

小河川における漸縮・漸拡部の形成機構

STUDY ON DEFORMATION MECHANISM OF EXPANSION AND CONTRACTION SECTION IN SMALL RIVERS

藤堂 正樹¹・福岡 捷二²・内田 龍彦³・山本 輝⁴・籠田 真貴子⁵
Masaki TODO, Shoji FUKUOKA, Tatsuhiko UCHIDA, Teru YAMAMOTO, and Makiko KAGOTA

- 1 正会員 工修 広島大学大学院 工学研究科博士課程後期 社会環境システム専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)
- 2 フェロー会員 Ph.D 工博 広島大学大学院教授 工学研究科 社会環境システム専攻 (同上)
- 3 正会員 博(工) 広島大学大学院助手 工学研究科 社会環境システム専攻 (同上)
- 4 学生会員 広島大学大学院 工学研究科博士課程前期 社会環境システム専攻 (同上)
- 5 学生会員 広島大学 工学部第四類建設系 (同上)

In this study, attention is paid to the formative process of expansion and contraction section of small river, the Nukui, which run through near the Hiroshima University. At the same time, the effects of bed material and vegetation in the channel on the plane form formation are also noted.

It becomes clear from the observation result of riverbed for the expansion and contraction sections, the characteristic longitudinal profile of riverbed, the particle-size distribution of mixed bed material parallel to the axis of the mainstream, and strength of roothold of vegetation that protects the riverbank of a contraction section.

In the expansion and contraction sections of the Nukui River, the first process of plane form formation is in capture of the wash load by the vegetation, which grows thick at depositing site. Moreover, it is clarified that the longitudinal profile of a riverbed is affected by the longitudinal distribution of the bottom shear stress, which is determined by the channel plane form, and by the moving characteristics of the bed material of mixed particle size.

Key Words: small rivers, expansion and contraction, vegetation, wash load, longitudinal profile

1. 目的と背景

川幅 10m 程度の小河川では、堤防法線形や断面形状が一様でないこと、植生が繁茂しやすいこと、流量変動の影響を受けやすいこと等から、河道部分に漸縮部や漸拡部を発生しやすい。漸縮・漸拡部では、流量変動による水面形や掃流力の変動が顕著となるため、土砂堆積や洗掘が生じやすい。このため洪水後には流れの速い場や、よどみを形成する場合もあり、植物や水生生物の生育にも密接なつながりのある場と言える。植生の生育や河床の移動形態も考慮しつつ漸縮・漸拡部の形成過程を知ること、河川改修の際の程良い人為改変の程度を示すこと^{1) 2) 3)}につながり、自然豊かな河川環境の再生への手がかりとなるものである。

改修等により川幅が拡大後の、高水敷形成による低水路幅縮小過程に関しては、藤田⁴⁾らの研究がある。藤田らは、川幅 100m 程度の自然堤防帯の河川を対象に、河床での植生繁茂を契機として、洪水時の植生によるウォッシュロードの捕捉が河道内の堆積と植生の根の生育を助長し、植生活着場がより強固な堆積場となる過程を

説明している。さらに河床に元来存在する砂にウォッシュロードが混合することによって、砂がより粘着性を増し、側岸の強度が増す⁵⁾ことを指摘している。

本研究が対象とする温井川は、川幅 10m 程度の小河川であり、以下のような特徴を持つ。

- ・元来、漸縮部や漸拡部が連続し、断面形は一様でない。
- ・外力である中小規模出水は頻繁に発生する。また、洪水波形は先鋭となり易い。
- ・河川規模が小さい故に土砂の堆積・洗掘は、局所的な平面形状及び縦断形状に影響を与える。また、河床材料粒径やその被覆率、植生の繁茂状況が、短区間で急変する。

こうした特徴をふまえ、本研究は、小河川・温井川の漸縮・漸拡部に着目し、平面形状・河床縦断形状の形成・維持過程を明らかにすることを目的とする。このため、出水前後の現地観測と縦・横断測量、及び漸縮・漸拡部を有する水理模型実験を実施した。また、観測結果を基に、植生や河床材料の河道形成に果たす役割についても考察する。

