

## 石井閘門（重要文化財）の健全度調査と補修

伊納 浩\* / 柳 仁\*\* / 池村彰人\*\*\*

### 1. はじめに

宮城県石巻市にある旧北上川と北北上運河を結ぶ石井閘門は、明治13年（1880）に野蒜築港事業の一環として建設された日本初の西洋式近代閘門で、現在でも船舶が通過する閘門として活用されている国内最古の施設である。また、明治期から大正期にかけて全国に建造された近代閘門の規範を示す施設として、平成14年（2002）に国の重要文化財に指定されている。

重要文化財である石井閘門は、平成23年（2011）3月11日に発生した東日本大震災では震度6強の揺れと津波により、ゲートの開閉機破損、煉瓦・石積みの欠損・不陸等の被害を受けた。

このため、石井閘門の管理者である国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所は、平成24・25年度の2カ年をかけて、重要文化財としての価値を保ちつつ閘門としての機能を回復するために健全度調査・補修工事を実施した。

本報文では、石井閘門の健全度調査および補修工事内容を報告するものである。

### 2. 石井閘門の構造と被害状況

石井閘門は、閘室を石造とし、合掌扉（マイターゲート）を収める閘頭部および閘尾部は煉瓦造とする構造体となっている。なお、建設当時木製だったゲートは、昭

和41年（1966）に鋼製に改築（開閉機を含む）されているが、その他の部分は、改築や修復記録がなく、建設当時の姿をほぼ残している。



写真-1 水抜き時における閘頭部門扉周辺の状況  
(手前が井内石積、門扉周辺が煉瓦積)

表-1 石井閘門の概要

項目	内容
完成年	明治13年（1880）（工事開始は明治11年）
計画・設計	ファン・ドールン（オランダ人）
構造	閘扉部（閘頭部・閘尾部）＝煉瓦積（一部安山岩） 閘室部＝石積（井内石） ケヤキの合掌扉（マイターゲート）・人力開閉
形状	全長＝50.4m 全幅＝閘頭部・23.8m 閘尾部・19.5m 閘室内＝30.1m（長）×7.3m（幅）×5.0m（高）

資料）土木史研究講演集 Vol.36／重要文化財石井閘門の補修工事報告に記載された表の一部を修正

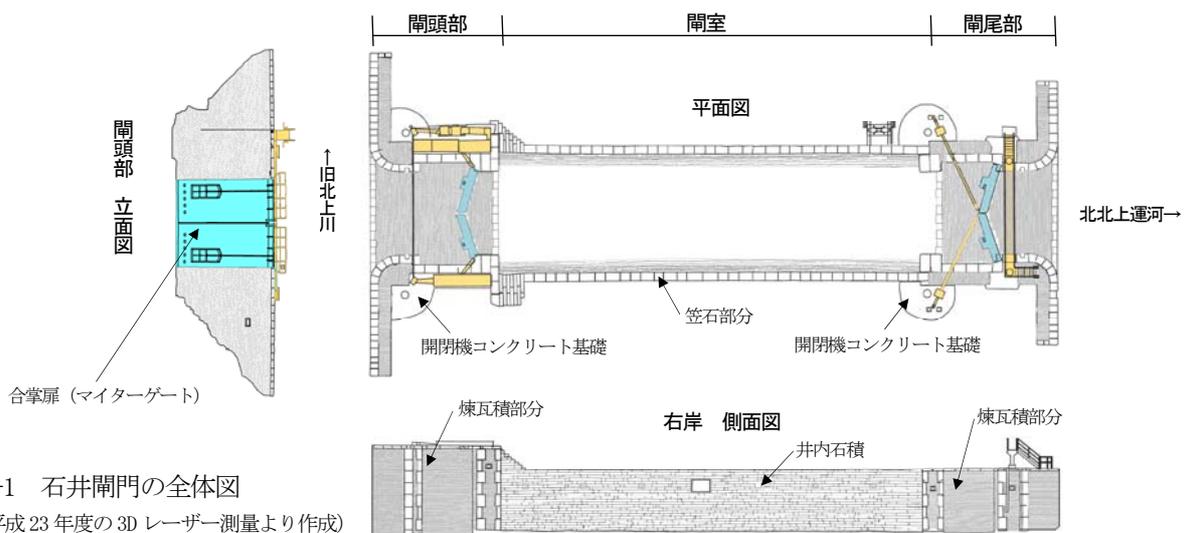


図-1 石井閘門の全体図  
(平成23年度の3Dレーザー測量より作成)

