

石狩川下流河岸の安定化について —波浪による河岸侵食防止と多様な河岸線の回復—

STABILIZATION OF RIVERBANKS AT THE DOWNSTREAM OF ISHIKARI RIVER
-PREVENTION OF BANK EROSION CAUSED BY WIND WAVES AND RECOVERING
DIVERSE BANK LINES-

手代木隆二¹・森由行²・渡邊康玄³

Ryuji TESHIROGI, Yoshiyuki MORI and Yasuharu WATANABE

¹国土交通省北海道開発局石狩川開発建設部札幌河川事務所(〒005-0032 札幌市南区南 32 条西 8 丁目 2 番 1 号)

²株式会社北海道技術コンサルタント(〒065-0043 札幌市東区苗穂町 4 丁目 2 番 8 号)

³正会員 工博 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号)

Since the flood in 1981, dredging works have been conducted to expand the channel width at the downstream Ishikari River in Hokkaido, Japan. As a result, bank erosion was generated and the shape of river bank was simplified at the most part of the right side bank. However, such phenomena are not generated at the left side bank. It was revealed that wind waves were the primary cause of erosion by the field observation in 2004. Erosion control measures were examined in 2005, leading to the invention of a wind wave mitigation net aimed at restoring the diversity of bank lines at a lower cost. For field test, three types of wave-dissipating works were devised and their effectiveness has been confirmed on site since late March 2006. Another objective of the works was the sediment deposition that would serve as the foundation of emergent plants. With the passage of time, the deposition progressed between the slopes and breakwaters, and a foundation for creating bank line diversity is currently being established.

Key Words : bank erosion, wind wave, breakwater, field observation, field test

まえがき

石狩川下流右岸の河岸は、平成 5 年～平成 14 年にかけて実施した浚渫工事以降、安定が保たれず侵食が進行している。平成 16 年の現地調査から、河岸侵食の主な要因は風波、河岸を構成する土層、河岸植生であることが明らかとなったため、平成 17 年より侵食対策工の検討に入った。対策工は主に消波構造物によるものとし、風波の減衰、植生の活着、地盤の安定を図ることとした。本報告では、河岸侵食の要因と対策工の検討、模型実験、試験施工に至った成果と課題について報告するものである。

1. 対象地点

石狩川下流で河岸の侵食が激しい箇所は KP9.0～

KP18.0 の右岸側であり、平成 9 年から平成 16 年までに 17m 程度侵食された場所も存在する。その水際はほとんどが垂直に切り立っており、水際植生はほとんど見られない単調な河岸となっている。これに対し、左岸側の水際は比較的緩やかな横断勾配を持ち、植生に覆われている箇所が多い。

当該地の風向・風速については、結氷期を除く年間の風を 4m/s 以上の強風に絞り込むと図-1 のような風配図となり、西北西の卓越した風向から風波は右岸にあたる頻度が高くなる。

