

# 海外小水力発電工事

上西秀明 Hideaki Uenishi

キーワード 海外工事, ラオス人民民主共和国, 施工管理, 小水力発電

## 概要



発電棟と屋外変電所

小水力発電設備は、ダムや大規模な水源を確保しなくても発電することができるため、包蔵水力（水力発電源として開発可能な河川のエネルギー量）を有する海外の過疎地域での電化に適している。

今回、小水力発電設備を日本国の無償援助でラオス人民民主共和国に納入した。本案件は、海外の人里から離れた遠隔地が施工現場となり、国内とは異なる環境での施工となった。

日本国内の小水力発電設備の納入実績があるイーメル工業(株)と協力し、小水力発電設備・屋外変電設備機器一式の納入と工事（設計・着工準備・現地施工・施工管理）を請け負った。

## 1 まえがき

ラオス人民民主共和国（以下、ラオス）は、未開発の包蔵水力を多く抱えている。建設現場となったラオス深北部ポンサーリー県の世帯電化率は23%<sup>(1)</sup>で、ラオス国内17県の中で最も低く（国内平均電化率80.13%〈2012年8月〉<sup>(2)</sup>）、隣接する中華人民共和国（以下、中国）から電力を購入している。

今回、日本政府の無償援助によるプロジェクトの一環として小水力発電設備の据え付け・納入を行った。ラオスには現地法人など当社の活動拠点が無く、また作業員や工事資材を近隣諸国から調達するといった面で難易度の高い工事だった。本稿では、本工事の概要と当社の取り組みを紹介する。

## 2 工事概要

### 2.1 プロジェクト概要

- (1) プロジェクト名称：ラオス小水力発電計画
- (2) 工事場所：ラオス国ポンサーリー県ニャット・ウー郡
- (3) 発注者／企業者：ラオス国エネルギー鉱業省（MEM）
- (4) 計画／設計：東電設計(株)（TEPSCO）
- (5) 施工元請：(株)安藤・間（Hazama Ando Corporation）
- (6) 工期：2013年11月8日～2015年2月28日（16か月）
- (7) 資金供与限度額：17億7,500万円
- (8) 資金：日本政府無償資金協力
- (9) プロジェクト内容：
  - (a) 450kWの小水力発電施設の建設（取水堰・取水



第1図 ラオス人民民主共和国と本プロジェクト現場の位置

ラオス国内での本プロジェクト現場の位置を示す。

- 口・沈砂池・導水路・貯水槽・発電所・放水路など)
- (b) 22kV及び400V配電線の延伸
- (c) 発電機器の納品と設置（永久磁石水中タービン発電機3式・制御装置・主要変圧器・屋外変電所機器）

このうち、当社は(c)の工事を(株)安藤・間から請け負った。

## 2.2 プロジェクト現場の位置

第1図にプロジェクト現場の位置を示す。本プロジェクトは、中国との国境から約40kmのラオス最北端に位置し、現場へはラオス首都ヴィエンチャンからウドムサイへ空路で1時間、ウドムサイから陸路で約8時間である。陸路の後半区間は未舗装山岳路だったため、本プロジェクトとは別に道路の拡張・改良工事を行っており、しばしば一時通行止めに遭遇した。また土壌は粘土質のため、降雨時には泥ねい路と化して滑りやすくなり、機器搬送時の困難さが予想された。当社の現地工事期間は乾季だったため、雨天は数えるほどでおおむね好天に恵まれた。それでも雨天日やその直後はスリップの危険があったため、クレーン車は工事現場に進入することができず後日回復させたものの工程が遅延した。



第2図 150kW永久磁石水中タービン発電機

水車と発電機の一体構造で、水車はイームル工業(株)製、永久磁石発電機(PMG: Permanent Magnet Generator)は当社製である。

## 2.3 当社工事（電気機械工事）の概要

### (1) 発電機設備

- (a) 150kW永久磁石水中タービン発電機：3式  
(第2図)
- (b) 鉄管・入口弁：3式
- (c) 水中タービン用インバータユニット：3式
- (d) 発電機制御盤：1式
- (e) 操作制御装置：1式
- (f) 直流電源装置：1式

