

で既存地下水は水質的に希釈されていると考えられる。

尚、参考のため、Cl と Na の当量比を図 3 - 10 に示す。Cl / Na = 0.85 を直線で示しているが、これは平均海水の値である。地下水の大部分が平均海水の Cl / Na よりも小さい値を示している。

4) 揚水量と水位降下量

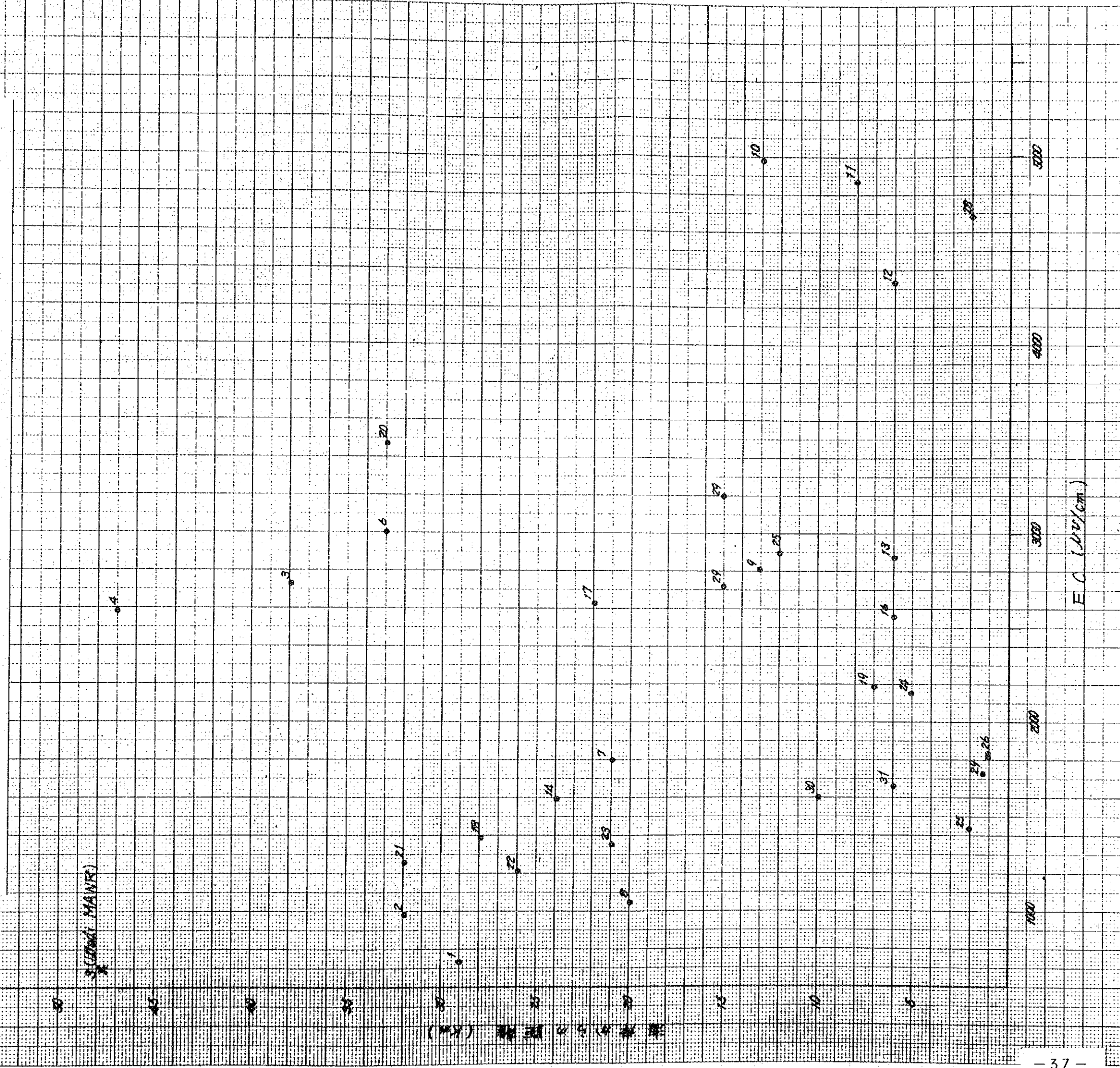
図 3 - 11 には Tipton and Kalmbach, Inc. Engineers, 1979 によってなされた Wadi Mawr 流域での揚水試験結果を示す。しかし、段階試験が行なわれていない為、厳密な意味での揚水量（いわゆる限界揚水量）を把握することは出来ないが、大まかな傾向を知るには充分である。

まず、揚水量そのものにはかなりのバラツキが認められ、少いもので約 $200 \text{ m}^3/\text{日}$ 、多いものでは $5600 \text{ m}^3/\text{D}$ の揚水を記録している。そのうち最も頻度の多いのは $2000 \sim 4000 \text{ m}^3/\text{D}$ の範囲であり、それは全体の約 70% にも相当する。

一方、水位降下量は大部分の井戸が $10 \sim 25 \text{ m}$ の範囲である。

また、UMARI にある手掘井戸（径約 1 m 、深度 14.07 m ）を用いて実施した揚水試験結果の解析図は図 3 - 12 に示すとおりである。それによれば、透水量係数（ T ）は約 $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、透水係数は約 $5 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{s}$ であった。これらのことは Tihama 海岸地域の帯水層は良好な帯水層であり、井戸による地下水の揚水量も僅かの水位降下によって多量の揚水が期待出来る。

図3-8 T I HAMA における井戸の海岸からの距離
と電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



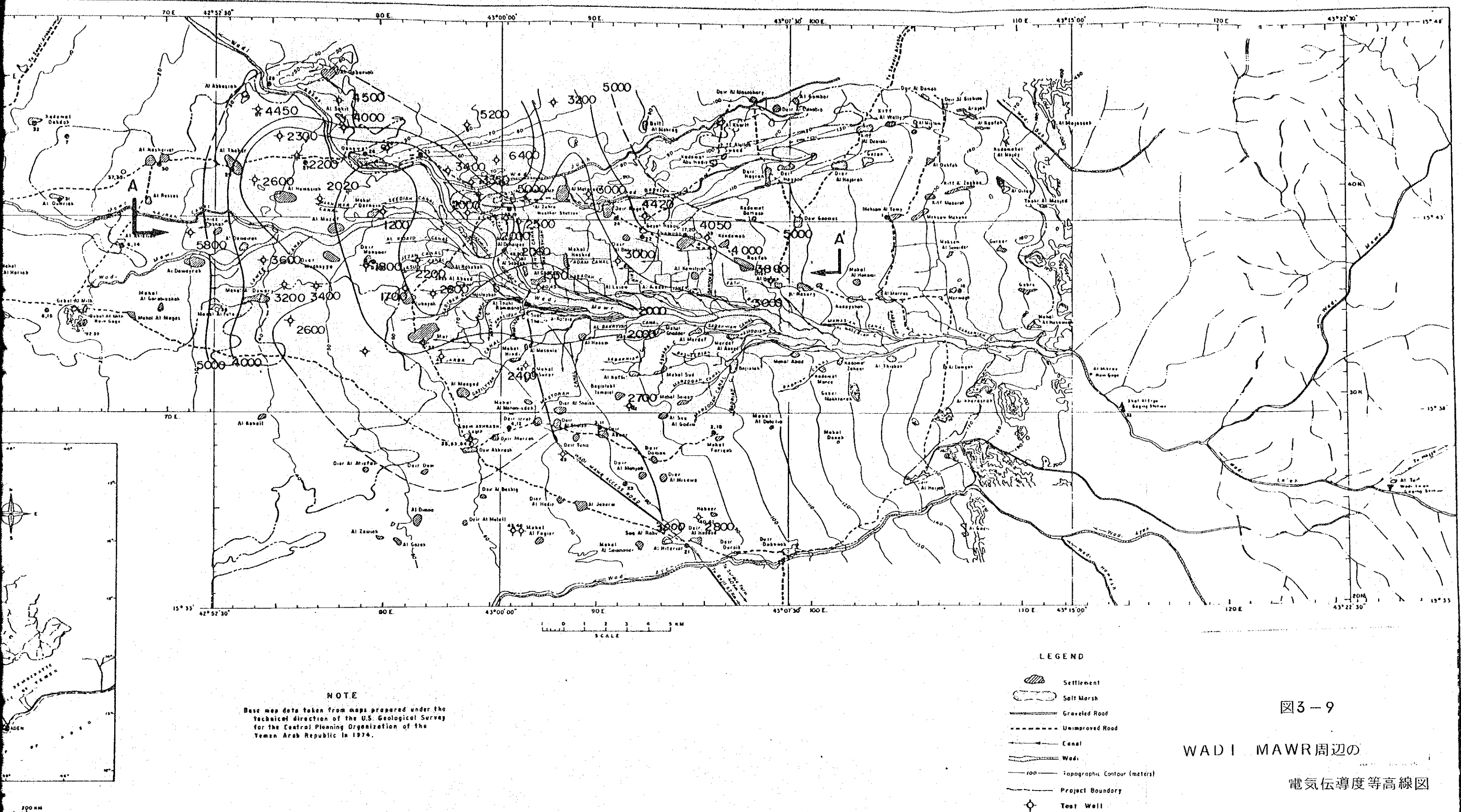
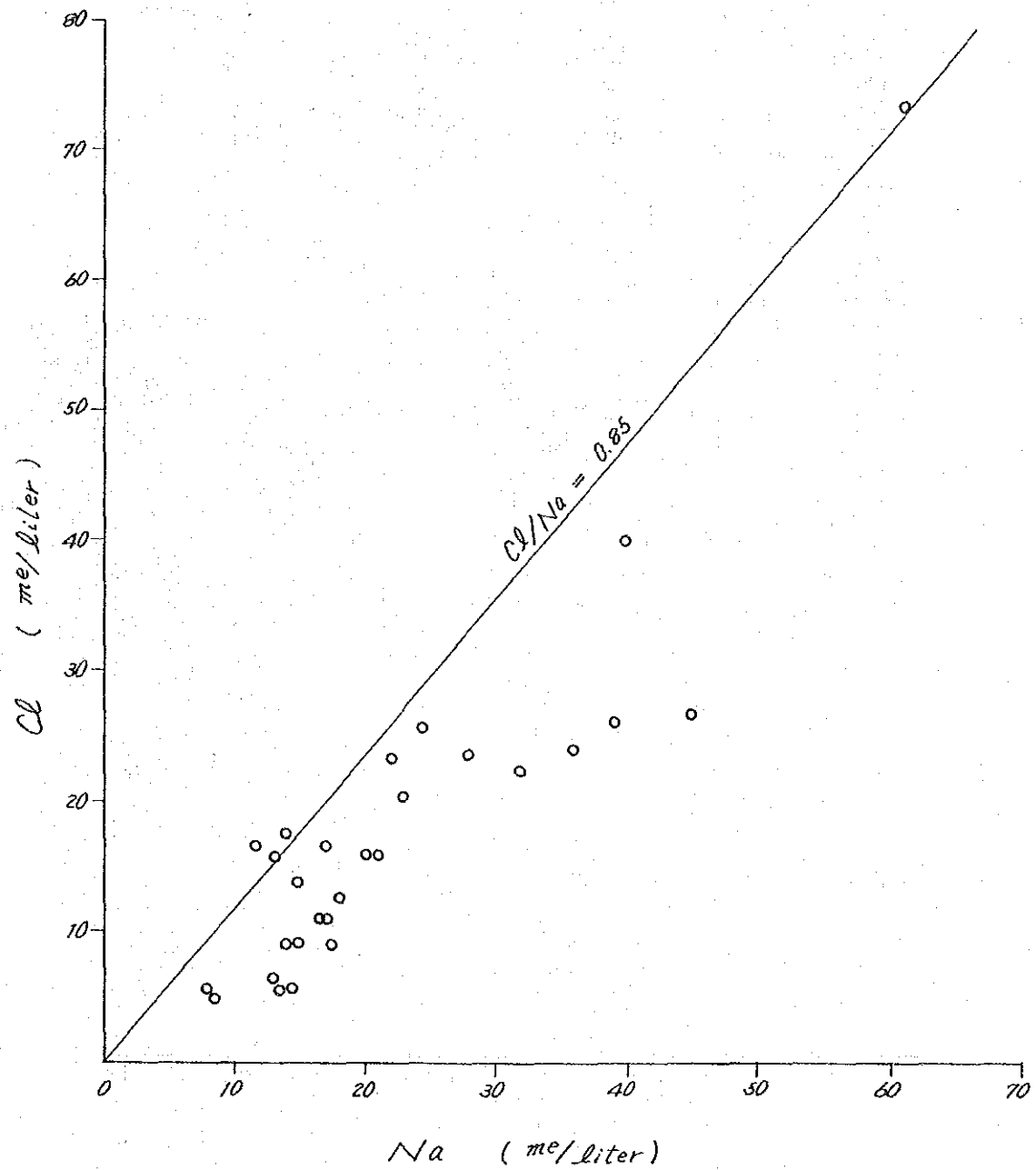


図3-10 ClとNaの当量比



Tipton and Kalmbach, Inc. Eng. 1979による

Pumping rate (m^3/D)

0 100 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 2800 3000 3200 3400 3600 3800 4000

図 3-11

Tihama地域の1井当り揚水量と
水位降水量

(Tipton and Kalmbach, Inc.,
Engineers. 1979による)

Draw-down (m)

