

フィリピン共和国

アングットダム修復計画

調査報告書

(要 約)

平成元年3月

国際協力事業団

鉦計資

J R

89 - 77



フィリピン共和国

アンガットダム修復計画

調査報告書

(要 約)

JICA LIBRARY



1073682[5]

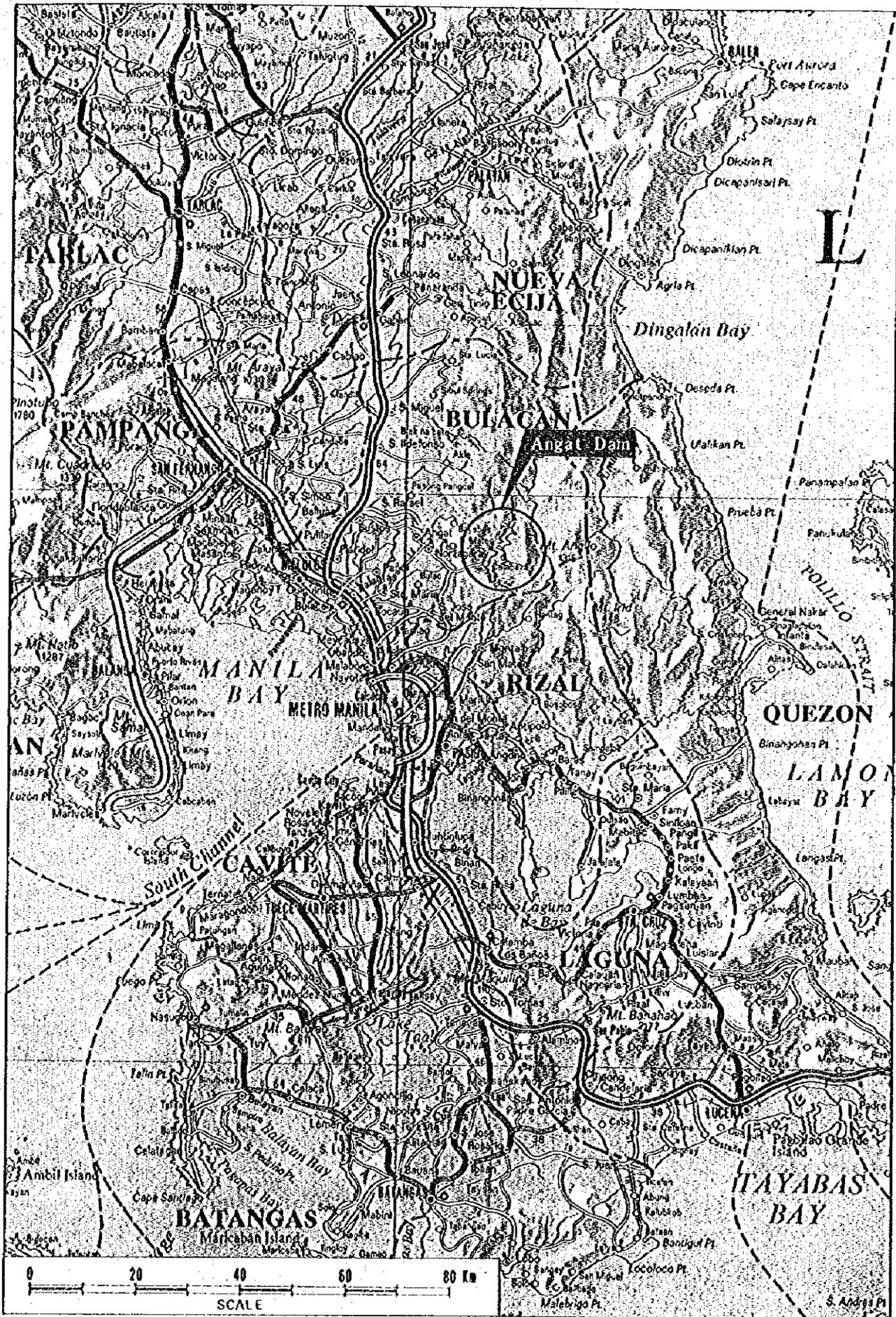
19041

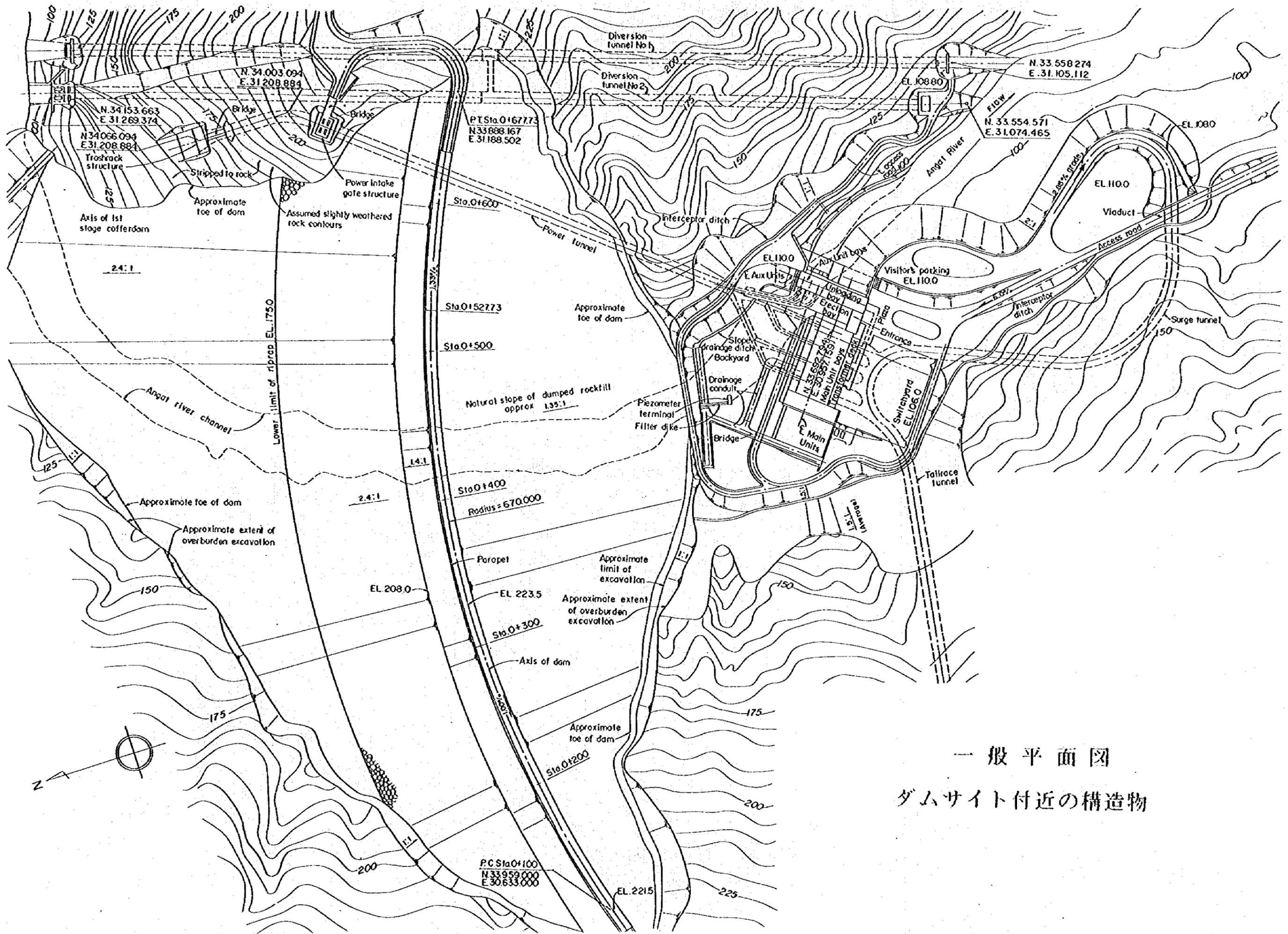
平成元年3月

国際協力事業団

国際協力事業団

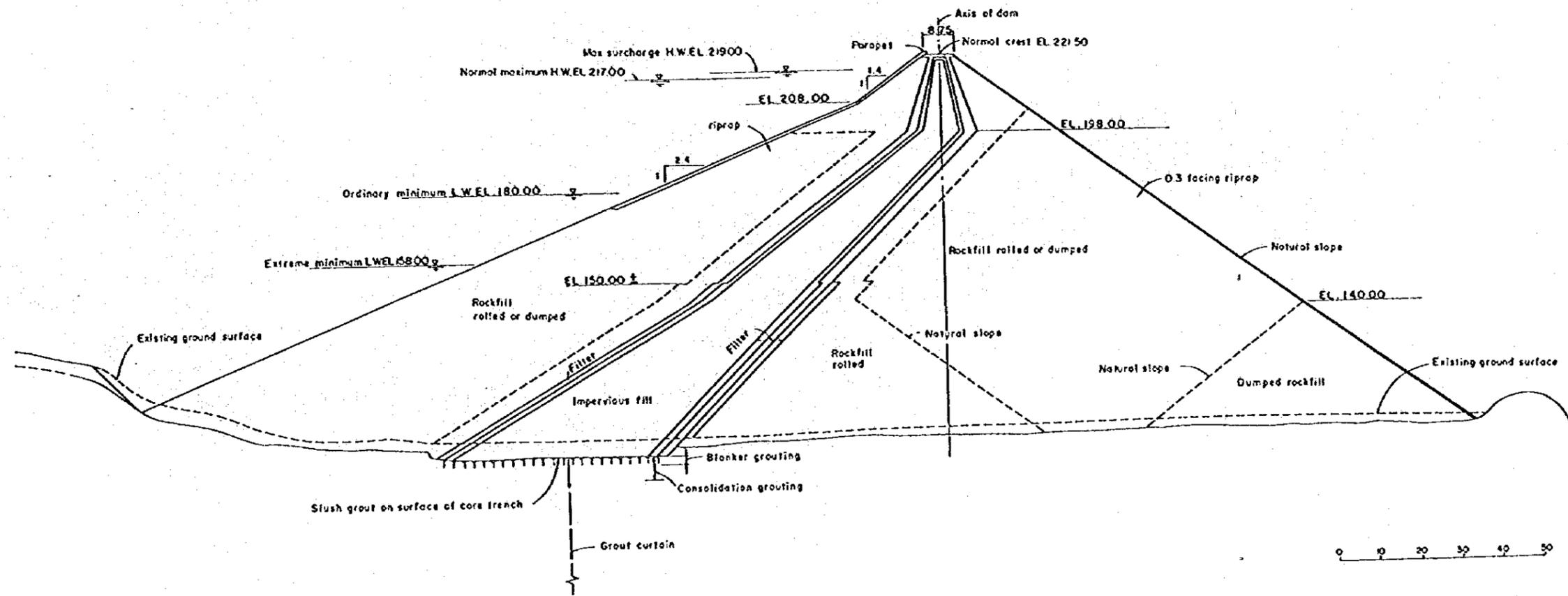
19041





一般平面図  
 ダムサイト付近の構造物

# アンガットダム標準断面図







**Angat Dam and Powerhouse**



# 目 次

位置図および現地写真

ト

結論と勧告	1
1. 序 論	5
2. プロジェクトの背景	6
3. 調査業務の種類	7
3. 1 現地調査	7
3. 2 国内作業	10
4. 検討結果の概要	11
4. 1 洪水吐容量についての検討結果の要約	11
4. 2 主ダムおよびダイクの 安定計算を行った結果の要約	17
4. 3 ダイクからの漏水に関する調査分析結果の要約	25
4. 4 旧パッチャープラント跡における 地すべりに関する検討結果の要約	28
4. 5 修復計画に関する要約	35
4. 6 経済性の検討に関する要約	41
4. 7 ダム構造物管理基準に関する要約	42
4. 8 ダム安全管理体制に関する要約	43
4. 9 水圧管路からの漏水に関する検討結果の要約	44



## 結論と勧告



## 結論と勧告

### 結論

アンガットプロジェクトの構造物に関する問題点として、以下の項目について検討した。

- i) 洪水吐設備の放流能力
- ii) ダムおよびダイクの堤体の安定性
- iii) 旧バッチャープラント跡の地すべり
- iv) ダイクからの漏水
- v) 鉄管路からの漏水