2. 資料整理・現地調査方法

(1) 河岸侵食速度

平成 14 年と平成 16 年の測量データから各河岸の侵食速度を算定した。侵食量の測定は標高 0m～高水敷法肩までの部分で行い、横断方向の平均侵食幅を

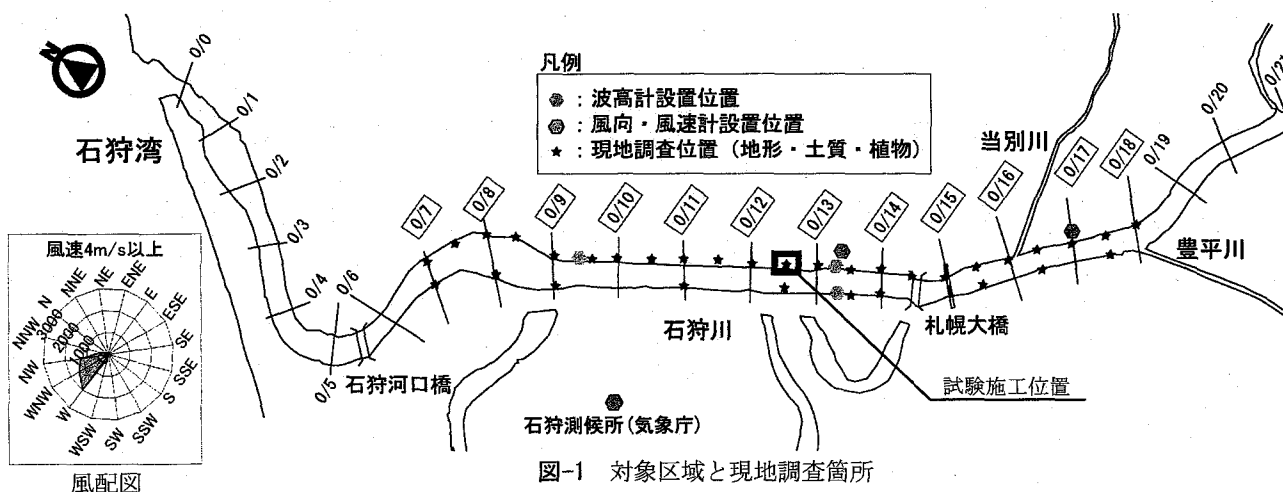


図-1 対象区域と現地調査箇所

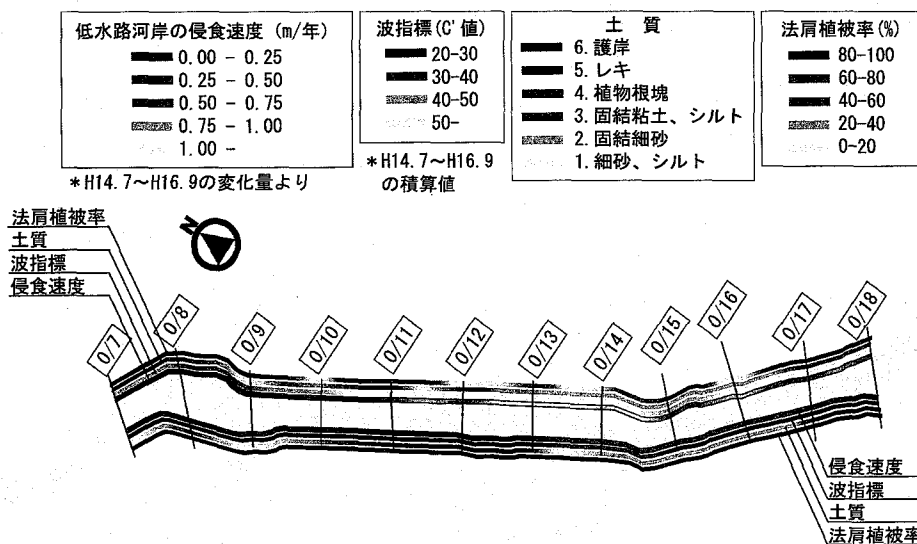


図-2 資料整理・現地調査結果

測定して、1年あたりの侵食速度を算定した。

(2) 河岸が受ける波の量（波指標）

平成14年～平成16年までに、各河岸にどれくらいの波の量が到達しているかを算定した。指標値としては堀川ら(1973)¹⁾が提案した前浜の侵食・堆積の判別式(C値)を改変して使用することとした。C値は、 $C=(H/L)(\tan \beta)^{0.27}(d/L)^{-0.67}$ で表され、この値が大きいほど前浜は侵食傾向となる。ここにH(m):波高、L(m):波長、 $\tan \beta$:海浜勾配、 d_{50} (m):海浜材料の中央粒径である。ここで、波だけの成分のみで表現したいため、海浜勾配、海浜材料は定数として消去した形を求め、これをC'値と定めた。C'値は $C'=H \cdot L^{-0.33}$ となり、波エネルギー(指標)とした。以上のようにして求めた式に、過去2年間の毎正時に河岸に到達した波高・波長を代入して積算することにより、各河岸の波指標を求めた。

3. 対策工の基本方針

(1) 対策の方針

現地調査による法肩植被率、土質、侵食速度と波指標を図-2に表すが侵食は波の影響が大きいことがわかる。よって、対策は河岸侵食(現況)→風波(原因)→消波構造物の配置(対策)→地盤の安定化・植生の活着を計り、河岸に起伏をつけて河岸環境の多様化を図ることを目的に、消波方法をイメージした。

