ソンドゥ・ミリウ水力発電所施工監理の報告

REPORT ON CONSTRUCTION SUPERVISION FOR SONDU/MIRIU HYDROPOWER PROJECT

迫田至誠 * ・白谷　章 **
Shisei SAKODA and Akira SHIROYA

The Sondu/Miriu Hydropower Project commenced commercial operation in March 2008. Nippon Koei has been consistently involved in this project since the preparation of a master plan on the overall multipurpose development of the Sondu River basin in 1985. This paper reports an outline of the project, the history of the project, the role of Nippon Koei, some of the engineering challenges, contractual issues, contribution of the project to the local community, and mechanisms used for resolving stakeholders concerns, focusing on the construction supervision of the project which has been provided for ten years since 1999.

Keywords : *construction supervision, FIDIC conditions of contract, contractual claims, arbitration, contribution to local community, stakeholders meeting*

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主要 6 河川の一つ、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り、2008 年 3 月に商業運転を開始した。当社は 1985 年に実施したソンドゥ川流域総合多目的開発計画（マスタープラン）によるプロジェクトの形成・計画から、現在の完成に至るまでほぼ四半世紀に亘り本事業に関わってきた。

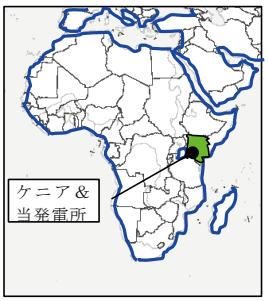
建設工事は 1999 年から 2003 年の一期工事と 2004 年から 2008 年の二期工事により実施された。

本稿は 1999 年から 10 年間に亘って実施された施工監理を中心に、事業概要、事業の歴史、当社の役割、技術的チャレンジ、契約管理上の問題、地域社会への貢献、事業実施に伴う地域の問題解決の仕組みについて報告するものである。

2.　事業概要

(1) 位置

当発電所は東アフリカのケニア国の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に位置している（**図－ 1**）。



図－ 1　発電所位置図

(2) 目的

ソンドゥ川の自然河川流量と本地域の自然地形落差を利用して最大出力 60MW 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、とくに西部地域への安定した電気の供給を行うこと、さらに将来において発電後の使用水の一部を隣接するカノー平野の灌漑開発に供給する。

(3) 事業者

ケニア国は発電所の建設・運営事業と電力の送配電事業を別組織としている。本建設事業の事業者は発電所の建設・運営を管轄するケニア発電公社（Kenya Electricity Generating Company Ltd.: KenGen）である。一方、電力の送配電事業はケニア電力電燈公社（Kenya Power and Lighting Company Ltd.: KPLC）が建設・運営を管轄する。

(4) 事業資金

事業資金はわが国の ODA 資金（85%）とケニア発電公

*　コンサルタント海外事業本部　一期工事所長
**　コンサルタント海外事業本部　二期工事所長

社の自己資金（15%）であり、わが国の ODA 資金は一期工事と二期工事ともに国際協力銀行（JBIC）により融資された。

1) 1997 年：ODA 一次融資額 69 億 33 百万円

融資対象は以下の通りである。

- 取水工、導水路トンネルおよび工事用道路等の建設費
- コンサルタントによる施工監理費

2) 2004 年：ODA 二次融資額 105 億 54 百万円

融資対象は以下の通りである。

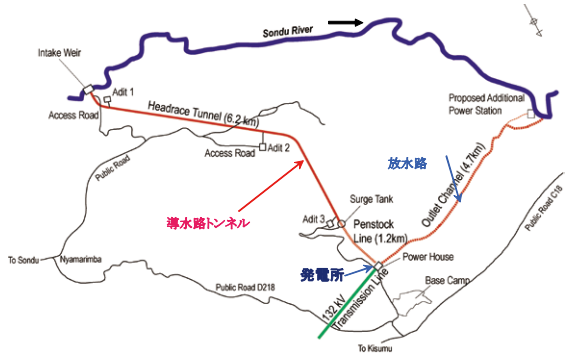
- 土木工事費
- 鋼製門扉鉄管工事費
- 発電関連機器工事費
- 送電線および変電所工事費
- コンサルタント施工監理追加費

