

第 5 章 気象及び水文解析

第 5 章 気象及び水文解析

5.1. 資料および信頼性

5.1.1. 収集資料

気象及び水文に関する資料は、各方面の関係機関から収集された。それ等の観測所の位置は、図 V-1-1 に示してある。

A. 気象資料

資料資料は、地域気象局(RMC)、WAPDA を始め、北西辺境州の灌漑電力局、パンジャブ州の森林局から収集された。収集された気象項目は次の 6 項目である。

- 気 温
- 相対湿度
- 風 速
- 日照時間
- 蒸発計蒸発量 (Pan-A クラス)
- 降水量

総観気象は地域気象局に所属するチャクララ (イスラマバード空港) と丘陵地のマリー、及び WAPDA に所属するバルコットとラウルダムの 4 地点で観測されている。それ以外の観測所では降水量のみが観測されている。

調査地域では 1866 年に最初の気象観測所がラウルピンディに設置され、1951 年にチャクララへ観測所が移動されるまで観測が続けられた。今回調査では 1890 年からのラウルピンディでの月雨量の資料が入手された。降水量は調査地域内で 37 地点、周辺地域で 27 地点の合計 64 地点の資料が入手された。

B. 水文資料

水文観測は WAPDA、灌漑電力局及び CDA が行っている。調査対象の全ての河川で精度・観測期間はまちまちであるが、何らかの形で水文観測が行われている。これ等の全ての観測資料を入手し、最終的に調査対象河川では 32 箇所の測水所、周辺河川では 4 箇所の測水所から水文資料が入手された。WAPDA 以外の測水所では水位と日流量

のみが観測されているが、WAPDA の測水所では他に浮遊砂と水質も観測している。

水文資料の入手された測水所は以下の表のようにまとめられる。

表V-1-1 測水所カ所数

観測機関	調査対象河川						周辺河川			合計
	インダス	ドール	ハロー	ソーン	ジェラム	計	シラン	カンシ	計	
WAPDA	1	1	7	9	3	21	2	2	4	25
灌漑電力局(F)	-	4	-	-	-	4	-	-	-	4
灌漑電力局(P)	-	-	-	5	-	5	-	-	-	5
CDA	-	-	-	2	-	2	-	-	-	2
計	1	5	7	16	3	32	2	2	4	36

注) (F) 北西辺境州、(P) パンジャブ州

5.1.2. 資料の信頼性

収集された気象及び水文資料の信頼性について、観測方法について関係機関からの聞き取り、観測地点の踏査、資料の解析を通し検討した。その結果、資料の信頼性を次のように判断した。

A. 気象資料の信頼性

地域気象局と WAPDA に所属する総観気象観測所（チャクララ、マリー、バルコット、ラワルダム）の観測資料の精度は非常に高いと評価される。調査地域の代表性と観測期間の長さを考え、沖積平野を代表する地点としてチャクララ、山地を代表する地点としてマリーの気象資料をスタディに使用する。観測期間は一部の気象項目を除き 1954年から1986年までの 33 年間である。

表V-1-2 スタディに使用した気象観測所及び資料

気象項目	観測所及び観測期間	
	チャクララ	マリー
(標 高)	510m (1,670ft)	2,205m (7,236ft)
平均気温	1954~86	1954~86
相対湿度	1954~86	1954~86
風 速	1954~86	1954~86
日照時間	1957~86	観測なし
蒸発計蒸発量	1966~73	観測なし

図 V-1-1 等雨量線及び気象・水文観測所位置図

NORTH WEST FRONTIER PROVINCE

5,000m 0 5 10 15km

Miles 5 4 3 2 1 0 5 10 Miles

34°00'

34°00'

45°

45°

30°

30°

33°15'

33°15'

LEGEND

- Study Area
- River Basin (Study River, Sub-basin)
- Rain Gauge (Selected Key Station, Referred Station)
- River Gauging Station (Permanent, Miscellaneous)
- Isohyet (Annual Precipitation, mm)
- Dam (Proposed, Alternative)
- Diversion Dam (Proposed, Alternative)
- Road
- Railway
- Thiessen Polygon
- Metropolitan Area
- Proposed New International Airport
- Haro River Left Bank Command Area
- Soan River Right Bank Suburban Area
- Haro River Right Bank Command Area (Existing)

PUNJAB PROVINCE

一方、降水観測資料には精度のかなり低いものが含まれており、それ等の精度の概略を知るために図V-1-1に示す年間の等雨量線を作成し、掛離れた数値を示す観測所をオミットすると同時に、地域を代表する降雨観測所を次のように13ヵ所選定した。

この13ヵ所の観測所の資料に基づいて調査地域の面積雨量を算定した。

表V-1-3 代表降雨観測所

降雨観測所	資料期間	資料ベース	欠 測	観測機関	平均年雨量 (mm)
バハタール	1952年9月～68年	月雨量	少	地域気象局	795
バルコット*	1962年10月～79年	日雨量	無	WAPDA	1,364
チャクララ*	1952年～86年	日雨量	無	地域気象局	1,086
ファテジャング	1948年～86年4月	月雨量	1980～83年	森林局 (パンジャブ州)	743
ハリプール	1952年～83年	月雨量	少	地域気象局	820
カクール*	1953年～86年	日雨量	無	地域気象局	1,039
カラール*	1960年7月～80年	日雨量	無	WAPDA	938
カンプール	1954年8月～86年	月雨量	少	地域気象局	1,064
マリー*	1952年～86年	日雨量	少	地域気象局	1,750
パンジャール	1952年8月～68年	月雨量	少	地域気象局	1,300
ラウルダム*	1963年～79年	日雨量	少	WAPDA	1,231
シャーアラディッタ	1953年～68年	月雨量	多	地域気象局	1,036
サルタンプール	1952年9月～68年	月雨量	少	地域気象局	699

上記13降雨観測所のうち、日雨量資料のある6観測所(*印)については、調査地域の河川の流出解析のデータとして使用した。

B. 水文資料の信頼性

水文観測資料の中で、WAPDAの観測資料が最も信頼性が高い。また、WAPDAでは観測精度の基準を次表のように置いて、観測所及び観測年ごとに精度評価を行っている。

表V-1-4 WAPDAの水文観測精度評価基準

精度評価	誤 差
優 秀 (Excellent)	± 2 %以内
良 (Good)	± 2 %～± 5 %
普 通 (Fair)	± 5 %～± 8 %
不 良 (Poor)	± 8 %以上

WAPDA以外の水文観測所では、上記のような精度評価基準がないため、精度を知ることにはできない。しかしながら、観測方法に問題があるのと、水位流量曲線も作成されておらず、観測精度は非常に低いと判断される。

従って、本スタディーではWAPDAの水文観測資料のみを使用した。

5.1.3. 観測資料の補完

収集された雨量及び流量観測資料には機器の故障等による観測の欠測を含んでいたり、観測期間が短かったり、スタディーをするうえで不十分な資料しかないものがある。これ等について、次の様な手法で資料の補完を行った。詳細については、付属書 A に記述されている。

A. 日雨量資料の補完

欠測を含む観測所は、近傍類似観測所の観測値を利用して補完している。補完された観測資料は、バルコット、マリーとラワルダムの日雨量資料で、それぞれカクール、チャクララの日雨量を利用して補完した。

B. 流量資料の補完

流量資料については後述する流出解析によって、欠測流量及び観測のない期間について補完を行った。

5.2. 気 象

5.2.1. 気 候

調査地域の気候は大きく 4 つの季節に分けられる。

表 V-2-1 気 候 区 分

季 節	期 間
冬 (Cold Season)	12月 - 3月
夏 (Hot Season)	4月 - 6月
モンスーン (Monsoon)	7月 - 8月から 9月中旬 (年による変動がある)
秋 (Post Monsoon)	9月中旬 - 11月

冬は 12 月から 3 月で、比較的晴天が多く、温度もそれ程下がらず温暖な気候である。しかしながら、西から周期的に低気圧が接近し、その間、広域的な降雨と低温をもたらす。そのため、気温については日較差が大きくなる。マリー及びマルガラ丘陵地では降雪が見られるが、低気圧の通過にともなって気温も上昇し、マリーを中心と

図 V-2-1 マリー及びチャクラ (ラワルピンディ) での気象概要図

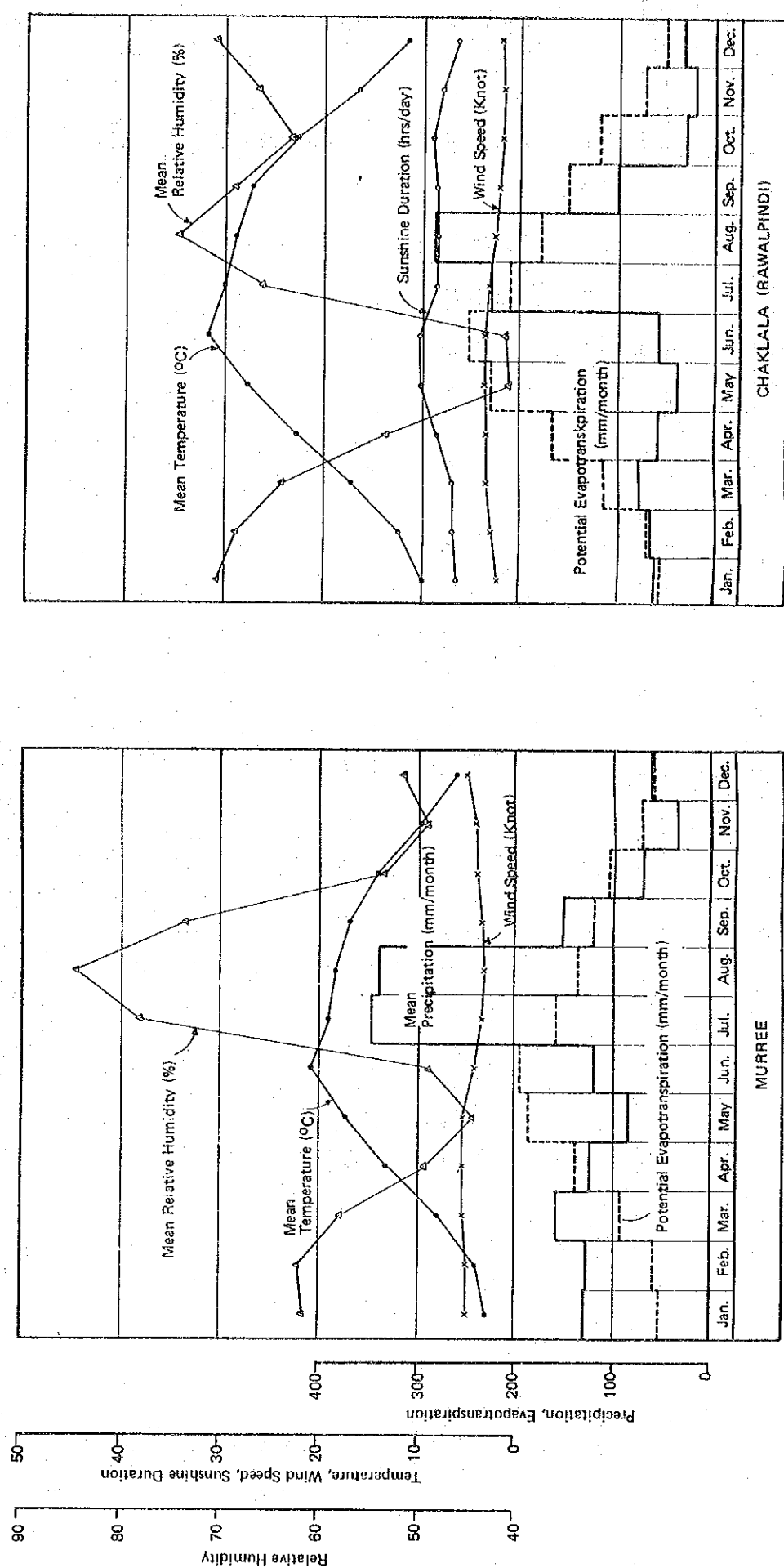


表 V-2-2 マリー及びチャクララ (ラワルピンディ) での気象概要表

気象要素		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間	観測期間
マリー (標高 7,236ft = 2,205m)															
降水量 (mm)	大	257.1	60.5	15.7	209.0	160.9	200.6	523.5	263.4	221.5	254.1	57.5	65.9	2,289.7	1977
	最平	131.7	128.9	157.9	124.5	85.7	120.7	347.8	338.3	150.1	69.3	34.3	60.1	1,749.5	1952-86
	均	42.9	103.4	113.5	116.9	110.9	55.1	219.8	220.0	95.7	193.3	23.6	0.0	1,295.1	1969
	小	3.0	4.0	8.0	13.2	17.4	20.7	19.0	18.3	16.9	14.1	9.7	6.0	12.5	1954-86
	平均気温	61.4	61.9	57.8	49.4	44.4	48.9	78.2	84.7	73.3	53.4	49.0	51.5	59.5	1954-86
平均相対湿度	(%)	5.0	4.9	5.4	5.4	5.3	4.2	3.4	3.2	3.4	3.9	4.0	4.9	4.4	1954-86
平均風速	(Knot)														
蒸発散位	(mm/day)	1.7	2.1	3.0	4.6	6.0	6.5	5.1	4.4	4.0	3.4	2.4	1.9	3.8	計算値
	(mm)	53	59	93	138	186	195	158	136	120	105	72	59	1,374	計算値
チャクララ (標高 1,670ft = 510m)															
降水量 (mm)	大	159.8	73.4	176.5	131.6	109.6	19.4	580.2	338.2	131.3	10.0	5.0	0.0	1,735.1	1981
	最平	62.3	67.8	78.2	57.2	37.8	57.3	254.0	287.6	101.5	30.3	19.6	32.2	1,085.8	1952-86
	均	143.3	13.6	20.6	44.1	45.7	24.7	263.7	91.9	47.0	0.0	1.8	12.5	708.9	1964
	小	10.0	12.3	17.2	22.7	27.7	31.6	29.9	28.8	27.3	22.6	16.5	11.6	21.5	1954-86
	平均気温	70.7	68.8	64.1	53.6	41.0	41.3	66.1	74.7	68.9	63.0	66.5	70.8	62.5	1954-86
平均相対湿度	(%)	2.2	3.0	3.4	3.4	3.5	3.4	3.1	2.4	2.0	1.7	1.6	1.7	2.6	1954-86
平均風速	(Knot)	6.4	6.8	6.8	8.5	10.1	10.2	8.5	8.5	8.6	9.0	8.1	6.5	8.2	1957-86
平均日照時間	(hrs/day)	61.0	82.6	152.4	208.8	309.1	347.7	268.7	208.8	171.2	139.7	85.9	58.9	2,093.7	1966-73
蒸発計蒸発量	(mm)														
(Pan-A クラス)															
蒸発散位	(mm/day)	1.8	2.5	3.7	5.5	7.4	8.4	6.7	5.7	5.0	3.8	2.4	1.6	4.6	計算値
	(mm)	56	70	115	165	229	252	208	177	150	118	72	50	1,662	計算値

した標高の高い山地以外には根雪は生じない。冬の降水量はモンスーン期に比較し、それ程多くはない。3月から4月にかけて急激に気温が上昇し、春は殆どなく夏に移行する。

夏は4月から6月で、非常に暑く乾燥した大陸度の強い気候となる。5月から6月にかけて最も暑く、砂塵もひどく、沖積平野部では最高気温は45℃に達する。また、この2ヵ月間の相対湿度は50%以下に下がる。

モンスーン（南西モンスーン）は、7月初旬に始まり、7月中旬に安定し、8月下旬あるいは9月中旬まで続く。その間、地域に年間60%近くの豊富な降雨をもたらすし、周期的に接近する熱帯性低気圧によって、時には大きな洪水が引き起される。モンスーンの始まりと明ける時期は年によって変動があり、モンスーンの到来が遅れると地域に旱魃を引き起こし、農業や都市用水の供給に多大な影響をもたらしている。

秋は最も快適な季節で、9月中旬から11月まで続き、その間、晴天が多く、気温は冬に向かって低下する。

表V-2-2及び図V-2-1に地域を代表する気象観測所として、チャクララとマリーの月平均の気象値を示す。チャクララとマリーでは気象にかなりの差があるが、その概要は2.3. 気象に述べてある。

5.2.2. 降 水

A. 概 要

地域の降水は上述したように、年間の60%近くが7月から8月あるいは、9月中旬までの南西モンスーンによってもたらされ、8月の降水量が最も多い。（表V-2-2参照）一方、冬期にも西からの低気圧によって降水がもたらされるが、その量は年間の20%程度で、モンスーン期に比較して少ない。

このように、降水量は季節による変動が大きく、地域の農業の発展の大きな障害要因になっている。また、年間の降水量も年による変動が大きく、旱魃による農作物の被害、都市用水の供給に大きな影響をもたらしている。

B. 年降水量の分布

図V-1-1の年間降水量の等雨量線図に見るように、調査地域の降水量の分布は場所によって大きな差がある。年間の降水量は西部の沖積平野で700mmから1,000mm程度で、東部の山地に向かって増大し、マリーでは1,750mmに達する。ハロー川、クラング川及びソーン川流域の上流部であるマルガラ、マリー丘陵地では豊富な降水量があるが、ドール川とリング川の流域の降水量はいくらか少なくなっている。

各河川の流域の年平均降水量は、ティーセン法によって求めたが、ソーン川流域での1,413mmが最も多く、ナンドナ川流域での837mmが最も少ない。調査地域全体の年平均降水量は、ほぼ1,000mm程度と算定される。表V-2-3にティーセン法によって求めた各河川流域の年平均降水量を示した。

