

ニシエール共和国

南西アイール地区ウラン鉱開発
関連用水整備計画調査

報 告 書

昭和54年7月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1064684(2)

国際協力事業団	
後入 冊 冊 冊	81.8.28 4
登録No.	13628
	5230
	66.25
	MPNN

は し が き

日本国政府は、ニジェール共和国のウラン鉱開発に必要な関連施設整備計画について調査を行なうこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は小野匡美氏（八千代エンジニアリング株式会社）を団長とする総員9名から成る調査団を昭和53年12月12日から54年4月7日までの117日間にわたり現地に派遣した。

調査団はニジェール共和国政府をはじめ同国政府関係機関等の協力により予定どおり現地調査を終了し、帰国後現地調査結果及び収集資料に基づき計画の検討、立案を行ない、この程報告書完成の運びとなった。

本調査は、ウラン鉱開発に必要な用水施設の整備のための調査であり、施設について技術的、経済的検討及び開発効果の検討等を行なったものである。

本報告書がウラン鉱開発に寄与するとともに、ニジェール共和国の経済発展及び日本、ニジェール両国の友好親善の一助となれば幸いである。

終りに本調査の実施に当たり多大の御協力をいただいたニジェール共和国政府関係各位をはじめ、在象牙海岸共和国日本大使館、外務省、通商産業省その他の関係各位に対し、深甚なる謝意を表わすものである。

昭和54年7月

国際協力事業団

総裁 法 眼 晋 作

要 約

1 序

本調査は、ニジェール共和国南西アイール地区、テキダンテズム鉱床のウラン鉱開発に伴う工業（精錬）用水及び生活水の整備について基本計画を策定し、その開発効果を予測するために実施された。

昭和53年8月の「南西アイール地区ウラン鉱開発関連施設整備計画調査報告書」に述べられているように、本地域の地下水調査に関しては帯水層の広がりとその性状、地下水の量と質、ならびに非炭酸ナトリウム型地下水（塩水系）と重炭酸ナトリウム型地下水（淡水系）の分布領域といった3つの重要課題が完結されていない。

今回の地下水調査では、テキダンテズム、ゲレリー及びアゼリックの村落を包む約150km²の区域に地質構造が異なる代表的な3地点（WP-1、WP-2、WP-3）を選んで各々揚水井（1本）と観測井（2本）のボーリング、検層（電気検層及びガンマ線検層）揚水試験（連続揚水及び段階的揚水）、及び水質分析を実施した。

本調査の実施により地質構造と帯水層の相関性、地下水の揚水量ならびに水質等調査区域内地下水の基礎資料が一応整備されたのでウラン鉱開発に伴う用水源確保と水利用の基本計画を立案することができた。

2. 調査区域の位置及び地形

南西アイール地区は、ニジェール国の中央部、アイール山脈の南西に位置し、標高400m程度のイルハゼル平原と呼ばれる地域である。この地域はごくわずかの草木を伴った荒涼たる砂漠地帯に属し、年間雨量も約100mm程度の苛酷な自然条件のもとにある。

調査対象区域はアガデス県の県庁所在地アガデス市の北西約145kmの地点にあり、テキダンテズムの集落を含む東経6°35′～6°50′，北緯17°25′～17°35′の範囲に位置している。

調査区域の地形は全般に比較的起伏のない平原であるが、東北東～西南西方向に伸びるアゼリック断層により、断層の北側の調査区域中央部が僅かに隆起したドーム状の構造になっている。（この隆起した部分を通称ドームと呼称している。）

3. 水理地質

調査区域の地質は下位より先二疊紀層、イセガンダン上・下部層（以上古生層）、テロア上・下部層、アサクス砂岩層、イルハゼル頁岩層（以上、中生層）からなり、これらの上部に第四紀層のワジ及びコリーの堆積物が分布している。

(1) 帯水層

良好な帯水層はテロア上・下部層（第一帯水層）とイゼガンダン下部層（第二帯水層）である。イゼガンダン上部層、アサワス砂岩層及びイルハゼル頁岩層は難帯水層である。難帯水層のイゼガンダン上部層は第一帯水層と第二帯水層に賦存する地下水の混合を防ぎ、アサワス砂岩層及びイルハゼル頁岩層は、これら帯水層への地表水の浸透を防ぐ役割をしている。

イゼガンダン下部層（第二帯水層）の下位に先二疊紀層が分布している。本層の地質状況、帯水性については十分な調査は行われていないが、この層中に非炭酸ナトリウム型の化石塩水を賦存する地質の存在が推定されている。

(2) 帯水層の広がりと厚さ

第一帯水層（テロア上・下部層）はドーム構造体の西側には、その存在が確認されていないが、ドーム構造体の東側地域でイルハゼル頁岩層下位に広く発達していることが推定される。断層による帯水層の分断がどの程度のものであるかは不明であるが、ドーム構造体の南東側の第一帯水層は、少なくとも、アゼリック断層、テキダンナドラル断層及びファゴシア断層に囲まれる帯水盆地へと続いていることが予想される。ドーム構造体付近の第一帯水層の層厚は30～50mである。

第二帯水層（イゼガンダン下部層）は、ドーム構造体の中央部に露頭している。また露頭の周囲でもイゼガンダン上部層下に安定した分布をしている。第二帯水層の層厚は70～90mと、推定される。ただし、本層が露頭するドーム構造体の中央部では上部が削られて薄くなっている。

(3) 水質

第一帯水層（テロア上・下部層）は、重炭酸ナトリウム型の淡水系地下水に属し、第二帯水層（イゼガンダン下部層）は非炭酸ナトリウム型の塩水系地下水に属している。

第一帯水層の地下水は淡水（電気伝導度1000～1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）ではあるが、重炭酸イオン、ナトリウムの含有量及びpH（8.6～9.0）が高い。

第二帯水層においても地表面に露頭するドーム構造体の中央部にあっては、長期間にわたる地表水の浸透等の影響を受けて淡水化している。

4. 揚水試験

(1) 揚水試験計画の概要

揚水試験の位置はドーム構造体の北側（WP-1地点）、中央部（WP-2地点）及び南側（WP-3地点）の3箇所とした。

揚水試験の対象とした帯水層は次の通りである。

WP-1地点 第二帯水層（イゼガンダン下部層）

WP-2地点 第二帯水層（イゼガンダン下部層の露頭部）

WP-3地点 第一帯水層（テロア上・下部層）及び第二帯水層（イゼガンダン下部層）

揚水井及び観測井の構造は表1の通りである。

揚水試験は段階揚水試験（5段階20時間）連続揚水試験（72時間）及び回復試験（72時間）

を行った。

(2) 揚水試験の結果と考察

揚水試験ならびに試験結果より求めた水理定数（透水量係数，透水係数，貯留係数）及び影響半径を比較すると表2のようになる。

WP-2地点の第二帯水層（イセガンタン下部層の露頭部）とWP-3地点の第一帯水層（テロア上・下部層）が比湧水量，透水係数ともにほぼ良好な結果を示している。さらにWP-2地点は、不圧地下水状態にあるため貯留係数も他の地点に比べて高い値を示し、影響半径も極めて小さな数値を示している。

表1

地 点	WP-1			WP-2			WP-3			
	TW-1	OW-1-1	OW-1-2	TW-2	OW-2-1	OW-2-2	TW-3	OW-3-1	OW-3-2	OW-3-1逆掘
口 元 標 高	377.5m	374.7m	378.0m	399.5m	398.6m	399.6m	398.5m	398.1m	397.9m	398.1m
掘 削 深 度	250m	250m	250m	150m	65m	65m	250m	250m	250m	250~400m
掘 削 口 径	8 $\frac{5}{8}$ "~5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	8 $\frac{5}{8}$ "~5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	8 $\frac{5}{8}$ "~5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	5 $\frac{5}{8}$ "	3 $\frac{5}{8}$ "
ケーシング口径	6~4"	4"	4"	6~4"	4"	4"	6~4"	4"	4"	73mm
ストレーナ口径	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	73mm
ストレーナ位置	177.5 ~244.5m	173 ~239m	173 ~222m	17~ ~61m	15.5 ~59.5m	15.5 ~59.5m	156.5 ~211.5m	156.5 ~211.5m	173 ~233.5m	268 ~337m
対象帯水層	第二帯水層			第二帯水層			第一帯水層			第二帯水層
備 考	揚水井	観測井	観測井	揚水井 78m以深 セメンテ ーション	観測井	観測井	揚水井	観測井	観測井	第一帯水 層揚水試 験完了後 掘削

表2

試 験 地 点	WP-1	WP-2	WP-3	
	第二帯水層	第二帯水層	第一帯水層	第二帯水層
水 位 降 下	54.2m	10.5m	42.2m	28.8m
揚 水 量	206m ³ /day	200m ³ /day	652m ³ /day	200m ³ /day
比 湧 水 量	3.7m ³ /day/m	19.2m ³ /day/m	15.4m ³ /day/m	6.9m ³ /day/m
透 水 量 係 数	5.76×10 ⁻⁴ m ³ /sec/m	2.57×10 ⁻⁴ m ³ /sec/m	6.12×10 ⁻⁴ m ³ /sec/m	5.51×10 ⁻⁴ m ³ /sec/m
透 水 係 数	2.19×10 ⁻⁶ m/sec	8.15×10 ⁻⁶ m/sec	1.35×10 ⁻⁵ m/sec	1.02×10 ⁻⁵ m/sec
貯 留 係 数	3.91×10 ⁻⁵	1.08×10 ⁻²	1.46×10 ⁻⁴	3.27×10 ⁻⁴
影 響 半 径	3.1km	350m	4.7km	2.7km

5. 用水施設基本計画

(1) 水資源候補地域の選定

揚水試験及び水質分析の結果から、水資源候補地域としては、ドーム構造体中央部(WP-2)の第二帯水層、及びドーム構造体南側(WP-3)の第一帯水層の2つが挙げられる。

ドーム構造体中央部の淡水域はイセガンダン下部層の露頭部分に限られるので、分布範囲も狭く、推定賦存量も約9000万トン(採水率1%として採水可能量約100万 m^3 弱)程度と思われる。

ドーム構造体南側の淡水域は推定賦存量(約80億トン)も大きく、既存の深井戸の実績もあるので、工業用水及び生活用水の水源地としてはドーム構造体南側の第一帯水層を第一候補に挙げることにしたが、実施計画に至るまでには構造ボーリングによる帯水層厚の確認など、綿密な調査解析が必要であることは云うまでもないことである。

(2) 水需要量と計画揚水量

国際資源(株)がテキダンテズム地区で計画中のウラン鉱開発に伴う工業(精錬)用水量は約2200 m^3/day である。従業員及び一般市民を合せて都市人口を約4500人(従業員・家族2200人、一般市民2300人)と想定すると都市生活用水量として約1800 m^3/day の需要が予想される。したがって工業用水及び都市生活水の合計水需要量としては約4000 m^3/day となりその構成比率は55:45の割合になる。

区 分	1日当り必要水量(m^3/day)	比 率 (%)
工業(精錬)用水	2,200	55
都市生活用水	1,800	45
合計水需要量	4,000	100

WP-3地点における段階揚水試験の結果から限界揚水量時における水位降下を求めると、10.5 m である。また連続揚水試験(3日間)における水位降下と揚水量との関係を井戸口径別に求めると次のようになる。

水位降下(m) 井戸口径(吋)	水位降下(m)			
	5	10	15	20
6	116 l/min (167 m^3/day)	232 l/min (334 m^3/day)	348 l/min (501 m^3/day)	464 l/min (668 m^3/day)
	8	118 (172)	239 (344)	359 (516)
10	122 (176)	224 (352)	366 (527)	488 (703)

ニジュール因に現有するボーリング機械の穿孔能力ならびに水中モーターポンプの仕様を考慮して生産井の口径を6吋(150 mm)に設定すると、水位降下10 m 時の生産井の計算揚水量は、

232ℓ/min(334m³/day)である。したがって生産井1本当りの計画揚水量は井戸損失を10%程度見込んで $Q = 300 \text{ m}^3/\text{day}$ と仮定する。

(3) 生産井設備計画

揚水試験井のストレーナ径は4吋であったが、生産井のストレーナは6吋となること、加えて井戸構造の整備による井戸損失係数の低減を考慮に入れば、限界揚水量時における水位降下も15m程度となり、したがって計画揚水量も400~500m³/dayまであげられるのではないかとの意見もあるが、現在までの調査結果では安全側の意味も含めて生産井1本当りの計画揚水量を300m³/dayとして水需要量4000m³/dayに対する生産井の計画本数を14本とする。

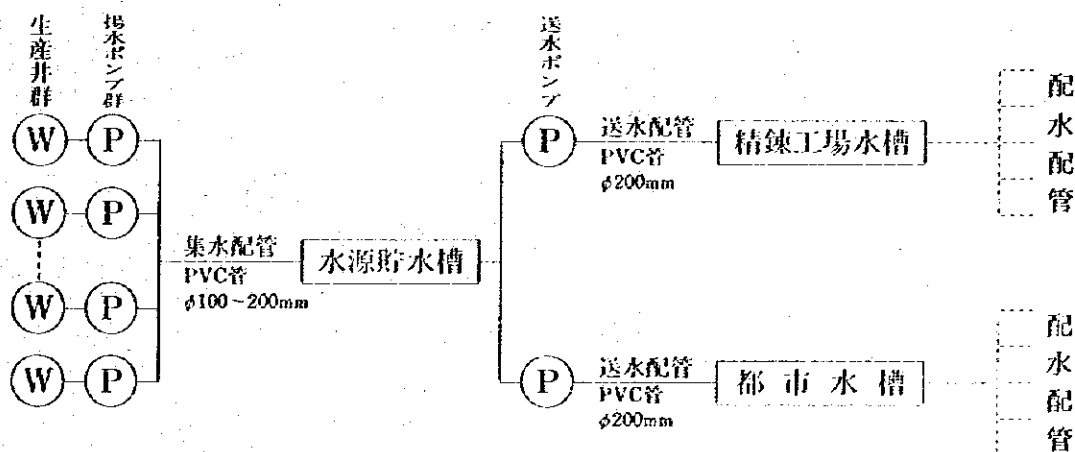
実施に当っては、各々の生産井に対して段階揚水及び連続揚水試験を行ってから揚水ポンプの設備仕様がきまるので水中モーターポンプの揚水に関する仕様としては、次に示すように揚程70mにおいて200~350ℓ/min(300~500m³/day)として幅をもたせた。

項 目		単 位	数 量	備 考
水 需 要 量		m ³ /day	4000	工業用水 2200m ³ /day 都市生活用水 1800m ³ /day
生 産 井	計 画 揚 水 量	m ³ /day	300	水位降下 10m時
	深 さ	m	230~300	
	ケーシングパイプ	m/m	150	
	計 画 本 数	本	14	第1期7本、第2期7本の段階施工
揚 水 ポン プ	口 径	吋	6"ポンプ用	
	設 計 揚 程	m	70	
	揚 水 量	ℓ/min	200~350	300~500m ³ /day
発 電 設 備		kVA	30	生産井1本当り

(4) 貯水設備及び送配水管設備

本地域は地形的に平坦であるが、精錬所及び都市住宅地はドーム構造体の中央部の比較的高地に設営される予定である。したがって送配水管方法としては、ポンプ圧送方式が採用されることになるが、生産井の事故に備えてまた連続揚水運転を緩和するためにも貯水施設が必要である。

用水設備の系統及び設備概要を示すと次のようになる。



(6)

貯水槽設備容量

項目	計画貯水容量(m ³)	備考
水源貯水槽	800	水需要量 4000m ³ /day の10% 相当 400m ³ 2基
精錬工場貯水槽	4,000	水需要量の2日分 2000m ³ 2基
都市貯水槽	2,000	水需要量 1800m ³ /day の1日分相当 1000m ³ 2基

送水管は PVC 管を地中埋設により配管するが送水配管の延長は大体次のようになる。

項目	生産井集水管	工場用送水管	都市用送水管	計
配管口径(mm)	φ100~200	φ200	φ200	—
配管総延長(km)	28	6	2.5	36.5

(5) 概算工事予算と工期

概算工事予算は次表の通り約 2.2 億 F.CFA[※] で生産井戸 1 本当りの建設単価は約 1.5 億 F.CFA、日供給水量 1 m³ 当りの建設単価は約 5.4 万 F.CFA である。

単位 10³F.CFA

項目	工事費	比率
井戸設備	924,000	43%
送水配管設備	629,000	29%
貯水設備	625,000	28%
計	2,178,000	100%

第 1 期工事 (生産井 7 本予想供給水量 2100m³/day) の工期として 24 ヶ月を予定しているが、建設現場がかなり広域にわたるため資材の運搬、労務者の輸送管理、きびしい作業環境等を考えると、工事着工前の実施計画の段階では設計面だけでなく資機材調達、施工法及び工事工程等全般にわたって詳細綿密な施工計画の立案が必要である。

建設工期	1 年		2 年	
	6	12	18	24
井戸設備	第 1 期工事		第 2 期工事	
貯水設備		第 1 期工事		第 2 期工事
送水配管設備			第 1 期工事	

※ F.CFA; ニジェール国の通貨単位 1 F.CFA ≒ 1 円

6. 開発効果

ニジェール国は一人当りの GNP が 130 ドルとアフリカ諸国の中でも非常に貧しい国の一つであるが、1966年、アイール地方にウラン鉱床が発見されて以来、ウラン精鉱の輸出により、急速な経済発展を遂げてきている。

また同国政府は増大するウラン輸出の収益を背景に広大な工業化への移行と深刻な食糧危機からの脱出を計るため新5ヶ年計画(1979~1983年)においてはウラン輸出を第一の施策としている。

ニジェール国の経済の根幹をなすウラン鉱開発事業も関連する施設整備が確立されなければ実現不可能となる。特に関連インフラストラクチャーとしての用水施設整備は最優先順位をもつ事業であることは明白である。

用水施設整備開発が同地域にもたらす効果は短期、中期にわたり直接効果と間接的波及効果とに分けて考えることができる。

直接的開発効果は水の供給に関して4000 m³/dayの上水需要計画のうち公共及び一般市民用として約470 m³/dayが予定されている。この増加数値はアガデス県の現況水消費量に対して新たに50%の供給を与えることになる。また就業構造について検討すると、現況での建設産業就業人口約2,700人に対し、本事業の実施に伴い建設段階で就業人口約400人(年間平均)を生み出すことになる。住民の所得についても約1,134,000,000 F.CFAの地域住民年間所得総額に対し、新たに年間111,600,000 F.CFAの所得増を事業開始後、建設段階においてもたらすことになり、これらのインパクトは当該地域の就業構造と経済構造に大きな変化を与えることになる。

上述直接開発効果は対象地域の社会構造を強化し、関連産業を長期的に安定、発展せしめ多角的に産業の活発化を促すことになろう。

これらの効果と相まって地域の潜在ポテンシャルである牧畜、農業といった産業の開発にも道が開けると共に地域住民の生活環境の変化により文化の普及、生活の向上に計り知れない波及効果をもたらすことになろう。

目 次

第1章 序	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査実施の範囲	1
1.3 前回調査及び本調査の概要	2
1.4 調査団の編成と調査日程	3
1.5 実情聴取及び資料入手のために訪問した官庁と民間企業	4
第2章 南西アイール地域の概要	7
2.1 南西アイール地域及び調査地域の位置	7
2.2 南西アイール地域の自然及び地形	8
2.3 南西アイール地域の水理地質概要	8
第3章 テキダンテズム～アゼリックの水理地質	13
3.1 地質概要	13
3.2 各層の分布と岩相	17
3.3 地質構造	19
3.4 帯水層	20
3.5 地下水位	21
3.6 水質分布	22
第4章 揚水試験	29
4.1 揚水試験位置の選定	29
4.2 試験井の構造と配置	29
4.3 試験地点と地質	32
4.4 揚水試験方法と使用機器	34
4.5 揚水試験結果	36
第5章 開発対象地域の選定	43
5.1 揚水試験地点の評価	43
5.2 地下水賦存量	44
5.3 飲料水としての水質	46
5.4 水源候補地域の選定と問題点	48
第6章 用水施設計画	49
6.1 水需要量	49
6.2 井戸の設計方針	51
6.3 井戸の配置と深度	58
6.4 用水設備計画	58
6.5 概算工事費と工期	66
第7章 実施設計及び井戸管理に対する提案	71
7.1 生産井設置のための調査	71
7.2 生産井設置段階での揚水試験	71
7.3 採水段階での井戸及び地下水の管理	71
第8章 開発効果	73
8.1 直接開発効果	73
8.2 波及開発効果	75
添付図表リスト	77
参考文献	105

第 1 章

序

第1章 序

1.1 調査の目的

ニジェール共和国南西アイール地区テキダン・テズム鉱床で同国政府と日本企業（国際資源株式会社）との共同でウラン資源開発が進められている。

この開発に関連する道路、水源及び都市等の社会基盤の整備が当該地区の経済、民生の向上に役立つように計画策定することによって将来国際協力事業団からの融資の対象となり得る可能性も考えられるので、昭和53年2月11日より同年3月23日迄41日間に亘る現地調査が同事業団にて実施された。

