

DEN-CHU-KEN

TOPICS

2012 1 JANUARY

VOL.10

Central Research Institute of Electric Power Industry

✓ 水力発電の積極的活用に向けて

1. 研究の背景と電力中央研究所の取り組み
2. ダム堤体の維持管理技術
3. ダムゲートの維持管理技術
4. 電力施設周辺斜面や地盤の維持管理技術

水力発電の積極的活用に向けて

1. 研究の背景と電力中央研究所の取り組み

わが国の水力発電所では、建設後50～60年以上経過した設備が増えてきています。これらを積極的に活用していくことは、CO₂排出量削減への対応や電力安定供給の観点から重要です。このため、発電設備の健全性評価を行って維持管理・運用に役立てるとともに、補修・改修の可否などを判断して長期的運用計画が策定されています。特に、土木設備は自然環境の中で長期間利用されることから、経年による性能の低下、河川や周辺の地山・森林などの変容、自然災害の頻発・巨大化などが、設備の運用に影響を与えることが懸念されます。

水力発電所の主な土木設備には、発電用の水を貯えるダム堤体、貯水位を制御するダムゲート、発電所に水を送る導水路や水圧鉄管などがあります。これらの構成材料や構造体としての健全性ばかりでなく、設備を支持する基礎構造物や地山・地盤あるいは周辺斜面の健全性も含めて評価していく必要があります。

本章では、水力発電所の土木設備を中心に直面する課題や電力中央研究所の取り組みについて紹介します。

地球工学研究所
構造工学領域リーダー
上席研究員 山本広祐



東京電力(株)信濃川発電所

組み

一般に、土木設備の維持管理は巡視・点検を基本に行われるが、何らかの変状が確認された場合や、一定の年数を経て長期的運用計画を検討する場合には、より詳細な現地調査や構造解析による検討が行われる。また、出水時期、電力需要、改修工事などの対応で設備の使用状態が季節あるいは年単位で変わる場合や、劣化進行が著しいような場合には、現地調査の一部として継続的な状態監視が実施されることがある。既存設備の維持管理にあたっては、現地調査や構造解析を通して現時点の設備の状態を正確に捉え、将来予測に役立てることが不可欠である。

また、近年、異常気象による豪雨や規模の大きな地震が増加傾向にあり、水力設備や流域の災害対応は特に重要な側面である。2000年以降、観測地震動や降雨量が設計時に想定した条件を上回ったり、大きな損傷や機能喪失に至っていないものの設備が影響を受けた事例が何件か発生した。また、地震・豪雨に伴って地すべりや斜面崩壊が発生し、ダムの上流域で発生した土砂が貯水池に流入したり、河川内に土砂による天然ダムが形成されたり、あるいは土砂の堆積による河床上昇で水位が上昇し、河川が氾濫する事例も発生している。

このように、水力発電所を安定して運用するには、設備の維持管理に加えて周辺山地・森林の保全や

河川の管理も重要である。図1-1には、貯水池の運用や流域の環境問題も含めて、当所が取り組んできている水力発電所の土木設備(ダム、水路、ダムゲート、水圧鉄管等)に関わる技術課題をまとめた。ダムについては、通常運用時の健全性評価、地震時の構造安全性(耐震性)評価と貯水機能の確保、豪雨・洪水時の放流機能の確保などが重要課題となる。また、設備構成材料には、長期の使用に対して耐久性を有していることが求められる。水路についても同様に健全性、耐震性、耐久性が求められるが、加えて水路を支持する地山の斜面・地盤の安定性確保が重要である。

このようなことから、当所では現在、(1)大規模地震に対するダムおよびダムゲートの解析技術と耐震性評価手法の確立、(2)補修・取り替えが想定されるダムゲートの管理基準値の設定、(3)貯水池あるいは水路等、水力設備周辺斜面・地盤の安定性評価に着目した研究を重点的に推進している。

以下、第2章ではコンクリートダム、第3章ではダムゲート、第4章では周辺斜面・地盤に関わる維持管理・防災について、当所が長年にわたり蓄積してきた技術と現在の取り組みについて紹介する。なお、降雨・出水予測については、「電中研TOPICS VOL.2 (2010年7月発行)」で紹介している。



図1-1 水力土木設備に関わる技術課題

水力発電の積極的活用に向けて

2. ダム堤体の維持管理技術

わが国には、河川法で定義された高さ15m以上のダムは約2800基あり、建設材料別にアースダムが約1300基、コンクリートダムが約1200基、ロックフィルダムが約300基あります。電力会社が所有するダム約330基のうち、そのほとんどがコンクリートダム(約280基)で、古いダムは供用開始後80年程度が経過しています。

発電用のダムは山間部に位置し、長期間、厳しい自然環境に曝されることから、材料・構造体の劣化・損傷の進行が想定されます。また最近、地震時の安全性確保に対応するために、従来の簡易な静的地震力による安全性照査から、実現象に近い詳細な動的解析技術を用いた挙動評価に基づく安全性照査が求められるようになってきました。

電力中央研究所では、水力発電所の長期にわたる安定した稼働を確保するために、通常運用時の維持管理の合理化に資するコンクリートダム堤体の常時挙動評価技術や、地震時の安全性確保に資する耐震性評価・構造解析技術の開発に取り組んでいます。

地球工学研究所
上席研究員 西内 達雄



地球工学研究所
主任研究員 金澤 健司



佐久間ダム(重力式ダム)



上椎葉ダム(アーチ式ダム)

