

余笹川の1998年8月水害と治水対策について

上野鉄男

要 旨

1998年の余笹川の洪水は、洪水流量が河道の流下能力の2～5倍と極めて大きかったため、激甚な被害をもたらした。水害に重要な関わりを持つ側方侵食と新流路の形成の原因を明らかにするため、水害の実態を丁寧に調べた。その結果、河道の側方侵食や新流路の形成が旧河道の存在と深く関係していること、湾曲部河道の河道幅の違いによって新流路の形成状況が変わることなどがわかった。最後に水害実態の検討結果に基づいて考えられる治水対策について述べた。

キーワード：余笹川、洪水災害、超過洪水、現地調査、航空写真

1. 概 説

1998年8月に発生した余笹川の洪水は、洪水流量が河道の流下能力の2～5倍という極めて大きなものであった。余笹川上流の那須観測所で記録された降雨量に関しては、1日最大雨量が640mm/日、連続雨量（約5日）が1,254mmであり、これらは確率1/1,000以上であると言われている。

このため、本研究において調査の対象とした区間（概略四ツ川合流点から黒川合流点までの区間）においては、洪水流量が河道の平均的な流下能力の4倍以上の未曾有の洪水が発生し、激甚な被害をもたらした。水害の特徴としては、谷底平野が火山性の堆積土砂に覆われているため、洪水によって流路幅が大きく拡大（3～5倍）され、堤内地に新流路が形成されて、大きな被害が発生したことが注目される。

このような水害に関して、これまで中川ら（2000）、伊藤ら（2000, 2001）、館ら（2001）および佐藤（2001）によって調査研究がなされた。中川ら（2000）は東北自動車道より上流の余笹川の河道変動について検討した。災害前後の航空写真をもとにして1998年洪水による余笹川の河道変動について検討し、同時にタンクモデルにより流出解析を行い、得られた洪水ハイドログラフを用いて河道変動解析を行った。その結果、余笹川の侵食および堆積傾向にある河道区間が、ある程度再現できることを示した。伊藤ら（2000, 2001）は、

1998年洪水に関して特筆すべきこととして、流路幅の拡大と新流路の形成、これらに伴う大量の土砂生産と流木生産があったことを挙げた。特に、新流路の形成に関しては、蛇行部で洪水流のショートカットによる新流路の形成が多くみられ、新流路の大部分は河道の蛇行部外岸側と山地部とが接しているときに起こっていることを指摘した。新流路の形成原因に関しては、洪水時の主流と洪水前の流路との不一致によると説明している。流路幅の拡大と新流路の形成に関する考察をもとに、余笹川における横侵食の実態を定量的に示した。館ら（2001）は洪水氾濫時の防災樹林帯の効果に関して検討した。多くの場所で、湾曲する河道を直進するように氾濫流が流下したこと、多くの家屋が上流側に杉や竹で構成された小さな樹林を有しており、樹林の密度が疎であった場合には流水によって樹林も家屋も流失し、樹林の密度が大きくなると流水によって樹林も家屋も流失しなかったことが指摘されている。佐藤（2001）は那珂川水系全般にわたる災害調査を実施し、被害と土地環境との関連を検討した。余笹川流域については、寺子地区、沼野井地区および稲沢地区の詳しい調査結果が報告された。これらをまとめて、洪水流が「屈曲した河道の水衝部護岸を洗掘し、側方侵食により洪水流路を形成し、洪水流は直進し派川を形成するなどし、谷底平野のほぼ全域を浸水させた。」と述べているが、新流路（上記の派川と同じ意味である）の形成原因などについては記述されていない。

このような研究によって、余笹川の水害の実態がある程度明らかになってきたが、新流路の形成原因などについてさらに詳しい検討が必要である。

一方、災害助成事業によって、余笹川は未改修河川から一挙に全川改修された。しかし、余笹川の災害復旧工事はマニュアル的な緊急工事であり、水害実態に関する研究成果が十分には生かされる条件はなかったと考えられる。また、本研究の調査対象区間においては、改修河道の計画高水流量は実績洪水流量の $1/3.1$ （棒川合流点上流区間）あるいは $1/2.6$ （棒川合流点下流区間）しかないことが注目される。改修された河道に対して、余笹川の水害実態の研究に基づいて 1998 年 8 月と同規模の洪水が発生する場合の余笹川の安全性を評価することや治水対策において改善すべき問題を明らかにすることが重要である。

三品ら（2002）は余笹川の河川改修後の河道の特性について検討した。余笹川の災害復旧工事による護岸整備に伴い、側方からの土砂供給量が減少し、河床低下と、洗掘による水衝作用の増大が予測されることから、河道のアーマールコート調査を行い、改修河道が縦断的に不規則なアーマールコートを形成していることを指摘した。この調査と不等流計算などの結果に基づいて河道の安全度評価を行った。危険度の高い 4 箇所については捨石等による護岸基礎工の洗掘防止対策が実施された。

余笹川の水害においては、側方侵食と新流路の形成が極めて重要であり、それらの形成原因を明らかにすることが、治水対策を立てる上で不可欠である。本研究においては、側方侵食と新流路の形成状況に注目して、それらの形成原因を明らかにするため、余笹川の水害の実態を一つ一つ丁寧に調べた。大きな被害が発生した、余笹橋（国道 4 号）から黒川合流点までの約 14km を調査対象範囲とし、得られた結果を余笹川の治水対策に結びつけるような方向で整理した。本研究の結果は、災害前の余笹川と同様に、改修が十分に行われていないような河川の治水対策を考える場合にも、有効であると考えられる。

2. 余笹川の水害の概要と調査方法

2.1 余笹川の水害の概要

余笹川は一級河川那珂川の支流で、黒川との合流点より上流の流域面積が 127km^2 、幹線流路延長が 36km、下流部の河床勾配が約 $1/100$ の二級河川である。余笹川流域の概要を Fig. 1 に示す。

余笹川上流の那須観測所で記録された降雨量に関しては、時間最大雨量が 90mm/hr （27 日 1:00～2:00）、1 日最大雨量が 640mm/日 、連続雨量（約 5 日）が $1,254\text{mm}$

であり、これらは確率 $1/1,000$ 以上であると言われている。降雨分布としては、流域の上流側で大きく、余笹川の高津橋と黒川の境橋を結ぶ線より上流では時間最大雨量が 80mm/hr 以上、1 日最大雨量が 500mm/日 以上、連続雨量（約 5 日）が 800mm 以上であった。三品ら（2002）によると、昭和 13 年（1938 年）にも未曾有と言われる洪水が発生したが、降雨量に関しては、時間最大雨量が 44mm/hr 、1 日最大雨量が 203mm/日 であり、1998 年 8 月洪水時の半分程度であった。

「一級河川那珂川水系 余笹川災害復旧事業計画書（一定災）」（栃木県，1999）によると、上記の降雨による洪水のピーク流量は、四ツ川合流点より上流で $1,340\text{m}^3/\text{sec}$ 、四ツ川合流点から棒川合流点までの区間で $1,720\text{m}^3/\text{sec}$ 、棒川合流点から黒川合流点までの区間で $1,740\text{m}^3/\text{sec}$ 、黒川合流点から那珂川合流点までの区間で $2,720\text{m}^3/\text{sec}$ と推定されている。一方、災害前の余笹川の河道の平均的な流下能力（堤防満杯流量）は、四ツ川合流点より上流で $270\text{m}^3/\text{sec}$ 、四ツ川合流点から棒川合流点までの区間で $400\text{m}^3/\text{sec}$ 、棒川合流点から黒川合流点までの区間で同じく $400\text{m}^3/\text{sec}$ 、黒川合流点から那珂川合流点までの区間で $1,200\text{m}^3/\text{sec}$ となっている。本研究において調査の対象とした区間（概略四ツ川合流点から黒川合流点までの区間に対応する）においては、洪水流量が河道の平均的な流下能力の 4 倍以上の大きな値になっていることが注目される。このような洪水は、余笹川の上流から下流までいたる所で大規模な氾濫をひき起こしたであろうと推察される。

余笹川流域においては谷底平野が火山性の堆積土砂に覆われているため、このような洪水流によって流路幅が大きく拡大され、氾濫流によって堤内地に新流路が形成されて、大きな被害が発生した。

このような新流路の形成や河道の側方侵食をひき起こした洪水の継続時間について考察する。余笹川下流部の沓掛観測所においては、洪水時に水位観測がなされていたが、異常な出水であったため洪水のピークの 1 時間前から 50 時間余りにわたって水位は観測されなかった。中根（2001）はタンクモデルによって洪水解析を行い、沓掛観測所地点で最高水位が 7.8m、5m 以上の水位の継続時間が 6 時間 30 分、6m 以上の水位の継続時間が 3 時間 30 分になるという結果を得た。一方、佐藤（2001）の調査によると、沓掛観測所の水位は 8 月 27 日の 3 時に 1.35m、4 時に 1.82m、5 時に 2.82m、6 時に 3.96m、7 時に最高水位 6.30m を記録し、その後減水を始めたということである。警戒水位は 2m であり、上記のうち 6 時の 3.96m までは洪水水位は観測された。タンクモデルによる洪水解析の結果がピーク付近の洪水水位を大きく算出し過ぎているという問題はあがるが、

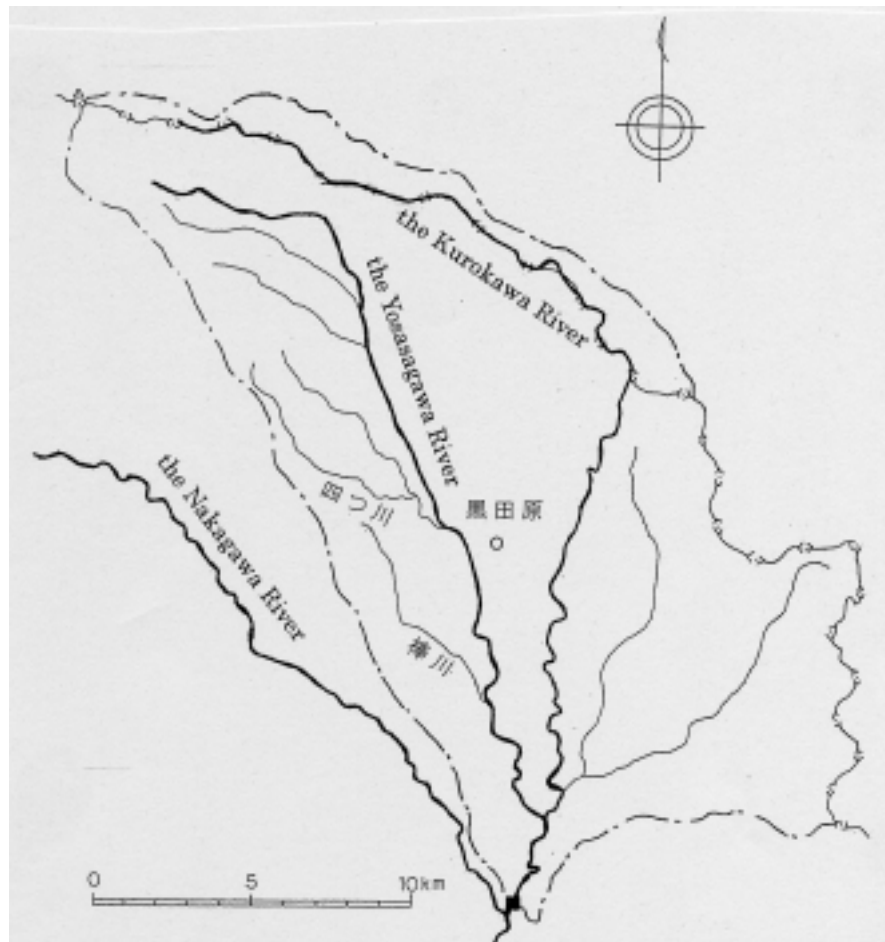


Fig.1 Map of the Yosagawa River basin

洪水の継続時間に関しては参考になると考えられる。これらの結果を総合すると、洪水流量が大きい時間が5～6時間は継続したものと考えられ、この時間帯に河道の側方侵食や新流路の形成が急激に進行したと推察される。

