

4.2.3 地下水収支

(1) 地下水揚水量

両調査地区内には、地下水を統括する村・Districtレベルでの機関は存在しない。公的な井戸登録台帳もない。不定期の地下水利用調査がWAPDA地下水調査事務所、GSPにより独自に行われているにすぎない。

地下水揚水量の推定に際し、その揚水の目的から主として、a) 通常バケットでオープン・ウェルから汲み上げられる飲用水と、b) オープン・ウェルもしくはチューブ・ウェルからポンプで汲み上げられるかんがい用水に大別される。

飲用水の揚水量は、各地区の推定人口および羊もしくは山羊の推定頭数に基づき、各年間消費量を次のように仮定し推定する。

人 : $7.4 \text{ m}^3 / \text{year} / \text{人}$ ($20 \text{ l} / \text{day} / \text{人}$)
羊もしくは山羊 : $2.5 \text{ m}^3 / \text{year} / \text{頭}$ ($7 \text{ l} / \text{day} / \text{頭}$)

かんがい用水の揚水は、現況の井戸調査によるポンプ容量を基に、年間250日のかんがい日数と1日10時間のポンプ運転とを仮定し、ポンプ容量の28.5%を揚水量として算定する。導水路、ファームポンドならびにかんがい施設からの地下還流浸透量は考慮しない。

以上の前提条件のもとで地下水の揚水量を算定すると、Quetta、Kalat各調査地区について年間7百万 m^3 、8百万 m^3 となる(表4.2.1参照)。

(2) 水収支

地下水の供給源は、天水で地下に滲透し、地下を流動し貯溜されたものである。従って、或る地域の地下水容量はその集水域にほぼ比例する。今回のような基盤の亀裂をも対象にする場合には、その地形上の集水域と多少異なる場合もあるが、しかし大差はないと見て間違いない。これら天水の多くは山麓部の三角州粗粒堆積部で多く地下に滲透する。また山地もかなり風化しており、亀裂も多く見られるので、それからの滲透もかなりあ

ると見られる。平地部中央は細粒粘土が発達しているので、滲透はほとんどないと見られる。

水収支を計算する上において、多くの既存文献を参考にして、表 4.2.1 に示されたように山麓粗粒堆積部で降雨量の30%、山地部で5%の地下滲透をとるのが最も妥当であると判断された。^{*1}

各地の集水区地文図は、図 4.2.6と図 4.2.7に示す。

現況の地下水揚水量は、井戸による飲料水、かんがい水とカレーズもしくは、泉の湧水にわけられる。飲料水は、該当集水域の想定人口と推定家畜頭数（主に山羊と羊）の各消費量を $7.4\text{m}^3/\text{年}/\text{人}$ および $2.5\text{m}^3/\text{年}/\text{頭}$ として推定する。井戸からのかんがい水は、ポンプ揚水である事から、1日ポンプ運転10時間、年間運転日数 250日と想定し、ポンプ容量の28.5%を年間揚水量とした。

上述の仮定に基づき、各水脈の水収支計算を表 4.2.1に示す。

表 4.2.1 調査地区別地下水水収支

水脈	地形	集水域面積 km ²	降水量 mm	滲透率 %	補給可能量 m ³ /d	揚水量 m ³ /d	収支 m ³ /d
Quetta地区							
A, B, C 水脈	山麓	77	① 162	30	11,762	18,753	△ 6,991
	山地	68	〃	5			
D 水脈	山麓	33	② 135	30	4,679	47	4,632
	山地	55	〃	5			
E 水脈	山麓	107	③ 148	30	17,111	258	16,853
	山地	202	〃	5			
Kalat 地区							
西部							
A, C 水脈	山麓	348	④ 193	30	65,884	1,233	64,651
	山地	404	〃	5			
東部							
A, B 水脈	山麓	400km ²	④ 193mm	30	78,971	21,142	57,829
	山地	587	〃	5			

(注) : ① Sariab観測所降水量
 ② Spezand 観測所降水量
 ③ SariabとSpezand 観測所降水量の平均
 ④ Kalat 観測所降水量

*1 4-1 頁に示した a の報告書では、Quetta溪谷全体としては34%の域内降雨が涵養されているとしている。今回の係数を同じレベルで換算すると14%となる。

この結果からも Quetta北部地区は揚水過剰であり、開発の余地はないと判断される。D水脈地区はかなりの余裕を持つ（1%が利用されている）。

E水脈地区に至っては、大きな開発余地を持っている（1.5%が利用されているにすぎない）。

Kalat 地区では各水脈とも大きな開発余地を持っている（西部地区は2%、東部地区は27%利用されているにすぎない）。

4.2.4 地下水水質

Quetta調査地区内で65サンプル、Kalat 調査地区内で27サンプルの地下水の水質が、1976年からWAPDA ならびに J I C A調査団により分析されている。

電気伝導度（EC）、pH、ナトリウム吸着率（SAR）の各地区の平均値を表 4.2.3に示す。

表 4.2.2 調査地区内地下水質

Area	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	SAR
Quetta, Northern Part	905	8.2	2.2
Quetta, Southern Part	1,280 (895)*	7.9	6.6 (2.0)*
Kalat	1,175	7.5	3.0

* Show the values in the case that the values of HS-3,4 & 5 which show extremely high EC are excluded.

一般に、地下水の水質は季節的経年的変化をする。Quetta調査地区北部の地下水質の劣化は、“Monitoring Studies on Groundwater Levels in Quetta Valley, 1986” に詳しく述べられているが、地下水の過剰揚水による地下水位の低下が、高濃度の塩水の地下水への浸透を加速している。

Quetta調査地区の南部に位置するSpezand では、細粒の堆積層が厚く分布し、高濃度の塩分の集積がみられる。州政府かんがい電力省の農村給水のための

チューブ・ウェルは、このため使用されていない。また、近傍のHassani 地区のMurdar山系山麓部でも塩分の集積が著しい。両地区とも、閉鎖排水区のDasht-i-Khuni 内に位置する。

Kalat 調査地区の地下水の水質も、ほぼ中程度であるが、Quetta調査地区のものよりやや塩分の集積が高い。Dasht-i-Goran の上流部（調査地区外）で高濃度の塩分集積が報告されている。

高塩分濃度の地下水は、硫化ナトリウムもしくは塩化ナトリウムが優越であり、中～低濃度地下水は、炭酸ソーダもしくは炭酸マグネシウムが優越する。

これらの地下水質は、Baluchistan 州政府の農業局の基準では3階級中の第2位に分類される（表 4.2.3）。また、US塩害研究所の分類では C3-S1に分類され（図 4.2.3）、“排水の不十分な土壌には利用できない。排水が十分であっても特別な塩害対策と耐塩性の作物の選定、栽培が必要である。しかし、ナトリウムの影響はいかなる土質の土壌でもほとんど問題はないが、耐ナトリウム性の低い作物である核果、アボカド等では、ナトリウムの蓄積による害をおよぼすかもしれない”と述べられている。

表 4.2.3 かんがい水分級表 (Baluchistan 州農業局)

Ingredient	Class I	Class II	Class III
TSS (ppm)	Less than 700	700 to 1200	More than 1200
pH	Upto 7.8	7.8 to 8.2	Above 8.2
CO ₃ (ppm)	Upto 100	100 - 130	Above 130
HCO ₃ (ppm)	Upto 120	120 - 150	Above 150
SO ₄ (ppm)	Upto 200	200 - 500	Above 500
Cl (ppm)	Upto 20	20 - 40	Above 40
Na (%)	Less than 20	20 - 60	Above 60
Boron (ppm)	Upto 0.5	0.5 - 2.5	Above 2.5

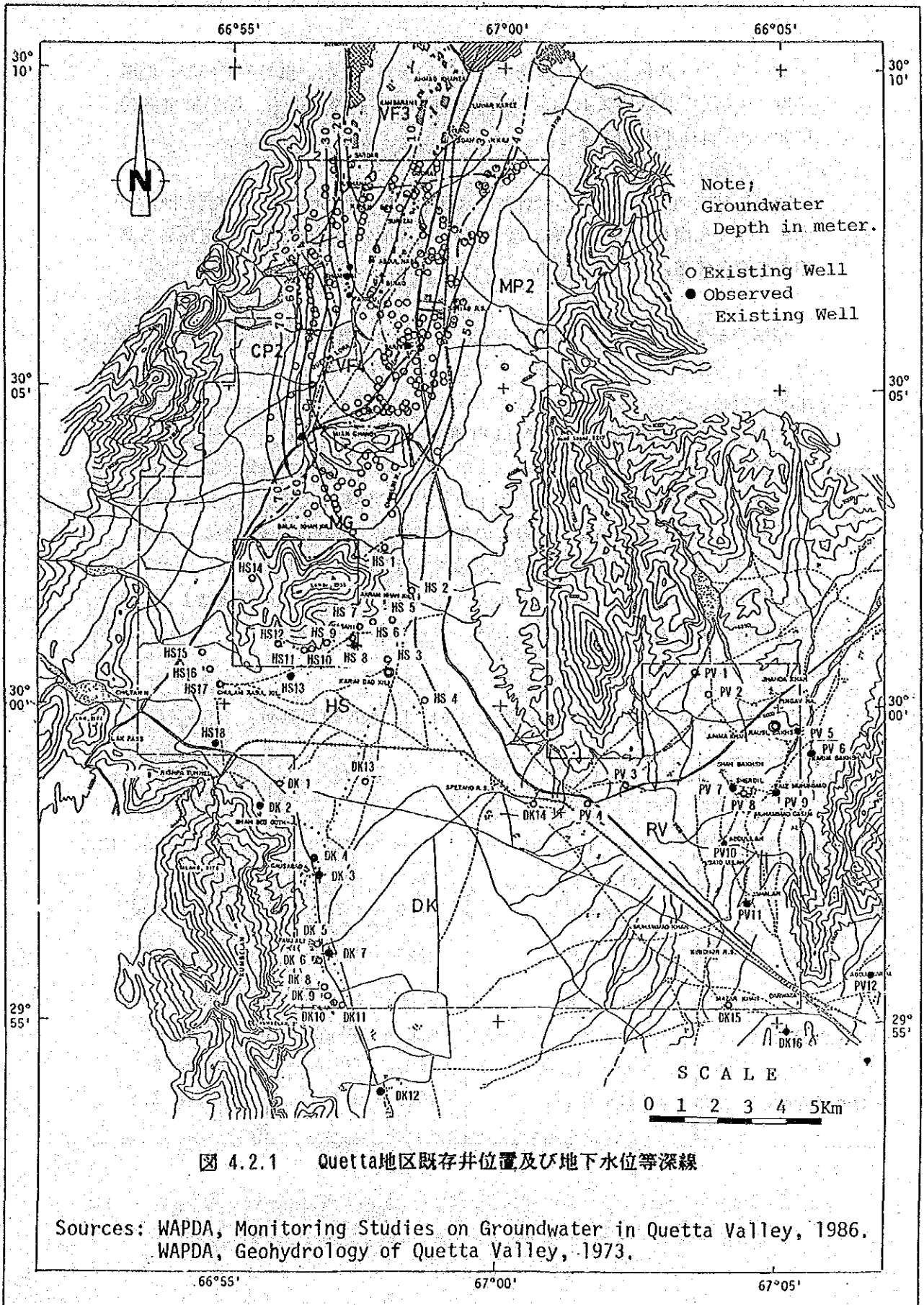


图 4.2.1 Quetta地区既存井位置及び地下水位等深線

Sources: WAPDA, Monitoring Studies on Groundwater in Quetta Valley, 1986.
WAPDA, Geohydrology of Quetta Valley, 1973.

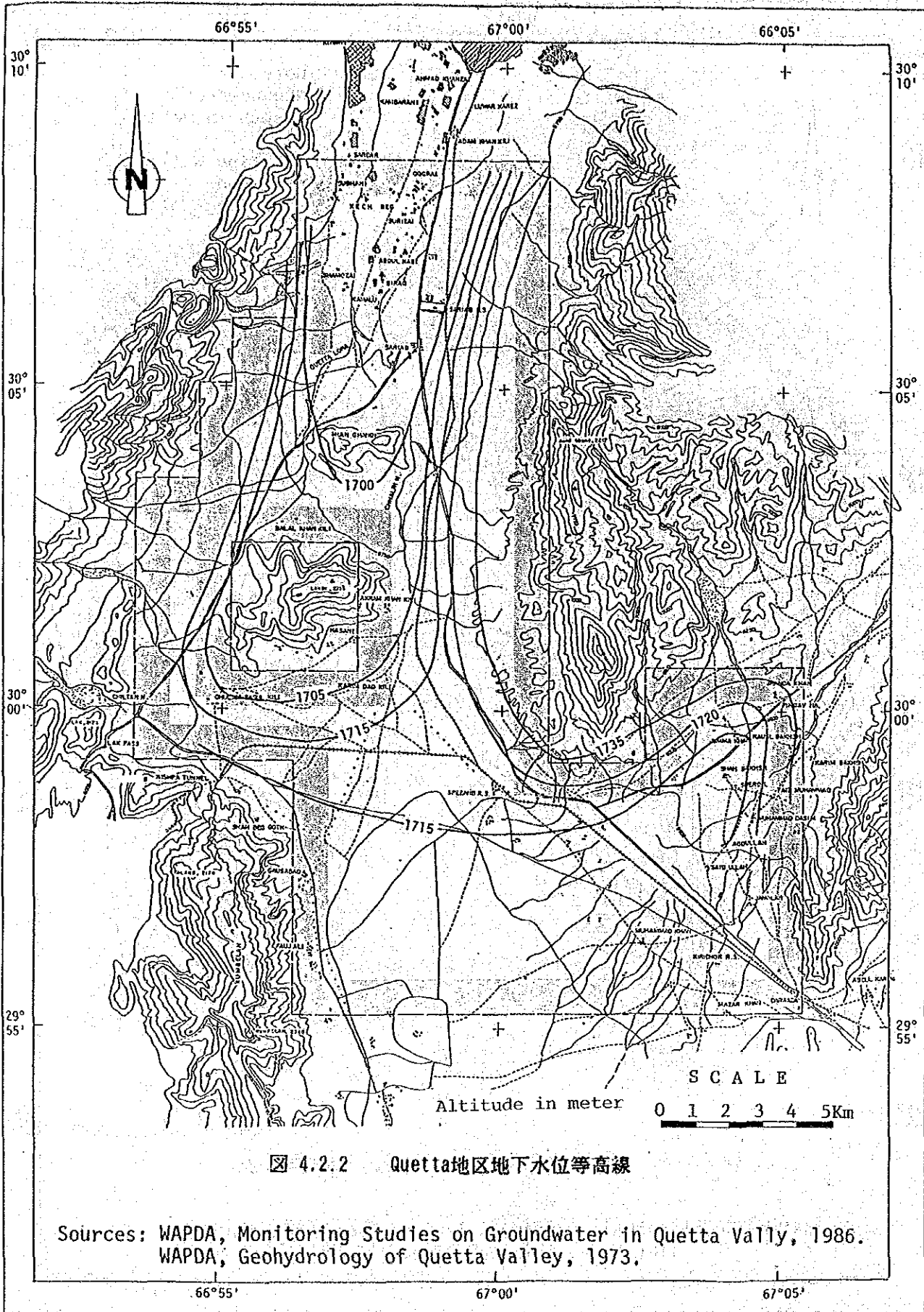


图 4.2.2 Quetta地区地下水位等高线

Sources: WAPDA, Monitoring Studies on Groundwater in Quetta Vally, 1986.
 WAPDA, Geohydrology of Quetta Valley, 1973.

