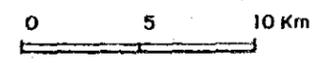


LEGEND

AGE	SYMBOL	DESCRIPTION
RECENT ~ PLEISTOCENE	[Stippled pattern]	Superficial Alluvium Sand gravels silt clay
PLEISTOCENE	[Pattern with 'P' and dots]	Mau and Londiani ashes tuffs
TERTIARY	[Diagonal lines]	Tertiary volcanics Kericho phonolite, Nyabondo phonolite
PRE-CAMBRIAN	[Pattern with 'v' and 'v']	Ba Bukoban System Rhyolites and tuffs, porphyritic felsites and Andesite
	[Pattern with 'q' and 'q']	Bq Quartzites with some cherts Basalts and porphyritic basalts
	[Pattern with 'b' and 'b']	Bb Quartzite, porphyritic felsites
PRE-CAMBRIAN	[Grid pattern]	NR (NYANZIAN SYSTEM) Rhyolites with intercalated tuffs (NR) and agglomerated Basalt
ARCHEAN	[Blank box]	M (BASEMENT SYSTEM) Undifferentiated gneiss, schists and quartzites, including Nyanzian schists and Koirondian schists
INTRUSIVES		
	[Pattern with '+' and '+']	GD Granites (G ₃ Post Koirondian (G ₂ Post Nyanzian (Miriu Granodiorite) (G Undated

- F : Existing Fault
- : Very Clear Lineament in Landsat Image
- : Clear Lineament in Landsat Image
- : Lineament (Inferred)
- : Strike and dip of 0° 45' S schistosity



Note: This map was drawn based on the existing geological maps, but partly changed by the field reconnaissance carried out around Magwagwa and its reservoir area.

図 2.1 ソンドウ川流域の地質図

REPUBLIC OF KENYA
MAGWAGWA HYDROELECTRIC
POWER DEVELOPMENT PROJECT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

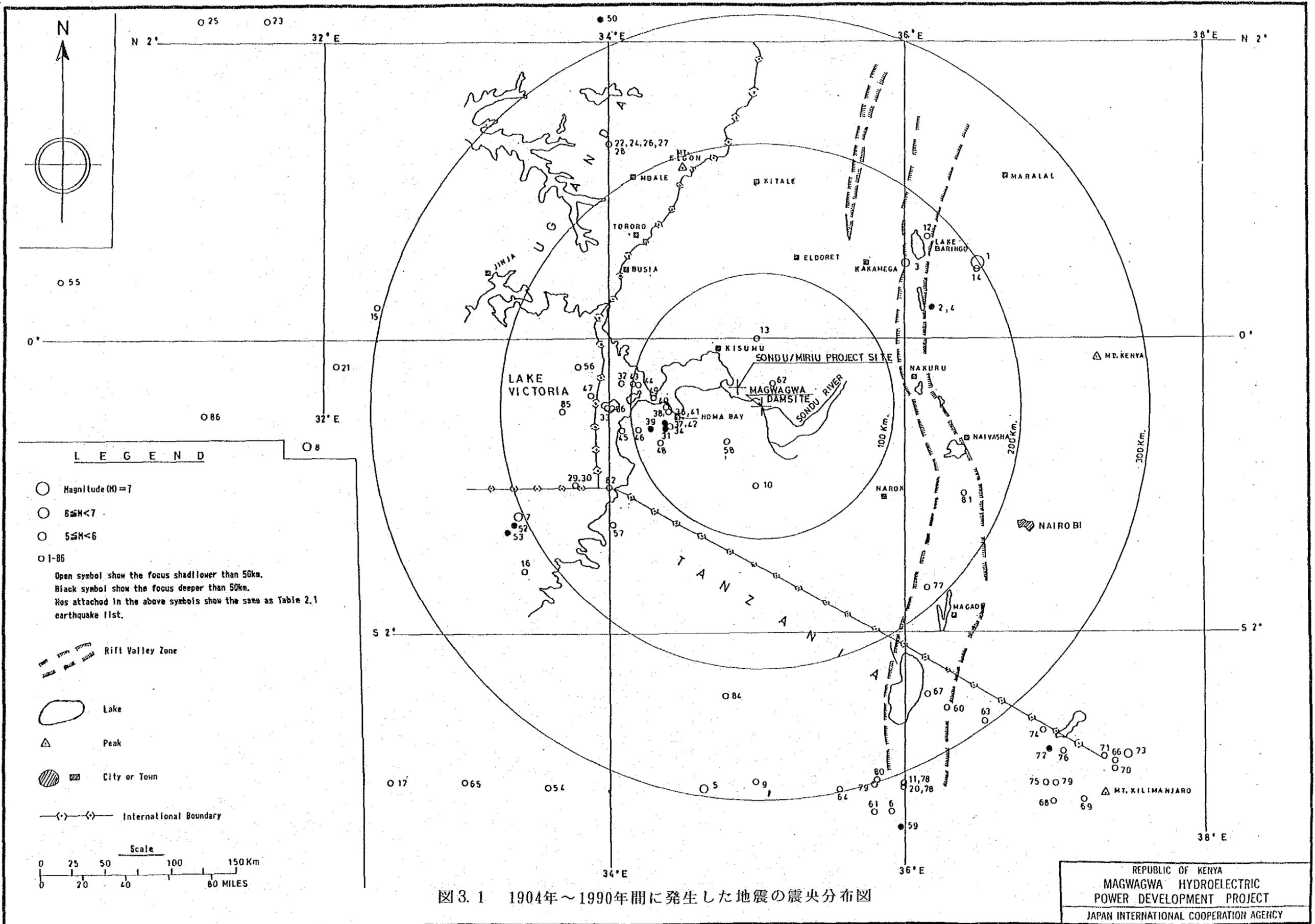


図 3.1 1904年～1990年間に発生した地震の震央分布図

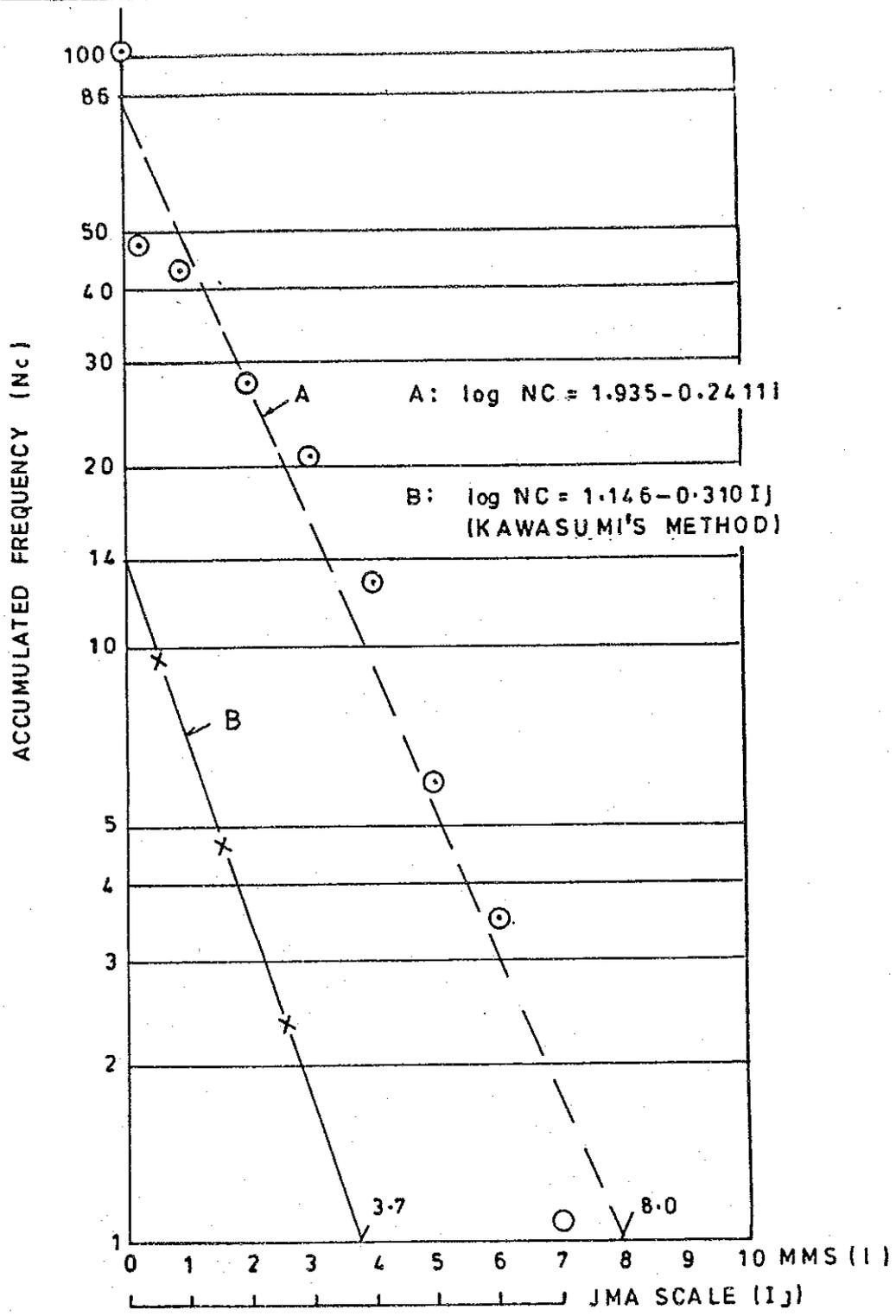
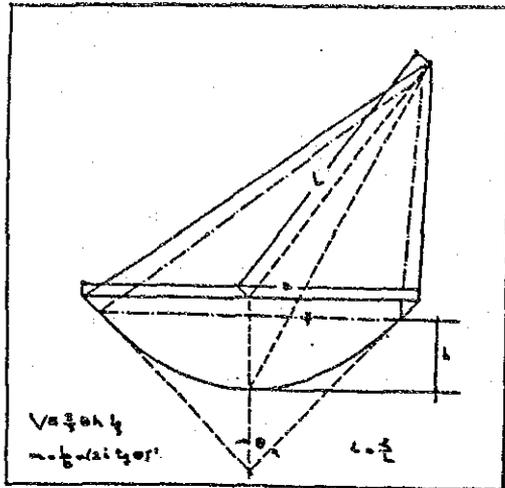


図3.2 震度と発生頻度の相関図

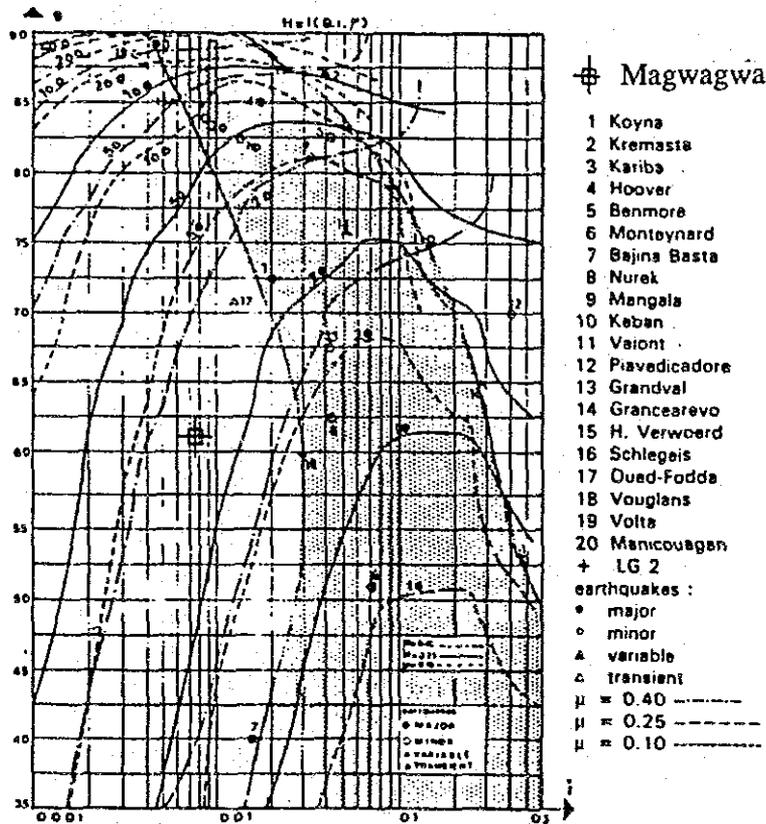
REPUBLIC OF KENYA
MAGWAGWA HYDROELECTRIC
POWER DEVELOPMENT PROJECT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



At Magwagwa Reservoir

$q = 62^\circ$ on average
 $h = 110\text{m}$ at maximum
 $L = 15,000\text{m}$
 $i = h/L \approx 0.0073$

(A)



The relationship between the volume of water storage, and a dimensional number of the depth of underground storage. The following symbols are used: θ = dimensionless number; θ = aperture angle of the parabola which describes the average morphological type of reservoir; and i the average slope of the river along the water storage. The shadowed area indicates the occurrence of induced phenomena for 20 reservoirs. The numbers indicate the reservoir involved (see list).

(B)

図 3. 3 湛水規模と誘発地震発生との関係図

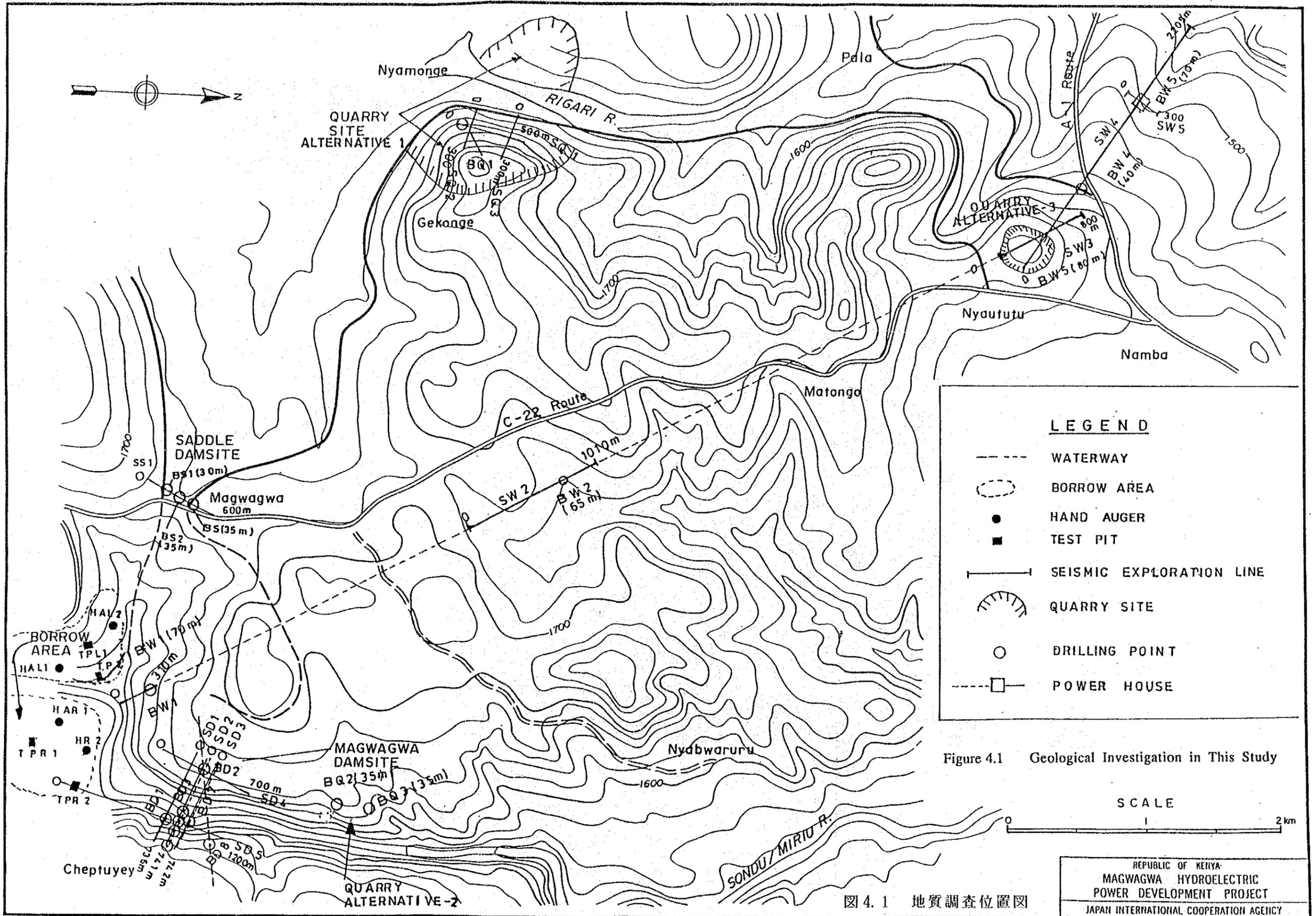
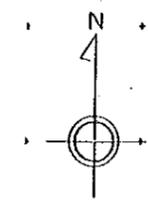


Figure 4.1 Geological Investigation in This Study

图 4.1 地質調査位置図



- LEGEND**
- | SYMBOLS | GEOLOGY |
|---------|--|
| | Alluvial deposits |
| | Flood plain deposits |
| | Talus deposits |
| | Porphyritic andesite in Bukoban system |
| | Felsitic andesite in Bukoban system |
| | Andesitic dolerite in Bukoban system |
| | Sedimentary rocks mainly composed of sandstone in Bukoban system |
| | Sedimentary rocks of mainly quartzite in Bukoban system |
| | Geological boundary |
| | Main fault |
| | Fault |
| | Drilling |
| | Seismic exploration line |
| | Test pit |
| | Hand auger |
| | Possible quarry & borrow area |

