

近世熊本城下町形成の水防災の考え方と 現代河川減災計画への応用

FLOOD PREVENTION APPROACHES IN KUMAMOTO CASTLE TOWN IN EARLY MODERN TIMES AND APPLICATION TO PRESENT FLOOD MITIGATION PLANNING

松尾和巳¹・山田文彦²・柿本竜治³・田中尚人⁴・藤見俊夫⁵

Kazumi MATSO, Fumihiko YAMADA, Ryuji KAKIMOTO, Naoto TANAKA, and Toshio FUJIMI

¹ 正会員 熊本大学大学院教授 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪二丁目 39-1)

² 正会員 博士 (工学) 熊本大学大学院教授 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪二丁目 39-1)

³ 正会員 博士 (学術) 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市黒髪二丁目 39-1)

⁴ 正会員 博士 (工学) 熊本大学大学院准教授 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪二丁目 39-1)

⁵ 正会員 博士 (農学) 熊本大学大学院助教 自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪二丁目 39-1)

Quantitative evaluation of the flood prevention approaches in Kumamoto castle town in early modern times was very important in order to examine present flood crisis management. The flood prevention approaches were hypothesized as a method in which the flood damage does not expand taking into account the morphological features in Kumamoto castle town, while the spill overtopping allowed. Numerical simulations using one dimensional unsteady flow equation were conducted to confirm the hypothesis. Constructing the discontinuous embankments with different crown levels in the castle town river side was useful for causing the inundation to the opposite banks. The existence of water-level controlling system of Tsuboi River, the catchments of the spills in the castle town, was clarified.

Key Words: Flood crisis management, morphological features, spill overtopping control, water-level control

1. はじめに

近年, 計画規模を超える豪雨の増加によって局所的な水害や土砂災害が多発¹⁾しており, 例えば, 2007年には7月の梅雨前線の影響により, 熊本県美里町では時間雨量で80mm/h, 2日間で500mmといった集中豪雨が発生し, 建物全壊6棟, 半壊4棟, 床上浸水15棟, 床下浸水75棟といった大きな被害を受けた。従来の災害リスク管理は, ハード対策を中心とした行政の公助に多くを依存してきた。しかし, 想定した計画規模を超える外力変動は常に存在するため, ハード対策のみで災害リスク管理を行うのは非常に危険である。そのため, 洪水被害から地域を守るためには, 治水のハード整備とソフト対策の連携が強く求められている²⁾。

ところで, 現代のハード整備は主として川を氾濫させないためのものであり, 河川と氾濫域を積極的に切り離す考え方である。一方, ソフト対策では住民への避難情報の提供などがあげられるが, これは川が氾濫する状態を想定したものであり, 河川と氾濫域とを切り離さず, 連続して捉える考え方である。現在, ソフト対策として洪水ハザードマップの作成が進められている中で, ハザ

ードマップに対する住民の認知度や利用度が必ずしも高くない理由は, 現代の治水の基本となる2つの考え方の根本的な相違が一因であると考えられる^{3), 4)}。

これに対して, 近世の治水は, その土地の地形条件を十分に把握し, 積極的に活用することで, 川の流れには逆らわないことが基本的な考え方であったと推測される⁵⁾。しかし, その水防災の考え方や機能を工学的に定量評価し, その中から現代に通じ応用できる事項を抽出・整理した研究例は非常に少ない。そこで本研究では, 近世治水の例として1588年の加藤清正の入国によって築かれた熊本城下町に着目した。その立地場所は, 阿蘇カルデラを流域に持ち, 洪水時には大量の水と土砂をもたらす暴れ川である白川に接している。改修が進む現在においてもたびたび河岸満杯状態で洪水が流れる場所である。本研究の目的は, このように洪水被害の危険性が高い場所に立地した熊本城下町における水防災の考え方, 機能を工学的観点から定量的に評価し, その中から現代に通じ応用できる事項を抽出・整理することで, 現代の水防災の一助とすることである。

