

汽水湖と海域を結ぶ中小河川における護岸の被災要因*

(株)アルファ水工コンサルタンツ 東北大学大学院工学研究科 堀江 岳人

(株)アルファ水工コンサルタンツ 島崎 恵介

東北大学大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

河川出水時における護岸被災時の力学的要因として、河床洗掘により基礎部に空洞が発生し護岸裏の土砂が流出することによる被災、流体力の直接的な作用によるブロックの移動やめぐれによる被災、護岸裏法部の土砂が吸い出しを受けて流出することによる被災、洪水時など土中に浸透水が取り残されることにより発生する残留水圧が要因となる被災などが挙げられる。被災した護岸の適切な復旧工法の選定にあたっては、保全復元が図られる適切な工法を検討するため、被災した護岸やその周辺箇所における河道特性および被災要因となった外力を適切に把握することが必要不可欠である。特に、河床洗掘が要因の場合の護岸の被災は、その要因や想定される最大掘削深などを分析し、再度の災害防止に留意することが重要である。

本研究において対象とした護岸の被災は、北海道網走市に位置する濤沸湖とオホーツク海を結ぶ全長約400mの浦土別川上流部における左岸側護岸部である(写真-1,写真-2)。濤沸湖は、周囲27.3km、面積約9.3km²のオホーツク海に注ぐ感潮湖であり、湖内は牡蠣の養殖やスジエビ漁など、内水面漁業の漁場として利用されている。また、1年を通して230種以上の野鳥が見られること、更に冬季にはオオハクチョウが飛来するなど生物生息に貴重な湖沼であることから、2005年11月にラムサール条約の指定を受けており、網走市における観光名所の1つとなっている。一方、湖岸すなわち河岸において護岸施設および遊歩道などが整備されているが、護岸の沈下や遊歩道のクラックなどの施設の変状が顕著となっており、観光客や地元の漁業者への安全面に支障を來している状況にある。

本論では、浦土別川の上流左岸側に位置する護岸の被災要因を把握するため、クラック、コンクリート目地開きなどの発生位置や大きさの計測、基礎部の水中目視調査などの簡易的な現地調査を実施した。更に、護岸の現地調査結果と護岸被災箇所前面での河道内流況調査および流況・漂砂シミュレーション結果を付け合せ、本対象護岸の被災要因について検討を行った。



写真-1 浦土別川における左岸側護岸部

*Suffer example of river wall in tidal river by Takehito Horie, Keisuke Shimazaki and Hitoshi Tanaka

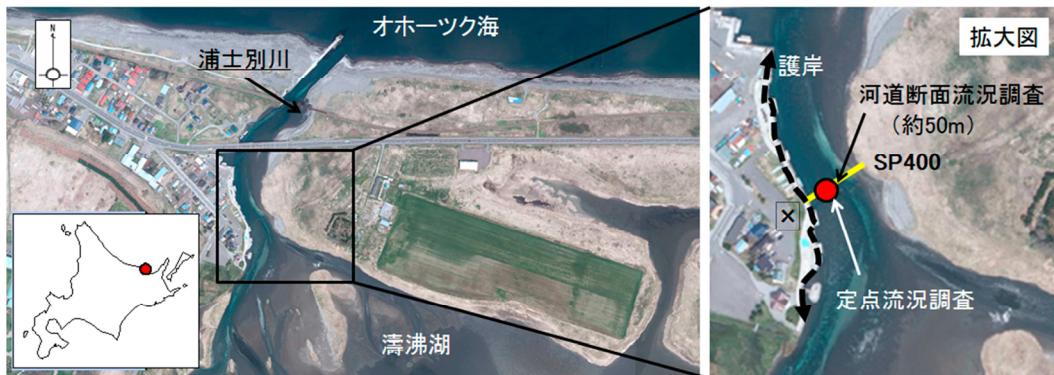


写真-2 浦士別川および濤沸湖の航空写真（右図の拡大写真に水文調査箇所を記載）

2. 浦士別川および濤沸湖の概要

1977年の浦士別川河口導流堤の整備後、濤沸湖内の浦士別川上流端側において、湖内砂州の発達が著しい状況下にある（写真-2）。近年に実施された河道における水文調査結果より、砂州の堆積要因は海域の土砂が浦士別川を通過し湖内側への移動していることが要因と判明した（Horie et al. (2013)）。また、浦士別川の河口部では冬季に河口閉塞がしばしば発生し、それに伴って河川氾濫が発生するなど、治水上問題となっている。一方、濤沸湖の上流側では、浦士別川を始めとする小河川が濤沸湖に流入しているが、常時の流量は数 $m^3/\text{秒}$ と非常に少ないため、出水による河川水位の急激な上昇は、近年においてほとんど見られない。

