

ラジアルゲート軸受部の摩擦係数推定に関する一手法

川村 文人

KAWAMURA Fumito

株式会社四電技術コンサルタント/土木技術部/鋼構造グループ/課長



1995年7月17日、米国カリフォルニア州サクラメント市郊外にあるフォルサムダムにおいて通常の運用時にラジアルゲート(1950年代の設計基準適用)が突然破損した。この事故は当初、メンテナンスの問題と一般に認識されていたが、その後の調査により、経年による軸受部(トラニオン部)の摩擦係数の増大が主原因であることが明らかにされた。

この事故から、軸受部の摩擦係数を推定することはラジアルゲート

の健全性評価において重要な位置付けとなり、1998年にノルウェーのLundevannダム等において応力測定(図1)と応力解析結果の相関から摩擦係数の推定を行なう検討がなされた。

我が国においては、1973年に始めて「水門鉄管技術基準」で摩擦係数に関する項目が記載されており、それ以前におけるラジアルゲートの設計は、水平面内(強軸方向)での検討が注視され、鉛直面内(弱軸方向)

における軸受部摩擦力に対する健全性を評価した事例はほとんどない。

そこで本稿では、トラニオンピンと軸受・スラストメタル間の摩擦抵抗が、脚柱部材へ与える影響を把握するために、応力測定および応力解析を実施して既設ラジアルゲートの摩擦係数を推定する方法を要約して紹介する。

1 概要

既設ラジアルゲートの軸受部摩擦

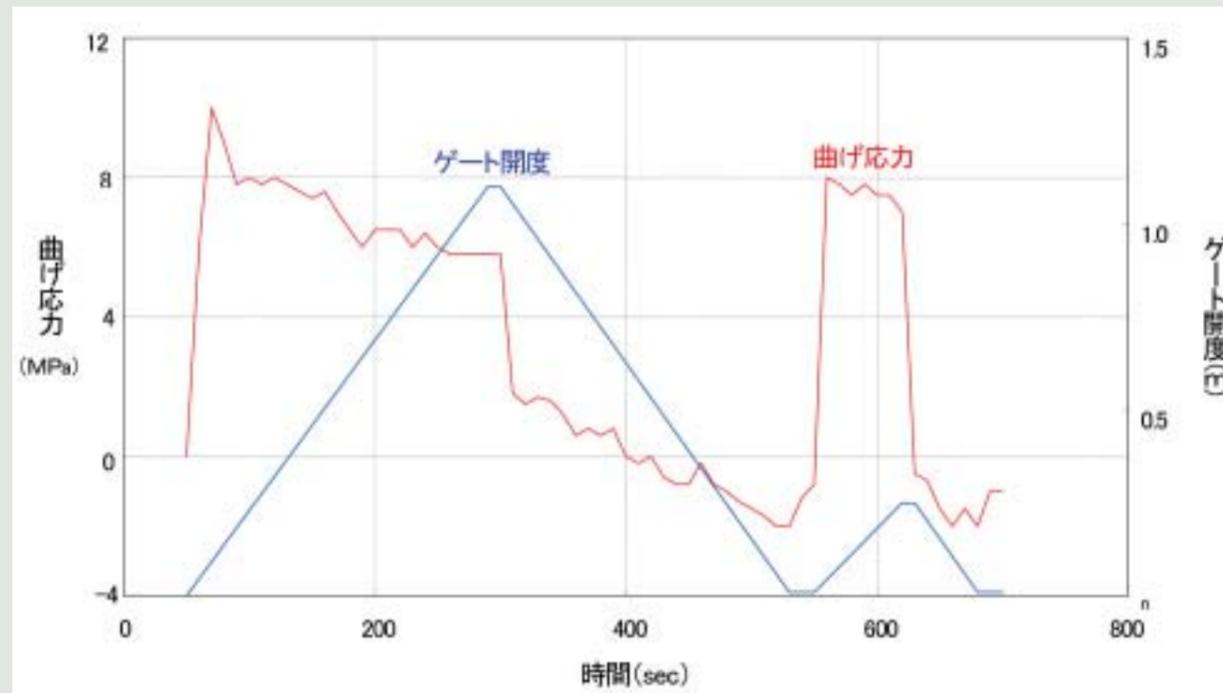


図1 - ゲート開度と曲げ応力の変化(Lundevannダムにおける計測例)

