

谷底平野の地形・地質の痕跡に基づく 極値流量の推定

ESTIMATION OF THE EXTREME RIVER DISCHARGE
BY MARKS OF THE TOPOGRAPHY AND GEOLOGY
IN VALLEY BOTTOM PLAIN

涌井 正樹¹・福岡 捷二²・佐藤 豊³・江川 千洋³・味方 圭哉³
Masaki WAKUI, Shoji FUKUOKA, Yutaka SATOH, Chihiro EGAWA and Keiya MIKATA

¹正会員 工修 株式会社キタック (〒950-0965 新潟県新潟市中央区新光町10番地2)

²フェロー 工博 Ph.D 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³非会員 株式会社キタック (〒950-0965 新潟県新潟市中央区新光町10番地2)

The estimation of possible maximum flood discharge due to the climate change is an important issue in order to consider measures for the disaster prevention and reduction in the river basin.

In the previous paper, the authors looked on river width of stable channel formation and estimated erosion width by large flood.

The purpose of this paper is to verify the validity of the results for the previous paper using the same method in Kurokawa river flowing through the valley plains like Yosasagawa river, for evaluating possibility of the extremal discharge by stepped topography in the valley bottom. And, extremal discharge in the Yosasagawa river was verified by investigating marks of soils remained in flood flow deposits. The possibility was not recognized in the present study that mud flows accompanying with the snow melting triggered by volcano eruptions was related to the extremal discharge in the Yosasagawa river basin.

Key Words : valley bottom plain , stepped topography, overflow deposits, extremal discharge,

1. 序論

平成27年8月に社会資本整備審議会より、水災害分野における気候変動適応策のあり方について¹⁾の答申が公表された。この中で、激甚化する水災害に対し最悪の事態も想定し、想定し得る最大規模の洪水流量を把握することは河川流域の減災対策を検討する上で喫緊の課題であると述べている。

我が国における想定し得る最大規模の洪水流量の検討は、諸外国の事例等も踏まえ、例えば年超過確率1/1,000程度の降雨量を目安として設定する考え方や、擬似温暖化実験等の気候変動に関する研究が進められている。本研究は、これらの研究方法と異なり、過去の大規模洪水による地形地質の痕跡からその推定を試みるものであり、過去から現代そして将来へとつながる自然現象について、過去の事象を正しく理解することにより把握しようとするものである。

著者らは前報²⁾において、栃木県の余笹川を例として

谷底平野の河道横断方向に形成された段差地形の中には過去の大規模洪水の侵食作用により形成された侵食崖があり、それが現世における極値的流量の地形地質の痕跡を現し、流量規模を福岡の式³⁾により推定できる可能性を示した。本報では、その極値的流量の確からしさを確認することを目的として、余笹川に隣接し谷底平野を流れる黒川での侵食痕跡から同一手法により極値的流量を推定し対比することにより、概ね妥当な値であることを確認した。また、余笹川の堆積が卓越する箇所での洪水氾濫堆積物の痕跡から過去の洪水規模を推定することを試みた。さらに、現世における余笹川の極値的流量が那須岳火山の融雪型火山泥流によりもたらされている可能性についても考察している。

2. 対象河川の選定

前報²⁾に引き続き、対象河川は地殻変動や海水準変動の影響をほとんど受けておらず大規模洪水の地形地質の

表-1 余笹川及び黒川における本研究調査地点の流域諸元

| 河川名 | 流域面積 | H10年洪水 ¹⁾ の流量(比流量) | 主な表層地質 |
|----------|---------------------|---|---|
| 余笹川①(前報) | 127 km ² | 1,740 m ³ /s (13.7 m ³ /s/km ²) | 下流域は40～50万年前の黒礫岩層なだれ堆積物、中流域は4～2.5万年前の御富士山岩層なだれ堆積物、上流域は1.6万年前以降の新しい火山噴出物 |
| 余笹川②(本報) | 38 km ² | 400 m ³ /s (10.5 m ³ /s/km ²) | |
| 黒川 | 98 km ² | 810 m ³ /s (8.3 m ³ /s/km ²) | 50万年前の黒礫岩層なだれ堆積物、上流域は古い火山噴出物 |



