

東南アジアにおける水力発電所サージタンク 立坑掘削に関する技術移転について

筒井 勝治¹・川口 雅樹^{1*}・米津 和哉¹

¹関西電力株式会社 土木建築室 土木建築エンジニアリングセンター
(〒553-0003 大阪市福島区福島5丁目1番7号住友不動産西梅田ビル4F)
*E-mail: kawaguchi.masaki@a4.kepco.co.jp

関西電力はミャンマー国電力省水力開発局に対して、水力発電所の計画・調査・設計・施工に係る技術指導を実施した。K地点水力発電所のサージタンク立坑は、砂岩と泥岩から成る脆弱な地層に計画されたが、立坑掘削技術に対する経験不足に起因する不十分な品質管理が原因で、コンクリートの巻立前に、雨季の到来とともに崩壊を招いた。立坑再掘削にあたり、当社はトンネル掘削理論と巻立コンクリート設計理論を踏まえた復旧案を提示し、技術指導を実施した。その結果、地山をゆるめることなく立坑を無事に再掘削し、雨季前にコンクリート巻立を完了した。本投稿は、ミャンマーにおける立坑掘削に関する技術移転の事例を紹介するものである。

Key Words : Southeast Asia, technical transfer, shaft excavation, concrete lining

1. はじめに

ミャンマーは、約68万m²（日本の1.8倍）の国土面積を有し約5,300万人（日本の0.42倍）が居住する。人口の90%が仏教徒である。同国では慢性的な電力不足が深刻な問題となっており、ミャンマー最大の都市であるヤンゴン市内においても頻繁に停電が発生しているため、電力不足の解消が急務となっている。

当社は、ミャンマー電力省水力開発局から技術支援要請を受け、コンサルタント契約に基づき、技術者をミャンマーに駐在させ、のべ6年間にわたり水力発電所の計画・調査・設計・施工の品質管理に係る技術指導を実施した。

水力開発局は、大型プロジェクトを除き、直営で工事を行う場合が多いが、ベテランの技術者が少なく、特にトンネル、ダム施工技術に未熟な部分が多い。

例えば、K地点水力発電所のサージタンク立坑は、砂岩と泥岩から成る脆弱な地層に計画されたが、水力開発局技術者の立坑掘削に対する経験不足に起因する不十分な品質管理や十分と言えない資機材が原因で、コンクリート巻立前に雨季の到来とともに施工途中で崩壊を招くこととなった。

立坑の再掘削にあたり、当社は水力開発局から復旧工法の提示を依頼されるとともに現地で技術指導を行った。

今回はその事例を紹介する。

2. 崩壊に至る経緯

(1) 経緯

K地点水力発電所は高さ68m、延長305mのロックフィルダムを備えたダム水路式の発電所として計画されている。最大使用水量は66m³/s、有効落差は106mで最大出力は60MWである。半地下式差動サージタンクが計画され、内径16m、深さ37mの立坑掘削が施工された。サージタンク縦断面図を図-1に示す。工事は水力開発局の手で進められた。立坑は導坑先進拡大掘削工法で施工され、拡幅後の支保工は掘削面にプレート当て、それを溝型鋼（100×50）で押さえるという非常に簡便なものであった。また、プレート背面の充填は十分になされておらず、プレートと掘削面の間には空隙が多数存在していた。既設支保工の概要を図-2、写真-1に示す。

立坑の掘削は2003年10月に開始されたが、掘削は人力中心の作業であったため、その進捗は遅々としたものであった。掘削の途中で小崩落が数回発生したが、その都度、新たにプレートを当てたり、崩落箇所を石やモルタルで充填したりするなど応急的な手当をしながら掘削を継続していた。2005年7月にはパイロット坑の掘削を完

