社会開発協力部報告書

No. 9

イエメンアラブ共和国 公共事業省

地方水道計画調査（パートⅡ）

水理地質調査

報告書

昭和55年（1980年）5月

国際協力事業団

開 三
[redacted]
80－97

JICA LIBRARY
1051225[9]

No. 9

イエメンアラブ共和国 公共事業省
地方水道計画調査（パートⅡ）

水理地質調査

報告書

昭和55年（1980年）5月

国際協力事業団

開二
CR (5)
80－97

国際協力事業団	
受入月日 '84.8.22	316
	618
登録No. 13520	SDS

目　　次

Ⅰ　はじめに …… 1

Ⅱ　概　　論 …… 2

2-1　地形概要 …… 2

2-1-1　Tihama lower pressure zone …… 3

2-1-2　Central mountains zone …… 3

2-1-3　High lands …… 3

2-1-4　Desert zone …… 5

2-2　地質概要 …… 6

2-2-1　Pre-Canbrian rock …… 7

2-2-2　Wajid Sand-stone …… 7

2-2-3　Kohlan series …… 8

2-2-4　Amran series …… 8

2-2-5　Tawilah group, Medj zir series …… 8

2-2-6　Trap series …… 9

2-2-7　Intrusive rock …… 9

2-2-8　Aden volcanic series …… 9

2-2-9　Alluvium …… 10

2-3　水文，気象概要 …… 13

Ⅲ　水理地質学的考察 …… 16

3-1　山岳地帯 …… 17

1)　地層別揚水量 …… 17

2) 地下水面 …… 25
3-2 海岸地帯 …… 28
1) 帯水層 …… 28
2) 地下水位 …… 30
3) 水質 …… 35
4) 揚水量と水位降下 …… 36

Ⅳ 水源のタイプ …… 43
4-1 既存水施設 …… 43
4-1-1 管井(深井戸) …… 43
4-1-2 手堀り井戸(浅井戸) …… 43
4-1-3 集水マス …… 43
4-1-4 Cistern …… 44
4-2 水源のタイプ …… 46

Ⅴ 水源の規模と推定可採水量 …… 48

Ⅵ Survey siteの各論 …… 51
6-1 AL-MADAN and 8 Villages (HA-1) …… 53
6-2 ELMAN and 4 Other villages (HA-2) …… 58
6-3 SIHARA (HA-3A) …… 60
6-4 THARI (HA-3B) …… 63
6-5 HARAD (HA-4) …… 64
6-6 AL-MAHWEET CITY (A-1) …… 67
6-7 HUFASH (A-2) …… 71

6-8 AL-RAJAM (A-3) …… 74
6-9 AL-KHABET (A-4) …… 75
6-10 BANY SHAKER and BAIT ABO SABA'A (S-1) …… 78
6-11 BAIT ABO HASHEM (S-2) …… 81
6-12 AL-SHEAB, AL-ASWAD (S-3) …… 85
6-13 BANY FARHAN and BANY SARIA'A (S-4) …… 90
6-14 GHULAYFAQAH (H-1) …… 93
6-15 AL-DAHI (H-2) …… 95
6-16 AL-MOUNIRAH (H-3) …… 97
6-17 AL-MASHJAB (T-1) …… 99
6-18 AL-MANARA and AL-DUKUM (T-2) …… 101
6-19 AL-MAYDAN, AL-JUBAIL, SHEIBD HAMUD (T-3) …103
6-20 HADAD, QAHFA (T-4A) …… 106
6-21 AL-KUDHA, AL-HAGL (T-4B) …… 110
6-22 SHOHAT, AL-KADASH (T-5) …… 113
6-23 AL-ZAKIRA (T-6) …… 119
6-24 BAB-AL-MANDAB (T-7) …… 121
6-25 YAHKHTOL(T-8) …… 125
6-26 MAKBANA (T-9) …… 127

Ⅶ まとめと提言 …… 130

添付資料 (ρ-a曲線)

表 の リ ス ト

表 2-1	調査対象地区一覧表 ……	4
表 2-2	主要 Wadi の分類 ……	5
表 2-3	Y.A.R の模式層序 ……	6
表 2-4	各地の平均降水量 ……	13
表 2-5	各地の年降水量 ……	14
表 3-1	Y.A.R に於ける深井戸 project 一覧表 ……	17
表 3-2	地層別1井当り揚水量 ……	21
表 3-3	地層別揚水量 ……	24
表 3-4	海岸地域の模式的柱状表 ……	29
表 3-5	Tihama area の地下水位及び水質 ……	33
表 4-1	既存水施設に対する所見 ……	45
表 5-1	各 Site 別の水源規模と推定可採水量 ……	50
表 6-1	候補水源に対する所見（AL-MADAN. HA-1 ）……	57
表 6-2	候補水源に対する所見（ELMAN and 4 Village HA-2）…	59
表 6-3	候補水源に対する所見（SIHARA HA-3A ）……	62
表 6-4	候補水源に対する所見（HARAD HA-4）……	66
表 6-5	候補水源に対する所見（BANY SHAKER.BAIT ABO SABA'A S-1 ）……	80
表 6-6	候補水源に対する所見（BAIT ABO HASHEM S-2 ）……	84
表 6-7	候補水源に対する所見（AL-SHEAB, AL-ASWAD S-3 ）……	89
表 6-8	候補水源に対する所見（BANY FARHAN, BANY SARIA'A S-4 ）……	92

表 6-9　候補水源に対する所見（AL-MAYDAN, SHEIBD HAMUD AL-JUBAIL T-3 ）…… 105
表 6-10　候補水源に対する所見（HADAD, QAHFA T-4A ）…… 109
表 6-11　候補水源に対する所見（SHOW, HAT.AL-KADASH T-5）… 115
表 6-12　候補水源に対する所見（BAB AL-MANDAB T-7 ）…… 124
表 6-13　候補水源に対する所見（MAKBANA T-9 ）…… 128

図　の　リ　ス　ト

図 2-1	調査地の地域分類図 ……	5
図 2-2	Y.A.R の地質図 ……	12
図 2-3	Y.A.R の年間等降雨線図 ……	15
図 3-1	1 井当りの揚水量（山岳地域） ……	19
図 3-2	Y.A.R の深井戸分布図 ……	20
図 3-3	SANA'A 周辺の地下水位分布図 ……	26
図 3-4	SANA'A 周辺の水理地質断面図 ……	27
図 3-5	WADI MAWR 周辺の地質断面図……	31
図 3-6	WADI MAWR 周辺の地下水位分布図 ……	32
図 3-7	井戸位置の地盤高と静水位 ……	34
図 3-8	TIHAMA に於ける井戸の海岸からの距離と E.C. ……	37
図 3-9	WADI MAWR 周辺の電気伝導度等高線図 ……	38
図 3-10	Cℓ と Na の当量比 ……	39
図 3-11	TIHAMA 地域の 1 井当り揚水量と水位降下 ……	40
図 3-12-1	AL-UMARI に於ける揚水試験結果（ヤコブ法）……	41
図 3-12-2	AL-UMARI に於ける揚水試験結果（回復法）……	42
図 4-1	取水施設の概要と候補 SITE ……	47
図 6-1	調査位置図 ……	52
図 6-2	HAJJA 地域の調査位置図（HA-1, HA-2, HA-3A）……	54
図 6-3-a	AL-MA'DAN に於ける湧水の概念図 ……	55
図 6-3-b	取水施設のスケッチ（湧水）……	56
図 6-4	取水施設のスケッチ（シスターン）……	61

図6-5　位置図（HARAD HA-4）…… 65
図6-6　地質図（AL-MAIWEET, AL-RAJAM, A-1, A-3）…… 69
図6-7　AL-MAHWEET～AL-RAJAM 間の地質断面図 …… 70
図6-8　地質図（HUFASH & AL-KHABET A-2, A-4）…… 72
図6-9　地質図（HUFASH A-2）…… 73
図6-10　地質図（AL-KHABET A-4）…… 77
図6-11　地質図（BANY SHAKER AND BAIT ABO SABA'A S-1）… 79
図6-12　地質図（BAIT ABO HASHEM S-2）…… 82
図6-13　地質断面図（BAIT ABO HASHEM S-2）…… 83
図6-14　地質図（AL SHEAB AL-ASWAD S-3）…… 87
図6-15　地質断面図（AL-ASWAD S-3）…… 88
図6-16　地質図（BANY FARHAN & BANY SARIA'A S-4）…… 91
図6-17　位置図（GHULAYFAGAH H-1）…… 94
図6-18　位置図（AL-DAHI H-2）…… 96
図6-19　位置図（AL-MOUNIRAH H-3）…… 98
図6-20　地質図（AL-MASHJAB T-1）…… 100
図6-21　地質図（AL-MANARA, AL-DUKM T-2）…… 102
図6-22　地質図（AL-MAYDAN.AL-JUBAIL AND SHEIBD HAMUD, T-3）… 104
図6-23　地質図（HADAD, QAHFA T-4A）…… 108
図6-24　地質図（AL-KUDHA, AL-HAGL T-4B）…… 112
図6-25　地質図（SHOHAT, AL-KADASH T-5）…… 116
図6-26　地下ダム付近の拡大詳細図（SHOHAT, AL-KADASH T-5）… 117
図6-27　地質断面図（SHOHAT, AL-KADASH T-5）…… 118
図6-28　地質図（AL-ZAKIRA T-6）…… 120

図 6-2 9　地　質　図（BAB AL-MANDAB T-7）…… 122
図 6-3 0　地質断面図（BAB AL-MANDAB T-7）…… 123
図 6-3 1　位　置　図（YAHKHTOL T-8）…… 126
図 6-3 2　地　質　図（MAKBANA T-9）…… 129

Ⅰ はじめに

このレポートは、「The Rural Water Supply Project Part－Ⅱ」のうちHydrogeology に関するものである。

地方水道事業として、より安定した水源を確保することを目的として、１９７８年１１月から同年１２月にかけて事業調査が、また、１９７９年９月から１２月にかけて本格調査が実施された。

それら一連の現地調査結果とともに既存資料を収集整理することによって、与えられた調査Site 周辺で、水源開発について検討を行なった。

Ⅱ 概　　論

2－1 地 形 概 要

Yemen Arab Republic はアラビヤ半島の南西端に位置し、東経42°30′から46°10′、北緯13°00′から17°30′の間にあり、北はSaudi Arabia、南はThe Peoples Democatic Republic of Yemenと国境を接し、西側はRed Seaに臨むが、東側はAr Rub Al Khaliの大砂漠となり、国境は不明である。

この国はアラビヤ半島の中で最も標高の高い地域を有しており、国土総面積はおよそ19.5万km^2である。

この国の地形は、標高，地貌上から大きく4帯に区分され、各々は概ね南北に細長い帯状に配列している。即ち、図2－1に示すように、西側からTihama lower Pressure zone，Central mountains zone，High landsおよびAr Rub Al Khaliにつづく Desert zoneがこれである。標高3000m級の山々がならぶCentral mountains zoneとTihama lower pressure zoneは比高崖2000mにもおよぶ急崖で接するが、Central mountains zoneの東側は山地から徐々に台地，砂漠に漸移する、いわゆる片側山地（one side mountain）の地形を呈している。