図-1 余笹川及び黒川の調査地点位置図及び表層地質平面図
(独)産業技術総合研究所シームレス地質図に加筆)

痕跡が読み取り易い河川として、栃木県の一級河川那珂川水系の余笹川とし、本研究ではその東側を流れる黒川も対象河川に加え検討している。図-1に流域地質平面図及び本研究の調査地点、表-1に流域諸元を示す。

余笹川流域では平成10年に日雨量607mm(那須観測所)の観測史上最大の異常豪雨により大規模水害が発生しており、多くの貴重な災害記録が残されている。

3. 検討方法

(1) 調査目的及び調査地点の選定

(a) 黒川侵食卓越区間の調査地点の選定

黒川は、余笹川下流域と同様に50～40万年前の黒礫岩層なだれ堆積物を下刻し形成された谷底平野(谷底侵食低地)を蛇行しながら流れる河川である。平成10年洪水では流下能力250m³/sの3倍強の810m³/sの流量が流れ、蛇行河川をショートカットするような側方侵食を伴いながら氾濫被害が発生した。

黒川も余笹川同様に地殻変動や海水準変動の影響はほとんど無い河川であり、谷底部の河道横断方向の段差地形は過去の大規模洪水の側方侵食痕である可能性が高いと考え、前報²⁾と同様に平成10年洪水により側方侵食が著しい箇所、谷底平野の中心線が直線的な区間(大規模



図-2 余笹川②19.5k地点の氾濫堆積物の調査地点平面図

洪水時の流心が直線的な区間)である箇所、かつ、人工改変の影響が小さい地形として昭和22年の米軍撮影の空中写真により段差位置を確認できる箇所を調査箇所として選定した。調査箇所は、図-1に示す7.2k、8.2k、16.5k地点の3箇所である(河床勾配は、I=1/120)。

現世における川の成り立ちの観点でみると、黒川と余笹川で大きく異なることがある。余笹川上流域では1万6千年前から活動が活発になった那須岳(茶臼岳)の6回のマグマ噴火に伴う火山噴出物で覆われている⁴⁾が、黒川上流域にはその噴出物は確認されていないことである(図-1の茶臼岳火山噴出物Ⅰの範囲を参照)。マグマ噴火に伴う火山噴出物には溶岩流と火砕流堆積物が含まれており、冬期積雪時期にこのような噴出物を伴うと、融雪型火山泥流が発生する恐れがある。実際に、最も新しい1410年3月5日のマグマ噴火では融雪型火山泥流により180名が亡くなったとの記録が残っている(震災予防調査会, 1918)。すなわち、現世において余笹川流域で発生した極値的流量は、火山噴火による融雪型火山泥流の可能性はあるが、黒川ではその可能性は低く極値的流量は異常降雨に起因した値であると考えられる。黒川と余笹川の極値的流量を比較することにより、余笹川の極値的流量が融雪型火山泥流によるものかどうかについて推測できると考えられる。

(b) 余笹川堆積卓越区間の調査地点の選定

余笹川中流域には、図-1に示す4～2.5万年前の御富士山岩層なだれ堆積物や1.6万年前以降活動が活発になった那須岳(茶臼岳)の火山噴出物の土砂供給により谷底部が埋め尽くされて形成された谷底堆積低地が広がっている。この箇所には過去の大規模洪水で運搬された土砂

が氾濫堆積物として谷底部に堆積している（図-2参照）。

そこで、河川周辺の氾濫堆積物の土質を調査することにより、洪水により土砂がどのように氾濫堆積し現地形を形成したかを把握することとした。この調査による洪水堆積物粒径マップにより、以下のことを考察できる。

