

# ケニア国ソンドゥ・ミリウ水力発電所建設事業 導水トンネル建設報告

迫田至誠\*

日本工営株式会社 コンサルタント海外事業本部（〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2）  
E-mail: a2144@n-koei.co.jp

ソンドゥ・ミリウ水力発電所建設事業は、ケニア国ニャンザ州のソンドゥ川に取水堰を建設し196.6mの落差を利用して最大出力60MW、年間電力量331GWhの発電所を建設する事業である。1985年のソンドゥ川総合開発調査での当事業の形成以来2008年の発電運転開始までの23年間に渡り、日本は一貫して技術支援及び資金援助をケニアに行ってきた。

建設工事は1999年3月に着工し2008年3月に完成した。当事業で建設した内径4.2m、延長6.3kmの導水トンネル工事の施工及び当事業での環境問題について報告する。

**Key Words :** Kenya, hydropower, tunnel, environment, technical committee

## 1. はじめに

本発電所はケニア国の西端に位置するビクトリア湖に流入するソンドゥ川の下流域に建設された流れ込み式発電所である（図-1）。建設工事は1999年から2003年の一期工事と2004年から2008年の二期工事に分けて実施され、2008年3月に竣工し商業運転を開始した。

1985年に実施されたソンドゥ川流域総合多目的開発計画、1991年の調査設計、1997年から2008年までの施工と四半世紀にわたり日本は一貫して技術支援及び資金援助をケニアに行ってきた。

本稿は当事業で建設した内径4.2m、延長6.3kmの導水トンネルの施工及び当事業での環境問題について報告する。

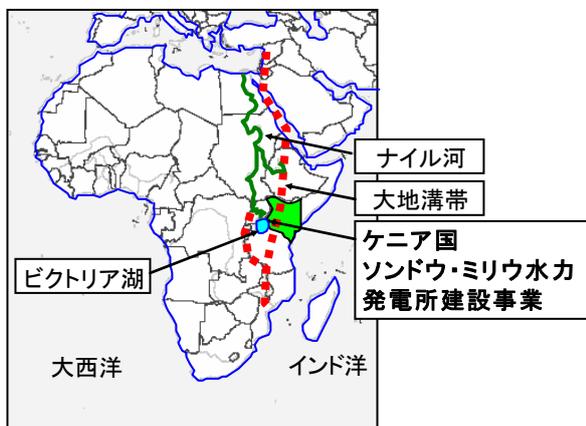


図-1 事業位置図

## 2. 事業概要

### (1) 事業地域

首都ナイロビから西へ約300km離れたニャンザ州ニャンド県のビクトリア湖畔が当事業地域である。

アフリカ東部には中近東の死海から紅海、ケニア、モザンビークを通過する総延長7,000kmの幅35～100kmの大地溝帯がある（図-1）。地溝帯はアフリカ大陸の地殻が伸張テクトニクスにより引き裂かれ、100mを超える急な崖を所々に形成しながら溝状に凹んだ地帯である。

この凹地に水が溜まり出来たのがビクトリア湖である。湖は面積68,800 km<sup>2</sup>、最大深さ84m、ナイル川の源流である。この地溝帯のケニア側西端に当事業地域があり、ビクトリア湖に面した崖を発電に利用している。

### (2) 目的

ソンドゥ川の河川水と落差を利用して最大出力60 MWの水力発電所を建設し、ケニア国の逼迫する電力不足の緩和、特に西部地域への安定した電気の供給を行うこと、さらに発電後の水を放水路末端に建設するサンゴロ発電所（21.2 MW）及び隣接するカノー平野の灌漑開発に供給することが事業の目的である。

### (3) 事業主

ケニア国は発電所の建設・運營業務と電力の送配電業務を別組織としている。本建設事業の事業主は発電所の

建設・運營業務を行うケニア発電公社 (Kenya Electricity Generating Company Ltd. 略称 KenGen) である。一方、電力の送配電業務はケニア電力電燈公社 (Kenya Power and Lighting Company Ltd. 略称 KPLC) が行っている。

#### (4) 事業資金

事業資金はわが国のODA資金 (事業費の85%) とケニア発電公社の自己資金 (事業費の15%) である。ODA資金は国際協力銀行 (JBIC) から以下のように融資された。

