

堤防保護シート工法に関する調査試験

INVESTIGATION OF SHEET METHOD FOR BANK STABILIZATION

神尾 謙太郎¹・長谷川 茂²・大熊 正信³・前田 章博⁴
Kentaro KAMIO, Shigeru HASEGAWA, Masanobu OKUMA and Akihiro MAEDA

¹正会員 株式会社福田水文センター水工部計画課 (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目)

²正会員 株式会社福田水文センター技術研究室 (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目)

³正会員 株式会社福田水文センター水工部 (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目)

⁴国土交通省北海道開発局事業振興部防災・技術センター調査試験課環境試験係
(〒062-8511 札幌市豊平区月寒東2条8丁目)

A slope of a riverbank is protected by vegetation from erosion by flowing water and rain water. As irregular growth of vegetation and cracks deteriorate stabilization of such banks, development of reinforcement technology is required to prevent destructive damage by floods. Not only the cost for the work and management, but also environment must be considered as rivers are the precious part of nature in planning the scheme.

Those on mind, we present a new sheet method for bank stabilization using geotextile sheet. This method reinforces erosion-preventing ability by combination of “vegetation + ground soil for grasses to grow and to cover the sheet + geotextile sheet”, and does not hurt environment and is economical. We report this method for practical use as it is proved valid by on-site investigation (Ikushunbetsu River in Ishikari River basin) and hydraulic experiments.

Key Words : sheet method for bank stabilization, riverbank, countermeasures against erosion, geotextile sheet, hydraulic experiment

1. はじめに

近年、氾濫源への都市機能や住宅などの集積が加速されるなか、洪水による壊滅的な被害を防ぐために河川堤防の質的強化技術の開発が求められている。

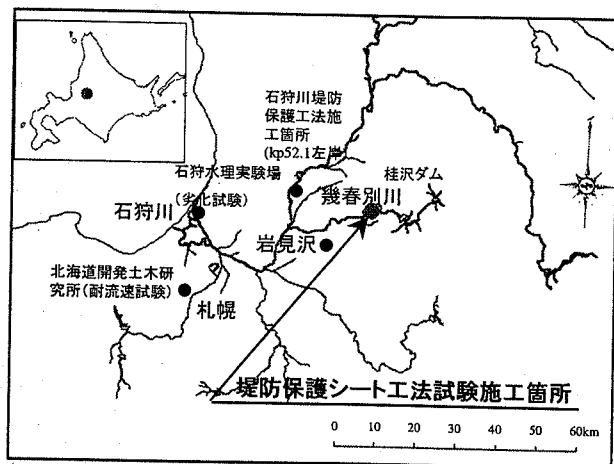


図-1 位置図

一方、河川は貴重な自然空間として、人々に潤いや、やすらぎを与え、また、多くの生物を育む重要な機能があり、治水・利水と環境の調和がとれた自然のダイナミズムが生かされた川づくりの要請も高まっている。

このことから、堤防強化と河川環境の保全及び経済性の面から新たな工法としてジオテキスタイルシート（以下シートという）を用いた堤防保護シート工法の開発を行い、実用化に向けて現地調査を行ってきた。ここでは、石狩川水系幾春別川（図-1）で実施した現地試験の追跡調査結果と、安全性を確認するために高速循環水路を用いた室内実験結果について報告するものである。

2. 堤防保護シート工法について

河川堤防の法面は、流水や雨水による侵食を防止するために植生で保護される。このような堤防では、植生の生育による不均一化、亀裂や小動物等の劣化

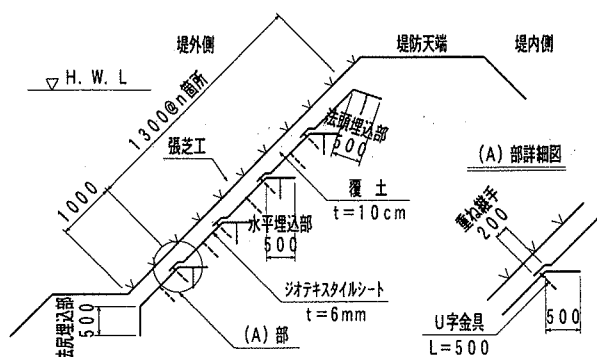


図-2 堤防保護シート工法標準断面図

が弱点個所となることから、侵食防止のために堤防保護シート工法の実用化に向けた調査試験が行われてきた。

当該工法は、図-2に示すように「植生+覆土+シート」の組合せで堤防法面の侵食を防止するものであり、同時に河川の生態・環境・景観の保全、工費が比較的低廉であるため、社会的受容が高まると考えられる。

