

## 4.2 水圧管路

### 4.2.1 水圧管路の現状<sup>1)</sup>

水力発電所には明治・大正時代に建設されたものも多く、延命化のために様々な改修が行われている。水圧管路に関しても改修事例は多く、管路部では取替えや補強、基礎部では支台のクラック補修・補強等や管路敷きコンクリートの打替が行われている。しかし、管路部における取替えや補強を行うためには、大規模な仮設工事が必要となるため、改修工事費削減の妨げになっていた。

したがって、近年においては新たな補強材料や作業の機械化（無人化）の開発が進められてきた。また、管内部点検においても遠隔操作による無人点検ロボットの開発が進められてきた。

### 4.2.2 水圧管路リニューアルの目的<sup>2)</sup>

水圧管は、取水した流水で落差と水量により得られた流速と質量をエネルギーに変えるため、ヘッドタンクまたはサージタンクから発電所までの水の通り道として設置される管路であり、発電出力のために重要な役割を担う設備である。したがって、水は急斜面を水圧管によって導かれ、管路には大変高い水圧が加わるため、管材には鋼鉄など頑健な素材を用いる必要がある。また、鉄道や道路の近傍に設置されている水圧管路もあり、水圧管路設備に異常が発生した場合は社会的影響が大きくなるため、その維持管理には十分に留意する必要がある。

なお、発電用水力設備に関する技術基準を定める省令（平成9年3月27日 通商産業省令第50号、最終改正：平成21年3月16日 経済産業省令第14号）第32条によると、水圧管路は次に示す事項により施設しなければならないとある。

（水圧管路）

#### 第三十一条

水圧管路は、次の各号により施設しなければならない。

一 次の表の上欄に掲げる形式の水圧管路にあつては、それぞれ同表に掲げる荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

水圧管路の種類	荷重
露出形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、管の自重、温度荷重、外圧、管内水の重量、雪荷重、地震力、風荷重並びに管内の流水による力
岩盤埋設形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、温度荷重並びに外圧
土中埋設形式	静水圧、水撃圧及びサージングによる上昇水圧の合成最大水圧、土圧、載荷重、温度荷重、外圧、管内水の重量並びに雪荷重

二 管胴本体は、振動、座屈及び腐食に対し安全であること。

三 ヘッドタンク又はサージタンク（これらが無い場合は、取水設備）の水位が最低の場合における最低動水こう配線以下に位置すること。

四 危険な漏水がないこと。

五 アンカーブロックは、次によること。

イ 管胴本体を確実に固定するものであること。

ロ アンカーブロックは、自重、管胴本体及びその附属設備並びに管内の水の重量、管内の流水による力、漸縮管に作用する水圧による力、地震力、載荷重、雪荷重、風荷重並びに温度荷重に対し安定であり、かつ、これらの荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

六 支台は、次によること。

イ 支台は、自重、管胴本体及びその附属設備並びに管内の水の重量、地震力、載荷重、雪荷重並びに風荷重に対し安定であり、かつ、これらの荷重による応力及びこれらの荷重のうち地震力以外の荷重による応力は、使用する材料ごとにそれぞれの許容応力を超えないこと。

ロ 支台の支承部は、管胴本体の伸縮の際に管胴本体が安全かつ円滑に移動できる構造であること。

上記のように水圧管路の安定等が省令で定められている。

#### 4.2.3 水圧管路のリニューアル技術<sup>1) 2) 3)</sup>

水圧管路設備は、一般に急傾地に設置されているので経年による水圧鉄管の板厚減少が顕在化した場合、従来は鉄管取替や鋼製リングによる補強を行っていたが、補修工事費縮減の観点から炭素繊維を鉄管に巻付けて補強することを考え、実証試験において炭素繊維補強後に行ったひずみ計測の結果、ほぼ期待どおりの補強効果が得られたという報告がある。

また、急勾配かつ円形断面であることに加え、ケレン作業時に発生する粉塵により作業環境が悪化するため、労働災害の防止に多大な労力と費用を費やしてきた現状を踏まえ、水圧鉄管内面の旧塗膜除去作業の機械化（無人化）が開発され、採用となった事例もある。

なお、管内部の健全性を確認するための点検作業においても、運搬車両を必要としない小型軽量の無人点検ロボットを遠隔操作することにより、急勾配の管内部情報をリアルタイムに外部モニターで確認可能としたシステムも開発されている。

#### 4.2.4 水圧管路のリニューアル施工事例

表-4.2.1に電建協（現日建連）会員各社に依頼したアンケートにより収集した、水圧管路のリニューアル施工事例の一覧表を示す。

表-4.2.1 水圧管路のリニューアル施工事例

No.	工事種類	発電所名称	企業者	施工業者	工事概要	掲載頁
1	改築	松尾川第一発電所	四国電力(株)	西松建設 四電エンジニアリング 石川島播磨重工業 共同企業体	水圧鉄管取替工事 ・取替延長 L=1.080m ・取替え重量 W=734t ・取替鉄管径 Φ2.100～Φ700 ・その他 分岐管、二重管取付け等	P. 402 次頁
2	補修	秋元発電所	東京電力(株)	大豊建設 会津土建 小川組 相模組 共同企業体	水圧管路取替えに伴う、 管路の固定台（2箇所） と小支台（7箇所）の改造	P. 378

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、 <b>水圧管路</b> 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
工事種類	<b>補修</b> ・補強・改築・その他（ ）
発電所名称	松尾川第一発電所
企業者	四国電力株式会社
所在地	徳島県三好郡井川町
建設時期	
運開時期	昭和28年10月11日

工事時期	平成14年11月～平成17年5月
施工者	西松建設・四電エンジニアリング・石川島播磨重工業
工事の目的	松尾川第一発電所の水圧管路全体（水圧鉄管、固定台、小支台）の改修工事である。
劣化要因	建設から半世紀近い年月が経過しており、水圧管路全体が老朽化していた。
工事概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 既設構造物撤去工事 [平成15年7月～平成16年3月]              取替え延長：L=1,080m              取替え重量：W=734t              鉄管径：φ2,100mm（取替え始点）～φ700mm（取替え終点）              固定台撤去：撤去コンクリート V=1,670m<sup>3</sup>              小支台撤去他：撤去コンクリート V=380m<sup>3</sup>              （全小支台139箇所の路床から上部を撤去）</li> <li>・ 水圧管路工事（土木工事） [平成14年11月～平成17年5月]              土工：掘削 V=1,260m<sup>3</sup>              コンクリート工：コンクリート打設 V=2,250m<sup>3</sup>              固定台：360°固定 10箇所              180°固定 6箇所              小支台：リングガーダー・ロッカ支承 45箇所（明り部、標準間隔18m）              コンクリート・サドル支承 16箇所（トンネル部、標準間隔6m）</li> <li>・ 鉄管据付け工事 [平成14年11月～平成17年5月]              取替え延長：L=1,080m              鉄管径：φ2,100mm（取替え始点）～φ700mm（取替え終点）              分岐管型：内部補強型Y分岐管（分岐角度 80°）              二重管：3箇所              マンホール：φ500mm円形蓋ヒンジタイプ 15箇所              伸縮管：スリーブ式 15箇所              （外筒内面および内筒外面はステンレスグラッド鋼）</li> </ul>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工法概要</p>	
<p>施工概要</p>	<p>工事は、高標高で狭隘な斜面での作業となるため災害ポテンシャルが非常に高く、かつ進入路が狭く鉄管下部のみとなるため、工事用資材の搬入出に制約を受けることとなった。また、発電の停止を伴うことから工期短縮が命題となり、工事能力向上のためケーブルクレーンの運搬能力向上および作業区間を防護柵で区画して同時作業を実施するなどの対策を講じた。</p> <p>ケーブルクレーンについては、主要区間の軌条を2条並行にして運搬能力向上させたが、クレーンどうしの接触を防止するため近接警報装置の設置を行うとともに、工場箇所に集音マイクを設置してクレーン運転手に作業内容を認識させ、運搬時には注意喚起により作業退避を行う等の安全対策を徹底した。</p> <p>また、作業区画については、急傾斜となることから防護柵を設置して行き、下部の作業は防護柵を2箇所以上離して行うことにより、落下等の危険を防止し6～7班で同時作業を実施した。</p> <p>進入路については、未舗装で狭いことから路面補修を行うとともに、工事用車両の通行を円滑に行うため、センサーにより通行車両を感知し対向車に知らせる車両運行システム導入することにより、トラブルもなく通行することができた。</p> <p>作業については、高標高のため冬期（1～2月）が低温となるためコンクリート打設・溶接作業ができないが、他の掘削・コンクリート取り壊しなどの作業は積雪で作業ができない以外は工程を調整して実施した。以上の対策により、断水期間を0.5ヶ月短縮するとともに、無事故・無災害で工事を完成させることができた。</p>
<p>施工概要図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	

<参考文献>

- 1) 金子賢一、松本正浩：「炭素繊維を用いた水圧鉄管の補強」、電力土木 No. 312、2004. 7
- 2) 佐藤武志、西田陽嗣、麩沢光一：「遠隔操作システムによる管内部点検の効率化」、電力土木 No. 304、2003. 3
- 3) 加地 薫、坪田則行：「水圧鉄管内面塗装工事のコストダウン」、電力土木 No. 304、2003. 3