電力会社所有のコンクリートダム約280基のうち、重力式は約250基、古いもので80年程度、アーチ式は約30基、古いもので50年程度供用されている。

2.1 堤体変位や振動特性の計測・評価に基づくアーチ式ダムの通常運用時の管理

(1) 堤体変位の動態観測による維持管理

アーチ式ダムは薄肉のコンクリート構造であり、一般にダム堤体は、気温上昇時には上流側へ、気温低下時には下流側へ変位する。これは、上流側に凸のアーチ構造であるため、気温上昇に伴うダム軸方向の変形が周辺岩盤に拘束されることで、堤体が上流側に変位するのである。また、貯水位の変動により作用水圧が変化するため、水位上昇により堤体は下流側へ、水位低下により上流側へ変位する。このように、気温や水温の変化や水圧による堤体の変形が鋭敏に現れ、荷重作用に対する堤体の応答を容易に計測できる特徴を有している。この特徴に着目して、通常運用時の堤体天端の中央部の動態観測を行い、気温、水温、貯水位等のデータを照合して、堤体の変位が正常な範囲にあることを確認し、ダムの健全性を管理している例が多い。

従来は、計測された堤体の変位と気温、水温、貯水位等の膨大なデータを回帰分析して予測式を構築し、維持管理に適用していた。当所では、堤体の構造の特徴をモデル化した解析手法を開発し、これによる計算結果を統計的に分析して予測式を構築した⁽¹⁾。図2-1は、気温、水温、貯水位の変化に応じた堤体変位の動態観測による結果と、構築した予測式による結果を比較した一例である。精度のよい動態観測システムが導入された1985～1991年のデータで比較すると、最大変位の発生時の比較では、予測値は計測値よりやや小さく評価されるが、気温、水温、貯水位の変化に伴う堤体の変位を良好に再現している。このように、数値解析に基づく予測式は、

計測データが少ない(あるいは無い)場合でも、堤体の変位を所定の精度で予測することができ、また、気候やダムの運用水位などが将来的に変化する場合でも、それらに伴う荷重作用の変化の影響を適切に評価することができる。さらに、開発した解析手法により、変位に応じて堤体に発生する応力状態を把握できるので、堤体の変位の観測値と予測値に差異が生じた場合には、その時の堤体の応力状態を推定して差異の原因を明らかにすることで、堤体の健全性評価に反映させることができる。

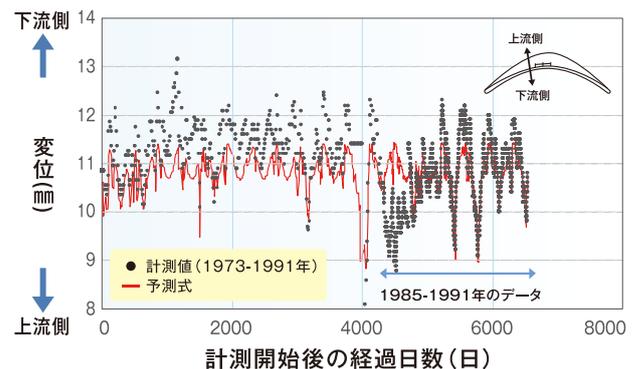


図2-1 堤体天端の中央部での上・下流方向変位の比較
ダムの挙動が定常状態に達した1973年から1991年までのデータを検証の対象とした。予測式の初期値は、計測初期値に一致させた。湛水開始後、定常状態に達するまで、堤体は下流に10mm程度変位している。

(2) 振動計測に基づく構造モニタリング

コンクリート構造物の損傷・劣化の診断は、保守担当者による目視点検が一般的であるが、目視による確認ができない場所や思いもよらない位置に異常が発生する場合も少なくない。このため当所では、目視点検に加えて新しい診断法として、損傷や劣化によって低下する構造物の剛性や固有振動数を評価指標とする構造ヘルスマニタリング技術⁽²⁾を開発している。図2-2は、鉄筋コンクリート壁を対象とした振動台実験の例⁽³⁾であり、ひび割れの発生に伴って

壁の固有振動数が低下する様子が捉えられている。

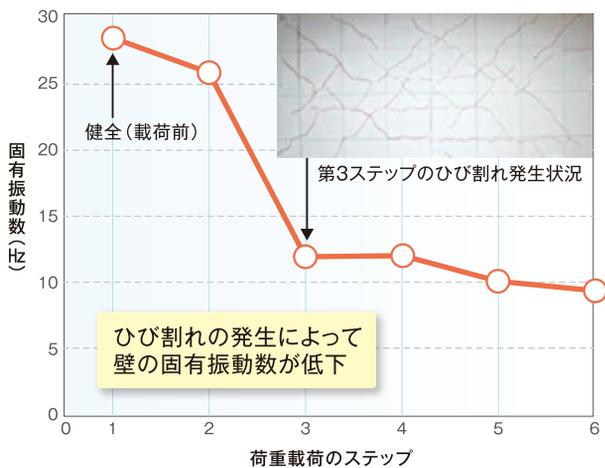


図2-2 振動台実験による鉄筋コンクリート壁の損傷と固有振動数の低下量の関係

アーチ式ダムの場合には、固有振動数が水位や気温によっても変動することから、損傷や劣化による変化を抽出するのは容易でない。当所ではこの問題に取り組むため、実際のアーチ式ダム(九州電力(株)一ツ瀬ダム)を対象として常時微動を連続的に計測し、構造ヘルスマニタリングの適用性を検討した。

図2-3は、固有振動数と水位との関係の1年間にわたる測定結果を示している。12月から5月までの低温・渇水期と、5月から10月までの高温・豊水期で固有振動数の変動パターンが異なることが確認できる。低温・渇水期は、水位があまり変化していないにもかかわらず固有振動数に大きな変化が見られ、気温の影響を受けていることが推察できる。この挙動は、気温低下に伴う堤体の収縮により、アーチ式ダムの鉛直ジョイント部が開口することでダムの固有振動数が低下するためと考えられる。