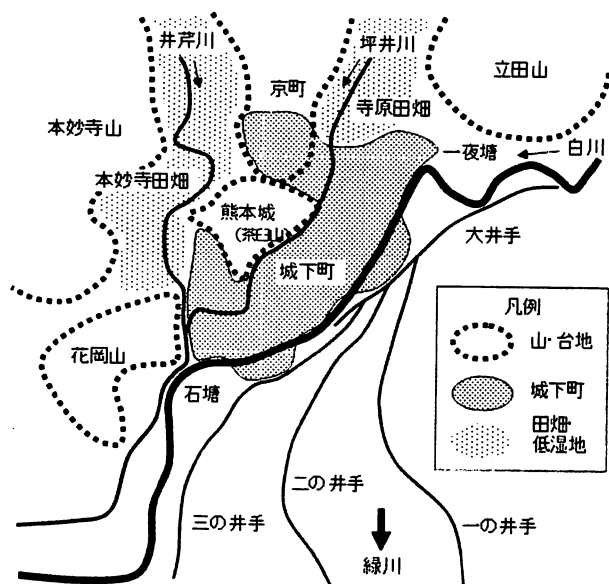


図-1 熊本城下町周辺部略図

2. 熊本城下町の地形的特徴⁹⁾

熊本城下町は白川が山間部から平野部に出てきた直下に位置し、洪水時には最も氾濫しやすい場所に立地している。白川は大量の土砂を運ぶ川であり、運ばれた土砂によって熊本城下町周辺の平野が形成されている。また、標高が最も高い場所を白川が流れ、左右両岸の堤内地に向かって白川から離れるほど標高が低くなっている。城下町はこのような白川の右岸側を中心に形成された。

図-1に示すように熊本城下町の位置する白川右岸側には、熊本城が築城された茶臼山や京町台地等の山や台地があり、その間を坪井川、井芹川が流れている。両河川は城下町の終端部付近で合流するとともに、石塘（石造りの背割堤）によって白川と接している。石塘は白川と坪井川を完全分離するものではなく、堤脚に水抜き穴を持ち、高さも低い溢流構造で、両河川の水の行き来ができるものであった⁷⁾。また、坪井川と井芹川の上流には、白川によって運ばれ堆積した土砂で堰き止められるような形で寺原田畑、本妙寺田畑の低湿地が形成されていた。ここで、両田畑よりも下流に位置する城下町の方が地盤高は高いにも係わらず、両田畑が池になっていない理由としては、農地としての利用を考え、下流の城下町区間において坪井川、井芹川の河床を深く掘ったためと考えられる。

3. 近世における白川水防災の考え方

2章で述べたような地形条件の熊本城下町を白川の洪水から守る場合、まず考えられるのは右岸側だけに連続堤を築いて左岸側に洪水を溢れさせることである。しかし、当時に連続堤を築堤した記録や痕跡はない。具体的には、城下町最上流部の立田山の裾野に一夜塘と呼ばれる比較的大きな堤防が築かれているが、それから下流で

