

第 5 章 矢部川水系の災害

5.1 はじめに

矢部川は流域面積 647km²、延長 61km の福岡県南部を流れ有明海に注ぐ一級河川である。平成 24 年(2012 年)7 月 14 日に襲った梅雨前線性の豪雨により、矢部川でも甚大な河川災害が発生した。特に、本川と派川の沖端川においては堤防の決壊が発生し、浸水面積は約 2,579ha、浸水戸数約 1,870 戸（うち、床上浸水 704 戸、床下浸水：1,166 戸。平成 24 年 8 月 2 日速報値。ただし、内水被害も含む）となるなど重大な被害が発生した。当日の降雨状況としては、黒木雨量観測所において、1 時間雨量：94mm、3 時間雨量：183mm、6 時間雨量：303mm、9 時間雨量：365mm、と全てが観測史上最大を記録した。それに伴い、14 日 9:00 に船小屋水位観測所地点で、観測史上最高となる 9.76m の水位を観測し、これまでの既往最高であった平成 2 年 7 月 2 日の 7.74m を大きく更新した。また、計画高水位と同等の水位が 4 時間程度継続し、本川 7k300 地点右岸が砂質層のパイピングにより決壊を引き起こした（国土交通省九州地方整備局、2012）。また、沖端川 12k200 地点右岸と 13k400 地点左岸において、越水による堤防決壊が生じた。

本節では、上流域の支川における流木の堆積状況と、本川と沖端川の堤防に発生した水みちについての調査結果を報告する。

5.2 流木の氾濫・捕捉に関する調査

矢部川流域上流の支川星野川、横山川、笠原川などに沿って多数の斜面崩壊が発生した。現地調査において直接目視できるもの、航空写真で判別できるものなど数多くあるが、一方で樹林に隠れて目視できない小規模な崩壊も少なくない。県の資料によれば、八女市全体で、崖崩れ 158 件、土石流 14 件、地滑り 9 件が発生したとも言われている¹⁾。その結果、大量の崩壊土砂が樹木とともに河川に流れ込み、洪水流が、流木・土砂・水混相流の様相を呈して流下した。規模の大きくなった洪水流は、途中、側岸の土砂や樹木をも巻き込みながら、さらに規模を増大させた。そのため星野川などに架かる多くの橋で橋脚などの障害物に流木がせき止められて群（Woody Debris Jam）を形成し、洪水流の流下の阻害要因となり氾濫を助長させた。

著者らは災害直後、矢部川、星野川の予備調査を行ったが、星野川沿いの山内、小野地区では田畑や河川敷に氾濫・堆積した大量の流木および流木群が観察された。また、矢部川中流のみやま市瀬高町にある中ノ島公園(船小屋)の水害防備林では、500 本を越えるクスノキが大量の流木を捕捉していた（図 5.1）。洪水流下の阻害要因となりうる流木や流木群について、堆積あるいは捕捉の特性を調べることは今後の対策立案において重要なことである。予備調査後、著者らは、7、8、9 月および 12 月に延べ 13 回にわたって現地調査を行った。本節では、それらの結果を報告する。

5.2.1 星野川における流木の氾濫に関する調査

氾濫した流木には、個別にバラバラで散乱した状態で堆積した流木（写真 5.1）と、群として集積・堆積した流木（写真 5.2）とが観察された。流木群は、建物、電柱、地形的な変化など氾濫流にとって障害となるような物体によって捕捉されている。解析に際しては、個別に散乱した状態で堆積した流木と集積・堆積した流木群とに分けて解析した。

a) 山内地区において氾濫した流木の特性

山内地区では、山内橋から板付橋の区間の右岸側の田畑に流木が大量に氾濫した（図 5.2）。まず、個別に散乱・堆積した流木について、その長さの統計的な特性を調べた。その結果を図 5.3 に示す。

氾濫した流木には、 $L=2\text{m}\sim 4\text{m}$ の範囲の流木が最も多かったことが分かる。流木の平均の長さ $L=3.7\text{m}$ 、変動係数 $\alpha_L=0.557$ であった。次に、集積・堆積した流木群について、その捕捉された量と障害物の遮蔽面積との関係を調べた（図 5.4）。両者は、バラツキはあるが、ほぼ線形的な関係にあることが分かる。

