6．上部池遮水壁および初期充水に関する調査

6．上部池遮水壁および初期充水に関する調査

頁

6.1 概 要 …… Ⅱ－6-1

6.1.1 上部池の計画概要 …… Ⅱ－6-1

6.1.2 池周辺の気候 …… Ⅱ－6-4

(1) 気 温 …… Ⅱ－6-4

(2) 天 候 …… Ⅱ－6-4

(3) 降雨量 …… Ⅱ－6-5

6.2 地形、地質 …… Ⅱ－6-8

6.2.1 一 般 …… Ⅱ－6-8

6.2.2 地 形 …… Ⅱ－6-8

6.2.3 地 質 …… Ⅱ－6-8

(1) 一般地質 …… Ⅱ－6-8

(2) 断 層 …… Ⅱ－6-9

(3) 亀 裂 …… Ⅱ－6-9

(4) 風 化 …… Ⅱ－6-10

(5) 地下水及び岩盤の透水性 …… Ⅱ－6-10

6.2.4 考 察 …… Ⅱ－6-11

(1) 調整池の保水性 …… Ⅱ－6-11

(2) ダム基礎 …… Ⅱ－6-11

6.3 基本設計に関する技術評価 …… Ⅱ－6-16

6.3.1 設計の概要 …… Ⅱ－6-16

6.3.2 構 造 …… Ⅱ－6-16

(1) 池形状 …… Ⅱ－6-16

(2) ダ ム …… Ⅱ－6-17

(3) 断層処理 …… Ⅱ－6-18

(4) 遮水壁の基盤 …… Ⅱ－6-19

(5) 遮水壁の構造 …… Ⅱ－6-19

(6) 排水設備 …… Ⅱ－6-21

(7) 監 査 廊 …… Ⅱ－6-22
(8) そ の 他 …… Ⅱ－6-22
6.3.3 材 料 …… Ⅱ－6-32
(1) ダム堤体材料 …… Ⅱ－6-32
(2) アスファルト遮水壁材料に関する試験 …… Ⅱ－6-32
(3) アスファルト遮水壁の予備的配合 …… Ⅱ－6-35
6.3.4 技 術 評 価 …… Ⅱ－6-42
(1) 底部遮水壁について …… Ⅱ－6-42
(2) 監査廊の必要性について …… Ⅱ－6-42
(3) 基本設計に関する妥当性の評価 …… Ⅱ－6-43
6.4 遮水壁の施工に関する技術評価 …… Ⅱ－6-44
6.4.1 アスファルト遮水壁の技術的動向 …… Ⅱ－6-44
6.4.2 遮水壁施工機械について …… Ⅱ－6-46
(1) 機械の仕様 …… Ⅱ－6-47
(2) 調 達 方 法 …… Ⅱ－6-50
6.4.3 遮水壁の施工上の注意事項 …… Ⅱ－6-51
(1) 運 搬 …… Ⅱ－6-51
(2) 舗 装 …… Ⅱ－6-51
6.5 計 測 …… Ⅱ－6-54
6.5.1 概 要 …… Ⅱ－6-54
6.5.2 ダ ム …… Ⅱ－6-54
6.5.3 遮 水 壁 …… Ⅱ－6-54
6.5.4 観測の時期 …… Ⅱ－6-55
6.5.5 技術的評価 …… Ⅱ－6-55
6.6 初 期 充 水 …… Ⅱ－6-57
6.6.1 概 要 …… Ⅱ－6-57
6.6.2 充水方法につい …… Ⅱ－6-57
6.6.3 充水時間の検討 …… Ⅱ－6-58
6.6.4 初期充水時における土木構造物の挙動測定 …… Ⅱ－6-59
6.7 ま と め …… Ⅱ－6-61

6　上部池遮水壁および初期充水に関する調査

6.1　概　　要

6.1.1　上部調整池計画概要

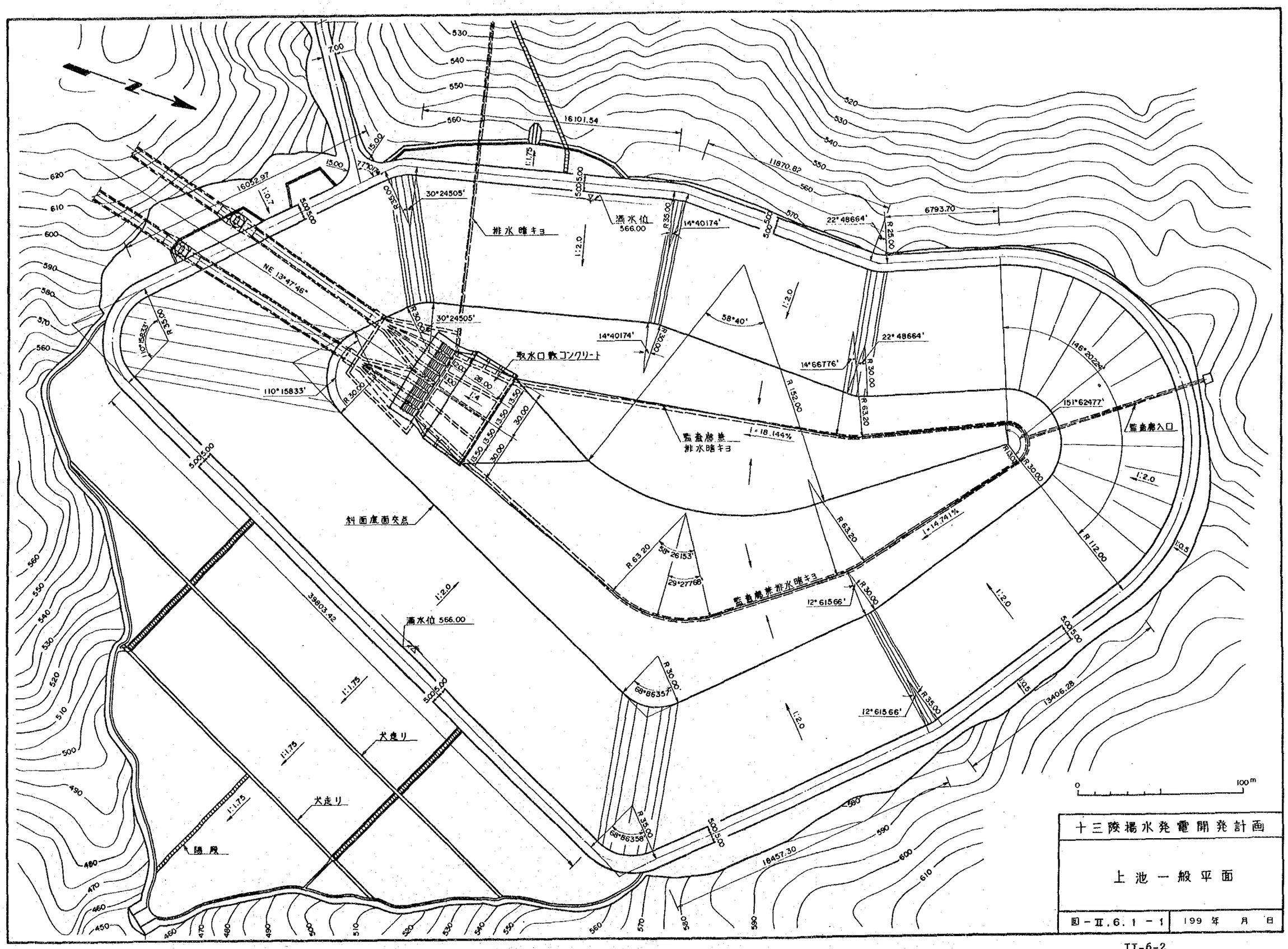
十三陵揚水発電計画の上部調整池は十三陵ダム東北部約2kmの上寺溝口に位置し、その標高は 500～600mである。周辺の地形は比較的急峻で、調整池を予定している地域は、南北に流れる 3本の小河川に挟まれた小規模な尾根が存在している。小河川の末端は東西方向の比較的平坦な尾根を分水嶺として、急斜面で西側に落ちている。

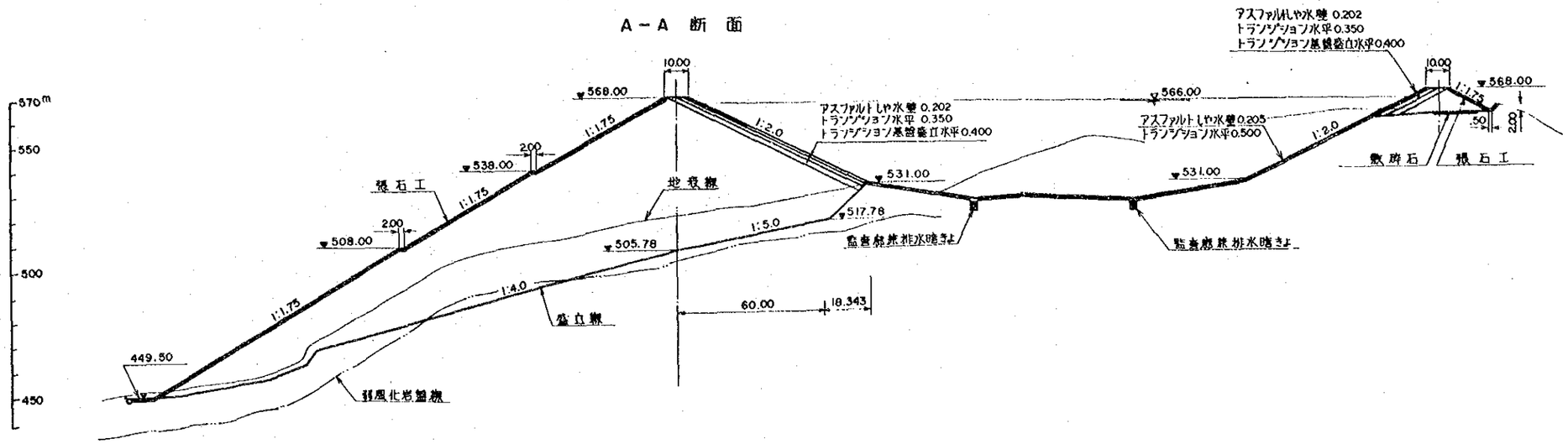
周辺の植物は雑木と小規模な果樹林で覆われ、地域内には少数の民家も存在する。

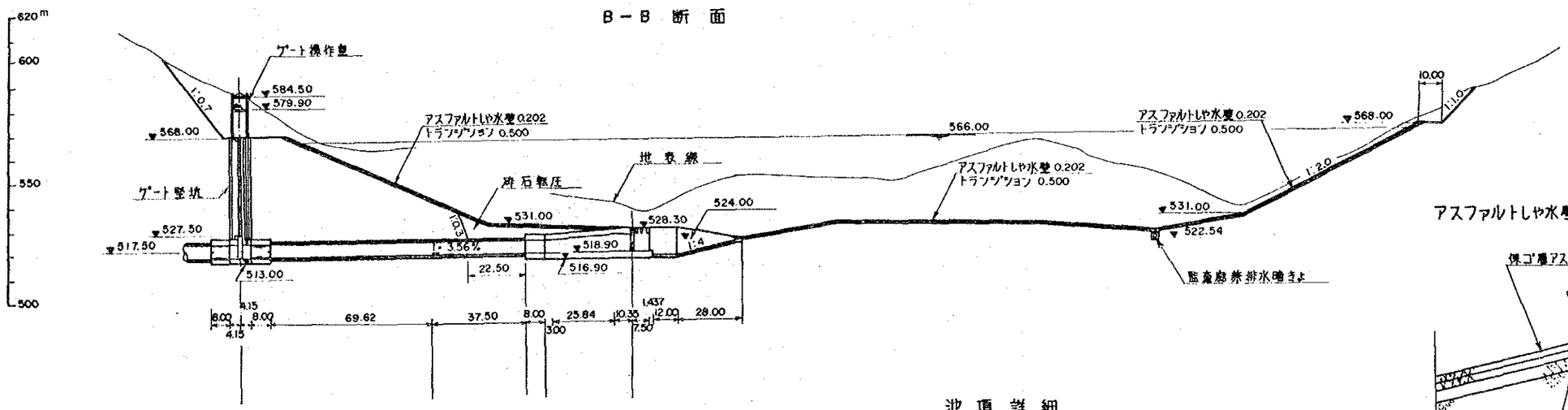
計画地域周辺の地質は主に角礫岩、安山岩であり、一部石灰岩、斑岩が貫入している。これらの岩盤は風化が進み亀裂も多い。これらの地形、地質条件を考慮して、上部調整池は小規模な尾根の末端付近に、高さ約 70mのロックフィルダムと西側の分水嶺付近の鞍部に一部盛り立てを行ない、池内部の尾根を掘削して、ほぼ円形プール状に整形し、内部を全面アスファルトコンクリートで覆う構造である。下表に貯水池諸元を、図-II.6.1-1 に上部調整池一般平面および図-II.6.1-2 に構造物標準を示した。

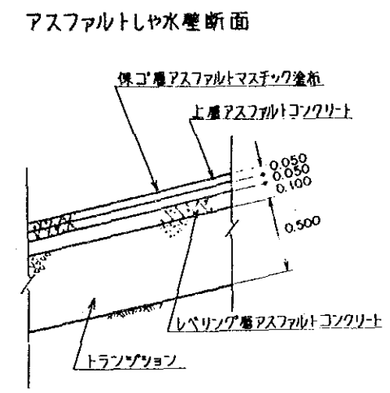
上 部 調 整 池 諸 元

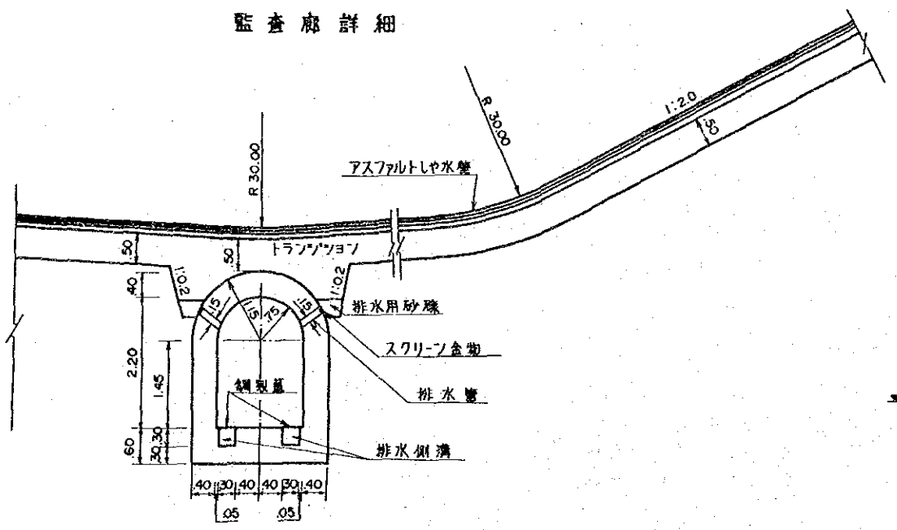
項　　目	単　位	諸　　元
満水位	E.Lm	566.00
低水位	E.Lm	531.00
利用水深	m	35.00
総貯水容量	10^6 m^3	4.01
有効貯水容量	10^6 m^3	3.81
ダムタイプ		アスファルト表面遮水型ロックフィルダム
主ダム高	m	70
副ダム高	m	10
遮水壁面積	m^2	176,000

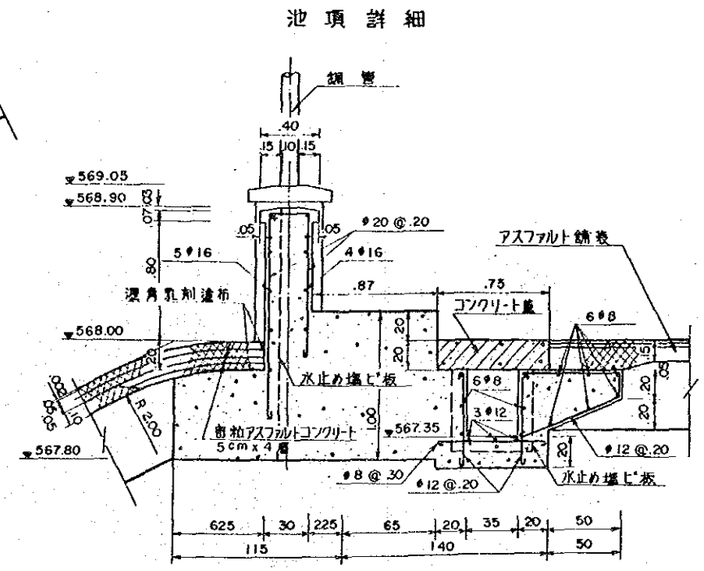

十三陵揚水発電開発計画
上池一般平面
図－Ⅱ.6.1－1
199 年 月 日
排水暗キョ
取水口軟コンクリート
監査廊兼排水暗キョ
監査廊入口
斜面底面交点
満水位 566.00
犬走り
隧路
NE 13°47'46"
16101.54
16052.97
11870.82
6793.70
39803.42
18457.30
13406.28
30°24505'
14°40174'
22°48664'
14°66776'
58°40'
146°20224'
151°62477'
110°15833'
38°26153'
29°27768'
12°61566'
68°86357'
68°86358'
1:18.144%
1:14.741%
1:2.0
1:1.75
1:0.7
1:0.5
1:4
0
100m











0 100m

十三陵揚水発電開発計画	
上池断面および構造物標準	
図－Ⅱ.6.1－2	199 年 月 日

6.1.2　池周辺の気候

上部調整池周辺の気象観測は1986年７月計画地点内の標高 563.9m砧置八家村に上寺観測所が設置され、以来観測が継続されている。観測項目は気圧、気温、湿度、風向、風速及び降水量である。調査で入手した資料は1986年７月から1988年３月までの２年４ヵ月のものであり、観測期間としては短く、今後を予測することは出来ないが、計画地点近傍で観測期間の長い昌平観測所（標高74.9m）の記録と対比すれば、ある程度の地域特性は推定出来る。

上部調整池は表面アスファルト遮水壁型であり、その施工は気象条件に左右され易い。以下にアスファルト遮水壁の施工に特に関係の深い気温、天候、降雨量および湿度について上部池地点での観測記録を表－Ⅱ.6.1-1～4 にとりまとめた。

(1)　気　温

アスファルト遮水壁の施工は工事中の気温が舗設のための合材温度に与える影響がきわめて大きい。特に気温が低い場合には密粒層舗設時の合材温度の低下が考えられる。

また、完成後においては、とくに夏期の日照によるアスファルトのフロー、冬期の凍結などアスファルトコンクリートの持つ特性から気温の変化に大きく影響される。

上寺観測所の年平均気温は10.2℃で、月最高 31 ℃(8月）、最低 -16℃(1月）が記録されている。しかし、昌平観測所の記録によれば年平均気温は11.7℃で、最高気温は40.3℃、最低気温は-19.6 ℃となっている。この最高温度と最低温度の差は約60℃と非常に大きく、これより標高の高い上部調整池地点では、さらに厳しい気象条件が予想され、アスファルトの凍結融解に適応出来るアスファルトコンクリートの配合には特別の配慮が必要である。

(2)　天　候

アスファルトの舗設は天候に左右される。即ち、施工時の気温はもとより、降雨、霧発生などが施工を中断させるもととなる。

本地域の降雨は夏期の７，８月に集中し冬期は 0に近く、６～９月の間に年間総雨量の83％の降雨がある。また、湿度は７、８月で70％と高い。昌平の観測記録では、２mm以上の降雨日数は年平均43日である。

(3) 降 雨 量

昌平観測所の1955～1989年の降雨記録によれば、本地域の35ヵ年の年平均降雨量は575mmである。上寺部観測所の2年4ヵ月の記録のうち、通年で得られる降雨記録は1987年のみであり、この年の年間総雨量は539mmで、同じ年の昌平観測所の記録 560mmと比べると少ないが大差はない。下表に1987年の上寺および昌平観測所の月別降雨量を示した。

上寺・昌平観測所月別降雨量比較（1987年）

（単位：mm）

観測所名	1	2	3	4	5	6	観測期間
上　寺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.5	2年4ヵ月
昌　平	4.7	4.8	9.4	28.2	44.7	134.4	35ヵ年
観測所名	7	8	9	10	11	12	総雨量
上　寺	97.0	253.0	57.1	13.2	0.0	0.0	538.8
昌　平	92.1	173.3	29.7	4.6	27.3	7.1	560.3

表－Ⅱ.6.1-1　上部調整池　上寺気象観測記録

(1) 月別最高最低気温

月	1		2		3		4		5		6	
年	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	9.0	-16.2	12.4	-14.0	11.4	-9.0	23.4	-1.0	28.3	7.7	28.5	7.0
1988	4.0	-11.5	5.6	-14.5	15.4	-13.0	-	-	-	-	-	-
平均	6.5	-13.9	9.0	-14.3	13.4	-11.0	23.4	-1.0	28.3	7.7	28.5	7.0

月	7		8		9		10		11		12	
年	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低
1986	-	-	29.0	16.0	26.4	9.3	23.6	-2.4	11.8	-9.7	6.4	-15.0
1987	31.0	16.1	31.0	15.4	28.5	9.7	25.0	-1.5	16.2	-14.1	13.6	-14.1
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	31.0	16.1	30.0	15.7	27.5	9.5	24.3	-2.0	14.0	-11.9	10.0	-14.6

表－Ⅱ.6.1-2　上部調整池　上寺気象観測記録

(2) 月別最大風速

年／月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1986	-	-	-	-	-	-	-	8.0	5.0	6.0	7.0	9.0
1987	12.0	8.0	8.0	6.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	12.0	8.0	8.0	6.0	5.0	-	-	8.0	5.0	6.0	7.0	9.0

表－Ⅱ.6.1-3　上部調整池　上寺気象観測記録

(3) 月別平均湿度

年／月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1986	-	-	-	-	-	-	-	70.0	53.0	55.0	40.0	44.0
1987	50.0	40.0	46.0	59.0	53.0	62.0	75.0	64.0	54.0	54.0	55.0	40.0
1988	45.0	40.0	45.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	45.0	40.0	45.5	59.0	53.0	62.0	75.0	72.5	58.5	54.5	47.5	42.0

表－Ⅱ.6.1-4　上部調整池　上寺気象観測記録

(4) 月別降水量

年／月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合計
1986	-	-	-	-	-	-	107.9	102.1	77.1	3.5	0.0	0.0	-
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.5	97.0	253.0	57.1	13.2	0.0	0.0	538.8
1988	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.5	102.5	177.6	67.1	8.4	0.0	0.0	538.8

6.2 地形、地質

6.2.1 一 般

上部調整地に関する地質調査は、1974年に開始され1986年に基本設計が完了している。本地点で実施された地質調査工事を表－Ⅱ.6.2-1に示す。

本項では、主に中国側で実施されたこれら地質調査工事の結果と、現地踏査の結果に基づき、上部調整池周辺の地質状態を検討する。

6.2.2 地 形

上部調整池は、十三陵ダムの約2km北側（左岸側）を東西方向に流れる上寺沢の上流端付近に位置している。調整池の南側には、標高 600～640mの蜂山があり、北側には標高700mの雲峰がある。一方、調整池の西側は、標高 560～600mの鞍部となっており、一部で設計洪水位 EL.566mを下まわる事となり、副ダムの建設が必要となる。

調整池の東側には、上寺沢が通っており、高さ75m 堤長473mの主ダムが計画されている。上寺沢は、この主ダム地点では、三つの小さな沢に分かれており、沢底の標高はEL.485～510m、尾根部の標高は 500～520mとなっている。

調整池内には、小さな沢が発達しており、全体に起伏に富んだ地形となっている。

また、調整池周辺斜面は、風化残留土等の表層堆積物におおわれ、傾斜20～30°の緩やかな斜面が多い。

6.2.3 地 質

(1) 一 般 地 質

上部調整池周辺は図－Ⅱ.6.2-1及び2に示すように、主として中生代ジュラ紀の安山岩と溶岩角礫岩よりなり、一部にジュラ紀の複成礫岩、古生代カンブリア紀の石灰岩が分布し、所々に正長班岩岩脈が貫入している。これら基盤岩類をおおって、第四紀の風化残留土、崩積土が分布している。

(a) 安山岩及び熔岩角礫岩

安山岩及び熔岩角礫岩は、灰紫色～灰緑色を呈し、緻密で堅硬ではあるが、亀裂が発達しており、地表付近では強く風化している。これらは、上部調整池で最も広く分布する岩石である。

