

老朽化に伴う劣化損傷が鋼製起伏堰の扉体強度に及ぼす影響

茨城大学大学院 学生会員 ○山内 怜生 正会員 原田 隆郎
日本自動機工株式会社 金森 豪 桑島 智明 根本 諒介

1 はじめに

堰は、農業用、工業用、水道用などの利用目的のために河川や水路を横断し、水位を制御する施設であり全国の河川に設置されている。近年、鋼製起伏堰の老朽化が進行しており、損傷或不具合が生じた場合、社会に影響を与えるため、構造物の長寿命化や経済的かつ効果的な補修・更新が必要である¹⁾。本研究では、模擬的に劣化損傷を生じさせた鋼製起伏堰の扉体に発生する変位や応力を解析し、堰の起立から倒伏にかけての扉体強度への影響を把握することで老朽化に伴う劣化損傷が扉体の健全性に及ぼす影響を検討することを目的とする。

2 解析モデルと解析方法

本解析では、有限要素法を用いて解析を行った。図-1に解析モデルと境界条件を示す。対象とした堰は福島県南相馬市の新田川に設置されている西殿堰(供用年数52年、門数4、幅22,000mm、堰高1,500mm、斜長1800mm)とした。モデル化した範囲は鋼製起伏堰を構成する部材の内、扉体のみとした。

適用した材料は西殿堰に用いられている鋼材SS400とし、表-1に示す材料特性を用いて解析した。また、初期のスンプレート板厚は10mmとした。次に境界条件は、図-1に示すように拘束条件として扉体下部に14ヶ所のヒンジ回転軸承をピン支点、扉体の左右2ヶ所ある油圧シリンダ軸受けをローラー支点とした。この油圧シリンダ軸受けは実際にはローラーが当たるインボリュート曲板が存在するがモデルでは曲板取付ブラケットと扉体の接合面のみを再現し簡略化した。荷重条件は、鋼材の自重及び、扉体の上流側にあり、水压を直接受けるスンプレートとその上部の曲面部分に設計水深1.8mにて分布荷重を作用させた。扉体は水位調節のために扉体を倒伏する機能があり起立角の変化に伴い荷重の大きさが変化する。本研究では計算により近似が可能な起立角60°から30°の範囲にて解析を行った。また、健全時における扉体強度の影響の把握を行い、それを踏まえた上で西殿堰やその他の老朽化した堰で見られる3つの主な劣化損傷(スンプレートの板厚減少、スンプレートと主桁の溶接部破断、ヒンジ支承部の脱落)をそれぞれモデル化し解析を行い、劣化損傷による扉体強度への影響を健全時と比較し、扉体強度への影響を検討した。

3 劣化損傷が扉体強度に及ぼす影響の把握

(1) スンプレートの板厚減少

扉体スンプレートの経年劣化である板厚減少による扉体強度への影響を確認した。西殿堰の点検時にスンプレート上部と下部とで残存板厚に約5mmの差が見られたため、本研究ではスンプレートの上端では板厚10mmのままとし、下端では5mm減厚させ、その間は均一に腐食すると仮定してモデル化した(図-2)。このようにモデル化された損傷を適用した解析結果(起立角30°の場合)を図-3(a)および(b)に示す。健全時と比較した結果、たわみは健全時より僅かに上昇が見られたが許容値³⁾27.5mmを満足した。また応力に関しては、122MPaとなり許容値³⁾120MPaとほぼ同値になるが許容値は安全率2を考慮しSS400の降伏点の1/2程度の応力度であることから、スンプレートの板厚減少による扉体強度全体への影響は少ないと考えられる。

