

河川総合研究所報告
第22号

平成28年12月

公益財団法人河川財団
河川総合研究所

はじめに

(公財)河川財団は、河川に関する調査・研究及び環境整備並びに河川への理解を深めるための活動に対する助成並びにその実施を行うことにより、国土の利用、整備又は保全及び国民の心身の健全な発達を促進し、公共の福祉を増進することを目的とし、以下の事業を実施しています。

- (1) 河川に関する活動に対する助成及びその成果の普及
- (2) 河川に関する調査・研究及びその成果の普及
- (3) 河川教育の推進及び河川への理解を深めるための活動
- (4) 水辺環境の向上及び住民の健康増進を図るための河川健康公園の運営
- (5) 河川管理者の行う河川の維持管理に関する事業の受託

昨今、鬼怒川の破堤氾濫や北海道における台風被害を始めとした豪雨災害が頻発しており、気候変動の影響が懸念されています。これら課題に対して、気候変動への方策として従来から議論されている緩和策に加え、適応策としてのハード対策の議論を始めることが求められ、また、これらハード対策・ソフト対策を具体化させ、確実なものとしていく必要があります。

このように社会情勢が変化していく中で、河川管理を適切に進めていくためには、ICT等の技術の活用が期待されるとともに、新たな仕組みや複合的な技術が求められています。

当財団においては、これら問題意識のもと、(2)河川に関する調査・研究及びその成果の普及に関して、東京本部内の河川総合研究所、子どもの水辺サポートセンターを中心にして、以下の調査研究を行い、本報告はその成果をまとめたものです。

- (1) 健全な河川生態系の保全・再生に関する調査・研究
- (2) 災害を防止するための調査・研究
- (3) 良好な水辺利用を促進するための調査・研究

本報告は、調査研究の成果を広く関係の方々にお知らせし、現場における技術的課題の解決に役立てていただくものです。

第22号を発行にあたり、国土交通省をはじめ関係各位のご指導、ご支援に感謝し、ここに厚く御礼申し上げます次第です。

今後も、わが国の河川の現状と国民のニーズを把握し、社会の要請に的確に応えるために一層の努力をして参る所存ですので、関係各位の暖かいご指導、ご支援をお願い申し上げます次第です。

平成28年12月

公益財団法人 河川財団
理事長 関 克己

目 次

1. 健全な河川生態系の保全・再生に関する調査・研究

- 1) 堤防植生に適した植生基盤土質の検討 1
: 大澤寛之、山田政雄、吉田高樹、平田真二、橋本純
- 2) シバ植生の長期保持に向けた堤防養生工の検討 12
: 塩見真矢、山田政雄、大澤寛之
- 3) 地域の在来種（七草）による堤防緑化技術の開発 23
: 山本嘉昭、久保壮史、大澤寛之、山田政雄、吉田高樹、河崎和明

2. 災害を防止するための調査・研究

- 1) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）の改定について 37
: 本間俊行、山田博、鈴木克尚、河崎和明
- 2) 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による鬼怒川の出水前後の河道変化について 45
: 加藤授人、鈴木克尚、塩見真矢、山本晃一、山田博
- 3) 河川点検評価実務への FT 図の活用 55
: 小澤淳真、安達孝実、宮下光泰、鈴木克尚

3. 良好な水辺利用を促進するための調査・研究

- 1) 流域から学ぶ河川教育～流域は問題解決のフレームワーク～ 63
: 菅原一成、河崎和明、鈴木篤、森範行、吉野英夫

1. 健全な河川生態系の保全・再生に関する調査・研究

堤防植生に適した植生基盤土質の検討

大澤 寛之*・山田 政雄**・吉田 高樹***・平田 真二****・橋本 純*****

1. はじめに

河川堤防は、河川及び流域の治水安全度を確保する上で最も重要な河川管理施設であり、その施設延長も長大である。その維持管理は、堤防表面における異常の有無を点検可能にするため、年2回の除草と年1回の集草を基本として行っている。

年2回の除草と年1回の集草では、近年の増加傾向にあるセイバンモロコシ等の侵入・繁茂等の影響で出水期間中の河川巡視・堤防点検への支障やカラシナ等による堤防機能の弱体化等の問題が生じている。そのため、現状の維持管理予算以内で、現行の除草による堤防植生管理手法に代わる効率的かつ効果的な堤防植生管理手法が求められている。



図1-1 セイバンモロコシが繁茂した堤防

また、効率的かつ効果的な堤防植生管理手法は、これまでに幾つかの現地調査や現地実験等を通して検討^{1,2,3,4)}しているが、調査分析項目に関しては、

調査の容易さから草丈や視認性等の地上部全般が主項目となり、地下部は簡易的に計測できる根系強度^{5,6,7)}に限られていた。

しかしながら、堤防植生に求められている治水機能は、根系強度によって影響される部分が大きく、その根系の発達状況に影響を与える植生基盤土質そのものについても重要な項目であると言える。この植生基盤土質について十分な検討がされていないことが課題と考えられる。

植生基盤土質は、堤防の築堤時においても考慮すべき項目であるが、指定された土取場からの採取土を用いることが多く、特に堤防植生に適した植生基盤土質という視点から選定していないのが現状である。採取土によっては埋土種子による発芽等を含めて、外来植物等が侵入・繁茂し、視認性の悪化や堤体強度の低下等の問題が生じている。



図1-2 植生基盤土質

* 前(公財)河川財団 河川総合研究所 研究員(現(株)エコー 技術本部 河川・環境部 主任)
** 前(公財)河川財団 河川総合研究所 主管研究員
*** (公財)河川財団 河川総合研究所 技術参与
**** (株)エコー 技術本部 河川・環境部 部部长
***** (株)エコー 技術本部 河川・環境部 主任

本検討では、堤防植生管理を行う上で効率的に区分可能な堤防植生タイプ¹⁾を基に、各植生基盤土質について物理特性及び化学特性を把握した上で、堤防の維持管理に支障が生じにくい堤防植生に適した基盤土質を導くことを目的として、既往知見と利根川上流における現地調査をとおして分析評価等を行い、とりまとめを行った。

検討フローは、図 3-1 のとおりである。

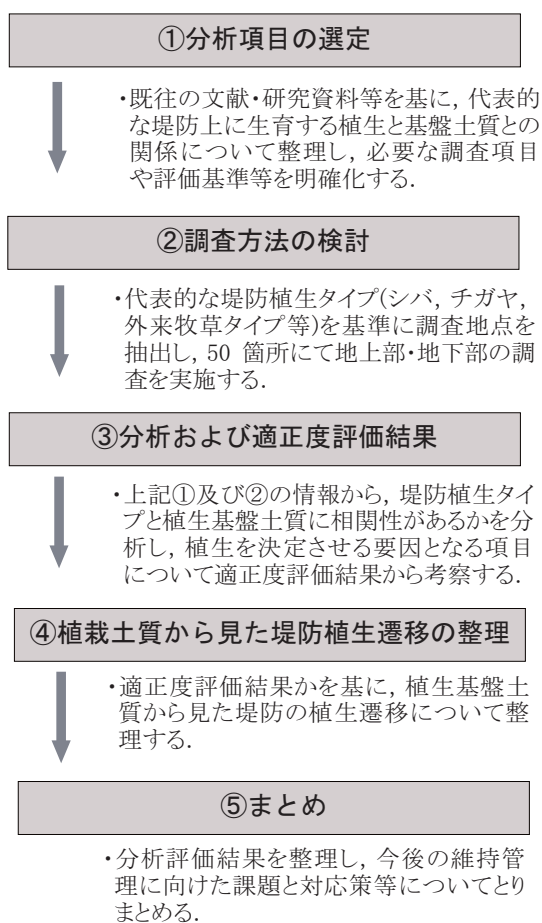


図 3-1 検討フロー

2. 分析項目の選定

植生基盤土質の検討にあたり、植生と関係性のある一般的な分析項目について整理を行った。分析項目の整理にあたっては、緑化や造園の分野における土質分析項目や築堤上必要な堤防の土質条件の事例^{8,9)}を収集し、その中で整理された指標から適切なものを選定した。整理結果は、表 2-1 のとおりである。

表 2-1 植生と関係のある一般的な分析項目

分析項目	項目の説明
粒度組成	堤防土質を調整するに当たっての基礎的情報であり、締め固めの強さ、透水性、保水性の指標となる。
固相率	土中における個体、液体、気体の比率を示すもので、土の硬さや水交換の程度等が評価できる。
コーン指数(土壌硬度)	堤防の締め固め度合いで変化し、土壌硬度が高いと根が伸長せず植物が活着具合の指標となる。
有効土層厚	一般的に根の生育が可能な土壌硬度をもつ土の厚さとして評価する。
過湿になる深さ	地表近くに地下水面がある場合に、植物の生育を阻害する要因となる。堤防ではあまり問題とならない。
土色	目視で評価する土の色で、土質や酸化度合い等の指標になる。
礫含有量	礫質な土質は植生に対して好ましくないため、評価指標として用いる。利根川の堤防では礫をほとんど含まないので、問題はない。
有効水分保持量	土中の空隙が水を保持する量を示す。植生は土の湿潤度合いによって変化するため、植生管理上重要な指標となる。
飽和透水係数	土に含まれる水の量や水が浸透する速度に関する指標。
硝酸態窒素 アンモニア態窒素	窒素の内、無機態となっている窒素の量を直接計測するものである。
全窒素	全窒素含有量は将来植物に利用される無機態窒素の全量を示し、土壌肥沃性の目安となる。
有効態リン酸	植物が吸収利用可能な状態を有効態リン酸と言い、不足すると葉の光沢が悪くなるなどの欠乏症状が現れる。
交換性カリウム	カリウムは炭水化物合成や移動など植物の重要な生理活動に関与し、交換性カリウムは植物が有効に吸収できる指標となる。
交換性カルシウム	土に含まれる微量物質で、植物の生長に影響を与える。しかしその程度は、炭素及び窒素、リン、カリウムに比べて重要ではない。
交換性ナトリウム	
交換性マグネシウム	
交換性マンガン	
塩分/塩素濃度	土壌中に含まれる塩分の量の指標となり、海岸部など塩の影響を受ける場所では植物の生長へ大きな影響を与える。
電気伝導度(EC)	電気伝導度は土壌中の養分の過不足を判断する指標となる。
塩基置換容量(CEC)	土が肥料を吸着できる能力(保肥力)のことで、肥料の保持力や植物の生長の指標となる。
腐植(強熱減量)	土壌中の有機物量の目安となり、表土の腐植土化の進行状況が分かる。
C/N比	窒素(N)と炭素(C)のバランスを示し、落ち葉などの有機物分解速度の指標となる。
pH(H ₂ O)	土壌の化学性はpH(水素イオン濃度)の如何で無機養分の溶解度や微生物の活動などと密接な関係がある指標である。

上記の一般的な基盤土質分析項目から、堤防植生に適した基盤土質の評価が可能と考えられる分析項目の絞込みを行った。具体的な手順としては、堤防植生との相関性が「高い」となっている項目を抽出し、分析項目としての妥当性が「低い」項目を除外して、10の分析項目に絞込みを行った。絞込結果は、表2-2のとおりである。

次に、絞込みを行った10分析項目について、植栽基盤としての適正度評価基準(案)を知見^{8,9)}を基に表2-3のとおり設定した。設定方法は、既往の知見を基にして各分析項目と植物との適正度についてⅠを適正が高い、Ⅱを適正がある、Ⅲを要土壌改良、Ⅳを適正に乏しいに分類し、Ⅰを◎2点、Ⅱを○1点、Ⅲを△0点、Ⅳを×-1点として設定した。その合計値を基に、現状における植栽基盤としての適正度評価を行った。

なお、適正度評価は、築堤時における堤防植生の基盤土質がシバタイプやチガヤタイプ堤防の維持に適するかを判断するとともに、堤防の維持管理に支障が生じにくい堤防植生に適した基盤土質を導くための基礎資料として活用する。

表2-2 分析項目の絞込み

分析項目	堤防植生との相関性	分析項目としての妥当性	絞込結果
粒度組成	高い		◎ 1
固相率	高い	分析の手間	
コーン指数(土壌硬度)	高い		◎ 2
有効土層厚	低い		
過湿になる深さ	低い		
土色	低い		
礫含有量	低い		
有効水分保持量	高い		◎ 3
飽和透水係数	高い	分析の手間, 不安定なデータ	
硝酸態窒素	やや高い	環境で変性,	
アンモニア態窒素	やや高い	不安定なデータ	
全窒素	高い		◎ 4
有効態リン酸	高い		◎ 5
交換性カリウム	高い		◎ 6
交換性カルシウム	低い		
交換性ナトリウム	低い		
交換性マグネシウム	低い		
交換性マンガン	低い		
塩分/塩素濃度	高い	内陸では差がない	
電気伝導度(EC)	高い		◎ 7
塩基置換容量(CEC)	高い		◎ 8
腐植(強熱減量)	高い	代替可能(C/N比), 不安定なデータ	
C/N比	高い		◎ 9
pH(H ₂ O)	高い		◎ 10

表2-3 各分析項目の適正度評価(案)：参考値

項目	単位	植栽基盤としての適正度評価基準(案)				
		Ⅰ (◎2点) 適性が高い	Ⅱ (○1点) 適正がある	Ⅲ (△0点) 要土壌改良	Ⅳ (×-1点) 適正に乏しい	
物理性	1 粒度組成	—	壤土(L) 砂質壤土(SL)	シルト質壤土(SiL) 砂質埴壤土(SCL) 埴壤土(CL)	砂土(S) 壤質砂土(LS) 砂質埴土(SC) 軽埴土(LiC)	重埴土(HC)
	2 コーン指数(土壌硬度)	kg/cm ²	20 未満	20~30	30~50	50 以上
	3 有効水分保持量	l/m ³	120 以上	120~80	80~40	40 未満
化学性	4 全窒素	g/kg	1.4 以上	1.4~0.6	0.6 未満	—
	5 有効態リン酸	mg/kg	200 以上	200~100	100 未満	—
	6 交換性カリウム	cmol(+)/kg	3.0 以上	3.0~1.0	1.0 未満	—
	7 電気伝導度(EC)	dS/m	0.2 未満	0.2~1.0	1.0~1.5	—
	8 塩基置換容量(CEC)	cmol(+)/kg	20 以上	20~6	6 未満	—
	9 C/N比	—	10 未満	10~20	20 以上	
	10 pH(H ₂ O)	—	5.6~6.8	4.5~5.6 6.8~8.0	3.5~4.5 8.0~9.5	3.5 未満 9.5 以上

※参考：近藤三雄(1994)「公共緑化の芝生 アメニティターフをめざして」, 日本土壌協会「有機農業の基礎知識」

3. 調査方法の検討

調査方法は、利根川上流管内における堤防植生タイプから対象種と地点数を抽出して調査実施場所の設定を行い、現地にてサンプル採取を実施した。

詳細については、次のとおりである。

3.1 調査対象と地点数

調査対象は、利根川上流管内における主な堤防植生タイプとし、地点数はシバタイプ、チガヤタイプ、外来牧草タイプ(ネズミホソムギ型、セイバンモロコシ型)の4タイプは各8地点とした。

上記4タイプ以外に、外来牧草タイプ(オニウシノケグサ型、カラシナ・アブラナ型、セイタカアワダチソウ型)と、オギ・ススキタイプと、広葉タイプの5タイプは各3地点とした。また、近年施工した堤防(7割堤表土敷き均し施工箇所)の植生基盤土質を把握するため、H25. H26. H27年において施工が完成した箇所を各1地点ずつ選定し3地点とした。

内訳は、表3-1のとおりである。

3.2 調査実施場所

調査実施場所は、各堤防植生タイプの判定根拠とな

る植生が優占する典型的な場所とし、上下流、左右岸、支川にバランス良く配置し、縦断方向の基盤土質の変化についても把握できるように図3-1のとおり設定した。

3.3 採取位置と採取方法

サンプルの採取位置は、堤防の裏法面を基本とし、堤防川裏法面を2分割した上で、その上段の中央付近に3m×3mのコドラートを設け、周辺の平均的なサンプルが採取できる位置とした。

採取方法は、分析方法の違いにより、攪乱採取と不攪乱採取(有効水分保持量用)の2種類とした。

具体的には、図3-2のとおりである。

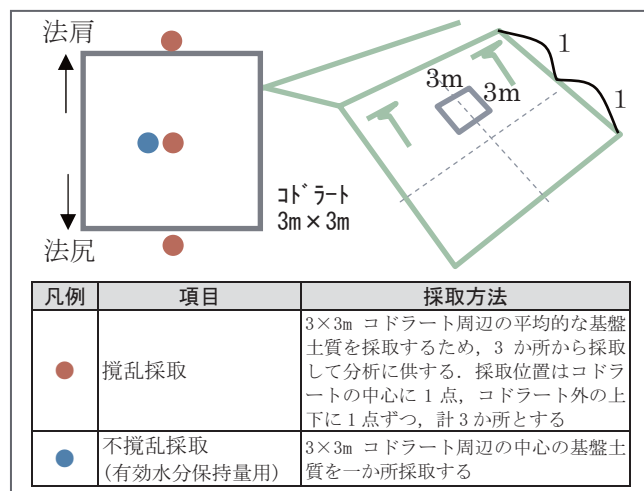


図3-2 採取位置と採取方法

表3-1 調査対象と地点数

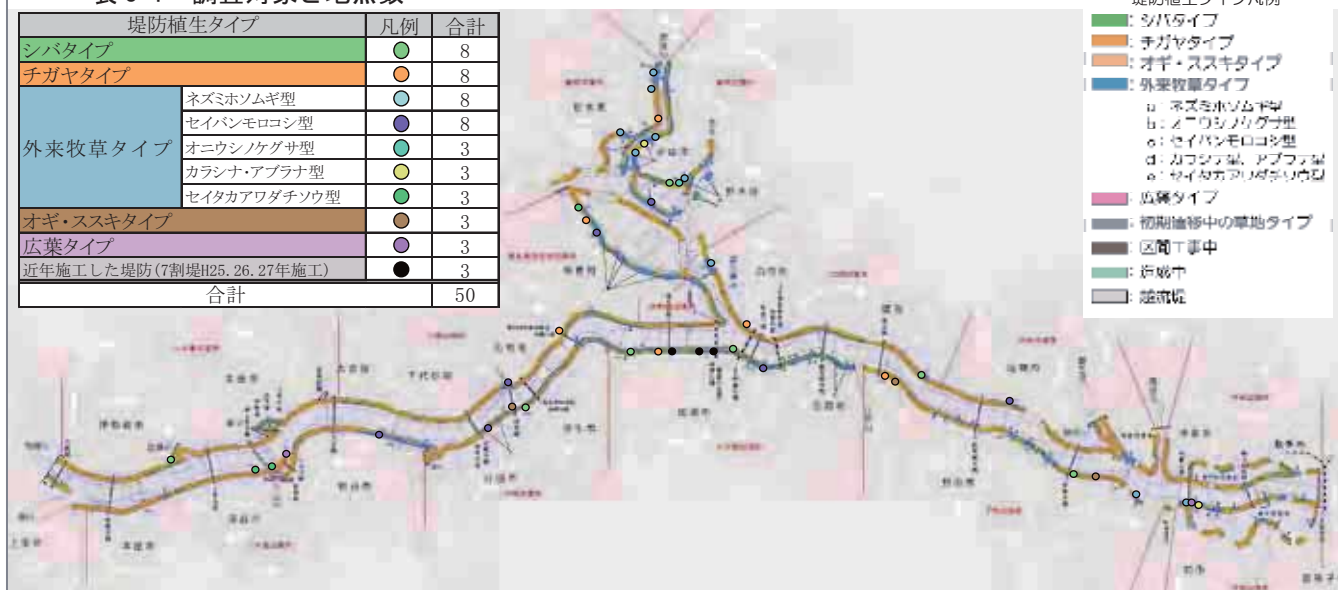


図3-1 調査実施場所

3.4 調査実施状況

調査実施時期は、2015年9月30日から10月7日のうち降雨による影響が少なく、乾燥した状態の土質が採取できる日とした。詳細な調査地点と調査日は、表3-2のとおりである。

表3-2 調査地点と調査日

堤防植生タイプ	No	河川	岸	法	km	調査日
シバタイプ	1	利根川	左	裏	91.5	10/7
	2	利根川	右	裏	104.0	10/7
	3	利根川	左	表	117.5	10/6
	4	利根川	右	表	131.3	9/30
	5	利根川	右	裏	139.0	9/30
	6	利根川	右	表	150.0	9/30
	7	利根川	左	裏	177.0	10/1
	8	渡良瀬川	左	裏	9.1	10/6
チガヤタイプ	9	利根川	右	裏	90.2	10/7
	10	利根川	右	表	120.0	10/6
	11	利根川	左	裏	131.5	10/6
	12	利根川	右	裏	137.0	9/30
	13	利根川	左	裏	144.0	9/30
	14	利根川	左	裏	179.4	10/5
	15	巴波川	右	裏	1.5	10/5
	16	渡良瀬川	右	裏	10.7	10/5
外来牧草タイプ (ネズミホムギ型)	17	利根川	右	裏	89.7	10/7
	18	利根川	右	裏	95.3	10/7
	19	利根川	右	表	98.3	10/7
	20	渡良瀬川	左	裏	3.9	10/5
	21	渡良瀬川	左	裏	12.1	10/6
	22	思川	右	裏	0.1	10/5
	23	巴波川	左	裏	-1.2	10/5
	24	巴波川	左	裏	0.7	10/5
外来牧草タイプ (セイバンモロコシ型)	25	田中調節池	右	表	86.2	10/7
	26	利根川	左	裏	109.8	10/6
	27	利根川	右	裏	129.0	10/6
	28	利根川	左	裏	150.4	9/30
	29	利根川	右	裏	153.5	10/1
	30	利根川	右	表	161.0	10/1
	31	第二調節池 囲繞堤	左	裏	5.1	10/6
外来牧草タイプ (オニウシノケガサ型)	32	渡良瀬川	右	裏	9.9	10/1
	33	渡良瀬川	右	裏	8.9	10/1
	34	巴波川	右	裏	3.2	10/5
外来牧草タイプ (カラシナ・アブラナ型)	35	巴波川	右	裏	3.7	10/5
	36	利根川	右	裏	89.5	10/7
	37	利根川	右	裏	93.9	10/7
外来牧草タイプ (セイタカアワダチソウ型)	38	巴波川	左	裏	0.3	10/5
	39	利根川	右	表	170.8	10/1
	40	利根川	右	表	171.5	10/1
オギ・ススキタイプ	41	渡良瀬川	右	表	11.5	10/5
	42	利根川	右	裏	102.0	10/7
	43	利根川	右	裏	118.8	10/6
	44	利根川	右	表	150.7	9/30
広葉タイプ (カラムシ型)	45	利根川	右	裏	93.0	10/7
	46	利根川	右	裏	94.9	10/7
	47	利根川	右	裏	169.2	10/1
近年完成した堤防 (7割堤防)	48	利根川	右	裏	133.5	9/30
	49	利根川	右	裏	134.0	9/30
	50	利根川	右	裏	136.0	9/30

なお、代表的な堤防植生タイプにおける現地状況とサンプルは、図3-3のとおりである。

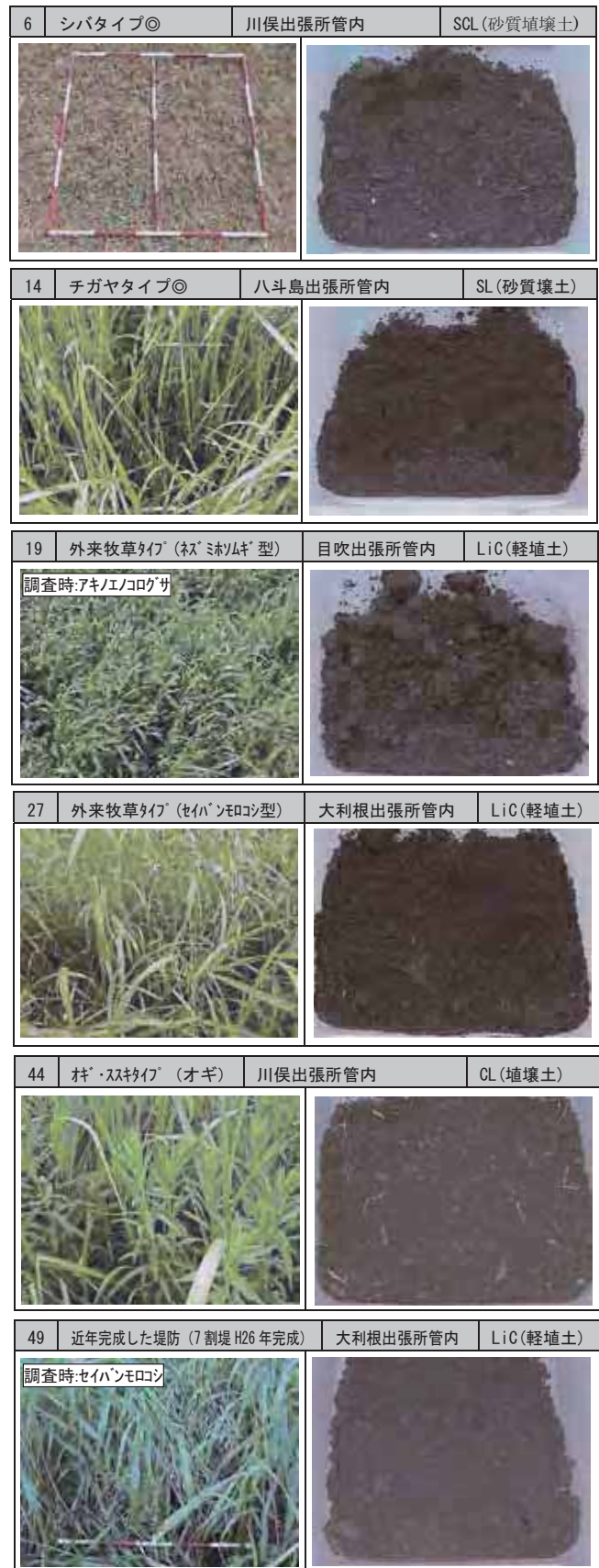


図3-3 代表的な現地状況とサンプル

4. 分析および適正度評価結果

現地調査で採取したサンプルについて、分析項目毎に定量分析を行い、得られたデータを基にして、堤防植生タイプ別に植栽基盤としての適正度評価基準(案)に基づいて評価を行った。

各項目の分析方法は、堤防植生タイプ毎を横軸に、各分析項目を縦軸に設定し、評価軸としての適正度評価基準(案)を背景に合わせ分析した(図 4-1, 4-2)。各分析および適正度評価結果は、次のとおりである。

(1) 粒度組成

シバとチガヤタイプは、SL(砂質壤土)やSCL(砂質埴壤土)のような砂質が混じる箇所が多く見られ、植栽基盤として適正が高い傾向を示していた。外来牧草タイプは、LiC(軽埴土)やSC(砂質埴土)のような粘質が混じる箇所が多く見られ、植栽基盤として要土壌改良となる傾向を示していた。(図 4-1, ①)

(2) コーン指数(土壌硬度)

全タイプともに深さ 0cm(表層)は、5kg/m²程度となり差はあまり見られなかった。深さ 5cm 以下になるとシバタイプと7割堤防は、それ以外のタイプと比べて 50 kg/m²を超える硬さとなり、植栽基盤として適性に乏しい傾向を示していた。また、貫入不可となる箇所がシバタイプでは深さ 10cm、7割堤防では深さ 15cm で見られた。(図 4-1, ②)

(3) 有効水分保持量

シバとチガヤタイプは、それ以外のタイプと比べて有効水分保持量が 120L/m³を超えるような高い箇所が多かった。また、7割堤防については、80 L/m³より少ない箇所が見られるため、植栽基盤として要土壌改良となる傾向を示していた。(図 4-1, ③)

(4) 全窒素(N)

全タイプともに植栽基盤として適正がある全窒素量 0.6 g/kg 以上の値を含んでいる傾向を示していた。ただし、シバタイプと7割堤防は、全窒素量がその

以外のタイプに比べて 1.0 g/kg より低い箇所が多い傾向となっていた。特にシバタイプについては植栽基盤として要土壌改良となる 0.4 g/kg の箇所も見られた。(図 4-1, ④)

(5) 有効態リン酸(P₂O₅)

全タイプともに有効態リン酸は、100mg/kg より低い箇所が多く植栽基盤として要土壌改良となる傾向を示していた。中でも特にシバとチガヤタイプと7割堤防(一部ネズミホソムギ)は、50mg/kg を下回る箇所が多い傾向を示していた。(図 4-2, ⑤)

(6) 交換性カリウム(K)

シバタイプと7割堤防は、それ以外のタイプと比べて交換性カリウムが 1.0 cmol(+)/kg より低い箇所が多く植栽基盤として適正に乏しい傾向を示していた。(図 4-2, ⑥)

(7) 電気伝導度(EC)

全タイプともに植栽基盤として適正が高い 0.2ds/m より少ない値の傾向を示しており、特に傾向の差は見られなかった。(図 4-2, ⑦)

(8) 塩基交換容量(CEC)

全タイプともに植栽基盤として適正が高いまたは適正のある 6 cmol(+)/kg より少ない傾向を示しており、特に傾向の差は見られなかった。(図 4-2, ⑧)

(9) C/N比

シバタイプと7割堤防は、のC/N比が 20 程度となりやや高く、それ以外のタイプは 10 程度となりC/N比が低い傾向を示していた。(図 4-2, ⑨)

(10) pH(H₂O)

全タイプともに植栽基盤として適正が高いまたは適正のある 5.6 から 8.0 とる傾向を示していた。

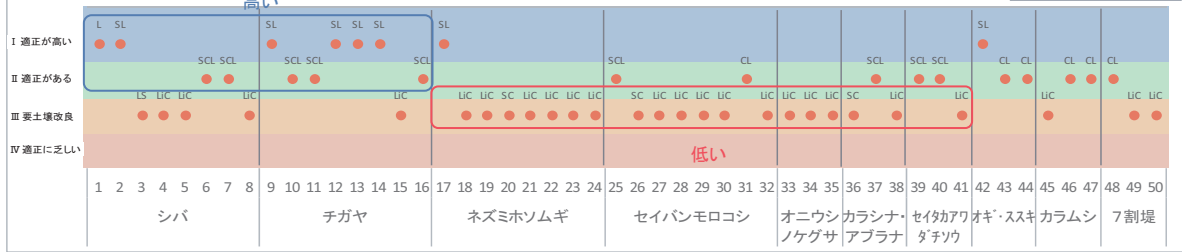
シバとチガヤタイプは、5.5 から 7.0 の範囲内が多くやや酸性であり、外来牧草等は、7.0 を超えややアルカリ性であった。(図 4-2, ⑩)

①

① 粒度組成

※参考：近藤三雄(1994)「公共緑化の芝生 アニメーターをめざして」
 I: L(粘土) SL(砂質粘土) II: SL(シルト質粘土) SCL(砂質堆積土) CL(堆積土)
 III: S(砂度) LS(腐質砂土) Sc(砂質堆土) LIC(軽堆土) IV: HC(重堆土)

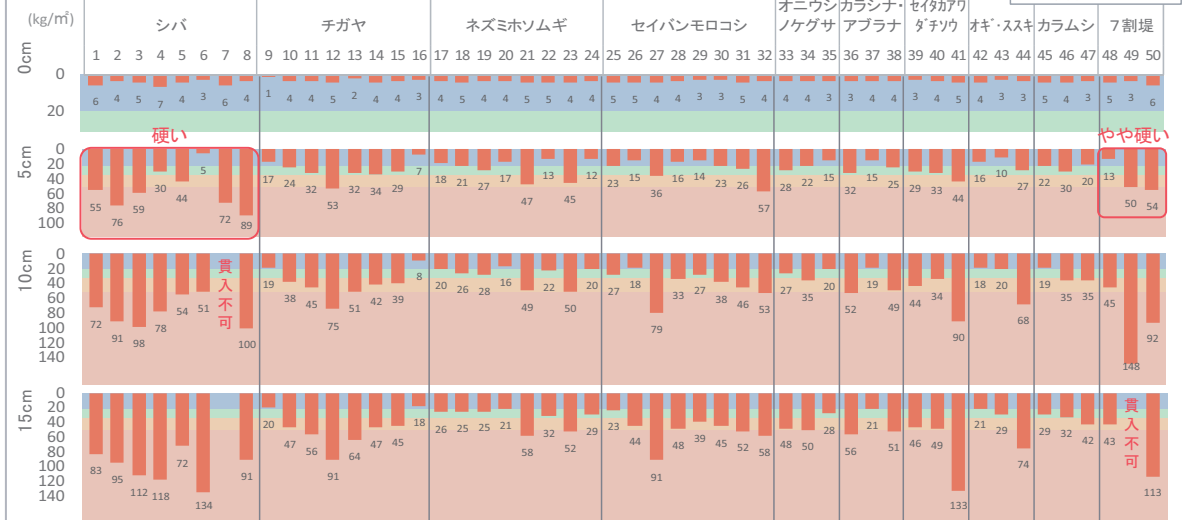
■背景色 凡例
 I 適正が高い II 適正がある
 III 要土壌改良 IV 適正に乏しい



②

② コーン指数(土壌硬度)

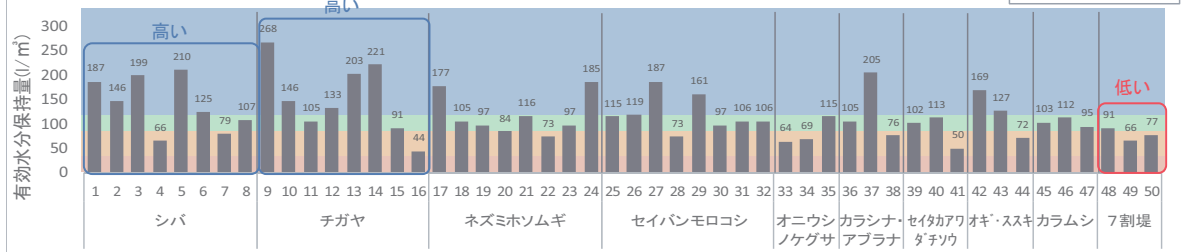
■背景色 凡例
 I 適正が高い II 適正がある
 III 要土壌改良 IV 適正に乏しい



③

③ 有効水分保持量

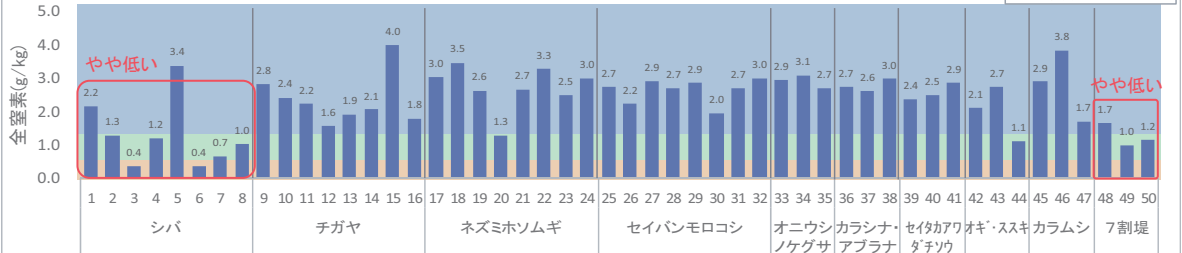
■背景色 凡例
 I 適正が高い II 適正がある
 III 要土壌改良 IV 適正に乏しい



④

④ 全窒素(N)

■背景色 凡例
 I 適正が高い II 適正がある
 III 要土壌改良 IV 適正に乏しい



⑤

⑤ 有効態リン酸(P₂O₅)

