

第2章 社会経済状況

2.1 地理的な特徴

スワット流域のムンダとその周辺地域は、北西辺境州(NWFP)ペシャワールの北東 37 km に位置する。本事業はシャブカダールデリの中心街に近いアバザイの既設ムンダ頭首工から 5 キロ程上流のスワット川近くで実施される。ダムの貯水池は連邦直轄部族地域(FATA)にあるモーマンド/バジュール・エージェンシーと州直轄部族地域(PATA)にあるマラカンド・エージェンシーまで広がる予定である。貯水池の全長はスワット川の岩の多い峡谷の中で約 56 km にも亘ると想定される。

この地域はやせ地で岩の多い丘や流域から成っている。雑草、雑木林等がまばらに生えているのを除いては、殆ど植生は見られない。スワット川は深い峡谷を流れており、川岸沿いにも可耕地は殆ど無く、川岸の至るところで侵食の進んだ谷・沢が見られる。川の合流地点では扇状地が形成されている。

既設ワルサック・ダム下流左岸の水路は 3,306 ヘクタールの土地の灌漑水源となっている。残りの 42%の耕地では井戸、ポンプ、泉、小川等が使われている。パライ・ダムとタンギ灌漑計画は本事業の新規灌漑面積のうち 1,862 ヘクタール、715 ヘクタールを占めている。

現在、計画対象地域内では僅か 6%だけが耕作されており、耕作可能ではあるが放置されている土地がおよそ 173,280 ヘクタールある。一戸当たりの農地面積は平均 2 ヘクタールで、小麦、とうもろこし、さとうきびが主要産物である。

ムンダ・ダムの貯水池は、ペシャワール郡に隣接する FATA のモーマンド/バジュール・エージェンシーにある。右岸はモーマンド・エージェンシーに当たり、左岸側は PATA のマラカンドである。これらの下流に当たる地域はチャルサダ郡である。

2.2 行政体制

2.2.1 北西辺境州と連邦直轄部族地域

北西辺境州(NWFP)はインドが英国植民地であった 1901 年に州となった。この州の人口は 1,750 万人程で、面積は 10 万平方キロである。約 75%が州政府の管轄にあり、残りは連邦直轄部族地域(FATA)である。図 2.2.1 および図 2.2.2 に示すように、州内には 21 の郡があり、主な郡はペシャワール、そしてムンダ・ダムの近くのチャルサダである。

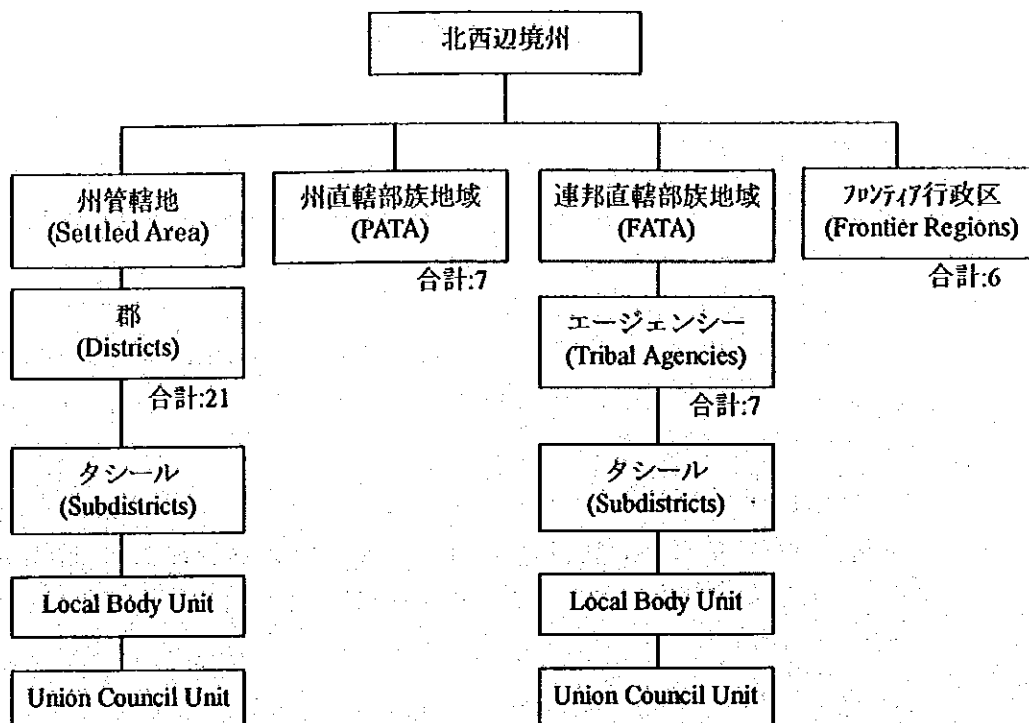


図 2.2.1 北西辺境州の行政体制

各郡はさらにタシール (Sub-district) に分かれている。FATA の部族地域はパロチスタン州に隣接する山間の650キロ程の長さを持つ土地であり、人口は3百万人を越えると推定されている。FATA は7つのエージェンシーと6つのフロンティア行政区からなっている。7つのエージェンシーにはムンダ・ダム近くのモーマンドとバジャウルが含まれている。エージェンシーは首相が任命し NWFP 州首席大臣が承認した Political Agent が長を勤める。6つのフロンティア行政区は長官の管理下で複数の副長官が直接運営する。フロンティア行政区はベジャワール、バス、ラッキ、デーアイカーン、タンク、コハートに置かれ、ちなみに州長官/副長官はパキスタン行政委員会の推薦を受けてパキスタン政府が任命する。立場は公務員である。

2.2.2 事業対象地域の行政状況

事業対象地域は、図 2.2.3 に示される様に、モーマンド/バジュール・エージェンシーとチャルサダ郡のタシール (タンギ) の3自治体をカバーする。モーマンド・エージェンシーには、ヤクグンド、バンディアリ、プラング・ガールの3タシールが存在する。マラカンド・エージェンシーのタシールはダルガイで、チャルサダ郡はタンギ・タシールに当たる。事業対象地域は5つのタシールと70の市町村 (V/Ss) をカバーしている。

右岸の対象地域はモーマンド・エージェンシー上流部の2つのタシール (バンディアリとヤクグンド) 全体をカバーしており、32V/Ss が存在する。左岸地域には38 V/Ss が存在しており、3つの自治体を横切っている。マラカンド・エージェンシーのダルガイ・タシールには15のV/Ssが

存在する。モーマンド・エージェンシー上流部のブラング・ガール・タシールには 16 V/Ss が、チャルサダ郡のタンギ・タシールには 7V/Ss が存在する。

以上から明らかなように、殆どの V/Ss はモーマンド・エージェンシーに位置する (70 の内 48)。マラカンド・エージェンシーは 16 の V/Ss、タンギは 7 有している。

事業対象地域は 3 つの自治体に分けることはできるが、本件事業にとってはそれ程重要なことではない。そこで本報告書では、対象地域を一括して取り扱っている。

対象地域の殆どの V/Ss は FATA 部族地域に属している。ここでは殆どの V/Ss が位置するモーマンド・エージェンシーについて概観する。マラカンド・エージェンシーにある V/Ss の行政体制はモーマンド・エージェンシーと同じであり、タンギ・タシールは国内の他地域と同様である。

ガラニに駐在する Political Agent は、モーマンド・エージェンシーを率いる。その指導者はモーマンドを上部と下部の 2 つ sub-division に分けて管轄する。上部は 3 つ、下部は 4 つのタシールが位置する。タシール中心地はガラニ、ヤクグンド、ブラング・ガール、ルカロである。ルカロを除いてこれらタシール中心地は事業対象域内である。Assistant Political Agent は各 sub-division を運営し、Political Tehsildar は各タシールを担当するが、時には Political Naib Tehsildar がタシールをみることもある。

2.2.3 エネルギーセクターの行政体制

政策レベルでは、首相が議長を務める内閣エネルギー委員会がエネルギーセクターの政策、計画、事業を策定し承認することとなっている。

エネルギー分野は 4 機関の管轄下にある。水利電力省は 2 つの関連公益事業体、つまりカラチ電力供給公社 (KESC) と、それ以外の地域において水力発電、送配電を受け持つ水利電力公社 (WAPDA)をその配下に有している。石油自然資源省は、炭化水素製品の開発とマーケティングを担当している。計画開発省のエネルギー局は政府政策・計画の策定を行う。Production 省(MOP) は国家石油精製・石油化学公社とパキスタン精油会社を管轄している。

NWFP には、3 つの機関が水力発電開発と電力供給に関わっている。それらは、(1) WAPDA の一部局である水力発電計画機構 (Hydro Electric Planning Organization: HEPO)、(2) NWFP 州政府自身、(3) NWFP 州政府の下のサルハド水力発電開発機構 (Sarhad Hydel Development Organization: SHYDO) である。HEPO は関連事業のフィージビリティ調査や入札準備も含めた詳細設計調査を行う。NWFP 州政府は FATA 等の遠隔地域における電力供給を担っている。SHYDO は他の小規模水力発電開発を受け持っている。SHYDO は民間の発電事業者 (Independent Power Producers: IPP) 推進を目的として実施される大・中規模流れ込み式水力発電事業のフィージビリティ調査も行う。

パキスタンにおける電力市場に競争力を生み出すために、1997 年には国家電力事業監督庁 (National Electric Power Regulatory Authority: NEPRA) が設立され、電力分野の監督業務ならびに民間参入も含む電力分野の効率化促進業務を実施している。NEPRA は WAPDA や

KESCによる料金値上げに関する公聴会を既に始めている。

現在進行中のWAPDA機構改革の下では、8地域電力評議会と配電会社、11の火力発電所が事業会社となる。その一環として、既にパキスタン電力会社(Pakistan Electric Power Company:PEPCO)が創設されている。送電システムは一つの事業会社になる。今後WAPDAは、既存ダムの維持、主要河川沿いでのダム建設と発電という従来の役割に特化する予定である。

2.2.4 灌漑セクターの行政体制

灌漑セクター改革の一環として世界銀行や他の援助機関が支援する国家排水整備計画(National Drainage Programme:NDP)は、民間セクターの活用や公的機関の自立化を目指している。一方連邦組織は州をまたがる事業に関する全般的な調整や審査に特化することとなる。1997年には州灌漑排水公団(Pakistan Irrigation and Drainage Authority:PIDA)が設立され、州内の水資源開発計画の調整や灌漑用水の配分等を受け持っている。また州政府の統制委員会は、公益事業体による施設維持管理費の徴収や住民間の紛争解決に取り組んでいる。

NWFPにおいては、北西辺境州灌漑排水公団(North-West Frontier Province Irrigation Drainage Authority:NWFPIDA)が1997年に設立された。NWFPIDAの基本的な枠組みはできてはいるものの、詳細な組織形態や実施手順は1999年に任命された制度改革コンサルタントの勧告に基づき案出の予定である。

2.3 人口

1998年に行われた第5次国勢調査の暫定結果によると、パキスタンの総人口は1億3千万人で前回調査の行われた1982年から年平均2.6%で伸びてきている。NWFPの人口は1千7百万人で年率2.8%の人口成長を記録しているが、FATA地域では3百万人で2.1%という低い伸び率を示している。NWFP人口の83.1%が農村地域に住んでおり、全国平均の67.5%よりも高くなっている。

1999年に調査団が実施した現地調査によると、事業対象地域の総世帯数は19,979であり、その内の78%(15,559世帯)がアドービ煉瓦造りの家にすんでおり、残りの22%(4,420世帯)が煉瓦とモルタルでできた家に住んでいる。殆どの世帯が大家族で、場合によっては80人家族もある。こうした大家族制はこの地の文化に根差したもので、経済的な理由もその背景にある。しかし近年では社会経済の変動によって、かなりの人口流出が起こっている。

また上記現地調査によれば、事業対象地域の総人口は141,530人で52.6%(74,495人)が男性、47.4%(67,035人)が女性である。女性人口は実際には全員が統計に反映されていない可能性がある。V/Ssによって人口の幅があり、80人しかいないV/Ssがあったり、上流部では18,000人も人口を抱えるV/Sも存在する。

殆どの人々はパトゥーン民族でスンニ教の敬謙な信者である。このことは 389 もあるモスクから窺い知れるが、例えば女性は厳密に隔離される等、社会的には遅れている証左でもある。部族的には“Utmankhel”, “Tarakzai”, “Burhankhel”が主流である。

大多数の世帯は地元出身であるが、幾つかの V/Ss にはアフガニスタン難民が存在しており、対象地域全体では 1,424 世帯(全人口の 7%) 存在する。50 世帯は左岸対象地域、残りの 1,374 世帯は右岸対象地域に住んでいる。アフガニスタン難民はモーマンド・エージェンシーに全員が住んでおり、その大半(1,220 世帯)は 4 つの V/Ss に集中し、このうち 2 つの V/Ss では難民キャンプ在住となっている。残り 2 つでは混住が進んでいる。今のところは主立った緊張や対立は見られない。