2.2 水害の調査・研究の方法

本研究においては、大きな被害が発生した余笹橋（国道4号）から黒川合流点までの約14kmを調査対象範囲とした。

現地調査としては、1998年11月8日に予備調査、2001年12月11日から14日までの4日間に詳細な調査、2003年3月6日に補足調査を行った。

2001年12月の調査の時点では、調査対象範囲の余笹川の改修工事はほぼ完了していた。現地調査においては、各調査地点で災害前後の航空写真と災害関連資料や論文に掲載されている洪水時の写真を参照して、水害の実態と治水対策について検討した。この調査においては、黒川流域の水害の実態と治水対策についても調べた。また、余笹川の重点地区の改修工事につい

ては、栃木県余笹川流域河川改修事務所の担当者から現地で説明を受けた。

現地調査後の研究においては、災害前後の航空写真を比較しながら、水害の実態を詳細に検討した。災害後の航空写真を立体視することによって、河道の側方侵食や新流路の形成の状況を把握した。災害前の航空写真を立体視することによって、堤内地の微妙な標高差を把握することができる。これと農地の区画の配列状況などにより、旧河道の位置も明らかになるので、新流路の形成場所と旧河道の位置との関係を重点的に検討した。なお、災害前の航空写真は1996年3月に撮影されたもの、災害後の航空写真は1998年9月10日に撮影されたものである。

現地調査においては、栃木県と那須町より各種の資料の提供とともに、水害に関するビデオ「豪雨災害のつめあと」(那須町)および河川改修に関するビデオ「安全で緑豊かな川をめざして」(栃木県)の貸与とコピーの許可をいただいた。これらも参照して、余笹川の水害と治水対策に関して理解を深めた。

水害の実態を調べていくうちに、河道の側方侵食や

新流路の形成が旧河道の存在と深く関係しており、多くの場合旧河道があった場所が侵食されたことがわかってきた。そこで、古い5万分の1の地図を調べて、旧河道の存在と形成時期について検討することにした。検討に用いた地図は、「白河」については明治43年5月（明治42年製版）、昭和3年10月、昭和7年2月、昭和11年1月、昭和21年10月、昭和25年10月、昭和28年3月、昭和34年3月、昭和45年2月、昭和49年5月、昭和52年3月、昭和59年5月、平成6年8月発行のもの、「大田原」については明治43年5月（明治42年製版）、昭和2年11月、昭和8年4月、昭和22年4月、昭和27年5月、昭和34年9月、昭和44年3月、昭和48年12月、昭和54年3月、昭和63年2月、平成8年1月発行のものであった。

水害の実態を検討していくうちに、河道の側方侵食や新流路の形成が周辺の河道の幅、すなわち災害前の河道の流下能力に深く関係していることがわかってきた。栃木県（1999）の余笹川災害復旧事業計画書によると、災害前の余笹川の河道の流下能力が那珂川合流点から上流へ21km付近まで200mごとに示されている。余笹川の流下能力図をFig. 2に示す。本研究においては、災害前の余笹川の河道の流下能力と関係づけて水害の実態を検討した。上記の栃木県の資料によると、本研究において調査の対象とした区間の河道の流下能力は平均的には $400\text{m}^3/\text{sec}$ と評価されている。したがって、この $400\text{m}^3/\text{sec}$ の流下能力をもとにして、各地点の流下能力をそれと対比させて、水害の実態を考察することとした。

3. 余笹川の水害の実態

3.1 余笹橋（国道4号）～新幹線橋梁

（1-1）余笹橋（国道4号）は歩道橋が下流側に別に架けられていたが、橋の左岸側護岸が侵食されて、左岸側の一部が落橋した。橋脚の間隔が狭く、洪水時に多量の流木などがかかり、洪水の流下を大きく阻害したことが落橋の主要な原因であると考えられる。（栃木県土木部（1998）の災害資料に写真あり、P. 7, P. 10）（那須町（2000）の災害資料に写真あり、P. 43, P. 209, P. 210）（防災科学技術研究所報告（2001）に写真あり、P. viii, P. 171, 流木の状態がよくわかる）

（1-2）余笹橋から新幹線橋梁までの区間の内、災害前から上流側はある程度河道整備が行われており、河道幅が広がっていた。しかし、河道整備が行われていた場所でも側方侵食が進んだ。下流側は河道整備が行われておらず、新幹線橋梁付近の流路は狭かったが、洪水後は上下流ともほぼ同じ幅まで側方侵食が進んだ。余笹橋から新幹線橋梁までの区間では新流路の形成

は見られない。被災箇所の特徴については次のことが言える。河道湾曲部外岸側の側方侵食が進み、低い木が疎らに生えているような樹林地が多く侵食された。侵食された樹林地は旧河道であったと考えられる。農地は余笹橋下流の右岸側2箇所と新幹線橋梁付近の左岸側1箇所が僅かに侵食されただけであった。

3.2 新幹線橋梁～JR橋

（2-1）新幹線橋梁からJR橋の下流部にかけての区間周辺の災害前および災害後の航空写真をPhoto 1に示す。災害前の航空写真には、洪水によって拡大された洪水流路および堤内地に形成された新流路の境界が太い線で描かれている。洪水は紙面の上から下に向かって流下する。余笹川は北から南へ流下するので、概略的には紙面の上が北である。以下のPhoto 2からPhoto 6までの航空写真の説明は同様である。写真の上方の橋梁が新幹線橋梁であり、写真の中ほどから少し下側に中余笹橋、そこから少し下流にJR橋、さらにすぐ下流に県道中余笹橋がある。

災害後の洪水の流路は大局的に見た場合の河道であると考えることができる。この区間では河道は右へ湾曲しており、この大局的に見た河道に形成された砂洲の前縁に沿う狭い流路が災害前には河道とされていた。Fig. 2によると、この周辺での河道の流下能力は $100\sim 200\text{m}^3/\text{sec}$ しかない。それは調査対象区間の余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/4\sim 1/2$ である。この大局的に見た河道の砂洲の瀬の部分に当たる場所が整備されて農地として利用されていた。そのため、災害前には河道は不自然な屈曲を繰り返していた。

この区間では顕著な新流路の形成は見られない。主に左岸側の低位農地と低い木が疎らに生えているような樹林地が側方侵食され、右岸側の低位農地も線形的に突出した部分が側方侵食された。これらの侵食された低位農地は、大局的に見た場合の河道内の砂洲であった場所が農地として利用されていたものであった。この災害の状況を土地利用の問題として把握することが重要である。

（2-2）中余笹橋は洪水流を阻害したため、橋の左岸側の河岸が大きく侵食された。中余笹橋は流失しなかったが、（県の災害資料に写真あり、表紙、P. 4, P. 5, P. 9, P. 11）（町の災害資料に写真あり）（ハザードマップその1に写真あり）災害後に架けかえられた。（栃木県余笹川流域河川改修事務所（2001）の河川改修資料に写真あり）Fig. 2によると、中余笹橋地点の河道の流下能力は $200\text{m}^3/\text{sec}$ 程度であった。

（2-3）JR橋は標高が高かったため、被害がなかった。（県の災害資料に写真あり、P. 5, P. 9）

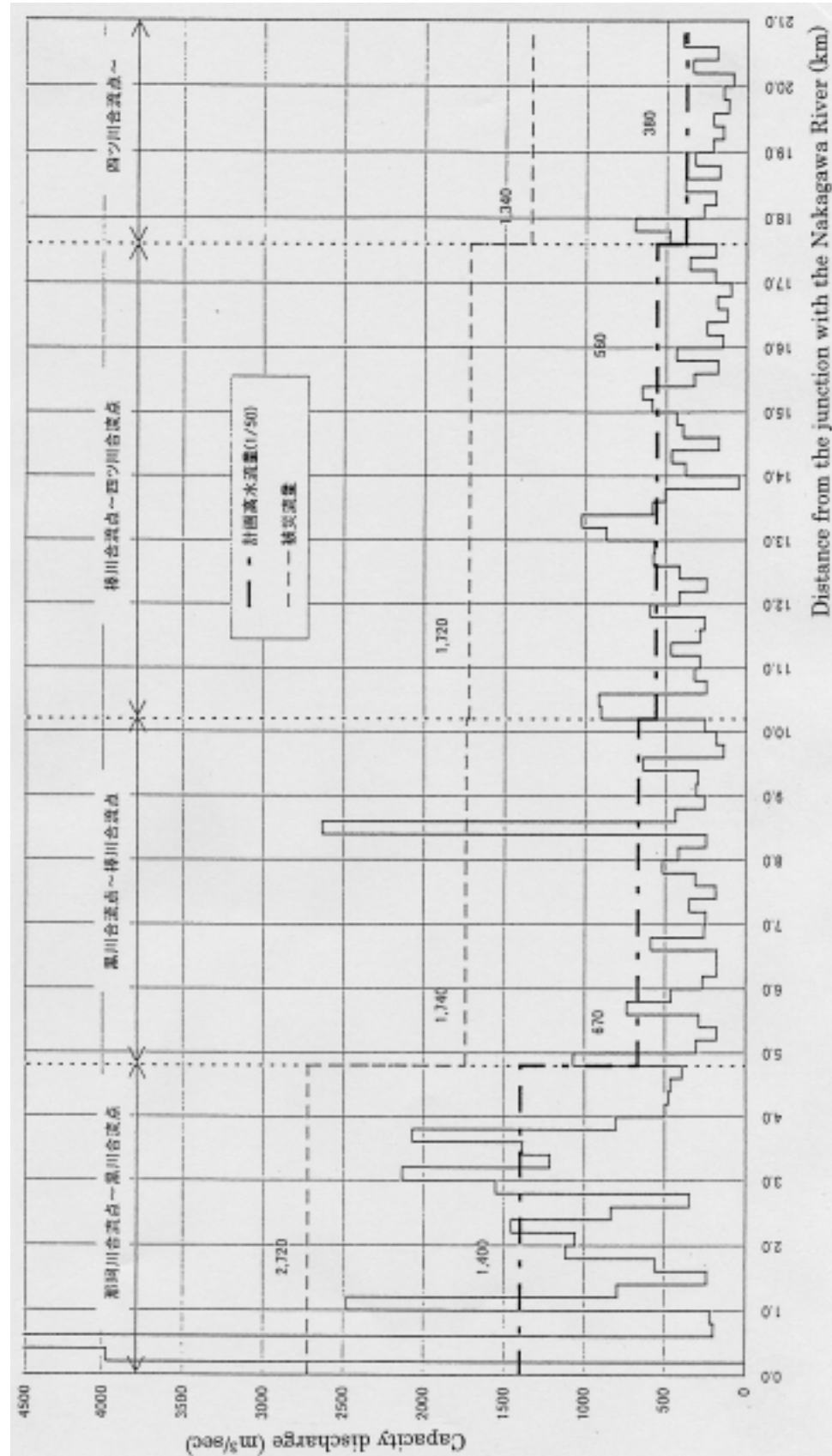


Fig.2 Capacity discharge of the Yosasagawa River channel for flood flow (presented by Tochigi Prefectural Office)



