

## ASR 対策を併用した潮止水門の耐震補強について

(株) 修成建設コンサルタント ○伊藤 慎悟

### 論文要旨

本報告は、既設潮止水門の耐震性能照査および耐震補強工の検討結果についてまとめたものである。

検討対象となる潮止水門に対する耐震性能照査(L1 および L2 地震動)を行なった結果、L2 地震動に対して曲げ耐力やせん断耐力が不足していたため、耐震補強工の検討を行った。また、当該水門はアルカリシリカ反応(ASR)によるひび割れが生じていたため、その補修を含めた検討を行った。

キーワード：水門・堰、長寿命化計画、耐震補強対策、ASR 対策

### まえがき

水門や樋門、堰等の河川施設は、地震発生時では津波の遡上を防止する重要な施設である。近年、東海・東南海・南海トラフ巨大地震の発生確率が高まっていることを受けて、河川施設の耐震補強や津波対策が急務となっている。

また、河川施設の多くは昭和 40 年代から建設され、竣工から 30~50 年ほど経過している。今後、老朽化に伴う施設の更新、補修(延命化)も必要となってくる。

対象の潮止水門(竣工後 45 年経過)は塩水遡上の防止や高潮防御を目的とした施設であるが、今後は地震(津波)発生時の施設耐力が重要であり、必要に応じた耐震補強や津波対策の他、施設の延命化が急務となっている。

本報告では、竣工から 45 年経過した潮止水門の老朽化並びに ASR 対策に伴う補修(延命化)を含めて耐震補強工の検討を行った事例として紹介する。

### 1. 潮止水門の概要

検討対象の潮止水門(以下「当該水門」と略す)は、塩水遡上の防止や高潮防御を目的として昭和 46 年に竣工された施設で、現在まで 45 年稼働している。

ゲートは上下 2 段シェル構造となっており、下段ゲート閉塞時と全閉時の 2 段階での水位操作によって河川水位を維持するようになっている。

土木施設は劣化状況調査の結果、施設全体にアルカリシリカ反応(ASR)によるひび割れが生じており、表面被覆工が施工されているものの、経年劣化による退色・剥離・磨耗が顕著である。