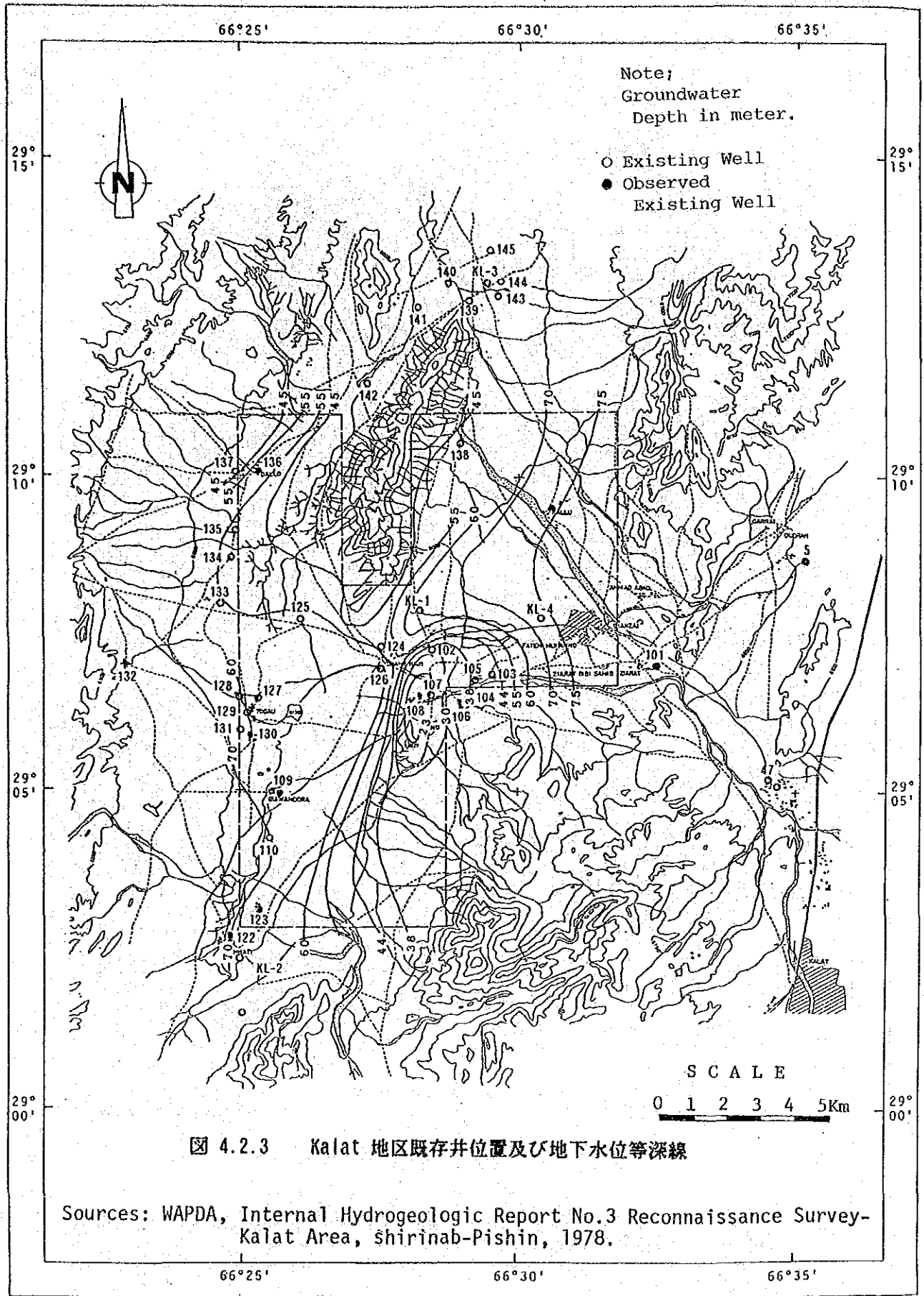


图 4.2.3 Kalat 地区既存井位置及び地下水位等深線

Sources: WAPDA, Internal Hydrogeologic Report No.3 Reconnaissance Survey-Kalat Area, shirinab-Pishin, 1978.

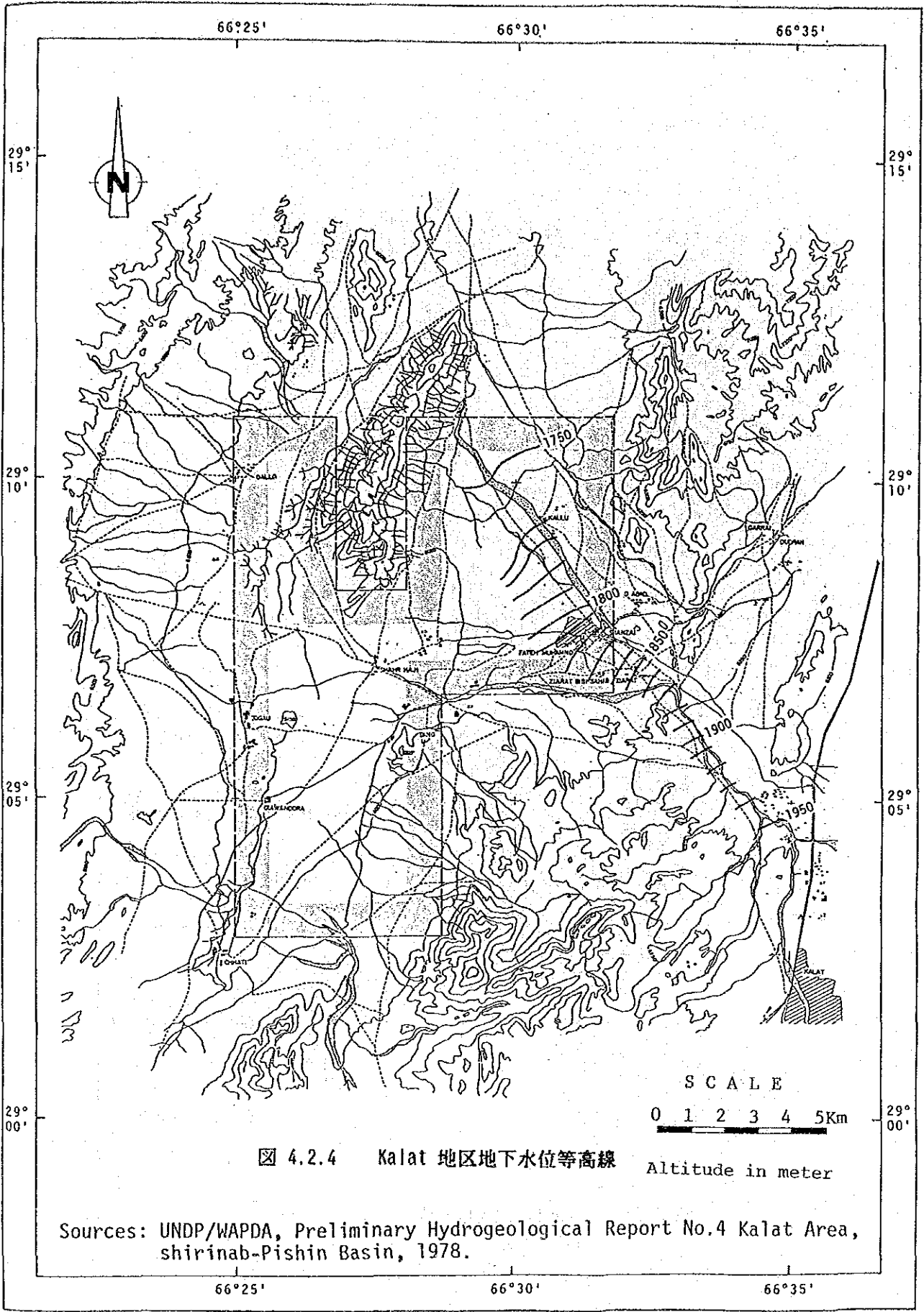


图 4.2.4 Kalat 地区地下水位等高线

SCALE
0 1 2 3 4 5 Km

Altitude in meter

Sources: UNDP/WAPDA, Preliminary Hydrogeological Report No.4 Kalat Area, shirinab-Pishin Basin, 1978.

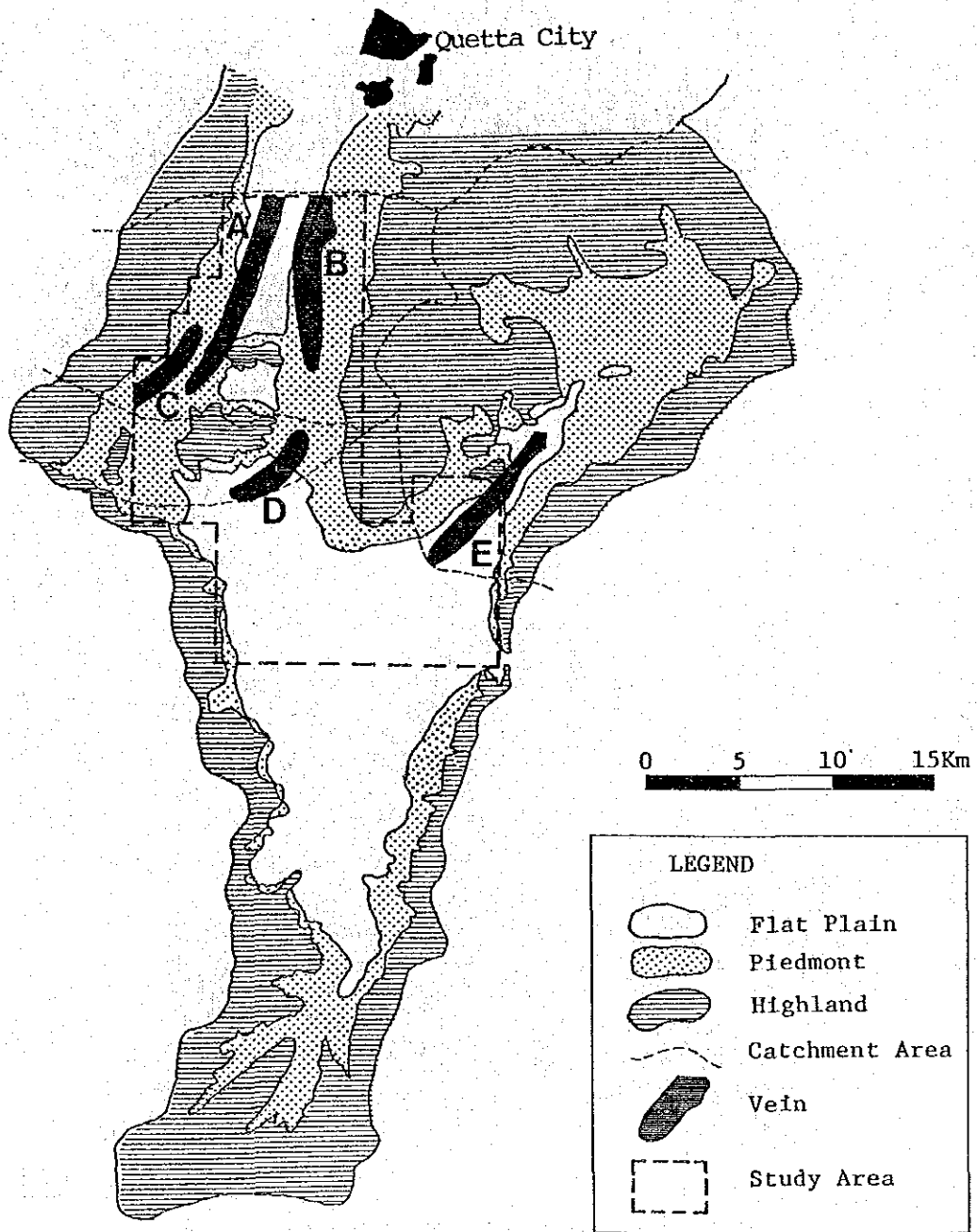


图 4.2.5 Quetta地区地文图

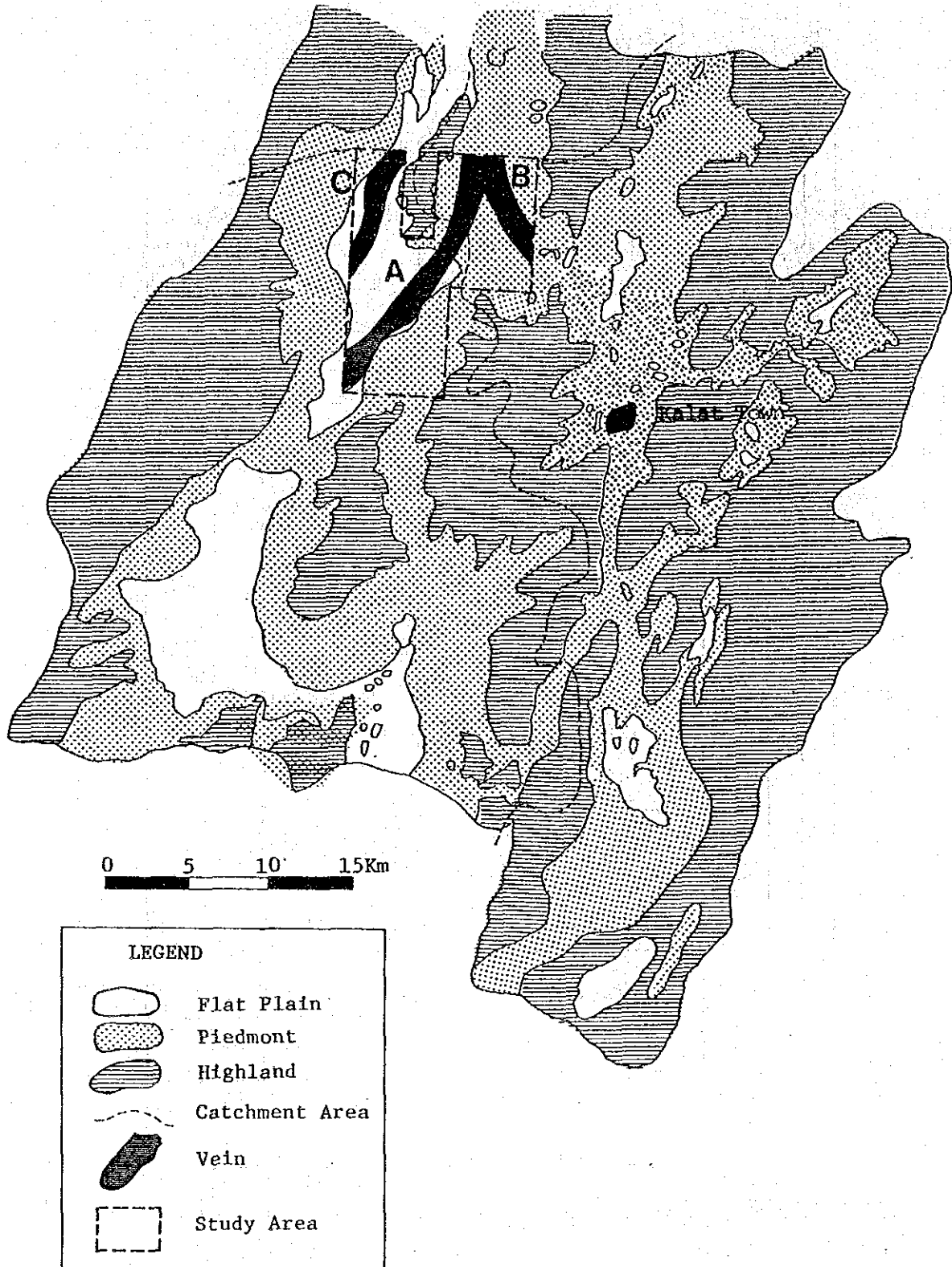
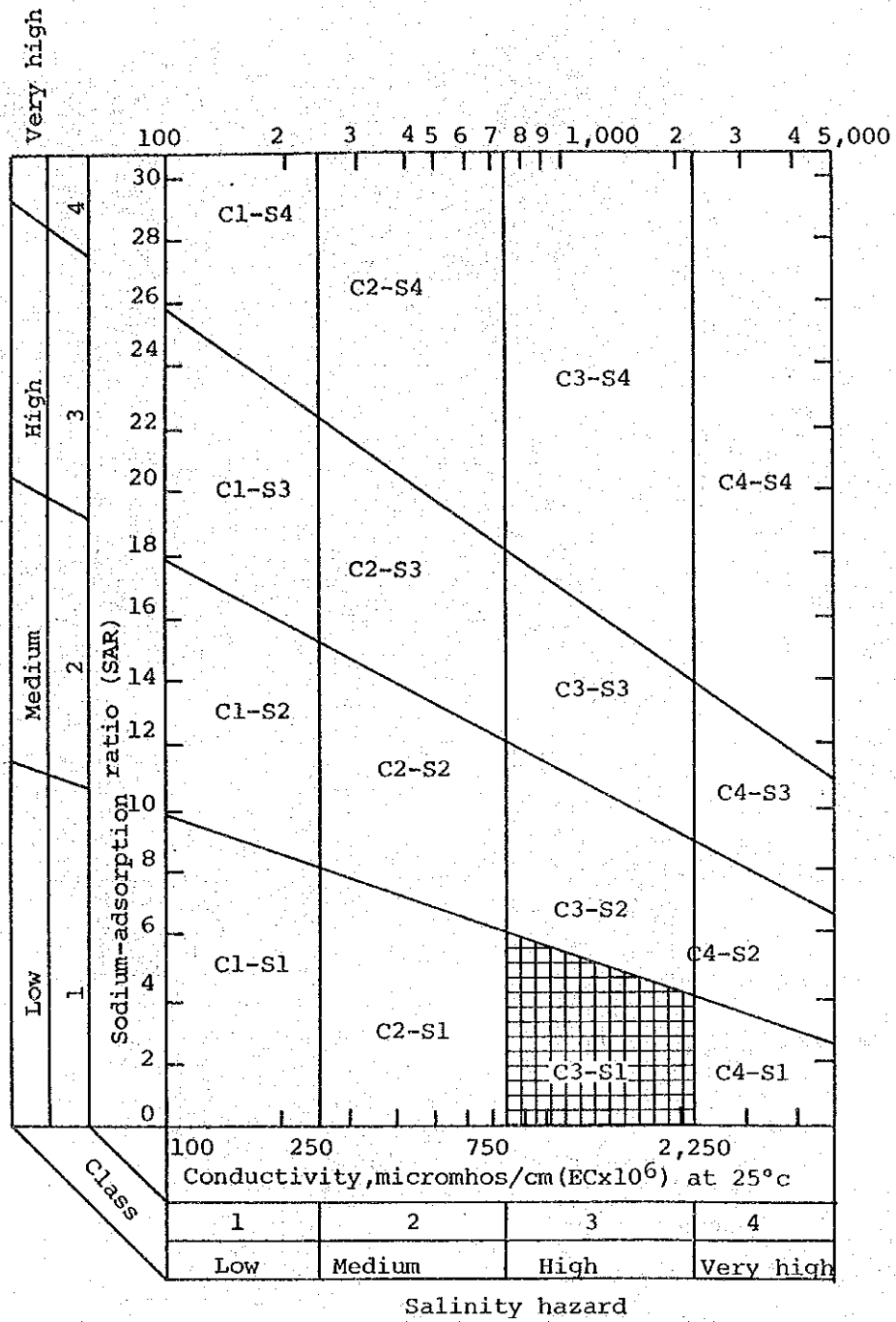