(a) before the flood

(b) after the flood

Photo 1 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River
between the new trunk line bridge and downstream area of JR line bridge

3.3 JR 橋～下余笹橋

(3-1) Photo 1 によると、JR 橋直下流の右岸側では、左へ湾曲する河道の外岸側で側方侵食が進んだことがわかる。旧河道跡を公園に取り込んでいたが、ほ

ぼ旧河道まで侵食された。(県の災害資料に写真あり、P. 4, P. 6)

古い地図を調べてみると、明治 42 年 (1909 年) に作成された地図においては上記の旧河道が本流であっ

た。余笹川流域の調査対象区間の明治 42 年作成の 5 万分の 1 の地図を Fig. 3 に示す。その後、昭和 4 年 (1929 年) に修正された地図においては、新しい河道と旧河道の両方の河道が描かれている。さらに、昭和 50 年 (1975 年) に編集された地図においては、新しい河道が本流となっている。新しい河道は災害前の余笹川河道とほぼ同じ位置に描かれている。

その下流の左岸側では、右へ湾曲する河道の外岸側

で側方侵食が進んだ。侵食された場所は、災害前の航空写真から判断すると、旧河道であったと考えられる。これらの側方侵食の結果、JR 橋から小羽入の集落付近にかけてもとの河道の 3 倍ほどの流路が形成された。

(3-2) この下流の小羽入の集落付近は地盤が高く、河岸段丘を掘り込むようにして、河道が形成されている。河岸段丘部は強固であるため、側方侵食は進まなかった。僅かの面積の河川沿いの低位農地には土砂が

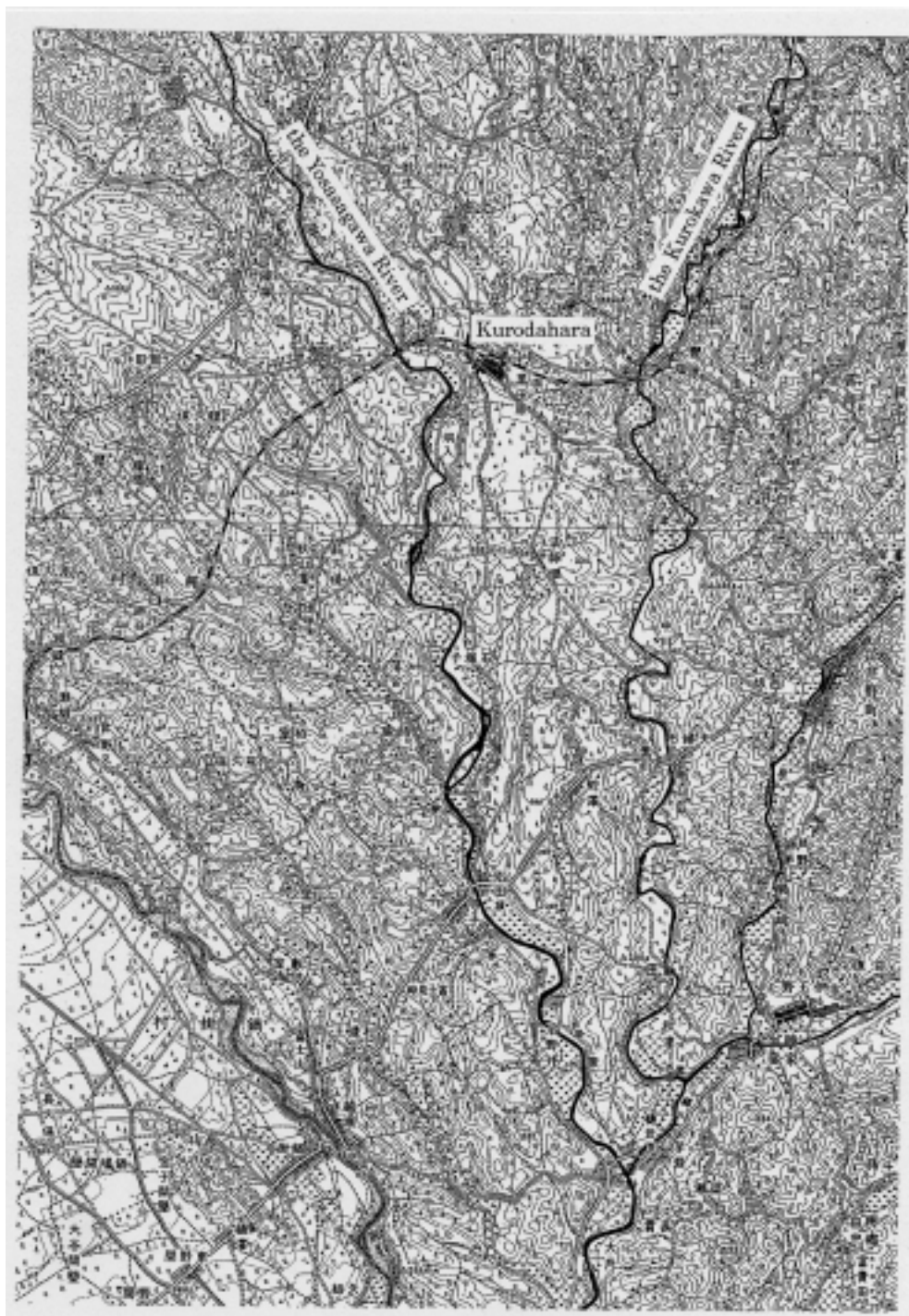


Fig.3 Old map around the area of field survey (made in 1909)

堆積したが、侵食による被害はなかった。

しかし、明治 42 年に作成された **Fig. 3** の地図においては、小羽入の集落の上流側の河道は今回の災害前の余笹川河道より最大距離で約 100m 北西側に描かれている。災害前の余笹川河道はこの地図においては河岸段丘部に位置しているから、明治から現代までの間に洪水流が湾曲部の外岸側の河岸段丘を洗掘して、河道が南東方向に移動したものと考えられる。

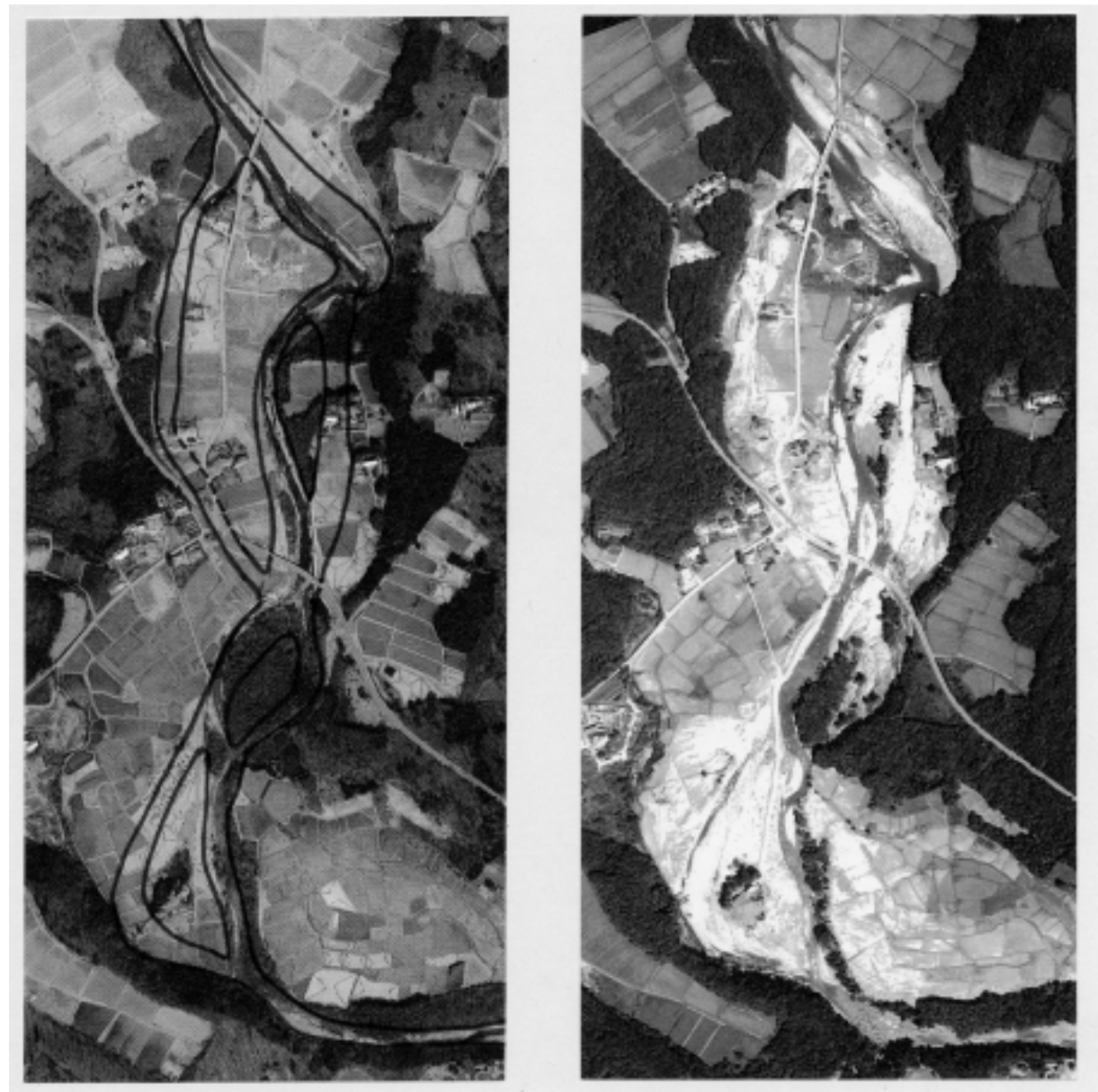
3.4 下余笹橋～下川橋

(4-1) 下余笹橋から下川橋、さらにその下流部にかけての区間周辺の災害前および災害後の航空写真を

Photo 2 に示す。写真の上方の橋梁が下余笹橋であり、写真の中ほどに下川橋がある。

下余笹橋は洪水流を阻害したため、左岸側の河岸が侵食された。(県の河川改修資料に写真あり)(町の災害資料に写真あり, P. 177, P. 223) **Fig. 2** によると、下余笹橋地点の河道の流下能力は $200\text{m}^3/\text{sec}$ 程度であった。

(4-2) 下余笹橋による洪水の堰上げのため、橋上流から右岸側へ洪水が氾濫した。氾濫水は下川の集落内を流下して、下川橋の下流でもとの河道に合流した。この流れによって新流路が形成されたが、新流路はそれほど深くはない。ここを流下した流量がそれほど大



(a) before the flood

(b) after the flood

Photo 2 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River between Simoyosasagawa bridge and downstream area of Simokawa bridge

きくなかったからであると考えられる。災害前の航空写真から判断すると、新流路の経路はもとから地盤の標高が相対的に低く、旧河道であったと考えられる。橋梁は河道に対して斜めに架けられており、その方向が洪水を新流路の方向へ向かわせたと考えられる。(町の災害資料に写真あり)

(4-3) 下余笹橋下流の左岸側河道沿いの農地は標高が相対的に低く、旧河道であった。この部分に河道から少し離れて河道と並行する新流路が形成された。新流路はそれほど深くはない。この新流路の形成と下余笹橋の左岸側堤内地の河岸侵食によって河道周辺を流下する流量が増加したため、上記の下川の集落内に形成された新流路に流入する洪水流量がそれほど大きくならなかったと考えられる。

