

## マイクロ水力発電システムは「未来の水車」 ～設置工事期間の短縮事例のご紹介～

株式会社DK-Power

安井 義貴・武田 暁

### 1 はじめに

再生可能エネルギーの導入は、国の地球温暖化対策計画にも取り上げられている優先すべき課題である。再生可能エネルギーの中でも、水力発電は安定供給性に優れたエネルギー供給源として重要視されており、今後の普及拡大が期待されている。

株式会社DK-Power（以下、当社とする）は、ダイキン工業株式会社が開発したマイクロ水力発電システムを用いて発電事業を行うために2017年6月7日に設立された。当社のマイクロ水力発電システムには、ダイキン工業株式会社のモータ・インバータ技術が活かされており、高効率な発電が可能である。

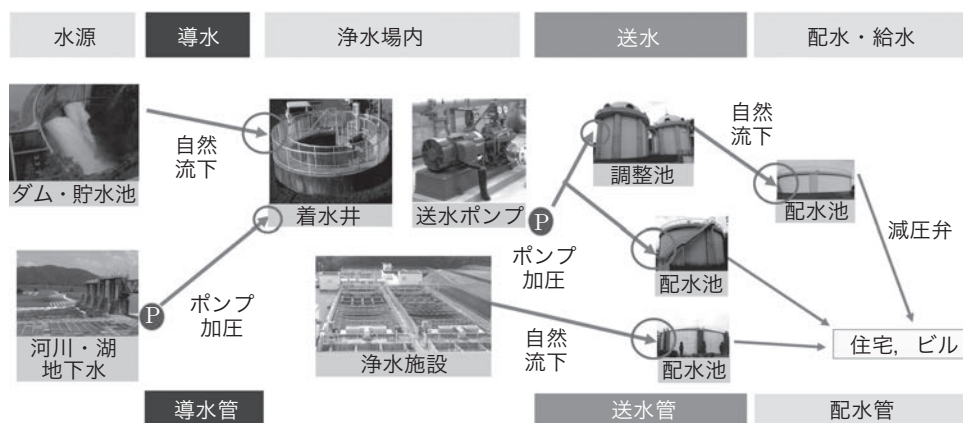
マイクロ水力発電とは出力100 kW以下の小規模な水力発電を指す。当社の高効率なマイクロ水力発電システムを用いることで、このような小規模な水力発電も実現できるようになった。大規模な水力発電だけでなく、小規模なマ

イクロ水力発電の導入を進めることで、再生可能エネルギーの普及拡大へ当社は貢献したいと考えている。

マイクロ水力発電の導入先として、上水道施設が考えられる。上水道施設での水の流れのイメージを第1図に示す。ダムなどの水源で取水された水は浄水場に送られ、浄水処理されたのちに調整池・配水池を経て家庭や工場などの需要家に配水される。水は施設の高低差やポンプによる圧力エネルギーによって送られる。水の圧力エネルギーは配水池などで大気開放される際に失われており、この大気開放される水の圧力エネルギーを利用した発電が可能である。

水力発電の発電ポテンシャルは流量と有効落差によって決定される。経済産業省が上水道施設における流量・落差条件を調査した結果<sup>(1)</sup>をみると、上水道施設においては最大使用水量1.0 m<sup>3</sup>/s以下、有効落差10 m超の地点が多く、マイクロ水力発電の導入に適している。

本稿では、当社のマイクロ水力発電システムの特長を紹介するとともに、当社システムの特



第1図 上水道施設での水の流れのイメージ

## マイクロ水力発電システムは「未来の水車」～設置工事期間の短縮事例のご紹介～

長を活かして工事期間を短縮して導入することができた事例について、あまり公開されないことのないマイクロ水力発電システムの設置工事の内容を中心に紹介する。

### 2 当社のマイクロ水力発電システムの特長

当社のマイクロ水力発電システムは、「縦型インラインポンプ逆転水車」、「永久磁石同期発電機」、「発電機一体型発電コントローラ」、「システム制御盤」で構成されている。当社のマイクロ水力発電システムの構成を第2図に示す。