(b)) 複 成 礫 岩

複成礫岩は、灰紫色を呈す、安山岩、石灰岩、砂岩等の礫を90%以上含む礫岩であり、概ね堅硬である。これは調整池西北側の尾根部に分布している。

(c) 石 灰 岩

石灰岩は、主ダム左岸側のダム天端標高付近に厚さ10～15mの岩体として分布しており、ジュラ紀の安山岩の上にF107断層により衝上している。

(d) 正長班岩岩脈

正長班岩は、薄黄色を呈し、長石の斑晶が顕著な、堅硬な貫入岩である。細長い帯状に、調整池内およびその周辺に分布している。

(e) 風化残留土、崩積土

風化残留土、崩積土は、約1m程度（部分的に3～4m）の厚さで、調整池周辺の斜面に分布している。

(2) 断 層

調整池周辺部に分布する断層は表－Ⅱ.6.2.-2 に示すようにその方向から、北北東、西北西、北西及び北北西の四つのグループに分けられる。これらのうち、北北東及び西北西方向の断層は、比較的規模が大きく、北西及び北北西方向の断層は一般に規模が小さいという傾向がある。

北北東方向の断層のうち主要なものは、主ダム右岸下流側を通るF_1断層（40～53°南東傾斜、破砕幅 3～7m）と、左岸側を通るF_{107}断層（15～ 25 °南東傾斜、破砕幅約10m）である。

西北西方向の断層のうち主要なものは、調整池右岸を通るF_3断層（80～90°南東傾斜、破砕幅10～15m）である。この断層は主ダムの約 50m下流でF_1断層と交差している。

これらの断層の破砕帯は、断層角礫、断層粘土等からなっている。

(3) 亀 裂

上部調整池地点では、全般に亀裂が発達しており、平均的な亀裂間隔は20～50cmである。亀裂の方向は、西北西(N60～90W)と北北東(N10～40E)が卓越しており、傾斜は50°を越えるものが多い。亀裂面は一般に平滑でわずかに開口し

ている。また本地点では幅約 20m、長さ数10～100mの亀裂の密集帯が３条確認されている。これらは、いずれも北西－南東方向に伸びている。

(4) 風　化

上部調整池地点の風化層は、その風化の程度により、全風化層、強風化層、弱～微風化層の３層に分けられる。

表－Ⅱ.6.2-3に各風化層の特徴と、それぞれの乾燥密度、及び弾性波速度を示す。全風化層の厚さは、一般に２～４ｍであるが、なだらかな尾根部、及び、F_3、F_{107}断層付近では、15m 以上（一部30～40m)になっている。強風化層は、全風化層下部に分布し、その厚さは一般に10m 程度であるが、最も厚い所では40～50mに達する。

弱～微風化層の厚さは、最大で50～ 60mになるが、一般には 10m以下である。

(5) 地下水及び岩盤の透水性

上部調整池周辺の沢には、年間を通して表流水は見られないが、主ダムの約450m下流のF_3断層付近（標高433m）と、左岸アバットメントの約200m北東の亀裂密集帯（標高530.6m）でそれぞれ 7.7ℓ/min、 2.4ℓ/minの湧水が観察されている。主ダム地点のボーリング孔では、標高460mに地下水位が観測されているが、水位の変化が比較的大きい。

湧水地点の標高、ボーリング孔での観測結果から推測すると、調整池の北側で地下水位がやや高くなっているものと思われる。

上部調整池地点では、11孔のボーリング孔、93区間で透水試験が実施されている。その結果は、次表に示すように、単位透水量が 0.1ℓ/mim.m.m以上の区間が全体の57％を、1.0ℓ/mim.m.m以上の区間が約15％を占めており、上部調整池地点の安山岩類が大きな透水性を持っている事を示している。

上部調整池透水試験結果

単位吸水量（ℓ/mim,m,m）	試験区間全体に占める割合（%）
<0.05	31.3
0.05～0.10	11.7
0.10～1.0	42.3
>1.0	14.7

6.2.4 考　察

(1) 調整池の保水性

上部調整池地点を構成する安山岩、熔岩角礫岩は、"6.2.3地質"の項でのべたように、全体に亀裂が発達しており、深部まで大きな透水性を持っている。また上部調整池は上寺沢最上部に位置しているため、調整池東側は薄い鞍部となっており、南側の蛸山も計画満水位標高での山体の幅は250m程度である。従って調整池の保水性を確保するためにはダム基礎部のみならず、調整池全域にわたった遮水処理が必要であると考えられる。

(2) ダム基礎

現在計画されている主ダムの基礎岩盤は安山岩よりなる。表層堆積物及び全風化層の厚さは2m以下で、その下部の強風化層の厚さは 5～10mである。強風化岩盤には、全般に亀裂が発達しているが、計画規模のロックフィルダムの基礎としては、十分な地耐力を持っているものと判断される。

また、ダム右岸を通るF_3断層及びダム左岸天端付近を通るF_{107}断層の破砕帯とその影響部については砂礫またはコンクリートによる置換等の基礎処理が必要になるものと考えられる。

表－Ⅱ.6.2-1　上部調整池地点地質調査工事一覧

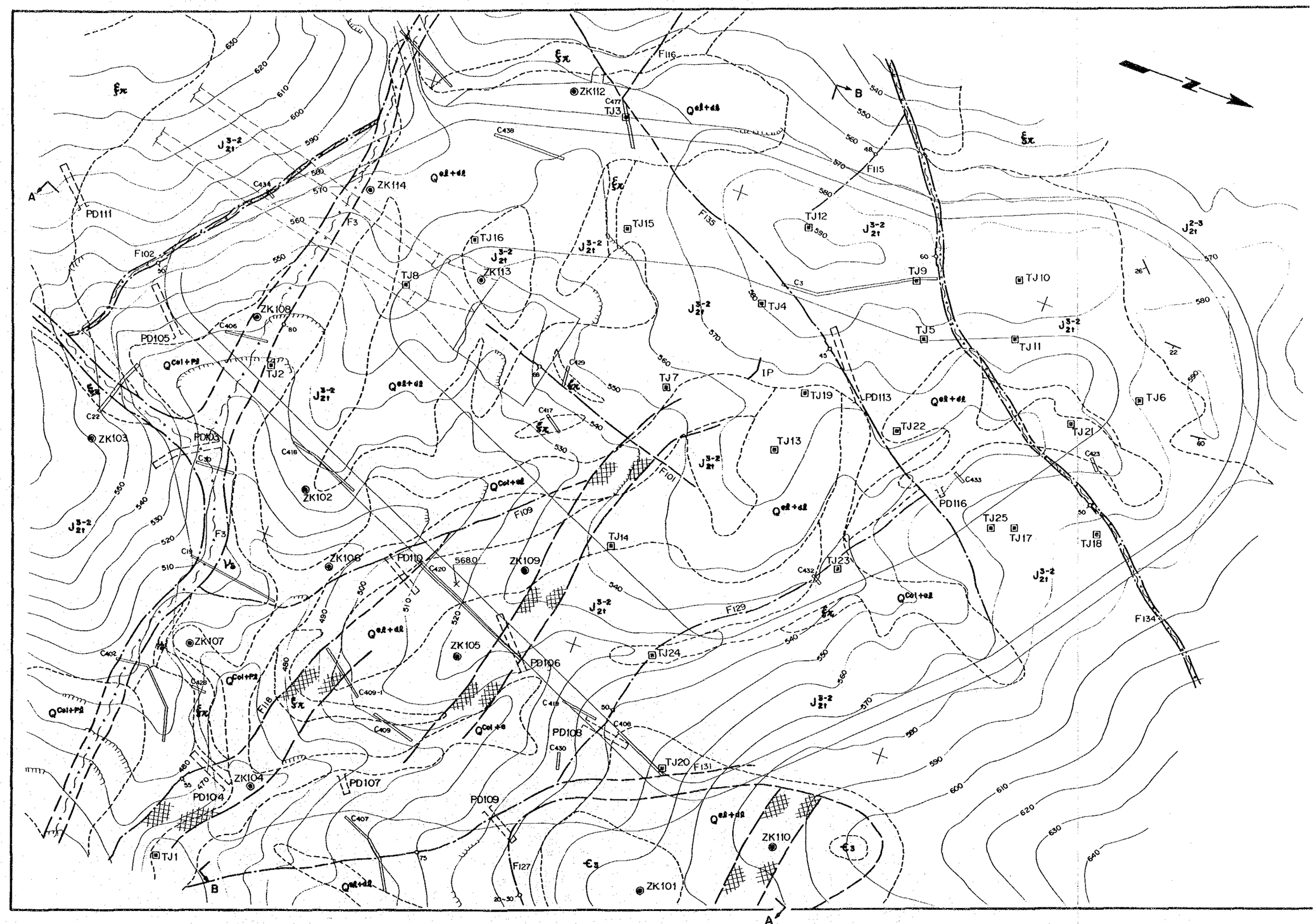
調査項目	数量
調査ボーリング	18 孔（1069m）　透水試験　125 区間
調査横坑	11 坑（283m）
調査立坑	25 坑（208.5m）
トレンチ調査	300㎥
調査横坑弾性波測定	165m
断層帯弾性係数試験	3 点

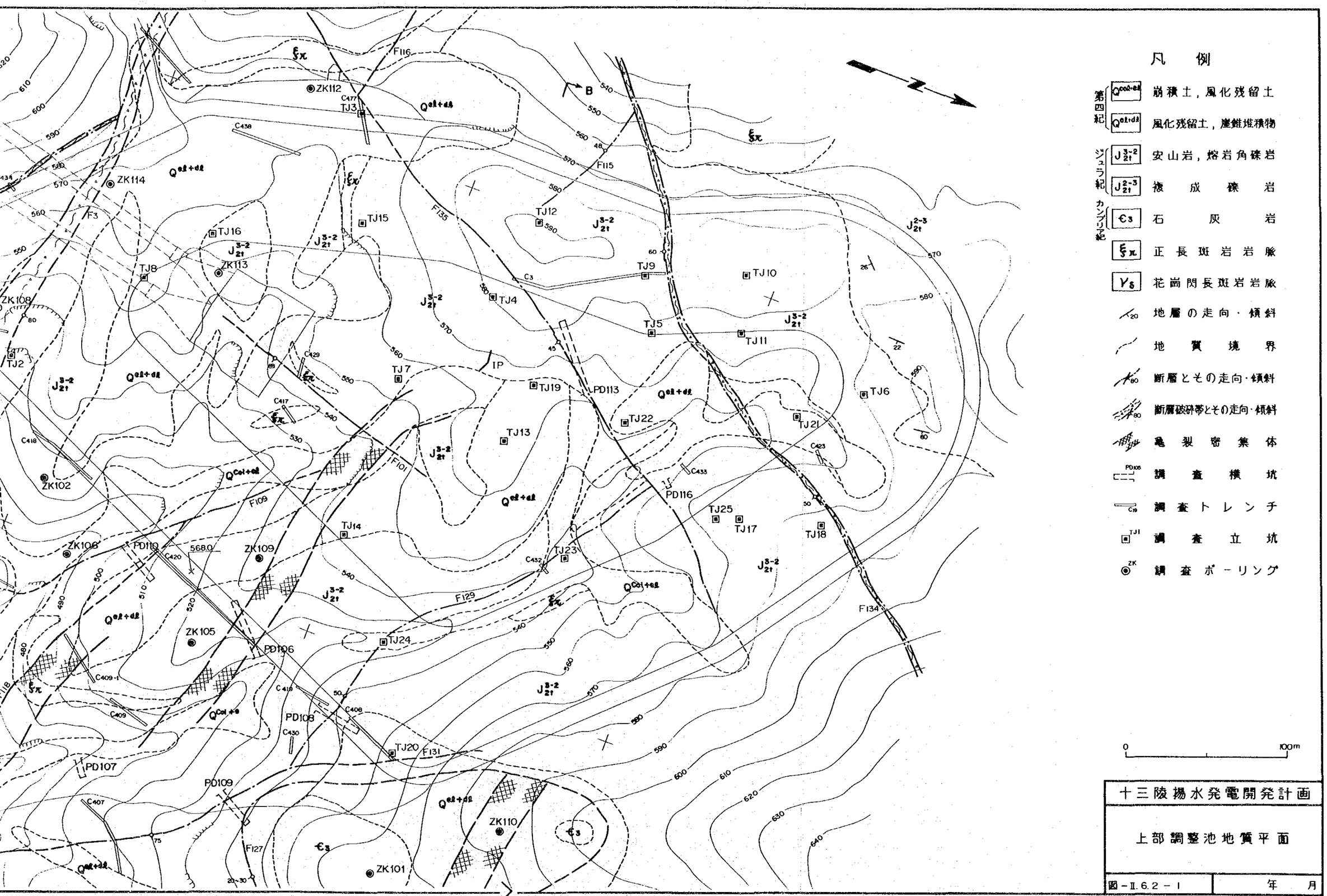
表－Ⅱ.6.2-2　上部調整地周辺に分布する主な断層

群	断層番号	走向	傾斜方向	傾斜角（度）	破砕幅（m）
北北東群	F_1	10～30	SE	40～53	3～7
	F_{101}	20	SE	68	1.2
	F_{107}	20～30	SE	15～25	＞10
	F_{134}	60	SE	50	3～5
	F_{135}	35	SE	40～50	1
西北西群	F_3	275～285	NE	87	10～15
	F_{108}	290	SW	34	1
	F_{102}	310	NE	58	1.5～2
	F_{118}	300	NE	20～55	2～3
	F_{129}	285～310	SW	37～55	0.7～1.5
北西群	F_{109}	330	NE	46～54	0.9
	F_{113}	330	NE	47	0.5～1
	F_{115}	330	SW	48	2
北北西群	F_{116}	350	SW	32	0.8～1
	F_{131}	330～340	NE	70	1～1.5
	F_{133}	340	SW	76	1.5

表－Ⅱ.6.2-3　各風化層の特徴

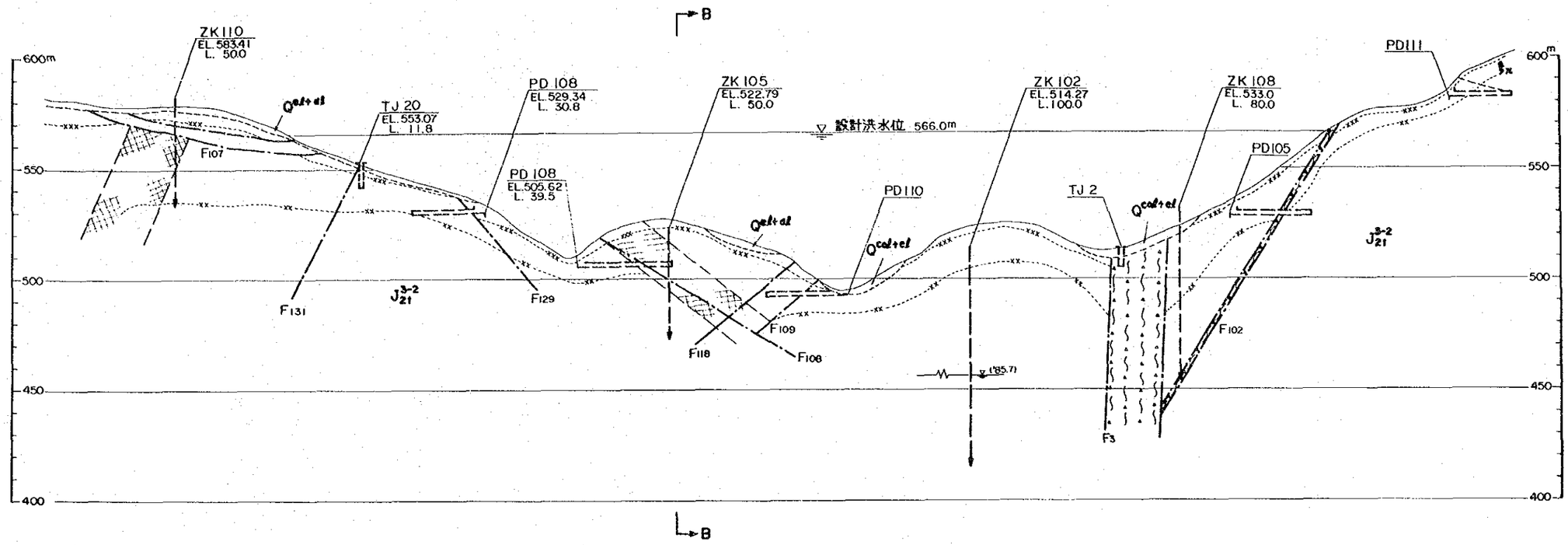
風化層	主な特徴	乾燥密度	弾性波速度
全風化層	灰白色ないし、赤紫色を呈し、大部分の鉱物は風化変質している。岩塊は手で割ることができ、浸水によりくずれる。	1.95～2.05 g/cm³	0.5～1.0 km/s
強風化層	岩石は変色し、一部鉱物は風化変質している。微小な亀裂が発達し、ハンマー打でにぶい音を発するが、強度は低下している。また一部の岩石は、浸水により崩壊する。大きな亀裂は、泥質物、岩屑により充塡されている。	2.65～2.75 g/cm³	1.0～2.0 km/s
弱～微風化層	亀裂面に沿って、風化変質鉱物が見られる。一般に岩塊は新鮮で、ハンマー打で澄んだ音を出す。 弱風化帯の亀裂に岩屑等の風化物が充塡している。	2.70～2.80 g/cm³	2.2～4.0 km/s


ZK112
TJ3
C477
C438
F116
F115
TJ12
TJ15
F135
TJ16
ZK113
TJ8
ZK114
F3
F102
PD111
ZK108
PD105
C406
TJ2
C434
TJ9
TJ10
TJ4
TJ5
TJ11
TJ6
TJ7
IP
TJ19
PD113
TJ22
TJ21
TJ13
C423
C433
PD116
TJ25
TJ17
TJ18
F134
F101
F109
ZK103
PD103
ZK102
ZK106
PD110
5680
ZK109
TJ14
TJ23
C432
F129
ZK107
ZK105
PD106
TJ24
F118
PD108
TJ20
F131
ZK104
PD104
PD107
PD109
F127
ZK110
ZK101
TJ1
A
B

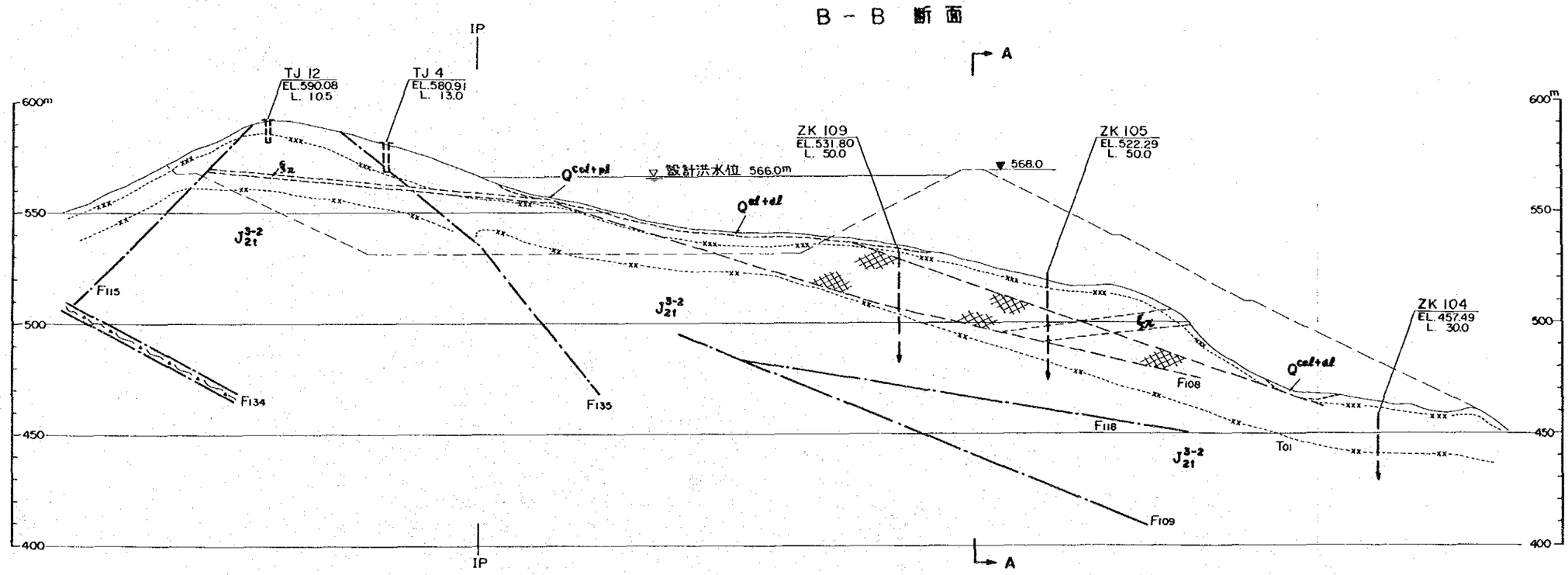


十三陵揚水発電開発計画	
上部調整池地質平面	
図－II.6.2－1	年　月

A－A 断面



B－B 断面



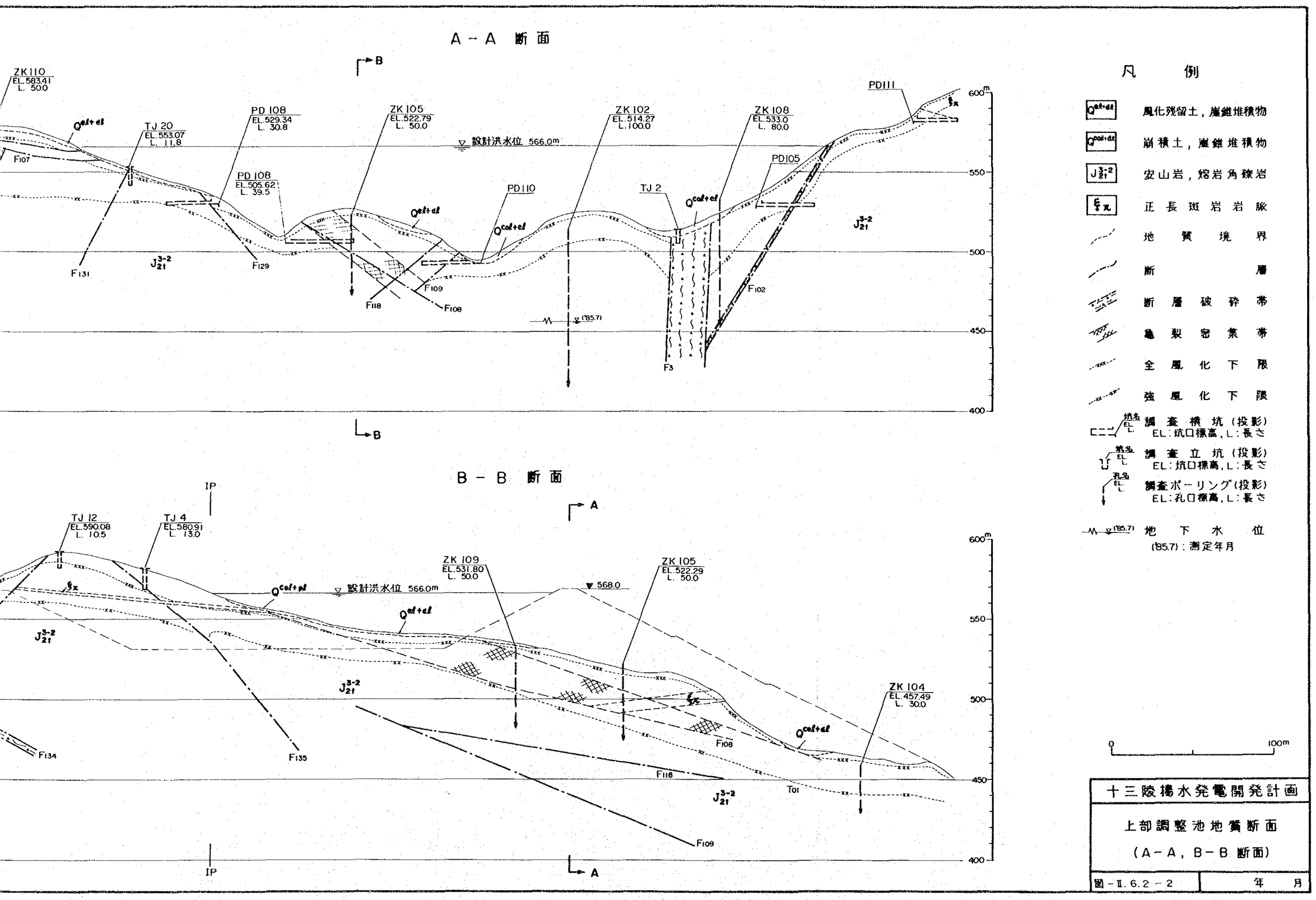
凡

十三隧

上部

(A

図－Ⅱ. 6. 2



十三陵揚水発電開発計画

上部調整池地質断面

（A－A，B－B 断面）

図－II. 6. 2－2　　年　月

6.3 基本設計に関する技術評価

6.3.1 設計の概要

上部調整池は既に中国側で基本設計が終っている。水路の長さ、落差および上池としてのスペースを考えれば、地形上付近に適当な地点は見当らない。

上部調整池の設計は必要な貯水容量を確保するために、主ダムと分水嶺付近の低い鞍部の副ダムの2つのダムを築造し、池底部を掘削整形する設計である。池部の地質は主に風化安山岩で、全体に透水性が高く、地下水位は極端に低い。このため、池底部および地山からの漏水防止を考慮し、池の地形に合わせて貯水池を全面アスファルト遮水壁で覆う構造としている（図－Ⅱ.6.1-1）。以下に、中国側でこれまでに実施された各構造物の設計について、その概要を述べ各構造物に対する技術的評価を行う。