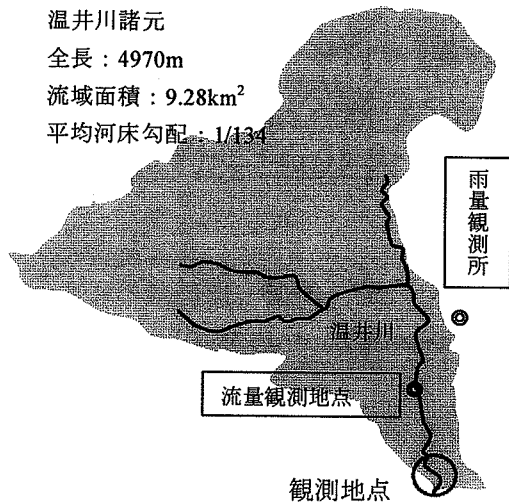


図-1：温井川の流域・温井川の河道諸元

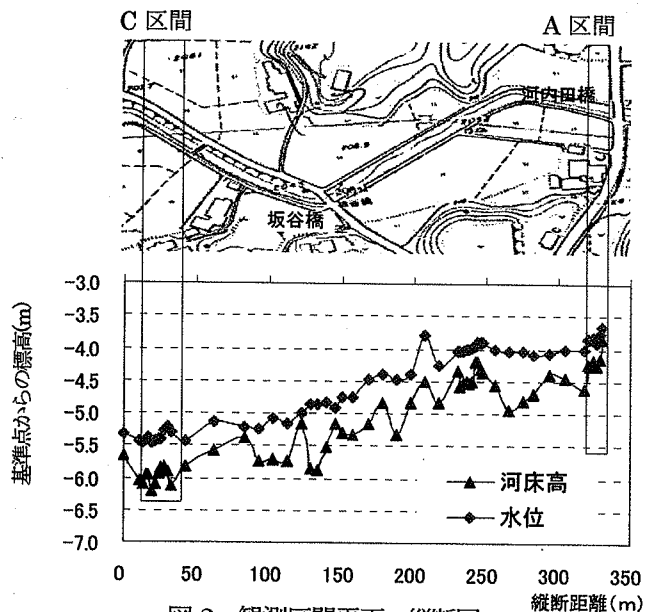


図-2 観測区間平面・縦断図

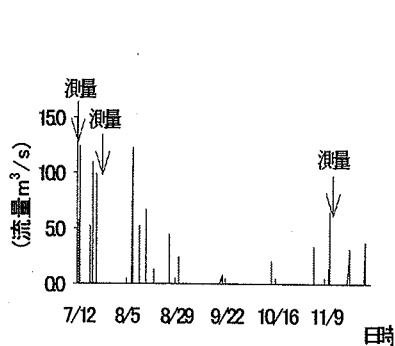


図-3：出水状況 (H15 流量)



写真-1：A 観測区間



写真-2：C 観測区間

2. 温井川河道における漸縮・漸拡の形成機構

(1) 観測区間の概要と出水状況

温井川は、広島県を流れる二級河川黒瀬川の二次支川で、今回観測地点までの集水面積 9.3km²、堤間幅 10m 程度、平均河床勾配 1/130 の小河川である。単断面形状であるが、植生と土砂の堆積によって流路は漸縮・漸拡部が多く生じている。このような河道内に約 300m の観測区間を設定して、平成 15 年 7 月～11 月にかけて出水時流量観測と出水後の縦・横断測量を 3 回実施した。また、観測区間内の断面漸変部を対象に、河床、側岸及び中州構成材料の粒度分布調査、植生調査を実施した。

観測期間内の出水状況を図-3 に示す。図は、直近観測所における時間雨量データから合理式によってピーク流量を算定した結果で、最大値は、7/13 の 12.4m³/s、観測地点の比流量換算では、1.3m³/s/km²であった。因みに近年の最大流量は 1999 年 6 月洪水時の 61m³/s (計算値) である。このことから観測期間内の出水は中小規模のものであったことが判る。

(2) 観測区間の縦・横断形状と出水後の変化

出水後の断面変化を測定し、「詳細観測区間」と位置

つけた A 区間、C 区間(図-2 参照)を例にとって説明する。

A 区間は延長 12m、2m ピッチで 7 断面の測量を行った。写真-1 に示すように河道中央にクサヨシで覆われた比高 60cm 程度の中州が存在し主流線は中州右岸側を通る。平時の流路幅は A-4 断面が 80cm 程度で最も縮流となる。観測期間中の横断形の変化は、図-4 に示すように、A-1 から A-4 にかけての中州下流の左岸側で高水敷化した部分が出水による洗掘を受けたことが判る。主流沿いの河床縦断形は、縮流部 A-4 を境に上流側 6m が緩勾配、下流側 6m が 1/20 程度の急勾配区間となる。