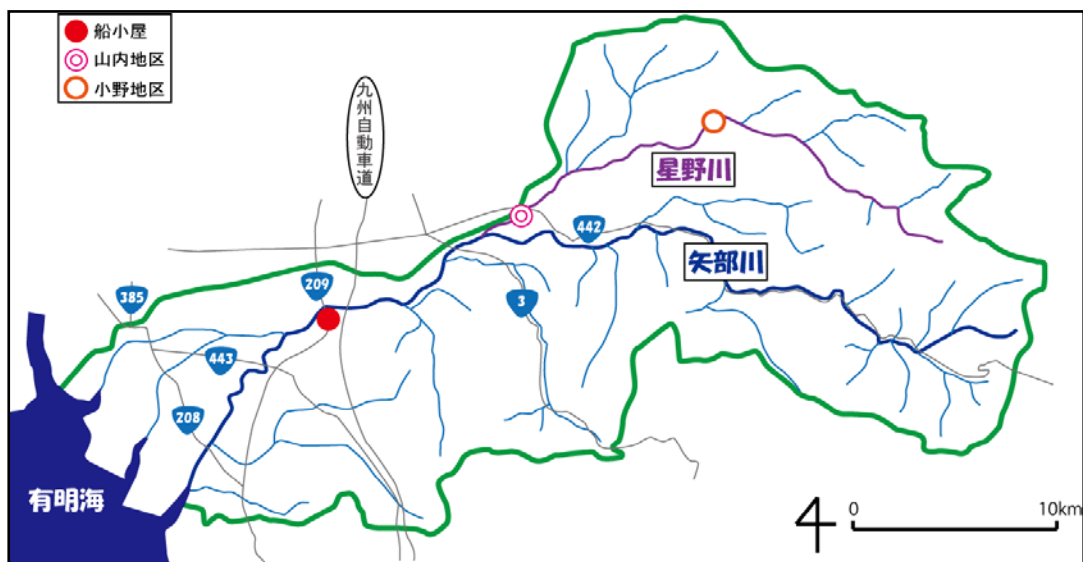


図 5.1 矢部川流域と調査地点



写真 5.1 個別に氾濫・堆積した流木



写真 5.2 障害物（電柱）により捕捉され集積した流木群

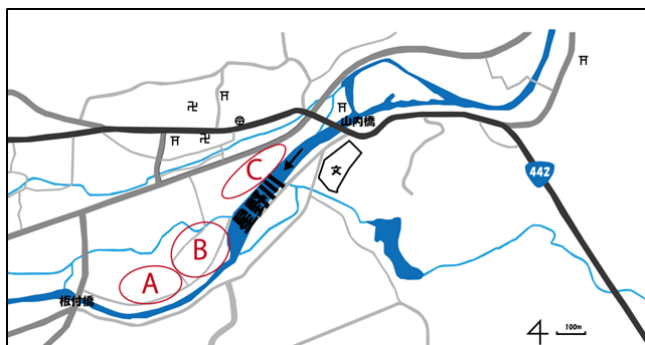


図 5.2 星野川に架かる山内橋から板付橋の区間における調査対象地点

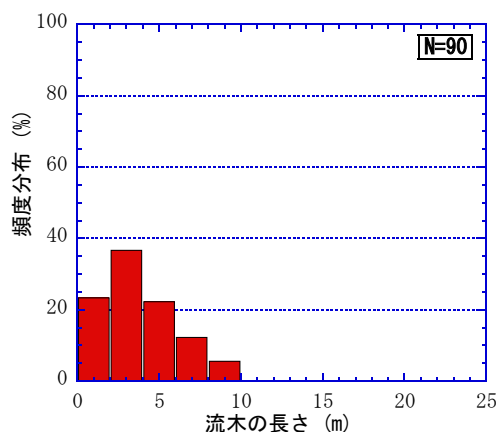


図 5.3 個別に氾濫・堆積した単独流木の長さに関する頻度分布

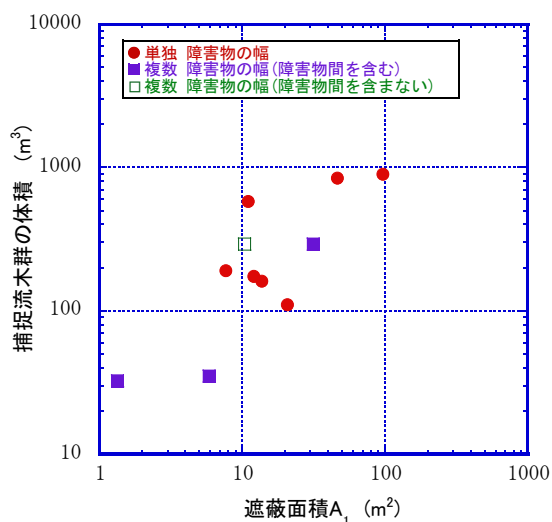


図 5.4 障害物に捕捉された流木群の体積
と障害物の遮蔽面積との関係

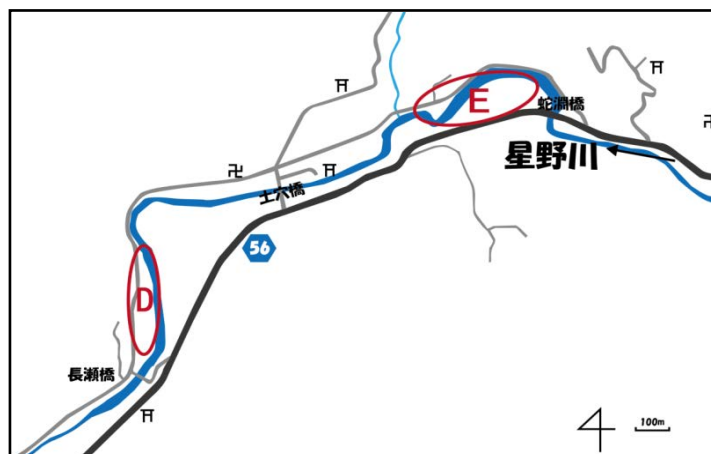


図 5.5 星野川に架かる小野地区蛇淵橋から
長瀬橋の区間における調査対象地点

b) 小野地区において氾濫した流木の特性

小野地区では、蛇淵橋から長瀬橋の区間の河川敷に流木が大量に氾濫・堆積した（図 5.5）。図中 D 地区では右岸側に、E 地区では左岸側の河川敷に氾濫した。その大部分は、個別に散乱・堆積した流木であった（写真 5.3）。現地において、直接、それぞれの流木の長さや直径を測定した。まず、図 5.6 にその結果を示す。相関係数は 0.305 であり、あまり相関はない。したがって、長さや直径は互いに独立であるとして、統計的な特性を調べた。



写真 5.3 小野地区の河川敷に氾濫・堆積した流木