■背景色 凡例
 I 適正が高い II 適正がある
 III 要土壌改良 IV 適正に乏しい

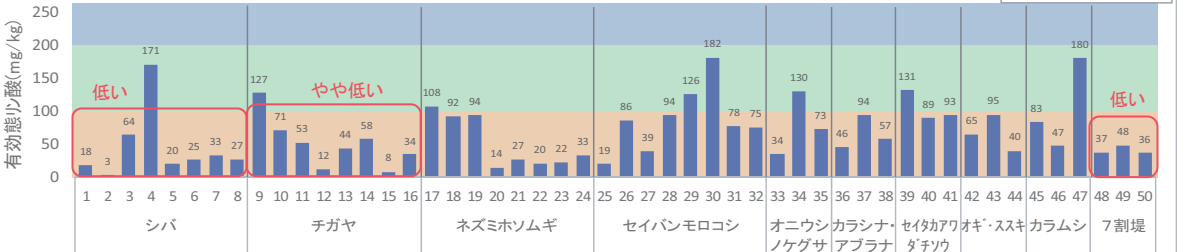


図4-1 分析および適正度評価結果 1/2

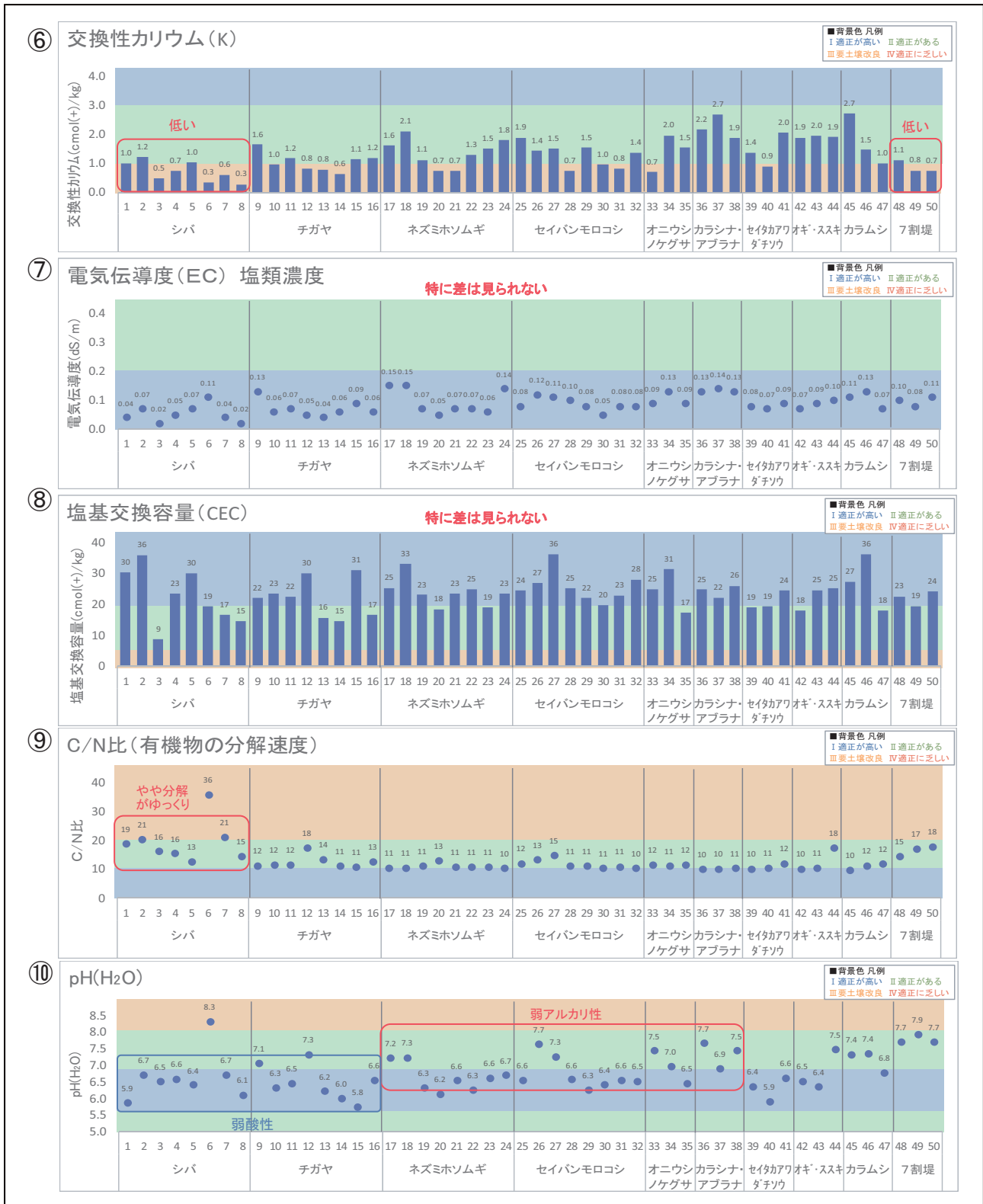


図 4-2 分析および適正度評価結果 2/2

5. 植栽基盤としての適正度評価

堤防植生タイプ毎の分析結果を平均し植栽基盤と

しての適正度評価を行い、前述した参考値を基に数値化した。結果は、表 5・1 と図 5・1 のとおりである。

シバ箇所と 7 割堤防箇所の適正度評価が低い理由

表 5・1 植栽基盤としての適正度評価結果

(◎2点 ○1点 △0点 ×-1点)

	シバ	チガヤ	ネズミホソムギ	セイバンモロコシ	オニウシノケグサ	カラシナ・アブラナ	セイタカアワダチソウ	オギ・ススキ	カラムシ	7割堤
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値
①粒度組成	○	○	△	△	△	△	○	○	○	△
②コン指数(土壌硬度)	×	○	○	○	○	○	△	◎	○	△
③有効水分保持量	◎	◎	○	◎	○	◎	○	◎	○	△
④全窒素	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
⑤有効態リン酸	△	△	△	△	△	△	○	△	○	△
⑥交換性カルウム	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△
⑦電気伝導度(EC)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
⑧塩基交換容量(CEC)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
⑨C/N比	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
⑩pH	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	◎	○	○
適正度評価	9	14	12	13	11	12	13	15	13	7

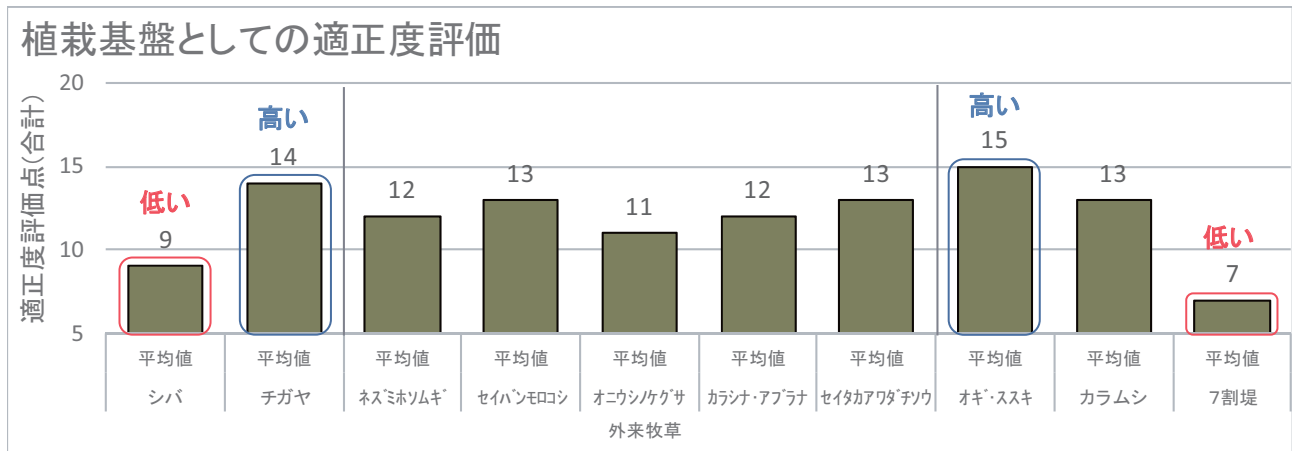


図 5・1 植栽基盤としての適正度評価結果

は、両者ともに築堤後間もない堤防であり、十分な締固め管理がされていることが大きな要因としてあげられる(図 5・1)。

チガヤ箇所の適正度評価が高い理由は、シバ養生終了後の不安定な植生遷移段階が終わり、チガヤが定着し基盤土質として安定した条件が整ったものとする(図 5・1)。

オギ・ススキ箇所の適正度評価が高い理由は、チガヤ箇所と同様に基盤土質として安定した条件が整ったものとする(図 5・1)。

6. 植栽土質から見た堤防植生遷移の整理

植栽基盤としての適正度評価の結果を基に、基盤土質から見た堤防植生遷移について整理を行った。

以下に、施工時から維持管理時における総張芝と

表土敷き均し工法別の堤防植生遷移イメージのフローを図 6・1 に示す。

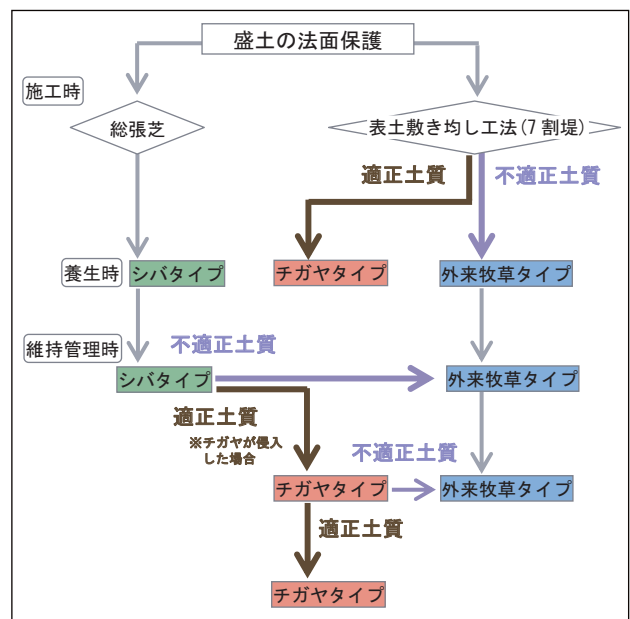


図 6・1 堤防植生遷移イメージ

7. まとめ

以上の検討結果について、各分析項目で堤防の維持管理上で適している「シバ・チガヤの生育に望ましい植生基盤土質」の視点でまとめると表7・1のとおりである。

表 7・1 シバ・チガヤの生育に好ましい植生基盤土質

項目		条件
物理性	1 粒度組成	砂質土を多く含む土質 (若干の粘質土も含む)
	2 コーン指数(土壌硬度)	植物の根が張りやすい硬度の土質
	3 有効水分保持量	水分が保持できる土質 (粒度・土壌硬度)
化学性	4 全窒素	植物の生育初期に必要な 適度の肥料分がある土質
	5 有効態リン酸	
	6 交換性カリウム	
	7 電気伝導度(EC)	窒素・リン酸・カリが適度に 水に溶けやすい土質
	8 塩基置換容量(CEC)	窒素・リン酸・カリが流出せ ず貯えやすい土質
	9 C/N比	枯葉などの堆積がなく腐葉 土が少ない土質
	10 pH(H ₂ O)	シバ・チガヤ(在来植物)が 好む弱酸性の土質

ただし、上記条件はあくまでも植生部分にとって好ましい堤防表面の20～30cm程度の範囲のものであり、堤体への影響を考慮しないものである。

今回実施した堤防植生に適した基盤土質の検討により、以下の知見が得られた。

①堤防植生タイプと基盤土質の関係性

シバタイプおよびチガヤタイプにおいて砂質土が多く、外来牧草タイプにおいて粘性土が多い傾向であった。

シバタイプ堤防や7割堤防では、肥料分やC/N比(有機物分解速度)が低い傾向であった。一方、他の堤防植生タイプは有機物の自己供給が繰り返されることから、肥料分やC/N比が高い傾向であった。

オノウシノケグサ、カラシナ・アブラナ、カラムシ

のような一部の外来植物や広葉植物のpHはややアルカリ性が高い傾向であった。

以上のように、シバ・チガヤタイプのような在来植物と一部の外来植物では基盤土質の物理性・化学性が異なる傾向が見られた。

②築堤後の基盤土質の変化

築堤後間もない堤防では、土壌硬度が高く肥料分が少なく、植物の植栽基盤としての適正度評価が低い傾向にある。

一方、堤防養生(3年間)終了後は、不安定な植生遷移段階を経てチガヤ等が定着した堤防では植栽基盤としての基盤土質が安定し適正度評価が高い傾向にある。

③堤防維持管理に支障が生じにくい堤防植生に適した基盤土質への誘導

設計施工時において、基盤土質を砂質土や酸性土に調整することで施工直後から侵入する雑草等を抑制できる可能性があることや、合わせて窒素等を施肥することで維持管理上望ましいシバやチガヤの初期成長を助けることができる可能性がある。

8. 今後の課題と方針

今後の課題としては、上記の知見を活用して、チガヤ等の堤防に適した植生への遷移が促せるように、以下のような対応策について検討が必要である。

- ・ pH調整, 施肥等を考慮した効果的な管理手法
- ・ 施工時における効率的な盛土材の調整方法
- ・ 現場で施工可能なコストの設定

また、築堤工事が進む7割堤防施工現場等への早期適用を目指し、堤防機能を維持しつつ植栽基盤としての適正度評価をあげる必要がある。

そのためには、さらなる知見の蓄積と現地実験等を踏まえた検証を行い、効率的・効果的な方法を導き出すことが重要である。

謝辞

本報告を行うにあたり、貴重なデータを提供していただいた国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所計画課に対し、ここに深く謝意を表します。

また、東京大学大学院 山田晋助教には、貴重なご意見を頂きました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木寧・戸谷英雄・石橋祥宏・伊坂充・平田真二：堤防植生の特性と堤防植生管理計画，河川環境総合研究所報告 第6号，2000.
- 2) 大澤寛之・山田政雄・塩見真矢・小笠原勝：渡良瀬川における植物成長調整剤を用いた効率的・効果的な堤防植生管理手法の提案，河川技術論文集，第21巻，2015.
- 3) 大澤寛之・山田政雄・塩見真矢・築瀬範彦：植物成長調整剤を用いた堤防植生管理手法による維持管理コスト縮減対策について，土木学会論文集 Vol. 71, No. 4, I_199-I_206, 2015.
- 4) 大澤寛之・戸谷英雄・山本嘉昭・山田政雄・吉田高樹：河川堤防における刈草放置の堤体強度への影響について，河川技術論文集，第22巻，2016
- 5) 宇多高明ら：堤防のり面に繁茂する植生の耐侵食性の評価方法に関する研究，土木研究所資料第3489号第3編，1997.
- 6) 建設省土木研究所河川部河川研究室：洪水流を受けた時の多自然型河岸防護工・粘性土・植生の挙動，土木研究所資料第3489号，1997.
- 7) 服部敦・望月達也・藤田光一：年2回の草刈りを行っている堤防のり面の耐侵食性の評価，水工学論文集 第41巻，1997.
- 8) 近藤三雄：公共緑化の芝生-アメニティターフをめざして，ソフトサイエンス社，1994.
- 9) 一般財団法人日本土壌協会：有機農業の基礎知識，2015.

シバ植生の長期保持に向けた堤防養生工の検討

塩見 真矢*・山田 政雄**・大澤 寛之***

1. はじめに

堤防養生工は、築堤における張芝後、シバを確実に根付かせることを目的に3年間実施される。その方法は、関東の各河川事務所において独自の方法で堤防養生工を行っているのが実態である。堤防養生工終了後（築堤3年後）の河川堤防の維持管理は、出水期前及び台風期の堤防の点検に支障がないよう、それらの時期に合わせて年2回の堤防除草を基本として行っている。

近年、張芝が堤防養生後の数年経過し、他の植生に遷移してしまうことや、堤防養生工が抜根等の人力施工を主体とすることによる人手不足等の新たな問題が発生している。

これらの問題に対して、現在の知見やコスト等を考慮した上で、シバ植生の長期保持に向けた新たな効率的・効果的な堤防養生工の管理手法を検討することが求められている。

本研究では、シバ植生の長期保持に向けた効率的・効果的な堤防養生工の管理手法を提案することを目的として、現地での堤防養生工の管理試験を実施し、その効果を検証するものである。また、本研究で扱う堤防養生工管理試験は、2014（H26）年度に築堤後、張芝施工された区間を対象とし、2015（H27）年度から2017（H29）年度までの3年間を試験期間としている。本稿では、2015（H27）年度の1年間の試験結果を踏まえ、1年目で確認された効果等を報告する。

2. 堤防養生工の実態と課題

堤防養生工の管理試験を実施するにあたっては、渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工の実態とその課題を把握する必要がある。渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工について、2015（H27）年度に実施されている抜根等の方法・頻度・時期等の実態及びその課題を整理した。

2.1 堤防養生工の実態

2015（H27）年現在、渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工の方法は、表2・1に示すとおり、養生1年目に抜根3回（5～6月、7月、9～10月）、養生2～3年目に①抜根3回（5～6月、7月、9～10月）と芝刈2回（7月、10月）、②芝刈5回（毎月）、③芝刈5回（7月に2回）の3手法、施肥は3年間を通して年1回（6月下旬）実施されている。なお、養生2～3年目の3手法については、①の手法を基本として、②及び③の手法が試行的に実施されている。

ここで、本稿で用いる「抜根」、「芝刈」、「施肥」の定義を以下に示す。

- ・「抜根」：雑草の発生を抑える目的として、シバ以外の雑草を人力抜根し集草すること（積込・運搬、処分を含む）。
- ・「芝刈」：シバの成長を促すこと及び雑草の発生を抑えること等を目的として、ハンドガイ

*（公財）河川財団 河川総合研究所 研究員

** 前（公財）河川財団 河川総合研究所 主管研究員

*** 前（公財）河川財団 河川総合研究所 研究員（現（株）エコー 技術本部 河川・環境部 主任）

表 2-1 堤防養生工の実態 (2015 (H27) 年時点)

工事種別	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
芝刈	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	6箇所
施肥	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	6箇所
抜根	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	1箇所	6箇所
その他	0箇所	0箇所	0箇所	0箇所	0箇所	0箇所	0箇所
合計	2箇所	2箇所	2箇所	2箇所	2箇所	2箇所	12箇所

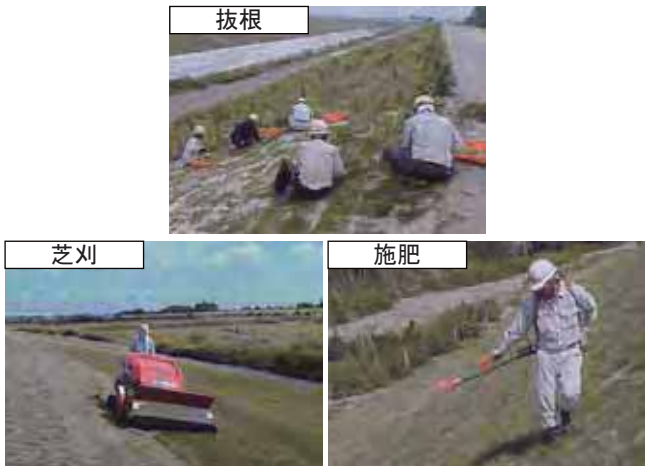


図 2-1 堤防養生工の管理手法

ド式草刈機による機械除草を行うこと
(集草、積込・運搬、処分を含む)。

- ・「施肥」: シバの成長を促す目的として、肥料(普通化成 8-8-8, 30 g/m²)を重力式肥料散布機等を用いて人力散布すること。

2.2 堤防養生工の課題

近年、張芝が堤防養生後の数年で他の植生に遷移

してしまうことや、堤防養生工が抜根等の人力施工を主体とすることによる人手不足等の新たな問題が発生している。

2.2.1 堤防養生工に期待する効果の不足

堤防養生工は、張芝後の3年間、抜根・施肥等を実施してシバを育成し、シバの定着を目指している。しかし、堤防養生工終了後の堤防除草(年2回)に切り替わった数年後には、外来牧草等へ遷移する箇所が多く見られ、堤防養生工に期待するシバ植生の長期保持等の効果が必ずしも得られていないのが現状である。そのため、現在の堤防養生工についてシバ植生の長期保持等の効果の面から見直す必要がある。

渡良瀬川河川事務所管内において、堤防養生中及び堤防養生後の堤防植生について、近年の実態(堤防施工から1~10年経過した堤防を対象)を2014(H26)年11月に現地調査し、堤防植生の遷移状況を把握した。なお、堤防植生の分類については、佐々木他(2000)¹⁾より報告されている「堤防植生タイプ」を参考とした。「植生タイプ」のうち、「シバタイプ」及び「チガヤタイプ」では、外来牧草の混入割合として、「◎(混入なし)」、「○(2割以下)」、「△(2~5割)」、「×(5~7割)」とした。

堤防施工経過年別の堤防植生タイプ状況の調査結果を図2-2に示す。図の横軸に施工経過年別の堤防を示し、右から左に向かって築堤後、年数が経過し

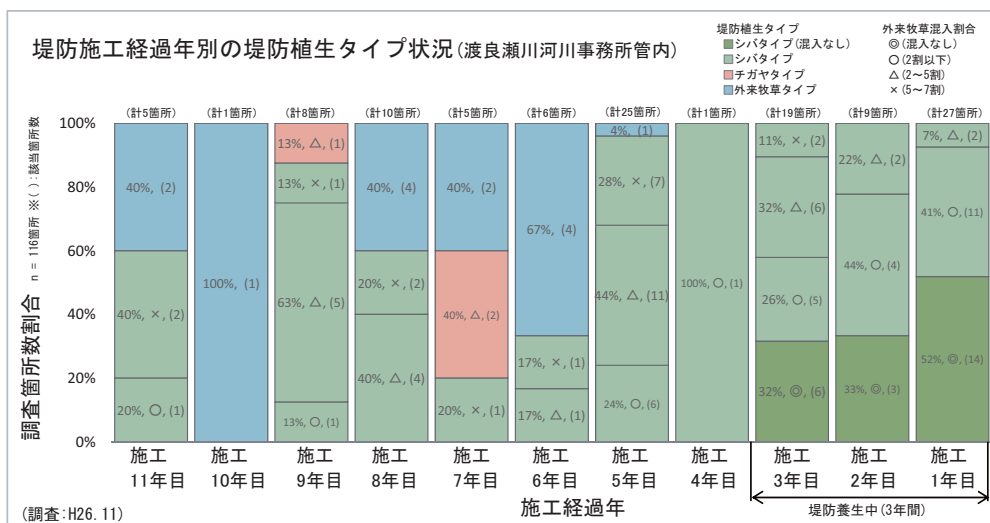


図 2-2 堤防施工経過年別の堤防植生タイプ状況の調査結果

た堤防を示す。また、図の縦軸に、ある堤防施工経過年の調査箇所における堤防植生タイプの割合を示す。

1) 堤防養生中の堤防（施工 1～3 年目）

堤防養生中の堤防では、良好な状態でシバタイプ（◎，混入なし）が比較的維持されている。ただし、箇所によっては、堤防養生中であっても外来牧草混入割合（△，2～5割），（×，5～7割）が多い箇所もあり，外来牧草等の雑草が繁茂している箇所が多いことから，現状の堤防養生工において抜根作業上の負担になっていると考えられる。

2) 堤防養生工終了後の堤防（施工 4～11 年目）

施工 4～5 年目の堤防は，概ねシバタイプが維持されている。

施工 6 年目以降の堤防では，良好な状態でのシバタイプ（◎，混入なし）が確認されず，外来牧草タイプ及びチガヤタイプに遷移している箇所が多い。また，シバタイプが維持されている箇所においても外来牧草混入割合が多くなっている。

よって，施工 6 年目以降（養生後 3 年目以降）の堤防になると，通常の維持管理（除草年 2 回）ではシバタイプが良好に維持されず，外来牧草等のシバ以外の植生に遷移する傾向にあると推察した。

2.2.2 現場における人手不足

各出張所における維持業者へのヒアリングによると，抜根作業員の高齢化や，しゃがみ作業等のため敬遠されるとともに，近年の著しい雑草繁茂への抜根作業上の負担による増員等により，現場における人手不足が深刻化している。

また，渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工（抜根，芝刈，施肥）に必要な人員等は，各出張所における 2014（H26）年度維持管理工事の千㎡あたりの標準歩掛を用いて算出した。

千㎡あたりの抜根作業員は，芝刈作業員に比べて約 3 倍（標準歩掛見合）の人手が必要であり（図 2・3），2014（H26）年度渡良瀬川管内実績で延べ約 4,800 人の抜根作業員が携わっている。

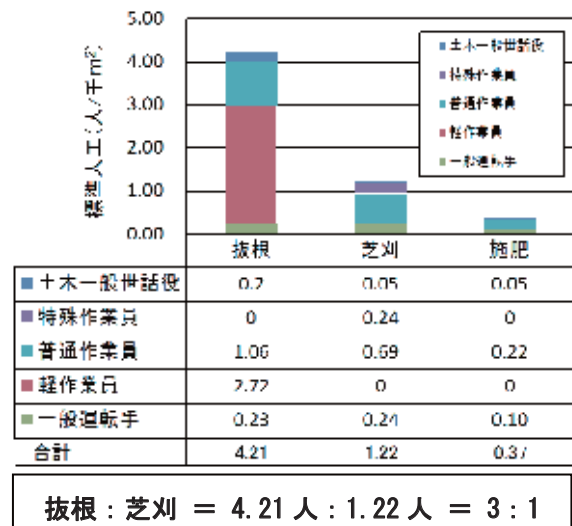


図 2・3 職種別 標準人工（千㎡あたり）

よって，堤防養生工については，人手不足を軽減できる手法を検討する必要がある。

3. 効率的・効果的な堤防養生工の目標

渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工の現状と課題等を踏まえた新たな効率的・効果的な堤防養生工の検討を行う上での目標を設定し，各目標に向けた検証方針を整理した。

効率的・効果的な堤防養生工の目標

- ① 3 年以内にシバを確実に根付かせる堤防養生工
- ② 現状において深刻化している人手不足を軽減できる堤防養生工
- ③ 現状の堤防養生工コスト程度以内の堤防養生工

目標①「3 年以内にシバを確実に根付かせる堤防養生工」については，3 年以内にシバを確実に根付かせる堤防養生工に向けて，抜根，芝刈，施肥等の回数や実施時期を変えた組み合わせを検討し，その効果を検証する。目標②「現状において深刻化している人手不足を軽減できる堤防養生工」については，人手不足を軽減できる堤防養生工に向けて，人手がかかる抜根以外の芝刈等の機械施工へ極力転換することを検討する。目標③「現状の堤防養生工コスト程度以内の堤防養生工」については，現状の堤防養生工

生工コスト程度以内の堤防養生工に向けて、抜根作業の回数の調整や芝刈等の機械施工へ極力転換することを検討する。

4. 維持業者へのヒアリング結果を踏まえた工程（案）の作成

5.1 に示す管理試験ケース設定の参考とするため、渡良瀬川河川事務所管内で施工している維持業者から、堤防養生工に関するヒアリングを 2014 (H26) 年に行い、その結果等を踏まえ、堤防養生工の工程（案）を作成した。

4.1 維持業者へのヒアリング結果

渡良瀬川河川事務所管内で施工している維持業者から、堤防養生工に関するヒアリングを 2014 (H26) 年度に行った。その結果について、主な内容を以下に示す。

- ・養生 1 年目については、張芝施工後に植生基盤土から雑草が一斉に発芽するため、最初の抜根が重要であり、雑草の根まで掘り起こす等、できる限り丁寧に行うことが望ましい。また、3 月末に張芝後、7 月後半以降であれば、シバの根付具合を確認の上、芝刈を行うことも考えられる。
- ・養生 2～3 年目については、芝刈で対応可能であり、雑草の芽生えや成長期などの生活史を考慮しながら時期を設定することが望ましい。

4.2 堤防養生工の工程（案）

上記のヒアリング結果等を踏まえ、堤防養生工の工程（案）を作成した（表 4・1）。

養生 1 年目については、雑草が生え揃った時期である 5 月～6 月中旬に丁寧な抜根、シバが活着した 7 月中～下旬に芝刈、秋に芽生える雑草が生え揃った時期である 10 月に芝刈を行う。

養生 2～3 年目については、芝刈を年 5 回とし、雑草の芽生えや成長期等を考慮して時期を設定した。

なお、作成した工程（案）は 5.1 に示す管理試験ケースの設定にあたっての参考とした。

5. 試験内容

堤防養生工管理試験は、2014(H26)年度に築堤後、張芝施工された区間を対象として、2015 (H27) 年度から 2017 (H29) 年度までの 3 年間で試験期間としている。その試験内容について、管理試験ケース、試験地及びモニタリング内容を以下に示す。

5.1 管理試験ケース

管理試験ケースの設定にあたっては、目標を踏まえ、着眼点を整理した上で、管理試験ケースを設定した。

5.1.1 管理試験ケース設定にあたっての着眼点

管理試験ケースの設定にあたっては、目標を踏まえ、以下の着眼点を整理した。

- 1) 養生 1 年目における芝刈への切替え時期および芝刈回数

表 4・1 堤防養生工の工程（案）

養生年	5月	6月	7月	8月	9月	10月	備考
1年目	丁寧な抜根		芝刈 (雑草の根を掘り起こす)			芝刈	抜根 1回、芝刈 2回 施肥 1回
2,3年目	芝刈		芝刈 芝刈		芝刈	芝刈	芝刈 5回(7月 2回) 施肥 1回

・養生1年目において、人手不足を軽減するために、「抜根」から「機械施工による芝刈」への切替え時期およびシバの良好な生育を促すための芝刈回数について検証を行う。

・また、張芝施工後に植生基盤土から雑草が一斉に発芽するため、最初の抜根を必須とし、できる限り「丁寧な抜根*」を行う。

※丁寧な抜根の作業定義は、以下のとおりである。

- ・シバ以外の雑草を抜く際には、根が引き千切れないように、少しゆっくりと引き抜く。
- ・シバと見た目が類似した雑草や、シバの草丈と同程度で見逃しがちのシバ以外の雑草について、確実に引き抜く。

2) 養生2年目における芝刈回数

・養生2年目において、効率的な芝刈回数を導き出すため、芝刈回数を3~5回と変化させて、シバの定着に必要な芝刈回数について検証を行う。

3) 「芝焼き」の導入

・雑草の種子を焼却するとともに焼却後の灰分が肥料となりシバの成育のためになる新たな手法として、「芝焼き」の効果を検証する。

5.1.2 管理試験ケースの設定

5.1.1の着眼点に基づき、12ケースの管理試験ケースを設定した(表5・1)。

対照区1,2については、渡良瀬川河川事務所管内における堤防養生工の実態より、養生1年目に抜根3回、養生2~3年目に抜根3回と芝刈2回の対照区1、芝刈5回の対照区2を設定した。

試験区3,4については、養生1年目に抜根3回、養生2~3年目に芝刈3回の試験区3、芝刈4回の試験区4を設定した。

試験区5~7については、養生1年目に抜根2回と芝刈1回、養生2~3年目に芝刈3回の試験区5、芝刈4回の試験区6、芝刈5回の試験区7を設定した。

試験区8~10については、養生1年目に抜根1回と芝刈2回、養生2~3年目に芝刈3回の試験区8、芝刈4回の試験区9、芝刈5回の試験区10を設定した。

試験区11,12については、養生1年目に抜根1回、芝刈2回と芝焼き1回、養生2~3年目に芝刈3回と芝焼き1回の試験区11、芝刈4回と芝焼き1回の試験区12を設定した。

表中の太枠については、1年目(H27年度)の管理手法が同じもの(対照区1,2、試験区3,4、試験区

表5・1 管理試験実施工程表(案)

		1年目(H27年度)						2~3年目(H28, H29年度)							
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	2月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	2月
対照区	1	抜根	芝刈	抜根			抜根		抜根	芝刈	抜根	芝刈	抜根	芝刈	
	2	抜根	芝刈	抜根			抜根		芝刈	芝刈	芝刈	芝刈	芝刈	芝刈	
試験区	3	丁寧な抜根		抜根			抜根		芝刈		芝刈			芝刈	
	4	丁寧な芝刈		抜根			抜根		芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	
試験区	5	丁寧な抜根		抜根			芝刈		芝刈		芝刈			芝刈	
	6	丁寧な芝刈		抜根			芝刈		芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	
	7	丁寧な芝刈		抜根			芝刈		芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	芝刈
試験区	8	丁寧な抜根		芝刈			芝刈		芝刈		芝刈			芝刈	
	9	丁寧な芝刈		芝刈			芝刈		芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	
	10	丁寧な芝刈		芝刈			芝刈		芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	芝刈
試験区	11	丁寧な抜根		芝刈			芝刈	芝焼き	芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	芝焼き
	12	丁寧な芝刈		芝刈			芝刈	芝焼き	芝刈		芝刈	芝刈		芝刈	芝焼き

※集草：抜根、芝刈の回数に応じて実施する。

5~7, 試験区 8~10, 試験区 11, 12) をグルーピングしている。

5.2 試験の実施場所

試験の実施場所は、渡良瀬川支川秋山川 左岸 1.4 k 付近の堤防川裏(1 試験区あたり:幅 3 m×法長 11.5 m=34.5 m²) で、2014 (H26) 年度に施工された新堤の一区分とした。(図 5-1)

試験地の選定理由は、2014 (H26) 年度に施工された新堤のうち、2015 (H27) 年 4 月にノシバの芽生えが確認され、ノシバの良好な生育が見込めること、及び芝焼きの実績があり、堤内地側の地域住民からの合意形成が得やすいことである。

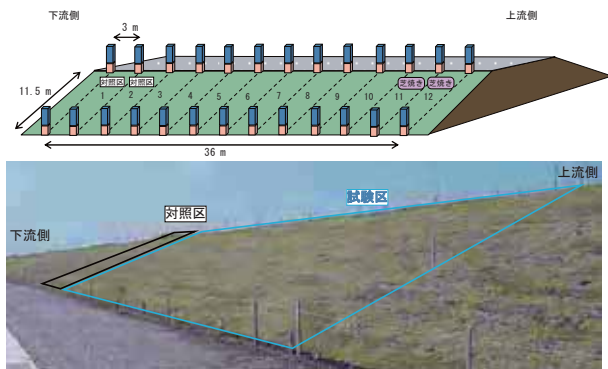


図 5-1 試験地の設置状況

5.3 モニタリング内容

本研究においては、2015 (H27) 年 5 月から 2016 (H28) 年 2 月まで毎月 1 回 (12 月, 1 月はノシバの休眠期であり、侵入雑草の生育も少ないため、モニタリング月から除く) モニタリングを実施した。

モニタリング項目は、シバの質を評価するために、a: シバの根付き具合・生育状況・植被率の把握, b: シバ以外の植被率及び混入率の把握, c: 集草時の刈草量の把握の観点から設定した。

参考として、植生基盤土(採取土)の採取地及び張芝の生産地において雑草種確認の調査を行い、試験地におけるシバ以外の雑草種と比較し、侵入種の侵入経路を把握した。また、ベーン式根系強度計を用いて、シバの根系強度調査を行い、築堤後、数年経過したシバタイプ堤防の根系強度と比較し、シバの