河川はCentral mountains zoneを分水嶺として、東流するものと西流するものとが明瞭に分離され、紅海に注ぐ西流河川は急流で流路が短いのに対して、東流するものは勾配は緩やかで、流路が長い。西流河川の一部を除き、常時流をもたないこれら河川は間歇河川でWadiと呼ばれ、雨期にのみ流水をみる。

2－1－1　Tihama lower pressure zone

Central mountains zone と Red Sea にはさまれた東西約５０Km，南北約４００Kmの広大な平坦な地域である。

地形は、標高約２５０～３００mから西方紅海に至る地域で、その平均勾配は1/100～1/200程度の緩傾斜である。

この lower pressure zone は砂漠を形成する eolian sand によって覆われた Desert 地帯と、その内陸側にある多くの主要 Wadi によって形成された fan geomorphic surface に2分されるが、その正確な境界は明らかではない。eolian sand によって覆われている Desert 地帯には、およそ５００～６００mの間隔をもつ比高差１０～２０mの sand hill が、ほぼ東西方向に配列している。

この zone のほぼ中央部の海岸部には比高差約５０m程度の小高い山がある。また、この付近には岩塩鉱床がある。

2－1－2　Central mountains zone

Yemen Arab Republic の南北に走る背梁山脈を形成する険しい stage of maturity の山地よりなり、標高３０００m級の山々がそびえている。山腹斜面は、Wadi による浸食がすすみ、深いV字谷を呈することが多く、特に西斜面では峡谷となっているところが多い。

また、この地帯には、Sanaa，Dhamar，Yarim，Ibb，Taizz 等の小盆地が、およそ南北に配列している。特に Sanaa 北方，Dhamar 西方，Taizz 北方には広大な Quaternary lava plateau が分布する。

2－1－3　Highlands

Central mountains zone と東側の Desert zone にはさまれた標高

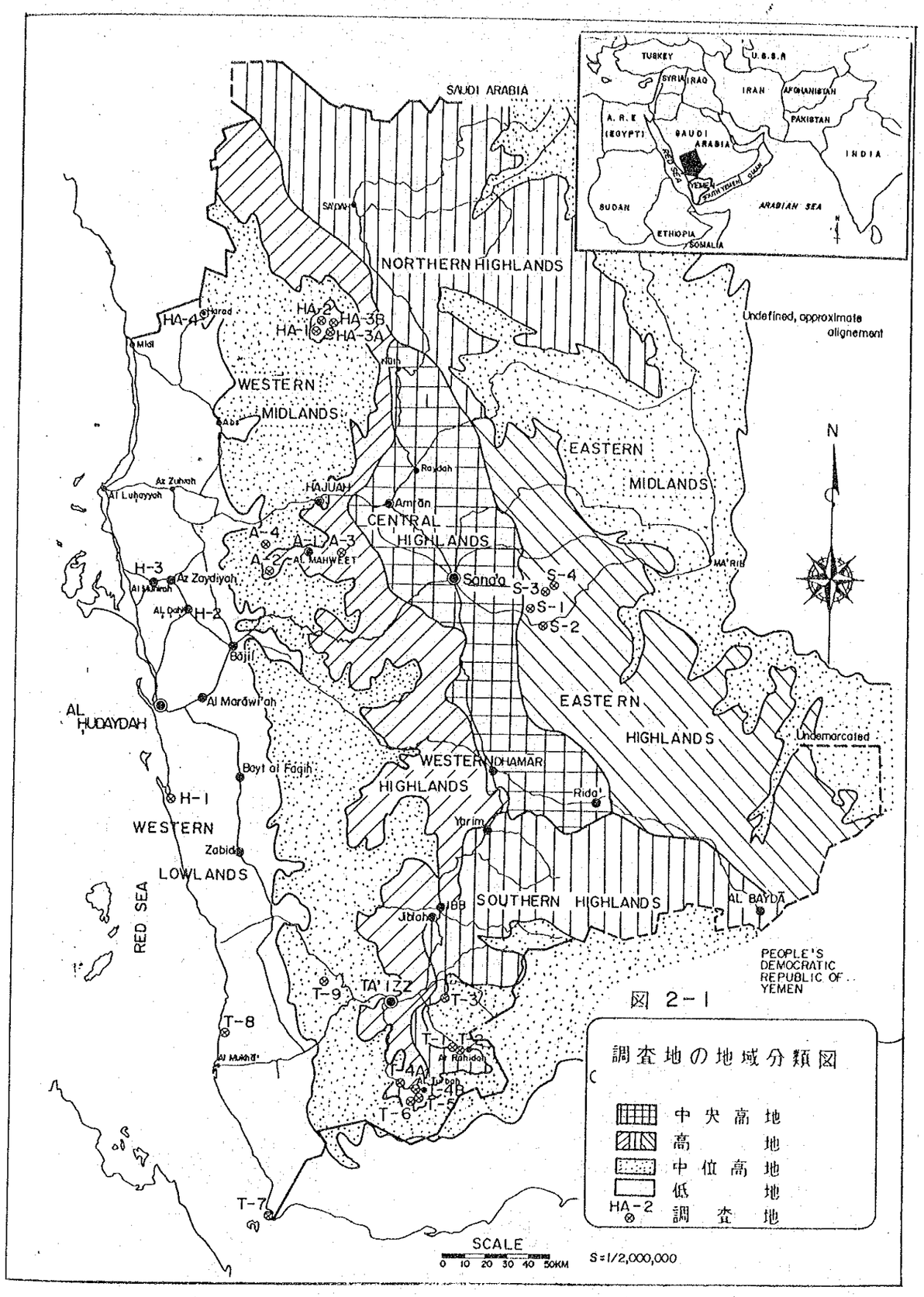


図 2-1

表 2-1 調査地一覧表

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

１５００～２０００ｍの緩斜丘陵性地帯で、東方に向って次第にその高さを減じ、Desert zone に漸移する。Wadi Al Jawf, Wadi Adhanah 等の大きなWadi が存在し、Wadi 底には植生の見られるところが多い。西流するWadi に比較して、一般にこの地帯のWadi は幅が広く多くの支谷をもつが、浸食崖は小さいのが普通である。

2－1－4　Desert zone

Ar Rub Al Khali に連なる不毛の砂漠地帯である。

Yemen Arab Republic に分布するWadi は Central mountains zone を分水嶺として、西流するものと東流するものとに分類されるが、南部地域では The Peoples Democratic Republic of Yemen に向って南流するものもある。西流または南流するWadi は延長が短かく、急流であり急峻な峡谷をもつ深いＶ字谷をつくり、常時流をもつものが多いのに対して、東流するものは、長い流路と幅広い谷地形を形成し、雨期を除いて流水は認められない。流域別にWadi を分類すれば表に示すとおりである。

表 2－2　　主要Wadi の分類

西流するWadi	南流するWadi	東流するWadi
Wadi　MAWR	Wadi　ADEN	Wadi　JAWF
〃　SURDUD	〃　BANA	〃　ABRAD
〃　SIHAM		〃　HARIB
〃　RIMA		〃　JONNAH
〃　ZABID		

2－2　地　質　概　要

Yemen Arab Republic は、Pre Cambrian rock を Basement rock としその上に Ordovician, Jurassic, Cretaceous の Sedimentary rocks が逐次累積し、更に Tertiary の Trap series と呼ばれる Igneous rock が広く覆い、局地的に Tertiary の Granite および Basalt が貫入している。更に、Sanaa 北方，Dhamar 西方，Taizz 北方には Quaternary の Basalt lava が広大な lava plateau をつくっている。Alluvium は Wadi 沿いの低平地あるいは盆地の表面を覆い、砂漠地帯及び紅海沿いの Tihama lower pressure zone の大部分には eolian sand が広く分布している。

Yemen Arab Republic における地質層序は表２－２に示すとおりである。

表 2－3　　Y. A. R. の模式層序

地質時代		地層	主構成物
Cenozoic	Quaternary	Eolian Formation	sand
		Alluvium	gravel sand mud
		Aden volcanic series	basalt andesite
	Tertiary	Intrusive rock	basalt granite
		Trap series	basalt andesite rhyorite tuff
		Medj Zir series	sandstone conglomerate
Mesozoic	Cretaceous	Tawilah group	sandstone conglomerate
	Jurassic	Amran series	limestne
		Kohlan series	sandstone conglomerate
Paleozoic	Ordovician	Wajid sandstone	sandstone
Pre-Cambrian		Pre-Cambrian rock	granite gneiss schist

2－2－1　Pre-Cambrian rock.

granite, gneiss, mica schist, green schist, slate等からなる。Central mountains zone の西部及びHighlands に沿って南北に連なって広く分布するが、Hodeidah 道路付近の約１３０Km間および、東流するWadi Jawf 流域の南北約７０Km間では、地表に露出していない。局部的に変化はあるものの大局的にみると、Central mountains zone の西側に分布するものは、granite, gneiss を主とし、Saadah 西方の山地では、granite 中に貫入するPegmatite dyke が極めて多い。これに反し、Highlands 地域に分布するものは、gneiss, schist が卓越し、granite はやや少ない。schist はbiotite schist, sericite schist が圧倒的に多く、地域的には強いmetamorphism を受け、複雑な小褶曲を見せるが、大局的には南北方向のFolding を示す。小断層は随所で観察されるが、大断層は北部地域（Saadah 地域）及び南部地域（Taizz 地域）に多い。

2－2－2　Wajid Sandstone

Saadah 地域にかなり広い分布を見せるsorting の良い中～細粒のquartz sandstone からなり、時にgranule をレンズ状にはさむ。露頭部では表面が石灰質物質で固められ、ハンマーでも容易に割れないことが多い。

しかし、dug Well 及びdeep well の掘さく記録、ききとりによれば、地下における本層はCompact でhard な部分と、loose な部分が互層しており、loose な部分が良好な帯水層となっているらしい。

Saadah 北西部Majadi 地域の本層中には著しいintraformational

folding 及び cross lamina の発達がみられ、且つレンズ状の hematite 鉱床を胚胎している。

本層は Ordovician の浅海性堆積層とされている。

2－2－3　Kohlan series

Sana'a 北西方の Certral mountains zone で Pre-Cambrian を不整合に覆って分布する地層で、下部に basal conglomerate をもち、中，上部は sandstone と shale からなる。大きく見ると本層は１つの cycle of sedimentation を示し、Jurassic の下部を代表する地層である。

2－2－4　Amran series

Sana'a 北方から saadah 南方にかけての Central mountains zone および Highlands に広い分布を見せる Jurassic の上部層で主として limestone からなる。Sana'a 南部の Certral mountains zone の辺縁部にも断続的な分布を見せ、Hodeidah 道路南側の Tihama lower pressur zone 中には、本層によって構成された小山が残島状にそびえ、平野地形の単調さをやぶっている。

2－2－5　Tawilah group, Medj Zir series

Tawilah group と Medj Zir series とは、必ずしも明瞭な区分はなされてはいない。両者は、Centrel mountains zone の辺縁部に、上位の Trap series に不整合に覆われて断続的に分布し、中～細粒の sandstone と shale の互層であるが、arcoase sandstone が優勢である。Tawilah group は Cretaceous に、また、Medj Zir series は Tertiary の sedimentary formation であるとされている。