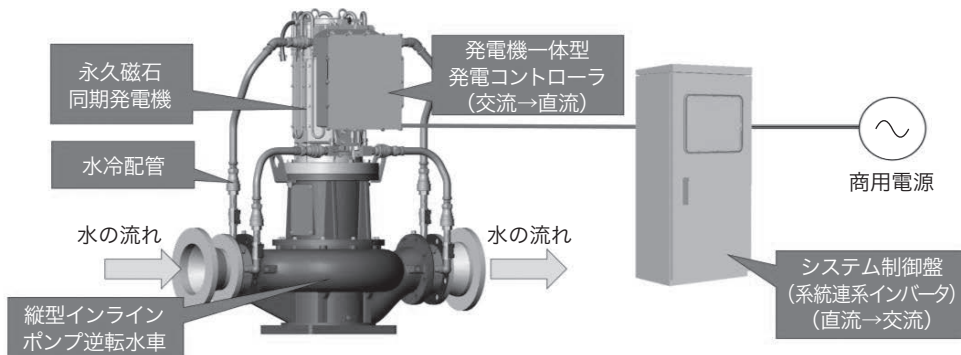
水流により水車ランナが回転し、ランナと同軸の永久磁石同期発電機が回転して発電する。水車の上部に載せた発電機一体型発電コントローラの冷却に、発電に使う流水と水車前後の水圧差を利用した水冷方式を採用しているため、従来必要であった空冷用のファンやフィ

ンが不要となっている。この構造により、大幅な小形化を実現できており、一般的なマイクロ水力発電システムと比較すると、設置面積が約1/2と非常に小さい。

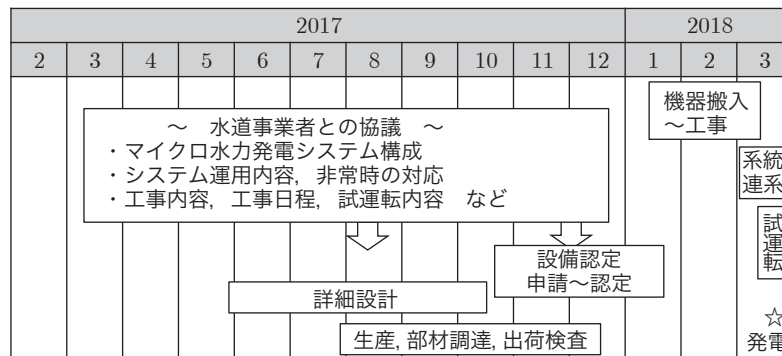
また、一般的なマイクロ水力発電システムは、設置条件ごとに水車設計を行い、ガイドベーンなどの複雑な機構で水流を調整していた。当社のマイクロ水力発電システムは、水道用の汎用ポンプを水車部分に利用するポンプ逆転水車方式を採用し、インバータによるトルク・回転数制御で発電効率を高めている。ガイドベーンがないシンプルな構造であるため、初期の機器コストを抑えることができる。

### 3 マイクロ水力発電システムの導入の流れ

発電開始までの導入の流れについて第3図に示す。こちらは、2017年度の導入事例のスケ



第2図 マイクロ水力発電システムの構成



第3図 発電開始までの導入の流れ

## 小水力発電

ジュールを示しており、2017年3月に水道事業者と具体的な話を始めてから、1年間という短期間で発電を開始することができた。

まず、導入先の水道事業者と協議しながら、水運用に影響を及ぼさないマイクロ水力発電システムの構成や運用方法を決めていく。協議の結果を元に詳細設計を行い、部品の手配を開始する。部品の手配を開始してから約5か月で現場への納品が可能となる。

固定価格買取制度を利用して売電を行うためには、経済産業省から設備認定（法令で定める認定基準に適合しているかどうか国が確認すること）を受ける必要がある。設備認定を得るには、電力会社との接続契約が結ばれていることが条件となるため、まずは電力会社に連系申請を行う。申請から認定完了までには、経済産業省や電力会社と申請内容の確認のやり取りが生じる可能性があるため、期間としては2～3か月程度をみておく必要があり、この事例では約3か月を要した。

現場で施工を開始してから約2か月で工事を完了し、約2週間の試運転調整の後に発電を開始した。このように短期間で発電開始するためには、工事期間を短縮する施工上の工夫をいろいろと行っている。その中の代表的なものについて4. で説明する。

### 4 マイクロ水力発電システムの設置工事期間の短縮について

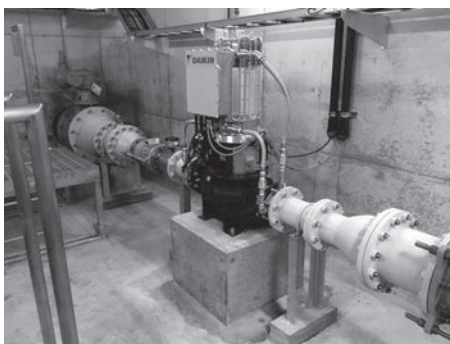
#### (1) マイクロ水力発電システムを設置する地下ピットにプレハブ工法を採用