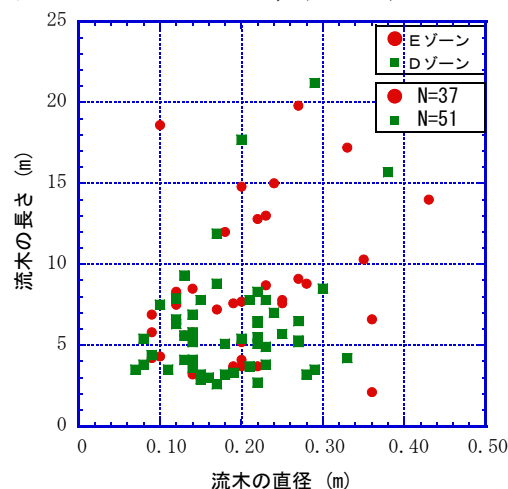


図 5.6 小野地区において氾濫・堆積
した流木の長さや直径との関係

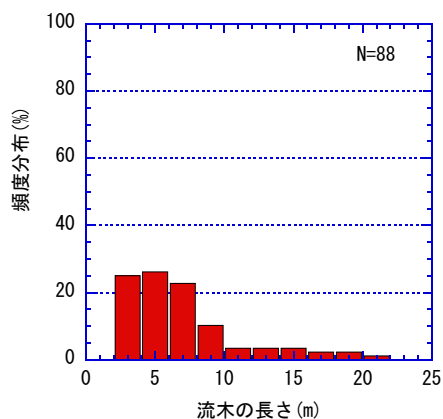


図 5.7 小野地区において氾濫・堆積した
流木の長さに関する頻度分布

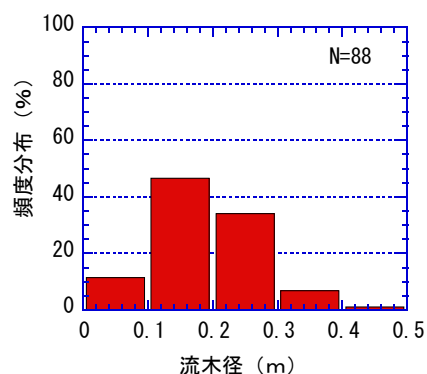


図 5.8 小野地区において氾濫・堆積した流木
の直径に関する頻度分布

図 5.7 は、堆積した流木の長さに関する頻度分布である。流木は最小が $L=2.1\text{m}$ 、最長が $L=21.2\text{m}$ であり、そのほとんどが長さ $L=2\text{m}\sim 8\text{m}$ の範囲に入ることが分かる。平均 $L=7.10\text{m}$ 、変動係数 $\alpha_L=0.590$ であった。

図 5.8 は流木の直径に関する頻度分布を示したものである。最小径が $D=0.07\text{m}$ 、最大径 $D=0.43\text{m}$ であった。そのほとんどが直径 $D=0.1\text{m}\sim 0.3\text{m}$ の範囲に入る。平均 $D=0.196\text{m}$ 、変動係数 $\alpha_D=0.386$ であった。

各地区で測定された流木スケールの平均と変動係数をまとめると表 5.1 となる。

表 5.1 氾濫・堆積した流木スケールの統計量

	小野	山内	船小屋
L(m)	7.1	3.7	4.93
α_L	0.59	0.557	0.853
D(m)	0.196		0.13
α_D	0.386		1.03

