

大規模地震時におけるダムゲートの耐震性能評価

背景

水力発電所におけるダム堤体およびその付属構造物の耐震設計は、構造物に作用する地震力を静的な力に置き換えて考慮する震度法により行われている。最近、社会基盤施設に甚大な地震被害が発生していることに鑑みて、上記の構造物についても設計時の想定を大きく上回る大規模地震に対する耐震性能を評価することが求められ、検討が進められている。しかし、ダム付属構造物の中でも重要性の高いダムゲートについては、耐震性能に関する実証的な検討例が極めて少なく、大規模地震時の挙動や損傷形態が明らかとなっていない。このため、実験による現象の把握や解析手法の整備が必要とされている。

目的

代表的なダムゲート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能を模型実験と数値解析により明らかにする。

主な成果

1. 模型実験による検討

実機の1/4縮尺のラジアルゲート模型（図1）を製作し、水圧荷重（常時荷重+地震時荷重）を外力とした静的単調載荷実験（図2）を実施した。本実験により、ラジアルゲートの大規模地震時の挙動と損傷形態に関して、次の知見を得た。

- (1) 荷重-変位関係（図3）について、材料の塑性化等により勾配が緩やかになって最大耐荷力に達し、最大耐荷力後は緩やかに荷重が低下することを確認した。
- (2) ラジアルゲート模型の載荷に伴う損傷形態は、脚柱の鉛直面内座屈であり、脚柱間連結トラスで区切られた脚柱の1スパンで座屈が生じることが明らかとなった（図5）。荷重の増加に伴って断面寸法の小さい上段脚柱が先に座屈し、続いて下段脚柱が座屈した。
- (3) 実験により得られた最大耐荷力は、水門鉄管基準^{*1}に基づく軸圧縮座屈荷重 P_{cr} の1.1倍以上であり、ラジアルゲートの耐荷力を安全側に評価するために、 P_{cr} が利用できることを確認した。

2. 解析的検討

主としてシェル要素とはり要素から構成される有限要素法解析モデル（図4）を用いて、模型実験条件に基づいた弾塑性大変形解析を実施した。解析により得られた荷重-変位関係では、最大耐荷力付近まで実験結果と比較的良好な対応がみられた（図3）。また、実験で発生した損傷形態（脚柱の鉛直面内座屈）を解析で再現することができた（図5）。これにより、有限要素法による弾塑性大変形解析が、ラジアルゲートの挙動や損傷形態の解明に活用できる見通しを得た。