シートの材質は、ポリエチレンやポリプロピレン等の高分子繊維材で繊維同士を規則的に又は不規則的に配列し、機械的・化学的又は熱的方法により絡ませて平面状にしたものである。

堤防保護シート工法の効果には、①シートの上に覆土することで、芝等の植生が活着、生育を促し、かつ根茎がシートを通り抜けて堤体と一体となって表土の流出を防止する。②植生が侵食剥離されても、シートによって堤体の破壊時間を延ばすことができる。等の堤防保護効果を高めると考えられる。

これまで同工法の試験調査の経緯について概述すると、吉川ら^{1), 2), 3), 4)}は1996年から(独)北海道開発土木研究所石狩実験場において実験を行ってきた。2000年には図-1に示す幾春別川においてパイロット事業として試行的に施工し、現地性能試験^{4), 5)}を行った。その後、追跡調査を継続し、現在に至っている。

本報告の調査検討項目は実際の河川における同工法の適用にあたっての安全性、施工性・経済性、植生、維持管理方法の確認が主な項目であり、以下、河川環境・景観、施工指針を除く検討結果を述べる。

3. 安全性に関する検討

(1) 現地耐流速試験

安全性に関する試験は、当該工法のなかでも最も重要な項目の一つであるため、図-1に示す試験区において出水時における耐流速を確認した。

試験は、水位、流速、水面勾配、流況、同工法の状態を観測することとした。平成13年から平成16年



写真-1 植生試験ピース

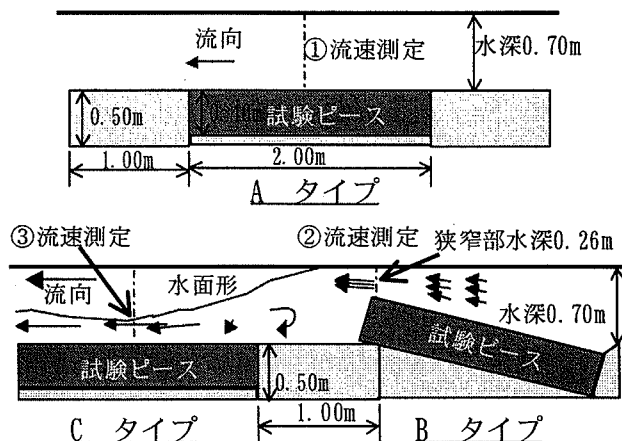


図-3 植生試験ピースの設置

の調査期間内の最大出水は、当該工法の法尻部に浸水した水深が最大0.6m、河岸部の流速が最大0.83m/sであり、侵食などの損傷は全く見られなかったものの安全性を確認するには今後更に大きな出水による検証を必要としている。

(2) 室内耐流速試験

流速と侵食の安全性を確認するため、高速循環水路(側面壁ガラスで可視可能)を用いて耐流速試験を実施した。試験の方法は流速、通水時間を変化させて植生試験ピースの損傷状況を把握した。

植生試験ピース(写真-1)は、現地試験施工箇所の工法と同等の規格として「張芝+覆土10cm+シート有り+基盤土」と「張芝+(シート無し)+基盤土」の2種類を予め製作して植生を養生した。また、植生調査も現地調査と同様の項目を行ったが、シートの有無で植生の生育状況に大きな差は認められなかった。

試験は、実験設備から限界の高流速に設定し、植生試験ピースが破損する過程を可視できるように考え、図-3に示すAとBタイプの試験経過を経てCタイプの改良に至り可能となった。すなわち、AとBパターンのような管水路では、植生の倒伏効果で破損まで長時間を要する。そこでCパターンのように狭窄部で加速された流水を直接植生法面に落下させて水叩き

表-1 損傷レベルの評価基準

損傷レベル	記号	植生試験ピースの損傷状況
レベル0	◎	損傷なし
レベル1	○	植生のみが剥がれた状態
レベル2	△	植生が剥がれ、シート上の覆土（表土）が流出した状態
レベル3	▲	覆土がほとんど流出し、シートが露出した状態
レベル4	×	シートが剥がれた状態ではほぼ全損傷の状態

