

第2回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト 地域賞受賞

写真測量と CFD を用いた 戦国時代の一乗谷における 外水氾濫に関する研究

福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 の の むら 野々村 よしたみ 善民

1. はじめに

福井工業高等専門学校の環境都市工学科から2名の3年生が第2回 インフラマネジメントテクノロジーコンテスト（以下、「インフラテクコン」という）に参加し、地域賞を受賞しました。チーム名は「ダムとトンネル」です。本稿では、インフラテクコンで受賞した取り組みについて、現在の状況を紹介します。

2. 提案の概要

今回の提案は「汎用デジタルデバイスを用いた写真測量の研究開発」であり、前回のインフラテクコンに提案した内容をブラッシュアップしたものである。これまでに、学生達は福井県福井市の一乗谷朝倉氏遺跡における外水氾濫に関する研究（以下、「本研究」という）において、流体数値シミュレーション（Computational Fluid Dynamics。以下、「CFD」という）で必要となる3Dモデルの作成に取り組んでいた。

このCFDの作業を行う上で、3Dモデルの作成方法の省力化が必要となった。そこで、彼らは安価なデジタルデバイスのみを用いて低コストで単体の建築物の3Dモデルを作成し、昨年度に建

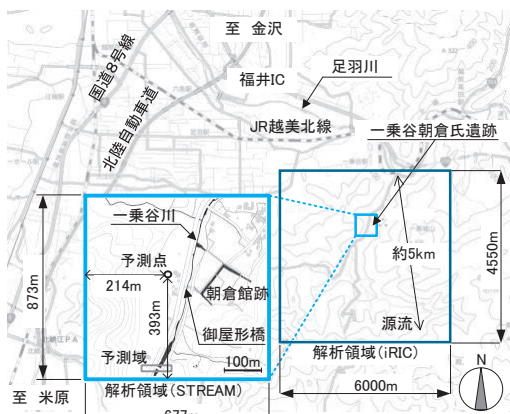
物群の3Dモデル化に取り組んだ。その結果、地面の起伏が写真測量による3Dモデルで再現できることがわかった。なお、今回の提案で開発した研究成果の詳細は参考文献1)～3)を参照されたい。

3. 研究の目的

戦国武将の朝倉氏は、福井県福井市の一乗谷を城下町として統治していた。その統治期間は、1471～1573年の約100年間である。図-1に示すように、一乗谷は山に囲まれ、水害が生じやすい一乗谷川沿いの谷間にある。

この一乗谷において、福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館（以下、「資料館」という）は、50年以上に及ぶ遺跡調査を実施している。これまでに収集された膨大な量の遺跡調査資料の中から、戦国時代に外水氾濫が1573年の朝倉氏滅亡直後に一度あったことがわかった。なお、同年9月には戦国武将の織田信長が城下町の一乗谷を攻め滅ぼしていた。

また、資料館による遺跡調査によって、戦国時代の一乗谷川（以下、「旧一乗谷川」という）の河川断面の主要寸法が明らかになった⁴⁾。しかし、旧一乗谷川で生じた氾濫時の降水量などの気象条件は不明である。



(1) 解析領域の配置図



(2) 朝倉館跡と復原町並の様子

図－1 福井市一乗谷の所在地

そこで、本研究では、一乗谷における地形地物を写真測量により 3D モデルとして再現することを目的とした。この 3D モデルの用途は、河川氾濫シミュレーション CFD に測量した数値を入力することである。そして、本研究の最終目標は、現在の気象データと CFD を用いて、1573 年の朝倉氏滅亡直後の氾濫時の降水量と氾濫の再現期間を明らかにすることである。

4. 研究計画

図－2 に示すように、資料館では、遺跡調査に基づき一乗谷遺跡公園内に城下町の町並みを立体的に復原（以下、「立体復原町並」という）し、その中で石垣と土堀が忠実に再現されている。図中に示す 3D モデルの作成時間は合計約 8 時間であった。この 3D モデルを作成するために用いた画像処理ソフトは Agisoft Metashape Professional 1.7.3、写真撮影に用いたデジタルカメラは



(1) 町屋の 3D モデル

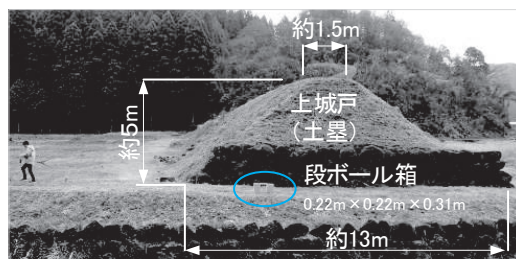


(2) 実際の町屋の様子

図－2 復原町並の様子



(1) 一乗谷川と上城戸の位置



(2) 上城戸の側面の様子

図－3 地形地物の起伏の再現

OLYMPUS Tough TG-6である。

立体復原町並と一乗谷の川上側にある上城戸などとは写真測量を用いて3Dモデルに再現し、その周辺はSketchUp Pro 2021を用いて編集した。

図-3(1)は、一乗谷の南側における地形地物を示す。図中に示すように、一乗谷の南側に敵の襲来を防ぐ目的で上城戸(土塁)が建造されている。上城戸の高さは約5mである。図-3(2)に示すように、再現した地物の中に段ボール箱があり、これが3Dモデルを作成する際の基準長さとなる。

