

砂州の形状および礫構造が植生域の分布特性と安定性に及ぼす影響

EFFECT OF GRAVEL BAR SHAPE AND SUBSTRATE STRUCTURE ON THE DISTRIBUTION CHARACTERISTIC AND STABILITY OF VEGETATION AREA

秦夢露¹・原田大輔²・知花武佳³

Menglu QIN, Daisuke HARADA and Takeyoshi CHIBANA

¹学生会員 工修 東京大学大学院 工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 工博 国立研究開発法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター(ICHARM)
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6) (前 東京大学大学院工学系研究科)

³正会員 工博 東京大学大学院 工学系研究科 准教授(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

The mainstream during flood concentrates specific place in river channel, due to the shape of gravel bars. Thus we consider the bar shape is an important factor to influence the stability of gravel bar and the vegetation on it. We selected Kinu River and Asa River as our target rivers. By conducting field measurement and analyzing aerial photograph and periodic vegetation observation data, we got results as follow. 1. The difference of river scale effects morphology transition of braided channel. The large scale river like Kinu River transit to low model numbers braided channel, but small scale river like Asa River transit to alternate bars. 2. Low model numbers braided channel creates more stable vegetation area on gravel bars 3. Inducing mainstream to flow on gravel bars is an efficient way to disturb stable vegetation area which in the relatively high location.

Key Words : Braided channel, Alternate bars, Vegetation, substrate structure, Grain size distribution

1. はじめに

戦後日本の河川では、上流域でのダム建設や、砂利採取、護岸整備などの事業が急速に進められてきた。それによって、水害は著しく減少した一方で、洪水攪乱の頻度と規模の低下によって河原とともに植生が安定化し、河川生態系の変質、河道の洪水流下能力の低下などの問題が生じている

このような問題に対して、礫河原の植生域への掃流力に着目した検討¹⁾が行われることが多かった。しかし実際に現地を観察すると、河原の上の同じような比高の場所でも、出水中に破壊される植生域と破壊されない植生域が見られる(図-1)。これは比高が同じでも洪水時の主流線が砂州の形状によって特定の場所に集中し、結果として植生の安定性を規定する礫構造が違ってくるためではないかと考えた。したがって、本研究は対象とする河道の経年的な航空写真および植生調査データを用いて、河原とその植生の変遷を把握し、さ



図-1 出水後の河原

らに現地観測によって出水前後の対象とする河原の礫構造と植生域の変化を計測することによって、植生の生育基盤となる砂州の形態およびその礫の堆積状況の相互作用が河川植生の生育・分布特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 研究手法

(1) 研究対象

本研究は図-2に示す礫河原が広く存在する鬼怒川と

浅川のセグメント1区間を対象とし、それぞれ観測対象の河原を選定し、それぞれKとAと名付ける。この2河川を選定した理由は次の3つである。1. いずれも礫河原の裸地が残るものの植生域が増加している傾向が見られ、植生の安定・破壊のメカニズムを分析するには有効である。2. いずれも昔は複列砂州だったが、現在は異なる砂州形態に変化したため、土砂供給量の急減が砂州形態に及ぼす影響および既往研究の少ない複列砂州の性質を検討できる。3. 河原の規模による河原の形態および性質の違いに注目した研究はないが、河原の規模が数倍違う浅川と鬼怒川を選定することで河川規模の影響を検討できる。

(2) 解析データ

対象河川における植生の長期的な変化を把握するために、以下に示す二種類の植生調査GISデータセットを用いた。

(a) 1991年から国土交通省水管理・国土保全局河川環境課によって実施されている「河川水辺の国勢調査」の植生調査のGISデータ。

(b) 1973年から環境省自然環境局によって実施している「自然環境保全基礎調査」の植生調査データ。

それらに加えて、対象河川における河原の形態およびその植生分布の変遷を分析するために、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス、およびGoogle Earthに表示される1946年から2016年までの衛星写真を用いた。