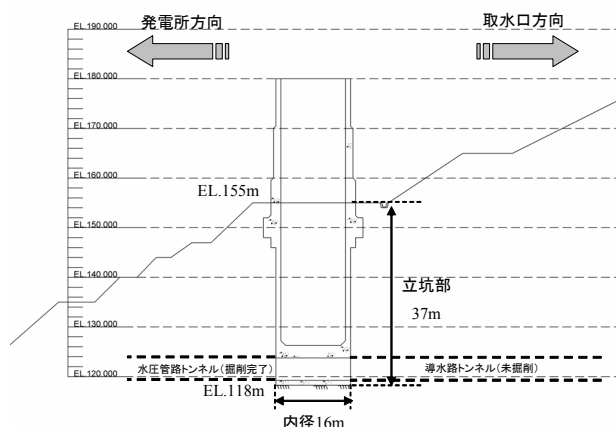


図-1 サージタンク縦断面図（原設計）

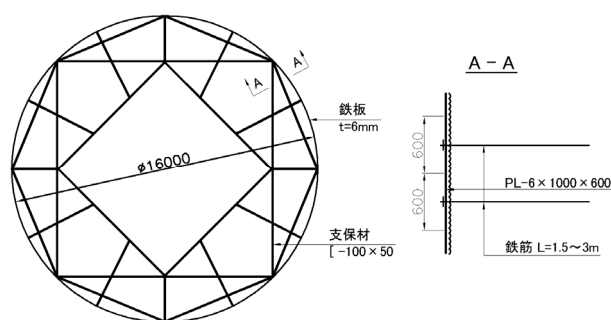


図-2 既設支保工の仕様



写真-1 既設支保工

了し、2007年5月にはほぼ拡幅を終えて、下流側から掘り進めていた水压管路トンネルとの接合を完了していた。雨季に入ると雨水の浸透により岩盤の強度低下が懸念されるため、雨季に入るまでにサージタンク本体コンクリートの打設を完了させ、立坑を保護すべきとのアドバイスをしていたが、工程の遅れもあり採用されるには至らなかった。そして2007年5月末に雨季の到来とともにEL.138m付近で大規模な崩落が発生した。緊急対策として、立坑を土砂で埋め戻し、崩落の拡大を防いだ。結果、

崩落の拡大は防ぐことができたものの、埋め戻し部には支保工等の鋼材が残置されることとなった。

(2) 地質状況

サージタンクは尾根部に位置し、周辺は地すべり地形となっている。地質は泥岩の薄層を介在する砂岩からなり、おおよそEL.155m以上についてはD級岩盤が分布し、EL.155m以下についてはCL～CM岩盤が分布している。またEL.130m～140m付近には弱層部が存在する。泥岩層は水を含むと極端に掘削面の強度が低下する。大崩落はEL.138m付近で発生しており、支保が不十分であったためにこの弱層部が降雨による浸透水の影響ではらみ、崩壊に至ったものと推測された。

3. 再掘削工法の検討

(1) 立坑の位置

復旧案の検討にあたり、まずサージタンク位置の変更の可能性について議論された。サージタンク周辺は脆弱な地層が広がっており、他に地質的に有利な場所がなく、また位置を変更した場合には、新たに別ルートの水圧管路トンネルを掘削する必要があるため、原位置にて立坑を再掘削することになった。

(2) 掘削工法

立坑の崩落に伴い大きなゆれみが発生していることが想定されたため、原計画どおりEL.155mからの立坑再掘削は困難と判断した。また、既設鋼製支保工の残骸が埋没している状況での立坑掘削は困難が予想された。そこで地盤のゆるんだEL.135m以上については、明かり掘削により取り除き、EL.135m以下を立坑として再掘削を行うこととした。明かり掘削により工期を大幅に短縮できることが期待された。また、明かり掘削により取り除いた範囲のうち、EL.145m以下については、岩盤が悪いと想定されたため、サージタンク本体の安定化と掘削法面の保護を図るために、次の雨季が始まるまでに、巨礫混じりのコンクリート（D級岩盤相当： $\sigma_{\alpha}=1\text{MPa}$ ）と土砂で埋め戻すこととした。再施工の概要を図-3に示す。

明かり掘削における掘削勾配は、立坑中心位置で実施したボーリング結果を基に、周辺の地質状況を考慮して、D級岩盤分布域（EL.155m以上）については1:1.0、CL級岩盤分布域（EL.155m以下）については1:0.7とし、それぞれ高さ5mごとに幅2m、4mの小段を交互に設けることとした。なお、この案ではサージタンク上流側にある工事用道路の移設を行う必要があった。仮に工事用道路を移設させない、つまり急勾配掘削案の場合は、斜面安定解析を行った結果、長さが3.0～9.0m程度のロックボルト

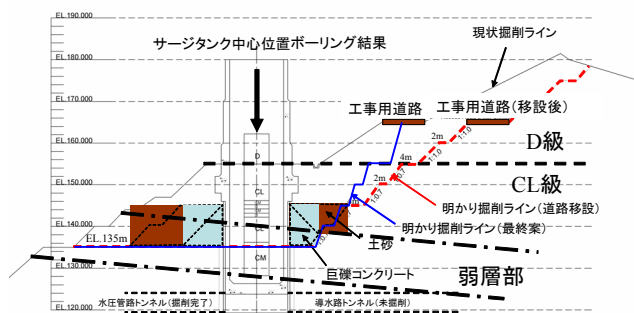


図-3 再施工案の概要



写真-2 明かり掘削施工状況

の施工が必要となる。水力開発局では長さが3.0mを超えるロックボルトの施工実績はほとんどなく、また必要な資機材も調達できないため、採用をあきらめた。

明かり掘削を開始して、地質が想定よりも良好だったことと、水力開発局から工事用道路移設を伴う大規模掘削に懸念を示されたことから、再度地質調査を実施して掘削形状を再検討することとした。地質の専門家を派遣し、7本の追加ボーリング調査と周辺の先行掘削法面を確認した。その結果、当初の想定よりも岩盤が良く、主にCL～CM級の岩盤が分布するとともに、地層の傾斜は法面に対して差し目となっていることが判明した。そこで当初急勾配掘削の場合に発生すると想定していたすべり面に対しても安定することから、勾配1:0.3で掘削し、吹付けコンクリートで保護することとした。

