

堆積岩に関する原位置試験 フェーズⅡ(2)

報 告 書

概 要

(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-SO₄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Fe₃O₄、ε-Fe₂O₃、α-FeO・OHとCu₄SO₄(OH)₆・H₂O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-SO₄ 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, Fe₃O₄, ε-Fe₂O₃, α-FeO · OH, and Cu₄SO₄(OH)₆ · H₂O 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.

1. 割れ目トレーサ試験

試験対象割れ目として、Fig. —1 に示すB空洞からC空洞に至る走向N15°E傾斜70°～80°Wの断層（帯）を選定した。全体の幅は約1mであるが、膨縮を示しており、断層粘土を伴うのが特徴である。コア観察の結果、F—1～3と呼称する三つの割れ目に分けられることがわかった。

本試験の概念をFig. —2 に示す。本試験の手順としてはまず、試験概念に基づいて注水孔を掘削し、注水試験により適切な透水性がB空洞天盤で得られたことを確認した後に、トレーサ注入孔を掘削した。注水孔に加圧注水し、トレーサ注入孔のどの深度に適切な透水があるかを孔壁観察により確認して、トレーサ注入箇所を決定した。その後、採水孔箇所をB空洞天盤の湧水箇所とトレーサ注入箇所の位置から決定し、採水孔を掘削した。全試験孔を掘削後、試験機器を据え付け、トレーサ試験を開始した。35日間試験を継続し、流出液量の測定と流出液の水質測定および溶存成分分析を行った。

(1) 透水試験

当初、B空洞天盤面との距離が約6mとなる距離に注水孔を掘削したが、透水は認められず、次にその半分の距離となる注水孔を再掘削したが同様の透水性であった。この時の透水係数はそれぞれ 8×10^{-10} cm/s および 6×10^{-10} cm/s であった。さらに、約1.5mの距離となる傾斜の孔を掘削した。最大注水圧20 kg/cm²で263 hの継続注入を行ったものの、B空洞天盤には注入水の流出は認められず、この時の透水係数は 1.9×10^{-9} cm/s であった。透水係数は1桁上昇したものの、流出が認められないため、さらに追加してW—4～8孔の注水孔を掘削した。

全孔掘削後、シングルパッカ法によりW—3～8孔を対象とした注水試験を行った。25 kg/cm²の加圧注水開始後24 h経過時にB空洞天盤のF—1割れ目の断層粘土が注入水によって湿潤状態を呈した。W—3～8孔のレイアウトは孔の傾斜および間隔ともトレーサ試験が可能な限度に近接した配置であり、最終的に注水孔をW—3～8孔とした。

(2) 孔壁観察による注入箇所の選定

透水試験後トレーサ注入孔を掘削した。次に、トレーサ注入区間を決定するため孔壁観察を行った。孔壁観察は注水孔への加圧注水が行われていない時点と11, 15, 20 kg/cm²での加圧注水時に実施した。

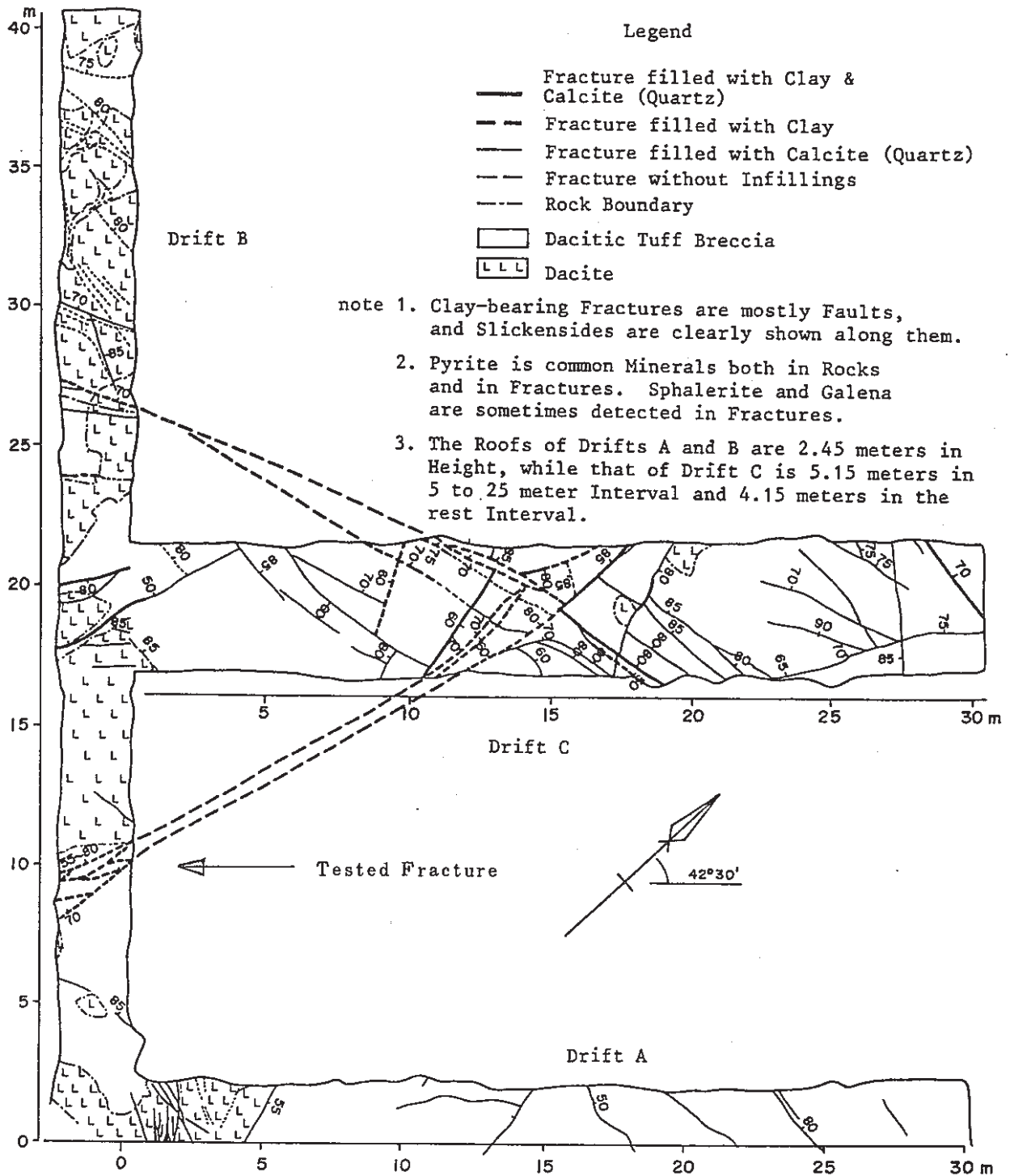


Fig.—1 Fracture Distribution Pattern around Drifts A, B, and C, and Location of the Tested Fracture.
 A, B, C 空洞周辺の割れ目の分布パターンおよび試験対象割れ目の位置