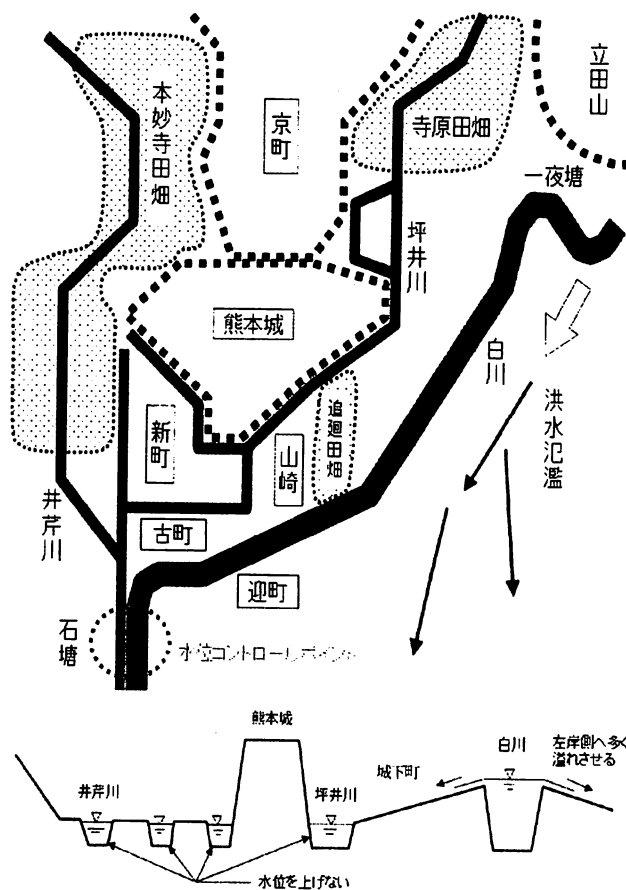


図-2 熊本城下町の水防災概念図

は、河岸嵩上げと表現するのが適当な低い堤防が所々に見られる程度である。一夜塘の位置は白川が山間部から平野部に出てきたところであり、大きな洪水時には最も水位が上昇し、氾濫しやすい地点であることから、一夜塘の築堤意義が右岸側への氾濫を防ぐものであったことが分かる。一方それから下流では、規模の大きな連続堤が見られないことから、洪水時には城下町に氾濫水が流入していたものと推測される。

このような堤防の築造状況、さらには、氾濫流の流速や浸水深を減少させる事が洪水被害を増大させない重要な要因であることを勘案し、本研究では熊本城下町の水防災の基本的な考え方に対して、以下のように仮説を立て、検証を試みた。

- ①白川の洪水を完全に防ぐことは困難であるため、洪水流は左右両岸に複数個所で氾濫させる。
- ②氾濫時には、右岸側より左岸側により多くの水を溢れさせることで城下町（右岸側）の安全性を確保する。なお、左岸側では大井手から一の井手等へ、さらに緑川に向け広く氾濫させる。
- ③右岸（城下町）側の氾濫水の受け皿は、坪井川、井芹川、および寺原田畑等の低湿地とし、溢れた水を城下町に滞留させず、速やかに排除することで浸水深の増加を防ぐ。

このような水防災の考え方は、城下町の地形条件を十分に理解し、白川の氾濫時にも洪水流の挙動に逆らわない理にかなった考え方である。この概略図を図-2に示す。

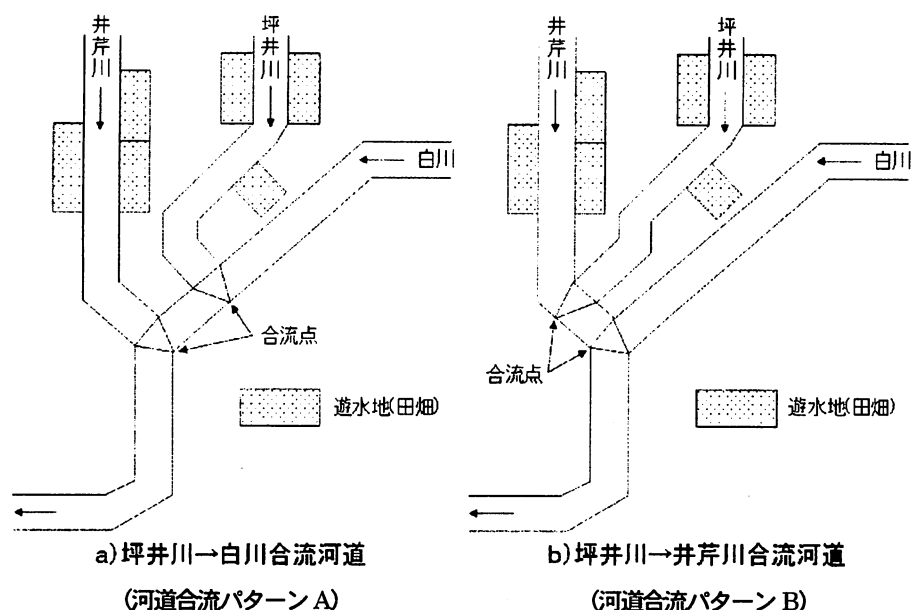


図-3 河道モデル略図

城下町で最も低いところを流れる坪井川、井芹川の水位を白川氾濫時に抑えることができれば大きな浸水被害にはならない。2章で述べたように白川と坪井川が接する石塘は、両河川を完全分離するものではなかったことから、城下を流れる坪井川、井芹川の水位のコントロールポイントとして重要な機能を有していたと考えられる。

