

大河津分水路の河道形状の 長期的変化とその対策工の評価

水工学研究室 登藤 雄平
指導教員 細山田 得三

1. はじめに

大河津分水路は信濃川の河口から約 55km で新潟県のほぼ中央に位置し、信濃川が日本海に最も近づく地点の大河津から寺泊海岸までの全長約 10km の人口的な河川である。

越後平野は低湿地帯で水害多発地域であり、1600 年から 1899 年までの洪水被害は過去 300 年間で 74 回と記録され、約 4 年に 1 回は大被害を受けていることになる。これらの被害を無くすために、増水した信濃川の水の一部を日本海へ流し、越後平野に安定した水を供給するために大河津分水路が建設された。

大河津分水路の地形は分流点から下流約 6km は平地であるが、そこから次第に隆起して約 8.5km 付近からは標高 100m を超える山地が形成されている。そのため、建設時は河口部に形成される山間地の掘削量の低減を図るため、通常の河川とは異なり、分流点での川幅 720m に対し、河口付近では 180m と河口部に向かうに従い川幅が狭くなっている。川幅が狭い分、洪水を流すために河口部の狭い川幅を急勾配にし、流速を大きくすることで必要な流量を確保するという設計により建設された。

このように通常の河川の形状とは異なる大河津分水路では、洪水時には水流に勢いがつき、河床の洗掘が起きている。洗掘の対策工として床留・床固等の施設が建設されたが、通水から約 90 年経過しているため、対策工の老朽化が問題となっている。

2. 研究の目的

安定した河道の確保のために、河川流と土砂の輸送及びそれに伴う地形変化についての数値解析を行う。その結果から、河床低下の傾向の把握・検討を行うとともに床固・床留等の対策工の効果を検討する。

大河津分水路は通水から約 90 年経過しており、その間に発生した洪水時のみならず平常時の河川流及び土砂輸送について長期間に渡って解析を行う。経時的な土砂輸送及び河床変化の傾向を表現することにより、土砂の生成や河床低下が顕著であると予想される箇所の把握・検討することを本研究の目的とした。

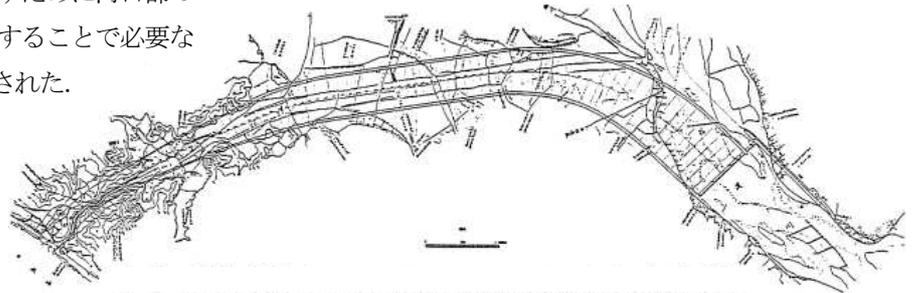


図2 大河津分水路計画平面図
(第5回 日本土木史研究発表会論文集、
大河津分水の現状について)
[右側が上流、左側が下流を示す]

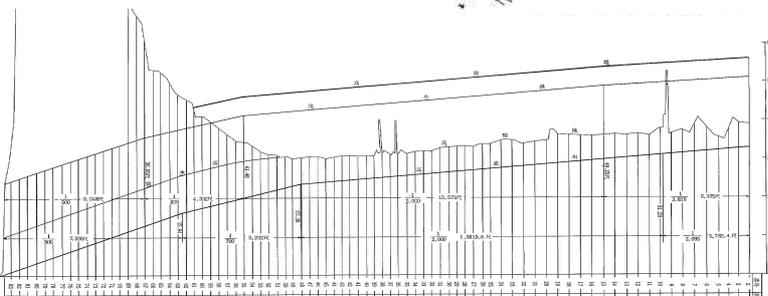


図1 大河津分水路計画縦断面図

(信濃川大河津分水誌第2集別冊, 建設省北陸地方建設局長岡工事事務所)