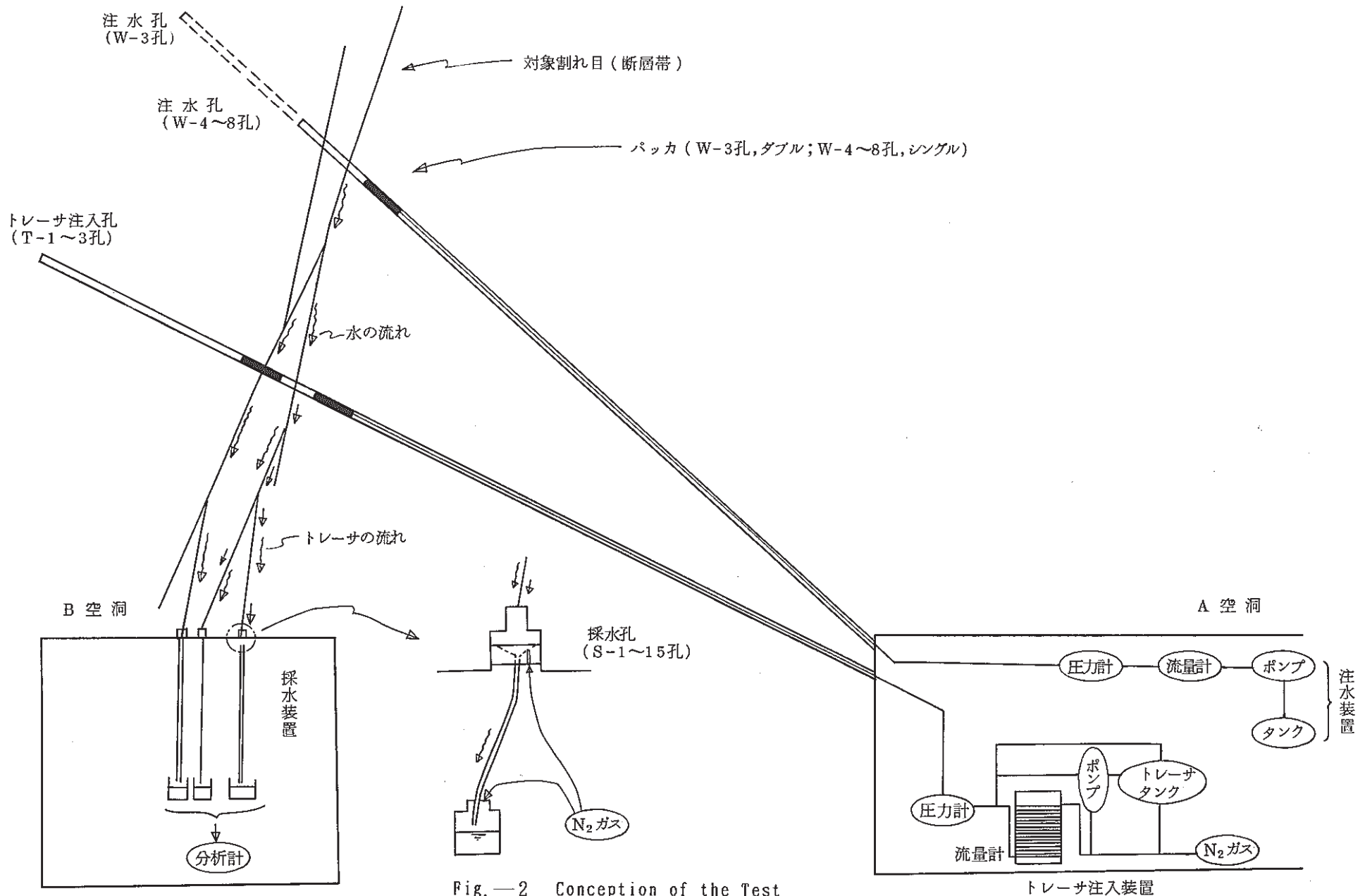


Fig. — 2 Conception of the Test.
試験の概念

流出が一番多く認められたのはT—1孔であり、20 kg/cm²加圧時には8.85 m上部と8.86 m下部で微小穴からの水の湧出が観察された。これらの箇所はF—1割れ目の中心に位置する黄鉄鉱微細脈の上盤に位置している。また、20 kg/cm²加圧時にはF—1割れ目の分布深度のほぼ全孔壁面に濡れが認められた。T—2・3孔では顕著な孔壁面の濡れは認められなかった。

トレーサ注入用ダブルパッカの注入区間が32 cmであることを考慮し、流出状況から最大の浸出が認められたT—1孔の8.60～8.92 m間（F—1割れ目）を注入区間とした。また、同時に流出は認められないものの、F—2・3割れ目も対象とすることとし、T—2孔ではF—3割れ目を対象として深度8.35～8.67 m区間を、T—3孔ではF—2割れ目を対象として9.24～9.56 m区間を注入区間とした。ただし、後二者で用いるトレーサはT—1孔とは異なるトレーサを用いることとした。Fig.—3に注水孔とトレーサ注入孔および注入箇所との関係を示した模式断面を示した。

(3) 採水孔の掘削

トレーサ注入箇所選定の後、B空洞天盤への湧水状況と同天盤での割れ目の分布状況および天盤支保の施工位置からFig.—4に示す位置に採水孔を掘削した。採水孔深度は径76 mmで20 cm、その奥部に径37.5 mmの孔を付加した。F—1～3割れ目の岩盤の状態が堅硬でないので各掘削位置とも各割れ目の下盤に設け、37.5 mmの孔で割れ目に会合させた。しかしながら、トレーサ注入孔には少なくとも30 cmの距離を設けることとした。76 mmの径の部分は採水用メカニカルパッカの設置箇所である。Fig.—5に最終的な注水孔、トレーサ注入孔および採水孔の配置を示す。

(4) 試験装置

試験装置は注水装置、トレーサ注入装置、採水・分析装置よりなるが、トレーサ注入用微量流量計および採水用メカニカルパッカは本試験用に設計製作した。これらの装置を、Fig.—6に示すように試験場に配置した。

(5) トレーサ試験

用いたトレーサおよびその原液濃度は次の通りである。

<u>対象孔</u>	<u>対象割れ目</u>	<u>トレーサ</u>	<u>原液濃度</u>
T—1	F—1	I	96 mg / ℓ
T—2	F—3	Br	106 "

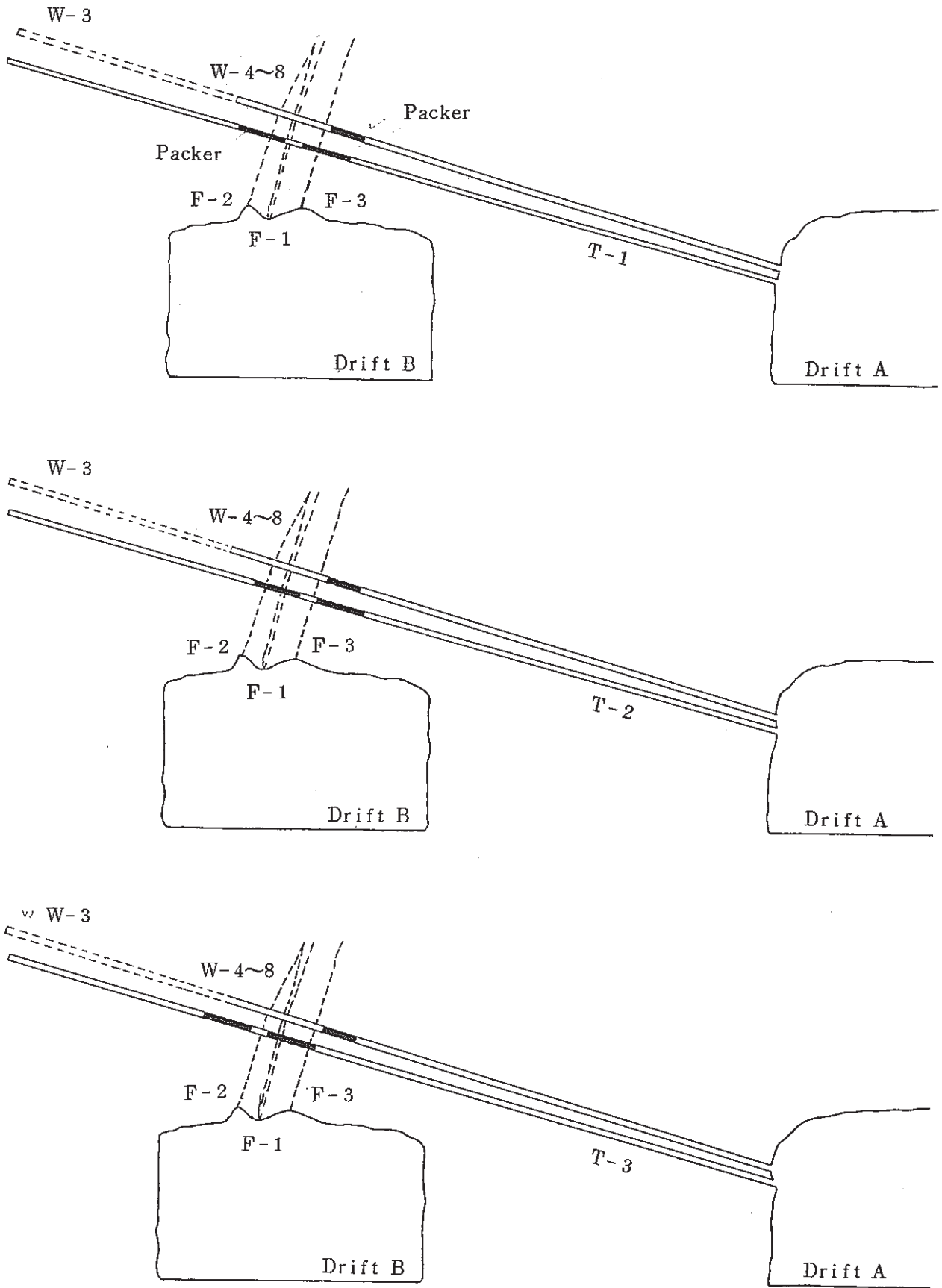
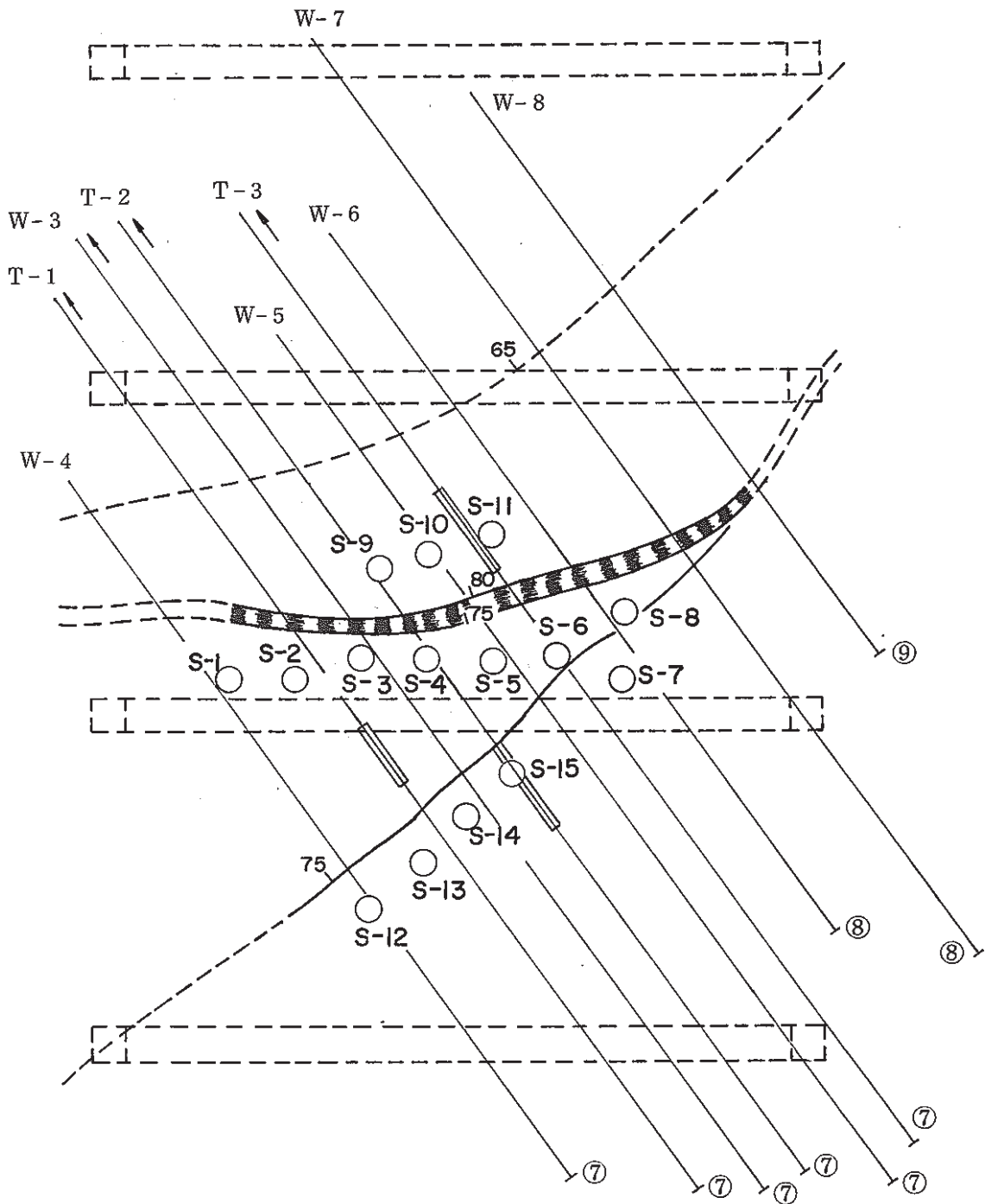