洪水（氾濫した流れ）で運搬できなくなり堆積させた砂の粒径の移動限界掃流力の条件から氾濫した流れの水力を求め洪水規模を推定する。平成10年洪水（ピーク流量）時に氾濫堆積した実績（砂の粒径と氾濫水深）を参考に過去の洪水氾濫堆積物の砂の粒径の違いから過去に発生した洪水規模を推定する。

これらの検討を目的として調査地点の選定を行った。本研究では、4～2.5万年前に形成された御富士山岩屑なだれ堆積物により河道が規制され流路がほとんど変化していない河谷地形から、堆積低地に変化する19.5km地点（東北自動車道の直上流）を選定した（図-1の余笹川②地点参照）。

図-2に19.5 km地点の詳細な平面図を示す。兩岸の岩屑なだれ堆積物（流れ山）に規制された河谷状の地形から堆積低地に変化する地点であり、扇状地状に氾濫堆積しやすく、その範囲を網羅するようにグリッドを設定し、調査地点を面的に設定した。

(2) 調査方法

余笹川の堆積卓越区間、黒川の侵食卓越区間ともに以下の手順で調査を行った。

(a) 関連情報の収集整理

被災前後及び昭和22年（米軍撮影）の空中写真、災害調査報告書、地元住民への聞き取り調査により、平成10年洪水の被災時の水位や侵食・堆積範囲などの情報を収集整理した。

(b) 地形特性の把握

現在の微地形の計測、及び人工地形改変の影響が少ない過去（昭和22年米軍撮影）の空中写真判読を行い、平成10年洪水後の測量結果との重ね合わせにより、調査地点の横断面図・縦断面図にそれら情報を表記した。

(c) 地質特性の把握

余笹川の堆積卓越区間ではグリッドの交点、黒川の侵食卓越区間では谷底部の河道横断方向の段差ごとにおいて、それぞれ検土杖試験、ポータブルコーン貫入試験（コンペネ）を行い、地表から1～3m程度の堆積土砂の土質と締まり具合を調査した。