(2) 消波方法

消波構造物の素材は空隙率の高いものを使用して、消波に際しては構造物への負荷や反射波をできる限り減らす方針とした。さらに、構造物の形状は河積阻害や、結氷、内水面漁業を考慮し、縦断方向に長い膜状のものとした。

4. 消波膜の機能実験

(1) 実験方法

実験は(独)寒地土木研究所が所有する長さ24m、

表-1 実験結果

ケース	消波膜 1 の開口率	消波膜 2 の開口率	透過前波高	透過波高	透過率	うちあげ高
1	33%	設置せず	20.34 cm	10.49 cm	52%	22cm
2	25%	設置せず	20.46 cm	9.26 cm	45%	25cm
3	17%	設置せず	20.74 cm	7.37 cm	36%	32cm
4	17%	25%	19.30 cm	5.07 cm	26%	25cm
5	17%	33%	19.10 cm	5.14 cm	27%	22cm

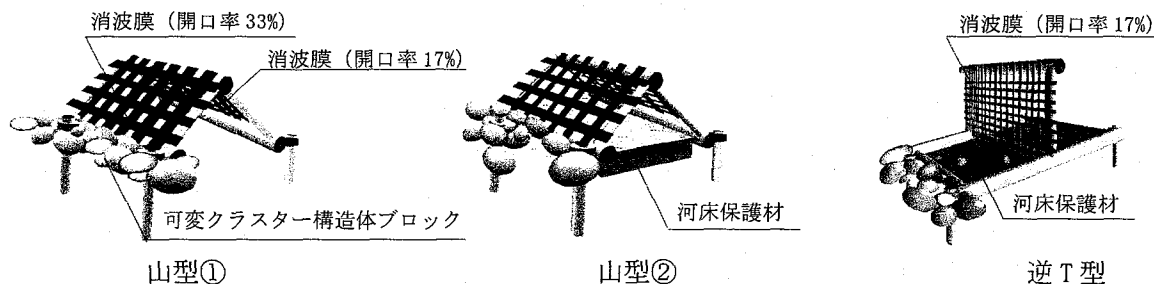


図-3 消波構造物の試験タイプ

高さ 1m, 幅 0.8m の実験水槽を使用して, 水深 60cm, 波高 20cm, 波の周期 3.5 秒の条件により実物大の消波実験を行った. 実験水路のほぼ中央に消波膜を置き, その前後に 2 基ずつ合計 4 基の容量式波高計を設置して, 消波膜透過前の波高と透過後の波高を計測した. これにより, 消波膜による波の透過率を算出した. また, 側面からビデオ撮影により, 消波膜で碎波した波のうちあげ高を計測し, 波による衝撃・反射の指標とした. 実験は消波膜の開口率及び枚数の異なる 5 ケースについて実施した.

(2) 実験結果

それぞれのケースについて, 波の透過率, うちあげ高等の結果を表-1 に示す. 実験の結果, 消波膜を 1 枚のみ設置したケース 1~3 の場合は, 開口率が小さくなるにつれて透過率は小さくなり, 波のうちあげ高 (衝撃) は逆に高くなった. 消波膜を 2 枚設置したケース 4, 5 の場合, 1 枚のみ設置したいずれのケースをも下回る透過率となり, かつ, うちあげ高はケース 3 より小さかった.

(3) 消波膜の使用ケース選定

波の減衰目標は, 試験施工地である右岸の C 値が, 植生の繁茂が良好な左岸の C 値とほぼ同等以下になるよう定めることとした. つまり, 右岸の C 値: 50 が左岸 C 値: 30 にまで落ちるような波高透過率を求めればよい. C 値を波高のみの関数で表すと $C = H / (g(0.1009H + 1.1651)^2 / 2\pi)^{0.33}$ となる. ここで, H: 波高, g: 重力加速度である. 右岸の C 値を 30 以下に低減させるためには, 上記の式において H を 45% 未満にしなければならない. つまり, 波高の透過率が 45% 未満であることが求められる.