Fig. —3 Cross Sections of Tracer Injection Holes and Water Injection Holes.
 トレーサ注入孔および注水孔沿いの断面図



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

Fig. —4 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

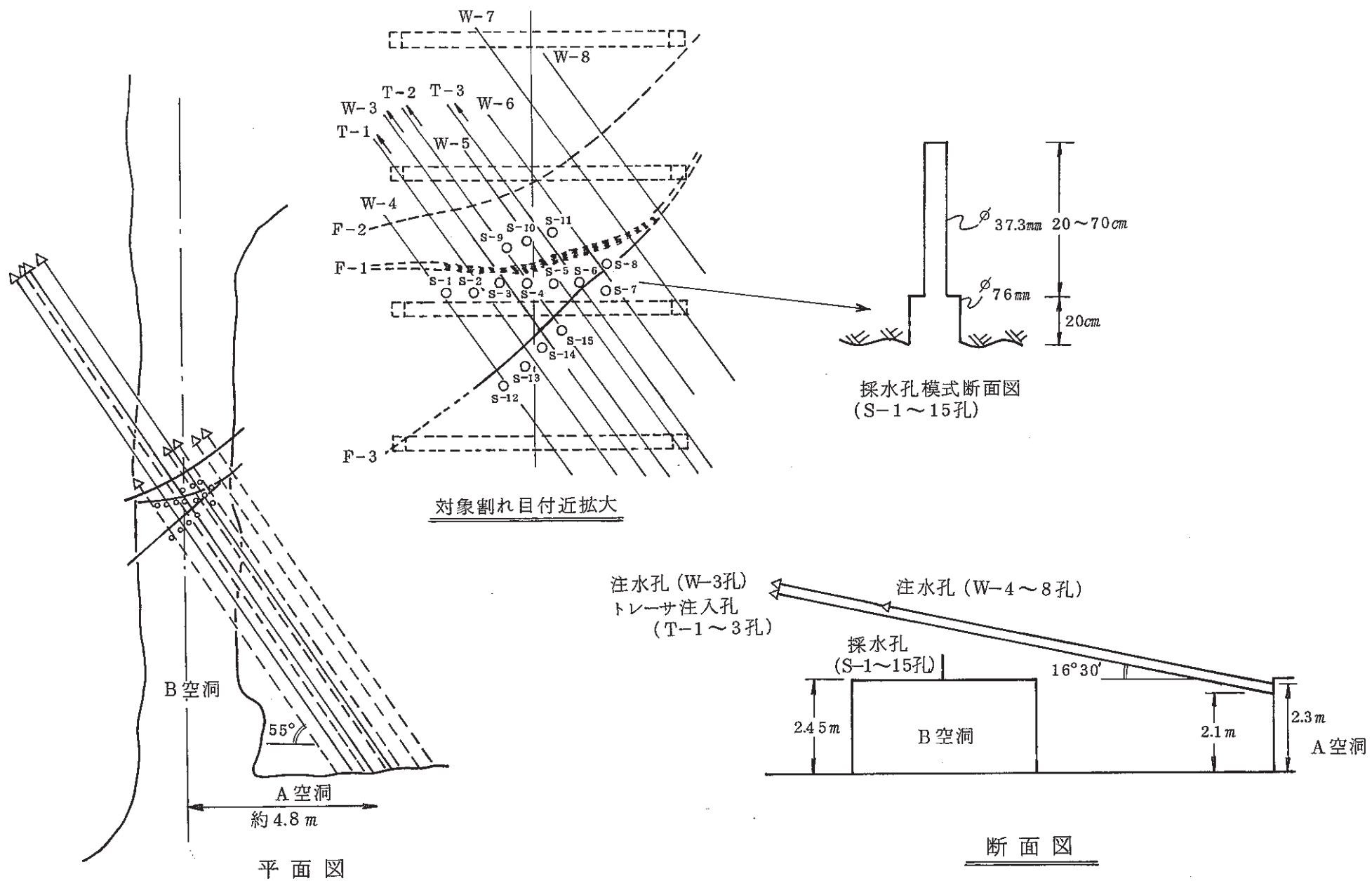


Fig. — 5 Layout of Boreholes for the Test.
注水孔, 注入孔, 採水孔の配置

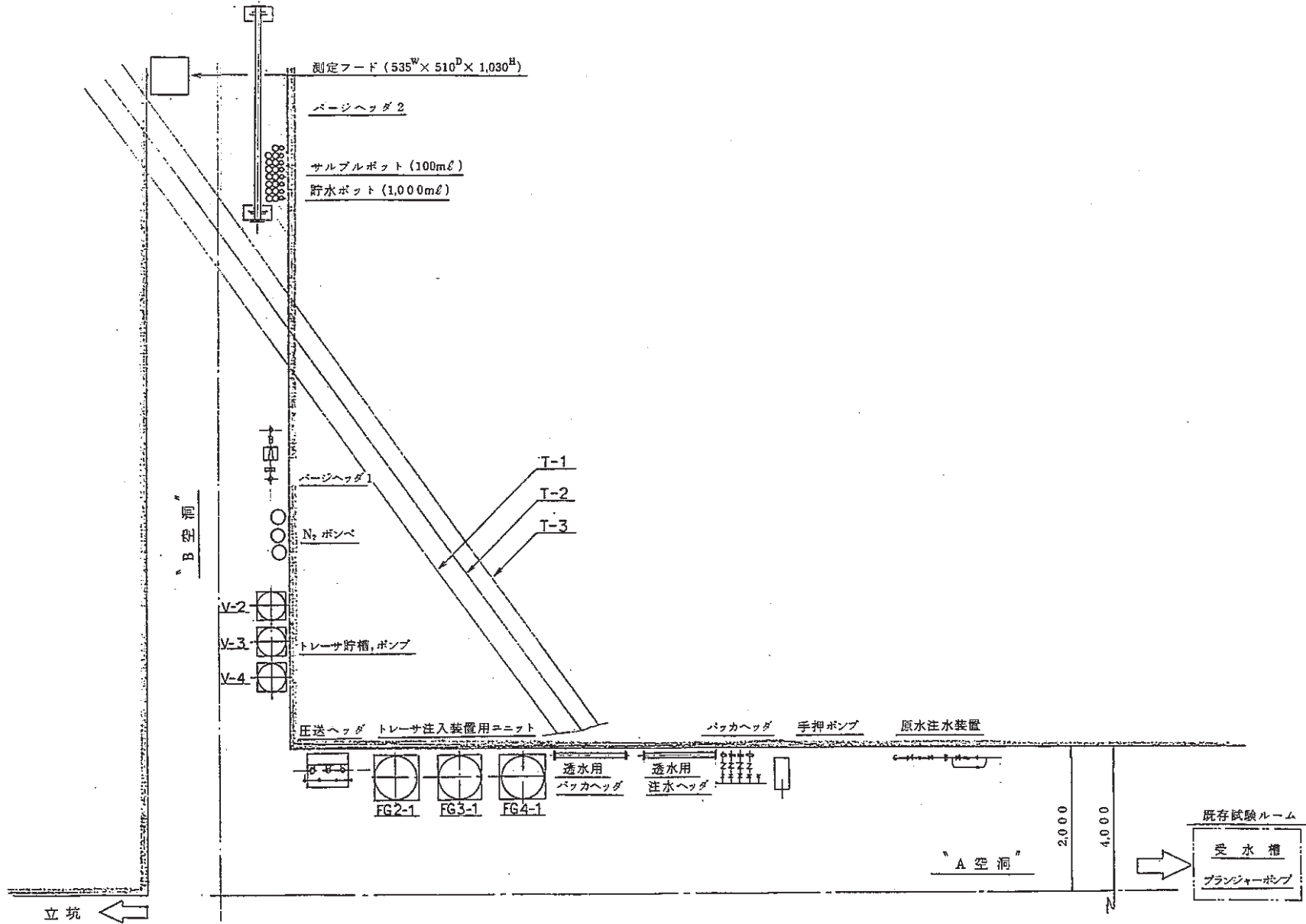


Fig. —6 Layout of Installed Apparatus.
試験装置配置図

T-3 F-2 Br 103 mg/ℓ

流出液量は1回/1日測定し、300ml以上溜まった時点で300mlの量に対して溶存酸素濃度分析を行った。300mlのうちの50mlは引き続き、pH、Ehおよびトレーサ濃度の順での測定に用いた。また、別の50mlはポリ容器に保存しておき、一定時間経過後同じ3項目を測定して、ポリ容器内での保存によるそれら項目に与える影響を把握した。

注入圧の経時変化

注水圧は試験開始直後は20 kg/cm²であったが、順次低下させ、10日目から5 kg/cm²で一定とした。22日目と29日目に共に約1 kg/cm²上昇させて、流出量に及ぼす注水圧の変化を測定した。トレーサ注入圧のうち、T-3孔へのものは約5.5 kg/cm²とほぼ一定であった。本注入箇所は試験期間を通じて、注水孔と透水性の点で連絡していないことがわかった。T-1孔へのトレーサ注入圧は3~4.5 kg/cm²の間で変動したが、T-2孔へは約5 kg/cm²から約2.5 kg/cm²へ順次漸減した。

注水量の経時変化

Fig. —7に注水量の経時変化を示した。加圧試験時の総注入量は約80ℓである。平均注入圧5.0, 6.1, 7.2 kg/cm²の時の平均注入量はそれぞれ0.7, 1.7, 4.9 ℓ/dayであった。

トレーサ注入量

T-1~3孔への累積注入量はそれぞれ32.4, 18.0, 5.9 ℓである。

流出量の経時変化

Fig. —8に流出量の経時変化を示す。流出の認められた孔はS-1・3・5・8・15孔である。このうちS-1・3・15孔は試験開始後8~19日で流出が止まったものの、S-5・8孔への流出は試験期間を通じて認められた。ただし、S-1孔への流出は試験終了直前に再度認められている。流出量の日変化がかなり認められることから、流出は必ずしも注入圧に比例しているものではなく、岩盤内経路が時間の経過とともに変化したり、膨縮したりすることによるものであると推測される。また、特定の採水孔のみ流出が認められたことは割れ目内の水みちが特定の部分に限定されていること（チャンネルリング等）を示すものと判断される。