この調査に関する同年8月の「南西アイール地区ウラン鉱開発関連施設整備計画調査報告書」によると水源整備計画を完結するには更に構造ボーリングによる帯水層の垂直分布地下水の賦存量及び揚水試験による地下水の量と質の確認が必要であることを提言している。

このような背景のもとに、本調査は前回の調査を継承しながら水源確保と水利用計画を目的として実施された。

1.2 調査実施の範囲

テキダン・テズム地区に於ける、地質構造帯水層の性状揚水試験による地下水の量と質ならびに非炭酸ナトリウム型地下水と重炭酸ナトリウム型地下水の分布領域を解明するために次のような調査を実施した。

実施した調査は次のものである。

1) 地質調査

- 既存資料の検討：当該地域で既に実施された探鉱ボーリング、水理地質ボーリングのコア観察及び物理検層による総合解析
- 地表地質踏査：テキダン・テズム～グレリー～アゼリック周辺の地表地質踏査

2) 揚水試験

- 地質構造の異なる3地点（WP-1, WP-2, WP-3）に於いて各々揚水井（1本）観測井（2本）を設置

3) 水質調査

- 一般水質調査：既存井及び湧泉の水質調査
- 水質分析：揚水井の水質分析

それぞれの調査試験の手順を示すと図1のフローチャートの通りである。

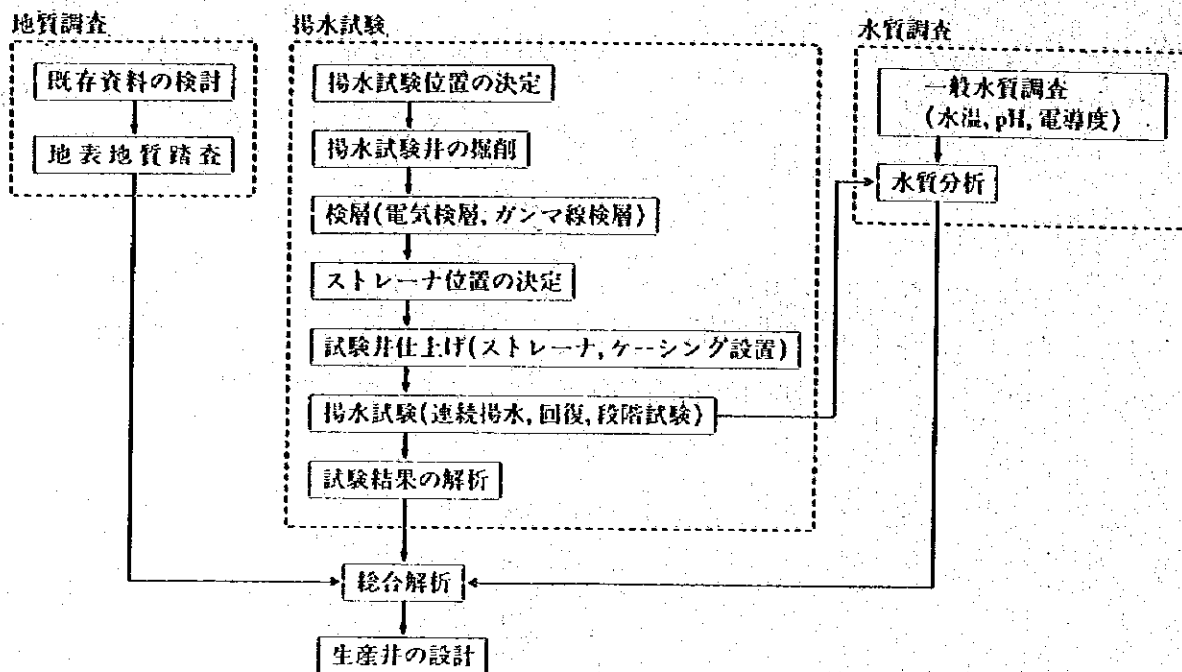


図 1 調査フローチャート

1.3 前回調査と本調査の概要

(1) 前回調査の概要

(自昭和53年2月11日至昭和53年3月23日41日間)

前回調査はアカデス、インガル及びテキダンテズムの市町村を含む、イルハセル平原の広域にわたってその水理地質の概要を把握するのが目的で地表踏査を主体として次の調査が実施された。

- 既存資料の収集と検討
- 地質概要の調査
- 既存井及び湧泉調査
- 電気探査(14地点)
- 水質分析(11地点)

調査の結果地下水の賦存形態としては、次のような分類になることが判明した。

- フジ、コリーに賦存する浅層部の地下水
- 中生代-古生代の帯水層に賦存する深層部の地下水

テキダンテズム地区における深層部地下水はアカデス砂岩層群に賦存する地下水に属し、その水質を平面的に分類すると、アゼリック断層(東北東~西南西軸)の東南側では重炭酸ナトリウム型の淡水区に、北西側では非炭酸ナトリウム型のかん水区になっている。

※ アカデス砂岩層のテキダンテズム地区における別称

(2) 継続調査の提案内容

水源整備計画に際しては広範囲にわたる概括的な水理地質の解明を基に、更に局部的な具体的資料が必要とされるので前回の調査結果を継承して次のような調査を実施するよう提言されている。

- 構造ボーリング（2地点）による各帯水層の地質学的性状の把握
- 揚水試験（3地点）による各帯水層の水理定数等の定量的性状の把握

(3) 本調査の内容と調査結果の概要

今回の地下水調査は、テキダンテズム、グレリー及びアセリックの村落を包む約150haの区域に地質構造が異なると思われる代表的な3地点（WP-1, WP-2, WP-3）を選んで各々揚水井（1本）と観測井（2本）のボーリング、検層、揚水試験及び水質分析を実施している。

前回調査で提言されていた構造ボーリングの実施は大口径深掘用掘削機の調達が現状では不可能なこと、及び地下水の定量的な確認のほうが先決であるとの理由で揚水井のボーリング作業を通じて、可能な範囲で地質構造の解明を行うことを前提にして揚水試験を先行させた。

今回の調査によって当該地区の地下水について次のようなことが解明された。

- 帯水層は第一帯水層（中生層）と第二帯水層（古生層）があり、水質も前者は淡水区に、後者は中かん水区に属している。

第一帯水層	…………… テロア層, 上・下部層（層厚約30～50m）
	…………… 重炭酸ナトリウム型の淡水区分
第二帯水層	…………… イセガンダン下部層（層厚約70～90m）
	…………… 非重炭酸ナトリウム型の中かん水区分
- 第一帯水層のテロア層上下部層はドーム構造体の東南側に分布し帯水盆を形成しているが、西北側にはその分布が認められない。
- 第二帯水層の当該地区全般に分布しているドーム構造体の中央部は第二帯水層のイセガンダン下部層が露頭しているが、その水質は長期にわたる地表水の影響をうけて淡水化している。
- ドーム構造体の東南側、第一帯水層の帯水盆の地下水賦存量としては約80億トン、採水可能量をその1%程度と予測して約8,000万トン程度が見込まれる。

本調査の実施により、地質構造と帯水層の相関性、地下水の揚水量並びに水質等に関する基礎資料が一応整備されたことにより、ウラン鉱開発に伴う用水源確保と水利用施設の基本計画を立案することが出来た。

1.4 調査団の編成と調査日程

調査団の編成人員は7名で、その作業分担は次のとおりである。

また、調査団の現地調査日程を表1-1に示す。

団 長	総 括	小 野 匡 美	八千代エンジニアリング株式会社
団 員	用水計画	荒 井 三 郎	"
"	水理解析	大 浦 寿	"
"	"	辻 本 徹 文	"
"	揚水試験	若 井 省 吾	"
"	"	高 橋 忠 二 郎	"
"	"	猿 田 優	"

1.5 実情聴取及び資料入手のために訪問した官庁と民間企業

1) 官 庁

鉱山水理省

MINISTERE DES MINES ET DE
L'HYDRAULIQUE

鉱 山 局

DIRECTION DES MINES

鉱山局長

M. SORRY BOUBAKAR

アガデス支局長

M. MAMANE CHAWAYE

水 理 局

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE

水理局長

M. ABDOU HASSNE

鉱山地質局アガデス支局

SERVIOE DES MINES ET DE LA GEOLGIE
D'AGADEV

水資源公社

OFFIOE DES EAUX DU SOUS-SOL

総 裁

M. IMINI MAHAMANE

地方開発局

DIRECTION DU GENIE RURAL

地方開発局長

M. SEINI ALI

地方開発局次長

M. AMADOU HALIDOU

外務協力省

MINISTERE DES AFFAIRE ETRANGERES
ET DE LA COOPERATION

政府国際局

DIVISION DES ORGANISATIONS INTER-
NATIONALES ET DES AFFAIRES ECONOMIQUES

政務国際局長

M. KARIM ALIO

アガデス県庁

PREFECTURE D'AGADEV

知 事

M. BEIDOU

アノーアラレン石炭火力発電所

SOCIETE NIGERBIENNE DU CHARBON
D'ANOU ARABEN(SONICHAR)

2) 民間会社

国際資源株式会社

INTERNATIONAL RESOUROES S. A. (IRSA)

表1-1 現地調査人員日程表

日	月 日	総 括 (団 長)		用 水 計 画 (荒 井)		水 理 解 析 (大 浦, 辻 本)		揚 水 試 験 (若 井, 高 橋, 猿 田)	
		工 程	調 査 内 容	工 程	調 査 内 容	工 程	調 査 内 容	工 程	調 査 内 容
1	1978年12月12日	東京発				東京発			
2	13	パリ～アビジャン				パリ～アビジャン			
3	14	アビジャン	日本大使館表敬及び調査内			アビジャン			
4	15	アビジャン～ニアメ	容説明他			アビジャン～ニアメ			
5	16	ニアメ～アガデス	国際資源ニアメ事務所表敬			ニアメ～アガデス			
6	17	アガデス	外務協力省国際局長表敬			アガデス～テキダンテズム		テキダンテズム現地参加	○調査準備
7	18	アガデス～テキダンテズム～アガデス	テロワ, ワジのアセル地区			テキダンテズム	調査開始	"	
8	19	アガデス～ニアメ	農園視察及びソニシアル火			"		"	
9	20	ニアメ	力P/S現場視察			"		"	
10	21	ニアメ	OFEDES総裁表敬			"		"	
11	22	ニアメ～アビジャン	鉦山局長, 水理局長表敬			"	1 地質調査	"	1 揚水試験ボーリング
12	23	アビジャン	外務協力省国際局長帰国挨拶			"	・既存ボーリング資料収集	"	2 揚水試験
13	24	アビジャン～パリ	地方開発局長訪問			"	・地表地質調査	"	・WP-1
14	25	パリ～	日本大使館訪問, 現況報告			"		"	TW-1
15	26	東京着				"	2 水理調査	"	OW-1-1
16	27					"	・湧泉, 既設井調査	"	OW-1-2
						"	・水質調査	"	・WP-2
						"	3 揚水試験	"	TW-2
						"	・検層データの解析	"	OW-2-1
						"	・揚水試験	"	OW-2-2
98	1979年3月19日					テキダンテズム		テキダンテズム	・WP-3
99	20	東京発				"		"	TW-3
100	21	パリ～アビジャン				"		"	OW-3-1
101	22	アビジャン	日本大使館表敬及び今後の			"		"	OW-3-2
102	23	アビジャン～ニアメ	調査につき協議			"		"	
103	24	ニアメ～アガデス	国際資源ニアメ事務所表敬			"		"	
104	25	アガデス～テキダンテズム				"		"	
105	26	テキダンテズム				"		"	
106	27	"	用水調査			"		"	
107	28	"				"		"	
108	29	テキダンテズム～アガデス				"	調査終了	"	
109	30	アガデス	鉦山アガデス支局表敬			テキダンテズム～アガデス		"	
110	31	アガデス～ニアメ	アガデス県知事表敬			アガデス	鉦山アガデス支局表敬	"	
111	4月1	ニアメ	鉦山局長表敬中間報告			アガデス～ニアメ	アガデス県知事表敬	"	
112	2	"	水理局長表敬中間報告			ニアメ	鉦山局長表敬中間報告	テキダンテズム現地解散	調査終了
113	3	ニアメ～アビジャン	地方開発局長中間報告			"	水理局長表敬中間報告		
114	4	アビジャン	日本大使館訪問帰国報告			ニアメ～アビジャン	地方開発局長中間報告		
115	5	アビジャン～パリ				アビジャン	日本大使館訪問帰国報告		
116	6	パリ～				アビジャン～パリ			
117	7	東京着				パリ～東京			
						東京着			

第 2 章

南西アイール地域の概要

第2章 南西アイール地域の概要

2.1 南西アイール地域及び調査地域の位置

調査地域のある南西アイール地区は、ニジェール共和国のほぼ中央部に位置するアイール山地の南西周縁部とその西方及び南側に広がる平原部からなる。行政的にはアガデス県アガデス郡に属し、アガデス、インガル、テキダンテズムの市町村がある。

調査地域は図2-1に示すようにアガデス北西約145kmにあり、テキダンテズムの集落、ゲレリ及びアゼリック湧泉を含む地域である。東経 $6^{\circ}35'$ ～ $6^{\circ}50'$ 、北緯 $17^{\circ}25'$ ～ $17^{\circ}35'$ の約150 kmの範囲にある。

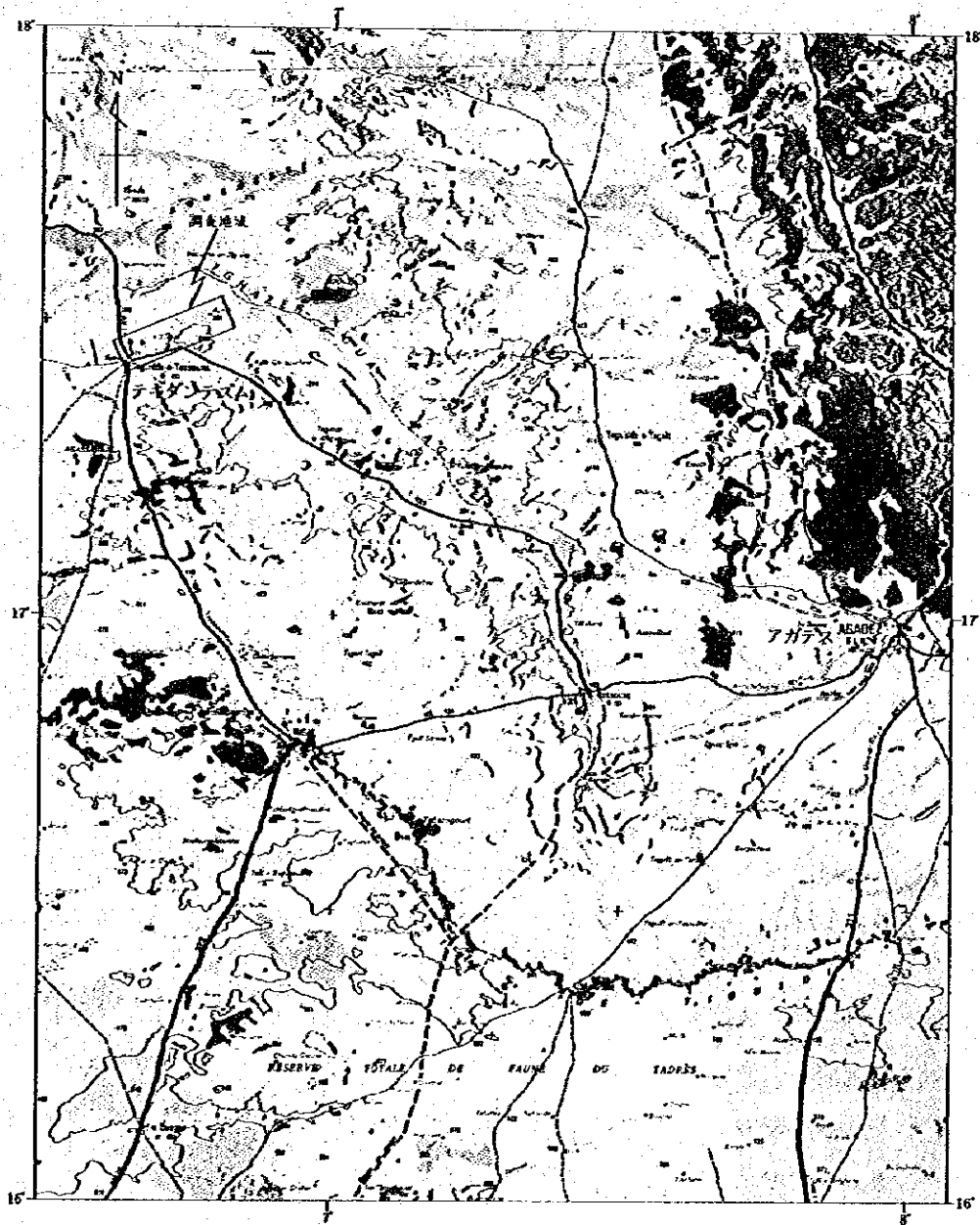


図2-1 調査地域の位置

2.2 南西アイール地域の自然及び地形

南西アイール地域はサハラ砂漠の中央南縁部にあたり、北サヘル地帯またはサハラ、サヘル地帯と呼ばれる気候分類区に属する。

アガデスにおける長期の年降雨量は174mm、年間蒸発量は3058mmである。降雨のほとんどが雨期の7～9月に集中している。^{*}

地域の大半が、わずかの灌木と草地を伴う荒涼とした乾燥地で、トアレグ族などの遊牧民によりわずかばかりの水と牧草を求めて家畜をつれて点々と移動する遊牧生活が営まれている。農業は、水を得ることができるアガデス、インガル等の都市周辺とアイール山地の谷間や平原部の深井戸の周囲の極く一部の地域で細々と行なわれているに過ぎない。

南西アイール地域の地形は、地域北東のアイール山地とその西及び南に広がる平原に大別できる。山地はその中央部に南北方向に連なる標高1000～2000mの岩山があり、西側及び南側で徐々に標高を低め、標高500～600mの山地周縁部に至る。

山地西側には標高350～500mの広大なイルハゼル平原がある。イルハゼル平原は全体に平担であるが、アゾウザ山（標高553m）などの独立丘が単調な地形にわずかな起伏を与えている。また、アガデス、インガル、テキダンテズムを含むイルハゼル平原の南縁には比高約50mのティギディット断崖がほぼ300kmに達する大円弧をなして発達し、その南側に広がるテガマ平原との境界になっている。

アイール山地の南西部及びティギディット断崖に源を発したイルハゼルワジは河床勾配4/10000で、アイール山地から西方へ流れる多くのワジ支流を合流しながら南東から北西へ流れる。ただし、ワジに水流がみられるのは7～9月の雨期に限られる。

雨期に降った雨水は、低勾配のため多くの低地に集まる傾向があり、粘土質地盤を浸してこの地域の交通を困難なものにしている。

なお、Joulia（1965年）によるとアイール山地西及び南からの総流出量は年間 $150 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、アガデス北方のテロアワジから推定した表面蒸発量は年間 $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。