表V-2-3 流域別年平均降水量

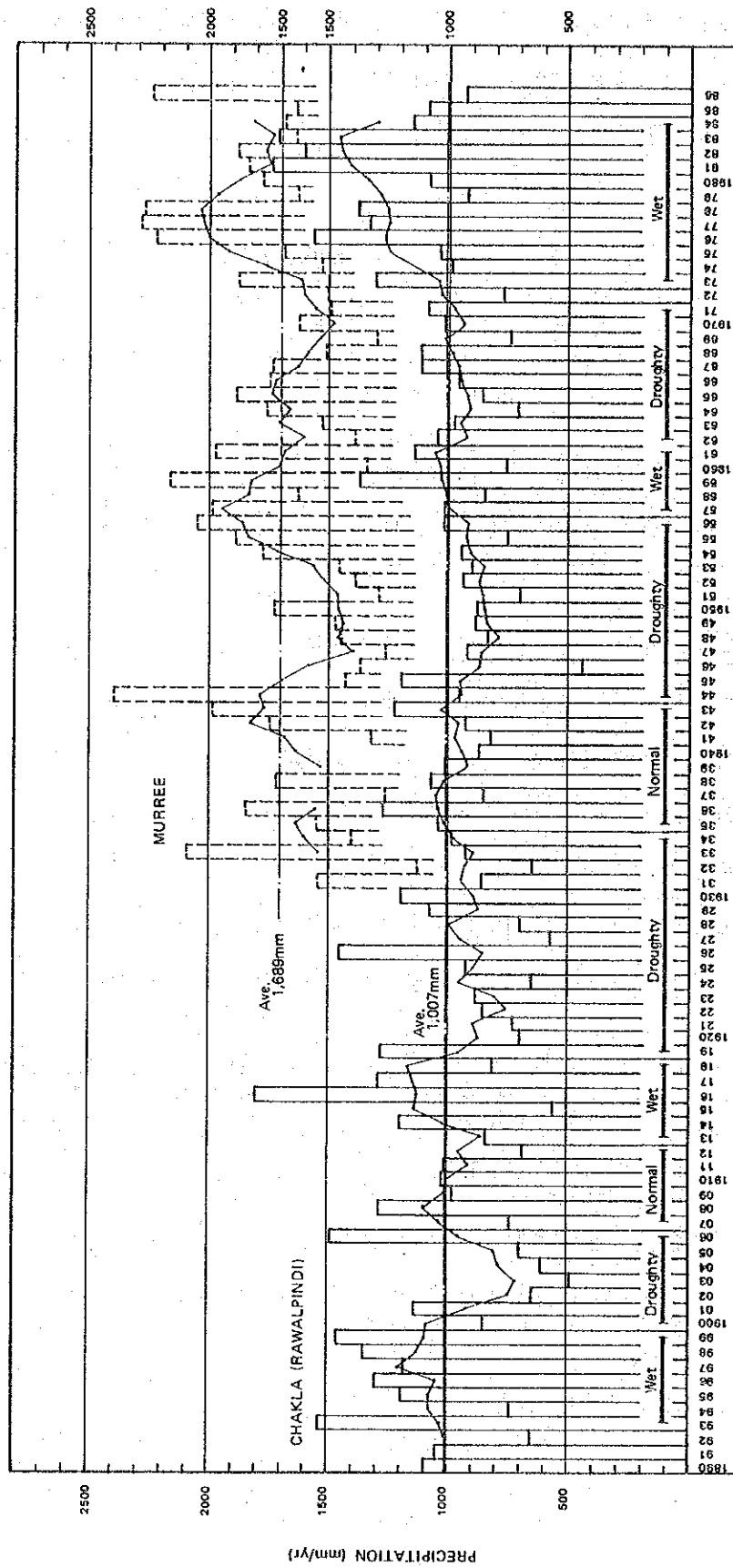
流 域	年平均降水量 (mm)	地 点	流域面積 (km ²)	備 考
ドール川	1,269	Dw-1サイト	517.7	
ハロー川	1,403	カンプールダム	778.0	
クラング川	1,309	ソーン川合流点	580.3	
ソーン川	1,413	Sw-1サイト	487.9	クラング、リング川を除く
リング川	1,129	ソーン川合流点	404.6	
ジャビ川	(820)	ハロー川合流点	304.0	
ボウティ川	(820)	ボウティ村	12.8	
ジャブラット川	857	ハッサンアブダール測水所	248.6	
ナンドナ川	837	N-1 サイト	462.0	
レイ川	1,009	ソーン川合流点	211.2	
シル川	1,009	SL-1サイト	237.6	
調査地域全体	(1,000)		6,800	

C. 年降水量の長期変動

年間の降水量の変動を長期の雨量資料のあるチャクララとマリー観測所での5年移動平均で見ると図V-2-2に示すようになる。これによると両観測所ともほぼ同一の変動パターンを示しているので、最も長い観測資料のあるチャクララでの変動を主体に長期の変動を見ると次のことが言える。

豊水期と渇水期の周期は明確ではないが、明瞭な豊水期と渇水期があり、それぞれある程度の年月持続する。このことは、水資源開発計画において、特定の渇水年を対

図 V-2-2 年降雨量の長期変動



象とすることも重要であるが、ダムによる水資源開発では前後数年の降水量も考える必要性があることを示唆している。次表に、降水量からみた明瞭な豊水期と渇水期を示すが、1920年代から1960年にかけては途中に短期間の豊水期はあるものの50年間ほどは渇水年が多く降水量が少ない期間であったと言える。一方、1973年以後は豊水期に入っていると言える。

表V-2-4 年降水量から見た豊水期と渇水期

期 間				継続年数	豊水期／渇水期		
				年			
1893	—	1899	年	7	豊	水	期
1900	—	1906	年	7	渇	水	期
1913	—	1918	年	6	豊	水	期
1919	—	1934	年	16	渇	水	期
1944	—	1956	年	13	渇	水	期
1957	—	1961	年	5	豊	水	期
1962	—	1971	年	10	渇	水	期
1973	—	1986	年	14	豊	水	期

D. 年降水量から見た確率渇水及び豊水年

資料の信頼性も高く、長期の観測値のあるチャクララ、カクール、マリーの年降水量の荷重平均値（荷重2：1：1として1952年から1986年について算定、図V-2-3参照）から確率渇水年と豊水年を算定した。求められた荷重平均値はマルガラ及びマリー丘陵地の概略の年面積降水量と考えてよい。10年確率渇水年は1953年及び1972年にほぼ相当し、1960年及び1969年は非常な渇水年では30年に1回の渇水年に相当する。

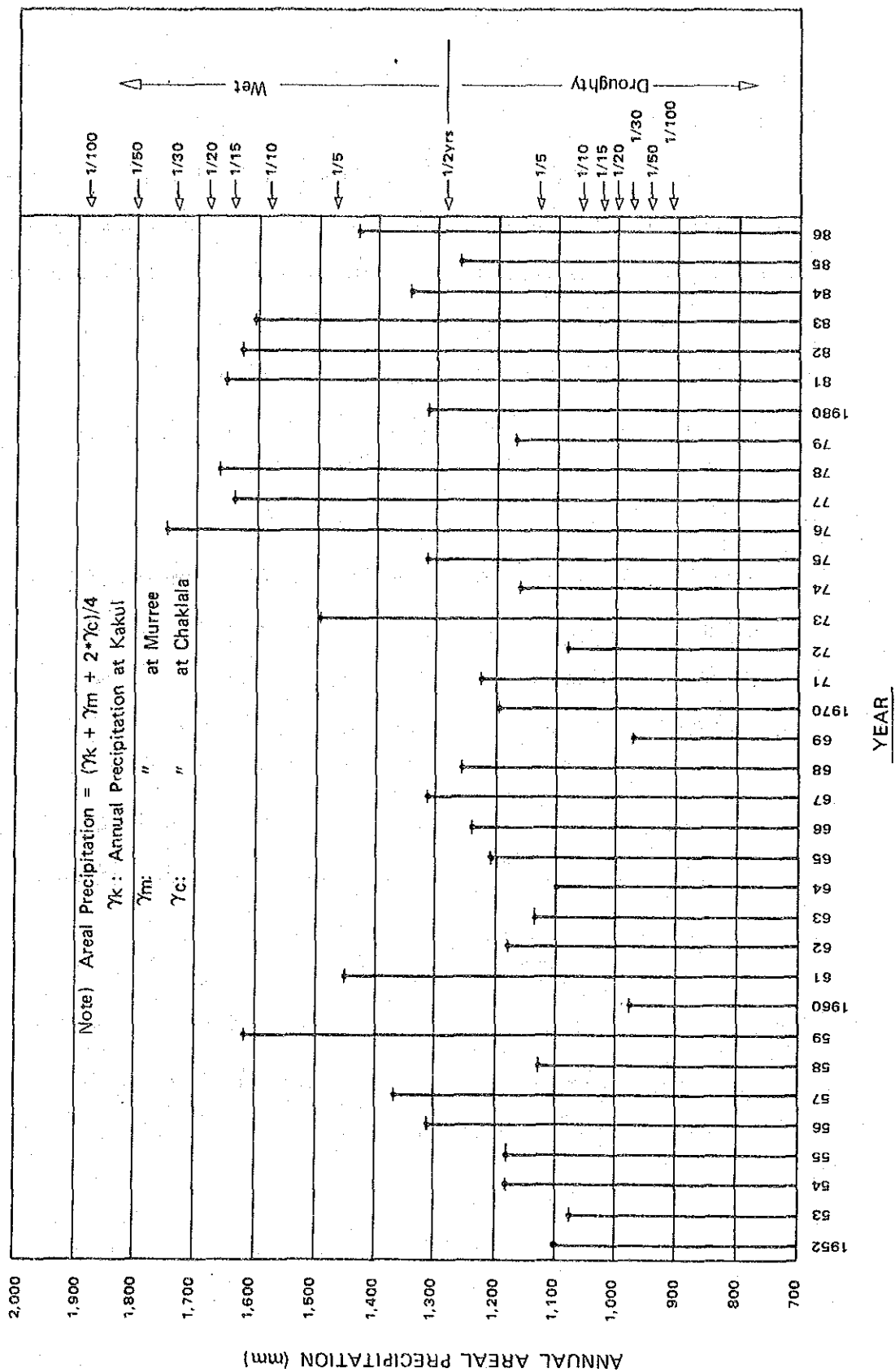
表V-2-5 年降水量から見た確率渇水年と豊水年

年平均降水量	1,306 mm (100 %)	1952-86 年
最大年降水量	1,748 mm (134 %)	1976年
最小年降水量	971 mm (74 %)	1969年

渇水年			豊水年		
再帰年	確率	該当年	確率	確率	該当年
	年降水量 (mm)			年降水量 (mm)	
2年	1,287	1956, 67, 68, 75, 80, 85	1,287	1956, 67, 68, 75, 80, 85	
5年	1,129	1958, 63, 64, 74, 79	1,472	1961, 73, 86	
10年	1,057	1953, 72	1,581	1959, 83	
15年	1,023	—	1,640	1977, 78, 81, 82	
20年	1,002	—	1,679	—	
30年	974	1960, 69	1,733	1976	

注) — 該当年なし

図 V-2-3 1952年から1986年の年降雨量



5.3. 水文解析

5.3.1. 河川と流況

A. 河 川

a. ドール川

ドール川と左右岸に流入する支川の河川縦断図を図V-3-1に示す。ドール川はシラン川の左岸に合流する支川であり、シラン川はインダス川左岸に流入する。シラン川との合流点は1974年のタルベラダムの完成にともなって、現在貯水池に水没してしまっている。ドール川の特徴は図からもわかるようにハロー川と同じように上流 10 km間は、河床が急であるが、それより、下流は緩勾配となっている。左岸に合流する支川は右岸の支川に比べて流路長が長く、河床勾配も急である。

b. ハロー川

ハロー川と左右岸に流入する支川の河川縦断図を図V-3-2に示す。ハロー川はインダス川の左岸に合流する河川である。図からもわかるように左岸に合流する支川は、右岸に比べて流路長が長く、河床勾配が急である。ハロー川はドール川と同じく上流10km間は河床が急でそれより下流は緩勾配となっている。

ー ナンドナ川

ナンドナ川はハロー川のインダス川合流点より上流 10 kmで、左岸に合流する流路長約 68 kmの主要支川である。流域面積は 912km²で、河床勾配はバハドラ川合流点より下流で 1/140, 上流で 1/70 程度である。

ー ジャブラット川

ジャブラット川はハロー川の左岸に流入する支川である。ファテジャンーハサン・アブダール間道路のピンド・バダール・カン部落にその源を発し、ハサン・アブダールの下流約 5 kmでハロー川に合流する。ハサン・アブダール付近で河川は高い尾根を貫いて流れる。

c. ソーン川

ソーン川と左右岸に流入する支川の河川縦断図を、図V-3-3に示す。ソーン川はインダス川の左岸に合流する河川である。

ソーン川は水源をマリー丘陵の南西地区に発し、山地と峡谷を経て、チェラー付近の台地に流下する。台地を南西方向に約240km流下し、カラバーの上流16kmでインダス川に合流する。

ー マラル川

マラル川はソーン川の上流216kmで左岸に合流するクラング川に合流する流路長24.8kmの支川である。流域面積は92.3 km²で河床勾配は約1/90である。

ー リング川

リング川は水源を標高1,850mのレクター丘陵に発し、ソーン川の上流225km、標高470mのカフタで左岸に合流する流路長58kmの主要支線である。流域面積は427km²で、主として山地を流下し河床勾配は約1/40である。

ー シル川

シル川はファテジャング川として知られており、その水源は標高560mのパディヤ・ラスタ・カンの近くで、ソーン川の上流124km²の標高338mのピラワルの近くで合流する流路長71kmの主要支川である。流域面積は596km²で、河床勾配は約1/300である。

各河川の河道形態をまとめて表V-3-1に示す。

表V-3-1 河道形態

河川名	流域面積 A (km ²)	河川長 L (km)	流域平均幅 W (km)	流域 形状係数 F	平均 河川勾配	標高分布 (m)
ドール川	608	64.4	9.4	0.147	1:30	2,690-390
ハロー川	3,095	144.8	21.4	0.148	1:60	2,740-270
ナンドナ川	912	68	13.4	0.197	1:320	550-335
ソーン川	11,228	273.5	41.1	0.150	1:120	2,440-240
マラル川	92.3	24.8	3.7	0.150	1:90	760-470
リング川	427	58	7.4	0.127	1:40	1,850-470
シル川	596	71	8.4	0.118	1:300	560-338