6.3.2 構　造

(1) 池 形 状

上部調整池の形状は自然の地形を利用し、切り土、ダムの盛り土をバランスさせるように決められており、ほぼ直線のダム部を除いて、現地形に合わせた形状である。アスファルト遮水壁はアスファルトコンクリートの密度が重視され機械施工が原則である。これは水利アスファルトコンクリートの人力施工は合材温度の低下をまねき、十分な水密性のある舗設が出来ないためである。しかしながら、現設計は主ダム取り付け部、貯水池終端部など曲線部が多く、この部分のアスファルト遮水壁の機械施工が非常に難しいと思われる。特にダム左右岩の取り付け部に見られる曲率の小さい曲線部は、機械施工の可否についての十分な検討が必要である。また、底面部との交点など、勾配変換点は遮水壁のひずみが大きくなりがちであり、従来の破壊の主因をなしている。従って、底面との交点部などは応力が集中しないように出来るだけ大きい曲率を採用することが望ましい。

図－Ⅱ.6.3-2に代替案としてアスファルトの機械施工を考慮した貯水池の平面基本形状を示し、図－Ⅱ.6.3-3～6に曲面部舗設レーン割りの一例を示した。主要な変更点はダム左右岸の曲率を大きくし、それに伴う貯水池容量の減を上流側を直線的に掘削することで補うものである。この変更ではダム盛り立ての増、上流側基礎掘削の増などを伴うが、曲面部のアスファルト遮水壁のほぼ完全な機械

施工が可能となる。

池底面部は監査廊を最低部として取水口側へ緩い勾配で傾斜し、取水口付近で急勾配で下がる設計である。断面的には監査廊を最低部として、アスファルト斜面側から池中央部まで上り勾配となり、池中央部は高くなっている。これは底面部からの漏水、浸透水が勾配に沿って流れ、監査廊に集まるという思想によるものである。しかしながら、池底面の基礎は亀裂の多い安山岩であり、これらの漏水を監査廊に導くことは極めて難しいし、また漏水による基礎のパイピングの恐れは少ないので、池底部は取水口へ向かっての緩い勾配があれば、掘削の容易な平坦な設計で十分と思われる。

(2) ダ　ム

上部調整池を形成するダムは３本の小河川にまたがる高さ75mの主ダムと池の末端に位置する高さ10mの２つのダムからなる。主ダムは地形上、下流下がりのロックフィルダムであり、盛り立て材料は池掘削で得られる風化安山岩を流用して使う事としている。ダムの基岩は主に安山岩で、表面は２mの厚さの崖錐および礫で覆われている。主ダムの基礎とくに右岸側はF_1, F_3 の比較的大きな２つの断層が交叉している。この交叉した断層は強い圧縮や剪断破壊を受けている。ダム基盤はこれらの全風化岩を取り除き強風化岩まで掘削する。断層部分の処理は上部風化部を取り除き良質な砂礫で置き換え、ダムの基礎として安定な基礎に改良するよう配慮されている。

ダムの断面は、通常、滑動に対する安定性と浸潤線により決定されるが、遮水壁を設けると当然浸潤線形が変化するため、勾配を急にしてダムの断面を著しく減少される可能性が生ずる。しかし、アスファルト表面遮水壁型ダムで、遮水壁の施工に締め固め工法を採用する場合は、上流側の勾配は安全管理、締め固め効果および遮水壁の品質管理を考慮して１：1.7 が経験的な勾配の最急限度とされている。原設計では上流側の勾配を１：２としており、この点では問題はない。

ダムの安定計算は主ダムについて断層部分を含めて 4つの代表的断面を選定し、各種の円弧滑り面法で計算を実施している。計算に使用された設計値を表－Ⅱ.6.3-1に、Bishop法による安定計算結果を表－Ⅱ.6.3-2に示した。この結果では下流側の断面の安全率は高く、基礎の断層を切る断面においても十分安定

を保つことが確認されている。このほか、ダムの変形、応力についても検討がなされており、ダム頂の最大垂直変位は41.23cm、最大法面変位40.87cmとされている。

以上、中国側で実施したダム堤体の設計は安定計算の断面の選定および計算方法などその手法は妥当なものであり、設計に関しての十分な調査、検討がなされている。しかし、ダムの基礎掘削および堤体の盛土の施工にあたっては、設計に使用した基礎岩盤、盛り立て材料の物性値を十分守ることが出来る施工管理基準を用意する必要がある。

(3) 断層処理

ダムの安定計算で述べたように、上部池地点は大小を含めて数多くの断層が確認されている。とくに、主ダム右岸付近に存在するF_3断層は規模も大きいため、注意深い処理が必要である。ダム直下の断層処理について中国側で検討したものの一部が図－Ⅱ.6.3-7である。これによると、断層部分を厳選した砂礫で置き換え、薄い層で転圧する構造としている。断層の処理は断層を構成する地質構造にもよるが、コンクリートまたは砂礫で置き換えるのが最も安全な方法であり、中国側の考え方は基本的には妥当と考えられる。しかしながら、中国案はその構造が複雑であり、施工が困難と考えられる。

従って、施工に関する十分な配慮が必要である。もし、これが不可能な場合には、良質且つ良好な粒度の砂礫であれば十分な転圧が出来るものと思われ、出来るだけ施工のやり易い置き換え方法を選定する必要がある。なお、機械施工が困難な幅の狭い断層の処理はコンクリートによる置き換えが最も容易で確実な方法である。

(4) 遮水壁の基盤

基本設計ではアスファルト遮水壁背面は、池の全面にわたって垂直厚さ50cmの排水砂礫層を設けることになっている。排水砂礫の機能としては、次の３つが考えられる。

(a) 変形に対する抵抗性の補強 ..... 水圧の変形に対する抵抗性を補強し、これにより遮水壁の破壊を防ぐ。

(b) 排水機能 ..... 周辺地山からの浸透水が遮水壁の背面に残留すること、貯水位低下時遮水壁に背圧が働き、これにより遮水壁が破壊する恐れがあるので、この背圧防止のため、浸透水を排出する。

(c) 凍上防止 ..... 寒冷地では、遮水壁の下の地盤または盛立部に凍上がおきる事があり、これが起きると遮水壁を破壊に導く恐れがある。砂礫材料は排水性があるので凍上を防止する働きがある。

上記のうち(a)については、アスファルト遮水壁の特長である撓み性にも期待出来るが、撓み性をもつということは、非常にゆっくりとした変形によくなじむと言うことに止まり、極めてよく伸びるあるいは破断に至る歪みが非常に大きいとは言えないことを、明確に認識しておく必要がある。揚水式発電所の上池は水圧変化が大きい（5時間に0～35m）ので、水圧による歪みをできるだけ小さくすることが極めて重要である。この場合特に問題になるのは、局部的な不等沈下である。ここに砂礫層の使命がある。

本地点のように盛立部と掘込部の境は支持力の不連続線になる等、歪みを小さく押さえるという点からダム本体の盛立は言うまでもなく、排水砂礫層の盛立は特に慎重を期す必要がある。(c)の凍上については本地点が、冬季には気温が－20℃程度となる寒冷地でもあることからその可能性があるので、事前に現地で試験を実施して排水砂礫層の厚さを決定する必要がある。本地点と気象条件が類似している日本の沼原ダムは現地で実施した凍上試験の結果をもとに、斜面部排水砂礫層の厚さを60cmとしている。しかし底面部は斜面部に比べて水面下にあることが多いので、砂礫層の厚さは現設計の50cmで十分と考えられる。

なお、排水層の施工に当たっては、まきだし厚、転圧方法の検討が必要であり、とくに斜面部は勾配が1：2であり、まきだしは一回で施工せざるを得ないものと考えられる。従って、遮水壁の基盤となる排水層は大型の振動ローラによる転圧が必要である。図－Ⅱ.6.3-8に沼原ダムの排水砂礫層の粒度曲線を示した。

(5) 遮水壁の構造

上部調整池は全面をアスファルトコンクリートで覆う構造である。遮水壁の構

造は図－Ⅱ.6.1-2に示すように合計厚さ20.2cm（表面保護層0.2cm、密粒層10cm、粗粒層10cm）である。遮水壁の構造およびその厚さは、中間排水層のないタイプとしては標準的なものである。

遮水壁の設計の主要点は

(a) 遮水性能の検討

(b) 排水のための中間層

(c) 斜面上の安定性

(d) 耐 久 性

などが考えられる。以下にそれぞれについて設計上の留意点を述べる。

(a) 遮水性能の検討

遮水性状はアスファルト混合物の透水性と遮水性および遮水壁の厚さが関係する。非透水性のみを重視すると斜面上で、フロー現象が生じ、両者の兼ね合いを見いだすために検証試験を実施する。適切な配合の混合物で、十分に締め固められた場合、その空隙率は２～４％位を示すが、この程度以下の空隙率ではその透水係数は10^{-8}cm/s以下となって不透水性が十分に確保できる。しかし、コンクリートダムやフィルタイプに比べて遮水壁の厚さが極端に薄いため、設計条件を十分満足出来る施工が必要である。また、施工ジョイントや取水口などコンクリート構造物との接合部などの水密性の確保にも設計、施工において十分注意する必要がある。

(b) 排水のための中間層

遮水壁破壊の主要因の一つとして、遮水壁背面からの水圧の問題がある。とくに基盤より湧水のある場合は危険である。アスファルトの混合物はクリープしやすい材料であり、かつ長時間にわたり作用する荷重に対しては大きな応力に耐えられない特性をもつので、排水機能について入念な配慮が要求される。従って、中間排水層はアスファルト遮水壁の保守管理上からは必要なもので、上層より漏水した水をすみやかに排水するための大きい透水係数を持ち、かつ厚い断面が要求される。中間層が無い場合には漏水の状況把握が難しいので、排水砂礫層をブロック割りにして、埋設計器などで遮水壁からの漏水の経路が池底の監査廊内で確認出来るような監視体制を検討する必要がある。

(c) 斜面上の安定性

遮水壁が斜面上で安定であるためには、一般に力学的釣り合いが必要であり、この条件から厚さを算定することがある。斜面勾配に対する安定厚さの算定は舗装体の密度、内部摩擦角および粘着力によって決定する。一般的にはスロープフロー試験により、斜面に設置した試料のフローを測定し、近似的に解析する方法がとられている。

(d) 耐 久 性

耐久性からみれば、混合物の空隙率が支配的な要因と考えられるが、(a)の項で述べたように 4% 以下程度であればとくに問題はない。また、材料の面からすれば、アスファルトの剥離を生じ易い骨材や、吸水率が高く凍結融解作用に弱い骨材などは耐久性の点から避ける配慮が必要となる。原設計の舗装厚さについて、日本の水工アスファルトの基準にしたがって計算した結果を下表に示した。

遮 水 壁 厚 さ の 検 討

項　　目	計算層厚 (cm)	設計層厚 (cm)	備　考
(a) 耐久性に対する厚さ	6	20	経験的には最小厚さ4.5cm以上とされている
(b) 不透水性に対する厚さ（密粒層）	2.3	10	許容漏水量を池容量の0.01%とした場合
(c) 衝撃波圧に対する厚さ（全層厚）	15.2	20	安全率を1.3 風速30m/sの場合

上記計算結果によると、設計層厚は計算層厚に対して、充分な余裕をもっており、遮水壁の厚さについては安全な設計と言える。

(e) 排 水 設 備

上部調整池の遮水壁には中間排水層を設けないことになっており、遮水壁については、特に排水を目的とする構造物はない。従って、遮水壁背面の砂礫層と監

査廊が堤体からの排水機能を持つこととなる。アスファルトからの漏水、浸透水、地山からの湧水、雨水など堤体からの排水を必要とする流入水は多い。これらは堤体の排水機能が悪いと、遮水壁に背圧を生じ、貯水池水位低下時に遮水壁の破壊の原因となることがある。現設計ではアスファルトからの漏水、浸透水は遮水壁背面の砂礫層から堤体の下部に設ける監査廊内に導き堤体外に排水する構造としている。

基本的にはこの考え方は妥当であるが、施工時に地山からの湧水がある場合には、基礎に排水トレンチを掘り、湧水量に応じたコンクリートまたは鋼管を埋設して、直接監査廊に導くことが必要である。沼原（日本）の例では、堤体の基礎が岩盤ではなかったので、排水砂礫層下部全面に縦、横の排水トレンチを数多く設け、湧水ヵ所にはパイプを埋設して監査廊に導く構造としている。

(7) 監 査 廊

現設計では池底面部の周辺に高さ 2.2m 、幅 1.5m の監査廊が設置されている。監査廊の平面的には斜面部との交点から池側約 20 ～ 50mに位置している。
遮水壁の施工機械は斜面部と底面部では異なることから、監査廊の位置は交点に設置するほうが舗設はやりやすい。また、底面は取水口に向かって低くなる勾配であれば、底面からの漏水、または湧水があれば監査廊にこれらを集めることも出来るし、アスファルト舗設などの工事中の雨水の排水にも重要な排水設備である。

(8) そ の 他

このほか上部池の重要な構造物として、取水口があるが、この構造については水理模型実験、アスファルト遮水壁との接合部の構造等を含めて十分な検討がなされているので、コンクリートとアスファルトの接合部の施工に十分注意すれば、特に問題はないものと考えられる。

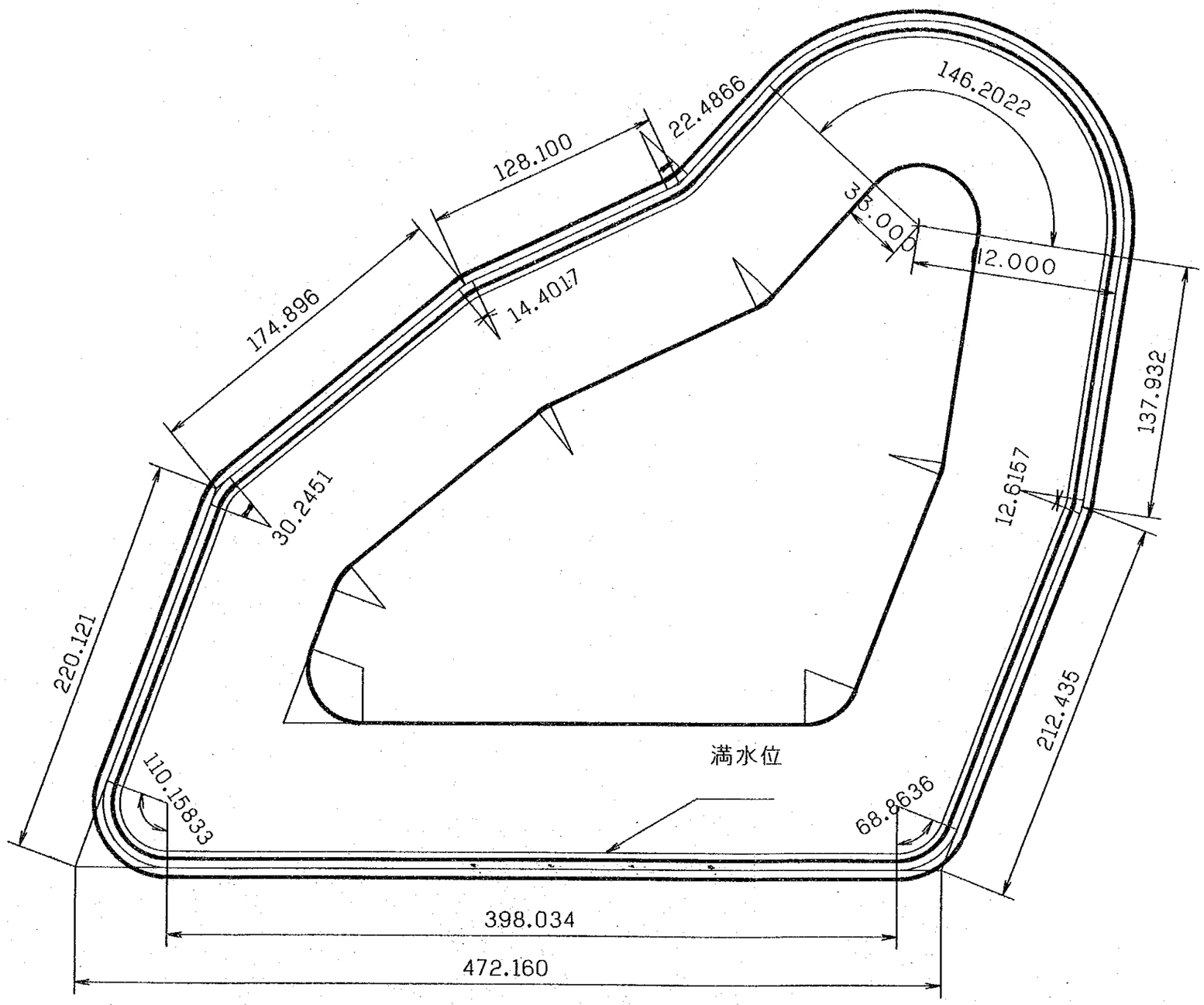

146.2022
22.4866
128.100
36.000
12.000
174.896
14.4017
137.932
30.2451
12.6157
220.121
212.435
110.15833
68.8636
満水位
398.034
472.160