係数の推定は、応力測定から発生応力度(実測値)の把握を行なう。その後、解析より得られた摩擦係数と発生応力度の関係から回帰式を作成し、実測値を回帰式にあてはめ摩擦係数を求めるものである(図2)。

1 応力測定

既設ラジアルゲート(純径間8.0m×扉高7.3m)について実際の発生応力度の把握を目的に応力測定を実施した。

測定箇所

脚柱40点の計60点で行なった。測定断面は、フランジ4点、ウェブ1点の1断面あたり5箇所を計測した。なお、測定位置は、脚柱補剛材やスプライスプレート、スチフナー等の剛性の影響を受けない箇所とした(図3)。

測定方法

応力測定箇所にひずみゲージを貼付し、多点デジタル静ひずみ測定器を用いて測定を行なった。ひずみゲージは、自己温度補償型・単軸防水ゲージを使用した。なお、計測機器は、外気による影響を防ぐ目的で開閉装置建屋内に配置した(図4、写真2)。

計測インターバル

常時計測(写真1の青丸および赤丸)は、静水圧作用時の応力挙動を把握するために20分毎のインターバル設定とした。また、ゲート操作時計測は、脚柱基部の応力変化のみに着目し、写真1に示す赤丸のゲージのみ計測し、サンプリングタイムの短縮に努めた。

