

No. 5

国際協力事業団 (JICA)
神華集団有限責任公司

中華人民共和国

中国神府東勝鉍区水資源総合開発調査

最終報告書

主報告書

2000年6月

JICA LIBRARY



J 1158346 (5)

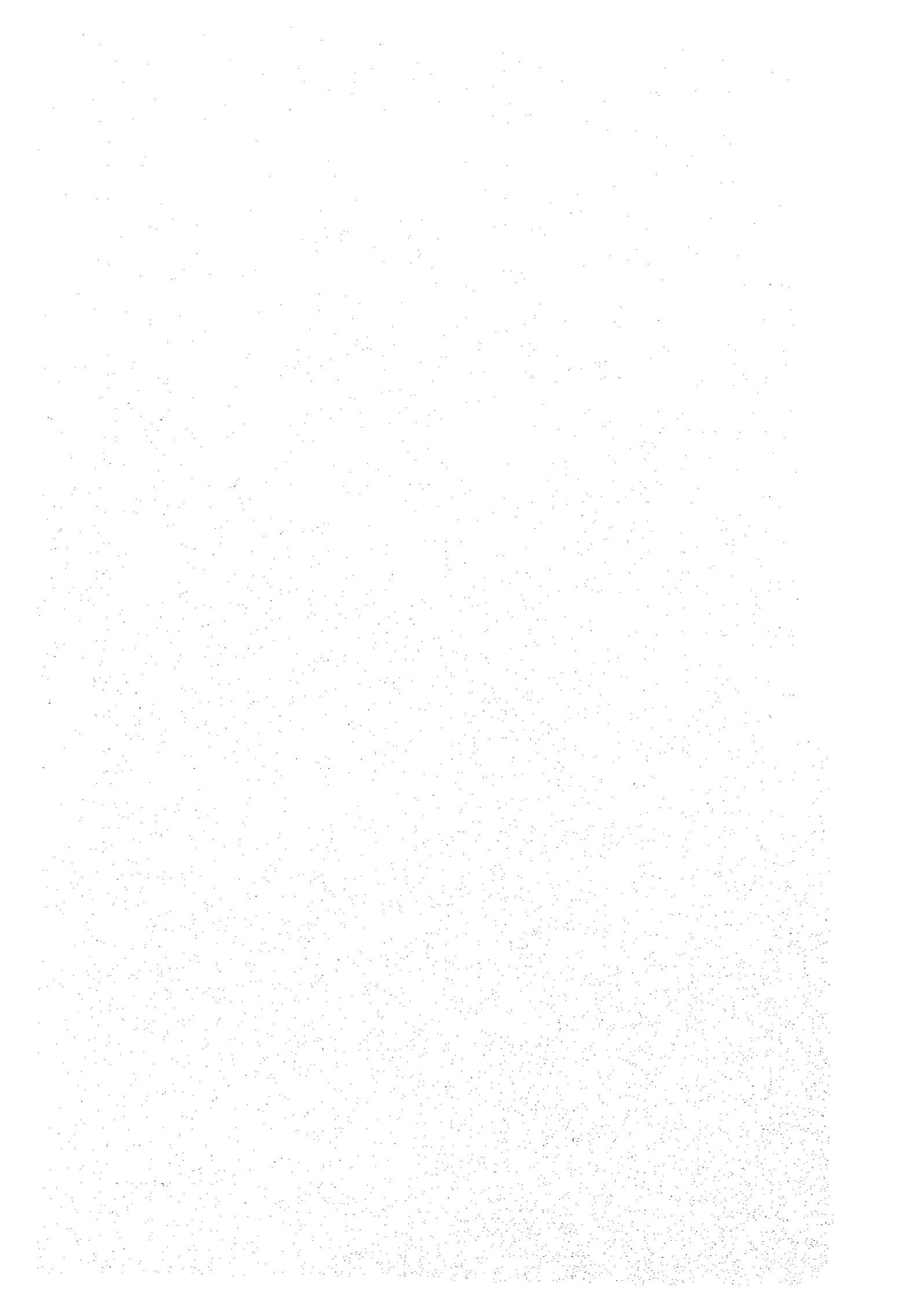
日本工営株式会社
株式会社ダイヤコンサルタント

鉍 調 査

J R

00-121

5
7
N
ARY



国際協力事業団 (JICA)
神華集団有限責任公司

中華人民共和国

中国神府東勝鉅区水資源総合開発調査

最終報告書

主報告書

2000年6月

日本工営株式会社
株式会社ダイヤコンサルタント

中華人民共和国
中国神府東勝鉅区水資源総合開発調査
最終報告書の構成

1. 要約
2. 主報告書
3. 付属書



通貨換算率

本調査においては次の通貨換算率を用いた。

1.00 元 (RMB) = 0.125US\$ (米ドル) = 12.8 日本円

1999 年 10 月現在

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の神府東勝鉦区水資源総合開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成9年10月から平成12年6月までの間、5回にわたり日本工営株式会社の実方貞夫氏を団長とし、日本工営株式会社及び株式会社ダイヤモンドコンサルタントの団員で構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、中華人民共和国政府関係者と協議を行い友好な協力関係のもとに現地調査を実施し、さらに帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

本報告書が、地域の水資源開発計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を頂いた関係各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成12年6月

国際協力事業団

藤田公郎

総裁 藤田公郎

国際協力事業団
総裁 藤田公郎 殿

平成12年6月

伝 達 状

中国神府東勝鉞区水資源総合開発調査の最終報告書をここに提出致しますので宜しく御査収願います。

本報告書は中国陝西省北部及び内蒙古自治区にまたがる神府東勝鉞区において、炭鉞開発に必要とする新たな水資源の開発を目的として、表流水の利用と共に排水の再利用を含めた水資源総合開発に関するフィージビリティ・スタディの調査結果について記述しております。本調査では表流水開発については黄河中流の支流である窟野河の支流烏蘭木倫河に多目的ダム（転龍湾ダム）を建設することを計画しました。しかし本計画におけるダム建設地点の地質条件が中国側が実施した既存調査で想定していた条件より悪いことが判明しました。この結果特にダム左岸アバットメントの風積堆積物（砂丘部）が厚く、膨大な遮水処理、安定処理を必要とすることが必須で、堆積土砂処理も含め技術的側面での課題が抽出されました。従って経済的側面、特に財務的妥当性に欠けることが判明し、結論として大型ダム建設に替わる水資源開発を再検討する旨提言する結果となりました。また、排水の再利用に関しては汚水処理場の改善について提言しました。

本報告書は、主報告書、要約、及び付属書の3巻から構成されております。主報告書は、水文・流砂・地質・水質などの調査業務、各分野ごとの検討、ダム建設計画案の策定、事業費算定、環境影響評価、事業評価を含む全ての調査結果を掲載しております。要約には調査結果の概要を述べました。付属書には、本報告書を補完する追加情報・資料を掲載しております。

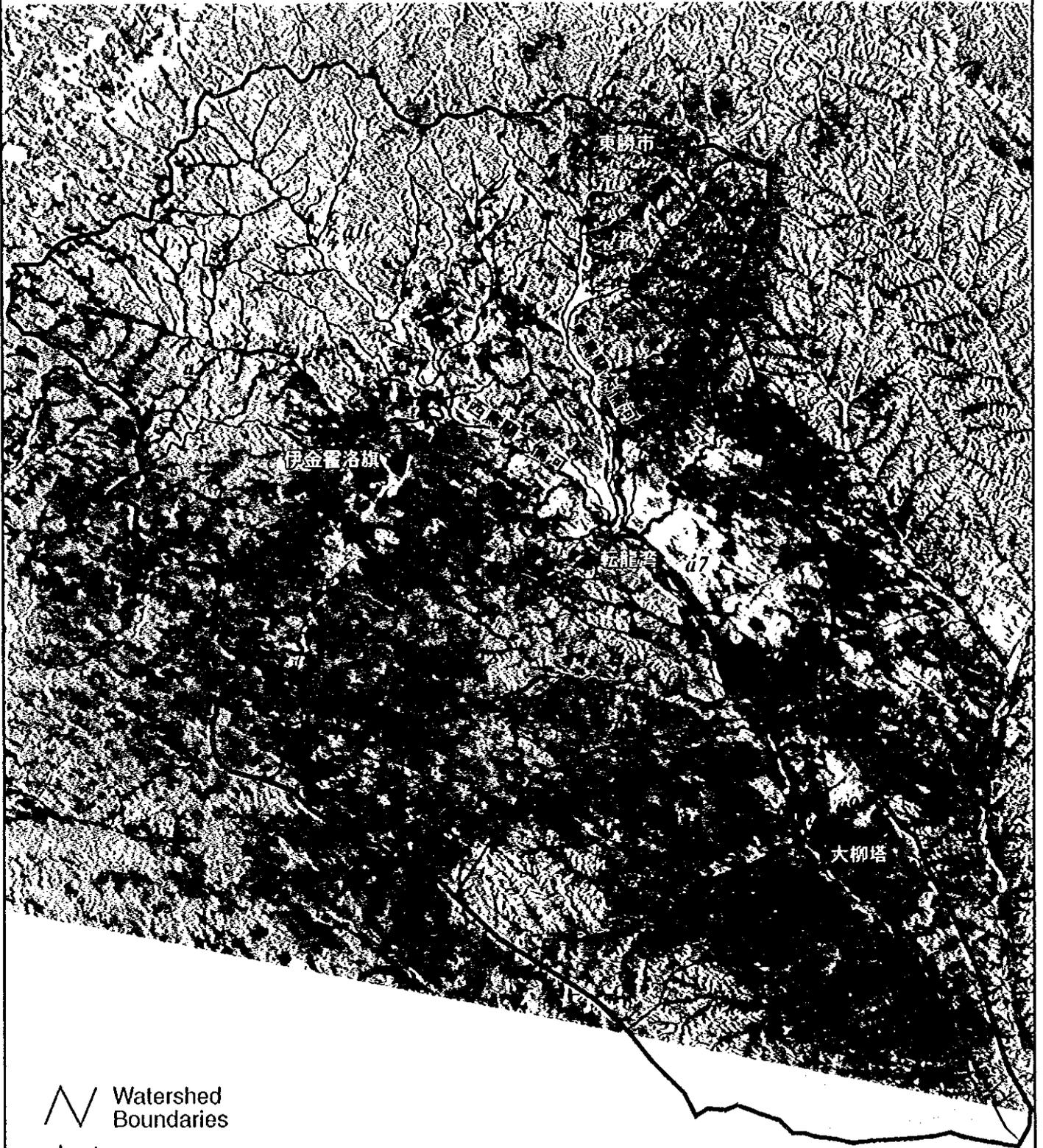
本報告書を提出するにあたり、多大なご支援とご助言を賜った貴事業団、駐中国日本大使館ならびに中国政府諸機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表します。また本調査の結果が中国の今後の発展のために、特に西部大開発のために貢献できることを切に願う次第です。

中国神府東勝鉞区水資源総合開発調査団

實 方 貞 夫

総括 實方 貞夫

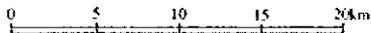
神府東勝鉦区水資源総合開発計画 衛星画像(王道恒塔上流域、1995年7月26日)