図-4は旧一乗谷川流域の3Dモデルである。この旧一乗谷川流域の地形は、国土地理院基盤地図情報数値標高モデルを基に、旧一乗谷川の地形に合うように、河川断面の高さは河床の標高を上昇させ3.5～4.0mとし、川幅は12m以下となるように調整した。

図-5(1)は、資料館の遺跡調査で明らかになった旧一乗谷川の平面図の一部である。川幅は7.5

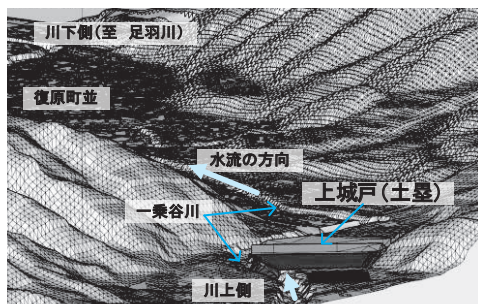
～12mであった。図-5(2)は、旧一乗谷川の断面図である。堤防の高さは3～4mであった。

また、遺跡調査では舟の停泊に使用していた大型の杭が出土した。なお、戦国時代の一乗谷における物流の手段は和舟であった。当時の和舟は平底であったため、浅い水深であっても川の行き来は可能であった^{5),6)}。

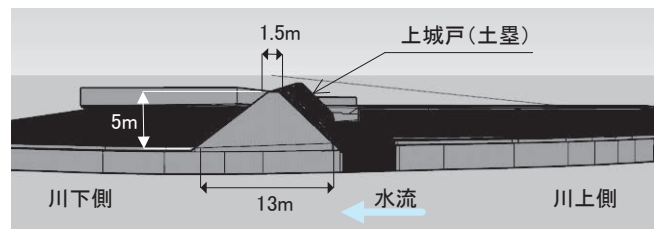
5. 解析結果

図-6(1)は、河川氾濫シミュレーションiRICにより解析した旧一乗谷川における水深分布である。iRICは2次元解析であり、空間メッシュサイズが5m×5mである。この解析によって、1時間降水量と旧一乗谷川の流量の関係が明らかになった。