(3) 研究手法

河原の形状および礫構造の変動と植生分布の変化との関係を調べるために、対象とする砂州における現地観測を行うことによって、洪水前後の短期間的な河原の形状、礫構造および植生分布の変動関係を分析した。また、前節で説明した航空写真と既存の植生調査のGISデータを用いて、対象とする河道における河原と植生の長期的な変遷特性を分析した。

(a) 現地観測による短期間の対象河原の砂州形態の変動および礫構造と植生生育・分布との関係の分析

河原の形状、礫構造およびそれらの変動が植生の生育・分布にどのような影響を与えるかを詳細に調べるために、対象とする河原を選定して、現地観測を行った。

・地形測量

出水前後河原の形状および植生域の位置と範囲の変動を把握するために平板測量とレベル測量を実施した。

・植生調査

植物種と密度がほぼ均等な範囲を同じ植生域として分類し、各植生域に15m×15mの調査区域を設定し、対象区域内の植物の種類、高さ、被度(対象区域内での被度を目視で判断した)を記録し、調査終了後被度の高い1~3種類の植生をこの調査域の代表植物種とした。まだ図-

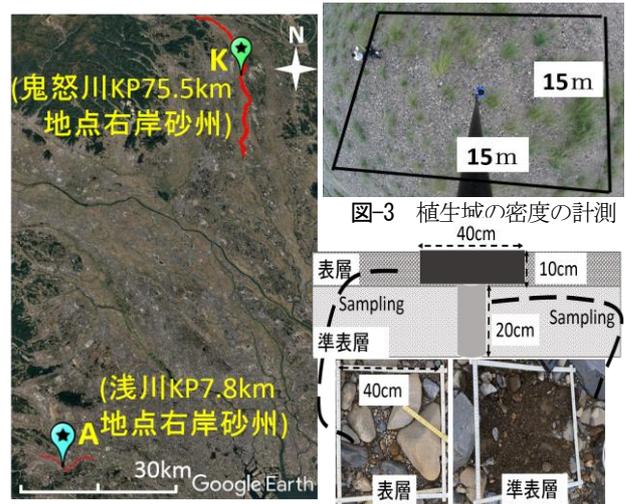


図-2 対象河川および観測地点

図-3 植生域の密度の計測

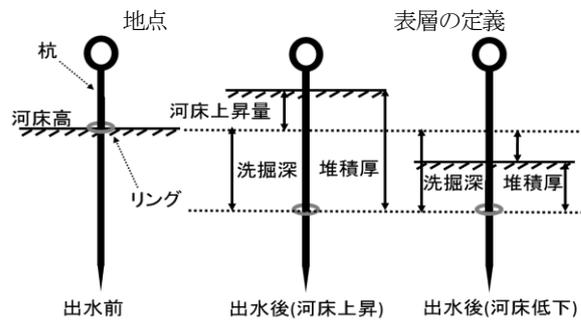


図-5 リング法による土砂変動の計測

3で示すように7.5mの自撮り棒を用いて、7.5m上空から標本域の全域を俯瞰するような写真を撮影し、対象区域に入る全部の植生が占める密度を植生域の密度にする。

・容積法

設置した杭付近、図-4で示すように、表層の礫は露出しているため、観測地点の最大粒径10cmを目安に表層の10cmを表層、その表層を取り除いた後さらに下20cm(最大粒径の礫を取れるように最大粒径の2倍の深さまでサンプリングした)を準表層と定義した。表層は40cm×40cmの正方形枠内の全ての材料を取り、10cmを取った後に、さらに下の20cmまでの材料を取り、それぞれの層のサンプルを篩い分け試験を実施し、表層と準表層の粒径加積曲線を作成した。

・リング法

対象とする河原の上流、中流、下流に横断方向の3測線を決め、各測線の水際から堤防の間に等間隔で2~3本の杭を設置し、1河原に計8~9本の杭が設置された。図-5に示すように出水前後にリングの位置を計測し、洪水による河原の平面的な土砂の堆積・侵食現象を分析した。

