

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

中華人民共和国

遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

主報告書

(要約)

1997年9月

JICA LIBRARY



J 1140311 (0)

日本工営株式会社

農 調 農

JR

97-48

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

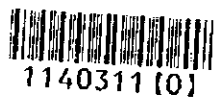
中華人民共和国

遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

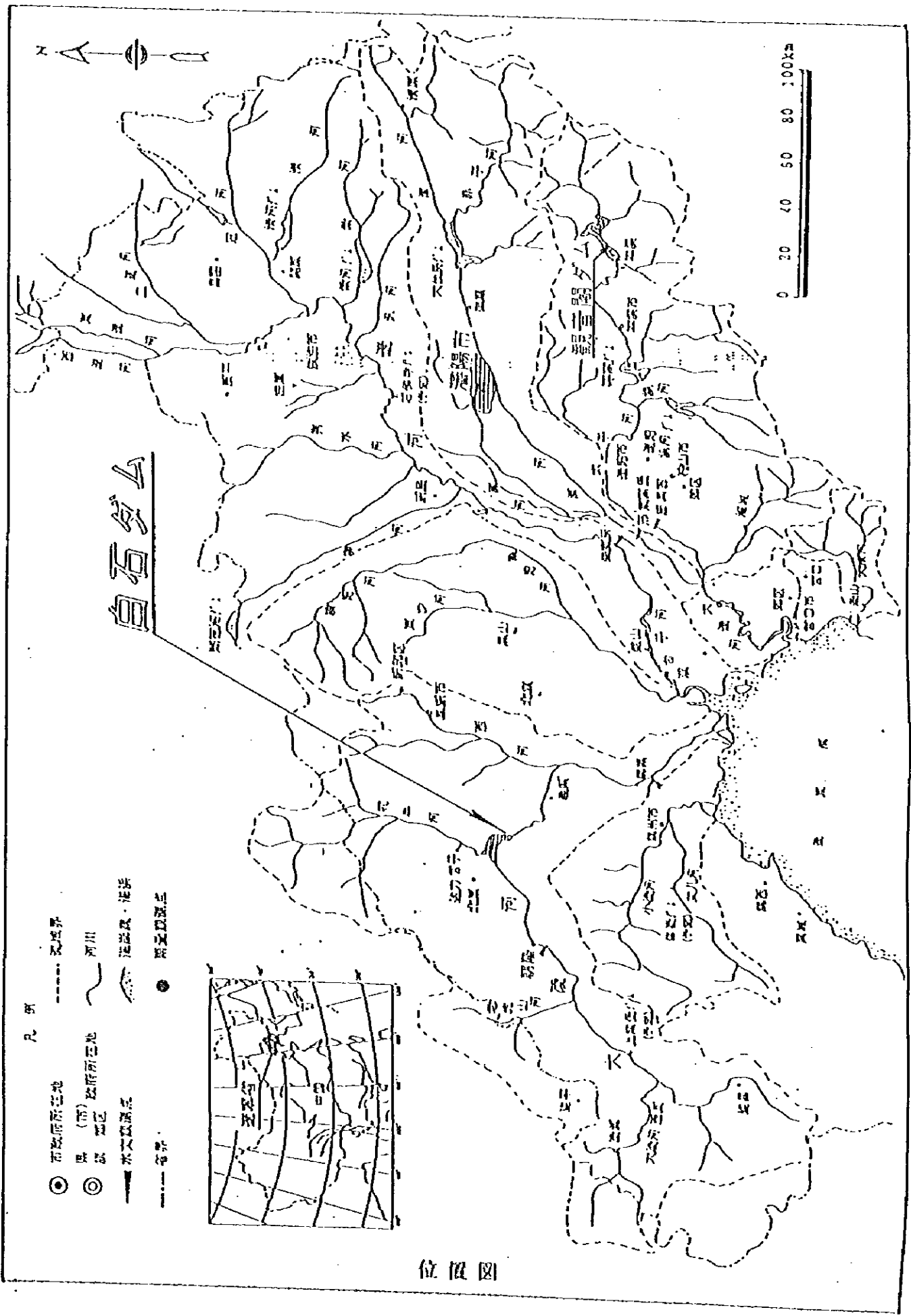
主報告書
(要約)

1997年9月

日本工営株式会社

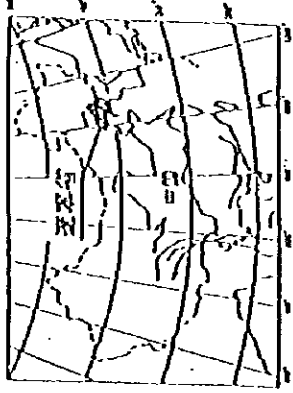


1140311 (0)

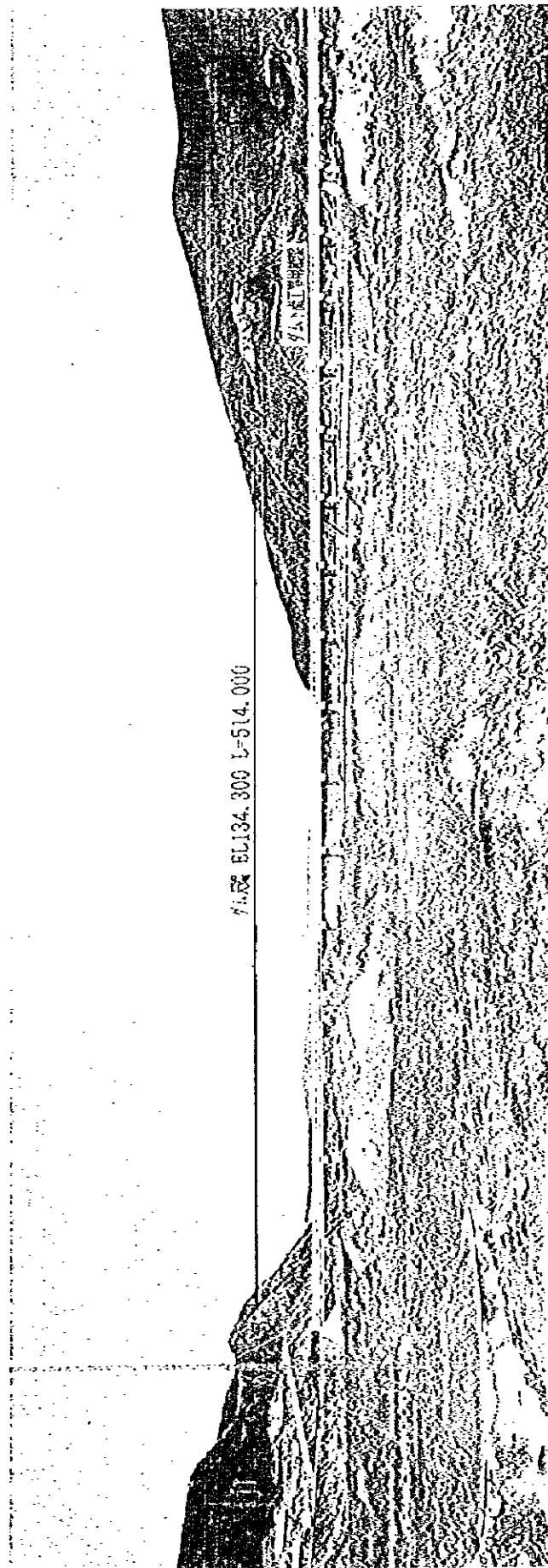


白石山

- 凡例
- 市、县、镇驻地
 - ◎ 县(市)政府所在地
 - 国界
 - 省界
 - 河流
 - 铁路、公路
 - 水文测站



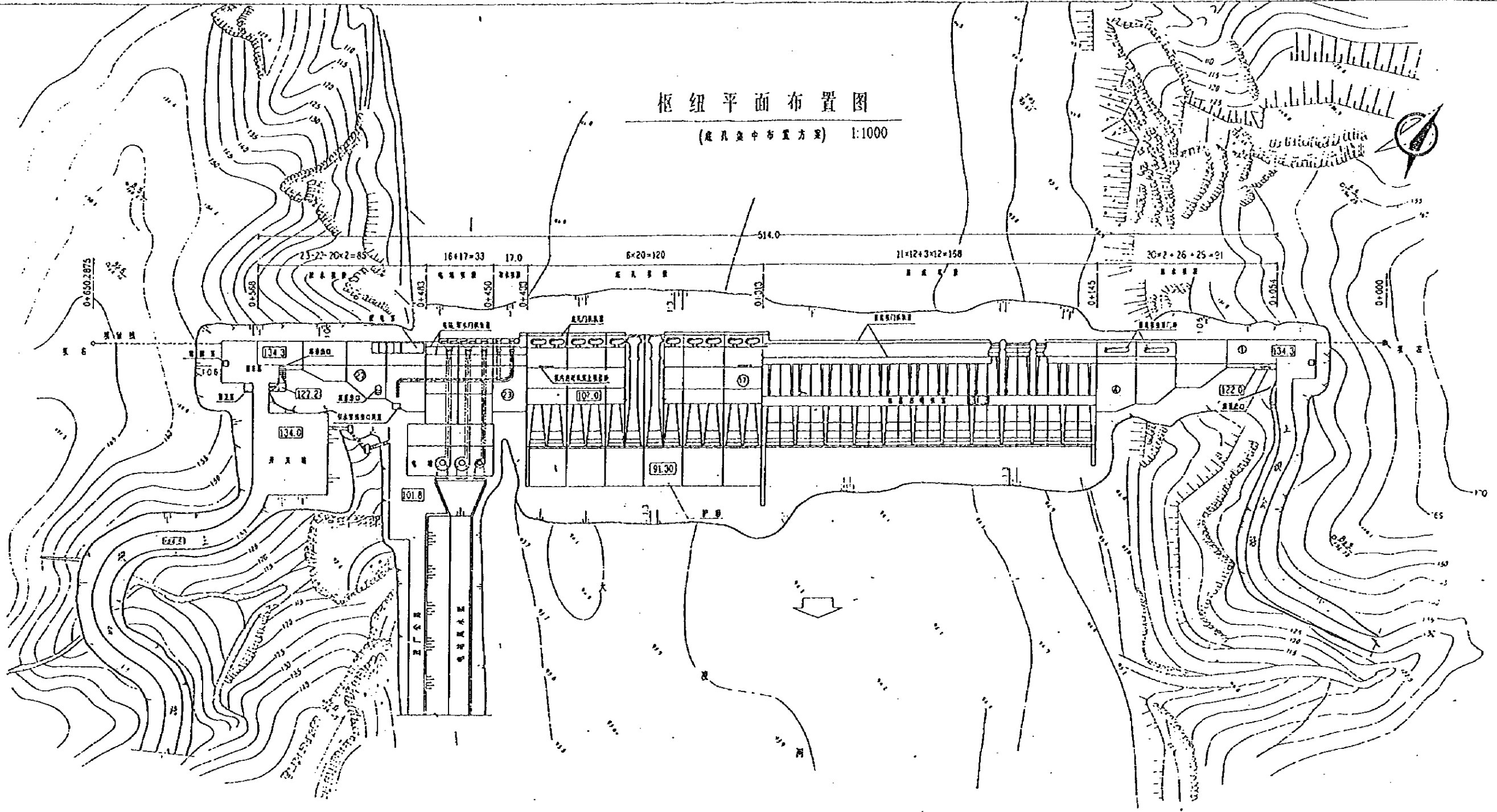
位置图



ダムサイト
ダム下流右岸より望む

枢纽平面布置图

(度几盘中方置方案) 1:1000



主要技术经济指标

项目	单位	数值
装机容量	10^4 kW	16.45
坝体长度	10^4 m	8.7
坝体高度	m	134.30
坝体厚度	m	514.00
坝体重量	m	50.30
坝体面积	m ²	127.00
坝体体积	m ³	108.00
坝体重量	t	5
坝体重量	XX	161791.0
坝体重量	XX	199290.0
备注	WSH881.ACO1	

主要工程数量

项目	单位	数值
土石方量	10^4 m^3	3912
混凝土量	10^4 m^3	5753
钢筋量	10^4 t	12.08
木材量	10^4 m^3	0.48
砂石量	10^4 m^3	0.30
炸药量	10^4 t	5.82
其他材料量	t	408.0
其他材料量	m	18618.0
其他材料量	m	26181.0

说明

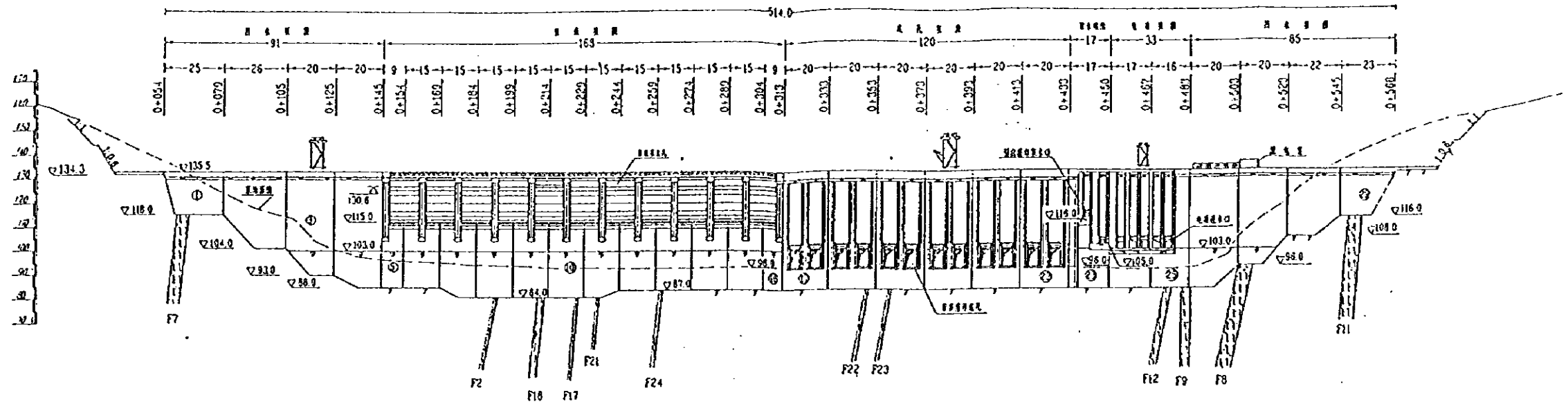
1. 本工程为土石坝工程。
2. 本工程为土石坝工程。

辽宁省水利水电勘测设计研究院

批准	社工部	白石水库工程	水工部
核定	社工部	白石水库工程	水工部
设计	社工部	白石水库工程	水工部
制图	社工部	白石水库工程	水工部
比例	1:1000	日期	1995.3.4
图号	3103-G-02		

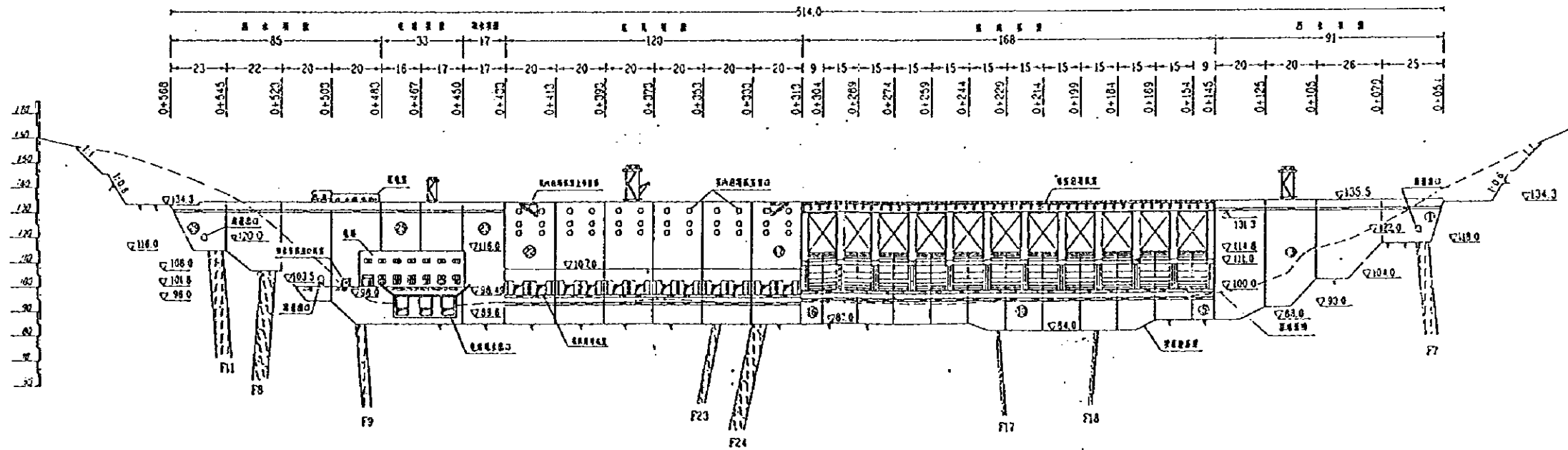
上游立视图

1:1000

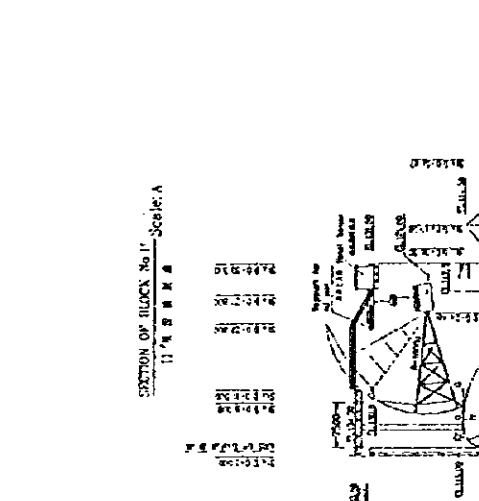


下游立视图

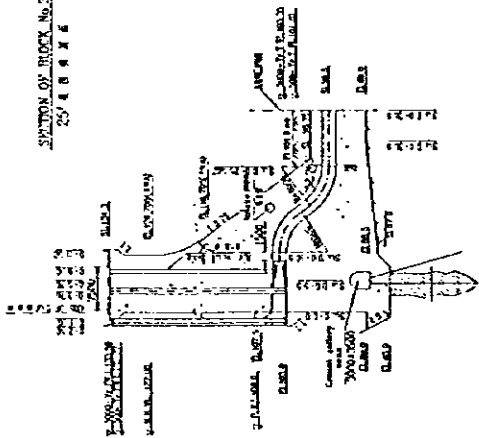
1:1000



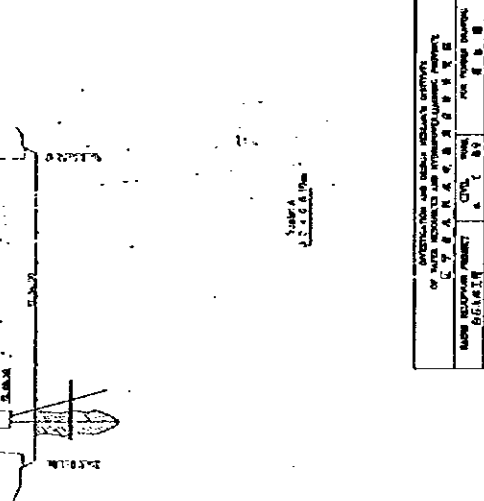
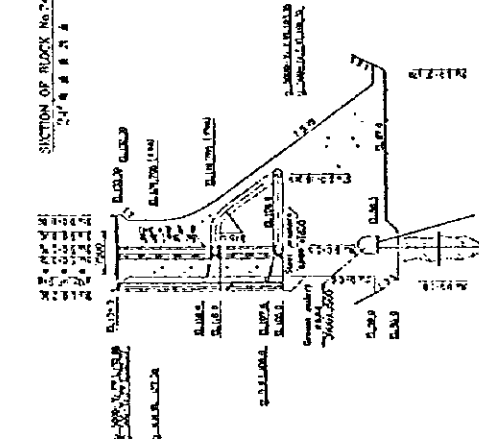
辽宁省水利水电勘测设计研究院			
任务	设计	白石水库工程	初步设计
审查	设计	底孔集中布置方案	
校核	设计	大坝上、下游立视图	
设计	设计	比例	1:1000
制图	设计	日期	1995.1.10
审核	设计	图号	3103-G-03



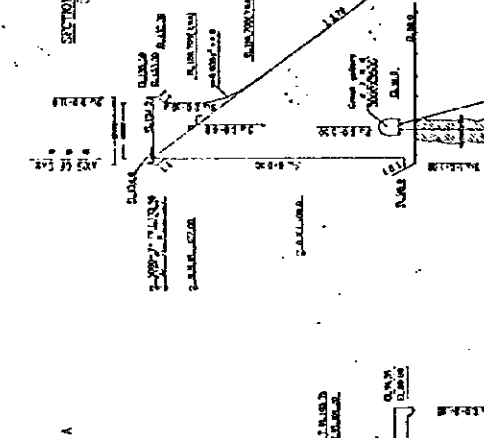
SECTION OF BLOCK No. 11 Scale: A



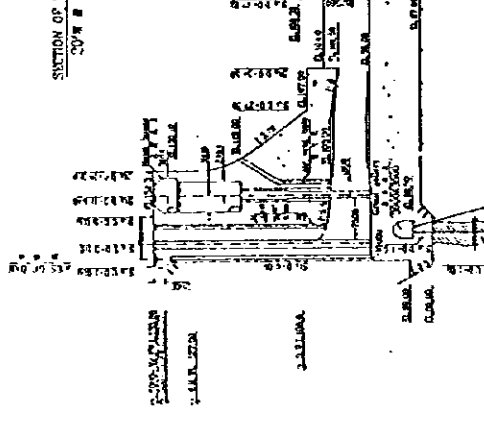
SECTION OF BLOCK No. 13 Scale: A



SECTION OF BLOCK No. 3 Scale: A



SECTION OF BLOCK No. 22 Scale: A



INSTITUTION FOR THE DESIGN OF OF THE PROJECTS AND THE CONTRACTS		C. Y. C. & S. S. & S. S. & S. S. & S. S.	
ARCHITECTURAL DEPARTMENT		CIVIL ENGINEERING	FOR THE PROJECTS
ENGINEER IN CHARGE		S. S. & S. S. & S. S. & S. S.	
DESIGNED BY		S. S. & S. S. & S. S. & S. S.	
CHECKED BY		S. S. & S. S. & S. S. & S. S.	
APPROVED BY		S. S. & S. S. & S. S. & S. S.	
DATE		JAN 1938	
SCALE		1:1000	
PROJECT NO.		3100-J-1	
DAM TRANSVERSE SECTION 大坝横断面(大坝)			