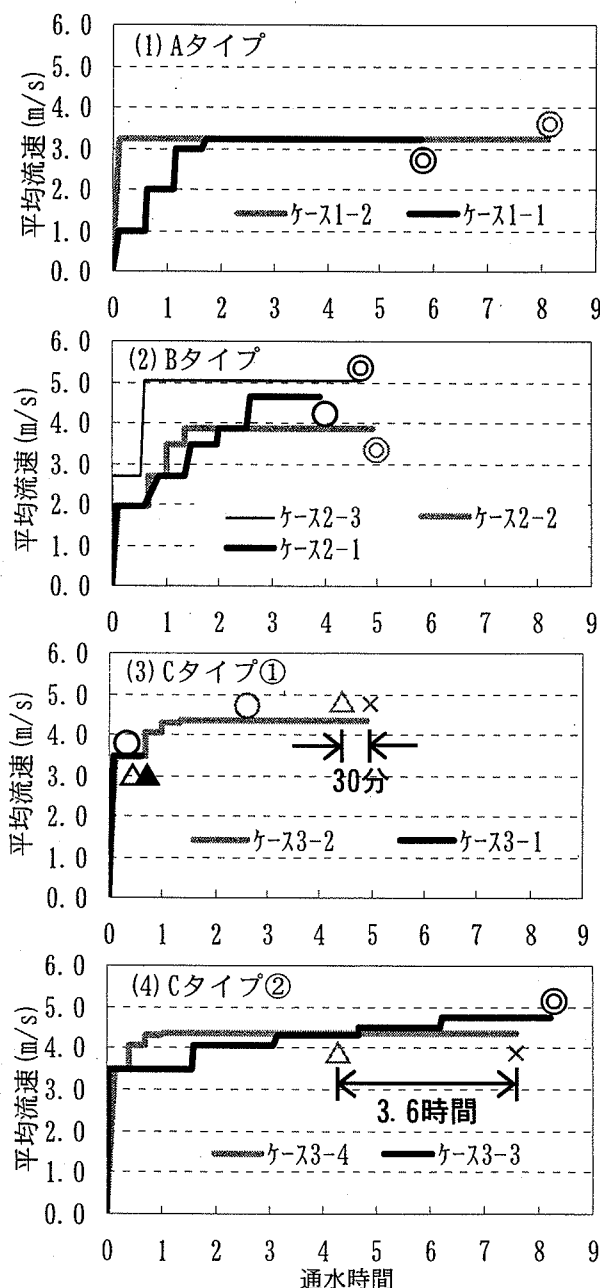


図-4 各試験ケースの通水時間と流速による損傷状況

のような乱れを創り出して破損状況とした。

流速の測定方法は、AとBタイプをポンプの設定流量と水路断面積の関係から平均流速を求めた。Cタイプは、開水路で水面の変動が大きいため、図-3の③

表-2 植生試験ピースの条件及び通水後の損傷レベル

試験 ケース		植生試験ピース			耐流速試験		
		シートの 有○ 無×	試験時 草丈 (cm)	生育 日数 (日)	通水 時間 (h)	平均 流速 (m/s)	通水後 損傷 レベル
A タイプ	1-1	○	20	339	5.8	3.2	0
	1-2	○	20	343	8.1	3.2	0
B タイプ	2-1	○	10	55	3.9	4.6	1
	2-2	×	10	316	4.9	3.9	0
	2-3	○	20	428	4.7	5.0	0
C タイプ	3-1	○	10	55	0.6	3.5	3
	3-2	×	10	316	4.9	4.4	4
	3-3	○	20	434	8.2	4.7	0
	3-4	○	10	658	7.6	4.4	4

流速測定位置の中央部でレーザー流速計と電磁流速計を用いて測定した。これらの平均流速は堤防法面の近傍流速と考えると評価することとした。

次に、表-1に示す4つのレベルにより植生試験ピースが損傷する程度を評価する。図-4には平均流速と通水時間から損傷する過程を示し、表-2には植生試験ピースの条件、通水後の損傷レベルの総括を示す。以下実験結果の図-4について概要を述べる。