明治42年の地図(**Fig. 3**)においては、下余笹橋の上下流で直線距離で約500mにわたって、災害前の余笹川河道より最大距離で約100m河道が東側に描かれている。昭和49年(1974年)までの地図においてはその状態が続いていたが、昭和50年(1975年)に編集された地図においては、災害前の余笹川河道と同じ位置に河道が描かれている。河道から少し離れて河道と並行して形成された上述の新流路は、古い地図に描かれている旧河道とほぼ一致している。また、(3-2)で述べたこととよく似ているが、**Fig. 3**においては、ここで検討した河道の最下流部の屈曲部は、災害前の余笹川河道より最大距離で約200m北側に描かれている。災害前の余笹川河道はこの地図においては河岸段丘部に位置しているから、明治から現代までの間に洪水流が屈曲部の外岸側の河岸段丘を洗掘して、河道が南に移動したものと考えられる。

(4-4) 下川橋上流左岸側の農地の地盤は右岸側の農地よりも低い。その上、この周辺で余笹川は調査対象区間では最も狭くなっており、河道の流下能力は最小である。**Fig. 2**によると、この周辺での河道の流下能力は約 $50\text{m}^3/\text{sec}$ しかなかった。それは災害時の洪水の流下流量($1,720\text{m}^3/\text{sec}$)の $1/34$ 、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/8$ である。そのため、この地区の上流側で大量の洪水が氾濫し、洪水が河道内を流下する如くに堤内地を流下した。洪水の流れによって直線的でかなり深く顕著な新流路が形成された。氾濫流の流入部にはかなりの面積の水害防備林があったが、それらは全面的に流失した。また、新流路への流入部の東側は地盤の標高が急激に高くなっており、さらに一段高い河岸段丘へと続いている。このことから、新流路は湾曲部を可能な限り大きくショートカットするように形成されたと言える。新流路の経路に立地していた住宅が流失した。(県の河川改修資料に写真あり)(町の災害資料に写真あり)

(4-5) 下川橋は被害がなかったが、橋付近の右岸側の堤内地に小規模ではあるが、深い新流路が形成された。新流路の経路はもとから地盤が低く、旧河道であったと考えられる。(県の河川改修資料に写真あり)(町の災害資料に写真あり、P. 35) **Fig. 2**によると、下川橋地点の河道の流下能力は $500\text{m}^3/\text{sec}$ 程度であり、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも大きい。

3.5 下川橋～石堀子橋

(5-1) 下川橋下流では、河道が2つに別れており、西側の流れが本流であり、災害前には東側の流路は用水路として利用されていた。洪水時には東側の流路にも洪水が流れたが、流路の洗掘の状況から判断すると、流量はそれほど大きくなかったと考えられる。流路の方向が今回の洪水の主流の方向から外れていたためであると考えられる。

明治42年の地図(**Fig. 3**)においては、上記の両方の河道が同じ幅で描かれている。そこでの両河道間の距離は最近の地図における両河道間の距離よりも小さく、幅の大きい河道内に中の島があるような状況であった。昭和47年(1972年)に編集された地図においては、東側の流路は細い線で描かれ、その流路の下流側は余笹川から離れて用水路につながっており、用水路は直線距離にして約800m下流で余笹川に合流している。この用水路は旧河道であったと考えられる。また、西側の河道は災害前の余笹川河道とほぼ同じ位置に描かれている。

(5-2) これより下流の河道は、河道幅が広がっていたが、特に左岸側の河道領域に土砂が堆積し、そこに幅広く樹木が繁っていた。このため、洪水の流下を阻害したものと考えられるが、洪水によってこのような樹林地のかなりの部分が浸食されて、災害後の航空写真には河道内の樹木がそれほど残っていないことが認められる。

(5-3) 下川橋下流右岸では、氾濫流によって堤内地に深く入り込むようにして、かなり深い顕著な新流路が形成された。この新流路は、下川橋上流の左岸側で形成された新流路の流れがもとの河川に合流し、さらにその流れが直線的に流下する延長線上にあった。それと同時に、災害前の航空写真から判断すると、新流路の経路はもとから地盤の標高が相対的に低い場所であり、旧河道であったと考えられる。氾濫流と新流路の形成によって、そこにあった住宅が孤立した。この住宅は相対的に地盤が高いところに立地していたことと、上流側にこの地域特有の強い北風に対する防風対策としての屋敷林があったために大きな被害を免れた。この住宅は昭和8年頃に建築され、昭和13年の余笹川の洪水で下側の家の床下が浸水したということである。

この住宅の屋敷林の防災効果に関しては、館ら（2001）の研究においても採り上げられている。

（5-4） この対岸の左岸側の比較的広い農地は、地盤が低かったにもかかわらず、洪水の主流が対岸側に向ったために、氾濫水が流下したものの新流路の形成などはなく、僅かな被害で済んだ。これは、前述の広い河道に幅広く繁っていた樹林帯の部分が洪水によって浸食されて、河道周辺でかなりの量の洪水が流下できる流路が確保されたこととも関係している。この区域には民家はなかった。

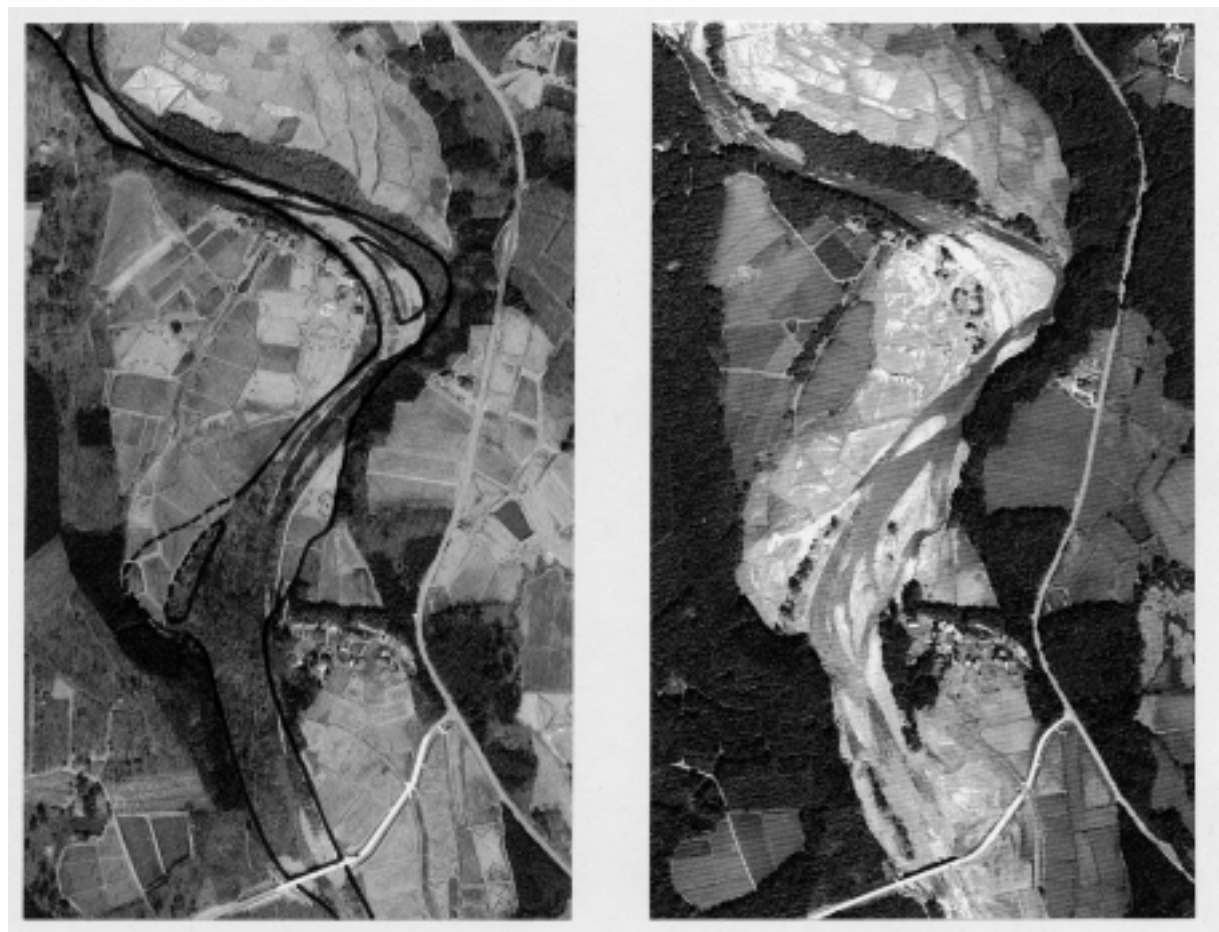
（5-5） 法師畑の集落周辺とその上流側の区間周辺の災害前後の航空写真を **Photo 3** に示す。写真の下方に石堀子橋があり、その上方に法師畑の集落がある。

法師畑の集落の上流側で河道が右へ湾曲している場所では、湾曲部の河道が極端に広がっており、右岸の内岸側に土砂が厚く堆積していたが、洪水によって河道外岸側の樹林地の側方侵食が進むと同時に、内岸側の河岸ぎりぎりに河道内に顕著な新流路が形成された。これは、河道湾曲部をショートカットする流れが形成されたことを意味しているが、このような流れに

注目する必要がある。**Fig. 2** によると、この湾曲部周辺の河道の流下能力は $400\sim600\text{m}^3/\text{sec}$ であり、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも大きい。この新流路の経路も、過去のある時期には河道であったと考えられる。一方、堤内地においては、かなりの洪水流が流下したため新流路の形成はなかったものの、河道沿いで住宅の流失と農地への土砂堆積があった。

明治 42 年の地図 (**Fig. 3**) においては、上記の湾曲部河道の湾曲の頂点付近が災害前の余笹川の河道より最大距離で約 50m 西側に描かれている。昭和 47 年 (1972 年) に編集された地図においては、災害前の余笹川の河道と同じ位置に河道が描かれている。このことから、湾曲部外岸側の洗掘が進んで河道が東側に移動したが、明治時代に河道であったような範囲も河川敷として残してきたために、上述のようにここで河道が極端に広がっていたと考えられる。

（5-6） 上記の屈曲部の下流左岸側の平地部には法師畑の集落があり、集落の上流側の農地が特に低くなっている。そのため上流側で氾濫した洪水の流れによって小規模の新流路が形成された。この小規模の新流路



(a) before the flood

(b) after the flood

Photo 3 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River
in upstream and downstream area of Hosihata district

の上流部分は、災害前の航空写真から判断すると、旧河道であったと考えられる。しかし、集落が相対的に地盤が高いところに立地していたことと上流側に屋敷林があったために、新流路の形成が集落までは及ばず、家屋は浸水はしたが、家屋流失などの大きな被害を免れた。(県の災害資料に写真あり、P. 9) (町の災害資料に写真あり)

(5-7) 上記の法師畑の集落の対岸側(右岸)では、左へ湾曲する河道の外岸側で旧河道であった場所に低い木が疎らに生えているような樹林地があり、その樹林地はかなり広がった。そこで側方侵食が進み、流路が大幅に拡大された。また、洪水流によってそこに生育していたほとんどの樹木が流失した。洪水流はそこからさらに外岸側へ氾濫し、農地にもそれほど深くはないが、新流路が形成された。

明治42年の地図(Fig. 3)においては、上記の旧河川敷の樹林地の西側の境界付近に河道が描かれており、災害前の余笹川河道より最大の距離で130m西側に当時の河道があったことがわかる。昭和47年に編集された地図においては、災害前の余笹川河道と同じ位置に河道が描かれている。