中華人民共和国
遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査
最終報告書要約

目次

調査対象地区位置図

ダムサイト写真

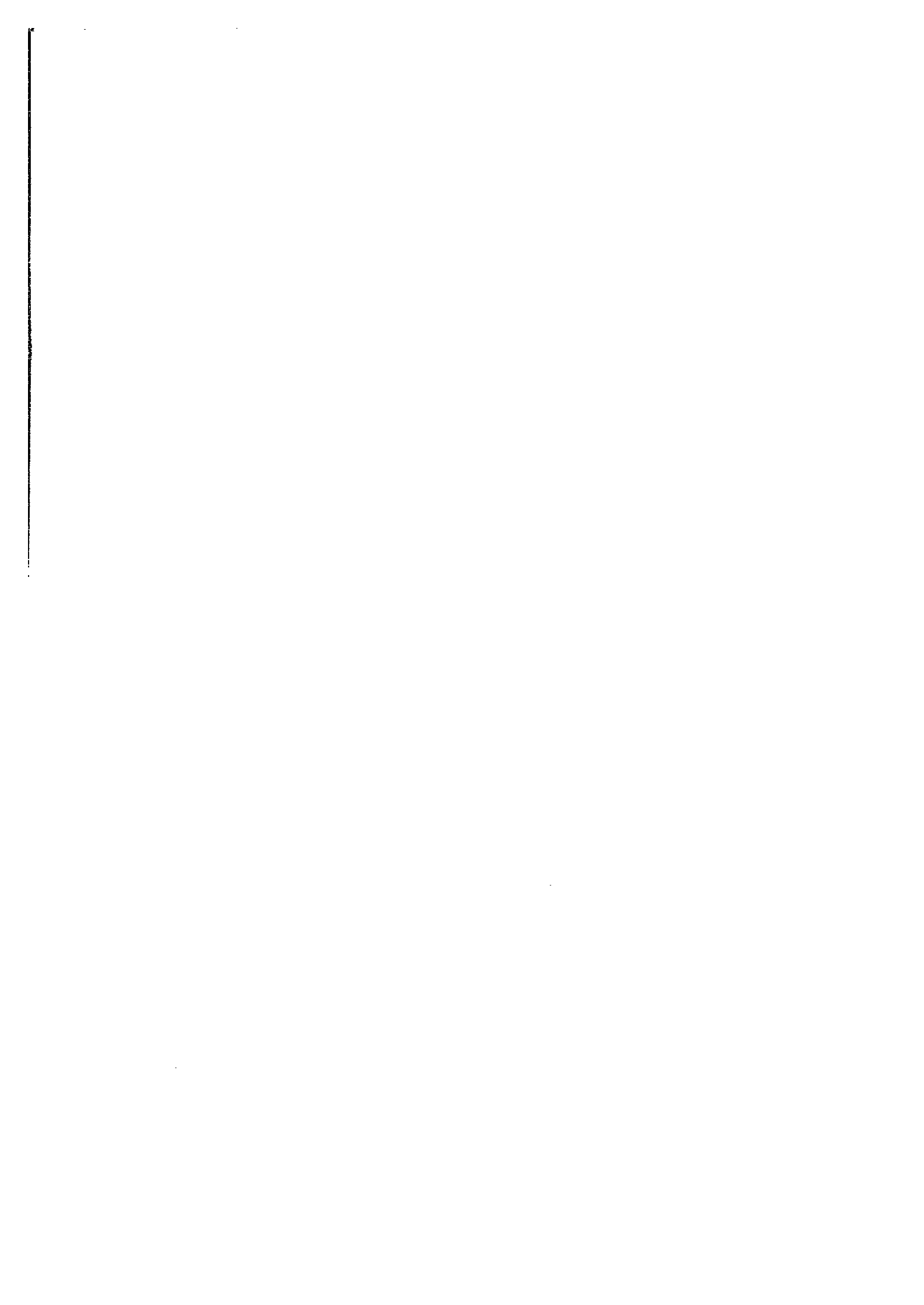
ダム一般平面図

ダム上下流立面図

1. 序論.....	1
1.1 はじめに.....	1
1.2 計画の背景.....	1
1.3 調査の目的と範囲.....	2
(1) 調査の目的.....	2
(2) 調査対象地域.....	2
(3) 調査の内容と範囲.....	2
2. 白石ダム計画.....	3
2.1 F/S 時のダム計画.....	3
2.2 改訂ダム計画（閘王鼻子ダム考慮）.....	3
(1) 初步設計.....	3
(2) 施工計画.....	6
(3) RCD コンクリート施工.....	6
3. 調査実験結果.....	8
3.1 原位置岩盤剪断試験.....	8
(1) 一般地質概要.....	8
(2) ダムサイトの地質概要.....	8
(3) 剪断試験実施の経緯、目的.....	8
(4) 試験位置の選定.....	8
(5) 平板載荷試験方法、結果.....	8
(6) 剪断試験方法、結果.....	9
(7) 結論.....	9
3.2 水理模型実験.....	10

3.2.1	実験の目的	10
3.2.2	実験方法	10
3.2.3	実験条件	10
	(1) 水位及び流量条件	10
	(2) ゲート操作規則	11
3.2.4	実験内容	11
3.2.5	実験結果	12
	3.2.5.1 洪水吐の放流能力	12
	3.2.5.2 堤体部の実験	12
	3.2.5.3 減勢工部（リップバケット）の実験	13
	3.2.5.4 下流河道の実験	14
3.3	ダムコンクリート試験	18
3.3.1	試験内容	18
	(1) RCDコンクリート大型供試体試験	18
	(2) 断熱温度上昇試験	18
3.3.2	使用材料	18
3.3.3	試験結果及び考察	18
	(1) 大型供試体試験	18
	(2) 断熱温度上昇試験	24
3.3.4	まとめ	25
3.4	ダムコンクリート温度応力解析	26
3.4.1	検討目的	26
3.4.2	解析手法	26
3.4.3	解析条件の設定	26
	(1) 熱定数	26
	(2) 断熱温度上昇式	26
	(3) 弾性定数	26
	(4) 外気温	27
	(5) 貯水池水温	27
	(6) 打込み温度	28
	(7) リフトスケジュール	28
3.4.4	検討断面の設定	28
3.4.5	検討ケースの設定	28
3.4.6	解析モデル	28

3.4.7	解析結果.....	29
	(1) 最高温度.....	29
	(2) 最大引張ひずみ.....	30
3.4.8	コンクリートクラック抑制対策の提案.....	33
	(1) 非越流部コンクリートクラック抑制対策.....	33
	(2) 洪水吐部コンクリートクラック抑制対策.....	34
	(3) 底孔部コンクリートクラック抑制対策.....	35
3.4.9	温度計測管理についての提案.....	36
	(1) 温度計測管理の目的.....	36
	(2) 温度計測の管理フロー.....	36
	(3) 温度計の配置.....	37
	(4) 温度計測の計画値.....	37
3.5	排砂、堆砂シミュレーション.....	43
3.5.1	日単位の流量、流砂データの解析.....	43
3.5.2	リモートセンシングによる土砂生産域の推定.....	43
3.5.3	ゲートオペレーションによる排砂効果の評価.....	43
	3.5.3.1 目的.....	43
	3.5.3.2 底孔のゲートオペレーションによる排砂（貯水位を 維持した場合）.....	45
	(1) 準3次元拡散シミュレーションモデル.....	45
	(2) 貯水池堆砂形状の予測.....	46
	(3) 洪水時における貯水池内の流動および浮遊砂の挙動.....	46
	(4) 排砂効果の高いゲートオペレーションの策定.....	47
	(5) 常時における貯水池内の浮遊砂の挙動.....	52
	(6) 30年後の堆砂量の予測.....	53
	3.5.3.3 洪水時の掃流力を利用した排砂の効果.....	53
	(1) 泥流シミュレーションモデル.....	53
	(2) 1969年洪水を想定したシミュレーション.....	53
	(3) シミュレーション結果.....	54
3.5.4	中国側への提言.....	54
	3.5.4.1 排砂シミュレーションについて.....	54
	3.5.4.2 貯水池への土砂流入、堆砂についての観測計画.....	55
	3.5.4.3 総合的堆砂対策についての提言.....	55



1. 序論

1.1 はじめに

本報告書は中華人民共和国遼寧省水利庁（以下 水利庁という）と日本国国際協力事業団（以下 事業団という）の間で1995年9月27日に締結された大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査（以下 本調査という）に係わる実施細則（S W）に基づいて作成された最終報告書（案）である。

本報告書はダム計画の検討、原位置岩盤剪断試験結果の検討・解析、ダム堤体水理模型実験及びダム断面抽出水理模型実験の結果の評価、コンクリート配合試験及びコンクリート熱力学的試験の結果の評価、コンクリート温度応力解析及び堆砂、排砂シミュレーションの結果を取り纏めたものである。

1.2 計画の背景

中国政府の要請に基づき、1990年12月から1993年3月まで3次にわたって実施された「中国遼寧省遼河三角洲農業総合開発計画調査」の中で、「遼河三角洲農業資源総合開発計画に関する基本計画(M/P)」の策定と、そのM/Pの中で最優先案件に位置づけられた白石ダム建設計画について、技術的・経済的妥当性を検討するための「白石ダム建設計画フィージビリティ調査(F/S)」が実施された。その結果、白石ダム建設計画は技術的にも経済・財務的にも実施可能と評価された。大凌河水系の水資源開発については、これまで積極的な事業推進は行なわれてこなかった。近年、遼寧省全域で水不足が一段と深刻化しつつあり、遼河三角洲農業開発推進に必要な灌漑用水のみならず、需要増加の著しい大凌河中・下流域の都市生活・工業用水の水源確保対策として白石ダム及び上流に計画されている閘王鼻子ダムの早期着工・完成が待たれている。

しかし、白石ダムの建設及び運営面での最大の課題は、厳しい気候条件下での打設コンクリートの亀裂発生防止と上流域から流入する大量の上砂の処理であり、同報告書は白石ダムの建設実施に先立ち、下記の4項目について試験・検討を行い、その結果を詳細設計、施工及び貯水池運用計画に反映することを勧告した。

- (1) F/S調査で実施された堆砂・排砂シミュレーションの検証
- (2) 排砂・洪水調節の見地から最適ダム形式の決定を目的とした大型水理模型実験の実施、その結果を踏まえた排砂・利水計画の策定
- (3) ダム建設予定地点における現場大型岩盤剪断強度試験の実施
- (4) RCD工法により打設したコンクリートの亀裂発生防止対策の検討

これらを踏まえ、中国政府は1993年9月、我が国に対して白石ダムの水理諸元を決定するために必要な実験（水理模型実験等）を行い、資料を取りまとめることを要請してきた。これを受け、日本国政府

は1995年9月本件に係わる事前調査団を派遣し、調査対象地域、調査内容などについて協議を行い、「遼寧省大凌河白石ダムに関する実験計画調査」に係るS/W (Scope of Work) について合意し、本調査が実施されることとなった。

1.3 調査の目的と範囲

本調査の目的と調査の範囲は以下のとおりである。

(1) 調査の目的

- (a) 中国遼寧省大凌河白石ダムの建設工事に関し、我が国が1990年12月から1993年3月までに実施した「中国遼寧省遼河三角洲農業総合開発計画調査」・「白石ダム建設計画フィージビリティ調査」で指摘された項目についての補完的実験を実施し、水理諸元を含む最適ダム設計の諸元及び最適な貯水池運用方式を確定することを目的とする。
- (b) 中国のカウンターパート技術者に対し、個々の実験項目についての実験方法及び実験データの解析手順・考え方についての技術移転・指導を行う。

(2) 調査対象地域

調査対象地域は中国遼寧省大凌河河口から上流180kmに位置する白石ダム建設予定地である。

(3) 調査の内容と範囲

- (a) 前回F/S調査結果およびF/S調査以降中国側で行った調査・設計のレビュー
- (b) 白石ダム建設計画に関する諸実験の詳細実施計画の策定
- (c) 諸実験のうち中国側担当作業に対する助言と日本側が担当する解析作業
- (d) 諸実験・解析結果の取りまとめ作業と報告書作成

2. 白石ダム計画

2.1 F/S 時のダム計画

大凌河は遼寧省の西部山間地帯から遼東湾に流入し、全長435km、全流域面積は23,263km²の河川で、白石ダム地点は河口から約180kmで、その流域面積は17,649km²である。

白石ダム建設地点は義県上流約40kmの大凌河本流に位置し、基礎岩盤は玄武岩質安山岩で堅固であり、コンクリートダムとして地質的に問題ない。堤体構造物の基本配置としては、洪水吐は校核洪水量（1/5000年確立洪水）46,560m³/sを安全に流下できる規模の洪水吐を河道を中心にほぼ全面に設け、洪水吐ゲート間に洪水吐と同数の底孔を配置する分散配置方式を採用している。発電所は取付道路を考慮して右岸側に配置する。本体コンクリートの打設は施工ヤードの広い標高115.0mまではRCD工法を採用し、施工ヤードの幅が10m程度より狭くなる越流部はダンプ直接搬入ができなくなるため、10トンx40m級のタワークレーンと3m³のコンクリートバケットにより打設する。ダムの一般平面図、上下流立面図、断面図は巻頭に示す。

2.2 改訂ダム計画（閘王鼻子ダム考慮）

(1) 初歩設計

白石ダム計画のフィージビリティ（F/S）調査は1991年に実施され、1993年3月に国際協力事業団より報告書が提出された。一方、中国政府は2000年における工業総生産目標値の再検討を行い、その目標達成のため、大凌河流域開発計画において白石ダム上流に位置する閘王鼻子ダム計画を考慮に入れた白石ダムF/S補足調査を実施し、1993年8月報告書を完成した。次いで遼寧省は、この計画を早期に実施に移すべく細部の検討を加え、1996年に「白石水庫工程初歩設計報告書」（実施設計報告書）としてまとめた。改訂された主要構造の諸元は、表2.2.1に示す通りである。今回の初歩設計では、フィージビリティ調査（F/S）後に次の項目について検討を加え設計を取りまとめた。

- A. 新規の水文資料の追加（1986～1992年のデータ）
- B. 既往洪水のうち1949年洪水規模の見直し。
- C. 水文資料の見直しに伴う流砂量の検討。
- D. 大凌河上流に計画された閘王鼻子ダムの実施計画による流入土砂量の検討。
- E. 水文資料の見直しに伴う貯水池及び堤体の規模の決定。
- F. ダムサイトの地質状況によるダム軸の変更
- G. 洪水吐の配置の検討。

初歩設計で上記項目の検討を行ない、改訂された主要諸元は次表の通りでF/S時の諸元と対比した。

表 2.2.1 白石ダムの F/S 調査と初步設計の計画諸元の対比

項 目	F / S	初步設計
貯水池		
流域面積	17,649km ²	17,649km ²
校核洪水流量 (1/5,000)		46,500m ³ /s
閘王鼻子ダムあり		45,472m ³ /s
設計洪水流用 (1/500)		30,600m ³ /s
閘王鼻子ダムあり		30,233m ³ /s
年平均流出量	14.37 億 m ³	13.45 億 m ³
年平均流砂量	2,382 万ト	2,143 万ト
校核洪水位 (1/5,000)	EL.133.40m	EL.133.55m
設計洪水位 (1/500)	EL.130.80m	EL.132.27m
常時満水位	EL.127.00m	EL.127.00m
100 年確率水位		EL.130.47 m
50 年確率水位		EL.130.24 m
5 年確率水位		EL.125.61 m
洪水期制限水位	EL.124.00m	EL.125.60m
(7 月 1 日～9 月 10 日)	EL.110.00m	EL.108.00m
最低水位 (第 1 期 25 年堆砂)	EL.119.00m	
(第 2 期 50 年堆砂)	16.10 億 m ³	16.45 億 m ³
総貯水容量	8.06 億 m ³	(原河床) 7.55 億 m ³
洪水調節容量 (原河床)	7.91 億 m ³	(30 年) 7.31 億 m ³
EL.133.4 (第 1 期 25 年堆砂)	7.40 億 m ³	
～EL.124.0 (第 2 期 50 年堆砂)		
利水容量		
(第 1 期 25 年堆砂)	6.57 億 m ³	(原河床) 8.70 億 m ³
(EL.127.0～EL.110.0)		
(第 2 期 50 年堆砂)	3.04 億 m ³	(30 年) 6.25 億 m ³
(EL.127.0～EL.119.0)		
堆砂容量 (傾斜堆砂)		
(第 1 期 25 年堆砂)	3.70 億 m ³	
(ダ直上流 EL.110.0)		
(第 2 期 50 年堆砂)	7.40 億 m ³	
(ダ直上流 EL.110.0)		
ダ ム		
形 式	コンクリート重力式	コンクリート重力式
ダム天端標高	EL.134.50m	EL.134.30m
基礎標高	EL 83.00m	EL 87.00m
ダム堤頂長	565.0m	514.0m
ダム高さ	51.5m	50.3m
堤体積	57 万 m ³	57.53 万 m ³
法面勾配	上流面 垂直	EL.103 以下 1:0.1
	下流面 1:0.7～1:0.76	1:0.76

項 目	F / S	初歩設計
洪水吐 形 式 門 扉 主ゲート 門 扉 副ゲート 越流頂標高 減勢工形式 設計洪水流量 (500年確率) 校核洪水流量 (5000年確率) 100年確率洪水量 50年確率洪水量	タム越流式 ラジアルゲート 15門 B=10.0m×H=9.3m EL.120.0m フリップバケット型 10,900m ³ /s 15,400m ³ /s 7,170 m ³ /s 0 m ³ /s	タム越流式 ラジアルゲート 11門 B=12.0m×H=15.8m コースゲート 2門 B=12.0m×H=12.06m EL.115.0m フリップバケット型 11,340m ³ /s 20,610m ³ /s 7,170 m ³ /s 0 m ³ /s
底 孔 形 式 孔 数 敷 高 門 扉 (呑口) 非常用 門 扉 (吐口) 常用 設計洪水位放流量 (1/500) 校核洪水位放流量 (1/5,000) 100年確率洪水量 50年確率洪水量 5年確率洪水量	堤体内切羽型 15孔 矩形断面 EL. 96.0m ロラーゲート 1門 B=5.0m×H=8.0m ラジアルゲート 15門 B=5.0m×H=5.5m 8,900m ³ /s 9,100m ³ /s	堤体内切羽型 12孔 矩形断面 EL. 96.0m ロラーゲート 1門 B=6.0m×H=9.65 m ラジアルゲート 12門 B=4.0m×H=5.5m 5,887m ³ /s 6,013m ³ /s 5,687 m ³ /s 5,664 m ³ /s 5,188 m ³ /s
取水口 形 式 門 数 門 扉 スクリーン 敷 高 No.1 No.2 No.3 導水銅管 導水銅管中心標高	選択取水形式 3 門 ロラーゲート 1門 B=3.0m×H=3.0m 鋼製固定型 EL.106.0m EL.113.0m EL.120.0m φ=2.0m×3本 φ=1.5m×1本 EL.117.0m	選択取水形式 2 門 ロラーゲート 1門 B=2.6m×H=2.6m 鋼製固定型 EL.105.0m EL.116.0m ----- φ=1.6m×2本 ----- EL.1,105.8m
発電所 形 式 建 屋 定格出力 水車形式	タム直下流、地上式 鉄筋コンクリート造り (B=24m×L=24m) 8,750KW (2,500KW×3台) (1,250KW×1台) カラン型	タム直下流、地上式 鉄筋コンクリート造り (B=15.24m×L=42.5m) 9,600KW (4,000KW×2台) (1,600KW×1台) カラン型

(2) 施工計画

白石ダムサイトは上園駅から13 km に位置し、義県からは45 km、北票市からは71km、錦州市からは110kmにあり、道路は整備されている。工事用の資機材は鉄道、道路で搬入する事ができる。下流右岸に高位段丘の台地があり、骨材製造プラント、コンクリート混合設備、試験室等の仮設備及び資機材置き場を配置する。

ダムサイト下流の河岸段丘は天然の骨材採集場で、782,250m²の範囲を調査し、賦存量は3,680,000m³あり必要量を十分に充足することができるが、礫の含有量が少なく、粗骨材分を充足するには細骨材分に大量の余剰が生ずる。このため、細骨材の採取を主とし粗骨材の不足分は、柳黄屯原石山及びダム右岸直上流の第3原石山から玄武岩質安山岩を採取破碎して補充することにした。(F/S時にはダムサイト上流右岸約6 kmの南湾地区を原石採取場と予定していた)。

セメントは撫順セメント工場から供給、フライアッシュは内蒙古元宝山火力発電所産を使用する。鋼材は鞍山鉄鋼から、油脂類は北票市から供給することができる。また、工事用電力は常河子66kv送電線から接続して用いる。

底口の集中配置による右岸側先行、RCD工法による行程の検討を行い、さらに、1年間の工期の短縮を検討中で1996年9月には堤体コンクリートの一部打設に着手し、2000年末に竣工させる計画とした。

流水の切り替えは、半川締切による2分割、3期転流方式とし、第1期は右岸側を先行施工するため16#ブロック部分の上下流に導流締切を設置する。第2期の転流は17#~22#の12門の底孔(4x7m)と23#~25#の幅150mについては打設制限を行ない、洪水処理を行なう。第3期は発電所の施工のため上下流に締切を設置する。

堤体コンクリートの打設は、初步設計時において1996年から打設開始とし、概略次のような計画とした。

1996年	8,700-
1997年	170,200-
1998年	220,500-
1999年	144,400-
2000年	31,500-

(3) RCDコンクリート施工

コンクリート打設工法は、RCD工法を採用することにし、配合については予備試験を終了し、配合も確定している。

打設リフトは、RCDコンクリート0.75m打設インターバル5~7日、普通ダムコンクリート1.0m打設インターバル10日と計画し、詳細な打設スケジュールは、1996年の進捗状況から検討して作成している。

コンクリートの運搬はダム下流約 1.5 kmの混合プラントからダンプトラックで運搬し、R C Dコンクリートは直接ブロック内に搬入する、その他はガントリークレーンに積み替えバケットにより打設する。

1996年は、8月までに仮設備も完了し、骨材の生産を開始した。下流部の水叩きとなる位置に施工試験ヤードを設定し、1996年9月中旬R C Dコンクリートの転圧施工試験を実施した。

ダム本体のコンクリートはEL.89.0m まで2.0m 厚さにコンクリートでカバーし、10月25日で終了し、10月25日～11月15日間にコンソリデーショングラウトを実施して越冬の養生を行っている、養生は河川水位までの全面湛水養生とした。

1997年はEL.89.0m以上の堤体コンクリートの打設を再開する。計画ではEL.89.0mからR C Dコンクリートとしているが、越冬コンクリートの上部は温度差が大きくなり内部拘束が大きく、普通ダムコンクリートを1～2リフト打設してからR C Dに切り替える検討も必要である。

3. 調査実験結果

3.1 原位置岩盤剪断試験

(1) 一般地質概要

白石ダム周辺には、先震旦系の変成岩類・混成花崗岩類及び堆積岩類を最下位層とし、これと不整合ないしは断層関係で中生ジュラ系の堆積岩類及び火山岩類が分布する。また、これらを被覆して河床部平地に第四系未固結堆積物が分布している。地質構造は北北東-南南西の軸を持つ複数の背斜向斜構造で特徴づけられ、ダム地点はこれら背斜向斜のうちの一つの向斜の最東翼に位置している。個々にはジュラ系の最下部層が分布している。

(2) ダムサイトの地質概要

ダム地点の大部分は玄武岩質安山岩によって構成され、ダムサイト下流の一部に凝灰角礫岩が分布している。このうちダム基礎岩盤となる、玄武岩質安山岩は緻密堅硬であり一般に風化しにくいものの、流理にそった板状節理が発達していて、地表近傍では扁平状に割れやすい。

地層の構造は、走向が北東-南西、傾斜が北西（上流）方向に約20度を示している。またダムサイトには、走向が北西-南東、傾斜が70～80度で、剪断域の幅は数mながら破碎帯幅（例：数10cm以下）の小さい断層がいくつかみられる。

(3) 剪断試験実施の経緯、目的

日本国国際協力事業団のフィージビリティ調査（1993年）において、中国側が1961年に旧ダム軸（現ダム軸より上流）で実施した現位置剪断試験結果の見直しが行なわれた。この結果、純剪断強度の試験値は他の諸物性値から推定した値と比較して、非常に小さい値を示していることが判明した。これまでの試験方法は中国で通常行なわれている‘平推法’によって実施されている。このため、同フィージビリティ調査報告書において、国際的に広く用いられている方法‘斜推法’によっての試験値の確認をすることの必要性が提言された。今回の試験はこの提言を受けて実施されたものである。

(4) 試験位置の選定

ダム基礎の大部分を占める岩盤は微風化岩（CH級岩盤）であり、この岩級の試験値を確認することが必要であった。既設の調査横坑 No. III には、この微風化岩（CH級）があらわれ、すでに12ブロックの試験（平推法）が実施済みであった。この横坑にて斜推法による試験を実施すれば、既存試験値との比較が可能であり、かつダム基礎岩盤の強度値が確認できるとの判断にもとづいて、試験は既存横坑 No. IIIにおいて実施した。

(5) 平板載荷試験方法、結果

試験結果、方法は次の通りである。

- ・鉛直荷重：10, 20, 30 kgf/cm² ステップ荷重と最大荷重 30 kgf/cm² の繰り返し荷重。
- ・載荷板径：φ=50cm

・平板載荷試験結果

(単位：kgf/cm²)

試験番号	変形係数 (D)	接線弾性係数 (Et)	割線弾性係数 (Es)
III - 2 - 7E	39,400	92,700	25,000
III - 2 - 8E	30,900	71,300	68,600
III - 2 - 9E	51,500	92,700	53,000

・変形係数、弾性係数

変形係数、弾性係数として、次の値が妥当と考えられる。

変形係数 D : 30,000 kgf/cm²

弾性係数 E : 70,000 kgf/cm²

一方既存試験値は、変形係数がおおむね 5,000~35,000 kgf/cm²の範囲、弾性係数がおおむね10,000~50,000 kgf/cm²の範囲にあり、今回の試験結果より小さな値を示す傾向がある。

この理由として、既存試験が実施された試験面の岩盤には、(1)亀裂が多いこと、(2)弛閉口のある風化亀裂面が存在していたことがあげられる。

(6) 剪断試験方法、結果

・試験方法：'斜推法' ブロック剪断試験 (コンクリートブロック供試体、底面サイズ 60x60cm)