C 区間は延長 20m、2m ピッチで 11 断面の測定を行った。写真-2 に示すように両岸共、河床からの比高 70cm の堆積土の上にヨシが繁茂し、平時の流路は緩く湾曲している。平時の流路幅は、C-8 断面が 80cm 程度で最も縮流となる。図-5 に示すように観測期間内では河道の平面形状に顕著な変動は確認できなかったが、縮流部を除いて全体的に侵食傾向にあった。主流沿いの河床縦断形は、縮流部 C-8 を境に上流 6m 程度の区間が緩勾配となっており、C-5 断面にかけての漸拡部に向かって 1/20 の急勾配区間が生じ、さらに下流では堆積域が生じている。最も縮流する断面を境に河床勾配が局所的に変化する傾向は A、C 区間に共通である。

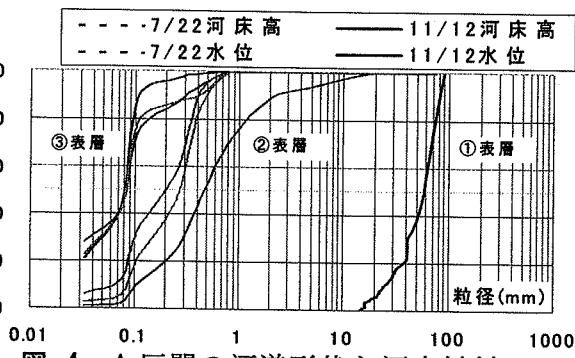
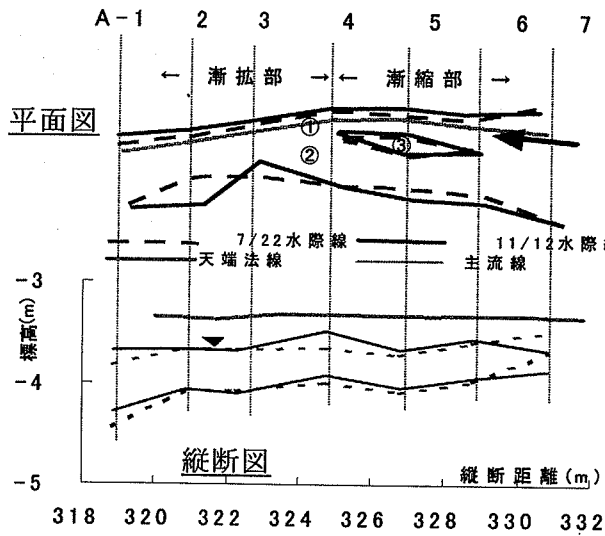


図-4 A区間の河道形状と河床材料

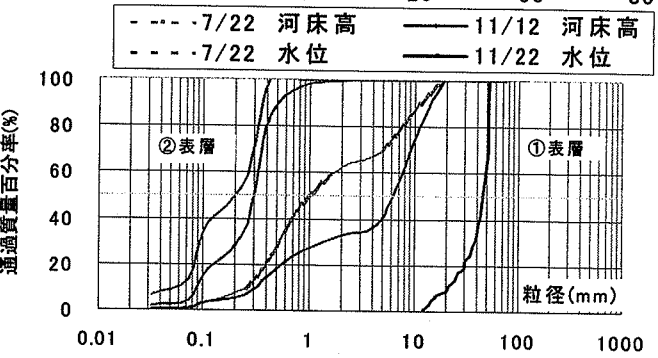
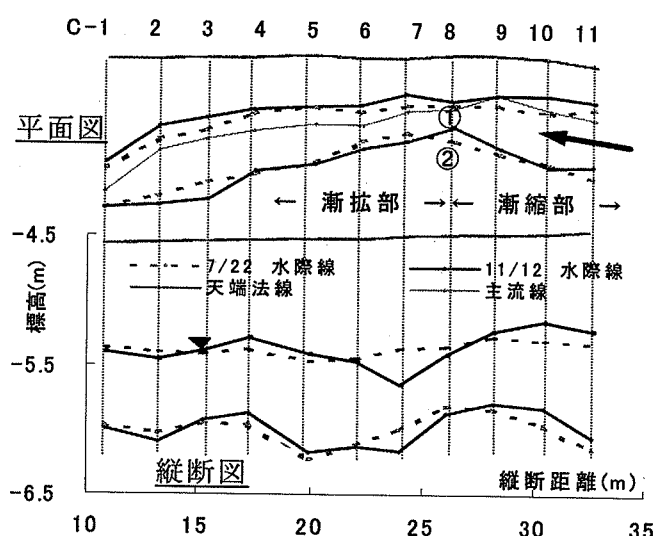