当初の予定では明かり掘削は、9月下旬より開始し12月中旬に完了する予定であったが、雨季が長引いた影響で掘削を開始したのは11月中旬であった。しかしながら掘削勾配の変更により施工数量が減少したことや、昼夜作業で掘削を進めたことにより、ほぼ予定通り12月下旬に明かり掘削を完了することができた。明かり掘削の施工状況を写真-2に示す。

(3) 立坑掘削

標準的な立坑の施工法としては、在来工法、特にショートステップ工法といわれるステップ長1.5m程度で掘削後ただちにその部分に覆工コンクリートを打設して坑壁を支持する方法が最も多く採用されている。しかし、水力開発局では逆巻きの経験がないこと、日本のように計画的にコンクリート材料を調達出来ないことから、掘削を先に実施し、立坑掘削終了後に立坑下部から覆工（構造）コンクリートを施工する案について検討した。

水力開発局の提案した工法は図-4に示すように、コンクリートで保護しながら階段状に必要な深さまで掘削するものであった。しかし、この工法はコンクリートの硬化を待つため時間もかかる上に、掘削量も多い。そこで鋼材（H-125）と吹付けによる工法を提案し、採用された。この工法は図-5に示すようにH鋼をリング状に組んだものを図-6に示すように設置していくものである。支保工の仕様は以下のとおりである。

- ・吹付けコンクリート : 厚さ20cm
- ・鋼製支保工（H-125×125） : 70cmピッチ
- ・タイロッド（D16） : 2mピッチ（円周方向）
- ・補強鉄筋（D16） : 1ステップあたり2列

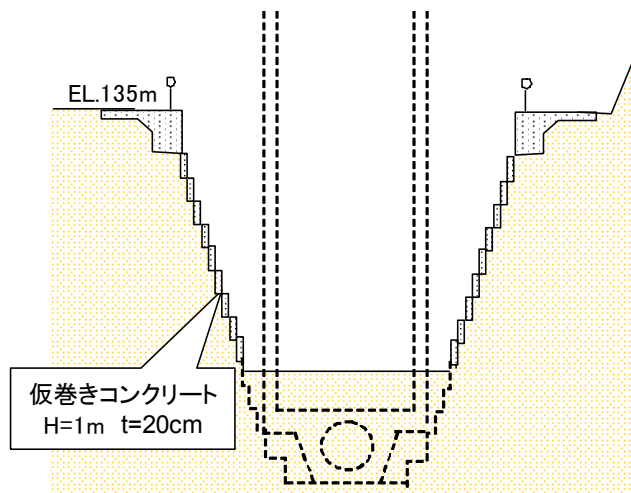


図-4 階段状掘削案の概要

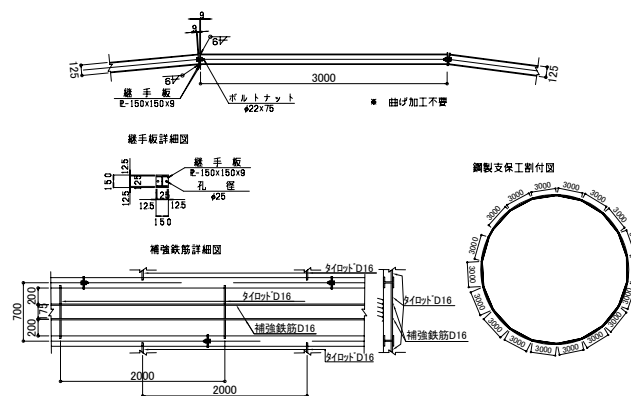


図-5 鋼製支保工詳細図

施工にあたっては、鋼製支保工のリング効果を発揮できるように出来るだけ正多角形状になるように組立・設置すること、以前の崩壊によりゆるんでいた地盤が確認された場合にはその部分も取り除くこと、および吹付けコンクリートは地山と密着させ地山をゆるめないことに留意して施工するよう指導を行った。これは掘削した切羽をゆるませることなく鋼材（もしくはロックボルト）と

