

(仮訳)

Key Issues :

4 : 貯水池の堆砂

気候区分 :

Af : 熱帯雨林気候

主題 :

- 堆砂の管理

効果 :

- Telom トンネルへの土砂流入の防止
- Ringlet 貯水池の堆砂防止



Sultan Abu Bakar ダム

プロジェクト名 : Cameron Highlands 水力発電プロジェクト

国名 : マレーシア、Pahang 州

実施機関 / 実施期間 :

- プロジェクト : Tenaga Nasional Berhad 社 (TNB)
1978 年 (建設完了) -
- Good Practice : Tenaga Nasional Berhad 社 (TNB)
1970 年代 -

キーワード :

堆砂、土地利用の変化、土砂排除、土砂回収設備 (沈砂池)

要旨 :

1970 年代初頭以来、5 箇所の発電所の運転や保守への影響を最小限にするために Cameron Highlands 水力発電所群の至る所で堆砂緩和策が定期的 to 実施されてきた。これらの対策には、土砂を滞留させる堰の設置、土砂のポンプアップ及びトンネル内の堆砂除去があり、貯水池への土砂流入を低減させている。

1. プロジェクトの概要

Cameron Highlands 水力発電所群は、マレーシア Pahang 州の北西部に位置し、1957 年～1964 年の間で発電所が建設された。このプロジェクトは、4 箇所の小規模な流れ込み式発電所と 1 箇所の貯水池式発電所の計 5 箇所の水力発電所で構成されている。

100 MW の地下発電所を有する貯水池式発電計画の主要な特徴は、放流ゲートをもつ高さ 40m のバットレスダム Sg. Plau ' ur 川、Sg. Kial 川、Sg. Kodol 川、Sg. Telom 川の 4 地点の転流計画、約 20km のトンネル Bertam 川の取水口、その他付属設備である。主な諸元及び水力発電プロジェクトの計画をそれぞれ表 1、表 2、図 1 に示す。

表 1 Sultan Abu Bakar ダム諸元 (Ringlet 貯水池)

総貯水容量	[M]	6.7
有効貯水容量	[M]	4.7
ダム高	[m]	40
ダム型式	[m]	コンクリート及びロックフィル
最高水位	[EL. M]	1,068.3
最低水位	[EL. M]	1,065.3

(仮訳)

表2 水力発電計画

Item		Kampung Raja P/S	Kuala Terla P/S	Robinson Falls P/S	Habu P/S	Sultan Yussuf P/S
最大出力	[MW]	1 x 0.8	1 x 0.5	3 x 0.3	2 x 2.75	4 x 25.0
最大使用水量	[m ³ /sec]	1.253	1.718	0.173	4.347	5.493
有効落差	[m]	80	37	235	91	573
総落差	[m]	83.8	39.3	243.7	97.5	587.3
年間発電電力量	[GWh]	6	5	7	32	320
運転開始年		1964	1964	1959	1964	1963
取水位	[EL. m]	1,378.3	1,284.7	1,1410.6	1,165.7	1,070.8
放水位	[EL. m]	1,296.3	1,245.62	1,172.0	1,071.2	493.5
流域面積	[km ²]	30.8	43.3	21.4	132.7	183.4
発電形式		流れ込み式	流れ込み式	流れ込み式	流れ込み式	ダム水路式
水車型式		HF	HF	HP	HF	HP