一方、高温・豊水期の固有振動数は、水位の減少に伴い直線的に増加する関係(図中の水色破線)にある。気温の高い時期には堤体が膨張し、鉛直ジョイント部が閉じた状態にあるため、ダムの固有振動数は気温変化にかかわらず、水位による付加質量(貯水の流体運動によって付与されるダムの見かけの質量増加)の変動のみに依存して変化すると考えられる。

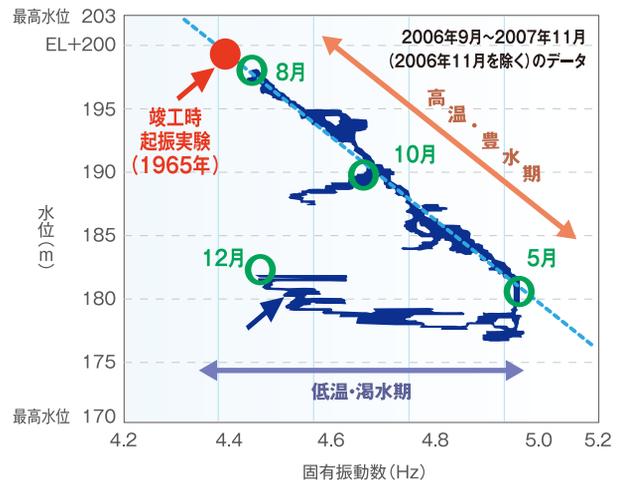


図2-3 貯水池水位と固有振動数の関係

この固有振動数と水位の逆比例の関係を利用して、ダムの損傷度を評価することができる。このアーチ式ダムでは竣工時に起振実験が行われており、計測された結果から求めた固有振動数を図2-3中に赤丸で示した。竣工時の固有振動数は、現時点の固有振動数と水位の逆比例直線上にある。このことは、ダムの振動特性が竣工後から現在に至るまで変化しておらず、大きな損傷が発生していないことを示している。このように、アーチ式ダムの固有振動数をモニタリングすることで、ダム全体の構造健全性が損なわれていないことを客観的に示すことができる。

2.2 ひび割れの進展を考慮する構造解析手法による重力式ダム耐震性評価

大規模地震に対する土木構造物の安全性に関する社会的関心の高まりや、ダムの耐震性能を合理的に説明できる技術指針の整備の必要性から、2005年3月に「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省)が公表された。この指針では、レベル2地震動(現在から将来にわたって考えられる最大級の地震動)に対する構造物の安全性の検証が必要となっている。このような地震時安全性の検証には地震応答解析を用いる場合が多く、特に堤体や基礎岩盤等の損傷を考慮した解析法の整備が求められている。

当所では、コンクリートダムの通常運用時・地震時の挙動を評価するための構造解析手法の開発を行っている。重力式ダムは無筋コンクリート構造であり、堤体直下の基礎岩盤や堤体と基礎岩盤との接触面(岩着部)と同様に、底部には地震力の作用により卓越する引張応力が発生し、構造的な弱点となる。このため、地震時の安全性を評価するために、これらの箇所のひび割れなどの損傷の発生、およびその進展状況を表現できる構造解析モデルを検討した。

図2-4に示すように、堤体と基礎岩盤をコンクリートで模擬した模型試験体を製作し、堤体の自重に相当する鉛直荷重を上方より载荷した状態で、貯水池水圧と地震による慣性力に相当する水平荷重を側方から作用させる静的加力試験を行った。その結果から、岩着部でのせん断応力-すべり関係、基礎岩盤内部での不連続面における開口箇所と開口量の進展を把握し、これらを評価できる力学モデルを組み入れた構造解析手法を開発した。

図2-5は、開発した構造解析手法による堤高100mの仮想ダムを対象とした非線形地震応答

解析結果である。地震動によって無筋のコンクリート堤体および基礎岩盤、岩着部にひび割れやき裂等の損傷が進展していく様子を把握することができる。この解析手法により、重力式ダムの地震時挙動をほぼ実現象どおりに把握することができ、耐震安全性を適切に判断することができる。