・荷重載荷パターン

項目	内容
初期鉛直荷重段階	2, 6, 12 kgf/cm ² (=7.2, 21.6, 43.2 ton)
鉛直荷重方式	剪断荷重増加に伴う鉛直荷重上昇分を維持。
鉛直予備載荷	1, 6, 5 kgf/cm ² (3.6, 10.8, 18.0 ton) で繰り返し載荷。
鉛直載荷速度	2 kgf/cm ² (=7.2 ton/分)
剪断載荷の開始時刻	鉛直予備載荷後、5分後。
剪断荷重速度	0.56 kgf/cm ² /min (= 2ton) で5分間連続後、2分間静止する。これを繰り返す。
試験個数	合計6ヶ所 (微風化岩)

・試験結果

残留強度試験で得られた内部摩擦角 $\phi = 52.6^\circ$ は基礎岩盤の最小内部摩擦角と考えることができるので、安全側を鑑みてこれをこの岩盤の内部摩擦角として純剪断強度を推定すると、 $\tau_0 = 14.3 \sim 23.6$ kgf/cm²の範囲であると推定できた。これより、安全側を考慮したラウンド値、 $\tau_0 = 15.0 + \tau \cdot \tan 52.6^\circ$ を本試験の試験値と見なすことができよう。

一方、剪断後の剪断面の観察では80%以上がコンクリートブロックやコンクリートブロック/岩盤境界部で剪断破壊が生じていることが判明した。従って基礎岩盤強度は上記強度値よりさらに大きいものと考えられる。

(7) 結論

本試験の結果、計画の白石ダムの現設計に対して、基礎岩盤は適切な強度を有しているものと結論できる。

3.2 水理模型実験

3.2.1 実験の目的

白石ダムは、遼寧省遼河三角洲農業開発事業の中核をなすもので、灌漑および都市生活・工業用水供給、洪水調節、発電、水産養殖の機能を持つ多目的ダムとして建設される。

この水理模型実験は、初歩設計洪水吐の放流能力、減勢機能、下流河道への影響を検討して、合理的で安全な水理諸元を定めることを目的とした。

3.2.2 実験方法

模型

洪水吐の流れの現象は重力の影響が卓越することからフルードの相似律に従って実験を行った。

実験の模型は、洪水吐全体模型、底孔抽出模型および越流部抽出模型の3種類を次表に示す縮尺で用意した。各模型における縮尺関係は次のように定まる。

表-3.2.1 諸量の縮尺関係

水理諸元	洪水吐全体模型	底孔抽出模型	越流部抽出模型
長さ : KL	1/100	1/50	1/50
流速 : KV	1/10	1/7.07	1/7.07
流量 : KQ	1/100,000	1/17,678	1/17,678
圧力 : KP	1/100	1/50	1/50
粗度係数 : Kn	1/2.154	1/1.919	1/1.919

3.2.3 実験条件

(1) 水位および流量条件

表-3.2.2 洪水吐の水位～流量関係

流 量	貯水位	下流河道水位
50年確率流量 : 5,664 m ³ /s	EL.130.24m	EL.97.43m
100年確率流量 : 12,853 m ³ /s	EL.130.47m	EL.100.33m
200年確率流量 : 16,333 m ³ /s	EL.131.25m	EL.101.28m
設計洪水流量 : 17,227 m ³ /s	EL.132.27m	EL.101.51m
校核洪水流量 : 26,626 m ³ /s	EL.133.88m	EL.104.03m

(2) ゲート操作規則

表-3.2.3 ゲート操作規則

貯水位	底孔	越流部
125.6m~126.9m	12孔全開	11門全閉
126.9m~128.8m	6孔全開	11門全閉
128.8m~130.3m	12孔全開	11門全閉
130.3m~131.2m	12孔全開	11門 e=5m
131.2m~132.7m	12孔全開	7門 e=5m 4門全開
132.7m~	12孔全開	11門全開

3.2.4 実験内容

この実験では以下の内容について検討が行われた。

表-3.2.4 実験内容一覧表

実験名	検討内容
洪水吐全体模型実験	① 越流部の検討 流況、水面形、放流能力
	② シュート部の検討 流況、水面形、導流壁高
底孔抽出模型実験	③ 減勢工部の検討 流況、水面形、減勢機能 フリップバケット形状
	④ 下流河道部の検討 流況、水面形、流速分布、洗掘状況
越流部抽出模型実験	⑤ 洪水吐諸元の決定 対象流量：50年,100年,200,500年,5000年確率流量
	① 流量の検討 ② 作用圧力の検討 ③ 底孔諸元の決定 対象流量：50年,100年,200,500年,5000年確率流量
越流部抽出模型実験	① 作用圧力の検討 ② 越流部諸元の決定 対象ゲート開度：e=0.5,1,2,3,4,5m & 全開

3.2.5 実験結果

3.2.5.1 洪水吐の放流能力

白石ダム洪水吐の貯水位～放流量関係について調査した結果を図-3.2.1 および表-3.2.5 に示す。

(1) 底孔部放流量

設計洪水位 (1/500 年確率流量) における計画値 5,887m³/s に対して実験値は 6217m³/s であり 330m³/s (+5.6%)、校核水位 (1/5000 年確率流量) における計画値 6,013m³/s に対して実験値は 6,366m³/s で 353m³/s (+5.9%)、各々計画値を上回る。

(2) 越流部放流量

校核水位 EL.133.88m (1/5000 年確率流量) における計画値 20,613 m³/s に対して実験値は 22,898m³/s であり、2,285m³/s (11.1%) 計画値を上回る。

(3) 全体放流量

校核水位 EL.133.88m における計画値 26,626 m³/s に対して実験値は 29,264m³/s であり、2,638m³/s (+9.9%) 計画値を上回る。

一方、越流部の放流量は貯水池内の堆砂高により大きく影響を受けることが知られている。貯水池の堆砂面が越流頂まで達した状態を想定して実験を行った結果、越流部の流量係数の低減により、校核水位における越流部の放流量は計画値より約 6,100 m³/s 少なくなり、洪水吐の全体放流量は計画値を 5,700 m³/s 程度下回る結果となった。

しかしながら仮に貯水池内の堆砂面がかなり上昇した場合でも、越流部の近傍では接近流速による洗掘が発生するため、実験で想定したように越流頂まで堆砂面が形成されることはないと考えられる。したがって、洪水吐全体の放流量については計画値を下回ることはないと考えられ、本ダムの洪水吐機能は適切であると判断される。

表-3.2.5 白石ダム洪水吐 貯水位～放流量関係

確率年 (Year)	貯水位 (EL.m)	底孔流量 (m ³ /s)			越流部流量 (m ³ /s)			全体流量 (m ³ /s)		
		設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)	設計値	実験値	誤差(%)
1/50	130.24	5664	6018	6.25	0	0	0	5664	6018	6.25
1/100	130.47	5687	6041	6.22	7166	7589	5.90	12853	13630	6.05
1/200	131.25	5772	6119	6.01	10561	11381	7.76	16333	17500	7.15
1/500	132.27	5887	6217	5.61	11340	12433	9.63	17227	18650	8.26
1/5000	133.88	6013	6366	5.87	20613	22898	11.09	26626	29264	9.91

3.2.5.2 堤体部の実験

(1) 校核水位における堤頂構造物との余裕高

貯水位が最も高くなる校核水位の水面と堤頂との余裕高は、ピアーの先端部で最小となり水位は EL.131.660m に形成される。したがって、堤頂標高 EL.133.500m に対して 1.84 m であり、日本の設計基準「余裕高 \geq 1.5 m」を満足している。またゲートピンと水面の余裕高さは 3.5 m となる。

(2) ピアー下流端のテフルカー形状

テフルカーの強度面および左岸地山に対する流向の調整を行うために、図-3.2.2 に示す形状を最終案形状として提案する。

(3) 堤体の作用圧力

流量が 1/50、1/100、1/200、1/500、1/5000 年確率流量について底孔内の作用圧力を調査した。この結果、底孔内に負圧の発生は認めらず、底孔は問題のない形状と判断される。

(4) 越流部の作用圧力

貯水位が校核水位および正常高水位(EL.127.0m)の 2 水位について、ゲート部分開放および全閉について調査を行った。

①ゲート全開時には 2 水位とも負圧の発生は認められない。

②ゲート半開時には 2 水位とも以下のような負圧が発生する。

・貯水位が正常高水位の場合、ゲート開度が 0.5 m のときゲートの下流側で -0.19 m 水頭の負圧が発生する。

・貯水位が校核水位の場合、-1.34 m 水頭（越流水頭の約 1/14）の負圧が発生する。

日本の設計基準では「越流部の許容負圧は -3.0 m 水頭」である。本越流部に発生する負圧は許容負圧の 1/2 以下であることから特に問題となることはなく、本越流部の縦断形状は妥当と判断される。

3.2.5.3 減勢工部（フリップバケット）の実験

(1) 底孔部フリップバケットの飛散水脈

各流量とも放流水脈は飛散状態を呈し、放流水脈の下面には空間が維持されて安定した流況を呈している。管路からの放流であるため、貯水位が変化しても放流量の変化は小さく単位幅流量として $60\text{m}^3/\text{s}/\text{m} \sim 65\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ の範囲であり、流況的な変化も小さい。飛距離もほぼ一定で、フリップバケットから 46 m ~ 49 m 下流地点に落下する。

(2) 越流部フリップバケットの飛散水脈

流量が 1/100 ~ 1/500 年確率流量においては、飛距離はフリップバケットから下流 50 m ~ 54 m であるが、1/5000 年確率流量においては飛距離は 37 m 程度に短くなる。これはテフルカー地点の水脈が厚くなるためテフルカーの流向変換の影響が顕著となり、全体的に水脈が上向きに射出されることとなり、飛距離が減少するためである。この流況でも発生頻度から判断して特に問題はないと考えられる。

3.2.5.4 下流河道の実験

(1) 水位

発電所放水路の導流壁天端高EL.101.80m (1/200 確率流量で設計) と同流量で形成される水位の関係は、水位が導流壁天端高より0.07 m低く設計を満足している。設計流量を超過した1/500および1/5000年確率流量では各々0.9 mおよび2.9 m程度導流壁天端高を上回る水位となる。

(2) 流速

底孔の単独放流となる1/50年確率流量では、Sta.D 0+100付近に飛散水脈が落下する。水褥池より下流側では6~7m/s程度の流速がSta.D 0+250付近まで分布しており、その下流側Sta.D 0+350では8~9m/s程度に加速された流速分布となる。底孔と越流部の同時放流となる1/100年確率流量以上では、洪水吐からの流れが河道全幅に亘って流下する。1/100年確率流量では底孔下流側の流速が越流部下流側より大きく、1/200年確率流量でほぼ同等となり、1/500年確率流量以上では越流部下流側の流速が大きくなる。

洪水吐の直下流からSta.D 0+200m付近までは、左岸地山沿いに高流速に発生している。1/200年確率流量で6.3m/s、1/500年確率流量で9.6 m/sである。この区間については護岸等の保護工が必要と考えられる。

(3) 河床の洗掘形状

河床洗掘の実験は、流量が1/50から1/5000確率流量までの5種類について行い、結果を表-3.2.6~3.2.7に示す。

中国の既往実績によれば洗掘勾配の影響範囲は約2.5とされており、縦断の洗掘形状から見るとダム基礎に及ぼす影響の可能性は少ないと考えられる。

また、右岸側発電所放水路の導流壁に対しては、導流壁は底孔から約30 m離れており、底孔部の最大洗掘EL.81.1mを基準として、上記勾配により影響範囲を算定すると導流壁地点でEL.93.1mとなる。この高さはほぼ導流壁地点の現河床高に相当することから導流壁基部に及ぼす洗掘の影響もないと言える。

表-3.2.6 底孔部下流河道の洗掘

確率年	上流水位 (EL.m)	下流水位 (EL.m)	単位幅 流量 (m ³ /s/m)	洗掘深 tk(m)		洗掘標高(EL.m)		ジェット飛 距離L(m)	L/tk
				計算値	実測値	計算値	実測値		
1/50	130.24	97.43	61.04	16.20	12.30	78.41	81.70	59.0	4.57
1/100	130.47	100.33	61.34	12.94	12.41	81.07	81.59	53.0	4.17
1/200	131.25	101.28	62.36	12.12	12.65	81.88	81.35	53.0	4.19
1/500	132.27	101.51	63.27	12.16	12.72	81.85	81.28	53.0	4.27
1/5000	133.88	104.03	64.89	9.74	12.90	84.53	81.10	51.0	4.15

(L/tk は実測値で算定)

表-3.2.7 越流部下流河道の洗掘

確率年	上流水位 (EL.m)	下流水位 (EL.m)	単位幅流量	洗掘深 tk(m)		洗掘標高(EL.m)		シフト飛 距離 L(m)	L/tk
				計算値	実測値	計算値	実測値		
1/50									
1/100	130.47	100.33	43.17	9.83	11.82	84.17	82.18	69	5.84
1/200	131.25	101.28	63.62	12.32	16.32	81.68	77.68	69	4.23
1/500	132.27	101.51	68.31	12.93	17.00	81.07	77.00	69	4.06
1/5000	133.88	104.03	139.76	18.98	19.60	75.02	74.40	64	3.27

4) 流水部の施工について

底孔部及び越流部について作用圧力を測定した結果、特に問題となる負圧の発生は認められず、流水部形状の妥当性が確認された。しかしながら、底孔内および越流部の下流部はいずれも低圧、高流速の流れとなるため、施工に際しては流水面に負圧の発生要因となる不整、不陸等のない滑らかな仕上げが要求される。

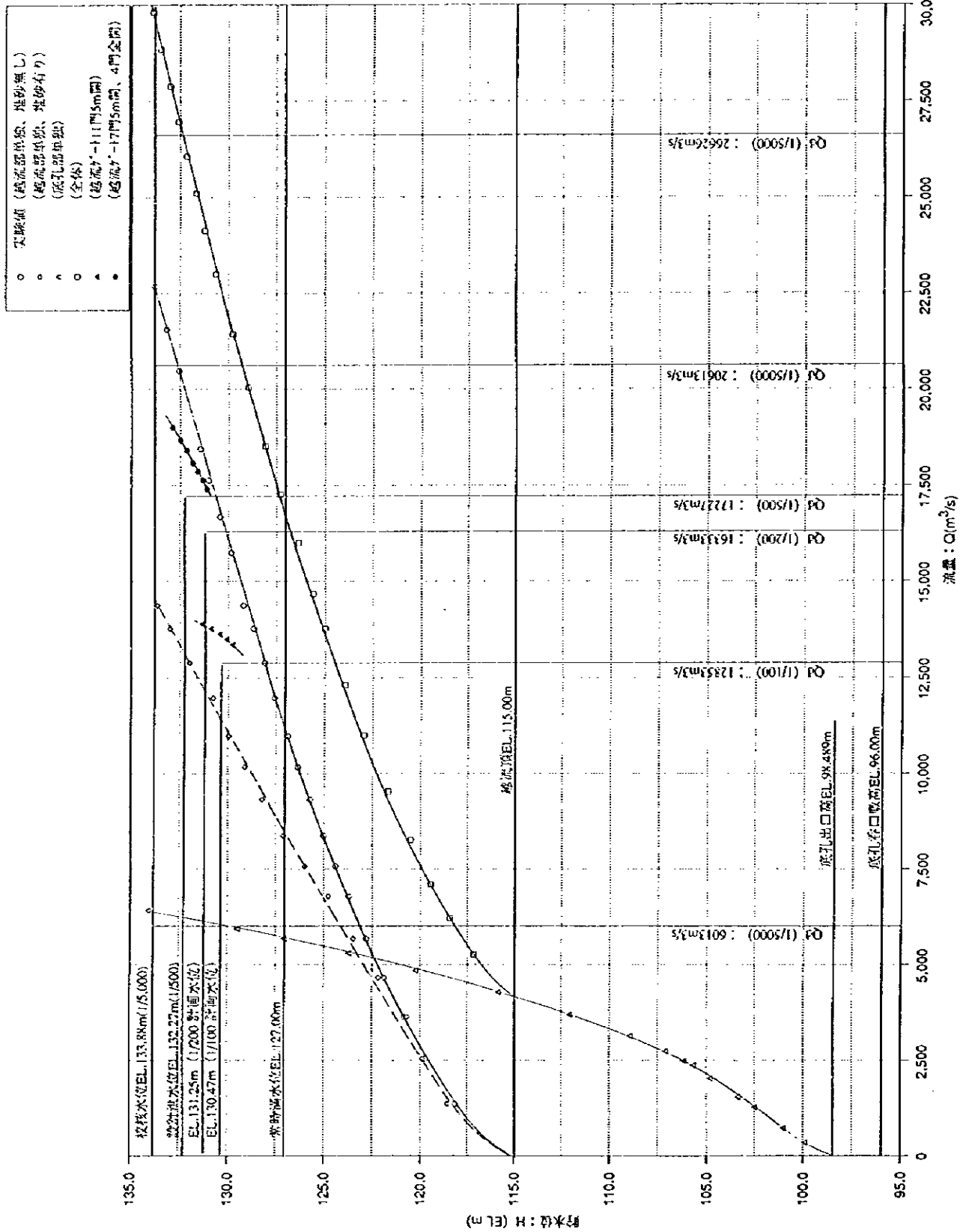


図-3.2.1 白石ダム洪水吐 貯水位～放流量関係

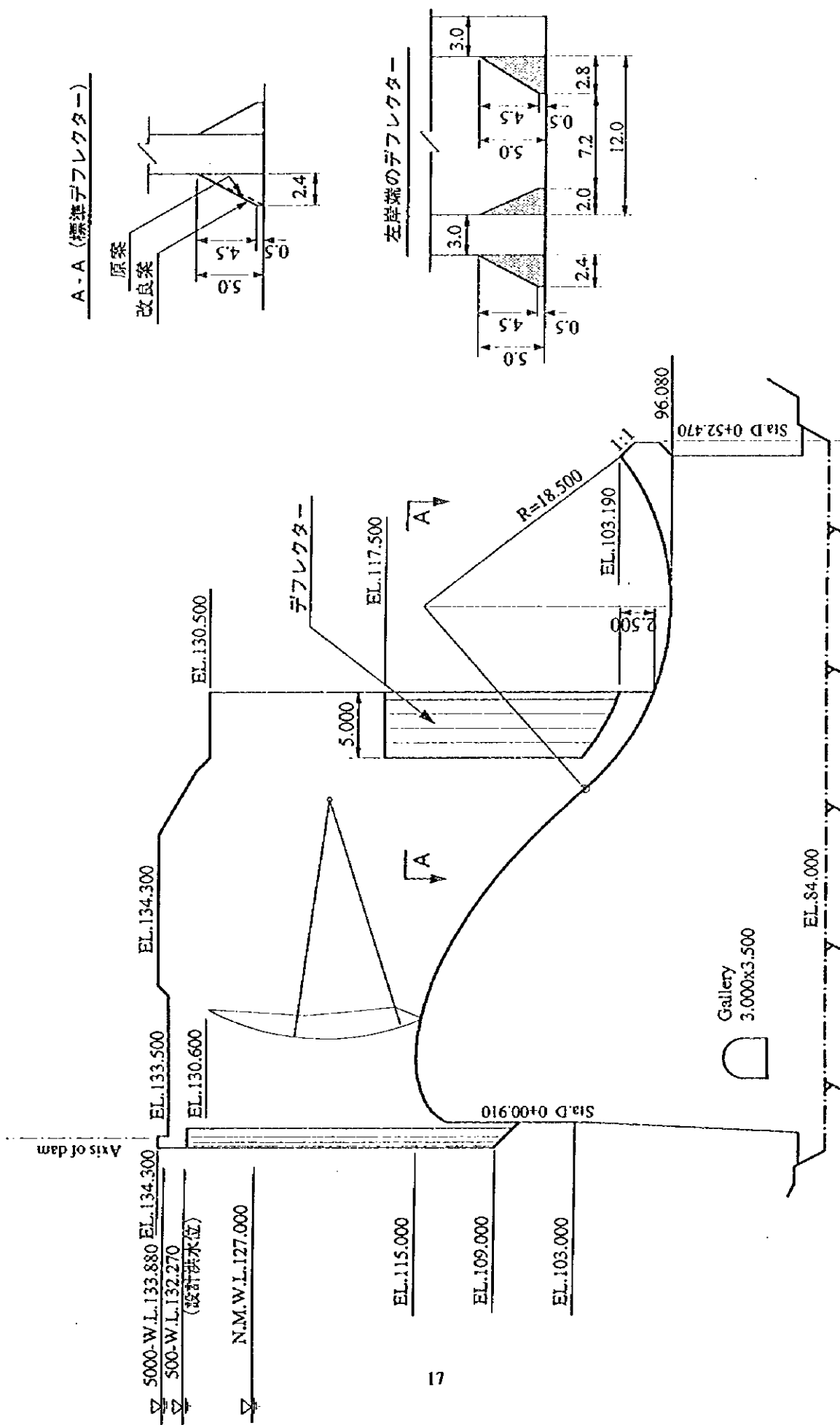


図-3.2.2 デフレクターの改良形状

3.3 ダムコンクリート試験

3.3.1 試験内容

本試験は、Ic/R項目【8】-5：ダムコンクリート試験／解析（p30参照）により、1996年9月上旬までに中国側で独自に実施した試験結果から、RCDコンクリートの仮定示方配合を用いて大型供試体試験を行い、その結果より内部（RCDコンクリート）の断熱温度上昇試験を行った。なお、外部（普通ダムコンクリート）の断熱温度上昇試験は、中国側の推奨示方配合により大型供試体試験と並行して行った。

(1) RCDコンクリート大型供試体試験

大型供試体試験の内容は、表-1に示す。

(2) 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験は、下記に示す2種類である。

(a)外部コンクリート：中国側で独自に実施した普通ダムコンクリートの示方配合。

(b)RCDコンクリート：大型供試体試験結果より選定された示方配合。

3.3.2 使用材料

(1)セメント：撫順ポルトランドダム用セメント525#

(2)フライアッシュ：赤峰元宝山電気器機工場I級灰

(3)細骨材：細骨材は柳黄屯骨材採取場より産出される天然砂を使用した。ただし、粒度調整のために、同細骨材を5~0.3mmの粗砂および0.3mm以下の細砂に分けて使用し、その混合比率は、粗砂：細砂=9%：91%であった。また、設計基準により、微粒分(0.15mm未満)の含有量を普通コンクリートでは5~10%、RCDコンクリートでは、10~15%と規定されているため、前述したフライアッシュの0.15mm未満を7.09%混入して用いた。

(4)粗骨材：粗骨材は、柳黄屯骨材採取場より産出される川砂利およびダム掘削により発生するズリの砕石を使用した。本来であれば、天然砂利のみを粗骨材として用いたいが、粒径の大きいものが、少ないため砕石を混入させた。

(5)混和剤：リグニンスルホン酸Ca系減水剤・空気量調整剤AEA202

3.3.3 試験結果及び考察

(1) 大型供試体試験

大型供試体試験結果一覧を表-2に示す。この配合の内、中国側が示した仮定示方配合は以下のとおりであり、この配合を中心に試験A~Dを行った。

水セメント比	単位水量	単位結合材量	細骨材率	フライアッシュ比
53.8%	70kg/m ³	130kg/m ³	30%	49.2%

表一 1 大型供試体試験条件 (粗骨材最大寸法 80 mm)

項目	試験区分	試験A	試験B	試験C	試験D
試験	単位結合材量 C+F (kg/m ³)	130	130	130	130
試験	フレッシュの置換率F/(C+F) (%)	49.2	49.2	49.2	49.2
試験	単位水量 W (kg/m ³)	60、65、70、75	60、65、70、75	67	67
結果	細骨材率 s/a (%)	30	30	30	28、30、32、34
結果	締固め時間 T (秒)	0, 5, 15, 30, 60, 120	60	60	60
結果	経過時間 P (hr)	0	0	0、2、3、4、5、6	0
試験条件数		4 (W)	4 (W)	6 (P)	4 (s/a)
試験目的	締固め時間の効果	締固め時間の効果	配合 (W) の確認	経過 (放置) 時間の影響	配合 (s/a) の確認
試験結果の整理項目	<ul style="list-style-type: none"> 締固め時間とフレッシュコンクリート密度及び密度比の関係 単位水量とフレッシュコンクリート密度の関係 	<ul style="list-style-type: none"> 単位水量と以下の関係 標準VC値 圧縮強度(J7及び標準供試体) 密度(J7及び標準供試体) J7の外観観察 α、β 	<ul style="list-style-type: none"> 経過時間と以下の関係 標準VC値 圧縮強度 密度(J7及び標準供試体) J7の外観観察 	<ul style="list-style-type: none"> 細骨材率と以下の関係 標準VC値 圧縮強度(J7及び標準供試体) 密度(J7及び標準供試体) J7の外観観察 α、β 	<ul style="list-style-type: none"> 標準VC、空気量、温度、締固め密度 標準VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体
品質管理試験	標準VC、空気量、温度、締固め密度	標準VC、空気量、温度、締固め密度	標準VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体	標準VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体	標準VC、空気量、温度、締固め密度、標準養生供試体
備考	コア供試体は作製しない				