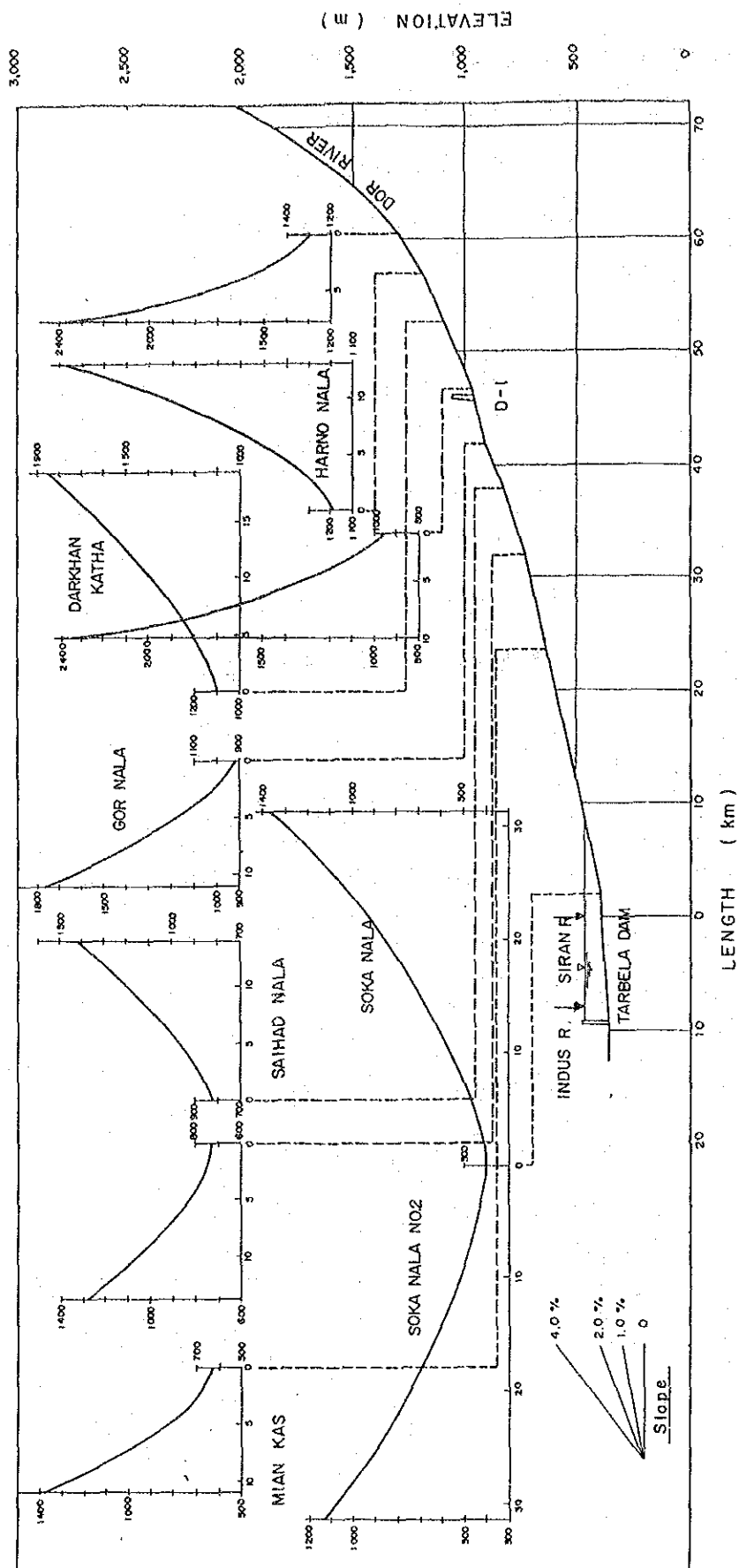


図 V-3-1 ドール川水系の河川縦断面図

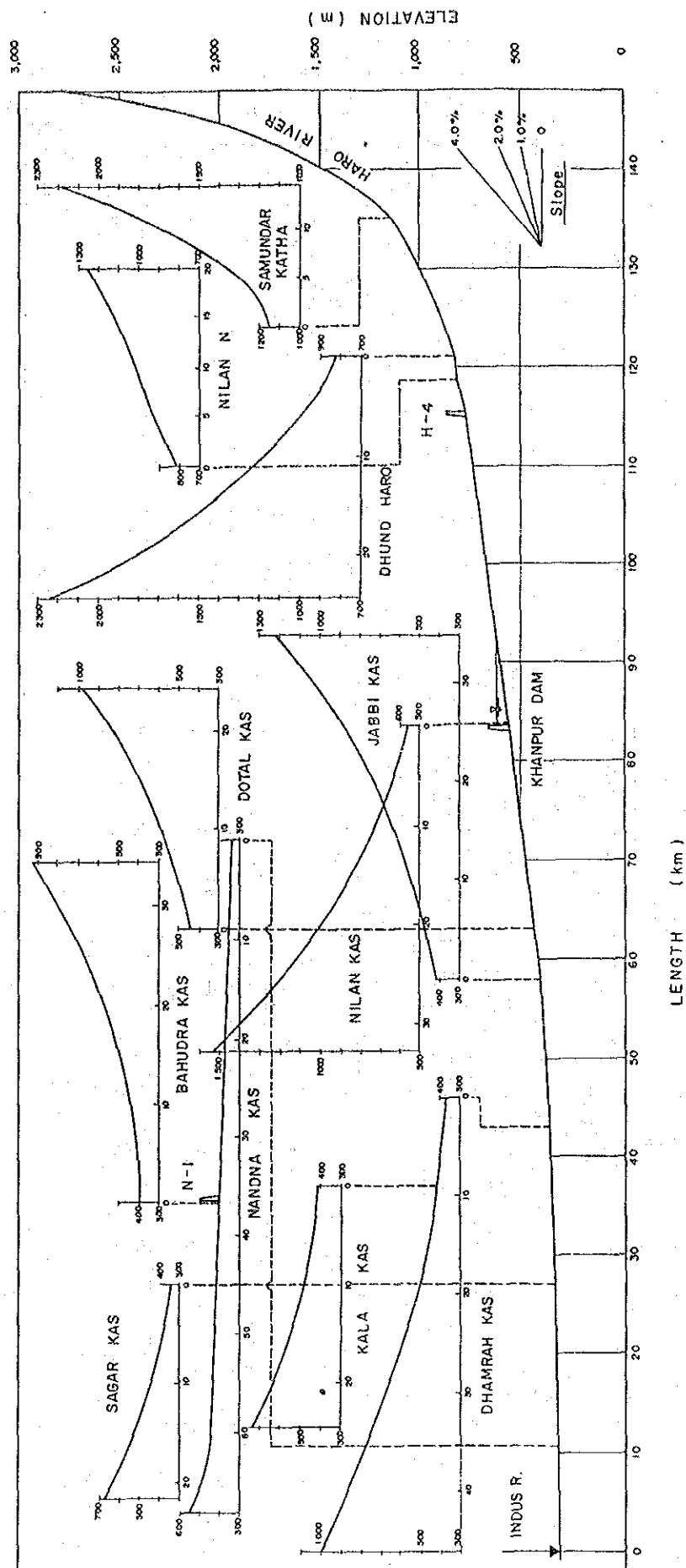


図 V-3-2 ハロ一川水系の河川縦断面図

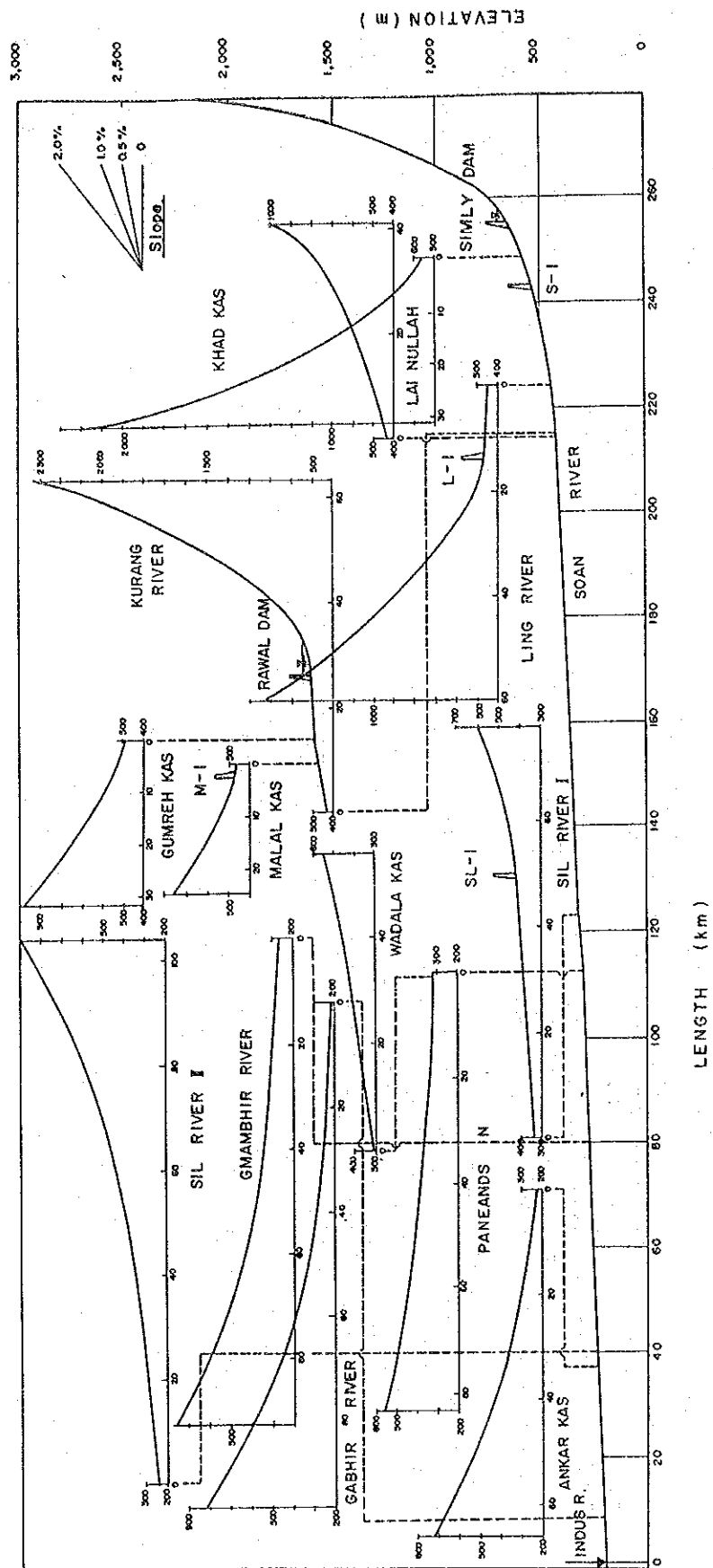


図 V-3-3 ソーン川水系の河川縦断面図

B. 流 況

a. 河状係数と流況

河状係数は、表 V-3-2 に見るように河川によって大きな差がある。また、図 V-3-4 に主要な地点での流況を知るために、流況曲線を示してある。

i) ドール川及びハロー川

ドール川及びハロー川の河状係数は 100 前後と小さく、流況が安定していると言える。両河川流域は石灰岩の基盤で構成されており、地下水が基底流量を涵養しているため、安定した流況を呈している。また、地下水への涵養も多く、流出の中に中間流の占める比率が大きいいため、ハイドログラフは緩やかである。沖積平野を貫流するハロー川の支流であるジャブラット川は、特に小さい河状係数の河川で、調査地域内では群を抜いて安定した河川である。ジャブラット川流域には、豊富に地下水を湧出する泉群が展開しており、それが基底流量をおし上げている。そのため、非常に安定した流況となっている。ジャブラット川の北に隣接するボウティ川も、ジャブラット川と全く同様な機構によって非常に安定した河川である。

ii) ソーン川

一方、ソーン川及びその支流であるクラング川とリング川の流域の地質は、砂岩、頁岩で構成されているため、地下水による基底流量の涵養が少ない。そのためにソーン川及びその支流河川の河状係数は非常に大きく、不安定な流況を呈している。ドール川及びハロー川流域に比べて、ソーン川流域では地下水への涵養も少なく、また流出の主体を表面流出が占めている。そのため、降水と同時に出水し、逓減率が大きいために急激に流量は低下する。そのことによって、ソーン川流域の河川のハイドログラフは尖った形状をしており、出水後は基底流量近くまで急激に落ち込む。しかしながら、クラング川の下流部（ラウルダム下流）は、地下水位の高い地下水盆を貫流しており、国立公園から流入するソハン川を含め、地下水流出によって安定した基底流がある。

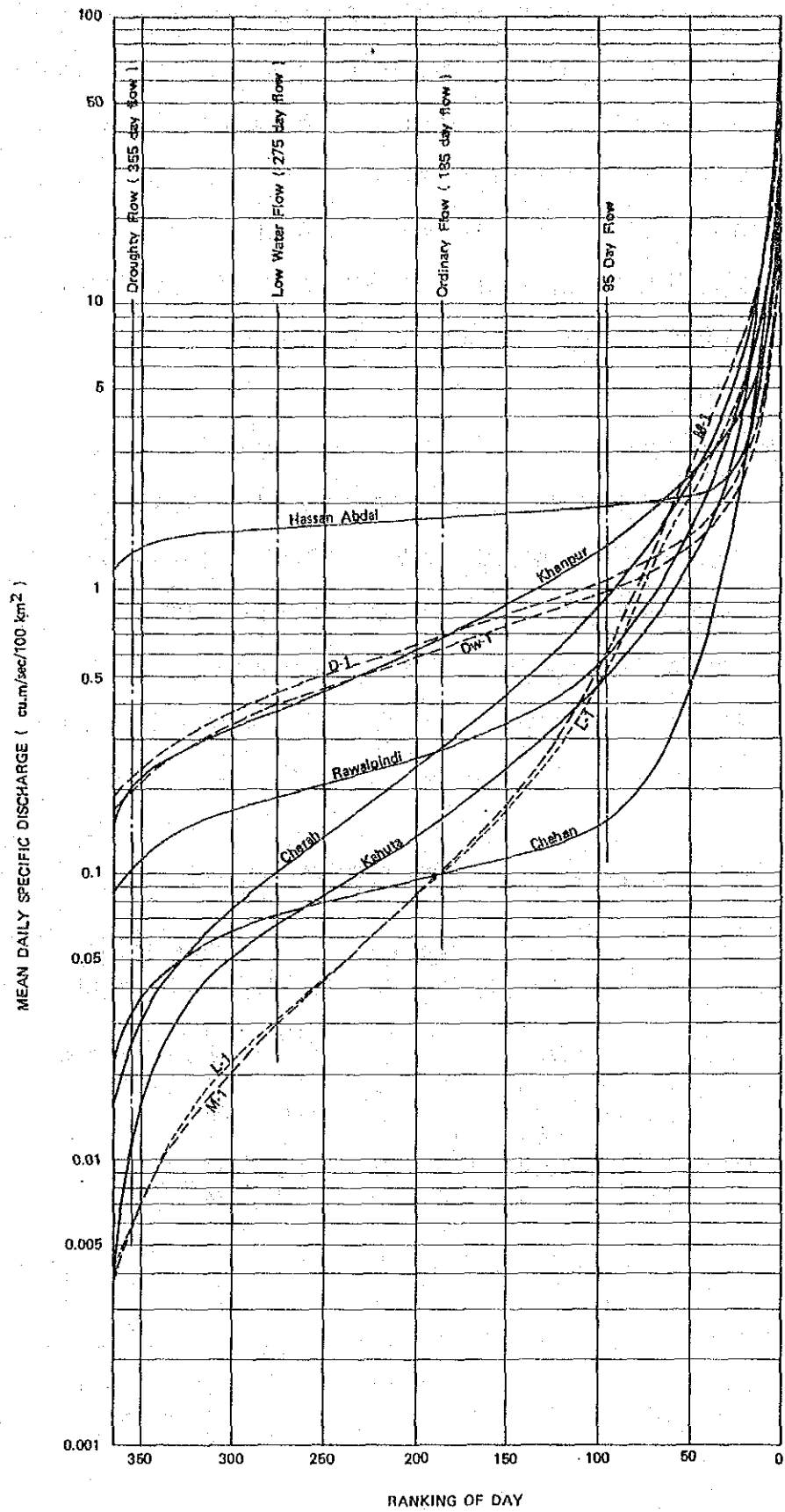
そのため、ラウルピンディ近くの G.T. 道路橋地点のソーン川の河状係数は小さくなっており、流況が良くなっている。

表 V-3-2 流況表

河川	測水所/開発予定地点	流域面積 (km ²)	流量 (m ³ /sec)					河状係数
			最小	枯水 (355 日)	低水 (275 日)	平水 (185 日)	豊水 (95 日)	
ドーロ川	D-1	292.3	0.561	0.65	1.30	2.03	3.27	46.6
	Dw-1	517.7	0.893	1.03	2.10	3.28	5.30	75.8
ハロー川	カンブール	778.0	1.19	1.57	2.95	5.29	11.17	156.1
ジャブラット川	ハッサンアブダール	248.6	2.90	3.39	4.08	4.41	4.89	61.7
ソーン川	チェラー	326.3	0.051	0.083	0.33	0.91	3.04	235.0
	ラフルピンディ	1,684	1.46	1.78	3.15	4.71	10.3	667.0
リング川	カフタ	145.0	0.005	0.018	0.095	0.225	0.72	93.4
	L-1	285.0	0.012	0.017	0.090	0.297	1.45	87.9
マラル川	M-1	82.8	0.003	0.004	0.024	0.084	0.48	37.1
シル川	チャハン	241.0	0.055	0.084	0.17	0.24	0.38	80.5
								1,464.0

注 1) 測水所については実測値の平均、開発予定地点では計算流量資料から算定
 2) 河状係数 = 高水流量 / 最小流量

圖 V-3-4 流況曲線



iii) 沖積支流河川

ハロー川及びソーン川下流には、沖積平野から多くの支流が流入している。

そのらの支流の河状係数は上述のジャブラット川、ボウティ川を除き、ソーン川上流域程ではないが、一般的に大きいと言える。そのため、ソーン川と同様にハイドログラフは尖った形状をしている。しかしながら、ある程度の流域面積を持つ支流（シル川のチャハン測水地点：241 km²、ナンドナ川のシャプールダム地点：203.9 km²）では、流量は小さいが安定した基底流量（約35 ℓ/sec/100 km²）があり、年間を通し、水流が涸れることはない。

b. 流出量

i) 流出パターン

調査地域内の河川は、2.5.河川で述べたように3月と8月をピークとする2つの豊水期を持つ流出パターンとなっている。しかしながら、3月の流出量は8月の流出量に比べて半分以下と小さい。（図Ⅱ-5-2参照）

ii) 年間流出量

1960年から1980年の主要地点での年平均流出量を表V-3-3に示してある。

表V-3-3 主要地点での年間流出量

河 川	地 点	流域面積 (km ²)	年流出量(MCM)			年流出高 (mm)			平均に対する比率	
			平 均	最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	最 大	最 小
ドール川	Sw-1	517.7	155	240	112	299	464	216	1.55	0.72
ハロー川	カンプール測水所	778.0	327	629	127	420	808	163	1.92	0.39
ソーン川	チェラー測水所	326.3	175	361	51.7	536	1,106	158	2.06	0.30
	ラワルピンディ測水所	1,684	639	1,301	291	379	773	173	2.04	0.46
クラング川	ラワルダム	275.1	100	191	56	364	694	204	1.90	0.56 * 5
リング川	カフタ測水所	145.0	74.6	154	31.3	514	1,062	216	2.06	0.42
ジャブラット川	ハッサンアブダール 測水所* 1	248.6	170	187	152	686	752	611	1.10	0.89
シル川	チャハン測水所	241.0	50.3	99.5	20.0	209	413	83	1.98	0.40
インダス川	ダルバンド測水所* 2	166,019	76,700	101,600	64,400	462	612	389	1.32	0.84
	タルベラダム * 3	168,350	69,200	84,500	57,400	411	502	341	1.22	0.83
ジェラム川	コハラ測水所 * 4	24,890	24,900	34,500	13,000	1,000	1,386	522	1.39	0.52

注1) * 1 : 1961年9月-65年6月 * 2 : 1961~74年4月 * 3 : 1973年10月~86年9月

* 4 : 1965~80年 他は1960~80年 * 5 : データ・ソース : クラング川上流開発スクディー

上表から解るように、大河川であるインダス川、ジェラム川を除いて、調査地域内の河川の年間流出量は、年による変動が大きいことが解る。しかしながら、ジャブラット川の流出量は豊富な地下水の湧出によって変動が非常に小さく、安定している。

一方、年流出高を見ると、ジェラム川では年間1,000 mmに達しており、他の河川と比較して極端に高い。これはジェラム川上流域の大部分を占めるカシミール地方には、年間降水量が2,000mm以上に達する多雨地帯があることによっている。一方の大河川であるインダス川の流出高は年間411mmで、ジェラム川に比較して低い。インダス川はヒマラヤ山脈の中央部まで達する広大な流域を持っているため、年間流出量はジェラム川に比べてはるかに多い。

調査地域では、ジャブラット川の流出高が最も高く、年間686mmに達する。前述の様に、この河川は特殊な河川で、他の河川の流出機構とは異なっている。

ジャブラット川以外の河川では、ソーン川上流のチェラーで536mmと最も高く、沖積平野のシル川の209mmが最も低い。調査地域内の河川の年間流出高は、地下水湧出がある河川を除き、沖積平野の209mmから、豊富な降水量のある上流域の536mmまでの範囲にある。

iii) 年流出量から見た確率渇水及び豊水年

1960年から1980年までの21年間の年流出量データに基づく確率計算では、豊水年と渇水年は河川により異なっている。従って、調査地域全体の豊水年と渇水年は表V-3-5に示す合成流出量を使って解析した。その結果、10年確率の豊水年は1977年、渇水年は1974年と算定される。そして、平水年は1968年とみられる。

表 V-3-4 合成流出量による確率渇水年及び豊水年

豊水／渇水	10年確率該当年	10年確率を越える年
豊水年	1977年	1976, 78年
平水年	1968年	注：再帰年 2 年
渇水年	1974年	1969, 72年

表 V-3-5 調査地域の合成年流出量

河川	流域面積 (km ²)	年平均流出量 (MCM)	地 点
ドール川	517.7	155	Dw-1地点
ハロー川	778.0	327	カンプール測水所
ゾーン川	1,680.0	639	ラワルピンディ測水所
シル川	441.5	92	SL-1地点 (237.6 km ²) と シャプールダム地点 (203.9 km ²) の合計流域面積
計	3,417.2	1,213	