流出液のトレーサ濃度変化

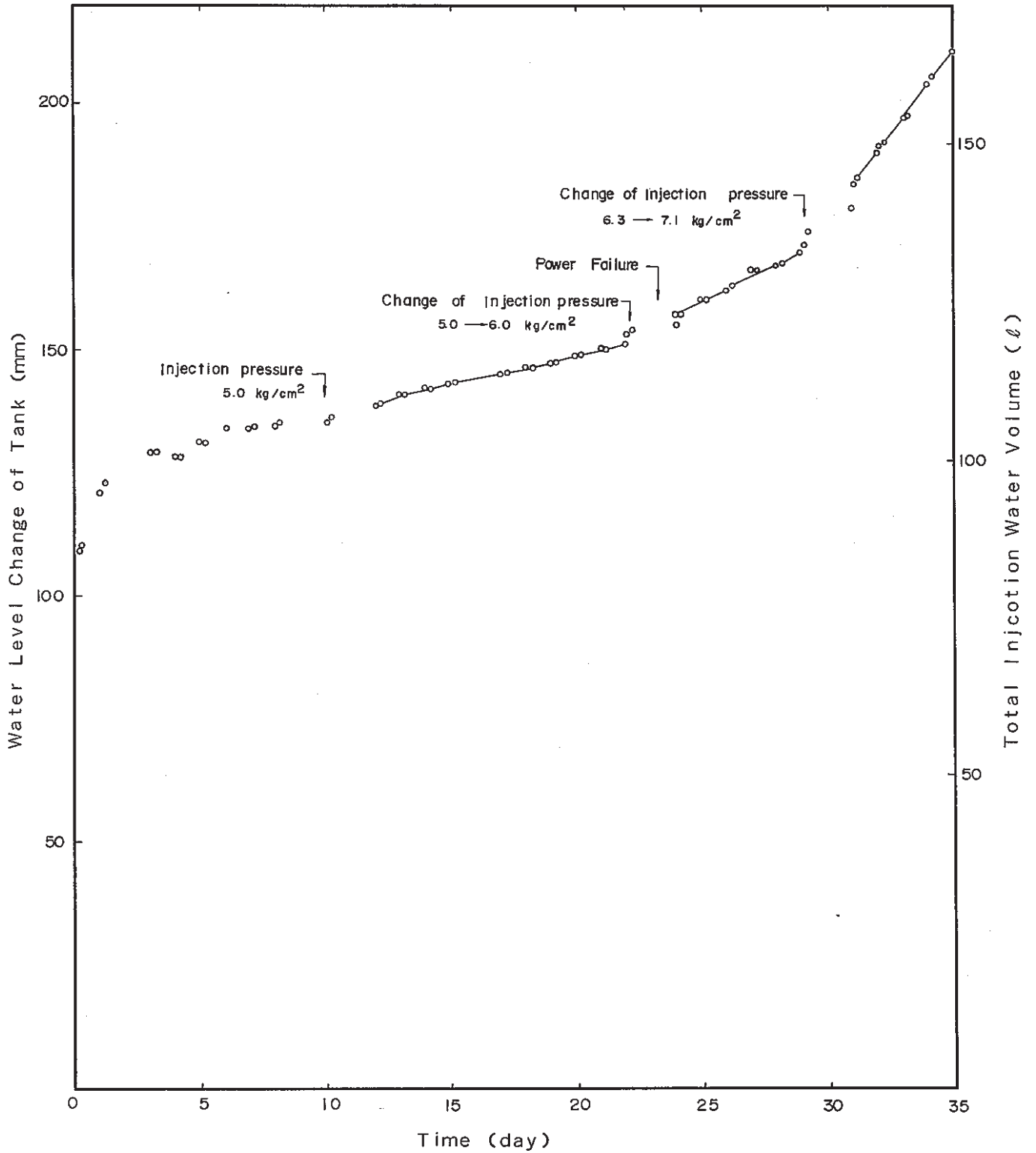


Fig.—7 Cumulative Injection Water Volume as a Function of Time.
 累積注水量の経時変化

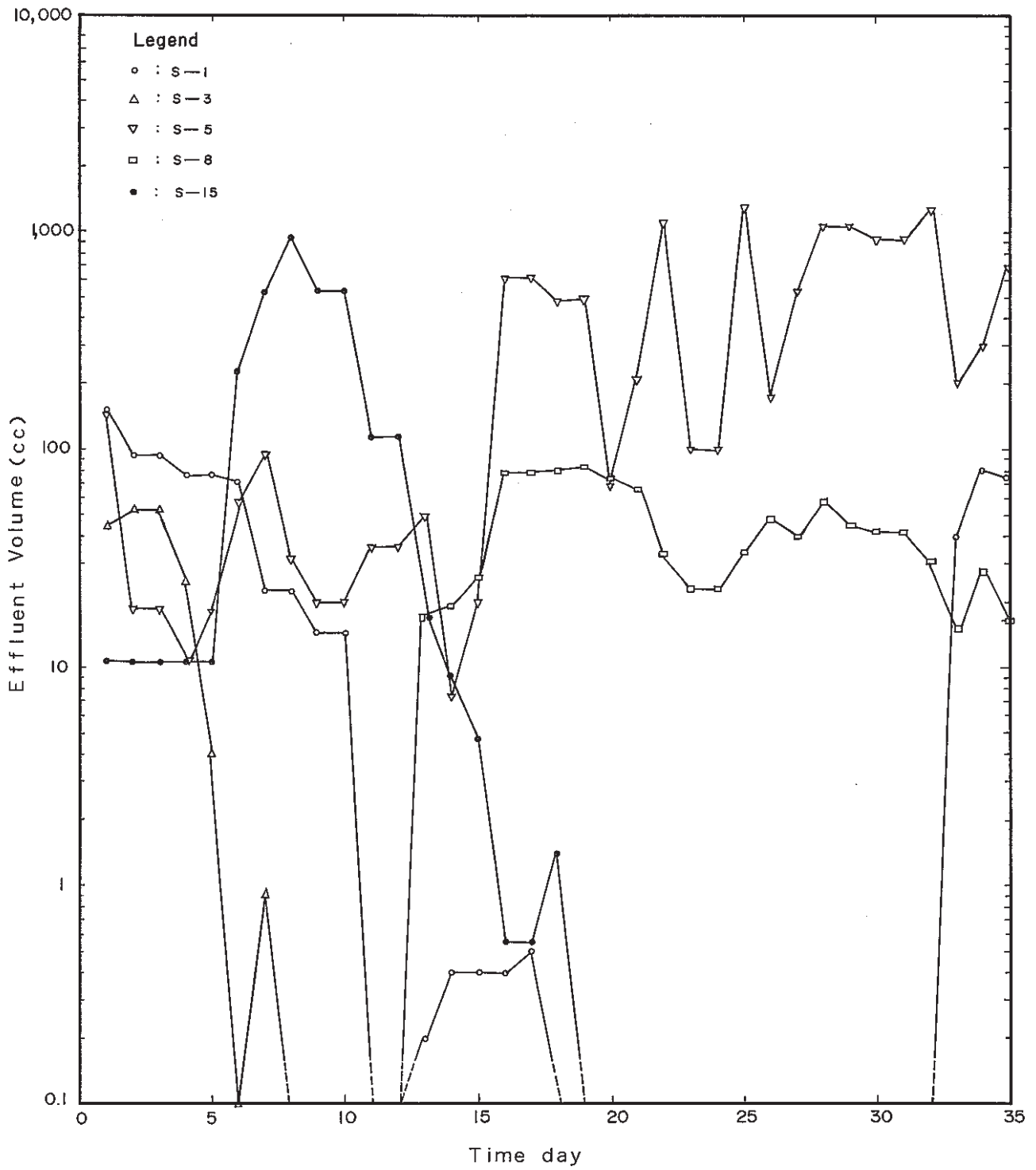


Fig.—8 Effluent Volume as a Function of Time.
流出液の経時変化

流出液中のトレーサ濃度変化をFig.—9に示す。これらは全て沃素である。臭素は沃素が存在するとイオンメータでは測定不可能であるので、これら流出液中の臭素濃度は不明である。ただし、溶存成分分析においては30～70 mg/lの臭素濃度が認められた。沃素濃度が試験開始後18～27日間では原液濃度に近い値であったことから、流出液の多くはトレーサ注入液であったと想定される。29日目以降の濃度の低減は注水圧の増大によるものと想定される。

流出液のpH・Ehの変化

流出液のpHは試験期間を通じてほぼ8.5であった。ただし、一部pH5と低い値が得られたがその原因は不明である。流出液のEhは試験期間中ほぼ+0.4Vであった。

流出液の溶存酸素濃度

Fig.—10に流出液の溶存酸素濃度の経時変化を示す。トレーサタンク内を窒素ガスで常時パージしたこともあり、初期の流出液は30%の溶存酸素濃度を示したが、試験終了時には数%に減少した。オーバーフローは約10%溶存酸素濃度が高かった。