(b) 既存データの解析による対象河道の長期的な土地形態変化の分析

(1)に示す植生調査のGISデータを用いて、対象となる鬼怒川と浅川のセグメント1の河道を土地形態の変化や

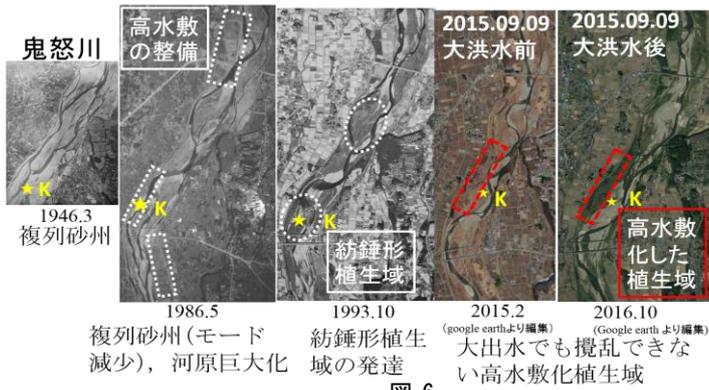


図-6



図-7

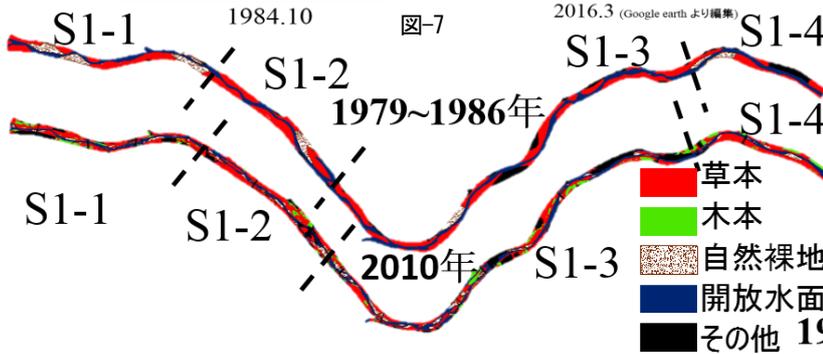


図-9 浅川S1河道内における土地形態の変遷

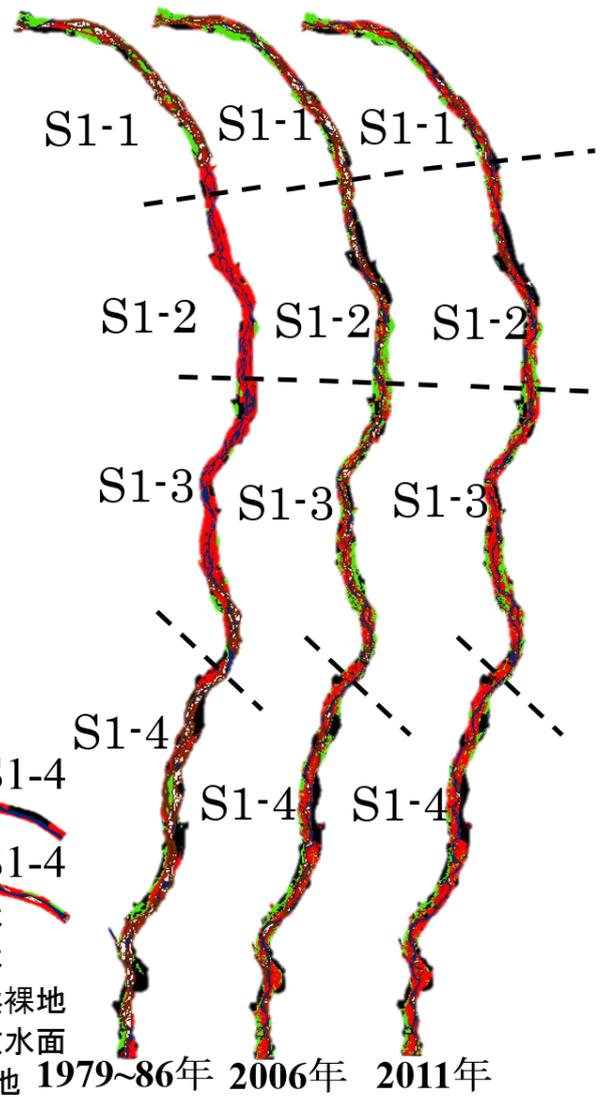


図-8 鬼怒川S1河道内における土地形態の変遷

一、二年生草本と多年生草本が占める面積割合など情報を地理情報解析ソフトArcGISで解析した。それに加えて、国土地理院の地図・空中写真閲覧サービス、Google Earth から観測サイトの上下流約2~5kmの区間を選定し、1946年から2016年までの航空写真を用いて、河原の形態とその植生の分布の変遷を把握した。