(d) 調査結果の考察

(a)～(c)の調査結果、及び洪水時の水力条件から平成10年洪水時の流況を再現しつつ、過去の大規模洪水流量の規模の推定を行った。

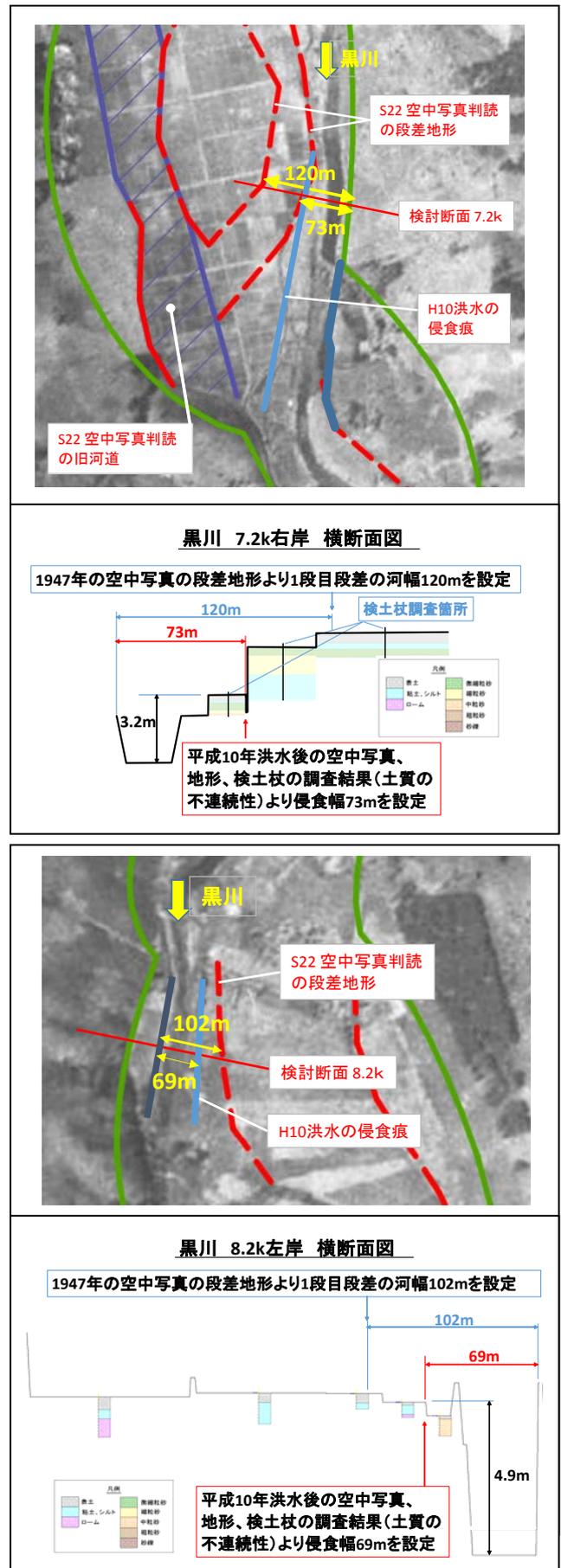


図-3 黒川侵食卓越区間の侵食幅、S22空中写真判読の段差位置の河幅及び検土杖調査結果(7.2k、8.2k)

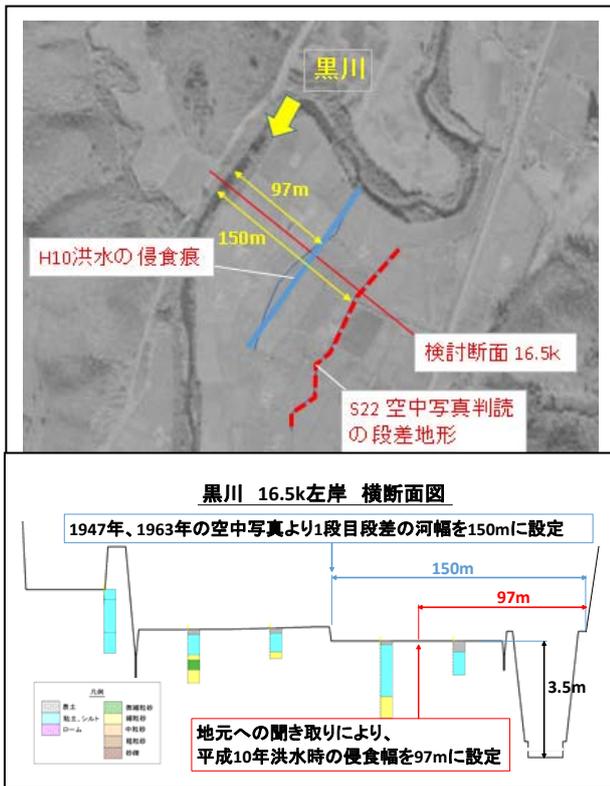


図-4 黒川侵食卓越区間の侵食幅、S22空中写真判読の段差位置の河幅及び検土杖調査結果(16.5k)

4. 検討結果

(1) 黒川侵食卓越区間の調査結果

3箇所の測線において、河道横断地形測定、空中写真による平成10年侵食幅の測定、S22年空中写真による段差位置の判読を行い、段差ごとに検土杖調査を行った。その結果を図-3、図-4に示す。

- 1) 検土杖調査が可能な深度は場所によって異なり、1～3mであった。
- 2) すべての測線において段差は1～2段確認された。段差の高低差は1m前後であり、段差の上下で土質の連続性は確認できなかった。
- 3) 黒川流域は第四系を中心とした那須火山噴出物ロームにより覆われているが、今回の谷底平野における調査では表層での均一なロームは確認できなかった。