ゲート設備は劣化が著しく、平成 26 年点検時にゲート設備の一部を応急的に補修しているものの、津波襲来時等の扉体耐力不足から更新が不可欠な状況である。

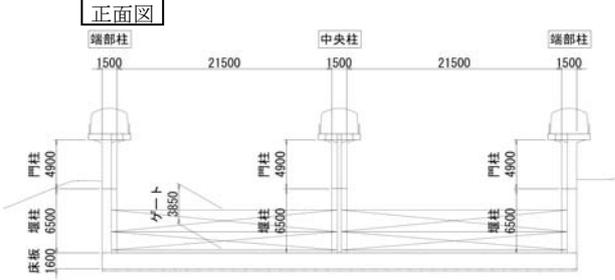
表-1 水門の構造概要

機能	: 高潮防御
構造形式	: 水門
ゲート	: 鋼製シェル型2重ローラーゲート B21.5m×H3.85m×2門
基礎	: 直接基礎
設置年	: S46

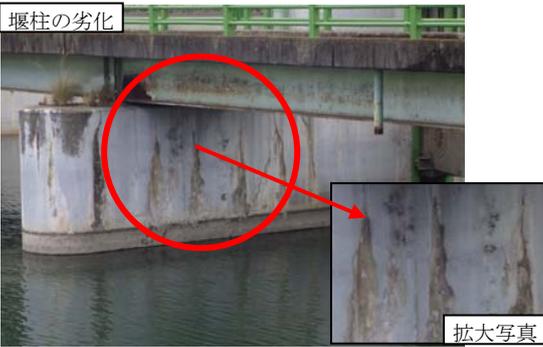
水門の全景写真



正面図



堰柱の劣化



拡大写真

## 2. 現況施設に対する耐震性能照査

当該水門の耐震性能を照査する手法は、「河川構造物の耐震性能照査指針<sup>1)</sup>」に従い、地震時保有水平耐力法に基づいて行うものとした。

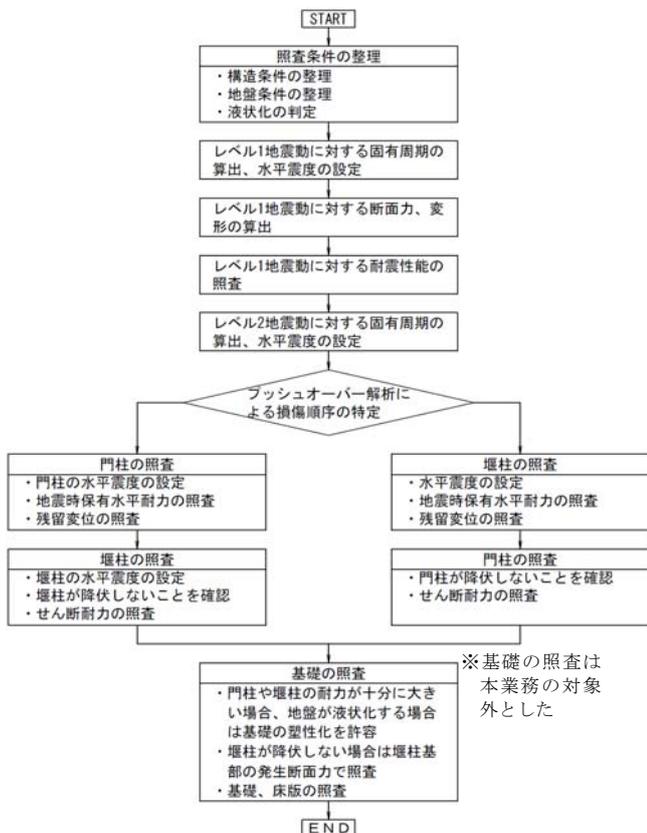


図-1 検討フロー

図-1 の検討フローに従って耐震性能照査を行った結果、当該水門は耐震性能を満たしていないものであった。これは兵庫県南部地震などを契機に耐震設計に関する規定が大きく見直されたことが要因と考える。

L2 地震動に対する照査結果を次に示す。

表-2 耐震性能照査結果

項目	検討方向	地震動	結果
土木施設	水流方向	L2-1	端部: 門柱OK(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
		L2-2	端部: 門柱OK(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
	水流直角方向	L2-1	端部: 門柱NG(せん断破壊型)、堰柱基部OK 中央: 堰柱NG(せん断破壊型)
		L2-2	端部: 門柱NG(せん断破壊型)・堰柱NG(移行型) 堰柱基部NG(曲げ、せん断) 中央: 堰柱NG(曲げ、せん断)
ゲート施設	L1津波に対する耐震照査(スキンプレート、主桁、ローラ、ローラ軸、戸当りなどNG箇所を記載)	上段扉 扉体NG(曲げ応力度・たわみ度) 主ローラNG(接触応力度) 主ローラ軸NG(曲げ応力度・せん断応力度) ブッシュNG(面圧) 下段扉 扉体NG(曲げ応力度・たわみ度) 主ローラNG(接触応力度) 主ローラ軸NG(曲げ応力度・せん断応力度) ブッシュNG(面圧) 戸当り(下段非ローラ反力)NG(ローラレール曲げ応力度)	

L2-1 地震動: プレート境界型

L2-2 地震動: 内陸直下型

## 3. 耐震補強工の検討

前項で示したように、当該水門は中央柱では堰柱(曲げ、せん断)、端部柱では門柱(せん断)及び堰柱(曲げ、せん断)で耐震性能を満たしていない施設である。この照査結果に従って当該水門の耐震補強工法の選定を行う。

### 3.1 曲げ対策(堰柱)

曲げ耐力に対してはコンクリート増厚(+鉄筋)やコンクリート巻き立て工法その他、鋼板巻き立て工法、繊維巻き立て工法などの対策工法がある。

これらの工法のうち、コンクリート増厚が経済的ではあるが、河川施設では河積阻害率の問題がある。当該水門では、河積阻害率に余裕があり増厚することが可能であることから、当該水門の曲げ対策はコンクリート増厚によるものとした。(図-2、図-3)