3. 対象河道の長期間的な土地形態変化の特徴

(1) 航空写真の分析結果

1946年から2016年まで鬼怒川と浅川の観測サイトKとAの上下流2km~5kmの範囲の航空写真を分析し、砂州の形態が顕著に変わった時期の写真を図-6と図-7にまとめた。1940年代では鬼怒川は3-4列の複列砂州で、浅川は2-3列の複列砂州であった。砂州の上に植生が分布しているのも確認できるが、砂州の形状と位置は頻りに変化しており、その上の植生も更新されているので、特に出水後に真っ白な礫河原がよく確認できる。すな

わち、この時期の河道では、土砂が十分に供給され、砂州は川幅一杯全体的に動いており、その上の植生は安定せず、一、二年生の草本類が息息していたと推測できる。その後、二河川とも1970年代から砂州が安定し始める傾向が見られ、1980年代になると、砂州およびその植生の安定化が顕著になり、複列砂州のモード数も減少していた。1990年代以降は砂州の形態が二河川で異なる形に変化した。鬼怒川では、複列砂州が維持されつつ、2列の複列砂州に変化した結果、砂州が巨大化し、砂州の上では紡錘形植生域³⁾が発達しており、土砂が移動できる有効川幅の縮小によって、高水敷化した非常に安定的な植生域も拡大している。2015年9月9日台風18号による大洪水でも高水敷になった植生域は破壊されず、砂州の大きな変形も起きなかった。一方、浅川では、複列砂州から河原の中央に水みちが通る分断型の単列砂州⁴⁾に変遷していた。鬼怒川と同じく有効川幅の縮小による河原の比高の高い部分と中州になった比較的安定した植生域が形成されているが、出水の規模に応じて砂州が変形している。

(2) 既存の植生調査GISデータの分析結果

図-8, 9はArcGISを用いて植生GISデータを解析した結果である。1979~86年の解析は自然環境保全基礎調査のデータを、2000年代の解析は水辺国勢調査のデータを用いた。二つのデータセットの解像度および植生群落の分類基準が異なるため、具体的な植生群落分布変遷の解析を行わず、植生の情報を草本と木本としてまとめて、比較を行った。その他の分類の中には主に農地や公園や堤防などの人為的に利用される土地が含まれている。

図-8から1979~86年では、鬼怒川のs1-2とs1-3の区間では自然裸地がほとんどなく、河道が草本類植生に覆われた様子が見られる。そして、1979~86年に比べ、2006年と2011年s1-1とs1-4では自然裸地が激減し、草本に変わりつつある傾向が見られる。s1-2とs1-3の区間では堤防沿いの樹木面積の増加が顕著であり、河原上でも樹木の小集団が点在している。