 Watershed
Boundaries

 River

SCALE 1/450,000

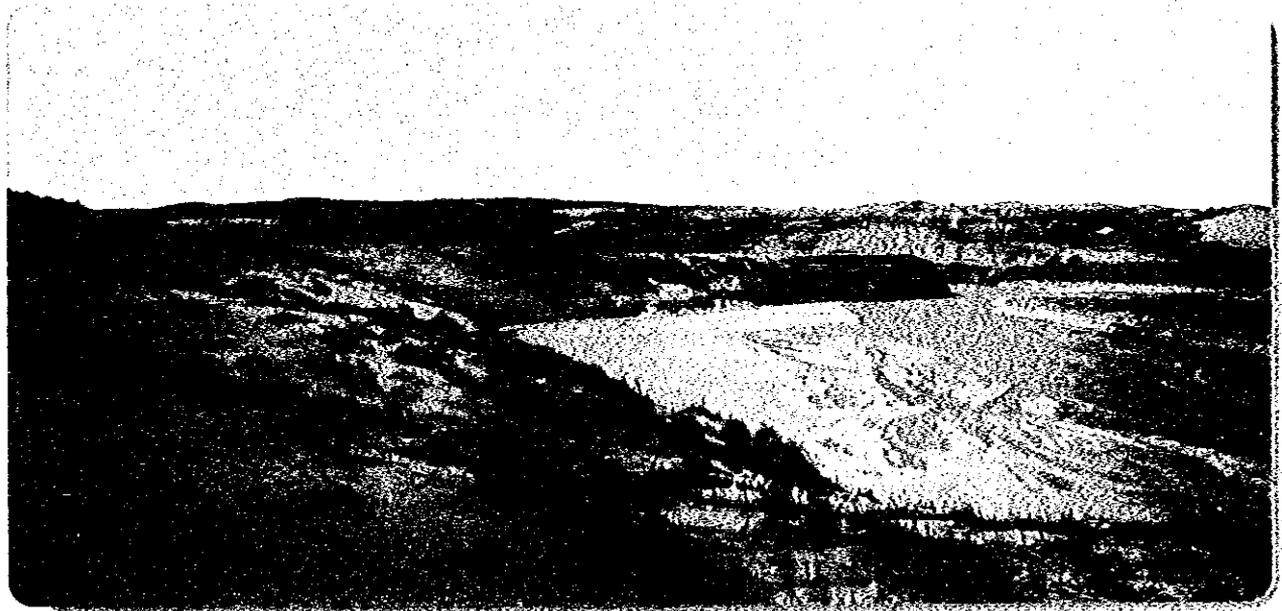


王道恒塔

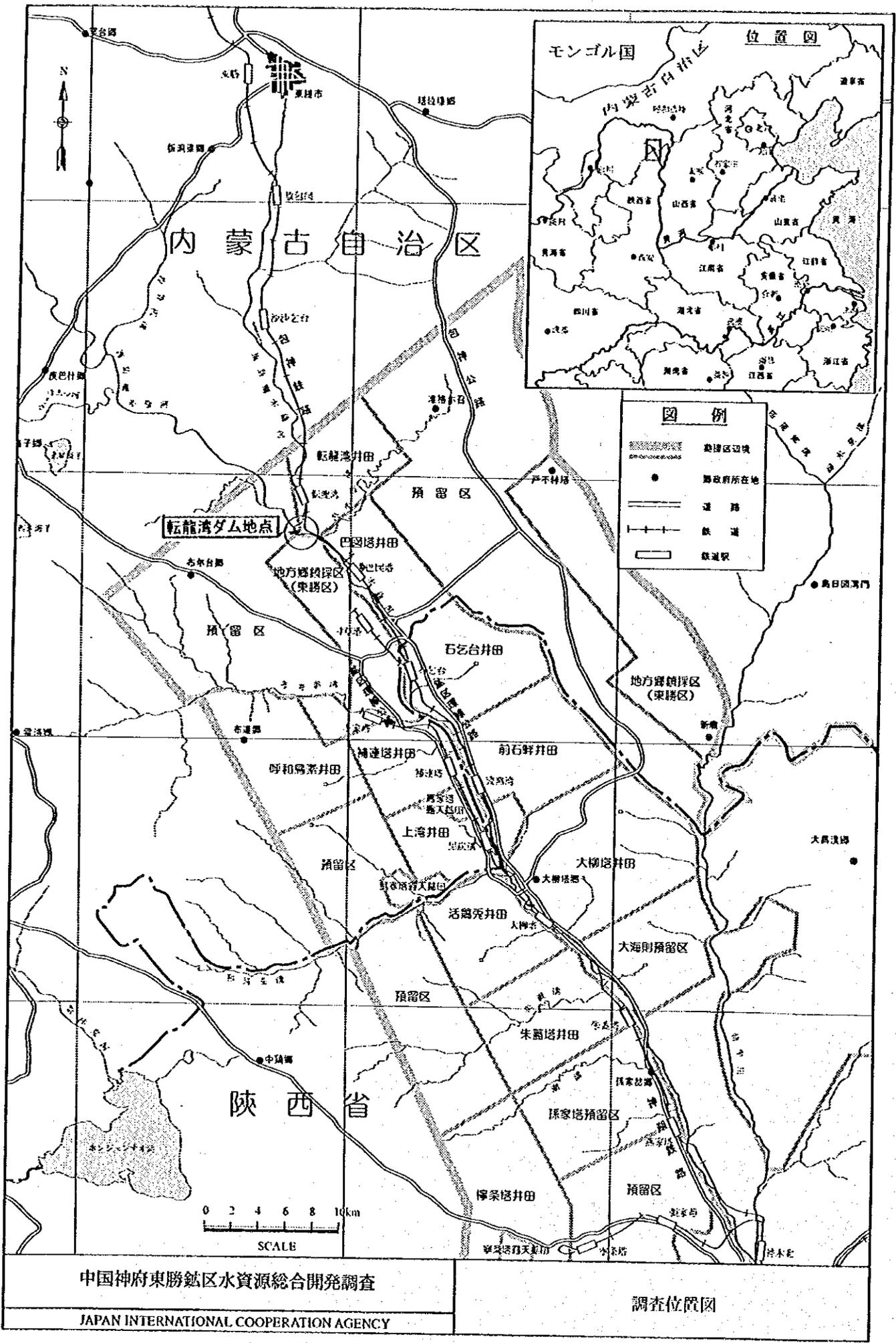
※ 赤色の地域は、植生が繁茂している地域である。



転龍湾ダムサイト 下流より



転龍湾ダムサイト 上流東烏蘭木倫河より



中国神府東勝銘区水資源総合開発調査

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

調査位置図

要約

1. 本「最終報告書」は、日本国際協力事業団の調査団（以下調査団と呼ぶ）が、中国側の実施機関である中華人民共和国神華集団有限責任公司（以下神華集団有限責任公司と呼ぶ）と緊密な協力の下、1997年5月12日及び2000年1月26日に双方が協議し署名した実施細則に基づき、1997年10月27日より実施した神府東勝鉅区水資源総合開発調査のフィージビリティ調査（可行性研究）の結果を取りまとめて報告するものである。

調査・計画作業の各段階毎に調査団は下記の報告書類を提出し、その都度日中双方は密接な協議を行い円滑な作業の進捗に努めた。

1) 着手報告書	1997年10月
2) 進捗報告書(1)	1997年11月
3) 進捗報告書(2)	1998年11月
4) 進捗報告書(2)(補足)	1999年3月
5) 最終報告書(案)	2000年3月

本最終報告書は、2000年3月の最終報告書(案)に関する調査団と神華集団有限責任公司との協議を踏まえて作成したものである。

2. 神府東勝炭田は陝西省と内蒙古自治区にまたがる、面積約25,000km²、確認埋蔵量2,200億トン以上を有する、中国有数の炭田である。

調査対象地域は大陸性半乾燥気候で、年間降水量が400mm～500mmと少なく、地域を流下する烏蘭木倫河も季節により流量が大幅に変動するため、開発に必要な大量の水資源を安定確保することは極めて難しい状況にある。このため表流水に加え、排水処理や水の再利用を含む総合的水資源開発計画の策定が必要となっている。

3. 東西2本の烏蘭木倫河は黄河支流の窟野河の支流で転龍湾地点の直上流で合流している。地形的にみて、ダム建設の可能性を有する地点は転龍湾地点が唯一であり、水文的な有利性もある。東西烏蘭木倫河の流域はオルドス高原の黄土地形の典型であり、厚い黄砂の地層は長年の降雨による侵食を受け、流域のいたるところで大規模なガリ侵食（雨裂侵食）が発達している。又、毛烏素砂漠の東縁に位置していることから、砂漠化も受けている。

4. 貯水池周辺の地質は、ジュラ紀元の堆積岩である安定組、白亜紀の堆積岩である伊金霍洛組及び第三紀鮮新世の堆積岩が分布し、これらの地層を覆って第四系の風積堆積物（砂丘）が分布している。ジュラ紀の安定組は砂岩を主体とする地層で、断層や褶曲構造は認められない。同様に白亜紀の伊金霍洛組も砂岩から構成され、断層や褶曲構造は認められない。従って貯水池周辺は地質的に非常に安定した地域であり、中国側地質関係機関での聞き取り調査でも周辺に活断層の存在は確認されていなく、また過去の大地震の記録もない。
5. 転龍湾ダム地点は、右岸側には基盤岩が露出し、高さ約 100m、傾斜 70 度前後の急崖を形成している。左岸側にはほぼ東西方向に薄い山稜が砂嘴状に延び、計画ダム軸付近では山稜低部の幅は約 250m で、東側に向かってその幅を広げている。舌状の山稜先端部には一部基盤岩の露出も見られるが、多くは風成砂に覆われ砂丘状を呈している。

ダム地点の地質は、ジュラ紀の堆積岩を基盤岩としてこれを覆って第四系の河流堆積物や風積堆積物が分布している。ジュラ紀の地層はほぼ水平に堆積しており、断層褶曲は確認されない。地表踏査及び既往調査も含めたボーリング調査結果をもとにダム基礎としての地質状況をまとめると以下のようになる。

（右岸部）

右岸部では、70 度近い斜面部にはジュラ紀の安定組が露頭し、尾根部に薄く風積堆積物が分布する程度である。安定組は安定した地塊上に堆積した堆積物のため、堆積後の続成作用が弱く、いわゆる軟岩に属し、斜面部では凍結融解作用などで風化が進行している。尾根部では既往ボーリング結果によれば、表面より 10m 程度の風化部が認められる。ダム構築上、斜面の安定化とアバットメント処理が必要である。

（河床部）

河床部では、ボーリング調査の結果、河流堆積物が約 5m の厚さで堆積していることが判明した。コンクリートダムの場合、これら河流堆積物を全て除去する必要がある。フィルダム形式の場合、コア材のゾーンについては同様に除去が必要であり、その他の築堤材料からなるゾーンについての河流堆積物の処理は堤体のすべり破壊や浸透破壊に対する安全性等を含めた総合的判断でどの程度除去すべきか検討する必要がある。

また、基盤岩部では風化部が 0~8m の厚さで分布することが明らかになっており、これら風化部についても透水性と力学性の観点から処理が必要である。

(左岸部)

左岸部については、既往ボーリング調査の結果から、埋設段丘堆積物と風積堆積物の存在が知られている。本調査のボーリング調査の結果、段丘堆積物は従来 of 予測以上に広く分布することと風積堆積物が予想以上に厚いことが明らかになった。既往ボーリング調査と今回の調査結果から総合的に判断すると、河床部中央から左岸方向へ約 200m 離れた地点で岩基盤（ジュラ紀安定組）は標高約 1,215m 程度まで高まるものの、さらに東方向 200m 離れた地点で現状の河床の標高まで低下する状況が明らかになった。再び基盤岩線の標高が上昇するのはさらに東に 2,000m 離れた地点であり、この事実は、Pre-F/S（中国側）で前提とした大型ダムを支える基盤岩が左岸部には適度の深さに存在しない事を示すものである。Pre-F/S で調査にあたった中国側の説明によれば、限定されたボーリング調査結果から左岸部については表面の地形に準じて基盤岩も上昇するものと仮定しこれを計画の前提条件としたとされる。

6. 地質的前提条件の相違によるダム計画検討への影響

上記のように大型ダム建設上の基本条件である基礎地盤の地質が Pre-F/S と大きく異なることで、経済的妥当性に現状では欠ける状況となった。即ち、ダム本来の目的を達成するためには、遮水ゾーン（コア）を不透水性基盤まで岩着させることが必要であり、そうでない場合はコンクリート連続地中壁を建てこみ、これを基盤に岩着させるなどの何らかの遮水処理が必要である。本地点では、膨大な砂丘部を掘削し、基盤面まで掘り下げるか、あるいは砂丘のある高い標高の地点から連続地中壁を建てこむことになるが、技術的には可能であるものの採算面で棄却される工法となる。

既存の中国側探鉱ボーリングのデータを加えて基盤岩の上限面について等高線を作成し、これをもとに中国側が計画したダムの堤高標高 1,245.5m の場合について、不透水性基盤に岩着させるようなダムを構築すると仮定しその堤頂長を求めると約 3,200m に達する。Pre-F/S と同じ規模のダムを建設するとした場合、通常の工法ではこのように堤頂長が約三倍になり掘削量、盛立量とも膨大となり現実的な計画とは言えない。

しかし、本調査の経緯と実施細則の規定及びダム計画地点が転龍湾ダム地点一点に限定され他にダム建設可能な適地が存在しないことから、中国側の検討に対する比較検討と今後の課題を提起する意味で、転龍湾地点において上記地質条件に対応の可能性が残されていると思われる大ダム案（ある範囲内に部分的に連続地中壁を適用）を参考として検討した。但し技術的な確実性に多少劣り工学的な検証は残されている。また代替案として、この大型ダム案は技術的・経済性には難点があることから、現在

の地質状況で不透水性基盤が確保できる標高以下に小規模ダムを建設する案も検討した。この小ダム案は、貯水容量が十分確保できず、このままでは年間の安定供給ができない方式であるため中国側の計画の対象外となっていた案である。いわゆる当流域にも存在する流れ込み式の小規模な灌漑用堰と同種の方式であるが、本案については多少規模を拡大し転龍湾ダム地点の下流に調整池が確保できるという前提で検討を行った。

7. ダム規模の検討については、上記の理由により、大型ダムの計画そのものが現時点では十分な技術的健全性及び経済的健全性を有するとは判断できないため、水資源の乏しい乾燥地域における水資源開発として、流域の水資源ポテンシャルをできるだけ利用するという中国側の方針を受け、Pre-F/S（中国側）と同様の規模を参考として検討することとした。

即ち主要コストとしては上記のような中国側既存計画と同一規模の標高を有するダムの建設コストとして求めることとした。

また便益については本来ダム建設の主目的である利水、治水面に区分して検討が必要であるが、本検討に関連し、鉞区開発とこれに伴う水需要が中国側の事情より与えられないことに加え、中国側の作業分担である灌漑便益、洪水防止便益の算定がなされなかったため、Pre-F/Sにおける検討結果及び1994年に中国側が検討した防洪経済分析報告をもとに灌漑便益及び洪水防止便益を試算した。

8. 治水計画において必要となる各種超過確率年の計画流量に対しては、中国と日本の確率計算手法に相違があるため、同一流量記録を用いて日本式で計算し、中国の国家標準である防洪標準にさだめる確率年に見合う流量を求め、これを中国側の既存検討結果（Pre-F/S時の検討結果）と比較考察した。
9. 低水流出については、転龍湾ダム地点での提供された水文観測結果を用いても、実測流量により検証される合理的流出モデルを構築することが困難であった。またダム計画の蓋然性そのものが成り立たない状況なので、年間流出量の総量について時系列上の変化を検討するに止めた。従って低水流出モデルについては必要な水文資料が今後得られた場合に検討すべき事項とした。

10. 神府東勝鉦区に関連する開発計画とそれに伴う水需要の見直しに関し、一連の現地調査における関係各機関の説明と提供された情報をもとに総合すると、1) 石炭の中国国内市場及び海外市場の低迷による、石炭生産部門における生産企業及び施設の統廃合、2) 石炭生産企業内部でのリストラクチャリングによる鉦区従業員の削減、3) 高性能の大型採炭機械の導入及び生産システムの合理化・高効率化、などを理由として鉦区における水需要は、採炭量の伸びにも関わらず逆に相当程度減少している傾向にあるとのことである。この状況は、中国国内における急速な市場経済化の流れの中にあって毎年のように変化し、大型ダム建設による水資源開発のような長期的計画の指標として石炭開発関連の水需要は、現在変動が大き過ぎ、中国側の公式見解として調査団に提供できなかったと推察される。

現在の鉦区の水源はほとんど地下水に依存しているが、烏蘭木倫河流域のような半乾燥地域にあっては、地下水の涵養と利用とに水文上の時間差があり、また地下水の可能開発量には砂漠化防止の環境面からも限度があるため、水需要の上昇に伴って地表水の利用率を上げる状況が到来するものと考えられる。

利水供給の安全度については、通常渇水被害の関係で検討すべき事項であるが、対象となる鉦区そのものがエネルギー政策から生れた新しい人工の町であり、被害資料が存在しないので、中国で規定する各分野毎の保証率が水資源開発計画に適用されることを確認した。

11. 貯水池が有する水頭と鉦区への供給水を利用して、大型ダム案では Pre-F/S と同様に小型水力発電所を計画する。設備容量は 420kw で年間発生可能電力量は約 200 万 kwh と見積もられる。発生電力は主としてダム関連施設の自家用電源として消費され、商業電源から購入する電力を軽減することに貢献ができる。
12. 本プロジェクトに関する環境関連項目としては、自然環境と社会環境の2つの分野への影響を考慮する必要がある。ダム建設地点及び貯水池となる土地は主に植生のない河床や密度の低い灌木地帯であり、自然保護区は存在しない。この区域における稀少または固有の動植物も確認されていない。

