

産業遺産である老朽化した水力発電所の改修と立坑掘削時における地山の変位と対策

高橋 克明

北海道夕張市にある滝の上発電所は、1925（大正14）年に北海道炭礦汽船^{たんこう}の自家発電施設として建設された、雪解け水を利用する季節限定の水力発電所である。近年は、幾度か所有者の移転を経たのち北海道に譲渡され、道営発電所として運営されている。本稿では、この産業遺産であるレンガ造りの発電所建屋の補修や耐震補強、改築する水力発電施設の立坑掘削について報告する。

キーワード：発電所建屋、耐震補強工事、補修工事、立坑、内空変位、増しロックボルト

1. はじめに

滝の上発電所は、石狩川水系石狩川支流の一級河川である夕張川より取水を行う赤レンガ造りの発電所建屋を有する水力発電施設である。発電所の使用開始は1925年（大正14年）で北海道炭礦汽船が建設、運用していたが、採炭事業から撤退後、幾度か所有者の移転を経たのち、1994年（平成6年）より北海道企業局が運営、管理をしている。建設から約90年の年月が経過し、発電施設の老朽化、コンクリート他建造物の劣化が顕著になってきたため、本改修事業により、越流堤、沈砂池、導水路、水槽・余水路、水力発電施設、放水路の改築、発電所建屋の補修と補強を行うこととなった。使用開始当時の最大出力は2基の水車で2,340 kWであったが、今回の改修では1基のみで1,900 kWの最大出力と計画されている。

2. 発電所建屋の耐震補強と補修

(1) 耐震補強工事

建設後約90年経過したレンガ造りの発電所建屋は、円筒法と呼ばれる溶かしたガラスを円筒状に膨らませ、そこから加熱しながら板状に延ばしていく製法による表面にゆがみのある窓ガラスと、戦時中の空襲対策として塗られたコールタールが今も外壁に残る歴史のある建造物である。レンガ壁は、モルタルを目地材としてレンガを積み重ねるものであるが、施工する技術者の技量や目地部のモルタルの配合具合により建造物毎の品質は異なり、100年を超える耐用年数のあるレンガと経年により劣化するモルタルは長い年月に

よりその一体性は低下していく。今回の耐震補強工事では、外部鉄骨ブレースによる補強を行うと外観の景観を損ねるため、内部に鉄骨ブレースと方杖を併用する補強方法を採用した（写真—1）。

また、機能及び外観上必要の無い窓や出入り口等の開口部を塞ぐことで外壁の強度を上げ、内側より補強のできない外壁の突出部には、アラミドロッドをレンガ外壁天端より挿入することで水平荷重に対する耐力を向上させた（写真—2）。



写真—1 耐震補強完了全景（内側）

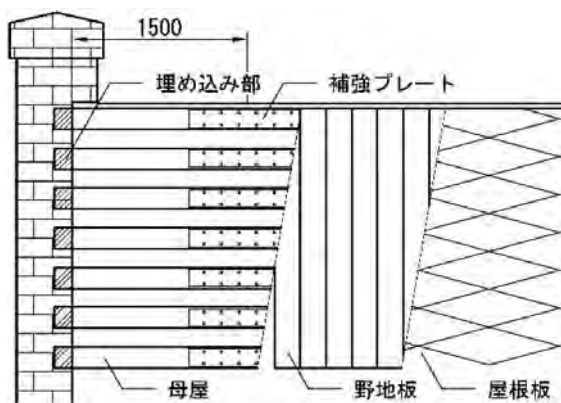


写真—2 アラミドロッド施工状況

(2) 補修工事

レンガ壁の開口部閉鎖は、内部に無収縮モルタルを打設し、外部をレンガ積みにした。レンガの厚みが現在と建設当時で異なったため、市場調査を実施し、同じ厚みのレンガを探して使用することで違和感の無い仕上がりになるように配慮した。

老朽化した屋根については、母屋（骨組み）の腐食箇所、レンガ壁に埋め込まれた部分を含む1.5mほどを切断し、埋め込み部に防腐処理をして補強プレートで切断部と再接続した後、野地板（屋根の下地材）を残して断熱材とルーフィング（防水シート）を張り、屋根板を張替えた（図一1）。



図一1 屋根補修工事概要

木製建具（窓枠）についてはすべて再利用することとしたが、色あせた建具は一度全てを撤去した後、耐震補強の鉄骨と共に現存する資料をもとに同じ色で塗装して再設置を行った。事前に断面の欠損した建具枠は埋め木による処置を施し、建具下枠にはエポキシ樹脂による吸水防止処理を行った。

外壁は、レンガ壁のクラックと腰壁コンクリート（1F窓枠以下の基礎コンクリート）の浮き部にエポキシ樹脂を注入後、外壁全体を洗浄し、浸透性吸水防止材を塗布することで耐久性を向上させた（写真一3）。

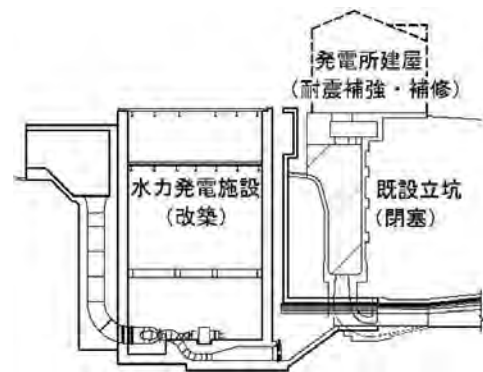


写真一3 補修完了全景

3. 立坑掘削時における地山の変位と対策

(1) 掘削に伴う変状, 変位

改築する水力発電施設は、発電所建屋直下の既設立坑をエアモルタルで閉塞し、隣接する取水口を取り壊して新たに立坑を掘削し構築するものである。額縁工と呼ぶ高さ8m程度のオープン掘削の法面があり、その下方が深さ約24mの吹付けコンクリートとロックボルトを支保工とする矩形断面の自立型土留の立坑となっている（図一2、写真一4）。