##### 【背景】

マイクロ水力発電システムと電動弁、流量計などの付帯機器は、耐候性の問題により、屋外に露出させて設置することができないため、建屋や地下ピットの中に設置する必要がある。

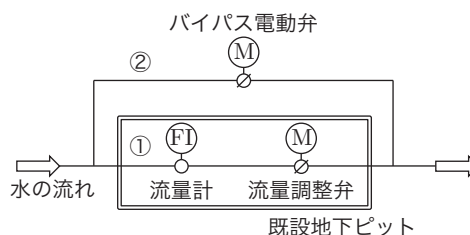
一般的に、こうした発電システムを設置する場合は、建屋や地下ピットを新設することが多いため、マイクロ水力発電システムの設置には半年から1年かかるといわれている。しかし、

当社のマイクロ水力発電システムは従来のものと比べて設置面積が約1/2と非常に小さいため、上水道施設内に既存の地下ピットがあれば設置可能である。上水道施設内に既存の地下ピットにマイクロ水力発電システムを設置した様子を第4図に示す。この事例では設置工事の期間は約2か月であった。



第4図 既存の地下ピットにマイクロ水力発電システムを設置した様子

一方で既存の建屋や地下ピットにマイクロ水力発電システムを設置することが難しいケースも存在する。この理由を配水池に流入する水の量を調整するために設けられた電動弁で圧力エネルギーを消費する代わりにマイクロ水力発電システムで発電するケースを例に説明する。既存の管路の配管システムのイメージ図を第5図に示す。通常、流量計と流量調整弁が設けられた管路（第5図における①の管路）で送水されており、これらの機器をメンテナンスする場合に備えて、通常は水が流れないバイパス管路（第5図における②の管路）が備えられている。



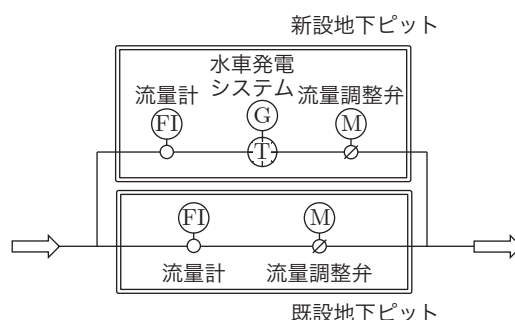
第5図 既存の管路の配管システムのイメージ図

流量計や流量調整弁が設けられている既設の

マイクロ水力発電システムは「未来の水車」～設置工事期間の短縮事例のご紹介～

管路にマイクロ水力発電システムを設置する場合、配管や流量計、流量調整弁を一度取り外す必要がある。これらの機器を取り外す間、送水を長時間停止すると水運用に支障をきたしてしまう。水運用の都合上、長時間送水を停止できない場合、既存の流量計や流量調整弁を取り外した場所にマイクロ水力発電システムを設置することは難しい。

バイパス管路は通常の水運用に使用されていないので、バイパス管路へのマイクロ水力発電システムの導入工事は比較的容易である。しかし、バイパス管路は通常は使用しないので、地下ピットの外側である地面の下に埋設されることが多い。したがって、バイパス管路にマイクロ水力発電システムを設置する場合は、新たに地下ピットを設けることが多くなる。マイクロ水力発電システムを設置するために新設地下ピットを設けた配管システムのイメージ図を第6図に示す。地下ピットの新設となると、掘削、型枠設置、コンクリート打設、養生といったように多くの工程を経ることとなり、工事期間が延びてしまうという課題があった。



第6図 マイクロ水力発電システムを導入した配管システムのイメージ図

【プレハブ工法の活用】

新たに地下ピットを設ける場合、現場打ちコンクリートで築造する現場打ち工法と、工場で作成したコンクリート構造物を製造し、現場に持ち込むプレハブ工法の2種類がある。現場打ち工法の地下ピットとプレハブ工法の地下ピットの比較を第1表に示す。プレハブ工法は、強度を担保