検討結果から以下の事項が明らかになった。

- i) アンガットダム洪水吐は、洪水期において貯水池水位を EL. 212.0 に制限すれば以下なる洪水にも対処し得る
- ii) 主ダムおよびダイクの安定性
  - 建設後20有余年を経ているが、特記すべき損傷は見受けられない。
  - 常時における安全性には問題はない。
  - 地震時においては、急勾配法面部に不安定部が発生する可能性がある。  
しかし、このすべりは表層近くのものであり、堤体全体を危険に導くものでなく、今、早急に修復する必要はないものと考えられる。
- iii) 旧バッチャー プラント跡の地すべり
  - 地すべりの発生は、建設工事時代、バッチャープラント敷地として埋立てられた地域に発生したもので、そのすべり跡は、いまだ不安定のまま残され、降雨が続けば地すべりの再発はまぬがれない。

○早急な地すべり安定化工事が必要である。

h) ダイクからの漏水

○貯水池からの漏水量は、年間平均 8.3  $\text{L/s}$  程度であり、年間での総漏水量は、261,000  $\text{m}^3$ 、これを電力量に換算して、56,100  $\text{kWh}$  の損失に対応する。

○貯水池からの漏水経路はほぼ EL. 190以上が支配的である。

○現在、漏水は定常状態に落ち着いているものと判断される。

また、今、直ちに対策する必要は認められない。

v) 鉄管路の漏水

○鉄管路の漏水は、時間とともに増大しているものと考えられる。1982年時点での漏水量は 0.7  $\text{m}^3/\text{s}$  程度と推定される。

○漏水点は、鉄管分岐部および鉄管始点の2ヶ所と推定される。

○できるだけ早い機会に修復することが必要である。

## 勸告

### 1. 修復工事について

アンガット地点で必要とされる修復は次のとおり。

- i) 旧バッチャープラント地域の地すべり対策
- ii) ダイクからの漏水対策
- iii) 鉄管路の漏水の修復

旧バッチャープラント跡の地すべり再発は、マニラ上水の取水を困難にし、社会生活に重大な影響をおよぼすことになるので、アンガット地点の修復項目の中で最優先すべきものである。この修復工事に要する工事費は 437,000 US\$, 工期は 9ヶ月と見込まれる。

ダイクからの漏水は、現在、ダイクの構造的を危険にしているものではない。また、修復費に比べて利益が小さく、今、直ちに修復を必要とするものではない。しかし、将来、例えば地震等によって滲透水の平衡がこわれ、漏水量が増大する等、危険視される事態になったら修復するのが適当である。現時点で、予想されるダイクの漏水対策工事は、約 380,000 US\$ と考えられる。

アンガット発電所の鉄管路の漏水は技術的に非常に憂慮される問題であり、できるだけ早い機会に鉄管内部より調査し、漏水箇所や鉄管損傷の詳細な実体を把握した上で対策を施さねばならない。

## 2. ダム安全管理について

ダムやダイクの堤体上に繁茂している草木は、伐採除去しなければならない。これは、モニタリングや巡回点検時の視界を確保し、また、保守作業の便を計るためばかりでなく、強風時に揺れ動く樹木の根幹によって堤体盛立部が緩んだり、移動することを防止するためである。

## 3. モニタリングについて

現行のモニタリングは、今後も継続して実施することが必要である。ダイクからの漏水は、現在安定しているが、将来地震等によって平衡が破られ、量的に増大する可能性があるので、注意深い観察が必要である。

また、主ダムおよびダイクの堤体は、大きな地震時に部分的に不安定化するので、70ガル以上の地震に遭遇した場合、必ず巡視検査や法勾配の測量チェックによって、堤体損傷の有無を調査する必要がある。アンガットダム（発電所）に、土木構造物保守管理する専任土木技術者を常駐させることが望ましい。

## 1 序 論

本報告書は、フィリピン電力公社 (NAPOCOR, The National Power Corporation) 所属のアンガットダム修復計画調査業務の最終報告書である。

本業務は、昭和62年 9月より約17ヶ月の業務実施期間にアンガットダム、および、その付帯設備について、その現状を調査し、NAPOCOR が実施する追加調査を計画・指導し、さらに現地でダムモニタリングの指導を行い、技術的・経済的および財務的に最適な修復計画とダム管理基準を策定することを目的としている。

本業務には、当初田バッチャープラント跡の地すべり、ダイクからの漏水の調査に加えて、水圧鉄管、水車ドラフトチューブからの漏水に関する調査が含まれていたが、これらの諸調査のうちでも緊急度の高い、かつ重要であると思われた水圧鉄管からの漏水調査は、NAPOCOR 側からの都合によって、鉄管内の抜水が本調査期間中に実現できず、このため鉄管内部からの漏水破損状態の具体的な調査が行われていない。この意味ではアンガットダムの修復計画調査は今日をもって完了したわけではなく、重要な調査検討項目が後日に残されたことになる。

## 2 プロジェクトの背景

アンガットダム、および、その付帯設備は、フィリピン共和国マニラ市の北東約 35kmに位置し、米国ハルザ社の設計により1967年に建設され運開した水力発電所である。

ダムは、高さ 131m、堤頂長 368m、傾斜しゃ水壁型ロックフィルダムであり、このダムによって造られる貯水池は、流域面積 568km<sup>2</sup> で、有効貯水量 8.5億 m<sup>3</sup>である。発電設備はこの貯水池を利用して、最大出力 228 MW の電力を発電し、ルソン島における尖頭負荷に対応する主要電源として稼働している。

アンガットダムは、建設以来20年を経過し、その保安管理業務、漏水・地すべり対策などの修復計画が考えられていたが、1986年にダムと洪水吐との間にある旧パッチャープラント跡地周辺地山で地すべりが発生したことと、水圧鉄管からの漏水、副ダム頂部左岸地山における湧水、水車ドラフトチューブからの漏水等、構造物の安全性が問題となり、それらの修復計画策定が、緊急かつ、重要性を持つに至ったものである。これらの問題について NAPOCOR は独自に調査を進める一方、フィリピン政府を通じ、日本政府に対し技術援助の要請があり、その重要性に鑑み、国際協力事業団 (JICA) は昭和62年 2月事前調査団を現地に派遣し、調査打合せを行ったが、その後本格的調査を昭和62年 9月より開始し現在に至り今回調査が完了し、各種問題点の解決がなされたものである。

### 3 調査業務の種類

1987年 9月、本格調査業務開始直後にあつては、本調査業務の主目的は次の3種類であつた。

- (I) 主ダム左岸に接続しているダイクからの漏水に関する調査
- (II) ダム周辺地山の左岸尾根、旧バッチャープラント跡に発生している地すべりの調査
- (III) 発電設備に関する調査

水圧鉄管、水車ドラフトチューブからの漏水等の現状調査を通しての発電設備の老朽化調査

しかし、この3種類の調査の項目のうち、3番目の発電設備に関しては、NAPOCOR側の諸般の理由により鉄管の放水を伴う内部からの点検ができなかったために、やむを得ず今回の調査項目より除外された。

本計画調査業務の作業は大別して現地調査と国内作業の2つに大別される。

#### 3.1 現地調査

##### II) JICAチームによる現地調査

アンガット修復計画調査チームによる現地調査は以下に示す6名の専門技術者によって、1987年 9月17日より1987年11月 3日までの期間に実施された。

チームリーダー	神月 隆一	1987年 9月17日 ~ 10月16日
土木設計	松井 豊	1987年10月 5日 ~ 11月 3日
土木設計	神津 育雄	1987年10月 5日 ~ 11月 3日
地 質	川原 恵	1987年 9月17日 ~ 10月 4日
電気、機械	高橋 正樹	1987年10月 4日 ~ 10月14日
メタルワーク	大野 信雄	1987年10月 4日 ~ 10月14日

調査団員はフィリピン滞在中、主として下記業務を実施した。

1. NAPOCOR に対するインセプションレポートの提出とその説明
2. 各種情報の収集
3. ダムおよびダイクの現地踏査
4. 旧バッチャープラント地すべり地域の踏査
5. 洪水吐設備の検査
6. 追加調査並びにモニタリング設備計画およびその技術仕様書の作成
7. 鉄管・発電機器の外部からの検査
8. 既存モニタリング設備の調査

## 2) 追加調査工事

現地調査結果に基づいて、調査団の作成した現地追加調査計画並びに、モニタリング設備設置計画は、NAPOCOR によってその工事が実施されたが、これに関する現地技術者指導のため、調査団員 神津育雄および藤原保が 4 回にわたって現地に出張している。NAPOCOR が実施した追加調査工事およびモニタリング設備工事に関する情報は次表に示したとおりである。

追加調査工事およびモニタリング設備進捗状況

調査場所	項目		単位	数量	完成年月
ダイク区域	測量	地形	m <sup>2</sup>	65,000	1988年2月
		横断	m	750 (3断面)	1988年2月
	ボーリング	左岸	孔	4 (140m)	1988年10月
		中央	孔	3 (70m)	1988年10月
	変形測定		点	3	1988年3月
	漏水測定		ヶ所	1	1988年3月
地すべり区域	測量	地形	m <sup>2</sup>	151,000	1988年2月
	ボーリング	地質調査	孔	6	1988年7月
		インクリノメーター	孔	6	1988年7月
	ピット		坑	3	1987年12月
土質試験		セット	3	1987年12月	
鉄管路区域	測量	地形	m <sup>2</sup>	50,000	1988年2月
	ボーリング	地質調査	孔	1 (75m)	1988年10月
		ピエゾメーター	孔	1	1988年11月
	漏水測定		ヶ所	2	1988年3月
主ダム区域	測量	断面	m	300	1988年3月
	変形測定		点	6	1988年3月
	地震計		ヶ所	1	1988年4月
	クラック計	洪水吐	ヶ所	1	1988年4月

### 3.2 国内作業

本節には、1987年9月から現在に至るまでの間に行われてきた、アンガットダム修復計画プロジェクトに関する種々の調査結果、および、それ以前に NAPOCOR によって独自の立場で行われていた調査結果を用いて国内作業を行った。

記載されている検討項目は次のとおりである。

- (I) 洪水吐の容量が計画洪水量を放流するのに十分であるかについての検討
- (II) 堤体の安定性の検討
- (III) ダイクからの漏水に関する検討
- (IV) 旧バッチャープラント跡における地すべりに関する検討

さらに、今回の業務内容からは除外されたが、アンガット発電所の安全性に関して重大な意味をもつ鉄管路からの漏水の問題に関しては、NAPOCOR が過去において行った独自の調査結果の資料に基づいて分析を試みたが、その結果も本報告書に補遺として記載されている。

上記の調査結果をふまえて、本プロジェクトに対する修復計画を提案し、これに対して経済的評価を加えるとともに、今後のダム水路構造物等に対して、維持管理するにはどのような機構が必要であるかを記載している。

## 4 検討結果の概要

### 4.1 洪水吐容量についての検討結果の要約

アングット地点の洪水量の設定については、過去において何回も見直しされているが、最新の見直しは1984年に行われている。

洪水吐の容量が十分であるか否かを検討するためには、

- 1) 洪水時のダムへの洪水流入パターンの設定
- 2) 洪水時に許容されうるダム水位の設定
- 3) ダムからの放流が下流々域に被害を与えない無害放流量の設定

等について検討されねばならない。

通常、我が国においては、フィルタイプダムの設計に対して採用されるべき計画洪水量としては、200年確率の洪水量の20%増しのものが考慮されているが、PMFに対しても検討しておくことが望ましい。

本報告書では、実測された1957年から1987年までの洪水ピーク流入量および連続1日間、2日間、3日間、4日間、5日間の流入総量を用いて、その確率評価を行い200年、100年、50年等のダムへの確率流入量に対する流入パターンを作成した。(図-1.1)その結果、200年確率の流入ピーク量として、7,850 m<sup>3</sup>/s、また200年確率の連続した1日、2日、3日、4日、5日間の総流入量はそれぞれ339.3 MCM、457.6 MCM、560.8 MCM、656.7 MCM、718.0 MCMであると算出された。

