

平成 10 年 8 月末の那須出水による 余笹川の流路変化の特性

CHARACTERISTIC OF CHANNEL CHANGES IN YOSASA-RIVER
BY NASU FLOOD; AUGUST 1998

伊藤和典¹・須賀堯三²・茂木信祥¹・池田裕一³

Kazunori Itou, Kyoza Suga, Nobuyosi Mogi, Hirokazu Ikeda

¹学生員 宇都宮大学大学院 工学研究科博士前期課程 建設学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7丁目)

²フェロー員 工博 宇都宮大学教授 工学部 建設学科 (同上)

³正会員 博(工) 宇都宮大学助教授 工学部 建設学科 (同上)

Yosasa-river of northern Totigi located eastern part of Japan suffered the biggest flood disaster by the strong rain fall, August 26, 1998. The natural bank of Yosasa-river has special characteristics for lateral erosion, and therefore, such peerless phenomena occurred, that floodwater seriously broke down the river banks and the width of channel became three to five times as wide as the original width. Moreover, some new channels were formed. On these occasions many sands, gravels and trees were yielded and flowed out.

In this paper, some characteristics of channel changes and their causes in Yosasa-river were discussed basing on the results of field survey.

Key Words : Nasu Flood, Yosasa-River, Strong rain fall, Channel changes,

1. はじめに

栃木県北部を流れる那珂川上流支川余笹川では台風 4 号に刺激され、活性化した前線の活動で 8 月 26 日 22 時から 12 時間に 472mm、最大時間雨量 90mm の局所的な集中豪雨により洪水が発生した。この大雨による被害は、栃木県的那須町・黒磯市を中心に広範囲に及び、県内の死者は 5 人、行方不明者 2 人、床上または床下まで浸水した家屋は 2,846 棟にのぼり、住民ら 5,500 人以上が避難した。また、家畜等の被害も見られ、橋梁や道路あるいは農地等において顕著な被害があった。特筆すべきこととして、今回の洪水により余笹川では幾つかの希有な現象が見られた。洪水流は不安定に蛇行している現河道を侵食し、数時間のうちに流路幅は 3~5 倍に拡幅した。また、著しいわん曲部では洪水流が直進し新河道の形成が見られた。さらに流路幅の拡幅と新河道の発達過程で大量の土砂生産や流木生産があった。浸水を受けた土地では砂や礫・大径の玉石が残り、多くの流木が残存した。

そこで本研究では余笹川の水害前後における流路変化の特性を把握するために現地調査を行った。また、同様な被害を受けた余笹川支川黒川についても調査を行い比

較した。なお、余笹川(黒川合流点上流)と黒川はほぼ同様の流域面積をもつ同質の河川であるが、黒川では低位段丘上において家屋等が若干少ないという相違点がある。過去の航空写真や土地利用図等を収集し、これらの資料や現地調査をもとに流路変化の特性を明らかにする。

2. 余笹川と黒川の特徴

余笹川は典型的な側方侵食(横侵食)河川の代表例である。この川是那珂川支川で、那須火山の朝日岳(1896 m)を水源とし、流域面積 127 k m²、幹川流路延長 36 k m(黒川合流点上流部)の卵型の平面流域をもつ。また、今回同様の被害のあった余笹川北方を流れる黒川は流域面積 176 k m²、幹川流路延長 46 k m の河川である。余笹川と黒川は火山性の生産土砂の影響を直接的に受けているようである。図-2 の縦断面図を見ると余笹川と黒川では黒川の方が山岳域での勾配が緩やかであり、火山灰等が厚く堆積しており、山地部表層の土砂が柔かく谷沿いの侵食量は大きいようである。余笹川の最上流部は崩壊性の広く深い侵食斜面を形成し、山岳勾配がやや緩勾配となるあたりからの火山性堆積物の柔かい堆積域では流水による侵食が著しく、黒川と同様に深く狭い溪谷となつ