5.2.2 矢部川における水害防備林の流木捕捉に関する調査

矢部川中流にはみやま市瀬高町の中ノ島公園(船小屋)に水害防備林が存在する。中ノ島公園の平均標高は約 12m であり、水位が 12m を越えた時間が水害防備林の浸水時間と考えられる。その結果、浸水時間は約 13 時間であった²⁾。この時間内に水害防備林のクスノキ林が大量の流木を捕捉した(写真 5.4, 5.5)。この水害防備林による流木の捕捉状況を調査した。流木群を立木単独で捕捉しているものと、近接する立木が複数で捕捉しているものとがあった。解析に際しては、複数の立木で捕捉したものと、単独の立木で捕捉したものととは区別した。

a) 調査の方法

中ノ島公園(船小屋)の水害防備林に捕捉された流木群について高さ(上流側から垂直に見た幅)および、その流木群の中で最大の流木の長さ(直径)を測定した。竹以外の捕捉物で長さが最大のものを、最大流木と定義した。さらに、流木を捕捉した立木および構造物(街灯など)について高さ(直径)を測った。直接測定が困難なケースについては、ポールを立てて上流側と両側面の 3 方向から写真撮影した。流木群の高さ(幅)および最大流木の直径については平均的な箇所を測り、捕捉した立木の直径については地面から 1.5m の所を測った。

b) 調査の結果

捕捉された流木群から抽出された最大流木の長さ(直径)の頻度分布を図 5.9, 5.10 に示す。長さは $4\text{m}<L<6\text{m}$ 、直径は $D<0.1\text{m}$ の流木が多いことが分かる。それらの平均と変動係数はそれぞれ $L=4.93\text{m}$ 、 $\alpha_L=0.853$ 、 $D=0.13\text{m}$ 、 $\alpha_D=1.03$ となった。図 5.11 は、捕捉された流木群内の最大流木の直径と長さの関係を示している。全体として直径の大きな流木は長さも長い傾向にあるが、複数樹木で捕捉された流木の方が単独樹木で捕捉された流木よりもスケールが大きいことがわかる。

次に、図 5.12 は、流木捕捉量(体積)と流れに対する立木の遮蔽面積との関係を調べたものである。ここに、上流の星野川流域の山内・小野地区において氾濫し形成された流木群についてもプロットしている。複数の立木の遮蔽面積は、立木間の空隙の部分も含めた遮蔽面積を採用した場合と実質部分の遮蔽面積のみを採用した場合の 2 ケースについて調べた。

遮蔽面積が大きいほど流木捕捉量(体積)が大きいことが分かる。流木捕捉量(体積) V_D と遮蔽面積 A とは、 $V_D \propto A^{4/3}$ の関係を示している。また、複数の立木で捕捉した流木捕捉量と遮蔽面積の関係を見

ると、立木の実質部分よりは、立木間の空隙も含めた遮蔽面積を採用した場合の方がより相関性があることが分かる。



写真 5.4 捕捉された流木群
(上流側から撮影)

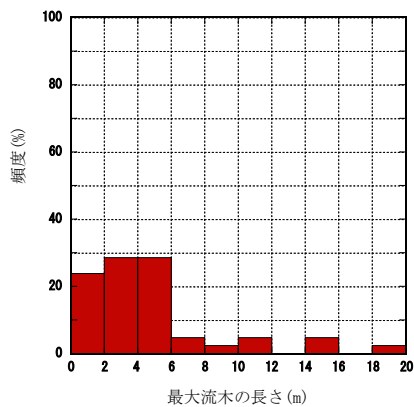


図 5.9 捕捉最大流木の長さに関する頻度分布



写真 5.5 捕捉された流木群
(上流側から見て右側面から撮影)

