

水力発電所更新工事におけるスラブ撤去・復旧時の設計上の課題と対策

清水建設(株) 正会員 ○丑屋 智志
清水建設(株) 正会員 五味田永人
清水建設(株) 正会員 山岡 貴司

1. はじめに

我が国の水力発電所は、建設から半世紀以上が経過し、老朽化しているものも多い。全国各地の水力発電事業者は、国の再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）や FIP 制度も利用しつつ、更新工事を行っている。

水力発電所は取水部から放水部まで様々な施設で構成されており、更新工事において更新の対象となる施設は各発電所で異なるが、比較的多くの更新工事で水車発電機設備は更新の対象となっている。水車発電機設備の更新によって、数%の発電効率向上が見込まれることが多い。

一般的に水車発電機設備は発電所の建屋内の基礎躯体に設置されているが、水車発電機設備の更新の際に工事費を極力抑える観点から、建屋や基礎躯体を全て撤去するのではなく、工事に必要な範囲のみ部分的に撤去することが多い。その場合、水車発電機設備の更新後に、部分的に撤去した建屋や基礎躯体を復旧する必要がある。

本稿では、建設当時の設計思想に不明な点がある 2 件の水力発電所の更新工事について、既設発電所の撤去及び復旧時の設計上の課題とその対策について述べる。

2. 発電所の概要

本稿で取り上げる 2 箇所の水力発電所の概要を表-1 に示す。両発電所ともに、建設から 60 年以上が経過し、施設の老朽化が進行しているため、現在、大規模改修工事を行っている。

表-1 発電所の概要

発電所名	春近発電所	綾第二発電所
所在地	長野県伊那市	宮崎県東諸県郡綾町
運転開始	1958（昭和 33）年	1959（昭和 34）年
発電出力 [kW]	23,600	28,000
有効落差 [m]	151.80	126.33
最大使用水量 [m ³ /s]	19.0	26.0

3. 発電所の構造

両発電所の水車発電機設備は、立軸フランシス水車という形式である。バレルと呼ばれる円筒状の鉄筋コンクリート基礎によって支持された発電機が発電所の地下の発電機室に、水車のケーシングやドラフトチューブ（吸出し管）の一部が発電機室の一つ下階の水車室に位置しており、上階の発電機と下階の水車は主軸で連結されている。（図-1～2）

既設発電所の発電機室のスラブには、水車室に位置する既設の水車発電機設備の撤去や新設する水車発電機設備の部材を搬入するための開口が予め設けられているわけではなかった。そのため、これらの作業のために発電機室のスラブを撤去する必要があり、撤去範囲の設定と、撤去後の構造に対してスラブの復旧方法の検討が必要であった。

4. 発電機室のスラブ撤去による全体構造への影響検討・対策

春近発電所では、施工中に一面壁のみに支持される片持ち状態となるスラブを極力少なくして仮設支持部材を減らすこと、水車室への資材投入を容易にすることなどを目的に、発電機室スラブのほぼ全面を撤去し、復旧する計画とした（図-3）。綾第二発電所でも、撤去により既設構造物への構造影響があると考えられた一部のスラブについては残置するが、それ以外については春近発電所と同様の方針の下、大部分を撤去し、復旧する計画とした（図-4）。なお、両発電所ともに、スラブを撤去することによる既存施設の安定性については別