(1) Aタイプ

生育期間343日の長いピースでは、平均流速3.2m/s、通水時間8.1時間で損傷がなかった(◎印)。

(2) Bタイプ

ケース2-1の生育期間55日の短いピースでは、通水時間3.9時間でレベル1(○印)の損傷が見られた。

(3) Cタイプ

ケース3-1の生育期間55日の短いピースでは、通水0.6時間でレベル3(▲印)の損傷が見られた。ケース3-2、3-4のように生育期間が長くても、通水時間が長く、平均流速4.4m/sと高流速になるとレベル4(×印)の全損傷となった。また、草丈の長さによっても損傷に影響するようである。

特に注目すべきことは、ケース3-2「シート無し」では、法面植生が剥離したレベル2(△印)から30分程度の短時間で全損傷のレベル4(×印)に到達している。一方、ケース3-4「シート有り」では、レベル2(△印)からレベル4(×印)に達するまでに3.6時間と7倍程度の時間を要する。この時間差は「シート有り」に耐侵食性の効果があったと考えているが、生育期間の違いも含めて確認実験を必要としている。

4. 施工性・経済性に関する調査

平成12年8月に幾春別川右岸kp27.2~27.5の堤防に、当該工法による堤防保護を試験施工した。標準的な施工断面図を図-2に示す。工法の種類は追加変更されたものを含めて表-3に示す。芝の種別では客土種

表-3 試験施工工法の種類

試験区	シートの有無	芝の種別	覆土厚	裏込砂利	総合評価
A 試験区	有り	客土吹付	3 (cm)	10 (cm)	△
	有り	張芝	5 (cm)	10 (cm)	△
	有り	張芝	10 (cm)	10 (cm)	△
B 試験区	有り	客土吹付	3 (cm)	無し	△
	有り	張芝	5 (cm)	無し	△
	有り	張芝	10 (cm)	無し	○
TA 対象区	無し	客土吹付	3 (cm)	10 (cm)	△
	無し	張芝	5 (cm)	10 (cm)	△
	無し	張芝	10 (cm)	10 (cm)	△
TB 対象区	無し	客土吹付	3 (cm)	無し	○
	無し	張芝	5 (cm)	無し	○
	無し	張芝	10 (cm)	無し	○

備考 ○印：良好 △印：不良

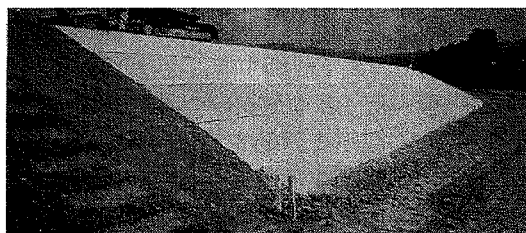


写真-2 シート敷設仕上り状況



写真-3 同工法の現状

子吹付けと張芝工，覆土厚さでは3，5，10cmと，裏込砂利の有無で施工した。

総合評価の基準は，植生の草丈，密度，根毛量等，芝の種別，覆土厚，裏込砂利等の相対比較から評価すると覆土厚10cm，張芝が良好の結果となっている。

工事報告については佐々木ら⁶⁾によって詳細に報告されているが，概述すると法面仕上げ後にシートを敷設し，U字金具でシートを押さえる（写真-2）。その後覆土を被せて張芝工又は種子吹付けて工事完了となる（写真-3）。主に土工施工となり施工上課題となることはなかったが，張芝工又は種子吹付けの施工は夏期のような乾燥時期を避ける必要がある。

新たな工夫として図-2の水平埋込部を設けているのは，吉川ら³⁾の水理実験の成果を踏まえてシートの裏側に流水が侵入した場合に法面崩壊防止とシートがまくれ上がるのを極力防止する措置である。

また，シートの上流端は堤体に50cm埋込み，下流端は埋込まないで侵入水を逃がすようにしてある。この流下方向の縦目地は30～50mが目安になる。裏込砂利（表-3）も法面崩壊防止の措置としてシートの下部に敷設したものであるが保水性に欠け，根の通