図-5 C区間の河道形状と河床材料

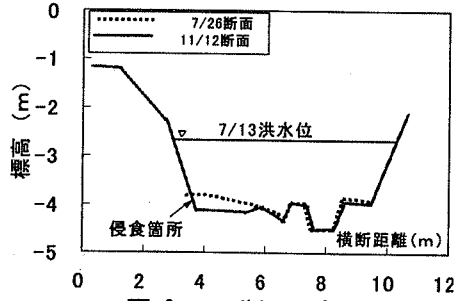


図-6 A-4断面の変化

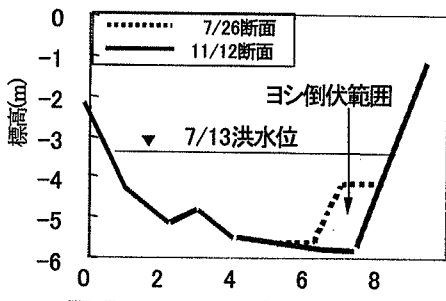


図-7 C-4断面の変化 横断距離(m)

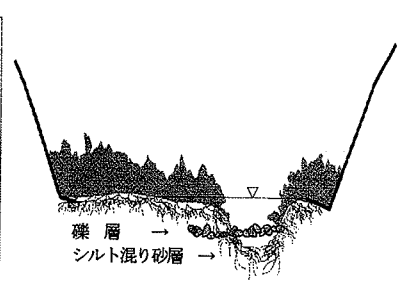


図-8 縮流部植生の活着状況

(3) 植生繁茂と河床材料の分布からみた漸縮・漸拡部の形成と維持の機構

観測区間全体を通じ、側岸ではヨシ、カヤが、中州等の水際部ではクサヨシの繁茂が見られた。これらの植生が漸縮・漸拡部の形成に与える影響について記す。

A区間は左岸側にヨシ、中州と右岸水際にはクサヨシが繁茂する。図-4に示すA区間の最縮流部にあたるA-4断面の中州表層及び右岸水際部は平水時には冠水せず、草丈50cm程度のクサヨシが表層土を覆っている。水没している中州側面もクサヨシによって覆われている。クサヨシは、水平方向に伸びる地下茎と鉛直方向に10~20cm程度伸びる根によって、中洲及び側岸に活着しており、中洲を構成する粗砂の流出を防止している。また、図-6に示すようにA-4断面の左岸側は洗掘域となっている。A-4断面の中州右岸の主流部表層(図-4の①)は $d_{60}=63\text{mm}$ に対して、左岸副流路(図-4の②)の河床材料は $d_{60}=0.60\text{mm}$ で大きな差がある。この値は植生繁茂

場の粒径に近く、副水路は、元来左岸植生域の一部であったが、出水による洗掘により生じたものと考えられる。

C区間ではヨシの繁茂が顕著であった。11月の観測では、最縮流部下流8mのC-1~C-4にかけてヨシの倒伏が目立ち、C-2地点では水中倒伏が見られた。C-1~C-4の間では側岸土砂の露出がみられ、洪水時には侵食区間であったものと考えられる。C-4断面のヨシの倒伏状況を図-7に示す。これに対し縮流部C-8側岸ではヨシの倒伏は見られず、側岸表層土を覆っていた。

A区間のクサヨシ繁茂場表層(図-4の③地点)には、写真-3に見るように10~15cmの厚さで、 $d_{60}=0.09\text{mm}$ の微細土砂が堆積している。その下層は、 $d_{60}=0.29\text{mm}$ の砂層であり、粒径は河床に存在する砂と同一である。他のクサヨシ繁茂場においても表層では10~20cm程度の微細土砂の堆積を確認している。これらの微細土砂は河床構成材料とは明らかに異なり、植生によって洪水時に捉えられたものと考えられることができる。