\*INO Hiroshi (株)東京建設コンサルタント 地域環境事業本部流域文化部 部長 技術士(建設部門) 東京都豊島区北大塚 1-15-6  
 \*\*YANAGI Hitoshi 同上 東北支社河川施設部 グループ長 技術士(建設部門) 仙台市青葉区一番町 2-10-7  
 \*\*\*IKEMURA akito 同上 地域環境事業本部流域環境本部 本部長 技術士(建設部門) 東京都豊島区北大塚 1-15-6

石井閘門は、完成から130年余りの間に震度5以上の地震に幾度か見舞われているが、これらの地震では被害などの記録はない。しかし、東日本大震災では地震発生後の津波に襲われたため被災した。津波は運河側から進入してきたため、マイターゲートを押し開くかたちで旧北上川側へ抜けたため、開閉機は破損したが、躯体本体には大きな被害を受けることがなかった。

なお、この地震により、広域地盤沈下が発生し、石井閘門周辺でも60cm程沈下した。



写真-2 津波による被災状況 (その1)  
(ゲートを押し開くように津波が流れた)



写真-3 津波による被災状況 (その2)  
(笠石および煉瓦の一部が欠損・不陸が生じた)

### 3. 健全度調査の概要

石井閘門は、建設から130年余りが経過し、その間に門扉の交換が行われた以外に改築・補修経歴が無く、躯体等の老朽化や構造物としての安定性などが懸念されていた。

そこで、震災による被害状況や長年の劣化状況を把握するために健全度調査(表-2を参照)を平成24年(2012)7月から平成25年(2013)2月にかけて実施した。

その結果、構造体は、煉瓦積や石積の一部にひび割れや欠損が見られるものの概ね健全であることが確認された。なお、昭和期に再設置された開閉機・開閉機のコンクリート基礎は、津波による破損や劣化等から交換・再設置が必要とされた。



石井閘門の全体を示す図面は、明治期に作成された構造図のみであったことから、3Dレーザー測量を実施し、調査・設計の基礎となる図面を作成

写真-4 3Dレーザー測量による運河側からの鳥瞰

表-2 健全度調査の主な項目

調査項目	概要
水抜き実施による全景の目視調査	水面下の状況確認のため仮締切を実施し水を抜き、閘門全景の目視調査を実施した。結果は煉瓦積にひび割れが確認されたものの構造体として問題はないと確認された。
3Dレーザー測量	水抜きにともない閘門全景が計測できることから3Dレーザー測量を実施。明治期に書かれた構造図と照合しほぼ同じ大きさであることが分かり、明治期の図面の精度の高さを確認した。また、今後の変状などを探るモニタリングの基礎データを確保した。
井内石構造調査	井内石積の背後構造が不明であったため、構造体としての安定性などが確認できなかった。そこで、素掘調査を実施し裏込め状況を確認した。その結果、裏込めは3m程あり堅固な造りであることが判明した。
煉瓦積強度調査	煉瓦積の一部からコアサンプルを採取し圧縮強度・せん断強度試験を実施した。結果は、いずれも必要強度以上であることが確認され、健全であることが判明した。
コンクリート強度調査	昭和期に門扉と開閉機を交換した時に設置されたコンクリート基礎については、コンクリートの必要強度よりも下回るとともに、地盤沈下によるゆがみ・亀裂などが確認された。
土質調査	石井閘門が、どのような地盤の上に設置されているかを把握するため、4箇所においてボーリング調査を実施。その結果、明治期の文献に書かれているように砂層(今回の調査結果ではN値=15~31)の上に設置されていることが確認された。
開閉機・門扉劣化調査	昭和41年(1966)に木扉から鋼扉に替えられた門扉は、ヒンジ部分に破損が見られるものの、それらの交換・調整や全体の防食(塗装等)を実施していけば今後とも利用していくことが可能と判断された。 開閉機については、津波による破損、長年の使用によるギア類の摩耗などから交換することとなった。(一部は津波被害後に交換済)

