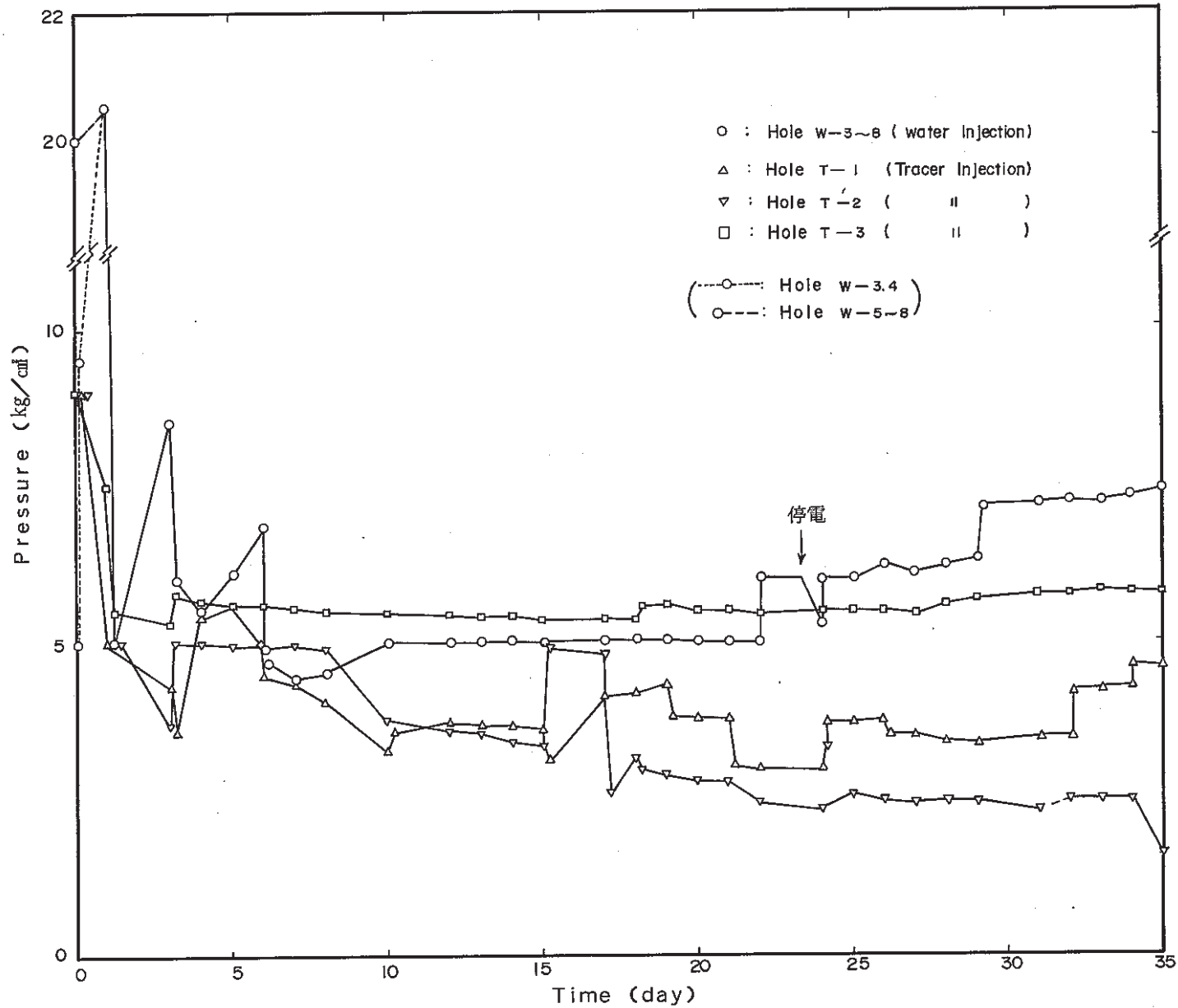


Fig. 2—37 Water and Tracer Injection Pressure as a Function of Time.  
注水圧およびトレーサ液注入圧の経時変化

—36に示す。

試験開始初期は透水試験および孔壁観察の結果を受けて、約20 kg/cm<sup>2</sup>の注入圧を設定したが、一部の採水孔に多量の流水を認めため、注水圧を順次減少させ、約6日目以降は約5 kg/cm<sup>2</sup>に設定した。しかし、途中で注水圧の流出液量に及ぼす影響をみるため、22日目で6 kg/cm<sup>2</sup>、29日目で7.2 kg/cm<sup>2</sup>に昇圧した。

トレーサ注入圧は各注入孔への注入圧と注入量の関係から、各孔とも独自の値に設定した。各孔とも1日目は約9 kg/cm<sup>2</sup>の注入圧となったが、2日目以降はT-3孔の注入圧は約5.5 kg/cm<sup>2</sup>と一定であった。本孔への注入量は非常に少なく、6日目から22日目までは注水圧よりも高い値である。これはT-3孔の注入箇所が注水孔からの水みちと会合していなかったことによるものである。T-3孔に関しては結果としてトレーサ液の直接注入試験であったといえる。

T-1孔注入箇所は孔壁観察で注水孔と、透水試験でB空洞天盤と連絡していることが判明しており、注水圧と同様試験開始後数日間は3.5 kg/cm<sup>2</sup>から5.5 kg/cm<sup>2</sup>の間で変動があったが、6日目以降は3 kg/cm<sup>2</sup>から4.5 kg/cm<sup>2</sup>の間の値となっている。試験期間中は注入量を制御したため、やや変動のある注入圧となった。

T-2孔への注入は3日目から8日目にかけてほぼ5 kg/cm<sup>2</sup>で一定であったが、その後順次減少し、約20日目以降は約2.5 kg/cm<sup>2</sup>の注入圧となった。

一番連絡性の良いT-1孔の注入圧は22日目と29日目の注水圧の増加に比べてそれぞれ2日および3日遅れで増加している。これはトレーサ注入量を一定とするために、注水圧の増加に伴って生じたトレーサ注入量の低下を元に戻したために生じたものである。

## (2) 注水量およびトレーサ注入量の経時変化

注水量は流量計の目盛りの経時変化から求めることができるが、本試験においては後に示す通り試験定常時の総注水量は約80ℓ（約1 ml/min）であったため、設置した微小流量計の測定限界値ぎりぎりの範囲の値であった。さらにまた、プランジャーポンプが脈動を示すためフロート式流量計の指示値が大きな変動を示したこともあり、正確な流量が把握できなかった。

したがって、注水量は受水槽の水位の経時変化により把握した。Fig. 2—37にその水位変化および換算した注入量を示す。初期の急激な立ち上がりはシングルパッカの先の注入空間を水密にするために注入された量を示している。2日目以降変化が緩慢になり、1

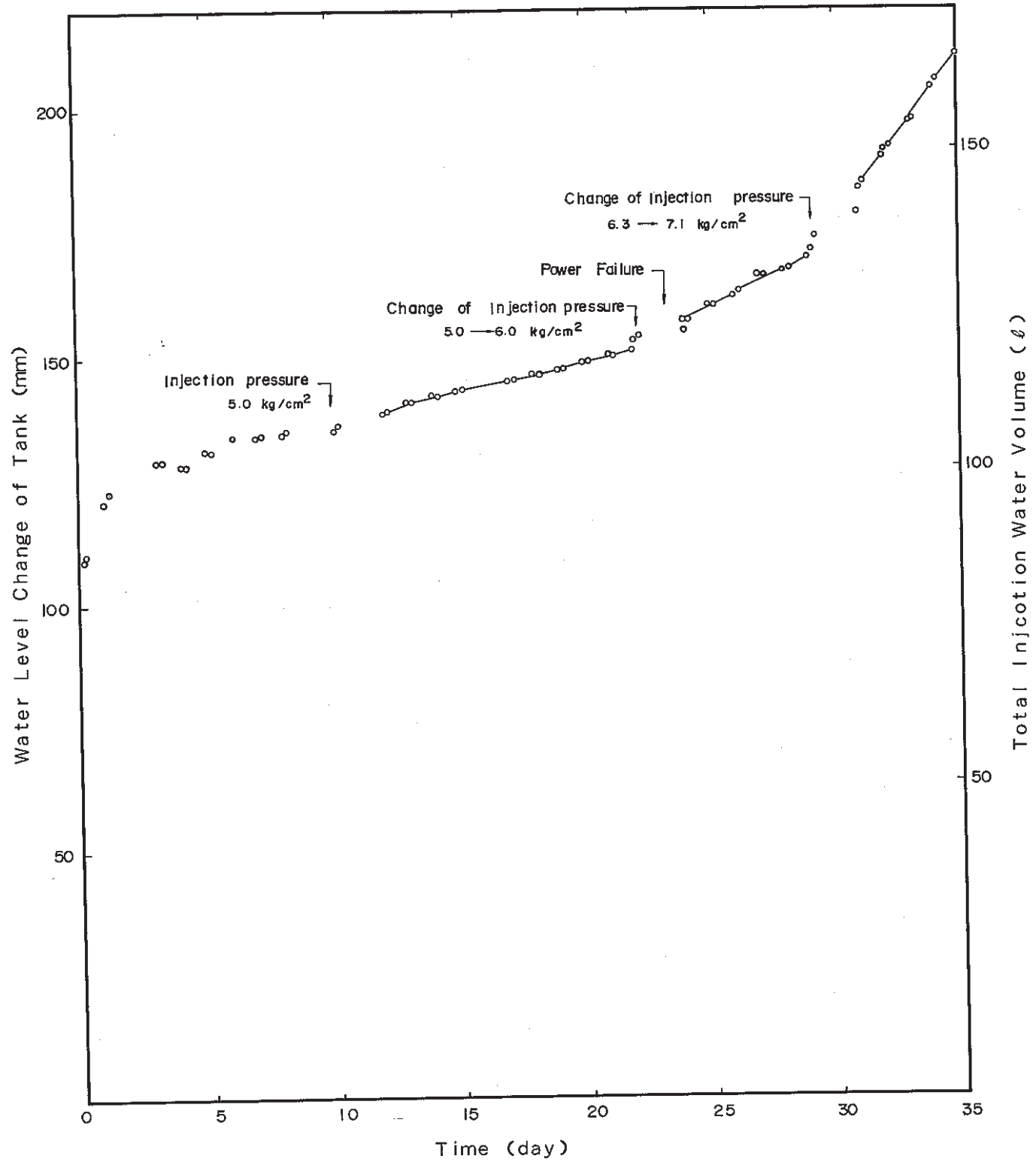


Fig. 2—38 Cumulative Injection Water Volume as a Function of Time.  
 累積注水量の経時変化

0日目以降は注入量の変化率が一定となった。これは、注入圧が5 kg/cm<sup>2</sup>で一定となったことによるが、それ以前でも注入圧は大きな変動を示すものの注入量にはそれほどの変化は現れていないと判断される。注入圧を5 kg/cm<sup>2</sup>から6 kg/cm<sup>2</sup>へ、および6.3 kg/cm<sup>2</sup>から7.1 kg/cm<sup>2</sup>へ上げた時には、約1日経過時以降上昇した一定の注入量となっている。各圧力段階での注水孔全体への平均注入量を求めると次のようになる。ただし、算出にあたっては漏水量測定期間内における漏水量はそれぞれ一定のものとして考慮してある。

<u>平均注入圧</u>	<u>平均注入量</u>
5.0 kg/cm <sup>2</sup>	0.7 ℓ / d a y
6.1 kg/cm <sup>2</sup>	1.7 ℓ / d a y
7.2 kg/cm <sup>2</sup>	4.9 ℓ / d a y

通常、限界圧力以下においては注入量と注入圧は比例関係にある。本試験の注入時には注入圧の増大に比して、注入量の増加の割合が高いが、次項に示すように流出量が大きく増大したのではないため、限界圧力以上であった可能性はないと判断される。

各孔へのトレーサ注入量の累積変化をTable 2—4に示す。さらに、Fig. 2—38にはその経時変化を図示した。

T—1・2・3孔への累積注入量はそれぞれ約32.4, 18.0, 5.9 ℓとなった。孔壁観察ではT—1孔でのパッカ設置区間が最大の流出状況を示したが、トレーサ注入結果もそれを追認したものとなっている。T—3孔への注入は注水圧の変動にもかかわらず、トレーサ注入圧がほぼ一定のため、一定の注入量変化を示している。これは既述の通り、約30 cm上部で注水孔より圧入した水が最大20 kg/cm<sup>2</sup>の加圧においても、同孔に到達しなかった、すなわち、注水孔とT—3トレーサ注入孔が透水性の点で連絡していなかったことを示している。この時、T—3注入区間での透水係数を(2.1)式により求めることができる。3日目から31日目までの総注入量は5.223 ℓである。注入区間が32 cmであることから、

$$T-3 \text{ 孔注入区間の透水係数: } K = 4.2 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$$

が得られる。この値は透水試験で求めた透水係数より1桁大きいものの、F—1割れ目の透水性としては岩盤の透水性に近い値であると判断される。

T—1・2孔は注水圧やトレーサ注入圧の変化に応じた注入量変化を示していることが認められる。ただし、T—2孔の注入後20日前後の注入量が増加していないのは、注入

Table 2—4 Cumulative Volume of Tracer Injection Water as a Function of Time.  
 累積トレーサ注入量の経時変化

Time (d, h, m)	Cumulative Volume (ℓ)			Time (d, h, m)	Cumulative Volume (ℓ)		
	Hole T-1	Hole T-2	Hole T-3		Hole T-1	Hole T-2	Hole T-3
1.00	0.915	0.212	0.191	19.02.10	20.472	—	—
2.00	—	0.334	0.212	19.03.40	20.587	9.838	3.206
3.00	—	0.413	0.227	19.21.30	21.463	9.840	3.324
4.00	0.988	0.473	0.232	20.03.20	21.794	9.841	3.374
22.00	0.990	0.526	0.276	20.21.40	22.682	9.842	3.524
1.04.00	1.025	0.527	0.218	20.22.10	22.703	—	—
2.21.40	—	0.709	0.232	21.01.40	22.703	—	—
2.21.50	—	0.736	0.238	21.03.30	22.958	9.842	3.593
2.22.00	4.223	—	—	21.21.40	24.174	9.843	3.778
3.04.00	4.223	1.100	0.278	21.22.10	24.196	—	—
3.21.30	4.223	2.009	0.386	22.02.00	24.196	—	—
4.04.00	4.603	2.236	0.426	22.03.40	24.296	9.845	3.825
4.21.40	6.440	2.250	0.537	23.21.50	24.647	9.846	4.152
5.01.10	6.891	2.700	—	24.00.20	—	10.033	—
5.02.10	6.983	2.792	—	24.00.40	24.695	10.073	—
5.04.20	6.983	2.792	—	24.00.50	24.697	—	—
5.04.40	—	—	0.578	24.04.10	24.984	10.211	4.205
5.21.50	8.263	3.068	0.711	24.21.50	26.419	10.364	4.345
6.03.20	8.558	3.352	0.748	24.22.30	26.430	—	—
6.21.50	9.587	4.108	—	25.01.20	26.430	—	—
6.22.00	—	—	0.883	25.03.30	26.674	—	4.390
6.22.50	9.692	—	—	25.04.40	—	10.402	—
7.01.40	9.692	—	—	25.21.50	27.863	10.493	4.539
7.02.00	9.710	—	—	25.22.40	27.926	—	—
7.04.00	9.818	4.456	0.932	26.01.20	27.926	—	—
7.21.50	10.378	5.345	1.074	26.01.50	27.975	—	—
7.22.30	—	5.372	—	26.03.30	28.050	10.527	4.573
8.01.40	—	5.372	—	26.21.40	28.763	10.627	4.708
8.02.10	10.593	—	1.110	27.04.00	29.031	10.691	4.752
8.02.20	—	5.390	—	27.21.50	29.564	11.071	4.894
9.22.00	12.604	5.982	1.460	28.03.50	29.699	11.412	4.937
10.02.20	12.604	—	—	28.22.00	30.243	12.635	5.073
10.04.10	12.815	6.059	1.510	29.00.30	—	12.635	5.073
11.22.10	13.725	6.496	1.838	29.00.50	30.243	—	—
12.03.40	13.837	6.545	1.881	29.01.50	30.275	12.745	5.098
12.22.10	14.296	6.690	2.021	29.02.10	—	12.761	—
13.03.50	14.307	6.730	2.062	29.03.00	—	12.798	—
13.21.50	14.661	6.881	2.199	29.03.50	30.388	12.834	5.119
14.03.50	14.773	6.919	2.244	30.21.50	—	15.478	—
14.22.10	15.143	7.005	2.387	30.22.00	32.370	—	5.460
15.03.10	15.160	—	—	31.01.30	32.370	15.478	5.487
15.03.20	—	7.006	2.433	31.02.50	32.390	15.496	—
16.21.50	16.940	9.824	2.762	31.03.50	32.390	15.499	5.501
17.00.50	16.940	9.824	—	31.04.00	—	15.510	—
17.03.40	17.042	9.827	2.809	31.21.50	32.392	15.922	5.588
17.22.10	18.550	9.832	2.948	32.03.50	32.499	16.058	5.614
18.00.40	—	—	2.948	32.22.00	32.400	16.301	5.683
18.03.00	18.550	—	—	33.04.00	32.400	16.387	5.704
18.03.50	18.616	9.834	2.986	33.21.50	32.401	17.265	5.767
18.21.50	20.402	9.837	3.153	34.04.00	32.402	17.728	5.791
18.22.50	20.472	—	—	34.21.30	32.404	18.049	5.854

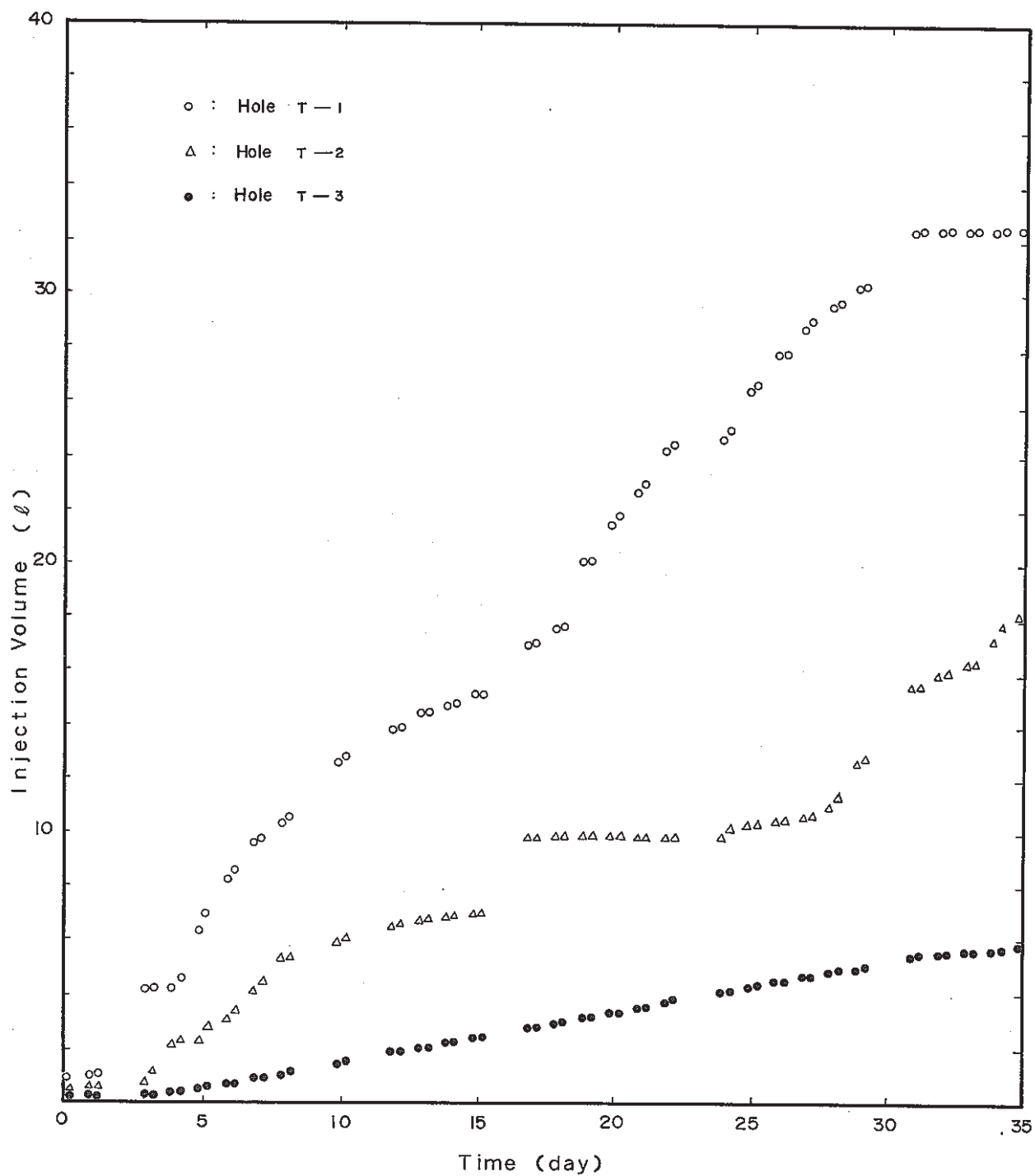


Fig. 2—39 Cumulative Change of Tracer Injection Volume to Holes T-1~3.  
 累積トレーサ注入量の経時変化

口のバルブを締めたままによるものである。T-1孔の30日以後の注入量が増加していない原因は不明である。

注水圧が5 kg/cm<sup>2</sup>で一定であった10～22日間において、T-1孔のトレーサ注入圧が約3.4 kg/cm<sup>2</sup>であった15日目と約2.8 kg/cm<sup>2</sup>であった20日目を比較すると、前者よりも後者の方が注入量の増加の程度が大きい。このことは試験対象岩盤内の地下水の流れ方が試験期間内で変化している可能性を示しているものと推察される。

注入圧を5 kg/cm<sup>2</sup>から6 kg/cm<sup>2</sup>に増大させた時、T-1孔へのトレーサ注入量は1.2 ℓ/day から0.2 ℓ/day に減少している。この時、トレーサ注入圧は約3 kg/cm<sup>2</sup>で一定であり、注水圧が6 kg/cm<sup>2</sup>の時トレーサ注入箇所での地下水圧は3 kg/cm<sup>2</sup>弱であったことを示している。これは注水孔より注水した水の移行距離が約60 cmであることを考慮すると移行距離に見合った水圧の低下を示しているのがわかる。



### (3) 流出量の経時変化

各採水孔への流出液は採水用メカニカルパッカで受け、量水器（100mlまで）および貯水ポット（1ℓまで）に貯水した。これら採水装置内はチューブも含めて、窒素ガス雰囲気には置かれたが、それらの装置へ窒素ガスを供給するパージヘッド内の窒素ガス圧は Fig. 2—39 に示すように約7～10mmHgの圧力に維持された。

Table 2—5 に測定した流出量の一覧を示す。さらに、Fig. 2—40 に各採水孔への流出液量の経時変化を示す。同図において、2日以上にわたって流出した液量を測定した場合はその採水日数で除した1日あたりの平均値として示した。全試験期間にわたって流出が認められなかった孔や、流出が認められた孔でも流出が認められなかった期間は表示していない。これらの値はあくまでも量水器あるいは貯水ポットに認められた量であり、採水孔内の採水用メカニカルパッカに流出した量ではないことに留意する必要がある。

同図によると流出した孔はS—1, 3, 5, 8, 15孔に限定される。これらのうち、S—1, 3, 5, 8孔はF—1割れ目を対象としたものであり、S—15孔はF—3割れ目を対象としたものである。F—2割れ目を対象とした孔には流出が認められていない。

F—2割れ目を対象としたS—9～11孔に流出が認められていないのはトレーサ注入量が非常に少ない（試験期間で約5.9ℓ）ため、および各採水孔がF—2割れ目に会合していないためと判断される。しかしながら、注水孔からは採水孔の上部全体に注水を行っており（Fig. 2—18参照）、トレーサ水でない、注水孔に圧入した水の流出の可能性も想定されたが、全く流出が認められなかったことからS—9～11孔上部の対象とした岩盤は本試験条件下においては不透水性岩盤として機能したことを示している。

Fig. 2—22～25, 28においてF—3割れ目を対象としたS—7, 12～15孔は全てF—3割れ目と会合していると推定した。岩盤透水条件は透水試験および孔壁観察結果から各孔ともほとんど同じと推定される。F—3割れ目を対象としたトレーサ孔はT—2孔であり、S—15孔の直上部に位置するのはT—2孔である。次項で示すようにS—15孔からの流出液には添加したトレーサが認められており、W—3, 5の注水孔から圧入された水がT—2孔を経由して、あるいはT—2孔からのトレーサ注入液が直接流出しているものと判断される。

同孔からの流出量の経時変化によると、試験開始後7日目で532ml/dayという最大流出量を示すが、その後減少し、19日以降流出が認められない。この理由として加圧

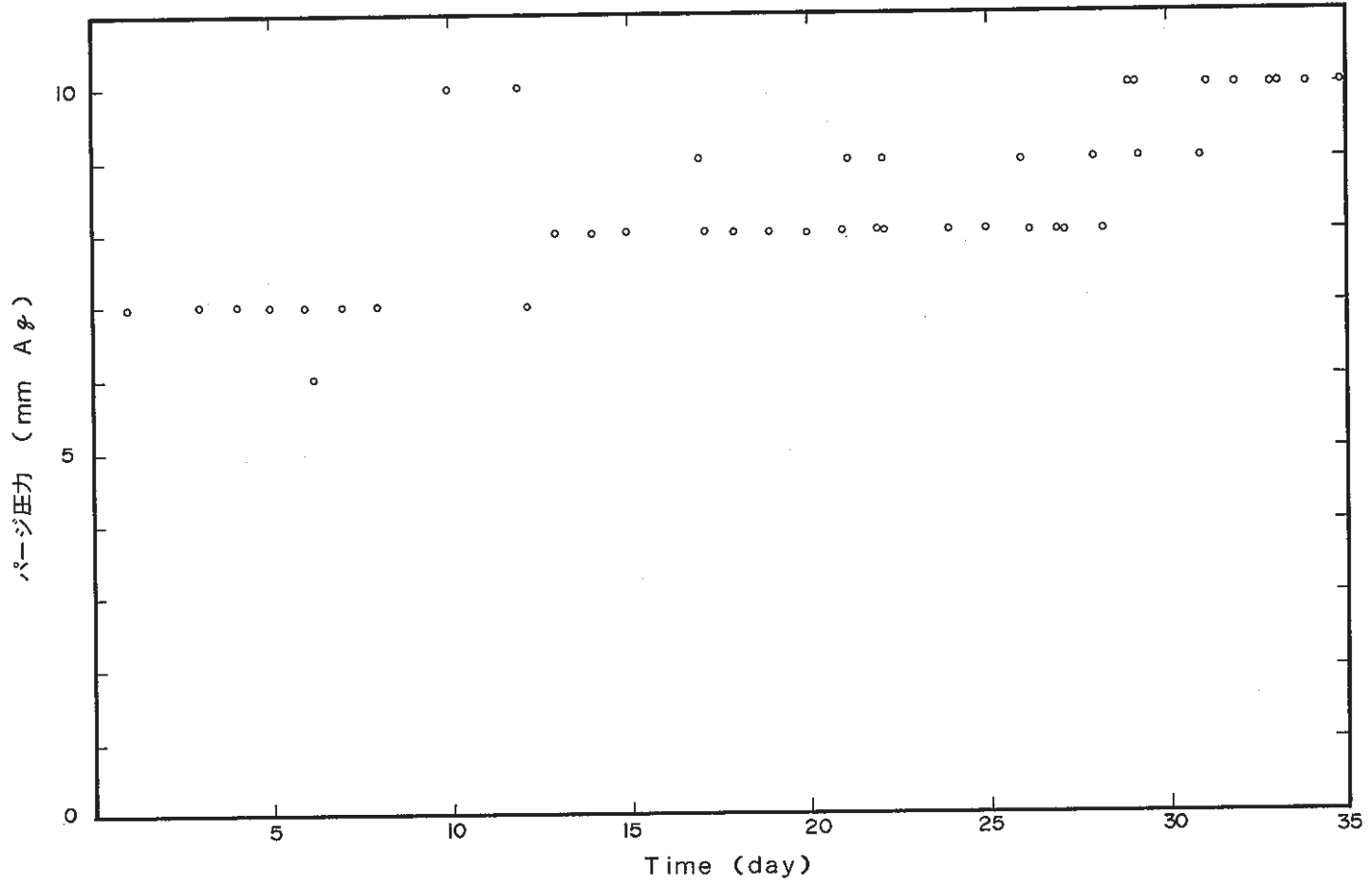


Fig. 2—40 Purging Pressure as a Function of Time.  
パーヅ圧力の経時変化

Table 2—5 Result of Effluent Volume Measurement.  
流出量測定結果

T I M E (d, h, m)	S-1 (mℓ)	S-3 (mℓ)	S-5 (mℓ)	S-8 (mℓ)	S-15 (mℓ)
	量/累積	量/累積	量/累積	量/累積	量/累積
1,00.00	150.6/ 150.6	44.4/ 44.4	147.8/ 147.8	0/ 0	(10.6/ 10.6)
1,06.00	45.1/ 195.7	0/ 44.4	26.4/ 174.2	↓	—
2,23.40	143.0/ 338.7	104.2/148.6	10.6/ 184.7		(21.2/ 31.8)
3,06.00	37.7/ 376.4	8.9/157.5	5.3/ 190.0		—
4,02.00	75.3/ 451.7	15.5/173.0	10.6/ 200.6		(10.7/ 42.5)
4,06.00	15.1/ 466.8	0/173.0	0/ 200.6		—
5,00.00	61.7/ 528.5	4.0/177.0	17.9/ 218.5		(10.7)/ 53.2
6,00.00	69.8/ 598.3	0.1/177.1	56.7/ 275.2		222.4/ 275.6
7,00.00	22.2/ 620.5	0.9/178.0	94.0/ 369.2		532.2/ 807.8
8,00.00	22.1/ 642.6	0.178.0	31.1/ 400.3		941.7/1749.5
10,01.00	28.4/ 671.0	↓	39.3/ 439.6		1063.3/2812.8
12,00.20	0/ 671.0		71.2/ 510.8	0/ 0	227.3/3040.1
13,00.50	0.2/ 671.2		48.5/ 559.3	17.2/ 17.2	17.1/3057.2
14,00.00	0.4/ 671.6		7.3/ 566.6	19.0/ 36.2	9.1/3066.3
15,00.20	0.4/ 672.0		20.0/ 586.6	26.0/ 62.2	4.7/3071.0
17,00.00	0.9/ 672.9		1235.8/ 1822.4	155.1/217.3	1.1/3072.1
18,00.20	0/ 672.9		479.1/ 2301.5	80.5/297.8	1.4/3073.5
19,00.10	↓		486.6/ 2788.1	83.1/380.9	0/3073.5
19,23.50			67.6/ 2855.7	73.1/454.0	↓
20,23.50			206.9/ 3062.6	65.4/519.4	
21,23.50		1123.5/ 4186.1	33.4/552.8		
24,00.00		198.5/ 4384.6	46.1/598.9		
25,00.00		1305.3/ 5689.9	33.7/632.6		
26,00.10		172.3/ 5862.2	47.3/679.9		
26,05.50		66.6/ 5928.8	12.0/691.9		
26,23.50		536.6/ 6465.4	27.4/719.3		
27,06.10		277.8/ 6743.2	26.2/745.5		
28,00.10	786.6/ 7529.8	31.4/776.9			
28,06.00	451.5/ 7981.3	6.1/783.0			
29,00.20	1084.0/ 9065.3	39.0/822.0			
29,05.30	377.7/ 9443.0	5.1/827.1			
31,00.20	1848.6/11291.6	84.3/911.4			
31,06.10	277.9/11569.5	4.6/916.0			
32,00.00	987.1/12556.6	30.4/946.4			
32,05.40	0/ 672.9	202.9/12759.5	5.0/951.4		
32,23.50	40.0/ 712.9	202.7/13062.2	10.2/961.6		
33,05.50	20.9/ 733.8	1.2/13063.4	10.8/972.4		
33,23.50	58.9/ 792.7	298.2/13361.6	16.7/978.3		
34,06.50	—	361.6/13723.2	—		
34,23.40	74.6/ 867.3	0/178.0	334.5/14057.7	16.5/994.8	0/3073.5

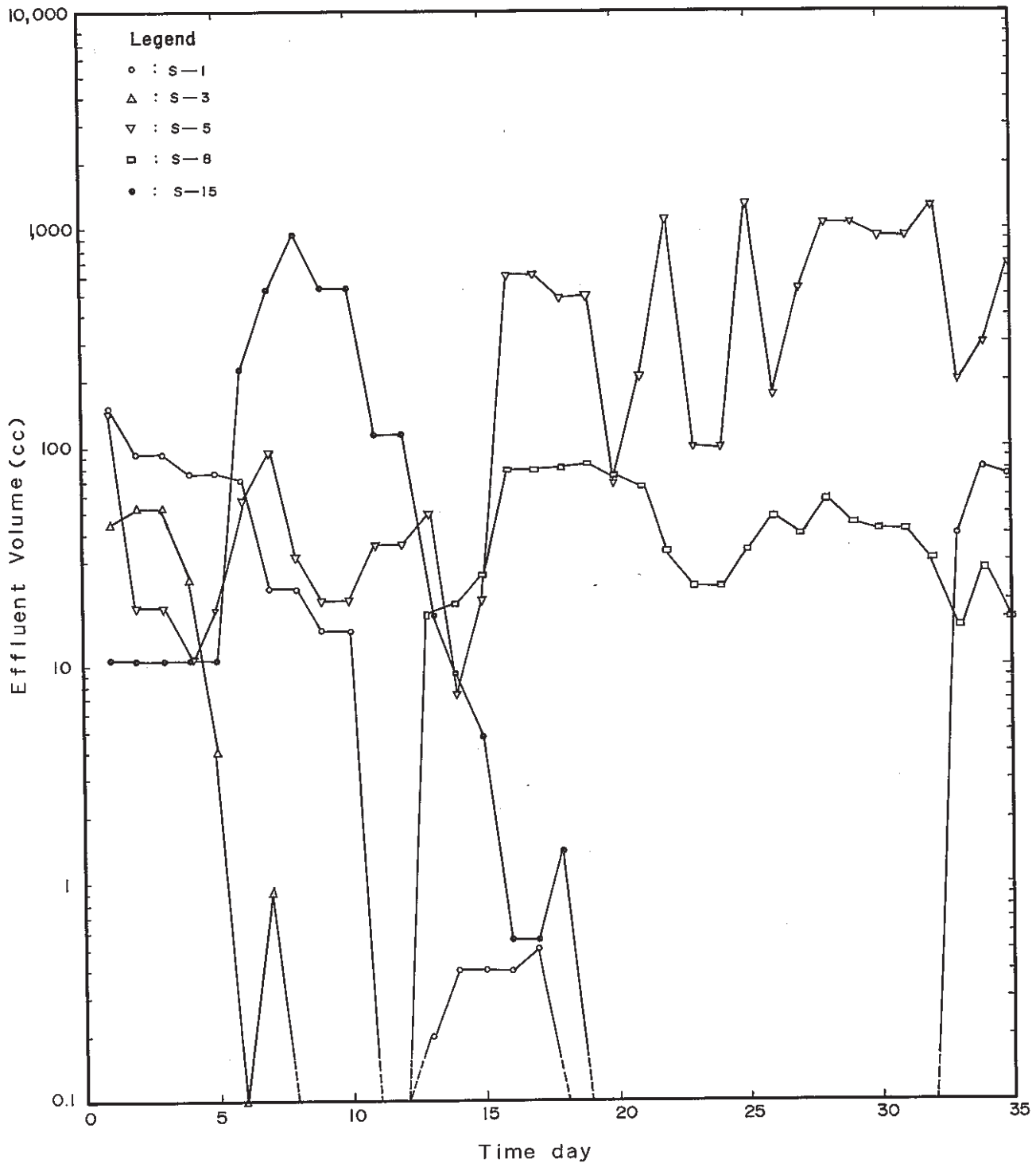


Fig. 2—41 Effluent Volume as a Function of Time.  
 流出液の経時変化

開始直後に  $9 \text{ kg/cm}^2$  と高い圧力で注水しており、この時に加圧注入されたトレーサ水が 10 日後をピークとして流出した可能性がある。また、6 日目に  $6.8 \text{ kg/cm}^2$  の注水圧となっており、それまでの加圧で透水しなかった水がその圧力で透水して翌 4 日後の採取で最大量を示し、その後の注水圧の低下とともに流出量が減少した可能性も挙げられる。その後の注入圧の増大時に再び流出が認められなかった理由としては、それまでの間に水みちが閉塞したことが考えられる。

F—1 割れ目を対象として流出した S—1・3・5・8 孔のうち、最大累積流出量を示したのは S—5 孔であり、総計約  $14 \text{ l}$  の流出量であった。S—8 には  $1 \text{ l}$ 、S—1 には  $0.9 \text{ l}$ 、S—3 には  $0.2 \text{ l}$  の総流出量があった。S—1 5 孔への流出量  $3 \text{ l}$  を加えると、総量約  $19 \text{ l}$  の流出量となる。試験期間中、注水孔には約  $80 \text{ l}$ 、トレーサ注入孔 T—1～3 孔にはそれぞれ、 $32.4$ 、 $18.0$ 、 $5.9 \text{ l}$  の総計約  $136 \text{ l}$  注水されており、約 14% が流出してきたことになる。注水量全体の約 40% を占めるトレーサ注入量に対しては約 1/3 の流出率となる。トレーサ注入量が大きな割合を示すことから、流出液に占めるトレーサ注入液の割合は高かったものと推定される。

Table 2—6・7 に時間当たりの流出量の変化を示した。前者は S—5 孔に流出する液量を入坑して試験作業にかかわっている数時間の間と、退坑してから翌日に入坑するまでの残りの時間との間での比較を示したものである。後者は試験終了 1～2 日前の入坑時に測定した S—1・5・8 孔への 1 時間ごとの流出量変化を示したものである。両者とも時間当たりの流出量が一定していないことがわかる。この理由としては、採水用メカニカルパッカに流出した水が量水器に到達するのが一様ではないことが想定されるが、岩盤からの各孔内への流出そのものが一定でない可能性もある。この解明のためには、流出液が直ちに量水器に到達するような機器の改良が必要と判断される。そのためには、窒素ガスのページ方法の改良も検討される必要がある。

孔壁観察では F—1 割れ目の中心に位置する黄鉄鉱微脈の直近の上盤に水の湧出が認められており、その部分が主要な水みちの一つと想定された。Fig. 2—22～28 に示すように、その黄鉄鉱微脈を十分貫いている S—1・3・5 の流出が多く、そうでない S—2・6 孔では流出を認めていないのは上記検討結果から説明できる。ただし、S—8 孔への流出などはこれでは説明できず、下盤の破碎した部分が透水に寄与した可能性がある。

流出のパターンを見ると、既述の S—1 5 孔と S—1・3 孔はそれぞれ、試験開始後 1

Table 2—6 Effluent Volume Change to Hole S-5 as a Function of Time  
S—5孔への流出量の経時変化

T I M E (d, h, m,)	Injection Pressure(kg/cm <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> /h)	
	Water	Tracer (T-1)	Total	per Hour
26.00.10~26.05.50 (5.40)	6.2	2.5~3.8	66.6	11.8
26.05.50~26.23.50 (18.00)	6.1~6.2	3.55~3.6	536.6	29.8
26.23.50~27.06.10 (6.20)	6.1	3.6	277.8	43.9
27.06.10~28.00.10 (18.00)	6.1~6.2	3.45~3.5	786.6	43.7
28.00.10~28.06.00 (5.50)	6.2	2.8~3.45	451.5	77.4
28.06.00~29.00.20 (18.20)	6.2~6.3	2.8~3.35	1084.0	59.1
29.00.20~29.05.30 (5.10)	6.3~7.1	2.2~3.45	377.7	73.1
29.05.30~31.00.20 (1.18.50)	7.1~7.2	3.45	1848.6	43.2
31.00.20~31.06.10 (5.50)	7.2	2.2~3.55	277.9	47.6
31.06.10~32.00.00 (17.50)	7.2	3.5~3.6	987.1	55.4
32.00.00~32.05.40 (5.40)	7.2	3.6~4.25	202.9	35.8
32.05.40~32.23.50 (18.10)	7.2	4.2~4.30	202.7	11.2
32.23.50~33.05.50 (6.00)	7.2	4.29~4.3	1.2	0.2
33.05.50~33.23.50 (18.00)	7.2~7.34	4.2~4.26	298.2	16.6
33.23.50~34.06.50 (7.00)	7.3~7.35	4.26~5.15	361.6	51.7
34.06.50~34.23.40 (16.50)	7.35~7.4	4.59	334.5	19.9

Table 2—7 Hourly Effluent Volume Change to Hole S-1, 5, and 8.  
S—1・5・8孔への流出量の時間当たりの変化