2.4 保健・教育関連

事業対象地域における識字率は 29.94%(その内で男性が 19.37%、女性が 10.57%)である。この数字は全国や州の平均値と比べて低い。なお、NWFP 全体では男性の識字率が 34.1%、女性は 12.8%である。パキスタン全体では NWFP のそれよりやや高い。

対象地域における公立学校の数とそのレベルは下記の通りである。

対象地域における公立学校

	初等		中等		高等	
	F	NF	F	NF	F	NF
男子	67	2	14	0	8	0
女子	45	4	8	2	1	0
合計	112	6	22	2	9	0

F= Functional schools

NF= Non-functional schools

(出所:調査団収集資料)

公立学校の他には 8 つの私立学校、7 つの functional 宗教学校、1 つの non-functional 宗教学校、1 つの職業訓練校が存在する。事業対象地域には NGO による学校は存在しない。

対象地域には基本的な教育施設は整っているものの、その質は低く、中・高等や職業訓練校は殆ど存在しない。しかしチャルサダ、マルダン、ペシヤワールのような都市へ近いこともあって、裕福な家庭は子弟をそれら都市地域の学校に通わせることができる。

保健施設に関しては、インフラ・人材の面で乏しい。したがって殆ど人々はマルダン、ペシヤワールに行って保健・医療サービスを受ける。伝統的に女性の健康が軽視される傾向にあるのも問題である。

地域の主な保健問題はマラリア、腎臓疾患、咳、風邪、熱等である。保健関連の主な施設は下記の通りである。

対象地域における保健施設

保健施設	人数
施設	
保健所	10
家族計画センター	5
薬局	1
薬品卸売り	28
人員	
男医	10
看護師 (男性)	64
女医	4
看護婦	23 (8名の LHVを含む)

(出所: 調査団収集資料)

多くの開発援助機関は、教育、保健、人的資源開発等の分野で中央政府を通して協力している。

2.5 労働力と雇用

1999年の政府労働力調査では、雇用は10歳以上の者で調査期間の間に一時間でも仕事をすれば(被雇用者、自営であっても)「雇用」と見なされる。この定義によると、全国失業率は1999年で6.1%であり、農村では5.7%であった。なおNWFPのデータは存在しない。

農業が主要な経済活動であり、地域の殆どの非熟練労働者は農業に従事している。熟練労働者や専門職は都市や海外(特に中東)に出稼ぎをせざるを得ず、域外からの仕送りが地域にとっての大きな収入源である。

パキスタンの他の農村コミュニティと同様、牧畜は主要な経済活動であり、殆どの家庭が収入源としている。

対象地域では山羊や羊の放牧は容易に行うことができ、日中には至る所にある公有地において少年が放牧に従事する姿が見られる。肉や乳は家庭で消費されるだけでなく、近くの市場や町で売られる。1999年現在、対象地域に山羊が48,000頭、羊が21,500頭程度いるものと推定される。

同様に牛は37,000頭、水牛は4,200頭位いる。放牧方式は山羊や羊と似ており、同様に羊肉や乳は家庭で消費されるだけでなく、近くの市場や町で売られる。

ロバ、ラバ、馬等の家畜も飼われているが、主として農耕や交通・運搬に使われる。ロバやラバは3,900頭おり、馬は406頭いる。ちなみに牛糞は肥料やエネルギー源としても使われる。

1999年現在で地域には29世帯の養鶏場があるが、鶏は主として近郊の市場や町で売られる。地域には、家畜のために獣医が3名と薬剤士が1名存在する。

NWFP 州政府が発足以来、工業、商業、労働力、鉱業、交通部を設置し、それら分野のプロモートを図った。更に 1972 年に州政府は産業振興のために、工業・商業・鉱業局、サーハド開発評議会 (SDA)、小規模産業開発委員会 (SIDB) を設置、開発体制の強化を図った。

1974 年に僅か 11 しかなかった事業所も、1993 年には NWFP では 1,500 近くとなり、約 60,000 人が雇用されている。その内訳は以下の通りである。

事業所と投資・雇用

期間	事業所数	雇用者数	投資額(百万ルピー)
1970 年まで	153	22,001	4,041
1971-1975	217	24,366	4,669
1976-1980	360	28,326	5,701
1981-1985	632	35,153	9,962
1986-1990	1,033	42,411	12,332
1991-1993	1,513	59,053	22,129

(出所: Sarhad Provincial Conservation Strategy 1996)

分野別の NWFP における工業(1993 年)

産業	事業所		雇用		投資	
	数	%	数	%	百万ルピー	%
飲食料品、タバコ	392	25.9	14,661	24.8	4,873	22.0
繊維・皮革製品	384	25.4	20,301	34.4	6,331	28.6
木材・木製品	72	4.8	1,052	1.8	479.6	2.2
紙・紙製品	37	2.4	2,509	4.2	995.8	4.5
化学・石油・ゴム・プラスチック製品	244	16.1	6,940	11.7	3,894	17.6
鉱産物	198	13.1	5,353	9.1	3,563	16.1
鉄・鉄製品	164	10.8	7,662	13.0	1,865	8.4
その他	22	1.5	575	1.0	128	0.6

(出所: Sarhad Provincial Conservation Strategy 1996)

(1) 公務員

就学率が 20% 以下と住民の教育レベルが高くないため、公務員でも給与の低い仕事に就いている。高等教育を受けている世帯も僅かに存在しており、政府高官を輩出した家庭もある。しかしそれらの人々は他の地域で仕事に就いているのが通常である。

(2) 鉱業

地質調査によると、70 年代初頭に鉱業は細々と始まったが、先住民との交渉が円滑に進まず小規模に止まっている。滑石、装飾石、クロム、エメラルド、アスベスト等の資源には恵まれており、地元民も採掘してきた。滑石は現在多くの場所で露天掘りされており、ベシヤワール等の近郊の町や市に運ばれている。

(3) 小規模産業

対象地域には遍く家内工業が見られ、多くは鉱物資源を用いた生業であり、11 業者が大理石等の裁断・粉碎を行っている。大理石磨きも存在するがその質は低い。

また地元で取れるアスベストを用いて、3つの暖房機具製造工場、1つの制動装置製造工場が存在する。

対象地域の最大の町であるマラカンド・エージェンシーのウスマニ・ケル・ガーニは5つの農産物加工工場がある。特に小麦粉や砂糖の製造が主な活動である。

(4) マーケット・小売り業

殆どの V/Ss においては、日用品を扱う雑貨屋が存在する。店の数・種類は各 V/Ss によって様々ではあるが、大きな V/Ss ほど多様な雑貨屋が見られる。

マラカンド・エージェンシーにある3つの V/Ss には、パフトゥーンの伝統にしたがって牛の売買の行われる青空市がある。青空市は毎週決められた日に行われる。

卸し雑貨の市場は、ダルガイ、ヤクグンド、タンギの3タシールの中心地に存在するが、これらは砂糖、料理用油等の主要なマーケットとなっている。より高価な品物についてはマルダンやペシャワールまで買いに行かなくてはならない。

2.6 経済概況と国内総生産(GDP)

1998-99年度のGDPは約640億ドル、一人当たりではUS\$490と、綿や小麦の生産の落ち込みもあってさほど伸びず、成長率は目標の6%を下回る3.1%に止まった。しかも1998-99年度の4.3%に比べても下がっていた。農業セクターに限れば同年のGDP伸び率は0.35%で、目標値である5.4%、前年実績の3.8%より低くなっている。

財政赤字の伸び率も1997-98年度の5.4%から1998-99年度には4.7%に改善される見込みである。経常収支赤字も半分に減って19億ドルに下がるであろう。

GDP成長は1999-2000年度には5%を記録することが想定されている。また同年には農業と大規模製造業が4.3%位伸びることが見込まれ、インフレは6%に落ち着くと考えられる。貿易赤字も、1998-99年度の14億ドルから、1999-2000年度には8億ドルに下がると予想されている。

NWFPにおける経済停滞は、開発予算が実質1996-97年度の61億ルピーから98-99年度の39億ルピーに下がったことが原因である。NWFPにおいて私企業による資金流入が限られていることから、公的資金の減少は打撃である。一方、NWFPにとって海外援助は重要であるが、1997-98年度のそれは25億ルピーであり、予算として計上されていた額(18億ルピー)より6億ルピー程度多かった。

事業対象地域における主要収入源は、大きい順から、農業、単純労働、出稼ぎ者の仕送り、家畜、公務員職、商売、鉱業、家内工業である。

農業は主な経済活動ではあるが、耕作できる土地は事業対象地域の 5-8%と極めて限られている。さらには土地の細分化が進んでおり、殆どが自作である。灌漑が遅れていることが農業発展の障害となっており、多くの農家は生存水準ぎりぎりのところで生活を行っている。

主要な作物は、大きな順から、小麦、とうもろこし、大麦、砂糖きび、タバコである。作付け品種はゆっくりとしたペースではあるが、徐々に付加価値の高い作物へ向けて変りつつある。

野菜、タマネギ、トマトも豊富に採れ、それらは近郊の町で売られるので栽培農家の大切な収入源となっている。

果樹園は殆ど存在しないが、果物は主な収入源となる可能性を秘めている。地域で栽培される果物には柑橘類、グアバ、マンゴ等がある。

水は作物にとって大切であるが、井戸、天然泉、水路等の様々な方法で田畑に引かれている。殆どの灌漑システムは丸石で舗装されているだけで、農民が維持管理している。このことは農民の勤勉さを物語っている。

地域における土地所有の概要は下記の通りである。

対象地域における土地所有の概要

	土地無し	1エーカー未満	1-5エーカー	6-20エーカー	20エーカー以上
世帯数	8,548 (49.3%)	4,963 (28.6%)	2,286 (13.2%)	1,049 (6.0%)	493 (2.8%)

(出所:調査団収集資料)

上の表が示すように、50%が土地を持たない。土地持ちの中でも大半 (41.8%) が2ヘクタール(5エーカー)以下の土地しか持っていない。このように土地が小さくしかも非灌漑であれば生存水準ぎりぎりの生産高しか上がらない。

ダム事業は農業生産性かなりの好影響をもたらすことが期待される。一方で、土地の価値が上がれば土地所有を巡って争いが起こる可能性も否定できない。

2.7 インフラ

全国的には、エネルギー供給はガス、石油、石炭に頼っている。1998-99年度には4,116万バレルの石油(内、輸入は63%)、551,392 mcf のガス、1,236万トンの石油製品(内、輸入は61%)、2,900万トンの石炭(内、輸入は25%)、43,468 GWh の電気であった。

発電設備容量(水力と火力を含めた)は1999-2000年度の最初の9ヵ月だけ見ても5.7%上がっており、現在は19,659 MW にまで上がっている。その内、民間の発電業者(Independent Power Producers: IPP)は3,771 MW を担っている。電化された農村の数も、1998-99年度には前年度の64,568村を上回る65,951村に達している。

1998-99年度には道路の総距離は181,836 Km であり、パキスタンでの道路密度は平方キロ当たり0.23 km である。イスラマバードからラホールに至る道路(M-2)は1997年11月に完成され、イスラマバードからペシャワールに至る道路も2000年12月に仕上げられる予定である。

パキスタンの鉄道ネットワークは 8,774 km で 781 駅が存在する。パキスタン航空は海外 55 と国内 37 の地点を結んで営業しており、民間航空会社も 3 社存在している。国の主要港であるカラチ港は年間 1758 万トンの荷物を扱う。

1996 年の NWFP における発電設備容量は 3,762 MW で全て水力であった。この発電設備容量は全国の 29% に当たり、発電源としての NWFP の重要性を示唆している。電力消費では 6,638 GWh で、全国の 17% である。電力消費における NWFP のシェアも、1990 年に 14% であったものが 1997 年には 17% になっており、漸進的ながら徐々に上がっている。

1998 年の NWFP における一人当たりの電力消費量は 266 kWh で全国平均の 317 kWh よりも低い。FATA では政府補助金があるために、567 kWh と全国平均より遥かに高くなっている。同じく 1998 年現在、電話 1 台当たりの人口は全国では 55 であるが、NWFP では 95、さらには FATA では 251 である。他にも一人当たりの道路密度やガス消費量等の指標で見ても、NWFP は遅れていることが一目瞭然である。

対象地域では、70 V/Ss 全てが電化されているが、部族地域における電気料金の徴収が大きな問題である。伝統的に、消費者は使った量にも拘らず均一料金を支払ってきたが、そのためか電気は浪費される傾向にあった。近年政府は部族地域も含めて料金体系の確立に努めている。

殆どの V/Ss は道路で結ばれているが、対象地域の道路の半分以下 (33 of 70) しか舗装されておらず 50% 以上 (36 of 70) が砂利道である。交通・運搬手段は凹凸の多い丘陵地で適しているピックアップ・トラックである。

郵便局は、マラカンド・エージェンシーのカルキ、モーマンド・エージェンシーのバヒ・コルーナの 2ヶ所にある。したがって人々は郵便局に辿り着くまで長距離を旅しなくてはならない。

電話局は主要な V/Ss には大抵あり、事業対象の地域全体では 12 存在する。V/Ss からの平均距離は 4.6 キロである。

9,844 世帯 (全体の 49.3%) がテレビを持っている。開発の遅れた地域にしては高い数字であり、近代化の波が押し寄せていることを象徴している。テレビを通じた情報入手は重要であり、このことは 70 V/Ss の内 8 V/Ss だけが新聞を購読している事実から窺い知れる。