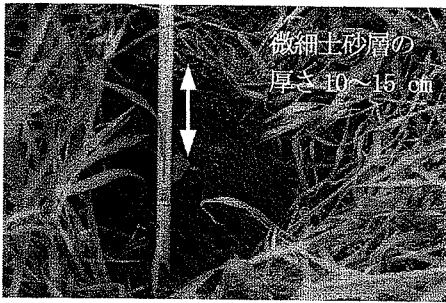


写真-3 クサヨシ表層の微細土砂の堆積



写真-4 C区間の漸縮・漸拡部 平面形状

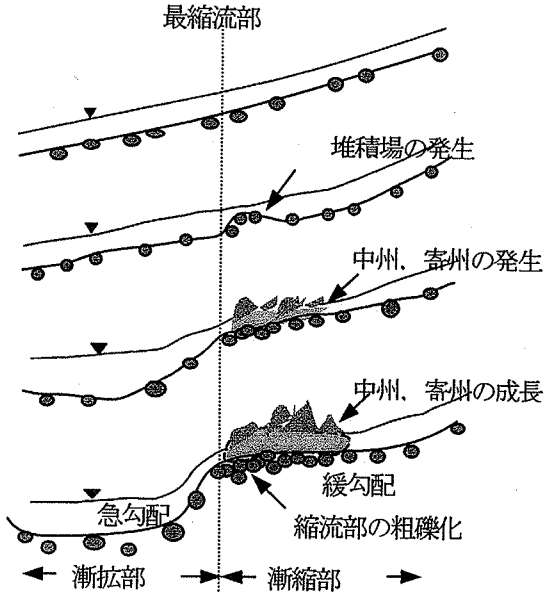
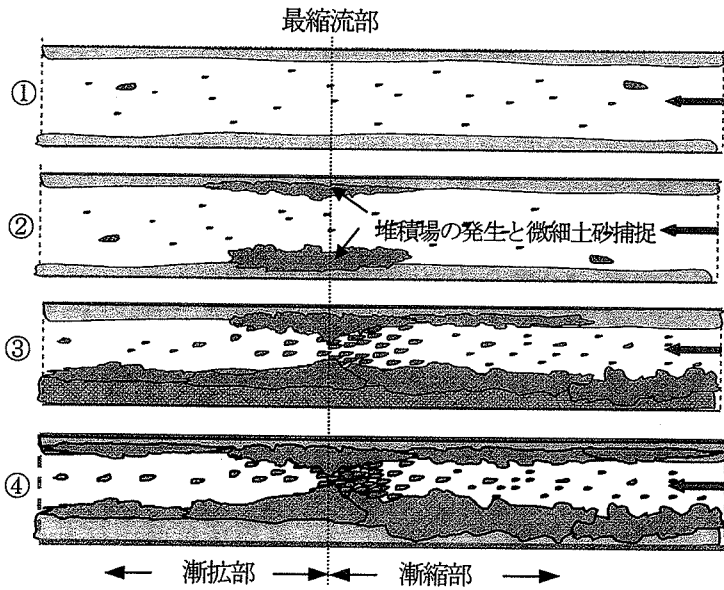


図-9 漸縮・漸拡部の形成・維持過程 (左: 平面図, 右: 縦断面図)

最縮流部 A-4 断面の表層以深の層から採取したシルト混じり砂中には植生の根が多く含まれていた。これは、図-8 に示すように、側岸に活着した植生から伸びた根がシルト交じり砂層にまで達した結果と考えられる。この結果、植生は自身の流出防止と河岸保護機能を有するようになる⁶⁾。C 区間においても同様で、ヨシの地下茎は 10~20cm の長さを持ち、微細土砂層の下の砂層まで達している。写真-4 に見るような漸縮・漸拡形状の維持には根の十分な活着が不可欠であることを示している。

以上より、川幅 10m 程度の温井川においても藤田ら⁴⁾が指摘するように、河床凸部への植生繁茂を契機とする洪水時の微細土砂の捕捉が生じていることが明らかとなった。さらに微細土砂を栄養源として植生の生育が促進され、明瞭な堆積部が発生するものと考えられる。温井川のような小河川では、堆積部の発生は局所的な流路幅縮小を意味する。縮流部での植生の活着が確実なものとなるにつれ堆積場は次第に寄州、中州の形状を呈する。また植生は側岸侵食防止の役割を有するようになり、漸縮・漸拡の平面形状の形成・維持が図られる。

より広範囲の観測では、中州や寄州は、橋梁下や笹藪の影になる箇所等、日照条件の悪い場には存在しない。このような場合は植生の生育条件として不適であるため、根が十分に河床に活着できず、微細土砂の堆積を契機と

する州の発達プロセスが妨げられたためと考えられる。これも中州や寄州の発達に植生の果たす役割が大きいことを示すものである。

漸縮・漸拡等の平面形状が植生と微細土砂の作用でほぼ定まると、縦断方向の流れのせん断力変化に応じて河床材料分布に特徴が現れる。今回の規模の洪水観測結果に基づき、主流沿いの河床表層材料の縦断変化について、上流から順に記す。

A 区間では、漸縮区間 A-7~A-5 において、砂の被覆率が高く、粗礫が点在する。最縮流部に向かうにつれて礫の被覆率は高くなり、最も縮流となる A-4 断面では、幅 80cm の河床面を 15~80mm ($d_{60}=63\text{mm}$) の礫が密に覆う状態となる。A-4 断面の下流漸拡部では局所的に河床は急勾配となり、砂の被覆率が高まり、礫は主流線に沿って点在するようになる。礫径は最大で 109mm であった。