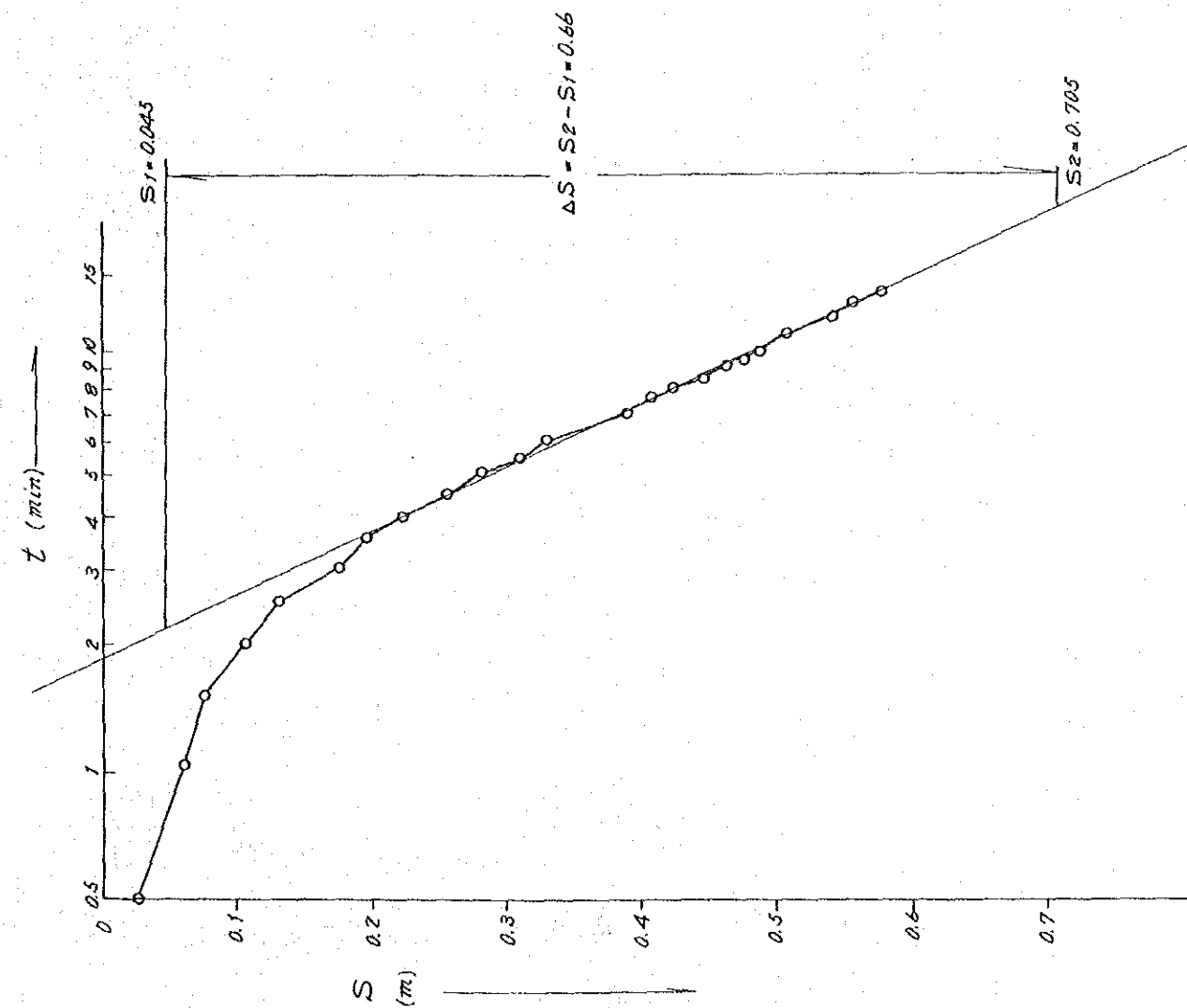
0

10

20

AL-UMARI

gacod method



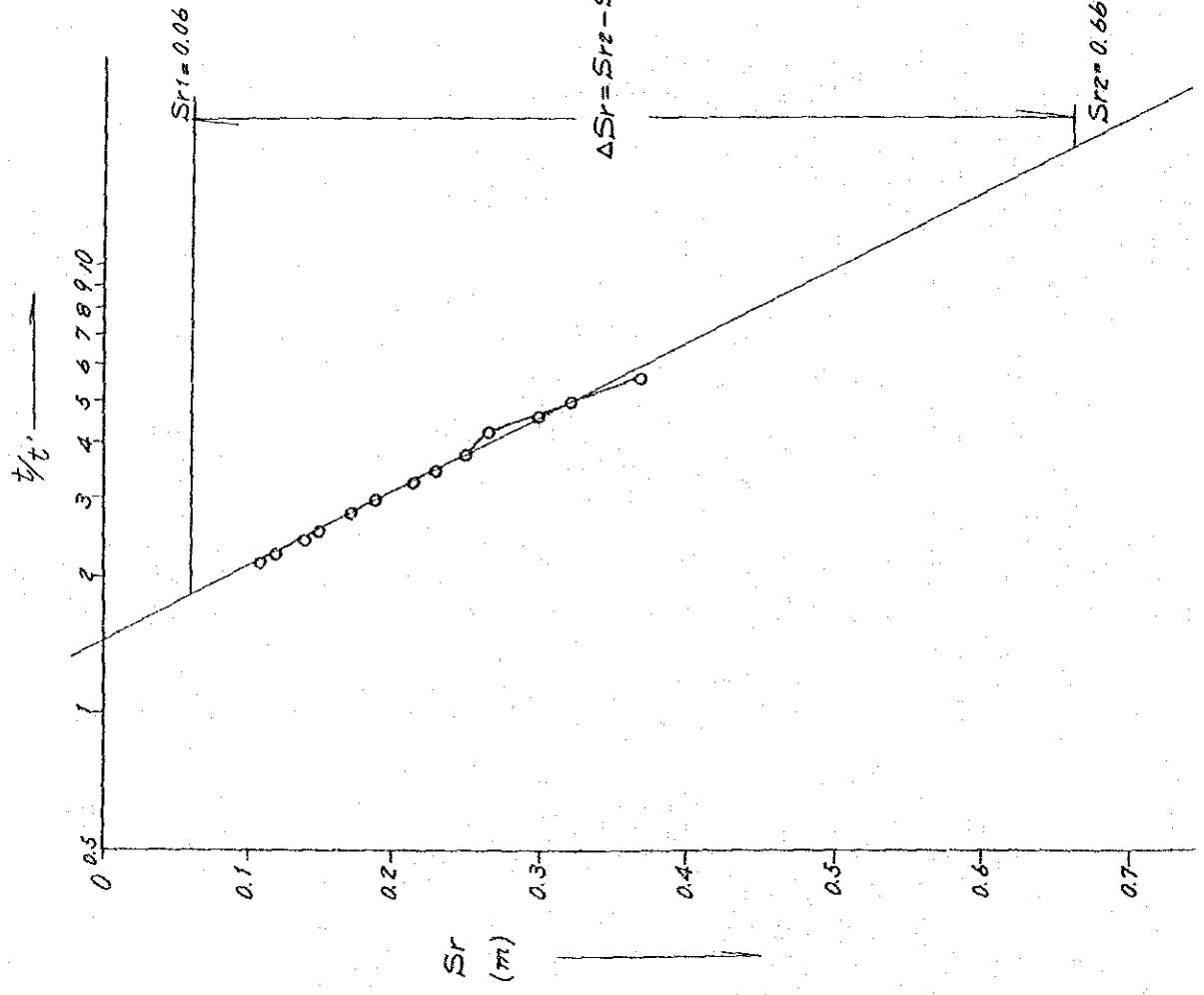
自然水位 9.27m
揚水量 500 l/min

$$\begin{cases} Q = 500 \text{ l/min} = 8.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec} \\ \Delta S = 0.66 \text{ m} \\ b = 4.80 \text{ m} \end{cases}$$

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta S} = \frac{0.183 \times 8.33 \times 10^{-3}}{0.66} = 2.31 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$K = \frac{T}{b} = \frac{2.31 \times 10^{-3}}{4.80} = 4.81 \times 10^{-4} \text{ m/sec} = 4.81 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$$

図3-12(1) 揚水試験結果



$$Q = 500 \text{ l/min} = 8.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\Delta S_r = 0.60 \text{ m}$$

$$b = 4.80 \text{ m}$$

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta S_r} = \frac{0.183 \times 8.33 \times 10^{-3}}{0.60}$$

$$= 2.54 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$K = \frac{T}{b} = \frac{2.54 \times 10^{-3}}{4.80}$$

$$= 5.30 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$$

$$= 5.30 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$$

図3-12(2) 揚水試験結果

IV 水源のタイプ

4-1 既存水施設

Y. A. R. における現状の既存水施設を取水施設の上からみると、次の3つのタイプに大分けすることが可能である。

4-1-1 管井（深井戸）

深度60～500m程度の機械掘りによる井戸で、いわゆる深層地下水を取水対象としたものである。揚水手段は、ポンプによりタンクに貯水・利用している。米国やSAUDI等の援助によってつくられた施設がある他、近年地元の出資によっても数多くつくられている。

4-1-2 手掘井戸（浅井戸）

深度30m程度までの径1～2mの井戸である。井戸側は多くの場合石積である。対象はいわゆる浅層地下水である。揚水手段はポンプによるものは非常にく、大部分がロープの先端にゴム製のバケツをつけて人力で汲み上げている。山岳地域ではWadi底に多く見られるが、その深度から推定して、基盤までかあるいは基盤を若干掘り込んだ位置が井戸底であろうと考えられる。井戸掘さく中の事故や幼児の井戸内転落事故もあると聞く。また、井戸内には物が沢山入っており、不衛生である。

4-1-3 集水マス

山岳地域における湧水を貯水利用するためにつくられている。基盤中を掘り込んだり、石とセメントを利用して集水マスがつけられている。湧水量の少い所は我々が調査（雨期明け1～2ヶ月後）した時点でも貯水は殆んどないか、ほんの少量であった。また、湧水量の多い

所では施設が不備であるため、未利用流出がかなりある。

4 - 1 - 4 Cistern

Y. A. R. では古来からの水施設であり、山岳地域の集落では自然の地形を利用したものや、山腹に石積し表流水を集水するようつくられたものがある。規模も直径数 m 程度の小さいものから、100 m に及ぶ大きなものまで種々ある。

いずれも open であるため、藻の発生や生活汚物の混入が見られ不衛生である。

以上が Y. A. R. における現状の水施設の概要であるが、更に地域別にみるならば、山岳地域では手掘井戸と Cistern が主要な水施設であり、湧水のある所についてのみ集水マスが利用されている。一方、Tihama 海岸地域については手掘井戸と管井が主な水施設となっている。

表 4 - 1 には既存水施設を水量の安定性及び衛生上の観点からその所見をまとめて示した。

表 4-1 既存水施設に対する所見

取	水 施 設
管 井 (深井戸)	- 取水施設としては、理想的である。 - 保守・管理（改修）等については未知である。
手 掘 井 戸 (浅井戸)	- 径 2 m 前後、深度 10 ～ 20 m 程度の規模が大部分を占める。 - 浅井戸の構造（例えば、口径・深度・スクリーンのタイプ等）を交えることのみでは、安定水量の確保を期待することは出来ない。 浅井戸の数を増やすことについても同様である。 - 浅井戸の多くは、オープンになっている為、井内に物が入り易く不衛生の一因となっている。また、大変危険でもある。
集 水 マ ス	- 集水マスの容量が小さいか、殆んどない、あるいは内壁の止水不備等のため未利用水が流出している。 - 集水マスはオープン構造であるため、藻類や水中小動物の繁殖や物の混入により、不衛生の一因をなしている。 - 湧水を対象としたものについては、集水方法及び貯留方法等について、現地の地形、水理地質条件に見合った施設を検討する必要がある。
C i s t e r n	- 他取水施設に比較して最も手近な位置に設けられる施設である。 - そのことが反面、人間や家畜の生活空間と密着し、不衛生の一因をなしている。 - 施設の改善としては、人間や動物が直接シタースタンへ接近しないための保護柵や、規模の拡大、蒸発量の低減化等が考えられるが、将来の水対策としては（即ち、本プロジェクトとしては）検討対象とすべきではない。

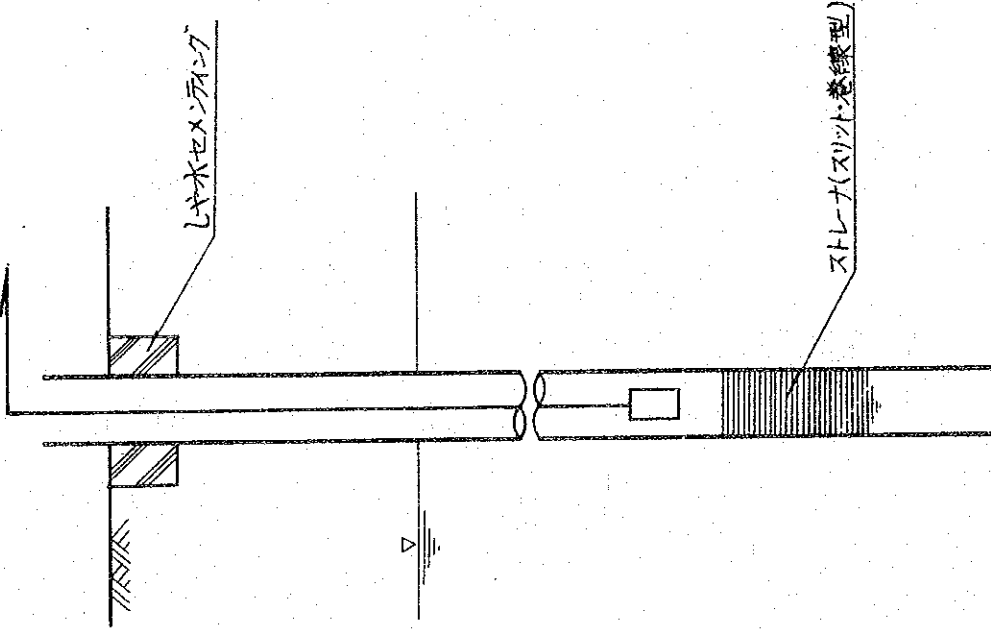
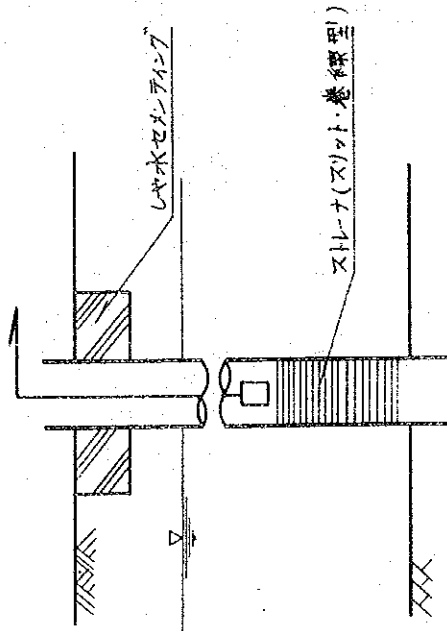
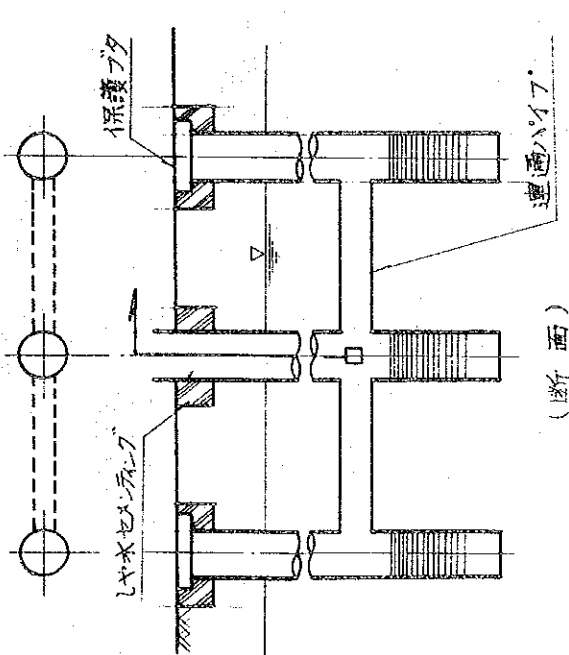
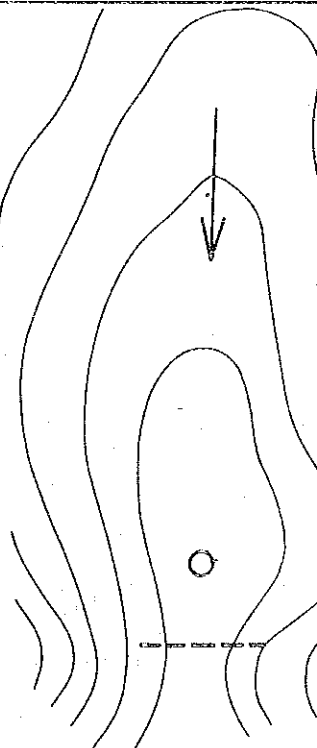
4 - 2 水源のタイプ