图 4.2.6 Kalat 地区地文图



Source : USAD Salinity Lab. Handbook 60

図 4.2.7 かんがい用水分級図

4.3 空中ガンマ線探査

(詳細は、第Ⅲ巻：空中選択ガンマ線探査報告書参照)

4.3.1 探査概要

本調査地区の地下水調査は、主としてヘリコプターを利用した空中選択ガンマ線探査により実施された。空中選択ガンマ線探査の方法および装置は、日本特許による方式とする。ガンマ線強度の検出は、2個の大型検出パッケージと1個の小型検出器により行う。2個の大型検出パッケージは、地下および空気中のすべてのガンマ線を捉える。1個の小型検出器は、空気中のガンマ線のみを検出する。これら2つの異なるタイプの検出器の組合せにより開口亀裂系のガンマ線検出において、それを擾乱する宇宙線等の環境ガンマ線の影響を取り除くことができ、亀裂系からのみのガンマ線を検知することが出来る。(図 4.3.1 および 4.3.2)

空中探査現地作業は下記の要領で1986年9月から10月にかけて実施された。

- a. 探査測線は、1,000mメッシュとする。(図 4.3.3および 4.3.4)
- b. Quetta地区(28,000ha)および Kalat地区(12,000ha)をそれぞれ9区画、4区画に分割し、1日1区画の探査を実施する。
- c. 飛行高度は、地表面上 100mとする。
- d. 飛行速度は、90km/hr とする。
- e. 地下水脈との相関性の強い609kevのガンマ線測定を主とする。
- f. 地下水の流動性と賦存状態を明らかにするため、既存井水のラドン、トリチウムを分析する。

4.3.2 探査結果

飛行航跡の確認、ヘリコプターの高度補正、アナログデータ処理による数値解析および地下水サンプルのラドン/トリチウム分析の値から地下水脈ならびに地下水帯を検出した。

Quetta地区においては、4本(A、B、C、E)の流動性の地下水脈を検出した。A、B水脈はQuetta谷の両側に分布し、地下水はQuetta市街方向に向かって流動している。C水脈はA水脈の先端部にあり、E水脈はZarkhu Nala 沿いに分布している。なお、この他に停滞性の地下水帯が部分的に10ヶ所に存在する(図 4.3.5)。

Kalat 地区においては、3本（A、B、C）の流動性の地下水脈を検出した。A水脈は調査地区の中央部を縦断し、B水脈と地区の北部で合流している。C水脈はChappai 山の西側に分布する。いずれも地下水の流動方向は北方向となっている。なお、この他に停滞性の地下水帯がA水脈の両側に2ヶ所分布している（図 4.3.6）。

検出した水脈の中は、Quetta地区で 400～1,400m、Kalat 地区で 600～1,300mである。

また、検出したガンマ線強度より算出した各水脈の産水率は、Quetta地区で40～70m³/day/m、Kalat 地区で 130～150m³/day/mである（図 4.3.5 および 4.3.6）。

4.3.3 地下水開発可能量の推定

(1) 一般

当探査により、流動性地下水脈ならびに停滞性地下水帯の各地区での分布が明らかになった。判明した各流動性水脈、停滞性地下水帯について、開発可能量を算定する。

流動性地下水脈の開発可能量は、流動量の80%とする。各水脈の地下水流動量は、空中選択ガンマ線探査結果ならびに現在の地下水位、透水量係数から算定する。

一方、各停滞性地下水帯の開発可能量は、各水脈の産水率から算定する。

(2) 地下水開発可能量

流動性地下水脈の開発可能量は、Quetta調査地区で総計17,730m³/day (153.2ℓ/sec)、Kalat 調査地区で13,470m³/day(116.4ℓ/sec)と推定される（表 4.3.1）。一方、停滞性地下水帯の開発可能量は、Quetta調査地区で 7,880m³/day (68.1ℓ/sec) ならびにKalat 調査地区 3,880m³/day (33.5ℓ/sec)と推定される（表 4.3.2）。

表 4.3.1 流動性地下水の開発可能量

(QUETTA AREA)

VEIN NAME	VEIN LENGTH IN STUDY AREA (km)	VEIN WIDTH UPST.-DWST. (m)	GROUNDWATER HYDRAULIC GRADIENT	TRANSMISSIVITY COEFFICIENT (m ² /d)	GROUNDWATER FLOW CAPACITY (m ³ /d)	AVERAGE SPECIFIC CAPACITY (m ³ /d/m)	POSSIBLE YIELD (m ³ /d)
A	11.5	500 - 700	1 / 66	582	5,380	51	4,310
B	9.0	500 - 1,400	1 / 265	486	2,480	43	1,980
C	6.0	500 - 800	1 / 46	396	6,650	37	5,320
E	6.5	400 - 550	1 / 46	707	7,650	74	6,120
TOTAL							17,730

(KALAT AREA)

VEIN NAME	VEIN LENGTH IN STUDY AREA (km)	VEIN WIDTH UPST.-DWST. (m)	GROUNDWATER HYDRAULIC GRADIENT	TRANSMISSIVITY COEFFICIENT (m ² /d)	GROUNDWATER FLOW CAPACITY (m ³ /d)	AVERAGE SPECIFIC CAPACITY (m ³ /d/m)	POSSIBLE YIELD (m ³ /d)
A	17.5	700 - 1,300	1 / 372	700	2,430	141	1,940
B	6.0	750 - 1,000	1 / 53	610	9,260	132	7,410
C	7.0	600 - 1,100	1 / 106	678	5,150	150	4,120
TOTAL							13,470

表 4.3.2 停滯性地下水開發可能量

Quetta Area

Zone Name	Area	Average Specific Capacity	Number of Pumping Point	Total Specific Capacity	Possible Yield from Groundwater Development <u>1/</u>
	(km ²)	(m ³ /d/m)		(m ³ /d/m)	(m ³ /d)
D	5.6	69	6	414	4,140
F	2.0	35	2	70	700
G	1.1	33	1	33	330
H	0.9	35	1	35	350
I	1.9	29	2	58	580
J	1.2	23	1	23	230
K	0.4	33	1	33	330
L	0.4	34	1	34	340
M	1.5	30	2	60	600
N	0.8	28	1	28	280
Total					7,880

Kalat Area

Zone Name	Area	Average Specific Capacity	Number of Pumping Point	Total Specific Capacity	Possible Yield from Groundwater Development <u>1/</u>
	(km ²)	(m ³ /d/m)		(m ³ /d/m)	(m ³ /d)
D	3.1	51	3	153	1,530
E	4.7	47	5	235	2,350
Total					3,880

Note: 1/ The permissible critical groundwater drawdown of 10 m is adopted in the estimation.

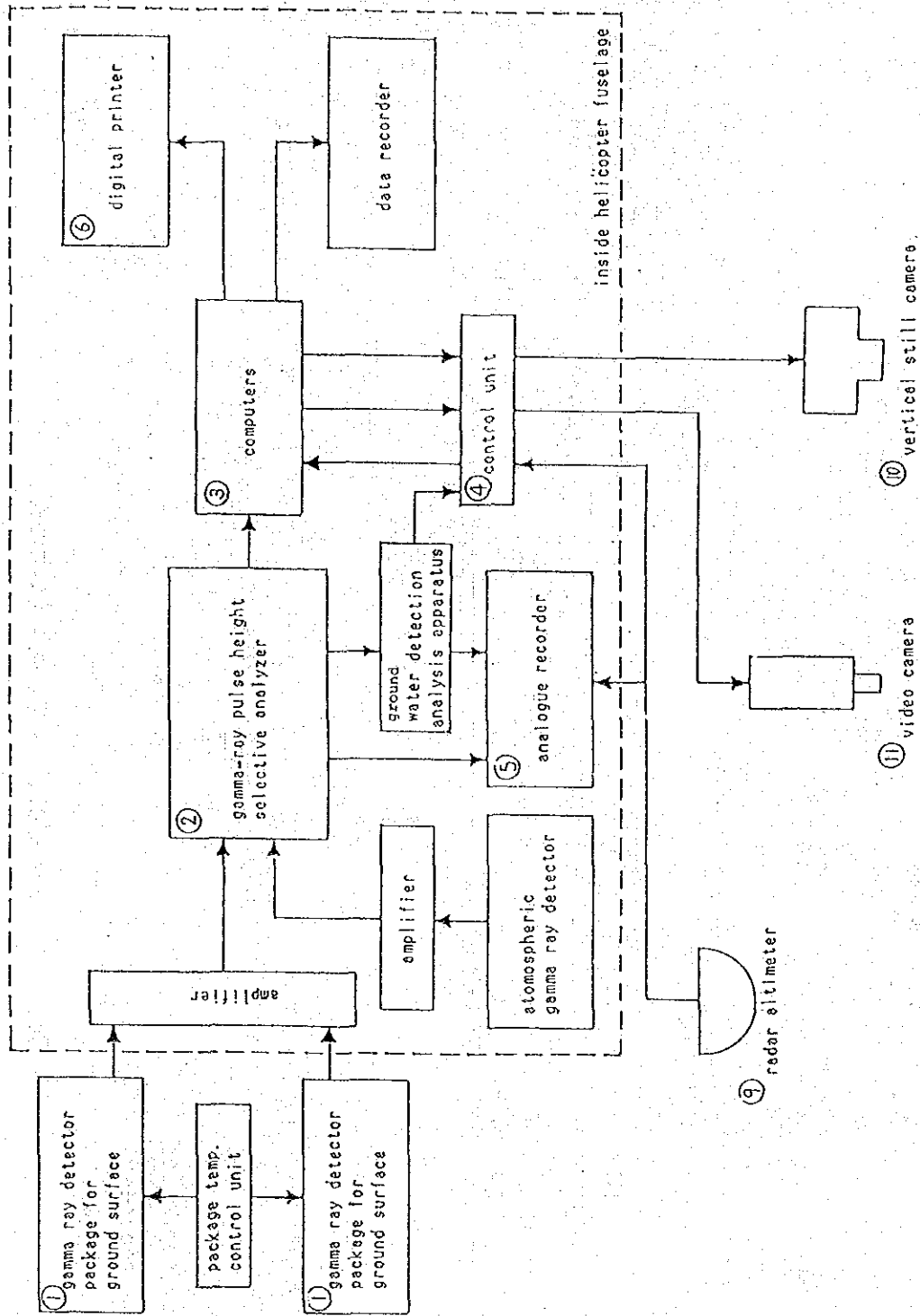
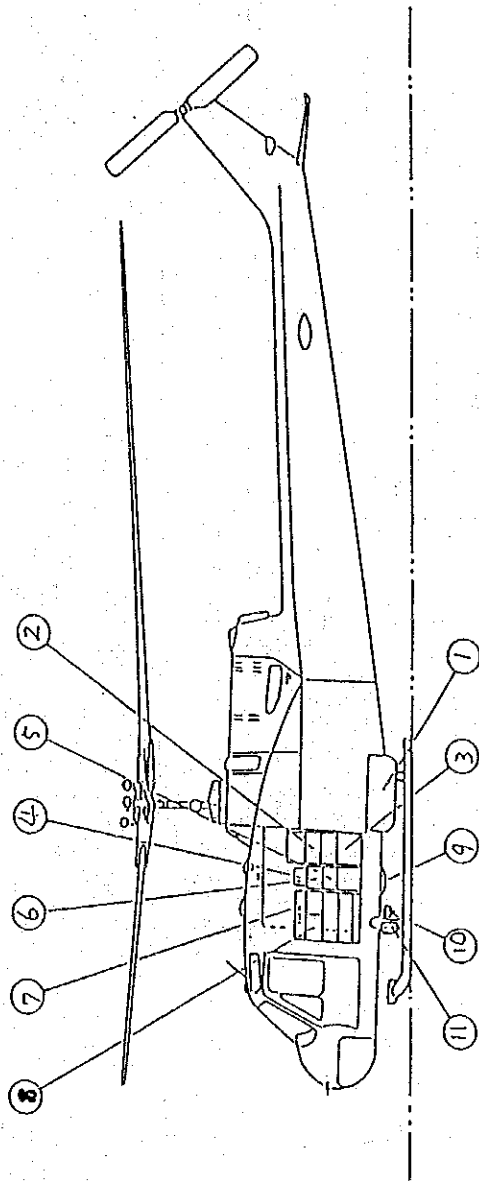


