

フィリピン共和国

ビンガダム修復計画

調査報告書

平成元年2月

国際協力事業団

フィリピン共和国

ビンガダム修復計画

調査報告書

19103

JICA LIBRARY



1073652[8]

平成元年 2 月

国際協力事業団

鉦計資

CR(3)

89 - 55

国際協力事業団

19103

序 文

日本国政府は、フィリピン共和国政府の要請に基づき、同国ルソン島における既設ビンガダムの修復計画及び安全管理システムの策定とその評価を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、株式会社新日本技術コンサルタント土居元之氏を団長とする各分野の専門家からなる調査団を編成した。

調査団は、1987年9月17日から同年10月16日の1ヶ月にわたり現地調査を行い、更にその後1988年10月迄の間に4回にわたって専門家を同国に派遣して追加調査工事及びモニタリングの指導を実施した。

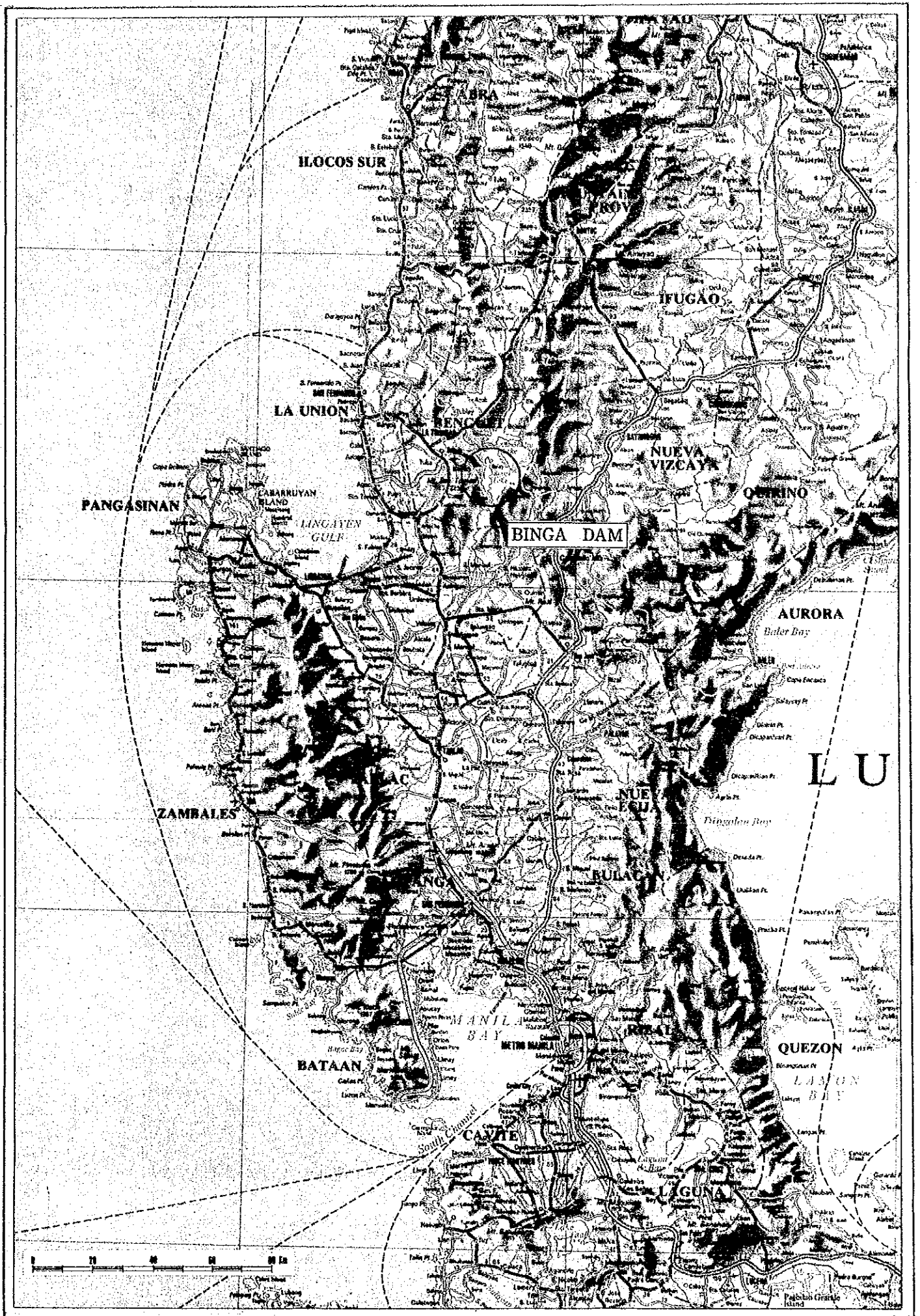
本報告書はこれらの現地調査等から得られた結果と資料に基づいて問題点の解析及び検討を行った結果を取りまとめたものである。本報告書が、ビンガダムの修復及び安全管理システムの確立に役立つとともに、同国の社会的経済的發展に寄与し、ひいては、同国と我が国との経済交流、友好親善をより一層深めることに貢献できれば幸いである。

終りに、本調査の任に当たられた団員のご努力に敬意を表するとともに、調査に際し、多大のご協力を頂いたフィリピン共和国政府関係機関、電力公社 (NAPOCOR)、在フィリピン日本国大使館、外務省及び通商産業省の関係各位に対し、深く感謝の意を表わすものである。