図一2 水力発電施設断面図



写真一4 立坑掘削状況

この立坑の掘削の進行に伴い、額縁部法面の吹付けコンクリートにはクラックやロックボルトのプレートに変形が発生し、立坑の内空が減少する方向に変位が出始めた（写真一5）。

立坑の内空変位は、掘削とともに変位が進行したが、掘削休止中に変位量が僅かになる状況から、大型ブレイカー掘削による振動の影響が考えられたため、壁面から1m程度のベンチを反力として残し、振動



写真一五 変状状況 (プレートの歪み)

による影響の低減を試みたが、効果を得られなかった。

計画時には限界ひずみ法による変位量を算定していたが、上部から8リフト目(立坑部、深度10m)施工時に最終変位量を把握する意味で、2次元FEM解析を行うこととした。最終変位量を今まで計測した変位量をもとに逆解析したところ、最終変位が68mmとなり、限界ひずみ法では62.8mmと結果が近く、その結果に一定の安心を得た。

10リフト目(立坑部、深度12.5m)完了後、法面の変状や立坑の変位に収束傾向がみられないことから、掘削を一時中断し、地中変位計、ロックボルト軸力計の計測結果をもとに、変位を抑制するための対策工を検討、実施することとした。

(2) 額縁工の対策

クラックが発生した部分の吹付コンクリートは、厚さ15cmの増吹きを行い、地中変位計の計測結果からロックボルトの定着位置が浅いことが変位発生の原因であると推測されたため、当初5mの長さから7mに変更した長尺ボルトを追加打設(増しロックボルト)した。その後、新たな変状の発生は無く、一定の効果を得ることができた(写真一六)。



写真一六 増しロックボルト施工状況 (額縁)

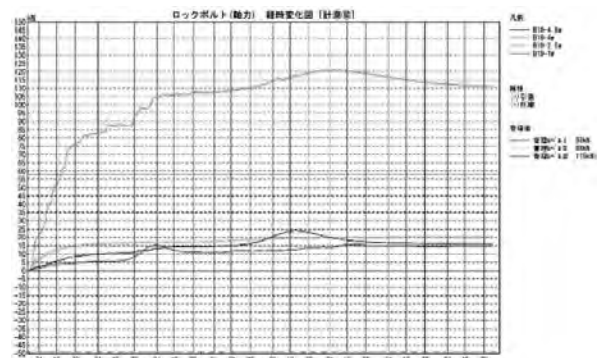
(3) 立坑部の対策

内空変位の管理では、限界ひずみ法による最終変位を62.8mmとして管理レベルをⅠ(31.4mm)・Ⅱ(47.1mm)・Ⅲ(62.8mm)の3段階に設定していたが、10リフト目完了後(80日経過)でも、明確な収束傾向がみえず、額縁工の増しロックボルトに加え、立坑部も増しロックボルトによる対策工を8リフト目(深度10m)まで実施した。ロックボルトの規格は変状の状況と地中変位計、ロックボルト軸力計の計測値をもとに長さを変更し、材質も異形棒鋼(SD345)から耐力がより大きいねじり棒鋼(STD510)に変更した。

掘削再開後、対策を実施した立坑部の変位速度は、約40%程度に緩やかになった。しかし、未対策区間に新たに設置したロックボルト軸力計では、掘削の進行に伴い、顕著な軸力の増大がみられた。ロックボルト軸力計の耐力管理には、内空変位と同様に3段階の管理レベル(管理レベルⅠ:安全率2.0・管理レベルⅡ:安全率1.3・管理レベルⅢ:安全率1.0、ロックボルトの耐力に安全率を乗ずることにより定める)を設定していたが、未対策区間での軸力が急速に管理レベルⅡを超過する可能性が明確となり、再度増しロックボルトを8から14リフト目(高さ7.5m分、合計対策高さ17.5m)まで実施することにした(写真一七、図一三)。



写真一七 増しロックボルト施工状況 (立坑)



図一三 ロックボルト軸力計の経時変化図

これらの対策により変位速度は緩やかになり、所定の最終掘削盤である19リフト目（深度24m）の掘削を完了することができた。

掘削完了後の変位は、1mm/月程度まで収まり、収束が認められ躯体工事へと工事は進化した（写真—8）。



写真—8 躯体構築状況

4. おわりに

本工事により、建設後約90年経過した建造物を改築するという希少な経験を得ることができた。現存する建造物を調査し改築する中で、先人たちの苦労が見えてくるようであった。建設当時の資料を見る機会があったが、建設機械と呼べる物も無く、そのすべてで人力を主力とする施工状況に本当に驚かされた。

この先、また長い年月を過ごすであろう産業遺産であるこの滝の上発電所を後世に残す工事に携わることができ、技術者冥利に尽きるものであった。

本稿が類似した工事における施工計画、施工管理の一助となれば幸いである。

JCMA

《参考文献》

- 1) 北海道企業局ホームページ

【筆者紹介】

高橋 克明（たかはし かつあき）
伊藤組土建(株)
土木部 技術管理課
係長