4. 計算手法の概略

上記仮説の妥当性を検証するとともに、現存する堤防等の施設の機能を評価するため、数値解析を行った。熊本城下町の詳細な地盤高や土地利用状況は記録が残っていないこともあり、計算手法は平面2次元の氾濫計算ではなく、溢水条件下での一次元不定流計算を河道と遊水地部分について行った。河道モデルは古図や明治期の地形図、白川の平均年最大流量等をもとに作成した。坪井川は白川に直接合流していたものを井芹川に合流するように付け替えられており、図-3に示す2ケースの河道を設定した。ただし、白川右岸(坪井川合流点より上流)で溢れた水は坪井川に流入する。白川の入力洪水としては、平均年最大流量に相当するピーク流量 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ を河道満杯で流せる基本洪水とし、この河道にピーク流量 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ の洪水を流してその挙動を比較した。なお、寺原田畑、本妙寺田畑、追廻田畑の3低湿地については、古図や明治期の地形図から面積を求め、それぞれ150, 200, 4haと設定した。水位上昇1cmあたり、それぞれの田畑には15,000, 20,000, 400 m^3 の氾濫水が貯留される。

河川からの溢水流量について、堤防越流の場合には堤防上で射流となるため堤内地の影響を受けない。しかし白川では、堤防越水ではなく河岸からの溢水であり堤内地を流れる氾濫水の挙動の影響を受けるため、厳密な解析を行うのであれば氾濫水が流れる城下町の詳細な地盤高を求めて氾濫解析を行わなければならない。しかし、前述のように詳細な記録が残っていないことや、白川から離れるほど地盤高が低くなる地形であり河川水位が高

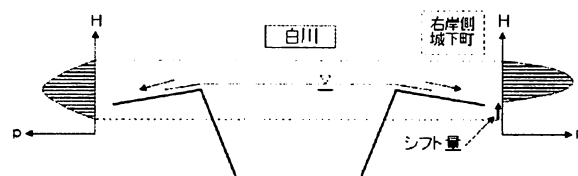


図-4 本モデルにおけるシフト量の概念図(右岸)

ければ溢流が継続することを考慮し、概略の傾向を見るための簡易な手法として河川水位と河岸高または堤防高との差から溢水流量を与えることとした。

堤防からの越流量は次式で表される^{6), 7)}。

$$Q = CBh^{3/2} \quad (1)$$

ここに、 Q : 流量 (m^3/s)、 C : 越流係数(本モデルでは $C=0.3$ を用いた)、 B : 越流幅 (m)、 h : 越流水深 (m)

モデルの河岸高設定に関しては次のように考えた。自然堤防、自然河岸は、人工の堤防のように縦断方向に高さ管理されたものではなく、洪水時に溢水、土砂堆積を繰り返した中で形作られたものであり、洪水時の水位縦断に対して高低の変動がある。この高低の変動を確率分布と考え、溢水流量に関しては河川水位と河岸高の確率分布から求められる期待値で表現する^{6), 7)}。具体的には、白川では溢水流量を制御するものとして、右岸側を中心に部分的に築堤が行われており、城下町の上流端に相当する位置に一夜塘と呼ばれる比較的規模の大きな堤防が築かれた。その一方、その下流については河岸嵩上げ程度の低い堤防が部分的に見られる程度である。このため、これらの堤防の機能を計算では