(5-8) 法師畑の集落の下流部で、石堀子橋上下流の左岸側には旧河道跡(航空写真から判断)があり、余笹川と旧河道とに挟まれた区域(石堀子橋の下流かなりの距離まで続いている)は地盤が低くなっている。洪水時には、この区域を広く洪水が流下したが、土砂が堆積した場所もあり、顕著な新流路は形成されなかった。これは、氾濫流が洪水の主流方向から外れていたためであると考えられる。

(5-9) 災害後の航空写真から判断すると、石堀子橋には被害がなかったようである。Fig. 2によると、石堀子橋周辺の河道の流下能力は $460\text{m}^3/\text{sec}$ であり、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも大きい。

3.6 石堀子橋～寺子橋

(6-1) 石堀子橋から寺子橋までの区間周辺の災害前後の航空写真をPhoto 4に示す。写真の上方の橋梁が石堀子橋であり、写真の中ほどに赤沼の集落がある。写真の下方の橋梁は寺子橋である。

石堀子橋の下流左岸側では右方向に湾曲するかなり深い新流路が形成され、新流路もとの河道との間は河原となった。新流路は湾曲部外岸側での側方侵食が進行することによって形成されたと考えられる。しかし、氾濫流が堤内地を流下することによって、まず新流路が形成され、その後新流路もとの河道との間の地盤が侵食された可能性もある。新流路の下流部分と接している家屋は床上浸水したが、流失を免れた。この住宅があったことによって、新流路はそれ以上の洗

掘と拡大が制限される形になった。現地調査の結果、この住宅の北側(上流側)には幅10～20mほどの竹と杉が混じった屋敷林があり、屋敷林の地盤は周辺の地盤よりも50cm～1m高くなっていることがわかった。居住者からは、洪水時には竹やぶにゴミがかかって水流をやわらげたということを聞いた。屋敷林の防災効果がよく発揮されたとと言える。災害後、屋敷林の北側が石垣で強化された。

(6-2) 赤沼地区では、洪水氾濫によってX型に交叉するようかなり深い新流路が形成された。新流路の形成に伴う住宅の被害はなかったが、牛舎の一部が流出した。集落は河川から離れて周辺の地盤よりも僅かながら高い場所に立地しているため、家屋流失などの大きな被害がなかった。新流路が形成された周辺の農地は整備されているため地盤高さは一様に変化しており、新流路が形成される経路に関して地盤高さは関係しないようである。このような洪水氾濫と新流路の形成によって、農地は壊滅状態になった。

明治42年の地図(Fig. 3)においては、赤沼の集落付近から約1km上流にかけては、余笹川は二つに分かれていた。災害前の余笹川河道はこれらのうち西側の河道とほぼ一致している。二つの河道の最大距離は約160mである。昭和47年に編集された地図においては、災害前の余笹川河道と同じ位置に一つの河道だけが描かれている。上記のX型に交叉する新流路の一つが、明治42年の地図に描かれていた東側の河道とかなりの部分で一致していることが注目される。すなわち、旧河道があった場所に新流路が形成されたとと言える。

このように被害が大きかった赤沼地区では、余笹川は左へ湾曲しており、右岸側で棒川が合流する辺りで湾曲部の外岸側が河岸段丘にぶつかっている。湾曲部の河道の内岸側には土砂が堆積するが、そこを農地として利用していたために、棒川が合流する下流側で河道が極端に狭くなっていた。Fig. 2によると、この周辺での河道の流下能力は $140\text{m}^3/\text{sec}$ しかなかった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の1/3程度である。したがって、この狭窄部の上流側で洪水が大量に溢れ、堤内地が侵食されて新流路が形成されたと考えられる。(防災科学技術研究所報告に写真あり、P. vi, P. 176)

(6-3) 寺子橋上流の右へ湾曲する河道の内岸側の堤内地は地盤が低く、この部分を洪水が河道内を流下する如くに流下した。ここに立地していた住宅は周辺を水害防備林で護っていたが、上記の流れによって流失した。後述する他の多くの湾曲部の状況とは異なり、ここでは河道から僅かに内岸側にそれほど深くない小規模の新流路が形成されただけであった。しかし、上記の流失した住宅はこの新流路の経路上にあった。こ



(a) before the flood

(b) after the flood

Photo 4 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River between Ishihoriko bridge and Terako bridge

の付近では、災害前の河道の湾曲部の左岸側は河岸段丘にぶつかっていた。湾曲部の河道の内岸側には土砂が堆積するが、土砂が堆積して高くなった場所には樹木が生えており、そこは農地としては利用されずに河道内に残されていた。したがって、樹木は生えているが、河道は余笹川の他の湾曲部に比べて少し広がっていた。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $300\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも小さいが、それに近くなっている。洪水後の航空写真においては、この樹林帯の大部分が流失して、その一部分しか残っていないことが確認できる。洪水時に時間の経過と共に河道内の樹木や土砂が流失して、かなりの流量が河道内を流下することができるようになったため、顕著な新流路が形成されなかったと考えられる。

(6-4) 寺子橋左岸側の石田坂の集落は比較的地盤が高くなっているが、寺子橋地点は余笹川が狭窄しているので、流下能力は小さい。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $260\text{m}^3/\text{sec}$ であった。このため、水位上昇により氾濫水が集落内を流下し、寺子橋右岸側の河岸が侵食された。(県の河川改修資料に写真あり) このため、集落内の住宅に多大の被害が発生し、特に河川に近い場所は地盤が低かったため、 2.5m を超える浸水深となり、被害が大きかった。寺子橋に流木などがかかって、それが水位上昇の原因になると同時に、寺子橋右岸側の河岸が侵食される原因ともなった。寺子橋右岸側の侵食された場所に住宅がなかったことが幸いであった。(県の災害資料に写真あり, P. 8) (県の河川改修資料に写真あり, 2箇所) (防災科学技術研究所報告に写真あり, P. vii, P. 177) (ハザードマップその1に写真あり)

(6-5) 寺子橋は、右岸側の河岸が侵食された。また、河川改修に伴って、もとの橋の下流側に橋が架け換えられた。橋梁の両側には、超過洪水に備えてボックスカルバートが造られた。(県の河川改修資料に写真あり, 2箇所)

3.7 寺子橋～協和橋

(7-1) 寺子橋より下流の河道と砂の目地区周辺の災害前後の航空写真を **Photo 5** に示す。災害前の写真の中ほどより少し下方の橋梁が協和橋である。

寺子橋から下流約 1km にわたっては、大きな農地の侵食はない。これはこの辺りで河道が深く、かつある程度の広さをもっていたからであると考えられる。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $400\sim 500\text{m}^3/\text{sec}$ であり、 $2,000\text{m}^3/\text{sec}$ を超えるところもあった。

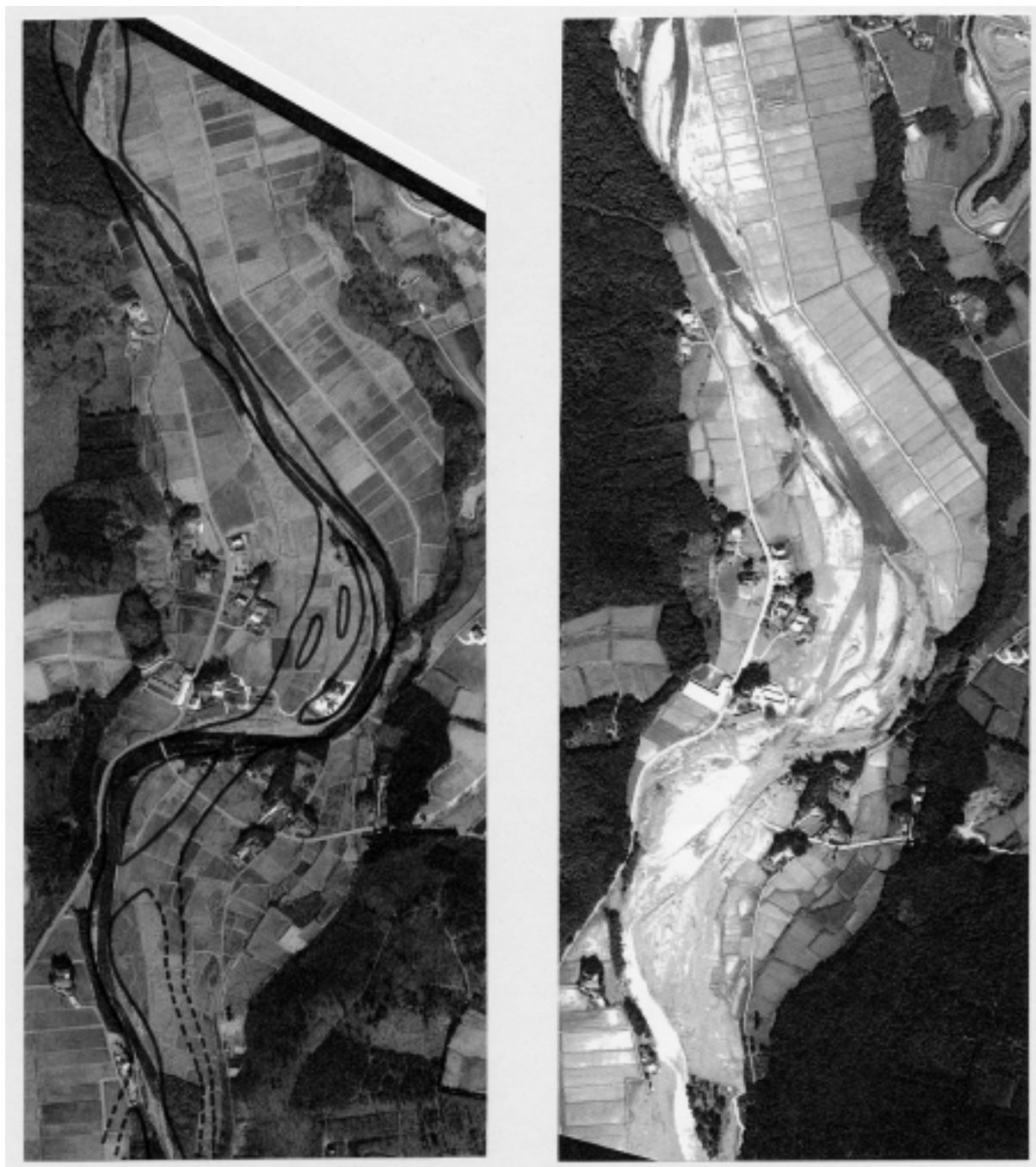
(7-2) その下流で、協和橋の上流側の河道が右へ湾

曲している場所では、河道湾曲部をショートカットする流れによって右岸側に3つの新流路が形成された。このため、新流路の経路に立地していた住宅と牛舎一棟が流失した。これらの内の堤内地深く形成された新流路はもとの河道よりも深く広いものになり、新流路ともとの河道との間は全面河原となった。これらの新流路は旧河道跡を流下していると考えられる。この付近では、もとの河道の湾曲部の左岸側は河岸段丘にぶつかっている。湾曲部の河道の内岸側には土砂が堆積するが、ここを整備してぎりぎりまで農地として利用していたため、ここでは河道が極端に狭くなっていた。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/2$ 以下である。この狭窄部の上流側で洪水が大量に溢れることは必然であり、氾濫流によって堤内地が侵食されて新流路が形成されたと考えられる。河道を狭めてまで農地として利用するという行為がこのような惨事を招いたと言える。