耐侵食性の把握を行った。

モニタリング項目の方法等については表 5-2 に示し、モニタリングスケジュールについては表 5-3 に示す。

表 5-2 モニタリング項目

目的	モニタリング項目	モニタリング方法	写真
シバの根付き具合・生育状況・植被率の把握	シバの根付き具合	シバの根付き具合を把握する。 根付き具合 1. 生育状況が変動しているため、モニタリング月毎に調査する。 2. 生育状況が変動している場合は、モニタリング月毎に調査する。 3. 生育状況が変動している場合は、モニタリング月毎に調査する。	
	シバの生育率	シバの生育率を把握する。生育率を把握する。	
シバ以外の植被率及び混入率の把握	雑草種	シバ以外に生育する雑草種に「ベーン式根系強度計」を用いて調査し、調査結果を記録する。	
	集草時	刈草機を用いて刈草機を通過し、刈草量を把握する。	
	刈草量	刈草機を用いて刈草機を通過し、刈草量を把握する。	
侵入種の侵入経路の把握	侵入種の侵入経路を把握する。侵入種の侵入経路を把握する。		
シバの根系強度の把握	ベーン式根系強度計を用いて、シバの根系強度を把握する。調査結果を記録する。		

表 5-3 モニタリングスケジュール

モニタリング項目	2015年(2015年5月~2016年2月)												2016年(2016年3月~2016年12月)											
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
シバの根付き具合	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
シバの生育率	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
雑草種	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
集草時	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
刈草量	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
侵入種の侵入経路	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
シバの根系強度	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		

6. 効率的・効果的な堤防養生工の評価・選定方法(案)

各管理手法を用いた堤防養生工管理試験の評価方法及び管理手法の選定方法(案)を整理した(図 6-1)。

6.1 各目標における評価

堤防養生工管理試験の評価方法については、各目

標（目標①～③）ごとに評価を行う。

目標①では、a. シバの根付き具合・生育状況・植被率による評価、b. シバ以外の種類及び混入率による評価、及びc. 刈草量による評価からなる「質的な評価」を行う。

目標②では、人手不足の解消度による評価からなる「人員確保上の評価」を行う。

目標③では、各ケースのコストによる評価からなる「経済性の評価」を行う。

6.2 総合評価及び管理手法の選定

堤防養生工管理試験の選定方法(案)については、上記の各目標ごとの評価より、目標①の達成に向けて、目標②・③についても目標をクリアできているか、各ケースの総合評価を行う（3年間の総合評価を基本とする）。

また、各年での総合評価を行い、効果の見通しがついた場合、または有効な作業手法と判断した場合は、実用化実施の判断を行う。

その上で、3年間の総合評価を基本として、各ケースの総合評価結果から効率的・効果的な管理手法を選定する。ただし、可能であれば、各年の総合評価結果から早期に管理手法の選定を行うこととする。

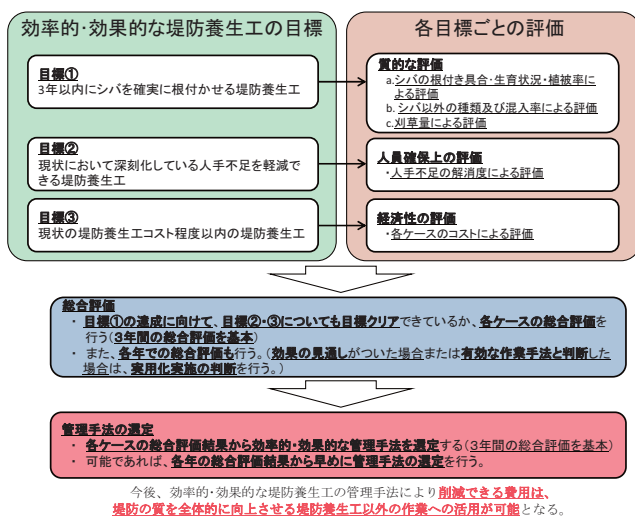


図 6-1 効率的・効果的な堤防養生工の評価・選定方法(案)

7. 試験結果及び評価

モニタリング調査にて得られた各月の対照区及び試験区毎のデータを基に、1年目に確認された効果等を対照区(対照区1,2)及び試験区毎(1年目(H27年度)の管理手法が同じである試験区3,4,試験区5~7,試験区8~10,試験区11,12)に要約整理した(質的な評価)。また、2014(H26)年度維持管理工事の直接工事費及び標準歩掛を基に、人員確保上の評価及び経済性の評価を行った。以上を踏まえ、1年目における総合評価を整理した。

7.1 1年目に確認された効果等

7.1.1 養生1年目における芝刈(ハンドガイド)への切替え時期は7月以降で可能

試験地(H27年3月施工)において、図7-1に示すとおり、5月モニタリング時(H27年5月29日)にシバの根付き具合が2、6月モニタリング時(H27年6月24日)にシバの根付き具合が3となり、シバ全体が定着しているため、ハンドガイド走行が可能であることが確認できた(図7-1)。

そのため、7月以降(張芝後の約3ヵ月後)に芝刈用のハンドガイドの乗り入れが可能となる。

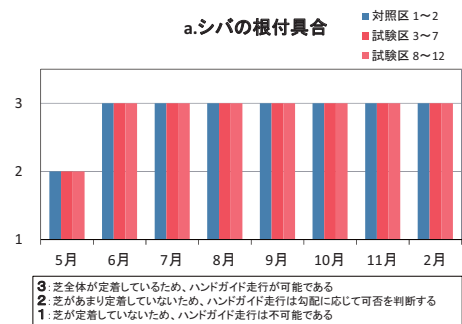


図 7-1 シバの根付き具合の試験結果



シバの根付き具合: 3 シバの根付き具合: 2 シバの根付き具合: 1

図 7-2 シバの根付き具合の状況(代表例)

7.1.2 「丁寧な抜根」は雑草の出現に対する抑制効果大きい

5月に「丁寧な抜根」を行った試験区については、7月の通常抜根前のシバ以外の雑草の刈草量及び1年間の刈草量の合計が、対照区に比べて格段に少なくなっている。このことから、5月の「丁寧な抜根」は雑草の出現に対する抑制効果が大いと考えられる。(図7-3, 図7-4)

7.1.3 施肥の時期は7月の抜根・芝刈後のほうがシバに対する育成効果は大きい

対照区における施肥の時期は、5月の通常抜根後の6月に行っており、シバ以外の雑草に対しても施肥の効果を与えてしまう結果となっている。(図7-5 写真①)

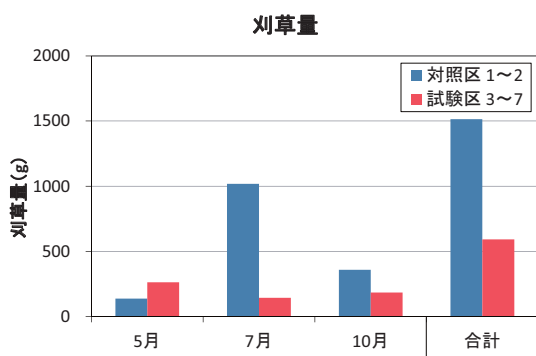


図7-3 刈草量の試験結果

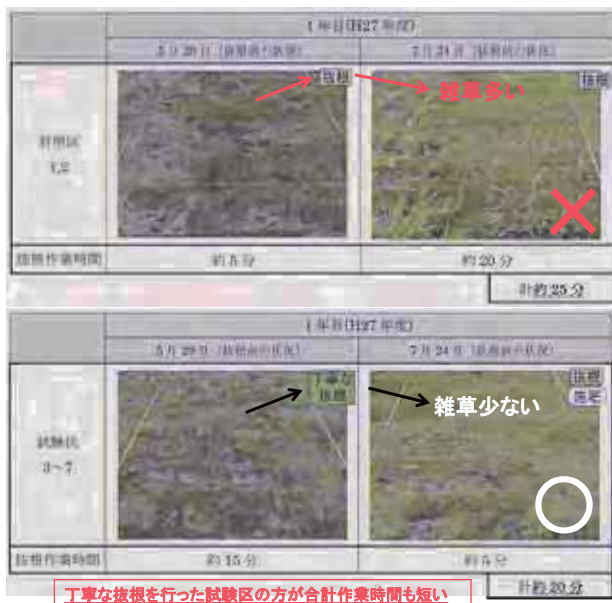


図7-4 対照区1,2及び試験区3~7における雑草の出現状況(代表例)

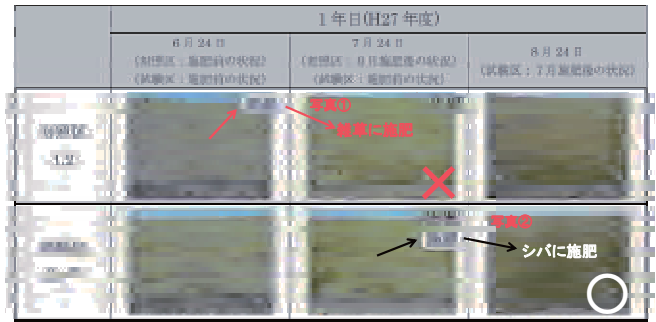


図7-5 対照区1,2及び試験区3~7における施肥の効果状況(代表例)

試験区における施肥の時期は、5月の「丁寧な抜根」、7月の通常抜根後に行っており、「丁寧な抜根」の効果もあって雑草が少ないため、シバ自体への育成効果が出ていると考えられる。(図7-5 写真②)

7.1.4 7月からの芝刈への切替えは質的な評価からも期待

7月からの芝刈への切替え(試験区8~12)については、1)10月の抜根または芝刈の作業前においてa,bによる評価(a:シバの根付き具合・生育状況・植被率,b:シバ以外の植被率及び混入率)を、2)10月の抜根または芝刈の作業後においてc(c:刈草量)による評価を行った。

1) a, bによる評価

5月及び7月に通常抜根を行った「対照区1,2」と、5月に「丁寧な抜根」を行い7月に芝刈を行った「試験区8~12」を比較(10月時点)すると、5月の「丁寧な抜根」の効果もあって、10月時点のa,bによる評価の差はあまりなく、質的に同程度と評価できる。

2) cによる評価

5月及び7月、10月に通常抜根を行った「対照区1,2」と、5月に「丁寧な抜根」を行い7月と10月に芝刈を行った「試験区8~12」を比較すると、5月の「丁寧な抜根」の効果もあって、10月時点のcによる評価では刈草量がほとんど変わらないため、質的に同程度と評価できる。

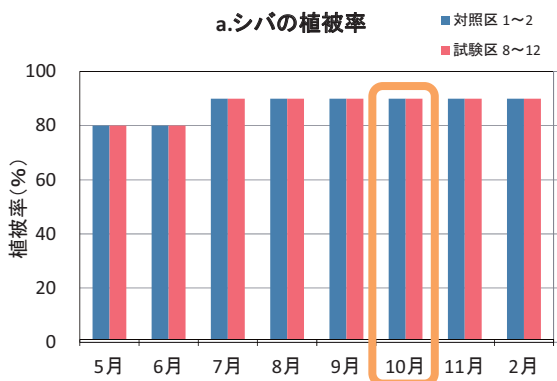
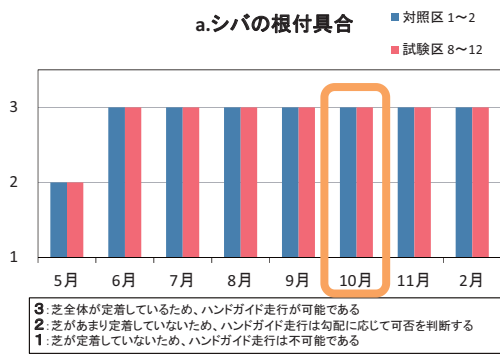


図 7-6 a. シバの根付具合・生育状況・植被率の試験結果

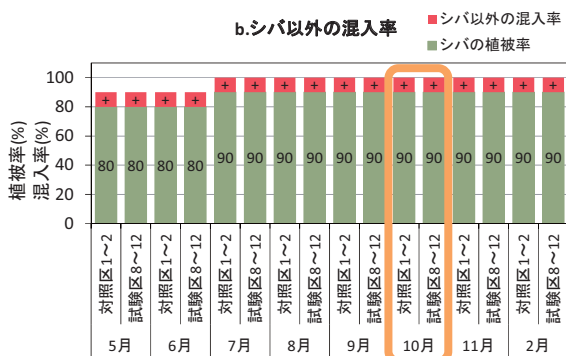
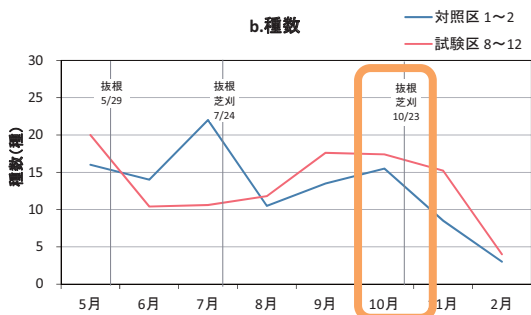


図 7-7 b. シバ以外の種類及び混入率の試験結果

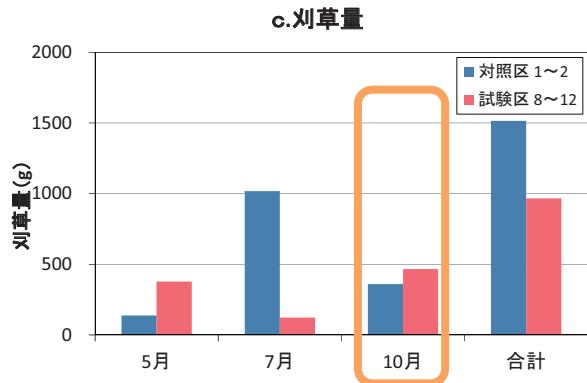


図 7-8 c. 刈草量の試験結果

7.1.5 雑草は植生基盤土からの侵入が多い

侵入種の経路調査として、植生基盤土（採取土）の採取地、シバ生産地において雑草種確認の調査を行った。試験地におけるシバ以外の侵入した雑草の種類を以下に示す。

[試験地の侵入種 = 植生基盤土(採取土)の採取地:約 8 割 + シバ生産地:約 2 割]

よって、植生基盤土（採取土）からの雑草の侵入が多いことが分かった。

7.2 1年目における総合評価

堤防養生工管理試験の管理試験ケースについて、質的な評価、人員確保上の評価及び経済性の評価における結果より、管理試験ケースごとの総合評価（1年目）を行った。管理試験ケースの総合評価結果（1年目）は、以下に示すとおりである（表 7-1）。

なお、質的な評価については a. シバの根付き具合・生育状況・植被率による評価、b. シバ以外の種類及び混入率による評価、及び c. 刈草量による評価から評価結果を整理した。また、人員確保上の評価については、種別（抜根、芝刈、施肥、芝焼き）の標準歩掛り各管理試験ケースの人工を算出し、評価結果を整理した。さらに、経済性の評価については、工種別（抜根、芝刈、施肥、芝焼き）の標準単価²⁾より各管理試験ケースの施工単価を算出し、評価結果を整理した。

各目標毎の評価については、「対照区より優れている(◎)」及び「対照区と同程度(○)」の2段階評価とした。

7.2.1 試験区 3~4

5月に「丁寧な抜根」、7月及び10月に通常抜根を行った試験区3~4については、質的な評価結果が高く、人員確保上の評価及び経済性の評価においては対照区と比べて同程度であることから、1年目の総合評価は高い。

7.2.2 試験区 5~7

5月に「丁寧な抜根」、7月に通常抜根、10月に芝刈を行った試験区5~7については、質的な評価結果が高く、人員確保上の評価において対照区と比べて、約2割の人手不足の解消が見込め、また、経済性の評価においても対照区と比べて約2割のコスト削減効果が見込めることから、1年目の総合評価は高い。

7.2.3 試験区 8~10

5月に「丁寧な抜根」を行い、7月及び10月に芝刈を行った試験区8~10については、質的な評価結果が対照区と比べて同程度であり、人員確保上の評価において対照区と比べて、約1割の人手不足の解消が見込め、また、経済性の評価においても対照区と比べて、約1割のコスト削減効果が見込めることから、1年目の総合評価は対照区と同程度である。

7.2.4 試験区 11~12

5月に「丁寧な抜根」を行い、7月及び10月に芝刈を行い、2月に芝焼きを行った試験区11~12については、質的な評価結果が高く、人員確保上の評価において対照区と比べて、約1割の人手不足の解消が見込め、また、経済性の評価においても対照区と比べて、約1割のコスト削減効果が見込めることから、1年目の総合評価は高い。

なお、芝焼きの効果については、2016(H28)年度以降に質的な評価として表れることが想定されるが、1年目の質的な評価に想定した芝焼きの効果を考慮して、整理した。

表 7-1 管理試験ケースの総合評価結果(1年目)

管理試験ケース	1年目(27年度)							各目標毎の評価						1年目の総合評価		
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	2月	質的な評価			人員確保上の評価		経済性の評価			
	a. シバの根付具合・生育状況・枯死率		b. シバ以外の種類及び混入率		c. 刈草量からなる評価			結果	人工	対照区	対照区	対照区				
対照区	1	抜根	抜根			抜根		○	○	○	○	13.01	○(1.00)	202,726	○(1.00)	○
	2	抜根	抜根			抜根		○	○	○	○	13.01	○(1.00)	202,726	○(1.00)	○
試験区	3	丁寧な抜根	抜根	通常		抜根		○	◎	◎	◎	13.01	○(1.00)	200,826	○(0.99)	◎
	4	丁寧な抜根	抜根	通常		抜根		○	◎	◎	◎	13.01	○(1.00)	200,826	○(0.99)	◎
試験区	5	丁寧な抜根	抜根	通常		芝刈		○	◎	◎	◎	10.02	◎(0.77)	169,652	◎(0.84)	◎
	6	丁寧な抜根	抜根	通常		芝刈		○	◎	◎	◎	10.02	◎(0.77)	169,652	◎(0.84)	◎
	7	丁寧な抜根	抜根	通常		芝刈		○	◎	◎	◎	10.02	◎(0.77)	169,652	◎(0.84)	◎
試験区	8	丁寧な抜根	芝刈	通常		芝刈		○	○	○	○	11.23	◎(0.80)	184,408	◎(0.91)	○
	9	丁寧な抜根	芝刈	通常		芝刈		○	○	○	○	11.23	◎(0.80)	184,408	◎(0.91)	○
	10	丁寧な抜根	芝刈	通常		芝刈		○	○	○	○	11.23	◎(0.80)	184,408	◎(0.91)	○
試験区	11	丁寧な抜根	芝刈	通常		芝刈	芝焼き	◎	◎	○	◎	11.65	◎(0.90)	182,745	○(0.90)	◎
	12	丁寧な抜根	芝刈	通常		芝刈	芝焼き	◎	◎	○	◎	11.65	◎(0.90)	182,745	○(0.90)	◎

※質的な評価：a. シバの根付具合・生育状況・枯死率、b. シバ以外の種類及び混入率、c. 刈草量からなる評価

7.2.5 まとめ

以上より、1年目の総合評価としては、「丁寧な抜根」の効果、7月からの芝刈への切替えでの効果等、質的な評価が高かったことや、人員確保上及び経済性の評価においても高いことが確認された。

8. 今後の課題

今後の課題としては、①目標達成に向けた3年間の試験継続及び総合評価、②他河川での堤防養生工管理試験の実施、③堤防養生から堤防除草への切替え時期の検証、④抜根では抑制できない雑草（シロツメクサ等）対策が挙げられる。上記4点について、以下に示す。

①目標達成に向けた3年間の試験継続及び総合評価

本研究においては、3年間の試験計画のうち、最初の1年目の試験結果の報告を行った。堤防養生2年目以降、抜根や芝刈等の管理手法が大幅に変更となることから、モニタリングの継続及び総合評価を行い、より適切な堤防養生工の方法を提案する必要がある。

②他河川での堤防養生工管理試験の実施

本研究では、渡良瀬川河川事務所管内における秋山川の堤防で試験を実施した。別の河川堤防で同様の方法を用いて試験を実施した場合、植生基盤土（採取土）、気候、植生等の条件により、同様の結果を得ることができない可能性がある。他河川でも同様の堤防養生工管理試験を行い、条件に応じた堤防養生工の方法を提案する必要がある。

③堤防養生から堤防除草への切替え時期の検証

現在、堤防養生工を3年間実施し、その後、堤防除草工に切替えることとなっている。しかし、堤防養生工の目的であるシバを確実に根付かせることを達成できる期間であれば、必ずしも3年間でなくとも良いという考えもある。

そのため、堤防養生から堤防除草への切替え期間の検証をテーマに、通常の堤防養生1～2年間を実施

した後に、堤防除草年2回を行い、シバを確実に根付かせるために必要な堤防養生期間についての検証を行うことが重要である。

④抜根では抑制できない雑草（シロツメクサ等）対策

マメ科多年草のシロツメクサは、試験地において年間を通して生育がみられ、シバや他の雑草の生育期間より長いため、10月の抜根及び芝刈を行った後も生育・繁茂が確認されている。シロツメクサは生育初期において、抜根は容易であるが、群落形成後は、匍匐茎を発生させて生育する性質のため抜根が地際で千切れる等により、抜根作業は困難となる。そのため、今後のシバへの影響を考慮して、抜根では抑制できないシロツメクサ等の雑草対策を検討する必要がある。

謝辞

本報告を作成するにあたり、貴重なデータを提供していただいた国土交通省関東地方整備局 渡良瀬川河川事務所 管理課に対し、ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木寧・戸谷英雄・石橋祥宏・伊坂充・平田真二：堤防植生の特性と堤防植生管理計画，河川環境総合研究所報告 第6号，2000.
- 2) 大澤寛之・山田政雄・塩見真矢：植物成長調整剤等を用いた効率的・効果的な堤防植生管理手法の提案，河川環境総合研究所報告 第21号，2016.

地域の在来種(七草)による堤防緑化技術の開発

山本 嘉昭*・久保 壮史**・大澤 寛之***・山田 政雄****・吉田 高樹*****・河崎 和明*****

1. はじめに

地域固有の多様な動植物が息づき四季が感じられる日本の原風景は、かつて里山や半自然草原に見られたが、人の手が入らなくなったことにより近年、消失の危機にある。

しかしながら、この貴重な自然が河川堤防には、今も残されている。それは、土中に在来植物の種を含む半自然草原の土が堤防の造成に使われたこと、河川堤防管理の一環で行われる除草作業が在来植物にとって適度な攪乱となり、良好な生育環境を維持できてきたことが主な要因と考えられる。

また、チガヤ群落は日本固有の在来植物と共生できるため、多様な植物の生育環境保全に効果的であることも近年の研究で明らかになってきた。

これらの状況のもと、この残された原風景をより広い地域に展開すべく、主としてチガヤの治水機能に着目した研究を、幅広い研究者の協力を得て「チガヤ群落とその多様性に関する研究」(河川に日本の原風景を復元するプロジェクト)として、チガヤ及び在来植生による河川植生を創出する技術開発を行うこととした。

本稿は、河川堤防等にチガヤと多様な在来植物を生育させる生態緑化技術(Eco-Friendly Green Technology)の開発に向けて、平成21～26年度(2009～2014年)に実施した「河川堤防および周辺域における生態緑化技術の開発に関する研究会」(以下、

EFGT研究会)について、これまでの報告¹⁾²⁾³⁾を踏まえて、とりまとめたものである。

2. 研究の背景

2.1 河川堤防における堤防植生

河川堤防は、河川および流域の治水安全度を確保する上で最も重要な構造物である。この河川堤防は河川管理施設等構造令⁴⁾において「盛土により築造する」となっており、いわゆる「土堤原則」が規定されている。この理由として、材料の取得が容易である、構造物として劣化現象が起きない、基礎地盤となじむ、将来的な拡張等が容易である、経済的であることなどが挙げられる。しかしながら、土堤は流水や降雨により堤体が侵食される等の弱点を有している。

流水や降雨による堤体の侵食を防ぐために、法面を被覆する植生が必要となる。築堤時に用いる堤防植生はシバであり、理由として施工直後の初期段階からの耐侵食機能の確保、経済性が挙げられる。

2.2 これまでの堤防植生に関する研究

2.2.1 堤防植生に求められる機能

堤防植生に求められる機能は、「治水機能」と「環境機能」の2つに大別される(図2・1)。

* (公財)河川財団 河川総合研究所 上席研究員
** 前(公財)河川財団 河川総合研究所 研究員(現(株)テイコク 環境部 地球環境課 係長)
*** 前(公財)河川財団 河川総合研究所 研究員(現(株)エコー 技術本部 河川環境部 主任)
**** 前(公財)河川財団 河川総合研究所 主管研究員
***** (公財)河川財団 河川総合研究所 技術参与
***** (公財)河川財団 参事

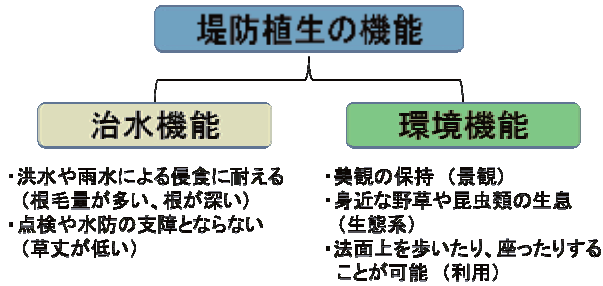


図 2・1 堤防植生の 2 つの機能

「治水機能」は、洪水や雨水に対する耐侵食性を確保すること、堤防点検や水防活動の支障とならない草丈であることが重要である。「環境機能」は、植生が創出する緑の空間が保持され、野草や昆虫類等の生物の生育・生息の場となることが必要である。

特に、堤防の安全度を確保する上で、植生による耐侵食性の確保は、重要な要素である。

2.2.2 堤防植生タイプ区分と耐侵食機能

堤防植生は、主に優占種と被度によりタイプ区分をすることができる。関東地方の主要河川における堤防植生タイプ区分の研究⁵⁾より、4区分(①シバタイプ、②チガヤタイプ、③外来牧草タイプ、④その他植生タイプ)に大別される(図 2・2)。



図 2・2 関東地方における主要河川の堤防植生タイプ

一方、植生に覆われた法面の耐侵食機能は、旧建設省土木研究所の研究⁶⁾により、根毛量によって発揮されることが明らかとなっている。

植生タイプ別に表層から 20cm までの平均根毛量を調査⁵⁾した結果を図 2・3 に示す。この図から、シバタイプ・チガヤタイプは、外来牧草タイプより耐侵食性が優れていると言える。

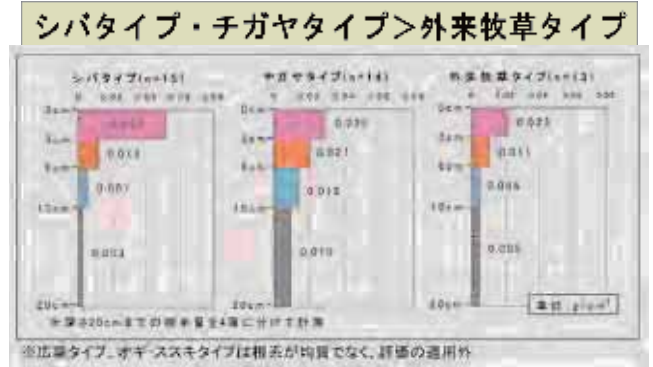


図 2・3 植生タイプ別平均根毛量 (表層～20cm)

2.2.3 シバに代わる堤防植生

築堤時に施工するシバは、施工後の 3 年間は年 4 回除草等による養生工を実施する。しかし、その後は年 2 回の除草に切り替わることで、シバの十分な維持管理が出来なくなり、数年後には外来植物に遷移する等の課題がある。

このようなシバが抱える課題がある一方で、ネズミホソムギによるイネ科花粉症の防止やコスト削減への対応という観点から、河川財団(以下、当財団)では、堤防植生タイプ別の管理手法に係る研究⁷⁾⁸⁾を実施してきた。

この過程で、シバに代わる堤防植生として「日本古来より生育するチガヤ」に着目した。

この結果、チガヤを含む堤防植生(チガヤタイプ)では、植生の生活史を考慮した除草時期の調整を行うことで、年 2 回除草で堤防植生に求められる治水機能・環境機能を維持できることが明らか⁹⁾¹⁰⁾となった。



図 2・4 チガヤ

2.3 生物多様性に富んだ堤防植生の創出への取り組み

2.3.1 チガヤ堤防に見られる生物多様性

平成 20 年(2008 年)の生物多様性基本法の制定に基づき、生物多様性を持つ自然環境を創出する取り組みの必要性、要望が高まってきた。特に、適度な人為的攪乱のもとで維持されてきた草地環境の減少

は顕著であり、草地性の種を確保する取組みが重要である。

このような背景の中、定期的な除草管理が行われる河川堤防において、かつて日本の里地・里山で見られた数多くの在来植物が共存しているチガヤ型半自然草地の存在が確認された。

このことから、チガヤ堤防は年2回除草において、耐侵食機能を確保しつつ、生物多様性に富んだ緑地空間を創出・維持し得る可能性が見出された。

2.3.2 チガヤを基盤とした生物多様性に富んだ堤防植生の創出への取組み

上記2.3.1を踏まえ、当財団は、河川堤防における適度な人為的管理（堤防除草）で、維持可能な生物多様性に富んだ堤防植生を創出・保全できる緑化技術について、河川に日本の原風景（半自然草地）を復元する生態緑化技術を開発するプロジェクトとして発足させた。

3. 生態緑化技術の研究概要

3.1 研究の目的

本研究は、河川堤防等に耐侵食性に優れたチガヤを優占種とし、かつ日本固有の多様な野草（在来植物）を創出させ、維持管理コストを軽減しつつ、洪水に強く、「日本の四季を実感できる緑空間」を効率的に創造しようとする緑化技術の開発を行うことを目的とする。

3.2 研究項目

主な研究項目は、以下の5項目である。

- ①全国の堤防植生実態調査
- ②河川堤防上の植物多様性ホットスポット
- ③在来植物栽培実験
- ④外来植物の侵入・定着メカニズム
- ⑤生態緑化技術工法等の試作・実証実験

3.3 研究体制

東京大学大学院 特任研究員である根本委員を座長とし、幅広い学識者等の参画・協力を得て「EFGT(Eco-Friendly Green Technology)研究会」を組織するとともに、当財団が事務局となり、研究を実施した（表3・1）。

表3・1 研究体制

■EFGT 研究会 委員名簿

座長	根本 正之	東京大学大学院	特任研究員
	小笠原 勝	宇都宮大学	教授
	富永 達	京都大学	教授
	服部 保	兵庫県立大学	名誉教授
	山田 晋	東京大学	助教
	河崎 和明	(公財)河川財団	

■事務局 (公財)河川財団

4. 各研究項目の主な成果

以下に、各委員により実施された主な研究成果を紹介する。

4.1 全国の堤防植生実態調査

4.1.1 目的

全国のチガヤと多様な在来植物が生育している箇所を調査し、チガヤを中心とした多様な在来植物の生育環境の維持・保全のために必要な条件（維持管理方法、土壌条件等）を明確にすることを目的とする。

4.1.2 調査方法

1) 調査地

河川堤防植生の調査地は表4・1に示した。なお、本調査は平成21年(2009年)8月より平成25年(2013年)1月まで行った。

表 4・1 調査対象河川

番号	河川名	府県名	調査年月	調査地点数	調査区数
1	米代川	秋田県	2012.8	3	15
2	雄物川	秋田県	2011.5	1	5
3	雄物川	秋田県	2012.8	4	18
4	鳴瀬川	宮城県	2011.8	8	40
5	名取川	宮城県	2011.8	1	5
6	阿武隈川	宮城県	2011.8	6	30
7	阿賀野川	新潟県	2011.10	4	20
8	黒部川	富山県	2009.10	5	25
9	利根川	千葉県	2012.9	6	30
10	木津川	京都府	2010.9	8	40
11	猪名川	兵庫県 ¹⁾	2010.5	4	20
12	猪名川	兵庫県	2010.8	6	30
13	猪名川 ¹⁾	兵庫県 ³⁾	2011.5	4	20
14	猪名川	兵庫県	2011.8	11	55
15	猪名川 ¹⁾	兵庫県 ³⁾	2012.8	5	25
16	斐伊川	島根県	2011.9	2	8
17	斐伊川	島根県	2012.9	7	35
18	重信川	愛媛県	2010.8	5	25
19	小丸川	宮崎県	2010.11	3	15
20	一ツ瀬川	宮崎県	2010.5	1	5
21	大淀川	宮崎県	2009.6	5	25
22	大淀川 ²⁾	宮崎県	2010.9	8	30
23	大淀川	宮崎県	2011.5	5	25
24	大淀川	宮崎県	2011.10	5	25
25	大淀川	宮崎県	2012.5	5	25
26	川内川	宮崎県	2011.11	8	30
27	肝属川	鹿児島県	2009.12	2	10
28	広瀬川	宮崎県	2012.10	2	10
29	相田川	宮崎県	2012.10	2	10
30	南郷川	宮崎県	2012.10	1	5
31	真嘉比川遊水池	沖縄県	2013.1	1	1
32	福知ダム	沖縄県	2013.1	1	1
33	まん湖	沖縄県	2013.1	1	1
合計				136	662

1): 瀧川も含む。 2): 本庄川も含む。 3): 大坂府も含む。

2) 植生調査

植生調査は、多様性植生調査法¹¹⁾に基づき、以下の手順で実施した。

河川堤防上に成立している各種草本群落の中で代表的な植物の成立している立地を調査地点とした。その調査地点に5m×5mの方形区を設置し、それを横に5等分して5m×1mの調査区を連続して5区設定した。5m×5mの方形区が設置できない場合は5m×1mの調査区を単独で設定した(図4・1)。

各調査区の草丈、植被度を最初に記録し、次に調査区内に生育する全種の目録を作成した。各出現種の被度(%)値を測定した。

各調査区から得られた資料を表に組み、各植物の被度(%)を示した素表、常在度表、部分表、組成表といった表操作を行って、最終的に出現頻度と平均被度を示した総合表として群落区分を行った。

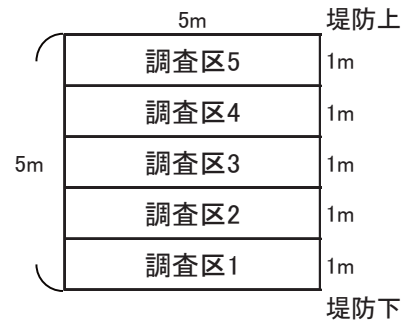


図 4・1 堤防上の調査地点における植生調査区の配置

4.1.3 成果

全国の河川や遊水地等の堤防上に成立している各種草本群落、特にチガヤ草原を対象とした植生調査を実施し、23河川等の136調査地点より、662サンプルを取得した。



図 4・2 堤防植生調査対象

この結果、チガヤ草原、チガヤ草原以外の群落を識別するとともに、チガヤ草原としては、チガヤーツリガネニンジン群落、チガヤーツリガネニンジン群落、チガヤーツリガネニンジン群落、チガヤーツリガネニンジン群落が確認された(表4・2)。

チガヤーツリガネニンジン群落を特徴づける種としては、フジバカマ、カワラナデシコその他、ツリガネニンジン、ウマノアシガタ、カワラマツバ、ホタルブクロなどの日本の草原を彩る多数の野草種が含まれていた。

表 4・2 堤防上に成立している群落

群落名	分布河川名
チガヤーツリガネニンジン群落	米代川、雄物川、鳴瀬川、阿賀野川、黒部川、利根川、木津川、斐伊川、重信川、小丸川、一ツ瀬川、大淀川、川内川、肝属川、相田川、南郷川
チガヤーツリガネニンジン群落	名取川、阿武隈川、阿賀野川、利根川、猪名川、斐伊川、重信川、小丸川、大淀川、川内川
チガヤーツリガネニンジン群落	真嘉比川遊水池、福知ダム、まん湖
シバ群落	鳴瀬川、猪名川
セイバンモロコシ群落	猪名川、川内川
オニウシノケサ群落	阿武隈川
ギョウギシバ群落	川内川
ススキ群落	広瀬川
イタドリ群落	猪名川