### 4.3 発電所関連施設

#### 4.3.1 発電所関連施設の現状<sup>1)~5)</sup>

1888年(明治21年)に、現存する我が国最初の水力発電所である三居沢発電所が運転を開始し、1891年(明治24年)には、我が国最初の電気事業用水力発電所である蹴上発電所が運転を開始して以来、数多くの発電所が造られてきており、百年以上が経過してきた。当然、これらの発電所関連施設も経年劣化しており、電力の安定供給を図るためには、これらの水力発電所関連施設のより効率的な維持管理が望まれてきている。

水車や発電機などの一般の機械装置を除く鉄筋コンクリート造の発電所関連施設の主な経年劣化の要因として、中性化や塩害およびアルカリ骨材反応等が挙げられる。

各事業者は、これらの要因に対して、独自の維持管理基準・診断システム等による点検等を実施して、補修・補強・改修などを行ってきた。

今後、さらに発電所関連施設の老朽化が進む中で、より精度の高い点検・診断技術や補修・補強技術等の研究開発が必要であり、特に、コンクリート構造物の非破壊診断技術の開発や振動・粉塵対策を考慮した機械装置の取替時の基礎撤去および補修・補強工事などのリニューアル技術の開発が進められている。

#### 4.3.2 発電所関連施設リニューアルの目的<sup>6)</sup>

一般に、発電所は、水車、発電機等を収める主機室、開閉装置、付属機器などを収める補機室等からなる鉄筋コンクリート造の基礎と建屋で構成され、水圧管路からの流水によって水車を回転させ、その水車に直結した発電機によって発電を行うことを目的とした施設である。

発電所は、以下のように大別される。

- ①地上式 : 水車や発電機等全ての機器を地上に設置した発電所。
  - ・屋内式 : 水車や発電機等を建屋に収め、建屋天井に主機器の組立・分解や搬入出用のクレーンを設置した一般的な発電所。
  - ・半屋外式 : 水車や発電機等の主機器だけを天井にハッチを設けた建屋に収め、主機器等の組立・分解や搬入出用のクレーンを屋外に設置した発電所。
  - ・屋外式 : 風雨等に対する保護カバーを設置することで、水車や発電機等を屋外に設けた発電所。
- ②半地下式 : 水車、発電機等を地下に収めるが、ハッチを設けた発電機室の天井を地表面とすることで、主機器の組立・分解や搬入出を行う発電所。
- ③地下式 : 水車や発電機等全ての機器を地下に収めた発電所。

これら発電所の経年劣化による発電機能の低下、機能不全を改善するため、水車や発電機の取り替えに伴う基礎の撤去および改築、老朽化した発電所建屋の更新などが必要となる。

#### 4.3.3 発電所関連施設のリニューアル技術<sup>3)~5)</sup>

発電所関連施設の主なリニューアル工事としては、水車・発電機取り替え工事、建築物の補修・補強・改築工事などが挙げられる。

建築物の補修・補強・改築工事では、大がかりな内部構造の変更に伴う梁や柱撤去のための補強や、中性化したコンクリートの再アルカリ化工法などの劣化対策が主なものである。これらの対策技術は、コンクリート構造物に一般的に適用されているものであり、この報告書では

割愛する。詳しくは、専門図書を参照されたい。

水車・発電機取り替え工事では、改修号機を除く数台の発電機を運転しながらの施工で種々の制約を受けることが多く、施工方法には工程短縮やコスト低減を図るための様々な創意工夫がなされている。このような水車・発電機取り替え工事はコンクリート解体が主なもので、これらのリニューアル工事で主に採用されている技術として、表-4.3.1に示したような技術がある。施工方法は、制約条件や施工性、安全性、経済性等を総合的に判断してこれらの技術の最適な組合せが採用されている。

表-4.3.1 水車・発電機取り替え工事のコンクリート解体に採用されている技術

目 的	技 術 の 名 称
コンクリート切断技術	・ワイヤーソーイング
	・コンクリートカッター
縁切り削孔技術	・コアボーリング
	・SD工法（多連式ドリル）
コンクリート破砕技術	・ハンドブレーカ
	・レッグハンマ
	・油圧ブレーカ
	・油圧くさび
	・静的破砕剤

発電機を運転しながらのコンクリート解体では、運転中の機器に対して影響を与えないよう施工する必要がある。防音・防じん対策としては、防音・防じん壁の設置が一般的であり、振動対策としては表-4.3.2に示したような組合せで施工されている。

表-4.3.2 改修号機以外の発電機を運転しながら行われる主な発電機基礎解体方法

	解 体 方 法 の 概 略
例 1	コンクリートカッターによる切断や、油圧ブレーカ、レッグハンマ、ハンドブレーカ、油圧くさび、静的破砕剤等によるコンクリート破砕を併用
例 2	取り壊し範囲の外周をコアボーリングによる連続削孔で縁切り後、静的破砕剤やブレーカ等を用いて取り壊し
例 3	取り壊し範囲の外周をコアボーリングによる連続削孔で縁切り後、ワイヤーソーイング工法でブロック状に切断し、発電所天井クレーンにて搬出
例 4	取り壊し範囲の外周をSD工法による連続削孔で縁切り後、ワイヤーソーイング工法でブロック状に切断し、発電所天井クレーンにて搬出

#### 4.3.4 発電所関連施設のリニューアル工事事例

電建協（現日建連）会員各社に、発電所のリニューアルに適用可能な「調査・診断方法（技術）」、「施工技術・工法」および「リニューアル工事事例」に関するアンケートを依頼し、「調査・診断方法（技術）」に関するもの1件、「施工技術・工法」に関するもの4件、「リニューアル工事事例」6件の回答があった。表-4.3.3に「調査・診断方法（技術）」および「施工技術・

工法」に関して、表-4.3.4に「リニューアル工事事例」に関して回答一覧表を示す。

表-4.3.3 アンケート回答一覧表（調査・診断方法、技術・工法）

No.	対 象	名 称	掲載頁
1	コンクリート構造物、鋼構造物ほか	オーリス（非破壊探査システム）	P. 410
2	コンクリート解体	S D工法によるコンクリート構造物解体工法	P. 412
3	補強	高耐力マイクロパイル工法	P. 414
4	発電所関連施設	スリムクリート工法（U F C材料）	P. 416
5	その他（水中施工対応）	シャフト式水中作業機（遠隔操作式多機能水中施工機械 T-i R O B O U W）	P. 418

表-4.3.4 アンケート回答一覧表（リニューアル工事事例）

No.	工事種類	発電所名称	企業者	施工業者	工事概要	掲載頁
1	改築	打梨発電所	中国電力(株)	(株)奥村組	既に取り替え済みの3号発電機を運転しながら、1、2号発電機を順次取り替える工事。	P. 420
2	改築	藪神発電所	東北電力(株)	(株)奥村組	2台中1台の発電機を運転しながら2台とも取り替える工事。	P. 422
3	改築	花山発電所	東北電力(株)	西松建設(株)	水車の取替に伴い、既設の2本ある放水庭を1本の大断面に造り直す工事。	P. 424
4	改築	秋元発電所	東京電力(株)	大豊建設(株)・ 会津土建(株)・ (株)小川組・ (株)相模組共同 企業体	発電力の増強に伴う、1、2号発電機を運転しながらの3号発電機基礎改造工事。	P. 378
5	改築	飯野発電所	東北電力(株)	佐藤工業(株)	既設のダムに水力発電所を新設するための改築工事。	P. 426
6	改築	三田発電所	関西電力(株)	大豊建設(株)	旧発電所を撤去し、新設発電所の建屋を構築する工事。	P. 428



発電所のリニューアルに適用可能な調査・診断方法（技術）に関する調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 その他（ ））
調査対象	コンクリート（覆工）表面 ・ コンクリート（覆工）内部 ・ コンクリート（覆工）背面 その他（コンクリート構造物、鋼構造物、グラウンドアンカー他）
調査・診断方法の名称	オーリス（非破壊探査システム）
開発会社	青木あすなろ建設㈱
開発時期	1997年 8月
特許の有無	特許 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