実験結果から, 消波構造物に使用する消波膜はケ

ース 3~5 が使用可能と判断した. また, ケース 4 と 5 は減衰率がほとんど変わらないので, うちあげ高の低いケース 5 のほうが効率的と考えた. ケース 3 は透過率が劣るものの, 消波膜は 1 枚でコストは低くなり, 有効な工法となる可能性がある. よって, 試験施工に用いる消波膜はケース 3, ケース 5 とした.

5. 消波施設の基本構造

消波施設の基本構造を決定するため, 水位変動及び横断形状から, 天端高, 設置河床高について検討を行った.

当該地域は水位変動の大きい場所であるため, 消波工の天端高は水位状況と現地で発生する波高から決定した. 平成 16 年 9 月~12 月に実施した現地の河岸に到達する波高の観測結果では, 平均波高の最大値が 20cm であった. 天端高は完全に水没しない期間が全体の 95% 以上となるよう定めた.

$$\begin{aligned} \text{天端高} &= \text{積算時間 95\% 以上水位 (0.9m)} + \\ &\quad \text{観測平均波高の最大値/2 (0.1m)} \\ &= 1.0\text{m (標高)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{設置河床高} &= \text{潟水位 (0.04m)} - \text{観測平均波高} \\ &\quad \text{の最大値/2 (0.1m)} = -0.06\text{m} \end{aligned} \quad (2)$$