その他、KenGen は自己資金により以下の補償を行った。

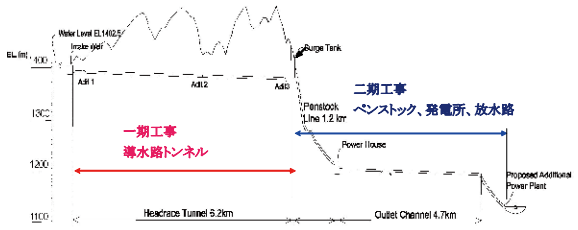
- 用地の買収・補償
- 学校・教会などの建替え工事

(5) 施設諸元

ソンドゥ川上流に取水堰を建設し河川水を長さ 6.2km の導水路トンネルに転流する。導水路トンネル出口からは長さ 1.2km の水圧鉄管路により発電所に導水し発電する。発電後の放流水は長さ 4.7km の放水路によりソンドゥ川に戻される（図－2、3）。



図－2 プロジェクト平面略図



図－3 プロジェクト縦断略図

発電所および代表的施設の諸元は以下の通りである。

取水面積　：3,345km^2
年平均河川流量：41.0m^3/sec
最大使用水量　：39.9m^3/sec
総落差　：196.6m
設備容量　：60MW(30MW × 2 基)
年平均発電力量：330.6GWh
発電機の種類　：縦軸フランシス水車
取水堰　：高さ 6m のコンクリート堰
洪水吐きゲート：扉高 10.6m、幅員 15m のローラーゲート 3 門
導水路トンネル：内径 4.2m、延長 6.29km のコンクリート巻き圧力トンネル
水圧鉄管路　：内径 3.6-1.65m、延長 1.2km の地表鉄管路
発電所　：半地下式 RC
放流路　：延長 4km の台形開水路
送電線　：延長 50km、単線 132kV

(6) 請負者

本工事では JBIC ガイドラインに基づき、一期工事は国際競争入札により、二期工事は二国間タイド競争入札により請負者の選定が行われた。一期および二期工事の請負者は以下の通りである。

1) 一期工事

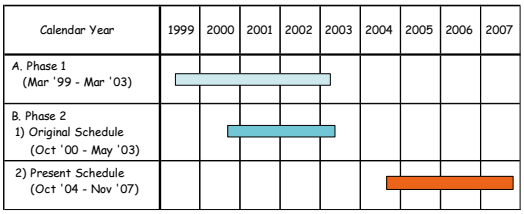
ロット I-1 工事　：土木工事（取水堰、取水口、導水トンネルなど）
鴻池・ヴェイデッカ・マリー＆ロバーツ JV（KVM）

2) 二期工事

ロット I-2 工事　：土木工事（発電所、放水路など）
鴻池・大成 JV（KTJV）
ロット II 工事　：鋼製門扉鉄管工事
IHI コーポレーション
ロット III 工事　：発電関連機器
三井・東芝コンソーシアム
ロット IV 工事　：送電線および変電所工事
きんでんコーポレーション

(7) 建設実施プログラム

一期工事は 1999 年 3 月に開始し 2003 年 3 月に実質的に終了した。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日本国側、ケニア国側の政治・社会・環境問題により ODA 二次融資が 2004 年 2 月まで延期されたために二期工事は 2004 年 10 月に開始され 2008 年 3 月に完成した（図－4）。



図－4 実施プログラム

3. プロジェクトの歴史

当社はプロジェクトの形成・計画から今回の工事管理まで一貫して本事業に関わってきた。その歴史は以下の通りである。

1985 年	ソンドゥ川流域総合多目的開発計画およびソンドゥ・ミリウ水力発電事業 F/S
1991 年	ソンドゥ・ミリウ水力発電事業詳細設計
1997 年	ODA 一次融資締結（OECF）
1999 年	一期土木工事の開始
2000 年	二期工事入札
2003 年 8 月	一期土木工事完了
2004 年 9 月	ODA 二次融資締結（JBIC）
2004 年 10 月	二期工事開始
2007 年 11 月	実質的な工事完成
2008 年 3 月	商業運転開始