(2) 余笹川堆積卓越区間の調査結果

検土杖で採取したサンプルはシルト～砂～礫であり、その多くは砂及びシルトで構成されていることが判明した。砂の粒度区分は表-2に示す地盤工学会の粒度区分により行い、現地では Grain Size Scale を用いて判別した。

余笹川19.5km地点では、平成10年の洪水時に土砂(砂)が氾濫堆積したとの情報が地元住民への聞き取り調査により得られた。このことから、当該箇所には洪水時の氾濫堆積物が何層も堆積している可能性が高い。ここでは、

表-2 粒度階の粒径区分(地盤工学会資料より)

| 粒径 (mm) | | | | | | | | | |
|---------|-------|------|------|----|------|----|----|-----|----|
| 0.005 | 0.075 | 0.25 | 0.85 | 2 | 4.75 | 19 | 75 | 300 | |
| 粘土 | シルト | 細砂 | 中砂 | 粗砂 | 細礫 | 中礫 | 粗礫 | 粗石 | 巨石 |
| | | 砂 | | | 礫 | | 石 | | |
| 細粒分 | | 粗粒分 | | | | | 石分 | | |

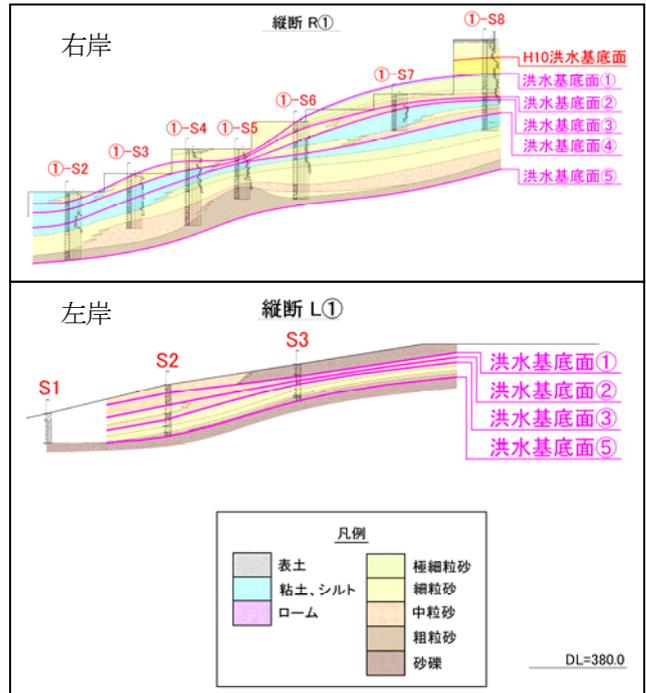


図-5 余笹川 19.5km 地点 R①, L①における氾濫堆積物の縦断分布図(左右岸)

洪水時における堆積層序を以下のように仮定した。

- 1) 堆積する土砂は河岸付近で粗く、離れるに従い細くなるような粒度変化を起こす。
- 2) 堆積する土砂は鉛直(上)方向へ細くなるような粒度変化を起こす。
- 3) 鉛直(上)方向へ粗くなる場合、もしくは極端に粒径が変化する場合は堆積時期が異なると思われる。

現地調査の結果、以下のことが分かった。

- ほぼ全箇所において、検土杖は1～2m程度貫入可能であり、ほぼ全箇所において、先端が砂礫にあたって貫入不能となった。
- 左右岸においていずれも5ユニット(5つの洪水氾濫堆積物と推定)を確認した。最も古い堆積物は、現況河床高と同じくらいか1m程度低い位置に分布する。
- 平成10年洪水の氾濫堆積物は、右岸側は取水施設から流入した土砂が氾濫したような痕跡結果となった。一方、左岸側は砂防流路工が整備されていたが河岸を溢水(一部破壊)する形態で氾濫堆積した。その氾濫堆積物は現在も杉林の中に残っており、コンペネにおいて非常にルーズな堆積物として、検土杖に