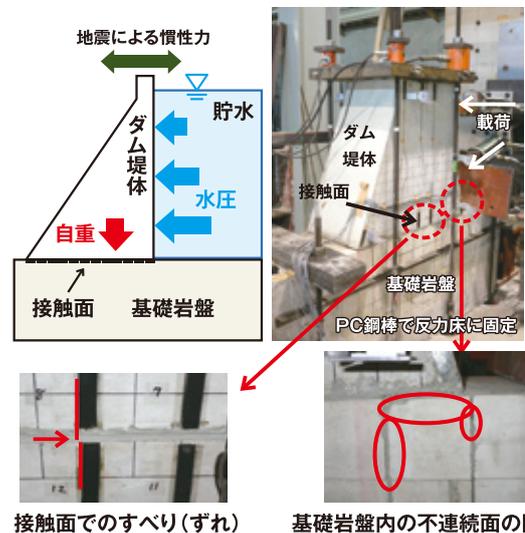


図2-4 ダム堤体の岩着部近傍の破壊に着目した静的加力試験構造解析モデルを検討するために、接触面のすべり量や岩盤内の不連続面の開口を測定した。

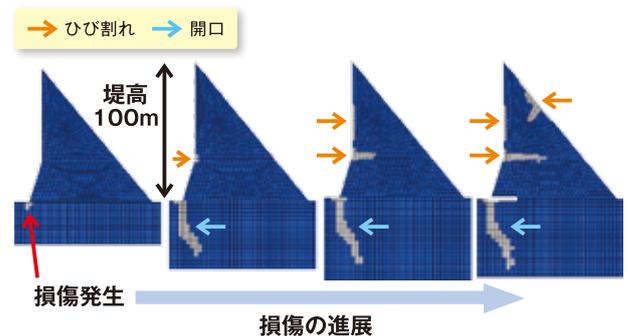


図2-5 地震応答解析によるダムの損傷の進展評価

<参考文献>

- (1) 西内他:「鉛直方向の施工ジョイント部での離接を考慮したアーチダムの常時挙動解析」、土木学会論文集E、Vol.62、No4、612~688ページ、平成18年
- (2) 金澤:「常時微動計測に基づく大型構造物の振動特性評価技術」、電力中央研究所 総合報告N05、平成21年
- (3) 矢花他:「E-ディフェンス震動台試験による免震構造物の地震時終局挙動の解明」、電力中央研究所 総合報告N13、平成23年

水力発電の積極的活用に向けて

3.ダムゲートの維持管理技術

ダムゲートは、ダムの越流部に設置される設備で、通常は閉じた状態で水圧を支持しながらダムとともに貯水の役割を担います。一方、洪水時などには水を安全に流下させるため、“可動する”という他の水力設備と異なる特徴を有しています。一般的にはダムと同時期に建設されているため、ダムと同じく経年に伴い性能が低下しており、維持管理の重要性は増しています。

ダムゲートは、開閉操作に伴う摩耗や水際での使用による腐食といった緩やかながらも常時進行する劣化事象を受けながら、地震など大きな外力を伴う突発事象への対応や、洪水時のスムーズな可動が必要です。このため、設備の安全性・機能性の評価や補修・更新等を通して、機能の維持・向上が進められています。

電力中央研究所では、ダムゲートの安全性・機能性の評価に関わる研究に力を入れて取り組んできました。本章では、通常運用時および大規模地震時の安全性評価技術として、ダムゲートの状態監視・管理基準に関する研究、および耐震性評価に関する研究を紹介します。

地球工学研究所
主任研究員 塩竈 裕三



地球工学研究所
上席研究員 齋藤 潔



ゲートの更新工事
写真提供:北陸電力(株)

3.1 ネットワーク技術を活用した状態監視と通常運用時の管理基準

ダムゲートの維持管理では、日々の巡視、定期的な点検によって目視を中心に設備の状態を確認しながら、点検結果に応じてあるいは予め定めた期間に従って、計測機器を用いて状態を定量的に把握する詳細調査が行われている。これらの点検・調査の結果をもとに、設備の健全性評価が行われ、評価の良否に応じて補修や更新等の対策が行われている。

当所では、経年劣化などダムゲートの実態の正確な把握と、これに基づく安全性の評価技術の高度化に資するために、主に詳細調査、健全性評価、維持管理の一環として実施される状態監視の技術に関連した研究に長年取り組んできた。

ここでは、既設ダムゲートの状態監視および管理基準に関する研究を紹介する。

(1) ダムゲートの状態監視

ダムゲートは、開閉のためのいくつかの可動部を有している。たとえば、図3-1に示す代表的な

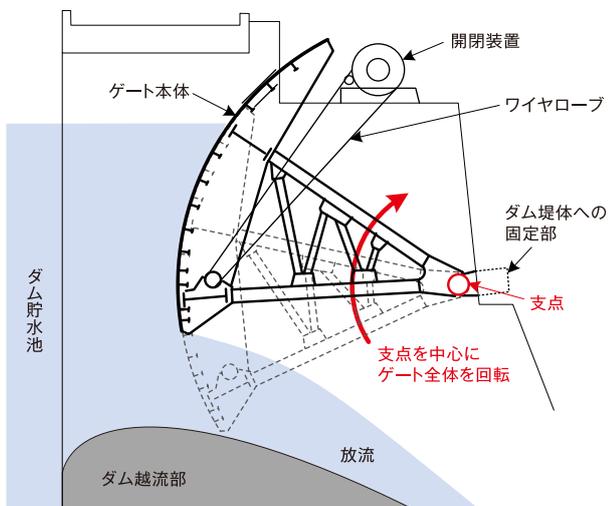


図3-1 ラジアルゲートの構造

形式であるラジアルゲートは、ゲート本体を開閉装置およびワイヤロープにより回転させることでダム貯水位を調節しており、回転の中心となる支点が可動部となる。

支点部の機能低下は開閉に支障をきたすだけでなく、ゲート本体に過大な負荷をかけて損傷を招く場合もある。腐食等により強度低下が懸念される場合には、特に、支点部の状態監視によって負荷の大きさを定量的に把握し、安全性が保たれていることを確認する必要がある。

山間部に設置されることが多いダムゲートでは巡視による状態監視に多大な労力を要することから、当所では、容易に現地の日常的な状態監視が可能な、ネットワーク技術を活用した状態監視システムを開発した。