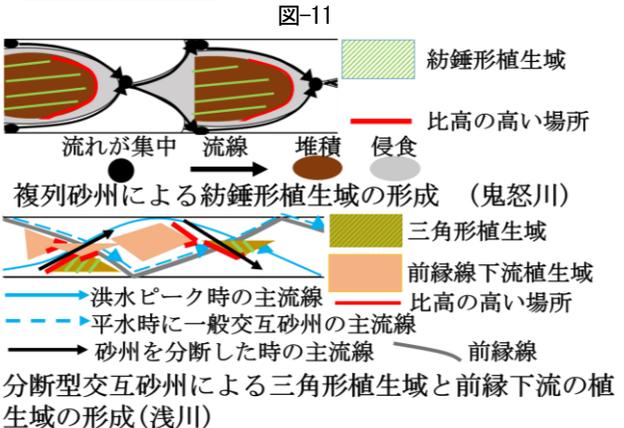
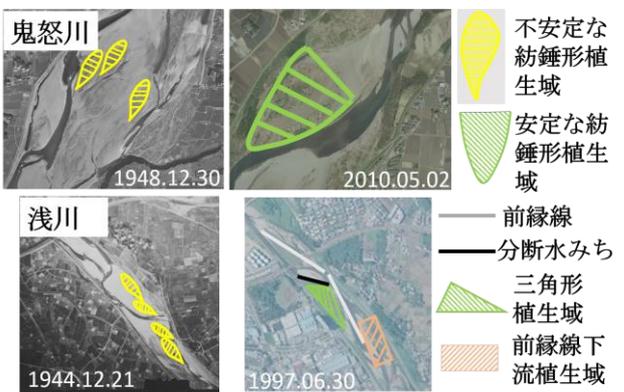
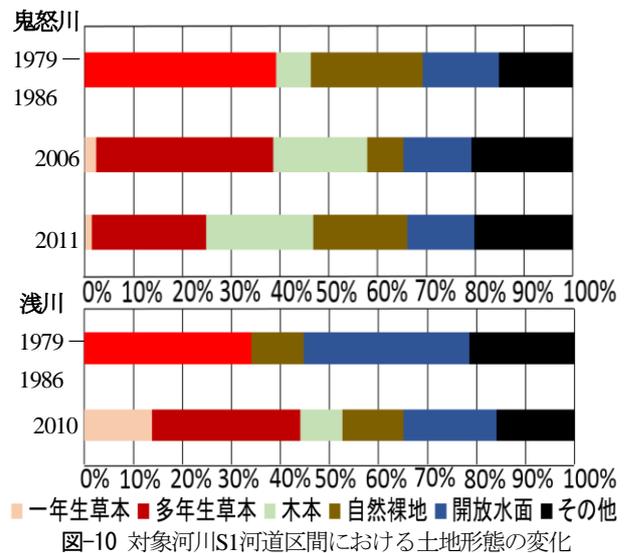
一方、図-9が示すように浅川では1979~86年頃は砂州上が一面草本に覆われ、自然裸地の面積は小さくなっていたが、樹木の侵入はみられない。それに対し2010年になると、自然裸地の規模が縮小すると共に、滯筋も細くなり、高水敷への樹木群落の侵入が目立つ、そして、その他の土地利用も高水敷で増加し、公園などの公共施設の整備が進められている。

また図-10は鬼怒川と浅川セグメント1区間における河道に占める各土地形態の面積割合の変化を示す。植生域の面積割合を注目すると、鬼怒川は80年代に比べ、2000年代では樹木面積が著しく増加してきた。一方浅川では2000年代に樹木の侵入が確認できたが、その面積はまだ小さい。しかし、二河川とも現在草本の中では、多年生草本が一、二年生草本より遥かに多くなっており、特に近年鬼怒川では草本の総面積割合が20%~40%を示しているものの、一、二年生草本の面積割合が1%、2%しかない。

以上の分析から、80年代から2010年代までの約三十年間に鬼怒川と浅川と共に河原の安定化が進行しているが、その安定化の進行速度は鬼怒川のほうが遥かに早い。その理由の一つは比較的砂州の規模が小さい浅川に比べて、鬼怒川では高水敷化した植生域以外に、巨大化した砂州が滯筋を固定してしまっ、大出水でもなかなか砂州上の土砂が更新できず、砂州上でも植生が安定しやすいからである。

4. 砂州形態の違いによる異なる植生域の形成

図-11で示すように、かつて鬼怒川と浅川の複列砂州上にはいずれも不安定で小さい紡錘形状の植生域が存在していたが、現在その多くは、鬼怒川では1990年代以降紡錘形状植生域に、浅川では三角形植生域と前縁