図 4.3.1 空中選択ガンマ線探査装置概要図

Integrated heli-borne ground
water prospecting system



- ① Gamma-ray detector package
- ② Gamma-ray pulse height selective analyzer
- ③ Computers
- ④ Computer controller
- ⑤ Analogue recorder
- ⑥ Digital printer
- ⑦ Video recorder
- ⑧ Video monitor
- ⑨ Radar altimeter
- ⑩ Vertical still camera
- ⑪ Vertical video camera

図 4.3.2 空中選択ガンマ線探査専用機の構成

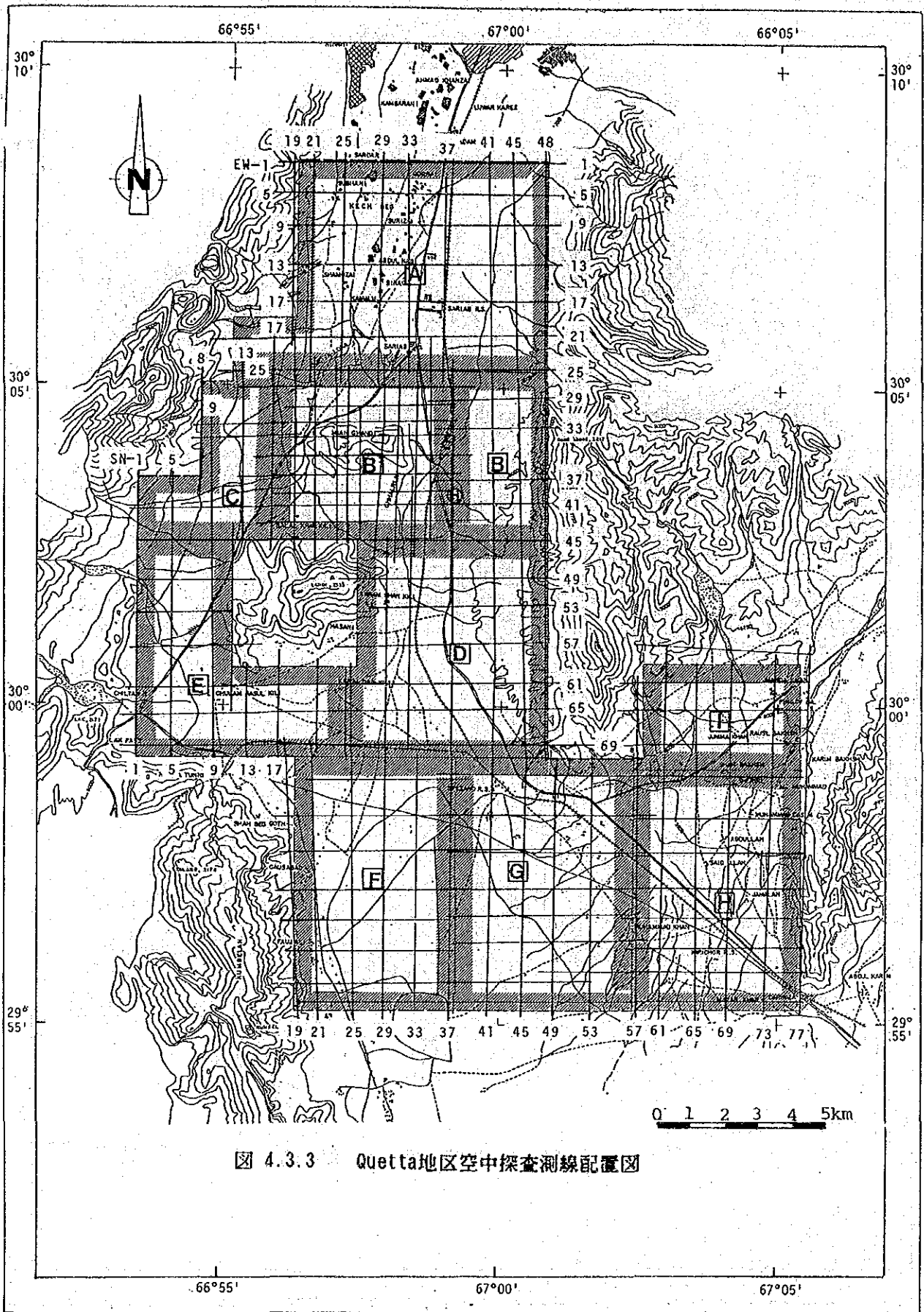


图 4.3.3 Quetta地区空中探测测线配置图

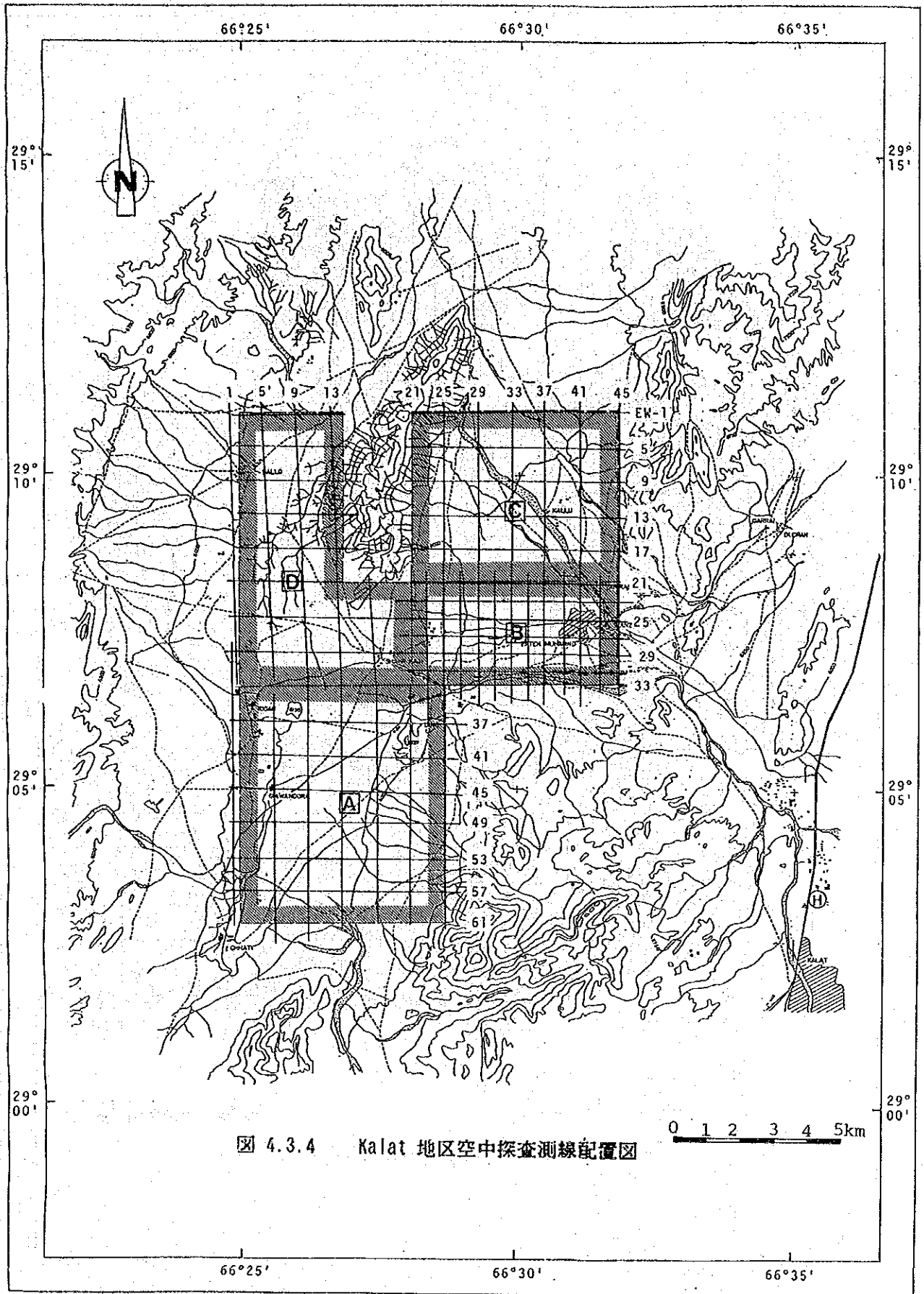


图 4.3.4 Kalat 地区空中探查测线配置图

4.4 弾性波探査

(詳細は、VOLUME II APPENDIX)

4.4.1 探査概要

空中探査現地作業において地下水開発が有望と概定された地点の基盤層を確認する目的で、弾性波探査を下記要領で1986年11月～12月に実施した。

- a. 探査は屈折法とする
- b. 探査測線は下記3本とする (図 4.4.1および 4.4.2)
 - Quetta A 測線 : 2,200m
 - Quetta B 測線 : 1,500m
 - Kalat 測線 : 2,300m
- c. 使用ダイナマイト : WABox 80%, 200kg
電気電管 : No.8, 500個

4.4.2 探査結果

(1) Quetta-A 測線

弾性波速度により地盤は5層に区分され、第1層から第4層までが、第四紀の未固結層に、第5層が中生層の Chiltan石灰岩の基盤岩と判定される。基盤までの深度は概ね 200～250mである。

(2) Quetta-B 測線

地盤は、4層に区分され、第1層から第3層までが、第四紀の未固結層に、第4層が第三紀層、または中生層に相当する基盤岩と判定される。基盤中の速度が全体的に低速度であり、これは比較的新しい時代の第三紀層があるためか、または風化帯、亀裂帯の存在に起因しているものと考えられる。基盤までの予想深度は 150mである。

(3) Kalat 測線

地盤は、4層に区分され、第1層から第3層までが第四紀の未固結化層

に、第4層が第三紀または中生層に相当する基盤岩と判定される。基盤中の速度が全体的に低速度であり、これは比較的新しい時代の第三紀層があるためか、または風化帯、亀裂帯の存在に起因しているものと考えられる。基盤までの深度は比較的浅く深い所で70mである。