対象とする浦士別川の河道幅は、河口部では約 25m であり、上流側に向かうにつれて河幅は広くなっている（写真-2）。河道内の粒径は、海岸から連続する形で海浜砂が堆積しており上流側に向かうにつれて砂～中砂と徐々に細粒化する傾向が認められた。河道内の中央粒径は、約 0.35mm である。河床勾配は約 1/500 であり、左側に凸の緩やかな蛇行河川である。

3. 護岸の被災状況の把握

（1）護岸の形状

浦士別川上流における既設護岸の標準断面形状は、場所打式コンクリートの表面に化粧板を施した形状である（図-1）。

（2）護岸の現地調査

護岸の被災要因の検証を目的として、護岸本体部の変状を把握するため平面測量および縦断測量、クラック位置の平面位置の計測、基礎部の水中目視調査などの簡易的な現地調査を実施した。なお、本体正面部の水中法面については、牡蠣や藻などの付着生物が多く、細部のクラック等の把握が困

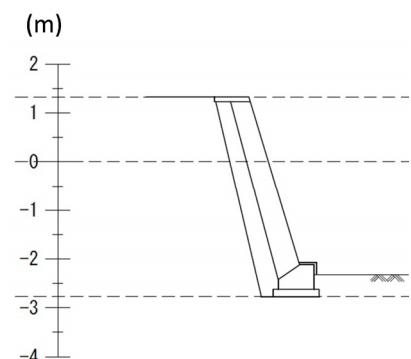


図-1 既設護岸の標準断面図

難な場所も一部あった。具体的な現地調査方法については、本論では割愛する。

(3) 護岸の変状

ほとんどの護岸全面における水叩き部において、クラックが確認された（写真-3）。また、コンクリート部や積みブロックの目地部の開きや、ブロックの剥離などが確認された（写真-4）。これらの被災要因については、築造年次が古いことから経年変化による老朽化や地震などが被災要因の一つと考えられるが、明確な要因の把握までは至らなかった。

一方、河道 SP400（写真-2）の周辺では、基礎コンクリートの下端部において洗掘が顕著に見られた（写真-5）。また、一部では護岸裏法部の土砂が吸い出しを受けて流出し、護岸そのものが沈下している箇所があった。河道 SP400 の河道横断形状は、年間を通して河道断面は安定しており、最深の河床位置が左岸側に位置して右岸側に向けて徐々に浅くなっている特性を有している（図-2）。



写真-3 護岸の天端コンクリート劣化状況（左：水叩き部のクラック、右：上部工段差）



写真-4 護岸の目地開き状況
(左：コンクリート、右：積みブロック)

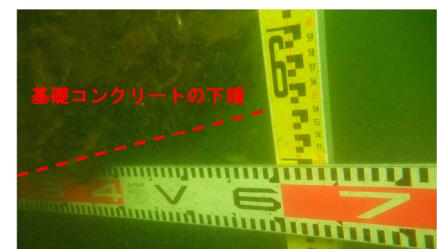


写真-5 基礎部の洗掘状況（SP400周辺）

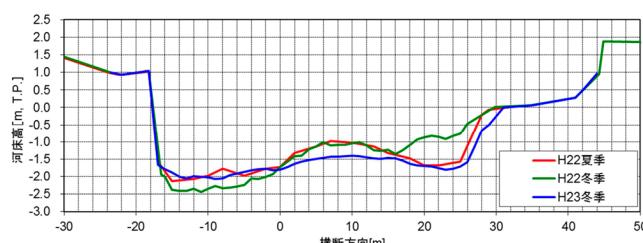


図-2 河道断面横断図（SP400）
(測量日：2010年8月下旬、2010年12月下旬および2011年12月下旬)

4. 護岸の被災要因に関する考察

上述したように、河道SP400の周辺では護岸基礎コンクリートの下端部において洗掘が顕著に見られた。本要因を検証するため、SP400周辺の河道特性の把握を目的として、既往の現地水文調査（Horie et al. (2013)）の再検証および流況・漂砂数値シミュレーションを実施した。