チガヤーツリガネニンジン群落の1調査区あたりの平均出現種数は11.9種から30.2種(平均は20.4種),チガヤーヒメジョオン群集は7.8種から26.8種(全体の平均は15.6種)と明らかにチガヤーツリガネニンジン群落の種多様性は高かった。

平均在来種数も8.9種から25.2種(平均は17.0種)のチガヤーツリガネニンジン群落に対し,チガヤーヒメジョオン群集では6.1種から20.6種(平均は10.7種)と上述の結果と同様であった。

平均外来種数はチガヤーヒメジョオン群集の方が少し多かったが,大きな差は認められなかった。

平均外来種率は出現種数の少ないチガヤーヒメジョオン群集が32%と高かった(表4・3,表4・4)。

チガヤ型群落以外のシバ群落,ギョウギシバ群落,セイバンモロコシ群落,オニウシノケグサ群落,イタドリ群落はいずれもチガヤーツリガネニンジン群落に比較して平均在来種数は低く,平均外来種率は高かった(表4・5)。

表4・3 チガヤーツリガネニンジン群落の平均出現種数,平均外来種率などの比較

番号	河川名	調査区数	総在来種数	総外来種数	総出現種数	総外来種率	平均在来種数	平均外来種数	平均出現種数	平均外来種率
1	米代川	15	43	19	62	31	16.4	6.7	23.1	29
2	雄物川	21	53	19	72	26	12.6	6.0	18.6	31
3	鳴瀬川	30	63	11	74	15	17.7	3.6	21.3	18
4	阿賀野川	5	31	4	35	11	21.8	2.6	24.4	11
5	黒部川	25	58	15	73	21	14.0	3.1	17.1	18
6	利根川	20	41	12	53	23	14.1	3.7	17.7	20
7	木津川	40	64	15	79	19	14.0	4.0	18.1	22
8	斐伊川	25	39	9	48	19	12.2	3.4	15.6	22
9	重信川	10	23	7	30	23	8.9	3.0	11.9	26
10	小丸川	10	39	12	51	24	17.7	3.2	20.9	15
11	一ツ瀬川	5	38	8	46	17	25.2	5.0	30.2	17
12	大淀川	65	107	24	131	18	20.2	3.1	23.2	13
13	川内川	20	52	6	58	10	17.3	1.2	18.5	6
14	肝属川	10	36	7	43	16	21.2	3.0	24.2	12
15	細田川	10	37	3	40	8	19.3	1.6	20.9	7
16	南郷川	5	29	3	32	9	18.8	1.8	20.6	9
	平均	19.8	47.1	10.9	57.9	18.1	17.0	3.4	20.4	17.3

表4・4 チガヤーヒメジョオン群集の平均出現種数,平均外来種率などの比較

番号	河川名	調査区数	総在来種数	総外来種数	総出現種数	総外来種率	平均在来種数	平均外来種数	平均出現種数	平均外来種率
1	名取川	5	17	5	22	23	9.2	3.4	12.6	27
2	阿武隈川	20	26	9	35	26	8.7	3.9	12.5	34
3	阿賀野川	15	33	11	44	25	7.6	3.9	11.5	34
4	利根川	10	13	6	19	32	6.2	1.6	7.8	17
5	猪名川	70	43	50	93	54	7.2	9.1	16.3	54
6	斐伊川	18	37	16	53	30	11.0	4.6	15.6	30
7	重信川	15	22	12	34	35	6.1	4.4	10.5	44
8	小丸川	5	29	13	42	31	14.4	8.2	22.6	36
9	大淀川	65	107	29	136	21	15.7	4.4	20.1	21
10	川内川	5	34	9	43	21	20.6	6.2	26.8	23
	平均	22.8	36.1	16.0	52.1	29.7	10.7	5.0	15.6	32.0

表4・5 シバ群落,セイバンモロコシ群落などの平均出現種数,平均外来種率などの比較

番号	河川名	群落名	調査区数	総在来種数	総外来種数	総出現種数	総外来種率	平均在来種数	平均外来種数	平均出現種数	平均外来種率
1	鳴瀬川	シバ群落	10	8	4	12	33	4.4	1.6	6.0	27
2	猪名川	シバ群落	20	27	41	68	60	5.2	10.8	15.9	68
3	川内川	ギョウギシバ群落	5	19	9	28	32	8.4	5.2	13.6	38
4	猪名川	セイバンモロコシ群落	50	33	23	56	41	6.2	4.4	10.5	40
5	阿武隈川	オニウシノケグサ群落	10	21	13	34	38	7.4	8.1	15.5	53
6	猪名川	イタドリ群落	10	22	17	39	44	7.7	5.8	13.5	40
7	広瀬川	ススキ群落	10	32	2	34	6	14.0	7.4	7.8	10

これらのことから河川堤防の保全・防災・美観に加えて,生物多様性,日本の文化性や風土性を保全するためにも,河川堤防植生としてはチガヤーツリガネニンジン群落がもっとも望ましいと認められた。

4.2 河川堤防上の植物多様性ホットスポット

本研究では,多様な植物が生育する場を「ホットスポット」と定義する。調査は利根川,鬼怒川,木津川のチガヤ型堤防のホットスポットを対象とした。

ここでは,木津川(木津川市山城町上粕地先)の事例を紹介する。

4.2.1 目的

チガヤが優占し,多くの在来種が共存する河川堤防を復元することを目的に,木津川の河川堤防を植物多様性ホットスポットとみなし,その植生を調査した。

4.2.2 調査方法

1) 植生調査

植生調査は,コドラート調査,及びフェノロジー(生物季節)調査を実施した。

コドラート調査は,5m×1mの調査区を4m間隔に3区設け,各調査区を1m×1mに分割した。合計15のコドラートについて,平成22年(2010年)4月~平成23年(2011年)3月に,出現種,その草高および被度を記録した。得られたデータからShannonの多様度指数($-\sum p_i \ln p_i$,ただし, p_i は*i*番目の種の相対優占度)を算出した。

フェノロジー調査は,カワラナデシコ,フジバカマ,ナガボノワレモコウ,ヒオウギ,スズサイコ,

ウツボグサ、サギゴケ、キキョウおよびオミナエシについて、出芽期、開花期、結実期および地上部が枯死する時期を調査した。

2) 調査地

植生調査は、木津川市山城町上粕の堤防を対象とした(図4・3)。



図4・3 モデル植生調査位置図(木津川市山城町上粕地先)

4.2.3 成果

平成22年(2010年)度の調査では、調査期間を通して、調査地ではチガヤが優占し、合計59種が出現した。この中には、京都府レッドデータブックにリストされているオガルカヤ、メガルカヤ、マキエハギ、カワラサイコ、イヌナズナおよびスズサイコが含まれていた。出現種に占める外来種の割合は33.9%であった。

図4・4に示すように、多様度指数は平成22年(2010年)6月下旬に行われた刈取りによっていったん低下したが、その後回復した。また、11月上旬に行われた刈取り後にも低下した。

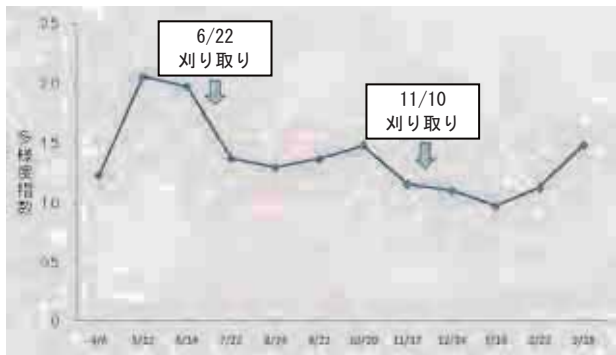


図4・4 多様度指数の推移

平成22年(2010年)4月～平成24年(2012年)3月までの2年間の各草種のフェノロジーをまとめたものを図4・5に示した。

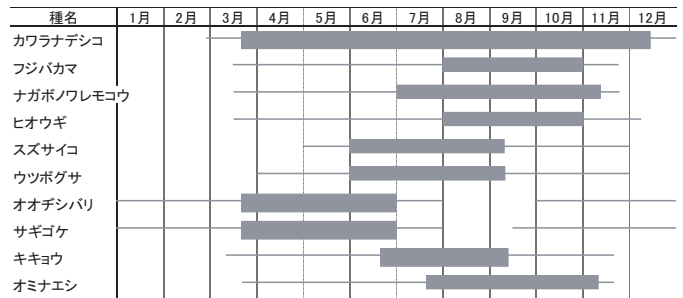


図4・5 各草種のフェノロジー

大規模な攪乱や、逆に攪乱が全くない状況は種多様性の低下をもたらすが、中程度の攪乱は種多様性を維持する機能をもつとする説¹²⁾がある。日本では、かつて人里に近い草地は定期的に草刈りが行われ、刈られた草は堆肥や家畜の飼料として利用されていた。草原性植物で絶滅の危機に瀕している種は多い。

木津川上粕地先の調査対象地で希少な草原性植物が残存しているのは、年2回の定期的な刈取りが、中程度の攪乱として機能し、遷移の進行を止め、大型の草本や樹木の侵入を抑制してきたからと推定される。この観点から、調査対象地の木津川上粕地先の河川堤防は生物多様性のホットスポットとして貴重な存在であると結論された。

4.3 在来植物栽培試験

4.3.1 目的

生態緑化技術への適用性(チガヤとの共生の可否)を判断するため、チガヤと共存している在来植物の発芽・生育特性、および維持・保全に必要な条件を把握する。

4.3.2 調査方法

表4.6の主要な在来植物(32種)を対象に、発芽特性試験(植物種に応じて恒温条件、変温条件、明暗条件、温度勾配など)、耐陰性試験(無遮光、遮光(50%, 75%, 95%))、耐刈取り性試験(1~3回)を実施した。

表 4・6 在来植物栽培試験種 (32 種)

NO	種名	NO	種名
1	ワレモコウ	17	ノカンゾウ
2	ツリガネニンジン	18	カワラナデシコ
3	ノハラアザミ	19	ヒオウギ
4	ノアザミ	20	ハハコグサ
5	コウゾリナ	21	チチコグサ
6	オガルカヤ	22	スミレ類
7	ユウガギク	23	コスミレ
8	オミナエシ	24	オヘビイチゴ
9	キキョウ	25	ミツパツチグリ
10	フジバカマ	26	ノジスミレ
11	ナガボノワレモコウ	27	ヒメスミレ
12	ウマノアシガタ	28	トダシバ
13	ホタルブクロ	29	サギゴケ
14	オトギリソウ	30	オオジシバリ
15	アキノタムラソウ	31	スズサイコ
16	ツルボ	32	ウツボグサ



図 4・6 対象とした在来植物 (一部)

4.3.3 成果

発芽特性試験では、在来植物の種類により発芽率が異なることがわかった。

耐陰性試験では、表 4・7、図 4・7 に示すように無遮光区よりもやや日陰 (相対照度 20-25%, 10%) で大きな成長を示したノカンゾウ、ユウガギクが確認された。一方で、耐陰性に適さないと評価されるウマノアシガタ、スミレも確認された。これより、チガヤとの相性については、生育環境下における総合的な評価が不可欠と考えられる。

表 4・7 異なる照度条件下で育成した場合の各種植物の草高 (cm)

供試植物	相対照度			
	100%	50%	20-25%	10%
ノカンゾウ	18.8 (100%)	21.8 (116.0%)	36 (191.5%)	22.8 (121.3%)
スミレ	8.3 (100%)	9.3 (112.0%)	5.8 (69.9%)	6.2 (75.1%)
ウマノアシガタ	35.8 (100%)	8.5 (23.7%)	1.3 (3.5%)	1.3 (3.5%)
ユウガギク	4.9 (100%)	5.3 (108.2%)	13.3 (271.4%)	11.3 (230.6%)

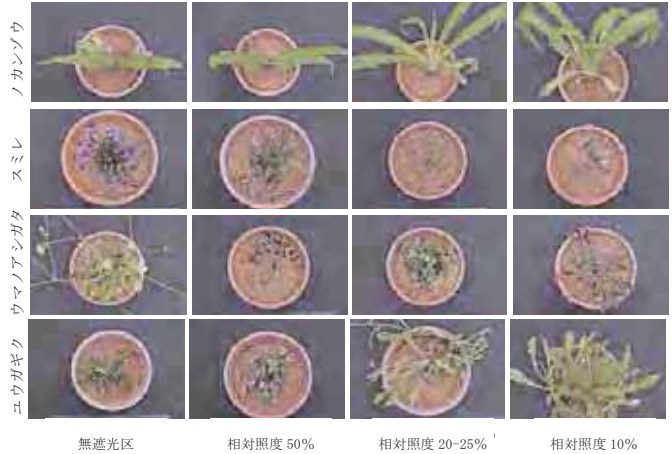


図 4・7 異なる照度条件下で育成した各種植物の生育状況

耐刈取り性試験では、刈取り頻度と在来植物の種類により、刈取り後の草丈及び開花状況に差異が認められた。

4.4 外来種の侵入・定着メカニズム解析

4.4.1 目的

チガヤと他の在来種からなる緑地空間の創出を図るため、外来種 (帰化植物) であるセイタカアワダチソウの河川堤防への侵入や拡大の現状を把握するとともに、その定着メカニズムを解析する。

4.4.2 調査方法

チガヤ型堤防法面における植生調査、及びチガヤとセイタカアワダチソウの混植実験を実施した。

1) チガヤ型堤防法面における植生調査

対象地は利根川右岸 93km 地点の周囲堤 (千葉県柏市大室地先) で、多くの在来植物が生育し、多様性指数 0.55 (2 月) ~ 3.77 (8 月) である (総出現種数は 128 種, 1m² 当たりの種数は 9~25 種, 帰化植物 6 種)。堤防法面 (長さ 15m, 幅 20m) に 1m² メッシュをかけ、各メッシュ内に出現したチガヤとセイタカアワダチソウを含む主要な種の被度に基づく分布パターンを作成した。

2) チガヤとセイタカアワダチソウの混植実験

バット（縦 35cm, 横 50cm, 深さ 10cm）を使用し、チガヤ純群落、及びチガヤとセイタカアワダチソウの混植群落を作成した。チガヤ苗は 1 バット当たり 11 個体を植栽し、人工純群落とした。また、人工純群落に長さ 3~4cm のセイタカアワダチソウの地下茎を 6 本植栽して、人工混植群落を作成した。

セイタカアワダチソウの地下茎は、同一個体から得たものである。混植実験は、二反復で行った。

4.4.3 成果

1) チガヤ型堤防法面におけるチガヤとセイタカアワダチソウの分布パターン

植生調査による各メッシュ内に出現したチガヤとセイタカアワダチソウの被度に基づく分布パターンを図 4・8 に示す。

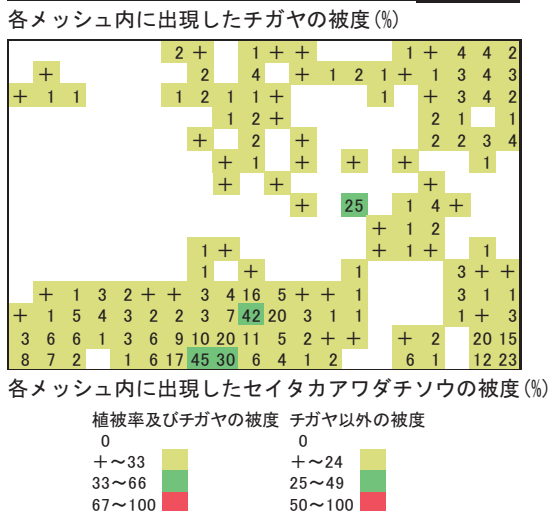
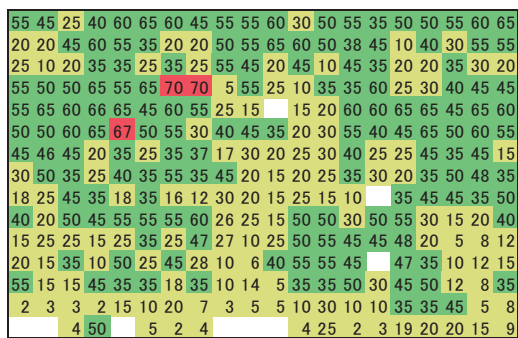


図 4・8 堤防法面に生育する分布パターン (チガヤ, セイタカアワダチソウ)

チガヤは法面の最下部を除く、調査区のほぼ全面に分布した。一方、セイタカアワダチソウの分布は

法面下部に偏っており、被度も一様でなく、20%以上とかなり優占するメッシュが 4 か所所在した。これらの周辺メッシュは、他と比べセイタカアワダチソウの被度が高い傾向にあった。

また、チガヤとセイタカアワダチソウの被度には、負の相関がみられたが、有意な差はなかった (図 4・9)。

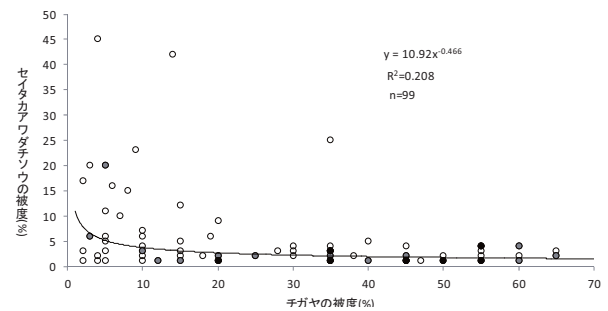


図 4・9 各プロット内のチガヤとセイタカアワダチソウの被度

注) 同じ値のプロットが 1 ヶ所の場合は白丸, 2 ヶ所の場合は灰色の丸, 3 ヶ所以上は黒丸とした。

2) チガヤとセイタカアワダチソウの草丈の推移

図 4・10 に示すように、混植実験のチガヤの草丈は、純群落、混植群落の双方とも 7 月下旬（経過日数：70 日）まで、ほぼ同じように伸長した。8 月中旬（経過日数：85 日）になると、セイタカアワダチソウ供試個体の半数 (No5:5 本, No3:1 本) が茎の上部を虫の食害（以下、虫害）によって失った。8 月中旬以降は、セイタカアワダチソウの虫害が多かった No3 区のチガヤは純群落と同様の草丈で推移した。一方、大半のセイタカアワダチソウが虫害を免れた No5 区ではチガヤの草丈はいくぶん低めに推移した。

セイタカアワダチソウの草丈は、花芽の形成が観察され始めた 9 月中旬（経過日数：115 日）よりチガヤを上回った。しかし 1 個体を残しセイタカアワダチソウが虫害を受けた No3 区では、チガヤが 10 月末（経過日数：160 日）までセイタカアワダチソウより高く、虫害されたセイタカアワダチソウを完全に被陰した。

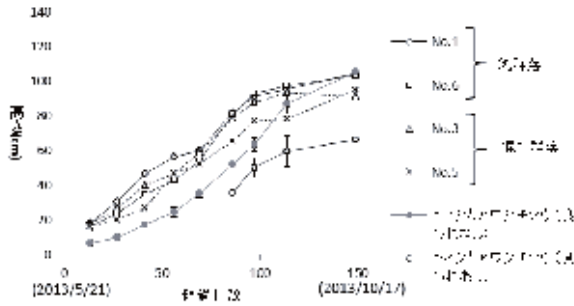


図4・10 チガヤとセイタカアワダチソウの草丈の推移

注) 縦のバーは標準偏差

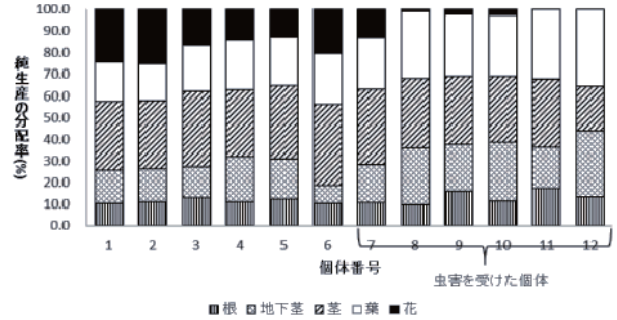


図4・12 セイタカアワダチソウの個体別にみた純生産の各器官への分配率

注) 個体番号は図4・11と対応

3) セイタカアワダチソウの純生産の各器官への分配率

図4・11に示すように虫害を受けた個体と受けない個体では個体の現存量が異なるだけでなく、図4・12のとおり、生産物の各器官への分配率にみられる傾向が異なった。

すなわち、虫害を受けた個体は上部の葉が失われたが、分枝を発生させて葉（光合成器官）への分配を増大させたため、C/F比は虫害を受けない個体より小さくなった。しかしながら虫害個体のうち生育の悪かった個体は開花結実までに至らなかった。

また、虫害を受けた個体はT/R比を小さくして、地下部への転流を増やし、地下茎の太さは細くても長く伸ばして、地下茎による周囲への拡大戦術を試みていることが判明した。

C/F比：C=非光合成系（根）、F=光合成系（葉）

T/R比：T=地上部（茎・葉・花）重量、R=地下部（根・地下茎）重量

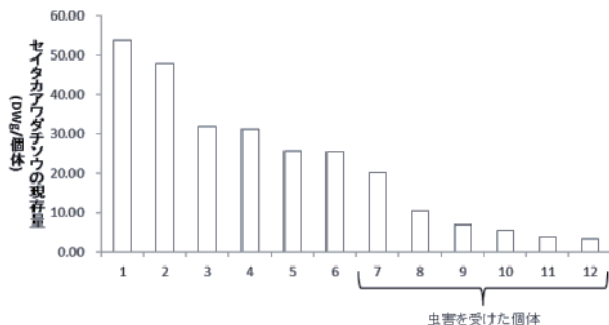


図4・11 セイタカアワダチソウの個体別乾燥重量(2013年10月28日サンプリング)

注) 乾燥重量の大きい個体から順に個体番号をつけた

上記の結果より、局所的ではあるがチガヤ群落内にセイタカアワダチソウが侵入した結果、侵入地点のチガヤの被度は有意に低下した。また、地上部の一部を欠損したセイタカアワダチソウは、地上部は光合成器官（葉）への分配率を高め、地下部は地下茎をより伸長させる。

これらのことから堤防法面の全面が刈取られる場合、チガヤによる被陰効果は期待できず、セイタカアワダチソウが消失することはない。このため、セイタカアワダチソウを防除する場合、その選択的除去が重要である。

4.5 緑化技術工法の試作・実証実験

4.5.1 目的

チガヤと在来植物からなる堤防植生を、速やかに創出させる緑化技術を開発するため、実証実験により各種のチガヤ植栽工の施工性・効果等を検証する。

4.5.2 調査方法

調査方法は、チガヤ導入工法、及び現地における生態緑化工法の実証実験の2種類を実施した。

1) チガヤ導入工法

導入工法を比較するため、3工法（種子吹付工法、苗吹付工法、チガヤ多様性マット工法）について、実験区（1.5m×1.5m）を3反復ずつ設置した。

なお、種子吹付工法では、種子密度（1,000, 10,000粒/m²）を用いた。



図 4・13 (左上より) 種子吹付工法, 苗吹付工法, (下) チガヤ多様性マット工法

2) 現地における生態緑化工法の実証実験

図 4・14 に示すように、利根川右岸 140.5k 付近（埼玉県加須市大越地先）の堤防法面（川裏）を選定し、生態緑化工法の実験を実施した。



図 4・14 実証実験 位置図

実証実験の試験区を 3 工区に分け、下記①～③の 3 工法を用いるとともに、種子吹付工法の下部に④チガヤ多様性マット工法を実施した。

- ①種子吹付工法 (20m×10m)
- ②客土吹付工法 (20m×10m)
- ③張芝間植栽工法 (20m×15m)
- ④チガヤ多様性マット工法 (1.8m×4m)



図 4・15 現地実証実験

種子吹付工法、客土吹付工法に用いた供試資材、種子の一覧を表 4・8、表 4・9 に示す。

表 4・8 種子吹付工法の供試資材および種子一覧表
200 m² 当り

材料	品名	数量	単位	備考 (1 m ² 当り)
種子	チガヤ	400,000	粒	2,000 粒/m ²
	ノシバ	4,000	g	20g/m ²
	スマレ	127,543	粒	640 粒/m ²
	ワレモコウ	12,584	粒	60 粒/m ²
	ユウガギク	33,000	粒	165 粒/m ²
養生材	GS ファイバー	32	kg	0.16kg
土壌安定剤	ルナゾール AN	0.2	kg	0.001kg
水		800	リットル	4 リットル

表 4・9 客土吹付工法の供試資材および種子一覧表
231 m² 当り

材料	品名	数量	単位	備考 (1 m ² 当り)
種子	チガヤ	462,000	粒	2,000 粒/m ²
	ノシバ	4,620	g	20g/m ²
	スマレ	147,312	粒	640 粒/m ²
	ワレモコウ	14,535	粒	60 粒/m ²
	ユウガギク	38,115	粒	165 粒/m ²
生育基盤材	GS ソイル 3 号	6,000	リットル	26.0 リットル
パーク堆肥		780	リットル	3.4 リットル
養生材	GS ファイバー	90	kg	0.4kg
土壌安定剤	ルナゾール AN	75	kg	0.3kg
粘着剤	クリコト C-402	3.0	kg	0.01kg
水		5,400	リットル	23.4 リットル

※客土吹付工法は、77m² (1 施工あたり) × 3 回を実施

張芝間植栽工法は、張芝区（目地張）と裸地区を 4 反復ずつ設定した（図 4・16）。

各調査区において、調査区の左端および下端よりそれぞれ 1m 離れたところから 1.4m×1.4m (=2m²) の範囲に在来種播種エリアを設定した（図 4・17）。



図 4・16 張芝区（目地張）

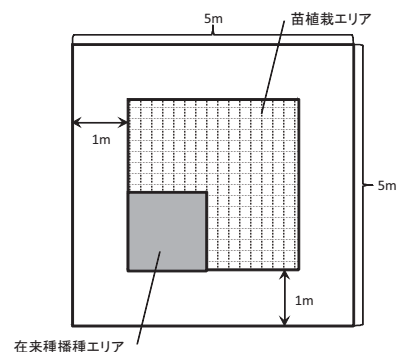


図 4・17 試験区内の配置
(在来種播種エリア・苗植栽エリア)

平成24年(2012年)4月に、在来種播種エリアにノハラアザミ、ワレモコウ、スマレ、ツリガネニンジン
を播種した。播種密度は、前3者は100個体/m²、ツリ
ガネニジンは種子量の制約のため50個体/m²とした。

平成23年(2011年)に播種・育成したツリガネ
ニンジン、ワレモコウ、スマレの2年生苗を、平成
24年(2012年)5月に在来種播種エリア以外かつ調
査区端から1m以上離れた試験区のなかに、1試験区
あたり各植物種3株ずつ苗植栽エリアに植栽した。

チガヤ多様性マット工法は、大マット(180cm×
80cm)5枚を1試験区として、平成25年(2013年)
3月に設置した。チガヤマット(2,000本/m²)は、
利根川産野草種(カワラナデシコ、カントウヨメナ、
ノアザミ、カントウタンポポ)を植生したものを
用いた(図4・18)。



図4・18 チガヤ多様性マット工法

4.5.3 成果

1) チガヤ導入工法

チガヤ導入工法によるチガヤの増加速度、その他
侵入種の定着速度を評価した。

全ての試験区において、チガヤの被度は70%以上
となっており、特に、種子吹付工法(高密度播種
10,000粒/m²)、チガヤ多様性マット工法は短期に被
度が上昇した。

この調査の結果、河川堤防の安定と侵食防止が最
優先であれば、チガヤ多様性マット工法と種子吹付
工法(高密度播種10,000粒/m²)によるチガヤ導入
が最も効率的な技術であると考えられる。

2) 現地における生態緑化工法の実証実験

(1) 種子および客土吹付工法

施工約2年後には、チガヤ、ユウガギク、ワレモ
コウ、スマレともに、それぞれの積算優占度(SDR₂)

は異なるものの、総じて客土吹付区よりも種子吹付
区で大きな値が得られた。

特に、種子吹付区において、表4・10に示すとおり、
ユウガギクとワレモコウの生物量は施工区全体の
それぞれ60.7%および17.9%に達し、定着している
ことが確認された。しかし、チガヤについては種子
吹付区においても全体のわずか0.4%に過ぎず、依然
として増殖していないことが判明した。

表4・10 施工約2年後の各植物の定着率

工法	調査地点	出現種数	積算優占度(SDR ₂)				
			全体	チガヤ	ユウガギク	ワレモコウ	スマレ
種子吹付工	1	12	1700.0	0	645	390	45
	2	10	2213.0	2.3	1188	231	17
	3	8	5051.7	2.5	3190	1558	15
	4	9	3619.0	60.0	1900	413	30
	5	9	4155.0	5.7	3240	410	60
平均	9.6	3347.7	14.1	2033	600.4	33.4	
			(100%)	(0.4%)	(60.7%)	(17.9%)	(1.0%)
客土吹付工	1	10	2845.0	1.7	1116	140	20
	2	8	3157.1	0	732	0	1.3
	3	7	6446.3	3.3	680	630	45
	4	10	4322.6	1.8	1680	792	1.6
	5	12	3588.1	0	222	96	17
平均	9.4	4071.8	1.4	886	331.6	20.0	
			(100%)	(t)	(21.8%)	(8.1%)	(0.4%)
対照区1	2	9110.2	0	0	0	0	
対照区2	15	860.0	0	0	0	0	

対照区1:チガヤマット区、対照区2:試験区上部
積算優占度(SDR₂): SDR₂=(C'+H')/2

C':被度合計が最大の草種の値を100としたときの比数

H':草丈合計が最大の草種の値を100としたときの比数

本実証実験では、種子吹付工法と客土吹付工法に
ついて2年間にわたる追跡調査を行った結果、導入
植物(ユウガギク、ワレモコウ、スマレ)は種子吹
付けが最適である。一方、チガヤについては両工法
とも期待された結果は得られておらず、さらなる工
法の改善が必要である。

(2) 張芝間植栽工法

播種した導入種について、図4・19に示すように
試験期間中にツリガネニジンの生育個体は確認さ
れなかった。それ以外の種(スマレ、ノハラアザミ、
ワレモコウ)については、張芝区、裸地区ともに全
調査日で生育個体が確認された。

ツリガネニジンを除く3種の生育個体率は、張
芝区ではどの種も1年目の7月時点での値が最も高
く、時間経過とともに値が下がる傾向が見られた。
一方、裸地区では時間経過による生育個体率の変化

が見られないか、2年目に高くなる傾向が見られた。
 また、苗による導入種の生育個体率は、張芝区のスミレについては最終的に40%となったが、それ以外の種では両調査区で70%以上の値を示した。

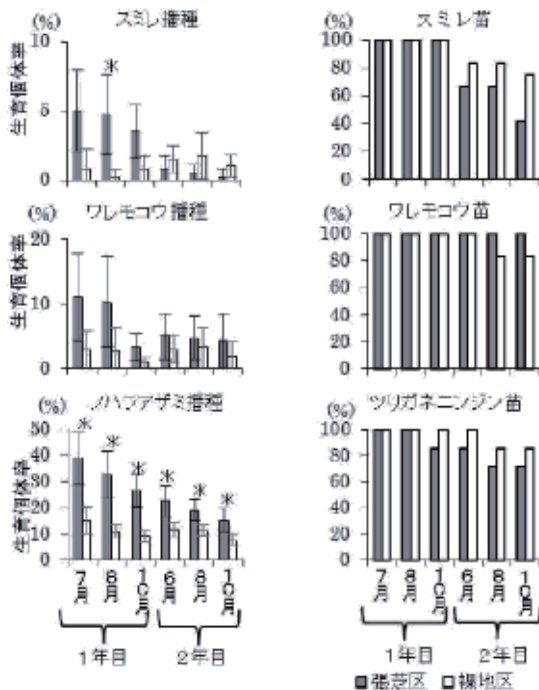


図4・19 各導入種の導入総数に対する生育個体率の推移

左は播種した個体の、右は苗を植栽した個体のグラフ。エラーバーは生育個体率の標準偏差を示す。播種した個体の張芝区、裸地区間の比較結果：*：p<0.05

Fisherの正確確率検定では、生育個体率が全ての種で全調査日にわたって、苗を植栽した方が播種で導入するよりp<0.001の水準で有意に高かった(表4・11)。

表4・11 播種と苗の植栽間のFisherの正確確率検定におけるp値

		1年目			2年目		
		7月	8月	10月	6月	8月	10月
V.m.	張芝区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	裸地区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
S.o.	張芝区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	裸地区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
A.t.	張芝区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	裸地区	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

V.m.: スミレ, S.o.: フレモコウ, A.t.: ツリガネニンジン

張芝は、ツリガネニンジンを除き、播種により導入した個体の発芽と初期生育を促す効果を発揮したが、スミレのような低茎種を2シーズン目に被圧する効果も見られた。よって、張芝の間に在来種を導

入する手法は、シバよりも草高が高くなる種を導入する際には有効であることが明らかになった。

在来種の導入方法は、播種よりも苗の植栽のほうが確実であった。しかし、ノハラアザミのように生育初期にシバよりも高く葉を広げる種に対しては、コストのあまりかからない播種が、張芝地への緑化手法としてはより適すると考えられる。

(3) チガヤ多様性マット工法

表4・12に示すように、平成25年(2013年)の調査ではチガヤが95%の被度を示し、他の野草類もすべて確認できた。年2回の通常除草を実施していたが、平成26年(2014年)の調査では上層がセイバンモロコシで95%被われ、チガヤの被度は15%に激減しており、他の野草種の生活力も大きく低下していた。

表4・12 利根川のチガヤ多様性マット工法植栽試験

	調査年月日	2013年	2014年
		9/20	8/22
高さ(m)		0.5	1.5
植被率(%)		95	100
チガヤ		95	15
カワラナデシコ		0.3	0.3
ノコンギク		0.2	0.3
コウゾリナ		0.1	-
ノアザミ		0.7	0.5
トネアザミ		0.1	0.5
カントウタンポポ		0.1	0.5
その他		1	100 ¹⁾

1): その他の種組成: セイバンモロコシ(95)、ヒメジョオン(5)、アカツメクサ(1)、ヒメカシヨモギ(1)、エノキグサ(1)、カタバミ(0.5)、オニノゲシ(0.5)。



図4・20 チガヤ多様性マット工法 植生状況(H25.9)

このように利根川試験地では、1年目は良好な生育をチガヤ等の野草類は示していたが、2年目に試験区周辺のセイバンモロコシが試験区内に侵入あるいは試験区上層を被うことによってチガヤ等の野草類の生育を大きく抑制した。チガヤ草原の形成にあ

たつて、セイバンモロコシ対策は非常に重要である。

また、セイバンモロコシが生育していなくても、チガヤ多様性草原を維持するためには、年2回程度の外来種やクズなどの除草が必要である。

5. 今後の課題

今後の課題として、以下の3点が挙げられる。

これらの課題に関しては、今後の自主研究のテーマとして取り組んでいく方針である。

①導入植物（地域の在来植物）の種子確保

チガヤをはじめとする導入植物（地域の在来植物）に関しては、種子が市場に流通していない。このため、実施場所となる周辺堤防等において、種子確保が重要となる。

導入植物の種子について、質・量を効率的に確保する手法の検討を行う。

②実施事例による EFGT 技術のさらなる確立・普及

生態緑化技術（EFGT）の実用化に向け、現場における課題を解決し、技術を確立させることが重要である。

このためには、数多くの実施事例を行い、具体的な課題の抽出を行い、対応策を検討する。

③普及に向けた導入コストの研究

生態緑化技術（EFGT）の普及においては、前述の課題を解決するとともに、導入コストの視点から検討を行う。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、EFGT 研究会委員をはじめ、現地実験フィールドを提供していただいた国土交通省関東地方整備局 利根川上流河川事務所に對し、ここに深く謝意を表します。