- a) 一夜塘に見られる規模の大きな堤防は溢れさせないためのもの
- b) その下流に見られる規模の小さな堤防は溢水を許容しながら溢水流量を抑制するもの

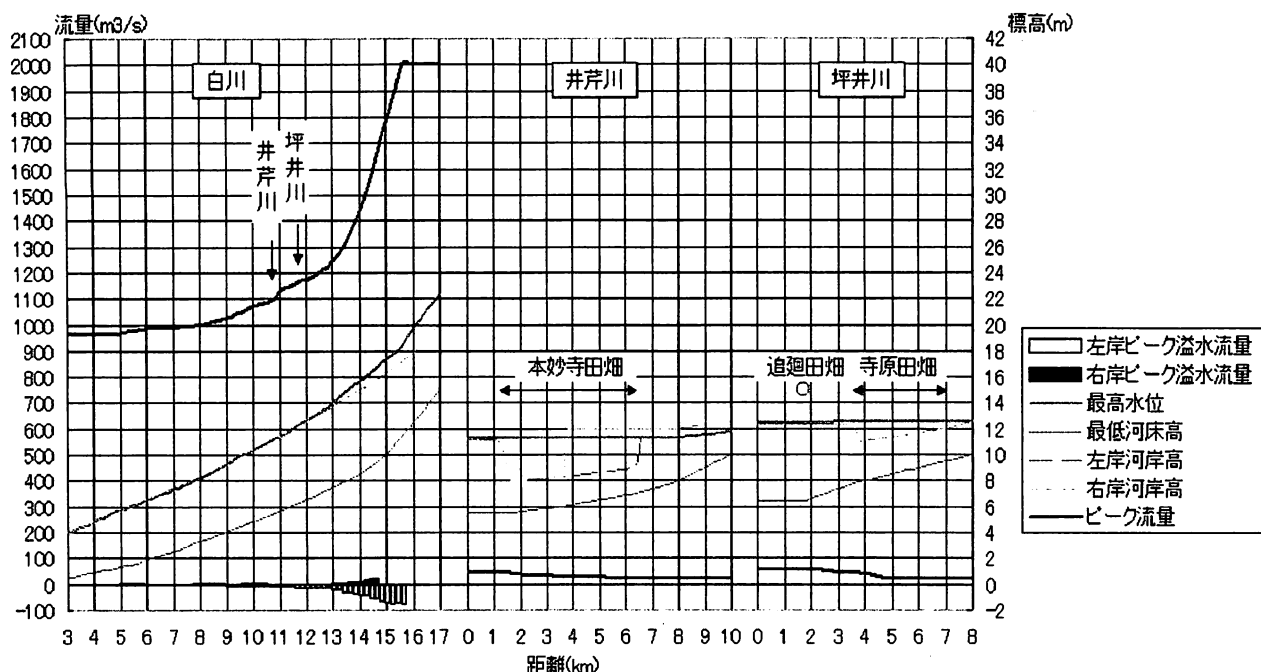


図-5 白川，坪井川，井芹川ピーク水位・流量等縦断面図

と取り扱う。b)については前述の河岸高の変動成分を用いてモデル化すると、図-4に示すように高低変動の低い部分を高いほうにシフトするとともに、変動幅を小さくするものとして置き換えられる。

5. 計算結果と考察

図-5は、白川のピーク流量を $2,000\text{m}^3/\text{s}$ とし、河岸高の変動を左岸は変動幅 $\pm 0.8\text{m}$ の一樣分布、右岸は上限高を左岸と同じとして変動幅 $\pm 0.4\text{m}$ の一樣分布と仮定した場合の計算結果を白川等の縦断形状と重ねて示したものである。同図より、白川のピーク流量と溢水ピーク流量を抜き出したものが図-6である。図-6で横軸は流路延長、左側の縦軸は白川の各地点のピーク流量、右側の縦軸は200m区間ごとの左右両岸への溢水ピーク流量を重ねて表示している。上流端(17km)からの入力洪水はピーク流量 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ であるが、山間部から平野部に出てきた15.6km付近から溢水が始まり、井芹川合流点付近(10.8km)では河道満杯流量の $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度まで流量が減少している。左右両岸への溢水流量を比較すると、右岸では立田山の裾野とそれに続く一夜塘付近(14.6km)まで溢れず、その下流については、左右両岸の河岸高変動の違いから、右岸側の溢水流量が少なくなっている。このように、城下町を守るために左岸側により多く溢れさせるという仮説①、②は、本モデルで再現された。なお、これらの計算結果はモデル化した河道における期待値であり、実河川においては溢水流量など地点ごとに異なる。

次に、右岸溢水流量ピーク時の水の流れを河道合流パターンごとに図-7に示す。いずれの場合も、寺原田畑、本妙寺田畑へ向かう(上流へ向かう)流れが生じている。図-8は坪井川の合流点変更や両田畑の存在の効果を坪井

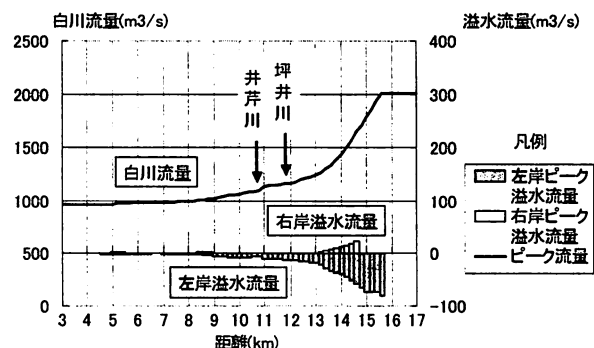


図-6 白川ピーク流量・溢水流量縦断面図

川の水位を基準に比較したものである。現況のように坪井川が井芹川を経て1km下流で白川に合流する場合(合流パターンB)は、合流パターンAよりも坪井川の水位が低下している。さらに両田畑の存在を考慮せず、河道のみという極端なケース(田畑なし)と比較すると、田畑の存在が坪井川の水位低下に寄与することが再現されており、仮説③も本モデルで確認できた。

