

Photog-CADによる土木遺産の調査と利活用

貞山・北上・東名運河研究会 正会員 後藤浩佳
 東北大学大学院工学研究科 正会員 後藤光亀

1. はじめに

2011年東日本大震災の津波で被災した仙台湾岸の運河群の復興創生中の記録を残すため Photog-CAD による調査を行なった。石積み護岸に関しては、御舟入堀跡の石積み護岸を調査した。また、鳴瀬川河口の北上運河は、津波による砂浜海岸の決壊で流砂・漂砂による砂移動が大きく、その堆砂が北上運河の浜市漁港等への船の航行や運河への水塊交換に大きく影響している。その堆砂状況の変遷記録はほとんど残されないため Photog-CAD による記録保存と利活用を考察した。一方、山間部の街道などの土木構造物に対しその形状・寸法などの計測には重い測量機材や費用がかかるが、一般市民でも計測でき土木構造物への理解を深めるツールとして Photog-CAD の利活用と課題を考察した。

Photog-CAD のデジタル写真撮影の方法は、距離と高さを示すスタッフや測量ピンを設置し、このスケールを写し込みながら左右2カ所と正面1カ所の計3枚を撮影する。その後、パソコンへの写真の入力とスケール長さ入力や測点などのソフトによる解析を行い、3次元の地形モデル(TIN)や横断面の表示が可能である。

2. 御舟入堀（貞山運河）の石積み護岸

2016年に、北蒲生の区画整備事業の一環として蒲生の御舟入堀の船溜り跡の発掘調査が仙台市によって行われており、同年9月6日と12月5日に現地調査を行なった。御舟入堀は1670年代に塩釜と蒲生を結ぶ運河として開鑿され仙台藩城下への物資輸送の要であった。



写真-1 御舟入堀・船溜り跡の2種類の石積み護岸

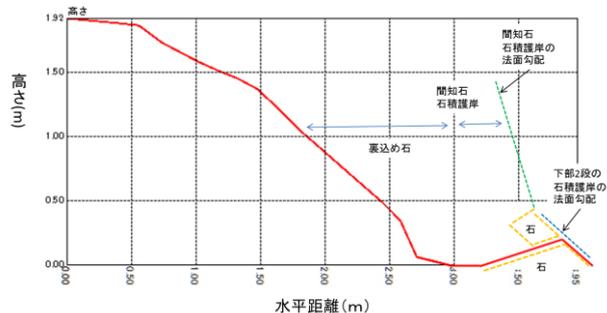


図-1 蒲生の船溜り地点で発掘された石積み護岸

下層2段の石積み護岸の法面勾配は約40度、上層は約70度と勾配がきつい。発掘調査で露出している限られた数の石積み護岸の観察から、下層の1段目の石の長手×小口幅×法面長は70×35×35cm、2段目の小口の石の上面長×小口幅×法面長×下面長が、44×28×21×61cm、長手の石の長手（水平）×法面長が57×30cmであった。

石積み護岸は、下層は堆積岩で2段（一部3段）、上部は火成岩からなる。最下段の1段目は布積みで整形された石材からなり、控えを取っている。2段目は小口と長手を交互に繰り返す積み方（グラフ積みに類似している）となっているが、小口の石材が長手と同様な石材寸法で控えを取っているかは発掘では確認できていない。

石積み技術を概観する。7世紀後半の古代山城（朝鮮式山城：石積み防塁）や13世紀末の元寇防塁がつくられるが、中世の鎌倉・室町時代の城には石垣はほとんどなく、土塁強化の張り石や練石がつくられたが実用的ではなかった。16世紀後半、空積み方式が生まれ城郭の石垣に発展する。本格的な石垣の城は織田信長による安土城で、中世寺院が独占していた多くの技術者集団（大工、石工、左官など）が全国の城郭や都市にその活躍の場を広げていくキッカケでもあった。この時代は自然の石を積み上げる野面積みである。野面積みは技術的に初期の石積法で鎌倉時代末期に現れ、本格的に用いられたのは16世紀の戦国時代からとなる。江戸初期は、大量の石垣築造のため野面積みでなく、石材の使用位置を考慮し寸法などを整形した打ち込み接ぎ（ハギ）となり、その後、装飾性の高く完全に整形された石材間に隙間のない切り込み接ぎとなるが、1700年頃をピークに退化していく。江戸後期は、経済的な疲弊と石工の技術伝承不足で、石材の小型化と、石の控え長の不足を補うため積み方が布積みから落し積み（谷積み）が出現し、地震による石積みの強化が図られる。明治31年頃から中央線の鉄道工事が始まった頃、矩形の石を谷に落し込み斜め45度に寝かせる鶴立返しという方法が確立した。以後、大正から昭和にかけ「石積は谷積み」として発展してきた。