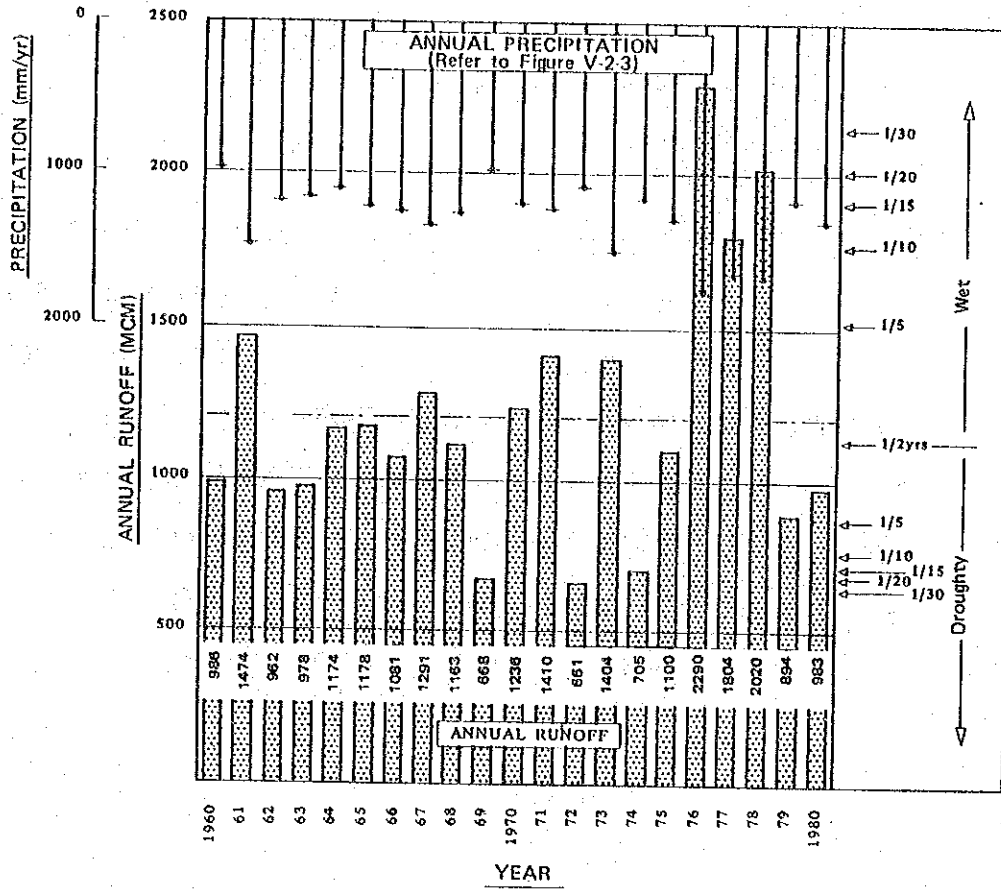
再帰年	確率年流出量		
	豊水量	平水量	渇水量
2 年		1,139	
5 "	1,515		869
10 "	1,767		759
15 "	1,911		711
20 "	2,011		682
30 "	2,153		646

注：流域面積は水資源開発可能地点を考慮している。

図V-3-5は、合成年流出量を示しているが、これによると次の事実が解る。

- 豊水年は1976年から1978年にかけて続いている。
- 渇水年は1969年から1974年にかけて頻発している。

図V-3-5 年流出量と確率値



c. 洪水

調査地域内の洪水記録によると、大きな洪水は8月を中心にモンスーン期に発生する。既往最大洪水の比流量は $8.35 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ に達している。この比流量はクリーガー式でほぼ $c=75$ に当る。

表V-3-6は主要測水所での既往最大洪水を示している。

表V-3-6 調査地域内の既往最大洪水

河 川	測水所	流 域 面 積 (km^2)	流 量			発生日	観測期間
			(cusec)	(m^3/s)	($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)		
ハロー川	カンプール	778.0	28,800	816	1.05	1971年6月23日	1960-75年
ソーン川	チェラー	326.3	96,200	2,724	8.35	1975年8月20日	1960-75年
	ラワルピンディ	1,684	107,000	3,030	1.80	1970年8月13日	1953-75年
リング川	カフタ	145.0	39,800	1,127	7.77	1970年8月31日	1961-70年
シル川	チャハン	241.0	31,400	889	3.69	1975年8月20日	1962-75年

5.3.2. 流出解析

A. 概 要

流出解析は水資源開発の可能性の高い地点での流出量を算定する目的で行った。

利水安全度を $1/10$ 年と考え、流出解析は少なくとも20年間について行わなければならないと考えた。水文観測期間は、測水所によって異なっているが、1960年から1980年までの日ベースの観測資料が収集できている。従って、流出解析はその21年間について行った。

河川維持流量を確保しなければならないことと頭首工による開発もあることを考慮し、流出解析は原則的に日ベースで行ったが、河川によっては10日ベースになったものもある。

流出解析は、測水所間の相関（10日ベース）、タンクモデルによる解析（日ベース）及び流域面積比による換算を組み合わせて行った。解析は次の2段階で行っている。第一段階では測水所の流量観測資料を1960年から1980年の完全な資料とするための補完を行った。補完はカンプール、チェラー、カフタ及びチャハン測水所について行った。しかしながら、ハッサンアブダール測水所での補完は近くに日雨量資料が入手されなかったため実施できなかった。第二段階では、補完された測水所での完全な流量資料を利用し開発可能地点での流出量の算定を行った。

B. 測水所での流出解析

必要な期間の流量観測資料のない測水所及び他の河川の解析に必要と思われる測水所について、1960年から1980年の期間についてタンクモデルあるいは相関によって解析を行った。

タンクモデルへの適用可能な日雨量資料は、6観測所のみであるため、面積雨量を求める場合には必要に応じて等雨量線図を参考にし、雨量の修正を行った。また、6観測所のみの日雨量資料では洪水時の正確な流量が再現できないため、タンクモデルの構造は、計算流量を（1）長期の観測流出量に合わせること、（2）観測逓減曲線に合わせること、に主眼を置いて決定した。タンクモデルに適用した雨量観測所は次の6観測所である。

タンクモデルに適用した雨量観測所

観測期間が充分長い観測所（1960～1980年）

チャクララ、カクール、マリー

観測期間が短い観測所

バルコット	1962年10月～79年
カラール	1960年7月～80年
ラワルダム	1963年～79年

次表V-3-7に測水所での流出解析の概要をとりまとめている。

表 V-3-7 測水所での流出解析結果

(単位: mm)

タンクモデルによる解析								
測水所	解析期間	年平均 降雨量	観測 流出量	計算結果			相関による解析	補完方法
				流出量	蒸発 散量	地下浸透		
カンプール	'63-'75 年	1,318	363 (0.275)	381 (0.289)	711 (0.540)	226 (0.171)		
チェラー	'63-'75 年	1,318	453 (0.344)	459 (0.348)	704 (0.534)	156 (0.118)	ラフルビンディ 相関係数 $r = 0.887$ (1960.4~1980年)	相関による補完 1960.1~3 月
カフタ	'62-'70 年	1,258	391 (0.311)	401 (0.319)	714 (0.567)	143 (0.114)	チェラー 相関係数 $r = 0.911$ (1960.7.20 ~ 1971.7.10)	相関による補完 1960~61.7.20 1971.7.11 ~1980
チャハン	'63-'80 年	981	204 (0.208)	211 (0.215)	605 (0.617)	159 (0.162)		タンクモデルによる補完 1960~62.3.2.

注: () 降雨量に対する比率

C. 水資源開発可能地点の流出解析

河川流域の類似性を考慮して、開発可能地点の流出量は測水所の流量資料とタンクモデルを利用して計算した。

ドール川の流出解析は地質、地形の類似性からハロー川のカンプール測水所のタンクモデルを利用し行った。ソーン川流域については、流域内の測水所であるチェラーとカフタのタンクモデルを利用している。また、沖積平野の河川については、シル川のチャハン測水所のタンクモデルを利用し流出解析を行った。その結果は表 V-3-8 に示した。

表 V-3-8 水資源開発可能地点での流出解析

河 川	開発地点	流域面積 (km ²)	流出解析	年平均	
				流出量 (MCM)	流出高 (mm)
ドール川	D-1	292.3	カンブール測水所でのタンクモデルを利用	96.24	329
	DW-1	517.7	同 上	154.72	299
ハロー川	H-4	498.5	カンブール測水所流出量を流域比で配分	209.50	420
*					
	カンブールダム	778.0	カンブール測水所流出量を適用	326.95	420
*					
ナンドナ川					
	シャブールダム	203.9	チャハン測水所流出量を流域比で配分	42.54	209
	N-1	462.0	同 上	96.85	209
*					
ソーン川					
	シムリーダム	152.8	チェラー測水所流出量を流域比で配分し、 1969年以後については CDAの取水量を加算 (カンブール導水P/S と同方法)	83.45	546
	S-1	341.1	チェラー測水所流出量を流域比で配分	182.85	536
	SW-1	1,472.8	ラフルビンディ測水所流出量を流域比で配分	558.70	379
**					
クラング川	KL-1	283.7	カンブール、チェラー及びチャハン測水所の タンクモデルを利用し、地質構造からそれぞれ 流域面積を 4.0、157.7、122.0 km ² として計算	102.66	362
マラル川	M-1	82.8	チェラー及びカフタ測水所のタンクモデルを適用	38.03	459
リング川	L-1	285.0	カフタ測水所流出量を流域比で配分し、更に、 タンクモデルから求めた流出率に合う様に低減修正	107.10	376
シル川	SL-1	237.6	チャハン測水所流出量を流域比で配分	49.57	209

Note*… 既存ダム、**… ラフルダムの流域面積を控除

5.3.3. 堆砂量解析

A. 概 況

ドール川とハロー川はシワリキ地域を流下しながらシルト地帯から大量の土砂を下流に流送している。土砂流出の発生源は地すべり、河床侵食、段丘やガリー侵食といった河岸段丘の破壊と流域の過度の放牧によるものが主である。

ソーン川とその支流は羽状流域を示すポートワール台地に新しく出来た河川で台地にはガリー侵食が多く、河道も深く侵食されている。地質的にはもろい砂質頁岩とシワリキ地域のゆるんだ粘土が風化して、これらが堆砂の発生源となっている。

B. 堆砂量

貯水池の堆砂量の推定には次の事項を考慮した。

- (i) 流入土砂量
- (ii) 貯水池の捕捉率
- (iii) 堆砂の密度

a. 流入土砂量

貯水池に流入する土砂（生産土砂量）は、浮遊土砂と掃流砂からなり、浮遊土砂はダム計画地点に近い観測所の浮遊土砂量データから推定する。掃流砂の測定は困難で一般に全堆砂量の10～50%に推定している。掃流砂は浮遊土砂の10%即ち、流入土砂量の9.1%と推定する。

b. 捕捉率

捕捉率は貯水池で堆積する流入土砂量のパーセントで表し、次の式で計算する。

$$Er = 100 \left(\frac{Q_s}{Q_i} \right)$$

ここに

Er = 捕捉率 (%)

Qs = 貯水池での堆砂量

Qi = Qsに要した期間内での流入土砂量

捕捉率は、既存貯水池での値と流域面積の関係より、ダム地点の流域面積100 km²以下で60%、100 km²以上で40%と想定する。

c. 堆砂の密度

堆砂の密度は、ある期間内で堆砂で置換わる貯水池容量を推定するために予見する必要がある。堆砂の密度は堆砂の初期密度である浮遊土砂量と同じ値を採用する。

C. 計算方法

生産土砂量の推定には次の方法がある。

- (i) Khoslaの経験法則
- (ii) Irrigation Research Institute の方式
- (iii) 流域面積からの推定

(iv) 浮遊土砂量からの推定

設計及び実測堆砂量より流域面積と比堆砂量の関係を図V-3-6に示す。図V-3-6より浸食性は流域面積 $10 \sim 10^3 \text{ km}^2$ の範囲で、ハロー川で $400 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 、ソーン川で $900 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ 程度が予想される。

D. 比堆砂量

計画した貯水池の比堆砂量は生産土砂量から次の方法で求める。

(1) 貯水池の水利用状況より推定

(2) 既存貯水池の捕捉率より推定

各計画地点の計算結果を表V-3-9に示す。

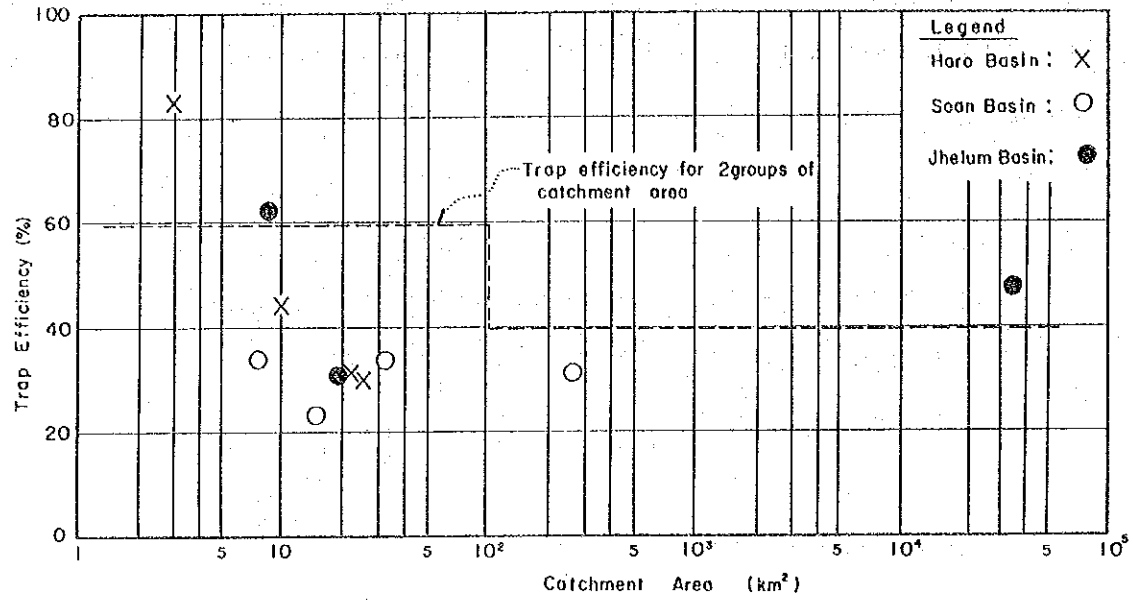
表V-3-9 計画比堆砂量

開発予定 地点	河川名	流域面積 (km^2)	比堆砂量 (m^3 / km^2)		採用値 (m^3 / km^2)
			計算方法(1)	計算方法(2)	
D-1	ドール川	292.3	760	464	500
H-4	ハロー川	498.5	532	326	400
N-1	"	462.0	467	330	"
S-1	ソーン川	341.1	1,854	1,716	900
L-1	"	285.0	1,030	799	"
SL-1	"	237.6	1,375	777	"
M-1	"	82.8	983	886	"

計算方法(1)と(2)を比べてみると(1)の方が大きな値を示している。本調査で設計値を決めるに当たって考慮したことは、実測及び観測値に基づいた流域ごとの値を見出すことである。

経験的に従来より使用されて来た値もそれなりに価値があるが、前記の考えに立脚して(2)の結果を参考にする。観測所の位置と計画地点が遠く離れていることから同一水系では同じ比堆砂量を用いる。ソーン川流域のS-1については他の地点に比べて約2倍の値となっているが同一水系の値 $900 \text{ m}^3 / \text{km}^2$ を用いる。

図 V-3-6 貯水池の堆砂捕捉率



第 6 章 水資源開発可能量の検討

第6章 水資源開発可能量の検討

6.1. 適性水資源の選定

6.1.1. 水資源開発の基本概念

A. 調査地域の水需要者

当調査に係わる直接及び間接水需要者は下記のように区分される。

(1) 当調査の直接の水供給目標となる需要者

- ① イスラマバード都市計画地域（上水）
- ② ラウルピンディ都市部および近郊区域（上水）
- ③ ハロー川左岸灌漑計画地域（灌漑）
- ④ ソーン川右岸灌漑計画地域（灌漑）
- ⑤ 新国際空港計画地域（上水）

(2) 当調査に間接的に係わる水需要者

- ⑥ カンブールダム右岸灌漑事業地域（灌漑）
- ⑦ カンブールダム左岸灌漑事業地域（灌漑）
- ⑧ パキスタン工業開発公社タキシラ工場（上水）
- ⑨ パキスタン陸軍兵器廠ワー工場（同上）
- ⑩ ラウルダム左岸灌漑事業地域（灌漑）
- ⑪ シャープールダム灌漑事業地域（灌漑）
- ⑫ ジャブラット川揚水灌漑事業地域（灌漑）

その他の需要者

- ⑬ 開発候補地点より下流の現在および将来の需要（不特定）
- ⑭ 開発候補地点より上流ではあるが、その利水計画が今回の調査に直接影響するもの（クラング川上流灌漑計画調査地域）

B. 水資源開発の基本概念

このように直接的・間接的に様々な需要者が地域内に散在しているので、水受給の組み合わせは面的にも時系列的にもかなり込み入った配慮を要し、その最適化のために

まず適切な水資源開発の概念を定める必要がある。下記に当調査での水資源開発の基本概念を示す。

I. (開発可能地点) 既開発地点および他事業による開発予定地点以外において、経済的で安定した水源を域内全体から調査選定する。各点の評価は、その点の自然的社会的条件によって総合的に行われる他、開発コストと開発水量との比を求めてその資料とする。ここでは、この比を“水価”と呼ぶ。

II. (地表水と地下水) 地表水と地下水との間で開発の優先度をあらかじめ設定することとはしない。ここでも“水価”を評価の資料とする。

III. (導水) 水源開発地点から最寄りの需要者につなぐのを原則とする。ただし、ここでも距離的要因よりも導水コストによる“水価”要因が優先する。

流域変更や州境を超える導水または権利が複雑・微妙に絡む開発案については、その行政的判断は当事者がおこなうものとして、ここでは純技術的にそのまま提案する。1)

注1) この様な判断を必要とするものにドール川分水案並びにクラング川上流開発計画がある。(7.4.3.参照)

IV. (開発形態と規模) 地表水開発の場合、単に取水するのみか又は貯水するかはその河川の流況で決める。貯水する場合、ダムの位置・型式を純技術的に想定し、これによるコストデータと水収支試算とにもとずいてダム規模の最適化を行ったうえで開発量を固定する。ダム以外の開発形態では、水文資料にもとづく妥当最大開発可能量を施設規模に対応させる。

V. (開発可能量) その点の流出データと仮定した水利用計画にもとづく水収支試算によって決める。ただし、水利用計画のなかには本来の利用目的のほかに、下流への妥当な放流計画も含まれる。

下流の既得水利(権)が明確でない場合でも、不特定な利水を対象にしてある程度の放流を行うことを原則とする。ここではこれを、河川維持流量“Minimum Regulated River Flow”と呼ぶ。