2.3 南西アイール地域の水理地質概要

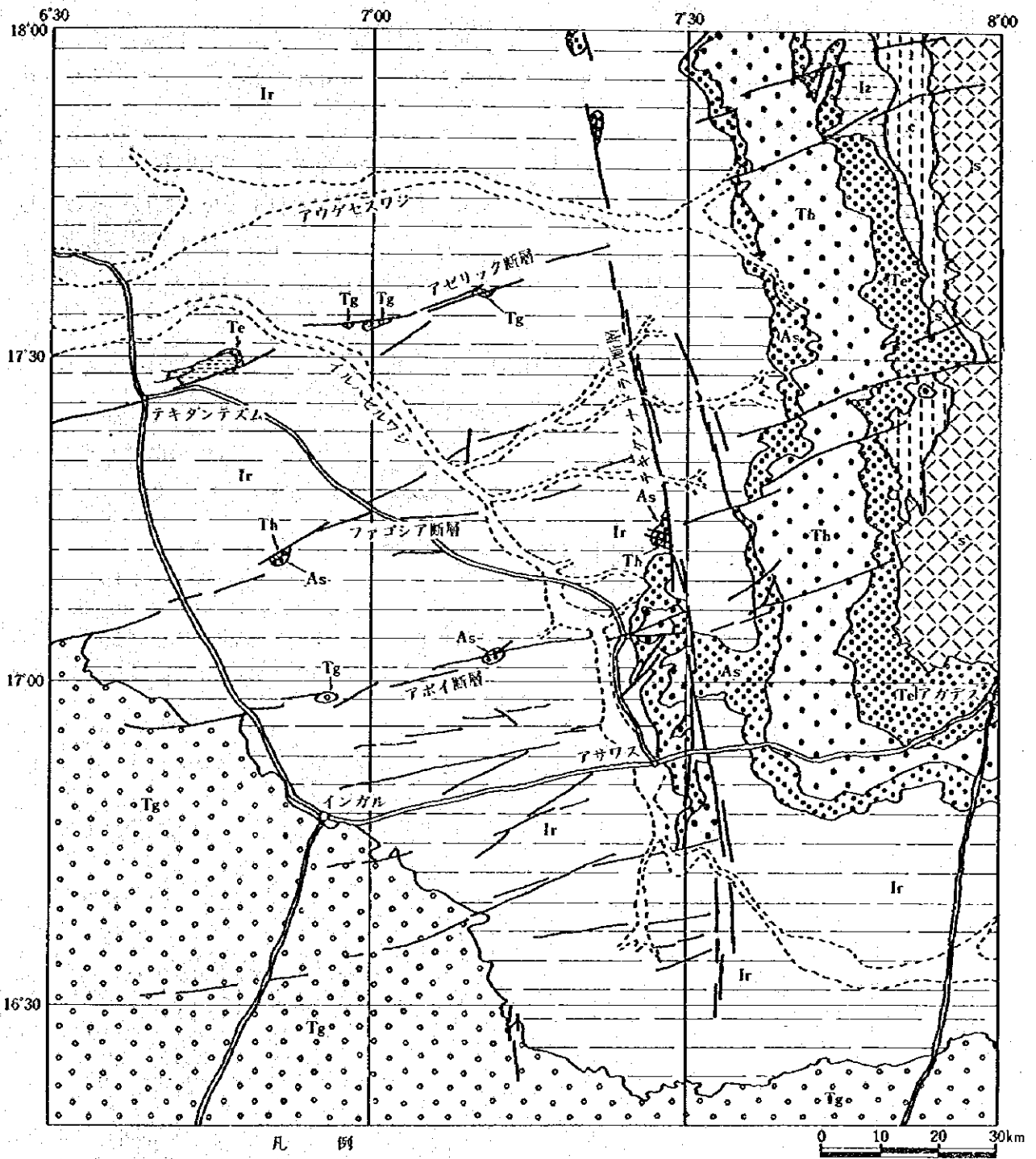
南西アイール地域の地質は、下位より先カンブリア層、古生層、中生層からなり、これらの上部にワジ及びゴリーの堆積物、崖錐性堆積物などの第四紀層が堆積している。本地域の地質図を図2-2に示す。

先カンブリア紀層は、片岩、片麻岩、花崗岩等の結晶質岩類よりなり、アイール山地の骨格を形成するとともに本地域の基盤になっている。

古生層は下部より石炭紀のテラダ亜層群、タゴラ亜層群と二疊紀のイセガンダン亜層群よりなり、アイール山地西縁部の比較的狭い範囲に帯状に分布している。なお、石炭系下位すなわちデボン系以下の古生層はアイール山地北西地域で認められるが、本地域での分布は知られていない。

中生層は下部より三疊紀～ジュラ紀のアガデス層群、白亜紀のイルハゼル層群及びテガマ層群よ

^{*} ORSTOM 1966年資料



凡 例

中生代	白亜紀 イルハゼ群	テガマ砂岩層	古生代	二疊紀	イゼガンタン層	
		イルハゼル頁岩層			石炭紀	石炭紀層
		アサワス砂岩層		先カンブリア紀		基盤岩
		ジュラ紀			アガテス群	チレズリン砂岩層
				テロア砂岩層		ワシ

図2-2 南西アイル地域の地質(Jouliia, 1963年より, 一部加筆)

りなる。アガデス層群はアイール山地西及び南麓とテキダンナドラル〜アサワス東側に分布している。イルハゼル層群はイルハゼルワジ本流及び支流流域の平原部に広く分布している。また、テガマ層群はテイディギット断崖の南側及び西側に広範囲に分布している。イルハゼル平原中にも残丘として小規模な分布がみられる。

なお、古生層、中生層は先カンブリア盾状地を基盤に地殻変動の少ない比較的安定した状態で堆積した卓状地堆積物である。石炭紀層が海成と陸成堆積の繰り返し、二疊紀以降が陸成〜湖成堆積とされている。

表2-1に南西アイール地域の地質層序を示す。

表2-1 南西アイール地域地質層序表

時 代		層 群	地 層	細 区 分
新生代	第四紀			ワジ、コリ堆積物 崖錐堆積物
中生代	白亜紀	テガマ層群	テガマ砂岩層	
		イルハゼル層群	イルハゼル頁岩層 アサワス砂岩層	不整合
	ジュラ紀 三疊紀	アガデス層群	チレズリン砂岩層 テロア砂岩層	チレズリンII(砂岩) アバンキー(含方沸石頁岩) チレズリンI(砂岩) ムセドン(含方沸石シルト質砂岩) テロア(砂岩) 不整合
古生代	二疊紀	イゼガンダン亜層群	イゼガンダン層	モラディ(シルト質砂岩) タマメ(砂岩) イゼガンダン(アルコース) 不整合
	石炭紀	タゴラ亜層群	マドウエラ層(シルト質砂岩) タラト層(砂岩) チネゾーク層(シルト質砂岩) ゲズマン層(砂岩)	不整合
		テラグ亜層群	トラチ層(頁岩) ファラゼカット層(砂岩)	不整合
先カンブリア代	先カンブリア紀			アイール山地基盤、片岩、片麻岩、花崗岩

古生層、中生層の各層は全体に西方に極く緩く傾斜した同斜構造を示し、アイール山地から西方にゆくに従って層厚を減しているようである。

断層は、南北系のテキダンナドラル断層、東北東-西南西系のアゼリック、ファゴシア、アボイ断層などがよく連続し、顕著である。断層沿いに断層背斜及び断層向斜ができ、その背斜の一部が地表に露出してドーム状構造を形成するなど、断層の存在が地質構造を複雑にしている。図2-3にイルハゼル平原部の推定地質断面図を示す。

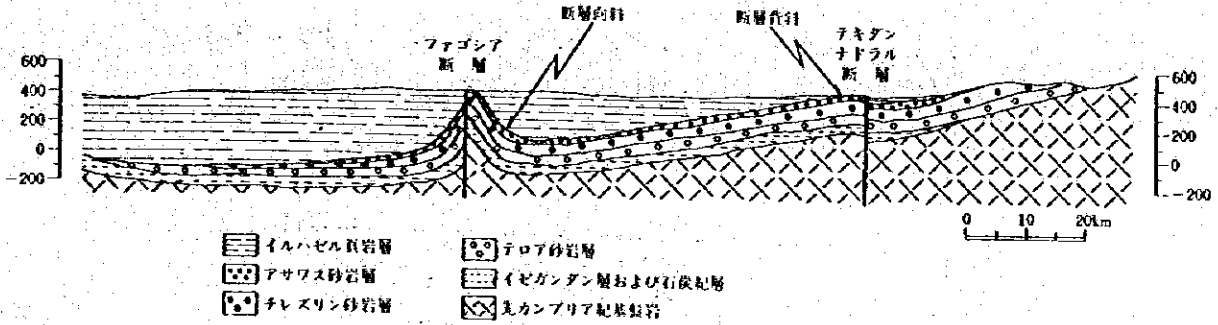


図2-3 イルハゼル平原部推定地質断面図(北緯17°11'30", Joulia, 1965年による)

水理地質的に重要な地層は、石炭紀の陸成層であるファラセカット層及びタラト層、三畳紀～ジュラ紀のアガデス層群、白亜紀のテガマ層群の諸層である。アール山地西縁部、特に北西側では石炭紀の砂岩層が水源開発の対象になっている。また、イルハゼル平原より西方の地域ではテガマ砂岩層が対象になる。イルハゼル平原において水源開発を考える場合、アガデス層群が対象になり、その中でもチレスリン砂岩層 (I, II) とテロア砂岩層が有望である。アガデスからテキダンテスム途中の良好な深井戸の多くはアガデス砂岩層から取水している。Joulia (1965)によるとアガデス層群の比湧水量は $1 \sim 3 \text{ m}^3 / \text{hr} / \text{m}$ ($17 \sim 50 \text{ l} / \text{min} / \text{m}$), 透水係数は $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ m} / \text{sec}$ で、地下水賦存量は 1300 億 m^3 である。

アガデス、インガル、テキダンテスムを結ぶ地域での水質状況 (pH, 電気伝導度, 水温) を示すと図2-4になる。

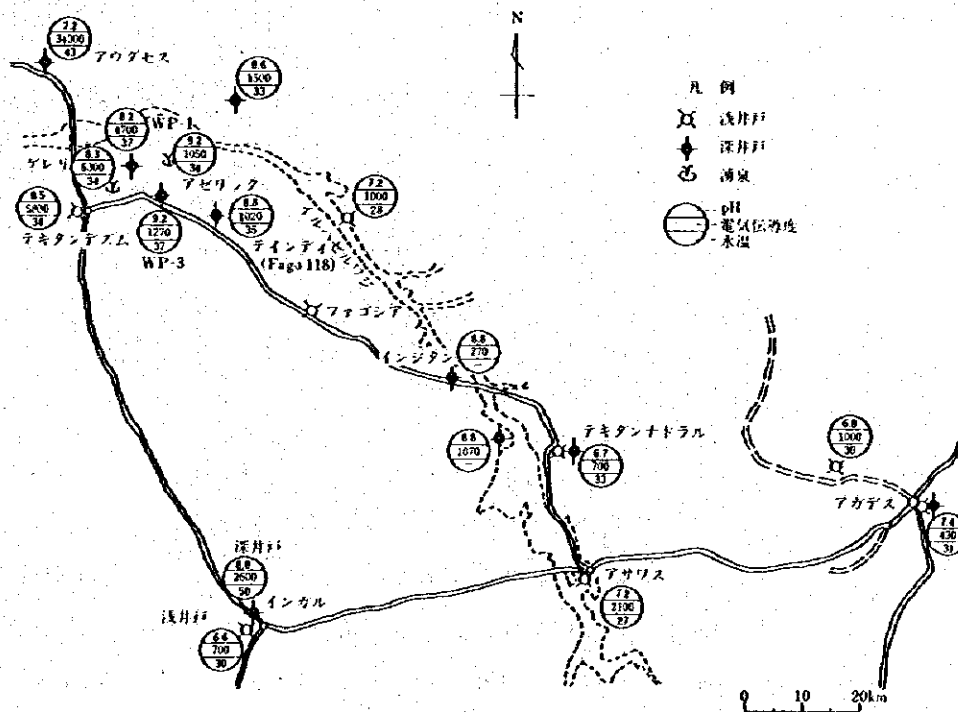


図2-4 南西アール地域井戸、湧泉の水質状況

電気伝導度は地下水に溶存する電解質イオンの総量によって決まり、水質の良否の目安になる。

表2-2は電気伝導度により淡水とかん水を区分したものである。

表2-2 電気伝導度による地下水区分

区 分	固形物総量(ppm)	電気伝導度($\mu\text{U}/\text{cm}$)25°C
淡 水	<1,000	1,400
低かん水	1,000~3,000	1,400~4,000
中かん水	3,000~10,000	4,000~14,000
かん 水	10,000~35,000	14,000~50,000
濃かん水	>35,000	>50,000

(村下敏夫著・地下水学要論より)

図2-4では、井戸の深度、採水対象層についての考慮がされていないので十分な議論はできないが、水質状況はほぼ次のように推定される。

- ・ アガデス付近、インガル及びイルハセルワジの浅井戸は、ワジの伏流水を採水しているもので、電気伝導度 $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の良質な水が得られている。

- ・ テキダンナドラルからテキダンテテム東側の深井戸は電気伝導度 $700 \sim 1300 \mu\text{S}/\text{cm}$ の淡水であるが、pHが高い。アガデス層群から採水しているものと考えられる。テキダンナドラル及びアール山地のアガデス層群の露頭部に近づくにつれて電気伝導度、pHが低くなる傾向がみられ、地表水の浸透の影響があることが推定される。

なお、アサワス、インガル(深井戸)ではやや電気伝導度が高くなっている。停滞性の多少水質が異なる区域とも考えられる。

- ・ グレリ付近以西では電気伝導度 $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の中かん水及びかん水になる。アガデス層群が分布していないか、分布しているとしても地層が薄いため、より下位の地層から採水していると推定される。

テキダンテテム北北西約 25 km のアウグセスでは、電気伝導度が $35000 \mu\text{S}/\text{cm}$ であり、さらに深所の高塩分の被圧水が湧水していることが推定される。

なお、アガデス層群の諸層には方沸石が多量に含まれる。方沸石は、構造式 $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0.8\text{Na}_2 \cdot 2.2\text{H}_2\text{O}$ で表わされ、湖成粘土上のナトリウム塩分に富む溶液の作用により形成されるといわれている。このような環境がアガデス層群中に賦存する地下水の pH を高くしている原因と推定される。

第 3 章

デキダンテズム～アゼリックの水理地質

第3章 テキダンテズム～アゼリックの水理地質

3.1 地質概要

調査地域を構成する諸層は次のとおりである。

年代	層名		
中生代	白亜紀	テガマ層群	テガマ砂岩層
		イルハゼル層群	イルハゼル頁岩層
			アサワス砂岩層
	ジュラ紀 ～三疊紀	アガデス層群	テロア上部層
テロア下部層			
古生代	二疊紀	イゼガンダン亜層群	イゼガンダン上部層
			イゼガンダン下部層
			先二疊紀層

図3-1はこれらの地質構成層の層序と岩相をまとめたものである。地表地質踏査と既存の構造及び水理ボーリング資料、今回実施した揚水井、観測井のスライム観察及び検層結果から作成した調査地域の地質図を図3-2に示す。また、基礎資料としたルート柱状図及び構造ボーリング、井戸柱状図を巻末付図1～5に示す。

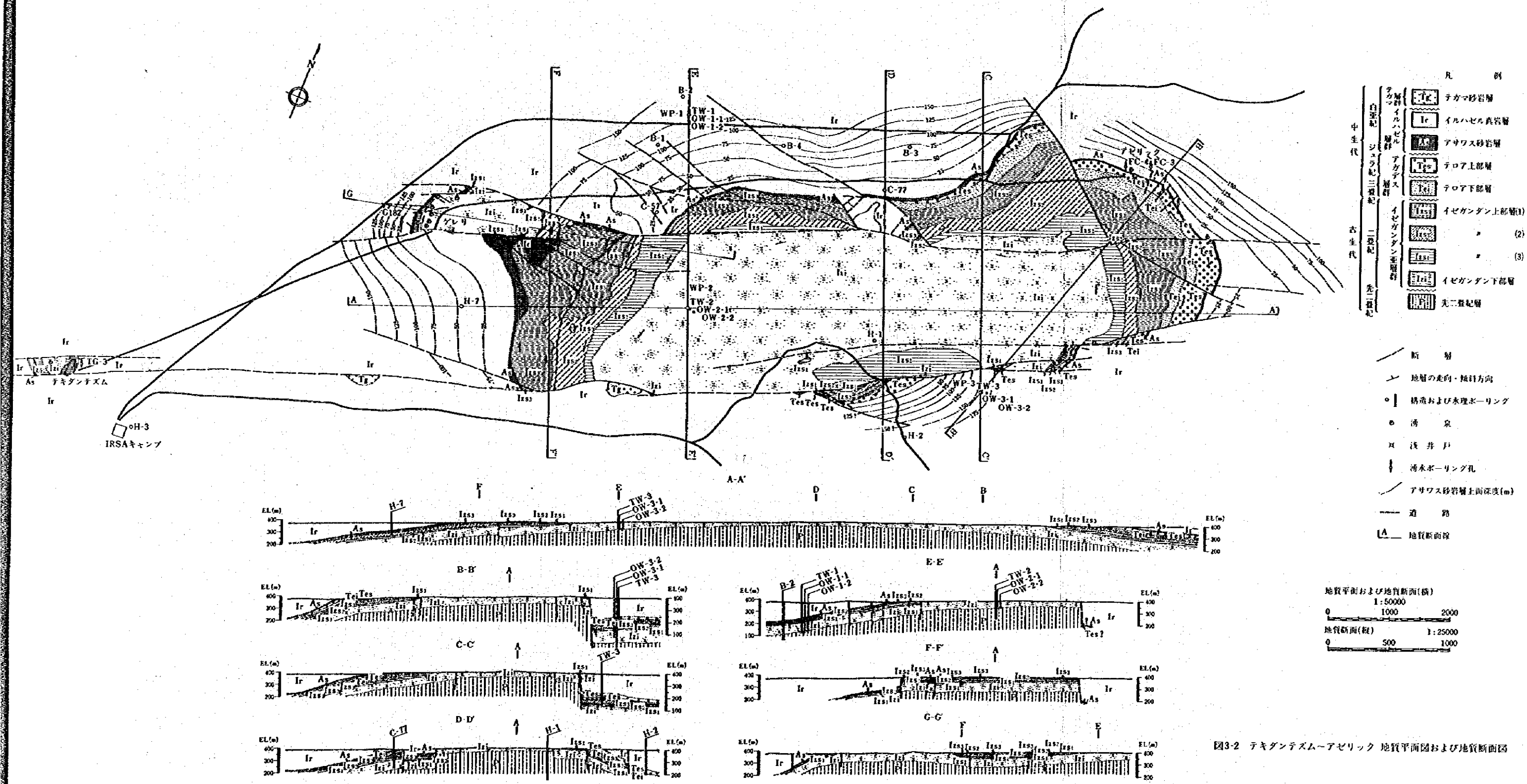
調査地域の地質構造の特徴は、東北東～西南西に伸びるアゼリック断層に沿ってドーム状構造が形成されていることである。

グレリ～アゼリック間では断層に沿う長軸方向に12km、南北方向に3kmの範囲に、イゼガンダン亜層群を中心にしてそれを取り囲むようにアガデス層群及びアサワス砂岩層（イルハゼル層群基底の礫岩、砂岩）が分布している。これらの諸層は、南側を走るアゼリック断層と北側の同方向の断層及びそれらに伴なう小断層により細かく分断されている。ただし、中央部南寄りに構造的な高まりがあって、大局的には主断層を境として北側地域では、北及び東西に3～10°で緩く背斜状に傾斜し、徐々にイルハゼル頁岩層下に潜り込んでいる。一方、主断層南側の地域では、断層による向斜によりイルハゼル頁岩層下位の地層が急激に深くなっている。（図3-3）

テキダンテズムでも小規模ではあるが、イゼガンダン亜層群の地層がアゼリック断層に挟まれて東西方向及び北側に緩く傾斜するドーム構造がみられる。

時代		地層名		柱状図	記号	特徴	層厚(m)	帯水性
中生代	白亜紀	テガマ層群	テガマ砂岩層		Tg	上部：泥灰岩 中～下部：黄灰～黄褐色石英質細～粗粒砂岩 珪化木を含む	10±	砂岩が厚く、良帯水層。テキタンテズム～アゼリックでは断層沿いに点在するに留まり、分布が狭い。
		イルハゼル層群	イルハゼル頁岩層		Ir	褐色シルト岩 緑灰色泥灰岩 赤紫色頁岩を挟在 上部で泥灰岩	200 300	鮮透水層
			アサワス砂岩層		As	イルハゼル層群基底の砂岩、礫岩 含ウラン層	5±	一般に石灰質で不良
	ジュラ紀	アガテス層群	テロア上部層		Tes	上部：粗粒砂岩～礫岩 最上部で方沸石含シルト岩 中部：黄褐～赤褐色中粒砂岩 長石質 下部：黄灰色石英質中～細粒砂岩 等粒状	30 35	中～下部で良帯水層
			テロア下部層		Tei	黄褐色中粒砂岩 長石質 泥質細粒分を含む 一部石灰質 上部に方沸石含シルト岩を伴う所もある	15 20	帯水層
		二畳紀	イゼガンタン層群	イゼガンタン上部層		Izs1	赤褐色細～中粒砂岩 石灰質 下部に泥質角礫岩がある	50±
				Izs2	上部：赤褐色シルト岩 中～下部：褐色～桃灰色細～中粒砂岩および泥質角礫岩			
				Izs3	赤褐色シルト岩 灰白色細～中粒砂岩 長石質			
		イゼガンタン下部層		Izi	上部：赤色シルト岩 淡桃～灰白細粒砂岩 長石質 中～下部：アルコース質中～粗粒砂岩 中間部に赤褐色シルト岩を挟む	70 90	中～粗粒砂岩部で帯水層	
先二畳紀		先二畳紀層		P	細～中粒砂岩とシルト岩の互層		砂岩部で帯水層 高塩分濃度の水を含む箇所がある	

図3-1 テキタンテズム～アゼリックの地質層序



凡 例

テカマ砂岩層	Tc
イルハセル頁岩層	Ir
アサワス砂岩層	As
テロア上部層	Tps
テロア下部層	Tps
イゼガンダン上部層(1)	Iss1
" (2)	Iss2
" (3)	Iss3
イゼガンダン下部層	Iss4
先二疊紀層	Pre-Permian

