

中華人民共和國

十三陵揚水發電開發計畫調查

報告書

(要約版)

1991年1月

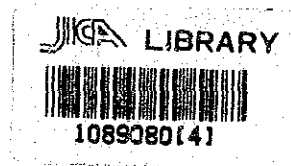
國際協力事業團

中華人民共和國

十三陵揚水發電開發計畫調查

報告書

(要約版)



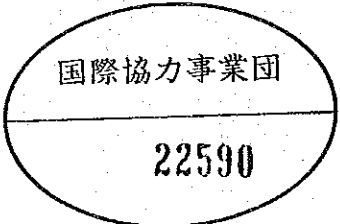
22590

1991年1月

國際協力事業團

国際協力事業団

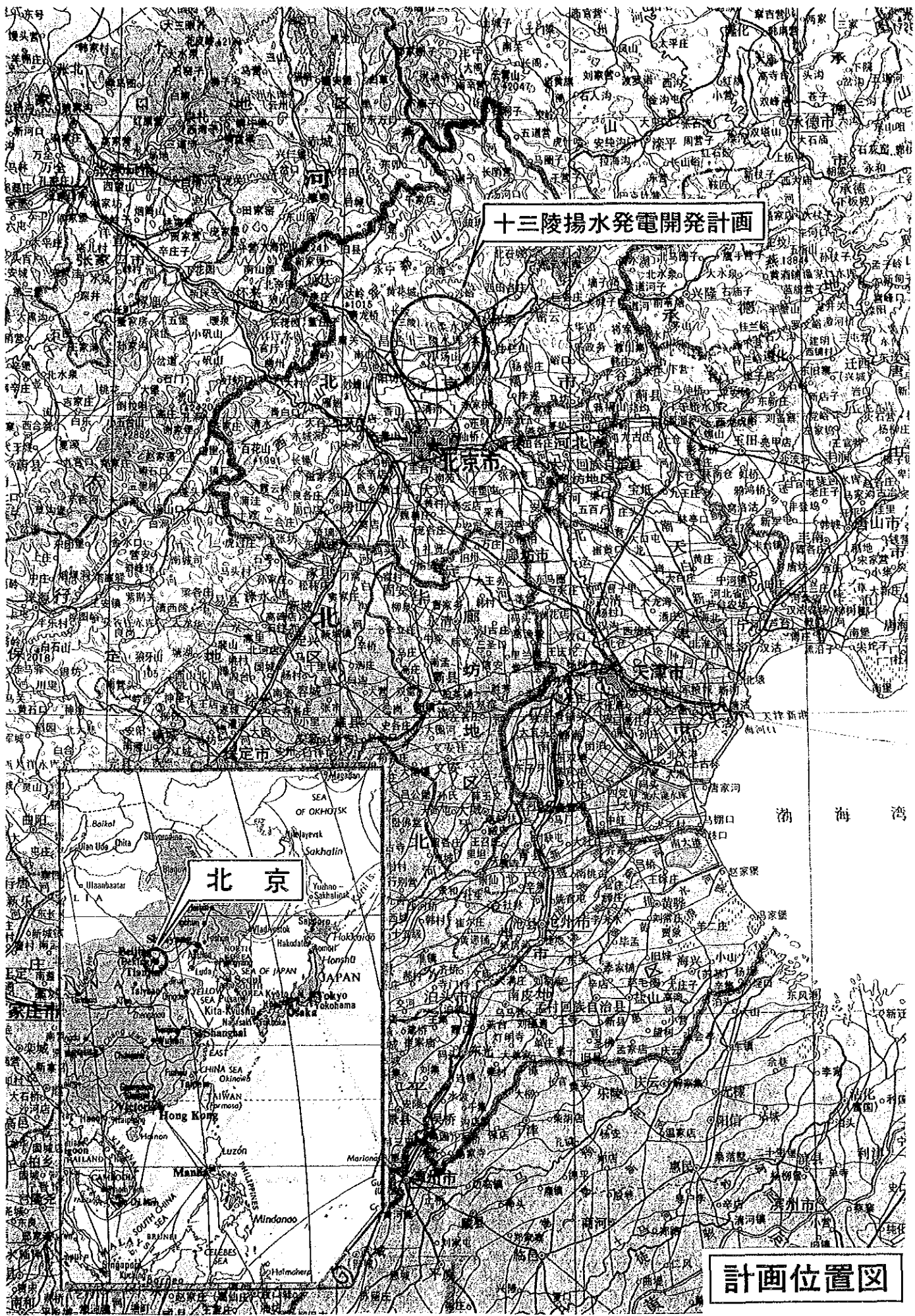
国際協力事業団



国際協力事業団

国際協力事業団



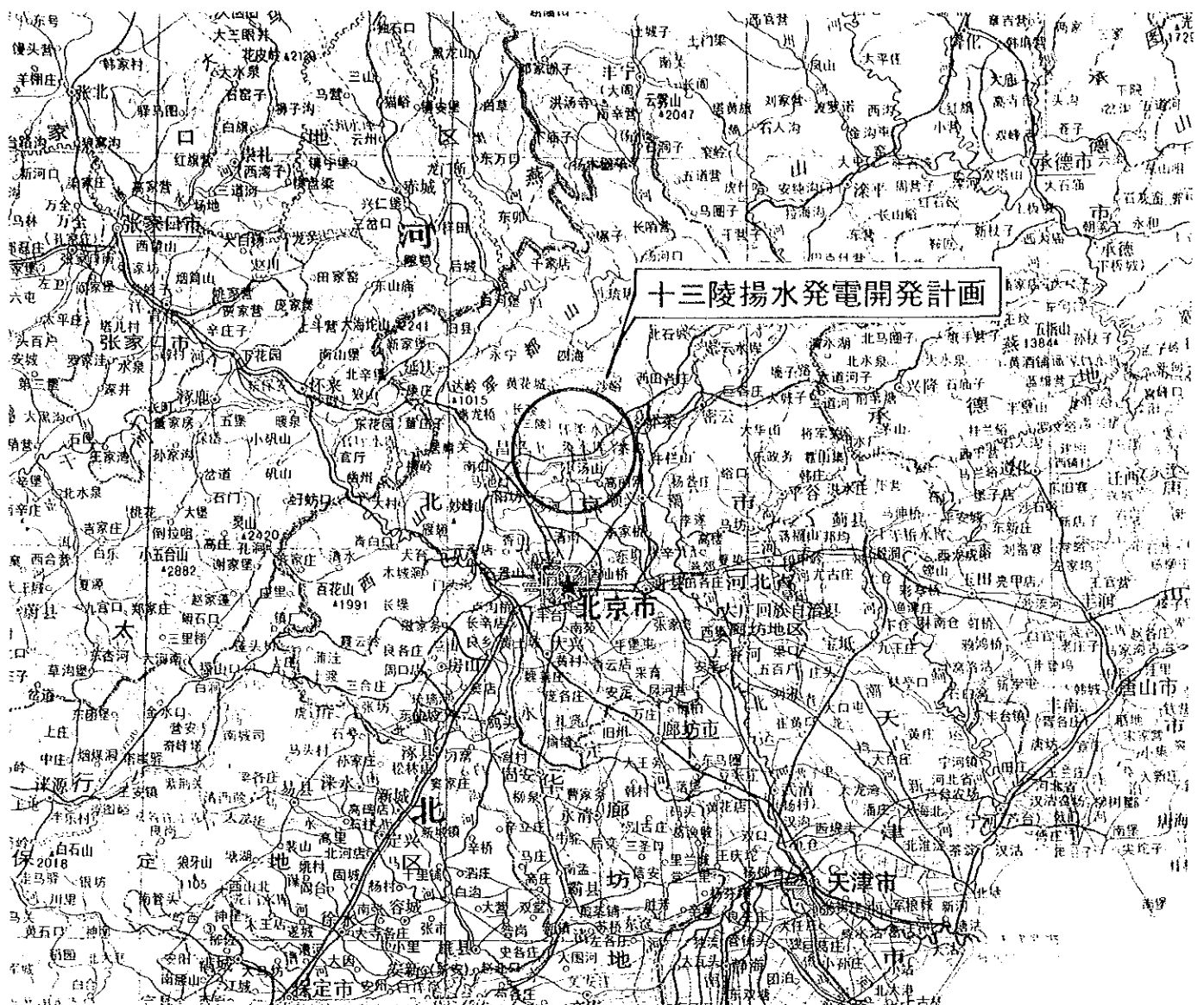


十三陵揚水發電開發計画

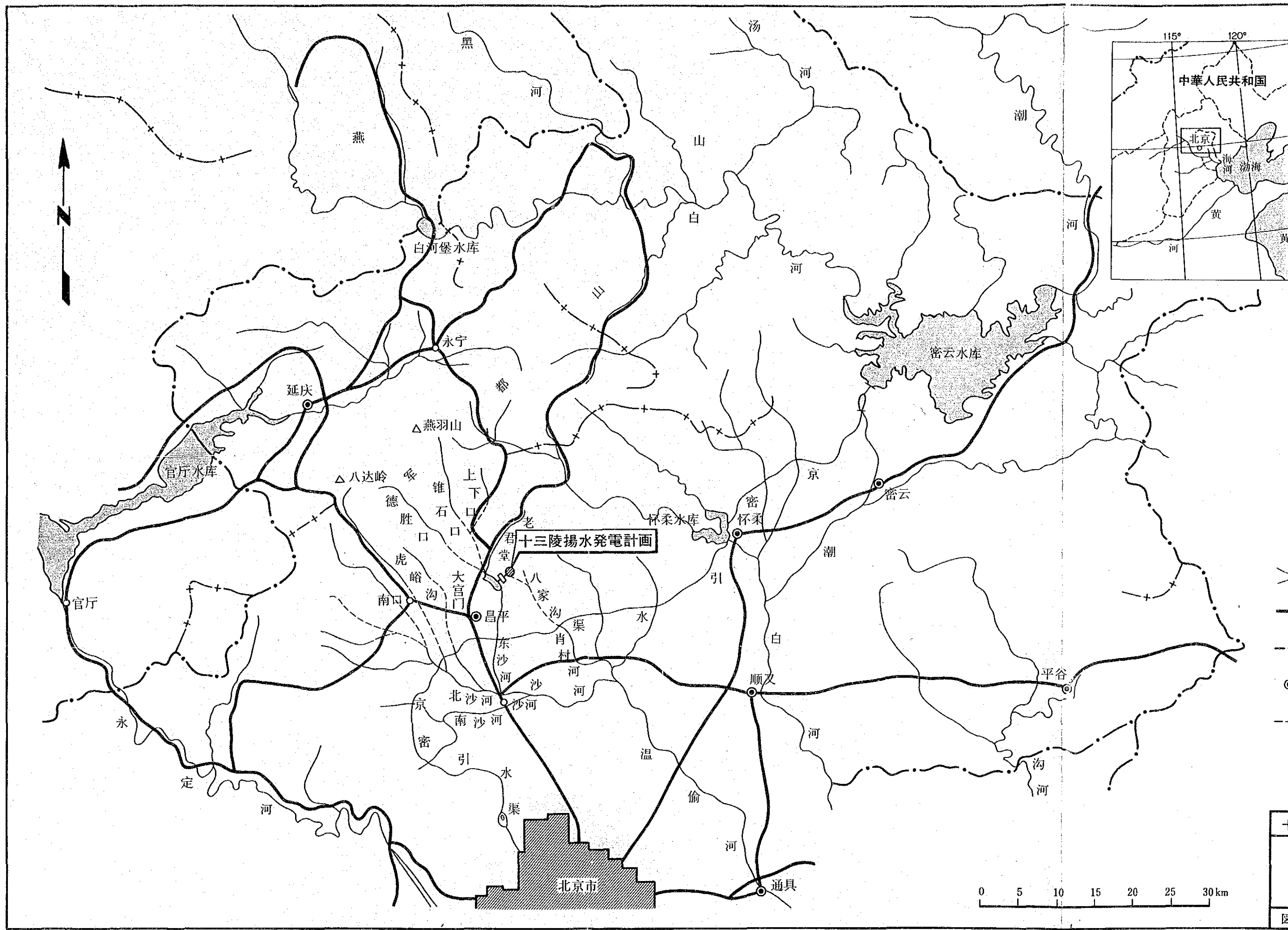
北京

計画位置図

# 十三陵揚水發電開發計画



計画位置図



中华人民共和国

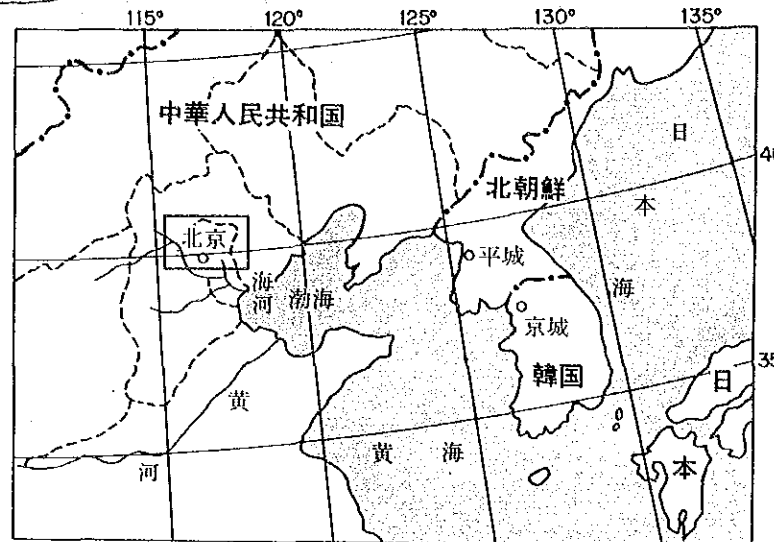
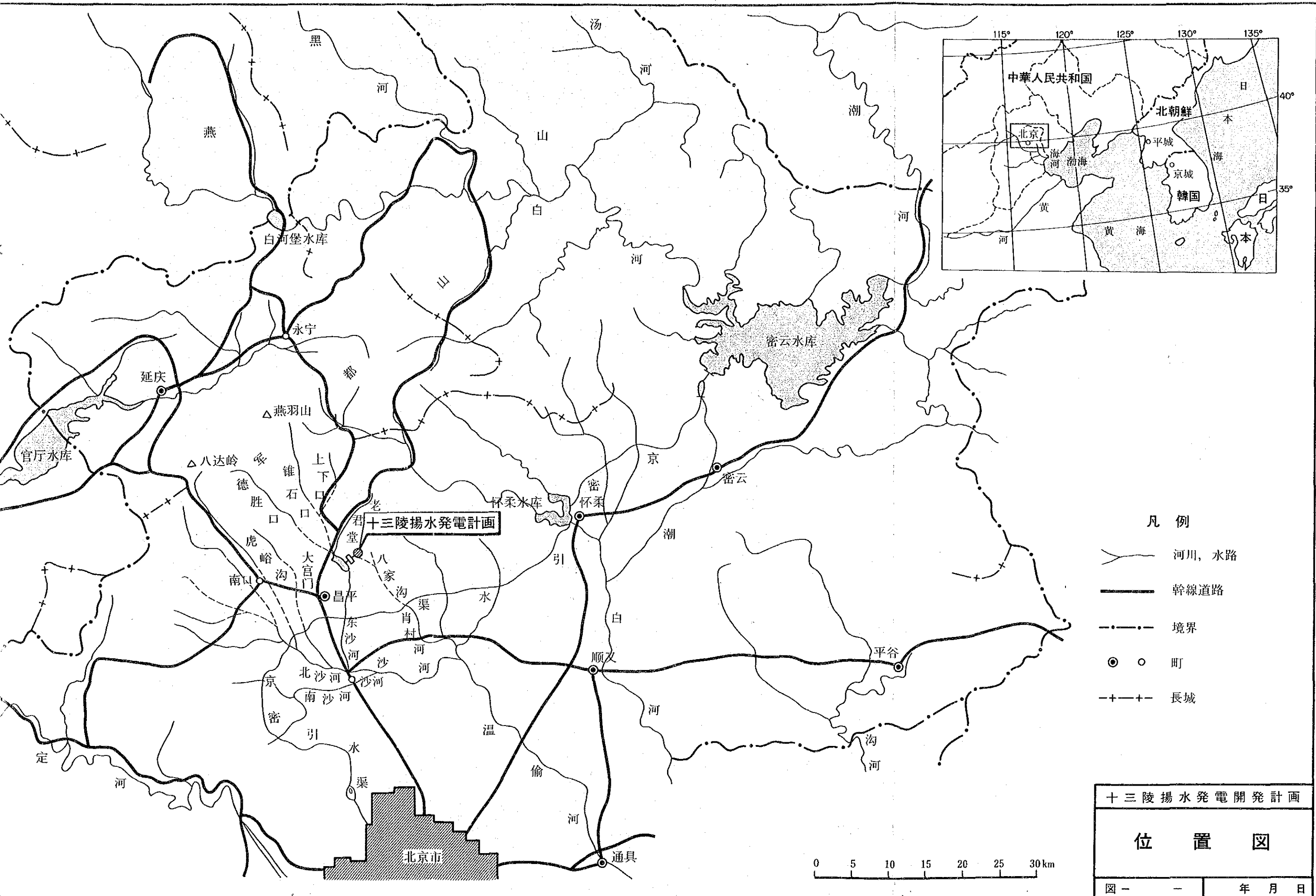
北京