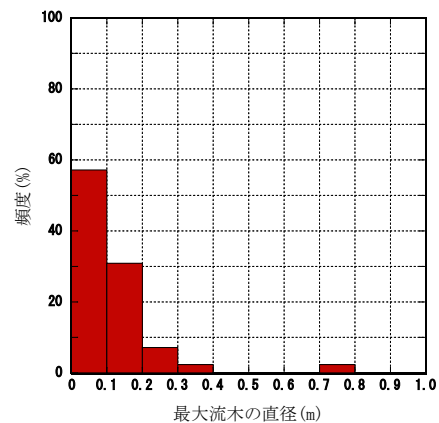


図 5.10 捕捉最大流木の直径に関する頻度分布

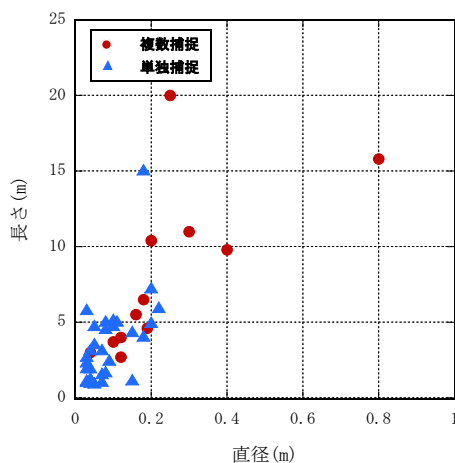


図 5.11 捕捉最大流木の長さと直径の関係

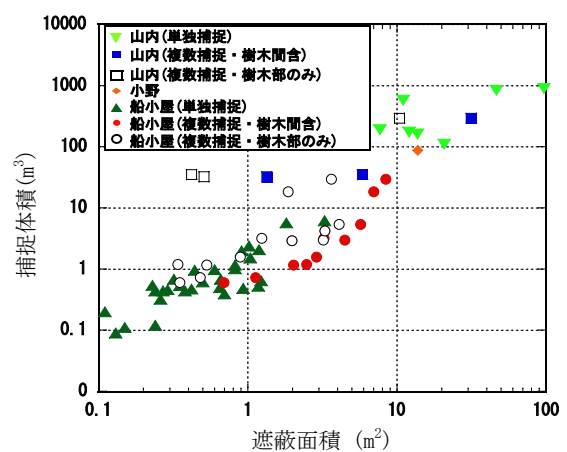


図 5.12 遮蔽面積と捕捉体積の関係

5.2.3 結論

今回の矢部川の水害においては、上流域で多数の斜面崩壊が発生し、崩壊土砂と樹木が河川に大量に流れ込んだ結果、流木・土砂・水混相流の様相を呈した洪水流が流下し、各所で、土砂と流木による河道上昇あるいは河道の一部閉塞が生じ、氾濫が発生した。氾濫した洪水流は大量の流木を堆積させた。ま

た河川公園ではクスノキ林が流木を捕捉した。堆積あるいは捕捉された流木や流木群について、その特性を調べた。流木の平均長さは上流の小野地区で 7m, 下流の山内, 船小屋では 4~5m であった。流木の平均直径は 0.1~0.2m であったことが分かった。また, 複数の立木で捕捉された流木の方が, 単独の立木で捕捉された流木よりもスケールが大きいことがわかった。このため, クスノキ林が密集する船小屋の水害防備林は流木捕捉において有効だと考えられる。また, 流れに対する立木の遮蔽面積と流木捕捉量の間に $V_D \propto A^{4/3}$ の関係が見られた。

(橋本晴行, 坂田賢亮, 楠窪正和)

5.3 矢部川・沖端川における堤防調査

5.3.1 背景と目的

九州北部豪雨による矢部川における堤防決壊の特徴として, 計画高水位を超過していたものの, 越流は生じていなかったこと, 水衝部ではない内岸側において生じた点が挙げられる。これに対して, 矢部川堤防調査委員会において堤防決壊メカニズムが検討され, 堤防基盤地層の砂層 (As 層) を通じたパイピング現象が破壊の要因であったと結論されている。破堤箇所周囲やその他の地点を探索すると, 堤防の法尻部や表・裏のり面において, 後述するように, 1~2m² に 1 個の小孔が確認された (写真 5.6)。このような小孔がそもそも堤防表面上にどの程度存在し, その穴のサイズ (直径や深さ) がどの程度なのか等に関しては当該地域に限らず, 明らかにされた事例は少ない。本調査は, 矢部川及び沖端川を一つの対象とし, 堤防に形成された孔の空間分布やそのサイズを明らかにするために, 現地調査を実施した。

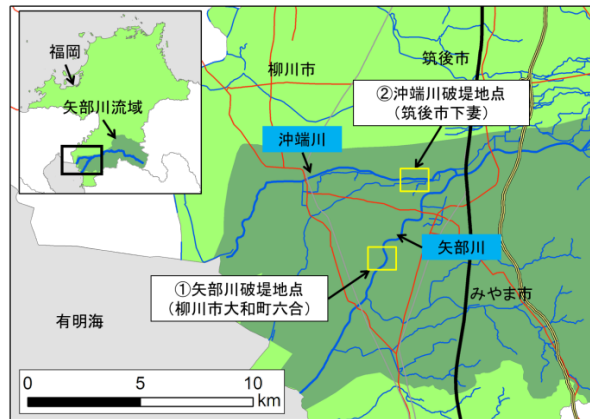


写真 5.6 堤防で確認された孔
(2012 年 7 月 16 日撮影, 矢部川決壊地点上流
200m 右岸側 : 裏のり面, 直径 5-10cm)