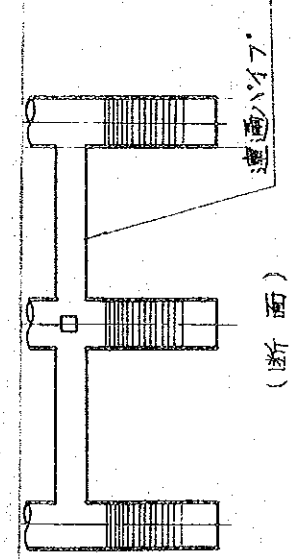
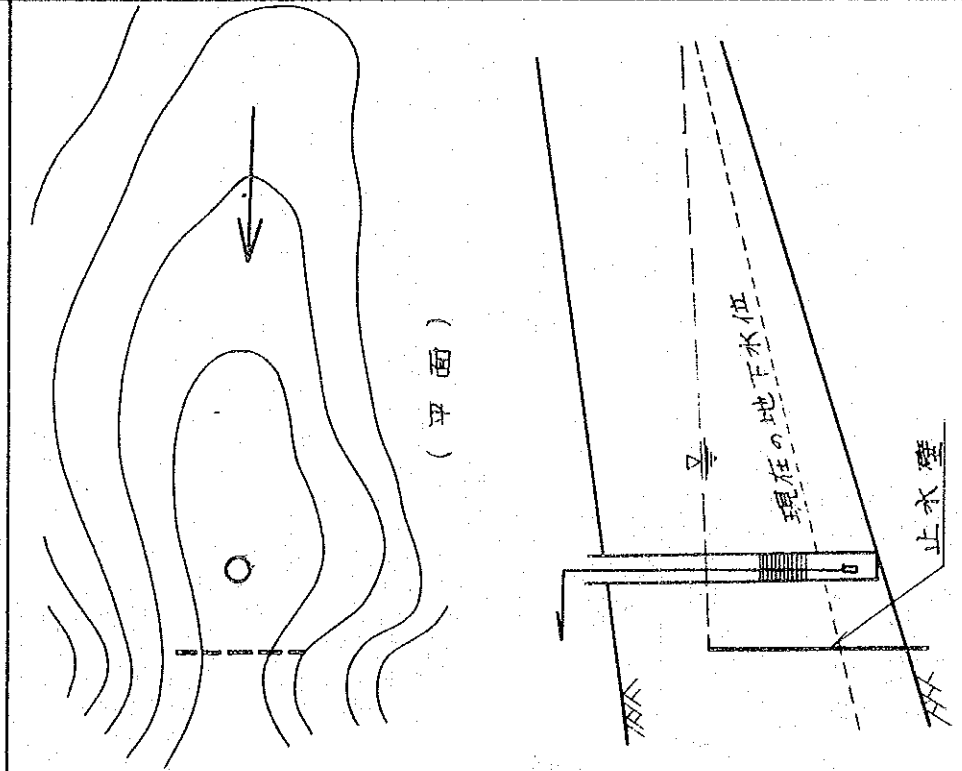
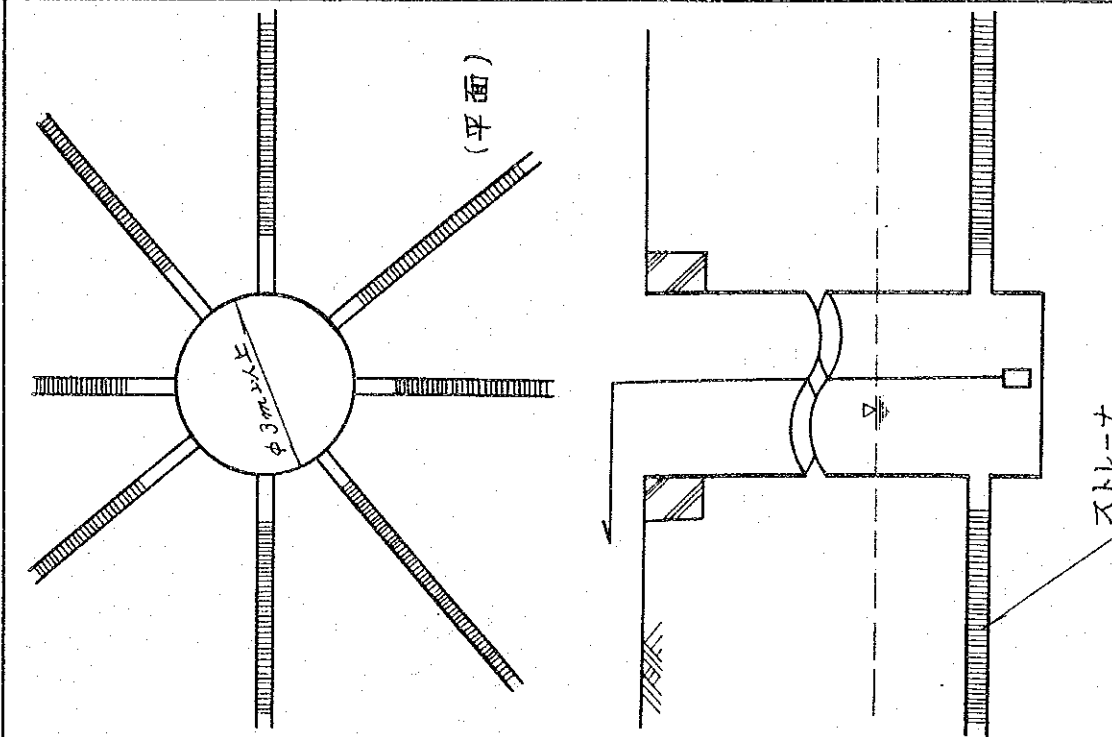
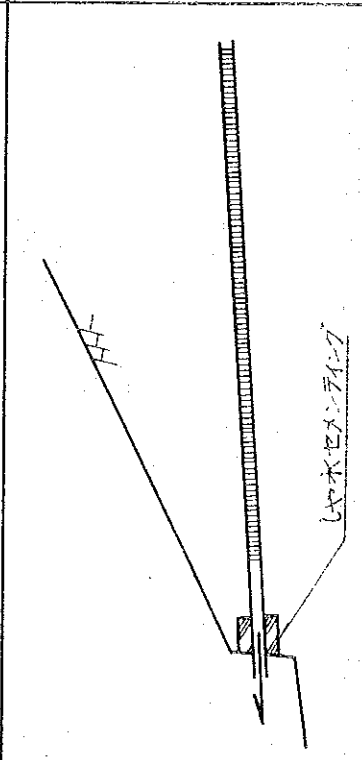
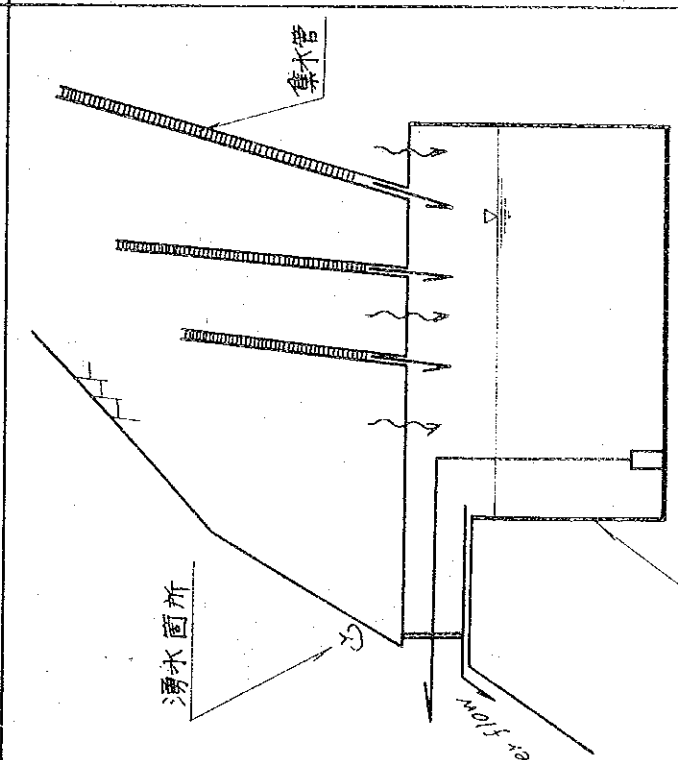
Y. A. R. において考えられる水源をタイプ分けして示せば、図 4 - 1 のようになる。即ち、水源の種類としては地下水と表流水とに分類出来る。そのうち地下水については、取水対象とする地下水の賦存状態によって、即ち大きくは、いわゆる深層地下水と、浅層地下水とによって水源施設は異ってくる。また、図 4 - 1 では湧水は地下水の 1 つが局所的に地表面に露出したものであるという考えのもとに、水源の種類としては地下水の中に入れてある。今回調査した湧水は 1 つ (AL-MADAN) をのぞいて、いずれも量的には極めて少く、しかも季節的変動の大きいものである。従って、現在の湧水を地上で受けて利用する形態の水施設では量的に非常に不安定な施設となる。そこで湧水箇所付近の地下水を積極的に集水し、貯水する目的として図 4 - 1 の C 1 及び C 2 に示すような施設が考えられる。

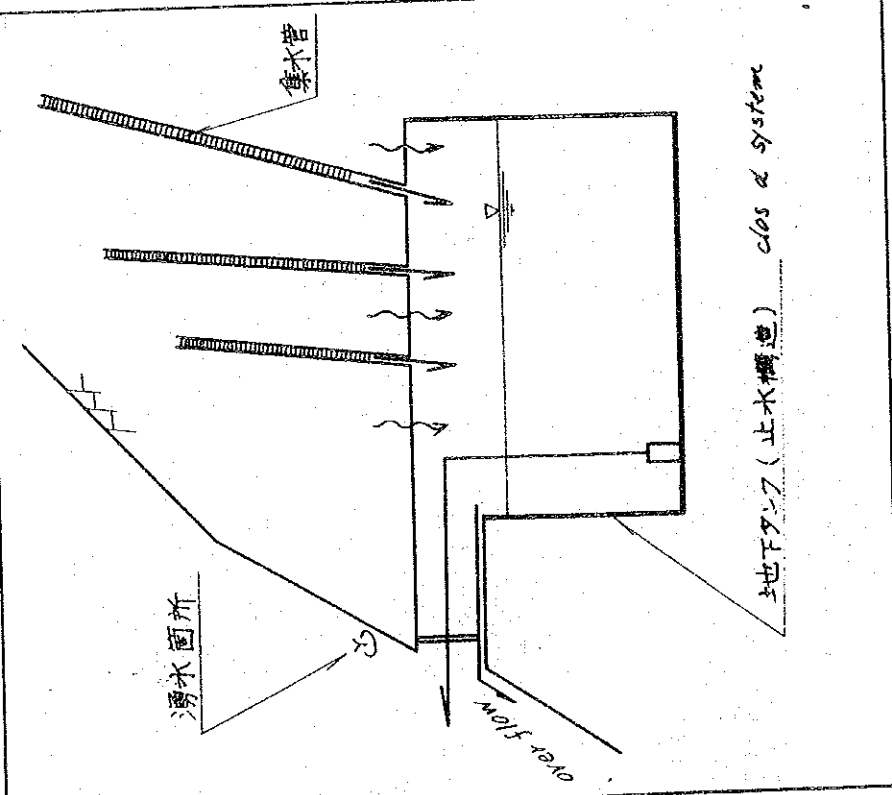
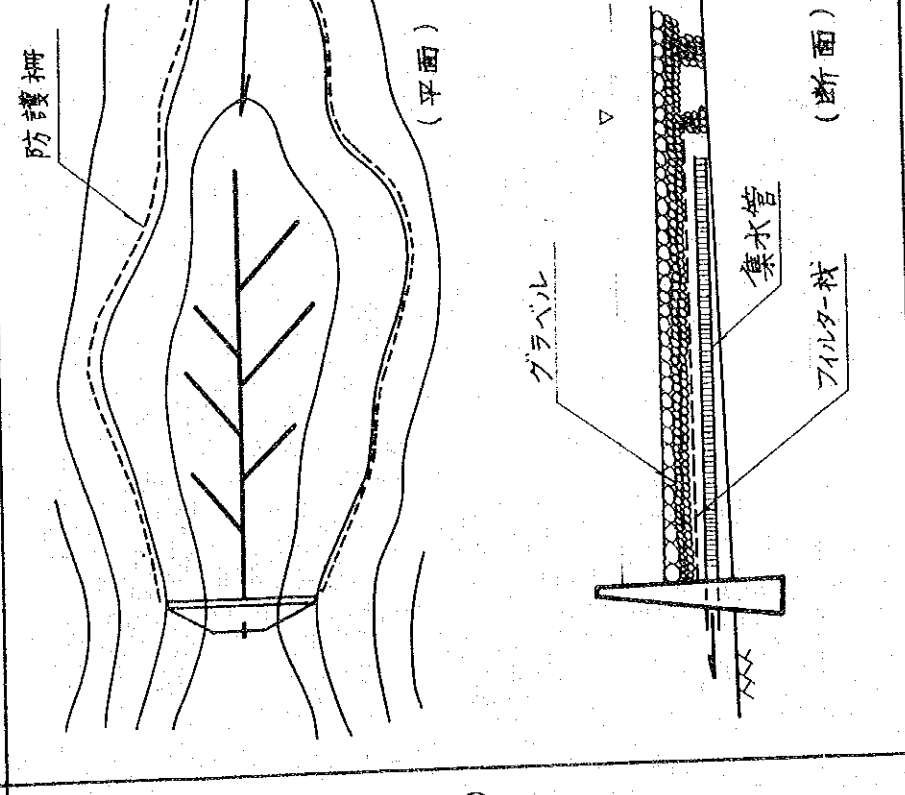
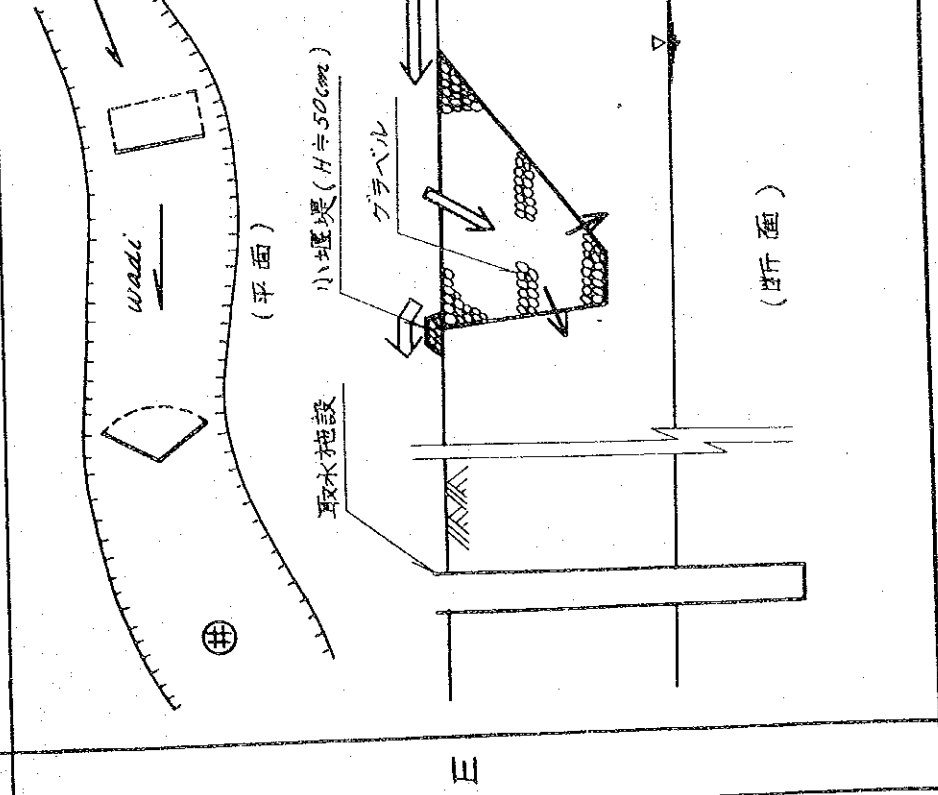
また、表流水の利用に関しては、山岳の谷地形を利用した地上ダムが考えられる。現地調査の結果、地形的にはダムの建設に適した所は多く見られたが、更に具体的な検討を進める上では、降水資料、水面蒸発散、水道水源としての衛生上の問題等不確定要素が多く、しかも今回の調査目的が極めて近い将来の地方水道事業計画であることから、計画の具体化は断念した。しかし、将来の水資源を考える上では、特に Y. A. R. でも降水量の比較的多い地域についてはダムを検討する必要がある。

同時に、今回最終的に提案した水源のみでは、水量の不足が発生する Site については、各 Site 毎に提案した他の水源の開発を検討する必要がある。

図 4-1 取水施設の概要と候補 SITE

水源タイプ	取水施設概念図	条 件	候補 SITE
地		1. 既存水理地質資料及び、さく井資料から、必要水量が充分賄なえると予測されること。 2. 必要水量を充分賄なえるとはいかないまでも他水源に比較して、水量の安定性の上からより有利であると考えられること。 3. さく井資材の搬入に充分な道路があること	• AL MADAN (*) • AL MAN (*) • SEHARA • THARI • BANY SHAKER and BAIT (*) • ABO SABAA • BAIT ABO HASHEM • AL SHEAB AL-ASWAD • BANY FARHAN and BANY SARIAA (*) • AL MASH JAB • AL-MANARA & AL-DUKM • AL-MAYDAN, SHEIBD (*) HAMUD and AL-JUBAIL (*) • HEDAD and QAHA • BAB AL HANDAB • AL DAHI • AL-MUNIRAH • YAHKTOL • MAKBANA
		1. 基盤までの深度が充分深いこと。既設井の状況から判断して 20m 以上の深さが必要。 2. 地下水の動水勾配 (地形勾配) が小さいこと。 3. 1 井で必要水量が賄えると予測されること。	• SHOHAT and AL-KADASH • AL-MOUNIRAH • YAHKTOL
		1. 地下水位が常時高いこと (施工性の上から 5m 以下) 2. 単独井では充分な水量を賄うことが困難であると予測されること。 3. 集水面積がある程度大きく、かつ地下水補給が見込まれること。	• GHULAY FIQAH • YAHKTOL
		1. 地下水の自然補給のみでは充分な取水量が賄なえないと予測されること。 2. 地下ダム建設に適した地形及び地下地質であること。 3. 地下水貯留量が必要量に対して充分大きい	• SHOHAT and AL-KADASH