図 - Ⅱ.6.3-1　池形状現案

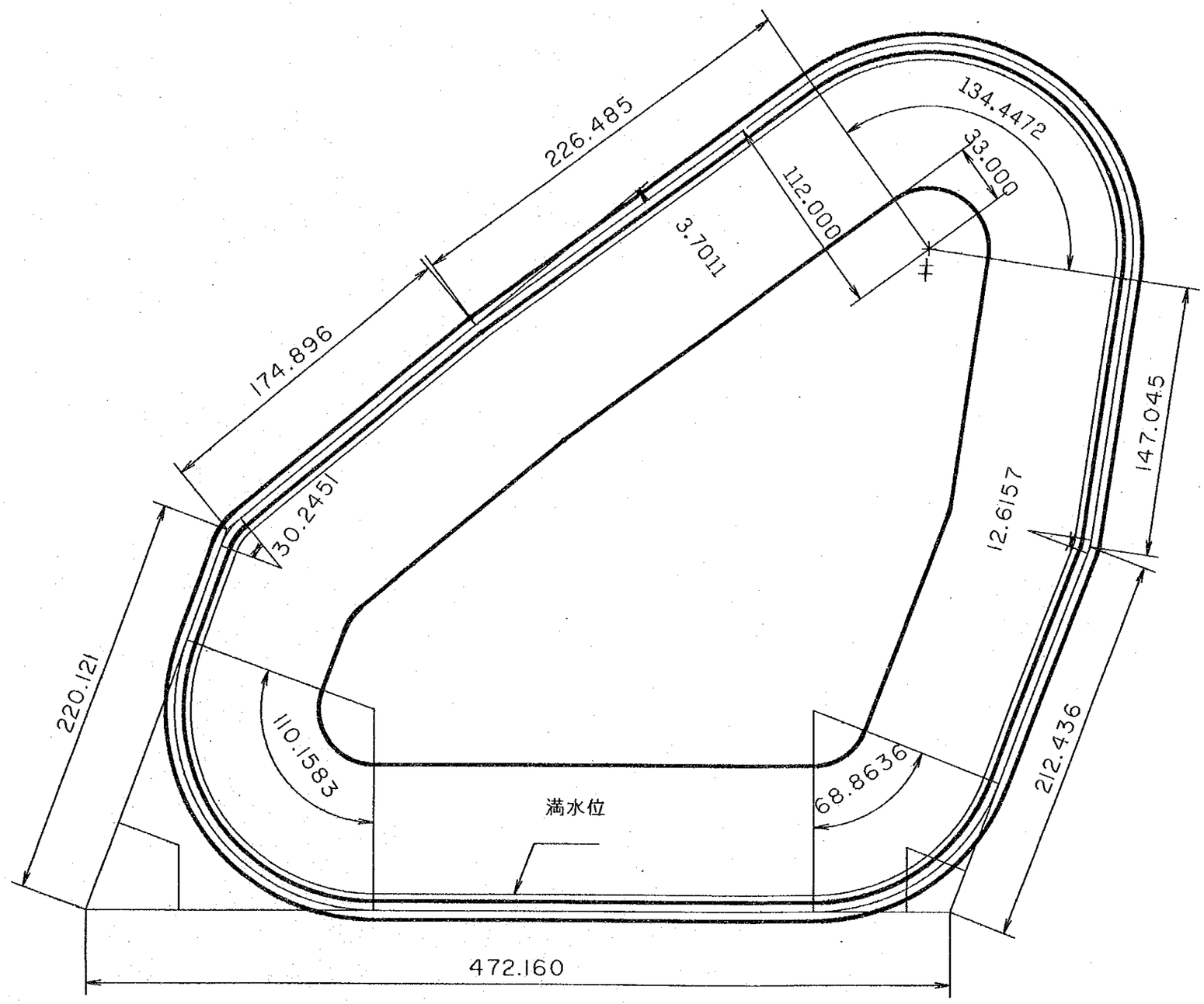


図 - Ⅱ.6.3-2　池形状代替案

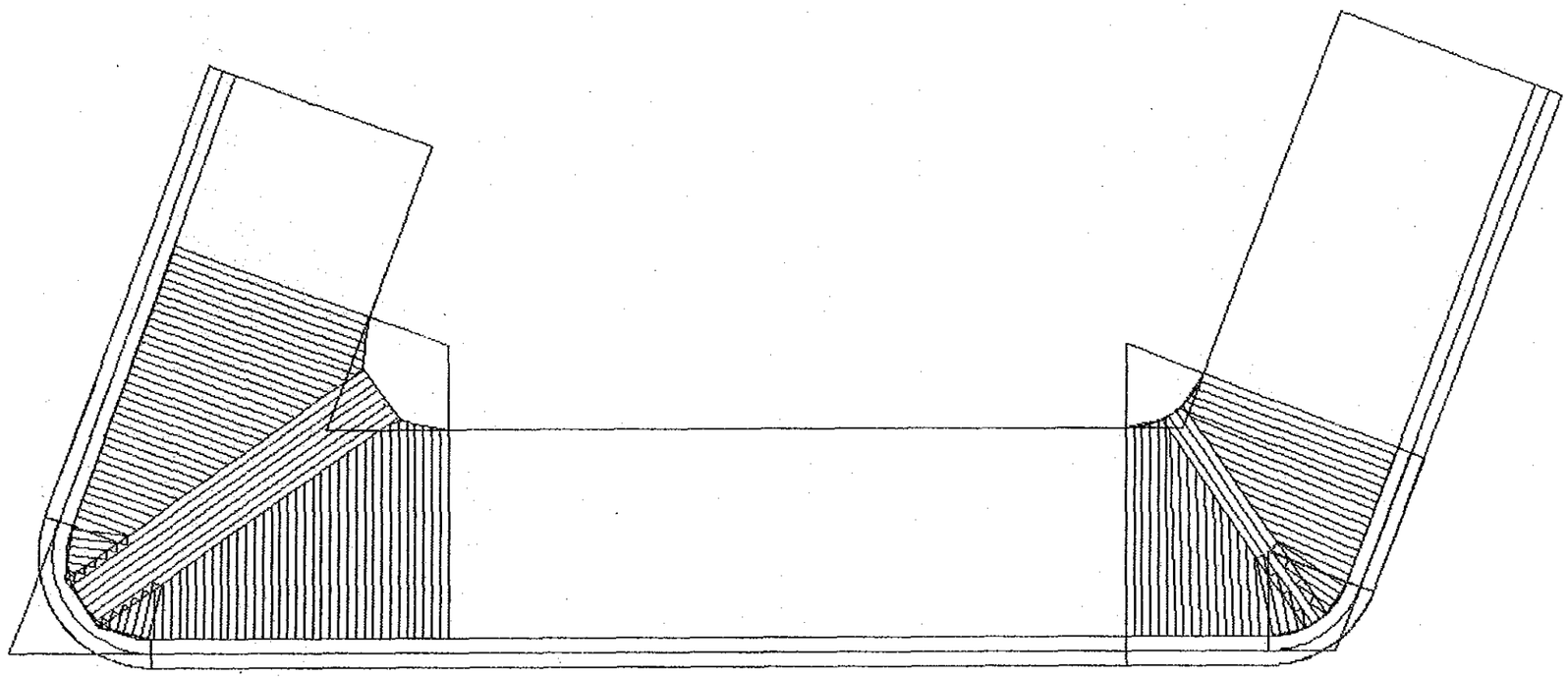


図 － Ⅱ.6.3-3　曲面部(現設計)ほせつレーン割り

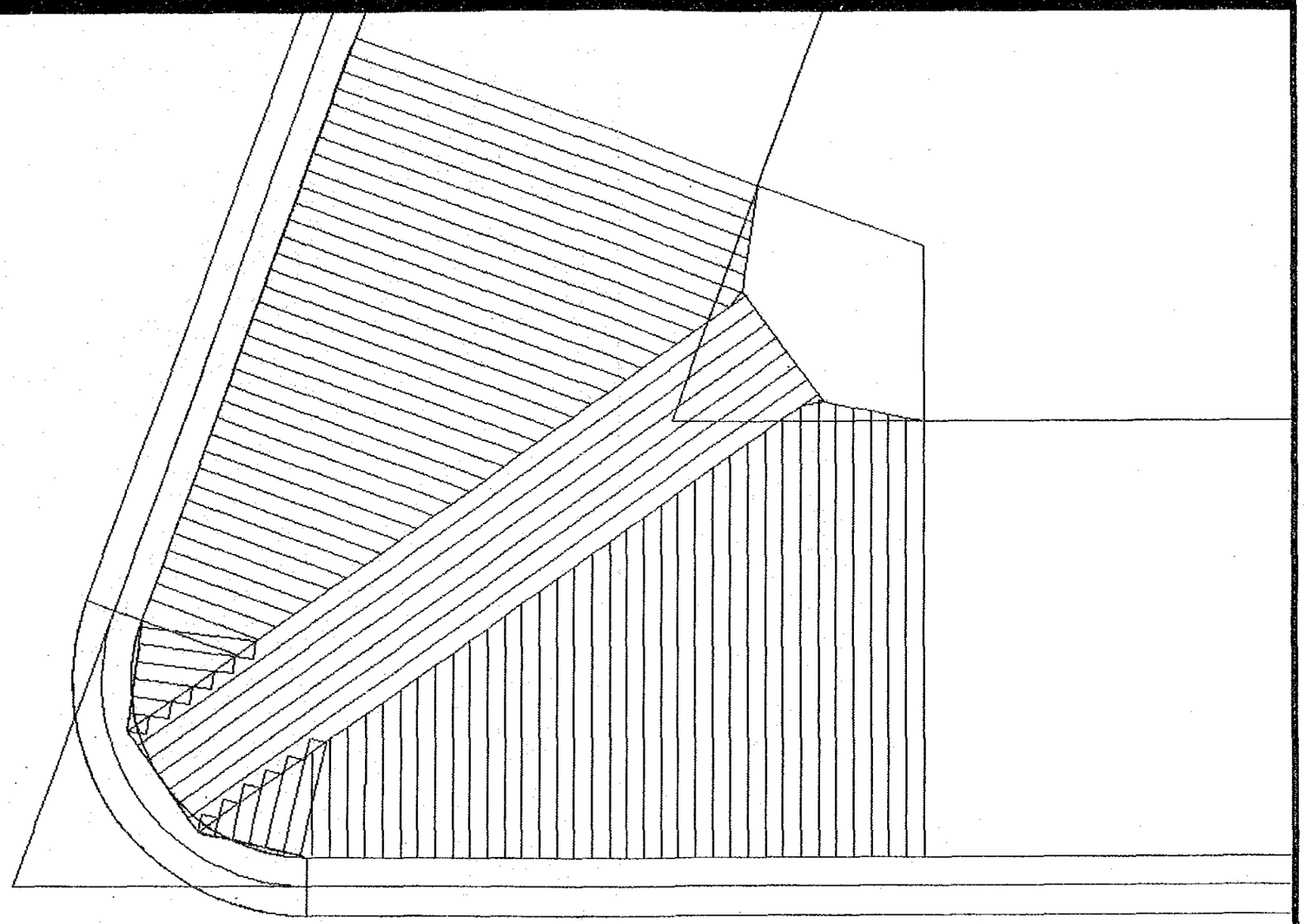


図 － Ⅱ.6.3-4　曲面部(現設計)ほせつレーン詳細

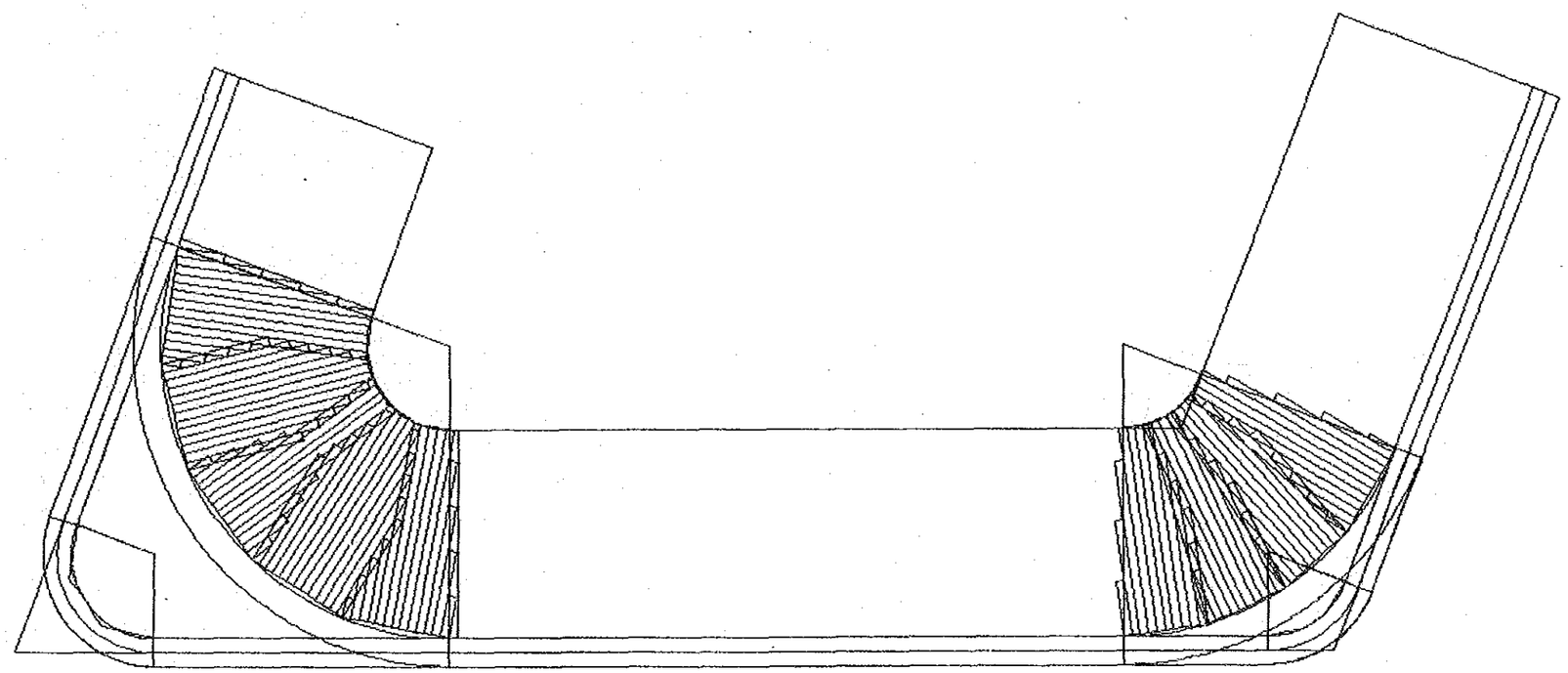


図 - Ⅱ.6.3-5　曲面部(代替案)ほせつレーン割り

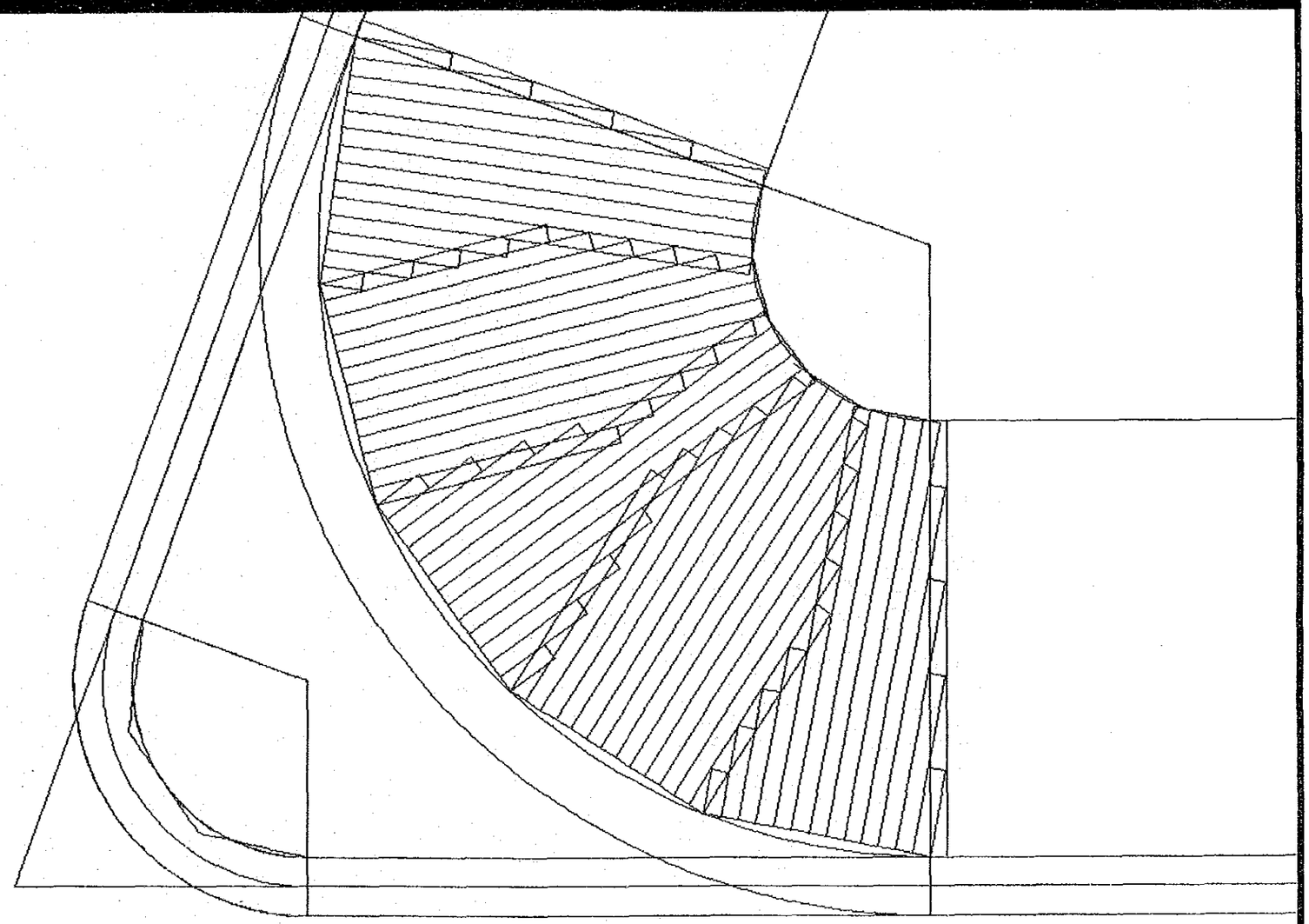
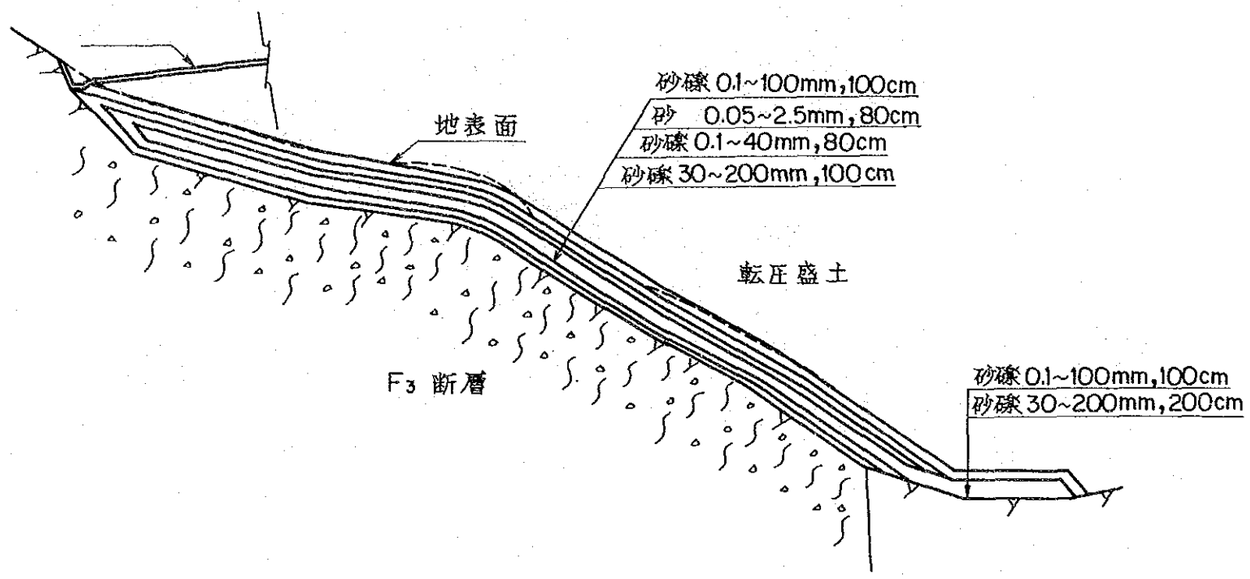
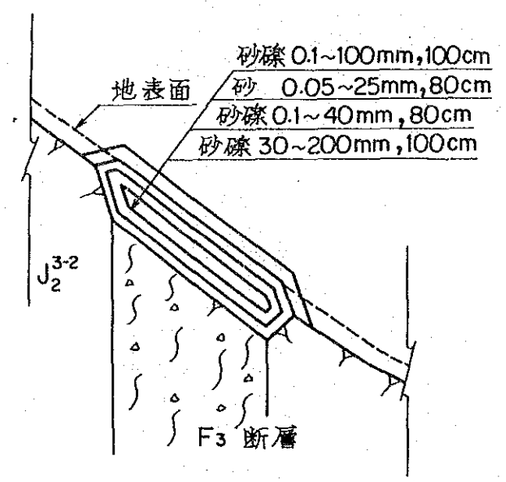


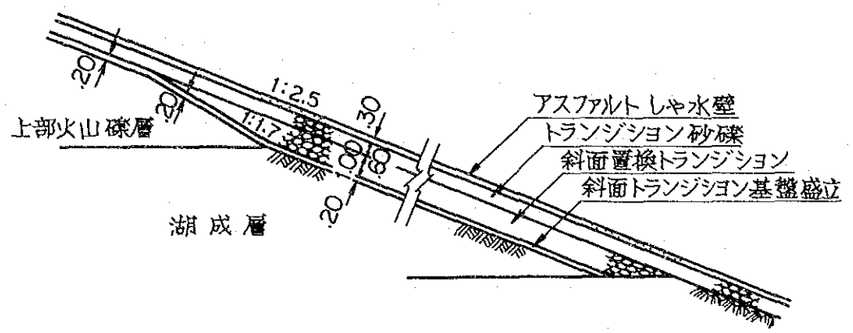
図 － Ⅱ.6.3-6 曲面部(代替案)ほせつレーン詳細

十三陵上部調整池断層処理

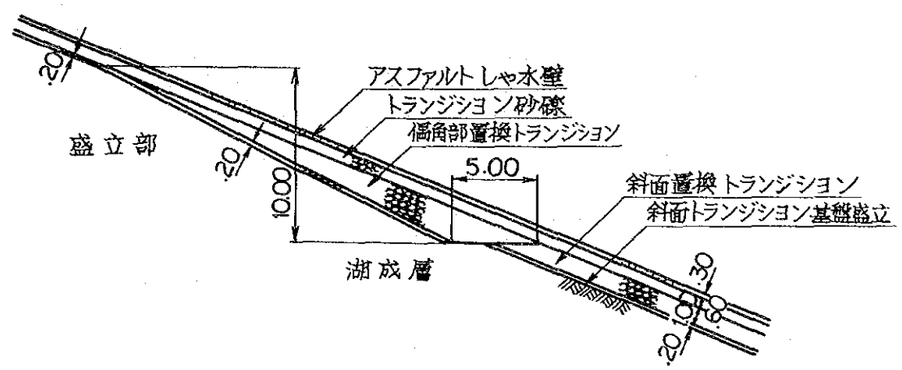




沼原ダムの処理例



トランジション増厚部断面
（地盤軟弱部）



トランジション増厚部断面
（盛立部と掘削部の境）

十三陵揚水発電開発計画	
上部調整池 断層処理	
図-II.6.3-7	年 月 日

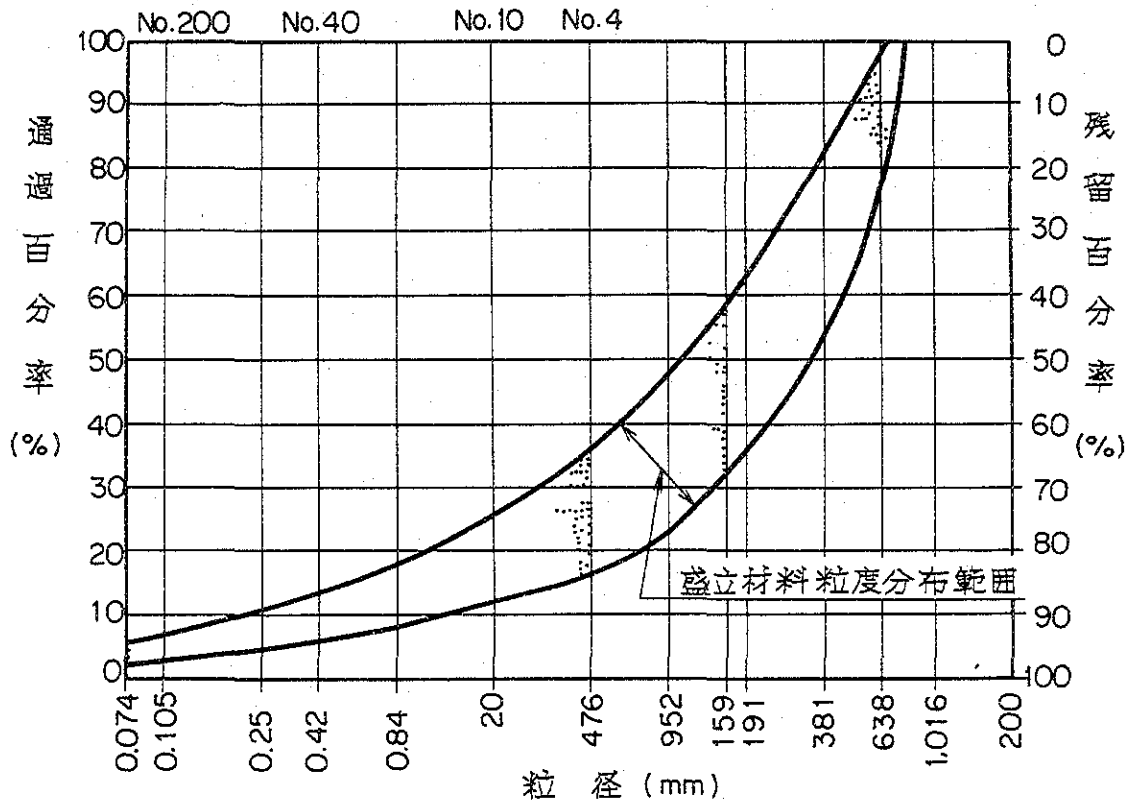


図-Ⅱ.6.3-8 トランジション材料の粒度分布範囲（沼原）

表－Ⅱ.6.3-1　基岩、堤体材料設計値

種　類	比重 t/m³	乾燥密度 t/m³	間隙比 e	湿潤密度 t/m³	飽和密度 t/m³	常時 内部摩擦角度	常時 粘着力 kgf/cm²	飽和時 内部摩擦角度	飽和時 粘着力 kgf/cm²
堤体材料	2.86	2.0	0.43	2.1	2.30	40	0	38	0
砂礫材料	2.86	2.1	0.362	2.2	2.37	40	0	38	0
強風化基岩	2.82	2.55	0.1059	2.6	2.65	36	1	34	1
弱風化基岩	2.83	2.74	0.0339	2.76	2.77	37	2	35	2
F_3，F_{102} F_{107} 断層	2.82	2.55	0.1059	2.6	2.65	22	0	22	0
F_{109}，F_{118} 断層	2.82	2.55	0.1059	2.6	2.65	20	0	20	0

表－Ⅱ.6.3-2　ダム安定計算結果

位　置	常　時	地震時	施工時
上　流	1.426	1.132	1.527
下　流	1.588	1.371	－

6.3.3 材 料

(1) ダム堤体材料

上部調整池のうち、ダムの部分は2ヵ所あり、主ダムは高さ70m、副ダムは高さ10mである。ダムの堤体材料は池掘削で得られる主として安山岩を流用して使用する計画である。ダムの盛り立ては強風化岩と弱風化岩との混合材を使用するが、下流主ダムの下部は比較的強度が大きい弱風化岩を使用し、間隙率22～26%になるようにローラにより転圧することとされている。堤体材料の物性値は強風化岩で比重2.82、内部摩擦角36度、弱風化岩で比重2.83、内部摩擦角37度を目標値として安定計算を実施している。

本ダムは表面遮水壁タイプであり、最も注意すべき点は完成後のダムの沈下を極力少なくすることである。盛土に使用する材料は弱および強風化安山岩を主としている。この盛立て材料は安定計算に使用されている物性値から類推すると岩というよりも土に近い。

盛立ての安定計算、変形計算は実施されており、設計値として採用された物性値を満足する材料が現地で得られればダムの安定上問題はないと思われるが、現場におけるこれらの材料の品質管理を十分に行なうことが重要である。また、これまでの実績では、盛立て材料を出来るだけ薄い層でまきだし（土質材料の場合30～50cm、風化岩の場合50cm～1m）、10ton 以上の重い振動ローラで締め固めれば、完成後の沈下は極めて少ない事が実証されている。

なお、盛り立て材料の含水比が高い風化岩の場合は、施工時および完成後の間隙水圧の発生も考えられ、施工中に間隙水圧の消散を促進するために、場合によってはダム堤体に鉛直および水平方向の排水砂礫層が必要になるかも知れない。

とにかく、堤体の盛立に先立ち、実際に使用する材料を使って現地で盛立試験を行ない、まきだし厚さ、転圧機械および転圧回数などを決定することが必要である。

(2) アスファルト遮水壁材料に関する試験

遮水壁の材料はアスファルト、フィラー、細骨材、粗骨材、そして各種の添加剤からなる。アスファルトを含めて、全ての遮水壁材料は中国産を利用する計画である。

本計画に使用を予定されているこれらの材料の物理的、工学的試験は既に中国側で以下の項目について実施されている。

(a) アスファルト材料試験。

(b) 配合比の検討。

(c) 物性試験。

(d) 耐凍結試験。

(e) 劣化試験。

(f) 透水試験。

すでに実施された上記材料試験の概要およびその結果の技術的評価を以下に述べる。

(a) アスファルト

アスファルトは中国遼定省産の遼河 140号、歓喜玲 AH-90号などが使用される予定である。これまでに実施された物性試験の結果は表－Ⅱ.6.3-3の通りである。 斜面舗設用のアスファルト材料でとくに注意すべき点は、斜面の勾配や厳しい気象条件のもとでの斜面の安定性である。このためには材料の針入度、軟化点が重要である。試験の結果によれば、軟化点は問題ないが、針入度は81～100 とかなり柔らかい。上池の遮水壁の勾配は 1:2であり、斜面の安定から考えると、経験的には針入度は60～80程度のものが望ましい。沼原（日本）の例では、斜面の勾配１：2.5 に対し、針入度60～80が使用され施工性、完成後の斜面の安定にたいして良好な結果が得られている。