[右側が上流, 左側が下流を示す]

3. 数値解析モデル

複雑な形状をもった河川について長距離に渡った河道全体を理解し、長期間の解析を行うためには流下方向 1 次元の計算が主流である。そこで本研究では、常射流混在流の河川においても解析を行うことの出来る FDS 法を用い、流下 1 次元での FDS スキームに任意断面形状を取り扱うアルゴリズムを付加した計算プログラムにより、土砂移動計算アルゴリズムによる土砂輸送に伴う河床地形の変化の計算を行った。河川の支配方程式は以下の非線形浅水波の式を用いた。式(1)が非定常流の連続式、式(2)が開水路における運動方程式、式(3)が地形変化に関する土砂連続式である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} v^2 + gh \right) = g(I - I_e) \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = - \frac{1}{(1 - \lambda)} \frac{\partial q_B}{\partial x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial vAC}{\partial x} = K \frac{\partial^2 AC}{\partial x^2} \quad (4)$$

ここに、 t は時間、 x は流下距離、 A は断面積、 Q は流量、 v は流速、 h は水深、 g は重力加速度、 I 及び I_e は河床勾配及びエネルギー勾配、 Z_b は河床位、 q_B は掃流砂量、 λ は砂の空隙率、 C は物質濃度、 K は拡散係数である。流砂量式にはブラウンの式を用い、エネルギー勾配はマンニングの式で評価するものとし、マンニングの粗度係数は $n = 0.025 \text{ (m}^{-1/3}/\text{sec)}$ とした。掃流砂量はブラウンの式で評価するものとしている。解析は (1) ~ (3) 式を FDS 法により、差分化して行う。

4. 解析条件

解析の対象とする期間として、大河津分水路は通水後約 90 年経過しており、その間の長期間の解析を行う必要がある。地質学による見解からの 90 年という期間は短期的な現象と言えるが、水工学による見解からでは 90 年という期間は大変長期的な現象である。そこで本研究では、国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所が実施した横断測量による大河津分水路の地形データを用い、平成 1 年から平成 23 年までの各 1 年間に渡る河川流による土砂

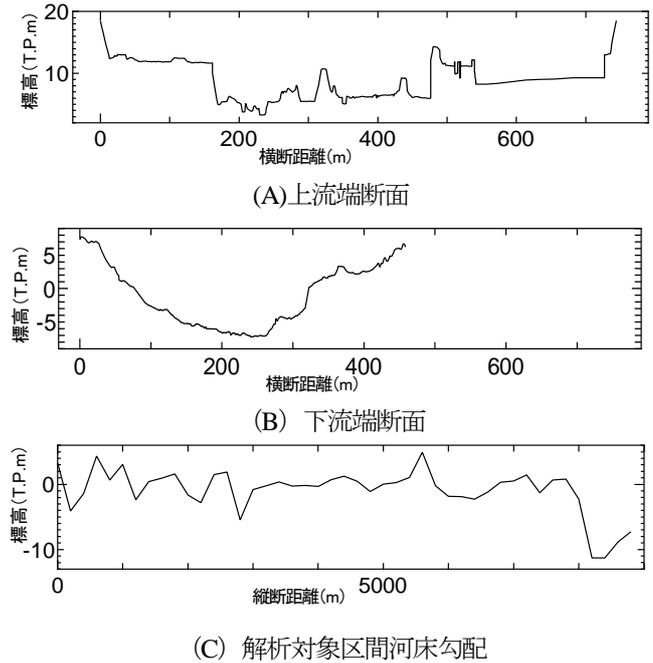


図3 大河津分水路河川形状 (平成 23 年)

輸送に伴う地形変化についての解析を行った。境界条件として流量・水位観測データを与えた。解析に用いた河川形状として、平成 23 年における河川形状を図 3 に示す。