表-2 大型供試体試験結果一覧

配合名	単位水量 (kg/m ³)	経過時間 (hr)	細骨材率 (%)	品質管理試験										締固め密度 (全体密度)						採取コア試験				
				標準 V C		空気量 (%)	20℃ 以下 温度 (°C)	標準供試体					締固め時間 (秒)						理論最大密度 (t/m ³)	コア観察 評価点	密度 (t/m ³)	圧縮強度 (MPa)	動弾性係数 (×10 ⁴ MPa)	
				V C値 (秒)	単質 (t/m ³)			圧縮強度 (MPa)				密度 (t/m ³)	0	5	15	30	60	120						モルタル飛び出し量 (飛び出し量)
						3日	7日	28日	90日	90日														
A-1	60	0	30	34	2.340	3.0 (4.1)	19.5	--	--	--	--	--	2.038	2.187	2.241	2.272	2.310	2.348	120秒	2.490	--	--	--	--
A-2	65			15	2.315	3.7 (5.0)	19.5	--	--	--	--	--	2.219	2.235	2.309	2.370	2.397	2.389	120秒	2.482	--	--	--	--
A-3	70			4	2.297	4.1 (5.6)	20.0	--	--	--	--	--	2.249	2.307	2.385	2.401	2.410	2.415	60秒	2.473	--	--	--	--
A-4	75			0.5	2.251	5.2 (7.0)	20.0	--	--	--	--	--	2.289	2.336	2.350	2.365	2.380	2.395	30秒	2.465	--	--	--	--
B-1	60	0	30	31	2.357	2.6 (3.6)	18.5	8.8	10.7	19.3	30.2	2.385	2.308	2.188	2.243	2.281	2.313	--	--	2.490	4.483	2.404	15.5	1.05
B-2	65			17	2.318	4.1 (3.0)	19.5	7.2	10.0	19.0	28.2	2.421	2.128	2.248	2.318	2.361	2.393	--	--	2.482	4.844	2.417	16.6	1.12
B-3	70			4	2.228	5.7 (4.2)	18.0	4.7	7.9	13.5	24.7	2.326	2.141	2.279	2.354	2.401	2.420	--	--	2.473	4.878	2.377	18.3	1.03
B-4	75			1	2.245	7.3 (5.4)	19.5	2.7	7.8	8.6	15.0	2.300	2.328	2.360	2.382	2.393	2.404	--	30秒	2.465	4.872	2.383	12.6	0.94
C-1	67	0	30	8	2.328	5.4 (4.0)	20.0	--	--	--	18.3	2.329	2.246	2.329	2.398	2.401	2.401	--	--	2.478	4.808	2.406	13.9	0.97
C-2		2		15	2.326	4.7 (3.5)	13.0	--	--	--	27.5	2.362	2.183	2.305	2.365	2.387	2.401	--	--	2.478	4.891	2.405	14.0	1.08
C-3		3		27	2.351	4.2 (3.1)	13.0	--	--	--	36.5	2.375	2.154	2.257	2.312	2.348	2.383	--	--	2.478	4.647	2.437	16.4	1.13
C-4		4		49	2.356	3.8 (2.8)	13.0	--	--	--	23.3	2.388	2.123	2.240	2.279	2.313	2.340	--	--	2.478	4.639	2.435	17.9	1.19
C-5		5		53	2.358	3.4 (2.5)	13.5	--	--	--	33.2	2.376	2.107	2.200	2.240	2.307	2.320	--	--	2.478	4.502	2.416	16.2	0.95
C-6		6		62	2.362	3.2 (2.3)	14.0	--	--	--	34.8	2.385	2.069	2.189	2.232	2.267	2.308	--	--	2.478	4.370	2.400	13.8	1.03
D-1	67	0	28	13	2.341	3.6 (4.9)	17.0	5.7	8.4	14.7	23.3	2.370	2.207	2.289	2.338	2.367	2.386	--	--	2.480	4.784	2.422	17.1	1.07
D-2			30	8	2.328	4.0 (5.4)	20.0	3.0	7.5	13.6	18.3	2.329	2.246	2.329	2.398	2.401	2.401	--	--	2.478	4.808	2.406	13.9	0.97
D-3			32	12	2.330	3.1 (4.2)	18.0	4.3	7.1	13.8	20.9	2.374	2.284	2.329	2.347	2.360	2.381	--	--	2.477	4.836	2.392	14.0	0.99
D-4			34	19	2.308	2.7 (3.6)	18.0	7.2	9.1	18.0	30.8	2.389	2.191	2.298	2.339	2.355	2.368	--	--	2.476	4.919	2.401	12.8	1.04

注1) 空気量は、上段が骨材フルサイズ換算の値、下段のカッコ内は骨材40mm以下の実測値を示す。
 2) *印はモルタル飛び出し開始時間。
 3) **印は120秒締固め後のモルタル飛び出し量。
 4) 締固め密度 (全体密度) で上段は密度 (t/m³)、下段は密度比 (締固め密度/理論最大密度) × 100 (%) である。

(a)試験 A

締固め時間120秒における締固め密度は、単位水量 $70\text{kg}/\text{m}^3$ が最も高く $2.415\text{t}/\text{m}^3$ であり、中国側が示した仮定配合の単位水量と同一であった。

往復6回の振動ローラ (BW-200) による振動締固め (締固めI初キ ρ : $453\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$) に相当する大型供試体試験における振動数 $1900\text{r}\cdot\text{p}\cdot\text{m}$ 、60秒締固め (締固めIネ ρ : $510\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$) で、仮定示方配合 $70\text{kg}/\text{m}^3$ の密度比は97.5%に達している。(図-1参照)

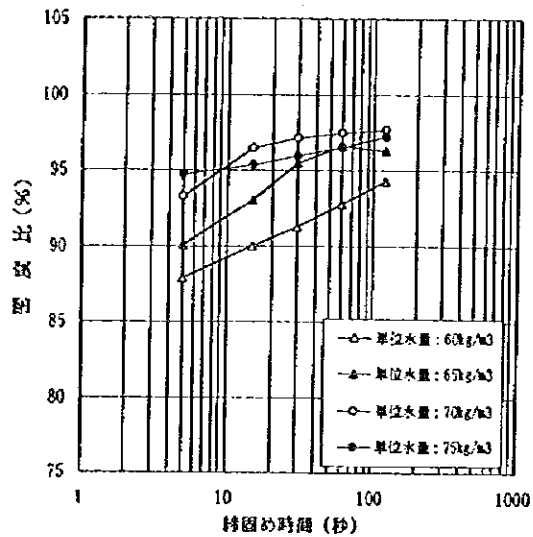


図-1 締固め時間と密度比の関係(試験 A)

(b)試験 B

締固め密度は、いずれの締固め時間においても、単位水量の増加に伴い密度も高くなる傾向であったが、締固め時間60秒における密度が最も高い値を示したものは、単位水量 $70\text{kg}/\text{m}^3$ であった。(図-2参照)

RCDコンクリートの空気量を $3\pm 1\%$ とした場合の密度比は、96~98%の範囲内であり、大型供試体試験は配合上の限界まで締固めていることが伺えられる。

締固め時間60秒におけるコア評価点の最大値を示す単位水量は、仮定示方配合の $70\text{kg}/\text{m}^3$ であった。

締固め時間60秒のコア圧縮強度は、単位水量 $70\text{kg}/\text{m}^3$ が他の単位水量に比べ若干大きな値を示した。(図-3参照)

締固め時間60秒のコア動弾性係数は、単位水量 $65\text{kg}/\text{m}^3$ が他の単位水量に比べ若干大きな値を示したが、それほど大きな差は生じなかった。

一般にRCDコンクリートでは、密度が大きくなるに従って、圧縮強度及び動弾性係数も大きくなり、逆に密度が小さくなると、圧縮強度及び動弾性係数も小さくなる。これは、コンクリートの「詰まり」による影響であり、コンクリートが密実に締固まっていなければ、当然「詰まり」の悪い部分がコンクリートの圧縮強度の弱点となり、それに伴い動弾性係数の低下にもつながる。しかし、本

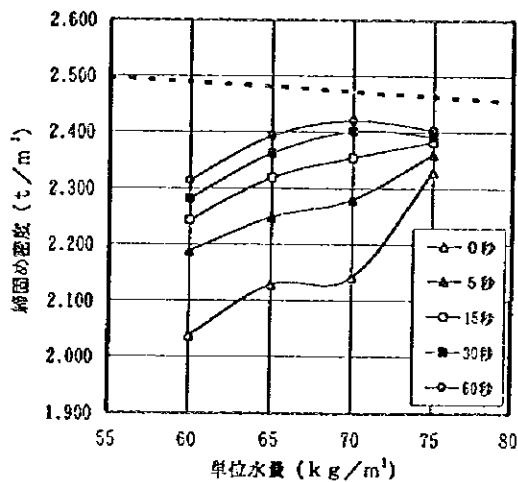


図-2 単位水量と締固め密度の関係(試験 B)

試験結果では、コア密度が各単位水量間で差が出ていないのに係わらず、圧縮強度では単位水量 70kg/m^3 が最も大きい値であり、動弾性係数では単位水量 65kg/m^3 が大きい値を示していた。各特性値間の関係が、一様でない原因については、各特性値の各値がばらついているため、高い相関性が得られなかったものと考えられる。

(c)試験C

標準VC値は、経過時間と共に大きくなる傾向であり、経過2時間を超えるとVC値の増大は明確となる。(図-4参照)

締固め密度は、経過時間とともに低下する傾向にあり、特に2時間経過後においてはその低下が顕著となる。この経過時間と締固め密度の関係は、日本で一般的に言われている傾向と同様であった。(図-5参照)

経過時間におけるコア評価点は、2時間経過まで4.8点程度を示したが、それ以降となると、評価点は減少し6時間経過における評価点は4.370点であった。しかし、豆板状や粗骨材が多く露出している部分は少なく、経過時間3及び6時間で評価基準のD「やや不良」が若干見られる程度であり、コアの外観上6時間経過してもそれほど大きな差は認められなかった。

コア密度及圧縮強度は、各経過時間の相違による大きな違いは認められなかった。(図-6参照)

コア動弾性係数は、4時間経過後が最も大きく、6時間後でも練混ぜ直後(0 hr)より大きな値を示した。

経過時間とともに締固め密度が小さくなっているにも係わらず、その供試体から抜き取ったコアの密度は、各経過時間の間で差が認められず、ま

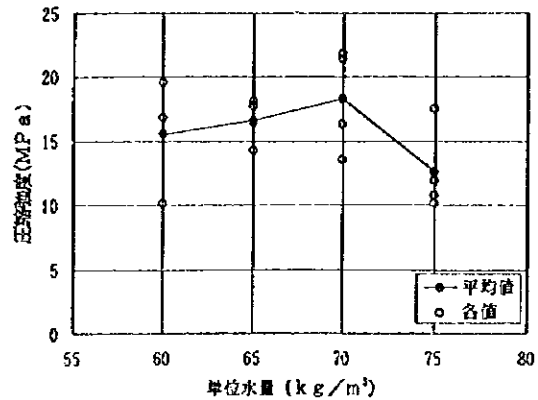


図-3 単位水量と圧縮強度の関係(試験B)

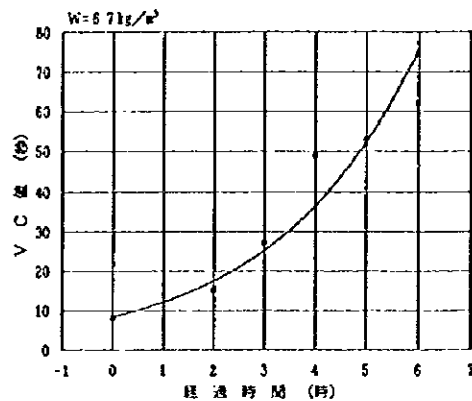


図-4 経過時間とVC値(標準VC値)の関係(試験C)

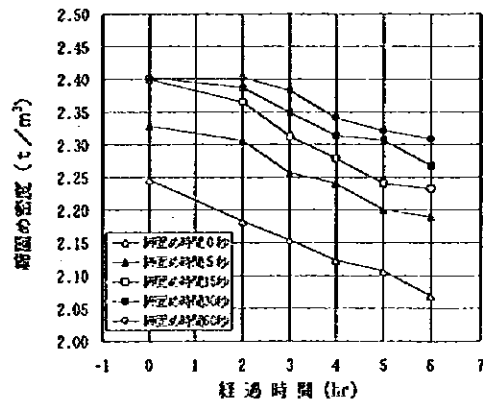


図-5 経過時間と締固め密度の関係(試験C)

た同様に圧縮強度や動弾性係数も経時による低下傾向が認められなかった。これらの原因は、6時間経過後のVC値（標準VC値）60秒程度のコンパクションであれば、大型供試体で採用した振動条件ならば、十分締固まり各特性値間の影響が現れなかったものと考えられる。

(d)試験D

単位水量及び単位結合材量を一定とした場合、最小のVC値が得られたのは、仮定示方配合の細骨材率30%であった。(図-7参照)

一般に、単位水量及び単位結合材量を一定として、細骨材を変化させた場合、最小のVC値を示す細骨材率は、他の細骨材率と比べ締固めやすく、水セメント比が一定のため、密度及び圧縮強度も高い値を示す。しかし、本試験においては、最小のVC値を示した細骨材率30%が、密度及び圧縮強度で最も低い値を示した。この原因は、VC値が最も大きいものでも19秒と、締固めの相違が顕著に表れるまでコンパクションが低くなく、供試体作製日の違いによる試験誤差の影響の方が大きかったと推測される。

締固め密度及び密度比は、締固め時間15秒を超えるあたりから、細骨材率30%が最も大きい値を示した。

細骨材率の増加に伴ってコア評価点は高い値を示しているが、全ての細骨材率で高い評価点を示している事から、それほど大きな差生じていないものと考えられる。

コア密度、圧縮強度、動弾性係数は、細骨材率の相違による大きな差は認められなかった。

(e)大型供試体試験結果のまとめ

表-2に示した結果をまとめると以下のごとくになる。

① 試験A（フレッシュコンクリートの締固め時間と密度の関係）

締固め密度のピークは仮定示方配合の単位水量（ $W=70\text{kg/m}^3$ ）で生じている。往復6回の転圧で単位水量が $65\sim 70\text{kg/m}^3$ の範囲内であれば十分な締固め効果が期待できる。

② 試験B（コンクリートの単位水量と締固め密度及び強度特性の関係）

締固め時間60秒における各特性値の関係より、最大値を示す単位水量は、

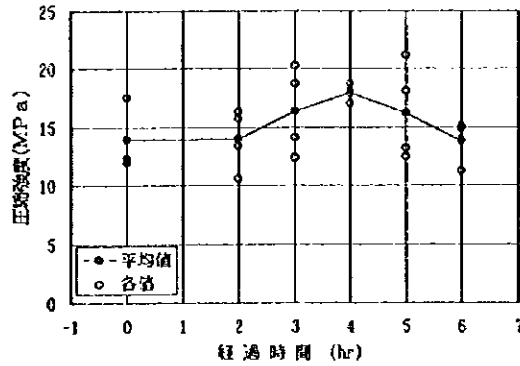


図-6 経過時間と圧縮強度の関係(試験C)

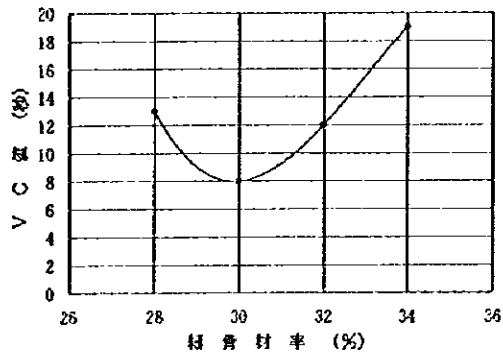


図-7細骨材率とVC値(標準VC試験)の関係(試験D)

- ・標準VC値と $\alpha \cdot \beta$ 値： $W=67 \text{ kg/m}^3$ ・全体密度： $W=70 \text{ kg/m}^3$
 - ・コアの外観： $W=70 \text{ kg/m}^3$ ・コア密度： $W=65 \text{ kg/m}^3$
 - ・コア強度： $W=70 \text{ kg/m}^3$ ・動弾性係数： $W=65 \text{ kg/m}^3$
- であり、これらを総合的に判断すると単位水量は以下のとおりになる。

$$W=67 \text{ kg/m}^3$$

③ 試験C (コンクリートの経時変化と締固め密度及び強度特性の関係)

単位水量 67 kg/m^3 における練混ぜ直後から6時間経過までのコンクリートの品質は、経過時間に伴い低下するが、試験結果より総合的に判断すると練混ぜから締固め開始までの時間は3~4時間以内であれば、コンクリートの品質の低下を防げることができると思われ、夏期においてはこの時間よりさらに1時間程度早めた2~3時間以内が望ましい。

④ 試験D (コンクリートの細骨材率と締固め密度及び強度特性の関係)

単位水量 67 kg/m^3 、単位結合材量 130 kg/m^3 における、各特性値の関係より、最大値を示す細骨材率は、

- ・標準VC値： $s/a=30\%$ ・全体密度： $s/a=30\%$
- ・コアの外観： $s/a=32\%$ ・コア密度： $s/a=28\%$
- ・コア強度： $s/a=28\%$ ・動弾性係数： $s/a=28\%$

であり、これらを総合的に判断すると細骨材率は以下のとおりになる。

$$s/a=30\%$$

(2) 断熱温度上昇試験

断熱温度上昇試験に用いた配合を以下に示し、結果を図-8に示す。

・外部コンクリートの配合

水セメント比	単位水量	単位結合材量	細骨材率	フライアッシュ比
58.0%	87 kg/m^3	150 kg/m^3	27%	30.0%

・RCDコンクリートの配合

水セメント比	単位水量	単位結合材量	細骨材率	フライアッシュ比
51.5%	67 kg/m^3	130 kg/m^3	30%	49.2%

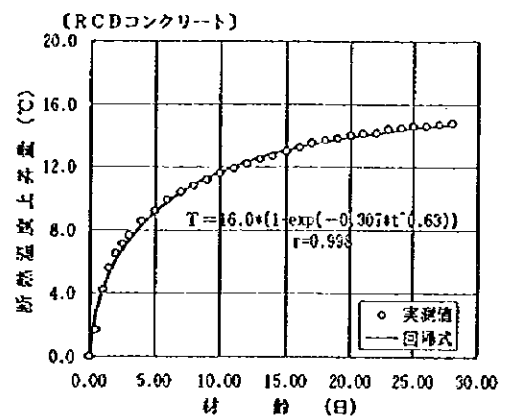
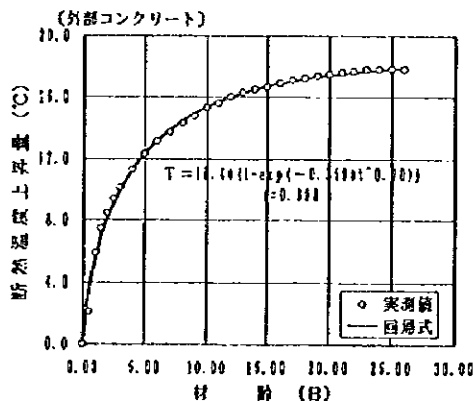


図-8 断熱温度上昇試験結果

3.3.4 まとめ

本試験は、中国白石ダムに用いるRCDコンクリートの配合について、大型供試体試験により示方配合の検討を行い、またその結果からRCDコンクリートと中国側で独自に実施した外部コンクリートの断熱温度上昇試験を行った。

試験により得られた結果を以下に示す。

・RCDコンクリートの配合

水セメント比	単位水量	単位結合材量	細骨材率	フライアッシュ比
51.5%	67 kg/m ³	130 kg/m ³	30%	49.2%

・外部コンクリートの断熱温度上昇式

$$T=18.4(1-\text{EXP}(-0.359t^{0.2}))$$

・RCDコンクリートの断熱温度上昇式

$$T=16.0(1-\text{EXP}(-0.307t^{0.2}))$$

本試験は、中国側で初めて行う試験であるにも係わらず、総括して判断すればほぼ妥当な試験結果が得られた。

しかし、本試験に用いたRCDコンクリートの場合、フライアッシュの混合比率が日本で用いられている配合よりかなり高いため、一定した品質のフライアッシュを使用することが必要である。

本試験においては、配合強度に用いる標準供試体の強度は満足したが、実際の大型供試体試験において、やや下回る結果が認められる場合もあった。この原因は、フライアッシュの混合比が高いため、フライアッシュの品質変動がコンクリートの品質に影響を及ぼしたことによると予想された。このことから配合強度に対する安全性や初期強度の発現が低い点が施工に及ぼす影響を考慮し、単位結合材量中のセメント量を若干増加させる検討が必要であると考えられる。また、当該地域が寒冷地である点より、秋期打設の低温養生による強度発現性や耐久性等について検討することが、今後の課題であると考えられる。

3.4 ダムコンクリート温度応力解析

3.4.1 検討目的

白石ダム地点付近の気象特性は、近傍の義県気象観測所の過去10年間のデータによると、年間平均気温8.6℃、1月の平均気温-9.0℃、7月の平均気温23.5℃で、平均気温の年振幅が16.3℃となっており、気象条件の激しいことが特徴的である。

よって、ダム施工時のコンクリート温度応力解析を行い、コンクリートの水和熱に起因する温度ひびわれを抑制する対策を検討するものである。

3.4.2 解析手法

温度履歴解析は、リフトの打設工程、コンクリートの水和熱による発熱過程、外気温あるいは貯水池水温による放熱過程を考慮した、有限要素法による2次元非定常熱伝導解析により行う。

温度応力解析は、リフトの打設工程、コンクリートの硬化過程を考慮した、有限要素法による平面応力状態での2次元熱応力解析により行う（底孔部の横断面モデルのみ平面歪状態）。

3.4.3 解析条件の設定

(1) 熱定数

熱定数は、一般値等から設定し、表-3.4.1に示す。

表-3.4.1 熱定数一覧表

	密度 (kg/m^3)	比熱		熱伝導率		熱伝導係数	
		($\text{cal/kg} \cdot \text{C}^\circ$)	($\text{cal/kg} \cdot \text{C}^\circ$)	($\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$)	($\text{W/m} \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$)	($\text{cal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$)	($\text{W/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}^\circ$)
コンクリート	23	0.25	1.05	2.0	8.37	12.0 (散水養生)	50.2 (散水養生)
						30.0 (湛水時)	125.5 (湛水時)
						0.8 (湛水越冬養生)	3.3 (湛水越冬養生)
						0.49~0.95 (越冬保温養生)	2.04~3.98 (越冬保温養生)
基礎岩盤	2.7	0.204	0.85	1.47	6.15	12.0	50.2

(2) 断熱温度上昇式

断熱温度上昇式の定数は、試験結果等から設定し、表-3.4.2に示す。

$$\text{断熱温度上昇式} : T (\text{C}^\circ) = K (1 - \exp(-\alpha t^\beta))$$

表-3.4.2 断熱温度上昇式の定数一覧表

コンクリートの区分	単位セメント量(kg/m^3)	K (C)	α (1/日)	β
外部コンクリート	105.0	18.4	0.359	0.70
内部 (RCD) コンクリート	66.0	16.0	0.307	0.63

(3) 弾性定数

弾性定数は、試験結果及び一般値から設定し、表-3.4.3に示す。

表-3.4.3 弾性定数の物性値一覧表

弾性定数の種類		内部(RCD)コンクリート	外部コンクリート
コン ク リ ー ト	圧縮強度 $f_c(t) = t / (a+bt) \times f_c(90)$	a=13.3 b=0.8 $f_c(90)=24.6(\text{MPa})$ $=250.9(\text{kgf/cm}^2)$	a=14.6 b=0.84 $f_c(90)=26.9(\text{MPa})$ $=274.3(\text{kgf/cm}^2)$
	引張強度 $f_t(t) = c \sqrt{f_c(t)}$	c = 1.4	
	弾性係数 $E_c(t) = \psi(t) \times 15,000 \sqrt{f_c(t)} (\text{kgf/cm}^2)$	$\psi(t) = 0.73$ (材令3日まで) $\psi(t) = 1.0$ (材令5日以降)	
	ポアソン比	$\nu = 0.2$	
	熱膨張係数 (1/℃)	$\alpha = 1.0 \times 10^{-6}$	
岩 盤	弾性係数	E = 6,860(MPa) $= 70,000(\text{kgf/cm}^2)$	
	ポアソン比	$\nu = 0.3$	