しかし、アスファルトの製造から使用までの時間が長かったり、現場での加熱時間、加熱温度などの管理が悪いと、劣化する場合もあるので、これらの影響についても充分検討のうえ、結論を出すことが望ましい。いずれにしても、アスファルトは製造課程で品質のばらつきがないように以下の点に注意が必要である。

・原油の種別、産地およびアスファルト製造法と、アスファルトの品質との関係を明らかにすること。

・アスファルトの品質は同一精油所製品でも時期によって変動するので検収試験を必ず実施すること。

(b) フィラー（石粉）

フィラーは北京市アスファルト総工場の石灰（$CaCo_3$）が使用される予定である。篩分け試験の結果では粒度が安定しており、0.074mm篩い通過率も72.7%でほぼ日本のものと変わらない。従って、本材料の使用は妥当と考えられる。

(c) 細 骨 材

龍風山川砂利のなかで5mm以上の粗粒子を除いたもが使用を予定されている。

これまでの試験結果では問題ないとされているが、水利アスファルト用としては若干粗いようである。特に、0.15～0.30mmが不足していて、F.M（粗粒率）が2.94～3.22となる。

密粒度アスファルトコンクリートの空隙率が最も小さくなるのは細骨材のF.Mが 2.0～2.2 程度であるので、 F.Mが 1.8～2.0 程度の細砂を1：1で混合して使用することが望ましい。

(d) 粗 骨 材

アスファルト混合物に使用される骨材は硬くて、磨耗性が小さく水浸をうけても付着性が損なわれない材料で、加熱混合して使用する場合には、加熱のため砕けやすくならない材料であることが必要である。

粗骨材は南口および風山の材料についての試験結果がある。これらは粒度が不安定で、中国の基準超過粒径含有量が多いとされている。しかし、これらの大粒径のものを除けばとくに問題はないものと思われる。

なお、骨材の岩質によってアスファルトとの付着性が悪いものがある。上部調整池のアスファルトコンクリートに使用される骨材の岩質は南口産の石灰岩とされており岩質としては剥離に関して問題は少ないと思われるが、長期の水浸マーシャル試験を実施して、マーシャル安定度の低下について確認しておく必要がある。水浸マーシャル試験とは、マーシャル試験用供試体を60℃の恒温水槽に1～3ヵ月水浸してからマーシャル試験を行い、残留安定度を求めるものである。

$$\text{残留安定度}(\%) = \frac{\text{水浸供試体安定度}}{\text{標 準 安 定 度}} \times 100$$

もし、残留安定度が 95%以下に低下する場合には剥離防止剤として消石灰を、全骨材重量の１％程度使用すれば効果的である。

(3) アスファルト遮水壁の予備的配合

前項で述べた試験の結果に基づき、アスファルトは遼亭省産のものを使用すること、骨材は南口で得られる石灰岩を使用すること、そして遮水壁のアスファルト含有率は粗粒層4.73%、密粒層 8.0%とすることで計画されている。予定されている標準的な配合は以下の通りである。

十三陵上部調整池アスファルトコンクリート標準配合

骨材粒度ふるい寸法（mm）								
20～15mm	15～10	10～5	5～2.5	2.5～1.2	1.2～0.6	0.6～0.3	0.3～0.15	0.15～0.074
密粒度（アスファルト 7.5～9.0 %）								
—	77.8～85.3	51.5～65.1	35.0～50.0	24.2～38.1	18.0～29.7	14.0～23.4	11.6～18.6	10.0～15.0
粗粒度（アフファルト 4.0～5.0 %）								
66.1～78.8	36.9～56.7	13.6～33.0	5～20.0	1.7～2.6	0.6～8.8	0.2～6.8	0.1～5.6	0～5.0

密粒度コンクリートの配合については、骨材の最大粒径15mm、石粉使用量13.25 %など沼原の例などと比較してほぼ同程度であり、妥当なものと判断される。

しかし、石粉を含めた細骨材率S/Aは52%となるが、アスファルトコンクリートの空隙率が最も小さくなる S/Aは55～60%程度である。（但し、アスファルトの含有率は７～９％の範囲で配合を変化させて、水密性、安定性、可撓性、耐久性そして施工性の良い配合を選定する必要がある。）

粗粒度コンクリートは沼原のものと比較すると粗いが、排水機能も要求している（透水係数10^{-2}cm/s）が、使用される砂の粒度は粗いことから原配合でも充分機能するものと思われる。

ここで、アスファルトコンクリート配合設計の基本について述べる。

アスファルトの配合設計において留意すべき点は、安定性、水密性、可撓性、強度および耐久性である。

(a) 安 定 性

安定性は、変形に対する目安であって、アスファルト混合物は、その応力が降伏点に達すると、粘性状に働き、時間の経過と共に変形し安定を失うに至る。

この安定性は、内部摩擦角θ、固有抵抗力τ、粘性μの値によって表すことが出来、これらの値は土質材料と同様に三軸試験によって決定できる。内部摩擦角はほぼ下表の値である。

固有抵抗力は主として、つぎの要素によって左右され複雑な値であるといわれている。

（ｉ）粗骨材相互のかみ合い抵抗力。

（ii）アスファルトの固有抵抗力。

アスファルト混合物の内部摩擦角の例

アスファルト混合物	内部摩擦角θ（度）
密粒度アスファルト・コンクリート	35
サンド・マスチック	10
砂＋アスファルト	24
砂＋フィラー＋アスファルト	28
砂＋フィラー＋30% 砕石＋アスファルト	29
砂＋フィラー＋60% 砕石＋アスファルト	30

（ii）はアスファルト混合物において、骨材相互の接触点のまわりにあるアスファルトの薄膜の剪断抵抗であって、アスファルト自身の性質、アスファルト混合物中のフィラーの量に左右され、温度が低く、アスファルトが硬いほど、フィラーの量が多いほど、大きくなる。アスファルト混合物の粘性は、アスファルト自体の粘性、温度、フィラーとアスファルトの混合比、粗骨材の含有量によって左右されるが、10～40度の範囲でアスファルトコンクリートは、ほぼ10^{11}ポアズ程度である。

以上に述べたように、アスファルト遮水壁の安定性は主としてアスファルト量と骨材の含有量によって決まり、想定される最高温度で検討されねばならない。

(b) 水 密 性

遮水壁に用いられるアスファルトコンクリートの透水係数としては、10^{-7}～10^{-10} cm/sec程度の値が一般に確保される。この値は、遮水壁にかかる水圧によって変化し、たとえば水圧 0.2kgf/cm²で10^{-7} cm/sec、10kgf/cm²で10^{-10} cm/secであるといわれている。設計にあたっては、充分転圧された空隙率2～5％の遮水壁の透水係数は、継目を通過する漏水を考慮に入れても、3kg/cm²の水圧で10^{-8}～10^{-9}cm/secが期待出来るとされている。水圧が増すと透水係数が小さくなるのは、アスファルトコンクリート内部のアスファルト粒子の移動による Plastic flow のため徐々に空隙が減少するからである。

一方、アスファルトは粘着力および粘性が大きいから、遮水壁内を通る透水によってアスファルト粒子自身が遮水壁外に漏出する恐れはない。

(c) 可 撓 性

アスファルト遮水壁は、コンクリート構造物等の弾性体と異なり、弾性であると同時に粘弾性であるため、ダム本体の部分的あるいは全体的な沈下に対してある程度亀裂なく順応して変位する。アスファルトコンクリートの可撓性をよくすると、時には安定性が損なわれるので、可撓性のみに極端に良好なものを求め得ないが、経験上近似的な円と考えた場合に、その中央の撓みがその直径の1/10になっても亀裂を生じない程度が適当な可撓性とされている。たとえ亀裂が遮水壁に発生しても、それが落ち着けばアスファルト混合物は高圧の下で自癒力があるので、その亀裂は癒着し遮水壁を通る漏水は減少する傾向がある。

(d) 強 度

遮水壁に用いるアスファルトコンクリートの許容曲げ強さは、安全をみて15kgf/cm²とされている。疲労破壊強度についてシートアスファルトの一例を挙げれば、1,000回の繰り返し荷重で50kgf/cm²、10,000回で10kgf/cm²に減少している。

引っ張り強さは、載荷時間と温度によって異なる。シートアスファルトの例では最大値は50kgf/cm²程度であるが、この値は、温度20度、16分の載荷時間で、4kgf/cm²以下に下がり粘弾性の性質を示す。圧縮強さは、変形の早さと温度に左右される。一例では、この値は変形率 1.6×10^{-5} cm/cm/s、-10℃で500kgf/cm²となっている。

コンクリートの弾性係数に対応するアスファルトコンクリートの硬性係数は、通常温度5度載荷時間 0.1秒で、ほぼ50,000kgf/cm²である。これは載荷時間、載荷回数、温度の影響を受ける。勿論、この硬性係数は、アスファルトの品質と配合によって異なる。

(e) 耐 久 性

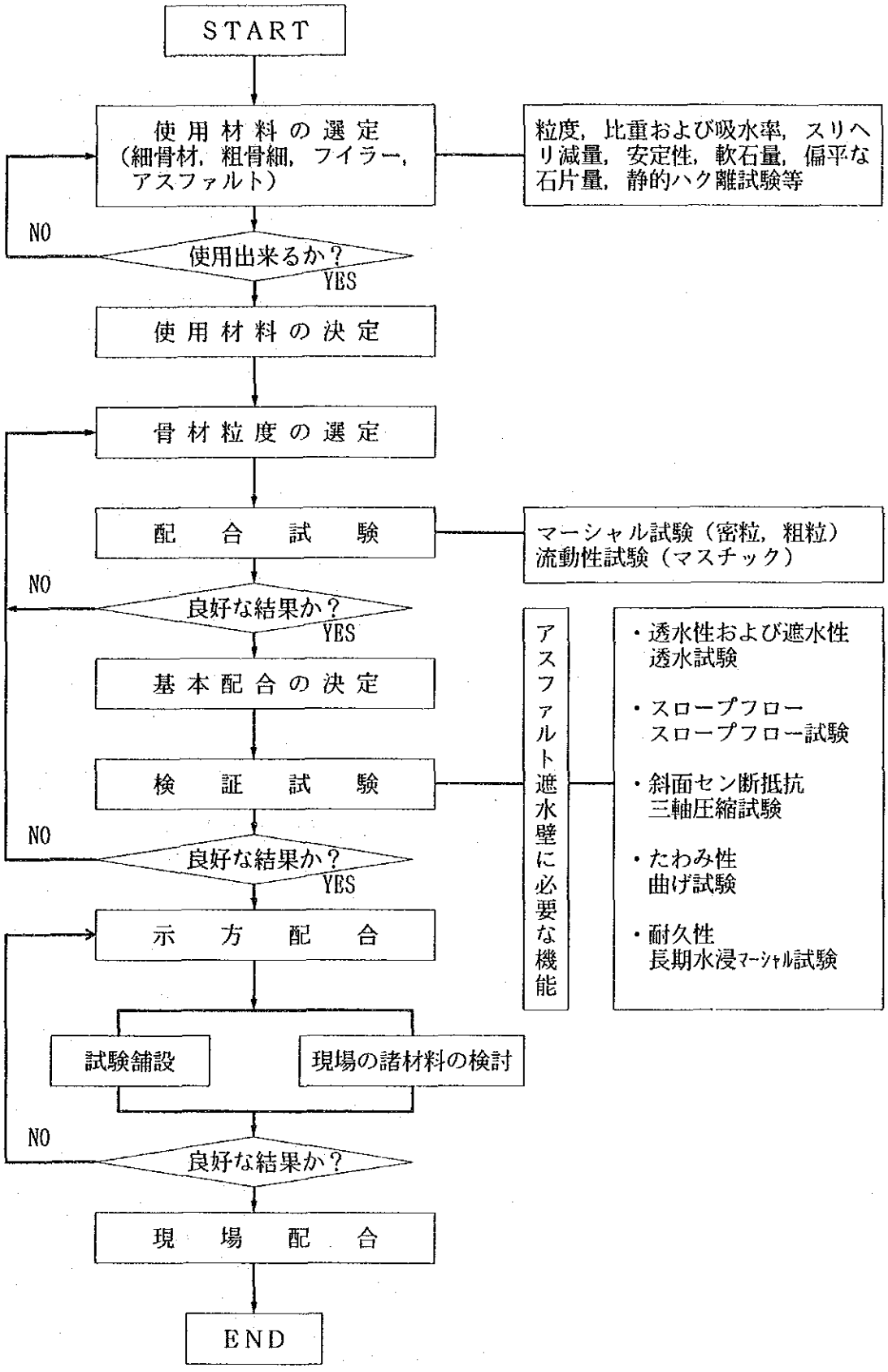
アスファルト遮水壁の建設は、まだ歴史が浅いが、他の目的に使用されたアスファルトの水理構造物の施工例は、有史以来豊富であり、その調査研究によれば非常に耐久性があることが判明している。

アスファルトは有機質であり、有機質なものは無機質（コンクリートなど）に比して太陽光線、空気等による劣化、酸化は避けられない。水中では水中の酸素の量が少ないことから、比較的耐久性がある。しかし、満水位より上の部分で空気、太陽光線に直接曝される部分は酸化、風化が進むので、最大限空隙率を小さくすること、保護層で表面を保護することが耐久性を保つうえで必要である。

図－Ⅱ.6.3-9に配合設計の手順を示した。また、参考として、表－Ⅱ.6.3-4に沼原、大津岐ダムの標準配合を示した。

表－Ⅱ.6.3-3　アスファルト材料試験結果

試験項目			試験結果
針入度（1/10 mm）		25℃	81～100
伸度（cm）5cm/min		25℃	140
		15℃	140
		0℃	4
軟化点		（℃）	45～50
四塩化炭素可溶分		（%）	99
薄膜加熱試験 163 ℃	重点損失	（%）	0.6
	加熱後針入度	（%）	60
	伸度（cm）5cm/min	25℃	100
		4℃	8
引火点		（℃）	230
比重（25℃/25 ℃）			1
脆化点		（℃）	- 10



図－Ⅱ.6.3-9　アスファルト遮水壁用アスファルト混合物の配合設計フロー

表－Ⅱ.6.3-4　沼原・大津岐ダムの標準配合

（単位：全重量%）

地点	配合の種類		アスファルト（%）	骨材粒度（%） 30～15mm	15～10	10～5	5～2.5	2.5～0.074	0.074未満	計	石粉（%）	消石灰（%）
沼原	密粒	上層	8.5	-	11.5	15.0	11.0	48.8	13.7	100	8～10	2～3
沼原	開粒	中間	4.0	46.0	24.0	7.0	7.0	12.2	3.8	100	約 3	約 1
沼原	粗粒	上	5.5	-	23.0	23.0	14.0	34.1	5.9	100	約 4	約 1
沼原	粗粒	下	3.5	55.0	30.0	10.0	-	4.7	0.3	100	-	-
大津岐	密粒	上層	8.5	-	5.4	18.5	8.4	55.1	12.6	100	-	0.8
大津岐	開粒	中間	4.0	32.8	38.1	11.4	5.7	9.2	2.8	100	-	-
大津岐	粗粒	上	6.5	-	16.9	30.7	16.7	30.6	5.1	100	-	-
大津岐	粗粒	下	3.0	47.4	30.6	10.0	3.8	7.4	0.8	100	-	-

6.3.4 技術評価

(1) 底部遮水壁について

貯水池内底部の遮水壁の必要性の有無は底部基礎岩盤の遮水性によって決まる。

上部調整池底部のボーリング、立て坑などの調査結果によると、池部全域が火山性の風化安山岩で覆われており、地下水位は標高460m付近で確認されている。また、一般に安山岩はクラッキーで透水性は極めて大きい。一方、本調整池は流域も小さく、自己流域からの流入水は殆どない。揚水発電所の必要最小限の容量をもち、上池としてその機能を最大限に発揮するためには、その漏水対策として池内部の完全な遮水が不可欠である。

広範囲を遮水する方法としては、土質材によるブランケット、ゴムシートなど種々考えられるが、前者は付近に適当な土質材料が無いこと、後者は上部池の最大水圧が35m以上と比較的大きいこと等問題点もあり、アスファルトコンクリートまたはコンクリートによる遮水が多くの実績もあり最も確実な方法である。両者の選択は経済比較や工期の比較によって決定されるが、平坦な底面における施工速度はアスファルトが圧倒的に速く容易である。

(2) 監査廊の必要性について

監査廊の目的は、一般にダム底部の基礎グラウトの施工、ダム完成後の漏水管理などのために設置される。本上部池は全面アスファルトコンクリートで覆われるため、その目的は排水砂礫層からの池底部へ導かれる湧水、遮水壁からの浸透水または漏水を砂礫層の中に貯めることなく速やかに堤体外へ排水することによって、アスファルト遮水壁背面からの水圧を排除することを目的としている。

本上部池の基礎の地質は比較的透水性が高いが、雨水の流入、湧水などの流入水により将来的には岩盤の亀裂は目づまりを起こすことも充分考えられ、その完全な排水機能は期待出来ない。従って、排水機能の確保そして遮水壁からの漏水など、異常を管理するためには監査廊の必要性は充分ある。現設計では底部周辺に設けられているが、その設置位置は、アスファルトの施工性を考えて、斜面部との交点および底面最低部に設けることが一般的である。

(3) 基本設計に関する妥当性の評価

構造物の設計に関しては、3.2の項でそれぞれについて、現設計に対する技術的評価を行った。それぞれの評価の中で、中国側の実施した現設計全般に対して注意事項について述べたが、池形状を含めて設計については充分に調査、検討されており、中国側で実施した基本設計は概ね妥当なものであるといえる。しかし、詳細設計および施工に当たっては以下に挙げた幾つかの項目に対して更に検討を加える必要がある。

・遮水壁曲面部、とくに曲率の小さい部分についての機械施工について。

・風化基礎岩盤の判定基準。

・断層処理方法の簡素化。

・現地凍上試験による斜面部アスファルト遮水壁基盤排水層の厚さの確認。

・監査廊位置。

・アスファルト材料試験および配合試験。

・アスファルトコンクリート供試体の暴露試験。

・遮水壁舗設試験。

上記各項目については構造及び材料の項で対応策について記述したが、とくにアスファルト遮水壁の施工は適性な施工機械の選定と十分な経験を持つ業者を選択し、設計の思想が十分に施工に反映出来るような指導が必要である。

6.4　遮水壁の施工に関する技術評価

6.4.1　アスファルト遮水壁の技術的動向

アスファルトは、古くから道路舗装や建築構造物に使用されてきたが、近年特に自動車工業の急激な発展と、膨大な石油消費にともなう石油アスファルトの出現と相俟って、近代土木に欠くことの出来ない重要な材料と認識されるに至っている。

近代的なダムの遮水壁に応用された例は、1936年アルジェリアに建設されたGhribダムが最初であり、その後オーストリア、ドイツ、フランスなどにおいて、ダムの遮水壁として広く用いられてきた。その後、1950年代から1970年代の前半までに数多くのアスファルトフェーシングダムが建設され、大型のものだけでも100を越える地点が完成している。十三陵揚水上部調整池のようなプールタイプだけでも、これまでに30ヵ所以上建設されている。プール式タイプで代表的なものは、1957年に完成したGeesthacht（西ドイツ）および1962年に完成した Vianden（ルクセンブルグ）などであり、遮水壁の面積も20万㎡を越える規模である。

1970年代以降では比較的大規模なものとして沼原（日本、20.2万㎡）およびHoruberg（西ドイツ34.5万㎡）などがある。1970年代中期以降は中東紛争を因とする石油製品価格の高騰もあり、アスファルトフェーシングタイプダムの流行から、コンクリートフェーシングタイプダムに移行しつつあったが、石油製品価格の低下とともに1980年代にもアスファルトフェーシングタイプダムが作られるようになってきた。

1980年代に完成した代表的な大規模アスファルトフェーシングタイプの貯水池は万場（日本）であり、その舗設面積は17.5万㎡である。但し、万場調整池の底面部は全面ゴムシートライニングになっている。

このように、アスファルトフェーシングタイプダムは世界でも多くの実績を残しており、技術的には完成されたものである。遮水壁設計の思想は変わっていないが、施工機械はフィニッシャー、転圧機械などの性能向上もあり、より確実な舗設が可能になってきている。表－Ⅱ.6.4-1に世界各国の水理構造物におけるアスファルトの実績を示した。

表－II.6.4-1　　世界のアスファルト遮水壁型ダム（プール式）

名　　称	建設年	国	貯水容量 ($10^6 m^3$)	ダム高 (m)	しゃ水壁面積 ($10^3 m^2$)			しゃ水壁のり面勾配	しゃ水壁厚さ (cm)
					のり面	底面	計		
De Soto St	1941	アメリカ			3.3	2.2	5.5	1:1.75, 1:1.5	10
Rowena	1942	アメリカ			6.3	2.0	8.3	1:2.5, 1:1.5	10
Elysian	1943	アメリカ			26	5.3	31	1:3, 1:2	7.5
Beldwin Hills	1951	アメリカ	1.1		44	39	83	1:2.5, 1:2	7.5
Ivanhoe	1952	アメリカ			15	21	36	1 : 2	7.5
Eagle Rock	1953	アメリカ			24	9.4	33	1 : 2	7.5
Green Verdugo	1953				14	3.7	18	1 : 2	7.5
Shotton	1953	イギリス		4.5			24	1 : 2.5	7.5
Reisach - Rabenleithe	1953	西ドイツ	1.5	16	コンクリート	8.8		1 : 2	底面 12
Geesthacht	1957	西ドイツ	3.3	17～26	80	220	300	1 : 2.5	のり面 12, 底面 11
Schwarzach	1958	オーストリア	1.5	26～34	40	35	75	1 : 1.75	18
Talvera	1959	イタリア	0.12	5			32	1 : 1.75	
Rosswiese	1959	オーストリア						1 : 1.75	15
Valdurna	1959	イタリア	0.04	6.5			12	1 : 1.75	
Leitzach	1960	西ドイツ	0.6	6.5	コンクリート	109		1 : 1.75	底面4.5＋アスチェック2層
Vianden I	1962	ルクセンブルク	3.1	19	73	147	220	1 : 1.75	のり面 19, 底面 9
Vianden II	1962	ルクセンブルク	3.9	19	96	195	291	1 : 1.75	のり面 19, 底面 9
Hieflau	1963	オーストリア	1.8	12	40	145	185	1 : 1.75	のり面 11, 底面 8
Taum Sauk	1963	アメリカ	5.3	33	コンクリート	158		1 : 3	底面 10
Erzhausen	1964	西ドイツ	1.5	17	66	105	171	1 : 2	のり面 19, 底面 25
Glems	1964	西ドイツ	0.8	21	37	33	70	1 : 1.75	のり面 21, 底面 23
Eggberg	1966	西ドイツ	2.0	26	63	70	133	1 : 1.75	のり面11～15, 底面 9
須　山	1967	日　本	0.1	4 ～7.5	14	10	24	1 : 2.5	10
Ronkhausen	1967	西ドイツ	1.0	18	35	70	105	1 : 1.8	9
Seneca	1968	アメリカ	3.3	24	104	111	215	1 : 2	のり面15.5, 底面 8
Coo-Trois Ponts I	1969	ベルギー	4.0	33～50	100	110	210	1 : 2	のり面9 ～12, 底面8 ～ 10
東 富 士	1971	日　本	1.2	22	60	アスファルト80		1:3, 1:2.5	のり面 24, 底面 14
中 津 川	1971	日　本	0.6	32		コンクリート25		1 : 1.8	のり面 23, 底面 20
Coo-Trois Ponts II	1972	ベルギー	4.0					1 : 2	のり面9 ～12, 底面8 ～ 10
Turlough Hill	1973	北アイルランド	2.1	34	67			1 : 1.75	のり面9 ～12, 底面8 ～ 10
Ludington	1973	アメリカ	102	40	600	87	154	1 : 2.5	のり面15～17.5
沼　原	1973	日　本	4.3	48	148	ローム		1 : 2.5	のり面 30, 底面 24
Revin	1973	フランス	7.0	10～20		54	202	1 : 3	12
Waldeck II	1974	西ドイツ	4.4	42			345	1 : 1.75	
Hornberg	1975	西ドイツ	4.0					1 : 1.6	13＋バインダ層
Rodund	1975	オーストリア	1.0	50				1 : 1.7	のり面 14, 底面 11
万　揚	1989	日　本	5.4	28.6	151	ゴムシート		1 : 2.7	のり面 26, 底面シート