ところで、図-2に示すように、熊本城と京町台地の境界付近で台地の裾に沿うように2本目の流路が掘られている。その目的は、城の要害とされているが⁹⁾、水防災面から考えると、台地から流れ落ちる雨水の受け皿とも考えられる。さらに熊本城と京町台地の間に空堀が掘られていたことや本妙寺田畑の方が地盤高は低いことを考慮すると、この空堀を利用して洪水・氾濫水の一部を本妙寺田畑に導くことを考えた可能性がある。実際に水を流せるほど低く掘られていないが、仮に氾濫水を流せるほど掘られていたならば、坪井川沿いの城下町の安全性はさらに高まったものと推測される。

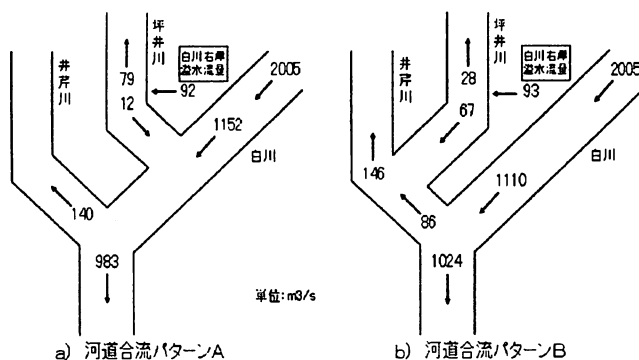


図-7 溢水流量ピーク時の流量と流向

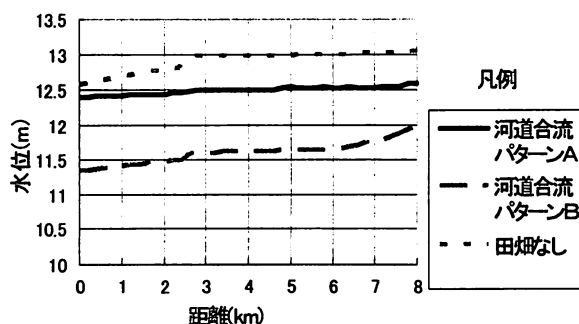


図-8 坪井川ピーク水位縦断面図

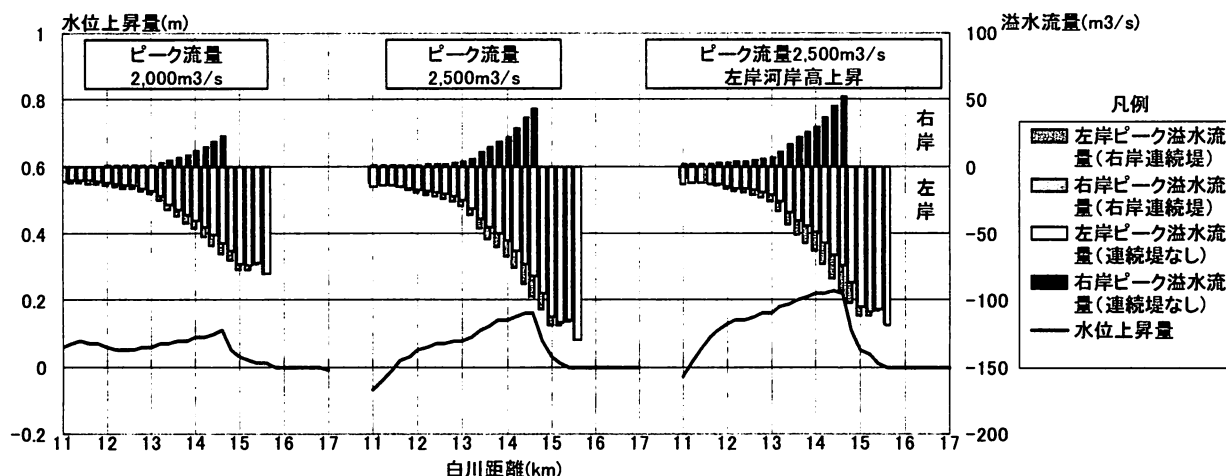


図-9 溢水流量と水位上昇量

6. 右岸側の城下町に溢れさせることの意義

本研究で掲げた熊本城下町の水防災に関する3つの仮説は、前述のように本モデルを用いた数値計算によりその妥当性が検証された。しかし、左岸側により多く溢れさせることで白川の水位上昇が抑制されるならば、右岸側に連続堤を築き溢れさせないで城下町を守ることでも可能である。事実、緑川では同時代に連続堤が築かれている。そうしなかったことには軍事面などでの理由も考えられるが、ここでは水防災の観点から、右岸側に溢れさせることの意義を考察する。

図-6から分かるように、溢水流量は上流へ行くほど多く、城下町区間の白川最上流に位置する一夜塘で右岸側に溢れさせない効果は大きい。言い換えれば、もし一夜塘が破堤すれば、城下町の被害は甚大になる。事実、1796年6月の白川大洪水で一夜塘が破堤し、大被害が生じている。このことから、一夜塘破堤防止の観点からその下流で右岸側に溢れさせる意義を検討した。

一夜塘が破堤する危険性が高まるケースとして、白川のピーク流量 $2,500\text{m}^3/\text{s}$ の洪水を新たに設定するとともに、左岸側で溢れにくくなるケースを追加した。具体的には、左岸側の河岸高が上昇したケースである。これは、白川が大量に土砂を運搬、堆積させる河川であり、左岸側に

多く溢れさせると土砂の堆積も左岸側で進むことを想定している。実際、江戸後期に入ると左岸側の新屋敷に城下町が拡大しており、左岸側にも地盤高が高く、右岸側と同様に溢れにくい場所が存在していた。