4. 当社の役割

コンサルタント業務は、事業者との間で締結される業務契約書に基づいて実施される。この業務契約書には業務範囲、業務実施条件、要員計画、提出成果物、スケジュール、費用内訳などが詳細に明記されている。

(1) 業務範囲（スコープ）

建設段階における当社（コンサルタント）の業務範囲は工事を完成するために必要となるあらゆる業務が含まれる。主な業務は以下の通りである。

- 事業者に対する入札補助（請負者の選定）
- スケジュール管理
- 各請負者間の工程調整
- コスト管理
- 品質管理
- 設計変更
- クレーム処理

これらは、事業者と請負者間で締結される工事契約約款におけるエンジニア (The Engineer) の立場で実施される。

(2) 工事契約約款

建設工事には通常、JBIC の標準契約約款である FIDIC（Federation Internationale Des Ingenieurs-Conseils）工事契約約款が使用される。当事業においても、土木工事には、土木工事契約約款（通称レッドブック）が、その他の機電工事には機電工事契約約款（通称イエローブック）が使用された。これらの契約約款では事業者（Employer）、請負者（Contractor）、エンジニア（Engineer）の三者関係が明確であり、当社はエンジニアとして中立・公平な立場で工事管理上の判断・指示・承認・証明等を行うことが要求される。

5. 技術的チャレンジ

(1) 一期工事

1) 取水堰地点での CSG 工法による仮締切り堤の建設

請負者は下記の理由で入札時に提案していたロックフィルダム型から CSG (Cemented Sand and Gravel : セメントで固めた砂れき) 工法による仮締切り堤の建設を提案しエンジニアの承認を得て仮締切り堤を建設した。

- ロックフイルのロック材が現場周辺に無い。
- 仮排水路の掘削土を有効利用できる。
- ロックフイルより CSG 工法の施工期間が短い。
- ロックフイルより CSG 工法は洪水の越流による仮締切り堤の崩壊の危険性が少ない。

CSG 材料の室内試験、堤体安定解析、試験施工、品質管理基準の設定を行い、それぞれ高さ 6m と 8m、延長 78m と 65m、盛土量 5,800m^3 と 3,000m^3 の上下流の締切り堤を 15 日間と 8 日間で建設した。採用した単位セメント量は 80kg/m^3 である。8 年間の仮転流期間中に何回かの洪水があり、天端まで水位が上昇したが堤体に問題は無かった。また仮締切り堤の撤去はバックフォーで問題無く実施できた（日本工営技術情報 No. 22、2001 年参照）。

2) 作業トンネル閉塞コンクリートの温度管理

導水路トンネル工事の終了後 3 ヶ所の作業坑をコンクリートで閉塞した。作業坑は延長 116m、316m、119m、掘削面積 16m^2 と 32m^2 である。閉塞コンクリートの長さは 15m と 30m(15m × 2)、高さは 3.2m、5.65 mである。

外気温が 35℃のためマスコンクリートである閉塞工の温度クラックを避けるために、閉塞用コンクリート配合試験、FEM による温度とクラック解析、冷却管の配置、リフト高、コンクリート練り混ぜ水の氷による冷却等の検討を施工前に実施した。

コンクリートの打設温度は最高 25℃、打設後の最高温度 50℃、最終温度 27℃を確保し、コンクリートの冷却速度を日当たり 1 度と規定した。

FEM 解析と実測のコンクリート温度変化はほぼ同じであった（ソンドウ・ミリウ 1 期工事竣工報告書、2004 年参照）。

(2) 二期工事

1) 各請負者間の工程調整

二期工事では 4 つの請負者の工事が相互に連携しており、工事途中における業者間の現場の引渡しと引取りのタイミングが極めて重要となる。したがって、このタイミングは契約書にキーデート（Key Dates）として明記されている。例えば、土木業者は水車や発電機の据付をスケジュール通りに実施するために、コンクリート基礎をキーデート