その結果、サンプリングタイムは、データロガー(型式:TDS-303)の測定スピード(0.06秒/ch)より3秒とした。

水位

計測水位は、上部脚柱に荷重が作用する水位とした。また、応力変

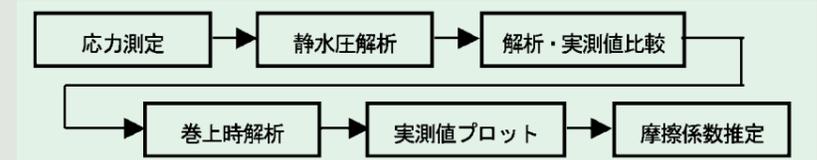


図2 - 摩擦係数の推定フロー

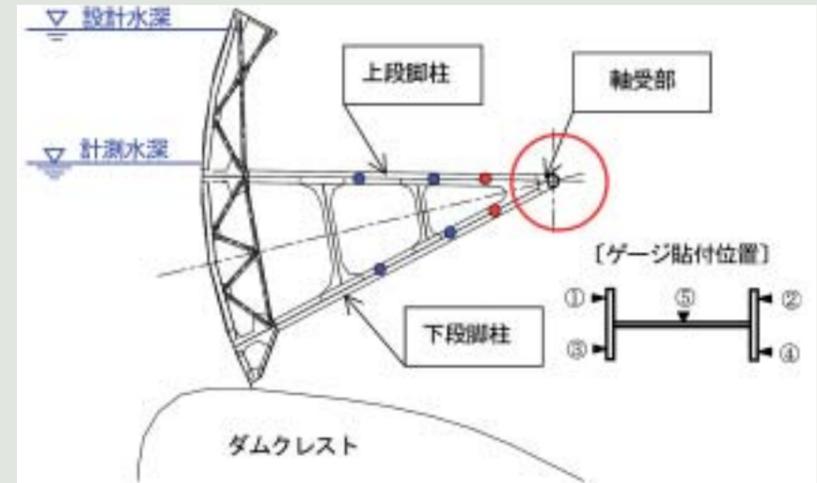


図3 - 応力測定箇所位置図

化とダム貯水位の変化をリアルタイムで計測することを目的にゲート付近の放流の影響を受けない箇所に圧力式水位計を設置してデータの同時取り込みを行なった。

2 応力解析

測定結果との対比ならびに摩擦係数の推定を行うために応力解析を実施した。解析手法は、従来から使

用されている3次元FEM解析と経済的で汎用性のあるFrame解析を行ない、その相関を検証することで解析手法の簡素化の可否を検討した(図5、図6)。

Frame解析モデル

Frame解析モデルは、総節点数51、総要素数を83とした。脚柱部のモデルは、検討対象ゲートが型であ

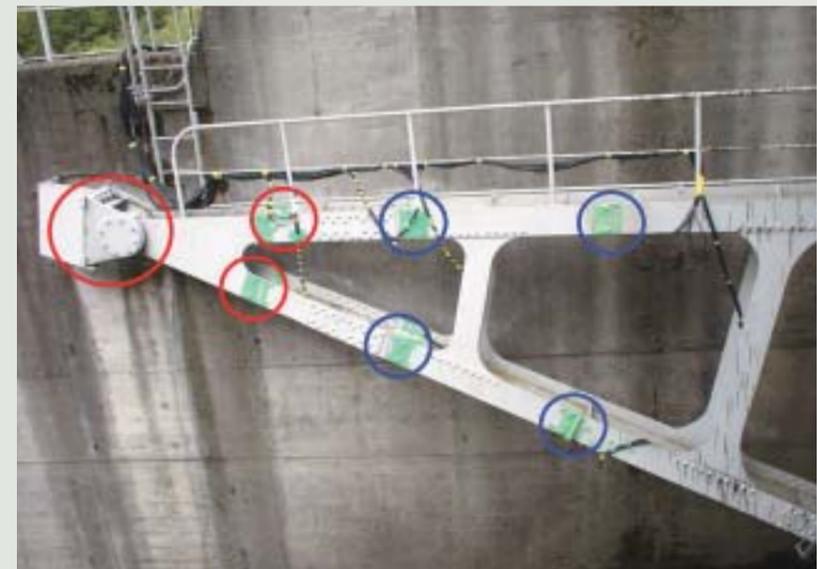


写真1 - 応力測定箇所(右岸脚柱)

り若干脚柱部に水平面内の曲げ応力が作用するが、軸力が支配的とな

るため、側面からの投影モデルで行なった。

3次元FEM解析モデル

FEM解析は、総節点数496、総要素数823とした。脚柱ならびに主桁のウェブ・スキンプレートに4節点シェル要素で、脚柱フランジ・主桁フランジおよびその他の部材は梁要素としてモデル化した。

解析手順

解析は、解析結果の精度を実測値と検証するための静水圧解析とゲート操作時の摩擦係数を推定するための巻上時解析の2ケースについて実施した。まず、静水圧解析結果と全閉時の応力測定による軸力実測値と比較を行ない、解析の整合性を確認した。整合性が確認された後、摩擦係数をパラメータとして巻上時解析を行ない実測された変動応力からそれに対応する摩擦係数を求めた。

(a) 静水圧解析

任意の水位を静的に作用させて応力解析を行なった。

(b) 巻上時解析

軸受部の摩擦に起因する巻上荷

重をワイヤ取り付け部に静的に作用させて応力解析を行なった。

2 検討結果の概要

1 解析手法について

現在、ラジアルゲート軸受部の摩擦係数の推定において使用されている3次元FEM解析に対して、操作性に優れ、解析コストも縮減できるFrame解析による評価手法の有効性確認を行なった。その結果、水圧条件が大きく変化しても高い相関が得られることからFrame解析により代用できることを確認した(図7)。