河道合流パターンBのケースにおいて、白川のピーク流量 $2,000$ 、 $2,500\text{m}^3/\text{s}$ 、さらに左岸側の河岸高が 0.2m 上昇し変動幅 $\pm 0.6\text{m}$ としてピーク流量 $2,500\text{m}^3/\text{s}$ が流れた場合の3ケースに対し、一夜塘下流右岸で溢れる場合と連続堤により溢れなくなった場合の計算結果を比較したものが図-9である。右岸側の溢水流量が0になることにより、左岸側の溢水流量が増加し、水位も上昇する。右岸側で溢れることによる水位低下効果は一夜塘下流端で最大となり、洪水規模が大きく、右岸側の溢水流量が多いほど大きいことが分かる。言い換えれば、一夜塘の延長を長くすると右岸側で溢れさせる効果が低下し、破堤の危険性が高まることとなる。また、左岸側に土砂が堆積して溢れにくくなり白川の水位が上昇しても、一夜塘が破堤する危険性を緩和できるシステムであったと評価できる。

以上のことから、近世の水防災では、土構造の堤防が水位上昇に対して脆弱であること、また、堤防の整備と河川水位を上昇させない工夫とは一帯不可分なものであることを強く意識していたものと推察することができる。

7. 現代の河川減災対策への応用

以上のように、近世における白川の洪水から城下町を守る防災システムの考え方をモデル化し、その機能を確認することができた。このシステムをそのまま現代に復活させるようなことは、白川の左岸側を含めて広く面的に市街地が形成され、また、小規模な浸水であっても被害に直結する状況を考えれば現実的ではない。特に、昭和期以降の改修で井芹川の流路が変更されるなど、白川、坪井川、井芹川が市街地内を流れる区間で分離され、本妙寺田畑も市街化されており、洪水時の水の流れも大きく変わっている。しかし、洪水氾濫等の危機管理を進める上で、近世の水防災の取り組みには参考にするべきところが多いと考える。

一点目は洪水氾濫・浸水特性についてである。洪水氾濫時に水が流れやすいところ、溜まりやすいところは大きく変わるものではない。ハード、ソフト両面での洪水被害軽減対策を進めるとき、もう一度このような地域の地形条件等の特徴を踏まえて対策を考える必要がある。浸水しやすいところは特定可能（浸水が急激に進むのか、緩やかに進むのか、頭打ちになるのかなど）である。住民も含め、そのような地域の特徴を理解し、認識して取り組むことが必要である。