なお、本研究は、経済産業省 原子力安全・保安院からの受託研究「平成19年度発電設備耐震性能調査（模型実験の実施）」として実施した。

今後の展開

異なる形状のダムゲートに対応した模型実験データを蓄積し、耐震性能照査手法の確立を図る。

主担当者 地球工学研究所 構造工学領域 主任研究員 齋藤 潔

関連報告書 「平成19年度発電設備耐震性能調査（模型実験の実施）」報告書、経済産業省原子力安全・保安院、電力中央研究所報告（2008年3月）

*1：（社）水門鉄管協会「水門鉄管技術基準 水門扉編（第5回改訂版）」（2007年9月）

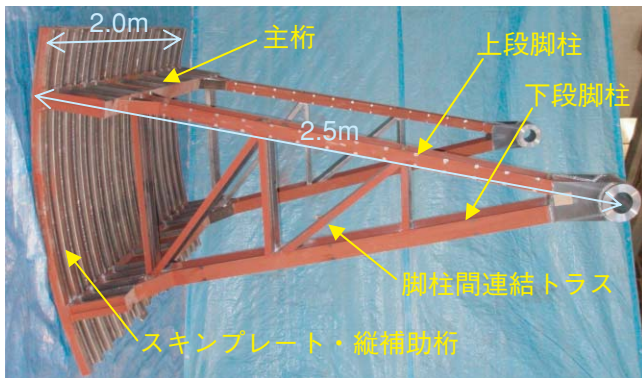


図1 ラジアルゲート模型

模型は、実際のラジアルゲートの形状を模擬して、薄肉の鋼材を溶接で接合して製作した。この形状を基本として、脚柱間連結トラスの形状をパラメータとした模型も製作した。

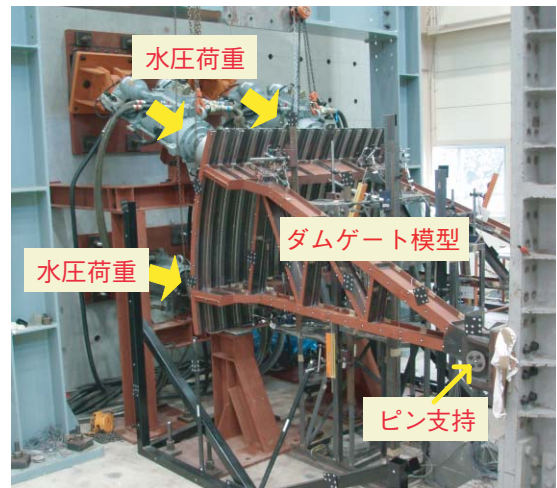


図2 ラジアルゲート模型の荷重状況
ラジアルゲート模型は、安定した荷重が行えるように上下を逆にして荷重装置に設置し、油圧式アクチュエータを用いて荷重した。

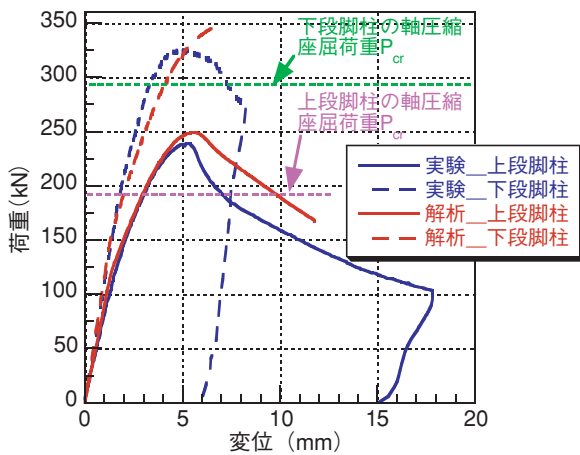


図3 実験と解析での荷重—変位関係

実験では、最大耐荷力後の荷重低下が緩やかであった。解析では、最大耐荷力付近まで実験結果と比較的良好な対応がみられた。

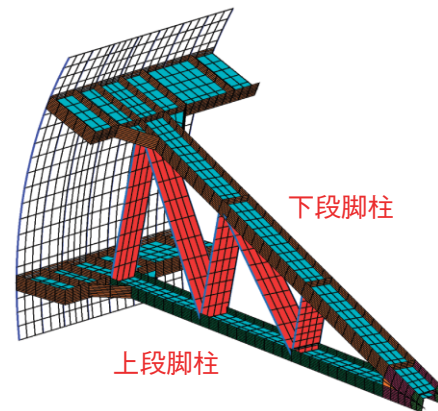
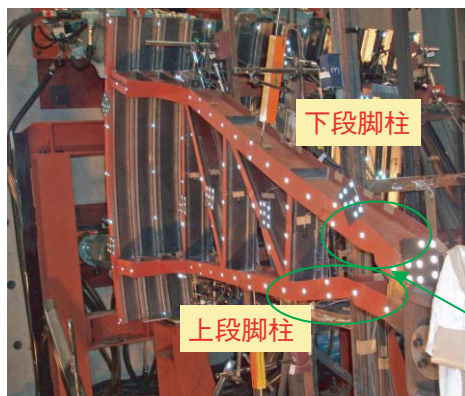
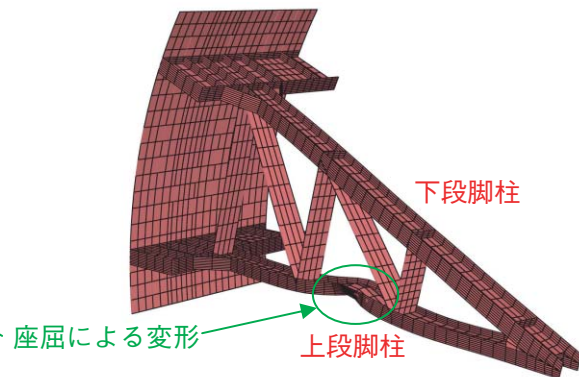


図4 有限要素法の解析モデル

図2の荷重装置による荷重条件を考慮した、左右対称条件による1/2モデルである。主要な構造部材の主桁と脚柱には、模型の実測板厚を反映したシェル要素を用い、それ以外の部材では解析に支障のない範囲で簡略なモデル化を行った。



(a) 模型実験における最終的な損傷形態



(b) 解析による損傷形態
(変位11mm時の変形を3倍に拡大)

図5 実験と解析によるラジアルゲートの損傷形態

模型実験において発生した損傷形態は脚柱の鉛直面内座屈であり、断面寸法の小さい上段脚柱が先行して座屈した。この損傷形態を解析でも再現することができた。