6.4.2 遮水壁施工機械について

(1) 機械の仕様

遮水壁の施工に必要な機械はアスファルト混合物製造プラントおよび舗設機械である。これらのプラントはダム近傍の排水良好な場所に設置する。

プラントの主要部は

(a) アスファルトおよび骨材の貯蔵ビン

(b) 骨材およびフィラーの乾燥用ドライヤー

(c) アスファルト溶解装置

(d) アスファルト、骨材、フィラーの混合用ミキサー

(e) 練り上がった混合物の貯蔵ビン

などである。

また、品質管理を厳重に行なう必要があるので、正確な計量と温度測定装置を備えたバッチ形式が選ばれる。工程、施工量よりプラントの能力が決定される。

ミキサーは一般に2軸式のッバグミル型のものを使用し、ミキサーに投入された骨材とフィラーは10秒以上空練りした後、アスファルトを注入し30秒以上混合する。

遮水壁のアスファルトコンクリートの舗設は、完全な密度を得るために機械施工を原則としている。池の底面など平坦な部分の舗設は道路のアスファルト舗設と基本的に変わるものではないが、斜面部の舗設はフィニッシャー、ウインチなど斜面専用の特殊な機械が必要である。上部池の舗設は中国製の機械を主に使用する予定とされているが、斜面専用の舗設機械は新たに手配する必要がある。

以下に十三陵揚水上部調整池のアスファルト舗設に必要なプラントおよび舗設機械の仕様について述べる。

（プラント）

(a) フィラー・添加剤サイロ

能　　力　：32ton

(b) フィラー・添加剤ドライヤー

能　　力　：10ton/h x 2 基

(c) 骨材用ドライヤー

寸　　法　：径240cm x 長700cm

能　　力　：150t/h

(d) 骨材用サブドライヤー

寸　　法　：径167cm x 長610cm

能　　力　：60ton/h

(e) 骨材用集塵機

型　　式　：湿式マルチクロン

(f) 混合プラント

型　　式　：バッチ式

能　　力　：120ton/h

ふるい装置：振動式 1080cpm

計量装置

最小目盛：骨材　　2.5kg

フィラー　2.5kg

アスファルト

0.25kg

ミキサー　：2 軸パグミル

2.12㎥

(g) アスファルトタンク

容量・基数：30ton x 4

加熱方式　：間接、ホットオイルヒータ

（斜面舗設）

(a) 主ウインチポータ

斜面の舗設のためにアスファルトフィニッシャーをウインチにより吊り下げ、斜面走行の手助けを行うものである。これまでの実績ではウインチのほかにダンパー車、フィニッシャー、転圧機械をそのまま搭載し、施工レーンの切り替えを同時に行えるものとフィニシャーのみを搭載できるものが一般的である。

走行装置　：自走または被牽引、クローラーまたはタイヤ

寸　　法　：長搭載機械によってきまる x　幅 7～8m x　高 8.0m

自　　重　：50ton ～60ton

舗設傾斜度：1:2 または 1:1.7～1:2.5 の可変

フィニシャー昇降用ウインチ

：0.6 ～6m/min（昇）、20m/min （降）

ダンパー車昇降用ウインチ

：60m/min

動　　力　：200V 100～200HP

(b) ダンパー車

運搬されたアスファルトコンクリート合材を舗設斜面上のフィニッシャーまで輸送し、供給する運搬機械である。

走行装置　：被牽引 4輪タイヤ式

自　　重　：3,500 ～4,000kg

積載容量　：　2m³

(c) アスファルトフィニッシャー

アスファルトコンクリートの舗設に最も重要な機械である。表面の仕上げはフィニッシャーの良否によって決まる。従って、機器の選定には十分な配慮が必要である。

走行装置　：（斜面部）被牽引、タイヤ式

自　　重　：10ton 程度

舗設幅　　：3,030 ～4,030mm

舗設厚　　：6 ～200mm

ホッパー容量：8ton

寸　　法　：長 6.0m x 幅 4.355m x 高 2.5m

タンパ　　：ストローク　3mm

振動数　　1800cpm

(d) ウインチデッキ

フィニッシャーの後方で舗設面一次転圧用の振動ローラを牽引するウインチを搭載した機械である。

走行装置　：被牽引 8輪タイヤ式

自　　重　：9,000kg

寸　　法　：長3.3m x　幅3.4m x　高2.1m

一次転圧ローラ昇降用ウインチ

：2 式

昇降速度　：10～50m/min

横行速度　：1m/min

(e) 副ウインチポータ

二次転圧用振動ローラを昇降ウインチとローラを積載するデッキを備えており、自走で天端を横行できる。

走行装置　：被牽引　タイヤ式

自　　重　：9,800kg

寸　　法　：長 7.5m x 幅 2.7m x 高 5.0m

二次転圧ローラ昇降ウインチ

：10～50m/min

(f) 締固め機械

一次転圧用振動ローラ

遮水壁およびジョイントの転圧による密度の向上。

自　　重　：900kg ～1,350kg

締固め効果：10～12ton

振動板　　：垂直方向 60cps

締固め幅　：750 ～900mm

台　　数　：2

二次転圧用振動ローラ

遮水壁およびジョイントの転圧による密度の向上。

自　　重　：1,350kg

締固め効果：12ton

振動板　　：垂直方向 60cps

締固め幅　：900mm

台　　数　：1

(g) ジョイント処理機械

フィニッシャ懸架ジョイントヒータ

型　　式　：プロパンガス赤外線ヒータ

寸　　法　：長 1.72m x　幅 0.31m

ジョイントコンパクタ

型　　式　：プロパンガス加熱式振動板

自　　重　：70kg

振 動 数　：2,850 cpm

寸　　法　：長 0.6m x 幅 0.3m

ジョイントタンパ

型　　式　：振動式ランマ

自　　重　：12kg

衝撃板寸法：15cm x 15cm

振動数　　：2,670 cpm

(h) 合材運搬機械

運搬用バケット

型　　式　：保温式　床開き型

容　　量　：2.3 m^3

バケット吊上げ用クレーン

：25ton トラッククレーン

(2) 調 達 方 法

アスファルト舗設機械は原則として中国製を使用することとされている。しかしながら転圧機械、ウインチポーターなど特殊で重要な機械は実績のある機種の購入が望ましい。　調達方法はオーナ側で購入する方法と、請負業者が購入する場合の 2つのケースが考えられる。日本の場合は通常後者が多く、沼原のケースは後者であり、請負業者が転圧機械を西ドイツから、ウインチポータをイタリーから購入した。

6.4.3 遮水壁施工上の注意事項

アスファルト遮水壁の施工は、材料の混合、アスファルト混合物の運搬、舗設すなわち敷き拡げと転圧を主な作業としている。これらの作業は多くの場合機械化施工を主体とし、道路舗装用の機械をそのまま転用しうるが、遮水壁の高度の水密性と急傾斜舗設のため転圧用機械は慎重に選ぶ必要がある。また工程および作業上支障がなければ、ダム本体の盛り立て完了後、沈下の影響が少なくなってから舗設作業に着手する方が望ましい。

(1) 運　搬

アスファルト混合物の運搬にはトラックが主として用いられ、気温が10℃以下の場合また夏以外の季節で運搬距離が長い場合は運搬中の保温のためカバーが付けられる。

(2) 舗　設

(a) アスファルト混合物の舗設に先立って基盤を清掃し、うき石、ごみ、泥などの不純物を取り除いて、さらにプライムコートまたはタックコートを行い基盤を安定にし、アスファルト混合物とのなじみをよくする。プライムコートは施工後原則として24時間以上経過してからアスファルト混合物の舗設を行う。

(b) アスファルト混合物の敷き拡げは一般には、スプレッダーもしくはフィニッシャーによる機械的方法による。また混合物の温度が原則として 110℃を以下にならないうちに敷き拡げを行うことが必要である。さらに雨が降りだした時には作業を中止し、冬期、気温が５℃を下がる場合には施工を中止すべきである。舗設時における温度は、ダム地点の気象条件、アスファルトの種類にもよるがつぎの範囲が標準である。

作業名	混　合	敷拡げ	転　圧
温度℃	160～190	130～160	100～130

(c) アスファルトの混合転圧は、敷き拡げが終わったら出来るだけ早く転圧することが効果的である。斜面の勾配は１：２と急であるため下向きの転圧は水平

な亀裂が発生し易いので上方に向かってのみ振動転圧する。

(d) アスファルト遮水壁の施工継目はダム軸に直角方向の横継目を2.0m～3.0m間隔に設ける。密粒度アスファルトコンクリートの場合一回に舗設する厚さが6cm以上にすると、十分な転圧効果が期待出来ないので、2層に分けて舗設される。これらの敷き拡げ、転圧の機械は遮水壁の斜面上をウインチによって上下に移動させる。

(e) 密粒層の施工は遮水壁設計厚さ10cmにたいして、5cmを2層で行うものとし、施工継目からの漏水を防ぐためには、継目が連続しないように、上層、下層をラップさせて施工する。これは貯水圧による変形に対しても 2層構造のほうがその境界面における引っ張り応力や応力集中が緩和される。

(f) 主要舗設機械であるアスファルトフィニッシャー一台当りの舗設幅は8mで計画されているが、通常3～4mが採用される。フィニッシャーの幅を広くすることはジョイントの数が減ること、施工速度が速くなるなどの利点はあるが、水利アスファルトに施工に最も重要な転圧がおろそかになりがちであり、必ずしも施工速度が早くはならない。また、上部池は曲面部が多く、この施工は多面体になるため、幅は狭い方が施工はやりやすい。

(g) 粗粒層は基盤の不陸整形または基盤とのかみ合わせを期待して設けるものであり、厚さ10cmを2層に分けて施工する。原設計では粗粒層2層が同一の配合となっているが、上下2層を5cmずつマカダム、レベリングに分けて配合を変えることも可能である。即ち、上層は原設計通りの配合とし、最下層は地山とのかみ合わせを主目的として、粗い骨材としたほうが、強度的にも、経済的にも有利である。

以下に粗粒層の配合の一例を示した。

	骨材粒度 (%)	30mm～15mm	15mm～10mm	10mm～5mm	5mm～2.5mm	2.5mm 0.074	0.074	石　粉 (%)	ｱｽﾌｧﾙﾄ (%)
粗粒層	レベリング 厚さ 5cm	-	23.0	23.0	14.0	34.1	5.9	4	5.5
	マカダム 厚さ 5cm	55.0	30.0	10.0	-	4.7	0.3	-	3.5

6.5 計 測

6.5.1 概 要

工事中の盛土の施工および上部池完成後の構造物の挙動を観測することは、施工、保守管理上重要なことである。現在計画されている上部池の計測設備は表－Ⅱ.6.5-1に示すとおりである。計測の種類は大別して、測量による絶対的な挙動の測定と、ダムの埋設計器のように相対的な変位の測定がある。このタイプのダムで最も重要な計測は以下が考えられる。

① ダム堤体の変位

② 遮水壁の変位

③ 貯水池全体の変形

④ 遮水壁からの漏水観測

⑤ 地震時の挙動観測

以下に、中国側で予定している上部調整池の計測についてその妥当性の評価を行う。

6.5.2 ダ ム

十三陵上部調整池は高さ70mの表面遮水壁型ロックフィルダムを主ダムとしている。表面遮水壁型であるため、盛土堤体からなる遮水壁基盤の沈下および水平変位に対する十分な注意が必要である。

現計画では、主ダムの中央部、即ち盛土最大断面付近に測定断面を設け、各種の垂直、水平変位計が設置されており、位置的にも量的にも充分と考えられる。計器の選定および設置に際しては計器の質、設置方法には十分な配慮が必要である。

6.5.3 遮 水 壁

アスファルト遮水壁の観測設備は池部全面の９つの測定断面で45個の計器の設置が予定されている。遮水壁の変位の観測は完成後の挙動を知り、遮水壁の管理のためには重要なものではあるが、遮水壁表面への直接的な計器の設置は遮水壁自体を損傷することになるので、測定断面には密粒度アスファルトコンクリートによる補強層が必要である。

従って、測定だけのために多くの補強層を設けることは得策でなく、また観測も１：２の斜面上では作業性が悪く観測精度にも問題があるので、測定断面を４箇所

程度に変更することも可能である。

現在考えられている測定は絶対測量による変位の測定であり、その水準点の設置が予定されている。斜面アスファルトコンクリートへの計器の設置は非常に難しく、とくに、寒冷地は冬期に池が氷結するため、気候が温暖になった時に氷片とともにこれらの計器のほとんどが滑落した例がある（沼原）。

アスファルト遮水壁の撓みの測定はアスファルトの中に埋設する方法、表面に接着する方法が考えられるが、後者は冬期の滑落の恐れがあるので、水準点の設置は前者のタイプが好ましい。しかし、埋設タイプも氷結時の影響を避けることは出来ないので、遮水壁表面に露出する部分は可能なかぎり小さくする必要がある。

6.5.4　観測の時期

ダム堤体については、施工開始直後から施工中の挙動を少なくても１回／週が必要である。遮水壁の測定はその設置がアスファルト舗設完了後になり、初期湛水時の直前からになる。また、遮水壁の挙動は各水位によって異なるので、とくに初期湛水位時には貯水池水位の変化に応じた測定を行うが、発電所運転開始後は通常は上部のみの測定になる。

6.5.5　技術的評価

中国側が予定している測定の位置、数については上部池の挙動測定目的を達成するには充分であるが、上部池の工事を考えると多少多すぎるように感じられる。

測定計器の設置は精度を要するためその施工には手間がかかり、これが工事全体の工程の妨げとなることがある。また、設置後の観測、データの管理も繁雑であるため信頼度の高い計器を必要最小限に設置することが肝要である。

表－Ⅱ.6.5.1　上部ダム計測設備

種　　別	単　位	数　量
堤体表面水準点	個	44
アスファルト表面変位基準点	個	45
YS-1型水平、垂直変位計	セット	1
YS型越流式陥没計	セット	3
YS型引線式水平変位計	セット	3
DW-1型抵抗温度計	個	97
DI-10 型差動抵抗式小ひずみ計（金属カバー付）	個	16
DI-10 型差動抵抗式小ひずみ計	個	48
GKD-B 型鋼弦式間隙水圧計	個	12
CF-12 型継目計	個	8
CX-01 型傾斜計	セット	2
三角堰および台形堰	個	26
基礎岩盤変位水準点	個	9
穿孔式側圧管	本	3
SBQ-1 型強震計	台	4
J-22型ラインボックス	台	10
電気式水位測定器	個	2
表層水温計（SWMH型）	個	2
深層水温計（SWMH型）	個	2

6.6 初期充水

6.6.1 概　要

十三陵揚水上部調整池は自己流域からの流入がないので、初期充水は下部調整池からのポンプによる揚水が必要である。上部調整池は全面アスファルト遮水壁に覆われており、水圧によるダム上流面の変形に遮水壁が十分追従し、堤体と遮水壁が一体となり水圧に抵抗しなければならない。このため、初期充水による水位上昇を可能なかぎりゆるやかにし、基盤とのなじみを良好にすることが大切である。ポンプによる充水は水位上昇を制御出来ることかつ、急激な水位上昇を避けることは十分可能である。

純揚水発電所の上部調整池の初期充水は一般に揚水主機と充水専用ポンプを組合せて行なわれる。主機による充水は経験的には導水路水平部まで充水されていれば可能であるが、土木構造物の地山へのなじみのため水圧上昇は可能な限り少なくすることが望ましい。

中国側でのこれまでの検討では初期充水は上部調整池などの工事用ポンプ（最大揚水量2.1㎥／min 7段ポンプ）1台と発電所内に設置される充水ポンプ4.6㎥／min 2台の両方を使用する計画である。

以下に、上記中国案について検討し、構造物の安全性、工事工程などについての技術的評価を行う。

6.6.2 充水方法について

上部調整池に流入のない場合の初期充水は通常以下の手順で行われる。

項　　目	充水方法	備　　考
1．下池必要水位	自然流入	必要容量が確保出来る水位
2．放水路及びドラフト	〃	ドラフトゲート開
3．下部鉄管	〃	充水ポンプのバイパスバルブ開、下池水位とバランスするまで
4．中、上部鉄管	充水専用ポンプ	水位が急上昇しない程度の充水速度を保つ
5．導水路	〃	〃
6．上池底水位	〃	充水ポンプ停止
7．上池満水位	揚水主機	1 m／日～1 m／4日

充水専用ポンプの容量は発電所の規模、工事工程などにより決められるが、一般に20㎥/min程度のものが採用される場合が多い。

6.6.3 充水時間

前項で述べた手順で、2.1㎥/min 1台、4.6㎥/min 2台の充水ポンプで充水すると、十三陵上部調整池への充水は底水位に達するまでに13.5日間が必要である。(図－Ⅱ.6.6-1)

底水位に達してからはアスファルト遮水壁の安全性を確保するため中間水位まで1m／日、中間水位以上を1m／2日とすると66日間で満水位に達することになる。

各標高における水位と時間の関係を下表に示した。

標高別充水速度（底水位　531.00mまで）

区　　間	標高差 (m)	時　間 (min)	充水速度 (m／h)	備　　考
1. EL. 88 mまで	－	－	--	下池満水位（揚水時）
2. EL. 88 ～160	72.0	100 (1.7hr)	42.3	
3. EL.160 ～492.4	332.4	900 (15 hr)	22.2	
4. EL.492.4 ～497.6	5.2	80 (1.3hr)	4.0	
5. EL.497.6 ～518.9	21.0	700 (11.7hr)	1.8	導水路
6. EL.518.9 ～524.1	5.5	900 (15 hr)	0.4	
7. EL.524.1 ～531.0	6.9	16,700 (278.3hr)	0.02	底水位
計	443.0	19,380 (323 hr)	1.37	

貯水池充水　EL.531　～ EL.548.5 m　17.5日（1m／日）

EL.548.5 ～ EL.566　m　35　日（1m／2日）

充水日数合計　66　日

以上検討の結果、通常の方法で充水する場合、満水位に達するまで約66日間が必要となる。これまでの実績では十三陵上部調整池と規模、型式が比較的よく類似して

いる沼原（日本）、Viander （ルクセンブルグ）の記録によると、調整池の充水速度はそれぞれ0.51m／日、0.63m／日である。

一方、主機の揚水可能最適揚程は

① 土木構造物に悪影響を与えないために絞り込み可能なガイドベーン開度は最適全揚程時の適正開度の1/3程度

② ポンプ効率低下及びガイドベーン絞り込みのための振動、騒音

などの理由から最低揚程の85％程度とされている。従って、主機側から考えると、導水路水平部（EL.493m）まで充水されていれば機械的には主機揚水は可能である。

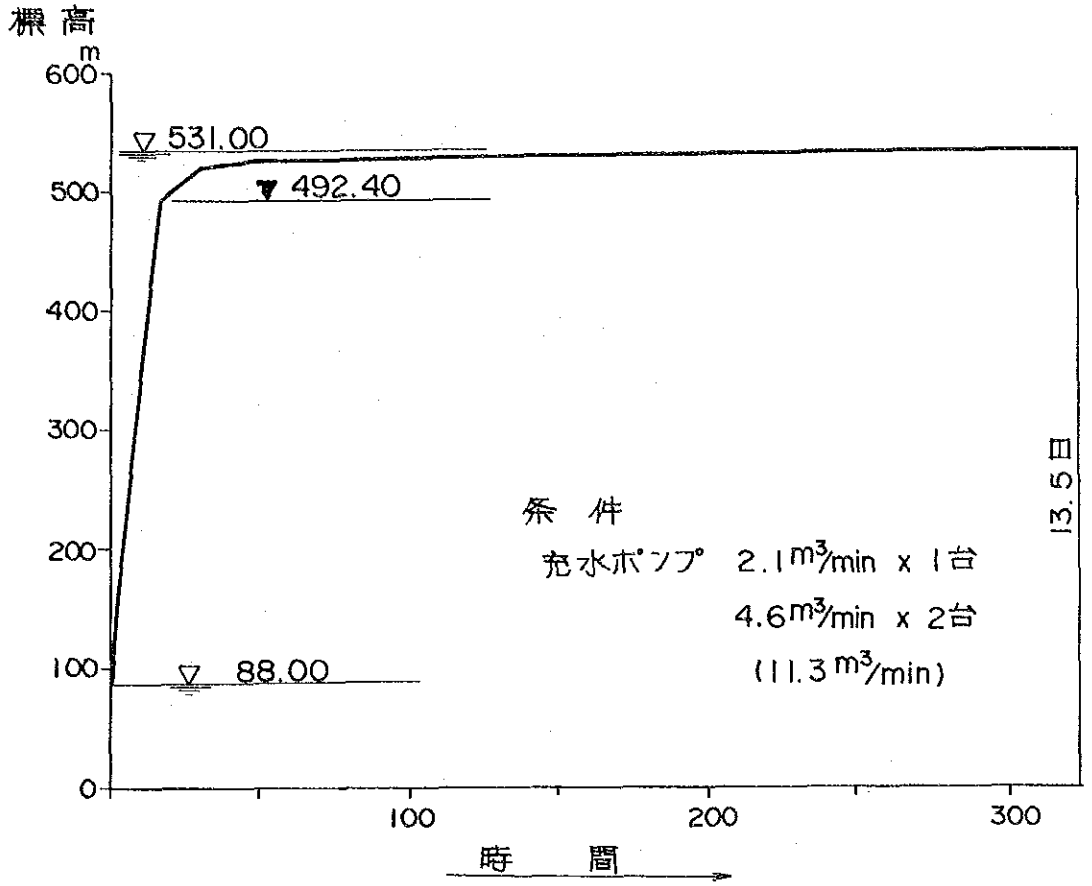
中国側では12月～３月は上部調整池の湖面が凍結するので、充水は10月～11月に実施し、３月から有水試験を考えているが、３台の充水ポンプと主機の組合せでこれまでに述べた手順で、10月１日に充水を開始出来れば11月末頃までに充水は可能と考えられる。

なお、発電所に設置される充水専用ポンプは将来他の地点への流用も考えてコンパクトで着脱可能な構造としておくことが得策である。

6.6.4 初期充水時における土木構造物の挙動測定

土木構造物とくに上部調整池はアスファルト表面遮水壁型ダムであり、初期充水時には応力の変化による遮水壁、ダム堤体の挙動観測は安全監理のためにも重要である。

上部調整池の基本設計では各種の計測設備が設置されているので、湛水前の基準値の測定及び初期湛水時の水位上昇による挙動の観測を綿密な計画のもとに実行することが望ましい。



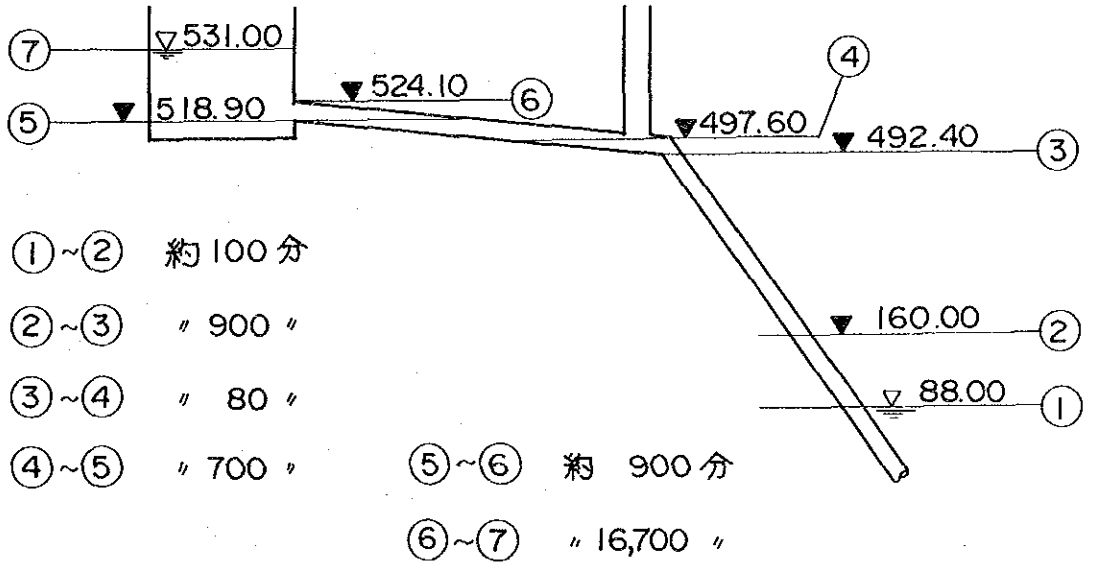


図-II.6.6-1 初期充水速度 (EL.88.00~EL.531.00m)

