

持続的機能確保を考慮した 水門の新たな設計手法の取り組み — 日光川水閘門改築を事例として —

TACKLING A NEW DESIGN METHODOLOGY OF THE FLOODGATE
TO A CONSIDERATION OF SUSTAINABLE FEATURES
— A CASE OF THE NIKKOGAWA TIDE GATES RENOVATION —

辻本 哲郎¹・富岡 誠司²・丹羽 照元³・長谷川 勝彦⁴・横田 賢一⁵
Tetsuro TSUJIMOTO, Seiji TOMIOKA, Terumoto NIWA, Katsuhiko HASEGAWA and Kenichi YOKOTA

¹フェロー会員 工博 名古屋大学大学院教授 社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²独立行政法人 水資源機構中部支社副社長 (元愛知県建設部河川課課長)

³愛知県一宮建設事務所河川整備課 (元愛知県建設部河川課主査)

⁴愛知県海部建設事務所河川整備課 主査 (〒496-8533 津島市西柳原町1-14)

⁵ (財) 国土技術研究センター 調査第一部 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)

The Nikkogawa tide gates are located at the river mouth of Nikko River. The basin of this river is an area below sea level which is the largest in Japan. Though these tide gates have been contributing to the safety and security of residents in the Nikko River basin as a crucial facility for disaster prevention since the completion of construction in 1962, a demand arose for constructing new tide gates.

The new tide gates will have new functions which are required socially in recent years after the review of existing basic functions such as the following: the preventions of storm surges, floods and seismic waves; the drainage of landside waters; the transportation of the river. At the same time, ensuring sustainable functions was considered from the perspective of the increase in longevity taking account of “Risk management measures for gate facilities”, “Guidance for performance-based seismic design of river structures”, “Responses to climate changes under global warming”.

Key Words : tide gates, renovation, floodgate, new design methodology, features, global warming
framework for performance-based seismic design, crisis management measures

1. はじめに

高度経済成長期に設置された大規模な河川施設の多くは老朽化の進行, 大規模地震対策, ゲート設備の危機管理対策, 地球温暖化対策等の問題を抱えている。

本稿は伊勢湾に流れ込む二級河川日光川の防災の要である日光川水閘門の改築を事例として, 長期的視野に立ち, 従来からの高潮防御, 洪水防御, 津波防御, 内水排除, 舟運等の基本的な機能に加え, 近年の社会的要請に基づく, ゲート設備の危機管理対策への対応, 広域地盤沈下への対応, 地球温暖化の影響による海面上昇への対応, 大規模地震対策, 環境保全等の持続的な機能の確保を目的とした新たな設計手法に取り組んだ。