キーワード 鋼製起伏堰、健全性評価、劣化損傷、構造解析

連絡先 〒316-8511 日立市東成沢町4-12-1 茨城大学大学院 都市システム工学専攻 TEL: 0294-38-5172

表-1 解析モデルの材料特性

項目	数量
質量密度(kg/m ³)	7858
ヤング率(GPa)	205
ポアソン比	0.29
降伏強度(MPa)	282

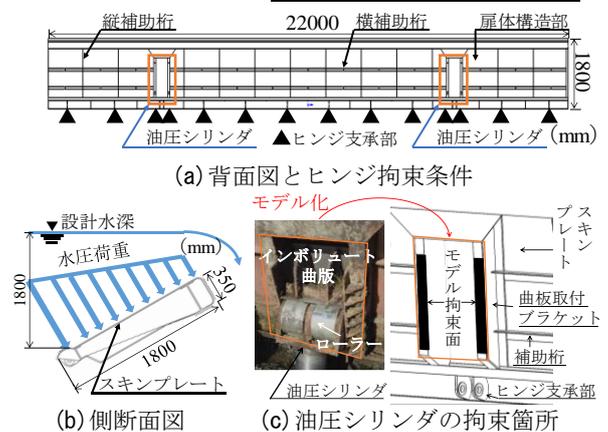


図-1 解析モデルと境界条件

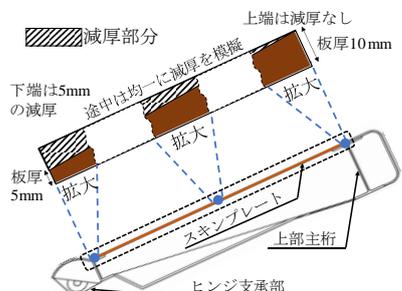


図-2 板厚減少のモデル化

(2) スキンプレートと主桁の溶接部の破断

スキンプレートと主桁の溶接部は、腐食や摩耗により破断する場合があります。この溶接部の破断によって、スキンプレート上部が部分的に剥離するだけでなく、全面的に脱落する事例も希に報告されている。このようなスキンプレートと主桁の溶接部の破断をモデル化するため、図-4 に示すように、溶接部 1 のみを剥離したケース①と、溶接部 1 および扉体背面にある溶接部 2 の両方が剥離したケース②の 2 ケースを設定した。荷重条件としては、ケース①の場合は健全時と同じとし、ケース②の場合はスキンプレートがはく離した面以外のスキンプレートに荷重した。このモデル化を適用した解析結果（起立角 30°の場合）を図-5 (a) および (b) に示す。ケース①と設計時とを比較した場合、扉体スパン中央のたわみが設計時よりも 29% 大きい 9.97 mm となり、たわみの増加とともに応力も増加し、油圧シリンダ付近上部主桁の最大応力は設計時より約 4.4% 大きい 127 MPa となった。ケース②は扉体スパン中央のたわみが設計時よりも 40% 大きい 10.8 mm となり、たわみの増加とともに応力も増加し、油圧シリンダ付近上部主桁の最大応力は設計時より約 17% 大きい 143 MPa となった。よって、両者ともに側断面形状が開断面に変わったことにより、曲げやねじりに対する剛性が低くなったと考えられる。また、ケース①よりもケース②の方がたわみや応力値が大きいことから、溶接部が 1 箇所破断する場合より、両端破断しスキンプレートがはく離した場合に影響が大きくなると考えられる。

(3) ヒンジ支承部の脱落

過去の損傷事例によると、ヒンジ支承が全体の半分程度脱落するケースも報告されている。そこで、図-6 (a) に示す 10 パターンにて各ヒンジのピン支点拘束を解除し解析を行った。最も荷重条件が厳しい起立角 30°においてヒンジ支承を半分程度脱落させたパターン a の場合でも、たわみの増加が見られたが許容値以内であった。また、パターン e-9 の場合は扉体中央下部のヒンジ反力、パターン e-14 の場合は油圧シリンダ下部のヒンジ反力に増加がみられた。油圧シリンダ下部のヒンジ支承部を脱落させた場合に、その隣のヒンジの反力が上向きから下向きに変化していることがわかった。

4 おわりに

本研究では、老朽化により劣化損傷している鋼製起伏堰をモデル化して、FEM 解析により、健全状態と劣化損傷状態の堰の扉体に発生する変位や応力を比較し、劣化損傷が扉体の健全性に及ぼす影響を検討した。今後は、簡易な模擬実験を行い、解析モデルと弾性方程式による理論解との整合の確認を行う予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川構造物長寿命化及び更新マスタープラン，2011.6.
- 2) 国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル（案），2015.3.
- 3) ダム・堰施設技術協会：鋼製起伏ゲート設計要領，2011.10.

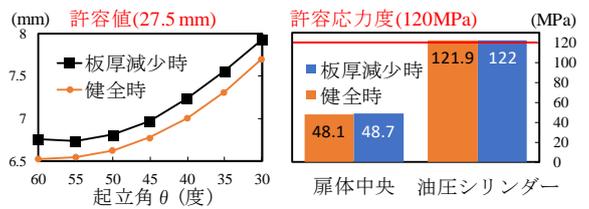


図-3 スキンプレートの板厚減少時の解析結果

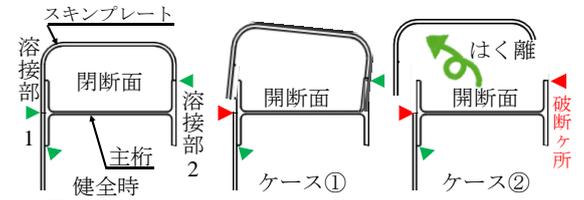


図-4 溶接部破断のモデル化 (赤: 破断箇所)

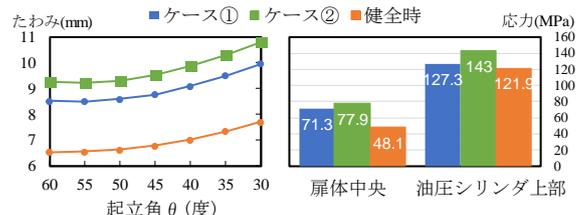
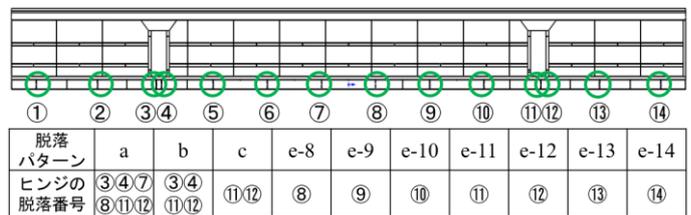


図-5 溶接部破断時の解析結果



(a) ヒンジ支承部の配置 (上) と脱落パターン (下)

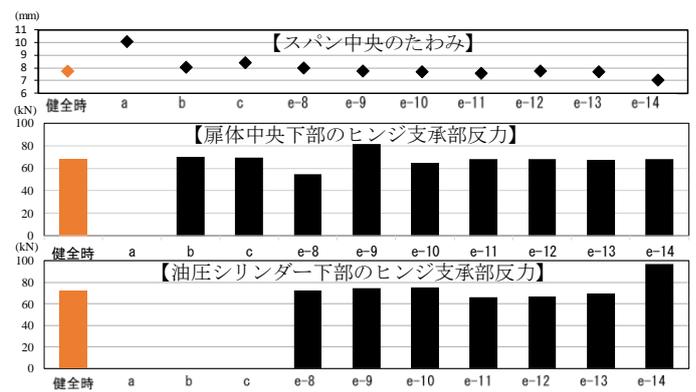


図-6 ヒンジ支承の脱落パターンにおける解析結果