	 (断面)		
下	 (平面) B3 (断面)	1. 地下水の自然補給のみでは充分な取水量が得られないと予測されること。 2. 地下ダム建設に適した地形及び地下地質であること。 3. 地下水貯留量が必要量に対して充分大きいことが予測されること。 4. 建設後、湿地化や特に下流部既設水源の涸枯等二次的悪影響のないこと。	・ SHOHAT and AL-KADASH
水	 (平面) B4 (断面)	1. 数百メートル以上の広がりをもつワジであること 2. 管井 (φ1m以内) では充分な水量を有なうことが困難であると予測されること。	・ BAB AL MANDAB ・ AL KUDHA, AL-HAGL ・ GHULAYFAGAH ・ AL-MOUNIRAH ・ YAHKTOL
	 シヤホセタンク	1. 垂直性の断層、亀裂及び岩脈群が多く、連続性があること。 2. 土被りが厚く、貯水容量が充分見込まれること	・ AL MADAN ・ ELMAN ・ SIHARA ・ BANY SHAKER and BAIT ABO SABAA ・ AL-ZAKIRA
	 湧水箇所 集水管 over-flow C2 (断面)	1. 現在湧水が認められること 2. 湧水機構が明らかであること 3. 湧水の無効放流を有効に貯留、利用することによってある程度必要水量を有なうことが可能なこと。	・ AL MADAN ・ AL-ZAKIRA

		1. 現在湧水が認められること 2. 湧水機構が明らかであること 3. 湧水の無効放流を有効に貯留・利用することによって、ある程度必要水量を賄うことが可能なこと。	・ AL MADAN ・ AL-ZAKIRA
表		1. ダム建設に適した地形・地質であること 2. 集水域が充分なこと。 3. 降水量が多いこと。	・ BANY SHAKER and BAIT ABO SABAA ・ AL SHEAB AL-ASWAD ・ HADAD and QAHFA
流		1. 取水施設そのものではなく、地下水強化法の一つである。 2. 同一ワジの下流域に既設及び新設の地下水を対象とした取水施設がある場合。 3. 表流水の無効放流を地下水浸透させることにより、取水量の増加が見込まれること。 4. 出水時小堰堤による二次的悪影響が生じないこと。	・ AL MADAN ・ SHOHAT and AL-KADASH ・ BAB AL HANDAB

V 水源の規模と推定可採水量

表 5-1 には水源のタイプ、規模及び推定される可採水量を各 Site 毎に示す。そのうち水源のタイプは、各 Site ごとに考えられる水源の中から次に示す理由によって、最終的には大部分の site について深層地下水を対象とした井戸を計画した。その理由とは次の点である。

- ① 今回の調査は極めて近い将来における Y. A. R. での地方水道事業計画である。また、その為の日本政府の Y. A. R. への無償援助の 1 つである。
- ② 候補水源の中には浅層地下水及び湧水を対象としたものも含まれているが、今回の調査のみでは、乾季における地下水位の低下の程度あるいは、湧水量の経時的な変動を充分知ることが出来なかった。このことは水量の安定性を検討する上で不安要素となり、水源の規模を決定することが不可能である。
- ③ 同様に候補水源の中には表流水を対象としたダムが含まれているが、貯水容量を決定しダム規模を計画する基礎資料となる水文気象に関する資料が皆無に近い状況である。また、主要都市での降水記録をみると年降水量そのものも変動幅が大きく、降水パターンも集中豪雨的なものと推定される。従って日本をはじめ多雨地域のダムに比較して、非常に効率の悪いダムを覚悟しなければならない。同時に表流水であるため、衛生上の問題がある。現時点での Y. A. R. では水処理技術は殆んど普及していない。

しかし、水処理技術も含め、ある程度の将来の水資源を考える場合には、ダムも含めて検討されるべきである。幸いにも Y. A. R. の大部分は

山岳地形であり、地形上からはダム適地は沢山ある。その為には今から基礎的資料の集収と整理が望まれる。

以上の点から Y. A. R. で実績の多い深層地下水の開発を主眼とした。

しかし、既述したように、Y. A. R. における将来の水資源を検討する場合、あるいは、必要水量に満たない場合には、各 Site 毎に示した候補水源をも含めた計画、検討をする必要がある。

また、水源の規模については、周辺の地形、水理地質条件、電気探査の結果等から決定した。そのうち、山岳地域での深度は、深層地下水の大部分が裂カ水的性状を呈するものであると推定されることから出来るだけ多くの裂カ帯中の地下水を集めるよう可能な深さとした。一方、Tihama 地域については、電気探査結果では必ずしも塩水の浸入を示唆するものはないが、安全をみて原則として海水準までの深度とした。

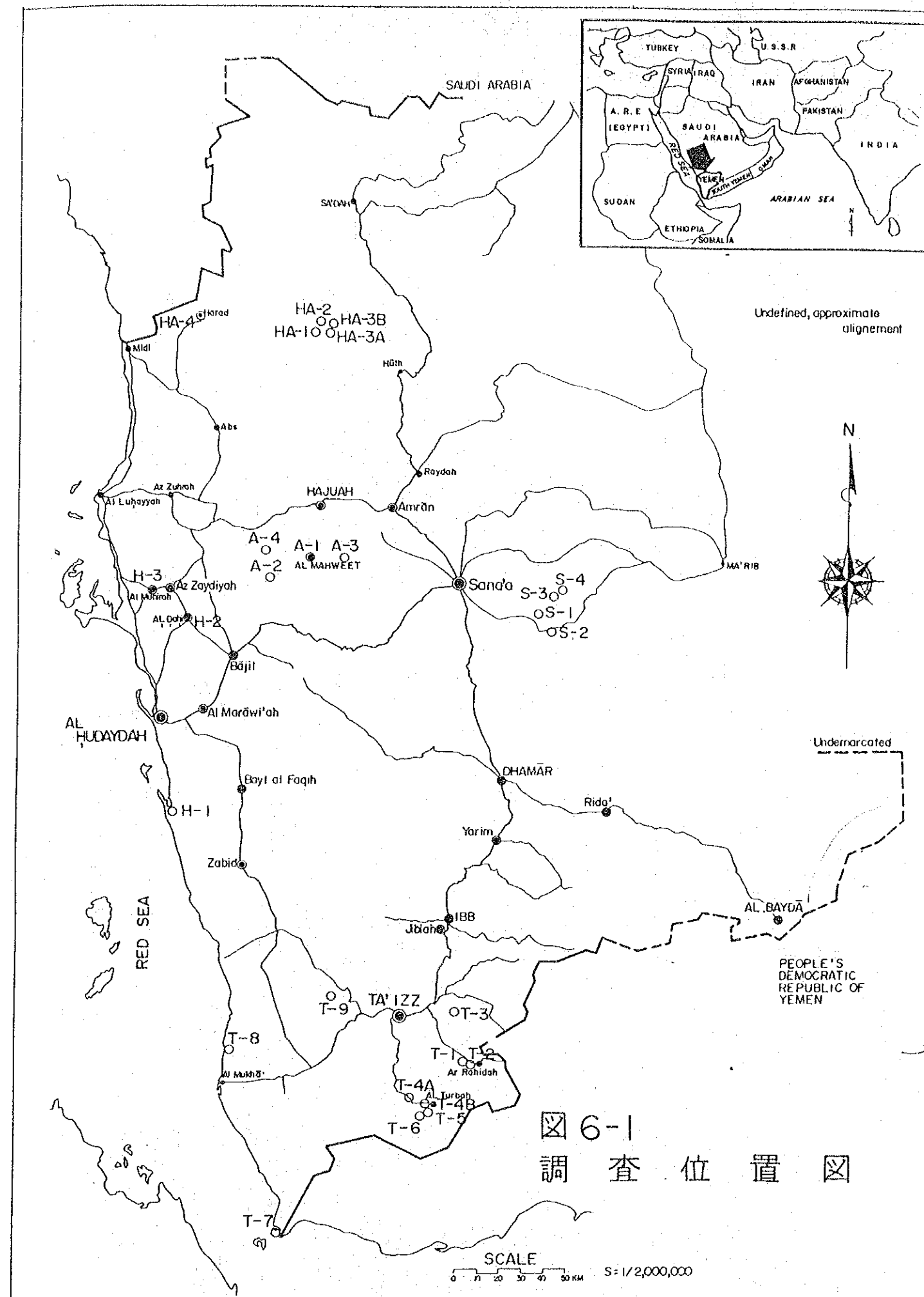
推定可採水量は、III. 水理地質学的考察、で述べた既存資料を参考に、各 Site の水理地質条件を考慮して決定した。

表5-1 各 Site 別の水源規模と推定可採水量

NUMBER	SURVEY SITE	候補水源	水源	規 模			ポンプ 揚程 (m)	推定可採 水量 (m^3 /日)	摘 要
				口径 (%)	深度 (m)				
HA-1	AL-Madan & 8 Villages	A, C1, C2, E	A	200	300		200	300	
HA-2	Elman & 4 Other Villages	A, C1	A	200	300		200	300	既存の深井戸の実績
HA-3-A	Sihara	A, C1	A	200	300		200	300	(200~400 m^3 /日)
HA-3-B	Thari	A	A	200	200		150	300	から推定
HA-4	Harad	A	A	200	120		100	1000	
A-1	AL-Mahweet City	A, C1 集水マス	A	200	200		150	300	
A-2	Hufash	A, B3	A	200	200		150	300	
A-3	AL-Rajam	A	A	200	300		200	200	
A-4	AL-Khabet	A, B3	A	200	200		150	200	
S-1	Bany Shaker & Bait Abo Saba'a	A, C1, D	A	200	200		150	200	
S-2	Bait Abo Hashem	A	A	200	200		150	200	
S-3	AL-Sheab AL-Aswad	A, D	A	200	100		100	300	
S-4	Bany Farhan & Bany Sari'a	A	A	200	100		100	300	
H-1	Chulayfagah	A, B2, B4	A	200	30		50	100	
H-2	Al-Dahi	A, B4	A	200	80		50	1000	
H-3	Al-Mounirah(to supply Ebn-Abbas and Al-Harunia)	A	A	200	60		50	500	
T-1	Al-Mashjab	A	A	200	110		100	400	
T-2	Al-Manara & Al-Dukum	A	A	200	110		100	400	
T-3	Al-Maydan, Al-Jubail Sheibd Hamud	A	A	200	200		150	700	Trap Series の平均揚 水量を採用
T-4-A	Hadad, Oahfa	A, D	A	200	180		150	500	
T-4-B	Al-Kudha, Al-Hagl	A, B4	A	200	250		200	100	
T-5	Shohat, Al-Kadash	B3, B1, E	B3, B1		10		50	200	地下ダム
T-6	Al-Zakira	A, C1, C2	A	200	250		200	100	
T-7	Bab-Al-Mandab	A, B4, E	A	200	85		50	500	
T-8	Yahktol	A, B4	A	200	100		50	1000	
T-9	Makbana	A	A	200	300		200	700	Trap Series の平均揚 水量を採用

調査対象地区一覧表

NUMBER	調査地	郡	県
HA-1	Al-Madan & 8 Villages	Al-Ahnoon	HAJJA (HA)
HA-2	Elman & 4 Other Villages	Al-Ahnoon	
HA-3-A	Sihara	Sihara	
HA-3-B	Thari	Sihara	
HA-4	Harad	Haradh	
A-1	Al-Mahweet City	Al-Mahweet	AL-MAHWEET (A)
A-2	Hufash	Al-Mahweet	
A-3	AL-Rajam	Al-Mahweet	
A-4	Al-Khabet	Al-Mahweet	
S-1	Bany Shaker & Bait Abo Saba'a	Al-Suhman	SANA'A (S)
S-2	Bait Abo Hashem	AL-Suhman	
S-3	AL-Sheab AL-Aswad	Banishadad	
S-4	Bany Farhan & Bany Saria'a	Banishadad	
H-1	Ghulayfagah	Duraihmi	HODEIDAH (H)
H-2	AL-Dahi	Hodeidah	
H-3	AL-Mounirah (to supply Ebn-Abbas and AL-Harunia)	Zuhrah	
T-1	AL-Mashjab	AL-Sulou	TAIZ (T)
T-2	AL-Manara & AL-Dukum	AL-Sulou	
T-3	AL-Maydan, AL-Jubail Sheibd Hamud	Kadier AL-Buraihi	
T-4-A	Hadad, Qahfa	AL-Turba	
T-4-B	AL-Kudha, AL-Hagl	AL-Turba	
T-5	Shohat, AL-Kadash	AL-Turba	
T-6	AL-Zakira	AL-Turba	
T-7	Bab-AL-Mandab	Bad-AL-Mandab	
T-8	Yahkhtol	Mokah	
T-9	Makbana	Makbana	
TOTAL	26	15	5



VI Survey Site の各論

各 Site の位置は図 6-1 に示す。

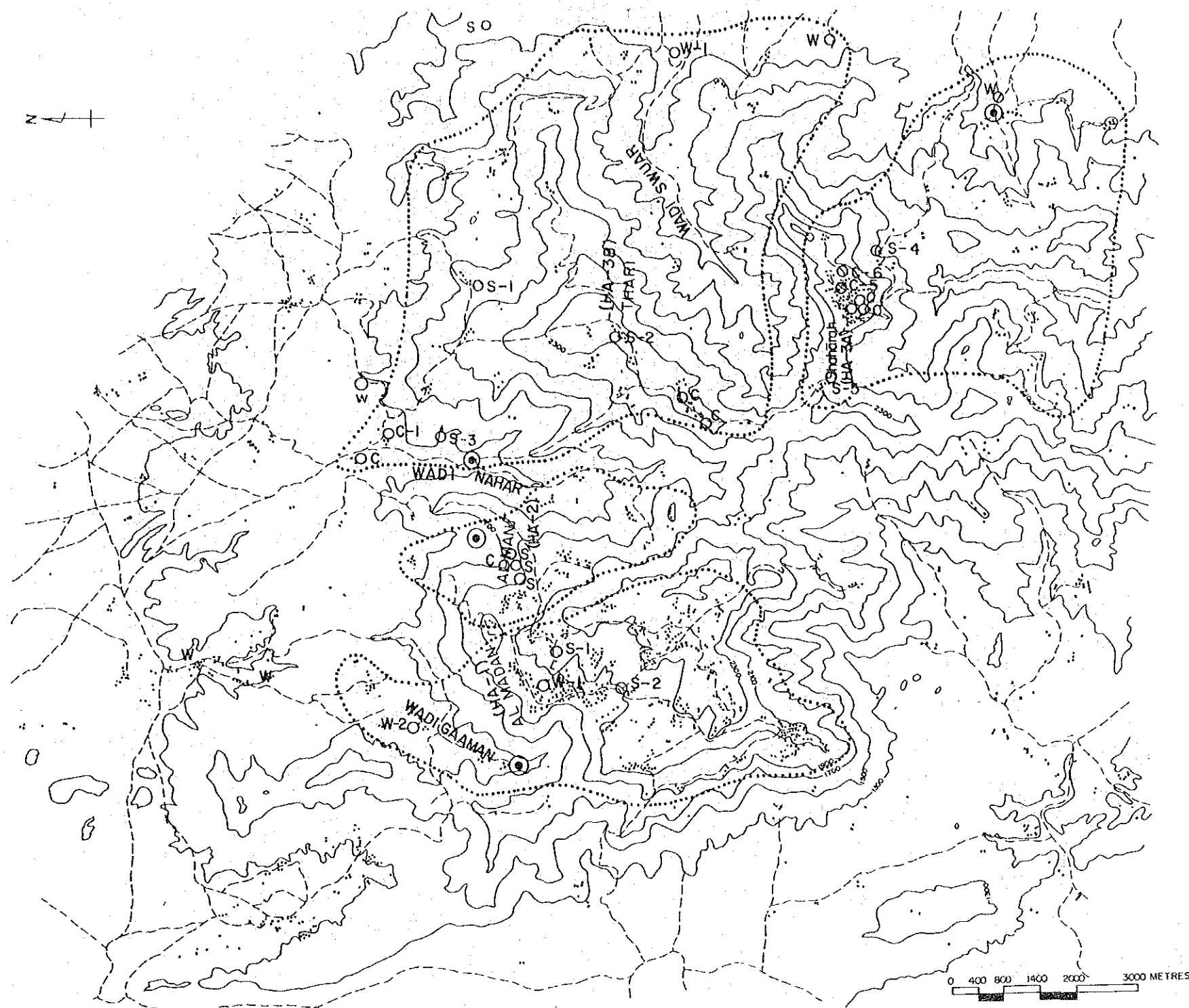
6-1 AL-MADAN and 8 Villages HA-1 (図 6-2 参照)