図 3 (C) の河床勾配を見ると、勾配が激しく変化している様子が分かる。さらに解析対象期間が 1 年間と長期間であることから、本研究では、河床を固定し、河床変化を拘束することで、1 年間に渡る長期の解析を可能にした。また、河床上に水が流れると、河床の潤辺には単位体積あたり τ_0 のせん断力が流れと逆方向に働く。一方、水流は潤辺に対し、流れの同方向に τ_0 の力が作用する。この力は河床の砂礫粒子を下流方向へ押し流そうとするので、この τ_0 を掃流力 (河床せん断力) と呼ぶ。さらにブラウンの式を適用する事で、単位幅あたりの掃流砂量 q_b を求めることが出来る。これにより、大河津分水路における掃流力 τ_0 、掃流砂量 q_b を空間的にかつ、1 年間の時間経過とともに表現することにした。さらに、水深、流速、水位について求めることで、土砂輸送との関連性を見出すこととした。これにより、大河津分水路において、どの地点、あるいはどの時期での土砂移動が大きいのかという事や、大雨などにより、流量が増加した時期の水深・流速と土砂輸送との関係性を求めた。

5. 解析結果

本研究では大河津分水路の土砂輸送に伴う河床変化を捉えるために二点解析を行った。一点目は大河津分水路全体に渡る解析として浮遊物質質量 ss から大河津分水路内に輸送される土砂量を算出した。二点目は大河津分水路河道内部の解析として、平成 1 年から平成 23 年までの各 1 年間に渡る水深、流速、掃流砂量の解析を行った。

浮遊物質質量 ss から算出した大河津分水路内の土砂輸送量に関して、大河津分水路における河床変動を考える上で、信濃川上流から輸送される土砂について考える必要がある。そこで、国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所が実施する浮遊物質質量 ss と流量の関係から長期間の解析を行った。観測データから、浮遊物質質量 ss に流量を乗じることにより 1 秒あたりの土砂量 (g/s) が算出できる。これを解析対象期間である 1955 年から 2011 年まで全ての輸送土砂量を加算する事により、大河津分水路における全輸送土砂量を算出した。結果を以下に示す。

1955 年から 1964 年までの 10 年間では、

$$\text{浮遊物質質量 ss (mg/l)} \times \text{流量 (m}^3/\text{s)} \\ = 1 \text{ 秒あたりの輸送土砂量 (g/s)}$$

これにより、

$$1 \text{ 秒あたりの輸送土砂量 (g/s)} \\ \times 1 \text{ 日の秒数 } 86400 \text{ (s)} \times 365 \text{ (day)} \times 10 \text{ (year)} \\ = 1.21 \times 10^{13} \text{ (g)} \text{ となる。}$$

ここで、砂の密度で除すると

$$\frac{1.21 \times 10^{13} \text{ (kg)}}{2600 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = 4,657,366 \text{ m}^3$$

となり、約 465 万 m^3 となる。

同様に、

1965 年から 1974 年までの輸送土砂量は 338 万 m^3
1975 年から 1984 年までの輸送土砂量は 528 万 m^3
1985 年から 1994 年までの輸送土砂量は 286 万 m^3
1995 年から 2004 年までの輸送土砂量は 393 万 m^3
2005 年から 2011 年までの輸送土砂量は 358 万 m^3

以上全て加算し、1955 年から 2011 年までの大河津分水路における輸送土砂量は約 2370 万 m^3 と推定した。

次に平成 1 年から平成 23 年まで各 1 年間に渡る水深、流速、掃流砂量の解析に関して、図 4 から図 6 に平成 23 年の 1 年間に渡る経時変化を示す。図の左部には年間流量による時間的変化を示し、上部には大河津分水路における河床勾配による場所的変化を示す。

図 4 の水深経時変化から、河床が局所的に低い箇所では最低水深が大きく、図 5 の流速経時変化から、河床が急勾配の箇所では流速が大きいことが分かる。図 6 の掃流砂量経時変化では、流速の経時変化と同様に河床が急勾配の箇所では掃流砂量が多い。また、水深、流速、掃流砂量すべての経時変化において、流量の増加に伴いそれぞれの値が増大している様子が分かる。