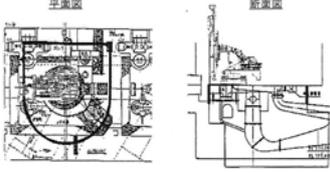
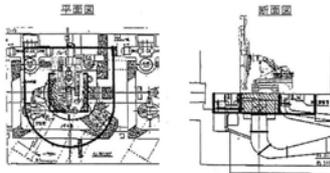
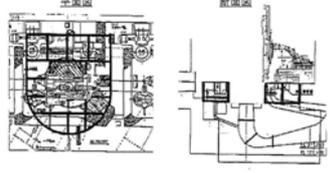
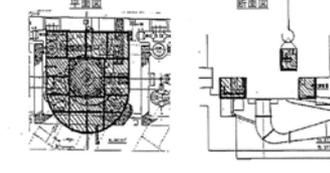
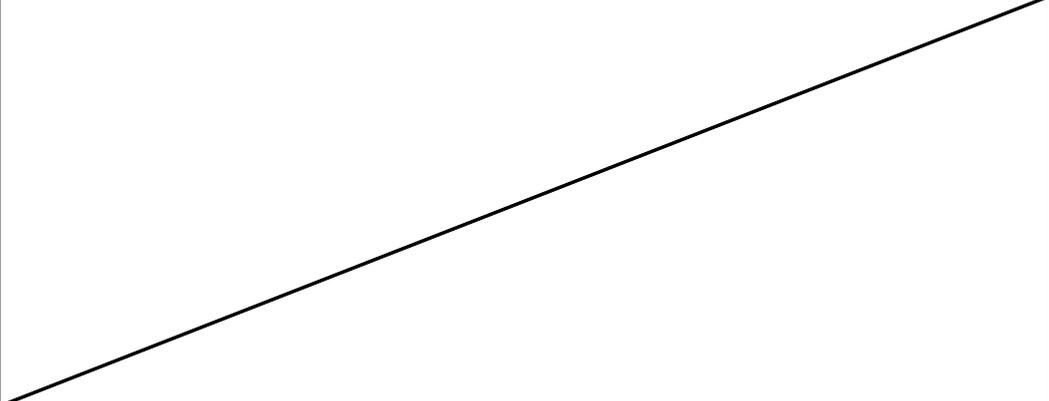
調査・診断方法（技術） の概要	<p><b>【概要】</b>                  コンクリート構造物（基礎杭，ケーソン，ダム等），鋼構造物（鋼矢板，鋼管等），転石・岩盤，グラウンドアンカー，木杭等の形状寸法や内部に生じた亀裂位置などを，調査対象物の表面や，フーチングや地中梁などの表面からでも小型携帯型機器で精度良く調査することができる非破壊探査システムです。</p>
調査・診断方法（技術） の特徴	<p><b>【特徴】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 基礎杭や構造物の形状寸法および微細な内部亀裂が対象物の表面から調査できる。</li> <li>2) フーチングや地中梁などが介在しても基礎杭の微細な亀裂や杭長を調査できる。</li> <li>3) 調査対象物はコンクリート構造物，鋼構造物，木杭，転石，岩盤，グラウンドアンカー調査に適用可能。</li> <li>4) 構造物表面から簡便に調査ができる軽量コンパクトな機器（重量6kgサイズ36×26×12cm）。</li> <li>5) 深い位置の調査が可能。 （実績：最大調査長PHC 杭70m鋼管160m）</li> </ol>
調査・診断方法（技術） の手順	<p><b>【調査手順】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 受振センサーの取り付け 探査対象物表面をグラインダーにて整形研磨して受振センサを取り付ける。</li> <li>2) 鋼製ハンマーによる打撃 受振センサ横を鋼製ハンマーで打撃し弾性波を発生させる。</li> <li>3) 波形読み取り システム本体の液晶画面に波形図を表示し，本体に内蔵されているフロッピーディスクにデータを保存させる。</li> <li>4) 解析 室内にてフロッピーディスクからデータを再生して解析を行う。亀裂位置および寸法・深度(L)は，反射波の走行時間(Δt)と探査対象物の弾性波速度(Vp)から次式より求める。  <math display="block">L = \Delta t \times Vp / 2</math>                     亀裂幅は周波数と亀裂幅の関係式から求まる。</li> </ol>

<p>調査・診断方法（技術）</p> <p>概要図</p>	<p style="text-align: center;"><b>フーチングを有するコンクリート杭を用いた杭長及び亀裂試験探査例</b></p> <p>●探査結果波形図と事前に目視で確認した亀裂（亀裂開口幅0.3～0.9mm）位置図の比較</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>モデル杭A</p> <p>モデル杭B</p> <p>モデル杭C</p> <p>モデル杭D（亀裂なし）</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>●平面図</p> <p>●断面図</p> </div> </div>
<p>適用条件</p>	<p>【自然条件】 調査箇所は乾燥面が条件。降雨時は養生できれば調査可能。</p> <p>【現場条件】 調査員が調査できる足場等が必要。</p> <p>【適用可能な調査範囲】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) コンクリート：場所打ち杭，PHC杭，PC杭，RC杭，ケーソン，地中連続壁，ダム堤体等</li> <li>2) 鋼構造物他：鋼管杭，鋼矢板，木杭，グラウンドアンカー等</li> <li>3) 岩盤亀裂，転石</li> </ol>
<p>適用実績 および 適用時期</p>	<p>調査実績：280件（平成7年8月～平成18年10月現在）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>(財)先端建設技術センター：オーリス先端建設技術技術審査証明報告書，平成9年3月17日 特許庁：第2877759号，第2944515号，第3571968号，第3519381号</p>

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設 (発電機基礎) その他 ( )
工事種類	補修 ・ 補強 ・ 改築 ・ その他 (コンクリート解体 )
工法(技術)名称	SD工法によるコンクリート構造物解体工法
開発会社	(株)奥村組
開発時期	年 月
特許の有無	特許 (有り) ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

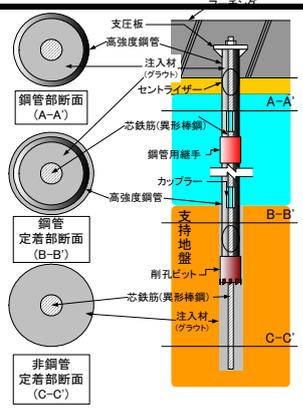
<p>工法(技術)の概要</p>	<p>SD工法の概要 SD工法は、SD機と称する多連式油圧ドリルを使用して、岩盤やコンクリートにスロット(連続溝)を削孔する技術である。スロットを自由面として利用することにより、比較的小さいエネルギーで岩盤やコンクリートを破碎できる。破碎対象部の外周部にスロットを設け、縁切りすることにより、周辺岩盤やコンクリートを痛めることなく破碎できる。</p>  <p>SD工法による基礎コンクリート解体工法 SD工法による切断技術を基本とし、SD工法では切断が困難となる箇所の施工については、ワイヤーソーやコアボーリングによる切断技術を併用して、基礎コンクリートをブロック状に切断し解体するものである。</p>
<p>工法(技術)の特徴</p>	<p>用途 ◇コンクリートダム、コンクリート壁の部分的な改築・貫通工事 ◇基礎コンクリート、マスコンクリートの部分的な改築工事</p> <p>特長 ◇解体箇所を縁切りするため、低振動で施工できるとともに、周辺のコンクリートを損傷することなく施工できる。 ◇スロットスターは、狭小な箇所(2.5m×2.5m)でも施工可能なため、小型の破碎機でも効率よく施工できる。 ◇コンクリートはもちろん硬質な岩盤(一軸圧縮強度200MPa以上)にも適用可能である。</p>
<p>施工方法</p>	<p>施工手順は、まずスロット削孔機(SDⅢ型機 or スロットスター)を用いてコンクリートの解体部分の外周にスロット(連続溝)を形成し縁切りを行う。その後、ブレーカや油圧くさびを用いて破碎、あるいはダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断することによりコンクリートを解体する。併用する破碎機械や切断装置は、施工条件に応じて組合せを行う。</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">スロット形成</div> <div style="font-size: 2em; margin-right: 10px;">+</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 10px;">                 ブレーカ破碎 油圧くさび破碎             </div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                 ダイヤモンドワイヤーソー切断             </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>スロットを自由面として利用し、ブレーカや油圧くさびを併用して破碎する方法</p> <p>スロットとダイヤモンドワイヤーソーを併用し、コンクリートをブロック状に分割する方法</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <p>鳥取県「美敷ダム穴あけ工事」</p> <p>兵庫県「青野ダム堤体穴あけ工事」</p> </div>

<p style="text-align: center;">施 工 概 要 図</p>	<p style="text-align: center;">水力発電所の水車発電機取替（発電所基礎除却）</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>手順1（外周の縁切り）</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>手順2（底盤の縁切り）</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>手順3（取り壊し）</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>手順4（搬出）</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">    </div>
<p style="text-align: center;">適 用 条 件</p>	
<p style="text-align: center;">施 工 実 績 お よ び 施 工 時 期</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 中国電力（株） 打梨（発）水車発電機取替（2期）発電所基礎除却工事 平成13年7月～12月（SD施工時期）</li> <li>・ 東北電力（株） 藪神（発）水車改良工事の内土木工事並びに関連撤去工事 1号：平成15年7月～11月 2号：平成17年4月～7月（SD施工時期）</li> <li>・ 鳥取県 美敷ダム穴あけ工事 平成7年11月～12月（SD施工時期）</li> <li>・ 兵庫県 青野ダム堤体穴あけ工事 平成11年12月（SD施工時期）</li> </ul> <p>ほか</p>
<p style="text-align: center;">参 考 文 献 ・ 資 料 等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力土木、2003. 3、打ち梨発電所 水車・発電機の取替工事</li> <li>・ 電力土木、2003. 11、SD工法による発電機基礎コンクリート解体工法の開発</li> </ul>

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

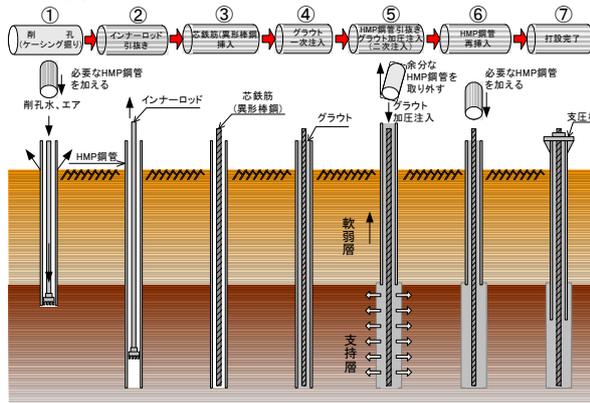
対象構造物	水路トンネル、 <u>水圧管路</u> 発電所関連施設 ( <u>発電機基礎</u> 、 <u>その他</u> (既設基礎の補強))
工事種類	補修・ <u>補強</u> ・改築・その他 ( )
工法(技術)名称	高耐力マイクロパイル工法
開発会社	株式会社フジタ 他
開発時期	1997年 4月
特許の有無	特許 有り・ <u>出願中</u> ・出願予定・無し
	実用新案 有り・ <u>出願中</u> ・出願予定・無し