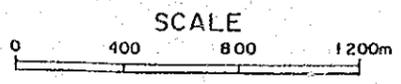
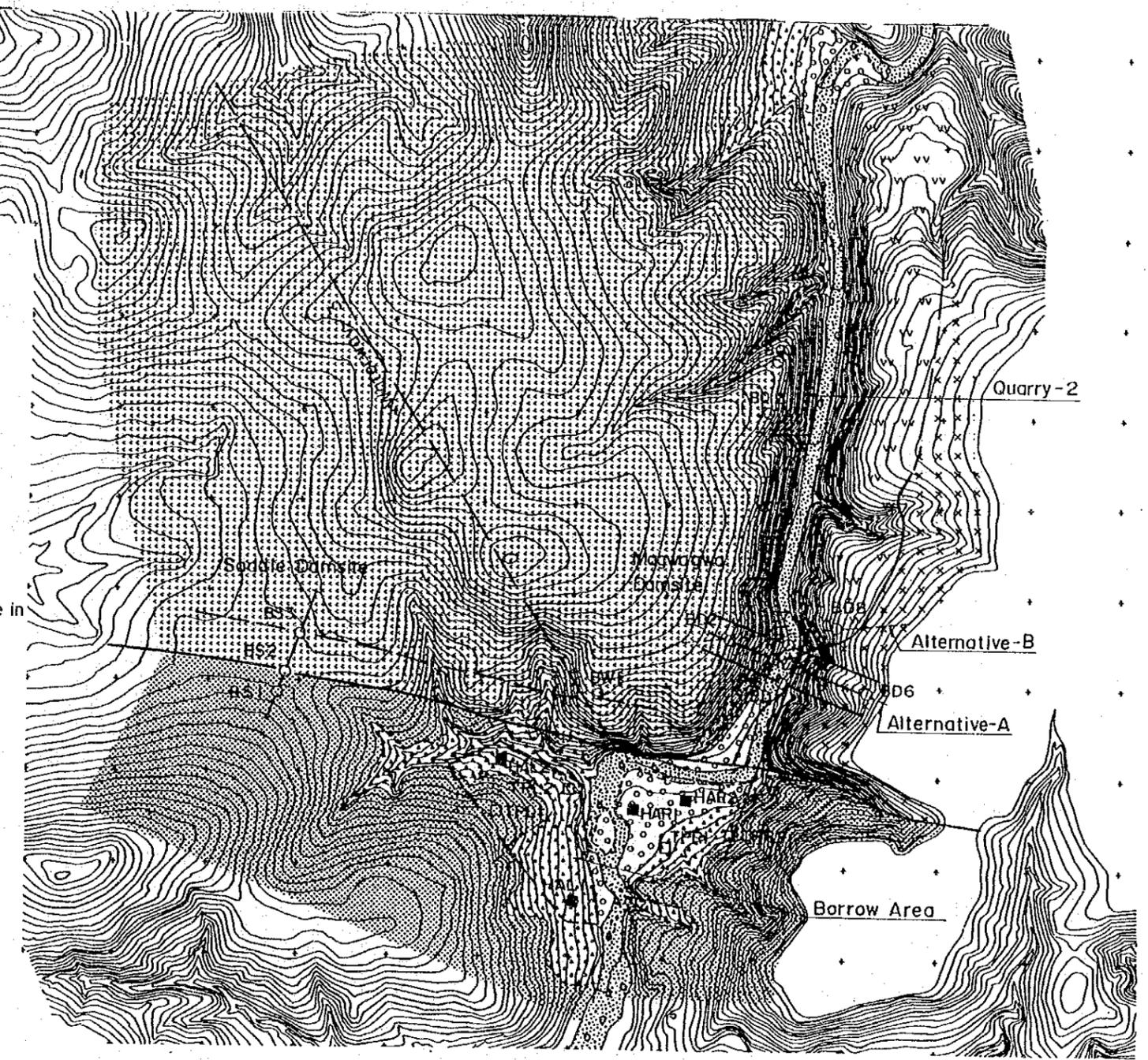
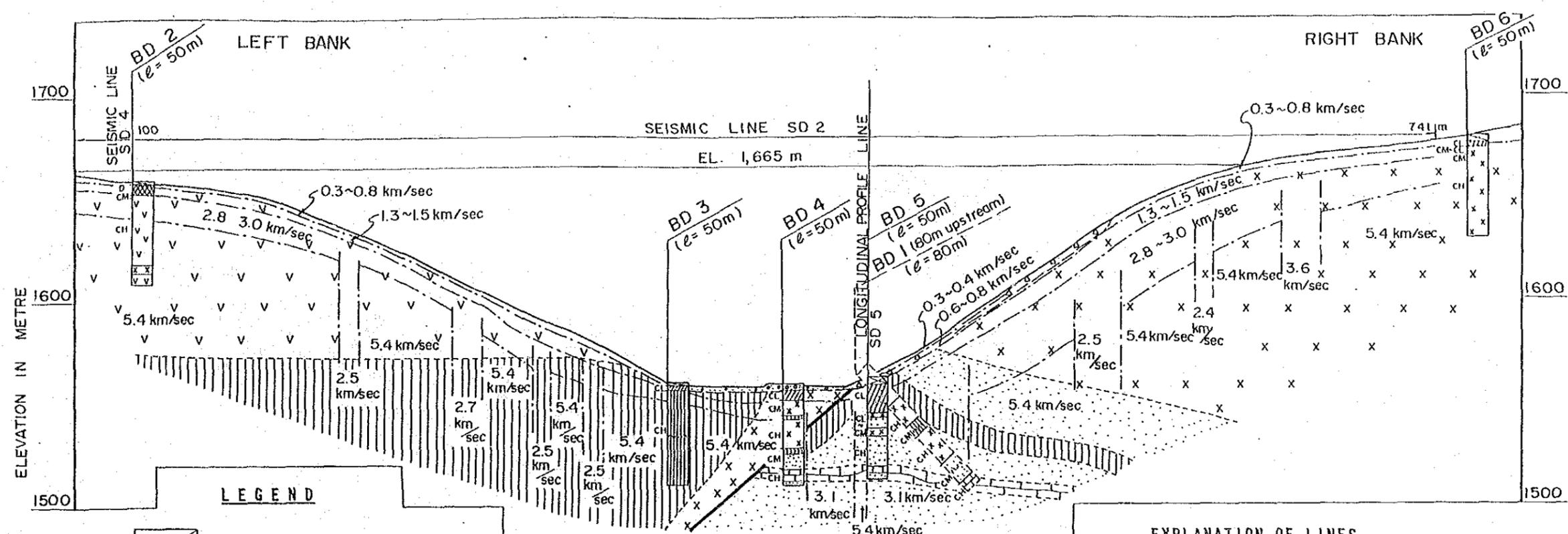


図4.2 マグワグワダムサイトの地質図

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



- LEGEND**
- Residual Soil/Debris
 - River Deposits of Silty Sand With Gravel
 - Porphyritic Andesite in Bukoban System
 - Felsitic Andesite in Bukoban System
 - Andesitic Dolerite in Bukoban System
 - Sedimentary Rocks mainly Composed of Quartzite in Bukoban System
 - Sedimentary Rocks mainly Composed of Shale in Bukoban System
 - Sedimentary Rocks mainly Composed of Sandstone in Bukoban System
 - Sedimentary Rocks mainly Composed of Limestone in Bukoban System

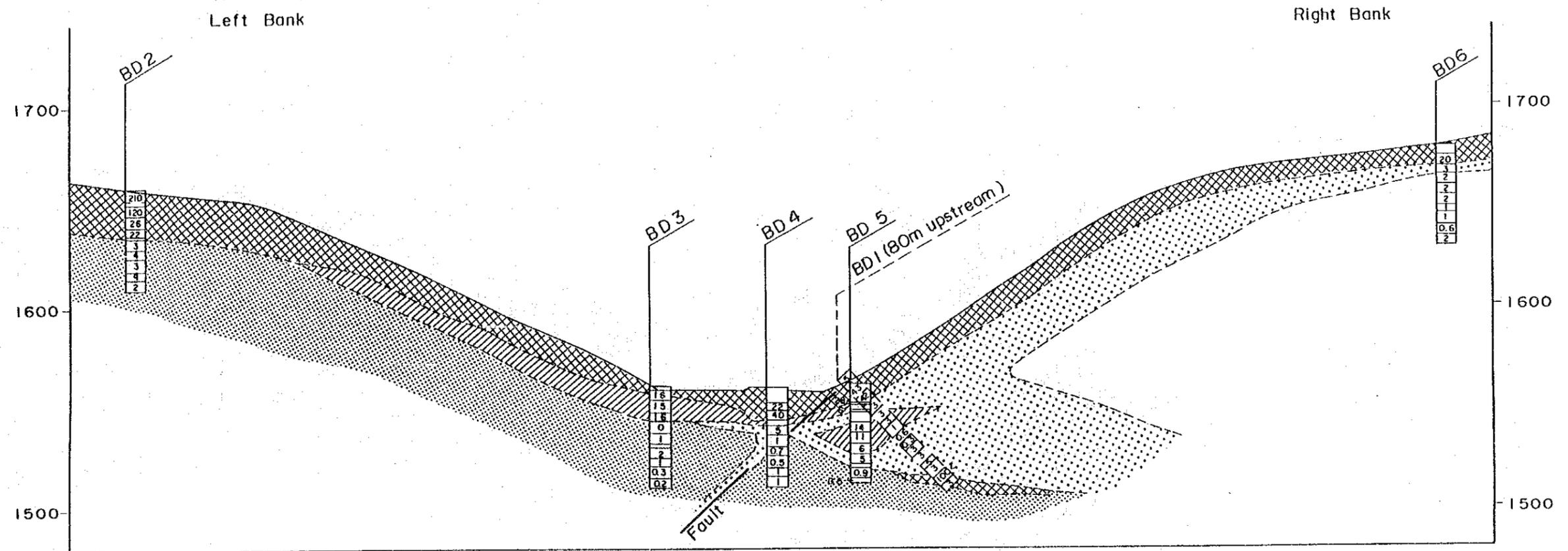
- BORING LOGS**
- HOLE NO (DRILLED LENGTH)
- Top Soil
 - Heavily Weathered and/or Fractured Rock
 - Weathered and/or Slightly Fractured Rock
 - Fresh and Stable Rock

EXPLANATION OF LINES

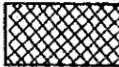
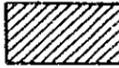
- Boundary of Seismic Velocity
 - Assumed Rock Line
 - Geological Boundary
 - Fault
- Horizontal Scale
0 100 200m

図4.3 地質断面図 (ダム軸-A)

REPUBLIC OF KENYA
MAGWAGWA HYDROELECTRIC
POWER DEVELOPMENT PROJECT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND

-  20 ≧ Lugeon
-  6 ≧ Lugeon < 20
-  5 ≧ Lugeon < 6
-  Lugeon < 5

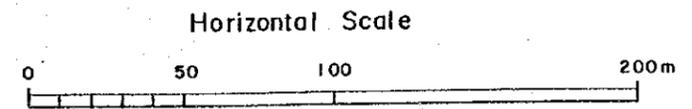
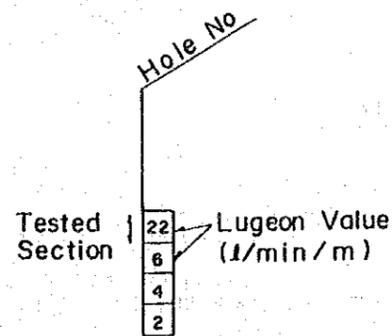
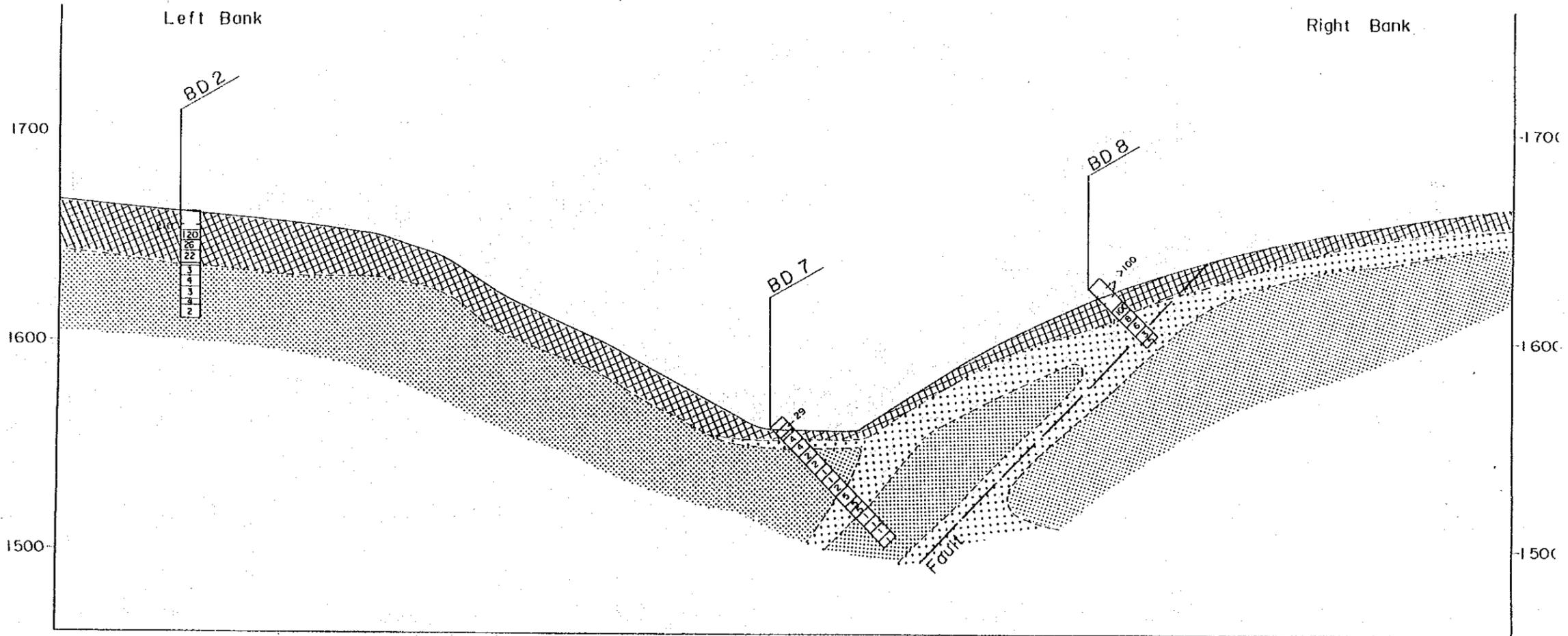
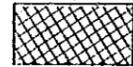
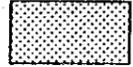


図 4.4 ルジオンマップ (ダム軸-A)

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND

-  20 ≧ Lugeon
-  5 ≧ Lugeon < 20
-  Lugeon < 5

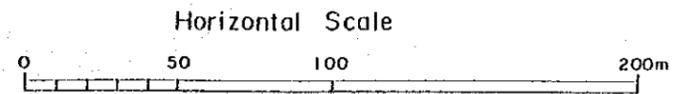
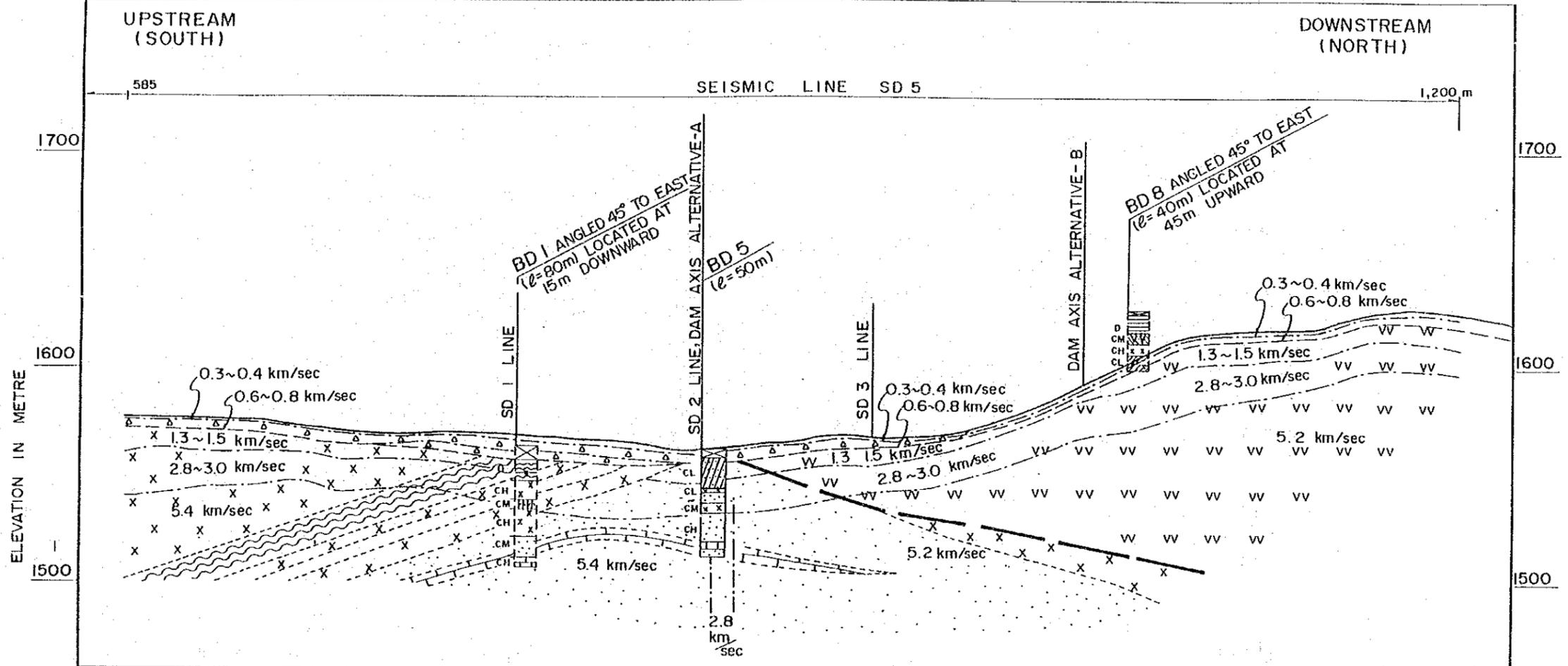


図 4.6 ルジオンマップ (ダム軸-B)

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND

- | | | | |
|--|--|--|--|
| | Residual Soil/Debris | | Sedimentary Rocks mainly Composed of Sandstone in Bukoban System |
| | Felsitic Andesite in Bukoban System | | Sedimentary Rocks mainly Composed of Limestone in Bukoban System |
| | Andesitic Dolerite in Bukoban System | | Boundary of Seismic Velocity |
| | Sedimentary Rocks mainly Composed of Shale in Bukoban System | | Assumed Rock Line |
| | Sedimentary Rocks mainly Composed of Quartzite in Bukoban System | | Geological Boundary |
| | | | Fault |