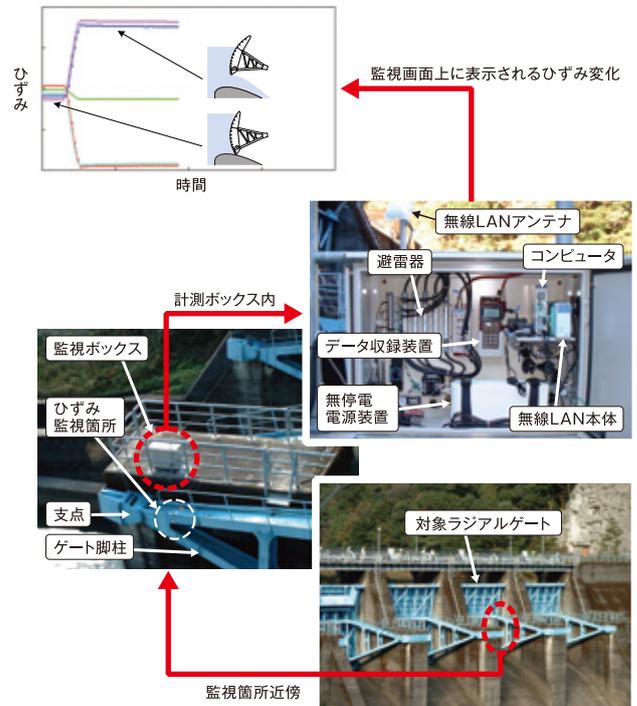


図3-2 ラジアルゲート支点部の状態監視

図3-2は、実際にラジアルゲート支点部の状態監視を実施した事例である。遠隔地から公衆回線や無線LANを介して支点部近傍の脚柱のひずみを常時監視しながら、支点部の摩擦によって開閉操作時にひずみが増加する様子を把握し、支点部の経時的な機能低下の有無を確認した。

また、測定値を分析した結果、開閉時に生じる脚柱のひずみ変化には、大きさが同程度で互いに向きが異なる摩擦抵抗の影響が含まれていることを把握した。この結果、ダムゲートの安全性評価を行うには、その一方の摩擦抵抗分だけ、すなわち測定されたひずみの変化の半分を用いればよいことを明らかにし、ゲート管理の信頼性向上に寄与できた。

(2) ダムゲートの安全性管理基準の提案⁽¹⁾

ダムゲートの維持管理において、健全性評価のうち特に安全性に関わる管理基準は、設備の補修・更新等に関わる大きな判断材料の一つである。これまで安全性の管理基準は設計基準をベースとしたものが多かったが、設備が高経年化する中、安全性をより合理的に評価できる管理基準が求められている。

維持管理においては、状態監視を含む新しい各種調査・計測や、設置当時より高度な構造解析技術の適用など、より実態に即した設備の安全性評価が可能である。また、部材強度や荷重作用時の部材応答のばらつきなど、多くの不確実性を考慮する必要がある設計時と、計測等により不確実性の一部を減らすことができる維持管理では、自ずと異なる基準が適用可能であると考えられる。

このような不確実性を考慮して構造物の安全性を確率的に評価する手法として信頼性理論がある。当所では、高度な解析技術と調査技術に

基づいて安全性評価に関わる不確実性を設計時より低減させることで、信頼性理論で評価される安全性を設計時と同じ水準に保ったまま維持管理できる、合理的な管理基準の設定方法について提案を行っている。

図3-3は、応力測定実績があるダムゲートを対象に、設計計算式、有限要素解析により主桁応力を算出して、それぞれを実測応力と比較している。図3-3左の設計計算応力に基づく応力の評価結果よりも、図3-3右の有限要素解析に基づく応力の評価結果の方がより実測応力との整合性が高く、部材応答の算出に関して不確実性を小さくできたといえる。

このような知見を踏まえ、当所は有限要素解析あるいは実測によって低減した部材応答算出に関する不確実性を定量化し、それを設計基準値の修正係数として提案した。これにより、従来と同じ安全性の水準を保ちながら設計時よりも高い応力値を用いて管理できる可能性が示され、ダムゲートのより安全な維持管理に活用できる。

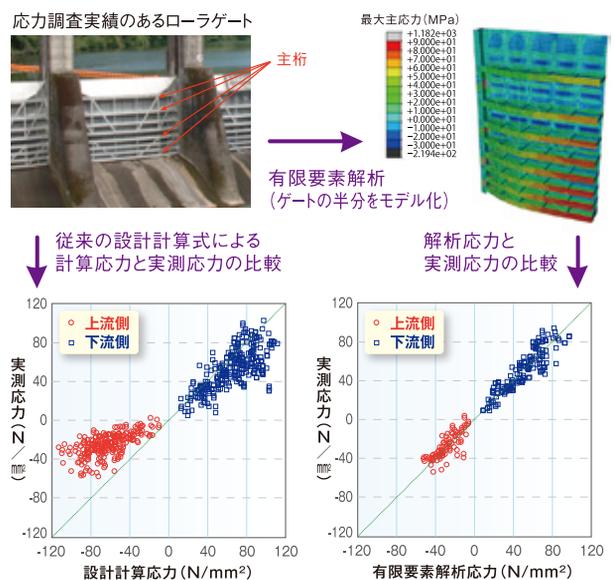


図3-3 高度な解析・調査技術による不確実性低減の効果

3.2 大規模地震に対する耐震性評価技術

ダムゲートについては、従来から耐震性に関する実証的な検討が少なく、特に、大規模地震時における挙動や損傷形態が明らかとなっていない。このため、ダムゲートの崩壊に至るまでの過程を実験により把握し、これを再現できる解析手法の整備が必要である。

当所では、代表的なダムゲートの型式であるラジアルゲートを対象として、大規模地震時の耐震性を静的荷重実験と構造解析により明らかにした。図3-4は、実機の1/4縮尺のラジアルゲート模型に水圧荷重(常時・地震時荷重)を作用させた荷重実験であり、このような大型の模型実験は前例がない。この模型実験により、ラジアルゲートの脚柱に座屈(圧縮荷重に対する部材の最大耐荷力)が発生し、崩壊に至るまでの各部の変形状況や損傷モードおよび最大耐荷力を確認した(図3-5)。また、三次元有限要素解析モデルを用いて、模型実験のシミュレーション解析を行い、最大耐荷力を5%前後の精度で推定できることを確認した。