水閘門の改築にあたっては, 河川工学や河川構造物に関する多領域に亘る諸分野の高度な技術的判断が必要と

なることから, 委員会方式により様々な観点から検討し, 機能及び性能の観点からゲート形式, ゲート設備, 躯体構造, 基礎形式について整理した。

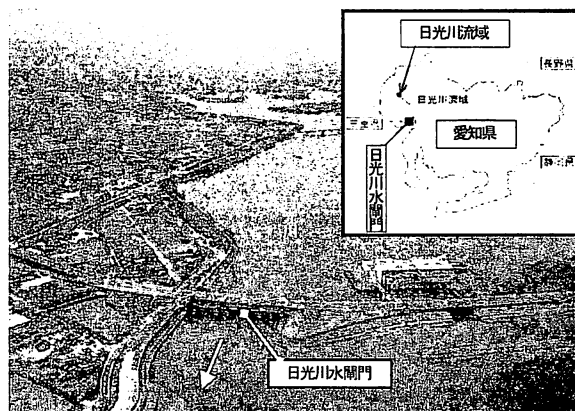


写真-1 日光川水閘門及び日光川河口部

2. 日光川水閘門の機能

新水閘門に要求される機能は、日光川流域の土地利用の変化等に伴う従来機能の拡張に加え、近年の社会的要請に基づく新たな機能を付加することとした。

(1) 従来機能の拡張

- ① 計画高潮位 T. P. + 4.02mの高潮を防ぐ。
- ② 洪水量1,200m³/s（河川整備基本方針）を流下させる。
- ③ 従来機能と同様に日光川内外水位を常時24時間体制で監視し、内水位よりも外潮位が高い場合には閉操作、外潮位が低い場合には開操作することにより日光川の内水位を低下させる。
- ④ 災害時の物資輸送を考慮し、大型船舶も外潮位と内水位の水位差があっても24時間航行可能な閘門を設置し、地域防災活動に寄与する。

(2) 近年の社会的要請に基づく新たな機能

ライフサイクルコストを最小化する意味からも耐用年数100年を目標とした施設の長寿命化を目指すこととし、その100年間に生じることが推定される海面上昇や当地域固有の問題としての広域地盤沈下、東海地震や東南海地震といった大規模地震への対応が可能な構造とした。さらにゲート設備の危機管理対策の観点から、持続的な機能を確保できる構造。また、災害時における緊急物資輸送が可能な施設を目指し、地域防災計画に寄与するとともに、ラムサール条約に指定されている藤前干潟に隣接する場所であることから環境保全の視点から水閘門の位置を選定した。

図-1に新日光川水閘門に要求される機能を示す。

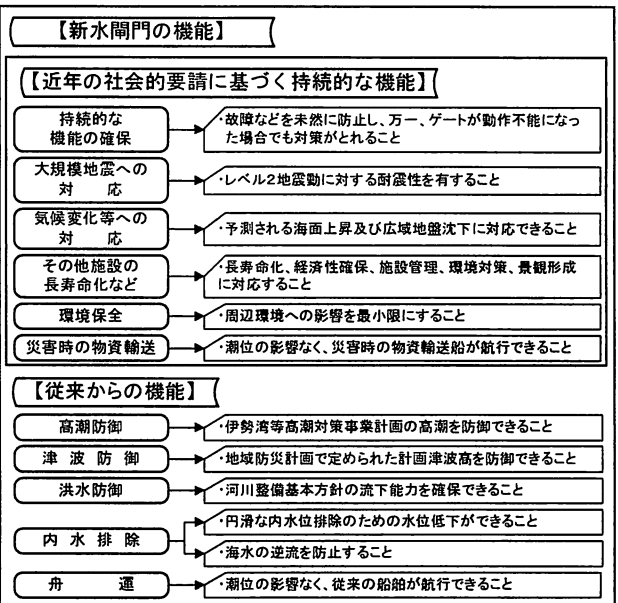


図-1 日光川水閘門の機能

3. ゲート設備の危機管理対策への対応

(1) 基本条件及び考え方

本改築事業はゲート設備の危機管理対策のパイロット事業として位置づけられており、提言に示された各種対策の当該施設への適用性、不測の事態が生じた場合にも最低限の機能を確保するための危機管理対策を検討した。

検討では、河川整備基本計画及び伊勢湾等高潮対策事業計画等の基本計画を上回る超過外力、複合災害は考慮しないこととした。また、当該施設は、洪水発生時には確実に開ける、高潮、津波発生時には確実に閉める両方の操作の対策が可能でなければならない。具体的には、過去の事故事例や発生要因を整理し、ゲート設備形式別に、致命的となる部位別に危機管理対策を検討した。