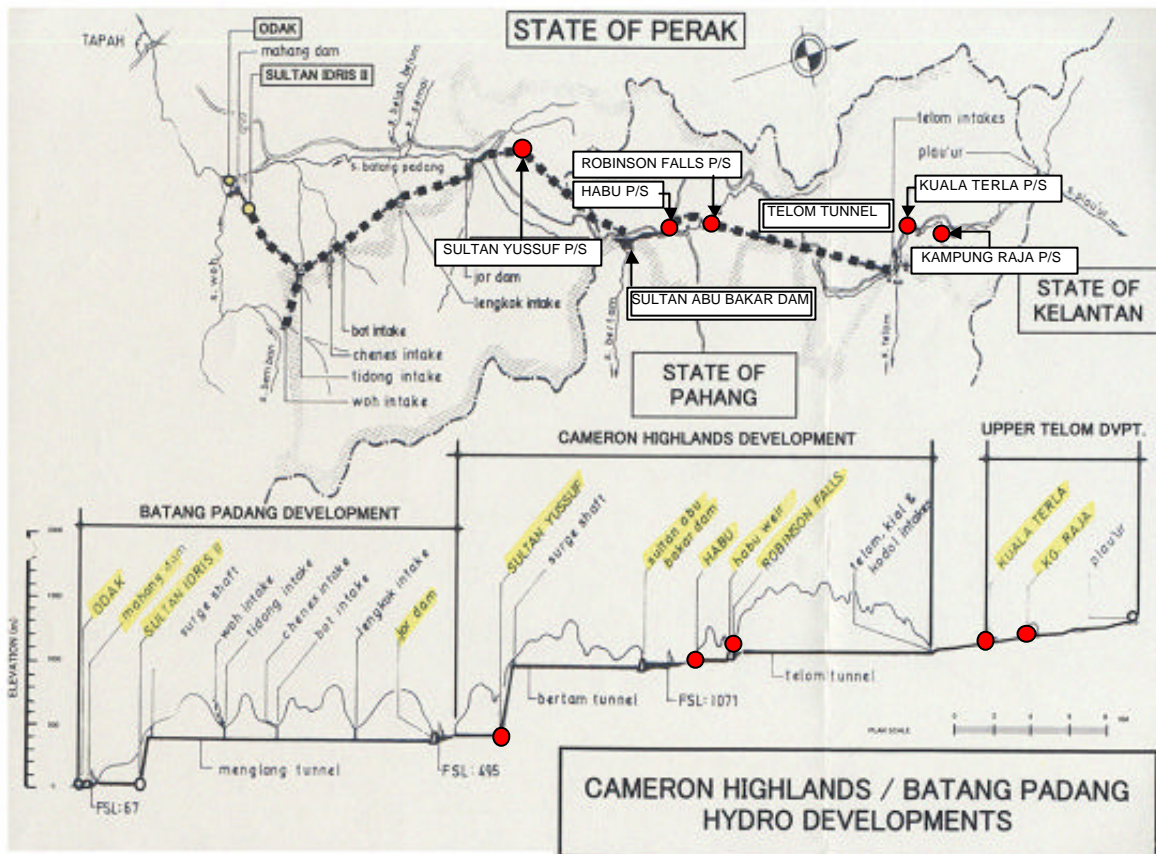


図1 Cameron Highlands 水力発電所群の概要図

Ringlet 貯水池は Sg. Bertam 川に設置したコンクリートダムで形成された人造湖である。この貯水池は Sg. Bertam 川とその支流の水、そして Telom 集水域から Telom トンネルを通じて Bertam 集水域へ流れ込む水を貯留する。貯水池の総貯水容量は約 670 万 m³ であり、そのうち有効貯水容量は 470 万 m³ である。Ringlet 貯水池の水は、水路トンネルを通じて Sultan Yussuf 水力発電所に導水され、発電に使用された水は、放水路トンネルを経て Batang Padang 水力発電プロジェクトの Jor 貯水池に放流される。

Ringlet 貯水池は 200 万 m³ の死水容量を有しており、約 80 年間は有効に利用できると考えられていた。

2. プロジェクト地域の特徴

2.1 流域の特徴

Cameron Highlands 水力発電所群の流域は、マレーシア半島の Main Range に位置する。流域内には、最も高い標高 2,032m の Gunung Brinchang 山や、標高 1,524m を超える山々があり、集水区域の平均標高は約 1,180m である。

Ringlet 貯水池に水を供給する Cameron Highlands の流域面積は 183km² であり、幾つかの副集水域を持っている。Cameron Highlands 集水域の主要な河川である Sg. Telom 川と Sg. Bertam 川は東方に向かって Sg. Pahang 川に流れ込み、マレーシア半島東海岸の南シナ海に続いている。

表 3 Cameron Highlands 流域面積の内訳

主要な流域	支流	面積 [km ²]	合計 [km ²]
Telom	Plau'ur	9.6	110
	Kial	22.7	
	Kodol	1.3	
	Telom	76.4	
Bertam	Bertam	73	73

2.2 土地利用変化

1960年代の Cameron Highlands/Batang Padang 発電所の建設により、発電設備に加えて、Cameron Highlands 地域の内陸部へ向かう幾つかの良いアクセス道路が整備された。したがって、このアクセスは、工事期間中・工事後において、周辺地域の開発や経済活動の発展の促進を支えている。Cameron Highlands 地域内の森林は、農業や建設活動のための道路を建設するため次第に切り開かれてきている。

表 4 Bertam 流域の土地利用変化の状況

植生/土地利用	Bertam 流域 [km ²]		
	1950's	1980's	1990's
森林	46.5	45.1	43.5
茶畑/果樹園	15.2	10.4	6.6
野菜畑/草花	5.1	7.0	8.1
市街地	-	4.1	4.2
平地/牧草地/低木林	5.8	6.0	10.2