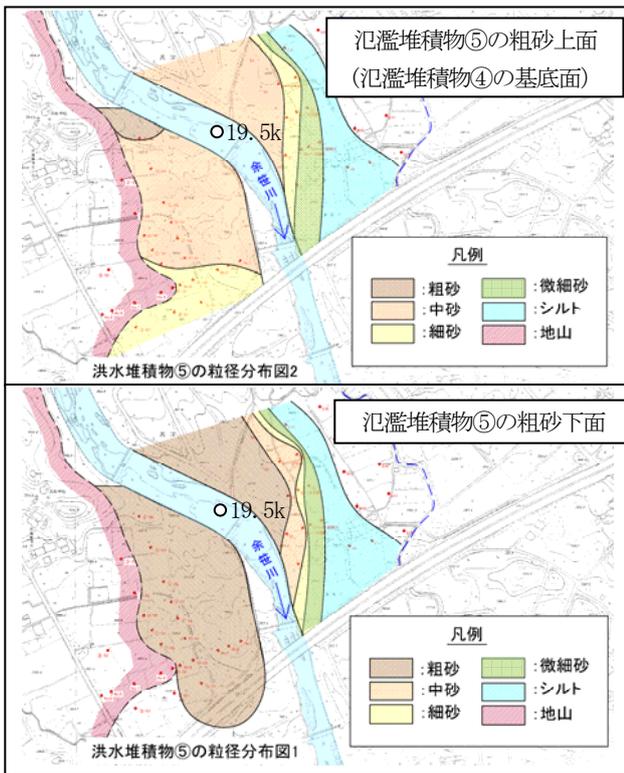


図-6 余笹川19.5km地点の氾濫堆積物⑤の左右岸平面分布(粗砂の上下面)



写真-1 余笹川19.5km左岸の平成10年洪水の痕跡(聞き取りより)

より細砂であることを確認した。氾濫堆積物の範囲は地元への聞き取りにより把握した(図-2参照)。

図-2のグリッド交点で調査した結果をもとに氾濫堆積物の断面図を作成した。左右岸L①、R①の縦断面図を図-5に示す。これより、左右岸ともに5つの氾濫ユニットと考えられる層序を確認した。このうち最も堆積層が厚く広範囲な分布を確認した最深の洪水基底面⑤の粗砂底面と粗砂上面の平面分布を図-6に示す。

5. 考察

(1) 黒川侵食卓越区間の調査結果に対する考察

平成10年侵食幅より無次元侵食幅と無次元流量の関係を求め、福岡の式を用いてその外側にある段差地形の河幅形成時の流量を極值的流量として求めた結果を表-3、図-7に示す。これより、以下のことが分かった。