一次融資： 1997年 69億33百万円

- ・取水工、導水トンネル等の土木工事費
- ・施工監理費

二次融資： 2004年 105億54百万円

- ・発電所、放水路等の土木工事費
- ・鋼製門扉鉄管工事費
- ・発電機器工事費
- ・送電線および変電所工事費
- ・追加施工監理費

KenGenは他に下記の補償と工事を自己資金で行った。

- ・事業用地の買収・建物作物補償
- ・学校・教会の建替え工事

#### (5) 施設諸元

ソンドゥ川の水を取水堰で長さ6.2kmの導水トンネルに転流し、トンネル出口から長さ1.2kmの水圧鉄管路で発電所に導水し発電する。発電後の水は長さ4.7kmの放水路によりソンドゥ川に戻される (図-2及び図-3)。



図-2 事業平面図

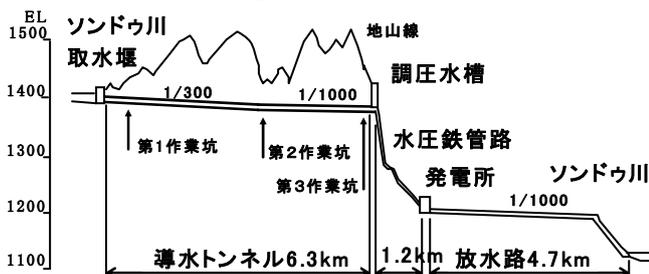


図-3 事業縦断面図

発電計画及び発電施設の諸元は表-1である。

表-1 発電施設諸元

流域面積	3,345km <sup>2</sup>	年平均流量	41.0m <sup>3</sup> /秒
最大使用水量	39.9m <sup>3</sup> /秒	総落差	196.6m
設備容量	60MW	年電力量	331GWh
取水堰	RC可動堰, 高さ18m, 幅64m, 長さ65m		
洪水吐水門	ローラーゲート扉高10.6m, 幅15m, 3門		
導水トンネル	RC圧力式, 内径4.2m, 延長6.29km		
導水調圧水槽	RC制水口型, 内径14m, 高さ36.8m		
水圧鉄管路	地表式, 内径3.6-1.65m, 延長1.2km		
発電所	地上式RC		
水車発電機	縦軸フランシス水車, 30MW, 2台		
放流路	台形開水路, 底幅2.6m, 延長4.7km		
送電線	単線132kV, 延長50km		

#### (6) 請負者

本工事の請負者は一期工事は国際競争入札, 二期工事は二国間タイド競争入札により5者が調達された (表-2)。土木工事の契約条件はFIDICの1987年第4版, プラント関係の契約条件はFIDICの1987年第3版を使用した。

表-2 工事内容と請負者

契約	工事内容	請負者
一期		
I-1	土木 (取水堰, トンネル, 道路他)	鴻池・ヴェイデッカ・マリー&ロバーツJV
二期		
I-2	土木 (発電所他)	鴻池・大成JV
II	水門, 鉄管	(株)IHI
III	発電機器	三井・東芝コンソーシアム
IV	送電線, 変電所	(株)きんでん

#### (7) 建設実施工程

一期工事は1999年3月に開始し2003年8月に終了した。二期工事は当初2000年10月に開始し2003年5月に終了する計画であった。しかし、一期工事期間中に発生した政治・社会・環境問題によりODA二次融資が2004年2月まで遅れたため二期工事は2004年10月に開始となり2008年3月に完成した (図-4)。

	西暦年	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
第1期	予定	[Bar]										
	実績	[Bar]										
第2期	予定											
	実績											

図-4 工事の予定と実績工程

### 3. 導水トンネル工事

#### (1) 導水トンネルの設計

当発電所の導水施設は取水口、沈砂池、導水トンネル、調圧水槽、水圧鉄管路である。トンネルは最大流量39.9 m<sup>3</sup>/秒を流速2.9 m/秒で流す内径4.2 m、延長6.29 kmの鉄筋コンクリートの圧水路である。トンネルの土被りは図-3に示すように20 mから120 mである。最大内水圧は調圧水槽地点で37.8 mである。