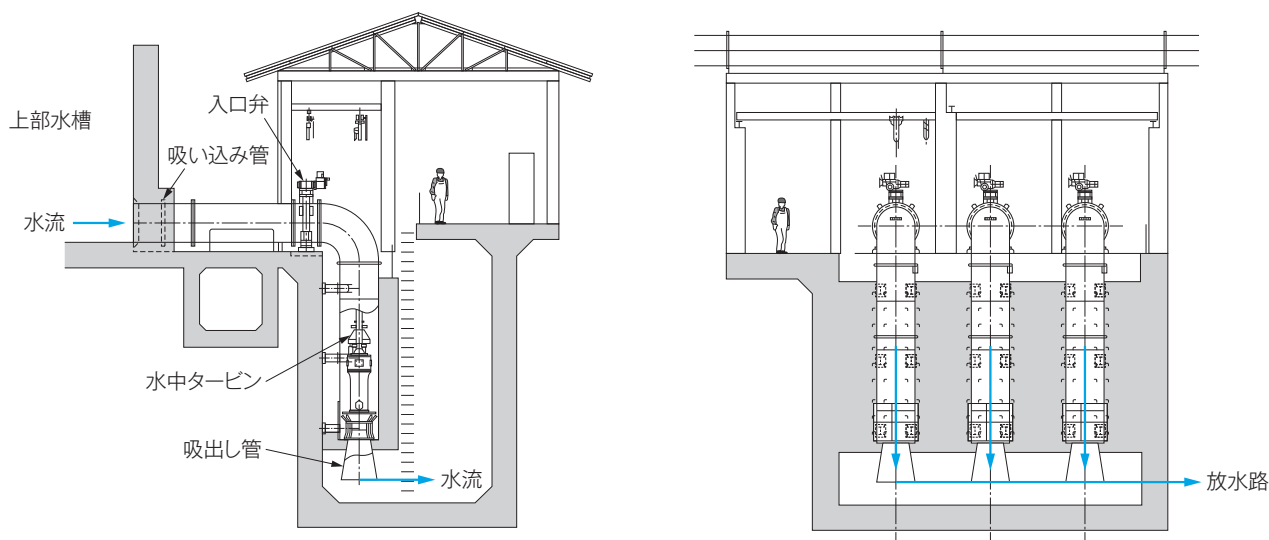
### (2) 22kV屋外変電所設備

- (a) 500kVA昇圧主変圧器：1式
- (b) 真空遮断器：1式
- (c) そのほか：DS（断路器）、CT（計器用変流器）、VT（計器用変圧器）、LA（避雷器）、ZCT（零相変流器）などの付帯機器

## 3 本プロジェクト施工上の留意点

### 3.1 着工前課題

本プロジェクトの課題は、2015年2月28日の竣工式に合わせて短工期で完工するため、工事材料の手配、安全・品質・工程などの施工管理を初めて仕事する施工会社と達成することだった。これらの課



第3図 水中タービン発電機鉄管レイアウト

発電所の鉄管の配置を示す。

題に対する取り組みは、以下のとおりである。

### 3.1.1 短工期による鉄管据え付け順序の変更

一般的な鉄管据え付けは、下流の吸出管（ドラフトチューブ）から上流に向かって進める。しかし、今回は、発電所上部水槽（ヘッドタンク）の工期で許される最遅完了日までに鉄管を据え付けできないため、着工準備段階からヘッドタンクに打ち込む吸い込み鉄管（最上流部）を据え付けた後、吸出管（最下流部）を据え付け、中間部で接続するという通常とは違う手順を採用した。第3図に水中タービン発電機の鉄管レイアウト図を示す。

### 3.1.2 工事部材道具の確保・調達

工事資材の調達は、水力発電設備の施工経験が豊富な点を評価し、施工発注先であるベトナム社会主義共和国（以下、ベトナム）のLILAMA10社に発注した。利用できる資材はベトナムで入手できるものに限られたため、当社が日本仕様の資材寸法で施工図を起こした後、LILAMA10社がベトナムで入手できる相当品を選定・提案し、それを基に当社で図面を修正した。

また過疎地での工事は、工事材料・工事道具不足に即応できないことが工程遅延をもたらす恐れがあり、工事部材の調達と輸送に不備がないか、計画に漏れがないかを通常の案件よりも入念に検討する必要があった。

### 3.1.3 安全管理

辺境地では十分な医療サポートを受けることが困難なため、絶対に事故を起こさず負傷者を出さないことを念頭に安全管理に努めた。

工事を行う作業員の安全に関する意識と装備は、日本の作業員と比較して低いと言わざるを得ない。放置しておけば作業員は「自分の身は自分で守る」という考えで、日本基準では危険作業の範ちゅうに入る作業をしてしまうことがある。予定している作業のリスクアセスメントを事前に行い、使用できる資材と実施できる施工方法を検討する時間と意識は、日本国内で行う工事と比べてより多く施工管理者に求められる。

## 3.2 現場での監理

### 3.2.1 水車鉄管据え付け

前述のとおり、水車鉄管の据え付けは土木工程を尊重し、通常手順と異なる順序で実施した。水車鉄管メーカーであるイーメル工業(株)の据え付け要領書に基づき、同社の技術指導員とLILAMA10社の作業責任者が連携し、据え付けを完了した。第4図に取水管、第5図に入口弁の据え付け作業の様子を示す。

鉄管の据え付けには接着式アンカーを使用した。接着不良を発生させないように留意し、アンカー穴



**第4図 取水管据え付け作業**

建築所掌のヘッドタンクに当社所掌の取水管（イームル工業株製）を挿入し、据え付け作業中の様子を示す。本工事の最重要工程である。

.....