表 5 Telom 流域の土地利用変化の状況

植生/土地利用	Telom 流域 [km ²]		
	1950's	1980's	1990's
森林	99.1	90.3	74.1
茶畑/果樹園	6.3	6.2	6.2
野菜畑/草花	5.0	10.7	23.2
市街地	-	0.5	1.1
平地/牧草地/低木林	-	2.7	5.8

(仮訳)

3. 主要な影響

農業及び住宅地開発のための Cameron Highlands 地域における大規模な森林伐採や見境のないブルドーザーによる整地は、地表面で広範囲の土壌浸食をもたらした。特に Cameron Highlands プロジェクト流域で生じている土壌浸食の範囲は、自然植物の消滅による環境への影響と水力発電所の発電運転が主要な原因となってますます増加している。浸食された土壌は、発電所が取水するための河川や Ringlet 貯水池内の堆砂につながっている。発電所に流入した大量の堆積土砂は、発電設備に損傷を与えその寿命を短くする。一方 Ringlet 貯水池に残った大量の堆積土砂は、貯水池が有効に利用できる年数を短くするだけでなく貯水機能にも悪影響を及ぼす。

Ringlet 貯水池で水質及び水生生物への影響が発生し、これまでに大量の堆積土砂（シルト分）と化学物質の成分（例；殺虫剤 化学肥料）が魚族の死亡やヒヤシンスの異常発生をもたらし、地すべりによって人的損失同様に土地財産や農業収穫の減少を引き起こしたとも報告されている。

水力発電プロジェクト区域内の開発の影響を調査するために、これまでに多くの研究が実施された。研究報告書（Choy; 1987 年, 1989 年, 1991 年）では、Cameron Highlands 水力発電所群の発生電力量だけでなく、発電所の運転と設備のメンテナンスが、その土地開発によって影響を受けることを示した。堆積土砂の重大性は、Telom トンネルの通水量が 40% まで減少したことを報告した研究（WLP, 1986 年）につながった。

- 土地利用の影響に関する更なる研究（Choy & Hamzah; 2001 年, Choy; 2002 年）及び最近行われた幾つかの既往研究レビューは、次の調査結果を示した：
- 集水域内の市街化された地域の年平均温度が近年わずかに上昇した。
- 土地利用変更の後、集水域内の年平均流出量が増加した（図 2、図 3）。

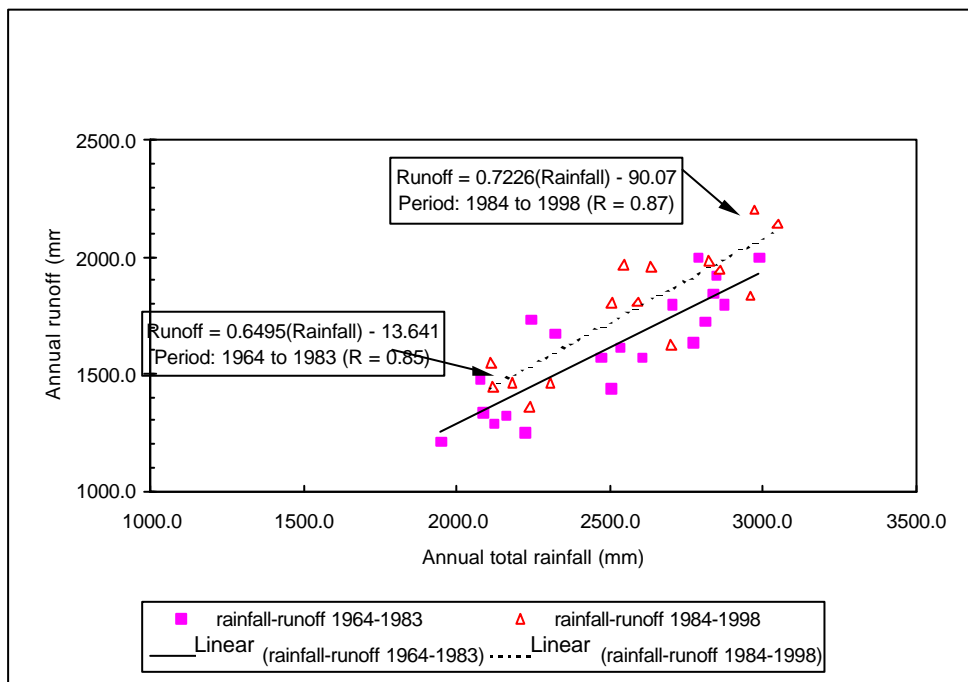


図 2 Bertam 上流域の降雨量と流出量の相関性（2つの異なる期間）

(仮訳)