事業対象地域における飲料水の質は良いが、集落まで導水しなくてはならない。公共の水道は 3,045 あり、その内の 116 が井戸である。4,448 の電力ポンプ、747 のディーゼル・ポンプが運転中である。

21 の V/Ss においては天然の泉も存在しており、それらは水道施設を補完する役割を果たしている。

全体の 15.7% に当たる 11 V/Ss において水道が整備されている。しかし各世帯への配水は遅れており全体の 30% 程の 5,945 世帯にしか届いていない。

殆どの V/Ss における排水施設は原始的である。マラカンド・エージェンシーにある人口1万1千人程のカルキには練石積製の排水路が存在するが、59V/Ss には泥で出来た排水路しかなく、10 V/Ss には全く排水路と呼べるものがない状態である。

殆どの V/Ss では排水・下水は運ばれずに溜まってしまい、公害の元となっている。地域におけるマリアの高発生率は、排水施設の未整備によるところが大きい。

2.8 世帯収入

1964-1994 年期間を見ても農村における平均的な世帯収入成長は都市に比べて遅々としており、1994 年のデータでは都市部の 58%に止まっている。

ムンダ・ダム多目的事業の環境影響調査では、ムンダ地域では 1997-98 年度に世帯当たりの収入が 84,652 ルピーで、一人当たり 6,047 ルピーであった。農業からの収入は世帯当たり 44,639 ルピーで、一人当たり 3,189 ルピーであった。農作物からの収入は全収入の内の 52.7%を占めており、最も重要な収入源であることが判る。

2.9 対外貿易

対外貿易を取り巻く環境は好ましいとはいえない。1998 年 7 月から 99 年 4 月までの間の輸出額は 63 億ドルであったが、昨年の輸出額 71 億ドルと比べ 11.7%低くなっている。同時期の輸入額は 11.2%減額しているものの、貿易赤字は前年に比して 8.6%改善しており 10 億ドルにまで下がっている。

1998-99 年度での債務は 230 億ドルに達しており、1997-98 年度からみても 1.8%しか良くなっておらず、債務支払も 1998-99 年度中には 9.5%増えている。

2.10 消費者物価

1998-98 年度のインフレ率は 6.1%に止まっており、前年の 7.8%に比べて改善されている。消費者物価指標 (CPI) が常に 10%台であった時期は終焉したことが伺い知れる。

過去 5 年間のインフレ推移

	1994	1995	1996	1997	1998
国内 GDP デフレーター	14.16%	8.04%	13.34%	7.82%	6%
国際 GDP デフレーター	2.2%	2.2%	1.7%	1.6%	1.4%

(出所: Economic Survey 1999)

2.11 開発財政収支

1999-2000 年度の政府開発計画 (PSDP) は総額 1,163 億ドルで、名目上は 5.15%上昇したが、インフレを考慮に入れると実質上は 1.26%下がっている。NWFP への配分は、同期間に実質上 54 億ドルから 46 億ドルに下がっており、開発計画全体にしめる割合も前年の 4.9%から 4.2%に下がった。しかも予算化されてもすべての額が実際には NWFP まで届かないのが現

状である。1998-99年度の最初の8ヵ月間では、予算に計上されていた62.7%の資金しか実際には割り当てられていなかった。

近年の実質的な開発予算の縮小は、NWFPにも大きな影響を与えている。民間投資も限定されているNWFPでは、政府の年次計画(ADP)資金の滞りは打撃的なものとなる。

2.12 経済開発計画

2.12.1 国家開発計画

政府は21世紀に向けて「パキスタン2010計画」を打ち出しており、2010年までにはGDPの年実質成長率を7.4%まで引き上げることを目指している。人口成長も2.1%に抑えて、一人当たりの収入も現在の457ドルから2010年には1,000ドルまで引き上げることとしている。貯蓄率はGDPの23%、投資率は海外からの投資・融資も得ながら26%を達成することを目指している。輸出のGDPに占める割合は現在の17.5%から25%まで引き上げて、年率9%の成長達成が目標である。

社会セクターでは2010年までに、100%の初等教育就学率と50%の中等教育就学率の達成を目指す。

1999年にまとめられた第9次5ヶ年計画(1998~2003)修正案のエネルギー関連部分によると、年率6%の経済成長予測をもとに電力需要(MW)が同計画期間中に年率7.4%、第10次から第12次5ヶ年計画期間中には9.0%まで伸びるとしている。しかし近年の経済情勢を勘案しより現実的な需要予測が経済成長率を5%として行われていて、第9次計画中には5.74%、第10次は6.79%、第11次は7.75%、第12次は7.88%となっている。

2.12.2 地域開発計画

NWFPは国家全体の開発指標と比べると開発後進地域にある。

開発指標の比較

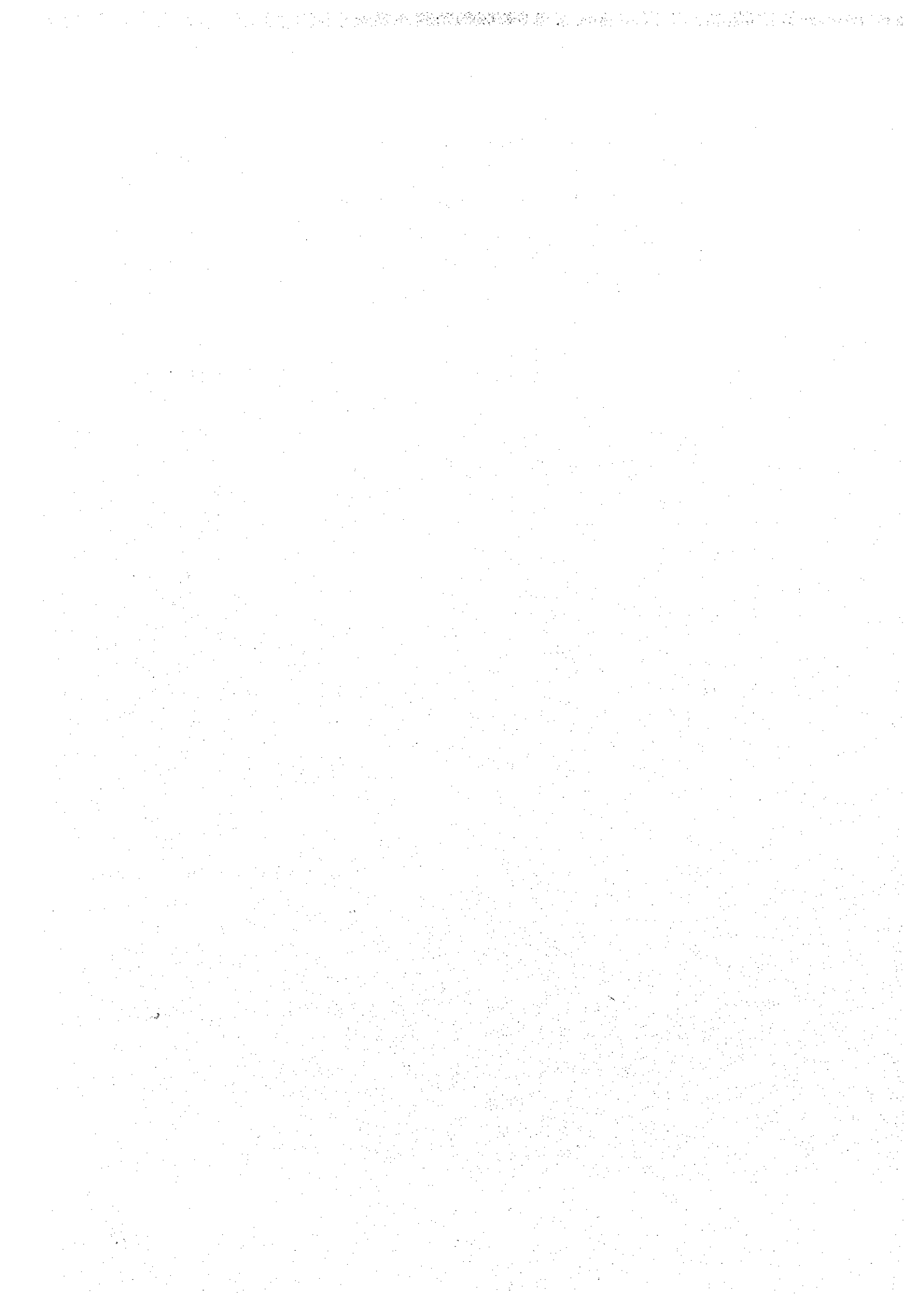
	全国	NWFP	FATA
人口(百万人)	130.580	17.55	3.138
面積(平方キロ)	796,095	74,521	27,220
耕作面積(1,000ha)	21,550	1,742	184.8
灌漑地域(1,000ha)	17,200	792	98.7
識字率(パーセント)	45	37.3	5
1人当たり電力消費	317	266	567
1人当たりガス消費	82	17	Nil
道路ネットワーク密度	0.27	0.13	0.15
電話1台当たり人口数	55	95	251

(出所: Economic Survey 1999)

NWFP 開発戦略が明記しているように、NWFPは食料自給のできていない州である。1,742,000ヘクタールの土地の内、792,000ヘクタールが灌漑されている。さらに433,468ヘ

タールが灌漑計画のターゲットとされており、ムンダダム事業は水供給に貢献することが期待されている。インフラセクターでは、州ハイウェイ事業(費用:3億9千万ルピー)、農村アクセス道事業(費用:11億4千万ルピー)等の道路事業が行われている。

水力発電のポテンシャルが高いので、NWFPは国家的な水力発電拠点である。総出力1,204 MW、総コスト12億ドルが見込まれる16もの民間発電事業が検討されていることがこのことを示している。これらの詳細は4.5.4節に述べられている。



第3章 調査地域の現況

3.1 調査位置と地形

ムンダ多目的ダムは、カブール川の主要支流であるスワット川に計画され、ペシャワールの北方37km、既設ムンダ頭首工の上流5kmの地点にある。ダム地点は、およそ北緯34度21分、東経71度32分に位置する。

ダム計画地点でのスワット川の総流域面積は、13,650km²である。流域は北緯34度20分-北緯35度56分と東経71度20分-東経72度50分の間であり、長さ137km、幅110kmの区域である。スワット川は、平均標高4,500mのスワットコヒスタンでのガブラル川とウシュ川の合流点にその源を発する。

計画されているムンダ貯水池はスワット川の急峻な溪谷内を細く南北に伸びる。ムンダダムは山岳地帯の終焉地点にあり、そこから下流に向け扇状地が広がる。

3.2 地質

3.2.1 広域地質

スワット川に計画されたムンダダム及び貯水池地域は、印度プレートが北のユーラシアプレートの下に潜り込むヒマラヤ山麓丘陵地の造構造地帯の中にある。インダス河流域にあるカブール川の支流スワット川は、北方、ヒマラヤのコヒスタン帯に源を発し、屈曲する谷を伝わって南流する。

Kazumi 及び Rana のパキスタン地質構造区分図 (1982年) によれば、プロジェクト地域は東西方向に走る二つの大規模な衝上断層、即ち北のメイン・マントル・スラスト(MMT) と南のメイン・バウンダリー・スラスト(MBT)に挟まれたヒマラヤ結晶覆瓦構造帯に属する。岩盤は大部分が結晶片岩からなり、地山は北落ちの衝上断層に何度も切られて屋根瓦を重ねたような構造になっている。

上記二つの衝上断層の中間地域の岩盤はかなり撓曲を受け乱されており、層理面は一般には南北の走向を示すが局所的な変化が多い。様々な規模の褶曲や破砕が全般的に分布し地層の走向傾斜はマラカンド峠のN70°E/80°SE からムンダダム地点のN60°W/40°NEまで、頻繁に不規則に変化する。中生代の火山岩、超塩基性岩、海洋性堆積岩の混合物であるメラング・ゾーンの発達も造山運動を反映したものである。

広く分布している岩種は古生代と中生代の結晶片岩で、石墨片岩、緑泥片岩、柘榴石雲母片岩などを含む。石灰質片岩と結晶石灰岩もまた特定地域によく現れる岩種である。塩基性岩や花崗岩が片岩中に貫入している個所が所々にあるが、貫入花崗岩は縁辺部では片麻岩に変成している場合が多い。