(7-3) 砂の目地区の協和橋付近では河道が左へ湾曲しているが、上記の最も堤内地深く形成された新流路の流れが直進する形でもとの河道を横切って流下して、河道湾曲部をショートカットし、左岸側堤内地に新流路が形成された。この経路に立地していた住宅が流失した。上記と同様に、新流路はもとの河道よりも深く広いものになり、新流路ともとの河道との間は全面河原となった。新流路の上流部分は旧河道跡を流下し、直進して元の河道に戻った。また、新流路の下流部分から分かれて旧河道跡を流下した流れもあり、ここではそれほど深くない流路が新たに形成された。

明治42年の地図(**Fig. 3**)においては、砂の目の集落の上下流で直線距離にして約 1.1km にわたって、災害前の余笹川河道より最大距離で約 100m 東側に河道が描かれている。昭和47年に編集された地図においては、災害前の余笹川河道と同じ位置に河道が描かれている。上述の新流路の下流部分から分かれて流下した流れは、上記の古い地図に描かれている約 1.1km の旧河道の下流部分とほぼ一致している。

砂の目地区では、災害前の河道の湾曲部の右岸側は、河岸段丘にぶつかっており、内岸側に土砂が堆積することにより、ここでも河道幅がかなり狭くなっていた。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $240\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/2$ 程度である。この狭窄部の上流側で洪水が大量に溢れ、旧河道跡の地盤が軟弱であったために侵食されたと考えられる。また、上記の河道の狭窄部の上流側に流失した協和橋があり、橋の影響もあったのではないかと考えられる。(ハザードマップその1に写真あり)



(a) before the flood

(b) after the flood

Photo 5 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River in upstream and downstream area of Sunanome district

(7-4) 協和橋はほぼ完全に流失した。(県の河川改修資料に写真あり)(町の災害資料に写真あり) **Fig. 2**によると、協和橋地点の河道の流下能力は $350\text{m}^3/\text{sec}$ であった。

3.8 協和橋～余笹橋

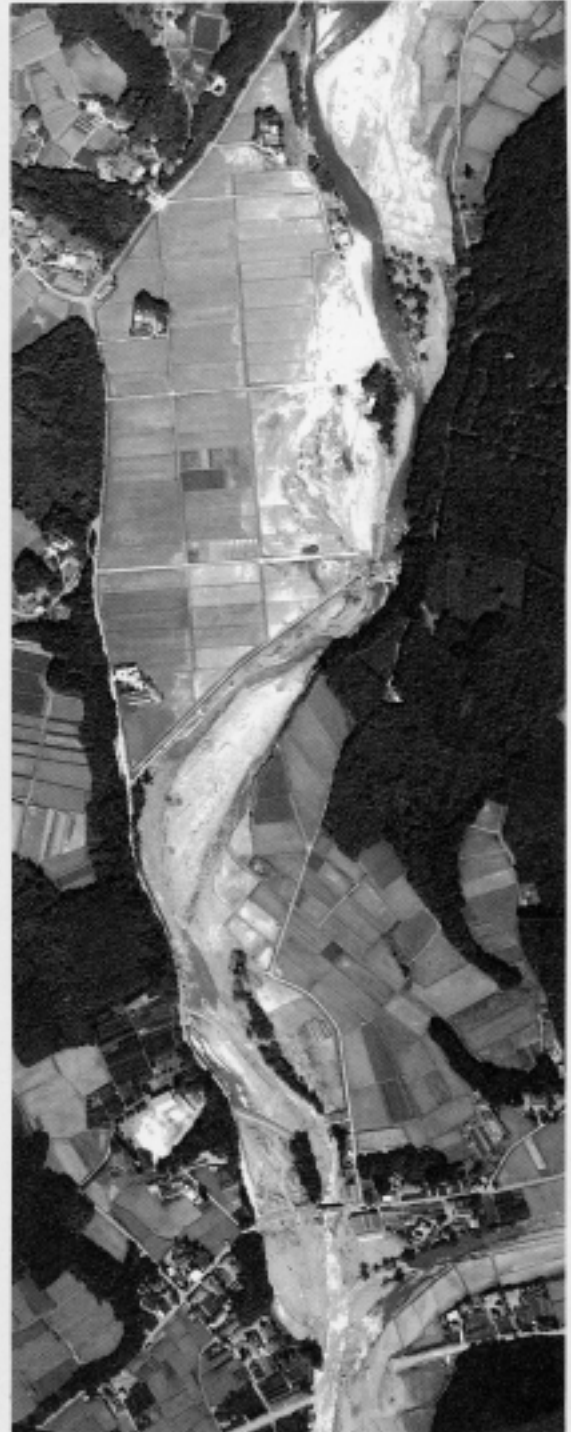
(8-1) 協和橋の下流側から黒川との合流点にかけての区間周辺の災害前後の航空写真を **Photo 6** に示す。

写真の下方に余笹橋があり、その下流で余笹川は黒川と合流している。

協和橋の下流側で河道が右へ湾曲している場所では、右岸側堤内地で顕著な新流路の形成には至らなかったが、氾濫流によって堤内地がかなり洗掘された。湾曲部の上流側には樹林帯があったが、氾濫流は主に樹林帯の切れ目から流入し、これに伴って住宅が流失した。この場所の河道を調べてみると、河道の線形や河岸段



(a) before the flood



(b) after the flood

Photo 6 Aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River
in upstream area of the junction with the Kurokawa River

丘との位置関係は前述の新流路が形成された他の地区の湾曲部の状況とほぼ同様であるが、河岸段丘と接する部分の河道はある程度広がっていた。しかし、流失した住宅があった場所付近の河道の湾曲部内岸側にはかなり広い面積の密な樹林帯があり、これが流路を

狭めて流れの障害になっていた。**Fig.2**によると、この周辺の河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/2$ 以下である。このように、この場所での河道の流下能力が小さくなり、洪水時にはその上流側で主に樹林帯の切

れ目から洪水が氾濫したと考えられる。洪水後の航空写真においては、この樹林帯の多くが流失して、部分的にしか残っていないことが確認できる。洪水時に時間の経過と共に河道内の樹木や土砂が流失して、かなりの流量が河道内を流下することができたと考えられる。このような理由により、前述の顕著な新流路が形成された他の地区の湾曲部とは異なって、ここでは新流路の形成が見られなかったと考えられる。

(8-2) 余笹橋の上流側の河道が左へ湾曲している場所では、河道湾曲部をショートカットする流れによって左岸側に深い新流路が形成された。この流路の流入部は旧河道にほぼ一致しており、下流側では旧河道から離れて直進して余笹川に合流した。新流路ともとの河道との間は全面河原となった。この範囲には住宅はなかった。災害前の河道湾曲部の右岸側は、河岸段丘にぶつかっており、内岸側に土砂が堆積することにより、湾曲部の下流側では河道がかなり狭くなっていた。**Fig. 2**によると、この周辺の河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値は、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ の $1/2$ 以下である。したがって、この狭窄部の上流側で洪水が大量に溢れ、旧河道跡が地盤も低く、軟弱であったために侵食されて新流路が形成されたと考えられる。

(8-3) 余笹橋は洪水時に多量の流木などがかかり、洪水の流下を大きく阻害した。そのため、橋の右岸側に広い新流路が形成された。このため住宅が流失した。災害前の航空写真から判断すると、新流路が形成された場所は旧河道であったと考えられる。(ハザードマップその1に写真あり) **Fig. 2**によると、余笹橋地点の河道の流下能力は $310\text{m}^3/\text{sec}$ であった。

(8-4) 余笹橋は、右岸側に新流路が形成されて洪水が新流路を流下したため、流失しなかった。しかし、この地点は河道が狭いので、河川改修に伴って橋が架けかえられた。(県の災害資料に写真あり, P. 7, P. 10)

(県の河川改修資料に写真あり)(町の災害資料に写真あり)

4. 余笹川の水害の特徴

4.1 新流路の形成および側方侵食と旧河道との関係

水害の実態を調べていくうちに、河道の側方侵食や新流路の形成に関しては、多くの場合に旧河道跡が侵食されたことがわかった。そこで、前章における考察に基づいて、新流路の形成および側方侵食と旧河道との関係について整理することにする。

(1) 旧河道と関係する側方侵食

① 余笹橋から新幹線橋梁までの区間(1-2)では、河道湾曲部外岸側の側方侵食が進み、旧河道であった

と考えられる樹林地が多く侵食された。② 新幹線橋梁から JR 橋までの区間(2-1)では、大局的に見た場合の河道内の砂洲の瀬の部分に当る低位農地が側方侵食された。③ JR 橋直下流の右岸側(3-1)では、左へ湾曲する河道の外岸側で旧河道跡を公園に取り込んでいた場所が侵食された。④ 法師畑の集落の対岸側(5-7)では、湾曲する河道の外岸側の旧河道であった場所の樹林地で側方侵食が進み、流路が大幅に拡大された。

(2) 旧河道と関係する新流路の形成

① 下余笹橋上流から右岸側へ氾濫した洪水流によって下川の集落内(4-2)を流下する新流路が形成されたが、新流路の経路は旧河道であったと考えられる。② 下余笹橋下流の左岸側河道沿いの旧河道であった農地(4-3)に河道から少し離れて河道と並行する新流路が形成された。③ 下川橋付近の右岸側の堤内地(4-5)に小規模ではあるが、深い新流路が形成された。④ 下川橋下流右岸(5-3)では堤内地深くまで、顕著な新流路が形成された。これらの新流路の経路は旧河道であったと考えられる。⑤ 法師畑の集落の上流側の湾曲部(5-5)では河道が広がっており、湾曲部内岸の河道内に顕著な新流路が形成された。この新流路の経路は過去のある時期には河道であった。⑥ 法師畑の集落の上流左岸側(5-6)で小規模の新流路が形成された。この新流路の上流部分は旧河道であったと考えられる。⑦ 赤沼地区では、洪水氾濫によってX型に交叉するような新流路が形成された。これらの新流路の一つが、明治42年の地図に描かれていた旧河道とかなりの部分で一致している。⑧ 砂の目地区の協和橋付近(7-3)では河道湾曲部の左岸側堤内地に新流路が形成された。新流路の上流部分は旧河道跡を流下し、直進して元の河道に戻った。新流路の下流部分から分かれて旧河道跡を流下した流れによってそれほど深くない流路が新たに形成された。⑨ 余笹橋の上流側の湾曲部(8-2)では、左岸側に深い新流路が形成された。この流路の流入部は旧河道にほぼ一致している。⑩ 余笹橋は多量の流木などがかかり、洪水の流下を大きく阻害し、橋の右岸側(8-3)に広い新流路が形成された。新流路の形成場所は旧河道であった。

4.2 湾曲河道をショートカットする新流路の形成

前章の考察によって、湾曲部河道の河道幅の違いによって新流路の形成状況が変わることがわかった。そこで、湾曲部河道の河道幅と新流路の形成状況との関係について整理することにする。

(1) 湾曲部の河道幅が大きい場合

法師畑の集落の上流側の湾曲部(5-5)では、河道が極端に広がっており、内岸側に土砂が堆積していたが、内岸の河道内に顕著な新流路が形成された。この

湾曲部周辺の河道の流下能力は $400\sim600\text{m}^3/\text{sec}$ であり、余笹川の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも大きい。

湾曲部の河道幅が大きい場合には、堤内地には新流路が形成されなかった。

(2) 湾曲部の河道幅がある程度大きい場合

① 寺子橋上流の湾曲部の内岸側の堤内地（6-3）では、河道から僅かに内岸側に小規模の新流路が形成された。河道内に樹木は生えていたが、河道は余笹川その他の湾曲部に比べて少し広くなっていた。この周辺の河道の流下能力は $300\text{m}^3/\text{sec}$ であった。② 協和橋の下流側の湾曲部（8-1）では、顕著な新流路の形成には至らなかったが、堤内地がかなり洗掘された。湾曲部の河道はある程度広くなっていたが、河道の内岸側にはかなり広い面積の密な樹林帯があり、流れの障害になっていた。この周辺の河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。この値はかなり小さいが、洪水時に時間の経過と共に河道内の樹木や土砂が流失して、河道の流下流量が増加したと考えられる。