2 軸受部摩擦係数の推定

ラジアルゲート軸受部の摩擦係数の推定手順を以下に示す。

任意水位における静水圧作用時の応力値(解析値)を設定する。応力測定結果から得られたゲート操作による変動応力を加えた合計応力をプロットする。

解析結果による回帰曲線と合計応力の交点を求める。

の交点から垂線を下ろした横軸との交点を摩擦係数とした(図8)。

今回の測定結果をこの手法で推定すると一般的に設計時に使用されている摩擦係数0.2を下回る結果となった。

3 まとめ

今回、摩擦係数の推定結果は、ほぼ設計基準により規定されている値に近いものとなった。ゲート操作時における、電流、電圧値が正常な値であったこと、また、軸受周辺部で異常音も確認されなかったことから、今回の推定値は、ほぼ妥当な値であるものと思われる。今回は一つのラジアルゲートへの適用であり当手法の妥当性について、他のラジアルゲートにおいて検証を行なう必要が

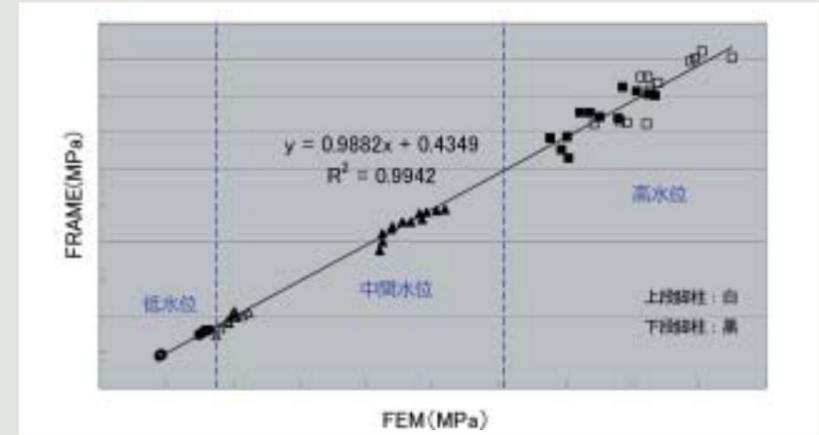


図7 - 解析結果相関図

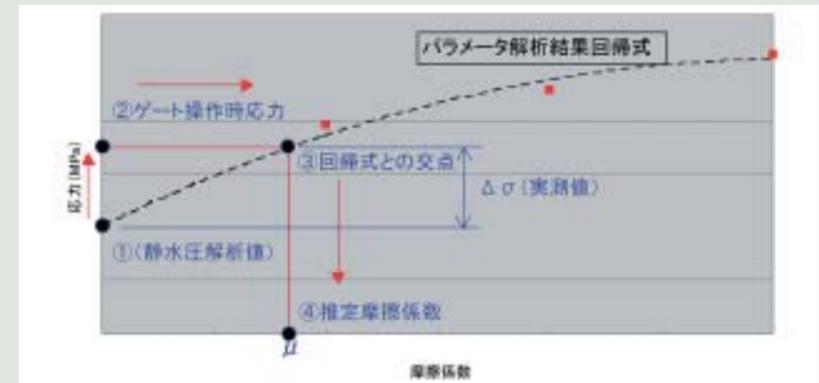


図8 - 軸受部摩擦係数の推定(概念図)