中生代
白亜紀
ジュラ紀
三畳紀
古生代
二疊紀
先二疊紀

- 断 層
- 地層の走向・傾斜方向
- 構造および水理ボーリング
- 湧 泉
- 浅 井 戸
- 湧水ボーリング孔
- アサワス砂岩層上面深成(m)
- 道 路
- 地質断面線

地質平面および地質断面(横)
1:50000
0 1000 2000
地質断面(縦)
1:25000
0 500 1000

図3-2 テキダンテズム-アゼリック 地質平面図および地質断面図

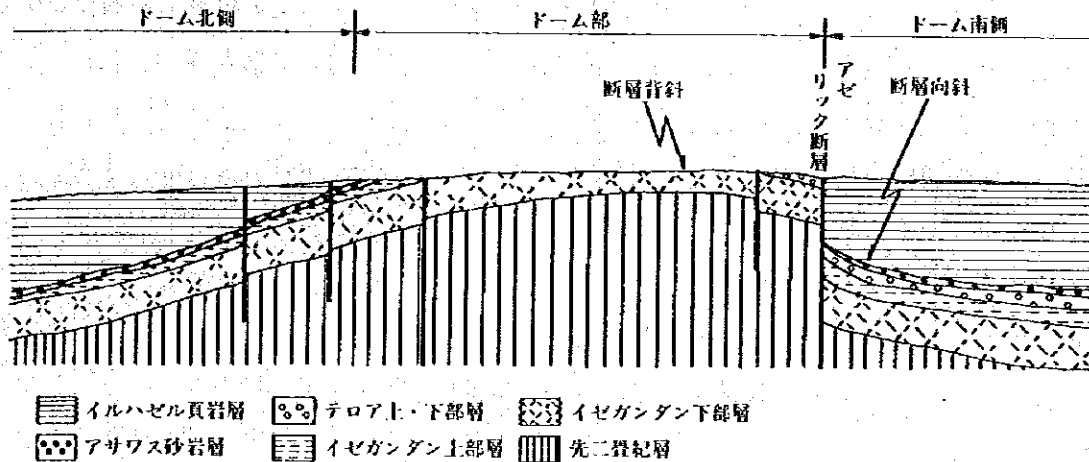


図3-3 ゲレリ～アゼリックドーム部模式地質断面

3.2 各層の分布と岩相

各層の分布と岩相の概略は次のとおりである。

1) テガマ砂岩層 層厚5～10 m ※

本層はアゼリック主断層南側に小規模に分布し、下位のイルハゼル頁岩層とは不整合関係にある。主に黄灰色～黄褐色等粒状石英質中粒砂岩で、斜交層理が発達する。灰白色泥灰岩の薄層を挟在し、珪化木を伴っている。

2) イルハゼル頁岩層 層厚200～300 m ※

本層は調査地域周辺に広く分布する。褐色～赤褐色のシルト岩を主体とし、紫灰色粘土岩、淡緑灰色泥灰岩の薄層を挟在する。上部では泥灰岩層が厚く発達している。シルト岩の大部分は塊状無層理であるが、基底付近で細粒砂が混じり斜交層理がみられる。

3) アサワス砂岩層 層厚5 cm 土

本層はイルハゼル層群基底の砂岩～礫岩で、下位の地層を不整合に被っている。ウラン、銅の含有層である。上部より黄灰色石英質粗粒砂岩、淡緑灰色泥灰質中粒砂岩、礫岩からなる。上部の砂岩部は方解石化作用により硬化している。一般に、下位の地層を深く削り込んでいる所で厚く、ドームの西側で発達が良いようである。

※ 調査地域付近の層厚を示す。模式地における層厚はテガマ砂岩層で250～700 m、イルハゼル頁岩層が600 mと推定されている。(Joulia, 1965年) 特に、調査地域におけるテガマ砂岩層は下部の一部が分布していると推定される。

4) テロア上部層 層厚 30～35 m

本層はテロア下部層を不整合に被い、アゼリック付近のドーム東側とドームの南側の東寄りに分布する。ドームの中央部より西側では確認されていない。上部より次の岩相を呈している。

- ・ 方沸石含赤褐色砂質シルト岩
- ・ 礫岩～含礫粗粒砂岩
- ・ 赤褐色シルト混じり細礫含中粒砂岩
- ・ 黄灰色等粒状石英質中粒砂岩

全体に、中～下部の砂岩は良く円磨された石英粒からなり、良く淘汰されている。上部は長石質細粒分を混じえ、粒子が角張っている。

5) テロア下部層 層厚 15～20 m

本層はイゼガンダン層群を不整合に被い、ドームの東側に分布する。テロア上部層に比べより西側への分布が認められるが、西へ行くにつれ薄くなり、グレリを含むドーム西端以西では確認されていない。主体は黄褐色中粒砂岩である。角張った石英、長石からなり、細粒分を混じえる。所々に珪岩、長石質中粒砂岩の細円礫を含む。

6) イゼガンダン上部層 層厚 50 m 土

本層はドーム中央部のイゼガンダン下部層の周囲にドーム部全域に分布する。赤褐色シルト岩、桃灰色～灰白色の細～中粒砂岩、角礫岩^{*}の交互層である。砂岩部で斜交層理が発達している。堆積輪廻の区切りとなる比較的連続性のある角礫岩を手掛りに次の3層に区分できる。

① イゼガンダン上部層(3) 層厚 15 m 土

一般に上部より赤褐色シルト岩、赤褐色～桃灰色細粒砂岩、角礫岩で構成されるが、側方への岩相変化に富む。

② イゼガンダン上部層(2) 層厚 20 m 土

赤褐色シルト岩、白色～桃灰色長石質中粒砂岩、角礫岩の2～3の堆積サイクルがみられる。

③ イゼガンダン上部層(1) 層厚 10～15 m

上部より赤褐色シルト岩、灰白色長石質細粒砂岩、泥質角礫岩からなる。一般にシルト岩が厚い。

* 赤褐色シルトの角礫岩片、長石質細粒砂岩の偏平礫、粗～中粒石英砂や泥灰岩ボールを含む泥質マトリックスからなる雑色礫岩と区別するために角礫岩とした。

7) イゼガンダン下部層 層厚 70～90 m

本層はドーム中央部に分布している。また、テキダンテズムの小ドーム中央にも小規模な分布が確認されている。本層の中間部に連続性の良い赤色シルト岩（層厚 2～6 m）があり、この上面で上部と下部に分けられる。上部より岩相は概ね次のようになる。

上部； 層厚 35～45 m

- ・赤褐色シルト岩（雲母片多含）
- ・桃灰色～灰白色長石質細～中粒砂岩
- ・黄灰色～淡桃灰色アルコース質中～粗粒砂岩

下部； 層厚 40～45 m

- ・赤褐色～暗褐色シルト岩
- ・淡桃灰色～黄灰色アルコース質粗粒砂岩
- ・淡桃灰色～黄灰色アルコース質中粒砂岩（下部で礫岩質）

全体に中～粗粒のアルコース質砂岩が厚い。粗粒部分では珪岩の細円礫を含み、所により礫岩質になる。調査地域では岩相、層厚ともに比較的安定した連続性が認められる。

8) 先二疊紀層

本層は既設の構造ボーリング（H-1）及び今回実施した揚水井、観測井（TW-1, OW-3・1）で認められるもので、露頭、ボーリングコアによる確認がされていない。地層区分及び岩相の正確なところは今後の調査を待たなければならないが、検層結果及びスライム観察結果から推定される岩相は、上中部でシルト岩、砂岩の互層（上部でシルト岩優勢、中部で砂岩優勢）、下部で砂岩層と考えられる。

3.3 地質構造

調査地域はアゼリック断層に沿って形成されたドーム状構造体にあたる。従って、ここではアゼリック断層を形成する東北東-西南西系断層が卓越している。その他これらの断層の活動に伴って副次的に形成されたと考えられる北西-南東系断層、北北東-南南西系断層がみられる。

グレリ～アゼリック間のドーム状構造の他にテキダンテズムでも小規模なドーム構造がみられることは前述したが、その他グレリ及びアゼリック南側のドーム周縁部で東北東-西南西系断層に挟まれて東及び西方向に緩く傾く小規模な背斜構造が認められる。

調査地域の褶曲構造は、アゼリック断層の動きに関連して形成されたものと考えられ、基本的にドーム状構造帯の南側を走るアゼリック主断層を境にその北側では南北方向に傾斜する断層背斜、その南側では断層向斜になっている。さらに、両地域それぞれに東西方向の緩い褶曲が加わった状態になっていることが推定される。ドーム部、すなわちイルハゼル頁岩層以下の地層の露頭部は、主断層北側地域における東西方向の褶曲軸がそれに交差する軸をもって盛り上がった箇所と考えられる。

このような褶曲構造に作用する断層の動きは単なる正断層、逆断層的なものではなく、かなり複雑である。

また、東北東-西南西系断層にそれから派生する断層が加わって、地層を小区域にブロック化し、この地域の地質構造をさらに複雑なものにしている。主断層南側のWP-3地区（南側揚水試験箇所）付近では、テロア上・下部層及びイセガンダン上部層が北西-南東方向の断層に切られて持ち上がった状態になっている。

なお、調査地域ではイルハゼル層群とアガデス層群の間が大きな不整合になっている。テロア上・下部層は西側に行くに従って薄くなり、ドームの西側には分布していない。また、グレリ及びテキダンテズムではイセガンダン上部層(I)がアサウス砂岩層に接しており、イルハゼル層群の下位層への削り込みが深くなっている。その他の不整合は、調査地域に限ってみると下位の地層の削剝の度合ということではそれほど顕著なものはいられない。

3.4 帯水層

調査地域での主要な帯水層としてテロア上・下部層とイセガンダン下部層が挙げられる。前者を第一帯水層、後者を第二帯水層として分けることができる。以下、これらの帯水層の分布と性状及び難帯水層であるイルハゼル層群、イセガンダン上部層と先二疊紀層の性状について述べる。

なお、テガマ砂岩層は、調査地域での分布範囲が狭く、水源としての利用価値は低いと考えられるのでここでは省略する。

3.4.1 第一帯水層

本帯水層は、アイール山地南西縁及びイルハゼル平原における主要な帯水層であるアガデス層群に属する。調査地域では、アガデス層群の下部を構成するテロア層が、アゼリック、WP-3地点付近のドーム東側で厚く分布している。テロア層全体の層厚は30~50mである。主体は石英質中粒砂岩で、特にテロア上部層の中・下部を構成する等粒状砂岩が良好な帯水層と考えられる。

テロア層はドーム西側のグレリ及びテキダンテズムは確認されていない。また、ドーム南側のWP-3地区より西側での分布が不明であるが、既存構造ボーリングH-3で認められないことから、ドーム中央より西側の地域では分布していないか、あっても薄くなっていると考えられそうである。

本層は、一般に東側ではアイール山地に近づくにつれて厚くなり、テロア層の上位にアガデス砂岩層上部のチレズリン砂岩層を伴うことが推測される。アゼリックの湧泉、ティンディ深井戸にみられる湧水は本帯水層からのものと推定され、調査地域の地下水源として重要である。水質は一般にアルカリ性の淡水である。

3.4.2 第二帯水層

イセガンダ下部層のアルコース質中~粗粒砂岩部がこれにあたる。調査地域では、イセガンダ下部層の層厚は70~90mで比較的均一に全域に分布しており、深度を問題にしなければ、本地域の

どこからでも本層の水を得ることができる。テキダンテズムの生活用水は本層から採水している。また、テキダンテズム、グレリの探鉱ボーリングやWP-1地区の揚水試験井から湧水がみられる。水質は中かん水である。

なお、ドームの中央部には本層が2.5km×6.5kmの範囲に露頭し、WP-2地区で水位GL-21mの自由地下水面を形成している。長年の地表水の浸透による影響が考えられ、水質的に特殊な環境になっている。

3.4.3 難帯水層

イルハゼル層群、特にイルハゼル頁岩層は、ドームを取り巻いて調査地域一帯～イルハゼル平原に広大に分布している。シルト岩を主体とする難透水層で、イルハゼル層群下の帯水層を被圧する重要な役割を果たしている。なお、調査地域のアサウス砂岩層（イルハゼル層群基底砂岩）は、方解石化作用により硬化していることが多く、また、岩相上細粒分を多含し、帯水層として不良である。

イゼガンダン上部層は、シルト岩と長石質細粒砂岩を主体とし、砂岩部が方解石化作用により硬化していることが多く、帯水層として不良である。ただし、第一帯水層と第二帯水層を画し、両者の地下水の混合を防ぐということでその役割は大きい。

3.4.4 先二疊紀層

調査地域の深部に分布する本層の実態について十分な調査がなされていない。本層の岩相は砂岩とシルト岩の互層と判断されているが、その砂岩の厚い部分で帯水層になり得ると思われる。ただし、TW-2揚水井孔底（150m）付近でのエアリフト揚水及び既存構造ボーリングH-1の孔内水の水質が海水に近いものであったことから、本層のいずれかにこのような高塩分の地下水が含まれていると考えられる。

3.5 地下水位

揚水試験井、既設井及びボーリング孔において測定した地下水位及び孔内水位を示すと表3-1のようになる。

表3-1 地下水位

項目	場所 井戸名	ドーム中央部			ドーム南側		
		ドーム北側 TW-1	TW-2	H-1	TW-3	OW-3-1	ティンディ FAGO 118
標高(m)		378	399	409	398	398	382
地下水位(m)		GL+6	GL-21	GL-2	GL-11	GL-6	GL+8
地下水位標高(m)		384	378	407	387	392	390
備考		第二帯水層	第二帯水層不圧部	孔内水先二疊紀層	第一帯水層	第二帯水層	第一帯水層

- ・ 第一帯水層の水位標高は 387 ~ 390 m である。東側でやや水頭が高くなっている。
- ・ 第二帯水層はドーム北側で第一帯水層より幾分低く、南側で高い。OW-3・1 の孔底は先二疊紀層まで入っており、より深部の地下水の水頭を測定している可能性もある。
- ・ ドーム中央部が周囲に比べかなり水位が低い。
- ・ それに比べて H-1 の水位が非常に高い。孔内水であるため明確ではないが、ケーシングが 30 m まで入っており、深度 10 m で先二疊紀層に到達している。先二疊紀層中に水頭の高い被圧水が賦存している可能性がある。

3.6 水質分布

調査地域の湧泉や水井戸には、それぞれに淡水性の水質を示すものと塩水性の水質を示すものがあることが知られている。このような地域で地下水開発を行なうためには、水質分布、特に地質構造と関連した水平的・垂直的分布の把握が重要になる。この目的から10箇地点の検水を日本に持ち帰り、水質分析を行なった。その結果を表3-2に示す。なお、揚水試験箇所の水質については、我が国の水道法に基づく水質基準に照合できるようさらに細項目の分析を行なっているが、これは後章で検討する。

循環性の水、停滞性の水、海水あるいは火山性の水はそれぞれ特色のある水質系を示すので、地下水の性格を表わす水質系を調べることによって、その形態を判断することが可能である。次のキーダイヤグラムによる方法は、地下水が現在おかれている環境を表現する手法として良く用いられている。

一般に水質が、陰イオンとして $(SO_4 + Cl)$ 、 $(HCO_3 + CO_3)$ 、陽イオンとして $(Na+K)$ 、 $(Ca+Mg)$ の4成分系で化学平衡を保っているという仮定に立つと、その地下水の水質の特徴を図3-4 キーダイヤグラムにより表3-3の4つのグループに分けることができる。

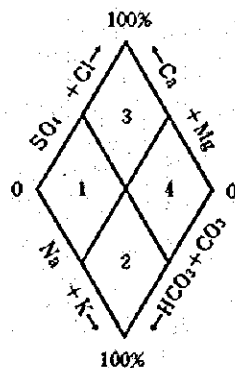


図3-4 キーダイヤグラム

表3-2 水質分析結果

整理番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1978年分析
採水場所	TW-1 第二帯水層	TW-2 第二帯水層	TW-2 150m孔底付近	TW-3 第一帯水層	OW-3-1 第二帯水層	チキダチスム 部落生活用水	TG3 (チキダチスム)	GM182 (ケレリ)	FC4 (アゼリック)	H-1 (ドーム中央)	1978年分析
井戸形態	深井戸	深井戸	深井戸	深井戸	深井戸	浅井戸	深井戸	深井戸	深井戸	深井戸	深井戸
水温	37.0	33.2	28.0	37.0	39.0	34.0	34.0	34.0	33.0	34.0	34.7
pH	8.2	7.7	8.8	9.2	—	8.5	8.4	8.3	9.2	8.0	8.8
室内	8.7	7.8	8.3	9.2	8.0	8.1	8.0	8.0	9.2	8.3	9.2
電導度	5400	1200	20000	1600	13000	5600	5000	6500	1100	1900	1300
室内	4740	1000	25200	1270	13000	5780	4860	6340	1050	2350	1020
色度	2	2	123	1	0	32	1	1	1	49	0
濁度	0	0	31	0	0	9	0	0	0	32	0.4
炭酸イオン	3.1	5.4	2.1	1.7	7.4	3.5	2.5	2.1	1.1	2.2	81.5
	0.10	0.18	0.07	0.06	0.25	0.12	0.08	0.07	0.04	0.07	2.71
重炭酸イオン	987	323	268	707	385	883	780	520	570	275	420
	16.2	5.30	4.40	11.6	6.31	14.5	12.8	8.53	9.35	4.51	6.89
塩素イオン	1240	195	11000	64.0	4790	1600	1030	2010	88.8	10400	28.5
	35.0	5.50	310	1.80	135	45.1	29.1	56.7	2.50	293	0.30
硫酸イオン	168	11.6	348	47.3	414	179	152	169	35.6	392	60.4
	3.49	0.24	7.24	0.98	8.61	3.72	3.16	3.52	0.74	8.15	1.26
ナトリウムイオン	1160	185	6300	350	3160	1340	920	1310	260	5600	293
	50.5	8.05	274	15.2	137	58.3	40.0	57.0	11.3	244	12.7
カリウムイオン	7.8	5.7	20.1	4.8	13.6	9.7	3.6	6.5	0.4	16.3	0.52
	0.20	0.15	0.51	0.12	0.35	0.25	0.09	0.17	0.01	0.42	0.01
カルシウムイオン	5.1	23.2	154	0.8	33.3	10.9	5.2	10.6	0.7	113	1.2
	0.25	1.16	7.68	0.04	1.66	0.54	0.26	0.53	0.03	5.64	0.06
マグネシウムイオン	1.6	6.5	57.8	0.1	8.3	3.5	1.5	3.2	0.1	27.0	0.05
	0.13	0.53	4.75	0.01	0.68	0.29	0.12	0.26	0.01	2.22	0.00
総鉄	0.16	0.15	5.26	0.08	0.03	9.11	0.05	0.04	0.02	27.8	検出限界以下
総マンガン	0.01以下	0.01以下	0.23	0.01以下	0.05	0.23	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.30	検出限界以下
総硬度	21.2	96.5	637	10.3	132	90.4	24.6	46.2	6.2	136	2以下
過マンガン酸カリウム消費量	7.6	2.1	29.1	1.8	20.5	17.1	8.2	14.1	1.7	28.8	1.4
硝酸性窒素	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	0.05以下	検出限界以下
アンモニウム性窒素	0.14	0.14	0.39	0.10	0.10	0.81	0.11	0.24	0.10	1.74	検出限界以下

表3-3 水質系による地下水区分

タイプ	水質系区分	地下水の性質
1	炭酸カルシウム型	淡水の典型的なグループ
2	炭酸ナトリウム型	タイプ1の地下水が水の化学的性質によって軟水化した水で、一般に停滞性の水がこの型に属する
3	非炭酸カルシウム型	地すべり地、鉱山の酸性廃水、温泉水
4	非炭酸ナトリウム型	海水および海水が混入した地下水

淡水は、それぞれの置かれた環境によっても異なるが、タイプ1か2の型に属する。タイプ3と4は水中の塩素イオン濃度、地層中の粘土鉱物とのイオン交換反応時間によって決まる。