写真-1 大谷開拓橋付近（余笹川，⑤）



写真-2 高津橋（余笹川，⑤付近）

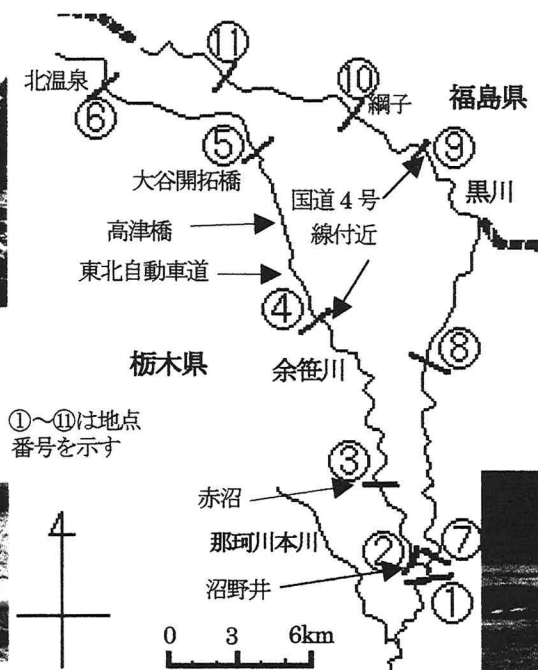


図-1 余笹川と黒川の位置と被災状況



写真-4 北温泉（余笹川，⑥）



写真-5 国道4号線付近（黒川，⑨）



写真-3 東北自動車道（余笹川，④付近）



写真-6 国道4号線付近（余笹川，④）

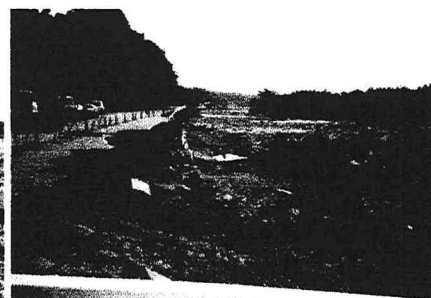


写真-7 沼野井地区（余笹川，②）

ている。上流区間の約 10km の侵食域を経て中・下流部はその土砂が堆積した区間となっている。土砂で埋められた谷の沖積地の幅は 300～1000m である（図-5）。なお、余笹川の堆積区間の上流部はかつての土石流堆であり、この付近（大谷開拓橋上流部付近）では上下流に対して比較的大径の転石・玉石が目立ち、大きなものでは平均粒径 4m 程のものもあった（図-6）。火山性土砂が大量に堆積した谷底沖積地において、上流山地の安定化と植生の繁茂等による流出土砂量の減少に伴って、侵食性河道が形成された。その侵食性河道では、河道変遷を伴い河床低下が進行し、変化に富んだ数段の流水による侵食段丘が形成された。最近では、最低位段丘上において上流からの供給土砂が多くない小洪水時に局所的な侵食が生じ、侵食による生産土砂の堆積作用が原因して小規模で著しく不安定な、かつ縦断的バランスを欠く、極めて変化に富む侵食性の蛇行河道が形成された。この河道は不規則な蛇行で縦断的に非平衡で時間的にも不安定である。ところが、大雨の発生頻度が小さいことから植生繁茂に伴って、不安定な蛇行河道がそのまま固定化し、みおを低下させ高水敷は上昇した。すなわち 10 年