中国側の調査 (Pre-F/S) によれば、貯水地の建設によって移転の対象となる村落は 4 郷 8 村で人口は約 600 人、総戸数は 132 戸である。水没する水田面積は 900 畝 (ム一)、畑面積は 446 畝 (ム一)、果樹園面積は 93 畝 (ム一) である。水没地区の年間平均収入は約 600 人民元と見積もられ、相対的に所得の低い地域である。東烏蘭木倫

河上流左岸に沿って東包神鉄道が走っており、この軌道の標高は貯水池の満水位より低いため移設が必要である。

その他については、水没地域には重要な文化財や遺跡は存在せず、また鉦工業企業や郷鎮企業も存在していない。ダム建設による自然環境への影響は限定的で許容できる範囲内であり、また社会環境についても特に大きな影響はないと判断される。移転については地方政府が既に説明し住民の基本的理解を得ているとされることから、とくに大きな支障は無いものと考えられる。

13. 当プロジェクトで最も懸念されていたのは貯水池の堆砂問題であった。流入する浮遊土砂の総量は 37 年間で 4 億 1,818 万トンと見込まれた。一方排砂管から排出される浮遊土砂は 1,183 万トンで、総流入土砂量の 2.8% である。その結果 4 億 635 万トンの浮遊土砂が 37 年間で堆砂する見込みである。これをもとに堆砂容量を算定すると、30 年後は平均 3 億 1,533 万 m^3 堆砂するものと見込まれる。この結果、30 年後の有効貯水量は 1.1 億 m^3 を確保できる見込みである。

転龍湾ダム上流域においては、1998 年において 116 万トン/年の表面浸食量が見込まれた。上流域に砂防ダムを配置することは有効と判断される。例えば、伊金霍洛旗内の既設及び建設予定のダム 30 基が完成したものとすると、6,870 万トンの土砂を転龍湾ダム上流域で捕捉できる見込みである。

14. ダム建設地点の地質（砂岩、泥質岩の軟岩）を考慮し、中央遮水壁式ゾーンタイプアースフィルダムとした。ダム基礎処理のうち、左岸部の風成砂層区間約 1,000m については計画掘削面から深さ 1.0~10m の範囲をソイルセメントによる地質改良を行い、地盤の安定化を図ると共に、深さ 50m 程度の連続地中壁を設け遮水性を確保する。地中壁は砂層の浸透路長を 500m 以上確保出来るまでとした。

洪水吐は地上式とし、地質条件から、ダム右岸に設置する。洪水吐の形式として、設計洪水量 3,900 m^3 を流下させるためには、ノンゲート式の場合、地形的制限から十分な横越流堰の幅を確保できないため、ゲート式洪水吐とした。

排砂トンネルは、ダム建設期間に利用された、仮排水路トンネルを流用する計画とした。

排砂トンネルの入り口から放射状にスリットパイプ（1.2m 径）を設置し、取水口全面の堆砂の影響を軽減させることを目的とした。

取水口は、ダム右岸 150m 上流に敷設し、トンネル方式で送水するものとした。発電施設は設備容量 420kW の小水力発電器を設置する計画とした。

小ダム案については重力式コンクリートダムとした。小ダム案による利水容量は約 550 万 m^3 であり、この容量を維持できれば、日需要量 80,000 m^3 の約 30%が供給できるものと見込まれる。

15. 大ダム案の全体工程は、国際入札を前提として、コンサルタント契約の締結後、竣工まで 8 年 10 ヶ月が必要である。ダム及び付帯工事に 6 年 4 ヶ月と長期間を要するが、主ダムの盛り立て開始までに、膨大な掘削量 (約 380 万 m^3) が必要となるからである。

小ダム案の全体工程は、同様に 8 年 6 ヶ月が必要である。掘削量において、大ダム案と大差がないことに加え、半川締切による工事となるため、ダム本来のコンクリート打設期間が約 2 倍必要となるためである。

プロジェクトの建設費用は大ダム案で、272,689 千 US ドル、小ダム案で、63,121 千ドルと見積もられた。

16. 本プロジェクトの鉱区への給水便益については、1) 水供給による石炭の純増産額のうち本プロジェクトが増産に寄与する分担の割合を便益とする方法と、2) 代替水資源開発コスト (鉱区近傍の地下水開発費) を便益とする 2 法により算定した。

17. 総合評価として経済分析の視点からは、大ダム案については経済内部収益率 (EIRR) は 15.02%で、国で定めた基準収益率 12%を超え、見かけ上のフィージビリティがあるとみなされる。一方小ダム案については、EIRR は 12.5%で、基準収益率の限界線にある。また、財務分析からは、財務収益の大部分を占める給水便益について国の統制水価格を適用していることと、洪水防御便益を含まぬことが大きく影響し、大ダム案、小ダム案の双方について財務内部収益率(FIRR)は 2%以下でフィージビリティは無いと判断され、資本投入に対してその回収は困難な結果を示している。

次に、技術的健全性の観点からは、大ダム案と小ダム案双方に問題と課題が残されている。大ダム案については、大型ダムを支える左岸部の岩盤基礎が適度な深さに存在しないため、砂層を対象とした遮水工法、砂層の改良による基盤の形成、粒径が小さく均一な砂層の液状化などという技術的に解決すべき問題が残されている。本案はそ

のため、現時点では技術的健全性が十分であるとは断定できない。また、小ダム案については、調整容量が小さいため年間を通した鉍区への安定供給には、貯水池下流に約 500 万 m³ 規模の貯水池（調整池）を追加建設する必要がある。ダムからの送水計画の立案・検討については、中国側の分担作業であるが、安定供給に必要な新規の貯水池（調整池）については検討がなされておらずこの点追加検討が必要である。従って小ダム案についても技術的健全性に欠ける点がある。

18. 水再利用については、現在炭鉍坑内排水については、基本的に再利用がなされていると言える。ただし、上湾炭鉍及び活鶏兎炭鉍からの排水は、電気伝導度が高く高度に鉍化された水質であり、膜システム利用を以ても、コスト高となり、結果的に再利用するよりも、人工池にため込み蒸発させた後、安全地域に廃棄することを推奨する。また、生活污水については現在の下水処理場の機能は十分でなく、機能改良のための投資が必要であるが、高度に鉍化した排水を処理し再利用するよりも低廉であり、実現性が高いと判断する。

現在でも機能改良により約 6,000m³/日の黒炭溝・大柳塔下水処理場での処理水の再利用が可能である。

19. 転龍湾ダム建設計画については、計画前提条件及び技術的課題についての再確認・再検討を行い、計画の全体の枠組みを定めた上で再度フィージビリティを確かめることを提言する。この再検討の具体的項目としては下記の通りである。

- (1) 鉍区全体の開発計画とこれに必要な水需要量を中国側が見直しする必要がある。
- (2) 現在の地下水のポテンシャル中で水循環（利用と涵養）のバランスを考慮に入れ、その上で、地表水（烏蘭木倫河）の開発をどの時点で、またどの方式で実施するのかを明確にする必要がある。また、水文資料の不足を補うため、水文観測を継続する必要がある。
- (3) 転龍湾ダム建設により、総流出土砂の約 97% が補足される。ダム下流河道の河床は上昇傾向にあると考えられ、中国側から積極的な排出を実施すべきでないとの意見があった。貯水池の寿命を延ばす意味からは排砂が推められるので、下流河道への土砂供給が抑止されることによる影響は今後河川形態学的に検討を加える必要がある。

(4) 本報告書に示した、水の再利用の方向性に照らし、下水処理水の再利用化対策等をできるだけ早期にとる必要がある。また、このためにも水質分析を継続することが必要がある。

(5) 地質的側面からの検討として、左岸部について風積堆積物層（砂丘部）の透水性及びこの砂層に水が浸潤した場合の挙動についての必要な試験や3次元浸透解析等を実施し確認をする必要がある。

(6) 転龍湾ダム地点の自然条件（地質条件、堆砂等）から大型ダムの建設は技術的工学的に検証すべき事項が多く、その検証には調査・解析等に膨大な費用と時間を要することから、地質条件等の現地の自然条件に見合う現実的な規模の取水構造物の計画も検討する。

季節変動の大きい流量や流出土砂の問題を考慮し、例えば中国各地で経験の豊富な頭首工（取水堰）方式により取水し、貯水容量は下流の広大な炭鉱の露天掘り跡地を貯水池に転用して確保するなどの、ダムにとらわれない計画をするなど多様な観点から水資源開発計画を再検討する必要がある。

主要構造物諸元

1. 大ダム案

(1) ダム

型式	:	中央遮水壁式ゾーンタイプアースフィルダム(zone type earth fill dam)
堤頂標高	:	E.L. 1244.0
堤頂長	:	1,634.0m
堤体積	:	7,027,600 m ³ (ソイルセメント(soil cement)盛土を含む)

(2) 貯水池

集水面積	:	1,941 km ²
常時満水時の湛水面積	:	19.2 km ²
総貯水容量	:	4.30 億 m ³
有効貯水容量	:	1.15 億 m ³
常時満水位	:	1,238.0 m
サーチャージ(校核)洪水水位	:	1,243.1 m (1/2,000 年確率洪水)
設計洪水水位	:	1,240.3 m (1/100 年確率洪水)
堆砂容量	:	3.15 億 m ³ (30 年後の堆砂容量)

(3) 洪水吐

型式	:	水門扉付地上開水路
ゲート敷標高	:	E.L. 1229.0
設計洪水流量	:	3,900m ³ /s (1/2,000 年超過確率洪水)
サーチャージ(校核)洪水流量	:	14,300 m ³ /s (1/2,000 年確率洪水)
水門設備	:	鋼製円弧型門扉, 13.5m 幅, 14.0m 高, 3 門

(4) 仮排水トンネル・排砂トンネル

口径	:	8.0m
掘削	:	9.0m
内径	:	8.0m
全長	:	818m
水門設備	:	鋼製高圧円弧型門扉, 3.0m 幅, 3.0m 高, 1 門

(5) 給水トンネル

口径	:	2.5m
掘削	:	3.1m
内径	:	2.5m
水平部(導水路)	:	344m
傾斜部(水圧鉄管路)	:	98m
水平部(水圧鉄管路)	:	24m
水門設備	:	高圧型門扉, 2.8m 幅, 2.7m 高, 1 門

(6) 発電所、放水路

水車形式	:	横軸フランシス(Francis)型
設備容量	:	420kW
放水底門扉	:	圧力型方形門扉、1 門
給水管型式	:	埋設型ヒューム管(hume pipe)
内径	:	1.0m
総延長	:	12.3km

2. 小ダム案

(1) ダム

形式	:	コンクリート重力式ダム, 無門扉
堤高	:	非溢流部 (27.0m)、溢流部 (20.0m)
設計洪水流量	:	9,500 m ³ /s
非溢流部	:	E.L. 1213.0
溢流部	:	E.L. 1206.0
堤頂長	:	354.5m
溢流部延長	:	220.0 m
堤体積	:	115,600 m ³

(2) 貯水池

集水面積	:	1,941 km ²
常時満水時の湛水面積	:	3.1 km ²
総貯水容量	:	1,847 万 m ³
有効貯水容量	:	548 万 m ³
常時満水位	:	1,206.0 m
サーチャージ(校核)洪水水位	:	1,212.2 m (1/300 年確率洪水)

設計洪水位 : 1,210.8 m (1/50年確率洪水)

(3) 仮排水トンネル・排砂トンネル

口径 : 8.0m

掘削 : 9.0m

内径 : 8.0m

全長 : 460m

水門設備 : 鋼製円弧型門扉, 4.5m 幅, 3.0m 高, 1門

(4) 給水設備

給水管型式 : 埋設型ヒューム管

内径 : 1.0m

総延長 : 12.3km

中国神府東勝鉞区水資源総合開発調査

最終報告書

主報告書

目次

	頁
衛星画像 (1995年7月26日)	
現地写真 (転龍湾ダムサイト)	
調査位置図	
要約	
第1章 プロジェクトの背景	1-1
1.1 調査対象地域の社会・経済状況	1-1
1.2 神府東勝炭田開発計画の経緯	1-1
1.2.1 神府東勝炭田開発の経緯	1-1
1.2.2 神府東勝炭田開発の事業体	1-2
1.3 中国側における転龍湾ダム建設計画検討の経緯	1-2
1.4 調査業務の目的と JICA 調査団による調査の経緯	1-3
1.4.1 本調査業務の目的	1-3
1.4.2 JICA 調査団による調査の経緯	1-4
1.4.3 調査過程での判明事項	1-4
1.5 報告書における検討条件	1-4
1.6 調査対象地域	1-5
第2章 計画地域の現況	2-1
2.1 水文	2-1
2.1.1 気象	2-1
2.1.2 水文	2-2
2.1.3 洪水流出解析	2-5
2.1.4 低水流出解析	2-12
2.2 流砂	2-46
2.2.1 浮遊土砂量の流出状況	2-46
2.2.2 日単位の流量及び含砂量	2-46
2.2.3 流量と浮遊土砂量の回帰式	2-47
2.2.4 転龍湾ダム地点における浮遊土砂量	2-48

2.3	流域の土砂生産状況の把握	2-56
2.3.1	調査概要	2-56
2.3.2	土砂生産可能性評価手順	2-56
2.3.3	GIS D.B の整備	2-57
2.3.4	流域の土地被覆状況の把握	2-59
2.3.5	流域の土砂生産可能性の評価	2-65
2.3.6	考察	2-71
2.4	地質	2-82
2.4.1	既往調査	2-82
2.4.2	調査内容	2-82
2.4.3	地形・地質	2-82
2.4.4	ダム基礎としての地盤状況	2-84
2.4.5	ダム材料	2-94
第3章	水資源開発計画	3-1
3.1	炭田開発に伴う開発計画と水需要量	3-1
3.1.1	開発計画と水需要量との取り扱い	3-1
3.1.2	神府東勝鉾区開発計画の現況（当初計画参考値）	3-1
3.1.3	計画水需要量（当初計画参考値）	3-2
3.2	表流水開発	3-3
3.3	既存調査におけるダム計画	3-3
3.4	転龍湾ダム計画の基本条件	3-4
3.4.1	ダム計画の基本条件	3-4
3.4.2	ダムによる洪水調節	3-5
3.5	転龍湾ダム貯水池堆砂対策	3-9
3.5.1	転龍湾ダム貯水池堆砂対策の基本方針	3-9
3.5.2	砂防／貯砂ダムの設置	3-10
3.5.3	排砂管の排砂効果の評価	3-12
3.5.4	30年後の堆砂量の予測	3-20
第4章	ダムの概略設計	4-1
4.1	ダム位置、形式及び基本配置	4-1
4.2	土木施設	4-1
4.2.1	概略設計の基本方針	4-1
4.2.2	ダム	4-2