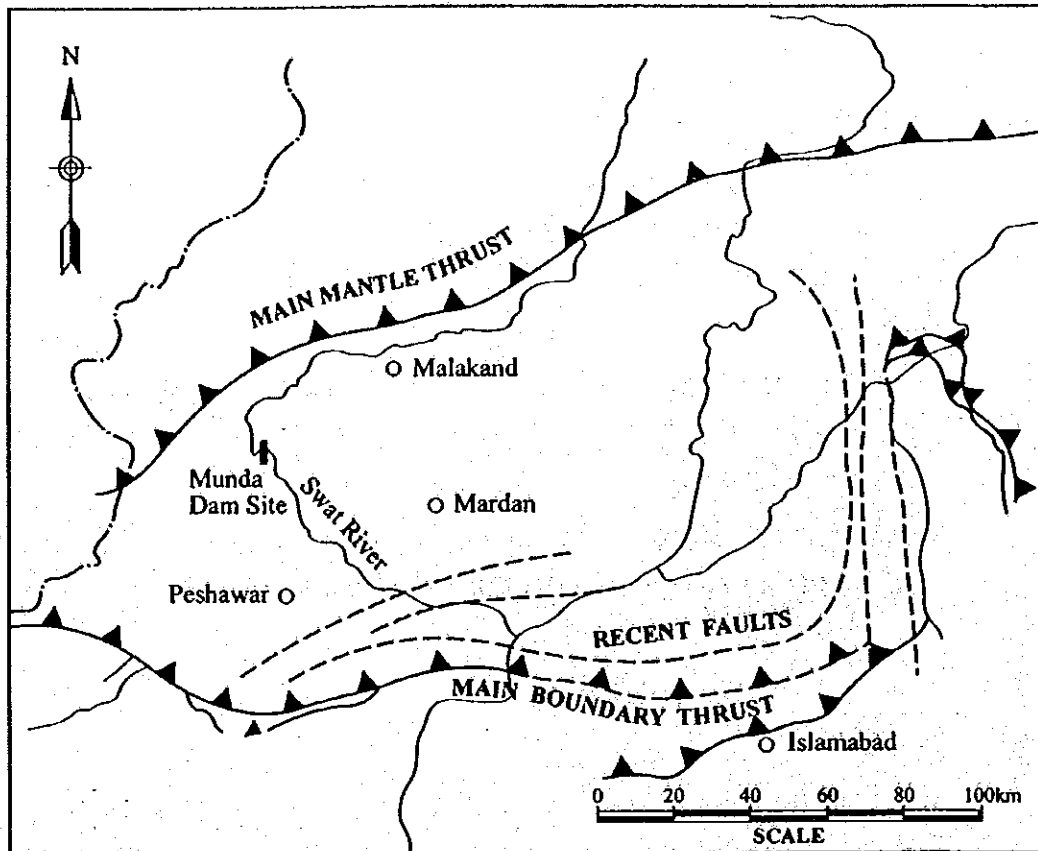


図 3.2.1 広域地質構造図

3.2.2 プロジェクト地域の地質

(1) ダム地点

ムンダ・ダム地点はスワット川を堰いているムンダ頭首工の北西約 5.0 km に位置する。スワット川の流れは全般に南東に向っているが、ダム地点では約 2 km の区間北東に向って流下している。

現行のフィージビリティ調査において、ダム地点の地質図が新たに作成された。また、ダム、余水吐、発電所、トンネルの基礎調査のために 20 箇所、総延長 1,300 m のコア・ボーリングを実施した。ボーリング孔内では 5 m ステージの水圧試験を行なった。最も深いボーリング孔は深さ 180 m である。深さ 30 m の垂直孔が水上から川底に穿孔された。また、水平の試掘横坑をダム軸周辺に 4 箇所、即ち両岸ダム・アパートメントの高い位置と低い位置に掘削した。一連の弾性波探査がダム地点で WAPDA により 8 側線、総延長 6,000 m について実施された。弾性波探査の成果は、現場で記録された走時を WAPDA が一般反復法 (Generalised Reciprocal Method. - GMR) に従って解析し、次いで JICA 調査団がボーリング結果をも参照しながら萩原法によって点検したものである。

ダム地点の基礎岩盤は二疊系ドゥマ層群の結晶片岩からなっている。地層の走向は N30°-70°W で河道にほぼ直交し、北東即ち下流に向って 40° 以上の傾斜を示す。優勢な節理の一群は片岩の片理または層理面とほぼ平行であり、他のグループは走向が河道と平行な ENE-WSW で南東または北西に傾斜している。プレ・フィージビリティ調査の段階で、片岩は、上流露頭から下流へ、別の言い方をすれば下層から上部層への順に、四つのグループに分類された。即ち、緑泥石雲母片岩、滑石の薄層を挟む石英雲母片岩、石灰岩の薄層を挟む緑泥石雲母片岩、および炭酸塩岩質石墨片岩であり、滑石質の薄層、石灰岩層、粗粒玄武岩などを伴っている。

この報告書では、片岩における鉱物組成の複雑さに鑑み、変成前の岩種を考慮した別の分類法を用いた。即ち、

- 粗粒泥質片岩または砂質片岩
- 細粒泥質片岩
- 石灰質泥質片岩
- 緑色片岩(粗粒および細粒)
- 珪質片岩
- 石灰岩または大理石

泥質片岩とは泥質の堆積岩に起源を持つ変成岩のことであり、プレ・フィージビリティ調査時における緑泥石雲母片岩の大部分がこれに対応する。緑色片岩は色々な程度に変成を受けて片状になった粗粒玄武岩と、凝灰岩その他の火山起源の岩から生成した片岩を指す。珪質片岩は大部分石英からなり、おおよそプレ・フィージビリティ調査の石英雲母片岩に該当する。

ダムは左岸で主に硬い珪質ないし砂質片岩に基礎を置き、右岸では緑色片岩に載る。余水吐の堰とシュートは珪質片岩と緑色片岩上に建設される事となろう。プランジ・プールは石灰質泥質片岩中に置かれるであろう。石灰岩をはさむ泥質片岩は発電所の基礎岩盤となる。

岩石学的分類に拘りなく、ここの岩盤は、新鮮で無傷な状態にあれば、硬質かまたは中硬質である。表層の岩は風化や開口節理・片理による緩みで多かれ少なかれ弱くなっているように見えるが、風化はさほど深くなく、谷底付近では地表から深さ 5 m 程度までしか及んでいないという例もある。左岸標高 380 m の試掘横坑 No.1 では、岩盤は坑口の 2 m 区間に緩みが見られるだけで、他の部分では全く堅固であった。

右岸斜面の下部にあるボーリング孔の水圧試験では、深さ 15 m より深い部分のルジオン値は 10 以下であった。一方、ダム頂に近い最高位にあるボーリング孔 M98-1(標高 603m)では深さ 20 m まで 128 ないし 42 ルジオン、それより深部でも 65 m まで 10 ないし 20 ルジオンであった。これは斜面上部、標高 560 m 付近から上部に見られる比較的着しい岩の緩みを反映したものと考えられる。この標高は基礎工学的条件の一つの変わり目と見るべきである。これより高位では岩盤が明らかに緩みを増し不安定になること、細く曲がりくねった尾根の形にも見られるとおりである。

左岸側では、川より20 m高い段丘上のボーリング孔M98-14が、最も浅い5 m区間を除けば、深さ180 mの孔底まで不透水性である。しかし、左岸アバットメントの高い箇所では深さ35 mまで20乃至30という高いルジオン値が記録されている。

ダム地点の基礎岩盤の一般的条件は、25以上の高いルジオン値は15 mより深いところでは認められず、35 mより深い部分ではルジオン値は5以下ということになる。5ルジオン以下と言うのは非常に不透水性で、セメント・グラウトは注入し難くまた注入の必要もないような条件である。(図3.2.5,図3.2.6参照)

弾性波探査によれば、ダム軸下の岩盤は地表から下方へ向って下記のような四枚の速度層に分類される。

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 第1層:弾性波速度 0.6 - 2.0 km/sec. | 表土、極ないし強風化層(岩級D—CL)および緩んだ岩盤。 |
| 第2層:弾性波速度 2.1 - 2.9 km/sec. | 中風化層および中位に緩んだ亀裂の多い岩盤。透水性大。(岩級CM) |
| 第3層:弾性波速度 3.0 - 3.9 km/sec. | 微風化層だが開口亀裂あり、透水性はかなり高い(岩級CHの下)。 |
| 第4層:弾性波速度 4.0 - 5.4 km/sec. | 微風化岩または新鮮な岩。亀裂は閉じ、水密性(岩級CHの上)。 |

ルジオン値の非常に高い表層の岩は上記第1層と第2層に該当する。その底面は時に深さ15 mに達する。第3層は5 - 25ルジオンの部分に相当し、第4層は深部にあるルジオン値5以下の堅岩層に当てはまる。

ダム軸上、河床中央部のボーリング M98-5 によれば、河床砂礫層の厚さは約8 mである。弾性波速度は1.5 km/secである。その下には軟質で片理の密な片岩があり、堅岩は河床から13.55 mの深さにあることが判った。斜めボーリング M98-4 では、河床下に問題となるような規模の破碎帯は認められなかった。

ダム上流端付近、またはコンクリート表面遮水ロックフィルダムの場合のプリンスの位置周辺では、堅岩は深さ15 mにあり、これより浅いところでは岩質が不規則に変化している。斜面の上方のボーリング M98-19 では、深さ1.4 mで堅岩に達するが、これより深い位置に透水性の高いステージが2箇所挟在する。

ボーリング柱状図および弾性波探査データは第4巻データブックに収録されている。

(2) 発電所地点

発電所は右岸側にあり、基礎岩盤は泥質片岩であるが、その表層は深さ約3 mまで風化して岩盤等級 CL となっている。しかし、発電所に必要な基礎条件はダムの場合ほど厳しいものではないので、風化岩といえども充分これを支える事ができる。

(3) 仮排水路および発電用導水トンネル

1本の発電用導水トンネルが右岸に、2本の仮排水路トンネルが左岸に計画されている。トンネル・ルートは大部分が新鮮な岩盤の中を通り、掘削中の切羽の安定や湧水に関する困難は予想されない。三トンネルの出口はいずれも堅岩ではあるが岩層の傾斜に沿った斜面上にあるので、岩層の安定を損なうような無謀な掘削は避けるよう留意を要する。

仮排水トンネルについては、M98-11の示すように、標高 373 m、または発電所地点近くの沢の底から 8 m より深部の岩盤は堅固である。

(4) 余水吐地点

余水吐のシュートは珪質片岩、緑色片岩、泥質片岩の基礎上に配置される。シュート・ウェイの高位置では、珪質片岩が大量の雲母を含み、前記のような剥離し易くすべり易い性質を示している。このため、東に面した流れ盤の斜面では、多くの岩すべりが起っている。

ブランジ・プールの位置では、現在泥質片岩の急斜面がある場所にかんがりの量の掘削が必要となり、この掘削がその左岸側に新たな急斜面を作り出すことになろう。新しい斜面には他の方向性の節理に混じって流れ目の節理面も現われるであろう。長大な急斜面では節理面に沿った岩すべりが起る可能性もある。従って、高い斜面を新たに作るような配置はなるべく避けたほうが良い。高く急な斜面は極力少なくすべきである。

ボーリング M98-17 によって明らかのように余水吐堰の基礎は珪質片岩で、深さ 25 m または標高 547 m までは 20 以上という高いレジオン値を示す。余水吐堰基礎がこの標高より低ければ、基礎岩盤はグラウトも殆ど入らないような堅岩であろう。シュート・ウェイの下端では中級に風化した泥質片岩が厚さ 2 m の崩積土に覆われており、新鮮な堅岩の基礎は深さ 5m に存在することがボーリング M98-12 によって明らかにされた。

(5) 貯水池

貯水池はスワット川の狭長な谷に沿って延びるが、ここでは基盤岩は広く露出し、土被りは限られていて薄い。大規模な地すべりが起る可能性は低い。主な問題は貯水池からの漏水、特に溶隙を生じた石灰岩を通じた漏水の可能性にある。結晶石灰岩は下部三疊系のカスハラ層群の石灰質片岩中に存在し、また、二疊系ドゥマ層群の一メンバーでもある。

カスハラ層群はダム地点から 2, 3km 上流と更に上流 2箇所で貯水池に接する(図 3.2.2 参照)。溶解空隙は特定地域、例えば右岸側支流アンバハール川沿いの地表に露出している。しかし、これらの空隙の発達には岩盤の表層、雨水の浸透と流出の範囲内に限られている模様である。貯水池を隣接する他流域から隔てている地山の厚さは 3 km から 10 km もあり、カスハラ層群はダム地点に最も近い箇所でもサイドウ層、ドゥマ層など、ほかの層がこれを取り囲んで直接の漏水に対する障壁となっている。

ダム地点は主に結晶片岩からなるドゥマ層群の上に位置する。先に述べたように、所々に狭在する石灰岩は層群の小部分を成すに過ぎない。溶解の痕跡が見られる箇所もあるが、雨水の循環する範囲に限られているようである。

ダム地点の北西約 3 km のサツパレ原石山において、石灰岩の透水性を調べるためにボーリング孔内水圧試験を行なった。サツパレ廃村の南西部、村の中を通る沢の上流部に掘ったボーリング孔 Qs-1 では 30 ルジオン以上というかなり高い逸水が深さ 45 m まで認められ、低いルジオン値は例外的に 2.6 が 1 ステージあるのみであった。深さ 45 m 以下の 1 ステージでは 7.1 ルジオンと低かったが、孔底 50 m より先に低ルジオンが続くかどうかは不明である。一方、サツパレの北東、沢の下流部で掘った 100 m 孔 Qs-2 では、10 m 以深の試験区間におけるルジオン値は 5 未満であった。このような状況は石灰岩溶解の発達、浸透水の地下循環と地表への再流出が起る深さ数十メートル以内に限定されている事を示唆するものである。