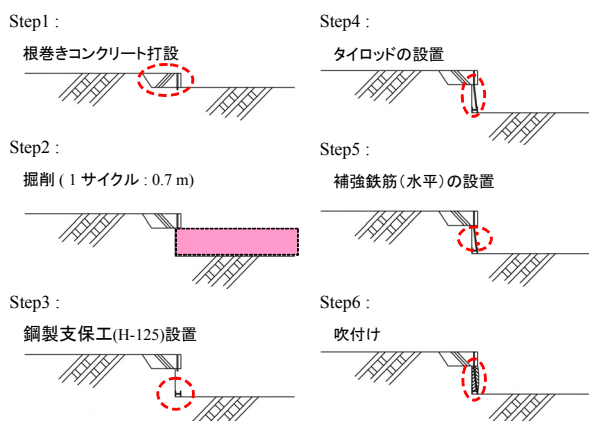


図-6 立坑掘削施工ステップ



写真-3 立坑掘削施工エリア全景



写真-4 立坑掘削状況

吹付けですぐに支保を行う水平トンネル掘削と同様である。水力開発局は鋼材と吹付けした直下を掘削することに大きな抵抗があったが、日本の技術者の指導のもと実践することでこの工法の信頼性を理解してもらうことが出来た。施工状況を写真-3, 4に示す。

立坑掘削は12月下旬より開始した。立坑掘削開始直後に本施工法の経験のある技術者を現地へ派遣し、施工法の技術指導を行った。その結果、初期は施工への不慣れから時間を要したが、施工技術の信頼性の理解とともにスムーズに施工が行えるようになった。また、岩盤は良好で、埋没していた既設鋼製支保工の残骸処理も当初予想よりスムーズに行うことができたため、予定より早く2月下旬に完了した。

4. サージタンクの再設計

サージタンクをタワー部（上部）と立坑部（下部）の2つに分けて再設計した。タワー部は十分な強度を有する基礎により支持され、立坑部は内水圧に対して周辺地盤によってサポートされることを期待して設計された。

この立坑設計に用いた理論はOtto-Frey-Baerの方法であり、導水路圧力トンネルのライニングの設計によく用いられるものである。この理論は以下の前提を仮定している。

- ・ 岩盤およびコンクリートは均一弾性体と考える。
- ・ 岩盤とコンクリートの間には、内圧を負荷する前にはすき間が開いていない。
- ・ 岩盤は引張力に耐えることができると考える。

立坑掘削を実施したEL.135m以下には周辺にコンソリデーショングラウトを実施する予定である。これは上述の前提条件を満たすように、掘削によってゆるんだ岩盤を所定の強度（CL級）に戻すことを目的とするものである。また、EL.135m～EL.145mの区間は巨礫を骨材に使用したコンクリートでサージタンク周辺を埋め戻している。これは内圧へのサポートとともに、タワー部の基礎として十分な支持力を期待してのものである。

5. おわりに

2007年11月より開始したサージタンク立坑復旧工事は、大きなトラブルに見舞われることなく順調に進捗し、2008年2月に立坑の再掘削を完了することができた。また、サージタンク本体コンクリートの打設を引き続き行い、2008年5月にはほぼ立坑部の打設を完了し、巨礫コンクリートおよび土砂による埋め戻しも同標高まで完了し、本格的な雨季を迎える前に復旧を完了することがで

きた。

ミャンマーでは、限られた「人・物・金」の状況下で、標準的な工法をすぐには受け入れてもらえない。水力開発局の首脳部、現場の所長と何度も議論を交えることで、徐々に相互理解が生まれる。当方としても、彼らの持つ資機材の中でたとえ手間がかかってもできるような簡便な工法を提案していくこと、また実践によって理論を

証明していくことの重要性を感じる。

これまで示したように、協議を重ね、相手の事情を勘案しながら最善策を見つけていくことにより、頭ではなかなか理解しにくい立坑掘削とコンクリート巻立の理論を実践することで、技術を体得することができたのではないかと思う。これらは今後の同種工事の際に役立てられることと願う次第である。

THCHNICAL TRANSFER OF SHAFT EXCAVATION OF SURGE TANK ON HYDROPOWER PROJECT IN SOUTHEAST ASIA

Shoji TSUTSUI, Masaki KAWAGUCHI and Kazuya YONETSU

The Kansai Electric Power Co., Inc. (hereinafter “KANSAI”) has carried out technical transfer to Ministry of Electric Power.(1) (hereinafter “MOPE(1)”) in Myanmar on hydropower development for total six years so far. The lack of theory and technique of tunnel excavation and insufficient quality control caused the collapse of the surge tank shaft on K Hydropower Project. KANSAI proposed recovery works based on ‘theory of tunnel excavation’ and ‘design of concrete lining’. MOPE(1) completed shaft excavation and concrete lining successfully before the rainy season. This report presennts how to conduct technical transfer on hydropower development through the surge tank shaft excavation.