(1) 地形

Site は標高約 1 3 0 0 m の Wadi 底から約 2 3 0 0 m の山頂に至る約 1 0 Km² の広さである。Wadi と山岳との間には落差数百メートルの急崖がある。集落は主として山頂部から標高約 2 0 0 0 m の山岳地域に分布する。集落の位置する山岳斜面は当地域の中では比較的緩傾斜であり、しかも谷密度も大きい。

(2) 水理地質

周辺は全て Trap Series からなる。岩質は流紋岩、凝灰岩、安山岩等からなる。安山岩層は数十メートルの層厚を有し山頂から Wadi に至る間に何枚かの層が存在する。集落の中心部から南東の緩傾斜面には AL-MADAN spring (S-2) と呼ばれる合計 1 4 の Spring がある。この Spring は図 6-3-a に示すように安山岩と凝灰岩の間から湧水がみられる。



LEGEND	
○ W	WELL
○ C	CISTERN
○ S	SPRING
⋯	BOUNDARY
⊙	PROPOSED BOREHOLE

Fig. 6-2

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
LOCATION MAP OF HAJJA AREA (HA-1, HA-2, HA-3A, HA-3B)		
DESIGNED BY Pacific Consultants International		
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

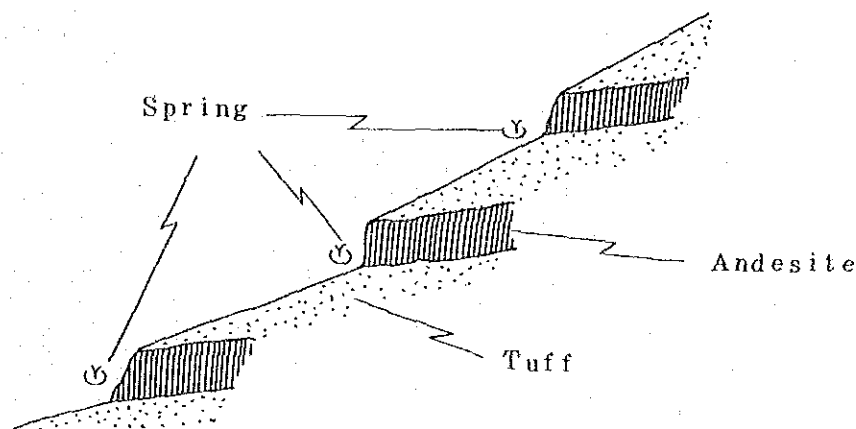


図 6-3-a AL-MADAN Spring の概念図

安山岩は堅固で、縦方向の大きな亀裂が発達している。これに対して凝灰岩はやわらかく亀裂の発達も悪い。従って凝灰岩は安山岩に対して相対的に不透水層の役割を果しているものと考えることが出来る。

AL-MADAN では、この Spring を集水マスに利用している。しかし集水マスは開放になっており、中には藻や小動物の発生や物の投込み等がみられ、不衛生である。また、集水マスの容量が小さいため、未利用流出しているものが多い。こういった湧出機構を示す湧水は、当地域ではこの spring のみである。

一方、Site の東方の山腹部にある湧水 (S-1) は流紋岩中に発達する N 40 ~ 50 W の方向性のある亀裂に沿って湧出している。量的には極めて少量である。

Trap Series 中には顕著な断層や Dyke は認められない。

(3) 候補水源

当地域内で考えられる水源の候補としては表 6-1 に示すとおりである。

図 6-3-b 取水施設のスケッチ (湧水)

(A) Spring with reservoir

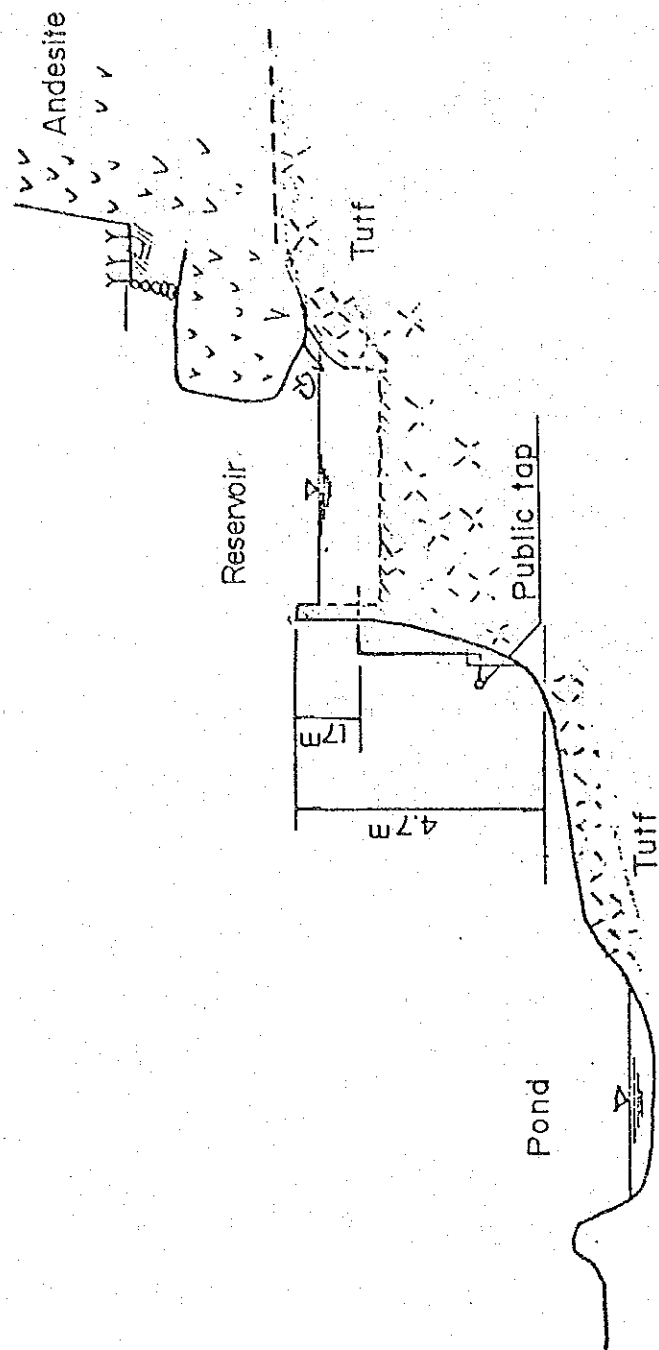


表 6-1 候補水源に対する所見

№	HA-1	SITE	AL MADAN and 8 Villages
候補水源タイプ			
A, C1, C2, E			
A	1. 給水対象地域が2000m以上の急崖上にあること、及び地形が極めて急峻であることから掘削候補地は、Wadi Gaamanの上流域となる。		
	2. HUTから候補地まで、2ヶ所(各200~300m間程度)幅員の拡大と路面整備を要す。		
C1	3. 全域Trap Seriesからなり、しかも顕著な断層や亀裂は認められない。従ってWell pointの決定に当っては、むしろ他施設との関連で選ぶ方が望ましい。		
	4. 工事用水は、Wadiの手掘井戸使用。		
C2	1. 候補地としては、(S-1) spring (山麓のポンプ施設のある spring) 付近が考えらる。ここに見られ spring は、N40~50Wの方向性をもつ亀裂に支配されたものであるため、これに cross する方向の集水ボーリングを行なう。		
	2. 一方、S-1 spring では、springを集水マス(井戸形式)に貯め、ポンプ揚水やタンク施設が完備している従って仮りに新たに集水ボーリングを行なった結果、既存 spring へも影響を及ぼすことになれば、それらの施設が無駄となる。		
E	3. 集水量についての予測は全く不可能であるが、地形から判断して多量の spring が継続するとは考えられない。		
	4. 従って、水源としては望ましいものとは考えられない。		
	1. 候補地は、AL MA'AIAN spring (14ヶの spring がある谷) 付近である。		
	2. 工事道路は、幅1.5m程度の谷沿いの道路があるのみ。着工に当っては新設する必要がある。		
	3. 地下タンクの容量は水使用量を基に検討することになるが、二次的タンクとしては、地上タンクも考えられる。		
	4. 地形及び地質構造(谷の方向と地層の一般傾斜が一致すること、及び谷密度が高いこと)や地元民の話等から推定すれば、水量は比較的豊富である。特に夜間未利用流出量は、現在の水使用量に相当している可能性もある。		
	1. Wadi Gaamanの表流水を地下環元することが考えられる。		
	2. この案はWadi Gaamanの浅層地下水を水源とする場合にのみ有効である。		
	3. しかし、年降水量分布及び集水面積等から推定して、浅層地下水では必要水量を賄うことは不可能であろう。		
	4. 同Wadiにある既存井戸の地下水を強化する手段としては考えられる。		

6 - 2 ELMAN and 4 Other Villages HA - 2 (図6 - 2参照)

(1) 地 形

標高約1500 mから約2100 mの山岳斜面に位置する。北流するWadi Naharの上流部に当り、集落の直下は約250 mの急崖となっている。集落は山頂から山腹斜面に分布するが、その分布は谷によって3地域に分けられている。

(2) 水理地質

構成地質はTrap Seriesからなるが、主な岩質は流紋岩からなる。集落のほぼ中央部の谷に沿っていくつかの小規模な湧水を対象とした集水マスがある。湧水機構は流紋岩中に発達する亀裂及び風化層に沿って湧出しているものと思われ、その量は極めて少量である。また、地形上の集水面積から推定してもその量は少いものと考えられる。

(3) 候補水源

Site内で考えられる水源について表5・2に示す。このうち、湧水を対象する(01)ものは、水量の安定性から判断して水源としては必ずしも最適なものとは言えない。したがって、深井戸を本計画では水源としてすすめられる。

表 6 - 2 候補水源に対する所見

No	HA 2	S I T E	ELMAN and 4 Villages
候補水源タイプ		A, C1	
A	1. 候補地は、Wadi Nahar の支流 Wadi 上流域である。 2. HUT から候補地間は、1ヶ所 200～300 m間の幅員拡大と路面整備が必要。候補地の手前 Wadi Nahar の支流約 3 Km間 は道路新設が必要。 3. 全域 Trap Series からなり、顕著な断層や亀裂は認められない。 水理地質的には、同 Wadi 内であればほぼ同様であると考えられる。 4. 工事用水は S I T E 外から入手。		
C1	1. 凝灰岩あるいは流紋岩中に発達する N 40～50 W 方向の亀裂 及び風化帯に沿う既存 Spring 付近が候補地となる。 2. 既存 Spring そのものの水量も極く僅かであり、地形の上からも 多量の湧水が継続するとは考えられない。 3. 道路から候補地間約 300 m は人力運搬を要す。		

6 - 3 SIHARA HA-3-A (図5 - 2参照)

(1) 地 形

標高約 1 3 0 0 m の山脚部から約 2 5 0 0 m の山頂部に集落が点在する。主要な集落は標高約 2 3 0 0 m 以上の山頂部に位置する。谷は深く山脚から山頂まで数段の急崖がある。山頂の主要集落までは、東斜面からの山岳道路が通っているが、道幅が狭く、しかも急勾配であるため、前輪駆動のジープによる他は不可能である。また、集落の周辺には城壁があり、集落内への車輛の乗入れは不能である。

Site の面積は約 1 8 km² 程度である。

(2) 水理地質

他の Site と同様全域が Trap Series からなる。しかし、Site の東部には南北方向の安山岩からなる Dyke が発達する。山頂の尾根にかかる石づくりの橋のある狭小な谷もこれらの方向と一致している。

現状の水施設は、Cistern が多く、集落内では 5 0 近い Cistern があるとのことである。中でも特筆に値するのは図 5 - 4 に示すように地下につくられた Cistern である。

これは、地下に穴を掘り、内部を石積で補強するとともに貯水に耐え得るよう止水構造となっている。外部と連絡する穴は、水汲用の出入口と径約 1 m 程度の円い穴のみである。

その他湧水も数箇所で見られるが、いずれも崩積土と基盤岩との境界、あるいは基盤岩の風化帯中からの湧出でありその量は極めて少い。

(3) 候補水源

候補水源を表 5 - 3 に示す。このうち湧水を対象とした (C1) ものは、Dyke を考慮したものであるがその水量や安定性については未知である。したがって、本計画の水源は東側の Wadi に求めるのが最適と考えられる。

図6-4 取水施設のスケッチ(シスタン)