(1) 水文調査

a) 定点流況調査

河道内における流況特性の検証には、Wave-Hunter(有)アイオーテクニック製、以下、WH)を用いたSP400での定点流況観測結果を用いた。WHは、左岸から約10m地点に鋼製の架台を用いて固定し、WHの流速センサーが河床から約0.5mの高さになるように設定されていた（写真-2）。データサンプリング時間は、1時間毎に0.5秒で20分間の連続観測とし、観測期間は2011年11月23日～12月24日であった。

調査結果より、順流と逆流の流速（絶対値）に着目すると、全観測期間中において基本的に順流よりも逆流の方が速かった（図-3）。特に、大潮時において速く、11月25日8:00では約1.0m/秒の逆流が発生していた。一方、観測期間中の12月4日に7mm以上の降雨があったが、河道内の流況にほとんど変動が見られなかった。これは、濁沸湖が大きな貯留効果を有していることに起因すると考えられる。以上の結果より、河道内は潮流の影響が支配的な外力と考えられる。

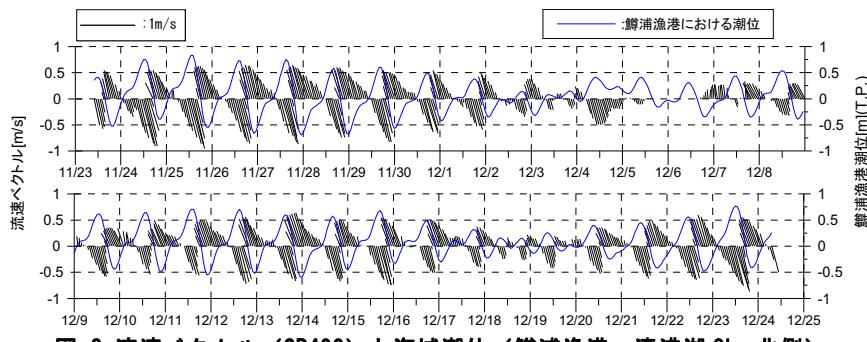


図-3 流速ベクトル（SP400）と海域潮位（鰐浦漁港：濁沸湖8km北側）

b) 断面流況観測の概要

護岸の変状が著しかった河道SP400周辺における河道横断方向の流況構造の検証には、河道SP400周辺の1断面付近（写真-2）にて実施されていた多層式流速計（Teledyne RD Instruments社製、以下、ADCP）によるボトムトラッキングでの断面流況調査（以下、BT調査）を用いた。BT調査は、河床面に向けたADCPを観測船に固定し、河道両岸にロープを渡した上で観測船を移動させ実施されていた（写真-6）。BT観測は、大潮時の12月23日において1時間間隔で実施し、データサンプリング時間は0.2s、観測層厚0.2m、ピング数は3であった。

調査結果より、上げ潮時では右岸側と比較して左岸側の流速が速く、1.0m/秒を超えていた。なお、図は割愛するが、下げ潮時では上げ潮時と比較して流速は低いが、同様に右岸側と比較

して左岸側の流速が卓越していた。

以上の定点流況観測および断面流況観測の結果より、SP400 における基礎部の洗掘は、潮流の作用で発生した可能性が高いことを示唆していた。



写真-6 断面流況調査の観測状況 (SP400)

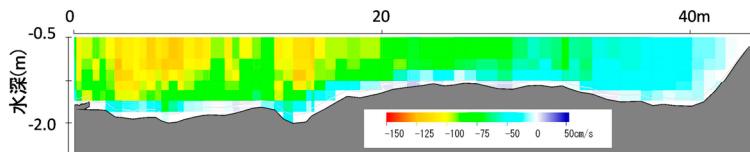


図-4 断面流況図 (St. 400, 2011年12月23日13:00)

(2) 流況・漂砂シミュレーション

潮流の作用による河道内での土砂移動特性を把握するため、図-3の鰐浦漁港における潮位変動を外力とした流況・漂砂シミュレーションを実施した。

a) 流況計算モデル

流況計算モデルは、非粘性・非圧縮性ナビエ-ストークス方程式を基に、連続の式および運動量保存の式を鉛直方向に積分することによって得られるサン-ベナンの式を用いた。本モデルの支配方程式を、以下に示す。

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g}{C^2}\frac{p\sqrt{p^2+q^2}}{h^2} \cdots (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right) + gh\frac{\partial H}{\partial y} + \frac{g}{C^2}\frac{q\sqrt{p^2+q^2}}{h^2} \cdots (2)$$

$$= h\frac{\partial}{\partial x}\left(E\frac{\partial(p/h)}{\partial x}\right) + h\frac{\partial}{\partial y}\left(E\frac{\partial(p/h)}{\partial y}\right) = h\frac{\partial}{\partial x}\left(E\frac{\partial(q/h)}{\partial x}\right) + h\frac{\partial}{\partial y}\left(E\frac{\partial(q/h)}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \cdots (3)$$

