

中華人民共和国

吉林豊満ダム修復強化計画調査

最終報告書

要約

1993年3月

国際協力事業団

社庫二

CR(3)

93-023



JICA LIBRARY



1103023161

24679



中華人民共和國

吉林豐滿ダム修復強化計画調査

最終報告書

要約

1993年3月

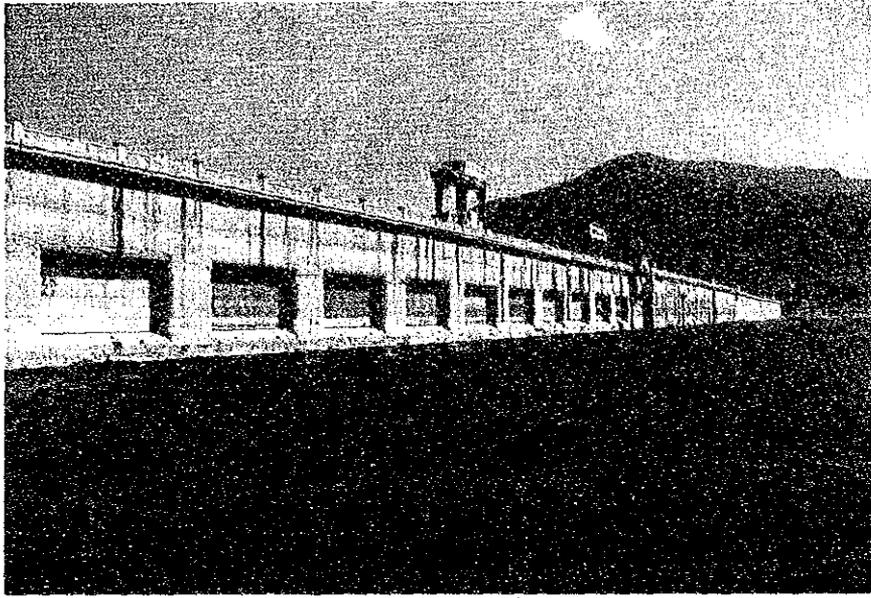
国際協力事業団

国際協力事業団

24679







豊満ダム上流面



豊満ダム下流面



## 序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の吉林豊満ダム修復強化計画にかかる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いたしました。

当事業団は、平成3年5月から平成5年3月までの間、3回にわたり、株式会社アイ・エヌ・エーの窪田 稔氏を団長とす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うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、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。

この報告書が、本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。

終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成5年3月

国際協力事業団  
総 裁 柳 谷 謙 介



# 目 次

位 置 図

写 真

序 文

第1章 緒 論 .....	1
1.1 根 拠 .....	1
1.2 調査作業実施経過 .....	1
1.3 技 術 移 転 .....	2
第2章 調査地域の現況 .....	3
2.1 位置及び地形 .....	3
2.2 気象・水文 .....	3
2.2.1 気 象 .....	3
2.2.2 水 文 .....	3
2.3 社会・経済状況 .....	5
2.3.1 社会・経済状況 .....	5
2.3.2 電力状況 .....	6
第3章 ダム及び貯水池概要 .....	8
3.1 貯水池及び発電設備 .....	8
3.2 ダムの現況 .....	8
3.3 貯水池の現況 .....	10
3.4 治水・利水の現況 .....	11
3.4.1 治水の現況 .....	11
3.4.2 利水の現況 .....	12
3.4.3 貯水池運用の現況 .....	13

3.5	管理体制	14
第4章	地質	16
4.1	地形地質概要	16
4.2	地質調査	17
4.2.1	調査経緯	17
4.2.2	ダム基礎岩盤の地質と構造	17
4.2.3	断層・破碎帯の構造と性状	18
4.2.4	基礎岩盤の力学性状	18
4.3	地震資料	20
第5章	ダム築造時の設計条件及び施工	21
5.1	設計条件（ダム築造時）	21
5.1.1	設計洪水量	21
5.1.2	設計水位	21
5.1.3	堤体コンクリートの比重	21
5.1.4	揚圧力	21
5.1.5	滑動に対する安定	21
5.1.6	地震力	21
5.1.7	堆砂	21
5.2	ダムの施工	22
5.2.1	施工概要	22
5.2.2	仮締切工事と河流切替	25
5.2.3	堤体基礎工事	25
5.2.4	コンクリート打設	25
5.2.5	漏水防止工	26

第6章 ダム管理状況 .....	28
6.1 ダム管理状況 .....	28
6.1.1 ダム管理設備 .....	28
6.1.2 管理状況 .....	28
6.2 ダム補修 .....	31
6.2.1 漏水対策 .....	31
6.2.2 堤体コンクリート凍害劣化対策 .....	33
6.2.3 耐震性対策 .....	33
第7章 試験・観測結果 .....	34
7.1 試験・観測項目及び概要 .....	34
7.2 堤体コンクリートの品質 .....	36
7.2.1 弾性波探査（物理探査） .....	36
7.2.2 ボーリング調査 .....	36
7.2.3 孔内撮影 .....	37
7.2.4 コア試験 .....	38
7.2.5 堤体コンクリート成分の溶出 .....	40
7.2.6 堤体コンクリートの凍害劣化 .....	41
7.3 堤体表面のひび割れ等調査 .....	44
7.3.1 堤体上流面 .....	44
7.3.2 堤体天端 .....	44
7.3.3 堤体下流面 .....	44
7.3.4 監査廊 .....	44
7.4 漏水観測及び堤体挙動 .....	45
7.4.1 漏水観測 .....	45
7.4.2 揚圧力 .....	45
7.4.3 堤体挙動 .....	45
7.5 水圧鉄管関係 .....	49

7.6	建設材料	50
第8章	弾性波探査の解析	51
8.1	解析内容	51
8.2	解析方法	53
8.3	解析結果	53
8.4	弾性波トモグラフィと速度検層との比較	61
8.5	超音波試験及び圧縮試験	63
第9章	総合診断（評価）と計画策定条件の設定	65
9.1	堤体コンクリートの品質	65
9.2	堤体成分の溶出	69
9.3	堤体上流面（水上・水中部分）のコンクリート表面の破損状況	70
9.4	堤体コンクリートの凍害劣化	70
9.5	堤体の洪水吐能力及び対策	71
9.6	堤体の耐震安定性	73
9.7	諸観測結果	74
9.8	貯水池	75
9.9	下流河床，河岸	76
9.10	豊満ダム安定評価マトリックス	76
9.11	計画策定条件の設定	78
9.11.1	水理・水文解析	78
9.11.2	治水・利水計画	82
9.11.3	設計基準の見直し	87
9.11.4	施工計画・積算	94

第10章 修復計画のための諸検討 .....	97
10.1 洪水吐の検討 .....	97
10.2 堤体コンクリートの凍害劣化防止対策の検討 .....	98
10.3 漏水対策の検討 .....	99
10.4 上・下流方向4ブロック分割に対する検討 .....	102
10.5 堤体コンクリート強度, 安全度等の検討 .....	102
10.6 堤体基礎岩盤の検討 .....	104
10.7 発電関連の検討 .....	104
第11章 修復強化計画の策定 .....	107
11.1 応急対策工 .....	108
11.1.1 特殊グラウト工 .....	108
11.1.2 堤体P C工 .....	109
11.1.3 堤体排水孔増設 .....	110
11.1.4 堤体諸観測設備の整備 .....	113
11.1.5 貯水池内測量(貯水池容量の確定) .....	114
11.1.6 堤体上流面の水中止水工 .....	115
11.1.7 水圧鉄管部補修 .....	119
11.1.8 堤体天端舗装, 天端通廊, 高欄補修 .....	120
11.1.9 各応急対策工の概算工事費 .....	120
11.2 恒久対策工 .....	121
11.2.1 洪水吐の増設 .....	121
11.2.2 堤体安定対策工(基礎断層部) .....	127
11.2.3 堤体凍害永久対策工 .....	130
11.2.4 各恒久対策工の概算工事費 .....	130
11.3 総事業費 .....	131

第12章 プロジェクト評価 .....	132
12.1 便益の評価 .....	132
12.2 修復計画による費用・便益 .....	134
12.3 感度分析 .....	135
第13章 実施計画 .....	139

## 第 1 章 緒 論

### 1.1 根 拠

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の吉林豊満ダム修復強化計画調査を行なうことを決定し、その調査を国際協力事業団が実施することとなった。

国際協力事業団は、1990年10月事前調査団を現地に派遣し、現地調査及び資料収集を行ない、合わせて本調査のため日本および中国政府の取るべき措置と調査範囲・内容に関する基本事項などの協議の後、中華人民共和国エネルギー部との間に1990年10月25日、協議議事録及び実施細則の合意署名を行なった。

この合意事項に基づき国際協力事業団は、12名の専門家より成る調査団を編成し、1991年5月9日より逐次調査団員を現地に派遣し本件の調査を開始した。また国際協力事業団は3名の作業監理委員を委嘱し調査作業の監理を実施した。

### 1.2 調査作業実施経過

調査団およびエネルギー部は上記「実施細則」の合意事項を遵守し、相互の密接な協力の下、1991年5月9日より現地作業を開始した。

エネルギー部は、東北電業管理局及び豊満発電所を調査団のカウンターパートとし、各分野の調査作業を協同して実施した。

調査団は1991年5月「着手報告書」を提出すると共に、中国側実施機関である「豊満発電所」との密接な共同作業により、同年10月末までに第1次現地調査を終了し、「現地報告書(1)」を提出した。

調査団は更に12月中旬まで現地で実施された第一次現地調査の結果得られた諸調査資料に基づき、その解析・分析を行い総合的な診断をし、その結果を踏えて計画策定条件の検討作業を1992年2月下旬まで東京において実施し、その結果を「中間報告書」として、1992年5月に提出した。また同年5月26日より9月7日まで第二次現地調査を実施し、この結果を「現地報告書(2)」として提出した。

更に、第二次現地調査によって得られた資料をも加えて東京で修復強化計画の検討及び応急及び恒久対策計画の選定作業を実施した。またそれに基づいて算出された工事数量を

基に、総事業費の積算を行った。また、別途収集された経済・財務に関する諸資料を加えて、本プロジェクトの経済評価・財務分析の検討を行った。

上記の結果を取りまとめて1993年1月に「最終報告書（案）」として、「主報告書」「付属報告書」「資料集」「要約」を中国側に提出し協議を行った。その結果若干の部分の修正をした上、1993年3月中旬までに「最終報告書」を提出することで双方は同意した。

### 1.3 技術移転

本計画調査の第一次及び第二次現地調査期間中、豊満発電所は調査団員のそれぞれの専門分野に対応した幹部職員及び実務要員を任命したが、調査団と相互緊密な協力作業を通じての技術移転を行った。

また、本計画調査のカウンターパート及び豊満発電所の技術職員も含めた広範囲な参加者を対象に、各調査団員がそれぞれの専門分野についてテーマを決めてセミナーを開催した。

この外、本計画調査に関連して研修のため来日した豊満発電所のカウンターパート2名に対し、日本国内において技術移転を目的とした研修を行った。

## 第 2 章 調査地域の現況

### 2.1 位置及び地形

調査地域はその周囲の東南部を白頭山系、北東部を小興安嶺、西北部を大興安嶺といった山脈に馬蹄形に囲まれ、その中央部は広大な盆地を形成し、この大部分が松花江と遼河の二大河川の流域となっている。

豊満ダムの位置する松花江（以前は第二松花江と呼ばれていたが、現在は松花江と呼ばれている）は黒龍江（アムール川）の支川で、その流域面積は 546,000km<sup>2</sup>である。松花江流域は中国の七大流域の最北部に位置し、東西 920km、南北 1,070kmの流域で流路延長 1,960kmの大河川である。松花江はその源泉を北朝鮮との国境にある白頭山天池に発し、4つの支川（頭道河、二道河、輝発河、蛟河）を集め、豊満ダム地点での流域面積は 42,500km<sup>2</sup>に達する。

ダム地点は松花江に沿う古い都市である吉林市の上流約24kmの所にある。

ダム下流の松花江は、ほぼ吉林省の中央部を北西方向に流下し、約 400km地点で嫩江と合流する。黒龍江省に入ると東方に流路を変更し、黒龍江省の省都哈爾濱（ハルビン）市を流下し、ソ連との国境付近で黒龍江に合流し日本海に注ぐ。

### 2.2 気象・水文

#### 2.2.1 気象

松花江上流域の気候は、夏は太平洋からの季節風が吹き暑くて雨が多く、冬はシベリアからの高気圧に覆われ寒く乾燥する内陸性気候である。豊満ダム地点の月平均気温は 1974年から1990年間の記録では、最低値は1977年の1月における $-19.7^{\circ}\text{C}$ で、月平均気温の最大値は7月における $24.3^{\circ}\text{C}$ と、年間を通しての月平均気温の変化は $40^{\circ}\text{C}$ 以上あり、極めて大きい。また、毎年11月から翌年3月までの5ヶ月間の日気温の月平均は零度以下となる。

#### 2.2.2 水文

##### (1) 観測設備

豊満ダム上流域の水文関連の観測地点は豊満発電所管轄のものと吉林省管轄のも

のがあり、これらを合すると42ヶ所在り、18地点の雨量観測所と39地点の水位観測所等より構成されている。これらの水文観測所は大きく豊満基本点と白山基本点の2つのネットワークに分かれている。

## (2) 観測記録

流域の降雨量は年平均755mmで、最大1,011mm、最小524mmである。6月から9月までの降雨量は、年間降雨量の60~90%を占め、夏に雨が多い。ダム地点の流入量は、年平均455m<sup>3</sup>/sで、最大は736m<sup>3</sup>/s、最小は217m<sup>3</sup>/sである。洪水期は6月から9月で、年流入量の約60%を占め、洪水の発生する可能性は2~6回/年である。

## 2.3 社会・経済状況

### 2.3.1 社会・経済

松花江の流域は、黒龍江、吉林、内モンゴル、の3つの省にまたがり、流域の土地利用は、山地61%、丘陵15%、平原23.9%、湖沼0.1%で、耕地の面積は10万km<sup>2</sup>、人口は4,600万人で30年間に2倍以上に増加している。また、流域内には哈爾濱、長春、吉林、齊齊哈爾（チチハル）などの135都市を有する。

吉林省は中国東北地区の中部に位置し、1989年現在人口は2,466万人（全国14位）、面積は18.74万km<sup>2</sup>（全国20位）で、人口密度132人/km<sup>2</sup>、省都は長春市である。

鉱物資源が豊富で、そのうち、珪灰石、珪藻土、膨潤土、モリブデン、ニクロム、金、オイルシェール等は全国でも重要な位置にある。鉄鉱、非鉄金属、石炭、石油、電力、機械、化学、森林、建築材料、紡織、製紙、食品等の工業が盛んである。なかでも製紙、製鉄、自動車、トラクター、製糖、紙巻タバコ、化工産品は、全国で主要な位置を占めている。1989年の工業生産額は530.4億元であった。

流域の農業は、中部半山農林区では水稻と大豆、とうもろこし、粟が、中部台地平原農業区ではとうもろこし、大豆、粟が、及び西部平原農牧区ではとうもろこし、粟が主要穀物生産である。中部平原地域の土壌は肥沃であり、中国の穀物商品の重要な生産区の一つであり、主要農産品には、とうもろこし、大豆、コーリャン、もみ米、米、ひまわりの種、菜、煙草、亜麻等がある。1989年の農業生産額は133.8億元であった。