河床変化を捉えるために図 6 の掃流砂量の経時変化に注目すると、流量の増加に伴い掃流砂量が増加している。さらに、流量が局所的に高い箇所は、平成 23 年 7 月 26 日から 30 日にかけて新潟・福島豪雨が発生し、その流量の増加に伴い、掃流砂量が局所的に増加している様子が見られる。

また、河床が局所的に高くなっている箇所は床固・床留工などの河床低下対策工が設置されており、その直下流部において掃流砂量が増加している様子が分かる。このことから、床固・床留などの河床低下対策工では河床低下が起こらず、その直下流部で河床低下が起こっていると考えられる。これは、対策工とその直下流部での両者の高低差が大きくなり、河床が急勾配になっているためだと考えられる。

6. まとめ

浮遊物質質量 ss による土砂輸送量の推定では、浮遊物質質量 ss、流量・水位観測データから、約 60 年間という長期に渡る大河津分水路における土砂輸送量を推定することが出来た。

平成 1 年から平成 23 年までの各 1 年間における水深、流速、掃流砂量の解析については、大河津分水路における場所的変化及び、1 年間という長期の時間的変化の両面からの土砂輸送、河床変化の傾向を表現することが出来た。その結果から床固・床留工などの河床低下対策工により、河道全体の河床低下を防いでいるが、床固・床留工の直下流部において、土砂の侵食が起り、河床低下が進行しているということが分かった。

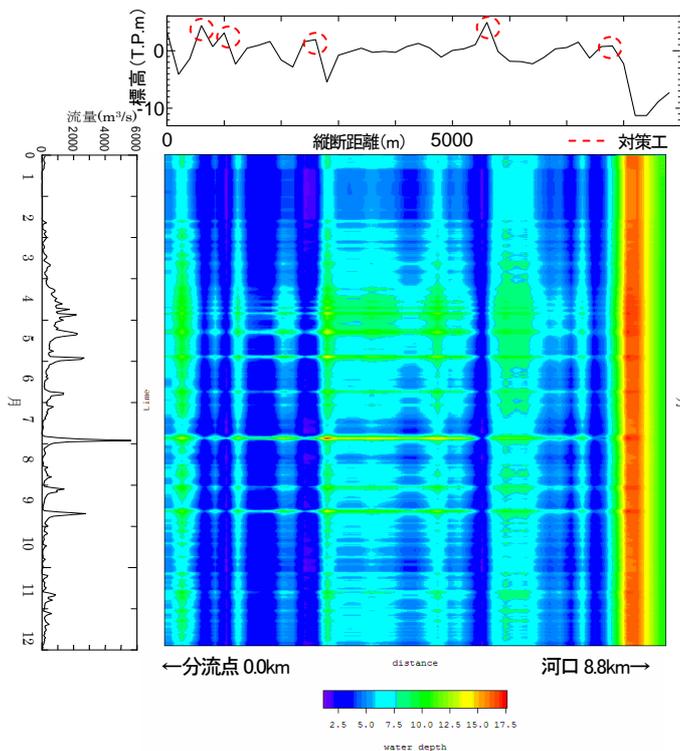


図4 水深経時変化 (平成 23 年)