- 黒川における極值的流量は、平成10年洪水ピーク流量の2.7~3.5倍程度であり、比流量で22~29m³/s/km²と求まった。

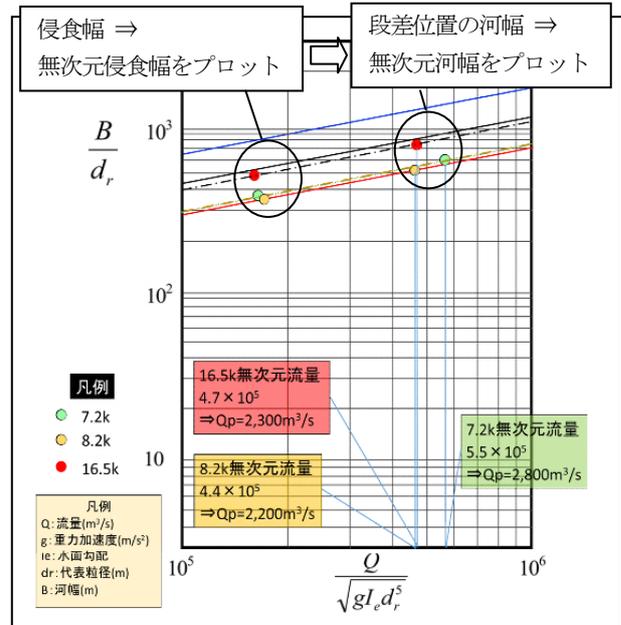


図-7 黒川のH10年洪水侵食幅から極值的流量の推定結果

- 余笹川の侵食幅から求めた極值的流量は、平成10年洪水ピーク流量の2~2.2倍程度²⁾、比流量で26~31m³/s/km²であり、概ね黒川と同程度の値を示した。このことから、前報²⁾の余笹川下流域の極值的流量規模は概ね妥当な値であると考えられる。また、今回の検討から余笹川の極值的流量は那須岳のマグマ噴火による融雪型火山泥流で決定されたものではなく、黒川と同様に異常豪雨によりもたらされた可能性が高い。

(2) 余笹川堆積卓越区間の調査結果に対する考察

平成10年の洪水時には、左岸側河岸を溢した流れにより細砂が堆積した(図-2参照)。そのときの氾濫水位は地元住民への聞き取りより、護岸天端高よりも0.5m高い水位であった(写真-1の奥の杉林の中に平成10年洪水時の氾濫堆積物が残っている)。

図-2に示す細砂が確認された場所では、かつての洪水の基底面⑤において粗砂が堆積していたことが今回の調査により明らかとなった(図-5、図-6参照)。

これら氾濫堆積土砂の質(粒径)が異なることは、洪水規模が異なることを意味していると考えられる。

細砂と粗砂が堆積する環境の違いを無次元限界掃流力の考え方で表し、それぞれが堆積した際の流量の推定を試みた。平成10年洪水の氾濫水深は0.5mであることから、無次元掃流力と細砂(表-2より粒径0.25mm)の無次元限界掃流力(岩垣の式)が一致するエネルギー勾配を逆算すると、 $I=1/20,700$ と求まる。

このエネルギー勾配を変化させて無次元掃流力と粗砂(表-2より粒径2mm)の無次元限界掃流力を一致させると、 $H=2.95 \approx 3m$ と求まる。

これより、粗砂が堆積する条件は、護岸天端の水深が

表-3 黒川侵食卓越区間のH10年洪水時の侵食幅から福岡の式を用いて段差位置での河幅形成流量を求めた結果

| 距離標 | 流域面積 A(km ²) | 平成10年 洪水流量 Q(m ³ /s) | 水面 勾配 ¹⁾ Ie | 被災前 川幅 b(m) | 侵食幅 bmc(m) | 1段目 川幅 ¹⁾ bfp1(m) | 無次元 流量 (H10) Q/(gd ⁵) ^{0.5} | 無次元 侵食幅 bmc/d | 無次元河 幅 (1段目) bfp1/d | 無次元流 量 (1段目) Q/(gd ⁵) ^{0.5} | 1段目河 幅形成 流量 Qp(m ³ /s) | Qp/Q | 比流量 Qp/A |
|-------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|------------------------------------|---|---------------------|------------------------------|---|--|------|-------------|
| 7.2k | 98 | 810 | 0.008 | 60 | 73 | 120 | 1.58E+05 | 365 | 600 | 5.49E+05 | 2.8E+03 | 3.46 | 28.64 |
| 8.2k | 98 | 810 | 0.008 | 50 | 69 | 102 | 1.65E+05 | 345 | 510 | 4.38E+05 | 2.2E+03 | 2.66 | 21.96 |
| 16.5k | 91 | 750 | 0.008 | 40 | 97 | 152 | 1.53E+05 | 485 | 760 | 4.69E+05 | 2.3E+03 | 3.07 | 25.33 |