6.7 まとめ

上部調整池の計画および基本設計については、十分な調査と検討がなされており、前節までの技術評価に指摘した幾つかの、設計、施工に関する細部の問題点を除けば十分妥当な計画であるといえる。

アスファルト表面遮水壁型ダムで特に注意すべき点は、遮水壁基盤の沈下とアスファルトの機械による舗設の良否にあり、これらの施工が悪いとアスファルト遮水壁が一体のものとして働かず、重大な漏水などの原因となることがある。従って、構造物の詳細設計に当たっては池曲面部の形状やコンクリート構造物との接合部など極力施工を考えた構造を選択し、建設の事前に現地における舗設施工を実施し、配合そして施工機械を決定する必要がある。

Ⅲ　章　　経 済 評 価

1. 経済評価および財務分析

頁

1.1 概 要 …… Ⅲ－1-1

1.2 経済評価 …… Ⅲ－1-1

1.2.1 既実施 F/Sレポートについて …… Ⅲ－1-1

(1) 経済比較の条件 …… Ⅲ－1-1

(2) 既 F/Sレポートに関する試算 …… Ⅲ－1-2

1.2.2 経済評価条件の見直し …… Ⅲ－1-3

(1) 十三陵揚水用火力発電の利用率 …… Ⅲ－1-3

(2) 想定条件について …… Ⅲ－1-4

(3) 工事費 …… Ⅲ－1-4

1.2.3 経済評価の結果 …… Ⅲ－1-5

1.2.4 感度分析 …… Ⅲ－1-6

(1) 外貨分変動に関する感度分析 …… Ⅲ－1-6

(2) 燃料費の価格変動に対する感度分析 …… Ⅲ－1-6

1.2.5 代替電源にGas Turbine を用いた場合 …… Ⅲ－1-6

1.3 財務分析 …… Ⅲ－1-12

1.3.1 内部収益率 …… Ⅲ－1-12

1.3.2 資金返済計画 …… Ⅲ－1-13

1.3.3 損益計算書 …… Ⅲ－1-13

1.3.4 Cash Flow …… Ⅲ－1-13

1.3.5 収 益 率 …… Ⅲ－1-14

1.3.6 Debt Service Ratio …… Ⅲ－1-14

1.4 ま と め …… Ⅲ－1-22

1.4.1 経済評価について …… Ⅲ－1-22

1.4.2 財務分析について …… Ⅲ－1-22

1．経済評価および財務分析

1.1　概　　要

本プロジェクトの経済評価、財務分析は既に実施されており、その結果経済、財務両面においてフィージブルであるという結論を得ている。しかし、その後の手当資金規模、税率の一部を見直した事、及び代替電源の設定方法、条件において一部不明な点もある事から、再度見直しを行い、検討を加えたものである。

1.2　経 済 評 価

本調査における経済評価は、既レポートの一部見直しを行うとともに、クロスチェックの意味で代替電源を代えて検討することとする。

1.2.1　既実施F/Sレポートについて

既F/Sレポートによれば経済評価の考え方は、十三陵揚水発電開発は、単に揚水発電所単独で決定するのではなく、十三陵揚水発電所とその揚水電源となる石炭火力を１組のものとし、その代替電源として、前者と同様の機能を持つ、火力発電所を設定している。

具体的には、十三陵揚水発電開発スキームとして、十三陵揚水発電所；800MW＋Base型石炭火力;800MWを設定し、その代替電源としては、石炭火力発電所；1,600MW （Base分800MW, Peak分800MW）を設定している。

一方、通常揚水発電所の経済評価を行う場合には、揚水発電所の運用方法から代替発電所としてその運用が類似しているGas Turbine発電所が設定されることが多い。しかし、既F/S レポートが設定している石炭火力発電所の建設単価；1,050元／kWは、Gas Turbineの標準単価1,700～1,900元／kWと比較すれば安価である事を考慮すれば、妥当な一手法と考えられる。だたこの経済評価で想定している両スキームの細部に於いて、一部不整合が見られる事から見直しを行った。

(1)　経済比較の条件

既F/Sレポートによれば経済比較の条件は以下のとおりである。

(a)　十三陵プロジェクト（十三陵揚水：800MW＋石炭火力；800MW）

・建設コスト：十三陵揚水　；　1,116元／kW, 石炭火力；850元/kW

・十三陵揚水運転時間　；　1,500時間／年

・十三陵揚水の総合効率　；　73.08%

・石炭消費量　；　0.32kg／kWh　(7,000kcal／kg)

・石炭価格　；　60元／ton

・運転維持コスト　；　十三陵揚水　2％（対建設コスト）

十三陵用石炭火力　2.5%（対建設コスト）

・所内率　；　十三陵揚水は総合効率に含まれる。

十三陵用石炭火力　6％

(b)　代替石炭火力（1,600MW; Base分800MW, Peak分800MW）

・建設コスト　；　1,050元／kW

・運転時間　；　（十三陵＋十三陵用石炭火力）が発生する電力量と同等な電力量を発生するに必要な時間

・石炭消費量　；　0.35kg／kWh（7,000kcal／kg）

・石炭価格　；　60元／ton

・運転維持コスト　；　3％（対建設費）

・所内率　；　7.5%

(2)　既F/Sレポートに関する試算

この経済比較に使用されている仮定の内、主要な点について検討してみる。

(a)　既F/Sレポートに記載されている石炭消費量から、十三陵用石炭火力の運転時間を試算すると以下のとおりとなる。

・年間石炭消費量

138,090×10^3 元／（60元／ton）＝2,302×10^3 元

・発生電力量（所内含）

2,302××10^3ton／（0.32kg／kWh）＝7,193,750MWh

・運転時間

7,193,750MWh／800MW＝8,992時間

この値は、年間時間の8,760時間の上限を越えている事から、前提条件として矛盾が生ずる。

(b) 代替火力発電所の石炭消費量と発生電力量との関係について試算してみると、以下のとおりとなる。

・年間石炭消費量

$161,600\times10^3$ 元／（60元／ton）$=2,527\times10^3$ ton

・発生電力量（所内含）

$2,527\times10^3$ton／（0.35kg／kWh）＝7,220,000MWh

≒7,193,750MWh（十三陵用石炭の火力発生電力量）

となり、代替火力発電所の発生電力量は十三陵用石炭火力量値とほぼ同じとなっている。しかし十三陵用石炭火力の発生電力量の一部は、十三陵揚水の電源として使用される事から発生電力量の全てが直接系統への供給源としては算入できない。このため前(a)項で試算された記運転時間には矛盾があるが、これをもとに代替代替電源に期待する既略電力量は最大限以下のとおりである。

$$(1,500\ 時間\times800MW)+\left(8,992\ 時間-\frac{1,500時間}{0.7308}\right)\times800MW=6,751,563MWh$$

この値と既F/Sレポートとの差を計算すると、

7,193,750 − 6,751,563 ＝ 442,181MWh

となり、これに要する石炭量は154,763ton、その費用は約9,300千元となる。この費用は、本来代替電源に計上すべきものではないことから、これらを含め次の見直しを行う。

1.2.2 経済評価条件の見直し

(1) 十三陵揚水用火力発電所の利用率

他のプロジェクトで計画中の石炭発電所の利用率は、68.5%（等価定格出力運転時間；6,000)である。しかし、十三陵揚水用石炭火力は、定格出力付近の一定運転が予想されるこのことから、標準的な石炭火力発電所よりは高い利用率を設定する事が可能である。停止率等に関する係数は、標準的な値を参考して本石炭発電所の設備利用率を想定した。

想定設備利用率＝（1 −0.11−0.05）×0.9 ＝ 0.756 ≒ 0.75

0.11；計画停止率（年間40日程度）

0.05；事故率

0.9 ；平均負荷率

(2) 想定条件について

想定条件は以下のとおりである。

（i）十三陵揚水発電開発スキーム

・十三陵の年間運転時間　；1,500 時間　　（既F/Sに同じ）

・十三陵の総合効率　；73.08%　　（既F/Sに同じ）

・十三陵火力の運転時間　；8,760×0.75 ＝ 6,570時間(他の新設火力計画6,000時間)

・石炭消費量　；0.32kg／kWh　（既F/S に同じ）

・石炭価格　；108.67元／ton　（現行価格）

・運転維持コスト　；十三陵揚水　　1.5%（標準値）

；十三陵揚水用石炭火力 4.5%（標準値）

・所内率　；十三陵揚水は総合効率に含まれる

；十三陵用石炭火力　　6　%（既F/Sに同じ）

（ii）代替火力

・運転時間　；(十三陵＋十三陵用石炭火力）が発生する電力量と等価な電力量を発生する時間

・石炭消費量　；0.35kg／kWh

・石炭価格　；108.67元／ton

・運転維持コスト　；4.5%（標準値）

・所内率　；7.5%（既F/S に同じ）

(3) 工事費

（i）十三陵揚水発電開発スキーム

・十三陵揚水発電所

本調査では、十三陵揚水発電所建設に要する全費用見積りについては、実施していない。これは既F/S調査の中で既に積算しているためである。しかし、本調査の中で一部明らかになった外貨分については国際相場を基本にして概略の見直しを行い工事費に反映させ経済評価に用いることとした。

以下その概略費用を記載する。

― 外 貨 分	531,250千元（一元＝32日本円）
内 訳	
電気・機械設備	480,000千元（CIF）
高 張 力 鋼 管	20,000千元（CIF）
土木工事用機械	16,000千元（CIF）
エンジニアリング費用	6,000千元
予 備 費	9,250千元
― 内 貨 分	666,616千元
計	1,197,866千元

・十三陵揚水用石炭火力発電所

建設単価については既F/Sで使用している価格を使用することとし、その値は850元／kWである。

（ii）代替火力発電所

代替火力発電所については、現有の火力発電所より負荷調整能力を大幅に備えている事もあり、既F/Sレポートでは通常の発電所より高い1,050元／kWとしている事から、この値を使用することとした。

（iii）耐 用 年 数

耐用年数については、既F/Sに準拠して、水力土木設備、水力発電設備、火力設備に分類しそれぞれ、50年、30年、25年とした。なおこの値は一般的に用いられている値と相違ないものである。

1.2.3 経済評価の結果

1.1.2で見直した条件で経済評価を実施した。評価に際しては十三陵揚水発電開発スキームに要する建設費、運転維持費、燃料費の合計をプロジェクト評価の費用とし、代替電源に要する全費用を便益と仮定した。

評価方法としては、世界で広く採用されているもので行い、その手法として各年費用、便益を中国で用いられている社会的割引率10%で割り戻したそれぞれの合計額の比である現在価値便益／現在価値費用が、1を上まわる事を確認するB／C法の他に、費用便益の各現在価値の合計値を同じとする割引率を求める等価割引率法を用いることとする。

これを用いた計算結果は表－Ⅲ.1.2-1に示すとおり、B／Cで1.02>1.00、EDR（EIRR）で11.7%>10%となり、いずれも評価基準を上廻ることから、フィージブルという結果となった。

1.2.4 感度分析

(1) 外貨分変動に関する感度分析

外貨分増加に対する感度分析結果については以下のとおりである。

外貨分倍率	B／C	EDR(EIRR)	
1.00	1.0219	11.730(%)	
1.05	1.0140	11.086(%)	外貨分1.00
1.10	1.0063	10.048(%)	=531,250 千元
1.14	1.0003	10.002(%)	
1.15	0.9988	9.909(%)	

このことから外貨分の増分については、15%付近が限界となることが判明した。（表－Ⅲ.1.2-2、表－Ⅲ.1.2-3 参照）

(2) 燃料費の価格変動に対する感度分析

燃料費の感度分析に関しては、代替電源の方がkWh当たりの燃料費が高いから、燃料単価が増加した分だけマージンが大きくなることになる。ただ燃料費が近接していることから、それほど影響は受けない。

1.2.5 代替電源にGas-Turbineを用いた場合

一般的に揚水発電所の代替電源としては、電源構成内での役割（ピーク対応）とその運用方法が似かよっている事からGas-Turbineが用いられる。既F/Sの経済評価が妥当である事を補強することと、クロスチェックを行うために代替電源にGas-Turbineを用いて、経済評価を行った。

Gas-Turbineの条件は以下のとおりである。

工事単価	$360/kW≒1,700元／kW
熱効率	30%
年間O&M費	建設費の2%
燃料単価	211元／ton
耐用年数	15年

この条件で試算してみると、B／C＝1.27、EDR(EIRR) ＝ 18.9%となり前記の石炭火力よりかなり余裕のある結果となっている。計算結果は、表－Ⅲ.1.2-4のとおりである。

表－Ⅲ.1.2-1　経済評価基本ケース

Unit=10^3 Yuan

Scheme Srl. Nu.	Aftr Comm.	The Scheme of Design System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	The Scheme of alternate System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	Differnc	Net Present Value Design System	Alternate System	B-C
1		64379			64379	0			0	-64379	58527	0	-58527
2		109789			109789	0			0	-109789	90734	0	-90734
3		113000			113000	0			0	-113000	84898	0	-84898
4		249523			249523	336000			336000	86477	170428	229493	59065
5		519553			519553	588000			588000	68447	322602	365102	42500
6		613741			613741	504000			504000	-109741	346441	284495	-61946
7	1	207881	10475	45694	264050	252000	18900	46120	317020	52970	135500	162682	27182
8	2		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	104813	121330	16517
9	3		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	95285	110300	15016
10	4		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	86622	100273	13650
11	5		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	78748	91157	12410
12	6		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	71589	82870	11281
13	7		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	65081	75336	10256
14	8		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	59164	68488	9323
15	9		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	53786	62262	8476
16	10		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	48896	56601	7705
17	11		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	44451	51456	7005
18	12		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	40410	46778	6368
19	13		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	36736	42525	5789
20	14		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	33397	38660	5263
21	15		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	30361	35145	4784
22	16		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	27601	31950	4349
23	17		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	25091	29045	3954
24	18		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	22810	26405	3595
25	19		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	20737	24005	3268
26	20		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	18852	21822	2971
27	21		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	17138	19838	2701
28	22		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	15580	18035	2455
29	23	102000	41902	182774	326676	336000	75600	184482	596082	269406	20593	37577	16983
30	24	238000	41902	182774	462676	588000	75600	184482	848082	385406	26515	48602	22087
31	25	238000	41902	182774	462676	504000	75600	184482	764082	301406	24105	39808	15703
32	26	102000	41902	182774	326676	252000	75600	184482	512082	185406	15472	24253	8781
33	27		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	9674	11198	1524
34	28		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	8794	10180	1386
35	29	106250	41902	182774	330926		75600	184482	260082	-70844	11776	9255	-2521
36	30	159375	41902	182774	384051		75600	184482	260082	-123969	12424	8413	-4010
37	31	265625	41902	182774	490301		75600	184482	260082	-230219	14419	7649	-6770
38	32		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	6007	6953	947
39	33		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	5461	6321	861
40	34		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	4964	5746	782
41	35		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	4513	5224	711
42	36		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	4103	4749	647
43	37		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	3730	4317	588
44	38		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	3391	3925	534
45	39		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	3082	3568	486
46	40		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	2802	3244	442
47	41		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	2547	2949	401
48	42		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	2316	2681	365
49	43		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	2105	2437	332
50	44		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1914	2216	302
51	45		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1740	2014	274
52	46		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1582	1831	249
53	47		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1438	1665	227
54	48		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1307	1513	206
55	49		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1188	1376	187
56	50		41902	182774	224676		75600	184482	260082	35406	1080	1251	170
57	51	-177083	41902	182774	47593		75600	184482	260082	212489	208	1137	929
Total		2912033	2105567	9184406	14202006	3360000	3798900	9270214	16429114	2227109	2405525	2458105	52580

B/C = 1.0218579　　EDR = 0.1173405

表－Ⅲ.1.2-2　経済評価（外貨分 1.14 倍）

Unit=10^3 Yuan

Scheme Srl. Nu.	Aftr Comm.	The Scheme of Design System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	The Scheme of alternate System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	Differnc	Net Present Value Design System	Alternate System	B-C
1		64379			64379	0			0	-64379	58527	0	-58527
2		109789			109789	0			0	-109789	90734	0	-90734
3		113000			113000	0			0	-113000	84898	0	-84898
4		256961			256961	336000			336000	79039	175508	229493	53985
5		543873			543873	588000			588000	44127	337703	365102	27399
6		648920			648920	504000			504000	-144920	366299	284495	-81804
7	1	215319	10754	45694	271767	252000	18900	46120	317020	45254	139459	162682	23222
8	2		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	105333	121330	15997
9	3		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	95758	110300	14542
10	4		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	87052	100273	13220
11	5		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	79139	91157	12018
12	6		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	71944	82870	10926
13	7		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	65404	75336	9933
14	8		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	59458	68488	9030
15	9		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	54053	62262	8209
16	10		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	49139	56601	7463
17	11		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	44672	51456	6784
18	12		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	40611	46778	6167
19	13		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	36919	42525	5607
20	14		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	33562	38660	5097
21	15		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	30511	35145	4634
22	16		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	27738	31950	4212
23	17		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	25216	29045	3829
24	18		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	22924	26405	3481
25	19		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	20840	24005	3165
26	20		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	18945	21822	2877
27	21		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	17223	19838	2616
28	22		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	15657	18035	2378
29	23	102000	43017	182774	327792	336000	75600	184482	596082	268290	20664	37577	16913
30	24	238000	43017	182774	463792	588000	75600	184482	848082	384290	26579	48602	22023
31	25	238000	43017	182774	463792	504000	75600	184482	764082	300290	24163	39808	15645
32	26	102000	43017	182774	327792	252000	75600	184482	512082	184290	15525	24253	8728
33	27		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	9722	11198	1476
34	28		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	8838	10180	1342
35	29	121125	43017	182774	346917		75600	184482	260082	-86835	12345	9255	-3090
36	30	181688	43017	182774	407479		75600	184482	260082	-147397	13182	8413	-4768
37	31	302813	43017	182774	528604		75600	184482	260082	-268522	15545	7649	-7897
38	32		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	6037	6953	917
39	33		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	5488	6321	833
40	34		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	4989	5746	758
41	35		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	4535	5224	689
42	36		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	4123	4749	626
43	37		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	3748	4317	569
44	38		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	3407	3925	517
45	39		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	3098	3568	470
46	40		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	2816	3244	428
47	41		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	2560	2949	389
48	42		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	2327	2681	353
49	43		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	2116	2437	321
50	44		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1923	2216	292
51	45		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1749	2014	266
52	46		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1590	1831	241
53	47		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1445	1665	219
54	48		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1314	1513	200
55	49		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1194	1376	181
56	50		43017	182774	225792		75600	184482	260082	34290	1086	1251	165
57	51	-201875	43017	182774	23917		75600	184482	260082	236165	105	1137	1032
Total		3035991	2161627	9184406	14382024	3360000	3798900	9270214	16429114	2047090	2457436	2458105	669

B/C = 1.0002720　　EDR = 0.1002025

表－Ⅲ.1.2-3　経済評価（外貨分 1.15 倍）

Unit=10^3 Yuan

Scheme Srl. Nu.	Aftr Comm.	The Scheme of Design System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	The Scheme of alternate System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	Differnc	Net Present Value Design System	Alternate System	B-C
1		64379			64379	0			0	-64379	58527	0	-58527
2		109789			109789	0			0	-109789	90734	0	-90734
3		113000			113000	0			0	-113000	84898	0	-84898
4		257492			257492	336000			336000	78508	175871	229493	53622
5		545485			545485	588000			588000	42515	338703	365102	26399
6		651559			651559	504000			504000	-147559	367788	284495	-83293
7	1	215850	10774	45694	272318	252000	18900	46120	317020	44702	139742	162682	22939
8	2		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	105371	121330	15959
9	3		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	95792	110300	14509
10	4		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	87083	100273	13190
11	5		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	79167	91157	11991
12	6		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	71970	82870	10901
13	7		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	65427	75336	9910
14	8		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	59479	68488	9009
15	9		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	54072	62262	8190
16	10		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	49156	56601	7445
17	11		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	44687	51456	6768
18	12		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	40625	46778	6153
19	13		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	36932	42525	5594
20	14		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	33574	38660	5085
21	15		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	30522	35145	4623
22	16		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	27747	31950	4203
23	17		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	25225	29045	3821
24	18		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	22932	26405	3473
25	19		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	20847	24005	3157
26	20		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	18952	21822	2870
27	21		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	17229	19838	2609
28	22		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	15663	18035	2372
29	23	102000	43097	182774	327871	336000	75600	184482	596082	268210	20669	37577	16908
30	24	238000	43097	182774	463871	588000	75600	184482	848082	384210	26584	48602	22019
31	25	238000	43097	182774	463871	504000	75600	184482	764082	300210	24167	39808	15641
32	26	102000	43097	182774	327871	252000	75600	184482	512082	184210	15529	24253	8725
33	27		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	9725	11198	1473
34	28		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	8841	10180	1339
35	29	122188	43097	182774	348059		75600	184482	260082	-87977	12385	9255	-3131
36	30	183281	43097	182774	409153		75600	184482	260082	-149071	13236	8413	-4822
37	31	305469	43097	182774	531340		75600	184482	260082	-271258	15626	7649	-7977
38	32		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	6039	6953	915
39	33		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	5490	6321	831
40	34		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	4991	5746	756
41	35		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	4537	5224	687
42	36		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	4124	4749	625
43	37		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	3750	4317	568
44	38		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	3409	3925	516
45	39		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	3099	3568	469
46	40		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	2817	3244	427
47	41		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	2561	2949	388
48	42		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	2328	2681	353
49	43		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	2117	2437	321
50	44		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1924	2216	291
51	45		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1749	2014	265
52	46		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1590	1831	241
53	47		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1446	1665	219
54	48		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1314	1513	199
55	49		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1195	1376	181
56	50		43097	182774	225871		75600	184482	260082	34210	1086	1251	165
57	51	-203646	43097	182774	22226		75600	184482	260082	237856	97	1137	1040
Total		3044845	2165631	9184406	14394882	3360000	3798900	9270214	16429114	2034232	2461137	2458105	-3032

B/C = 0.9987679　　EDR = 0.0990866

表－Ⅲ.1.2-4　経済評価（代替電源;Gas Turbine）

Unit=10^3 Yuan

Scheme Srl. Nu.	Aftr Comm.	The Scheme of Design System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	The Scheme of alternate System Capital Investment	Annual OP cost	Fuel cost	Total	Differnc	Net Present Value Design System	Alternate System	B-C
1		64379			64379	0			0	-64379	58527	0	-58527
2		109789			109789	0			0	-109789	90734	0	-90734
3		113000			113000	0			0	-113000	84898	0	-84898
4		147523			147523	0			0	-147523	100760	0	-100760
5		283314			283314	339120			339120	55806	175916	210567	34651
6		373979			373979	678240			678240	304261	211102	382849	171747
7	1	105881	2825	15186	123893	339120	6782	16496	362399	238505	63577	185968	122391
8	2		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	33611	43439	9828
9	3		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	30555	39490	8935
10	4		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	27777	35900	8122
11	5		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	25252	32636	7384
12	6		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	22957	29669	6713
13	7		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	20870	26972	6103
14	8		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	18972	24520	5548
15	9		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	17248	22291	5043
16	10		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	15680	20265	4585
17	11		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	14254	18422	4168
18	12		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	12958	16748	3789
19	13		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	11780	15225	3445
20	14		11302	60746	72047	339120	27130	65985	432235	360188	10709	64249	53540
21	15		11302	60746	72047	678240	27130	65985	771355	699308	9736	104234	94498
22	16		11302	60746	72047	339120	27130	65985	432235	360188	8851	53098	44248
23	17		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	8046	10399	2353
24	18		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	7315	9454	2139
25	19		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	6650	8594	1944
26	20		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	6045	7813	1768
27	21		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	5496	7103	1607
28	22		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	4996	6457	1461
29	23		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	4542	5870	1328
30	24		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	4129	5336	1207
31	25		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	3754	4851	1098
32	26		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	3412	4410	998
33	27		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	3102	4009	907
34	28		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	2820	3645	825
35	29	106250	11302	60746	178297	339120	27130	65985	432235	253938	6345	15381	9036
36	30	159375	11302	60746	231422	678240	27130	65985	771355	539933	7486	24953	17466
37	31	265625	11302	60746	337672	339120	27130	65985	432235	94563	9930	12711	2781
38	32		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1926	2489	563
39	33		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1751	2263	512
40	34		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1592	2057	465
41	35		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1447	1870	423
42	36		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1316	1700	385
43	37		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1196	1546	350
44	38		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	1087	1405	318
45	39		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	988	1277	289
46	40		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	899	1161	263
47	41		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	817	1056	239
48	42		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	743	960	217
49	43		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	675	873	197
50	44		11302	60746	72047	339120	27130	65985	432235	360188	614	3682	3068
51	45		11302	60746	72047	678240	27130	65985	771355	699308	558	5973	5416
52	46		11302	60746	72047	339120	27130	65985	432235	360188	507	3043	2536
53	47		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	461	596	135
54	48		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	419	542	123
55	49		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	381	493	111
56	50		11302	60746	72047		27130	65985	93115	21068	346	448	101
57	51	-177083	11302	60746	-105036	-904320	27130	65985	-811205	-706169	-459	-3546	-3087
Total		1552033	567917	3052464	5172414	4521600	1363262	3315769	9200631	4028218	1168056	1487415	319360