重化学工業を中心に、中国経済のけん引車の役割を果たして来た吉林省を含む東北3省は、第8次5ヶ年計画においては、大・中規模の工業を中心に、各種工業間及び農工業間でのバランスのとれた開発が目指されている。

豊満ダム下流の松花江は、吉林市を中心とする吉林地区、（吉林市、舒蘭県、永吉県）、長春地区（九台県、徳恵県、榆樹県）、白城地区（扶余市、蒙古族自治県）を流れ、嫩江と合流し、黒龍江省の哈爾濱に向かって流れている。これら流域の地区の人口、及び人口密度は吉林地区392.6万人（144.83人/km<sup>2</sup>）、長春地区575.4万人（296.91人/km<sup>2</sup>）白城地区391.8万人（85.74人/km<sup>2</sup>）である。

豊満ダムの下流域の最東端にあたる吉林市は、吉林省第二の都市で、市内は4つの区（昌邑区、龍潭区、船営区、豊満区）から構成され、行政面積は1,213km<sup>2</sup>、中国の人口

100 万人以上の都市では29番目にあたっており、人口はやや増加の傾向にある。同市は別名「江城」の名で知られており、1673年に建城され、以降、松花江流域地区の政治及び軍事の中心となって来た。近年、各種重工業が盛んになり、とりわけ化学工業では、中国における一大中心として栄えており、別名「化工城」とも呼ばれており、1986年における工業総生産は50.5億元であり、吉林省全体の1/5 を占めている。濃硝酸、エチレン、合成ゴム、新聞紙等の生産高では、全国の1/10を占めている。

吉林省内を流れる松花江は、吉林市、扶余市及び蒙古族自治县を除き、農業地帯を流れている。吉林地区、長春地区の中部平原地域では、河川流域の低い地帯が水稻を中心とする穀物栽培に広範囲に利用されており、一旦河川の決壊が起きた場合、甚大な被害が予想される。

松花江は、また重要な3つの鉄道路線（長春－哈爾濱線、長春－吉林線、吉林－哈爾濱線）が松花江と交差している。道路は数カ所で松花江を渡河しているが、とりわけ重要な地点は、吉林市内の交通の要衝である吉林大橋と松花大橋である。

## 2.3.2 電力状況

### (1) 電力関係行政機構

#### i) 能源部

水利電力部が1988年に分割し、水利部と能源部となった。能源部は、水力発電、火力発電、原子力発電といった、電力などエネルギー関係を管轄する国の行政機関である。

#### ii) 東北電業管理局

能源部の電力関係行政機構で、東北三省（遼寧省、吉林省、黒龍江省）及び内モンゴル自治区から成る東北地方の電力を管理している独立採算の法人である。その本部は瀋陽市に設けられており、管轄範囲は黒龍江省電力局、吉林省電力局、遼寧省電力局及び管内発電所等130企業から構成される。

#### iii) 豊満発電所

東北電業管理局に所属する豊満ダムの発電、洪水などを管理する機関である。事務所は豊満ダム右岸直下流にあり、ダム下流の地域は豊満街と呼ばれ、豊満発電所を運営するための工場、職員の住居のほか、公共機関、ホテル、商店等が存

在する。

## (2) 電力需要

東北三省は古くからの工業地域であることから、管内の電力需要の伸びは著しく、慢性的な電力不足に悩まされていたが、政府の発電施設建設の資金が増えたこと、省レベルでの建設資金集めの努力が実ったことなどから電源開発が促進されるようになった。各分野毎の電力の使用比率は、工業 84%、農林水産業 3%、家庭用 7%、その他 6%となっており工業における比率が圧倒的に多い。

## (3) 主要発電所

管内の地区別の設備出力の構成比率は遼寧省 42%、吉林省 23%、黒龍江省 27%、内モンゴル自治区東部地区 8%となっている。また、水力、火力別の構成比率は設備出力において水力 18%(331.6万kW)、火力 82%(1,510.4万kW)、発電電力量で水力 10%(89.0×10<sup>8</sup>kWh)、火力 90%(800.6×10<sup>8</sup>kWh)で火主水従型のパターンとなっている。

管内の主要発電所のうち水力発電所の多くは東南部の北朝鮮との国境及び長白山系に位置しているのに対して、火力発電所はその他の地域(北部、西南部)に散在している。

## (4) 主要送電網

管内の主要送電網は 220kV及び 500kVの主送電線及び変電所から成り、面積にして 120万km<sup>2</sup>の範囲をカバーしており、瀋陽市にある東北電業管理局のコントロールセンターからの指揮によって管理されている。

## (5) 電力開発計画

管内ではピーク時の電力を確保し、効率のよい配電を行うため、揚水発電の計画が検討されている。また火力発電では四平市の双遼に 240万kWの施設を10年間の工期で建設する計画もある。

一方、松花江上流の頭道江には石龍、双洎、小山(3地点総計51万kW)の水力発電所の建設が開始された。

## 第3章 ダム及び貯水池概要

### 3.1 貯水池及び発電設備

豊満ダムの調査は、1933年より松花江の総合的調査から開始された。豊満ダム建設の主目的は、莫大な貯水量を利用した東北地方の工業生産に対する動力資源として700 MWの電力供給であった。さらに松花江の洪水防御による170,000haの開田灌漑、飲料水、工業用水等の水資源確保、河川流量・流路の安定による舟運確保がダム建設の目的であった。

### 3.2 ダムの現況

1953年にほぼ完成したダムは、その後ほぼ40年を経過して現在に至っている。この間ダムは長期に渡る凍結融解、浸食及び風化等の作用により、堤体コンクリートの劣化、部分崩壊が発生し、各種の補修工事が実施されてきた。本調査開始時点（1991年）ではダム上流面の新しい補修が約8割（但しBL.226m以上において）完了しており、下流面についても変電施設及び発電所のある区間を除き補修工事が続けられていた。補修工事の詳細については、第6章で、また、ダムの外観等については第7章でそれぞれ述べることとし、ここでは、現状ダムの諸元を確認することとした。

豊満ダム施設概要 (諸元)

項 目	内 容
1. ダム堤体	
① 形 式	重力式コンクリートダム
② ダム高	90.5m
③ 堤頂長	1,080m
越流部	198m (9~19ブロック)
取水口部	198m (21~31ブロック)
非越流部	684m (1~8, 20, 32~60ブロック)
④ ブロック幅	18m
⑤ ブロック数	60ブロック
⑥ 縦ジョイント	A, B, C, Dの4ブロック
⑦ 堤体積	194万 m <sup>3</sup>
⑧ 堤頂幅	非越流部 9m, 越流部 11m 取水口部 13.5m
⑨ 堤体勾配	上流面 : 0.05    下流面 : 0.75~0.78
2. 発電所	
① 導水管	φ 5.6 m (10本のうち現在使用されているのは8本) 導水管中心標高 EL. 222m
② 取水口ゲート	6.7 m × 6.7 m —— 8門 (重量60 t)
③ 有効落差	67m
④ 平均使用水量	520 m <sup>3</sup> /s
⑤ 最大使用水量	1,388 m <sup>3</sup> /s (10台)
⑥ 発電力	725.3 × 10 <sup>3</sup> kW (10台 + 所内機1台)
⑦ 平均出力	280 × 10 <sup>3</sup> kW
⑧ 年間平均発生電力量	16億 kWh
⑨ 増設計画 (現在計画中)	(左岸放流トンネル利用による)
3. 洪水調節施設	
① 洪水吐	12.0 m × 6.0 m —— 11門
② ゲート	ローラーゲート 50t/門
③ 巻き上げ機	125 t 吊り門型クレーン 2台
④ 越流頂標高	EL. 252.5m
⑤ 最大放流能力	9,240 m <sup>3</sup> /s
⑥ 減勢工	水平水叩き型 - エンドシル (差動式楕形デフクター)
⑦ 左岸放流トンネル	トンネル直径 9.2 m 呑口標高 EL. 220m (敷高) 最大放流量 1,180 m <sup>3</sup> /s

### 3.3 貯水池の現況

豊満ダムの貯水池は、松花湖と呼ばれ完成後約40年間治水、発電、灌漑、工業用水等に有効に利用されてきている。貯水池の水位、容量配分等の諸元は下表に示す通りである。

貯水池内は、夏の間遊覧船によって、観光客のための貯水池内の遊覧が可能であり、吉林市の観光名所の一つとなっている。

ダム直上流には、左岸に官公署の保養所、宿泊設備、右岸に船着場、製材工場等がある。貯水池内上流部には淡水魚の養殖場があり、また、地元民による小規模な漁業も行われている。

ダム直上流部を除いて貯水池の湖岸には、集落は見当たらず放牧のための見張小屋が散見される程度である。貯水池周辺の湖岸は、山林が迫り一部は草地であり崩壊地、土砂崩れ等は見当たらない。

貯水池内の堆砂は、1959年に貯水池内の横断測量をおこなったのみであり関係資料も無いため正確な堆砂量は不明である。

貯水池周辺には左右両岸とも貯水池沿いの道路は無く、上流に行くには迂回道路があるのみである。

豊満ダム貯水池諸元及び貯水位

貯水池		貯水位	
流域面積	42,500 km <sup>2</sup>	正常満水位	263.5 m
貯水池長	180 km	低水位	243.8 m
最大貯水池幅	10 km	治水制限水位	261.0 m
湛水面積	550 km <sup>2</sup>		(6月1日～8月20日の間)
最大水深	75 m	洪水ウー-ター-ツ水位	266.5 m
貯水容量	107.8億 m <sup>3</sup>	既往最高水位	266.18m (1957年)
死水	30.9億 m <sup>3</sup>	既往最低水位	225.10m (1990年)
発電	61.4億 m <sup>3</sup>	(ダム天端標高)	266.5 m
治水	26.7億 m <sup>3</sup>	(高欄天端標高)	267.7 m

### 3.4 治水・利水の現況

#### 3.4.1 治水の現況

豊満ダムの上流域はほとんどが山間部であり、この地方としては比較的多雨地帯に属しており、年間の平均降雨は700mm以上である。

一方、下流部には全国の洪水防御重要都市に指定されている吉林、哈爾濱などの大都市を有するが、下流河道部の河床勾配はほぼ1/20,000となり、一度洪水となれば下流部では高水位が長時間継続することが特徴である。

このため、松花江流域ではこれまでに豊満ダムをはじめ約1,700の貯水池と11,000kmの堤防が築かれ、この結果、近年では洪水被害もかなり減少する傾向にあるが、下流部の河道計画が1/100年確率の安全度を確保する目標に対し、現在の許容量は1/20～1/50年確率程度であり、豊満ダムの役割は極めて重大である。

豊満ダムの洪水調節は標高261mから266.5mまでの26.7億 $m^3$ の容量を利用して行われる。このダムの放流設備は以下のとおりである。

・クレストゲート 11門 ( $840m^3/sec \times 11 = 9,240m^3/sec$ )

・左岸放流トンネル 1条 ( $1,180m^3/sec \times 1 = 1,180m^3/sec$ )

この他に発電放流が約1,400 $m^3/sec$ あり、合わせて11,820 $m^3/sec$ の放流が可能である。

河川の管理については水利部の所管で、豊満ダムの洪水時の操作は能源部東北電業管理局豊満発電所が直接行っている。このため洪水調節時には、流域内にある雨量観測所、及び水位流量観測所のほか、上流部の紅石ダム（重力式コンクリートダム、1987年完成）、白山ダム（重力式アーチダム、1983年完成）の雨量及び水位（流量）データを用いた洪水予測を発電所で行うと、その結果を長春市にある出先機関である豊満・白山水防調整連絡部会（松遼水利委員会及び関係流域省である吉林省、黒龍江省の水防指揮部、東北電業管理局、豊満・白山発電所で組織されている）に連絡し、その放流指示に従ってダム操作を実施している。

洪水時の放流は、①発電放流、②クレストゲート、③左岸放流トンネルの順に行うことになっており、クレストゲートが設置されたのは1953年であり、その後クレストゲートを使用した洪水を1991年8月洪水を含め12回経験している。また、左岸放流トンネルは1979年に設置されたが、これまで一度も使用されたことがない。

ダム完成後最大の洪水は1953年8月で、最大流入量17,500 $\text{m}^3/\text{sec}$ 、最大放流量は7,600 $\text{m}^3/\text{sec}$ である。最近の洪水は、1987年7月から8月にかけての洪水で、この時の最大流入量は5,600 $\text{m}^3/\text{sec}$ 、最大放流量は3,600 $\text{m}^3/\text{sec}$ であったが、この洪水では放流時に洪水吐き下流面で旧堤内バイパス閉塞箇所のコングリート約1,000 $\text{m}^3$ が崩落し、豊満ダムの老朽化がクローズアップされることとなった。

また、下流域の半山松花大橋地点における洪水位は、現地のヒアリングにより、1953年洪水で概ねBL.167m、1987年洪水で概ねBL.165mと推定される。

なお、豊満ダムの放流量は一般洪水は3,000 $\text{m}^3/\text{sec}$ 、1/100年洪水放流量は5,500 $\text{m}^3/\text{sec}$ 、1/1,000年洪水放流量は7,500 $\text{m}^3/\text{sec}$ であると中国側は計画している。

### 3.4.2 利水の現況

#### (1) 発電

豊満発電所による発電は、利水容量の61.4億 $\text{m}^3$ を利用して発電される。21~31BLの取水口部に発電用取水鉄管が埋設されており、この鉄管の径は5.6mで、取水中心標高はBL.222mである。また、27BLには管理用発電（所内機）のため径1.6mの鉄管が1条埋設されている。

発電所はダム直下流の右岸にあり、水車及び発電機を中心線はダム軸線の下流95mの位置にある。1943年3月1号機が運転を開始し、その後半世紀にわたり増設を重ねてきたが、1992年6月15日10号機の運転開始により当初計画に終止符を打ち、設備出力は725,300kWとなった。

最大使用水量は、有効落差69m時で1,467.1 $\text{m}^3/\text{s}$ （所内水車除く）。最近の年間発電電力量は下表に示すとおりであるが、1989年及び1990年は渇水年でもあったが、上流面の補修工事を実施するために貯水位を下げたため、年間発電電力量は小さくなっている。

豊満発電所の最近の年間発電電力量

年次	年間発電電力量	年次	年間発電電力量
1985年	15.94 億kWh	1988年	20.07 億kWh
1986年	25.92 億kWh	1989年	10.8 億kWh
1987年	20.96 億kWh	1990年	6.87 億kWh
		1991年	20.64 億kWh

### 3.4.3 貯水池運用の現況

#### (1) 貯水池運用

豊満ダムの貯水池諸元より運用方式は制限水位方式をとっている。

##### ・発 電

標高BL 263.5mから標高BL 243.8mにおける容量61.4億 $m^3$ を利用し、最大出力725,300kW、平均出力280,000kWをもって電力供給を行っている。