T I M E (d, h, m,)	Hole No.	Injection Pressure(kg/cm <sup>2</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> /h)
		Water	Tracer (T-1)	
32.23.45~33.00.45	S-8	7.2	4.29~4.3	5.4
33.00.45~33.01.45	"	"	"	3.7
33.01.45~33.02.45	"	"	"	0.2
33.02.45~33.03.45	"	"	"	1.1
33.03.45~33.04.45	"	"	"	0.4
33.04.45~33.05.45	"	"	"	0
33.23.45~34.01.00	S-1/5/8	7.3~7.35	4.26~5.15	2.1/14.7/4.0
34.01.00~34.02.00	"	"	"	3.2/51.7/0.7
34.02.00~34.03.00	"	"	"	4.2/68.8/0
34.03.00~34.04.00	"	"	"	3.6/76.2/0.7
34.04.00~34.05.00	"	"	"	3.0/64.4/1.2
34.05.00~34.06.00	"	"	"	2.9/74.7/0

9, 18, 8日後に流出が停止した(ただし, S-1孔は33日目に流出が再開)のに対して, S-8孔は13日目に流出が始まっている。これは, 水みちが地下水の流れに対して時間とともに閉塞し, または開く可能性があることや, 経路が変化する可能性があることで説明が可能である。注水圧, トレーサ注入圧の微妙な変化が流出量の増減や, 流出の有無に大きな影響を与えているものと想定される。しかしながら, その検証は本試験ではできなかった。

採水孔以外への流出としては, S-1~6孔のパッカあるいは周辺岩盤に試験期間をほぼ通じて認められた濡れあるいは水滴を挙げるができる。特に, S-4~6孔間で6日目に30ml/2hの滴下量と翌日にかけての総計50mlの流出量が確認された。この採水孔以外の壁面からの流出量の経時変化はS-3あるいはS-15孔への流出と類似した変化を示しているといえる。B空洞の他の壁面あるいはC空洞の壁面等には流出は観察されなかった。

#### (4) 流出液の原位置水質測定

採水孔からの流出液は300ml以上に達した段階で300ml分について直ちに溶存酸素測定を行い、同測定終了後50mlをpH、Eh、沃素・臭素測定に供した。トレーサ濃度測定のためにはイオン強度調整剤5mlが加味されるため、これらの測定終了後には測定試料を廃棄した。残量のうちの50mlは試験終了時に再度pH、Eh、沃素・臭素測定を行い、時間の経過がこれらのパラメータに及ぼす影響の把握用試料として用いた。残余の200mlと300mlを越える量については各採水孔試料ごとに貯留し、総量が2.5l程になった時点で、溶存成分分析用試料として実験室に送付した。流出液のうち、オーバーフローで空気に触れた水は除外して測定した。試験終了時には300mlに達していなくても、50ml以上であれば溶存酸素濃度以外の測定を実施した。

Table 2—8～12にそれぞれS—1, 5, 8, 15および天盤面からの流出水のトレーサ濃度(沃素, 臭素), pH, Eh, 溶存酸素濃度の一覧とそれぞれの測定の対象とした流出液の採取期間とその期間に採取された量を示した。S—3孔への流出水の測定値は誤操作により得ていない。

Fig. 2—41～44にトレーサ濃度, pH, Eh, 溶存酸素濃度の経時変化を図示した。以下にこれらについて考察する。

##### (a) トレーサ濃度

###### 流出トレーサ

流出液すべてから沃素が検出された。したがって、2.6.1(4)で示した理由により臭素濃度は不明である。

###### 濃度

原液濃度に対する比( $C/C_0$ )が0.19～1.15までを示しており、全体的に濃度が高い。これは恐らく、注水孔からの注水量に比して、T—1トレーサ注入孔からの注入量が多かったことによるものと想定される。特に、T—1孔の注水部は掘削した孔壁面では最大の湧水量を示す箇所として選定されたものだが、それでも相対的にトレーサ注入量が多かったことになる。トレーサの低圧低量注入は非常に困難であったが、その面での技術開発が必要と思われる。

###### 濃度変化

試験開始後20～30日間程が高く、その後また低くなっている。これは、試験期間内



Table 2—8 List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-1.  
S—1孔流出液のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Period (d, h, m)	Volume (ml)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			
		mg/l(C/C <sub>0</sub> )	mg/l(C/C <sub>0</sub> )			% (mg/l)
0 ~ 5,00,00	528.5	18(0.19)	—	5.02	+0.130	28.0(2.05)
5,00,00 ~ 34,23,40	359.7	37(0.39)	—	7.18	+0.172	15.0(1.10)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/l of I (Hole T-1) and 106 mg/l of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/l in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/l.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—9 (1) List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-5.  
S—5孔流出液のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Period (d, h, m)	Volume (ml)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			
		mg/l(C/C <sub>0</sub> )	mg/l(C/C <sub>0</sub> )			% (mg/l)
0 ~ 8,00,00	400.3	39(0.41)	—	8.57	+0.205	27.0(1.98)
8,00,00 ~ 17,00,00	1,267.6	52(0.39)	—	8.48	+0.196	9.0(0.66)
15,00,20 ~ 17,00,00	154.5 (over flow)	56(0.58)	—	7.40	+0.235	—
17,00,00 ~ 18,00,20	479.1	91(0.95)	—	8.56	+0.197	12.5(0.92)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/l of I (Hole T-1) and 106 mg/l of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/l in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/l.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—9(2) (Cont'd)  
同

Sampling Period (d, h, m)	Volume (ml)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			% (mg/l)
		mg/l(C/C <sub>0</sub> )	mg/l (C/C <sub>0</sub> )			
18.00, 20 ~ 19.00, 10	486.6	88(0.92)	—	8.48	+0.202	11.0(0.81)
19.00, 10 ~ 21.23, 50	1,398.0	82(0.85)	—	8.47	+0.219	6.5(0.48)
21.23, 50 ~ 25.00, 00	1,096.8	95(0.99)	—	8.25	+0.189	10.5(0.77)
24.00, 00 ~ 25.00, 00	407.0 (over flow)	110(1.15)	—	8.26	+0.201	20.0(1.46)
25.00, 00 ~ 26.23, 50	775.5	87(0.91)	—	8.40	+0.193	13.5(0.99)
26.23, 50 ~ 28.00, 10	1,064.4	72(0.75)	—	8.55	+0.198	16.0(1.17)
28.00, 10 ~ 29.00, 20	1,073.7	40(0.42)	—	8.37	+0.228	13.0(0.95)
28.06, 00 ~ 29.00, 20	461.8 (over flow)	39(0.41)	—	8.23	+0.233	17.0(1.24)
29.00, 20 ~ 29.05, 30	377.7	35(0.36)	—	8.25	+0.241	11.0(0.81) 18.0(1.32) (43h後測定)
29.05, 30 ~ 31.00, 20	1,074.2	44(0.46)	—	8.53	+0.226	4.0(0.29)
29.05, 30 ~ 31.00, 20	704.3(ビ -袋中の ov. fl.)	43(0.45)	—	8.30	+0.225	13.5(0.99)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/l of I (Hole T-1) and 106 mg/l of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/l in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/l.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—9 (3) (Cont'd)  
同

Sampling Period (d, h, m)	Volume (mℓ)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			
		mg/ℓ(C/C <sub>0</sub> )	mg/ℓ(C/C <sub>0</sub> )			% (mg/ℓ)
31.00.20 ~ 32.00.00	1,265.0	35(0.36)	—	8.52	+0.160	2.5(0.18)
32.00.00 ~ 32.23.50	405.6	26(0.46)	—	8.65	+0.180	4.0(0.29)
32.23.50 ~ 33.23.50	299.3	16.3(0.17)	—	8.41	+0.198	10.5(0.77)
33.23.50 ~ 34.23.40	696.1	12.9(0.13)	—	8.46	+0.174	6.0(0.44)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/ℓ of I (Hole T-1) and 106 mg/ℓ of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/ℓ in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/ℓ.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—10 List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-8.

S—8孔流出液のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Period (d, h, m)	Volume (mℓ)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			
		mg/ℓ(C/C <sub>0</sub> )	mg/ℓ(C/C <sub>0</sub> )			% (mg/ℓ)
12.00.20 ~ 19.00.10	380.9	56(0.58)	—	7.78	+0.168	16.0(1.17)
19.00.10 ~ 26.23.50	338.4	90(0.94)	—	8.08	+0.175	11.0(0.81)
26.23.50 ~ 34.23.40	275.5	48(0.50)	—	8.33	+0.139	12.0(0.88)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/ℓ of I (Hole T-1) and 106 mg/ℓ of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/ℓ in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/ℓ.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—1 1 List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from Hole S-15.

S—15孔流出液のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Period (d, h, m)	Volume (ml)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			% (mg/l)
		mg/l(C/C <sub>0</sub> )	mg/l (C/C <sub>0</sub> )			
0 ~ 7.01.10	807.8	52(0.54)	—	8.49	+0.193	9.0(0.66)
7.01.10 ~ 8.01.30	941.7	39(0.41)	—	8.49	+0.182	9.0(0.66)
8.01.30 ~ 10.01.00	1,063.3	52(0.54)	—	8.32	+0.188	9.5(0.88)
10.01.00 ~ 18.00.20	260.7	—	—	—	—	6.0(0.44)

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/l of I (Hole T-1) and 106 mg/l of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/l in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/l.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—1 2 List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Effluent from the Roof around Hole S-4 and 5.

S—4・5孔周辺天盤の流出液のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Period (d, h, m)	Volume (ml)	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			% (mg/l)
		mg/l(C/C <sub>0</sub> )	mg/l (C/C <sub>0</sub> )			
6.05.00 ~ 7.01.10	50	70(0.73)	—	5.14	+0.177	—

\* : Initial Concentration Values are 96 mg/l of I (Hole T-1) and 106 mg/l of Br (Hole T-2).

\*\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/l in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/l.

\*\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

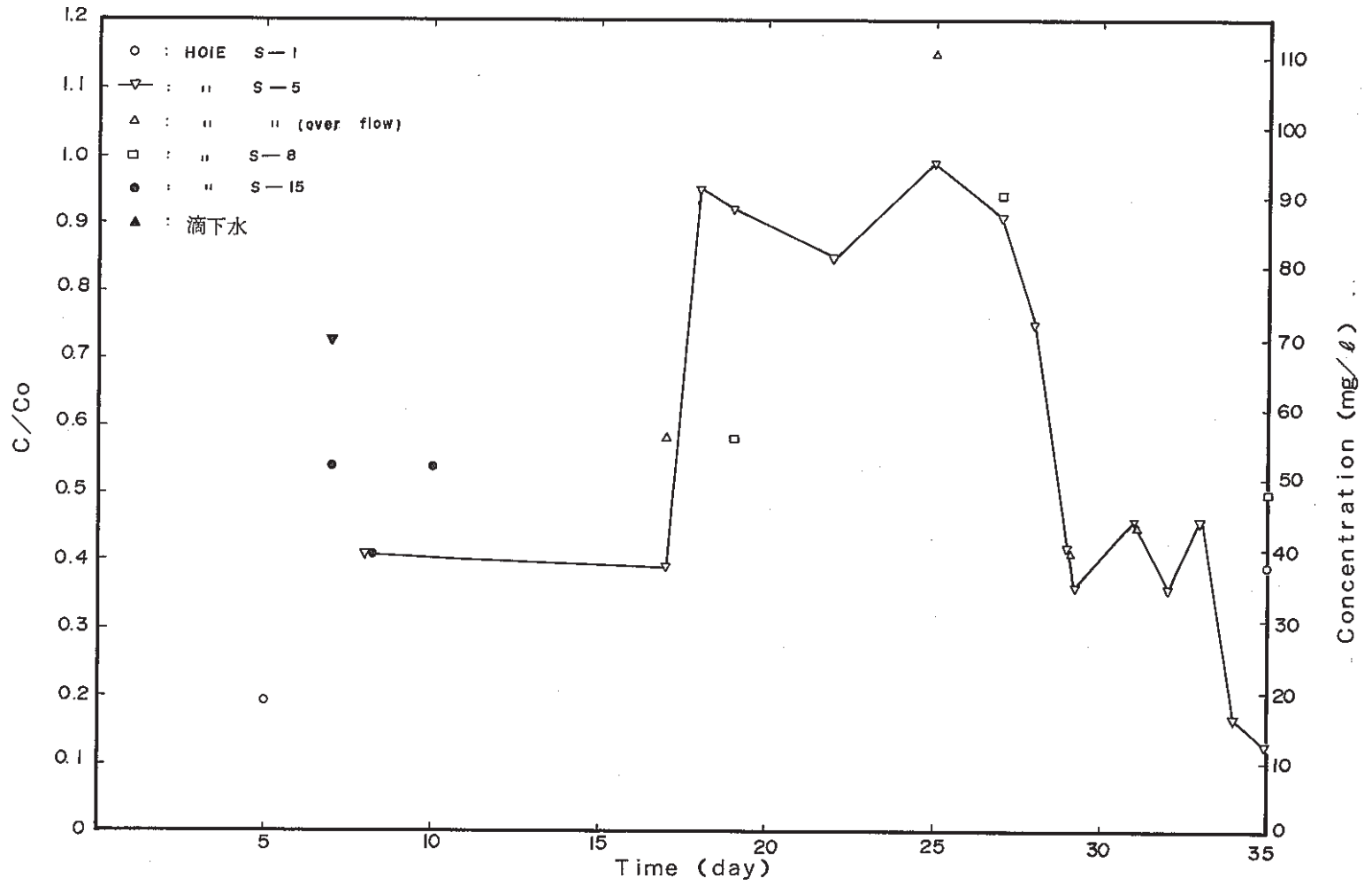


Fig. 2—42 Relative Concentration of Tracer (Iodine) in Effluent as a Function of Time.  
 流出液のトレーサ相対濃度の経時変化

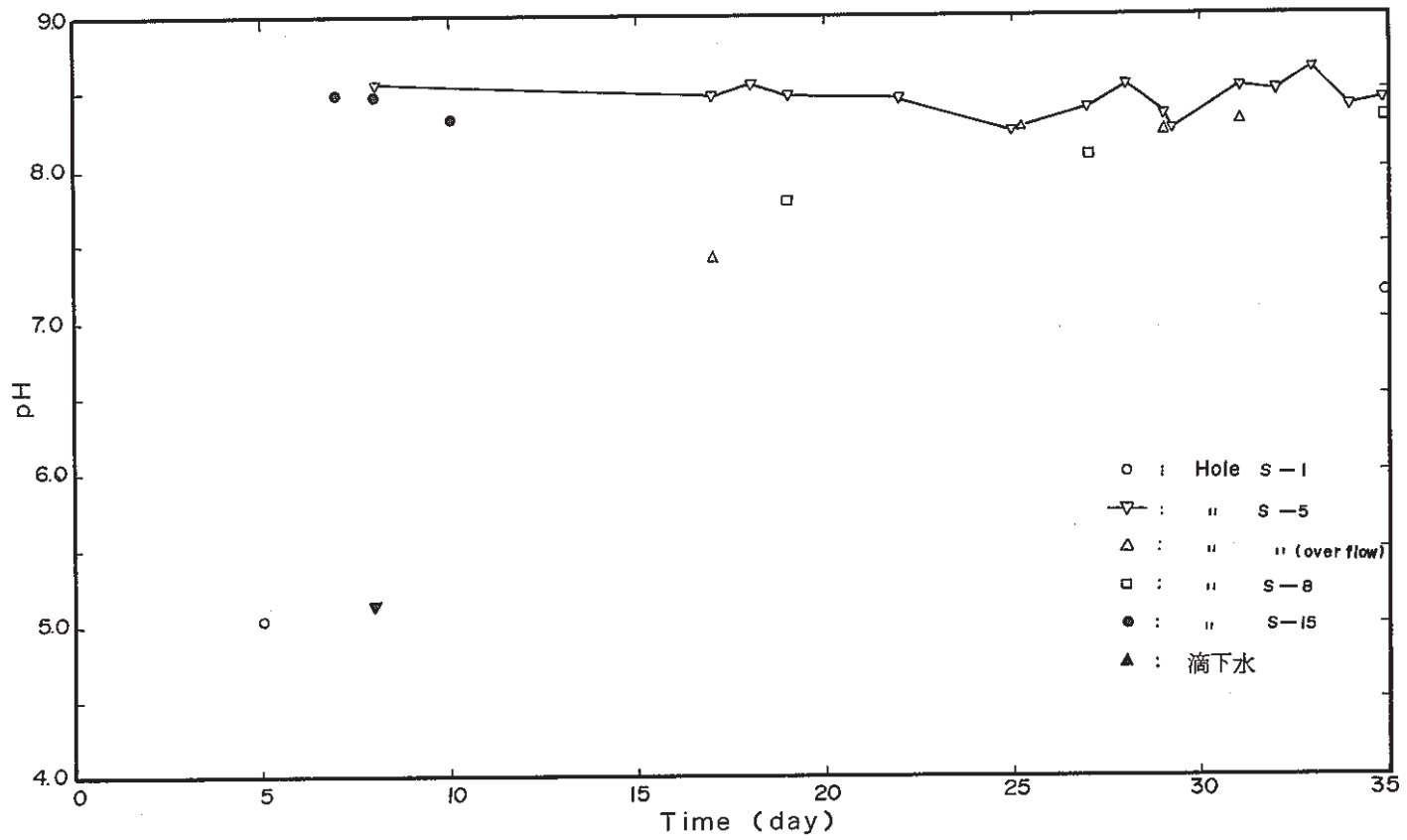


Fig. 2-43 pH of Effluent as a Function of Time,  
流出液のpHの経時変化

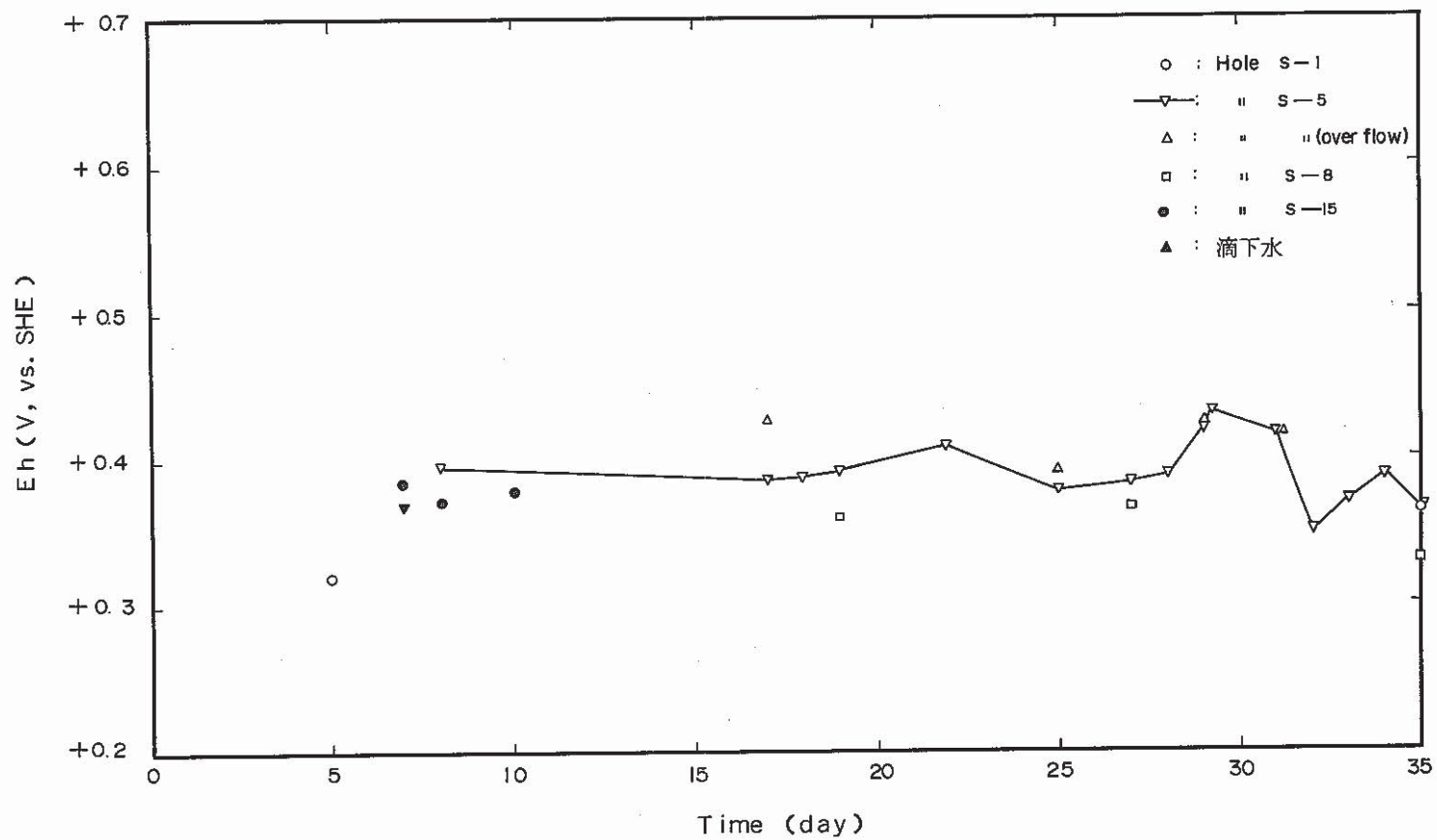


Fig. 2—44 Oxidation Reduction Potential of Effluent as a Function of Time.  
流出液のEhの経時変化

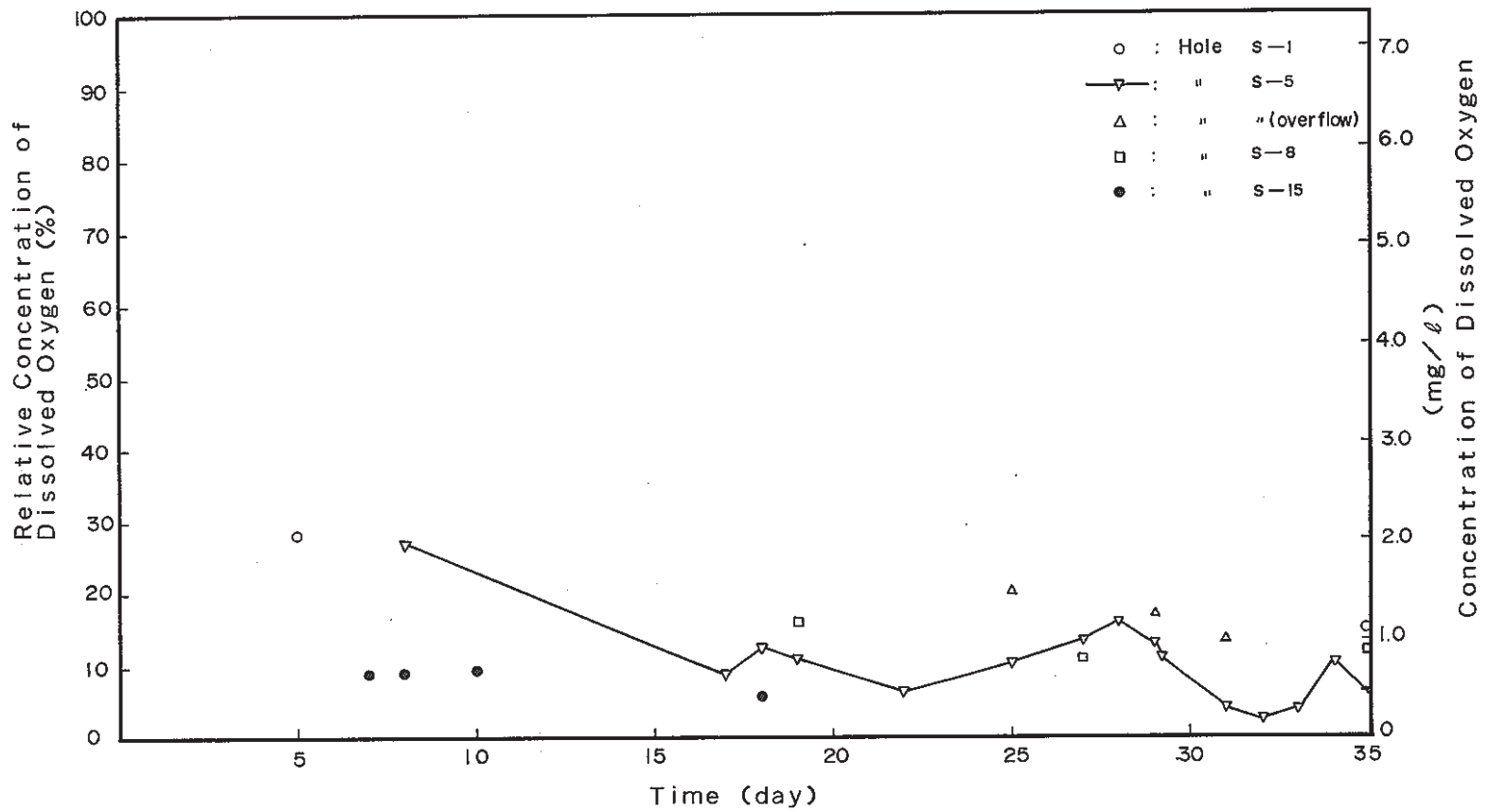


Fig. 2—45 Concentration of Dissolved Oxygen in Effluent at Room Temperature 32°C as a Function of Time.  
室温32℃における流出液の溶存酸素濃度の経時変化



で注水液とトレーサ液の岩盤中における混合比が変化したためと想定される。注水圧  $6 \text{ kg/cm}^2$  から  $7.2 \text{ kg/cm}^2$  に増大させた頃に濃度が急激に減少しているが、トレーサ注入圧を増大させた時には濃度の増大はなく、さらに一様の減少を示していることから、圧力の変化によるものではなく、水みちの閉塞や経路の変化によるトレーサ水の混合比の低下によるものと判断される。

#### 流出経路

T—1 孔注水部から水平方向に  $80 \text{ cm}$  と採水孔の中では一番離れている S—8 孔にも炭素が流出したことは、F—1 割れ目内に横方向に連絡する水みちが存在していることを示している。また、S—4・6 孔には流出していないことから、その水みちは選択的なものであることが想定される。滴下水の濃度が同時期の S—5・15 孔からの流出液の濃度よりも高いことから、滴下水の認められた S—4・5 間への経路が他の孔への経路よりも T—1 注入部との連絡性が高いものと判断される。ただし、その後滴下が認められなくなったのは経路が閉塞したものと判断される。

#### (b) pH

初期に流出した S—1 孔への流出水と滴下水が、試験水 (約 pH 7) および他の流出液の値よりも低い約 pH 5 の値を示した。この理由は不明である。

他の流出液の値は約 pH 8.5 と試験期間を通じてほぼ一定の値を示した。岩盤内を經由することにより、pH 値は約 1.5 高まったことになる。

#### (c) Eh

トレーサ注入液の初期値は約  $+0.35 \text{ V}$  であり、S—1 孔への流出液はほぼ同じ値であるが、他の流出液は  $0.05 \sim 0.1 \text{ V}$  高い値を示している。

pH では特異な値を示した滴下水は、Eh においては他の流出液とほぼ同じ値を示しており、pH と Eh は必ずしも同様の変化を示すものではないことが推測される。

#### (d) 溶存酸素濃度

溶存酸素濃度はトレーサタンク内を窒素ガスでパージしたこともあり、低い値となった。また、時間とともに低減しているのが認められる。これは、トレーサタンク内の溶存酸素濃度の低減 (次節にて詳述) に対応しているものと思われる。試験開始後 10 日目頃の S—15 孔への流出液はトレーサタンクの溶存酸素濃度よりも低く、最大 10 日程の岩盤内移行で溶存酸素が消費されたことを示している。32 日目の S—5 項への流出液中濃度は

2.5%とかなり低い値を示した。

(5) トレーサタンク内トレーサ液，受水槽内注入水等の水質測定

トレーサタンク内トレーサ液，受水槽内注入水およびこれらの試験水として用いた試験場に導かれている水道用河川水および試験終了時に採取した注水孔W—3・8孔内水の水質を測定した。特に，トレーサタンク内は窒素ガスで常にパージしていたので水質の変化を把握する必要があった。

Table 2—1 3・1 4 にトレーサタンク内トレーサ水と受水槽内注入水，水道水，W—3・8孔内水のトレーサ濃度（沃素，臭素），pH，Eh，溶存酸素濃度の一覧をそれぞれ示した。

Fig. 2—4 5～4 8にはトレーサ濃度，pH，Eh，溶存酸素濃度の経時変化をまとめて図示した。以下にこれらについて考察する。

(a) トレーサ濃度

タンク内トレーサ濃度は試験開始後19日目で低い値を示した後，増加する傾向を示した。特に，T—1孔内の沃素濃度は試験開始時よりも高い値となった。これらのトレーサ濃度変化の原因については不明である。

一方，試験終了時に測定したW—3・8孔から低濃度の沃素が認められた。これはT—1孔に注入したトレーサ水がこれらの注水孔に到達したものであるが，T—1孔でのトレーサ注入圧は注水圧よりも常に低い値であったことから，拡散等による沃素の移行と推測されるが詳細は不明である。

(b) pH

トレーサ液および受水槽内注水液ともほぼpH7と中性を示した。やや増大の傾向が認められなくもないが，ほぼpHについては一定に維持されたと言える。

(c) Eh

トレーサタンク内トレーサ液のEhについてはpHと比して試験の継続とともに酸化側に増大する傾向を示した。その幅は約0.1Vである。受水槽内の値はあまり変化していないと言える。試験終了時のW—3・8孔内水のEhは+0.35Vと受水槽内注入水およびトレーサタンク内トレーサ液と比して低い値である。流出水のEhがこれらの値の中間に位置しており，岩盤内の移行によりEhが一定に変化しているのがわかる。

(d) 溶存酸素濃度

Table 2—1 3 (1) List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Tracer Injection Water in Tracer Tank.  
 トレーサタンク内のトレーサ水の pH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Time from Start of the Test (day, hour)	Classification	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			% (mg/ℓ)
		mg/ℓ	mg/ℓ			
3.00	Tracer Tank for Hole T-1	96 Initial Conc.	—	6.75	+0.138	41.0(3.00)
3.00	Tracer Tank for Hole T-2	0.08	106 Initial Conc.	6.95	+0.147	39.0(2.85)
3.00	Tracer Tank for Hole T-3	0.08	103 Initial Conc.	6.93	+0.149	39.0(2.85)
13.00	Tracer Tank for Hole T-1	101	—	7.09	+0.225	12.5(0.92)
13.00	Tracer Tank for Hole T-2	0	93	7.06	+0.233	17.5(1.28)
13.00	Tracer Tank for Hole T-3	0	103	6.96	+0.240	18.0(1.32)
19.00	Tracer Tank for Hole T-1	93	—	7.09	+0.248	12.0(0.88)
19.00	Tracer Tank for Hole T-2	0.1	74	7.13	+0.258	13.5(0.99)
19.00	Tracer Tank for Hole T-3	0	85	7.28	+0.252	14.5(1.06)

\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/ℓ in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/ℓ.

\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2 -- 1 3 (2) (Cont'd)  
同

Sampling Time from Start of the Test (day, hour)	Classification	Tracer Concentration		p H	E h (V)	Dissolved Oxygen
		I	B r			% (mg/ℓ)
		mg/ℓ	mg/ℓ			
26.00	Tracer Tank for Hole T-1	112	—	7.17	+0.215	11.5(0.84)
26.00	Tracer Tank for Hole T-2	0	86	7.08	+0.230	10.0(0.73)
26.00	Tracer Tank for Hole T-3	0	89	7.11	+0.240	10.5(0.77)
32.00	Tracer Tank for Hole T-1	124	—	7.18	+0.249	9.5(0.70)
32.00	Tracer Tank for Hole T-2	—	104	7.05	+0.252	8.0(0.59)
32.00	Tracer Tank for Hole T-3	—	111	7.08	+0.248	9.0(0.66)
34.00	Tracer Tank for Hole T-1	125	—	7.13	+0.246	8.0(0.59)
34.00	Tracer Tank for Hole T-2	—	102	7.07	+0.266	12.0(0.88)
34.00	Tracer Tank for Hole T-3	—	104	7.08	+0.262	9.0(0.66)

\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32℃ is 7.32 mg/ℓ in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/ℓ.

\*\* : E h は飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—1 4 List of pH, Eh, Dissolved Oxygen, and Tracer Concentration of Injection Water in Water Tank and Hole W-3, 8 .  
 受水槽およびW-3・8注水孔中の注入水のpH, Eh, 溶存酸素濃度, トレーサ濃度

Sampling Time from Start of the Test (d, h, m)	Classification	Tracer Concentration		pH	Eh (V)	Dissolved Oxygen
		I	Br			% (mg/ℓ)
		mg/ℓ	mg/ℓ			
3, 00, 00	試験用 水道水	—	—	6.78	—	—
10, 00, 00	Water in Tank	0	0.2	7.31	+0.267	32.5(2.38)
18, 00, 00	Water in Tank	0.1	0.1	7.33	+0.254	27.0(1.98)
26, 00, 00	Water in Tank	0	0.3	7.38	+0.267	21.5(1.57)
32, 00, 00	Water in Tank	—	—	7.13	+0.294	20.5(1.50)
32, 00, 00	試験用 水道水	—	—	7.08	+0.258	19.0(1.39)
35, 00, 00	Water in Hole W-3	2.3	—	7.85	+0.150	5.0(0.37)
35, 00, 00	Water in Hole W-8	2.8	—	7.33	+0.150	4.0(0.29)

\* : Saturated Volume of Dissolved Oxygen at Room Temperature 32°C is 7.32 mg/ℓ in Case of Coexisting Chlorine Concentration of 0 mg/ℓ.

\*\* : Eh は飽和AgCl電極に対する値.

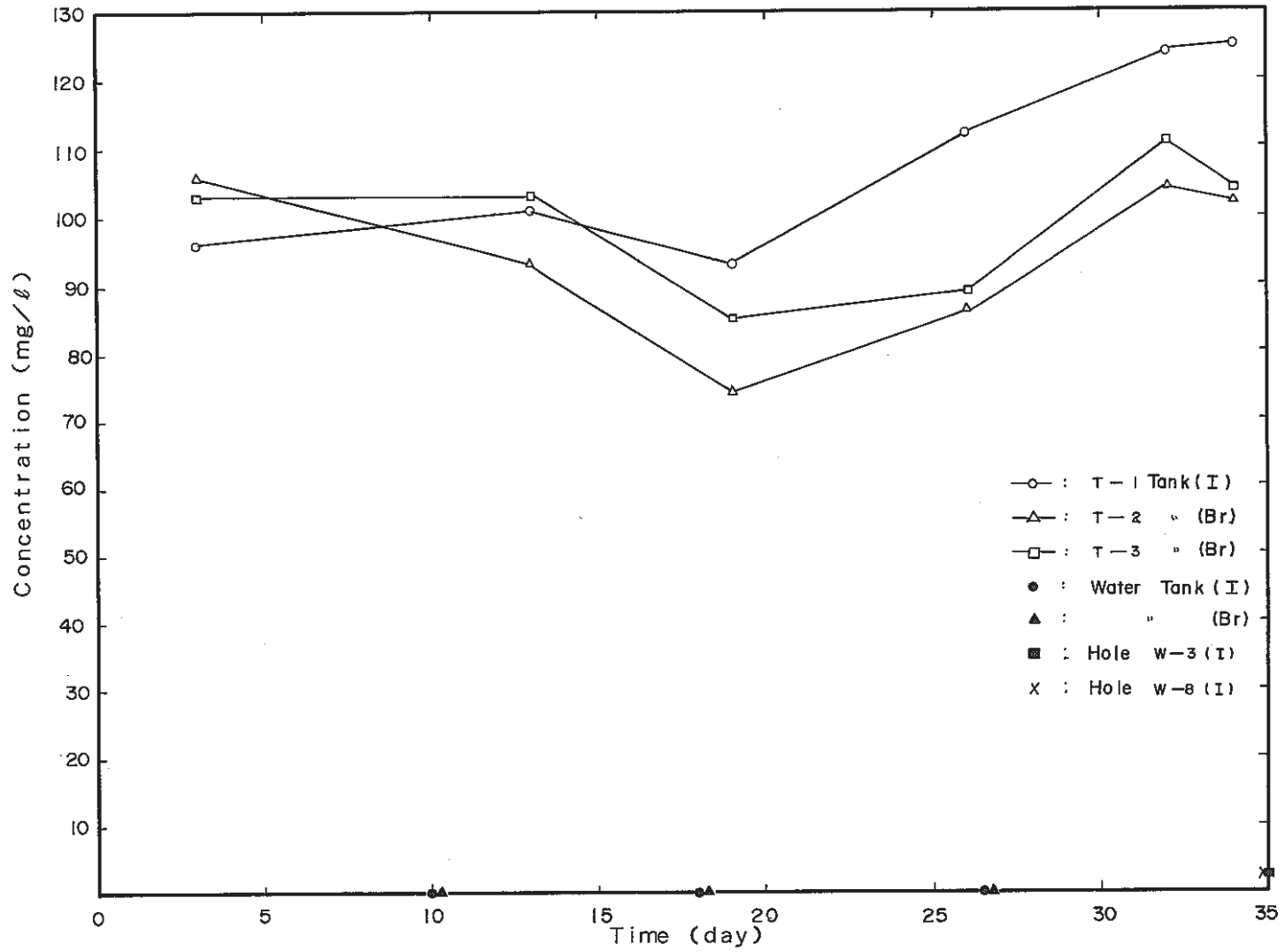


Fig. 2—46 Concentration of Iodine and Bromine in Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 as a Function of Time.  
注入水のトレーサ濃度の経時変化

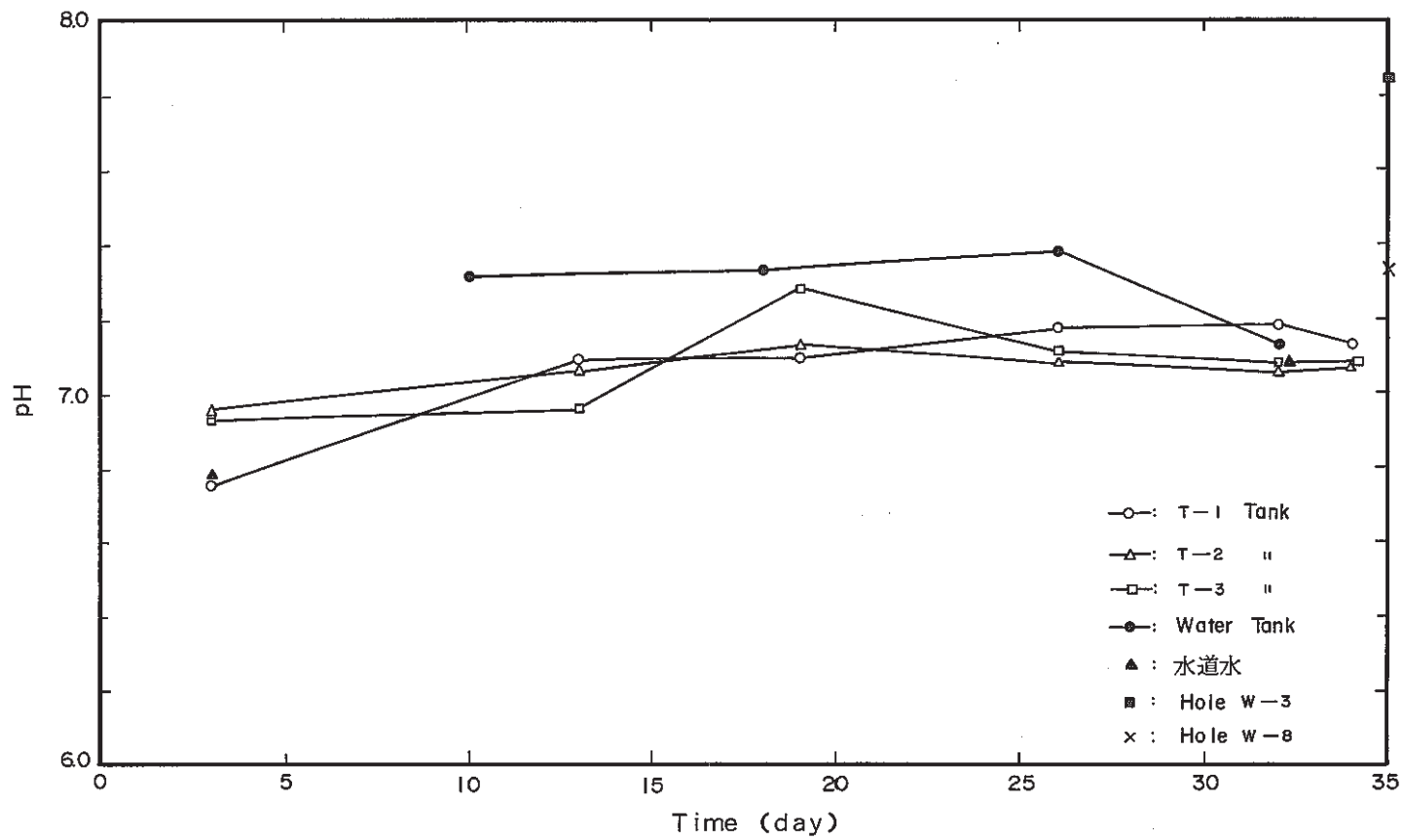


Fig. 2—47 pH of Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 as a Function of Time.  
 注入水のpHの経時変化