1989年2月

国際協力事業団

総裁 柳 谷 謙 介

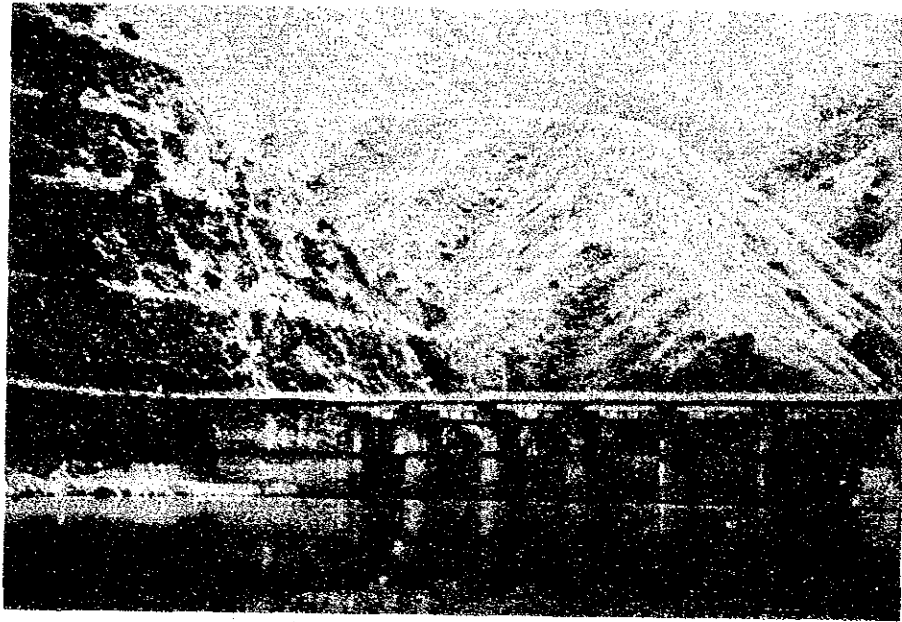




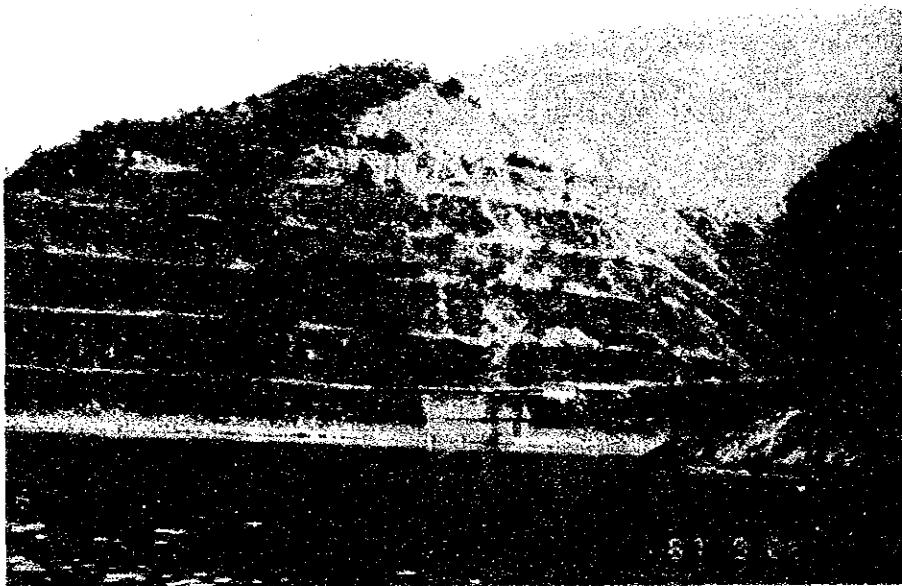
ビンガダムおよび洪水吐（手前）



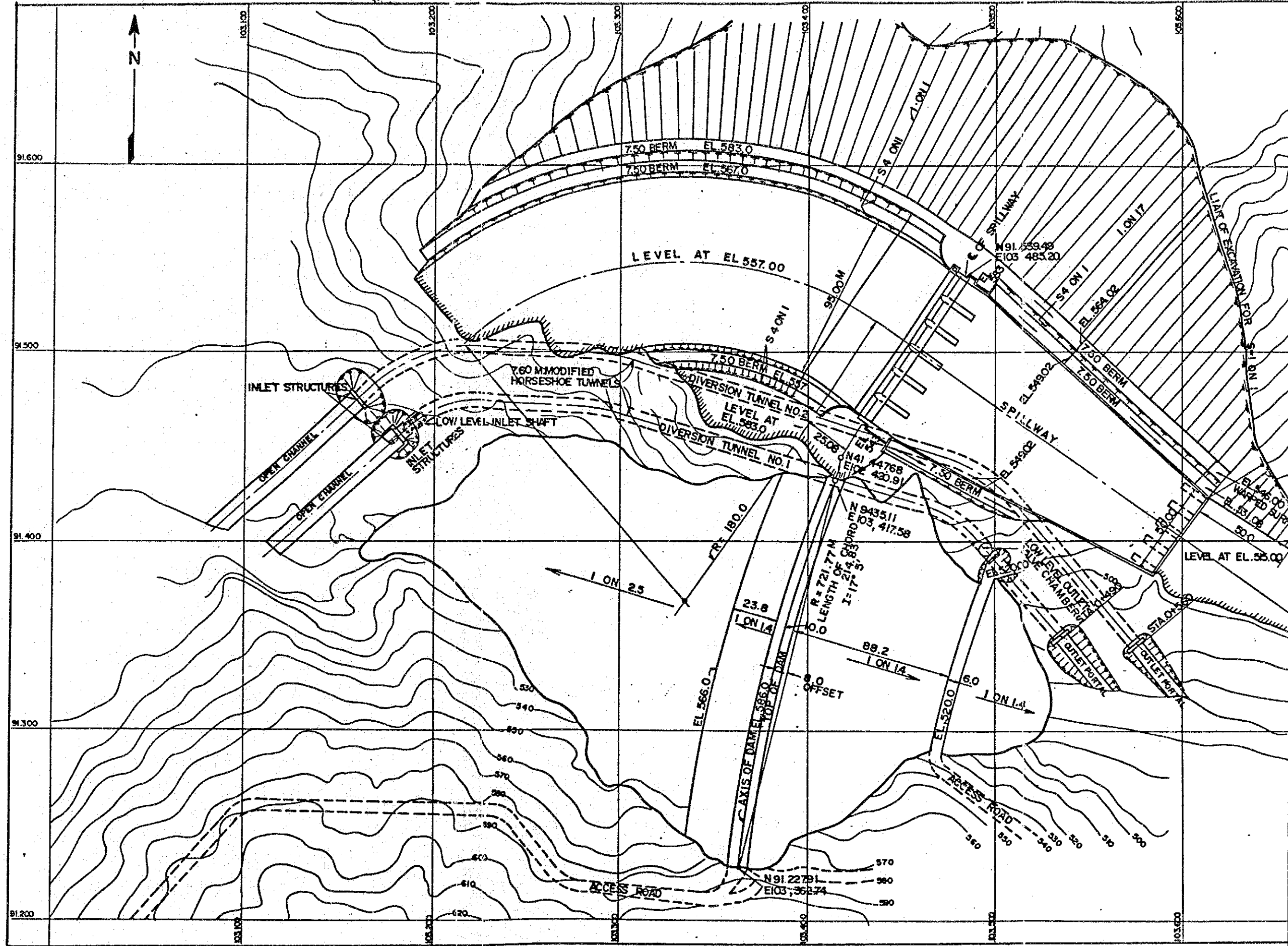
ダム下流端擁壁（破損している）

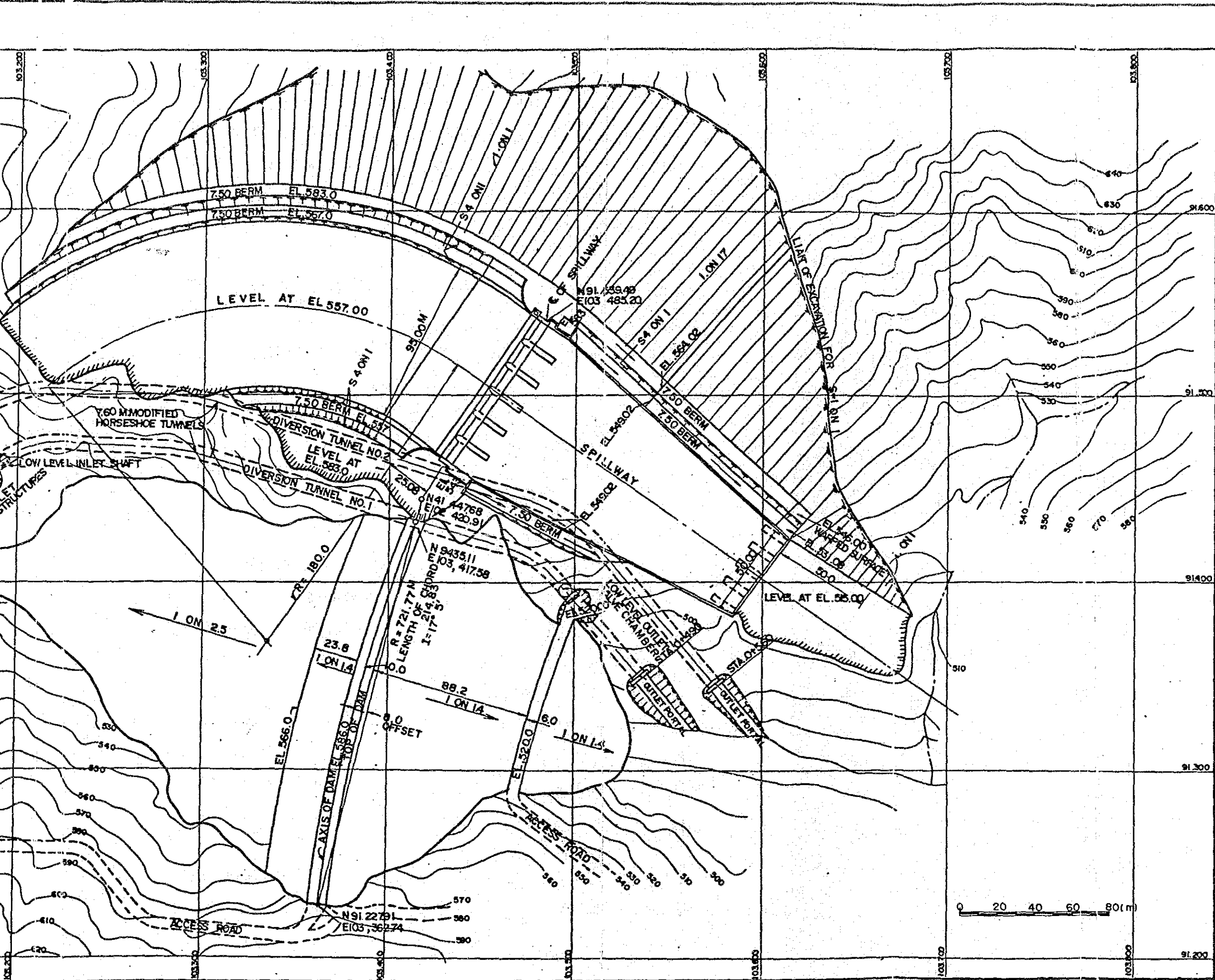


洪水吐



ダム左岸掘削法面





General Plan of the Dam

目 次

位置図および現地写真

ダム附近一般平面図

| | |
|---------------------|-----|
| 1. 要約と結論 | 1-1 |
| 2. ビンガダムの概要と調査業務の内容 | 2-1 |
| 2.1 ビンガダムの概要 | 2-1 |
| 2.2 調査の背景と調査内容 | 2-3 |
| 3. 現地調査 | 3-1 |
| 4. 追加調査工事 | 4-1 |
| 5. モニタリングシステム | 5-1 |
| 5.1 モニタリングシステムの現状 | 5-1 |
| 5.2 モニタリング設備の設置 | 5-1 |
| 5.3 新設計器による測定結果 | 5-2 |
| 6. 地質状況 | 6-1 |
| 6.1 地質的背景 | 6-1 |
| 6.2 現地調査結果 | 6-1 |
| 6.3 岩盤分類と物性値 | 6-3 |
| 6.4 ダム左岸法面の安定計算 | 6-4 |
| 7. ダムの安定性検討 | 7-1 |
| 7.1 設計および工事記録 | 7-1 |
| 7.2 設計の基本点 | 7-1 |

| | | |
|------|------------------------------|-------|
| 7.3 | 建設後の履歴 | 7-2 |
| 7.4 | ダムの現状 | 7-3 |
| 7.5 | ダムの安定計算 | 7-5 |
| 7.6 | ビンガ地点における確率地震 | 7-13 |
| | | |
| 8. | ダム左岸掘削法面の安定性検討 | 8-1 |
| 8.1 | 概 説 | 8-1 |
| 8.2 | 安定計算 | 8-1 |
| 8.3 | 安定計算結果 | 8-2 |
| | | |
| 9. | 洪水吐容量の検討 | 9-1 |
| 9.1 | 水文解析 | 9-1 |
| 9.2 | 洪水吐容量の検討 | 9-9 |
| 9.3 | 減勢池の水理検討 | 9-14 |
| | | |
| 10. | 貯水池内堆砂の水理検討 | 10-1 |
| 10.1 | 貯水池内堆砂データの整理 | 10-1 |
| 10.2 | 貯水池内の堆砂計算 | 10-4 |
| 10.3 | 貯水池上流部の堆砂対策 | 10-8 |
| 10.4 | 貯水池内堆砂の発生電力量に及ぼす影響 | 10-10 |
| | | |
| 11. | 修復計画 | 11-1 |
| 11.1 | 修復計画案 | 11-1 |
| 11.2 | 施工計画 | 11-5 |
| 11.3 | 工事工程および事業費 | 11-7 |
| 11.4 | 施工中の貯水池水位低下による損失電力量 | 11-7 |
| | | |
| 12. | 経済・財務分析 | 12-1 |
| 12.1 | ビンガダム修復工事費および工事施工に伴う損失 | 12-1 |
| 12.2 | ビンガ水力発電所の供給力および年間発電電力量 | 12-2 |

| | | |
|------|--------------------------|------|
| 12.3 | ビンガ水力発電所の価値評価単価 | 12-3 |
| 12.4 | ビンガダム修復工事に関する経済・財務分析 | 12-3 |
| 12.5 | 経済・財務分析結果の要約 | 12-9 |
| 12.6 | ダム上流面修復工事のみを対象とした経済検討（付） | 12-9 |
| 13. | ダムの安全管理体制組織 | 13-1 |
| 14. | ダム構造物管理基準 | 14-1 |
| 14.1 | モニタリング | 14-1 |
| 14.2 | 工作物の点検巡視 | 14-2 |
| 14.3 | 詳細調査および補修工事 | 14-2 |

1. 要約と結論

1. 要約と結論

本計画調査業務における構造物の安定性等に関する主要検討課題は、ダムの安定性、ダム左岸掘削法面の安定性、洪水吐容量の安全性の見直しであり、他にビンガダム貯水池上流端のアンブクラオ放水口付近の堆砂の問題、およびダム下流端の法尻防護擁壁（1976年破損して以来、そのまま放置されている）の修復案の作成である。上記検討を行うために必要な資料を得るために、ダムおよびダム左岸法面で縦断測量各3測線、ダム下流よう壁部を含む減勢池の平面測量、ダム下流よう壁部でボーリング3孔、左岸法面部で1孔の調査工事がNAPOCORによって実施された。本報告書は、これらの調査結果に基づいて検討を行ったものであり、以下に各項目について述べる。

(1) ダムの安定性

ビンガダムは1959年（29年前）に完成した高さ107.37m、堤体積187.6万 m^3 の傾斜しゃ水型のロックフィルダムである。原設計図によるダムの基本形状は上流法面は、上部（EL. 586—EL. 566）1：1.4、下部は1：2.5の2勾配、下流面は1：1.4の一樣勾配である。

また、竣工図によると上流面上部（EL. 586～EL. 566）で1：1.35、上流面下部（EL. 566以下）で1：2.57、下流面は上部（EL. 586～EL. 568）で1：1.30、下部（EL. 568以下）で1：1.37となっている。

今回、ダム横断形状を実測した結果、上流面上部EL. 586m～EL. 557mの間でダムの断面が減少しており、法勾配が1：1.30と急勾配となっていることが確認された。

本検討では、現時点で適用されるロックフィルダムに関する安定検討の手法を用いて、実測断面形状について、その安定を検討したものである。ダムの安定計算に必要な盛土材料のせん断強度等の物性値としては、当ダムの建設以来長年月たっていることもあり、設計報告書が既に散逸して入手できなかったため、ビンガダムの直上流にほぼ同時期（1956年）に建設されたアンブクラオダム（中央しゃ水壁型ロックフィルダム）で用いられた諸値（アンブクラオダム修復調査計画 1988年3月 JICA）、その他の資料を参考として定めた。また、ダムのゾーニ

ングについては原設計図面を用いた。

ダム安定計算は円形すべり面法により、ダムの上流面、下流面それぞれについて常時、地震時について行った。この結果、現状ダム断面においては、下流面は安全率がいずれの場合についても1.15以上で安全であるが、上流面上部については、地震時に安全率が1以下となることが判った。これは現状ダムの法面勾配が竣工時に比べ、1:1.30と急勾配になっているためと考えられる。ダム本体の補修として、ダム上流面をダム頂EL. 586からEL. 557までの区間を一様勾配の1:2.23と整形することによって地震時の安全率が1以上となり、ダムの安全性を確保することができる。

(2) ダム左岸掘削法面の安定性

左岸掘削法面は最大高さ約130m、最大長さ約500mの規模で、法面勾配約60°で、20m毎に幅8.5mの小段が7段設けられている。

この法面は変成した安山岩および玄武岩等の溶岩からなるが、これらの岩石は堅硬で割れ目は少ない。現地における地表地質調査の結果に基づき、ダム左岸掘削法面の実測縦断図を用いてすべり解析を行った結果、いずれの想定すべり面に対しても、すべりに対する安全率は2.3以上となり、法面全体の安定については問題がないことが判った。

ただし、ダム軸から下流側にあつては、法面上のいくつかの小断層の周辺に割れ目が発達し、これらの部分が雨水により浸食されてガリーが形成されて小段が崩落し、通行不可能となっている部分がある。

したがって、ダム左岸掘削法面については、法面全体にわたる修復工事ではなく、小段上に放置された崩壊土砂岩塊の撤去、および雨水による法面の浸食防止のため、崩落箇所を含む弱層部の法面保護工事が主体となる。

(3) 洪水吐容量

ビンガダムの洪水吐は、幅12.5m、高さ12mのテンターゲート6門を持つシュート型の洪水吐である。ビンガダム貯水池への流入量として、アンプクラオダムからの放流量、およびアンプクラオ～ビンガダム間の残流域からの流出量を考慮した。

前者についてはアンプクラオ修復計画調査報告書によるアンプクラオ洪水吐の放流量を採用し、後者については流域の降雨量を用いて、流出関数法により流出量を算定した。この結果、通常ロックフィルダムの設計洪水流量として用いられる確率200年洪水の1.2倍の値（ビンガダムにあっては洪水最大放流量=11,050m³/secとなる）に対し、貯水池の最大水位はFWL. 579.34mとなり、これに風および地震による波浪高さ2.20mを加えて、ビンガダム天端高EL. 586.0mに4.46mの余裕をもち、安全であるといえる。

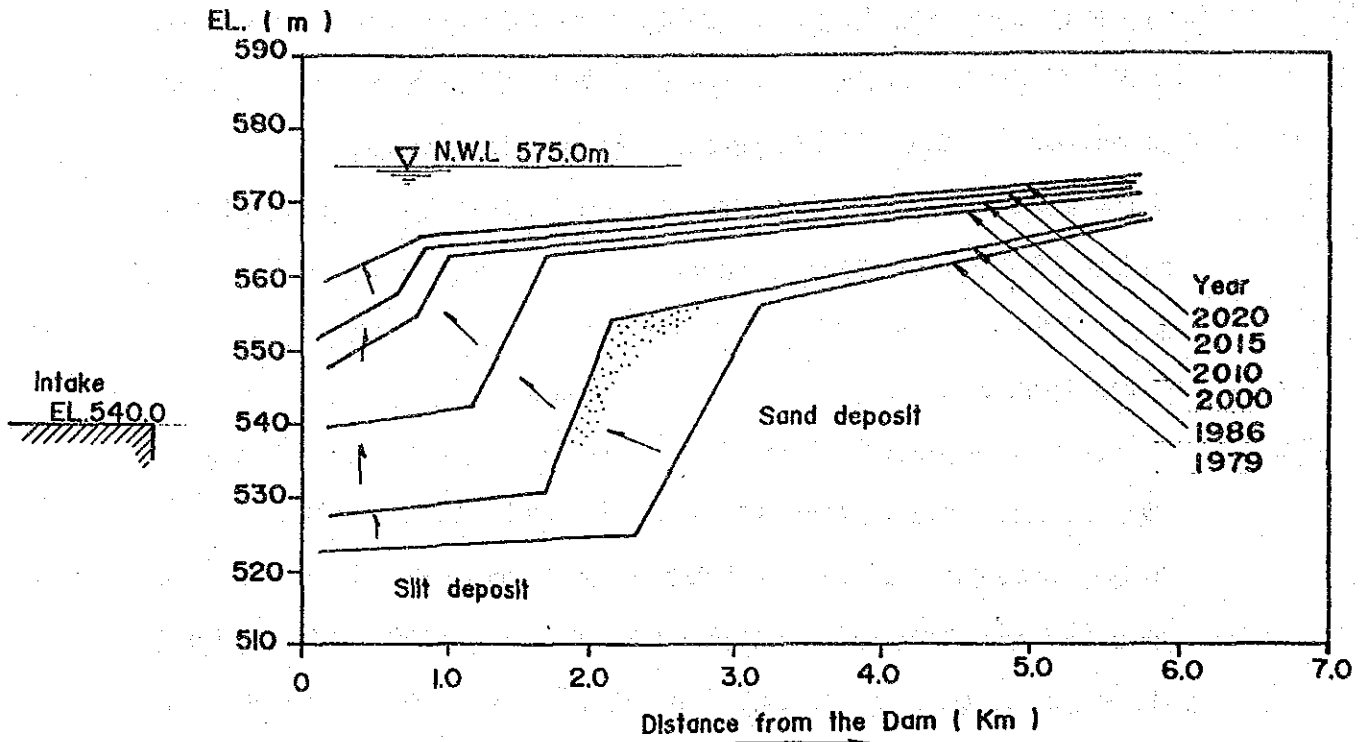
(4) 貯水池内堆砂

ビンガダム建設以来現在に至るまで、ダムの貯水池容量は流入土砂のため年々減少し、1960年の総貯水池容量87.4×10⁶ m³（うちHWL. 575～LWL. 555間の有効容量45.9×10⁶ m³）から1986年の総貯水池容量56.1×10⁶ m³（うち有効容量36.2×10⁶ m³）まで、総貯水池容量で31.3×10⁶ m³、有効容量で9.7×10⁶ m³減少している。これは、年間単位流域面積（流域面積246km²）あたり4,900m³/Yr/km²の土砂の流入量に相当し、直上流に位置するアンプクラオダム流域（流域面積690km²）の5,340m³/Yr/km²の、アングットダム流域（流域面積568km²）の5,720m³/Yr/km²に較べ、やや小さい値となっている。