参考文献

1) 佐々木博章・河崎和明・益子隆一・福田正晴・柴田邦善（2011）生物多様性の豊かな堤防植生を創出させる緑化技術開発～第一報～，河川環境総合

研究所報告第17号：44-62

- 2) 山本嘉昭・益子隆一・山田政雄（2012）生物多様性の豊かな堤防植生を創出させる緑化技術開発～第二報～，河川環境総合研究所報告第18号：10-16
- 3) 山本嘉昭・中嶋大次郎・山田政雄・吉田高樹・河崎和明（2014）生物多様性の豊かな堤防植生を創出させる緑化技術開発～第三報～，河川環境総合研究所報告第19号：55-64
- 4) 社団法人 日本河川協会（2000）改定 解説・河川管理施設等構造令：112-113
- 5) 佐々木寧・戸谷英雄・石橋祥宏・伊坂充・平田真二（2000）堤防植生の特性と堤防植生管理計画，河川環境総合研究所報告第6号：69-105
- 6) 北川明・宇多高明（1995）植生によって被覆した越流堤の耐侵食性に関する現地実験，土木技術資料 37-6
- 7) 山本晃一・戸谷英雄・谷村大三郎・石橋祥宏・平田真二（2005）イネ科花粉対策を考慮した堤防植生管理の研究，河川環境総合研究所報告第11号：63-78
- 8) 戸谷英雄・瀬川淳一（2007）外来種の取扱いを考慮した堤防の植生管理に関する研究—首都圏氾濫区域堤防強化対策事業への適用—，河川環境総合研究所報告第13号：153-169
- 9) 竹内清文・柳沼昌浩・平田真二・宇根大輔（2008）堤防植生管理における植生の計画的移行，河川環境総合研究所報告第14号：96-104
- 10) 吉田勢・竹内清文（2010）植物の生活史に着目した合理的な堤防植生管理—チガヤ優占堤防の実現に向けた取り組み—，河川環境総合研究所報告第16号：116-129
- 11) 服部保・南山典子・橋本佳延・石田弘明・小舘誓治・黒田有寿茂（2010）多様性植生調査法—生物多様性評価と数量的な解析を進めるための植生調査法—，兵庫県立人と自然の博物館，pp28
- 12) Joseph H. Connell（1978）Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs, New Series, Vol. 199, No. 4335, 1302-1310

2. 災害を防止するための調査・研究

堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案） の改定について

本間 俊行*・山田 博*・鈴木 克尚**・河崎 和明***

1. はじめに

近年、頻発する激甚な災害や笹子トンネルの崩落事故などを契機として、社会資本の維持管理への社会的な関心が高まり、維持管理の重要性についても高まっている。

平成 25 年 6 月には河川法の一部が改正され、河川管理施設及び許可工作物に関して、良好な状態に保つよう維持または修繕の義務を明確化し、管理者が順守すべき最低限の技術基準等が定められた。

一方で、管理すべきストックの増大・老朽化の進行に伴う維持管理費用の増大への対応等、河川維持管理を適切に進めていくための新たな仕組みの構築が求められている。

このような状況の中、平成 27 年 3 月に「堤防及び護岸点検結果評価要領（案）」と「樋門・樋管点検結果評価要領（案）」が策定され、今後の堤防等河川管理施設の適正な維持管理に向けた運用が進められることとなった。

本稿は、当財団が共同提案体（株式会社建設技術研究所との共同提案体）の代表者として受託した「河川管理施設の点検結果評価要領に係る検討業務」において実施した「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）」の改定に関する検討内容（改定点）を示すとともに、今後の展開等について述べるものである。

2. 点検結果評価要領（案）の試行運用

平成 27 年 3 月に策定された「堤防及び護岸点検結果評価要領（案）」と「樋門・樋管点検結果評価要領（案）」（以下「H27 評価要領」と示す）の主な内容と、その後実施されたアンケート及び試行運用結果から抽出された課題は以下のとおりである。

2.1 H27 評価要領の主な内容

H27 評価要領は、目視を基本とした点検結果を評価するものである。堤防の評価では、表 2・1 の変状種別において大別し、表 2・2 の 4 段階区分によって評価される。

表 2・1 堤防及び護岸の変状種別¹⁾

工種	機能	機能低下の状態	変状	
堤防	越流防止機能 耐浸透機能 耐侵食機能	沈下、すべり、 パイピング、侵食	⑧形状の変化	①亀裂
				②陥没や不陸
				③法崩れ
				④沈下
				⑤堤脚保護工の変形
				⑥はらみ出し
				⑦寺勾配
			⑧モグラ等小動物の穴	
			⑨樹木の侵食	
			⑩侵食(ガリ)	
			⑪漏水・噴砂	
			⑫植生の異常	
			⑬排水不良	
護岸	耐侵食機能	護岸の崩壊	⑭法覆工の流出	
			⑮背面土砂の吸出し	
			⑯基礎部の洗掘	
			⑰端部の侵食	

* (公財) 河川財団 河川総合研究所 研究員

** (公財) 河川財団 河川総合研究所 上席研究員

*** (公財) 河川財団 河川総合研究所 理事

表 2・2 点検結果評価区分^{1) 2)}

区分		状態	変状確認	機能支障	措置
a	異常なし	・目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、構造物の機能に支障が生じていない状態	△		
b	要監視段階	・目視できる変状（軽微な補修を必要とする変状を含む）が確認されるが、構造物の機能に支障は生じていない状態 ・進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態 ・目視点検では評価が困難であり、詳細調査を必要とする状態 ^{※1}	○ (進行性)		
c	予防保全段階	・構造物の機能に支障は生じていないが、予防保全 ^{※2} の観点から措置を行うことが望ましい状態	○		○ ^{※4}
d	措置段階	・構造物の機能に支障が生じている状態 ・措置 ^{※3} （補修又は更新）が必要な状態	○	○	○ ^{※5}

- ※1：不可視部分や変状原因の究明が必要な場合など、目視点検では措置の必要性判断を含めた点検結果の評価が困難であり、詳細調査を必要とする状態
 ※2：施設の機能に支障が生じる前に補修等の措置を行い、長期的な機能維持を経済的に行うこと
 ※3：河川管理施設の適切な維持管理が図られるよう、必要な対策を講ずること（軽微な補修は含まず）
 ※4：施設の変状の進行状況、損傷規模、代替性、経済性等を総合的に判断し、適切な処置を計画的に実施する
 ※5：出水等において構造物の機能に支障が生じた場合は、直ちに応急対策を実施するとともに、速やかに補修等の措置を講じる

2.2 試行運用結果から抽出された課題

平成 27 年度の出水期前点検について、各地整および都道府県への試行運用とアンケートが実施された（表 2・3 参照）。

表 2・3 試行運用対象

工種	試行運用対象
堤防	・全国の一級河川(109 水系)の直轄管理区間 ・都道府県及び政令指定都市が管理する代表 55 河川
樋門・樋管	・全国の一級河川(109 水系)の直轄管理区間内施設 ・都道府県及び政令指定都市が管理する代表 86 施設

※平成 27 年度の出水期前点検結果に対して試行運用を実施

これらを分析した結果、以下の課題が明確となった。

- ・護岸の評価項目に関する課題
- ・評価の偏りに関する課題
- ・評価様式に関する課題

2.2.1 護岸の評価項目に関する課題

護岸の評価は、前頁表 2・1 の⑭～⑰の 4 項目で分類されるが、護岸表面に現れる変状に対して、「⑭法

覆工の流出」と「⑮背面土砂の吸出し」のどちらの項目で評価することが適切であるか、評価者に混乱が生じているものがあつた。

図 2・1 は護岸に発生しているひび割れの代表事例である。左の写真は「⑭法覆工の流出」と評価され、右の写真では「⑮背面土砂の流出」で評価されている。このように、目視で確認できる変状が同一の「ひび割れ」であっても、評価項目の分類においては明確な指標がない状況であつた。



図 2・1 ひび割れの評価例

2.2.2 評価の偏りに関する課題

護岸のひび割れを例とすると、ひび割れ幅 40mm に対して b 評価としている河川もあれば、ひび割れ幅 30mm に対して c 評価としているものもあり、河川（事務所）単位で評価の偏りが生じているものがあつた。

これらは、ある特定の閾値を設けた評価が実施された事例であり、原因を踏まえた評価が実施されていないことが推察された。

2.2.3 評価様式に関する課題

次頁の図 2・2 は H27 評価要領の評価様式の抜粋であるが、記入欄が自由書式となっており、評価結果の分析や、継続的な維持管理の記録（過去の点検結果との比較や維持管理対策）、データベース化等が困難な様式であつた。

3. 点検結果評価要領の改定

前述の試行運用結果から抽出された課題に対して、「評価項目の変更」と「評価区分の定義変更」、「評価様式の改良」が実施された。

堤防の変状毎の評価(1/2)

変状種別	点検結果評価区分	変状の種類、状況等	写真番号
①亀裂	a (異常なし)	-	-
②陥没や不陸	b (要監視段階)	○k○○○付近の川表法面に幅Δm程度の範囲で不陸あり	写真1、2
③法崩れ	b (要監視段階)	ΔkΔΔΔ付近の川表法面に幅○m程度の範囲で法崩れあり	写真3、4
④沈下	a (異常なし)	-	-
⑤堤脚保護工の変形	a (異常なし)	-	-
⑥はらみ出し	a (異常なし)	-	-
⑦寺勾配	a (異常なし)	-	-

※変状種別毎に最も厳しい状況の点検結果評価区分を記入すること。

⑩形状の変化	点検結果評価区分	所見
A (異常なし)	A	②陥没や不陸、③法崩れが(要監視段階)であるが、何れも軽微な変状であることより、a(異常なし)とする。

※①亀裂～⑦寺勾配の評価結果をもとに点検結果評価区分を決定し、記入すること。

図2・2 H27年評価様式抜粋(堤防様式)¹⁾

また、これらの対応以外に、点検と評価の位置付けや、評価の全体像の把握、河川ごとに特性が異なることへの対応等、評価要領の内容の拡充が図られた。

3.1 試行運用結果から抽出された課題への対応

3.1.1 評価項目に関する課題への対応

護岸の評価項目に関して、従来の「⑭法覆工の流出」と「⑮背面土砂の吸出し」の2項目は、護岸の機能低下に繋がる事象であることから、内部の状況までは詳細点検を実施しなければ判定できないということが懸念された。そのため、⑭と⑮の評価項目を統一し、「⑬護岸の破損」という名称に変更された(図3・1参照)。

また、H27年度の試行運用結果から、護岸のはらみ出しに関する点検結果も確認された。護岸のはらみ出しは、土堤部に起因する変状であることから「⑬護岸の破損」とは区別し、新たに「⑭はらみ出し」という項目を加えることとなった。

さらに、土堤の評価項目の中で、「⑩侵食(ガリ)」と「⑪植生の異常」は機能低下の状態が同一の状態(法面の裸地化に繋がるもの)を指していたと考え

H27.3評価要領

護岸の機能	機能低下の状態	発生する変状	主な原因		
			洪水(流水)	材料劣化	その他外力(地震等)
耐侵食機能	護岸の損壊	⑭護岸の流出	○	○	○
		⑮背面土砂の流出	○	○	○
		⑯基礎部の洗掘	○		
		⑰端部の侵食	○		

護岸表面に現れる変状は同一

評価項目を統合

H28.3評価要領

護岸の機能	機能低下の状態	発生する変状	主な原因		
			洪水(流水)	材料劣化	その他外力(地震等)
耐侵食機能	護岸の損壊	⑬護岸の破損	○		○
		⑭はらみ出し	○		
耐浸透機能	漏水の発生	⑮基礎部の洗掘	○		
		⑰端部の侵食	○		

図3・1 護岸の機能と発生する変状⁵⁾を微修正

られたことから、評価項目を統合し、「⑩侵食(ガリ)・植生異常」に変更されたとともに、鋼矢板護岸の評価項目が新たに追加された。改定後の評価項目を表3・1に示す。

表3・1 各施設に求められる機能と機能低下の状態⁴⁾

施設区分	機能	機能低下の状態	変状
土堤	・越水防止機能 ・耐浸透機能 ・耐侵食機能	・沈下 ・すべり破壊 ・パイピングの発生 ・侵食 等	①亀裂
			②陥没や不陸
			③法崩れ
			④沈下
			⑤堤脚保護工の変形
			⑥はらみ出し
			⑦寺勾配
			⑧モグラ等の小動物の穴
			⑨排水不良
			⑩樹木の侵入
護岸 (堤防護岸、 高水護岸、 低水護岸 [※])	・耐侵食機能 ・耐浸透機能	・護岸の損壊 ・漏水の発生 等	⑬護岸の破損
			⑭はらみ出し
			⑮基礎部の洗掘
			⑰端部の侵食
鋼矢板護岸	・耐侵食機能 ・土留め機能	・鋼矢板及び笠コンクリート等の傾倒 ・鋼矢板護岸からの吸出し(漏水) 等	⑰鋼矢板の変形、はらみ出し、破損
			⑱鋼矢板の腐食(サビ、孔、肉厚の減少)
			⑲鋼矢板継手部の開き、欠損
			⑳背後地盤の沈下、陥没
			㉑笠コンクリートの変形、破損

※ 低水護岸は原則として評価対象外とするが、堤防防護ラインよりも堤防側に設置されており、土堤と一体となって防護しているものは評価対象とする。

3.1.2 評価の偏りに関する課題への対応

評価の偏りは、閾値を設けた評価となっており、原因を踏まえた評価となっていないことが原因と推察された。このため、「評価区分の定義変更」と「評価手順の明示」が実施された。

1) 評価区分の定義変更

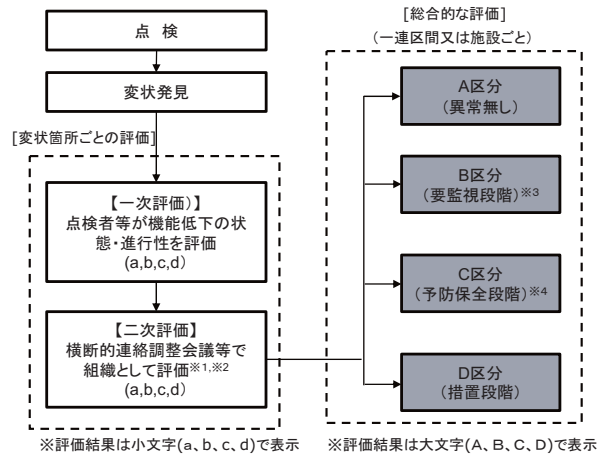
改定後の評価区分は、b 評価を「進行する可能性のある変状」とし、c 評価を「進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態」とされ、「進行性」に着目することで原因を踏まえた評価となるよう配慮された。また、上記と合わせて、詳細点検実施の位置付けが b 評価から c 評価に変更となり、必要に応じて詳細点検（調査を含む）を実施し、進行性（機能低下の状態）を判断するよう配慮された（表 3・2 参照）。

2) 評価手順の明示

評価の手順として、点検者等が実施する一次評価と、横断的連絡調整会議等で組織として評価する二次評価が新たに設定された。組織としての二次評価においては、既往資料等を踏まえることや、詳細点検の実施を加えることで、要因を踏まえた評価となるよう配慮された（図 3・2 参照）。

3.1.3 評価様式に関する課題への対応

評価様式は、今後の維持管理の効率化に向けて以下の改良が実施された。改良された評価様式（堤防の様式 2）を次頁の図 3・3 に示す。



※評価結果は小文字(a, b, c, d)で表示 ※評価結果は大文字(A, B, C, D)で表示

- ※1. 既往資料等(治水地形分類図, 災害履歴, 地質情報 築堤履歴, 定期横断測量図, 浸透流解析結果, 設計資料等)を踏まえる
- ※2. 不可視, 発生原因が不明な変状については, 必要に応じて, 詳細点検(調査を含む)を実施し, その点検結果を踏まえる
- ※3. 軽微な補修を必要とする変状を含む
- ※4. 必要に応じて, 詳細点検(調査を含む)を実施

図 3・2 評価の手順⁴⁾

- ・ 定量値の記入欄を新設（RMDIS[※]の改良を考慮）
- ・ 全景写真と近景写真の撮影を標準化
- ・ 評価理由の記載欄を新設
- ・ 過去の点検履歴の記載欄を新設

※ 河川維持管理業務を支援するデータベースシステムの全国統一版（River Management Data Intelligent System）の略称

表 3・2 変状箇所ごとの点検結果評価区分

評価区分		状態(平成27年要領の記載)	状態(平成28年要領の記載)
a	異常なし	目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、 構造物の機能に支障が生じていない状態	堤防等河川管理施設の 機能に支障が生じていない健全な状態 (施設の機能に支障が生じていない軽微な変状を含む)
b	要監視段階	目視できる変状(軽微な補修を必要とする変状を含む)が確認されるが、構造物の機能に支障は生じていない状態。 進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態 目視点検では評価が困難であり、詳細調査を必要とする状態	堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、 進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態 (軽微な補修を必要とする変状を含む)
c	予防保全段階	構造物の 機能に支障は生じていないが、予防保全の観点から措置を行うことが望ましい状態	堤防等河川管理施設の 機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 詳細点検(調査を含む)によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態
d	措置段階	構造物の 機能に支障が生じている状態 措置(補修又は更新)が必要な状態	堤防等河川管理施設の 機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 詳細点検(調査を含む)によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要なものも含む

堤防及び護岸、鋼矢板護岸の点検結果評価記録様式 様式2

点検NO	1	点検者	●●●●	評価者	●●●●	点検年月日	平成●●年●●月●●日
水系名	◆◆川水系	河川名	○●●川	区別	●●	距離標	● km+ ● m
■点検結果		点検箇所	●●●●	変状項目	●●●●	変状の規模(m)	方向/形状
点検項目	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	長さ L	幅 B
状況等 (特記事項)	●●	●●	●●	●●	●●	高さ H	No. フラップ
※方向(形状)は1.亀裂のあった場合のみ記入のこと(縦断、横断、網目状等)							
■位置図・概略図・写真等							
位置図、概略図、全景写真など							
コメント(全景写真など)							
位置図、概略図、近景写真など							
コメント(近景写真など)							
■同一箇所の変状履歴							
過去の点検NO	点検実施日	変状項目	変状の規模(m)				評価
H23-●-1	平成●●年●●月●●日	●●●●	方向/形状	L	B	H	●●
H24-●-1	平成●●年●●月●●日	●●●●	●●●●	●●	●●	●●	●●
H24-●-1	平成●●年●●月●●日	●●●●	●●●●	●●	●●	●●	●●

図 3・3 堤防の評価様式 (様式 2) 4)

また、従来の様式は1枚の様式で任意区間内の全ての変状を記録する仕様だったが、様式を3つに分けることにより、区間ごとの総括と、変状箇所ごとの評価に対応できるものとなった。各様式の概要は表 3・3 に示すとおりである。

表 3・3 評価様式の概要

様式	分類	用途
1	総括表	様式2の集計様式
2	変状箇所ごとの評価	評価後の維持・修繕用
3	補助写真用様式	様式2の補助様式

3.2 評価要領の内容の拡充

試行運用結果から抽出された課題への対応に加え、今後の河川管理施設の適正な維持管理に向けて、以下の拡充が図られた。

- ・ 点検と評価の流れを体系的に整理
- ・ 総合的な評価の新設

- ・ 河川ごとに特性が異なることへの対応
- ・ 評価工種の追加と点検要領との整合

3.2.1 点検と評価の流れを体系的に整理

河川管理施設の点検と評価は、河川維持管理計画に則り、点検・評価を実施することとなる。既往の基準・要領ではこれらの位置付けが不明確な状態であることに加え、4段階の評価区分もまた位置付けが不明確であったことから、点検と評価の流れを体系的に整理し、それぞれの関連性が明確となるよう配慮された(図 3・4 参照)。

また、詳細点検の位置付けについても同様に整理され、詳細点検後の再評価が明確となった。

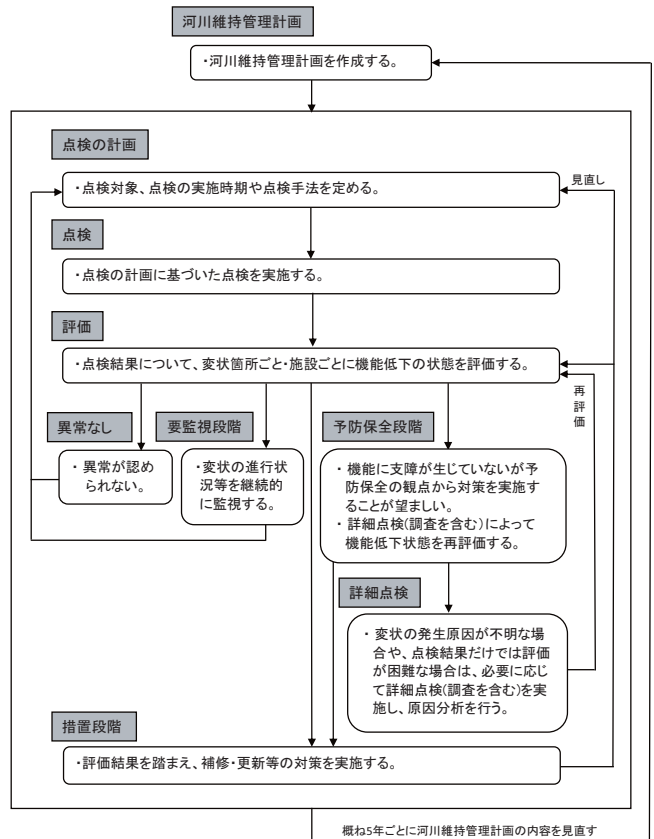


図 3・4 堤防等河川管理施設の点検・評価フロー 3) 4)

3.2.2 総合的な評価

各河川の堤防等河川管理施設の健全性の全体像を把握することを目的として、「総合的な評価」が新設された。堤防と樋門・樋管等の河川構造物における総合的な評価の単位は以下のとおりである。

1) 堤防

大河川：氾濫ブロック，支派川の分合流点や山付き箇所などを考慮して設定した「一連区間」を基本とする。

中小河川：大河川と同様に「一連区間」を基本とするが，氾濫ブロックを分けることが困難な場合は「河川」とすることができる。

2) 河川構造物

土木施設，機械設備及び電気通信施設が一体となって機能を発揮することから，樋門，水門等の「施設」を基本とする。

3.2.3 河川ごとに特性が異なることへの対応

河川の特性は河川ごとに異なり，変状の要因・メカニズム等についても様々であるため，評価要領で記載する内容は一律の基準ではなく，各河川に対して柔軟に対応できるものとする必要があった。

このため，H27 評価要領では「判定基準」としていたが，改定後は「判定目安」とすることで，各河川へ柔軟に対応できるよう配慮された。

なお，従来の評価基準として記載していた写真については，事例写真集という形で参考資料とし，今後事例が集まった段階で随時更新することとされた（図 3・5 参照）。



図 3・5 事例写真集抜粋⁵⁾

3.2.4 評価工種の追加と点検要領との整合

従来の評価要領は，堤防および護岸，樋門・樋管の評価基準を定めていたものであったが，他の河川管理施設の点検・評価に備えて新たな工種が追加された。また，評価工種の追加に伴い，点検要領との整合においても精査された。以下に追加された評価工種と点検要領の改定点について示す。

1) 評価工種の追加

平成 27 年度の試行運用結果を踏まえて，未策定であった鋼矢板護岸と水門，堰の評価項目が追加された（図 3・6 参照）。追加した工種は，堤防，樋門・樋管同様に構造物に求められる機能と発生する変状に着目して変状種別が定められた。図 3・7，3・8，3・9 に各構造物の機能と発生する変状の関係を示す。

H27.3 評価要領

- ・堤防及び護岸の点検結果評価要領(案)
- ・樋門・樋管の点検結果評価要領(案)



H28.3 評価要領

堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(案)

- Ⅱ. 堤防の評価：土堤、護岸、鋼矢板護岸
- Ⅲ. 河川構造物の評価：樋門・樋管、水門、堰

図 3・6 評価要領の統合と新工種の追加

機能	機能低下の状況	発生する変状	主な原因		
			洪水(流水、洗掘)	材料劣化	地震等
土留め機能	鋼矢板の倒壊	①鋼矢板の変形、はらみ出し、破損	○	○	○
		②鋼矢板の腐食(サビ、肉厚の減少)		○	
耐侵食機能	鋼矢板からの吸出し(漏水)	③鋼矢板継手部の開き、欠損	○		○
		④背面地盤の沈下、陥没	○		○
		⑤コンクリートの変形、破損	○	○	○

図 3・7 鋼矢板護岸の機能と発生する変状⁵⁾を微修正

機能	機能低下の状況	発生する変状	主な原因			
			地盤沈下	洪水	材料劣化	地震等
止水機能	周辺堤防からの漏水	①周辺堤防のクラック、緩み、取付護岸のクラック	○			○
		②堰柱、床版、胸壁、翼壁、水叩き等の変形、破損	○	○	○	○
	周辺堤防の損壊	③継手の変形、破損	○		○	○
		④門柱等の変形、破損	○		○	○
排水機能 舟運機能	水路の漏水	⑤水路内の土砂堆積		○		
	ゲートの開閉不全					
	流下能力不足(過水断面の減少)					

図 3・8 水門の機能と発生する変状⁵⁾を微修正

機能	機能低下の状況	発生する変状	主な原因			
			地盤沈下	洪水	材料変化	地震等
流水制御機能	河床の不安定化	①水叩き、護床工等の変形、破壊、上下流の河床の洗掘		○	○	
	ゲートの閉閉不全	②床版、堰柱、門柱等の変形、破壊	○	○	○	○
土砂排出機能 舟運機能	流下能力不足 (通水断面の減少)	④河道内(ゲート周辺)、本体上流部、開門内、魚道内の土砂堆積		○		
魚道機能	隔壁機能不全	③魚道の変形、破壊	○	○	○	

図 3・9 堰の機能と発生する変状⁵⁾を微修正

2) 点検要領との整合

評価要領は、堤防（土堤、護岸、鋼矢板護岸）と河川構造物（樋門・樋管、水門、堰）の評価の考え方を示したものであり、点検は別途策定されている「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」（以下「点検要領」と示す）に則って実施される。

点検と評価は不可分な関係があることから、点検要領の記載内容についても精査された。精査の結果、以下の課題があったことから、点検要領の構成が変更された。改定後の目次構成は図 3・7 のとおりである。

- ・ 護岸や根固工の記載が複数箇所に記載されており、記載内容の確認に漏れが生じ易い。
- ・ 樋門等構造物周辺の堤防に生じる変状は、河川構造物本体の変状に起因して発生することから、本体と周辺堤防の点検内容が別々に記載されていると、記載内容の確認に漏れが生じ易い。
- ・ 目次上に樋門・樋管、水門、堰といった構造物名がなく、評価要領と整合がとれていない。

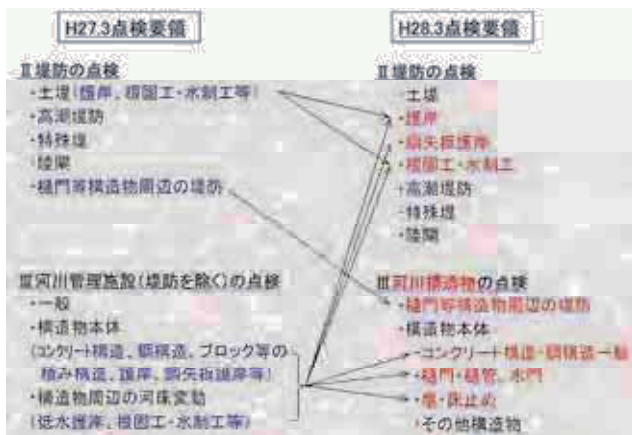


図 3・7 点検要領改定後の目次構成
(青字：変更前，赤字：変更後)

4. 今後の展開

平成 27 年度の試行運用結果を踏まえて評価目安の改定と新工種の追加が実施され、平成 28 年 3 月 31 日付けで「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(案)」が発出された。点検結果の評価における今後の展開は以下のとおりである。

4.1 試行運用の継続

評価目安への変更と新工種の追加により、評価要領の記載が一新されたことから、試行運用による事例収集と課題等の整理を継続し、必要に応じて評価要領を見直すことが重要である。

4.2 RMDIS の改良

河川維持管理業務を支援する目的で RMDIS の運用が開始されている。今回の要領の改定により、評価項目と判定区分、評価記録様式等が変更されたことから、河川維持管理業務の効率的・効果的な支援のためには、RMDIS のシステムを改良する必要がある。

4.3 河川特性を考慮した点検結果評価の検討

本業務によって検討した点検結果評価要領の改定案は、既往文献やこれまでの河川管理施設の維持管理の実態を踏まえてとりまとめた標準的なものである。河川の特性は河川ごとに異なることから、河川ごとに評価の考え方、評価方法等の検討を進める必要があると考える。

4.4 データの蓄積

平成 25 年の河川法の一部改定により河川管理施設の点検が義務付けられた。河川分野では、点検・評価のデータ蓄積が始まったばかりであるが、河川ごとの評価方法の検討(閾値設定等)のためには、更なるデータ蓄積によって上記検討の信頼性を向上させることが重要である。

4.5 点検作業の標準化

平成 27 年度の試行運用結果では、写真の撮影方法や変状の測り方に統一ルールがなく、写真から機能低下の状態を判断できないものが散見された。

適正な評価のためには評価の基となる点検データの品質を向上させる必要があることから、全景写真と近景写真の撮影方法や、変状ごとの計測の仕方等の作業方法を記載した「作業標準」を作成・運用することで、点検データの品質向上に繋がると考える。

謝辞

貴重なデータを提供していただいた国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課に対し、ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 堤防及び護岸点検結果評価要領（案） 平成 27 年 3 月 26 日
- 2)国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 樋門・樋管点検結果評価要領（案） 平成 27 年 3 月 26 日
- 3)国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領 平成 28 年 3 月 31 日
- 4)国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 流水管理室 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案） 平成 28 年 3 月 31 日
- 5)国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 流水管理室 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案） 参考資料 平成 28 年 3 月 31 日

平成27年9月関東・東北豪雨による 鬼怒川の出水前後の河道変化について

加藤 授人*・鈴木 克尚**・塩見 真矢*・山本 晃一***・山田 博*

1. はじめに

近年、集中豪雨の頻発や巨大な台風の襲来等により、出水による浸水被害が相次いでいる。堤防の決壊や河川のはん濫等による浸水被害を防止又は軽減していくためには、河川工事及び適切な河川の維持管理を行う必要がある¹⁾。河川工事及び河川の維持管理は、河川整備基本方針、河川整備計画及び河川維持管理計画を策定し、それらに基づいて実施している。

河川維持管理計画等の計画は、これまでの発生事象を把握、分析したうえで、将来にわたる河川管理を定めたものである。河道や河川管理施設の状態把握に基づく分析・評価結果を計画にフィードバックすることが基本である。自然公物である河川では、被災箇所をあらかじめ特定することが困難であるものの、発生した事象を分析して発生要因が明らかになれば、計画にフィードバックし、事前に対策等を行うことが可能である。河川は特に出水により大きく変化することから、出水後の状態把握と分析・評価が重要であり、それを計画に反映していく必要がある。

平成27年9月関東・東北豪雨において鬼怒川では、観測史上最大の出水が生じた。降雨、水位・流量ともに観測史上最大を記録した出水後の河道変化を把握し、分析・評価結果を今後の河道管理に活かすことが肝要である。

よって、本稿では、観測史上最大の出水が生じし

た鬼怒川の河道を対象に今後の河道管理に資することを目的とした出水後の状態把握結果の整理、河道変化の分析手法について報告する。

2. 鬼怒川と平成27年9月関東・東北豪雨 における出水の概要

2.1 鬼怒川の概要

鬼怒川は、栃木県と群馬県との県境近くの栃木県日光市山中の鬼怒沼（標高約 2,040m）を水源とし、帝釈山脈や日光連山からの流れを集めて山間溪谷を流下し、男鹿川、日光中禅寺湖より流れ出る大谷川

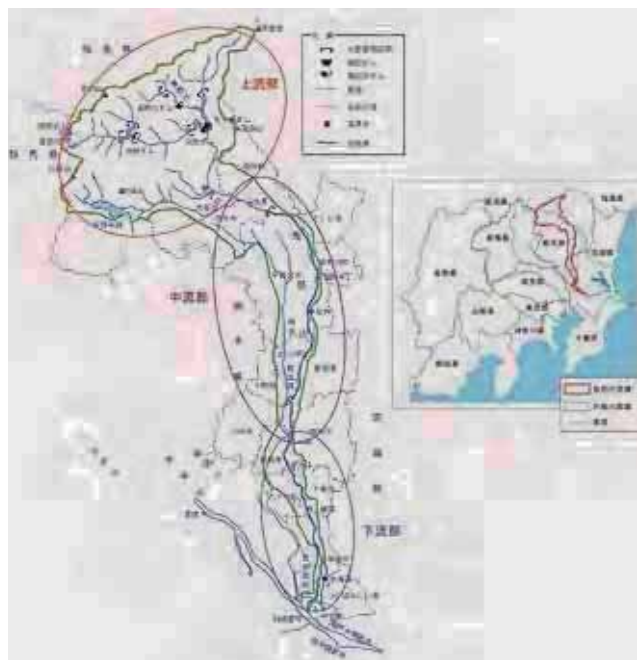


図2-1 鬼怒川流域図³⁾

* (公財) 河川財団 河川総合研究所 研究員
** (公財) 河川財団 河川総合研究所 上席研究員
*** (公財) 河川財団 研究フェロー

を合わせ、宇都宮丘陵東側の平野部を南に流下し、江川や田川を合流した後、茨城県守谷市にて利根川に注ぐ幹川流路延長 177km、流域面積 1,761km²の河川である²⁾。鬼怒川の流域図を図 2・1 に示す。源流から大谷川合流点 (110km) までが上流部であり、大谷川合流点から川島 (46km) までが中流部、川島より下流が下流部と区分される。

2.2 検討対象区間の地形・地質とセグメント区分

検討対象区間は、大臣管理区間を上流端とした 3~101.5km であり、中流部及び下流部にあたる。

地形は、中流部ではかつて台地を侵食して河道や河岸段丘が形成された河川空間であり、河道が広く砂礫堆の砂州の間を網状の滯筋が流れる。下流部では、川島付近で河床勾配が緩くなり、自然堤防地帯に入る。地質は、中流部の川沿いは沖積層であるが、下流部は沖積層と洪積層が混在する²⁾⁵⁾。

このような地形・地質を有する鬼怒川のセグメント区分は、図 2・2 に示すように 48km 地点から河床勾配が急に緩くなり、セグメント 1 からセグメント 2-1 に入る。本検討では、3~50km を下流部 (セグメント 2-1, 2-2)、50~101.5km を中流部 (セグメント 1) として、以降の整理及び分析を行った。