(2) 開けるべき場合のゲート設備の危機管理対策

洪水発生時には、確実に水門4門を開門し洪水を流下させる必要がある。図-2に危機管理対策を示す。

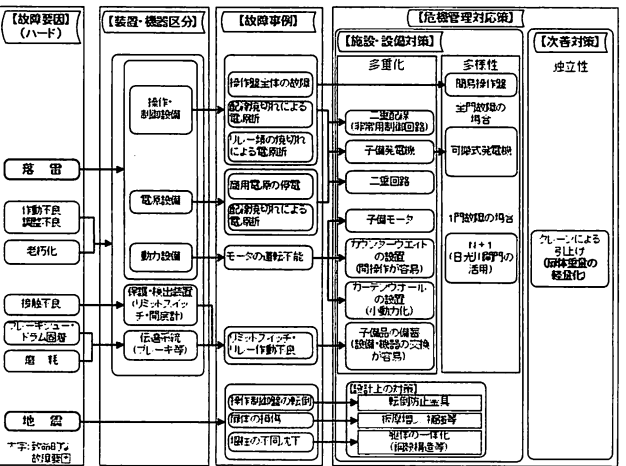


図-2 開けるべき場合の危機管理対策

(3) 閉めるべき場合のゲート設備の危機管理対策

高潮警報発令から6時間以内、津波対策は地震発生から90分以内に全閉する必要がある。図-3に危機管理対策を示す。

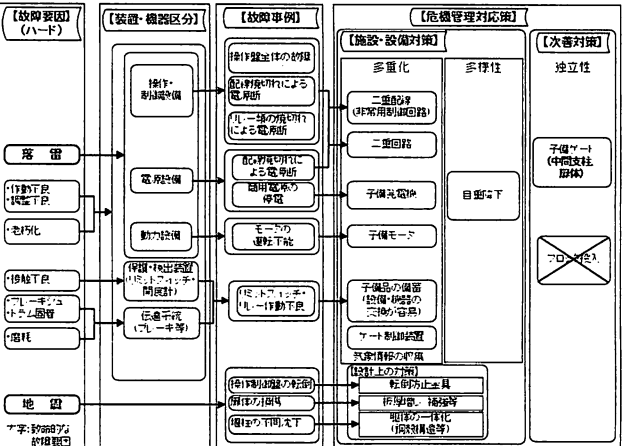


図-3 閉めるべき場合の危機管理対策

(4) ゲート設備の危機管理対策の整理

ゲートの開閉阻害の要因と故障事例を基に、老朽化などによる単一故障の場合、落雷や地震による複数個所が故障する場合の対策を整理した結果、部品を二重化する多重化 (redundancy) ・複数個所が故障しても別の設備を使用することで機能を確保する多様性 (diversity) ・まったく別の方法で機能を確保する独立性 (independence) を有するとともに、できるだけ簡素な構造とすることとした。

① 多重化

老朽化などによる単一故障の場合は、確実な操作ができるように制御配線および油圧回路の二重化を行う。

主モータが動かなくなった場合、予備モータで操作を行う。(モータの二重化)

常時の対策としては予備品の備蓄を行う。

② 多様性

落雷、地震等により、複数個所の故障が同時に発生する場合は油圧モータのバルブ調整で閉操作できるように、全ての水門扉と閘門前扉は自重降下回路を設置する。

開けるべき場合は、現地の倉庫に常設した簡易操作盤と可搬式発電機を使用しゲートの開操作を行う。また、1門のみ開かない場合は、流下断面対象外の閘門を開操作することで約97%の流下能力が確保できる。

③ 独立性 (次善対策)