本報告書においては、ビンガ貯水池のシミュレーションモデルを作成し、これを用いて貯水池内における堆砂の今後の進行予測を、最近の実測貯水池断面の利用可能な1986年を始点として実施した。

その結果、次頁に示すように、堆砂面が上昇し、シルト層が取水口敷高EL. 540mまで到達するのが2000年（10年後）、さらに砂礫層が取水口付近まで進行し、砂礫が流入するのが2015年以降（現在から25年以降）であることが判った。

ビンガ貯水池内堆砂進行模式図



堆砂の進行による貯水池容量の減少と、これに伴う年間発生電力量の変化について試算した結果は下表に示すとおりであり、発生電力量の減少はそれ程顕著でなく、2010年における発生電力量の減は現在に比べ1%以下と、ほぼ無視できる程度であるといえる。

貯水池堆砂の進行と年発生電力量

| 年 | 貯水池有効容量 (10 ⁶ m ³) | 比率 (%) | 年発生電力量 (GWh) | 比率 (%) |
|------|---|--------|--------------|--------|
| 1986 | 39.0 | 100 | 481 | 100 |
| 1990 | 37.0 | 95 | 481 | 100 |
| 2000 | 32.0 | 82 | 480 | 99.8 |
| 2010 | 26.5 | 68 | 478 | 99.4 |

次に、ビンガダム貯水池上流端に位置するアンプクラオ発電所放水口前面の平均河床高の今後の経年変化を、前記の貯水池内の堆砂シミュレーションの結果を基にして予測した。この結果によると、2020年には、1986年の河床に較べ約7 m 上昇することが判った。

河床上昇に伴うアンプクラオ発電所への影響については、落差減少による発電電力損失と、発電所運転上の機能上の障害とが考えられるが、後者については負荷急増時の放水路サージタンクの水位変動、特に上昇水位が問題となる。アンプクラオ発電所の負荷増加時間および放水口の河床高を種々変えてサージ計算を実施した結果、負荷増加時間を90秒以上とすることによって、2020年の河床高に対応する最上昇水位を放水路サージタンクバルブチャンバー室の敷高EL. 604 m以下に保つことができることが判った。

(5) 修復工事

現地調査、調査工事およびこれを基にした解析検討の結果、ビンガダムにおいては、ダム上流法面ロック盛立工事、ダム下流端趾部ロックダイク工事およびダム左岸掘削法面保護工事が必要であることが明らかになった。各工事の概要は次のとおりである。

——ダム上流法面ロック盛立工事

地震時のダムの安定性を確保するため、ダム上部EL. 586m (ダム天端) ~ EL. 557m間の法面勾配を現在の1 : 1.3から1 : 2.23の緩勾配とし、また法面の風浪による損傷を防ぐためリップラップで表面を仕上げる。

ロック材の原石山としては、ダム左岸の旧原石山跡地とし、ロック材はブルドーザーによる敷き均し転圧で盛立を行う。表面リップラップ仕上げは盛立に従って行う。

ロックの盛立量は、50,500 m^3 であり、施工は渇水期1シーズンの7ヶ月で完了する。

この間は水中工事を避けるために貯水池水位をLWL. 555m以下に制限することとする。

——ダム下流端趾部ロックダイク

現在破損したまま放置されている洪水吐減勢池右岸側にあるダム法尻防護擁壁

にかわるものとして、同じ場所にロックダイクを設置するものである。

ロックダイクは延長107m、幅65m、勾配1:5.5~1:2の捨石による法尻防護堤であり、ロック盛立量は、15,000m³である。ロック材の原石山は、ダム上流面工事と同じ原石山を用い、盛立、表面仕上げもダム上流面工事と同一工法とする。工事期間は4ヶ月でありダム放流量の少ない渇水期に実施する。

—ダム左岸掘削法面保護工事

法面の損傷箇所および弱層部の法面保護工事として、ショットクリート実施する。ショットクリート施工に先立ち、小段上の崩落土砂・岩塊の除去を行う。ショットクリートの施工箇所は、15箇所13,000m³であり、最上部から順次下方に向かって施工する。施工期間は14ヶ月である。

これら3工事の施工は、最初の1年でダム上流面ロック盛立工事を完了し、次の1年でダム下流端趾部ロックダイク工事、これに引続きダム左岸掘削法面保護工事を実施する。全体工期は39ヶ月となる。

3工事に要する工事費は、直接工事費2.75×10⁶ US\$であり、調査費、エンジニアリング費、NAPOCORの管理費、予備費を加えて総計3.7×10⁶ US\$となる。工事費の内訳は次頁のとおりである。

工 事 費 内 訳

単位：1,000US\$

| | |
|---------------------|-----------|
| 1. 直接工事費 | |
| a. ダム上流面ロック盛立 | 1,310 |
| b. ダム下流端趾部ロックダイク | 481 |
| c. ダム左岸掘削法面崩落土除去 | 61 |
| d. ダム左岸掘削法面ショットクリート | 898 |
| 小 計 | 2,750 |
| 2. 調 査 費 | |
| 測量、ボーリンク他 | 170 |
| 3. エンジニアリング費 | 165 (6%) |
| 4. NAPOCOR管理費 | 60 (2%) |
| 5. 予 備 費 | 555 (20%) |
| 合 計 | 3,700 |

表-1.1.1 ビンガダム修復工事工程案

| 工 事 件 名 | 第1年度 (1992) | | | | | | | | | | | | 第2年度 (1993) | | | | | | | | | | | | 第3年度 (1994) | | | | | | | | | | | | 第4年度 (1995) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-------------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-------------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|-------------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| ダム上流面ロック盛立 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 準備, 仮設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 原石山表土処理 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ロック採取, 盛立 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リップラップ仕上げ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ダム下流面ロックダイク | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 準備, 仮設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ロック採取, 選別 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ロック盛立 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リップラップ仕上げ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 左岸堤脚斜面崩落土除去 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 準備, 仮設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 崩落土除去 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 左岸堤脚斜面・ショット | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 準備, 仮設備 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ショットクリート | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 残材除去 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 貯水池前限水位 | H.W.L. | | | | | | | | | | | | H.W.L. | | | | | | | | | | | | H.W.L. | | | | | | | | | | | | H.W.L. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EL.575.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EL.585.00 | | | | | | | | | | | | | L.W.L. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EL.555.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 雨期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 乾期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | 雨期 | | | | | | | | | | | | 乾期 | | | | | | | | | | | | | | | | |

表-1.2 ビンガダム修復計画工程表

| 項 目 | 1988 | | 1989 | | 1990 | | 1991 | | 1992 | | 1993 | | 1994 | | 1995 | | | |
|------------------|------|---|------|-------|------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|------|---|---|----|
| | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 | 2 | 6 | 10 |
| F / S | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 | 4 | 8 | 12 |
| N E D A 申 請 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 資 金 手 当 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 調 査 | | | | | | | —— | —— | | | | | | | | | | |
| E / S · P / Q | | | | | | | —— | —— | | | | | | | | | | |
| Bidding/contract | | | | | | | | | —— | —— | | | | | | | | |
| ダム上流面修復工事 | | | | | | | | | | —— | —— | | | | | | | |
| ダム下流面修復工事 | | | | | | | | | | | —— | —— | | | | | | |
| 左岸掘削法面修復工事 | | | | | | | | | | | | | —— | —— | | | | |

(6) 経済分析

ビンガダム修復工事は、1990年から調査、設計を開始するとして、1995年の工事完成まで6カ年を要し、その事業費は、総額 $3,700 \times 10^3$ US\$である。工事実施期間4年間のうち、ダム上流面盛立工事中の6カ月間は貯水池の水位を低下させる必要があるため発生電力量がその期間減少する。この減少量は、17.9GWhである。この減少量をルソングクッドの既設石油火力発電所の可変費（燃料費）で評価し、事業費とともに工事完成年度の1995年時点を基準とした価格に換算すると、 $C_1 = 5,381 \times 10^3$ US\$となる。

また、この修復工事の効果は、工事完成後将来にわたって持続的に発揮される事から、上記費用 $C_1 = 5,381 \times 10^3$ US\$を1996年から2010年（1960年運転開始後50年）までの15年間にわたって均等化した等価年額で表すと、 $C_2 = 876 \times 10^3$ US\$/年となる。一方、ビンガ水力発電所の供給力（MW）および発生電力量（GWh/年）の評価をNPCの電源開発計画（Power Development Program June 1988 NAPOCOR）に記載されている電源中最も安価なガスタービン発電所で代替するものとして評価すると、その評価額は、 $A = 24,144 \times 10^3$ US\$/年となる。

ビンガダム修復工事実施による安全性の向上（ダムの破壊確率が $1/79$ から $1/400$ に向上する）による期待便益 B は、 $B = \alpha \times A$ で表わされる。ここに α は修復工事実施前後の破壊確率 P_1 、 P_2 、残存耐用年数 L （年）、割引年 i の関数であり、この場合 $B = 1,450 \times 10^3$ US\$/年となる。

すなわち修復工事による年額期待便益 B は、修復工事の費用 $C_2 = 876 \times 10^3$ US\$/年よりも大きく（ $B/C_2 = 1.66$ ）この修復工事は経済的に妥当性を有するといえる。

なお、この修復工事の費用は、ビンガ水力発電所の評価額 A の3.6%である。

(7) ダムの安全管理組織

ダムの安全管理組織に関しては、Northern Luzon Regional Center（北ルソン地方事務所）のCentral Maintenance/Technical ServicesのCentral Maintenance内に機械係、電気係と並んで土木係を設置し、土木技術者2名、補助員3名を配属する必要がある。そして、ビンガ発電所のダムをはじめ、土木設備

の保守、点検、修繕およびモニタリングを担当させる。

また、この係にはビンガ発電所だけでなく、アンブクラオ、マガット、パンタバンガン、アンガットなどの管内全発電所の土木設備に関する保守、点検なども担務させる。

一方、本店にはHydro Power Project Department内にProject Design Divisionなどと並んで保守課を設置する。そして数名の土木技術者を配置し、Regional Centerの土木係と関係のもとに、保守、点検、修繕などの保守業務の統括に当たらせるとともに、Technical Services Departmentで集約したモニタリング結果の土木的見地からの解析、計画などの業務も担務させるものとする。

なお、ダムその他の土木設備の日常の保守点検業務のために、ビンガ発電所にも土木技術者1名を配置することが必要である。

2. ビンガダムの概要と調査業務の内容

2. ビンガダムの概要と調査業務の内容

2.1 ビンガダムの概要

ビンガダムおよびその付帯設備はフィリピン共和国ルソン島のマニラ市の北々西180kmにあるバギオ市の東方31kmに位置する。ビンガダムの位置するアグノ川には、ビンガダム貯水池の直上流にはアンブクラオダムがある。

ビンガダムは高さ107.34m、堤頂長215mの傾斜しゃ水壁型ロックフィルダムで総貯水容量 $87.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、有効貯水容量は $48.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。流域面積は936 km^2 である。

発電設備は、最大出力100MWであり、230kVの送電線でアンブクラオ発電所(出力75MW)とともにマニラに送電されており、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。

1956年に完成したアンブクラオ発電所に引続いてビンガ発電所は1960年5月から営業運転を行っている。

ビンガ水力発電所の主要諸元は表-2.1に示すとおりである。

表-2.1 ビンガ水力発電所主要諸元

| | | |
|-------|--|--------------------------------|
| 位置 | Barrio Binga, Municipality of Itogan, Benguet Province | |
| 河川名 | Agno River | |
| 運転開始 | 1960年5月 | |
| 設備出力 | 100MW | |
| 発生電力量 | 436GWh (1977年～1986年間の平均) | |
| 流域面積 | 936 km^2 | |
| 貯水池 | 総貯水容量 | $87.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| | 有効貯水容量 | $48.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| | 最高水位 | FWL. 579.5m |
| | 常時最高水位 | HWL. 575.0m |
| | 最低水位 | LWL. 555.0m |
| ダム | 形式 | 傾斜しゃ水壁型ロックフィルダム |

| | | |
|---------|--------------------|--|
| | 高さ | 107.37m |
| | ダム頂標高 | EL. 586.0m |
| | ダム堤頂長 | 215m |
| | ダム頂長幅 | 10m |
| | ダム底面幅 | 400m |
| | ダム体積 | $1.876 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| 洪水吐 | 形式 | ゲート付きシュート型 |
| | 長さ | 94.5m |
| | 溢流頂標高 | EL. 563.0m |
| | ゲート | 幅12.5m×高さ12×6門 テンダーゲート |
| | ゲート頂標高 | EL. 575.0m |
| | 設計洪水量 | $5,200 \text{ m}^3/\text{sec}$ |
| 取水口 | 取水塔入口敷高 | EL. 540m |
| 導水路トンネル | 内径5.6m×長さ760m×1条 | |
| | 入口敷高 | EL. 540.0m |
| 調圧水槽 | 差働式 | 高さ86m 内径15.0m (EL. 596~547m) 5.8m (EL. 547~510m) |
| 水圧管路 | 3.66m~2.44m×4条 | |
| 発電所 | 形式 | 地下式 |
| | 寸法 | 長さ77.3m×幅14.3m×高さ24.4m |
| | 発電機床面標高 | EL. 423m |
| | 水車中心標高 | EL. 416.5m |
| 放水路トンネル | 内径6.0m×長さ2,000m×1条 | |
| | 出口敷高 | EL. 410.50m |
| 水車 | 形式 | 立軸フランシス |
| | 定格出力 | 25MW×4台 |
| | 定格落差 | 156m |
| | 定格回転数 | 327.3rpm |

| | | |
|-----|---|-----------------------|
| | 製作 | Riva Milano (Italy) |
| 発電機 | 容量 | 27,800kVA×4台 |
| | 銘板容量 | 109,000kW |
| | 力率 | 0.9 |
| | 周波数 | 60Hz |
| | 製作 | Oerikon (Switzerland) |
| 設計 | NAPOCOR, Engineering & Development Corporation of the Philippine, Tippetta-Abetts McCarthystration of New York | |
| 施工 | Philippine Engineers Syndicate, Inc. | |