トレーサタンク内トレーサ水および受水槽、試験用水道水、注水孔内水のトレーサ濃度、pH、Ehおよび溶存酸素濃度

トレーサ濃度は試験開始後13日目まではほぼ変化ないが、18日目で測定値は減少しており、それ以後は逆に上昇した。これは測定誤差によるものと思われる。pHは受水槽内水は約7.3、トレーサタンク内水は約7.1であった。したがって、岩盤内の試験水の移行によってpHが約1.2～1.4上昇したことになる。Ehは試験10日目から約+0.45Vに維持された。岩盤内の移行により0.05Vほど還元側に変化したことになる。溶存酸素濃度は窒素ガスのパージにより原液の約40%から試験終了時には約10%に減少した。

一定時間放置試料のトレーサ濃度、pH、Ehの変化

試験開始後5日～31日目に流出した17試料をポリ容器内に保管して最大28日間放置後、トレーサ濃度、pH、Ehを測定した。その結果、一部試料を除いて放置試料のトレーサ濃度は増大し、pHは低下し、Ehは増大するのが認められた。

流出水および試験用原水（トレーサタンクおよび受水槽内水等）のpH、Ehおよび溶存酸素濃度の相関

流出水および試験用原水（トレーサタンクおよび受水槽内水等）のpH—Eh相関図からは、これらの試験水は大気と接触している環境～漸移的な環境の境界部付近に位置する

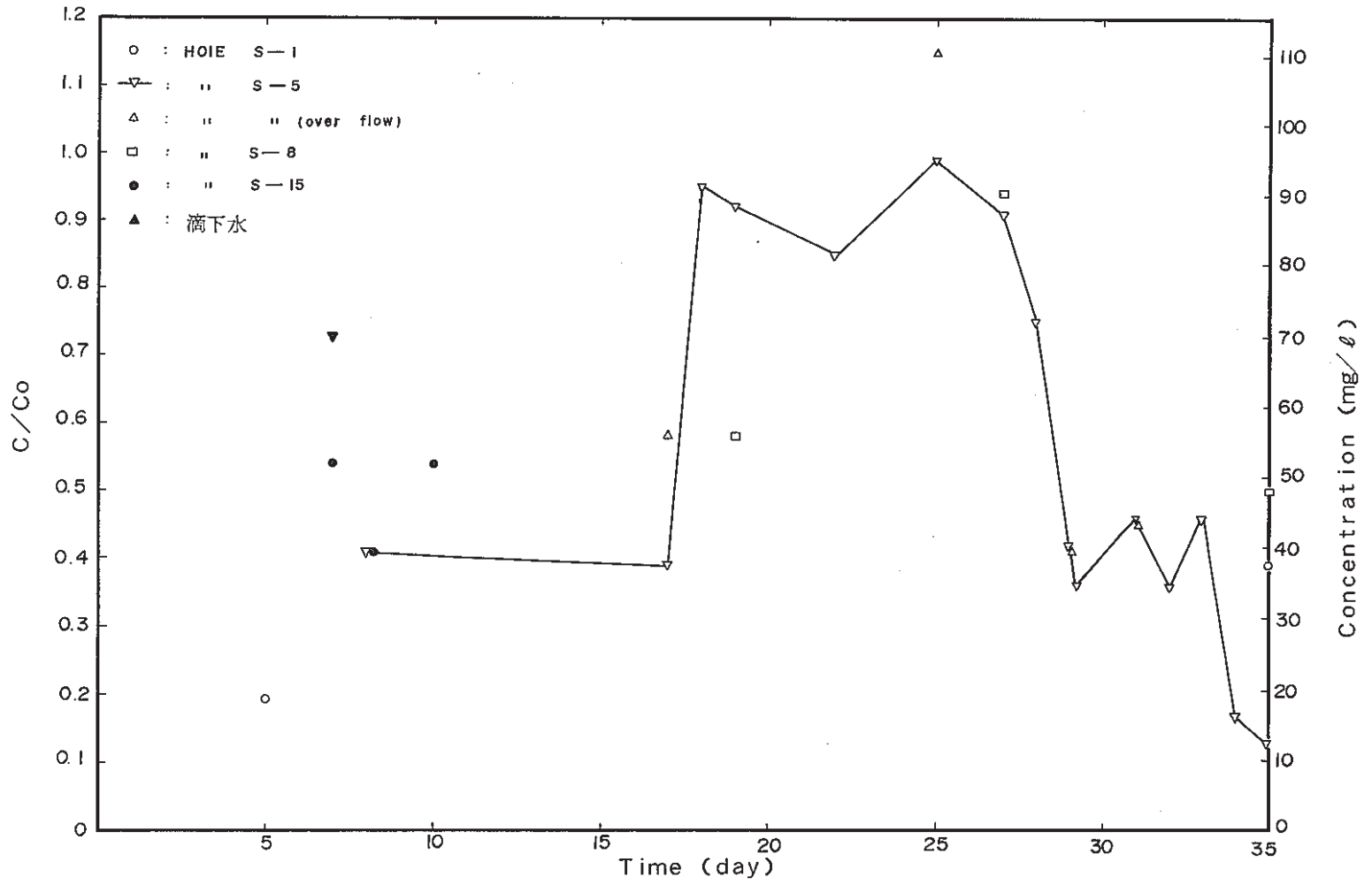


Fig. —9 Relative Concentration of Tracer (Iodine) in Effluent as a Function of Time.
流出液のトレーサ相対濃度の経時変化