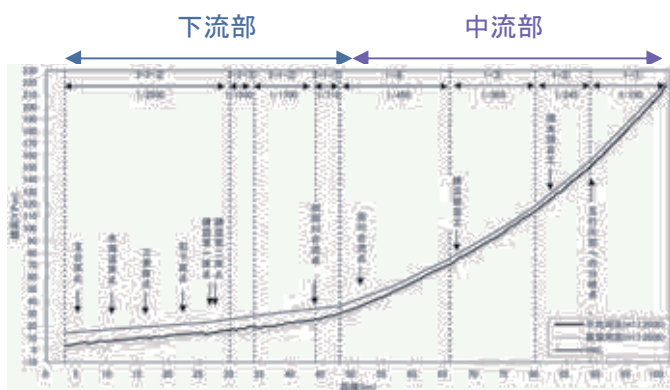


図 2・2 鬼怒川河床高縦断面図⁵⁾

2.3 鬼怒川の河道管理の特徴

鬼怒川は、ダム等の建設による土砂供給量の減少や昭和 30 年代以降の大量の砂利採取により河床低下が著しく進行し、低水護岸の抜け上がりなど河川

管理施設の機能の低下が懸念されており、河道管理上の課題となっている。特に下流部では、河床低下の進行により泥岩・沖積粘性土層が露出する区間が増加した。このような区間の一部では、通常の沖積河川ではみられない局所的な河床洗掘 (数年間で 5~6m) が生じている³⁾⁷⁾。なお、鬼怒川の砂利採取は平成 2 年に終了し、それ以降は実施されていない⁶⁾。

中流部は、大規模な側方侵食が発生するような河道区間であり、側方侵食に対する安全性の確保が必要となっている。過去には、平成 13 年 9 月出水において東北新幹線橋梁付近で約 95m の側方侵食が発生し、堤防まであと 20m に迫る危機的な状況であった³⁾。

このように、鬼怒川では下流部の河床低下、中流部の側方侵食に着目して河道管理を行う必要がある。

2.4 平成 27 年 9 月洪水時の気象概要と出水

台風 18 号及び台風から変わった低気圧に向かって南から湿った空気が流れ込んだ影響で、9 月 9 日から 9 月 10 日にかけて、鬼怒川石井地点上流域において流域平均最大 24 時間雨量は 410mm を記録し、観測を開始した昭和 13 年からこれまでの最多雨量を記録した。水海道地点 (利根川合流点から約 11km) では、観測史上最高水位の 8.06m を記録し、10 日 11 時から 16 時までの 5 時間にわたり計画高水位 (7.33m) を超過した。図 2・3 に水海道地点の水位時間変化を示す。

なお、本出水は水海道地点で約 4,000m³/s を観測し、観測史上最大流量を記録した。この流量は、水海道地点の平均年最大流量の 3 倍程度の流量である。この出水では、堤防決壊 1 箇所、溢水 7 箇所などによって多くの家屋浸水被害等が発生した。なお、関東地方の国管理河川の決壊は、昭和 61 年の利根川水系小貝川以来、29 年ぶりである⁴⁾。

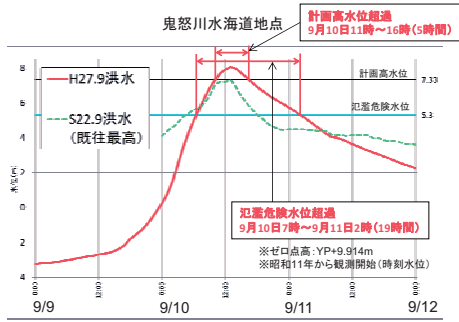


図 2-3 水海道地点の水位時間変化⁴⁾

3. 出水前後の河道変化の分析

下流部と中流部は河道特性が異なることから各々に、定期縦横断測量成果、航空写真から出水前後の河道変化を整理した。さらに、河床低下、河岸侵食、河床堆積及び砂州移動という河道変化項目ごとに変化の傾向や発生要因を分析した。

3.1 出水による河道変化の整理

河道特性が異なる下流部と中流部ごとに、河道の横断形状、縦断形状及び平面形状について出水前後の状況を比較し、本出水による河道変化を整理した。

3.1.1 横断形状の河道変化

横断形状の河道変化は、出水前後の横断図を重ね合わせて、横断形状の比較を行うことで確認した。使用した横断図は、出水前の平成 23 年と出水後の平成 27 年であり、測線間隔 250m の断面ごとに整理した。着目した河道変化は、表 3-1 に示す低水路の河床低下、河岸侵食、河床堆積、砂州移動及び低水路河岸肩部の堆積（河畔堆積物）である。

なお、河道変化の発生状況は、表中の備考に示す変化量を目安として判断した。変化量を目安として、河床低下等の 0.5m は現地で顕著に変化を確認できること、河岸侵食は既往の河岸侵食による被災幅⁸⁾を参考に 5m と設定した。河床低下と河床堆積が混在し、変化量が 0.5m 以上である場合は砂州移動と判断した。また、砂州の移動に伴い発生した河床低下は、変化量が 0.5m であれば砂州移動として整理し、変化

量が 0.5m より大きい場合は砂州移動に加えて河床低下としても整理した。

図 3-1 に下流部、図 3-2 に中流部の河道変化の発生割合を示す。図 3-3 は断面ごとの河道変化の発生状況を 10km 区間で集計したものである。図中の赤線は各 10km 区間の全断面数である。3~10km と 90~101.5km は、他の区間と断面数が異なるため、河道変化の発生状況を比較する際には注意が必要である。

表 3-1 着目とした河道変化項目

河道変化項目	代表例	備考
低水路	河床低下	変化量 0.5m を目安に整理。
	河岸侵食	変化量 5m を目安に整理。
	河床堆積	変化量 0.5m を目安に整理。
	砂州移動	変化量 0.5m を目安に整理。 河床低下 + 堆積が混在。
低水路(河床肩部)堆積 (河畔堆積物)	河床に堆積	変化量 0.5m を目安に整理。

1) 下流部 (3~50km)

下流部の河道変化の発生割合は、河床低下の発生が最も多く、全断面の 51% で発生している。次いで、河床堆積、河岸侵食の発生が多い。

10~20km、20~30km での河床堆積は、その上流の区間で発生した河床低下や河岸侵食により流出した土砂が堆積したと考えられる（図 3-3 の黒矢印）。

砂州移動は 40~50km 区間でのみ発生しており、発生割合は 2% であった。48km から上流でセグメント 1 となり、砂州移動は 45km 付近より上流でみられるためである。また、下流部では低水路河岸肩部に土砂の堆積（河畔堆積物）がみられた。

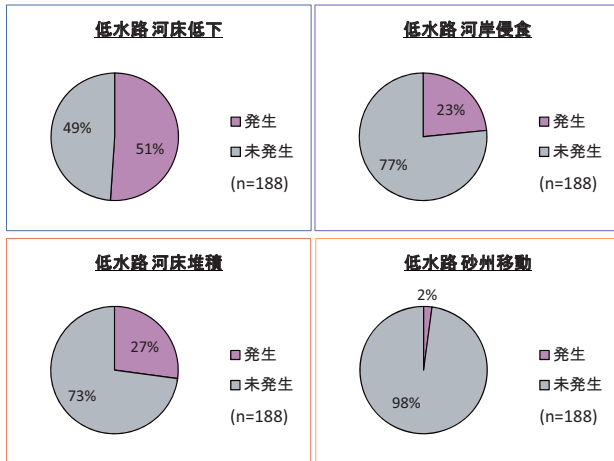


図 3-1 下流部における河道変化の発生割合

2) 中流部 (50~101.5km)

中流部の河道変化の発生割合は、砂州移動に伴う見かけ上（出水のたびに砂州が移動、あるいは形成されることに伴う）の河床低下や河床堆積が発生した断面が最も多く、全断面の 89%で発生している。次いで河床低下、河岸侵食の順に多い。

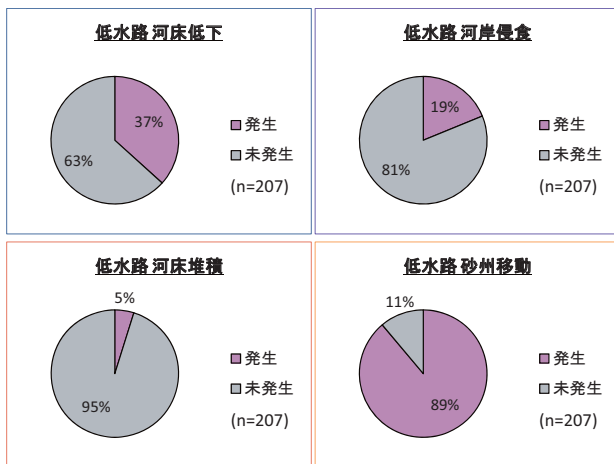
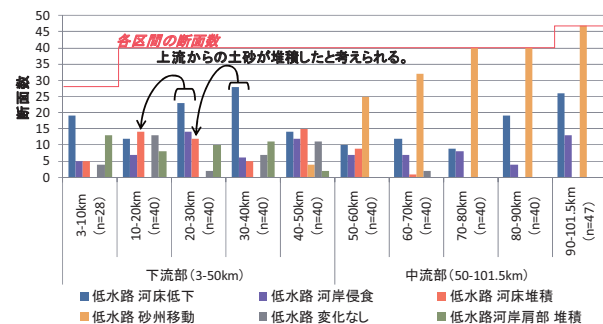


図 3-2 中流部における河道変化の発生割合



※nは各区間の断面数。
※河道変化（河床低下・河岸侵食等）が複数みられた断面もあり、河道変化の合計と断面数は一致しない。

図 3-3 河道変化の集計結果

3.1.2 縦断形状の河道変化

本出水による縦断形状の河道変化を明らかにするため、経年的な変化傾向と出水前後の変化を比較した。定期縦横断測量成果を基に昭和 39 年～平成 27 年の平均河床高と最深河床高を整理し、昭和 39 年を基準として各年の 10km 区間ごとの平均値を用いて河床高の経年変化図より変化を把握した。

1) 下流部 (3~50km)

下流部における河床高の経年変化を図 3-4 に示す。平均河床高は、20~30km を除いて本出水以前と同様の变化傾向であり、3~10km, 10~20km は低下傾向、30~40km は安定傾向、40~50km は砂利採取を終えた平成 2 年以降上昇傾向にある。40~50km の河床上昇は、当該区間や上流での砂州移動による土砂の堆積が考えられる。20~30km は、安定傾向であったが出水後に河床低下が進行した。

最深河床高は、本出水以前から低下傾向であったが、3~10km の進行が大きい。一方で 10~20km では上昇しているが、上流で発生した河床低下等により流出した土砂が堆積したと考えられる。

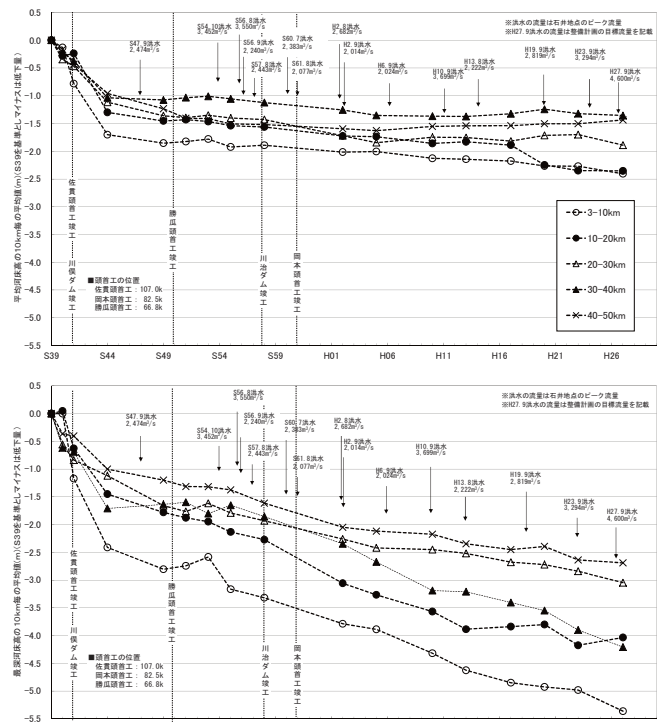


図 3-4 下流部における河床高の経年変化

(上：平均河床高，下：最深河床高)

2) 中流部 (50~101.5km)

中流部における河床高の経年変化を図 3-5 に示す。

平均河床高は、本出水後に 90~101.5km を除き僅かに上昇したが、出水前と同様の变化傾向である。50~60km, 60~70km は安定傾向, 70~80km, 80~90km は近年低下傾向, 90~101.5km は低下傾向である。中流部の上流側で河床低下が進行しているのは、本区間上流からの供給土砂量がダム建設・砂防工事により減少していることに原因すると考えられる。また河岸侵食の発生が多く、河床の洗掘に伴うものと判断される。

最深河床高は、本出水以前から低下傾向であったが、特に 60~70km 区間の進行が大きい。

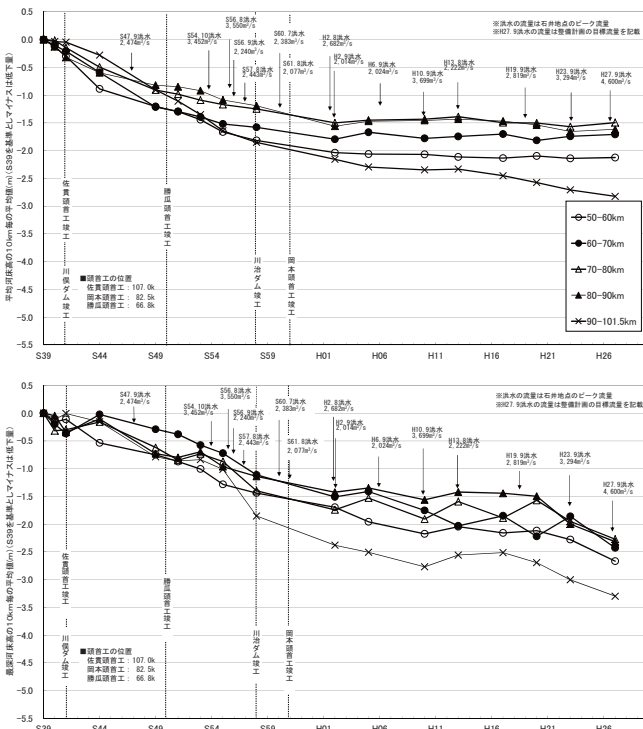


図 3-5 中流部における河床高の経年変化
(上：平均河床高，下：最深河床高)

3.1.3 平面形状の河道変化

平面形状の河道変化は、出水前の平成 25 年と出水後の平成 27 年の航空写真を比較することで確認した。下流部は河岸侵食と河床堆積の発生状況，中流部は砂州移動（移動状況，列数の変化）を確認した。

河道変化の概要については、後述の 3.2 で河道変化の分析と合わせて述べる。

3.2 出水による河道変化の分析

河道変化の分析は、河床低下等の河道変化項目ごとに、変化の傾向や発生要因を明らかとし、今後の河道管理に資することを目的に行った。本出水による河道変化を横断形状、縦断形状及び平面形状から整理した結果、下流部と中流部での主な河道変化は図 3-6 のように整理される。この河道変化項目ごとに分析を行った。

河床低下は、下流部では泥岩・沖積粘性土層の露出による急激な河床低下に対してこれまで河床の侵食形態に着目して分析している。本出水後も侵食形態を整理し、出水前後の比較を行うことで出水による河道変化を分析した。一方、中流部では砂州移動との関係に着目して分析した。

河岸侵食及び下流部の河床堆積については、それらの発生場所に着目し、その発生要因を分析した。

砂州移動は、移動状況，列数の変化及び一部区間で発生している砂州固定化の要因について分析した。

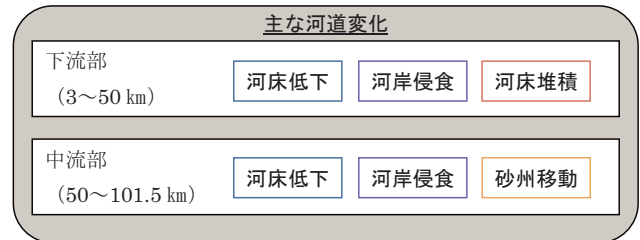


図 3-6 本出水による主な河道変化

3.2.1 下流部 (3~50km)

1) 河床低下

鬼怒川下流部における泥岩・沖積粘性土層の露出区間の河床低下については、①平坦型、②平坦型一部溝化、③特異な河床低下、④三角形型の 4 種類の侵食形態に類型化されることが明らかとなっている (図 3-7) ⁶⁾。

現在の鬼怒川では、平坦型のように河床が平坦面を保ちつつ、侵食されている区間がある。通常の移動床の河川では、このような侵食形態が形成されるとは考えにくい。侵食形態は、平坦型から平坦型一部溝化、特異な河床低下の順で移行する可能性が示唆されている ⁷⁾。なお、三角形型は湾曲部もしくは

蛇行部でみられる侵食形態である。

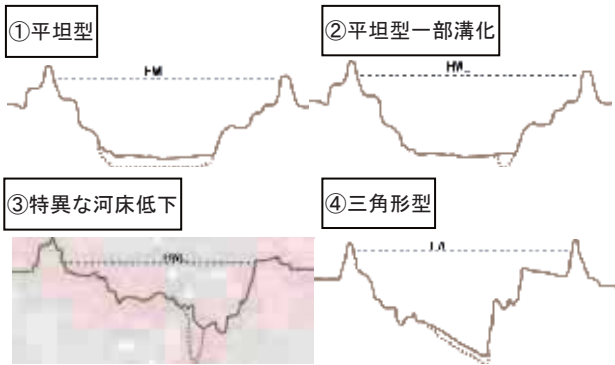
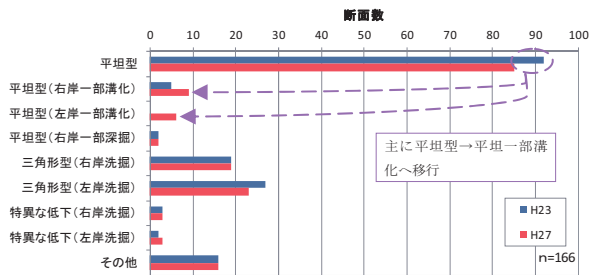


図 3-7 河床低下の侵食形態

出水前後の平成 23 年と平成 27 年について、河床の侵食形態ごとに断面数を集計した (図 3-8)。河床の侵食形態は、平成 23 年と平成 27 年ともに平坦型が最も多く、次いで三角形型が多い。出水前後で比較すると、出水後に平坦型が減少し、平坦型一部溝化へ移行した。図 3-9 に平坦型から平坦型一部溝化へ移行した断面の代表例を示す。



※床固めが設置されている11.0k(水海道床止)、27.75k(鎌庭第二床止)は除外して集計。

図 3-8 平成 23 年・平成 27 年の河床の侵食形態

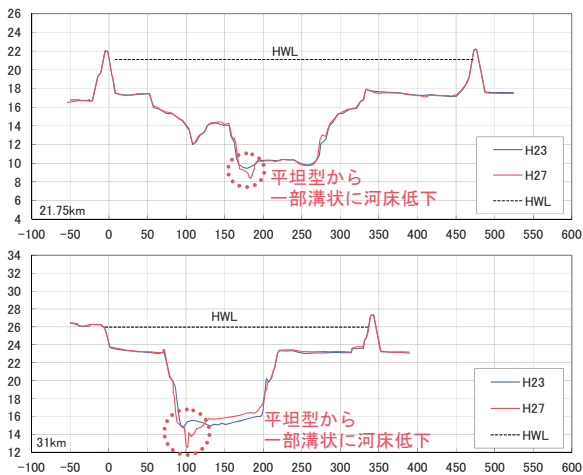


図 3-9 平坦型から平坦型一部溝化への移行

2) 河岸侵食

下流部の河岸侵食は、河道湾曲部の内湾側上流部及び中州周辺に多くみられる。図 3-10 に代表例を示す。

一般的に、河岸侵食は河道湾曲部の外湾側(水衝部)に生じるが、本出水のような大規模出水では河道満杯で流下し、通常時において河道湾曲部の内湾側に堆積した土砂が掃流され、河岸侵食が多く発生したと考えられる。中州周辺の河岸侵食については、砂州上に堆積した土砂が高速流により侵食されたと考えられる。

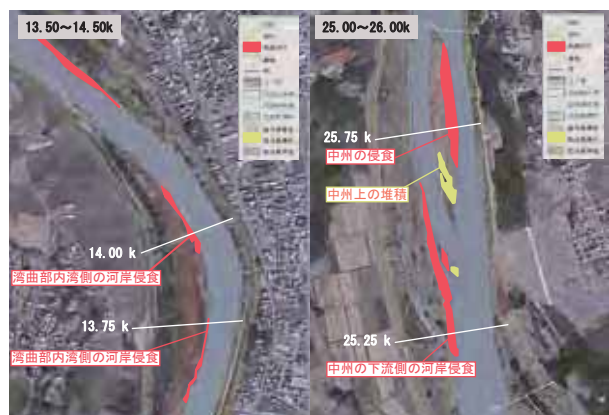


図 3-10 下流部の河岸侵食の代表例

3) 河床堆積

下流部の河床堆積は、河道湾曲部の内湾側に多くみられる。図 3-11 に代表例を示す。

前述のとおり、本出水のような大規模出水では河道湾曲部の内湾側上流部で河岸侵食が生じ、内湾側下流部で流速が低下することから、これに伴い土砂が堆積したと考えられる。

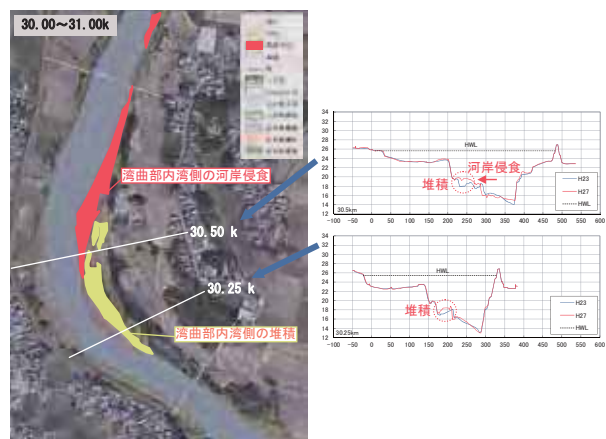


図 3-11 下流部の河床堆積の代表例

3.2.2 中流部 (50~101.5km)

1) 河床低下

中流部の河床低下は、砂州の移動によるものと、固定化した砂州の対岸等で発生するものがみられた。砂州の移動による河床低下の代表例を図 3・12 に示す。砂州の移動に伴い 3.0m 程度の河床低下がみられた。

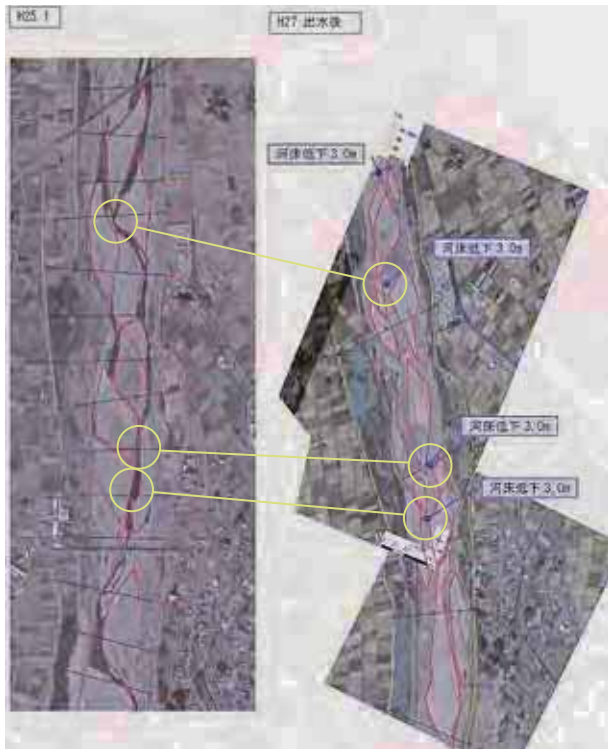


図 3・12 中流部の河床低下の代表例

2) 河岸侵食

中流部の河岸侵食は、湍筋の形状から水衝部となる箇所が発生している。水衝部は、砂州の移動に伴い湍筋の形状が変化して新たに生じるものと固定化した砂州により湍筋が固定され生じるものがみられた。

図 3・13 は砂州の移動に起因するもの、図 3・14 は固定化した砂州に起因するものと考えられる河岸侵食の発生事例である。河岸侵食は低水護岸の整備状況による河岸の耐力も影響していると考えられ、図 3・13 のように護岸整備箇所の対岸において河岸侵食が発生している箇所もみられた。

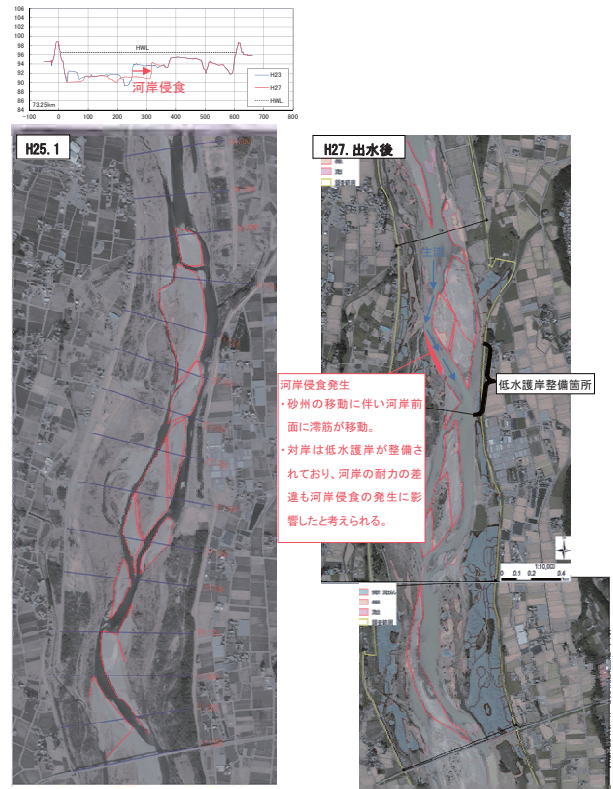


図 3・13 中流部の河岸侵食の代表例①

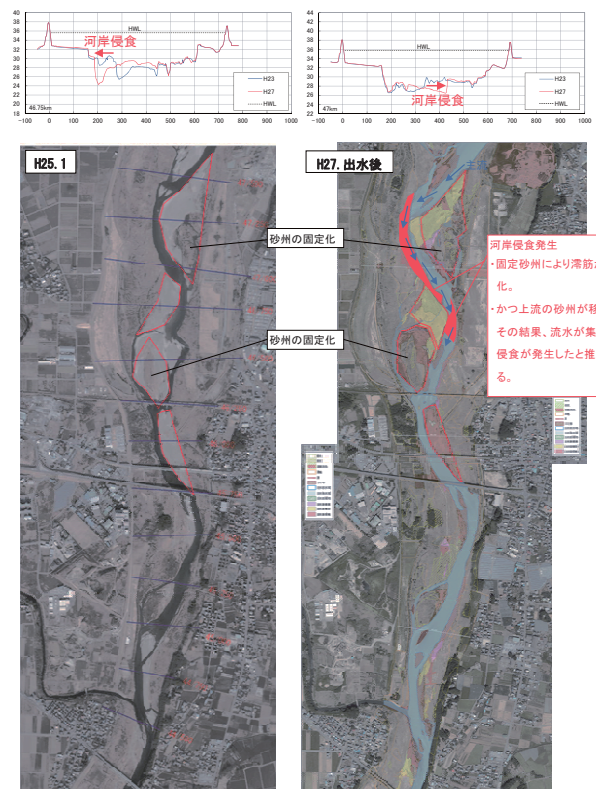


図 3・14 中流部の河岸侵食の代表例②

3) 砂州移動

中流部の砂州移動については、堆積部と洗掘部が出水前と異なり、砂州の前進、あるいは新たに形成されたことが確認された。砂州の形態は2～3列の多列砂州が多く、出水前と比べて、列数に変化はない地点が多い(表3・2)。

また、一部の区間において砂州の固定化が生じており、その要因の一つとして砂州の樹林化がある(図3・15)。

表3・2 砂州の列数の変化

距離標(k)	区間距離(km)	H25.1(出水前)	H27.出水後
44.50 ~ 50.50	6.00	1-2列	1-3列
50.50 ~ 60.50	10.00	2-3列	2-3列
60.50 ~ 78.00	17.50	1-2列	1-3列
78.00 ~ 101.50	23.50	2-3列	2-3列

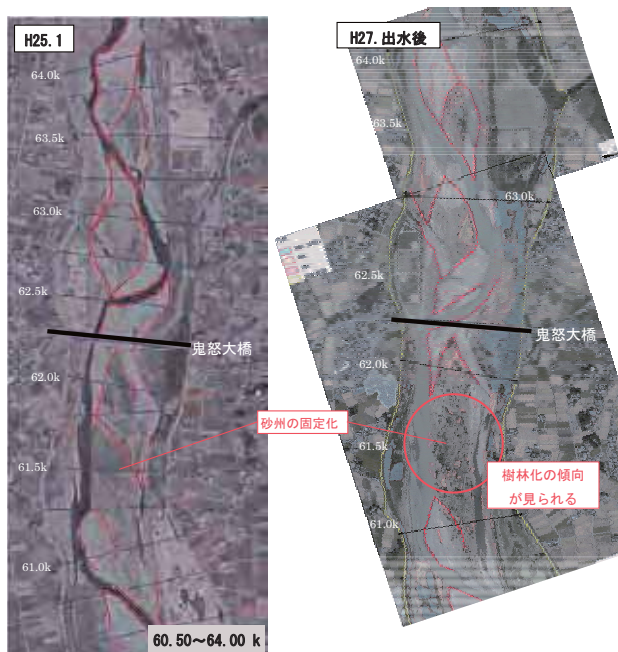


図3・15 砂州の固定化の代表例

4. まとめ

横断形状、縦断形状及び平面形状の分析より以下のことが明らかになった。横断形状と縦断形状の河道変化については河床高縦断図と合わせて図4・1に整理した。

4.1 下流部における河道変化

下流部では、河道変化として河床低下の発生が最

も多く確認された。次いで、河床堆積の発生が多く、10～20km、20～30kmではその上流の区間で発生した河床低下や河岸侵食により流出した土砂が堆積したと考えられた(図4・1の赤矢印)。河岸侵食や河床堆積は、河道湾曲部の内湾側で多くみられた。本出水のような大規模出水では河道湾曲部の内湾側上流部で河岸侵食が生じ、内湾側下流部で流速が低下することから、これに伴い土砂が堆積したと考えられた。

河床低下については、河床の侵食形態は平坦型から平坦型一部溝化への移行が確認された。

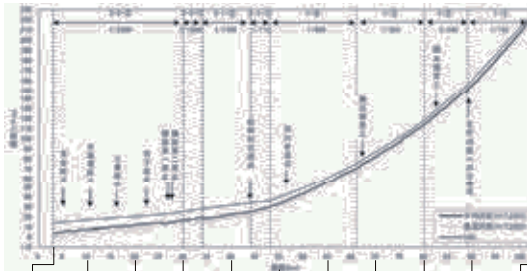
また、縦断形状の経年的な変化傾向より、最下流部(20kmより下流側)では平均河床高が低下傾向にあり、供給土砂量がダム建設・砂防工事により減少していることに原因すると考えられた。一方、セグメントの結節点である40～50kmでは平均河床高が堆積傾向にあり、中流部で砂州移動等の発生に伴い流出した土砂が堆積していると考えられた。

4.2 中流部における河道変化

中流部における河道変化については、砂州移動が最も多く、砂州移動に伴う見かけ上の河床低下や河床堆積による変化がみられた。

また、河岸侵食は、砂州の移動に伴い滯筋の形状が変化して新たに生じた水衝部または固定化した砂州の対岸において発生がみられた。砂州の固定化の要因としては、砂州の樹林化が考えられた。さらに、河岸侵食は低水護岸の整備状況による河岸の耐力も影響していると考えられた。

また、縦断形状の経年的な変化傾向より、中流部の上流側(70kmより上流側)では平均河床高が低下傾向にあり、本区間上流からの供給土砂量がダム建設・砂防工事により減少していることに原因すると考えられた。



縦断形状	出水前後 ^{※1}	平均河床高	-0.14	-0.01	-0.19	-0.03	0.07	0.02	0.03	0.07	0.04	-0.12
		最深河床高	-0.38	0.14	-0.21	-0.31	-0.05	-0.39	-0.57	-0.32	-0.32	-0.30
経年変化 ^{※2}		平均河床高	低下	低下	安定	安定	堆積	安定	安定	安定	少し低下	低下
		最深河床高	低下	低下	低下	低下	低下	近年低下	低下	近年低下	近年低下	近年低下
横断形状 ^{※3}	低水路	河床低下	(19)	12	(23)	(28)	14	10	12	9	(19)	(26)
		河岸侵食	5	(7)	(14)	6	(12)	(7)	(7)	(8)	4	13
		河床堆積	5	(14)	(12)	5	(15)	(9)	1	0	0	0
		砂州移動	0	0	0	0	4	(25)	(32)	(40)	(40)	(47)
		変化なし	4	13	2	7	11	0	2	0	0	0
		河岸肩部堆積	(13)	(8)	(10)	(11)	2	0	0	0	0	0

※1 本出水前後の平均・最深河床高の平均値の変化量(単位はm)。変化量は変化量=出水前-出水後として算出。

※2 砂利採取が終了した平成2年以降の定性的な経年変化の傾向。

※3 本出水前後に各河道変化(河床低下等)がみられた断面数。

○付きは各河道変化の項目の中で発生数が多い区間。

図 4-1 横断形状と縦断形状の河道変化の整理

5. 今後の課題

鬼怒川の河道管理上の大きな課題である下流部の河床低下、中流部の河岸侵食に関する今後の課題は以下のとおりである。

5.1 下流部の河床低下

河床低下は、これまでの検討において平坦型の河床形態のうち侵食速度の大きいものが平坦型一部溝化へ移行し、その後に特異な河床低下に移行するものと推測されている。また、特異な河床低下の形状ほど侵食速度が大きい傾向にあり、急激な河床低下が発生する恐れがある。

本検討より、平坦型から平坦型一部溝化への移行が確認された。平坦型一部溝化から特異な河床低下への移行は確認されなかったが、今後、特異な河床低下へ移行することも予測されることから、周辺の地質構造を把握するとともに継続したモニタリングが重要と考えられる。

5.2 中流部の河岸侵食

低水路等の河岸侵食は、湍筋の形状から水衝部となる箇所が発生している。水衝部は砂州移動に伴い

新たに生じるもの、固定砂州によるものがみられた。固定化している砂州の要因としては、樹林の繁茂が考えられた。また、侵食の発生には低水護岸の整備有無の影響も考えられた。

本出水のような大規模出水でも移動しない固定化した砂州については、今後もその周辺で河岸侵食が発生することが懸念される。固定化した砂州の要因としては、樹林化が考えられたが、低水路との比高差による掃流力の差違も影響していると推察される。河岸侵食のみならず、治水上は固定化した砂州を解消する必要があり、砂州上の樹木伐採や砂州高切り下げを検討することが考えられる。それらを検討するにあたっては、固定化している砂州のモニタリングや本出水で移動した砂州、移動しなかった砂州の要因分析が有益な情報となる可能性がある。

謝辞

本報告を実施するにあたり、貴重なデータを提供していただいた国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所 調査課に対し、ここに深く謝意を表します。また、「鬼怒川・小貝川河道管理研究会」の委員の方々には、貴重なご意見・ご指導を頂きました。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2015) 河川砂防技術基準 維持管理編 (河川編)。
- 2) 国土交通省 関東地方整備局 (2016) 利根川水系鬼怒川河川整備計画。
- 3) 国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所 (2012) 鬼怒川河川維持管理計画。
- 4) 国土交通省 関東地方整備局 (2016) 『平成 27 年 9 月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について。
- 5) 山本晃一, 阿左美敏和, 田中成尚, 新清晃, 鈴木克尚 (2009) 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題—沖積層の底が見える河川—, 河川環境総合研究所資料, 第 25 号。
- 6) 中嶋大次郎, 鈴木克尚, 山本晃一 (2014) 鬼怒川

における泥岩・沖積粘性土層の河床低下について、
河川総合研究所報告，第 19 号.