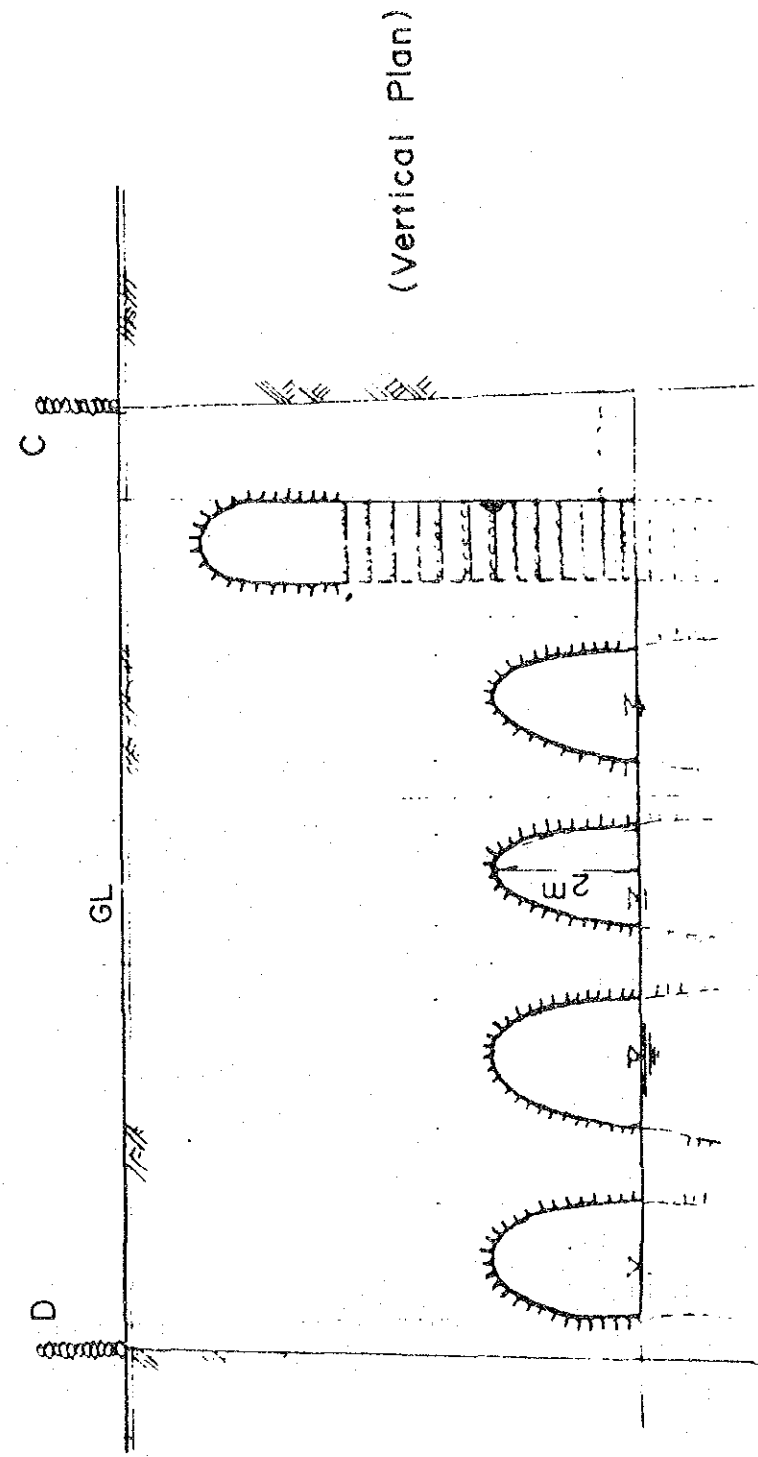
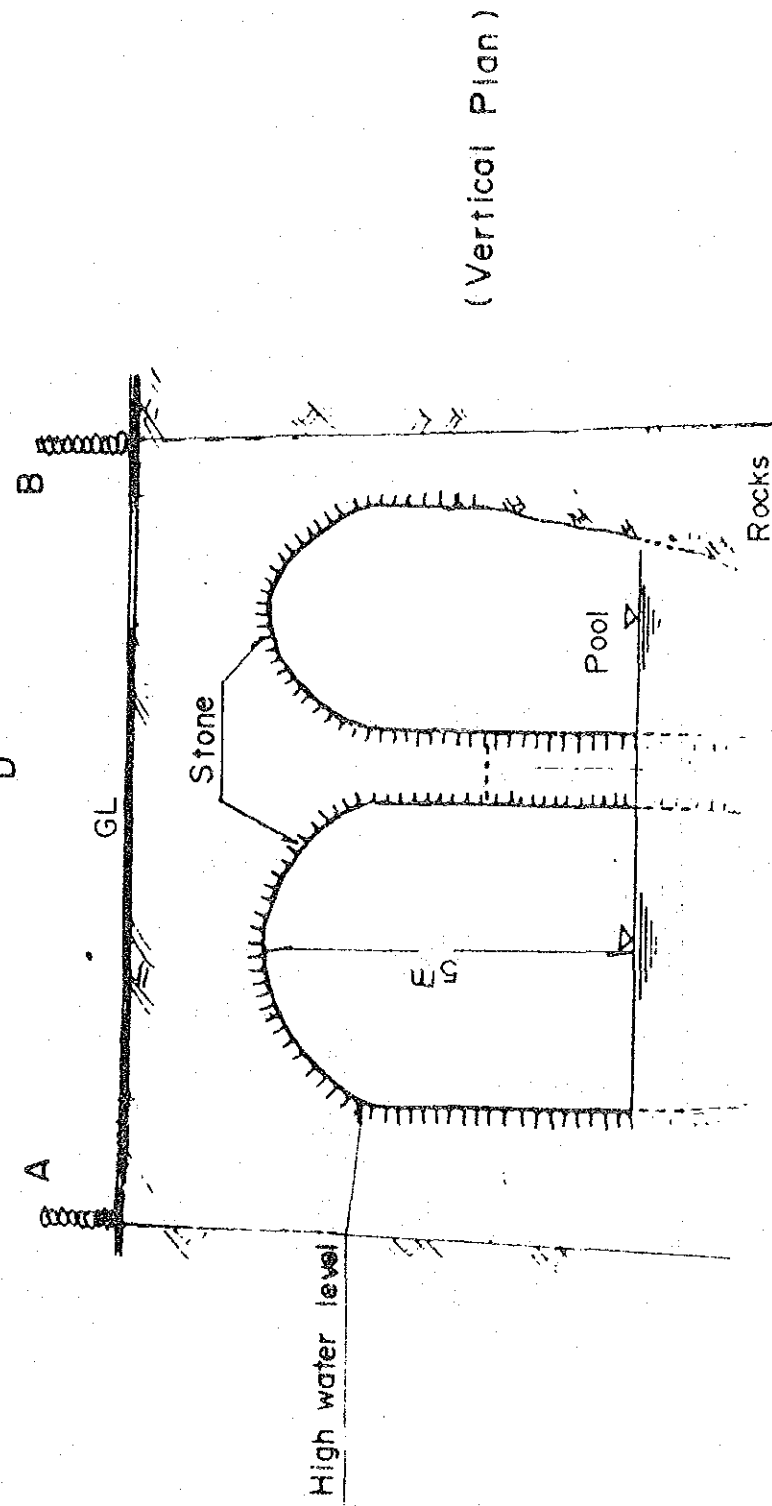
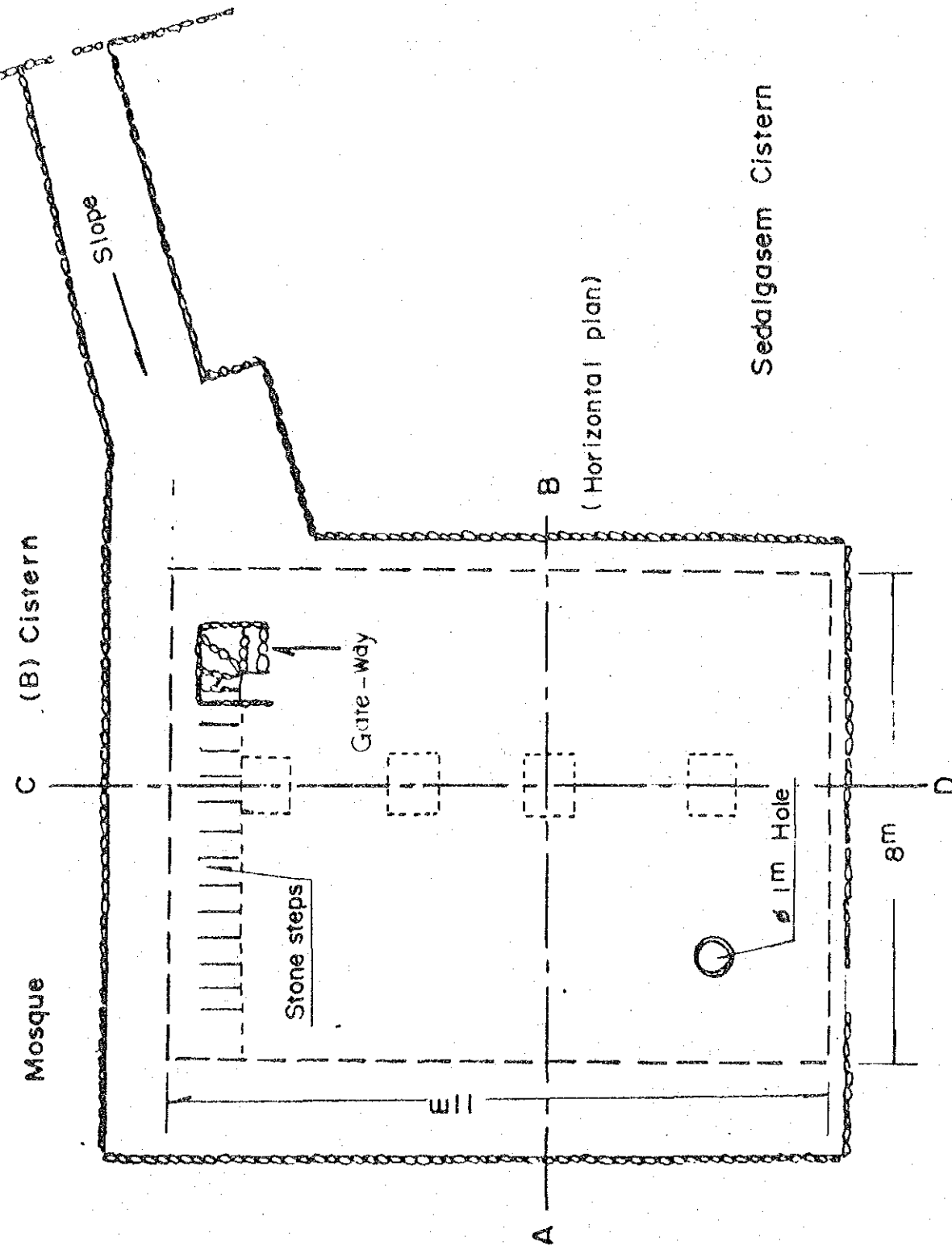


表 6 - 3 候補水源に対する所見

No	HA-3A	S I T E	S I H A R A
候補水源タイプ		A . C1	
A	1. 主たる給水対象地は、標高 2300m 以上の山頂部に位置する。 2. 水理地質条件及び資料運搬等を考慮すれば、候補地は東側の Wadi 底の 1200~1250m 付近とならざるを得ない。 3. Well の point は、他の施設との関連及び現地地形等から決定するのが得策である。 4. 工事用水は Wadi の手掘井戸使用。		
C1	1. Dyke rock の一般方向が N - S で殆んど垂直傾斜であること、及び地形斜面が東傾斜面であることから、集水ボーリングの一般方向は東から西方向となる。 2. Dyke rock の分布頻度は、西側山麓から 1700m 付近までが卓越している。また、各々の Dyke rock の間隔は、概略数百メートル程度である。 3. 施工性の上からは、一本の集水ボーリングは 1~2 本の Dyke を対象とするようになる。 4. 既設道路は、四輪駆動小型車程度のみ運行可能であり、仮りにこのタイプの水源を建設するとなると、道路をつくる必要がある。		

6-4 THARI HA-3B(図6-2参照)

(1) 地形

標高約1300mの山脚部から約2500mの山頂にかけて集落が分布する。そのうち集落の大部分は山頂部に位置する。大きな谷は、Site西方のWadi Naharと東側のWadi Swuarであるが、両Wadiとも標高約1500m以上は急勾配となる。また山腹は数段の急崖がある。

当地域内では最も面積の広いSiteで、おおよそ36km²である。

(2) 水理地質

安山岩、流紋岩、凝灰岩(一部 green tuff)からなるTrap Seriesからなる。一般走向はNE-SWで僅かにNW方向に傾斜している。

東側のWadi Swuar付近の標高約1200m付近の山麓台地は径数センチメートル～数十センチメートルの円礫からなる扇状地堆積物が分布する。

主な水源はCisternである。その他Springもあるが、調査時点で既に干上がっていたり、湧水量が極めて少ないものが多い。崩積土中からの湧出及び亀裂からの湧水であり、その集水域が狭いため安定した水量を確保することは困難であろうと考えられる。

(3) 候補水源

考えられる水源は深層地下水を対象とした井戸のみであるが、給水対象地までの距離及び地形を考慮すれば、候補地はWadi Naharの標高約1400m周辺となる。

6-5 HARAD HA-4(図6-5参照)

(1) 地 形

標高約100m程度のTihama海岸平野に位置する。HARADは、約1.5Km離れてOld HARADとNew HARADがあり、Old HARADの北にはWadi HARADが西流している。HARADの集落はWadi HARADの左岸域扇頂部に位置する。集落の周辺は高ウネ(高さ50cm~1m)をもつ畑として利用されている。New HARADの東方約5KmにはSandstone, Limestone, Andesite等からなる山体がある。

(2) 水理地質

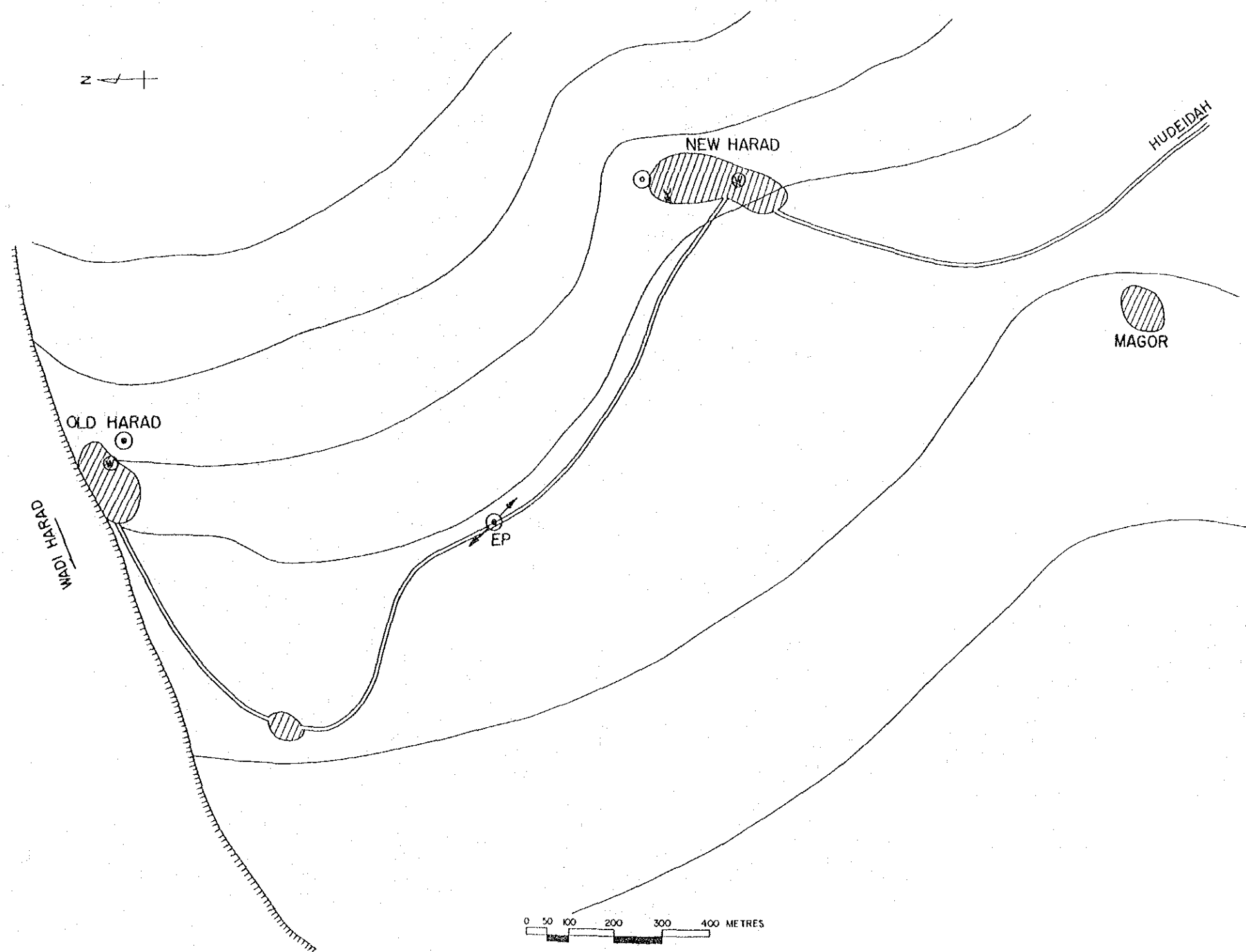
図6-5に示すように、Old HARADとNew HARADのほぼ中間位置で電気探査を行なった。その結果、深度約110m以深で $\rho-a$ 曲線は上昇傾向を示す。このことから井戸深度は120mとする。

また、地表面は厚さ数mのmudからなるが、Wadi内は円礫を含む砂礫から構成されている。

既存井戸によれば電気伝導度も $900\mu\text{V}/\text{cm}$ 以下であることからTihama地域の中では水質的にも良好な地下水であると判断出来る。

(3) 候補水源

深層地下水が水源として考えられる。



LEGEND	
(W)	EXISTING WELL
←○→	ELECTRICAL PROSPECTING POINT
⊙	PROPOSED BOREHOLE

Fig. 6-5

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
LOCATION MAP OF HARAD (HA-4)		
DESIGNED BY	Pacific Consultants International	
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

表 6 - 4 候補水源に対する所見

№	HA 4	S I T E	H A R A D
候補水掘タイプ		A	
A	1. Wadi 周辺の畑のウネは flood の水を溜めるため高くしてある。道路はウネを横切るように走っているため、運搬車の腹がつかえる所もある。その所は、ブルでウネを平坦にする必要がある。 2. 数本の Wadi を通るため、特に雨期の着工はひかえた方がよい。最も大きな Wadi MAWR では水深 20 ～ 30 cm 程度であった。 3. 電気探査の結果、深度約 110 m 以深が岩盤と推定される。 4. 工事用水は SITE 内入手。		

6-6 AL-MAHWEEET City A-1 (図6-6参照)

(1) 地 形

AL-MAHWEEET City は標高約 2000~2100 m の山岳緩斜面に位置する。同市街地の北方約 2 Km 付近には北傾斜の急崖がほぼ東西に延びる。一方、南斜面は比較的緩傾斜であり、斜面を深く刻む主要な谷の方向は N 30~40 W の方向性を示している。

これらの谷には表流水が見られる場合が多い。

(2) 水理地質

AL-MAHWEEET 周辺の地質の分布概要は図 6-6 及びほぼ東西方向の地質断面図を図 6-7 に示す。それによれば、南斜面の地表部は arcoase sandstone からなり、谷の部分はその下部層に相当する Amran series の Limestone が fenestra 状に分布している。両層の一般走向は N 30~40 W で 10~20 S の傾斜を示している。両者の関係は下部が Amran series で、その上位に Sandstone がほぼ整合的に分布するようである。