キーワード 水力発電所, 丸鋼, 定着, フレア溶接, 突合せアーク溶接, あと施工アンカー

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 設計第一部 TEL 03-3561-3896

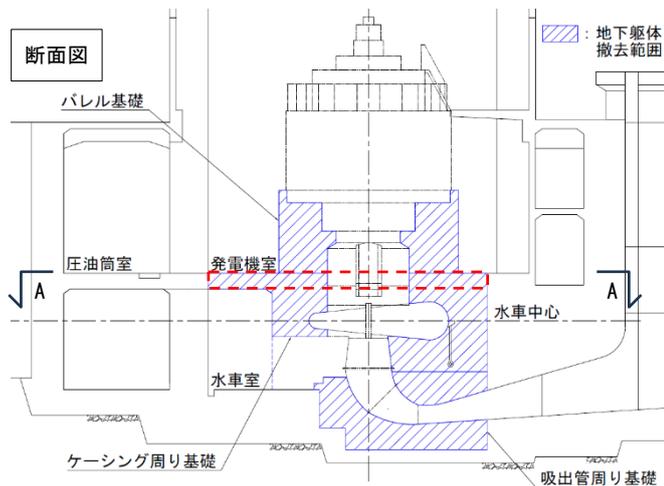


図-1 発電所の構造（春近発電所）

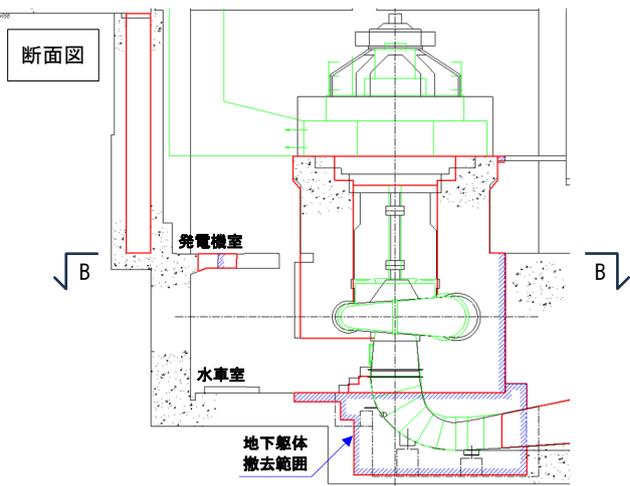


図-2 発電所の構造（綾第二発電所）

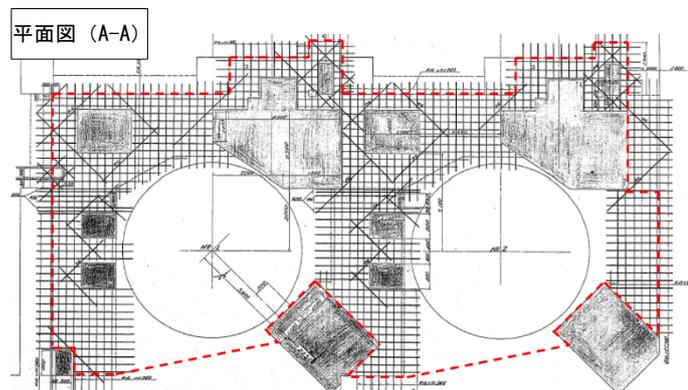


図-3 発電機室の撤去範囲（春近発電所）

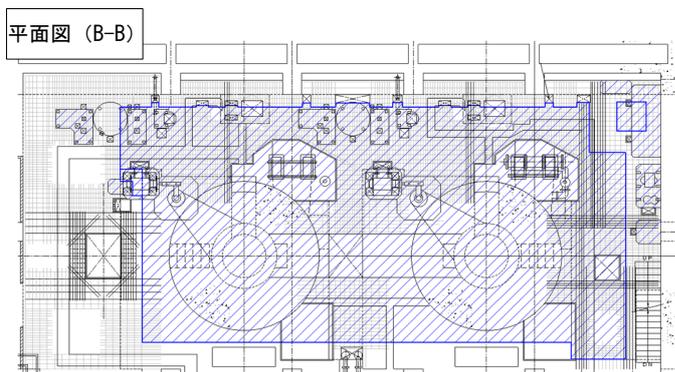


図-4 発電機室の撤去範囲（綾第二発電所）

途照査を行い、対策が必要な箇所については、支保工を設置する計画とした。

5. 設計上の課題と対応策

撤去したスラブを再構築する際に、既設発電所建屋地下躯体の設計図書は、図面が一部残っているのみで計算書は現存しておらず、建設当時の設計思想や材料強度は不明であったため、新規に設計する必要が生じた。そこで、「既設と同等以上」の仕様で復旧するという基本方針の下、下記の(1)～(3)について検討した。

(1) 既設スラブの材料強度推定（表-2）

a) 既設鉄筋の材質

春近発電所の建設当時の図面には既設鉄筋の材質の記載がなかった。そのため、既設スラブから鉄筋を採取して引張試験を行い、建設当時の1958（昭和33）年前後の基準類¹⁾²⁾と照らし合わせ、SS34・SS41・SS39相当（一般構造用圧延鋼材、数値は引張強さ（kg/mm²）を表す）であると推定した。一方、綾第二発電所では、既設発電所建屋と同様の鉄筋が使用されていると想定し、材質をSR235と推定した。

b) 既設コンクリートの設計基準強度

春近発電所では、図面に記載されていた鉄筋径・定着長と当時の基準¹⁾の定着長算定式より、設計基準強度は135kg/cm²（≒13.2N/mm²）であると推定した。一方、綾第二発電所では、既設発電所建屋の設計基準強度や建設当時の鉄筋コンクリート部材の設計基準の採用事例等を総合的に判断し、設計基準強度を21N/mm²と推定した。なお、事前にスラブの近傍からコアを採取し、圧縮強度試験を実施したところ、実強度は44.5N/mm²（平

表-2 既設スラブの材料

発電所名		春近発電所	綾第二発電所
既設鉄筋の材質	材質	SS34・SS41・SS39相当	SR235
	設計基準強度	135kg/cm ² （≒13.2N/mm ² ）	21N/mm ²
既設コンクリート	実強度（平均値）	44.5N/mm ²	33.7N/mm ²