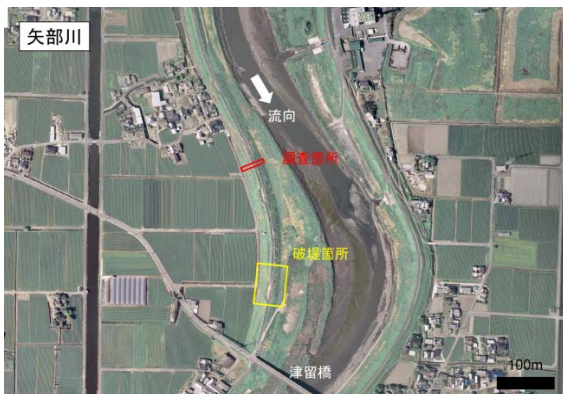
5.3.2 調査・分析の概要

観測場所は, 図 5.13 に示すように, 矢部川右岸破堤地点より約 200m (福岡県柳川市大和町六合地先) の表裏両堤防のり面と沖端川左岸破堤地点の対岸に位置する右岸側の堤防裏のり面 (福岡県筑後市下妻地先), という 2 箇所を選定した。現地の様子は, 写真 5.7 に示すとおりである。

堤防に形成された孔の調査に際しては, 堤防と平行方向に 10m 区間を設け, 堤防のり尻から天端まで対象に, 観測者が目視にて堤防表面上の小孔を探索した。見つけられた小孔の位置を計測すると共に (巻尺及び RTK-GPS (Trimble R6, 米国 Trimble 社製) を使用), 孔の直径 (短径・長径) 及び深さをハンドメジャー及び針金を用いて計測した。調査日時は平成 24 年 12 月 6 日および 7 日である。また, 沖端川の堤防表のり面では, 堤体材料を採取し, 実験室にてふるい及びレーザー回折式粒径分析器 (SALD-3100, 島津製作所 (株) 製) を用いて粒径分布を測定するとともに, 締固め曲線を求めて締固め度 D_c の測定を行った。



a) 調査位置



b) 矢部川調査位置



c) 沖端川調査位置

図 5.13 調査位置図



写真 5.7 調査位置風景（左：矢部川表のり面，中央：矢部川裏のり面，右：沖端川裏のり面）

5.3.3 調査結果

a) 横断面測量結果

矢部川の調査サイトにおける堤防の横断面測量結果を図 5.14 に示す。調査サイトにおいては、表のり面より裏のり面の方が平均的な勾配が緩く、裏のり尻には水路が存在していた。堤防のり面の具体的勾配については、表のり面で 2 割 5 分程度、裏のり面では、2 割から 4 割 5 分となっている。沖端川の調査サイトにおける断面測量結果を図 5.15 に示す。本調査サイトでは、表のり面のみに小段が設けられている。のり面勾配としては、表のり面と裏のり面で 2 割 5 分程度と大きな差はない。また、天端高は矢部川の調査区における高さとはほぼ同じである。