工法(技術)の概要	<p>一般に、杭径300mm以下の小口径杭を総称してマイクロパイルと呼んでいる。マイクロパイルは、我が国では主に地盤補強として用いられてきたが、基礎の耐震補強用として開発されたのが高耐力マイクロパイル工法である。高耐力マイクロパイルは、従来のマイクロパイルの技術にグラウトアンカーで用いられている削孔技術や注入材の加圧注入技術を取り入れ、さらに補強材として異形棒鋼に加えて、高強度の鋼管を用いることにより、小口径でも高耐力・高支持力を可能にした杭である。HMPの構造耐力は、杭径、補強材の種類、グラウト強度等により異なるが、直径178mmの高強度鋼管を使用した標準タイプでは、耐力が1000kN以上を確保できる。発電施設基礎・機械基礎等の耐震補強においては、空頭の制限や狭隘な施工ヤード等の施工制約条件がある。高耐力マイクロパイル工法は、施工機械が小さく、前述のような施工制約条件下での施工が可能で、また、従来工法(場所打ち杭工法)に比べて基礎の拡幅面積を小さくできる等の特徴を有しており、機械基礎等の耐震補強に適した工法である。</p>
-----------	---



工法(技術)の特徴	<p><b>【特徴】</b></p> <p>●設計面</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>補強材として異形棒鋼・高強度鋼管を用いること、および注入材の加圧注入により小口径にもかかわらず大きな支持力を確保できる。</li> <li>一般の大口径杭に比べて基礎の拡幅巾を小さくできる。</li> <li>斜杭を設計に取り入れることにより効率的な耐震補強ができる。</li> </ol> <p>●施工面</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>小型のボーリングマシンによる削孔なので騒音や振動が少ない。</li> <li>杭径が300mm以下と小さいため、地中障害物や既設構造物・機器に対して影響が小さい。</li> <li>施工機械が小さいため、狭小スペース(最小施工幅3.5m)かつ低空頭(3.5m程度)の場所で施工が可能である。</li> <li>杭径が細いことから、掘削土量が少ない。</li> <li>軟弱地盤から砂礫地盤、岩盤まであらゆる地盤での施工が可能。</li> </ol>
-----------	---

施工方法	<p><b>【施工手順】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>杭体となる鋼管(φ177.8mm)をケーシングとし、ボーリングマシンで削孔する。</li> <li>インナーロッドを引抜き、清水により孔内を洗浄する。</li> <li>芯材(異形棒鋼)を挿入</li> <li>グラウト注入(一次注入)を行う。</li> <li>鋼管を所定位置まで引き上げ、グラウトの加圧注入(二次注入)を行う。</li> <li>鋼管をグラウト部に再挿入する。</li> <li>杭頭処理を行い杭を完成する。</li> </ol>
------	---



<p style="text-align: center;">施 工 概 要 図</p>	 <p style="text-align: center;">【国道9号差海橋工事 施工概要】</p>
<p style="text-align: center;">適 用 条 件</p>	<p>【適用条件】          低空頭、狭小スペース。例えば、発電所施設内の発電機基礎の補強等、建物内で施工したり、基礎の拡幅スペースに制約がある場合等に適用できる。また、施工機械（ボーリングマシン）が軽量であり、施工箇所までの機械運搬が困難な山岳地等での施工にも適用できる。</p> <p>【適用範囲】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①鋼管は油井用継目無鋼管を使用し、鋼管の許容耐力は552N/mm<sup>2</sup>以上である。標準鋼管径は178mm（杭径は200mm、肉厚t=12.7mm）。他に同径（178mm）で薄肉厚タイプ（t=10.4mm）、鋼管径が<math>\phi</math>219mm（肉厚t=11.4mm）。</li> <li>②最小空頭：3.5m、最小施工幅：3.5m（いずれも削孔機種、杭配置（傾斜角、杭位置）の条件による）</li> <li>③高耐力マイクロパイル径と最大長：杭径0.15～0.30m、杭長50m（実績）</li> <li>④土質条件：硬岩・軟岩・礫質土・砂質土・シルト・粘性土・有機質土</li> <li>⑤地下水の流速が早い場合（一般には3m/min以上）や湧水量が極めて多い場合などには、混和材料の配合や補助工法の検討が必要である。なお、地下水位が地表面付近にある地盤における施工実績はある。</li> </ol>
<p style="text-align: center;">施 工 実 績 お よ び 施 工 時 期</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●事業名&amp;起業者名：国道9号差海橋工事（1期、2期）【建設省中国地方建設局】              適用年月：1999年12月～2001年1月              概 要：①用途：橋脚基礎耐震補強、②規模：橋脚基数 2基、延べ杭長670m（=33.5m×20本）              ③制約条件：空頭制限 4.0m以下</li> <li>●事業名&amp;起業者名：亀戸給水所配水池基礎耐震補強及び場内整備工事【東京都水道局】              適用年月：2004年8月～2005年5月              概 要：①用途：配水池基礎耐震補強、②規模：全72本、延べ杭長2,728m              ③制約条件：配水池内につき機械搬入口が小、動力は全て電気、空頭制限6.8m以下。</li> <li>●事業名&amp;起業者名：日野幹線N0.119基礎補強工事【中国電力株式会社】              適用年月：2001年 4月～ 2001年 6月              概 要：①用途：鉄塔基礎耐震補強（山岳地）②規模：延べ杭長81.0m（4本）              ③制約条件：急斜面で狭隘、ヘリ使用。</li> </ul> <p style="text-align: center;">その他、多数。</p>
<p style="text-align: center;">参 考 文 献 ・ 資 料 等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書（その3）、高耐力マイクロパイル工法設計・施工マニュアル（6分冊の2）」、（独）土木研究所他、平成14年9月</li> <li>・「高耐力マイクロパイルを用いたのり面抑止工」、菊谷他、電力土木2003.11、平成15年11月</li> <li>・「高耐力マイクロパイル工法の新しい活用事例」、池水、土木施工Vol.47, No2、平成18年2月</li> </ul>

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設 (発電機基礎、 その他 ( ))
工事種類	補修・補強・改築・その他 ( )
工法(技術)名称	スリムクリート工法 (UFC材料)
開発会社	(株)大林組, 宇部興産(株)
開発時期	平成24年 1月
特許の有無	特許 (有) ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し
	実用新案 有り ・ 出願中 ・ 出願予定 ・ 無し

工法(技術)の概要	<p>「耐久性100年！ 構造物の長寿命化と軽量化を同時に実現 !!」 ※スリムクリート： <math>f_c 180N/mm^2</math> の常温硬化型UFC (現場打設可)</p> <p>★スリムクリートは、100年の耐久性設計を可能にしたモルタル材料で、型枠に流し込むだけで無鉄筋の構造部材を構築でき、さらに部材の薄肉・軽量化も図れます。新規構造物からリニューアル構造物まで幅広く適用できます。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>■ 土木学会の技術評価証を取得 第0010号 (平成24年1月20日)</p> <p>1 スリムクリートは、土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」の標準材料と同等の性能を有する。</p> <p>2 中性化、塩害、鋼材腐食、凍結融解、化学的劣化(硫酸塩)に対して設計耐用年数を100年として良い。(耐久性照査不要)</p>  </div>
-----------	--

工法(技術)の特徴	<p>□ 構造物の長寿命化 緻密で引張強度が高く、かつ高いじん性を有しているため、長期にわたり構造物の健全性が保てます。</p> <p>□ 高強度による軽量化 スリムな構造物を実現できます。また長スパン化も図れるため、空間の有効利用が可能です。</p> <p>□ コストダウン ライフサイクルコストの低減と、部材断面のスリム化に伴う構造物の軽量化により、基礎を含めたコストダウンが可能です。</p> <p>□ 現場打設が可能 従来の超高強度繊維補強コンクリート材料と異なり、給熱養生が不要な常温硬化型であるため、現場で施工できます。</p>
-----------	--

施工方法	<p>スリムクリートの製造方法</p> <p>□ 材料の製造方法：3種類から選択</p> <p>□ 打込み方法：流込み打設</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>大容量(5m<sup>3</sup>程度以上)</p>  <p>生コンプラント</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>少量(0.5m<sup>3</sup>以下)</p>  <p>小型ミキサ</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>中量(0.5m<sup>3</sup>~5m<sup>3</sup>程度)</p>  <p>移動式プラント</p> </div> </div>
------	--