下流の植生域に変遷した。その理由は航空写真の分析結果で説明したように異なった砂州の形態に変遷したためである。すなわち鬼怒川は昔の複列砂州に比べてモード数が減少したが、単列砂州にはならないため、まだ複列砂州の性質を持っている。図-12上図のように複列砂州の場合、洪水時に砂州上流の両脇から流れが発散して、砂州の下流端で再び流れが集中して、下流に発散していき、下流の砂州の上流側で再び流れが集中して、また下流に発散するという過程を繰り返して、砂州を作っていく。この時流れが河原の下流端で集中するため、下流端近くでは河床の侵食作用が大きく、河床が侵食されることによって、堆積域である河原の

下流端の比高が高くなる傾向がある。現在鬼怒川では砂州のモード数が減少することによって砂州が巨大化し、流下する流れは二本の滞筋に集中ようになった。それに伴って堆積域の下流端の比高が大きくなり、堆積域の攪乱頻度が低くなり、巨大な安定的紡錘形植生域が形成された。一方、浅川は複列砂州から単列砂州に変遷したが、浅川のような急流河川では主流線が砂州上にある状態で洪水ピークを過ぎてしまうため、**図-12**下図のように主流線は上流にシフトできず、そのまま砂州を分断して三角形植生域と前縁線下の植生域が形成された。

5. 対象とする河原の特徴

前章で説明した植生域を代表する鬼怒川のサイトKと浅川のサイトAで現地観測を行い、それぞれの砂州の特徴を調べた。

まず**図-13**が示す地形測量の結果から鬼怒川サイトKと浅川サイトAは共に上流側に比高の高い平坦面を有しているが、前者はやや起伏あり、そして前縁線がなだらかで、後者はほぼ真平らで、前縁線が切り立っているという異なった横断面形状の特徴が見られる。鬼怒川と浅川の平坦面はそれぞれ紡錘形状植生域と三角形植生域に対応している。このような微地形の違いによって、砂州上の粒度組成にも違いが見られた。**図-14**の鬼怒川の紡錘形植生域とその周辺が削れてできた裸地の粒度分布が示しているように紡錘形植生域では比高が高いため砂が堆積しやすく、削れてできた斜面では表層に砂の堆積が起きにくい。一方浅川の三角形植生域は表層、準表層とも砂成分が非常に少ない。**(図-14)**これは鬼怒川に比べて、浅川の砂州の比高と規模が小さくて、平坦面の浸水深が深いため、砂の堆積が生じにくいためだと考えられる。しかし、中小出水を繰り返すと徐々に目詰まりして安定化することもある。

また、現地の植生調査により、鬼怒川の紡錘形植生域では砂が多く且つ安定化しているため、シナダレスズメガヤが繁茂していた。一方浅川の三角形植生域は砂が少なくヨモギ類が優占していた。さらに浅川では三角形植生域に加えて、砂州の前縁線下流側に形成された不安定植生域は、比高が低く、河床が不安定で、表層、準表層に礫も多いが、三角形植生域に比べ準表層の砂の量が多く、ツルヨシが生育していた。

これらに加えて、二河川とも見られるのが川幅の縮小に伴い形成された比高の高い安定植生域である。この植生域は一般に言われている高水敷化した植生域に当てはまる。準表層より表層の方に細粒分が多く含まれ、細粒分にもシルト分が多く含まれている特徴がある。