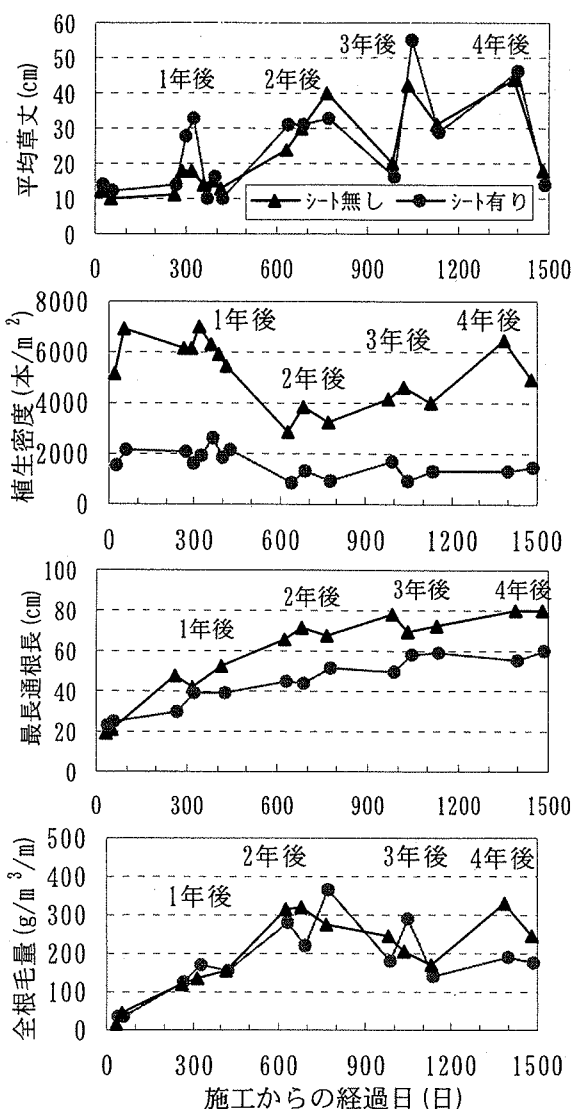


図-5 植生調査結果

根を妨げる結果が見られた。

経済性については，コンクリートブロックと比較すると同工法の使用材料がシート，植生（種子吹付又は張芝），覆土である。両者の工費を比較すれば極めて安価になる。

以上のような成果を踏まえて，石狩川本川において旧樋管撤去にともなう堤防開削後の堤防法面補強に同工法を施工した。ここでは，植生＋覆土厚20cm＋シート有りとシート無しの調査比較¹⁰⁾を2年間にわたって行っているが，現在のところ課題となる要因が顕在化していない。

5. 植生に関する試験

当該工法は，植生の根茎がシートを通過して堤体と一体化することで強度を増加させる要素になる。このため，シートの有無による植生生育状況を経年

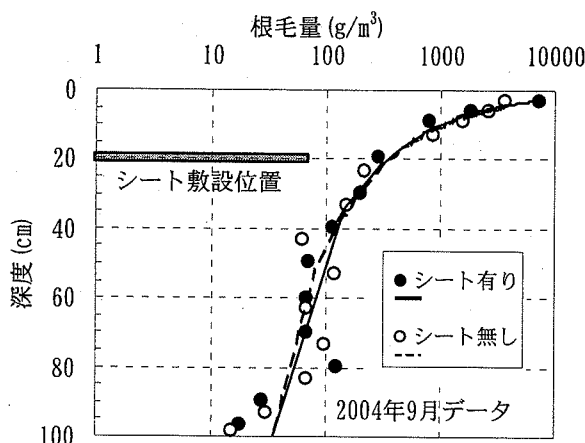


図-6 深度別根毛量分布図（4年経過）

的に比較することが重要となる。

生育させた芝の草丈、植生密度、最長通根長、全根毛量の調査結果を図-5に示す。平均草丈はシートの有無によって差異がない。植生密度はシート有りの方が少ない。最大通根長は経年的に伸長しているがシート有りの方が短い。全根毛量は差異がない。

一方、当該試験区近傍の既存堤防植生密度は、2ヶ年の平均は1894本/m²、図-5シート有りの密度の平均1607本/m²と比較すると若干少ない。これは覆土に北海道土壌基準（草地土壌）値¹¹⁾以下の土壌を使用したため肥料不足が顕在化してきたものと考えている。