※岩盤の熱膨張係数は考慮しない。

(4) 外気温

白石ダム地点の外気温は、表-3.4.4に示す近傍の義県気象観測所の外気温データを用い、SIN波で近似し設定する。

$$\text{外気温 SIN 波} : T (\text{℃}) = 8.6 + 16.3 \text{ SIN} (2\pi / 365 \times (t + 350))$$

表-3.4.4 義県気象観測所の月別平均気温 (1987年~1996年の10年間の平均値)

単位：℃													
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
月別平均気温	-9.0	-5.5	1.2	10.0	17.1	21.2	23.5	23.2	17.4	10.3	0.4	-6.7	8.6

(5) 貯水池水温

貯水池水温 (推定値) は、表-3.4.5に示す。

表-3.4.5 貯水池水温 (推定値)

深さ (m)	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0.52	1.42	1.40	8.50	15.35	19.35	21.48	21.93	16.25	8.25	2.73	0.80
5	1.41	2.00	2.00	7.00	11.47	15.14	15.62	21.70	16.25	8.25	3.00	1.52
10	1.80	2.52	3.00	5.91	8.59	10.75	10.88	19.80	15.70	8.25	3.73	2.00
15	2.41	3.22	3.60	5.20	7.00	9.86	10.21	15.80	14.45	8.25	3.73	2.62
20	3.00	3.82	4.00	5.00	6.50	7.51	7.74	10.97	11.06	8.23	3.83	3.20
25	3.51	4.00	4.00	5.00	6.20	6.70	6.74	9.56	10.00	7.90	3.83	3.62
30	3.64	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	7.87	7.93	6.50	3.93	3.80
35	3.65	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	6.87	6.40	5.50	4.00	3.90
40	3.71	4.00	4.00	5.00	6.00	6.70	6.74	6.87	6.40	5.50	4.00	3.90

(6) 打込み温度

打込み温度は、外気温に2℃加えた値を用いる。プレクーリングを実施する場合、打込み温度の規制値は15℃あるいは15～18℃と設定する。

表-3.4.6 打込み温度一覧表

		単位：℃											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月別平均気温		-9.0	-5.5	1.2	10.0	17.1	21.2	23.5	23.2	17.4	10.3	0.4	-6.7
ケース1	打込み温度（規制値なし）	-	-	-	12.0	19.1	23.2	25.5	25.2	19.4	12.3	-	-
ケース2~4	打込み温度（規制値あり）	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
ケース5	非越流部 H≤8m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>8m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-
	洪水吐部 H≤12m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>12m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-
	底孔部 H≤20m	-	-	-	12.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	12.3	-	-
	H>20m	-	-	-	12.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	12.3	-	-

(7) リフトスケジュール

リフトスケジュールは、中国側の提供資料を用いる。

3.4.4 検討断面の設定

検討断面は、非越流部、洪水吐部、底孔部の最大断面を選定し、以下の断面とする。

- ・非越流部 BL.27（上下流断面）
- ・洪水吐部 BL.11（上下流断面）
- ・底孔部 BL.20（岩着部上下流断面、横断面）

3.4.5 検討ケースの設定

検討ケースは、表-3.4.7に示す。底孔部の岩着付近コンクリートの解析については、ケース1~4のみ行う。

表-3.4.7 検討ケース

検討ケース	打込み温度規制値	越冬保温養生の熱コンダクタンス	
		(Kcal/m ² ・h・℃)	(KJ/m ² ・h・℃)
ケース1	特になし	対策なし	
ケース2	上限一律15℃	対策なし	
ケース3	上限一律15℃	0.95	3.98
ケース4	上限一律15℃	0.49	2.04
ケース5	上限15～18℃	0.95	3.98

3.4.6 解析モデル

各検討断面における解析モデル概念図は、図-3.4.1に示す。

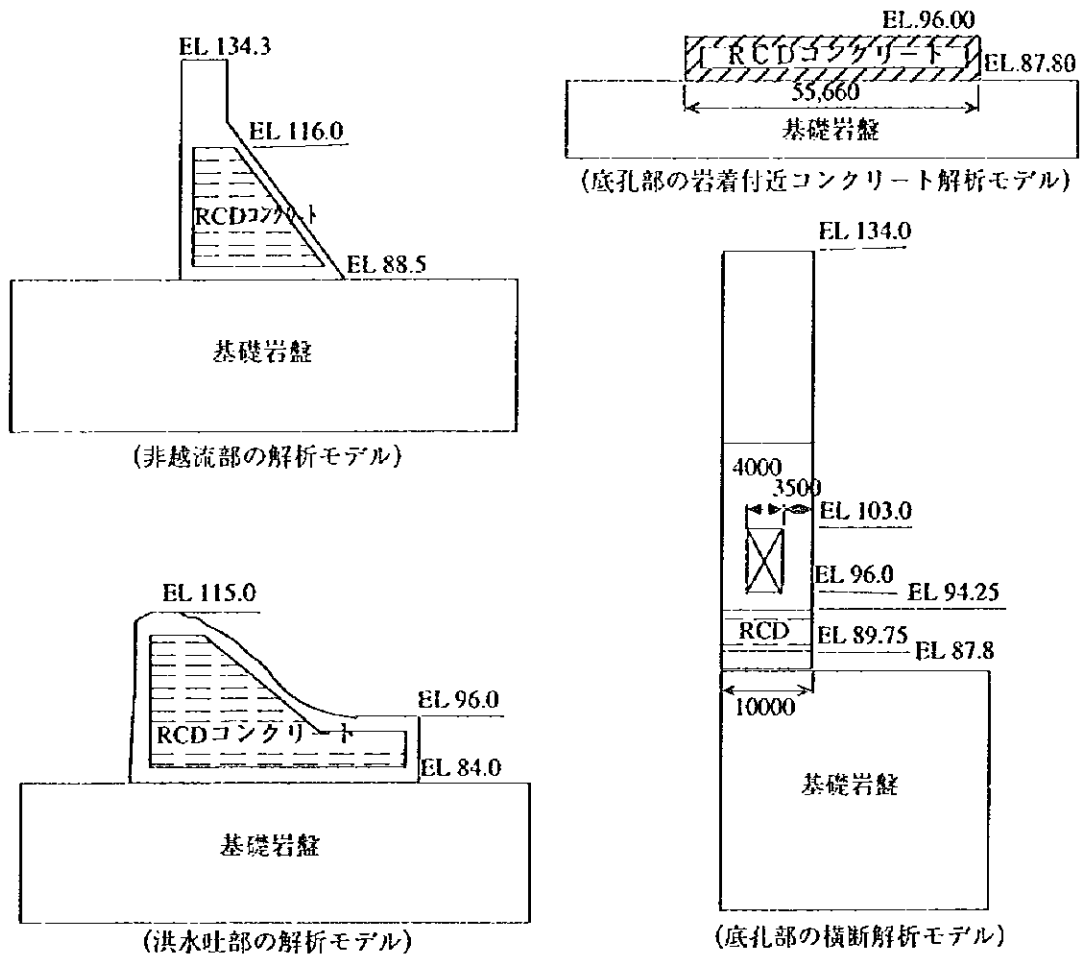


図-3.4.1 解析モデル概念図

3.4.7 解析結果

(1) 最高温度

各ケースの各箇所での最高温度及びその発生箇所での最低温度、温度降下量は、表-3.4.8～3.4.11に示すとおりである。

表-3.4.8 各ケースの各箇所での最高温度等一覧表 (非越流部BL27)

ケース	打込み温度 見直し	越冬保温養生の 熱エネルギー (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部	RCDコンクリート	上流側	下流側	越冬前	越冬前	越冬後
				岩着コンクリート EL 91.25 3リフト	RCDコンクリート EL 98.75 13リフト	外部コンクリート EL 108.5 26リフト	外部コンクリート EL 108.5 26リフト	RCDコンクリート EL 107.0 24リフト	RCDコンクリート EL 111.5 30リフト	外部コンクリート EL 120.0 40リフト
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	19.0	29.2	30.0	29.4	26.3	24.9	33.8
			最低温度	8.1	9.0	-1.1	0.8	-6.5	-6.6	5.3
			温度降下量	10.9	20.2	31.1	28.6	32.8	31.5	28.5
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	18.6	26.7	27.0	26.5	23.4	22.7	29.8
			最低温度	8.0	8.9	-1.2	0.8	-6.5	-6.6	5.2
			温度降下量	10.6	17.8	28.2	25.7	29.9	29.3	24.6
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	18.3	26.7	26.9	26.5	23.5	22.7	29.9
			最低温度	8.4	9.6	3.7	4.7	1.6	1.3	7.0
			温度降下量	9.9	17.1	23.2	21.8	21.9	21.4	22.9
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	18.3	26.7	26.9	26.5	23.7	22.7	29.9
			最低温度	9.1	10.3	6.7	6.8	2.2	1.9	8.4
			温度降下量	9.2	16.4	20.2	19.7	21.5	20.8	21.5
ケース5	上限15～18℃	0.95	最高温度	18.3	27.0	27.6	27.1	24.0	23.1	31.0
			最低温度	8.4	9.6	3.8	4.7	1.6	1.3	7.0
			温度降下量	9.9	17.4	23.8	22.4	22.4	21.8	24.0

表-3.4.9 各ケースの各箇所での最高温度等一覧表 (洪水吐部BL.11)

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンクリート (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部 岩着コンクリート EL.86.75 3リフト	堤体中央部 RCDコンクリート EL.92.75 11リフト	上流側 外部コンクリート EL.105.5 28リフト	下流側 外部コンクリート EL.96.5 16リフト	下流側 外部コンクリート EL.105.5 28リフト	越冬面 RCDコンクリート EL.105.5 28リフト
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	21.9	32.4	21.0	31.0	21.0	18.4
			最低温度	-5.7	2.9	-7.2	-0.5	-6.6	-6.5
			温度降下量	16.2	29.5	28.2	31.5	27.6	24.9
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	20.7	29.1	20.9	27.9	20.8	17.9
			最低温度	-5.6	2.8	-7.2	-0.6	-6.7	-6.6
			温度降下量	15.1	26.3	28.1	28.5	27.5	24.5
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	20.7	29.1	19.4	27.9	20.9	18.5
			最低温度	6.9	3.5	-0.9	-0.4	-1.0	1.4
			温度降下量	13.8	25.6	20.3	28.3	21.9	17.1
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	20.7	29.1	19.2	27.9	21.1	19.0
			最低温度	7.5	3.8	1.4	-0.1	-0.9	2.1
			温度降下量	13.2	25.3	17.8	28.2	22.0	16.9
ケース5	上限15~18℃	0.95	最高温度	20.7	29.1	19.5	28.5	20.9	18.7
			最低温度	6.9	3.5	-0.8	-0.4	-1.0	1.4
			温度降下量	13.8	25.6	20.3	28.9	21.9	17.3

表-3.4.10 各ケースの各箇所での最高温度等一覧表 (底孔部の岩着付近コンクリート解析時)

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンクリート (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	岩着部 岩着コンクリート EL.87.8	内部コンクリート中心 RCDコンクリート EL.93.5	開口部下部 外部コンクリート EL.95.0	上下護面 外部コンクリート EL.92.0
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	24.3	24.6	30.2	24.6
			最低温度	4.2	2.1	-2.4	-7.0
			温度降下量	20.1	22.5	32.6	31.6
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	2.1	-2.4	-7.0
			温度降下量	20.1	20.0	27.9	31.5
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	5.2	2.5	-1.0
			温度降下量	20.1	16.9	23.0	25.5
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	24.3	22.1	25.5	24.5
			最低温度	4.2	6.8	5.0	1.9
			温度降下量	20.1	15.3	20.5	22.6

※ケース1は、底孔開口部下部の外部コンクリート (1.75m) は1回打設
 ※ケース2~4は、底孔開口部下部の外部コンクリート (1.75m) は2回打設

表-3.4.11 各ケースの各箇所での最高温度等一覧表 (底孔部の横断解析時)

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンクリート (Kcal/m ² ・h・℃)	温度項目	開口部下部 外部コンクリート EL.96.0 11リフト	開口部中心側 外部コンクリート EL.100.0 13リフト	開口部根拠側 外部コンクリート EL.100.0 13リフト	開口部上部 外部コンクリート EL.105.0 16リフト
ケース1	特になし	対策なし	最高温度	28.8	35.0	35.0	27.6
			最低温度	-3.3	-4.4	-1.8	-5.8
			温度降下量	32.1	39.4	36.8	33.4
ケース2	上限一律15℃	対策なし	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	-3.3	-4.4	-1.8	-5.8
			温度降下量	28.9	33.3	30.8	30.4
ケース3	上限一律15℃	0.95	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	3.0	1.3	3.6	-0.2
			温度降下量	22.6	27.6	25.4	24.8
ケース4	上限一律15℃	0.49	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.6
			最低温度	5.5	4.5	6.1	3.1
			温度降下量	20.1	24.4	22.9	21.5
ケース5	上限15~18℃	0.95	最高温度	25.6	28.9	29.0	24.5
			最低温度	3.0	1.3	3.6	-0.2
			温度降下量	22.6	27.6	25.4	24.7

※すべてのケースにおいて、底孔開口部下部の外部コンクリート (1.75m) は2回打設

(2) 最大引張ひずみ

コンクリートの許容引張ひずみは、一般的な値である 100×10^{-6} (100μ) とする。各ケースの各箇所での最大引張ひずみは、表-3.4.12~15に示すとおりである。

表-3.4.12 各ケースの各箇所での最大引張りずみ一覧表 (非越流部BL.27)

単位: $\times 10^{-3}(\mu)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンダクタンス (Kcal/m ² ・h・℃)	岩着部	堤体中央部	上流面	上流面	下流面
			岩着コンクリート EL.90.00 ~91.25 3977	RCDコンクリート EL.99.5 ~100.25 15977	外部コンクリート EL.110.75 ~111.5 30777	外部コンクリート EL.111.5 ~112.25 31977	外部コンクリート EL.106.25 ~107.0 24977
ケース1	特になし	対策なし	27	82	152	146	154
ケース2	上限一律15℃	対策なし	29	70	140	128	127
ケース3	上限一律15℃	0.95	23	52	81	69	68
ケース4	上限一律15℃	0.49	21	45	56	45	41
ケース5	上限15~18℃	0.95	22	52	86	77	75

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンダクタンス (Kcal/m ² ・h・℃)	下流面	下流面	越冬面	越冬面	堤頂部
			外部コンクリート EL.107.0 ~107.75 25977	外部コンクリート EL.111.5 ~114.5 31~34977	RCDコンクリート EL.106.25 ~107.0 24977	RCDコンクリート EL.110.75 ~111.5 30977	外部コンクリート EL.121.0 ~125.0 42~45977
ケース1	特になし	対策なし	205	151	80	171	104
ケース2	上限一律15℃	対策なし	122	139	81	98	105
ケース3	上限一律15℃	0.95	59	77	39	41	82
ケース4	上限一律15℃	0.49	32	52	35	36	72
ケース5	上限15~18℃	0.95	78	83	39	53	80

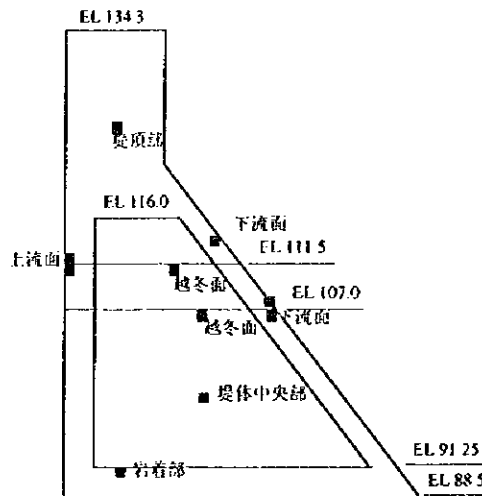


表-3.4.13 各ケースの各箇所での最大引張りずみ一覧表 (洪水吐部BL.11)

単位: $\times 10^{-3}(\mu)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンダクタンス (Kcal/m ² ・h・℃)	岩着部	堤体中央部	上流面	下流面堤身部	下流面	下流面	越冬面
			岩着コンクリート EL.85.75 ~86.75 3977	RCDコンクリート EL.93.5 ~96.5 13~16977	外部コンクリート EL.104.75 ~105.5 28977	外部コンクリート EL.84.0 ~84.75 1977	外部コンクリート EL.96.5 ~97.25 17977	外部コンクリート EL.105.5 ~106.25 29977	RCDコンクリート EL.104.75 ~105.5 28977
ケース1	特になし	対策なし	43	61	129	130	148	135	76
ケース2	上限一律15℃	対策なし	40	57	120	87	53	134	76
ケース3	上限一律15℃	0.95	34	44	79	72	51	103	42
ケース4	上限一律15℃	0.49	31	39	63	64	50	101	40
ケース5	上限15~18℃	0.95	35	45	85	74	44	103	41

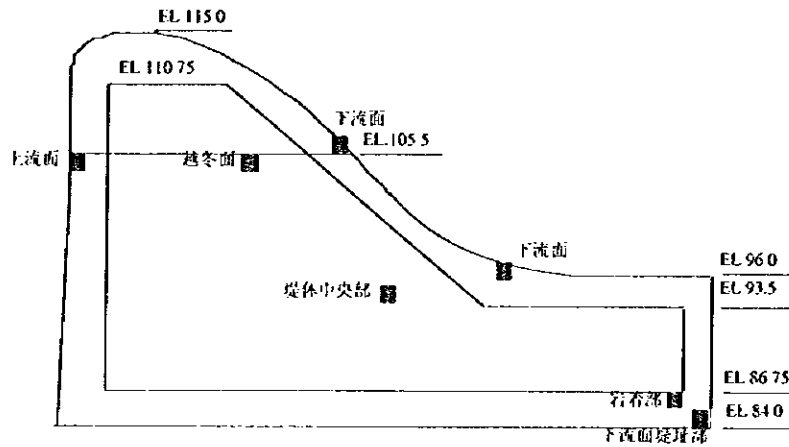


表-3.4.14 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表（底孔部の岩着付近コンクリート等）

単位： $\times 10^4(\mu)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンダクタンス ($\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$)	岩着部 岩着コンクリート EL.87.8 ~89.75	内部分割部中心 RCDコンクリート EL.89.75 ~94.25	開口部下部 外部コンクリート EL.94.25 ~96.0	上下流面 外部コンクリート 上下流面
ケース1	特になし	対策なし	72	88	180	158
ケース2	上限一律15℃	対策なし	72	50	110	144
ケース3	上限一律15℃	0.95	72	37	63	112
ケース4	上限一律15℃	0.49	72	33	40	98

※ケース1は、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は1回打設
※ケース2~4は、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は2回打設

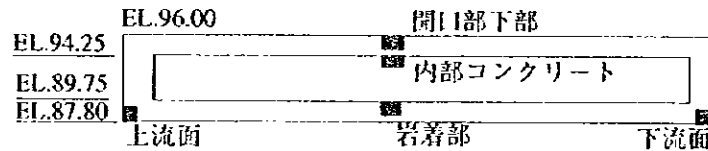
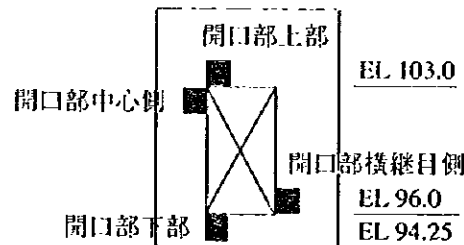


表-3.4.15 各ケースの各箇所での最大引張ひずみ一覧表（底孔部の横断解析等）

単位： $\times 10^4(\mu)$

ケース	打込み温度 規制値	越冬保温養生の 熱コンダクタンス ($\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$)	開口部下部 外部コンクリート EL.95.0 ~96.0 1197	開口部中心側 外部コンクリート EL.101.5 ~103.0 1597	開口部横継目側 外部コンクリート EL.96.0~ ~EL.98.0 1277	開口部上部 外部コンクリート EL.103.0 ~105.0 1697
ケース1	特になし	対策なし	180	125	100	207
ケース2	上限一律15℃	対策なし	114	137	94	226
ケース3	上限一律15℃	0.95	47	70	75	130
ケース4	上限一律15℃	0.49	47	55	75	97
ケース5	上限15~18℃	0.95	47	68	75	136

※すべてのケースにおいて、底孔開口部下部の外部コンクリート（1.75m）は2回打設



3.4.8 コンクリートクラック抑制対策についての提案

以上のことから、白石ダムの建設にあたって、温度ひびわれ抑制に十分な対策を施す必要があると判断される。そこで、温度ひびわれ抑制対策は、第一にコンクリートの温度を極力下げる対策工法（プレクーリングの実施等）を行うこととし、次にコンクリート表面部の急冷を防止する対策工法（越冬保温養生）を行うことを基本とする。

(1) 非越流部コンクリートクラック抑制対策

解析結果から、プレクーリング（打込み温度規制値=15℃、15～18℃）を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用すれば、堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ（100 μ ）以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

また、ケース3（打込み温度規制値=15℃）とケース5（打込み温度規制値=15～18℃）を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律18℃を採用する。

よって、非越流部のコンクリートクラック抑制対策は、以下に示すとおりである。

- ・プレクーリング（打込み温度規制値=18℃）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用

非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.2に示す。

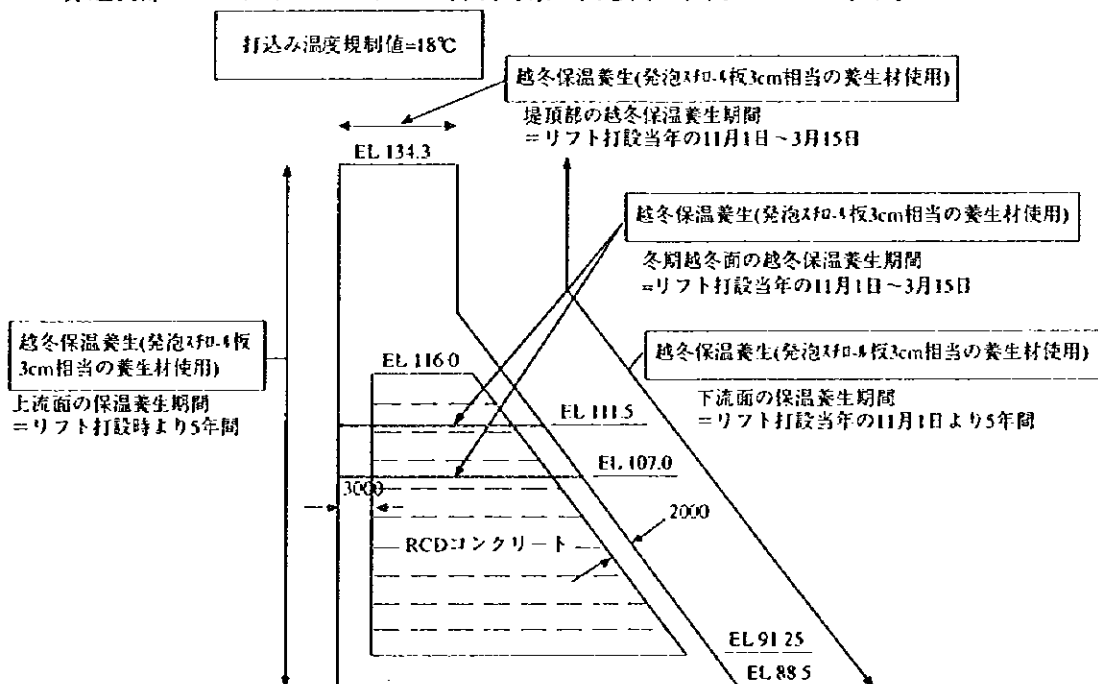


図-3.4.2 非越流部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

(2) 洪水吐部コンクリートクラック抑制対策

解析結果から、プレクーリング（打込み温度規制値=15℃、15~18℃）を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用すれば、下流面を除く堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ（100 μ ）以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

さらに、越冬保温養生として発泡スチロール板6cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用すると、30~33リフト（EL.106.25~109.25m）の下流面における最大引張ひずみは101 μ で、おおむね許容引張ひずみ（100 μ ）程度となった。この下流面の箇所は、越流面であり水密性の保持の観点から、越冬保温養生として発泡スチロール版6cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用し、さらに補強筋を配筋するなどし、十分な温度ひびわれ抑制対策を行う必要があるものと判断される。

また、ケース3（打込み温度規制値=15℃）とケース5（打込み温度規制値=15~18℃）を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律18℃を採用する。

よって、洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策は、以下の方法を採用する。

- ・プレクーリング（打込み温度規制値=18℃）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・29~34リフト（EL.105.5~110.0m）の下流面に補強筋の配筋

洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.3に示す。

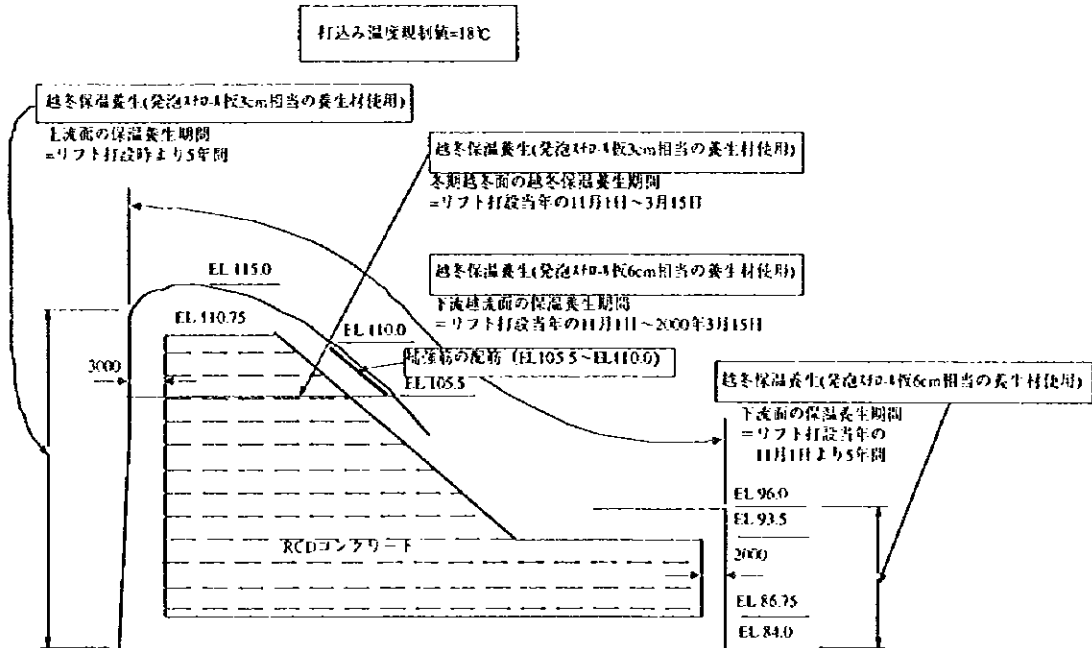


図-3.4.3 洪水吐部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

(3) 底孔部コンクリートクラック抑制対策

解析結果から、プレクーリング（打込み温度規制値=15℃、15~18℃）を実施し、越冬保温養生として発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用すれば、上下流面の堤趾部及び開口部上部を除く堤体内の各箇所の引張ひずみは、コンクリートの許容引張ひずみ（100 μ ）以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

さらに、越冬保温養生として発泡スチロール板6cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材を使用すると、上下流面の堤趾部及び開口部上部における最大引張ひずみは、許容引張ひずみ（100 μ ）以下となり、温度応力によるクラック発生の可能性は少ないものと思われ、特に温度応力的に問題ないことがわかった。

また、ケース3（打込み温度規制値=15℃）とケース5（打込み温度規制値=15~18℃）を比較すると、温度応力的には大きな差異がなかったことから、経済性、施工性等を勘案して、打込み温度規制値は、一律18℃を採用する。

よって、底孔部のコンクリートクラック抑制対策は、以下の方法を採用する。

- ・プレクーリング（打込み温度規制値=18℃）の実施
- ・上流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・下流面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・上下流面の堤趾部の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用（埋め戻し土等により対処）
- ・越冬面の越冬保温養生は、発泡スチロール板3cm($h=0.95(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用
- ・開口部の越冬保温養生は、発泡スチロール板6cm($h=0.49(\text{Kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃})$)相当の養生材の使用（上下流面の開口部に扉を設置するなどにより対処、底孔開口部内の温度管理は3℃以上とし、3℃以下となる場合は練炭等による給熱養生が必要）

底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図は、図-3.4.4に示す。

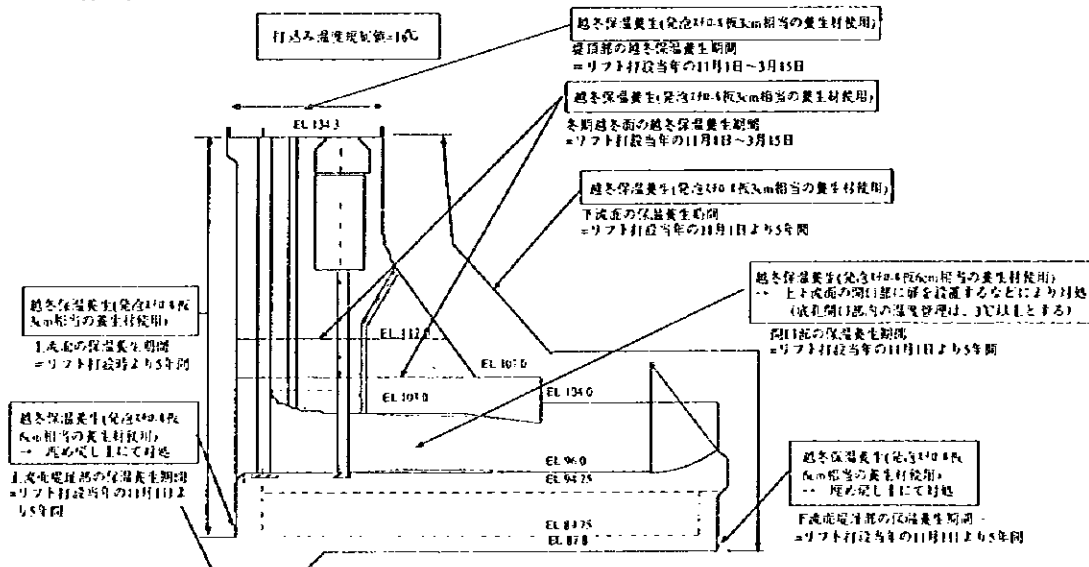


図-3.4.4 底孔部のコンクリートクラック抑制対策の概念図

そして、底孔部において、1997年の後半から、BL.18の開口部2門を用いて、転流する計画となっており、クラック発生の可能性がある。したがって、その開口部における越冬保温養生対策について、参考として、以下のものを挙げる。

- ・開口部まわりにシート等を貼り付け、その上にウレタン吹き付け等を行い保温養生する。
- ・コルゲートパイプ等を開口部に挿入し、管路とコンクリートとの間は、断熱効果のあるもの（むしろ等）をつめ、上流側では止水処理を施し保温養生する。

3.4.9 温度計測管理についての提案

(1) 温度計測管理の目的

白石ダムの温度ひびわれ抑制対策に対する施工管理として、まず打込み温度の管理が重要である。次に、堤体の表面と内部の温度降下量差による温度応力に対し制御する必要があり、保温養生材でコンクリート表面の温度を下げないことが温度管理の要点となる。

したがって、温度計測管理は、堤体の温度計測値から、温度ひびわれ抑制対策（越冬保温養生対策）の有効性について検討を行い、次年度以降の温度ひびわれ抑制対策（越冬保温養生対策）に反映させることを目的とするものであり、具体的な方法については以下に提案する。

(2) 温度計測の管理フロー

温度計測の管理フローを図-3.4.5に示す。

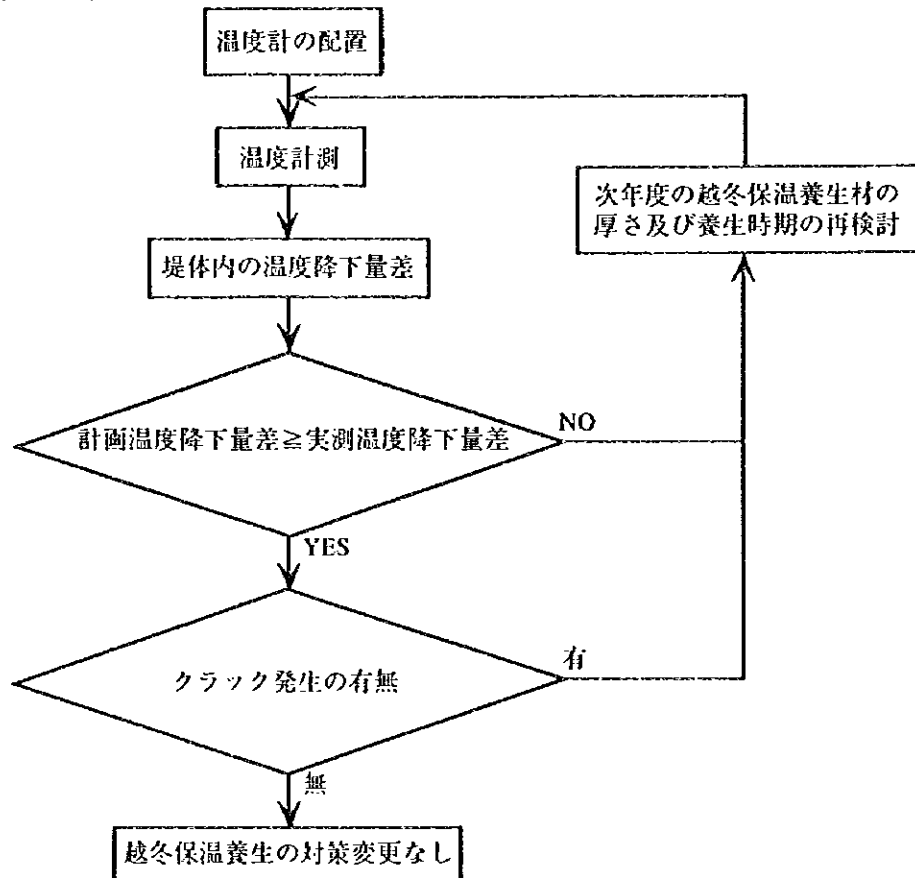


図-3.4.5 温度計測の管理フロー

(3) 温度計の配置

白石ダムは、RCD工法で連続打設が行われるので、計器の埋設が施工上妨げとなるのは望ましくない。したがって、計器は最小限のものを代表ブロックに対して埋設し、観測結果から堤体全体に対する推定が可能であるように配置する。

代表ブロックとしては、非越流部及び洪水吐部の最大断面である、BL.27とBL.11を選定する。温度計の配置は、堤体内の温度降下量差を把握できるように、温度変動の激しい堤体表面付近と堤体中心部とし、図-3.4.6~3.4.7に示すとおりとする。

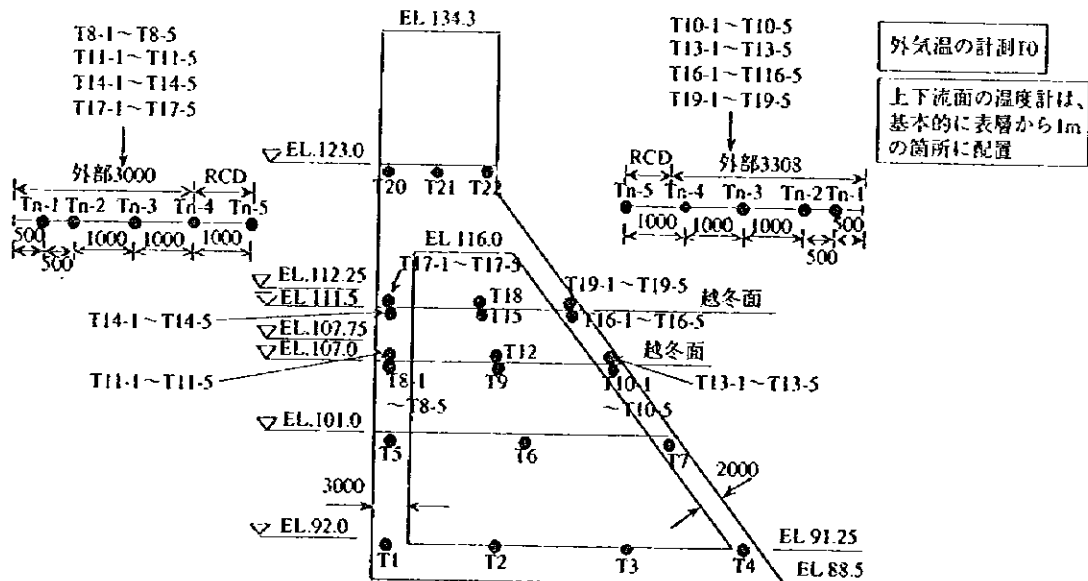


図-3.4.6 非越流部 (BL.27) の温度計配置図

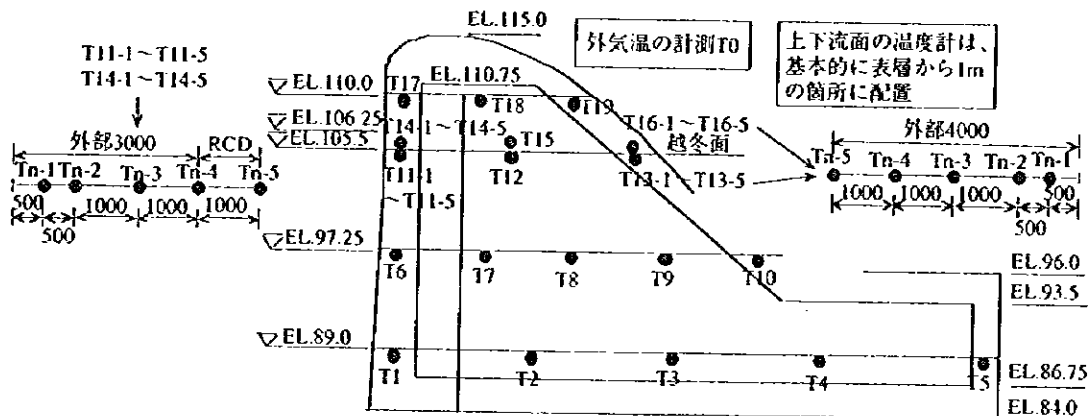


図-3.4.7 洪水吐部 (BL.11) の温度計配置図

(4) 温度計測の計画値

温度挙動について、解析結果 (ケース5、打込み温度上限値 18°C ($H > 8 \sim 12\text{m}$)、越冬保温養生材として発泡スチロール 3cm 相当) どおりであるとすれば、温度応力的に問題ないものとする。

そこで、温度履歴解析 (ケース5) により得られた温度降下量 (=最高温度-そのピーク

以降の最低温度) から、堤体内の温度降下量差を求め、これを計画値とする。計画値は、打設年ごとに設定する。温度計測値が計画値を越える場合は、次年度からの越冬保温養生材の厚さ及び使用時期について再検討を行うことによって対応する。

(a) 非越流部 (BL.27) における計画値

1997年に打設する堤体コンクリートに配置する温度計の中で、外気温変動の影響が最も少ない温度計としてT6を選定する。そこで、堤体表面に配置する温度計T5、T7、T8、T9、T10の温度降下量とT6の温度降下量の差分を求め、堤体内の温度降下量差とし、この値を計画値とする。1998年以降も同様な考えで、計画値を求める。各温度計の計画温度降下量差は、表-3.4.16に示す。

表-3.4.16 各温度計の計画温度降下量差一覧表 (非越流部 BL.27)

温度計比較	計画温度降下量差 (°C)		
	~1998年3月31日	1998年4月1日~ 1999年3月31日	1999年4月1日~ 2000年3月31日
T5-T6	12.8	12.2	6.8
T7-T6	12.5	12.5	10.3
T8-T6	6.4	20.5	7.0
T9-T6	3.9	-	-
T10-T6	4.0	19.1	10.4
T11-T12	-	9.4	9.3
T13-T12	-	7.6	12.6
T14-T12	-	11.2	12.4
T15-T12	-	7.0	-
T16-T12	-	9.0	15.3
T17-T18	-	-	10.4
T19-T18	-	-	12.9
T20-T18	-	-	15.6
T21-T18	-	-	10.9
T22-T18	-	-	13.9

(b) 洪水吐部 (BL.11) における計画値

1998年に打設する堤体コンクリートに配置する温度計の中で、外気温変動の影響が最も少ない温度計としてT8を選定する。そこで、堤体表面に配置する温度計T6、T10、T11、T12、T13の温度降下量とT8の温度降下量の差分を求め、堤体内の温度降下量差とし、この値を計画値とする。1999年以降も同様な考えで、計画値を求める。各温度計の計画温度降下量差は、表-3.4.17に示す。

表-3.4.17 各温度計の計画温度降下量差一覧表 (非越流部 BL.11)

温度計比較	計画温度降下量差 (°C)	
	~1999年3月31日	1999年4月1日~ 2000年3月31日
T6-T8	15.5	5.6
T10-T8	15.6	12.1
T11-T8	9.3	7.5
T12-T8	5.4	-
T13-T8	6.8	13.2
T14-T15	-	9.4
T16-T15	-	14.6
T17-T15	-	15.3
T18-T15	-	9.7
T19-T15	-	16.3

参考資料1（非越流部の温度応力解析（追加解析））

(1) 目的

中国側は、下流面の越冬保温養生について、施工性、経済性の観点から、長期連続保温（5年間）ではなく、堤体コンクリート打設当年の冬期のみを養生期間とすることを考えている。

よって、非越流部において、下流面の越冬保温養生は、堤体コンクリート打設当年の冬期のみ実施する条件で、温度応力解析を行い、温度ひびわれ抑制対策に対する有効性についての検討を行う。

(2) 解析条件

中国側より、以下の解析条件が示され、その条件に従って温度応力解析を行う。その他の解析条件は、本報告書で前述した解析条件と同様とする。

- ・打込み温度の規制値 : 上限値 18℃
- ・越冬保温
 - ・上流面 : 発泡スチロール 6cm 相当の養生材 ($h=2.349\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$ ($0.562\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$)) による長期連続保温養生 (保温養生期間=コンクリート打設時より5年間)
 - ・下流面 : 発泡スチロール 6cm 相当の養生材 ($h=2.349\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$ ($0.562\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$)) による堤体コンクリート打設当年の冬期のみ保温養生 (保温養生期間=11月1日～翌年3月15日、前年度に打設した堤体コンクリートの最上部リフト3層分も保温養生)
 - ・越冬面 : 発泡スチロール 7cm 相当の養生材 ($h=1.994\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$ ($0.477\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{℃}$)) による堤体コンクリート打設当年の冬期のみ保温養生 (保温養生期間=11月1日～翌年3月15日)

(3) 解析結果

(a) 最高温度

各箇所での最高温度及びその発生箇所での最低温度、温度降下量は、表-1に示すとおりである。

表-1 各箇所での最高温度一覧表（非越流部 BL.27）

温度項目	岩着部 岩着コンクリート EL.91.25 3リフト	堤体中央部 RCDコンクリート EL.98.75 13リフト	上流側 外部コンクリート EL.108.5 26リフト	下流側 外部コンクリート EL.108.5 26リフト	越冬面 RCDコンクリート EL.107.0 24リフト	越冬面 RCDコンクリート EL.111.5 30リフト	堤頂部 外部コンクリート EL.120.0 40リフト
最高温度	18.5	27.2	27.6	27.2	24.2	23.1	31.0
最低温度	8.7	9.6	6.5	1.1	2.2	1.9	6.2
温度降下量	9.8	17.6	21.1	26.1	22.0	21.2	24.8

(b) 最大引張ひずみ

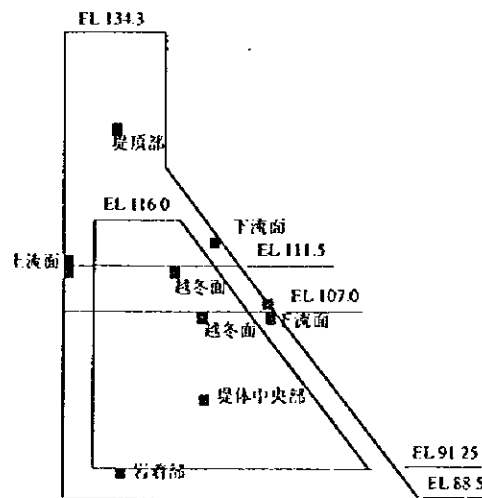
各箇所での最大引張ひずみは、表-2に示すとおりである。

表-2 各箇所での最大引張ひずみ一覧表（非越流部BL.27）

単位： $\times 10^6(\mu)$

岩着部 岩着コンクリート EL.90.00 ~91.25 377ヶ	堤体中央部 RCDコンクリート EL.99.5 ~100.25 157ヶ	上流面 外部コンクリート EL.110.75 ~111.5 307ヶ	上流面 外部コンクリート EL.111.5 ~112.25 317ヶ	下流面 外部コンクリート EL.106.25 ~107.0 247ヶ
19	43	69	60	82

下流面 外部コンクリート EL.107.0 ~107.75 257ヶ	下流面 外部コンクリート EL.111.5 ~114.5 31~347ヶ	越冬面 RCDコンクリート EL.106.25 ~107.0 247ヶ	越冬面 RCDコンクリート EL.110.75 ~111.5 307ヶ	堤頂部 外部コンクリート EL.121.0 ~125.0 42~457ヶ
87	102	49	45	85



(4) 下流面越冬保温養生方法についての検討

下流面の越冬保温養生を、堤体コンクリート打設当年の冬期のみに行うと、長期連続保温の上流面に比べ、温度応力的に不利であり、一部の箇所において許容引張ひずみ 100μ 以上である 102μ の値を有する最大引張ひずみが発生している。

したがって、最大発生引張ひずみを許容引張ひずみ 100μ 以下にするには、下流面においても長期連続保温（5年間）による養生を行う必要があると考える。

しかしながら、経済性及び施工性等の理由により、下流面において堤体コンクリート打設当年の冬期のみ保温養生する方法しか採用せざるを得ない場合には、下流面の EL.111.5~115.25 m の箇所（最大引張ひずみ 100μ 程度の発生箇所）等に用心鉄筋を配筋するなどの補強対策を行う必要があると考える。

（下流面において堤体コンクリート打設当年の冬期のみ保温養生を行う場合、最大引張ひずみ 100μ 以上の発生箇所は、計算上、表層から 1m 程度の範囲であり、クラックが発生したとしても、外部コンクリート内にとどまるものと想定され、補強対策を十分に行えば、温度応力的に大きな問題はないものと考え、上記の結論に至った。）

参考資料2 (底孔部の岩着コンクリートクラック発生の原因分析)

(1) 目的

底孔部のBL.17～BL.26のすべてのブロックにおいて、岩着コンクリートにクラックが生じた。クラック幅は0.5～0.9mmで、クラックはダム軸と平行の方向であった。

そこで、クラック発生の原因を分析するため、有限要素法による温度履歴、温度応力解析により検討を行い、その検討結果を踏まえ、今後の施工管理に対する留意点について提言する。

(2) クラック発生の原因

クラック発生の原因として、以下のものが考えられる。

(a) 基礎岩盤の弾性係数の影響

本検討では、平板載荷試験結果から、掘削基礎地盤に潜在緩み亀裂が残ることを想定して、基礎岩盤の弾性係数は、 $E=70,000\text{kgf/cm}^2$ の値を用いた。

しかしながら、底孔部の基礎岩盤は想定したものより、極めて堅固であった可能性があることから、弾性係数 $E=100,000\text{kgf/cm}^2$ 程度期待できることも考えられる。このことから、外部拘束の影響を大きく受け、温度応力的に不利になった可能性がある。

(b) 湛水養生期間の影響

本検討で設定した湛水養生期間は、1996年11月16日～1997年3月1日である。しかしながら、3月1日以前から水抜きは始まっていることから、実質的な湛水養生期間は短かった可能性がある。このことから、内部拘束の影響を大きく受け、温度応力的に不利になった可能性がある。

(c) 打込み温度の影響

外気温、打込み温度について、底孔部 (BL.20) での解析に用いた想定値と実測値を比較すると、表-1に示すとおりである。

表-1 底孔部 (BL.20) の外気温、打込み温度

リフト	コンクリート区分	打設日	標高(m)	解析に用いた想定値		実測値	
				外気温(℃)	打込み温度(℃)	外気温(℃)	打込み温度(℃)
1	外部コンクリート	1996.10.9	EL.87.80～88.30	10.1	12.1	2～20	9～17
2	外部コンクリート	1996.10.12	EL.88.30～89.05	9.3	11.3	8～25	13～17
3	外部コンクリート	1996.10.16	EL.89.05～89.75	8.2	10.2	2.5～9.5	8～11

これによると、特にリフト2の打設時の外気温は高く、その影響を受けて打込み温度も高くなっている。このことから、岩着コンクリートの最高温度が高くなり、温度応力的に不利になった可能性がある。

(3) 検討ケースの設定

岩着コンクリートのクラック発生は、上記に示した原因が複合的に影響し合ったことによるものと考えられる。

そこで、これらの原因による引張ひずみの増大の程度を把握し、それに対し有効と考えられる対策 (湛水養生期間の延長) の効果について検証するため、表-2に示す検討ケースを設