6. 試験施工

(1) 消波構造物 (消波工) の試験タイプ

構造物の試験タイプはコスト, 予想消波効果, 強度の異なる 3 タイプ (図-3) とし設置延長は, 回折

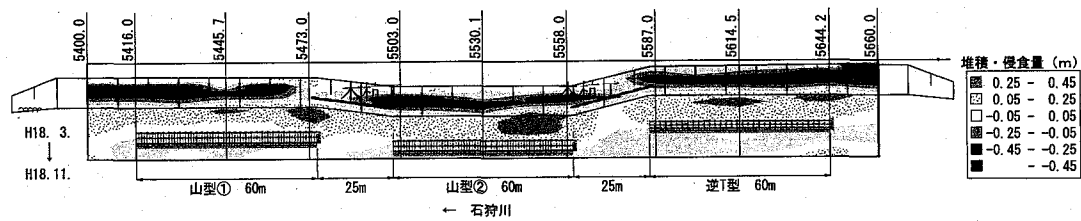


図-4 地形変化コンター図

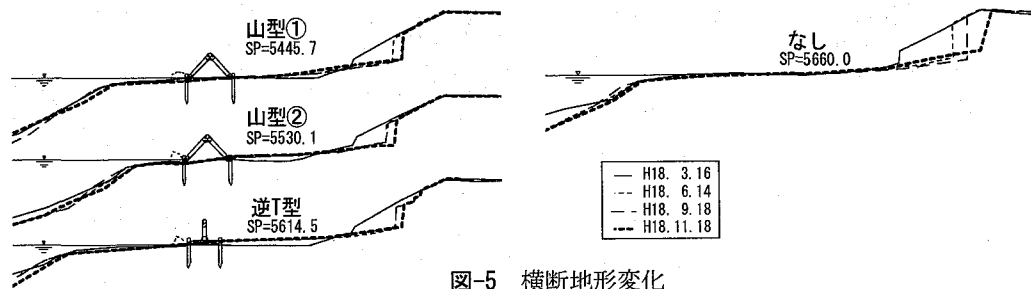


図-5 横断地形変化

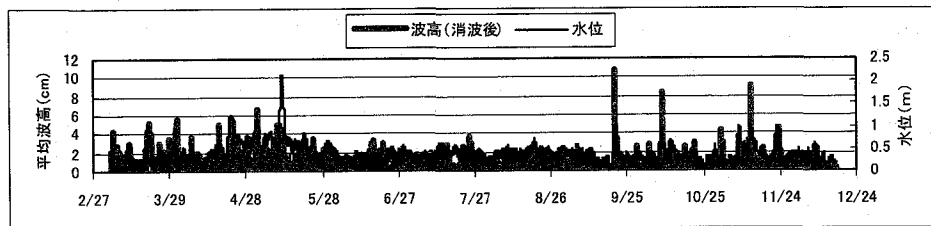


図-6 風波・水位調査結果

注) 波高は平均波高で示した。

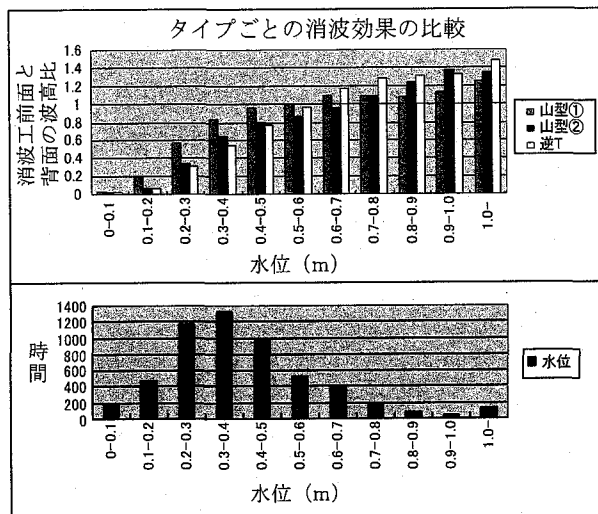


図-7 消波効果の比較と水位頻度

波の影響を考慮しそれぞれ $L=60\text{m}$ とした。

(2) モニタリング結果

a) 地形変化

平成 18 年 3 月 (施工当初) から平成 18 年 11 月までの侵食・堆積深コンターを図-4 に示す。全体として消波工が配置されている河岸で侵食量が少なく、消波工が配置されていない区間で侵食が激しい傾向

にある。ただし、消波工と消波工の間の河岸は木杭工を配置しているため、一定量以上に侵食が進まない状況になっている。また、消波工の岸側は堆積傾向であるが、河床保護材の入っていない山型①は堆積が少ない状況である。

消波工各タイプ及び無施工区間 (消波工なし) の横断図を図-5 に示す。消波工における横断位置は構造物中央、無施工区間は上流端の横断を使用している。消波工施工区の河岸侵食は初夏までは急速に進み、その後、侵食は緩やかになった。一方、消波工がない区間は平成 18 年 11 月に至るまでコンスタントに侵食されている。消波工のタイプ別にみると、若干の差はあるが、山型②、山型①、逆 T 型の順に侵食は少ない。

b) 風波観測

風波観測結果及び現地の水位状況を図-6 に示す。風波は消波工透過後の 3 地点の波高を平均したものであるが、全般的に春季、秋季に高い波が発生している。水位は 5 月頃に高い時期が見られる。これは融雪出水に起因するものである。