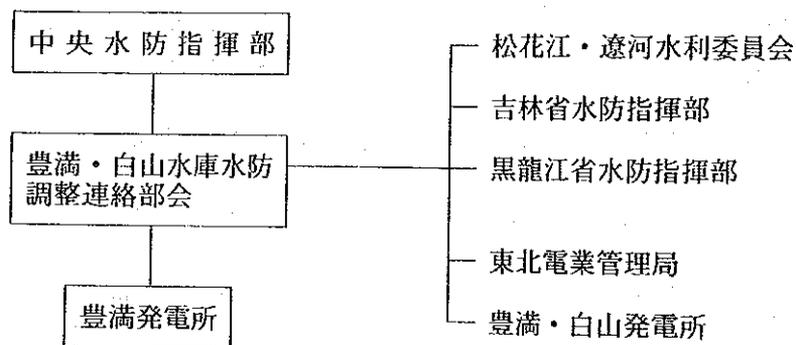
##### ・治 水

夏期（6月1日から8月20日）において、標高BL 261.0mから標高BL 266.5mにおける容量26.7億 $m^3$ を利用し、ダム地点における各規模の洪水量に対し、一般洪水に対しては、3,000 $m^3/s$ 、1/100確率洪水に対しては5,500 $m^3/s$ 、1/1,000確率洪水に対しては7,500 $m^3/s$ 放流を行い、下流の吉林地区、長春地区の中部平原地域、白城地区を洪水から防御している。

### 3.5 管理体制

豊満発電所は、日本の発電所と違い、別図（豊満発電所管理体制）に示すように1つの独立した管理体制を有し、所内で殆どの作業ができる体制となっている。

洪水期には、通信分所に属するテレメーターシステムを通じ上流域の気象情報を収集、これらのデータが水工分所のコンピューター（IBM-386, IBM-XT等）に連動されており、必要な場合は水工分所の職員が指揮系統の指示に基づいてゲート操作を行うことになっている。指揮系統は下図に示すようになっており、放流量が  $3,000\text{m}^3/\text{s}$  より小さい場合は吉林省水防指揮部が直接豊満発電所に指示し、 $3,000\text{m}^3/\text{s}$  以上の場合は下流域における被害の可能性があることから、豊満・白山水庫（貯水池）水防調整連絡部会の決定により指示が豊満発電所に行なわれることになっている。



洪水時の水防指揮系統図

所長

管理副所長

生產副所長

後勤副所長

基建副所長

總務室

人事課

公安課

財務課

監査課

企業管理總務室

多種經營總務室

資材調達課

運轉分所

機電分所

水工分所

通信分所

計画課

總工程師總務室

科技課

教育課

安全監察課

資料・文書室

總務課

車隊

中學

小學

病院

勞動服務公司

基建總務室

二松公司

吉林豐満ダム修復強化計画調査

日本国・國際協力專業団

豐満發電所管理体制

## 第 4 章 地 質

### 4.1 地形地質概要

豊満ダムのダムサイトは、松花江の河道が山岳部から平野部に移り変わる地点に位置し、両岸の分水嶺は標高 500～700m の北東－南西方向に伸びる山脈よりなる。この分水嶺を境に湛水池側は全般に急峻な山地と樹枝状に入り組んだ水系や開析の進んだ峡谷が発達し、いわゆる壮年期の地形となる。これに対してダムサイトの下流域には低いなだらかな丘状の山地と広大な平野が発達し、いわゆる老年期の地形を呈する。

ダムサイトの地形は、左岸側では河床から山頂まで急傾斜の斜面から成るが、右岸側では河床から山裾部になだらかな緩斜面となり、山腹部から山頂までは急斜面より成る非対称形の谷となる。河床部の標高はBL. 約190m、河床部の谷幅は約 450m、ダム天端標高 BL. 266.5m での谷幅は約 1,000m である。左岸山頂はBL. 764m、右岸山頂はBL. 898m で、左右岸山頂部間の距離は約 5 km である。

湛水池周辺の地質は、二疊系またはそれ以前の花崗岩とこの接触変成を受けた堆積岩類より成る。

ダムサイト周辺を構成する地質は変質礫岩より成る。

ダム下流には表層浅部の風化の進んだ花崗岩が広く分布する他、河道および右岸直下流には玄武岩の分布が見られる。崖錐堆積層は山裾部および河床部に厚く堆積し、珩質岩、砂岩、頁岩、花崗岩、片岩などの河床砂礫層が河床部に広く分布している。

## 4.2 地質調査

### 4.2.1 調査経緯

豊満ダムの建設時および完成後現在迄の中国側が実施した地質調査は、下表のとおりである。これらの地質調査は33～38ブロック間の断層調査を主とするものである。

既往基礎岩盤調査一覧

時 期	項 目	内 容	
建設前～ 建設初期	ボーリング	約70孔、各孔の深度30～40m（各孔とも着岩後3～5m）	
建設中及び 建設後  (中国管理下)  ～1973年	ボーリング	削 孔	58孔、計 1,590m
		透 水 試験等	圧力水注水試験 149st、湧水試験 3 st、 揚水試験 3 st、流速試験 5 回
	岩石試験	岩石・断層粘土の物理力学試験 39試料 岩石薄片鏡下鑑定 92試料 岩石成分化学分析 4試料	
	水質試験	水質化学分析 130試料	
	試掘坑調査	試掘立坑横坑（断層部）各1孔 計40m 現位置剪断試験 9地点 計31試料 現位置変形試験 4地点 計 4試料	
	電気探査	2.3 km	

### 4.2.2 ダム基礎岩盤の地質と構造

ダム基礎全体を構成する変成岩類は、変質礫岩と呼ばれる塊状の礫質片岩である。風化は薄く、新鮮部は灰緑色を呈し緻密堅硬であるが、表層部は割れ目が多く発達する。礫の形状は明瞭だが、周辺部の再結晶化が進んでおり礫と基質部は密着し、片状構造等に乏しい。ダム周辺には砂岩泥岩起源のホルンフェルスや緑色片岩および変成度の低い礫質片岩も分布するが、これらの境界は判然としない。

ダムサイトに発達する断層は、北西ないし北北西方向の走向と鉛直に近い急傾斜のものが多く、北東方向の走向を有する断層は少ない。河床部の断層は幅広い破碎帯を伴うものが多く、とくに河床部右岸の堤体34～36BLにかけては10条の断層（傾斜約85°～75°）の密集により幅約40mの河川上下流方向に伸長する弱層部が形成されている。

ダムサイトには、明瞭な褶曲構造は認められない。

#### 4.2.3 断層・破砕帯の構造と性状

基礎岩盤は概ね緻密堅硬だが表層部には割れ目が発達する塊状の変質礫岩からなるが、堤体直下には河川縦断方向に伸張する断層及び弱層帯が発達している。

これら断層一覧表を次表に示す。

堤体基礎岩盤は、34～36BL以外のブロックでは概ね緻密・堅硬・新鮮で割れ目のあまり多くないC<sub>M</sub>～C<sub>H</sub>級岩盤より成る。34～36BL付近には多くの断層とこれに伴う破砕帯からなる幅約40mの弱層帯が分布し、34・36BLはその基礎の約半分の面積がまた35BLは基礎岩盤のすべてがこの弱層よりなる。この弱層部の性状と力学特性を把握するために、1973年に35BLの下流20mの地点に試掘坑が掘削され、弱層部の岩相観察と現位置力学試験が実施されている。

堤体基礎岩盤に発達する断層一覧

位 置	断 層 名	弱層帯の幅	走 向	傾 斜
14～16BL	F 61 F 62	2～5 m 4～5 m	N-S NW	W SW
21BL	F 63		N-S	E
25～26BL	F 64 F 65	7～10m 7～8 m	N-S N-S	E E
30～32BL	F 66		NW	SW
34～36BL	F 67-1 F 67-2 F 67-3 F 67-4	} 40m	N-S N-S NW NW	W W NE SW
37～38BL	F 69	12～18m	N-S	W
39BL	F 68		N-S	W
44BL	F 75		N-S	W
46～47BL	F 76		NW	NE

#### 4.2.4 基礎岩盤の力学性状

「基礎岩盤の力学試験値」及び「岩盤基礎の透水性(各ブロック平均)」をそれぞれ次表に示す。

基礎岩盤の力学試験値一覧

項目		堅硬部 (新鮮岩)	弱層部 (34~36BL)			
			弱破碎部	強破碎部	断層粘土	
岩盤	剪断強度	C (kgf/cm <sup>2</sup> )	17.2	10.8	9.2	
		φ (度)	45	44	43	
	変形係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	63,800 (節理密集部)	2,600~5,200	1,800		
	静弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> ) (割線弾性係数)	81,900 (節理密集部)	7,300~7,500	3,300		
岩石 (試験)	一軸圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )		2,600~3,600	520~2,900	160~1,200	
	三軸圧縮強度	C (kgf/cm <sup>2</sup> )	180	48	27	0.2~0.4
		φ (度)	58	39	4.9	20~30
	静弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )		740,000	570,000	150,000	
	動弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )		750,000	550,000	210,000	

\*岩石試験の値は、豊満墳基処理情况簡介 (1986) による。

基礎岩盤の透水性一覧 (各ブロック平均値)

ブロック番号	平均Lu値	ブロック番号	平均Lu値	ブロック番号	平均Lu値
6	1.1	22	2.6	37	1.2
7	0.7	23	0.5	38	1.4
8	0.5	24	0.6	39	2.3
9	2.1	25	0.4	40	3.1
10	0.1	26	0.3	41	3.0
11	0.8	27	1.5	42	1.5
12	1.4	28	0.7	43	4.7
13	2.4	29	0.5	44	6.0
14	0.7	30	1.7	45	2.1
15	0.9	31	0.2	46	3.1
16	2.1	32	0.4	47	2.4
17	0.6	33	1.0	48	0.9
19	0.5	34	1.2	49	0.1
20	0.5	35	0.3	50	1.0
21	0.6	36	1.0		

### 4.3 地震資料

国内において入手した下記資料をもとに、1900年～1980年の大規模地震（マグニチュード6以上）の計37回の地震の震源地を地域別に整理すると、吉林省内11回、黒竜江省内9回、河北省内7回、その他の地域11回となっている。これら震源の多くは中国東北地方を東北から西南に縦断する帯状地域（ロシア共和国および北朝鮮との国境付近）に集中している。

これら地震のうち豊満ダムに最も近い震源は、松花江上流の吉林省安図（同ダム東南東188km）である。また、同ダム東南東304kmの吉林省琿春では、80年間に7回も大規模地震が発生しており、そのうち最大のものはマグニチュード7.7であった。

なお、比較的最近発生した地震のうちその規模および被害の大きかったものは、1976年7月の河北省唐山地震でその規模はマグニチュード7.9で周辺地域の死者は24万2千人とされている。

地震関係収集資料

発行年	資料名
1988年	中国特大地震研究
1983年	中国地震目録
1983年	中国地震歴史資料
1976年	中国地震考察団講演論文集

## 第5章 ダム築造時設計条件及び施工

### 5.1 設計条件 (ダム築造時)

#### 5.1.1 計画洪水量

計画洪水量は既往最大洪水量10,000m<sup>3</sup>/sの50%増の15,000m<sup>3</sup>/sである。

#### 5.1.2 設計水位

計画洪水量15,000m<sup>3</sup>/sとして洪水調節計算を行い、水位を決定している。

洪水サーチャージ水位 266.5m

正常満水位 263.5m

#### 5.1.3 堤体コンクリートの比重

堤体コンクリートの比重 = 2.35tf/m<sup>3</sup>

現地天然河川骨材を使用し、高さ1m、径0.5mのマスコンクリートを実際に近い状況で製作してみると2.4tf/m<sup>3</sup>以上の値が容易に得られることを確かめている。

#### 5.1.4 揚圧力

基盤岩、グラウトの状況、同じ状況の他のダム例等を参考にして決めるべきであるが、上流端において上流水深の50%、下流端で0の直線分布としている。

#### 5.1.5 滑動に対する安定

滑動に対する安定計算は、摩擦強度の式で  $f = 0.7$  としている。

$$f \geq \frac{\sum P}{\sum W}$$

f : 摩擦係数

$\sum W$  : 堤体に作用する全ての荷重の滑動面に対する法線方向の分力(tf)

$\sum P$  : 堤体に作用する全ての荷重の滑動面に対する接線方向の分力(tf)

#### 5.1.6 地震力

東北地方における地震の記録は古来余り大なる地震の経験はないため、重力の5%の水平等値震度を考慮している。

他に上流貯水圧による動水圧も考慮しており、これは、ウエスタガードの式を用い満水位以下に働くものとしている。

#### 5.1.7 堆砂

堆砂高はダム高80mの半分40mとし、比重1.0 土圧係数0.4としている。

## 5.2 ダムの施工

### 5.2.1 施工概要

ダムの建設工事は1937年に始まり、1945年までのダム築造第一期と、中国移管後の堤体コンクリート打設及び修復工事の第二期に区分され、1953年にダムが完成した。ダム建設の経過と修復工事の概要はそれぞれ別表「ダム建設の経緯」及び「ダム漏水防止と修復工事」に示すとおりである。ここではダム完成までの施工状況を中心にまとめ、修復工事については第6章で詳述する。

## ダム建設の経緯

年	代	項	目
建設第一期	1933年	松花江の総合的な調査を実施	
	1935年 7月	治水利水調査実施計画を策定	
	1936年	豊満水力発電所の建設を決定。吉林工事事務所の設置	
	1936年～1937年	ダムサイトの地質調査を実施	
	1937年11月	ダム起工式	
	1938年10月	ダム定礎式	
	1942年11月	湛水開始	
	1943年 3月	1号機発電開始	
	1945年 8月	施設移管	
	1938年10月～ 1945年 8月	170.4 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> の堤体コンクリートを打設 ダム総打設量の87.8%を完了	
建設第二期	1946年～1947年	2.6 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> の堤体コンクリート打設。ダム総打設量の89.2%を完了	
	1947年	米国、カート技師の提案により、ダムの洪水防止の安全のため、越流部堤頂の1～1.5 mのコンクリートを爆破により取壊し	
	1948年～1953年	堤体コンクリート25.2 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> の打設と漏水防止、修復工事	
	1953年	ダム完成	

ダム漏水防止と修復工事（1948年～1953年）の概要

工事期間	工事内容
1948年～1953年にかけて	<p>(1) 3～54ブロックに対する堤内排水孔設置 ダム軸線下流側 3.9mの位置に 4.5m間隔で監査廊まで219本、延11,747mの排水孔を設け、堤体内の漏水を堤体外に排出させ浸食及び揚圧力の減少を図った。</p> <p>(2) 3～55ブロックに対する堤体補強グラウト工 堤体の漏水を減少させるため、ダム軸下流側1.85mの位置で1列の補強グラウチングを実施、EL.220m以上に対し、2m間隔に598本、総延長25,931mの注入孔を掘り、1,111tのセメントを注入した。</p> <p>(3) 局部の漏水止めセメントミルク注入 監査廊及び作業坑内の局部漏水に対し、733孔をボーリングし、その内649本のパイプを埋設し、セメント667tの注入を行った。</p> <p>(4) 基礎の遮水グラウト 下段監査廊内でダム軸下流側の3.5mの位置に2m間隔、深さ10～35mで575本、延12,805m、セメント量560tのカーテングラウチングを行い、揚圧力の減少を図った。</p> <p>(5) 基礎排水孔の設置 下段監査廊のダム軸線4.3mの位置で、4.5m間隔、下流側に30°傾斜した310本、延3,326mの排水孔を設け、揚圧力の減少を図った。</p> <p>(6) 鉄筋アンカーの設置 ダムの一体性を強化するため、ダム下流面から直角に2～5列、Aブロックに3m貫入する長さで、間隔4.5mで梅花の形に配置した。その孔内に径100mm、長さ6mの鉄鋼を挿入し、セメントミルクで隙間を充填した。鉄筋アンカーを挿入した孔数は609孔、鋼重は228t、セメントは1,168tを使用した。</p>