資料) 土木学会誌 vol.99No.2 2月号 2014年 被災地からの発信 大震災にも耐えた重要文化財「石井閘門」の補修に記載された表を一部修正

### 4. 健全度調査の結果

健全度調査結果のうち、構造体の安定等に関わる井内石構造調査、煉瓦積強度調査、および安定検討について以下に示す。

#### (1) 井内石構造調査結果

閘室で利用されている井内石積(布積)は、石巻市内の稲井地区から産出する粘板岩で、通常谷積で利用されていた。そのため、布積の事例がなく背後の裏込め状況と構造上の安定が不明であった。そこで、井内石積の背後の素掘調査を実施し、裏込め状態を確認した。

その結果、井内石積の背後は、長60~90cm・幅20~40cm程度の井内石の裏込めが2.5m(笠石部分を含むと3.0m)ほど敷き詰められており構造的に安定した石積であることが確認された。特に、裏込めの井内石は整然と配置され、その空隙には小さい井内石や粘性の強い土が充填されていた。この点から、布積の井内石積は噛み合わせもよく内部摩擦が大きいことから、石材が組み合わさることにより、一体化した構造物として捉えることができると判断した。



写真-5 井内石の裏込め状況

(裏込め幅が3mあり石材の噛み合わせも充分であることが判明)

(2) 煉瓦積強度調査

閘頭部、閘尾部の煉瓦組積造（れんがそせきぞう）については、常に水上(空中)部にある部分、水面部(乾燥と湿潤を繰り返す箇所)、常に水中部にある部分とに分けて、「圧縮強度試験」「二面せん断強度試験」の強度の確認を行った。なお、コア採取は、文化財を傷めることを避けるために必要最小限とした。

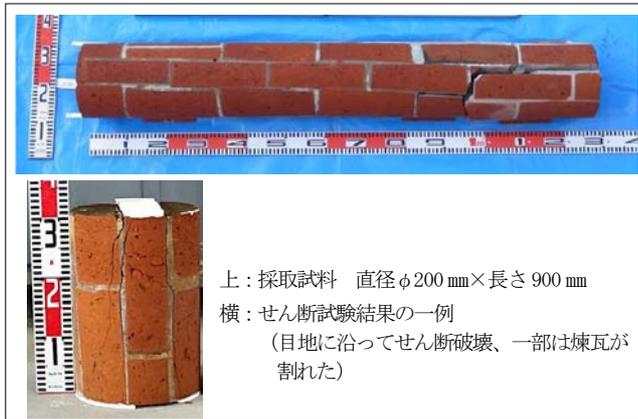


写真-6 せん断強度試験採取試料と破壊状況

圧縮強度試験は、「既存煉瓦建築物の壁体の強度試験法に関する研究：劉可・塩谷晋一：コンクリート工学年次論文集、Vol.25, No.2, 2003」の方法に準じた。この方法は、試験体の大きさを直径φ100mm、長さ100mm程度の大きさで採取し試験できることから、躯体への負担が少ないと判断し採用した。なお、この方法に示されている補正式を用い実構造物の圧縮強度として評価した。

せん断試験は、「煉瓦造構造物の耐震診断規準」（社団法人 北海道建築技術協会）の方法により2面せん断試験で実施した。採取した900mmの試験体は3分割に切断し、長さ約300～350mm程度の供試体を作成し試験を行った。

試験により得られた圧縮強度、せん断強度を他事例との比較によって整理した。(表-3、表-4を参照)

その結果、明治23年(1890)に施工された琵琶湖疏水路閘(京都府)に比べ低かったものの、他の構造物よりは高い値が得られた。なお、圧縮強度は、現在のレンガJIS規格における普通レンガ(2種)の圧縮強度15(N/mm<sup>2</sup>)に近い数値を示しており、130年程経過したレンガでありながら一定の強度が確保されていることが確認された。