6.1.2. 調査対象水資源

前述の水資源開発の基本概念にしたがって、今回選定された水源の立地条件を需要者のそれと対照して表D-4-4(付属書 D) に示す。また、それぞれの標高を概念的に示せば、図D-4-1(付属書 D) のとおりである。

6.1.3. 開発地点の選定

A. ダムサイトの選定

当調査の範囲は、原則的にドール川、ハロー川及びソーン川流域に限定している。流域内の流出量データ、既存ダムの運転記録を参考にし、1/5 万地形図に基づいてダムサイト候補地点を一次選定した。第二段階で、現地踏査によってダム軸の地質及び地形を調査した。

ダムサイト選定手法の概要は次の通りである。

i) 貯水池規模；

各ダムの有効貯水容量は年間平均流出量を基に3～4種変えたケースについて検討した。

ii) ダム形状と堤体積；

ダム断面形状は、天端標高、斜面勾配及び天端幅を含め、6.1.4.項で述べる計画基準をもとに決定している。堤体積は堤頂長、河床掘削幅を基に概算している。

iii) 建設コスト；

建設コストはダム工事費と補償費で構成されている。ダム工事費はダム本体の単価に基づいて見積っている。単価はパキスタン国における最近の事例を基に決定している。

iv) 水価曲線

第1次調査段階では建設コスト／有効貯水容量曲線を作成し、各ダムサイトの優劣比較の資料としている。

B. 頭首工サイトと導水路線の選定

頭首工と導水路については地形図（縮尺1:50,000）を基図として、候補地点1～2地点を選び現地踏査により、経済性、工事の施工性、運営・維持管理の難易を検討して選定した。その選定条件は次のとおりである。

- a. 取水堰は、給水地域に近く必要十分な取水水位が確保され河川巾が狭く、かつ流心が入入れようとする川岸に近く常に安定していること。
- b. 導水路は地形の変化が比較的少なく水路橋・サイホン・トンネル等工事費の高い構造物の延長が短く、工事施工が容易で維持管理がしやすいこと。

C. 取水塔

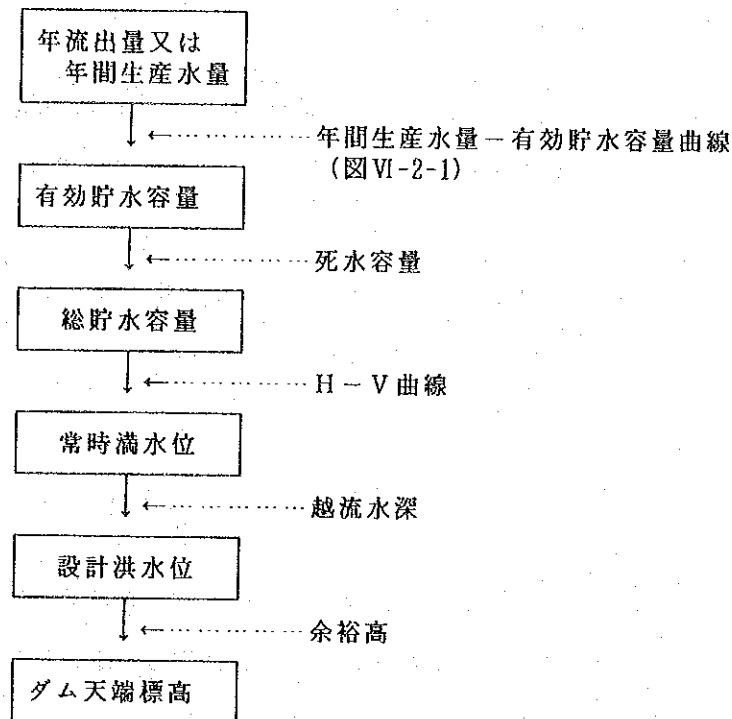
カンプール貯水池からの既存取水施設としては右岸副堤下に設置されている施設のみであり、その容量は右岸水路と左岸水路の必要量の合計であるから、H-4 ダム、D-1 ダムによって新しく開発される水を取水する施設を新設しなければならない。その建設適地は左岸副堤 500m東方の入江が唯一のものである。

6.1.4. 施設計画基準

A. 貯水ダム

a. ダム天端標高の決定

下記の手順と手法を貯水池水位とダム天端標高の決定に適用している。



b. ダム本体

i) ダム型式

ダム型式は、ダムサイトの地形・地質条件、水文条件を考慮し選定している。

地形的な見地から、ダム型式選定において、谷形状が最も重要な要素である。

一方、河床堆積物及び風化基盤岩の厚さ、基盤岩の強度・透水性、堤体材料の分布等の地質的な条件も非常に重要な要素である。

ii) 余裕高

ダム天端標高を決定するとき、ダムの安全性を確保するため、設計洪水水位の上に余裕高を持たなければならない。この計画では、ダム高の約4%を余裕高として適用しており、コンクリートダムに対して2～3m、フィルダムに対して2～4mとしている。

iii) ダム斜面勾配と天端幅

ダム本体の斜面勾配は、ダムの安全性だけでなく堤体積を左右する最も重要な要素の一つである。ダム本体の形状は、ダムサイトの地形、基盤の状況、堤体材料、洪水吐形式を総合的に検討して決定されるが、ここでは、斜面勾配を下記の基準に従って暫定的に決定した。

ダム型式	ダム本体の斜面勾配	
	上流面勾配	下流面勾配
コンクリートダム	1 : 0.1	1 : 0.8
フィルダム	1 : 3.0	1 : 2.5

天端幅は、フィルダムでは堤高に応じて8～20m幅と変化させ、コンクリートダムでは4m幅で一定としている。

c. 洪水吐

i) 設計洪水量

ピーク洪水量の比流量は、クリーガー公式、対数公式、イングリー公式、デッッケン公式、合理式等経験的な公式によって求めることができる。

当調査では、クリーガー公式 ($c=75$) を適用する。これは、クリーガー公式 ($c=75$) による洪水量がほぼ実績の最大値に近似していることと、カンブールダムの設計洪水量 ($Q=130,000$ cusec) が $c=70$ 程度に相当することによっている。

ii) 洪水吐の越流水深

パキスタンでは洪水吐の設計に貯水池の貯留効果を見込んでいるが、当調査では、貯留効果を見込まない次の簡単な式で越流水深を計算している。

$$Q = C \times L \times H^{1.5}$$

ここに、
 Q = 設計洪水流量 (m^3/s)
 C = 越流係数 = 2.1
 L = 越流量 (m)
 H = 越流水深 (m)

iii) 洪水吐の型式

洪水吐の型式は下記の理由から自由越流式洪水吐（ゲート無し）とする。

- 自由越流式洪水吐は、ゲート操作が不用であり、操作上の問題がない。
- ゲート無しの洪水吐は、越流水深を確保する分だけダム高が高くなるが、それに伴う工事費増はこの段階では特に問題とはならず、余裕と見なせる。

B. 頭首工

頭首工は、河川幅 200～300 m、取水容量 $0.5 \sim 5.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (20 ～180 cusec) を想定し設計した。基礎岩盤はかなり深い所から浅い所までみられるため、建設費の経済性の面から、基礎岩盤が河床から深く、砂及び礫地盤ではフローティングタイプとし、一方、基礎岩盤が浅い場合はフィックスドタイプとした。洪水量はクリーガー公式で算定している。係数はパンジャブ州の小規模ダム事業に準じて 50 を採用した。

ゲート式は建設費が高いため、土砂吐のみをゲートとした固定堰式とした。

C. 導水路

1 : 50,000 地形図に基づいて導水路線を選定後、現地踏査を実施した。導水路線の選定には次の事項が十分に考慮されている。

- 灌漑水路網には伝統的に殆ど開水路系が採用されてきたが、一方、都市用水の導水路にはパイプライン、トンネル、サイホンを組み合わせたクローズド系が採用されてきている。導水路の中に開水路が組み込まれた場合、強雨時に砂が混入し、水路敷に堆砂を引き起こす。これは施設の維持管理に多大な困難を生じることになる。
- 導水路は、総延長と建設費を最小とするよう経済的に設計されねばならない。
- 工事を簡素化するように設計されなければならない。
- 水路・パイプラインの中心線は、建設費を最小にし、維持管理を容易にし、大規模な開削と盛土を極力避けるよう等高線に沿って配置されなければならない。
- トンネルの路線はできるだけ直線でなければならない。

- ー 建設期間を最小とするため、トンネルの延長 4 km 又はそれ以上のものには堅坑又は斜坑を設ける。

水頭配分は原則として、建設費が高い構造物に対しては水頭を大きく与え（急勾配）、安い構造物に対しては水頭を小さく与える（緩勾配）。設計流速は、許容流速の範囲内で、維持管理面に不都合のないように決定される。

D. 新空港用水

新空港用水 6,800 m³/日 (1.5 MGD) の開発は地下水開発が最も経済的である。

既設の井戸の揚水実績は 0.06 ~ 0.10 m³/s であるので、新空港の施設拡充計画年次に従って井戸は当初 4 本とし、2030 年には 6 本に増強する。

6.1.5. 選定されたダムサイト

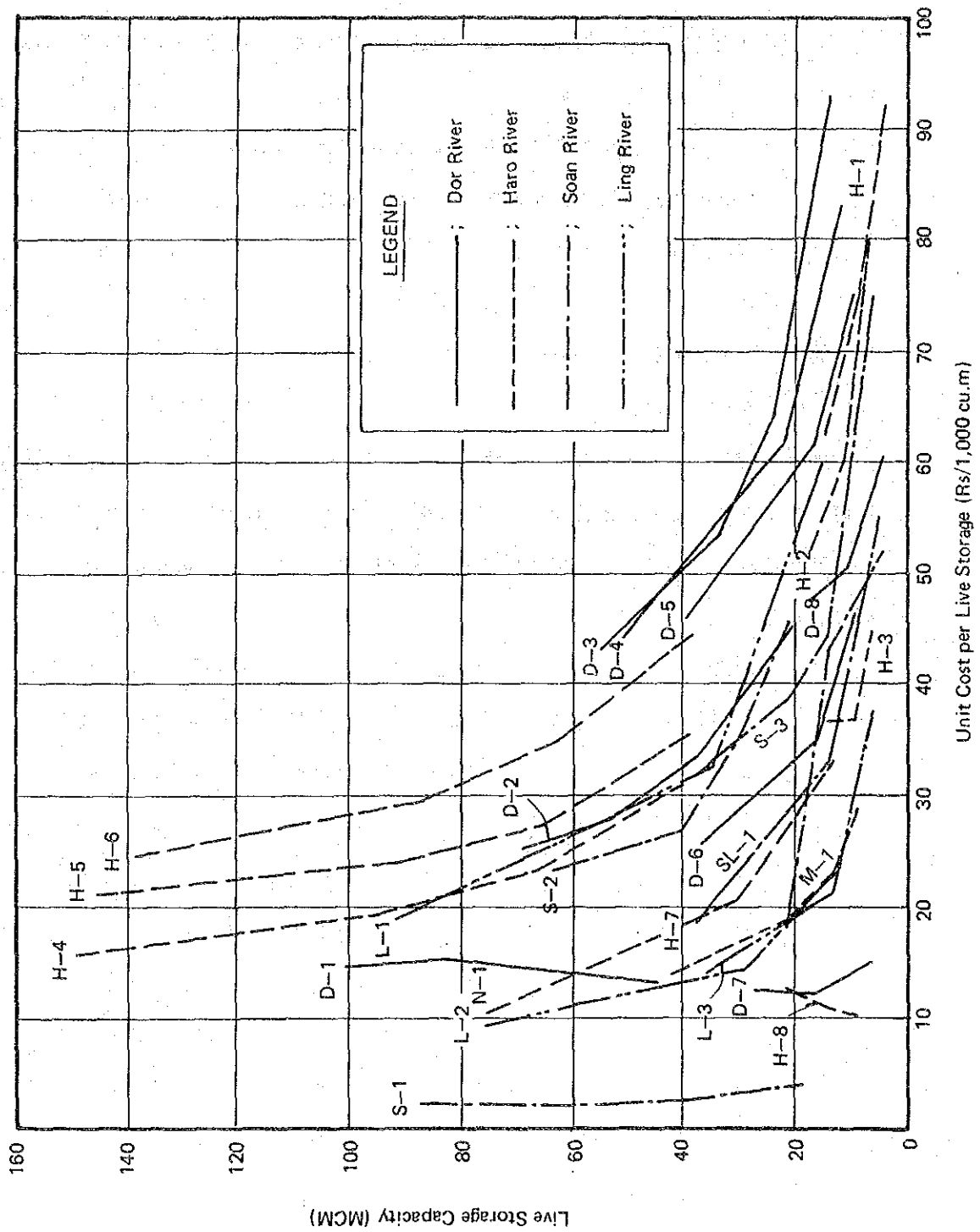
第 1 段階では、3 水系、25 ダムサイトについて調査を行い、基本検討の結果により図 VI-1-1 に示す水価（建設コスト／有効貯水容量）と有効貯水容量の関係を求めた。最適ダム群は、水需要パターン、既存ダム水源、及び頭首工・揚水機場等の取水施設との関連、並びに同一水系内のダム群の運用計画を考慮して決定した。

上記のスタディーの結果、7 ダムサイトが選定された。即ち、D-1, H-4, N-1, S-1, M-1, L-1 及び SL-1 であった。それ等は、現地調査中の暫定的な選定であった。

ダムのサイトの暫定選定

河川流域	第 1 段階	第 2 段階
ドール川	8 ダムサイト (D-1 ~ D-8)	1 ダムサイト (D-1)
ハロー川	9 ダムサイト (H-1 ~ H-8, N-1)	2 ダムサイト (H-4, N-1)
ソーン川	8 ダムサイト (S-1 ~ S-3, M-1) (L-1 ~ L-3, SL-1)	4 ダムサイト (S-1, M-1) (L-1, SL-1)
計	25 ダムサイト	7 ダムサイト

図 VI-1-1 水価と貯水容量



なお、上記選定7ダムサイトのうち、N-1 と M-1の2ダムサイトは、第2次現地調査により、次のダムサイトに修正された。

i) N-1 ダム計画の中止

ナンドナ川での N-1ダムには、調査の結果、次のような不都合があることが解った。

- シャープールダムの受益地とダム本体の一部が水没すること。
- 500 KVの特高压送電線を移転しなければならないこと。
- 建設費が高価であること。

その結果、ナンドナ川の開発の代替案として、シャープールダムの高上げを検討し、高上げ案を提案した。

ii) M-1 ダムサイトの移転

選定されたダムサイトのうち、マラル川の M-1サイトは、地形的にも地質的にも適切なサイトではなく、建設費が高価となる。パンワール村近くのロイベール測水所が設置されていたクラング川に代替サイトが選定された。このサイトは KL-1 と命名された。

6.2. 表流水

6.2.1. 水資源開発可能量評価の基準

表流水の開発可能量を評価するため、色々な大きさと規模の貯水池と水需要に対して、水収支を検討した。当調査では、下記のような前提条件のもとで水収支シミュレーションを行った。

A. 流出量

流出量は、流出解析によって求め、1960年から1980年の21年間の10日ベース流出量をシミュレーションに適用している。

B. 湖面蒸発損失

湖面蒸発量は、チャクララの蒸発散位の80%と見込み、湖面蒸発損失は各開発地点での降水量とのバランスで求めている。

C. 堆砂量

各水資源開発地点での堆砂量は、比堆砂量とダムの耐用年数(100年)をもとに算定している。上流にダムがある場合、直接流域からの土砂流出のみを考慮している。比堆砂量は次のように見積られている。

ドール川流域 500 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$

ハロー川流域 400 "

ソーン川流域 900 "

D. 浸透損失

浸透損失は、池敷からとダム本体とからの損失で構成される。しかしながら、当調査では、それ等の損失水は下流に湧出し、下流の河川維持流量の一部となると考え、浸透損失は考えていない。

E. 河川維持流量

河川維持流量(MRRF)をダム又は頭首工から下流基準点へ放流する。その流量は
渇水流量(355日流量)とし、下流の利水及び河川の保全を確保するために放流される。

F. H-A, H-V曲線

計画ダムサイトの H-A, H-V 曲線は測量又は 1 : 50,000 地形図によって求めら
れた。

G. 初期貯水量

水収支シミュレーションは1960年1月から1980年12月まで検討をしている。初
期貯水量は1960年から1980年までの12月終りの平均貯水量としている。有効貯水容
量が年流出量に比較して小さい場合には、初期貯水量は有効貯水容量のほぼ70%に当
たる。

H. 水需要

水収支シミュレーションの中で、水需要は都市用水と灌漑用水が考慮されている。
都市用水の年間の需要変動は小さく、1月での最低の 0.80 から6月での最高の1.25
までの幅で変動する。

都市用水の月別変動

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
0.80	0.85	0.90	1.00	1.15	1.25	1.05	1.00	1.05	1.05	1.00	0.90	1.00

一方、灌漑用水は都市用水と比べ、大きく変動する。年平均用水量は、作付率
140 %として、1,000 ha当たり 6.158百万m³である。

灌漑用水の月別変動

(単位：百万m ³ /1,000ha)												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
0.349	0.401	0.579	0.611	0.757	0.961	0.456	0.285	0.474	0.478	0.477	0.330	6.158

1. 利水安全度

利水安全度は 10 年に一回の水不足を許容するものとする。従って、水収支期間である 21 年間に 2 回の水不足を許容することになる。また、総需要量の 5 % 以下の水不足は影響がないと考え、水不足とは考えない。

6. 2. 2. ドール川流域の開発可能量

A. 概要

ドール川は、未だ本格的な開発の域に達していないが、ハベリアン下流で、河川水の一部が灌漑水として使われている。この流域での灌漑面積は 3,800ha と見積もられている。従って、この流域では大部分の水資源が残されており、カンプール貯水池を経由して首都圏へ導水することが可能である。