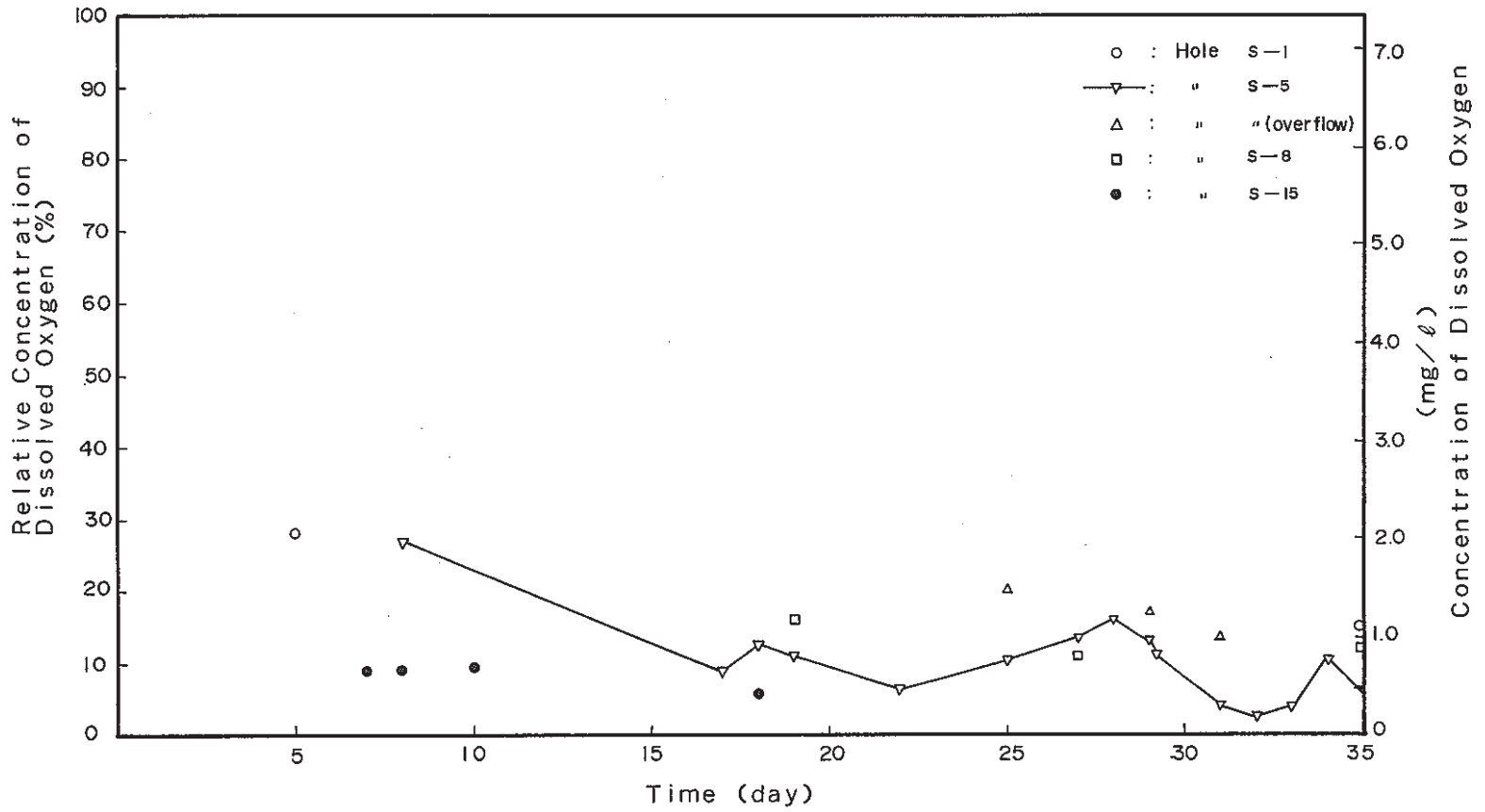


Fig.—10 Concentration of Dissolved Oxygen in Effluent at Room Temperature 32°C as a Function of Time.

室温32°Cにおける流出液の溶存酸素濃度の経時変化

水質を示していることがわかった。

気体との接触条件の相違による水質の変化

T—3孔用トレーサ水を用いて、酸素ガス、窒素ガスの吹き込みを一定時間行ったあと、pH、Ehおよび溶存酸素濃度を測定した。放置試料では1時間経過で溶存酸素濃度の増大が認められた。

流出液の溶存成分分析結果

受水槽内の注入水は主要成分濃度は低いのに対して、流出水、孔内水とも岩石と接触した水はNa—HCO₃型の水質を示した。ただし、S—1およびS—15孔流出水を含む試料はNa—SO₄型の水質を示した。59年度実施した透水試験で測定した流出水はSO₄に富んでおり、本岩石内の水質は後者に近似したものであると考えられる。

2. 模擬廃棄物固化体の埋設と環境調査

原位置試験場に至る際に利用する感天立坑の下8番坑坑道の側壁にてガラス固化体および金属材料を昨年度埋設した。今年度は埋設箇所の環境調査（水質測定）と1年埋設試験体の取り出しおよび金属材料の分析を実施した。

(1) 環境調査

埋設孔内地下水補給結果

埋設孔内水の一部は常時減水を示したので、試験体が露出しないよう天盤湧水の補給を実施した。累積補給量の経時変化をFig. —11に示す。

補給水の量から、各埋設孔はほぼ無補給（1年3ヶ月で数100ml以下）の孔（G—1・4, M—2・5）、少量補給（同期間で1～2ℓ）の孔（M—3・4）および多量補給（同期間で6～24ℓ）の孔（G—2・3, M—1・6～8）に分けられた。

補給量の変化の観点からは、G—1・2・4, M—2・5・6・8の7孔は埋設期間を通じて変化がなかったが、G—3, M—1・3・4・7の5孔は補給量が皆無となったり、逆に補給を要するようになるなどの変化を示した。補給量が減少したのは水酸化鉄等の沈澱物により漏水する割れ目の水みちが閉塞したためか、孔壁面を被覆したためと想定されるが、補給量が増大した理由は不明である。

溶存成分分析

1年埋設試験体取り出し時（昭和61年12月11日）および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採取し、溶存成分分析を行った。分析結果をTable —1に示す。

同表から Fe^{2+} , HCO_3^- の含有量に大きな変動が認められるが、他の溶存成分には採取時期の相違による大きな変動は認められない。地下水湧水箇所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を加味して考慮する必要がある。しかしながら、埋設孔内の埋設試験体を浸した地下水の組成は上記組成値である。