図-6には、4年経過した張芝直下からの深度別根毛量分布を示したものである。施工の初期段階での根毛量は、深度別に「シート無し」の方が若干多くなる傾向を示すが、目安として3年以上経過するとシートの有無に関わらず同等量の根毛量になることを示したのが図-6である。このことから、シートの有無によって植生の生育状況に大きな差異は生じないものと考えている。

6. 維持管理（シートの経年的な劣化について）

シート施工後の経過年数の劣化状況を把握するため、施工箇所のシートをサンプリングし未使用品のシートの製品証明強度を基準として、引張り強さ、

表-4 ジオテキスタイルシートを用いた堤防保護シート工法の評価表

評価項目	調査項目	比較評価
安全性	耐流速試験	限界損傷流速は現在のところ3.0～4.0m/sと想定される。シート無しではレベル2からレベル4の時間は約30分であったが、シート有りでは3.6時間となりその効果が確認できた。
	H13 幾春別川出水状況	H13.9.11の出水時調査から河岸流速V=0.82m/s、水深0.6m、流量100m ³ /sまでは、植生に剥離、めくれ等の損傷はなかった。 ⁷⁾
施工性・経済性	施工の方法	同工法の施工は、特に支障となるようなことはなかった。 なお、覆土厚10cm以上であればバックホウによる覆土の施工が可能であった。 ⁵⁾
	工事費	同工法の直接工事費は、3200円/m ² 程度である。
植生	シートの有無	シート有無による影響は、シート有の場合は、種子の発芽、張芝の施工等の初期段階で影響を受ける。しかし、植生が生育した段階になると大きな差異はない。 試験施工による事例では、客土吹付の覆土厚3cmの場合に植生生育が不良で、再施工を行った経緯がある。 ⁷⁾
	シート有りの工法比較	砂利層の有無 砂利層は、植生根の成長を阻害し保水性に欠けるため、砂利層の無い方が良い。 ⁸⁾
	植生工法の比較	張芝工と吹付工では、植生が生育した段階になると大きな差異は生じていない。 張芝工は、コスト高となるが、早期に活着して効果が期待される。 ⁹⁾
	吹付工の比較	種子吹付と客土吹付の植生状況では、大きな差異は見られない。しかし、初期段階では、前者の植生密度が高い。 ⁸⁾⁹⁾
維持管理	覆土厚の比較	覆土厚の違いは、植生が生育した段階になると大きな差異は生じていない。しかし、1週間連続の含水比調査では、覆土厚10cmの含水比が最も変動しない結果が得られた。そのため、吹き付け後の土壌水分の保水性の面から、覆土厚10cm程度が適当と判断する。 ⁸⁾⁹⁾
	劣化試験	土中に埋設されたシートは、引張り強さ、伸び率、透水係数による劣化傾向は見られない。しかし、シートが暴露した場合は、急激な劣化が確認されている。 ⁵⁾
河川環境・景観	昆虫調査	地表徘徊性昆虫を指標としたバイトトラップ法の評価では、シート有の場合に施工後2年程度で近傍既存堤防と同等の種類・生息数となった。また、コンクリート護岸と比較しても種類・生息数が多く、自然環境に有意な工法と判断される。 ⁸⁾
	環境ホルモン	シートからの環境ホルモンは、溶出されないことを確認した。 ⁷⁾
	景観調査	写真撮影による景観では、既存堤防と試験区の違いはない。植種、植生密度、草丈による景観的な違いはない。 ⁸⁾
施工事例		石狩川本川において旧樋管撤去後の堤防法面補強に施工したが、現在のところ課題となる要因が顕在化していない。 ¹⁰⁾

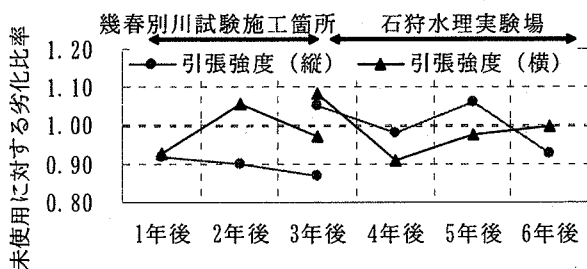


図-7 シートの経年比率図

伸び率、透水係数を計測しているが、このうち引張強度についての結果を図-7に示す。現在のところ土中に埋設されたシートは劣化の進行が認められない。しかし、今後長期にわたる試験データの蓄積が必要である。