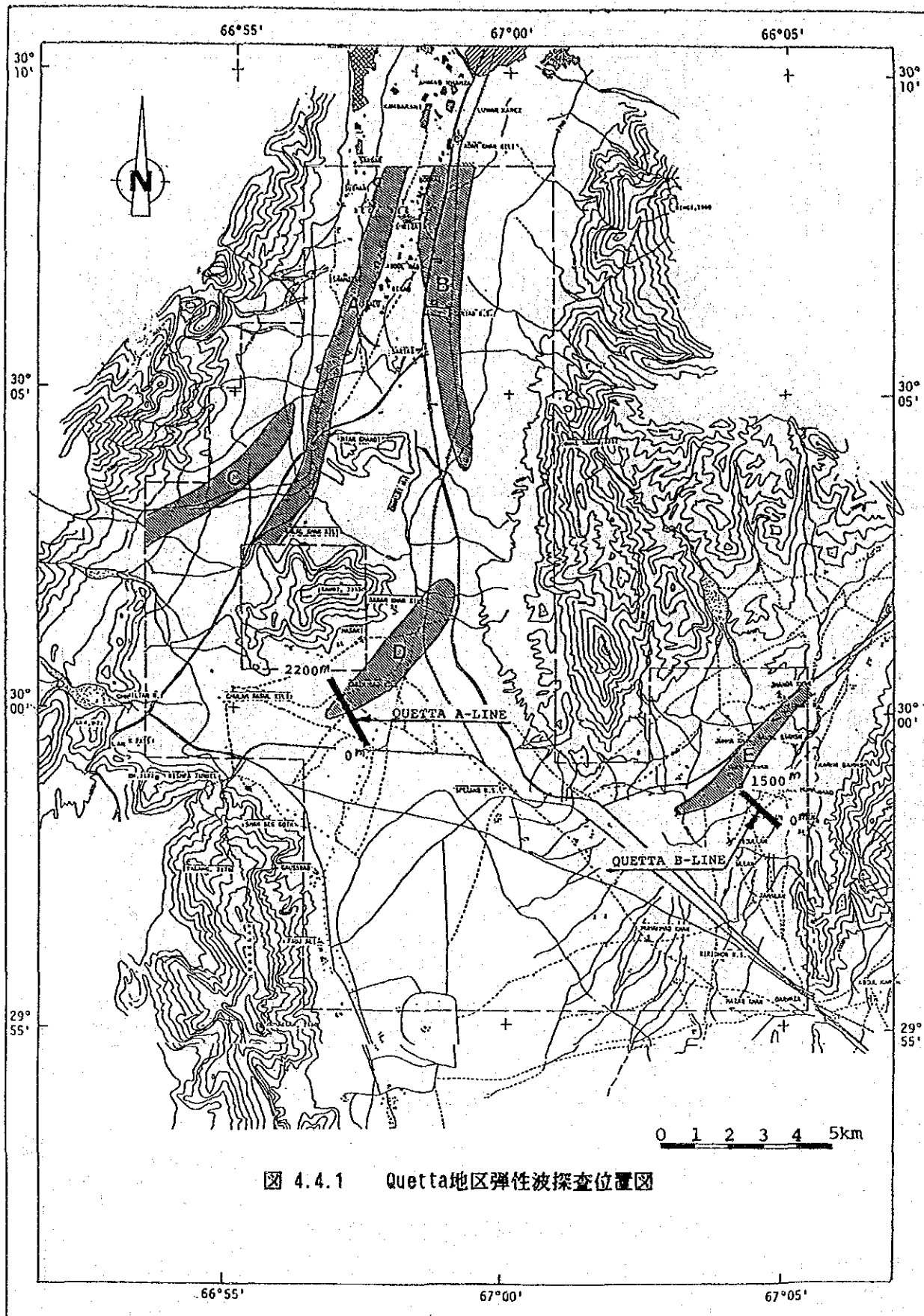


图 4.4.1 Quetta地区弹性波探查位置图

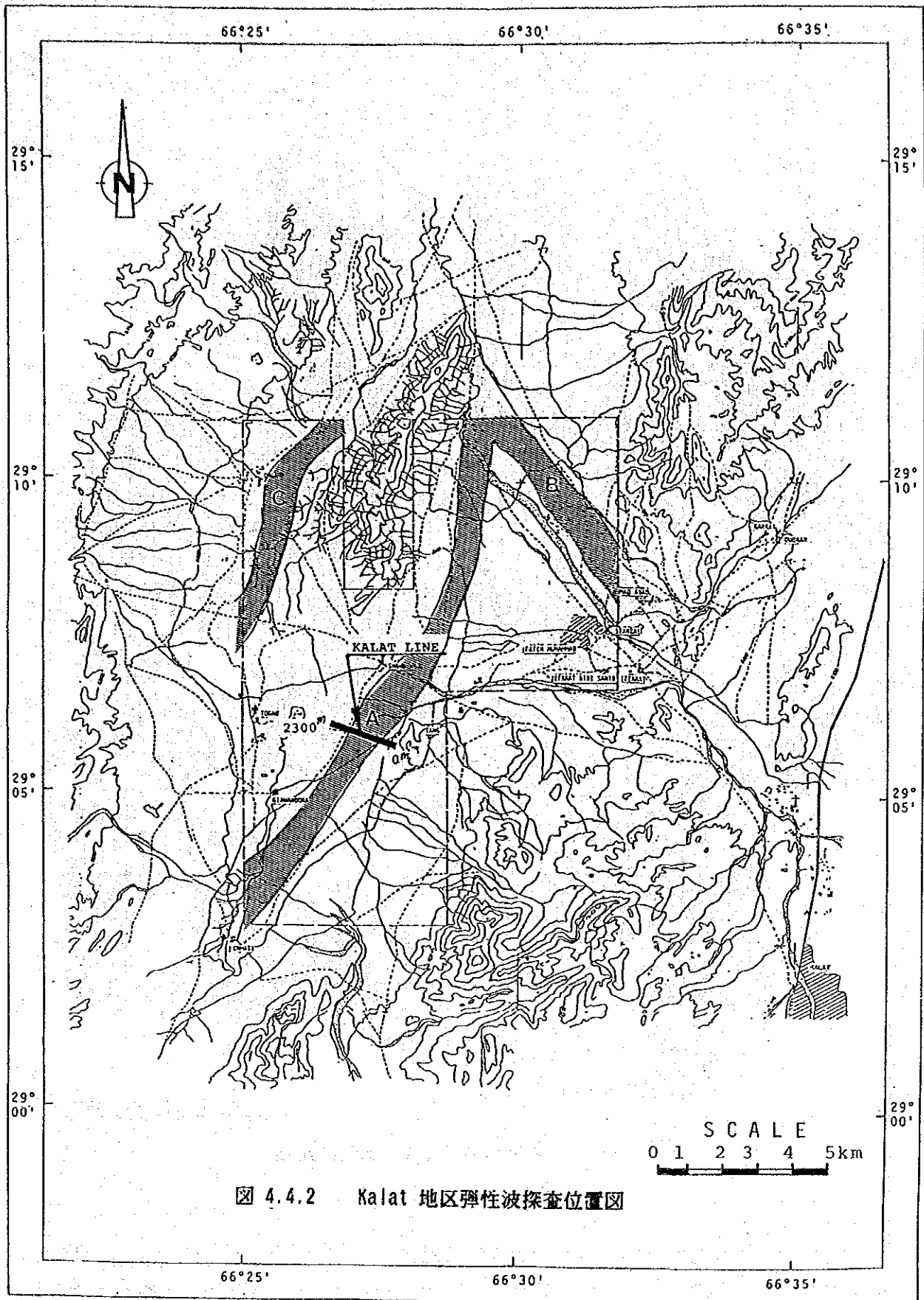


图 4.4.2 Kalat 地区弹性波探查位置图

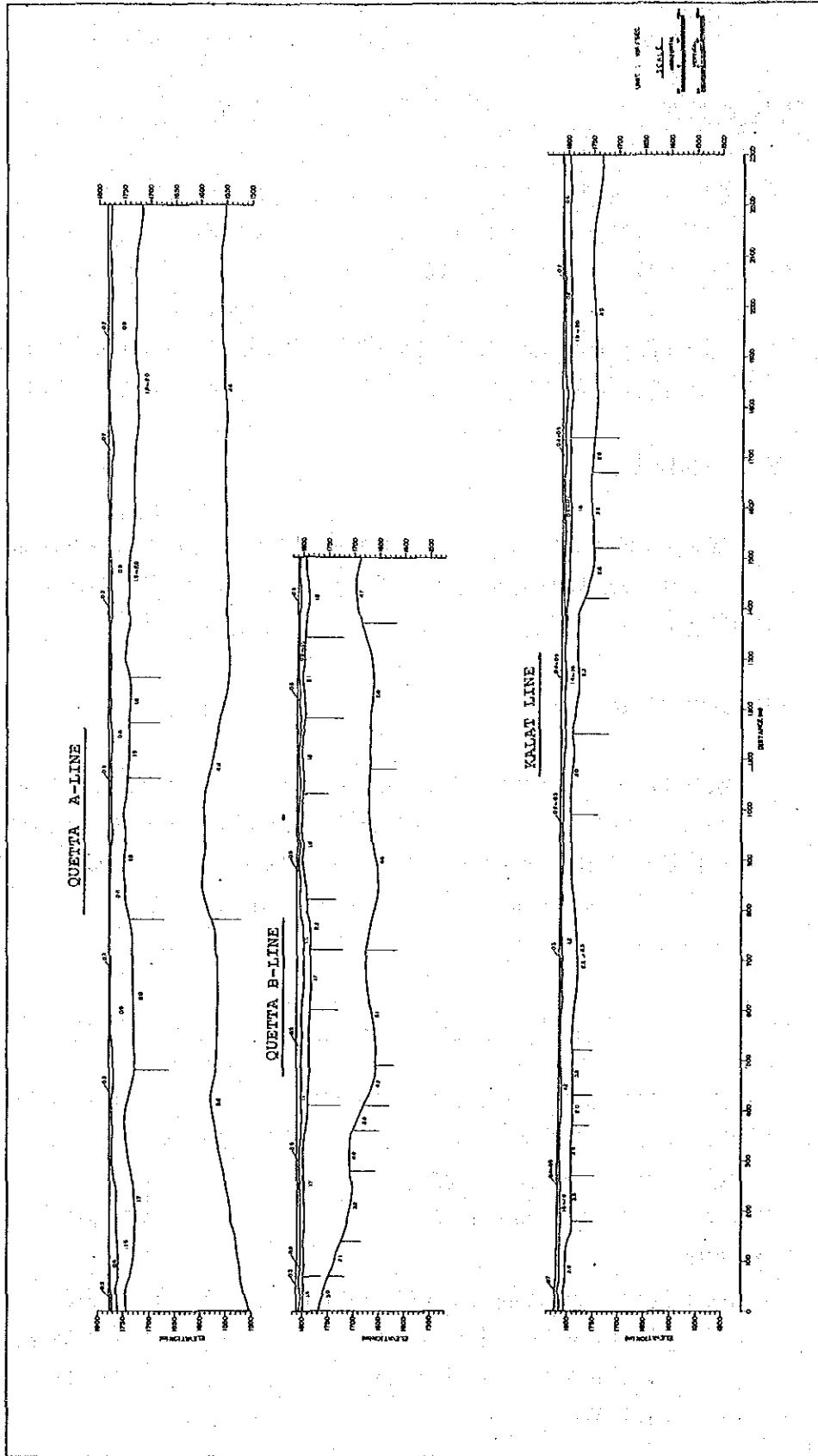


图 4.4.3 弹性波速度分布图

4.5 試験井調査

4.5.1 調査概要

(1) 目的

試験井作業の目的は、第1次調査で行われた空中ガンマ線探査により検出された結果を確認し開発計画の基とするために行われたものである。

(2) 実施機関

試験井工事のすべては、JICAチーム補佐のもとにQuettaのWAPDA 地下水調査事務所とBaluchistan 政府が、日本政府より無償供与された2台の掘削機によって実施されている。

(3) 試験井位置の設定

試験井位置は、空中ガンマ線探査結果の検証のため、空中ガンマ線探査で判明した地下水脈のなかで、将来のかんがい開発の可能性、既存試験井調査結果の補完の必要性等を考慮して、現地政府とJICA調査団との現地調査の後、両者協議のうえ選定された。それらは、次の7地点である（図 4.5.1および 4.5.2参照）。

水脈名	位置	試験井番号
<u>Quetta地区</u>		
A水脈	Bala Khan 部落の北北東 1,000m	QT-JICA-4 *
B水脈	国道55号と鉄道との交差点から北北東 1,500m	QT-JICA-3 *
D水脈	Karam Dad 部落の南東端	QT-JICA-2
E水脈	Rasul Bakhsh部落の西 600m	QT-JICA-1
<u>Kalat 地区</u>		
A水脈	Shahr Haji 部落の東南東 1,000m	KL-JICA-1
B水脈	Kallu 部落の東北東 1,000m	KL-JICA-2
D水脈	Dallo 部落の南東 1,000m	KL-JICA-3

(注) * 暫定井戸番号

(4) 試験井内容

1) KL-JICA-1

掘削深度 : 300 m (パイロット孔径 : $8\frac{3}{4}$ ")
ケーシングプログラム : 0 ~ 104 m $\phi 10$ " スチール・パイプ・ケーシング
104 ~ 300 m 裸孔
ストレート深度 : 48 ~ 54 m
60 ~ 66 m 挿入延長合計 12 m
静水位 : 57.0 m
産水率 : $1.5\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$

2) KL-JICA-2

掘削深度 : 300 m (パイロット孔径 : $8\frac{3}{4}$ ")
ケーシングプログラム : 0 ~ 107 m $\phi 10$ " スチール・パイプ・ケーシング
107 ~ 300 m 裸孔
ストレート深度 : 47 ~ 53 m
56 ~ 62 m
64 ~ 97 m 挿入延長合計 45 m
静水位 : 44.1 m
産水率 : $17\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$

3) KL-JICA-3

掘削深度 : 300 m (パイロット孔径 : $8\frac{3}{4}$ ")
ケーシングプログラム : 0 ~ 120 m $\phi 10$ " スチール・パイプ・ケーシング
120 ~ 300 m 裸孔
ストレート深度 : 54 ~ 57 m
61 ~ 67 m
69 ~ 93 m
95 ~ 104 m
104 ~ 110 m 挿入延長合計 45 m
静水位 : 51.7 m
産水率 : $78\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$

4) QT-JICA-1

掘削深度 : 205 m (パイロット孔径: 8³/₄")
ケーシングプログラム : 0~135 m φ10" スチール・パイプ・ケーシング
135~205 m 裸孔
ストレーナ深度 : 不挿入
静水位 : 100.0 m

5) QT-JICA-2

掘削深度 : 263 m (パイロット孔径: 8³/₄")
ケーシングプログラム : 0~160.5 m φ10" スチール・パイプ・ケーシング
160.5~247.9 m φ6"
スチール・パイプ・ケーシング
ストレーナ深度 : 162.20~169.51m
171.95~174.39m
176.83~184.15m
190.55~202.74m
207.62~210.06m
213.11~215.55m
217.99~232.62m
234.45~236.89m
239.33~241.77m 挿入延長合計 53.4 m
静水位 : 65.0 m

6) QT-JICA-3

掘削深度 : 300 m
生産井として採用せず

7) QT-JICA-4

掘削深度 : 230 m (パイロット孔径 : 8³/₄")

ケーシングプログラム : 0~122.5 m φ10" スチール・パイプ・ケーシング
122.5 ~228.1 m φ6" スチール・パイプ・ケーシング

ストレーナ深度 : 89.12~ 94.00m

98.00~102.88m

112.56~115.00m

117.60~122.48m

128.40~133.28m

137.50~142.38m

150.00~162.20m

166.00~175.76m

211.00~223.20m 挿入延長合計 70.76m

静水位 : 65.0 m

産水率 : 未実施

4.5.2 調査結果

(1) KL-JICA-1 (図 4.5.3の柱状図参照)

掘削による地質は、地表から69mまで第四紀の礫の多い地層が続くが、それから粘土に変わり103mから基盤に入る。基盤岩は時々薄い石灰石を挟む頁岩優勢の非常に軟弱な地層で、300mの掘止めまで続いている。掘削中におけるコンプレッサーによる採水試験では、ごく微量の湧水徴候しか得られなかった。これは上部第四紀層が浅いため地下水の溜りが少なかったこと、それと基盤頁岩優勢層が軟弱であったため、亀裂に目詰まりが生じたことと、石灰岩の発達が少ないことに起因したとみられる。最終の水位上昇観測試験から、本井の産水率は $1.5\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$ と推定される。

(2) KL-JICA-2 (図 4.5.4の柱状図参照)

本井の地質は、地表から93mまで第四紀の礫層が続き、それから粘土優勢層に変る。それから150mで基盤に入り、160m付近で8mの石灰岩を挟むものの、あとは頁岩優勢層で300mの掘止めまで続く。このあとの採水試験において、上部礫層が良好な採水量を示し、最大25gpm(95ℓ/min.)を記録したが、基盤の160m付近の石灰岩は0であった。これは上部の第四紀層は地下水に対して良好な環境にあるが、基盤の石灰岩は十分に発達していないためと考えられる。最終の揚水試験から $17\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$ の産水率を得た。

(3) KL-JICA-3 (図 4.5.5の柱状図参照)

掘削による地質では、地表近くから108mまで礫優勢層が続き、それから粘土に変る。186mで再び礫があらわれ、205mで基盤の石灰岩に入り220mまで続く。それから頁岩優勢層になり、300mの掘止めまで続いている。このあとの採水試験では、上部礫層は最大35gpm(132ℓ/min.)の良好な結果を示したが、下部の190m付近の礫層は微量であり、基盤の石灰岩では0であった。これは第四紀上部層は良好な帯水層であるが、下部の石灰岩は発達の不十分によるためと見られる。最終の揚水試験からは $78\text{ m}^3 / \text{d} / \text{m}$ の良好な産水率を得た。

(4) QT-JICA-1 (図 4.5.6の柱状図参照)

本井の地質は、地表近くから 105mまで第四紀の礫優勢層が続き、それから基盤の石灰岩に入る。この石灰岩は 205mの掘止めまで続いている。そのあとの採水試験は基盤岩中で行われ、最大20gpm(76ℓ /min.)の良好な徴候を示している。最終揚水試験は、揚水ポンプの入手困難のため未実施。

(5) QT-JICA-2 (図 4.5.7の柱状図参照)

掘削による地質では、地表から 163mまでほとんど粘土層が続く。それから基盤の石灰岩に入り、263mの掘止めまで続いている。そのあとの採水試験では基盤中から最大35gpm(132ℓ /min.)の優秀な徴候を示している。最終揚水試験は、揚水ポンプの入手困難のため未実施。

(6) QT-JICA-3 (図 4.5.8の柱状図参照)

掘削による地質では、地表から25mまでの範囲が礫層で被れている。地表面から25mまでの間は、粘土と礫の互層となっているが、更に264.0 mまでは、一部206.0 m付近で6 mの粘土/礫層を挟むものの他は、粘土層で満たされている。この後、掘止めまでは粘土優勢層の中に礫が時々薄い層をなしている。

(7) QT-JICA-4 (図 4.5.8の柱状図参照)

本井の地質は、地表面より125.0 mまでの間で、粘土と礫の互層となっている。125.0 mより基盤の石灰岩になる。この基盤は時々頁岩を挟みながら掘止めまで続く。