渤海

黄河

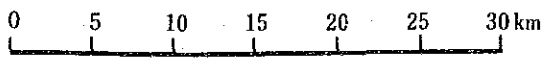
河

图

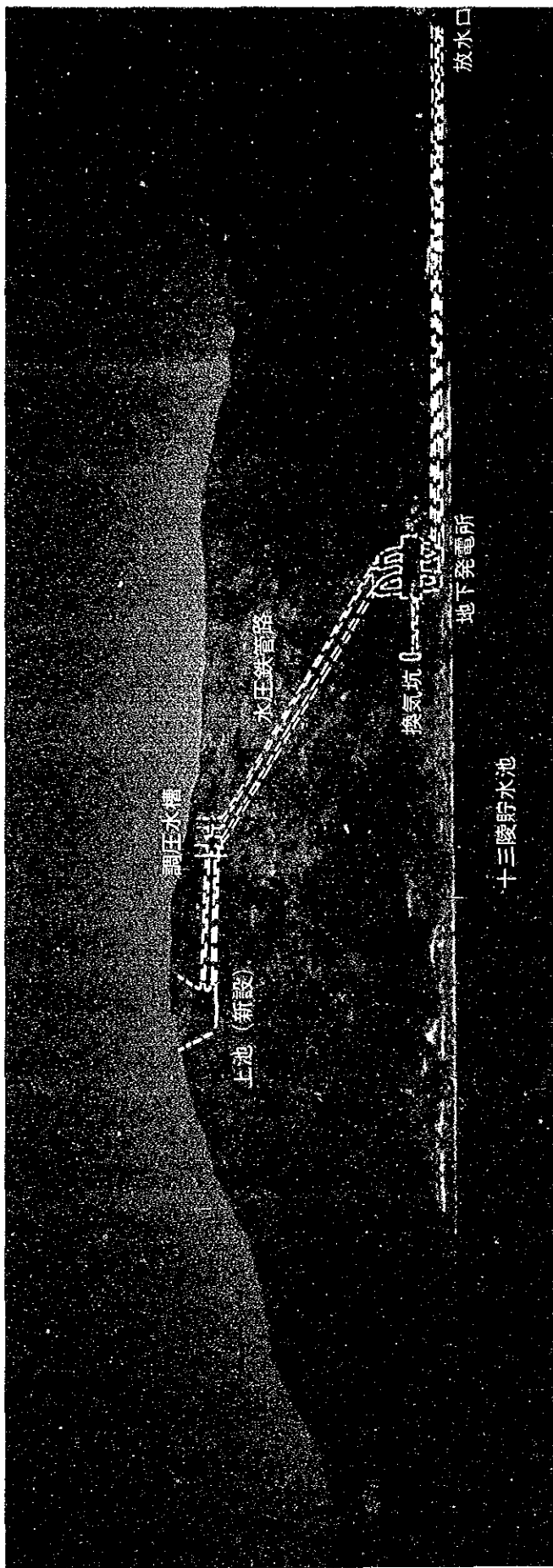


- 凡例
- 河川、水路
  - 幹線道路
  - 境界
  - 町
  - 長城

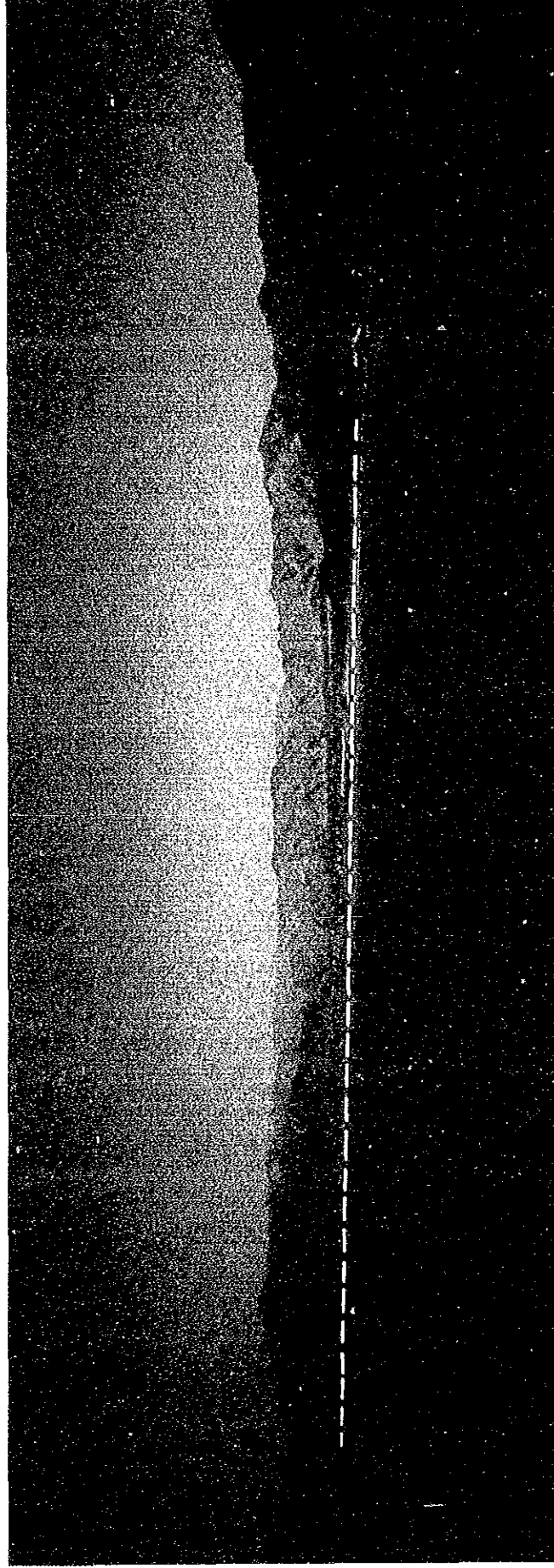
十三陵揚水發電開發計畫  
位置圖  
圖 - - 年 月 日



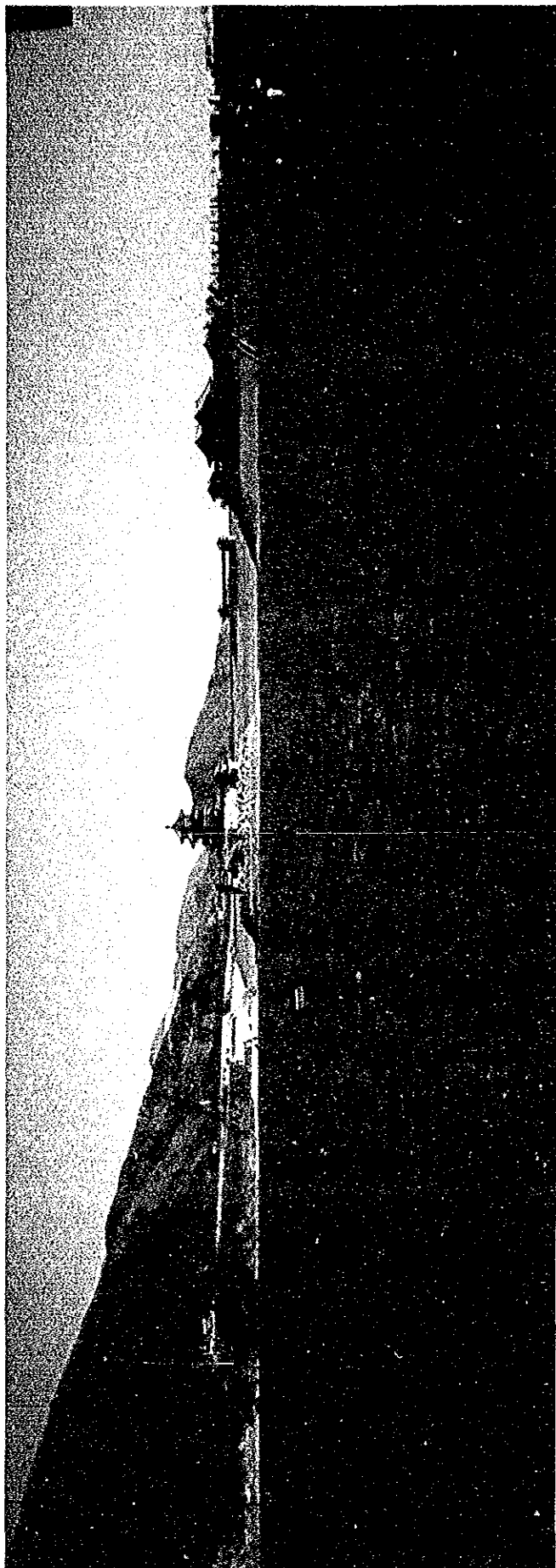




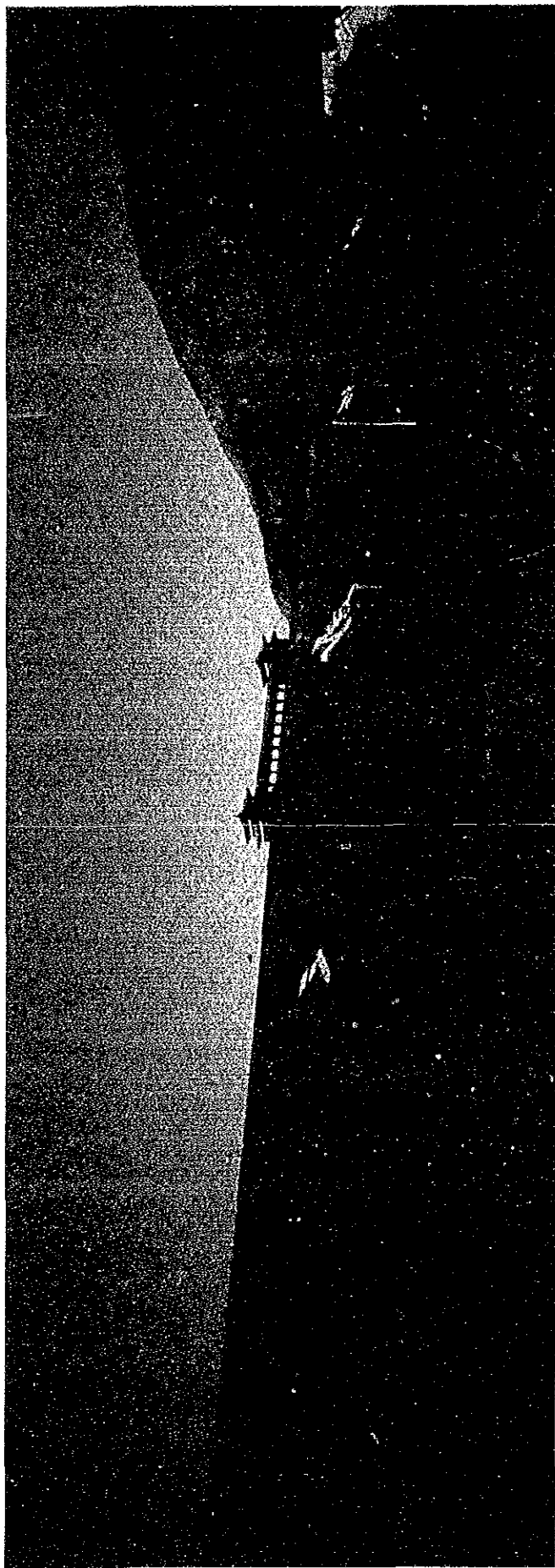
十三陵貯水池右岸より、地下発電所、調圧水槽、放水口、換気坑  
予定地点を見る。