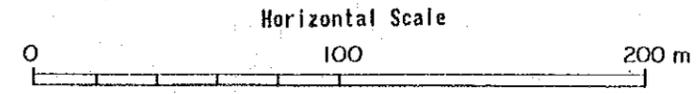
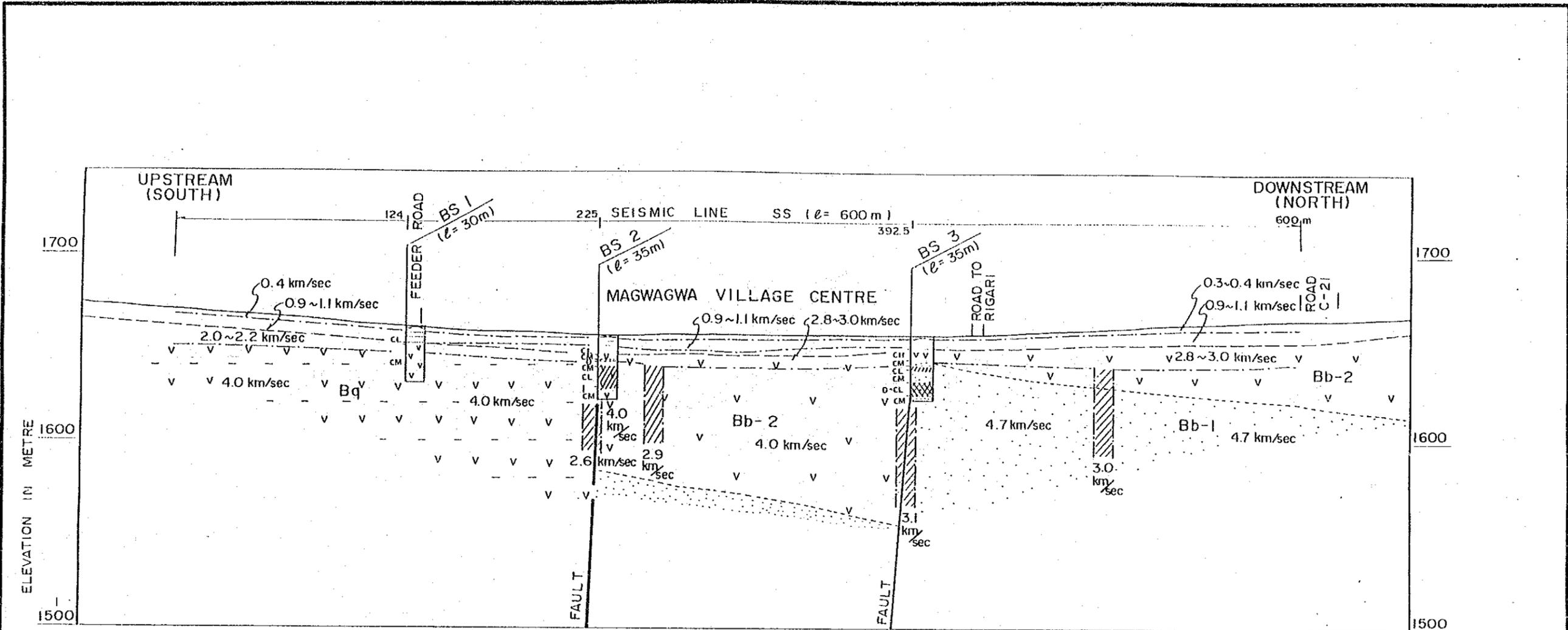


図 4.7 ダムサイト地質縦断面図 (物探側線 S D - 5)

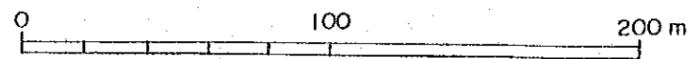
REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



LEGEND

- | | | | |
|--|--|--|------------------------------|
| | Residual Soil with Gravels | | Assumed Rock Line |
| | Andesite in Bukoban System | | Geological Boundary |
| | Sandstone in Bukoban System | | Boundary of Seismic Velocity |
| | Andesite in Quartzite Zone in Bukoban System | | Fault |
| | | | Main Fault |

HORIZONTAL SCALE



EXPLANATION OF LOGS

- HOLE NO. (DRILLED LENGTH)
- | | |
|--|----------------------------------|
| | Top Soil |
| | Residual Soil |
| | Heavily Weathered/Fractured Rock |
| | Weathered/Fractured Rock |
| | Andesite |
| | Sandstone |

図4.8 サドルダムサイト地質断面図 (物探側線SS)

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

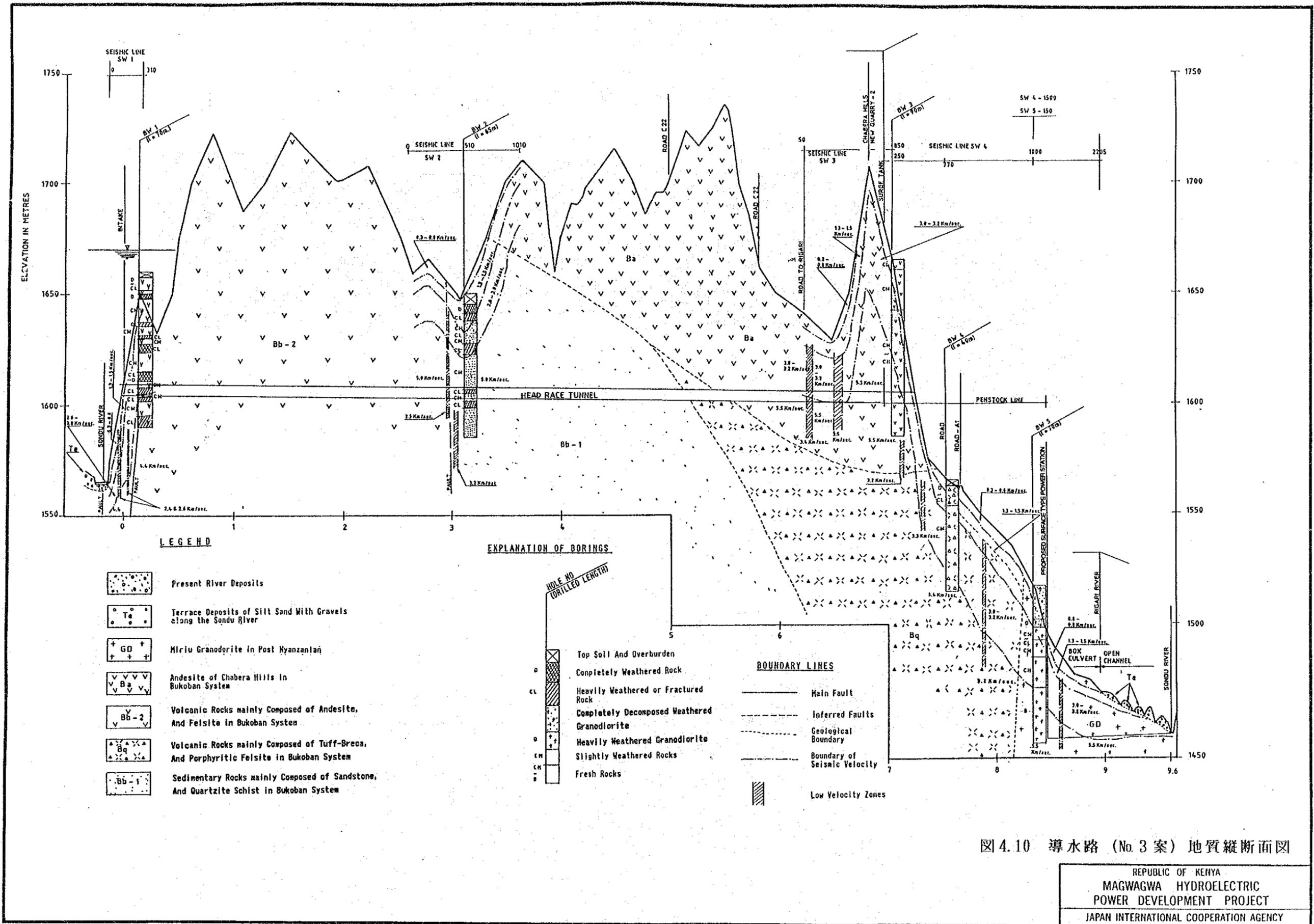
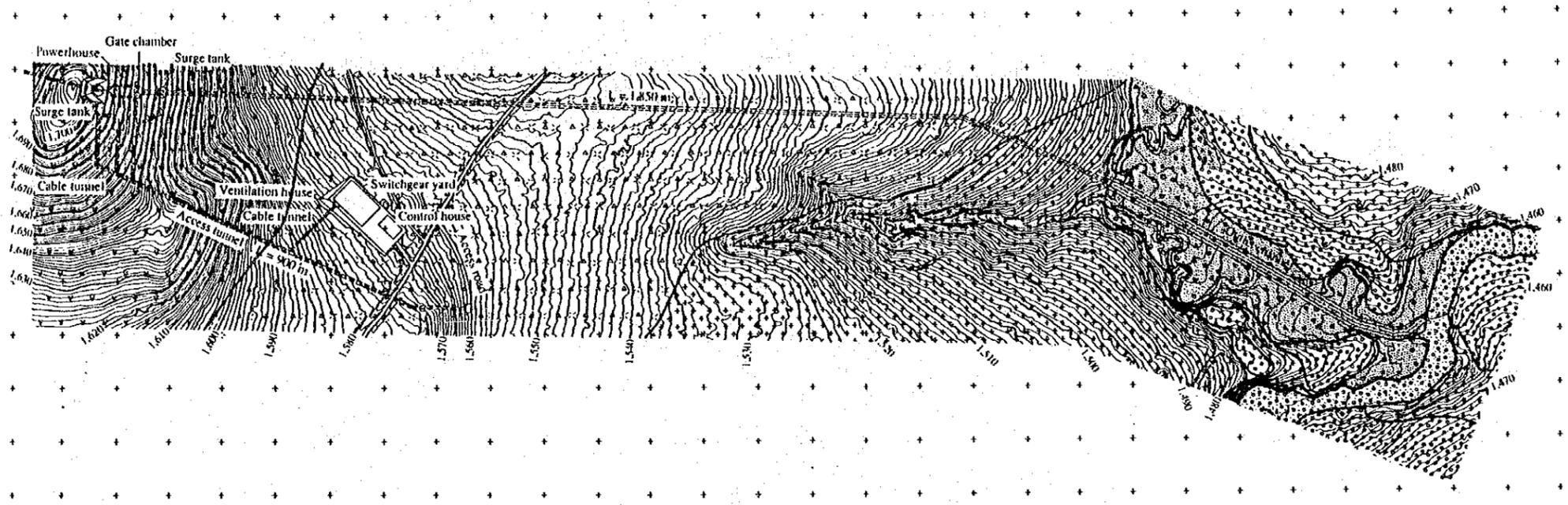


图 4.10 导水路 (No. 3 案) 地质纵断面图

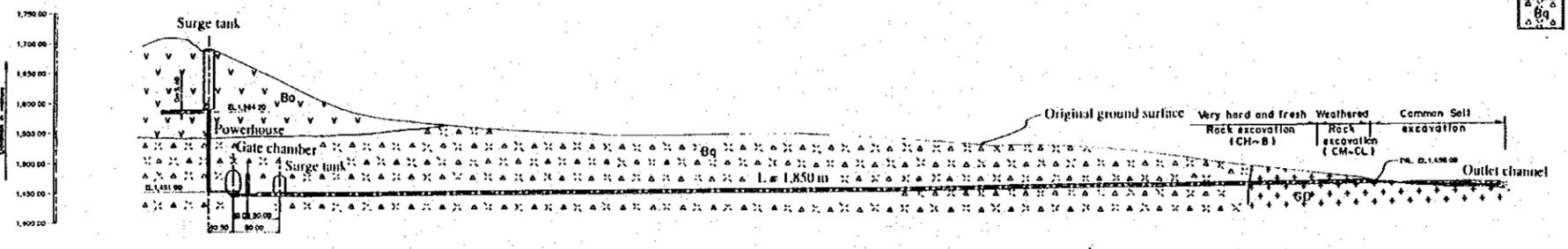
REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



PLAN

LEGEND

- Present River Deposits (gravel, fine sand)
- Alluvial Deposits (gravel, clay, fine sand)
- Terrace Deposits (gravel, clay)
- Miriu Granodiorite in Post Nyanzianon
- Andesite of Chabero Hills in Bukobon System
- Volcanic Rocks mainly Composed of Tuff-Breccia, And Porphyritic Felsite in Bukobon System



PROFILE

图 4.11 放水路地質平面・縦断面図

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

補遺 III 建設材料調査

補遺 Ⅲ 建設材料調査

目次

	頁
第1章 序 論	Ⅲ-1
第2章 現場調査の結果	Ⅲ-2
2.1 土 取 場	Ⅲ-2
2.2 原 石 山	Ⅲ-4
第3章 室内試験	Ⅲ-5
3.1 土の物理的性質	Ⅲ-5
3.2 土の工学的性質	Ⅲ-5
3.3 岩石試験	Ⅲ-7
第4章 設計定数	Ⅲ-8

付 表 一 覧

	頁
表 1.1 建設材料調査の作業内容一覧表	Ⅲ-9

付 図 一 覧

図 2.1 建設材料調査位置図	Ⅲ-10
図 3.1 土の物理的性質一覧図	Ⅲ-11
図 3.2 土の統一分類図	Ⅲ-12

第 1 章 序 論

建設材料調査は1990年1月から1990年11月までの期間において2回のステージに分けられて実施された。すなわち、

1) 予備調査段階 (1990年1月～1990年2月)

- ロックフィルタイプダムのコア材料のための土取場選定と、ロック材のための原石山の適地調査
- 土取場におけるハンドオーガー、テストピット、室内試験や原石山のコアボーリング等の調査地点、数量の算定と現地業者に発注するための技術仕様書の作成。

2) 現場調査段階 (1990年6月～1990年11月)

- 現地調査の実施と発注後の作業監督。予定した作業は全て技術仕様書に記した期限内に完了した。作業数量は表1.1に示した通りである。

第2章 現場調査の結果

2.1 土取場

マグワグワダムサイトの直上流の両岸部が最も可能性の高い候補地点としてテストピット (TPL1, 2及びTPR1, 2) とハンドオーガ (HAL1, 2及びHAR1, 2) によって調査が実施された。調査の結果、候補地点の土取場一帯は土層の層厚はいずれも4 m以内であり、マグワグワダムのコア材の必要量を入手することは不可能であると判断された。しかし、候補地点のうち左岸の土取場はサドルダムに近接しており、アクセスが良好なので、小規模なサドルダムのための土取場として開発が可能である。詳細なテストピットとハンドオーガの掘削結果は以下の通りである。

1) テストピットTPR1, 2 (右岸部) 及びテストピットTPL1, 2 (左岸部)

TPR1 (5 m Deep)

- 0 - 0.2m : Dark reddish brown sandy soil
- 0.2 - 0.8m : Brown sandy clay
- 0.8 - 5.0m : Yellow, completely decomposed, weathered soft rock with clay of sandstone. The layer below 4 m is hard and consolidated.

TPR2 (5 m Deep)

- 0 - 0.3m : Dark reddish brown clayey soil
- 0.3 - 1.2m : Large and hard rolling stones of quartzite
- 1.2 - 5.0m : Yellow, completely decomposed, weathered soft rock of sandstone. The layer below 4 m is hard.

TPL1 (5 m Deep)

- 0 - 0.5m : Dark brown clayey soil
- 0.5 - 0.8m : Brown clay
- 0.8 - 2.2m : Brown, completely weathered and decomposed sandstone
- 2.2 - 5.0m : Brown, heavily weathered and loosen sandstone
(The groundwater seeped at 4.1 m from the ground level)

TPL2 (5 m Deep)

- 0 - 0.5m : Dark brown clayey soil
- 0.5 - 1.1m : Yellow, very soft rock of completely weathered sandstone
- 1.1 - 1.5m : Yellow, very soft rock of completely weathered sandstone

- 1.5 - 2.6m : Light yellow, completely decomposed sandstone with quartzite.
2.6 - 5.0m : Light yellow, completely decomposed sandstone with quartzite.
The layer below 4 m is hard and consolidated.

2) ハンドオーガ HAR1,2(右岸部) 及びハンドオーガHAL1,2 (左岸部)

HAR1 (5 m Deep)

- 0 - 1.0m : Dark brown, clayey soil
1.0 - 2.0m : Dark brown, silty clay
2.0 - 4.0m : Dark brown, silty clay
4.0 - 5.0m : Brown, sandy clay of heavily weathered sandstone.

HAR2 (5 m Deep)

- 0 - 1.0m : Dark brown, clayey soil
1.0 - 2.0m : Dark brown, silty clay
2.0 - 4.0m : Dark brown, sandy clay
4.0 - 5.0m : Brown, sandy clay of heavily weathered sandstone.

HAL1 (5 m Deep)

- 0 - 1.0m : Light brown to red, clayey soil
1.0 - 2.0m : Light brown to yellow clay
2.0 - 4.0m : Light brown to yellow clay
4.0 - 5.0m : Yellow, completely decomposed sandstone.

HAL2 (5 m Deep)

- 0 - 1.0m : Dark brown clayey soil
1.0 - 3.0m : Brown to yellow sandy clay
3.0 - 4.0m : Brown to yellow sandy clay of heavily weathered sandstone
4.0 - 5.0m : Yellow, weathered sandstone.

マグワグワダムの堤頂標高が 1,670m に設定されると、ダムの上流部の左岸にある窪みではサドルダムの構築が必要になってくる。BS1～BS3 のボーリング掘削結果によると表土と風化土の層厚が 7m～8m に達していることが判明している。この窪み付近は遮水材料に事欠かない。もし土取場の取得が容易であるならば、均一型のアースフィルダムを建設するのが望ましいであろう。均一型アースフィルダムに必要なボリュームは約 300,000 と見積もられる。この量は左岸部の土取場候補地点、もしくはサドルサイト付近の土取場からでも容易に採取ができるであろう。土取場の必要なサイズは 300m×300m×3m (深さ) である。最終の土取場の決定等は詳細設計の段階に行なわれよう。

2.2 原石山

予備調査の段階ではリガリ原石山が提案された。ボーリングは被覆堆積物が分布して最も不利な状況にあるリガリ川の右岸山腹においてまずBQ1を掘削した。しかしBQ1の掘削作業中に、崖錐堆積層が層厚約13mと予想外に厚く分布していることが判明したため、予定掘削深度50mに対し30mにて中断した。別のBQ2孔（予定掘削深度50m）は他の代替原石山の調査用に保留した。新しい原石山はメインダム軸から約1km下流の左岸部にあり、当調査で作製した縮尺1/5,000の地形図を利用し地質踏査で見つけた。図2.1に示す位置で各々35mの調査ボーリング2孔（BQ2及びBQ3）を掘削した結果、表土と風化土の層厚はわずかに1.5mと3.5mであり、著しい風化が認められない硬質斑状安山岩がそれ以深に分布している。

更にサージタンク予定地点（チャベラ丘）一帯は調査ボーリングBW-3により良好な原石山となり得る安山岩が分布しているのが確認された。発電所、鉄管路、サージタンク及び導水路トンネル等の建設に必要なコンクリート用骨材や砂を供給するために有効な原石山になるであろう。これら原石山の開発可能量は以下の通りである。

<u>サイト</u>	<u>開発可能量</u>	<u>規模（長さ×幅×高さ）</u>
メインダムより1km下流 の原石山	7,000,000 m ³	= 500×200×70
チャベラ丘 原石山	1,700,000 m ³	= 400×400×40/3

第3章 室内試験

3.1 土の物理的性質

右岸部の土取場候補地点の土はシルト質～砂質土より成り、基盤の砂岩が風化したものである。この塑性のある土は均一型アースフィルダムの材料として適していると思われる。しかし左岸に位置するサドルダムの構築のためには渡河運搬を要するため、開発の可能性は低いと判断される。現位置の土の自然含水比はテストピットTPR1～2の試料によると、20～30%となっている。これは締め固め試験で得られた最適含水比の値とほぼ同じである。

一方、ハンドオーガーHPR1～2の試料は河川の氾濫原上のものであるためか、37～45%の自然含水比を有しており、最適含水比よりも大きくなっている。統一分類による土の区分でTPR1～2はML、HAR1～2のそれはMHに相当している（図3.1及び図3.2参照）。