### 5.2.2 仮締切工事と河流切替

河流処理の方法は河幅、洪水量、河底地質等を考慮し、半川締切工法により施工した。

### 5.2.3 堤体基礎工事

河床部は岩盤上1～2mの砂礫があり、右岸側には小規模な断層があった。その断層粘土は上下流に約80cmの幅で通っており、且つ右岸に30度位に傾斜しているのを、これを取除くため河底より30mの深さまで掘削している。

基礎上流部の岩盤にはセメントミルクによるグラウチングを実施している。

### 5.2.4 コンクリート打設

堤体コンクリートの打設は、1938年夏から開始し1945年8月のダム移管時点までに総打設量の約87%を終了していたが、継承後、中国側のコンクリートの打設により1953年にダムはほぼ完成した。コンクリートの最終打設量は198.2万 $m^3$ である。

セメントは、吉林郊外哈達湾（ハーターワン）の大同セメント工場製である。

コンクリート用骨材は、当初は堰堤地点下流5kmと上流13kmの地点より複線軽便軌道により運搬した。本プラントが完成後、骨材採取地を大長屯（ダム地点下流15kmの右岸）に移しバケットドレッジャーで採取し、貨車で中央プラント下流の集積所へ運搬した。

中央混合所で混合されたコンクリートは底開きバケットに入れ、台車にのせ機関車で施工現場まで運び、ジブクレーンで打設している。

クレーンは打設高に合わせて高さ約20m毎に4回盛替えを行い打設した。

#### 補修コンクリート打設状況

打設箇所	打設量 ( $m^3$ )	打設時間 (年)	打設箇所	打設量 ( $m^3$ )	打設時期 (年)
上流面補修	159,752	1948～1950	上流面補修	981	1952～1953
越流部継続	34,285	1949～1950	下流面補修	2,145	1952
越流部橋梁	12,168	1951	堤頂部分拡張	1,222	1952
越流面改築	7,703	1952～1953	路面、擁壁、高欄	11,636	1951～1953
扩坦改築	22,382	1952～1953	合計	252,274	

## 5.2.5 漏水防止工

### (1) カーテングラウト工

ダム基礎の止水処理として、当初カットオフから2列・孔間隔1.6m千鳥のカーテングラウチングの計画があるが、実際の施工状況は、不明である。

中国側が建設工事を引き継いだ後、下段監査廊内でダム軸より3.5m下流側の位置に孔間隔2m、深さ10~35mのカーテングラウチングを実施し、揚圧力の減少を図っている。このとき使用された注入材料は主にセメントで施工総量は575孔計12,805m、総注入セメント量560tであった。

ダム建設後の1954年~1976年にかけてこのカーテングラウトの補強工事が実施され、施工総量245孔計8,593m、総注入セメント量149tのセメントが注入された。このときのグラウト濃度はW/C=8/1程度が主体であった。

また1969~1978年にかけては35~39BLにおいて化学材料の注入が行われた。

### (2) 基礎排水孔

下段監査廊内のダム軸から4.3m下流の位置に、4.5m間隔で下流側に30度傾斜した計310孔・総延長3,326mの排水孔を設けている。

### (3) 堤内排水孔

3~54BLにおいてダム軸より3.9m下流側（下段監査廊の中心位置）に4~5本/ブロックの堤内排水孔をダム軸に沿って一列に配置している。

排水孔の削孔は主として1952年~1953年にかけて実施され、孔数は219孔、全長は11,747mとなっている。

### (4) 堤体補強グラウト工

築造後の堤体コンクリート補強と堤体の漏水防止のため、ダム軸より1.85m下流側に標準2m間隔で普通セメントを主体とした注入による補強グラウチングを天端~BL220m間で実施した。

1951年~1953年に施工し削孔数は598孔、削孔延長25,931m、注入セメント量は1,111tとなっている。透水量の多い箇所については、引き続き、補助グラウチングが実施され、現在も継続されている。

下流面、監査廊及び操作廊の局部漏水に対しては排水孔の削孔、あるいはパイプ

を埋めてからセメントミルクを注入する等の方法で処理している。733孔を削孔し、約650本のパイプを埋め、注入したセメントは677tである。

## 第 6 章 ダム管理状況

### 6.1 ダム管理状況

#### 6.1.1 ダム観測設備

ダムの建設時にはダム観測機材も少なかったため、簡単な観測しか行われていなかったが、1954年から組織的な観測が開始されている。観測項目及び観測位置、観測期間は次図に示すとおりである。観測開始年から1985年までの観測資料の結果は、報告書「豊満大堰観測資料沱編」としてとりまとめている。1985年以降については、中止したもの、修理中のももあり、レーザー光による上段監査廊内での追加堤体変位、揚圧力及び漏水量などを継続観測しているが現在ダム補修工事中のため一部中断している。

#### 6.1.2 管理状況

ダム観測設備の状況は老朽化のため不完全であり、十分なる観測実施のためには早急に全面的に更新補修の必要がある。





## 6.2 ダム補修

### 6.2.1 漏水対策

#### (1) 堤体漏水補修グラウト工

1953年ダム完成直後には、1948年～53年に亘って実施した漏水止水補強グラウト工事にかかわらずクラック、豆板及び継目などの漏水が多く、引続き堤体補修グラウト工を下表の通り何回も多年に亘り実施したので堤体の漏水量は減少した。しかし貯水位が上昇すると漏水量が急増する傾向があるため、1991年現在も追加補修中である。

堤体補修グラウト工実績

注入年代	ブロック番号	ブロック数 個	ボリツ数 孔	注入長 m	セメント量 kg	単位注入量 kg/m	注入材料
1955	20-42	16	131	5,427.91	161,060.73	29.67	普通セメント
1956	3-55	34	80	2,086.69	71,994.29	34.50	〃
1957 ～1958	20-33	8	67	2,173.75	64,761.70	29.79	〃
1960 ～1962	13-45	12	48	855.93	32,410.16	37.87	〃
1965 ～1966	10-49	9	22	1,044.38	62,650.19	59.99	〃
1967 ～1968	13-49	8	13	618.01	28,497.73	46.11	普通セメント 膨脹セメント
1972 ～1973	23-42	7	20	700.06	50,817.30	72.59	普通セメント
1974	33-37	4	11	477.94	38,996.80	81.50	〃
1989	14-19	6	38	1,771	34,295	19.36	
合計	3-55	104	400	15,156	545,484	35.99	

(2) 堤体基礎漏水補修グラウト工および追加基礎排水孔

堤体漏水補修グラウト工と同様、1953年のダム完成直後には、1948年～53年に亘って実施した基礎カーテングラウト工にもかかわらず、基礎排水孔に於けるダム基礎の揚圧力は設計値を超えていたため引続き追加基礎カーテングラウト工を、1954年～1980年の多年に亘り、下表に示す通り実施している。更に追加基礎排水孔の削孔を行い、1954年～1985年の間に47孔、延長851.19mの増設、1957年～1983年間に40孔、延長 335.5mの孔深追加を実施している。その結果揚圧力は設計値以下となっている。

ダム基礎カーテングラウト工

注 入 年 代	フ ロ ッ ク 番 号	フ ロ ッ ク 数 個	ホ ー リング 数 孔	ホ ー リング 長 m	注 入 長 m	セ メ ン ト 量 kg	単 位 注 入 量 kg/m	注 入 材 料
1954	43	1	13	428.56	428.56	11,830	27.60	
1957	42-44	3	30	1,205.90	1,148.40	15,221.5	13.25	
1958 ～1959	15-54	14	104	3,800.28	3,751.76	75,459.5	20.11	
1961 ～1962	27-47	2	16	395.91	317.85	10,931.8	34.39	
1965 ～1968	16-47	17	64	2,619.53	2,205.83	29,194.37	13.24	
1969 ～1970	37-38	2	9	212.68	211.31	4,523.14	21.41	
1969 ～1970	35-36	2	12	565.88	472.91	11,292.20	23.88	
1971	38	1	3	105.23	91.42	1,935.2	21.20	
1972	36	1	8	231.35	154.62	3,408.43	20.04	
1973	38-39	2	7	226.03	218.11	2,683.6	12.30	
1977 ～1978	38	1	8	226.88	163.02	3,237.9	19.86	
1980	5	1	8	465.48	439.54	15,936.64	36.26	
合 計	5-54	47	282	10,483.71	9,603.33	185,654.28	19.33	

### 6.2.2 堤体コンクリート凍害劣化対策

豊満ダム地点は、苛酷な気象条件下にあり、このため冬期凍結融解作用の繰返しにより、ダム完成直後より凍害劣化のため発生した劣化コンクリートを除去し、補修コンクリートを打設する補修工事を、ダム上・下流面、越流面にて何回も多年に亘り実施して来た。1989年は渇水年であったため貯水位を 225m まで低下させ、思い切った大規模補修工事をダム上・下流面、越流面にて実施したが、全部は完成していない。

補修コンクリートは真空コンクリート、プレパクトコンクリート、AEコンクリートなど各種工法により試験を実施している。また、現在施工中のものはAEコンクリート（鉄筋配筋）を使用している。

### 6.2.3 耐震性対策

#### (1) 上段監査廊

上段監査廊には、中国側調査資料より多くの大きなクラックがあったと報告されている。ただし、今回の現地調査では大きなクラック類は既補修済みで確認できなかった。

ダム天端の鉛直変位は、右岸側48BL付近が最大35mm築造後隆起しているがダムの基礎では変位していないこと、堤体上部約30m区間の標高毎の変位測定（1974～1985年）の結果などより、堤体上部に水平ひび割れが多数存在し、上下流方向に発達しており、ブロックによっては完全に上段監査廊が分離していると思われる。

堤体上部の地震時の安定のため、PC工法などの対策が必要である。

#### (2) 34～36BLにおけるダム基礎の断層対策

34～36BLのダム基礎の断層追加地質調査のため、35BL下流20mの位置でダム軸方向の横坑（延長31m）を掘り坑内せん断試験、地質図等の調査を行うと共に、ダム基礎の滑動抵抗と安定性を高めるため前出の追加基礎排水孔削孔が行なわれた。

#### (3) 堤体・縦継目対策

ダムコンクリートの打設は、上下流方向にA, B, C, Dの4ブロックに分割して行われたが、低部のみにキラーを設置し、ジョイントグラウトされたとの中国側の判断で、特に重要なA, Bブロックの縦継目の一体性確保のため、1953年下流面より5～51BLの背面に直角方向に2～5列の削孔を行い4.5m間隔の梅花の形に鉄筋アンカー（ $\phi 100\text{mm}$ 、 $L = 6\text{m}$ ）でブロックA, Bを補強している。

## 第7章 試験・観測結果

### 7.1 試験・観測項目及び概要

第1次及び第2次現地調査作業において実施された試験・観測項目及びその概要は次のとおりである。これに伴うコンクリート諸試験の実施状況を次図に示す。

#### (1) 堤体コンクリート試験

##### i) 堤体コンクリートの品質

堤体コンクリートの品質を調査するために、ダム本体に対し弾性波探査調査とコアボーリングを実施した。

なお、ボーリングコアを供試体にしてコンクリート強度試験（圧縮試験）を行った。

##### ii) 堤体コンクリート成分の溶出

中国側で既に実施されている水質分析の結果を基に漏水中に含まれる遊離石灰分からダムコンクリートの品質低下に与える影響を文献等により調査した。

##### iii) 堤体コンクリートの凍害劣化

凍害劣化度合の測定は、堤体表面のコンクリート強度測定と目視により行い、その結果から劣化範囲、進行程度により修復する場合の判断基準を定める。

また、凍害防止コンクリート覆工厚さを決めるための参考に堤体の温度測定を深さ3m～5mまで5ヶ所において実施した。

#### (2) 堤体表面のひび割れ等調査

当ダムの上流面は凍害劣化による損傷が特にひどく、漏水の原因は主にクラックと豆板が考えられるので、その分布調査を行った。水上部分の調査は目視、水中部分は水中テレビロボにより行った。

クラック発生原因を凍害、アルカリ骨材反応、温度応力、施工の影響等を基に解析した。アルカリ骨材反応試験はボーリングコアを供試体として行うが、この試験は中国側にて実施した。

調査試験項目	1991年												1992年											
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月				
ボーリング			■	■	■										■	■								
圧縮試験							■									■								
7ルリ骨材反芯試験										■				■										
供試体超音波試験										■														
孔内撮影									■							■								
温度測定																			■					
備考																								

現地調査コンクリート諸試験実施状況

## 7.2 堤体コンクリートの品質

### 7.2.1 弾性波探査（物理探査）

ダム横断20断面について弾性波探査を実施した。

現場調査の結果では、概してダム堤体下部の弾性波速度は大きく、ダム上部および下流面表層部は低速度となっている。

第1次国内作業にて実施した弾性波解析の結果、水平解析4断面について、第2次現地調査期間に追加してトモグラフィ解析を実施した。

### 7.2.2 ボーリング調査

着手報告書にもとづき、ダム3断面（12BL, 35BL, 48BL）を基本とし、各断面、上下流方向4ブロック（A, B, C, Dブロック）に対し削孔長500mを計画した。

削孔作業はボーリング機材の通関、連続豪雨と洪水・ダム放流などの不可抗力による着手工程の遅延等のため、第1次現地調査で未了となった分は第2次現地調査で実施した。ボーリング位置、削孔長等の調査実績は、下表の通りである。

ボーリング調査実績（第1次）

孔名	削孔長 (m)	孔口標高 (BL, m)	左岸よりの 位置	孔径	備考
8-A	51.2	266.5	No. 8+ 7.7	210	37-B孔 0~5.2mはφ210mm 5.2~40.0mはφ160mm
8-B	40.0	244.5	No. 8+10.5	〃	
35-A	50.1	266.5	No.35+ 8.5	〃	
37-A	41.8	266.5	No.37+ 4.5	〃	
37-B	(40.0)	244.0	No.37+13.5	200~160	
44-A	50.0	266.5	No.44+ 3.0	210	
47-A	27.0	266.5	No.47+15.0	〃	
計	260.1	—		—	

ボーリング調査実績 (第2次)

孔名	削孔長 (m)	孔口標高 (EL. m)	左岸よりの 位置	孔径
9-C	44.1	233.5	No.9+10m	210
9-D	19.5	213.5	No.9+10m	〃
21-A	62.0	266.5	No.21+3m	〃
37-C	24.4	215.0	No.37+4m	〃
41-B	49.1	248.0	No.41+10m	〃
46-B	44.0	243.0	No.46+10m	〃
小計	243.1			
合計	503.2 (第1次 260.1m、第2次 243.1m)			

採取したコアはコア箱に納め、コア観察・写真撮影後その一部を供試体として利用した。コア観察の結果はボーリング柱状図としてまとめた(資料集参照)。

7.2.3 孔内撮影

(1) 調査内容

本調査は着手時には予定されていなかったが、次に示す技術的必要性により実施した。

- i) 100%のコア採取率の確保が困難(第1次現地調査における最低の採取率は、47-Aで62%)であったため、現地のボアホールテレビ(BTV)を用いた孔内撮影によりコンクリート不良部の実体を判断する。
- ii) ダムコンクリート内のクラックの方向、傾斜、規模などを孔内直視により正確に判断する。
- iii) ダムリフト施工ジョイント、岩着部などの状況を詳細に調査する。
- iv) 孔内の湧水状態(ダム漏水)を確認する。
- v) 孔内のコア採取不能区間の豆板、遊離石灰、埋設鉄筋、木材など特異状態をみる。