B/C = 1.2734114　　EDR = 0.1892541

1.3　財務分析

経済評価においてフィージブルという結果の得られた事から、財務面での健全さを確認するために財務分析を実施する。財務分析としては、財務的内務収益率と電気料金との関係を明らかにし、料金の限界値を求めるとともに、中国で既に設定されている電気料金において資金、返済計画、Cashflowを作成するとともに、収益率、Debt ServiceRatio を求めて財務面での詳細な分析を行う。

1.3.1　内部収益率

内部収益率を試算するに必要な条件は以下のとおりである。

(1)　財務分析を行なうに当たっての基本条件

・電気料金は既にF/Sで使用している料金とする。

・既F/Sと協調をとるために、分析期間は、計画で調達された対象機器の耐用年数とし運開後実質30年とする。

(2)　その他税金、水利用料等

具体的には、

・電気料金　＝0.249元／kWh（ただしこの値は電力系統に供給する時の値であり、販売価格ではない）

・主要土木設備については、50年の耐用年数とする事から、減価償却にはその数字を使用した。

・税金については、生産税の他、地方税を算入し、税率の合計は入手データから10.8％とした。また水利用費はF/Sレポートの値の500千元／１年を計上した。

以上の条件で内部収益率を試算すると表－Ⅲ.1.3-1のとおり、財務的等価内部収益率ＥＤＲ(ＦＩＲＲ)は、12％となり、その時のＢ／Ｃは1.137となっている事からこの設定料金は費用の面からみて妥当と言える。又上記基本条件での電気料金の限界は0.215元/kWh付近であり、その感度分析は以下のとおりである。

（図－Ⅲ.1.3-1 参照）

電気料金	B／C	EDR（EIRR）
0.215	0.9953	0.0993
0.220	1.0159	0.1025
0.230	1.0568	0.1088
0.240	1.0973	0.1148
0.249（F/S 現価）	1.1335	0.1202
0.260	1.1772	0.1265
0.300	1.3322	0.1479

1.3.2 資金返済計画

本計画に必要な資金を、既F/Sレポートの定める方針で返済計画を試算した。その基本条件は、以下のとおりである。

・外 貨 分

— 返済期間　30年

— 金　　利　2.5 %

— 特別措置　当初10年間利子のみ返済

残り20年間（利子＋元本）の均等払い

・内貨分については

— 返済期間　10年

— 金　　利　9.36%

— 返済方法　（利子＋元本）の均等払い

この方法で内貨、外貨毎の返済計画を試算した結果は表－Ⅲ.1.3-2のとおりである。

1.3.3 損益計算書

0.249元/kWhの電気料金を収入源とした損益計算書については表－Ⅲ.1.3-3のとおりであり、本格的返済が運用開始翌年からの各年の純利益は、順調に伸びており問題は無いと思われる。

1.3.4 Cashflow

Cash Inflow Cash Outflow に分け試算した結果を表－Ⅲ.1.3-4に示す。この試算結果によれば、累計バランスが負から正に逆転するのは運開後３年と比較的早期であり、健全といえる。

1.3.5 収 益 率

収益率の試算結果を表－Ⅲ.1.3-5に示す。運開後５年目の収益率が既に14％と高い数字を示しているとともに、30年間の累計では30％という高い値となっていることから、健全な効率のよりプロジェクトと判断される。

1.3.6 Debt Service Ratio

Debt Service Ratioの試算結果を表－Ⅲ.1.3-6に示す。25年目に於けるDebt Service Ratio は2.65倍、実質30年間のその値は、3.16倍と高く健全な値と判断できる。

表－Ⅲ.1.3-1　財務評価（基本評価）

Unit=10^3 Yuan

Srl. Nu.	Aftr Comm.	Benefit (Tariff)	Cost Investmnt	Fuel Cost	O&M Cost	Tax	Water Rght	Total	B-C	Benefit	N.P.V Cost	B-C
1			64379					64379	-64379	0	58527	-58527
2			109789					109789	-109789	0	90734	-90734
3			113000					113000	-113000	0	84898	-84898
4			147523					147523	-147523	0	100760	-100760
5			281553					281553	-281553	0	174822	-174822
6			375741					375741	-375741	0	212096	-212096
7	1	73953	105881	14275	2825	7987	500	131469	-57516	37950	67464	-29515
8	2	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	137998	48748	89251
9	3	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	125453	44316	81137
10	4	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	114048	40287	73761
11	5	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	103680	36625	67055
12	6	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	94255	33295	60959
13	7	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	85686	30269	55418
14	8	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	77897	27517	50380
15	9	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	70815	25015	45800
16	10	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	64377	22741	41636
17	11	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	58525	20674	37851
18	12	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	53204	18794	34410
19	13	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	48368	17086	31282
20	14	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	43971	15533	28438
21	15	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	39973	14120	25853
22	16	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	36339	12837	23503
23	17	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	33036	11670	21366
24	18	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	30032	10609	19424
25	19	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	27302	9644	17658
26	20	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	24820	8768	16053
27	21	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	22564	7971	14593
28	22	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	20513	7246	13267
29	23	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	18648	6587	12061
30	24	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	16953	5988	10964
31	25	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	15411	5444	9967
32	26	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	14010	4949	9061
33	27	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	12737	4499	8237
34	28	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	11579	4090	7489
35	29	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	10526	3718	6808
36	30	295812		60746	11302	31948	500	104495	191317	9569	3380	6189
37	31	221859		46470	8476	23961	500	79407	142452	6525	2335	4189
Total		8652501	1197866	1775896	330579	934470	15000	4253811	4541142	1466765	1294059	172706

B/C = 1.1335　EDR = 0.120

Profit Ratio

表－Ⅲ.1.3-2　資　金　返　済　計　画

Unit=10^3 Yuan

Repayment Schedule

Srl.Nu.	Aftr.Comm.	Investment Domstc L	Investment Forgn L	I.D.C. Domstc L	I.D.C. Forgn L	Repayment Schedule (D/L) Interest	Repayment Schedule (D/L) Principal	Repayment Schedule (D/L) Total	Repayment Schedule (D/L) Balance	Repayment Schedule (F/L) Interest	Repayment Schedule (F/L) Principal	Repayment Schedule (F/L) Total	Repayment Schedule (F/L) Balance	Repayment Schedule (Total) Interest	Repayment Schedule (Total) Principal	Repayment Schedule (Total) Total	Repayment Schedule (Total) Balance
1		64379	0	6026	0												
2		109789	0	12052	0												
3		113000	0	22328	0												
4		94398	53125	32905	1326												
5		122178	159375	41740	5313												
6		110116	265625	53176	11953												
7	1	52756	53125	63483	13281				666616				531250				1197866
8	2					62395	43129	105524	623487	13281	0	13281	531250	75677	43129	118805	1154737
9	3					58358	47165	105524	576322	13281	0	13281	531250	71640	47165	118805	1107572
10	4					53944	51580	105524	524742	13281	0	13281	531250	67225	51580	118805	1055992
11	5					49116	56408	105524	468334	13281	0	13281	531250	62397	56408	118805	999584
12	6					43836	61688	105524	406646	13281	0	13281	531250	57117	61688	118805	937896
13	7					38062	67462	105524	339184	13281	0	13281	531250	51343	67462	118805	870434
14	8					31748	73776	105524	265408	13281	20797	34078	510453	45029	94573	139602	775861
15	9					24842	80682	105524	184726	12761	21317	34078	489136	37603	101999	139602	673862
16	10					17290	88234	105524	96492	12228	21850	34078	467286	29519	110083	139602	563779
17	11					9032	96492	105524	0	11682	22396	34078	444890	20714	118888	139602	444890
18	12									11122	22956	34078	421935	11122	22956	34078	421935
19	13									10548	23530	34078	398405	10548	23530	34078	398405
20	14									9960	24118	34078	374287	9960	24118	34078	374287
21	15									9357	24721	34078	349566	9357	24721	34078	349566
22	16									8739	25339	34078	324227	8739	25339	34078	324227
23	17									8106	25972	34078	298254	8106	25972	34078	298254
24	18									7456	26622	34078	271632	7456	26622	34078	271632
25	19									6791	27287	34078	244345	6791	27287	34078	244345
26	20									6109	27970	34078	216376	6109	27970	34078	216376
27	21									5409	28669	34078	187707	5409	28669	34078	187707
28	22									4693	29385	34078	158321	4693	29385	34078	158321
29	23									3958	30120	34078	128201	3958	30120	34078	128201
30	24									3205	30873	34078	97328	3205	30873	34078	97328
31	25									2433	31645	34078	65683	2433	31645	34078	65683
32	26									1642	32436	34078	33247	1642	32436	34078	33247
33	27									831	33247	34078	-0	831	33247	34078	-0
34	28																
35	29																
36	30																
37	31																
Total		666616	531250	63483	13281	388623	666616	1055239		230001	531250	761251		618624	1197866	1816490	

表－Ⅲ.1.3-3 損 益 計 算 書

Unit=10^3 Yuan

Srl. Nu.	Aftr Comm.	Revenue (Tariff)	Business Expenses Fuel Cost	O&M Cost	Deprictn	Tax	Water Rght	Total	Business Profit	Financial Cost I.D.C.	Interest	Net Profit
1										6026		-6026
2										12052		-12052
3										22328		-22328
4										34233		-34233
5										47053		-47053
6										65129		-65129
7	1	73953	14275	2825	8188	7987	500	33776	40177	76764		-36587
8	2	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		75677	82887
9	3	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		71640	86924
10	4	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		67225	91339
11	5	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		62397	96167
12	6	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		57117	101447
13	7	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		51343	107221
14	8	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		45029	113535
15	9	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		37603	120960
16	10	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		29519	129045
17	11	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		20714	137850
18	12	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		11122	147442
19	13	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		10548	148016
20	14	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		9960	148604
21	15	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		9357	149207
22	16	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		8739	149825
23	17	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		8106	150458
24	18	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		7456	151108
25	19	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		6791	151773
26	20	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		6109	152455
27	21	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		5409	153155
28	22	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		4693	153871
29	23	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		3958	154606
30	24	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		3205	155359
31	25	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		2433	156131
32	26	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		1642	156922
33	27	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		831	157733
34	28	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		0	158564
35	29	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		0	158564
36	30	295812	60746	11302	32753	31948	500	137248	158564		0	158564
37	31	221859	46470	8476	24565	23961	500	103972	118387		0	118387
Total		8874360	1822367	339055	982591	958431	15500	4117943	4756917	76764	618624	4061529

表－Ⅲ.1.3-4 C a s h F l o w

Unit=10^3 Yuan

Srl.Nu.	Cash Inflow Aftr Comm	Investmnt	Net Profit	Deprectn	Total	Cash Outflow Constrctn	Principal	Total	Balance Annual	Accumrate
1		64379	-6026		58353	64379		64379	-6026	-6026
2		109789	-12052		97737	109789		109789	-12052	-18078
3		113000	-22328		90672	113000		113000	-22328	-40406
4		147523	-34233		113291	147523		147523	-34233	-74639
5		281553	-47053		234500	281553		281553	-47053	-121692
6		375741	-65129		310611	375741		375741	-65129	-186821
7	1	105881	-36587	8188	77482	105881		105881	-28399	-215220
8	2		82887	32753	115640		43129	43129	72512	-142708
9	3		86924	32753	119677		47165	47165	72512	-70196
10	4		91339	32753	124092		51580	51580	72512	2315
11	5		96167	32753	128920		56408	56408	72512	74827
12	6		101447	32753	134200		61688	61688	72512	147339
13	7		107221	32753	139974		67462	67462	72512	219851
14	8		113535	32753	146288		94573	94573	51715	271565
15	9		120960	32753	153713		101999	101999	51715	323280
16	10		129045	32753	161798		110083	110083	51715	374995
17	11		137850	32753	170603		118888	118888	51715	426710
18	12		147442	32753	180195		22956	22956	157239	583949
19	13		148016	32753	180769		23530	23530	157239	741188
20	14		148604	32753	181357		24118	24118	157239	898426
21	15		149207	32753	181960		24721	24721	157239	1055665
22	16		149825	32753	182578		25339	25339	157239	1212904
23	17		150458	32753	183211		25972	25972	157239	1370143
24	18		151108	32753	183861		26622	26622	157239	1527381
25	19		151773	32753	184526		27287	27287	157239	1684620
26	20		152455	32753	185208		27970	27970	157239	1841859
27	21		153155	32753	185908		28669	28669	157239	1999098
28	22		153871	32753	186624		29385	29385	157239	2156336
29	23		154606	32753	187359		30120	30120	157239	2313575
30	24		155359	32753	188112		30873	30873	157239	2470814
31	25		156131	32753	188884		31645	31645	157239	2628053
32	26		156922	32753	189675		32436	32436	157239	2785291
33	27		157733	32753	190486		33247	33247	157239	2942530
34	28		158564	32753	191317		0	0	191317	3133847
35	29		158564	32753	191317		0	0	191317	3325164
36	30		158564	32753	191317		0	0	191317	3516481
37	31		118387	24565	142952		0	0	142952	3659432
Total		1197866	3874708	982591	6055164	1197866	1197866	2395732	3659432	

表－Ⅲ.1.3-5 收 益 率

Unit=10^3 Yuan

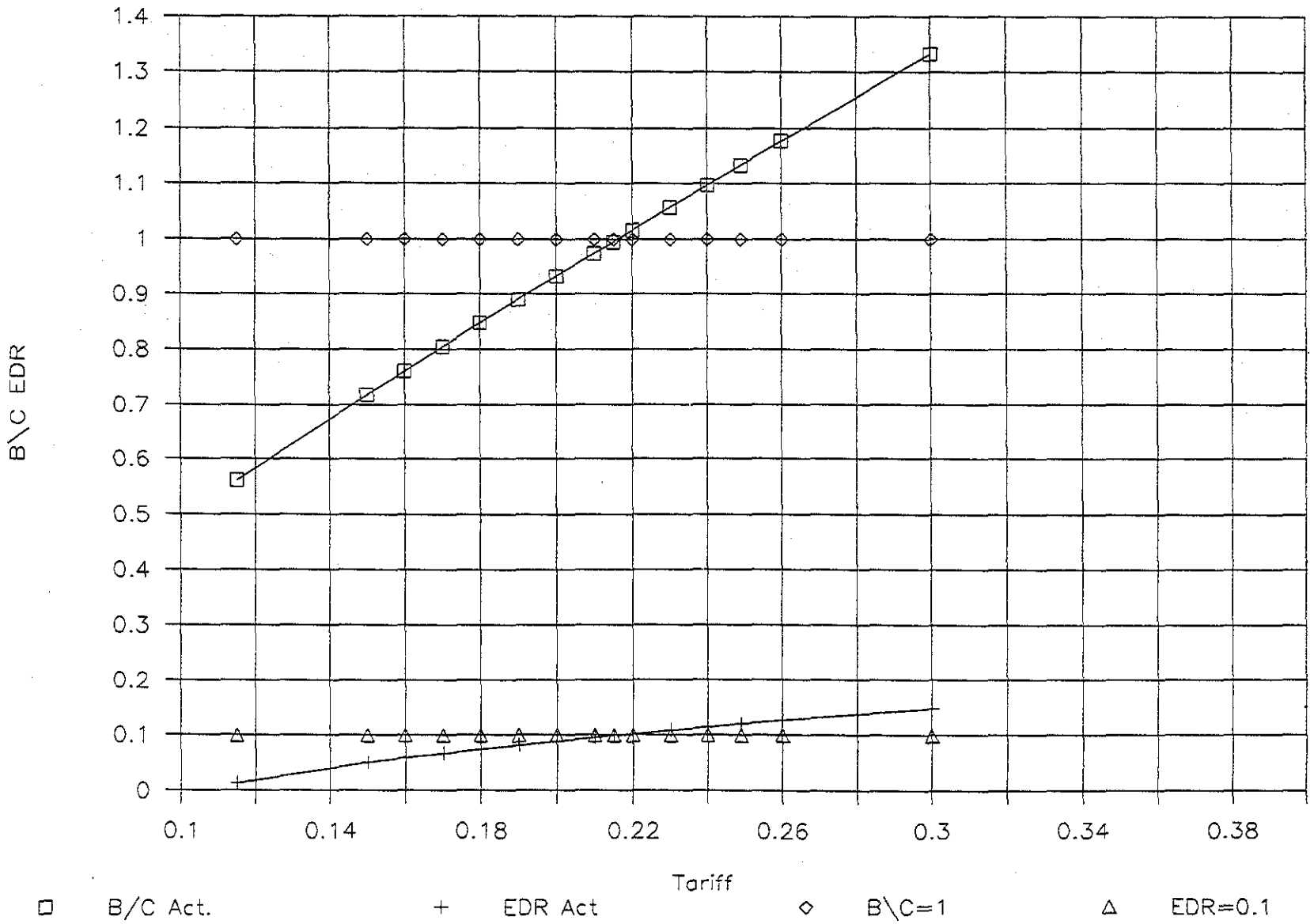
Srl.Nu.	Aftr Comm.	Operational Fixed Property Balance Former	Deprectn	Balance End	Balance Average	Balance Accumrate	Business Profit Annual	Accumrate	Profit Ratio (%)
1									
2									
3						(A)		(B)	(A)/(B)
4									
5									
6									
7	1	982591	8188	974402	978497	978497	40177	40177	
8	2	974402	32753	941649	958026	1936523	158564	198741	
9	3	941649	32753	908896	925273	2861796	158564	357305	
10	4	908896	32753	876143	892520	3754315	158564	515869	
11	5	876143	32753	843390	859767	4614082	158564	674433	14.62
12	6	843390	32753	810637	827014	5441096	158564	832997	
13	7	810637	32753	777884	794261	6235357	158564	991561	
14	8	777884	32753	745131	761508	6996865	158564	1150124	
15	9	745131	32753	712378	728755	7725620	158564	1308688	
16	10	712378	32753	679625	696002	8421621	158564	1467252	17.42
17	11	679625	32753	646872	663249	9084870	158564	1625816	
18	12	646872	32753	614119	630496	9715366	158564	1784380	
19	13	614119	32753	581366	597743	10313109	158564	1942944	
20	14	581366	32753	548613	564990	10878098	158564	2101508	
21	15	548613	32753	515860	532237	11410335	158564	2260072	19.81
22	16	515860	32753	483107	499484	11909819	158564	2418636	
23	17	483107	32753	450354	466731	12376549	158564	2577199	
24	18	450354	32753	417601	433978	12810527	158564	2735763	
25	19	417601	32753	384848	401225	13211751	158564	2894327	
26	20	384848	32753	352095	368472	13580223	158564	3052891	22.48
27	21	352095	32753	319342	335719	13915941	158564	3211455	
28	22	319342	32753	286589	302965	14218907	158564	3370019	
29	23	286589	32753	253836	270212	14489119	158564	3528583	
30	24	253836	32753	221083	237459	14726579	158564	3687147	
31	25	221083	32753	188330	204706	14931285	158564	3845711	25.76
32	26	188330	32753	155577	171953	15103238	158564	4004275	
33	27	155577	32753	122824	139200	15242439	158564	4162838	
34	28	122824	32753	90071	106447	15348886	158564	4321402	
35	29	90071	32753	57318	73694	15422580	158564	4479966	
36	30	57318	32753	24565	40941	15463522	158564	4638530	30.00
37	31	24565	24565	0	12282	15475804	118387	4756917	30.74
Total		15967100	982591	14984509	15475804		4756917		

表－Ⅲ.1.3-6 Debt Service Ratio

Unit=10^3 Yuan

Srl. Nu.	Aftr Comm	Internal Capital Rasing				Payment Debt				Debt Service Ratio
		Business Profit	Deprectn Annual	Total Annual	Accumrate	Interest	Principal	Total Annual	Accumrate	
1										
2										
3					(A)				(B)	(A)/(B)
4										
5										
6										
7	1	40177	8188	48365	48365					
8	2	158564	32753	191317	239682	75677	43129	118805	118805	
9	3	158564	32753	191317	430999	71640	47165	118805	237610	
10	4	158564	32753	191317	622316	67225	51580	118805	356415	
11	5	158564	32753	191317	813633	62397	56408	118805	475221	1.71
12	6	158564	32753	191317	1004950	57117	61688	118805	594026	
13	7	158564	32753	191317	1196267	51343	67462	118805	712831	
14	8	158564	32753	191317	1387584	45029	94573	139602	852433	
15	9	158564	32753	191317	1578901	37603	101999	139602	992035	
16	10	158564	32753	191317	1770218	29519	110083	139602	1131637	1.56
17	11	158564	32753	191317	1961535	20714	118888	139602	1271239	
18	12	158564	32753	191317	2152852	11122	22956	34078	1305317	
19	13	158564	32753	191317	2344168	10548	23530	34078	1339396	
20	14	158564	32753	191317	2535485	9960	24118	34078	1373474	
21	15	158564	32753	191317	2726802	9357	24721	34078	1407552	1.94
22	16	158564	32753	191317	2918119	8739	25339	34078	1441630	
23	17	158564	32753	191317	3109436	8106	25972	34078	1475708	
24	18	158564	32753	191317	3300753	7456	26622	34078	1509786	
25	19	158564	32753	191317	3492070	6791	27287	34078	1543864	
26	20	158564	32753	191317	3683387	6109	27970	34078	1577943	2.33
27	21	158564	32753	191317	3874704	5409	28669	34078	1612021	
28	22	158564	32753	191317	4066021	4693	29385	34078	1646099	
29	23	158564	32753	191317	4257338	3958	30120	34078	1680177	
30	24	158564	32753	191317	4448655	3205	30873	34078	1714255	
31	25	158564	32753	191317	4639971	2433	31645	34078	1748333	2.65
32	26	158564	32753	191317	4831288	1642	32436	34078	1782412	
33	27	158564	32753	191317	5022605	831	33247	34078	1816490	
34	28	158564	32753	191317	5213922	0	0	0	1816490	
35	29	158564	32753	191317	5405239	0	0	0	1816490	
36	30	158564	32753	191317	5596556	0	0	0	1816490	3.08
37	31	118387	24565	142952	5739508	0	0	0	1816490	3.16
Total		4756917	982591	5739508		618624	1197866	1816490		

図－Ⅲ.1.3-1　電気料金感度分析



1.4 まとめ

1.4.1 経済評価について

既F/Sレポートが選定した代替火力は利用率が約30%と極端に低く、十三陵揚水に要求されている発電電力の他に、更に便益を産み出す能力をもっている事から、電力系統全体から評価すれば違った評価となる可能性がある。しかし、十三陵揚水の運転時間で制約をかけた場合には、経済的見地から最もふさわしい代替電源と判断できる。この代替電源を用いた既F/Sレポートの経済評価は、運用面等、一部見直しの必要があるが、概ね正しいものと判断できる。この事から上記手法に則って、一部工事費の見直しを取り入れ経済評価を再度実施した結果、中国で要求される評価基準を満足しており、フィージブルであるという結論を得た。なお代替電源にガスタービンを用いてクロスチェックを行ったが、同じくフィージブルであると確認された事から経済評価は問題無しと判断できる。

1.4.2 財務分析

財務分析においては、最も基本となる内部収益率と電気料金とは充分整合性がとれており、特に問題はない。また、本調査で想定した資金の返済計画に沿って、損益計算書、Cash flow 利益率、Debt Service Ratio を作成し、詳細に分析した結果財務面は問題無いと判断される。

JICA