4.2.3	洪水吐	4-3
4.2.4	排砂トンネル	4-4
4.2.5	給水用取水口	4-4
4.2.6	発電施設	4-4
4.2.7	ダム代替案（小ダム）の検討	4-5
第5章	プロジェクト実施計画とその工事工程	5-1
5.1	プロジェクトの概要	5-1
5.1.1	大ダム案	5-1
5.1.2	小ダム案	5-2
5.2	プロジェクト実施計画とその工事工程	5-3
5.2.1	概要	5-3
5.2.2	コンサルタントの選定	5-5
5.2.3	測量と詳細設計	5-5
5.2.4	請負業者の選定	5-5
5.2.5	用地補償と移住	5-6
5.2.6	付帯設備の建設	5-6
5.2.7	鉄道移設計画	5-6
5.2.8	大ダム案の施工とその付帯工事	5-7
5.2.9	小ダム案の施工とその付帯工事	5-9
5.2.10	機械・電気設備の調達方法	5-10
5.2.11	プロジェクトを遂行する為の現場組織	5-11
5.2.12	コンサルタントサービス業務	5-11
5.2.13	プロジェクト建設費用の積算	5-12
5.2.14	プロジェクト建設費用	5-14
5.2.15	ローンによる外国からの調達設備	5-14
5.2.16	年度別支出計画	5-15
第6章	水再利用計画	6-1
6.1	水再利用の現況と問題点	6-1
6.1.1	炭鉱排水	6-1
6.1.2	炭鉱排水の調査	6-1
6.1.3	調査結果	6-2
6.2	高度に鉱化された上湾炭鉱坑内湧水（排水）再利用の可能性	6-9
6.2.1	経緯	6-9

6.2.2	日本側の対応	6-10
6.3	水再利用の可能性と問題点	6-18
6.3.1	再利用のための実験とその背景	6-18
6.3.2	処理方法の比較	6-18
6.3.3	実験概要	6-20
6.4	炭鉱排水（坑内湧水）以外の再利用可能な排水	6-24
6.4.1	その他の再利用を対象とした排水源及び水利用システムの調査	6-24
6.4.2	水需要源としての洗炭施設と稼働状況	6-24
6.4.3	再利用を対象とした排水源としての下水処理場	6-26
6.5	水再利用のまとめ	6-30
6.5.1	炭鉱排水（坑内湧水）の再利用の可能性	6-30
6.5.2	高度に鉱化された炭鉱排水（坑内湧水）の処理	6-31
6.5.3	その他未利用水資源	6-31
第7章	環境	7-1
7.1	調査地域の環境	7-1
7.1.1	伊金霍洛旗の概要	7-1
7.1.2	ダム建設予定地周辺の自然環境	7-2
7.1.3	ダム建設予定地周辺の社会環境	7-4
7.2	環境影響予測	7-7
7.2.1	環境影響予測結果	7-7
7.2.2	社会環境	7-9
7.2.3	自然環境	7-10
7.2.4	小規模ダムの環境影響	7-12
7.3	環境影響評価の基本方針	7-13
7.3.1	ダム建設に伴う環境影響の確認	7-13
7.3.2	中国の環境影響評価制度	7-13
7.3.3	環境影響評価の実施時期	7-13
7.3.4	環境影響評価の調査内容	7-13
第8章	経済・財務評価	8-1
8.1	経済・財務評価手法	8-1
8.1.1	一般方法論	8-1
8.1.2	プロジェクトの特徴	8-1
8.1.3	当プロジェクトの評価手法	8-2

8.2	経済評価	8-4
8.2.1	計算条件	8-4
8.2.2	経済費用	8-4
8.2.3	経済便益	8-5
8.2.4	経済評価	8-7
8.3	財務評価	8-8
8.3.1	財務費用	8-8
8.3.2	財務収益	8-9
8.3.3	財務評価	8-9
8.3.4	FIRR 感度分析	8-9
8.4	事業評価	8-10
第9章	総合評価	9-1
9.1	経済的妥当性及び技術的健全性	9-1
9.2	水再利用	9-1
9.3	今後の課題解決に向けての提言	9-1

図 リ ス ト

		頁
図 2.1.1	ダム計画地点周辺気象観測所の月別気象特性	2-13
図 2.1.2	ダム計画地点周辺気象台の多年の降雨状況	2-14
図 2.1.3	窟野河上流域の雨量観測所、流量観測所の分布	2-15
図 2.1.4	流域の年間平均降水量の径年変化	2-16
図 2.1.5	転龍湾における流出解析の流れ図	2-17
図 2.1.6	王道恒塔を基準とする流域分割図	2-18
図 2.1.7	烏倫木蘭河流域流出モデル図	2-19
図 2.1.8	王道恒塔を基準とするティーセン分割図	2-20
図 2.1.9	転龍湾を基準とするティーセン分分割図	2-21
図 2.1.10	単一流域における貯留関数法パラメータスタディ結果	2-22
図 2.1.11(1/2)	王道恒塔における流出モデル検証解析結果	2-23
図 2.1.11(2/2)	王道恒塔における流出モデル検証解析結果	2-24
図 2.1.12	転龍湾流域の年最大 1 日間雨量及び 3 日間雨量のヘイズプロット	2-25
図 2.1.13	洪水流出解析に使用したハイエトグラフ	2-26
図 2.1.14(1/4)	確率規模別洪水流出計算結果 (ピーク流量及び 1 日流量)	2-27
図 2.1.14(2/4)	確率規模別洪水流出計算結果 (ピーク流量及び 1 日流量)	2-28
図 2.1.14(3/4)	確率規模別洪水流出計算結果 (3 日流量)	2-29
図 2.1.14(4/4)	確率規模別洪水流出計算結果 (3 日流量)	2-30
図 2.1.15	中国側 Pre-F/S の洪水解析結果	2-31
図 2.1.16	タンクモデル法による実測流量と計算流量の比較 (1997 年~1998 年)	2-32
図 2.1.17	タンクモデル法による低水解析結果 (1979 年~1998 年)	2-33
図 2.2.1	王道恒塔における流量・浮遊土砂量の月別統計量	2-50
図 2.2.2	神木における流量・浮遊土砂量の月別統計量	2-51
図 2.2.3	王道恒塔、神木における流量および含砂量	2-52
図 2.2.4	日流量と日含砂量の相関 (王道恒塔)	2-47
図 2.2.5	時間流量と時間含砂量の相関 (王道恒塔)	2-48
図 2.2.6	日流量と日含砂量の相関 (転龍湾)	2-49
図 2.2.7	時間流量と時間含砂量の相関 (転龍湾)	2-49
図 2.3.1	衛星画像解析手順	2-56
図 2.3.2	衛星画像 (1995 年 6 月 8 日全域)	2-72
図 2.3.3	衛星画像 (1995 年 7 月 26 日王道恒塔上流域)	2-73
図 2.3.4	衛星画像 (1995 年 6 月 8 日転龍湾ダム(dam) 上流域)	2-74
図 2.3.5	衛星画像 (1995 年 7 月 26 日転龍湾ダム(dam) 上流域)	2-75
図 2.3.6	流域基本図 (等高線、河川、砂防ダム(dam)位置、 水文観測所位置、流域界)	2-76

図 2.3.7	土地被覆図作成手順	2-59
図 2.3.8(a)	現地状況写真 (低木林)	2-61
図 2.3.8(b)	現地状況写真 (畑地)	2-61
図 2.3.8(c)	現地状況写真 (少植生域)	2-62
図 2.3.8(d)	現地状況写真 (水域及び湿地植生)	2-62
図 2.3.8(e)	現地状況写真 (裸地)	2-63
図 2.3.8(f)	現地状況写真 (裸地 : 西安~包頭上空より撮影)	2-63
図 2.3.8(g)	現地状況写真 (市街地)	2-64
図 2.3.9	土地被覆分類図 (1995 年)	2-77
図 2.3.10	黄河中流域における土壌浸食速度	2-66
図 2.3.11	斜面勾配算定手順	2-67
図 2.3.12	標高分布 (1 格子=30m)	2-78
図 2.3.13	斜面勾配分布 (1 格子=30m)	2-79
図 2.3.14	土壌浸食分布図 (1995 年)	2-80
図 2.3.15	現地調査による源頭部支流の状況	2-69
図 2.3.16	衛星画像の画素単位での斜面崩壊土量算定モデル(model)の概念図	2-70
図 2.3.17	斜面崩壊土量分布図	2-81
図 2.4.1	着岩深度と変形係数 (水平载荷試験)	2-88
図 2.4.2	着岩からの深度と一軸圧縮強度	2-88
図 2.4.3	風積堆積物の粒度分布	2-93
図 2.4.4	砂材料の粒径分布	2-96
図 2.4.5	礫材料の粒径加積曲線	2-97
図 2.4.6	ダムサイト地質・弾性波探査実施位置図	2-101
図 2.4.7(1/6)	岩石・土質材料調査位置図	2-102
図 2.4.7(2/6)	岩石・土質材料詳細調査位置図 (岩-I, 土-I, V 地点)	2-103
図 2.4.7(3/6)	岩石・土質材料詳細調査位置図 (岩-II 地点)	2-103
図 2.4.7(4/6)	岩石・土質材料詳細調査位置図 (土-II 地点)	2-104
図 2.4.7(5/6)	岩石・土質材料詳細調査位置図 (土-III 地点)	2-104
図 2.4.7(6/6)	岩石・土質材料詳細調査位置図 (土-IV 地点)	2-105
図 2.4.8	砂礫材料調査位置図	2-106
図 2.4.9	オルドス高原の標準地質層序及び地質略図	2-107
図 2.4.10	貯水池周辺の地質平面図	2-108
図 2.4.11	ダムサイト付近の地質平面図	2-109
図 2.4.12	ダムサイト付近の地質断面図 (A-A'-A'断面)	2-110
図 2.4.13	ダムサイト付近の地質断面図 (B-B'断面)	2-111
図 2.4.14	ダムサイト付近の地質断面図 (C-C'断面)	2-112
図 2.4.15	ダムサイト付近の地質断面図 (D-D'断面)	2-113

図 2.4.16	ダムサイト付近の地質断面図 (E-E'断面)	2-114
図 2.4.17	ダム左岸部の基盤岩上限面等高線図.....	2-115
図 3.4.1	洪水調節計算結果(大ダム案)	3-8
図 3.5.1	タイプ別の砂防/貯砂ダム案	3-23
図 3.5.2	転龍湾ダム地点における浮遊砂の粒径加積曲線.....	3-15
図 3.5.3	転龍湾ダム貯水池 水位-面積/容量曲線.....	3-24
図 3.5.4	貯水池地形平面 200m メッシュ図.....	3-25
図 3.5.5	ダム堤体モデル図	3-16
図 3.5.6(1/5)	1976 年洪水時における流量及び浮遊土砂濃度の時系列	3-26
図 3.5.6(2/5)	1978 年洪水時における流量及び浮遊土砂濃度の時系列	3-27
図 3.5.6(3/5)	1985 年 8 月 5 日洪水時における流量及び浮遊土砂濃度の時系列	3-28
図 3.5.6(4/5)	1985 年 8 月 23 日洪水時における流量及び浮遊土砂濃度の時系列	3-29
図 3.5.6(5/5)	1992 年洪水時における流量及び浮遊土砂濃度の時系列	3-30
図 3.5.7	貯水池内における高濃度の浮遊土砂の状況.....	3-17
図 3.5.8	1992 年洪水時シミュレーション結果-鉛直方向浮遊土砂濃度分布	3-31
図 3.5.9	1992 年洪水時シミュレーション結果-ダム堤体付近の浮遊土砂濃度の時間変化	3-32
図 3.5.10(1/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-最上層の流速平面分布	3-33
図 3.5.10(2/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-最上層の流速平面分布	3-34
図 3.5.11(1/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-最上層の浮遊土砂濃度平面分布	3-35
図 3.5.11(2/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-最上層の浮遊土砂濃度平面分布	3-36
図 3.5.12(1/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-第 4 層の流速平面分布	3-37
図 3.5.12(2/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-第 4 層の流速平面分布	3-38
図 3.5.13(1/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-第 4 層の浮遊土砂濃度平面分布	3-39
図 3.5.13(2/2)	1992 年洪水時シミュレーション結果-第 4 層の浮遊土砂濃度平面分布	3-40
図 3.5.14	低層密度流に伴う表層の逆流の出現.....	3-18
図 3.5.15	1992 年洪水時シミュレーション結果-堆積および洗掘状況平面分布	3-41
図 3.5.16	転龍湾ダム貯水池に流入する浮遊土砂量.....	3-42
図 3.5.17	30 年後及び 35 年後の転龍湾ダム貯水池の浮遊土砂堆積量 (頻度分布) ..	3-43
図 4.1.1	転龍湾ダム (大ダム案)、平面図.....	4-7
図 4.1.2	転龍湾ダム (大ダム案)、断面図.....	4-8
図 4.1.3	転龍湾ダム (大ダム案)、縦断面図.....	4-9
図 4.1.4	格子枠型斜面保護工	4-10
図 4.2.1	洪水吐 (大ダム案) 平面図、縦断面図、断面図.....	4-11
図 4.2.2	仮排水路兼排砂トンネル (大ダム案) 平面図、縦断面図、断面図.....	4-12
図 4.2.3	給水兼発電用トンネル (大ダム案) 平面図、縦断面図、断面図.....	4-13
図 4.2.4	転龍湾ダム (小ダム案)、平面図.....	4-14
図 4.2.5	転龍湾ダム (小ダム案)、縦断面図、断面図.....	4-15