定する。

表-2 検討ケース（底孔部（BL.20）の岩着コンクリートの温度応力解析）

検討ケース	基礎岩盤弾性係数 (kgf/cm ²)	湛水養生期間	打込み温度 (°C)			備 考
			リフト1	リフト2	リフト3	
ケース1	70,000	11/16～3/1	12.1	11.3	10.2	検討報告書の計算条件
ケース2	100,000	11/16～2/20	13.0	15.0	9.5	種々の原因の影響
ケース3	100,000	11/16～3/15	13.0	15.0	9.5	湛水養生期間の延長

※ケース2、3の打込み温度は、実測値の中間値とした。

(4) 解析結果

各ケースの上下流断面の中央部での最大引張ひずみを、表-3に示す。

表-3 各ケースの上下流断面中央部での最大引張ひずみ一覧表

単位：×10⁶ (μ)

ケース	リフト1	リフト2	リフト3
ケース1	58	62	72
ケース2	76	110	82
ケース3	67	97	58

(5) クラック発生の原因分析

解析の結果、ケース2におけるリフト2にて、許容引張ひずみ100 μ以上の110 μの引張ひずみが発生している。したがって、基礎岩盤が極めて堅固であり、リフト2の打込み温度が想定した値より高く、そして湛水養生期間が必ずしも十分でなかったことなどが、複合的に影響し合って、クラック発生に至ったものと推察される。

それに対し、湛水養生期間を十分に確保すれば、引張ひずみは許容引張ひずみ100 μ以下の97 μとなり、相当の効果があることがわかった。

(6) 今後の施工管理に対する留意点

以上の検討結果を踏まえて、今後の岩着コンクリートの施工管理について、以下の点に留意するよう提言する。

- ・岩着コンクリートは、温度応力的に外部拘束の影響が大きく、そのため打込み温度の影響を大きく受けるものと考え。したがって、できうる限り打込み温度を低くするよう配慮する必要がある。
- ・仮に温度応力的に悪条件が重なったにしても、湛水養生期間を十分に確保すれば、クラック抑制に対し大きな効果があることがわかった。したがって、少なくとも湛水養生を3月中旬まで実施していくよう配慮する必要がある。

3.5 排砂、堆砂シミュレーション

3.5.1 日単位の流量、流砂データの解析

白石ダム貯水池の堆砂対策を立案するためには、過去の水文資料を整理解析し、浮遊砂の時間的、空間的流出傾向を知ることが必要である。本解析では、白石ダム地点の流量時系列および浮遊砂量時系列を、長期流出傾向成分、シフト成分、季節変動成分、不規則変動成分に分離した。

白石ダム地点には、大凌河本川とその支川である忙牛河からの流入があるので、各々の成分分離をおこない、その特徴を求めた。30年長期傾向成分は程度の差はあるが、いずれの地点においても、1956年より増加し1960年代後半から1970年に最大を示し、その後減少し続け、1985年から1990年に最小となり、1990年代に入ってから再び増加する傾向を示している。

3.5.2 リモートセンシングによる土砂生産域の推定

白石ダムサイト上流の大凌河流域を対象に、リモートセンシングによる河道の土砂堆積域の変化および土地被覆とその経年変化解析を行い、土砂生産過程を検討し土砂生産域の推定を行った。本調査により得られた結果は以下の通りである。

-リモートセンシングにより河道の土砂堆積域の分布状況を把握することができた。河道の土砂堆積域は、主に河道の上流部および河道の合流点、河道の湾曲部に明確に認められた。流域別に見た場合、特に大凌河D、大凌河E、大凌河G、忙牛河B、忙牛河C流域の河道では土砂堆積域の分布が顕著であり、流域内に土砂生産域が分布する荒廃化の進行した流域であると考えられる。(図3.5.2.1参照)

-リモートセンシングにより対象流域の土地被覆とその経年変化状況を把握した。森林は1975年では4,334km²と流域の22%を占めていたが、1995年では3,734km²と流域の20%程度に減少した。主な土地被覆変化は草地、少植生域の耕作地化と考えられる。

- 強度の表面浸食を受ける土地被覆項目は裸地、少植生域、5~6月時点の耕作地が考えられ、流域別にみると、大凌河D、大凌河E、大凌河F、大凌河G、忙牛河A、忙牛河B流域にその分布が顕著であった。

3.5.3 ゲートオペレーションによる排砂効果の評価

3.5.3.1 目的

白石ダムでは堆砂対策として、次の方法が考えられている。

- A 貯水池の水位を維持したまま、ダム底部に設置した排砂施設(底孔)から密度流の原理を利用して土砂を通過させる。



凡例

- 流砂・流量観測所
- 流量観測所
- 流量・雨量観測所
- ▼ 白石ダム
- 〒 一ツ区分及び観測所
- S:1953-1977 浮遊砂量
- Q:1953-1977 流量
- R:1953-1977 雨量
- 調整対象流域

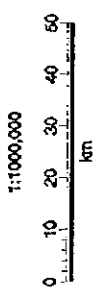
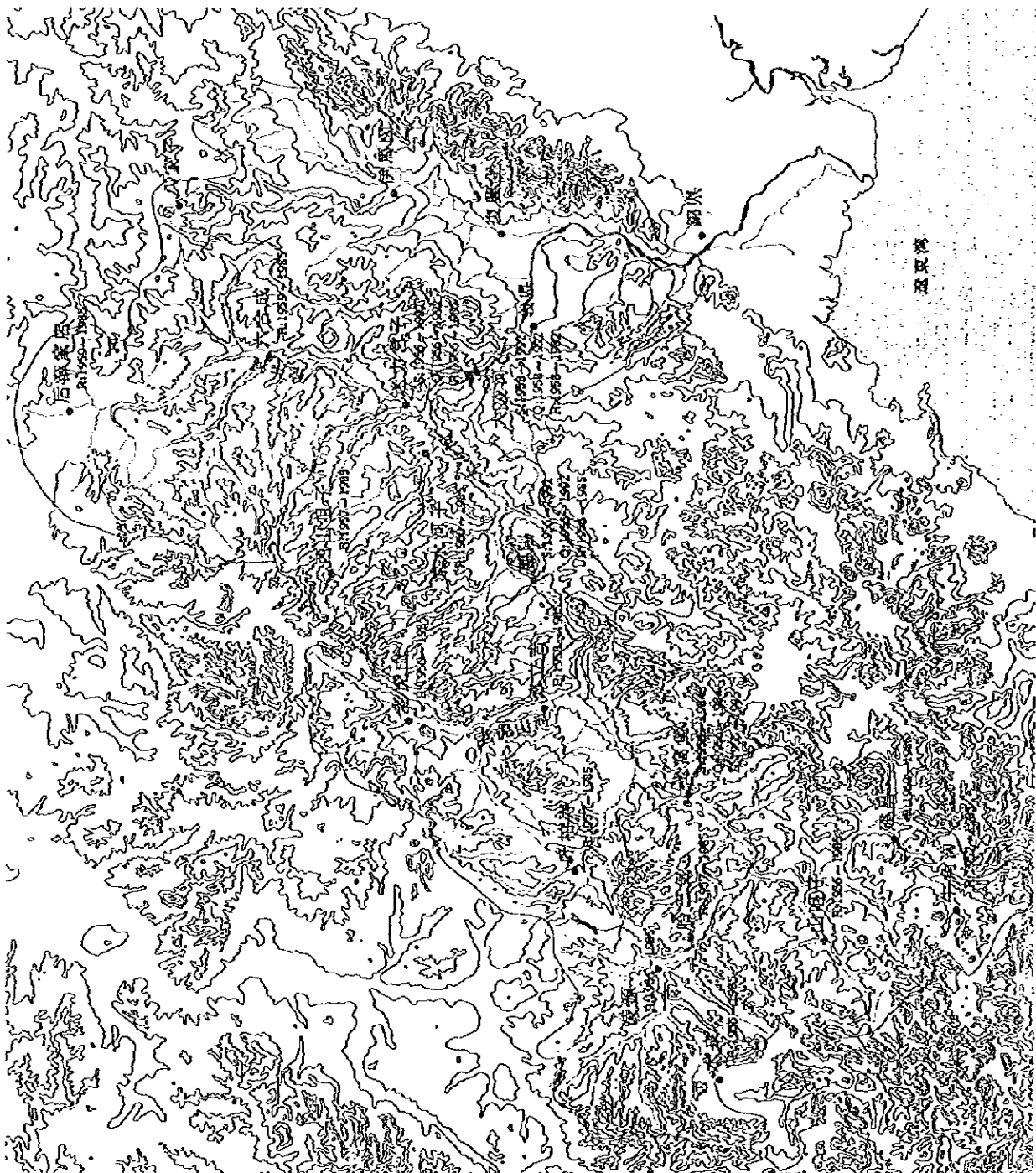


図 3.5.2.1 大波河流域区分

B 大規模の洪水が発生した時は、貯水位を死水位まで下げて、洪水の掃流力により堆積土砂を洗掘し、貯水池容量を回復させる。

したがって、本解析は以下のことを目的とする。

- 1) Aについては、準3次元拡散モデル、Bについては二次元泥流モデルを用い、貯水池内での浮遊砂の挙動をシミュレートし、底孔からの排砂量を算定する。
- 2) Aについては、排砂効果の高い底孔のゲートオペレーションを検討する。

3.5.3.2 底孔のゲートオペレーションによる排砂（貯水位を維持した場合）

貯水位を維持した場合のゲート操作による底孔からの浮遊砂排出量を算定するためには、貯水池内に流入した土砂が移流、拡散、沈降、あるいは流れの乱れにより底面から巻き上がり、ダム堤体に至るまでの挙動を解明し、土砂の濃度分布の時系列を求める必要がある。白石ダムに流入する土砂は中央粒径 $d_{50} = 0.02 \text{ mm}$ と微細であること、白石ダム貯水池は大凌河と忙牛河の合流地点にあり流れは地形の影響を受け易いことから、準3次元の拡散シミュレーションモデルを用いて解析する。

ダム貯水池に流入する土砂の約50%は、洪水時に集中する。したがって、洪水時にできるだけ多くの浮遊砂を排出することが必要である。ここでは中国側から提供された5洪水実測時間時系列データのうち、1962年（1/50確率洪水）、1969年（1/20確率洪水）、1984年（1/10-1/20確率洪水）の解析結果を示す。

本解析では、まず、250m、125m不等間隔格子モデルを用い、洪水時の浮遊砂の貯水池内の挙動をより詳細に再現し、考察した。次に、500m、250m不等間隔格子のモデルを用い、排砂効果の高い放流ルールを検討した。排砂量は底孔からの位置における浮遊砂濃度と放水量の積として算定する。また、貯水池内の初期浮遊砂濃度は0ppmとした。

(1) 準3次元拡散シミュレーションモデル

準3次元拡散シミュレーションモデルは貯水池表面を通しての熱収支、水温及び濁度の密度変化、貯水池内の流動および土砂の拡散、沈降および底面からの巻き上げの解析機能を有するものである。また、このモデルはいわゆるマルチレベルモデルである。なお、底面からの土砂の巻き上げは芦田・道上の式より求める。

流動及び拡散の基礎式

流れに対する基本式は、非圧縮性の連続式および水平方向の運動方程式をもちいる。対象とする流れでは、水平方向の流れが卓越する。鉛直方向の加速度や粘性項に比べて、重力加速度および圧力項が卓越するとして、静水圧力分布の仮定を用いている。

差分計算式：マルチレベルモデル

マルチレベルモデルは、対象とする水域を水深方向にいくつかの層に分割し、各層を鉛直方向に積分して水の流れを取り扱うモデルである。分割された各層では2次元的な取り扱いをし、各層間において運動量および物質の交換を考慮することにより、全体としては水の流れを3次元的に表現する。また、 x, y, z 方向の拡散係数は渦粘性係数とほぼ等しいと仮定し、 $D_x=D_y=D_z=ku^*h/6$ で与えた。（ここに、 k :カルマン定数、 h :水深、 u^* :摩擦速度）

土粒子の沈降速度

土砂の拡散シミュレーションにおいては、沈降速度の取り扱いが予測精度に大きく影響をおよぼす。

中央粒径 $d_{50}=0.0214\text{mm}$ の沈降速度は 0.0407cm/s である。なお、沈降速度は Rubey の式より算定した。

(2) 貯水池堆砂形状の予測

中国側は、30年後の白石ダム貯水池の堆砂量（堆積）を3億 m^3 程度に抑え、利水容量を7億 m^3 を確保することとしている。したがって、本解析においては、建設後約30年間での堆砂を対象とすることとし、その中間の堆砂状況として、1.5億 m^3 の堆砂形状を米国開拓局、Empirical Area Reduction Method を用いて予測し、その標高データを数値シミュレーションに用いた。

(3) 洪水時における貯水池内の流動および浮遊砂の挙動

異なる粒径の土粒子の貯水池内の挙動

土砂の拡散シミュレーションにおける土粒子の沈降速度については、中央粒径の沈降速度を代表させ時間的にも空間的にも一定と仮定することが多い。しかし、実際には貯水池内の土粒子の沈降速度は時間的、空間的に変化する。これは貯水池内の浮遊砂は沈降速度の違いにより貯水池内で分級されることによる。特に洪水時においてはその変化が速くかつ大きいため、一様の沈降速度を仮定した計算では、濁度分布や排砂量を予測するには不十分であることも考えられる。白石ダムに流入する浮遊砂の中央粒径は 0.0214mm であるが、粒径 0.007mm 以下の微細なものが21%を占める。したがって、土砂の拡散シミュレーションを実施するには、この粒度分布を十分考慮する必要がある。この解析は、異なる粒径の土粒子が移流、拡散する状況、底層に密度流が発達して、土粒子が移動するかどうかを知ることが目的とする。また、本シミュレーションは巻き上げを算定せず実施し、巻き上げを考慮したシミュレーションと比較した。

粒径別の浮遊砂の鉛直方向濃度分布の時間変化、最上層の平面濃度分布の時間変化をみると、

$d_{50}(=0.1\text{mm})$ 、 $d_{30}(=0.02\text{mm})$ とも、堤体に至らず沈降してしまう。 $d_{10}(=0.003\text{mm})$ は経過時間24時には堤体に到達すると考えられるが、貯水池全体に広がり底孔付近の濃度が特に高くなるということはない。底層密度流は忙牛河と大凌河合流部で確認できるが、その流れはダム堤体に至らない。

巻き上げの効果を考慮した場合の d_{50} の濃度分布は、巻き上げを考慮しない場合と、その差が顕著である。すなわち、ゲート操作によって、ダム堤体直上流に堆積した浮遊砂が巻き上げられ、底孔付近に到達している様子がわかる。

均一粒径、 $d_{50}=0.02\text{mm}$ 、底面からの浮遊砂の巻き上げを考慮した場合

1969年洪水のシミュレーション結果、最上層(第2層)の流速平面分を図3.5.3.1に示す。

この場合、洪水のピークは経過時間16時前後に現れ、その流量は約 $10,000\text{m}^3/\text{s}$ である。

シミュレーション結果をまとめると以下の通りである。

ダム直上流付近の流況

貯水池は細長く上流部で大きく湾曲していること、忙牛河からの流入と大凌河からの流入が合流することなどから、洪水の勢いは減衰される。さらに、ダム直上流の付近のポケットでは、回転する流れが起こり、ダムに向かう流れは非常に弱くなる。

ダム直上流付近の浮遊砂濃度

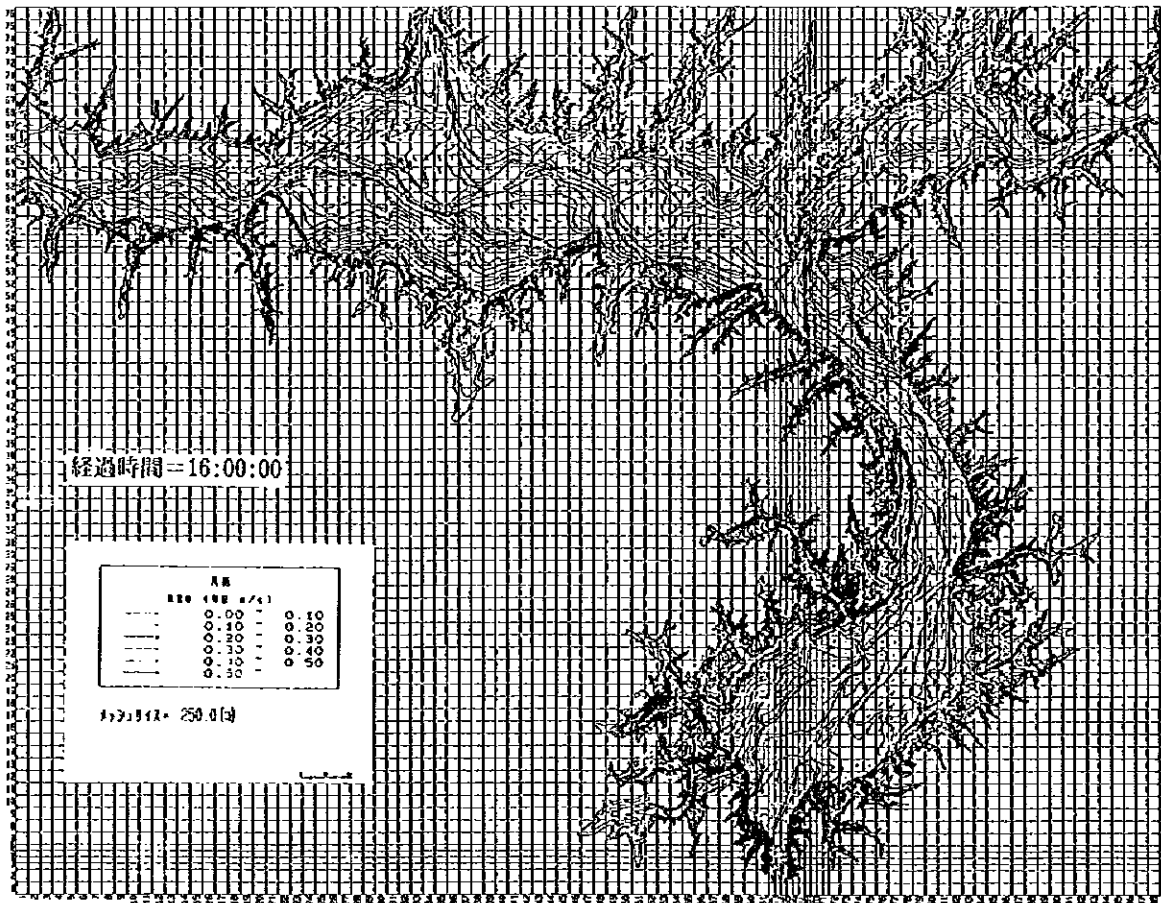
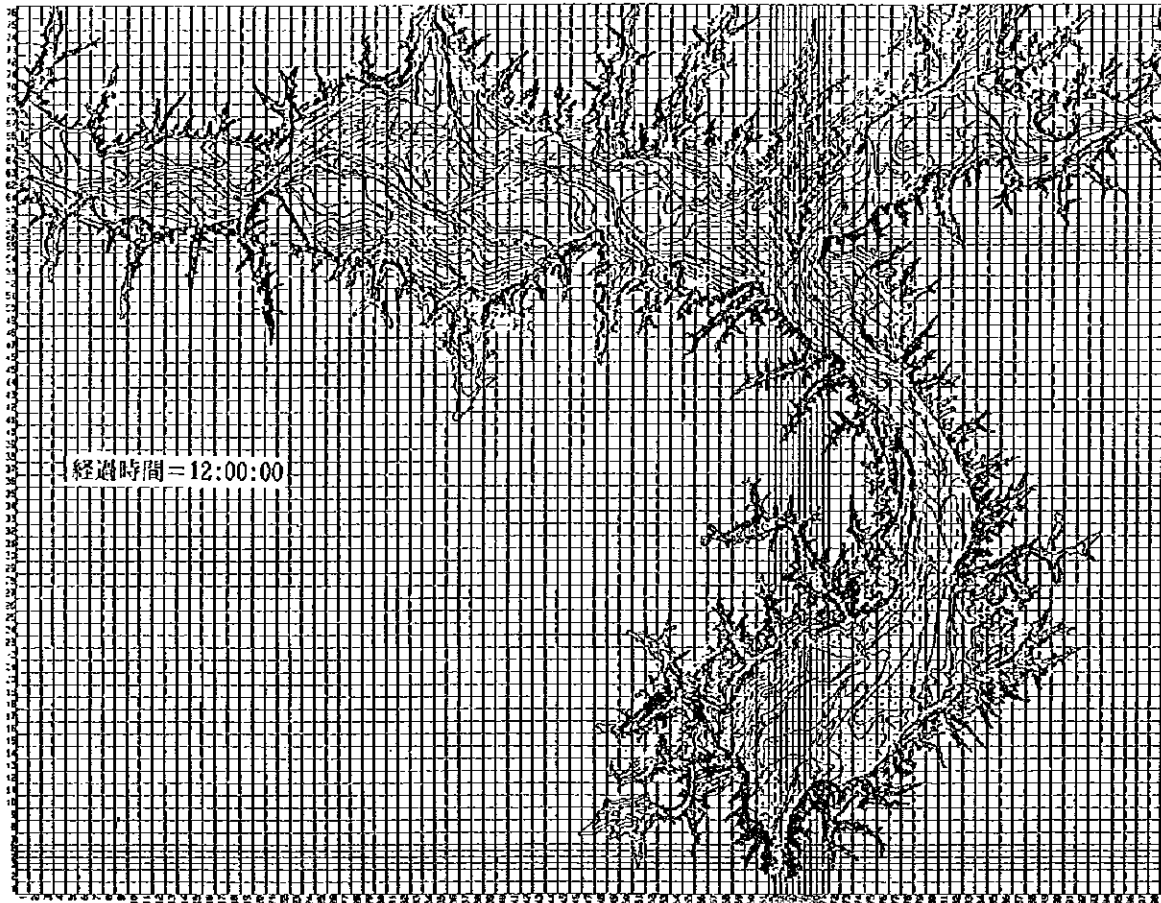
上述の浮遊砂もこの流況にしたがい、ダム堤体付近にその多くは至らず、ダム直上流の浮遊砂濃度は貯水池上流付近にくらべ、高くない。この結果、底孔のゲートオペレーションによる排砂効果はあまり期待できないようである。

貯水池内浮遊砂の堆積、洗掘状況

大量の浮遊砂が流入し、浮遊砂は堤体に至る前に沈降するため、貯水池内は堆積が卓越する。忙牛河においては合流点上流部、大凌河においては金嶺寺鉄橋下流、ダム上流のポケット部分に堆積が特に生じる。なお、この堆積域は、リモートセンシングで抽出した1984年の洪水後の堆積域とほぼ一致する。

(4) 排砂効果の高いゲートオペレーションの策定

洪水波形に比べて浮遊砂濃度波形は遅れてダムに到達するために、ダムからの放流は貯水位が最高となった後も継続して長時間放流することが、排砂には効果的である。反面、このような操作は無効放流を増す結果となる。そこで、洪水時に排砂を優先させた場合(無効放流増大)、貯水を優先させた場合(無効放流減少)それぞれの排砂シミュレーションを行い比較検討し、洪水時のダム操作ルールを検討した。なお、このシミュレーションは均一粒径($d_{50}=0.0214\text{mm}$)、巻き上げの効果を考慮した



1969年洪水時拡散、排砂シミュレーション結果 -流速平面分布(1/3)

モデルを用いた。

洪水放流ルール

ここで検討する洪水放流ルールは表3.5.3.1と表3.5.3.2に示す中国側の放流ルールを基本とする。また比較のため、1992年 F/S 時の洪水放流ルール（表3.5.3.3）を参考とする。今回シミュレーションを実施した放流ルールを表3.5.3.4に示す。

表3.5.3.1 初歩設計報告書 貯水位～放流量関係

対象洪水	放流量（設計値）	貯水位
1/5	5188m ³ /s	125.61m
1/50	5664m ³ /s	130.24m

表3.5.3.2 初歩設計報告書 貯水位～ゲート操作の関係

貯水位	底孔	越流部
125.6m～126.9m	12門全開	11門全閉
126.9m～128.5m	6門全開	11門全閉
128.5m～130.3m	12門全開	11門全閉

表3.5.3.3 1992年 F/S 時の洪水放流ルール

対象洪水	放流条件	貯水位
1/20以下	4,000 m ³ /s 一定放流	
1/20～1/50	4,000m ³ /s 一定放流	(127.2m 以下)
	7,000m ³ /s 一定放流	(127.2 m 以上)