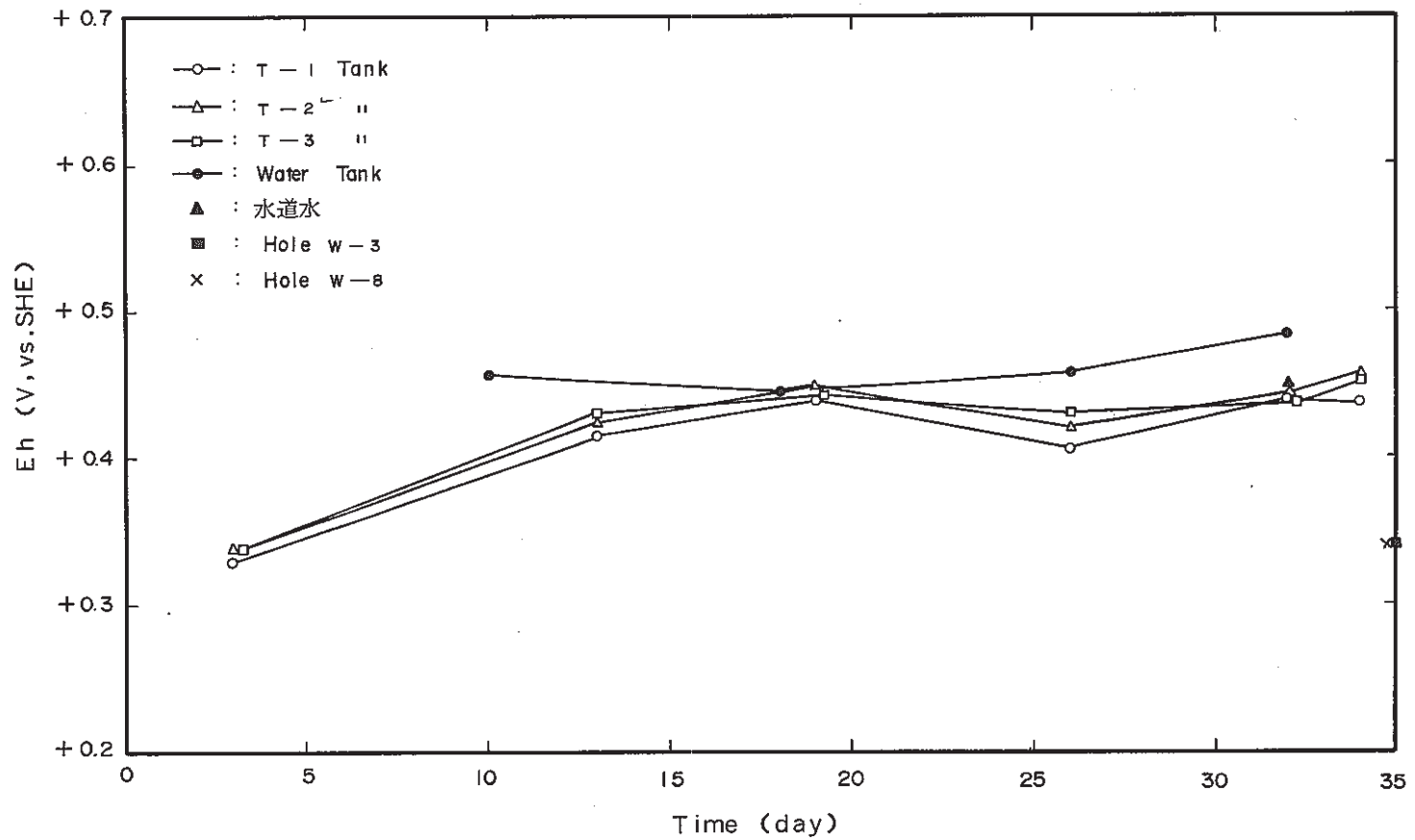


Fig. 2-48 Oxidation Reduction Potential of Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 as a Function of Time.  
注入水のEhの経時変化



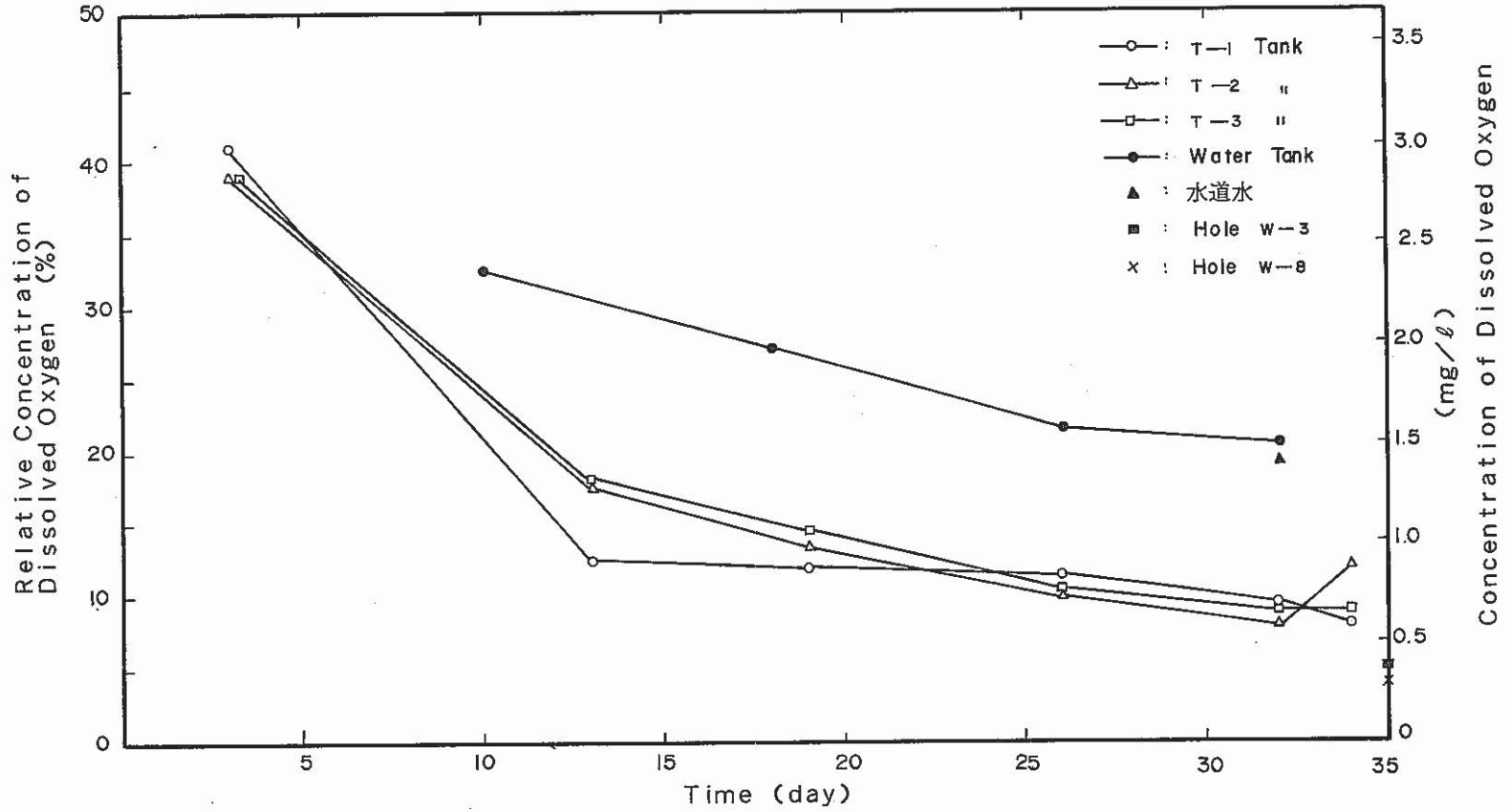


Fig. 2-49 Concentration of Dissolved Oxygen in Tracer Injection Water in Tracer Tank, Injection Water in Water Tank, and Hole W-3, 8 at Room Temperature 32°C as a Function of Time.  
 注入水の溶存酸素濃度の経時変化

受水槽内注入水とトレーサタンク内トレーサ水はほぼ一定の減少を示している。特に、試験終了時のW—3・8孔内水の溶存酸素濃度が受水槽内注入水の濃度よりもかなり低いのがわかる。このことは試験環境が原因であると推測されるが詳細は不明である。

#### (6) 一定時間放置後の流出水の水質測定

流出水の一部を保管して、ポリ容器内に入れた流出液の水質が時間とともにどう変化するかを把握するためTable 2—15に示す試料を本測定に供した。試料は溶存酸素測定後の300mlの試験水のうちの50mlを用いた。別の50mlは(4)で述べた本測定に用いられている。

Table 2—15に示すように試験開始後5日目に採取した試料から31日目に採取した試料までの17試料を測定に供した。測定日は全て試験開始後31日目および33日目であるため、放置期間は最大28日となった。測定項目は沃素濃度、pH、Ehである。

Fig. 2—49～51に採取直後の値と放置後の測定値の経時的な比較を示し、Fig. 2—52～54には両者の値の相関を検討した。

#### (a) 沃素濃度

10日以上放置した試料は濃度の減少が認められた。8日目の試料は逆に大きく濃度が増大しているがその理由は不明である。6日目までの試料では大きな変化は認められず、ほぼ濃度変化はないといえる。

また、濃度による相違はこの範囲では認められず、放置により全体的に濃度が低下する傾向を示しているといえる。

#### (b) pH

26日間放置した試料はもともとの値がpH5と低かったが、pH3とさらに大きな減少を示した。この原因は不明である。その他の試料はほぼpH8前後であったが、12日放置したS—8孔への流出水試料を除いて、放置により2日目以降はpHが下がっている。S—8試料は放置後のpH値が高い点で特異的である。

変化の度合いが初期pH値に依存するのかどうかは本測定のみからは不明である。

#### (c) Eh

EhはpHとは逆に、放置後は酸化側に増大している。3日以上放置した試料はほぼ0.05Vの増大を示している。ただし、28日放置した試料はEhが逆に還元側に減少しており、pHと同様特異な変化を示した。また、14日放置したS—8孔に流出した試料も

Table 2—1 5 List of pH, Eh, and Iodine Concentration of Effluent Samples which were kept in situ for Days(upper, initial value).  
ポリ容器内に最大1ヶ月放置した流出水のpH, Eh, 沃素濃度

Sampled and Measured Time (pH/Eh, I) from Start of the Test (day, hour)	Preserved Interval (pH/Eh, I) (day, hour)	Hole No.	Iodine Conc. (mg/ℓ)	pH	Eh (V)
5.00 ~ 31.00/33.00	26.00 / 28.00	S-1	18 21	5.02 3.08	+0.130 +0.113
7.00 ~ 31.00/33.00	24.00 / 26.00	S-15	52 52	8.49 8.23	+0.193 +0.249
8.00 ~ 31.00/33.00	23.00 / 25.00	S-5	39 42	8.57 8.04	+0.205 +0.230
8.00 ~ 31.00/33.00	23.00 / 25.00	S-15	39 42	8.49 8.26	+0.182 +0.253
10.00 ~ 31.00/33.00	21.00 / 23.00	S-15	52 59	8.32 8.26	+0.188 +0.255
17.00 ~ 31.00/33.00	14.00 / 16.00	S-5	52 65	8.48 7.98	+0.196 +0.252
18.00 ~ 31.00/33.00	13.00 / 15.00	S-5	91 103	8.56 7.98	+0.197 +0.251
19.00 ~ 31.00/33.00	12.00 / 14.00	S-5	88 109	8.48 7.76	+0.202 +0.244
19.00 ~ 31.00/33.00	12.00 / 14.00	S-8	56 66	7.78 8.18	+0.168 +0.141
22.00 ~ 31.00/33.00	9.00 / 11.00	S-5	82 107	8.48 7.86	+0.219 +0.254
25.00 ~ 31.00/33.00	6.00 / 8.00	S-5	95 79	8.25 7.92	+0.189 +0.260
27.00 ~ 31.00/33.00	4.00 / 6.00	S-5	87 88	8.40 8.02	+0.193 +0.254
27.00 ~ 31.00/33.00	4.00 / 6.00	S-8	90 91	8.08 7.74	+0.175 +0.230
28.00 ~ 31.00/33.00	3.00 / 5.00	S-5	72 73	8.55 8.07	+0.198 +0.242
29.00 ~ 31.00/33.00	2.00 / 4.00	S-5	40 38	8.38 8.11	+0.228 +0.246
29.06 ~ 31.00/33.00	1.18 / 3.18	S-5	35 34	8.25 8.25	+0.241 +0.243
31.00 ~ 31.10/33.00	0.10 / 2.00	S-5	44 43	8.53 8.48	+0.226 +0.232

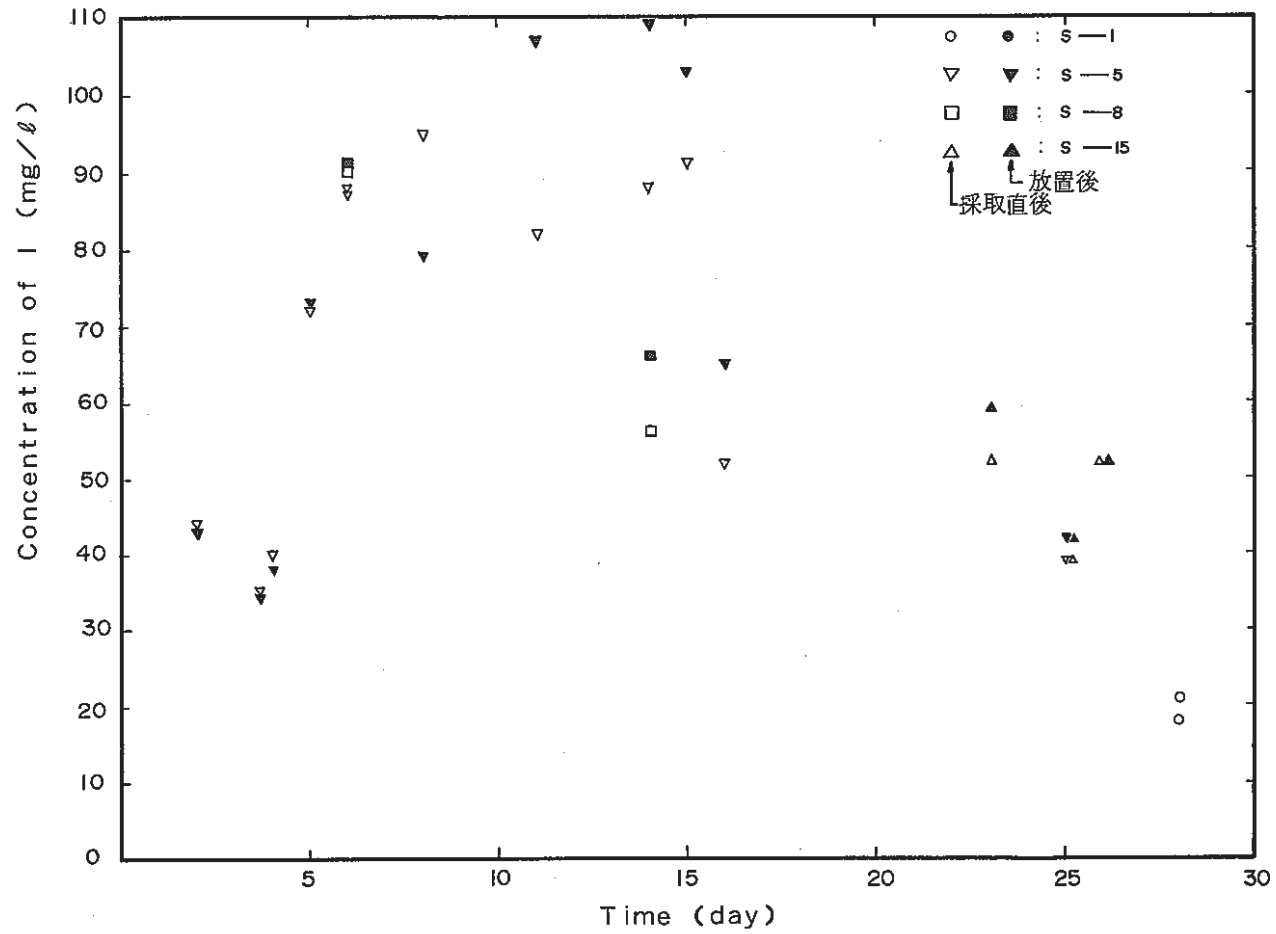


Fig. 2—50 Comparison of Iodine Concentration which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のトレーサ濃度の比較

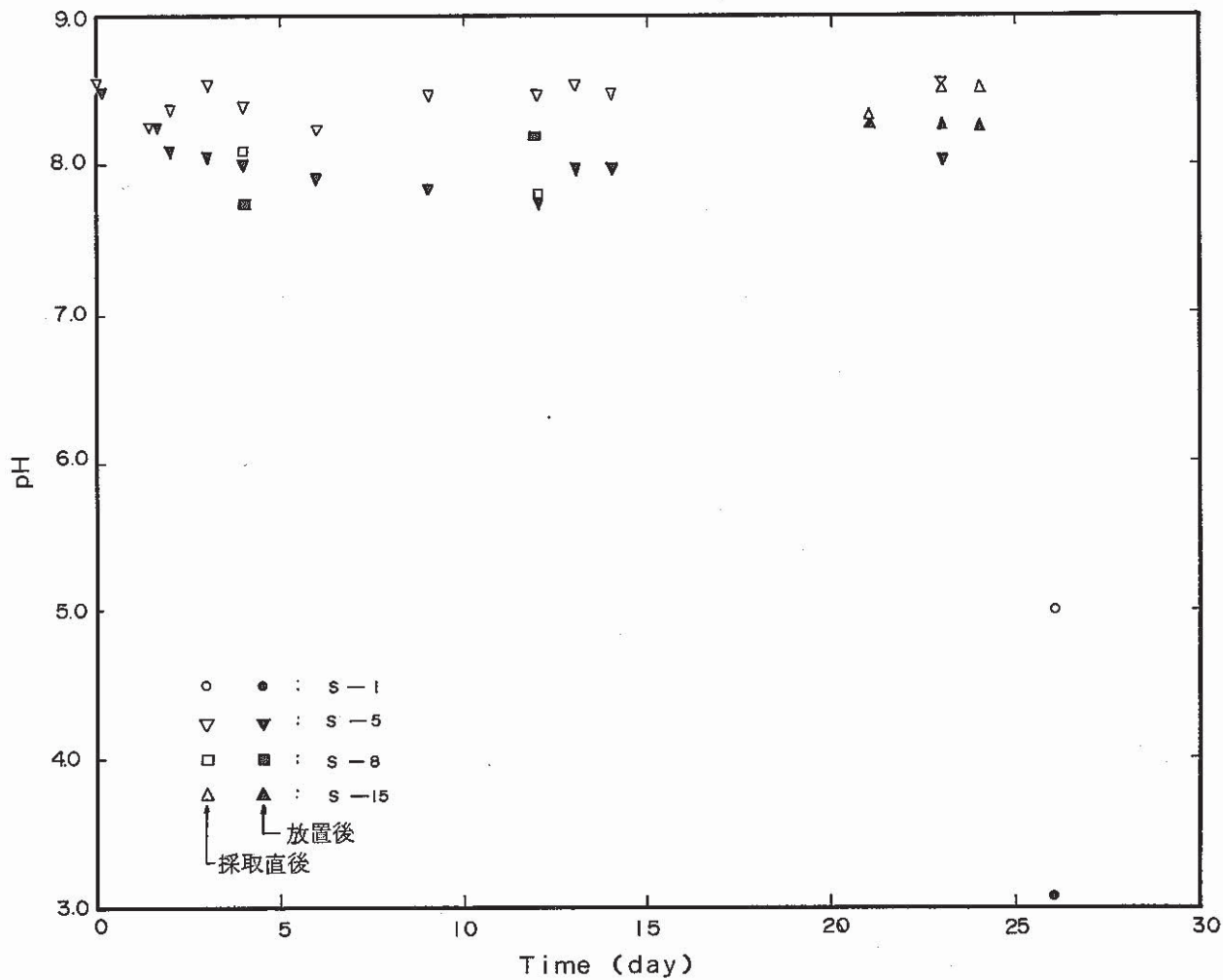


Fig. 2—51 Comparison of pH Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のpHの比較

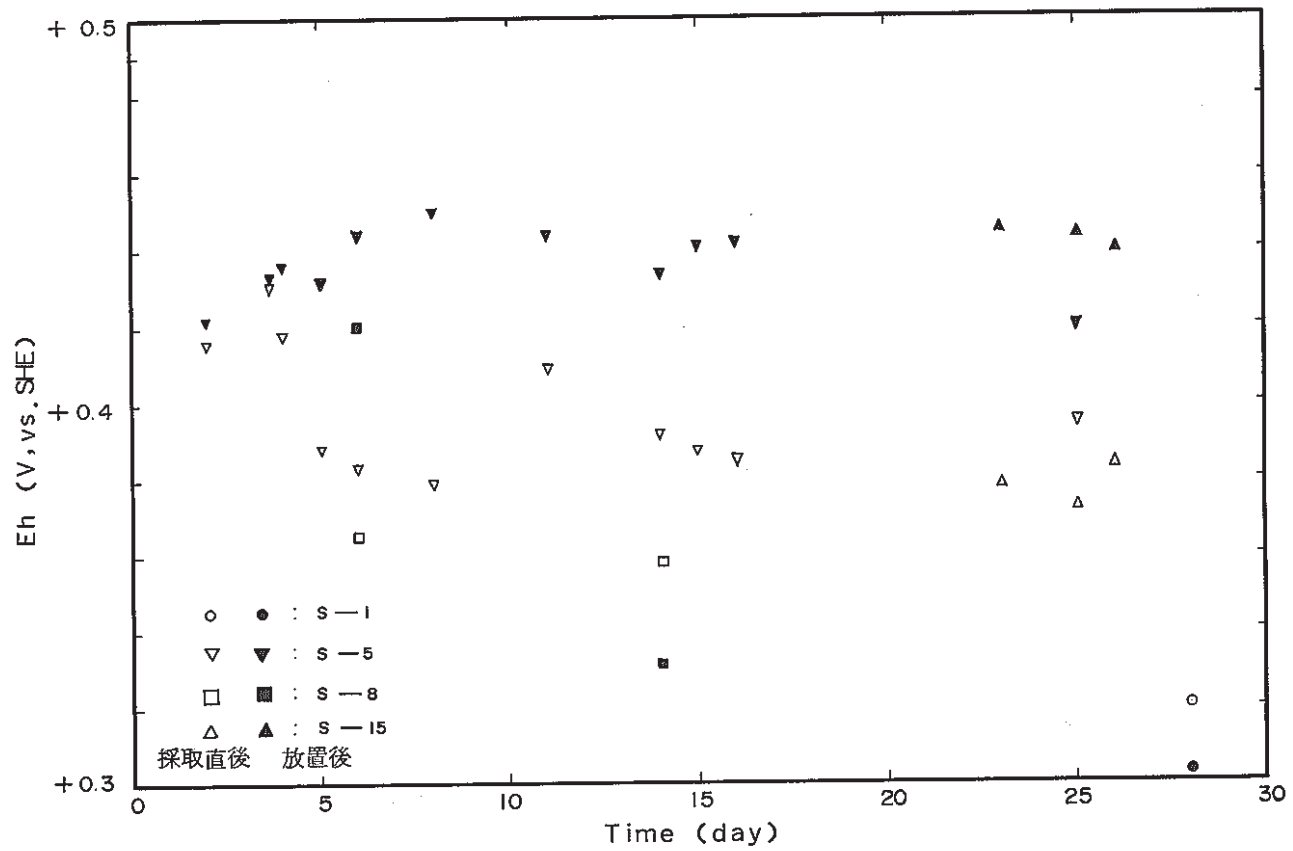


Fig. 2—52 Comparison of Oxidation Reduction Potential which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のEhの比較

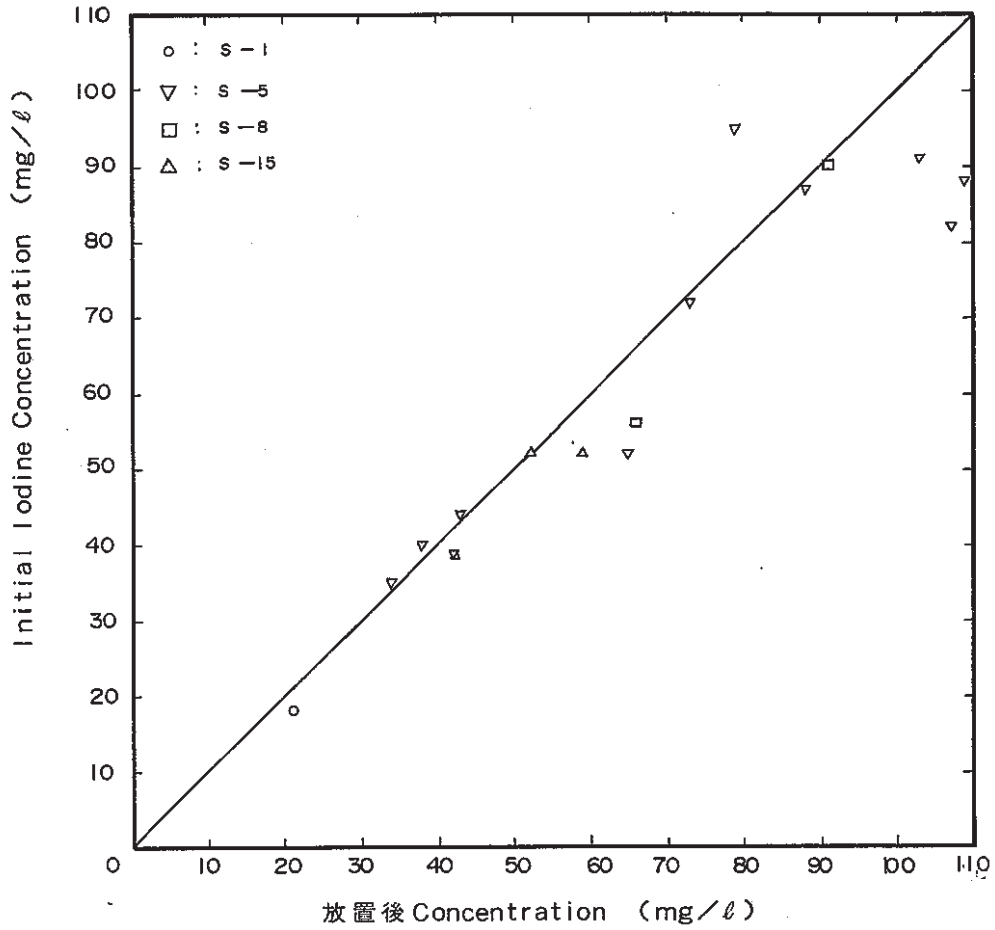


Fig. 2—53 Correlation of Iodine Concentration which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のトレーサ濃度の相関

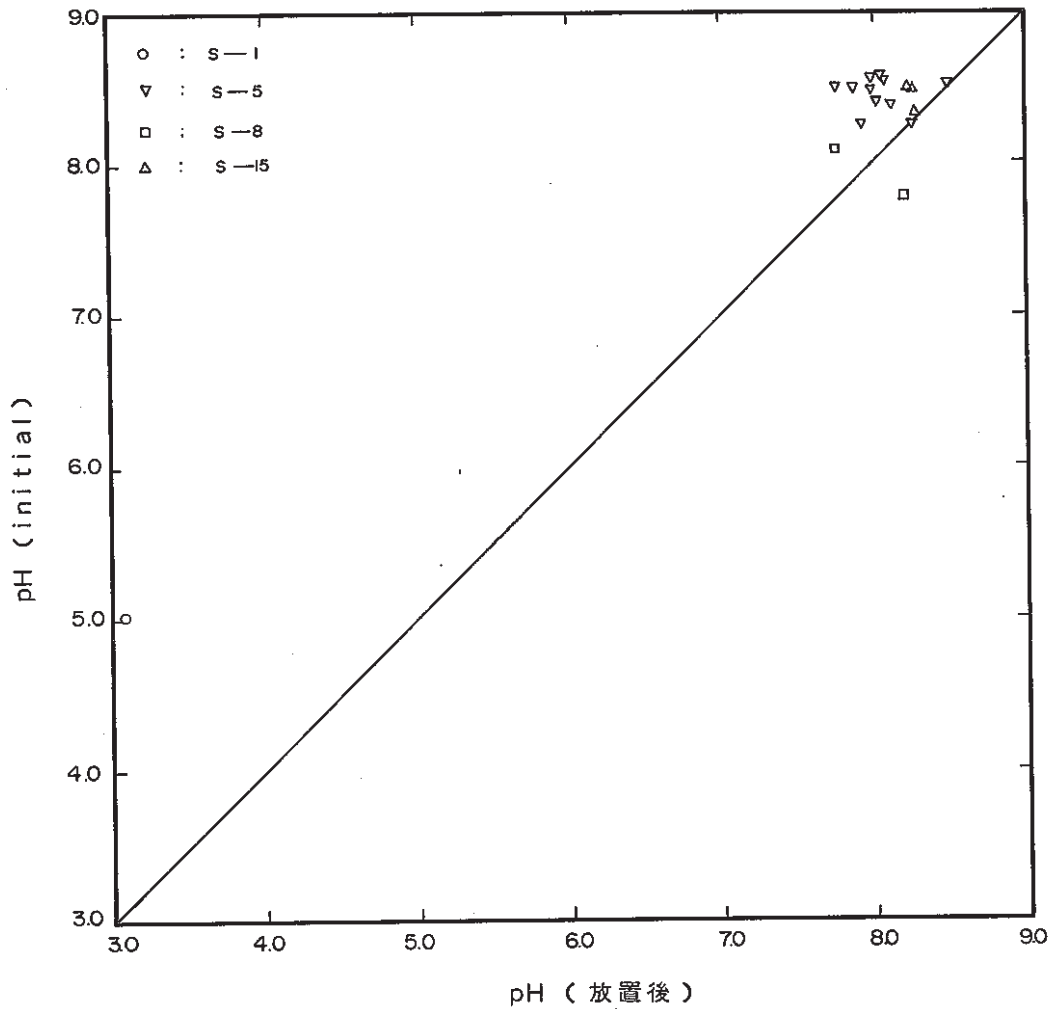


Fig. 2—54 Correlation of pH Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のpHの相関



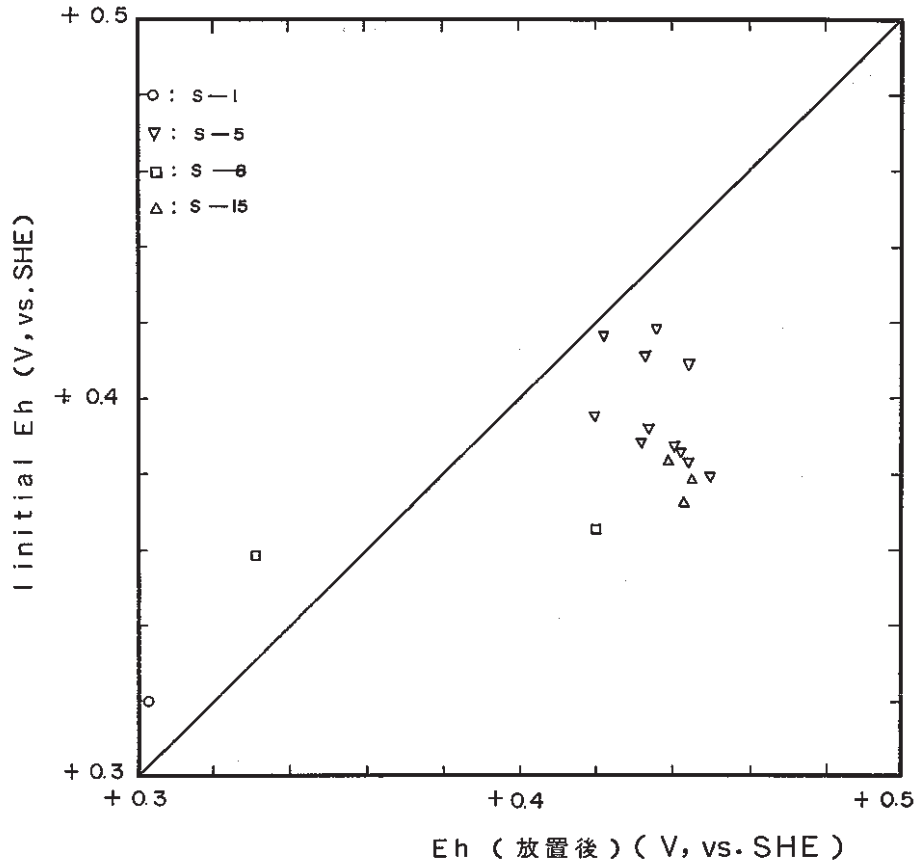


Fig. 2—55 Correlation of Eh Values which were Measured just after Sampling and up to One Month later after the Measurement of the Same Effluent.  
採水直後と最大1ヶ月放置後の流出液のEhの相関

それと同様の特異な変化を示した。これらの試料が pH、Eh で特異な変化を示した原因は不明である。

#### (7) pH、Eh、溶存酸素濃度および汚濁濃度の相関性の検討

pH、Eh および溶存酸素濃度の各パラメータ間の相関性を流出液、試験用注入水および一定時間放置流出水試料について検討した。Fig. 2—55～57 に流出水および試験用注入水に関する pH、Eh および溶存酸素濃度のうちの 2 項目ごとの相関図を、Fig. 2—58～60 に一定時間放置した流出水試料に関する pH、Eh および汚濁濃度のうちの 2 項目ごとの相関図を示す。

##### pH と Eh の相関性

Fig. 2—55 からは各測定値はほぼ一定の領域に示されており、pH と Eh の間で特に相関性は認められない。

一方、主たる原水（受水槽内注入水、試験用水道水、T—1～3 タンク内トレーサ水）と孔（注水孔）内水および主たる流出水は特徴的な分布を示していることが認められる。すなわち、pH 7、Eh + 0.45 V の原水は試験孔内でやや pH が増大し、Eh が還元側に変化した後、岩盤内の通過により流出水の pH は 8.5 とさらに増大し、Eh はやや酸化側に変化している。孔内水のデータが少ないので、これを除けば、岩盤内の通過により、pH・Eh はそれぞれ増大および還元側への変化を示していると表現することができる。前者はアルカリ成分の溶解により、後者は岩盤内の還元環境特性で説明が可能である。

Fig. 2—58 には流出液の流出直後とポリ容器内での放置後の pH・Eh の相関性を示したが、Fig. 2—55 との関係でみると、ポリ容器内の放置では流出液の pH はあまり変化しないものの、Eh が酸化側に変化していることがわかる。したがって、少なくとも Eh の測定に関しては流出直後に実施すべきであるといえる。

##### pH と溶存酸素濃度の相関性

Fig. 2—56 に原水および流出液の pH と溶存酸素濃度の相関性を示したが、pH は溶存酸素濃度に関する相関性は認められない。原水は岩盤内の通過により、やや溶存酸素濃度を減じているのが読み取れる。

##### Eh と溶存酸素濃度の相関性

Fig. 2—57 に原水および流出液の Eh と溶存酸素濃度の相関性を示したが、Eh は溶存酸素濃度に関する相関性は認められない。

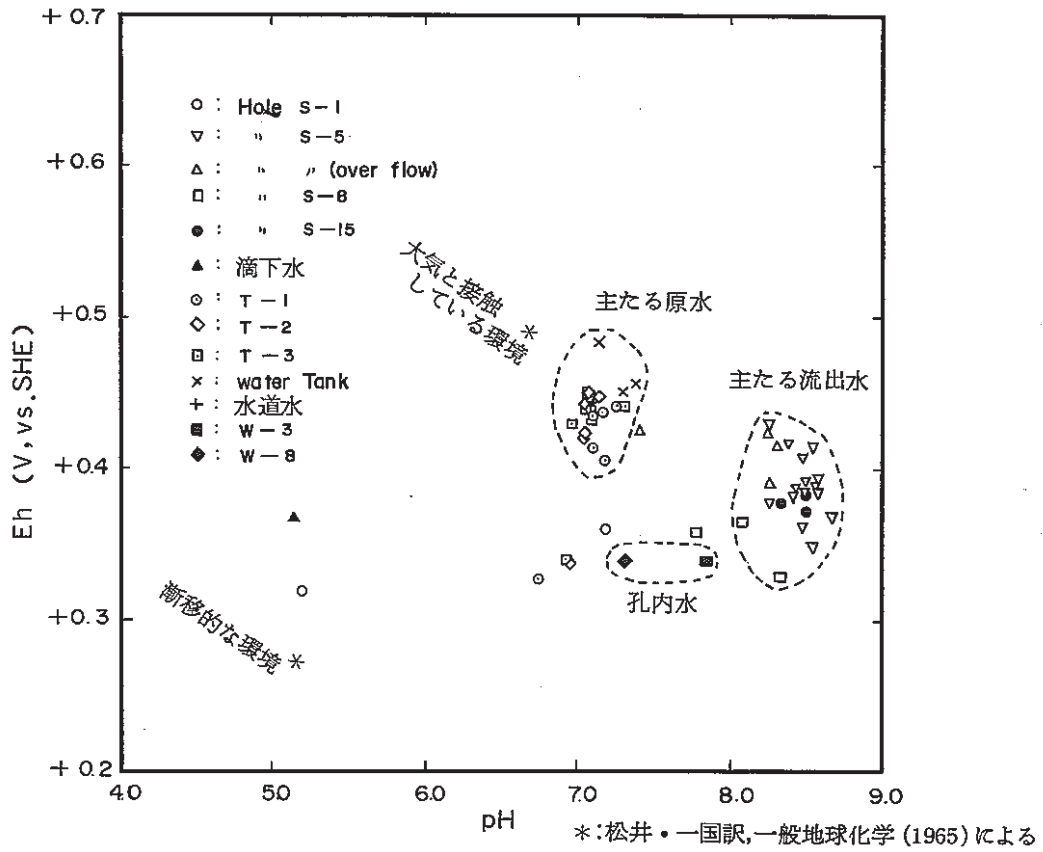


Fig. 2—56 Correlation of pH and Eh of Effluent and Injection Water.  
 流出液および注入水のpHとEhとの相関

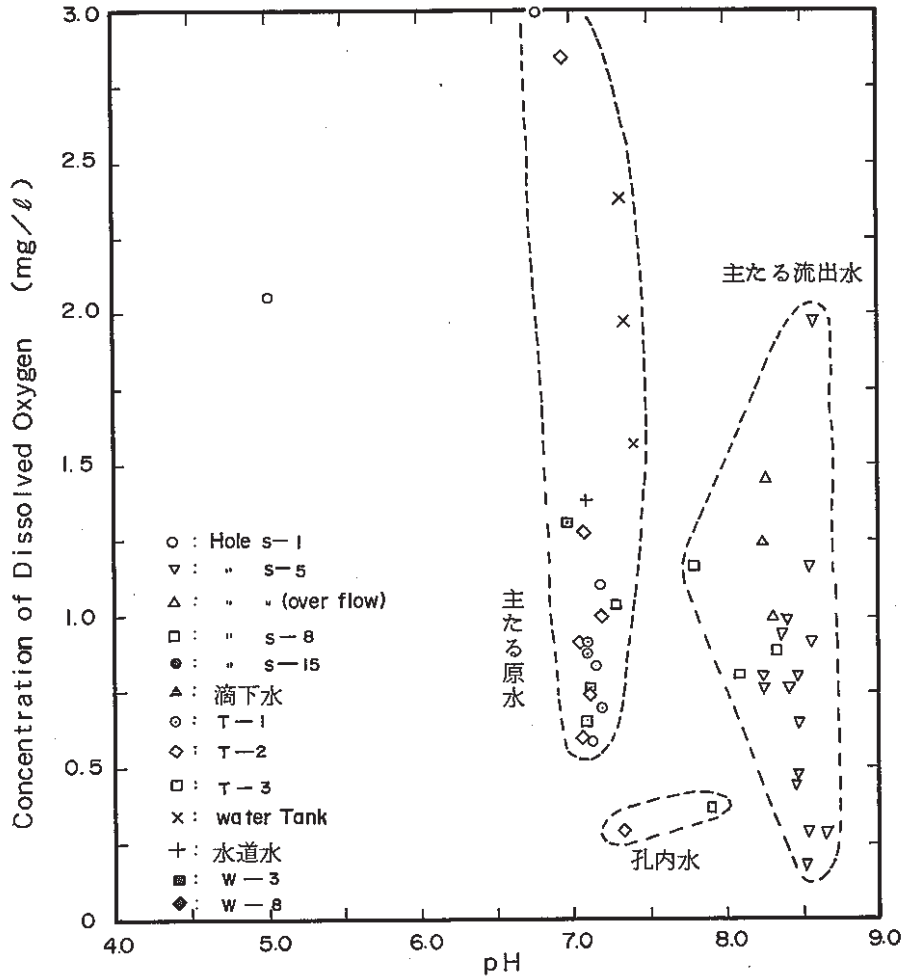


Fig. 2—57 Correlation of pH and Concentration of Dissolved Oxygen of Effluent and Injection Water.  
 流出液および注入水のpHと溶存酸素濃度との相関