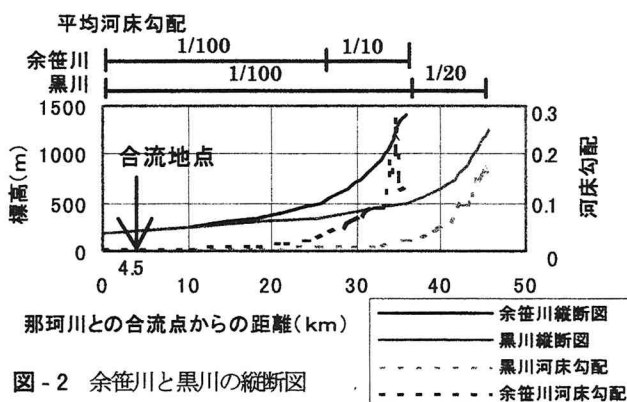


図-2 余笹川と黒川の縦断図

表-1 余笹川と黒川の諸元

河川名	幹川河川延長	流域面積
余笹川	36km	127km ²
黒川	46km	176km ²

表-2 粗度係数

細かい砂利	0.027
荒い砂利	0.035
玉石	0.045
大玉石	0.065
立木多し	0.1

オーダーのタイム・スケールでは、見かけ状の安定蛇行河道に変化した。

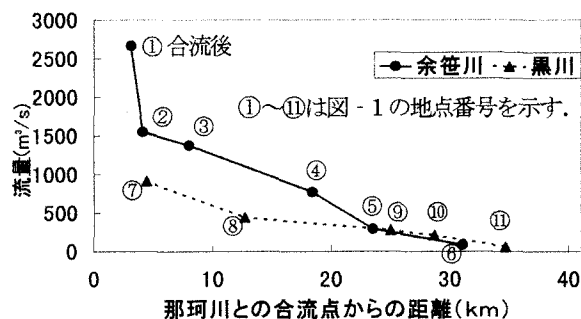


図 - 3 余笹川と黒川の流量

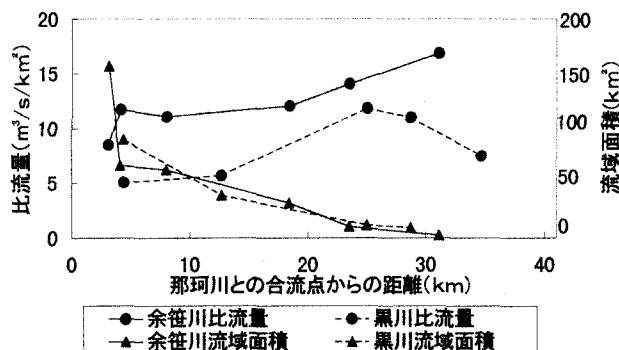


図 - 4 余笹川と黒川の流域面積、比流量

（このページに用いられている那珂川との合流点からの距離は縦断面図に用いた幹川流路延長ではなく沖積地の横断方向の中心部をたどっていった距離である。）

3. 洪水時ピーク流量

余笹川と黒川の合計 11 地点で横断測量と洪水時痕跡調査を行った（図 - 1）。洪水流はほぼ等流であるとし粗度係数は現地での状況を考慮して表 - 2 のように設定し、マンニングの式を用いてピーク流量を求めた。図 - 3 が各調査位置における流量である。流量は余笹川と黒川では余笹川のほうが大きい。その原因としては雨量強度の平面分布および流域の平面形状、土地利用状況等が挙げられる。図 - 4 は各調査位置での比流量と流域面積で余笹川の黒川合流点上流部と黒川では比流量は約 10 程度であり他の洪水と比べて極端に大きな洪水ではなかった。

4. 沖積地内における段丘状況と土地利用状況

（1）沖積地

図 - 5 は地形図により余笹川と黒川の谷底沖積地幅を 1km 区間ごとに測定したものである。余笹川は中流部（四号線付近）において最も沖積幅が広い。これは多羅沢川や四ッ川等の余笹川支川がこの付近で合流するため、支川の上流部で侵食された土砂が大量に堆積したと考えられる（図 - 9）。それに対し黒川は顕著な支川がなく上流部から下流部までほぼ一定の沖積幅である。