するためにレジンコンクリート<sup>注1)</sup>を採用する機会が多い。プレハブ工法は現場打ち工法と比較すると、材料費は高くなるが、工事期間の大幅な短縮が見込めるため、材料費と工事費を合わせたトータルコストは現場打ち工法よりも安くなる。

第1表 現場打ち工法の地下ピットとプレハブ工法の地下ピットの比較

評価項目	現場打ち工法の地下ピット	プレハブ工法の地下ピット
工物品質	△ 作業条件によって変化	○ 工場生産であるため品質管理が容易
工事期間	× 約1か月以上	○ 約2～5日
トータルコスト (材料+工事費)	△	◎

プレハブ工法の地下ピットを採用する際の制約条件として、「現場に輸送するために車両の荷台に積載する必要があること」と、「掘削した場所にクレーン等で吊り下ろす必要があること」が挙げられる。地下ピットが大きいと、荷台に入らず、かつ重いので吊り下ろすことができない。したがって、プレハブ工法の地下ピットはできるだけ小さくする必要がある。

一般的なマイクロ水力発電システムは排気ファンを用いた空冷方式であるため、排熱は地下空間に排出される。小さい地下ピットは熱容量が小さく、熱がこもりやすい。空間の温度上昇を抑えるためには、外へ熱を逃がすための容量の大きい排気ファンを付けざるを得なくなり、プレハブ工法で導入する際のコストメリットが得られにくかった。当社のマイクロ水力発電システムは水冷方式を採用しているため、地下ピット内への熱の排出がないので、容量の大きい排気ファンが不要となり、プレハブピットを活用することができた。

【施工事例】

プレハブ工法の地下ピットを採用した施工事例を示す。マイクロ水力発電システムと、電動

## 小水力発電

弁、流量計などの付帯機器を新たに設置するためには、幅2 000 mm×奥行4 000 mm×高さ2 000 mm程度の地下ピットが必要である。この施工事例の設置場所は、重機の進入スペースが狭いため、16 tラフタークレーンが作業場所から約9 m離れた位置までしか侵入することができなかった。

このような厳しい設置条件においても、マイクロ水力発電システムと流量計を格納する第一の地下ピットと電動弁を格納する第二の地下ピットに分割することで、プレハブ工法の地下ピットの採用が可能であった。第一の地下ピットの外形寸法は幅2 180 mm×奥行2 180 mm×高さ2 480 mm、第二の地下ピットの外形寸法は幅1 900 mm×奥行1 250 mm×高さ1 900 mmである。第一の地下ピットは底面部、側面部、上盤部の3分割、第二の地下ピットは底面部と上盤部の2分割にすれば、輸送車両の荷台に収めることができた。第二の地下ピットの底面部を輸送車両の荷台から吊り下ろす様子を第7図に示す。

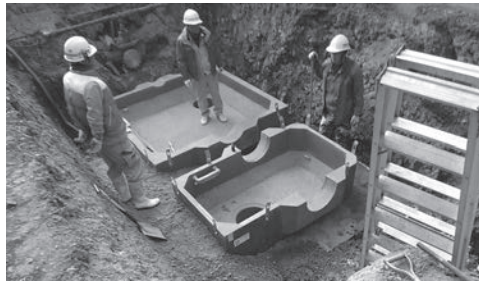


第7図 第二の地下ピットの底面部を輸送車両の荷台から吊り下ろす様子

次に設置工程を説明する。まず、発電機設置予定箇所の地中埋設管部を掘削して掘り起こす。続いて基礎工事を行うが、レジンコンクリート製のプレハブ工法の地下ピットの場合、現場打ちのコンクリートに比べて軽量であるため、良質な地盤であれば簡易的な地盤改良のみで十分である。

次にラフタークレーンで地下ピットの底面部

材を計画の位置に設置する。地下ピットの底面部を設置した様子を第8図に示す。奥側がマイクロ水力発電システムと流量計を格納する第一の地下ピットで、手前側が電動弁を格納する第二の地下ピットである。



第8図 地下ピットの底面部を設置した様子

設置後、地下ピットの底面部が設置場所から動かないように、地下ピットの底面部の周辺だけ一部掘削土を埋め戻す。その後、マイクロ水力発電システム、流量計、電動弁、配管の据付を行う。これらもラフタークレーンで吊り降ろし、それぞれの部材をボルトで締結していく。地下ピット底面部据付、配管工事完了後の様子を第9図に示す。