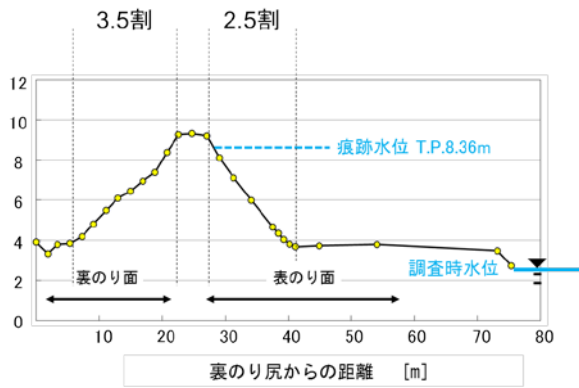


図 5.14 矢部川調査断面・断面測量結果

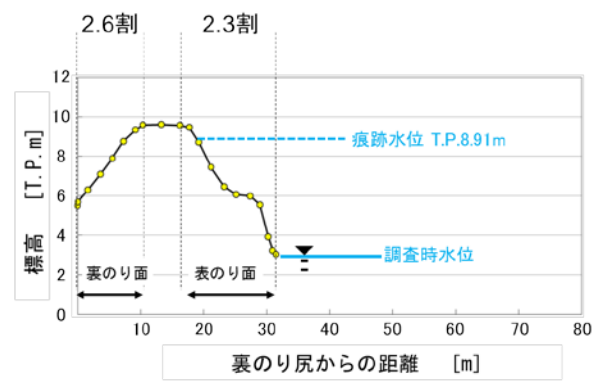


図 5.15 沖端川調査断面・断面測量結果

b) 堤防表面における小孔の空間マップ

図 5.16 は本調査により探索された堤防表面上における小孔位置における孔平均径と深さを示している。ここでの平均径とは、短径・長径の平均値とする。また、図中横軸は基準点からの堤防平衡方向距離、縦軸は標高としている。これより、矢部川表のり面、裏のり面、沖端川のり面において、それぞれ、114 個、51 個、68 個の孔があり、平均存在密度はそれぞれ、 0.72 個/m^2 、 0.22 個/m^2 、 0.62 個/m^2 である。小孔の分布に着目すると、矢部川表のり面では天端近傍に小孔が集中しているが、裏のり面ではむしろのり尻近傍に比較的多くの孔が見られ、沖端川裏のり面では、天端付近より法尻付近に多い。この様子は、これらのデータを堤防平行方向に平均し、標高毎にまとめた結果からも見られる(図 5.17)。また、小孔の平均径や深さについては、顕著に偏在している様子は確認できないが、矢部川表のり面での小孔サイズが他と比べてやや大きい。ここで、小孔の総面積(各小孔の面積の平均径より求め、その総和)を求め、それを対象サイトの面積で除したものを、小孔占有率とすると、矢部川の表・裏のり面の小孔占有率はそれぞれ 1.00%、0.21%となる。また、沖端川における小孔占有率は 0.67%であり、矢部川の表のり面と裏のり面との間の値を取る。

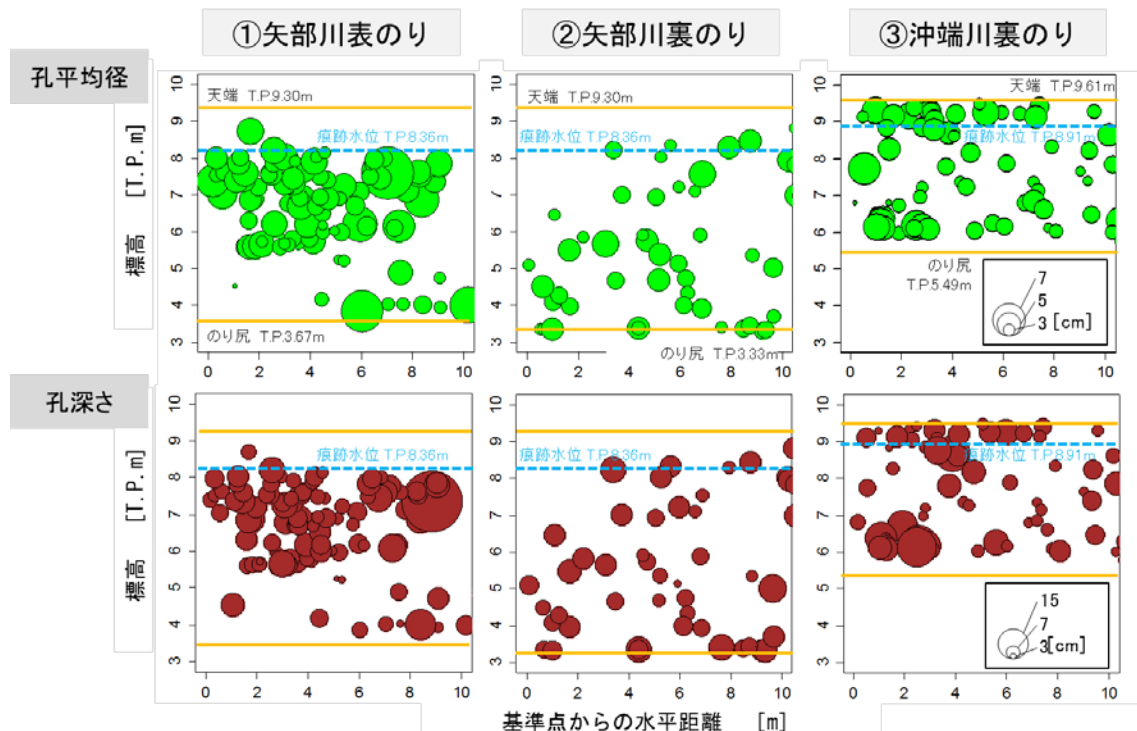


図 5.17 小孔の存在密度の鉛直分布

c) 堤体材料の諸元

沖端川表のり面において採取された土砂の粒径分布（粒径加積曲線）を図 5.18 に示す。この結果を見ると、沖端川の堤防土砂は粘土やシルトなどの細粒分を比較的多く含有していることが分かる。

次に、沖端川表のり面で採取した堤防土サンプルを用いて、含水比に対する乾燥密度を求めた結果を図 5.19 に示す。これより、サンプルの最大乾燥密度は 1.47g/cm^3 であり、堤防土コアサンプルより得られた乾燥密度から締固め度 D_c （サンプル土砂の最大乾燥密度に対するサンプル乾燥密度の比）を求めたものが図 5.20 である。これより、全地点において堤防の締固め度の管理基準となっている 85%を下回っている。特に、堤防斜面にあたる天端から 5.3m 地点は締固め度が 50%程度と低い。