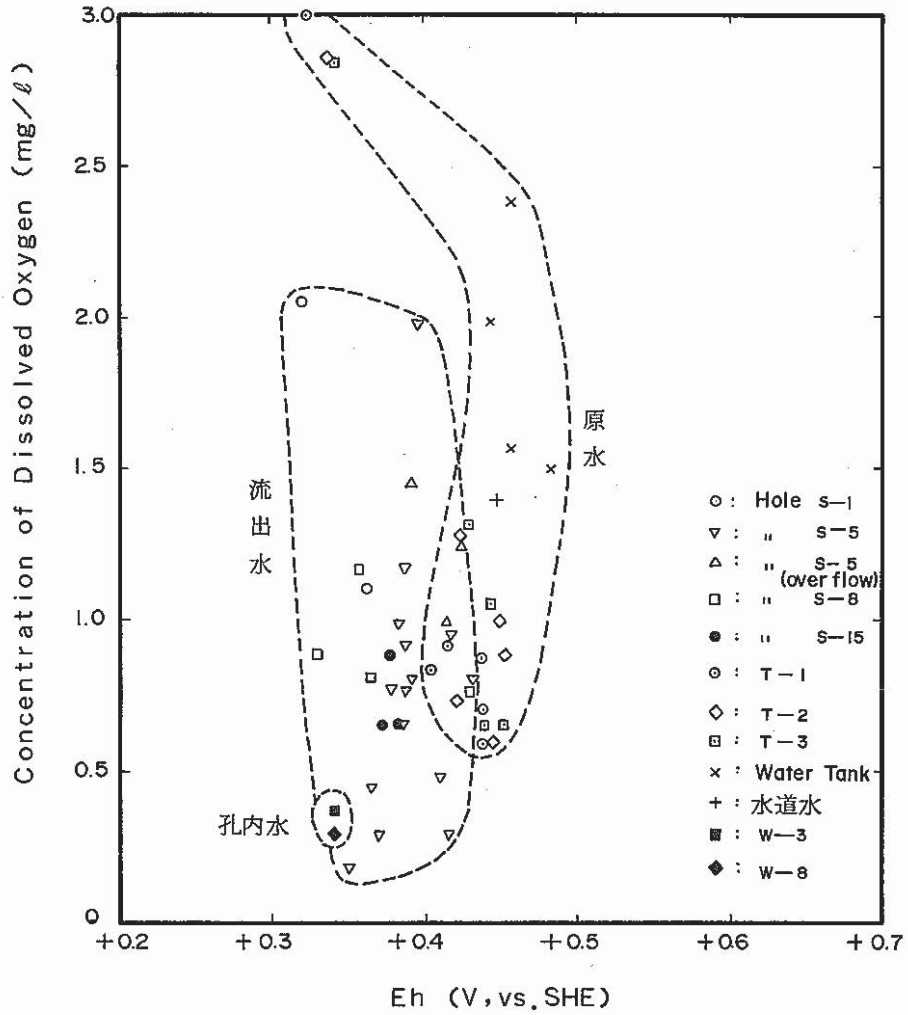


Fig. 2—58 Correlation of Eh and Concentration of Dissolved Oxygen of Effluent and Injection Water.  
流出液および注入水のEhと溶存酸素濃度との相関

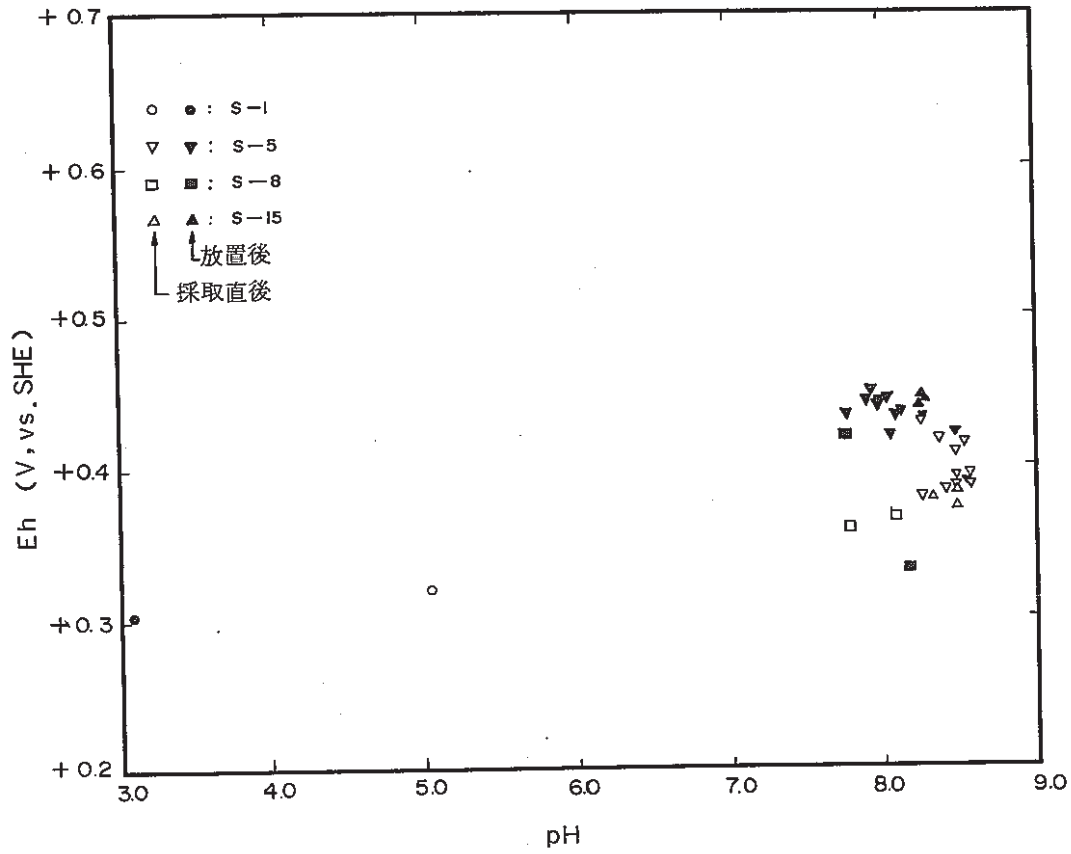


Fig. 2—59 Correlation of pH and Eh of Effluent.  
流出液のpHとEhとの相関

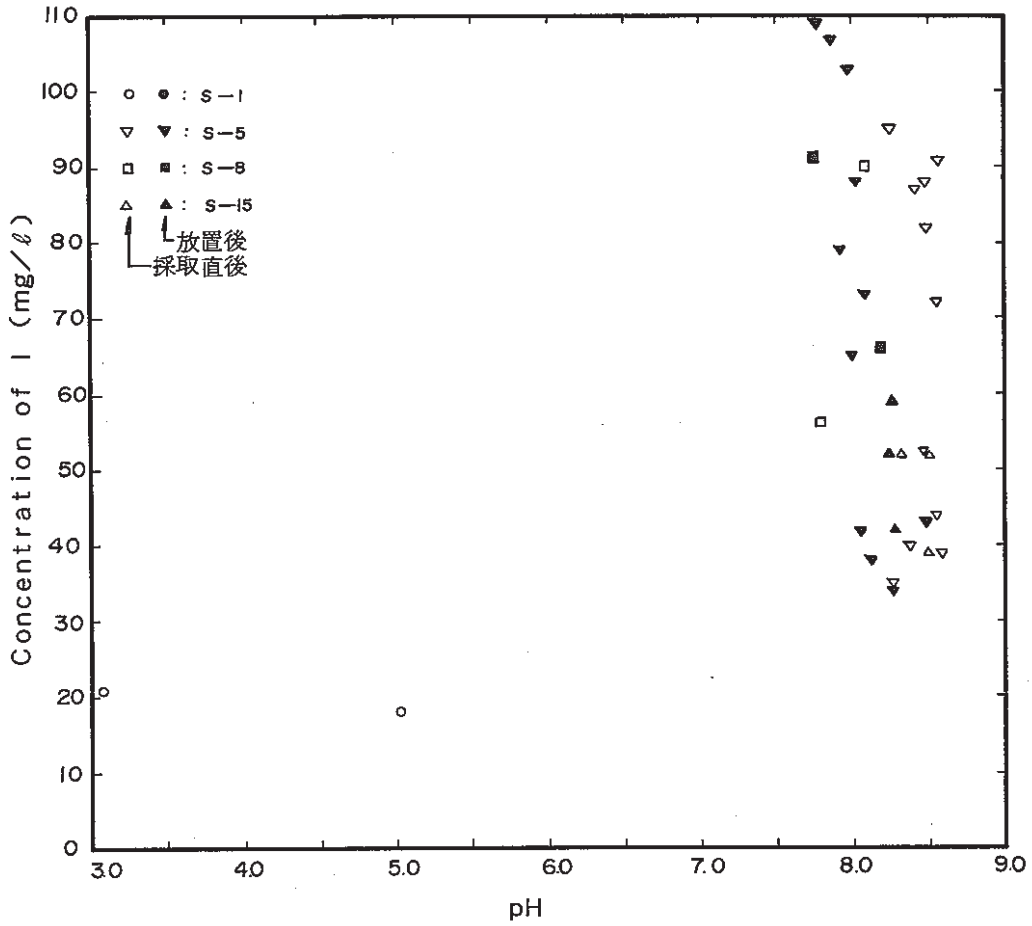


Fig. 2—60 Correlation of pH and Concentration of Iodine of Effluent.  
 流出液のpHとトレーサ濃度の相関

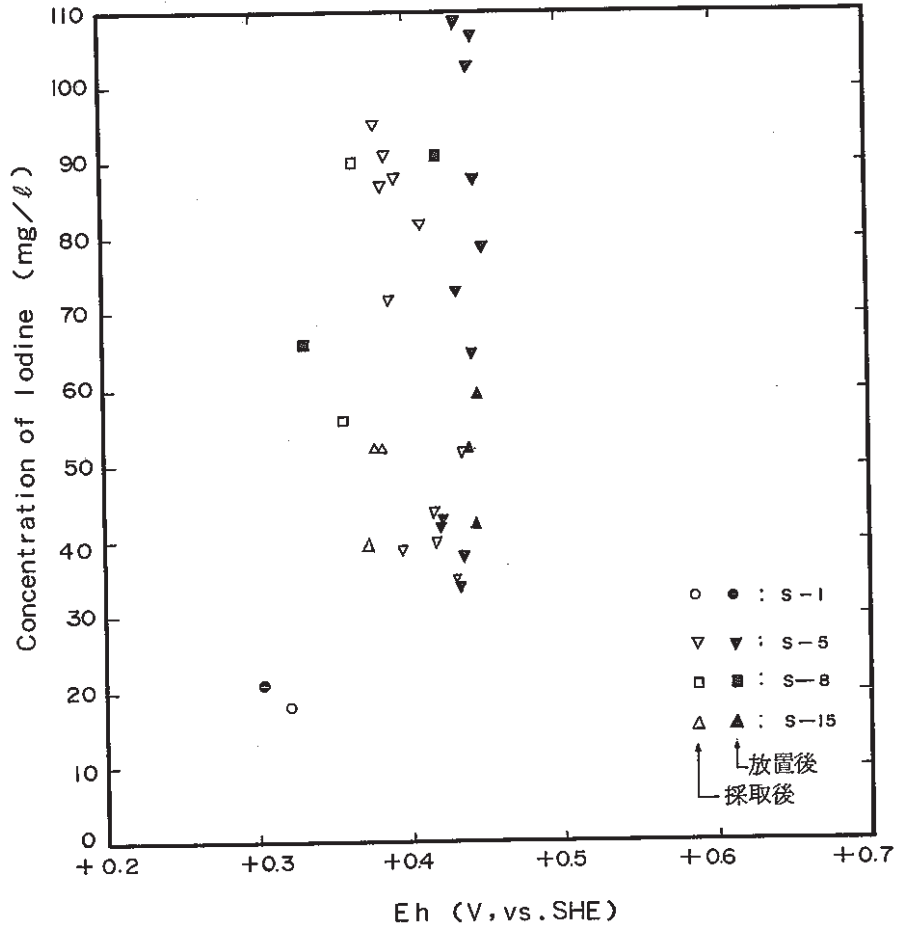


Fig. 2—61 Correlation of Eh and Concentration of Iodine of Effluent.  
 流出液のEhとトレーサ濃度の相関



### pHと沃素濃度の相関性

Fig. 2—59に流出液のpHと沃素濃度の相関性を示したが、特に両者に相関性は認められない。

### Ehと溶存酸素濃度の相関性

Fig. 2—60に流出液のEhと沃素濃度の相関性を示したが、pHと同様特に両者に相関性は認められない。

一方、Ehおよび溶存酸素濃度に関しては孔内水は流出水と同じ特性を示していたことが読み取れる。

### (8) 気体との接触条件の相違による水質の変化

T—3トレーサタンク内トレーサ水を用いて、強制的に酸素ガス、窒素ガスと一定時間接触させたあとの水質の変化を把握した。酸素ガス、窒素ガスの接触方法は500mlポリ容器に300mlほど試料水を入れ、0.5秒間に1～2個の気泡を吹き込むものとした。最大4時間まで接触時間を変化させた。また、同時に広口ビンに入れた試料水を最大24時間まで空気に触れさせる条件の測定も行った。

Table 2—16～18にそれぞれ酸素ガス、窒素ガスおよび空気中に放置した時のpH、Eh、溶存酸素濃度の変化を示した。また、Fig. 2—61～63にそれらをまとめて、それぞれpH、Eh、溶存酸素濃度の接触時間による変化を示した。

#### (a) pH

酸素ガスと窒素ガスに接触させた試料水のpHは約10分経過時以降共に増大していくのに対して、放置した試料では3時間の放置でも大きな変化は認められなかった。しかしながら、1日経過試料ではpHの増大が認められた。

#### (b) Eh

EhはpHほどの大きな変化は認められなかった。ただし、どの条件においても時間の経過とともに酸化側に変化している。しかしながら、pHと異なり、酸素ガス吹き込み条件では5分程で増大傾向が認められたのに対し、窒素ガス吹き込み条件ではほぼ空気中に放置した試料と同じ傾向を示した。窒素ガスは酸素ガスに比して、Ehに大きな変化を与えないことがわかる。酸素吹き込み条件と空気中に放置した条件で、それぞれ最終時の測定値にEhの減少が認められるがこの原因については不明である。

#### (c) 溶存酸素濃度

Table 2—1 6 pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen  
as a Function of Bubbling Time of Oxygen Gas.  
酸素ガス吹き込み時間とpH, Eh, 溶存酸素濃度

Bubbling Time (hour, min)	Dissolved Oxygen % (mg/ℓ)	pH	Eh (V)
0.00	9.0 (0.66)	7.13	0.227
0.01	15.0 (1.10)	7.14	0.228
0.05	37.0 (2.71)	7.24	0.241
0.07	42.0 (3.07)	7.28	0.244
0.10	84.5 (6.19)	7.53	0.256
0.30	102.0 (7.47)	7.73	0.257
1.00	102.0 (7.47)	8.08	0.258
2.00	102.0 (7.47)	8.31	0.256
4.00	96.0 (7.03)	8.22	0.243

- \* Measured 21 Days Later after the Start of the Test.
- \*\* Tracer Injection Water in Tank for T-3 Used.
- \*\*\* Bubbling Speed is 1 to 2 Bubbles per 0.5 Second.
- \*\*\*\* 500mℓポリ容器使用
- \*\*\*\*\* Tests of 7 min and 4 hour Bubbling Time, Conducted 5 Days Later.
- \*\*\*\*\* Ehは飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—1 7 pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Bubbling Time of Nitrogen Gas.  
窒素ガス吹き込み時間とpH, Eh, 溶存酸素濃度

Bubbling Time (hour, min)	Dissolved Oxygen % (mg/ℓ)	pH	Eh (V)
0.00	9.0 (0.66)	7.08	0.229
0.01	9.0 (0.66)	7.18	0.229
0.05	8.0 (0.59)	7.25	0.227
0.10	6.5 (0.48)	7.45	0.228
0.30	3.0 (0.22)	7.65	0.230
1.00	3.0 (0.22)	7.52	0.235
2.00	3.0 (0.22)	7.90	0.254
4.00	3.0 (0.22)	8.22	0.255

- \* Measured 28 Days Later after the Start of the Test.
- \*\* Tracer Injection Water in Tank for T-3 Used.
- \*\*\* Bubbling Speed is 1 to 2 Bubbles per 0.5 Second.
- \*\*\*\* 500mℓ ポリ容器使用
- \*\*\*\*\* Tests of 2 and 4 hour Bubbling Time, Conducted 3 Days Later.
- \*\*\*\*\* Ehは飽和AgCl電極に対する値.

Table 2—1 8 pH, Eh Values and Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Contact Time with Air.  
空気との接触時間とpH, Eh, 溶存酸素濃度

Contact Time (hour, min)	Dissolved Oxygen % (mg/ℓ)	pH	Eh (V)
0.10	10.0 (0.73)	7.21	0.231
1.00	11.0 (0.81)	7.07	0.237
2.00	15.0 (1.10)	7.17	0.247
3.00	17.0 (1.24)	7.22	0.255
24.00	21.5 (1.57)	7.50	0.231

- \* Measured 27 Days Later after the Start of the Test.
- \*\* Tracer Injection Water in Tank for T-3 Used.
- \*\*\* 1ℓ 広口ポリ容器使用
- \*\*\*\* Ehは飽和AgCl電極に対する値.

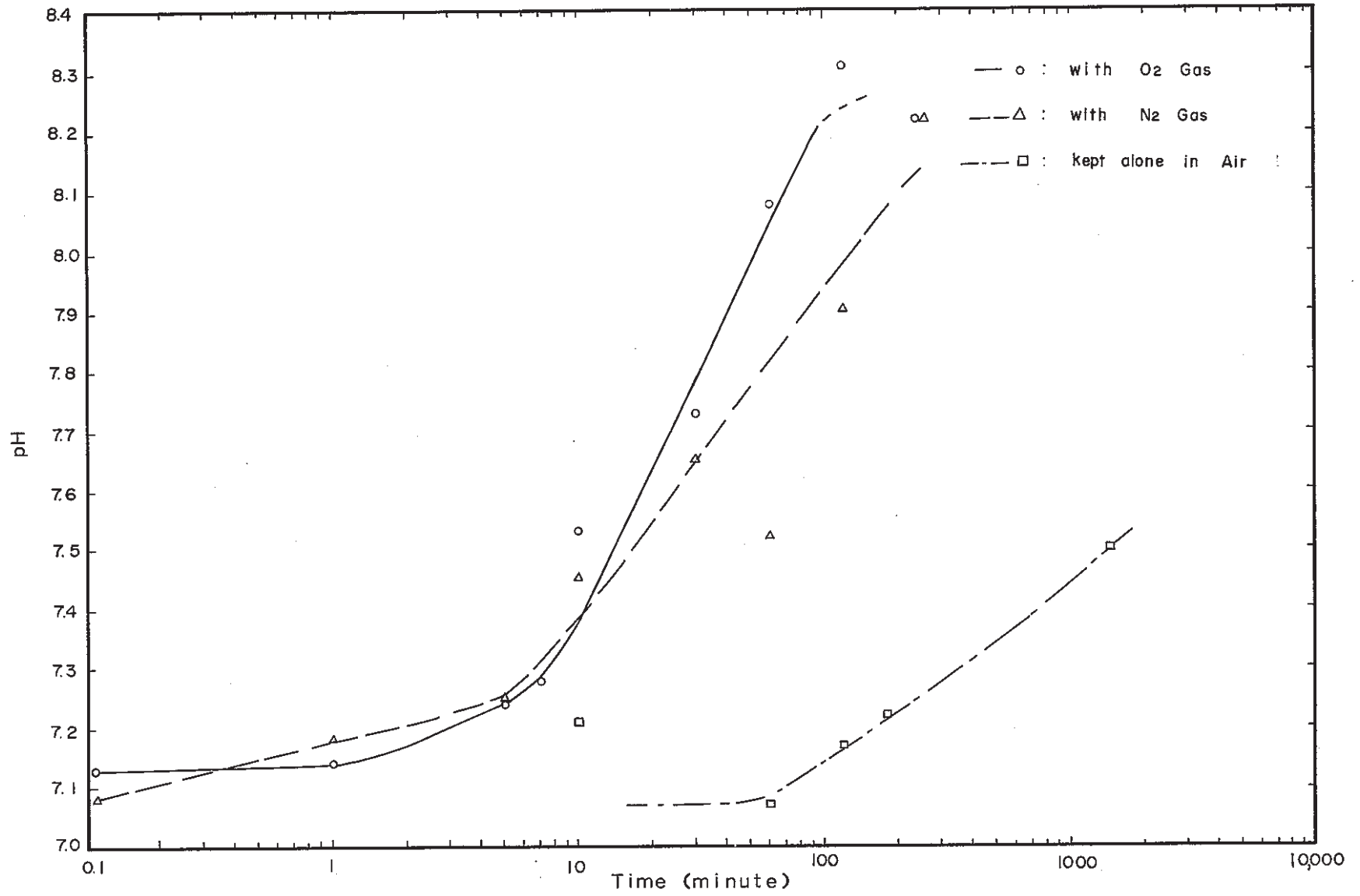


Fig. 2—62 pH as a Function of Time.  
pHの経時変化

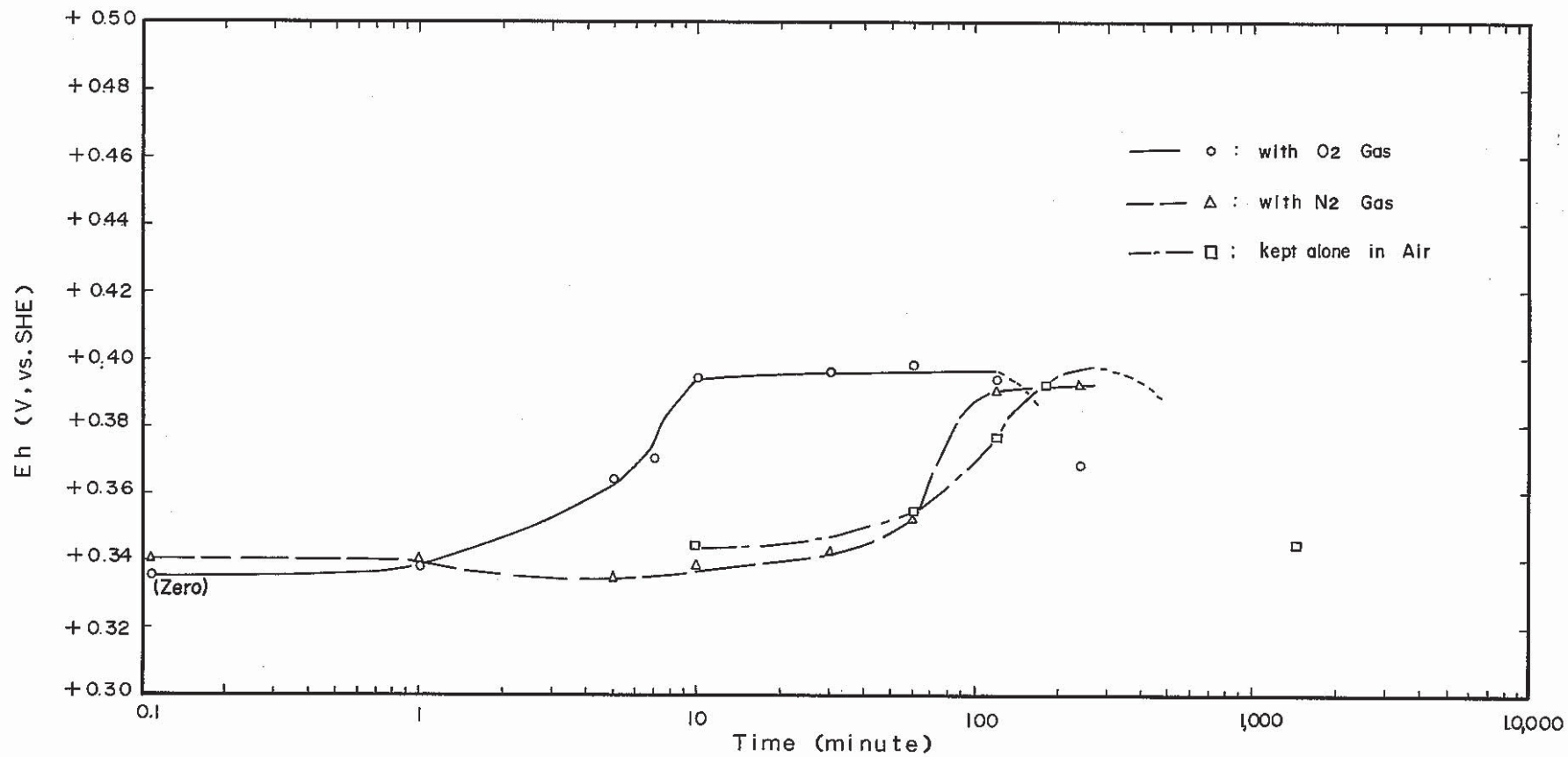


Fig. 2—63 Oxidation Reduction Potential as a Function of Time.  
Ehの経時変化

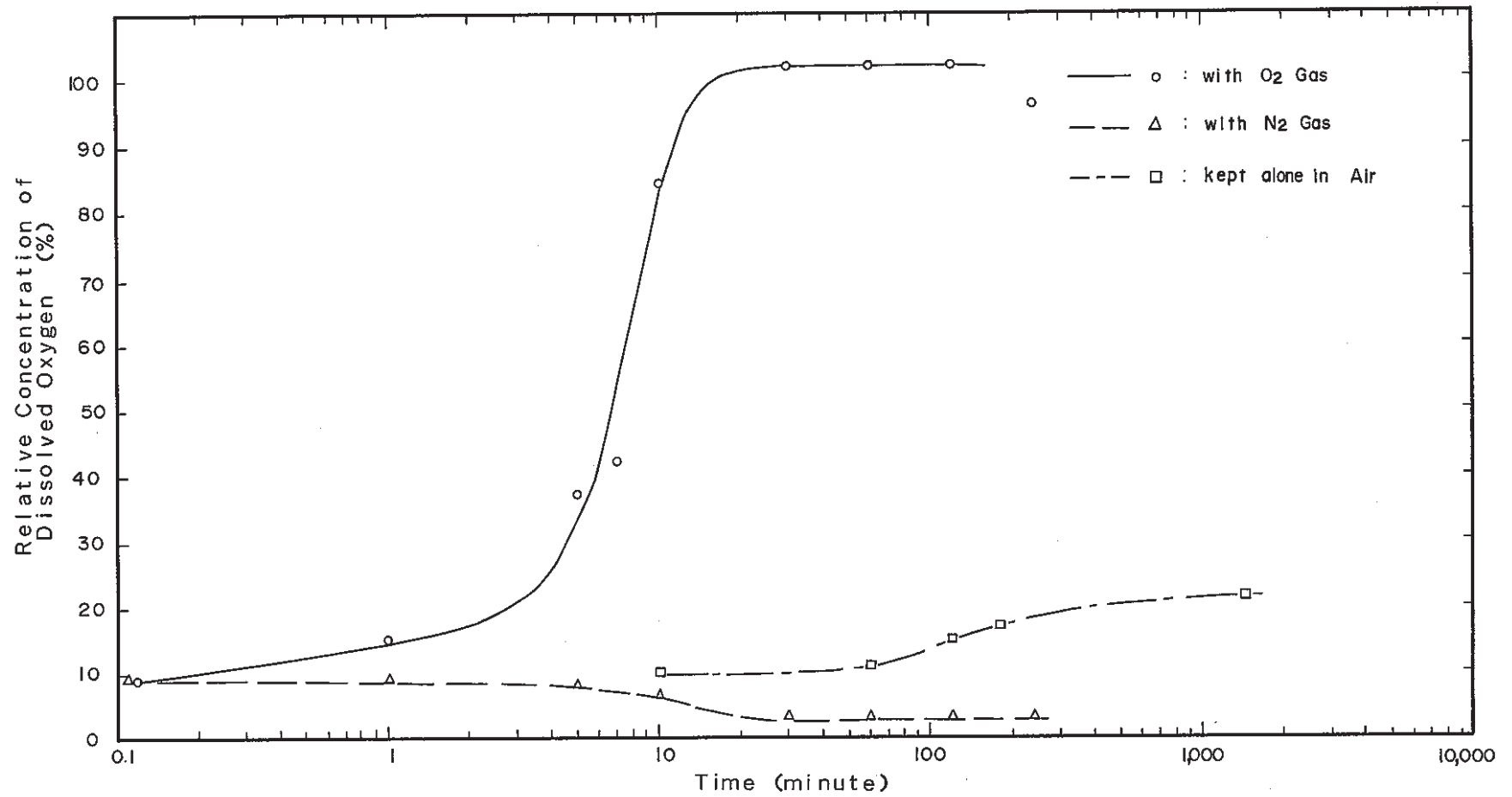


Fig. 2—64 Relative Concentration of Dissolved Oxygen as a Function of Time,  
溶存酸素の相対濃度の経時変化

酸素吹き込み条件では約10分程で飽和濃度に達した。また、空気中に放置した条件では100分程で増加しているのが認められる。一方窒素吹き込み条件では10分程で減少傾向が認められたが、30分経過時以降は3%の濃度で一定の値となった。

試験開始後32時間経過時のS-5孔への流出水の溶存酸素濃度は2.5%であり、岩盤中の通過でこの窒素ガス吹き込み条件と同様の酸素除去効果を受けたことになる。これ以上の溶存酸素濃度の低下はより時間をかけた試験条件が必要と判断される。

#### (9) 溶存成分の分析

流出液のうち、上記測定に用いた約100mlを除いた量は、まとめて溶存成分分析に供した。流出量が分析予定数量に比して少ないため、試験終了時に受水槽および注入孔からの水を採取して同様の分析に供した。Table 2-19に分析に供した試料の一覧を示す。1回の測定に2.5lを要するため、1試料は複数の孔からの流出水や同一の孔の流出水であっても複数の採取日の試料を合わせて用いた。また、 $Fe^{3+}$ 、 $HCO_3^-$ は空気に触れると化学形態や濃度を変化させるため、空気との接触を断つようテフロン容器に別個に詰めて分析に供した。

Table 2-20に分析値の一覧を示す。さらに、地質調査所(1978)<sup>1)</sup>の分類に従った主要イオンのヘキサダイアグラム・キーダイアグラムをそれぞれFig. 2-64・65に示した。

#### 各分析項目の濃度値

試験原水のNo. 7の試料と比較して、Ca, Na, K,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ は試験水が岩盤内の移行中にそれらの成分を溶かしこむことにより、高まった値となった。また、溶存酸素濃度は原位置測定においては最大2mg/lの濃度であったことを考慮すると、採取後分析までの間にかなり溶けこんだものと判断される。

トレーサとして用いた沃素・臭素はNo. 1~No. 6までの試料で広く認められている。特に、臭素については原位置測定ではイオン電極法を用いたために沃素が存在する時はその濃度が測定できなかったが、この分析によりかなり含まれていることがわかった。しかしながら、臭素を対象として試験を行った孔のうちで流出の認められたのはS-15

1) 地質調査所化学分析法, 地球科学的試料の化学分析法 2: 地質調査所, pp. 520-523, (1978)

Table 2—19 List of Samples for Measurement of Dissolved Chemical Parameters.  
 溶存成分測定用試料の一覧

試料No.	対象孔等	採取時間(d, h, m.)	量 (mℓ)	容器種類
No. 1	S—1	00,00,00~5,00,00	411.7	1ℓポリ容器
	S—15	00,00,00~10,01,00	2098.4	1ℓポリ容器および 500mℓテフロン容器
No. 2	S—5	00,00,00~17,00,00	730.6	1ℓポリ容器
	"	17,00,00~18,00,20	324.8	1ℓポリ容器
	"	18,00,00~19,00,10	386.6	1ℓポリ容器
	"	19,00,10~21,23,50	744.8	1ℓポリ容器
	"	19,00,10~21,23,50	541.1	500mℓテフロン容器
No. 3	S—5	21,23,50~25,00,00	978.0	1ℓポリ容器
	"	25,00,00~28,00,10	1079.9	1ℓポリ容器
	"	26,23,50~28,00,10	542.7	500mℓテフロン容器
No. 4	S—5	28,00,10~31,00,20	2009.0	1ℓポリ容器
	"	31,00,20~32,00,00	541.5	500mℓテフロン容器
No. 5	S—5	29,05,30~31,00,20	843.1	1ℓポリ容器
	"	31,00,20~32,00,00	579.3	1ℓポリ容器
	"	32,00,00~32,23,50	347.0	1ℓポリ容器
	"	32,23,50~33,23,50	248.3	1ℓポリ容器
	"	33,23,50~34,23,40	541.2	500mℓテフロン容器
No. 6	S—5	8,00,00~17,00,00	737.9	1ℓポリ容器
	S—5	28,06,00~29,00,20	361.8	1ℓポリ容器
	S—5	29,05,30~31,00,20	404.3	1ℓポリ容器
	S—8	12,00,20~19,00,10	260.6	1ℓポリ容器
	S—8	19,00,10~26,23,50	238.4	1ℓポリ容器
	S—15	10,01,00~18,00,20	160.7	1ℓポリ容器
	S—1	5,00,00~34,23,40	297.5	500mℓテフロン容器
	S—8	12,00,20~19,00,10	20.3	500mℓテフロン容器
	S—8	26,23,50~34,23,40	225.5	500mℓテフロン容器
No. 7	受水槽	終了時 (35,00,00)	2600	1ℓポリ容器および 500mℓテフロン容器
No. 8	W—3	終了時 (35,00,00)	2600	1ℓポリ容器および 500mℓテフロン容器
No. 9	W—4,6,8	終了時 (35,00,00)	2100	1ℓポリ容器
	W—6	終了時 (35,00,00)	500	500mℓテフロン容器



Table 2—20 Chemical Analysis of Effluent and Related Test Waters.  
 流出液と受水槽および注入孔内注入水の化学分析結果

Chemical Parameters	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	M-3*
Ca mg/ℓ	77.0	9.2	10.7	7.4	8.9	15.2	6.0	12.4	14.4	301
Mg "	8.8	1.0	1.6	1.0	1.2	2.0	1.5	1.8	2.1	92
Na "	142	49.2	75.9	54.3	59.2	90.8	4.5	44.7	48.9	571
K "	9.0	2.2	3.7	2.5	2.8	3.8	1.2	3.8	2.3	477
Fe <sup>2+</sup> "	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Fe <sup>3+</sup> "	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1
Al "	<0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	2.1
Cl <sup>-</sup> "	10.1	8.4	7.8	7.3	7.0	8.8	9.0	6.6	8.2	54.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> "	341	27.2	13.8	38.2	46.8	91.0	8.9	31.7	50.1	1520
SiO <sub>2</sub> "	12.8	21.9	17.6	19.3	18.3	14.7	25.0	11.7	9.6	18
Br "	31.7	71.3	65.6	45.5	30.2	36.2	<0.1	<0.1	<0.1	31.7
I "	35.5	63.0	64.2	32.0	27.2	46.1	<0.5	1.1	<0.5	<0.1
Sr "	1.0	<0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	<0.1	0.2	0.2	1.3
Cs "	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Dissolved Oxygen	2.3	6.4	7.5	9.9	8.3	7.9	8.5	5.0	4.9	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> "	161	90.0	123	142	125	79.6	19.2	121	72.6	81**

\* Values of Effluent in Permeability Test of Fiscal Year 1984

\*\* Concentration as Total CO<sub>2</sub>

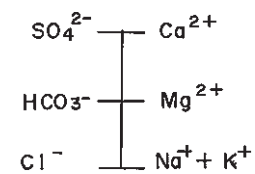
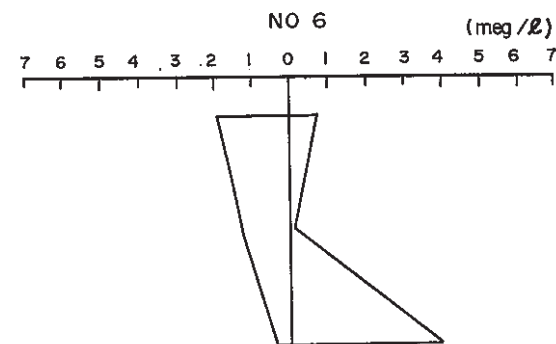
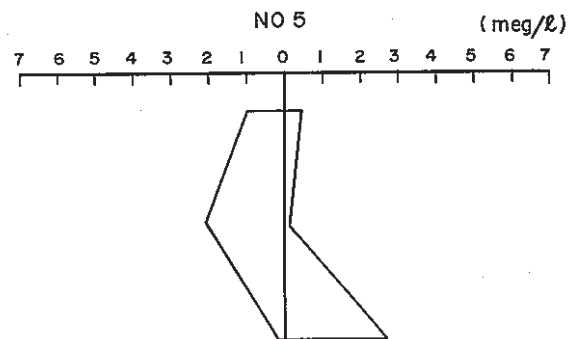
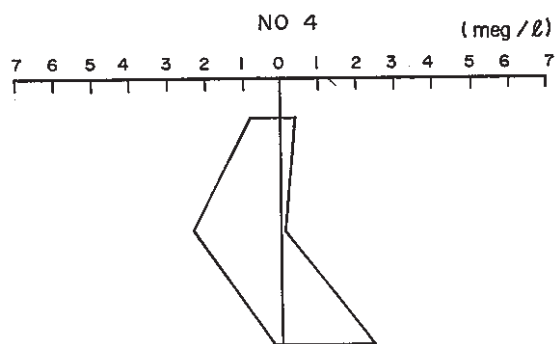
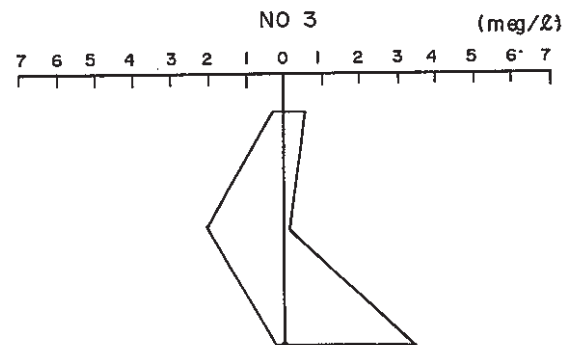
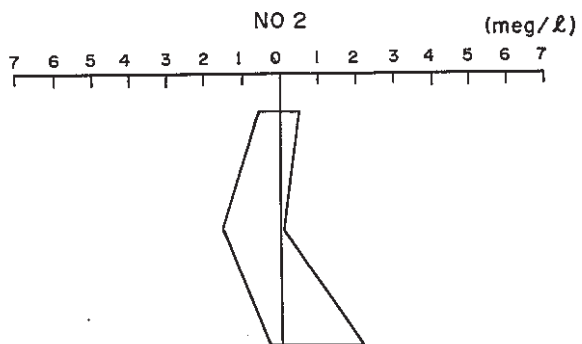
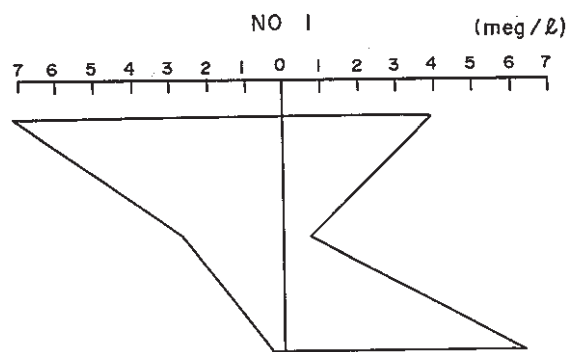


Fig. 2—65(1). Hexadiagram of Major Cations and Anions of Effluent and Related Test Water.  
流出液および試験用水のヘキサダイヤグラム

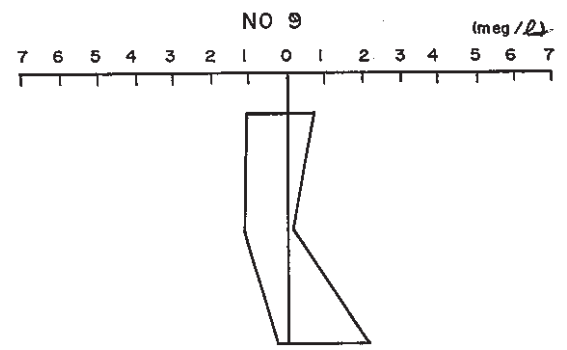
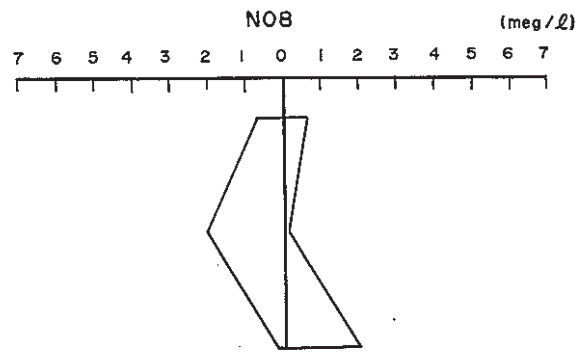
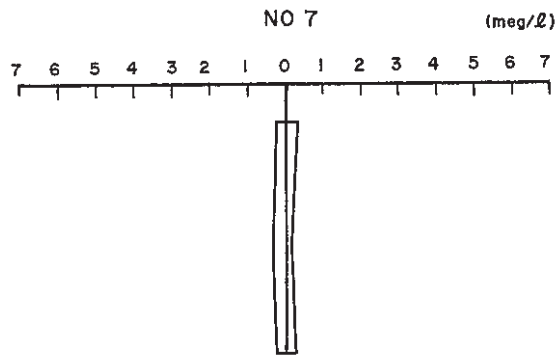
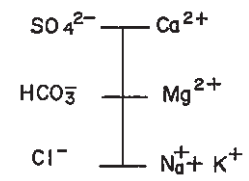