左岸部の土取場候補地点の土は砂質土より成り、アースフィルダムの材料として好適である。テストピットTPL1～2及びハンドオーガーMAL1～2の全試料共、最適含水比に近い自然含水比（20～30%）を有している。なお乾期盛土工事では若干の水の補給が必要かも知れない。又、径75mmを上回る大礫除去する必要がある。土の統一分類によると、左岸部の土はCLからCHに相当している。

3.2 土の工学的性質

土取場（右岸部及び左岸部）の上の最大乾燥密度は $1.51\sim 1.85\text{gr/cm}^3$ の範囲にある。又最適含水比で締め固めた試料による土の透水係数は $1\times 10^{-7}\text{cm/sec}$ のオーダーであり、 $1\times 10^{-6}\text{cm/sec}$ を上回ることはない。

最適含水比で締め固めた土の三軸試験（UU）及び直接せん断試験（UU）で得た粘着力（C）及び内部摩擦角（ ϕ ）の値は以下に示す様にバラツキがある。F/S段階における設計値として最小値を採用している。

Triaxial Test (UU)		
Sample No. (Depth)	Cohesion Strength (kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)
TPL 1 (0.5~0.8m)	0.105	12.1°
TPL 1 (0.8~2.2m)	0.087	14.0°
TPL 2 (1.1~1.5m)	0.064	16.0°
TPL 2 (1.5~2.6m)	0.196	17.0°
最 小 值	0.06	12°
TPR 1 (0.2~0.8m)	0.045	11.9°
TPR 1 (0.8~5.0m)	0.096	19.6°
TPR 2 (0.3~1.2m)	0.240	28.7°
TPR 2 (1.2~4.6m)	0.074	23.0°
最 小 值	0.05	12°

Direct Shear Tests (UU)		
Sample No. (Depth)	Cohesion Strength (kg/cm ²)	Internal Friction Angle (ϕ)
TPL 1 (1 ~ 5 m)	0.22	16.1°
TPL 1 (0.5~0.8m)	0.255	23°
TPL 1 (0.8~2.2m)	0.262	20°
TPL 2 (1.1~1.5m)	0.270	18°
TPL 2 (1.5~2.6m)	0.32	16°
最 小 值	0.22	16°
TPR 1 (0.2~0.8m)	0.191	15°
TPR 1 (0.8~5.0m)	0.268	23°
TPR 2 (0.3~1.2m)	0.403	28°
TPR 2 (1.2~4.6m)	0.268	17°
最 小 值	0.19	15°

3.3 岩石試験（原石山及びダムサイト）

開発可能な量及び質からみて、最適な原石山候補地点はダムサイトより約1km下流左岸部の山腹にある（原石山-2）。室内岩石試験はこの候補地点とダムサイト左岸で掘削したボーリングBQ2及びBD2のコアサンプル等を主に用いて行った。なお、ダムサイト左岸の地質は原石山-2のそれと全く同じで硬質で安定した斑状安山岩より成っている。

BQ2孔の深度26.3~26.5mのサンプルの一軸圧縮強度値は3409.6kgf/cm²を有しており極めて硬い。BD2孔の深度49.8~50.0mのサンプルの圧裂強度値は177.8kgf/cm²を有している。サンプルに異方性は認め難いことから、岩石の引張強度は一軸圧縮強度の約1/20に相当しているものと推察される。

同サンプルを用いた超音波速度測定値V_p及びV_sは以下の通りである。

サンプル番号 (深度)	V _p (km/sec)	V _s (km/sec)	ED(kgf/cm ²)	μD	σ' (= σ _c × v _p ² /V _p ²)
BQ2 (26.3~26.5m)	6.54	3.78	9.62 × 10 ⁵	0.249	600~2300kgf/cm ²
BD2 (49.8~50.0m)	6.78	4.50	1.21 × 10 ⁶	0.106	580~2100kgf/cm ²

ここに、

V_p: サンプルの縦波速度, V_s: サンプルの横波速度 E₀: サンプルの動弾性係数 μD: サンプルの動的ポアソン比, σ': 準岩盤強度, σ_c: サンプルの一軸圧縮強度 v_p(=5.4km/sec, 2.8km/sec): 地表弾性波探査による地山の速度 (測線SD1~5)

サンプルの超音波速度値(V_p, V_s)と現場で測定した地表弾性波探査による速度値(v_p)及びサンプル一軸圧縮強度、引張強度の値などを用いて地山の準岩盤圧縮強度(σ')の推定を行った。これによると新鮮な岩盤(v_p=5.4km/sec)で2000kgf/cm²、ダム基礎部分の岩盤(v_p=2.8km/sec)で580kgf/cm²、そしてロックフィルゾーンの岩盤(v_p=1.3km/sec)で125kgf/cm²の値を得た。変形係数(静弾性係数(E_s))は一般に動弾性係数(E₀=1×10⁶kgf/cm²)の1/10~1/100程度とされるが、より安全側にみてE_s=1×10⁵kgf/cm²のオーダーであると推定される。これらの岩石の工学的特性値から当ダムサイトがあらゆるタイプのダム建設に適していると判断される。なお、コンクリート遮水壁タイプのロックフィルダムの場合、ロック材自体の内部摩擦角(φ)は最小でも55°、粘着力(C)は0と推定される。しかし詳細設計段階でより詳細な検討を行う必要がある。

第 4 章 設 計 定 数

現位置による各種試験や室内土質及び岩石試験その他のデータに基づき、ダム計画に必要な F / S 段階における諸設計数値を以下にまとめた。なお、詳細設計時にはこれらの設計数値を見直しするものとする。

項 目	設 計 数 値	特 記 事 項
地震係数	0.10G	マグワダム及びサダム
地盤の強度	$\sigma' = 125 \text{kgf/cm}^2$ (ロックフィルゾーン)	マグワダム
"	$\sigma' = 580 \text{kgf/cm}^2$ (コンクリート構造物基礎)	マグワダム
変形係数	$E_s = 1 \times 10^8 \text{kgf/cm}^2$	マグワダム
ロック材の内部摩擦角	$\phi = 55^\circ$	マグワダム ロックフィル材
ロック材の粘着力	$C = 0 \text{kgf/cm}^2$	マグワダム ロックフィル材
締め固め土の内部摩擦角	$\phi = 12^\circ$	サダムのアースフィル材
締め固め土の粘着力	$C = 0.05 \text{kgf/cm}^2$	サダムのアースフィル材
締め固め土の透水係数	$k = 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$	サダムのアースフィル材

付 表

表 1. 1 建設材料調査の作業内容一覧表

1)	Test Pitting & Hand Augering in Borrow Site		
	TPR1	Right bank	Depth 5 m
	TPR2	Right bank	Depth 5 m
	TPL1	Left bank	Depth 5 m
	TPL2	Left bank	Depth 5 m
	HAR1	Right bank	Depth 5 m
	HAR2	Right bank	Depth 5 m
	HAL1	Left bank	Depth 5 m
	HAL2	Left bank	Depth 5 m

2) Laboratory test

ITEM A

- Unit Weight test
- Uni-axial compression test
- Tensile strength test
- Ultra sonic velocity test

ITEM B

- Specific gravity of soils
- Natural moisture content
- Particle size analysis
- Liquid limit
- Plastic limit and plasticity index
- Moisture - density relations of soil and soil-aggregate, mixtures, using 5.5.-lb (2.4 kg) rammer and 12 in (305 mm) drop
- Permeability of solid (at Optimum moisture condition)
- Triaxial shear (CU) in optimum moisture condition
- Consolidation test
- Direct shear (CU) in optimum moisture condition
- Shrinkage test in optimum moisture condition
- Measurement of soluble salt and Na, K, Mg, Ca, Fe, SO₄, CO₃ ions

ITEM C

- Natural moisture content
- Particle size analysis
- Specific gravity
- Liquid limit
- Plastic limit and plasticity index

ITEM D

- Abrasion test (Los Angeles Test)
- Chemical durability

付 図

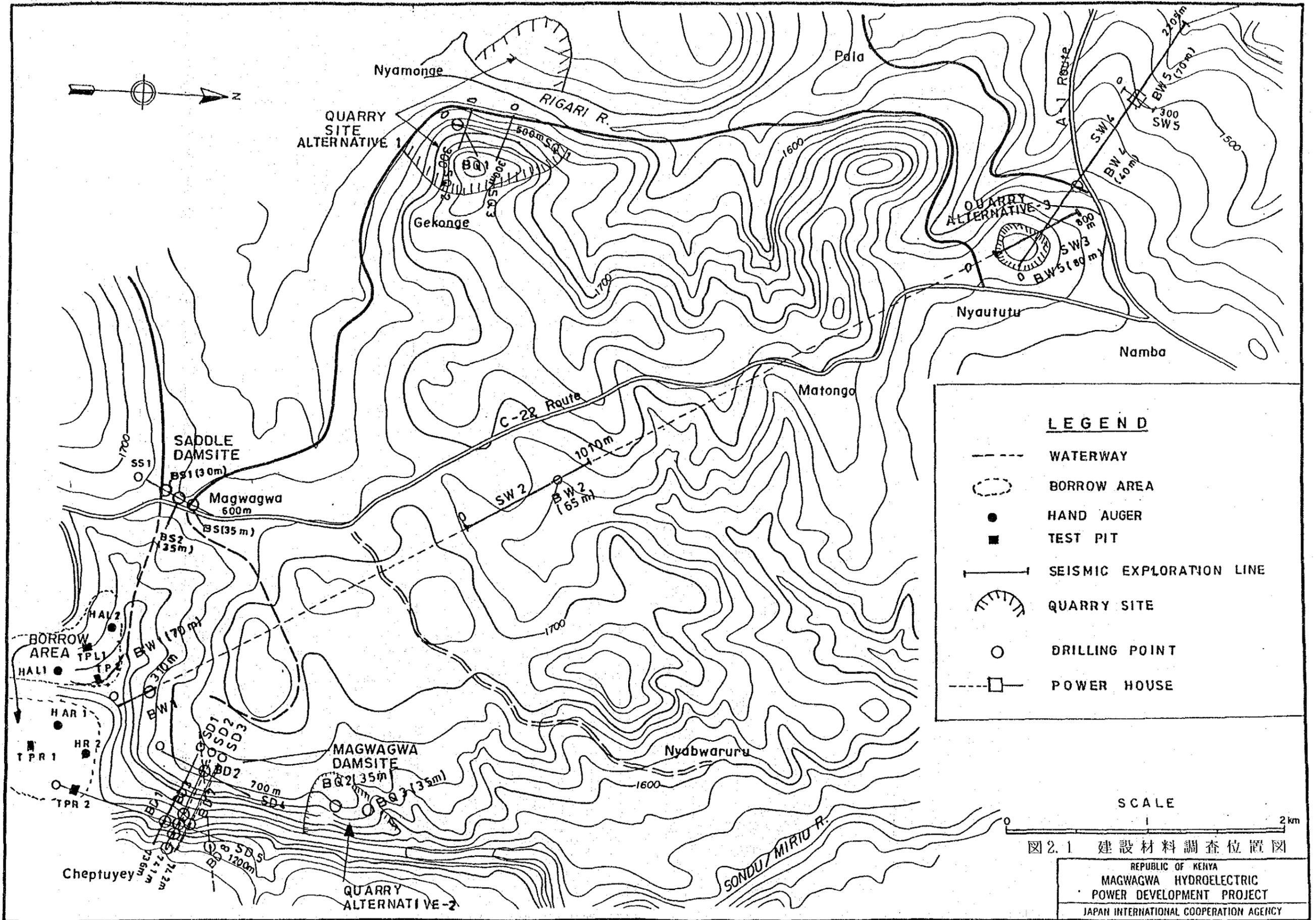
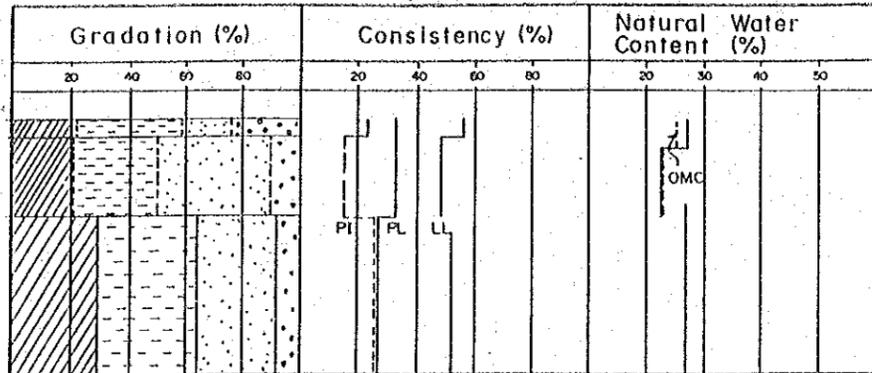
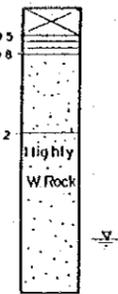
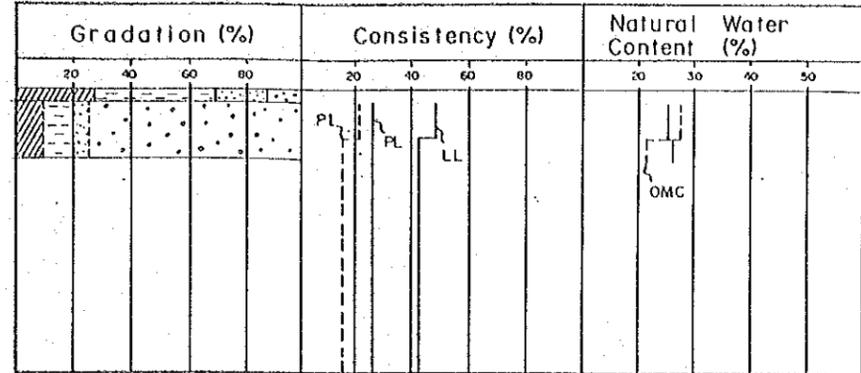
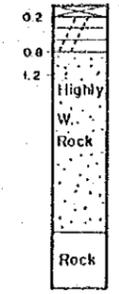


图 2.1 建設材料調査位置図

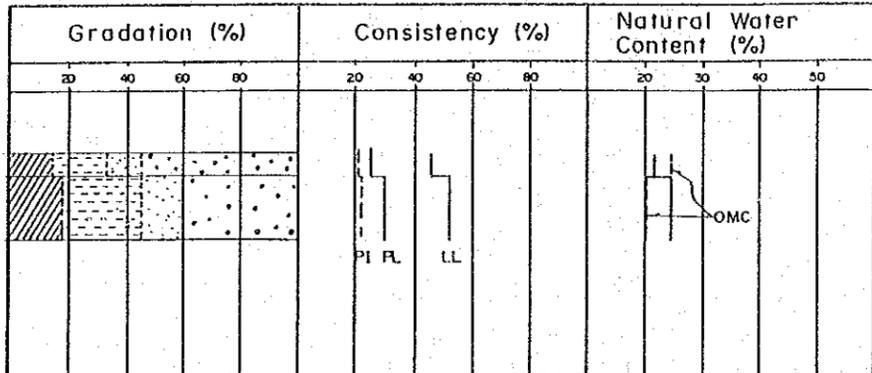
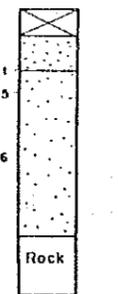
TPL 1



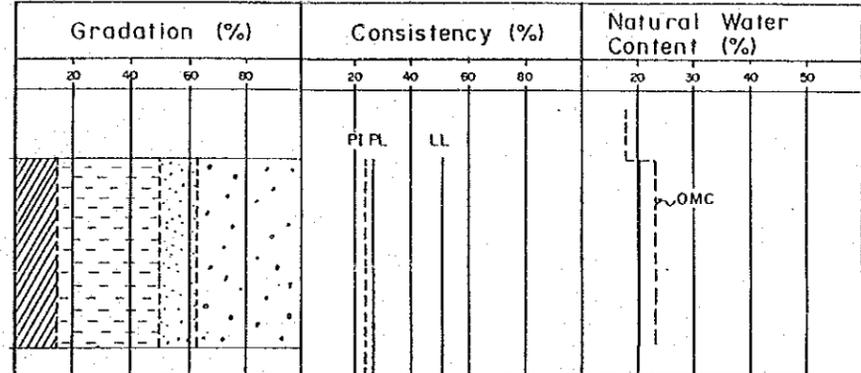
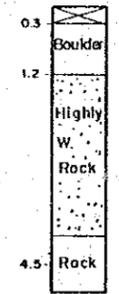
TPR 1



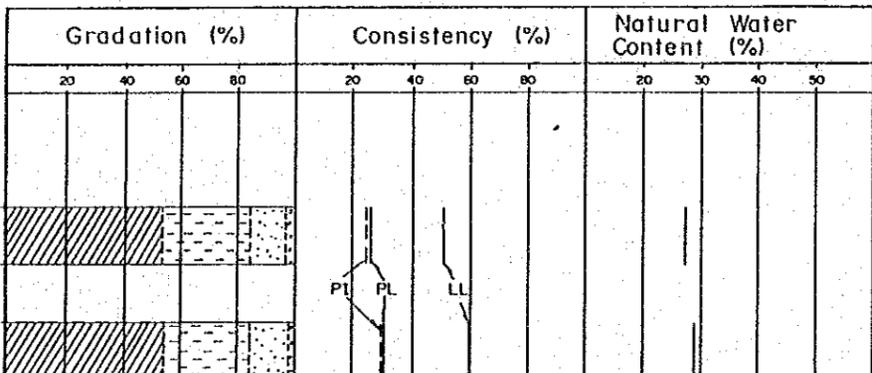
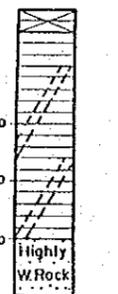
TPL 2



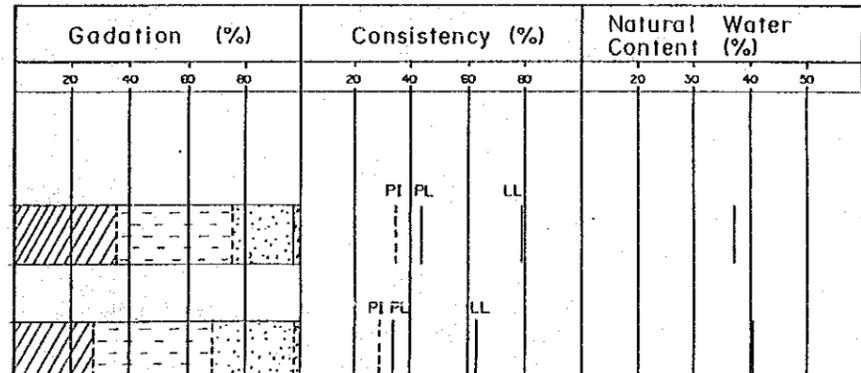
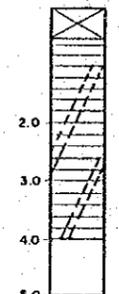
TPR 2