堰堤より上流を見る。湖巾が最も狭い右岸半壁山と対岸に、上部締め切りダムを建設する予定である。

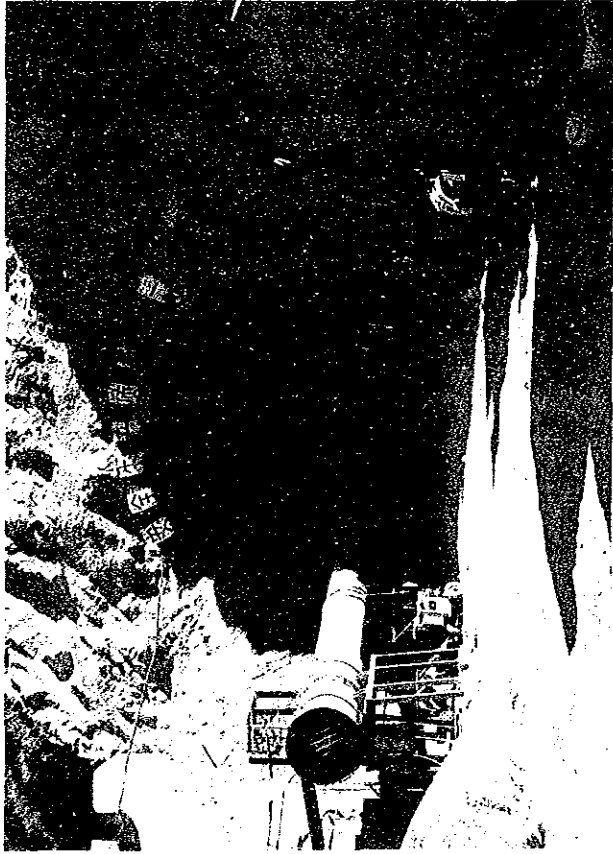
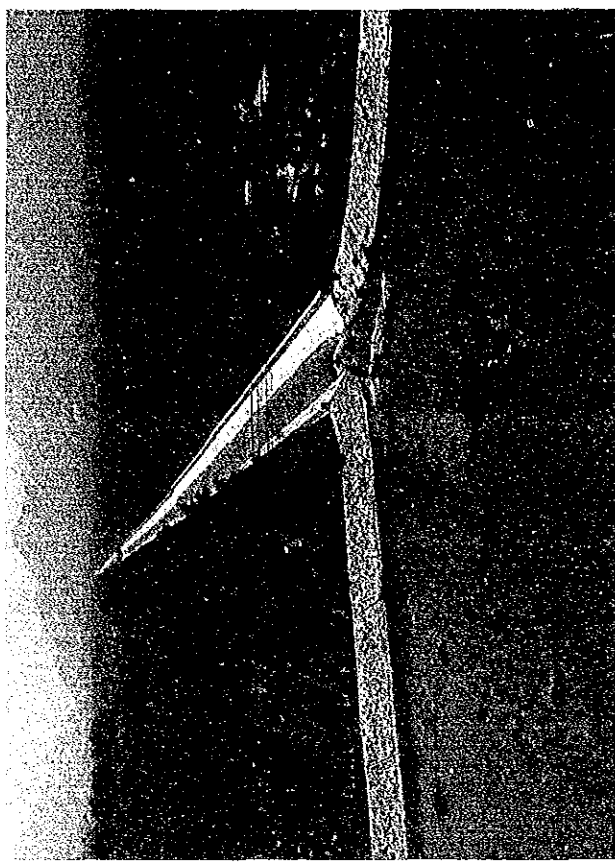


十三陵貯水池湖上より堰堤を見る。堰堤の右岸上流には、龍宮城と称する観光施設が見られる。



堰堤下流側より、十三陵貯水池堰堤体をみる。

ダム最上流部の七孔橋より白河堡導入路  
から十三陵貯水池への流入の様子。



既に工事が開始されている換気トンネル入口。

# 十三陵揚水発電開発計画調査

	頁
結論と勧告	
I章 総論	
1 概要 .....	I-1-1
1.1 概要 .....	I-1-1
1.2 計画概要 .....	I-1-2
1.3 調査の目的、範囲、調査内容 .....	I-1-5
1.4 現地調査業務および参加者リスト .....	I-1-7
2 計画地域の地形・地質概要 .....	I-2-1
2.1 地形 .....	I-2-1
2.2 地質 .....	I-2-1
II章 技術的検討	
1 揚水発電の運用パターン .....	II-1-1
1.1 概要 .....	II-1-1
1.2 運用パターンの検討 .....	II-1-1
1.3 運用による経済性の検討 .....	II-1-5
1.4 系統解析 .....	II-1-8
1.5 まとめ .....	II-1-9
2 下部ダムの漏水防止対策に関する調査 .....	II-2-1
2.1 概要 .....	II-2-1
2.2 水文 .....	II-2-2
2.3 十三陵貯水池の地質 .....	II-2-4
2.4 貯水池漏水の状況 .....	II-2-5
2.5 漏水の原因 .....	II-2-6
2.6 漏水防止対策 .....	II-2-6
2.7 まとめ .....	II-2-10

3	地下発電所掘削管理システムに関する調査	Ⅱ-3-1
3.1	地質調査および発電所構造物配置	Ⅱ-3-1
3.2	基本設計および空洞安定性に関する評価	Ⅱ-3-1
3.3	計測	Ⅱ-3-3
4	ポンプ水車設備の機械特性に関する調査	Ⅱ-4-1
4.1	計画の関連地点特性の分析	Ⅱ-4-1
4.2	可逆フランシスポンプ水車の技術動向	Ⅱ-4-1
4.3	予備設計仕様の策定	Ⅱ-4-1
4.4	まとめ	Ⅱ-4-2
5	高落差大容量水圧鉄管に関する調査	Ⅱ-5-1
5.1	概要	Ⅱ-5-1
5.2	地質調査および基本設計に関する評価	Ⅱ-5-1
5.3	設計水頭および使用鋼材	Ⅱ-5-2
5.4	分岐管	Ⅱ-5-2
5.5	高張力鋼材の選定	Ⅱ-5-3
5.6	高張力鋼材の溶接および検査	Ⅱ-5-3
5.7	まとめ	Ⅱ-5-4
6	上部池遮水壁および初期充水に関する調査	Ⅱ-6-1
6.1	概要	Ⅱ-6-1
6.2	地質	Ⅱ-6-1
6.3	構造	Ⅱ-6-1
6.4	技術評価	Ⅱ-6-4
6.5	初期充水	Ⅱ-6-6
6.6	まとめ	Ⅱ-6-7

### Ⅲ章 経済評価

1 経済評価および財務分析 .....	Ⅲ-1-1
1.1 概要 .....	Ⅲ-1-1
1.2 経済評価 .....	Ⅲ-1-1
1.3 財務分析 .....	Ⅲ-1-6
1.4 まとめ .....	Ⅲ-1-8



## 結 論 と 勸 告

## 結 論 と 勧 告

### ま え が き

十三陵揚水発電計画について、その必要性の有無、技術面などについて以下の項目について検討した結果、以下に示すような結論を得た。

#### (1) 揚水発電所運用パターンに関する調査

十三陵揚水発電所が接続される京津唐系統は、電源設備の大半が本来ベース型に適している石炭火力発電所で構成されており、刻々変動する負荷追従機能不足のみならず、特に深夜帯の軽負荷時にその負荷レベルまで、電源側出力を安定的に絞り込むことが困難である。本調査では、十三陵揚水発電所を導入する事により、この余剰電力を揚水電力にあて、年間を通じて効率的に処理できる事が検証された。更にこれにより、負荷変動の激しい日中、及び点灯時間帯における電力の質改善に大きく寄与できるものである。一方、現在稼働している石油火力の代替として運用できることから、経済面へのメリットについても検証を行ったものである。

揚水運転の運用は、日負荷曲線に大きく左右され、特に経済面への影響が大きいことから、今迄のデータの他に負荷曲線を記録し、この系統に最適な運用方法を更に研究する必要がある。

更に、想定系統における系統解析を実施した結果は特に問題ない。

#### (2) 下部ダムの漏水防止対策に関する調査

十三陵揚水池の主要漏水原因のうち、ダム本体からの漏水については、1970年に実施された地中壁工事前後の観測資料で、地下水位の大幅な低下による止水効果が確認されており、これが今後大きな貯水池漏水の原因となることは考えられない。

一方、貯水池周辺の地形、地質および地下水位等の検討結果では、旧河道からの漏水はその量も多く、揚水下池の機能を確保するためには十分な止水対策が必要であり、中国で立案された貯水池上流1,500m地点における地中壁をもつ低い締切ダムの建設は、合理的かつ経済的であると判断される。しかし、このダムは少ない頻度ではあるが、洪水時に堤頂を越流することがあり得るため、その構造、とくに越流部の施工については十分な注意が必要である。

### (3) 地下発電所掘削管理システムに関する調査

現時点までに得られている地質調査結果及び岩盤試験結果が発電所等地下構造物位置での岩盤に対応しているならば、現基本設計の配置設計、空洞断面設計及び岩盤補強工等はほぼ妥当であると言える。また、調査・試験結果をもとに有限要素法による応力・変形解析を行った結果、変形及び周辺岩盤の緩み領域等空洞の安定性は地山応力条件に大きく影響されることが判明した。

地質調査、岩盤試験等がBL.210mの調査横坑内でなされたものであるため、発電所位置での地質、岩盤条件を必ずしも代表するものではないと考えられる。発電所位置での地質、岩盤条件が仮に現時点で想定しているものに比較して著しく劣ると判断される場合には、設計を見直し、アーチコンクリート並びに側壁コンクリートによる岩盤の支持、補強を考慮した、いわゆる「きのこ型」断面の採用が推奨される。

最終的な詳細設計にあたっては、発電所位置での地質調査、岩盤諸試験を実施して、その結果に基づき最終判断をするよう勧告する。また、大規模地下発電所空洞の安定性が地山応力条件に大きく依存していることから、発電所位置で応力測定試験を実施して、応力状態を確認することを勧告する。

### (4) ポンプ水車設備の機械特性に関する調査

本計画に於いて使用される電力設備について、既に中国側で考えられていた基本諸元、基本仕様に沿って、技術的検討を行った結果、概ね問題ないとの結論を得た。

但し、設置される機器が高落差大容量であり、未だ一般的機器となっていないことから、製作者の選定に当たっては十分な経験と技術を重視する必要がある事、又、据付技術は機器の保守運転両面に大きな影響を及ぼすことから、これを保証する工事体制を確立する必要がある。

### (5) 高落差大容量水圧鉄管に関する調査

水圧管路配置設計、鉄管及び分岐管等の基本設計は、中国側の基本諸元、設計規範に基づき技術的検討を実施した結果、概ね妥当であるとの判断を得た。但し、トンネル内の岩盤と鉄管の間のクリアランスについては60cm以上とすること、岩盤の内圧負担率はトンネル掘削完了後に地質調査、試験を実施して最終的に決定すること、分岐管の管胴板厚等の詳細検討を実施することを勧告する。

高張力鋼のHT80鋼の鋼材については、JIS G3128 に規定している調質鋼 SHY70NS に特別品質規定を適用した SHY70NS-F あるいはこれと同等以上の品質を持つ材料を採用することを推奨する。また、内部補強型Y分岐の三日月形補強材の鋼材としては焼入れ、焼戻しの熱処理をした調質型の熱間圧延鋼板の採用を推奨する。

高張力鋼の溶接方法としては被覆アーク溶接及びサブマージアーク溶接を推奨する。また両面溶接を実施することを推奨する。これら溶接条件、方法、検査、管理等は事前に充分検討を行うと共に、溶接作業員に対する教育や訓練を徹底して行われなければならない。高張力鋼の水圧鉄管管胴本体への大々的な使用は中国国内では初めての経験である為、鋼材の外国からの輸入に合わせて、溶接施工、検査等に関する教育、訓練を実績の豊富な外国の専門企業に依頼することを勧告する。

#### (6) 上部池遮水壁および初期充水に関する調査

上部調整池の基本設計は、これまでに十分な調査と検討がなされており、設計、施工に関する細部を除けば概ね問題はない。

アスファルト表面遮水壁型ダムで特に注意すべき点は、遮水壁の基盤となる堤体の沈下と、遮水壁の舗設技術にあり、施工が悪いと思われぬ漏水の原因となることがある。従って、詳細設計に当たっては池曲面部の機械施工や遮水壁とコンクリート構造物との接合部など、極力施工性の良い構造を採用するとともに、事前に現地で試験舗設を実施することによってアスファルトの配合、そして施工機械を決定する必要がある。

#### (7) 経済評価および財務分析

経済評価については、中国で実施しているもののうち想定運用方法等、一部見直し再検討した結果問題ないと判断できる。また財務分析についても、現在考えられている電気料金で検討した結果問題はない。

# I 章 總 論

## 1. 概 要

### 1.1 概 要

十三陵揚水発電開発計画は、中国政府が推し進める第7次5か年計画などの経済開発計画下で成長する中国経済（88年のGNP成長率11.2%）を支えるものとして、急激に増加する電力需要に対処するためのものである。特に本計画が位置する北京地域は、電力の需給バランスが逼迫している状態が続いており、新規電源の建設が精力的に行なわれている。

現在に於ける京津唐系統の設備容量は、約7,600MWを有しているが、その電源構成をみると、80%以上が石炭火力であり、水力発電所は使用しているダムほとんどが多目的ダムである事から期待できるピーク容量は全設備の5%程度しかない。この事から供給設備の効率的な組み合わせによるベース分及びピーク分の分担が重要かつ、緊急な問題として懸念される。この問題を解消し、変動する負荷に合わせて効率良く電力を供給するためには、十分な容量を持つピーク型発電所が必要となるが、北京付近には大型の一般水力発電所建設地点はないため大容量化が容易で、負荷追随特性の優れた揚水発電所が必要になってくる。十三陵揚水発電所は、大電力消費である北京からわずか40kmしか離れておらず、重要なピーク対応電源としてその開発が急がれている発電計画である。

なお、本計画は、放水口など既に着工している設備もある。完全ではないが、フィージビリティ調査については中国が既に実施しており、本調査は、このF/S調査に対する補足調査と位置づけられている。このため、揚水計画の基本である経済的電力需給運用の分析を行うことにより本揚水発電所の運用を見極めた上で、基本仕様の確立が急がれる。さらに本フィージビリティ調査では中国において比較的経験の少ない技術的事項に関する調査に加え、本プロジェクトが客観的にフィージブルであることを立証するための補足調査が求められている。

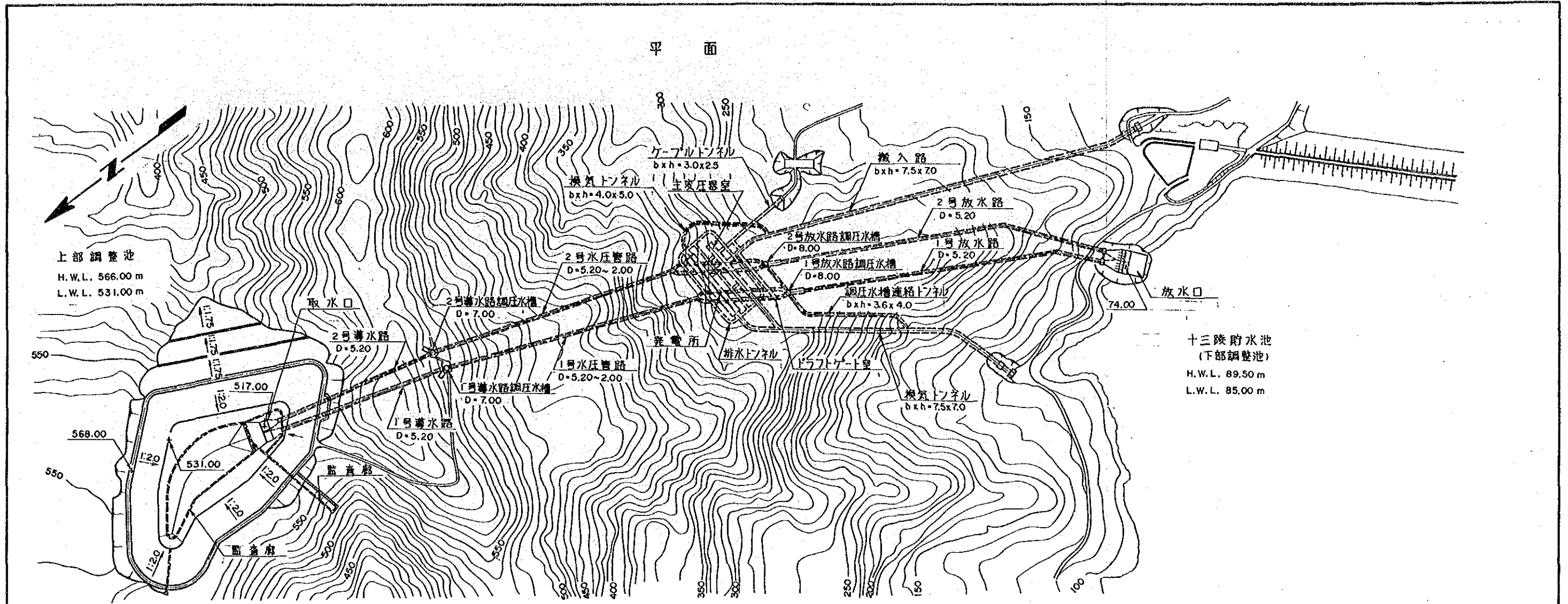
## 1.2 計画概要

### 1.2.1 計画概要

十三陵揚水発電計画は北京北方40kmに位置し、1958年に洪水調節と灌漑を主目的として建設された十三陵貯水池を下池として利用し、同貯水池左岸の山頂に有効貯水容量 $3.81 \times 10^6$  m<sup>3</sup>の掘込式調節池を土池として設け、得られる落差430mを利用して最大出力800MWの揚水発電を行う計画である。