図 5.2.1(1/2)	概略工事工程表 (大ダム案)	5-16
図 5.2.1(2/2)	概略工事工程表 (大ダム案)	5-17
図 5.2.2(1/2)	概略工事工程表 (小ダム案)	5-18
図 5.2.2(2/2)	概略工事工程表 (小ダム案)	5-19
図 5.2.3	ダム現場仮設計画図	5-20
図 5.2.4	大ダム案の施工とその付帯工事	5-21
図 5.2.5	岩石・盛土材及びコンクリート用骨材採取予定地点	5-22
図 5.2.6	小ダム案の施工とその付帯工事	5-23
図 5.2.7	プロジェクト実施機関の組織図	5-24
図 6.1.1	一日あたりの炭鉱排水量の分布	6-3
図 6.1.2	炭鉱排水の電気伝導度の分布	6-4
図 6.1.3	炭鉱排水の pH 値の分布	6-5
図 6.1.4	炭鉱排水中の硫酸イオン濃度	6-7
図 6.1.5	馬家塔炭鉱排水中の陰イオン組成 (総量=14.52 meq/l)	6-7
図 6.1.6	補連塔炭鉱排水中の陰イオン組成 (総量= 6.86 meq/l)	6-8
図 6.2.1	上湾炭鉱坑内湧水の電気伝導度の推移	6-12
図 6.2.2	上湾炭鉱坑内湧水の容存物質濃度の推移	6-12
図 6.2.3	上湾炭鉱坑内湧水の容存物質濃度の推移	6-14
図 6.2.4	上湾炭鉱坑内湧水の電気伝導度の月平均値	6-15
図 6.2.5	上湾炭鉱坑内湧水の時期別電気伝導度平均値	6-15
図 6.2.6	1995 年の上湾炭鉱坑内湧水のイオン組成	6-16
図 6.2.7	1998 年の上湾炭鉱坑内湧水のイオン組成	6-16
図 6.2.8	1999 年の上湾炭鉱坑内湧水のイオン組成	6-17
図 6.3.1	両方法の設備費の比較 (2,160m ³ /day 処理)	6-21
図 6.3.2	設備費から算出した 1m ³ あたりの処理コスト	6-22
図 6.3.3	ランニングコスト (電力+薬品) 費の比較	6-23
図 6.4.1	洗炭排水中の総イオン濃度 (Σ ion) の時間による変動	6-25
図 6.4.2	回転円盤接触法の模式図	6-26
図 6.4.3	黒炭溝下水処理場の流入水 BOD 濃度の変動	6-27
図 6.4.4	季節による BOD 除去率の変化	6-28
図 7.1.1	伊金霍洛旗	7-2
図 7.1.2	水没地概略図	7-15

表 リ ス ト

	頁
表 2.1.1 ダム計画地点周辺の気象観測所	2-1
表 2.1.2(1/3) 伊旗気象観測所の月別気象特性	2-34
表 2.1.2(2/3) 東勝市気象台の月別気象特性	2-35
表 2.1.2(3/3) 神木県気象局の月別気象特性	2-36
表 2.1.3 窟野河流域における流量観測所名とその支配面積	2-2
表 2.1.4 雨量観測所	2-3
表 2.1.5(1/2) 基準毎の年間雨量 (ティーセン法) 一覧表	2-37
表 2.1.5(2/2) 基準毎の年間雨量 (ティーセン法) 一覧表	2-38
表 2.1.6(1/2) 王道恒塔観測所における月別流量の集計表	2-39
表 2.1.6(2/2) 阿騰席熱・石乞台・転龍湾観測所における月別流量の集計表	2-40
表 2.1.7(1/2) 王道恒塔における年間流出率	2-41
表 2.1.7(2/2) 阿騰席熱・転龍湾・石乞台における年間流出率集計	2-42
表 2.1.8 王道恒塔における窟野河の流況	2-43
表 2.1.9 烏蘭木倫河の最大及び最近実測洪水ピーク流量	2-5
表 2.1.10 王道恒塔における年最大実測洪水ピーク流量	2-5
表 2.1.11 烏蘭木倫河における選定洪水	2-7
表 2.1.12 各流出モデルの定数	2-9
表 2.1.13 3日間・1日間最大雨量の結果及び各観測所の支配面積とティーセン係数 ..	2-44
表 2.1.14 計画降雨と引き延ばし率一覧表	2-10
表 2.1.15 確率年の洪水流量と洪水ピーク流量 (ダム計画地点)	2-11
表 2.1.16 転龍湾ダム計画地点の洪水流出量の計算結果及び比較	2-11
表 2.1.17 確率洪水年間流量と再現期間	2-45
表 2.2.1 王道恒塔における月別流量・浮遊土砂量(1958~1989)	2-53
表 2.2.2 神木における月別流量・浮遊土砂量(1958~1989)	2-54
表 2.2.3 王道恒塔における月別流量・浮遊土砂量(1990~1997)	2-55
表 2.2.4 転龍湾における月別流量・浮遊土砂量(1998)	2-55
表 2.2.5 年間流出量、年間含砂量(1958年~1989年)	2-47
表 2.3.1 解析使用画像の一覧	2-57
表 2.3.2 整備 GIS データ (data)	2-58
表 2.3.3 土地被覆分類集計結果	2-64
表 2.3.4 土地被覆別植生地被係数	2-67
表 2.3.5 土壤浸食量 (転龍湾上流域)	2-68
表 2.4.1 地質調査内容	2-82
表 2.4.2 速度層区分と地質との関係	2-87
表 2.4.3 孔内水平載荷試験結果	2-87

表 2.4.4	室内岩石試験結果	2-89
表 2.4.5	基礎岩盤の透水性	2-91
表 2.4.6	孔内水位測定結果	2-92
表 2.4.7	砂礫材料の分賦存量	2-97
表 2.4.8	土質遮水材料候補地	2-98
表 2.4.9	貯水池周辺の地質層序表	2-116
表 2.4.10	ダムサイト付近の地質層序表	2-117
表 2.4.11	ダムサイト地質調査における各種試験方法	2-118
表 2.4.12	孔内水平載荷試験結果一覧表 (ダムサイト)	2-119
表 2.4.13	室内岩石試験結果一覧表 (ダムサイト)	2-120
表 2.4.14(1/2)	透水試験結果一覧表 (今回分)	2-121
表 2.4.14(2/2)	透水試験結果一覧表 (既存調査分)	2-121
表 2.4.15	室内土質試験結果一覧表 (ダムサイト)	2-122
表 2.4.16(1/4)	土質材料試験の試験方法	2-123
表 2.4.16(2/4)	砂材料試験の試験方法	2-123
表 2.4.16(3/4)	礫材料試験の試験方法	2-123
表 2.4.16(4/4)	岩石材料試験の試験方法	2-123
表 2.4.17	岩石材料試験結果一覧表	2-124
表 2.4.18	砂礫材料試験結果一覧表	2-125
表 2.4.19	土質材料試験結果一覧表	2-126
表 3.1.1	開発計画	3-1
表 3.1.2	各期毎の用途別水需要量	3-2
表 3.3.1	ダム計画案の主要諸元	3-3
表 3.4.1	洪水調節結果	3-7
表 3.5.1	貯水池の堆砂対策	3-9
表 3.5.2	転龍湾ダム上流域の砂防ダム貯水容量	3-44
表 3.5.3	転龍湾ダム上流域砂防ダム群の可能貯砂量	3-11
表 3.5.4	転龍湾ダムサイトの日射量	3-14
表 3.5.5	転龍湾ダム地点における選定洪水の諸量	3-16
表 3.5.6	シミュレーション結果、排砂率	3-19
表 3.5.7	浮遊土砂 1m^3 を排出するために必要な放流量 (m^3) Q_{out}	3-20
表 3.5.8	砂管および洪水吐からの排砂量	3-20
表 3.5.9	転龍湾ダム貯水池に流入する浮遊土砂量	3-45
表 3.5.10	転龍湾ダム貯水池より排出される浮遊土砂量	3-46
表 3.5.11	30年後及び35年後の転龍湾ダム貯水池の浮遊砂堆積量	3-47
表 3.5.12	30年後の堆砂容量	3-21
表 3.5.13	35年後の堆砂容量	3-22

表 4.2.1	本ダム及び関連土木施設	4-2
表 5.2.1(1/2)	建設費用の総括 (大ダム案)	5-25
表 5.2.1(2/2)	建設費用の総括 (大ダム案)	5-26
表 5.2.2	建設費用の総括 (小ダム案)	5-27
表 5.2.3(1/5)	直接工事費 (大ダム案)	5-28
表 5.2.3(2/5)	直接工事費 (大ダム案)	5-29
表 5.2.3(3/5)	直接工事費 (大ダム案)	5-30
表 5.2.3(4/5)	直接工事費 (大ダム案)	5-31
表 5.2.3(5/5)	直接工事費 (大ダム案)	5-32
表 5.2.4(1/3)	直接工事費 (小ダム案)	5-33
表 5.2.4(2/3)	直接工事費 (小ダム案)	5-34
表 5.2.4(3/3)	直接工事費 (小ダム案)	5-35
表 5.2.5	ICB 契約により調達する機械・電気設備 (大ダム案)	5-36
表 5.2.6	ICB 契約により調達する機械・電気設備 (小ダム案)	5-37
表 5.2.7	年間支出計画 (大ダム案)	5-38
表 5.2.8	年間支出計画 (小ダム案)	5-39
表 5.2.9	年間支出計画の要約 (大ダム案)	5-40
表 5.2.10	年間支出計画の要約 (小ダム案)	5-40
表 6.1.1	調査を行った炭鉱名とその表記	6-2
表 6.1.2	炭鉱排水 (坑内湧水も含む) に関する分析項目	6-2
表 6.1.3	Zhu Busheng 氏の報告した挟炭層中の硫化鉄含有量と排水の pH の関係	6-6
表 6.1.4	炭鉱排水の利用状況	6-8
表 6.3.1	上湾炭鉱坑内湧水の水質一覧表	6-20
表 6.3.2	ランニングコストの比較	6-22
表 6.3.3	脱塩水と考考頼湧水の水質の比較	6-24
表 6.4.1	日本の回転円盤接触法による下水処理場の運転実績	6-28
表 7.1.1	オールドス高原に生息する主な哺乳類	7-16
表 7.1.2	水没村落の概要	7-5
表 7.1.3	転龍湾ダム計画予備調査 (Pre-F/S) の水没地調査結果	7-6
表 7.2.1	環境影響予測結果	7-7
表 7.3.1	水没地調査項目	7-14
表 8.2.1	経済費用の要約	8-4
表 8.2.2	年運営費の要約	8-5
表 8.2.3	洪水損失減免便益算定の要約	8-5
表 8.2.4	給水便益 (石炭生産への貢献度) 試算のプロセス	8-6
表 8.2.5	転龍湾ダム建設事業経済便益算定の要約	8-7

表 8.2.6	経済評価 (EIRR と B-C の試算結果)	8-7
表 8.2.7	転龍湾ダム経済費用の試算	8-12
表 8.2.8	転龍湾ダム年運営費の試算 (経済評価ベース)	8-13
表 8.2.9	主要洪水防御対象投資表	8-14
表 8.2.10	主要炭鉱及び付属施設洪水損失試算 (50 年と 100 年確率洪水)	8-15
表 8.2.11	農林業等の洪水損失試算 (50 年と 100 年確率洪水)	8-16
表 8.2.12	転龍湾ダム経済便益の試算	8-17
表 8.2.13	経済便益と経済コスト比較 : 試算一 : 石炭生産への貢献 (大ダム案)	8-18
表 8.2.14	経済便益と経済コスト比較 : 試算一 : 石炭生産への貢献 (小ダム案)	8-19
表 8.2.15	経済便益と経済コスト比較 : 試算二 : 代替水資源開発コストの反映 (大ダム案)	8-20
表 8.2.16	経済便益と経済コスト比較 : 試算二 : 代替水資源開発コストの反映 (小ダム案)	8-21
表 8.3.1	建設費用の要約	8-8
表 8.3.2	年運営費要約	8-8
表 8.3.3	転龍湾ダム建設事業財務収益の要約	8-9
表 8.3.4	財務評価 (FIRR と B-C の試算結果)	8-9
表 8.3.5	水開発費と現行水販売価格の比較	8-10
表 8.3.6	FIRR 感度分析 (新水新価の試算)	8-10
表 8.3.7	転龍湾ダム建設費用	8-22
表 8.3.8	転龍湾ダム年運営費の試算 (財務ベース)	8-23
表 8.3.9	転龍湾ダム財務収益計画	8-24
表 8.3.10	財務収益と財務費用比較 (大ダム案)	8-25
表 8.3.11	財務収益と財務費用比較 (小ダム案)	8-26
表 8.4.1	転龍湾ダムと瑤鎮水資源施設の経済費用の比較	8-11

用語表 (1/2)

1. 関係機関

JICA	: 日本国際協力事業団
JBIC	: 国際協力銀行

2. 度量衡

長さ

mm	: ミリメートル
cm	: センチメートル
m	: メートル
km	: キロメートル
inch	: インチ
M.S/cm	: マイクロ秒/センチメートル

面積

mm ²	: 平方ミリメートル
cm ²	: 平方センチメートル
m ²	: 平方メートル
km ²	: 平方キロメートル
ha	: ヘクタール
畝	: ムー(1 ムー = 1/15ha)

体積

mm ³	: 立方ミリメートル
cm ³	: 立方センチメートル
m ³	: 立方メートル
ℓ	: リットル

圧力

pa(N/m ²)	: パスカル(1pa=1.0197x10 ⁻³ kgf/cm ²)
Mpa(N/m ²)	: メガパスカル(1pa x10 ⁶)
Gpa(N/m ²)	: ギガパスカル(1pa x10 ⁹)
Kgf/cm ²	: キログラム毎平方センチメートル