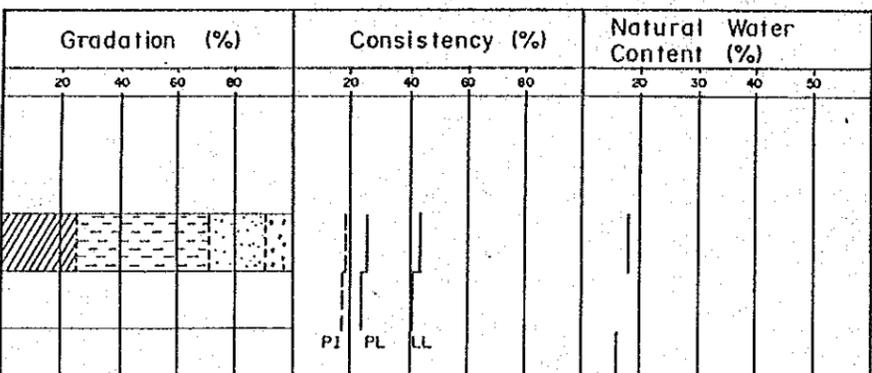
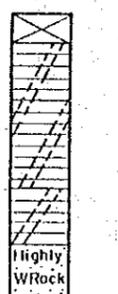
HAL 1



HAR 1



HAL 2



HAR 2

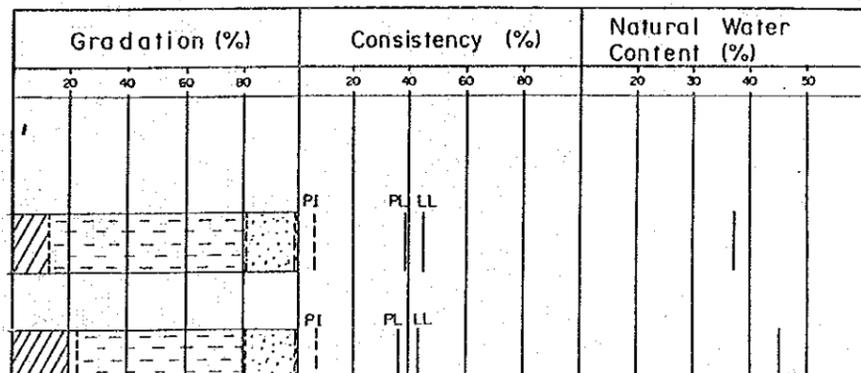
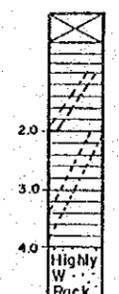


図3.1 土の物理的性質一覽図

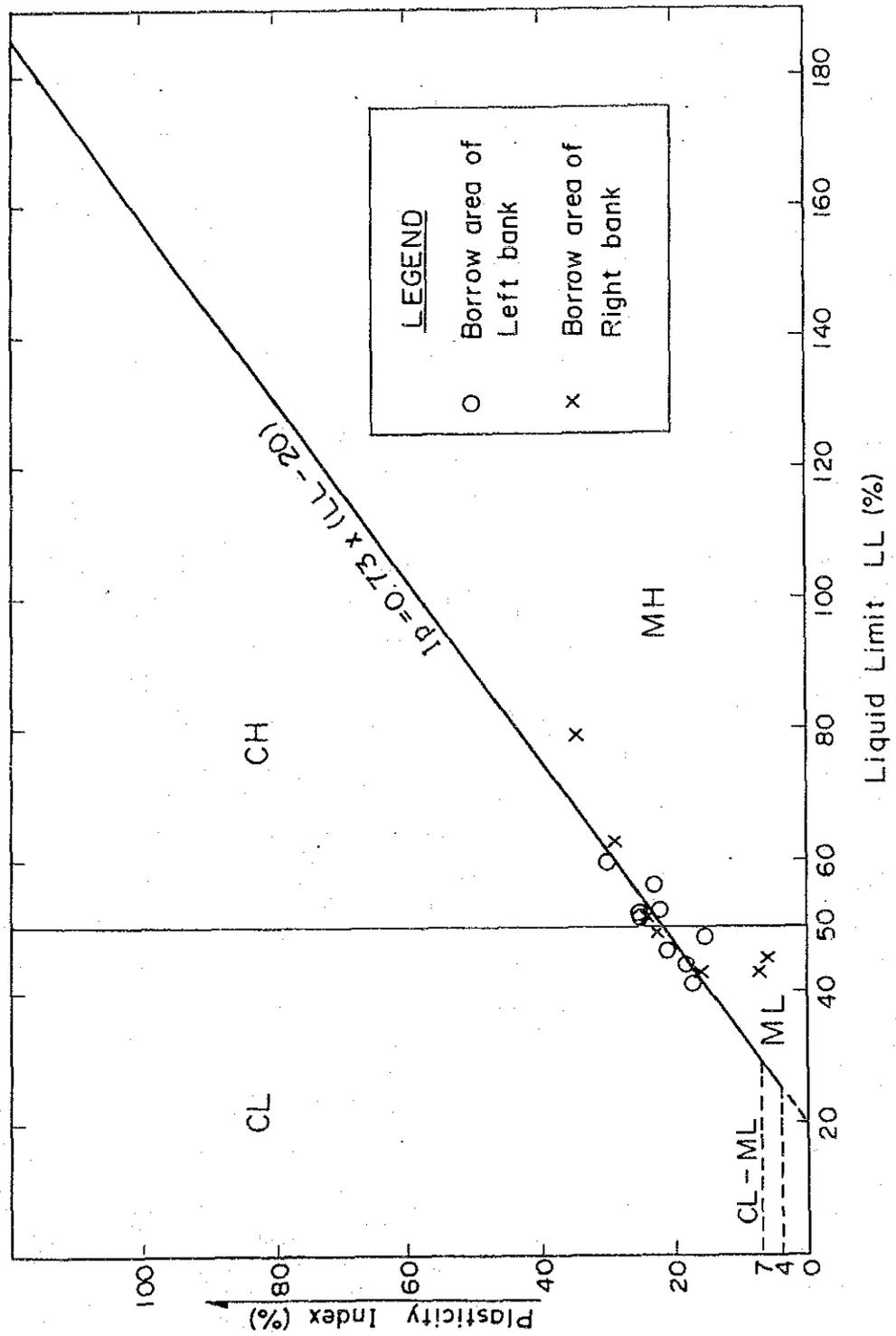


図3.2 土の統一分類図

REPUBLIC OF KENYA
 MAGWAGWA HYDROELECTRIC
 POWER DEVELOPMENT PROJECT
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

補遺Ⅳ 気象・水文

補遺Ⅳ 気象・水文

目次

	頁
第1章 序論	IV-1
1.1 調査項目	IV-1
1.2 ソンドゥ川流域	IV-1
1.3 過去の調査	IV-1
1.4 気象・水文調査関係機関	IV-2
第2章 現地調査	IV-3
2.1 現地踏査	IV-3
2.2 水位観測所の設置	IV-3
第3章 気象調査	IV-4
3.1 気温	IV-4
3.2 蒸発量	IV-4
第4章 降雨解析	IV-6
4.1 利用可能降雨記録	IV-6
4.2 年平均降雨量	IV-7
4.3 月別降雨パターン	IV-7
4.4 年最大日雨量確率分布	IV-8
4.5 降雨量-降雨継続時間解析	IV-9
第5章 低水解析	IV-10
5.1 利用可能記録	IV-10
5.2 年間平均流量	IV-10
5.3 月流量流出パターン	IV-11
5.4 流出率	IV-12
5.5 マグワグワダム地点に於ける流況曲線	IV-14

	頁
第6章 洪水解析	IV-15
6.1 利用可能記録	IV-15
6.2 年最大洪水量による確率洪水解析	IV-16
6.3 洪水流出特性	IV-17
6.4 可能最大洪水の推定	IV-19
6.4.1 推定手順	IV-19
6.4.2 無次元ハイドログラフ	IV-19
6.4.3 単位ハイドログラフ	IV-20
6.4.4 基底流量	IV-21
6.4.5 超過降雨	IV-22
6.4.6 湿度最大化係数	IV-22
6.4.7 可能最大降雨	IV-23
6.4.8 マグワグワダム地点における可能最大洪水 (PMF)	IV-23
6.5 流域内の森林伐採による流出への影響	IV-23
第7章 堆砂解析	IV-26
7.1 利用可能資料	IV-26
7.2 堆砂量-流量曲線	IV-26
7.3 ソンドゥ川における流砂量の変化	IV-28
7.4 マグワグワ貯水池における堆砂量の推定	IV-28
第8章 ソンドゥ川における利水状況	IV-29
8.1 利用可能資料	IV-29
8.2 既得水利権	IV-29
8.3 マグワグワダムサイトの必要河川維持流量	IV-30
8.4 ニャカッチ地区水道計画	IV-30
8.5 貯水池周辺地域の水道計画	IV-31

付 表 一 覧

	頁
表 3.1 月平均気温	IV - 33
表 3.2 月平均蒸発量	IV - 34
表 4.1 ソンドゥ川流域における年降雨 (1/3)	IV - 35
表 4.1 ソンドゥ川流域における年降雨 (2/3)	IV - 36
表 4.1 ソンドゥ川流域における年降雨 (3/3)	IV - 37
表 4.2 ソティッククレグモアにおける月雨量記録	IV - 38
表 4.3 ジャムジエステイトにおける月雨量記録	IV - 39
表 4.4 D. Cs オフィス (ケリッチョ) における月雨量記録 (1/2)	IV - 40
表 4.4 D. Cs オフィス (ケリッチョ) における月雨量記録 (2/2)	IV - 41
表 4.5 ソティックモニエリにおける月雨量記録	IV - 42
表 4.6 レヂンゲットエステイトにおける月雨量記録	IV - 43
表 4.7 カイスゲにおける月雨量記録	IV - 44
表 4.8 ソティックケンウィックミッションにおける月雨量記録	IV - 45
表 4.9 マリンダスファーム (モロ) における月雨量記録	IV - 46
表 4.10 テレットフォールレストステーションにおける月雨量記録	IV - 47
表 4.11 チェプレルワセトルメントスキームにおける月雨量記録	IV - 48
表 4.12 コイワエステートにおける月雨量記録	IV - 49
表 4.13 ゴイナエステートにおける月雨量記録	IV - 50
表 4.14 ドイネットフォールレストステーションにおける月雨量記録	IV - 51
表 4.15 月平均降雨パターン	IV - 52
表 4.16 ソンドゥ川流域における確率日降雨	IV - 53
表 4.17 ソンドゥ川流域の日降雨量算定に用いた観測所	IV - 54
表 4.18 年最大流域雨量 (1日雨量 - 30日雨量)	IV - 55
表 5.1 1 J G 1 流量観測所における月平均流量	IV - 56
表 5.2 1 J D 3 流量観測所における月平均流量	IV - 57
表 5.3 キプソノイ川流域内の流量観測所における月平均流量	IV - 58
表 5.4 1 G D 4 流量観測所における月平均流量	IV - 59
表 5.5 1 J G 1 流量観測所における流量観測記録	IV - 60
表 5.6 1 J D 3 流量観測所における流量観測記録 (1/2)	IV - 61
表 5.6 1 J D 3 流量観測所における流量観測記録 (2/2)	IV - 62
表 5.7 1 J F 8 流量観測所における流量観測記録	IV - 63
表 5.8 ソンドゥ川流域における流出係数	IV - 64
表 5.9 シリーズ法によるマグワグワダム地点における流況	IV - 65
表 5.10 パラレル法によるマグワグワダム地点における流況	IV - 66

		頁
表 6. 1	1 J G 1 観測所における年最大洪水流量	IV - 67
表 6. 2	1 J G 1 観測所における洪水ピーク流量の発生頻度	IV - 68
表 6. 3	1 J G 1 で観測された1957年洪水	IV - 69
表 6. 4	1 J G 1 で観測された1962年洪水	IV - 70
表 6. 5	1 J G 1 で観測された1964年洪水	IV - 71
表 6. 6	1 J G 1 で観測された1968年洪水	IV - 72
表 6. 7	1 J G 1 で観測された1977年洪水	IV - 73
表 6. 8	1 J G 1 で観測された1978年洪水	IV - 74
表 6. 9	1 J G 1 で観測された1981年洪水	IV - 75
表 6.10	1 J G 1 で観測された1982年洪水	IV - 76
表 6.11	1 J G 1 で観測された1990年洪水 (1/2)	IV - 77
表 6.11	1 J G 1 で観測された1990年洪水 (2/2)	IV - 78
表 6.12	マグワグワダム地点における単位ハイドログラフ	IV - 79
表 6.13	ソンドゥ川流域における可能最大降雨	IV - 80
表 6.14	推定 P M P 降雨パターン	IV - 81
表 6.15	マグワグワダム地点での推定 P M F 流入量	IV - 82
表 7. 1	1 J G 1 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 83
表 7. 2	1 J G 3 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 84
表 7. 3	1 J G 4 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 85
表 7. 4	1 J G 5 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 86
表 7. 5	1 J D 3 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 87
表 7. 6	1 J F 8 における浮遊砂サンプリング記録	IV - 88
表 7. 7	マグワグワ貯水池への堆砂流入量	IV - 89
表 8. 1	既得水利権 (1/2)	IV - 90
表 8. 1	既得水利権 (2/2)	IV - 91

付 図 一 覧

	頁
図 4. 1 ソンドゥ川流域内の雨量観測所一覧表 (1/2)	IV - 92
図 4. 1 ソンドゥ川流域内の雨量観測所一覧表 (2/2)	IV - 93
図 4. 2 ソンドゥ川流域内の雨量観測所位置図	IV - 94
図 4. 3 ソンドゥ川流域内の等降雨線図	IV - 95
図 4. 4 各雨量観測所における月平均降雨パターン	IV - 96
図 4. 5 ソンドゥ川流域内の代表的月平均降雨パターン	IV - 97
図 4. 6 流域降雨における降雨高-継続時間の関係	IV - 98
図 5. 1 ソンドゥ川流域内の流量観測所一覧表 (1/2)	IV - 99
図 5. 1 ソンドゥ川流域内の流量観測所一覧表 (2/2)	IV - 100
図 5. 2 ソンドゥ川流域内の流量観測所位置図	IV - 101
図 5. 3 1 J G 1 流量観測所における水位流量曲線	IV - 102
図 5. 4 1 J D 3 流量観測所における水位流量曲線	IV - 103
図 5. 5 1 J F 8 流量観測所における水位流量曲線	IV - 104
図 5. 6 各流量観測所における月平均流量パターン	IV - 105
図 5. 7 シリーズ法によるマグワグワダム地点での流況図	IV - 106
図 5. 8 パラレル法によるマグワグワダム地点での流況図	IV - 107
図 6. 1 1 J G 1 における年最大洪水流量の確率頻度曲線	IV - 108
図 6. 2 1957年洪水のハイドログラフ	IV - 109
図 6. 3 1962年洪水のハイドログラフ	IV - 110
図 6. 4 1964年洪水のハイドログラフ	IV - 111
図 6. 5 1968年洪水のハイドログラフ	IV - 112
図 6. 6 1977年洪水のハイドログラフ	IV - 113
図 6. 7 1978年洪水のハイドログラフ	IV - 114
図 6. 8 1981年洪水のハイドログラフ	IV - 115
図 6. 9 1982年洪水のハイドログラフ	IV - 116
図 6. 10 1990年洪水のハイドログラフ	IV - 117
図 6. 11 1 J G 1 における無次元ハイドログラフ	IV - 118
図 6. 12 マグワグワダム地点での単位ハイドログラフ	IV - 119
図 6. 13 最大露点温度	IV - 120
図 6. 14 マグワグワダム地点における可能最大洪水	IV - 121
図 6. 15 ソンドゥ川流域の土地利用状況	IV - 122
図 7. 1 1 J G 1 流量観測所における流量堆砂量曲線	IV - 123
図 7. 2 ユリス及びキプソノイ川における流量堆砂量曲線	IV - 124

図 7.3	ソンドゥ川における1950年代と1980年代の流量堆砂量 曲線の比較	IV-125
図 7.4	ソンドゥ川における浮遊砂量の包絡曲線	IV-126

第1章 序 論

1.1 調査項目

本調査における水文調査は、マグワグワ水力発電開発プロジェクトの実施可能性の検討を行うために必要なソンドゥ川流域における水文気象状況を把握することを目的とする。このプロジェクトは、ソンドゥ／ミリウ水力発電計画及びカノー平野かんがい開発計画とともに、ソンドゥ川流域多目的水資源開発計画の一部を構成している。

ソンドゥ／ミリウ水力発電計画及びカノー平野かんがい開発計画は、ともにマグワグワ水力発電所放水路の下流に位置している。したがって、マグワグワダム及び貯水池は、マグワグワ水力発電所での発電のみでなく、ソンドゥ／ミリウ水力発電計画への安定流量確保さらにはカノー平野かんがい地域への用水供給の目的を持っている。

このような背景に鑑み、本調査における水文調査はデータ収集、低水解析、洪水解析、堆砂解析及び水利権調査を実施するものとする。

1.2 ソンドゥ川流域

ソンドゥ川は、リフトバレー地域のマウフォーレストと呼ばれる大森林地帯を水源としており、そこから西方へ穏やかに流下しビクトリア湖に注ぐ流域面積 3,470km²の河川である。水源であるマウフォーレスト南西部は約 1,000km²に及ぶ大森林地帯であり、開発が規制されている保存森林地帯である。中下流域においては、農耕地帯が広がっており、特に中流域ケリッチョ地区周辺には約 250km²に亘る広大な茶畑が広がっている。

ソンドゥ川は、キブソノイ川とユリス川の二大支流により構成されており、この2つの支流は河口より約60km上流地点で合流している。この合流点より下流がソンドゥ／ミリウ川と呼ばれている。マグワグワダム建設候補地点は、合流点の下流約5kmに位置し、集水面積は 3,160km²である。

1.3 過去の調査

ソンドゥ川流域を対象とした過去の気象・水文調査は、1986年 JICA によって実施された「ソンドゥ川多目的開発計画調査」において為されている。この調査結果は、本調査においても大いに参考になるものと考えられるため、「ソンドゥ川多目的開発計画調査」における調査結果を基礎とし、資料の追加収集、見直し等を行うものとする。

1.4 気象・水文調査関係機関

(1) 水資源省 (Ministry of water Development)

水資源省（以下MOWDとする）は、河川行政を監督する省庁である。その作業内容は、水位観測所の設置、水位観測、流量観測、流砂観測、水質管理、水利権設定等、国内水資源の開発・管理に責任を負っている。ケニア国内における全ての河川水位観測所は、MOWDにより維持・管理されており、その観測記録は日単位でMOWD本省に保管されている。洪水記録については、整理された状態で保管されていないが、記録紙のオリジナルがMOWD本省に保管されている。

また、ケニア全国の月単位降雨記録が、気象庁 (Meteorological Department) より送付されており、本省において記録収集が可能である。

全国各河川の既得水利権リストは、パーソナル・コンピュータによるデータ・ベースシステムの形で整理されており、本省にてデータ収集が可能である。

(2) 気象庁 (Meteorological Department)