施 工 概 要 図

■ 基礎部材の摩耗防止工



車載式製造プラント



打込み

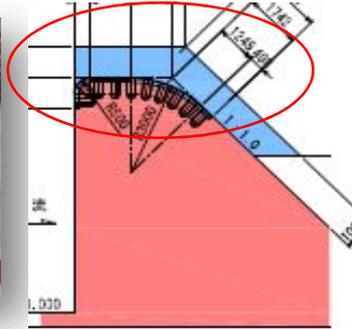


摩耗対策完了

■ 水路越流部・耐摩耗パネルの製造と設置



曲面埋設型枠



設置完了

適 用 条 件

- ・ 現場打設（生コン打設と同様）  
→ 施工方法については、施工マニュアルがある。
- ・ 2次製品の製造

施 工 実 績  
お よ び  
施 工 時 期

橋脚基部の摩耗防止工／京王線多摩川橋梁耐震補強工事 2012年10月～2013年03月  
某ダム越流部の埋設型枠／県発注工事 2013年度

参 考 文 献 ・ 資 料 等

□登録認定：土木学会の技術評価証を取得 第0010号 （平成24年1月20日）

発電所のリニューアルに適用可能な技術・工法に関する調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 <u>その他</u> （水中施工に対応））
工事種類	<u>補修</u> ・ <u>補強</u> ・ <u>改築</u> ・その他（ ）
工法（技術）名称	シャフト式水中作業機（遠隔操作式多機能水中施工機械 T-iROBO UW）
開発会社	大成建設
開発時期	2014年 10月
特許の有無	特許 <u>有り</u> ・出願中・出願予定・無し
	実用新案 有り・出願中・出願予定・無し

工法（技術）の概要	<p>水上の台船から地盤にシャフトを降ろし、そのシャフトを昇降する作業機に様々なアタッチメントを取り付けて砕岩、掘削、ズリ処理、精密測深、撮影などの一連の水中作業を遠隔操作で安全かつ確実に行える機械である。</p> <p>水中の各種作業を、ダイバーを使わずに施工するために開発された機械で、ダム湖のように深くで、急峻で、視界の悪い場所での施工に威力を発揮する。可視化技術と情報化施工により遠隔で操作を行うため安全性と施工性が大幅に向上する。</p>
工法（技術）の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大水深をダイバーレスで施工可能</li> <li>・あらゆる貯水湖に適用可能</li> <li>・ケーシングオーガー搭載で急傾斜地に対応</li> <li>・各種アタッチメントを取付け多機能作業が可能</li> <li>・情報化施工（マシンガイダンス）を搭載</li> <li>・超音波カメラ搭載で暗い水底も施工可能</li> <li>・測深機の搭載で高精度の施工が可能</li> </ul>
施工方法	<p>1. 高精度作業位置出し          &lt;精度の高いシャフト式水中掘削機の位置管理が可能&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・トータルステーション（ジオメーターによる自動追尾）およびデータ転送システムを構築し、シャフト上端位置を管理</li> <li>・シャフトに傾斜計を設置し、海底面でのシャフト位置を管理</li> <li>・水中掘削機本体には水深計とエンコーダーを設置し、設置高さを管理</li> </ul> <p>2. 地形の精密測深          &lt;堤体の影響を最小限に抑えた精度のよい測深が可能&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・音響測深システムをシャフトに沿って上下させることにより、最適なビーム角度と測深距離で計測できるシステムを採用</li> <li>・エアードリフターによる穿孔、回転ブラシによる壁面清掃、ワイヤーソーによる岩盤やコンクリートの水中切断、ニブラーによるH鋼・鋼管・鉄筋コンクリートの切断等、様々な工種に適用可能。</li> </ul>

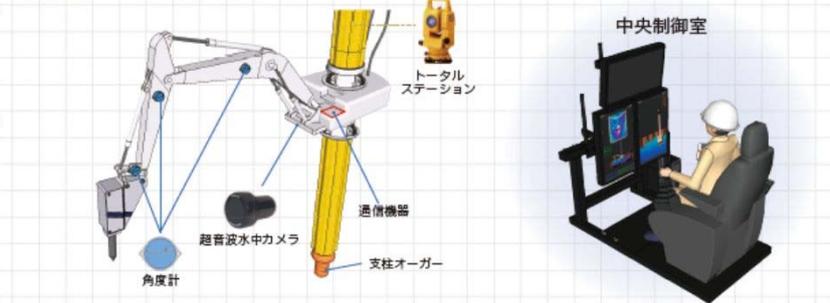
施工概要図



各種アタッチメント・用途例



遠隔操作・マシンガイダンス



適用条件

施工実績  
および  
施工時期

参考文献・資料等

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設(発電機基礎) その他 ( )
工事種類	補修 ・ 補強 ・ (改築) ・ その他 ( )
発電所名称	打梨発電所
企業者	中国電力(株)
所在地	広島県山県郡戸河内町
建設時期	
運開時期	昭和14年7月

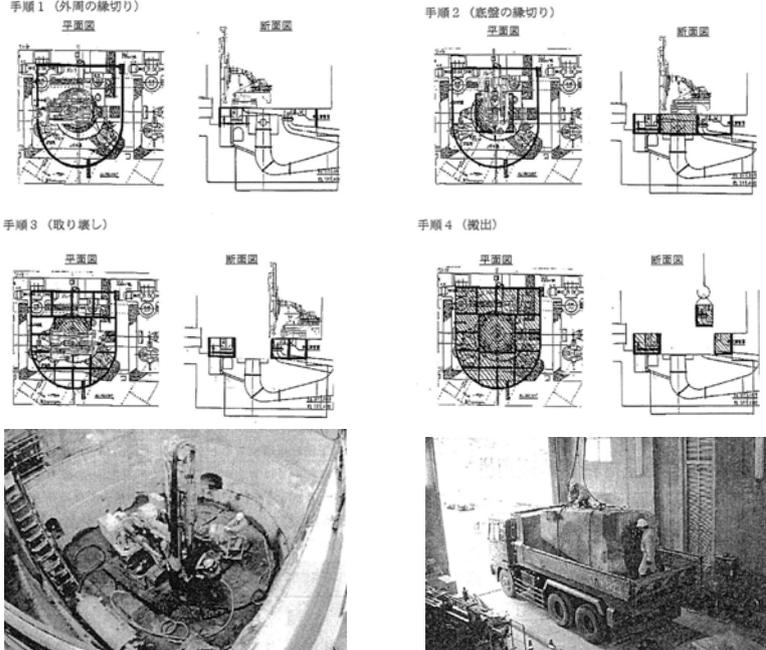
工事時期	平成10年 9月 日 ~ 平成15年 4月 日
施工者	(株)奥村組

工事の目的	発電機の老朽化に伴う、発電機取替工事
劣化要因	昭和14年運転開始以来、約60年が経過しており、この間保守上必要な部分的修繕を行いながら延命対策を行っていたが、水車・発電機の老朽化が著しいことから取替を実施することとなった。取替にあたっては、設備の簡素化と保守の省力化を図るため、発電機基礎を既設の2床式からバレル式に変更した。

工事概要	<p>本工事は、3台ある発電機を3台とも取り替える工事で、既に1期工事において、3号機の取替は完了済みである。工事は、新3号機を運転させながら、1、2号機を取り替える。発電機を運転しながらの施工となるため、運転中の機器に対して影響を与えないよう施工する必要があり、特に基礎コンクリート取り壊し時の振動により、配電盤に設置されている継電器の誤動作に伴うミストリップおよび粉塵による発電機の絶縁低下が懸念される。</p> <p>(1) 水車・発電機          ・既設の水車・発電機3台を取り替える。          ・発電機基礎を2床式からバレル式に変更することで中間軸の軸長を短くし設備の簡素化と保守の省力化を図る。</p> <p>(2) 水圧管路          水圧管路は既設を流用する。末端部を水車との取り合い部で切断し、新水車据付け後、既設水圧鉄管と入口弁との間をルーズフランジにて接合する。</p> <p>(3) 水車・発電機基礎          ・既設水車・発電機基礎を取り壊し、バレル式基礎を構築する。          ・水車・発電機基礎をバレル式に変更することにより、発電所建物を一部補強する。</p>
------	--

表-1 既設と取替後の発電所諸元比較表

諸元	既設	取替後
最大出力	21,770kW	23,600kW
最大使用水量	24.0m <sup>3</sup> /s	同左
最大有効落差	115.24m	同左
水車台数	3台	同左
型式	立軸フランシス水車	同左
容量	8,250kW	8,550kW
発電機台数	3台	同左
型式	三相同軸	同左
容量	8,250kVA	8,700kVA

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>運転中の新3号機と、取替予定の2号機との離隔がわずか3mと近接しているため、基礎コンクリートより-3mの箇所をワイヤーソーで水平に切断後、静的破碎剤と大型ブレイカで取り壊しを行う計画であった。しかし、ワイヤーソー切断を行うためには、ワイヤーを通すために3mのコアボーリングを行う必要があり、そのコアを完全に取り除かなければ計画高での切断ができない。また、1期工事では、コア抜き取りに時間がかかった経緯がある。このような問題を改善するため、SD工法による低公害解体工法が採用された。</p>
<p>工法概要</p>	<p><b>SD工法の概要</b> SD工法は、SD機と称する多連式油圧ドリルを使用して、岩盤やコンクリートにスロット（連続溝）を削孔する技術である。スロットを自由面として利用することにより、比較的小さいエネルギーで岩盤やコンクリートを破碎できる。破碎対象部の外周部にスロットを設け、縁切りすることにより、周辺岩盤やコンクリートを痛めることなく破碎できる。</p>  <p><b>SD工法による基礎コンクリート解体工法</b> SD工法による切断技術を基本とし、SD工法では切断が困難となる箇所の施工については、ワイヤーソーやコアボーリングによる切断技術を併用して、基礎コンクリートをブロック状に切断し解体するものである。</p>
<p>施工概要</p>	<p>SD工法とワイヤーソーイング工法を併用した基礎コンクリート取り壊し順序は以下①～④のとおりである。 ①手順1（外周の縁切り施工） ②手順2（低盤の縁切り施工） ③手順3（取り壊し） ④手順4（コンクリートの搬出）</p>
<p>施工概要図</p>	
<p>参考文献・資料等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電力土木、2003. 3、打ち梨発電所 水車・発電機の取替工事</li> <li>・ 電力土木、2003. 11、SD工法による発電機基礎コンクリート解体工法の開発</li> </ul>