(2) 調査期間

現地調査は第1次現地調査孔に対し1991年10月21日~10月末にかけて実施され、引き続き解析を行い12月15日に完了した。第2次現地調査孔に対しては1992年8月

18日～9月上旬にかけて実施され、解析は9月30日に完了した。

#### 7.2.4 コア試験

ボーリングコアより採取した供試体による諸試験は、次の通りである。

- ① コンクリート圧縮強度試験（単位体積重量、静弾性係数試験、超音波伝播速度測定、シュミットハンマーによる硬度測定を含む）
- ② コンクリート骨材アルカリ反応試験
- ③ コンクリート溶出成分水質試験

これらの諸試験は中国側試験室にて実施し、完了後その成果を調査団にて整理解析した。

なお、溶出成分水質試験については中国側にて既に試験が実施されており十分な資料があるので、この結果を基に整理、解析を行った。

##### (1) コンクリート圧縮試験（一軸）

圧縮試験の供試体はボーリングコアから採取したため、直径、長さ、形状共に標準の供試体とはかなり違ったものとなった。このため、中国で用いられている標準の強度（20cm角の立方体）に換算するため、補正を行った。

試験結果は次表の通りである。

コンクリートコア試験結果の平均値

		個 数	最 大 値	最 小 値	平 均	標 準 偏 差	変 動 係 数
単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )	92年度	43	3.021	1.810	2.406	0.145	0.060
	91年度	120	2.832	2.138	2.441	0.125	0.051
	合計	163	3.021	1.810	—	—	—
圧 縮 強 度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	92年度	43	530.2	109.5	274.7	81.0	0.295
	91年度	120	426.1	71.5	228.2	74.3	0.325
	合計	163	530.2	71.5	240.4	78.8	0.328
静 弾 性 係 数 (kgf/cm <sup>2</sup> )	92年度	43	228,571	20,000	99,950	58,824	0.589
	91年度	110	208,333	7,547	46,350	30,446	0.657
	合計	153	228,571	7,547	61,414	46,959	0.765
P 波 速 度 (m/s)	92年度						
	91年度	110	4,577	1,490	2,820	562	0.199
	合計						
シュミットハンマー 換 算 強 度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	91年度	109	567	31.9	225.1	97.1	0.432

## (2) コンクリート骨材アルカリ反応試験

アルカリ反応試験は、供試体採取後、所定の概観観察、物理試験（吸水率試験及び超音波測定）を行った後、膨張量の測定を実施した。

## (3) 堤体コンクリートの物理性状に関する考察

### i) 単位体積重量

表7-2-7 より、供試体の単位体積重量は $1.810\text{tf}/\text{m}^3 \sim 3.021\text{tf}/\text{m}^3$ の値を示し、その平均値は $2.432\text{tf}/\text{m}^3$ となる。

中国の重力ダム設計規範の概略設計段階におけるコンクリートの単位体積重量は $2.35 \sim 2.4\text{tf}/\text{m}^3$ となっており、平均値で見るとこの値を満足していることになる。

### ii) 圧縮強度

表7-2-7 より供試体の平均圧縮強度は、第1次、第2次現地調査時、それぞれ $229.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ と $271.9\text{kgf}/\text{cm}^2$ となり、後者がやや大きくなっている。なお、中国側試験記録の中の異状値の一部は検討の結果修正を行なった。

### iii) 静弾性係数

第1次、第2次現地調査時の平均静弾性係数は、夫々 $46,350\text{kgf}/\text{cm}^2$ と約 $100,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ となり大きな差が出ている。中国側の調査試験状況を調査した結果、キャッピング問題があったと判断されたため、実際の静弾性係数は第2次調査の約 $100,000\text{kgf}/\text{cm}^2$ に近いものと判断する。また、測定方法についても簡便法のため参考値とすべき値である。

### iv) 弾性波測定

表7-2-7 のP波速度（弾性波測定）は、第1次、第2次現地調査時、それぞれ $2,880 \sim 5,170\text{m}/\text{s}$ （平均 $3,959\text{m}/\text{s}$ ）、 $3,624 \sim 5,332\text{m}/\text{s}$ （平均 $4,477\text{m}/\text{s}$ ）となっている。第1次現地調査時、中国側測定値は、バラつきが多かったのを日本において再判読推定し訂正した値を計上した。なお、第2次現地調査時の中国側測定値は、調査団の指導後は良好な測定値と判断できる。

### v) シュミットハンマーによる硬度測定及び換算強度

供試体の両切片でシュミットハンマーによる反発硬度を測定し、強度との相関

性を調べた。測定は、上下面で各々5回ずつ行い、ハンマーの先端が骨材に直接当たっていることもあるため、昇順に整理した後、小さい方から5番目までを測定値として採用した。換算値は31.9～567.0 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲に分布し、その平均値は225.1 kgf/cm<sup>2</sup>（標準偏差97.1kgf/cm<sup>2</sup>）で圧縮試験の平均値にほぼ等しい。変動係数は43.2%を示し、圧縮試験のそれより大きくなっている。

#### 7.2.5 堤体コンクリート成分の溶出

##### (1) 関連資料

現地調査にて、中国より入手した水質分析資料は下記の通りである。

- ・豊満大堰水質分析小結（1973年） 豊満発電所 楊金誠 提出
- ・堤体・基礎水質普査総括（1981年） 豊満発電所 肖印環 提出
- ・湖水対堤体、基礎カーテン侵蝕性簡介（1982年）  
豊満発電所 朴在洋 編

上記報告書によれば堤体漏水により約7～9 t/年、基礎漏水により約6～8 t/年の溶蝕量が発生しているものと考えられている。

##### (2) 貯水池の水質調査

豊満ダムにおける報告書及び既測定結果を解析した。

豊満ダム湖水によるコンクリート劣化は、重炭酸塩の溶出による劣化とpH値の酸性による劣化が主であるが炭酸ガスによる劣化もあると中国側は考えている。

炭酸ガスによる劣化は、コンクリートを中性化し埋設鉄筋の深さまで中性化すれば鉄筋類の発錆を引き起すが、覆り厚が十分にとられている場合にはほとんど問題ない。

日本における調査研究では、この程度のpH値の水による侵蝕性が問題になったことは無く、湖水の水質がコンクリートに及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

##### (3) 堤体滲透、漏水の水質測定

###### i) 堤体漏水・滲透水

堤体漏水・滲透水は無色透明、無味である。pH値は6.4～13.0、平均10（169試量pH10～13-84%、pH6.4-1.2%、pH7中性値-1.42%）となっている。従って堤体よりの漏・滲水は大部分強アルカリ性である。

## ii) 堤体漏滲水の化学的類型

大部分は水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を含んだ水と水酸化ナトリウム・カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NaOH}$ を含む水が大部分で、水酸化炭酸カルシウムがこれに次ぎ、その他は少ない。

## iii) 堤体コンクリートに対する漏滲水の溶蝕

堤体コンクリートに使用したセメントの主要化学成分は、 $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  である。

豊満ダムの体積  $220 \text{万 m}^3$ 、セメント使用量  $150 \text{kg/m}^3$ 、水酸化カルシウムをセメント量の20%として  $220 \times 10^4 \times 0.150 \times 0.2 = 6.6 \text{万 t}$  に対し、年間  $20 \text{ t}$  の水カルシウムが流出するとし、約40年間に  $20 \times 40 / 66 \times 10^3 \approx 1.2\%$  しか流出していない。

日本のダムにおいても少量の漏水に対し、とくに水酸化カルシウム流出による炭酸カルシウムに対し重大なる問題点とはなっていない。

## (4) 簡便法による中性化試験

シュミットハンマーによるコンクリート表面の硬度測定と同時に、フェノールフタレインを用いて表面の中性化の状況を調べた。

中性化を示した殆どの箇所がハンマーで表面を  $0.5 \sim 1 \text{ cm}$  位削って試験をすると、発色するため中性化は殆ど表面に限定されるものと考えられる。

## 7.2.6 堤体コンクリートの凍害劣化

気象状況、貯水池運用状況、堤体コンクリートの耐凍害性および構造物の部位別による堤体コンクリートの凍害劣化破壊の現状調査結果を中国側資料を参考として述べる。

### (i) 凍結融解サイクルによる被害

コンクリートの凍結融解による破壊の基本条件は、コンクリート内の水が  $0^\circ\text{C}$  以下で凍結し  $0^\circ\text{C}$  以上で融解することである。

南面するダム表面の温度は日中日照により  $5 \sim 7^\circ\text{C}$  上昇し夜間は放射冷却するので、日平均気温が  $+5^\circ\text{C} \sim -12^\circ\text{C}$  の間にあるときは、ダム表面温度は  $0^\circ\text{C}$  以上または以下に変化し、温度変化サイクルは年  $110 \sim 130$  回となり得る。構造物の部位によりこれらの条件を検討してみる。

i) ダム上流面

豊満ダムは毎年11月の中旬より貯水位が低下し、翌年3月中旬～下旬に最低水位となり春の出水期を迎え上昇する経過をとる。冬季の湖面の結氷は約1.2m厚程度まで発達する。初冬の気温、1日の最低が $-10^{\circ}\text{C}$ になると流氷が発生、 $-20^{\circ}\text{C}$ を下れば結氷する。早春1日の最高が $20^{\circ}\text{C}$ を越せば解氷して河面の氷はなくなる。冬季気温は、1日の最低が $0^{\circ}\text{C}$ になるのは10月中旬頃、1日の最高が $0^{\circ}\text{C}$ となるのは11月中旬頃、翌春3月中旬頃1日の最高が $0^{\circ}\text{C}$ 、4月中旬頃1日の最低が $0^{\circ}\text{C}$ となる。

貯水位の上下1.0mの凍融ゾーンとして凍融解サイクルは10～20回/年となる。

ii) ダム下流面

豊満発電所の運転により冬期は一般に0.5～1.5m、最大2.0m程度の水位変動が起きる。1日の水位変動を1～2回とすると、凍融解サイクルは100～200回/年となるが、放流水は水温が高いため凍害の程度は少ないが、サイクル変化が速いために被害が大きくなる。

ダム下流面の漏水は、ダム面が南面するため凍融解サイクルは90～130回/年となり、コンクリートに大きな被害を与える。その他工事用水の凍結、ゲートよりの漏水、降水や両岸よりの漏水凍結・融解によってもコンクリートの凍害の原因となる。

iii) 堤体上部の上・下流面、高欄、天端、上段監査廊

ダム上・下流面の水と接しない、または漏水と関係ない堤体上部については、降雨・工事用水・雑用水の滲透流下、さらに冬期ダム周辺に充満する水蒸気類の影響により既存クラック類が拡大しコンクリート破損となって被害を受ける。

(2) 豊満ダムの凍害劣化の実情

中国側資料による凍融破壊の調査によると、

- 1950年調査時凍融破壊面積 上流面 EL 246m以上にて 460㎡

- 1963年調査時 “ 上流面 BL 238m以上の破損面積は 8,838㎡  
 で調査面積の約30%、深度10cm以上  
 3,300㎡最大 0.8~ 1.0m
- 下流面 8,300㎡で調査面積の約50%、  
 一般深度 0.2~ 0.4m

被害の程度は、下流面で一般に深度 0.2~ 0.4m、上流面はBL245m~260mの被害が大きく、表面~15cm間が鉄サビ色の緩んだ部分で剝離している。15~40cm間はやや風化劣化している。これは貯水位の変化が WL245m~ 260mに多いことによるものと考えられる。

(3) シュミットハンマーによるコンクリート表面硬度の測定

i) 測定箇所

シュミットハンマーの測定は、諸事情から止むなく、監査廊（上段、下段、操作廊）、天端高欄で実施した。下流面については犬走りのある箇所のみ調査をすることができた。

ii) 測定結果

測定の結果（硬度）より換算したコンクリートの強度は圧縮試験等の結果から推定した値より、かなり大きめな数値を示す。

(4) 堤体温度測定

堤体のコンクリート温度（特に冬期における外気温の影響）を測定するため天端及び上下流面に温度計を設置した。これらの位置及び設置深さは下表に示すとおりである。

温度計設置位置

孔 名	20B	21A	21C	35A	35H
設 置 深 度 (m)	0.2	外気温	0.2	0.2	0.22
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.55
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1
	3.0	3.0	3.0	3.0	2.2
	5.0	5.0	5.0	5.0	3.3
測 定 方 法	自 動	手 動	自 動	手 動	

### 7.3 堤体表面のひび割れ等調査

#### 7.3.1 堤体上流面

堤体上流面の水上部分は目視、水中部分については水中テレビロボによりクラック、豆板等の調査を行った。

#### 7.3.2 堤体天端

##### 1) 調査内容

堤体天端のクラック分布および規模と凍害・劣化などの調査。

##### 2) 調査期間

1991年6月中旬～下旬

##### 3) 調査方法

中国側分布資料を参考に、クラック・凍害等について目視および実測による。

#### 7.3.3 堤体下流面

##### 1) 調査内容

堤体下流面のひび割れと凍害・劣化調査

##### 2) 調査期間

1991年6月下旬～9月中旬

##### 3) 調査方法

ダム天端より標高を示すためのテープを下げ、双眼鏡および目視による。

(犬走りよりの目視調査含む)

#### 7.3.4 監査廊

##### (1) 上段監査廊

##### 1) 調査内容

監査廊内のクラック、遊離石灰、漏水の分布および規模などの調査

##### 2) 調査期間

1991年6月下旬～7月上旬

##### 3) 調査方法

中国側分布資料を参考に、クラック、遊離石灰、漏水等について目視および実測による。

## (2) 下段監査廊

### 1) 調査内容

監査廊内のクラック、遊離石灰、漏水の分布および規模などの調査

### 2) 調査期間

1991年6月下旬～7月上旬

### 3) 調査方法

中国側分布資料を参考に、クラック、遊離石灰、漏水等について目視および実測による。

## 7.4 漏水観測及び堤体挙動

### 7.4.1 漏水観測

中国側の漏水観測の結果をとりまとめ次に示す。

- ① 縦坑の三角堰における漏水量は、1956年～1959年の間は貯水位との相関性が見られたが、それ以降は所内雑用水の漏水も混入してきたため、堤体の総漏水量の測定としては不正確な値となっていると考えられる。
- ② 堤体漏水防止のための補強グラウチングの度に漏水量は変化している。
- ③ 漏水測定管理方法を確立しないと測定結果を活用できないが、現況は工事中とポンプ使用中なので測定困難な実情である。

### 7.4.2 揚圧力

16BL, 27BL, 34BLの揚圧力係数の経年変化をみると、ほぼ10～20%の範囲内に入っているため、揚圧力としては定常状態に達したものと考えられる。

### 7.4.3 堤体挙動

#### (1) ダム天端水平変位

- ・ダム天端水平変位は、1954年～1967年間は貯水位の変化に対し正常な変位を示している。ただし12～14BL及び35～38BLにおいては、やや下流向きの変位値が小さい。
- ・1968～1970年間の長期貯水位の低い期間があり、それ以後、貯水位が回復しても12～16BL間の代表値としての14BLではダム天端変位は上流側に平均約-10mmの残