漏水経路が限定されている事は、また、サツパレの湧水が乾季になると速やかに枯渇するという事実にも現れている。空中写真にもまた貯水池地域とサツパレの中間における石灰岩層の中断が表われている。

従って、石灰岩が貯水池からの漏水に寄与するとは考えられない。貯水池は実用上水密性であると見なすことができる。

3.2.3 建設材料

ムンダ・ダムのために必要な建設材料は (1) ロックフィル・ダムの不透水性コア・ゾーンのための土質材料、(2) ロックフィル・ダムのフィルター・ゾーンのための透水性材料、(3) ロックフィル・ダムのための岩石材料、(4) コンクリートの粗骨材および細骨材である。先のプレ・フィージピリティー調査時にかなりの規模の調査と室内試験が行なわれた。ピット柱状図と室内試験結果は第 4 巻データブックにまとめてある。材料源に関する現在の見通しは次のとおりである。

(1) 土質コア材料

プレ・フィージピリティー調査において考えられた土質コア材料源は既設ムンダ頭首工の下流 6 km 以内のスワット川両岸にある粘土質堆積物であった。左岸のアバザイ粘土質シルトと右岸のサダール・ガリ砂質シルトである。しかし、この両土取場は広範囲の豊かな耕地を犠牲にしなればならなかった。

今回のフィージピリティー調査は他の有望な土取場候補地を対象とした。即ち、ローワー・スワット・カナルに沿ったカス・コルナとタンギの低丘陵地、およびムンダ頭首工右岸のサダール・ガリ村から西に広がる平地で、これを西サダール・ガリと呼ぶことにする。ダム地点への運搬距離は 10 km から 13 km である。

これらの地域に P-8 から P-15 まで 8 個のテストピットを掘削した。ピットの深さは P-14 が 2.5 m で、他はすべて 5 m である。(図 3.2.8 参照)

これらのテストピットから15個の試料を採取し、ロックフィルダムの不透水性コアゾーン用土質材としての特性について試験した。試験項目は粒度分析、アッターベルク限界、突き固め、および突き固めた試料についての三軸圧縮、透水試験を含む。結果は表 3.2.1 のとおりである。

カス・コルナのピット P-10、タンギの P-13 および西サダール・ガリの P-15 から採取した試料について分散性の試験を行ったが、いずれも分散性はないという結果になった。

カス・コルナ土取場の土質材料は、米国開拓局の統一土質分類ではSMおよびCLに分類され、ロックフィルダムの土質コアゾーンに使用できる。ただし、ピット P-8 に代表される北部の材料は粗粒で使用できない。さまざまな粒度分布に現れているように、土質の変化が激しいので築堤時の品質管理が難しいかもしれない。最適含水比は 10 ないし 20%で、一般に自然含水比より高い。

タンギ土取場については、西側のピット P-12 の材料は礫含有率 60 - 80%で統一分類のGWに相当し、土質コア材に適さない。しかし、ピット P-13 と P-14 の材料は、礫の多い P-13 表層部を除いて、いずれもCLに分類されコア材として使用可能である。P-14 の材料だけは最適含水比が自然含水比より低い。この土取場はダム地点への運搬距離が最も長いこと、畑地や居住区への影響が大きいという点で不利である。

西サダール・ガリにはテスト・ピットが1箇所しかないので材料の質変化について論ずるには適当でないが、この地域はスワット川と西側の丘陵地の間にひろがる広い平地または単一の堆積環境であって、他の土取場のように低い丘で分けられていない。ピット P-15 の試料は統一土質分類の SM に属し、締固めが容易で築堤材料として適切である。運搬距離はすべての土取場の中で最も短い。使われていない土地ということも、環境問題または耕地、居住地への影響が最小という点で有利である。

(2) コンクリート骨材とフィルター材

コンクリート骨材とフィルター材のために、ムンダ頭首工下流のスワット川河床の砂礫州で5箇所にテストピット P-1 から P-5 を深さ 1.5 m まで掘削した。この他に2個のピットを P-6 と P-7 を左岸、ムンダ頭首工東方の丘の段丘礫層中に深さ 5 m まで掘削した(図 3.2.8 参照)。ピットから採取した試料について室内試験を行なった。結果は表 3.2.2 に示すとおりである。

この試験によれば、この堆積物中の砂分は一般に少なく最大 27.4%、最小 15%であった。粒度分布曲線は中・粗粒砂が特に少ないことを示している。細骨材のための砂は礫を砕いて人工的に生産しなければならないであろう。

室内試験の結果はスワット河床の礫がコンクリートの粗骨材として使用できることを示している。アルカリ反応試験(化学試験)では、試料はすべて無害の領域に入った。

左岸の丘の礫層は、高い吸水率と軟石・粘土塊混入率において、スワット川の礫より劣っている。但し、径 200 mm 以上の礫を取り除けば、フィルター材として使用できる可能性がある。

(3) 岩石材料

現場踏査と過去の調査結果の検討によって2箇所の原石山候補地が選ばれた。一つは推定6千万立方メートルの石灰岩を有するサツバレ原石山であり、もう一つは十分な量の石英岩と珪質片岩を産するトボ・バンダ原石山である。前者はダム地点の北東 3 km、スワット川の左岸で川より 200 m 高い山上にある旧サツバレ村跡に近く、後者はダム地点上流約 1 km のスワット川右岸に位置する。

総延長 450 m のコア・ボーリングと側線長 2.45 km の弾性波探査を両原石山で行なった。

サツバレ原石山では、厚さ 2, 3 m の表土の下にある弾性波速度 3.5 - 4.0 km/sec の層から充分堅固な石灰岩の得られることがコア・ボーリングによって確かめられた。量的に限度があるとしても、転石または大きい岩塊が得られることはサツバレ原石山の著しい利点である。

トボ・バンダ原石山の石英岩と珪質片岩は、岩質に変化があり、また片理に従って 5 cm から 15 cm の小片に割れる傾向がある。量は充分である。

サツバレの岩は質において優れているが量的に限られており、トボ・バンダの岩はその逆の条件を有している。従って、これら2箇所の原石山を共に使用すべきである。この2箇所は二者択一の比較地点ではない。

3.2.4 地震

プロジェクト地点はヒマラヤ山脈に対する前山丘陵地の、衝上断層を伴う活発な造構造帯に属し、地震も多い。WAPDA が従来他のプロジェクトのために収集した膨大且つ様々な地震記録は必ずしもムンダ・ダム計画の地震評価に必要な地域全体を包含するものではない。このため、米国地質調査所の国際地震記録データ・バンクからインターネットを介して得たこの地域の地震記録によってダムの地震条件を判定した。資料は次のとおりである。

- i) ムンダ・ダム地点 (北緯 34.35° / 東経 71.33°) から 300 km の距離内に震央のある、1896 年から 1992 年までの間に起った主要な地震 26 件の記録
- ii) 上記と同じ距離内に震央のある、1973 年から 1998 年まで 25.5 年間に起ったマグニチュード 1 以上のすべての地震 2,259 件の記録。

地震条件の評価には主として後者、2,259 件の地震記録を使った。1件毎の地震について、コーネルおよび河角の減衰式により、ムンダ・ダム地点に及んだ震度を算定した。(Cornell, C.A., 1968, Engineering seismic analysis, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.58, pp.1583-1606, および Kawasumi, H., 1951, Measures of earthquake danger and expectancy of maximum intensity throughout Japan as inferred from the seismic activity in historical times, Bull. Earthq. Res. Inst., 21, pp.469-482. 参照)。

記録より、各震度階 (I) に該当する地震の件数をかぞえ、これより各震度階に対する累加件数を求め、これを年間累加件数 (Nc) に換算した。

グーテンベルクによる Nc と I の関係、

$$\log N_c = p + q \cdot I$$

により、記録された地震群に対する定数 p と q の値が決定され、次いで N_c に 1/100 を代入して帰年 100 年に1回の確率最大震度が求められる。結果は次の通りである。

ムンダダム地点における 100 年確率最大震度

	修正メルカリ震度階の 最大震度	日本気象庁震度階 の最大震度	最大加速度
コーネル式による	7.3	-	154 gal
河角式による	-	4.5	80 gal

一方、可能最大地震は、メイン・マントル・スラストに沿ってダム地点から 10 km の距離、深さ 40 km の位置にマグニチュード 7 の地震が発生したとすれば、震度と最高加速度はそれぞれ 9 と 500 gal である。

最高加速度が作用するのは 1 秒よりも短い瞬時であり、ダムの構造に実害を及ぼすことはできない。実質的な効果を及ぼす持続的な加速度は最高値よりもかなり低い値 (例えば 1/3) のものである。他方、可能最大地震は考えられる最大の地震であって、発生確率は非常に低い。このため、可能最大地震によって構造物に多少の被害が生じて、その被害が構造物の機能に対する深刻な障害となるものでなければ許容できるとする規定もある。

以上すべての条件から、準静的設計のための妥当な地震加速度として 0.15g を提案する。

ダム地点が造山帯に属しているため、貯水池の湛水に誘発される地震の可能性を否定することは出来ない。しかし、大きい地震を発生するような大断層は貯水池内に存在しないので、上記、可能最大地震の推定に用いた仮定、即ち、10km の水平距離、40km の深さに発生するマグニチュード 7 の地震は、貯水池に誘発され得る地震を充分超えているものと考えられる。1 秒より遙かに短い瞬時に作用する 500 gal 即ち 0.5g 以下の最大ピーク加速度は、提案された設計用加速度 0.15g によって充分に対応できる。

3.3 水文調査

3.3.1 流域特性

(1) 自然特性

ムンダダムサイトは、カプール川の支流のひとつであるスワット川にある。ムンダダムサイト地点でのスワット川流域の集水面積は、13,650km² であり、図 3.3.1 に示されるようにアッパー及びピロアースワット流域(6,579km²)、パンジコーラ流域(5,724km²)及びアンバハール流域(1,347km²) の3つの流域より構成される。スワット川は、標高約 4,500m のスワットコヒスタンにあるカラムに位置するガブラルとウシウの合流点に源を発している。ムンダダム計画地点における河床標高はおおよそ 360m である。

(2) 気候特性

流域ではその地域ごとに多様な気候を見せている。上流域では、11 月から 3 月の冬は非常に寒く、4 月から 9 月も雪に覆われている。冬に標高 2,500m 以上で積もった雪は、夏の間も標

高 4,000m 付近まで残っている。従って、スワット川には、年間を通して融雪水と雨水が流れている。

平均降雨量は流域内で図 3.3.1 にあるように 500m から 1,500m までの変化がある。夏と冬、それぞれ 8 月と 3 月に流域全体で雨が降る。夏はモンスーンの影響で中流域と下流域を中心に多量の降雨があり、河川流量が主に中流域と下流域で増加する。

(3) 水資源開発の現況

スワット川の水資源開発として第一に挙げられるものは図 3.3.1 および 3.3.8 に示すように、1885 年に設計水量 29.9m³/sec で 510km² の地域を灌漑するロー・スワット水路(LSC)が開発されたことである。その後 1915-19 年に左岸側から 23.5m³/sec の増量取水をする頭首工の改修が実施された。同時期に設計水量 10.0m³/sec を頭首工右岸から取水するドアバ水路が建設され、灌漑地域が 650km² に拡大された。

3.3.2 水文・気象データ

(1) 降雨データ並びにその他の気象データ

調査団が現地調査時に収集した気象・降雨データは、主に以下の関連部局から入手したものである。

- パキスタン気象局 Pakistan Meteorological Service (PMS)
- 北西辺境州灌漑局 Irrigation Department at NWFP (IRR)
- 北西辺境州当局 Provincial Authorities at NWFP (PRO)
- 表流水水利計画局 Surface Water Hydrology Project at WAPDA (SWHP)
- パキスタン森林局ペシャワール Pakistan Forest Institute at Peshawar (FOR)

PMS及び州の関連部局が維持管理しているこれらの観測所は、表 3.3.1 に列記するごとくである。またこれら観測所の位置を図 3.3.1 に示す。雨量記録は、全ての気象観測所のものが利用可能である。ペシャワール観測所は主要観測所の一つであり、7 種の気象パラメーターが常に観測されている。本調査において調査団は、現地で収集した日降雨量、時間雨量、その他日・月別気象データ等をすべてコンピュータへ入力しており、そのインベントリーを図 3.3.2 に示す。収集データは第4巻データブックに納められている。

(2) 流量データ

SWHP及びIDが管理しているスワット川周辺部の水位観測所と担当局のリストを表 3.3.2 に示す。その位置は、他の気象観測所と共に図 3.3.1 に示す。

本調査期間中に、調査団により 5 ヶ所の観測所と 2 ヶ所の灌漑水路の水文データが収集された。それら収集資料を図 3.3.3 に示す。データは第4巻データブックに納められている。

ムンダダムサイト上流のスワット川流域においては、図 3.3.1 に示すとおり、8 ヶ所の雨量観測所と 3 ヶ所の水位観測所の水文気象データが利用できる。図 3.3.1 に示すとおり、既存の各観測所は、すべてスワット川本流沿いに位置しており、ムンダダムの集水面積の約 40%を占める