までに機電業者に引渡さなければならない。一方、機電業者はそれらの機器の据付をキーデートまでに完了し、二次コンクリート打設の為に再度土木業者に引渡さなければならない。同じようなインターフェース（Interface：接点）が土木業者と鋼製門扉鉄管業者、さらに機電業者と変電所業者の間においても生ずる。

工事は、これらの業者間のインターフェースを契約上のキーデートとして工事の初期段階で確認し、入札時に提出された工程表を基に各請負者が作成する工程表を承認の上開始した。しかし、実際の工事では資機材調達の遅れ、製作の遅れ、通関の遅れ、輸送中の事故、技術的問題の発生、異常気象、社会的問題の発生などにより、この当初の承認工程表の通りに工事が進捗することは稀である。

当事業も例外ではなく、インターフェース上の問題のクレーム処理に多くの労力が割かれた。主なものを上げれば以下の通りである。

- 取水堰・取水口ゲート等の据付遅延による土木工事の工程変更
- 水圧鉄管（ペンストック）の据付遅延による工程調整
- 水車ケーシングの据付遅延による土木工事とその後の機電工事の工程調整
- モンバサ港での荷揚事故による工程調整
- ペンストック・バルブおよび灌漑放流バルブの据付遅延による土木工事の工程調整
- 変電所の土木工事遅延による機電工事の工程調整
- 変電所での土木作業時の断線事故による変電所機器据付工事の工程調整

これらの問題は、請負者がクレームを提出した場合には、エンジニアが契約書に基づき評価・判断する。なお、これらのクレームは主に工期延長と追加コストに係わるものである。

工期延長は各々のキーデートについて評価されるが、一つのキーデートの変更はその請負者の工事工程の問題に留まらず、全体工程に波及する非常に難しい問題となる。しばしばプロジェクトは生き物と言われるが、このようなインターフェースに係わる問題は次々と発生し、その都度エンジニアの判断が求められた。

工程上の問題は次々と発生したが、プロジェクトはほぼ当初の工期通りに完成することが出来た。その過程においては多くの議論･反論があり、未だ継続中のものもあるが、工期通りに完成できた最大の要因は事業者、各請負者、エンジニアの完成に向けての熱意と協力であったと思われる。

当所は、工程管理のためにプリマベーラ社のソフトウェア：シュアートラックを利用した。今日、このような工程管理ソフトは工事のクリティカルパスやフロートをモニターすること、さらにクレームの評価に欠かせないツールである。

2) 放水路の安定対策

発電後の放流水は延長 4.7km の放水路を流下してソンドゥ川に戻される。この放水路は現地の地形なりに建設された掘り込み式開水路であり、延長 4km のコンクリートスラブ三面張りの台形水路と延長 0.7km の RC 矩形水路からなる。

この台形水路は工事期間中 4 度に亘って底版と側壁が僅かに移動するという問題が発生した。一次的要因は大雨によるスラブへの揚圧力と衝撃力であるが、二次的要因は部分的な施工ミス、施工の遅れ、設計外力の過少評価であると判断される。

放水路は、全線に亘り設計を見直し、追加工事を設計変更として指示した。また、通水後に水路スラブに作用する揚圧力を観測するために 6 基の間隙水圧計を底版に設置した。間隙水圧は継続して現在も観測中であり、この観測結果に基づき今後、最終的な判断を下すこととなる。

6. 契約管理上の問題

(1) 一期工事

1) 二期工事の着工遅れ

二期工事は一期工事から 1 年遅れで着工する予定であったが借款の遅れにより前述のように 4 年遅れとなった。

一期の土木工事の中に水門鉄管工事と平行して実施する土木工事項目があった。この着工の遅れのために取水堰コンクリート工事、仮締切り堤と仮排水路の撤去、水圧鉄管トンネル工事を一期工事の最終段階で契約からキャンセルせざるを得なかった。

このキャンセルに関連して発注者と請負者間に契約上の紛争が発生し、FIDIC の土木工事の契約条件（第 4 版 1987 年）に基づく紛争解決が図られた。契約条件の 67.1 条に基づく請負者のエンジニアの決定の要求、エンジニアの決定、請負者の仲裁提訴の意図の発注者への通知、67.2 条に基づく和解協議、67.3 条による仲裁が行われた。