C 区間では、上流の漸縮区間 C-11~C-8 において、やはり砂の被覆率が高く、その中に最大 200mm 程度の粗礫が点在する。最も縮流となる C-8 断面では幅 80cm の河床面を、12~52mm ($d_{60}=48\text{mm}$) の粗礫が密に覆う。C-8 の下流漸拡部は洗掘域となり河床勾配は急となる。この区間では砂の被覆率が高くなり下流は砂の堆積部となる。

A, C 区間に共通の結果は、最も縮流する断面において礫が密に河床を覆う点である。礫は帯工のように上流側

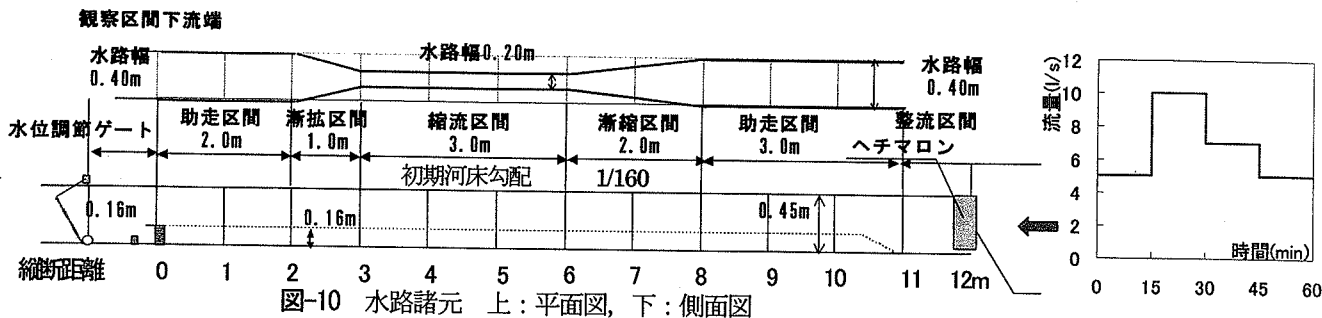


図-10 水路諸元 上：平面図，下：側面図

図-11 流量パルスグラフ

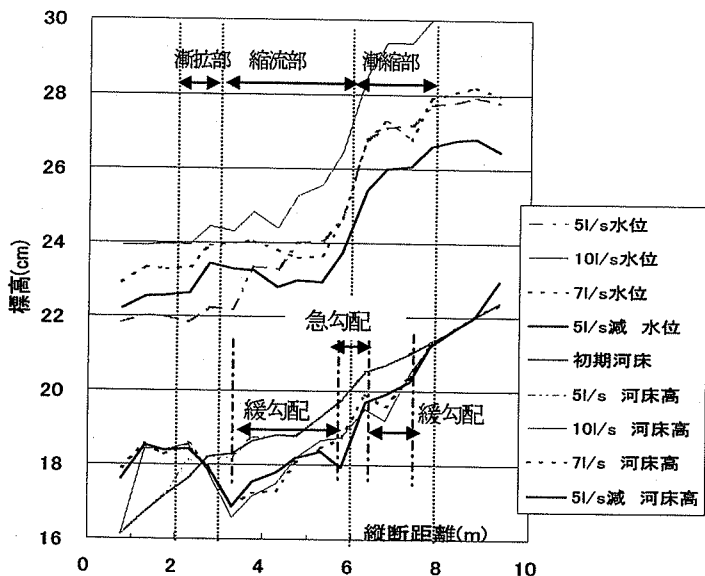


図-12 水位と河床高の経時変化

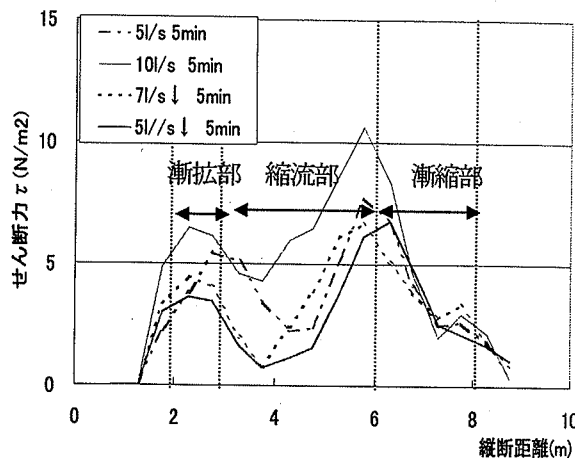


図-13 底面せん断力の経時変化

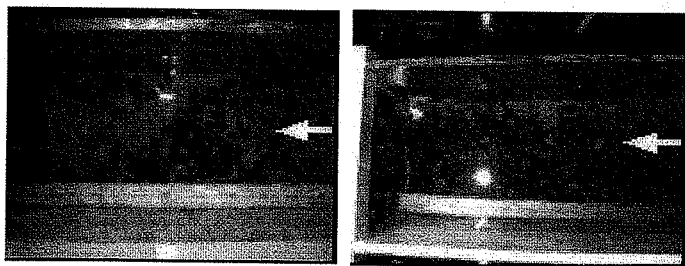


写真-6 10l/s 通水後の礫の表層被覆状況
(左：縮流部3.7m, 右：漸縮部6.3m)

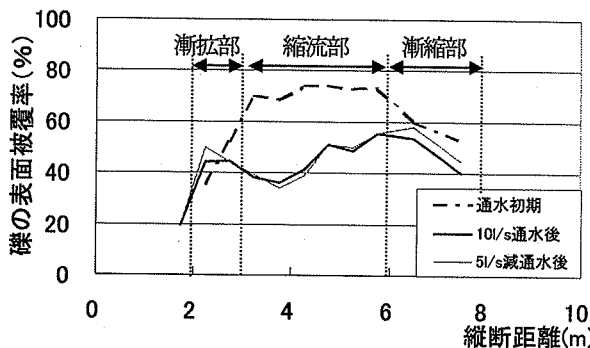


図-14 礫の表層被覆率

の砂の流下を防止するため、上流側河床は緩勾配化し、下流側では砂の供給が少なくなるため局所的に急勾配区間が生じるものと考えられる。植生が平面形状形成の過程で果たす役割と併せ、今回観測結果を基に、小河川で生じる漸縮・漸拡部の形成過程を整理する。

- ①図-9 に示すように、大出水や河川改修等の理由により、低水路幅の拡大、河床の平坦化が生じる。
- ②平水時の水深が小さくなり掃流力が低下し、河床の凸部には土砂が残留しやすい状況となる。その後、小出水時に流下してくる微細土砂の堆積が続く。やがて堆積は平水位よりも高くなり植生の繁茂が始まる。