第9図 地下ピット底面部据付、配管工事完了後の様子

配管の据付が完了した後に、地下ピットの側面部と上盤部分をラフタークレーンで吊り下げて設置する。地下ピットの接合部分には、専用の接合材を塗布する。接合材が最終強度に至るまでの硬化時間は約48時間であるが、埋戻し可能な実用強度に至るまでは約4～6時間と短

時間であるため、硬化が完了するまで長時間待つ必要がない。その後、配管開口部の隙間へ無収縮モルタルを充てんし、開口部外側を覆うコンクリートの打設を行って、地下ピットと配管据付が完了する。開口部の隙間と外側の処理が終わった地下ピットの様子を第10図に示す。



第10図 開口部の隙間と外側の処理が終わった地下ピットの様子

最後に地下ピット間に掘削土を埋戻して地下ピットの設置が完了となる。埋戻し後の地下ピットの外観を第11図に示す。設置面積は約13 m<sup>2</sup>と、非常にコンパクトに設置することができた。また、地下ピット据付開始から埋戻しまでの全工程は、合計で5日間と短期間で完了することができた。



第11図 埋戻し後の地下ピットの外観

(2) システム制御盤専用金属製キャビネットの開発

#### 【背景】

当社のマイクロ水力発電システムは、商用電  
電気計算 2018.8

源に接続するための系統連系機能、水車、発電機、付帯設備を統合制御するシステム制御機能、発電システムの内部状態の見える化とインターネットを介した遠隔監視のための通信機能をパッケージ化したシステム制御盤を開発しているため、一つの制御盤で通信・制御を行うことが可能である。

このシステム制御盤は配線長さをできるだけ短くするために、マイクロ水力発電システムの近くに設置することとなるが、マイクロ水力発電システムは、(1)で述べたように既存、もしくは新設の地下ピットに据え付けられる場合が多い。地下ピットの場合、設置工事の費用を抑える観点から、最少寸法で設計されており、地下ピット内に新たにマイクロ水力発電システムのシステム制御盤を据え付けることのできるスペースはない場合が多い。また、地下空間は常時高湿度環境となることが多く、制御盤の設置場所としては不向きである。以上より、システム制御盤はマイクロ水力発電システムが設置された地下ピットの近傍に新たに風雨を防ぐための建屋を設けてその中に設置することが望ましいが、システム制御盤を収める建屋を専用設計すると現場で建設することとなる。その場合、建屋の設置工事だけで約2週間かかってしまうため、工事期間が延びてしまうという課題があった。

#### 【専用設計上の工夫】

電気設備の屋外用収納箱としては、高圧で受電する設備一式を金属製のキャビネットの中に収めたキュービクル式高圧受電設備がよく知られている。キャビネットの費用を抑えるために、既製品のキャビネットをベースに専用設計することにした。システム制御盤は、系統連系インバータなどの発熱体を有している。システム制御盤の発熱体の位置、発熱量を考慮し、適切に排熱できるように換気扇を配置した。排熱が生じる真上に換気扇を設け、天井空間を通じて庇の下から下吹き出しで排気するようにしたため、排気口からの雨水の浸入がない。さらに、

## 小水力発電

システム制御盤を据え付ける際に簡単に取り付けられるように、取付用の架台を設けた。架台の上にシステム制御盤を置き、位置を合わせてボルトで固定するだけで据え付け可能となった。また、夜間等でも点検可能なようにLED電灯を備えるようにした。

### 【施工事例】

以下では、システム制御盤の建屋として、システム制御盤専用金属製キャビネットに取めて設置工事の工事期間を短縮した施工事例を示す。幅1 600 mm×奥行1 600 mm×高さ2 507 mmの金属製キャビネットに幅800 mm×奥行1 000 mm×高さ1 770 mmのシステム制御盤を取めた様子を第12図に示す。



第12図 金属製キャビネットにシステム制御盤を取めた様子

金属製キャビネットの底板は、チャンネルベースと呼ばれる金属フレームの上に固定される。あらかじめ施工された基礎コンクリートの上にチャンネルベースをアンカーで固定し、チャンネルベースの上にシステム制御盤を設置する。システム制御盤をチャンネルベースに固定し、最後にユニックで金属製キャビネットを吊り下ろして被せることで設置完了である。第13図に設置の様子を示す。もともと2週間かかっていた工事期間を、金属製キャビネットを持ち込んだ当日に設置完了できる1日にまで短縮することができた。