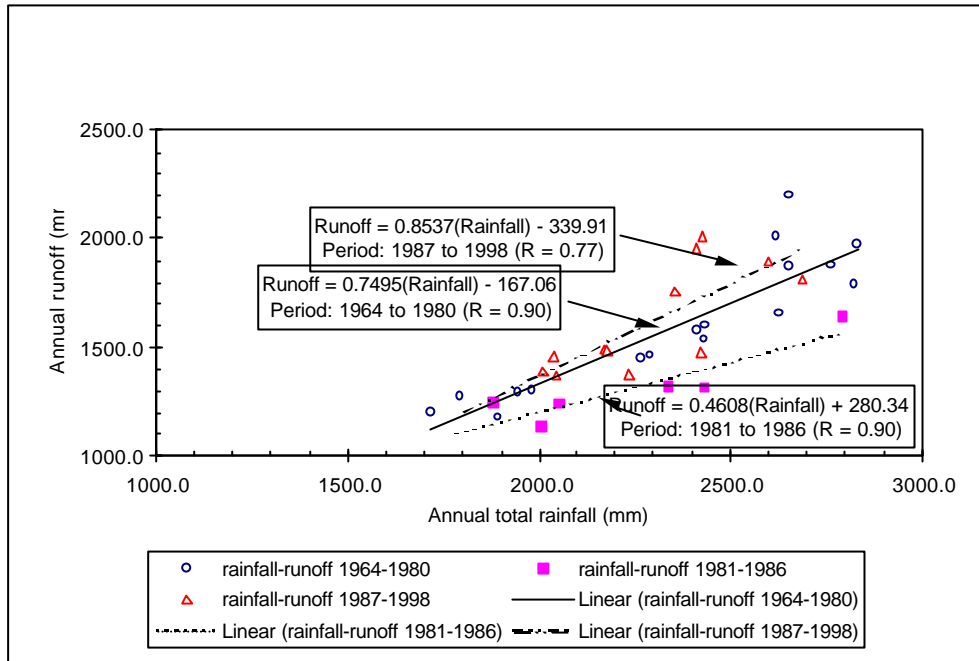


図3 Sg.Telom 地域の降雨量と流出量の相関性 (3つの異なる期間)

- 乾季における浸透水量の減少、雨季における取水停止またはピーク流入量の増大による向こう放流の増加によって発電利水が減少した。(図4、図5)

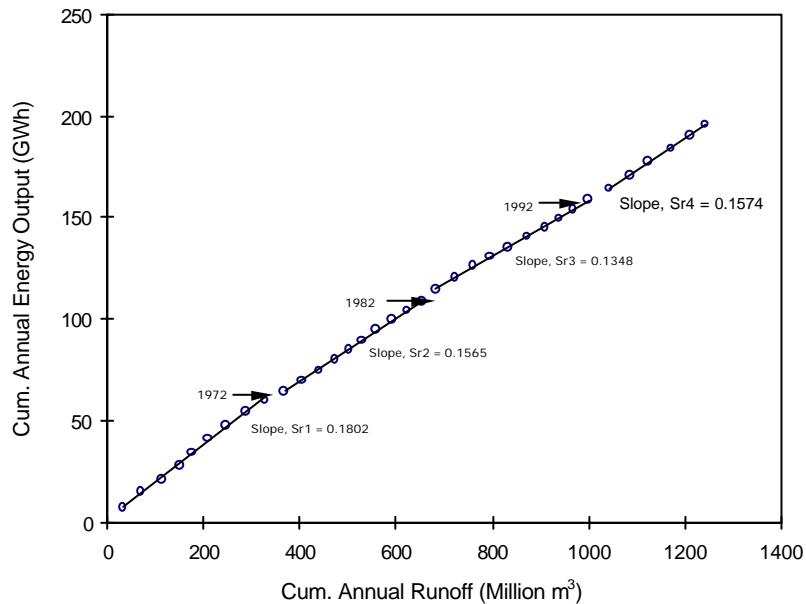


図4 Robinson Falls 発電所のダブルマスカーブ (年間流出量と年間発電電力量) (1964 to 1998)

(仮訳)