ここでは、1/50 までの放流ルールのみ示す。

1/50 確率以下の洪水（貯水位標高 127.2 以下）では全て底孔から放流する。

表 3.5.3.4 設定放流ルール

(a) 貯水を優先する場合

洪水年	放流ルール名	内容
1962 年洪水	貯水優先	中国側ルール
1969 年年洪水	貯水優先	中国側ルール
	貯水優先 ALT1	中国側ルールの 2500m ³ 放流を 5 時間延長する。
	貯水優先 ALT2	中国側ルールの 2500m ³ 放流を 10 時間延長する。
	貯水優先 ALT3	中国側ルール 5000m ³ 放流を洪水前に行う。
	貯水優先 1992F/S	1992 年 F/S の放流ルール
1984 年洪水	貯水優先	中国側ルール

(b) 排砂を優先する場合(貯水位を 2m 程度下げる)

洪水年	放流ルール名	内容
1962 年洪水	排水優先	中国側ルール
1969 年洪水	排水優先	中国側ルール
1984 年洪水	排水優先	中国側ルール

シミュレーション結果

図 3.5.3.2 に 1969 年洪水のシミュレーション結果を示す。また全ケースの結果のまとめを表 3.5.3.5、3.5.3.6 に示す。浮遊砂濃度 2 は放流している底孔直上流の位置(14 層)、浮遊砂濃度 1 は 2 より 250m ほど上流の位置(同じく 14 層)である。特に浮遊砂濃度 1 は底孔のゲート操作に影響をうける。1984 年の排砂優先の場合がもっとも排砂率 19.2% で最も高く、1992 年 F/S 時の排砂率は 10% で最も低い。洪水発生後、水位が 1.3m 上昇した時点で 2,500m³ の放流を 5 時間程度継続する、中国側の放流ルールは排砂効果の面で優れているようである。全般にダム直上流の浮遊砂濃度のピークは、洪水ピークより遅れてくる。排砂を優先して、貯水位が洪水期制限水位(125.6m)より 2m 下げた場合は、排砂率は高まるが、その効果は洪水の規模、洪水ピークの現われ方によって違いがあるようである。また 2m 下げるとは約 1 億トンの水を無効放流することになり、利水の面から不利である。従って、洪水時には、ダム堤体直上流に濁度計を設置して、浮遊砂の濃度が高いときになるべく大きな流量を放流し排砂することが現実的であると考えられる。

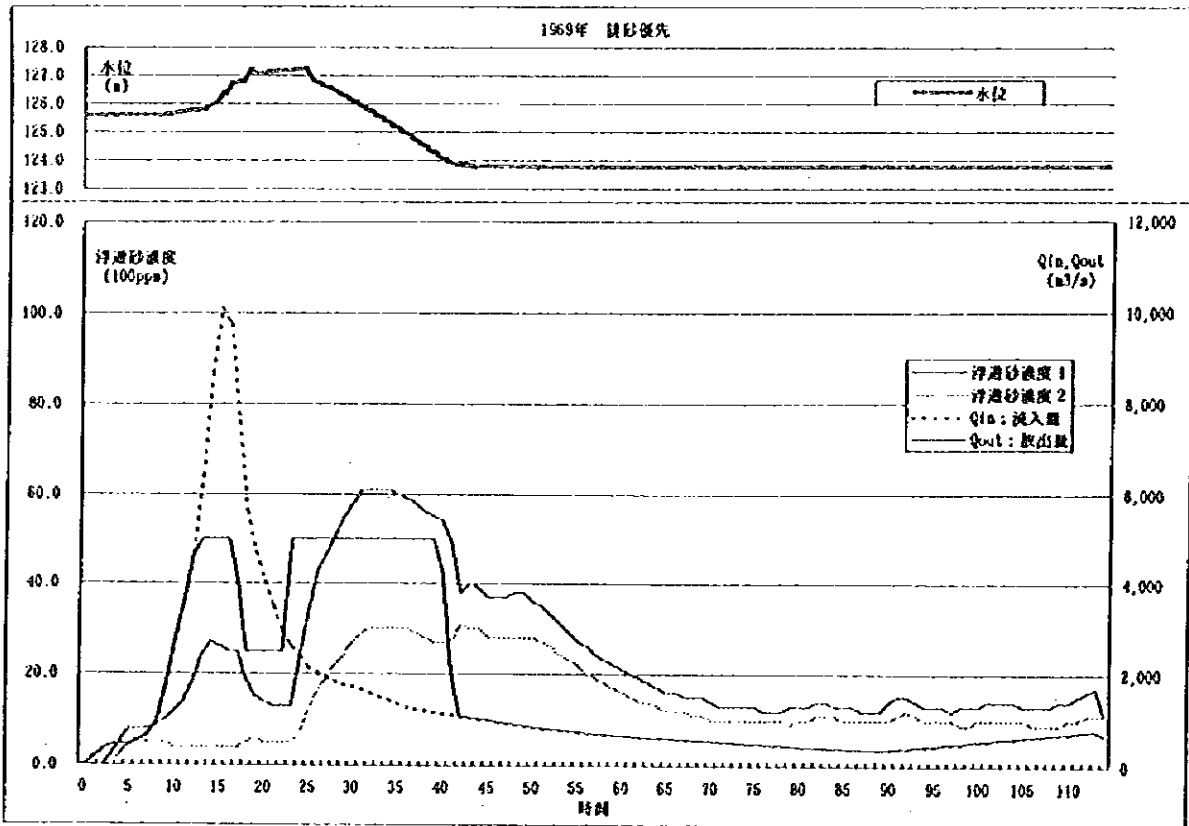
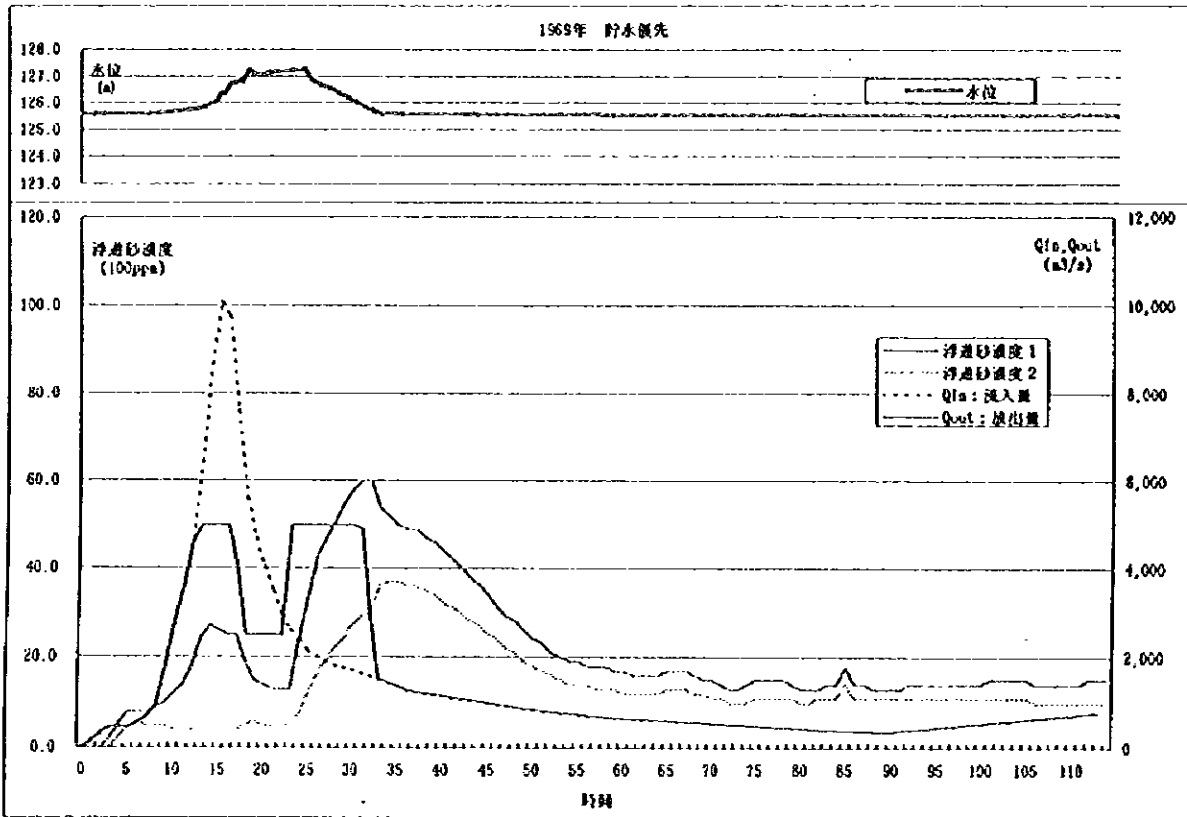


図 3.5.3.2 1969年洪水時シミュレーション結果-貯水あるいは排砂優先放流ルール

表 3.5.3.5 シミュレーション結果、貯水優先の場合

	流入量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	放流量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入-放流量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	排砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入-排砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	排砂率 (%)
1962年	1,292	1,317	-25	32.2	3.9	28.3	12.2
1969年	559	564	-5	7.2	0.8	6.4	11.0
Alt 1	559	564	-4	7.2	0.8	6.3	11.4
Alt 2	559	563	-4	7.2	0.8	6.4	11.2
Alt 3	478	557	-99	7.2	0.8	6.4	11.2
Alt 4	559	553	6	7.2	0.7	6.4	10.0
1984年	666	664	2	8.3	1.3	7.0	15.8

浮遊砂 1 m^3 を排出するために必要な放流量 (m^3) Q_{out}

	1962年	1969年	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4	1984年
$Q(\text{m}^3)$	338	705	705	704	696	790	511

表 3.5.3.6 排砂優先の場合

	流入量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	放流量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入-放流量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	排砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	流入-排砂量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	排砂率 (%)
1962年	1,292	1,409	-117	32.2	4.1	28.1	12.8
1969年	559	679	-120	7.2	1.1	6.0	15.7
1984年	666	788	-122	8.3	1.6	6.7	19.2

浮遊砂 1 m^3 を排出するために必要な放流量 (m^3) Q_{out}

	1962年	1969年	1984年
$Q(\text{m}^3)$	344	617	493

(5) 常時における貯水池内の浮遊砂の挙動

6月、7月、8月の平水時においては、貯水池の水の多くは、発電取水口(EL.103.0m)から発電所を通じて下流へ放流される。ここでは、平水時における貯水池内の浮遊砂の挙動を洪水時と同様に準3次元拡散モデルを用いて再現した。また、平時の流量、流入浮遊砂濃度は、1955年から1992年の38年間における実測値の平均値をもちい、再現期間は6月1日から8月31日の3カ月間とした。貯水池から排出される土砂は、8月31日までに流入する総浮遊砂量の6.5%となった。これは、発電用取水口が比

較的低い位置（EL.103m）に設置したことが、排砂の面で有利に働いたと考える。

(6) 30年後の堆砂量の予測

中国側は、30年後の白石ダム貯水池の堆砂量(堆積)を3億 m^3 程度に抑え、利水容量7億 m^3 を確保することとしている。そこで、30年後の堆砂量は、38年間の時系列から連続した30年の年堆砂量を加算して求めた。年堆砂量はシミュレーション結果である排砂率と中国側の計算結果である流入浮遊砂量よりもとめた。ゲートによる排砂のみでは、30年後の堆砂量は38ケース中最小2億1,900万 m^3 、最大4億6,700万 m^3 、中間値は4億2,900万 m^3 であった。一方、忙牛河からの流入を40%抑えることができたと仮定した場合、30年後の堆砂量は38ケース中最小1億6,500万 m^3 、最大3億5,500万 m^3 、中間値は3億2,700万 m^3 となった。したがって、30年後の堆砂量を目標である3億 m^3 に抑えるためには、ダム上流域で堆砂対策を実施すべきであると判断する。

3.5.3.3 洪水時の掃流力を利用した排砂の効果

二次元泥流シミュレーションモデルを用いて、貯水位を死水位まで下げて洪水の掃流力により堆積土砂を運搬・洗掘し、貯水容量を回復させた場合の排砂効果を評価した。洪水発生に合わせて予め無効放流をすることは、予報がはずれた場合、貯水量を大幅に失ってしまう可能性も十分あるので、現在の洪水予報レベルを考慮すれば、現時点では採用し難いと考え。しかし、ここでは、将来貯水池の堆砂が予想以上進み、何らかの手段を用いて排砂しなければならない場合を想定した。

(1) 泥流シミュレーションモデル

モデルは、固液混相流である泥流のうち特に乱流現象のみを対象としている。流れの基礎方程式として、運動方程式と連続式を鉛直方向に積分したものを与えた二次元浅水流モデルであり、さらに混合粒径の流砂および元河床からの洗掘を考慮した、移動床モデルとなっている。河幅が広く流れの平面的な変化が無視できない場合や、氾濫の範囲や土砂の堆積状況を把握したい場合に有効である。

(2) 1969年洪水を想定したシミュレーション

1969年の洪水を対象として、貯水位を死水位まで下げてから濁水を流入させる場合の解析を行った。堤体部については、比較のために、自然河川に近い状態に戻した場合(ケース1)と、オリフィスの式をモデルに組み込んで底孔からの放流を考慮した場合(ケース2)の2ケースを想定した。それぞれの計算は、1.5億 m^3 の堆砂形状と、貯水池が洪水期制限水位125.6mを維持している状態を初期条件として排水シミュレーションを行い、排水終了後から濁水のハイドログラフを与えた。

(3) シミュレーション結果

土砂の排出率は、ケース1では最終的には228%に達するが、ケース2では25%に留まった。ケース2では流入する濁水の量に対して、底孔から放流される量が小さく、ダム近辺における水深が大きくなり、縦断方向のエネルギー勾配は減少する。すなわち、貯水位を維持した場合の排砂シミュレーションと同様、貯水池堤体付近における流速は極度に減少し、上流から下流への縦断的な土砂移動は十分に進まず、ダム堤体近辺のみにおいて若干の土砂が移動・排砂される結果となった。したがって、この方法においても排砂効果はあまり期待できないと推測される。

3.5.4 中国側への提言

3.5.4.1 排砂シミュレーションについて

これまでの実施した排砂シミュレーションの結果からは、底孔のゲートオペレーションによる排砂の効果は期待したほど大きくない。しかし、この解析には、以下の問題がある。

- 1) 再現性の確認が現在ではできない。
- 2) モデルは完璧なものではない。

たとえば、準3次元拡散シミュレーションでは、

-ウオッシュロードの巻き上げをうまく再現する式は現在ないので、浮遊砂を扱う式でこれを代用している。また、その係数は、実験あるいは実測により通常定めるものである。したがって、ここでは係数については平均値をもちいている。

-河床変動を考慮していないので、流速が高まる金嶺寺鉄橋下流付近での浮遊砂の挙動をうまく再現していない可能性がある。

泥流シミュレーションでは、

-土砂の移動は細粒分の多い土砂に適当なブラウン式をもちいてモデル化しており、水位が低い自然状態の流れは問題なく現象を再現できたと考える。しかし、水位が高い状態での貯水池内における土砂運搬、沈降という現象は、掃流力のみで十分に再現できないので、より忠実に再現するためには、拡散の式をモデルに組み込み計算する必要がある。

-平面メッシュは200m間隔とあらいたため、貯水池内の水道の維持と形成による部分的な縦侵食の現象を表せていない。

-モデルはダム堤体付近の水位が低下し、濁水が自由水面を有して底孔を流れた場合に生じるであろう局所洗掘を再現していないので、実際はもう少し多く排砂される可能性もある。

したがって、本シミュレーション結果についての中国側への提言は以下とする。

- 1) 中国側の実施した実験結果と本結果について、貯水位を維持する場合の排砂シミュレーションでは、特に密度流、巻き上げの効果を、貯水位を下げた洪水の掃流力により排砂する場合のシミュレーションでは、境界条件と入力条件について、その詳細を比較すること。
- 2) 排砂量は巻き上げの効果に大きく影響を受けるので、貯水池オペレーション開始後は、貯水池内、ダム直下流地点などで浮遊砂濃度の計測を実施し、その影響を検討すること。また、本シミュレーション結果と比較し、同様あるいはそれ以下の排砂量しか期待できない場合は、ゲートオペレーション以外の堆砂対策を早急に検討、実施すること。

3.5.4.2 貯水池への土砂流入、堆砂についての観測計画

貯水池に流入する浮遊砂は降雨に伴って発生し、短時間のうちにピークを迎える。貯水池に流入した浮遊砂は、沈降、移流、拡散、あるいは底面から巻き上がりその一部は堤体に到達し、下流へと排出される。このような浮遊砂の挙動を把握するためには、自動観測機器を一部用いて年間を通じた継続的な観測を行う必要があると考える。さらに、貯水容量の経年変化を把握するためには、年一回程度の定期的な深浅測量を実施することが必要であろう。

本観測計画の目的は以下の通りである。

- 1) 対象となる濁水の一般的性質の把握
- 2) 上流域で実施された堆砂対策の検証、評価
- 3) 底孔のゲートオペレーションによる排砂効果の検証
(今回実施した準三次元浮遊砂シミュレーション結果の検証)

これらの目的を達成するための主な観測項目は以下の通りである。

- 1) 浮遊砂の定点観測（連続観測）
- 2) 堆砂形状の調査
- 3) 流砂・堆砂の採取、測定

3.5.4.3 総合的堆砂対策についての提言

当初、排砂・堆砂シミュレーションの最終課題は、貯水池へ流入する浮遊砂を排出し貯水池の延命をはかる一方、下流域への安定水供給を行うための貯水機能を確認する最適貯水池運用方式を検討することであった。しかし、白石ダム貯水池は特にその地形の影響で、堤体直上流では洪水の流速が落ち、浮遊砂の大部分は貯水池内に沈降して容易に排出されないだろうという判断から、本解析は「貯水池内に流入する浮遊砂が堤体に設置した底孔からどの程度排出できるか、また、いかに排出させるか」という問題に焦点を置いた。

シミュレーション結果からは、ゲートオペレーションによる排砂効果は、あまり期待することができない、あるいは不確定要素が多いため、堆砂対策は底孔のゲートオペレーションに頼ることはできないと考える。したがって、白石ダム貯水池の堆砂問題を考える場合、ゲートオペレーションによる貯水池内からの排砂だけでなく、上流域土砂供給源対策、上中流域での貯水池への流入する土砂の軽減といった全流域にわたる総合的な見地から検討を加えることが必要と考える。

ここでは、リモートセンシングによる河道の土砂堆積域の変化および土地被覆とその経年変化を解析を行い、さらに、得られた河道の土砂堆積状況、土地被覆状況と浮遊砂量との関連を検討して土砂生産地を推定した。また、白石ダム貯水池の堆砂対策を立案するためには、過去の水文資料を整理解析し、浮遊砂の時間的、空間的流出傾向を知ることが必要である。将来の流量および浮遊砂流出を予測するモデルがあれば、さらに適切な底孔によるゲートオペレーションによる排砂が可能であろう。ここでは、朝陽、迷力営子、大凌河地点における日浮遊砂量、日流量の時系列解析をおこなった。

上流域での効果的な堆砂対策についての初歩的考察

中国側で作成した大凌河流域の各観測所での浮遊砂量・土砂生産係数(1955年—1985年の多年平均値)を図3.5.4.1に示す。土砂生産係数が大きい流域は、迷力営子、徳立吉、叶柏寿、六合成であり、洪水直後の1984年9月の河道における土砂堆積が顕著な地域と一致している。特に、迷力営子では浮遊砂量が13.19mil. t/yearと大凌河での24.67mil. t/yearの53%に相当するため、忙牛河流域からの土砂流出対策が急務と考える。

中国側は、現在建設中の白石ダム、閻王鼻子ダムにのほかに、1)大凌河、上窩堡上流、2)忙牛河支川、六合成上流、3)老虎山河、徳立吉上流にダムの建設を計画しているようである。特に忙牛河支川、六合成上流のダムは、大凌河流域中もっとも土砂生産の激しい流域に建設されることになる。したがって、積極的に排砂するようなオペレーションをしなければ、相当量の浮遊砂が貯水池内に堆積し、よってダム下流へ流下する浮遊砂量を堆積相当分軽減することになる。このダムの規模、用途、建設時期等については情報を得ていないので、ここで結論はだせないが、早期にこのダムを建設し、完成後は、当面利水より貯砂ダムの機能を優先させれば、白石ダムへ流入する土砂を大幅に軽減できるだろう。一方、この流域においては、緑化等による土砂生産域での堆砂対策を重点的に実施し、土砂生産量を減ずれば、このダムの延命と本来の利水機能を確保することができるであろう。また、老虎山河流域も土砂生産が多く、老虎山河に計画するダムの運用についても同様なことがいえる。

荒廃地化した流域内の裸地や少植生域では降雨により激しい表面侵食を受けるため、自然のままでは植生が回復することは難しく、緑化などの対策工が必要となる。その際、効果的な対策事業を展開するためには、さらに、流域内の土砂生産域やその生産の過程を詳細に調査し、緑化による土砂生産の抑制効果や適正な配置の検討を行い、土砂生産域での対策を検討する必要がある。

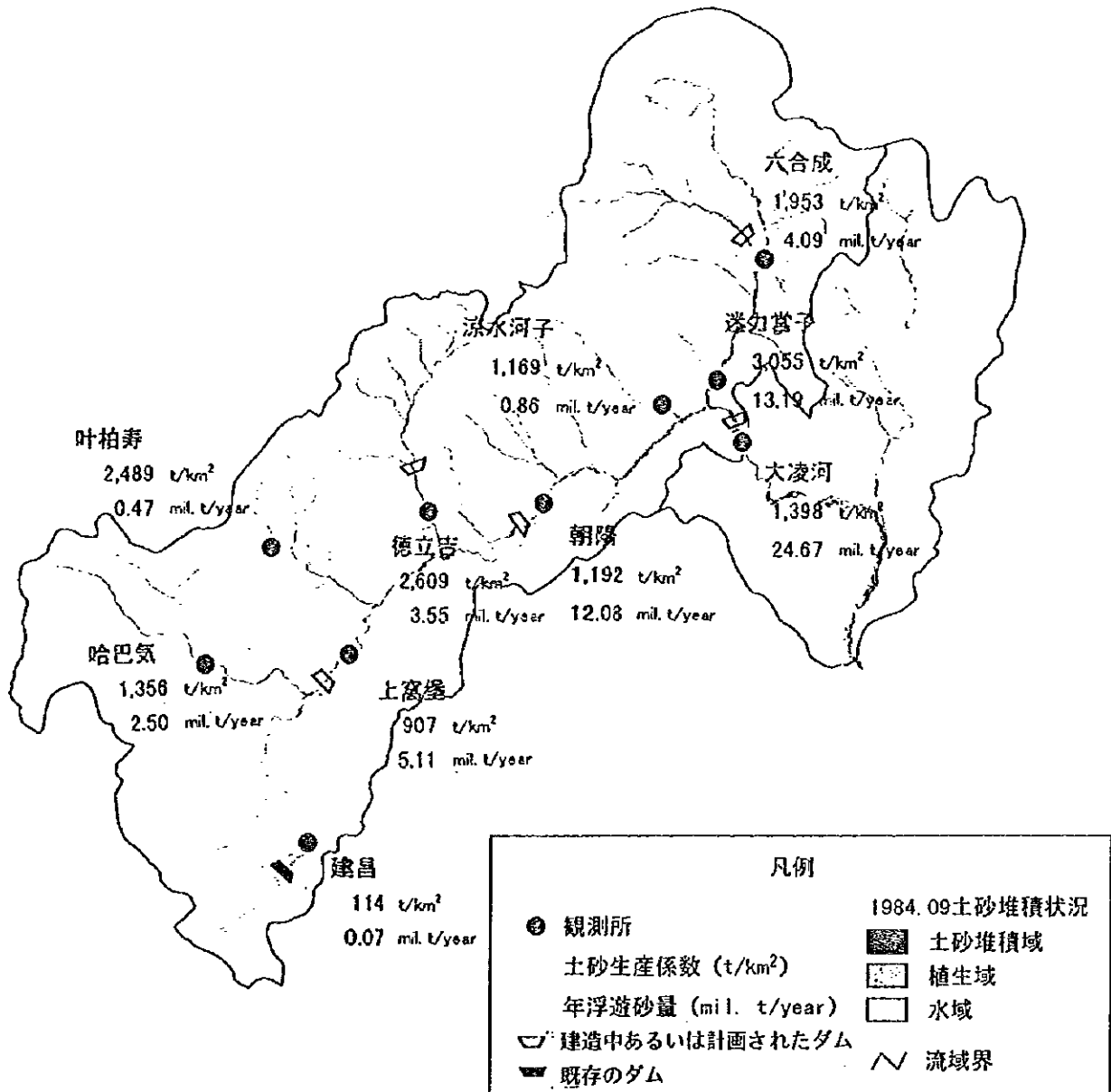


图 3.5.4.1 大凌河流域の浮遊砂量・土砂生産係数

JICA