しかし、その分布状況から推定されるのは、断面図に示すように西側が隆起し、東側が相対的に沈降した、いわゆる断層によるブロック運動である。断層は現在の谷に沿っているようであり、谷の形成と断層が関係づけられる。

AL-MAHWEET City の南、SAEL-AL-EYOWN (流水有り) の谷を上流にさかのぼれば、断層で形成された直線的な谷に至る。

当地域の水理地質は次のようにその概要を把握することが出来る。即ち、多孔質で亀裂の発達する Sandstone は、下部の Limestone に比較して相対的に帯水層としての役割を果たしている。地層の傾斜は SW の方向であり、その方向にほぼ直交するように断層谷が形成されているため、Sandstone 中を流動する地下水は比較的浅い位置にある不透水層 (Limestone) のために谷底部に湧水として湧出していると考えることが出来る。当地域の他の場所にも見られる湧水の湧出機構もこれに類するものと推定される。

(3) 候補水源

W. H. O. では AL-MAHWEET City の水源を SAEL-AL-EYOWN の流水に求める計画である。しかし、経時的な水量の変動に関するデータが皆無である。また、河床には径数メートルの転石があり、地元民の話によれば年 20 回程度の出水があるとのことである。従って、流水の取水施設建設に関しては難工事が予測される。

また、City 南部に見られる湧水の開発利用も考えられる。

一方、先に述べた断層谷をねらった地下水の開発が考えられる。これには Limestone と Sandstone の境界部とともに断層を考慮して Limestone 中からの取水も考えられる。したがって、恒久的水源としては断層に掘った深井戸が適当と考えられる。

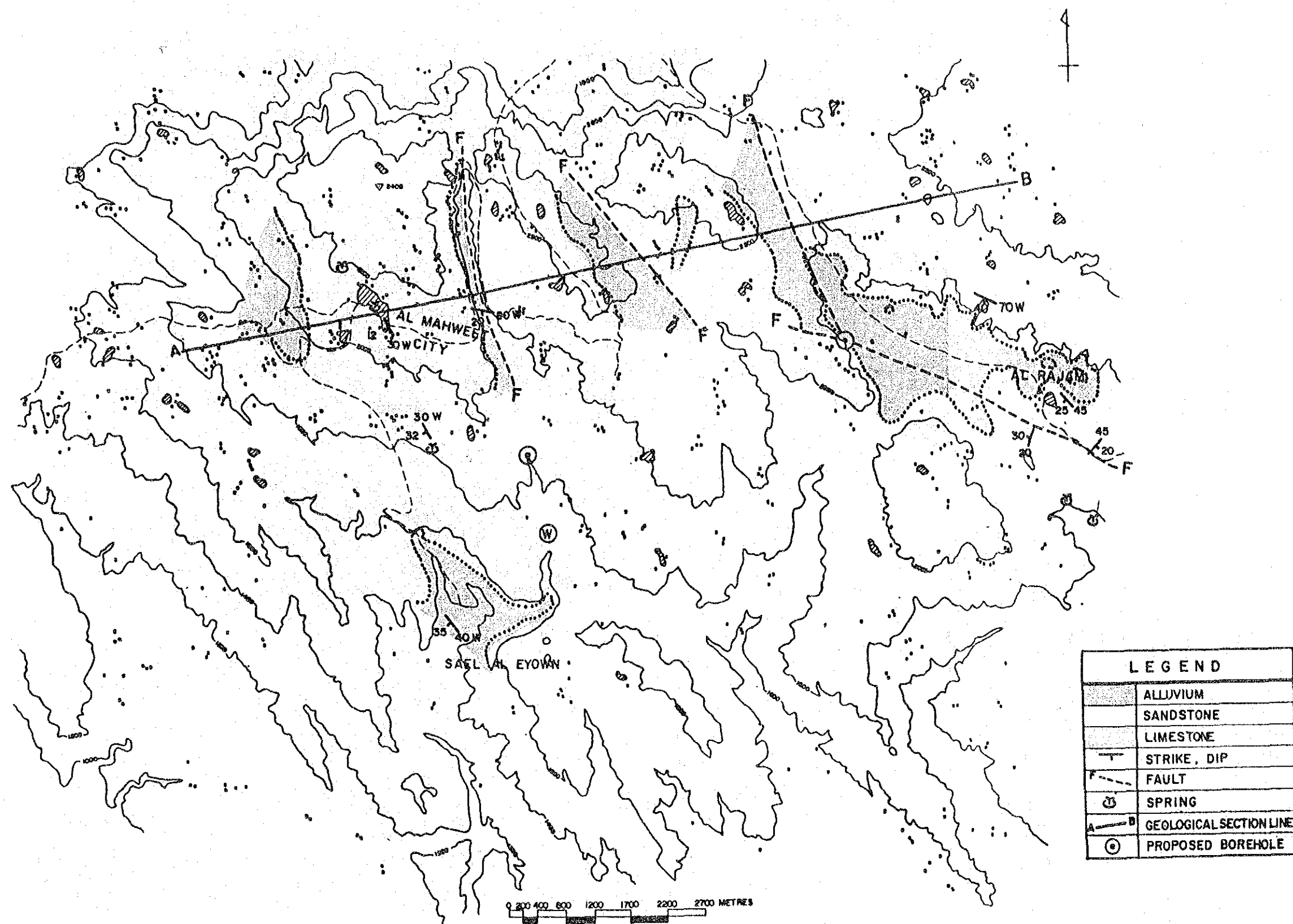
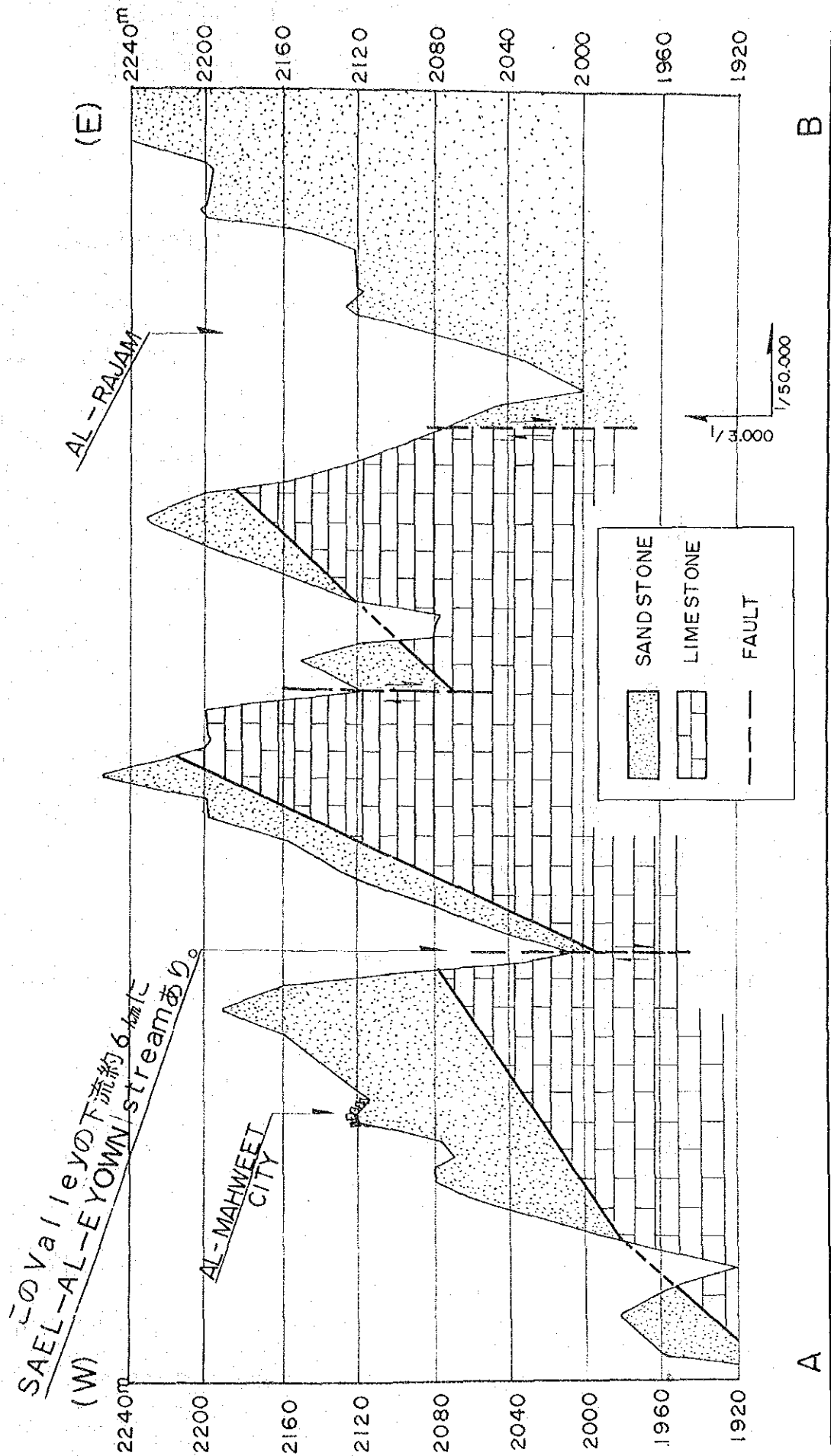


Fig 6-6

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
GEOLOGICAL MAP OF AL-MAHWEET CITY (A-1) AL-RAJAM (A-3)		
DESIGNED BY Pacific Consultants International		
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

図 6-7 AL-MAHWEET CITY(A-1)~AL-RAJAM間の地質断面図



6-7 HUFASH A-2 (図6-8参照)

(1) 地形

HUFASHは非常に広いが、そのセンターは標高約2100mの山頂部に位置する。山腹斜面は急峻で、局所的にはほぼ垂直に近い急崖のところもある。この山に源をもつ大きなWadiは北流するWadi Ayyan 南流するWadi Urkhと山の東方を北流するWadi Sheahe等があるが、その流路は直線的である。また、これらWadiには流水が見られる。

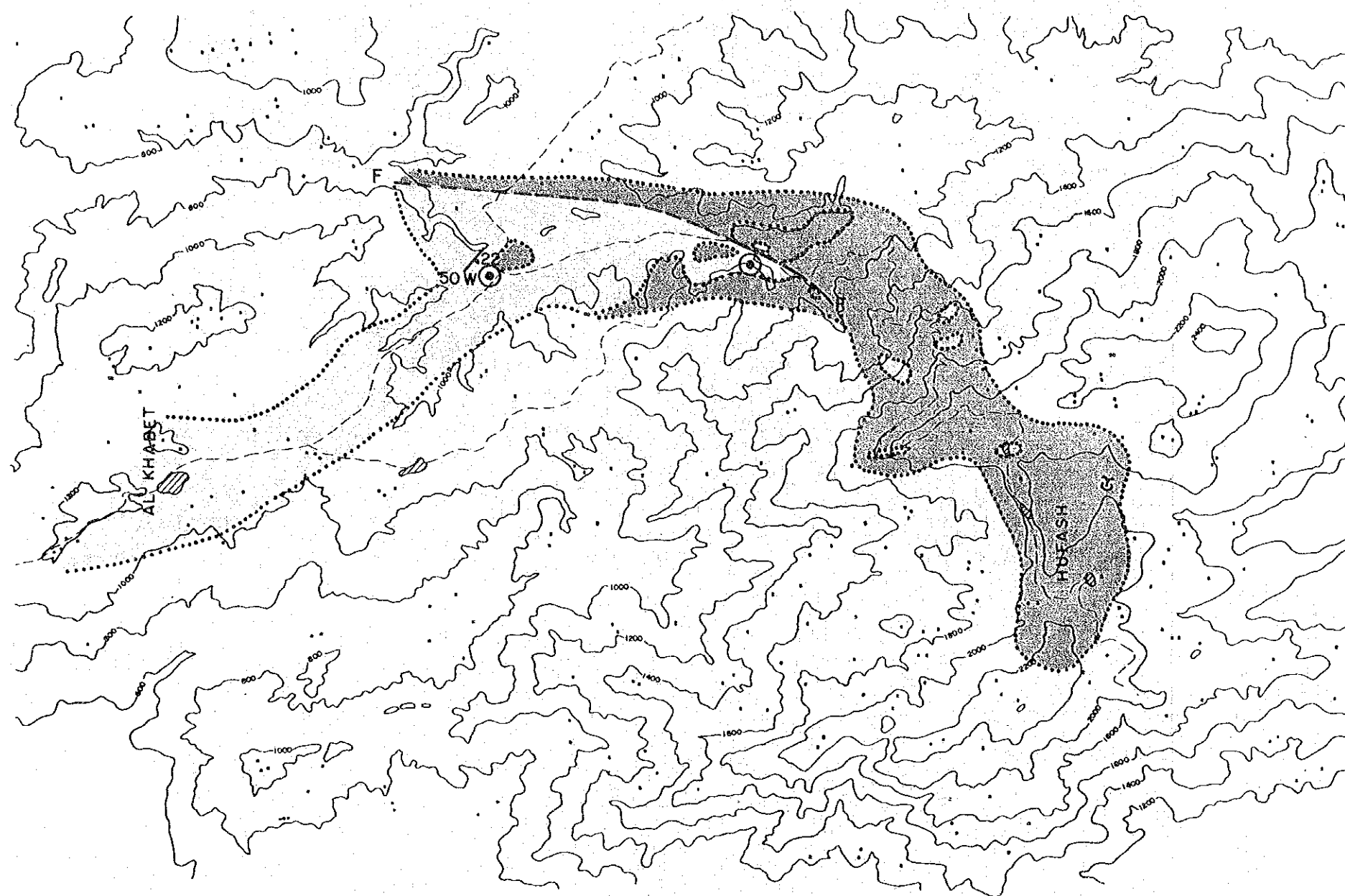
(2) 水理地質

大部分の地域がTrap Series中の主としてAndesiteとそれを貫く花崗岩からなる。山腹及び山頂部には湧水がみられるところもあるが、その湧水機構については不明である。北側のWadi Mosanaba周辺はarchoase Sandstoneからなり、谷の上流部の台地には円礫を含む砂礫層が分布する。同谷の左岸域では、下部にSandstoneその上部に安山岩が分布する関係が認められるが、右岸域の両者の関係は断層であろうと推定される。尚、Wadi沿いには主として安山岩と花崗岩からなる巨礫が分布しており、季節的な多量の出水があることが推定出来る。