図-6(2)は、流体数値シミュレーションSTREAMにより解析した旧一乗谷川における水

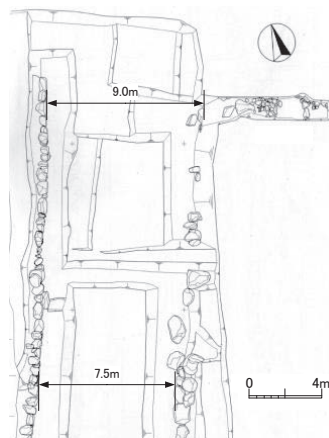


(1) 一乗谷の3Dモデル

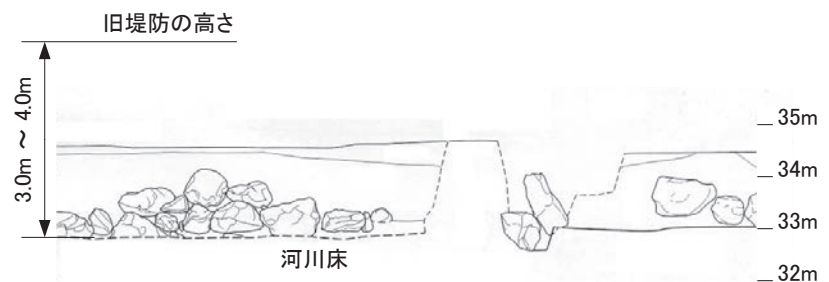


(2) 上城戸の3Dモデル

図-4 一乗谷川流域の3Dモデル



(1) 旧一乗谷川の平面図

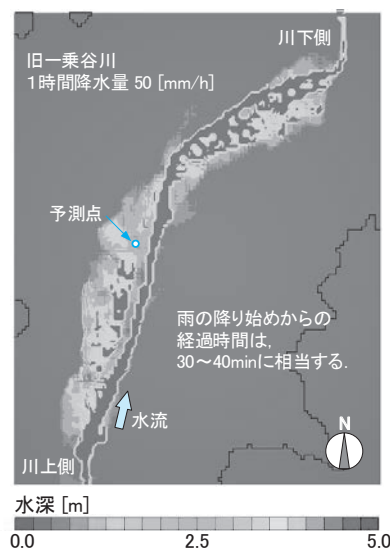


(2) 旧一乗谷川の断面図

図-5 旧一乗谷川の河川断面



(1) iRIC による流量解析の結果

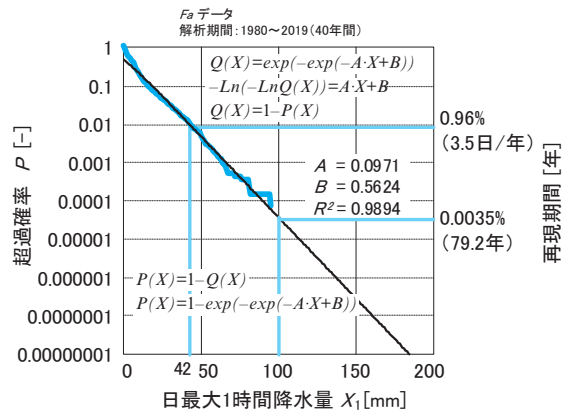


(2) STREAM による水流解析の結果

図－6 CFD を用いた外水氾濫解析の結果



(1) 福井県とその周辺の観測点の配置図（計 20 点）



(2) 日最大 1 時間降水量と再現期間の関係（福井県）

図－7 福井県における日最大 1 時間降水量の再現期間

深分布である。STREAM は 3 次元解析であり、空間メッシュサイズが $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ である。本解析領域には図－4 に示す上城戸は含まれていない。この STREAM を用いた解析によって、立体復原町並における水深と 1 時間降水量の関係が明らかになった。なお、立体復原町並において水深が 1 m となる場合、1 時間降水量は 42 mm/h となる。

図－7(1)は、福井県内とその周辺における気象官署の配置図である。福井県を代表する日最大 1 時間降水量とその再現期間を算出するために、本提案は各気象官署で記録された日最大 1 時間降水量の最大値を用いて、超過確率と再現期間を算出した。

図－7(2)は、福井県における日最大 1 時間降水量とその再現期間を示す。図中に示すように、上記の 1 時間降水量 42 mm/h の超過確率は 0.96% であることがわかる。つまり、この大雨は毎年発生し、1 年間の発生日数は 3.5 日となる。

6. おわりに

本研究では写真測量により、戦国時代の一乗谷川流域における 3D モデルを作成した。この 3D モデルと流体数値シミュレーションを用いて、本提案は 1573 年の朝倉氏滅亡直後の氾濫時の降水量と外水氾濫の再現期間を明らかにした。以下に得られた知見を示す。

一乗谷川の西岸にある復原町並において、地面から約1mの高さに氾濫水が達する場合の日最大1時間降水量は42mm/hであることがわかった。この大雨によって発生する外水氾濫は1年間で3.5日発生することがわかった。

一乗谷川の西岸にある復原町並における水深から外水氾濫の再現期間を逆算した結果、旧一乗谷川は頻繁に氾濫していることがわかった。しかし、当時の一乗谷の人口は最盛期で約1万人であったことから、戦国時代の一乗谷の川上側において洪水対策物が建造されていたものと考えられる。

今後、資料館による遺跡調査は、外水氾濫の痕跡にも着目して実施される予定である。これにより、考古学の研究分野において新たな知見が得られ、一乗谷朝倉氏遺跡に対する関心が国内外で高まるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 野々垣修慶, 野々村善民, 萩原春親: 写真測量を用いた建築物の3Dモデルの再現方法に関する研究(その1), 一般社団法人日本建築学会 情報システム技術委員会, 第44回 情報・システム・利用・技術シンポジウム 2021 論文集, pp.431-434, 2021年12月
- 2) 寺前海斗, 野々村善民, 萩原春親: 写真測量を用いた一乗谷朝倉氏遺跡の復原町並の再現, 一般社団法人日本建築学会 大会学術講演梗概集(北海道), 2022年9月
- 3) 野々垣修慶, 野々村善民, 萩原春親: 写真測量を用いた建設構造物の3Dモデルの再現方法, 一般社団法人日本建築学会 大会学術講演梗概集(北海道), 2022年9月
- 4) 野々村善民, 島脇優里, 萩原春親: 戦国時代の一乗谷川における外水氾濫に関する研究 考古学的資料に基づく3Dモデルの作成と河川氾濫解析, 一般社団法人日本建築学会 情報システム技術委員会 第44回 情報・システム・利用・技術シンポジウム 2021 論文集, pp.161-166, 2021年12月
- 5) 岩本才次: 昔の日本の船事情, 日本航海学会誌, 164巻, pp.24-46, 2006年6月
- 6) 京都市: 22 高瀬川, 2009 京都市(制作 京都市歴史資料館) ver.1.10, 2009年