開操作の次善対策として、別途クレーンによる引上げ用にカウンタウェイトの設置を行い、クレーンにより引上げる。

閉操作の次善対策として、中間支柱及び予備ゲートを用いる。ただし、約6時間以内で閉めなければならないことから、今後、構造を詳細に検討する必要がある。

4. 広域地盤沈下及び地球温暖化への対応

(1) 考え方

地球温暖化の影響による海面上昇がどの時点でどのくらい生ずるか不確定であることから、対応策は段階的かつ柔軟に対応できる必要がある。

今後100年間に変動する広域地盤沈下量、海面上昇量を対象とし、対策量、対策のタイミング、対策手法について検討した。

(2) 対策量

下記に示す広域地盤沈下量及び地球温暖化の影響による海水面の上昇量を踏まえ、相対的に海面を40cm上昇させた外力条件に対応できる構造とした。

① 広域地盤沈下量

図-4に示す沈静化した水閘門近傍の地盤沈下量のトレ

ンドより、23年間で最大5cm程度の沈下量から概ね4倍の20cmを今後100年に沈下する想定量とした。

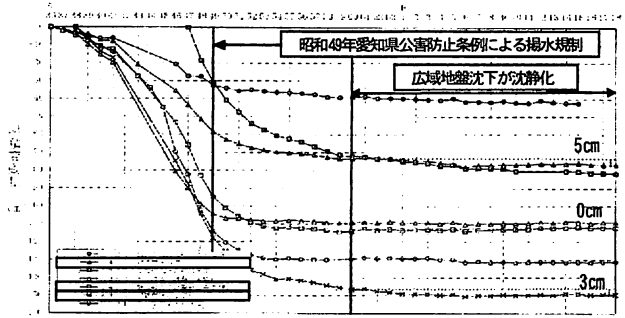


図-4 地盤沈下観測データ

② 地球温暖化に伴う海面上昇量

地球温暖化に伴う海面上昇量は気象庁レポートによる日本沿岸の想定海面上昇量の最大値20cmとした。

(3) 対策のタイミング

海面上昇量及上昇傾向は不確実性が含まれていることから、共用中簡単に対応が可能な部位、部材は、気候変化量を確認して必要に応じて対策を講ずる柔軟性、拡張性のある確認型対策 (図-5) を基本とし、共用中の対策が困難であり当初設計に見込むことが効率的な部位、部材に関してはあらかじめ気候変化量を想定して先行的に対策を講ずる先行型対策 (図-6) を基本とした。

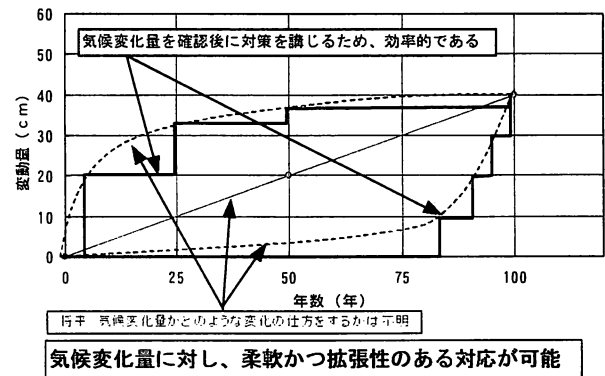


図-5 確認型対策

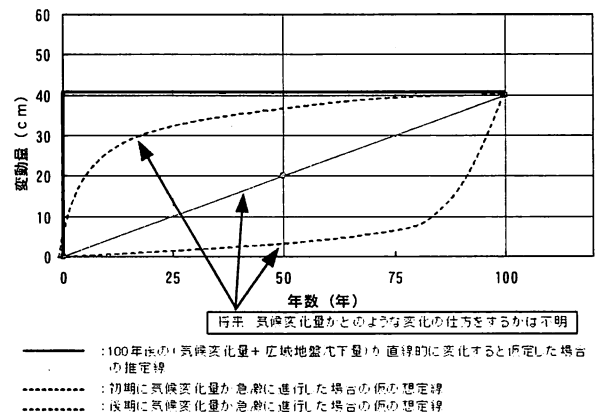


図-6 先行型対策

(4) 構造部位毎の対応策

躯体や基礎は水位上昇に対応して後に改築することが難しく、手戻りとならぬよう当初から対応した方が経済的であることから、先行型対策とした。

ゲート、ゲート設備及びカーテンウォールの対応は将来対策が可能なことから、地盤沈下量、海面上昇量の確認後に気候変化量に合わせた対策を行う確認型対策とした。

5. 不同沈下及び大規模地震への対応

(1) 躯体構造とレベル2地震後の課題

新水閘門の躯体は、不同沈下対策、施工条件、コスト削減の観点からU型形式を採用し、堰柱を鋼殻構造、門柱をSRC造とした(図-7)。堰柱及び門柱が高靱性の構造となることから、レベル2地震動に対し、堰柱及び門柱は弾性範囲内に留め、基礎が塑性化することが明らかである。