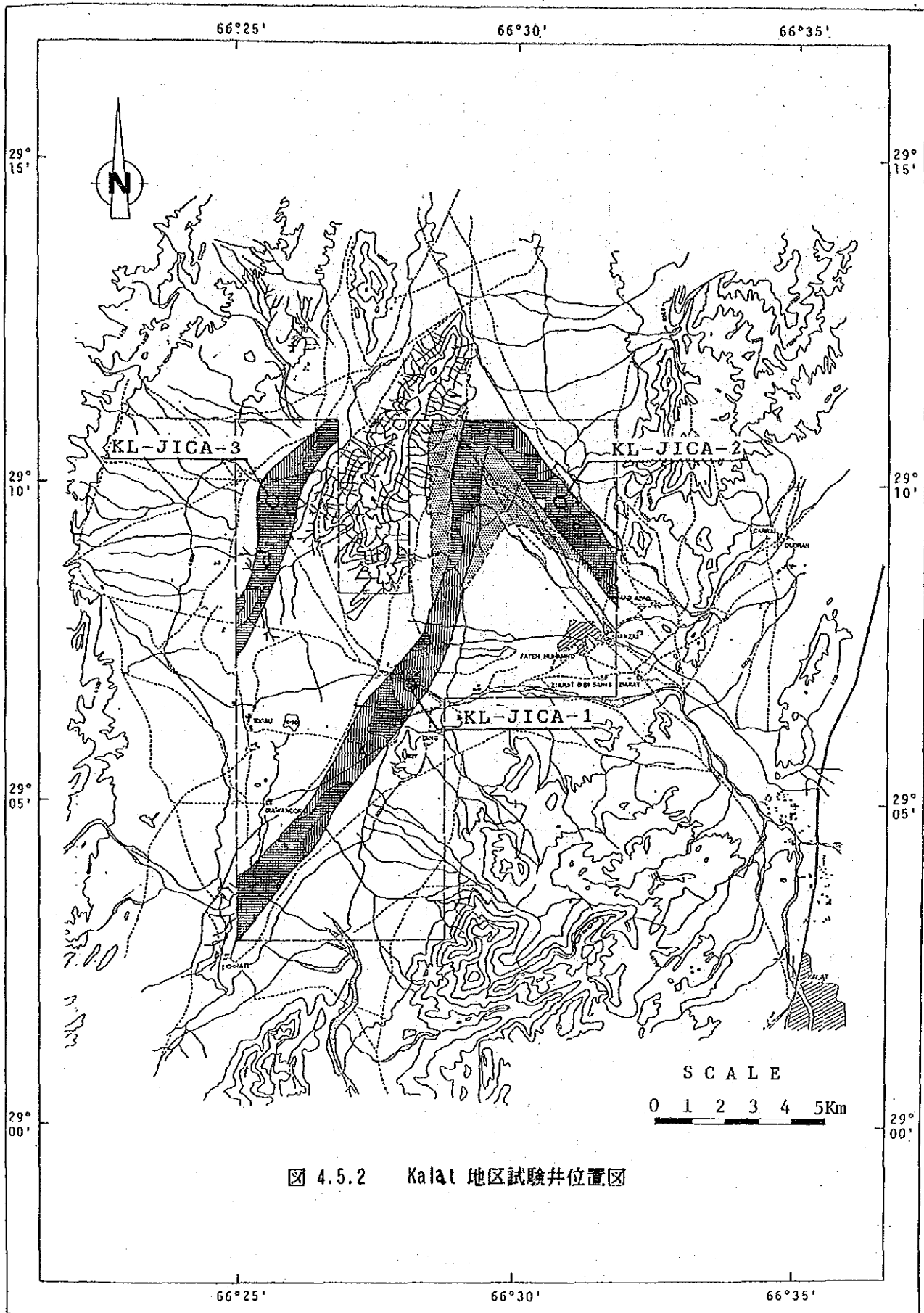


图 4.5.2 Kalat 地区试验井位置图

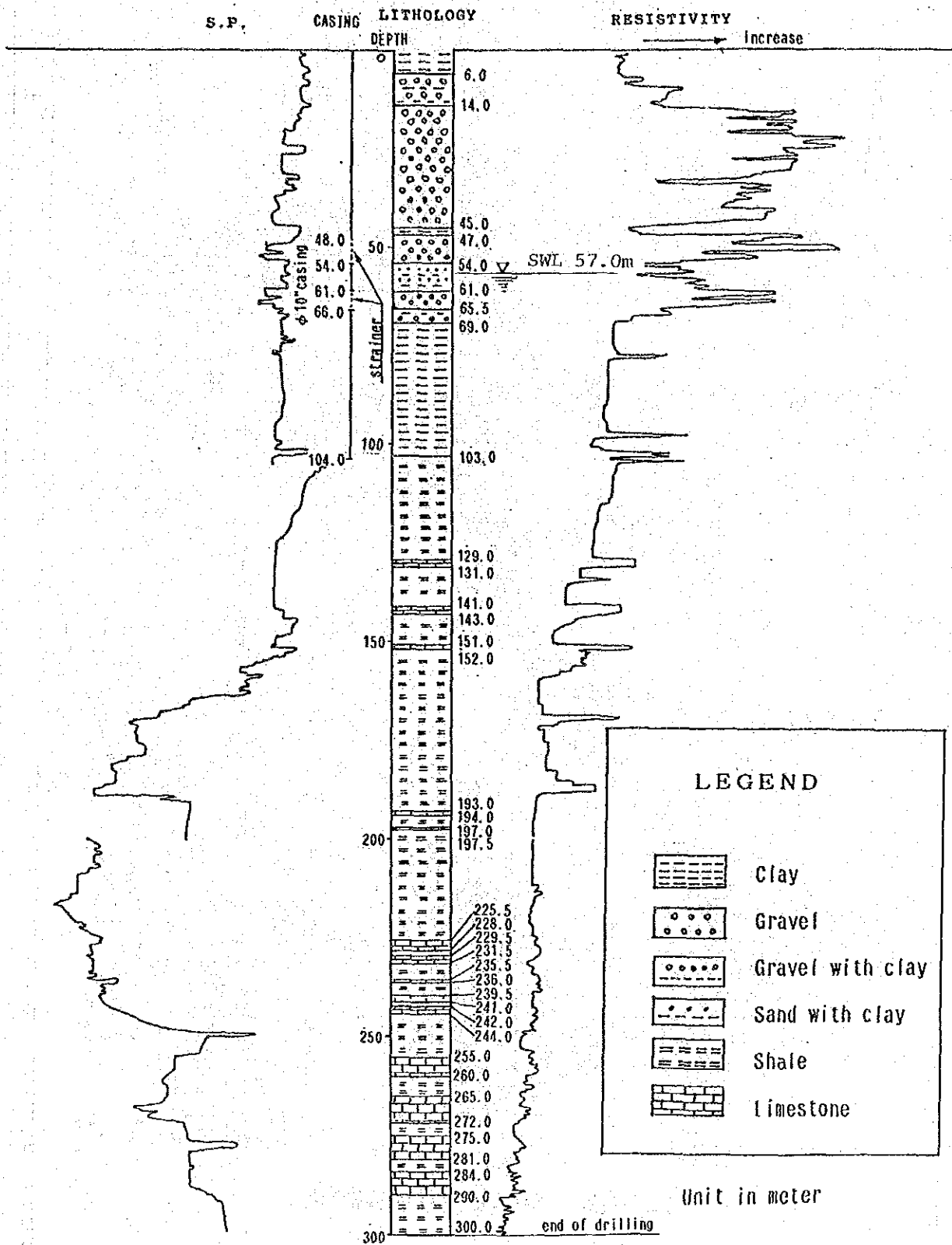


図 4.5.3 KL-JICA-1 柱状図及び電気検層

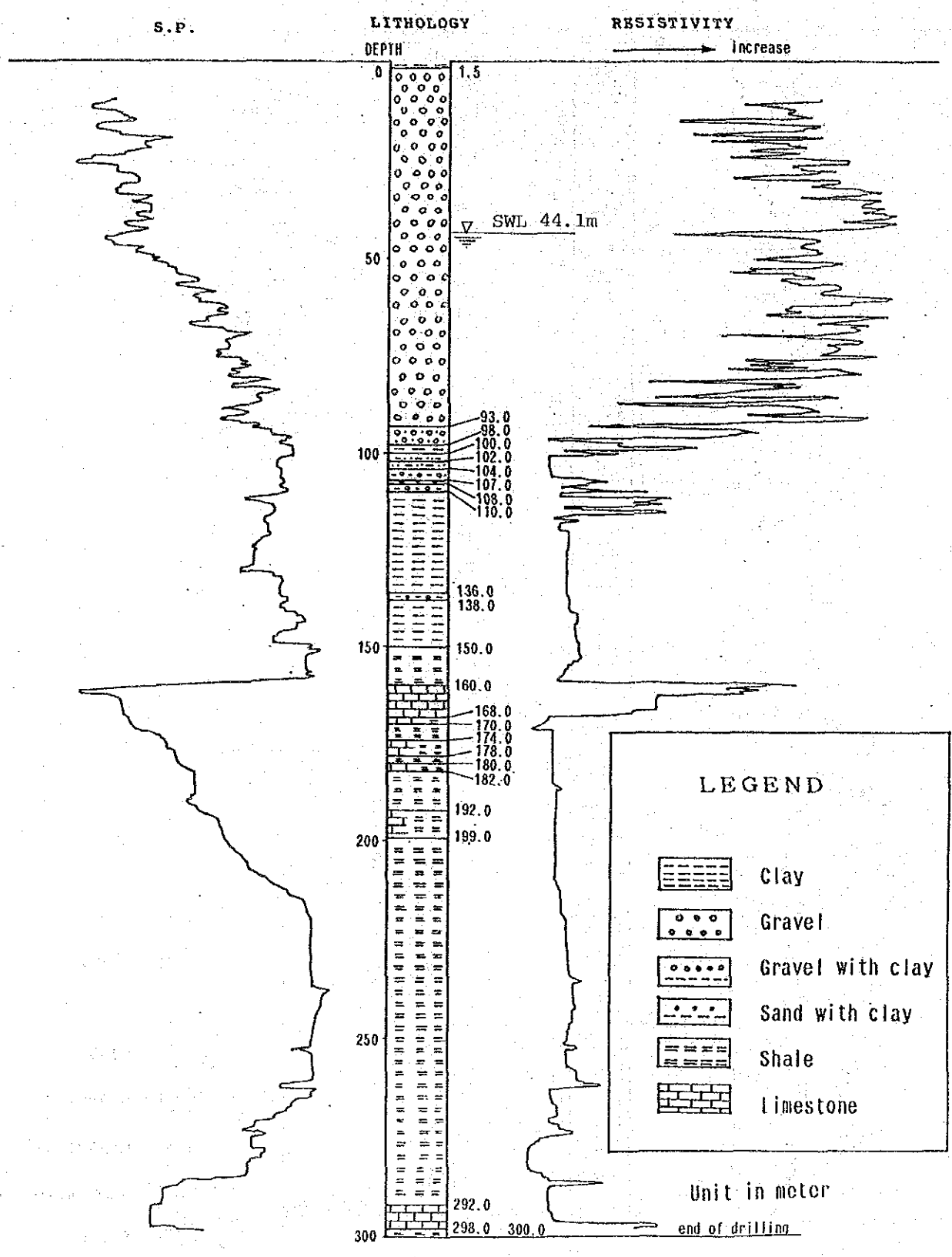


図 4.5.4 KL-JICA-2 柱状図及び電気検層

S.P.