重量

mg	: ミリグラム
g	: グラム
kg	: キログラム
t	: トン

時間

s, sec	: 秒
min	: 分
h, hr	: 時間

速度

m/s	: メートル毎秒
min	: 分
h, hr	: 時間

通貨単位

元	: 人民元(RMB)
¥	: 日本円
US\$(米ドル)	: アメリカドル

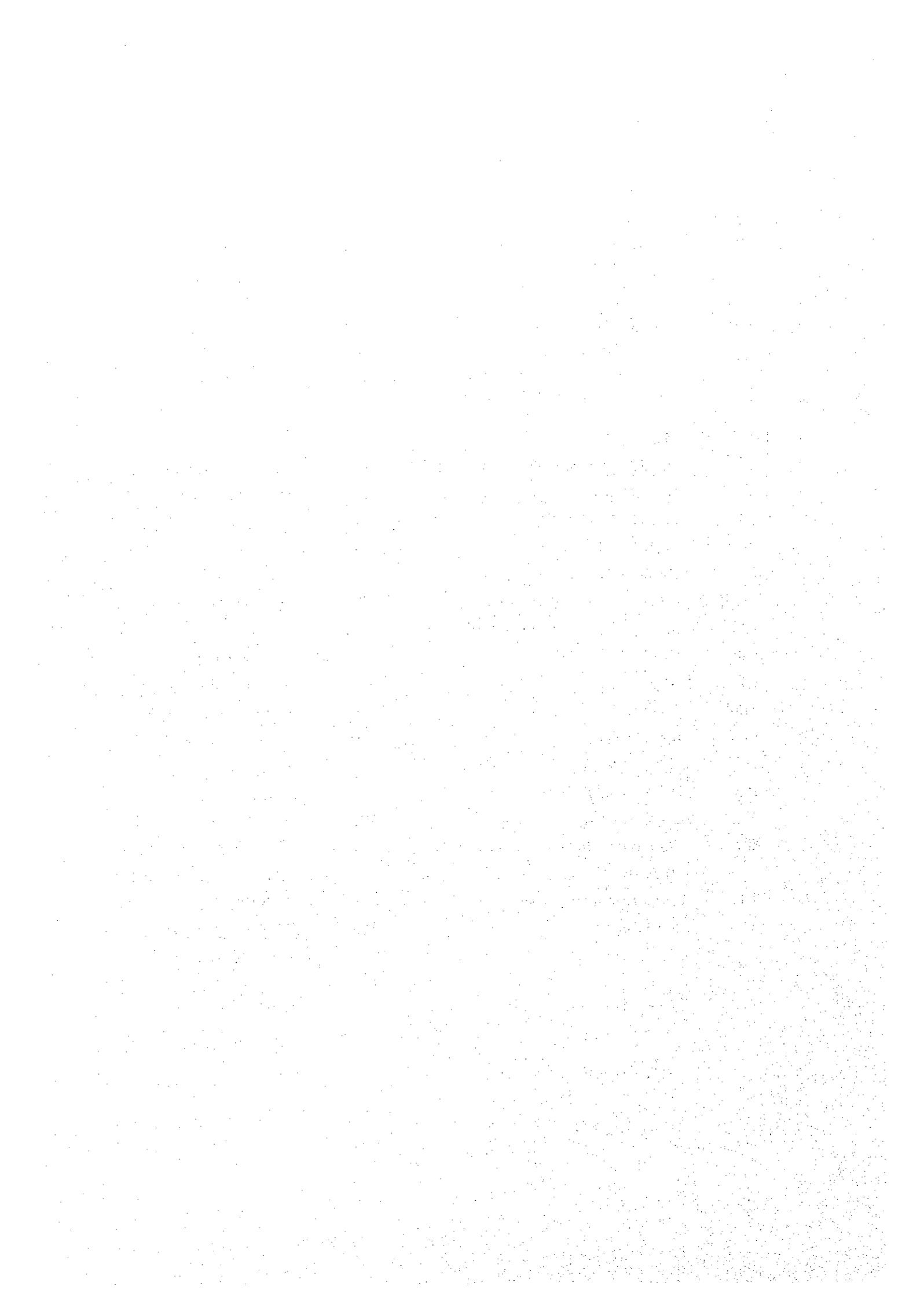
用語表 (2/2)

その他

℃	:度 (温度)	MHz	:メガヘルツ
%	:パーセント	‰	:パーミル
kcal	:キロカロリー	Σ	:シグマ
kW	:キロワット	Δ	:デルタ
kWh	:キロワットアワー	N	:北緯
		E	:東経

3. 中国語・英語略語

盟	:内蒙古自治区の行政区画 (州に相当)	BOD	:生物化学的酸素要求量
旗	:内蒙古自治区の行政区画 (県に相当)	COD	:化学的酸素要求量
郷	:県都レベルの町村区分	DO	:溶存酸素
鎮	:県都レベルの村区分	SS	:懸濁物質
MP	:マスタープラン	ph	:水素イオン指数
Pre-F/S	:プレフィージピリティー・スタディー	EC	:電気伝導度
F/S	:フィージピリティー・スタディー	SO ₄ ²⁻	:硫酸イオン
GDP	:国内総生産	Alk	:アルカリイオン
GNP	:国民総生産	Cl ⁻	:塩素イオン
FIRR	:財務内部収益率	Mg ²⁺	:マグネシウムイオン
EIRR	:経済内部収益率	Na ⁺ K ⁺	:ナトリウム・カリウムイオン
IEE	:初期環境調査	Ca ²⁺	:カルシウムイオン
ICB	:環境影響評価	CIF	:貨物の目的地までの運賃、保険料込み価格 (Cost, insurance and freight)
GIS	:地理情報システム		
NDVI	:Normalized Difference Vegetation Index	FOB	:貨物の本船船積み価格 (Free on board)
USLE	:Universal Transverse Mercator		



第1章 プロジェクトの背景

1.1 調査対象地域の社会・経済状況

内蒙古自治区は、国内の30省級行政区にあって、総面積118.3万km²と3位を占め、総人口で2,307万人と22位となっている。工業は、1990年代にはいつてから石炭の生産高と発電量は毎年20%の伸びをみせ、エネルギー基地として山西省に次ぐ中国第2位の地位にある。石炭の埋蔵量も山西省に次ぎ中国第2位、推定埋蔵量も新疆に次いで第2位である。製鉄・製鋼では、包頭市は重要な製鉄基地となっている。

本計画のダム計画地点は、内蒙古自治区南部の伊克昭盟の伊金霍洛旗内に位置する。計画ダムの集水区域は、同旗と東勝市の行政区域に含まれる。伊金霍洛旗の人口は13.3万人で、大部分は、黄土高原の丘陵地帯に属する。地勢は西高東低で海拔1,200m-1,500mの範囲にある。半乾燥地帯に属し、年平均気温は5.7度Cで年降水量は約380mmである。伊金霍洛旗の北西から東南に向かって本計画の水資源開発対象河川である、烏蘭木倫河が流下している。この地域は石炭をはじめとして、硫黄、石英、石灰石等の地下資源が豊富である。農業作物としてはコーリャン(高粱)、蕎麦、豆類が主である。

東勝市の人口は14.7万人で、黄土高原の丘陵地帯に属する。地勢は西高東低で海拔1,300m-1,500mの範囲にあり、伊克昭盟の東部を流れる黄河支流の分水嶺となっている。温帯性大陸性気候と半乾燥地帯の境界に属し、年平均気温は6.5度Cで年降水量は約400mmである。石炭、鉄鉱石、油母頁岩、石灰石等の鉱物資源が豊富である。石炭、毛紡織、建材、醸造、製革等の企業が立地している。包神(包頭至神木)鉄道が市内を南北に縦貫している。農業作物としては、コーリャン、蕎麦、馬鈴薯等が主である。

烏蘭木倫河はダム計画地点の約15km下流で陝西省に入る。陝西省は総面積20.56万km²で、総人口は3,543万人で全国で17位となっている。陝西省は秦嶺山脈により、北側の陝北、関中、南側の陝南の三大自然区に分けられる。陝北のなかで、鳳翔県、銅川市、韓城市以北は、同省の面積の45%を占める黄土高原で、海拔は概ね800m-1,500mとなっている。

陝西省は石炭資源に恵まれ、埋蔵量は内蒙古自治区に次ぎ、中国第3位である。銅川鉱務局等の生産基地があり、新しい炭田として、本計画に関連する神府炭田は中国有数の動力用石炭を産出している。

(注) 人口は、省級については、1996年年末時点、市、旗については、1990年の人口調査に基づく。(出典：中国統計年鑑1997、中国人口統計年鑑1997)

1.2 神府東勝炭田開発計画の経緯

1.2.1 神府東勝炭田開発の経緯

神府東勝炭田の発見は、内蒙古自治区の東勝炭田が1970年代、陝西省の神府炭田が1980

年代と比較的新しく、石炭埋蔵量は当時 2,000 億トン（現在 2,300 億トン）と見積もられ、炭質も低灰分・低硫黄分の良質な炭田と確認された。

中国政府は、同炭田の開発を進める上で、炭鉱開発から内陸輸送、港湾積み出し、山元発電などを一貫して整備・実施するため、煤炭工業部の管理下に華能精煤公司を 1985 年 5 月に設立（資本金 8,000 万元）し、1986 年から同炭田の開発に着手した。

国民経済・社会発展 10 カ年計画および第 8 次 5 カ年計画でのエネルギー政策における石炭生産計画は、1995 年で 12 億トン、2000 年で 14 億トン（8 期全人代で 15 億トンに修正）と定め、同炭田の開発は国家重点建設プロジェクトに組み込まれた。また、エネルギーの約 75 %を石炭に頼っている現況から、第 8 次 5 カ年計画案（1996～2000 年）においても国家重点プロジェクトに引き続き位置付けられ、全国の確認埋蔵量の 1/4 を占める同炭田は、中国エネルギー開発の西部地域の要となっている。

神府東勝炭田の全体開発計画は、当初、炭鉱の生産規模で 3 期に分けられ、第 1 期（1987～1992 年）で 1,000 万トン/年、第 2 期（～1996）で 3,000 万トン/年、第 3 期（～2000 年）で 6,000 万トン/年と逐次増産を行う計画であった。しかし、1994 年の生産実績が 425 万トンであったように第 1 期の計画達成が遅れたことから、現在は、全体計画の達成年次の修正を行い、第 1・2 期を合わせた開発が進められているが、石炭市場の低迷で、1999 年度の実際の生産量は約 2,400 万トン/年で、2000 年度は 3,200 万トン/年を計画目標としている。

1.2.2 神府東勝炭田開発の事業体

神府東勝炭田の開発に関し、石炭採掘から輸送まで統一的行う実施機関は神華集団有限責任公司である。

神華集団有限責任公司は、中国の新たな会社法（公司法）に基づき、華能グループから独立した新公司として登記批准を 1995 年 10 月に受け、1996 年 2 月に設立された。国が出資者で、国家計画委員会の監督下に置かれる。新公司の組織機構には、上述の石炭の生産から輸出まで一貫して行うため、石炭、鉄道、港湾、海運、発電等の下部公司組織が組み込まれ、この下部公司の一つである神華神府東勝煤炭有限責任公司が神府東勝炭田の開発を実際に担当する公司となっている。

1.3 中国側における転龍湾ダム建設計画検討の経緯

転龍湾ダム建設計画は現在までに Pre-F/S レベルで中国側により検討されているが、その経緯は既存報告書によれば下記のとおりである。

- ・窟野河流域の総合的な水資源開発事業計画は、古くは 1953 年黄河水利委員会が行った同流域の治水と開発を推進するための調査・計画があり、当時、黄河本流の土砂制御と灌漑を目的として転龍湾ダム建設はその基幹事業の一つと位置づけられた。

- ・1970年代に検討された「黄河中流地区および10支流の治水計画構想：黄河水利委員会」、「黄河流域10年の水利建設についての初步的意見：黄河水利委員会」、「窟野河流域総合治水計画：黄河水利委員会、内蒙古自治区・陝西省」はすべて転龍湾ダムを流域の総合的治水事業の基幹プロジェクトとしている。
- ・1980年代に神府東勝エネルギー重化学工業基地建設による陝西省北部と内蒙古自治区南部の経済振興ならびに黄河本流の土砂制御を目的とした「窟野河、秃尾河、孤山川」の総合治水・自然（水/土壌）資源開発計画に関する水利部通達“任務書”が黄河水利委員会、内蒙古自治区・陝西省に出された。これを受け3機関は、従来の実測調査計画をより詳細に検討し、この計画の中で転龍湾ダム計画を洪水防御、土砂抑制、灌漑、養魚の機能をもつ事業（流域面積1,937km²、ダム高53m、総貯水量4.4億m³）として策定した。本計画は1989年水利部の承認を得た。
- ・華能精煤公司是、「神府東勝地区水土保持、河道整備、総合モニタリング計画」策定に関する業務を黄河水利委員会黄河上中游管理局に委託した。黄河水利委員会、内蒙古自治区・陝西省の共同作業（1991年～1992年）により策定された本計画では、転龍湾ダムの従来の主目的である洪水防御に加え、神府東勝鉍区の用水問題を解決する事業としての位置づけを明確にした。同計画は、1993年6月に水利部の技術審査会に諮られ、国家レベルの技術審査を通過した。この間、1992年10月に華能精煤公司是、黄河水利委員会黄河上中游管理局設計院に「神府東勝地区窟野河転龍湾ダム基幹プロジェクトの補充測量調査および計画改訂」に係る業務委託を行い、1994年10月に「窟野河転龍湾ダムプロジェクト計画報告書：Pre-F/S」としてとりまとめられた。

1.4 調査業務の目的とJICA調査団による調査の経緯

1.4.1 本調査業務の目的

本調査は、1997年5月12日に、日中の協議の結果署名された実施細則および協議議事録の内容に基づいて実施される。調査の目的は、この細則に記された下記2項目とする。

(1) フィージビリティ調査の実施

神府東勝鉍区において炭鉍開発に必要とする新たな水資源の開発を目的として、地表水の利用とともに排水の再利用を含めた総合的な水利用計画を策定し、技術・経済および環境の面からダム、水処理・再利用施設の建設の実施可能性を検証する。

(2) 技術移転

本調査の期間中、調査に参画する中国側専門家・カウンターパートに対し現地調査を通じ、技術移転を行う。

1.4.2 JICA調査団による調査の経緯

1997年度調査（第1年次調査）では、以下の工程で全体作業における予備調査という位置づけで、国内作業及び現地作業を実施した。

- ・国内準備作業：1997年10月18日～1997年10月26日
- ・第1次現地調査：1997年10月27日～1997年11月25日

1998年度調査（第2年次調査）では、基礎調査(1)という位置づけで下記現地調査と国内作業を実施した。

- ・第2次現地調査：1998年5月19日～1998年6月23日
- ・第3次現地調査：1998年11月10日～1998年12月24日
- ・第1次国内作業：1999年1月18日～1999年2月26日

1999年度調査（第3年次調査）では、基礎調査段階(2)という位置づけで下記現地調査及び国内作業を実施した。

- ・第4次現地調査：1999年10月6日～1999年11月4日
- ・第2次国内作業：1999年9月1日～1999年9月30日
- ・第2次国内作業(続き)：1999年11月5日～2000年3月15日
- ・第5次現地調査：2000年3月21日～2000年3月29日

2000年度調査（第4年次調査）では、概略設計段階という位置づけで下記国内作業を実施した。

- ・第3次国内作業：2000年5月17日～2000年6月30日

1.4.3 調査過程での判明事項

本調査は1998年の第2次及び第3次現地調査において、地形・地質調査等の現地再委託調査を実施し、この調査結果より、中国側が実施したPre-F/Sにおける調査結果と大きく異なる調査結果が得られた。即ち、左岸部においてダム計画の前提条件として必須の地質条件である、ダムを支える基礎岩盤が必要な標高に存在しないことが判明した。ダム構築の基盤である、岩盤線は左岸部においては従来の河床レベルの標高が約3km続き、軟岩地帯で通常考えられるフィルダム形式を採用した場合、岩盤線に不透水性ゾーン(コアゾーン)を密着させる必要があることから、ダムの堤長は約3,200mに達することとなる。