表-3 圧縮強度試験結果と他事例との比較

施設名	竣工年	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
石井閘門	明治13年	8.4~16.4 6試体 (平均13.0)
琵琶湖疏水路閘 <sup>6)</sup>	明治23年	22.2~30.7 3試体 (平均26.4)
中央合同庁舎第6館 法務省旧本館 <sup>7)</sup>	明治28年	5.2~7.9 4試体 (平均6.3)
内閣文庫事務棟 書庫棟 <sup>7)</sup>	明治44年	5.5~9.2 5試体 (平均7.7)

表-4 せん断強度試験結果と他事例との比較

施設名	竣工年	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )
石井閘門	明治13年	0.46~1.37 5試体 (平均1.02)
琵琶湖疏水路閘 <sup>6)</sup>	明治23年	1.13~2.19 3試体 (平均1.73)
中央合同庁舎第6館 法務省旧本館 <sup>7)</sup>	明治28年	0.20~0.43 4試体 (平均0.28)
内閣文庫事務棟 書庫棟 <sup>7)</sup>	明治44年	0.34~0.54 3試体 (平均0.44)

(3) 構造体の安定検討

煉瓦積強度調査によって得られた結果を活用し構造体の安定検討を実施した。

①圧縮強度

最下端部において、作用常時全鉛直荷重( $\Sigma V$ )と圧縮強度試験結果を対比し、圧縮強度が作用鉛直荷重を上回り健全であると評価できる。なお、断面構造は、明治期に描かれた構造図を踏まえ検討した。

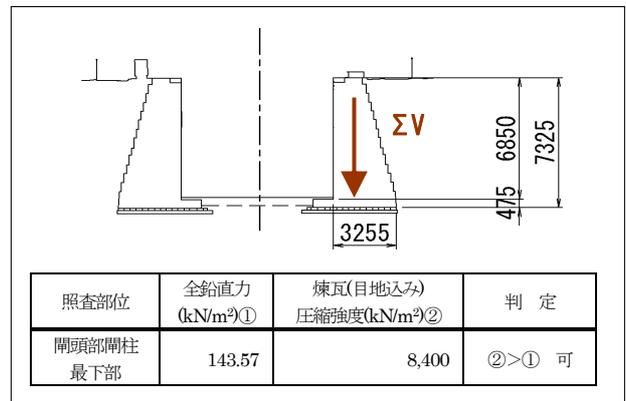


図-2 構造体の安定検討結果 (圧縮強度)

②せん断強度

最下端部において、作用地震時全水平力( $\Sigma H$ )とせん断強度試験結果を対比し、せん断強度が作用水平力を上回り健全であると評価できる。

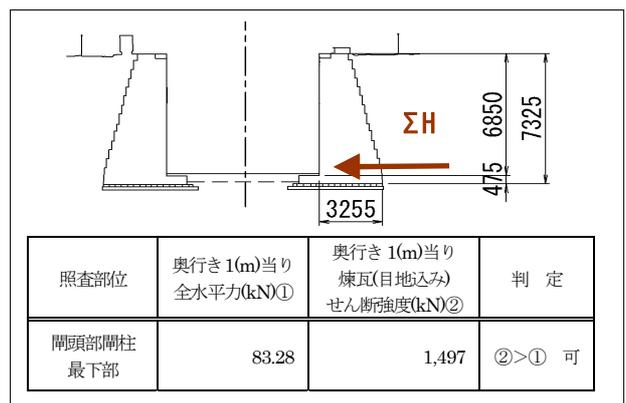


図-3 構造体の安定検討結果 (せん断強度)

## 5. 補修工事

補修工事は、健全度調査結果を踏まえ、以下の方針で実施することとした。なお、補修工事は、平成 25 年（2013）11 月から平成 26 年（2014）3 月までの実質 3 ヶ月で実施した。