Fig. 2 —65(2) (Cont'd)  
同



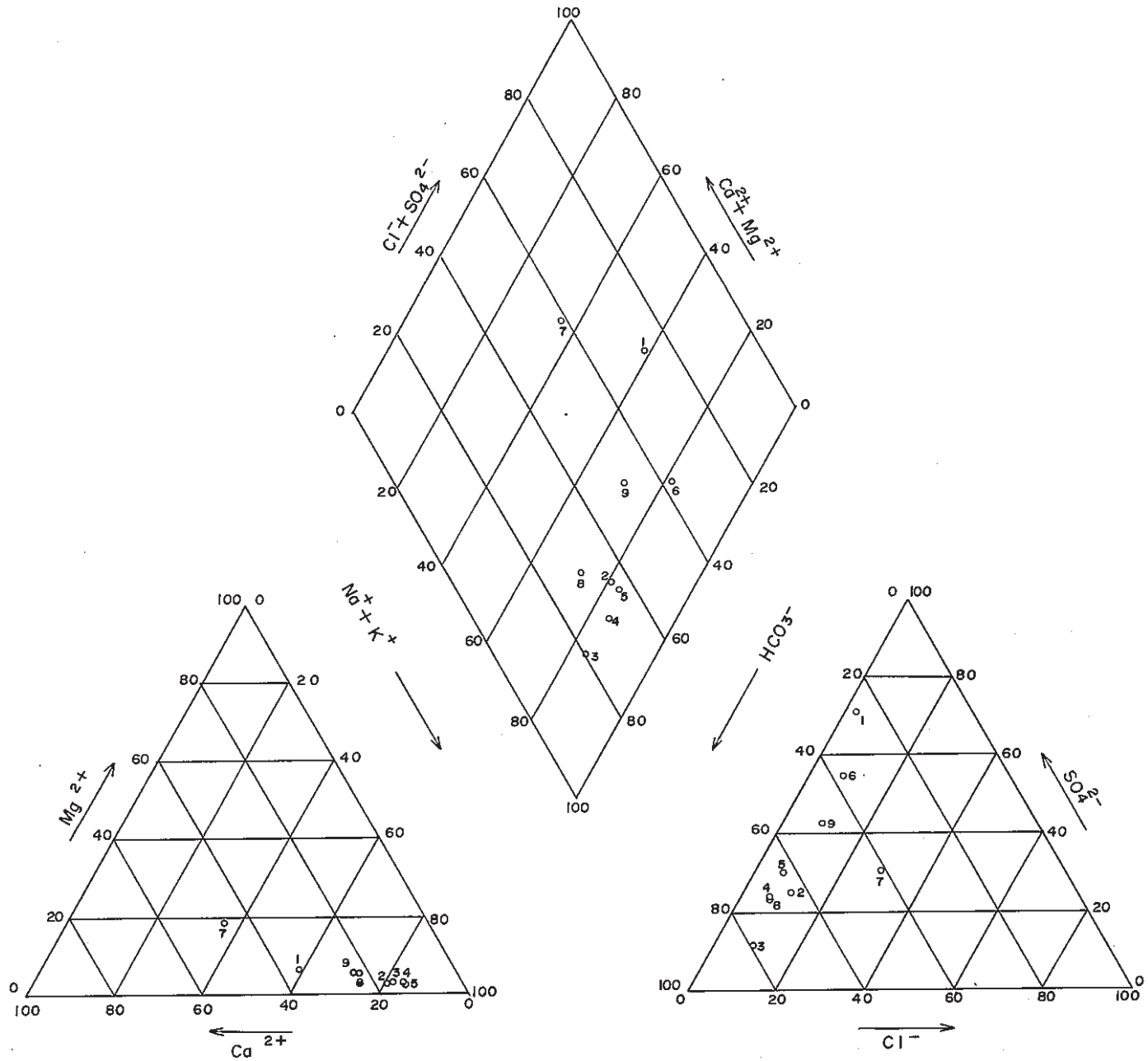


Fig. 2—66 Key Diagram of Major Cations and Anions of Effluent and Related Test Water.  
 流出液および試験用水のキーダイヤグラム

孔だけであり、Table 2—18に示すようにS—15孔からの流出液が含まれているのはNo. 1・6の試料だけであることを考えると、S—5孔から採取したNo. 2～5試料に臭素が含まれていた理由としてF—2割れ目を対象としたT—3注入区間あるいはF—3割れ目を対象としたT—2注入区間とS—5の採水孔が透水性の観点で連絡していたことになる。

#### 59年度実施透水試験流出液分析値との比較

Table 2—19に示すM—3試料は既存試験場での透水性試験を実施した時の3ヶ月経過時に採取した試料である。岩石は同じであることを考えると、Ca, Mg, Na, K, SO<sub>4</sub> およびAl, Clが低い値であることがわかる。これは岩石との接触時間の長さの相違によるものと思われる。

#### 主要イオンの分類による水質の検討

Fig. 2—64・65には陽イオンとしてCa, Mg, Na+Kの、また陰イオンとしてSO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Clのイオン当量を求めプロットした。Feはほとんど含まれていないので表示していない。これによると試験初期に流出した液中濃度が最大の溶存イオン量を示していることがわかる。受水槽で溶解イオンの少なかった試験水は注水孔中ではかなりのイオンを溶かしこんでいる。これは注水孔からの採取は試験終了時であることから、1ヶ月強の岩石との接触による緩慢な溶解の結果と思われる。

ヘキサダイアグラムにおいて、No. 1・6の試料はNa—SO<sub>4</sub>型の水質を示すのに対して、No. 2～5の試料はNa—HCO<sub>3</sub>型の水質を示している。前者は主としてS—15孔への流出液を主とし、後者はS—5孔への流出液よりなる。したがって、対象とした割れ目の化学的性質が異なったことによる可能性があるが、59年度試験においては(Na+K)—SO<sub>4</sub>型を示したことから、岩石との接触時間の相違が水質の型を変えた可能性も挙げられる。

キーダイアグラムを見ると、No. 1試料はNo. 7の試験原水に近い組成であることがわかる。この理由としては、No. 1試料は試験初期に流出した液であり、他のNo. 2～6の試料に比して岩盤内の滞留時間が短かったことが挙げられる。

No. 2～5（およびNo. 8）は明瞭なNa—HCO<sub>3</sub>型を示しており、この型は「停滞的な環境にある地下水（第三紀層の地下水や化石水など）」に特徴的であるとされている。したがって、特にS—5孔に流出した水は新第三紀の凝灰角礫岩である本試験対

象岩盤中の移行により、この型に水質が比較的短期に変化したことを示しており、その水質は第三紀層の地下水に近いものであったといえる。

## 2.7 まとめ

本割れ目トレーサ試験結果のまとめと本試験により得られた成果、問題点、今後の課題を挙げると以下の通りとなる。

### (1) 試験条件，試験方法等について

#### 試験対象割れ目

試験対象割れ目として，試験空洞に認められた幅1 m程の割れ目帯（主に三つの割れ目よりなる）を対象とした。本割れ目帯の分布はコア観察および孔壁観察によって厳密に把握することができた。本割れ目帯は地質的には試験空洞内で最大の規模を有する断層であるが，透水性の観点では上下盤の多孔質岩盤部分に比べて，特に高い透水性を示すことはなかった。すなわち，地質的に規模の大きい割れ目（断層）が高い透水性を示すとは必ずしも言えない。S—9～11孔が結果として多孔質岩盤部分に設けられた孔であったが，これらの孔には流出は認められなかった。しかしながら，流出の認められたF—1割れ目の上下盤に採水孔を設けて，その部分への流出の有無を調べられれば，この点の解明は可能であったであろう。ただし，試験前後を通じて多孔質岩盤部分の流出箇所を厳密に知ることは困難である。

ある程度の透水性を有する割れ目が試験対象として必要であれば，本試験と類似の試験においては事前に湧水等の認められる割れ目を選定することが必要と判断される。ただし，グリーンタフ地域に分布する続成作用，熱水変質作用を受けた岩石（本試験場に認められる凝灰角礫岩もその一つ）のように二次生成鉱物を主体とする岩石中に認められる割れ目にはその脆性的特性から開口部分が少なく，概して透水性が低いものが多いと判断される。

#### 試験概念

試験場周辺では湧水が認められず，乾燥しているため，上部に掘削した孔から水を圧入して，試験空洞に到る模擬地下水流を作り，その流れにトレーサ水を添加する方法を採用した。

自然の地下水流の認められる箇所ではないため，この方法はやむを得ない方法であったと判断される。試験概念は試験対象割れ目の選定に大きく依存していると判断される。

#### 試験機器

微小流量を測定するために，ドラム式の流量計を設計製作したが，その容量は3ℓであ

った。これは対象とする割れ目の透水性の低さを予め考慮したことによるが、円滑な試験の継続、透水性の変化の不確実さを考慮すると、この10倍程の大きさの容量の流量計が必要と判断される。

また、トレーサタンクには不測の事態でドラム式流量計が使用できなくなる場合を想定し、10 kg/cm<sup>2</sup>の注入圧で最大20 ml/minの吐出能力のあるポンプを設置し、ドラム式流量計にはそのポンプでトレーサ水を充填した。したがって、100%充填するのに約2時間かかることになった。流量計充填用には短い時間で充填可能なポンプを使用すべきである。

採水用メカニカルパッカは岩盤が堅硬な箇所に対しては有効であろうが、脆弱な岩盤にはその設置に困難を来す場合がある。本試験においても、壁面の微小な崩壊や小割れ目の発生等で設置の困難な孔があった。この種の岩盤に対しては注水によりパッカ機能を持たせる方が設置の点で容易であろう。

窒素ガスをパージして、湧水の採取から分析までの間、湧水を無酸素環境下に制御する方法は本試験方法で充分対応可能である。また、試験水を入れておくタンクを窒素ガス雰囲気にしておく方法は溶存酸素濃度の低い模擬地下水環境を作り出す上で有効であることがわかった。

### 試験方法

注水孔より、対象割れ目内に水を圧入してB空洞天盤に向かう模擬地下水流を生じさせた。その流れにトレーサ水を付加し、B空洞天盤の割れ目を対象として設けた採水孔に流出した地下水を採取し、流量とトレーサ濃度を把握した。また、採取時に無酸素環境下での流出液の採取を行い、その条件が水質に与える影響を把握した。

注水孔のレイアウトを透水試験結果から当初の計画と異なるものとした。そのため、対象とする割れ目に対して、1箇所のみダブルパッカによる圧入となり、他の5孔に対しては割れ目と多孔質岩盤に対するシングルパッカによる圧入となった。割れ目を対象とする場合には割れ目に対して注水する方法が結果の解析等の上から望まれる。

トレーサの注入には時間をかけた圧力・流量の制御が必要である。その意味で、対象割れ目の正確な（長期にわたる）水理特性を把握し、トレーサ試験を行えば、より試験条件を明確にしえたと判断される。

溶存酸素の測定のため、湧水が300 mlを越えた時点でまず300 ml分の溶存酸素



濃度測定を行い、次にpH, Eh, トレーサ濃度測定を実施した。後三者の測定には50 mlで充分であるため、溶存酸素濃度測定のために、後三者のデータ数は1/6になったことになる。少ない量で測定が可能な原位置測定方法の開発が望まれる。

原位置におけるトレーサ濃度測定のためにイオンメータを用いたが、臭素にとって沃素は共存不可のイオンであった。沃素, 臭素をトレーサとして用いたのは既存試験場で両者とも水のトレーサとして使用経験があるためであった。フルオレセインナトリウムも用いた経験があるものの、その時には吸着が想定されたため、水のトレーサとしての染料等の使用には限界があった。本試験では、水質に関する検討も含まれていたため、トレーサの選択の幅は制限された。沃素, 臭素とも原位置にて測定可能な分析方法の選定, あるいはこれら以外のトレーサとして適切な物質の選定が重要であると判断される。しかしながら、対象岩盤の収着能は花崗岩に比べて高いため、困難な部分が多いと判断される。

#### 試験条件

試験水の注入圧は5 kg/cm<sup>2</sup>で行い、試験の後半で注水圧の影響を把握するため6 kg/cm<sup>2</sup>および7.2 kg/cm<sup>2</sup>に上昇させた。トレーサ水の注入は一定流量の注入となるよう、各孔ごとに流量を制御した。最大の注入速度は3 l/day未満とした。注入量の少ない孔は注入圧を5.5 kg/cm<sup>2</sup>と一定にして注入した。

同一の圧入条件でも、湧水状況に変化が認められたため試験水の圧入条件はなるべく長期にわたって、一定に維持すべきと判断される。ただし、自然の地下水流ではないので、注水圧を変化させた状態でのデータの入手は同様に必要であろう。したがって、本試験場環境下では本試験期間は長期にわたるべきものであったと判断される。

採水用メカニカルパッカ内を7~10 mm a qの圧力で窒素ガスをパージしたが、無酸素環境条件を維持するために必要な吐出圧力は別個に把握しておくべきであると判断される。

#### (2) 試験結果について

##### 流出量の変化

試験の途中で流出が止まる孔, 逆に再度流れる孔, 流出が続いていても流出量が大きく変動する孔等が認められた。したがって、地下水の流動状況はごく近い区間においても一様ではないものと推定される。地下水流動が定常状態に達するまでに時間を要し、試験期間はその定常状態に達する前の期間内であった可能性がある。あるいは、微妙な注水圧, トレーサ注入圧の変動が流出量の大きな変化となって表れた可能性もある。この点につい

ては他条件の試験においても是非解明されるべきことと判断される。流動状況の解明に対しては、染料等を用いて注水を行い、試験終了後水みちと思われる部分を試錐等により開削して割れ目面を観察することで可能であろう。

#### トレーサの破過

トレーサの破過曲線は分析数が少ないため、大きな変動を示すものとなった。トレーサ濃度の鋭敏な変化を把握するためには、微量での把握が重要と判断される。

#### pH

流出液の一部にはpH5と低い値を示したものがある。pHの値の変動を及ぼす要因の把握が必要と判断される。

#### Eh

Ehは通常の地下水環境よりやや酸化側の値であった。類似の深度、類似の地層を有する他の箇所での流出水のEhの値は+0.1～+0.2Vの値である。したがって、この範囲のEhの値が得られる地下水あるいは模擬地下水環境での試験が行われる必要があると判断される。

#### 溶存酸素

本試験条件では約1ヶ月後に10%以下の溶存酸素濃度となった。流出液の測定値の中には2.5%となったものもあり、より長期の試験継続により低溶存酸素濃度条件を作りだしうると考えられる。その意味でも、少なくとも数ヶ月の試験継続が必要であろう。

#### トレーサ原液の水質

トレーサタンク内のトレーサ濃度、pH、Eh、溶存酸素濃度は時間とともに、変化しているのが認められた。その原因としては窒素ガスをタンク内に常時吹き込み、タンク内を窒素ガス雰囲気においたことと、測定時の比較電極の校正作業の誤差等が挙げられる。

#### 溶存成分

Na-HCO<sub>3</sub>型の水質とNa-SO<sub>4</sub>型の水質の二つのタイプが認められた。流出開始直後の試料が後者に相当し、その後は前者の型であった。後者の型を示した流出液は主としてS-15孔から流出したものであり、流出孔の相違、すなわち経路に分布する岩石および割れ目を形成する鉱物種の相違によるものと判断される。水質がこのように大きく異なったのは重要な知見であり、水みちの厳密な把握と水みちに分布する鉱物の把握による水質変化の解明が必要と判断される。

### 第3章 模擬廃棄物固化体の埋設試験と環境調査

#### 3.1 目的

高レベル廃棄物の地層処分において、ガラス固化体および固化体容器の長期にわたる健全性を確保することは重要な課題である。本試験は地下深部環境におけるガラス固化体および固化体容器の長期にわたる化学的耐久性、耐蝕性に関する現象を明らかにするため、ガラス固化体・固化体容器と岩石・地下水との化学的相互作用を把握することを目的とする。

本年度は前年度の調査・試験の継続として実施するもので、埋設箇所における地下水の水質調査を実施するとともに、1年間埋設した金属試験体を分析した。

#### 3.2 試験の概要

##### 3.2.1 埋設箇所の概要

埋設箇所は原位置試験場に至る際に利用する感天立坑の下8番坑坑道で、感天立坑より南へ約70mに位置しており、地表面（標高+155m）より約285mの深度にある。

埋設箇所の坑道側壁のスケッチおよび埋設孔の配置をFig. 3—1・3—2に示す。埋設箇所の状況は埋設を開始した昭和60年10月から何ら変化していない。

##### 3.2.2 試験実施概要

埋設試験体の一覧およびそれらの重量・大きさをTable 3—1・3—2に、金属試験体の組成分析結果をTable 3—3に示す。

前年度実施した試験体の埋設以降の埋設箇所における主要な作業項目をTable 3—4に示す。これらの作業とは別に各埋設孔内の減水に対応して、天盤湧水を補給する作業を1～2日おきごとに実施した。

埋設孔内環境測定は孔内水のpH・Eh・電気伝導度・温度を測定したものである。水質分析は埋設試験体の取り出し時に孔内水を採取して孔内水の主要水質成分分析を実施したものである。1年埋設試験体は1年経過時に埋設孔より取り出し、ガラス固化体は動燃

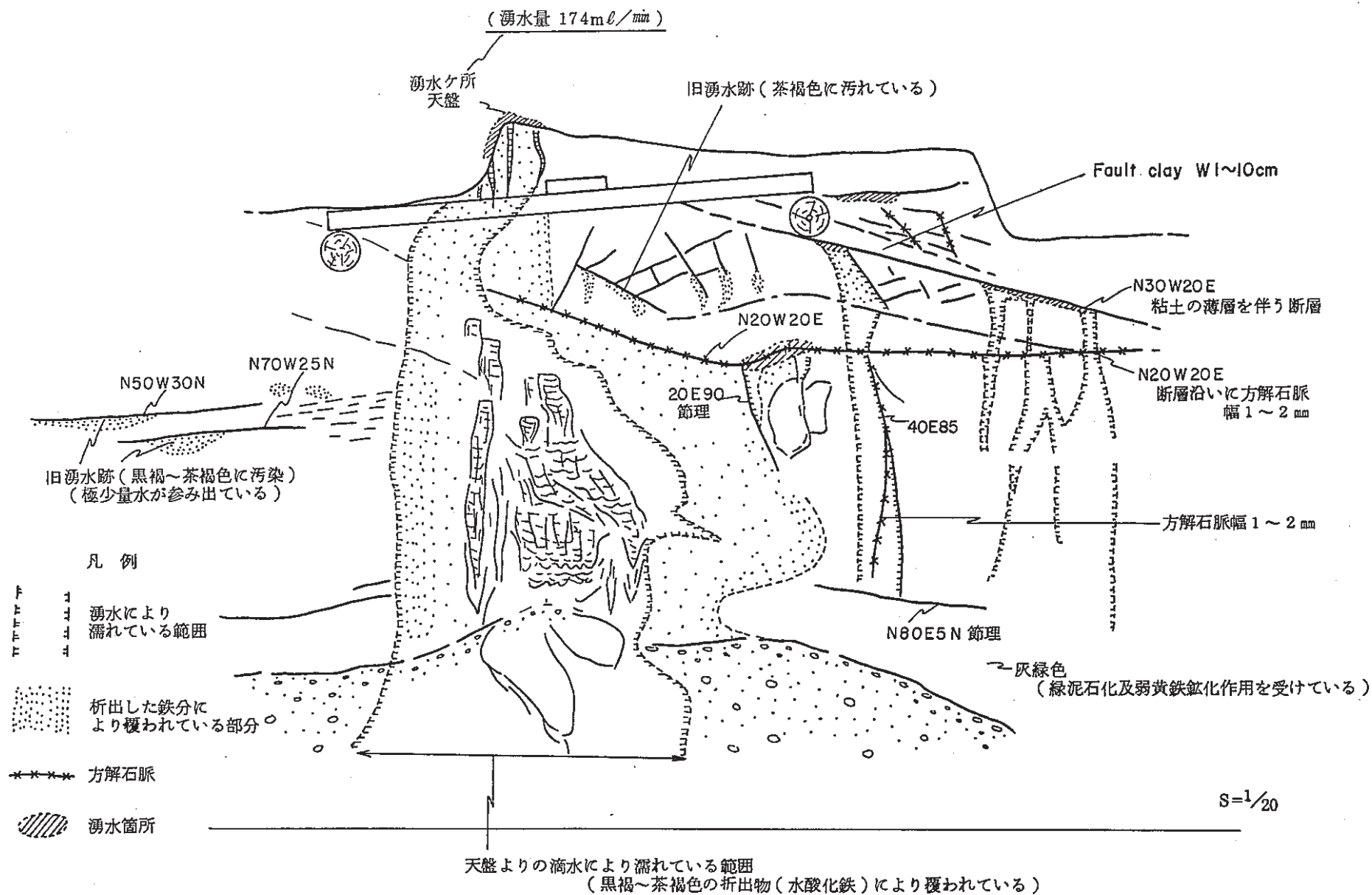


Fig. 3-1 Geological Sketch of Wall (northeast side) at Test Place.  
埋設箇所の側壁 (北東側) の地質状況

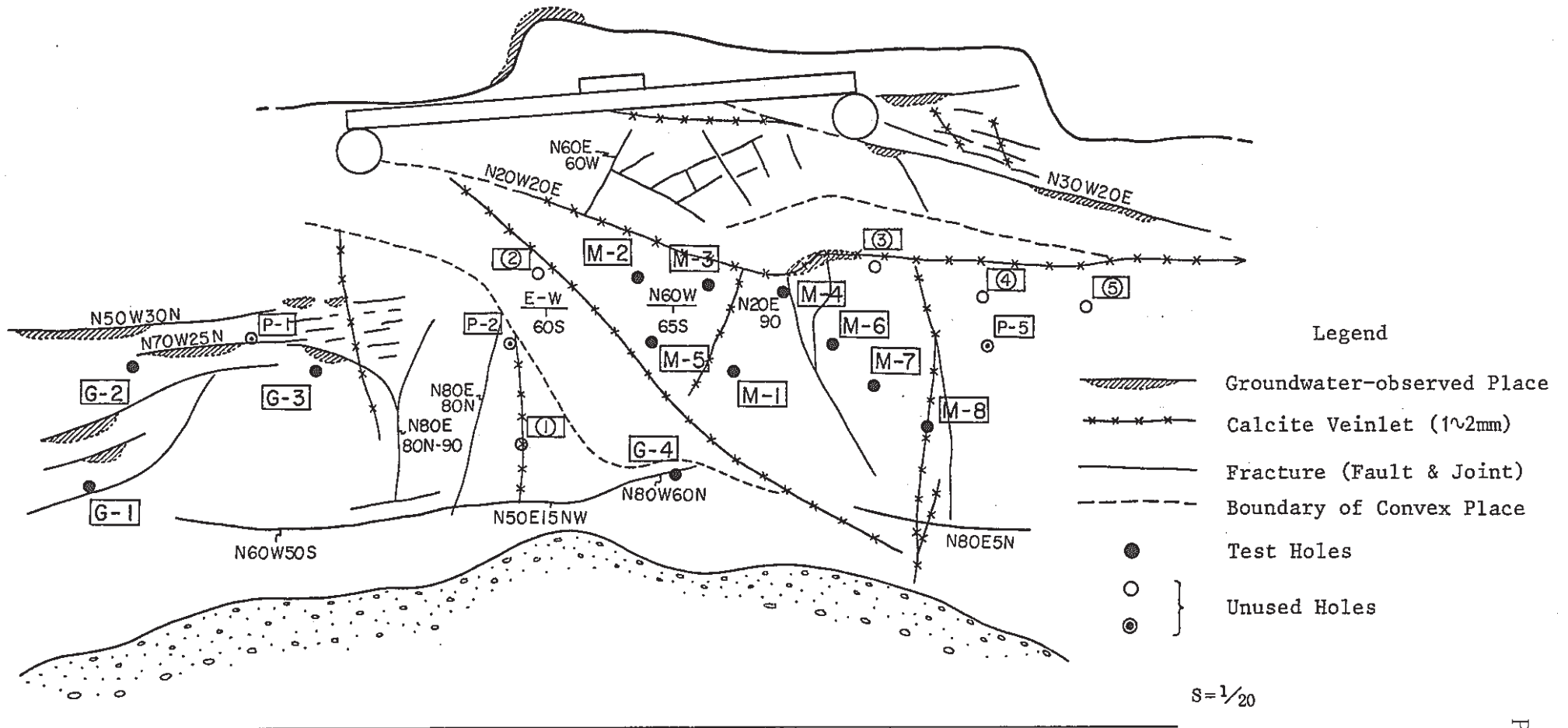


Fig. 3-2 Layout of Boreholes.  
埋設孔の配置

Table 3 - 1 List of Test Samples.  
試験体リスト

(Lower: Sample No.)

Emplacement Period Test Samples		About 3 Month	1 Year	2 Years	3 years	4 Years	Hole No.	
Glass Waste Form Two Pieces in one set		1 set G-1-1	1 set G-1-2	1 set G-1-3	1 set G-1-4	1 set G-1-5	G-1	
Glass Waste Form in Minicanister		1 piece G-2-1	1 piece G-2-2	1 piece G-2-3	1 piece G-2-4	1 piece G-2-5	G-2	
Glass Waste Form +Compacted Bentonite		1 piece G-3-1	1 piece G-3-2	1 piece G-3-3	1 piece G-3-4	1 piece G-3-5	G-3	
Glass Waste Form in Minicanister + Compacted Bentonite		1 piece G-4-1	1 piece G-4-2	1 piece G-4-3	1 piece G-4-4	1 piece G-4-5	G-4	
Metal Materials	Stainless Steel SUS 304	Coupon	1 piece M-1-1	1 piece M-1-2	1 piece M-1-3	1 piece M-1-4	1 piece M-1-5	M-1
		Double U Bend	1 piece M-2-1	1 piece M-2-2	1 piece M-2-3	1 piece M-2-4	1 piece M-2-5	M-2
	Commercial- ly Pure Titanium	Coupon	1 piece M-3-1	1 piece M-3-2	1 piece M-3-3	1 piece M-3-4	1 piece M-3-5	M-3
		Double U Bend	1 piece M-4-1	1 piece M-4-2	1 piece M-4-3	1 piece M-4-4	1 piece M-4-5	M-4
	Hastelloy C-276	Coupon	1 piece M-5-1	1 piece M-5-2	1 piece M-5-3	1 piece M-5-4	1 piece M-5-5	M-5
		Double U Bend	1 piece M-6-1	1 piece M-6-2	1 piece M-6-3	1 piece M-6-4	1 piece M-6-5	M-6
	Mild Steel	Coupon	1 piece M-7-1	1 piece M-7-2	1 piece M-7-3	1 piece M-7-4	1 piece M-7-5	M-7
	Pure Copper	Coupon	1 piece M-8-1	1 piece M-8-2	1 piece M-8-3	1 piece M-8-4	1 piece M-8-5	M-8

Table 3—2(1) List of Metallic Samples (Coupons).  
 金属試験体リスト (平板試験体)

Test Sample	Sample No.	Weight (g)	Size (mm)
Stainless Steel SUS 304	M-1-1	22.5503	18W x 80L x 2T
	M-1-2	22.5484	18W x 80L x 2T
	M-1-3	22.5220	18W x 80L x 2T
	M-1-4	22.5616	18W x 80L x 2T
	M-1-5	22.5476	18W x 80L x 2T
CP Titanium	M-3-1	18.7656	18W x 80L x 3T
	M-3-2	19.0376	18W x 80L x 3T
	M-3-3	19.0137	18W x 80L x 3T
	M-3-4	19.4317	18W x 80L x 3T
	M-3-5	17.9926	18W x 80L x 3T
Hastelloy C-276	M-5-1	22.8369	18W x 80L x 1.8T
	M-5-2	23.8592	18W x 80L x 1.8T
	M-5-3	22.8653	18W x 80L x 1.8T
	M-5-4	20.6034	18W x 80L x 1.8T
	M-5-5	21.0543	18W x 80L x 1.8T
Mild Steel	M-7-1	38.5386	18W x 80L x 3.4T
	M-7-2	39.0672	18W x 80L x 3.4T
	M-7-3	39.2129	18W x 80L x 3.4T
	M-7-4	37.5775	18W x 80L x 3.4T
	M-7-5	37.9234	18W x 80L x 3.4T
Pure Copper	M-8-1	22.4879	18W x 80L x 1.8T
	M-8-2	22.7445	18W x 80L x 1.8T
	M-8-3	23.8036	18W x 80L x 1.8T
	M-8-4	22.7322	18W x 80L x 1.8T
	M-8-5	21.9175	18W x 80L x 1.8T

Table 3—2 (2) List of Metallic Samples (Double U Bends).  
 金属試験体リスト (ダブルUバンド試験体)

Test Sample	Sample No.	Weight (g)		Size (mm)	
		Outer Piece	Inner Piece	Outer Piece	Inner Piece
Stainless Steel SUS 304	M-2-1	16.4118	14.6795	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-2-2	16.1948	14.4474	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-2-3	16.3494	14.5057	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-2-4	15.9174	14.6302	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-2-5	15.7825	14.5416	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
CP Titanium	M-4-1	9.4506	8.7558	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-4-2	9.6641	8.9287	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-4-3	9.4947	8.9677	15W x 81L x 2T	16W x 75L x 2T
	M-4-4	9.4163	9.0787	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-4-5	9.5655	9.0495	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
Hastelloy C-276	M-6-1	18.9448	17.9161	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-6-2	18.9298	17.2336	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-6-3	18.9865	17.5778	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-6-4	19.0833	17.2724	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T
	M-6-5	19.1632	17.4194	15W x 81L x 2T	15W x 75L x 2T



Table 3—3(1) Chemical Composition of Type 304 Stainless Steel.  
SUS 304 の化学組成

(wt %)									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
0.066	0.58	0.82	0.029	0.002	8.75	18.29	0.14	0.14	the rest

Table 3—3(2) Chemical Composition of Commercially Pure Titanium.  
純チタンの化学組成

(wt %)				
Fe	O	N	H	Ti
0.005	0.009	0.001	0.002	the rest

Table 3—3(3) Chemical Composition of Hastelloy C-276.  
ハステロイC-276 の化学組成

(wt %)											
Mo	Cr	Fe	W	Co	C	Si	Mn	V	P	S	Ni
15.6	15.4	5.7	3.6	1.6	0.00	0.04	0.4	0.24	0.01	<0.001	the rest

Table 3—3(4) Chemical Composition of Mild Steel.  
軟鋼の化学組成

(wt %)									
C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	N	O	Fe
0.003	<0.005	0.15	0.010	0.008	0.04	0.02	0.002	0.0025	the rest

Table 3—3(5) Chemical Composition of Pure Copper.  
無酸素銅の化学組成

(wt %)	
Cu	
99.99	-

Table 3—4 List of Implemented Main Items.  
主要試験作業項目の一覧

日 時	実 施 内 容
昭和60年10月10日 10月28日 11月10日 11月27日 12月 5日	水質分析用地下水の採取 パイロット孔掘削 埋設試験用15孔掘削 埋設孔選定および地下水を各孔へ導水 埋設孔内環境測定および試験体の埋設
昭和61年 3月 5日  5月28日 6月19日 7月17日 8月11日 9月10日 10月11日 11月12日 12月11日	埋設孔内環境測定および3ヶ月埋設試験体の回収, 水質分析用地下水の採取 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定および1年埋設試験体の回収, 水質分析用地下水の採取
昭和62年 1月17日 2月17日 3月17日	埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定 埋設孔内環境測定および2～4年埋設試験体の回収, 水質分析用地下水の採取

東海事業所に送付し、金属試験体は腐食に係わる諸試験を実施した。2～4年埋設試験体は1年3ヶ月経過時に孔内より取り出し、孔内水で満たした1ℓポリ容器に密封して全量動燃東海事業所に送付した。取り出し時には、天盤湧水を100ℓ採取して同様に動燃東海事業所に送付した。

### 3.3 環境調査結果

#### 3.3.1 埋設孔内地下水補給結果

一部の埋設孔内地下水は時間の経過とともに液量が減少したため、埋設箇所为天盤への湧水を採取して定期的に減水埋設孔内へ補給した。これは、埋設孔内への地下水の自然の湧出量に比して、埋設孔に会合している割れ目を伝わった孔内水流出量が大きかったことによるものと想定された。したがって、地下水の補給は埋設試験体が常時地下水に浸されている状態を維持するために必要な作業であった。補給をほとんど行わなかった孔は孔への湧出も孔からの流出も生じなかった孔である。補給状況をFig. 3—3に示す。また、各

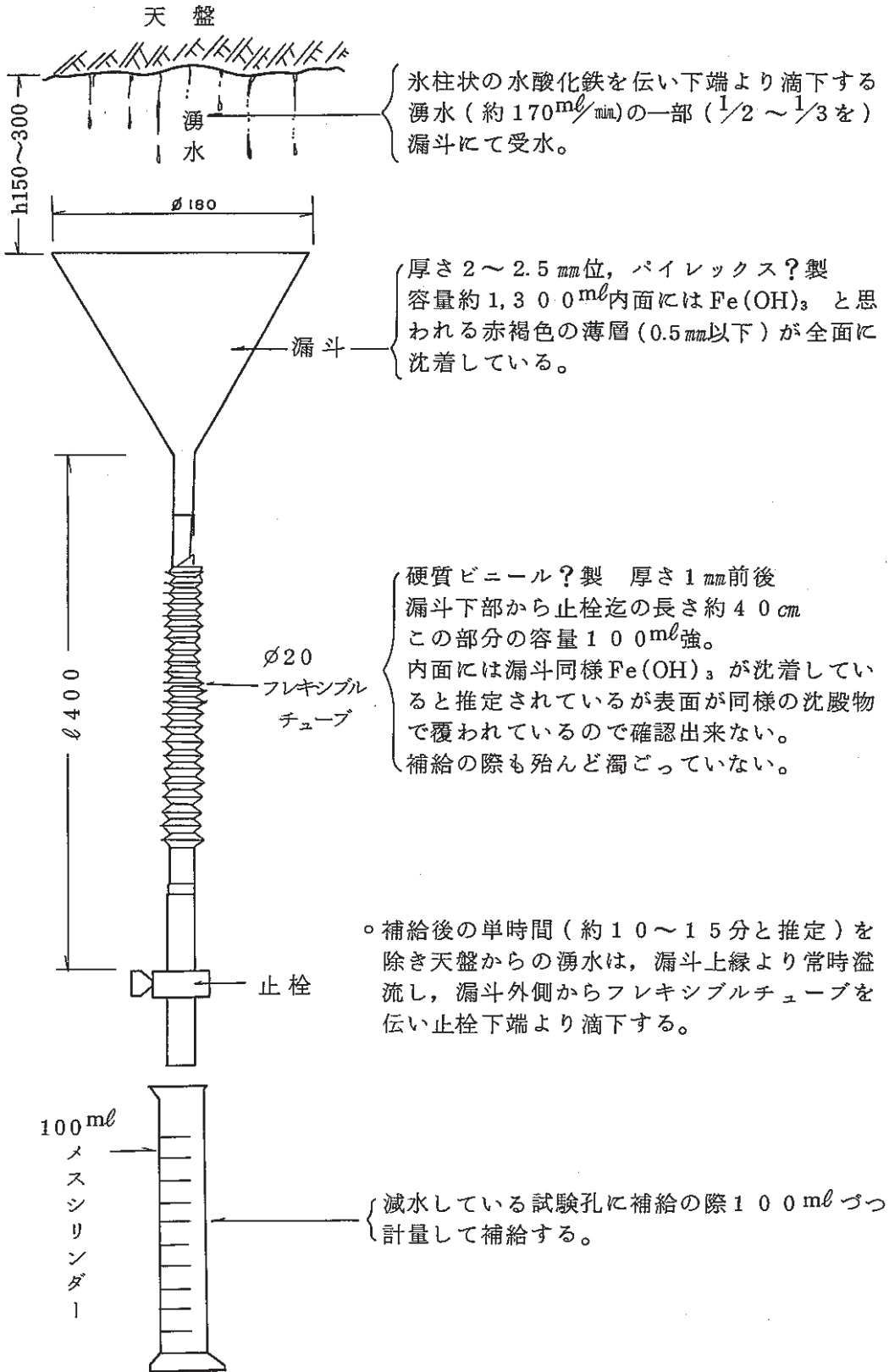


Fig. 3—3 Water Supply Instrument.  
湧水補給装置

孔への補給量の一覧をTable 3—5に示す。

地下水湧水の補給は次のように実施した。すなわち、地下水湧水は天盤に付着している褐色の鐘乳状沈澱物（水酸化鉄）を伝って滴下していた。滴下量は約170 ml/minであり、その1/2から1/3を漏斗で採取した。常時、漏斗を設置しておいたため、補給時以外は漏斗の上端から滴下水がオーバーフローする状態にあった。したがって、漏斗などの採水装置の内面にも褐色の沈澱物が一面に付着した。沈澱物の量が増大し、目詰まり状態になった時には適宜沈澱物の除去を行った。補給時には漏斗内に溜まった湧水を止栓を開いて100 mlメスシリンダに主として100 mlずつ計量して補給した。ただし、試験開始後2ヶ月経過時点から、補給を要する孔に自然に補給されるようテフロンチューブを用いてそれらの孔の上部に湧水を供給する工夫を凝らしたが、目詰まりのため約1ヶ月間でその方法は中止した。

各孔への補給量から、各埋設孔はほぼ無補給、少量補給、多量補給の3種類に分類することができる（Table 3—5参照）。ほぼ無補給（1年3ヶ月で数100 ml以下）の孔はG—1・4、M—2・5の4孔であった。少量補給（1年3ヶ月で1～2 l）の孔はM—3・4の2孔、多量補給（6～24 l）の孔はG—2・3、M—1・6・7・8の6孔であった。

これら各孔を補給量の変化の観点で見ると、G—1・2・4、M—2・5・6・8の7孔は埋設期間を通じて補給量に変化がなかったが、他の5孔は補給量が減少あるいは増大している。すなわち、G—3は徐々に補給量が減少し、最後の3ヶ月間は補給量0となった。M—1は最初の3ヶ月間経過以後、補給量0となった。M—3・4は補給量0であったのが、最後の3ヶ月間逆に補給を要するようになっている。M—7は埋設期間中期の6ヶ月程の間補給量が0となっている。

補給量が徐々に減ったのは、恐らく水酸化鉄の沈澱物の生成により割れ目が閉塞したこと、あるいは沈澱物が埋設孔壁面を被覆したことによるものと思われる。しかしながら、補給量が増大した理由については不明である。

補給後の埋設孔内の水位変化を測定した結果をTable 3—6に示す。水位変化の値は埋設孔壁面に沿って測定したものである。埋設孔の傾斜角が5°～12°であるため、垂直的には測定値の9%～21%の水位低下に相当する。最大傾斜のG—3孔で最大3.6 cmの垂直方向の水位低下を示していることになる。

Table 3-5(1) Water Volume Supplied to Test Holes.  
埋設孔への補給水量

Hole No.	Test Sample	Supply Volume (m <sup>3</sup> )																													
		'85/ 12/5	18	25	29	'86/ 1/5	7	8	9	10	11	13	14	16	19	21	23	29	31		2/2	4	6	(8:40) 7	(15:00) 7	8	(8:40) 10	(14:50) 10	11	13	
G-1	Glass Waste Form	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G-2	Glass Waste Form in Minicanister	-	100 Δ	100 Δ	200 Δ	100 Δ	200 Δ	100 Δ	100 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	150 Δ	100 Δ	150 Δ	150 Δ	100 Δ		-	100 Δ	-	100 Δ	-	-	100 Δ	-	-	100 Δ	
G-3	Glass Waste Form+Compacted Bentonite	-	300 O	290 O	200 O	300 O	200 O	200 O	100 O	200 O	200 O	200 O	200 O	200 O	150 Δ	100 Δ	150 Δ	150 Δ	100 Δ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	100 Δ	
G-4	Glass Waste Form in Minicanister+Compacted Bentonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-1	Stainless Steel SUS 304 Coupon	-	200 Δ	200 Δ	100 O	300 O	200 O	300 O	200 O	400 O	350 O	300 O	300 O	350 O	150 Δ	150 Δ	150 Δ	150 Δ	200 O		200 Δ	200 Δ	300 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	250 Δ	100 Δ	200 *		
M-2	Stainless Steel SUS 304 Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-3	CP Titanium, Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-4	CP Titanium, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-5	Hastelloy C-276, Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-6	Hastelloy C-276, Double U Bend	-	-	-	100 Δ	-	100 Δ	-	-	-	-	-	-	-	150 Δ	100 Δ	-	150 Δ	100 Δ		-	100 Δ	200 Δ	100 Δ	100 Δ	100 Δ	100 Δ	50 Δ	100 *		
M-7	Mild Steel, Coupon	-	100 O	100 O	200 O	200 Δ	200 O	200 O	200 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	200 Δ	150 O	100 O	150 O	150 O	100 O		100 O	-	-	100 Δ	-	-	100 O	-	-	100 *		
M-8	Pure Copper, Coupon	-	370 O	200 O	380 O	200 O	200 O	200 O	300 O	300 O	200 O	200 O	350 O	150 Δ	150 O	150 O	150 O	250 O		200 O	200 O	300 O	200 Δ	200 Δ	200 O	100 Δ	200 *	200 O			
Total Supply Volume per Day		-	1,070	890	1,180	1,100	1,100	1,000	800	1,300	1,250	1,100	1,100	1,300	900	700	750	900	850		500	600	800	700	500	500	650	350	300	200	
		↑ Emplacement of 5 Same Testpieces in Each Hole																													

G-1~4: Δ; Teflon Container, partly Exposed O; Test Sample, partly Exposed.  
M-1~8: Δ; Test Sample, partly Exposed. O; About half of Test Sample, Exposed.  
- ; Filled with Groundwater.

note: Mark \* shows Water Supply to the Part of the Wall above Holes.