湾曲部の河道幅がある程度大きい場合には、堤内地には顕著な新流路が形成されないと言える。

(3) 湾曲部の河道幅が小さい場合

① 赤沼地区（6-2）では、洪水氾濫によってX型に交叉するようかなり深い新流路が形成された。ここでは余笹川は左へ湾曲しており、棒川が合流する下流側で河道が極端に狭くなっていた。この周辺での河道の流下能力は $140\text{m}^3/\text{sec}$ しかなかった。② 協和橋の上流側の湾曲部（7-2）では、右岸側に顕著な新流路が形成された。ここでは河道が極端に狭くなっており、河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。③ 協和橋付近（7-3）では、湾曲部の左岸側堤内地に顕著な新流路が形成された。ここでは河道がかなり狭くなっており、河道の流下能力は $240\text{m}^3/\text{sec}$ であった。④ 余笹橋の上流側の湾曲部（8-2）では、左岸側に深い新流路が形成された。この周辺では河道がかなり狭くなっており、河道の流下能力は $180\text{m}^3/\text{sec}$ であった。

湾曲部の河道幅が小さい場合には、河道の流下能力も小さくなり、堤内地に顕著な新流路が形成されると言える。

4.3 橋梁の被害と洪水流に対する橋梁の影響

(1) 橋梁の被害

調査対象範囲において洪水時に被害を受けて架け替えられた橋梁は、余笹橋（国道4号）、中余笹橋、寺子橋、協和橋、余笹橋などである。一方、下川橋および石堀子橋には被害がなかったようである。被害がなかった下川橋および石堀子橋周辺の河道の流下能力は、それぞれ $500\text{m}^3/\text{sec}$ および $460\text{m}^3/\text{sec}$ であり、余笹川の河道の平均的流下能力 $400\text{m}^3/\text{sec}$ よりも大きかつ

たことが注目される。

(2) 洪水流に対する橋梁の影響

① 余笹橋（国道4号）は橋脚の間隔が狭く、洪水時に多量の流木などがかかり、洪水の流下を大きく阻害したため、橋の左岸側護岸が侵食されて左岸側の一部が落橋した。② 中余笹橋および下余笹橋は洪水流を阻害したため、左岸側の河岸が侵食された。また、下余笹橋による洪水の堰上げのため橋上流から右岸側へ洪水が氾濫して、下川の集落内に新流路が形成された。③ 寺子橋および余笹橋は洪水時に多量の流木などがかかり、洪水の流下を大きく阻害した。それが水位上昇による氾濫の原因になると同時に、橋右岸側の河岸の侵食や新流路の形成の原因となった。

以上のように、ほとんどの橋梁が洪水流を阻害して、洪水氾濫の原因になると同時に、河岸の侵食や新流路の形成の原因となった。

4.4 屋敷林の防災効果

下川橋下流右岸の堤内地（5-3）においては、氾濫流と新流路の形成によってそこにあった住宅が孤立した。この住宅は浸水被害を受けたが、上流側に屋敷林があったために流失などの大きな被害を免れた。この住宅の屋敷林は、この地域特有の強い北風に対する防風対策として整備されてきたということである。

そうであれば、防風林が余笹川の洪水に対して大きな役割を果たしたことになる。余笹川は北から南へと流下しており、暴風の方向と洪水流の方向とが一致した結果、このような効果が発揮された。防風林という認識が正しいかどうかを確かめるために、調査対象範囲周辺の航空写真を調べた。その結果、河川よりも地盤の標高がかなり高く、余笹川の水害と全く関係しないような場所に立地する住宅や集落においても、多くの場合にそれらの北側に屋敷林があることがわかった。したがって、余笹川の河道近くの樹林帯を別にすると、他の地区の住宅や集落の北側にある屋敷林も防風林であると考えることができる。

石堀子橋の下流左岸側（6-1）では氾濫流によって深い新流路が形成され、新流路の下流部分は住宅まで迫ってきていた。しかし、ここに住宅があったことによって、新流路はそれ以上の洗掘と拡大が制限されることになった。この住宅の北側（上流側）には幅 $10\sim20\text{m}$ の竹と杉が混じった屋敷林があり、屋敷林の地盤は周辺の地盤よりも $50\text{cm}\sim1\text{m}$ 程度高くなっていた。洪水時に屋敷林の西側の一部は流失したけれども、竹やぶにゴミがかかって水流をやわらげたために、家屋は床上浸水したが、流失を免れた。ここでは、屋敷林の防災効果がよく発揮されたと言える。災害後に屋敷林の北側が石垣で強化されたが、屋敷林が水害に対して重要

な役割を果たすことが認識された結果である。

このように、1998 年の余笹川の洪水に対して屋敷林は大きな防災効果を持っていたと言える。

4.5 土地利用と水害の問題

水害の実態を調べていくうちに、河道の側方侵食や新流路の形成、それに伴う住宅の流失という痛ましい被害が土地利用のあり方と深く関係していることがわかった。以下においては、農地に関する問題と住宅に関する問題について述べることにする。

(1) 農地に関する問題

新幹線橋梁から JR 橋までの区間（2-1）では、側方侵食が進んで河道が大幅に拡大された。災害後の洪水流路を大局的に見た場合の河道であると考え、この大局的に見た河道に形成された砂洲の瀬の部分に当たる場所が農地として利用され、砂洲の前縁に沿う狭い流路が災害前には河道とされていた。そのため、この周辺での河道の流下能力は極めて小さいものになっていた。本来河川領域とすべきところまで農地として利用するという土地利用のあり方が河道の流下能力を小さいものとし、大きな災害を招いたと言える。

4.2 節において整理したように、河道湾曲部において河道幅が小さい場合には、河道の流下能力も小さくなり、湾曲河道をショートカットする顕著な新流路が堤内地に形成されて、大きな被害が発生することが明らかになった。湾曲部では、中小規模の洪水によって河道の外岸側が侵食されると同時に河道の内岸側には土砂が堆積して、河道は外岸側へ移動する。土砂が堆積して高くなった場所を農地として利用することになるが、その場合には次の洪水によって外岸側が侵食されて、ある程度の河道幅が確保される。ところが、湾曲部の外岸側が河岸段丘にぶつかると、その後の洪水によっても外岸側の侵食はほとんど進まず、内岸側の土砂の堆積だけが進むことになる。したがって、必然的に河道幅は減少する方向へと向う。この場合に、内岸側の土砂堆積部をどの程度まで利用するかが河道の流下能力を決定し、今回のような未曾有の洪水が発生する場合の被害の大小を決定することになる。今回の洪水においては、湾曲部の河道幅を極端に狭くするような土地利用がなされていた場合に、大きな被害が発生した。

(2) 住宅に関する問題

前章において記述した水害の実態の中で、洪水流によって流失した住宅が多かったことが注目される。流失した住宅の立地条件や建築時期などを整理した。

記述にある流失した住宅は、下川橋上流左岸側の住宅（4-4）、法師畑集落上流側の河道湾曲部の右岸内岸側の住宅（5-5）、寺子橋上流の河道湾曲部の右岸内岸

側の住宅（6-3）、協和橋上流側の河道湾曲部の右岸内岸側の住宅（7-2）、砂の目地区の協和橋付近の河道湾曲部の左岸内岸側の住宅（7-3）、協和橋の下流側の河道湾曲部の右岸内岸側の住宅（8-1）、余笹橋の右岸側の住宅（8-3）の 7 件である。

これらのうち河道湾曲部の内岸側にある住宅が 5 件あることが注目される。地図および航空写真を調べると、調査対象範囲内では上記の 5 件以外の河道湾曲部の内岸側には住宅がないことがわかった。すなわち、調査対象範囲内では、河道湾曲部の内岸側河道近くに住宅がある場合には、全てのケースで住宅が流失するという被害が発生していることになる。このことから、今回のような洪水に対しては、河道湾曲部の内岸側河道近くは住宅の立地条件としては不適であると言える。

住宅の建築時期を古い地図によって調べた。5 万分の 1 の地図においては、住宅がある場合にも地図に記入されないことがあるので、主に 2 万 5 千分の 1 の地図（昭和 48 年、昭和 53 年、昭和 60 年発行のもの）を用い、5 万分の 1 の地図を参考にした。

その結果、以下のことがわかった。① 明治 42 年の 5 万分の 1 の地図に記入されている住宅；（6-3）と（8-1）、② 昭和 48 年の地図には記入されているが、それより前の 5 万分の 1 の地図には記入されていない住宅；（4-4）、（5-5）と（7-3）、③ 昭和 53 年以後の地図に記入されている住宅；（7-2）と（8-3）。①の住宅は明治 42 年以前からそこにあったことを示しており、②の住宅は昭和 46 年（昭和 48 年の地図の現地調査は昭和 46 年に行われた）以前からそこにあったが、居住年はわからないことを示している。③の住宅は昭和 46 年から昭和 51 年（昭和 53 年の地図の現地調査は昭和 51 年に行われた）の間に建築されたことを示している。このように、今回のような洪水に対して危険な場所に、約 30 年前に建てられた住宅も 2 件あるが、残りの住宅がかなり古くからあったことが注目される。それは、今回のような未曾有の大洪水が発生すること、およびその場合に先述のような水害が起こることを想像することができなかったためであると考えられる。

5. 余笹川の治水対策について

5.1 災害後の復旧事業

災害助成事業（改良復旧事業）の河川整備計画は災害があった平成 10 年（1998 年）度に作られ、2001 年 3 月に事業が竣工した。本事業においては、計画規模が 1/50 とされ、本研究の調査対象区間においては、改修河道の計画高水流量は四ツ川合流点から棒川合流点までの区間で $560\text{m}^3/\text{sec}$ 、棒川合流点から黒川合流点までの区間で $670\text{m}^3/\text{sec}$ となっている。調査対象区間

の計画高水流量は、棒川合流点上流区間で実績洪水流量の 1/3.1, 棒川合流点下流区間で実績洪水流量の 1/2.6 しかないことが注目される。このため、超過洪水に対する「被害の最小化」対策の取り組みが図られ、以下の超過洪水対策が実施された（栃木県余笹川流域河川改修事務所, 2001 ; 高山, 2002）。なお、超過洪水対策には国の予算がつかないため、県費（事業費全体の 10% 程度）が使われ、いろいろな工夫がなされた。

① 磯市赤沼地区では、堤防の表法面の強化は勿論、天端および裏法面もコンクリートブロックで保護し、土をかぶせてコンクリートを目立たなくした耐越水型堤防（巻き堤防）が整備された。

② 橋梁は径間長の拡大などの改良復旧がなされた。寺子橋には橋梁の両側に計画高水位よりも高い洪水を流下させるためのボックスカルバートが造られた。

③ 下川橋下流の河道が分かれていた場所で、東派川を掘り下げて小規模調整池が整備された。洪水の越流堤の天端高さは計画高水位になっている。調整池の規模は、面積が 2ha, 貯水容量が 3 万 m^3 である。

④ 集落を守る河畔林や防備林が整備された。

⑤ ソフト面の治水対策として、ハザードマップの作成と配付、水防拠点の整備、洪水予報システムの整備などが行われた。住宅の移転や再建にあたっての耐水化（ピロティ方式の採用など）の取り組みもなされた。また、河川改修に当っては、次のことが考慮された。