トンネルの掘削支保工は地質により6タイプを使用した。掘削延長の56%に適用した断面Type Aを図-5に示す。コンクリート覆工厚は30 cm、主鉄筋はD-16、D-20、D-25をタイプに応じて配筋した。鉄筋間隔は300mmである。

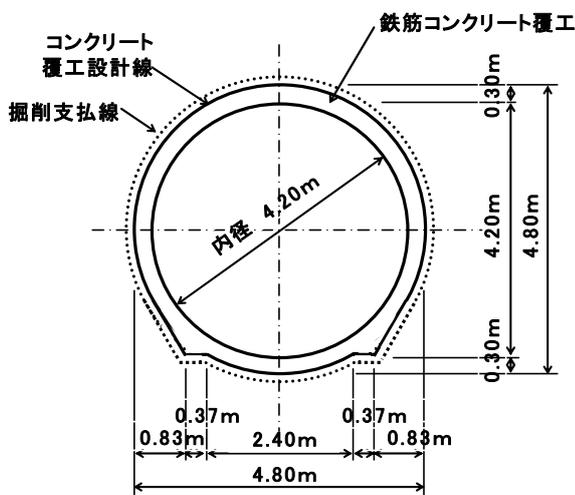


図-5 導水トンネルタイプA

#### (2) 地質

事業地域の地質は先カンブリア時代の変成岩、花崗閃緑岩である。トンネルの最上流部約100mは変成岩、他の部分は花崗閃緑岩である(図-6)。花崗閃緑岩はN60Eの走向とこれに直行する走向及びN20Eの走向が混在し、傾斜もほぼ鉛直とほぼ水平が混在していた。変成岩及び花崗閃緑岩共に電研式岩盤等級区分でB級からD級までの新鮮な岩から強風化の岩まで存在した。物理探査によれば岩盤の弾性波速度は最高で6.0 km/秒であった。

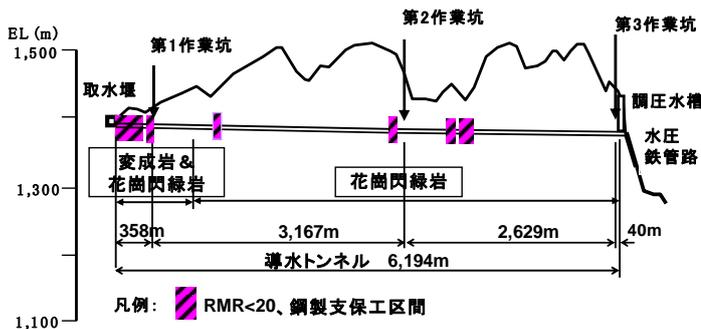


図-6 地質縦断面図

#### (3) 岩級分類と支保工タイプ

岩盤の強度、RQD、不連続面の間隔、不連続面の状態、地下水をパラメーターとして岩盤を評価するBieniawskiのRMR (Rock Mass Rating) 法を採用し、発破後切羽で岩盤分類を行い、トンネルの支保工タイプを決定した。オリジナルのRMRの評価点で支保工を試験的に施工し、表-3のようにRMR評価点と適用支保工タイプの関係を変更して本格的に適用した。適用した支保工の概要は表-4である。

表-3 岩盤クラスと支保工タイプ

オリジナル	RMR	100-81	80-61	60-41	40-20	<20	
	岩盤クラス	I	II	III	IV	V	
	岩盤評価	極良好	良好	やや良好	不良	極不良	
変更後	RMR	100-76	75-61	60-46	45-36	35-20	<20
	岩盤クラス	I	II	IIIA	IIIB	IV	V
	支保工タイプ	A	B1	B2	B3	C	D

表-4 支保工の概要

支保工タイプ	A	B1	B2	B3	C	D
ショットクリート	-	厚さ50mm 90°天盤	厚さ50mm 180°天盤 /側壁	厚さ100mm 180°天盤 /側壁 金網使用/ 不使用	厚さ100mm 280°天盤 /側壁 金網使用/ 不使用	-
ロックボルト	-	3本 長さ2.5m 1.2m間隔 天盤	5本 長さ2.5m 1.2m間隔 天盤	5本 長さ2.5m 1.2m間隔 天盤	9本 長さ2.5m 1.2m間隔 天盤・側壁	-
鋼製支保工	-	-	-	-	-	H-125x125 1.5m間隔