パンジコーラ川流域には 1ヶ所の観測所もない状況である。本プロジェクトの水文情報を補足する為に、調査団より雨量観測所、水位観測所の新設が推奨され、現在、WAPDA により以下の 2ヶ所で新設工事中である。

- 1) ダムサイトの約 2km 下流に位置するスワット川本流の狭窄部、及び
- 2) パンジコーラ流域内のズラム橋近く。

(3) 既存ムンダ頭首工上流の流量記録

既存ムンダ頭首工上流における日流量観測記録が、NWFP 灌漑局の水文部門が刊行している「ベシヤワール地区河川流量、雨量データ」年間データブックに毎年収められている。しかしこれらデータには疑わしい記録が含まれており、採用している水位流量曲線のあいまいさ、流量観測の頻度の少なさ、既存頭首工の堰き上げ等の影響も指摘できる。

現地作業期間中の現場踏査、聞き込み調査及び上述の事情に基づいて、既存ムンダ頭首工の観測記録は信憑性が無く、そのままでは、本プロジェクトの水文調査には採用できないと判断した。

(4) その他の観測所における流量記録

スワット川流域にはその他に、4箇所の観測所がある。これらは、カラム(スワット川)、チャクダラ(スワット川)、ワルサック(カプール川)及びナウシェラ(カプール川)の観測所である。これら 4箇所の観測所のうち、ワリサックのものは、1970年ワルサックダムが完成した後廃止され、たの 3箇所のものは、1960 年以來今日まで WAPDA の表流水水利計画局(SWHP)により管理されてきた。SWHPによれば、アメリカ地質測量局の方法で観測されており、流量が少ない時は一日数回、流量が多い時にはそれ以上の頻度で測定しているとの事である。

各観測所の 1990 年から 1991 年の日流量記録の傾向を比較する為に、カラム、チャクダラ及びナウシェラの各観測所の観測記録から有効な記録を抜粋し検討した。これによると、1990 年も 1991 年も各観測所における最大日流量はいずれも夏季に発生している。カラム、チャクダラ、ナウシェラ及びワルサックの 1964 年から 1995 年までの月平均流量を図 3.3.4 に示す。

これらの観測所における流量観測は低水時に月 2 回、高水時にそれ以上の頻度で行われる。1961 年から 1981 年(ワルサック、1961 年から 1971 年まで)までの流量観測の年平均回数は、カラム 26 回、チャクダラ 42 回、ワルサック 21 回、ナウシェラ 28 回である。

現地調査時に収集した、カラム(1965-1988)、チャクダラ(1964-1988)、及びナウシェラ(1964-1987)の各観測所の水位流量曲線は、毎年修正更新されている事が確認された。

さらに、スワット流域とカプール流域における流況の関係を把握する為に、月間流量データを基に相関解析を実施した。各観測所の各組み合わせの相関を計算し、以下の表にまとめる。

水位流量観測所間の月間流量相関係数

観測所(集水面積)	カラム (1961-1995)	チャクダラ (1961-1995)	ワルサック (1961-1971)	ナウシェラ (1961-1995)
カラム (2,020km ²)	-	0.9445	0.9165	0.9086
チャクダラ (5,766km ²)	-	-	0.9743	0.9716
ワルサック (67,340km ²)	-	-	-	0.9914
ナウシェラ (88,578km ²)	-	-	-	-

相関解析によりえられた相関係数より、4ヶ所の観測所は月間流量についてお互いに高い相関を持っており、特に、チャクダラ、ワルサック及びナウシェラはそれぞれの相関係数が 0.97 以上の値を示している。上記検討の結果、SWHP-WAPDAにより管理されている 4ヶ所の観測所の記録は、信憑性があり、採用できるものと判断できる。

一方、ムンダ頭首工の観測値は、上記観測所の月間流量との相関係数が 0.68 から 0.83 と上記係数に比べ低く、信頼性に疑問がある。

ムンダダム の長期月間流量を推定する為、カラム、チャクダラ、ナウシェラ及びワルサックの観測記録を利用する。

追加補足したカラム、チャクダラ及びナウシェラの長期流量記録をそれぞれ表 3.3.3、3.3.4 及び 3.3.5 にまとめる。

3.3.3 気象

(1) 気象概観

スワット川流域は低湿熱帯大陸性高原地帯に分類される。流域内に降る降水が唯一湿度を補給し、降雨または降雪として地表面に到達する。降雨は年間において、モンスーン期(7月から9月)および春期(2月から5月)の2期間に降るのが通常である。モンスーン期の降雨は、アラビア海およびベンガル湾からの湿気の影響により年間雨量の約30%を占める。

パキスタン気象局が作成した年間等雨量線図によれば、流域内の降雨は 380mm から 1270mm まで変化し、流域平均で約 810mm と推定されている(参照 3)。

気温も地域によって大きく変化する。通常は7月に最高気温となり1月に最低気温となる。収集したデータによれば、流域内・周辺に位置する代表的な4観測所での年最高、最低、平均気温は以下に示す通りである。

長期月平均最高最低気温

単位: C°

観測所	最高気温	最低気温	平均気温	期間
カラム	19.2	-1.1	10.6	1986 - 1996
サイドシャリフ	28.7	8.2	19.1	1974 - 1991
マルダン	31.9	9.2	21.1	1985 - 1996
ペシヤワール	33.1	11.2	22.7	1961 - 1991

(2) 降雨分析

スワット川流域における降雨は通常7・8月に最高となり、11月に最低となる。

各観測所における長期月間平均降雨量と年間平均降雨量をそれぞれ表 3.3.6 と図 3.3.5 に示す。また代表的な観測所間のダブルマスカーブを図 3.3.6(a)から 3.3.6(d)まで示す。それらの図が示すとおり、チャルバー観測所において、1987年と1988年にかなりの年間降雨量があったことがわかる。

(3) 蒸発量

蒸発記録は、ダム計画地点に最も近いペシャワール観測所のものが、利用出来る。月間/年間のパン蒸発記録がパキスタン森林局が管理するペシャワール観測所で観測されており、期間は、1967年あから1985年までと1986年から1997までである。1967年から1997年までの長期の蒸発記録は、表 3.3.7 にまとめてある。

ムンダ・ダム貯水池からの直接蒸発散による水量の推定ロスは、観測パン値に変換係数0.7を乗じて算定するものとする。ムンダダム貯水池運用計画を策定するにあたっては、各月の水位に応じた貯水池面積を算定し、その水位に対応した上記水量の推定ロスを考慮するものとする。

3.3.4 長期流量

(1) 既存データの分析

ムンダ・ダム計画は流域面積 13,650 km²、河川長約 250km を擁するスワット川に位置する。この流域面積は図 3.3.7 に示されているように、4つのサブ流域に分けて算定されている。チャクダラ流量観測所地点より上流のアッパースワット川流域(サブ流域 B1: 5,776 km²)とパンジコーラ川流域(サブ流域 B2: 5,724 km²)の2つの流域面積は、計画ダム地点での総流域面積の約 85%を有する。パンジコーラ川流域は総流域面積の約 40%を持ち、又、スワット川本流への流出量の約 50%に寄与しているとみられているが、流域内の流出量をモニターすべき観測所は設置されていない。又、ムンダ頭首工地点の既存流量記録は、信頼性に問題があると考えられている。従って、ムンダ・ダム計画地点の長期流量を算定するために、降雨量と流出量の相関、及びサブ流域の流出量算定を含む流出解析の代替方法が検討された。

既存データの流出解析結果は、降雨量と月及び年流出量との間の相関は極めて低い事を示している。このような状況を考慮し、本調査では降雨一流出モデルによる長期流量の算定方法は、採用できないことが判明した。従って、地域解析が最も適切な長期流量算定法と考える。地域解析を実施するため、スワット川流域のカラムとチャクダラの流量記録とカプール川流域のナウシェラとワルサックの流量記録が使用される。地域解析の手順は Appendix C に詳細に述べられている。

(2) ムンダ・ダム地点での長期流量の推定

当該ダム地点での長期流量の推定は、近傍流域4地点、カラム、チャクダラ、ナウシェラ、ワルサック流量観測所での月平均流量－流域面積比の関係に基づき算定することとした。長期流量の推定計算方法の詳細は、サポーティング・レポートのボリューム III、アペンディクス C にまとめられている。

ムンダ・ダム地点での流量算定においては、流域内の灌漑計画に対する既存、及び将来の水利用状況を考慮しなければならない。灌漑計画の概要図は図 3.3.8 に示されており、又、表 3.3.8 は、Swabi SCARP により作成された各計画の水利用状況を示している。

- 1) Nipkikhel、や Fatehpur の既存灌漑施設はチャクダラ流域にあり、これらの施設からの取水量はチャクダラ流量データに加算されねばならない。
- 2) これらの流量補正結果に引き続き、ムンダ・ダム地点の月総流出量は、先の方法を用いて再算定される。この算定流量は、ムンダ・ダム地点の自然流下状況の河川流量を示している。
- 3) ムンダ・ダム地点の現況下の流量算定のためには、USC (Upper Swat Canal) や既存灌漑施設における取水量を、月総流出量(自然流下河川流量)から差し引かなければならない。USC への取水量が記録されていない部分は、1956 年から 1964 年まで(参照 2)取水記録の平均値で補完し、これらの取水記録のうち幾つかは、USC への取水量が、チャクダラ観測所における既存流量を超えないように補正した。その結果を表 3.3.9 に示す。
- 4) 他の水利用と同様に USC への取水量は、増加することが予想される。従って、ムンダ・ダム地点における利用可能水量は、灌漑計画の拡大にともない減少することとなる。この月平均取水量の推定値は、乾期中の USC における最大取水量は、チャクダラ観測所の流入量の差とアマングラ頭首工の下流域住民による水利用に限定されるという仮定に基づいている。下流域住民による水利用は、 $5.66 \text{ m}^3/\text{sec}$ と推定されている。流域内灌漑計画及び、USC への長期的水利用は、総流量(自然流下河川流量)から減じられなければならない。このような水利用計画の拡大にともなうムンダ・ダム地点での将来流量は、表 3.3.10 に推定されている。USC の拡張計画が早期に実施されることが予定されているので、ムンダ・ダムの最適化の検討は、これらの開発計画流量を除いた利用可能流量に基づきなされなければならない。

3.3.5 洪水解析

洪水解析の目的は本計画の策定にあたり、各構造物の設計条件を規定する対象洪水量を算定することにある。本計画においては、二つの対象洪水量を算定した。一つは主要構造物であるダム本体および余水吐の安全性の観点からそれらの設計のために採用した最大可能洪水量(PMF)で、他の一つは転流工を含む他の関連構造物の設計基準としてその重要度に応じて採用した確率洪水量である。本プロジェクトはその事業費や各構造物のスケールが大きく、ダム本体の越流などが起こらないように洪水解析がなされ設計洪水量の選定には特に注意が払われた。PMF は最大可能降水量(PMP)に基づき算定した。一方、確率洪水量は、任意の

回帰年を対象とした降雨分析に基づき算定した。洪水解析の詳細は Appendix C にある。

(1) 最大可能洪水量 (PMF)の算定手順

ムンダ・ダム計画はその規模と決壊した場合の下流への影響を考慮して、ダム本体および余水吐の設計には、対象洪水として最大可能洪水量 (PMF)を採用した。最大可能洪水量は、以下の手順で算定した:

- 1) 流域分割
- 2) 最大可能降水量の算定 (PMP)
- 3) 流域間豪雨分布の算定
- 4) 降雨損失の算定
- 5) 最大融雪率の算定
- 6) ユニットハイドログラフ(単位図)の作成
- 7) 洪水追跡とPMFの算定

(2) 最大可能洪水量 (PMF)の算定

1) 流域分割

本調査においては、スワット川のムンダ・ダムまでの流域を以下の4流域に分割した (図 3.3.7 参照):

2) 最大可能降水量の推定 (PMP)

PMP は、“理論的には、ある年の任意の時に地形的に特殊な地で豪雨が発生した際に物理的に継続しうる降雨の最大深さ”と定義することができる(参照 5)。PMP を推定する一般的な方法は、気象学および統計的なアプローチである。統計的アプローチは、利用できる降雨記録が十分でないところ、あるいは露点や風速等の気象データが不足している場合に用いられる。統計的アプローチは、PMP を手っ取り早く推定するのに特に重要で、気象学のアプローチで推定された PMP をチェックするさいの参考となる。ムンダ・ダムサイトにおける PMF を算定するため、妥当な PMP を推定するのに二つのアプローチを採用した。

a) PMP の統計的推定法

PMP を推定するための統計的方法は、各雨量観測所の最大雨量を統計的に分析することに基づく。それは、ポイント(地点)PMP を計算するので、流域 PMP に換算するために地域逓減係数を求める必要がある。その方法として、WMOLポートが引用される(参照 6)。