（大槻順朗，二瓶泰雄）

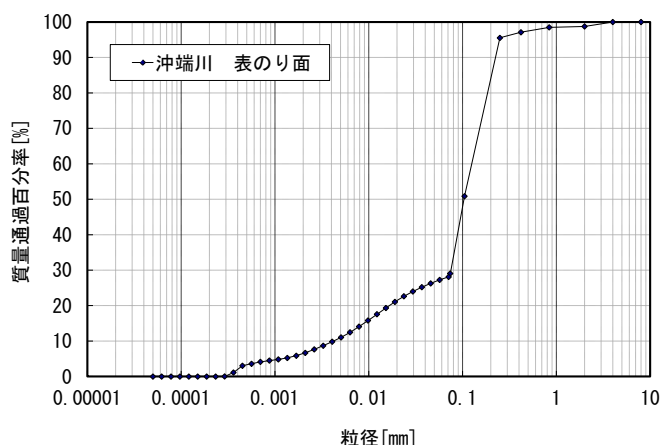


図 5.18 沖端川及び矢部川河川堤防における材料粒径分布

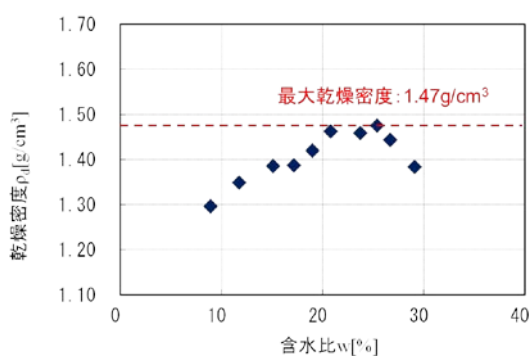


図 5.19 沖端川堤防表面（5cm）のサンプルの締固め曲線

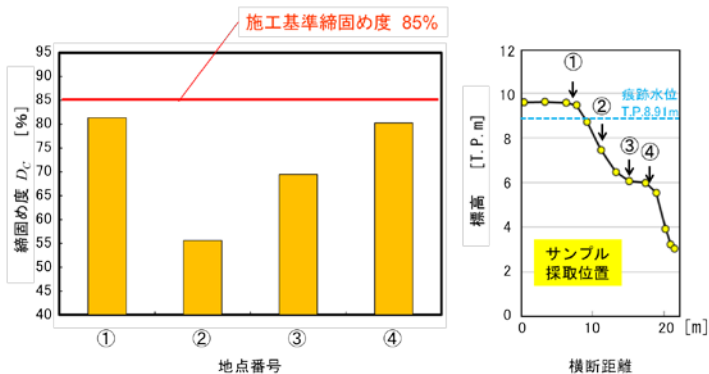


図 5.20 沖端川堤防表面（5cm）サンプルの締固め度 D_c

5.4 おわりに

矢部川水系について、上流支川における流木被害の状況分析と、堤防決壊箇所における水みちの形成について調査を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 矢部川上流域で多数の斜面崩壊が発生し、崩壊土砂と樹木が河川に大量に流れ込んだ結果、各所で土砂と流木による河道上昇あるいは河道の一部閉塞が生じ、氾濫が発生した。
- (2) 流木の平均長さは、上流の小野地区で 7m、下流の山内、船小屋では 4～5m であった。平均直径は 0.1～0.2m であった。

- (3) クスノキ林が密集する船小屋の水害防備林は流木捕捉において有効である。また、流れに対する立木の遮蔽面積と流木捕捉量の間に $V_D \propto A^{4/3}$ の関係が見られた。
- (4) 矢部川の表・裏のり面の小孔占有率はそれぞれ 1.00%, 0.21%であった。また、沖端川における小孔占有率は 0.67%であり、矢部川の表のり面と裏のり面との間の値を取った。
- (5) 沖端川の堤防材料はシルト・粘土等細粒分の含有率がやや少なく、細砂の構成比が高い傾向がある。
- (6) 全地点において堤防の締固め度の管理基準となっている 85%を下回っている。特に、堤防斜面にあたる天端から 5.3m 地点は締固め度が 50%程度と低い。

謝辞：本調査に際して、福岡県より航空写真の提供を受けた。九州大学大学院工学府の池松伸也，M. I. Rusyda，橋村京介，大仲修，東京理科大学大学院理工学研究科の倉上由貴，堀田琢哉，同大理工学部の矢田孝次朗，山崎達也の各氏に多大な助力を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：

- 1) 福岡県：7月13日から大雨に関する情報（第32報），2012年8月3日。
- 2) 国土交通省:川の防災情報 (<http://www.river.go.jp/>)
- 3) 第3回 矢部川堤防調査委員会（資料2，被災メカニズムについて） 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所，2012年10月