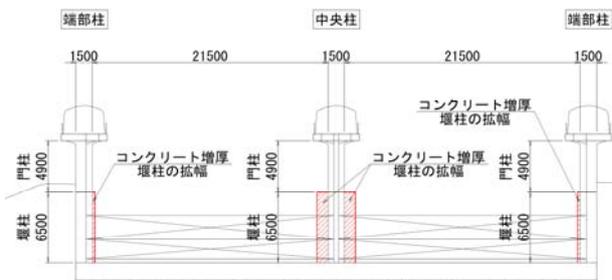


図-2 曲げ対策範囲

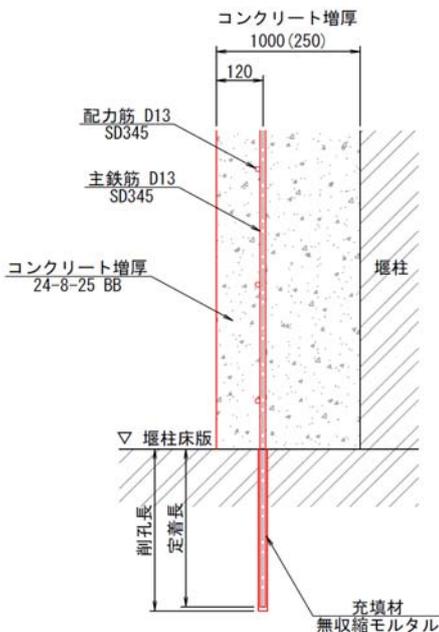


図-3 曲げ対策概要断面

### 3.2 せん断対策(門柱、堰柱)

せん断耐力に対しては曲げ対策に採用したコンクリート増厚の他、あと施工せん断補強筋の挿入などがある。ただし、コンクリート増厚はせん断対策としての効果は低いものである。

以上よりせん断対策について、門柱はせん断補強筋の挿入、堰柱は曲げ対策としてのコンクリート増厚に、せん断補強筋の挿入を追加するものとした。(図-4, 図-5)

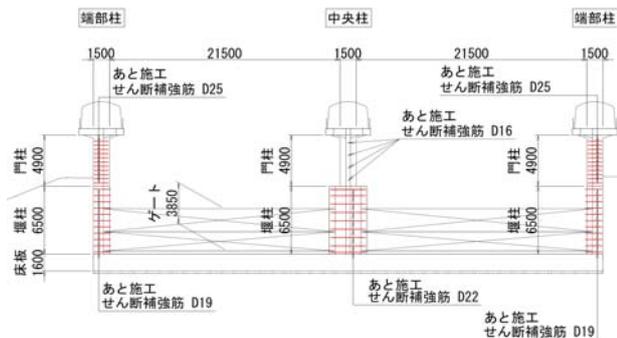


図-4 せん断対策範囲

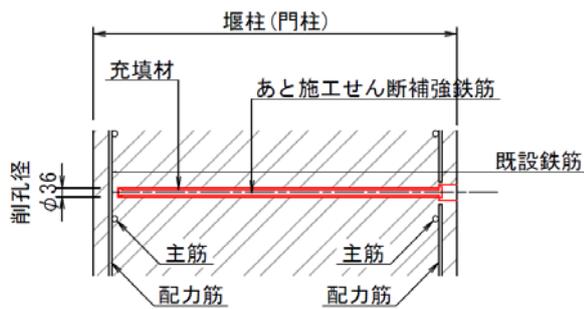


図-5 せん断対策概要断面

## 4. ASRの対策

当該水門は耐震補強工を土木施設全体で行い、ゲート設備のほぼ全てを更新する大掛かりな工事を必要とする。このような工事を行う当該水門は長期計画に基づき、今後15年は運用する必要がある。