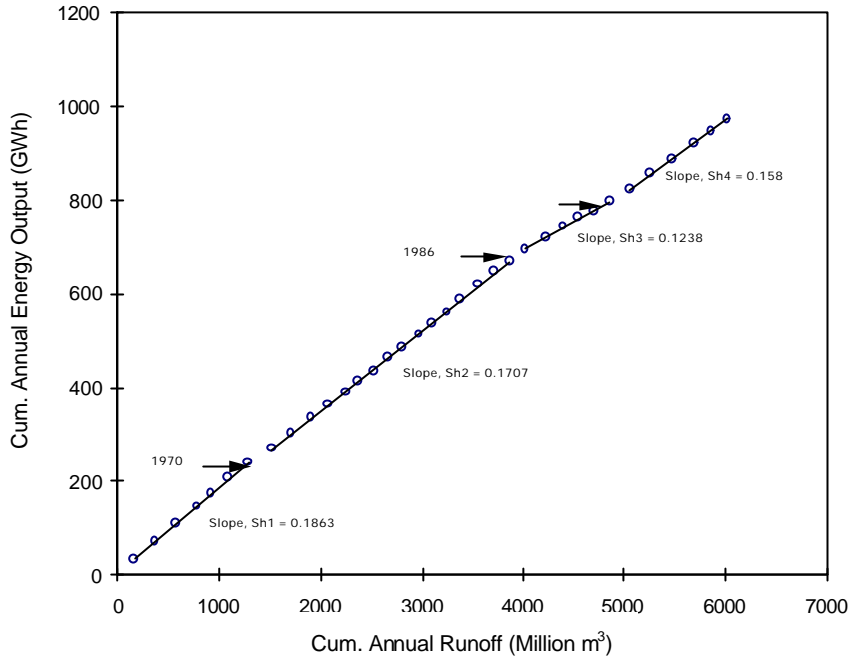


図5 Habu 発電所のダブルマスカープ
(年間流出量と年間発電電力量) (1964 to 1998)

- 1960年代以来、Sg. Telom川とSg. Bertam川の浮流砂量がそれぞれ20倍、17倍に増加した(図6、図7)。

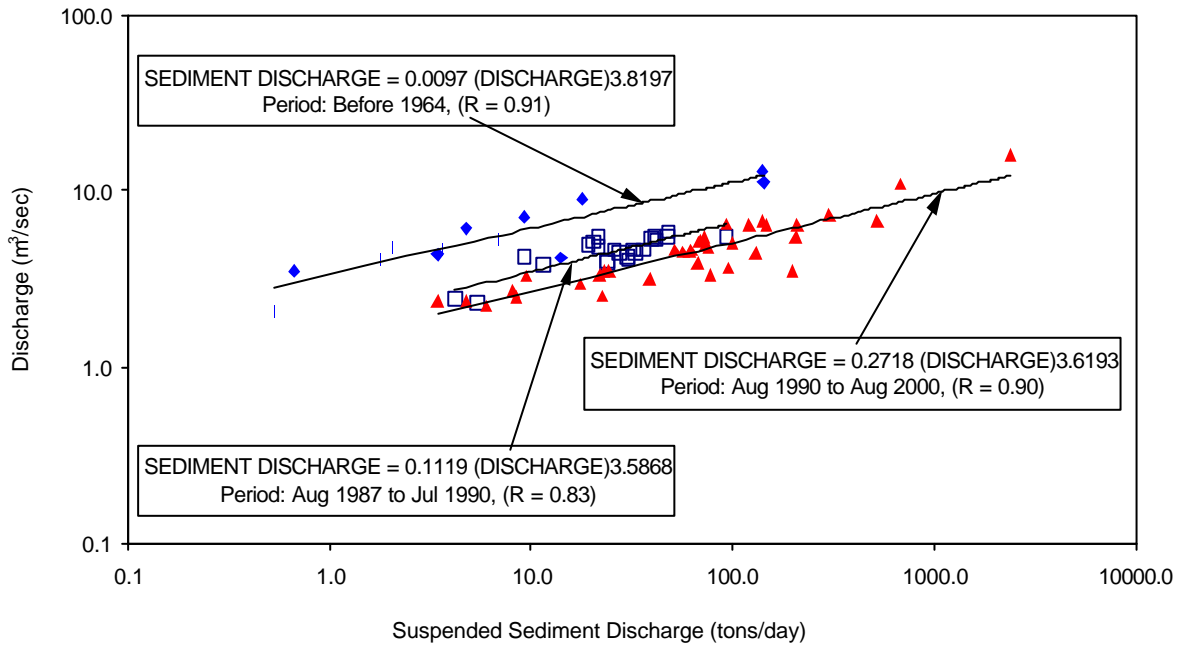


図6 堆砂流量曲線 - Sg. Telom at 49 M.S.
(before 1964 and from August 1987 to now)

(仮訳)