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

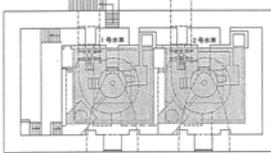
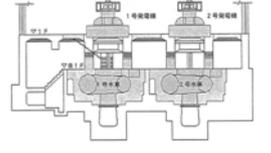
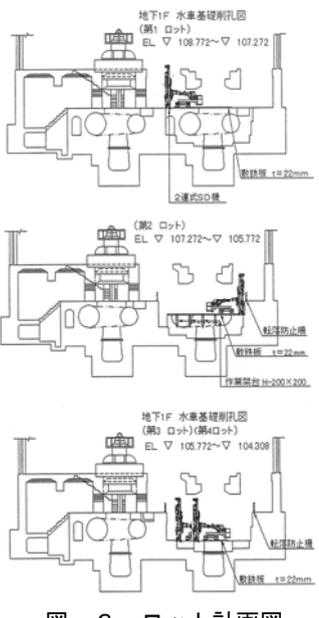
対象構造物	水路トンネル、 水圧管路 発電所関連施設(発電機基礎) その他 ( )
工事種類	補修 ・ 補強 ・ (改築) ・ その他 ( )
発電所名称	藪神発電所
企業者	東北電力(株)
所在地	新潟県魚沼市
建設時期	
運開時期	昭和16年

工事時期	平成15年 4月 7日 ~ 平成18年 3月 3日
施工者	(株)奥村組

工事の目的	発電機の老朽化に伴う、発電機取替工事
-------	--------------------

劣化要因	昭和16年の運転開始から約60年が経過しており、これまで保守・点検を行いながら安全運転に努めてきたが、水車各部の摩耗および亀裂が確認され、余寿命診断において早急な対策が必要とされたことから、平成15年~17年度の3ヶ年計画により1・2号水車発電機の改修工事が行われた。 同改修工事の既設水車基礎撤去には、「SD工法」が採用された。
------	--

工事概要	<p>現行と改修後の発電所諸元を表-1、土木工事諸元を表-2に示す。</p>																																																																																																		
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>表-1 発電所諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">項目</th> <th colspan="2">現行</th> <th colspan="2">改修後</th> </tr> <tr> <th>最大</th> <th>常時</th> <th>最大</th> <th>常時</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 出力(kW)</td> <td>8,500</td> <td>5,900</td> <td>8,800</td> <td>5,900</td> </tr> <tr> <td>2. 使用水量(m<sup>3</sup>/s)</td> <td colspan="4">30.00</td> </tr> <tr> <td>3. 有効落差(m)</td> <td colspan="4">35.00</td> </tr> <tr> <td>4. 水車</td> <td colspan="4">立式単輪単流フランス水車</td> </tr> <tr> <td>最大出力(kW)</td> <td colspan="2">5,500×2</td> <td colspan="2">4,630×2</td> </tr> <tr> <td>5. 発電機</td> <td colspan="4">立式三相同期発電機</td> </tr> <tr> <td>定格出力(kVA)</td> <td colspan="2">5,500×2</td> <td colspan="2">4,660×2</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;"> <p>表-2 土木工事諸元</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">項目</th> <th colspan="2">1号水車発電機改修</th> <th colspan="2">2号水車発電機改修</th> </tr> <tr> <th colspan="2">着工：平成15年4月7日 竣工：平成16年8月31日</th> <th colspan="2">着工：平成16年10月7日 竣工：平成18年3月3日</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 工期</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td rowspan="8">2. 工事概要</td> <td>(1)スラブ撤去</td> <td>V=41m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>V=23m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>a. ワイヤソーイング工法</td> <td>A=74m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>A=52m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>(2)水車基礎撤去</td> <td>V=147m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>V=147m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>a. SD工法</td> <td>L=2,376m</td> <td>同左</td> <td>L=2,510m</td> </tr> <tr> <td>b. ワイヤソーイング工法</td> <td>A=145m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>A=145m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>(3)スラブ打替</td> <td>V=22m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>V=37m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>(4)水車基礎打替</td> <td>V=157m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>V=157m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>(5)梁・柱中性化対策</td> <td>A=138m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>A=138m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>a. 再アルカリ化工法</td> <td>A=136m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>A=136m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>b. 断面修復工法</td> <td>A=2m<sup>2</sup></td> <td>同左</td> <td>A=2m<sup>2</sup></td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <p>(1) 施工方法 SD機のフィード長は最大1.8mであるが、水車基礎の撤去高が約4.5mのため、1ロットによる施工が不可能であることから、最大フィード長に余裕を持たせた1.5mを1ロット当たり削孔高とし、4ロットによる施工を行った。なお、水車ケーシング部下端からドラフト部にかけては、撤去高が約1.5mであり1ロットによる施工も可能であるが、撤去範囲を最小限とするため、水車形状を考慮して2ロットに分ける計画とし、第3・4ロットとして施工した。</p> <p>(2) 施工順序 ①外周面の縁切り削孔 撤去コンクリート外周面に、SD工法による縦方向のスロット(φ65mm)を削孔する。発生するコンクリート屑および削孔水については、汚泥吸引装置により吸引を行う。なお、SD機の作業スペースが確保出来ない箇所ならびにケーシングなどの鋼構造物理設部においては、SD工法が不可能であるため、コアボーリング(φ100mm)によるスロット削孔を行う。 ②底部の水平切断 スロット底部をワイヤソーイング工法により水平切断し、撤去コンクリートを2m<sup>3</sup>程度の矩体にする。 ③場外搬出 発電所内の天井クレーンを使用し、矩体コンクリートを吊り上げ、ダンプトラックによる場外搬出後、再資源化処理を行う。</p>	項目	現行		改修後		最大	常時	最大	常時	1. 出力(kW)	8,500	5,900	8,800	5,900	2. 使用水量(m <sup>3</sup> /s)	30.00				3. 有効落差(m)	35.00				4. 水車	立式単輪単流フランス水車				最大出力(kW)	5,500×2		4,630×2		5. 発電機	立式三相同期発電機				定格出力(kVA)	5,500×2		4,660×2		項目	1号水車発電機改修		2号水車発電機改修		着工：平成15年4月7日 竣工：平成16年8月31日		着工：平成16年10月7日 竣工：平成18年3月3日		1. 工期					2. 工事概要	(1)スラブ撤去	V=41m <sup>2</sup>	同左	V=23m <sup>2</sup>	a. ワイヤソーイング工法	A=74m <sup>2</sup>	同左	A=52m <sup>2</sup>	(2)水車基礎撤去	V=147m <sup>2</sup>	同左	V=147m <sup>2</sup>	a. SD工法	L=2,376m	同左	L=2,510m	b. ワイヤソーイング工法	A=145m <sup>2</sup>	同左	A=145m <sup>2</sup>	(3)スラブ打替	V=22m <sup>2</sup>	同左	V=37m <sup>2</sup>	(4)水車基礎打替	V=157m <sup>2</sup>	同左	V=157m <sup>2</sup>	(5)梁・柱中性化対策	A=138m <sup>2</sup>	同左	A=138m <sup>2</sup>	a. 再アルカリ化工法	A=136m <sup>2</sup>	同左	A=136m <sup>2</sup>	b. 断面修復工法	A=2m <sup>2</sup>	同左
項目	現行		改修後																																																																																																
	最大	常時	最大	常時																																																																																															
1. 出力(kW)	8,500	5,900	8,800	5,900																																																																																															
2. 使用水量(m <sup>3</sup> /s)	30.00																																																																																																		
3. 有効落差(m)	35.00																																																																																																		
4. 水車	立式単輪単流フランス水車																																																																																																		
最大出力(kW)	5,500×2		4,630×2																																																																																																
5. 発電機	立式三相同期発電機																																																																																																		
定格出力(kVA)	5,500×2		4,660×2																																																																																																
項目	1号水車発電機改修		2号水車発電機改修																																																																																																
	着工：平成15年4月7日 竣工：平成16年8月31日		着工：平成16年10月7日 竣工：平成18年3月3日																																																																																																
1. 工期																																																																																																			
2. 工事概要	(1)スラブ撤去	V=41m <sup>2</sup>	同左	V=23m <sup>2</sup>																																																																																															
	a. ワイヤソーイング工法	A=74m <sup>2</sup>	同左	A=52m <sup>2</sup>																																																																																															
	(2)水車基礎撤去	V=147m <sup>2</sup>	同左	V=147m <sup>2</sup>																																																																																															
	a. SD工法	L=2,376m	同左	L=2,510m																																																																																															
	b. ワイヤソーイング工法	A=145m <sup>2</sup>	同左	A=145m <sup>2</sup>																																																																																															
	(3)スラブ打替	V=22m <sup>2</sup>	同左	V=37m <sup>2</sup>																																																																																															
	(4)水車基礎打替	V=157m <sup>2</sup>	同左	V=157m <sup>2</sup>																																																																																															
	(5)梁・柱中性化対策	A=138m <sup>2</sup>	同左	A=138m <sup>2</sup>																																																																																															
a. 再アルカリ化工法	A=136m <sup>2</sup>	同左	A=136m <sup>2</sup>																																																																																																
b. 断面修復工法	A=2m <sup>2</sup>	同左	A=2m <sup>2</sup>																																																																																																