2.2 調査の背景と調査内容

ビンガダムは、建設以来29年を経過し、その保守管理業務の整備を含め、ダム下流端擁壁の破損、洪水吐末端部コンクリートの浸蝕、ダム左岸掘削法面の劣化等が問題となり、その修復計画のための調査が重要性をもつに至った。

これらの問題についてNAPOCORは独自に調査を進める一方1985年4月3日、在フィリピン日本大使館に、アンブクラオダム、アンガットダムとともにビンガダムの安定解析とその対策および保守管理業務の整備対策を要請した。

フィリピン政府は日本政府に対して、1985年4月19日付け公信602号でアンブクラオダム、アンガットダムとともにビンガダムの修復計画についての調査を要請した。国際協力事業団（JICA）はその重要性を認め、1987年2月事前調査団を現地に派遣し、要請の背景確認、業務範囲の策定等関係者と打合せを行った。

その結果、国際協力事業団とNAPOCORの間で締結されたImplementing Agreementにもとづきビンガダムの修復計画調査が実施の運びとなったものである。ビンガダム修復計画調査の内容は次のとおりである。

- (1) 調査関連データの収集
- (2) 現在行われているダムのモニタリングについての調査
- (3) 現地調査
 - 一ダム、洪水吐、減勢池、ダム下流端擁壁、貯水池内および上流部の堆砂
- (4) ダムモニタリングシステムの確立
- (5) 追加調査工事計画立案と仕様書作成および調査工事の指導監督

- 測量、ボーリング、テストピット、漏水量測定、ダム変形量測定
- (6) 測定マニュアルの作成およびモニタリングの指導監督
 - ダム漏水量測定、ダム変形量測定、地震観測
- (7) 構造物の安定解析、安全性の検討
 - ダム本体、ダム左岸掘削斜面
 - 洪水吐容量、ダム下流端擁壁
- (8) 貯水池上流端付近の堆砂除去についての検討
- (9) 修復計画案の策定および経済評価
- (10) ダムの安全管理体制組織の検討
- (11) ダム構造物管理基準の作成

3. 現地調査

3. 現地調査

ビンガダム修復計画調査団による現地調査は1987年9月17日から同年10月16日までの1ヵ月間にわたって行われた。各専門家の担当業務と滞在期間は下記のとおりであった。

| | | |
|------|----------------|--------------------|
| 土居元之 | 総括 | 1987. 9. 17～10. 16 |
| 池田正時 | 土木（設計、工事、保守管理） | 同上 |
| 小林六郎 | 土木（水文、水理） | 同上 |
| 藤原 保 | 土木（追加調査工事、計測） | 1987. 10. 1～12. 28 |
| 遠藤修実 | 地質 | 1987. 9. 17～10. 16 |

調査団が現地滞在中に行った主な調査活動は次のとおりである。

- (1) NAPOCORへのインセプションレポートの提出および説明
- (2) ビンガダムに関連する各種情報、データの収集
 - 土木構造物の設計図面
 - 水文資料
 - 発電記録、貯水池操作記録
 - その他ビンガダム関連報告書等
- (3) ダム左岸掘削法面、ダム下流擁壁等損傷部の実状調査
- (4) 貯水池上流部の堆砂状況の実状調査および河床堆砂の粒度分布の実測
- (5) 追加調査工事の計画および仕様書の作成
- (6) 追加調査工事の指導監督
- (7) モニタリング器材の据付指導および測定マニュアルの作成
- (8) モニタリングの指導監督

調査団は、1ヶ月の現地調査結果と所見を要約した“Report on Field Study for the Binga Dam Rehabilitation Project 16 October 1987” および追加調査工事の仕様書“Specification of the Additional Investigation Works for the Binga Dam Rehabilitation Project 15 October 1987”を作成しNAPOCORに提出した。

上記調査業務のうち(6)追加調査工事の指導、監督、(7)モニタリング機材の据付指導および測定マニュアルの作成、(8)モニタリングの指導監督業務、については担当

団員1人が引続き1987年12月28日まで現地に滞在しこの任にあたり“Measurement Manual for the Binga Dam Rehabilitation Project December 1987”を作成しNAPOCORに提出した。さらに同団員はその後1988年3月、6月および10月の3回にわたり現地を訪れNAPOCORの実施するモニタリングの指導、助言を行うとともに、モニタリングデータの収集を行った。

4. 追加調査工事

4. 追加調査工事

ダム本体およびダム左岸掘削法面の安定性の検討、ダム下流端擁壁の修復計画検討および貯水池内堆砂の水理検討等に必要な資料を得るために以下の調査工事を行った。

調査工事は調査団が作成した技術示様書に基づきNAPOCORが実施した。

(1) 測量

| | | |
|---------------|-----------|------------|
| 一ダム横断測量 | 3 測線×350m | 縮尺 1 : 200 |
| 一ダム左岸掘削法面断面測量 | 3 測線×250m | 縮尺 1 : 200 |
| 一ダム下流河川横断測量 | 11測線 | 縮尺 1 : 200 |
| 一ダム洪水吐下流地形測量 | 300m×260m | 縮尺 1 : 200 |

(2) ボーリング

| | |
|------------|-----------------------------|
| 一ダム下流端擁壁付近 | 3 孔 (15.5m + 30.7m + 33.1m) |
| 一ダム左岸掘削法面 | 1 孔×50m |

(3) 河床材料試験

| | |
|---------|------------------|
| 一テストピット | 9ヶ所 |
| 一材料試験 | 粒度分布、比重および単位体積重量 |

(4) 浮遊砂濃度測定

| | |
|----------------|------|
| 一アグノ川およびアドノット川 | 各1地点 |
|----------------|------|

5. モニタリングシステム

5. モニタリングシステム

5.1 モニタリングシステムの現状

ビンガダムにおいて、現在実施されている計測は、ダム頂に設けられた気象観測装置による降雨、蒸発量、気温、最高最低気温、風向風速、湿度等の項目についての毎日の定時観測であり“Weather Report”として月報にまとめられている。

貯水池水位は、洪水吐呑口上流部にとりつけた量水標を毎正時に目視によって観測記録している。

また、貯水池の深淺測量については1960年発電開始後現在まで1967年、1979年および1986年の3度にわたり実施されその結果は“SEDIMENTATION STUDIES OF AMBUKLAO & BINGA RESERVOIR SEPTEMBER-1986 NATIONAL POWER CORPORATION”に要約されている。

これ以外には、ダム等の土木構造物に対する計測器による継続的なモニタリングは特に行われていない。

5.2 モニタリング設備の設置

今回ダムの挙動を監視するためのモニタリング設備として、ダム外部変形測定設備、ダム漏水量測定設備および地震計を設置した。測定機器はJICAが提供し、据付は調査団の監督のもとにNAPOCORが実施した。

(1) ダム外部変形測定装置

ダム堤体着岩部の両岸にダム天端中央付近を見通せる延長線上に観測点（固定点）および視準点（固定点）を設置し、ダム天端中央付近に測定点（移動点）を設置した。測定はセオドライトを観測点（ダム右岸固定点）上に据付け、対岸の視準点上の固定標的を視準して、この見通し線上で、見通し線に対する移動点の移動量を測定してダム天端の水平方向（上下流方向）を測定する視準測量の方法による。

鉛直方向変位測定は、上記固定点（右岸、観測点）を基準として、ダム天端移動点の標高を定める水準測量により行う。

この視準測量および水準測量によるダム変型測量は、原則的に上述の左右両岸

の固定的各1点およびダム天端中央付近の移動点1点であるが固定点の移動のチェックのため左岸固定点（標的）上流100mの地点に基準固定点を設置し、またダム移動の観測値のチェックのためダム天端移動点を1点追加して設置している。

(2) ダム漏水量測定装置

ダム下流端擁壁下流部に、洪水吐減勢池水面から約1～2m高い位置に水面をもつ天然の集水池が形成されており、ダムからの漏水および周辺地山からの浸透水等がこの池から減勢池へ流入している。今回はこの集水池を利用し集水池周辺の凹凸をコンクリート壁で整形し、この一部に流量測定堰用の接近水路および測定範囲2,500ℓ/minの直角三角堰を設置した。当初の計画ではこの測定設備は水圧式水位計およびデジタル式水位流量計による自記記録装置とする予定であったが、測定位置が洪水吐減勢池に近いので洪水吐放流時に計測装置が破損する恐れがあるため溢流水深を目視によりスケールで読みとるマニュアル方式とした。

(3) 地震計

ダム左岸の洪水吐ゲート上流80mの位置に鉄筋コンクリート造り地震計室を設け、基盤岩上に水平方向2成分、鉛直方向1成分の地震計（加速度計）を設置した。

測定範囲は感度切換により1～100gal, 5～500gal, 10～1,000galの3段階に切換が可能となっている。

これらの新設モニタリング機器の仕様を表-5.1に、設置位置を図-5.1に、設置工事の実績工程を図-5.2に示す。

5.3 新設計器による測定結果

(1) ダム変位

視準測量によるダム変位の測定は1987年12月に開始し、その後継続して実施されている。測定開始から1988年7月までの8ヶ月間の記録（図-5.3）では、貯水池の水位変動がHWL. 575m～WL. 560mの15mに対し、ダム上下流方向変位量は約15mmとなっている。この変位量は計測値にややばらつきがあるものの、貯水池の水位変動に対応した弾性的な挙動を示しており、相関関数 $r = 0.77$ で貯水

池水位とダム変位量は次の式で表わされる。

$$d = 0.9948 (H - 555)$$

ここに d : 貯水池水位LWL. 555を基準としたダムの下流側への変位量(mm)

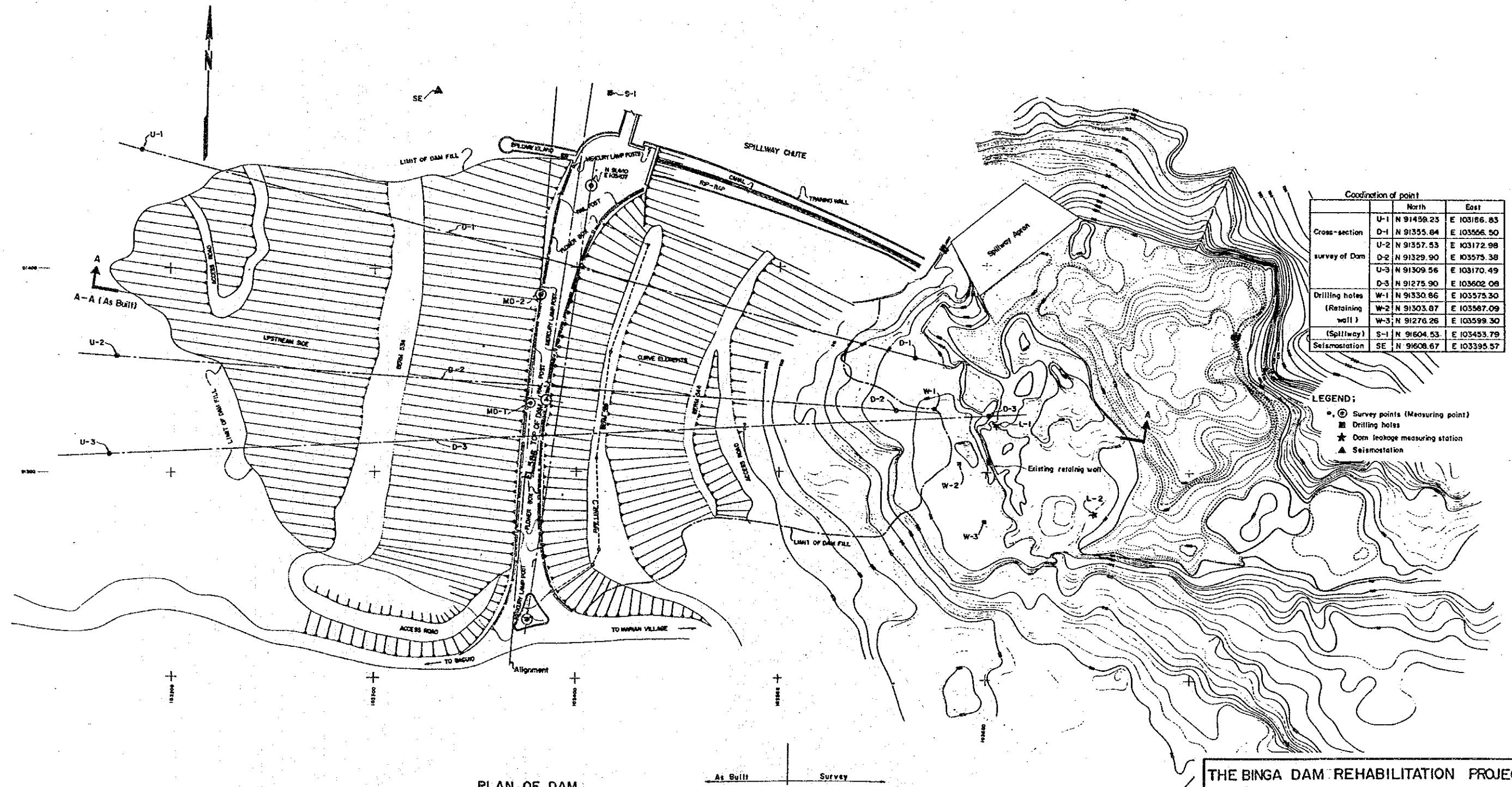
H : 貯水池水位 (WL. m)

(2) ダムの漏水量

ダムからの漏水量は、ダム下流端に設けられた流量側定用の三角堰により、1988年3月から測定されている。測定開始時から1988年10月までの三角堰流量の実測記録によると乾期の3月～5月の間は貯水池の水位がWL. 574～WL. 569 mの間で15 ℓ/min、6月～8月の雨期で300 ℓ/min、また特に連続降雨で約150 mm以上の時は1,000～2,000 ℓ/minとなっている。本地点の流量測定堰はダム法尻の地表の集水池を利用しているため、測定流量にはダムおよびダム基礎からの漏水量以外の降雨によるダム下流法面および周辺の集水池地域からの流出や周辺地山からの湧水が含まれるため上述のように降雨による影響が大きくでている。ダムの漏水量については今後の測定データを蓄積することによりこれらの流出要素を分離する必要がある。