#### (4) トンネル掘削

##### a) 掘削方法

掘削は2ブームジャンボ2台を使用して全断面掘削工法で行った(写真-1)。掘削後地山挙動の観察のため天端沈下及び内空変位測定を143カ所で行ったが、異常な挙動は観測されなかった。



写真-1 導水トンネル掘削状況

## b) 掘進速度

第2作業坑のトンネル掘削を2000年1月に開始し2001年11月に作業坑、調圧水槽、水圧鉄管トンネルを含む全トンネル延長6,901 mの掘削を23ヵ月間で終了した(図-7)。

掘進速度はタイプA(無支保)の多い下流区間で最大月進201m、タイプD(鋼製支保工)を使用した上流区間で月進45mであった。一発破当たりの掘削長さは2.3mから2.9mであった。導水トンネルの貫通の様子を写真-2に示す。

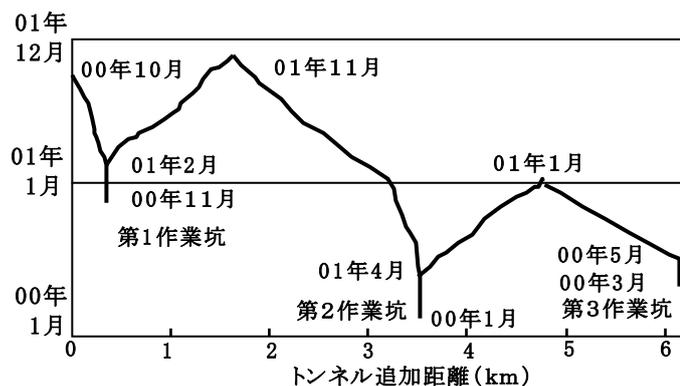


図-7 作業坑及び導水トンネル掘削実績

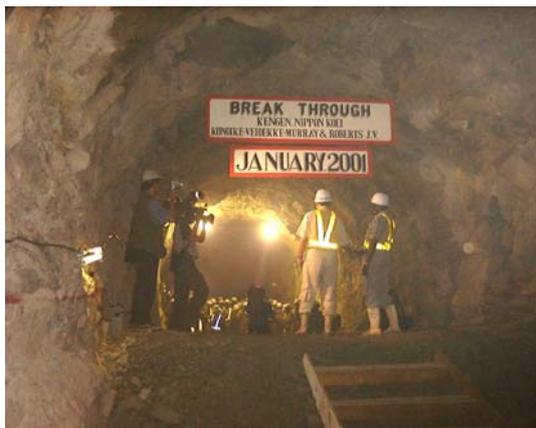


写真-2 導水トンネル貫通式



写真-3 完成した導水トンネル

## c) 余掘り量

導水トンネルの支払い掘削面積 $20.4\text{m}^2$ に対し実際の平均掘削面積は $24.5\text{m}^2$ であった。平均余掘り量は支払い掘削断面積の20%、コンクリート設計線から平均37.5 cm深さ相当であった。

## d) 支保工

実際の支保工の適用は表-5に示すようにタイプA(無支保)区間が56%と大半を占め、タイプD(鋼製支保)区間は7%と少なく、設計時の想定より地質は良かった。

表-5 適用した支保工

支保工タイプ	A	B1	B2	B3	C	D	合計
支保適用延長(m)	3,446	757	872	578	105	436	6,194
適用比率(%)	56	12	14	9	2	7	100

## (5) グラウト

覆工コンクリートの打設後、裏込めグラウト、コンソリデーショングラウトを実施した。裏込めグラウトの注入量は余掘りが多い個所で $293\text{lit/m}$ と多かったが、全トンネル平均では $41\text{lit/m}$ と低かった。

鋼製支保工やショットクリートと岩盤との空隙及び極端に緩んだ岩盤の表面に近い部分の空隙を埋めるコンタクトグラウト(1.5~2.0m深さ)と発破で緩んだ岩盤を強化する通常のコンソリデーショングラウト(3.0m深さ)の2種類のコンソリデーショングラウトを実施した。