気象庁（以下MDとする）は、交通・通信省の下部機関にあたる政府機関で、気象観測、予測等に責任を負う機関である。

ケニア国内における気象観測所及び降雨観測所は、気象庁によって設立、運営・管理されているが、日単位降雨記録、月単位日照時間、風向、風速、蒸発量、気温、露点等の記録については、大型コンピュータのデータベースシステムにより保管されている。日単位降雨記録については、1926年から1988年までのデータが利用可能である。

時間単位降雨記録については整理されていないが、記録紙は気象庁の降雨セクションに保管されており、利用可能である。

(3) ビクトリア湖流域開発公社 (Lake Basin Development Authority)

ビクトリア湖流域開発公社（以下LBDAとする）は、地域開発省の下部機関にあたるビクトリア湖周辺地域の開発計画の策定及び実施監督等に責任を負う機関で、今回の調査対象地域であるソンドゥ川流域はその管轄範囲内にある。

ケニア国内におけるビクトリア湖流域内の気象・水文観測記録は、MOWD、MDよりそれぞれ送付され、パーソナルコンピュータのデータベースで保管されている。降雨、流量記録については、日単位で保管されているが、送付されてきたデータについては、異常値のチェック等をしたのちにデータベースに入力されるようになっている。しかしながら、データの逐次入力はなされておらず、最近5年間の記録については未だ入力されていない。

第2章 現地調査

2.1 現地踏査

現地踏査は調査団現地滞在中の1990年2月及び11月に為された。その際、以下のようなソンドゥ川における流域特性が確認された。

- (1) ソンドゥ川流域には広範囲に農耕地帯が広がっている。とりわけ、中流域のケリッチョ地区周辺には大規模な茶畑が広がっており、その面積は250km²に及ぶ。
- (2) 上流域は、マウフォーレストと呼ばれる森林地帯で覆われている。この森林地帯は環境保護の観点から開発が規制されており、その面積は約1,000km²に及ぶ。
- (3) マグワグワダム候補地点直上流域には湿地帯が点在し、洪水流の自然調節機能を持っている。
- (4) マグワグワダム候補地点と発電所放流地点の間にあるソンドゥ村には、水道用取水口があり、ニャカッチ地区への給水が行われている。
- (5) ソンドゥ川の川幅は全般的に狭く、マグワグワダム候補地点下流においては50mから100m程度である。

2.2 水位観測所の設置

現地調査期間中、ダム候補地点及び発電所放水口予定地点の2ヶ所に量水標を設置した。設置の目的はそれぞれ以下の通りである。

(1) ダムサイトにおける量水標

この量水標は、ダム建設地点における洪水時の水位－流量の関係を明らかにするために設置された。これは、設計段階における洪水吐の設計や施工計画立案の際に必要な。

(2) 発電所放水口地点における量水標

この量水標は発電所放水位と流量の関係を求め、より正確に発生電力量を推定するために設置された。そのためには継続的な流量観測により水位－流量曲線を求めることが必要となる。これら、2つの量水標の水位観測及び流量観測は、KPCよりMOWDに委託された。

第3章 気象調査

ケニアにおける気象観測は、気象庁(Meteorological Department)により実施されている。今回の調査においては、ソンドゥ川流域内及び周辺部に位置するキスム、ケリッチョ及びキシイの3気象観測所における気温、湿度、風速、露点、日照時間及び蒸発量の記録を収集し、計画立案に反映させた。ここでは、特に気温と蒸発量について述べるものとする。

3.1 気温

上記、3気象観測所における月別平均気温を表3.1に示す。ソンドゥ川流域における日中の気温は、年間を通して比較的安定しており、月別の変動は流域内中北部のケリッチョにおいて、8月の17.6℃から2月の22.2℃となっている。一方、気温日差はケリッチョにおいて約2.8℃(早朝6時16.8℃、日中19.6℃)と小さいが、流域最下流部周辺のキスムにおいては、約6℃となっている。

3.2 蒸発量

蒸発量については、流域内のアヘロマーケット、ケリッチョ及びソティックの3つの観測所において、クラス-Aパンによって測定されている。これら、3観測所における月別平均蒸発量は、表3.2に示す通りである。

これらの観測記録から推定したソンドゥ川流域における月別平均蒸発量は、以下に示す通りである。

月	クラス-A パン蒸発量 (mm/day)	貯水池蒸発量 (mm/day)
1月	4.46	3.12
2月	5.40	3.78
3月	5.18	3.63
4月	4.20	2.94
5月	3.69	2.58
6月	3.89	2.70
7月	3.65	2.56
8月	4.05	2.84
9月	4.43	3.10
10月	4.36	3.05
11月	4.25	2.98
12月	4.50	3.15
年平均	4.34	3.04

注) ・流域平均のクラス-A パン蒸発量は、上記3観測所における観測値の平均をとった。

・貯水池蒸発量は、クラス-A パン蒸発量の70%とした。

過去の研究調査によるとクラス-A パン蒸発量から貯水池蒸発量への変換率は60%から80%の範囲で変動しており、70%をとるのが望ましいとされている。これは浅い水深を持つ小面積内の水の温度(クラス-Aパンの水深は10インチで直径4フィート)は数方キロメートルの面積を持つ貯水池内の水の温度より日射により上昇しやすく、その結果より蒸発しやすいということによる。

第4章 降雨解析

4.1 利用可能降雨記録

ソンドゥ川流域は、その豊富な降雨量を反映して、数多くの降雨観測所が設置されており、その維持管理状況も比較的よい。降雨観測所は、気象庁により設置・管理されている。

図4.1は、ソンドゥ川流域内に設置されている57の降雨観測所の一覧表で、観測所位置（緯度、経度、高度）及び観測期間等が示されている。今回の調査においては、これら全ての観測所の月単位雨量記録を収集した。このうち、26観測所は、現在でも観測を継続中である。各雨量観測所の位置は、図4.2に示す通りである。

日単位雨量記録については、以下の11の雨量観測所において収集した。

観測所番号	記録観測期間
9035001	1947 - 1988
9035003	1947 - 1986
9035013	1947 - 1988
9035067	1947 - 1977
9035075	1957 - 1988
9035079	1947 - 1988
9035129	1961 - 1988
9035233	1961 - 1988
9035253	1963 - 1988
9035260	1971 - 1988
9035292	1975 - 1988

4.2 年平均降雨量

流域内にある13観測所の記録を利用して推定した1940年から1988年までの50年間における年平均流域雨量は、1,505mmであった(表4.1参照)。各年毎の比較をしてみると、1984年が1,152mmと最も少なく、1978年が1,892mmと最も多いという結果を得た。

降雨観測所は、流域北部及び南西部に集中しているが、中部及び南西部においては比較的少ない。このように、降雨観測所の分布が流域内で均等でないことや、いくつかの観測所において欠測データが目立つことなどを考慮する必要がある。

図4.3に示すように、今回調査で収集した全ての降雨記録を利用して年単位等雨量線図を作成した。これより、流域の中央部にあたるケリッチョ地域及び、中西部流域界周辺部が多雨地帯であり、年間平均で1,800mmから2,000mmの降雨がみられる。一方、最上流域にあたる流域東部及び河口部周辺流域においては、降雨が少なく1,000mmから1,400mm程度である。

年平均降雨量推定に使用した13観測所(表4.1参照)の月別降雨量を表4.2から表4.14に示す。

4.3 月別降雨パターン

先に示した13観測所の月別降雨記録により、流域内における月別降雨パターンを調査した。各観測所における月別平均降雨を図4.4及び表4.15に示す。これより、流域の東部、中央部及び西部において月別降雨パターンが異なっていることがわかる。各地域における降雨パターンの特徴は以下に示す通りである。

流域中央部における降雨パターン

この地域においては、3月から11月に比較的雨が多い。特に、4月から5月にかけては特に雨が多く、この2ヵ月間で年間雨量の40%の降雨量がみられる。一方、乾期は12月から2月までの3ヵ月間である。このパターンに属する降雨観測所は、No.9035001, 9035003, 9035075, 9035260及び9035079である。

流域東部における降雨パターン

この地域における降雨パターンの特徴は、4月～5月と7月～8月の2時期に降雨量が多い。7月～8月の2ヵ月間で年雨量の25%の降雨量がある。一方、12月～2月は乾期であり雨量が極端に少ない。このパターンに属する降雨観測所は、No.9035067, 9035129, 9035233及び9035292である。

西部地域における降雨パターン

この地域には、はっきりした乾期はみられないが、3月から5月にかけて特に雨が
多く、この3ヵ月間に年間雨量の50%の降雨がみられる。他の地域に比べ、降雨の月別変
動が小さいのが特徴である。最少降雨月は10月である。

このパターンに属する降雨観測所は、No.9034024, 9035013, 9035253 及び 9035261
である。

4.4 年最大日雨量確率分布

今回収集した降雨記録のうち、20年以上の日雨量記録を有する8観測所（参照：表
4.16）のデータを用いて、ガンベル法により年最大日雨量の確率分布を調べた。

以下に示すように、流域東部（上流域）に位置する観測所における確率年降雨量が、
他地域のそれと比べ小さいことがわかる。

単位：mm/日

観測所番号	9035001	9035013	9035067	9035129	9035233
位置	中央部	西部	東部	東部	東部
データ数	64	65	36	28	26
生起確率年					
1.01	34	27	20	29	26
2	56	54	41	45	46
5	69	70	53	55	58
10	78	81	62	62	66
20	86	92	70	68	73
50	97	105	80	76	83
100	105	115	88	82	91
200	113	125	95	88	98

4.5 降雨量－降雨継続時間解析

流域雨量に関する降雨量－降雨継続時間の関係について検討を行った。これは、マ
グワグワダムサイトにおける可能最大降雨 (P.M.P)ハイドログラフを求める際に利用され
る。

1947年から1988年までの日単位流域雨量の推定は、表 4.17に示す各観測所の記録を
利用した。各年における最大流域雨量－継続時間の関係は表 4.18に示す通りである。また、
既応最大降雨量－降雨継続時間の関係は図 4.6及び以下に示す。

降雨継続時間 (日)	既応最大累加降雨高 (mm)
1	56.6
2	85.4
3	107.9
4	126.7
5	136.2
6	160.8
7	195.4
10	233.6
15	269.0
20	328.7
30	455.3

第5章 低水解析

5.1 利用可能記録

図5.1に示すように、ソンドゥ川には46の水位観測所が設置されており、うち18の水位観測所は現在も観測実施中である。これらの水位観測所の位置は、図5.2に示す通りである。

これらの水位観測所は、MOWDによって所有、維持管理がなされている。観測は、主としてMOWDのキスム及びケリッチョ支所によって実施され、記録はそのままMOWD本省に送られている。MOWD本省においてチェック、入力されたのち、LBD Aに送られている。

今回の調査においては、ソンドゥ川の1JG1水位観測所、ユリス川の1JD3水位観測所、キプソノイ川の1JF1、1JF7及び1JF8水位観測所の日単位、流量記録を収集した。さらには、カノー平野かんがい開発計画を考慮し、隣接するニヤンドゥ川流域の主要水位観測所である1GD4水位観測所よりも日単位流量記録を収集した。

この中でも1JG1観測所の記録検討には、細心の注意を払った。これは1JG1観測所がソンドゥ村に位置し、マグワグワ計画の規模決定に最適地に位置していたことその他、この観測所での記録が流域観測所の中で最も長期間の記録を保有していたためである。

5.2 年間平均流量

ソンドゥ川は降雨量が豊富なことから、1JG1観測所に於いては3,260km²の流域面積に対して、毎秒42.0m³の年間平均流量が得られた。

このソンドゥ川はユリス川及びキプソノイ川の2つの支流からなっている。ユリス川にある1JD3観測所によれば、北部山岳地に位置するユリス川は流域面積が1,570km²であるが、年間平均流量は毎秒30.5m³であり、これはソンドゥ川の流量の74%を占めている。

一方、キプソノイ川はソンドゥ川の47%にあたる流域面積を持っている反面、降雨量が少ないため、1JF8観測所では年間平均流量は毎秒11.3m³を記録するに留まっている。

これら3ヵ所の観測所及びニヤンドゥ川に位置する1GD4観測所に於ける月間流量記録は、表5.1から表5.4に示す通りであるが概要は下記の通りである。

観測所No	川	流域面積 (km ²)	期間	年間平均流量	
				(m ³ /s)	(mm)
1JG1	ソンドゥ	3,260	1946 - 1990	42.0	406
1JD3	ユリス	1,570	1969 - 1989	30.5	613
1JF1/8	キプソノイ	1,523/1,540	1951 - 1989	10.3	211
1GD4	ニヤンドゥ	2,520	1956 - 1988 (1951 - 1962)	11.3	141

表5.5は1JG1観測所に於ける1946年から1984年までに観測された93の流量観測記録で、これによる水位流量曲線は図5.3で表わされている。この記録には1984年以降のものがないが水位流量曲線は大変うまく描かれている。しかし、この曲線の裏付けをするためには、より集中的な流量観測を行うことが望ましい。

1JD3及び1JF1/8観測所に於ける流量観測記録は表5.6及び5.7に示す通りである。これらの記録から描かれた水位流量曲線は図5.4及び5.5に示されている。

5.3 月流量流出パターン

1JG1、1JD3、1JF1/8及び1GD4の4つの観測所で記録された月間流量データにより作成された月流量流出パターンは図5.6に示されているが、各々の流域での特徴は以下の通りである。

ソンドゥ川：1JG1観測所（流域面積 3,260km²）

月平均流量は5月の82.9m³/秒が最高で、最低は2月の13.5m³/秒である。豊水期は4月から6月及び8月-9月の2度みられる。

乾期は1月から3月までの3ヵ月間である。この時期の平均流量は、年平均流量の42.0m³/秒に比べわずか16.9m³/秒ほどである。

ユリス川：1 J D 3 観測所（流域面積 1,570km²）

月平均流量は年平均30.5m³/秒に対し、8月の43.0m³/秒を最高に1月の10.6m³/秒まで変動しているがその差は大きくない。

ユリス川の流量に於いて変動が少ないのは上流にマウ森林と大規模な茶畑が、またケリッチョ高原には沼地が存在しており、これらが降水を滞留させているためと考えられる。また、豊水期の5月から9月までの5ヵ月の中に特別目をひく豊水月がないのもこのためと考えられる。

キブソノイ川：1 J F 1/8 観測所（流域面積 1,523/1,540km²）

ユリス川とキブソノイ川はほぼ同面積の流域を持つにもかかわらず、キブソノイ川ではユリスの1/3程度の年間平均流量にとどまっている。ここでの年間平均流量は10.3m³/秒であるが、月平均流量は5月が最高で30.8m³/秒、一方2月が最低で3.5m³/秒である。

キブソノイ川の流域はソンドゥ川の南西部を占め、降雨量の少ない地域である。

ニヤンドゥ川：1 G D 4 観測所（流域面積 2,520km²）

ニヤンドゥ川流域の南側にはソンドゥ川が隣接している。ソンドゥ川に比べニヤンドゥ川は極めて流量が少なく、年間平均流量は流域面積 2,520km²に対しわずか11.3m³/秒である。流量変動も少なく5月の18.8m³/秒が最高であり、一方、1月の5.1m³/秒が最低である。月流量パターンはユリス川のパターンと類似している。豊水期は4月から9月まででこの間の平均流量は15.0m³/秒である。

5.4 流出率

1 J G 1、1 J D 3 及び1 J F 8（1 J F 1）の3ヵ所の水位観測所に於ける年平均流量の流出率は、下記降雨観測所の降雨量の算術平均値を基にして計算された（※印は計算に使用された観測所である）。

雨量観測所No	1 J G 1	1 J D 3	1 J F 1/8
9035024	※		※
9035001	※	※	
9035003	※	※	
9035013	※		※
9035067	※		※
9035075	※	※	
9035079	※		※
9035129	※	※	※
9035233	※		※
9035253	※		※
9035260	※	※	※
9035261	※		※
9035292	※	※	※
合 計	13	6	10

各河川の平均流出率は下記の通りである。また、詳細は表 5. 8 に示す通りである。

観測所No	河川	流域面積 (km ²)	流出高 (mm)	降雨量 (mm)	流出率 (%)	期 間
1 J G 1	ソンドゥ	3,260	406	1,511	26.9	1947 - 90
1 J D 3	ユリス	1,570	610	1,690	34.8	1970 - 88
1 J F 1/8	キプソノイ	1,540	211	1,338	15.5	1952 - 61 1986 - 88

5.5 マグワグワダム地点に於ける流況曲線

3,160 km²の流域面積を持つマグワグワダム地点に於ける日流量の流況曲線は、下記に示されるが、これは1 J G 1 観測所での1946年から1990年の記録をシリーズ法及びパラレル法により求めたものである。詳細については図5.7、5.8及び表5.9、5.10に示されている。マグワグワダム地点での流況曲線を作成するための流量算出は、1 J G 1 観測所の記録に流域面積比の0.969(=3160/3260)を乗じて計算された。

シリーズ法		パラレル法	
超過率	流出量 (m ³ /s)	超過日	流出量 (m ³ /s)
1	234.4	1	186.8
10	89.9	36	92.0
20	62.6	72	60.7
30	48.0	108	48.3
40	36.1	144	39.0
50	25.9	180	30.2
60	18.5	216	23.1
70	13.2	252	16.2
80	9.3	288	11.3
90	5.9	324	8.0
95	4.3	342	6.7
98	2.9	355	5.8
99	2.3	365	4.8

第6章 洪水解析

6.1 利用可能記録

洪水解析においては、確率洪水流量算定、設計洪水流量の決定及び可能最大洪水量の推定を行う。

このような解析を実施するためには時間単位流量及び降雨記録の他、主な気象資料等の収集が必要となる。

今回の調査においては、1 J G 1 水位観測所における、44年間に亘る時間単位洪水記録及び、以下に示す6ヵ所の雨量観測記録を用いて洪水解析を実施した。

雨量観測所番号	観測期間	記録の単位
9035001	1947 - 1988	日単位
9035003	1947 - 1986	同上
9035013	1947 - 1988	同上
9035067	1957 - 1976	同上
9035075	1963 - 1988	同上
9035079	1955 - 1988	同上

注：ソンドゥ川流域において時間降雨は観測されていない。

6.2 年最大洪水量による確率洪水解析

確率洪水解析は、表 6.1 に示すように 1947 年から 1990 年までの 44 年間に 1 J G 1 で観測された各年における年最大ピーク洪水を利用して解析した。

既応最大ピーク洪水は、1990 年 4 月 6 日に観測された $639\text{m}^3/\text{s}$ である。比流量で示すと、 $0.195\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ と表される。

この比流量を、ビクトリア湖流域の他の河川におけるそれと比較すると、ソンドゥ川における洪水流量は比較的大きいと言える（下表参照）。

河川名	観測所番号	既応最大洪水 (m^3/s)	集水面積 (km^2)	観測期間	比流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
ソンドゥ	1 J G 1	639	3,260	1947 - 1990	0.195
ニヤンドゥ	1 G D 4	363	2,600	1955 - 1983	0.139
ヤラ	1 F G 1	139	2,388	1948 - 1985	0.058
ゾイア	1 D A 2	528	8,417	1948 - 1985	0.062