この考えに立って、D-1 ダムが上流のラジョイアに、Dw-1 頭首工が下流に計画された。

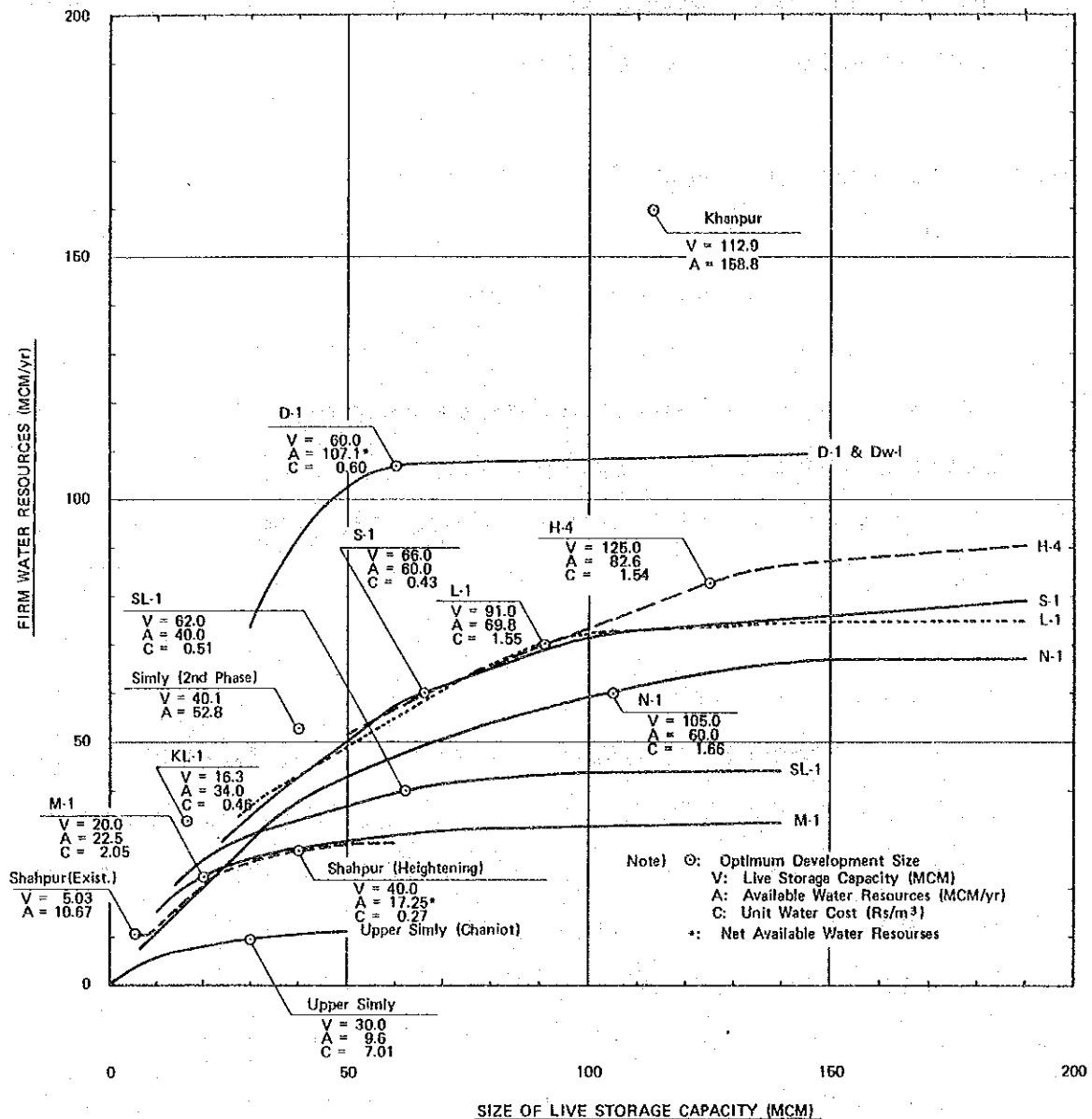
B. 水収支シミュレーション

ドール川流域での開発可能水資源量を算定する目的で、各種の大きさの D-1 ダムについて水収支を検討した。図 VI-2-1 に Dw-1 頭首工地点での水資源可能量を示している。Dw-1 頭首工からカンプール貯水池への導水容量は、最適容量として 5 m³/sec と設定されている。しかしながら、これについてはフィージビリティ・スタディで再度検討を加える必要があろう。

C. 開発可能量

図 VI-2-1 に示すドール川流域での水収支結果によると、D-1 地点に大容量ダムが設けられた場合には、Dw-1 頭首工地点での年総流出量 155 MCM のうち 109 MCM まで開発が可能であることが解る。しかしながら、年間 100 MCM を越える水資源開発は、それ程効率的に行われたい。D-1 ダムの最適開発規模は D-1 と Dw-1 によって開発される水資源の水価に基づき、経済性の面から検討された。その結果、図 VII-3-1 に示すように、D-1 ダムの有効貯水容量は 60 MCM (堤高 85m) に設定され、そのときの

図 VI-2-1 水資源開発可能量と有効貯水容量との関係



水資源開発量は年間 107.1 MCMと算定された。

上記の水量の他に、余剰水としてある水量の水資源が期待できる。その余剰水は D-1ダムサイト下流の残流域からの洪水によって生みだされる。導水容量が 5 m³/secの場合、その水量は年間 7.8 MCMと算定される。しかしながら、この余剰水を有効に使うためには、余剰水をカンプール貯水池でスピルすることなしに制御する必要がある。これについて、ドール川とハロー川流域を連結したシミュレーションで検討を行った。しかしながら、カンプール貯水池の容量が小さいために、余剰水を制御することはできず、殆どの余剰水がスピルしてしまうことが解った。

表 VI-2-1 ドール川流域での開発可能水資源量

サイト	流域面積 (km ²)	年平均流出量 (MCM)	有効貯水容量 (MCM)	開発可能水資源量 (MCM)	水価 (Rs/m ³)
D-1	292.3	96.2	60.0		
Dw-1	517.7	154.7	0	107.1	0.60
計	517.7	154.7	60.0	107.1	0.60

6.2.3. ハロー川流域の開発可能性

A. 概要

ハロー川及びその支流であるジャブラット川は、年間を通し流況が安定しているため、古来から伝統的な方法で農業に利用されてきた。この流域での本格的な水資源開発は、最近になってハロー川でカンプールダムとナンドナ川でのシャープールダムによってスタートした。一方、ジャブラット川は多くの関係機関によって都市用水及び農業用水として使われており、湧泉とかジャブラット川からポンプによって取水している。ジャブラット川流域での現在の水利用量は年間 31 MCM (0.98 m³/sec) と推定される。(表 D-4-3, 付属書 D参照)

しかしながら、ハロー川流域での水資源開発は未だ究極開発に達しておらず、かなりの水資源量が残されている。その開発の可能性を検討するため、下記のサイトについて検討を行った。

H-4 ダム : カンプールダムの上流に、カンプールダムのスピルを制御するために計画。

N-1 ダム : ナンドナ川のシャープールダム下流に計画されたが、シャープールダムの受益灌漑地区が水没するため中止となった。

シャープールダム嵩上げ : N-1 ダムの代替として、ナンドナ川の流出量を有効に利用する目的で提案した。

Jw-1頭首工 : ジャブラント川下流に計画。

上記以外の開発可能サイトとして、カンプールダムは D-1とDw-1の完成後、ドール川と連結され、ドール川から導水を行う。

B. 水収支シュミレーション

水収支シュミレーションはハロー川流域での水資源可能量を検討するために次の方法で行われた。

a. Haro川本川開発

ケース1(H) …… カンプールダム単独

このケースでは、設定された利水安全度のもとでのカンプールダムによる開発水資源量を検証するために行った。河川維持流量も他のケースと同様に設定され、その量は年間49.5 MCM(1.57 m³/sec)である。この検討の結果、カンプールダムの水資源開発量は年間流出量 327 MCMの内 158.8 MCMと算定された。

ケース2(H) …… カンプールダム+H-4 ダム

このケースでは、カンプールダムのスピルを最小にする目的で、カンプールダム上流に H-4ダムを計画し、H-4 ダムの各種の大きさについて開発可能量を検討した。このケースでは、H-4 ダムによって年間 90MCMまでの水資源を開発することが可能である。しかしながら、図VI-2-1に示す様に、85MCM を越えた場合、開発は効率的に増大しないことがわかる。水価の検討から、図VII-3-1に示す様に、H-4ダムの最適規模は有効貯水容量125MCM(H=117.5 m) に設定された。この場合、年間の総水資源開発量は 82.6MCMとなる。

ケース3(H) …… カンプールダム+H-4 ダム+ドール連結

このケースでは、ドール川をDw-1頭首工からの導水路を通し、カンプール貯水

池に連結し、余剰水の利用の可能性を検討した。しかしながら、6.2.2.で述べたように、カンプール貯水池の容量が小さいため、余剰水を使うことはできないことがわかった。

b. ナンドナ川の開発

ケース1(N) …… N-1 ダム

ナンドナ川は、ハロー川左岸灌漑地区を流れるハロー川の主要左岸支川である。そのナンドナ川に N-1ダムが、最近完成したシャープールダムの下流に計画された。

N-1 ダムの直接流域は、シャープールダムによって、462 km² から258.1 km² に減少するが、N-1 ダムは開発のための直接流域をかなり持つと同時に、シャープールダムからのスピルも開発することが可能である。しかしながら、N-1 ダムはシャープールダムの灌漑受益地を水没させるために、計画を取り止めた。

N-1 ダムの水収支は、シャープールダムのスピルを受ける条件で検討した。シャープールダムのスピルを検討し、そのスピルをN-1 ダムへの直接流域からの流出量に加算し、N-1 ダムへの流入量の一部として考えている。N-1 ダムの下流への河川維持流量は、年間 5.05 MCM (0.160 m³/sec) と考えた。

シャープールダムのシミュレーションでは、シャープールダムの容量、水需要量の条件は、PCI レポートを参照している。それ等の条件は次のようにまとめられる。

— 水需要	10.67 MCM/年
灌漑用水	7.35 MCM/年 (4,308 エーカーに対し 5,959 Aft/年)
上水	3.32 MCM/年 (2.0 MGD)
— 貯水容量	
満水容量	17.66 MCM (水位1,458.25 ft で 14,320 Aft)
死水容量	12.63 MCM (水位1,452.50 ft で 10,241 Aft)
有効貯水容量	5.03 MCM

PCI レポートでは、シャープールダムの年間流入量を 20.6MCM (16,700Aft) と考えているが、当調査では、この量は少な過ぎると考える。従って、シャープールダムの年平均流入量を 43.0MCMに修正し、その流入量に基づいて1960年から1980年に

かけて検討した。 シャープルダムのシミュレーションの結果、水不足は21年間に5回（1回／4年間に相当）生ずることが解った。

上記のもとで、N-1 ダムの水収支が検討され、その結果は図VI-2-1に示してある。 同図によれば、N-1 ダムは年間 67 MCM の水資源を開発することができ、10,900haの灌漑を行うことができる。 しかしながら、N-1 ダムの中止によって、この水資源は期待できない。

ケース 2 (N) … シャープルダム嵩上げ

N-1 ダムの替りに、シャープルダム地点での水資源の最大利用を図る目的でシャープルダムの嵩上げが計画された。 このケースでは、下記のようにシャープルダムを改修する。

シャープルダムの改修

- (1) 死水位を 442.72 m (1,452.5ft) から 440.44 mに引下げ
死水容量=7.18MCM
- (2) 満水位を 444.47 m (1,458.25ft) から 449.58 mに引上げ
満水容量=47.26MCM
- (3) 有効貯水容量を 5.03MCMから40.08MCMに増大
- (4) 下流への河川維持流量として年間 2.24MCM (0.071 m³/sec) を新規に付加する。

上記の条件のもとに、シャープルダムの嵩上げによる水資源開発可能量は年間27.92MCMと算定された。 しかしながら、既設のシャープルダムが既に 10.67 MCM の水資源を開発しているので、新規の開発可能量は年間17.25MCMのみである。

c. ジャブラット川の開発

ハロー川左岸灌漑地区の用水を開発するため、ジャブラット川下流にJw-1頭首工を計画した。 Jw-1頭首工の水収支には、流出解析の困難性から、1961年9月から1965年7月までの限られた流出量資料によって検討した。 しかしながら、この期間は、沖積平野では非常に渇水であった1964年を含んでいるため、この検討の結果は信頼できると考えて良い。 1964年は、チャクララの降水記録からみると、20年に1回の渇水年であったと言える。

この水収支シミュレーションでは、下流への河川維持流量を含めた現況の水利権を2.0 m³/secと考えている。

POF (運転容量)	1.00 m ³ /sec	
ジャブラット川ポンプ灌漑	0.28 "	
河川維持流量その他	0.72 "	(22.7 MCM/年)
総水権水量	2.00 m ³ /sec	

水収支の結果、Jw-1サイトでのポンプ容量を 2.7 m³/sec、灌漑地に総容量 8.0 MCM の調整池を設けた場合、10年に1回の渇水年においても年間 70.8 MCM の水資源を開発でき、約 10,000 haの灌漑を行うことが可能である。

C. 開発可能量

ハロー川流域での新規水資源開発可能量は年間170.65MCM と算定される。

表 VI-2-2 ハロー川流域での開発可能水資源量

サイト	流域面積 (km ²)	年平均 流出量 (MCM)	有効貯水 容量 (MCM)	年間水資源 開発可能量 (MCM)	水 価 (Rs/m ³)	年間可能水資源量	
						既開発 水量 (MCM)	新規開発 水量 (MCM)
H-4	498.5	209.5	125.0	82.6	1.54	—	82.6
カンプール	778.0	327.0	112.9	158.8	—	158.8	—
シャープル	203.9	42.5	5.03	10.67	—	10.67	—
嵩上げ	203.9	42.5	40.0	17.25	0.27	—	17.25
N-1	462.0	84.3	105	60.0	1.66	—	—
Jw-1	248.6	170.4	0	70.8	0.77*	—	70.8
計						169.47	170.65

注：*調整池を含む水価（表Ⅶ-3-6参照）

6.2.4. ソーン川流域の開発可能量

A. 概 要

ソーン川の上流は、ソーン川とその支川であるクラング川とリング川の3河川で構成されている。それらの河川のうち、ソーン川とクラング川はそれぞれシムリーダムとラワルダムによって開発されている。一方、リング川は、未だ、水資源開発がなさ

れずに残されている。しかしながら、ソーン川もクラング川も未だ究極開発には至っていない。更に、下流の支川であるシル川も水資源開発がなされずに残されている。

上述の状況を考慮し、6ダムと1頭首工がこの流域に考えられた。

シムリー上流ダム：シムリーダムの無効放流を減少させ、ソーン川最上流での水資源開発量を増大させるため、シムリーダム上流、チニオット地点に建設が考えられた。しかしながら、このダムはS-1ダムによる開発に比較して極端に高価な水価となるため、選定されなかった（表 D-3-4, 付属書 D）。S-1ダムによって、もっと安価に水資源を開発することが可能である。

S-1 ダム : シムリーダム下流に計画され、シムリーダム下流の残流域と無効放流を開発することができる。

M-1 ダム : クラング最下流の支川であるマラル川に計画されたが、M-1下流に計画されたKL-1ダムよりも水価が高いのと、建設面での技術的困難性から中止された。

KL-1ダム : クラング川の最下流に計画され、ラワルダムの残流域の水資源を開発する。

L-1 ダム : リング川に計画

SL-1ダム : シル川に計画

SW-1頭首工 : ソーン川のGT道路橋直上流に計画された。しかしながら、水文的な検討で次のことが明らかにされたため、中止された。

- ソーン川は頭首工開発にとっては流況が不安定である。
- SW-1サイトでの基底流量の大部分がクラング川から供給されており、その基底流量はクラング川の流域で殆ど開発されてしまうおそれがある。

B. 水収支シミュレーション

ソーン川水系では、各開発予定地ごとに個別に水収支シミュレーションを行った。

図VI-2-1にその結果を示す。また、下記にシミュレーションに与えられた条件を示す。

シミュレーションでの条件

開発地点	関連既存施設	河川維持流量(MRRF) MCM/年 (m ³ /sec)	流域面積 (km ²)	備 考
シムリー上流ダム	シムリーダム	—	126.4	MRRFは考慮されなかった。 第2段階の条件下で検討。
シムリーダム	—	—	152.8	
S-1 ダム	シムリーダム	11.42 (0.362) *1	341.1	ラワルダム下流の残流域 の開発を目的とする。
M-1 ダム	—	2.78 (0.088) *1	82.8	
KL-1ダム	ラワルダム	6.00 (0.190) *2	283.7	
L-1 ダム	—	9.52 (0.302) *1	285.0	
SL-1ダム	—	2.60 (0.082)	237.6	

注：*1：流域面積に応じて、ラワルピンディ測水所での流量 1.78 m³/secを確保する。

*2：ラワルダム下流開発で消費されてしまうと予想される。

S-1 ダムとシムリー上流ダムのシミュレーションに関連して、シムリーダムの水資源開発量と無効放流量を検討するために、シムリーダムの検証を行った。その検討は、現在進行中の第2段階（貯水位上昇によって供給量の増大を図る）の条件下で検討した。第2段階では、49MGD の供給能力に増大させる計画であるが、検討の結果、65%にあたる 31.85MGD (52.8MCM/年) しか開発できないことが解った。S-1 ダムの水収支の検討には、この31.85MGDが使われている。

シムリー上流ダムは、シムリーダムとの連動で検討を行った。シムリー上流ダムの効果は、シムリーダムの無効放流を削減することであり、従って、シムリーダムによって既に開発されている52.8MCM /年以上の開発分が新規の開発量となる。

C. 開発可能量

表VI-2-3は水価を考えた経済的な面からの最適開発規模を示している。シムリー上流ダムでの水価が最も高く、M-1 がそれに続いている。これ等のダムはそれぞれ下流のダム S-1及びKL-1でもっと安価に開発が可能である。従って、次の4ダムが提案できる。即ち、S-1 ダム、KL-1ダム、L-1 ダム及びSL-1ダムで年間 203.8MCM の水資源を開発することができる。

表VI-2-3 ソーン川流域での開発可能水資源量

サイト	流域面積 (km ²)	年平均 流出量 (MCM)	有効貯水 容量 (MCM)	年間水資源 開発可能量 (MCM)	水 価 (Rs/m ³)	年間可能水資源量	
						既開発 水量 (MCM)	新規開発 水量 (MCM)
シムリー 上流ダム	126.4	69.0	30.0	9.6	7.01	—	—
シムリーダム	152.8	83.4	40.09	52.8	—	52.8	—
S-1 ダム	341.1	130.9	66.0	60.0	0.43	—	60.0
M-1 ダム	82.8	38.0	20.0	22.5	2.05	—	—
KL-1ダム	283.7	102.7	16.3	34.0	0.46	—	34.0
L-1 ダム	285.0	107.1	91.0	69.8	1.55	—	69.8
SL-1ダム	237.6	50.1	62.0	40.0	0.51	—	40.0
計						52.8	203.8