各観測所の算定されたPMPによれば、チャルパウのそれが4観測所中で最も大きく、それ故、PMPの値として、544mmを採用した。

b) 気象的アプローチ

気象的アプローチは、大気中の空気の収斂、鉛直運動、凝縮の間の相互関係に

理論的に依存する。要約すれば、PMP は最大湿度係数と風雨域における走行力とが最大となることによって計算されると仮定する。最大湿度係数はある湿度を保有するように降雨を保つようなある一定の湿度に依存する。PMP を推定するためには、湿度が水滴から雨あるいは雪に変わる最も厳しい機構が、空気中の最大の湿潤程度と共に考慮される。豪雨の雨量効率は直接推定されないため、過去の主要な豪雨を並べ、その中で起った最大の豪雨を再現して用いる。最大の豪雨が決定された後は、露点温度効果によって代表される湿潤程度が最大となるよう作用する。

— 流域内の過去の豪雨

スワット川流域で過去に発生した最大の豪雨を示すために従来の研究の中で利用できるものを使用し、雨量と豪雨の記録を調べると、以下の通りである：

過去の代表的な豪雨の発生時期

1882年7月27-29日	1940年8月8-10日	1958年7月15-17日
1910年8月25-27日	1942年7月9-11日	1959年7月3-5日
1924年7月23-28日	1948年8月19-23日	1976年7月31-8月3日
1929年8月26-29日	1950年8月1-3日	1987年8月2-7日

出典：参照 4) Appendix E.2

上表より、主に夏季のモンスーンのため、過去の主要な豪雨の全てが7月と8月の間に発生している。そのうち、1929年8月26-29日と1976年7月31日～8月3日の豪雨が異常に大きい。

以上のレビューから、1929年8月26-29日の豪雨がスワット川流域の最大可能降水量(PMP)を推定する際の対象となることは明らかである。

— 1929年8月26-29日の等雨量線図

1929年に発生した豪雨の等雨量線図は、上述のスタディに関するPMD(参照1)とKCS(参照4)の中で利用可能である。

詳細検討の結果、PMF推定に対して図3.3.9示す如くPMD検討の1929年豪雨の等雨量線図を採用する事にした。

— 豪雨内最大湿度係数

ある任意の場所における豪雨内の最大湿度は、以下に示すように豪雨の発生している場所の最大降雨(W_m)を可能降水量(W_s)で割った係数(R_m)を観測された雨量総量(1929年に発生した豪雨)に単純に乗じて得られる(参照6)。

観測所の位置とスワット川流域の標高(約1,000m)を考慮し、ギルギットとベンジャール気象観測所における露点温度を採用した。

標高補正の結果最大湿度係数は、1.38と求められた。この値はPMD検討結果と同じであり、従って以下のPMP算出に当たってはPMD検討結果を踏襲した。

— PMP のための雨量・面積・継続 (DAD: デップス・エリア・デュアレーション) 解析

PMD スタディでは、最大可能降水量(PMP)推定用の雨量・面積・継続 (DAD: デップス・エリア・デュアレーション)を作成するために、豪雨分析を地域毎にかつ一時的に実施している。その方法論は、アメリカ気象局の標準手続き“豪雨の DAD (Depth-Area-Duration) 解析のマニュアル”を適用した。

DAD解析の結果、ムンダ・ダム地点流域面積 1,3,650km² の 24 時間PMPは、173.8mmと推定され、174mmがPMFの算定に用いられる。

この値を、統計的に求められた地点 PMP 値 544mm と比較するために、地域通減係数を用いて地点 PMP から流域 PMP を算出した。地域通減係数は PM D 検討結果から 0.326 とした。これから流域 PMP は $544 \times 0.326 = 177.34\text{mm}$ となり、上で求めた 174mm が妥当との結果を得た。

3) 短期間豪雨の推定

洪水のハイドログラフを作成するため、6 時間あるいはそれ以内という短期間における雨量が推定されなければならない。地域依存降雨パターンと豪雨の輪郭から、72 時間平均計画雨量を求めることが出来るが、短期間降雨パターンのためには、豪雨特性に関する情報を収集したり見直しすることが必要である。6 時間累積雨量に関する情報は、最近の豪雨に関し利用できたが、過去の豪雨のそれに比べ信頼性が低い。利用できる資料を基に詳しく検討した結果、PMD スタディで作成された DAD 表から得られた値がより信頼性があり、適用できることが分かった。

4) 各分割流域における降雨分布

合成ハイドログラフの計算は、異なる分割流域間で流域の全降雨量がどのように分布しているかに、より多く依存している。流域および分割流域の降雨の算定は、1929 年の 72 時間降雨の等雨量線図(図 3.3.9)を用いて、流域(分割流域)界内のそれぞれ対になっている等雨量線の面積を計算し、それに、2 つの等雨量線の境界の平均降雨量を掛けることによりなされている。最終的な流域降雨量は次のように算出される。

1929 年の 3 日間雨量に基づく降雨量算定

分割流域	流域面積 (km ²)	1929 年 ^{a)} 3 日間降雨 (mm)	流域降雨量との比	1 日間 ^{b)} 最大可能降雨 (mm)	3 日間 ^{c)} 最大可能降雨 (mm)
B1	5,776	161.5	0.93	161.8	226.5
B2	5,724	181.8	1.05	182.7	255.8
B3	1,347	115.1	0.66	114.8	160.7
B4	803	270.8	1.56	271.4	380.0
流域全体	13,650	173.2	1.00	174.0	243.6

a) 1929 年 3 日間等雨量線から計算された値(図 3.3.10)

b) 算定された流域の 24 時間最大可能降雨値 174mm に基づいて採用された値

c) 最大化された 24 時間最大可能降雨値を 1.4 倍して採用された値

72時間最大可能降雨量は 243.6mm と算定されている。算定された 24 時間および 72 時間最大可能降雨量は各分割流域間で上の表に示されたような相関降雨量の分布に基づいて割りあてられている。

5) 降雨損失量の算定

今回の調査では、降雨損失量は入手可能な洪水記録と、対応する降水量の値およびその分布から最適化手法を用いて算定された。データの入手可能性からみると、1995 年 7 月 25 日の洪水が降雨損失量の算定に必要なデータを有していると考えられる。時間流量の記録がチャクダラ測水所にて時間降雨分布はカラムおよびマルダン雨量観測所にてそれぞれ入手可能である。最適化処理は HEC-1 モデル(参照 7)にて行われ、そのモデル中では初期および一定損失比率は数度の最適化試行の後に計算されている。初期損失および一定損失比率はそれぞれ、5.5mm、4.5mm/hour に最適化されている。

6) 最大融雪量比率および基底流量

融雪量は、特にモンスーン季には、洪水ハイドログラフに対して顕著な影響を与えるものの、スワット川流域における降雪のデータは入手不可能である。融雪量データの欠如によりムンダダムサイト計画地点における設計洪水量に影響する融雪量の比率を正確につかむことは困難である。

融雪量の影響は最大可能洪水量計算、および異なる分割流域間での洪水追跡計算における基底流量として考慮されている。入手可能な方法論と適切な技法を見直した結果、最大可能洪水量の算定には、ムンダダムサイトにおける7月の算定された長期の流量記録(1956~1997年)の平均(表 3.3.9)を基底流量として採用することが決められた。この値は 650 m³/sec と算定され、スワット川上流域とパンジコーラ川分割流域(B1 および B2)にわたってそれぞれ 400 m³/sec、250 m³/sec に割り振られている。スワット川上流域に採用されている値はチャクダラ測水所における長期流量記録(1956~1997年、450 m³/sec)からスワット上流水路への転流量および地域の水利用者の使用水量(50 m³/sec)を差し引いたものに基づいている。

7) ユニットハイドログラフの構築

ムンダダムサイトを流下する可能最大洪水量の算定をするためには、洪水および降雨記録に基づいた、各々の分割流域におけるユニットハイドログラフを構築すべきである。ムンダダムサイトまでのスワット川流域はスワット上流部、パンジコーラおよびアンノハールの 3 つの分割流域に分けられ、また、河川への直接流入に寄与する地域が一つある(スワット下流域)。これら 3 つの区域の境界は図 3.3.7 に示されている。

スワット上流部のユニットハイドログラフはチャクダラ測水所にて観測された 1985、1986、1988、1991 および 1995 年の 5 つの洪水のハイドログラフを用いて構築された。5 つの洪水の 48 時間にわたる、時間ごとのハイドログラフの分布は図 3.3.10 に示されている。その図示されているように、5 つの洪水全てが基本的に夏季のモンスーンによるもので 7

月に起こっている。1995年の洪水は最も顕著であり、 $2,772 \text{ m}^3/\text{sec}$ と最大値を有しており、他の洪水に比べてピーク到達時間が6時間と最も短い。1991年の洪水は $1,366 \text{ m}^3/\text{sec}$ と最も大きい基底流量を有しており、また、24時間後に $1,156 \text{ m}^3/\text{sec}$ から $829 \text{ m}^3/\text{sec}$ と急な降下が見られる。

これら5つの洪水時の降雨データは入手可能な降雨記録より得られている。24時間換算降雨は8つの雨量観測所での雨量記録から算出されており、それらの時間分布はカラムおよびマルダン雨量観測所の時間雨量記録に基づいて推定されている。

今回の調査では、1998、1991、1995年のユニットハイドログラフはHEC-1モデルを用いて計算された(参照7)。1995年のデータを用いて、ユニットハイドログラフの未知の係数と降雨損失がHEC-1の最適化機能を使って算定されている。ユニットハイドログラフの係数はクラークユニットハイドログラフ法により最適化されている。一方、降雨損失は一定損失率法に基づいて最適化されている。

1995年の洪水の特性をもとにスワット上流部分割流域における降雨損失係数を求め、1991年と1988年の洪水におけるユニットハイドログラフの係数を算定するために、HEC-1モデルが適用された。算定されたユニットハイドログラフの結果は1991年と1995年のユニットハイドログラフが非常に似通っていることを示している。一方、1985、1986、1988年のユニットハイドログラフはそれらの形が似通っている。そのため、2セットの平均ユニットハイドログラフが採用され、設計洪水量を算定するのに適用された。これら2セットのユニットハイドログラフの縦座標が図3.3.11に示されている。

パンジコーラとアンバハールの各分割流域においては降雨及び洪水のデータが限られているという観点から、パンジコーラ分割流域のユニットハイドログラフは、両流域が物理的に同じであることを仮定すれば、算定されたスワット上流部のユニットハイドログラフと等しいと考えられる(参照3)。アンバハール分割流域ではアメリカ土壤保全機構の手法を用いて合成ユニットハイドログラフが得られている。(参照8,9)

最終的に算定されたアンバハールのユニットハイドログラフの縦座標は図3.3.12に示されている。

8) 合成可能最大洪水(PMF)の計算

ムンダダムサイトの合成可能最大洪水を算定する基本的な工程は以下の項目を含む。

- 計算された可能最大降雨量、降雨特性、降雨損失率、基底流量、およびユニットハイドログラフデータを用いて、各分割流域における可能最大洪水のハイドログラフを計算する。
- 各分割流域の分布に基づいてスワット川の3つの流域について洪水追跡が行われた。これらの流域はスワット上流からパンジコーラまでが流域1、パンジコーラからアンバハールまでが流域2、そしてアンバハールからムンダダムサイトまでが流域3と考えられている。

ムンダダムサイト計画地点までの流域を代表する流域網を構築することを通して、上記

の工程を行なうために HEC-1 モデルが採用された。

今回の調査では、可能最大洪水の値はそれぞれ 24 時間、72 時間の時間間隔について、1991 年と 1995 年、および 1985 年、1986 年、1988 年の 2 セットの平均ユニットハイドログラフにて計算されている。これらのセットの組合せは可能最大洪水の算定において検討されるものである。これらのケースは次の通りである。

ケース 1: 1991・1995 年のユニットハイドログラフと 24 時間可能最大降雨量をもとにしたケース

ケース 2: 1985・1986・1988 年のユニットハイドログラフと 24 時間可能最大降雨量をもとにしたケース

ケース 3: 1991・1995 年のユニットハイドログラフと 72 時間可能最大降雨量をもとにしたケース

ケース 4: 1985・1986・1988 年のユニットハイドログラフと 72 時間可能最大降雨量をもとにしたケース

以下の表にムンダダムサイトにおける各ケースごとの可能最大洪水量を示す。

可能最大洪水量の算定

ケース	可能最大洪水量(PMF)	
	ピーク (m ³ /sec)	ピーク到達時間 (hour)
1	18,170	11
2	19,390	16
3	15,990	13
4	16,710	18

ムンダダムサイトにおける計算された上記 4 ケースの可能最大洪水量の縦座標は図 3.3.13 に示されている。

算定された可能最大洪水量の値から 24 時間可能最大降雨の場合(ケース1とケース2)が 72 時間の場合よりも、ダム設計においては、よりクリティカルであることが明白である。それゆえにこれら 2 つのケースを可能最大洪水量の値としてダムと洪水吐の設計に用いる。ただし実際はケース2が条件として最も厳しい。

図 3.3.14 はパキスタンにおけるダム水力プロジェクトの設計洪水比流量図である。ムンダサイトの PMF ピーク値 19,390m³/s (1.42m³/s/km²)は、この図の上で妥当な位置にプロットされることから、求められた PMF 値は適切であると判断した。