均値：春近発電所）及び 33.7N/mm^2 （平均値：綾第二発電所）であり、上記推定との整合性を確認している。

(2) 残置するスラブの既設鉄筋の撤去・復旧方針

a) 既設鉄筋の接続方法

春近発電所のスラブの撤去範囲は発電機室と呼ばれる範囲のみであり、同じフロアで発電機室の隣に位置する圧油筒室のスラブは撤去せずに更新後も引き続き使用する計画であった。圧油筒室のスラブに配置されている既設鉄筋は丸鋼であり、端部は全て半円形フックで定着されていたが、発電機室のスラブの撤去時にコア削孔やワイヤーソー等で圧油筒室のスラブの鉄筋定着部を切断したままにしていると、既設鉄筋の定着性能が失われる。そこで、切断される既設鉄筋には、溶接長を長くすることによって継手部の強度を確実に高めることのできるフレア溶接で新設異形鉄筋を接続することとした（**図-5**）。

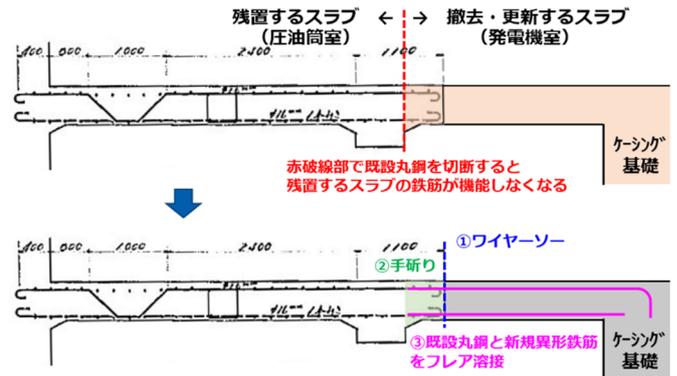


図-5 既設鉄筋の接続方法（春近発電所）

一方、検討の時期が春近発電所の後であった綾第二発電所についても、スラブの撤去・復旧を実施する際に、春近発電所と同様の理由で既設鉄筋と新設異形鉄筋の接続が必要であったが、鉄筋接続方法は、突合せアーク溶接とフレア溶接の2工法の施工性や継手の信頼度、発電所の施工実績等の特徴を比較した上で決定することとした。

b) 溶接継手の引張試験

鉄筋接続方法の検討にあたり、春近発電所ではフレア溶接で、綾第二発電所ではフレア溶接と突合せアーク溶接のそれぞれの方法で接続した鉄筋の供試体を製作し、引張試験により強度を確認した。鉄筋の供試体は、スラブの一部をウォールソーにより切断して撤去し、その後、撤去したスラブからハンドブレイカにて人力で丸鋼（ $\phi 16, 22$ ）をはつり出し、丸鋼を当該

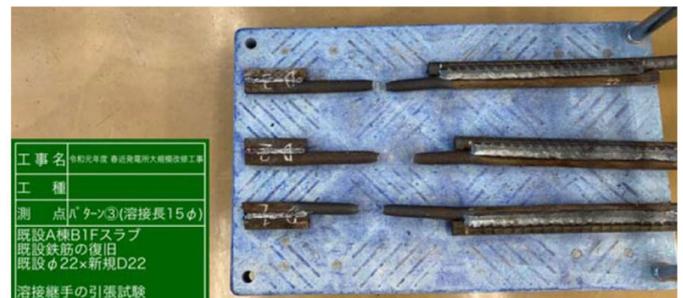


写真-1 溶接継手の引張試験

工事の構造物に使用する鉄筋と同一製品の異形鉄筋（D16, 22）と溶接して製作した。フレア溶接のビード幅等の基本仕様は「鉄筋定着・継手指針[2020年版]」³⁾により定め、溶接長は 10ϕ または 15ϕ とした。突合せアーク溶接には、施工不良による品質不具合の出にくい、鋼裏当て材を用いる鋼裏当て方式によるエンクローズ溶接（SG継手）を検討した。接続する新設異形鉄筋の材質は、**5. (1)**で推定した既設鉄筋の鋼種に対し「降伏点×断面積」「引張強度×断面積」ともに新設が既設を上回るように、SD295 または SD345 とした。

引張試験の結果、全ての供試体において、継手部ではなく母材破断することが確認された（**写真-1**）。フレア溶接の溶接長は、この引張試験の結果に加え、継手の集中度・信頼度を考慮して決定した。綾第二発電所については、引張試験の結果、突合せアーク溶接とフレア溶接のいずれの方法も必要強度を満たしたが、全数継手（いも継ぎ）が可能であり、丸鋼のはつり出し長が短い、突合せアーク溶接継手を採用することとした。