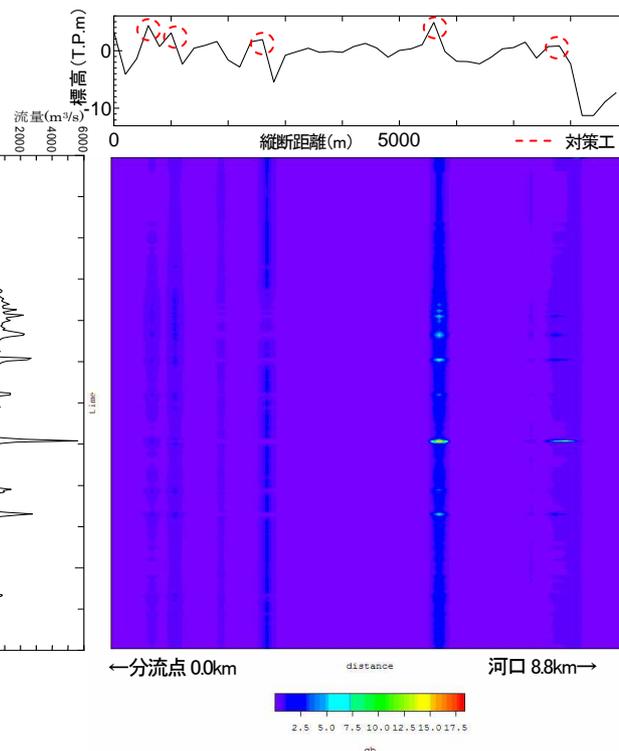


図6 掃流砂量 q_b 経時変化 (平成 23 年)

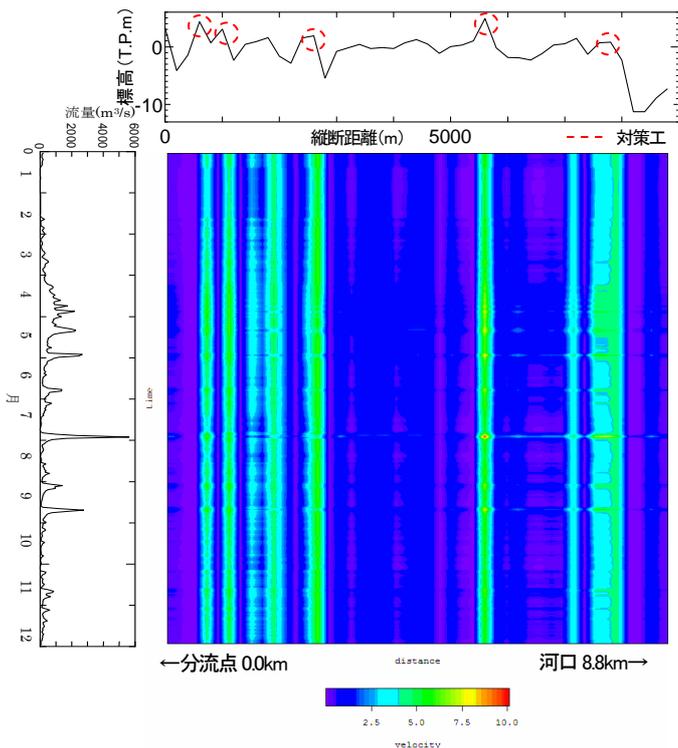


図5 流速経時変化 (平成 23 年)

実際の地形変化の様子を表現することを検討していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局 信濃川河川事務所:大河津分水—今日も人々の暮らしを見守る—, 2011.
- 2) 建設省信濃川河川事務所「大河津分水完工 60 周年記念事業の記録」社団法人 北陸建設弘済会 pp.4-5, 1991.
- 3) 大川秀典, 清水康行, 森明臣: FDS法を用いた開水路における流れの数値計算, 土木学会論文集 No.614, pp.37-49, 1999.
- 4) 山中悠資, 細山田得三: 実河川を想定した一次元開水路における非定常流解析, 土木学会年次学術講演会, 2011.
- 5) 荒井信行, 清水康行: 現場のための水理学 第3回 掃流砂と河床変動, 北海道開発局土木試験所河川研究室
- 6) 建設省北陸地方建設局長岡工事事務所: 信濃川大河津分水誌第2集別冊, 1969.
- 7) 望月達也, 小川淳一, 鈴木栄: 大河津分水の現状について, 第五回日本土木史研究発表会論文集, 1985.

そのため、今後は河床低下対策工直下流部において河床低下が進行すると予測できる。

今後の課題として、本研究では固定床で1年間に渡る解析を行ったが、大河津分水路は通水から約90年経過しており、より長期間の解析かつ移動床での解析を行い、