Table 3-5(2) (Cont'd)  
同

Hole No.	Test Sample	Supply Water (ml)																																	
		'86/2/15	16	18	21	23	25	27	3/3	5	Sum 85/12/5 86/3/5	9	15	21	29	4/4	11	28	5/5	11	17	18	21	23	26	28	30	6/3	6	9	12	17			
G-1	Glass Waste Form	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	-																							
G-2	Glass Waste Form in Minicanister	100 * Δ		100 Δ			100 Δ	100 Δ		1703	520 +α				100	200	200	200 Δ	200	100	100	-	-	100	100	-	100	100	-	100	100	50			
G-3	Glass Waste Form+Compacted Bentonite	100	100 *					100 Δ		1003	740 +α				200	-	-	300 O	300 O	300 O	400 O	200	200	200	200	200	200	100	100	100	100	100	100	100	
G-4	Glass Waste Form in Minicanister+ Compacted Bentonite	-	-	-	200	200	*			400	+α				9ml/min																				
M-1	Stainless Steel SUS 304, Coupon	*								clogged	5,850 +α	200	100																						
M-2	Stainless Steel SUS 304, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	
M-3	CP Titanium, Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	-																							
M-4	CP Titanium, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	-																			100	-	100	50	
M-5	Hastelloy C-276 Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	30	30	-																							
M-6	Hastelloy C-276, Double U Bend	*			100					1,650	+α	100	100	200	-	-	100	100	100	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	100		
M-7	Mild Steel, Coupon	*							100	3,250	+α	100	200	200	-	-	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
M-8	Pure Copper, Coupon	*			200 Δ	300 O				6,050	+α		200	-	300	300	300 Δ	400	300	300	200	300	300	300	300	300	200	300	300	200	300	300	200	300	
Total Supply Volume per Day		200 +α	100 +α	100 +α	300 +α	400 +α	100 +α	500 +α	100 +α	400 +α	24,590 +α	200 +α	300 +α	500 +α	700	500	500	1,100	1,100	900	1,000	500	700	700	800	500	600	600	800	400	700	700			
Recovery of One Testpiece from Each Hole																																			

G-1~4: Δ; Teflon Container, partly Exposed O; Test Sample, partly Exposed. note: Mark \* shows Water Supply to the Part of Wall above Holes. Therefore, Net Supply Rates are estimated to be several percent of Gross Supply Rates Shown.  
M-1~8: Δ; Test Sample, partly Exposed. O; About half of Test Sample, Exposed.  
- : Filled with Groundwater

Table 3-5(3) (Cont'd)  
同

Hole No.	Test Sample	Supply Water (ml)																													
		'86/ 6/19	24	27	7/1	6	11	15	17	22	27	31	8/5	7	11	13	17	20	24	27	30	9/2	5	9	10	12	15	19	23	27	10/1
G-1	Glass Waste Form	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G-2	Glass Waste Form in Minicanister	50	100	50	100	100	100	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
G-3	Glass Waste Form+Compacted Bentonite	50	100	100	100	100	100	50	50	100	100	100	100	-	50	50	100	-	100	-	-	50	50	-	-	50	50	-	100	100	
G-4	Glass Waste Form in Minicanister+ Compacted Bentonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-1	Stainless Steel SUS 304, Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-2	Stainless Steel SUS 304, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-3	CP Titanium, Coupon	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	
M-4	CP Titanium, Double U Bend	50	-	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-5	Hastelloy C-276 Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-6	Hastelloy C-276, Double U Bend	100	100	50	100	50	50	50	-	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	100	100	-	100	100	100	100	100	
M-7	Mild Steel, Coupon	-	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-8	Pure Copper, Coupon	200	300	200	300	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	100	200	200	200	200	200	200	
Total Supply Volume per Day		450	800	500	700	550	550	350	350	500	500	500	500	400	600	450	600	400	500	500	400	400	450	400	100	450	550	400	500	400	500

G-1~4: Δ; Teflon Container, partly Exposed O; Test Sample, partly Exposed.  
M-1~8: Δ; Test Sample, partly Exposed. O; About half of Test Sample, Exposed.  
- : Filled with Groundwater

note: Mark \* shows Water Supply to the Part of Wall above Holes. Therefore, Net Supply Rates are estimated to be several percent of Gross Supply Rates Shown.

Table 3—5 (4) (Cont'd)  
同

Hole No.	Test Sample	Supply Water (m <sup>3</sup> )																											Sum '86/3/5~ '86/12/11 '87/3/17	Total					
		'86/ 10/5	10	14	18	21	25	29	11/2	6	9	12	15	18	21	24	27	29	12/1	3	6	9	11	20	29	'87/ 12	17	29			2/5	17	26	3/17	Sum '86/12/11~ '87/3/17
G-1	Glass Waste Form	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	30
G-2	Glass Waste Form in Minicanister	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	700	10,870 +α	
G-3	Glass Waste Form+Compacted Bentonite	-	100	-	100	100	-	100	-	-	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	9,490 +α
G-4	Glass Waste Form in Minicanister+ Compacted Bentonite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	400 +α	
M-1	Stainless Steel SUS 304, Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	6,450 +α		
M-2	Stainless Steel SUS 304, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	200		
M-3	CP Titanium, Coupon	100	-	-	-	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	1,100		
M-4	CP Titanium, Double U Bend	-	-	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	100	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	800	600		
M-5	Hastelloy C-276 Coupon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	30		
M-6	Hastelloy C-276, Double U Bend	100	100	150	150	100	100	100	150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200		
M-7	Mild Steel, Coupon	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,600	1,100		
M-8	Pure Copper, Coupon	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	300		
Total Supply Volume per Day		600	500	450	550	600	400	600	550	500	400	400	600	400	400	700	500	400	500	400	500	400	500	400	300	700	800	500	700	600	800	500	1,000		
																											Recovery of One Test piece from Each Hole		Recovery of the Rest Three Test Pieces from Each Hole						

G-1~4: Δ; Teflon Container, partly Exposed O; Test Sample, partly Exposed.  
 M-1~8: Δ; Test Sample, partly Exposed. O; About half of Test Sample, Exposed.  
 - : Filled with Groundwater

note: Mark \* shows Water Supply to the Part of Wall above Holes. Therefore, Net Supply Rates are estimated to be several percent of Gross Supply Rates Shown.



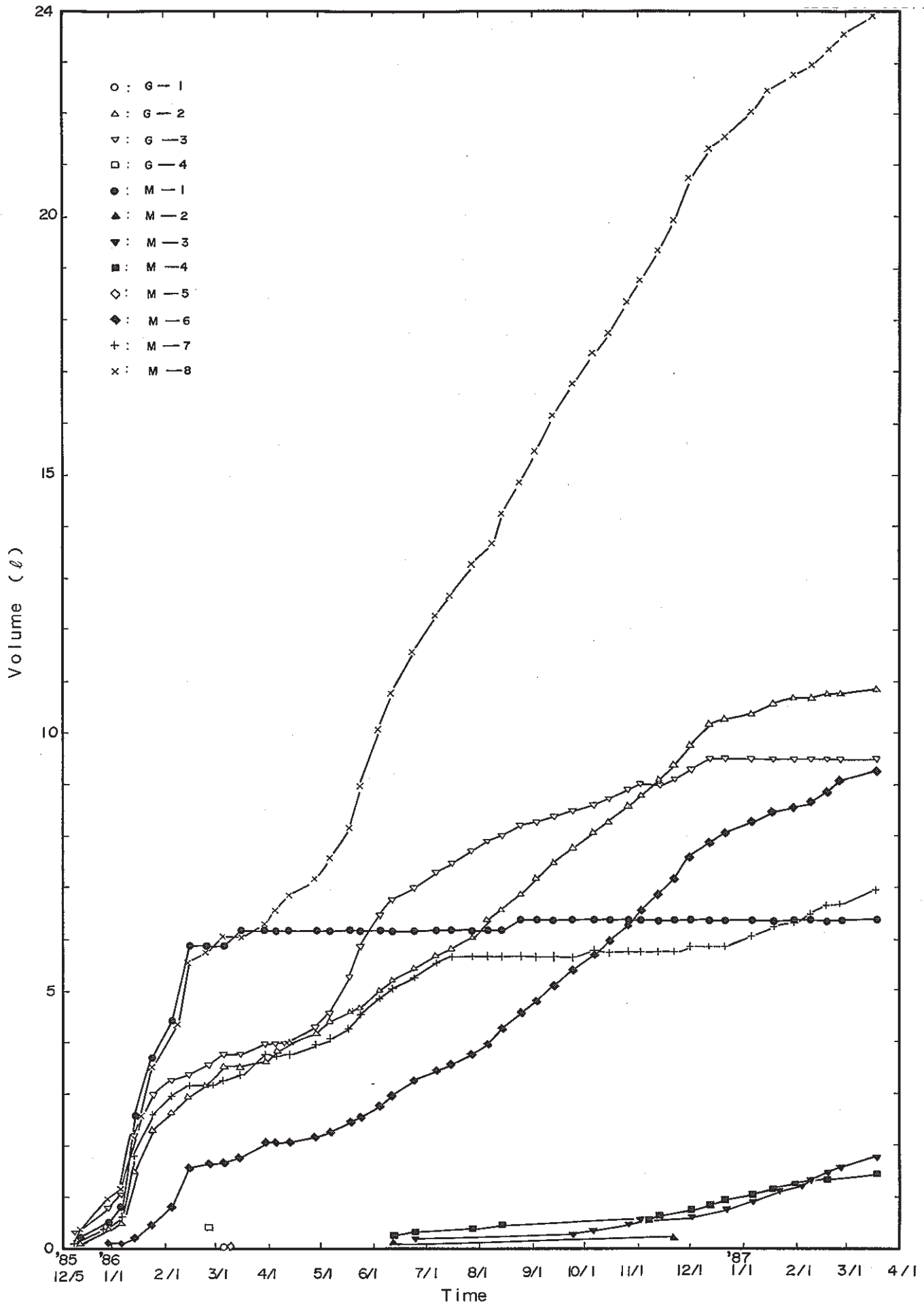


Fig. 3—4 Cumulative Change of Supply Water Volume.  
 補給水量の累積変化

Table 3—6 Water Level Change in Boreholes.  
埋設孔内の水位変化測定結果

Hole No.	Inclination	5/11~5/17 (6 days)	5/17~5/18 (1 day)	5/18~5/21 (3 days)	5/21~5/23 (2 days)	6/6 ~6/9 (3 days)
G-2	-10°	- 5 cm	- 3 cm	- 1 cm	- 1 cm	- 4 cm
G-3	-12°	-17 cm	-11 cm	-16 cm	- 6 cm	- 6 cm
M-2	-10°	—	—	—	—	+ 3 cm
M-4	-10°	—	—	—	—	- 3 cm
M-6	- 5°	- 6 cm	- 3 cm	- 1 cm	- 3 cm	- 3 cm
M-7	-10°	-11 cm	- 4 cm	- 8 cm	- 4 cm	- 4 cm
M-8	- 8°	-14 cm	- 7 cm	-15 cm	-13 cm	-16 cm

\* Measured along borehole walls

初期水位の位置が必ずしも一定でないため、水位の減少の割合は一定でない。しかしながら、補給後の初期の段階で、水位が比較的早くあるレベルまで低下するのがうかがえる。ガラス試験体については試験開始後の3ヶ月間、すなわち3ヶ月埋設試験体を取り出すまでの期間、一部水位低下により試験体の頭部が露出することがあったが、3ヶ月埋設試験体を取り出した以後は埋設孔内の水位が低下しても、試験体が水面上に露出することはない。

### 3.3.2 水質調査結果

埋設時および3ヶ月・1年・1年3ヶ月経過時の埋設試験体取り出し時に天盤からの補給水を採取して、水質分析を実施した。また、補給水および埋設孔内の水質を一定期間ごとに実施した。さらに、天盤湧出箇所沈澱物を採取し、鉱物種の同定と主要成分の半定量分析を実施した。これらを以下に示す。

#### (1) 水質分析結果

埋設時（昭和60年10月10日）、3ヶ月埋設試験体取り出し時（昭和61年3月5日）、1年埋設試験体取り出し時（昭和61年12月11日）、2～4年埋設試験体取り出し時（昭和62年3月17日）に埋設孔への補給用として用いた天盤湧水をポリ容器に採水し、水質分析を行った。ただし、第3・4回目の採取時には、採取後測定までの空気の影響をさけるために $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 測定用試料については500mlテフロン容器に採取した。これらの測定結果をTable 3-7に示す。

各測定項目の分析方法は以下の通りである。

Ca・Mg・ $\text{Fe}^{3+}$ ・Cu・Al・ $\text{SiO}_2$ ・ $\text{Br}^-$ ・ $\text{I}^-$ ・Sr：プラズマ発光分光（ICP）法

Na・K・Cs：炎光光度法

$\text{Fe}^{2+}$ ：比色法

$\text{Cl}^-$ ・ $\text{SO}_4^{2-}$ ：イオンクロマトグラフ法

Co：原子吸光法

$\text{HCO}_3^-$ ・T- $\text{CO}_2$ ：塩化ストロンチウム—塩酸滴定法

溶存酸素：JIS(1979) K0101

同表を見ると、 $\text{HCO}_3^-$ が20～30mg/l、 $\text{Fe}^{3+}$ が100～300mg/l含まれていることが認められる。また、 $\text{Fe}^{2+}$ の含有量の分析値の変動が激しい。これは恐らく、天盤から流出した湧水を酸化しないようにどれだけ迅速に採取したかという採取時の問題に帰すと思われる。湧水箇所には多量の水酸化鉄と判断される物質が沈澱しており、溶解性鉄分の酸化沈澱という反応が生じていることが示唆される。他の溶解成分には採取日時に関して有意の差は認められず、補給用として用いた地下水湧水の水質はほとんど変化していないと判断される。

Table 3—7 Chemical Analysis of Supply Groundwater.  
補給水の水質分析結果

Chemical Parameters	*1 Sample-1	*2 Sample-2	*3 Sample-3	*4 Sample-4	Mean	Surface Water *5
Ca mg/ℓ	541	457	551	584	533	8.8
Mg "	96.9	98.2	96.0	104	98.8	1.9
Na "	91.9	86.2	103	80.6	90.4	6.7
K "	9.7	10.6	9.5	8.4	9.6	1.19
Fe <sup>2+</sup> "	<0.1	85	<0.1	6.5	23	total
Fe <sup>3+</sup> "	131	28	273	178	153	
Cu "	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	—
Al "	6.4	17.2	8.8	5.1	9.4	—
Cl <sup>-</sup> "	8.5	9.4	8.8	10.8	9.4	5.8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> "	2,220	2,150	2,200	2,200	2,200	10.6
SiO <sub>2</sub> "	28.7	25.2	25.6	28.5	27.0	19.0
Br "	<0.05	0.06	0.1	—	0.06	—
I "	<0.1	<0.1	<0.1	—	<0.1	—
Co "	0.05	0.02	—	—	0.03	—
Sr "	4.2	4.3	4.8	4.4	4.4	—
Cs "	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	—
T—CO <sub>2</sub> "	41	26	—	—	34	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> "	12 *6	8 *6	31.7	25.6	28.7	31.0
Dissolved Oxygen "	—	—	1	<1	0.9	—
Electric Conductivity	3.2	3.2	3.24*7	3.05*7	3.2	—
Temperature ℃	—	—	3.20*7	23.9 *7	23.9	—
pH	—	—	24.0*7	23.8*7	6.05	—
RpH	—	—	6.29*7	5.75*7	6.30	—
Eh (25℃) mV	—	—	6.42*7	5.99*7	—	—
			6.59*7	—		
			6.64*7			
			-006 *7*8	+040 *7	+015	—
			-016 *7*8			

- \* 1 Sampled on October 10 '85 & Analyzed 100 Days Later after Sampling.
- \* 2 Sampled on March 5 '86 & Analyzed 7 Days Later after Sampling.
- \* 3 Sampled on December 11 '86 & Analyzed 7 Days Later after Sampling.
- \* 4 Sampled on March 17 '87 & Analyzed 2 Days Later after Sampling.
- \* 5 Average Chemical Composition of Surface Flowing Water in Japan due to "Groundwater Handbook(地下水ハンドブック), p.132".
- \* 6 Calculated Value
- \* 7 In-Situ Measurement
- \* 8 飽和AgCl電極に対する値

同表には地下水ハンドブックに示されている日本の河川水の平均化学組成（試料数225）を示したが、主要成分についてその数値に対する水質分析結果の平均値の倍率を示すと次のようになる。

$\text{Cl} \cdot \text{SiO}_2$  : 約1.5倍

$\text{Na} \cdot \text{K}$  : 約10倍

$\text{Ca} \cdot \text{Mg}$  : 約50倍

$\text{Fe} \cdot \text{SO}_4^{2-}$  : 数百倍

$\text{HCO}_3^-$  : 1倍弱（測定値） $\cdot 1/3$ （計算値）

これらから当然地下水であるがゆえに、多くのイオン濃度が高くなっていることが認められるのに対して、重炭酸イオンはやや低い値となっている。特に、鉄と硫酸イオンが顕著に高いのが認められる。硫酸イオン濃度の高さは昭和59年度に実施した原位置試験場での岩盤を通過した流出水の分析値でも認められており、岩盤そのものが高い硫酸イオン含有量を示しているものと思われる。

地下水湧水部には沈澱物が付着しており、元々の地下水の組成はそれらの分析値を含めて考慮する必要がある。それらは次項で考察する。しかしながら、埋設試験体を浸した地下水の組成は上記の組成値である。

主要陽イオン・陰イオンの当量を求め、地質調査所（1978）<sup>1)</sup>の分類に従ったヘキサダイアグラム・キーダイアグラムをFig. 3—5・6に示した。ヘキサダイアグラムからは $\text{Ca}-\text{SO}_4$ 型の水質で、キーダイアグラムからは非炭酸カルシウム型の水質組成であることがわかる。また、Feにも富むことから典型的な鉄泉水タイプといえる。

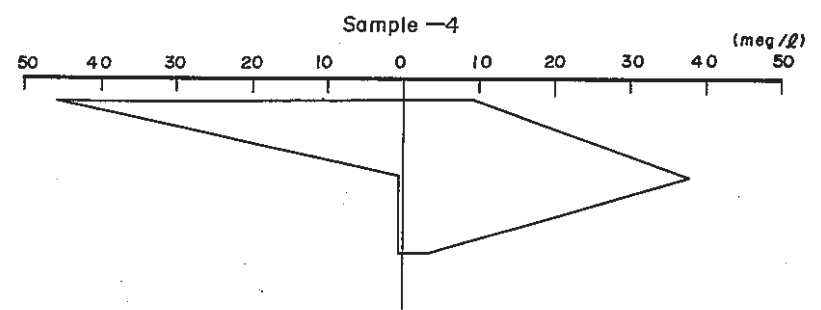
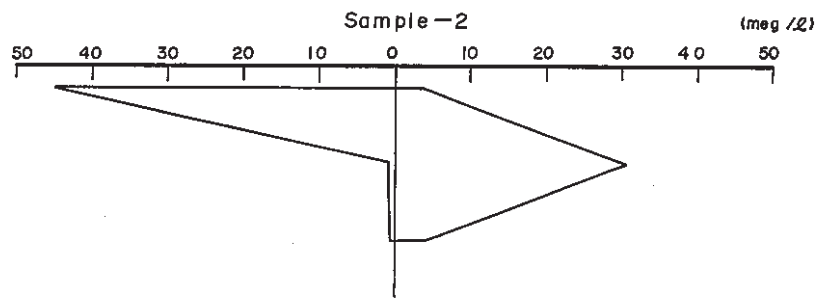
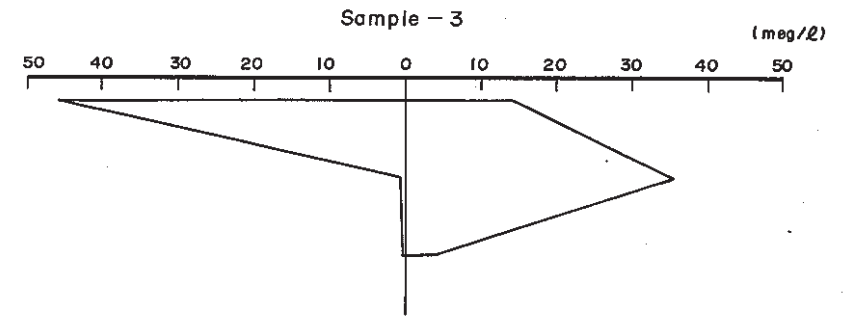
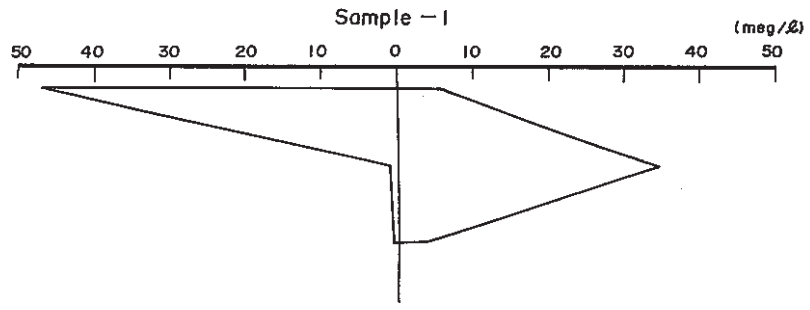
## (2) 沈澱物分析結果

天盤湧出箇所への褐色の沈澱物を採取し、X線粉末回折法による鉱物の同定、発光分光分析法による半定量分析および同法により認められた主要元素の定量分析を実施した。以下にそれらを示す。

### (a) X線粉末回折法による鉱物の同定

X線回折による測定条件を以下に示す。

1) 地質調査所化学分析法 地球科学的試料の化学分析法2：地質調査所，pp. 520-523，(1978)



Legend

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> + (Mn <sup>2+</sup> )
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>
Cl <sup>-</sup>		Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>

Fig. 3—5 Hexadiagram of Major Cations and Anions of Supply Groundwater.  
 補給水のヘキサダイヤグラム

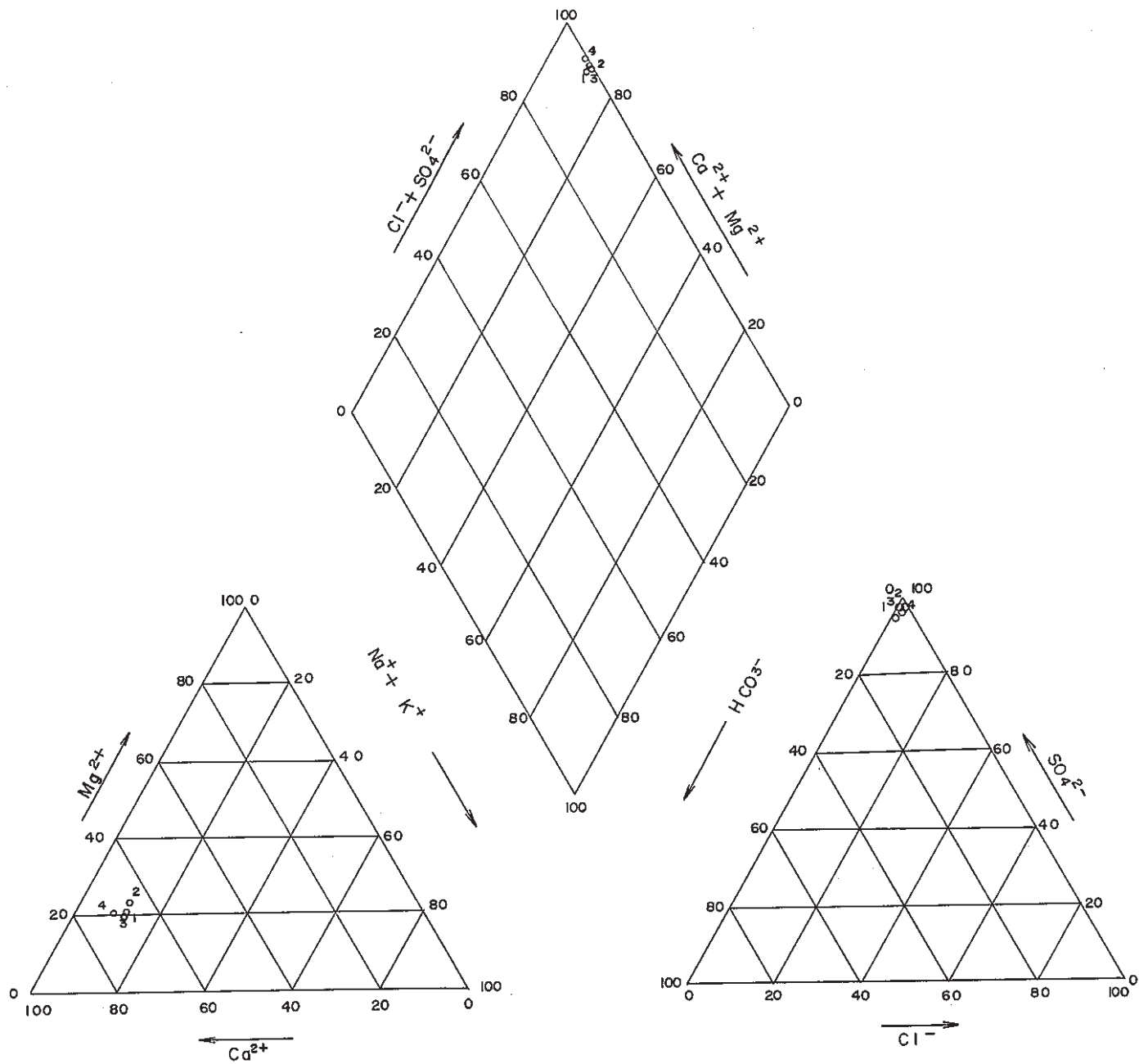


Fig. 3—6 Key Diagram of Major Cations and Anions of Supply Groundwater.  
 補給水のキーダイヤグラム

X線回折装置	: Philips 社製
Target	: Cu $k\alpha$
Filter	: 黒鉛モノクロメーター
Voltage	: 45 kV
Current	: 55 mA
Take off Angle	: 6 °
Divergence Slit	: 1 °
Receiving Slit	: 0.3 mm
Scatter Slit	: 1 °
Glancing Angle	: from 2°
Scanning Speed	: 2 ° /min
Chart Speed	: 2 cm/min
Count Full Scale	: 4,000 c/sec
Time Constant	: 0.5 sec
Counter Type	: Scin. Prop.
測定範囲	: $2\theta$ Cu $k\alpha = 2 \sim 50^\circ$
処理方法	: 無定方位

沈澱物の鉍物同定結果をFig. 3—7に示す。同図から結晶性鉍物としてGoethiteおよび $\alpha$ -Quartzが認められた。ただし、後者は前者に比して極く微量である。

以下にGoethiteの鉍物的特徴を記す。<sup>2)</sup>

<u>G o e t h i t e</u>	
化学式	: $\alpha$ -FeO · OH
晶形	: ORTHORHOMBIC (—)
Dispersion	: Extream. D $\approx$ 4 · 3. H 5-5½.

2) An Introduction to the Rock Forming Minerals, DEER, HOWIE & ZUSSMAN: Longman, London, 528p., (1977)



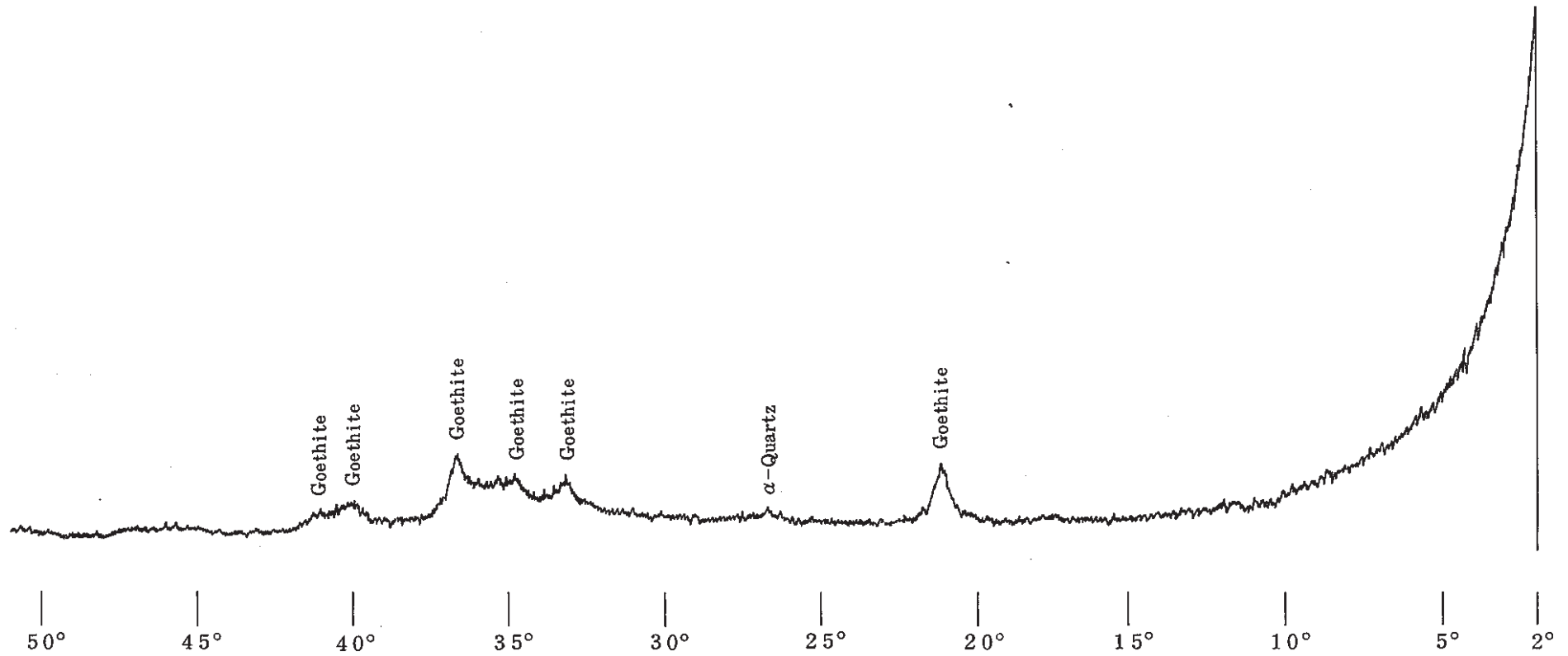


Fig. 3—7 Result of Identification of Precipitates by X-Ray Powder Diffraction Method.  
沈澱物のX線粉末回折法による同定結果

Cleavage : {010} perfect, {100} moderate  
 Colour : Yellowish brown to red; yellow to orange-red in thin section.  
 In reflected light, grey with moderate anisotrpism.  
 Pleochroism : Variable, in yellow and orange, absorption  $\alpha > \gamma > \beta$ .  
 Soluble in HCl. Yellow streak. Dehydrates to  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(hematite)

Goethiteの分析値の多くはFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・H<sub>2</sub>Oに加え、ある量のSiO<sub>2</sub>を含む。このSiO<sub>2</sub>は試料中に混合物あるいは不純物として含まれているためである。Mn<sup>2+</sup>がFe<sup>3+</sup>を置換することがある。通常Goethiteは酸化性雰囲気中で形成され、海水あるいは天水から直接沈澱して濃集する。

(b) 発光分光分析法による半定量分析

発光分光分析法の測定装置および分析条件を以下に示す。

中型石英プリズム分光写真器	中間結像法	スリット幅10μm
電源D. C. 280V連続アーク	予備放電なし	5A 30秒露出
プロセス乾板 D-19 20℃ 5min 現像		

沈澱物の分析結果をTable 3—8に示す。同表にて主成分(5で表示)とは10%程度以上の重量%を示すものであり、4以下0に至るまではほぼ1桁ずつ含有量が減少する。同表から、Fe, Si, Znが主成分で、AlおよびCaがそれらに次ぐ含有量であることがわかる。

これらの成分のうち結晶性の沈澱物はFeを含むGoethiteが主で、他は非晶質の物質を形成しているものもあると思われる。また、微量成分のなかには主成分の元素の一部を置換している可能性もある。

(c) 沈澱物主成分の定量分析

前項の半定量分析結果を受け、主要5成分の定量分析を実施した。各成分の分析法は以下の通りである。

Al : 滴定法 (J I S M-8220)  
 Ca : 原子吸光法 (J I S M-8221)  
 Fe : 滴定法 (J I S M-8212)

Table 3—8 Semi-Quantitative Results by Emission Spectral Analysis.  
 発光分光分析法による沈澱物の半定量分析結果

Elements	A l	A s	B	C a	C o	C u	F e	M g
Results	4	2	1	3	0	0	5	2

Elements	M n	P b	S i	S r	Z n
Results	2	2	5	0	5

Note: 0 僅かに認められる (極微量)  
 1 非常に弱い (微量)  
 2 弱い (少ない)  
 3 明らかに認められる (やや多い)  
 4 強い (多い)  
 5 非常に強い (主成分)

S i : 重量法 (J I S M-8214)

Z n : 滴定法 (J I S M-8228)

沈澱物試料を60℃にて24時間乾燥させた後に各分析を行った。本分析結果をTable 3—9に示す。

F eがF e O · O H (Goethite) の形態で存在していることはX線回折結果が示す通りである。他の元素の存在形態を次のように仮定する。

A l : A l (O H) <sub>3</sub>

C a : C a S O <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O

S i : S i O <sub>2</sub>

Z n : Z n (O H) <sub>2</sub>

この時、重量パーセントの合計は90.2%となる。他の微量成分を加えても総量は90%程に過ぎない。約10%は恐らく、微量の湿分、上記以外の化合物および強熱減量成分であろうと推定される。この分析結果から、Goethiteで代表される鉄化合物は重量で約77%を占め、沈澱物の大半を構成していることがわかる。

Table 3—9 Analytical Values of Major Elements.

沈澱物の定量分析結果

Elements	A l	C a	F e	S i	Z n
Ratio (% in wt.)	1.13	0.59	48.59	1.89	2.15

## (3) 水質測定結果

埋設孔内水の測定項目はpH・Eh・温度・電気伝導度である。pH・Eh測定用の機器および仕様は以下の通りである。

pH/ORPメーター：セントラル科学(株)製携帯用デジタルタイプUC-23型

## (仕様) pH計

電極	UC-303E型
測定方法	ガラス電極
測定範囲	0~14.00
分解能	0.01

## Eh計

電極	UC-802E型
比較電極	飽和AgCl電極
測定範囲	±1999mV
分解能	0.1mV

温度はデジタル温度計あるいは棒寒暖計を用い、電気伝導度は東亜電波工業(株)製携帯用伝導度計CM-30EおよびCM-3Mを用いた。

埋設孔内水のpH・Eh・温度・電気伝導度の測定結果をTable 3-10~13に示す。また、pH・Ehの経時変化とそれらの関係をFig. 3-8~10に示す。

## (a) pH

Fig. 3-8から補給水のpHはほぼ6であることがわかる。補給は孔内水の減少した複数の孔に対して行ったため、また1孔への補給量が最大400mlと一部の孔では多量でかつ一回の総補給量が数100ml、多い時には1lを越えたため、補給水の水質が補給の最初と最後でかなり変化した。pHについては補給前後で約0.5ほど高くなっている。

各測定値とも補給後に測定したものは補給水のpHに近くなっていることがわかる。すなわち、pHの6より高い孔内水のpHは低くなり、6より低い孔内水のpHは高くなっている。

また、割れ目トレーサ試験での流出液のpHと比較すると、同試験では約8.5という高い値を得ているのに対して、本測定値はその値より約2.5低いpH6であり、両者の水質は本質的に異なることがわかった。

Table 3—10 Result of pH Measurement of Groundwater in Boreholes.  
埋設孔内水のpH測定結果

Hole No.	Date of Measurement												
	'85 12/5	'86 3/5	5/28	6/19	7/17	8/11	9/10	10/ 11	11/ 12	12/ 11	'87 1/17	2/17	3/17
G-1	6.6	6.6 <sup>*</sup> —	7.20	7.49	7.23	7.39	7.39	7.43	7.46	7.49	7.51	7.55	7.58
G-2	6.0	6.0 <sup>*</sup> —	6.52	6.92 <sup>*</sup> —	6.66 <sup>*</sup> 6.60	— <sup>*</sup> 6.18	5.61 <sup>**</sup>	5.90 <sup>**</sup>	— <sup>*</sup> 5.47	— <sup>*</sup> 5.68	— <sup>*</sup> 5.65	— <sup>*</sup> 5.93	— <sup>*</sup> 6.29
G-3	5.8	5.9 <sup>*</sup> —	4.25 <sup>*</sup> 5.56	5.28 <sup>*</sup> —	5.35 <sup>*</sup> 5.55	— <sup>*</sup> 5.66	5.56	5.83 <sup>**</sup>	6.03	— <sup>*</sup> 5.81	6.67	6.67	6.72
G-4	6.0	5.2	5.33	5.09	5.80	6.02	6.36	4.80	4.31	4.85	3.85	3.86	5.19
M-1	6.3	6.1	5.76	6.14	6.44	— <sup>*</sup> 6.61	5.22	4.39	4.01	3.78	4.73	4.97	5.21
M-2	6.5	6.8	7.16	7.16	7.18	7.10	7.11	7.02	7.11	6.55	6.47	6.58	6.88
M-3	6.8	7.1 <sup>*</sup> —	7.29	7.40	7.36	7.36	7.42	7.46	7.43	7.28	— <sup>*</sup> 6.55	— <sup>*</sup> 6.59	— <sup>*</sup> 6.65
M-4	6.6	6.9 <sup>*</sup> —	7.48	7.12 <sup>*</sup> 6.78	7.26 <sup>*</sup> 7.03	— <sup>*</sup> 7.32	7.44	7.49	7.21	7.10	7.21	— <sup>*</sup> 6.93	— <sup>*</sup> 7.31
M-5	5.1	6.2 <sup>*</sup> —	6.65	6.60	6.44	6.51	5.11	4.75	6.24	5.73	4.63	4.84	4.76
M-6	6.3	6.4	6.10	5.83 <sup>*</sup> —	5.86	— <sup>*</sup> 5.66	4.25 <sup>**</sup>	4.68 <sup>**</sup>	— <sup>*</sup> 4.93	4.27	— <sup>*</sup> 5.13	— <sup>*</sup> 5.72	— <sup>*</sup> 5.52
M-7	6.4	6.4	5.58	4.96	4.61	6.62	6.79	7.19	7.23	7.04	— <sup>*</sup> 6.56	— <sup>*</sup> 6.49	— <sup>*</sup> 6.44
M-8	6.4	5.7	4.91 <sup>*</sup> 5.42	4.68 <sup>*</sup> 5.15	4.31 <sup>*</sup> 5.15	— <sup>*</sup> 5.24	4.22 <sup>***</sup> —	4.38 <sup>**</sup>	— <sup>*</sup> 4.91	— <sup>*</sup> 4.17	— <sup>*</sup> 5.18	— <sup>*</sup> 5.27	— <sup>*</sup> 4.92
補給水	—	—	5.90 6.12	5.93 6.26	5.12 6.15	— 6.41	5.92 —	—	— 6.36	—	—	—	5.75 —

Note 1: \*印は当日地下水湧水を補給, \*\*印は前日補給を意味する。  
 2: 2段表示の各欄において, 上段は補給前に測定, 下段は補給後に測定を意味する。  
 3: 補給水の欄の上段は補給開始直後の滞留水を測定, 下段は補給後の測定を意味する。  
 4: —印は測定せずを意味する。