2004 年 4 月に請負者が ICC（国際商業会議所）へ提訴し、2005 年 3 月スイスでの関係者への尋問、同年 10 月に中間裁定、2006 年 7 月に最終裁定が出て紛争は終結した。

2) クレーム

請負者は工事終了後の 2003 年 1 1 月から 2004 年 3 月に掛けて、法制の変更、発注者の責務、請負者が予見出来なかった施工条件、追加工事等に関わる追加経費の支払い、および契約工期の延長に関するクレームを提出した。

当社はエンジニアとして上記の契約条件に従いクレームの査定、エンジニアの決定を行った。請負者はこの決定に同意せず、仲裁に提訴する意向を発注者に通知した。その後発注者と請負者は調停人を雇用して和解によるクレームの解決を図り、2007 年 5 月に両社は合意に達し全クレー

ムは決着した。

(2) 二期工事

工事中に発生する問題は、主に工期延長と追加費用のクレームとしてエンジニアの判断が求められる。これらは、契約書に基づき厳正かつ総合的に評価されるが、工期を延長した場合に波及する問題が多岐に亘るため工事促進の議論となる場合が多い。

1) 工期延長と工事促進命令

工期延長とは契約工期を延長して完成時期を遅らせることであり、一方の工事促進とはその工期延長を行わずに工事を完成することである。

ここで留意すべきは、FIDIC 契約約款では、エンジニアは工期延長のクレームに対する判断をする義務はあるが、工事促進を命令する権限が無いということである。つまり、FIDIC 契約約款では工事促進は契約外の問題としている。したがって、事業者が工期を延長するのではなく工事促進により完成時期を変更したくないという場合には、契約外の交渉を請負者と行うこととなる。

エンジニアは工事促進命令が出せないために、往々にして工期延長のクレームを認めない傾向がある。しかしながら、工期延長を認めないまま実質的に工事の促進が行われたと認められる場合には、解釈上の工事促進（Constructive Acceleration）が行われたとして追加費用の評価が適切になされる必要がある。

筆者は、エンジニアが工事全体の工期・工費を適正に管理するためには、工事促進を契約内で命令可能となるように契約約款を補完する必要があると考える。

2) 追加工事（取水工と放水路）

取水工の残工事と放水路の設計変更に関わる工事が追加工事として実施された。

取水工工事は元々一期工事に含まれていたが、一期工事の契約が二期工事の資金調達が遅れている間に終了したため、その残工事を二期工事で実施することとなった。

土木工事の請負者は、この取水工工事は契約外（Out of Scope）の工事であるとして本契約とは別の単価による追加契約を要求した。

放水路の設計変更は契約に基づいた追加工事であるが、土木工事の請負者は追加工事分の工期延長をクレームした。これに対して、事業者は工事を計画通りに完成するために工事促進費用を支払う追加契約を請負者と締結した。

このように追加工事は契約のスコープ外と考えられる場合には相当な費用増となり、またスコープ内であったとしても工期延長といった問題を生ずる。そして、工期延長の問題は状況によっては契約外の工事促進契約を必要とする。

3) 紛争審査委員会（DRB:Dispute Review Board）の設置

先に述べたように FIDIC 標準契約約款では、エンジニアと事業者あるいは請負者との間に紛争が発生した場合には、和解協議を経て仲裁へと進む。しかしながら、仲裁による紛争の解決にはかなりの時間と費用がかかるため、二期工事の開始に当たっては仲裁に進む前に紛争毎に DRB を設置する契約修正条項が合意された。DRB は各当事者が選定する委員とこの委員が選定する委員長の三名からなる。ただし、DRB は法的強制力の無い勧告を行う。

これまでに一度 DRB が開設され、双方がその勧告を受け入れたために紛争が決着した。その進め方にはいくつかの問題はあったが DRB はその機能を果たしたと言えよう。