2－2－6　Trap series

Sanaá 南部の Central mountains zone の大部分を占める広い地域に分布する Tertiary の volcanic rock で、Pre-Tertiary の地層を不整合に被覆する。

Saadah 南方の山地にも Jurassic の Amran series を不整合に覆った南北約８０Km，東西約５０Kmの露頭地がある。構成する岩種は、basalt，rhyorite，andesite lava とそれを貫く basalt dyke を主とし、中に tuff，shale，sandstone，conglomerate をはさむこともある。小規模な微褶曲構造を示すが、大体水平に近い層相を示しており、その厚さは１２００ｍをこすといわれている。

2－2－7　Intrusive rock

Central mountains zone に点々と分布する Tertiary の intrusive rock で、basalt を主とした塩基性岩類と granite，diorite 等の中～酸性岩類とに大別される。塩基性の intrusive rock は Central mountains zone 北部の西斜面に小分布を示すが、中～酸性岩類は Hodeidah－Taizz 間の山麓から山脚部に連続した大露頭があるほか、山岳地帯内部にも点々と小分布を示す。

2－2－8　Aden volcanic series

Quaternary の lava plateau をつくる basalt を主とし、時に and-esite，rhyorite 等の中～酸性噴出岩を含むこともある。Sanaá の北及び西方，Dhamar，Taizz 北方には、Pre-Quaternary rock がつくる盆地内に、lava plateau と数多くの cone を形成している。

Dhamar 地方におけるこの lava plateau は見事な広がりを見せ、若

干の噴出時期を異にした３面の plateau を識別することが出来る。この lava plateau は各々１０～２０ｍの比高差をもち、plateau をつくった lava を噴出せしめた cone は直径最大５００ｍ，高さ３０～５０ｍと小規模であるが、原形をそのまま残しており、殆んどがその中央に crater をもち、中には再びその中に central cone をもつものもある。本 series は Tihama lower pressur zone の南部にも分布しており、Mocha － Taizz 道路付近及び Dubab，Umari 付近には比高差５０～１００ｍ程度の小山を形成している。一般に Aden volcanic series の lava は多孔質である。

2－2－9　Alluvium

Tihama lower pressure zone，Desert zone.，Certral mountains zone，Highlands 中の Wadi，盆地中に分布する。Alluvium はその分布形態より、次のように大別することが出来る。

A：Central mountains zone，Highlands の Wadi に沿って帯状分布を示すもので、大部分が細砂よりなり、時に silt，gravel をはさむ。gravel は未淘汰で角稜を帯び連続性に乏しい。層厚は薄く、最大２０ｍ程度と推定される。

B：Central mountains zone，Highlands に点々と分布する盆地の表面近くを構成するもので、sand，silt，clay，gravel よりなる。地表近くのものは殆んどが風成の fine sand である。最も規模の大きい Sanaa 盆地では１００ｍ以上の厚さをもち、その中にはさまれている gravel 中には有力な地下水が胚胎されている。

C：Tihama lower pressure zone の東縁部に分布する fan geomorphic

surfaceをつくるgravel bedで、Wadiが山岳地帯からTihama lower pressure zoneへ流下する付近では、１～２段の明瞭なriver terraceを形成している。紅海寄りの低平地に広大な分布を見せるEolian sand　の分布地の地下には、本層が伏在しており、１９７３年のItal consult報告書によれば、その厚さは１５０mにも及ぶとされている。この中には明瞭な２層のgravel bedが存在し、有力な帯水層を形成するが、本層の凡てがAlluviumかどうかは問題であり、下部はDiluviumに属するのかも知れない。

D：Tihama lower pressure zoneの主要部，Desert zoneをつくるEolian sandでDesert zoneのそれはAr Rub Al Khaliの大砂漠につづく。

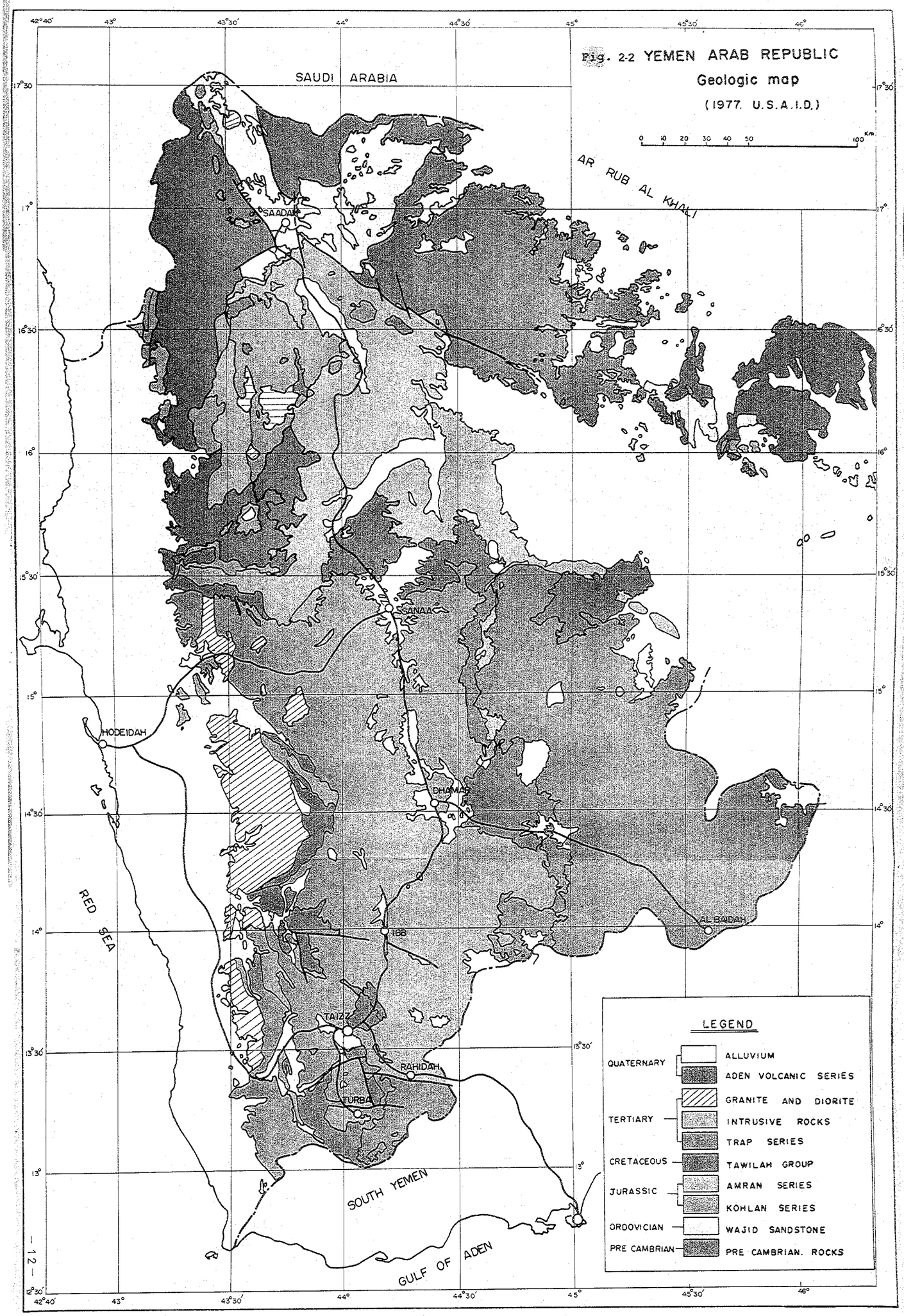


Fig. 2-2 YEMEN ARAB REPUBLIC
Geologic map
(1977. U.S.A.I.D.)
0 10 20 30 40 50 100 Km
SAUDI ARABIA
AR RUB AL KHALI
SAADAH
SANAA
HODEIDAH
DHAMAR
AL BAIDAH
188
TAIZZ
RAHIDAH
TURBA
RED SEA
SOUTH YEMEN
GULF OF ADEN
LEGEND
QUATERNARY
ALLUVIUM
ADEN VOLCANIC SERIES
TERTIARY
GRANITE AND DIORITE
INTRUSIVE ROCKS
TRAP SERIES
CRETACEOUS
TAWILAH GROUP
JURASSIC
AMRAN SERIES
KOHLAN SERIES
ORDOVICIAN
WAJID SANDSTONE
PRE CAMBRIAN
PRE CAMBRIAN. ROCKS

2－3　水文・気象概要

Y. A. R. はアラビア半島南端に位置するが、国の大部分が標高2000mを超す高地であるため、低緯度の割りには涼しくしのぎやすい。しかし、Tihama lower pressure zone は高温多湿でZabidでは年間を通した月間最高気温は３４℃を下らず、６～８月には４３°～４５℃となる。一方月最低気温は１０～２５℃で１１月～２月には１０℃まで下がることもある。これに反して、Certral mountains zone に位置するSANA'Aでは年間を通じた月最高気温は２２℃、７月～８月には27°～３２℃となるが、月最低気温は７℃以下となり、１１月～２月には0°～３℃にさがる。年平均の気温差は２０℃にもおよび、１日で見ても日中と夜間の温度差は15°～20℃となり、明瞭な大陸性気候を示している。

一般に降水量は少ないが、アラビア半島の地の国々に較べると雨には恵まれている。地域によって若干異なるが２月～９月に降雨があり、10月～１月は乾季となる。

１９７０年～１９７４年の降水記録によると、年平均降水量は次のとおりである。

表２－４　各地の平均降水量

地　名	地　形　区　分	降水量
SANA'A	Central mountains zone	１５７㎜
YARIM	〃	４８９
IBB	〃　西縁部	１２３０
ZABID	Tihama lower pressure zone	１２９

