

論文の内容の要旨

論文題目 信頼性理論を活用した実測データに基づくラジアルゲート脚柱の安全性照査法の提案

氏名 塩 竈 裕 三

発電用ダムに設置されたダムゲートにおいては、高経年化による性能低下が進んでいる。常時高い水深が作用する発電用ダムゲートでは、その損壊によって下流域への影響が甚大となることから、ダムゲートに求められる各種性能のうちとくに力学的な安全性に関わる構造安全性の確保が重要である。ダムゲートにおける数少ない構造的な損傷事例はラジアルゲートという形式のゲートで生じている。事故の一因として、ゲート開閉時のヒンジ支承部での摩擦力によるゲート脚柱への過大な曲げモーメントの作用が挙げられている。設置年代の古いゲートにおいては同モーメントが設計荷重として考慮されていなかったこともあり、既設ラジアルゲートにおける構造安全性の照査では、開閉時における脚柱の座屈現象に注意を払う必要がある。

ラジアルゲートを含む各種ゲートの設計および維持管理における構造安全性は、主に応力照査によって確認されている。既設ゲートの応力照査上の管理基準値として明文化されたものはなく、現状では設計時の許容応力度が維持管理時の基準値として流用されているが、設計時の「設計基準」と既設ゲートを対象とした維持管理時の「維持管理基準」が同一であることの合理性に関しては設備管理者においても疑問視されているところであり、また既設ゲートは経年的な板厚の減耗により設計時よりも確実に応力が増加する方向にある中で、管理基準値の設定に関するニーズは高い。

以上を背景として、本論文では、高経年化が進む発電用ダムの既設ラジアルゲートを採り上げ、その構造安全性の照査上重要なゲート開閉時の脚柱の応力照査における管理基準値を提案

することを目的とする。具体的には、1)従来の設計計算式ベースで行われる応力照査に内在する不確実性を明らかにすること、2)実測データを活用して行われる応力照査に内在する不確実性を明らかにすることおよび3)これらの不確実性の差を考慮して実測データを活用する場合の管理基準値を提案することを目的とする。

本論文は6章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

1章では、研究の背景と目的を述べるとともに、ラジアルゲートの構造安全性照査に関する既往の研究事例を紹介し、課題を明らかにした。

2章では、ラジアルゲート開閉時における脚柱の限界状態を把握することを目的として、滑車とワイヤロープを用いた載荷機構を有する実験方法の提案し、トラニオンカバー長が異なるラジアルゲートの縮尺模型4体に同提案方法を適用した耐荷力実験の結果を示した。

トラニオンカバー長が伸びるに連れて、設計計算上想定している脚柱の曲げモーメント分布と、実験から得られる脚柱の曲げモーメント分布とのかい離が大きくなることを明らかにした。また、脚柱のうちトラニオンカバーとの境界近傍におけるフランジ曲げ圧縮縁の局部座屈がラジアルゲート開閉時の脚柱の重要な限界状態のひとつであること、模型の最大耐荷力がトラニオンカバー長が伸びるにつれて大きくなることを明らかにした。

3章では、ラジアルゲートの支承部における摩擦係数の供用中の変化を把握することを目的として、供用中のダムゲート2地点2門において、脚柱のうち支承部のモーメントにより大きな曲げ応力が生じる断面でひずみ変化のモニタリングを1年余りにわたって行った。放流中の各ゲート操作に対して摩擦係数の推定を行い、推定においては支承部の摩擦力の残留を考慮する必要があること、摩擦係数はゲート操作ごとにばらつくがばらつきの程度は多くの測定例にみられるゲートごとの摩擦係数のばらつきに対して小さいことを明らかにした。

4章では、静水圧荷重により脚柱に生じる応力に関連する不確実性の定量化を目的として、設計計算式に基づいて計算された応力を応力照査に用いる場合の不確実性、実測により得た応力を応力照査に用いる場合の不確実性を、供用中のダムゲート25地点31門での

計算応力，実測応力の比較により検討した．

計算応力と実測応力との差を計算応力を用いた応力照査に関わる不確実性と定義して，計算応力と実測応力の比較によりこれを定量化し，計算応力に関わる不確実性が軸応力成分の計算値の大きさに依存することを明らかにした．

ある水圧荷重下で測定された実測応力を応力照査を行う水圧荷重下での応力値へ外挿する際に生じる外挿した応力と実際の応力との差を，実測応力を用いた応力照査に関わる不確実性と定義した．測定時の水圧荷重が異なる複数の実測応力を用いてこれらの間で仮想的に外挿関係をつくり，外挿先での実測応力と外挿応力との比較により不確実性の定量化を行い，実測応力に関わる不確実性が外挿における外挿比率の大きさに依存することを明らかにした．

5 章では，ラジアルゲートの開閉時の安全性照査に関して，実測データを用いた脚柱の応力照査における管理基準値を構造信頼性理論により求めた．

ラジアルゲート脚柱の開閉時の限界状態を脚柱のうちトラニオンカバー境界でのフランジの局部座屈とし，計算応力を用いて応力照査を行う場合の安全性を構造信頼性理論に基づき信頼性指標値として算出した．結果，トラニオンピン回りのモーメントがラジアルゲート脚柱の強度計算上考慮すべき荷重として技術基準に規定される前後のゲートで，それぞれ安全性レベルに差があることを明らかにした．

計算応力を用いた応力照査における信頼性指標値の計算結果をもとに目標となる信頼性指標値を設定し，実測データを用いた応力照査における信頼性指標が目標を上回るという条件のもと，管理基準値を算出した．また，同管理基準値を用いた照査の手順を併せて示した．

得られた管理基準値は実測応力の外挿比率の大きさに応じて変化し，外挿比率を小さく抑えた測定条件で得た脚柱の実測応力を用いることにより，現行の管理基準値よりも大きな管理基準値により照査を行えることを示した．

最後に，6 章で本論文の結論を述べた．