表-5.1 JICA供与機器の仕様

| | |
|----------------------------------|--|
| 1. 漏水量測定装置 | |
| (1) 直角三角刃型板 | 630mm×860mm×6mm |
| (2) 整流板 | 800mm×860mm |
| (3) 水位センサー | 型式 中浅 W-350-00 (水圧式) 測定範囲 0~100cm |
| (4) 水位記録計 | 型式 中浅 W-551-02 |
| 2. 光波測距儀 | |
| (1) セオドライト | 型式 ニコン MTD-2B 測角精度20秒読み 測距離1,200m |
| (2) ファンクションキーボード、バッテリー、三脚、その他付属品 | |
| 3. 地震計 | |
| (1) 換振機 | 型式 勝島 SDA-240-3 水平方向2成分 上下方向1成分 |
| (2) 強震計 (サイスマメーター) | 型式 勝島 VSS-1FS |
| (3) スイッチボックス | 型式 勝島 SW-1 |
| (4) オッシログラフ | 型式 勝島 5M26 |
| (5) ケーブルその他付属品 | |
| 4. 採水器 | |
| | 型式 簡易採水器B型 (土研式) 採水容量 1,100cc |
| 5. 流速計 | |
| | 型式 中浅 J-061 測定範囲 0.3~2m/sec~4m/sec (切換式) |



| Coordination of point | | |
|------------------------------------|-------|------------------------|
| | North | East |
| Cross-section | U-1 | N 91459.23 E 103186.85 |
| | D-1 | N 91355.64 E 103556.50 |
| | U-2 | N 91357.53 E 103172.98 |
| survey of Dam | D-2 | N 91329.90 E 103575.38 |
| | U-3 | N 91309.56 E 103170.49 |
| | D-3 | N 91275.90 E 103602.08 |
| Drilling holes (Retaining wall) | W-1 | N 91330.86 E 103575.30 |
| | W-2 | N 91303.67 E 103567.09 |
| | W-3 | N 91276.26 E 103599.30 |
| (Spillway) | S-1 | N 91604.53 E 103453.79 |
| Seismostation | SE | N 91608.67 E 103395.57 |

- LEGEND:**
- , ⊙ Survey points (Measuring point)
 - Drilling holes
 - ★ Dam leakage measuring station
 - ▲ Seismostation

PLAN OF DAM

As Built | Survey

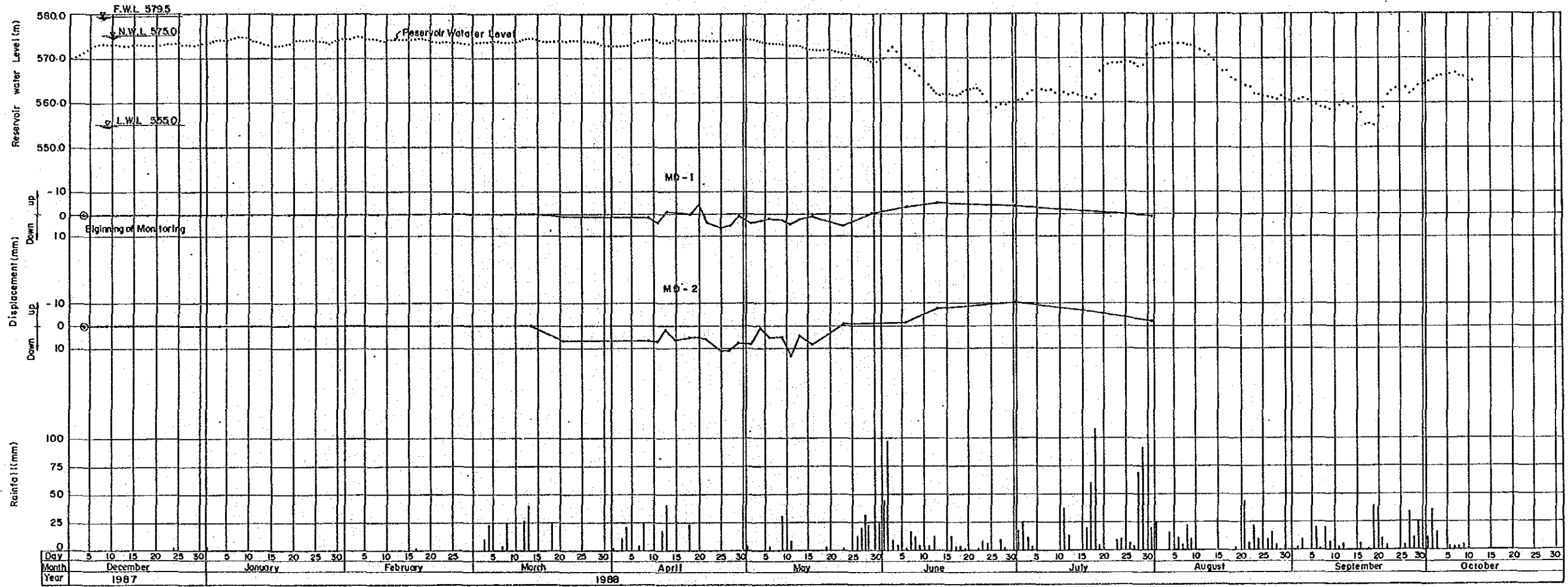
| | |
|--|------|
| THE BINGA DAM REHABILITATION PROJECT | |
| Location of Monitoring Instruments and Additional Investigation Works | |
| SCALE | DATE |
| THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY | |

Fig-5.1 Location of Monitoring Instruments
and Additional Investigation Works

5.2 Progress of Installation of Monitoring Instruments and Additional Investigation Works

| Work Item | 1987 | | | | | 1988 | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Oct | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep |
| Installation of Leakage Station | A | B | | | | | | | | | | |
| Installation of Survey Point | A B | M | | | | | | | | | | |
| Construction of Seismic Station | A | B | | | | | | | | | | |
| Drilling | W-3 | D E | F | | | | | | | | | |
| | W-2 | D | | | | | | | | | | |
| | W-1 | D | | | | | | | | | | |
| Survey Works | S-1 | | D E | | | | | | | | | |
| | Topographic Survey Downstream of Dam | | | | | | | | | | | |
| | River Cross Section | | | | | | | | | | | |
| | Left Bank Slope Cross Section | | | | | | | | | | | |
| Dam Cross Section | | | | | | | | | | | | |
| Legend : A : Excavation B : Concrete C : Installation of Instrument D : Constructing Trench E : Mobilization of Drilling F : Drilling M : Monitoring (→) T : Tracing | | | | | | | | | | | | |

Displacement of the Dam crest
(Horizontal displacement)



☒-5.3 Record of Dam Displacement

6. 地質狀況

6. 地質状況

6.1 地質的背景

アグノ川は、フィリピン断層の派生断層帯の一つに規制されて北から南へと流れている。この断層帯の幅はダムサイトおよび貯水池全体をその中に含むほど広く、断層帯にはN10-20° E, N10-20° WおよびN70-80° W方向の付随断層がいくつか存在する。それらの断層によりダムサイトの下の狭小な曲がりくねった谷が形成されている。

ダムサイト付近のアグノ川に分布する主な岩石は、一連の変成岩類と閃緑岩である。この変成岩類は、白亜紀または古第三紀に海水中に噴出した安山岩質および玄武岩質の溶岩、および粘板岩などの堆積岩類を原岩としている。これらの岩石は堆積後主に造山運動により強力な動力変成作用を受け多数の破碎構造とジョイントを持つに至った。

新第三紀（中新世）に閃緑岩が変成岩類中に貫入し、変成岩類は熱変成作用を被った。閃緑岩と変成岩類の接触面は一般に熱により再溶融した構造を示しており、良く固結している。しかし、一部では断層で接している。

6.2 現地調査結果

6.2.1 ダム左岸掘削法面

ダム左岸には、高さ最大約130m、長さ約500mの法面が形成されている。この法面は、法勾配約60°で、20m毎に幅約8.5mの小段が計7段設けられている。法面は北東-南西方向に延びる尾根の末端を切るように形成され、法肩は尾根上部に達している。山体は比較的大きく、尾根の両側の斜面は険しく約35°の傾斜を示す。

この法面は、変成岩類（Metamorphics）と総称される変成した安山岩および玄武岩の溶岩、凝灰岩および凝灰角礫岩を主体とする堆積岩、およびそれらの岩石類に貫入する小規模な岩脈からなる。これらの岩石を堅硬で割れ目も少ないが、法面の表面は若干風化し脆くなっている。

地層の走向傾斜はN10° E / 50° Wで、地層の走向は法面の方向とほぼ直交している。ただし、左岸の法面では一般に層理面の発達はわるく、良く密着している。ジョイント等その他の地質分離面も発達が悪く連続性は良くない。

シームあるいは小断層は、ダム軸から上流側はほとんど認められないが、下流側ではいくつか認められる。これらのシームあるいは小断層の周辺には割れ目が発達し、岩盤が他の部分に比べ劣化している。これらの部分が雨水により差別的に浸食されガリー（gully）が形成されている。ガリーは最大幅約15m深さ最大約8mであり、小段が全幅にわたって崩落し小段上の通行が不可能になっている部分もある。最も長いガリーは法面中央最上部付近より始まりシーム沿いに下部まで連続している。浸食・崩落した土砂・岩塊は各小段上に堆積し、崩壊の著しい部分の直下では小段の全幅にわたって土砂・岩塊が堆積している。これらの浸食は、ダム軸から下流側の法面で著しく、上流側の法面では少なく法面の形状を良く保っている。

法面のうちEL. 583mの小段のダム軸から上流側およびEL. 643mの小段はサービス道路として使用されており、その機能は確保する必要がある。一方、洪水吐ゲートおよび洪水吐と法面の間には幅10m以上の小段が設けられているため、崩壊土砂・岩塊により洪水吐の機能を損なうような被害は現在のところ出ていない。しかしながら、このまま浸食を放置すると、小段のかなりの部分が失われ小段の通行が不可能になることから、法面のメンテナンスに大きな支障が出ると思われる。また崩落し小段上に堆積している多量の土砂が土石流として流下した場合洪水吐を破壊する恐れがある。

6.2.2 ダム右岸アバット

ダム右岸の山体は大きく、地質は変成岩類（Metamorphics）より構成されている。建設前の調査で、ダム左岸アバットより右岸アバットの方が風化が深く割れ目も発達し地質条件が劣ることが明らかになったことから洪水吐が左岸に設けられた。しかしながら、今回の現地調査の結果、小規模な表層崩壊はあるものの地山全体は安定していることが確認された。

6.2.3 洪水吐下流端および減勢池

減勢池は地山を開削して建設されているが、その下流端には山塊が突出して残っている。この付近の地質は変成岩類（Metamorphics）で、減勢池下流端の左岸谷底には幅約20mの安山岩岩脈がある。法面を形成する変成岩類は堅硬で割れ目が少ない。一方、安山岩岩脈は極めて堅硬で水平方向の節理（クーリングジョイント）

が発達している。変成岩類と安山岩岩脈の接触面は良く密着しているが、両岩の硬さの違いを原因とする差別浸食により安山岩岩脈が法面から突出している。

現時点では法面の浸食量は少なく法面の安定を損なう状態にはなっていない。また、今後浸食が急速に進行するとは考えられず、たとえ崩壊が起こっても構造物への被害は生じないと考える。

6.2.4 ダム下流端擁壁基礎

ダム下流端には、長さ約130mの擁壁が建設されたが、建設後発生した洪水により破壊されている。現地調査により、破壊された擁壁の大部分はその基礎が着岩しておらず河床堆積物の上に載っていたことが確認された。擁壁の左岸および右岸には変成岩類が露出しており、擁壁の基礎がこれに着岩している左岸側約30mは破壊されずに残っている。この付近に分布する変成岩類は、割れ目が発達しているものの擁壁の基礎として十分な強度を有している。今回実施されたボーリング調査により擁壁基礎付近の基盤岩の分布深度は左岸側で約5m、右岸側で約25mであることが確認された。

6.2.5 貯水池および上流側支川の崩壊地

貯水池周辺および上流側支川の山地斜面の崩壊状況を把握するために現地調査を実施した。調査は、貯水池周辺はゴムボートと自動車を使用して、上流側支川は踏査により行った。

貯水池周辺の山体は変成岩類 (Metamorphics) により構成されており、湖岸の大部分に露岩している。貯水池周辺の斜面は比較的安定しており、崩壊地は少ない。貯水池はダムの上流約3kmの地点から上流が堆砂により埋積されている。

上流側支川のアドノット川は、本流であるアグノ川の合流点から約2km上流まで踏査した。アドノット川の河床付近には所々に変成岩類と閃緑岩が露出している。山地斜面は比較的安定しているが、小規模な表層すべりが多数散在する。

6.3 岩盤分類と物性値

ビンガダムサイト周辺の岩盤は、現地調査の結果を踏まえ表-6.1に示す基準に従って分類した。

岩盤分類と強度定数 (τ_0 , ϕ) の間には、図-6.7に示す関係が知られている。本報告書における解析検討においては、経験的に知られるこれらの関係に基づき岩盤の物性値を表-6.2に示すごとく設定した。

6.4 ダム左岸法面の安定計算

ダム左岸法面のように、硬質岩盤より成る斜面では、すべり面は割れ目、断層、層状構造等の地質分離面を利用して生ずる。ダム左岸法面では、連続性の良い割れ目、断層等が少なく、それらの地質分離面の組合せによってすべる可能性は少ないと考える。また、ダム左岸法面を形成する岩盤は硬岩であり、岩質的に劣化が急速に進むようなものではなく、長期的にも安定であるといえる。

地質分離面をすべり面としてすべる場合には、2つ以上の面の組合せによりすべりが生ずる。ここで、2つのすべり面の組合せによるすべりの発生の可能性について検討する。検討方法は、ステレオグラフによる図解法とする。検討するすべり面の組合せは、連続性の良い割れ目を含む以下の3ケースの法面上での位置を図-6.8に示す。