このように設定された200年確率の流入パターンを1.2倍したものをアングットダムの洪水吐容量検討のための計画洪水量(図-1.2)として、ダムのHWLをEL. 212とし、洪水流入初期段階にあっては、この水位を保つようゲート操作を行い、ダムへの洪水流入量が2,400 m<sup>3</sup>/sを越えた時から洪水吐ゲートを全開するようなゲート操作を行えば、本ダムでの洪水時に許容されうる最高水位EL. 218(風浪高、および、フィルタイプダムに要求される余裕1.5mを考慮したもの)以下のEL. 217.80にダム水位が抑えられうることが判明した。

また、かりに上で述べたダム水位 EL. 212 のかわりに、ダム水位 EL. 213 で、流入量が  $2,800 \text{ m}^3/\text{s}$  を越えた時点でゲートを全開するように運転したとしても、水位上昇最高値は、EL. 218.12 となり、設計上の制限される許容水位 EL. 218.0 を若干越えることになるが、実際の運営上ほとんど問題はないと思われる。(図-1.3, 表-1.1)

PMF の流入に対しては、(検討に用いた PMF 流入パターンは、1984年に作られたものと同じものである) 前述と同じゲート操作を行うとすると、最高水位は EL. 219.35 まで、上昇することになる。(表-1.2)

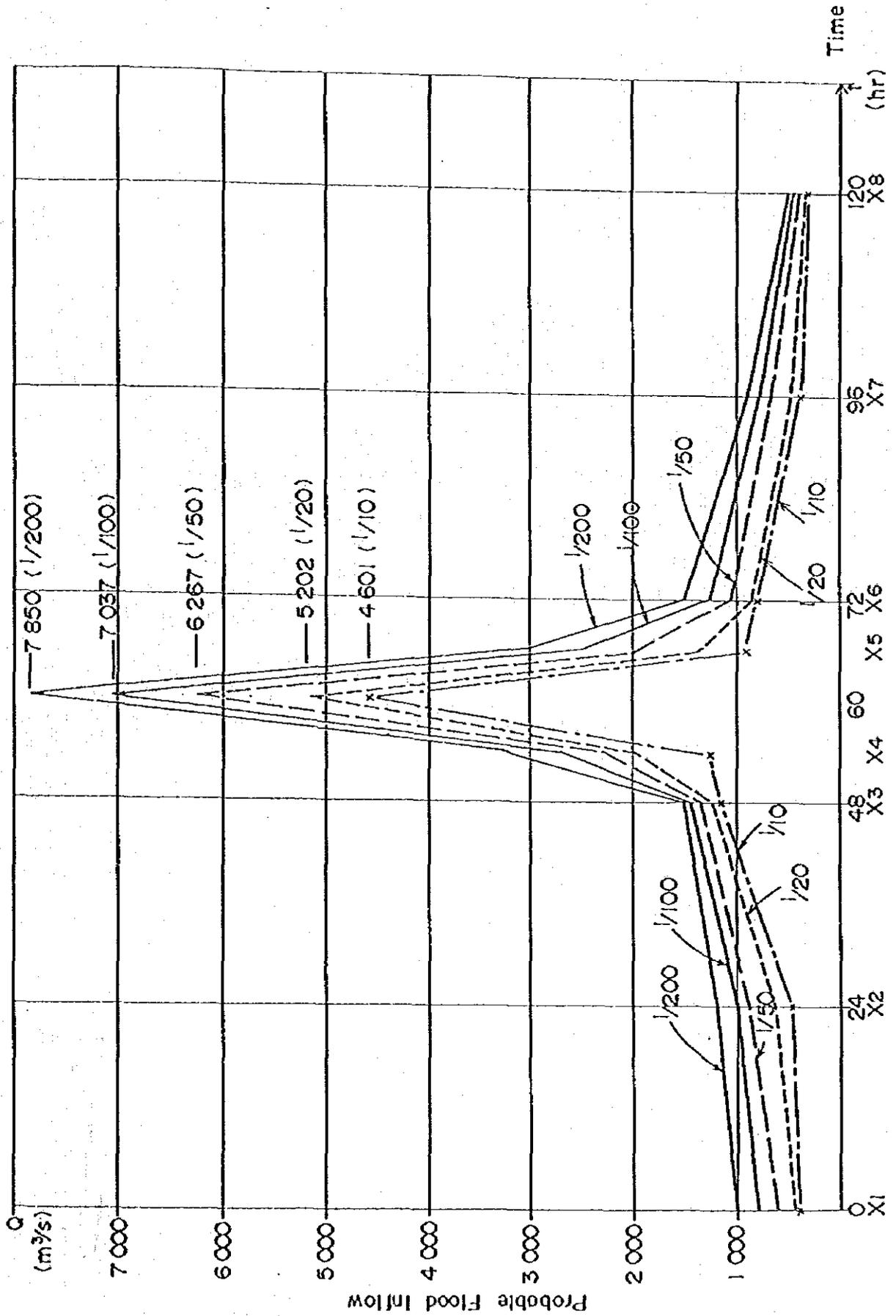
これは許容水位を 1.35m 越えることになるが、PMF 自体の発生確率は極めて小さいものであり、この場合は上昇水位がダム非越流部を越波しない範囲におさまれば良く、通常考える余裕高を考える必要はないものと思われる。

通常の高さを考慮しなければ、許容される最高水位は、波浪高のみを考慮して EL. 219.5 となるので、アンガットダムは現存する洪水吐設備で、ダムを越波することなく PMF に対処し得ることが判った。

また、下流に対する影響については、前述したようなゲート操作により、下流へ放流したとしても、無害放流とされるノルサガライ地点における水位上昇規制値  $30 \text{ cm} / 30 \text{ 分}$  以下であることが判った。

以上の結果から、アンガットダムの洪水吐は我が国の規準に照らして考えると、十分な余裕があるとは言えないまでも、基準に適合することが判明した。

图-1.1 Patterns of the Probable Flood Inflow by Return Period



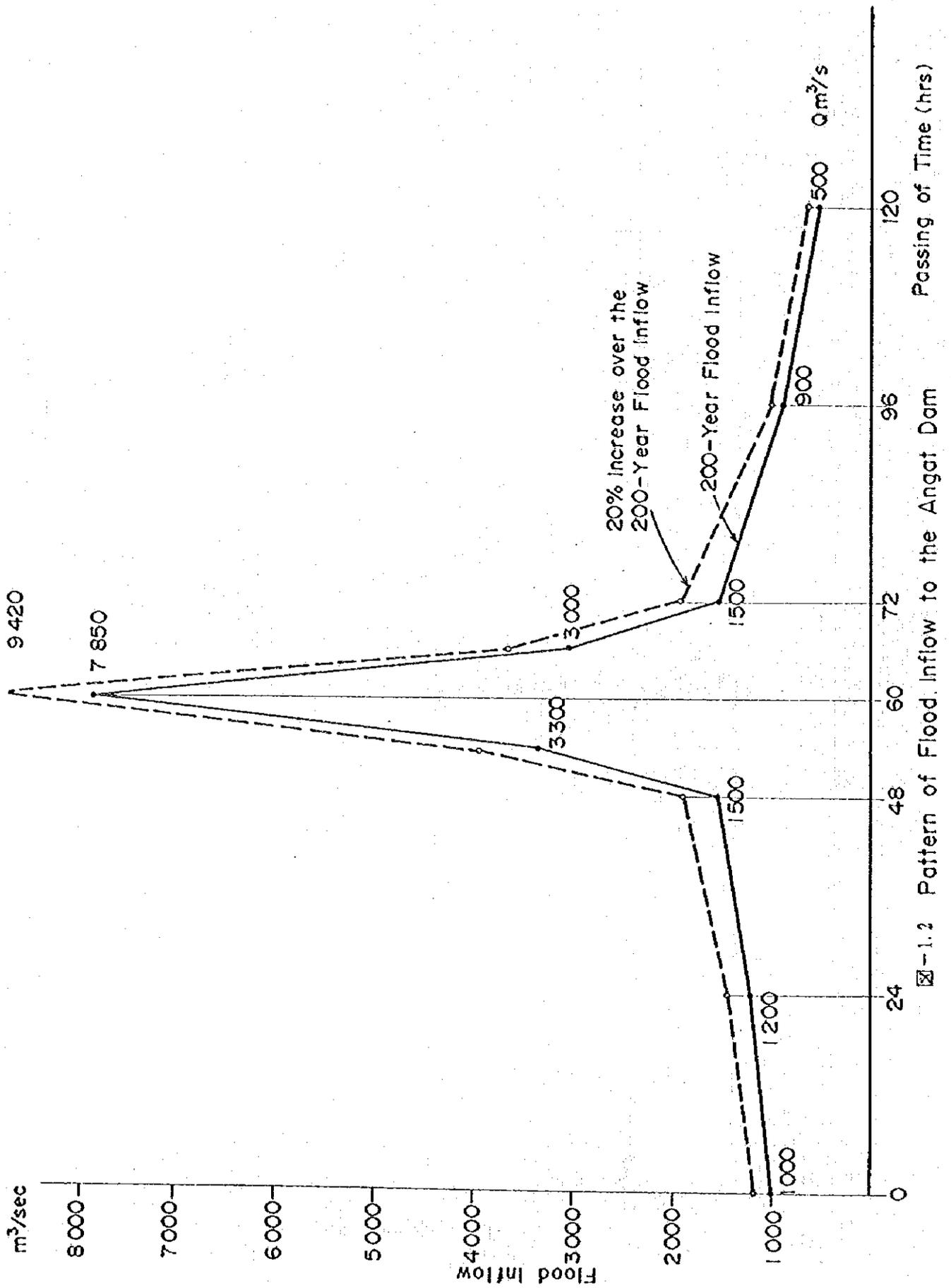


Fig-1.2 Pattern of Flood Inflow to the Angat Dam

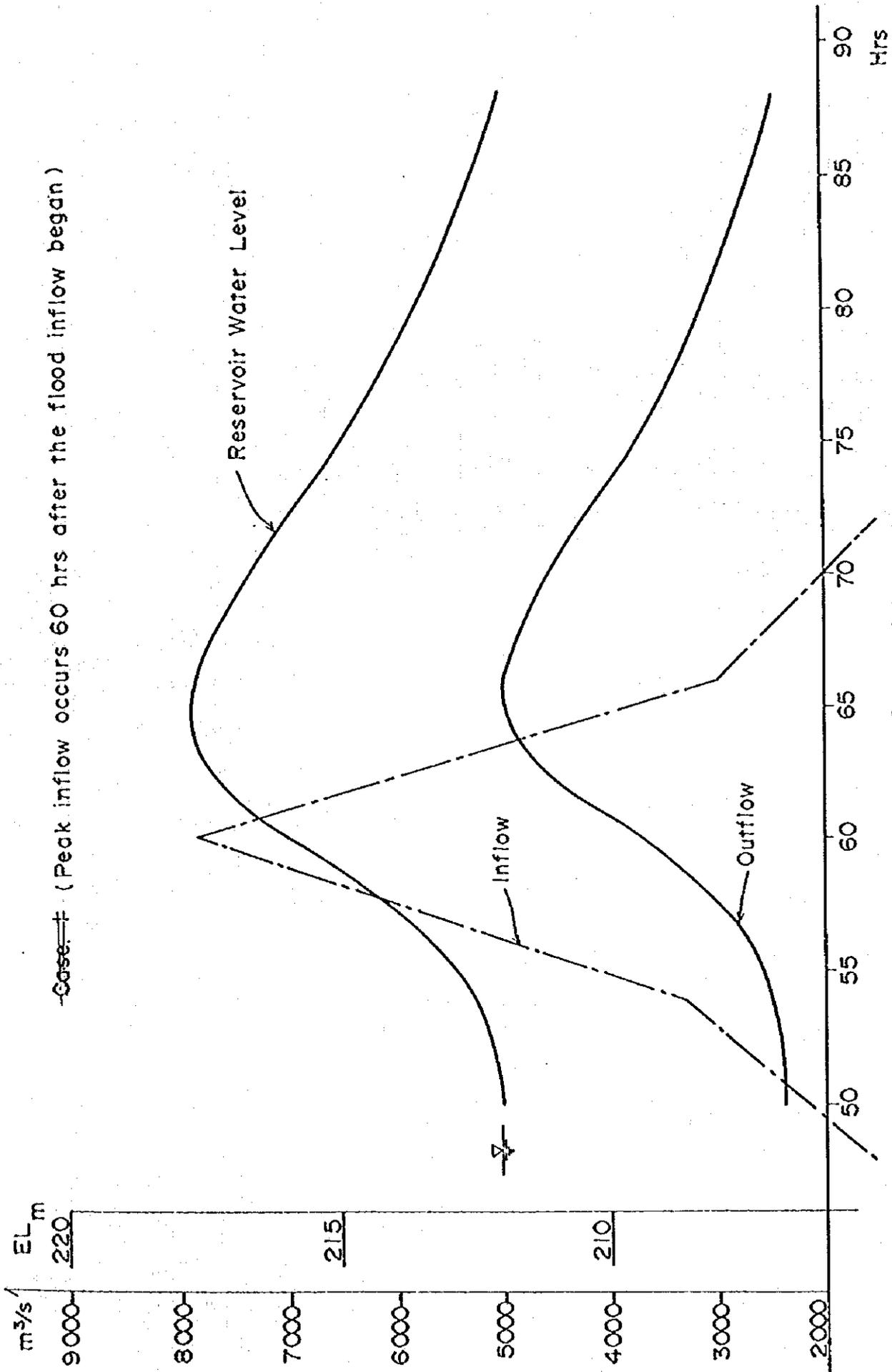


Fig - 1.3 Change in the Reservoir Water Level and the inflow to and Outflow from the Dam during the Flood with a 200-Year Return Period Multiplied by 1.2