しかし、一方表２－４に示すように年によって降水量の差が大きい。

このことは水資源として降水を見る場合、非常に不安定なものであることを意味する。

表２－５　各地の年降水量

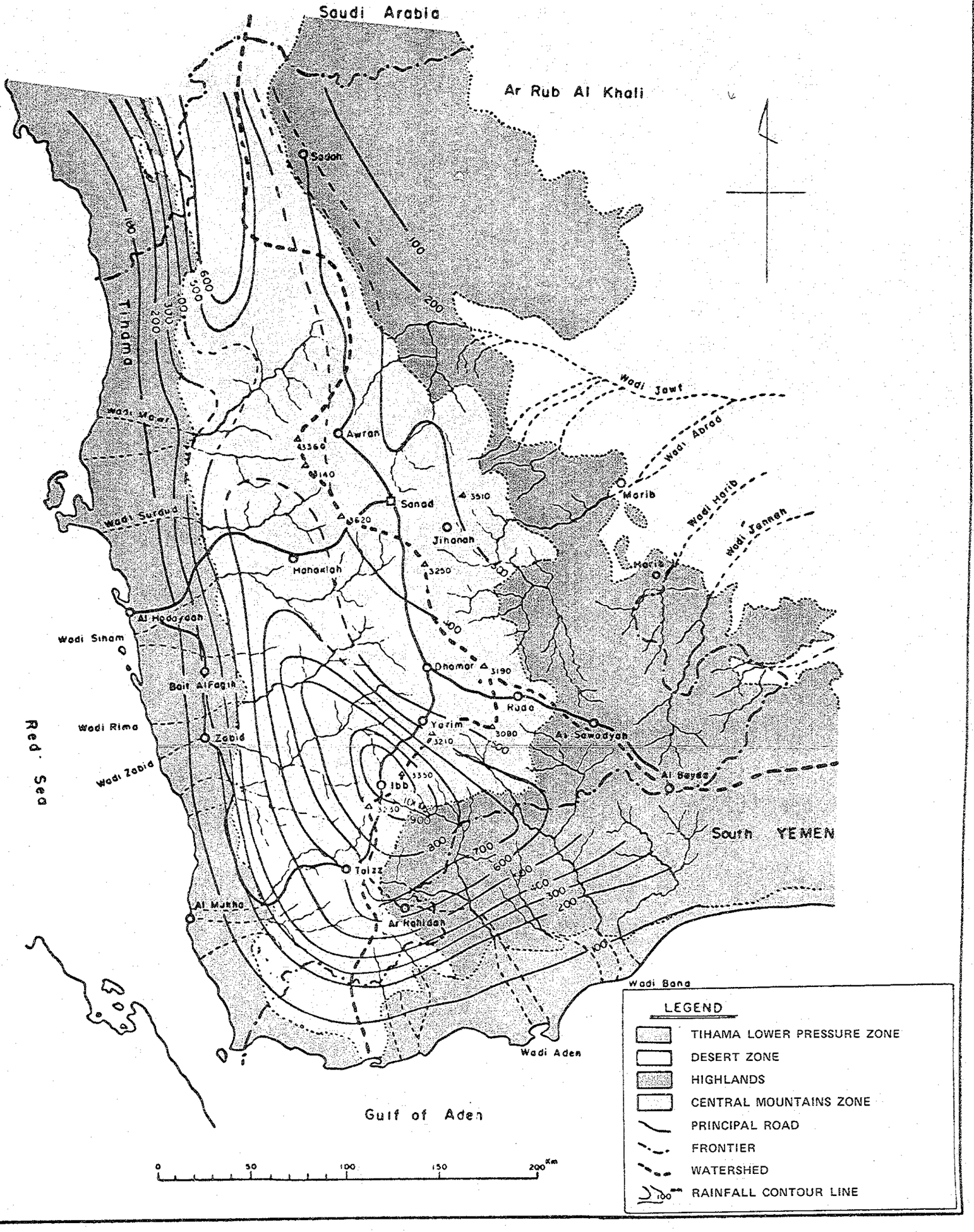
単位：㎜，（）は降水日

	1944	1974	1975	1976	1977	1978
SANA'A		215.4 (35)	350.6 (62)	154.2 (32)	335.6 (44)	167.1 (33)
HODEIDAH				16.3 (2)	78.5 (13)	78.0 (2)
TAIZ	528.4 (-)			357.6 (46)		

また、１降水日当りの降水量は１９７８年のHODEIDAHをのぞいて、ほぼ５㎜～８㎜程度で一般に少ない。

１９７３年のItal Consult Reportに添付されているY. A. R.の年降水量分布図を図２－３に示す。それによればIBBをとりまいて１０００㎜地帯があり、SAADAH州とHAJJA州の境付近に６００㎜の多雨帯があり、これを結ぶ尾根はCentral mountains zoneの西側斜面にある。これはRed Seaからの湿った風がCentral mountainにぶつかり、ここで降水となると考えられる。またこのことは紅海に向って西流する河川に常時流をもつものが多いことからも肯定出来る。一方Central mountains zoneの東斜面でも２００～５００㎜／年の降水量があるが、これらはWadiを通して地下水を涵養しているものと考えられる。

Fig. 2-3 YEMEN ARAB REPUBLIC ISOHYET MAP OF ANNUAL RAINFALL



III　水理地質学的考察

既に述べたようにY. A. R.における水文環境を考える上では、紅海に面したTihama海岸地域と、その東側に位置する山岳地域とに2大別することが出来る。水源としては地下水，湧水を開発利用するタイプと天水，表流水を貯水利用すること等が考えられる。現状Y. A. R.においてもそれら各種の水源が利用されている。しかし、今回の調査が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こと、与えられた調査Siteが、国土のほぼ全域に分布していること、一般に降水量が少く変動量が大きいこと、また、蒸発量も多いこと、あるいは衛生処理技術が未熟であること等の理由によって、比較的水量水質が安定している地下水の開発検討に主力を置いた。

この章では山岳地域とTihama海岸地域に分けてその水理地質的考察について記述する。

3－1　山岳地域

Y. A. R. の山岳地域ではこれまで深井戸 project は次のとおりである。

表３－１　Y.A.R.における深井戸 project 一覧表

Project 名	井戸本数	掘削総米	平均深度
USAID　Project	６０本	１０,６８２m	１７８.０m
IRAQI　Project	２２	1,９６７	８９.４
SAUDI　Project	３８	９,４９７	２４９.９
GEORGE　STOW Cc.	２１	３,００８	１４３.２

これ以外にも既に沢山の井戸が掘さくされているが、正確な井戸数や深度等については不明である。井戸構造，揚水手段や採水帯水層等各々条件は異なるが、Y. A. R. の山岳地域における管井１本当りの概略採可水量を知る目的で、揚水量のヒストグラムを示したのが図３－１である。

それによれば、頻度の大きいのは１井当り２００～４００m^3／Dの揚水量の井戸であり、その確率は約２５％である。また、揚水量０m^3／D（空井戸）は２９本であり、その確率は約２２％である。

1）　地層別揚水量

既設井 141 本のうち１／２５０,０００地形図上にその位置を示すことが出来る井戸の分布は図３－２のとおりである。それによれば、大部分の井戸は Certral Mountains zone に位置し、しかも Sadah－Huth－Amran － Sana'a － Yarim － Ibb に沿う主要幹線道路に比較的近接している。従って Y. A. R. の山岳地域一般の水理地質の特長を述べるには必ずしも充分とはいえないが、以下にそれらの資料を用いた検討を行

なう。

採水層別の揚水量を表３－２に、更に２００m^3／Ｄ毎に段階分けした１井当りの可能揚水量を表３－３に示す。それによれば、Amran series中の井戸は空井戸がかなり多い。一方、Trap Series中の井戸では約１３％程度の空井戸はあるものの、２０１～４００m^3／Ｄのものが最も多く、１００１m^3／Ｄを超える揚水量を持つ井戸も約２３％程度あることを示している。Quaternary Basalt中のものについては１～４００m^3／Ｄの範囲が最も多く、１０００m^3／Ｄ以上の揚水井もある。他の地層のものについては実績資料が少く、必ずしも地層全般の傾向を示すことは困難と思われるが、おおまかな目安として見る場合として、各層別の平均値としては、次のとおりである。

採水対象層	揚水量（m^3／日）
Alluvium ……	７００m^3／日
Quaternary Volcanics ……	４５０m^3／日
Trap Series ……	７００m^3／日
Tawilah Group ……	５００m^3／日
Amran Series ……	２００m^3／日
Wajid Sandstone ……	1,０００m^3／日