北京地域の電力供給力増強のための揚水発電所の検討は1974年から開始され、本計画地点を含めて20ヶ地点について比較検討がなされてきたが、本十三陵揚水発電計画地点が電力需要地域に近く、かつ経済性も高いことから最優先プロジェクトとして選定され、1980年より北京勘测设计院によってフィージビリティ調査が実施された。

図-1.1及び表-1.1に十三陵揚水発電計画の概要を示す。



縦断面 (1号管路)

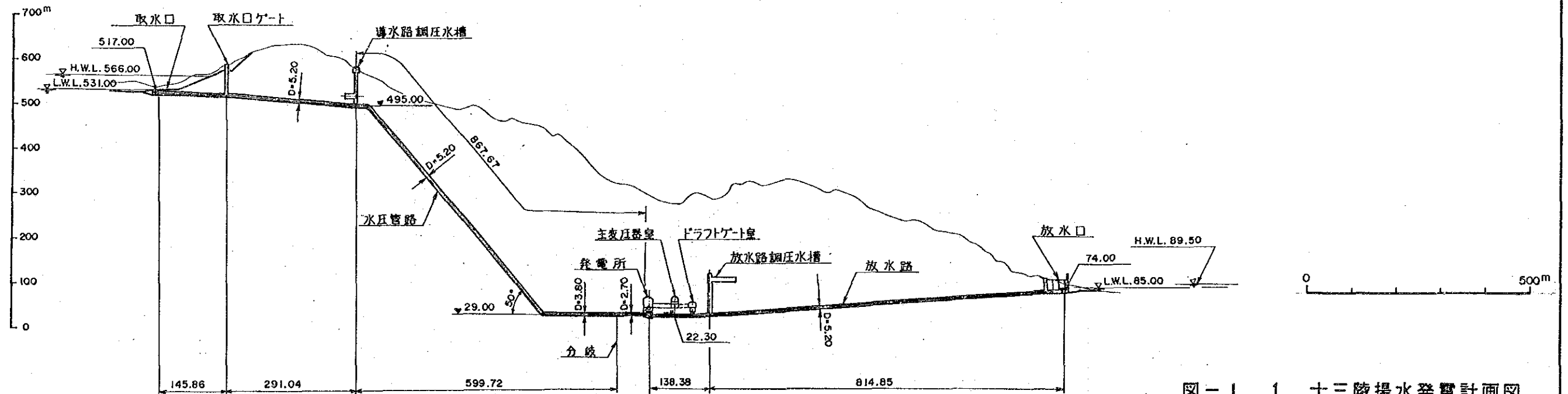


図-1.1 十三陵揚水発電計画図



表 - 1.1 十三陵揚水発電計画概要

【位置】	北京北方40km		
【下池】	流域面積	: 223 km <sup>2</sup>	
(十三陵貯水池)	ダム型式	: 傾斜土質コア型ロックフィルダム	
	堤高×堤頂長	: 29m×627m	
	洪水水位	: 102.83m	
	常時満水位	: 89.50m	
	低水位	: 85.00m	
	総貯水容量	: 81.0×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
	有効貯水容量	: 33.36×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
【上池】	流域面積	: —	
	ダム型式	: アスファルト表面遮水壁型ロックフィル・ダム	
	堤高×堤頂長	: 120.0m×463.9m	
	満水位	: 566.00m	
	低水位	: 531.00m	
	総貯水容量	: 4.01×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
	有効貯水容量	: 3.81×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
【導水路】	形式	: 円形圧力トンネル	
	条数	: 2条	
	内径×長さ	: 5.2m×388/399m	
【サージタンク】	形式	: 制水口型水室式	
	個数	: 2個	
	内径×高さ	: 7.0m×5.7m	
【水圧鉄管】	形式	: 斜坑埋設	
	条数	: 2条	
	内径×長さ	: 5.2m-3.8m×824.0/783.6m	
【発電所】	形式	: 地下式	
	幅×高×長	: 20.7m×44.6m×149.0m	
	単機容量×台数	: 200MW×4台	
【サージンバー】	形式	: 制水口型水室式	
	個数	: 2個	
	内径×長さ	: 8.0m×87m	
【放水路】	形式	: 円形圧力トンネル	
	条数	: 4条-2条	
	内径×長さ	: 4.0m×141/154m — 5.2m×780/840m	
【開発計画】		発電時	揚水時
	有効落差(最大/最低/基準)	: 477.1/416.1/430.0m	490.5/438.4m
	使用水量(最大/最低/基準)	: 192/212/217m <sup>3</sup> /s	150/180m <sup>3</sup> /s
	出力(最大/最低/基準)	: 816/772/816MW	791/848MW
	ピーク継続時間	: 5時間	

### 1.3 調査の目的、範囲、調査内容

#### 1.3.1 調査の目的

本調査の目的は、十三陵揚水発電開発計画に関し、中国側が実施したフィージビリティ調査に係る補足調査（現地調査及び国内作業）を実施し、本件調査報告書を作成することにある。また、この調査の実施中、中国側カウンターパートに対し技術移転を行う。

#### 1.3.2 調査対象地域

十三陵ダム及びプロジェクト関係地域。

#### 1.3.3 調査の範囲

フィージビリティ調査（補足調査）

#### 1.3.4 調査内容

調査内容は次の通りである。

- (1) 揚水発電所運用パターンに関する調査
  - (a) 中国側実施の運用パターン策定結果の検討
  - (b) 運用パターンの経済性への影響の検討
  
- (2) 下部ダムの漏水防止対策に関する調査
  - (a) 現地踏査による現状分析
  - (b) 地下水を含めた水文地質資料の収集分析
  - (c) 現在の十三陵貯水池の経年の運用状態分析
  - (d) 前回改修結果と今回対策案の解析を含めた検討
  - (e) 現在案の評価と必要であれば追加対策の検討

- (3) 地下発電所掘削管理システムに関する調査
  - (a) 現地踏査による現状分析
  - (b) 地質調査及び岩盤試験資料の収集把握及びその吟味
  - (c) 現地点における地下空洞設計の把握と今後の方針策定
  - (d) 各掘削段階における岩盤変位及び応力分析の予測解析
  - (e) 地下空洞掘削管理のモニタリングシステムの策定
  - (f) 必要であれば追加地質調査の提案
  
- (4) ポンプ水車設備の機械特性に関する調査
  - (a) 計画の関連地点特性の分析
  - (b) 可逆式ポンプ水車の技術動向の調査
  - (c) 計画に整合した最適のポンプ水車機械特性の策定
  - (d) 予備設計仕様の策定
  
- (5) 高落差大容量水圧鉄管に関する調査
  - (a) 計画の関連地点特性の分析
  - (b) 高張力鋼を使用した水圧鉄管の技術動向の調査
  - (c) 概略設計に基づく使用鋼材及び現場溶接方法に関する調査
  - (d) 予備設計仕様の策定
  
- (6) 上部池遮水壁及び初期充水に関する調査
  - (a) アスファルト遮水壁の技術動向の調査と施工方法に関する検討
  - (b) 上部池初期充水方法と主機設計の関係に関する調査

## 1.4 現地調査業務および参加者リスト

### 1.4.1 現地調査業務

本調査団は、1990年7月5日～7月末日の詳細打ち合わせの他に、下記現地調査を実施した。

- (1) 発電所換気トンネル、搬入路トンネル調査
- (2) 下池周辺調査
- (3) 地下発電所調査横坑調査
- (4) 上池周辺調査
- (5) 白河堡導水路調査
- (6) 天津発電機工場他訪問

### 1.4.1 調査目標

調査日程は表-1.2に示す通りである。

今回の調査に直接関係した技師は下記の通りである。

### 1.4.3 参加者リスト

#### (1) 華北電業管理局及び北京勘测設計院

刘 学忠	先生	華北電業管理局
趙 真	先生	華北電業管理局
黄 宣范	先生	華北電業管理局
李 学武	先生	華北電業管理局
孙 树良	先生	華北電業管理局
谷 顯友	先生	華北電業管理局
刘 丽栗	先生	華北電業管理局
張 文心	先生	華北電業管理局
張 衡謙	先生	華北電業管理局
徐 明	先生	華北電業管理局
王 官振	先生	北京勘测設計院
潘 天縁	先生	北京勘测設計院
崔 詩礼	先生	北京勘测設計院

李 庆元	先生	北京勘测设计院
朱 尔容	先生	北京勘测设计院
邱 景安	先生	北京勘测设计院
江 泽沐	先生	北京勘测设计院
張 雲	先生	北京勘测设计院
黃 鐘槽	先生	北京勘测设计院
劉 金林	先生	(通 訊)
張 桂芝	先生	(通 訊)
佟 仁杰	先生	(通 訊)

(2) J I C A 調 查 團

團 長	森 本 時 夫
土 木 設 備 設 計	田 代 襄 二
”	堀 正 幸
地 質	津 田 延 裕
水 文	飯 野 勝 衛
系 統 解 析	境 武 久
電 力 設 備	田 中 利 夫
經 濟	竹 若 弘 一

表 - 1.2 調査日程表

日順	月/日	曜日	行 程	調 査 業 務 の 概 要
1	7 / 5	木	成田～北京	成田出発 北京着
2	6	金	北京	表敬訪問：日本大使館、JICA事務所、華北電管局
3	7	土	華北電業管理局	業務着手報告書、収集資料、質問事項提出、説明
4	8	日		資料整理
5	9	月	華北電業管理局	華北電管局より現況説明
6	10	火	十三陵サイト	下池周辺、換気トンネル、搬入路トンネル調査
7	11	水	〃	上池周辺調査
8	12	木	〃	地下発電所調査横坑調査
9	13	金	華北電業管理局	下池及び電力設備に関する技術打合せ及び資料収集
10	14	土	〃	〃 〃
11	15	日		資料整理
12	16	月	華北電業管理局	下池及び電力設備に関する技術打合せ及び資料収集
13	17	火	〃	発電所、上池及び電力設備 〃 〃
14	18	水	〃	上池、水圧鉄管及び電力設備 〃 〃
15	19	木	〃	発電所及び電力設備 〃 〃
16	20	金	〃	上池、水圧鉄管及び電力設備 〃 〃
17	21	土		資料整理
18	22	日		〃
19	23	月	華北電業管理局	水圧鉄管及び電力設備に関する技術打合せ及び資料収集
20	24	火	〃	上池、水圧管路及び電力設備 〃 〃
21	25	水	北京	JICAへ中間報告
22	26	木	北京勘测設計院	上池、地下発施工及び電力設備に関する討議
23	27	金	華北電業管理局	計画全体に関する打合せ及び議事録作成
24	28	土	北京～天津	天津発電設備総覧視察
25	29	日		資料整理
26	30	月	北京	議事録調印、JICAへ報告、大使館表敬
27	31	火	北京～成田	北京発 成田着

## 2. 計画地域の地形・地質概要

### 2.1 地 形

中国の東部地方は、北京市の北方を東西方向に走る燕山山脈および陰山山脈と、黄河の南側を東西方向に走る秦嶺山脈により、北側から順に東北地域、華北地域、華南地域の三地域に分けられる。計画地域は、これらのうち華北地域北端部の燕山山脈から西南西方向に派生する軍都山地と、その南側に広がる華北平原との境界部に位置している。

既設の十三陵ダムが位置する東沙河は、軍都山地の燕羽山（標高1276m）、八達嶺（標高1015m）等を水源地としてダム地点を南流し、計画地域の約14km南（北京市街の約36km北）で北沙河、南沙河と合流し、温榆河となる。温榆河はさらに南下し、北京市街の東側を通過して永定河と合流した後、海河となり天津市を通過して渤海湾に注いでいる。

本揚水計画の下池となる既設の十三陵貯水池は、東沙河の上流部に位置し、その周囲は、貯水池上流端付近を中心とする標高90-120mの盆地を形成している。貯水池の上流にあたる北西-北側から、発電所と上池が計画されている東側にかけては、標高200-800mの山地、南および西側は標高200-300mの残丘とそれらを取りまく沖積平野からなり、さらに南側には華北平原が広がっている。また、貯水池上流端付近には、沖積層で埋められた東沙河の旧河道が、盆地中央部付近から南南西方向に延び、北沙河上流部付近に至っている。

### 2.2 地 質

本計画地域周辺には、表-2.1に示すように先カンブリア時代の長城紀、薊県紀、青白口紀の石灰質岩石、砂岩、及び頁岩、古生代カンブリア紀の石灰岩、中生代ジュラ紀の礫岩、安山岩類と、これら基盤岩類を覆う厚い第四紀層が分布している。基盤岩類は、一般に東沙河にはほぼ直交する北東-南西方向の走向をなし、下流側南東方向に傾斜している。先カンブリア時代の地層は、十三陵貯水池の上流域から貯水池中流部にかけて分布し、その南東側（下流側）には古生代カンブリア紀の地層が分布している。図-2.1に示すように中生代ジュラ紀の地層は、カンブリア紀の地層のさらに南東側に分布し、十三陵ダムの基礎、および本揚水計画の上部調整池、発電所、導水路トンネル経過地を構成している。このカンブリア紀の地層とジュラ紀の地層は不整合の関係