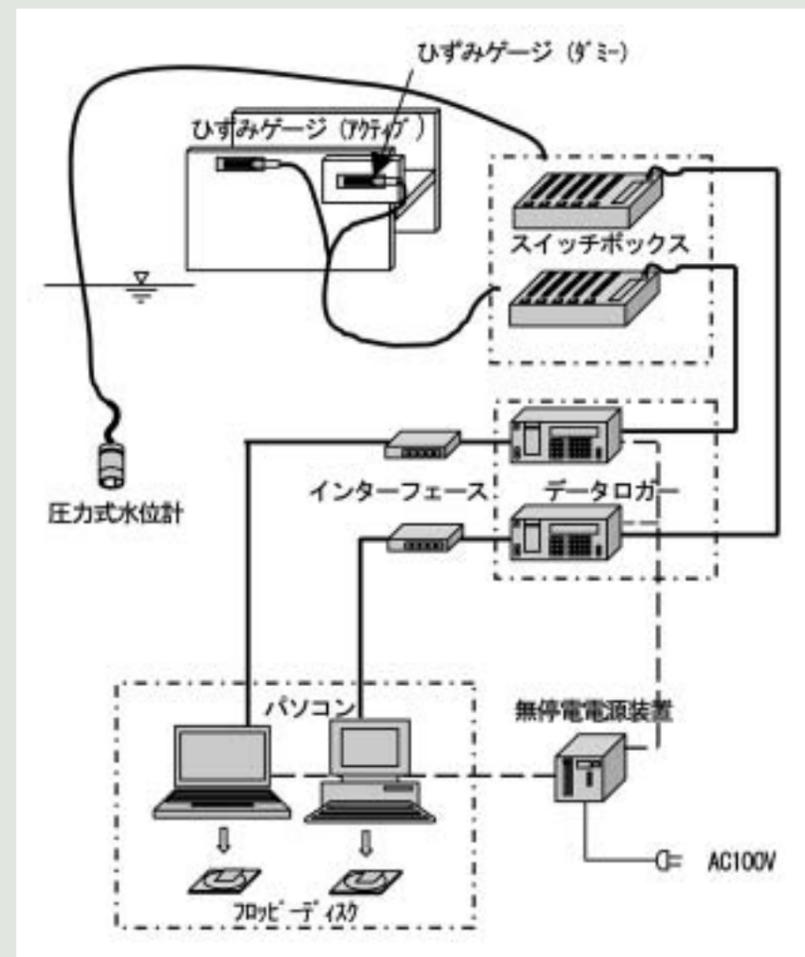


図4 - 測定システムブロック図



写真2 - 計測機器設置状況

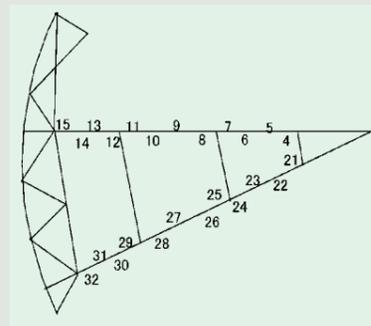


図5 - Frame解析モデル

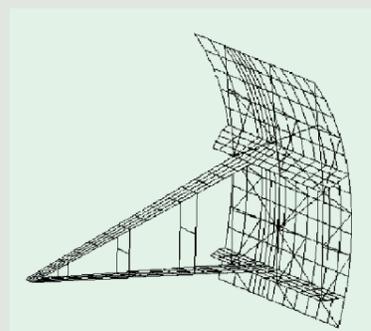


図6 - 3次元FEM解析モデル

ある。また、今後の検証においては以下の点について配慮する必要があると考えている。

1 応力測定について

形状不正や据付不良による影響を把握する目的で左右岸を計測する。

・測定箇所は、脚柱基部5点×左右岸×脚柱本数以上とする。

・計測水深は、最低でも上部脚柱以上とする。(可能な限り高い水位が望ましい。)

2 応力解析について

今回の解析においては、Frame解析とFEM解析との相関性は高い結果となったが、脚柱形状が門型に近づくことと水平面内の曲げ応力が大きくなることから、その影響を考慮した解析手法が必要となる。

最後に、計画立案、FEM解析ならびに評価にあたりご指導・ご協力を

頂いた(財)電力中央研究所・材料構造部をはじめとする関係者の方々に、誌上を借りて深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) Fosker, H., et al.: Improved Diagnostics for Detecting Friction on Dam Gates, Water Power & Dam Construction, 2001.8.
- 2) 山本広祐ほか: ラジアルゲートの経年劣化に関わる解析のケーススタディ. 土木学会. 第56回年次学術講演会概要集. CS6-048.2001.10