留ひずみを示している。

- ・1976～1978年間の長期貯水位の低い期間の後、33～38BL間の代表値としての35BLでは貯水位が回復しても、ダム天端変位は上流側（平均約-5mm）になったままである。

- ・ダム天端水平変位（旧系統）1954～1985年…測定基準日は1959年3月25日  
上段監査廊引張線水平変位 1975～1985年…4BL～55BL間測定基準日は1975年低水位時

上記2方法の観測値は概ね合致している。

ただし32BLにおけるプラムラインによる天端変位では、1977年～1985年間に於いて大きな誤差（約15mm）が発生しており検討の結果何らかの原因によりプラムライン観測値に誤差が発生したものとする。

- ・ダム天端水平変位の各BL毎の比較をみると、ダム築造直後（1954年～1963年）は概ね貯水位の変化に応じ水平変位が正常な状態で発生していたが、最近の1976年～1985年間の測定結果によると、とくに12～16BLおよび33～38BL間は上流側に大きく変位している結果となっている。かつ上下流側への変位の幅（振幅）が小さくなっている。このことは弾性係数の変化、クラック等の発生による一体性が確保されないため塑性的な動きが加わった結果とも考えられる。

ダムが上流側に傾斜している傾向の強いブロックは、14BL付近・36BL付近および48BL付近である。

ただし最近1975～1985年間のデータではほぼ安定しているので、これらブロックの監視を続ける必要はあるが、状況の悪化は進行していないと思われる。しかし中断されている変位観測は、測定設備を改新のうえ早急に管理を続行すべきである。

## (2) ダム天端鉛直変位

- ・5BL～30BL間は、約10mm測定開始（1959年）より上昇している。

$$+10\text{mm}/25\text{年} = +0.4\text{mm}/\text{年}$$

- ・31BL～55間は、約20～36mm測定開始（1959年）より上昇している。

上昇のはげしいブロックは 48BL+36.3mm（48～49BL間）

40BL+27mm（40～41BL間）

54BL+27mm (52~55BL間)

- 48BLの経年変化による鉛直変位は、  
1960年~1978年の19年間で+27mm  
 $+27\text{mm}/19\text{年} = +1.42\text{mm}/\text{年} \approx 1.4\text{mm}/\text{年}$   
1979年~1985年の6年間で+4mm  
 $+4\text{mm}/6\text{年} = +0.67\text{mm}/\text{年} \approx 0.7\text{mm}/\text{年}$

毎年1~3月に鉛直変位の上昇が最大となる。

5~10月には一旦低下し続く冬期に上昇開始する累年残留鉛直変位が発生している。

- ダム天端より約30mまでの標高毎の鉛直変位観測の結果  
上部10m区間の鉛直変位が大きいことが判った。
- 測点の位置が下流高欄近くにあり、上段監査廊付近のクラック発生状況より監査廊より下流部のクラック隆起による影響ありとも考えられる。
- ダム天端面上下流傾斜実測データより、下流側が約10~15mm程度上昇していることが判り、上記の可能性が大である。
- 31BLより右岸側は、下流面冬期日照を受ける区間で、右岸になればなるほど長時間日照を受ける。(31BL~55BL間)
- ダム天端鉛直変位の右岸~左岸に至る平面的検討では、冬期日照を受ける右岸部31BL~54BL間のダム天端鉛直変位が大きい。30BLより左岸部は右岸部変位の約1/2~1/3で小さくなっている。

### (3) 堤体下流面の縦継目変位

47BL~49BLにおけるA, B, C, D各ブロックの縦継目の変位測定の結果、貯水位の上昇により(1979年~1985年)、

C~D間が縮まっている	.....	47BL、48BL
A~B間変化なしが少し開き気味	.....	47BL、49BL
B~C間変化なし	.....	47BL、48BL

### (4) 下段監査廊における横継目の開き測定

- i) 継目の開き測定方法より、接触事故にて誤差発生の可能性多い。

ii) 連続して継目測定していないため総合的検討不可。

iii) 概して継目の開き変化は少ない判断される。

(5) プラムラインの測定

32BLに設置されたプラムラインにおける1978年以前のデータは、ダム天端水平変位（旧系統）および上段監査廊引張線水平変位のデータと概ね一致するので信頼性があるが1979年以降はデータの再検討が必要であろう。

35BL、14BLのダム天端水平変位（旧系統）と上段監査廊引張線水平変位とを重ねると、よく合致するので信頼性がある。

- ・観測方法（光学式と鋼尺式）との差があり過ぎる。
- ・観測者による（鋼尺式）誤差がやはり発生している。

(6) 下段監査廊鉛直変位（岩盤変位）

代表として14BL、20BL、32BL、48BLの下段監査廊に於ける経年変化より、

- ・1960年～1970年間の観測当初10年間は、貯水位が上昇すると下段監査廊は直ちに上昇し、貯水位が降下すると下る傾向となっている。
- ・1971年～1985年間の観測結果では貯水位の上昇、降下に対する下段監査廊の変化は、約半年遅れてそれぞれ上昇、降下している。

1968年～1970年間および、1976年～1978年間の貯水位低下後において基礎上昇の変化が塑性変形のため残留している傾向が見られる。

- ・下段監査廊における鉛直変位は、基礎岩盤の変形にもとづくものと考え、1960年に比べ1985年には若干（平均約2～3mm）上昇している。
- ・これは、監査廊がダム上流部に位置するため、ダム基礎の上流部が下流部に対し上昇したことを示す。

このため、ダム天端においては水平変位が下流側に発生することとなるが、ダム天端水平変位観測の結果は逆に1968～1970年の貯水位低下後上流に若干変位したままである。

14BL 約-10mm、35BL 約-5mm

32BL 約+5mm

- ・長期間の貯水位低下により、ダム基礎部の含水量の脱水減少と沈下が発生する。

その後の貯水位の上昇により、含水量の増加が発生しないときは沈下したままである。貯水池よりの滲透水の影響は約半年遅れて発生することも考えられる。

#### (7) ダム堤体内温度の測定

堤体温度のデータによると、気温変化による堤体内温度の影響は、相当深部まで発生している。但し深部ほど熱伝導の遅れが見られる。

下表に示す如く堤体内の代表的測点における外気温が伝導される「遅れ」を示す。

堤体内における外気温の「遅れ」

外気温	測点 13	測点 14	測点 15	測点 19	測点 20	測点 21	測点 25	測点 26	測点 27
	上流 2m	下流 4m	下流 2m	上流 1m	下流 6m	下流 3m	上流 6m	下流 12m	下流 4m
+25~26℃	+18~20℃ 約0ヶ月遅れ	+15~17℃ 約1.5ヶ月遅れ	+20~24℃ 約0ヶ月遅れ	+21~23℃ 約0ヶ月遅れ	+14~15℃ 約3ヶ月遅れ	+15~16℃ 約1ヶ月遅れ	+12~13℃ 約3ヶ月遅れ	+8℃ 約6ヶ月遅れ	+12~13℃ 約1.5ヶ月遅れ
-9~5℃	-1~-2℃ 約0-1.5ヶ月遅れ	-2~-3℃ 約1.5ヶ月遅れ	-6~-5℃ 約0-1.5ヶ月遅れ	+3~-2℃ 約0ヶ月遅れ	+3~4℃ 約3.5ヶ月遅れ	-1~-2℃ 約1ヶ月遅れ	+7℃ 約4.5ヶ月遅れ	+6℃ 6ヶ月遅れ	0~+1℃ 約1.5-2ヶ月遅れ

#### 7.5 水圧鉄管関係

第2次現地調査完了後、中国側より水圧鉄管について追加調査の申し入れがあった。水圧・鉄管末端部明り区間の溶接部の継手X線写真の中国側調査の結果、溶接不良部があるとのことである。

なお既設備の母材は現在の中国の基準に合致しないため、明り鉄管部について母材の交換を含む全体の補修強化による安全対策の必要がある。

中国側で実施した調査の資料は入手出来たが、詳細資料は未入手である。

## 7.6 建設材料

現在、豊満ダムでは下流面の補修工事、発電所の増設工事及び豊満大橋の拡幅工事が行われている。これら工事に使用されている建設材料について調査を行った。

### 1) 骨材

ダムより下流約4 km、松花江右岸河川敷に骨材採取場（二松水電工程公司所有）があり、大規模な採取を行っている。

1987年設置のふるい分け設備は、最大能力 700 m<sup>3</sup>/8hr を有しており、河床砂礫を5 mm以下、5～20mm、20～40mm、40～80mm、80～150mmに分級している。その他骨材採取用のクラムシェル、運搬用ダンプトラック等を所有している。

河床砂礫であるので種類は様々であるが、主に緻密堅硬な変成岩、火成岩であり骨材としては原則として問題はないものと考えられる。なお、コンクリート骨材アルカリ反応試験を現在実施中である。

現在施工中のダムの補修コンクリートの骨材も、ここから採取され、3ヶ月毎に骨材試験が行われている。この結果によると、細骨材、粗骨材共にほぼ基準値を満足しているが、細骨材としての材料が、粗粒率の範囲 2.3～3.1の上限をやや上廻る3.27となっており、粒径のやや粗いものが多くなっていることが特徴である。

### 2) セメント

補修工事に使用されているセメントは、2種類あって吉林市営の吉林松江水泥（セメン）工場製造のものと、撫順市営の撫順水泥工場のものであるが共に品質は良好である。

### 3) 鉄筋

鉄筋については、中国の場合入手経路、入手先は複雑であるが、国の事業に使用される場合は優先的に扱われ、前年に必要量を申請しておけば問題はない。

### 4) 型枠用木材

木材の種類別の生産地は様々であるが、吉林市の国営の木材店から購入することができる。

## 第 8 章 弾性波探査の解析

### 8.1 解析内容

測定した20断面のデータのうち、10断面についてトモグラフィ解析を、残り10断面について水平解析を行った。また、水平解析断面のうち4断面についてトモグラフィ解析を追加した。水平解析とは、ほぼ水平方向の伝播経路をもつ測定データを用いて堤体コンクリートの平均速度を求める解析方法である。

個々の断面における解析法を次表に、また、測定断面位置を次図に示す。

測定断面の位置と採用した解析法

番号	測定位置* <sup>1</sup>	トモグラフィ解析 ／水平解析	下流側堤体 表面状況* <sup>2</sup>	番号	測定位置* <sup>1</sup>	トモグラフィ解析 ／水平解析	下流側堤体 表面状況* <sup>2</sup>
1	BL. 8+ 7 m	トモグラフィ解析	C	11	BL. 7+ 2 m	水平解析	B + C
2	BL. 9+10 m	トモグラフィ解析	C	12	BL. 12+ 6 m	水平解析	C
3	BL. 14+12 m	トモグラフィ解析	C	13	BL. 16+ 8 m	水平解析	C
4	BL. 18+ 8 m	トモグラフィ解析	A	14	BL. 21+ 3 m	水平解析	C
5	BL. 35+ 8 m	トモグラフィ解析	A	15	BL. 23+17 m	水平解析	A
6	BL. 37+ 4 m	トモグラフィ解析	A	16	BL. 31+17 m	水平解析	A
7	BL. 41+10 m	トモグラフィ解析	A + C	17	BL. 33+15 m	水平解析及び 追加トモグラフィ解析	A
8	BL. 44+13 m	トモグラフィ解析	B	18	BL. 39+ 1 m	水平解析及び 追加トモグラフィ解析	A
9	BL. 46+10 m	トモグラフィ解析	A + B	19	BL. 43+10 m	水平解析及び 追加トモグラフィ解析	A + C
10	BL. 47+10 m	トモグラフィ解析	A + B	20	BL. 49+15 m	水平解析及び 追加トモグラフィ解析	B

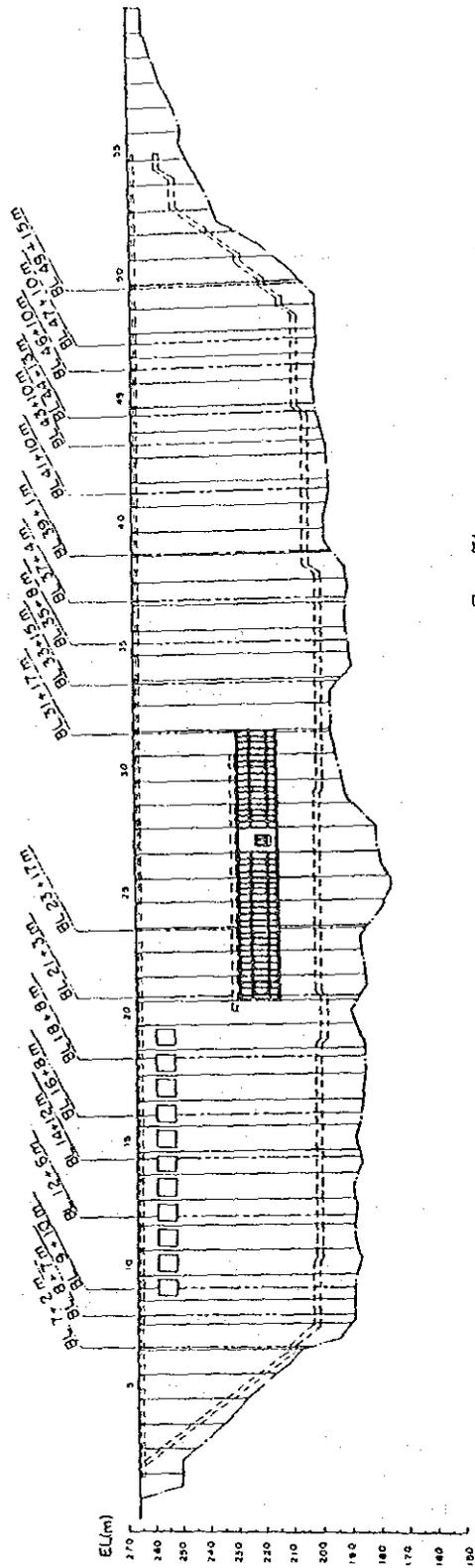
\* 1 : 測定位置は、天端に示されているブロック番号 (BL.) と各ブロックの端 (左岸側を0mとする) からの距離で示す。

\* 2 : 下流側堤体表面状況の各記号は以下の状況を示す。

A : 補修を行っていない堤体面

B : 堤体面の表面を補修のために剝離した状態

C : 補修済



凡例

トモグラフィー解断面  
水平解断面

吉林豊満ダム修復強化計画調査

日本国・国際協力事業団

弾性波探査 測定断面位置図

## 8.2 解析方法

弾性波探査20断面のうちトモグラフィ解析の方法及び水平解析の方法は、「主報告書」に詳述する。

## 8.3 解析結果

弾性波探査20断面のうちトモグラフィ解析の結果を図8-3-1(1)及び図8-3-1(2)に、水平解析の結果を図8-3-2に示す。各解析結果とも速度値を0.25km/s刻みスケールで、またコンターは0.50km/s刻みで示す。

### (1) トモグラフィ解析結果

トモグラフィ解析の結果をみると、全体的に速度値は標高 250m付近を境にして2つに大別できる。

標高 250m付近から天端までの範囲は、速度値として3.5 km/s以下を示している。この理由として、この範囲がダムの平均水位レベル以上にあるためか、あるいは緻密なコンクリートでないためこの範囲が水で飽和されていないこと、さらに天端付近に監査廊が存在していること等によると考えられる。