図３－１　１井当りの揚水量（山岳地域）

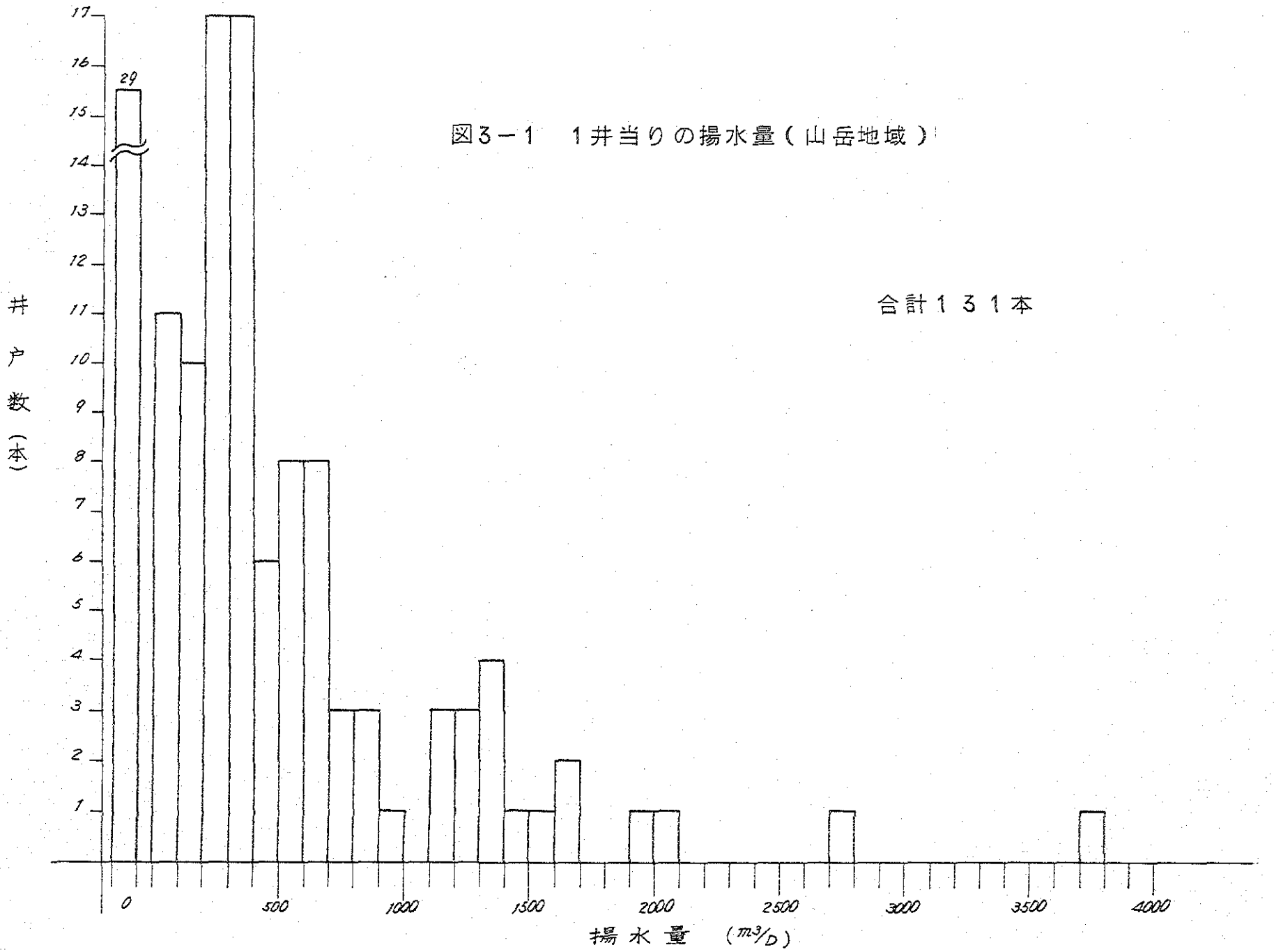


図3－2　Y.A.Rの深井戸分布位置図

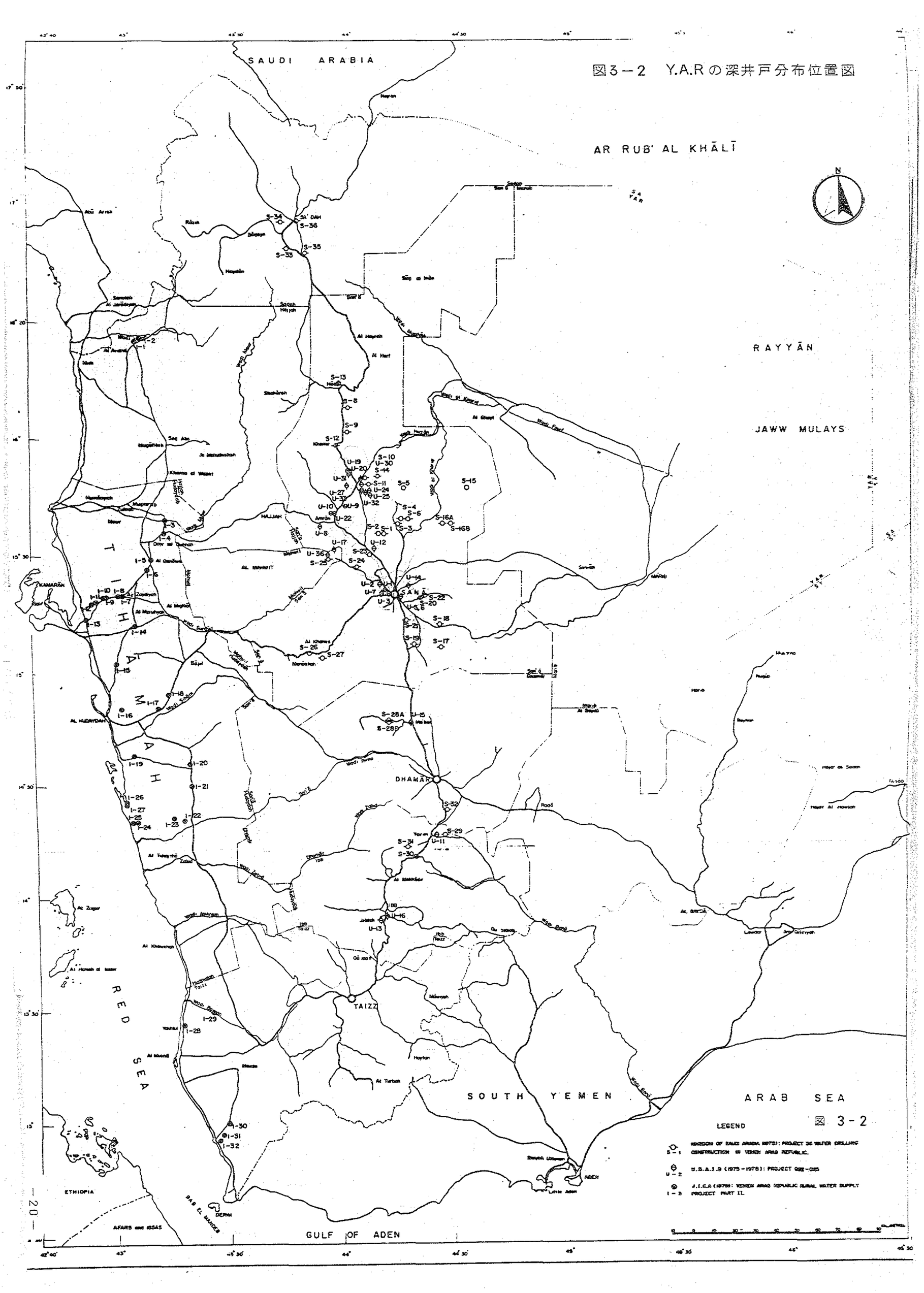


表３－２　地層別１井当り揚水量

項目 / 地層名	Well No.	揚水量 (m^3／日)	比湧水量 (m^3／日／m)	電導度 ($\mu\upsilon$／cm)
Alluvium	U－4	801	20.9	368
	U－5	627	102.8	365
Quaternary Volcanics	S－10	662	33.5	480
	S－11	1252	907.2	360
	S－23A	0	0	—
	S－23B	1183	182.0	340
	S－24A	87	2.2	300
	S－24B	90	2.2	260
	U－12	245	—	—
	U－30	218	—	—
Trap series	S－17A	0	0	—
	S－17B	307	4.6	820
	S－18	75	0.5	1350
	S－19	1951	145.9	800
	S－20	316	9.8	420
	S－21	295	20.6	590
	S－22	1183	17.7	960
	S－26	503	6.4	1050
	S－27	60	0.6	440
	S－28A	0	0	—
	S－28B	1384	790.9	400
	S－29A	0	0	—
	S－29B	1657	67.3	400
	S－30A	0	0	—
	S－30B	328	4.2	280

項目 / 地層名	Well No.	揚水量 (m^3/日)	比湧水量 (m^3/日/m)	電導度 (μ℧/cm)
	S－31	593	13.7	390
	S－32	2071	344	
	U－1	327	—	—
	U－2	327	8.8	—
	U－3	300	14.1	—
	U－5	3816	—	—
	U－6	894	86	400
Trap series	U－7	92.7	—	—
	U－9	273	—	—
	U－11	273	—	—
	U－13	245	10.7	365
	U－14	382	—	—
	U－16	2715	119	—
	U－32	382	390	—
	U－33	839	—	—
Tawilah group	J－P－14	1232	72.2	620
	J－P－16	959	41.6	410
	S－1	237	26.2	925
	S－2	0	0	—
	S－3	221	5.8	520
	S－4A	0	0	—
Amran series	S－4B	691	17.7	500
	S－5A	0	0	—
	S－5B	0	0	—
	S－6	613	12.9	1050
	S－7	0	0	—

項目 / 地層名	Well No.	揚水量 (m^3／日)	比湧水量 (m^3／日／m)	電導度 ($\mu\mho$／cm)
Amran series	S－8	0	0	—
	S－9	160	4.2	520
	S－12A	256	3.3	930
	S－12B	388	12.0	1000
	S－13	361	3.3	750
	S－14	0	0	—
	S－15	42	0.4	1580
	S－16A	0	0	—
	S－16B	165	2.6	2200
	S－25A	0	0	—
	S－25B	38	0.2	480
	S－35	818	28.5	760
	U－8	512	—	—
	U－10	48	48	700
	U－17	0	0	—
	U－19	354	—	—
	U－24	0	0	—
	U－25	654	18	—
	U－31	0	0	—
Wajid Sandstone	S－33	164	2.7	1220
	S－34	1400	139	600
	S－35	818	28.5	760

表３－３　地層別揚水量

取水対象層	対象井本数	揚水量（m^3／D）別　本数／%							
		0	1～200	201～400	401～600	601～800	801～1000	1001以上	Total Average
Alluvium	2					1 / 50	1 / 50		714
	平均水量					627	801		
Quaternary Volcanics	8	1 / 12.5	2 / 25.0	2 / 25.0		1 / 12.5		2 / 25.0	467
	平均水量	0	89	232		662		1420	
Yemen Volcanics	30	4 / 13.3	3 / 10.0	12 / 40.0	2 / 6.7		2 / 6.7	7 / 23.3	721
	平均水量	0	76	316	548		867	2111	
Tawilah group	2						1 / 50	1 / 50	1096
	平均水量						959	1232	
Amran series	28	12 / 42.9	5 / 17.9	6 / 21.4	1 / 0.4	3 / 10.7	1 / 0.4		199
	平均水量	0	91	303	512	653	818		
Wajid Sandstone	3		1 / 33.3					2 / 66.7	1001
	平均水量		164					1218	

2) 地下水面

今比較的資料密度の高いSANA'A周辺の静水位等高線図を図３－３示す。

それによれば、地下水面の形状はほぼ地形に支配されているようである。即ち、SANA'Aの東，西及び南の山地部では、地下水位は高くSANA'A Dasinへの地下水の供給地を形成している。SANA'Aの北方に向っては、ゆるやかな地下水位の谷が形成されている。また、AMRANからRAYDAHにかけて、別の地下水盆が形成されている。

地下水面の勾配は一般に山岳部では急であるが、谷部では非常にゆるやかな形態を示している。

この地域にはAmran series Tawilah sandstone, Trap series, Quaternary VolcanicsとAlluviumが分布し、各々に既設井が存在する。しかし、地下水位の上からみれば、地層の違いによる大きな差違は認められない。

２２００mの地下水位等高線が、SANA'A市街地の方に入りこんでいる。このことは詳細については不明であるが、SANA'A市街地での地下水位は近年急激に低下しているとの情報を併せ考えれば、充分納得の出来る地下水面図である。