二点目は市街地に水が溜まらないように水位上昇を緩和するシステムの検討である。熊本城下町は白川から離れるほど低くなる地形をしており、氾濫した水の受け皿である坪井川の水位上昇を緩和することが被害軽減につながった。これは城下町対岸の白川左岸により多く溢れさせることと一体で機能するものであった。現在、本妙寺田畑は市街化され、坪井川に流れ込んだ水は坪井川で流下させなければならないが、白川の氾濫流が流れ込んだときに坪井川の水位はどうなるか、水位上昇を緩和する対策があるのかどうか検討しておく必要がある。

また、水位上昇の緩和は河川の水位についても考えなければならない。近世の治水では、堤防が破堤する危険性を十分認識して、被害が大きくならないところに溢れさせることによって河川水位の上昇を抑え、破堤を回避した。現在、堤防の整備延長は格段に長くなっており、ダム・遊水地等による流量・水位上昇の抑制、その他の方法も含め破堤を回避する方法を検討する重要性は高まっている。

もう一点、注目したいのが、特定の機能に最適化されたシステムの問題である。現在のハード対策は大河川、中小河川、下水道と、それぞれの計画対象降雨に対して無被害となるよう計画される反面、その計画対象降雨あるいは施設整備の許容レベルの降雨・洪水を超過したところで鋭敏に被害が発生する。堤防の破堤氾濫などはその際たるものであり、被害の集中、増大につながる。最適化されたシステムの許容量を超えた外力に対して、被害発生を鈍化させる取り組みを検討する必要がある。

また、例えば河川の氾濫を防ぐために堤防を築くと内水被害が頻発するようになったなど、1つの機能に対して最適化したことが他の機能に対してマイナスに作用することもある。熊本城下町における寺原田畑、本妙寺田

畑のように、どこから来た水かに係わらず、集まってきた水による水位上昇を鈍化させる対応力の高いシステムが、それぞれの地形条件等から可能かどうかをもう一度見直すことも必要である。

8. おわりに

地球温暖化で気象現象も激烈化するといわれている。川から水が溢れ、道路が冠水するといったことが珍しいことではなくなる可能性がある。堤防を高くすることは川の水位を上げることになり、破堤したときの破壊力を増すことになる。堤防整備によって無被害となる洪水が増える一方で、破堤したときの危険性を認識し、それを回避する方法も考えておかなければならない。

溢れた水をどうするか、溜まった水をどうするか、そして住民はどう行動すれば被害を軽減できるか、川は溢れるもの、溢れた水は野や町を流れ低いところに溜まるもの、河川と氾濫域は連続したもの、そのように考えを切り替え、地形条件等の特徴を踏まえて、ハード・ソフト両面での対策を考え行動することが必要である。

謝辞: 本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所・土木学会共催の「流域管理と地域計画の連携方策に関わる共同研究」より「加藤清正に習う流域管理とまちづくりの連携方策」として研究助成を受けて行ったものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 辻本哲郎, 平成 16 年豪雨・洪水災害の特徴と減災に向けた動き, 豪雨・洪水災害の減災に向けて (辻本哲郎編), 技報堂, pp.2-22, 2006.
- 2) 山田文彦, 柿本竜治, 山本幸, 迫大介, 岡裕二, 大本照憲: 水害に対する地域防災力向上を目指したリスクコミュニケーションの実践的研究, 自然災害科学, Vol.27, No.1, pp.25-43, 2008.
- 3) 片田敏孝, 児玉真, 佐伯博人: 洪水ハザードマップの住民参加とその促進策に関する研究, 水工学論文集, Vol.48, pp.433-438, 2004.
- 4) 片田敏孝, 木村秀治, 児玉真: 災害リスクコミュニケーションのための洪水ハザードマップのあり方に関する研究, 土木学会論文集 D, Vol.63, No.4, pp.498-508, 2007.
- 5) 富田紘一: 熊本城と坪井川の変遷, 坪井川とともに暮らす (熊本大学政策創造研究センター編), 成文堂, pp.1-18, 2007.
- 6) 松尾和巳, 望月達也, 藤田光一: 堤防天端高の縦断変動が超過洪水時の堤防越水外力に与える影響, 水工学論文集, Vol. 41, pp. 687-692, 1997
- 7) 松尾和巳, 藤田光一, 望月達也: 耐越水型堤防に作用する越水外力を増大させる要因, 土木技術資料, Vol. 39, pp. 50-55, 1997

(2009. 4. 9 受付)