現状の土木施設はASRによるひび割れが発生しているため、当初設計時の強度に対し著しく強度低下が見込まれ、今後15年の運用が困難であることが想定されることからASRの劣化に対して補修する必要がある。

### 4.1 劣化状況

ASRによる構造物の劣化(変状)は、コンクリート内に生成されたアルカリシリカゲルが吸水膨張することでコンクリートに異常な膨張や、これに伴うひび割れが生じるものである。構造物の劣化はアルカリシリカゲルが生成される化学反応過程が十分進行した後に膨張過程が始まるものとされており、竣工して数年から数十年が経

過してコンクリートのひび割れの発生という形で変状が現れることもある。

ASRによる劣化進行は、「潜伏期」「進展期」「加速期」「劣化期」に分けられ、ASRの補修工法を選定するにあたって、どの劣化過程にあるか膨張の進行予測を見極める必要がある。

ただし、ASRが生じていることの確認やASRが生じている場合の劣化進行状況や膨張進行予測の調査は難しく、主に目視による外観変状で判断されている。

当該水門では、ASRが生じていることを確認するために、電子顕微鏡による骨材の種類確認とアルカリシリカゲルの有無を調査した。劣化進行状況は目視による外観変状より判断した。

#### (1) ASRの有無

電子顕微鏡による観察の結果、微小石英および波動消光する石英が確認された。粗骨材中のチャートの一部には、骨材表面及び隣接するクラック中にアルカリシリカゲルが確認された。また、孔隙の一部には針状のエトリンタイトの生成が確認できた。(写真-1)

以上のことから今回のコンクリートには、反応性骨材が含まれていると判断でき、アルカリシリカゲルの生成も認められることから土木施設のひび割れはASRによるものと判断した。

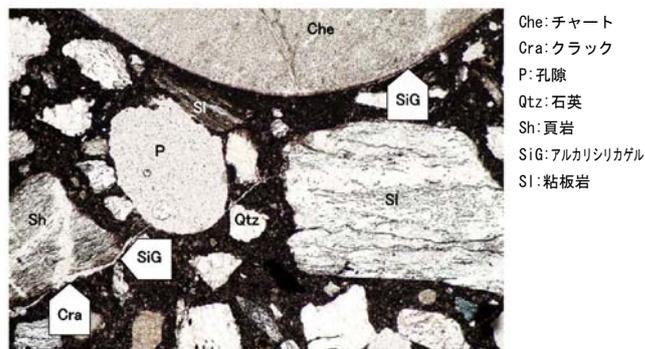


写真-1 電子顕微鏡による調査

なお、コンクリートのひび割れの主な発生原因として、「中性化」「塩害」「ASR」が推定されたため、それぞれに対して調査を行っている。

- ・ 中性化：理論値どおりであり、発生原因ではない
- ・ 塩害：塩化物イオン含有量は躯体表面で高い値を示しているが、後述するハツリ調査より鉄筋腐食は小面積であり、発生原因ではない
- ・ ASR：前記したとおりであり、ひび割れの発生原因と判断した

## (2) 現時点での劣化状況

躯体表面は全体的にひび割れが生じている。躯体内部は表面ほどの水分の侵入はないが、ひび割れの箇所より水分が供給されてASRが生じていると考えられる。ただし、どの程度進行しているかは不明である。

鉄筋については、ハツリ調査を行って腐食等の状態を確認した。調査した結果、部分的に浮き錆があるが小面積の斑点状態であり、鉄筋性能の劣化には至っていないことを確認した。

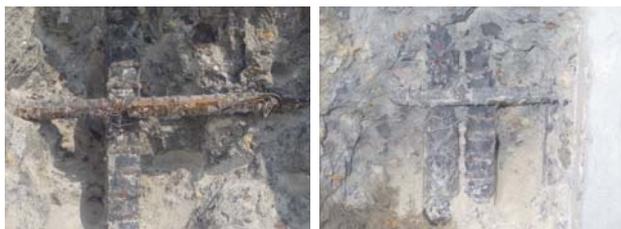


写真-2 ハツリ調査(鉄筋劣化状況)