で接している。第四紀層は、東沙河沿いと、貯水池上流端から南南西方向に延びる旧河道沿いに厚く堆積しており、その厚さは最大で150mに達している。

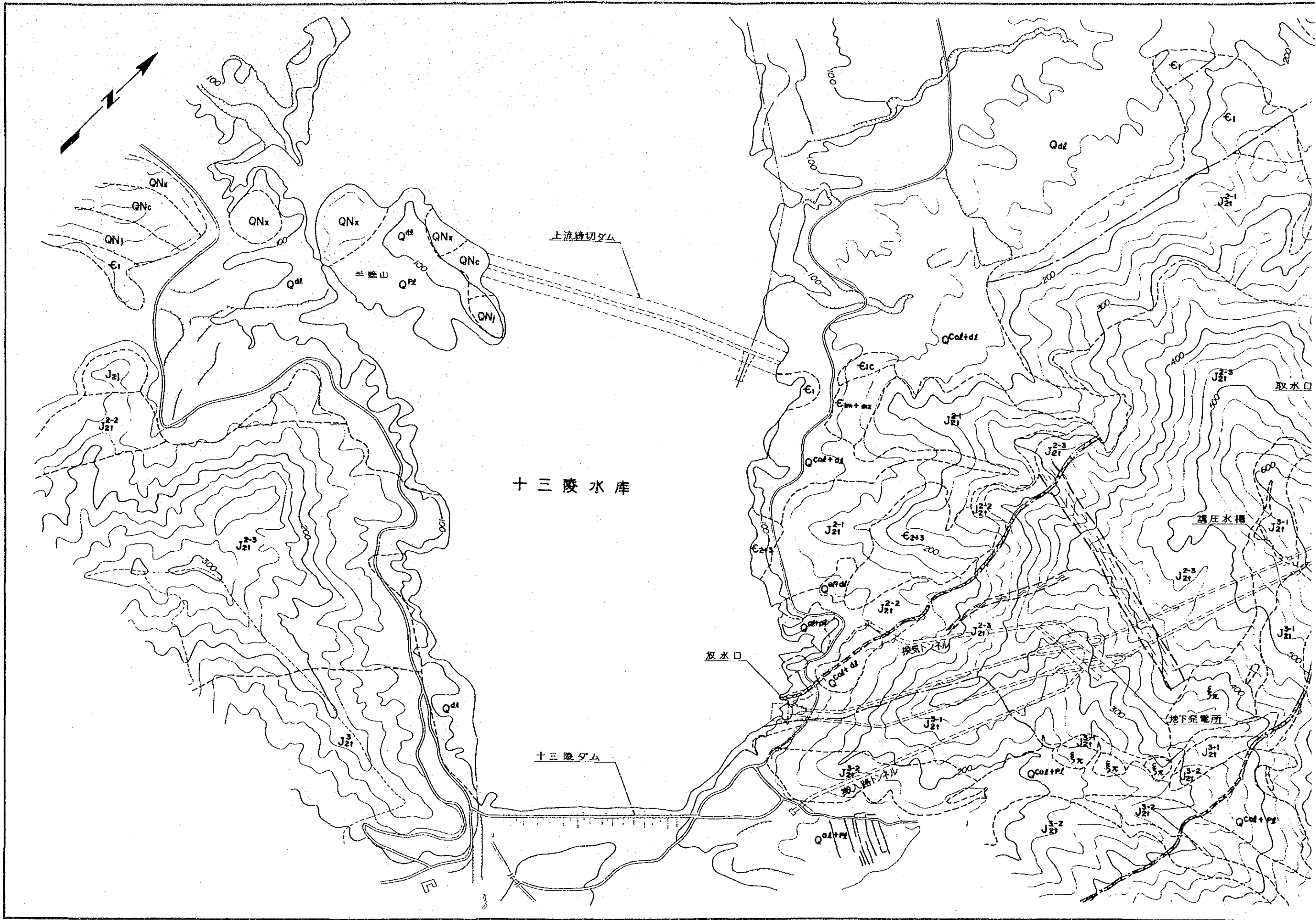
計画地域周辺に分布するおもな断層としては、計画地域の北西約8kmを北東から南西に走る南口山前断層、計画地域の南西約7kmを北西から南東に走る南口孫河断層がある。計画地域内には、これら主要な断層とほぼ平行な北北東-南南西方向と、西北西-東南東方向の断層が発達している。

本地域の地史は以下のようにまとめられる。この地域周辺には先カンブリア紀から古生代カンブリア紀にかけて、主として炭酸塩岩石が厚く堆積した。その後、オルドビス紀以降にこの地域は隆起上昇し、浸食期が長く続いた。中生代ジュラ紀から火山活動が始まり、火山碎屑岩、溶岩が噴出したが、その間、火山活動の休止期には水成の礫岩が堆積した。



表-2.1 計画地域周辺層序

地質時代			地質	分布域	
代	紀	地質記号			
新生代	第四紀	Q	沖積層；砂礫（レンズ状粘土層を挟在） 崩積土及び崖錐堆積物	上部調整池， 下部調整池	
中生代	ジュラ紀	J <sub>21</sub> <sup>4</sup>	複成礫岩	計画地域外	
		J <sub>21</sub> <sup>3</sup>	J <sub>21</sub> <sup>3-3</sup>	安山岩	同上
			J <sub>21</sub> <sup>3-2</sup>	安山岩，溶岩角礫岩	上部調整池，取水口トンネル，下部調整池
			J <sub>21</sub> <sup>3-1</sup>	安山岩質角礫岩	取水口トンネル
		J <sub>21</sub> <sup>2</sup>	J <sub>21</sub> <sup>2-3</sup>	複成礫岩	地下発電所，水路
			J <sub>21</sub> <sup>2-2</sup>	安山岩質角礫岩，安山岩	放水口トンネルの一部
			J <sub>21</sub> <sup>2-1</sup>	凝灰質角礫岩，凝灰岩	下部調整池左岸
		J <sub>21</sub>	凝灰質角礫岩	下部調整池	
古生代	カンブリア紀	C <sub>3</sub>	苦灰岩質石灰岩，石灰岩（頁岩挟在）	下部調整池左岸の一部	
		C <sub>2</sub>	鱗状石灰岩	同上	
		C <sub>1</sub>	石灰岩（豹皮状）	同上	
先カンブリア時代	青白口紀	Q <sub>N1</sub>	苦灰岩質石灰岩，泥灰岩	下部調整池上流締切ダム	
		Q <sub>Nc</sub>	石英砂岩	同上	
		Q <sub>Nx</sub>	頁岩，石英砂岩	同上	
	薊野県	紀	J <sub>x1</sub>	苦灰岩質石灰岩	計画地域外
			J <sub>xh</sub>	粘板岩，頁岩	同上
			J <sub>xw</sub> <sup>4</sup>	苦灰岩質石灰岩	同上
			J <sub>xw</sub> <sup>3</sup>	苦灰岩	同上
			J <sub>xw</sub> <sup>2</sup>	苦灰岩	同上
			J <sub>xw</sub> <sup>1</sup>	苦灰岩	同上
			J <sub>xv</sub>	苦灰岩	同上
	長城紀	C <sub>hc</sub> <sup>3</sup>	珪質苦灰岩	同上	
C <sub>hc</sub> <sup>2</sup>		石灰岩質苦灰岩	同上		



要約版

十三陵水库

十三陵ダム

上流轉切ダム

半鹿山

取水口

調圧水槽

取水口

換気ノル

地下発電所

換気ノル

換気ノル

換気ノル

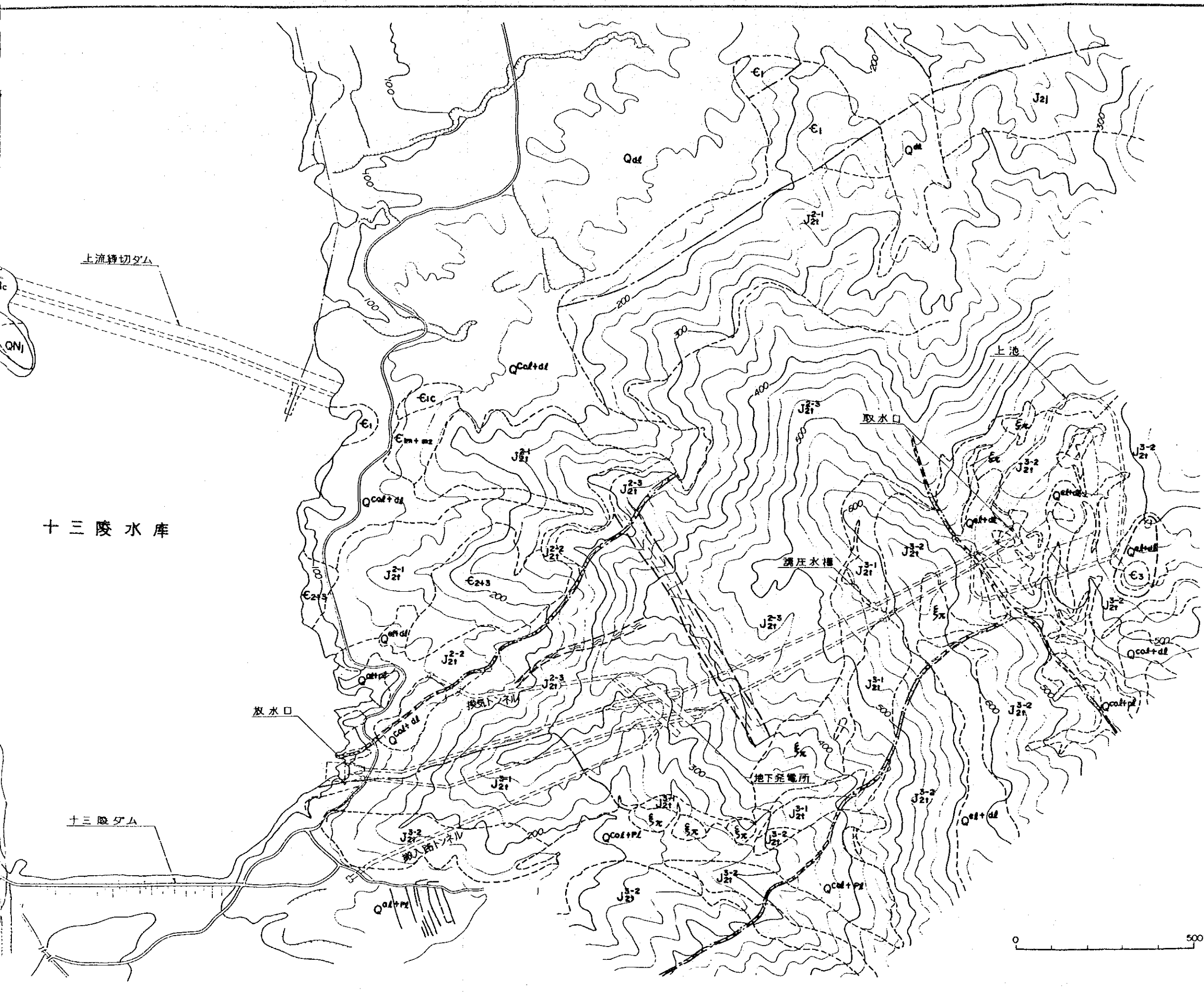
換気ノル

換気ノル

換気ノル

換気ノル

換気ノル



- 凡例
- Q<sup>al</sup> 崖錐堆積物
  - 第四紀
    - Q<sup>al+dl</sup> 風化残留土, 崖錐堆積物
    - Q<sup>pl</sup> 洪積層
    - Q<sup>col+dl</sup> 崩積土, 洪積層
  - J<sup>2-2</sup> 熔岩角礫岩, 安山岩
  - J<sup>2-1</sup> 安山岩質角礫岩
  - J<sup>2-3</sup> 礫成礫岩
  - J<sup>2-2</sup> 凝灰岩, 安山岩質角礫岩
  - 紀
    - J<sup>2-1</sup> 凝灰岩, 凝灰角礫岩
    - J<sub>21</sub> 凝灰質礫岩
  - E<sub>3</sub> 石灰岩 (泥質部挟在)
  - カンブリア紀
    - E<sub>2+3</sub> 霏狀石灰岩, 石灰岩 (泥質部挟在)
    - E<sub>1</sub> 石灰岩 (豹皮状)
    - E<sub>com</sub> 頁岩
    - E<sub>1c</sub> 苦灰岩, 石灰岩 (豹皮状)
  - 青白口紀
    - QN<sub>1</sub> 苦灰岩質石灰岩
    - QN<sub>c</sub> 石英砂岩
    - QN<sub>x</sub> 頁岩 (細粒砂岩挟在)
  - V<sub>x</sub> 輝綠玢岩岩脈
  - E<sub>x</sub> 正長斑岩岩脈
  - 地層の走向, 傾斜
  - 地質境界
  - 断層
  - 断層破碎帯
  - 圧縮性断裂帯
  - 引張性断裂帯

十三陵揚水発電開発計画

計画地域一般地質平面

図-2.1 年月

## II 章 技術的検討

## 1. 十三陵揚水発電所運用パターンに関する調査

### 1.1 概要

十三陵揚水発電所が接続される北京系統は、隣接する天津、唐山系統と連系され京津唐系統として、首都北京を中心に天津、唐山地方の全地域内の電力を供給している。

この系統の電源構成は、中国の他の地域と比較して、地理的、気象的条件から水力発電の比率が極端に低いことから、発電電力量の約99%を火力発電所に頼っており、その中でも石炭火力が主体である。この事が後述するとおり十三陵揚水発電所の導入が急がれている最も主要な要因となっている。本調査項目では、このような系統条件に於いて十三陵揚水が支障なく揚水、発電両方向の運転ができるか、またその運用の経済性について検討するものである。

### 1.2 運用パターンの検討

#### 1.2.1 京津唐の需要予想と設備計画

##### (a) 需要予想

京津唐に於ける需要予想は、中国の経済政策と歩調を合わせており、全国レベルとほぼ同様の伸び率を設定している。

具体的には、2000年迄の伸び率をピーク電力で8～8.5%、電力量で7～8%を見込んでいる。この値は既に中国が進める経済政策の基本として決定されているものである事、京津唐系統に直結する各産業セクター別の生産の伸び率が不明確である事、更に歴史的傾向値のバラつきが大である事から、この伸び率をもって本計画の需要予想値の基礎データとして使用する事とする。

##### ○ピーク電力

伸び率については、前述したように既に方針が決定されている8.0～8.5%の内、国家目標のもう一つの指針である2000年に現状の約2倍となる値の8.0%を採用することとした。

##### ○電力量

電力量の伸びについては、7～8%が設定されているが、年平均負荷率の連続性、産業発展による傾向値、需給バランスの正常化による傾向値、世界的なレベルを参考に2000年に負荷率がほぼ70%となるような値として、7.5%を採用した。

## (b) 電源開発計画

現在の需要運用は、供給不足の状況が続いているが、ピーク電力、電力量の伸びと協調をとった最正な電源開発を推し進める事で、供給バランスを図る事が必要である。

### ○設備容量

前述したピーク負荷の想定値と、歴史的な需給バランスを考慮し、1995年には予備率17%、2000年には16.5%を確保するような電源開発計画を策定した。

これは中国が目指している、2000年に現在の約2倍の設備保有の目標値ともほぼ一致している。

### ○電力量

電力量の想定は、設備の定期点検、事故停止時間の合計を約15%とし、それを差し引いた期間での利用率を85%として算出した。その結果2000年以降には14%程度の予備率となっている。(表-1.1 参照)