確率洪水解析は、ガンベル法とログピアソンⅢ型の 2 つの手法で検討した。その結果は表 6.2 に示す通りである。

両手法による確率洪水解析結果を検討した結果、ログピアソンⅢ型分布を採用するものとした。その理由は、ログピアソンⅢ型分布の方が、ガンベル分布よりも大きい値を示しており、設計洪水量算定の際に安全側に働くと判断したためである。また、図 6.1 に示すように理論曲線上に観測データが良くのっているため、ログピアソンⅢ型分布を適用することが妥当であると思われる。

ビクトリア湖流域の各河川における 100 年確率洪水の比流量を比較してみると、以下のようにになっている。

河川名	観測所番号	100年確率洪水 (m^3/s)	集水面積 (km^2)	比流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$)
ソンドゥ	1 J G 1	958	3,260	0.294
シ オ	1 A H 1	85	1,450	0.059
ゾイア	1 D A 2	512	8,417	0.061
ヤ ラ	1 F G 1	185	2,388	0.077
ニヤンドゥ	1 G D 4	459	2,600	0.177
クジャ	1 K B 5	1,055	6,600	0.160

上に示すように、ソンドゥ川における洪水流量は、同じビクトリア湖流域の他の河川に比べ大きいのが、それは以下のような理由によるものと考えられる。

- (1) ビクトリア湖流域南東部は多雨地帯である。ソンドゥ川及びクジャ川はこの多雨地帯を水源としている。
- (2) ソンドゥ川上流域は約1000 km^2 に亘る保存森林地帯に覆われている。一方、中下流域は他河川流域に比較して、相当開発が進んでいる。

ダムサイトにおける10,000年確率洪水量はログピアソンⅢ型を用い、2,535 m^3/s と等定されたが、図6.1に示される様にサンプル数が44と少ない事から予測値における信頼度は高くないので後節6.4で検討されたPMFの裏付け及び設計された余水吐の安全度確認用として用いられる。

6.3 洪水流出特性

ソンドゥ川における洪水単位図を推定するため、9つの実測洪水記録を収集した。それらのハイドログラフを図6.2から図6.10に示す。さらに詳細記録を表6.3から表6.11に示してある。

これらの各洪水における流出特性を以下に要約する。

洪水発生期間	継続日数 (日)	ピーク洪水量 (m ³ /s)	基底流量 (m ³ /s)	直接流出量 (百万m ³)	流出率 (%)	ピーク遅れ時間 (日)	流出遅れ時間 (時間)
1957, 6/1 ~ 6/20	20	230	100	116	50.0	2-3	100.0
1962, 5/1 ~ 5/24	24	325	70	253	44.8	2-3	125.5
1964, 4/16 ~ 5/6	21	523	50-100	415	57.9	6-7	122.0
1968, 4/20 ~ 5/13	24	346	90-150	224	40.0	2-3	132.1
1977, 4/15 ~ 5/26	42	253	80	281	35.9	2-3	131.3
1978, 3/23 ~ 4/1	10	413	170-200	87	49.6	2-3	61.0
1981, 4/6 ~ 4/23	18	272	50	105	34.2	2-3	83.6
1982, 11/21 ~ 12/16	25	332	90	237	37.4	2-3	174.6
1990, 4/4 ~ 4/23	20	640	200	271	35.4	28-48時間	64.8
PMF推定のための指標	30	-	200	-	60.0	2-3	-

* ピーク遅れ時間とは、ピーク降雨発生時間とピーク洪水発生時間の時間差を示す。

* 流出遅れ時間とは、洪水をもたらしたハイトグラフの重心から、洪水ハイドログラフの重心までの時間差を意味する。

上述のごとくソンドゥ川における洪水は1ヵ月程度継続することがわかる。また、ピークが尖鋭化していない。ピーク遅れ時間も2~3日程度で比較的長い。また、洪水流出率も低く30%から60%である。これは、洪水前の流域の事前の状態によって異なってくる。

このように、ソンドゥ川における洪水は、尖鋭化しないピーク流出、長い継続時間に特徴づけられる。これは、ケリッチョ近郊に広がる湿地帯や、マウフォーレスト保存森林地帯がもたらす高い流域保水能力により、洪水の自然調節機能が働くためと考えられる。それに加えて、降雨パターンも、長期的に少しずつ降るためにこのような傾向になる。

Sondu/Miriu 及びマグワグワ調査団の調査期間中である、1990年4月に発生した洪水について調査した結果を以下に要約する。

- (1) 1 J G 1 におけるPeak洪水流量は、639 m³/s (4月7日午前0時)であった。これは過去45年間 (1947年~現在) における既応最大洪水に相当する。
- (2) この洪水の観測記録は、図6.10に示す通りであり、3つのピーク (4/7 0:00、4/9 8:00、4/11 20:00) が観測された。これまでの同流域における洪水と同様、流出時間の長いピークの鈍いのが特徴となっている。

(3) 降雨は、ピーク洪水発生の28時間以上前（4月5日）に、Sonde 川中流域から下流域に亘って、日雨量30～50mm程降っている。また、上流域においては、さらにその前日に、40mm程度の降雨があり、これらの降雨ピークが、ほぼ同時に発生し、既応最大洪水をもたらしている。

(4) 確率洪水量の算定の際に、90年洪水を採用した場合と、そうでない場合とを比較すると、以下のようなになる。

	1947～1988	1947～1990
5年洪水	320m ³ /s	339m ³ /s
25年洪水	600m ³ /s	641m ³ /s
100年洪水	890m ³ /s	958m ³ /s
200年洪水	1,060m ³ /s	1,140m ³ /s
1,000年洪水	1,500m ³ /s	1,634m ³ /s

6.4 可能最大洪水の推定

6.4.1 推定手順

単位図法により、マグワグワダム設計のための可能最大洪水(以下P.M.F.)を行った。推定手順は以下のとおりである。

- (1) 1 J G 1 水位観測所における無次元化洪水ハイドログラフの作成
- (2) 無次元化ハイドログラフ及び流域の地形的特性によりマグワグワダムサイトにおける単位図の作成
- (3) 流域降雨量-継続時間の解析及び、降雨最大化要因を基に可能最大降雨量(以下P.M.P)の推定
- (4) P.M.P ハイエットグラフ及び単位図を用いて、マグワグワダムサイトにおけるP.M.F ハイドログラフの算定

6.4.2 無次元ハイドログラフ

マグワグワダムサイトにおける単位洪水図を作成するために、まず1 J G 1 水位観測所における無次元ハイドログラフを作成する。資料は、6.3節に示した各実績洪水のハイドログラフを利用する。

無次元ハイドログラフ作成の対象となる洪水は、洪水をもたらした降雨と、洪水ハ

イドログラフとの関係が明確で、尖鋭化したピークを持つような洪水を選ぶことが必要である。しかしながら、6.3節に示した洪水のほとんどが降雨継続時間が長く、いくつもの単位降雨が重なり合って、ピーク洪水をもたらしている場合が多いため、適当な洪水を選定するのは困難である。

1964年洪水は、そのピーク洪水量が $530\text{m}^3/\text{s}$ で、これの対象洪水として適用可能性を検討した。しかしながら、この洪水をもたらした降雨は、2つのピークを持っており、ピーク遅れ時間が6～7日と他の洪水に比べ極端に長くなっているため、この洪水を採用することは適当でないと判断した。

一方、1978年洪水は、ピーク洪水量が $413\text{m}^3/\text{s}$ で過去44年間の観測で3番目の大きさである。他の洪水に比べピーク流量が尖鋭化されており、降雨と洪水の相関も比較的明確である。ピーク遅れ時間も2～3日である。従って、1978年洪水を対象洪水とした。

図6.11に1978年洪水の無次元化ハイドログラフを示す。また、参考に1964年洪水についても示すものとする。1990年洪水は既述最大の $640\text{m}^3/\text{s}$ ピーク流量を持つが、図6.10に示される様に3つのピークを持つので無次元化ハイドログラフを作成するのに適当でない。

6.4.3 単位ハイドログラフ

ソンドゥ川流域における単位洪水図は、単位降雨を10mmとして作成するものとする。また、単位時間については、洪水ハイドログラフの上昇部分の始点より、ハイドログラフの重心までの時間により定義される $T_{c,v}$ により決定する。USBRの“Design of Small Dams”によれば、単位時間は $T_{c,v}$ の25%以下にすべきとの記述がある。これを採用すると、1978年洪水の $T_{c,v}$ は、48時間と算定されるため、 $T_{c,v}$ は12時間と設定された。

流出遅れ時間 L_g は、超過降雨（直接流出する雨）ハエトグラフの重心から直接ハイドログラフの重心までの時間と定義される。これらについては、6.3節に示された通りである。1978年洪水における L_g は61時間と算定された。

マグワグワダムサイトにおける L_g は、以下に示すスナイダーの式により算定された。

$$L_g = C_t \times (L \times L_c)^{0.3}$$

ここに、 L_g : 流出遅れ時間 (m)

L : マグワグワダムサイトより、最上流地点までの最大流路長 (mile)

L_c : 流域重心地点よりマグワグワダムサイトまでの流路長 (mile)

C_t : スナイダー係数

ソンドゥ川流域におけるスナイダー係数は、1 J G 1における観測記録をもとに、上式を適用して $C_t = 4.9936$ が得られた。($L_g = 61$ 時間, $L = 86.06$ mile, $L_c = 48.78$ mile)。

この C_t を利用し、マグワグワダムサイトにおける L_g を求めると、以下のように39.13 時間と計算された。

$$L_g = 4.9936 \times (55.92 \times 17.09)^{0.9} = 39.13$$

このとき、 L 及び L_g は、マグワグワダムサイトにおける数値ではなく、貯水池上流端における数値を適用した。

これらの数値及び無次元グラフを利用して、単位洪水図を作成した。その結果を図6.12及び表6.12に示す。このとき、 $L_g + D/2 = 51.13$ 時間である (但し、 D は降雨継続時間であり、12時間である。)。

6.4.4 基底流量

単位図法においては、ハイドログラフを基底流出部分と直接流出部分に分けることが必要である。6.3節で述べたように、基底流出量は洪水発生前の流域の状況によりことなるが、過去の洪水記録より $50 \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定される。今回の調査においては、P.M.F.推定に際しては過去において最大の基底流出量である $200 \text{ m}^3/\text{s}$ を採用するものとする。

6.4.5 超過降雨

単位図法においては、降雨に関しても総降雨を洪水流出に直接関わった超過降雨と、森林などにより途中でさえぎられた降雨、土壤に浸透した降雨、蒸発降雨、蒸散等の損失降雨より構成される有効雨量に分ける必要がある。しかしながら、現状においてはこれらを明確に分けることは困難である。

従って、6.3節に示した実績洪水における降雨流出より、有効降雨を推定するものとする。前述の8つの洪水における流出率は34%~58%と推定された。これより、これらの最大値をとり、直接流出率を60%として、P.M.F.を推定するものとする。

6.4.6 湿度最大化係数

P.M.P. の推定にあたっては、実績最大降雨—継続時間曲線を最大化する手法を用いた。手順は以下に示す通りである。

(1) 豪雨時における露点温度

、豪雨時における露点温度は、以下に示す既応最大洪水発生時である1964年における実績を使用して算定した。

ケリッチョにおける月平均露点温度

露点温度(° F)		
月	6:00GTM	12:00GTM
3	52.6	54.3
4	55.2	60.2
5	53.3	59.5

上記記録より6:00GTMに観測された1964年4月の露点を使用するものとする。

ケリッチョにおける露点温度55.2° F(12.9℃)を平均海面標高における露点へ変換すると、以下ようになる。

気象観測所	標高 (ft)	露点温度 (°C)	海面露点温度 (°C)
ケリッチョ	7,000	12.9℃	22.3℃

(2) 最大露点温度

WMOによって作成された“Manual for estimation of PMP”によると、露点温度観測記録が50年に満たない場合は、確率分布解析により最大露点温度を推定することが望ましい旨の記述がある。今回の調査においては、ケリッチョにおける露点温度の確率分布を求め、100年確率露点温度を最大露点として採用するものとする。その結果を図6.13に示し、以下に要約する。

観測所名	月	実績最大露点 (℃)	100年確率露点 (℃)
ケリッチョ	3月	16.0	17.5
	4月	17.5	19.0
	5月	16.1	17.0

(3) 温度最大化係数

豪雨時における最大露点温度と4月における最大露点温度を利用して、WMOのマニュアルに従って温度最大化係数を算定すると、1.6となる。

6.4.7 可能最大降雨

以下の手順により可能最大降雨を算定した。

- (1) マグワグワダム流域における最大降水量-継続時間曲線を図4.6に示す。
- (2) (1)において求められている最大降雨に温度最大化係数1.6を乗じ、可能最大降雨-継続時間曲線を作成する。その結果は表6.13に示される。

12時間継続最大降雨は資料が不十分であったため、WMOのマニュアルに従って、24時間継続可能最大降雨の90%と推定した。

6.4.8 マグワグワダム地点における可能最大洪水(PMF)

継続時間30日のPMPハイトグラフを表6.14に示す。

このPMPハイトグラフと図6.12に示した単位図を利用し、P.M.F.ハイドログラフを推定した。その結果は表6.15及び図6.14に示す通りである。P.M.F.ピーク洪水量は、1,920 m³/sと算定され、これは1000年確率洪水の約1.18倍に相当する。

6.5 流域内の森林伐採による流出への影響

6.3節で述べたように、ソンドゥ川流域における洪水流出の特徴は、

- (1) 長期間(1ヶ月程度)に亘る洪水継続時間
- (2) 非尖鋭的な洪水ハイドログラフ

- (3) 洪水開始時点から、ピーク発生時間までの長い遅れ時間
- (4) 高い基底流量

上に述べたような流出特性は、降雨特性によるものの他に、流域の流出特性による
ところが多い。

図6.2から図6.10に示されるように、ソンドゥ川流域における豪雨の雨量強度はそれ
ほど大きくはないが、長期間継続することが多い。このような降雨特性は、比較的長
期間の間にいくつもの小さなピークが生じるような洪水ハイドログラフを作り易い。

それ以上に、流域の土地利用状況は、洪水流出特性に大きく影響を及ぼすものと考
えられる。

マグワグワダム流域における大まかな土地利用状況を調べると、図6.15のようにな
っており、これを以下に要約する。

土地利用形態	面積 (km ²)
森林	1,000
茶畑	250
準森林地帯	250
湿地帯	100
計	1,600km ²

(その他：1,560 km²)

上記4つの土地利用形態は、洪水の流域貯留効果に大きく貢献する土地利用形態で
あり、マグワグワダム流域の場合、集水面積の約50%程度を占めるに至っている。このよ
うな、流域における土地利用の状況が上記に示した様なソンドゥ川流域における洪水流出
特性と大きく関わっていると推定できる。

このことを実証するような実験が、ソンドゥ川流域のケリッチョにある試験流域で
なされており、これによると同試験流域において森林面積が34%減少したところ、流出高
が103mm増大したという実験結果が得られている(詳細は、“Effect of landuse on the
water and energy budgets of tropical watersheds.” by Dr. Pirein, H.C. (1967) を参照)。

このような実験結果から、ソンドゥ川流域における流出特性は、上流域に広がるマ
ウフォーレストによる自然貯留効果に大きく影響を受けていることを示している。

従って、今回の調査において推定したPMFは、現況の森林保存政策が為されているうえでの数値であることを銘記しておく。

第7章 堆砂解析

7.1 利用可能資料

1950年代までは、ソンドウ川流域の1JG1、1JG3、1JD1及び1JF1の主要水位観測所において、頻繁に浮遊砂のサンプリングが実施されていた。しかしながら、1958年から1980年の間は浮遊砂のサンプリングは実施されていない。

1980年以降、1JG1、1JG3、1JG4、1JG5及び1JD3、1JF8において再び浮遊砂のサンプリングが実施されるようになった。

マグワグワ貯水池における堆砂量を推定するために、以下に示すような浮遊砂採集記録を今回の調査において収集した。

河川名	観測所番号	集水面積 (km ²)	サンプル数	サンプリング期間
ソンドウ	1JG1	3.260	51	1948-58, 1984
	1JG3	3.470	10	1980 - 1985
	1JG4	3.360	9	1980 - 1985
	1JG5	3.250	19	1984 - 1985
	ユリス	1JD3	1.570	26
キプソノイ	1JF8	1.540	22	1984 - 1985

7.2 堆砂量-流量曲線

堆砂量と流量の関係曲線を表7.1から表7.6に示した各観測所における観測記録により求めた。その結果を以下に示す。

河川名	観測所番号	関係式
ソンドウ	1JG1	$W = 0.984 \times Q^{1.432}$
	1JG3	$W = 1.431 \times Q^{1.526}$
	1JG4	$W = 1.897 \times Q^{1.371}$
	1JG5	$W = 1.276 \times Q^{1.388}$
ユリス	1JD3	$W = 2.139 \times Q^{1.221}$
キプソノイ	1JF8	$W = 5.252 \times Q^{1.073}$

堆砂量－流量の関係は $W = a \times Q^b$ の式で表わされる。

ここに、 W : 堆砂量 (ton/日)

Q : 日単位流量

a, b : 係数

上に示すように、ソンドゥ川においては係数 a は、0.984～1.897、一方“ b ”は1.371～1.526の間で変化している。

パラメーター“ a ”はその値が大きければ大きい程低水期における浮遊砂が多いことを示している。従って、パラメーター“ a ”は主として通常時の河川水質を反映しており、河川沿いの開発の度合いにより影響を受けるといえよう。

一方、パラメーター“ b ”は、流域の植生や地質状況によって影響を受ける係数である。“ b ”が大きくなると、豪雨時における浮遊砂量の割合が通常時に比べ極端に多くなることを意味し、地質が軟らかいとか、流域の開発が進んでいることを示す指標となる。

ソンドゥ川においてはパラメーター“ b ”は、将来的にみても大きな変化はないと考えられる。流域一体は先カンブリア紀の地層に覆われ、相当安定した地質であるため、豪雨による浸食も小さいと考えられる。また、上流域はさらにマウフォーレスト保存森林地帯でもあるため、流域浸食は非常に小さいであろう。

マグワグワ貯水池の堆砂量の推定においては51のサンプリング資料を持つ、1JG1水位観測所における解析結果を用いるのが最も有効であろう。その関係曲線は図7.1に示す。

また、マグワグワ貯水池堆砂における主要な堆砂供給源を明らかにしておくため、ユリス川にある1JD3観測所と、キプソノイ川にある1JF8観測所における堆砂量－流量関係曲線を比較してみた（参照：図7.2）。

これを比較してみると、同じ流量が流入してきた場合には、キプソノイ川から流入する砂の量が多いという結果となる。しかしながら、実際にはマグワグワ貯水池へ流入する流量の70%がユリス川からであることから、流砂についてもユリス川からの供給の方が大きいと考えられる。