LITHOLOGY

RESISTIVITY

DEPTH

→ increase

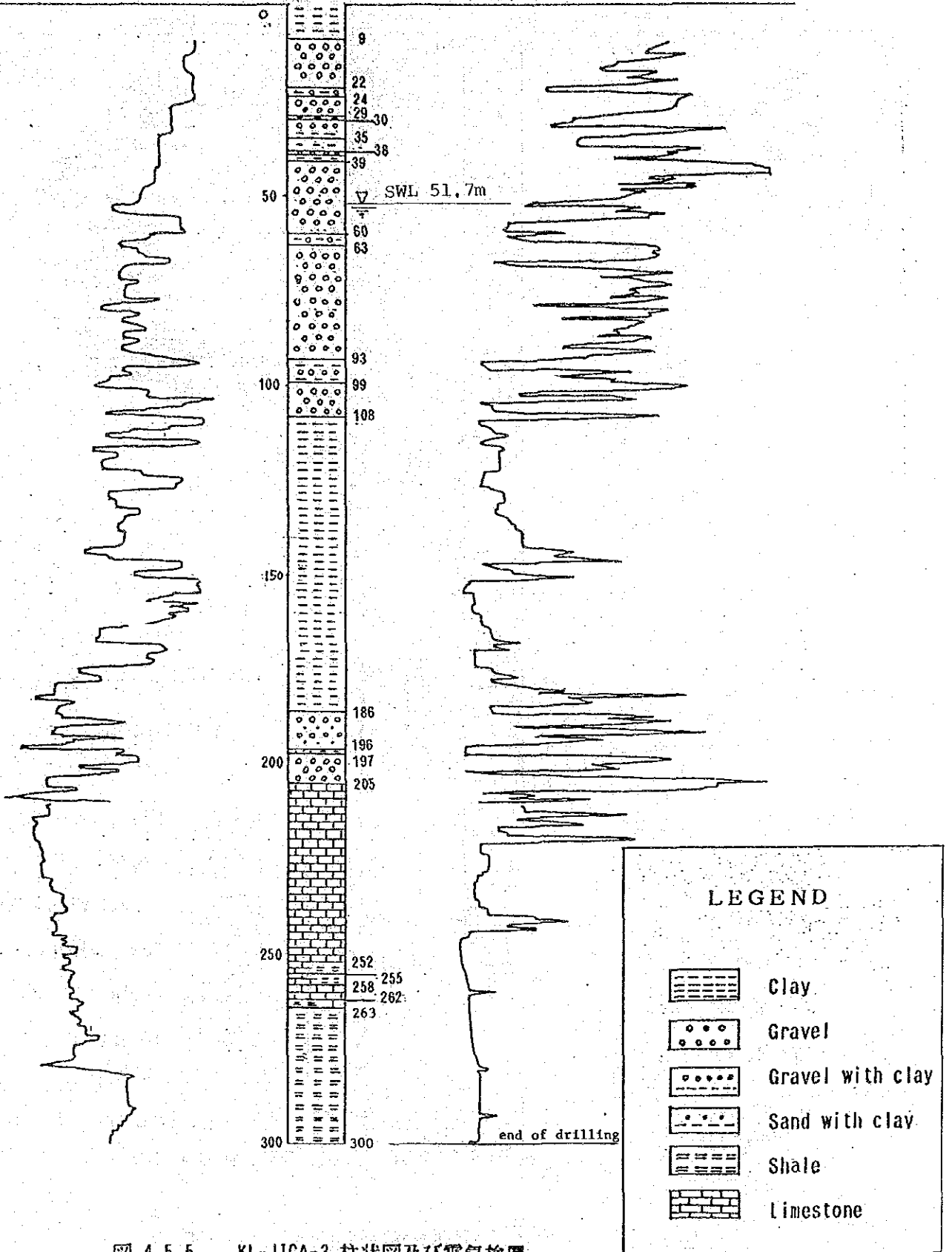


図 4.5.5 KL-JICA-3 柱状図及び電気換層

Unit in meter

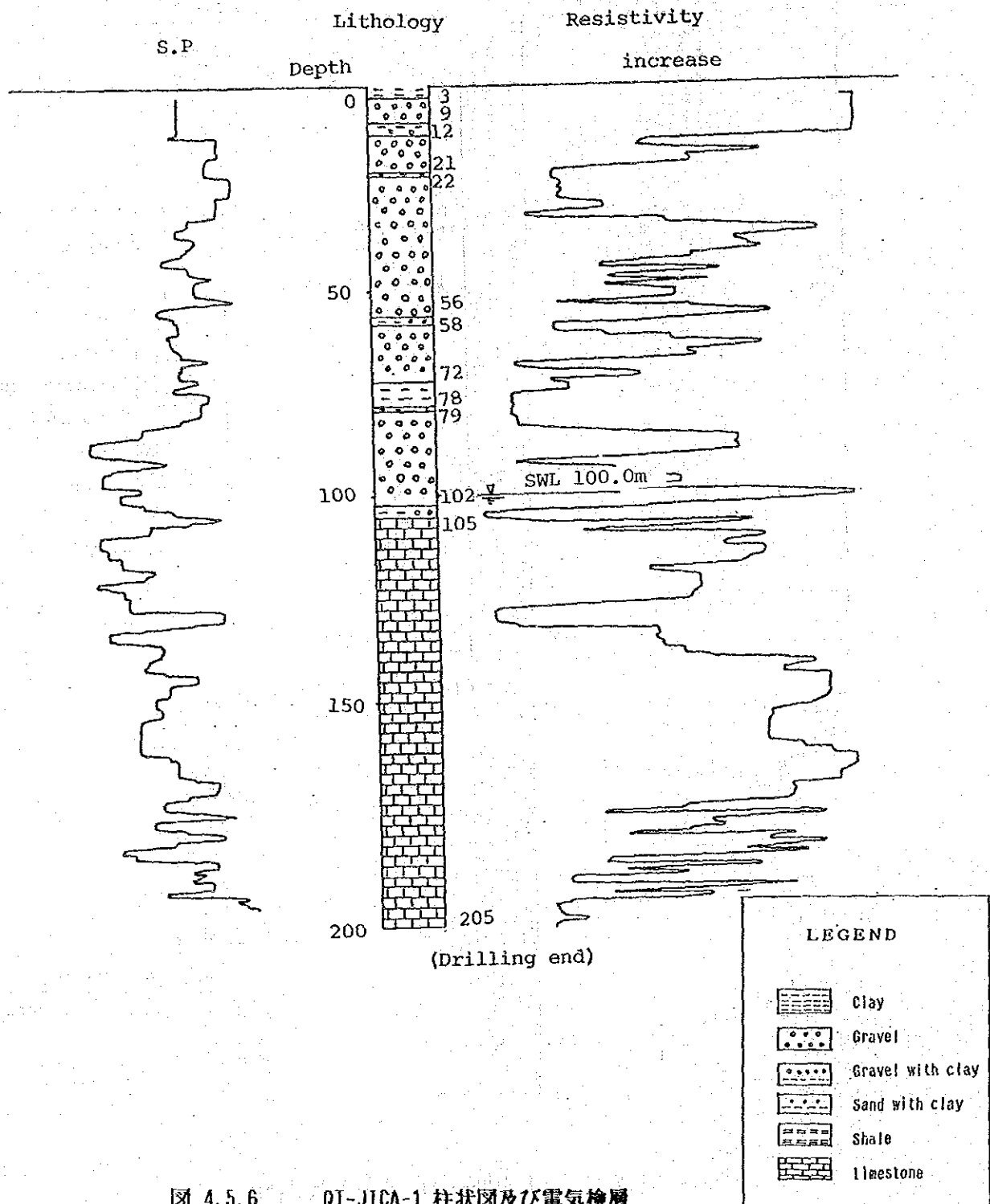


図 4.5.6 QT-JICA-1 柱状図及び電気検層

Unit in meter

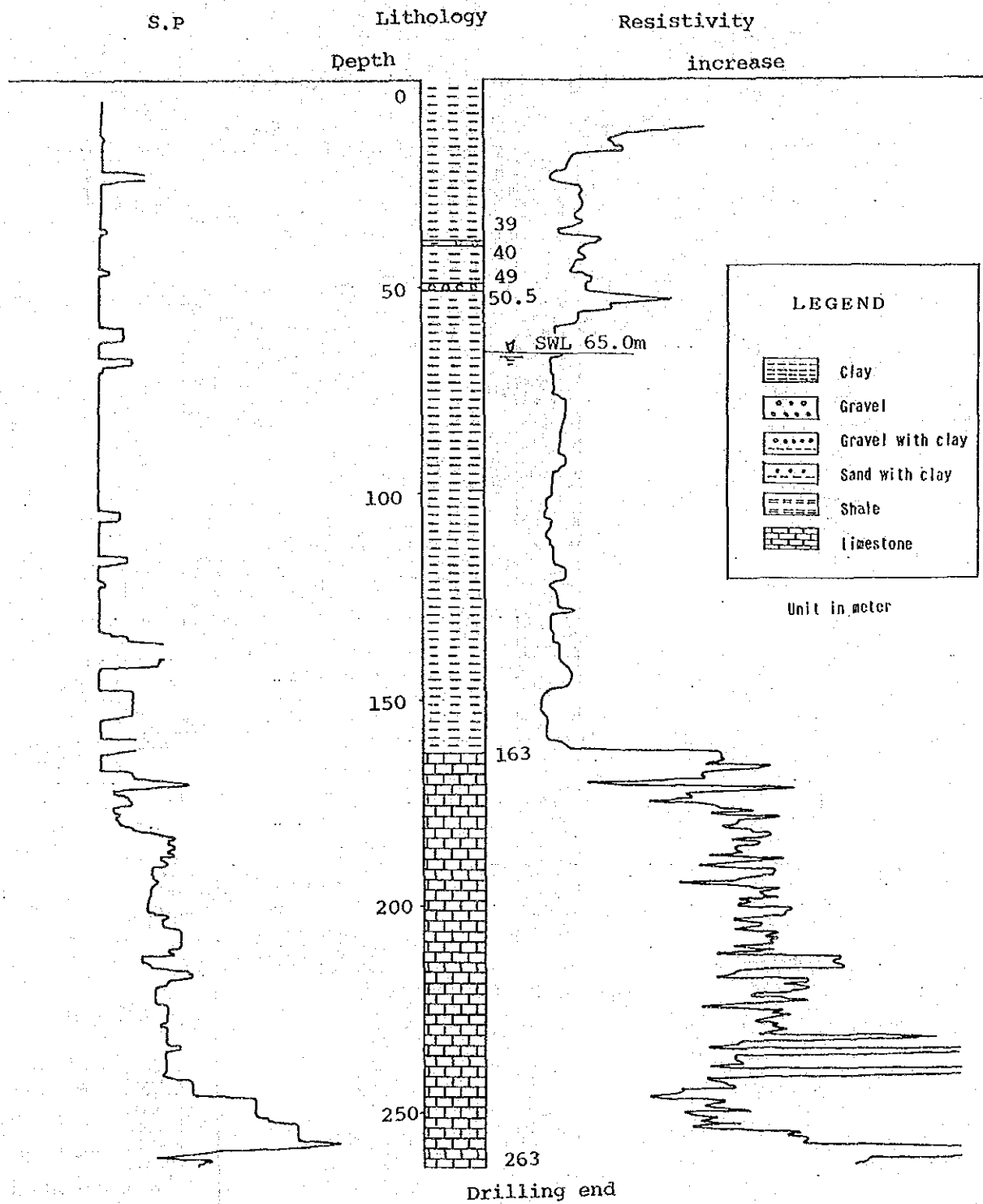


図 4.5.7 QT-JICA-2 柱状図及び電気検層

QT-JICA-3
(VEIN-B)

QT-JICA-4
(VEIN-A)

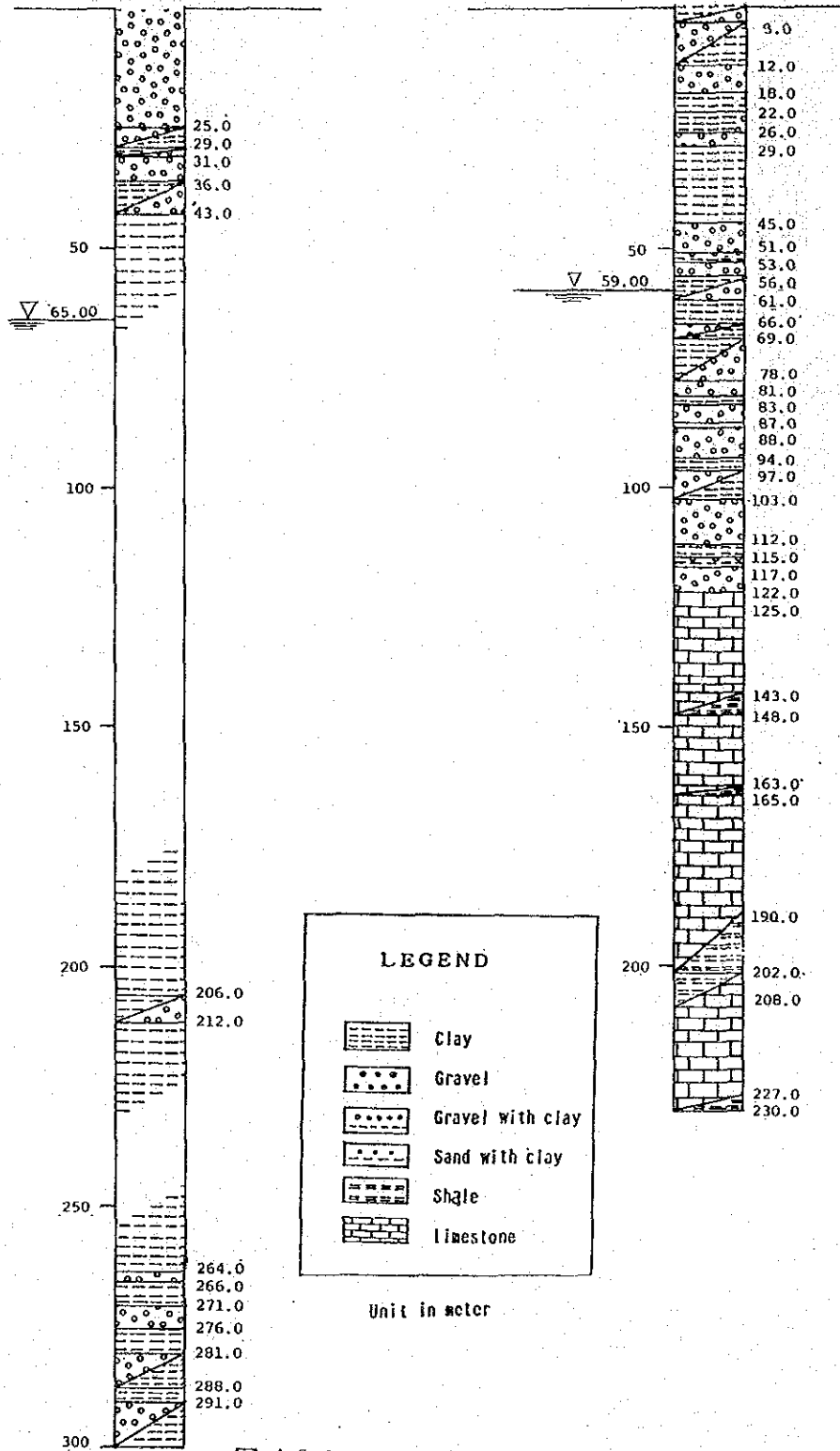
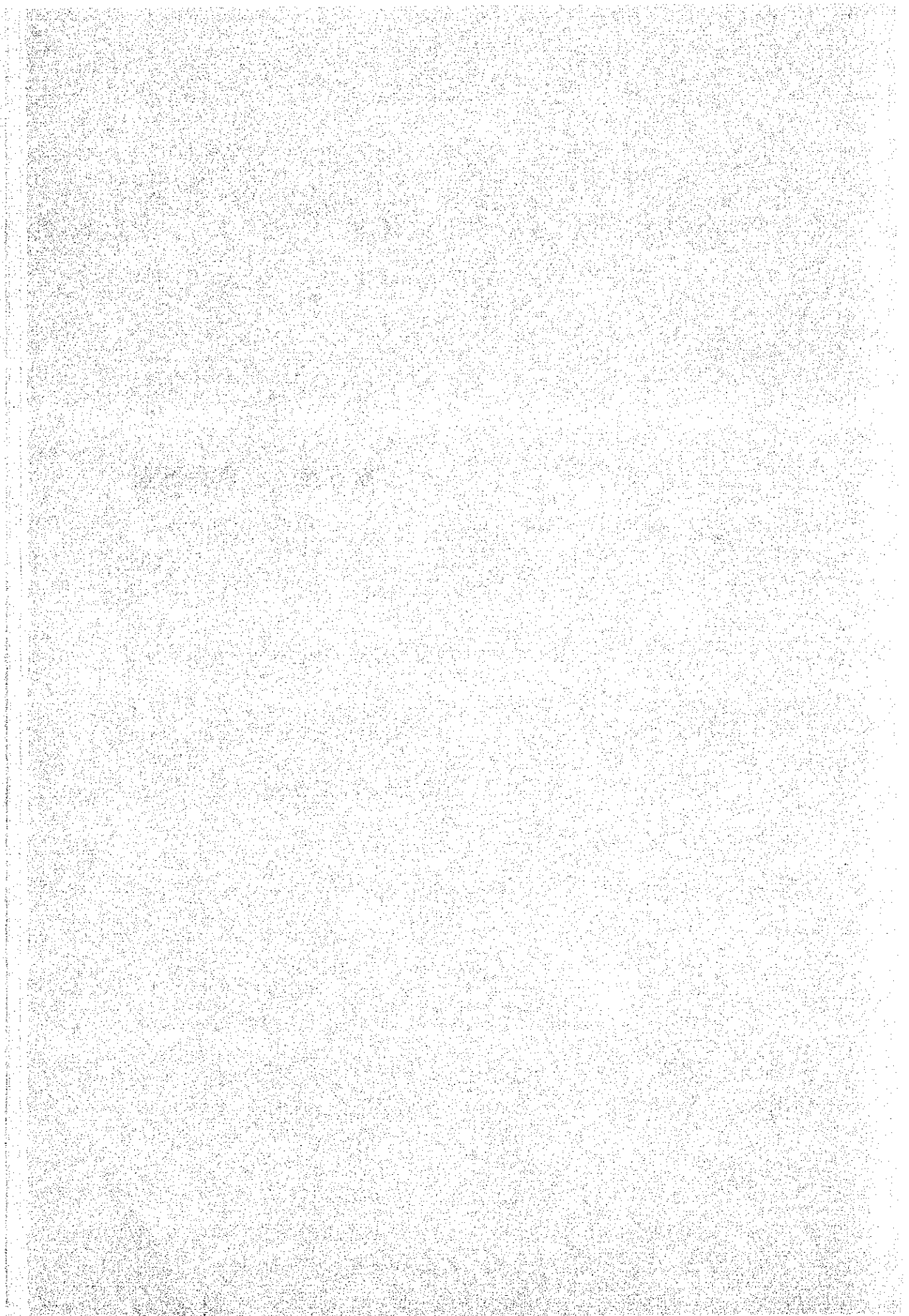


图 4.5.8 QT-JICA-3 / QT-JICA-4 柱状图

第5章 事業計画



第5章 事業計画

5.1 事業の目的

調査地区は、地力は豊かであるにもかかわらず、現在農業の低生産性と生産の不確実性から、農業活動の低迷が続いている。その主な原因は以下のように考えられる。

- (1) かんがい水の不足
- (2) かんがい方法の貧困
- (3) 栽培方法の貧困
- (4) 農産物の物流システムの未整備

当事業の目的は、計画地区にかんがい農業を導入し、輸送・流通システムの改良を行ない、低迷する計画地区の農業および農民の生活レベルの向上を計るものである。

ここで計画されるかんがい開発事業は、今後のBaluchistan 州の乾燥地域の開発計画のモデルとなるものである。

5.2 かんがい開発事業の基本方針

5.2.1 かんがい開発基本構想

当かんがい開発計画は、次のような開発基本構想に基づき計画されている。

(1) 地下水開発

流動性地下水の開発を主眼とし、停滞性地下水はあくまで補助的な供給地下水として考える。

(2) 土地利用計画

- a. かんがい開発地区は、計画チューブウェルの近傍とする。
- b. 一本の井戸でかんがいされる土地を単位かんがい団地とする。
- c. 排水不良地区は、計画開発地区から除外する。

(3) かんがい／排水計画

- a. かんがい施設は、将来の営農システムを考慮して、維持管理費の安い操作の簡単な構造とする。
- b. 節水かんがい方式の採用に十分留意する。
- c. 基本的には導水は、開水路によるが、用水の水路ロスを考慮してライニング水路とする。
- d. 流域を対象とした洪水対策は考えない。営農条件を考慮して、農地レベルでの排水のみを検討する。

(4) 農村基盤整備

- a. 農村基盤整備として農道整備とともに、地区幹線道路（国道・県道）から計画地区への開拓道路の整備をする。
- b. 農村飲料水供水施設を、かんがい水源施設と関連させて計画する。
- c. 配電工事は、揚水ポンプの経済的動力源ならびに農村電化の促進を考え計画する。

(5) 営農計画

- a. 節水かんがい技術の導入

b. 農業普及活動の強化

c. 栽培作物の多様化、作物生産の安定化ならびに集約栽培と増産

d. 下記事項を考慮し、適切な作付作物の選定を行なう

- ・市場価値の高いこと
- ・単位生産量の高いこと
- ・庭先価格の高いこと
- ・輸送費の安いこと
- ・栽培しやすいこと
- ・従来から栽培していた作物であること

5.2.2 開発予定地の選定

空中ガンマ線探査の解析結果、弾性波探査結果、既存井調査および既存資料の解析結果を基にして地下水開発の可能性の高い地域を設定した後、下記事項を考慮して、かんがい開発可能地区よりかんがい開発地区を選定する。

- － 土壌適性
- － 土地傾斜
- － 現在の洪水域
- － 地区の広がり具合
- － 地区への道路条件
- － たん水、浸蝕に対する安全度
- － 水質

空中選択ガンマ線探査、既存井調査、水収支、地形、土壌ならびに現時点までの試験井調査結果を考慮に、暫定的に開発予定地を図 5.2.2に示すように地下水開発・農業開発のポテンシャルの高いと判断されるQT-D、QT-E、KL-BならびにKL-C地区とする。