- ③洪水時に堆積する微細土砂を栄養源に植生繁茂が促進され、根の活着がより確実となる。これにより堆積場は中州や寄州として成長し、川幅縮小傾向になる。一方、縮流部での流速増加による侵食のため、植生の根の縮流部への張り出しは抑制され、縮流幅はつりあいの状態となり、漸縮・漸拡の平面形状が概ね定まる。

- ④漸縮・漸拡形状が規定されると、縦断方向のせん断力分布に応じた河床材料分布が現れる。漸縮区間では主流線に沿う河床表層の礫被覆率が高くなり、最縮流断面付近が最大となる(温井川では $d_m = 60\text{mm}$)。縮流部の礫は平水時において帯工のように上流河床材料の流下を防止する役割を果たしていると考えられる。これにより、縮流部の上流側は緩勾配化する。下流側は砂の拔出しにより、急勾配区間が生じる。

3. 断面漸変部の河床縦断形状に関する実験

(1) 実験概要

植生及び河床材料の観測により、漸縮・漸拡部の形成過程がほぼ明らかになった。いま、漸縮・漸拡形状が与えられた場合、流量変動に伴う局所的な流れのせん断力の変化、水面形と河床材料の分布について実験水路においてさらに検討する。水路は、漸縮・漸拡部を有する移

動床水路である。水路諸元は、図-10の通りである。その際、現地観測結果から粒径混合の効果を知ることが重要と判断した。初期河床は、 $dm=0.8\text{mm}$ の一樣砂により勾配1/160の平坦河床を修正し、表層に $dm=11\text{mm}$ の礫を敷並べた。通水初期の礫の表層被覆率は、図-14に示す通りである。また、温井川のような急流小河川では洪水波形が先鋭であり、河床材料の移動に与える影響も重要となるため、図-11に示すような階段状の流量波形を与えた。なお本実験では中小出水規模を想定し最大流量は、礫の移動限界を若干上回る規模とした。

(2) 漸縮・漸拡水路の河床縦断形状

各流量の通水開始5分、15分時点において、河床及び水位縦断形を測定し、各時点のエネルギー勾配を用いて底面せん断力 $\tau (= \rho g h I)$ を算定した。図-12に各流量通水15分経過時の河床及び水位縦断形、図-13に通水5分経過時のせん断力算定結果を示す。