7. 調査・試験結果まとめ

シートを用いた堤防保護シート工法の評価を表-4にまとめて示す。調査検討項目については、現地調査と水理実験による補完をしながら一定の成果が得られたものと思われる。

8. 今後の課題

・同工法の有効性については、洪水による検証を行うことが重要であることから出水時における安全性について臨時の観測が必要である。

・室内耐流速試験では、シートの有無による植生試験ピースの損傷レベルの過程から同工法の有効性を確認したが、長時間通水した時の耐久時間、損傷程度及び植生の生育期間と限界流速の関係等を把握する必要がある。

・施工性、安全性、経済性、維持管理及び環境性等を総合的にまとめて、実用化に向けた施工指針を作成する。

9. おわりに

堤防保護シート工法は、植生＋覆土＋シートの組み合わせで堤防法面の侵食防止効果を発揮させ質的強化を図ったものである。

同工法は、流水による耐侵食強度から評価するとコンクリート護岸と自然堤防法面の中位の治水安全度を有する工法である。その特長は、堤防の品質を均一化でき、侵食により堤防法面の植生が剥離されてもシートの効果で破堤に至る時間を延ばすことが

できる。この現象を実験的に確認できたことは極めて重要なことであり、実用化に向けての前進である。また、河川環境・景観にやさしく、工費が比較的低廉の工法でもある。

しかし、施工実績も少なく、現地出水の検証がないために試験調査で顕在化しなかった課題もある。このことを踏まえて、当面は水衝部や構造物周辺を除く、緩流河川の河川堤防保護に適用するのが望ましく、多くの施工実績からガイドライン等の充実を図ることとしているので普遍的に実用化されることを期待している。

参考文献

- 1) 吉川秀夫, 船木淳悟, 長谷川茂, 竹本成行: ジオテキスタイルを用いた堤防侵食防止に関する実験, 河川環境総合研究所報告, 第3号, pp. 157-162, 1997
- 2) 吉川秀夫, 馬場仁志, 船木淳悟, 長谷川茂, 竹本成行, 山口俊平: 不織布による河川堤防の強化に関する実験的研究, 水工学論文集, 第42巻, pp. 475-480, 1998
- 3) 吉川秀夫, 馬場仁志, 船木淳悟, 長谷川茂, 竹本成行, 山口俊平: ジオテキスタイルを用いた堤防侵食防止に関する実験 (第2報), 河川環境総合研究所報告, 第4号, pp. 93-102, 1998
- 4) 吉川秀夫, 馬場仁志, 船木淳悟, 長谷川茂, 竹本成行: ジオテキスタイルを用いた堤防侵食防止に関する実験 (第3報), 河川環境総合研究所報告, 第5号, pp. 73-88, 1999
- 5) 北海道開発局 開発土木研究所: 平成12年度 ジオテキスタイルを用いた侵食防止工法検討業務報告書, 2001
- 6) 佐々木勝治, 川人茂二, 長谷川茂: ジオテキスタイルを用いた堤防侵食防止工法による工事報告, 河川環境総合研究所報告, 第7号, pp. 91-99, 2001
- 7) 国土交通省北海道開発局 事業振興部防災・技術センター: 平成13年度 河岸侵食防止工法現地調査検討業務報告書, 2002
- 8) 国土交通省北海道開発局 事業振興部防災・技術センター: 平成14年度 河岸侵食防止工法現地調査検討業務報告書, 2003
- 9) 国土交通省北海道開発局 事業振興部防災・技術センター: 平成15年度 河岸侵食防止工法現地調査検討業務報告書, 2004
- 10) 国土交通省北海道開発局 石狩川開発建設部岩見沢河川事務所: 平成16年度 石狩川改修工事の内河岸保護工現地調査業務報告書, 2004
- 11) 北海道農政部, 北海道立農業試験場, 北海道農業試験場: 北海道土壌診断基準と施肥対応, 改訂版, pp. 20, 1999
- 12) 安田昌弘, 前田章博, 稲垣浩: ジオテキスタイルシートを用いた堤防保護シート工法に関する調査試験, 第48回 (平成16年度) 北海道開発局技術研究発表会発表論文集

(2005. 4. 7 受付)