（2）段丘の状況

段丘の具体例について述べる。写真 - 8、図 - 10 は余笹川の沼野井地区付近の空中写真と横断測量位置での

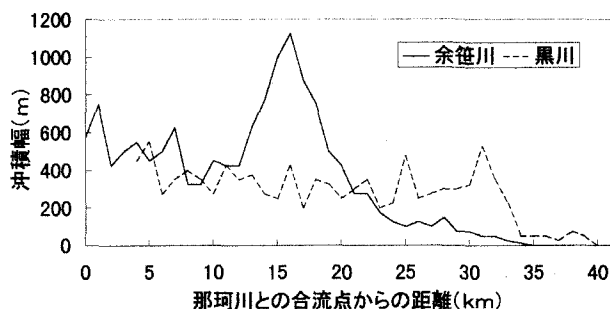


図 - 5 余笹川と黒川の沖積幅

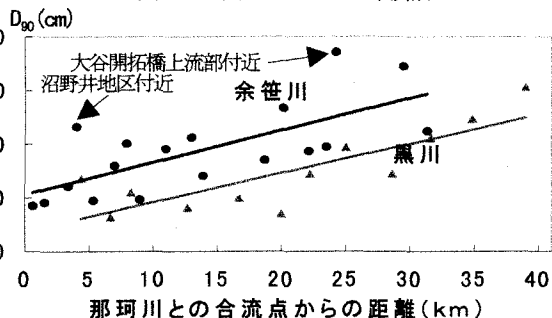


図 - 6 余笹川と黒川の D_{90} の縦断変化

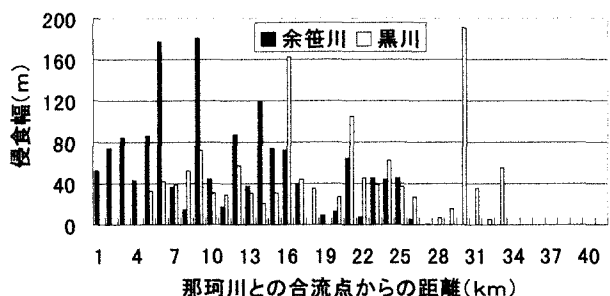


図 - 7 余笹川と黒川の侵食幅

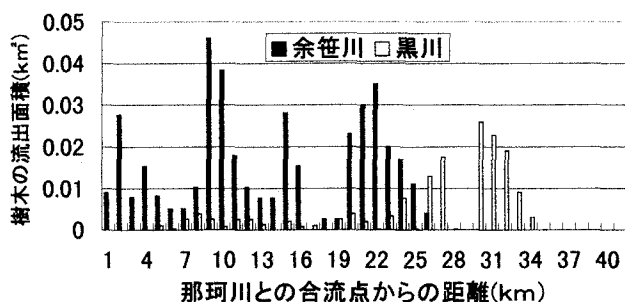


図 - 8 余笹川と黒川の樹木の流出面積

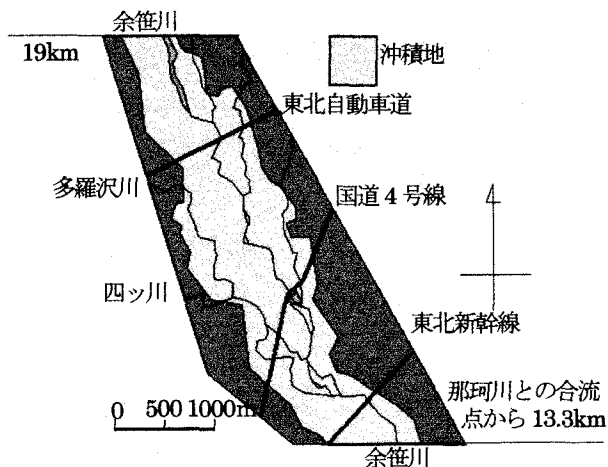


図 - 9 沖積地詳細図



写真-8 沼野井地区

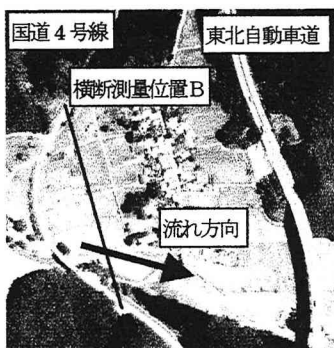


写真-9 黒川地区

横断面図である。この付近には3段の段丘が見られ最低位段丘上では多くの土砂が流出し一部では土砂が堆積した。洪水前の最低位段丘上は水田であった。写真-9、図-11は黒川と国道4号線が交差している付近（黒川地区）の航空写真と横断測量位置での横断面図である。この付近には数段の段丘がみられ、とくに河道付近の最低位段丘上において被害が見られ橋脚の流出や家屋が浸水した。この2地点だけでなく他の段丘がみられる地点でも最低位段丘上での被害は甚大であった。