7) 塩見真矢，小川愛子，鈴木克尚，山本晃一（2016）
泥岩・沖積粘性土層の露出河道の侵食特性につい
て，河川総合研究所報告，第 21 号.

8) 財団法人国土技術研究センター（2002）河道計画
検討の手引き，p170.

河川点検評価実務への FT 図の活用

小澤 淳真*・安達 孝実**・宮下 光泰***・鈴木 克尚****

1. はじめに

我が国の社会インフラの維持管理は、予算の減少、労働人口減少等の厳しい環境に置かれている一方で、異常気象や巨大地震による自然災害が増加しており、その重要性は増している。

河川においても、これまで経験したことのない豪雨や地震により、治水面での安全性が脅かされており、このような厳しい状況の下で河川の維持管理を行う必要がある。

さらに、河川の維持管理においては、その状態が常に変化することを念頭に置く必要がある。例えば、平常時には危険性が見られない場所でも、洪水時にはその様子が一変し、安全性を脅かす状態になることもある。このため、河川管理者には、河川の状態変化を前提として、その機能低下を予測する必要がある。この際、河川を河道と施設から構成される一体的なシステムと考え¹⁾、一連区間の河川特性を考慮した状態変化の予測と、それに対する健全度を評価することが求められる。点検評価実務では、これをどのように実現するかが課題として挙げられる。

実現のためには、まず、河川システムとしての機能低下がどのように起こるのかを整理しておく必要がある。これまで河川システムを機能低下の面から体系的に整理した例としては、安原ら²⁾によるフォルトツリー解析が挙げられる。この中では、場の特性（第2章参照）や大雨等により、どのように機能低下が進行するか、その過程を体系的に表現している（FT 図（図4・1））。この FT 図を実務レベルで活用することで、河川の状態変化を考慮した健全度評

価が可能になると考えられる。

本稿では、河川点検評価の実務に対し、FT 図を活用するための方法について提案を行う。

2. FT 図および点検評価実務

FT 図を河川点検評価の実務へ活用させるためには、現行の点検評価の枠組みの中で運用するのが効果的と考えられる。ここでは、FT 図の概要、および点検評価実務の流れを説明する。

2.1 FT 図

FT 図は、もともと製品やシステムの故障、およびそれにより発生した事故の原因を分析する手法である FTA（故障の木解析）の結果を整理した図で、最も好ましくない事象が発生する要因とその関係が、系統的かつ俯瞰的に整理されている。

この考えを河川に適用した FT 図が図4・1である。この中で、最も好ましくない事象を「越水による被害」、「堤防破堤による被害」と考え、ツリー構造の最上位に置き、そこに至るまでの機能低下のメカニズムをトップダウン式に整理してある。最下層には、機能低下の要因のうち、その場所の特性に依存する要因（場の特性）を示してある。

2.2 点検評価の流れ

図2・1は、現行の河川維持管理の運用の流れを示したものである。点検評価に関する具体的な事項は、

* (公財)河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所 主任研究員
** (公財)河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長
*** (公財)河川財団 河川総合研究所 主管研究員
**** (公財)河川財団 河川総合研究所 上席研究員

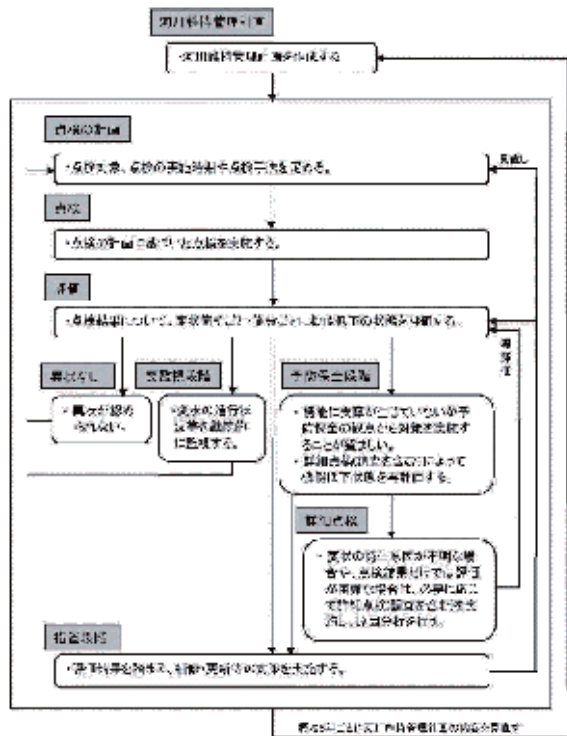


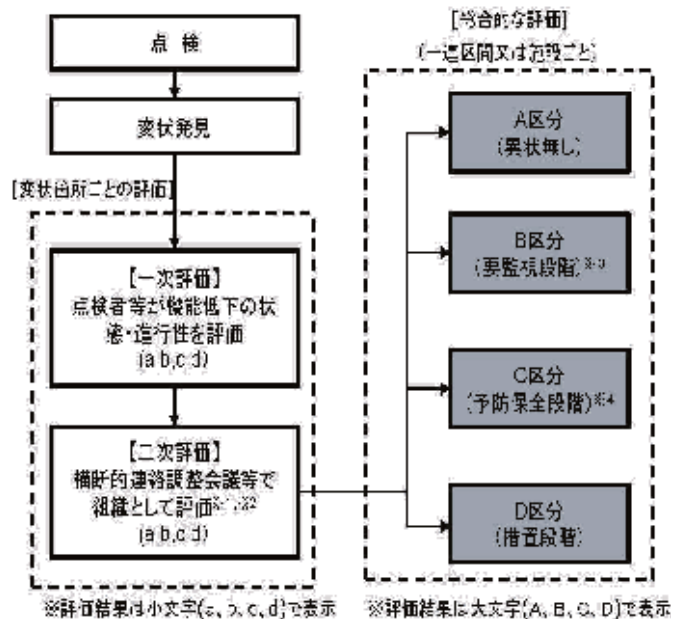
図 2・1 堤防等河川管理施設の点検・評価フロー³⁾

各河川の河川維持管理計画の中で定められる。このうち、点検の計画および点検に関しては「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領(平成 28 年 3 月 国土交通省)」³⁾の中で、評価については「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(案)(平成 28 年 3 月 国土交通省)」⁴⁾(以下「点検結果評価要領(案)」)の中で具体的な内容が記載されている。

図 2・2 は点検結果評価要領(案)の中で記載されている評価の手順である。評価は、まず変状箇所ごとの評価を行い、次にその評価結果を踏まえて総合的な評価を行う。

変状箇所ごとの評価のうち、一次評価は、点検結果に基づき点検者等が機能低下の状態や進行性を評価する。その後、一次評価結果や既往資料等を踏まえ、事務所の関係各部署が参加する横断的連絡調整会議等で、組織として変状箇所ごとの二次評価を行い、総合的な評価を実施する。

一次評価においては点検者等が機能低下の状態や進行性を評価する必要があるが、点検評価要領(案)の中で、表 2・1 の区分により実施することが基本とされている。



- ※ 1. 既往資料等(治水地形分類図、災害履歴、地質情報、築堤履歴、定期横断測量図、浸透流解析結果、設計資料等)を踏まえる
- ※ 2. 不可視、発生原因が不明な変状については、必要に応じて、詳細点検(調査を含む)を実施し、その点検結果を踏まえる
- ※ 3. 軽微な補修を必要とする変状を含む
- ※ 4. 必要に応じて、詳細点検(調査を含む)を実施

図 2・2 評価の手順⁴⁾

表 2・1 変状箇所ごとの点検結果評価区分⁴⁾

区分	変状	詳細点検	補修要否
a	異状なし	なし	なし
b	変状あり	あり	なし
c	予段緊急変状	あり	なし
d	緊急変状	あり	あり

そして最終的な二次評価では、各河川の特性に応じて判定目安を設定し、変状ごとの評価を行うこととなる。

3. 点検評価実務への FT 図活用方法の提案

FT 図では、機能低下の要因のうち、その場所の特性に依存する要因（場の特性）を考慮してあり、河川が持つ特性を踏まえた体系的な整理がなされている。このため、機能低下の段階を、各河川の特性に応じて評価することが可能になると考えられる。

FT 図を活用するためには、まず、点検で発見された変状が、FT 図上のどの機能低下段階にあたるかを特定する必要がある。安原らが整備した FT 図で網羅されている変状の一部であり、また、変状が発生する部位・部材や構成材料についての情報が不足している。

これに対し、本稿では、点検で確認された変状が、FT 図上でのどの段階に対応するかを記述した対応テーブルを整備する方法を提案する。

3.1 FT 図と対応テーブルのリンク

FT 図と対応テーブルのイメージを図 3・1 に示す。対応テーブルには、点検で確認された変状に関する内容（図の青点線）と、その変状が FT 図のどの中間事象に対応するかを記述する。FT 図との対応については、FT 図に示されている各中間事象に識別番号（図の赤実線）を割り当て、その識別番号をキーにして、対応テーブルへのリンクを行うこととした。

図 3・1 の例では、点検においてコンクリートで構成される高水護岸の部分に開きが確認された場合、FT 図上では「堤体の侵食」の段階にあり、今後、中間事象 3、中間事象 4 と機能低下が進行する可能性があることが示されている。

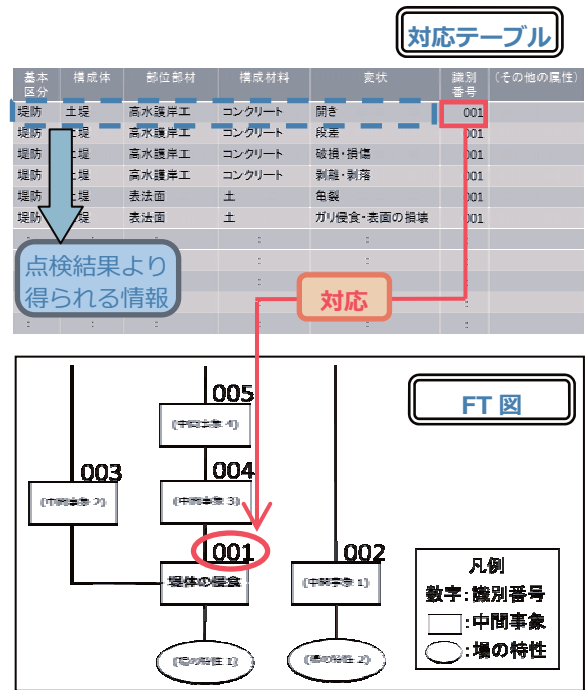


図 3・1 FT 図と対応テーブルのリンクイメージ

3.2 対応テーブルの整備

以上の方針に基づき、対応テーブルの整備を行う。まず、点検で確認された変状に関する内容として、変状名や変状が発生した部位・部材、構成材料等の情報を整備する。さらに今回は、評価実務における効率化を考慮し、「機能低下の進行特性」、「限界状態（被災）の変状」の 2 つの属性を付加することとした。以下に、対応テーブルに記載する属性項目について説明を行う。

3.2.1 部位・部材

同じ変状でも、発生した場所の違いにより機能低下の段階が異なることが想定される。このため、基本情報として部位・部材に関する情報を対応テーブルに付与する。部位・部材については、図 3・2 のように河川システムを最上位にした階層構造で整理すると相互関係が明確になる。すなわち、システムとして捉えた河川は、河道、堤防、施設で構成され（基本区分）、さらにそれらが、河床、土堤、低水護岸等の構成体から成り立っている。部位・部材は、構成体の要素として位置付けられる。

対応テーブルには、この階層構造が分かるように、部位・部材の他に、基本区分、構成体についても整備することとした。

3.2.2 構成材料

構成材料は、部位・部材の材料として定義し、表3・1の9種類とした。

表3・1 構成材料一覧

材料名		
土	石	木材
コンクリート	植生	土砂
アスファルト	鋼材	ゴム

3.2.3 変状

対応テーブルで整備する変状の種類は、点検結果評価要領（案）の中に記載されている変状を対象とした。また、それらの変状に対して、表3・2のとおり、定義付けを行った。

3.2.4 機能低下の進行特性

河川の状態変化等により機能低下がどのように進行するのか、その特性を把握しておくことは重要である。本稿では、機能低下の進行特性として表3・3の4種類を定義し、対応テーブルに付与した。

表3・3 機能低下の進行特性

機能低下の進行特性	定義
経年性	機能低下が時間と共に進行する
洪水進行性	機能低下が洪水時に進行する
洪水進行性(超過洪水)	洪水進行性のうち設計や管理目標を上回る作用で機能低下が進行する
突発性	機能低下の原因や被災メカニズムが予見できず、短時間で大きく進行する

3.2.5 限界状態(被災)の変状

限界状態(被災)に達している変状は、重大な災害につながる恐れがあるため、最も注意すべき変状である。これらの変状に対する見落とし等のリスクを減らし、早急に対応策の検討を可能にするため、該当する変状に対しては対応テーブルの中で区別することとした。

表3・2 変状の一覧

変状名	定義
亀裂	土や舗装、鋼材に応力が集中して亀裂が生じている状態
陥没	堤防内の空洞が発生してその土やその表面を覆う舗装にくぼみが生じている状態
不陸	天端や法面等において凹凸が生じている状態
抜け上がり	構造物周辺等において堤防と構造物の沈下特性の相違により段差が生じている状態
法崩れ	法面が安定を失い崩れている状態
勾配配化	土壌の法面等の勾配が、天端に向かって緩い急になっている状態
ガリ侵食、表面の損傷	堤防の表面が侵食され、損傷が生じている状態
表土の異常	法面等の表土に異常が生じている状態
水溜り	護法尻部等に水溜りが生じている状態
泥溜り	護法尻部等に水溜りが生じていないが湿潤な状態
モグラ等小動物の穴	もぐら等の動物により堤防に損傷が生じている状態
沈下	堤防全体や護岸工等の部位部材が本来の位置から下方に沈み込んでいる状態
はらみ出し	土の斜面がゆるみにより膨らみを生じている状態
漏水	浸透流が表面に表出している状態
逆勾配	天端や小段等が雨水を集水する形状になっている状態
しぼり水	排水性の悪い堤防において雨間水を伴いしみ出してきた水により浸潤している状態
ぬい出し・空洞・水ミチ	堤体土や裏込め材が浸透流等とともに流動している状態
噴砂	堤体土が浸透流等とともに流動し、堤内地等で漏水とともに噴き出している状態
樹木の侵入、拡大	堤防等に樹木の侵入や拡大が見られる状態
植生繁茂	堤防水際等の本来植生の繁茂が好ましくない部位に植生の繁茂が見られる状態
植生異常	堤防植物等の植生管理上有害な植生がみられる状態
露出	覆土の流出やコンクリートの破損等により本来被覆されているはずのブロックや鉄筋等が露出している状態
土砂堆積	樋門、堤防水路、ドレーン工等において土砂の堆積が生じている状態
目詰り、閉塞	樋門、堤防水路、ドレーン工等において土砂の堆積や目詰り等により流水の流下や浸透流の透過に支障が生じている状態
変形	矢板等の部位そのものが変形している状態
開き	コンクリートブロック張り等の接合部の間に開きが生じている状態
段差	コンクリートブロック張り等の平面形状であるはずの部分前後で段差が生じている状態
破損・損傷	コンクリート部材や鋼材等により構成される部位の一部が欠損している状態
ひび割れ	コンクリート部材や石材の表面にひびわれが生じている状態
剥離(スケーリング、ポッピング、剥落)	コンクリート部材の表面が剥離している状態
孔あき	鋼材に集中的に腐食が発生し、孔が開いている状態
防食塗膜の劣化	塗装やめっき等がはがれ、変色等を起こしている状態
錆汁・深き錆	鋼材にサビが発生しているが、板厚減少や断面欠損が生じていない状態 コンクリートに錆が見られるが、剥離、剥離等の変状に至っていない状態
腐食	鋼材に集中的にサビが発生し、板厚減少や断面欠損が生じている状態
傾倒	矢板護岸等が本来の角度から傾倒している状態
破断	連結鉄筋等が破断しているか判断しているときとみなせる状態
露出(鉄筋)	鉄筋コンクリートの剥離、損傷部で鉄筋が露出している状態
移動、散乱	消波工、堰工のブロックが移動散乱している状態
扉体の傾倒、たわみ	扉体に傾きやたわみがあり、扉の開閉に支障がある状態
扉体や車輪の錆	扉体や車輪に錆があり、扉の開閉に支障がある状態
扉体と堤体間の異物	扉体と堤体間に異物があり、扉の開閉に支障がある状態
決壊	堤防本体の一部または全部破壊を伴っている状態
不同沈下	地盤沈下や洗掘等の影響により縦断方向に一律でない沈下が生じている状態
摩耗	コンクリート部材が本来の形状からすり減っている状態
流出	流水の作用により部位部材またはその一部が流されている状態
砂州移動・変形	砂州が移動または変形している状態
堆積	土砂が局所的または一定区間で堆積している状態
局所洗掘	土砂が局所的に洗掘されている状態
河床低下	河床高が一定の広がりを持って低下している状態
樹木繁茂	河川区域に樹木が繁茂している状態
偏流	洪水流が河床内で偏り流している状態
河岸侵食	河岸が侵食を受けている状態
函渠の崩み、折れ曲がりの変化	函渠の形状に変化が生じている状態
継手の開きの変化	函渠等の継手部分に開きが生じている状態
函渠のクラックの変化	函渠にひび割れが生じている状態
その他	上記以外の変状

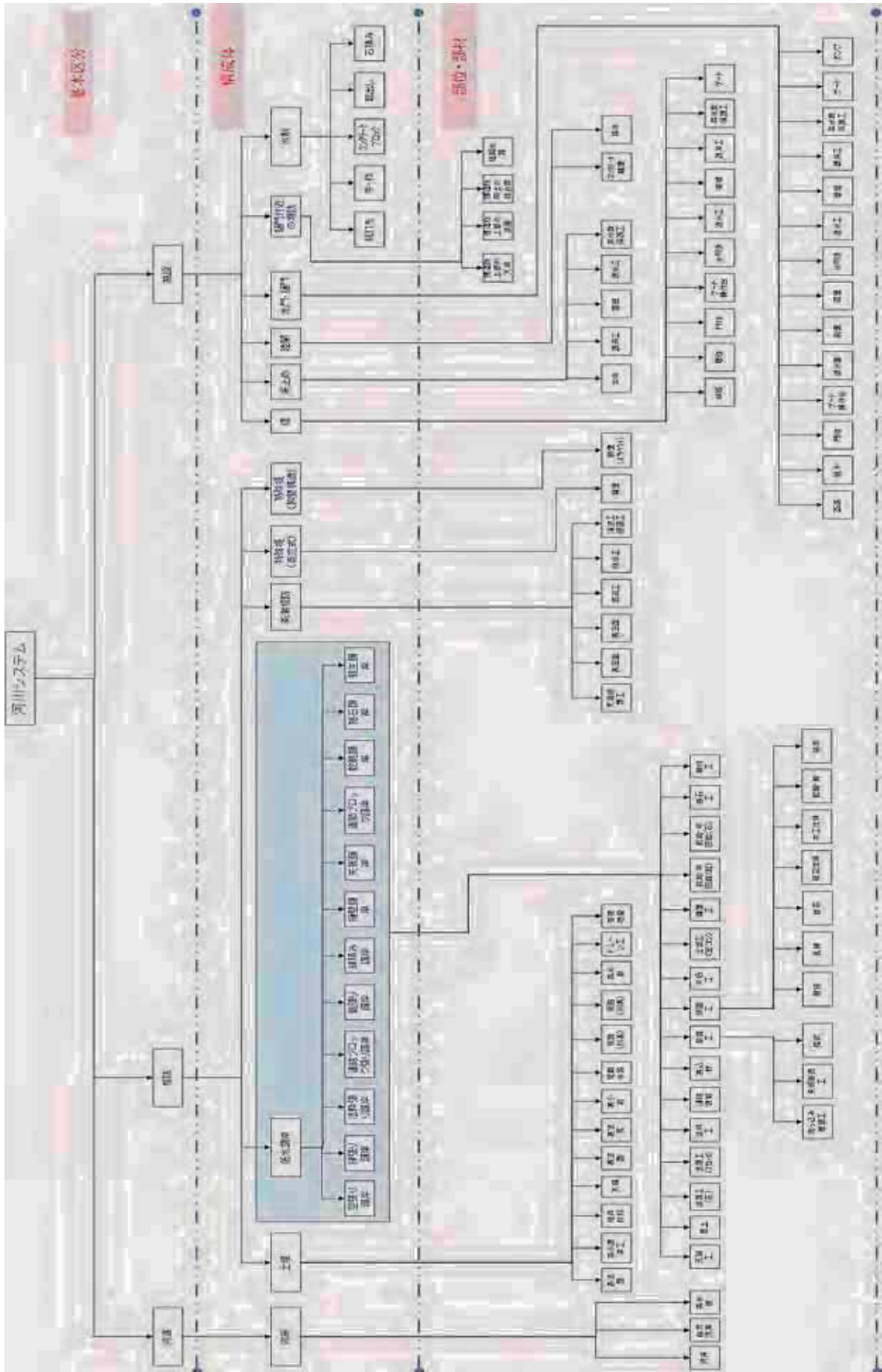


図 3-2 河川システムの階層構造

4. 想定される活用例

本章では、点検により河道内で「砂州移動・変形」が確認された場合を想定し、FT 図および対応テーブルの活用例について説明する。ここで、これまでの検討結果をもとに作成した FT 図および対応テーブルを図 4・1、表 4・1 に示す。なお、対応テーブルは FT 図上で赤い丸で示した機能低下の事象を対象に整理した結果である。

まず、今回想定した変状は対応テーブルの No.1 に対応する。この変状が FT 図上でどの段階に相当するかを確認すると、No.1 の識別番号は、OE1-3_13 であり、FT 図上では、「土砂の流下バランスの変化」に該当することが読み取れる。

FT 図の最下層、場の特性に注目すると、土砂の流下バランスの変化には、砂利採取の実施、供給土砂量の変化、河道改修、河川横断構造物の設置が関連しており、これらが変状発生の原因として考えられる。

一方、対応テーブルの No.2 に注目すると、識別番号は No.1 と同じ「OE1-3_13」となっており、FT 図上の「土砂の流下バランスの変化」により発生する変状であることが分かる。これは、砂州移動・変形以外に、河床低下が発生している場所が存在する可能性を示唆しており、今後の巡視・点検等においては、河床低下に注視して実施する必要がある。

対応テーブルの No.1 にある「機能低下の進行特性」については経年性であり、変状は時間ともに進行していくと推察される。「限界状態(被災)の変状」については、限界状態まで達した変状ではないため、今すぐ重大な災害につながる可能性は低い。

次に、現在の状態から、今後どのように機能低下が進行していくのかについて確認を行う。FT 図上の「土砂の流下バランスの変化(OE1-3_13)」から、機能低下は大きく3つに進行することが分かる。1つ目は「土砂堆積等による河積の減少(OE1-3_11)」, 2つ目は「構造物上下流の河床低下(E1-3_12)」, 3つ目は「低水路の河床低下(E1-4_14)」である。このため、今後の巡視・点検等においては、これらの機能低下の状態に対して発生が予想される変状に注視する必要がある。

さらに機能低下が進行し、「堤体の侵食(E2-2)」が発生した場合に注目する。対応テーブルでは、堤体侵食が発生する場所は表・裏法面で、高水護岸の有無により大きく2種類に分類し、発生する変状によりさらに細かく区分を行った。このうち、高水護岸の流出が見られる変状については、その変状のレベルが限界状態(黒丸)、すなわち、被災の状態であると考えられるため、早急な対応策の検討が必要であると考えられる。

表 4・1 対応テーブルの一例

巡視・点検結果から確認できる内容								
No	基本区分	構成体	部位部材	構成材料	変状名	識別番号	機能低下の進行特性	限界状態(被災)の変状
1	河道	河床	河床	土砂	砂州移動・変形	OE1-3_13	経年性	
2	河道	河床	河床	土砂	河床低下	OE1-3_13	経年性	
3	堤防	土堤	表法面	土	ガリ侵食、表面の損壊	E2-2	洪水進行性	
4	堤防	低水護岸	上部工(笠コン)	コンクリート	剥離・剥落	E2-2	洪水進行性	
5	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	開き	E2-2	洪水進行性	
6	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	段差	E2-2	洪水進行性	
7	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	破損・損傷	E2-2	洪水進行性	
8	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	ひび割れ	E2-2	洪水進行性	
9	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	剥離・剥落	E2-2	洪水進行性	
10	堤防	土堤	高水護岸	鋼材	錆汁・浮き錆	E2-2	洪水進行性	
11	堤防	土堤	高水護岸	鋼材	錆汁・浮き錆	E2-2	洪水進行性	
12	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	流出	E2-2	洪水進行性	●
13	堤防	土堤	高水護岸	鋼材	錆汁・浮き錆	E2-2	洪水進行性	
14	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	流出	E2-2	洪水進行性	●
15	堤防	土堤	表・裏法面	土	亀裂	E2-2	経年性	
16	堤防	土堤	表・裏法面	土	ガリ侵食、表面の損壊	E2-2	経年性	
17	堤防	土堤	高水護岸	鋼材	錆汁・浮き錆	E2-2	洪水進行性	
18	堤防	土堤	高水護岸	コンクリート	流出	E2-2	洪水進行性	●
19	堤防	土堤	表・裏法面	土	ガリ侵食、表面の損壊	E2-2	洪水進行性	

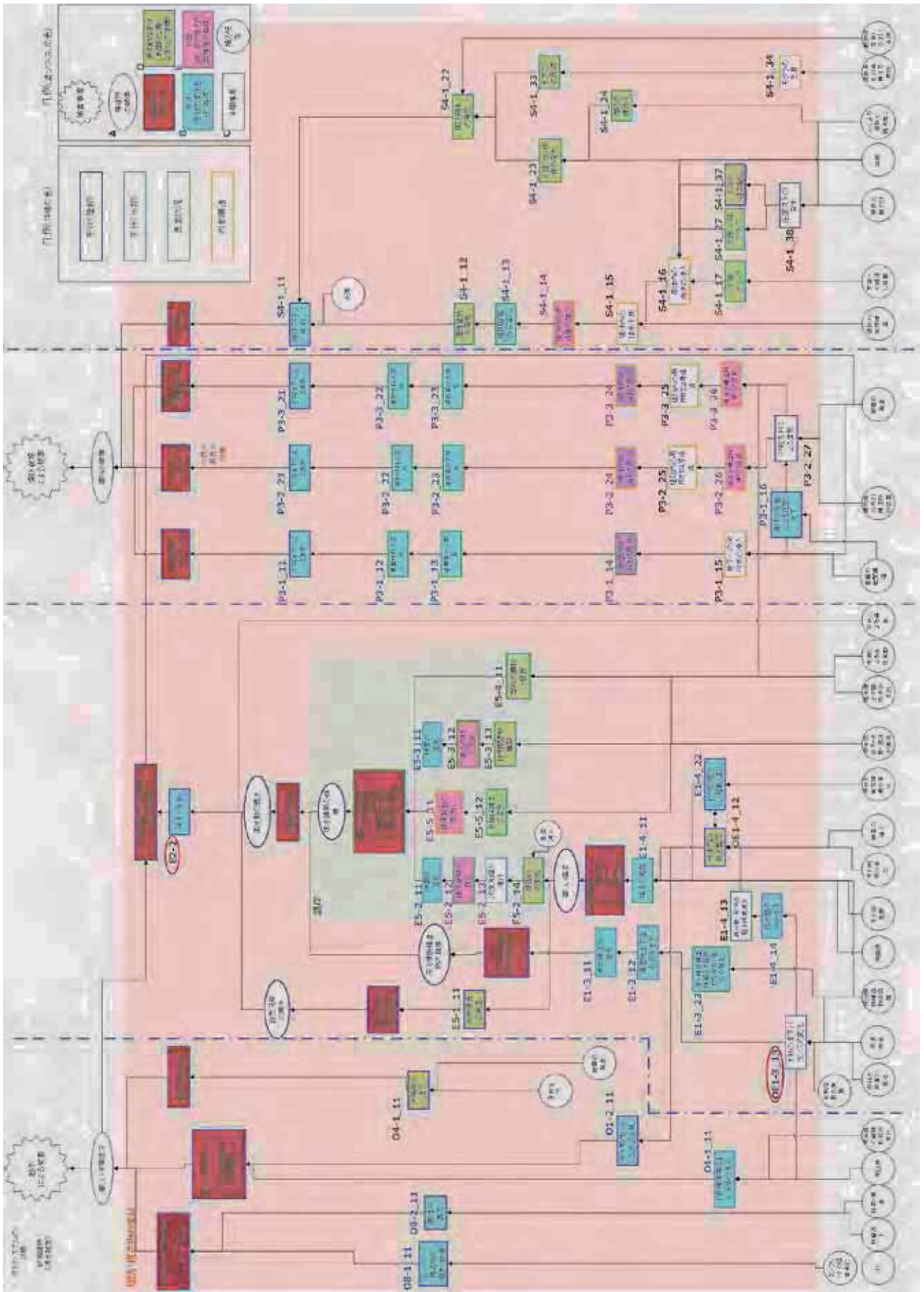


図 4.1 FT 図

5. FT 図活用の場面

図 4・1, 表 4・1 に示した FT 図及び対応テーブルの活用が想定される場面を以下に示す。

5.1 巡視・点検

巡視・点検の中で、確認された変状に対して本資料の活用が期待できる。

具体的には第 4 章で述べた通り、FT 図上で確認された変状の機能低下の段階を特定し、その後の機能低下の過程から、次に確認される変状を事前に想定しておく。そして、巡視・点検の際に、その想定される変状に注視して実施することで、変状の見落とし等を軽減することが期待できる。

5.2 横断的連絡調整会議

点検者が機能低下を評価した結果に対して二次評価を行う横断的連絡調整会議の場において、既往資料の 1 つとして活用することも有効であると考えられる。

例えば、点検で確認された変状が洪水進行性の場合、対象河川における洪水の発生頻度等、河川の特性を考慮した評価を行うことが期待できる。また、確認された変状が場の特性に起因する場合には、その評価に、場の特性の状態（例えば、植生の侵入の程度）を加味することも可能になると考えられる。

6. 今後の展開

6.1 定量的な健全度評価の実現

FT 図を使った健全度評価では、機能低下の進行過程や、現在の機能低下の段階を把握することは可能であるが、その健全度について定量的に把握することは難しい。今後は、FT 図の中で健全度を定量的に評価する手法を確立する必要があると考えられる。

6.1 GIS を使った場の特性の整理

場の特性に関しては、地図上にその情報を整備し、変状の位置情報と併せて視覚的に分かりやすくまとめることで、効率的かつ適正に機能低下の段階を把握することが可能であると考えられる。

巡視・点検で収集された位置情報データの蓄積を考えると、場の特性は GIS（地理情報システム）上に位置情報として整理するのが望ましい。このように、GIS 上でデータの蓄積を行うことで、他の位置情報と併せた高度な解析も実現できると考えられる。

参考文献

- 1) 安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について〔答申〕（2013）、社会資本整備審議会。
- 2) 安原 達, 関 克己, 河崎和明, 山本晃一, 鈴木克尚, 昆 敏之（2015）、河川の機能低下と維持管理の基本的な特性についての考察、河川技術論文集 Vol. 21 p. 283-288。
- 3) 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領（2016）、国土交通省 水管理・国土保全局。
- 4) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）（2016）、国土交通省 水管理・国土保全局。

3. 良好な水辺利用を促進するための調査・研究

流域から学ぶ河川教育

～流域は問題解決のフレームワーク～

菅原 一成*・河崎 和明**・鈴木 篤***・森 範行****・吉野 英夫*****

1. はじめに

古来より山紫水明の国と呼ばれた日本はアジアモンスーン地帯に位置し、水豊かな美しい国土を有している。しかし、高度経済成長の中で、健全な水循環が弱体化し、田園の美しい山川や都市の中の憩いの水辺の多くが失われることとなった。また、近年は、時間雨量 50mm を超える「豪雨」の発生件数が増加傾向にあり、2014 年の広島のと砂災害や記憶に新しい 2015 年の鬼怒川の水害、1981 年石狩川流域の「56 水害」に匹敵する被害となった 2016 年の台風 7, 11, 9, 10 号による水害に代表されるように、水に関する災害も多くみられるようになった。これら文明の変化や気象変動の進展等により、水の関連する自然災害、水利用、水環境に関わる問題は深刻化している。これらの問題解決のフレームワークとして「流域」を意識し、学ぶことは重要であるというのが本稿のテーマであり、河川教育の新たな展開として提案する。

2. 流域とは

「流域」を一言であらわすと「雨の水が水系に集まる大地の範囲」となる。山々の尾根を流域の境として、特定の範囲に降った雨が集まって大きな河川となる。例えば上流で水を汚す等の行為は下流にも影響を与えることになる。

19 世紀のアメリカの地理学者であり探検家であるジョン・ウェズリー・パウエルは「流域」の中では、「人間も含めて全ての生物が共通の水路を通して密接不可分となる」と述べている¹⁾。

日本においては、全ての地域はどこかの流域に属している。多摩川や利根川といった 1 級河川だけでなく、2 級河川や普通河川等もある。都道府県等の行政区をまたぐ流域は数多くあり、流域の形や規模、特性等も様々である。

3. 流域の概念を学ぶ意義

河川を中心とした水循環を理解するためには「流域」の概念が重要と考える。

2015 年 9 月の関東・東北豪雨災害では、図 3・1 に示すように南北に伸びた線状降水帯が、鬼怒川の流域の範囲と重なった²⁾。このキノコの傘のような部分に大量の雨が長時間降り注いだことにより、ひしゃくの柄のような幅の狭い下流部に流域内から集まった水が集中した。下流部で雨が降っていなくとも上流部で大雨が降っていれば、やがて下流にその水が押し寄せるということは予見できそうであるが、実際には目の前の川が増水しているような状況でなければ実感がわかないことが想定される。そのため、このような自然環境の特性やメカニズムを把握する上で重要となる「流域」という概念を多くの人が認識していれば、いざというときには、自ら考え、主体的に避難できることが可能となると言える。

当財団の職員の親族に、常総市在住者がいる。鬼怒川が破堤した当日、破堤箇所の反対側で葬儀に参列していた。北方で雨が降っているということは認識していたが、帰宅しニュースを見て、はじめて反対側で破堤していたことを知って驚いた、というようなエピソードもある。

* (公財) 河川財団 子どもの水辺サポートセンター 研究員
** (公財) 河川財団 理事
*** (公財) 河川財団 子どもの水辺サポートセンター長
**** (公財) 河川財団 基金事業部長
***** (公財) 河川財団 子どもの水辺サポートセンター 特命研究員