消波工タイプ別、水位別の消波効果を図-7 に示した。消波効果は消波工の透過後波高/透過前波高で示している。水位別に見ると、水位が低い時には消波

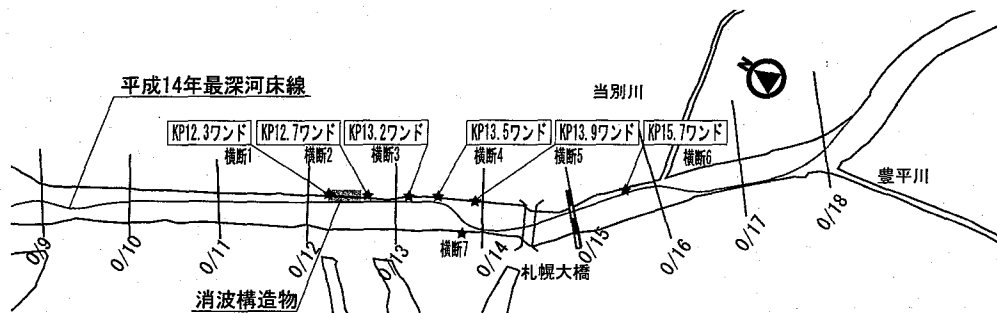


図-8 小ワンド群調査位置図

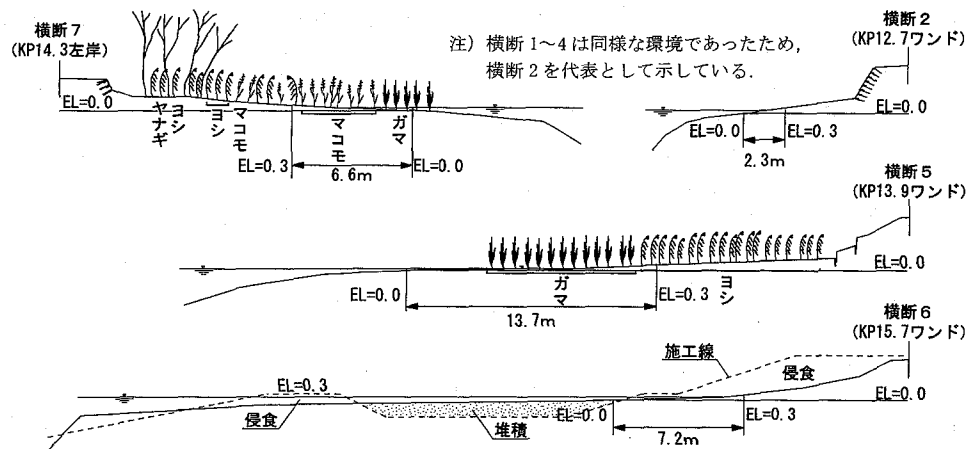


図-9 小ワンド群調査結果

効果が良いが、水位が高くなると消波効果が悪くなる傾向にある。これは、水位が低いときには消波工前面に配置した根固工や消波工底部の河床保護材などの消波効果が加わっていると思われ、水位が高いときは消波構造物上下流端から回折する波や、河岸に到達した波の反射波が大きくなるためと推測される。

消波工別に見ると山型①は低水位時期に他のタイプに比べ効果が低く、逆T型は高水位時期に効果が低くなる傾向にある。山型①は河床保護材を配置していないため、低水位時に他のタイプのような高い効果が得られなかったと思われる。逆T型で高水位時期に効果が低くなる原因については不明である。

(3) モニタリング結果のまとめ

本調査結果から、消波工を以下のように評価した。

- ① 消波工は河岸に到達する波を減勢し、河岸侵食を抑制する効果が認められた。
- ② ただし、消波工施工区間においても河岸侵食は現在も緩やかに進行しており、河岸植生もほとんど見られない状況である。よって、さらなる消波効果の促進が必要である。
- ③ 消波効果の促進には、高水位時の回折波対策等の検討が必要である。

(1) 調査目的

浚渫工事後における左岸側河岸線の状況は、河岸線全体にわたって安定が保たれ、抽水植物の繁茂により多様性の回復が著しい。右岸側河岸線ではほぼ全体に亘って侵食が進行中であるが、特定の箇所だけが左岸と同じ状態に回復している。

こうした現地の安定・回復条件を把握することは、消波構造物の改良・対策を進める上で重要なポイントとなるため現地調査を実施した。

(2) 小ワンド調査位置・項目

図-8に示される右岸側6地点は、環境の多様化を目的として浚渫工事に付随して造成された小ワンド群である。小ワンド群は、平成8年～平成12年に6箇所造成（右岸側）されたが、その多くは河岸侵食により機能を失っている。しかし、平成10年に施工された小ワンドは安定を保ち抽水植物が繁茂している。左岸側1地点は昭和60年に浚渫工事が実施された箇所であり比較対象として選定した。調査項目は下記の通りである。

- ① 河岸横断地形計測及び植生調査
- ② 資料整理（石狩川最深河床、小ワンド施工形状・変遷記録）

(3) 調査結果

調査結果を図-9、表-2に示す。横断1～4は同様

7. 消波構造物改良に向けての現地調査

表-2 河岸植生の活着とその要因推定

地点	植生の 活着	柵の長さ (m) *1	波指標*2	水衝部 ・水裏	施工後 の年数	入り江形状 の有無
横断 1 (KP12.3 ワンド)	×	7.5	54.0	水衝部	10 年	無
横断 2 (KP12.7 ワンド)	×	2.3	54.0	水衝部	10 年	無
横断 3 (KP13.2 ワンド)	×	2.2	55.9	水衝部	9 年	無
横断 4 (KP13.5 ワンド)	×	2.9	57.7	水衝部	9 年	無
横断 5 (KP13.9 ワンド)	○		59.5	水裏部	8 年	有
横断 6 (KP15.7 ワンド)	×	7.2	46.3	水衝部	6 年	有
横断 7 (KP13.8 左岸)	○	6.6	35.9	水衝部	21 年	無