(3) 候補水源

山頂部の湧水の開発利用が考えられる。しかし、湧水箇所が山頂に近く、その集水面積も小さいこと等から水量の不安定の心配がある。

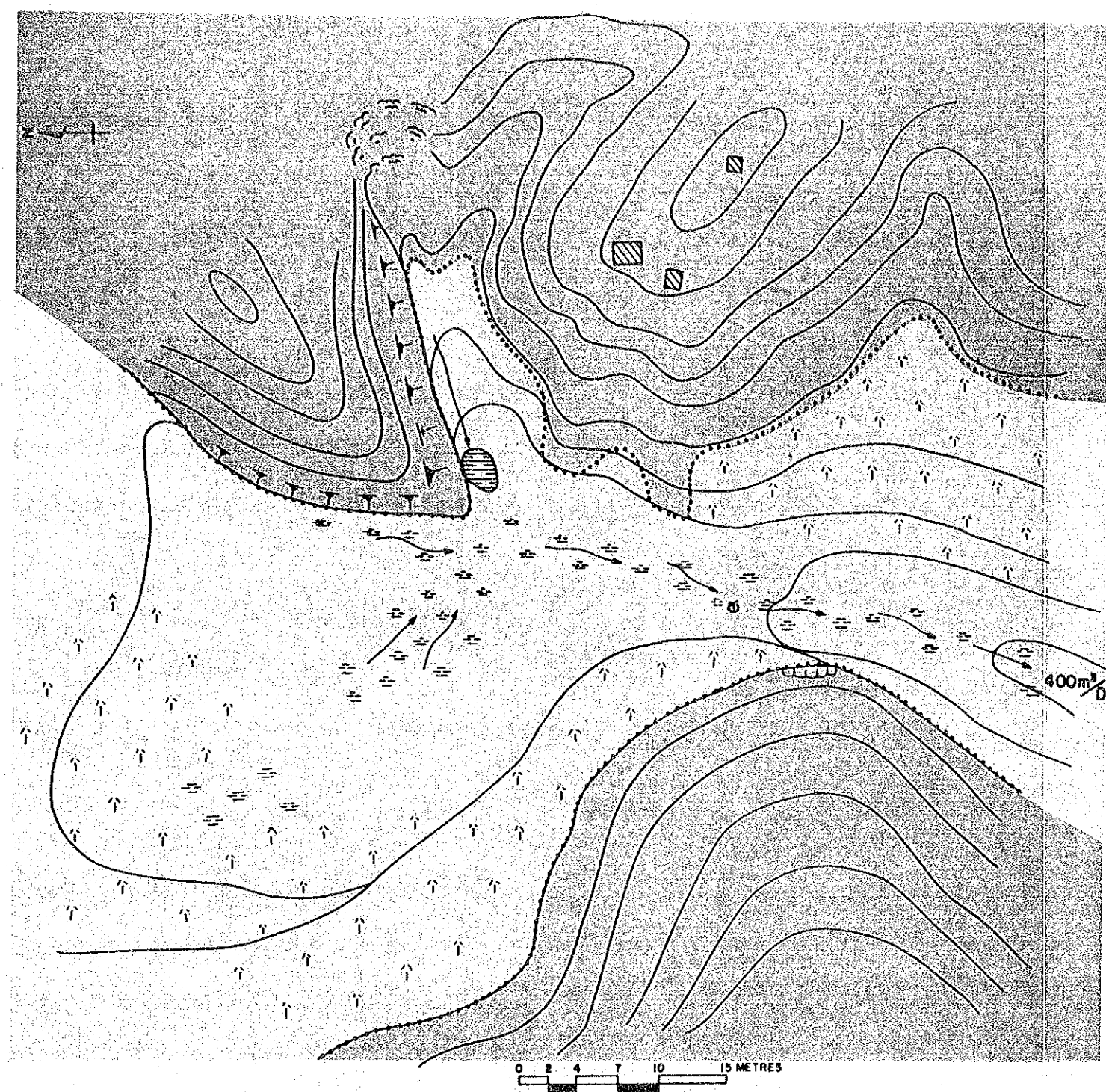
一方、深層地下水を対象とする場合、集落のセンターからは遠くはなれるが、Wadi Sheaheの上流部でMADEH付近の断層が推定されるあたりが考えられる。いずれにしても工事用道路の建設あるいは整備が必要であるが、恒久的水源としては上記断層の深井戸が適当と考えられる。



LEGEND	
	TERRACE DEPOSIT
	GRANITE
	YEMEN VOLCANICS
	SANDSTONE
	SPRING
	FAULT
	PROPOSED BOREHOLE

Fig. 6-8

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC			
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II			
GEOLOGICAL MAP OF HUFASH (A-2) & AL-KHABET (A-4)			
DESIGNED BY	Pacific Consultants International		
DATE	SCALE 1:	DRAWING No	
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN			



LEGEND	
	ALLUVIUM
	YEMEN VOLCANICS
	SPRING
	SWAMP

Fig. 6-9

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
GEOLOGICAL MAP OF HUFASH (A-2)		
DESIGNED BY	Pacific Consultants International	
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

6 - 8 AL-RAJAM A - 3 (図6 - 6参照)

(1) 地 形

Site の範囲は非常に広いが、そのセンターは標高約 2000 m の山岳盆地の一角に位置する。AL-MAHWEET City の東方に当り、盆地のほぼ中央部を NE - SW 方向に Wadi Magdara が流下する。また、センターの南の谷は Wadi Har に至る。センターの北約 5 Km には北斜面の急崖が東西に延びる。

(2) 水理地質

地表面は arcoase Sandstone からなり、直接 Amran Series を見ることは出来ないが、センターの西約 3 Km 付近には南北性と東西性の 2 本の断層が推定される。また、センターの北部の盆地縁辺部には湧水が認められる。

一方、南部の谷にも湧水がみられること等から判断して、水理地質的には、AL-MAHWEET 周辺とほぼ類似の形態であろうと考えられる。

尚、現在の水源は Cistern が主要なものである。

(3) 候補水源

有効と考えられる水源は深層地下水のみである。その場合、センター西方の 2 本の断層が交叉する位置が最適と考えられる。

(1) 地 形

AL-KHABET も Wadi 底から標高千数メートルの山頂に至る非常に広い地域であるが、そのセンターは標高約 1200 m の比較的平坦な山頂部に位置する。西方には Wadi Ayyan が、また、東方には Wadi Mosaraba が各々流下する。

(2) 水理地質

現在は、Cistern 及び沢の表流水を利用している。調査地全域は、Sandstone からなる。一般走向は N50W で 20S の傾斜を示す。センターの東方約 3.5 Km 付近には Sandstone と Trap Series との間に南北性の断層が推定出来る。

Wadi Mosaraba では流水が認められる。河床には安山岩及び花崗岩からなる径数十センチメートル大の円礫が分布する。

また、河岸には浸食崖が形成されており、季節的には多量の出水があるものと推定される。

(3) 候補水源

Wadi Mosaraba の伏流水の開発利用が考えられる。しかし、既述したように、この Wadi は季節的には多量の出水があり、しかも河床の堆積物から判断すれば、かなりの土石流があることを想定せねばならない。また、この Wadi は AL-KHABET 及び FUFASH への幹線道路ともなっている為、伏流水開発のための施設建設は困難であろうと考えられる。

一方、Wadi Mosaraba の左岸の AL-KHABET 道路わきには N80W, 80N, 及び N30E, 85S 方向の安山岩 Dyke がみられること及び

その東方には南北性の断層が推定されること等から深層地下水の開発が有望と考えられる。

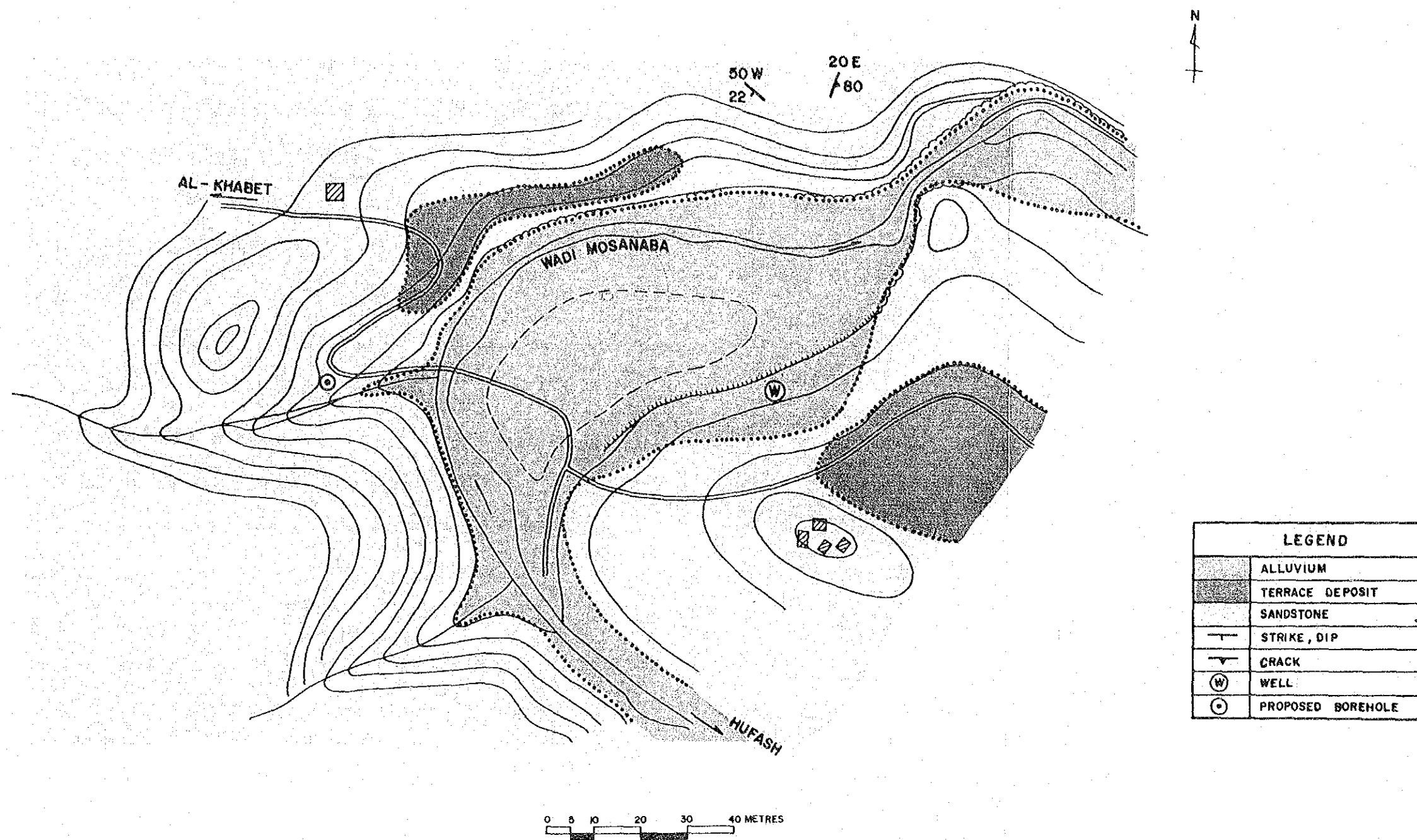


Fig. 6-10

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
GEOLOGICAL MAP OF AL-KHABET (A-4)		
DESIGNED BY Pacific Consultants International		
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

6-10 BANY SHAKER and BAIT ABO SABA'A S-1 (図6-11参照)

(1) 地 形

BANY SHAKERは標高約2300mの山に囲まれた小谷に位置する。主要道路から集落までの約2Km間は道路幅もせまく、岩路である。

特に集落の入口は山が接近し、谷幅が狭く、しかも谷底には岩盤が直接露出し、自然地下ダム的な形状を呈する。

谷部の下流には高さ約5m程度石積があり、その上流域は平坦地を形成しており、畑として利用している。

(2) 水理地質

調査地全域がSandstoneからなる。Sandstoneはarchoaseで径数センチメートル大のチャートの円礫を多量に含んである。一般走向はN-Sで、僅かに西傾斜を呈する。

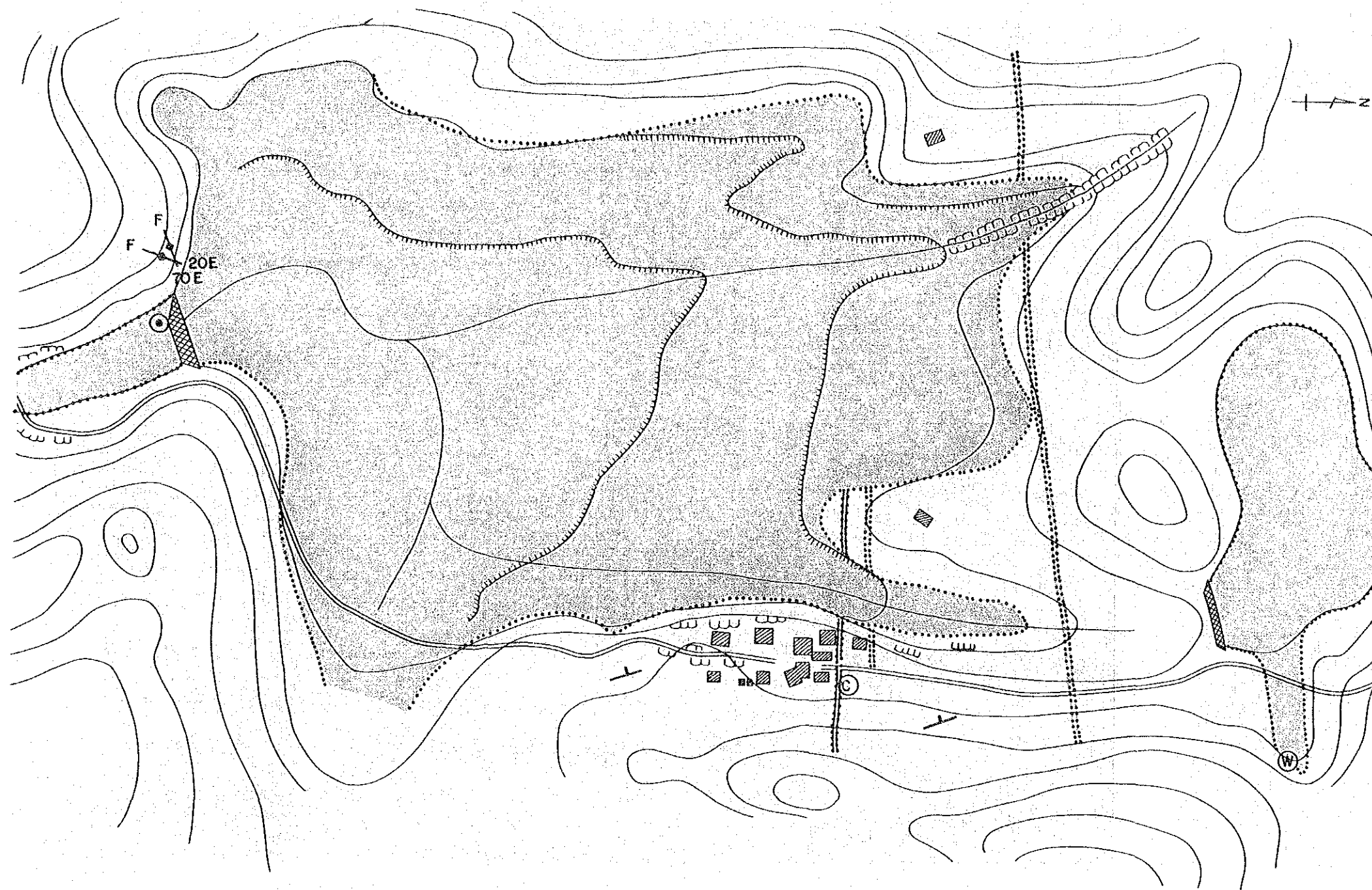
また、東西方向に延びる安山岩のDykeが多数見られる。

集落の入口付近にはN70EとN20Eの2方向の断層が交叉しているのが認められる。

(3) 候補水源

当地で考えられる水源としては断層をねらった深層地下水の開発、安山岩Dykeをねらった水平ボーリングによる地下水の開発、ダム建設等が考えられるが、いづれにしても資材搬入用の道路建設が必要である。

各候補水源について表5・5に示すが、恒久的かつさし迫った水道水源の需要に対しては、上記断層をねらった深層地下水が適当であろうと考えられる。



LEGEND	
	ALLUVIUM
	ANDESITE DYKE
	SANDSTONE
(W)	EXISTING WELL
(C)	CISTERN
—/—	STRIKE, DIP
(W)	PROPOSED BOREHOLE

6-11

MINISTRY OF PUBLIC WORKS YEMEN ARAB REPUBLIC		
THE RURAL WATER SUPPLY PROJECT PART-II		
GEOLOGICAL MAP OF BANY SHA- KER AND BAIT ABO SABA'A (S-1)		
DESIGNED BY Pacific Consultants International		
DATE	SCALE 1:	DRAWING No.
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, TOKYO, JAPAN		

表 6 - 5 候補水源に対する所見

No	S 1	S I T E	BANY SHAKER, BAIT ABO SABAA
候補水源タイプ		A, C1, D,	
A	1. 候補地は、BANY SHAKER 入口の 2 本の断層が交叉する付近 2. 候補地手前の約 1 Km 間の道路は幅員狭く、路面も岩の露出により極めて悪し。現在道路を新設中であるが、かなりの日数と労力を要する見込み。現状では搬入不能 3. 工事用水は SITE 外から搬入		
C1	1. Dyke rock の一般方向が E - W であるため、集水ボーリングの方向は N - S 方向となる。 2. SITE の地形条件から、候補地は SITE 北部の山脚部で、方向は北向きとなる。 3. Dyke rock は 400 ~ 600 m 間隔程度の頻度で認められる。 4. 水量の不確実さ及び上述した地質条件等、更に搬入路の面からみて、かなり危険負担は高いと判断される。		
D	1. 候補地は BANY SHAKER の入口付近。 2. ダム高 5 m とすれば、貯水容量は約 5000 m³ となる。 3. 集水面積は極めて小さい。		