この状況はPre-F/Sで想定していた堤長(中国側計画値870m)をはるかに上回る規模であり、高度の安全性、技術的可能性、経済的妥当性が必要とされる大型ダムの計画地点として取り上げることが難しい地点であることを示す結果となった。

1.5 報告書における検討条件

本報告書においては、上記調査期間中に判明した事項と日中両国により交わされた実施細則の変更内容を踏まえ、下記の条件を基に検討を行った。

(1) 計画地点

ダム計画地点は実施細則において、転龍湾地点と規定されていることに加え、調査対象地域において通常ダム建設が考えられる地形（狭窄部）、水文的有利性（東西烏蘭木倫河の合流点下流）を備えた唯一の地点であることから、本調査ではこの転龍湾地点で計画検討を行った。

(2) 技術的検討

左岸部は厚い砂嘴状の風積堆積物(砂丘)で構成され、この膨大な砂丘を岩盤線まで掘削し除去することは経済的妥当性を持たないので、ダム左岸部の不透水性を確保する一工法として、連続地中壁工法とソイルセメントによるダム基礎基盤の改良工法を検討案とした。しかし、これらの工法は厚い黄砂で形成される地層での実績が中国内でもなく、また、仮に建設工法として採用するにあたっては、技術検討委員会等を設置し、慎重な実地検証を行うことが必要な内容である。このため、今回の検討は Pre-F/S と同等の規模のダムを転龍湾地点に建設した場合のフーズビリティについて、上記の技術的検証の余地のある工法を採用することを所与の条件として検討を行った。

(3) 経済的検討

中国側分担作業として実施すべき検討項目のうち、灌漑便益、洪水防御便益、環境分野の社会条件調査（水没地における住民移転費用の調査、算定）は一部を除き実施されなかったため、一定の仮定と Pre-F/S 時点のデータに必要な物価上昇率を考慮し推定することとした。

1.6 調査対象地域

本調査の対象地域は、神府東勝炭田のうち第3期開発鉱区並びに烏蘭木倫河上流のダム（転龍湾ダム）計画流域とする。

第2章 計画地域の現況

2.1 水文

2.1.1 気象

転龍湾ダム計画地点周辺には、表 2.1.1 に示す 3 箇所の気象観測所がある。このうち最も近いのが転龍湾ダム計画地点から北西約 20 数 km の流域内にある伊金霍洛旗気象観測局で、次に北方約 40km の流域界付近に東勝市気象所、最も遠方が下流の南西約 90km にある神木県気象局である。各気象観測所の 1967 年から 1996 年の 30 年間のデータを集計して、月別の気象特性を表 2.1.2 および図 2.1.1 に示す。

表 2.1.1 ダム計画地点周辺の気象観測所

気象観測所名	伊金霍洛旗気象局	東勝市気象所	神木県気象局
住所	内蒙古伊金霍洛旗	内蒙古東勝市	陝西省神木県
位置	39° 34'N、109° 44'E	39° 50'N、109° 59'E	
標高	1329.3m	1459.0m	800m 前後

(1) 降水量

多年にわたる降雨状況を図 2.1.2 に示す。気象観測所の降水量は、多年平均値で、神木 > 東勝 > 伊旗の順に少なく、流域内の伊旗では 361mm である。年毎に降水量の変動が大きく、降水量の少ない伊旗で最大・最小の格差が約 3 倍である。降水量の多年のトレンド (Trend) はほぼ横這いかわずかに減少する傾向にある。

また、降雨は 6 月～9 月ごろにかけて集中する特性があり、この時期の降水量は年間の約 8 割を占める。

(2) 気温

年平均気温は、流域内の伊旗観測所で 6.3℃、最高気温 34℃、最低気温 -25℃と寒暖の差が大きい。3 箇所の観測所では、標高に応じた差が認められる。

(3) 湿度・風速

平均湿度は、50%程度でやや乾燥傾向を示す。月毎では、4、5 月を谷、8 月を山とする年周期が見られる。

平均風速は、伊旗・東勝で約 3m/s と強く、神木で約 2m/s である。年間の傾向は 4、5 月が強く、8、9 月が穏やかである。黄土高原地帯に位置する地域性を反映して、春先には季節風による砂嵐が発生し、黄土高原地帯の伊旗、東勝では年間 20 日程度、神木では

10日程度の砂嵐がある。

(4) 蒸発量・日照時間

年蒸発量は、伊旗で約 2,400mm、日平均 6.57mm と大きい。東勝ではそれよりわずかに少なく、神木では伊旗の 75%程度である。年間では 4月から7月頃にかけて多い傾向が見られる。なお、蒸発量は直径 20cm の小型蒸発計で観測されており、冬季は秤量法によって測定されている。

年日照時間は、伊旗、東勝で 3,000 時間程度、神木で約 2,700 時間である。伊旗、東勝の日照率は 70%に近い。

2.1.2 水文

ダム計画河川である烏蘭木倫河を含めた黄河支流窟野河流域の水文データを収集し、解析した。収集したデータは窟野河流域の雨量観測所 52 箇所、流量観測所 7 箇所のものである。

(1) 窟野河上流域と主要河川

窟野河上流域の主要河川は、上流から東・西烏蘭木倫河、烏蘭木倫河、王道恒塔下流で烏蘭木倫河に合流する勃牛川である。ダム計画地点である転龍湾は東・西烏蘭木倫河の合流地点の下流 100m に位置する。烏蘭木倫河流域および勃牛川流域は黄土高原地帯であり、植生に乏しく各所に砂漠が点在し、河川上流部は V 字型の侵食地形で特徴付けられる。この流域の降雨は夏期に集中し、夏期以外においては、河川は広い河谷内をわずかに流下するのみである。

転龍湾上流域は典型的な黄土高原地帯に属するが、1990 年頃より開始された緑化政策により近年は植生が増えつつある。また、この流域の特徴として相対閉流区域があり、転龍湾流域面積の 2 割程度を占める。この相対閉流区域からは洪水時のみ烏蘭木倫河へ流出がある。

(2) 流量・雨量観測所

窟野河流域には 7 箇所の流量観測所がある。これらの位置・名称と支配流域を図 2.1.3、および表 2.1.3 に示す。

表 2.1.3 窟野河流域における流量観測所名とその支配面積 (単位: km²)

観測所	温家川	神木	王道恒塔	新廟	石乞台	転龍湾	阿騰席熱
面積	8734	7361	3903	1486	2289	1941	328

(注) 上記値は日本側の解析結果 (相対閉流区域は含む) である。

河川と流量観測所の位置関係は、転龍湾→王道恒塔は烏蘭木倫河、王道恒塔→神木は窟野河、新廟→王道恒塔は勃牛川である。

ダム計画地点の転龍湾では 1997 年より水文観測が開始されたばかりである。それ以外の流量観測所のうち、ダム計画地点に近いものは、下流の石乞台であるが断片的データ(data)しかない。上流の阿騰席熱には 10 年間程度の観測資料があるが、観測期間が短い。ダム計画地点に比べ流域が小さい。30 年以上の長期にわたる観測資料があるのは王道恒塔、神木、温家川、新廟であるが、このうちダム計画地点に最も近い王道恒塔でも 50km 以上下流である。

以上のように多年のデータを有する流量観測所はダム計画地点から遠方であるが、計画策定にあたり依拠する水文資料は下流最も近傍の王道恒塔のデータを主として参照し、流域内の阿騰席熱のデータも参考とすることとした。

雨量観測所は、窟野河流域に約 50 箇所が点在する。その約半数は洪水期(5月～10月)のみの観測である。また、雨量観測所の多くが 1970 年代末に設立され観測が開始されている。よって収集した雨量データは、平均すると 15 年間程度の観測期間である。

中国側 Pre-F/S の報告では、窟野河流域に点在する観測所(雨量観測所、流量観測所及び气象台)の内、転龍湾ダム上流域の流出解析に依拠する雨量観測所は転龍湾上流の 9 箇所としているが、本報告ではそれらに加え、15 箇所の雨量データを参照した。さらに王道恒塔の流出解析にはそれらに加え全 27 箇所の雨量データを参照した(表 2.1.4)。

表 2.1.4 雨量観測所

記号	A	B	C	D	E	F	G
地名	合同廟	韓家溝	伊金霍洛	阿騰席熱	桑蓋	樺家塔	辺家塔
記号	H	I	J	K	L	M	N
地名	塔拉壕	大勝鎮溝	全和帶	布尔台	牛格吐溝	巴図塔	石乞台
記号	O	P	Q	R	S	T	U
地名	霍洛	花核図	大柳塔	高家塔	中鷄	孫家岔	王道恒塔
記号	AI	KI	LI	NI	RI	DC	
地名	劉家溝	板深図溝	道勞岱梁	温家梁	張家村	東勝	

注：網掛けは Pre-F/S で使用、斜字は王道恒塔の流域のみに使用。

(3) 流域の降雨量

ダム計画地点と王道恒塔流域について、ティーセン(Thiessen)法により流域雨量を求めた。王道恒塔、転龍湾、阿騰席熱を基準としてそれぞれ求めた年間雨量を表 2.1.5 に示す。また、年間降雨量の経年変化を図 2.1.4 に示す。表 2.1.5 に示すように降雨量に欠

測があった場合は、データが断片的にある年は、データのある月毎に伊旗観測所の雨量との線形相関により補完した。データのない年については、データのある観測所の年間雨量を平均して補完したが、1978年までは観測所の数がわずかで信頼性に乏しい。

流域の多年平均の年間降雨量は、王道恒塔を基準とする場合 340mm (79年～96年)、転龍湾を基準とする場合 333mm (79年～96年)であった。Pre-F/S では、転龍湾流域の平均的な年間降雨量は 310mm～360mm の範囲にあり、多年平均で 344mm としている。両者に大きな差はないが、Pre-F/S は流域内 9箇所 の 1989年までのデータを使用しているのに対し、本調査ではそれ以降の観測データも加え求めているので、現時点での評価としては流域年間降雨量を 333mm とする。なお、図 2.1.4 に示すように、流域降雨量の経年変化は年毎の変動が大きいが、全体のトレンド (trend) はわずかに減少する傾向にある。

(4) 烏蘭木倫河流量観測所の河川流況

烏蘭木倫河の各流量観測所 (王道恒塔、阿騰席熱、石乞台、転龍湾) の月別流量を表 2.1.6 に示す。また、各流量観測地点における流域の特性を示す年間流出率を表 2.1.7、王道恒塔の流況を表 2.1.8 に示す。

王道恒塔における流出率は 0.09～0.25 の範囲にあり、過去 10年間は渇水年である 1993年、1997年 が 0.09 と小さくなっている。

(5) 烏蘭木倫河における過去の大洪水

王道恒塔、阿騰席熱、石乞台における年最大の洪水ピーク (peak) 流量を表 2.1.9 に示す。さらに、王道恒塔における実測洪水ピーク流量を大きい順に表 2.1.10 に示す。

王道恒塔において、実測されている最大の洪水は 1976年 8月 1日に発生し、洪水ピーク流量は $9,760\text{m}^3/\text{s}$ に達している。

表 2.1.9 烏蘭木倫河の最大及び最近実測洪水ピーク流量 (単位: m³/s)

地点 \ 年	1961	1966	1972	1976	1978	1984	1985	1986	1987	1988
王道恒塔	8440	6680	3580	9760	7140	3130	3360*	231	408	2020
石乞台	-	-	-	-	-	-	-	871	901	-
阿騰席熱	-	-	-	-	-	-	1970*	25	676	575

地点 \ 年	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
王道恒塔	4600	1020	2690	4390	65	3310	303	3240	450	-
石乞台	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1230
転龍湾	-	-	-	-	-	-	-	-	89	1050
阿騰席熱	385	684	482	2920	21	1420	138	1470	-	-

*1985年8月5日

表 2.1.10 王道恒塔における年最大実測洪水ピーク流 (単位: m³/s)

年	1976	1961	1978	1966	1989	1992	1972	1985	1994	1996
ピーク流量	9760	8440	7140	6680	4600	4390	3580	3360	3310	3240
年	1984	1971	1979	1991	1967	1968	1970	1988	1977	1975
ピーク流量	3130	2720	2690	2690	2660	2580	2530	2020	1760	1580
年	1982	1990	1969	1973	1981	1962	1963	1997	1964	1974
ピーク流量	1250	1020	1010	831	702	560	559	450	438	408
年	1987	1983	1995	1960	1986	1980	1993	1965		
ピーク流量	408	376	303	297	231	190	64.5	41.8		

2.1.3 洪水流出解析

転龍湾ダム計画地点における設計洪水流量は貯留関数法を用いて算定し、中国側 Pre-F/S の解析結果の検証を行った。転龍湾ダム計画地点においては、1997年より水文観測が開始されたばかりであり、洪水の実測記録がない。そのため、洪水流出解析はまず単一モデル流域(阿騰席熱基準)を用いたパラメータスターディ(parameter study)を実施した。次に、王道恒塔基準のモデルを構築し、実測洪水の再現計算することにより貯留関数の係数を決定した。このモデルを用いて、転龍湾ダム計画地点における確率洪水を計画降雨法により算出した。図 2.1.5 に転龍湾ダム計画地点における流出解析の流れ図を示す。

(1) 流出モデルの検討

1) 解析方法

流出解析法は以下の理由により、貯留関数法とした。

- ・ダム建設計画があり、流量波形を必要とする。
- ・降雨と流量の観測資料がある。

流域の貯留関数法の計算式は以下のものを用いた。

$$S = K * Q_1^P \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{F * R * A}{3.6} - Q_1 = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_1(T) = Q(T + T_1) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、K、P：流域毎の定数 S：流域の見かけの貯留量

Q：流出量 F：流入係数

Q₁：遅滞時間を考慮した流域直接流出量

R：流域平均雨量（降雨強度） A：流域面積

T₁：遅滞時間

また、河道については、各合流点における流量計測値が入手できなかったため、直接検証することができないが、その影響を考慮して木村の経験式を用いて、河道の長さによる遅滞時間を取り入れ検討を行った。