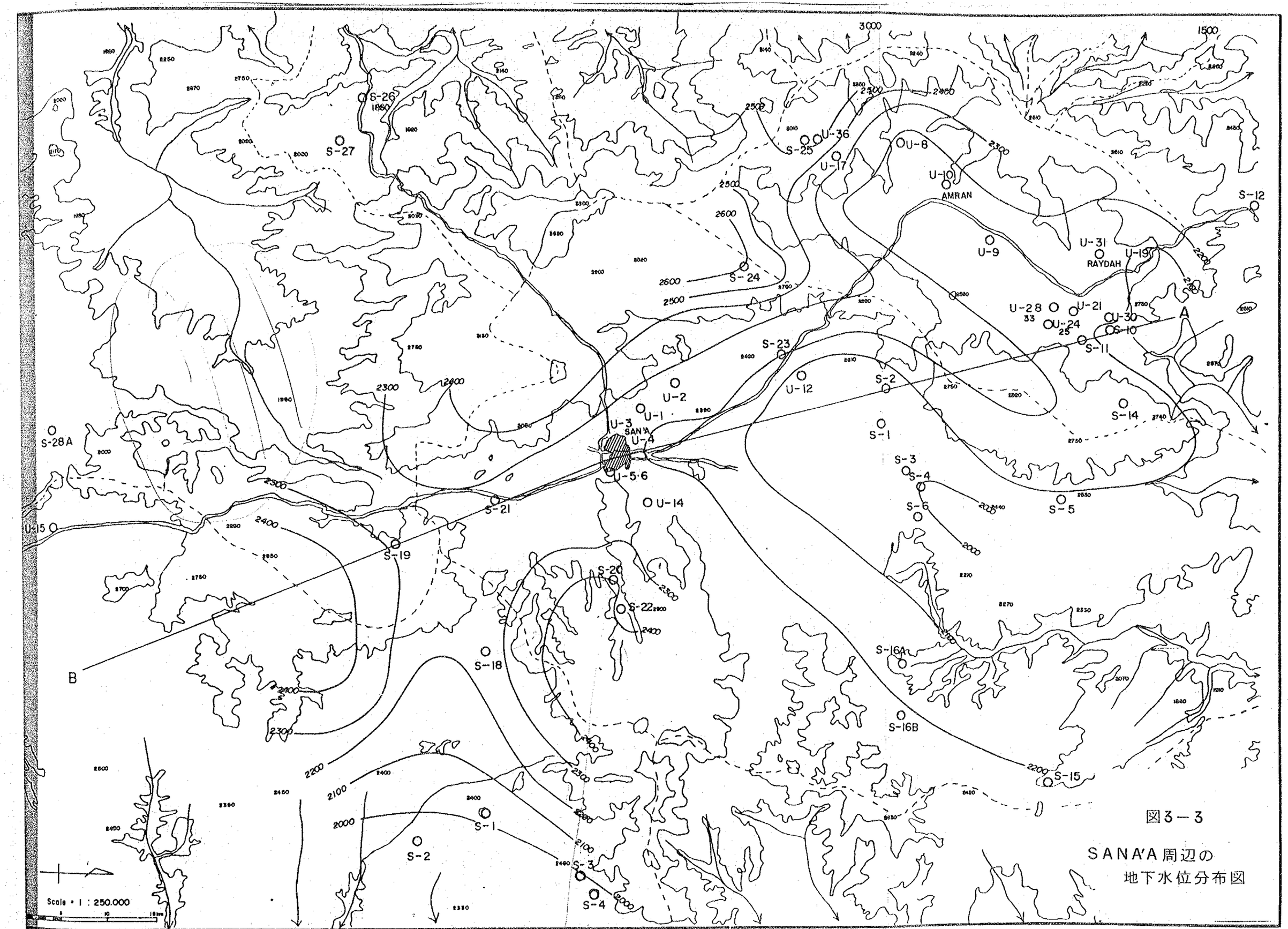


図3－3

SANA'A周辺の
地下水位分布図

図3－4　SANA'A 周辺の水理地質断面図

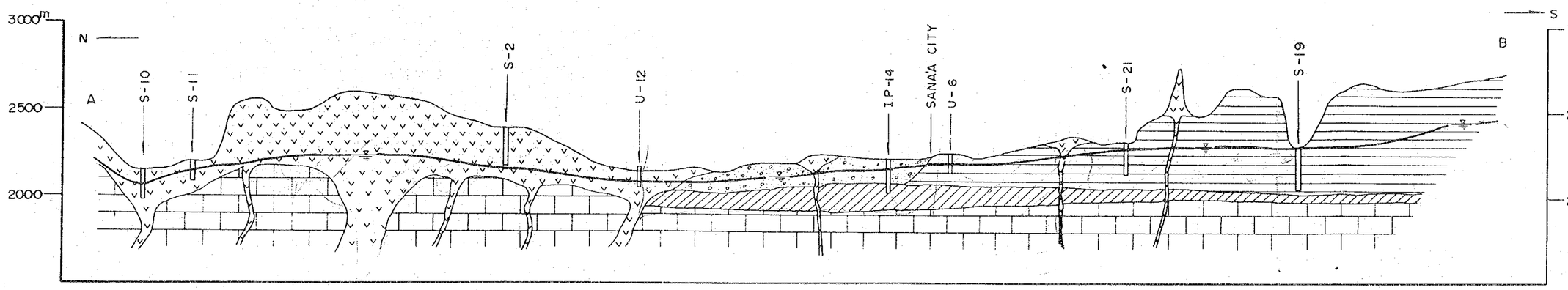
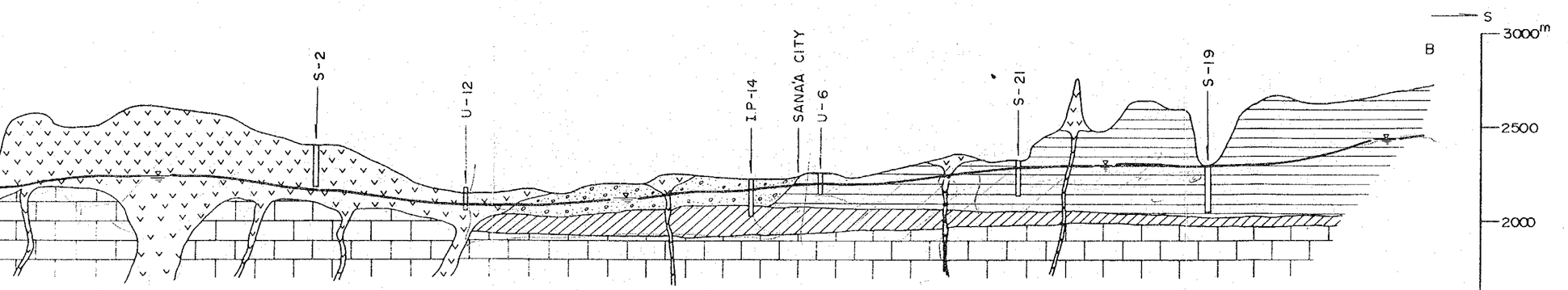
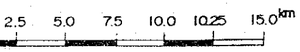


図3－4　SANA'A 周辺の水理地質断面図





QUATERNARY ALLUVIUM
QUATERNARY BASALT
TRAP SERIES
TAWILAH GROUP
AMRAN SERIES

3－2　海岸地域

Y. A. R. の西部、紅海に面して幅約５０Kmの細長い Tihama lower pressure zone がある。この地域は東部の山岳地帯から多くの Wadi によって運搬され，形成された堆積物と Eolian sand からなる。この地域の地下水を対象とした調査報告は主要 Wadi 周辺（ Wadi Zabid … Awad，Toson M. and Hassan，Tawfik A. 1978，Wadi Mawr … Boros，I. J.，1972，Tipton and Kalmbach. Inc. Engineens，1979 等）を対象としたものと Italconsult，1973 による Hodeida 周辺のものとがある。

ここでは Tihama lower pressure zone の地下水の挙動について比較的よく整理，まとめられていると思われる Tipton and Kalmbach，Inc Engineers，1979 による「Development of Wadi Mawr」の調査結果及び今回の調査結果からこの地域の水理地質についてまとめる。

1） 帯水層

地下水採水用の既設井は、深度約１ｍから数十ｍの手掘り井戸や１００～１５０ｍの深井戸等がある。既存井戸柱状図によれば、Sand，Silt，gravel 等からなるが、柱状図とともに孔内電気検層結果を参考にして、Wadi Mawr に沿ったほぼ東西の地質断面を示したのが図３・５である。それによれば、模式的な柱状図は次のとおりである。

表３－４　海岸地域の模式的柱状表

深度（m）	層厚（m）	主構成物
0～23	11～23	細砂混りシルト
11～56	19～45	砂（局所的にシルトを含む）
39～70	4～15	砂礫
54～95	29～55	シルト混り砂礫
95～132	6～23	砂礫
106以深		シルト混り砂礫

このうち、地層構成物の上から判断すれば、深度３０～７０ｍと９５～１３２ｍ付近に分布する砂礫層が主要な帯水層であると考えられる。

これらの地層は、地形勾配とほぼ平行して東から西へおよそ1/350の緩傾斜を示し、膨縮はあるもののほぼ全域にわたって分布しているものと思われる。Italconsult.（1973）によって行なわれたHode-ida areaの調査においても、深度50～60ｍ付近と１００ｍ付近に砂礫層の分布が認められている。

しかし、既存井の構造をみると、必ずしもこれらの帯水層のみではなく、他の地層中にもストレーナが設置され、地下水を採水している。

2） 地下水位

Tipton and kalmbach, Inc. Engineers, 1979によるWadi Mawr流域の地下水面は図３－６に示すようになっている。それによればWadi Mawrが周辺の地下水を涵養している状態が明瞭に表現されている。勿論、Wadi Mawr流域にはカンガイ用水路が発達していることによる影響も考慮に入れなければならないが、Wadi Mawrは年間を通して流水の見られる数少いWadiであることを考えれば、上述した地下水の流動機構は納得のいくものである。Wadi Mawrの北方にあるWadi Juahと南方にあるWadi Ayan流域については、上述したような関係は認められない。また、地下水位の等高線は海岸に近くなると、海岸線に平行になってくる。

一方、今回Tihama海岸地域の既設井を用いて調査した結果を表３－５に示す。（井戸の位置は図３－２のとおり）そのうち井戸位置の海抜標高と静水位の関係を示したのが図３－７である。それによれば地盤高の読み取り（1／50,000と1／250,000地形図による）誤差のため若干のバラツキがあるが、ほぼ直線に近い関係がみられる。このことはTihama海岸地域では井戸位置が決まれば、その静水位はほぼ決定されることになる。