図3-5は、各採水地点の分析結果をキーダイヤグラム上にプロットしたものである。

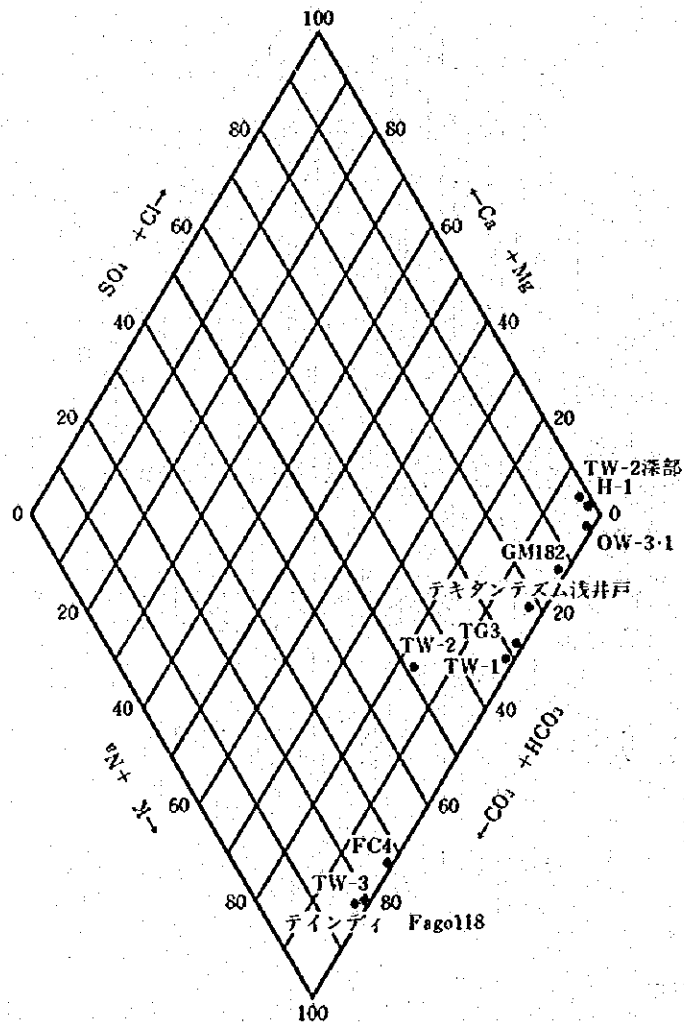


図3-5 調査地域水質区分キーダイヤグラム

調査地域の水質は分析結果から概ね次の4つに区分できる。これらは地質構造に合致している。

第一帯水層の地下水

第二帯水層の被圧地下水

第二帯水層ドーム中央部の不圧地下水

先二疊紀層中の地下水

3.6.1 第一帯水層の地下水

これは、アゼリック湧泉、ティンディの深井戸、TW-3揚水井に代表される地下水である。炭酸ナトリウム型に区分される被圧地下水である。

水温 $34^{\circ} \sim 37^{\circ}\text{C}$ ，pH 8.8～9.2，電気伝導度 $1000 \sim 1300 \mu\text{S}/\text{cm}$ である。電気伝導度による区分では淡水に入る。pH及び重炭酸イオン濃度が高い。

3.6.2 第二帯水層の被圧地下水

これは、テキダンテズムの浅井戸、ゲレリの湧泉、TW-1揚水井に代表される地下水である。ドーム中央部第二帯水層の不在地下水とは後述のように水質が異なり、被圧された停滞性の地下水と考えられる。非炭酸ナトリウム型に区分され、塩水が混った水で、淡水と強度の化石塩水との中間型の地下水である。

水温 $30^{\circ} \sim 38^{\circ}\text{C}$ ，pH 8.2～8.5，電気伝導度 $5000 \sim 6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ である。中かん水に区分され、塩素イオン濃度（ $1000 \sim 2000 \text{mg}/\ell$ ），ナトリウムイオン濃度（ $900 \sim 1400 \text{mg}/\ell$ ），重炭酸イオン濃度（ $500 \sim 1000 \text{mg}/\ell$ ）が高い。

なお、OW-3・1も第二帯水層から採取した水であるが、電気伝導度 $13000 \mu\text{S}/\text{cm}$ とかなり高く、先二疊紀層中の地下水との中間型の分析結果になっている。

3.6.3 第二帯水層ドーム中央部の不在地下水

これは、TW-2揚水井の地下水である。非炭酸ナトリウム型に区分されるが、炭酸ナトリウム型に近い水質を示す。

水温 33° ，pH 7.7，電気伝導度 $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ を示し、淡水に入る。重炭酸イオン濃度（ $323 \text{mg}/\ell$ ），硫酸イオン濃度（ $11.6 \text{mg}/\ell$ ），ナトリウムイオン濃度（ $185 \text{mg}/\ell$ ）が低い。カルシウムイオン濃度（ $23.2 \text{mg}/\ell$ ），硬度が高い。また、第一帯水層の地下水に比べて塩素イオン濃度（ $195 \text{mg}/\ell$ ）がやや高い。

ドーム中央部は、第二帯水層であるイセガンダン下部層が比較的広く露頭し、不圧状態になっている。このため地表水の浸透による影響を受けやすく、長年の間に第二帯水層深部の被圧された部分の水質と異なるものになったものと推定される。

3.6.4 先二疊紀層中の地下水

これは、TW-2 揚水井で 150 m まで掘削した時に孔底付近からエアリフトにより揚水した水と、既存構造ボーリング H-1 の孔内水を分析したもので、先二疊紀層のいずれかの層に含まれる強度の化石塩水である。

水温 2.8°C ，pH 8.8，電気伝導度 $23,000 \sim 26,000 \mu\text{S}/\text{cm}$ を示す。

3.6.5 水質分布状態

調査地域の水質分布状態を示すと図 3-6 になる。

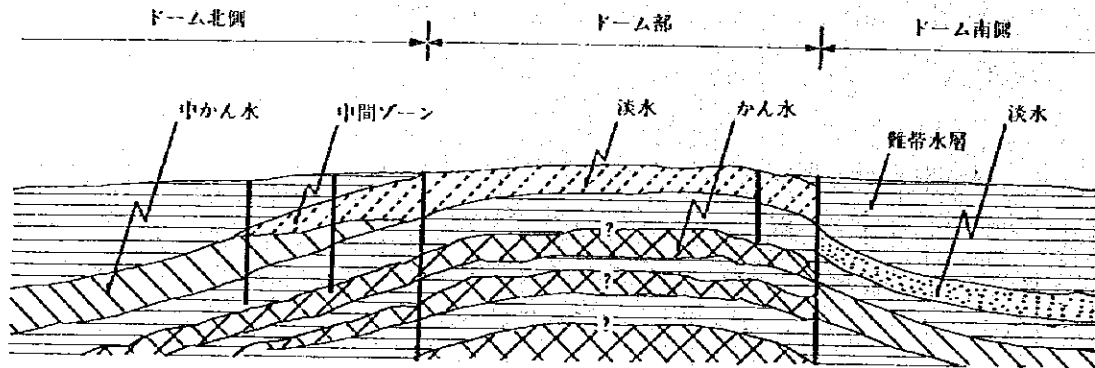


図3-6 ドーム部水質分布模式断面図

また、調査地域の探鉱ボーリング孔の孔内水の電気伝導度を測定してみると概ね次のような傾向がある。(図 3-7)

- ・ ドーム部すなわち、アサワス砂岩層以下の地層の露頭部に近づくと電気伝導度が低くなり、ドームから離れた外側で電気伝導度が高い。
- ・ WP-3 地点及びアゼリック村近では電気伝導度 $1000 \sim 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ を示すが、ドーム西側では $2000 \sim 6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ の電導度値になっている。
- ・ 断層沿いで周囲よりやや高目の電導度を示す。なお、ゲリ北側断層付近では $45000 \mu\text{S}/\text{cm}$ の濃かん水に近い水質を示す箇所がある。

深度及び到達している地層を明確にしていないので、正確な議論はできないが、ドーム部からの地表水の浸透の影響があること、また、断層沿いに地下深部から強度の塩分を含む地下水が上昇していることが推定される。

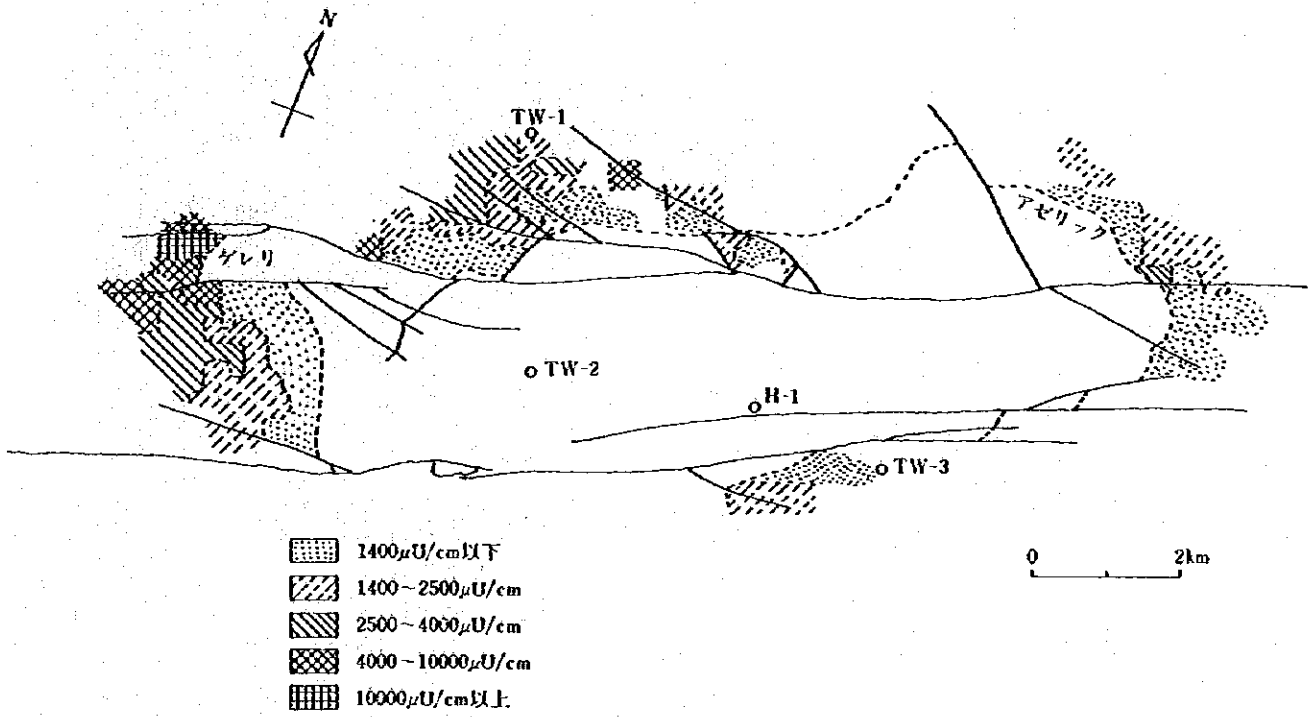


図3-7 探鉱ボーリング孔内水の電気伝導度分布

第 4 章

揚 水 試 験

第4章 揚水試験

調査地域の帯水層に賦存する地下水の量および質を確認し、水理定数を把握するために、3地区で揚水井(1)、観測井(2)を設けて揚水試験を実施した。

4.1 揚水試験位置の設定

調査地域は地質構造からドーム状構造体を中心にドーム北側地域、ドーム中央部、ドーム南側地域の3地域に區別けすることができるので、それぞれの揚水試験地点をWP-1、WP-2、WP-3として、所定の計画深度で試験が行なえるよう既存のボーリング資料を参考に位置を決め、各地点に揚水井(1)、観測井(2)を設置した。したがって、試験対象水層はWP-1地点が第二帯水層、WP-2地点が第二帯水層の不圧部、WP-3地点が第一帯水層と第二帯水層(観測井OW-3・1追掘部で実施)である。各試験地点の位置は前出の図3-2に示してある。

4.2 試験井の構造と配置

揚水井、観測井の構造諸元を表4-1に、また、それらの構造図を図4-1にそれぞれ示してある。

なお、WP-2地点では、TW-2揚水井において所定深度150m掘削後孔底付近で実施したエアリフトによる揚水が、かん水であることが判明したため、78m以深をセメンテーションにより閉塞し、観測井の深度を65mとして第二帯水層のみを対象に試験を行なった。

また、WP-3地点では、まず試験井を250mまで掘削してから、第一帯水層を対象に揚水試験を実施した後、さらに下位の地質状況の調査と第二帯水層の揚水試験井を兼ねて、観測井OW-3・1を深さ400mまで追掘した。当初の予定では観測井OW-3・2をコアリングしながら追掘するように計画したが、深さ322mでコア詰りのため掘削できなくなり、OW-3・1のノンコアボーリングに変更した。

各試験地点の揚水井、観測井の井戸間隔および方向は表4-2に示すとおりで、特に試験井の配列方向が概ね地層の傾斜方向になるように配慮してある。

表4-2 試験井の間隔と方向

地 点	間 隔			配列方向
	起 点	観測井1	観測井2	
WP-1	TW-1	50m	100m	N20°W
WP-2	TW-2	30m	100m	N70°W
WP-3	TW-3	30m	100m	N70°E

表4-1 揚水井、観測井の構造諸元

地点および 井戸の名称	WP-1			WP-2			WP-3			
	TW-1	OW-1-1	OW-1-2	TW-2	OW-2-1	OW-2-2	TW-3	OW-3-1	OW-3-2	OW-3-1追掘
口元標高	377.5m	377.7m	378.0m	399.5m	398.6m	399.6m	398.5m	398.1m	397.9m	398.1m
掘削深度	250m	250m	250m	150m	65m	65m	250m	250m	250m	250~400m
掘削口径	0~10m:12¼" 10~100m:8%" 100~250m:5%"	0~10m:8%" 10~250m:5%"	0~10m:8%" 10~250m:5%"	0~10m:12¼" 10~100m:8%" 100~150m:5%"	0~10m:8%" 10~65m:5%"	0~10m:8%" 10~65m:5%"	0~10m:12¼" 10~100m:8%" 100~250m:5%"	0~10m:8%" 10~250m:5%"	0~10m:8%" 10~250m:5%"	0~10m:8%" 10~250m:5%"
ケーシング口径	0~10m:10" 0~100m:6" 100~250m:4"	0~10m:6" 0~250m:4"	0~10m:6" 0~250m:4"	0~10m:10" 0~78m:4"	0~10m:6" 0~65m:4"	0~10m:6" 0~65m:4"	0~10m:10" 0~100m:6" 100~250m:4"	0~10m:6" 0~250m:4"	0~10m:6" 0~250m:4"	0~10m:6" 0~250m:4"
ストレーナ口径	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	4"	73mm
ストレーナ仕様	NSTスクリーン	スリット	スリット	NSTスクリーン	スリット	スリット	NSTスクリーン	スリット	スリット	スリット
ストレーナ位置	177.5~194m 205~227 232.5~244.5	173~178.5m 184~195 200.5~220.5 228~239	173~178.5m 184~195 200.5~222	17~44.5m 50~61	15.5~59.5m	15.5~59.5m	156.5~200.5m 206~211.5	156.5~200.5m 206~211.5	173~200.5m 206~211.5 217~233.5	268.05~298.05m 307.05~316.05 322.05~337.05
開口率	15%	5%	5%	15%	5%	5%	15%	5%	5%	3%
セメンテーション	—	—	—	78~150	—	—	—	—	—	—
試験対象層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層	イゼガンダン下部層 第一帯水層	イゼガンダン下部層 第一帯水層	イゼガンダン下部層 第一帯水層	イゼガンダン下部層 第二帯水層
備考	揚水井			揚水井、第二帯水層下部に かん水の存在 が予想された ためセメンテ ーション			揚水井			250mまでの揚 水試験完了後 掘削。補足的 に揚水試験を 行なう

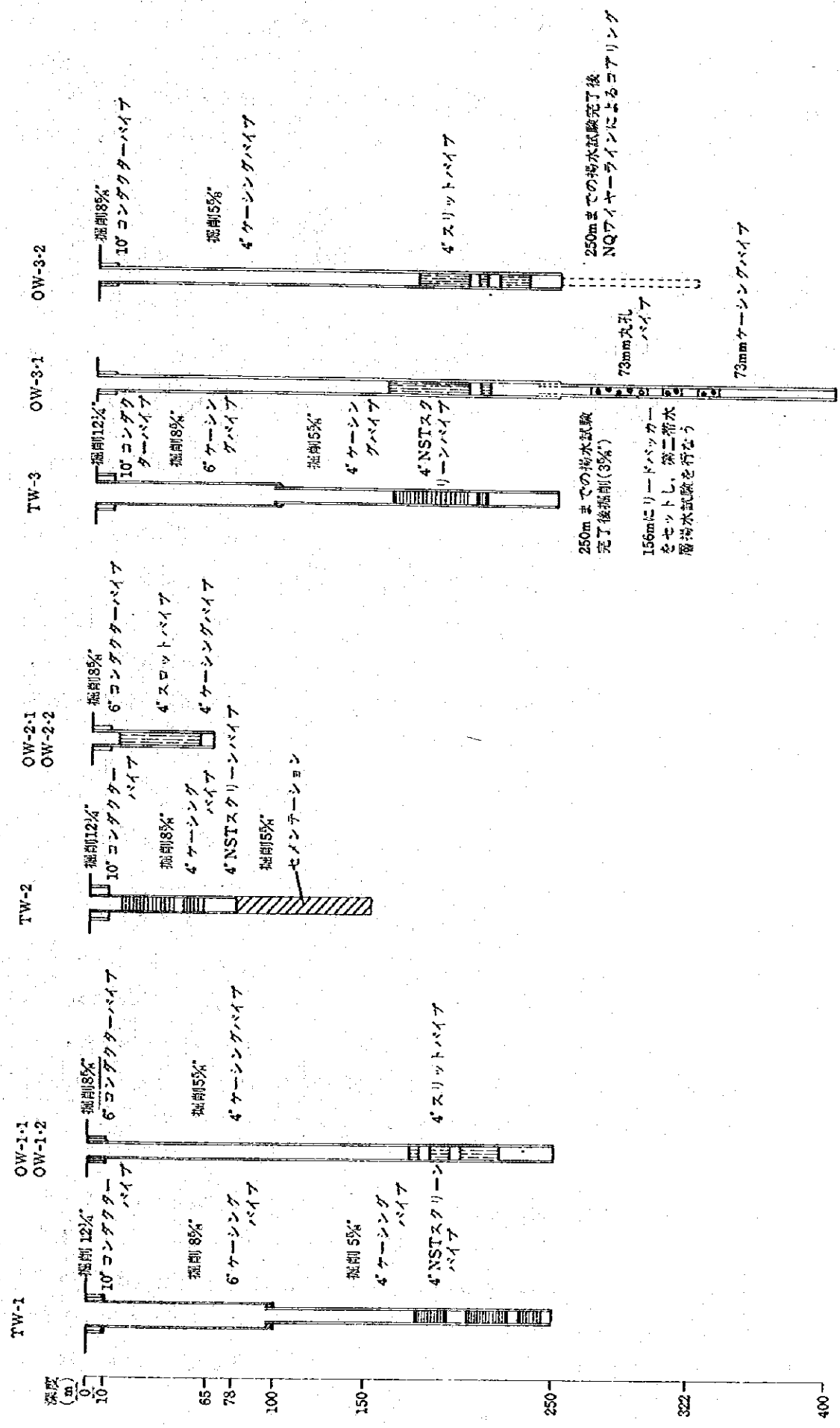


図4-1 観測井、揚水井の構造

4.3 試験地点の地質

各試験地点の揚水井、観測井の柱状図をスライムおよび孔内検層の結果から作成し、これに基づいてストレーナ位置を決定した。(付図-2~4参照) 実施した孔内検層は次のとおりである。

•電気検層	比抵抗法	二極法	電極間隔 12.5cm 25cm
		三極法	電極間隔 25cm
自然電位			

•放射能検層—ガンマ線検層

以下、各地点の地質状況について述べる。なお、各地点の地質構造を各試験井のストレーナ位置とともに図4-2に示す。

(1) WP-1地点

イルハセル層群がイセガンダン上部層(2)上に堆積しており、テロア層がみられない。したがって第二帯水層であるイセガンダン下部層を試験対象層とした。本地点でのイセガンダン下部層の上面深度は約160 m、層厚は80 mで、北側に傾斜5°で緩く傾いている。シルト岩、細粒砂岩部をはずし、主にアルコース質中~粗粒砂岩部で試験ができるようストレーナを設置した。調査井から15ℓ/min程度の自噴があり、水位測定のために立ち上げた長さ5.5 m鋼管上部から湧出があった。したがって、水位を地上6 mと推定した。

(2) WP-2地点

イセガンダン下部層の露頭部にあたり、試験井はイセガンダン下部層上部側中程から掘られている。イセガンダン下部層下面の深度は約60 mである。地層は傾斜2°で西北西方向に緩く傾いている。主体はアルコース質中~粗粒砂岩で、粗粒部分の占める割合がやや多いと判断される。

TW-2揚水井では深度62 mから先二疊紀層に入り、主にシルト岩と細~中粒砂岩の互層になっている。150 mまで掘削して孔底付近で行なったエアリフトによる揚水が電気伝導度25000μg/cmのかん水であったため、73 m以深をセメーションにより閉塞している。地表付近15 mを盲ケーシングとし、それ以下イセガンダン下部層の下面まで全体にストレーナを設置した。本地点の地下水は不圧地下水で水位はGL-21 mであった。

(3) WP-3地点

アガデス層群テロア層が分布しており、これを対象に一回目の揚水試験を実施した。本地点でのテロア層の上面深度は約160 m、層厚は47 mであるが、OW-3・2ではイルハセル層群による上面の削り込みが深く、厚さは32 mである。下底の深度から地層は数度で東~南東方向に極く緩く傾斜していると推定される。よく淘汰されている等粒状の石英質中粒砂岩を主体とするテロア層と一部その下位のイセガンダン上部層の砂岩部にストレーナを設置した。250 m掘削した段階での地下水位はGL-11 mである。