(3) 復旧するスラブの設計

スラブの復旧時のコンクリート強度は、「既設と同等以上」ならば春近発電所では 135kg/cm^2 （ $\approx 13.2\text{N/mm}^2$ ）、綾第二発電所では 21N/mm^2 以上であれば良い。現在、本設の RC 構造物では 21N/mm^2 以上とすることが一般的であることも踏まえ、設計基準強度は 21N/mm^2 とした。

スラブの撤去の際に、既設鉄筋を切断することになる部分については、**b)**で採用した方法にて鉄筋を接続した。一方で、既設コンクリート部材（床版、壁面）と復旧するスラブが一体となる部分については、あと施工アンカーを用いて復旧時の鉄筋を既設コンクリート部材に定着させることとした。

春近発電所では、群集荷重やオーバーホール（細密点検）時の機器仮置荷重がスラブに作用した際の構造計算を実施し、「既設と同等以上の復旧仕様」で問題ないことを確認した。あと施工アンカーのかぶり高は、スラブの必要有効高とコーン状破壊が先行しないへりあき寸法の両者を満たす高さに設定した。なお、設定した位置のあと施工アンカーが既設鉄筋や埋設物等と干渉した際に、現場で随時対応できるように、構造計算の結果を考慮して高さ方向移動可能量のルールを設定した。

綾第二発電所では、現在、水車発電機設備の製造者による機器の設計を行っており、これが終了した時点で、事前に実施した構造計算について再確認する予定である。

6. 施工状況

2024年8月現在、春近発電所ではスラブを含む基礎の構築（写真-2）がほぼ完了し、バレルの構築を行っている。フレア溶接を行う既設丸鋼は傷つけないようにハンドブレイカによって人力にて慎重にはつきり出し、図面に記載のない鉄筋が出現した際には復旧可否を都度確認しながら施工を進めた。

綾第二発電所では水車発電機設備の撤去が完了し、バレルの撤去に着手している（写真-3）。打撃破砕によって既設部材に損傷やひび割れが生じないように、ロードカッターやウォールソー工法、コア削孔にて縁切り、切断を行っている。

7. まとめ

建設当時の設計思想に不明な点がある2件の水力発電所の更新工事について、発電所のスラブを「既設と同等以上」の仕様で復旧することを基本方針とし、設計上の課題に対する対策を検討した。

既設丸鋼と新設異形鉄筋の接続方法の検討にあたり、既設のスラブから丸鋼を採取し、春近発電所ではフレア溶接で、綾第二発電所ではフレア溶接と突合せアーク溶接のそれぞれの方法で異形鉄筋と接続した供試体を製作し、引張試験を行った。その結果、いずれの供試体においても継手部ではなく母材で破断し、継手部は必要強度を満たすことを確認した。綾第二発電所では、いずれの接続方法も選択することができたが、全数継手（いも継ぎ）が可能であり、丸鋼のはつきり出し長が短い、突合せアーク溶接継手を採用することとした。綾第二発電所については、スラブの撤去中であり、復旧まで完了した時点で得られた知見および反省点を、今後の同種工事に活かしていきたい。

また、新設鉄筋の定着にあつては施工アンカーを用いる場合、既設鉄筋や埋設物等と支障する可能性が多分に考えられるため、所定の位置から移動する際のルールをより詳細に定めておくことが望ましい。

8. 参考文献

- 1) 日本建築学会，鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説[1958改]，p. 28，33，220-222，1958
- 2) 土木学会，昭和31年土木学会制定 コンクリート標準示方書[昭和33年版]，p. 64-65，96-98，1958
- 3) 土木学会，コンクリートライブラリー156，鉄筋定着・継手指針[2020年版]，p. 141-142，2020
- 4) 阿部，大橋：鉄筋のフレア溶接継手の引張試験に関する研究，栃木県産業技術センター 研究報告 No. 10 (2013)



写真-2 既設鉄筋の接続状況（春近発電所）

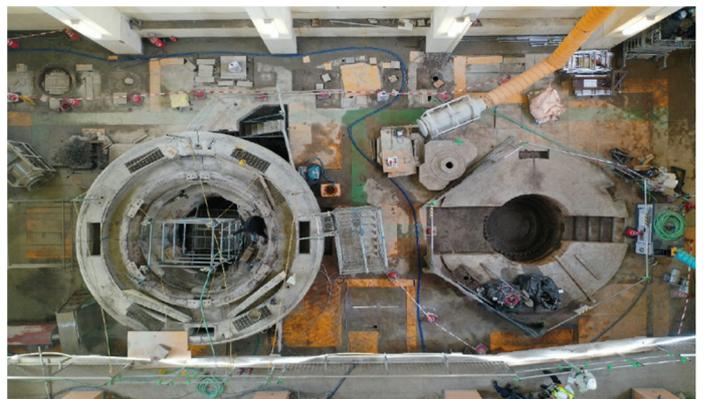


写真-3 バレルの撤去状況（綾第二発電所）