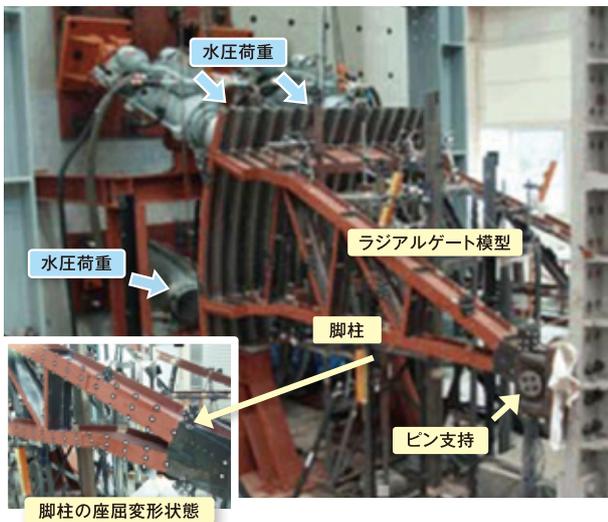


図3-4 ラジアルゲート模型の荷重実験状況

これらの実験・解析結果をもとにして、ラジアルゲート脚柱部の耐荷力評価法を簡便さや要求精度に応じて三段階の方法(表3-1)にまとめた。耐震性評価において、設備管理者が詳細な検討を行えば、耐荷力の評価精度を高めることができ、当該水力施設の重要度との関係で、安全でより合理的な管理を行うことができる。

なお、本実験・解析は、経済産業省 原子力安全・保安院の「発電設備耐震性能調査(平成19、20年度)」事業において実施したものである⁽²⁾。

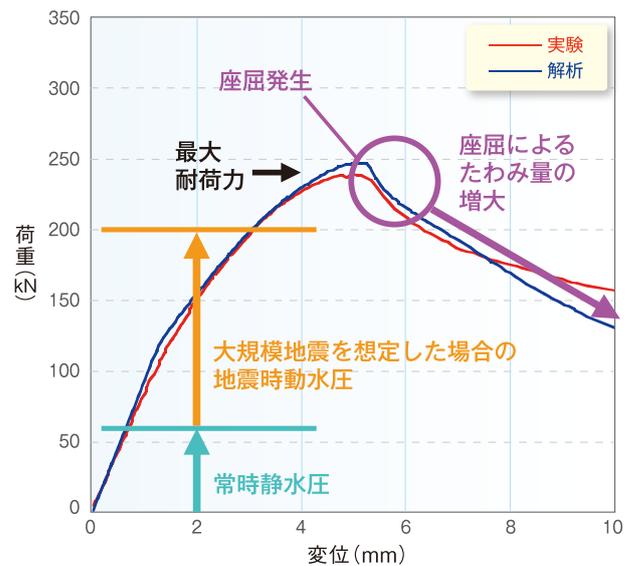


図3-5 ラジアルゲート模型脚柱部の荷重-変位関係

表3-1 ラジアルゲート脚柱部の耐荷力評価法

検討段階	手法	手法の種類
1	設計耐荷力曲線	降伏応力の規格値を使用
		降伏応力の材料試験値を使用
2	有限要素解析	脚柱鉛直面内の三次元解析 全体系の三次元解析
3	模型荷重実験	脚柱模型
		全体模型

<参考文献>

- (1) 塩竈:「ダムゲートの応力照査に関わる不確実性と管理基準値の検討」、電力中央研究所 総合報告N12、平成23年
- (2) 齋藤、山本:「ラジアルゲート脚柱の耐荷力評価法に関する検討」、土木学会論文集A、Vol.66、No.4、596~612ページ、平成22年

水力発電の積極的活用に向けて

4. 電力施設周辺斜面や地盤の維持管理

わが国では、梅雨前線や秋雨前線の活動に伴う集中豪雨や、秋の台風による大雨に見舞われるため、山間地や傾斜地域の斜面崩壊や地盤災害への対策が必要です。このような降雨による災害では、人的被害が発生することも多く、これまで自然との共生を意識した防災対策が取られてきました。しかし、近年、豪雨災害の発生する時期や規模において従来と異なる状況が見られ、数日で年間降水量の2/3に達するような集中豪雨や、局所的で短時間の豪雨(ゲリラ豪雨)が発生するようになり、このような極端気象現象への対応が必要となっています。

従来、土砂災害への対応では、過去の経験をもとに警戒・監視・対策を検討してきました。しかし、近年の極端気象現象が頻発する状況に対応するために、土砂災害のメカニズム解明や、計測・監視方法、解析方法などに現象を深く理解した考え方を導入する必要性が生じています。

本章では、電力中央研究所で進めている、極端気象現象に対する斜面の状態監視と安定性評価に関する研究について紹介します。

地球工学研究所
上席研究員 久野 春彦



地球工学研究所
主任研究員 小早川 博亮



技術

4.1 斜面内地下水挙動の監視システムの開発

降雨による斜面災害の発生予測では、気象庁の土壤雨量指数による土砂災害警戒情報が一般的に用いられている。この予報は、地盤を浅層・中層・深層の三層に分けて、それぞれを降雨の貯留タンクと仮想し、それらの合計貯留量とアメダスによる観測雨量とを用いて、土砂災害の危険度を評価する方法である。しかし、この方法は斜面を構成している基盤岩の種類や、表面を覆う植生、土壌の違いなどを考慮しておらず、全国一律のパラメータを使ったモデル地盤を用いて評価している。そのため、個々の斜面で実際に降雨がどのように地盤に浸透し、貯留され、それがどのように斜面の崩壊や地すべりにつながるかということを正確に説明するものではない。