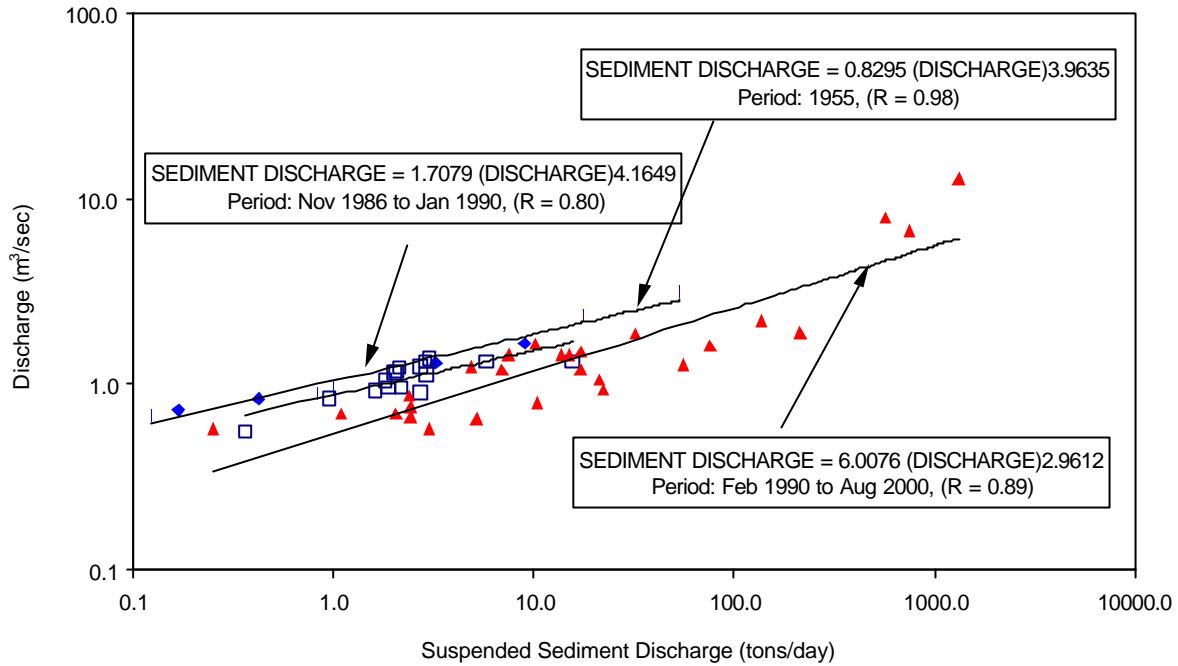


図7 堆砂流量曲線 – Sg. Bertam at Robinson Falls
(before 1955 and from November 1986 to now)

1963年の運転開始以降、Ringlet貯水池は堆砂により総貯水容量の約53% (計算の結果 約350~400万m³相当)を失った。Ringlet貯水池の貯水容量曲線を図8に示す。Ringlet貯水池において計算された堆砂進行速度は年間350,000~400,000m³の間の範囲にある。図9は、年間ベースでBruneの手法を用いて算出した、長期にわたるRinglet貯水池の沈砂効率の減少を示したものであり、このグラフによれば、現在における貯水池の沈砂効率は約56%である。

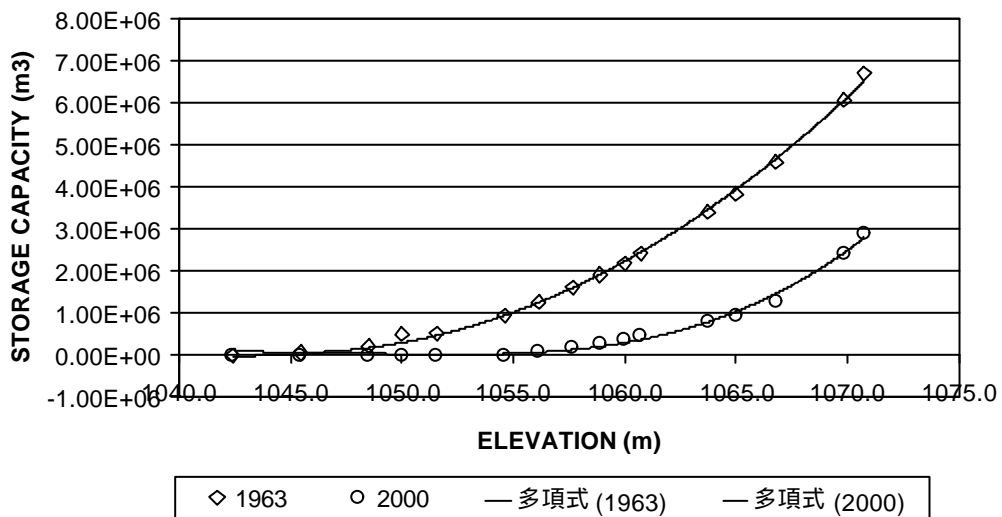


図8 Ringlet貯水池の貯水容量曲線 (1963年と2000年)
(Choy & Hamzah、2000)