一方、標高 250m付近より下部では速度値として3.5～4.5 km/sの値を示している。また上下流堤体表面でも部分的に速度が低下している断面もあるが、これらは、表8-1-1と対比すると、下流側堤体表面が未補修または補修中の断面にみられることから、堤体表面の材質劣化等の影響によるものと考えられる。

### (2) 水平解析結果

水平解析の結果をみると、各断面とも標高 250m付近から天端までの範囲で速度値が3.0 km/s以下の値を示し、また堤体内部の速度分布は単調なものとなっている。これは水平方向の波線を用いて単に平均速度を求めたものであることによる。

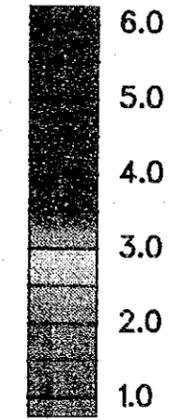
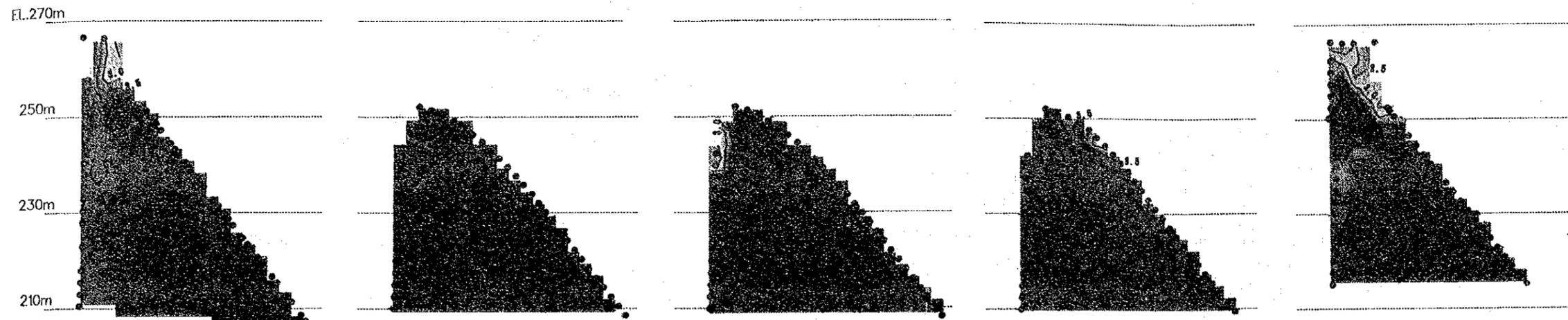
### (3) 追加トモグラフィ解析結果

1991年度に水平解析を実施した4断面(BL. 33, 39, 43, 49)について、1992年度にトモグラフィ解析を行った。この4断面は、他の水平解析断面と比べ速度変化の異常がみられるため、トモグラフィ解析を行うことにより、より詳細な速度分布の算出が予想

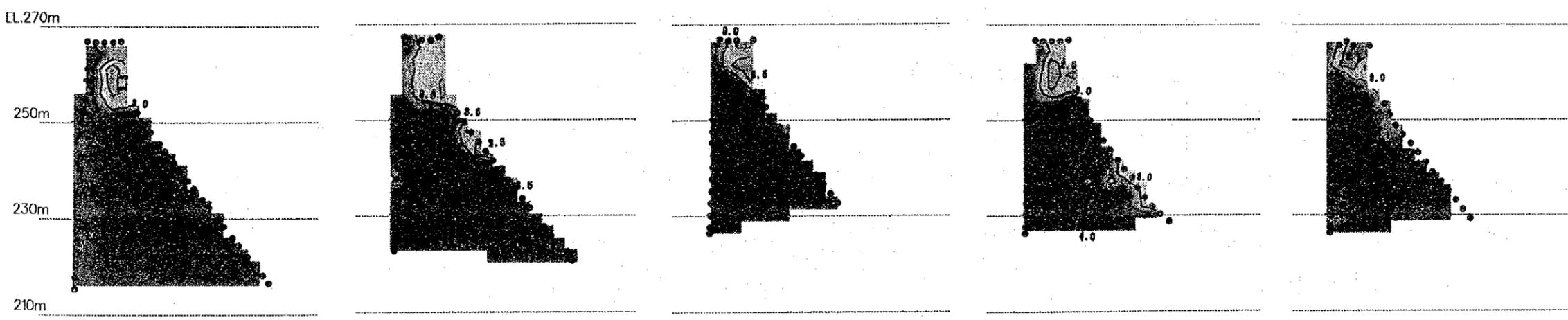
される断面である。

解析の結果をみると、全体的には1991年度に行ったトモグラフィ解析結果と同様、標高 250m付近を境にし、これより上部においては速度値 3.0 km/s以下、下部においては速度値 3.5～4.5 km/sを示している。また、下部においては、標高 230m付近の下流側堤体内部に速度値 4.5～4.7 km/sの高速度部分が存在する(BL. 33, 39, 43)。ただし、やはりBL. 49 においては、標高 235m付近の下流側堤体内部 3.0～3.5 km/s前後の低速度部分がみられる。

各断面の結果解析結果について、図8-3-1 (2)に示す。



⊙ Receiver  
● Source

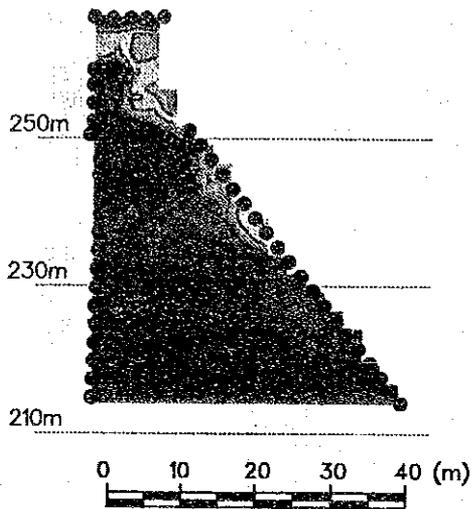


1991年 7月~9月調査

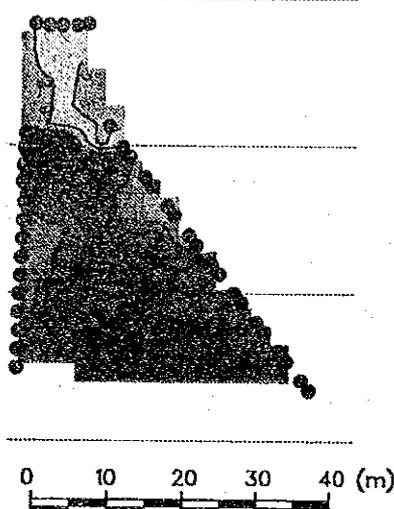
吉林豊満ダム修復強化計画調査	図8-3-1(1) トモグラフィ解析結果
日本国・国際協力事業団	



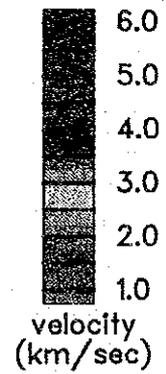
EL.270m



BL.33

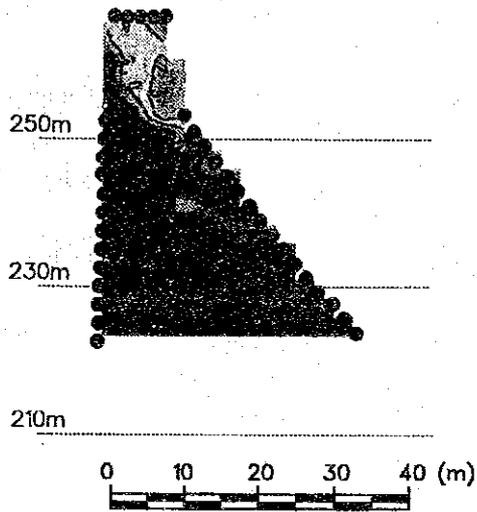


BL.39

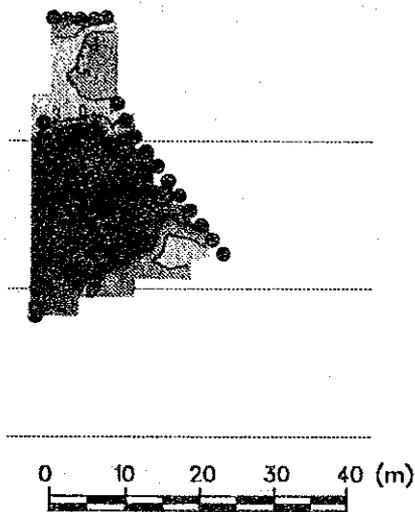


- Receiver
- Source

EL.270m



BL.43



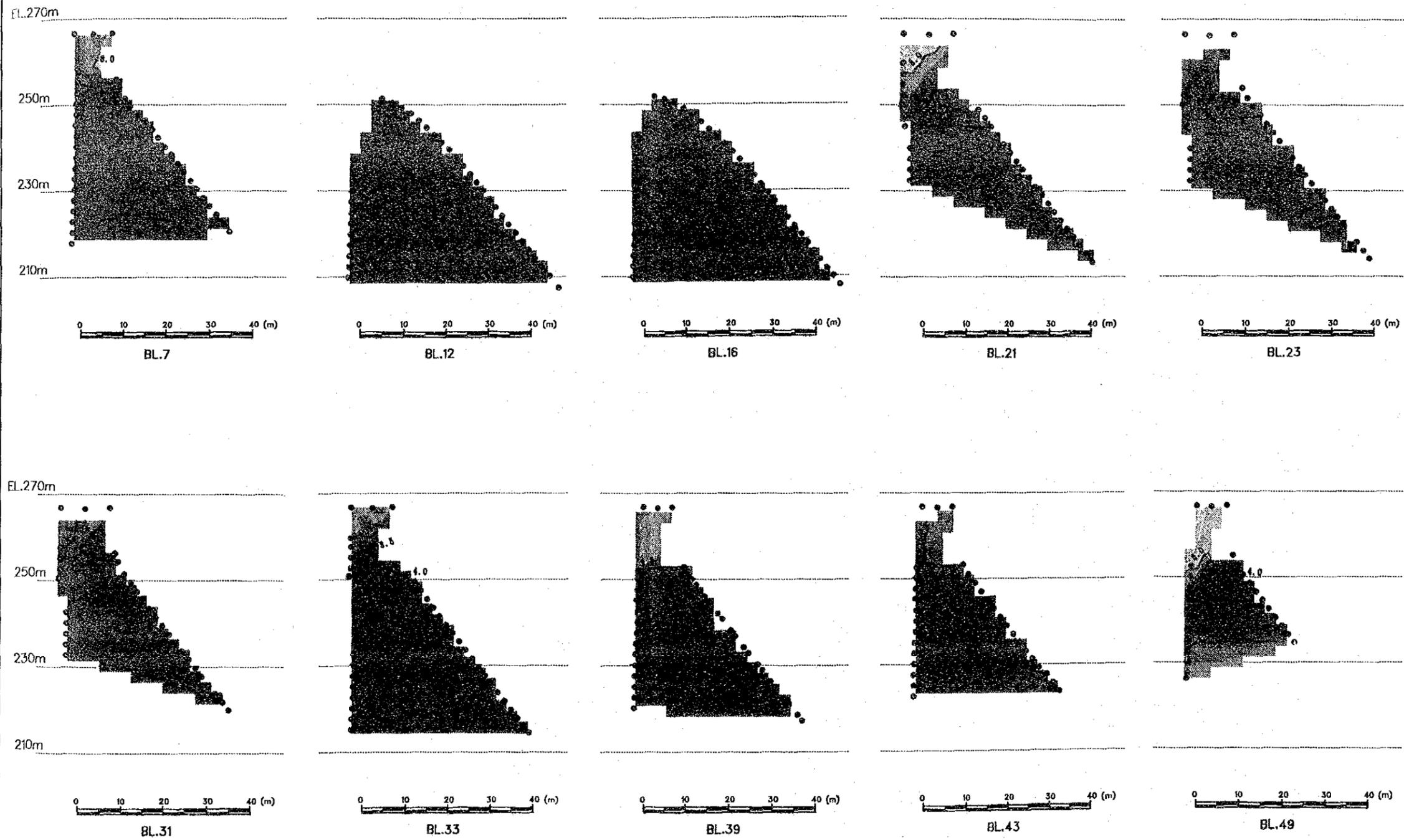
BL.49

吉林豊満ダム修復強化計画調査

日本国・国際協力事業団

図8-3-1(2) トモグラフィ解析結果





1991年 7月~9月調査

吉林豊満ダム修復強化計画調査

図8-3-2 水平解析結果

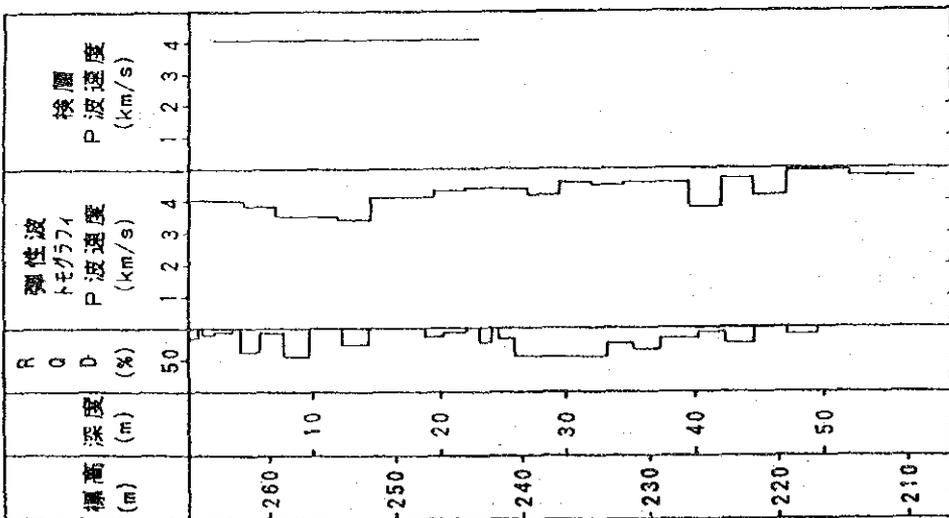
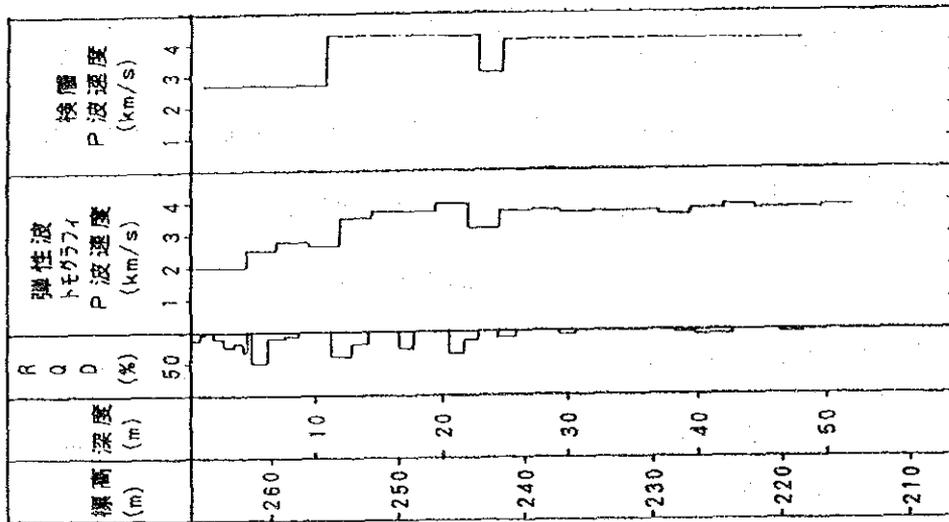
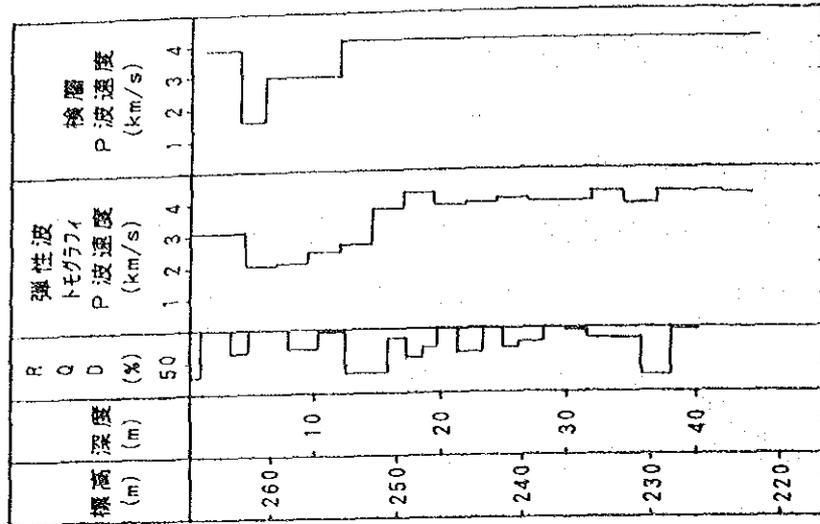
日本国・国際協力事業団