図3－5　WADI　MAWR周辺の地質断面図

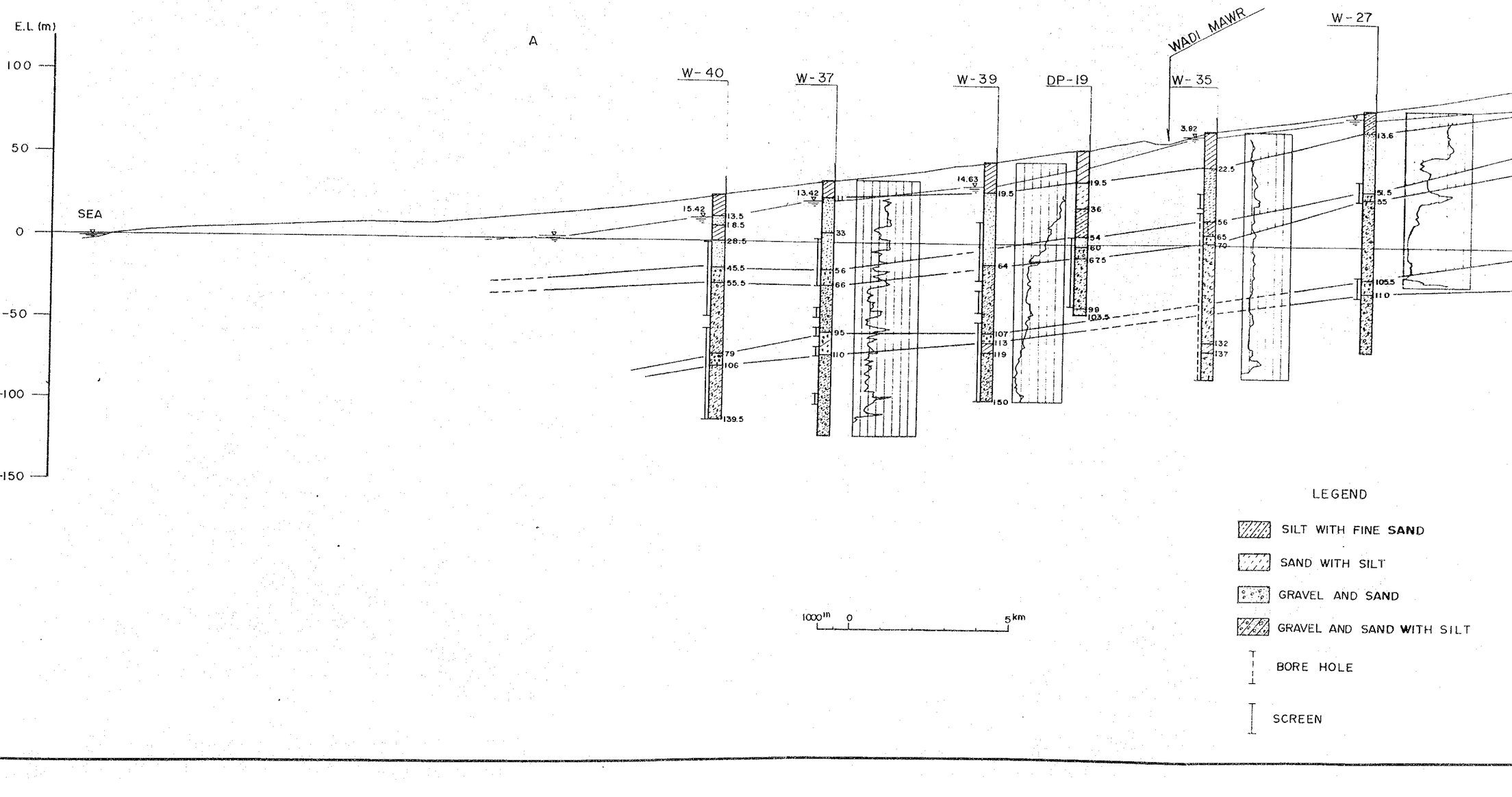
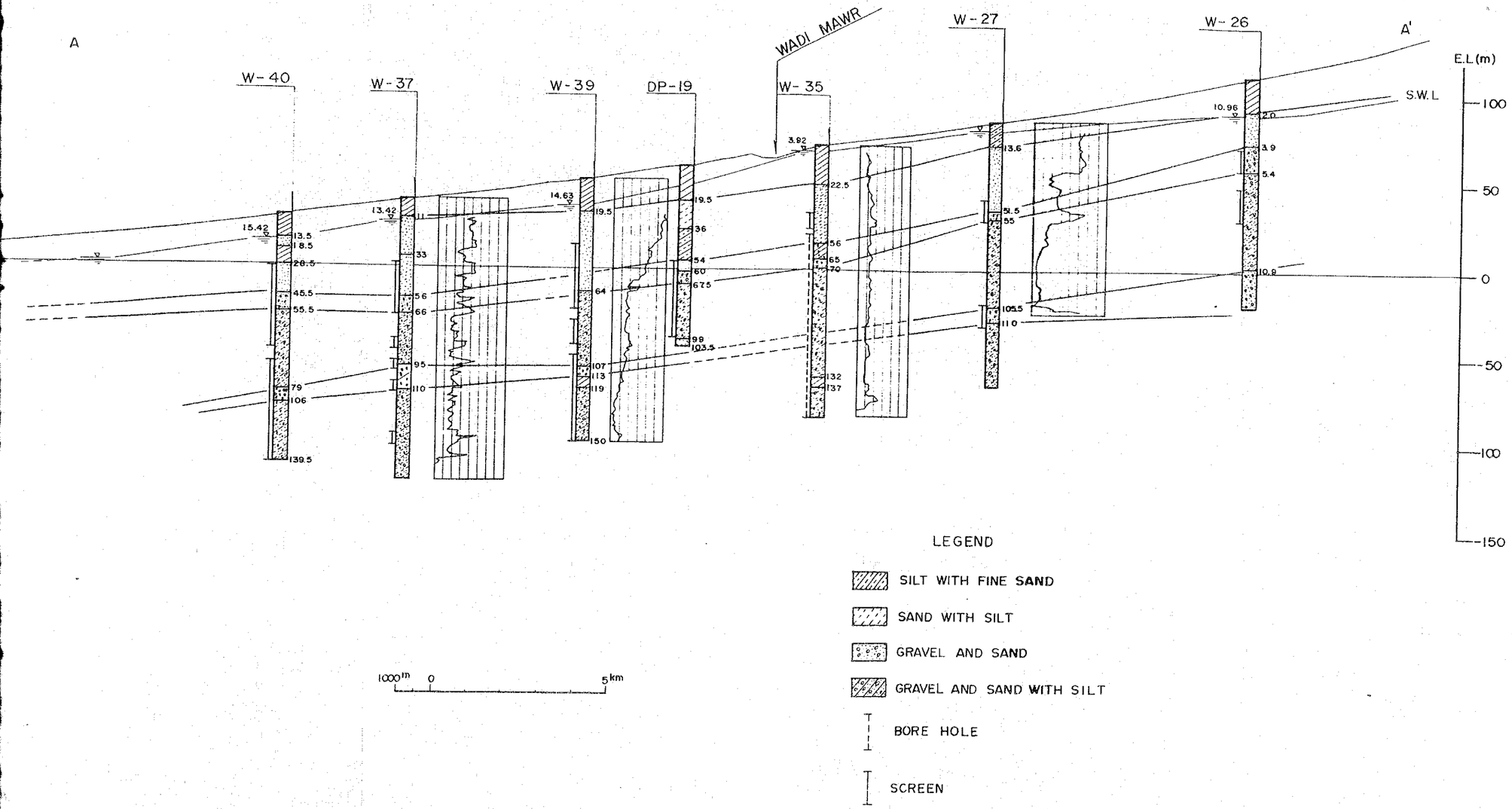
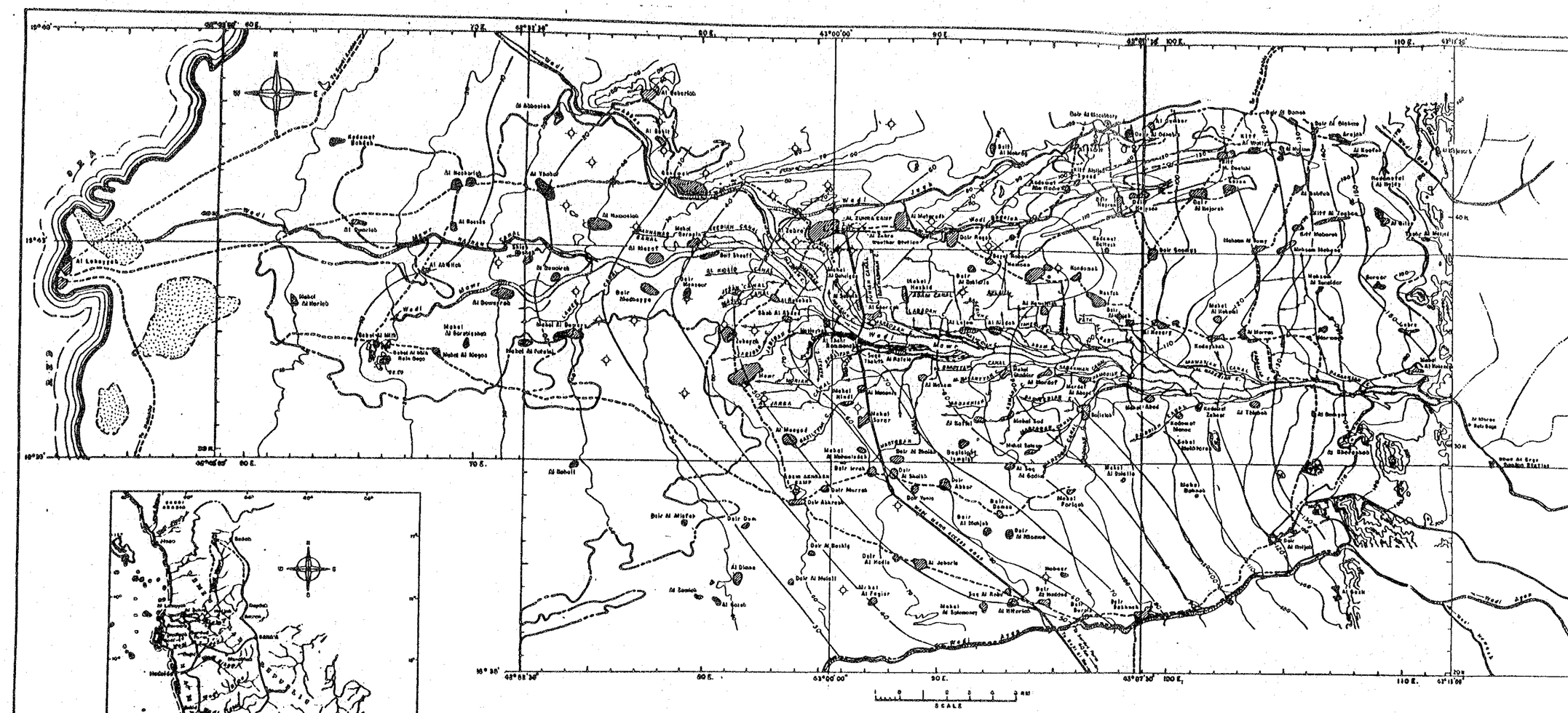


図3－5　WADI　MAWR周辺の地質断面図




Al Luhayyah
Al Hudaydah
Al Mukha
Bayt al Faqih
Zabid
Al Khawkhah
Al Hays
Al Jabalayn
Al Mahwit
Al Hajjah
Al Mahabishah
Al Qaflah
Al Mudhaffar
Ta'izz
Al Turbah
Al Wazi'iyah
Al Ma'afir
Al Hawtah
Dhubab
Al Mukayras
Al Milah
Qa'tabah
Ad Dali'
Ash Shu'ayb
Ad Dis
Al Habilayn
Ibb
Jiblah
Al Udayn
Yarim
Ash Shamayatayn
Dhamar
Al Hada
Al Mahjanah
Al Mahwa
Al Bayda'
Rada'
Al Qaryah
Al Ma'rib
Al Jawf
Shabwah
Ataq
Habban
Al Mukalla
Ash Shihr
Sayhut
Al Ghaydah
Qishn
Sa'dah
Al Jawbah
Al Hazm
Al Ghaydah
Khashm al Qa
Shibam
Say'un
Tarim
Al Qatn
Wadi Hadramawt
Wadi Masilah
Wadi Jawf
Wadi Rakhyah
Wadi Sana
Wadi Dhahr
Wadi Zabid
Wadi Rima
Wadi Surdud
Wadi Tuban
Wadi Bana
Wadi Ahwar
Wadi Mawr
Wadi Hajr
Wadi Ghayl
Wadi Amd
Wadi Hadramawt
Wadi Masilah
Wadi Jawf
Wadi Rakhyah
Wadi Sana
Wadi Dhahr
Wadi Zabid
Wadi Rima
Wadi Surdud
Wadi Tuban
Wadi Bana
Wadi Ahwar
Wadi Mawr
Wadi Hajr
Wadi Ghayl
Wadi Amd
Red Sea
Gulf of Aden
Arabian Sea
Gulf of Aden
Arabian Sea