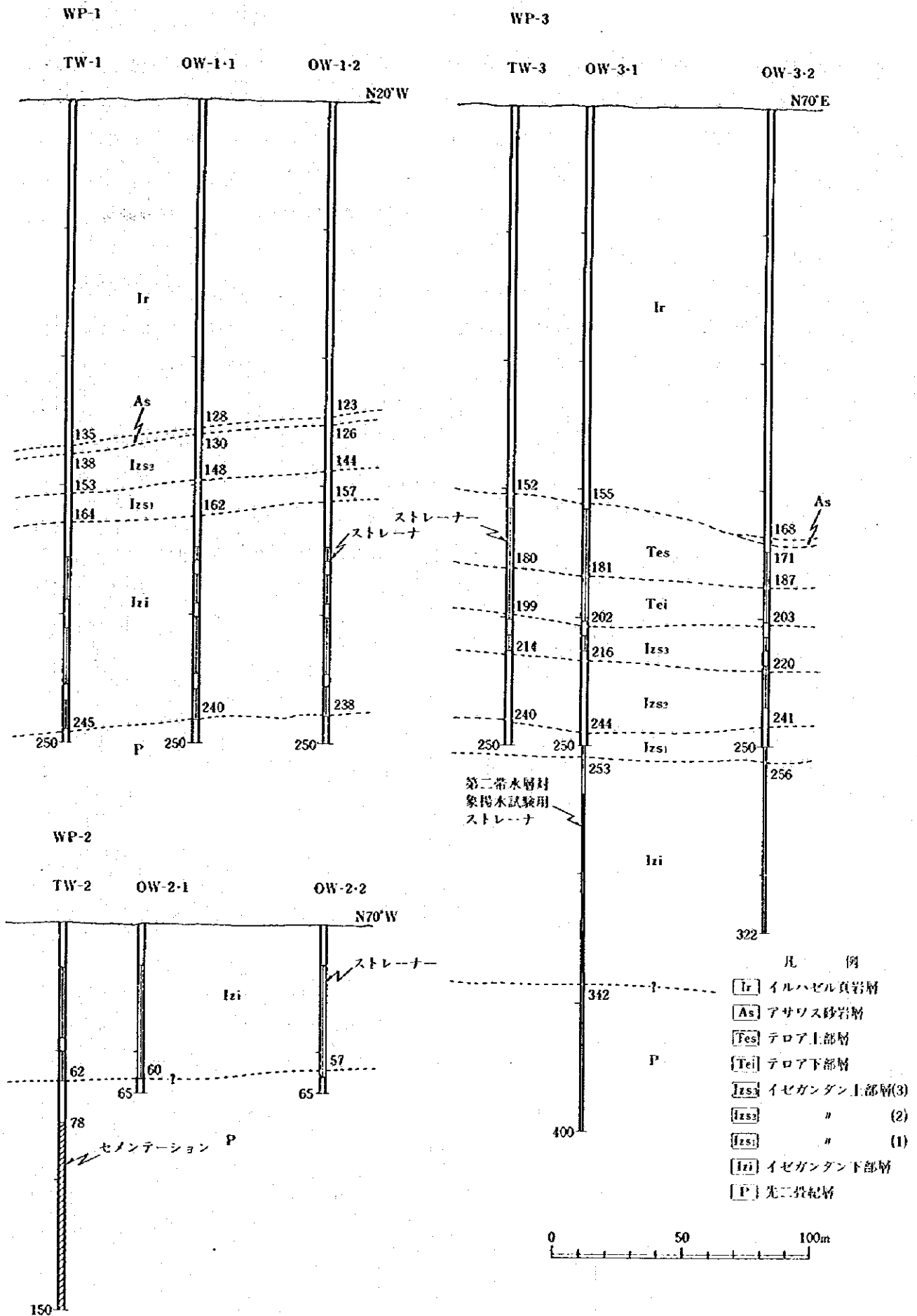


図4-2 揚水試験地点の地質断面

下位の地質状況を調べるためにOW3・1観測井で深さ250 mから400 mまで追掘し、イゼガンダン下部層を対象に補足的に揚水試験を実施した。イゼガンダン下部層の上面深度は255 m、層厚は89 mとやや厚い。シルト岩、細粒砂岩部を外し、主にアルコース質粗～中粒砂岩にストレーナを設置した。2回目揚水試験時点の地下水位はGL-6 mであり、250 mまで掘削した時の地下水位に比べてかなり高い。この地域のイゼガンダン下部層あるいはより下位の地層中の被圧水の水頭が高いことを示している。

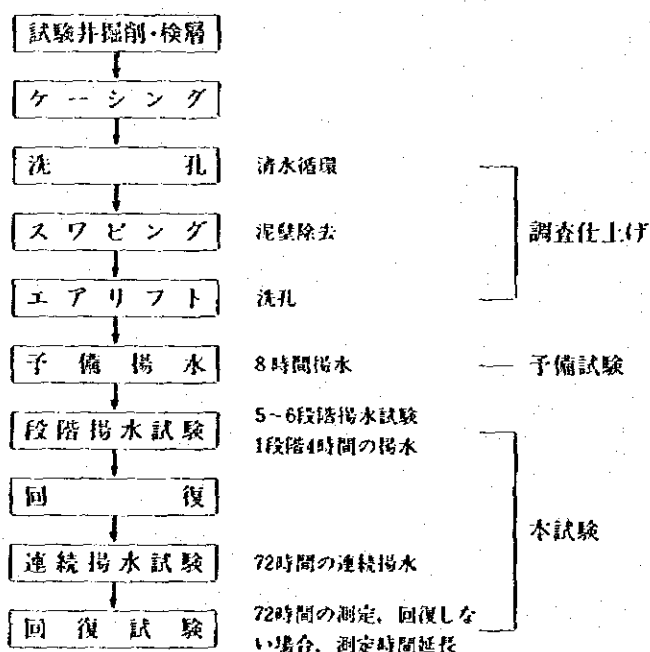
なお、テロア層とイゼガンダン下部層に挟まれるイゼガンダン上部層の主体はシルト岩と細粒砂岩の互層である。総体として難帯水層と考えられ、上下二つの帯水層の隔壁的な役割をしている。また、343 m以深の先二疊紀層は、細粒砂岩、シルト岩の互層と推定される。各地点の試験対象層（ストレーナ設置箇所）及び岩相についてまとめると表4-3のようになる。

表4-3 揚水試験対象層と岩相

地点	帯水層	地層	岩相	平均深度	厚さ
WP-1	第二帯水層	イゼガンダン下部層全体	主体はアルコース質中～粗粒砂岩	175～240m	65m
WP-2	第二帯水層	イゼガンダン下部層の中部および下部	"	0～60m	60m
WP-3	第一帯水層	テロア上・下部層およびイゼガンダン上部層(1)の砂岩部の一部	含礫石英質砂岩、等粒状石英質中粒砂岩、長石質中粒砂岩	160～217m	57m
	第二帯水層	イゼガンダン下部層全体	アルコース質中～粗粒砂岩	268～337m	69m

4.4 揚水試験方法と使用機器

揚水試験は帯水層試験（連続揚水試験、水位回復試験）と段階揚水試験を実施した。その作業順序は次のとおりである。



次に、各試験の水位測定間隔を表4-4に示す。

表4-4 水位測定時間間隔

試 験	井 戸	時 間										
		0	5 ^{min}	10	30	1 ^h	2	4	8	16	24	72
段階揚水試験	揚水井	30 ^{sec}	1 ^{min}	2 ^{min}	5 ^{min}	10 ^{min}	20 ^{min}					
	観測井	5 ^{min}	5	5	5	10	20					
連続揚水試験 回復試験	揚水井	30 ^{sec}	1	2	5	10	20	30 ^{min}	1 ^h	2 ^h	4 ^h	
	観測井	1 ^{min}	1	2	5	10	20	30	1	2	4	

揚水試験に使用した水中モーターポンプは、揚水井の口径からWP-1地点、WP-3地点（第一帯水層）で6"井戸用、WP-2地点、WP-3地点（第二帯水層）で4"用である。いずれも深度60mに設置した。

次に、試験井掘削～揚水試験までに使用した主要機器とその仕様の概要を示す。

(1) 試験井掘削

- ・ 試錐機 日本ロングイヤー「L-38型」スピンドル型ロータリー式
- ・ 試錐機用エンジン 三井ドイツ「F4L-912」1800 rpm, 54Ps
- ・ 泥水ポンプ 東邦地下工機「BG-20」21 kg/cm², 315 ℓ/min
- ・ 泥水ポンプ用エンジン三井ドイツ「F2L-912」1800rpm, 25ps

(2) 検 層

- ・ 検層機 応用地質調査事務所 3000シリーズ

(3) 試験井

- ・ ケーシングパイプ 6" JIS G3452 OD.; 165.2^{mm}, t; 5.0^{mm}, ℓ; 5.5^m
4" JIS G3454 OD.; 114.3^{mm}, t; 6.0^{mm}, ℓ; 5.5^m
- ・ ストレーナ 4" NSTスクリーン
母 管 4"ケーシングパイプ JIS G3454
有効長 5.05^m, スクリーンピッチ 1.0^{mm}
開口率 (母管部15.2%, 捲線部20%)

(4) 揚水試験

- ・ 6" 水中モーターポンプ 日本プロイガー「B72 VII+JX110X」揚程50^m, 600ℓ/min
- ・ 4" 水中モーターポンプ 富士川「DSM 4V-17-2.2」揚程65^m, 80ℓ/min
- ・ 発 電 機 デンヨー「DOA-55-S」55 KVA
- ・ 三角ノッチ箱 0.9×0.9×1.0^m

4.5 揚水試験結果

4.5.1 揚水試験結果の概要

揚水試験結果ならびに解析結果をまとめて表4-5に示してある。なお、段階試験、連続揚水試験及び回復試験の結果は巻末の付表-1~2の試験結果一覧表及び付図6~10の水位変化図に整理してある。

表4-5 揚水試験結果

試験地点	WP-1	WP-2	WP-3	
対象帯水層	第二帯水層	第二帯水層	第一帯水層	第二帯水層
水位降下	54.15m	10.48m	42.23m	28.82m
揚水量	143.4ℓ/min (206m ³ /day)	139.0ℓ/min (200m ³ /day)	452.5ℓ/min (652m ³ /day)	139.0ℓ/min (200m ³ /day)
比湧水量	2.6ℓ/min/m	13.3ℓ/min/m	10.7ℓ/min/m	4.8ℓ/min/m
透水量係数	$5.76 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$	$2.57 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$	$6.12 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$	$5.51 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$
透水係数	$2.19 \times 10^{-6} \text{m}/\text{sec}$	$8.15 \times 10^{-6} \text{m}/\text{sec}$	$1.35 \times 10^{-5} \text{m}/\text{sec}$	$1.02 \times 10^{-5} \text{m}/\text{sec}$
貯留係数	3.91×10^{-5}	1.08×10^{-2}	1.46×10^{-4}	3.27×10^{-4}
影響半径*	3.1km	350m	47km	2.7km

*3日間揚水で水位降下0.001mとした場合の計算値を示す。

WP-2地点及びWP-3地点第一帯水層が比湧水量、透水係数ともにほぼ良好な結果になっている。透水係数による層性も表4-6に示すように概ね帯水層の範囲に入る。

表4-6 透水係数と土性、層性、排水性の関係

透水係数(m/sec)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
土性	砂利		砂利および砂			砂, シルト, 層状粘土				不透水土		
層性	帯水層					難帯水層				非帯水層		
排水性	排水良好					排水不良		非排水				

なお、WP-2地点で貯留係数が高いが、これは、WP-2地点が不圧地下水状態にあることによる。貯留係数は被圧水と自由水ではその意義が異なる。すなわち、自由水における貯留係数は、帯水層の単位容積中の空隙から単位の水位降下によって排出される水量であり、物理的意味として

有効空隙率になる。また、影響半径が他に比べて小さいことも、WP-3地点が不圧地下水状態にあることによる。

4.5.2 水理定数の算定

表4-5に挙げた水理定数(透水量係数, 透水係数及び貯留係数)は、連続揚水試験, 回復試験の結果から次のような方法で算出した。

試験地点はWP-1地点及びWP-3地点が被圧帯水層, WP-2地点が不圧層になっている。これに応じて、WP-1, WP-3地点ではタイスの方法, ヤコブの方法及び水位回復法により、また、WP-2地点ではチームの方法により水理定数を算出した。水理定数計算結果は表4-7に示すとおりである。なお、計算に使用したグラフ及び計算過程を巻末付図-12~21にまとめてある。

表4-7 水理定数計算結果

地 点	計算方法	透水量係数	透 水 係 数	貯留係数	揚水井	計算対象井	ストレート長
WP-1	タイスの方法	$9.65 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$	$2.14 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{sec}$	1.06×10^{-4}	TW-1	OW-1-1	45.45m
	ヤコブの方法	1.39×10^{-5}	3.06×10^{-6}	6.76×10^{-5}			
	水位回復法	6.24×10^{-5}	1.37×10^{-6}	—			
	平均値	5.76×10^{-5}	2.19×10^{-6}	3.91×10^{-5}			
WP-2	チームの方法	2.57×10^{-4}	8.15×10^{-6}	1.08×10^{-2}	TW-2	OW-2-1 OW-2-2	31.55m
WP-3 (第一帯水層)	タイスの方法	5.95×10^{-4}	1.31×10^{-5}	1.67×10^{-4}	TW-3	OW-3-1	45.45m
	ヤコブの方法	6.44×10^{-4}	1.42×10^{-5}	1.25×10^{-4}			
	水位回復法	5.97×10^{-4}	1.31×10^{-5}	—			
	平均値	6.12×10^{-4}	1.35×10^{-5}	1.46×10^{-4}			
WP-3* (第二帯水層)	タイスの方法	4.80×10^{-4}	8.89×10^{-6}	4.00×10^{-4}	OW-3-1	OW-3-2	54m
	ヤコブの方法	7.65×10^{-4}	1.42×10^{-5}	2.53×10^{-4}			
	水位回復法	4.08×10^{-4}	7.56×10^{-6}	—			
	平均値	5.51×10^{-4}	1.02×10^{-5}	3.27×10^{-4}			

※WP-3地点(第二帯水層)計算値は参考値である。

4.5.3 限界揚水量

段階試験の結果から限界揚水量を決定することについては種々の考え方があるが、いわゆるある限界を越えると揚水量の変化に対して水位降下の変化が大きくなる点、すなわち、地下水の流れが定常流状態から乱流状態に変化する点、言い換れば、水位を下げても揚水量がそれ程増加しなく

なる揚水量（経済的揚水量）を限界揚水量とした。

段階試験の測定値を基に作成した揚水量—実水位降下^{*}曲線（図4-3）から変曲点を求めると表4-8のようになる。

表4-8 限界揚水量

地 点	帯 水 層	限界揚水量	水位降下
WP-1	第二帯水層	50ℓ/min以下	14m以下
WP-2	第二帯水層	110ℓ/min	5.5m
WP-3	第一帯水層	200ℓ/min	10.5 m
	第二帯水層	65ℓ/min	9.5m

※実水位降下 s_w はケーシング内の水位降下で、ストレーナの水頭損失により管外の水位降下よりも大きい。層流状態におけるケーシング外壁の水位降下は理論水位降下と呼ばれ、実水位降下との関係は次のとおりである。

$$s_w = s + s_s$$

s ; 理論水位降下

s_s ; 井戸損失による水位降下

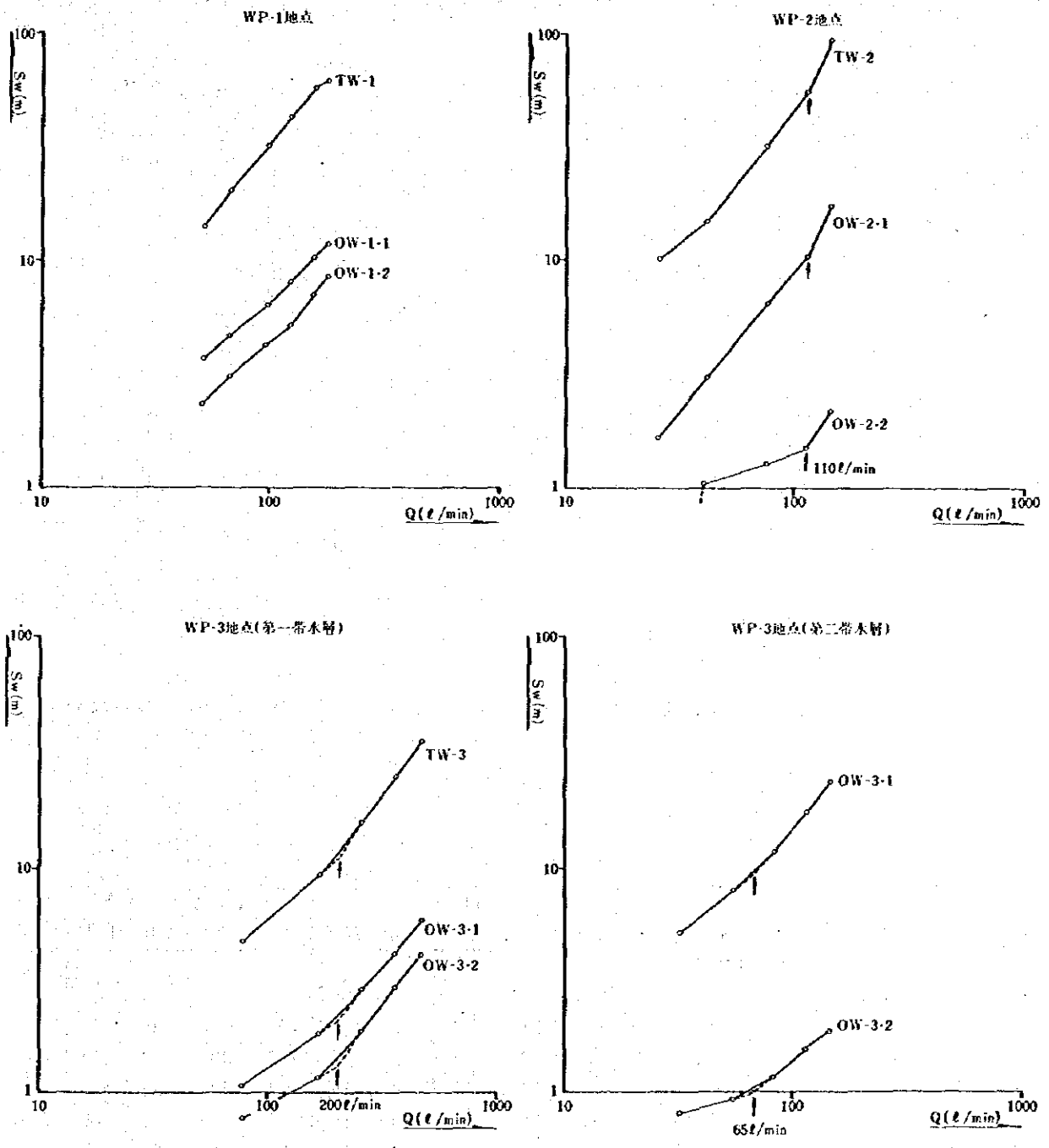


図4-3 段階揚水試験揚水量—実水位降下曲線

4.5.4 影響半径と水位降下

水理定数をもとに理論上の影響半径及び水位降下を算出してみる。理論式は帯水層が均質で無限に広がっているという仮定のもとに成り立っているので、断層など不連続面のあるところでは実測値との誤差が生じる。

影響は揚水によって生じる水位降下の範囲をいうが、実用的な取り扱い方としては、水位降下が隣接井の揚水量に重大な影響が生じなければ、その限界までの距離をもって影響半径とすることができる。

いま、水位降下が0.001mとなる距離を影響範囲として、タイスの非平衡式から、3日、30日、1年、10年、20年の揚水時間に対する影響半径を適当な揚水量を仮定して試算すると表4-9のようになる。

タイスの非平衡式

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

$$u = r^2 S / 4Tt$$

- ここに、 s ; 水位降下 m
- Q ; 揚水量 m³/sec
- r ; 距離 m
- t ; 時間 sec
- T ; 透水量係数 m³/sec/m
- S ; 貯留係数