セメントとベントナイトを注入したコンタクトグラウトの注入量は平均で $29.1\text{kg/m}$ 、セメントのみを注入した通常のコンソリデーショングラウトの注入量は $11.4\text{kg/m}$ であった。両グラウトの全平均注入量はグラウト孔削孔長当り $13.7\text{kg/m}$ であった。これは火成岩内で経験されている一般的なグラウト量の10~20 $\text{kg/m}$ の範囲内であった。

## (6) 地下水の流入

掘削中地下水の流入はほとんどなく数ヶ所の破碎帯で毎分数リッター程度の流入であった。コンクリート覆工後の状態は写真-3である。

## 4. 環境問題とその解決

### (1) トンネル工事に関係した環境問題

1999年3月の土木工事着工後、ケニアおよび日本で当事業の遂行に問題があるとの議論が沸騰した。トンネル工事に関する環境問題を以下紹介する。

#### a) 表流水の枯渇

トンネルの掘削によりトンネル上部の小川が枯渇したとの苦情があり、小川の水位観測を実施したが因果関係は確認できなかった。技術委員会の提案に従い、住民サービスのために工事期間中近傍に仮給水所を設置した。

## b) 工事排水

作業坑からの油混じりの排水が河川を汚染しているとの苦情があり、油隔離、排水の中性化、濁水処理用の機械化した施設を坑口に追加設置し処理後放流した。

## c) 発破の振動による建物被害

発破による振動のためトンネル上の家屋にクラックが発生したと苦情があり、その被害への補償要求があった。そのため技術委員会と第3者専門家が特別調査を行なった。130の家屋を調査しトンネル中心線の両側200mの範囲内に存在する家屋に振動の影響があったと技術委員会は判断しそれらを補償すべきと提言した。事業主は約50の家屋に対して補償を行った。

この補償に漏れた38の家主がエンジニアである弊社に損害賠償を求める裁判を2003年末に起こした。技術論争は行われず、結局2008年10月に裁判所は訴えを却下した。

## (2) 環境問題と技術委員会

地元の諸問題を協議・調整する機関として、学識経験者、国会と県会議員、住民代表、NGO代表、地方行政官、地元長老会代表、事業主からなる技術委員会（Technical Committee）が2001年に組織され、原則四半期に一度開催された。なお、この技術委員会の下には、4つの小委員会（雇用・ビジネスの機会、移転・土地補償、環境、保健衛生安全）があり原則毎月開催された。半年に一度、利害関係者総会（Stakeholders Meeting）を開催し、直接住民の意見を聞く機会が設けられた（写真-4）。

技術委員会は2008年まで継続し、円滑な事業の遂行と完成に大きく貢献した。

## 5. 終わりに

4年で完成する予定であった工事は種々の問題があり、1999年3月に着工した工事は9年間後の2008年3月に竣工し発電運転を開始した。

工事期間中、地域住民や小学生の現場見学会や地域交流サッカー大会の開催、公共図書館の設立などの活動を通じて地域との交流を図り、日本とケニアの友好関係を築くことが出来た（写真-5）。

写真-6と写真-7は完成した取水堰と、ビクトリア湖を背景にした水圧鉄管路と発電所である。

ケニアの発電容量1,135 MWの5.2%に相当する当発電所の60 MWの発電開始はケニアの経済、また貧困削減に大いに貢献すると期待されている。



写真-4 利害関係者総会



写真-5 現場見学の小学生達



写真-6 取水堰と取水口



写真-7 水圧鉄管路、発電所とビクトリア湖

## CONSTRUCTION OF HEADRACE TUNNEL IN SONDU/MIRIU HYDROPOWER PROJECT IN KENYA

Shisei SAKODA

The Sondu/Miriu Hydropower Project is located in Nyanza Province, western part of Kenya. The Project was to construct a hydropower station of 60 MW of installed capacity and generation of annual energy of 331GWh by harnessing 196.6 m head in Sondu River. Since the Project was identified in 1985, Japan has technically and financially assisted Kenya in implementing the Project.

The Project was completed and commenced commercial operation in March 2008. The construction of headrace tunnel of 4.2 m in diameter and 6.3 km long and environmental issues in the Project are reported.