### 補修工事の方針－1 意匠上の補修を基本とする

健全度調査の結果、石井閘門の躯体自身を補修する必要性はなく、意匠上の補修（笠石・階段のズレや煉瓦の欠損等）を基本とする。

### 補修工事の方針－2 補修範囲を最低限とする

補修にあたっては、補修範囲を最低限とするとともに可能な限り既存の部材や当時の施工技術を活用するよう配慮する。

### 補修工事の方針－3 安全性を確保する

石井閘門は現在も稼働している閘門であり、閘門操作のために笠石部分等を歩行するなど、文化財そのものを利用している。そこで、補修にあたっては操作などの安全性が確保される補修とする。

これらの方針を踏まえ、構造体としては所要の安定性が確保されていることから、補修工事は、煉瓦積のひび割れや笠石の欠損部分補修などを主とし、補修範囲を最小限にとどめることとした。

なお、補修にあたっては、可能な限り既存の部材を当時の技術を活用し施工するものとした。また、重要文化財でもあることから、新規部材のうち、煉瓦については、当時の大きさと同じになるように今回特注にて製作した。

また、今回の補修工事で新たに利用することとなった新規部材（石材・煉瓦）については、刻印を入れて 2013 年度の工事で追加した部材であることが明確に分かるように配慮した。

表-5 補修工事の主な内容

主な工種	工事概要
石工	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆笠石・隅石の欠損部分の再設置 既存部材を利用するとともに、失われた部分については、当時の石が産出されていないことから、秋田県男鹿石を採用</li> <li>◆階段部分再設置 地盤沈下にもない傾いた階段を一部新材をはめ込み積みかえて補修</li> </ul>
煉瓦工	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆煉瓦積の欠損部分の積み直し ひび割れ部分の補修（積み直し） 現在の煉瓦よりも大型の煉瓦であり、今回特注にて製作（大きさと色合いを合わせた）</li> </ul>
開閉機基礎 コンクリートの再設置	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆閘頭部・閘尾部の開閉機基礎の再設置 昭和 41 年（1966）に門扉と開閉機の改築とともに設置された基礎コンクリートが、ひび割れや強度不足から再設置</li> </ul>

資料）土木史研究講演集 Vol.36/重要文化財石井閘門の補修工事報告より



写真-7 笠石と隅石の補修状況



写真-8 煉瓦の補修状況

（番付を実施し同じ部分に取り外した煉瓦を戻した）



写真-9 開閉機基礎のコンクリート再設置状況

## 6. おわりに

石井閘門の補修にあたっては、学識経験者や文化庁等の文化財関係者らによる『重要文化財「石井閘門」保全対策検討委員会』を設置し健全度調査や補修工事を実施した。

特に、石井閘門が文化財として価値ある構造物であるとともに、現役の河川管理施設として機能している構造物であるため、通常の文化財補修と異なり短期間で補修工事を実施する必要がある。そのため、委員会のメンバーの方々には、時間の無い中で数多くの指導、助言をいただいたこととなりこの場を借りて御礼申し上げます。

また、今回の報告を実施するにあたり、国土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所よりご指導・ご協力をいただき深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 北上川下流河川事務所/2015/重要文化財石井閘門補修工事記録
- 2) 佐藤克英/2014/土木学会誌 vol.99No.2/被災地からの発信/大震災にも耐えた重要文化財「石井閘門」の補修
- 3) 劉可・塩谷晋一/2003/コンクリート工学年次論文集 Vol.25 No.2/既存煉瓦建築物の壁体の強度試験法に関する研究
- 4) 社団法人北海道建築技術協会/2012/煉瓦造構造物の耐震診断規程改訂第1版
- 5) 東出成記・知野泰明・阿部貴弘・後藤光亀・伊納浩・色川篤/2016/土木史研究講演集 Vol.36/重要文化財石井閘門の補修工事報告
- 6) 京都市上下水道局水路閣改修調査検討委員会/2010/第1回委員会資料・平成 22 年 1 月 29 日
- 7) 近代化遺産等修復研究会・組積造の構造に関する専門部会編/2009/歴史的煉瓦造構造物の構造検討のための調査方法/(財)文化財建造物保存技術協会