表-1.1 設計洪水量に対して

洪水確率年	流入量 ピーク時	洪水前 ダム水位	ゲート全開 時ダム水位	ダム最高 水位	最大放流量	最大放流量 最大流入量
200年確率 洪水量 x 1.2	中央型 60hr	212	213	EL. 218.12	m <sup>3</sup> /s 5,143	0.55
	"	212	212	217.80	4,977	0.53
	"	211	211	217.51	4,826	0.51
	"	210	210	217.23	4,684	0.50
	前期型 54hr	212	213	217.87	5,012	0.53
	"	212	212	217.49	4,815	0.51

表-1.2 PMF 流入量に対して (m<sup>3</sup>/s)

洪水確率年	流入量	洪水前 ダム水位	ゲート全開 時ダム水位	ダム最高 水位	最大放流量	最大放流量 最大流入量
PMF	PMF パターン	EL. 212	EL. 213	EL. 219.35	(m <sup>3</sup> /s) 5,810	0.69
	"	212	212	219.29	5,774	0.69
	"	211	211	219.24	5,747	0.68
	"	210	210	219.20	5,725	0.68

#### 4. 2 主ダムおよびダイクの安定計算を行った結果の要約

主ダムおよびダイクの安定計算を行うに当って、ダムの水位としては、HRL および LRL、さらに、HRL から LRL へ急速低下させた場合が考慮され、さらに、これらに加速度0.15gの地震を作用させた場合が考慮された。安全であるか否かの評価は、地震を考慮しない常時の状態にあつては、すべりの安全率が1.2以上であること、またさらに、これに地震を加味した時にはすべりの安全率が1.0以上であることでもって判断することとした。

計算の結果は次のとおりであつた。(表-2.1)

ダム上流面の安定に関して、ダム水位が HRL から LRL への急速低下する条件を除いて、最少の安全率を示す荷重の組合せはダムが HRL であつて0.15gの地震が加わつた時であることがわかつた。

コアを横切るようなすべりを想定した場合は、ダムが LRL になつたときの方が、HRL のときよりも安全率は小さくなる。

コア材の材質は、建設時のデータ不足のため判断することは困難であるが、建設中のアンガットダム・サイト付近での風化残留土の検討結果や、アンガットダムより少し前に建設されたビンガ・アンブクラオ両ダムでの結果を参考として、少くともアンガットダムのコアの物性値は、内部摩擦角  $\phi = 25^\circ$  粘着力  $C = 6 \text{ t/m}^2$  と  $\phi = 30^\circ$ 、 $C = 4 \text{ t/m}^2$  の範囲にあるものと推定される。

そのような性質がコアにあるものとし、ロック材の内部摩擦角を  $43^\circ$ 、フィルター部  $35^\circ$  であると仮定すると、コアを通るようなすべりの最悪の場合、すなわち、ダム水位が LRL で、地震が加わつた時でも、もしコアの内部摩擦角が  $25^\circ$  以上であれば、安全率が1より大きくなることが判明した。また、もし、ロックの内部摩擦角が  $45^\circ$  であるとする、コアの内部摩擦角が  $22^\circ$  以上であれば、安全率は1.0を上まわつて安全である。(図-2.1)

一般にはロック材は  $\phi$  は  $43^\circ$  以上あり、かつコアの  $\phi$  も  $30^\circ$  近くあるものと思われるために、アンガットダムはダムの水位が HRL より LRL まで急低下する場合以外は安全である。

ダムの水位の急低下を行った場合でも地震を考慮しなければ、安全率は1.2を上廻るが、

もし地震を考慮すれば、ロック材の内部摩擦角が $43^\circ$ であればコアの内部摩擦角が $29^\circ$ 以下、またロック材の内部摩擦角が $45^\circ$ であればコアの内部摩擦角が $26^\circ$ 以下では安全率は1を下廻る。

しかし、アングットダムは非常に大きな湛水面積を持っているため、HWL (EL. 217) から LWL (EL. 180) までの急速低下の条件は非現実的であって敷し過ぎ、さらに、この低下し終わった瞬間に、 $0.15g$ の大きな地震が発生すると考えるにはあまりにも酷と思われるので、この場合若干安全率が1を割っても差支えないものと判断した。

ダムの背面は実測の結果も、また、設計図もともに、 $1:1.4$ の勾配であって(図-2.2, 2.3)、建設後なん等変化はしていないと思われるが、背面のすべりについてはロック材の内部摩擦角を $43^\circ$ とすると、静的条件下にあつては勿論安全率は、 $1.2$ を上廻るが、 $0.15g$ の地震が働いた場合に、すべりの最少の安全率は $0.964$ となり若干1を切ることになるが、そのすべりはごくダムの表面のみに限られる(図-2.4)。そのため必ずしも、安全であるとは言えないが、地震がきたからと言って直にダムの破壊につながらないと思われる。地震によってすべるであろう部分を取り除いた断面について安定計算を行ったところ、静的条件下で安全率1を保つことができる。そのためアングットダムは今の状態のままとし、もし将来不幸にして大きな地震に遭遇し、ダムの下流面の表層近くにすべりが発生した時には、ダムの安定性を復旧するために背面勾配を $1:1.46$ 程度に積み直すことで対処すればよいと思われる。

ダイクの安定性についての検討の結果は次のとおりであった。

ダイクの上流面勾配は平均 $1:1.8$ と主ダムに比べて幾分急になっているため、大きなすべりに対する安全率は主ダムに比べて小さくなるが、地震時でも $1.0$ 以上は確保されている。主ダムの場合と同様最急勾配( $1:1.4$ )の部分では、ロック材の内部摩擦角 $43^\circ$ とするこの部分に小さなすべりが発生する可能性があるが、コアに達するような深いすべりは発生しないので、修復に関する考え方は主ダムの場合と同様でよい。ダイクではHWLよりLWLまでの急速水面低下の場合で、かつ地震時においてさえも主ダムに比べて $1:1.4$ の最急勾配部の高さが低いため、安全率が $1.0$ 以上確保できるため問題はない。

ダイクの背面の安定性については、主ダムの背面の勾配 $1:1.4$ に対し、ダイクは $1:1.45$ であるから、もし主ダムとダイクとが同じ材料で盛り立てられていたとすると、

よりもダイクの方が安全性が高いことになる。

計算の結果によるとダイクの背面は 0.15 g の地震時にあっても安全率はロック材の内部摩擦角を  $43^\circ$  フィルター材を  $35^\circ$  と仮定すると 1.00 となり安全であることがわかる。

以上のことから主ダム、および、ダイクの安定性の検討の結果から次のことが判明した。

- (I) 主ダム、ダイクともに安定に対して最も悪い影響を与えるのは地震荷重であり、これが安定性の判断を左右する。
- (II) ダムの平均勾配については、上流面はダイクの方がやや主ダムより急であり、下流面については主ダムの方がややダイクより急である。
- (III) 主ダムは下流面に若干地震時に問題があるが、0.15 g に相当する地震があったとしてもそれによる崩壊はダム表面のみに限られるために、今差当って、補強するにはおよばないと思われる。
- (IV) 震度 0.07 g 以上の地震に遭遇した場合は、部分的にダムおよびダイクに損傷を受ける可能性があるため、必ず巡回検査し、上下流面の損傷の有無を調査する必要がある。

表-2.1

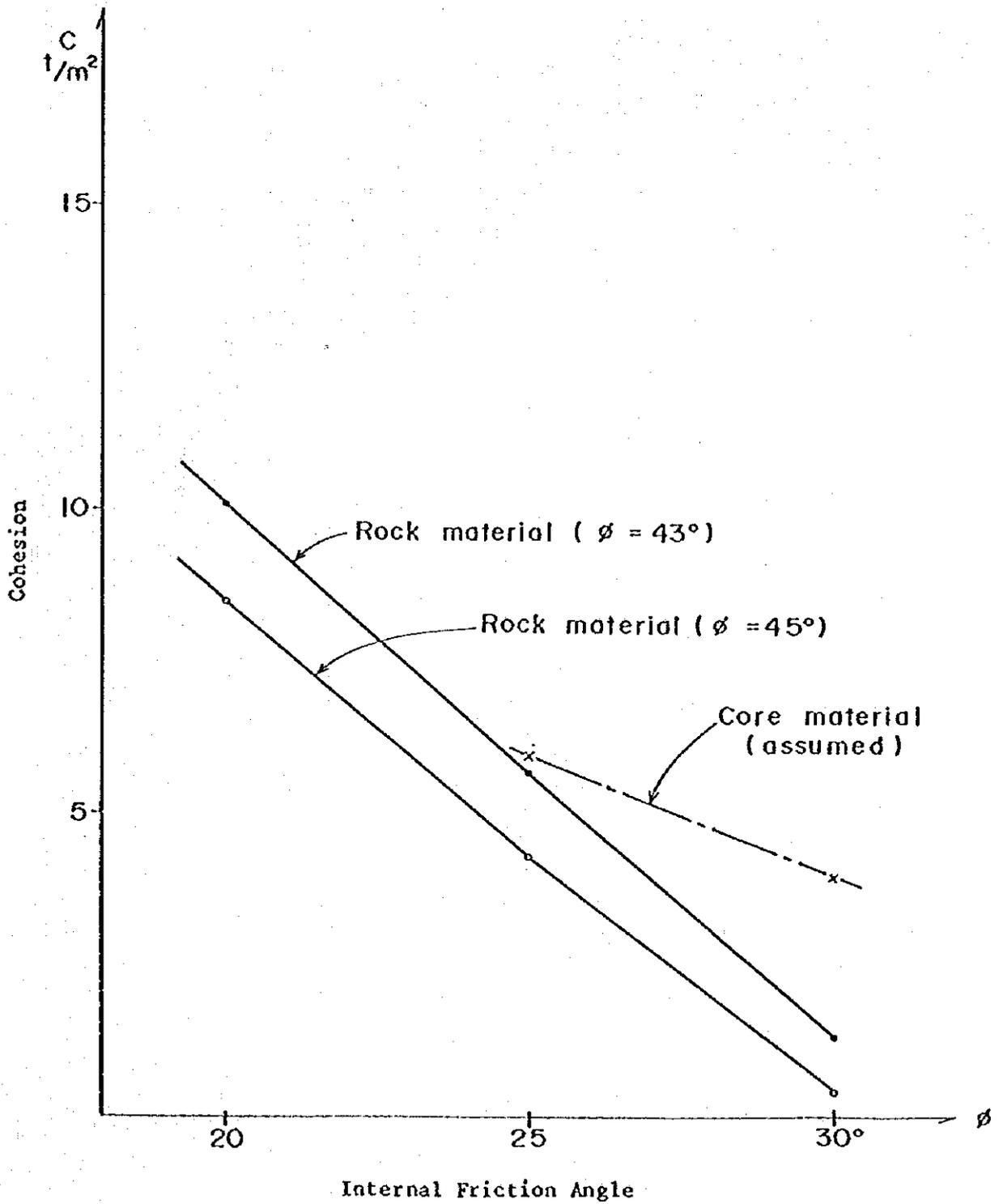
ケース 1	上流面の検討	水位 H W L	常 時
ケース 2	〃	〃	地震時
ケース 3	〃	水位 L W L	地震時
ケース 4	〃	水位急速低下	常 時
ケース 5	〃	〃	地震時
ケース 6	下流面の検討	水位 H W L	常 時
ケース 7	〃	〃	地震時