Table 3—11 Result of Eh Measurement of Groundwater in Boreholes.  
埋設孔内水のEh測定結果

Hole No.	Date of Measurement												
	'85 12/5	'86 3/5	5/28	6/19	7/17	8/11	9/10	10/ 11	11/ 12	12/ 11	'87 1/17	2/17	3/17
G-1	mV +005	+mV +039 —	mV +665	mV +039	mV +080	mV +045	mV +207	mV +215	mV +128	mV +134	mV +171	mV +166	mV +187
G-2	+100	+360 —	+092	+080 +040	+115 +062	— +083	+305	+257	— +155	— +223	— +166	— +178	— +115
G-3	+170	+093 —	+411 —	+218 +175	+193 +148	— +144	+359	+215	+218	— +222	+162	+175	+143
G-4	+110	+146	+236	+223	+189	+149	+210	+411	+388	+289	+307	+349	+229
M-1	-007	+090	+189	+169	+144	— +073	+158	+274	+133	+336	+309	+289	+236
M-2	+050	+060	+213	+119	+134	+094	+271	+204	+156	+141	+254	+236	+157
M-3	+027	+051 —	+208	+102	+122	+093	+267	+221	+172	+135	— +054	— +061	— +025
M-4	+092	+104 —	+664	+107 -035	+114 +045	— +027	+259	+217	+169	+116	+109	— +021	— +083
M-5	-048	+128 —	+102	+117	+137	+124	+241	+318	+218	+224	+345	+315	+265
M-6	-022	+180	+376	+171 —	+167	— +129	+318	+372	— +213	+361	— +189	— +117	— +099
M-7	-026	-145	+056	+203	+239	+123	+173	+233	+148	+197	— +028	— -015	— +006
M-8	+011	+012	— +153	+220 +146	+284 +165	— +194	+303 —	+311	— +216	— +113	— +193	— +172	— +177
補給水	—	—	+005 —	+030 -005	+130 -015	— -030	+061 —	—	— -025	—	—	—	+040 —

Note 1: \*印は当日地下水湧水を補給, \*\*印は前日補給を意味する。  
 2: \*, \*\*印の欄において, 上段は補給前に測定, 下段は補給後に測定を意味する。  
 3: 補給水の欄の上段は補給開始直後の滞留水を測定, 下段は補給後の測定を意味する。  
 4: —印は測定せずを意味する。  
 5: Eh は飽和AgCl電極に対する値。

Table 3—12 Result of Temperature Measurement of Groundwater in Boreholes.  
埋設孔内水の温度測定結果

Hole No.	Date of Measurement												
	'85* 12/5	'86* 3/5	5/28	6/19	* 7/17	8/11	9/10	10/* 11	11/* 12	12/* 11	'87 1/17	2/17	* 3/17
G-1	℃ 24.1	℃ 24.4	℃ 25	℃ 25	℃ 24.8	℃ 25	℃ 25	℃ 23.9	℃ 24.0	℃ 23.7	℃ 24	℃ 24	℃ 23.8
G-2	24.1	24.4	25	25	24.8	25	25	24.0	24.2	23.7	24	24	23.3
G-3	24.1	24.0	25	25	24.8	25	25	24.0	24.2	23.7	24	24	23.3
G-4	24.1	24.6	25	25	24.8	25	25	23.9	24.2	23.7	24	24	23.2
M-1	24.1	24.8	25	25	24.8	25	25	23.9	24.0	23.7	24	24	23.1
M-2	24.0	24.5	25	25	24.8	25	25	24.0	24.2	23.8	24	24	23.5
M-3	24.1	24.7	25	25	24.8	25	25	24.0	24.5	23.8	24	24	23.4
M-4	24.1	24.1	25	25	24.8	25	25	24.0	24.5	23.8	24	24	23.4
M-5	24.1	24.1	25	25	24.8	25	25	24.0	24.5	23.8	24	24	23.6
M-6	24.1	24.2	25	25	24.8	25	25	24.0	24.5	23.8	24	24	23.4
M-7	24.1	24.5	25	25	24.8	25	25	24.0	24.8	23.8	24	24	23.4
M-8	24.0	24.5	25	25	24.8	25	25	24.0	24.5	23.8	24	24	23.2
補給水	—	—	25	25	24.8	—	—	—	—	—	—	—	23.9

Note 1:\*印の測定時にはデジタル温度計を使用。  
2:その他の測定時には棒寒暖計を使用。



Table 3—13 Result of Electric Conductivity of Groundwater in Boreholes.  
埋設孔内水の電気伝導度測定結果

Hole No.	Date of Measurement			
	'86/12/11	'87/1/17	'87/2/17	'87/3/17
G-1	mS/cm 3.01	(mS/cm) $\mu$ S/cm (2.87) 1,480	(mS/cm) $\mu$ S/cm (2.97) 2,543	mS/cm $\mu$ S/cm 3.04 1,943
G-2	— * 2.97	— * (2.91) 1,943	— * (2.96) 2,405	— * 2.88 1,985
G-3	— * 2.94	(2.87) 1,480	(2.92) 2,035	2.93 2,079
G-4	3.07	(2.89) 1,758	(2.90) 1,850	2.82 1,654
M-1	3.09	(2.92) 2,035	(2.92) 2,035	2.92 2,079
M-2	2.91	(2.92) 2,035	(2.93) 2,128	2.86 1,988
M-3	2.97	— * (2.90) 1,850	— * (2.86) 1,388	— * 2.90 2,079
M-4	3.01	(2.90) 1,850	— * (2.96) 2,405	— * 2.93 1,748
M-5	2.99	(2.86) 1,388	(2.87) 1,480	2.90 1,757
M-6	3.02	— * (2.90) 1,850	— * (2.94) 2,220	— * 2.92 1,843
M-7	2.93	— * (2.91) 1,943	— * (2.93) 2,128	— * 2.90 1,985
M-8	— * 3.03	— * (2.90) 1,850	— * (2.87) 1,573	— * 2.93 2,032
補給水	—	—	—	3.05 —

- Note 1: \*印は測定当日地下水湧水の補給を意味する。  
 2: \*印の欄において、上段は補給前に測定、下段は補給後に測定を意味する。  
 3: 補給水の欄の上段は補給開始直後の滞留水を測定、下段は補給後の測定を意味する。  
 4: — 印は測定せずを意味する。  
 5: 12/11, 3/17には東亜電波工業(株)製携帯用伝導度計CM-30E型により測定。  
 6: 1/17, 2/17 には東亜電波工業(株)製携帯用伝導度計CM-3M 型により測定。  
 7: ( ) 内は換算値。  
 8: 3/17は共に測定

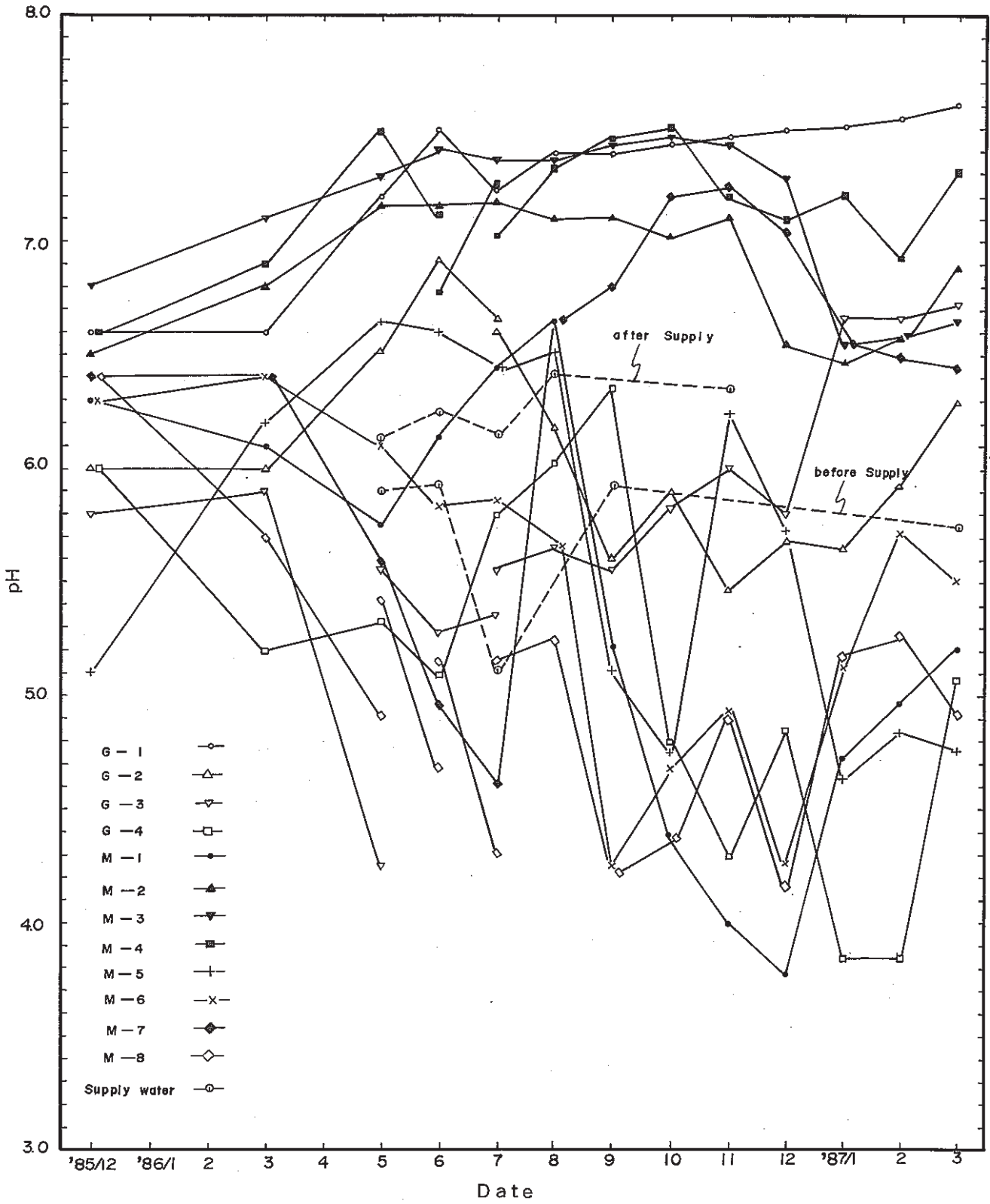


Fig. 3—8 pH as a Function of Time.  
pHの経時変化

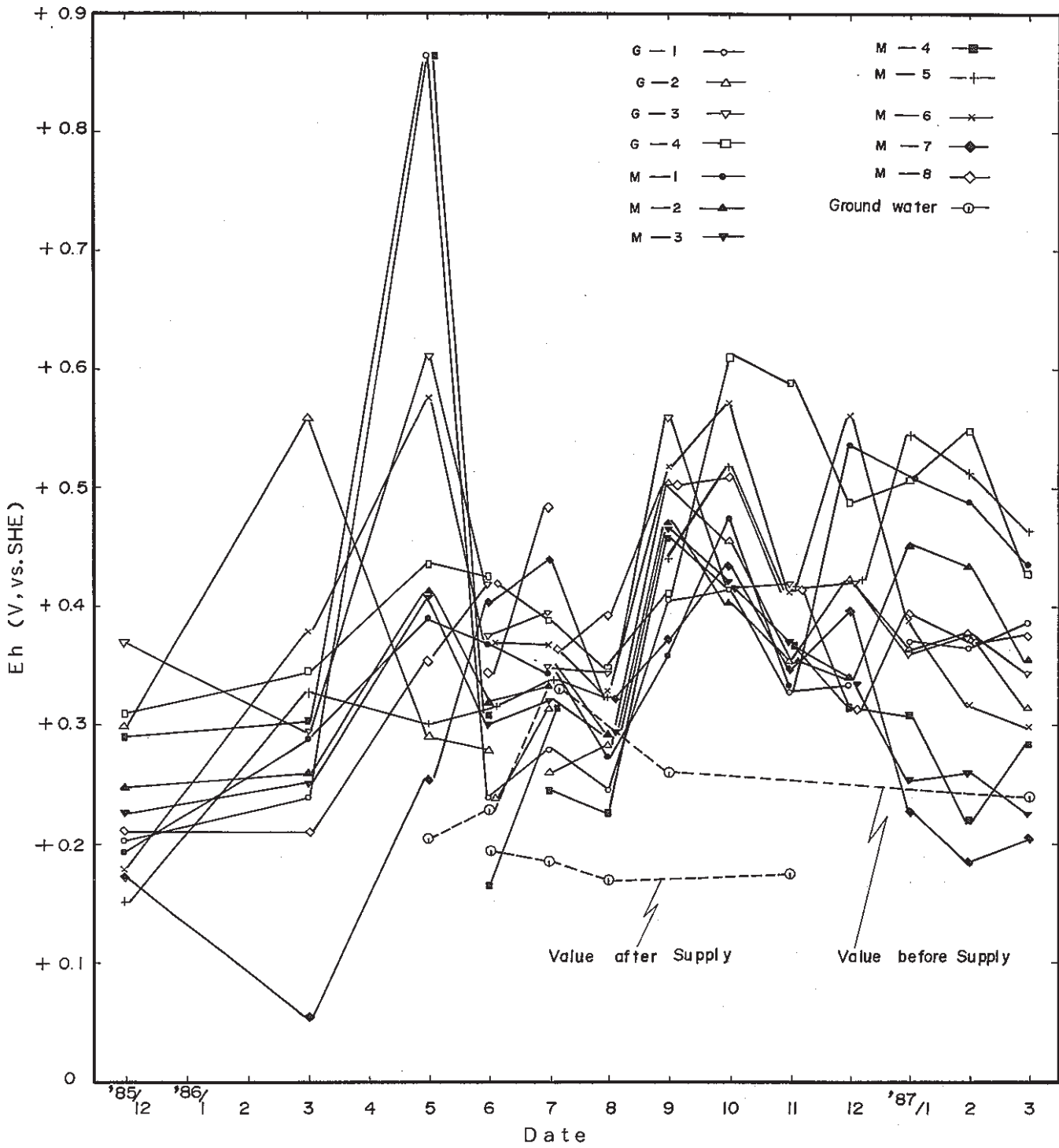


Fig. 3—9 Eh as a Function of Time.  
Ehの経時変化

一方、pHの経時変化を考察すると、ほぼ二つのグループに分けることができる。G-1・M-2～4は時間の経過とともにpHが漸増しており、5ヶ月経過時以降7以上のpHを示している。その他のG-2～4・M-1・5～8のpHは複雑な増減を示しており、pHは4～6.5の間を変化している。ほぼ無補給の孔はG-1・4、M-2・5であることは既に述べた。これによるとpHの変化は補給の有無とは必ずしも因果関係はないことがわかる。恐らく、試験体の相違によるものか、孔内の岩質の相違によるものと思われる。

#### (b) Eh

まず、Fig. 3-9から補給水のEhはpHと同様、補給開始前の値が+0.25V前後なのに対して、補給後の値は平均+0.18Vと低い値であることが認められる。

一方、孔内水のpHが補給水の値の前後に振れたのに対して、Ehはどの孔内水も補給水に比べほぼ酸化側に変化しているのが認められる。すなわち、'86年3月に測定したM-7孔内水の値が約+0.05Vと補給水の値よりかなり還元側である以外、どの孔内水の値も+0.3～0.6Vを示している。'86年5月のG-1、M-4のEhが約+0.86Vと高い値を示したのは不明である。また、'86年6～7月および'87年1～3月の測定値で補給水とほぼ同じ値を示しているのはほとんど補給後の測定値である。

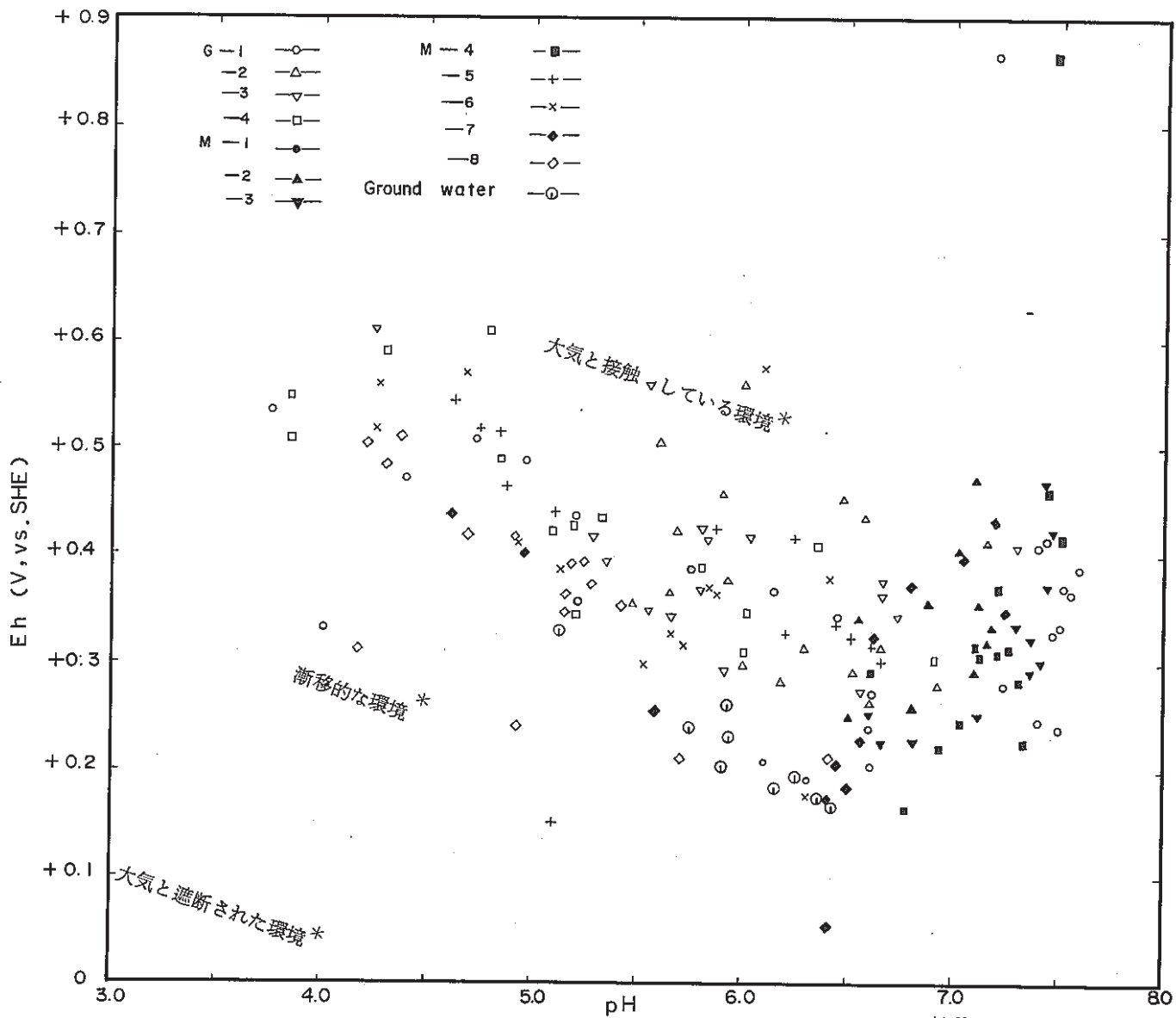
Ehの経時変化は各孔内水ともpHに認められたようなグループ分けは認められず、ほぼ同様の経時変化を示していることがわかる。

割れ目トレーサ試験での流出液のEhは約+0.4Vであり、本測定結果との間で有意の差は認められない。

#### (c) pHとEhの相関

Fig. 3-10にpHとEhの相関を示す。同図には一般地球化学（松井・一國訳）によるEhとpHによって特徴づけられる天然水の環境区分の概略の境界を示したが、ほぼ各測定値は大気と接触している環境から漸移的な環境にある水の示す領域にあることがわかる。

破線に直交する方向に値が変化している、あるいは地表水と地下水の特性それぞれに向かう方向に変化しているものはG-1、M-2・3・4・7の孔内水である。対して、その他の値は破線の方向に沿って、あるいは地表水と地下水の水質からそう大きなずれを見せずに変化している。したがって、pHとEhにより特徴づけられる漸移的環境の示す範囲内での水質の変化のパターンが大別して2種類に分けられることがわかった。



\*:松井・一國訳,一般地球化学(1965)による

Fig. 3—10 Relation between Eh and pH of Groundwater in Boreholes.  
ボーリング孔内水のEhとpHの関係

(d) 水温

試験箇所はほぼ年間を通して温度の一定の箇所にある。Table 3—1 2をみると、冬季には24℃、夏季には25℃で維持されたことがわかる。

(e) 電気伝導度

電気伝導度は約2.9 mS/cmでほぼ試験期間を通じて一定であった。

### 3.4 金属試験体の分析

#### 3.4.1 重量および寸法

##### (1) 測定方法

化学天秤（メトラー）およびノギスを用いて、金属試験体のスケール除去前後の重量および寸法を測定した。それぞれの最小読み取り値は0.1 mgおよび0.1 mmである。

##### (2) 測定結果

Table 3—14・15に測定結果を示す。同表には埋設時の測定結果をも合わせて示した。

SUS304、純チタン、ハステロイC—276の試験体は平板試験体およびダブルUバンド試験体とも、スケール除去前は埋設時の重量に比して増大を示しているがスケール除去後は埋設時の重量とほぼ同じ値となった。また、寸法に変化は認められなかった。重量増加は補給水からの沈澱物の付着によるものと想定される。また、外側試験体と内側試験体との間で、重量の変化について明瞭な相違は認められない。

軟鋼および無酸素銅ではスケール除去前の段階でそれぞれ0.358 g (0.91636%)、0.1173 g (0.51572%)の重量減少が認められ、スケール除去後では0.8375 g (2.14374%)、0.1455 g (0.63971%)の重量減少が認められた。

#### 3.4.2 表面状態の観察

##### (1) 観察方法

スケール除去前の試験体の表面状態を肉眼により観察した。

##### (2) 観察結果

Table 3—16にスケール除去前の表面状態の観察結果を示した。Photo 3—1～8にはスケール除去前とスケール除去後の外観写真を示す。

SUS304、純チタン、ハステロイC—276の試験体は平板試験体およびダブルUバンド試験体とも茶色皮膜が付着していたが、腐食はほとんど認められなかった。軟鋼は全面腐食が認められ、全面赤錆で覆われていた。無酸素銅は茶色皮膜が多く、また全面腐食が認められた。

Table 3—14 List of Weight and Size of Metallic Samples (Coupons).  
 平板試験体の重量および大きさ

Test Sample	Sample No.	Weight (g)			Size (mm)		
		Before Test(A)	Before Descale(B)	After Descale(C)	Width (W)	Length (L)	Thickness (T)
SUS 304	M-1-2	22.5484	22.5667	22.5482	18.0	80.0	2.0
CP Titanium	M-3-2	19.0376	19.0544	19.0368	18.0	80.0	3.0
C-276	M-5-2	23.8592	23.8683	23.8588	18.0	80.0	1.8
Mild Steel	M-7-2	39.0672	38.7092	38.2297	18.0	80.0	3.4
Pure Copper	M-8-2	22.7445	22.6272	22.5990	18.0	80.0	1.8

Sample No.	B-A(g)	$\frac{B-A}{A} \times 100$ (%)	C-B(g)	$\frac{C-B}{A} \times 100$ (%)	C-A(g)	$\frac{C-A}{A} \times 100$ (%)	$\frac{(C-A) \times 10^4}{2(W \cdot L + W \cdot T + L \cdot T)}$ (g/m <sup>2</sup> )
M-1-2	0.0183	0.08	-0.0185	-0.08	-0.0002	-0.0009	$-6.1 \times 10^{-4}$
M-3-2	0.0168	0.09	-0.0176	-0.09	-0.0008	-0.0042	$-2.3 \times 10^{-3}$
M-5-2	0.0091	0.04	-0.0095	-0.04	-0.0004	-0.0017	$-1.2 \times 10^{-3}$
M-7-2	-0.3580	-0.92	-0.4795	-1.23	-0.8375	-2.1437	$-2.4 \times 10^{-1}$
M-8-2	-0.1173	-0.52	-0.0282	-0.12	-0.1455	-0.6397	$-4.5 \times 10^{-2}$



Table 3—15 List of Weight and Size of Metallic Samples (Double U Bends).  
 ダブルUベンド試験体の重量および大きさ

Test Sample	Sample No.		Weight (g)			Size (mm)		
			Before Test (A)	Before Descale (B)	After Descale (C)	Width (W)	Length (L)	Thickness (T)
SUS 304	M-2-2	Outer Piece	16.1948	16.1975	16.1948	15.0	81.0	2.0
		Inner Piece	14.4474	14.4505	14.4475	15.0	75.0	2.0
CP Titanium	M-4-2	Outer Piece	9.6641	9.6656	9.6641	15.0	81.0	2.0
		Inner Piece	8.9287	8.9303	8.9287	15.0	75.0	2.0
C-276	M-6-2	Outer Piece	18.9298	18.9370	18.9295	15.0	81.0	2.0
		Inner Piece	17.2336	17.2423	17.2335	15.0	75.0	2.0

Sample No.		B-A (g)	$\frac{B-A}{A} \times 100$ (%)	C-B (g)	$\frac{C-B}{A} \times 100$ (%)	C-A (g)	$\frac{C-A}{A} \times 100$ (g)	$\frac{(C-A) \times 10^4}{2(W \cdot L + W \cdot T + L \cdot T)} (g/m^2)$
M-2-2	Outer Piece	0.0027	0.02	-0.0027	-0.02	0	0	0
	Inner Piece	0.0031	0.02	-0.0030	-0.02	0.0001	(0.0007)	$3.8 \times 10^{-4}$
M-4-2	Outer Piece	0.0015	0.02	-0.0015	-0.02	0	0	0
	Inner Piece	0.0016	0.02	-0.0016	-0.02	0	0	0
M-6-2	Outer Piece	0.0072	0.04	-0.0095	-0.05	-0.0003	(-0.0016)	$-1.1 \times 10^{-3}$
	Inner Piece	0.0087	0.05	-0.0088	-0.05	-0.0001	(-0.0006)	$-3.8 \times 10^{-4}$

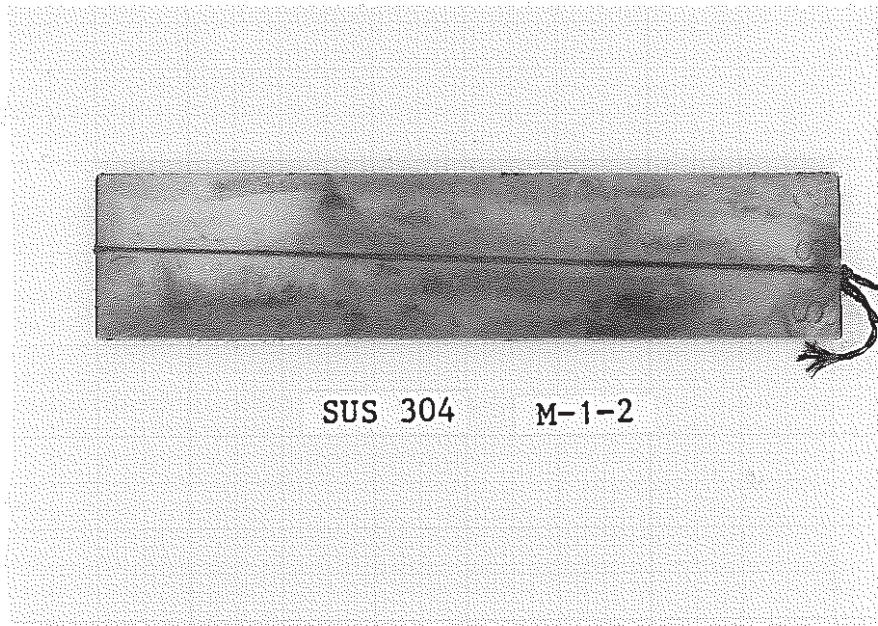


Photo 3 — 1 (1) SUS 304 Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後のSUS 304 平板試験体

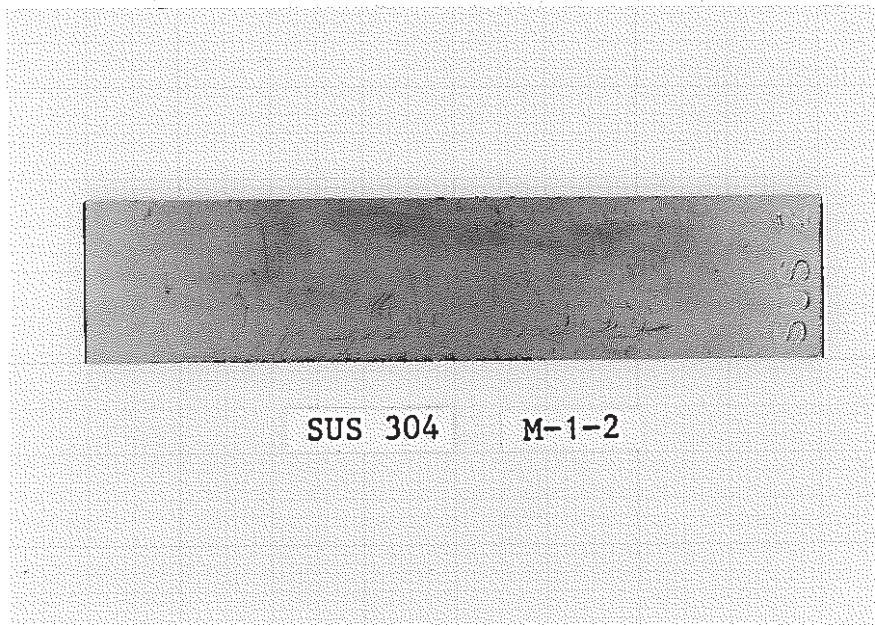


Photo 3 — 1 (2) SUS 304 Test Sample after Descaling.  
スケール除去後のSUS 304 平板試験体

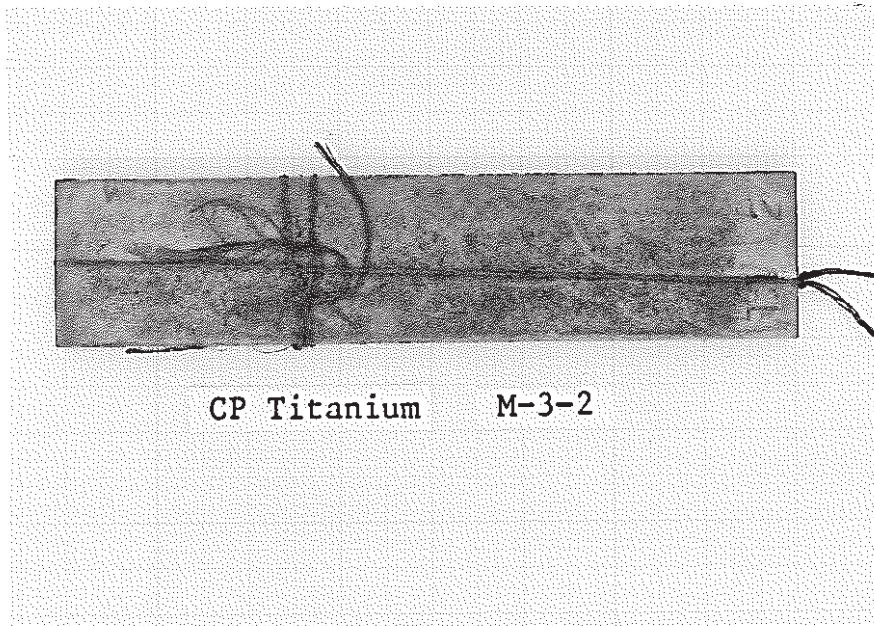


Photo 3—2 (1) CP Titanium Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後の純チタン平板試験体

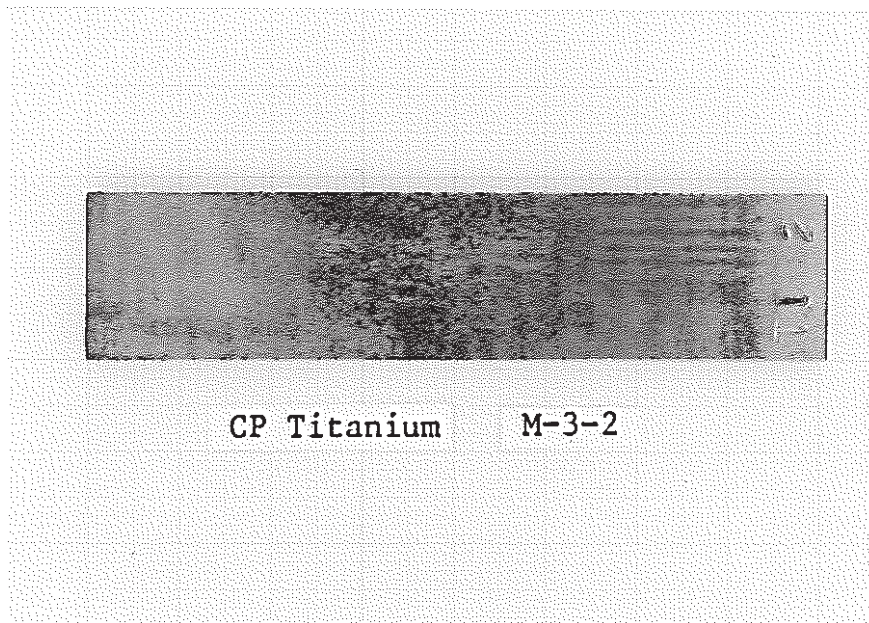


Photo 3—2 (2) CP Titanium Test Sample after Descaling.  
スケール除去後の純チタン平板試験体

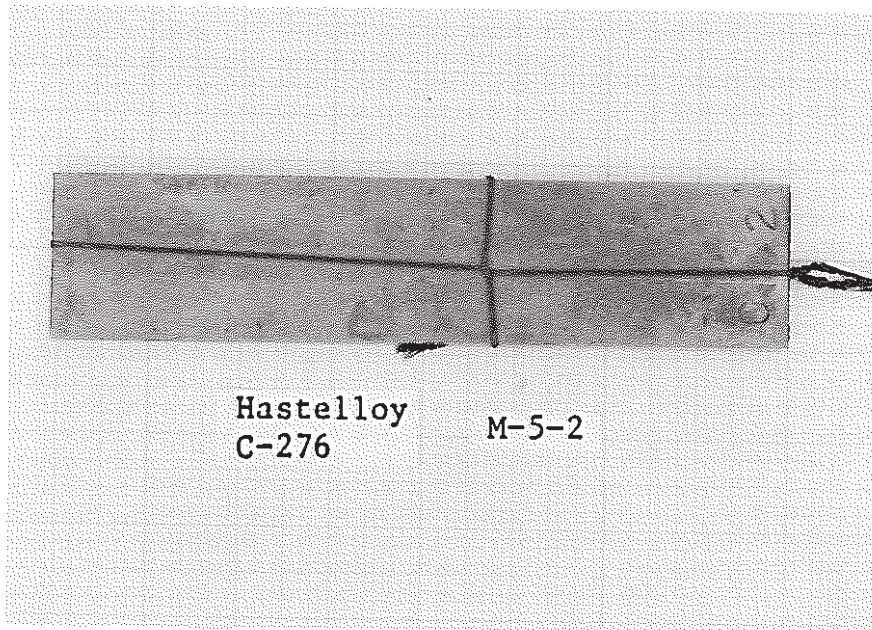


Photo 3—3 (1) Hastelloy C-276 Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後のハステロイC-276 平板試験体



Photo 3—3 (2) Hastelloy C-276 Test Sample after Descaling.  
スケール除去後のハステロイC-276 平板試験体



Photo 3—4(1) Mild Steel Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後の軟鋼平板試験体



Photo 3—4(2) Mild Steel Test Sample after Descaling.  
スケール除去後の軟鋼平板試験体

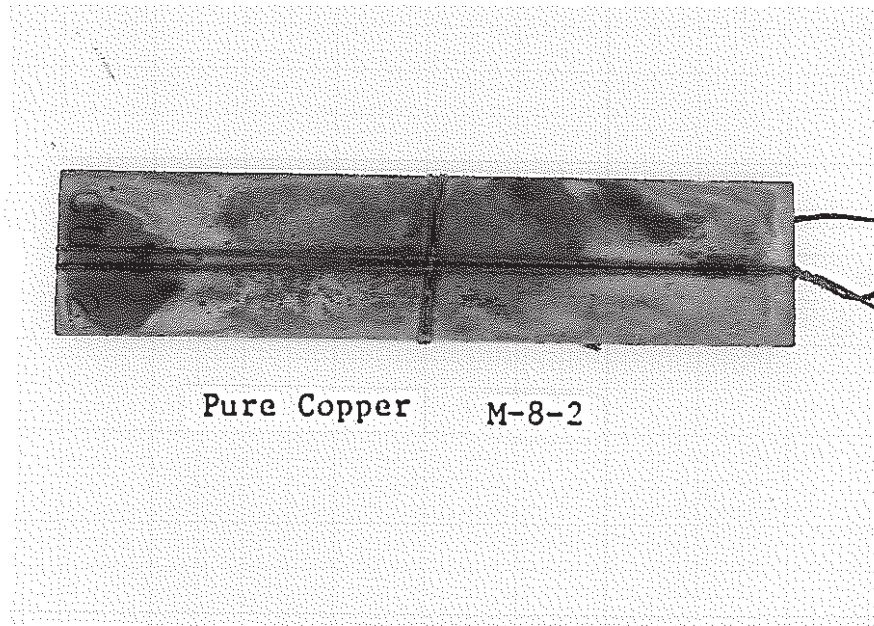


Photo 3—5 (1) Pure Copper Test Sample after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後の無酸素銅平板試験体

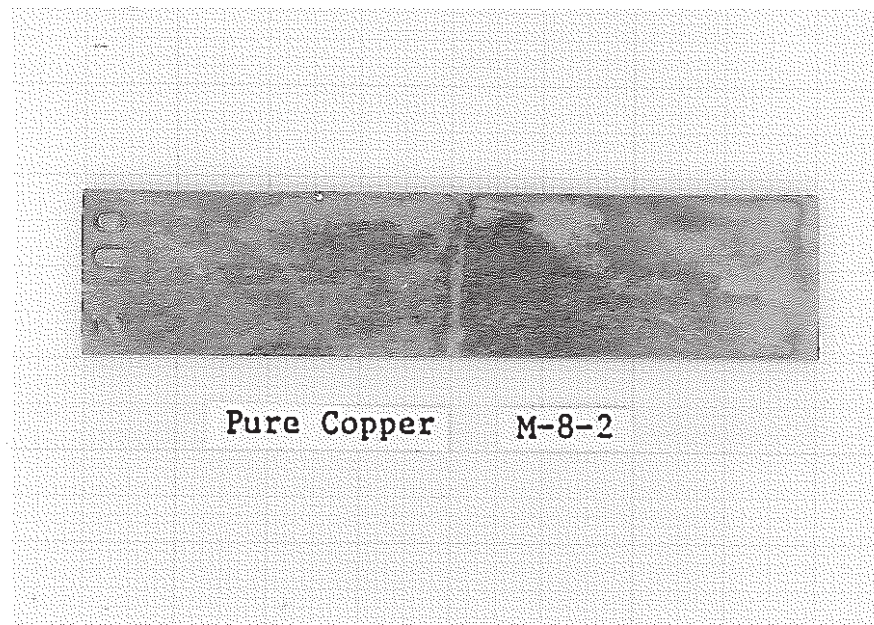
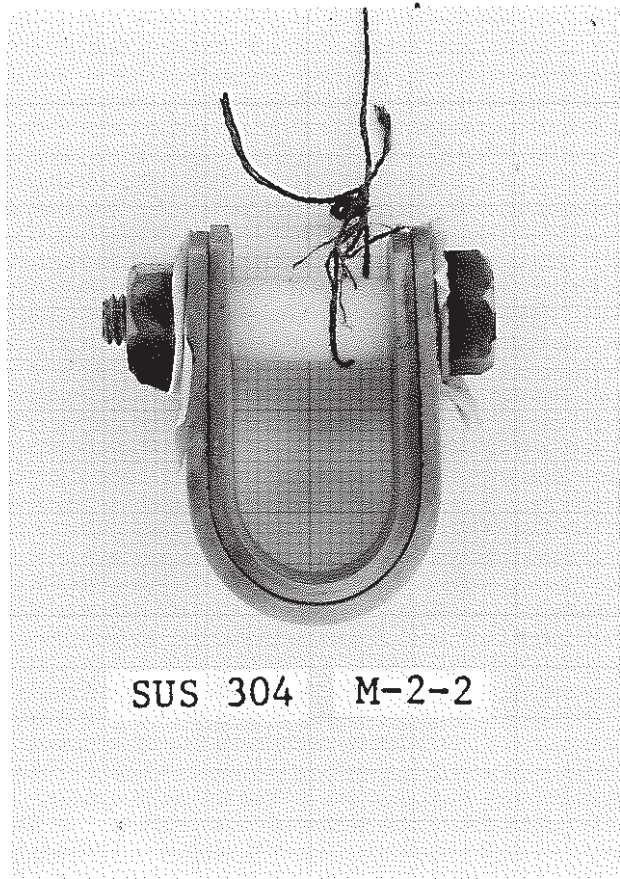
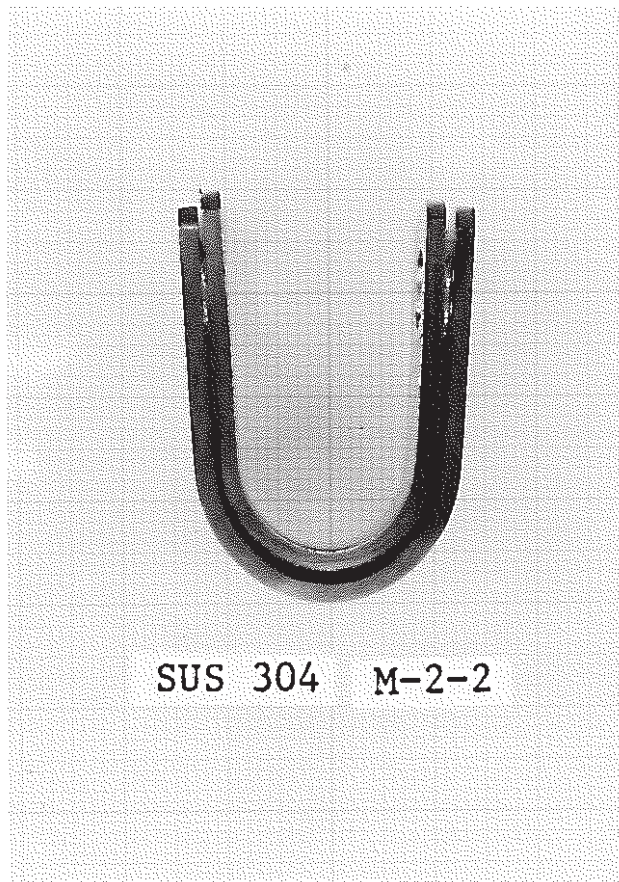