W(u) ; u の井戸関数

なお、WP-3 地点の (第二帯水層) についてはWP-1 地点とほぼ同様な条件になるため省略する。

表4-9 影響半径

地点 揚水量 時間	WP-1					WP-2					WP-3(第一帯水層)				
	3日	30日	1年	10年	20年	3日	30日	1年	10年	20年	3日	30日	1年	10年	20年
30m ³ /day	2.7 ^{km}	8.4 ^{km}	29 ^{km}	93 ^{km}	130 ^{km}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	2.7	8.7	30	95	135	0.30 ^{km}	0.95 ^{km}	3.3 ^{km}	11 ^{km}	15 ^{km}	—	—	—	—	—
100	2.9	9.2	32	100	140	0.33	1.0	3.6	11	16	3.9 ^{km}	12 ^{km}	43 ^{km}	140 ^{km}	190 ^{km}
200	3.1	9.6	34	110	150	0.35	1.1	3.8	12	17	4.2	13	47	150	210
300	3.2	10	35	110	155	0.36	1.1	3.9	13	18	4.4	14	49	150	220
400	—	—	—	—	—	0.37	1.2	4.0	13	18	4.5	14	50	160	220
500	—	—	—	—	—	0.37	1.2	4.1	13	18	4.6	15	51	160	230
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.7	15	51	160	230

また、揚水井から適当な距離にある地点の水位降下もタイムの非平衡式から揚水時間、揚水量を仮定すれば計算できる。揚水時間1年及び10年の水位降下の計算結果を図4-4に示す。

非平衡式は帯水層が同質均質で無限に広がることなど理想的な仮定を前提としており、自然状態では理論式通りにはならないが、前記の表及びグラフからそれぞれの帯水層の特徴を比較すると次のようになる。

- WP-1地点は透水性が悪く、同様の被圧帯水層であるWP-3地点（第一帯水層）に比べて影響半径は小さいが、井戸近傍での揚水量に対する水位降下が著しく大きい。
- WP-2地点は不圧地下水であるため影響半径は他地点に比べて極めて小さい。ただし、井戸付近の揚水量に対する水位降下がWP-3地点（第一帯水層）に比べるとかなり大きい。
- WP-3地点は被圧層で透水性が良いため影響半径は著しく大きい。井戸近くでの揚水量に対する水位降下が他地点に比べて小さく、比較的良好な帯水層であることが分かる。しかし、長期間の揚水により周囲に及ぼす水位降下はかなり大きい。

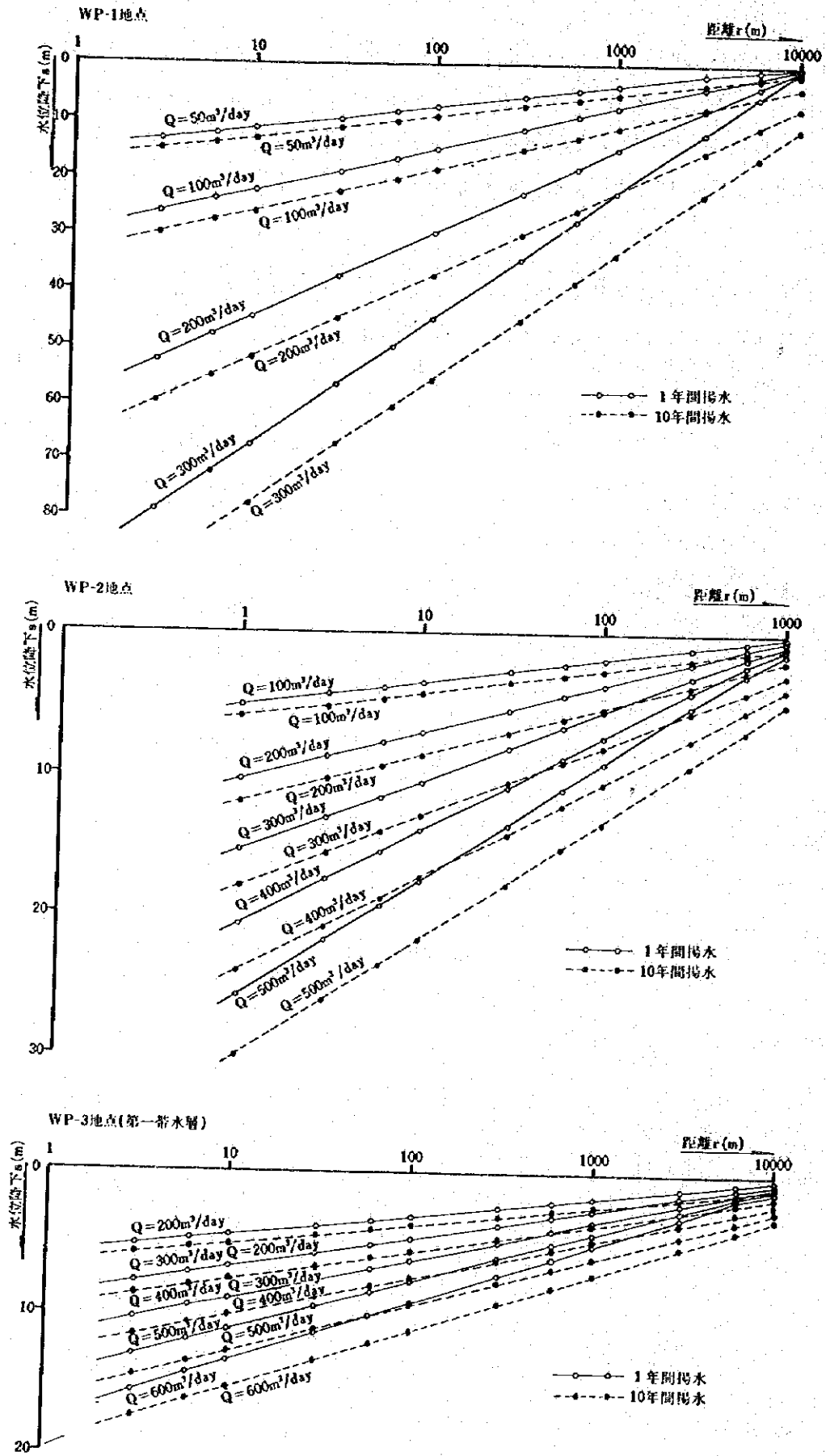


图4-4 水位降下曲线(1年間, 10年間)

第 5 章

開発対象地域の選定

第5章 開発対象地域の選定

5.1 揚水試験地点の評価

揚水試験及び水質分析結果から各揚水試験地点での水源開発対象地域としての適正を比較検討する。

(1) WP-1 地点

本地点は第二帯水層被圧部にあたり、調査井から 15 l/min 程度の湧水がある。水質は電気伝導度 $5000 \mu\text{S/cm}$ で中かん水に入り、塩素イオン濃度が 1300 mg/l と高い。そのままでは飲料水として適さないし、仮に処理するとすればかなりの費用がかかる。

また、揚水試験結果でも比湧水量 (26 l/min/m)、透水係数 ($2.2 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$) と他地点に比べるとかなり劣る。帯水層であるイセガンダン下部層は調査地域全体に $70 \sim 90 \text{ m}$ の安定した層厚で分布しており、帯水層の広がりには不安はない。しかし、多量に揚水する場合、一本の井戸から採水できる量が小さいために井戸本数が多くなり、影響半径を考慮すると広大な地域に開発範囲が広がる。

他に適当な水源がない場合にはこれを使用せざるを得ないが、WP-2 地点、WP-3 地点(第一帯水層)でより良好な結果がでていることから、開発対象地域から除外してよさそうである。

なお、ドーム南側のWP-3 地点の第二帯水層もWP-1 地点とほぼ同様である。ただし水質はよりかん水に近く、帯水層までが相当に深いので、開発するにはさらに困難が予想される。

(2) WP-2 地点

ドーム中央部の第二帯水層中の不圧地下水にあたる。電気伝導度 $1000 \mu\text{S/cm}$ で淡水に入り、硬度がやや高いが良水の範囲に入ると判断される。

また、比湧水量 (13.3 l/min/m)、透水係数 ($8.2 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$) とも比較的良好であり、不圧地下水であるため影響半径も小さい。ただし、限界揚水量がやや小さく、井戸付近での水位降下がやや大きくなる現象がみられる。

計画中の精錬工場及び都市に近く、かつ浅所で水を得られるという強い利点がある。しかし、このような良水は、帯水層であるイセガンダン下部層の露頭部から長年の間に地表水が浸透することによって淡水化された水で、その範囲は地表水の影響のある第二帯水層の比較的上部に限定されていると考えられる。従って、後述のように推定賦存量及び採水可能量について大きな難点がある。

(3) WP-3 地点

本地点の第一帯水層部は比湧水量 (107 l/min/m)、透水係数 ($1.3 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$) とも比較的良好

好である。限界揚水量も試験地点では最も大きい値を示している。影響半径が大きい、井戸周辺での水位降下が緩やかである。

水質的には電気伝導度 $1300 \mu\text{S}/\text{cm}$ で淡水に属すが、アルカル性 (pH 9) で重炭酸イオン濃度が高い。

現在、国際資源(株)で使用しているティンディ深井戸の自噴水(約 $100 \ell/\text{min}$)の水質に近いもので、同じ帯水層から採水しているものと考えられる。ドーム中央部から西側でのテロア上・下部層の分布が確認されていないが、東側へは連続していると考えられる。断層による帯水盆の分断がどの程度のものか不明であるが、少なくとも WP-3 地点では、アゼリック断層、テキダンナドラル断層、フゴシア断層に囲まれる帯水盆に続くことが推定され、開発対象地域としては水量的に最も有望である。

5.2 推定地下水賦存量

開発対象として可能性のある WP-2 地点のドーム中央部の淡水、WP-3 地点の第一帯水層の地下水の賦存量を概算してみる。

(1) WP-2 地点

TW-1 のイゼガンダン下部層の上面標高と TW-2 のイゼガンダン下部層下底標高の中間標高 280 m 付近に淡水と中かん水の境界があると仮定すると、淡水域の平面的広がりはおよそ $10 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 、帯水部の厚さは約 30 m と見込める。砂岩の有効間隙率は $10 \sim 20 \%$ と考えられるのでこれを 10% とすると、ドーム部の淡水の賦存量は次のようになる。

$$10 \times 10^3 \times 3 \times 10^3 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 0.1 = 9 \times 10^7 \text{ m}^3$$

(2) WP-3 地点

テロア上・下部層を含むアガデス層群の分布はドーム中央の東側でアイール山地に近づくにつれ厚くなることが予想される。ただし、東側に一樣に広がるわけではなく、南北方向及び東北東-西南西方向の断層により区切られている。必ずしも断層により帯水盆が遮断されているとは思えないが、ドーム南側の WP-3 地点について、図 5-1 に示すように、帯水盆をアゼリック断層、テキダンナドラル断層、フゴシア断層に囲まれた地域として、その賦存量を見積ってみる。帯水層の広がりを約 $65 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ 、砂岩部の層厚は少なくとも 50 m は見込めるので、有効間隙率を 10% と仮定すると賦存量は次のようになる。

$$65 \times 10^3 \text{ m} \times 25 \times 10^3 \text{ m} \times 50 \text{ m} \times 0.1 = 8 \times 10^9 \text{ m}^3$$

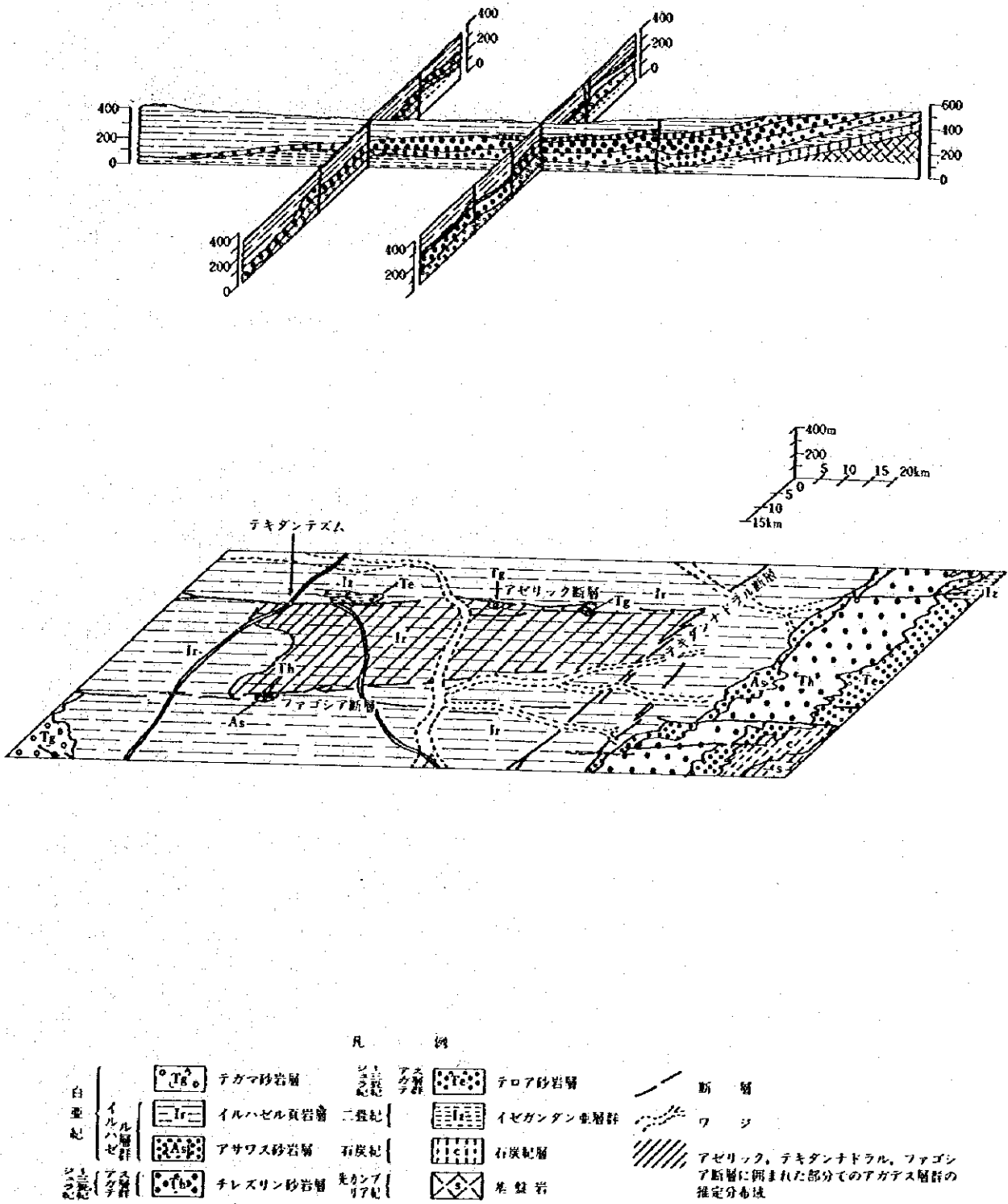


図5-1 アゼリック断層南側地域のアガデス層群の推定分布状況

ここで推定した賦存量全てを汲み出せるわけではない。採水可能量は多くても数割に留まる。1割とすると、ドーム中央部の淡水が $9 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、WP-3 地点の3断層に囲まれたアガデス層群中の地下水が $8 \times 10^7 \text{ m}^3$ である。

なお、雨期には少量の降雨があり、表流水の浸透による地下水の涵養も考慮できなくはない。ドーム中央部では多少その可能性があり、今後水収支の調査を行なって検討する必要があるが、蒸発量が大きく、雨水は乾燥した表層の土壌、草木根に吸収される量が多いと判断され、地下水として浸透する量は極く限られたものと思われる。

また、ドーム南側のイルハゼル頁岩層に厚く被われる地域では、表流水からの補給はほとんど期待できないと考えられる。

調査地域周辺での地下水開発にあたっては、現在ある有限の地下水を汲み出すという考えに立つのが無難であろう。

5.3 飲料水としての水質

WP-1 地点、WP-2 地点、WP-3 地点（第一帯水層）について、日本の水道法に基づく水質基準に照合できるように、3・6 項で述べた水質調査よりさらに細かい分析を行なった。その結果を日本と世界保健機構（WHO）の水質基準と対照して表5-1に示す。

WP-1 地点の地下水は塩素イオン濃度、ナトリウム、フッ素の含有量が高く、飲料水として使用する場合、大がかりな処理が必要になる。

WP-2 地点の淡水は蒸発残留物が若干高い。また、ナトリウム、重炭酸イオンがやや高い。ナトリウム、重炭酸イオン濃度を低くすることにより、蒸発残留物を少なくすることが可能である。

WP-3 地点（第一帯水層）の地下水は pH 値が異常に高い。これはアルカリ金属であるナトリウムイオンが多量に含まれることによる。また、ナトリウムイオンと重炭酸イオンが結合すると蒸発残留物として高い値を示す。生活用水として用いる場合にはナトリウム、重炭酸イオンの濃度を低めることが望ましく、これにより、pH を中性化し、蒸発残留物を少なくすることが可能である。フッ素の含有量が若干高いが、活性炭の一種である骨炭の吸着除去により処理ができる。

なお、検出された一般細菌については通常の殺菌処理を施すことにより浄化できるので問題はない。

表5-1 日本およびWHO水質基準と飲料水適否の水質分析結果

項 目		H 本	WHO	WP-1	WP-2	WP-3(第一帯水層)
pH	—	5.8~8.6	7.0~8.5(6.5~9.2)	8.2	7.8	9.2
臭 気	—	異常があつてはならない	—	異常なし	異常なし	異常なし
味	—		—	塩 味	異常なし	異常なし
色 度	度	5	—	2	2	1
濁 度	度	2	—	0	0	0
アンモニア性窒素	mg/l	10	0.5	0.14	0.14	0.10
硝酸性窒素	mg/l	10	40(80)*1	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下
亜硝酸性窒素	mg/l	10	—	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下
マンガン酸カリウム消費量	mg/l	10	10	7.6	2.1	1.8
一般細菌	—	1cc中100以下	—	4600	2200	1900
大腸菌群	—	50cc中検出してはならない	年間を通じMPN10以下	不検出	不検出	不検出
塩素イオン	mg/l	200	200(400)	1240	195	64.0
硫酸イオン	mg/l	—	200(400)	168	11.6	47.3
シアンイオン	mg/l	検出してはならない	0.01	0.01 以下	0.01 以下	0.01 以下
水 銀	mg/l	検出してはならない	—	0.0005以下	0.0005以下	0.005 以下
有機リン	mg/l	検出してはならない	—	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下
銅	mg/l	1.0	1.0	0.01 以下	0.01 以下	0.01 以下
鉄	mg/l	0.3	0.3(1.0)	0.16	0.15	0.08
マンガン	mg/l	—	—	0.01 以下	0.01 以下	0.01 以下
亜鉛	mg/l	1.0	5.0(15.0)	0.05	0.05	0.21
鉛	mg/l	0.1	0.1	0.01 以下	0.01 以下	0.01 以下
ヒ素	mg/l	0.05	0.2	0.005 以下	0.005 以下	0.005 以下
フッ素	mg/l	0.8	1.0(1.5)	1.8	0.3	1.0
六価クロム	mg/l	0.05	0.05	0.02 以下	0.02 以下	0.02 以下
カドミウム	mg/l	0.01	—	0.003 以下	0.003 以下	0.003 以下
セレンウム	mg/l	—	0.05	分析せず	—	—
マグネシウム	mg/l	—	50(150)	1.6	6.5	0.1
カルシウム	mg/l	—	75(200)	5.1	23.2	0.8
総 硬 度	mg/l	300*	100~500*2	21.2	95.2	10.3
蒸発残留物	mg/l	500	—	1410	632	842
フェノール	mg/l	0.005	0.001(0.002)	0.001 以下	0.001 以下	0.001 以下
陰イオン活性剤	mg/l	0.5	—	0.2 以下	0.2 以下	0.2
放射能	μc/ml	—	α 線 10^{-9} , β 線 10^{-8}	分析せず	—	—
備 考		*CaCO ₃ として	()は止むを得ない場合 *1 NO ₃ として *2 CaCO ₃ として	ナトリウム110mg/l 重炭酸イオン 987mg/l	ナトリウム185mg/l 重炭酸イオン 323mg/l	ナトリウム350mg/l 重炭酸イオン 707mg/l

5.4 水源候補地域の選定と問題点

5.4.1 地域の選定

水源開発対象地域として、水質分析結果からドーム中央部のイセガンダン下部層の淡水部（WP-2地点）とドーム南側のテロア層（WP-3地点）が挙げられる。一方、賦存量より判断すると、ドーム中央部の淡水は中かん水上に浮かんだ状態になっており、その水量は限られている。WP-3地点のテロア層はドーム中央から東側へ分布し、チレズリン砂岩層を含むアガデス層群としての帯水層に広がっていることが推定される。断層により帯水盆が区切られるにしても、本地点はアゼリック断層、テキダンナドラル断層、ファゴンア断層に囲まれる帯水盆に連続するものと考えられ、量的に有望である。

その他、アゼリック付近でテロア層からの湧泉があり、この地域での開発も考えられる。しかし、ドーム東側でのテロア層の深度が急激に深くなっていることがこの付近で実施されている探鉱ボーリングの結果から予想される。

従って、水源開発地域としては水質、水量ともに良好なドーム南側WP-3地点を第一候補として、ドーム中央部WP-2地点は必要水量の一部を補足するための予備水源とするのが妥当と考える。