2) 流域分割と流域平均雨量

入手できた 2 種類の地形図（転龍湾の上流流域——1：50,000、転龍湾から下流の王道恒塔までの流域——1：500,000）を用いて主な水系および流域の分水境界をそれぞれデジタル化した。図 2.1.6 に、流出解析に用いた王道恒塔基準の流域分割図、図 2.1.7 に流出モデル図を示す。ここでは、王道恒塔の上流域を 11 分割（図中 a1~a11 で表示）、転龍湾上流域を 6 分割した。このなかで、流域 a2 については流量観測所である阿騰席熱（D）を流出口とする単一な流出モデルを構築した。また、雨量観測所を中心にティーセン法によって降水流域の分割を行った。図 2.1.8 は王道恒塔を基準点とするティーセン分割図、図 2.1.9 はダム計画地点の転龍湾を基準点とするティーセン分割図である。

3) 収集資料

流出モデルを作成するために、王道恒塔流域内の雨量観測所 27 箇所、流量観測所 2 箇所（王道恒塔、阿騰席熱）についての洪水時の時間雨量及び時間流量資料を収集した。収集した洪水事例から、

- ・ 27 箇所の観測所における時間雨量資料が揃っている
- ・ 全域的な降雨強度が比較的大きい
- ・ 洪水継続時間が長い

を考慮し比較的規模の大きい洪水事例を選定した。さらに、王道恒塔観測所における過去最大の洪水を選定した。選定した洪水事例を表 2.1.11 に示す。

表 2.1.11 烏蘭木倫河における選定洪水

No	期 間	観測地点	ピーク流量 (m^3/s)	72 時間総流量 ($万 m^3$)
1	1985 年 8 月 5 日～7 日	王道恒塔	3360	7301
		阿騰席熱	1970	1617
2	1985 年 8 月 23 日～25 日	王道恒塔	2190	8946
		阿騰席熱	638	1266
3	1989 年 7 月 20 日～23 日	王道恒塔	4600	5525
	(1989 年 8 月 23 日～26 日)	阿騰席熱	385	58
4	1992 年 8 月 7 日～9 日	王道恒塔	4390	5846
		阿騰席熱	2920	2195
5	1976 年 8 月 1 日～3 日	王道恒塔	9760	12689
6	1978 年 8 月 30 日～31 日	王道恒塔	7140	6266

また、計画降雨の算定および実証解析を行うために、1959 年から 1997 年に至る 39 年間の日雨量資料を各観測所毎に（12 年間～39 年間）収集した。

中国側から提供された時間流量及び時間雨量資料は、毎正時の資料ではなく不定の時間単位もしくは分単位の表示が多かった。このため、次のように毎正時単位の資料に変換処理した。

- ・流量：正時を挟む前後の流量観測値から直線内挿した。洪水のピーク値は観測された時刻に最も近い毎正時の値とした。洪水のピーク付近に十数分間隔に資料がある場合、このような直線内挿ではやや平滑された形になる。
- ・雨量：降雨の降り始めからの観測値を累積して得られる時刻-雨量累積曲線（折れ線とする）から、任意の正時の値を直線内挿した。このように求めた時間雨量は、場合によりかなり平滑された形になっている。このような内挿による毎正時変換処理を流域内の 27 地点の雨量観測所毎に行ったのち、ティーセン法による降雨分担係数を用いて流域平均雨量を時間単位で算出した。

4) 諸定数の検討

阿騰席熱の上流域（流域 a2）を単一モデル流域としパラメータスタディ（逆解析など）を行った。図 2.1.10 に、単一モデル流域（流域 a2-阿騰席熱の上流域）を用いたパラメータスタディの結果を示す。計算流出量と実測流出量は良く一致している。次に分割された 11 個の流域毎の流出計算において、K、P、 T_1 の値を決定するに当たっては、流域の平均勾配との相関経験式から定数 K、P、F を求めた。

単一モデル流域のパラメータスタディによって求めた K 、 P 、 T_1 の値を、さらに広域的な流域及び複数の流域を含むモデルに対して検証するため、前述の選定洪水を事例（6 洪水）として実証解析を行いパラメータスタディを深めた。具体的には、王道恒塔上流域内の各雨量観測所の時間雨量（ハイエトグラフ、hyetograph）に対して貯留関数法で流出解析を行い、その結果と王道恒塔においての実測時間流量（ハイドログラフ、hydrograph）と比較することで、最適なパラメータを設定した。実際の適用に当たっては、一次及び二次流出率および飽和流出率をそれぞれ $f_1=0.15$ 、 $f_2=0.5$ 、 $f_3=1.0$ とし、半飽和雨量 $R_{sa}=20\sim 50\text{mm}$ 、飽和雨量を 256mm とし、次のように設定した。

$$K = \frac{119}{I^{0.3}} \dots\dots\dots \text{(パラメータスタディによって } K \text{ を } 0.9 \text{ 倍している)}$$

$$P = \frac{0.175}{I^{0.235}} \dots\dots\dots \text{(パラメータスタディによって } P \text{ を } 0.125 \text{ 倍している)}$$

遅滞時間 T_1 は、次式の木村の経験式を用いた。

$$T_1 = 0.0470L - 0.56 \dots\dots\dots (L \geq 11.9\text{km})$$

$$T_1 = 0 \dots\dots\dots (L < 11.9\text{km})$$

ここに、 I : 流域の平均勾配 L : 流路延長

最終的に確定した流出モデルの定数を表 2.1.12 に、王道恒塔における流出解析結果を図 2.1.11 に示す。計算結果と実測流量は 1989 年 7 月 20 日～22 日の洪水以外は良く一致している。1989 年 7 月の洪水についてはピーク流量、総流量とも計算値が実測値より小さい。これは、平均降雨が小さいためであるが、降雨の観測値そのものに問題がある可能性が高い。

表 2.1.12 各流出モデルの定数

流域名	A(km ²)	K	P	QI	L(km)	T ₁ (hr)	K*P
a1	384.0	266.9	0.06	5.0	137.5	6.0	15.1
a2	327.6	270.1	0.06	2.0	139.8	6.0	15.5
a3	158.5	236.9	0.05	1.5	125.3	5.0	12.2
a4	438.3	283.9	0.06	1.5	124.4	5.0	16.9
a5	457.3	297.2	0.06	1.5	129.3	6.0	18.3
a6	175.4	236.4	0.05	1.5	111.6	5.0	12.2
a7	347.9	201.4	0.05	1.5	89.1	4.0	9.2
a8	527.5	293.3	0.06	1.5	110.7	5.0	17.9
a9	486.1	253.6	0.05	1.5	65.5	3.0	13.8
a10	211.9	307.6	0.06	1.5	87.9	4.0	19.5
a11	388.3	226.2	0.05	1.5	67.2	3.0	11.3

(2) 計画降雨の検討

ダム計画地点である転龍湾の流域の降雨を検討するため 15箇所の雨量観測所を選定し、1967年～1997年の期間の日雨量データを収集した。1967年～1976年の期間は伊金霍洛旗および東勝（DC）气象台以外に資料がないので、これらの資料の平均値を流域の雨量として使用した。そのほかの雨量観測所で観測が開始された 1976年以降では、資料のない年には原則としてその観測所近辺の資料の平均値を用いて補完を行い、有効な資料として採用した。また、5月～10月までの観測しか行われていない観測所も多かった。これらはほとんど降水のない冬季での欠測のため、最大 3日間連続雨量・最大 1日間雨量に影響を及ぼすことはないが、年間雨量には影響を与えるため、流域の中心部にある伊旗を基準として年毎に月単位で線形回帰相関補完を行った。各雨量観測所のテーセン係数を、各年毎の最大 1日間雨量・最大 3日間連続雨量とともに、表 2.1.13 に示す。

計画降雨法に基づく貯留関数法の洪水計算期間は、流域面積、降雨をもたらす気象要因などを考慮して 3日間及び 1日間の二通りとした。確率雨量の算出に当たっては、対数正規分布図へのヘイズン（Hazen）法を用いた。ヘイズン法の基本式は次の通りである。

$$W = (2 * n - 1) / (2 * N)$$

$$Fn = 1 - Wn = 1 - (2 * n - 1) / (2 * N)$$

ここに、Wn : n 番目の超過確率

N : データの個数

F : n 番目の非超過確率

超過確率雨量の算定結果を図 2.1.12 に示す。

洪水計算に用いる降雨波形（ハイエトグラフ）は、実測洪水の内最大規模の洪水である 1976年の洪水時のものを使用した。ただし、このハイエトグラフはごく短期間に集中し

た降雨としての事例であるので、長時間に渡り降雨の続いた 1985 年 8 月 23 日～25 日のハイトグラフも使用した。前者はピーク流量および 1 日間の洪水総量の推定に使用し、後者は 3 日間の洪水総量の推定に使用した（図 2.1.13）。なお、1976 年は転龍湾流域内に時間雨量を観測した観測所がないので、15km 下流の石乞台の雨量データを参考にした値(79.1mm : 1976/8/1-2)を用いている。

計画降雨の雨量総量は転龍湾流域の確率 1 日間・3 日間連続流域平均雨量として算出するが、流出計算に用いる時間雨量としては上記により選定したハイトグラフに、このハイトグラフが観測された日雨量と確率 3 日間・1 日間雨量との比（引き延ばし率）を乗じて算出するものとする。

以上により求めた各超過確率の計画降雨量、降雨引き延ばし率を表 2.1.14 に示す。

表 2.1.14 計画降雨と引き延ばし率一覧表

確率年	3日間連続雨量 (mm)	引き延ばし率	日雨量 (mm)	引き延ばし率
20	119	0.97	75	0.95
30	129	1.06	82	1.04
50	143	1.17	91	1.15
100	163	1.33	104	1.31
200	182	1.49	116	1.47
300	194	1.59	123	1.55
500	210	1.72	133	1.68
1000	231	1.89	147	1.86
2000	255	2.09	162	2.05
3000	268	2.19	169	2.14
4000	278	2.28	175	2.21
5000	285	2.33	181	2.29

(註) 選定ハイトグラフ観測日の総雨量 : 3 日間 122.1mm(転龍湾流域平均)
1 日間 79.1mm(石乞台参考値)

(1) ダム設計洪水流量の比較検討

1) 確率流出量による解析

実測洪水流量による確率解析は、ダム計画地点に流量データがないので実施できない。日本側での計画降雨法に基づく貯留計算法の解析結果を表 2.1.15 に示す。また、計算結果の詳細を図 2.1.14 に示す。

表 2.1.14 確率年の洪水流量と洪水ピーク流量 (ダム計画地点)

確率年	3日間洪水流量	1日間洪水流量	洪水ピーク流量
	万m ³	万m ³	m ³ /s
20	10348	5597	6552
30	11215	6122	7167
50	12714	6797	7955
100	14822	7937	9121
200	16546	8948	10189
300	17634	9587	10812
500	19086	10544	11697
1000	21769	11658	12939
2000	24038	13421	14270
3000	26752	14037	14890
4000	28435	14527	15424
5000	30003	15088	15955

2) Pre-F/S (中国側) の解析

Pre-F/S では、窟野河流域 4 箇所の流量観測所のデータを使用し、過去の実績洪水のピーク流量及び総量を用いてそれぞれ確率計算を行い、流域面積との相関関係により求める「流域総合比較法」を用いてダム計画地点の流量を予測している。洪水波形は王道恒塔で実測された 1976 年洪水型を採用している。確率計算はヒアリングによればピアソンⅢ型を用いているとのことである。参考として Pre-F/S による洪水のピーク流量の解析を再現し図 2.1.15 に示す。図 2.1.15 には、確率計算を日本で実績の多い岩井法にて行った場合の結果も図示した。

3) 設計洪水流量の比較

計画降雨法による設計洪水流量と Pre-F/S の検討結果との比較を表 2.1.16 に示す。下記 Pre-F/S の結果は「流域総合比較法」によるものである。

表 2.1.16 転龍湾ダム計画地点の洪水流出量の計算結果および比較

項目	単位	100年		2000年	
		Pre-F/S	日本側	Pre-F/S	日本側
3日間洪水流量	万m ³	11180	14822	19870	24038
1日間洪水流量	万m ³	8470	7937	15780	13421
洪水ピーク流量	m ³ /s	9730	9121	17300	14270
Pre-F/S/日本側		Pre-F/S	日本側	Pre-F/S	日本側

まず、1日間洪水については、洪水のピーク流量、洪水流量ともに、Pre-F/S の解析結果の方がやや大きく、その差は 100 年確率より 2000 年確率の方が大きい。一方、3日間洪水流量は Pre-F/S の解析結果の方が下回っている。これは、Pre-F/S の解析では 1日間洪水、3日間洪水ともに同一の 1976 年の洪水波形を採用しているの

に対して、本調査では1日洪水に対しては1976年洪水波形、3日洪水に対しては1985年洪水波形を採用しているためである。したがって、Pre-F/Sの解析および本調査による解析も、ダム計画地点での実測流量がないため検証することができないが、1日間流量とピーク流量については、中国側Pre-F/Sの解析結果は妥当であると考えられる。一方、3日間流量については、本調査による値を採用するのが適切と考える。

2.1.4 低水流出解析

(1) 最小確率流量の検討

ダム計画地点の年間流量の最小値は実測資料がないので評価できない。参考として下流の王道恒塔における窟野河の実測年間流量の最小値評価を行った。確率評価は次式のガンベル (Gumbel) の最小値分布を用いた。

$$G(x) = \text{EXP}(-e^{\xi})$$
$$\xi = A * \text{LOG}((x+b)/(x_0+b))$$

ここに、G(x) : xの超過確率

A、b、x₀ : 定数

渇水確率評価の結果を表2.1.17に示す。近年の流量の減少傾向を反映して、1997年が1/88年確率渇水に相当している。また、経年渇水については1996年～1997年の2年連続渇水は15年確率、1995年～1997年の3年連続渇水は32年確率、1994年～1997年の4年連続渇水は1/12年確率である。

(2) タンクモデルによる低水解析

ダム計画地点の転龍湾では、1997年と1998年の2年間にわたり流量観測が実施された。この観測結果と流域の日雨量データを基に、タンクモデル法によりパラメータスタディを行い流出モデルを決定した。このモデルを用い、流域の日雨量データのある1979年～1998年までの期間について低水解析を行った。タンクモデルは、4段1列型のタンクを使用した。図2.1.16にタンクモデルの検定計算結果、すなわち、1997年～1998年の実測流量とタンクモデルによる計算値の比較を示す。また、1979年～1998年までの低水解析結果を図2.1.17に示す。長期間(20年間)の低水流量を再現するには、検証用の実測データが短期間であるため、夏期に流出が集中し冬期間に流出がほとんどない特性を十分に再現していない。したがって、今回のタンクモデルの計算結果は参考程度に留めた。