## (3) 劣化過程

劣化過程は、コンクリート標準示方書(維持管理編)<sup>2)</sup>に示してある「外観上のグレードと劣化の状態」を基に判断した。

当該水門の外観上の変状は、表面全体にひび割れが生じており、一部では析出物が付着しているひび割れがある。鉄筋腐食によるさび汁は確認されず、ハツリ調査でも鉄筋の錆はわずかであった。

以上のような外観より、当該水門の劣化状態は表-3のグレードIIにあたることから「進展期」と判断した。

表-3 外観上のグレードと劣化の状態

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレードI	潜伏期	ASRによる膨張およびそれに伴うひび割れはまだ発生せず、外観上の変状は見られない。
グレードII	進展期	水分とアルカリの供給下において膨張が継続的に進行し、ひび割れが発生し、変色、アルカリシリカゲルの析出が見られる。しかし、鋼材腐食によるさび汁は見られない。
グレードIII	加速期	ASRによる膨張速度が最大を示す段階で、ひび割れが連続し、ひび割れの幅および密度が増大する。また、鋼材腐食によるさび汁が見られる場合もある。
グレードIV	劣化期	ひび割れの幅および密度がさらに増大し、段差、すれや、かぶりの部分的な剥離・剥落が発生する。鋼材腐食が進行しさび汁が見られる。外力の影響によるひび割れや鋼材の損傷が見られる場合もある。変位・変形が大きくなる。

【出典：コンクリート標準示方書 維持管理編】

## (4) 将来の劣化予測

前項で、劣化状態は「進展期」と判断している。今後も劣化は進行していくものであるが、多くの水分が供給されていた表面付近の膨張残存性は収束しつつあると判断した。躯体内部では今後もアルカリシリカゲルの生成や、それに伴う膨張は生じてくるものと判断した。

## 4.2 補修工法選定の基本方針

ASR補修工法の選定は、現時点での劣化状況や将来の劣化予測、供用期間を考慮して行う。

劣化状況や劣化予測は前項で述べたとおり躯体内部の残存膨張量はある程度残っているものとする。

供用期間と工法選定の基本方針については次のようなものとした。

### (1) 供用期間

竣工後45年経過した施設ではあるものの、長期計画に基づく建設後60年対応に配慮し、今後15年は供用するものとしたが、土木施設は耐震補強工、ゲート設備は更新を行うことから、恒久施設として長期運用を続ける方針としている。

### (2) 基本方針

これからの耐用期間は概ね60年程度を目指すことや、躯体内部では水分の供給と共にアルカリシリカゲルの生成と膨張が発生する可能性があることを考慮して、ASR対策は十分に行うものとする。

## 4.3 補修工法の選定

躯体表面は、多数のひび割れが生じていることから断面修復等が必要である。ハツリ調査では、若干ではあるが鉄筋の錆が確認されているため防錆処置が必要である。

躯体内部は、どの程度ASRが進行しているか不明であるが、表面よりは進行が遅く現時点では残存膨張量はある程度残っていると考えてASRの抑制対策を行う。

### (1) 断面修復+鉄筋防錆

断面修復の方法は様々であるが、鉄筋の防錆と断面修復材の鉄筋背面へのまわりを良くするため、鉄筋背面2cm程度まで劣化部のコンクリートをはつり、露出した鉄筋を防錆して断面修復を行う。

### (2) 躯体内部：ASR対策

ASRによる劣化要因は、侵入した水分をアルカリシリカゲルが吸水し膨張するものである。躯体内部の既設コンクリートに対しては次のような対策が有効である。

- ①水分の侵入を遮断する
- ②アルカリシリカゲルの膨張性を消失させる
- ③コンクリートを拘束して膨張させない

躯体表面はコンクリートのハツリを行って断面修復を行うため、①の効果が期待できる。よって、断面修復材は躯体内部の保護工としての機能を果たすことができる材料とする他、水門全体に施工するため広範囲に対して施工が可能な工法を採用するものとする。