## 1.2.2 日負荷曲線

本調査で入手したデータを基に、年間365日の日負荷曲線を作成した。その内1995年及び2000年の各季節の代表的な日負荷曲線を図-1.1及び図-1.2に示す。

## 1.2.3 揚水源資

京津唐系統の運用改善策として揚水発電を導入するのは最も現実的な手段であると考えられるが、一般的に年負荷率、日負荷率から判断した場合、揚水発電所を導入するには系統は成熟していないと考える。この事から特に、揚水発電に必要な揚水源資を見極めておく必要がある。この確認手法としては、供給が安定的に運転できる最低出力の合計と、これを下廻る需要予測値の差分を揚水源資として試算した。試算の仮定は以下のとおりである。

負 荷 側：

対 象 年	；	1995年	2000年
対 象 日	；	毎月第3水曜日	毎月第3水曜日
日負荷曲線	；	対象日当日	対象日当日

## 電 源 側 :

(深夜帯)

等価安定最低運転領域 ; 75%又は80% 75%  
限界

(ピーク時)

### ○電源構成

揚水機 ;	定格運転	定格運転
火力機 ;	定格×(Dependable Capa. 0.95)	定格×(Dependable Capa. 0.95)
Spinning Reserve ;	合計火力の3% (火力機負担)	合計火力の3% (火力機負担)
揚水時間帯 ;	23~24時 0~7時 〔ただし、当日の23~24時の 負荷は前日の23~ 24時の負荷と同じ と仮定〕	23~24時 0~7時 〔ただし、当日の23~24時の 負荷は前日の23~ 24時の負荷と同じ と仮定〕
総合揚水効率 ;	73%	73%

算出結果は以下のとおり、

火力最低出力限界	80%	75%
1995年における運転時間	1498時間	1155時間
2000年における運転時間	—	1495時間

となり、概ね初期に目していた運転時間は確保できる事と判断される。

## 1.2.4 発電について

### (1) 十三陵揚水の効果

京津唐系統の日負荷曲線を見ると、午前中(8~12時)、夕刻から夜にかけて(17~22時)負荷が大きく変化している。しかし、この負荷の追従を容易に調整する電源は皆無に等しい。

この時間対帯に、十三陵揚水を投入すれば、最も過酷な条件下での周波数変動、電圧変動の抑制が期待できる。周波数変動の抑制能力を検討するためには、発電機の並列台数、ガバナーフリー運転台数等、詳細な検討を要するが、概算では1995年時点で負荷が約10,000MWの状態、十三陵揚水が600MW付近の運転をしているとすれば、周波数変動抑制能力は約±0.2Hz程度となり、2000年時点でも約±0.14Hzの能力が期待できるものである。

## (2) 発電運用

前項で既に十三陵揚水の揚水源資が確保されている事が検証されたが、この項では予測した負荷曲線で発電方向の運転が支障なく行えるかを検証する。

仮定	1995年	2000年
十三陵揚水発電運転時間帯	8時～12時 17時～22時	8時～12時 17時～22時
十三陵揚水発電運転領域	8時～12時	17時～22時
1～4月	$\Sigma$ 火力発電定格出力×90% ～負荷曲線	$\Sigma$ 火力発電定格出力×90% ～負荷曲線
5～8月	$\Sigma$ 火力発電定格出力×85% ～負荷曲線	$\Sigma$ 火力発電定格出力×90% ～負荷曲線
9～12月	$\Sigma$ 火力発電定格出力×90% ～負荷曲線	$\Sigma$ 火力発電定格出力×90% ～負荷曲線

以上の仮定で計算を行った結果、支障なく発電方向の運転ができる事が判明した。



### 1.3 運用の経済性の影響

前項では、京津唐系統の負荷特性と電源構成の特性から、十三陵揚水発電所が支障なく効率的に揚水運転され、ピーク時に火力発電機に大きく制限を加える事なく発電できる事が判明した。この項では、十三陵揚水がその運用において、経済面すなわち燃料コストにどのような影響を与えるかを検討するものである。

#### 1.3.1 石油火力発電所の燃料コストとの比較

##### (1) 年間運転時間における比較

##### (a) 揚水用電源コスト（揚水源資用石炭火力の燃料費）

揚水用電源は最も標準的で台数も多い300MW石炭火力電源を用いる事とする。

収集したデータによれば、標準的な火力発電所では深夜帯に仮に75%まで出力を下げているとすると、その時の効率は35.5%であり、揚水のために出力を100%に上昇したとするとその時の効率は37.2%である。各々のヒートレイトは、2,422kcal/kgと2,311kcal/kgである。この熱効率を高めた分は全て揚水に還元されるとすると、揚水電源に適用されるヒートレイトは、

$$\frac{(2,311 \times 100 - 2,422 \times 75)}{(100 - 75)} = 1,978 \text{ kcal/kg (43.4\%)} \text{ となる。}$$

京津唐系統で火力発電所を評価するために使用している石炭は、7,000kcal/kgである事から、これによる換算を行えば石炭消費量は0.283kg/kWhとなる。また、十三陵揚水に必要な年電力量は、

$$\frac{800\text{MW} \times 1,500\text{時間}}{0.7308 \text{ (総合効率)}} = 1,642,036 \text{ MWh} \approx 1,642 \text{ GWh} \text{ である。}$$

これに必要な石炭量は次のとおりである。ただし石炭火力の所内は増加のために使用される分を25%とし、定格所内消費量を8%とする。

$$\frac{1,642 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0.283 \text{ kg/kWh}}{(1 - 0.08 \times 0.25)} = 474,169 \text{ ton}$$

これに標準単価（108.67元/ton）を乗じて年間費用を算出すると、  
 $474,169 \text{ ton} \times 108.67 \text{ 元/ton} = 51,528 \text{ 千元}$ となる。

##### (b) 石油火力燃料費

まず揚水発電所が一年間に発生する電力量を求める。この時の所内電力量を1%とすれば、系統に供給される電力量は

800MW × 1,500時間 × (1 - 0.01) = 1,188,000 MWh である。

これと同等の電力量を石油火力がまかなうための発生電力量を求める。なお石油火力の所内電力消費量を4%とすると、

$$\frac{1,188,000 \text{ MWh}}{(1 - 0.04)} = 1,237,500 \text{ MWh} \text{ となる。}$$

今回の調査では石油火力の熱効率のデータは入手できなかったが、一般的に石油火力の効率は石炭より1%程度は高くなるが、起動停止が行われる事、低負荷帯の負荷運転がある事更に、調整用として使用される事から、平均60%~65%程度の出力と仮定すれば、その効率は高く見積もっても35%程度と思われる。

このことから重油の発生熱量を10,700(kcal)/0.93(比重) = 11,500kcal/kg とすると年間消費量は、

$$\frac{1,237,500 \text{ MWh} \times 860 \text{ kcal/kWh}}{0.35 \times 11,500 \text{ kcal/kg}} = 269,328 \text{ ton}$$

となる。

これを費用換算するために標準価格211.06元/tonを用いると、年間燃料費は、  
269,328 ton × 211.06 元/ton = 56,841,361 元となる。

### (c) 燃料費比較

(a)、(b)で試算した燃料の差は、

55,806 千元 - 51,528 千元 = 4,278千元となり、わずかではあるが揚水発電所が有利となっている。

## (3) シミュレーションによる経済性の検討

### (a) シミュレーションの概要

前項では、系統側から必要性の検討を行ったが、この運用でどの程度の経済メリットが出るかを検証する。

この計算には、揚水発電所運用の需給シミュレーションを使用した。このシミュレーションの方法は、与えられた電源構成で、最も経済的に需要をカバーする電源の構成を作成し、揚水機無のケースと、揚水機有の場合の燃料費をそれぞれ算出し比較するものである。このシミュレーションに用いられる主なデータは以下のものである。

- ・システム全体
  - 日負荷曲線
  - 定期点検スケジュール
- ・火力機
  - 最低負荷
  - 各負荷における燃料費
  - 起動費
- ・一般水力
  - 月別MWh
  - ピーク容量
- ・揚水機
  - 池容量
  - 定格出力
  - 総合効率

(b) 計算結果

このシミュレーションは毎月第三水曜日の日負荷曲線を用いて検証したが、定期点検スケジュールによる影響が大きく、ばらつきはあるが、運開目途年において、平均1日当たり約 $19 \times 10^3$  元/日の燃料費の削減となっている。

## 1.4 系統解析

十三陵揚水発電所の運用が過負荷、電圧低下等電力系統上ネックを生じないか、また送電線事故時において系統に接続される全ての発電機がどの程度で安定状態に戻るかを解析し、十三陵揚水発電計画導入が問題無いかを検討した。

### 1.4.1 ピーク時の潮流計算

電源開発計画に沿って220kV以上の送電線に接続される発電所の供給、需要データを投入して、1995年時点の潮流計算を実施した。その時点での潮流図を図-1.3 に示す。これによれば、特に問題はないが天津系統の任丘変電所で電圧低下が9%程度とやや大きく、またアンクルも $14.3^{\circ}$  elとなっている他は全て問題は無い。これは電源が偏りがなく適度に配置されているのが最も大きな理由であり、送電線にもかなりの余裕があることによるものである。

### 1.4.2 事故シミュレーション結果について

十三陵揚水は、500kV昌平変電所から送電線で6kmしか離れておらず、深夜帯の電圧低下もこの変電所の母線電圧を健全に維持できれば問題無いと思われる。この事から、十三陵揚水発電所がほぼ定格運転を行っている条件で、十三陵発電所出口と昌平変電所の500kV側送電線で1回線3LGを事故模擬して検証を行った。

この結果を図-1.4～5 に示す。図-1.4 は、十三陵出口220kV送電線地点での事故であるが、主要発電機は、ほとんど影響を受けておらず問題はない。同じく図-1.5 は昌平出口550kV送電線での事故ケースであるが、これも同じく問題無い。ただし、今回の解析に必要な主要データについては入手したが、一部発電機の定数等は標準値を用いて実施しているので、これらに関する諸データの他、深夜軽負荷時のケースについても、データを収集し機会があれば、チェックする事が望ましい。

## 1.5 まとめ

運転時間については、十三陵揚水は初期に目論んだ時間程度は確保できるものであり、電力系統の質改善に大きく貢献するものである。

火力機については運転カーブが平滑化され、機器にとって最も適しているフラット運転に近い運用ができる事から、実質的な耐用年数の延伸に寄与するものである。

しかし、揚水発電の運用は、日々の負荷曲線に大きく左右される事から、この揚水発電所の運用について、更に検討を重ねる必要がある。この観点から今後日々の運転データの収集に努めるとともに、これらのデータの分析を行い、実用面からみた京津唐における最も効率的な揚水発電所の運用を確立する必要がある。

揚水の経済的メリットについては、年間で見した場合と、需給シミュレーション両面から実施した結果、さほど大きくはないがこれを確認した。

しかし年間で計算した結果石油火力の効率は、もう少し低いものと予想される事、需給シミュレーションでは、更に最適な停止計画を立てられる可能性がある事その他、石炭、石油の価格動向を類推すればこのメリットはもっと大きくなるであろう。

また、潮流計算系統解析結果については、全く問題はないが計画変更や需給の予測と大きく違った場合については改めて検討する必要もある。

表-1.1 京津唐系統の需要予測と設備計画

Demand Data for Ming Tombs Pumped Storage Project

Year	Summer		Winter		Energy Grth ( GWh )	Load F. Rate Load F. ( % )	Required Supply Capacity ( MW )	Supply Energy ( GWh )	Reserved Margin Capacity ( % )	Margin Energy ( % )
	P.Demand ( MW )	Grth.Rate ( % )	P.Demand ( MW )	Grth.Rate ( % )						
1980	3813		3730		26096	78.13	4683	32053	25.6	22.8
1981	3936	3.23	3913	4.91	26508	76.88	4683	31542	19.7	19.0
1982	3929	-0.18	3998	2.17	27135	77.48	4817	32696	20.5	20.5
1983	4112	4.66	4832	20.86	26272	62.07	4634	25197	-4.1	-4.1
1984	4234	2.97	4634	-4.10	28663	70.61	4834	29902	4.3	4.3
1985	4321	2.05	4503	-2.83	31348	79.47	4824	33579	7.1	7.1
1986	4419	2.27	4974	10.46	35246	12.43	5061	35859	1.7	1.7
1987	4932	11.61	5651	13.61	39512	79.82	5201	36362	-8.0	-8.0
1988	5330	8.07	5851	3.54	42759	83.42	5826	42573	-0.4	-0.4
1989	5718	7.28	6360	8.70	41389	74.29	7600	47497	19.5	14.8
1990	6175	8.00	6869	8.00	44493	73.94	8036	50228	17.0	12.9
1991	6669	8.00	7418	8.00	47830	73.60	8679	54246	17.0	13.4
1992	7203	8.00	8012	8.00	51417	73.26	9374	58586	17.0	13.9
1993	7779	8.00	8653	8.00	55274	72.92	10124	63273	17.0	14.5
1994	8402	8.00	9345	8.00	59419	72.59	10934	68335	17.0	15.0
1995	9074	8.00	10093	8.00	63876	72.25	11808	73802	17.0	15.5
1996	9800	8.00	10900	8.00	68666	71.91	12698	79365	16.5	15.6
1997	10584	8.00	11772	8.00	73816	71.58	13714	85714	16.5	16.1
1998	11430	8.00	12714	8.00	79353	71.25	14811	92571	16.5	16.7
1999	12345	8.00	13731	8.00	85304	70.92	15996	99977	16.5	17.2
2000	13332	8.00	14829	8.00	91702	70.59	17276	107975	16.5	17.7
2001	14266	7.00	15719	6.00	97204	70.59	18077	111172	15.0	14.4
2002	15264	7.00	16662	6.00	103036	6.00	19161	117843	15.0	14.4
2003	16333	7.00	17662	6.00	109218	6.00	20311	124913	15.0	14.4
2004	17476	7.00	18722	6.00	115771	6.00	21530	132408	15.0	14.4
2005	18699	7.00	19845	6.00	122718	6.00	22822	140353	15.0	14.4
2006	20008	7.00	21036	6.00	130081	6.00	24191	148774	15.0	14.4
2007	21409	7.00	22298	6.00	137886	6.00	25642	157700	15.0	14.4
2008	22907	7.00	23636	6.00	146159	6.00	27181	167162	15.0	14.4
2009	24511	7.00	25054	6.00	154928	6.00	28812	177192	15.0	14.4
2010	26227	7.00	26557	6.00	164224	6.00	30540	187824	15.0	14.4