(3) 土地利用状況

余笹川では河道が不安定なまま固定化していたが、もはや変化することのない安定している河道だと誤って認識されたようである。山地域で平坦な土地の少ないためか生産性の高い水田が多く見られる。また、低位段丘面や架橋に伴う盛土沿いに家屋や家畜小屋等が戦後に多く進出した。国道4号線と余笹川が交差する付近ではガソリンスタンドまでもが橋詰河岸に建設され今回の洪水で流失した。これに対し黒川では河道付近に家屋等は横断道路沿いのものを除いて、ほとんど見られず自然のままの土地利用が行われているが、極希な例としては黒川と国道4号線の交差する付近などで墓地として利用されていることなどがあげられる。今回の洪水では河道付近の低位段丘上での被害が顕著であった。今後低位段丘上の土地利用のあり方が問題であろう。

5. 横侵食による土砂生産

図-7は余笹川と黒川の侵食幅を測定したものである。ここで侵食幅とは洪水前後の航空写真を比較して、今回の洪水で侵食された痕跡が見られる範囲であり、両岸に侵食を受けた痕跡の見られる場合はその和を侵食幅とした。余笹川では上流から下流に向かうにつれて侵食の幅が大きくなる傾向がある。これは中・下流部では沖積地が広いため侵食を受けるポテンシャルが高く、さらに流量が大きかったためと考えられる。例外として余笹川の国道4号線付近がある。この付近は沖積地の幅が最も広い付近であるが侵食の幅は沖積地の広さに比べ極端に大きくはない。これは国道四号線上流部では護岸が整備されておりそのために横侵食による被害を受けなかったと

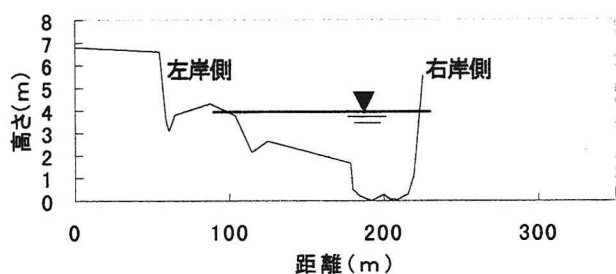


図-10 横断面図A (沼野井地区)

— 一段丘状況 — 洪水時水位

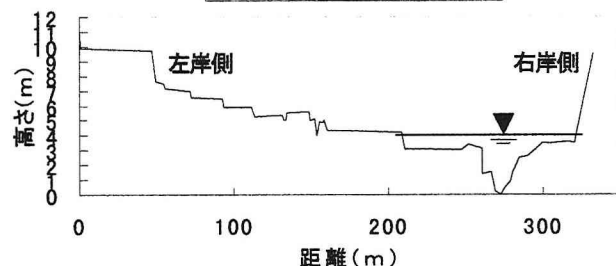


図-11 横断面図B (黒川地区)

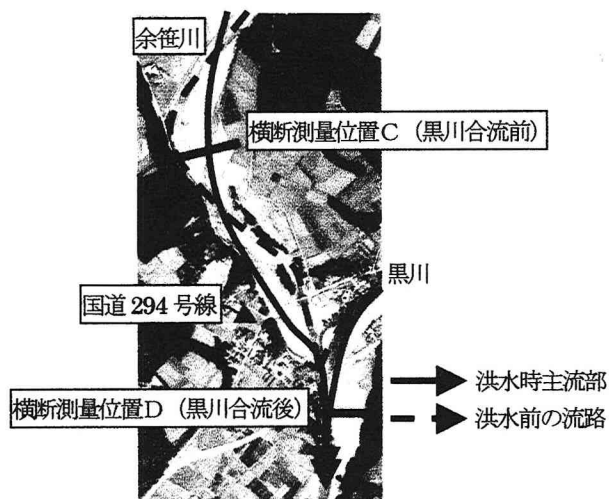


写真-10 横断測量位置 (沼野井地区)