断面修復工法は、左官工、型枠を用いた充填工法、吹付工法などがある。広範囲に施工が可能な工法としては、充填工法と吹付工法である。

堰柱は、耐震補強(曲げ対策)によりコンクリート増厚(+鉄筋)するものであり、断面修復と兼ねることとなる。また、追加する鉄筋によって内部コンクリートを拘束して膨張させない機能を果たすこともできる。

門柱や操作台の断面修復工法は、充填工法とした場合、補修仕上がり面はハツリ前よりも断面が大きくなり重量が増加する。そのため、門柱や操作台のような重量の増加により耐震性能上、大きく不利となる箇所では極力避けた方がよい。吹付工法は、施工費は高くなるものの断面修復前から断面が大きくなることはないため、門柱や操作台の耐震性能上の影響は生じない。

以上のことから断面修復工法は、堰柱では耐震補強と兼ねたコンクリート増厚、門柱と操作台では吹付工法とした。(図-6)

断面修復では、ハツリ後の躯体面へ修復材を付着させるものであり、修復材の水分がゲルの生成や水分の吸収・膨張が促進される恐れがある。そのため、ハツリ面に含浸材を塗布して断面修復材の水分から内部への水分供給を防止するようにした。

含浸材は遮水性95%以上ではあるが、万全を期すために吹付工法では修復材を乾式材とし、ハツリ後の躯体面への水分供給を極力抑制するようにした。

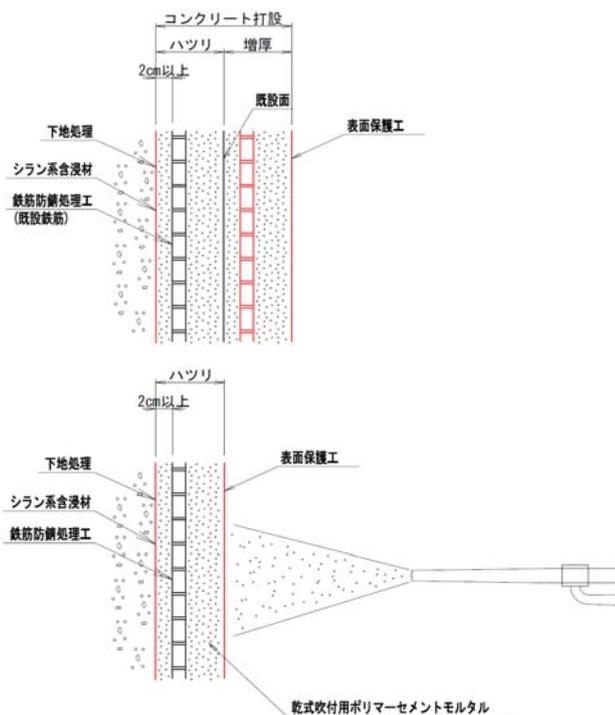


図-6 断面修復の概略断面(上:堰柱部, 下:門柱部)

## あとがき

竣工から数十年経過した施設で、耐震補強工や劣化対策を同時に行う必要があるものが数多くある。

今回は、耐震補強(主にせん断対策)工とコンクリート劣化(ASR)対策を要する構造物であったが、耐震補強工法やコンクリート劣化要因は様々である。対策工と劣化要因との組合せで、最適なものを選定するために多くの知見を集積する必要があると感じた。

また、ASRの将来劣化予測(残存膨張量)は、促進養生試験等を行わず使用条件により推定した。本業務においてASRに主眼を置いて対策工の選定を行ったが、今後の劣化状況の進行については日常点検を行うなどして維持管理を徹底することが重要不可欠と考える。

謝辞: 本報告は、受託業務成果から一部を抜粋・追記してとりまとめたものであり、業務実施にあたり、ご指導とご協力頂きました関係者の皆様に対し、記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 河川構造物の耐震性能照査指針: 国土交通省水管理・国土保全局治水課, H24. 2
- 2) コンクリート標準示方書維持管理編: 土木学会, H25. 10
- 3) コンクリート構造の設計・施工・維持管理の基本: 土木学会関西支部, H21. 10