ケース1 : NS/50W と N35W/53N の組合せ

ケース2 : NS/50W と N55E/46S の組合せ

ケース3 : N10E/45W と N70E/35E の組合せ

それぞれのケースにおける2つの面とその交差線を図-6.9に示す。ケース1では、2つの面の交差線が山側に傾斜するため、すべりは起こらない。ケース2およびケース3の場合には川側に27° および22° 傾斜するためすべりが生じる可能性がある。以下にケース2およびケース3について次式より安全率 F_s を求める。

$$F_s = \frac{C_1 A_1 + R_{n1} \tan \phi_1 + C_2 A_2 + R_{n2} \tan \phi_2}{W \sin \epsilon}$$

ここで

C_1, C_2 : すべり面1, 2のそれぞれの粘着力

ϕ_1, ϕ_2 : すべり面1, 2のそれぞれの内部摩擦角

A_1, A_2 : すべり面1, 2のそれぞれの面積

R_{n1}, R_{n2} : すべり面1, 2のそれぞれに垂直な反力

W : すべり面より上の岩塊の重量

ϵ : 2つのすべり面の交差線の傾き

すべり面の強度定数 C_1, C_2 および ϕ_1, ϕ_2 は、D級岩盤を想定してそれぞれ、

$$C_1 = C_2 = 20.0 \text{ tf/m}^2$$

$$\phi_1 = \phi_2 = 30^\circ$$

と仮定した。

計算の結果、安全率 F_s は、

$$\text{ケース 2} : F_s = 51.6$$

$$\text{ケース 3} : F_s = 39.3$$

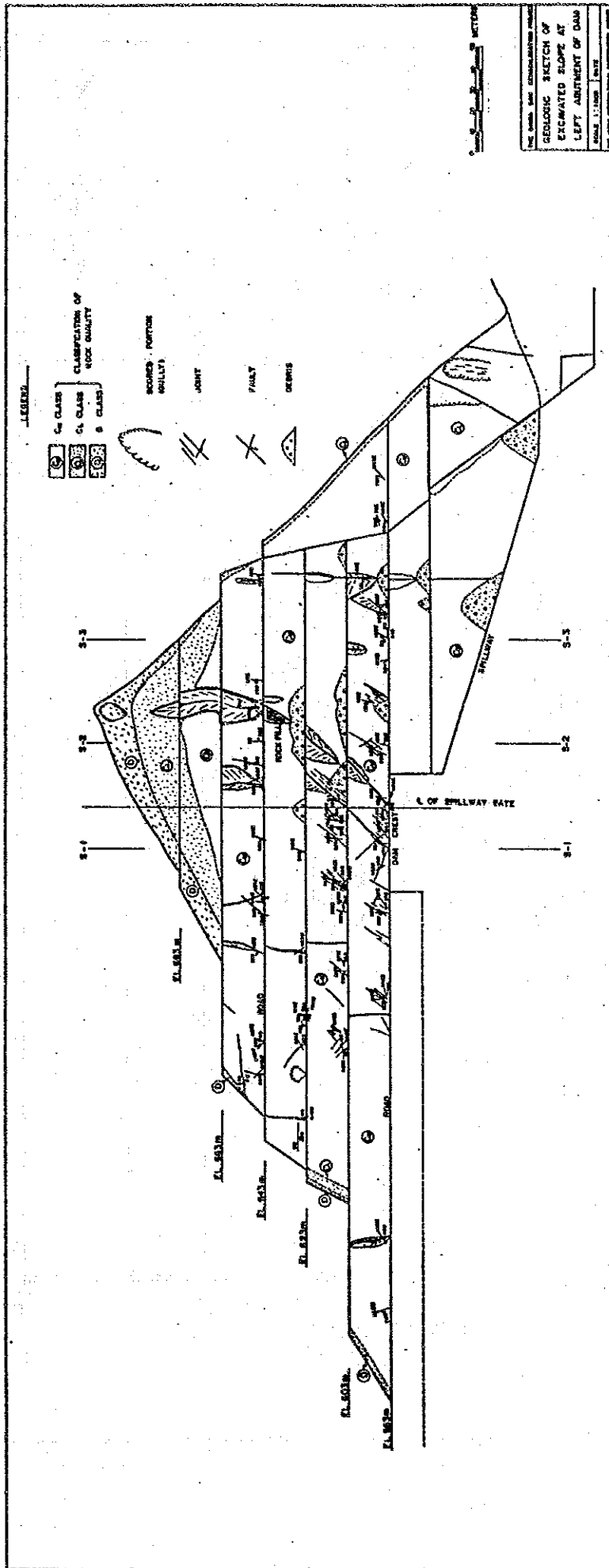
となる。したがって、ケース1, ケース2, ケース3いずれの場合も安全であるといえる。

表-6.1 岩盤分類

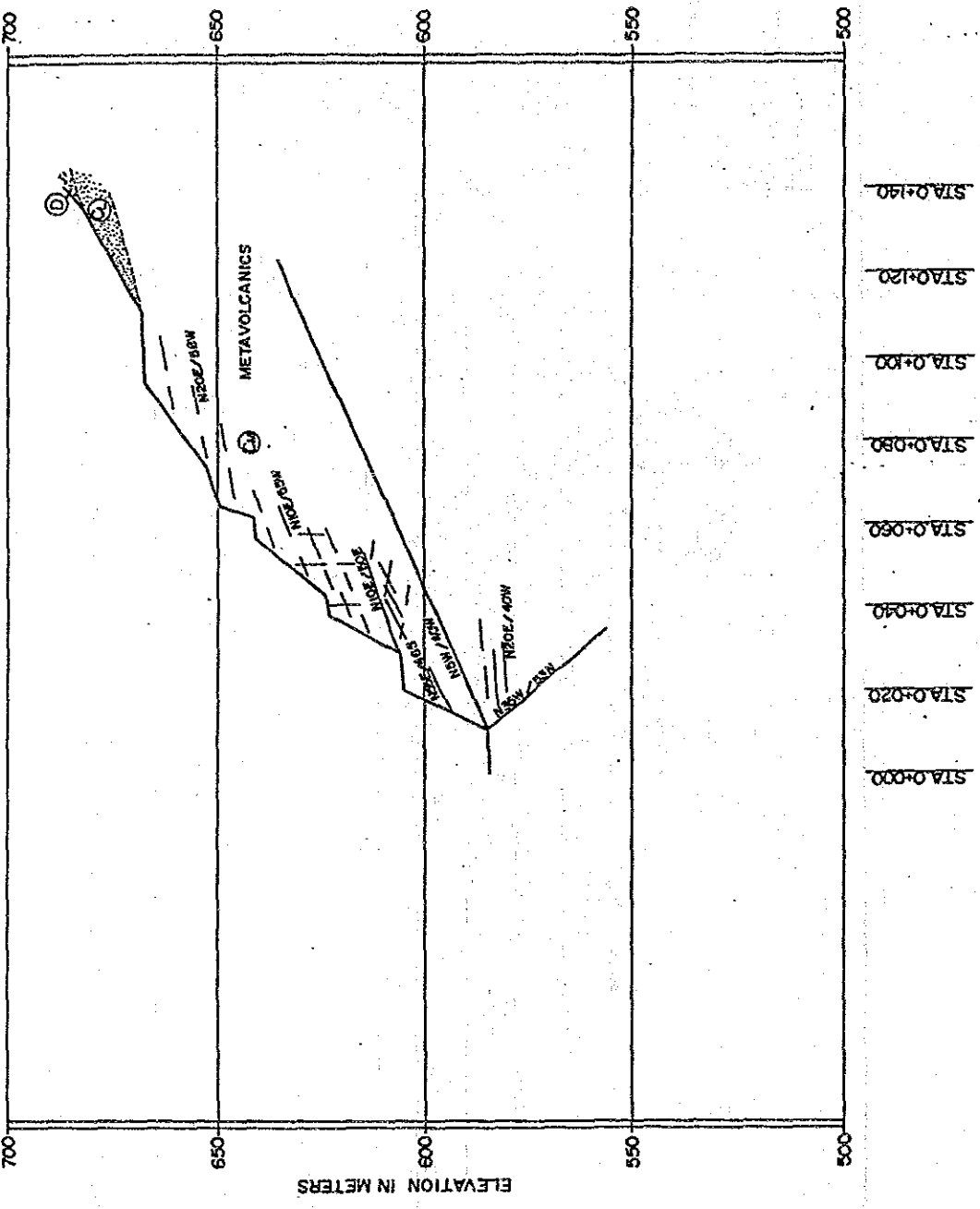
| 名称 | 特 徴 |
|----------------|---|
| A | 極めて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化、変質を受けていない。亀裂、節理はよく密着し、それらの面にそって風化の跡はみられないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。 |
| B | 岩質堅硬で開口した(たとえ1mmでも) 亀裂あるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化、変質がみられる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。 |
| C _H | 造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。 一般に褐鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目によって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。 |
| C _M | 造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目によって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。 |
| C _L | 造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目によって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。 |
| D | 岩石鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。 節理あるいは亀裂の間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。 剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。 |

表-6.2 ダムサイトの岩盤分類と物性値

| 岩盤等級 | せん断強度 | 単位体積重量 γ , kgf/cm ³ |
|----------------|---|---------------------------------------|
| C _M | $\tau = 18.0 \text{ kgf/cm}^2 + \sigma \tan 45^\circ$ | 2.4 |
| C _L | $\tau = 7.0 \text{ kgf/cm}^2 + \sigma \tan 38^\circ$ | 2.2 |
| D | $\tau = 2.0 \text{ kgf/cm}^2 + \sigma \tan 30^\circ$ | 2.0 |



☒-6.1 Geologic Sketch of Excavated Slope at Left Abutment of Dam



LEGEND

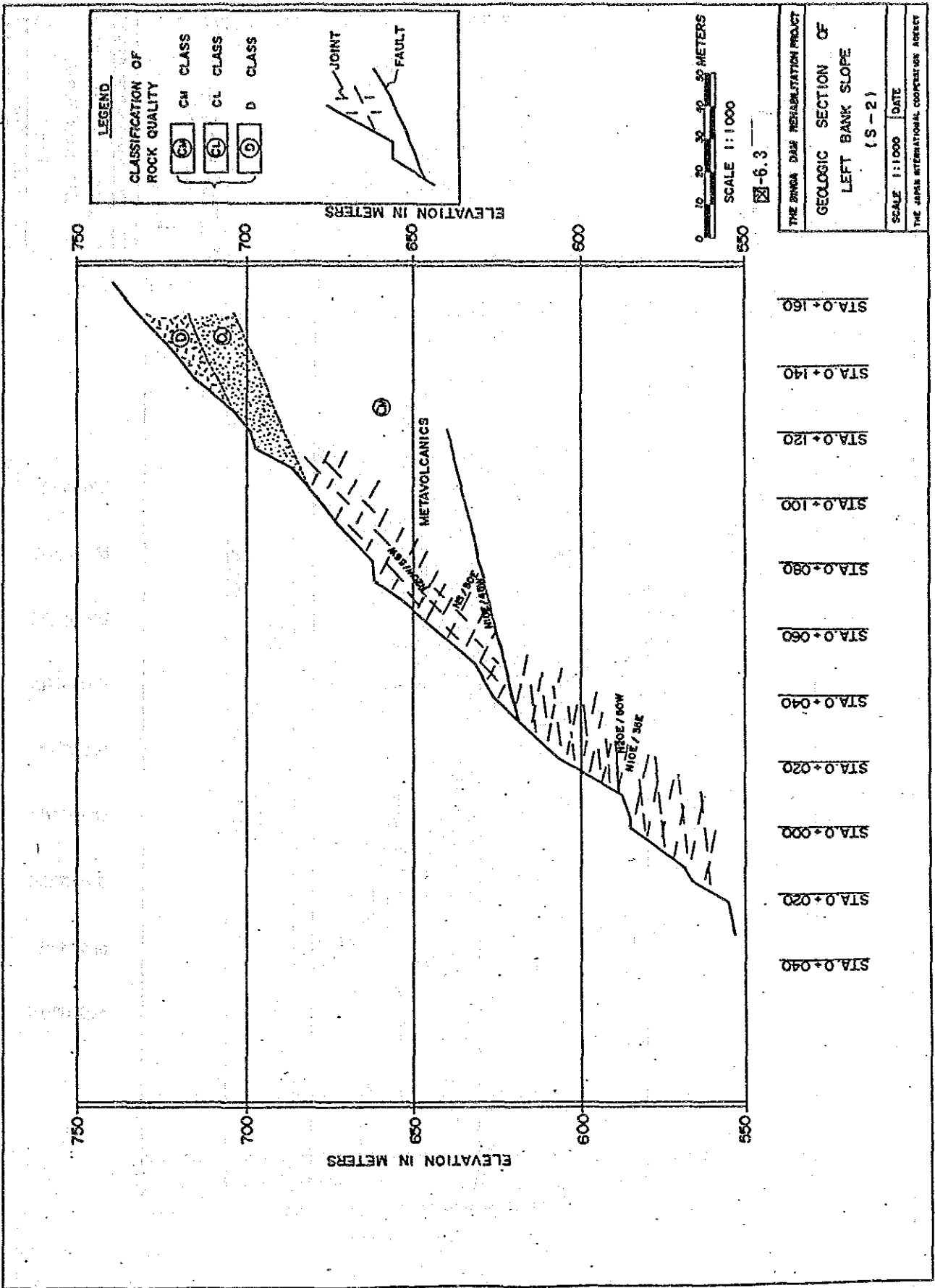
CLASSIFICATION OF ROCK QUALITY

| | |
|----|---------|
| CM | CLASS C |
| CL | CLASS C |
| D | CLASS D |

JOINT
FAULT

0 10 20 30 40 50 METERS
SCALE 1:1000
S-6.2

THE BINGA DAM REHABILITATION PROJECT
GEOLOGIC SECTION OF LEFT BANK SLOPE (S-1.)
SCALE 1:1000 DATE
THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND

CLASSIFICATION OF ROCK QUALITY

| | |
|--|----------|
| | CM CLASS |
| | CL CLASS |
| | D CLASS |

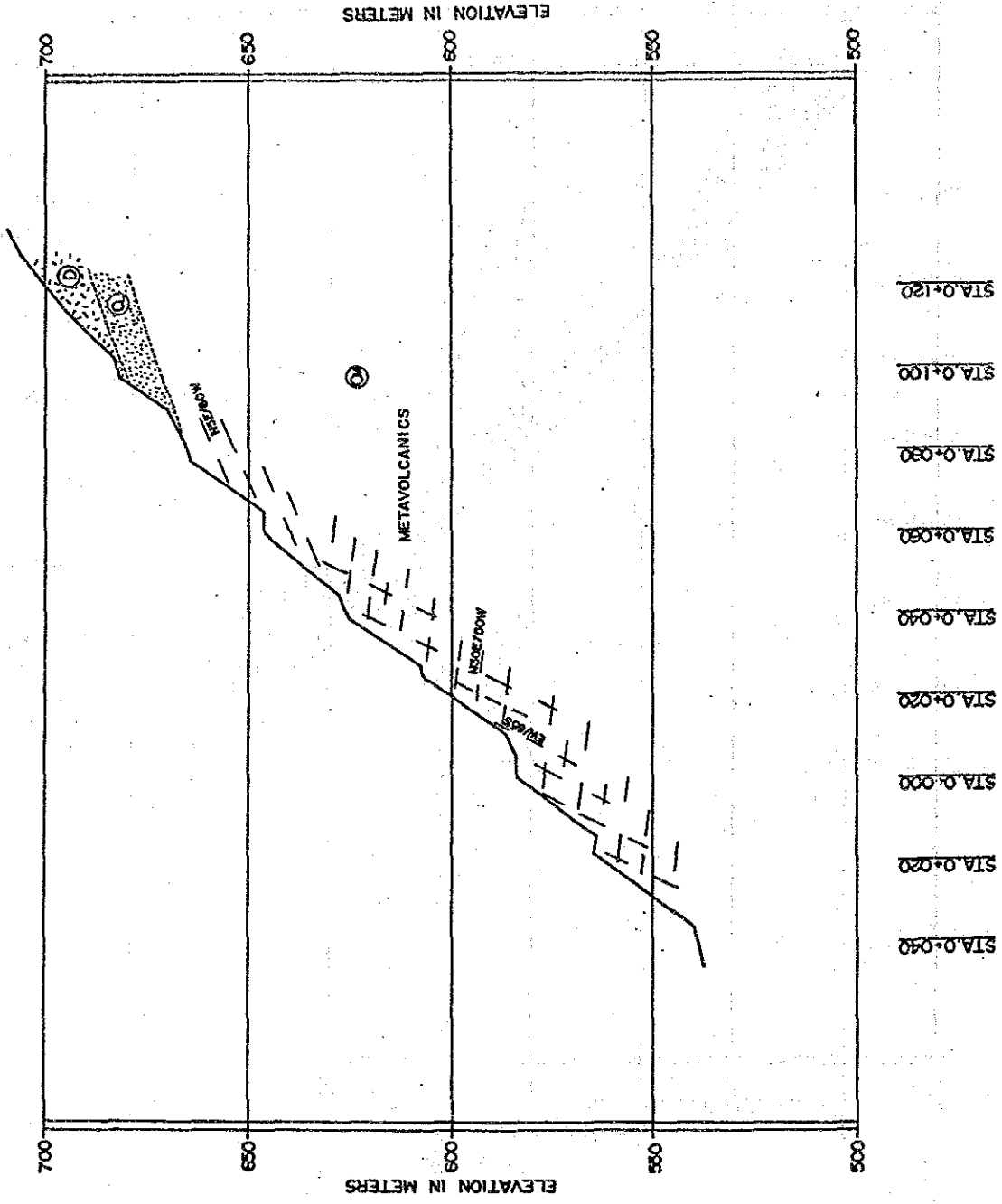
JOINT

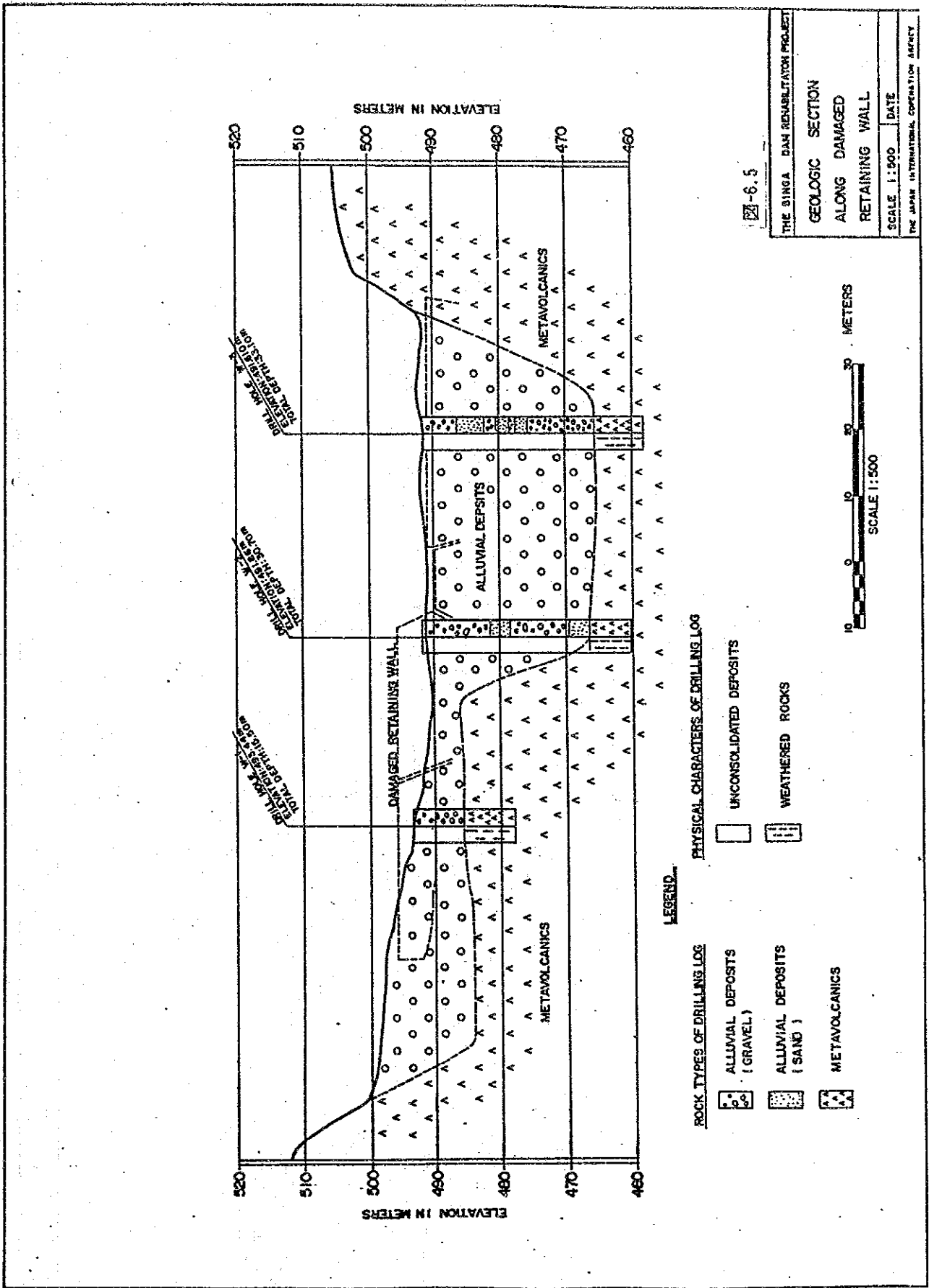
FAULT



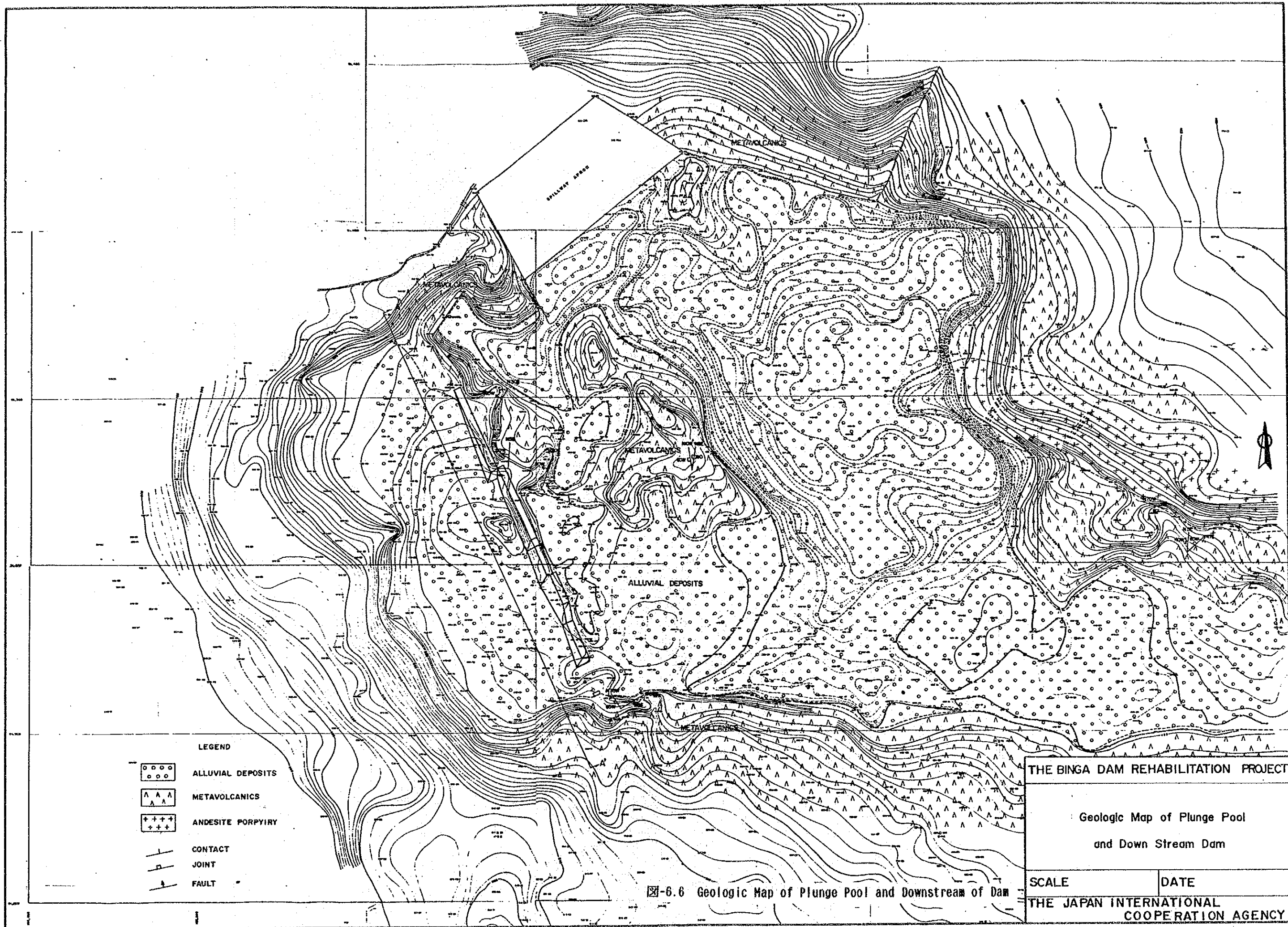
THE BINGA DAM REHABILITATION PROJECT
 GEOLOGIC SECTION OF
 LEFT BANK SLOPE
 (S-3)







SCALE 1:1000 DATE _____
 THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY





6-5



- LEGEND**
-  ALLUVIAL DEPOSITS
 -  METAVOLCANICS
 -  ANDESITE PORPHYRY
 -  CONTACT
 -  JOINT
 -  FAULT

THE BINGA DAM REHABILITATION PROJECT

Geologic Map of Plunge Pool
and Down Stream Dam

SCALE _____ DATE _____

THE JAPAN INTERNATIONAL
COOPERATION AGENCY

Fig-6.6 Geologic Map of Plunge Pool and Downstream of Dam

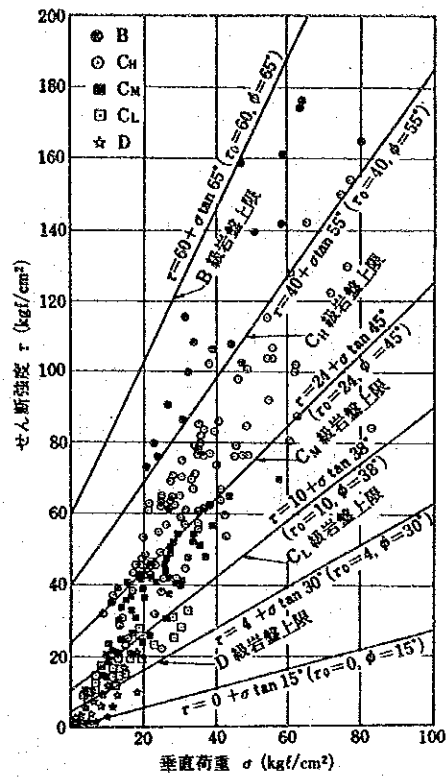


図-6.7 岩級区分とせん断試験結果との関係

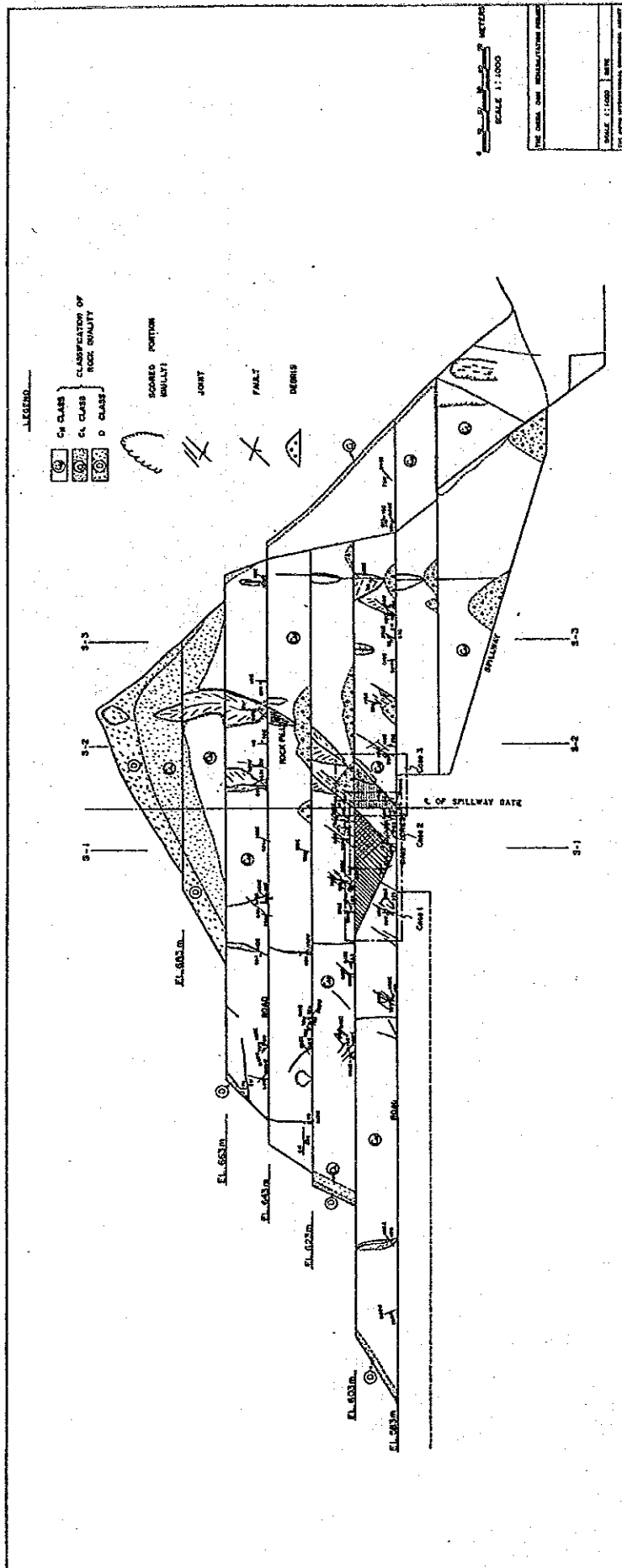
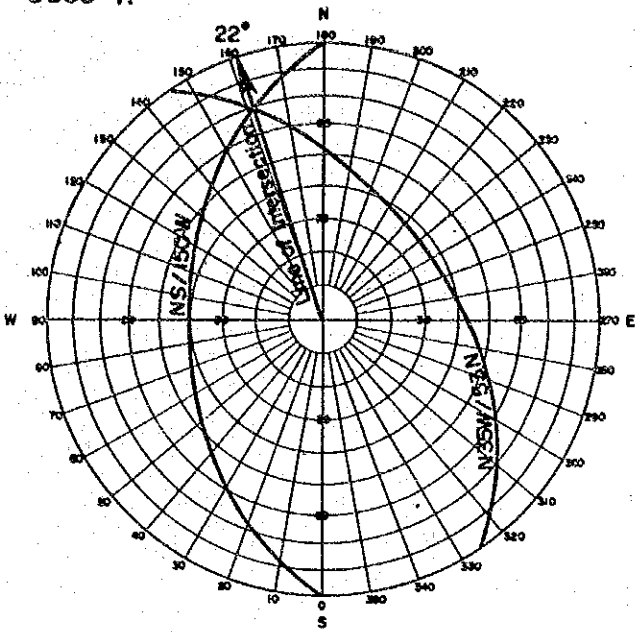


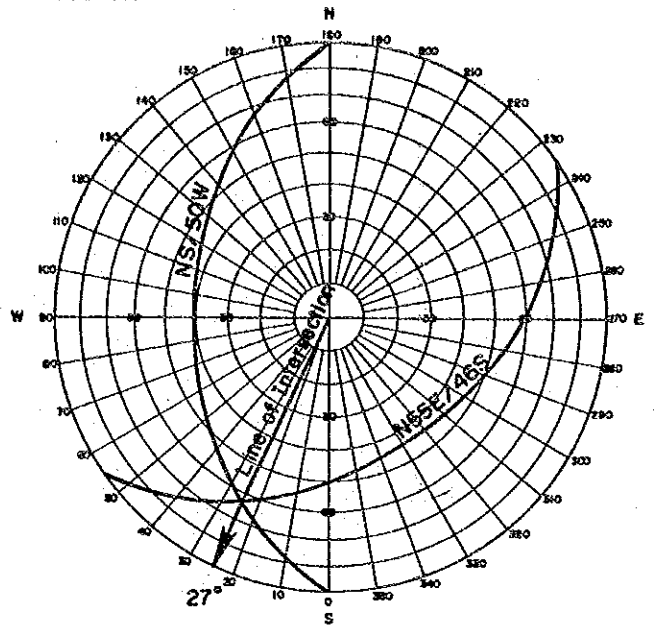
Fig-6.8 Location Map of Sliding Planes

Case 1.



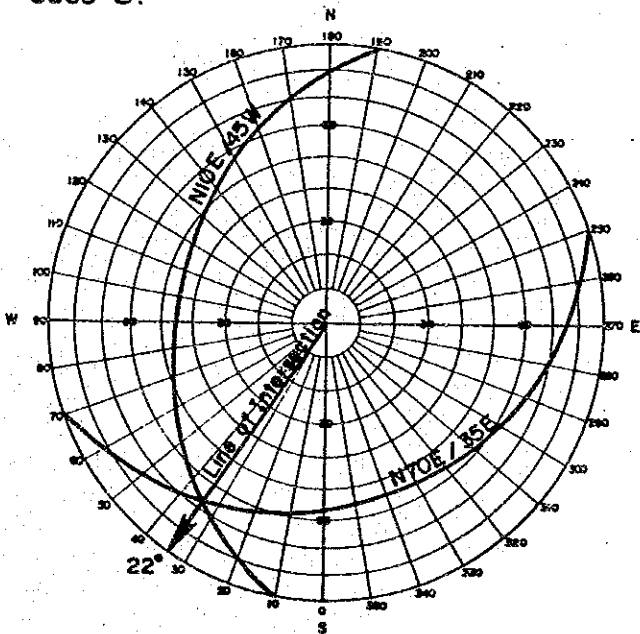
NS/50W and N35W/53N
(Lower Hemisphere)

Case 2.

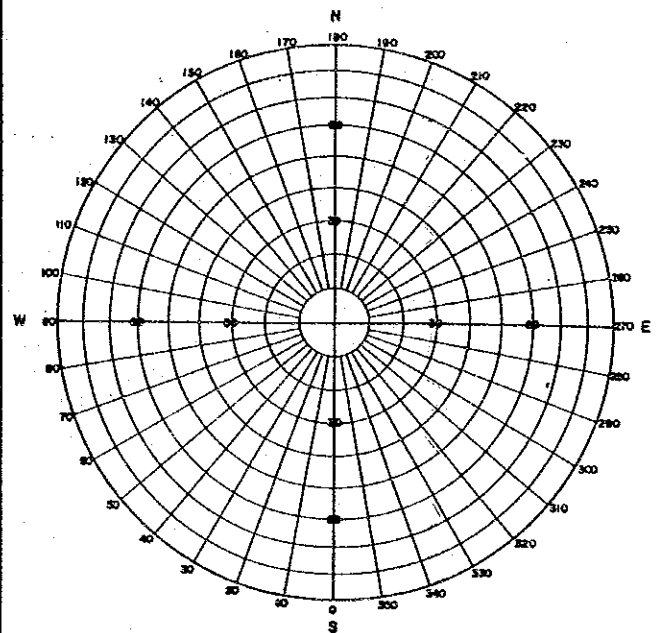


NS/50W and N55E/46S
(Lower Hemisphere)

Case 3.



N10E/45W and N70E/35E
(Lower Hemisphere)



☒-6.9 Stereo Graph of Sliding Planes

7. ダムの安定性検討

7. ダムの安定性検討

7.1 設計および工事記録

当ダムは32年前の1956年に建設を開始し、1959年に完成した。発電開始は1960年5月と記録されている。調査は、1948年頃から開始されていたようであるが、設計が本格化したのは1956年のようである。設計時の記録は十分に入手できなかったが、僅かに次の2種類の資料によって設計の基本点をうかがい知ることができる。

(1) Supplement to the Interim Geological Report on the Binga Project for the National Power Corporation June 1957 by Irving B. Crosby

(2) Interim Report on the Design of the Dam for the Binga Hydroelectric Project October 1956 by EDCOP-TAMS

TAMSは米国の設計会社でTippetts-Abbett McCarthy-Strattonの略である。工事中の記録は全く入手できず、ダムの平面図と中央断面図の竣工図を入手したのみである。工事施工者はPESI (Phillippine Engineers Syndicate, Inc.) であった。

7.2 設計の基本点

前出のインテリムレポートよりビンガダムの設計基本点を列記すると以下のとおりである。最終設計案および工事中的の変更等については不明であるが、竣工図から推して大幅な変更はなかったものと考えられる。

基礎岩盤：変成岩類（玄武岩質、安山岩質）

堅硬であるがクラッキー。4～8mのストリップングを行った。

透水性は5本のボーリング孔における透水テストの結果、中程度である。

堤体断面：傾斜しゃ水型ロックフィルダム

傾斜しゃ水とした理由は下流側のロックフィルを第1ステージフィルとして先行施工するためである。

下流側ロックフィルは最下流部のダンプドロックフィルとその上流側のロールドロックフィルに大別される。

上流側ロックフィルはダンプドロックフィルである。コア層の上下流側に細粗二層のフィルター層を有す。

上流面勾配 EL. 586—EL. 566 1 : 1.4

EL. 566—Base 1 : 2.5

下流面勾配 EL. 586—Base 1 : 1.4

但し EL. 520に幅6.0mのバームを有す。

堤体材料：ロック材は左岸洪水吐掘削ずりを流用

ダンプドロックフィルは粒径30cm以上均等

ロールドロックフィルは粒径30cm以下細粒混入

フィルター材は段丘堆積物 シルト混り砂および砂利

コア材は左岸洪水吐掘削の表土と風化岩の混合材を仮置きして使用

基礎処理：コア着岩部中央にカーテングラウト孔を1例配置。

カーテングラウト孔より1m上流点からコア着岩部下流端まで厚さ0.5mのカバーコンクリートを施工。

カーテングラウトの深さは最大50m、最小25m。

コア着岩部の上流半分は深さ5mのブランケットグラウトを施工弱層部はデンタルコンクリートを施工。

7.3 建設後の履歴

ダムに計測設備が設置されていないので、建設後のダムの挙動に関する情報は無いが、今日までにダムが遭遇した大きな自然事象には次のような記録が残っている。

- (1) 洪水 1976年10月17日
最大放流量 2,723m³/sec
- (2) 洪水 1976年6月30日
最大放流量 2,602m³/sec
- (3) 洪水 1980年11月5日
最大放流量 2,526m³/sec
- (4) 地震 1985年4月24日
震源 ダム東北約15km, 深さ33km
M=5.6

1985年4月24日の地震によってダム天端道路の両側（ダム中央より右岸寄り）にクラックが認められた記録がある。

上流側 : クラックの長さ約69m

下流側 : クラックの長さ約66m

クラックの幅 ヘヤークラックから最大20cmまで変化

上流側に生じたクラックに対し、テストピットを2箇所掘削し、深さを調査した結果、最大深さ77cm、最小深さ20cmという記録が残っている。これらのクラックは、ロック材に浅い小規模の表層すべりが生じた結果と考えられる。

この地震によるダムサイトにおける震度を金井式により推定すると、水平震度 $K_h=0.080g$ となる。

7.4 ダムの現状

ダムの現状を把握するために、当調査においてダム横断測量とモニタリング設備の設置が行われた。

- (a) ダム横断測量 1988年2月実施 3測線
- (b) ダム天端変位視準測量 1987年12月4日 測定開始
- (c) ダム下流端漏水量測定 1988年3月25日 測定開始
- (d) 地震計設置 ダム左岸EL. 586岩盤上 1988年3月24日設置

(1) ダム横断形状

図-7.3に竣工図と実測図の比較を示す。これによって判明することは、ダム上流面上部EL. 586m~EL. 556mの約20m間に断面減少があり、EL. 567m~EL. 557mの10m間は断面増加が生じている。EL. 532以下にはシルトの堆積が生じている。下流面は上流面と比較して竣工時からの変化が少なく、EL. 515~EL. 500間に僅かな断面減少があるのみで、EL. 500~EL. 494間には断面増がある。

ダム上部について、実測断面図と竣工図による上下流面の堤体勾配を比較すると次のとおりとなっている。

ダム上部 (EL. 586~566) の堤体勾配

| | 上流面 | 下流面 |
|-----|----------|----------|
| 竣工図 | 1 : 1.35 | 1 : 1.30 |
| 実測図 | 1 : 1.30 | 1 : 1.43 |

(2) ダムの変位

ダム天端上の2点の変位を視準測量によって1987年12月4日より測定している。1988年7月までの測定記録によると、貯水位が満水状態で一定していた1988年4月までは、ダム変位に変化がなく、1988年5月初めより貯水位の低下に従って、ダム変位は上流向きに生じ、変位量は満水位からの水位低下量15mに対し、10～20mmである。

(3) ダム漏水量

ダム下流端における漏水量の測定は、1箇所の測定堰と1箇所の集水パイプで1988年3月26日より行われている。乾期である4月から5月中旬までに測定された漏水量はごく僅かである。6月に入って雨期となり測定値は雨水が大部分となっている。

(4) 地震計

地震計の始動を3 galにセットしてあるが、今までのところ記録は取れていない。

(5) 現状に対する所見

ダムの基礎岩盤、ダムの断面形状、ダムの変位および漏水量を総合的に把握し判断するに、当ダムの安全性に関し、大きな懸念をいだかせる点は見出せない。しかしながら、上流面上部の断面減少はこのまま放置するとさらに浸食が進行するであろう。下流面下部の断面減少は、ダムの安定に大きな影響を与えるものではない。

漏水量に関しては測定データの精度にやや問題はあるものの、特に処理が必要とは考えられない。堤体変位も現時点では安定していると考えられる。