(3) 確率洪水生起頻度の算定

確率洪水生起頻度の検討は、様々な規模の洪水の範囲と、異なる確率年にわたる超過確率を得るためのものであり、ダムその他の構造物設計のため行なわれる。洪水頻度解析は、通常、年瞬間最大流量記録を用いて行なわれる。そのような流量記録が入手不能な場合、洪水頻度の値は降雨一流出量の相関関係をもとに、降雨生起確率を用いて同等の洪水量に変換して求められる。ムンダ頭首工における流量記録の中には、不適切で信頼性の低いデータがあるので、洪水頻度解析は降雨頻度解析に基づいて行なわれることに決まった。異なる再現期間

の降雨頻度の値は流域の24時間最大降雨から求められた。降雨継続時間を24時間としたのは、PMF検討の結果から72時間雨量に比べ24時間雨量が洪水ピーク値が最大となることと、1929年豪雨記録値が24時間雨量に近い値を示しているからである。流域24時間最大降雨を算定するためにカラム、チャルバウ、アマンガラ、アバザイの4つの雨量観測所における1961年から1997年の雨量記録が選定された。ムンダダムサイトまでの全流域集水域は図3.3.15に示すようなティーセン多角形によって分割されている。

年ごとの流域日最大降雨量のセットを用いて6つの分布を使った頻度解析が行なわれた。これらの分布は、正規分布、対数正規II型分布、対数正規III型分布、ピアソンIII型分布、対数ピアソンIII型分布、ガンベル極値I型分布である。これら6つの分布のうち、記録されたデータと0.9869の相関係数を持ち、最も良く合った結果を生み出すことから、ピアソンIII型分布が選定された。頻度曲線と異なる再現期間における算定値を図3.3.16に示す。

各再現期間に対する確率洪水ピーク値と波形を、HEC-1モデルを用いて算出した。図3.3.17に計算結果を示す。

解析の結果は、以下の表に示す通りである。

確率洪水

再現期間(年)	24時間流域最大降雨(mm)	確率洪水 (m ³ /sec)
2	35.7	1,050
5	46.3	2,050
10	53.1	2,740
20	59.4	3,400
25	61.2	3,630
50	67.4	4,370
100	73.3	5,010
200	79.1	5,720
500	86.9	6,610
1,000	92.7	7,280
10,000	112.6	10,050

上記ピーク値は図3.3.14の上で妥当な位置にあることから、これら確率洪水は適切と考える。

3.3.6 堆砂量

(1) 浮遊土砂

灌漑局水文課が編集したレポートに、ムンダ頭首工での浮遊土砂記録が1964年から1973年までの間で6年間入手可能である。しかしながらこれらのデータの中には、特に流量の多い時期の記録に、記録の正確さに疑念を抱くような様々な矛盾した例がある。流量の正確さの疑念とともにこの事実を考慮するとムンダ頭首工にて記録された浮遊土砂量は使うことができなかった。データの入手可能性を考えると、ムンダダムサイトにおける流入土砂量を最も適切に算定する方法は、カラム、チャクダラ、ワルサック、ナウシェラの4つの観測所における堆砂記録をもとに地域的解析を行なうことであると決定づけられた。

現地調査段階において、カラムとチャクダラにおける 1960 年から 1995 年までの日浮遊砂量データが表流水水利計画局(SWHP)から集められた(参照 10, pp31 - 40)。また、カラム、チャクダラ、ナウシェラにおける 1961 年から 1990 年までの、ワルサックにおける 1961 年から 1970 年までの年間浮遊土砂記録が入手可能である。これらの観測所の年間河川流量と浮遊砂を表 3.3.11 に示す(参照 10, pp141 - 145)。

これらのデータより、流砂量と流量の関係を求めてムンダダムサイトに運ばれてくる土砂量を計算した。各地点の年間流砂量と流量の関係は以下の通りである。

年間流砂量および年間河川流量

観測所	流域面積 CA km ²	年間流量 ¹⁾ Q m ³ /sec	単位流量 Q/A m ³ /sec/km ²	平均流送土砂量 ²⁾ Qs ton/day	単位土砂量 Qs/A ton/day/km ²
カラム	2,020	92	0.0455	789	0.3906
チャクダラ	5,776	180	0.0317	3,305	0.5722
ワルサック ³⁾	67,340	706	0.0105	46,667	0.6930
ナウシェラ	88,578	858	0.0097	100,767	1.1376

1) 観測年 1956 - 1997

2) 観測年 1961 - 1990

3) 観測年 1961 - 1970

4 地点における 1961 年から 1990 年までの年平均流砂量と年間河川流量がプロットされ、図 3.3.18 に示すように相関解析を行なっている。

ムンダダムサイトでは年平均流入量が 228.58m³/sec、流域面積が 13,650 km² で、図 3.3.18 に示すように算定された一次回帰曲線($Y = -16.635 X + 1.1307$)を使用して、生産土砂量として 0.85 ton/day/km² が算定される。ここに Y と X はそれぞれ生産土砂量(ton/day/km²)および河川流量(m³/sec/km²)を示す。

換算年平均浮遊土砂量は、311 ton/km² と推定される。

(2) 掃流土砂

今までのところスワット川における掃流土砂に関する観測記録は無い。そのため、掃流土砂量は浮遊土砂量から推定される。予備的な推定値として掃流土砂量は、Mutreja による(参照 11, pp.842)浮遊砂と掃流砂の比予備的な表により求められる。

平均流砂量は 535ppm(228.5m³/sec に対する 11,630 トンに相当)で、総流砂量の約 5 ないし 12% が掃流土砂である。今回の調査では、安全側を考慮して、掃流砂は浮遊砂の 20% と仮定した。よって、ムンダダム計画地点における年間掃流土砂は、62 トン/km² と推定される。

(3) 総流砂量

総流砂量は浮遊土砂量と掃流土砂量の合計として算定される。このようにして年間総流砂量は 373 ton/km² と推定される。

推定された総堆砂量を評価するために流域の地質状況が再調査された。集水域の地質状況は、降水量、植生、河川勾配、揚圧力の高低など、他の要素とともに、堆砂に対して最も影響のある要素の一つである。地質的にムンダダムの集水域は、隣接するタルベラやワルサックのダムに比べて異なった地質状況であるように思われる。タルベラダムの区域では圧密されていない砂質土の段丘堆積物が集水域の比較的標高の高い部分に広く分布している。砂の侵食されやすい性質により、タルベラ貯水池では堆砂の問題が発生しているように見られる。ワルサックダムの上流域は大量のゆるい砂を含む岩の多い砂漠に位置しており、ワルサック貯水池では、ゆるい砂の侵食により堆砂の問題が発生している。上記の 2 つの地域とは対照的にムンダダムの集水域はわずかな侵食性の堆積物に覆われた岩質の山に位置している。チャクダラとミンゴラの間にある中流域の広く緩やかな河川平野には圧密されていない河川堆積物が分布しているものの、河川平野は比較的安定しており、激しい侵食なしに上流の山間部からの侵食材料の集積場所になっているようである。これらの地質状況を鑑みると推定された年間総流砂量の 373 ton/km^2 は信頼できると判断される。

(4) 堆砂密度

初期における堆砂密度は、以下の式を使って、流送土砂中の砂、シルト、および粘土の含有比率に基づいて推定できる(参照 12、式 12.8.2、pp12.38)。

$$W_0 = p_c W_c + p_m W_m + p_s W_s$$

ここに W_0 、 W_c 、 W_m および W_s はそれぞれ、初期における堆砂密度、粘土、シルト、砂の単位重量(kg/m^3)、 p_c 、 p_m 、 p_s はそれぞれ重量比率(%)を表す。貯水池運用方式を考慮すれば、 W_c 、 W_m および W_s はそれぞれ 416 、 $1,120$ 、 $1,550 \text{ kg/m}^3$ と推定される。(参照 12 pp. 12.39)各観測所での重量比率に関するデータこれによれば、砂、シルト、粘土の平均比率は 0.17 、 0.53 、及び 0.30 である。

上記の式を適用すると、ムンダダム地点における初期堆砂密度は、 982 kg/m^3 と推定された。

(5) 圧密堆砂密度

堆砂密度は毎年増加してくるので、与えられた期間の中で堆砂に置きかえられる貯水池の容量を算定するために、堆砂の比重を予測することが必要である。

ムンダダムの場合、流砂は常に冠水の状態で圧密される。ミラーの公式によれば(参照 12、式 12.8.3、pp12.39) 100 年後の平均圧密流砂密度は、 $1,257 \text{ kg/m}^3$

(6) 掃流土砂密度

掃流土砂については、アメリカ土質保全協会(U.S. Soil Conservation Service)によれば $1,760 \text{ kg/m}^3$ が妥当な値であると考えられる(参照 13、表 17-1-5、pp.17-18)。

(7) 捕捉率

貯水池を通過する全ての流砂量が貯水池内に堆積するわけではない。なぜなら、堆砂の一部は、洪水吐、水路、または放流施設より通り抜けてしまうからである。

堆砂捕捉量を決定するのに最も一般的に使われている関係図は、Gunner Brune によって開発された堆砂捕捉効果曲線であり(参照 12, 図 12.8.2, pp.12.38、参照 14, pp.F-2)、捕捉効果が、貯水池に捕捉された堆砂量と、貯水池に流入する流砂の総量の比で定義されている。

$$E = 100 * 0.97^{0.19 \log(C/I)}$$

ここに、E は捕捉率、C は貯水池容量、I は流入率である。

貯水池容量は運転期間により変わるので、捕捉率は後述するように 10 年間隔で計算される。

(8) 貯水池内における堆砂の蓄積

貯水池内における堆砂の蓄積を推定するために 10 年間の計算期間が考慮されている。各期間における累積した堆砂量は、浮遊砂および掃流砂の捕捉率、比重の推定により計算される。次の通り、貯水池規模による 4 つのケースが検討された。

- ケース 505: FSL 505 m、総貯水量 690 百万 m³
- ケース 530: FSL 530 m、総貯水量 1,070 百万 m³
- ケース 555: FSL 555 m、総貯水量 1,590 百万 m³
- ケース 580: FSL 580 m、総貯水量 2,340 百万 m³

計算結果は以下の通りまとめられている。

推定累積堆砂量

期間	堆砂の累積(百万 m ³)			
	ケース 505	ケース 530	ケース 555	ケース 580
10	40.7	42.6	43.9	44.8
20	77.1	80.8	83.3	85.2
30	112.0	117.6	121.4	124.2
40	146.0	153.6	158.7	162.3
50	179.2	188.8	195.3	199.9
60	211.7	223.6	231.5	237.0
70	243.6	257.9	267.3	273.8
80	275.0	291.8	302.7	310.3
90	305.7	325.4	337.8	346.4
100	335.8 (0.25mm/年)	358.5 (0.26mm/年)	372.7 (0.27mm/年)	382.3 (0.28mm/年)

上記の表から、100 年後には、その貯水容量である、690、1,070、1,590 そして 2,340 百万 m³ がそれぞれ 49、33、23 そして 16%が失われることになる。

7章で述べるように最適開発規模検討の結果、Case 555 が最適となった。図 3.3.19 はパキスタンにおけるダム水力プロジェクトの設計比堆砂量を示している。Case 555 の 100 年堆砂量 373

百 m³ (0.94ton/日/km²)をこの図にプロットすると妥当な位置にくる。従って、上記算定値は適切と判断する。

参考文献:

- 1) Probable Maximum Precipitation over the Swat Basin in Monsoon Season – Scientific Note No. 2 - Met P & I Publication No 9, Pakistan Meteorological Department, 1966
- 2) Reconnaissance Report in Kabul –Swat – Chitral Basin, Appendix A, Hydrology, West Pakistan Water and Power Development Authority, P & I Publication No. 37, May 1965
- 3) Munda Multipurpose Project, Pre-Feasibility Study Report, Volume II – Hydrological Studies, National Engineering Services Pakistan (PVT) Limited, November 1992.
- 4) Kalabagh Dam Project, Project Planning Report, Volume IV, Hydrological and Flood Studies, July, 1984
- 5) Hansen et al. 1988 “Maximum Probable Precipitation Estimates”, Hydrometeorological Report 55-A. 1988
- 6) “Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation”. World Meteorological Organization, WMO – No.332, 1973
- 7) HEC-1 Flood Hydrograph Package, User Manual and Documentation, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, CPD-1A, September 1990.
- 8) Daniel H. Hoggan “Computer Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics – Featuring the U.S. Army Corps of Engineers HEC-1 and HEC-2 Software Systems”, McGraw Hill, 1994
- 9) Richard H. MacCuen “ A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods” Prentice-Hall, Inc. 1982
- 10) Sediment Appraisal of Pakistan Rivers 1960 – 1990, Surface Water Hydrology Project (SWHP), WAPDA Lahore, March, 1997
- 11) Mutreja K. N. “ Applied Hydrology”, 1982
- 12) David R. Maidment “ Handbook of Hydrology” McGraw Hill, 1993
- 13) Ven Te Chow “Handbook of Applied Hydrology”, McGraw Hill, 1964
- 14) Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs, US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-4000, 1989