ケ ー ス	安 全 率		必 要 安 全 率
	ロック材 $\phi = 43^\circ$	ロック材 $\phi = 45^\circ$	
1	1.31	1.40	1.2
2	0.74 (0.069)	0.80 (0.087)	1.0
3	0.96 (0.13)	1.03	1.0

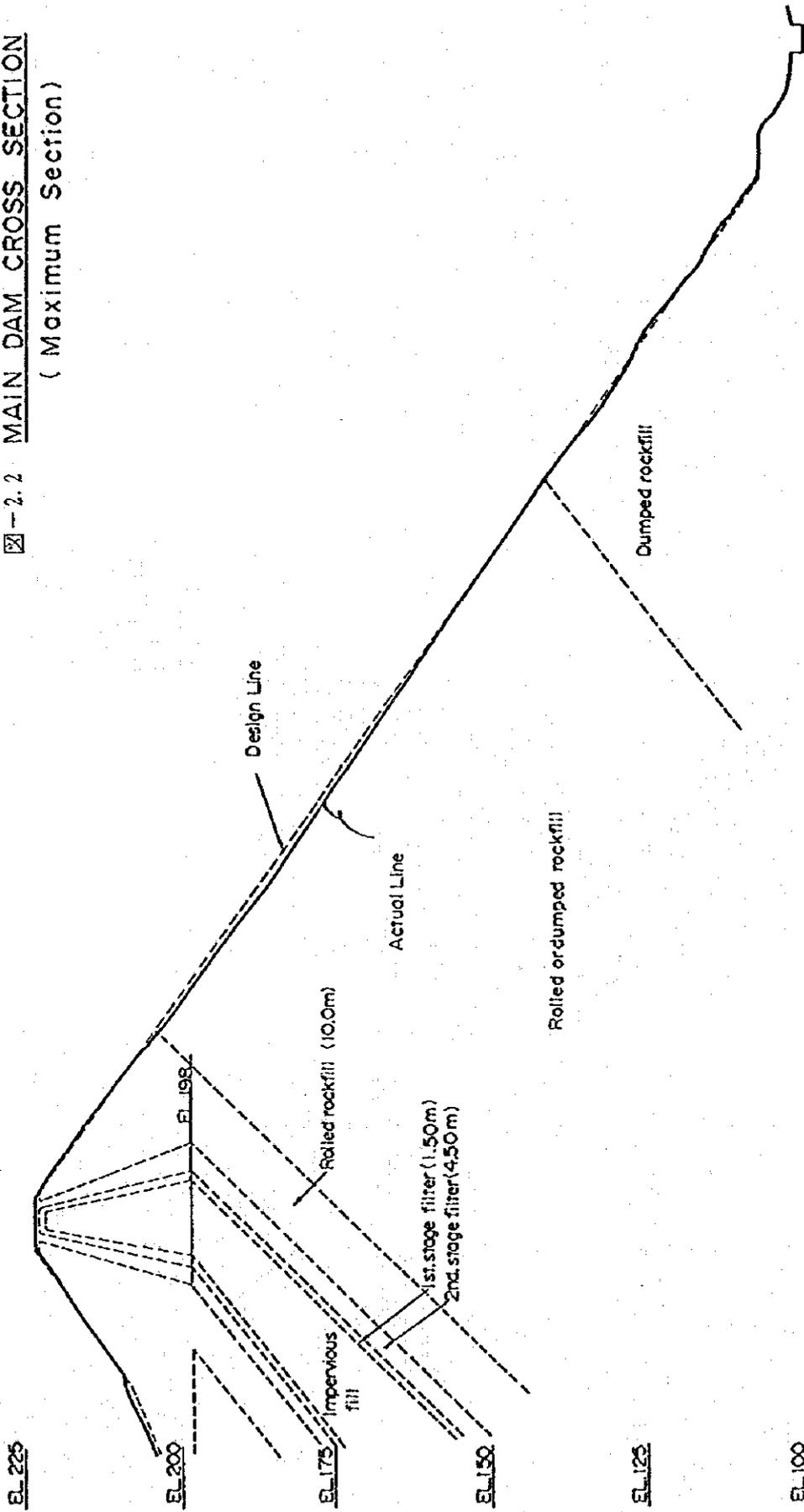
( )の数値は安全率が 1.0となる様な震度を galで示したものである。

ケ ー ス	大きなすべり		小さなすべり		必要安全率
	ロック材 $\phi = 43^\circ$	ロック材 $\phi = 45^\circ$	ロック材 $\phi = 43^\circ$	ロック材 $\phi = 45^\circ$	
1	2.163	2.266	1.364	1.455	1.2
2	1.156	1.313	0.860	0.919	1.0
3	1.118	1.172	1.065	1.140	1.0

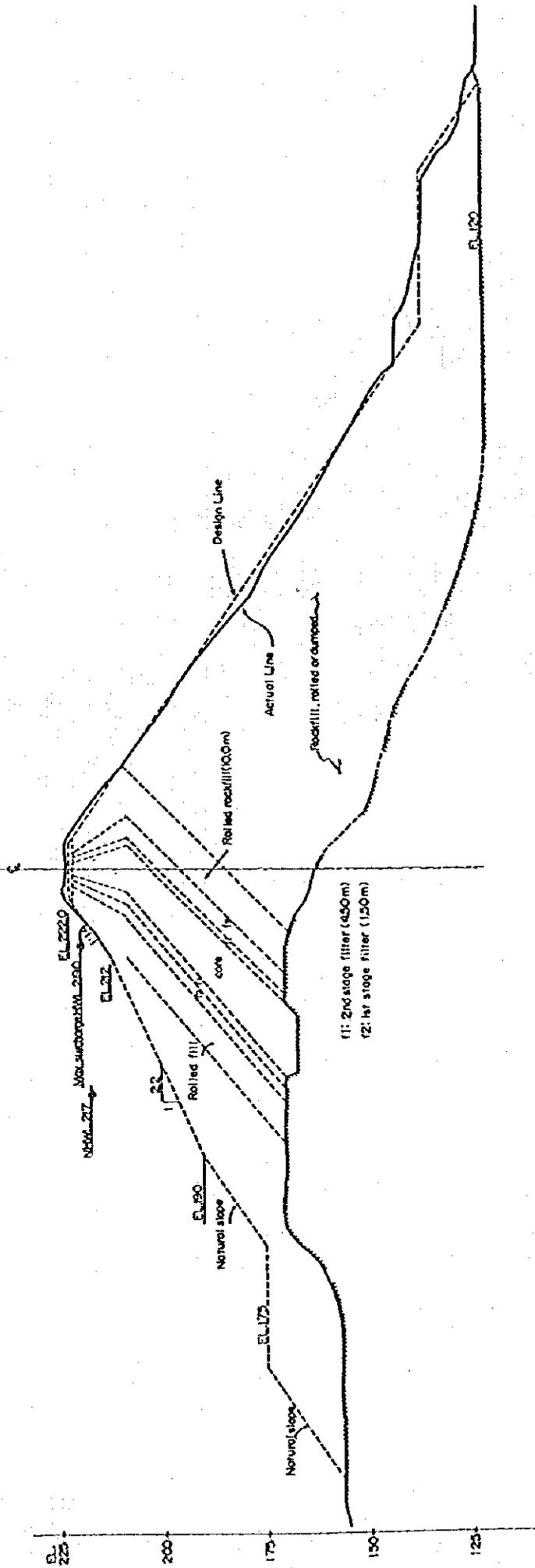
2.1 Relation Between  $\phi$  and C Values of  
 Core Materials Necessary to Keep  
 the Required Safety Factor  
 (Loading Conditions - Group I)



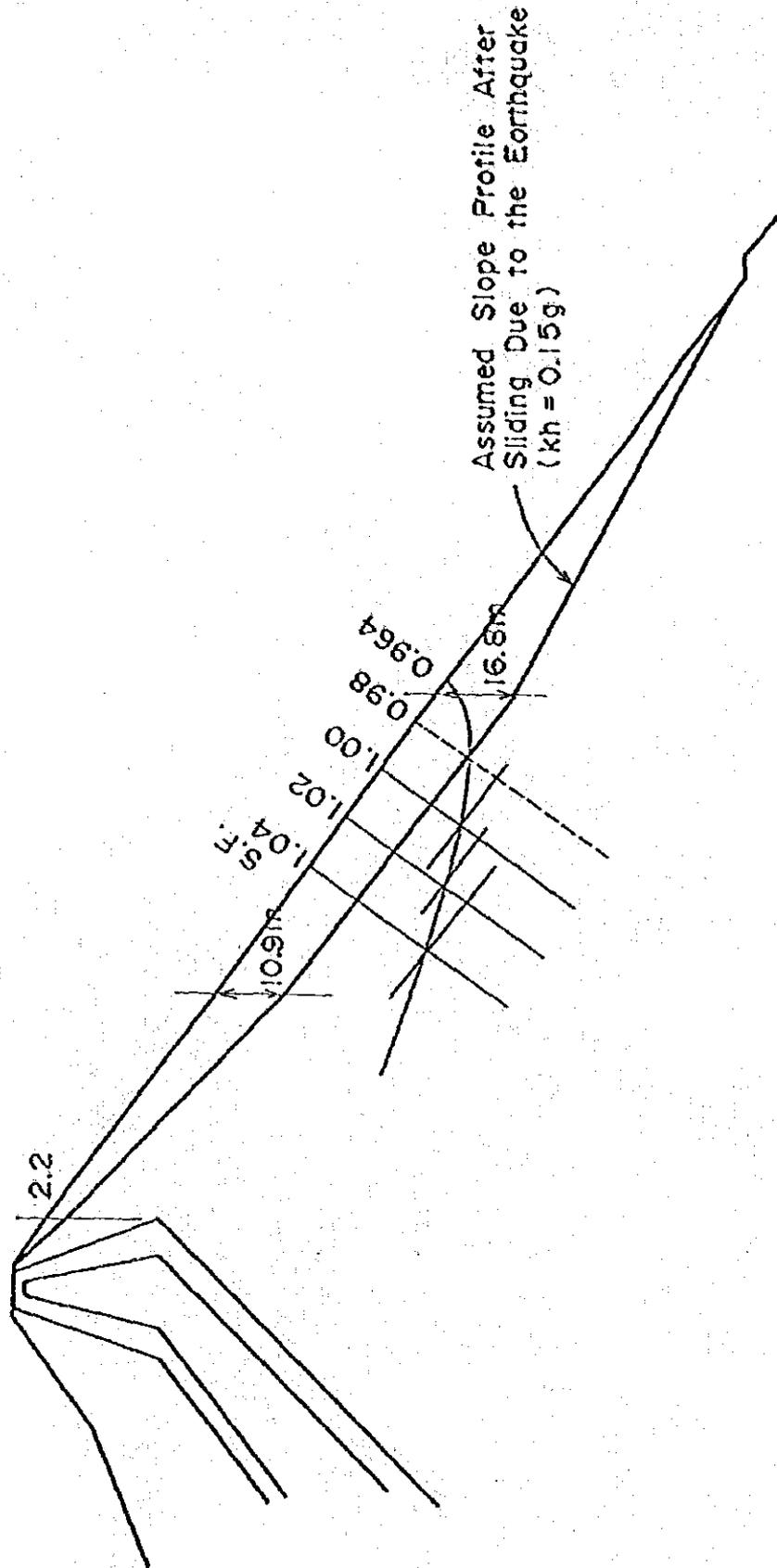
2-2 MAIN DAM CROSS SECTION  
 (Maximum Section)