(仮訳)

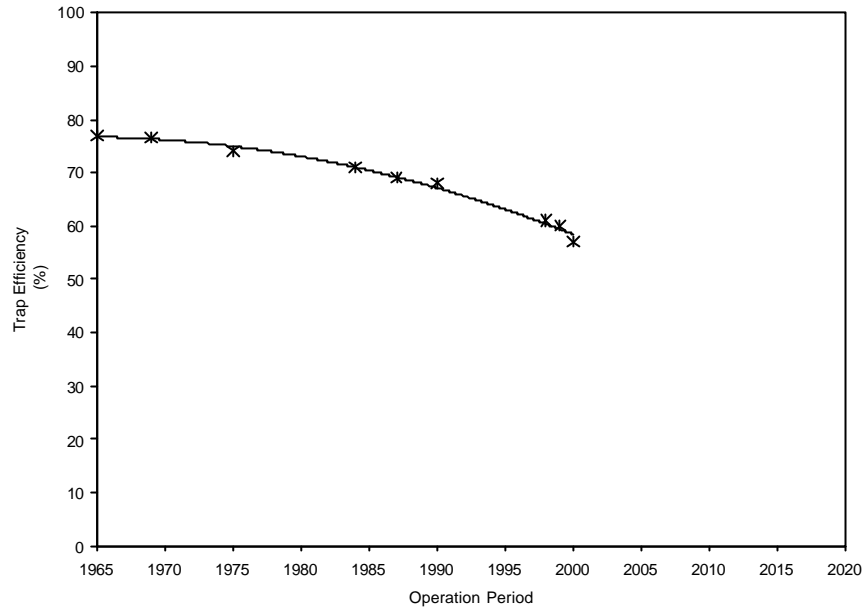


図9 Ringlet 貯水池における沈砂効率の経年変化

流入土砂の大部分は意外にも Ringlet 貯水池に堆積することなく、Sultan Yussuf 発電所まで流下し、Jor 貯水池に注がれる。現在、Jor 貯水池では総貯水量 390 万 m³ の 45.2% に相当する土砂が堆積している。1999 年～2000 年にかけて実施した研究報告書 (SNC-Lavalin, 2000 年) では Ringlet 貯水池における堆砂量はダム自体の安全性に影響を及ぼしていないとの結果を示している。しかしながら、貯水池の有効容量の大幅な減少は Sultan Yussuf 発電所が国際連携システムの負荷要求のためにピーク発電させるための機能を大きく低下させ、洪水調節のための貯留機能も低下させることになる。前者については、他の流れ込み式発電所の発電能力と少しも異ならないようになるため、Sultan Yussuf 発電所の財務上の損失につながるようになるであろう。後者については、洪水調節能力のないダムとしてリスクが生じるとともに、今後、モンスーン期間中には Bertam 渓谷において頻繁に氾濫が引き起こされることになるであろう。

4. 影響緩和策

1970 年代初頭以来、環境影響緩和策 (Choy & Fuad Omar, 1990; Choy & Fauzan, 1997) は 5 箇所の発電所の運転や保守への堆砂による影響を最小限にするために Cameron Highlands 発電所群の至る所で定期的に行われている。これらの対策は、以下の通りである。

- Kampung Raja、Kuala Terla 及び Habu 発電所の取水堰の背面に貯まった土砂の人力による除去。
- 70 年代後半の Sg. Ringlet における土砂を滞留させる小規模な堰の設置、及び 90 年代前半の Habu 発電所における土砂を滞留させるコンクリート製の堰の設置。
- Telom 及び Robinson Falls 取水口上流側、Ringlet 及び Habu 貯水池内の堆積土砂のポンプアップによる除去。
- 70 年代及び 90 年代前半の Telom トンネルの土砂排除。
- 土砂排除効率の向上を目的とした、Telom 取水口の前面への新しい土砂回収設備 (沈砂池) 設置。

(仮訳)