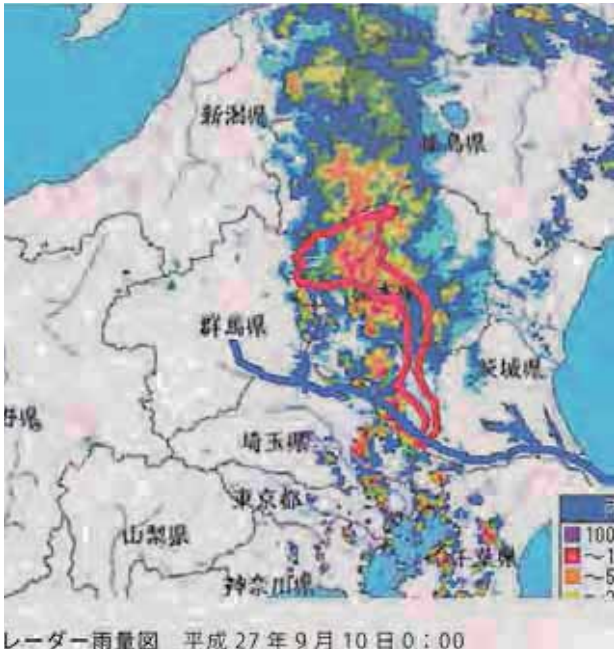
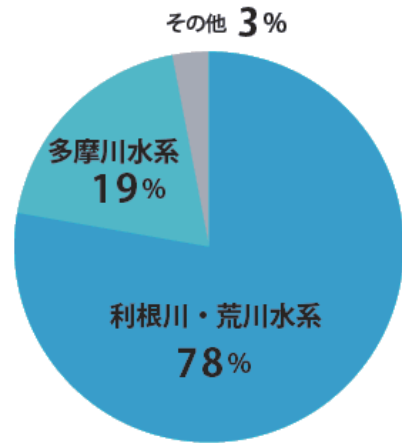


図3・1 鬼怒川流域と重なった線状降水帯
 (国土交通省関東地方整備局『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について³⁾より)



写真3・1 平成27年9月関東・東北豪雨災害
 (写真提供：株式会社パスコ)

また、2016年の夏は利根川上流の八木沢ダムをはじめとしたダム群の貯水率が過去25年間で最小レベルまで低下し、大きな話題となったことは記憶に新しい。図3・2に示すように東京都の水源の約8割は利根川と荒川の水であるため、東京から遠く離れた利根川の上流部に雨が降らないと水に困るからである。つまり東京の飲み水は東京都の行政区内だけでは完結しないことがこのことから分かる。



東京都水道局HP「東京の水道水源」より

図3・2 水系別比率
 (東京都水道局HPより)⁴⁾

このような洪水や土砂崩れなどの自然災害、渇水等の事象は行政区単位ではなく、『流域』単位で発生する。同様に生態系や水質汚濁等を考える上でも流域単位で対象を捉える事が重要となる。

また、(環境基本法第15条に基づき) 政府が定める環境の保全に関する基本的な計画である環境基本計画でも「住民等が流域の水循環についての認識を共有することが重要⁵⁾」と記載されていることから環境を考える上でも必要な概念であることが分かる。(図3・3参照)

流域の一人一人が身近な水環境の魅力やそれが抱えている問題に気づき、主体的に活動に参加することが重要となるため、流域の水循環の現状に対する認識を流域の住民、事業者、民間団体、地方公共団体、国等の関係者が広く共有することが重要

図3・3 環境基本計画(第三次)抜粋

まとめると「流域」は川に関わる人間の活動を含め、自然のメカニズムとの調整が行われる場である。このため今後気候変動の進展が進み降水量が増大すれば自然災害が深刻化を増すこととなるため、「流域」の視点で捉える事は水災害や水利用、水環境を

考える際のフレームワークとなり、問題解決を行う際の必須概念となると考えている。

このように「流域」は、人と自然との関係を学ぶことができ、日本において私たちがどう生きるべきかを考えさせてくれる教材ともなり、今後教育現場で重視されるようになる「課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習（アクティブ・ラーニング）⁶⁾」にもつながると考えられる。

人々が「流域」の概念を学び、物事を捉えるようになることは有益だが、この概念を学ぶ機会は意外にも多くはない。

4. 日本における学校教育での状況

日本の学校教育の根幹にある文部科学省の学習指導要領及びその解説の中で、小中学校においては「流域」という用語は取り上げられていない。図 4・1 で示すように高校の世界史の中で、メソポタミア文明や黄河文明といった古代文明との関係で、はじめてそしてわずかに記述されているだけである。

世界史 A

(1) 世界史へのいざない | ア 自然環境と歴史

「大河流域の沖積平野に形成された古代文明の自然環境と人類の生活や活動」

世界史 B

(2) 諸地域世界の形成 | ア 西アジア世界・地中海世界

「大河流域のメソポタミアやエジプトでは古くから灌漑農耕が展開」

(2) 諸地域世界の形成 | ウ 東アジア世界・内陸アジア世界

「黄河・長江流域などの新石器文化と殷・周の成立」

図 4・1 文部科学省「高等学校学習指導要領解説 地理歴史編」⁷⁾での記載

一方、高校の専門学科である「農業科」の学習指導要領解説には図 4・2 で示すように「水と地球環境」

という区分の中で流域に関する記載がされている。ただしこの教科は、農業についての専門技術や知識を学ぶ高校が扱う教科であるため、大多数の高校生が学ぶような共通教科ではない。

森林科学

(6) 人間社会と森林 | イ 流域社会と人の暮らし
農業と工業の水利を基盤とする流域社会と人の暮らしは、人間を含む多くの生物が持続的に生息できる生態系が保たれることの上に成り立っていることを理解させるとともに、水源地に発する森林生態系と、河川生態系さらに湿地湖沼生態系の相互依存関係及び森と川と海の水循環の意味を理解させる。

森林経営

(6) 森林経営と森林政策 | ア 我が国の森林政策
我が国の森林管理については、森林施業、森林経営や木材産業の振興を主な河川の流域ごとに一体的に進める流域管理システムに基づいて実施されていることを理解させる。

水循環

(1) 水と地球環境 | イ 水文循環

水収支のバランスや水循環に伴う物質循環の基礎について学習させ、地球規模の水文循環や流域の水文循環についての基礎的な内容を理解させる。

(1) 水と地球環境 | ウ 水と森林・河川・農地

河川の特徴や流域の降雨特性と流出機構について学習させ、森林・農地の降雨などの流出特性と、緑のダムとしての機能や地下水涵養の機能について理解させる。また、海洋や水産資源への影響も考えさせる。

図 4・2 文部科学省「高等学校学習指導要領」及び「高等学校学習指導要領解説 農業編」⁸⁾での記載

さらに水や川の取り上げ方として、日本の理科は「地球惑星科学的アプローチ」中心のため、「幅広さ・発展が見込まれるような体系化がされていない」

といった課題がある。

小学校・中学校・高等学校の学習指導要領解説理科編において、水や川に関係する単元を図4・3に示す。「生命」「地球」を柱とした内容の構成をみると縦軸は、小学校3年から高校までの1学年ごとの学習内容、横軸は「生命」「地球」のカテゴリとなり、関係が深いのは「生物と環境のかかわり」「地球の内部」「地球の表面」となる。

例えば小学校5年で学ぶ単元の「流水の働き」では、「浸食・運搬・堆積」から始まり、地表の変化及び地層の成り立ちで止まってしまう。「地球の表面」よりも「地球の内部」に重点が置かれている構成となる。

中学校3年では、「生物と環境」「自然環境の保全と科学技術の利用」という単元があるが、小学校時

に身に付けた「流水の働き」での学習事項とが結びつかず、水についての発展的な学習ができないという課題が挙げられる。

今後、学校教育で水について系統的に学べるようになることが、流域の概念を学ぶ下地となるのではないかと考える。

5. 欧米における学校教育での状況

諸外国の学校教育においては「流域」のみならず「水」に関する教育がどのように系統的に扱われているかを既存の資料を中心に調べた。水や河川との関わりが深い理科教育を中心に見てみると、世界各国ともに科学や工学教育に力を入れており、問題解決型の教育を進めようとする意向が見て取れる。

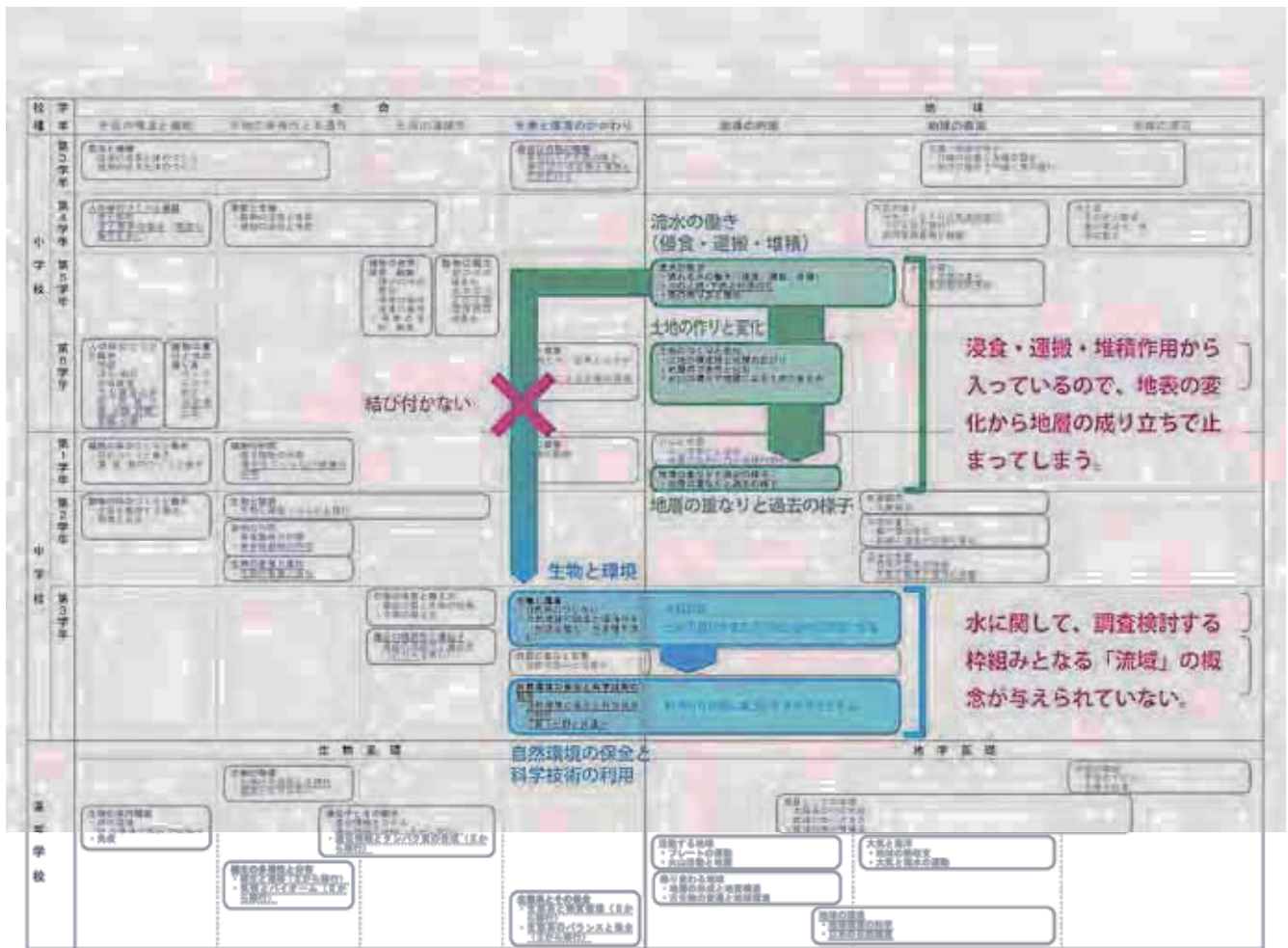


図4・3 小・中・高の理科における「生物基礎」・「地学基礎」の「生命」「地球」を柱とした内容の構成^{9) 10) 11)}

(1) 米国

米国においては、STEM とよばれる教育がなされている。図 5・1 に示すように STEM は「サイエンス」「テクノロジー」「エンジニアリング」「マセマティクス」の頭文字で、それらの教育を統合したものである。これは市民の科学技術リテラシー向上、理工系人材の拡大を図り、21 世紀社会をリードする国家を目指した科学教育である。この動きは隣国であるカナダや EU をはじめとして各国に大きな影響を与えている。

米国では、連邦教育長官への教育の危機的状況を訴えた答申「危機に立つ国家 (1983) ¹²⁾」の衝撃を受け、STEM 教育プログラムに国家戦略として取り組み、オバマ政権でも「すべてのアメリカ人学生のために STEM 教育を改革するための行動 (2009) ¹³⁾」により理工系人材の拡大を図っている。この動きは隣国であるカナダや EU をはじめとして各国に大きな影響を与えている。

STEM 教育の効果として、欧州委員会の研究総局による「今日の科学教育：欧州の将来に向けた新しい授業法 (2007)」では、学校教育の改善に取り組み、①演繹型手法中心から探求型手法への授業法の転換が科学への関心を増やす手段、②探求型への変革が正規の教育と非正規の教育関係者の協力機会を増大、③改革の重要な担い手の教員がネットワークを持つことにより教育の質の向上や意欲の維持が可能、となることが報告されている ^{14) 15)}。

すなわち、STEM 教育の成果として、受け身の授業ではなく、探求型の授業となることで科学への関心を増やした点や、多分野との融合により、教員の質の向上が図られたといった点が挙げられている。

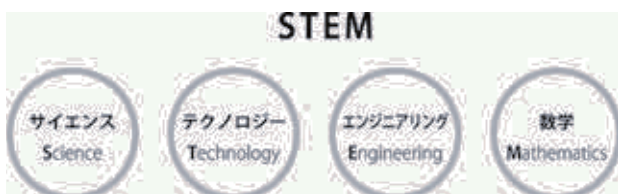


図 5・1 STEM 教育の領域

そのなかで、STEM 教育の考え方を、実際のカリキュラムに落とし込むための到達目標を定めたのが

2013 年の「NGSS (ネクスト・ジェネレーション・サイエンス・スタンダード) (米国科学アカデミー、アチーブ、米国科学振興協会、科学教育者協会編) ¹⁶⁾」という理科の学習指導要領である。ここでは小学校 4 年にあたる第 4 学年に「浸食」や「地図から地形を読み解く」という部分で、流域の概念につながる事柄を学び、高校では自然災害と人間活動との関係で水害を学ぶこととなっている。

NGSS は、生徒は何を知っていて、何ができるべきなのかを反映したスタンダードであり、「プラクティス」「コンテンツ」「領域横断概念」の三つのマトリックスが明記され、領域や学年を超えて一貫した科学教育が受けられるように開発されたものである。

NGSS の「領域のコア概念」は、「物理科学 (PS)」、「生物科学 A (LS)」、「地球と宇宙の科学 (ESS)」、「科学・技術・科学の応用 (ETS)」に分類され、水、特に河川や流域の概念に関係する事項に関しては、「地球と宇宙の科学 (ESS)」の中で以下のように扱われている。(図 5・2 参照)

【幼稚園 (K) ～第 2 学年】

「ESS2.A 地球の物質とシステム」： 風と水が土地の形状を変化させる。

「ESS2.C 地球表面の変化における水の役割」： 水は様々なかたちで、地球上の様々な種類の場所に存在する。

「ESS3.B 自然災害」： 地域ごとに特定の悪天候に見舞われる確率は異なり、気象予測を行うことにより地域社会は悪天候に備えることができる。

【第 3 学年～第 5 学年】

「ESS2.A 地球の物質とシステム」： 降雨は土地の形成の一因であるとともに、地域ごとの生物種に影響する。水・氷・風・生物・重力は、岩・土・堆積物をより細かい粒子に砕き、運搬してゆく。

「ESS3.B 自然災害」： 多様な災害は自然の過程の結果であり、人類は自然災害をなくすことはできないが、その影響を減じることはできる。

【第6学年～第8学年】

「ESS2.C 地球表面の変化における水の役割」および「ESS2.D 気象と気候」： 地上、海洋、大気の中での水循環は、太陽光と重力の働きによる。また水の動きは、風化や浸食、地形の特徴の変化の原因となる。

「ESS3.B 自然災害」： 自然災害の中には、過去の災害履歴を地図上にマッピングすることや、地質学的な力を理解することにより予測できるものもある。

【第9学年～第12学年】

「ESS2.C 地球表面の変化における水の役割」： 地球の変化は水の化学的・物理的な性質に大きく影響される。

「ESS3.B 自然災害」： 自然災害等は、地区、地域および世界的な規模で人類の歴史に影響を与えた。

図5・2 NGSSにおける河川や流域の概念に関する事項

(2) カナダ

カナダは連邦制国家であり、教育制度は州によって異なっているが、科学教育についてはカナダ教育大臣協議会（10州と3準州で構成、連邦政府には教育大臣はいない）による「共通フレームワーク」の策定により、州間の科学カリキュラムの共通性は高い。

オンタリオ州は、国内最大の都市である州都トロントと、首都オタワが所在し、人口・GDPともにカナダ全体の4割弱を占める大州である。

2008年にオンタリオ州の教育省が定めた「オンタリオ・カリキュラム」において「科学と技術」の教科が設けられている。

「成果を上げる教育改革」と評価の高いこの「オンタリオ・カリキュラム」の理科の「共通フレームワーク」では図5・3に示すように「科学」「技術」「社会」「環境」が4つの基礎力とされており、「明確な目標の設定」と「教員の指導力向上を目指し、「何を教えるか」「どのレベルで教えるか」を規定している。

図5・4に示すように流域に関しては、日本の中学2年にあたる第8学年の「水のシステム」の中で、流域の概念を学び、第9学年の「持続可能なエコシステム」でその概念を使い、人間活動の水質への影響を調査し、人間活動のインパクトを説明できるようにすると規定されている。



図5・3 オンタリオ・カリキュラムにおける理科の「共通フレームワーク」¹⁷⁾

SCIENCE				
Elementary Science and Technology Curriculum Overview				
	Understanding Life Systems	Understanding Matter and Energy	Understanding Matter and Energy	Applying Science and Technology
Grade 1	Needs and Characteristics of Living Things	Mixtures, Compounds and Simple Structures	Energy in the Environment	Study and Scientific Change
Grade 2	Growth and Changes in Plants	Mixtures	Properties of Liquids and Solids	Apply Science to the Environment
Grade 3	Growth and Changes in Plants	States and States-Mixtures	Energy, Energy Transformations	Study in the Environment
Grade 4	Interactions and Communication	Phases and Levels	Light and Sound	Risk and Mitigation
Grade 5	Human Organ Systems	Energy Flow in Systems and Mechanisms	Properties of Gases, Changes in Matter	Conservation of Energy and Matter
Grade 6	Soil Science	Flight	Electricity and Circuits in the Environment	Space
Grade 7	Interactions in the Environment	Force and Motion	Properties of Matter	Human and Environmental
Grade 8	Cells	Systems of Motion	Fluids	Water Systems

Grade 9 and 10 Science Curriculum Overview				
	Science	Physics	Chemistry	Earth and Planetary Science
Grade 9 Academic	Secondary Interactions	The Characteristics of Electricity	Atoms, Elements, and Compounds	The Scope of the Universe
Grade 9 Applied	Interactions (Ecological and Human Activity)	Electric Applications	Equilibrium Matter	Space Exploration
Grade 10 Academic	Transfer, Types, and Systems of Living Things	Light and Thermal Optics	Chemical Reactions	Climate Change
Grade 10 Applied	Human Activity, Systems and Systems	Light and Applications of Optics	Chemical Reactions and Environmental Applications	Earth's Oceans, Climate

図5・4 オンタリオ・カリキュラムにおける「科学と技術」共通カリキュラム及び「科学」単独カリキュラム

図5・5に示すようにカナダで使用されている教科書の中から、Pearson社の第8学年と第9学年（日本の中学生に相当）の「Investigating SCIENCE AND TECHNOLOGY」を入手した。カナダでは、教科書はそ

れを用いて指導する義務もなく、カリキュラム範囲外の記述も多い。第8学年は400頁を越え、第9学年は600頁に近い大部であり、カラー写真や図表も多く、内容が豊かな教科書である。価格はハードカバーで約100カナダドルと日本円では約8,000円になり、日本の中学校の理科検定教科書(200頁位)のほぼ10倍の値段である。

カナダの第8学年の教科書でも、このように流域の概念について詳しく記述されて、このチャプターでは「何が学べるか」「どんなことができるようになるか」「なぜこの概念を学ぶことが重要か」が教員だけでなく、生徒自身に対しても明確に示されている。このような記述は日本の教科書には見当たらないものである。(図5・6参照)



図5・5 カナダで使用されている教科書の記載例① (PEARSON「Investigating SCIENCE AND TECHNOLOGY8」より)¹⁸⁾

流域の概念を学ぶことについて

What You Will Learn (何が学べるか)

In this chapter, you will explain what watershed is

Skills You Will Use (どんなことができるようになるか)

In this chapter, you will use scientific

inquiry and research to investigate water on Earth

Why This Is Important (なぜこれが重要か)

Understanding how and where water exists on Earth helps us to understand how water systems affect our lives and how our activities affect water systems.

図5・6 カナダで使用されている教科書の記載例② (PEARSON「Investigating SCIENCE AND TECHNOLOGY8」より)

(3) ドイツ

ドイツでは2009年に連邦環境省が作成した小学生向け教育教材「水は生き物(ヴァッサー・イスト・レーベン)」において、水に関する多様なテーマを取り上げ、様々な視点からまとめている(図5・7参照)。例えば、水循環機能、水消費量の計算方法や汚染された水を浄化することの難しさ、河川の動植物への影響等について、学ぶことができる。



図5・7 小学生向け教育教材「水は生き物(ヴァッサー・イスト・レーベン)」(ドイツ連邦環境省)¹⁹⁾

また、図5・8に示すようにドイツの中学校の理科は物理、化学、生物の3科目からなり、地学は独立した科目としては存在しておらず、各科目に分散し

て扱われている。

そのうち、「化学」では「水質」などが扱われ、地学的な分野である「流域」の概念を踏まえて課題を解くカリキュラムがある。たとえば仮想の地域において、ビール工場を建設するためその立地場所を探し、という教材がある。6つの候補地には水質のデータが示され、かつ自然保護区や地域の産業、人口、地理条件等も考慮しながら、課題を解決する仕組みとなっている。これらは流域の概念を身に付けながら多面的な視点で適切な行動を行うための訓練となっており、コンピテンシーとよばれる、社会の複雑な課題に対応できる実践能力を育成することを狙いとしている。(図5・9参照)

ドイツの理科教育(中等教育)

地学は独立した科目として存在せず、下記科目に分散



図5・8 ドイツ常設各州文部大臣会議の教育スタンダード(中等教育)における理科教育の領域

【理科のコンピテンシー領域】

「専門知識」「認識獲得」「コミュニケーション」「評価」

【理科のコンピテンシーとは】

「知識の獲得と創造、専門内容の理解、科学的な考え方や活動方法の習得にとどまらず、社会の文脈などから自然の事態を評価・判断し、行動する能力やコミュニケーションの能力を含むもの」
→現在社会の複雑な課題に対応し、その解決の道と一緒に探し求める為に必要な実践的能力

図5・9 ドイツ常設各州文部大臣会議の教育スタンダード(中等教育)における理科教育の考え方(参考:宮野純次・藤井浩樹「ドイツの理科教育-その伝統と革新-」(2015年風間書房))²⁰⁾

6. 河川教育の新たな展開

前述したとおり、諸外国の学校教育においては、流域に限らず水そのものを多面的に学び、発達段階に応じ系統立てて学べるようなカリキュラムが存在している。そしてそれらは「理科」と「科学技術」または「工学」をつなげ、社会の複雑な課題に対し、その解決策を見つけ出して実践力を養うという教育がなされている。

日本では「純粹科学的」な要素が強く、物事を解決するという「工学(技術)的」な面が十分取り上げられていないという側面がある。

このことについて、平成22年度の「大学における技術者教育に関する会議」²¹⁾では、「小中学校で理科・数学の授業時間が増えたのはいいが、技術を通して社会にどう結びついているかという教育は全く手つかず」、「科学教育と技術教育が現在マッチングをしていない」といった意見が挙げられている。

それらを解決するツールの一つとして図6・1に示す「流域」という概念を活用した学習プロセスを提案する。例えば、小学校5年の理科の単元「流水の働き」において、単に学校の校庭で水を流して「浸食・運搬・堆積」を学ぶだけでなく、最終的には堤防やダム等を作って流れる水をどのように制御するかというプロセスを学習内容に盛り込むという事が考えられる。これらの過程を経ることが工学的発想の理解につながると言える。



図6・1 「工学教育的アプローチ」の視点と「流域」という概念を活用した学習プロセス

7. 日本の小学校における流域を意識した先進事例

日本において、既に流域を意識して実践している学校がある。それらの例として学年別に系統立てて実践している神奈川県のア小学校と、一つの学年で集中的に実践している福岡県のB小学校を紹介する。

A小学校では、理科5年の単元「流水の働き」と6年の単元「地層のなりたち」の2つを組み合わせた形で、授業を行う予定である。A小学校では、「流域」を意識した学習を発達段階に応じて行う試みがされている。例えば、5年理科の「流水の働き」では、校庭で水を流す実験がある。この学校では、「粒子の大きさと水の流れ方」と題して、表面の形状が異なる2つの斜面で水の流れ方の違いを学び、それを制御する方法を学習している。また、3年においても「粒の大きさの違いと水の浸み込み方」を学び、4年では「粒の大きさの違いと流れ方」と題して流速の違いと地質を比較する等、5年の「流水の働き」につながるような事前学習を行っている(図7・1参照)。また、今後は6年の「土地のつくりと変化」へとつながるような学習が展開される予定である。



図7・1 協力校における実践事例①(A小学校)「流水の働き」と「地質の違い」

一方、B小学校では、同じ理科5年の単元「流水の働き」でも、流域の概念を取り入れながら防災教育につながる学習となるような取組みを行っている。その一つにB小学校近隣地域の山から海までの断面図を作成し、この断面図を参考にして校庭に土山(つちやま)をつくり、水を流す実験を行って、上流・中流・下流のそれぞれの泥水の流れを観察するという取組みを行った。

他にも、1辺1メートルのマスを屋上に設置し、降った雨の量を図り、そこから校庭や小学校の校区内に降った雨の量を計算で求めるという取組みも行った。(図7・2参照)

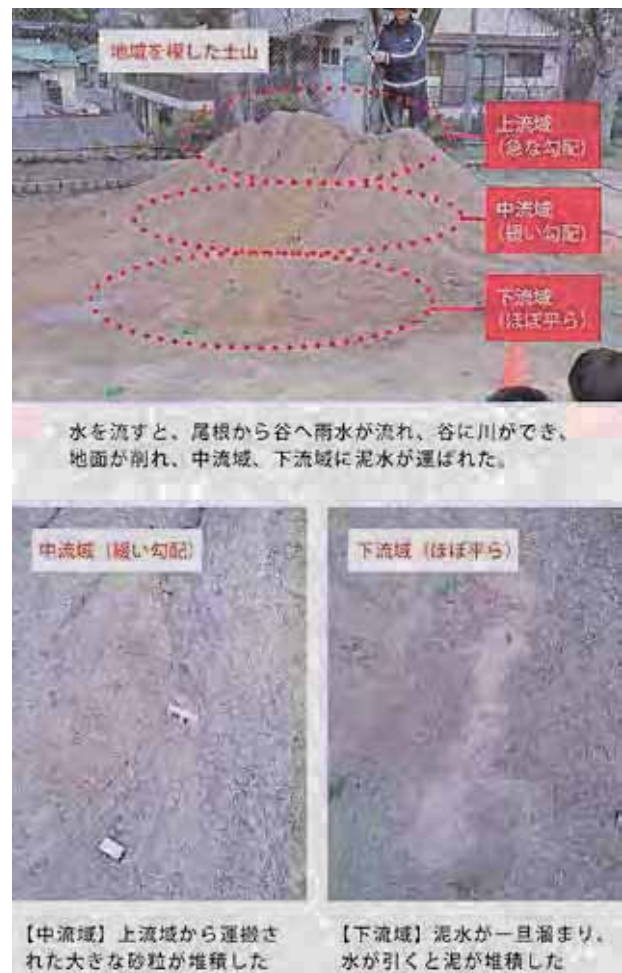


図7・2 協力校における実践事例②(B小学校)「流水の働き」と「地形の違い」

その結果として図7・3に示すように、これらの授業を通して、B小学校の生徒は上流域と下流域の違いを認識し、また、図を使って「浸食・運搬・堆積」

のメカニズムを説明できるようになった。さらに、なぜここに川原ができるのか、何のために護岸工事を行うのかなど、水の働きにより起こる現象を認識している様子が感想文からも読み取ることができる。

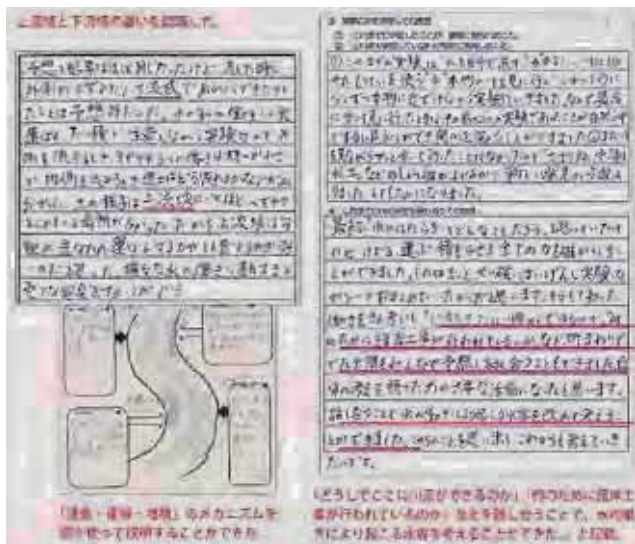


図 7・3 協力校における実践事例② (B 小学校) の感想文

8. 河川財団における取り組み

このように流域の概念を児童・生徒に学んでもらおうと取り組む試みが始まっている。一方で、現行の学習指導要領には流域に関する記載がほとんど無いことや、教員においても河川に関する知識を有し、児童・生徒に分かり易く説明するノウハウが少ないことが隘路になっている。

そこで当財団では、そういった教員にも水の衛生、水の利用、水の特性、水循環、地下水、河川、流域、水防災、文化等、水に関する様々なテーマについての理解ができるようプロジェクト WET と呼ばれる体験型の水教育プログラムを提供している。「プロジェクト WET」は世界 66 以上の国や地域で展開されている国際プログラムであり、発展途上国では国連ハビタットや米国国際開発庁の協力により教材の無償提供が行われている。河川財団では、平成 15 年より日本での普及活動に取り組み、日本の事情に合った教本の作成や今までに 8,000 人以上の指導者の育

成を行っている。プロジェクト WET のプログラムのいくつかには流域の概念を学ぶアクティビティがあり、また、流域に焦点をあてた木曾川流域版のガイドブックの作成等も行った。(図 8・1 参照)

大学の教育学部の中からは「プロジェクト WET は専門知識を持たない、または理科系を苦手とする教員や教育学部の学生に対して有効な教材である」との評価を得ている。

また、水に関する学習を通じて「チームワークや決断力・問題解決の方法」等のスキルを学ぶことのできる「プロジェクト WET」のアクティビティの実施方法や進め方は日本の次の学習指導要領で重視されている「アクティブ・ラーニング」の方法と合致しており、水という題材を様々な視点から考える教育は、課題の発見・解決に向けた探究・成果の表現といった過程を、子供たちが主体的に行う学習であるアクティブ・ラーニングに馴染みやすいものと考えられる。



図 8・1 プロジェクト WET における流域学習ツール

当財団の将来目標としては学校教育においてすべての子どもたちに川を知り・学んで欲しいと考えているが、その道のりはまだまだ遠いとも感じている。欧米等が力を入れている「理科」と「工学」との融合の動きが日本でも進みつつあるなかで、その工学教育的アプローチの「ツール」として「流域」の概念が部分的に活用されることが当面の目標ではないかと考えている。

9. おわりに

水や河川の存在は普遍的であるが、その特性は地域によって大きく異なっている。日本は古来より、台風や渇水に苦しみながら稲作農業を営んできた長い歴史を持っている。それゆえ、日本だからこそ学べる河川教育があると考えている²²⁾。

子どものうちから流域の概念を学び、そしてその概念を活用した工学的な課題解決を行うことで、流域の視点を持った、持続可能な水循環に貢献でき、災害に対処できる市民の育成が図られると考えている。(図9・1参照)

河川財団も4つの公益事業の一つとして掲げている「河川教育の推進」の取組みを通じ、流域の概念の理解、子どもたちの水・河川リテラシーの向上に、貢献していきたいと考えている。



図9・1 流域を軸とした河川教育の概念図

引用・参考文献

- 1) EPA 米国環境保護庁 WEB サイト: "What is a Watershed"
<http://water.epa.gov/type/watersheds/what-is-cfm/>
- 2) 柳瀬博一(2015): 鬼怒川の水害, 再発を避けるには「流域思考」が必要
(岸由二慶応大学名誉教授のインタビュー)
<http://business.nikkeibp.co.jp/atcl/report/15/110879/091400081/>
- 3) 国土交通省関東地方整備局(2015): 「『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について」
- 4) 東京都水道局 HP 「東京の水道水源」
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/antei/02.html>
- 5) 環境省(2006) 環境基本計画(第三次計画)
- 6) 中央教育審議会(2014): 初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について(諮問)
- 7) 文部科学省(2009) 高等学校学習指導要領解説 地理歴史編
- 8) 文部科学省(2010) 高等学校学習指導要領解説 農業編
- 9) 文部科学省(2008) 小学校学習指導要領解説理科編
- 10) 文部科学省(2008) 中学校学習指導要領解説理科編
- 11) 文部科学省(2009) 高等学校学習指導要領解説理科編
- 12) The National Commission On Excellence in Education (1983): 「A Nation at Risk (危機に立つ国家)」
- 13) National Science Board (2009): 「Actions to Improve Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education for all American Students (すべてのアメリカ人学生のためにSTEM教育を改革するための行動)」
- 14) 堀田のぞみ(2011): 科学技術政策と理科教育: 科学技術政策の国際的な動向, 121-134
- 15) 欧州委員会 研究総局(2007) 「今日の科学教育: 欧州の将来に向けた新しい授業法」
- 16) 米国科学アカデミー, アチーブ, 米国科学振興協会, 科学教育者協会編(2013): 「NGSS(ネクスト・ジェネレーション・サイエンス・スタンダード)」
- 17) カナダ オンタリオ州教育省(2008): オンタリオカリキュラム
- 18) Pearson(2008): 「Investigating SCIENCE AND TECHNOLOGY8」
- 19) ドイツ連邦環境省(2009): 「WASSER IST LEBEN」
- 20) 宮野純次・藤井浩樹(2015): 「ドイツの理科教育-その伝統と革新-」

- 21) 大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議（2010）：大学における実践的な技術者教育のあり方
- 22) 河崎和明（2016）：健全な水循環の維持・回復を担う次世代の人々の教育について：貯留と浸透
vol. 100

本報告書は、河川行政への貢献を目的とする当財団の公益事業として、調査研究で得られた知見を河川行政の現場等に社会還元するために発行しております。

本報告書には、国土交通省をはじめとする関係機関から許諾を得て利用している内容を含んでおりますので、転載等の利用にあたっては、著作者である河川財団までご相談下さい。

河川総合研究所報告第**22**号 平成28年12月

編集・発行 公益財団法人 河川財団 河川総合研究所

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11番9号 TEL 03-5847-8304 FAX 03-5847-8310

<http://www.kasen.or.jp/>

E-mail info@kasen.or.jp

印刷・製本 (株)サンワ 〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 2-11-8 TEL 03-3265-1816 FAX 03-3265-1847