一方、この石積み護岸で参考となるのは、18世紀後半の和歌山県の紀ノ川の水軒堤防と明治10年代の三角西港の石積み護岸である。水軒堤防は、海側や上面に切り込み接ぎの砂岩の石からなり、海側の法面は控えを取った強固な石積み構造物である。しかし、今回の蒲生の石積み護岸との類似点は少ないと考えられる。

三角西港は明治17年に整備が始められ、明治20年に開港した。宮城県の野蒜築港（明治11年着工、同15年開港）、福井県の三国港（明治11年着工）、熊本県の三角港は、明治三大築港と呼ばれる。これらの設計や施工には、いずれもオランダのお雇い外国人がかかわっている。この中で、オランダ人水理工師ムルデルは、明治14年三角に築港を提言し、河口港の野蒜港の失敗と九頭竜川の河口の三国港の苦悩を踏まえ、熊本県が提案していた河口港を水深の深い三角港に変更した経緯がある。また、ムルデルは、明治17年9月の嵐による野蒜港の被災調査を行ない、翌年、政府が築港を断念する報告書を提出している。

一方、明治16～22年に宮城県営事業として、御舟入堀、新堀、木曳堀（現在の貞山運河）の大改修を実施した。蒲

生開門は明治18年11月竣工で、出張所長の達邑容吉が「貞山堀開鑿ノ設計」（明治17年）で、野蒜開門の経験を活かして築造したと報告している。したがって、明治16年は野蒜港の開港直後で東北交易の要と期待され、御舟入堀の拡幅改修と近代土木技術である蒲生開門が建設された。このとき、船溜まりはこの拡幅改修工事を行なっている可能性は高く、当時最先端と言われたオランダ人達の近代土木技術を採用する可能性が大きいと推察される。重要人物の一人が早川智寛である。早川は、明治11年、野蒜築港内務省土木局出張所（宮城県牡鹿郡蛇田村高屋敷）主任として赴任、同13年宮城県土木課長に就任し、同16年には貞山堀（宮城県）の改修を行う。

すなわち、宮城県の土木技術者は野蒜築港を通じて明治10年代のお雇い外国人たちの近代土木技術を習得・実践できる環境にあった。横浜の外国人居留地にあるブラフ積みの擁壁（直方体の石材の長手と小口を交互に積む工法、明治7～8年にかけて居留地周辺や山手の坂道などでは石造りの道路側溝で敷設）や猿島砲台（陸軍の東京湾要塞、明治14年に起工、同17年に竣工）、三角西港のブラフ積みの護岸（明治17～20年）を参考としても不思議でない。

蒲生にある御舟入堀、船溜り、御蔵は、航行時に運河と河川の水位差障害を解消する開門の建設技術を実施できなかった近世土木技術の限界を示す土木遺構でもある。仙台藩では、1673年、塩釜～蒲生間の御舟入堀、蒲生～苦竹間の御舟曳堀が完成する。ここで、1679年、岡山県の倉安川吉井水門が国内最古とされる開門が建設され、1731年、埼玉県の見沼通船堀も開門式運河として建設された。どちらも水門を角落とし式の角材で水位を調整した開門であった。したがって、明治10年代に仙台湾岸の北上運河、東名運河、貞山運河に建設された観音開き門扉を用いた近代的な開門ではなかった。蒲生の船溜まりの石積み護岸は仙台藩そして日本の土木技術の変遷を評価する上で極めて重要な発見と考えられる。後世に引き継ぐべき貴重な土木遺構であり、詳細な調査と歴史的遺構の保全と利活用が期待される。