*1 柵は波が河床の摩擦を受けて、エネルギーが減勢される箇所として位置づけている。よって、今回は暫定的に EL=0.0m~0.3m (平水位) の箇所とした。

*2 波指標は、既往調査²⁾で石狩川下流域の各河岸に到達する直前の波がどの程度のエネルギーであるか推算された値である。

な環境であったため、横断 2 を代表として図-9 に示した。また、表-2 は図-9 に示された結果及び河道特性等の資料を整理してまとめたものである。

調査結果から、河岸に抽水植物が見られ、河岸の安定・環境の多様化が図られている箇所は横断 5 (KP13.9 ワンド)、横断 7 (KP13.8 左岸) の 2 箇所であった。河岸抽水植物の活着に寄与したと思われる要因を、表-2 に網掛けをして示した。

横断 5 (KP13.9 ワンド) は、他の地点に比べて柵の長さが極端に長く、長い柵が進入してくる波を減勢させていることが、植生の活着に寄与したと思われる。ただし、本地点は唯一水裏部に存在する。水裏部のため、土砂や植物の種子・地下茎などが堆積しやすく、このことが植生の活着に寄与している可能性があることも否定できない。

横断 6 (KP15.7 ワンド) の破線は浚渫時に地盤を潜堤状に残し、消波効果を期待しワンドの機能を維持しようとしたものである。しかし、潜堤が水位変動に対応していないことや、度重なる風波によって潜堤頂部が侵食され消波効果が低下し、ワンドの維持及び河岸侵食を防止できなかったと思われる。

断面は、EL=0.0m 以下の柵が長く存在するが、EL=0.0m 以上の土砂堆積は無く植生の活着も見られない。

横断 7 (KP13.8 左岸) は、波指標が低く施工後 21 年経過していることが、植生活着の要因と考えられる。

(4) 小ワンド群調査結果のまとめ

調査区域で短期間に河岸植生が活着するためには、以下のような条件が必要と推測される。

- ① 風波の強い右岸の場合、10m を超える長い柵が必要と思われる。
- ② ①の条件の他に、水裏部であることなど土砂や植物の種子・地下茎等が堆積しやすいことも必要となる可能性がある。
- ③ 左岸程度の風波状況であれば、上記のような地形や流況の条件は緩和される可能性がある。

- ④ 潮位の干満による変動は EL=0.0m~0.3m であり、風波の影響、植生の活着の良好な条件はこのわずかな空間に存在していると思われる。

8. 消波構造物の改良

小ワンド群の調査では、柵の存在が土砂堆積、植生活着に大きく影響を与えていることがわかった。

侵食の激しい右岸側は滞筋が河岸に近接しているため柵の造成は困難であることから、融雪出水後の知見を得るために消波構造物の部分的な改良を実施した。改良点は回折波の進入抑制と土砂堆積効果促進を目的に土嚢によるカギ出し水制を併設した。

平成 19 年度には「石狩川下流自然再生計画」が立案され、河岸線の多様性が計画の柱となるため課題を解決し実施にむけた技術としたい。

謝辞

石狩川下流における河岸の多様化は、平成 13 年よりワンド試験地を中心に「石狩川下流河岸検討会」において議論されてきた。平成 17 年からは、新たに河岸の安定化をテーマとして加え、調査・試験施工・モニタリングによりデータ・知見が蓄積されている。

これらの知見は、今後展開される「石狩川下流自然再生計画」を具体化する上で欠くことの出来ないものであり、「石狩川下流河岸検討会」の適切なアドバイスを感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 堀川ら：波による海浜変形に関する一考察，土木学会第 20 回海岸工学講演会論文集，pp. 357-363，1973.
- 2) 平成 16 年度 石狩川下流域低水路河岸保全検討業務報告書
- 3) 西塚ら：石狩川下流の河岸侵食について—河岸侵食の原因と対策工—，第 49 回北海道開発局技術研究発表論文，2006.

(2007.4.5 受付)