主要イオンの当量を求め、図示したヘキサダイアグラム・キーダイアグラムから $Ca-SO_4$ 型の水質であることがわかった。

沈澱物の分析

X線粉末回折法による同定では結晶性鉱物としてGoethite ($\alpha-FeO \cdot OH$) および $\alpha-Qua$

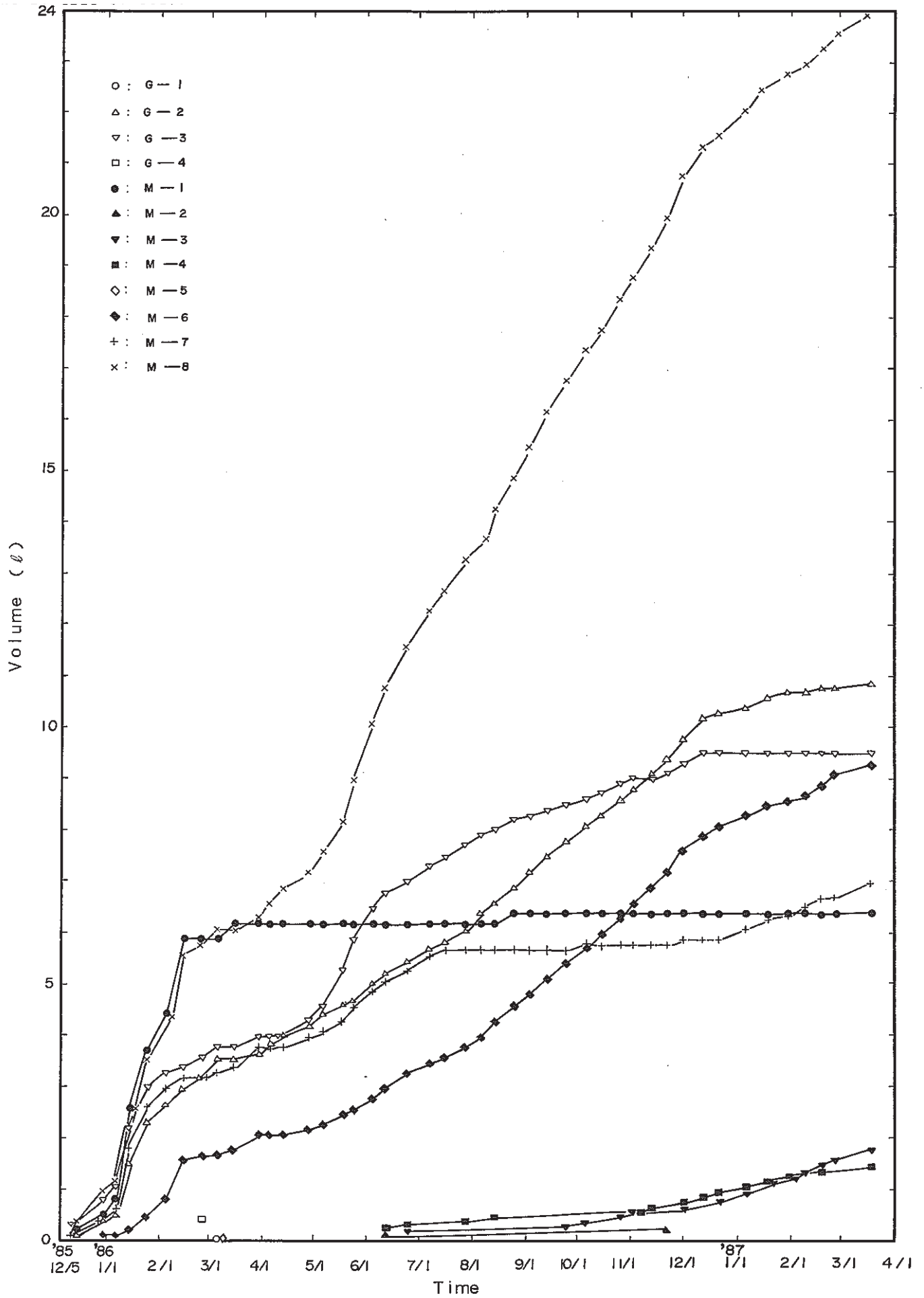


Fig.—11 Cumulative Change of Supply Water Volume.
補給水量の累積変化

Table —1 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 ²⁺ "	<0.1	85	<0.1	6.5	23	total
Fe ³⁺ "	131	28	273	178	153	0.24
Cu "	<0.01	<0.01	—	—	<0.01	—
Al "	6.4	17.2	8.8	5.1	9.4	—
Cl ⁻ "	8.5	9.4	8.8	10.8	9.4	5.8
SO ₄ ²⁻ "	2,220	2,150	2,200	2,200	2,200	10.6
SiO ₂ "	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 ₂ "	41	26	—	—	34	—
HCO ₃ ⁻ "	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 °C	—	—	3.20*7	24.0*7	23.9	—
pH	—	—	23.8*7	6.29*7	6.05	—
RpH	—	—	6.42*7	5.75*7	6.30	—
Eh (25°C) mV	—	—	6.59*7	5.99*7	—	—
	—	—	6.64*7	+040 *7	+015	—
	—	—	-006 *7*8			
	—	—	-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

rtz が認められた。発光分光分析による半定量分析では主成分として Fe, Si および Zn が、またそれに次ぐ含有量を示す成分として Al が認められた。これら成分と Ca を対象として定量分析を実施した。分析結果を Table —2 に示す。

Table —2 Analytical Values of Major Elements.

沈澱物の定量分析結果

Elements	Al	Ca	Fe	Si	Zn
Ratio (% in wt.)	1.13	0.59	48.59	1.89	2.15

水質測定

埋設孔内環境測定時に埋設孔内水の pH, Eh, 温度, 電気伝導度を測定した。Fig. —12 に pH の経時変化を示した。補給水の pH はほぼ 6 と酸性の値を示した。割れ目トレーサ試験での流出液の pH と比較すると、約 2.5 低く、両者の水質は本質的に異なることがわかった。

全孔内水の pH については、試験開始時には pH は 5.1 ~ 6.8 の間に分布したのに対して、14ヶ月後には 3.8 ~ 7.6 と値の幅が拡大している。補給水の化学的性質はほぼ試験期間を通じて変化がないと思われるので、埋設孔内の岩質あるいは埋設試験体の特性の相違によるものと想定されるが詳細は不明である。

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 が漸増しているのに対して、他の孔の pH は複雑な増減を示している。ほぼ無補給の孔は G—1・4, M—2・5 であり、pH の変化は補給の有無とは必ずしも因果関係はないと想定される。

Fig. —13 に Eh の経時変化を示した。補給水の Eh はほぼ +0.2 V であるが、補給前は +0.25 V, 補給後は +0.18 V であり、pH と同様補給開始後と終了時で変化している。孔内水の pH は補給水の上下に分布したが、Eh は補給水よりも酸化側に変化している。補給水とほぼ同じ値を示したものは補給後の値であるものが多い。Eh の経時変化に