当所では、これまでに開発した地盤内の地下水挙動を迅速に捉える手法を適用して、災害の発生しやすい空隙の多い砂礫地盤や、緩んだ岩盤から構成される斜面の地下水の分布や飽和度の変化を捉える、水移動監視システムを考案した(図4-1)。



図4-1 斜面を対象にした水移動監視システムの概念図

この計測・監視システムは、①雨量計、②超高速三次元電気探査装置、③土壌水分計、④間隙水圧計から構成される。その機能は、①で当該斜面地表部への降雨の到達状況を実測する。②で降雨時の地盤の比抵抗分布の変化を数十分ごとに連続的に読み取る。③で降雨時の地盤内の絶対的な水分変化を計測し、②の電気探査により計測された比抵抗分布と対比する。④の間隙水圧計を斜面の深部に配置し、広域的な地下水挙動を明らかにする。以上により、降雨の地盤内への浸透を解明・表示することができる。

図4-2は、降雨の前後に計測した地盤の見かけの比抵抗の変化を二次元的に示している。濃い寒色系の色調は、地盤の水分量が多くなった箇所を示しており、地表から2~3mの範囲やより深いところに水分量が多くなっている箇所が読み取れる。地表から直接雨水が浸透する箇所と、別の経路から水が浸透している箇所のあることがわかる。

このような計測を降雨ごとに蓄積することにより、水が斜面内のどこを通過してどこに溜まるかを明らかにすることができる。これにより斜面災害に関与する岩盤中の水を排水する対策工などを、効率的にきめ細かく設計することができる。

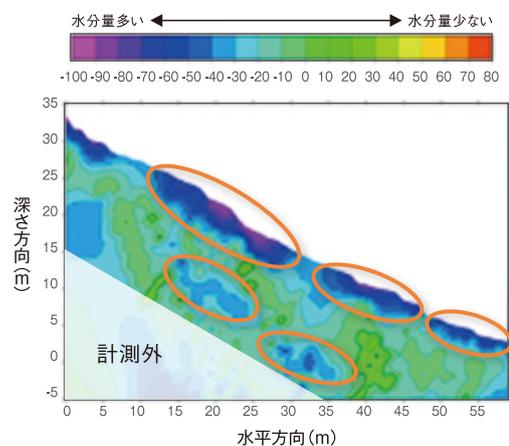


図4-2 地盤の見かけの比抵抗変化に基づく水分量分布の推定

4.2 年間数mm程度の緩慢な挙動をする地すべり斜面の監視システムの開発

水力発電所や関連設備は、急峻な山岳地に建設されていることが多く、そのような斜面において年間数mm程度の緩慢な動きが計測されることがある。この程度の変位量は、直ちに対策工事や避難の検討の必要はないものの、長期的な設備保全の観点からは斜面の挙動を把握しておくことは重要であり、通常は監視の対象となる。

斜面の変位計測は、地表面に微小な割れ目が生じた場合に、そのき裂を挟む二点間の距離を計測する伸縮計や、地盤内に掘削したボーリング孔の傾きを、1m間隔ごとに計測する孔内傾斜計などによって実施されてきた。しかし、年間数mm程度の変位箇所を特定するには、伸縮計では機能不足であり、孔内傾斜計では空間分解能が足りないため、機能的・精度的に適用可能な計測方法を開発する必要があった。

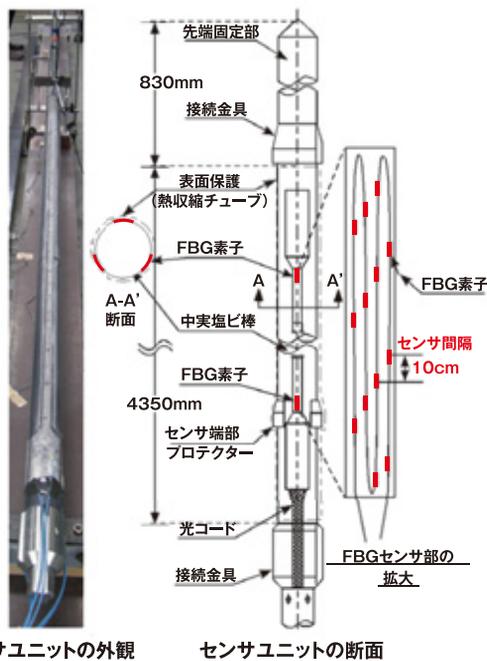


図4-3 センサユニットの概要

当所では、光ファイバセンサの一つであるFBG (Fiber Bragg Grating) センサを用いて、地盤内の変位を10cm間隔で計測できるセンサユニットを考案した(図4-3)。FBGセンサは、ファイバ上に離散的にしかセンサを加工できないものの、計測精度が高いという特徴がある。このFBGセンサを用いると、ファイバ上に複数のセンサを設置することが可能なため、複数のケーブルを配置していた従来の観測を一本のケーブルで実施することができるという利点がある。

開発したセンサの斜面への適用検証例を図4-4に示す。ボーリングコアとの対比から、地盤の変位が顕著な空間はコアが乱れている箇所(ゆるみの境界部)と対応しており、変位観測から異常箇所を特定できることがわかる。