<p>工法選定の理由・条件等</p>	<p>当初、ブレイカによる破碎工法で計画していたが、          ①隣接する発電機が稼働中での施工となること          ②発電機他の電気設備への振動・粉塵を極力抑制する          ③狭隘且つ密閉個所での施工となることから、作業員等への現場環境を配慮した工法とする          ④溢水電力低減のための工程短縮を図る          などの理由から、経済性、施工性等を総合的に判断して「SD工法」と「ワイヤーソーイング工法」の併用工法を採用した。</p>
<p>工法概要</p>	<p>SD工法の概要          SD工法は、SD機と称する多連式油圧ドリルを使用して、岩盤やコンクリートにスロット（連続溝）を削孔する技術である。スロットを自由面として利用することにより、比較的小さいエネルギーで岩盤やコンクリートを破碎できる。破碎対象部の外周部にスロットを設け、縁切りすることにより、周辺岩盤やコンクリートを痛めることなく破碎できる。</p>  <p>SD工法による基礎コンクリート解体工法          SD工法による切断技術を基本とし、SD工法では切断が困難となる箇所の施工については、ワイヤーソーやコアボーリングによる切断技術</p>
<p>施工概要</p>	<p>SD工法とワイヤーソーイング工法を併用した基礎コンクリート取り壊し順序は以下①～④のとおりである。          ①手順1（外周の縁切り施工）          ②手順2（低盤の縁切り施工）          ③手順3（取り壊し）          ④手順4（コンクリートの搬出）</p>
<p>施工概要図</p>	 <p>写真-1 施工状況</p>  <p>図-1 施工範囲平面図</p>  <p>図-2 施工範囲縦断図</p>  <p>図-3 ロット計画図</p> <p>地下1F 水車基礎削孔図          (第1ロット)          EL.▽ 108.772～▽ 107.272          削孔径 φ=200mm          2連式SD機</p> <p>(第2ロット)          EL.▽ 107.272～▽ 105.772          削孔径 φ=200mm          作業開始 H=00×200</p> <p>地下1F 水車基礎削孔図          (第3ロット)(第4ロット)          EL.▽ 105.772～▽ 104.208          削孔径 φ=200mm</p>
<p>参考文献・資料等</p>	<p>・電力土木、2005.5、藪神発電所水車発電機改修における水車基礎撤去と中性化対策</p>

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設 (発電機基礎) その他 ( )
工事種類	補修 ・ 補強 ・ 改築 ・ その他 ( )
発電所名称	花山発電所
企業者	東北電力株式会社
所在地	宮城県栗原郡花山村
建設時期	昭和23年
運開時期	

工事時期	平成9年12月～平成10年11月
施工者	西松建設株式会社
工事の目的	花山発電所水車取替関連工事のうち、既設構造物を部分的に取壊して、現在2本ある放水庭を1本の断面に造り直す工事である。
劣化要因	花山発電所は昭和23年に竣工し、放水庭部分を昭和32年に改築して以来、発電力アップがなされなかった。
工事概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土留工事 親杭横矢板+アースアンカー工法 H=300、L=6.0~10.0m、n=31本</li> <li>・ ウェルポイント工事 1段目：n=35本 2段目：n=15本</li> <li>・ 軟岩掘削工：V=648m<sup>3</sup></li> <li>・ コンクリート取壊し工：V=479m<sup>3</sup></li> <li>・ 躯体工事（鉄筋コンクリート構造物）：V=586m<sup>3</sup></li> <li>・ 埋戻し工：V=652m<sup>3</sup></li> <li>・ 分岐管閉塞工：一式</li> <li>・ 構内整備工：一式</li> </ul>

工法選定の理由・条件等	
工 法 概 要	
施 工 概 要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土留工事 水車基礎という構造上から、周辺地域より4 m程低いもたれ擁壁に囲まれた狭い敷地内での掘削工事のため、親杭横矢板+アースアンカー工法により掘削を行った。一部アンカー定着層の地質が悪い箇所には下段に増打ちした。またアンカー未施工区間の既設構造物残存部分は、土留壁に代替するための中詰コンクリート打設した。</li> <li>・ウェルポイント工事 施工基面より掘削深さが8.5 mほどあるため、掘削上部と中段付近の2段に設置し、下部躯体工の埋戻し時期まで揚水した。</li> <li>・掘削・コンクリート壊し 同時作業となるので掘削箇所ミニバックホウと、ブレイカ兼用のバックホウ2台を配置し、近接の仮置ヤードまではバックホウ1台の2段跳ねにより集土した。ヤードにおいて残土及びコンクリート殻を分別し、土捨場並びに産廃処分場へ11 t ダンプトラックで搬出した。</li> <li>・躯体工事 下部放水庭を底版部と側壁+頂版部の2回で打設し、上部耐圧版を、設備埋設工事との関係で4回に分けて打設した。</li> <li>・構内整備 新設の建築工事完了後、建屋廻りの排水布設と周辺の土間コンクリート打設、法面張芝を行った。</li> </ul> <p>発電所構内での作業であることから、受変電設備が近接しており、また工事範囲が狭く施工箇所がすり鉢状の中での作業のため、転落防止及び昇降設備に充分配慮した。また、クレーンの巡回範囲や資材落下・飛散防止の養生を確実にしながら作業を行った。</p>
施 工 概 要 図	
参考文献・資料等	

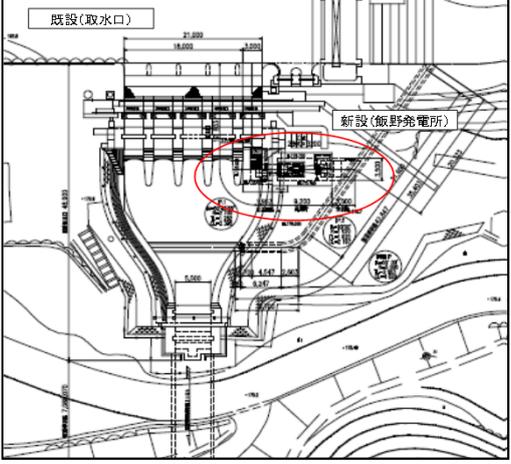
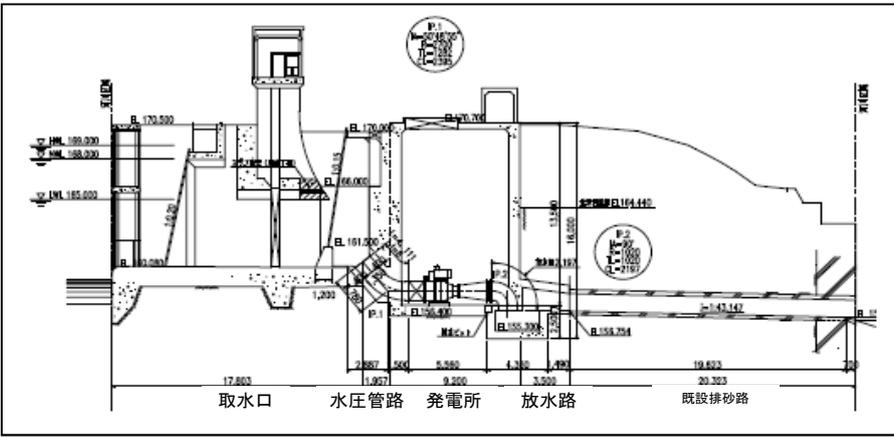
水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設（発電機基礎、 <u>その他</u> （既設ダムを利用し、発電所を新築））
工事種類	補修・補強・ <u>改築</u> ・その他（ ）
発電所名称	飯野発電所
企業者	東北電力(株)福島技術センター
所在地	福島県福島市飯野字羽柴地内
建設時期	新設（昭和13年に運転を開始した蓬莱発電所の蓬莱ダムを利用）
運開時期	平成26年6月

工事時期	平成25年4月19日～平成26年5月30日
施工者	佐藤工業(株)