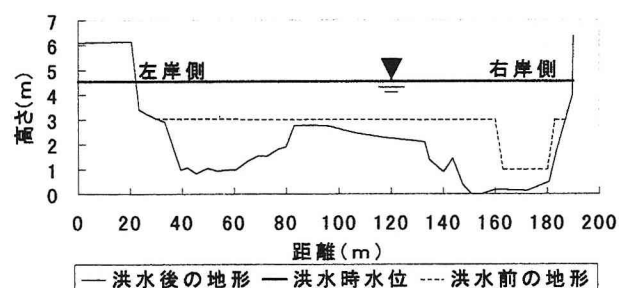


図-12 横断面図C (余笹川黒川合流前)

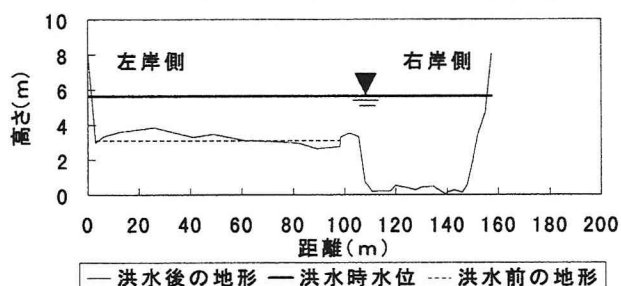


図-13 横断面図D (余笹川黒川合流後)

考えられる。侵食幅が広いのは中・下流部であるが、特に侵食幅の広い地点では洪水流のショートカットによる新水路の形成がみられ、洪水前の流路と新水路の両側から侵食されて侵食幅が大きくなっている。図 - 12 は余笹川沼野井地区の横断面図である。この付近では写真 - 10 の矢印のように洪水流はショートカットし左岸側に新水路が形成され、新水路と洪水前の流路の両岸が共に洪水流による侵食を受け多くの土砂生産があった。小さな粒径の土砂や礫は流出し大径の礫や玉石が残存し新規のアーマーコートが形成された。大径の礫としては平均粒径 2.5m 程のものもみられる。侵食された側岸部の土砂の粒度分布は砂・砂利を除くと $d=0.42\text{mm}$ 以下の細砂とシルトが主体であり、礫や玉石の存在のため、その効果により激しく侵食されたようである。図 - 13 は余笹川の黒川合流後付近の横断面図である。矢印のように洪水流は流れ右岸側が多少横侵食を受けた痕跡はあったがわずかなものであった。左岸側には細かい土砂や砂が大量に堆積していた。この付近は新水路が形成された先ほどの地点より下流部であり黒川が合流した後の地点で流量・流速共に増加しているがほとんど侵食を受けていない。この二つの具体例の違いは洪水前の流路と洪水時主流部の流れ方向の不一致であると考えられる。今回の洪水による大量の土砂生産は横侵食による河道の拡幅と新水路の形成によるものであり、多くの土砂が侵食された地点では蛇行が激しく洪水前の流路と洪水時流れ方向の不一致により洪水流が直進し新河道が形成され、洪水前の流路と新水路の両岸から土砂を大量に侵食して多くの土砂生産が生じたと考えられる。