ここに、 x, y ：平面座標、 p, q ：それぞれ x, y 方向の質量フラックス、 C ：Chezy数、 E ：渦動粘性係数である。河川流曲部では、遠心力の不均衡により遠心力の不均衡により、底面近くでは内側へ水面近くでは外側へと向かう二次流が発生する。特に、河川の流曲部の河床変動では二次流の効果が重要であることから、底面摩擦力の偏向角として考慮した。また、底面摩擦力および浮遊土砂移動を求めるために必要な鉛直方向の流速分布は、対数分布を仮定した分布関数により流線方向 x 軸方向の流速 u の鉛直分布を与えた。

b) 河床変動計算モデル

河床変動モデルは、浮遊砂量と掃流砂量を算出し、流砂の連続式より地形変化量を算出したファン ラインのモデルを用いた。掃流砂量 S_{bl} (m^2/s)、浮遊砂量 S_{sl} (m^2/s) は、それぞれ次式で与えられる。

$$S_{bl} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \sqrt{(s-1)g \cdot d_{50}^{-3}} \cdots (1)$$

$$D_* = d_{50} \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdots (2)$$

$$S_{sl} = f \cdot c_a \cdot u \cdot h \cdots (2)$$

ここに, s : 相対的な砂の比重 (ρ/ρ_s), d_{50} : 土砂の中央粒径, T : 無次元移動段階パラメータ, D^* : 無次元粒子パラメータである。 T は, 限界摩擦速度と有効摩擦速度で定義され, D^* の関数として限界シールズを求めている。ここで, c_a : 底層濃度, f : 浮遊砂量の修正係数である。

c) 計算条件

上流端境界における河川流量は, 観測期間中の降雨が河道内の流速にほとんど影響が無かつたことを考慮し, ゼロとした。土砂粒径は, 0.35mmとした。地形モデルは, 2011年12月実施の河道横断測量および海域深浅測量結果を基に, 計算格子を縦断方向に80個, 横断方向に245個としたカーブリニアグリッドモデルとした。

d) 計算結果

地形変化量は, 横断測量データが少なく定量的な評価は困難であるため, 定性的な評価に留めた。潮流の作用により, 河道SP400の左岸側の河岸は侵食傾向となっており, これは蛇行に伴う二次流の影響が大きいものと考えられる(図-5)。本結果より, 河道SP400の周辺における護岸基礎コンクリートの下端部の洗掘は, 潮流の作用により生じた可能性が高いと考えられる。

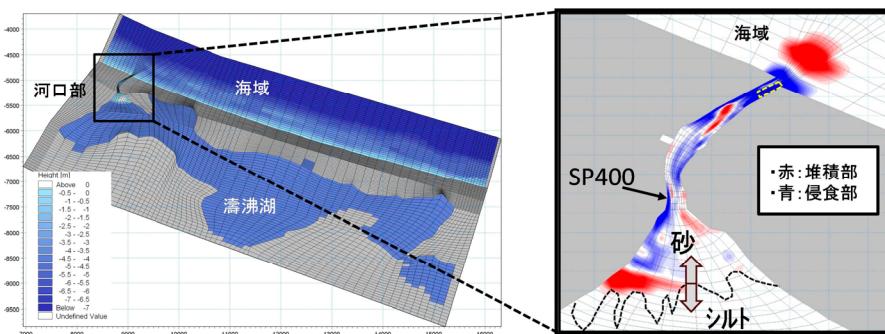


図-5 断面流況図(St. 400, 2011 年 12 月 23 日 13:00)

5. 考察

浦士別川における土砂の主要な供給源は, 海域からの土砂であると考えられる(Horie et al. (2013))。そのため, 沿岸漂砂に伴う河道内への土砂の押し込み量によって, 河道内の土砂形態が決定すると考えられる。河道内への土砂供給量が減少した場合は, 洗掘深がより深くなることが示唆されるため, それに応じた護岸構造とすることに留意すべきである。

参考文献

- Takehito HORIE, Hideto KAMADA, Keishou NIREI, Kazuki YAGISAWA, Masaki SAWAMOTO, Hideo KONDO(2013): THE DEVELOPMENTAL PROCESS OF SHOALS BASED ON OBSERVATIONS IN TOUFUTSU LAKE, JAPAN, The 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2013.