工事の目的	既設のダムを改築し、水力発電所を新設する（最大出力230kW）
-------	---------------------------------

劣化要因	発電所を新設するための既設取水口の改築
------	---------------------

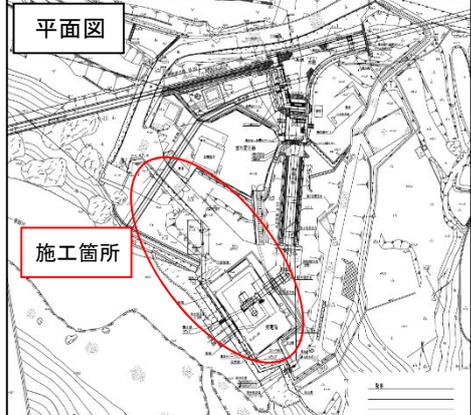
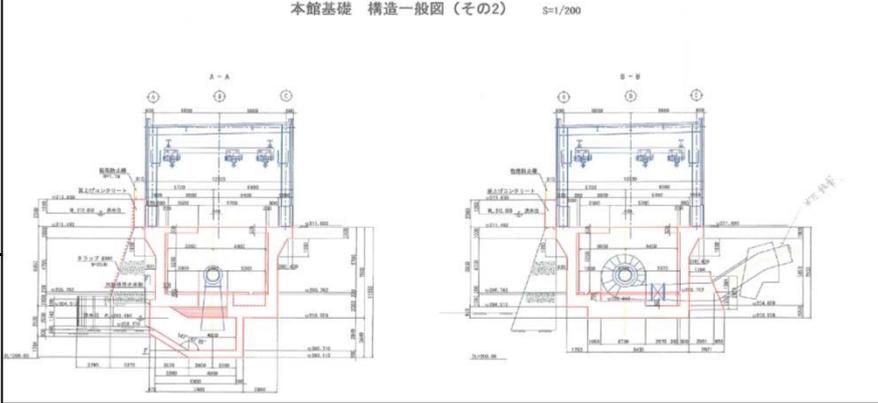
工事概要	<p>取水口工事 1式 水圧管路工事 1式 発電所工事 1式 放水路工事 1式</p>  <p style="text-align: center;">施工箇所平面図</p>  <p style="text-align: center;">飯野発電所縦断図</p>
------	--

工法選定の理由・条件等	
工 法 概 要	
施 工 概 要	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">仮締切設置</div> <div style="font-size: 2em; margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">既設構造物取壊し</div> <div style="font-size: 2em; margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">掘 削</div> <div style="font-size: 2em; margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">躯体構築</div> <div style="font-size: 2em; margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">仮締切撤去</div> </div> <div style="width: 60%;"> <p>コンクリートブロックによる仮締切</p> <p>ガンサイザー(蒸気圧破碎剤)の使用</p> </div> </div>
施 工 概 要 図	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>着手前</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>完了</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>仮締切(コンクリートブロック)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>装薬状況(ガンサイザー)</p> </div> </div>
参考文献・資料等	

水力発電所のリニューアルに関する事例調査

対象構造物	水路トンネル、水圧管路 発電所関連施設(発電機基礎、その他(発電所建屋改築))
工事種類	補修・補強・改築・その他( )
発電所名称	三田発電所
企業者	関西電力(株)
所在地	和歌山県有田郡有田川町大字三田677
建設時期	
運開時期	昭和4年10月

工事時期	平成25年2月26日～平成26年8月29日
施工者	大豊建設(株)
工事の目的	旧発電所を撤去し新設発電所を構築する工事
劣化要因	旧発電所は、1929年(昭和4年)に運用を開始し、85年経過したことによる建物の老朽化及び近接河川(有田川(二級河川))の氾濫等による水没でかなり劣化していた。
工事概要	<p>三田発電所水車発電機改良工事の実施に伴い、既設本館基礎の除去を行い、新たに本館基礎を設置する。また、発電所内に擁壁及び排水設備を設置し、鉄骨構造の新家屋を構築する工事である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・旧建物撤去工 . . . . . 1式</li> <li>・土木除却工事 <ul style="list-style-type: none"> <li>掘削工 . . . . . 2,100m<sup>3</sup></li> <li>コンクリートこわし . . . . . 340m<sup>3</sup></li> <li>グラウトアンカー工 . . . . . 5本</li> <li>薬液注入工 . . . . . 572m<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>・基礎工事 <ul style="list-style-type: none"> <li>基面整形 . . . . . 140m<sup>2</sup></li> <li>コンクリート吹付 . . . . . 530m<sup>2</sup></li> <li>埋戻し工 . . . . . 1,160m<sup>3</sup></li> <li>コンクリート(24N) . . . . . 620m<sup>3</sup></li> <li>コンクリート(18N) . . . . . 180m<sup>3</sup></li> <li>鉄筋 . . . . . 70t</li> <li>残土処分工 . . . . . 910m<sup>3</sup></li> <li>埋設管 . . . . . 1式</li> <li>接地線 . . . . . 90m</li> </ul> </li> <li>・擁壁他工事 <ul style="list-style-type: none"> <li>集水枡 . . . . . 1ヶ所</li> <li>嵩上げ擁壁 . . . . . 23.5m</li> <li>L型擁壁 . . . . . 7.9m</li> <li>階段工 . . . . . 1ヶ所</li> <li>U字溝工(U-240) . . . . . 145.0m</li> <li>As舗装工 . . . . . 430m<sup>2</sup></li> <li>ゲルビング工 . . . . . 500m</li> </ul> </li> <li>・建築工事 <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄骨造 平屋建て(地下1階) 建築面積: 218.65m<sup>2</sup></li> </ul> </li> </ul>

<p>工法選定の理由・条件等</p>	
<p>工法概要</p>	
<p>施工概要</p>	<p>※施工フロー</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①旧建物撤去 (GL上)</li> <li>②薬液注入工 (掘削背面止水)</li> <li>③掘削 (GL下建物撤去)              仮構台設置              法面Co吹付 (530m<sup>2</sup>)</li> <li>④床付け</li> <li>⑤GL下構築 (吐け口工、躯体工)</li> <li>⑥埋戻し、仮構台撤去</li> <li>⑦建物工事 (GL上)</li> <li>⑧外溝工事</li> </ol> <p>(572m<sup>3</sup>) (掘削量 : 2,100m<sup>3</sup>)</p> <p>【旧発電所全景】</p> 
<p>施工概要図</p>	<p>【新設発電所全景】</p>  <p>平面図</p>  <p>施工箇所</p> <p>本館基礎 構造一般図 (その2) S=1/200</p> 
<p>参考文献・資料等</p>	

<参考文献>

- 1) 安福 滋：水力発電所土木設備の運転・保守について、電力土木 No. 156、1978. 9
- 2) 佐藤 強、鶴田 滋、山岸孝男、野田英之、朝崎勝之、片岡幸毅：座談会「水力土木設備の維持・運転の合理化と技術継承について」、電力土木 No. 316、2005. 3
- 3) 平田正治、新宅 宏、河野慎司：打梨発電所 水車・発電機を取替工事、電力土木 No. 304、2003. 3
- 4) 浅利秀也、有元 毅、古賀成樹：SD 工法による発電機基礎コンクリート解体工法の開発、電力土木 No. 308、2003. 11
- 5) 丸山徳昭、加藤光宏、三宮武治：藪神発電所水車発電機改修における水車基礎撤去と中性化対策、電力土木 No. 317、2005. 5
- 6) ハイδροバレー計画ガイドブック、経済産業省 資源エネルギー庁 財団法人 新エネルギー財団、2005. 3
- 7) SD 工法協会：SD 工法パンフレット

## 初版 おわりに

電力工事技術委員会では、これまで電力工事に関する技術資料を収集し、その内容を取りまとめて施工事例集として発刊して参りました。すなわち、「TBM 工法による施工事例調査(平成13年3月)」、「施工からみた地下発電所の変遷と事例集(平成16年12月)」です。その一環として、今回は近年注目されている水力発電土木施設のリニューアル技術にスポットライトをあて、その施工事例を取りまとめることといたしました。

我国のダム建設は、西暦616年に完成した狭山池ダムが最初といわれています。当時は灌漑用ダムが主体でしたが、大正時代には水力発電のためのダムが多数建設されるようになりました。昭和時代に入ってもダムは建設され、とくに終戦後に全国各地に建設された大型ダムは、国土の復興と高度成長を支える原動力となりました。

21世紀を迎えた現在、数多くのダムにおいて様々なリニューアル工事が実施されています。まず、計画量を超えた堆砂によってダム機能が阻害される事例が顕在化しています。第1章では、このような貯水池本来の機能を回復するための貯水池の堆砂対策と水域全体を対象とした総合的な堆砂対策に関する事例を紹介しました。次に、ダム本体のリニューアル技術、例えば堤体の補強、ダム本体の嵩上げ、洪水吐ゲートの改良などの技術について第2章で記述しました。続く第3章では、取水施設のリニューアル技術を取上げ、ダム堤体に穴をあけて導水路を新設・増設する技術、取水ゲートを改良・補修する技術、堤外の取水口を新設・増設する技術などをまとめて記載しました。最後に第4章では、水路トンネル及び発電所関連設備のリニューアル技術について記載しました。これは、(社)日本電力建設業協会の会員各社から寄せられた技術情報をアンケート形式で紹介するものです。

外国に頼ることなく自国でまかなうことのできる水力発電は、重要な位置を占めていると同時に自然エネルギーを有効に使うという大きな利点を有しています。さらに、近年の電力事情の変化や社会環境との関係においても、水力発電の果たすべき役割が問われています。したがって、今後もこのようなリニューアル工事が盛んに施工されることが予想されます。本書が、リニューアル工事の計画、設計、施工、管理などを手がけられる土木技術者の参考資料として幅広く活用されることを心より願うものです。

最後に、本書を発刊するにあたって資料の提供などのご協力を頂いた企業者各位、ならびに施工業者の皆様へ深く感謝いたします。また、本書のとりまとめと執筆・編集作業に当たられたWGメンバーの皆様へ心から感謝を申し上げます。

平成20年3月

社団法人 日本電力建設業協会  
電力工事技術委員会 技術部会  
部会長 北川 隆