3. Photog-CADによる北上運河の堆砂状況

鳴瀬川の河口にある北上運河は、洪水など川からの流砂と沿岸流による漂砂により、河口の突堤に接続する砂浜海岸の流失と再生が繰り返されてきた。2011年の東日本大震災の津波ではこの砂浜海岸が大きくえぐられ、外洋の波が河口内で碎波する状況となり、北上運河への堆砂が大きな障害となっている（写真-2）。その堆砂状況の変遷記録はほとんど残されない。図-2に示す Photog-CAD の結果から、現在満潮時でも北上運河の南端からの潮汐等による水交換が生じない程堆砂が進行していることが知れる。北上運河の浜市漁港周辺は、滯筋確保の工事が実施されてもすぐに閉塞して河口環境にある。したがって、北上運河の水交換は、北端の定川からの交換のみとなる。この区間の内水排除の上でもその対応策を実施することが重要である。

今後、河川管理者だけでなく、地元住民の生涯学習や学校教育の一環としてもこの水と砂のものがたりをモニター

し、自然現象を理解するツールとしての利用が期待される。



写真-2 北上運河の堆砂の現状

満潮時でも浜市漁港に堆砂で水塊が北上運河に流入していない。

撮影 2017.01.22 13:14 (塩釜：満潮 10:18、124 干潮 18:32、43)



図-2 北上運河・浜市漁港と鳴瀬川との合流点の堆砂状況

縦軸が高さ（0～5.62 m）、横軸が運河横断面（海側より0～72.3 m）。

左の上端は TP7.2m の防潮堤防である。運河の横断面は全て砂地で最も低い堆砂面は（堤防天端より-5.62m 下方）TP+1.58m となる。北上運河の朔望平均満潮位は TP+0.826m であり、満潮時でも鳴瀬川から北上運河に水塊の流入は起こらないことが判明した。（2017.01.22 撮影、解析）

4. 越後米沢街道十三峠の石畳み

近世からの越後米沢街道で、十三峠にある石畳みは、近年、市民団体によって掘り起され注目を集めている。この石畳の材質や形状など土木遺産としての評価を行う現地調査が行われているが、山地での開削状況や石畳みの勾配などの計測は、重量のある測量機材の搬入など困難な場合が多い。そこで、Photog-CAD により、一般市民でも市販のデジタルカメラによる写真撮影による街道全体の測量を実施するため、その利便性と課題を検討した。

計測結果を図-3 に示す。黒沢峠の石畳みの縦断面図・横断面図は、石畳み（凸部）や付随する側溝（凹部）の測点など、3枚の写真から階段部や隅角部を測点として利用できる場合は活用可能である。ただし、街道沿線は森林域が多いので草や落ち葉など、石畳みや側溝などを3方向からの撮影に対する障害物（枯葉、草、枝、人など）の排除などの下準備が必要となる。また、専門家でない人が、3方向から被写体をしっかり撮影するには、ぶれない撮影などのカメラの基本動作、撮影後の画像の確認などが必須であり、事前の講習を受けることが望ましい。

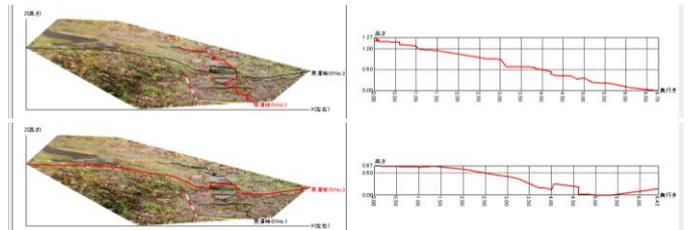


図-3 黒沢峠の石畳み街道の縦断面図と横断面図

上：縦断面図、下：横断面図、（幾何補正後画像、赤線部分が断面図取得線）石畳みの勾配や寸法の計測の他に、側溝、切土・盛土、開削部など周辺地形の連続性から当時の土木技術の検証に活用できる。

参考文献 1) 後藤浩佳、後藤光亀「Photog-CADによる北上・東名運河の再生復興工事に伴う運河護岸発掘調査」平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会、2016.3