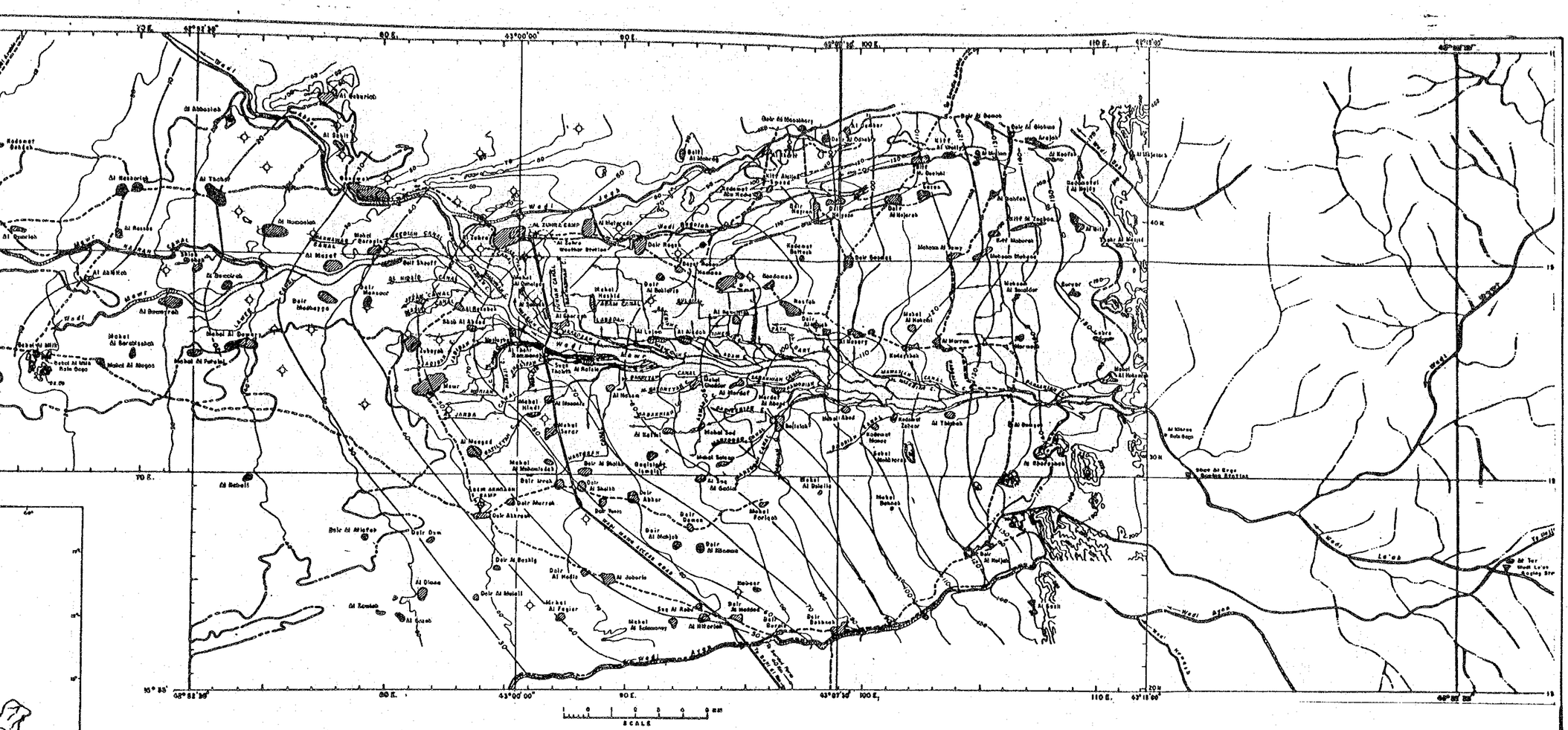


図3－6

WADI MAWR周辺の

地下水位分布図

表３－５　Tihama areaの地下水位及び水質

No.	採水地名	井戸深 (m)	静水位 海抜水位 (m)	海抜標高 (m)	水温 (℃)	E. C (μU/cm)	Cor. E. C (μU/cm)	海岸からの距離 (Km)	採水 月・日・時
1	Old HARAD				29.0	800	735	29	
2	New HARAD	17.6	17.0(63.0)	80	31.0	910	882	32	
3	Wadi MAWR	——	——		24.0	650	665	48	11/27 18:00
4	Dayr KHASHM	26.7	24.5(165.5)	190	23.5	2500	2585	47	11/27 18:21
5	QANAWIS	32.0	——		29.5	3000	2730	38	11/27 19:35
6	HASANARD ALLAH	20.0	18.5(61.5)	80	34.0	3700	3088	33	11/27 20:20
7	AZ ZAYDIYAH	65.0	——	60	35.0	2200	1803	21	11/28 7:30
8	〃	19.5	18.7(41.3)	60	28.0	1120	1051	20	11/28 8:30
9	MUNYRAH	60.0	13.0(27.0)	40	(36) (冷却水)	3500	2818	13	
10	〃	20.0	16.0(24.0)	40	31.5	5700	4987	13	
11	KAIR SOWED	11.9	11.4(10.6)	22	29.0	5300	4871	8	11/28 9:00
12	TORKIA Well	5.7	5.0(8.0)	17	33.0	5100	4337	6	11/28 9:15
13	SHOWLEE Well	9.5	8.7(8.3)	17	34.5	3550	2884	6	11/28 9:30
14	AL DAHI	65.0	——	78	33.0	1350	1588	24	
15	TORBAH	25.1	24.4(25.6)	50		2900		12	
16	〃	100	——	40	38.0	3300	2566	6	
17	MARAWIAH	(60)	——	65	25.5	2650	2621	22	
18	QUTAY	50.0	20.0(83.0)	103	26.0	1420	1389	28	
19	AD DURAYHIM	16.7	13.8(16.2)	30	30.5	2450	2186	7	
20	?	24.0	10.9(119.1)	130	24.0	3400	3476	33	
21	AL MOUSEA	38.4	37.0(113.0)	150	34.0	1510	1260	32	
22	SHOWKAT BANI ROMEH	25.0	23.3(76.7)	100	32.5	1420	1219	26	
23	KOBEH	25.8	25.4(44.6)	70	33.0	1600	1361	21	
24	AL JAH	2.7	2.5(17.5)	20	30.5	2420	2159	5	
25	AL JAHAR ASFAL	11.5	10.9(2.1)	13	33.5	1700	1432	2	
26	GHULAYFAGAH	1.4	0.4(9.6)	10	26.5	1900	1839	1	
27	〃	4.4	1.9(8.9)	10	32.0	2100	1820	1	
28	YAKHTOL	3.3	3.0(2.0)	5	31.0	5300	4682	2	
29	AL BAKERYA	27.0	17.0(143.0)	160	33.0	3200	2721	15	
30	UMARI	14.1	9.3(130.7)	140	32.0	1850	1603	10	
31	AL MUSALAS	18.6	16.8(133.2)	150	33.0	1950	1658	6	
32	〃	12.46	10.45			3600			

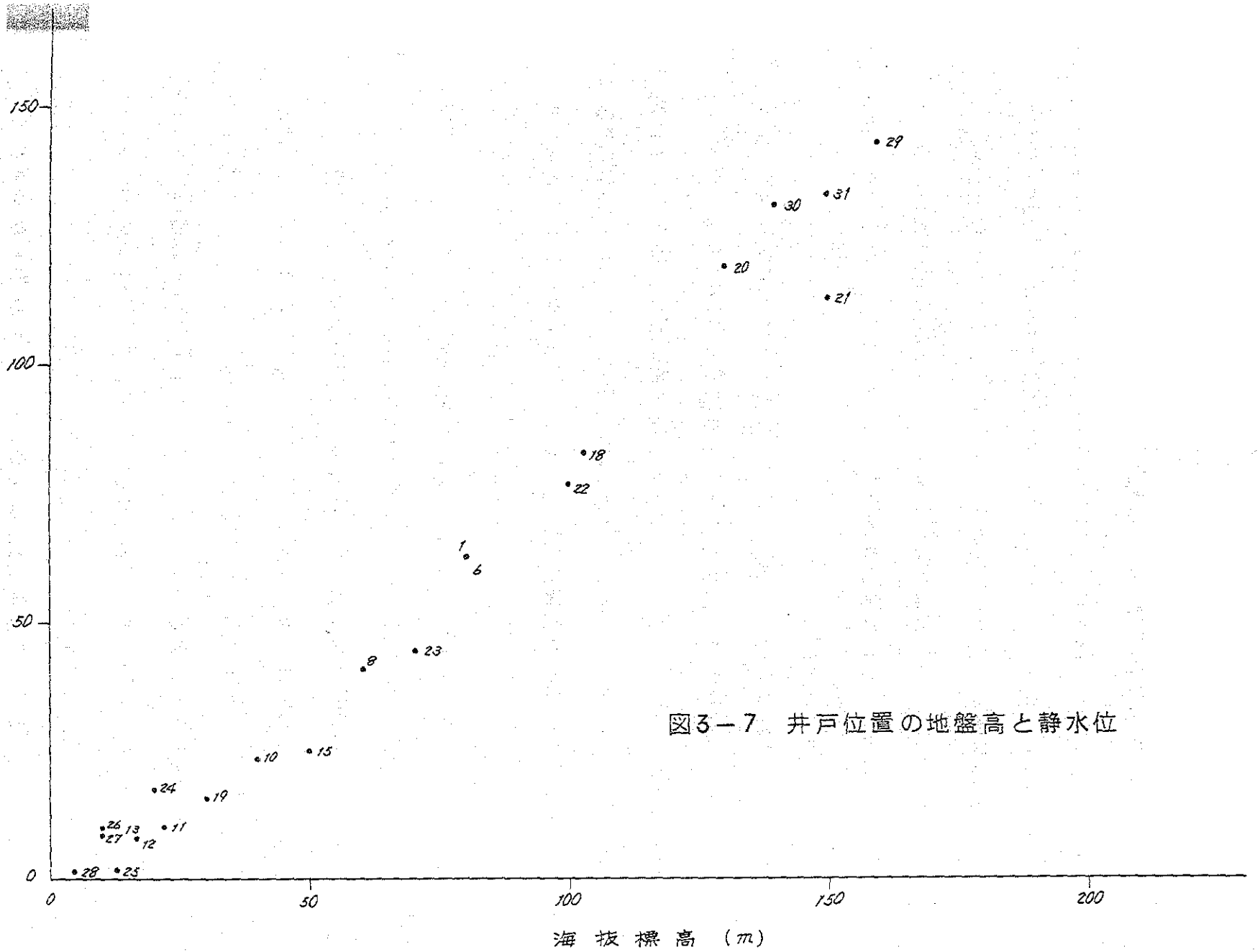


図3－7　井戸位置の地盤高と静水位

3) 水　　質

Tihama海岸地域の地下水の電気伝導度は、その多くが１０００μ℧／cm（２５℃換算，以下同じ）以上の値を示し、山岳部のそれに比較して一般に高い値を示しており、水質的には良くない。その原因としては、標高が低く、海岸に近いため海水の影響を受けていることや、降水が少いのに反して可能発散量が多いための濃縮作用の促進、あるいは塩類を多く含む帯水層中における土粒子と地下水とのイオン交換平衡等が考えられる。

図３－８には既設井を利用して測定した地下水の電気伝導度と、井戸の海岸からの距離の関係を示す。その結果両者の関係は、例えば日本の海岸沖積平野でみられるような単純な相関関係ではなく、広い範囲に分布が見れる。このことは、Tihama 海岸地域の地下水の電気伝導導度は現在の海水の影響は余り受けていないことを示すように思われる。

一方、Tipton and Kalmbach, Inc. Engineers, 1979によって実施（１９７２～１９７９）された電気伝導度の測定値を、図面上にプロットし、その等値線を引いたのが図３－９である。

それによれば、地下水の電気伝導度の分布は、ほぼWadi Mawr に支配されているようである。即ち、Wadi Mawrの近くでは２０００μ℧／cm以下で、それから離れるに従って大きな値となる。また、海岸から約２０Kmよりも下流域（海岸寄）では、Wadiとの関連は必ずしも明瞭ではない。

以上のことは、Tihama海岸地域の地下水はWadiから補給されており、しかもWadi表流水の水（Wadi Mawrでは６５０μ℧／cm）によっ