写真1 Telom 取水口の前面にある土砂回収設備（沈砂池）

5. 影響緩和策の効果

前述した影響緩和策の結果、図10に示すような莫大な Ringlet 貯水池への土砂流入が防止され、貯水池内の堆積土砂量が減少した。

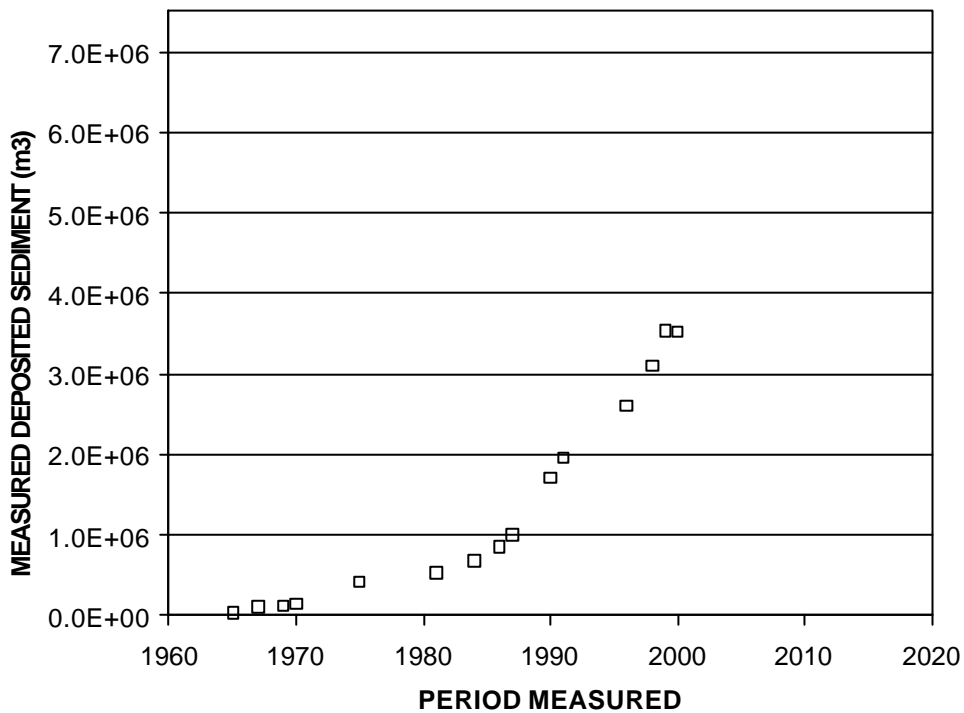


図10 Ringlet 貯水池 - 堆砂進行速度

- 土砂流入防止対策を実施しなければ、貯水池容量は理論上、2000年未もしくはそれ以前までに失ってしまう。
- 70年代半ばから90年代前半にかけて土砂排除作業を実施したことにより、Ringlet 貯水池において、150万 m³以上の土砂流入と土砂堆積が防止されたと考えられる。
- Telom 取水口の土砂回収設備の設置、Habu 発電所の土砂滞留堰の設置、そして定期的な土砂排除作業はここ数年間で少なくとも150万 m³の Ringlet 貯水池内への土砂堆積を防止した。
- これは、河川流量あたり電力エネルギーが生み出される量が増加する (kWh/m³) という改善効果がある。

(仮訳)

6. 成功の要因

70年代～90年代前半の期間で完了した土砂排除作業、Telom 土砂回収設備及び Habu 土砂滞留堰の設置は Ringlet 貯水池への流入土砂の減少という実用的で有益な成果をもたらした。しかしながら、以下のことを考慮に入れなければならない。

- 影響緩和策は Ringlet 貯水池への土砂流入を単に減少させることができるだけであり、堆砂を完全に防止することはできない。
- Ringlet 貯水池には総貯水容量の約 53%の土砂が既に堆積している。
- 将来、Cameron Highlands 地域で開発拡張計画がある。
- 下記に示す対策を早急を実施することが必要である。
 - 今後、貯水池内への流入土砂を更に減少させるため、Ringlet 貯水池の湛水上流端に別の土砂滞留堰を設置すること。
 - 堆砂のために失った貯水容量を回復させるため、貯水池内の浚渫（土砂排除）の可能性を調査検討すること。
 - 流域管理計画の検討を実施するとともに、将来の全ての開発プロジェクトにおいて、土壌保全対策の実行を課せること。

7. 詳細情報の入手先等

7.1 参考文献

- 1) Fook Kun, CHOY, Fauzan HAMZAH: Cameron Highlands Hydroelectric Scheme-Performance of the Ringlet Reservoir, ICOLD, Florence, Italy, 1997.
- 2) Fook Kun, CHOY, Fauzan HAMZAH: Cameron Highlands Hydroelectric Scheme- Landuse Changes Impacts and Issues, Hydropower 01, Bergen, Norway, 2001.
- 3) Fook Kun, CHOY: Cameron Highlands Hydroelectric Scheme- Landuse Impacts On Performance and development. International Symposium On Reservoir Management In Tropical and Sub-Tropical Regions, Iguassu, Brazil 2002.

7.2 問い合わせ先

TNB Hidro Sdn. Bhd.

Tel: +60-5-243-5822

Fax: +60-5-243-5823

E-mail: nismail@tnbh.com.my