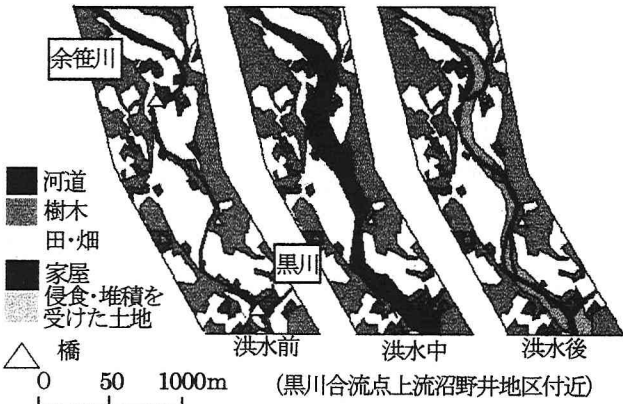


図 - 14 洪水前後の河道変化



写真 - 11 余笹川赤沼地先

→ 洪水時主流部
→ 洪水前の流路
..... 洪水前の樹林地

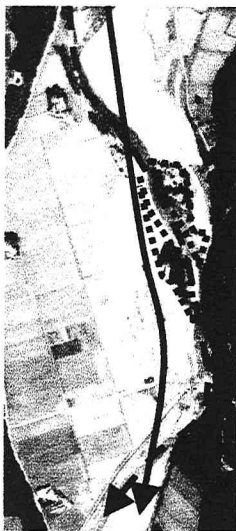


写真 - 12 沼野井地先

6. 洪水前後の河道変化、新規水路

図 - 14 は余笹川の黒川合流点上流部（沼野井地区付近）での洪水による流路の変化を表したものである。河道は著しい横侵食を受け洪水前の 3～5 倍の幅（約 60～100 m）に変化した。また、河道変化や新規水路が河道変化の激しいところやわん曲部でおきた。河道付近では水田や家屋、樹木などの流出が目立ち大量の土砂や流木を生産した。特に沼野井地区付近では家屋と牛舎が合計約 10 軒、橋が 2 ヶ所で流出した。侵食を受けた土地には砂礫や玉石が残り、流木がいたるところに見られた。また一部では水田上に細かい砂や礫が 20cm ほど堆積しているところもあった。

7. 流木生産調査

(1) 余笹川付近の樹林地の概要

河道が本来不安定な蛇行のまま固定化した原因として樹木による耐侵食性の増加が挙げられる。実際に樹木の状況を把握するため現地調査を行った。余笹川・黒川の河道内樹林の特徴は、一般的な平地河川に見られるようなニセアカシヤやヤナギ属といった樹木は少なく、山地

表 - 3 余笹川と黒川の沖積地と樹林地面積

河川名	沖積地面積 (km^2)	樹林地面積 (km^2)	樹林地面積率 (%)
余笹川	8.56	2.68	30.2
黒川	6.32	1.65	26.1

表 - 4 余笹川と黒川の樹林流失の概要

河川名	樹林の流失した土地の面積 (km^2)	単位面積当たりの樹数 (m^2)	流出本数 (本)
余笹川	0.41	0.12	49200
黒川	0.15	0.14	21000

表 - 5 洪水時の水位と比高

河川名	樹木の流失ありなし	那珂川との合流地点からの距離 (km)	洪水後の比高 (m)	樹林地内洪水時水位 (m)
余笹川	あり	9.8	1.30	1.20
		32.0	1.00	0.50
黒川		29.0	0.40	1.00
余笹川	なし	1.08	2.30	0.85
		6.0	2.50	0.70
黒川		30.3	2.40	0.80
		8.0	2.70	0.30

域から拡大してきた樹林地が河道沿いの沖積地に繁茂していると考えられる。樹種としては中温帯地域・低山地に育成する代表的な樹種であるクリが最も多く、ついで、雑木林を形成する代表的な樹種であるマツ・コナラ等がみられる。沖積地内における樹林地面積率は表 - 3 に示すとおりである。

(2) 流木生産

図 - 8 は余笹川、黒川における樹林が流失した土地の面積を示したものである。余笹川では那珂川との合流点から 25km 地点まで、黒川については、23~35km の 10km の間で多くの樹林が流失した。トータルの流失量は余笹川で 0.41km^2 、黒川で 0.15km^2 であった。また、平均単位面積当たりの樹数から流失した樹木の本数を計算すると、表 - 4 のようになりこの流失した樹木が流路変化や橋脚の破壊の原因の一つとなったと考えられる。さらに余笹川の方が樹林の流失面積が大きいのは両河川とも横侵食性河道であるが、黒川に比べ沖積地の幅が広く沖積地内の樹林地面積率が大きく、侵食されやすいためと考えられる。流木生産の機構について流失が顕著であった地域について現地調査を行った結果を示す。写真 - 11 は赤沼地先の空中写真であり洪水主流部はショートカットし農耕地・樹林地内を流下していたことがわかる。このため樹林地は約 9 割が流失した。これに対し写真 - 12 の沼野井地先の空中写真では細かく蛇行している現河道に対し、洪水流は直線的にショートカットしたため左岸側にある樹林地は流失をまぬがれたと考えられる。洪水時の流速・流量をみても沼野井の方が大きかったが樹木の流失が見られないことより樹木流失で大きな要因となるのは、樹林地の立地条件であることがわかる。表 - 5 は洪水時の樹林地内の水深と平水位に対する樹林地地点の地盤高の差（比高）についての調査結果である。まず、樹林地が流失した地域については樹林地内の水深は比較的大きいことがわかり、比高は低くなっている。これはもともと比高が低かったために流失したか、流失後に樹林地内が侵食されたかの判断は明確でない。それに対し、樹林地が流失をまぬがれた地点は樹木の根により河床が安定していたため横侵食は受けず、水深方向に侵食が進み比高が高くなっていることがわかる。さらに、洪水時の樹林地内の水深が小さいことから、洪水以前も比高が高く、そのため流失をまぬがれたと考えられる。