第13図 左：チャンネルベースにシステム制御盤を設置する様子  
右：金属製キャビネットを上から吊り下ろす様子

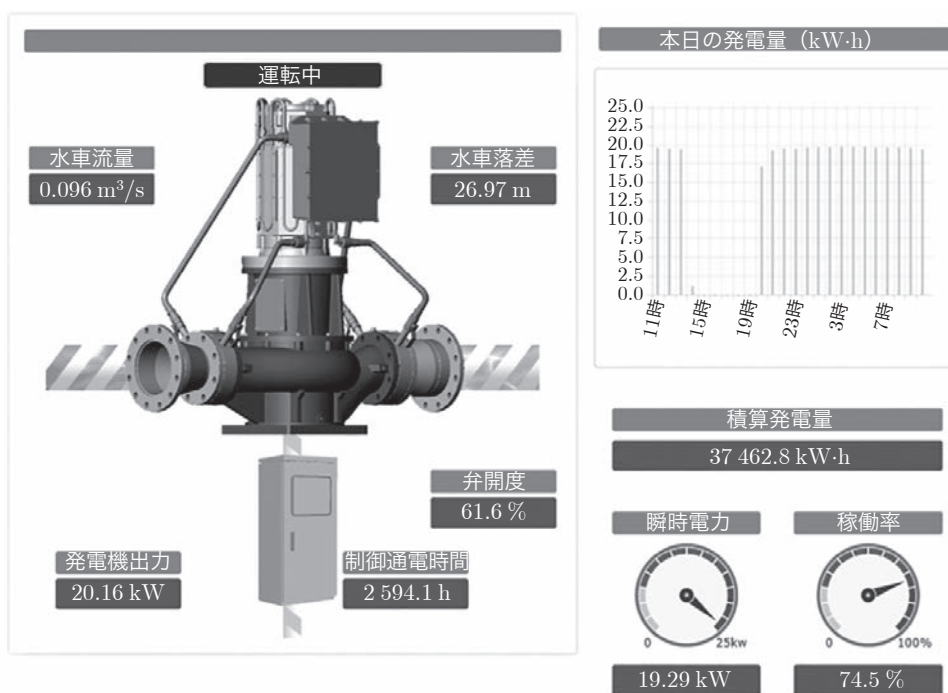
## 5 見える化システムによる遠隔監視

当社のマイクロ水力発電システムには、発電開始後、正常に稼働しているかどうかを確認するための見える化システムが搭載されている。遠隔監視システムの監視画面（サンプル）を第14図に示す。発電出力や流量、圧力に関するデータをリアルタイムに確認することができる。この遠隔監視システムを用いて、24時間365日遠隔監視センターで監視するとともに、月2回の電気主任技術者による月次点検<sup>注2)</sup>を行い、水運用に影響を与えないように発電を行う。このような遠隔監視システム・監視体制を準備しているため、安心して水道施設で水力発電を実施することが可能である。

## 6 おわりに

上水道施設は、安定的な水運用を第一に運営されている。各上水道施設の地形条件や運用方法に合わせた独自の設置状態となっており、従来のマイクロ水力発電システムでは個別の設置方法を検討する必要があるため、検討と設置工事に長い時間を要した。

当社は汎用ポンプをポンプ逆転水車として使う方式を採用しているため、発電機設計に要す



第14図 当社の遠隔監視システムの監視画面（サンプル）

る時間が短くてすむ。さらに、本稿で示した設置工事期間の短縮事例を水平展開し、従来よりも早く導入できるように工夫を凝らすことで、さらなる水力発電の普及拡大に寄与していきたい。

<問い合わせ先>

URL:<http://www.dk-power.co.jp/>

- 注1) レジンコンクリートとは熱硬化性樹脂（レジン）を結合材として、砕石・砂・炭酸カルシウムを混ぜて固めたコンクリートのことである。結合樹脂には通常、硬化時間が自由に調整できる不飽和ポリエステル樹脂が用いられる。レジンコンクリートは、一般のセメントコンクリートと比較して、約3～5倍程度の強度性を持ち、約1/2程度軽量である等の優れた特徴をもつ。
- 注2) 水力発電システムの場合、20 kW以上は事業用電気工作物となり、月2回の電気主任技術者による点検が必要となる。

<参考文献>

- (1) 平成20年度中小水力開発促進指導事業基礎調査（未利用落差発電包蔵水力調査）報告書、(財)新エネルギー財団（経済産業省 資源エネルギー庁 調査委託）