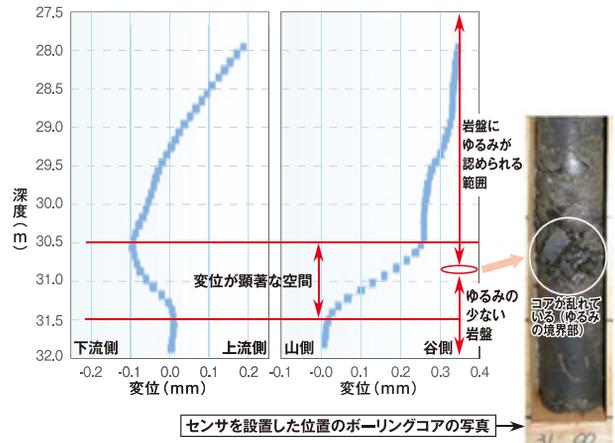


図4-4 計測された変位と地山の状況の対比

4.3 GISを用いた斜面維持管理支援システムの開発

水力発電所や関連設備の周辺斜面の維持管理は、①日常巡視・定期点検などの段階、②変状が認められ、計測などを行って監視していく段階、③設備や周囲に影響が及ぶ恐れがあり、対策工などを検討する段階の三つがある。各段階で取得した変状箇所や、変位の大きい箇所などの空間情報をマップ化して

整理することで情報を一元化し、さらに各々のマップを重ね合わせて分析することにより、維持管理業務の合理化を図ることができる。当所では、GIS(地理情報システム)を用いて、これらの機能を有する維持管理支援システムを構築した(図4-5)。

構築したシステムは、①点検管理の記録や斜面の地質情報、および斜面の動きの計測データなどを保管するデータベース、②計測データから斜面の動きを把握するための分析ツール、③斜面の安定性を評価する安定解析ツールの三つのデータベースツールから構成される。

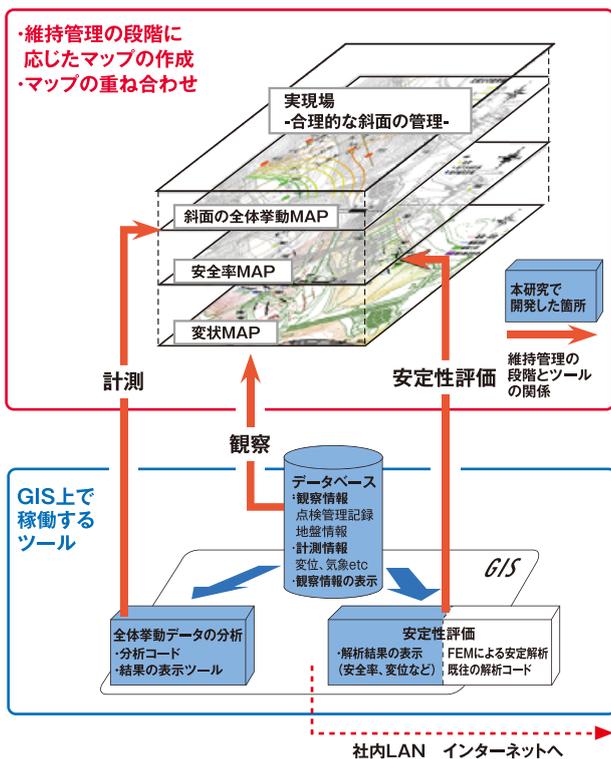


図4-5 システムの概念図

図4-6には、現地調査による崩壊地形や崩積土砂の位置とその確認時期、および構造物の点検の際に確認したき裂の位置と確認時期を示した変状マップ(赤や橙色の線で表示)と、伸縮計や孔内傾斜計、光波測量などの計測結果を基に解析した斜面の挙動

の傾向(等高線)を表した全体挙動マップの二枚を、地形図の上に重ね合わせた例を示す。

斜面挙動の傾向を示す等高線は、数字が大きい(線の色が薄い)ほど地盤の変位が大きいことを示す。図中央の等高線が楕円状の部分はこの領域の表層の変位が大きく、その上下の平行な部分は変位が小さく、動きの傾向が異なることを示している。一方、変状(き裂やくぼみ地形)は等高線が平行な部分に集中していることから、中央部の変位は大きい、むしろ、上下の水槽位置や河川に面した斜面に注意が必要になることがわかる。つまり、構造物の維持管理の立場からは、構造物周辺の監視が重要であることを示している。これらは、地盤内の複雑なすべり挙動が地表面に現れているものと推察できる。

このように維持管理の段階に応じてマップを作成し、これらを重ね合わせて表示し、総合的に分析することにより、斜面の挙動を正確に把握できるようになり、維持管理の実務に、より有用な情報を提示できる。

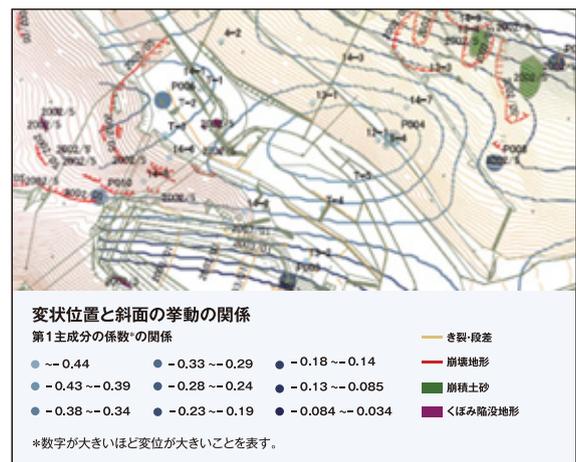


図4-6 変状マップと全体挙動マップを地形図に重ね合わせた表示

<参考文献>

- (1)小早川、久野:「GISを用いた斜面維持管理支援システムの開発と既設構造物周辺斜面への適用」、電力中央研究所 研究報告N06029、平成19年

DEN-CHU-KEN
TOPICS

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 (大手町ビル7階)

TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>