残存した高木について毎木調査を行ったところ、樹齢・樹高・胸高直径とも特に統一性は見られなかった。しかし樹種についてはクリ・マツ・コナラが多い。クリ・マツ・コナラは根が深根型の樹種であり、特にクリについては根茎水平分布が密に伸びているため河床にしっかりと土着し洪水力に対して抵抗力が強いと考えられる。

8. 結論

本研究では洪水のあった余笹川と黒川において現地調

査を行った。ここに本研究で得られた主要な結果を示す。

- 1) 今回のピーク流量は大きくはあったが、他と比べて極端に大きかったというわけではない。しかし、60 年ぶりの豪雨によって主として横侵食や新規水路の形成により河道が著しく変化した。新河道の形成や流路幅の拡張の原因は洪水の規模と共に不安定な蛇行河道と横侵食が顕著という河道の特性によるところが大きいと考えられる。
- 2) 今回これほどまでの横侵食現象が生じたのは、植生の繁茂に伴う耐侵食性の増大により横侵食が押さえられ不安定な蛇行河道のまま固定化した河川であり、今回の洪水によって見かけ上の安定が破壊されたことが主因であると考えられる。
- 3) 横侵食が顕著となる原因は沖積地の土砂が軟らかく侵食されやすい火山灰性の堆積砂と大径の礫の混合であることによると考えられる。
- 4) 侵食により大量に土砂生産が発生した主因は洪水前の流路と洪水時主流部の流れ方向の不一致による河道の拡張と新河道の形成によるものと考えられる。
- 5) 流木生産に関して大きなファクターとなるのは、樹林地の立地条件及び樹種である。樹種によって根茎の分布が異なり、深く、密に根を生やす樹種は洪水によって著しい侵食を受けていない。クリなどの深根型で水平分布の密な樹種を用いることで、立地条件を考慮すれば樹林地を自然堤防としてもちいることができ、今後の多自然型工法の一つとしての可能性があるだろう。
- 6) 余笹川では河道沿いに家屋などが多く見られるのに対し、黒川では河道沿いの家屋は余笹川に比べ若干少ない。このことが今回の洪水で余笹川の方が家屋・人的被害等の多い原因であると考えられる。
- 7) 今回の人的・家屋等の被害は比較的洪水が起きにくく、その不安定な河道のまま固定化したため、安定河道と見誤られたという川の特性によるものであり、土地利用のあり方が問われている。特に、山地部沖積地内においては河道内の最低位段丘上に民家が存在する場合が多く今後河道特性と農業などを含めた土地利用をより考慮する必要がある。

今後調査を続行し河道の安定度を評価し、混合砂礫を用いた横侵食実験を行い横侵食現象をより明らかにし今回災害のあった余笹川・黒川のような横侵食性河道に適用できるようにすることが必要である。また、新河道の形成に関しては現在解析中である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり文部省科研(平成 10 年度 代表者真野明)と河川管理財団(美化・緑化)の研究助成を受けた。また災害後の空中写真を入手する際に栃木県の便宜を受けた。ここに記して深謝する次第である。

(1999. 9. 30 受付)