6.2.5. 開発可能量の総合評価

設定された利水安全度のもとで、各開発地点での水資源開発可能量のシミュレーションは図VI-2-1に要約されている。この図は、有効貯水容量と開発可能水資源量との関係を示している。図の中で、有効貯水容量を横軸に、水資源量を縦軸に置き、1960年から1980年の21年間で水不足が2年発生する関係を示している。従って、この曲線は設定された利水安全度のもとでの開発可能水資源量を示している。曲線が急勾配の区間では、開発可能水資源量はダムの貯水容量を増大するにつれて効率的に増大することを示している。しかしながら、緩勾配の区間では、開発可能水資源量の増大は貯水容量を増大してもそれ程効率的に行われぬ。曲線上でマークされた点は最も低コストの水価での開発規模を示している。

表VI-2-4は経済性の面から選定された開発の可能性を示している。同表によると下記のことが解る。

- (1) カンプールダムを含むダム群の総有効貯水容量は 573MCM となる。そのときの利用効率は総流入量 1,085MCM に対して 1.89 となる。
- (2) 新規開発可能水資源量の総量は 482MCM となり、開発比率は総流入量 1,085 MCM の 0.444となる。
- (3) 河川維持流量の総量は 133MCM で、総流入量 1,085MCM の12.3%に当る。
- (4) 新規開発可能水資源量と河川維持流量の総量は 614MCM となり、総流入量 1,085 MCM の 56.6 %になる。

表 IV-2-4 調査地域の開発可能水資源量

開発地点	流域面積 (km ²)	年平均 流出量 (MCM/yr)	有効貯水 容量 (MCM)	利用効率 (1)/(2) (MCM/yr)	開発可能 水資源量 (MCM/yr)	(4)	(5)	河川維持 流量 (MCM/yr)	無効放流 (MCM/yr)	水不足年
						既開発水資源量 (MCM/yr)	新規開発可能 水資源量 (3)-(4) (MCM/yr)			
ドール川										
D-1	292.3	96.2	60.0	1.60		0				
Dw-1	517.7	58.5	0	—		0		32.5	10.9	
小計	517.7	154.7	60.0	—	107.1	0	107.1	32.5	10.9	1966, 70
ハロー川										
H-4	498.5	209.5	125.0	1.68		0				
カンブールダム	778.0	117.5	112.9	1.04		158.8		49.5	36.6	
計	778.0	327.0	237.9	1.37	241.4	158.8	82.6	49.5	36.6	1970, 75
ドール・ハロー連結 (導水容量 5.0m ³ /sec)										
H-4		209.5	125.0	1.68		0		49.5		
カンブールダム		228.2	112.9	2.02		158.8				
計		437.2	237.9	1.84	348.5	158.8	189.7	49.5	40.4	1970, 75
シャープルダム										
	203.9	42.5	40.0	1.06	27.92	10.67	17.25	2.2	5.9	1973, 75
Jw-1	248.6	170.4	0	—	101.80	31.0	70.8	22.7	45.9	
小計	1,230.5	539.9	277.9	1.94	371.12	200.47	170.65	74.4	88.4	1970, 73, 75
ソーン川										
S-1	341.1	130.9	66.0	1.98	60.0	0	60.0	11.4	55.0	1970, 75
L-1	285.0	107.1	91.0	1.18	69.8	0	69.8	9.5	22.3	1970, 75
KL-1	283.7	102.7	16.3	6.30	34.0	0	34.0	2.3	59.6	1962, 74
SL-1	237.6	50.1	62.0	0.81	40.0	0	40.0	2.6	3.1	1962, 75
小計	1,147.4	390.8	235.3	1.66	203.8	0	203.8	25.8	140.0	1962, 70, 74, 75
合計	2,895.6	1,085.4	573.2	1.89	682.02	200.47	481.55	132.7	239.3	1962, 70, 73, 1974, 75

6.3. 地下水

6.3.1. 概 要

調査地域は東方の山岳地域と西方のポトワールプラトゥーと呼ばれる平原の2つに大別される。ポトワール平原は、西南西―東北東に延びる古い時代の山脈、盆地を第四紀のシルト、粘土、砂、礫等の末固結堆積物が埋積して形成されたものである。

調査地域の主要な帯水層はこのポトワール平原の末固結堆積物中に胚胎されており、末固結堆積物の分布が広くかつ厚い箇所は大規模な地下水盆が形成されている。

一般にポトワール平原の東方の山裾に近い部分では、末固結堆積物は粗い粗成となり、山地から遠くに従い細粒となる傾向が認められる。このため、良好な帯水層はポトワール平原の東方に多く分布している。

調査地域には図VI-3-1に示すように比較的大規模な地下水盆が6箇所で見られる。この図に示すように、地下水盆は地質構造の主方向に影響されて西南西―東北東方向に長く延びており、巨大な地下水貯水池を形成している。これらの地下水盆の概要を表VI-3-1に示す。

地下水の貯留量は、堆積物の有効間隙率を10%、地下水盆の厚さを300mと推定し、計算している。

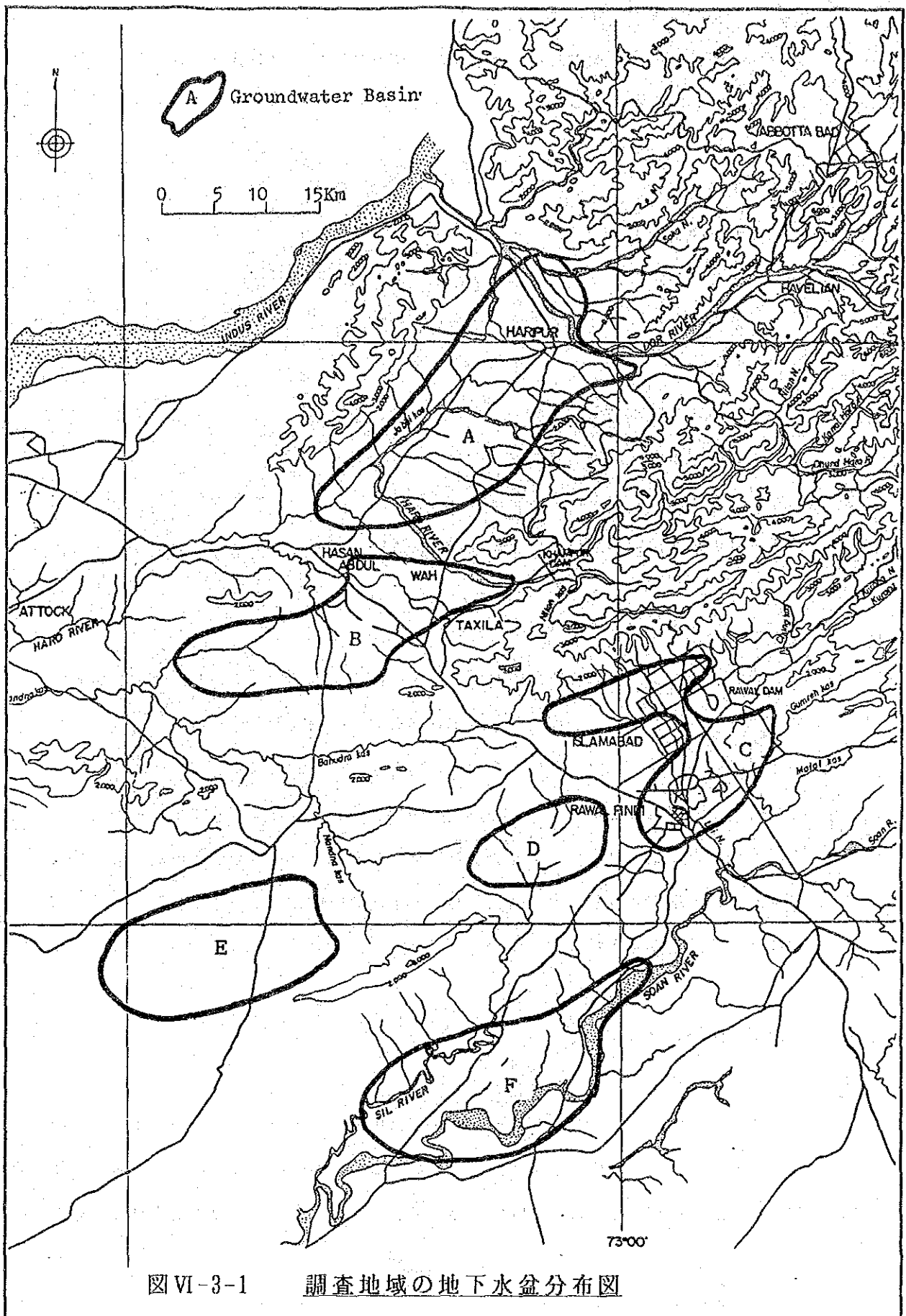
表VI-3-1 調査地域の地下水盆の特徴

地下水盆	地下水深度 (m)	帯水層の能力	地下水開発 状況	推定地下水埋蔵量 ($\times 10^9$ m ³)
A	5～70	高～中程度	中程度	4
B	5～30	高～中程度	中程度	3
C	5～20	高～中程度	高程度	2
D	10～30	低～中程度	低い	1
E	10～30	低い	低い	1
F	5～20	低～中程度	低い	3

データソース：GE-1, GE-4

この様に、調査地域周辺では莫大な量の地下水が賦存していると結論づけられる。イスラマバード・ラワルピンディ首都圏のための地下水開発の開発地域の選定に当たっては下記の条件が必要である。

- ― 良好な帯水層が存在すること。
- ― 巨大な地下水盆を持つこと。



図VI-3-1 調査地域の地下水盆分布図

— 首都圏に近いこと。

地下水開発の開発地域として3ヵ所の地下水盆B, C, Dが選定されたが、それ等は上記の条件を満たしている。

6.3.2. 地下水開発地域

A. 水理地質構造概要

a. イスラマバード、ラウルピンディ地域（地下水盆C, D）

首都圏地域の水理地質構造上の特徴は、地下水盆が更に6つの地下水盆に分かれていることである。これを図VI-3-2に示す。

最も良好な帯水層に恵まれている地下水盆は図VI-3-2にC-IIで示したナショナルパーク地下水盆で、自噴井も数多く存在する。

この地下水盆の帯水層透水量係数は、 $500 \sim 1,000 \text{ m}^3/\text{日}$ と推定されるが、他の地下水盆の帯水層の透水量係数は概ね $100 \sim 500 \text{ m}^3/\text{日}$ 程度と推定される。

b. ワー、タキシール地域（地下水盆B）

ワー、タキシール地域には西南西—東北東に延びる幅10kmの地下水盆が分布している。ワー、タキシール地域の地下水は図VI-3-3に示すように北西方向に流下しているものと判断される。この地下水流は地下水盆の北縁を画す基盤岩に流れを妨げられているものと推定される。また、同図に示すようにこの地域には3本の大きな水脈の存在が推定される。また、泉群の存在から、その透水量係数は数千 $\text{m}^3/\text{日}$ にも及ぶものと推定される。その様な高い透水性の地帯は、粗い組成の堆積物が蓄積された旧河道と推定される。

B. 地下水開発状況

a. イスラマバード、ラウルピンディ地域

イスラマバード、ラウルピンディ地域では既に150本以上の井戸が設置されているが、図VI-3-2に示す様に地下水開発は首都圏の中心部と西部に集中している。年間の総揚水量は1987年には59 MCMに達しており、各々の地下水盆の揚水量は下記の

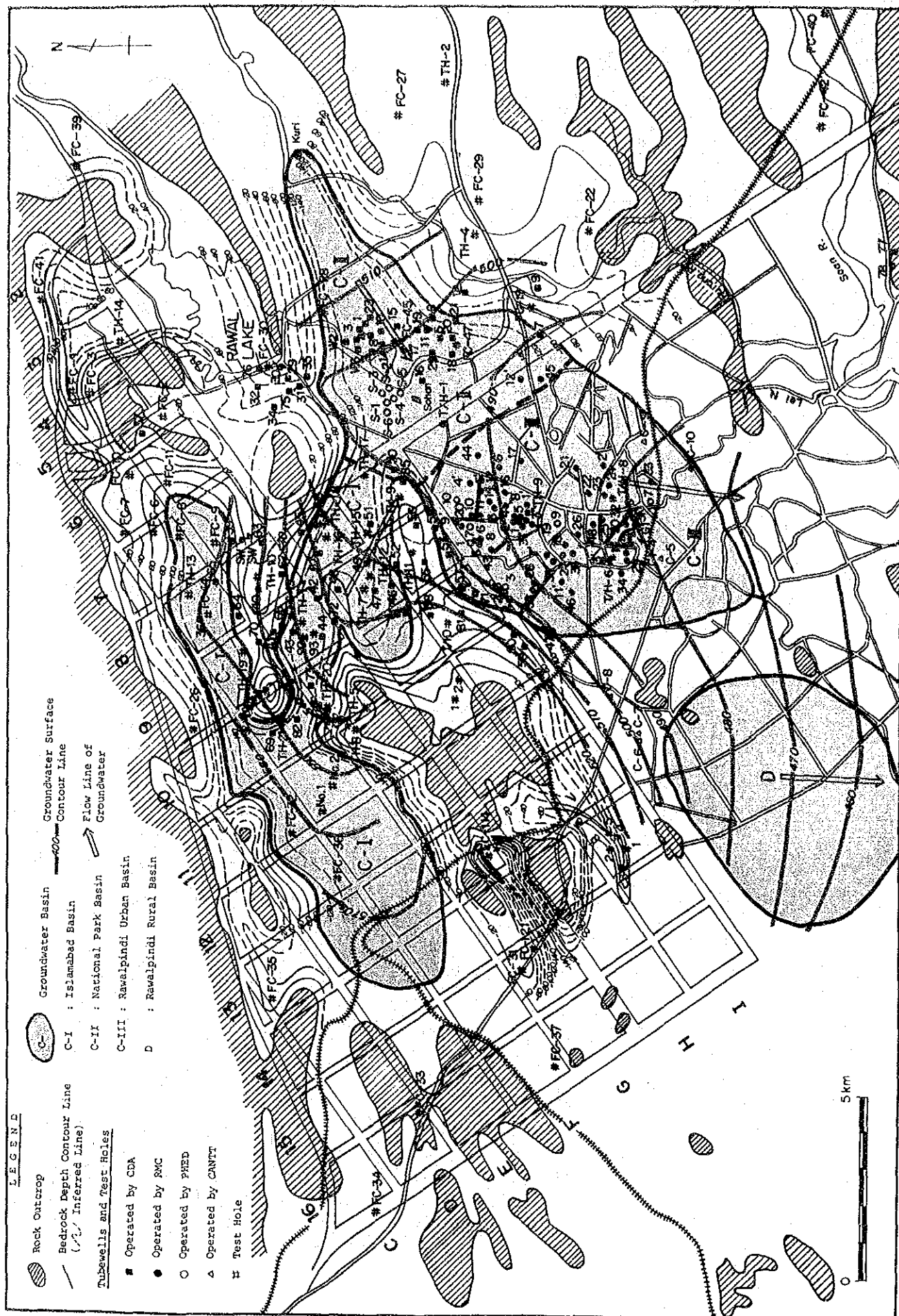


図 VI-3-2 イスラマバード・ラワルピンディ地域水理地質図

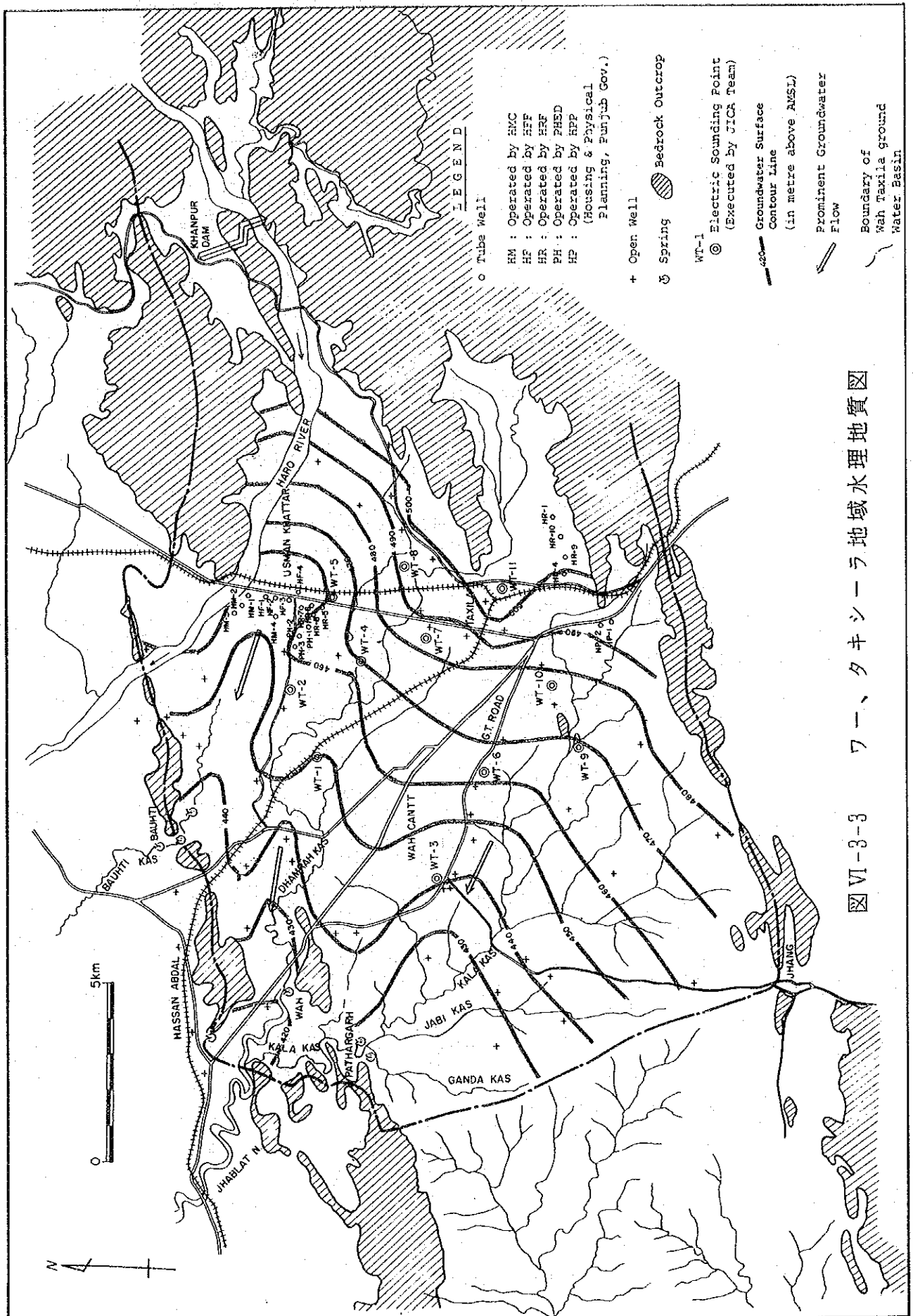


図 VI-3-3 ワー、タキシーラ地域水理地質図

様になっている。

イスラマバード地下水盆	(C-I)	13 MCM
ナショナルパーク地下水盆 (ゴルフコース地域を含む)	(C-II)	22 MCM
ラウルピンディ市街地地下水盆	(C-III)	24 MCM/ 年
ラウルピンディ郊外地下水盆	(D)	ほぼ無視できる
計		59 MCM/ 年