2-2.3 Dyke Cross Section B - B'  
(Maximum Section)



2-2.4 Change By Depth in the Safety Factors  
 Against Sliding of the Downstream Face  
 Slope of the Main Dam During Earthquake  
 ( $\phi$  Value of Rockfill Materials Assumed at  $43^\circ$ )



#### 4. 3 ダイクからの漏水に関する調査分析結果の要約

アンガットダム修復計画プロジェクトの中での重要な調査項目の一つは、主ダムの左岸側に接続するダイクからの漏水に関する検討である。

ダイクからの漏水については NAPOCOR によってダイクの下流に設置された3ヶ所の漏水測定堰によって、1986年以降の漏水量が継続して測定されており、その測定データによって漏水量の定量的把握が可能である。この報告書においては1987年から1988年10月までの計測データを用いて漏水量の解析を行ったものである。

計測された漏水量は、ダムからの漏水と降雨に起因する漏水の二つに分類されるが、ダムからの漏水については、測定当日の貯水池水位に直接影響を受けていると考えられるが、降雨に起因するものは、降雨の一部が表面流出となり、他の一部は中間流出、また、残りの大半は長期流出となるため、測定された漏水量は当日の降雨だけでなく、それ以前にさかのぼった日の降雨も関係する。この報告書では、漏水量に影響する降雨としては、漏水測定当日の降雨量、前日の降雨量、2日前、3日前、……等、過去35日間にわたる降雨量を考慮した。

測定堰で測定した漏水量を前記した要因別に分類するため、最小二乗法を用いて検討を加えた。

計算結果を集約すると、次のとおりである。

(以下に示す SW-1 とは、ダイク左岸 EL. 138 付近に設けられた漏水測定堰のことであり、主としてダイク左岸側からの漏水を意味し、SW-2 ではダイク中央断面部の下流側端付近 EL. 114 に設置された測定堰位置における主としてダイク中央部からと考えられる漏水を意味する。また SW-3 は SW-1、SW-2 の下流側約 80 m の地点の溪流河床部に設置した測定堰位置での測定値であり、ダイク全体(左右岸、中央部を含めた)からの漏水がここに集中して来るものである。) (図-3.1)

(1) 計測データが入手された期間内において、貯水池から漏れていると思われる漏水量の最大は、SW-1 において 190 /sec 程度、SW-2 では、110 /sec 程度、SW-3 にあつては 300 /sec 程度である。

(D) 全般的に判断して乾期（12月～5月）においては SW-1, SW-2, SW-3 での計測漏水量の大半は貯水池に起因するものであるが、雨期（6月～11月）にあつては、SW-1, SW-2, SW-3 で計測された流量の大半は降雨によるものである。

(E) SW-1, SW-2, SW-3 での計測値からみて、ダイクからの漏水はほとんど SW-1, SW-2 に集まって来ているようである（右岸側での漏水はあるとしてもその値は僅少）

(F) 貯水池からの漏水があると思われる標高はほぼ EL. 190 以上ではないかと推定することができる。また今回のダイク下流面に掘られた調査孔による地下水位の測定結果から、ダイクからの漏水はダイクの左岸側に集中し、ダイク中央に行くにつれて、減じているようである。

(G) 貯水池からの漏水とみなされる水量は

SW-1で 159,000 m<sup>3</sup>/年

SW-2で 102,000 m<sup>3</sup>/年

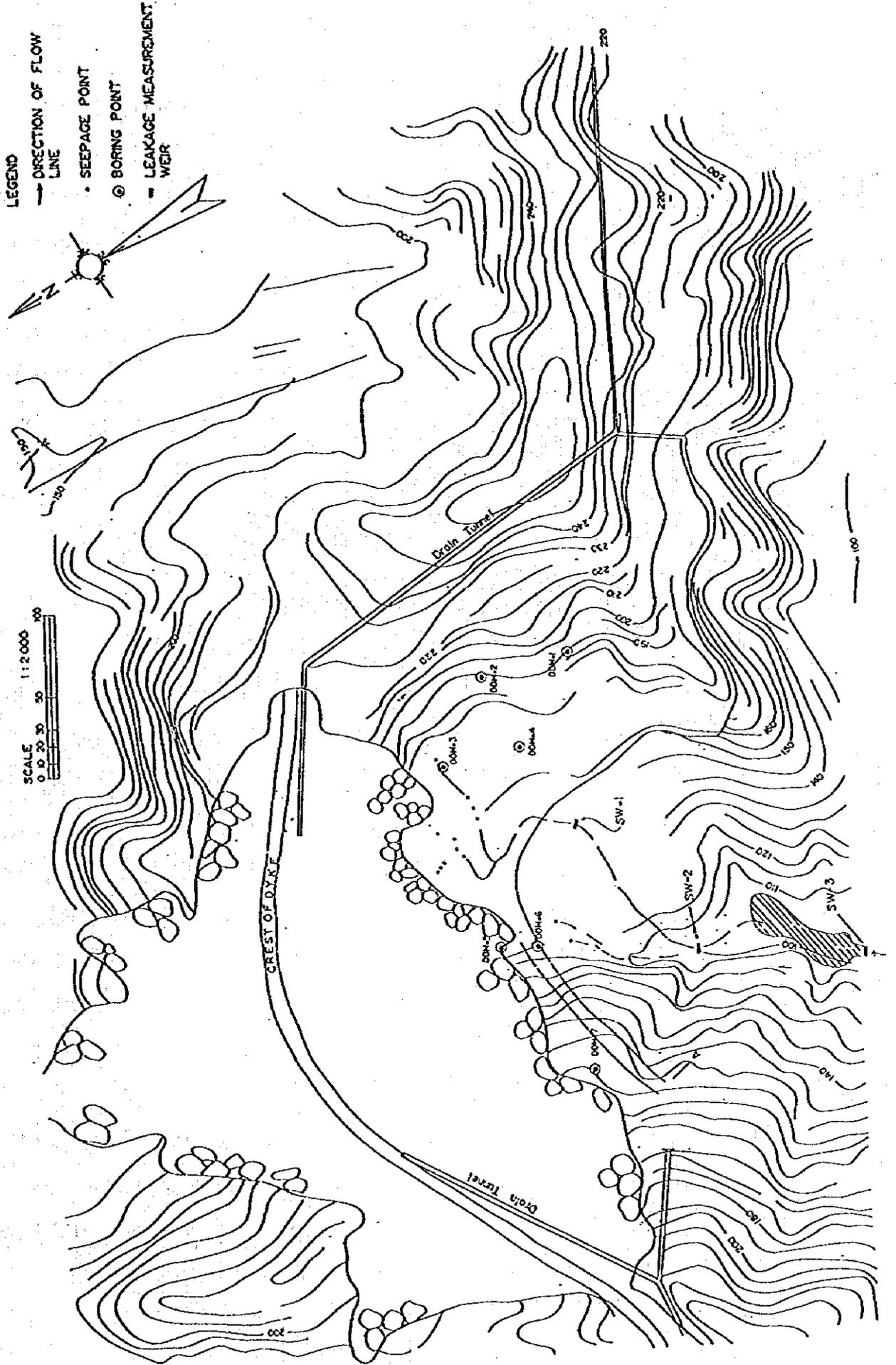
計 261,000 m<sup>3</sup>/年（平均流量 8.3ℓ/sec）

程度であり、これは年間 56,100 kWh 程度の電力量の損失に対応するに過ぎない。

以上の結果から、もしグラウト工事等により漏水量を減らすよう計画すると、グラウトによる補修はダイク左岸から中央にかけて行い、かつ処理する領域は EL. 190 以上が適切であろうと考えられる。しかし現状では、ダイクからの漏水による損失水量、それに伴う損失電力量は、それ程大きくない上に、必ずしもグラウトにより完全に止水することは一般的に困難であるため、経済的な立場から言って漏水を防止するためのグラウトのメリットは少ないと考えられる。

しかし、一応今は漏水状態は落ちついているように見受けられるが、あるいは、地震等の不測の外力が働くことによって漏水量が拡大することもあるかも知れない。そのため、将来にわたって漏水量の監視を継続して行く必要がある。

Fig. 3.1 Location of Measurement Weir  
 SW - 1, SW - 2, SW - 3



#### 4. 4 旧バッチャープラント跡における地すべりに関する検討結果の要約

旧バッチャープラント跡において1986年に発生した地すべりが、もし今後再発するならばアンガットダムから、マニラ上下水道局(MWSS)の取水が行われているイボダムへの水の補給が断たれることになり、マニラ上水道におよぼす影響が非常に大きい。

現在、この地点において、1) 実際の地山の地下水位はどの程度であるか、2) 現在地すべりの動きは落ちついているか、3) 落ちついていないなら、地すべりの深さほどの程度か、を調査する目的でインクリノメーターを設置し調査中であるが、計測器の不調などの理由により本報告書作成時までには、そのデータが入手できなかった。そのため、ここでの検討はNAPOCORが独自の立場で行った旧バッチャープラント跡における標準貫入試験値(N値)、および、今回実測した地形図およびインクリノメーター用に新たに穿孔されたボーリングのデータを用いて、検討を行った。

本検討の結果次のことが判明した。

##### (i) 地山の物性値

NAPOCORが独自に行った標準貫入試験のN値および1986年に発生した地すべりの状況から、地山の物性値は地表より深くなるに従い、大きくなっているようである。(図-4.1) EL. 180以上の標高にあつては、もし内部摩擦角( $\phi$ )を $10^\circ$ と仮定すると粘着力(C)は地表面で $3\text{ t/m}^2$ 、6mで $8\text{ t/m}^2$ 、10mで $12\text{ t/m}^2$ が期待できる。また、もし $\phi=20^\circ$ と仮定すれば、Cは地表で $1\text{ t/m}^2$ 、6mの深度で $4\text{ t/m}^2$ 、10mで $7\text{ t/m}^2$ の値が期待できる。EL. 180以下の標高ではN値が50以上あつて、 $\phi=30^\circ$ とするとCは $15\text{ t/m}^2$ 以上が期待できることがわかった。

##### (ii) 現状地盤についての、将来における地すべり再発の可能性について(図-4.2)

現状地盤のすべりに対する検討として、次の三つのケースをとりあげた。

- ケースA ; 地山の地下水位が地表面まで達しているとき(すべり安全率が1.2以上)
- ケースB ; 地下水位は低い、0.15gの地震力が働いたとき(すべり安全率は1.2以上)

○ ケースC ; 地下水位が地表まで達しているときに0.15gの地震力が加わったとき  
(すべり安全率は1.0以上)

計算結果によれば、EL. 180以上の標高における現状の地山において、内部摩擦角  $\phi$  が  $10^\circ$  としたとき (C が大きい) すべりに対して安全であるが、 $\phi$  を  $20^\circ$  と仮定したとき (C が  $\phi = 10^\circ$  のときより小さい) ケースAおよびケースCではすべりの安全率が 1.0 を下廻ることが判った。

#### ⑩ 将来における地すべりの再発防止法について

上記地すべりを将来再発させないようにするためには、

- a) 地すべり抑止用の杭打を行い、地すべりに対する抵抗力を増加させる。
- b) 地すべりを起す土塊の荷重を減少させ、滑動力を低下させる (すなわち、地すべり土塊の上部を掘削除去する) と同時に、地すべり部分の下部に抑え盛土を行って、地すべり抵抗力を増加させる。

等の方法が考えられるが、検討の結果、a) の方法よりも b) の方法で十分すべりを防止させることが判った。(仮に最悪の条件として EL. 180 以上の地山の  $\phi$  を  $20^\circ$  とした場合でも b) の方法で十分対処可能である。)

以上により、地すべりの再発を防止するためには、EL. 215 付近以上の地表勾配を掘削により緩くし、EL. 215 以下に掘削土を盛立てて抑え盛土とすれば、地下水が地表まで存在し、かつこれに 0.15g の地震があるという最悪の場合でも、斜面を安全に保つことができることを確認した。