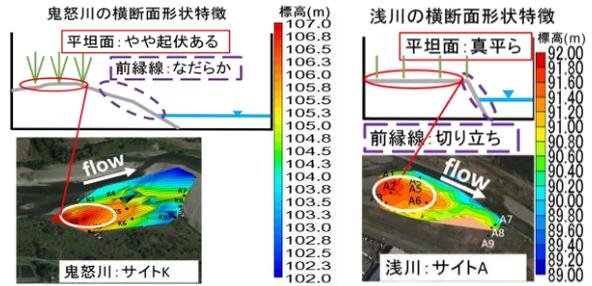


図-13 対象とする砂州の横断面形状の特徴

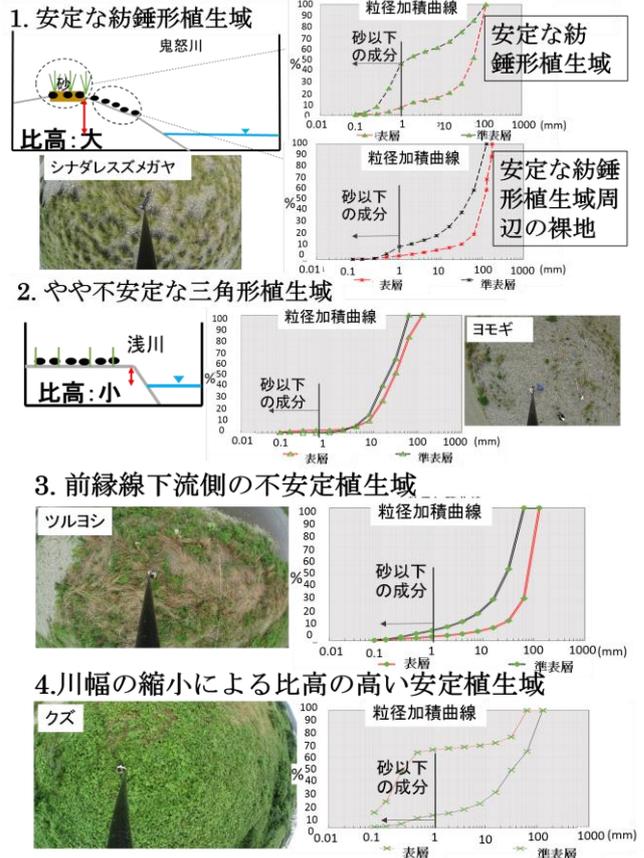


図-14 各植生域の礫構造および代表植生

6. 観測中に出水による河原および植生域の変動

2016年8月22日台風10号による洪水で、有効な地形変動と植生域の破壊が観測できた浅川のサイトAについて分析する。出水後に、**図-15**のコンター図で示すように河原の上で2本の水みちが形成され、砂州が分断されると共に、それまで安定していた三角形植生域と前縁線下流の植生域が完全に破壊され、比高の高い安定植生域も**図-15**の赤い斜線のエリアが側方侵食作用で大きく破壊された。

そしてリング法と出水前後の地形測量の結果から、河原を分断する水みちがこの洪水で下流側にずれてきたため、三角形植生域の上流側が侵食され、水みちより下流の三角形植生域は新たに砂利が堆積することで、植生域での異なる破壊形態が見られた(**図-16**, **表-1**)。

それに対して、前縁線下流の植生域では洪水時の主流線がここを通るため侵食されるが、その後河原の上

に堆積した砂利がここに到達し最終的には砂利が堆積していた。表-1に示すA7におけるリング法の結果よりここは8.5cm侵食された後に19cm堆積していることもそれを裏づけている。

また表-1のA9におけるリング法の結果から、比高の高い安定植生域では最初表層の2cmの細粒分が侵食された後、3.5cmの細粒分が表層に堆積した。すなわち、比高の高い植生域における側方侵食作用が強かったものの、植生域上における掃流力による土砂の侵食・堆積作用が小さかった。

図-15の出水前後のコンター図を比較すると、前縁線の位置が変わらなかったことが分かる。それは左岸側の護岸の設置によって、流れが護岸に張りつき、左岸側に滞筋が固定され、(大出水によって、砂州上には土砂交換がある一方)前縁線近くに強い流れが集中しているため、前縁線下流側では大きな堆積が生じ難く、前縁線が前進しないからである。さらにこれによって、右岸側の砂州が前縁線下流では侵食、砂州上では堆積が生じやすいため、中小規模の出水が繰り返されると、砂州の比高が高くなって、安定しやすくなる。

以上の分析より浅川における植生域の破壊は前縁線の移動による砂利の堆積と水みちの移動による侵食作用が重要だと示唆されており、長く護岸に張りつく流れをさせないことも重要である。一方川幅縮小に伴って形成された安定植生域の破壊は側方侵食作用が有効であると分かった。したがって、このような比高の高い安定植生域の破壊に対して重要なポイントは、洪水時にそれと隣接している砂州の上に主流線が流れるように対策し、側方侵食作用を誘発することである。