礫径
d=0.2m
重力加速度
g=9.8m/s²

3mの状態であり、河道内の水深で5.6mとなる。

河道内の水深比は $5.6/3.1=1.8$ となり、マンシングの等流計算で流量比を求めると $1.8^{5/3}=2.7$ と求まる。すなわち、平成10年洪水流量の約2.7倍の流量が流下し、溢水氾濫し粗砂を堆積させたと推定される。

この計算が成り立つ条件として、過去の洪水時も河岸高は写真-1のように2.6m程度あり、河床勾配は現在と同程度 ($I \approx 1/60$) であったこと、また、河岸背後地は現在と同様に河畔林(林)に覆われていたことなどが挙げられるが、河岸高については流路工整備前の自然流路の河岸高が概ね2.6mであることは既存資料により確認している。その他の仮定については推測の域を出ないものの、このような試算により過去の洪水流量規模を推定することは、極值的流量の推定法として十分意味のあることと考えている。

図-6の過去の氾濫堆積物の広がり(堆積範囲)から洪水流量規模の推定精度を上げることも必要である。これら粗砂の堆積区間から河道形成流量が規定する河幅を解明する手掛かりになるものと考えている。

6. 結論

- 1) 前報において余笹川下流域の侵食痕跡と人工改変を受けていない段差地形から福岡の式を用いて極值的流量を推定できる可能性を示した。本報での余笹川中流域の堆積卓越区間における氾濫堆積物の堆積環境から推定した過去の洪水規模の推定値、及び隣接する黒川の侵食卓越区間における余笹川と同様の算出法に基づく極值的流量の推定値との比較において、余笹川下流域で推定した極值的流量は概ね妥当な値であると考えられる。その値は、平成10年洪水ピーク流量の2~2.2倍であり、比流量で $q=26 \sim 31 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ である。
- 2) 余笹川下流域で推定した極值的流量は、那須岳(茶臼岳)の1万6千年前以降のマグマ噴火による火砕流堆積物の分布がほとんど確認されていない黒川における極值的流量とほぼ同規模であることが分かった。これより、余笹川で推定した極值的流量は、融雪型火山泥流によるものではなく、異常豪雨により発生した洪水の可能性が高いと考えられる。

- 3) 余笹川堆積卓越区間の河谷地形から堆積低地へ流出する地点において、氾濫堆積物の分布状況を検土杖により面的に把握することの可能性を示した。さらに、細砂~粗砂の氾濫流の層序を確認することもでき、複数の氾濫履歴を把握する可能性を示した。

7. あとがき

平成27年9月関東・東北豪雨では、観測史上最多雨量に伴い計画高水位を超過する洪水となり、破堤による大規模被害が発生した。今後の気候変動等により計画高流量を超える頻度は高まると予想され、想定最大洪水流量の推定は、河川流域の減災対策を検討するうえで益々重要な課題となる。

未来に起こることを予測して事前にハード、ソフト対策を講じることが私達技術者の使命である。自然現象を対象とする場合、過去に発生した地域ごとの正しいデータの読み取りと分析が重要となる。

本研究では、谷底平野を流れる河川を対象に河川の微地形の調査結果から、谷底平野を創った過去の大洪水の痕跡を調べ、極值的流量の推定を試みている。今後、氾濫堆積物の分布状況と極值的流量の関係を調査・検討しつつ、余笹川の谷底平野形成過程を解明していく予定である。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会: 水災害分野における気候変動適応策のあり方について~災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ~答申, 2015.
- 2) 涌井正樹, 福岡捷二, 佐藤豊, 江川千洋, 味方圭哉: 河川が形成した谷底低地の微地形とその河川地形学的意味に関する考察, 河川技術シンポジウム, 第21巻, pp.437-442, 2015.
- 3) 福岡捷二: 治水と環境の調和した治水適応策としての河幅、断面形の検討方法, 河川技術シンポジウム, 第16巻, pp.5-10, 2010.
- 4) 山元孝広: テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史, 地質学雑誌, 第103巻 第7号, pp676-691, 1997.

(2016. 4. 4受付)