しかし、さらに、この安定を高める意味において  $\phi$  75 mm のドレーンホールを EL. 225 および EL. 215 に設定すると同時に表面排水溝も設け、地山の地下水を低下させ、かつ表面の雨水には浸蝕を防止することを勧告している。

图-4.1 Relation Between C and  $\phi$  Values for Analyses on Possibilities of Landsliding

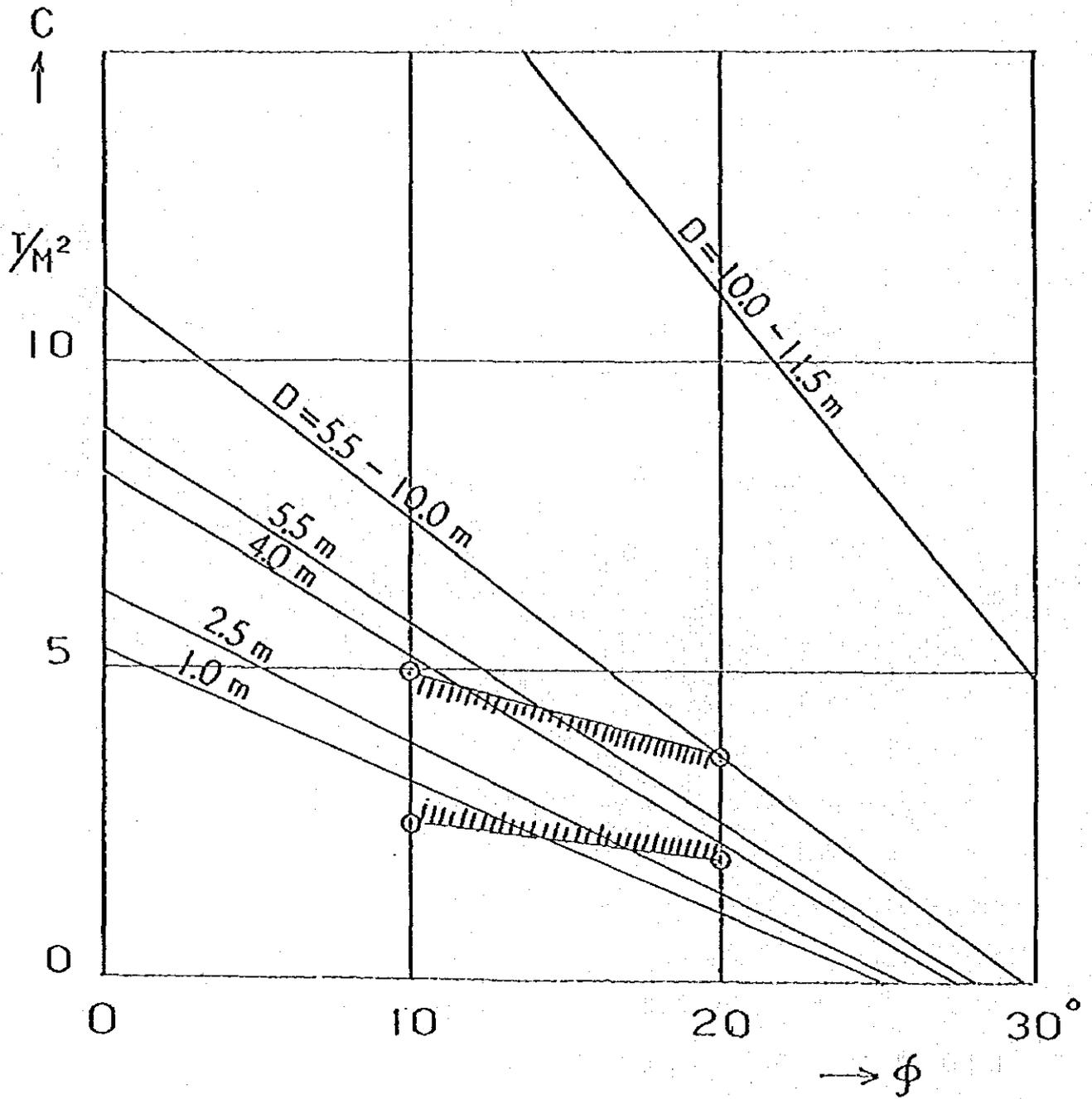


图-4.2 Probable Sliding Lines of Possible Landslides



Fig-4.3 Rehabilitation Plan of the Ex-Batching Plant Area



LEGEND

• Drain Hole L = 20 m

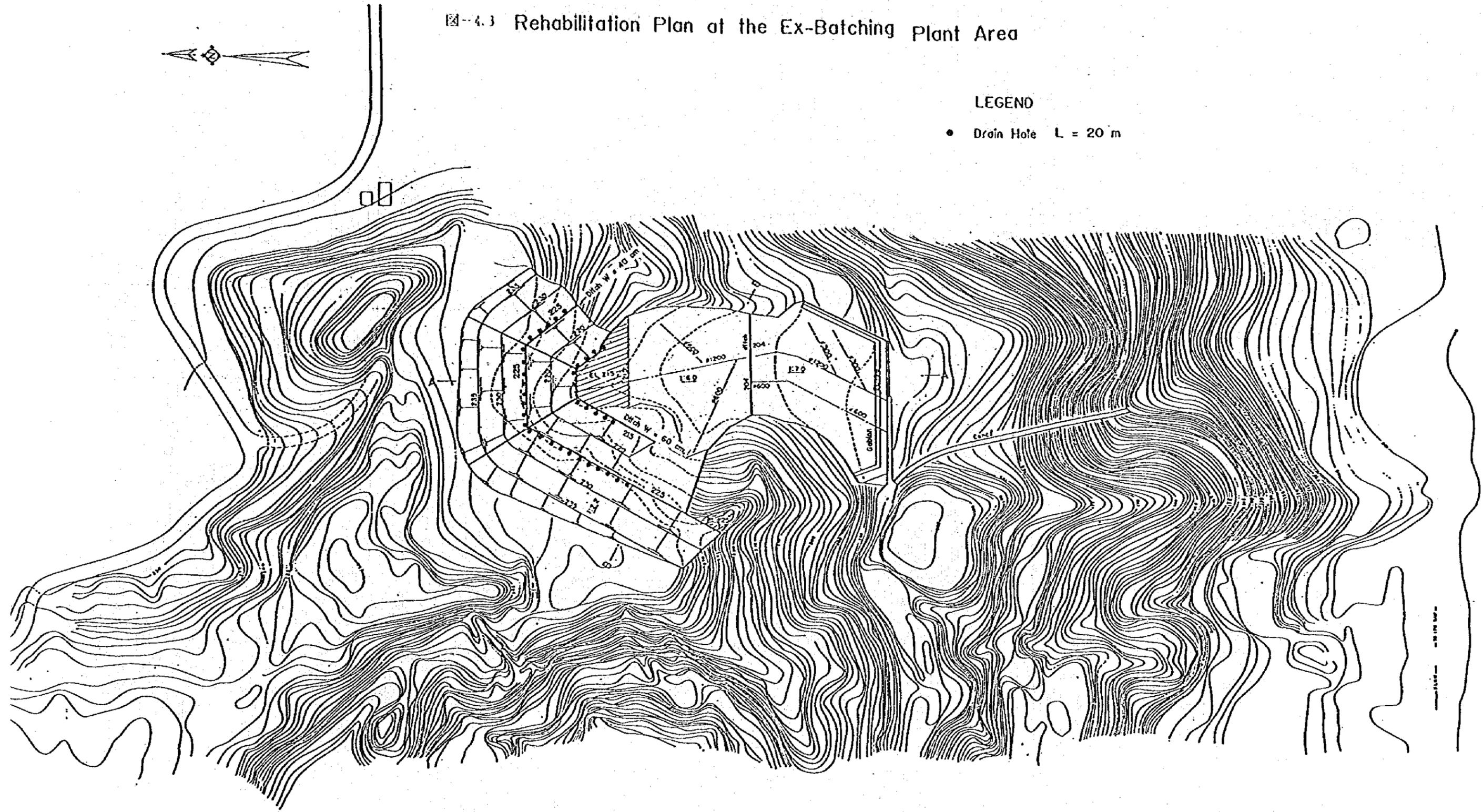




Fig. 4.4 Longitudinal Profile after Slope Reformation (Cross Section A-A)

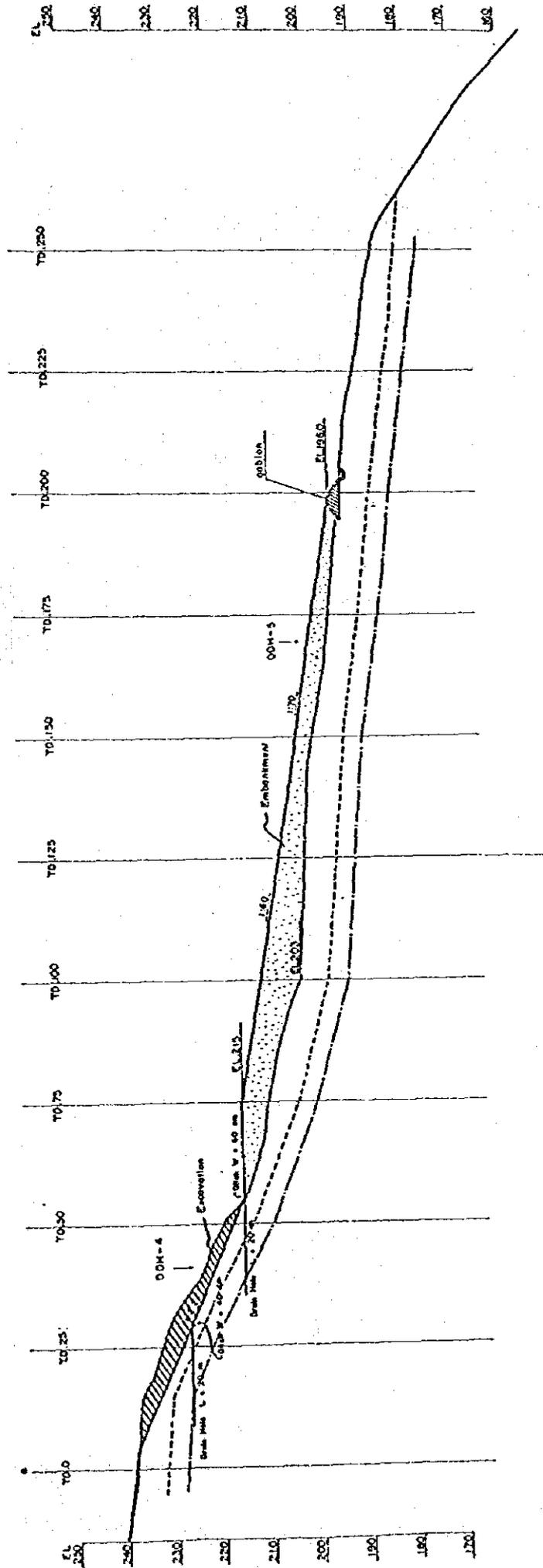
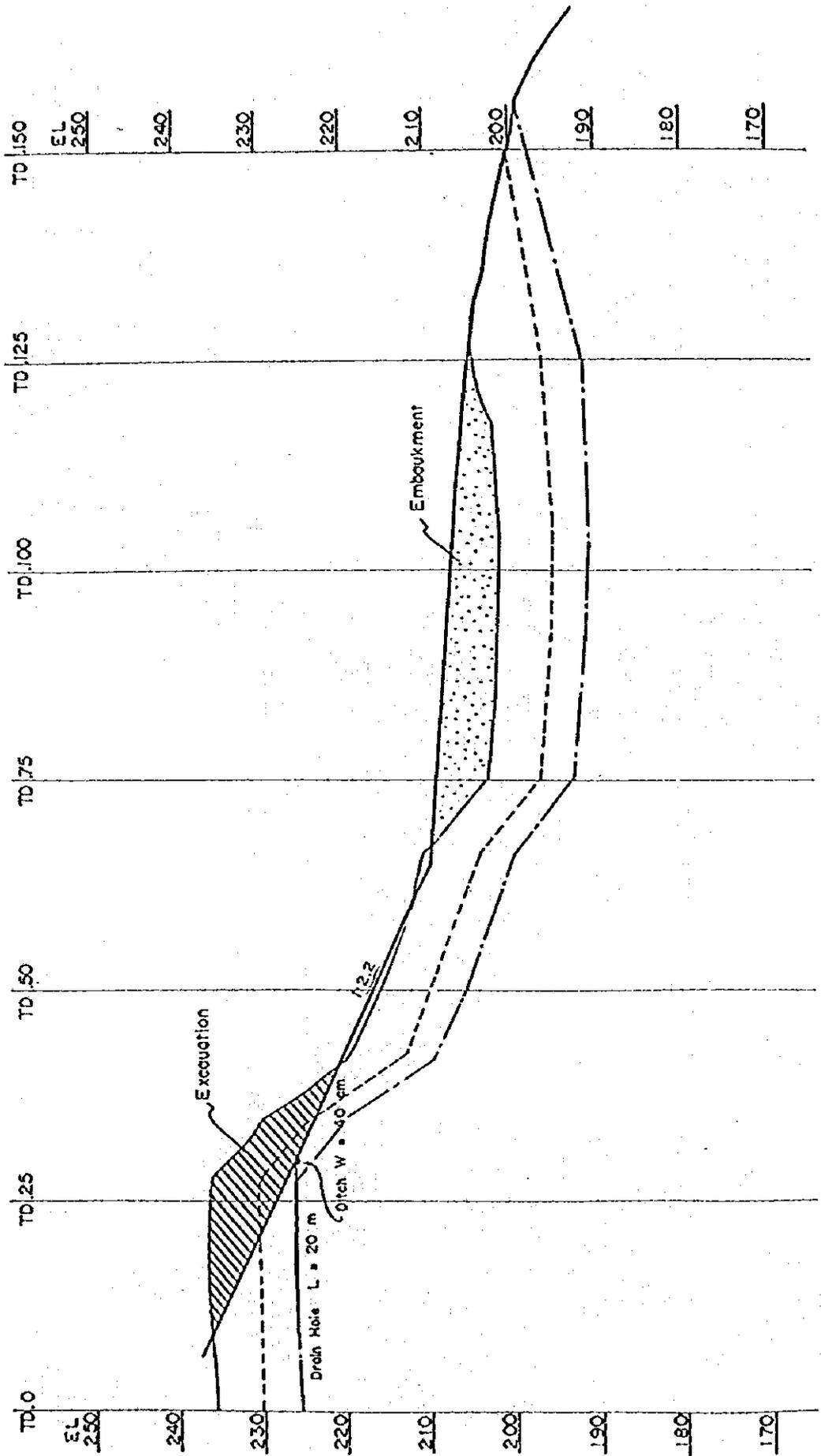