Figure 1.1 Daily Load Curve

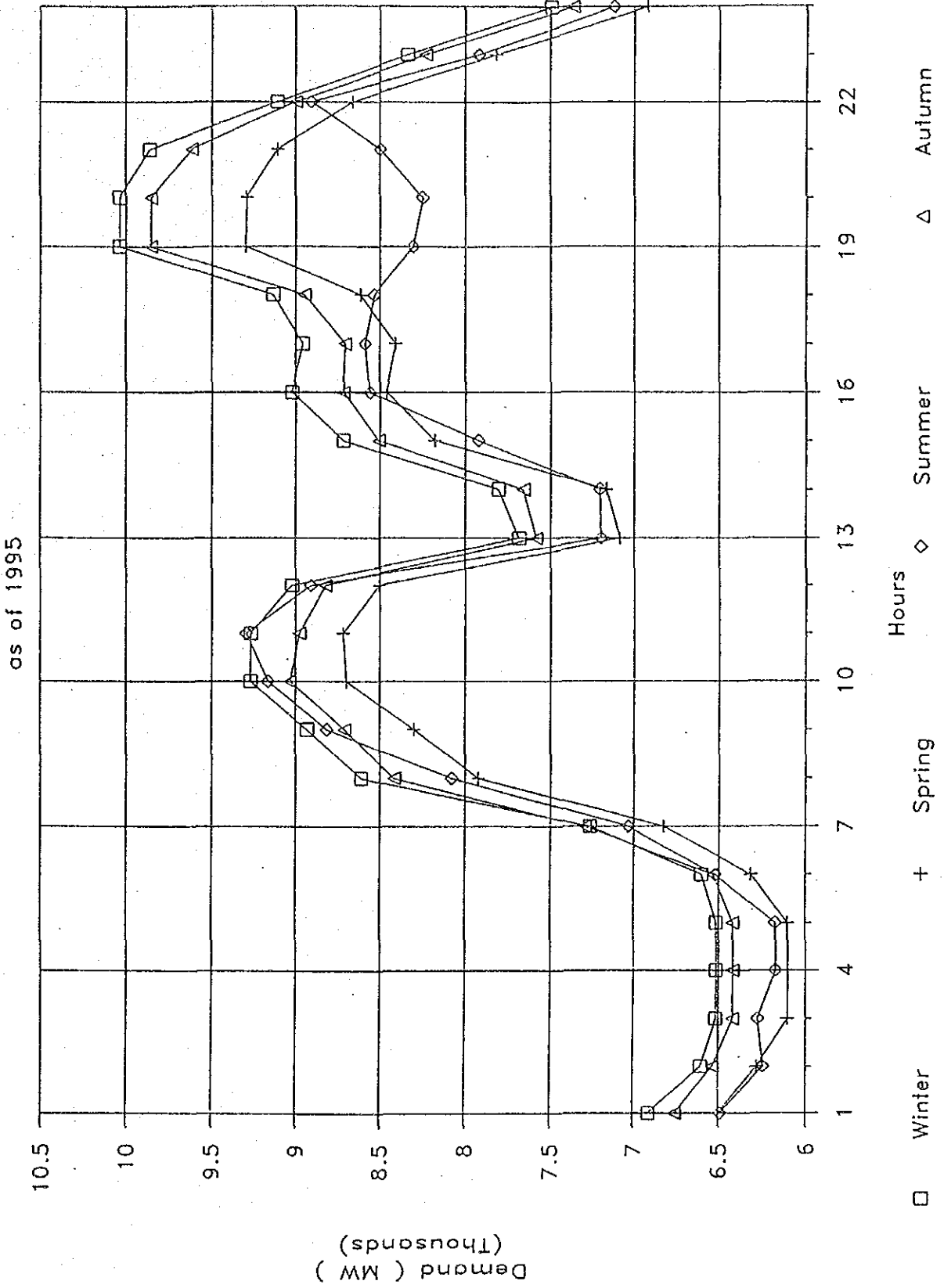
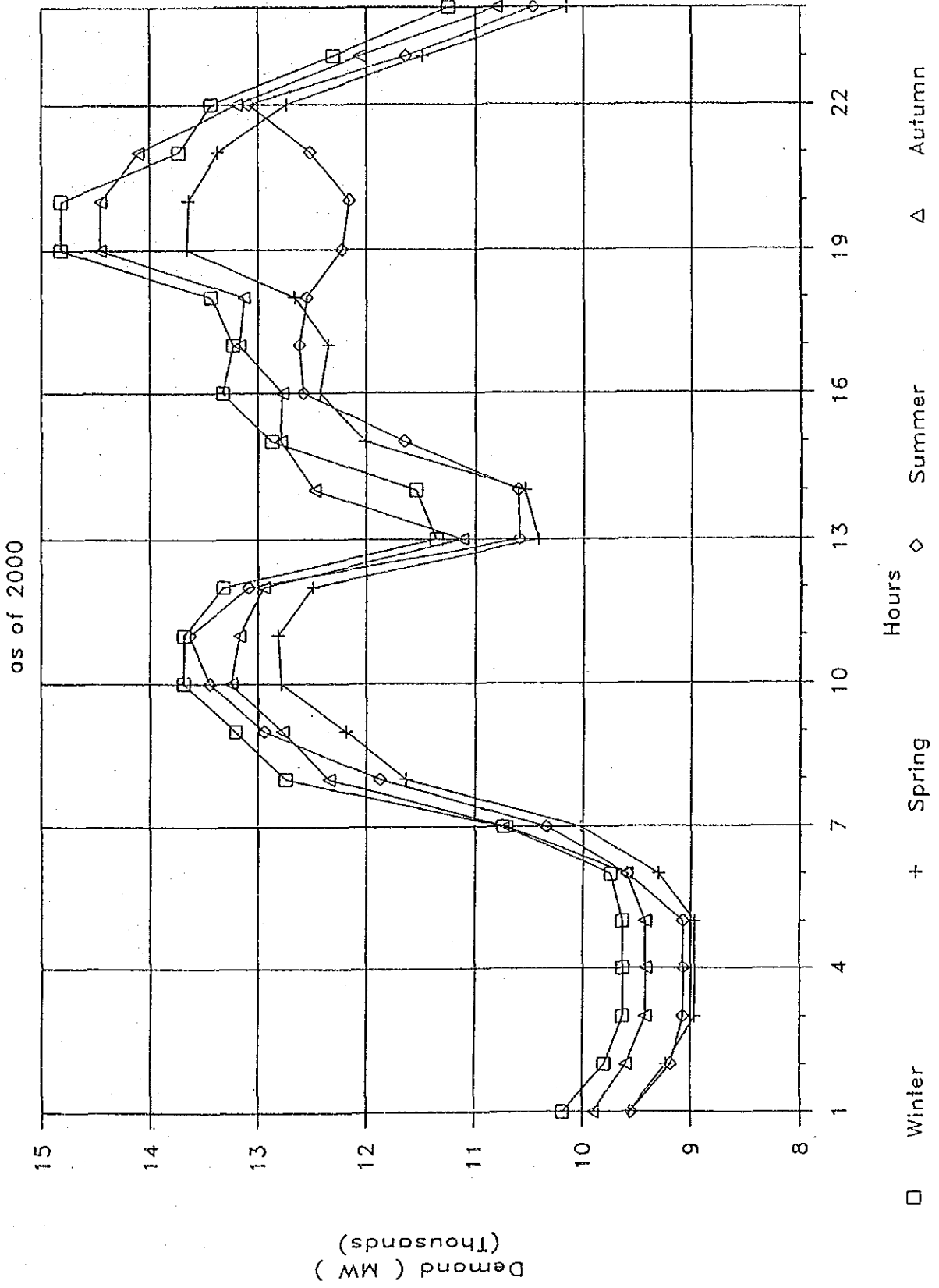
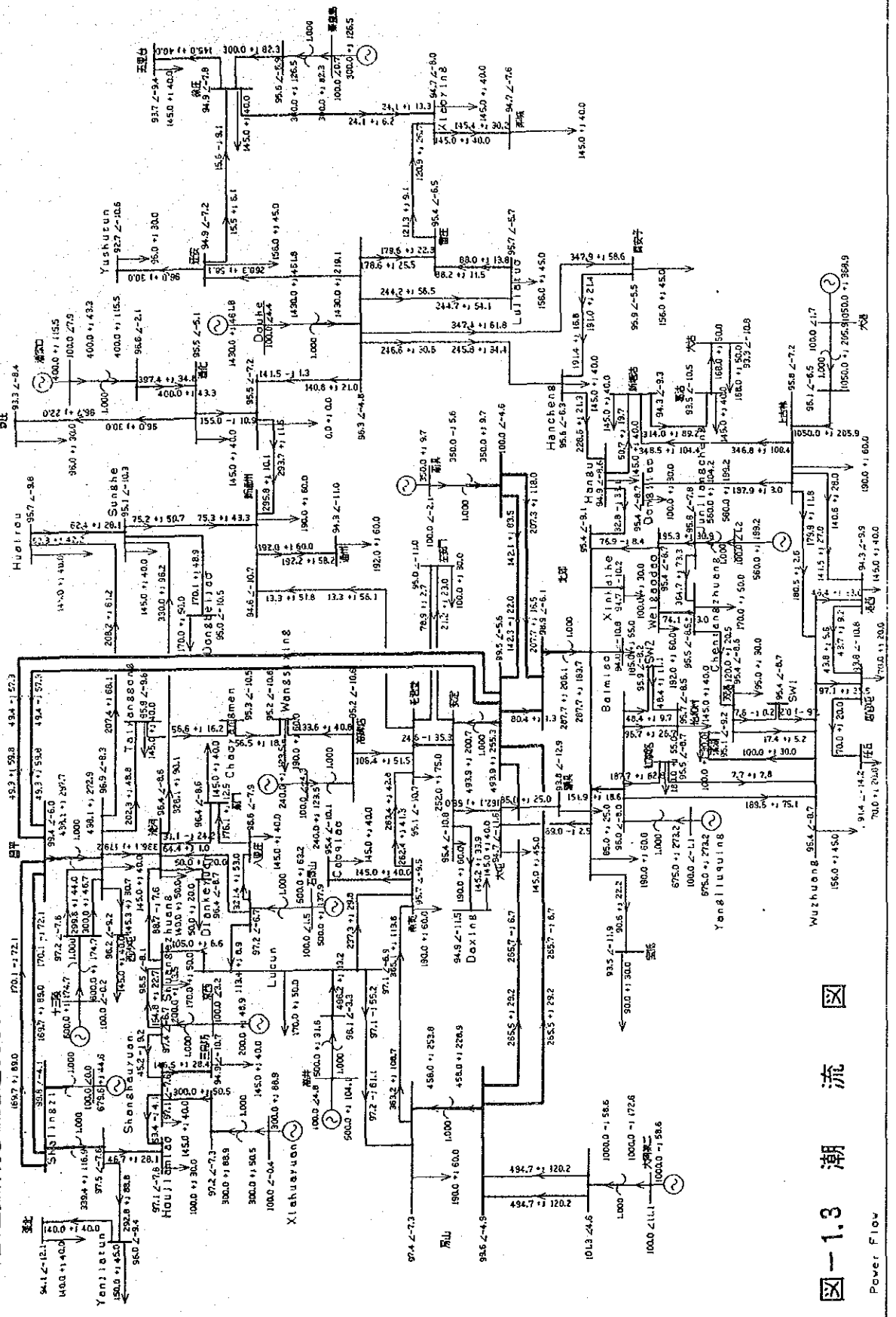


图-1.2 Daily Load Curve







图一1.3 潮流图

Power Flow

十三陵(220KV) 1 回線地絡

Code	Term	Case	Type	Max	Min
1	SHALIN-G	SHALINGZ	G	0.000	0.000
2	WESTER-G	京西	G	22.865	3.417
3	DATONG-G	大同第二	G	32.591	19.404
4	PANJIA-G	潘家口	G	2.504	-14.323
5	SHISAN-G	十三陵	G	-8.402	-20.664

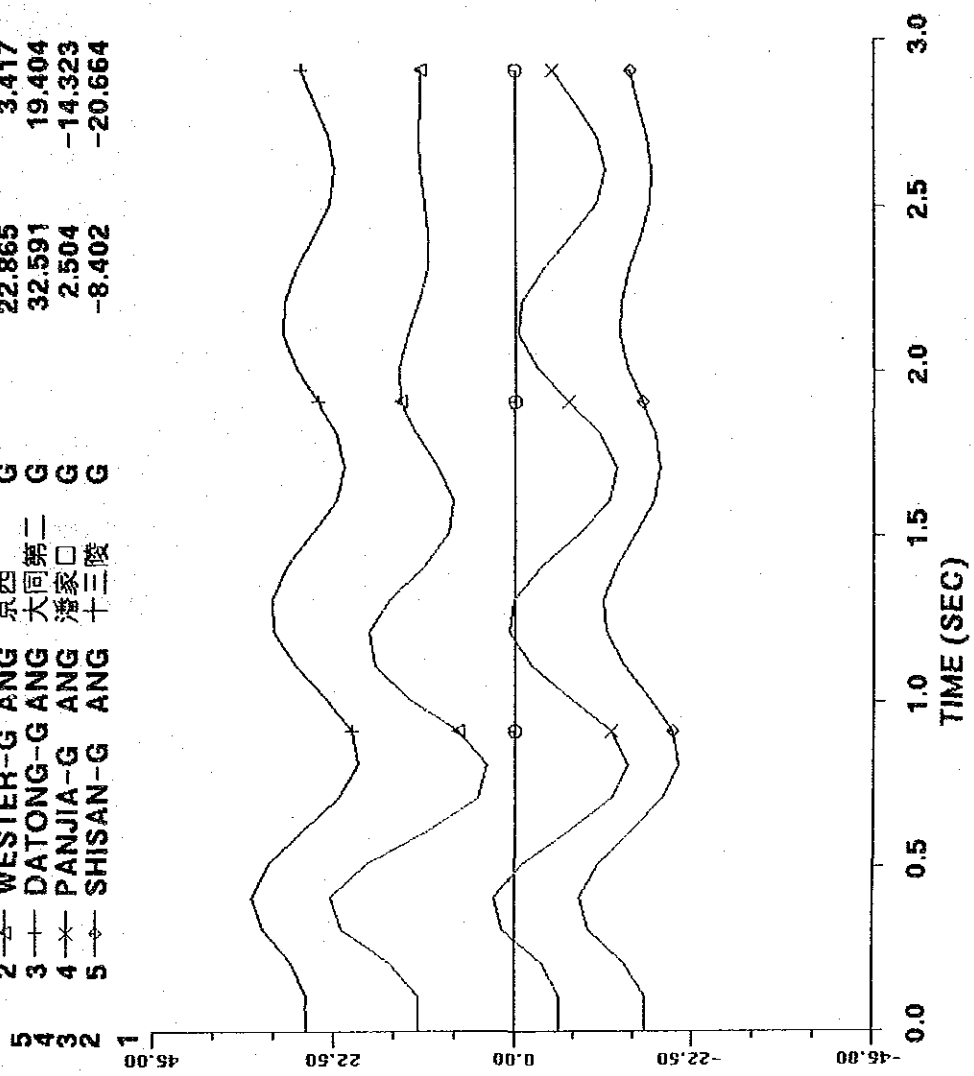


圖-1.4 事故解析 ( 220kV - 1 )

昌平(500KV) 1回線地絡

Code	Term	Case	Type	Max	Min
1	SHALIN-G	SHALINGZ	G	0.000	0.000
2	WESTER-G	京西	G	20.113	2.229
3	DATONG-G	大同第二	G	30.835	16.917
4	PANJIA-G	潘家口	G	-1.045	-16.344
5	SHISAN-G	十三陵	G	-13.141	-23.026