河床変動について記す。5l/s通水時は礫及び礫に覆われた砂は共に移動しない。その後、10l/s通水直後から、せん断力の大きい水路下流側の漸拡部(3m)付近から礫と砂が流出し河床低下が進行した。15分後には礫と砂の移動は上流の縮流区間に伝播した。この間、縮流部中央(4.7m)付近から漸縮部(6m)にかけては礫間からの砂の抜出しが顕著であった。漸縮部(6m)より上流では礫の移動は少なかった。流量を減じ7l/s通水時は水路全体で礫の移動はまばらとなり5l/sでは礫は移動しない。減水時の7~5l/sにかけては、せん断力の大きい漸縮部下流(5.7m付近)付近の砂の抜出しが顕著であり、流出した砂が下流の河床低下区間をやや埋戻すが、10l/s通水時に形成された河床縦断形と最大洗掘位置は維持された。埋戻しにより4m付近では砂が礫を覆う状況も観察された。

2粒径混合の効果は、流量変動により礫と砂の移動形態が異なる点に現れる。図-14は、河床表層の礫の被覆面積の割合(被覆率)である。10l/s通水時に礫の移動が顕著であった漸拡部(2.7m)から縮流区間では、被覆率が20~30%低下する一方で、漸縮部(6~7m)の被覆率の低下は5~10%程度であった。通水後の礫被覆率は最も大きくなる。減水時の7l/s通水時に、漸縮部(6.3m)においては礫の被覆率が相対的に大きくなり、漸縮部上流側の砂の流出を抑制し、緩勾配区間を形成したものと考えられる。温井川之最縮流部(A-4、C-8断面)において礫が密に河床を覆い、上流の砂の流下を防止し緩勾配区が生じる結果と共通している。

砂のみが移動する減水時7~5l/s段階においては、漸縮部下流(5.7m付近)での砂の抜出しが、局所的な縦断形状形成に影響を与えている。この結果、図-12に示すように通水後には、漸縮部下流に局所的に急勾配区間が生じる。これも温井川之最縮流部の下流側が急勾配区間となる結果との共通点である。

以上、平面形状と流量変動が与えられた場合の流れのせん断力分布と流量変動に伴う混合粒径材料の移動特性を調べることにより、温井川のような小河川の漸縮・漸拡部の形成に果たす河床材料の役割について理解を深めることができた。

4. 結論

川幅10m程度の急流中小河川・温井川における洪水前後の縦・横断測量、植生・河床材料調査、及び水理模型実験により、漸縮・漸拡部の形成機構に関し、以下の点を明らかにすることができた。

- ・ 漸縮、漸拡部の植生活着状況、河床及び植生繁茂場の構成材料の分布特性を明らかにした。
- ・ 漸縮・漸拡の平面形状形成には、植生の繁茂による微細土砂の堆積が契機となり、根の活着が確実になることで、平面形状の安定が保たれる。
- ・ 漸縮・漸拡部の河床縦断形状は、河床平面形によって定まるせん断力分布と、粒径の異なる河床材料の移動・堆積によって維持される。

5. あとがき

今回規模の出水に対して、温井川の漸縮区間の縦・横断形は概ね維持されていた。この理由は縮流部側岸に活着したヨシが20cmにも達する地下茎を持ち、側岸材料の流出を防止して断面形を保つことができたためと考えられる。また、洪水波形が先鋭であることから、洪水継続時間が短く、大きな河床変動が生じなかったことも関係していると思われる。今後、規模の大きな出水が生じた場合、温井川流路形状がどのように変化するか観測を行い明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 中小河川計画検討会, 中小河川計画の手引き(案), 平成11年9月
- 2) 中小河川における多自然型川づくり研究会, 中小河川における多自然型川づくり, 平成10年2月
- 3) 社団法人全国防災協会, 美しい山河を守る災害復旧基本方針, 平成14年7月
- 4) 藤田光一, John A. Moody, 宇多高明, 藤井政人 ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小, 土木学会論文集 No.551/II-37, 1996.11
- 5) 佐々木克也, 藤田光一ら 大型不撓乱供試体を用いた堤防・自然河岸の耐侵食強度評価実験, 水工学論文集, 第38号
- 6) 福岡捷二, 渡邊明英, 新井田浩, 佐藤健二 オギ・ヨシ等の植生の河岸保護機能の評価, 土木学会論文集 No.503/II-29, 1994.11

(2004. 4. 7受付)