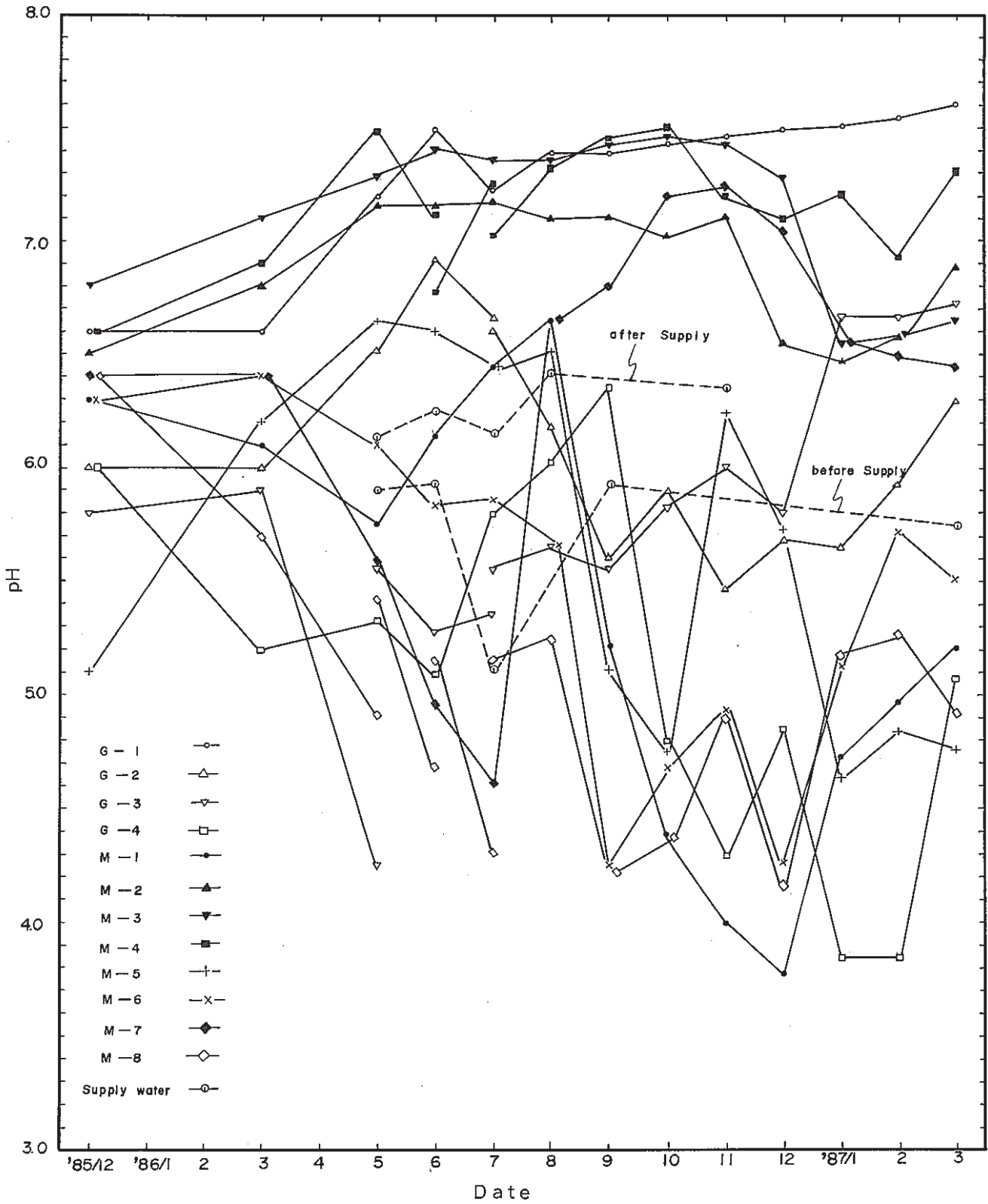


Fig. —12 pH as a Function of Time.
pHの経時変化

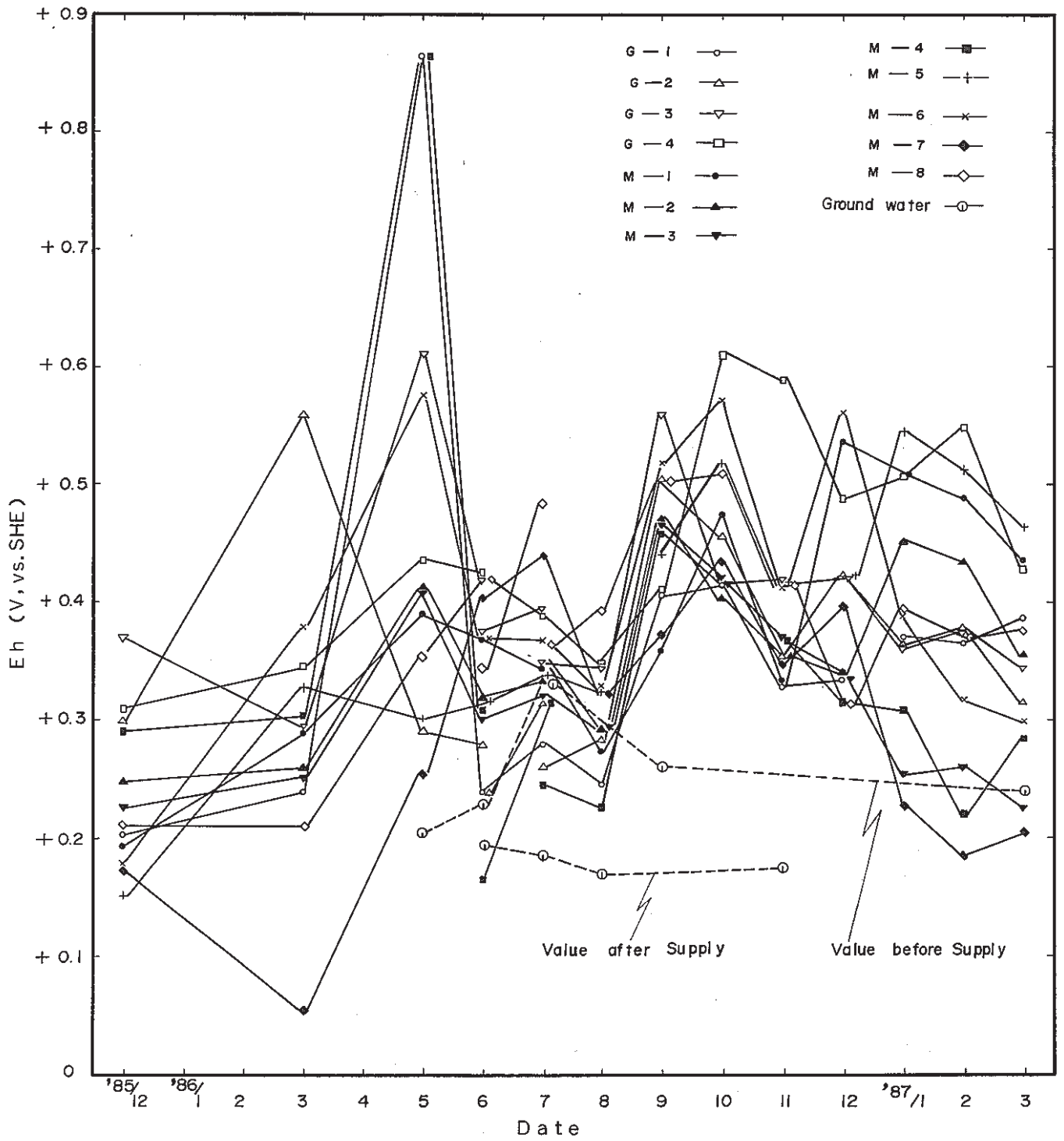


Fig.—13 Eh as a Function of Time.
Ehの経時変化

はpHのようなグループ分けは認められず、ほぼ同様の変化を示している。

Fig. —1 4にpHとEhの相関を示した。各孔内水の相関はあまり明瞭ではないが、G—1, M—2～4・7の値は正の相関を、他孔の値は負の相関を示していることがわかる。また、pHとEhにより特徴づけられる環境としては、大気と接触している環境から漸移的な環境に位置することがわかった。

埋設箇所の温度は冬季には約24℃、夏季には約25℃で年間温度差1℃の環境であった。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。

(2) 金属試験体の分析

重量および寸法

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後の試料はそれぞれ0.8375g, 0.1455gの重量減少を示した。

表面状態の観察

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。

腐食生成物のWDXによる定性分析

分析に必要な量の得られた軟鋼および無酸素銅からそれぞれ, O, Fe, Mn, Si, Al, Mg, Ca, Ni, Zn, CrとO, Cu, Fe, Ca, Sが認められた。

腐食生成物のX線回折による定性分析

Table —3に同定物質を示した。

これらの同定物質のうち, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ はCa—SO₄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る。溶存成分分析における水質はCa—SO₄型であったことから追認される。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。

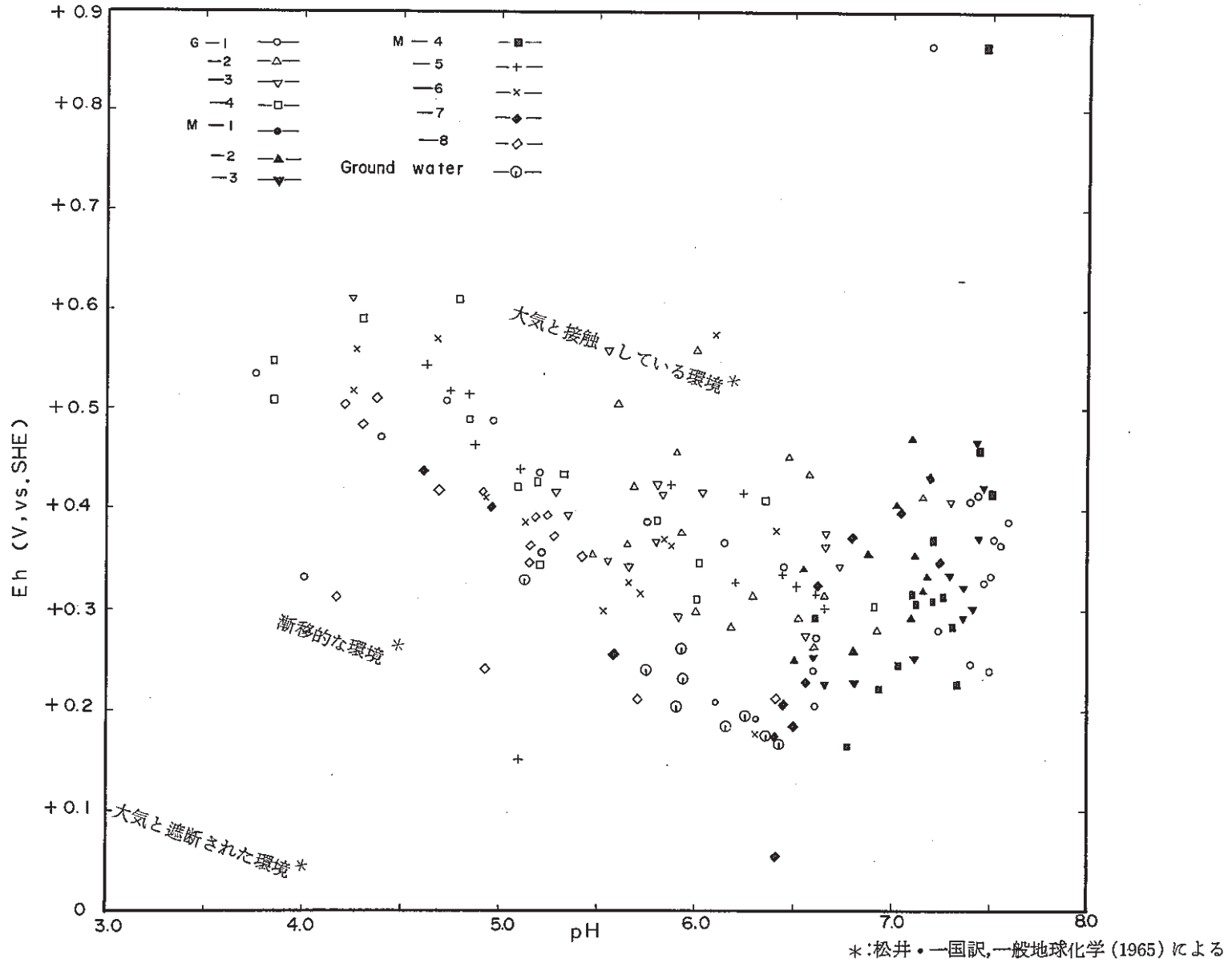


Fig.—14 Relation between Eh and pH of Groundwater in Boreholes.
ボーリング孔内水のEhとpHの関係

Table —3 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	α -FeO·OH, CaSO ₄ ·2H ₂ O
CP Titanium	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Hastelloy C-276	CaSO ₄ ·2H ₂ O, NiFe
Mild Steel	Fe ₃ O ₄ , α -FeO·OH, ϵ -Fe ₂ O ₃ , FeS
Pure Copper	Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆ ·H ₂ O, CaSO ₄ ·2H ₂ O

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 Fe_3O_4 、 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 FeS が認められた。 FeS については存在の確実度が低いと判断される。その他の物質は母材の 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、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。

腐食速度の算出

腐食速度を算出した結果をTable 4に示す。軟鋼の 0.03 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 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 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。

局部腐食の有無

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いずれの試験体にも全く認められない。

応力腐食割れの有無

内外試験体のすきまにおいてすきま腐食は認められない。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 —4 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 ² h)	Rate(mm/y)
SUS304 *	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	14.55	0.005	0.005

Descaling: * 20% H₂SO₄ + 2.5% NaCr₂O₇ 30℃

** 10% Ammonium Citrate 70℃