7. 結論

本研究で得られた主な結論を以下の通りにまとめる。

- ・かつて同じく複列砂州だった鬼怒川と浅川であるが、規模によって、砂州の形態変遷の傾向が異なる。規模が大きい方が低モード数の複列砂州に留まる傾向が強くなり、規模が小さい方は単列砂州に変遷しやすい。
- ・複列砂州から異なった砂州形態に変遷した砂州の上で違う植生域が形成されたことが分かった。低モード数の複列砂州に遷移した場合は、安定な紡錘形植生域が発達しており、分断型の単列砂州に遷移した場合は、やや不安定な三角形植生域、およびその前縁線下流不安定植生域が確認でき、各植生域の礫構造の違いも見られ、砂州の形態および礫構造が植生域の分布特性および安定性に与える影響を明にした。
- ・浅川での出水前後の観測結果に見られた通り、水みちの変動に伴う侵食作用と砂利の堆積により河原を有効に攪乱することが重要である。ただし中小出水では三角形植生域への土砂の目詰りによる植生域の安定化

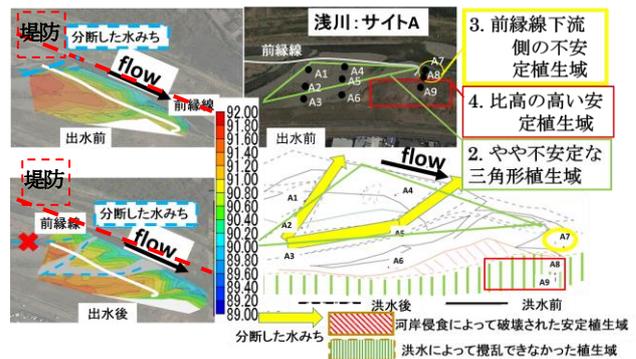


図-15 出水後サイトAにおける砂州の変動

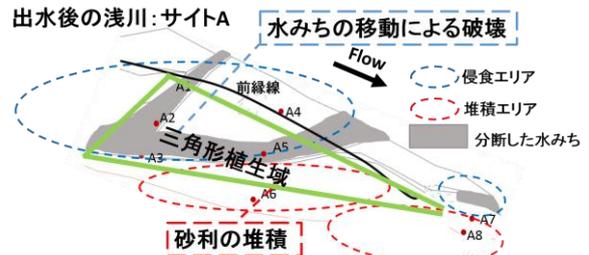


図-16 三角形植生域の破壊形態

表-1 リング法の結果

2016/8/22	杭番号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
台風10号	侵食深(cm)	40	-	59	-	-	-	8.5	-	2
	堆積厚(cm)	8	-	0	-	-	-	19	-	3.5
	前後の比高変化(cm)	-32	-	-59	-	-	-	10.5	4	1.5
	その他		流出	水中	紛失	流出	紛失		紛失	3.5cmの細粒分が堆積(安定植生域)

に注意する必要がある。また、鬼怒川の紡錘形安定植生域では2015年9月の大洪水の後でも残されているが、その周辺で崩れた裸地には目詰まりが見られなかったことから、二河川とも植生域上の掃流力を上げようとするよりも十分な土砂流下を確保しつつ、流れを護岸に長く張り付かせず、洪水時の主流線を砂州の上に誘導することが大事であることを示唆された。

参考文献

- 1) 藤田光一, 李参照, 渡辺 敏, 塚原 隆夫, 山本 晃一, 望月 達也: 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション, 土木学会論文集, No.747/II-65, 41-60, 2003.
- 2) 田中規夫, 八木澤順治, 福岡捷二: 砂礫州上における繁茂場所の相違が樹木の洪水時流失限界に及ぼす影響, 水工学論文集, 第53巻, 2009.
- 3) 河川環境管理財団河川環境総合研究所: 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, 2009.
- 4) 藤森裕章, 知花武佳: 河原地形と河床材料分級から見られる流域特性, 河川技術論文集, 第16巻, 2010.
- 5) 溝口敦子: 低水護岸を有する矢田川低水路における交互砂州の変動特性, 河川技術論文集, 第16巻, 2010.

(2017. 4. 3受付)