**第5図 入口弁据え付け作業**

水平鉄管の据え付けに続き、入口弁を搬入・据え付けている様子を示す。通常、下流側から順次据え付けるが、本工事では上流側から据え付けた。

開孔後のクリーニングを徹底させた。さらに材料及び施工方法の品質確認を行うために、東電設計(株)の指導の下、(株)安藤・間と引き抜き強度相当のコンクリートピースに接着式アンカーテストピースを打設し、重機でアンカーを介してコンクリートをつり、引き抜き強度試験を行うことで接着式アンカーの施工品質を確認した。

### 3.2.2 工事部材道具の調達

現地でLILAMA10社が持参した道工具類を、当



**第6図 ツールボックスミーティング（TBM）・危険予知活動（KYK）の様子**

毎日全体朝礼後に行う当社作業員による活動の様子を示す。

社の必要道工具リストと突き合わせて確認し、また工事部材の材料検査を行い、不足分はLILAMA10社に手配を依頼した。機器周り配線箱の施工案は、当社の工事エンジニアが日本の標準施工に基づいた雛形を作成し、これに準じて部材の拾い出しを行った。また、現場の施工管理担当エンジニアと日本の施工設計者間の設計連携と当社の在日本スタッフによる材料の納期管理で、契約工期内に工事を完了した。

### 3.2.3 安全管理

負傷者が発生した場合は、ラオス人民軍病院（近隣最大の町ウータイにある）に搬送し、また軽微な負傷や体調不良の場合は、プロジェクトキャンプの医療所（医療ボランティア団体の特定非営利活動法人 ジャパンハート〈Japan Heart〉が整備している）で処置する態勢を(株)安藤・間に整えていただいたことで、当社は工事・試験作業の現場安全管理に専念することができた。

毎日のプロジェクト現場全体の朝礼終了後、当社の工事関係者全員が作業場所に移動し、当日の予定作業と各作業の安全・品質指示事項をホワイトボードに掲示し、安全管理に努めた。作業員には自分のやるべきこと、やってはいけないことを明示することを心掛けた。第6図にツールボックスミーティング（TBM）・危険予知活動（KYK）の様子を示す。

重量物搬入作業は、事前にクレーン配置位置とクレーン能力表を基に搬入計画図を作成し、クレーンオペレータと搬入作業指揮者に対して「やるべき作業」と「重量限界によってやってはいけない作業」の見える化を行った。作業開始後も当社の施工管理エンジニアは現場を巡回し、特に搬入作業・高所作業などの危険な作業を実施する場合は当社施工管理エンジニアが立ち会い、安全に作業を完了するために必要な是正措置をその都度指示した。例えば、(1)重量物揚重作業時のクレーン揚重作業要領書に基づく作業手順の順守、(2)高所作業及び開口部周辺での安全ハーネスの着用、(3)つり荷の下への進入禁止の徹底、などである。工期が進むにつれ、作業員は過去に指摘された安全作業措置を自主的に行うようになり、作業員の安全管理に対する意識と理解力が向上した。

#### 3.2.4 現場施工管理の人員配置

プロジェクトの人員構成・配置計画を行う際、日本での作業を基準とする場合がある。日本国内では、当社製品の施工経験があり、施工技術に優れている会社に発注することが多いが、海外では、そのような会社に発注することが困難である。そのため社内管理体制を強化し、材料や人工に至るまで当社で総合的な管理を行った。

さらに本工事は以下のような悪条件下での作業であり、より一層の管理が必要だった。

- (1) 事務所と現場が6kmの悪路で結ばれていた。
- (2) 道路が通行止めとなる時間が頻繁にあった。
  - (a) 道路脇の碎石場での発破作業
  - (b) 道路拡張に伴う崖の切り崩し工事
- (3) 現場に材料保管場所を確保できない。

#### 3.2.5 工程管理

本プロジェクトでは、土木・建築施工会社と水車・発電機設備メーカーが密に連携し、交互に工事を進めた。本プロジェクトでは、発電所建屋の建設(土木・建築)→吸込鉄管据え付け(当社)→ヘッドタンク完成(土木・建築)→鉄管垂直部・入口弁据

え付け(当社)→鉄管根巻きコンクリート打設・発電機室壁構築(土木・建築)の手順で施工した。プロジェクト全体が短工期だったため、当社の工程を遅らせないように工事タスクを細分化した工程表を基に半日単位で進捗を管理し、「当日中に終わらせなければならない作業」、「当日中に開始しなければならない作業」、「余剰作業員がいれば実施する作業」の3つに分けて工程を管理した。また、作業に必要な人数の割り出し・割り振りを的確に行うことで無駄な人員を取り除き、作業の効率化を図った。

## 4 むすび

今回納入した小水力発電設備は、小規模の土木設備と短工期で建設できることから、包蔵水力を有する遠隔地では有効的な発電設備である。

今後も電化・非電化、過疎地・都会にかかわらず、電気のある豊かな暮らしを送れるよう、インフラ設備工事を進めていく所存である。

最後に、無事工期限内に竣工するに至るまで、ご支援・ご協力いただいた東電設計(株)、(株)安藤・間、特定非営利活動法人 ジャパンハート、LILAMA10社の関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

- (1) 国際協力機構 東南アジア 大洋州部 東南アジア第四課：「事業事前評価表」
- (2) (独)日本貿易振興機構(JETRO)：「ラオス概況」

#### 《執筆者紹介》



上西 秀明  
Hideaki Uenishi  
プラント工事事務部  
海外プラント工事事務部の設計・管理業務に従事