图 4.5 纵向剖面图在坡面改造后 (横断面 B-B)



#### 4.5 修復計画に関する要約

アンガット修復計画において検討した項目は、

- i) 洪水吐容量の見直し
- ii) ダムおよびダイクの安定性の検討
- iii) ダイクからの漏水に対する修復計画
- iv) 旧バッチャープラント跡の地すべりに対する修復計画
- v) 水圧鉄管からの漏水に関する検討

であった。各項目に対する修復の可否については、後記する各章において検討されているが、それらを要約すると次のとおりである。

- i) 洪水吐容量は現状のままで十分であり、改修する必要はない。
- ii) ダムおよびダイクの安定性については、大地震時 ( $k = 0.15g$ ) にわずか法面すべりの安全率が 1.0 を下廻ることがあるが、不安定領域は法面表層部やごく局部的なものであり、ダム全体を危険にさらすようなものではない。大きな地震によって、ダムの表面が若干損傷することがあっても、その時点で修復すればよく、今直ちに改修を行う必要はない。
- iii) ダイク地域での漏水は、現状では安定上危険視されるものではない。将来の漏水を減少させるための方法としては、カーテングラウトを提案している。(工事費 380,000 US\$)  
(図-5.1, 表-5.1)
- iv) 旧バッチャープラント跡の地すべりについては、特に今後大きな地すべりが再発すれば、マニラ上水への水の供給が断たれることになるので、現在の地すべり地域の地表面の整形

および水抜き孔の設置と表面排水溝の整備を行って、地すべりの発生を防止する手段を提案している。(工事費 437,200 US\$ ) (図-5.2 , 表-5.2 )

v) 水圧鉄管の漏水問題については、修復の必要性は強調されているが、鉄管内部調査が実施できず調査不十分のため、その具体的修復計画の策定までには至っていない。

5.1 Grouting for Prevention of Seepage Through the Dyke (Left Bank Abutment)

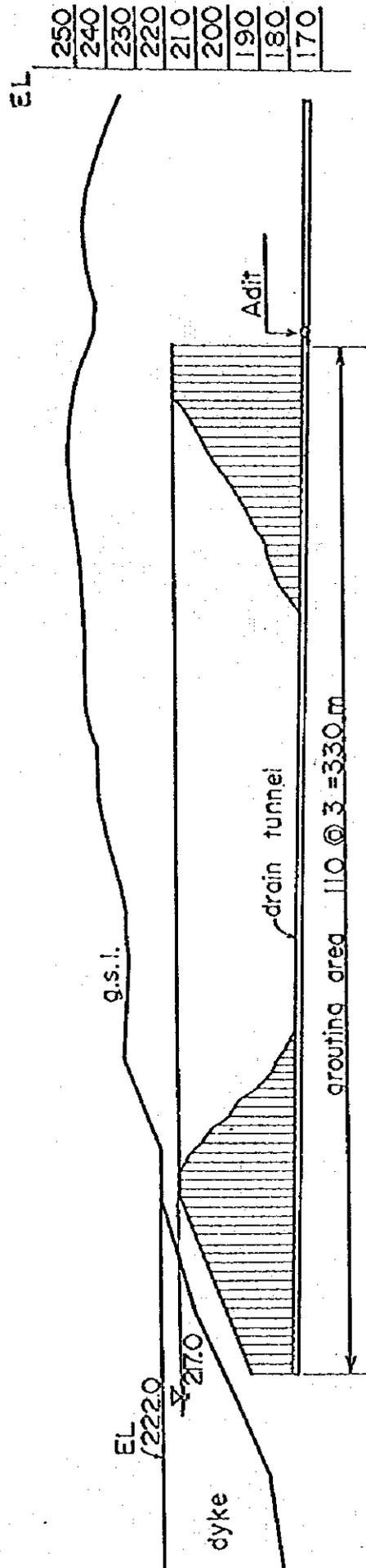


表-5.1 ダイク左岸グラウト工事費

工種	仕様	単位	数量	単価			金額 (Peso)			備考
				F.C.	L.C.	L.C.	F.C.	L.C.	F.C.+L.C.	
1. ボーリング	φ56 ノンコアー	m	2,770	924	726	2,011,020	2,559,480	4,570,500		
2. "	φ56 コアー掘り	m	900	1,188	792	712,800	1,069,200	1,782,000		
3. グラウト注入	セメント	ton	560	350	2,898	1,622,880	196,000	1,818,880		
"	モルタル	m <sup>3</sup>	50	674	2,739	136,950	33,700	170,650		
計							Peso 3,858,380	4,483,650	8,342,030	
							USS(Equiv) 175,381	203,802	379,183	

表-5. 2 地すべり修復工事費 (バッチャーアプラント跡)

工 種	仕 様	単 位	数 量	単 価		金 額 (Peso)		備 考
				F.C.	L.C.	F.C.	L.C.	
1. 伐 開		m <sup>2</sup>	16,000	32	34	512,000	544,000	1,056,000
2. 掘 削 - 1	盛土地域へ	m <sup>2</sup>	17,600	38	34	668,800	598,400	1,267,200
3. 掘 削 - 2	土捨て場	m <sup>2</sup>	2,700	64	63	172,800	170,100	342,900
4. 盛 土	敷きならし転圧	m <sup>2</sup>	19,200	18	11	345,600	211,200	556,800
5. 床 掘		m <sup>2</sup>	4,900	60	61	294,000	298,900	592,900
6. 蛇 カ	ゴ	m <sup>2</sup>	1,545	68	570	105,060	880,650	985,710
7. 栗 石		m <sup>2</sup>	1,950	68	559	132,600	1,090,050	1,222,650
8. コンクリート		m <sup>2</sup>	710	196	1,629	139,160	1,156,590	1,295,750
9. 鉄 筋		ton	53	521	24,500	17,193	808,500	825,693
10. コンクリートパイプ	φ1,200	m	150	200	604	30,000	90,600	120,600
11. "	φ600	m	150	72	216	10,800	32,400	43,200
12. "	φ300	m	60	50	154	3,000	9,240	12,240
13. ボーリング	φ75	m	700	1,000	800	700,000	560,000	1,260,000
14. P.V.C.パイプ	φ50	m	700	8	43	5,600	30,100	35,700
計					Peso	3,136,613	6,480,730	9,617,343
					US\$ (Equiv)	142,573	294,579	437,152

図-5.3 アンガットダム修復工事工程表

工 事	工 種	月												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ダイク左岸グラウト	仮設・準備	—	—											
	ボーリング		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	グラウト			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
バッチャーアプラント跡 地すべり修復	仮設・準備	—	—											
	伏			—										
	暗				—									
	掘削盛土				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	蛇				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	カ				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ゴ				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
トレン孔					—	—	—	—	—	—	—	—	—	
表面排水									—	—	—	—	—	
水									—	—	—	—	—	

#### 4. 6 経済性の検討に関する要約

必要とされる修復は、旧バッチャープラント地域の地すべり跡の整備と、ダイクからの漏水対策である。

旧バッチャープラント跡地すべりは、もし将来大きな地すべりが再発すれば、MWSS に対する水の補給が困難になり、社会生活に重大な影響をおよぼすことになるので、アンガット地点の修復項目の中では最優先的に修復すべきものである。

この修復による便益は社会生活の面から判断すべきであって、極めて数値化し難い。そのため、具体的な経済性の評価は行われていない。

ダイクからの漏水については、たとえダイクからの漏水があったとしても、その漏水は MWSS の取水地点であるイボダムの上流側に流下することになるので、マニラ上水に対する給水の面からは、ダイクからの漏水は関係がない。従って、ダイクからの漏水防止による便益は、発電量の増減という電力の立場のみから評価すべきである。

漏水によって失われる電力エネルギーを売電価格で評価し、IRR を 14 % と設定して、漏水防止に対する妥当投資額を求めると、漏水防止のための費用は 19,310 US\$ 以下とすべきであると判明した。

一方、必要とされる修復工事費の方は、380,000 US\$ 程度必要とされるために、グラウトによって完全に漏水を防止することは実際問題として困難であることも勘察し、もし今後ダイクからの漏水が増加し続けられない限り、その修復は必ずしも今必要とは考えられない。従って、今後も漏水に関するモニタリングを継続しながら、漏水の変化挙動を把握し、補修の時期を選ぶのが適切である。

#### 4. 7 ダム構造物管理基準に関する要約

第8章には、今後アンガットダムの維持管理をするに当たっての継続して行うべきモニタリングの程度とその判断の仕方について述べている。

今後続行すべきモニタリングの項目は以下のとおり。

- i) ダム、ダイクの視準測量による外部変形挙動の把握
- ii) ダイクからの滲水量
- iii) 旧バッチャープラントの地すべり監視用インクリノメーター
- iv) 水圧鉄管からの滲水量に関するもの
- v) 漏水、水質変化に対するモニタリング

#### 4.8 ダム安全管理体制に関する要約

第10章には、今後ダムの安全管理を行うためには、どのような体制で望むべきかについて述べているが、本アンガットダム発電所は、ルソン電力系統網に対する重要な電力供給源であるのみならず、マニラ上水に対する主要な水の補給源であることから、ダムの管理体制は万全でなければならない。

また、アンガットダムはこれの上部組織である Northern Luzon Regional Center から離れた地点にあるため、緊急事態が発生したときの応急手段が、直接アンガット発電所でとれるような技術者を、アンガット発電所地点に常駐させておくことが望ましい。