よって、今後100年間に発生する地震を対象とし、レベル2地震後にも開閉機能を確保するため、以下の課題についての対応策を検討した。

- ① レベル2地震動を受けた後の構造物の耐震性能
- ② 塑性化した基礎杭の補修

(2) 対 策

鋼管杭の終局塑性率は8～11程度であり、塑性率 4でピーク荷重が発揮される。その後、残留変位の2倍程度の変位レベルに達しても降伏荷重相当の荷重に耐えることができることから、許容塑性率を 4とした鋼管杭の塑性状態は、わずかに膨らみが発生する程度であり、十分な鉛直支持力を期待することができる。水平力に対しては、杭基礎周りの地盤が緩むことから、十分な水平地盤反力を得ることができない。

よって、底版直下に発生した空洞を充填することにより、その後のレベル1地震動を受けてもゲートの開閉機能を保持できることとした。

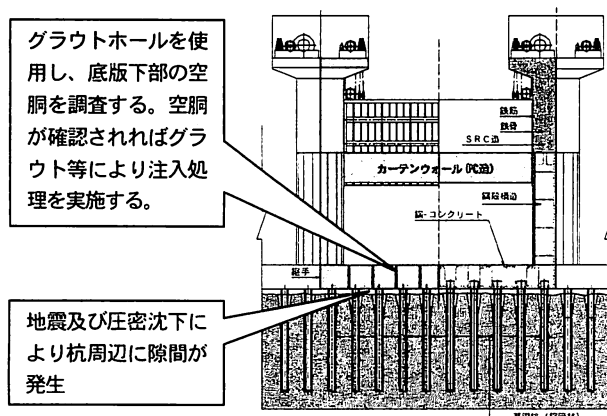


図-7 躯体構造図

6. まとめ

施設の長寿命化として、大規模地震、地球温暖化に伴う海面上昇、広域地盤沈下、ゲートの危機管理対応に取り組む以下の結果が得られた。

- ・ ゲート設備の危機管理対策として、開けるべき場合及び閉めるべき場合それぞれに対し、落雷等による操作不能時においても最低限の機能が確保できるゲート設備を追求した結果、多重性、多様性、独立性の観点より整理する新たな検討手法に取り組むことが出来た。
- ・ 地球温暖化に伴う海面上昇及び広域地盤沈下への対応として、柔軟かつ拡張性のある対策の観点から、部材毎に先行型対策及び確認型対策の考え方を導入した新たな検討手法に取り組むことが出来た。
- ・ 耐震性能設計及び不同沈下への対応として、新設構造物における大規模地震後に確保すべき耐震性能を明らかにするとともに、修復性を考慮して事前対策及び震後対策に対する考え方に取り組むことが出来た。

謝辞：本検討結果は、日光川水閘門改築技術検討委員会での成果の一部であり、委員会メンバーである岐阜大学の八嶋厚委員、六郷恵哲委員、南山大学の高見勲委員、名古屋工業大学の秀島栄三委員、国土交通省の関係各位には多大なご助言とご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) ゲート設備の危機管理対策の推進について(提言)、平成19年8月21日、国土交通省総合政策局
- 2) 河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説、平成19年3月、国土交通省河川局
- 3) 水害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)、平成20年6月、国土交通省河川局
- 4) 水門・樋門ゲート設計要領(案)、平成13年12月、(社)ダム・堰施設技術協会
- 5) 深い基礎の許容塑性率に関する工学的意義について、2006年12月、土木研究所資料；第4030号

(2009. 4. 9受付)