7.3 ソンドゥ川における流砂量の変化

ソンドゥ川における流砂量が長期的にどのように変化しているかを調査した。収集した1 J G 1資料を1950年代のものと、1980年代のものに分け、それぞれについて堆砂量-流量関係曲線を作成して両者を比較した。その結果は、図7.3に示される通りであり、それぞれの期間における関係式は以下の通りである。

$$1950年代の関係式: W = 0.984 \times Q^{1.432}$$

$$1980年代の関係式: W = 1.374 \times Q^{1.447}$$

ここに、 W : 流砂量 (ton/day)

Q : 日単位流量 (m^3/s)

このように、過去30年の間にパラメーター“ a ”の値は、やや増加しているものの、パラメーター“ b ”にほとんど変化はみられないことがわかる。従って、ここ30年においては、河川沿いの開発は進み、通常時における浮遊砂量は増加の傾向にあるが、極端な流域開発による植生の変化はないということを示していると言えるであろう。

7.4 マグワグワ貯水池における堆砂量の推定

以上に述べた様なソンドゥ川における流砂特性を考慮して、マグワグワ貯水池へ流入する堆砂量の推定を行う。7.2節で述べた様に流域の地質状況から今後も開発等により、パラメーター“ b ”の数値が大きく変化することはないと考えられる。一方、7.3節で示した様にパラメーター“ a ”については長期的に増大する傾向にある。

これらのことを鑑み、図7.4で示した記録の包絡線を適用し、マグワグワ貯水池への今後100年間に亘る堆砂量を推定するものとした。適用した関係曲線式は以下に示す通りである。

$$W = 4.34 \times Q^{1.487}$$

また、浮遊砂流入量の20%の掃流砂が同時に流入するものと仮定する。さらに、流入砂の密度は、 $1.2 \text{ ton}/m^3$ とする。

この関係式と、1947年から1988年までの1 J G 1水位観測所における日単位流量記録を利用して、シミュレーションを行った。その結果、年平均流入流砂量は、 $53,000 \text{ m}^3/\text{year}$ と計算され、これを流域浸食高に換算すると $0.168 \text{ mm}/\text{km}^2/\text{year}$ となる。

100年堆砂を考えると、貯水池内における総堆砂量は 53.1 百万 m^3 となる。水平堆砂を想定すると、貯水池堆砂標高は100年後には $E1, 1, 599 \text{ m}$ になると推定される。

第 8 章 ソンドゥ川における利水状況

8.1 利用可能資料

ケニアにおける水利権の発行は、水資源開発省（MOWD）によって行われている。MOWD本省には既得水利権データ・ベースがコンピューターにインプットされており、このデータ・ベースが利用可能である。

データ・ベースには、利権者名、取水量、取水目的、取水地点、水利権有効期限等が入力されている。

8.2 既得水利権

MOWDデータ・ベースにあるソンドゥ川流域における既得水利権の一覧表を表 8.1 に示す。また、各支流からの取水総量を目的別に以下に要約する。

河川名	取水量 (l/s)	取 水 目 的 (l/s)						
		飲料水 (l/s)	公共用水 (l/s)	小規模 かんがい (l/s)	工業 (l/s)	水力 (l/s)	大規模 かんがい (l/s)	その他 (l/s)
キプティゲット	0.60	0.60	—	—	—	—	—	—
キプソノイ	120.46	119.36	—	0.01	1.03	—	—	0.05
イタレ	214.34	96.62	—	—	—	117.72	—	—
チェモシット	1.81	0.84	0.18	—	0.63	0.16	—	—
サムブレット	0.55	0.55	—	—	—	—	—	—
セイ	1.00	1.00	—	—	—	—	—	—
ソングン	615.79	615.79	—	—	—	—	—	—
サオサ	3.66	2.26	—	—	1.41	—	—	—
ソンドゥ	1.81	1.81	—	—	—	—	—	—
合 計	960.02	838.83	0.18	0.01	3.07	117.88	—	0.05

上表に示す様に、ソンドゥ川流域における総取水量は960.02l/sとなっている。また、このリストには載っていないが、ダムサイトと発電所放水庭の間にあるソンドゥ村には、ニャカッチ地区水道計画の取水施設があり、実際に取水されている。この取水量は、79.64l/sである。これについても考慮する必要がある。

8.3 マグワグワダムサイトの必要河川維持流量

マグワグワダム建設候補地点は、ソンドゥ村の上流約10kmに位置している。このダムで貯留された河川水は導水トンネルを経て、ダム地点から約15km下流の発電所放水庭地点においてソンドゥ川へもどされる。このダムサイトから放水庭地点までの15kmに亘るソンドゥ川の河川機能を維持するために、ダムより河川維持放流を行うことが必要となる。維持流量の決定に関しては、通常既得水利権の保証の他、沿岸住民の生活用水及び河川内に生息する動植物の生命維持等を考慮し決定されるべきものである。ケニアにおいては河川管理のための水管理法が存在し、これがソンドゥ川における河川維持用水量決定に役立つものと考えられた。

しかしながら、ケニア水管理法において河川維持用水量決定に対する明確な記述はなく、担当者に水利権発行の基準を尋ねたところ、新規水利権発行に対しては以下のような基準があることが明らかになった。

- (1) 取水地点下流における既得水利権を保証すること。
- (2) (1)に加えて、標準年における渇水量 (95% of Flow duration)に相当する流量を下流住民の生活用水として保証すること。
- (3) (1)、(2)に加え、(2)の渇水量の30%に相当する流量を河川内に生息する動植物の生命維持のために保証すること。

この基準に従うと、マグワグワダム地点における河川維持流量は、(1) $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 、(2) $4.02\text{m}^3/\text{s}$ 、及び (3) $1.21\text{m}^3/\text{s}$ となり合計で $5.43\text{m}^3/\text{s}$ となる。

8.4 ニャカッチ地区水道計画

ニャカッチ地区水供給プロジェクトの対象地域はソンドゥ川右岸に広がる 355km^2 であり、その取水地点はマグワグワダム計画地点から約10km下流のソンドゥ村にある。

この計画の開発は二段階に分けて行なわれることがもくろまれている。公共水道の設置を目的とする第一段階は、1988年に完成し既にサービスが開始されている。第2段階においてはさらにサービスを広げ、各戸給水を計画目標としている。計画の概要は以下に示す通りである。

	第1段階	第2段階
完成目標年	1988年	2000年
サービス人口	132,000人	190,000人
水需要	80.6 l/s	133.8 l/s
浄水施設規模	75.6 l/s	129.12 l/s
取水容量	79.64 l/s	135.90 l/s

施設の位置関係よりマグワグワダムによる水力発電計画は、ニャカッチ水供給プロジェクトに大きな影響を及ぼすことが危惧される。このような状況に鑑み、マグワグワ水力発電計画立案の際には、以下のいずれかの方法により対策をたてることが不可欠である。

- (1) ダムより必要流量を放流する。
- (2) 取水施設をダム上流に移動させる。
- (3) 取水施設を発電所放水庭下流に移動させる。

8.5 貯水池周辺地域の水道計画

上述した様に、マグワグワダム下流のソンドゥ川の右岸側一帯の住民は、ニャカッチ水供給プロジェクトにより、水道用水の供給を受けている。一方、左岸側住民に対しては、まだそのような措置はなされておらず、飲料用水の水源として依然とソンドゥ川の水に頼るか、もしくは地下水に頼っているのが現状である。ダム建設後においては、ダムからの放流により河川水が急激に増えることもありうるため、未然に事故を防ぐためにも何らかの対策が必要となる。したがって、ソンドゥ川左岸側住民に対しても、公共水道を通じて生活用水を供給し、住民が河川に近づく機会を減らすような努力をすることが必要と考えられる。

マグワグワ貯水池上流のキブソノイ川沿いの町ソティックでは、ソティック水供給プロジェクトが計画されており、この対象地域はソティックからマグワグワ貯水池周辺地域の左岸側一帯となっている。このソティック水供給プロジェクトをさらに拡大し、ソンドゥ川左岸側一帯の下流地域まで水道ネットワークを広げ、地域住民が川へ近づく必要性を減らすことはもとより、ダム建設による恩恵を近隣住民が直接受けられる様なアプローチをすることが計画推進と共に考慮すべきであろう。

8.6 河川維持用水

8.3 節に示されたように、マグワグワダムより放流されるべき河川維持用水量は、 $5.43\text{ m}^3/\text{s}$ と算定された。しかしながら、以下の様な理由により河川維持用水は $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 程度に減じることが可能であると判断される。

(1) ニャカッチ水道取水地点をダムサイト地点あるいは放流庭地点へ移動させることにより、転流区間における既得水利権はなくなるためこの量 $0.2\text{ m}^3/\text{s}$ を $0\text{ m}^3/\text{s}$ とすることが出来る。

(2) ニャカッチ水供給プロジェクト第2段階開発及びソティック水供給プロジェクトの早期実施により、マグワグワダムより下流域に住む全ての住民が水道計画の受益者となることにより、下流域住民に対する生活用水としての維持放流 $4.02\text{ m}^3/\text{s}$ を $0\text{ m}^3/\text{s}$ とすることが可能である。

(3) 河川内動植物に対する維持流量 $1.21\text{ m}^3/\text{s}$ については、詳細な環境調査の結果を待つ必要があるが、現在までのところ転流区間において特に注目すべき魚類はみられず、また特に守るべき植物等もない。さらに、転流区間の 15 km はマグワグワダム地点から河口までの流路長の 30% の区間に相当するため、完全な転流とは言えず、通常 30% 程度の放流が妥当な維持流量であろうとのMOWDのコメントがあった。したがって、河川内動植物の生命維持用水としては、 $1.21\text{ m}^3/\text{s}$ から $0.402\text{ m}^3/\text{s}$ に減少させることが可能である。

付 表

表 3.1 月平均気温

												Unit: °C	
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
RISUMU													
(at 6:00 AM.)													
1976	-	-	-	-	-	-	20.5	20.9	21.4	23.9	23.4	23.8	-
1977	-	-	-	-	-	21.1	20.4	21.0	22.4	23.8	22.3	23.0	-
1978	22.5	22.5	22.2	22.5	21.8	20.9	20.2	21.1	21.5	22.8	22.8	23.1	22.0
1979	22.7	21.8	22.9	22.7	22.3	21.2	20.6	21.2	22.1	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	23.8	24.1	22.9	22.4	22.5	21.5	20.5	20.9	22.3	23.9	24.1	23.1	22.7
1982	23.4	23.2	24.2	23.0	22.5	21.6	20.8	20.8	22.1	22.6	22.5	22.7	22.5
1983	23.4	23.9	24.6	23.4	23.2	22.1	21.5	21.4	22.3	23.0	23.6	22.3	22.9
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	22.8	22.6	22.5	22.4	22.3	20.9	20.7	21.6	22.1	23.8	23.5	23.1	22.4
AVERAGE	23.1	23.0	23.2	22.7	22.4	21.3	20.7	21.1	22.0	23.4	23.2	23.0	22.4
(at 12:00 Noon)													
1976	-	-	-	-	-	-	26.4	27.2	28.4	30.9	28.6	29.5	-
1977	-	-	-	-	-	26.6	26.7	27.5	29.0	29.8	26.2	28.3	-
1978	28.9	29.3	27.0	27.5	27.1	26.6	26.5	27.3	28.2	28.4	28.1	27.6	27.7
1979	29.0	27.3	29.2	27.9	27.3	26.5	27.1	28.1	29.3	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	30.8	31.1	28.8	27.2	27.3	28.0	26.2	28.0	28.1	30.1	30.4	30.0	28.8
1982	30.4	30.3	31.0	28.3	27.6	27.6	27.6	27.5	28.8	28.1	26.3	27.9	28.5
1983	30.1	31.2	32.0	29.4	28.8	28.0	28.1	27.1	28.8	28.7	28.7	28.4	29.1
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	29.5	29.4	28.7	27.1	27.3	26.0	27.4	29.3	29.2	29.5	28.5	27.8	28.3
AVERAGE	29.8	29.8	29.5	27.9	27.6	27.0	27.0	27.8	28.7	29.4	28.1	28.5	28.4
KERICHO													
(at 6:00 AM.)													
1976	-	-	-	-	-	-	14.6	15.2	16.7	18.6	17.9	17.7	-
1977	-	-	-	-	-	15.4	14.5	15.7	17.3	18.0	16.8	17.4	-
1978	17.0	17.3	16.4	17.1	16.8	15.2	14.5	15.2	16.3	17.3	16.9	16.9	16.4
1979	17.9	17.4	16.8	16.7	16.6	15.6	14.8	15.3	16.5	18.0	17.4	17.2	16.7
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	17.6	-	18.5	16.8	16.0	15.6	15.0	14.9	16.6	16.6	-	17.2	-
1983	17.2	17.7	18.8	17.5	17.3	16.1	15.3	-	16.5	17.4	17.6	16.7	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	16.6	17.7	17.5	16.8	17.2	15.9	15.6	16.6	16.7	18.6	17.8	16.8	17.0
AVERAGE	17.3	17.5	17.6	17.0	16.8	15.6	14.9	15.5	16.7	17.8	17.4	17.1	16.8
(at 12:00 Noon)													
1976	-	-	-	-	-	-	16.9	17.4	18.2	21.6	19.6	21.3	-
1977	-	-	-	-	-	17.6	18.3	17.5	18.4	19.0	16.8	20.2	-
1978	21.5	21.4	19.3	19.1	18.8	18.3	18.6	17.5	17.2	17.6	18.9	20.3	19.0
1979	20.3	20.1	21.9	19.9	18.4	18.1	18.8	18.9	18.8	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	23.3	23.3	20.2	19.0	19.2	20.0	17.4	16.9	17.3	18.6	21.5	22.1	19.9
1982	22.9	-	23.9	18.4	16.8	19.2	18.1	17.1	19.7	17.9	-	20.7	-
1983	21.9	22.8	24.0	20.7	18.1	19.0	18.7	-	17.1	17.6	18.5	19.7	19.8
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	21.8	23.6	22.6	18.8	18.2	18.2	19.3	18.2	18.4	19.5	20.5	20.7	20.0
AVERAGE	22.0	22.2	22.0	19.3	18.3	18.6	18.3	17.6	18.1	18.8	19.3	20.7	19.6
KISHI													
(at 6:00 AM.)													
1983	20.0	20.2	20.8	19.3	19.5	18.7	17.7	17.9	18.5	19.0	19.3	18.5	19.1
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	19.7	19.8	19.4	18.7	18.3	17.6	17.2	17.7	18.2	19.4	19.4	19.5	18.7
AVERAGE	19.9	20.0	20.1	19.0	18.9	18.2	17.5	17.8	18.4	19.2	19.4	19.0	18.9
(at 12:00 Noon)													
1983	24.7	25.9	27.4	23.3	24.1	23.5	23	22.6	23.4	21.2	22.8	22.5	23.7
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	19.7	19.8	19.4	18.7	18.3	17.6	17.2	17.7	18.2	19.4	19.4	19.5	18.7
AVERAGE	22.2	22.9	23.4	21.0	21.2	20.6	20.1	20.2	20.8	20.3	21.1	21.0	21.2

表 3. 2 月平均蒸発量

Unit : mm/day												
YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
AHERO MARKET												
1984	5.81	7.52	7.27	5.89	5.54	5.17	4.86	5.13	5.87	5.53	5.39	5.60
1985	6.80	6.34	6.71	4.92	4.76	4.81	4.61	5.03	5.61	6.19	5.40	6.18
1986	5.87	6.59	6.19	5.29	4.92	4.33	4.66	5.23	5.44	5.80	4.78	5.31
1987	5.86	6.52	6.22	5.77	4.58	4.61	4.97	5.23	5.78	5.76	5.14	5.82
1988	6.02	6.14	5.65	4.56	4.86	4.66	4.41	4.92	-	5.38	5.21	5.38
1989	5.67	6.40	6.37	-	4.62	4.78	4.60	5.42	4.92	4.96	5.21	4.97
Average	6.00	6.58	6.40	5.29	4.88	4.73	4.68	5.16	5.52	5.60	5.19	5.54
KERICHO T.R.I.												
1984	3.73	5.01	5.35	3.04	2.70	2.52	2.67	2.43	3.29	3.27	2.82	3.83
1985	4.04	3.74	4.27	2.07	2.18	2.57	2.15	2.47	3.13	3.63	3.10	3.74
1986	3.37	4.74	4.23	2.68	2.44	2.34	2.65	2.86	3.15	3.12	3.21	3.13
1987	3.56	4.05	3.77	3.32	1.99	2.39	3.12	2.96	4.20	3.27	2.78	4.01
1988	3.46	4.30	3.45	2.35	3.11	2.59	2.25	2.24	2.23	2.67	3.02	3.70
1989	3.28	4.22	3.70	2.71	2.51	3.24	2.41	2.62	3.15	-	-	3.07
Average	3.57	4.34	4.13	2.70	2.49	2.61	2.54	2.60	3.19	3.19	2.99	3.58
SOTIK WATER SUPPLY												
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	4.33	3.70	4.42	3.92	4.32	4.12	4.10
1989	3.83	5.28	5.01	4.61	-	-	3.76	4.37	5.22	4.24	5.01	4.64
Average	3.83	5.28	5.01	4.61	-	4.33	3.73	4.39	4.57	4.28	4.57	4.37

表 4.1 ソンドン川流域における年降雨 (1/3)

ID.No.	9034024	9035001	9035003	9035013	9035067	9035075	9035079	9035129	9035233	9035253	9035260	9035261	9035292
ST.	Crigmore	Jamji	Kericho	Sotik	Reginget	Kausage	Kenwik	Marindas	Teret	Cheplwa	Kotwa	Ngoina	Ndoinct
Name	Sotik	Estate	DC	Monieri	Estate	House	Mission	Farm	Forest St	S. Scheme	Estate	Estate	Forest St
LAT.	0°49'S	0°28'S	0°23'S	0°40'S	0°25'S	0°20'S	0°45'S	0°21'S	0°27'S	0°49'S	0°37'S	0°33'S	0°25'S
LONG.	34°59'E	35°12'E	35°17'E	35°04'E	35°41'E	35°23'E	35°20'E	35°42'E	35°37'E	35°06'E	35°19'E	35°03'E	35°33'E
ALT.	El.1951m	El.1829m	El.1981m	El.1813m	El.2697m	El.2195m	El.2012m	El.2804m	El.2438m	El.1829m	El.2256m	El.2012m	El.2439m
Yr \ Rain													
1905			2237										
1906			1804										
1907			1515										
1908			2058										
1909			1379										
1910			1849										
1911			1633										
1912			1813										
1913			1647										
1914			1928										
1915			2032										
1916			2079										
1917			2152										
1918			1167										
1919			1940										
1920			1678										
1921			1364										
1922			1950										
1923			2178										
1924		1405	1672										
1925		1540	1727										
1926		1961	2267										
1927		1220	1668										
1928		1645	1739										
1929	1478	1156	1471										
1930	1650	1829	2044										
1931	1488	1828	1937										
1932	1390	1608	1766										
1933	1256	1327	1637										