Photo 3—5 (2) Pure Copper Test Sample after Descaling.  
スケール除去後の無酸素銅平板試験体



SUS 304 M-2-2

Photo 3—6(1) Double U Bend Test Sample of SUS 304 after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後のSUS 304 ダブルUバンド試験体



SUS 304 M-2-2

Photo 3—6(2) Double U Bend Test Sample of SUS 304 after Descaling.  
スケール除去後のSUS 304 ダブルUバンド試験体

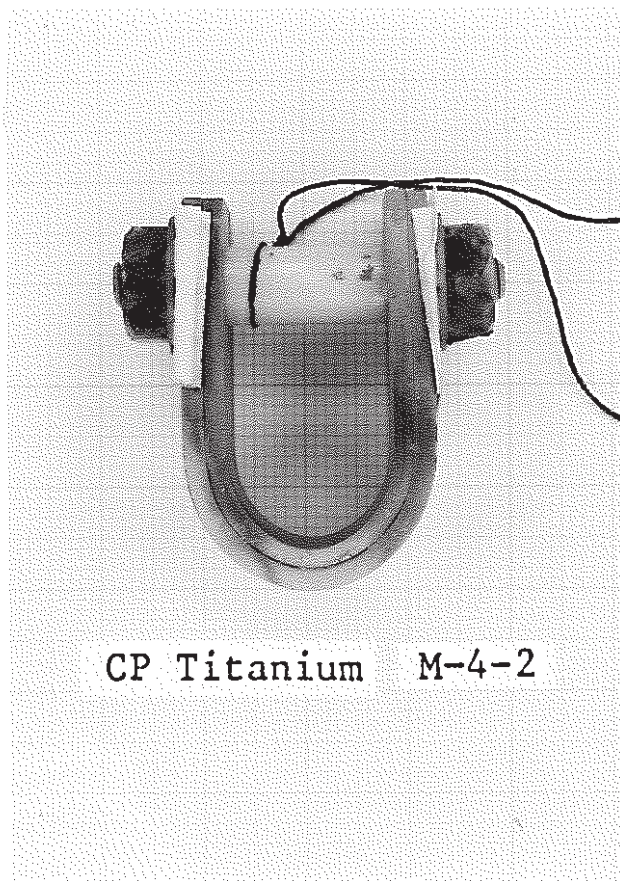


Photo 3—7(1) Double U Bend Test Sample of CP Titanium after 1 Year Immersion Corrosion Test.  
1年埋設後の純チタンダブルUベンド試験体

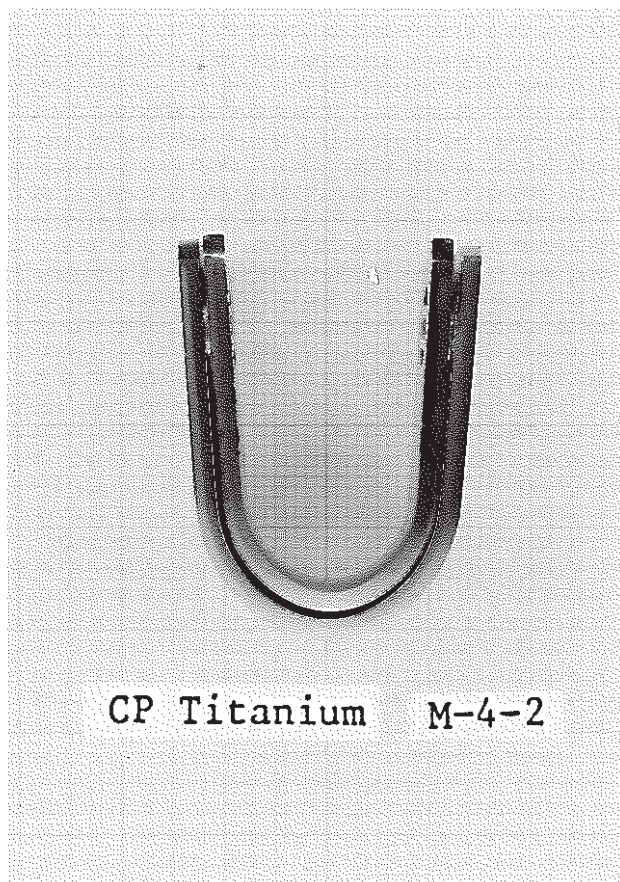
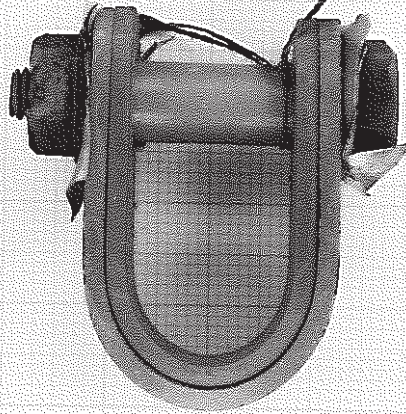


Photo 3—7(2) Double U Bend Test Sample of CP Titanium after Descaling.  
スケール除去後の純チタンダブルUベンド試験体

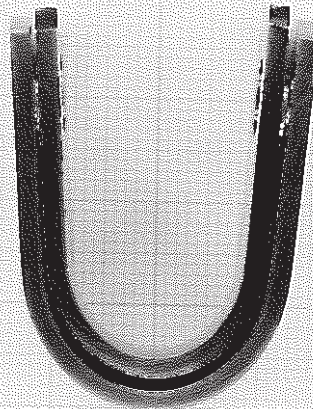




Hastelloy M-6-2  
C-276

Photo 3—8(1) Double U Bend Test Sample of Hastelloy C-276 after 1 Year Immersion Corrosion Test.

1年埋設後のハステロイC-276 ダブルUベンド試験体



Hastelloy M-6-2  
C-276

Photo 3—8(2) Double U Bend Test Sample of Hastelloy C-276 after Descaling.  
スケール除去後のハステロイC-276 ダブルUベンド試験体

## 3.4.3 腐食生成物のWDXによる定性分析

## (1) 分析方法

金属試験体に認められたスケールの構成元素を定性的に把握することを目的として、WDX分析を実施した。試料は金属試験体に付着したスケールのみを削り取り、固定した後イオンスパッタリングによる金蒸着を施し、調整した。SUS304、純チタン、ハステロイC-276ではスケールの量が分析に必要な量に達しなかったため、十分な量採取できた軟鋼および無酸素銅を対象とした。

分析機器および分析条件は以下の通りである。

分析機器 : 日本電子(株)製 JCA733

加速電圧 : 15 kV

プローブ電流 :  $4.99 \times 10^{-8}$  A

## (2) 分析結果

分析結果をTable 3-17に示す。検出元素は軟鋼ではO, Fe, Mn, Si, Al, Mg, Ca, Ni, Zn, Crであり、無酸素銅ではO, Cu, Fe, Ca, Sであった。

## 3.4.4 腐食生成物のX線回折による定性分析

## (1) 分析方法

金属試験体に認められたスケール物質の構成結晶物質を定性的に把握することを目的としてX線回折分析を実施した。金属試験体に付着したスケールのみを削り取り、固定した。本分析に必要な量は極少量であるので全試験体について実施した。分析機器、分析条件は以下の通りである。

X線回折装置 : 日本フィリップ(株)製 PW1700

Target : Cu  $k\alpha$

Filter : 黒鉛モノクロメーター

Voltage : 45 kV

Current : 55 mA

Take off Angle :  $6^\circ$

Divergence Slit :  $1^\circ$

Receiving Slit : 0.2 mm

Table 3—16 Surface Appearance of Metallic Samples after 1 Year Immersion Corrosion Test.

1年埋設金属試験体の表面状態の観察結果

C o u p o n s

Test Sample	Sample No.	Surface Appearance of Test Samples
S U S 3 0 4	M-1-2	Stable, Brown Scale Attached
CP Titanium	M-3-2	(ditto)
Hastelloy C-276	M-5-2	(ditto)
Mild Steel	M-7-2	Totally Corroded, Red Rust Attached
Pure Copper	M-8-2	Totally Corroded, Brown Scale Widely Attached

D o u b l e U B e n d

Test Sample	Sample No.		Surface Appearance of Test Samples
S U S 3 0 4	M-2-2	Outer Piece	Brown Scale Slightly Attached
		Inner Piece	(ditto)
CP Titanium	M-4-2	Outer Piece	(ditto)
		Inner Piece	(ditto)
Hastelloy C-276	M-6-2	Outer Piece	Brown Scale Attached
		Inner Piece	(ditto)

Table 3—17 Results of WDX Qualitative Analysis.

WDX分析結果

Sample	Detected Element
Mild Steel	O, Fe, Mn, Si, Al, Mg, Ca, Ni, Zn, Cr
Pure Copper	O, Cu, Fe, Ca, S

Glancing Angle	: from 10°
Scanning Speed	: 1° / min
Chart Speed	: 1cm / min
Time Constant	: 0.5 sec
Counter Type	: Scintillation Counter
測定範囲	: 2θ Cu kα = 10° ~ 80°

## (2) 分析結果

Fig. 3—1 1 ~ 1 5 に X 線回折結果を示す。Table 3—1 8 には同定物質を示した。

これらの同定物のうち、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  は  $\text{Ca—SO}_4$  型の地下水から析出する鉱物として知られているものであり、金属試験体の腐食生成物ではない。溶存成分分析における水質は  $\text{Ca—SO}_4$  型であったことから、この鉱物の生成が追認される。したがって、スケール物質が  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  のみであるハステロイ C—276 および純チタンには腐食生成物は認められない。

SUS304 試験体からは  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の他に  $\alpha\text{—FeO} \cdot \text{OH}$  が同定されたが、スケール除去後の重量は埋設時の重量とほとんど同じであることから、埋設孔への補給水の滴下箇所で採取した沈澱物の主成分である Goethite が混入して、付着したものと推測される。

軟鋼では  $\alpha\text{—FeO} \cdot \text{OH}$  の他に  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\epsilon\text{—Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeS}$  が認められた。 $\text{FeS}$  については単独で認められた回折ピークが 1ヶ所のみであることと、WDX 分析で S が認められていないことから、存在の確実度が低いと判断される。その他の物質は、重量減少および表面状態の観察結果と合わせて考えると、明らかに母材の Fe の腐食生成物であるが、 $\alpha\text{—FeO} \cdot \text{OH}$  については補給水からの沈澱物も含まれていると想定される。

無酸素銅試験体からは  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  の他に  $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (塩基性硫酸銅) が同定されたが、これは銅鉱床酸化帯などで良く認められる二次鉱物である。重量減少および表面状態の観察結果と合わせて考えると、本スケール物質は明らかに母材の Cu の腐食生成物である。

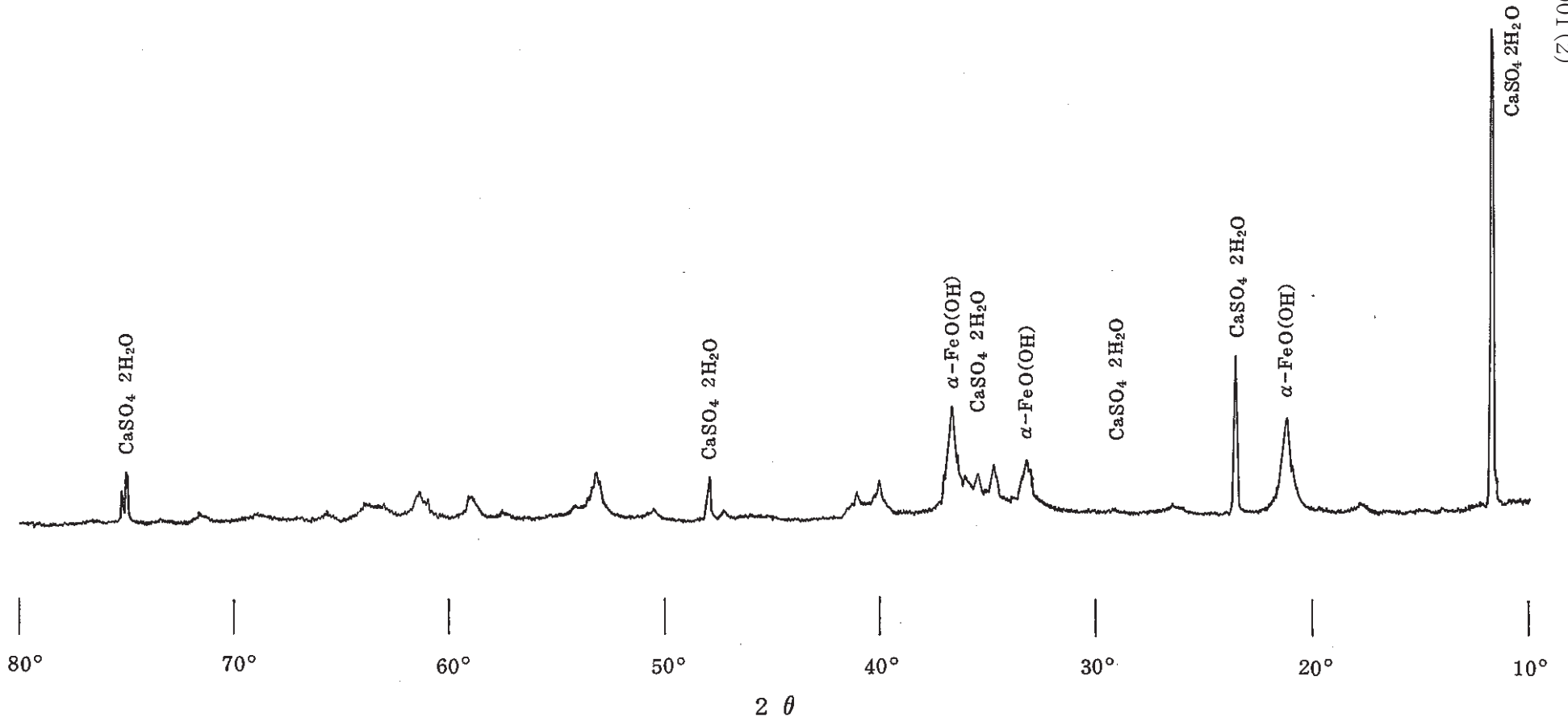


Fig. 3—11 Result of Identification of Scale on SUS 304 by X-Ray Powder Diffraction Method.  
 SUS 304 のスケールの X線粉末回折法による同定結果

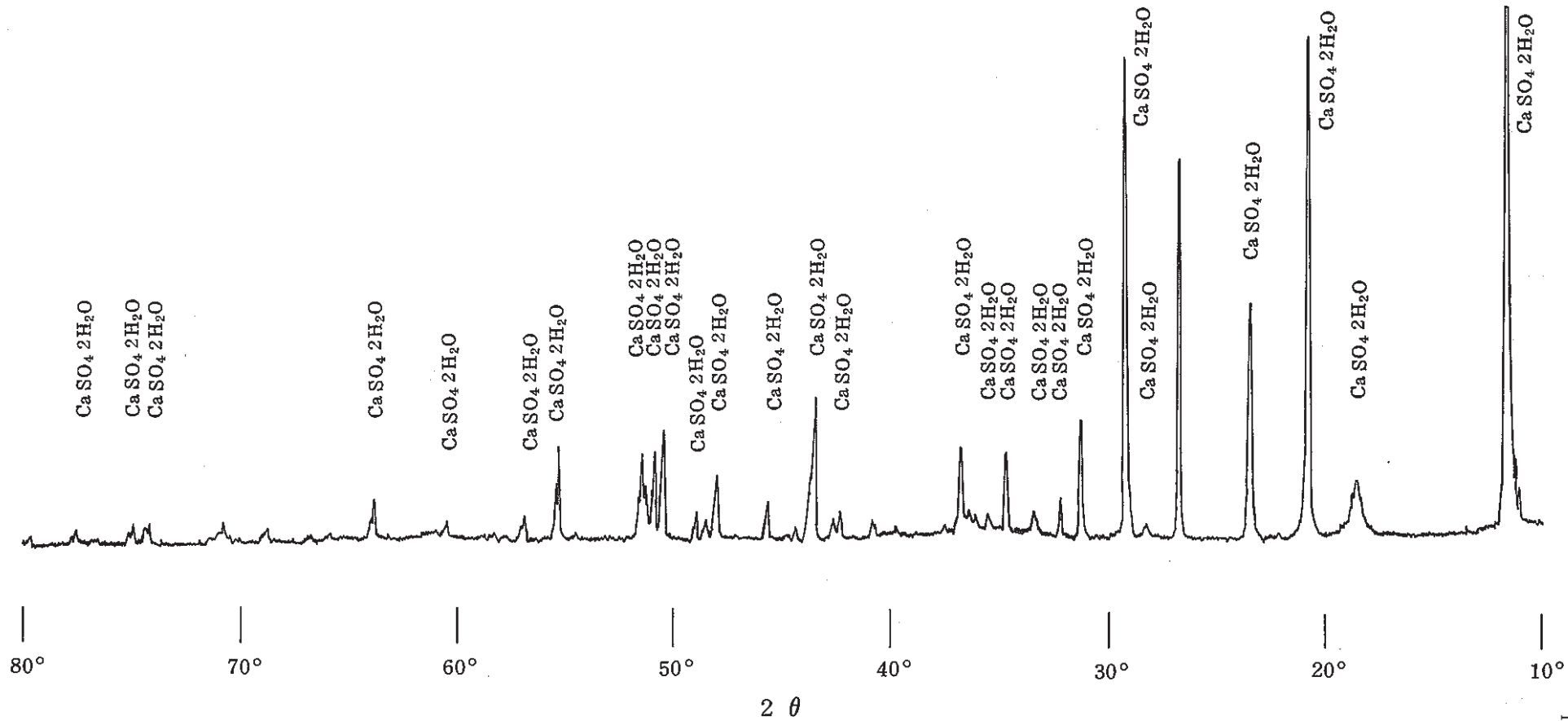


Fig. 3—12 Result of Identification of Scale on CP Titanium by X-Ray Powder Diffraction Method.

純チタンのスケールのX線粉末回折法による同定結果

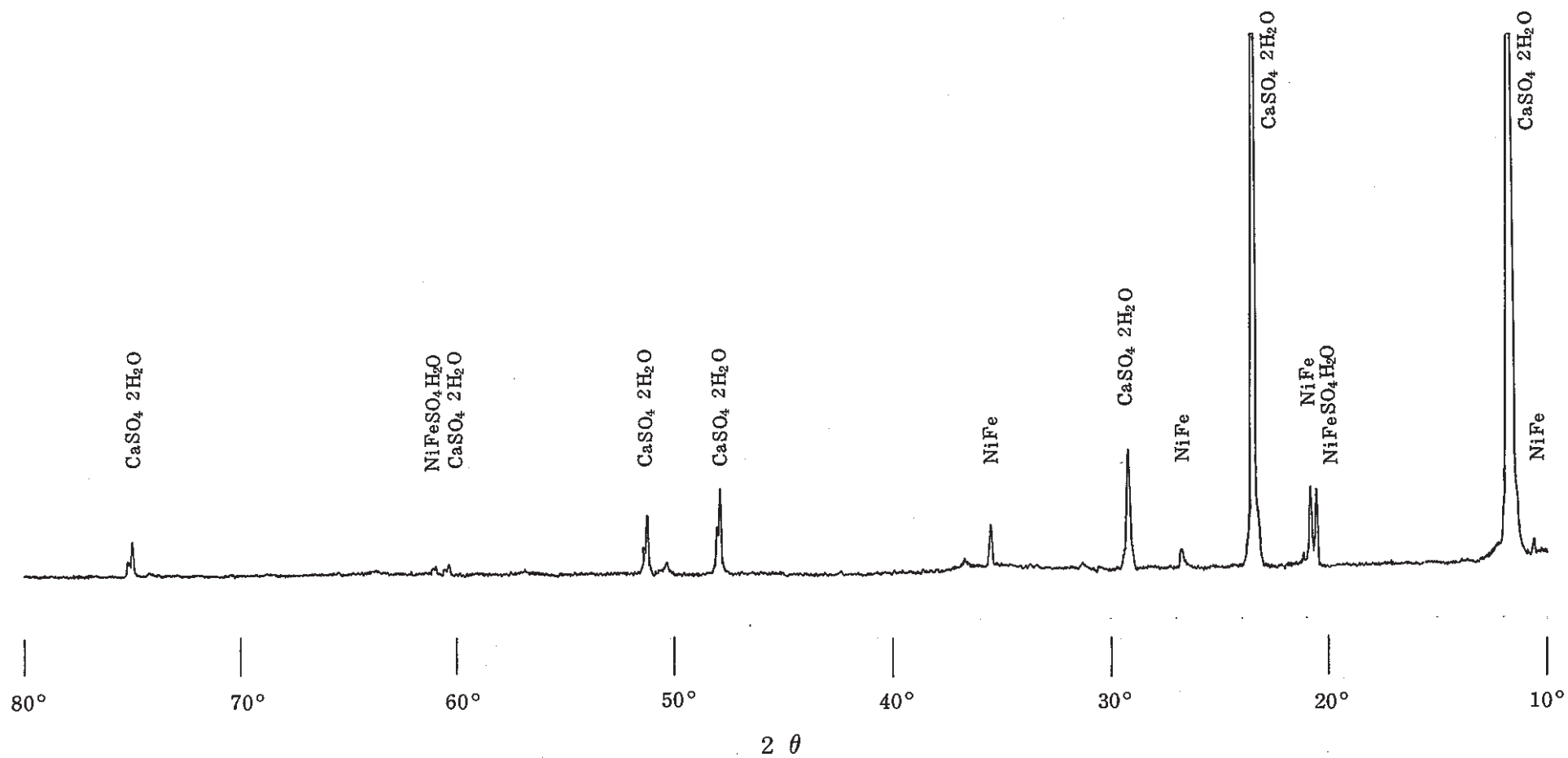


Fig. 3—13 Result of Identification of Scale on Hastelloy C-276 by X-Ray Powder Diffraction Method.

ハステロイC-276 のスケールのX線粉末回折法による同定結果



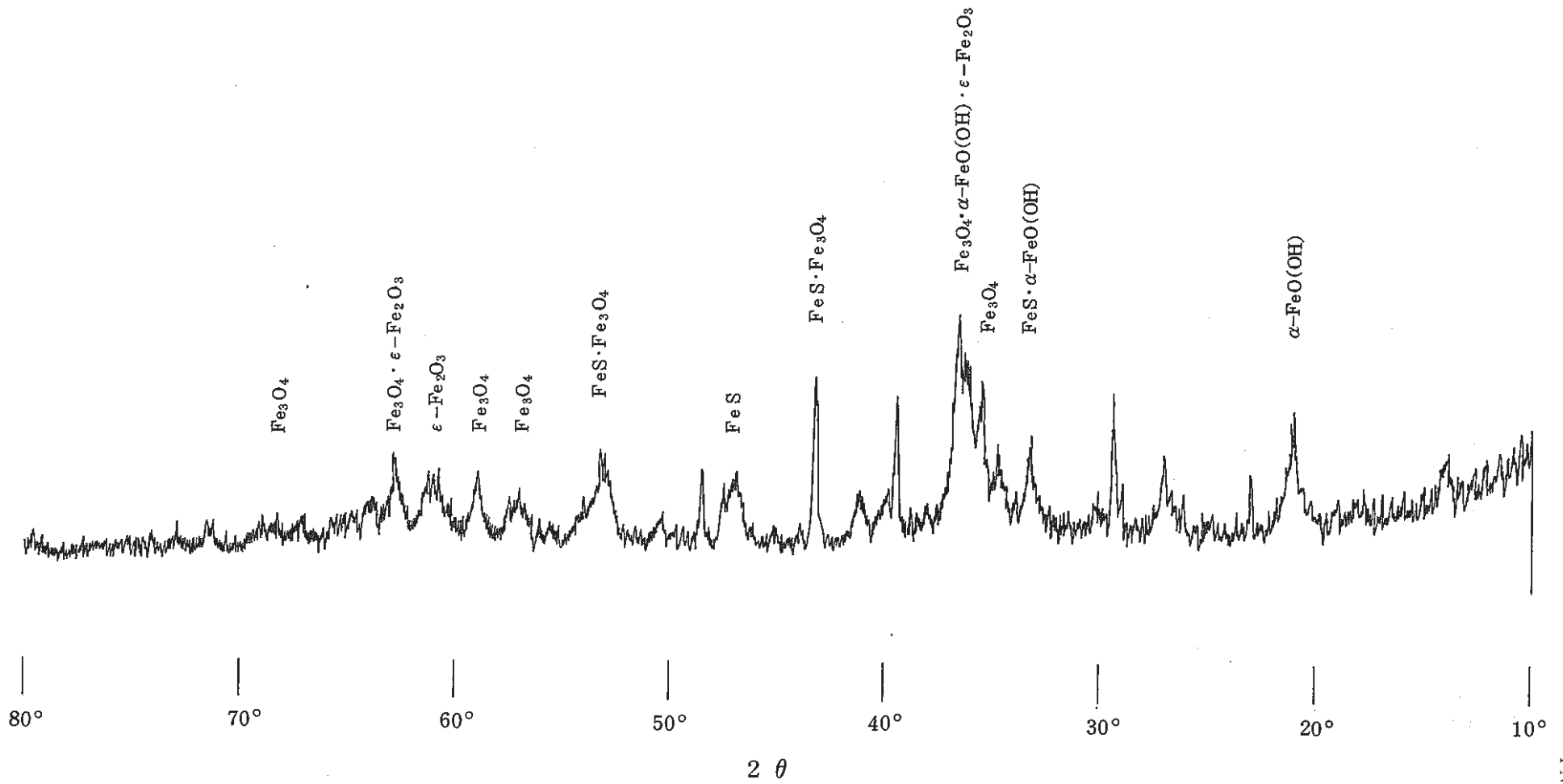


Fig. 3—14 Result of Identification of Scale on Mild Steel by X-Ray Powder Diffraction Method.

軟鋼のスケールのX線粉末回折法による同定結果

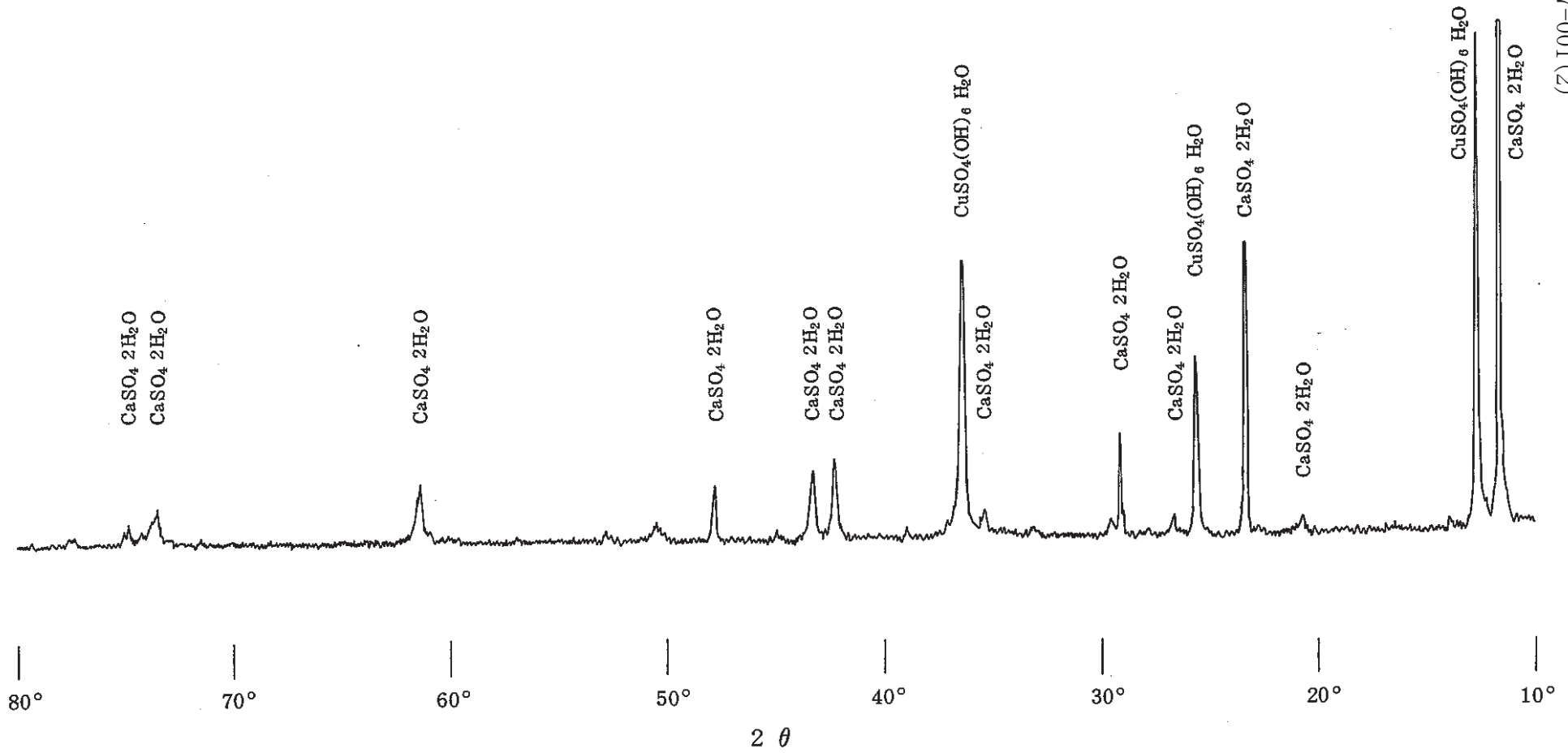


Fig. 3—15 Result of Identification of Scale on Pure Copper by X-Ray Powder Diffraction Method.  
 無酸素銅のスケールのX線粉末回折法による同定結果

Table 3—18 Identified Materials in Scales by X-Ray Powder Diffraction Analysis.

X線粉末回折分析により同定されたスケール物質

Sample	Detected Materials
SUS 304	$\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ , $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
CP Titanium	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Hastelloy C-276	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , NiFe
Mild Steel	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ , $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ , $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , FeS
Pure Copper	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6\cdot\text{H}_2\text{O}$ , $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$

### 3.4.5 腐食速度の算出

#### (1) 方法

Table 3—14に平板試験体のスケール除去前後の重量を示したが、試験体埋設時の重量からスケール除去後の重量を減じて、腐食減量を算出し、腐食速度の見積を行った。

#### (2) 結果

腐食速度を算出した結果をTable —18に示す。SUS304、ハステロイC—276および純チタンの脱スケール後の重量減少は0.2～0.8mgの範囲にあり、この値は測定精度の限界に近く、材種間の優劣の差を論じるのは意味がないのは勿論のこと、腐食速度を算出しても $<0.0001\text{ mm/y}$ である。

軟鋼の $0.03\text{ mm/y}$ は地上における中性の自然環境における平均的な腐食速度 $0.1\text{ mm/y}$ の約 $1/3$ の速度となっている。また、無酸素銅のそれは $0.001\text{ mm/y}$ のオーダーである。軟鋼、無酸素銅の腐食速度からは、本埋設環境は一般的な埋設環境から特に逸脱していないと判断される。

### 3.4.6 局部腐食の有無

#### (1) 方法

実体顕微鏡を用いて、平板試験体の局部腐食を調べた。

#### (2) 結果

結果をTable 3—20に示す。軟鋼および無酸素銅は全面腐食であり、また、SUS304、ハステロイC—276および純チタンにはほとんど腐食は認められず、孔食、すきま腐食、サビコブ、フクレなど局部腐食は全く認められない。

### 3.4.7 応力腐食割れの有無

#### (1) 方法

実体顕微鏡を用いて、ダブルUバンド試験体の応力腐食割れを調べた。

#### (2) 結果

結果をTable 3—21に示す。内外試験体のすきまにおいてすきま腐食は認められなかった。また、全体に孔食等の脱不動態状態が認められず、不動態を保っており、割れ目発生は皆無である。

Table 3-19 Corrosion Rates based on Coupon Samples.

平板試験体から求めた腐食速度

Sample	Sample No.	Corrosion		
		Weight Loss (mg)	Rate (g/m <sup>2</sup> h)	Rate (mm/y)
SUS 304 *	M-1-2	0.2	0	0
CP Titanium *	M-3-2	0.8	0	0
Hastelloy C-276 *	M-5-2	0.4	0	0
Mild Steel **	M-7-2	837.5	0.027	0.03
Pure Copper **	M-8-2	1455	0.005	0.005

Descaling: \* 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+2.5%NaCr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 30℃

\*\* 10% Ammonium Citrate 70℃

Table 3—20 Local Corrosion of Coupon Samples.

局部腐食の有無

S a m p l e	Sample No.	Presence of Local Corrosion
S U S 3 0 4	M-1-2	N o n e
CP Titanium	M-3-2	N o n e
Hastelloy C-276	M-5-2	N o n e
Pure Copper	M-8-2	N o n e

Table 3—21 Stress Corrosion of Coupon Samples.

応力腐食割れの有無

S a m p l e	Sample No.	Presence of Stress Corrosion
S U S 3 0 4	M-2-2	Outer & Inner Piece: Both None
CP Titanium	M-4-2	(ditto)
Hastelloy C-276	M-6-2	(ditto)

### 3.4.8 腐食の深さ分布の測定

軟鋼を含めた全金属材料で局部腐食が認められないことから、軟鋼試験体の腐食の深さ分布の測定は実施しなかった。

### 3.5 まとめ

ガラス固化体および金属材料の埋設試験体のうち、埋設1年後に1年埋設試験体の取り出しと1年3ヶ月後に2～4年埋設試験体の取り出しを実施した。埋設孔内の水量が減少した場合には流出水を補給した。埋設期間、一定の期間ごとに埋設孔内水の水質測定を実施した。1年埋設金属試験体については腐食減量の測定、腐食生成物の同定等を行った。以下に主要実施項目の成果と問題点、今後の課題をまとめた。

#### 埋設孔内への地下水の補給

埋設期間中、補給の要した孔と殆ど無補給の孔があった。また、前者においては一律に補給を要した孔と途中で補給を要さなくなった孔、逆に中途より補給を要した孔などが認められた。補給量の減少は主として、補給水から供給される沈殿物が孔内壁面と会合する水みちとしての割れ目や浸透に寄与する割れ目でない岩盤部分を閉塞あるいは沈着することにより生じたものと思われる。補給量の増加については原因不明である。

補給による影響、あるいは常時新鮮な地下水に接触させるためには、湧水の認められる孔内に埋設することが必要と判断される。

#### 補給水の水質

補給水は典型的なCa—SO<sub>4</sub>型を示した。天盤湧水箇所の沈殿物として $\alpha$ -FeO·OH (Goethite)と $\alpha$ -Quartzが認められた。また、金属材料のスケールの同定結果からはCaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>Oが補給水から供給された物質(すなわち沈殿物)と推定された。沈殿物の定量分析結果ではFe, Zn, Si, Al, Caが主要成分として認められている。これらを考慮すると、天盤に湧出する前の地下水は多くの成分を含み、かつ天盤への流出でFe等の酸化沈殿を生じさせたものと想定される。沈殿物が大量に生じていることから、埋設孔内補給水の水質は元々の地下水組成とは異なったものとなった。

実際の湧水の水質条件下での埋設を行うのであれば、湧出箇所に直接埋設孔を設ける必要がある。

補給に供する湧水のpHは約6、Ehは約0Vであった。pHとEhにより特徴づけられる水質環境としては漸移的な環境に位置している。Goethiteの生成、埋設孔内の水質等を考慮すると天盤に湧出する前の水質はEhがより還元側の値であった可能性がある。

#### 埋設孔内水の水質

埋設孔の温度は冬季に24℃、夏季に25℃であった。また、電気伝導度は2.9 mS/cmであった。pHについては、埋設の継続とともにその幅が増大する傾向を示した。すなわち、pHが高くなる孔と低くなる孔が認められた。一方、Ehは+0.2～0.6Vを示し、補給水よりも酸化側の値となった。pHの値が補給水のpHよりもアルカリ性と酸性の両者に変化した原因は不明である。また、その変化は補給の有無とは本質的に無関係であった。pHの変化のパターンから埋設孔内の水質は1年3ヶ月という期間では定常状態に達していなかったと想定される。この観点では、さらに長期の埋設継続が必要であったと言える。

#### 金属試験体の分析

1年埋設試験体の表面状態の観察、腐食減量の測定から、SUS304、純チタン、ハステロイC-276の試験体には腐食は認められなかった。X線粉末回折分析から軟鋼の腐食生成物として $Fe_3O_4$ 、 $\epsilon-Fe_2O_3$ 、および $\alpha-FeO \cdot OH$ が、無酸素銅の腐食生成物として $CuSO_4(OH)_2 \cdot H_2O$ が認められた。ただし、 $\alpha-FeO \cdot OH$ は補給水からの沈殿物である可能性が高い。

軟鋼の腐食速度は0.03 mm/y、無酸素銅のそれは0.005 mm/yであった。また、局部腐食および応力腐食割れは対象試験体には認められなかった。



## あ と が き

本年度は昨年度施工された試験用空洞を用いて、割れ目トレーサ試験を実施した。本試験は3年の長期にわたり継続して実施する計画であった。しかしながら、試験の実施場所である細倉鉱山は円高の急速な進行により鉱山経営の継続を断念せざるを得なくなり、それが故に試験場所および同場所へのアクセス坑道の確保が不可能となり、試験継続をも断念せざるを得なくなった。

細倉鉱山においては、昭和56年度より今年度まで継続して次に示す試験が行われてきた。主要な原位置試験項目を示すと以下の通りとなる。

昭和56年度 堆積岩に関する原位置試験

試験空洞の開削と試験空洞周辺の地質的、水理的特性の把握

昭和57年度 堆積岩に関する原位置試験(Ⅱ)

原位置透水試験、初期応力測定、原位置岩石加熱試験

昭和58年度 堆積岩に関する原位置試験(Ⅲ)

原位置透水試験、原位置核種移行試験、原位置岩石加熱試験

昭和59年度 堆積岩に関する原位置試験(Ⅳ)

原位置有効間隙率の測定、温水トレーサ試験、加熱透水試験

昭和60年度 堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ

フェーズⅡ用試験空洞の開削、岩盤挙動の調査、模擬廃棄物固化体の埋設および環境調査

昭和61年度 堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)

割れ目トレーサ試験、模擬廃棄物固化体の埋設試験と環境調査

これら以外にも、原位置試験を補佐する立場での各種の実験室試験を実施してきている。これらの研究成果は下川鉱山での輝緑岩に関する原位置試験と共に、日本における地層処分分野での原位置試験研究の草分けとして位置づけられる。その実施内容はスウェーデン・ストリバ鉱山におけるスウェーデン—アメリカ共同研究およびOECD/NEAの国際共同研究成果を参考として、かつ独自の試験概念をも打ち立てて日本の地層に適用させたものであった。

試験対象とする地層は花崗岩から堆積岩(凝灰岩あるいは凝灰角礫岩)と変わり、また

両者において力学，水理，化学特性が異なるため，試験の実施および考察においては多々困難を伴うことが多かった。

試験開始初期の本試験の目的は以下のものであった。

- ・原位置での岩盤の透水性測定方法および透水性評価方法の検討・開発
- ・原位置での核種移行に関する要因の測定方法および評価方法の検討・開発
- ・原位置での岩盤の熱負荷に伴う現象の測定方法および評価方法の検討・開発
- ・原位置試験と実験室における岩石サンプルによる試験の相互関連性，代替性，補完性の検討開発

これらに示されるように，本試験は特定の地層を対象とした試験とは位置づけておらず，あくまでも他の箇所での同様の試験にも適用可能な試験手法の確立を主目的としていた。本試験を開始した時の諸情勢を勘案すると，この種の特定のサイトを意識しない目的で原位置試験を実施したのは当然の帰結であった。しかしながら，花崗岩，堆積岩，グリーンタフ（あるいは凝灰岩）等特定の岩石を天然バリアとして評価すべき段階にある現在としては，細倉における原位置試験研究はグリーンタフ（あるいは凝灰岩）の適性調査研究としてその位置づけが従来にも増して重要と思われる。これは，これまで細倉鉱山における原位置試験の実施においてPA上大きな問題が発生しなかったことから倍加される。

今後は地表からの試錐孔を用いた調査等により，グリーンタフ（あるいは凝灰岩）の天然バリアとしての適性研究を進めていくことが当面求められている。PA上，処分研究箇所を確保し難い現状において，細倉鉱山が今後とも処分研究地として有効活用されることを念じる次第である。