5.4.2 問題点

水源候補地域を開発するに当たって考慮すべき問題点を挙げると次のようになる。

- ドーム南側WP-3地点における問題点

場所によってはイルハセル層群の削り込みが大きいこと、未確認の断層により不連続になっている可能性が残されていることから、帯水層の連続性とその厚さが問題になる。

また、取水段階で多量の揚水により既設井への影響が予想される。さらに、断層付近では断層沿いに上昇する深部の高塩分の地下水が混入する可能性がある。

- ドーム中央部WP-2地点における問題点

ドーム中央部を予備的あるいは補足的にでも水源として開発しようとする場合、次のような問題がある。

ドーム中央部の淡水ゾーンは、地表水の影響のある比較的上部に限定され、イセガンダン下部層上位の地層に被われる深部にはWP-1地点、WP-3地点第二帯水層に代表されるような中かん水が分布している。また、垂直的にも下位の先二疊紀層中にかん水が賦存している。従って、過剰揚水により淡水下の中かん水の混入が容易に起り得るとともに、地質条件によっては先二疊紀層中に賦存するかん水が混じる可能性がある。

第 6 章

用 水 設 備 計 画

第6章 用水設備計画

6.1 水需要量

6.1.1 対象用水

用水としては、次のものを想定した。

- (1) 工業（精錬）用水
 - (a) ウラン鉱石処理水
 - (b) ボイラ用水
 - (c) 車輛整備用水
 - (d) 消火用水
 - (e) 工場内における従業員の生活用水
 - (f) 工場内における散水
- (2) 都市生活用水
 - (a) 会社従業員及びその家族の生活用水
 - (b) 一般市民の生活用水（テキダンテズム村落を含む）
 - (c) 公益・公共施設用水
 - (d) 樹木用散水

6.1.2 水需要量の算定

水需要量については、国際資源(株)よりの資料、先進ウラン開発都市の実績等を参考にして、次のように人口を推定し、水量を算出した。

(1) 精錬工場の推定人口

ウラン鉱山及び精錬工場関係の従業員数を表6-1に示す。

表6-1 精錬工場の推定人口

	推定人口(人)	摘 要
幹部職員	60	国際資源(株)よりの数量 会社従業員の約13%
労務者	390	国際資源(株)よりの数量
計	450	

(2) 都市の推定人口

都市の推定人口は表6-2に示す。

表6-2 都市の推定人口

	推定人口(人)	摘 要
幹部職員+家族	100	単身者と家族持の割合を50%相当とする 単身者 30人 家族 30世帯×2.5人/世帯=75人
従業員+家族	2100	国際資源(株)よりの数量
一般市民	2300	テキダンテズム田市街 1000人 誘導人口 1300人
計	4500	

(3) 工業(精錬)用水

工業用水量は表6-3に示す。

表6-3 工業(精錬)用水

用水種別	算定基準	水量(m ³ /日)	
a	ウラン鉱石処理水	国際資源(株)よりの数量	2,000
	ボイラ用水		
	車輛整備用水		
	消火用水		
b	従業員生活用水	従業員数450人×0.04m ³ /人日	18
c	散水+雑損失	(a)×9%	182
計			2,200

(4) 都市生活用水

都市生活用水量は表6-4に示す。

表6-4 都市生活用水

用水種別	算定基準	水量(m ³ /日)
d 幹部職員+家族	100人×0.5m ³ /人日	50
e 従業員+家族	2100人×0.25m ³ /人日	525
f 一般市民	2300人×0.07m ³ /人日	160
g 公益公共施設	(d+e+f)×20%	147
h 雑損失	(d+e+f+g)×6%	53
小計		935
i 家庭・散水	520 ² ×120m ³ / ² ×0.01m ³ /m ²	624
j 一般市民街	50m ³ /ha×2ha	100
k 公共樹木	(i+j)×9%	65
l 損失	(i+j+k)×9%	76
小計		865
計		1800

(5) 水需要総水量

工業(精錬)用水と都市生活用水の合計水需要量は表6-5のように4,000m³/dayとなり、その構成比率は55:45である。

表6-5 水需要総水量

用水別	水量(m ³ /日)	比率(%)
工業(精錬)用水	2200	55
都市生活用水	1800	45
水需要総水量	4000	100

6.2 井戸の設計方針

工業(精錬)用水および都市生活用水を合せて計画水量が1日当り4,000m³と多量の給水を必要とするので、地下水の揚水には効率の良い水中モーターポンプの使用を前提として検討をする。

6.21 揚水量

WP-3地点第一帯水層の水力定数からタイスの非平衡式を用いて3日間揚水における井戸口径、水位降下、揚水量の関係を計算すると表6-6のようになる。

表6-6 井戸口径、水位降下と揚水量の関係(3日間揚水)

井戸口径	水 位 降 下			
	5m	10m	15m	20m
6"	116ℓ/min (167m ³ /day)	232ℓ/min (334m ³ /day)	348ℓ/min (501m ³ /day)	464ℓ/min (668m ³ /day)
8"	118 (172)	239 (344)	359 (516)	478 (689)
10"	122 (176)	244 (352)	366 (527)	488 (703)

一方、4.5.3項で述べたようにWP-3地点第一帯水層の段階揚水試験の限界揚水量に対する水位降下は10.5 mである。(表4-8参照)試験井に比べて井戸口径に大きな相異がない場合には、水位降下を10 m程度に押えれば、定常状態で効率のよい揚水が継続できることになる。

井戸口径を6"とすると、水位降下が10 mのときの理論揚水量は表6-6から334 m³/dayになるが、ストレーナによる井戸損失を約10%とすると、生産井からの揚水量としては300 m³/dayになる。

なお、実際の生産井ではストレーナの口径を試験井に比べて大きくすることができ、加えて砂利充填を行なうことができるので、これ等によって井戸損失の低減を計れば、生産井1本当りの計画揚水量の増加を考慮することもできよう。

すなわち、実際には、生産井設置段階での揚水試験によって再検討されるべきではあるが、今、仮に生産井の井戸構造に改良が加えられて図4-5に示した限界揚水量に対する水位降下が15 m程度まで見込むことができるとすれば、井戸口径6"で水位降下15 mに対する理論揚水量は表6-1から501 m³/dayと増加する。井戸損失を10%とすると生産井1本当りの計画揚水量も450 m³/dayまで高められることになる。

生産井一本当りの計画揚水量をどのように定めるかによって、生産井の計画本数に直接影響を及ぼすことになるが、現状では安全側に300 m³/dayを生産井1本当りの計画揚水量として用水施設の基本計画を行なうことにする。

6.22 井戸口径

表6-6から井戸口径を大きくしても揚水量はそれほど増加しないことが分かるが、口径が大きいほど井戸損失が小さくなるので口径を大きくするにこしたことはない。

まず、揚水量から検討すると、水位降下の面からも揚水量300 m³/day～450 m³/dayであれ

ば、前述のように井戸口径6"で十分である。

また、地下水からストレーナを通過するときの流速からみると、ストレーナ外径6"、ストレーナ長50m、開口率10%としたときの揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day} \sim 450 \text{ m}^3/\text{day}$ における地下水の流入速度は $1.5 \text{ m/sec} \sim 2.2 \text{ m/sec}$ である。細砂(径 $0.1 \sim 0.25 \text{ mm}$)の流出限界速度 $9.5 \sim 27.0 \text{ mm/秒}$ 以下であり、外径6"のストレーナを使用すれば、砂の流出は起きない。

なお、水中モーターポンプの能力から検討すると少なくとも6"以上の口径は必要である。一般的な6"水中モーターポンプの能力は揚程70mで揚水量 350 l/min (約 $500 \text{ m}^3/\text{day}$)程度であり、前述の揚水量の範囲であれば井戸口径は6"でよいことになる。

さらに、井戸口径を決める要因の一つとして、掘削機械の能力を考慮すべきであるが、深さ230~300mの口径6"の井戸程度であれば、ニジェール国に現存する掘削機械で十分である。したがって、生産井の井戸口径は6"を採用する。

6.2.3 井戸間隔

井戸間隔の決定は地下水開発上極めて重要である。揚水による相互干渉がないような距離に井戸を配置しようとする設備に多大な経費を要し、非経済的である。したがって適切な井戸間隔の決定にあたっては水理学的要素のみならず経済的要素も合わせて考慮する必要がある。すなわち、ある程度まで経済的要素を優先に考えると影響圏に隣接井を設置して相互に干渉させながら揚水せざるを得ない。

計画揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day}$ (井戸口径6")で井戸間隔と隣接井が受ける水位降下およびその水位降下に相当する揚水量の関係を計算してみると表6-7のようになる。

表6-7 井戸間隔と水位降下の関係(WP-3地点, 揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day}$)

揚水時間	井戸間隔(m)	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
30日	水位降下(m)	2.1	1.5	1.1	0.9	0.5	0.3	0.2
	水位降下に相当する揚水量(m^3/day)	63	45	33	25	15	9	0.5
1年	水位降下(m)	3.2	2.7	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1
	水位降下に相当する揚水量(m^3/day)	86	73	59	51	40	34	30
10年	水位降下(m)	4.2	3.6	3.2	3.0	2.7	2.3	2.1
	水位降下に相当する揚水量(m^3/day)	103	89	79	74	66	57	52
20年	水位降下(m)	4.6	3.9	3.6	3.3	2.9	2.7	2.5
	水位降下に相当する揚水量(m^3/day)	110	94	86	79	69	64	60

上表より、30日揚水の隣接井の受ける水位降下を揚水井の水位降下(井戸口径6", 揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day}$ 、30日揚水で 10.8 m)の10%以内とすると、井戸間隔は、 $2,000 \text{ m}$ になる。

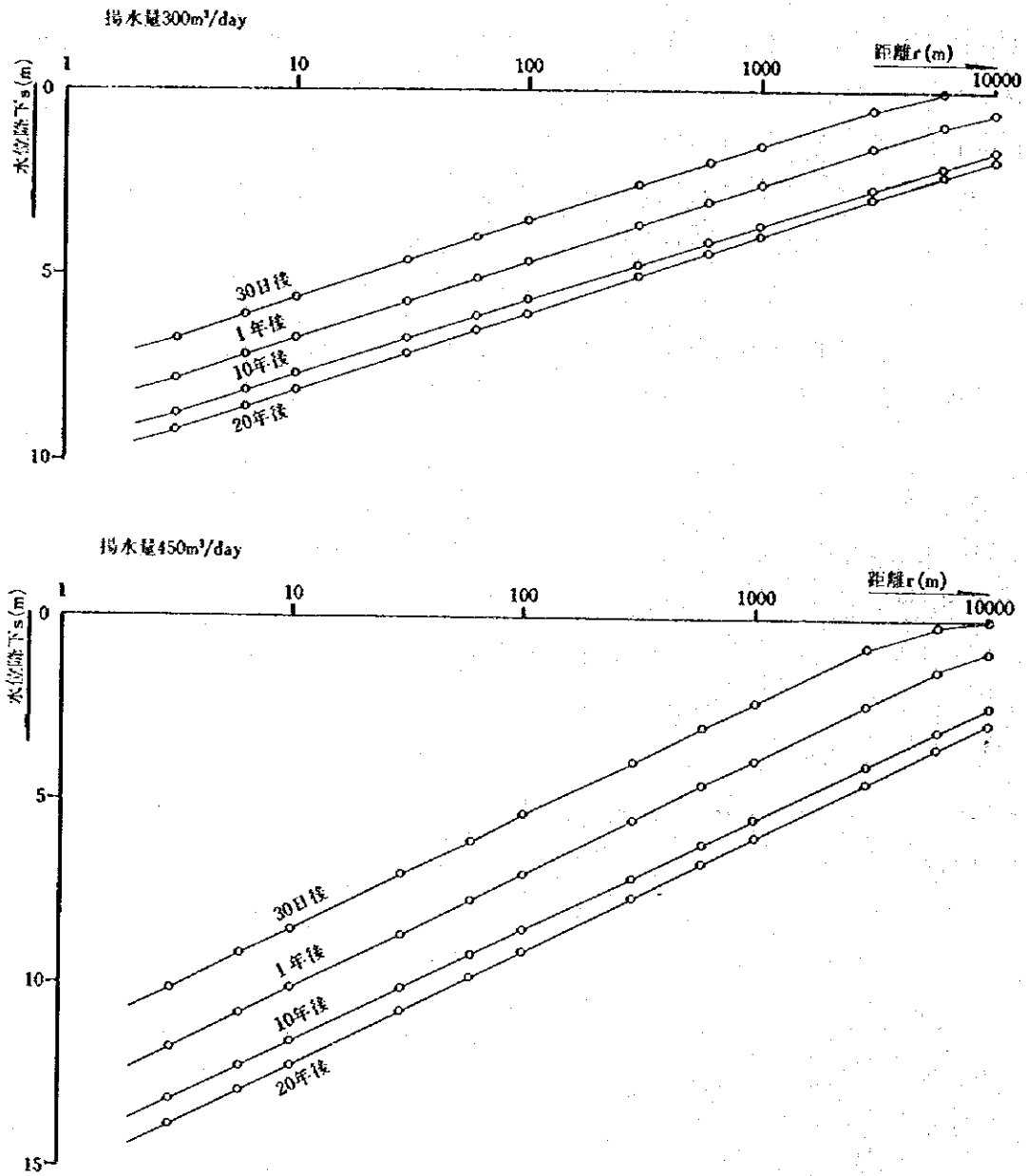


图6-1 WP-3地点(第一带水層)水位降下曲線

6.24 水位降下

揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day}$ と $450 \text{ m}^3/\text{day}$ (井戸口径 $6''$) の場合について、それぞれの揚水開始後 30 日、1 年、10 年、20 年の水位降下を計算すると図 6-1 のようになる。

ここで群井になった場合の水位降下について検討してみる。数井戸によって生ずる影響圏内の任意の点における水位降下は、各井戸が引き起こす水位降下の和に等しい。すなわち、次のように表わせる。

$$S_T = S_a + S_b + S_c + \dots + S_n$$

ただし、 S_T : 与えられた点の水位降下

$S_a, S_b, S_c \dots S_n, a b c \dots n$ の各揚水井が引き起こす水位降下

揚水量 $300 \text{ m}^3/\text{day}$ で汲み出す場合、必要計画水量が一日 $4,000 \text{ m}^3$ であるので井戸本数は 14 本になる。井戸間隔を 2000 m として、図 6-2 に示すように、井戸を千鳥に 2 列の配置にすると、隣接井による水位降下の影響を最も受ける No.4 井(または No.11 井)の水位降下は表 6-8 のようになる。

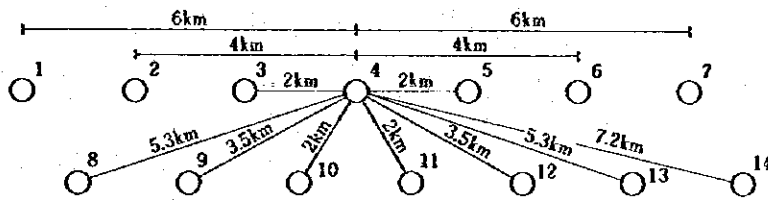


図6-2 千鳥2列14本の井戸配置(揚水量 $300\text{m}^3/\text{day}$)

表6-8 図6-2におけるNo.4井の水位降下(揚水量 $300\text{m}^3/\text{day}$)

揚水期間	30日	1年	10年	20年
他井による水位降下の和	5.4	17.6	33.6	38.0
自井による水位降下	10.8	11.1	12.2	12.5
計	16.2	28.7	45.8	50.5

また、揚水量 $450 \text{ m}^3/\text{day}$ で汲み出す場合、井戸本数は 9 本になる。図 6-3 において隣接井の干渉の影響を最も受ける No.3 井の水位降下は表 6-9 になる。

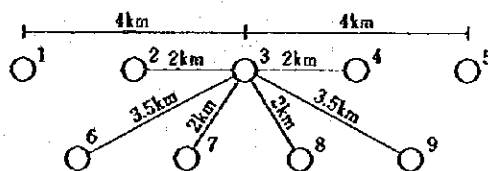


図6-3 千鳥2列9本の井戸配置(揚水量 $450\text{m}^3/\text{day}$)

表6-9 図6-3におけるNo. 3井の水位降下(揚水量 450m³/day)

揚水期間	30日	1年	10年	20年
他井による水位降下の和	7.8	19.8	32.8	36.6
自井による水位降下	16.2	16.7	18.3	18.8
計	24.0	36.5	51.1	55.4

表6-8, 表6-9は理論式による計算値である。実際の水位降下はさらに大きいことが予想され、水中モーターポンプの揚程以上に水位降下がある相互干渉の大きい箇所では揚水量を減少させる必要が生じる。現状での計算結果は揚水量300~450 m³/dayであれば問題はないが、相互干渉による水位降下を少なくするためにも生産井1本当りの揚水量を過大に取り過ぎないようにすることが望ましい。

6.25 井戸構造

井戸口径を6"としてドーム南側での生産井の標準的な井戸構造を図6-4に示す。

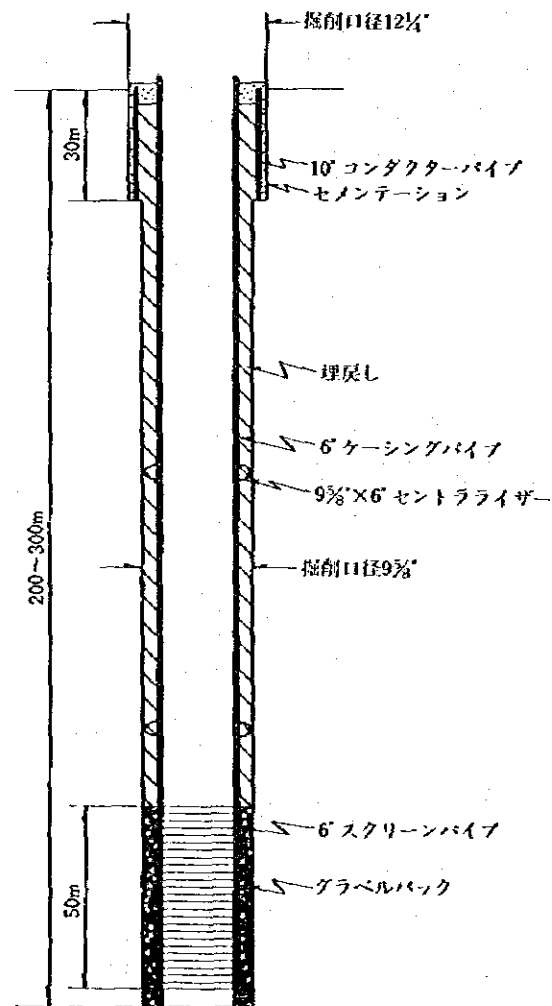


図6-4 生産井の構造

帯水層から採水する井戸を成功させる方法は適正なストレーナを選択すること、その周囲に自然、人工の砂礫戸過帯をつくること、そして掘削中に裸孔壁に付着した泥土を完全に除去することである。

ストレーナ

ストレーナの孔はスロットと呼ばれ、その径は掘削泥土を排除し、砂が水とともに井戸内に流入するのを防ぐような大きさのものでなければならない。スロットの開口率は井戸効率を増すために少なくとも10%以上が必要とされている。また、砂混じり礫層や砂層より採水する場合には、細砂が流入することが多いので、ストレーナに流入する地下水の速度をできるだけ落とすためにも開口率は高くする必要がある。

なお、6.2.2項で述べたように、開口率を10%とした場合、ストレーナ外径6", ストレーナ長50m, 揚水量を450 m³/dayとしても、地下水の流入速度は細砂の流出限界速度以内にある。

砂利充填

人工の戸過砂利は、別名充填砂利と呼ばれ、適正な粒径の砂利を充填施工すると、次の効果を期待できる。

- ・井戸の口径が実質的に大きくなるので細粒土の貧弱な帯水層からより多くの揚水量を得ることができる。
- ・細粒土を多く含む帯水層からの砂の流入を防止できる。
- ・大口径のストレーナを入れたと同じ効果になり経済的利点がある。

充填砂利の種類はストレーナの種類により異なるが、線巻スクリーンの場合スロットサイズより若干大きい径の丸みを帯びた砂利を選定する。一般には3~5mmの径のものが多く用いられる。

なお、充填部分であるストレーナと孔壁の環状間隙部の厚さは50mm以上が望ましく、ストレーナの外側にいくつかのセントライザーを取り付け、ストレーナが孔の中心に位置するように設置する必要がある。

また、採水層上部の汚染水がケーシングと孔壁の間隙部を流下するおそれがあるので、充填砂利の最上部にセメント液、生粘土、スライムを投入して遮水する必要がある。

なお、スクリーンと充填砂利効果を兼ね合せたグラベルスクリーンがあり、これを使用すると施工が確実である。

水中モーターポンプは、井戸相互の干渉による水位降下を考慮して自然水位下60m以上の深度に設置する必要がある。