ラウルピンディ市街地のレイ川左岸地域では、過密な井戸群からの過剰揚水によって夏には地下水位の低下が顕著である。

b. ワー、タキシーラ地域

ワー、タキシーラ地域の地下水盆からの揚水は約50本程の井戸によって行われており、現在の揚水量は年間 21 MCM 程度である。

タキシーラ地区		11 MCM/ 年
ワー地区		10 MCM/ 年
計		21 MCM/ 年

この地域では、ジャブラット川を始め、その他の河川の泉群の地下水湧出が大量にあることを考えると、過剰揚水による地下水位低下は生じていないと判断される。

c. 首都圏近傍における地下水開発可能地域の選定

地下水開発可能地域は、地下水盆の規模が大きく、かつ地下水開発があまり進んでいない地域であることを基準にして選定した。

a. イスラマバード、ラウルピンディ地域

図VI-3-4に示すように次の地域が選定される。

- 1) イスラマバード市の西部セクター地域
- 2) ナショナルパーク地域内のクラング川右岸地域
- 3) ラウルピンディ市街地西方地域 (駐屯軍管理地域)
- 4) ラウルピンディ市西方郊外地域

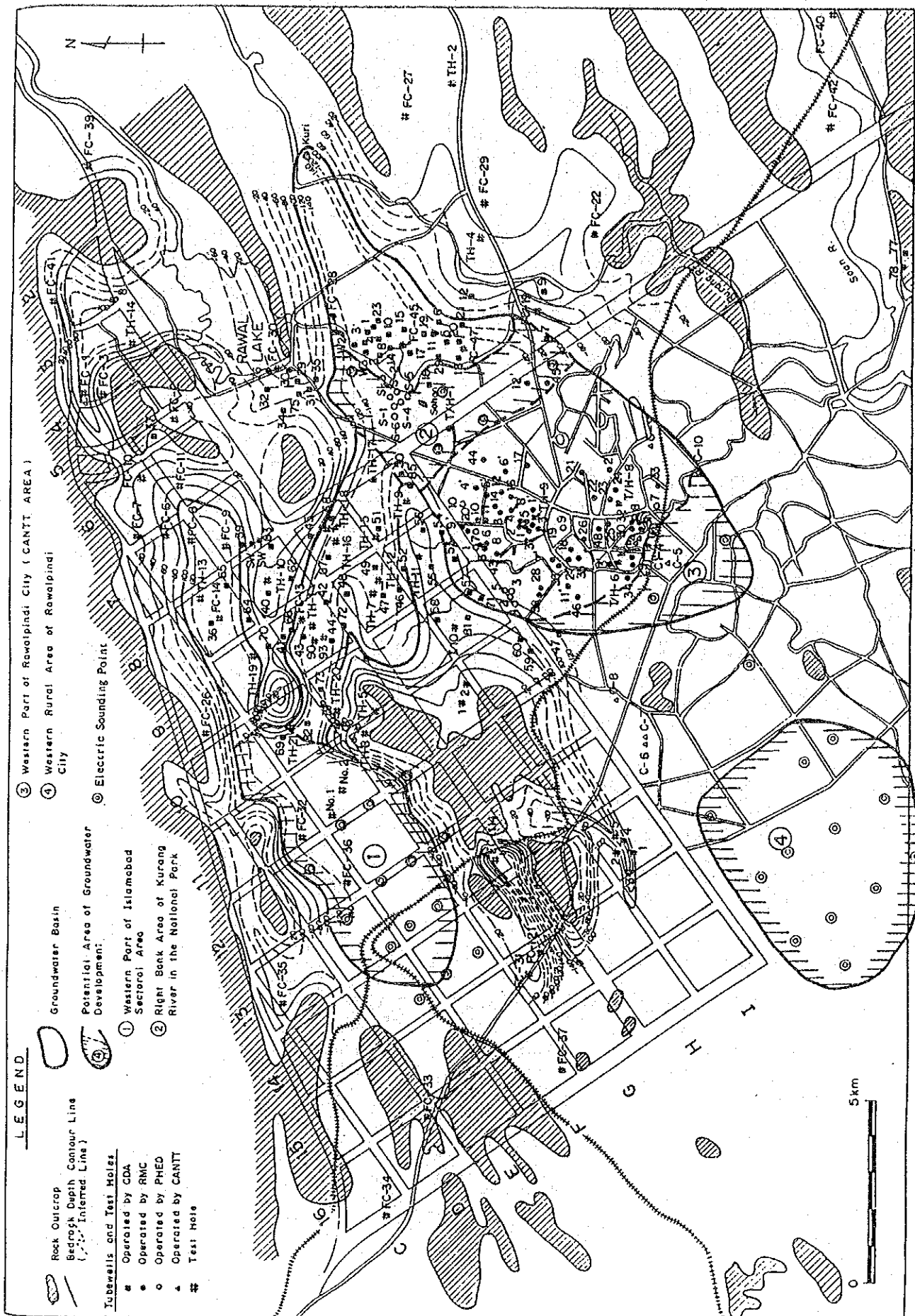


図 VI-3-4 イスラマバード・ラワルピンディ地域地下水開発可能地域

b. ワー、タキシーラ地域

ワー、タキシーラ地域では、広大な地下水盆を有する割には井戸の揚水量が少なく、将来の地下水開発のポテンシャルティは高いと判断される。

6.3.3. 電気探査

電気探査は水理地質状況を把握する目的で、選定された開発可能地域について実施した。比抵抗値は4層モデルで解析した。比抵抗値と地質の対比を、既設及びテスト井戸の地質柱状図と対比した結果から、帯水層は比抵抗値が $50\ \Omega \cdot m$ 以上の比抵抗層に対比されると考えられる。電気探査地点は図VI-3-3と図VI-3-4に示してある。

A. 電気探査結果概要

比抵抗層の分布に基づいて、各探査地域の特性を述べると次のようにまとめられる。

a. イスラマバード市西部セクター地域 (15点 実施)

本地域の比抵抗値は一般に $50\ \Omega \cdot m$ 以下と低く、 $50\ \Omega \cdot m$ 以上の比抵抗層はまれであり、また連続性にも乏しい。

b. ナショナルパーク地下水盆のクラング川右岸地域 (5点 実施)

当地域には比抵抗値が $50 \sim 100\ \Omega \cdot m$ の帯水層と考えられる比抵抗層が沖積層中に数層認められる。従って、この地域には優良な帯水層を形成している砂及び礫層が連続的に分布している。

c. ラワルピンディ市街地西方地域 (4点 実施)

当地域は、一般的に $20\ \Omega \cdot m$ 以下の低い比抵抗層が分布している。いくつか比抵抗値 $50 \sim 70\ \Omega \cdot m$ といった高い部分も認められるが、その層厚は薄く連続性に乏しい。

d. ラワルピンディ市西方郊外地域 (12点 実施)

当地域の比抵抗値は一般に $50\ \Omega \cdot m$ 以下と低いが、局所的に $50 \sim 140\ \Omega \cdot m$ を

示す厚さ10~20mの高比抵抗層が、深度50m以深のところに散見される。しかしながら、それらの連続性は不良である。

e. ワー、タキシーラ地域 (11点 実施)

高比抵抗層がワー駐屯地の北西側の地域に認められ、これは HMC及び HFPの北側にあたる。この高比抵抗層ゾーンは6.3.3.で述べた地下水流のうちの1つに一致する。ワー駐屯地の西部及び南部は粘土層が分布しており、比抵抗値は $50 \Omega \cdot m$ 以下である。

B. 電気探査結果による地下水開発可能地域の評価

a. イスラマバード、ラフルピンディ地域

電気探査の結果と既存井戸の揚水量を評価すると、有望視できるのはクラング側右岸地域のみであり、他の地域には有望な帯水層は殆どないと判定される。

b. ワー、タキシーラ地域

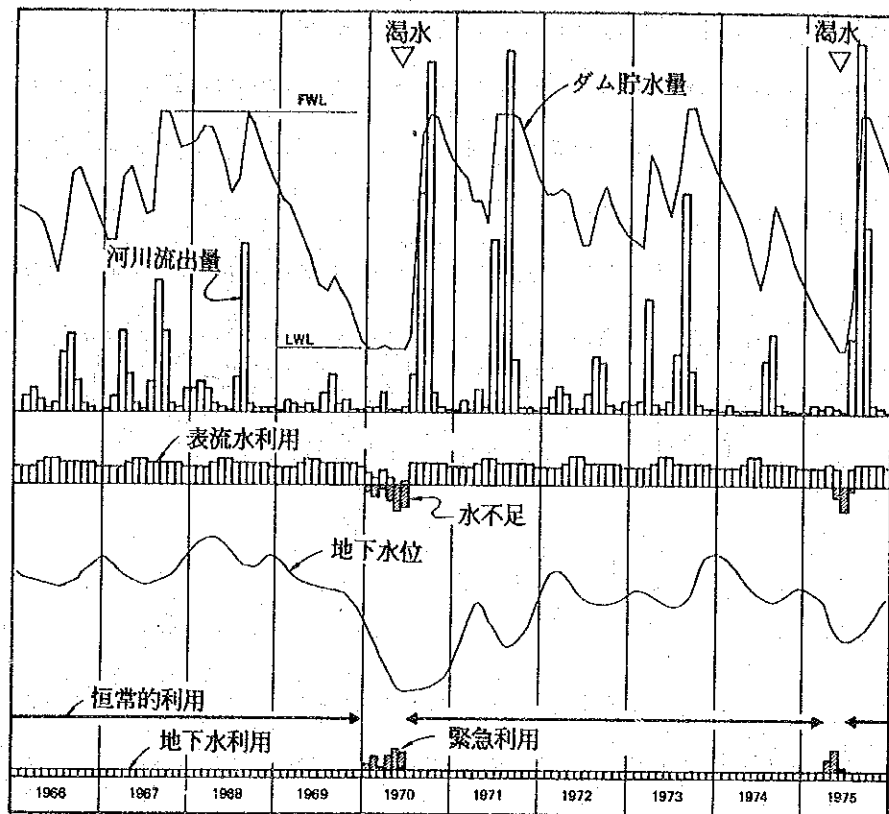
類推された3本の地下水流に沿って、高透水性のゾーンが浅い部分に分布し、これ等推定水脈沿いが、地下水開発のポテンシャルティが高い地域であると推定される。その他の地域には、この様な有望な帯水層は殆どないと推定される。

6.3.4. 地下水開発ポテンシャルティ

地下水の開発には2つの考え方がある。一つは恒常的に通年利用する場合と、もう一つは、渇水年に緊急に利用する場合である。

地下水を恒常的に利用する場合、揚水量は地下水盆への涵養量の範囲にとどめなければならない。そうでなければ、地盤沈下といった色々な障害が発生することになる。

渇水年に対応するための緊急利用の場合、地下水涵養を越えて揚水することが許される。なぜならば、この様な利用は一時的なものであり、渇水年から数年のうちに自然涵養により地下水位を回復することができるからである。恒常的地下水利用と緊急的地下水利用の概念を下図に示す。



A. イスラマバード、ラウルピンディ地域

a. 恒常的利用

水文解析の結果から、首都圏東側の3つの地下水盆の集水域で地下に涵養される水量は年間約1億4千万トンと見積られる。

しかしながら、地下水盆への地下水涵養量は、基盤への浸透量や他の地下水盆への流出分が判明しないと把握できない。地下水位の長期の変動データは地下水盆への涵養量を推定する重要な資料となる。しかし、これらの情報は現在のところ入手できないため、恒常的な開発量を正確に算定することは不可能である。

一方、ナショナルパーク地下水盆を流れるクラング川には30 MCM/年の地下水が流出していることが流量観測の結果判明している。この流出量全てを開発した場合、クラング川の流況に大きな影響を与えることになる。このため、河川流出量の開発を50%に抑えたとすると約15 MCM/年の地下水がここで開発できることになる。

ラウルピンディ市西方郊外地域の地下水盆は他の地下水盆と分離独立している。また、殆ど地下水の開発が進んでいない。水文解析に基づくと、この集水域での地下浸透量は約22 MCM/年と見積られる。地下浸透は地下水盆の表層で行われるため、

大部分の浸透水は地下水資源として利用できると考えられる。しかし、一方、この地域の地層は細粒質の堆積物が卓越しており、地下水を効率良く開発することは困難と考えられる。従って、開発可能量を全涵養量の50%と少なめに見積ったとすると、その値は約 11 MCM/年となる。

以上のように、現状のデータからは首都圏において恒常的に開発できる地下水量は最低 26 MCM/年程度は期待できるものと思われる。しかし、恒常的に開発できる地下水量は今後水位変動データ等に基づき地下水盆への涵養量を把握し、この数量をもとにより具体的に検討すべきである。

b. 緊急対策としての地下水利用

首都圏の地下水盆を一つの巨大な貯水池と考えた場合、その地下水の埋蔵量は合計で約30億トンと莫大な量に上る。地下水盆の地下水位を全体に10m降下させた場合に得られるであろう地下水量は約1億4千万トンである。これは堆積物の平均有効間隙率を10%として計算した結果である。

この様に、首都圏地域では異状渇水時のような、一時的ではあるが深刻な水不足に対応できるだけの地下水は十分に確保できるものと判断される。

緊急開発に際しては、地下水と表流水の連携開発が必要である。

B. ワー、タキシーラ地域

a. 恒常的利用

ワー、タキシーラ地下水盆には水文解析の結果、年間約2億1千万トンの地下水の涵養があると推定されている。一方、1961年から1965年にかけてのデータに基づく水文解析結果によると、ワー、タキシーラ地下水盆からは年間約1億7千万トンに近い地下水が河川（ジャブラット川及びボウティ川）へ流出していることが判明した。このことは、ワー、タキシーラ地下水盆に涵養される地下水量の80%以上が河川に流出し、表流水として流れ出していることを示すものである。このことは、先に述べたように地下水盆の地下水が難透水性の基盤岩尾根によってダムアップされているという特殊な水理地質構造に起因していると判断される。

現在では、地下水盆で井戸揚水が実施されており、湧水からも大量の地下水が汲み上げられているが、他方カンプールダムからの漏水が地下水体に付加されていると考えられる。これらを考慮した現況の推定地下水収支を下に示す。

1. 雨水による涵養	210 MCM/年
2. カンプールダムからの涵養	20 "
計	230 "
3. 井戸からの揚水	21 MCM/年
4. 泉からの湧出	160 "
5. 漏水と流出	49 "
計	230 "

上に示すように、現在ワー、タキシール地下水盆から河川へ余剰水として溢れ出す地下水量は年間1億6千万トン程度と推定され、その水量が当地域における最大地下水開発可能量にほぼ近いものと考えられる。

しかし、地下水盆内で井戸により大量の地下水を開発した場合、地表への地下水の流出量が激減することになり、現在水源として利用されている湧泉群やジャブラット川、ボウティ川の河川流量にも大きな影響を与えることが予想される。

このように地下水開発の方法には地下水を地下水盆内で地下水として開発する場合と、地下水盆の北側で表流水に形態を変えた地下水を開発する場合の2通りが考えられる。

b. 緊急対策としての地下水利用

ワー、タキシール地下水盆の地下水埋蔵量はおおよそ30億トンと見積られる。また地下水盆内の水位を一率10m降下させた場合得られるであろう地下水量は堆積物の平均有効間隙率を10%とした場合おおよそ1億4千万トンと見積られる。

北側の湧泉群になるべく影響を与えないよう地下水位降下地域を湧泉群から5 km 離れた場合には、10mの水位降下で得られる地下水量はおおよそ1億トンと見積られる。

このように、ワー、タキシール地域においても緊急対策用として地下水源は十分に賦存されていると判断される。また、首都圏の緊急対策としても、この地域の地下水の利用を考えることが必要であろう。

6.3.5. 今後の調査課題

今回実施した地下水の検討は、あくまでも調査地域の地下水賦存状況の大まかな輪郭を把握したに過ぎない。地下水開発ポテンシャルを的確に評価するには地下水位変動データ等のより詳しく正確な情報が必要不可欠であり、今後この様な情報を得るために各種の観測、研究を行う必要がある。

地下水解析にとって、ランドサットによる衛星写真技術も有効な手法の一つである。しかしながら、ランドサット・データは当調査には向いていないと考える。なぜならば、ランドサットの衛星写真技術は広大で開発の遅れている地域、例えば砂漠等で有効であり、高度に開発された地域、例えば調査地域のように詳細な資料がある所ではそれ程有効ではない。

今後実施すべき観測、試験の項目を以下に記す。

a. 地下帯水層調査

- 1) 全体地域の地下水位調査（年2回程度、既存井戸利用）
- 2) 調査ボーリング、物理探査による帯水層把握
- 3) 揚水試験による透水性、空隙率の把握
- 4) 地下水水質調査

b. 地下水流動調査

- 1) 地下水盆毎の地下水位変動観測（観測井、既存井戸利用）
- 2) 降雨観測
- 3) 河川流量調査
- 4) 正確な揚水量の把握
- 5) 地下水涵養量の推定
- 6) 水収支解析

c. 地下水利用計画

- 1) 地下水盆毎の水収支見通し
- 2) 地下水盆毎の緊急揚水の可能性
- 3) 河川水渇水対策の比較検討
- 4) 地下水利用計画