5.2.3 地下水開発計画

(1) 要 旨

第4章 4.2.2で述べたように、Quetta地区北部は水収支的にみて、現在すでに揚水過剰気味であり、将来の地下水開発は慎重に考える必要がある。その他の地域については、まだ開発は不十分で特に開発上の問題はない。

最終決定された利用可能量、地下水脈をもとに営農・かんがい計画に見合う地下水開発を計画する（図 5.2.3参照）。

(2) 開発水量の決定

第4章 4.5.2で述べたように、KL-JICA-1 は思わしい結果は得られなかった。KL-JICA-2 はまずまずの結果であり、KL-JICA-3 はかなりの水量を得ることができた。

しかし、Kalat 地区は現在までの試験井経過、既存電探資料から判断して、KL-B、KL-C水脈の北部地区が開発の対象になると判断される。

現時点でのQuetta地区のQT-D、QT-E水脈、Kalat 地区におけるKL-B、KL-C水脈に対する地下水開発の概要は、表 5.2.1の通りである。

表 5.2.1 開 発 計 画 水 量

(Q /sec)

地 区	QT-D	QT-E	KL-B	KL-C	合 計
水 脈	D	E	B	C	
井 戸 数 ^{1/}	4	5	4	3	
一井当り水量	15 ^{2/}	5 ^{2/}	5	15	
合 計 水 量	60	25	20	45	150

(注) ^{1/} : テストボーリング4本を含む(各地区1本)

^{2/} : 揚水試験未完了のため、エヤ・リフト試験結果から推定した。

各水脈の計画揚水量は、表 4.2 1の現在の水収支に照し合せて、次の表 5.2.2の如くになり、各地区ともすべてプラスの中に入る。

表 5.2.2 開発に伴う水収支

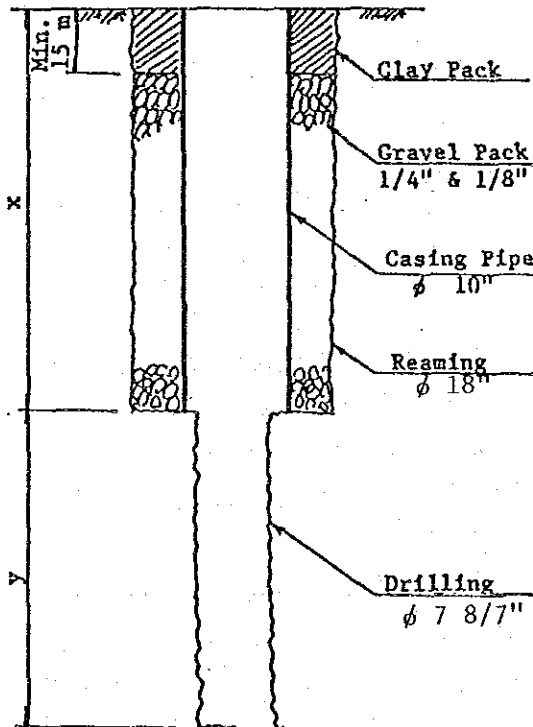
(m³/day)

No.	項 目	QT-D	QT-E	KL-B	KL-C
1	補 給 水	4,679	17,111	78,971	65,884
2	未利用地下水	4,632	16,853	57,829	64,651
3	計画揚水量 1/	3,888	1,620	1,296	2,916
4	水 収 支	744	15,233	56,533	61,735
5	4 / 1 (%)	15.9	89.0	71.6	93.7

1/: 1日18時間運転とする。

(3) 生産井戸の設計

各地区の生産井の掘削設計は次の通りである。



Area	x (m)	y (m)	合計 (m)
QT-D	150	100	250
QT-E	100	100	200
KL-B	150	100	250
KL-C	200	100	300

- (注) : 1. 各井のストレーナーパイプは50mを予定する。
 2. 基盤の6" φケーシング挿入は孔内状況により検討される。

5.2.4 土地利用計画

計画地区はQuetta地区ではQT-DおよびQT-Eの2地区であり、Kalat地区はKL-BならびにKL-Cの2地区に区分されている。

各地区には約1 kmの間隔に井戸が設置され、井戸からの揚水量により1井戸当りの開発面積(1ユニット)が決定されるが、試験結果より5、10、15haを考える。

1ユニットの土地利用は次のように区分される。

1. 井戸用地(ポンプ場を含む)
2. ファームpond用地
3. 野菜畑、樹園地
4. 用水路および耕作道

また、ユニットとユニットを結ぶ農道と、この農道と国道または主要地方道とを連結する連絡道を整備新設して、農業投資資材および生産物の輸送を円滑にする。

5.2.5 かんがい排水計画

(1) かんがい水量

1) 決定方法

かんがい水量は、単位作物必要水量(作物必要水量-有効雨量)にかんがい効率を乗じて求める。作物必要水量は、以下に示すBlaney-Criddle法^{*1}により算定する。Blaney-Criddle法は、温度、風速、日照時間を基にするが、類似の地区及び周辺地区で最も良く使用されてる方法である。

同方法に使用する気象データは調査地区の最新観測値とし、Quetta地区はSpezand、Kalat地区はKalatの観測資料を用いた。

計算の流れは図5.2.4に示す通りであるが、主な計算式は、次の通りである。

*1 FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 24 "Crop Water Requirements", Rome 1977.

$$ET_{crop} = K_c \times ET_0$$

ここに、 ET_{crop} = 作物消費水量 (純かんがい水量) (mm/day)

K_c = 作物係数

ET_0 = Blaney-Criddle法で求めた蒸発散量 (mm/day)

2) 作物消費水量 (ET_{crop})

Blaney-Criddle法による蒸発散量は下表のようになる。

表 5.2.3 月別蒸発散量

(Unit: mm/day)

地区 / 月	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Quetta	0.9	1.0	2.0	4.5	6.0	7.7	7.2	6.7	5.2	4.2	1.7	0.8
Kalat	0.8	1.1	2.0	4.0	5.3	7.5	6.6	6.1	4.8	3.6	2.5	1.2

作物消費水量 (ET_{crop}) の算定結果は下表にまとめた。算定の詳細は、APPENDIXに示す。

表 5.2.4 作物消費水量

(Unit: mm/day)

地区 / 月	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Quetta	0.1	0.1	0.7	2.6	3.7	5.0	3.6	4.6	3.7	1.8	0.4	0.1
Kalat	0.1	0.1	0.7	2.1	3.6	4.5	4.3	4.8	2.9	2.0	0.9	0.2

3) 有効雨量

調査地区を包含する西バルチスタン地方の既存調査及び報告書においては、有効雨量の概念を取入れてるものは見当らない。しかしながら、現在の調査地区内の農業は、少ないながらも降雨に依存してるのが実状である。例えば、3月から4月の播種期は、同地区の雨期に該当する。この事から、本調査では有効雨量の概念を取り込む事とした。

a. 確率雨量

かんがい水量は、降雨により全量又は部分が補われる。しかし、年別、期別により降雨は変動する。そこで、計画に用いる確率年を設定する。本調査では、1/5 確率年とした。

年雨量記録を用いて、1/5 確率年の雨量を算定し、長期降雨記録による年雨量と月雨量の比率より、1/5 確率年雨量を月雨量に配分した。

b. 有効雨量

降雨は、流出、浸透及び蒸発により損失して行く。この中で、作物の根群域に貯えられ、栽培に有効に働く有効雨量を算定しておく必要がある。有効雨量の算定は、FAO により提案されてる蒸発散量/降雨量比法により算定した。同法により推定した有効雨量は次表に示す。

表 5.2.5 月別有効雨量

(Unit: mm/day)

地区/月	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Quetta	15.4	13.4	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.5
Kalat	16.1	13.9	11.5	-	-	-	12.5	-	-	-	-	-	54.0

4) 純用水量

純用水量(作物必要水量-有効雨量)は、次表に示すように決定した。純用水量の最大値は、Quetta地区で 5.0mm/day(6月)、Kalat 地区で 4.8mm/day(8月)である。

表 5.2.6 月別純用水量

(Unit: mm/day)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Quetta Etcrop	0.1	0.1	0.7	2.6	3.7	5.0	3.6	4.6	3.7	1.8	0.4	0.1
有効雨量	0.5	0.5	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
純用水量	-	-	0.3	2.6	3.7	5.0	3.6	4.6	3.7	1.8	0.4	0.1
Kalat Etcrop	0.1	0.1	0.7	2.1	3.6	4.5	4.3	4.8	2.9	2.0	0.9	0.2
有効雨量	0.5	0.5	0.4	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-
純用水量	-	-	0.3	2.1	3.6	4.5	3.9	4.8	2.9	2.0	0.9	0.2

5) かんがい必要水量

かんがい必要水量（粗用水量）は、搬送効率（Eb）と圃場内での適用効率（Ea）とから成るかんがい効率（Ei）を考慮して決定する。かんがい効率は、かんがい水量や施設容量及び建設費に大きな影響を与える要因である。搬送効率は、モルタルライニング水路を念頭に搬送距離をも考慮し85%とした。

圃場内適用効率は、水盤法の場合、調査地区周辺では80~95%との報告がある。本調査では、圃場の状況及び管理技術を考慮して90%とした。以上を踏まえ、かんがい効率（Ei）を以下のように決定した。

$$Ei = Eb \times 0.85 = 0.85 \times 0.90 = 0.76 \approx 0.75$$

かんがい水量（粗用水量）は、次式によって求められる。

$$Q = \frac{10 \times ET_{crop} \times A}{3.6 \times Ei \times Ti}$$

ここに、Q = かんがい水量（ℓ / sec）

ET_{crop} = 作物必要水量（mm/day）

Ei = かんがい効率

Ti = かんがい時間（hr）

A = かんがい面積（ha）

ポンプの運転時間は1日18時間とし、圃場内作業時間は1日8時間とした。間断日数は調査地区の土壌有効水分及び実際の間断日数を踏まえて5日とした。圃場の単位は一例として10haとした。

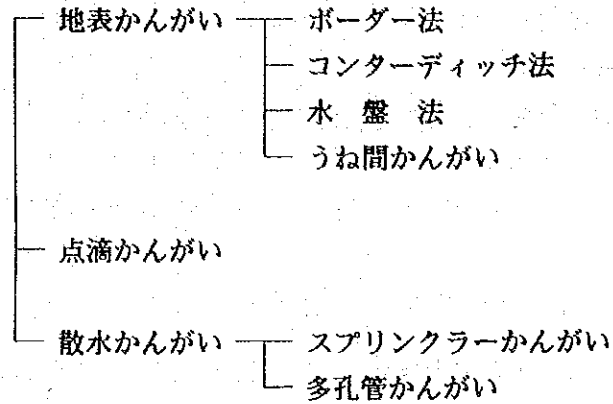
10haの圃場を念頭にした調査地区のかんがい必要水量は以下に示すとおりとなる。

表 5.2.7 最大かんがい必要水量（粗用水量）

Area	ET _{crop} (mm/day)	Ei	A (ha)	Ti (hr)	Q (ℓ / sec)
Quetta	5.0	0.75	10.0	18	Q ₁₈ = 10.2
	5.0	0.75	10.0	8	Q ₈ = 23.1
Kalat	4.8	0.75	10.0	18	Q ₁₈ = 9.9
	4.8	0.75	10.0	8	Q ₈ = 22.2

(2) かんがいの方法

畑地のかんがいの方法には、次のようなものがある。



本計画では、次の理由により、水盤法を採用する。

- a. ボーダーかんがいとうね間かんがいは、多量のかん水量が必要になる。
- b. 多孔管かんがいは、施設費が安価であるが、均等散布ができないため、かんがいの効果、管理に対して不利である。
- c. 固定施設を必要とするドリップかんがいやスプリンクラーかんがいは、野菜と飼料作物等の作付や耕起等の圃場内作業の障害になる。ドリップかんがいは、節水かんがいとしては最も有効であるが、建設費が高価となる。
- d. 一般的に水盤法は、多量のかん水量が必要となる欠点がある。しかし、調査地区内の土壌はシルトが卓越しており、透水係数も $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ ft/min}$ と推定されるため、水管理を十分に行なえば節水が期待できる。更に、水盤法は調査地区内で広く採用され、農民が水管理に十分精通している利点がある。

(3) 排水

厳しい水資源状況の下で、調査地区内の農民は古来から“Sairaba”と呼ばれる節水農法を営んで来た。年雨量も 200mm程度であり、降雨強度も低く、このため調査地区内には排水施設がない。

調査地域内の土壌条件及びかんがい方法を考慮し、ポンプの運転管理ミス又は圃場かんがい操作の誤りから発生する過剰水がかんがいに影響を及ぼす気念はない。この為、本調査では、圃場レベルでの排水施設は特に計画しない。

(4) かんがい施設計画

1) 一般

ファームポンドから圃場までのかんがい施設を、以下の3項目に分け、次項より説明する。

- ファームポンド
- 用水路
- 付帯施設

計画地区のモデル圃場区画は、一律10ha (24.7acres)とした。
モデル圃場区画及び水管理区画は、図 5.2.4に示す。

2) ファームポンド

ファームポンドは、末端での水利用の自由度を確保し、水源施設の操作の円滑化を計り、更には、管理損失水量の軽減を図ることである。実際、調査地区内のインタビューでも、ファームポンドは、圃場作業時間の減少を目的に使用されていた。更に、水源水量及び電力供給の不安定に対処する為、貯水施設として使用されているのが現状である。これらの実情を踏まえ、ファームポンドを以下のように計画する。

a. ファームボンドの容量

ファームボンドの容量は、水源組織容量と末端組織容量との整合を図る事を目的として、以下の式で算定する。

$$V = 3.6 \times Q_p (T_1 - T_2)$$

ここに、 V = ファームボンド容量 (m^3)

Q_p = ポンプ計画吐出量 (l/sec)

T_1 = ポンプ運転時間 (hr) (18時間)

T_2 = かんがい時間 (hr) (8時間)

上式に依ると、Quetta地区とKalat地区のファームボンドの容量は下表のようになる。

必要ファーム・ボンド容量

地 区	Q_p (l/sec)	T_1 (hr)	T_2 (hr)	V (m^3)
Quetta	10.2	18	8	367
Kalat	9.9	18	8	356

b. ファームボンドの構造

ファームボンドの構造として、レンガ積、鉄筋コンクリート、コンクリートライニング、遮水シート構造等が挙げられる。本調査では、施工性、耐久性、資材調達等の点からレンガ敷モルタルライニング構造とする。

c. 付帯施設

ファームボンド付帯施設として、受水槽、取水工を各々設ける。

3) 用水路計画

用水路として水管理区画 (2ha/day) を対象とする幹線水路と各圃区を対象とする支線水路を計画する。用水路は、完成後の水路維持管理の容易性、経済性から、モルタルライニングの開水路とする。

a. 幹線水路

設計流量を $Q = 23.1 \text{ l / sec}$ として計画する。

地形勾配に沿う水路 ($I = 1/300 \sim 1/500$) は、開拓道路に沿う事を念頭にレンガ敷きモルタルライニングとし、その他は、モルタルライニングのみとする。 ($I = 1/500$)。

b. 支線水路

設計流量を $Q = 5.8 \text{ l / sec}$ として計画する。構造は、土水路とする。

4) 付帯施設

付帯施設として、次のような施設及び作業を考える。

- 農道：圃場区画内での農作業を容易にするため、道路配置は幹線道路と支線道路の2タイプとし、砂利舗装とする。
- 分水工：Punjab地方で、計画・実施されたOn Farm Management Projectで採用されているNuccaを用いる。構造はレンガ積モルタル仕上げとする。
- カルバート：農道と水路の交点に設ける。
- 均平工：かんがい効率と均等なかんがいの配分のために、均平工を行なう必要がある。