#### 8.4 弾性波トモグラフィと速度検層との比較

弾性波トモグラフィで得られた速度の妥当性を検証するため、速度検層（P波）を実施した。速度検層を実施したボーリング孔は、8-A、35-A、37-Aの3孔である。

測定はボーリング孔底で起振し、孔中で受振した。その結果を弾性波トモグラフィとあわせて図8-4-1に示す（トモグラフィの速度値は、ボーリング孔位置の速度を抜き出したものである）。



吉林豊満ダム修復強化計画調査

日本国・国際協力事業団

図8-4-1

弾性波トモグラフィと速度検層との比較

## 8.5 超音波試験および圧縮試験

### (1) 超音波試験および圧縮試験

ボーリング・コアを利用し、中国側で超音波試験を行い、その後、圧縮試験（一軸）を行った。

超音波試験は、コアの両端に発振装置と受振装置を密着させ、発振側から波形信号を送り、受振装置でこの信号を受振する。次に、受振された波形の初動時間を読み取り、コアの長さで除して平均速度を求めるものである。

圧縮試験値は、試験した供試体コアの寸法が一様でないため、直径15cm、高さ30cmの供試体になるよう補正した。その後、中国側基準の標準供試体強度（20cm角立方体）になるよう換算した。補正後の圧縮強度と超音波速度の一覧は、1991年度、92年度分につき夫々「資料集」に示めす。

### (2) 圧縮強度分布

(1)で得られた供試体の超音波（P波）速度（ $V_p$ ）と圧縮強度（ $q_c$ ）との相関をとり、最小二乗法により得られた式とともに図8-5-1に示す。

この相関から得られた式より、弾性波トモグラフィのP波速度を圧縮強度に換算し、強度断面を作成した。この結果を「資料集」に示す。

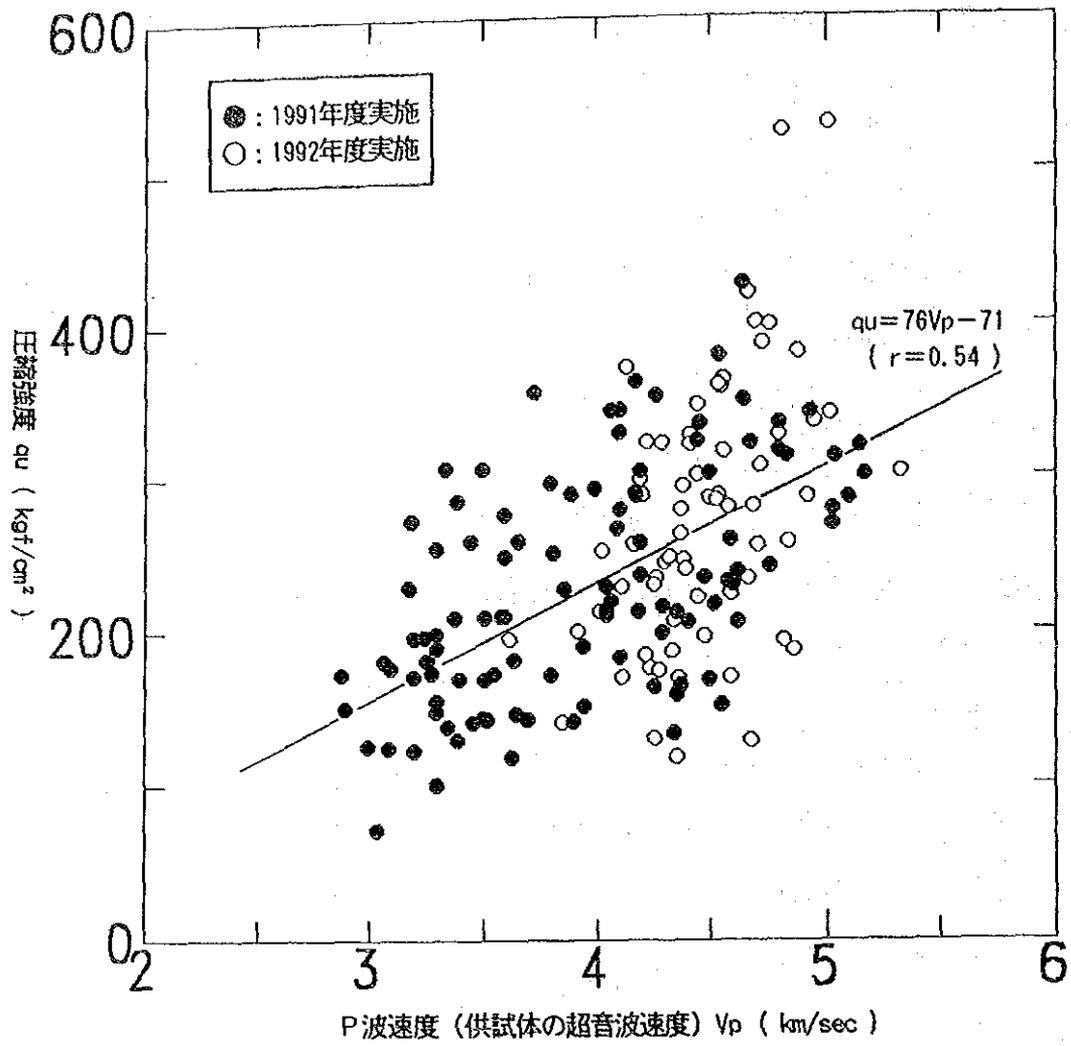


図8-5-1 超音波 (P波) 速度と圧縮強度との相関

## 第9章 総合診断（評価）と計画策定条件の設定

### 9.1 堤体コンクリートの品質

#### (1) コアボーリング調査

##### i) コアボーリング

全削孔長 500mのうち第1次調査分に対する、実際のコア採取率は62%~93%であり、コアの採取率としては不良であった。各孔とも柱状コア以外に短柱状~砕けた部分が多く含まれ、柱状コアの構成比は平均74%であったが、ボーリング調査後実施されたボアホールテレビによる孔内観察によれば、孔壁状態はコア採取状況よりは良好であった。採取率や柱状コア構成比が低かった原因は、主として削孔部品の不足、シングル工法の併用・大口径コアの取扱い上の困難などによるものと判断される。第2次調査分に対するコア採取率は、92%~98%であり、良好であった。これは部品類の整備が可能になり、完全なダブルコアチューブ削孔が出来たこと、大口径ボーリングの削孔技術の向上、B、C、Dブロックのコンクリートの質のやや良好なためと判断される。（評価/C）

##### ii) コア圧縮強度試験

コア圧縮試験の結果をブロック別、標高別にまとめると表9-1-1に示すようになる。平均強度は約 210~260kgf/cm<sup>2</sup>、最小強度は約70~110kgf/cm<sup>2</sup>、最大強度約 380~530kgf/cm<sup>2</sup>となっている。現在の長期経年後（約45年）の強度であるため建設時試験強度に比べ大きくなっていると考えられる。A、Bブロックで分けるときAブロックでは標高が下るにつれ平均強度は増加し、Bブロックでは下部の平均強度が減少し合理的でないが平均強度値が約 217kgf/cm<sup>2</sup>以上であるのでコンクリート正常部の強度としては十分と考える。豆板部などのコンクリート不良部を約30%と考えても平均強度は約 140kgf/cm<sup>2</sup>、最小強度でも約50kgf/cm<sup>2</sup>となる。（評価/C）

なお、コンクリートコアの供試体の単位体積重量は2.138tf/m<sup>3</sup>~2.832tf/m<sup>3</sup>の値を示し、その平均値は2.441tf/m<sup>3</sup>（標準偏差0.125tf/m<sup>3</sup>）となる。

中国の重力ダム設計規範の概略設計段階におけるコンクリートの単位体積重量は2.35~2.4tf/m<sup>3</sup>となっており、平均値で見るとこの値を満足していることになる。

表9-1-1 コンクリートブロック別・標高別・圧縮強度試験結果

(20cm角立方体供試体強度に換算) 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

	個 数	最大値	最小値	平 均	標準偏差	変動係数
A ブ ロ ッ ク						
EL. 250m以上	36	378.6	100.2	212.9	73.2	0.344
EL. 250m-230m	33	334.2	71.5	228.0	73.6	0.323
EL. 230m以下	25	419.4	132.6	257.0	72.7	0.283
B ブ ロ ッ ク						
EL. 250m以上	—	—	—	—	—	—
EL. 250m-230m	21	426.1	125.5	253.4	83.0	0.327
EL. 230m以下	30	386.4	111.0	232.6	64.1	0.276
C ブ ロ ッ ク						
EL. 250m以上	—	—	—	—	—	—
EL. 250m-230m	1	326.7	326.7	326.7	—	—
EL. 230m以下	13	371.2	168.7	303.3	62.6	0.206
D ブ ロ ッ ク						
EL. 250m以上	—	—	—	—	—	—
EL. 250m-230m	—	—	—	—	—	—
EL. 230m以下	4	530.2	118.0	329.3	172.6	0.524
A + B + C + D ブ ロ ッ ク						
EL. 250m以上	36	378.6	100.2	212.9	73.2	0.344
EL. 250m-230m	55	426.1	71.5	239.5	77.8	0.325
EL. 230m以下	72	530.2	111.0	259.2	79.3	0.306
合 計	163	530.2	71.5	242.3	79.3	0.327

iii) コア・アルカリ骨材反応試験

図7-2-3' に示めすようにコンクリートコア-膨張試験によるアルカリ骨材反応試験の結果は、のび率約0.02~0.06%で14ヶ試料の平均では、0.025%と僅かである。したがって大きな問題とならないと判断した。なお、松花江川砂のARS化学

試験結果も無害である。(評価/B)

iv) 孔内ボアホールテレビ調査

コアボーリング調査の採取実績も考え、孔内撮影の技術的必要性によりボアホールの孔内撮影を現地にて追加調査した。

その結果不良コア採取率の原因、豆板アバタ状況、クラックなどの状況がつかめ、コアボーリング調査の技術的補完となった。

・豆板アバタ状況 ----- コアとコア採取率よりの判断でなく直視とコア観察の両面より確かめた。

・クラック ----- ダム天端より 0～20mの深さに多く見られ、数は少ない。

(評価/D)

2) 弾性波探査

8.3 弾性波探査の「解析結果」に示すように、トモグラフィ解析の結果、全体的に標高 250mを境として上部は速度値 3.5～2.5 km/sを示し、下部は 3.5～4.5 km/sの値を示す。これは堤体上部は貯水池水位以上のことが多く水で飽和されていないこと、天端付近の監査廊の存在およびクラック、豆板アバタなどのコンクリート不良部が多いことなどが原因と考えられる。標高 250m以下の下部は一部下流面付近で部分的に速度の低下断面があるが補修途中段階でもあり、表面劣化、不良部分の影響と考えられる。概ね予想した結果となったが上部急勾配部及びオーバーハング部(下流面の天端とのすり付け部)が測定不能だったこともありこれ以上の解析は困難である。

水平解析結果はやはり標高 250mより上部は速度値 3.5 km/s以下を示し、下部は約 3.5～4.25km/sを示す。トモグラフィ解析に比べ水平測線のための単純平均解析のため 2次元的部分解析はやや困難である。

以上堤体断面の弾性波探査による諸解析により、ダム全体の概略的現況の問題点は指摘されていると考える。

なおダムコンクリート圧縮強度と弾性波速度値との相関性については、超音波測定によるコアのP波速度値が「7.2.4(3)堤体コンクリートの物理性状に関する考察」に示すように中国側の直接測定値にばらつきが多く、その結果では相関性が求められない。このため8.5(1)超音波試験および圧縮試験にのべたように測定記録曲線よりの推

読によるV<sub>0</sub>により相関性を求めた結果はほぼ良好であるが、第2次現地調査時再確認の結果にもとづいて求めたトモグラフィ解析による強度分布では、やはりダム上部が不良である。

水平解析より平均的に不良部の存在が推定された4断面については、トモグラフィ解析を追加して実施した。(評価/D)

### 3) 監査廊調査

目視測定を主とした監査廊調査により、概略次のような結果を得ることが出来た。

#### a) 上段監査廊(天端)

監査廊天端付近の水平クラック最大1~10mmのものが全長にわたって多く分布している。既補修部の状況より多数発生していたものと考ええる。

豆板アバタ部は既調査のデータではやや多く、今回調査では補修後のため十分確認は出来なかった。

ダム中央部ブロックは漏水、滲水が天端ハンチ部付近クラックより見られ外部との連絡があり凍害によるクラック発達の原因とも考えられる。遊離石灰は右岸側ブロックの側壁に多く見られヘアークラックが多く発生している。

冬期、上段監査廊内面は10~15cmの霜状結氷層が発達する現状と、ダム天端近くに位置するため凍害の影響が大きいと考えられる。(評価/D)

#### b) 下段監査廊

下段監査廊内に見られるクラックは主に天端に多くダム軸方向に走っている。ダム軸と直交する横断クラックも見られるがともにヘアークラックが多い。クラックの状況より表面クラックであり一般的なものと考ええる。

漏水は今回調査時はとくに多くなく、ヘアークラックよりの遊離石灰部に滲出している。継目部は漏水および遊離石灰が多く見られる。コンクリートは全般的に良好であると判断される。(評価/C)

### 4) 建設時施工記録

建設時の打設リフト毎のコンクリート試験結果の資料にもとづき、ダムコンクリートの圧縮強度分布による品質概要を表9-1-2に示す。

また、堤体コンクリート打設時の強度分布は「資料集」に示す。