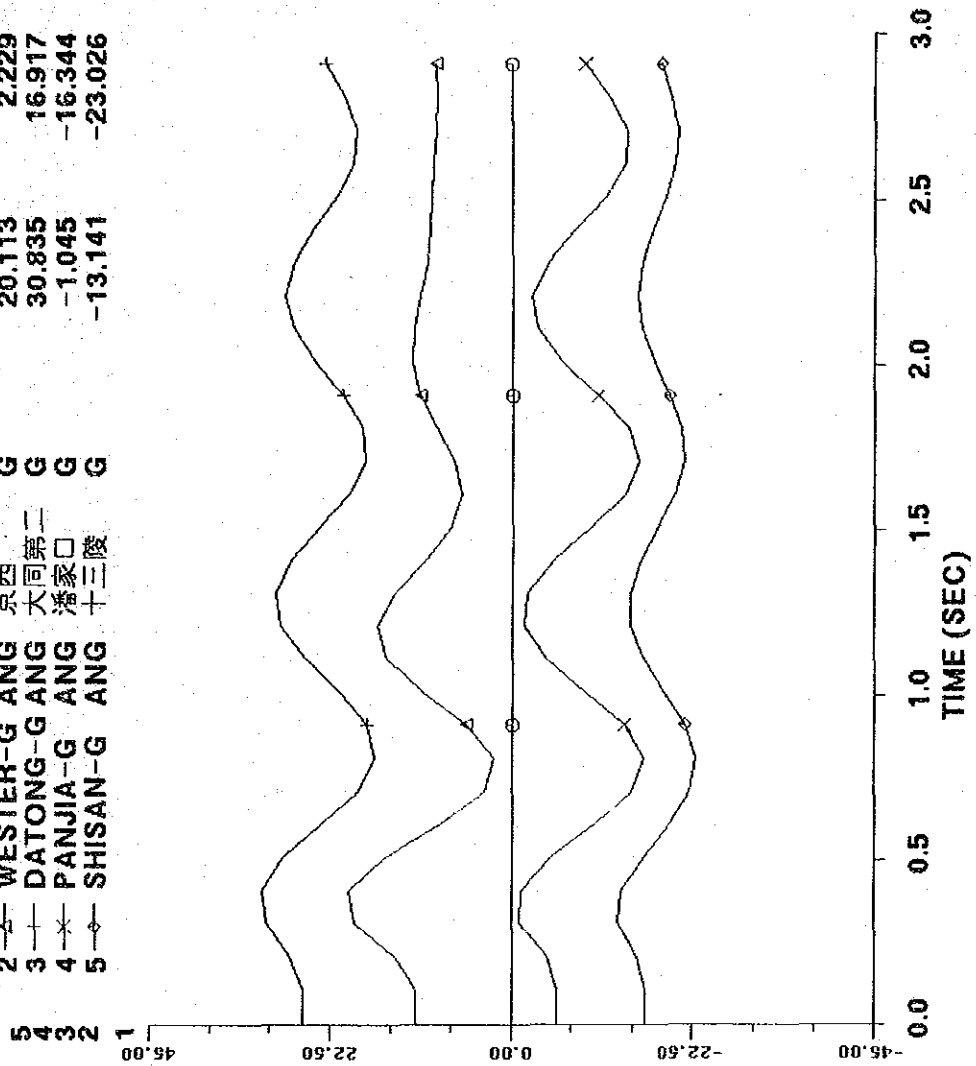


图-1.5 事故解析 (500KV-1)

## 2. 下部ダムの漏水防止対策に関する調査

### 2.1 概 要

十三陵揚水発電計画は燕羽山（標高1,276m）、八達山（標高1,015m）などを水源とし、燕山山脈南麓を南流し天津市内を經由して渤海湾に注ぐ、海河水系温榆河北支東沙河上流部の既設十三陵貯水池を下池として利用する。貯水池一帯は燕山山脈南麓に位置し、広範囲にわたる扇状地が形成され、河床堆積層は60～100mの厚さで、平常時には河川水の大部分が伏流している。貯水池上流端には東西方向に幅1km以上の旧河道の存在が確認されており、貯水池の流入水のかなりの量が伏流して西側へ流れている。

十三陵貯水池は灌漑、洪水調節を主目的として1958年に建設された、ダム式貯水池で、流域面積223km<sup>2</sup>、総貯水容量81百万m<sup>3</sup>である。

貯水池区域の大部分は、第四紀河床堆積物に覆われ、ダム付近と半壁一帯にわずかに基岩の露頭が見られるが、ダム基礎部は60mにもおよぶ河床堆積物がある。

十三陵ダムからの漏水は建設直後からダム基礎部で確認されたが、豊水であったため何とか貯水池として機能していた。その後、10年ほどの貯水池運用、観測を経て、漏水の過程と各水位における漏水量を分析した結果、漏水原因の大部分は十三陵ダムの基礎部および上流旧河道からのものであることが確認された。このため、漏水防止対策として十三陵ダムのダム基礎の処理をコンクリート連続地中壁により実施し、1970年にこの工事は完成した。この修復工事によりダム基礎からの漏水問題は解決したが、1980年からの異常渇水の継続と貯水池上流西部の大宮門旧河道の河床堆積層からの浸透流による漏水により貯水池は枯渇状態になった。

このような状況のもとで、十三陵貯水池を揚水計画の下部調整池として使う場合、上流旧河道の抜本的な漏水対策を行う必要がある。中国側は調査、検討の結果として、十三陵ダム上流1,500mの地点に、新たに高さ約9mの上流締切りダムを築造し、コンクリート地中壁で旧河道への漏水を防止することによって、揚水下池の機能、周辺の景観を維持し、あわせて洪水調節を行なうこととしている。また、予想される調整池からの蒸発、その他損失など下池の機能を確実に保証するため1983年に完成した白河堡ダムと既設の灌漑用水路を利用し最大4.24m<sup>3</sup>/sを限度に補給することとしている。

## 2.2 水 文

### (1) 海河水系

北運河、永定河、大清河、子牙河、および南運河の5大河川と山東省内の徒駭河、馬頰河からなる。5大河川と300余の支流は河北省の大部分、北京、天津両直轄市のすべて、さらに山東、山西、内モンゴなどの省、自治区の一部におよんでおり、全流域の面積は265,000km<sup>2</sup>で、山間地と平原がそれぞれ半分を占めている。

水源地は燕山、太行山、五台山、恒山および黄土高原である。上流の山間部には支流が多く傾斜が大で、流路は短く流れが急である。中流の地形は平坦で川の流れは緩やかである。それは、土砂が河床に堆積し、河床が河岸より高くなり、多くの河川が「堤をもって水を抑える」天井川となっているからである。

下流部の地形は低く窪んで河道が狭く、海への出口も狭い、このようにして、上流と下流の間の排水能力の差が数十倍、ときには100~200倍にもなる。

海河流域の気候の特徴は、年降雨量の分布がきわめて不均等で、その多くは夏と秋に集中することである。特に7、8月の降雨量は、ときには年降雨量の60~70%を占める。上流の山地では、しばしば豪雨におそわれるので、そのたびに洪水が上流からもたらす大量の土砂が溢れだし下流ではその排水が間に合わず、土砂は堤防を破って流れ出し、洪水となって災害をおよぼす。しかし春には、しばしば強風が吹くが雨は少なく、水枯れのため水無川になることさえある。また、井戸は枯れていて厳しい干ばつが発生する。

1963年、毛沢東は、「必ず海河を制御しよう」と呼びかけ、ダム、河川改修等を行い大きな成果を得た。

### (2) 気 象

降雨は河川流域は燕羽山の南側に位置しており、昌平気象観測所・標高74.9mの降雨量は夏の季節風が熱帯の温かい湿った空気を送り込む7月、8月の2ヶ月間に集中し、年間平均降雨量574.8mmの60%以上に達する。

また、6月から9月の4ヶ月間には年間降雨量80%以上となる。月最大降雨量の変動は大きく、35年間の最大年間降雨量1,002.5mm(1956年)と最小年間降雨量318.0mm(1984年)の絶対変異率は3.2である。

蒸発は昌平気象観測所において小型の蒸発皿(直径20cm)による観測結果の平均年間蒸発量2,002.2mmである。最高年間蒸発量は2,698.6mmであり、最低年間蒸発

量は1,660.2mmである。月別平均の最高蒸発量298.0mmは5月に発生し、最低蒸発量76.2mmは12月に発生している。

### (3) 流 量

河川流量は、海河水系で述べた特色を持っている。本計画の流域にしても十三陵貯水池に流入する河川流量は上流部において旧河道に漏水して少ないため、貯水池流入量の補給を目的に白河の上流、白河堡より流域変更して七孔橋直上流に注水する施設を1984年10月にほぼ完成して使用したが、1987年に最終完了した。白河堡導水は、今後、既設ダム上流1,500m地点に締切ダムが築造されると、同ダムまで水路を延長し、貯水池容量が不足時に直接池に導水する。

河川流量は、流域の長期資料のある昌平雨量記録より間接的に求めることとし、最寄りの河川で流量と降雨量の関係が良い懐河の懐柔地点より想定している。平均年間流入量は「可行性研究報告」1988年9月によれば31MCM<sup>3</sup>である。流入量の実績は 2.4 貯水池漏水の状況 の項参照。

白河堡導水は 2.6 (3) 下池機能の保証の項参照。

### (4) 洪 水

十三陵貯水池の計画洪水量は、歴史的な背景よりの推定および国内河川の洪水記録解析から見直しによって求めた。

下流に対する洪水調節は、洪水波形の容量を推定して貯水池の水位上昇を考慮した自然貯溜（サーチャージ）により行っている。

(a) 計画洪水量は、北京市水利勘测设计院によって、1975年8月に、河南省で大災害の起きた洪水を再検討し、設計洪水（確率1%）2,200m<sup>3</sup>/s、異常洪水（確率0.1%）3,970m<sup>3</sup>/sとした。

(b) 計画洪水流入量と貯水池計画の水位は、最寄りの河川の洪水波形と流量係数を参照して、次のように求めた。

項 目	単 位	設計洪水量 (1%)	異常洪水量 I (0.1%)	異常洪水量 II (0.05%)
洪 水 量	m <sup>3</sup> /s	2,200	3,520	3,970
最大放流量	m <sup>3</sup> /s	557	895	1,035
計画洪水位	m	98.10	101.23	102.24

### (5) 貯水池堆砂

北京地区の浸蝕係数と最寄りの河川流域記録より求め、年間の流入土砂量は  $95.6 \times 10^3 \text{ m}^3$  と推定した。期間別堆砂量を次に示すとおりである。

期 間	1978～2005	1978～2015	1978～2035
堆 砂 量 (SCM)	1,816.4	2,772.4	4,684.4

貯水池への堆砂は、貯水池終端付近より河床に一定勾配で帯状に堆砂するものとした。しかし、揚水発電計画の下池は、現在の十三陵貯水池上流1,500mに堤頂標高90m（ダム高さ約9m）の締切りダムが存在する事になり、主な堆砂は締切りダムの上流に生じて下池内には一部浮遊砂のみが堆砂するものと考えられる。

### 2.3 十三陵貯水池の地質

基盤岩は、先カンブリア紀の石灰岩、ドロマイト、砂岩、頁岩、古生代カンブリア紀の石灰岩、中生代ジュラ紀の安山岩類、礫岩よりなる。これらは、北東から南西方向の走向で下流側（南西側）へ傾斜し、貯水池上流側から下流側へ向かって順次新しい時代の地層が分布している。先カンブリア紀の地層は、貯水池の上流から上流締切ダム付近まで分布し、カンブリア紀の地層は、上流締切ダム付近の左岸側に狭い範囲で分布している。また、これらの基盤岩類を沖積層の河床砂礫が厚く覆っている。

（図-2.1 参照）

旧河道は七孔橋から大宮門にかけて延びており、七孔橋に近い翠花山から大宝山にかけての地点で、河床砂礫の厚さは約150m、基盤の標高は-35～40mとなっている。

旧河道の河床砂礫には十三陵ダム地点のように厚いシルト～粘土層はなく、径1～30cm程度の礫と粗砂からなり、レンズ状のシルト層を挟在している。河床砂礫の透水性については、上流締切ダム地点で揚水試験が実施されており、その結果  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$  という大きな透水性を示している。岩盤等高線は旧河道、東沙河ともに上流側がやや深くなっているが、全体としてみると2つの河川が砂礫層の下にあることを示している。岩盤の標高は旧河道のほうが現在の河川よりも30m程度深くなっており、本来河川は旧河道の方を流れていたことが理解できる。（図-2.2、図-2.3 参照）

地下水位の観測は、ボーリング孔と民間の井戸を利用して実施されている。この観

測結果によると地下水の流れとしては東沙河の上流部から旧河道方向へ向かうものと、貯水池から旧河道方向へ向かうものとの2つが存在している。旧河道の地下水位は貯水位と連動して変化している。(図-2.4 参照)

## 2.4 貯水池漏水の状況

既設十三陵ダムの構造は河床砂礫を主とする堤体の上流側に、土質遮水壁と保護のための石積みを設けた高さ29 mの表面土質遮水壁型ロックフィルダムである。建設初期のダムからの漏水は完成直後から貯水位の低下とダム下流の観測井で認められたが、1959年夏以降の豊水が継続したため貯水位が回復し、その後10年間は特段の修復をすることなく一応貯水池として機能していた。ダム完成後に予想される漏水の状態を観測するため、ダム下流側3側に地下水観測孔および排水路内に量水堰を設置し、堤体下流側の地下水位および地表水量(浸透流量)を観測している。

(図-2.5 十三陵ダム平面および断面、図-2.6 1958~1959年水位-地下水位参照)。

各貯水位に応じた堤体および基礎からの漏水量の計算値は、かりに年間を通じて貯水位がEL. 85~99mに保たれた場合、漏水量は11~25MCM/年となり、15ヶ年の年平均流入量26.2MCMの約42~95%に相当する損失となる。

以上の観測および計算による漏水予測の結果、十三陵ダムからの漏水防止対策工事としてダム基礎部をコンクリート連続地中壁によって止水することが決定した。地中壁はダム基礎砂礫層全面に施すこととし、設計壁厚0.8m、最大深さ57.5m、壁長554m、総止水面積20,790㎡である。工事は1970年に完成した。

地中壁完成後のダム下流に設けられた観測井の水位観測結果では、止水壁完成前の地下水位EL. 75~79mがEL. 61~67mに約10m以上低下していることが確認され、さらにこれが貯水位の変化に連動していないことから、地中壁による遮水効果が顕著に認められる(図-2.7 1979-1983年貯水位および地下水位の関係参照)。

ダムの修復後1970~1972年は渇水で水位はEL. 80m前後と低かったが、1973年の洪水で水位はEL. 90m以上に回復し1974年にはEL. 97.28mまで上昇した。貯水池の経年変化をみると、1973~1978年の6年間は豊水年であったために年平均水位はEL. 90m以上であったが、それ以降はE. L. 85mの死水位以下がほとんどであった。特に、1984年、1986~1988年には貯水池が長期間にわたり枯渇状態となった(図-2.8 1971~1989年貯水位-流入量、降雨量参照)。