7. 地域社会への貢献

(1) 事業者による貢献

事業者であるケニア電力公社（Kenya Power Company Ltd. : KPC, KenGen の前身）は当事業に関わる全用地の買収および建物・作物等の補償を行った。1994 年に住民移転計画を作成し、工事着工前の 1998 年から地元説明会、買収用地の測量、用地面積と補償建物・作物の地主立会いでの確定、売買補償契約書の作成、補償金の支払い、土地登記手続きの一連の補償作業を行った。当社は現地コンサルタントを雇用してこれらのほとんどの作業を実施した。

電力公社は市場価格による地主との合意に基づくことを補償方針とした。また、補償費支払い直前に、事業の説明、補償金の使途への助言、銀行の紹介等を行う地主のためのセミナーを 4 回開催した。

また、補償の一部として発電所と放水路建設地点にあった中学校、2 つの小学校、教会の建て替えを行った。以前には無かった運動場、図書室、配電施設、水道施設等も新規に建設され、地元新聞が超モダンな学校と称賛したように地元に大いに貢献した（土木学会年次学術講演会“ケニア共和国ソンドウ・ミリウ水力発電プロジェクトにおける住民移転および実施に関する考察”1999 年参照）。

(2) 日本工営の貢献

日本工営は建設工事の当初から地元住民とのコミュニュケーションを図りながら円滑な発電所の建設と地域住民への社会貢献を継続している。

例えば、小中学校や地元住民の現場見学会を受け入れ、事業の説明や Q&A を行い、事業への理解や子供達に夢を持たせる活動を行った。

また、2001 年から日本ケニア友好公共図書館を運営する地元のヘラ婦人会を支援している（図書館は下記 JBIC のウェブサイトで 2008 年 3 月に紹介された http://www.jbic.go.jp/japanese/base/topics/080313_2/index.php）。

8. 事業実施に伴う地域の問題解決の仕組み

(1) 経緯

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。その経緯は以下である。

1997 年 3 月　一次借款締結
1998 年 5 月　用地・作物補償開始
1999 年 3 月　一期土木工事着工
2000 年 1~12 月　環境問題、用地補償、雇用、汚職の問題があるとの抗議あり
2001 年 1 月　利害関係者総会（住民集会）開催
2001 年 2 月　技術委員会発足、問題の調査と解決策の提言の作成開始
2001 年 7 月　技術委員会の調査分析と提言を住民集会で承認
2001 年 8 月　技術委員会の提言を電力公社が実施開始
2004 年 2 月　二次借款締結

(2) 技術委員会と住民集会

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、事業者からなる技術委員会 (Technical Committee) が組織された。技術委員会は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、次の 4 つのサブ委員会があり原則毎月開催された。

- 雇用経済機会小委員会
- 移転土地補償小委員会
- 環境小委員会
- 健康保障安全小委員会

さらに、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。

この技術委員会が事業の完成に果たした役割は非常に大きく、他の事業においても参考になるのではないかと思われる。

9. 終わりに

当社はマスタープランから工事の完成まで四半世紀に亘り当事業に深く関わってきた。この施工監理業務の 11 年間には、社会的問題、技術的問題、契約上の問題などさまざまな問題が発生した。しかし、その都度、関係者が英知を結集し、真摯に忍耐強く取り組んできた結果としてこの度の完成があるのは確かである。

この事業が長期に亘ってケニア国の発展に寄与することを祈念する。

謝辞：これまで長期に亘りご指導いただいた JBIC 関係者、事業者であるケニア発電公社の関係者、完成に向けて協力を戴いた各請負者の関係者、さらに当社関係者に謝意を表します。

以下にプロジェクト写真を添付する。

写真－1　ソンドゥ川

写真－2　水圧鉄管（内径 3.6-1.6m、延長 1.2km）

写真－3　取水堰と取水口

写真－4 発電所と変電所（設備容量 60MW：30MW 二基）

写真－5　導水トンネル　（内径 4.20m、延長 6.2km）

写真－6　放水路（幅員 9.6m、深さ 3.5m、延長 4km）

写真－7　送電線タワー

写真－8　育苗所

写真－9　技術委員会