① 自然に配慮した川づくりがなされた。護岸に自然石が使用され、落差工にも自然石が使われて変化のある河道になった。河床の洗掘防止のために木工沈床が施工され、魚に配慮した低々水路も造られた。

② 河道改修においては、河道幅が災害前の約 1.5 倍に、河川断面積が約 2 倍になった。超過洪水に対してできるだけ安全にするために、河道の掘り込みを重視した河道改修がなされた。河川改修に伴う掘削土砂量に関しては、余笹川、黒川および四ツ川の 3 河川分で、残土が 120 万 m^3 であった。掘削された土砂は農地の復旧に使われた。

③ 重点地区では、護岸を強化するために堤防の余裕高（余裕高は 1.0m）の表法面にも自然石が積まれた。一般には、この部分は芝でよいことになっている。

④ 蛇行部においては、湾曲が緩和されて河道が滑らかにされた。また、法師畑の集落の上流側の湾曲部（5-5）では、湾曲部の河道幅が大きいまま残された。この周辺の河川改修後の航空写真を **Photo 7** に示す。洪水は紙面の上から下に向かって流下する。寺子橋上流の湾曲部の内岸側の堤内地（6-3）では、河川改修時に地盤の嵩上げが行われた。協和橋の上流側の湾曲部（7-2）では、新流路が形成された内岸側の堤内地の広い範囲が河道内に取り込まれ、河道幅が大幅に拡大された。この周辺の河川改修後の航空写真を **Photo 8** に示す。

本事業における改修区間は四ツ川合流点より下流で



Photo 7 Aerial photographs taken after the river improvement work around the curved channel in upstream area of Hosihata district



Photo 8 Aerial photographs taken after the river improvement work around the curved channel in upstream area of Kyowa bridge

あるが、四ツ川合流点上流域は余笹川火山砂防事業で改修された。土砂流出対策として上流部で砂防堰堤が建設され、四ツ川合流点の直上流に遊砂地が建設された。砂防事業によって下流部の河床低下が進むことが予測される。また下流部の護岸整備に伴い、側方からの土砂供給量が減少することも河床低下につながると予測される。このために、河道の流下能力は増大すると考えられるが、河床低下に対する対策が必要である。

なお、農地の復旧は町が行い、国と県が補助した。農家の自己負担は、一般では3割負担であるが、この場合には3～5%であった。

5.2 水害実態の検討結果から考えられる治水対策

上記のように、災害助成事業を進める際に超過洪水対策や自然に配慮した川づくりなどで多くの工夫や努力がなされた。しかし、調査対象区間の計画高水流量が実績洪水流量の1/3.1（棒川合流点上流区間）、あるいは1/2.6（棒川合流点下流区間）しかないことを考慮すると、まだ十分とは言えない。以下に、本研究における水害実態の検討結果から考えられる治水対策について述べる。

(1) 旧河道跡と新流路の形成場所における対策

水害の実態の検討から、河道の側方侵食や新流路の形成が旧河道の存在と深く関係しており、旧河道があった場所が侵食されたことがわかった。

したがって、旧河道跡と今回の洪水で新流路が形成された場所周辺において、旧河道跡および新流路形成場所と河道との関係を検討し、必要な場所の堤防、あるいは護岸を強化することが重要である。また、旧河道跡と新流路形成場所には住宅を建てないことが重要である。堤防や護岸の強化の方法としては、黒磯市赤沼に施工された耐越水型堤防、あるいは堤防の余裕高部分の表法面に自然石を積む方法などが参考になる。

(2) 河道湾曲部における対策

水害の実態の検討から、湾曲部の河道幅が小さい場合には河道の流下能力も小さくなり、大量の氾濫流によって内岸側の堤内地に顕著な新流路が形成されて、激甚な被害が発生することがわかった。

河道湾曲部では、中小洪水時に内岸側に土砂がたまることは避けられない。したがって、河道湾曲部の河道幅を大きくする必要がある。このようにした上で、中小洪水によって内岸側に土砂がたまる場合には、内岸側の土砂を排除して内岸側に適当な流路を造ることが重要である。このようにすると、大洪水時に主流が内岸側を流下し、外岸側の堤防が安全になると同時に、洪水の流下の伴って上記の流路が拡大されて河道流下流量が増加する。したがって、氾濫を伴うような超過洪水の発生に対しても安全性が相対的に高くなる。ま

た、河道幅が大きい場合には河道貯留効果もある程度期待できる。

法師畑の集落の上流側の湾曲部（5-5）では、河道幅が大きい状態が残された。協和橋の上流側の湾曲部（7-2）では、河道幅が大幅に拡大された。これらは水害の経験を活かした合理的な方法であると評価できる。これらの河道湾曲部において上記のような河道の維持管理と、他の場所においても、可能であれば湾曲部の河道幅の拡大を検討することが重要である。

(3) その他のコメント

大洪水時には、ほとんどの橋梁が洪水流を阻害して、洪水氾濫の原因になると同時に、河岸の侵食や新流路の形成の原因となった。災害後は橋梁は径間長の拡大などの改良復旧がなされたので、特に問題となることはない。

今回の洪水に対して屋敷林は大きな防災効果を発揮したことが明らかになった。集落や住宅を守る河畔林や防備林の整備に努めることが重要である。

今回のような洪水に対しては、河道湾曲部の内岸側河道近くは住宅の立地条件としては適当ではないことがわかった。このような場所に残っている住宅の移転などの検討とともに、今後このような場所に居住しないような働きかけをすることが重要である。

以上の提案は、災害前の余笹川と同様に、改修が十分に行われていないような河川の治水対策を考える場合にも有効であると考ええる。

6. 結 語

1998年8月の余笹川の水害に関しては、洪水流による側方侵食と氾濫流による新流路の形成が重要であると考えて、それらの形成原因を明らかにするため、余笹川の水害の実態を一つ一つ丁寧に調べた。余笹橋(国道4号)から黒川合流点までの約14kmの区間を調査対象範囲とし、得られた結果を余笹川の治水対策に結びつけるような方向でまとめた。

本研究によって明らかになったことを記すと、次のようである。

① 河道の側方侵食や新流路の形成が旧河道の存在と深く関係しており、多くの場合に旧河道があった場所が侵食されたことがわかった。

② 湾曲部河道の河道幅の違いによって新流路の形成状況が変わることがわかった。すなわち、湾曲部の河道幅が大きい場合には、堤内地には新流路が形成されず、湾曲部の河道幅が小さい場合には河道の流下能力も小さくなり、氾濫流によって内岸側の堤内地に顕著な新流路が形成されて、激甚な被害が発生した。

③ 調査対象範囲においては、ほとんどの橋梁が洪水流

を阻害して、洪水氾濫の原因になると同時に、河岸の侵食や新流路の形成の原因となった。

④ 上流側に屋敷林があったために流失などの大きな被害を免れた住宅がいくつかあった。屋敷林は、この地域特有の強い北風に対する防風対策として整備されてきたものであるが、1998年の余笹川の洪水に対して大きな防災効果を発揮した。

⑤ 河道の側方侵食や新流路の形成、それに伴う住宅の流失という痛ましい被害が土地利用のあり方と深く関係していることがわかった。本来河川領域とすべきところまで農地として利用するという土地利用のあり方が河道の流下能力を小さいものとし、大きな災害を招いたと言える。また、今回のような洪水に対しては、河道湾曲部の内岸側河道近くは住宅の立地条件としては適当ではないことがわかった。

次に、本研究における水害実態の検討結果に基づいて考えられる治水対策について述べると、以下のようである。

① 旧河道跡と今回の洪水で新流路が形成された場所周辺において、旧河道跡あるいは新流路形成場所と河道との関係を検討し、必要な場所では堤防あるいは護岸を強化することが重要である。また、旧河道跡と新流路が形成された場所には居住しないことが重要である。

② 河道湾曲部では河道幅を大きくする必要がある。このようにした上で、中小洪水によって内岸側に土砂がたまる場合には、内岸側の土砂を排除して内岸側に適当な流路を造ることが重要である。

③ 今回のような洪水に対しては、河道湾曲部の内岸側河道近くは住宅の立地条件としては適当ではないので、このような場所に居住しないような働きかけをすることが重要である。

以上の提案は、災害前の余笹川と同様に、改修が十分に行われていないような河川の治水対策を考える場合にも有効であると考ええる。

本研究は余笹川について調べたものであるが、ここで得られた結果を一般の場合に広げるために、今後同じ余笹川流域の黒川の水害についても調べるつもりである。

謝 辞

本研究を進めるに当って、栃木県余笹川流域河川改修事務所の担当者から、余笹川の重点地区の改修工事について現地で説明をいただいた。また、上記河川改

修事務所と那須町より各種の資料の提供とともに、水害に関するビデオおよび河川改修に関するビデオの貸与とコピーの許可をいただいた。末筆ながら深甚の謝意を表します。

参考文献

- 伊藤和典・須賀堯三・茂木信祥・池田裕一（2000）：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，水工学論文集，第44巻，pp.407-412。
- 伊藤和典・須賀堯三・池田裕一（2001）：余笹川にみる低頻度大洪水による横侵食性河道変化の実態とその考察，水工学論文集，第45巻，pp.781-786。
- 佐藤照子（2001）：1998年8月那珂川水害の被害と土地環境，主要災害調査第37号 北関東・南東北地方1998年8月26日～31日豪雨災害調査報告，防災科学技術研究所，pp.137-216。
- 高山博行（2002）：一級河川余笹川災害復旧事業（一定災），防災，No.113，pp.48-53。
- 館健一郎・末次忠司・小林裕明・都丸真人（2001）：洪水氾濫時の防災樹林帯の効果に関する検討——余笹川流域を対象として——，水工学論文集，第45巻，pp.913-918。
- 栃木県土木部（1998）：平成10年8月末豪雨による災害（栃木県）改訂版，36pp。
- 栃木県（1999）：一級河川那珂川水系 余笹川災害復旧事業計画書（一定災），46pp。
- 栃木県余笹川流域河川改修事務所（2001）：安全で緑豊かな川を目指して，栃木県パンフレット。
- 中川 一・高橋 保・里深好文（2000）：1998年洪水による那珂川水系余笹川の河道変動について，水工学論文集，第44巻，pp.395-400。
- 中根和郎（2001）：1998年8月26日～31日那珂川流域の豪雨による洪水流出，主要災害調査第37号 北関東・南東北地方1998年8月26日～31日豪雨災害調査報告，防災科学技術研究所，pp.37-89。
- 那須町（2000）：豪雨災害のつめあと——平成10年8月末集中豪雨災害の記録——，250pp。
- 防災科学技術研究所（2001）：主要災害調査第37号 北関東・南東北地方1998年8月26日～31日豪雨災害調査報告，216pp。
- 三品智和・須賀如川・助川純一郎・古川保明・菅俣 崇・福田一郎・築瀬和裕（2002）：余笹川の災害対策後河道の河道特性に関する考察，水工学論文集，第46巻，pp.343-348。

On the Flood Disaster in the Yosasagawa Basin in 1998 and Flood Control Measures

Tetsuo UENO

Synopsis

Severe flood disasters were occurred in the Yosasagawa River basin due to heavy rainfall on August 27, 1998. The discharge of flood flow was about fore times as large as the average capacity discharge of river channel in the investigated section. In this paper, the cause of some new channels formed by inundation was discussed by investigating the field, old maps and aerial photographs taken before and after the flood around the Yosasagawa River. It was cleared that the new channels were formed on the old river channels and in the place where curved river channels were narrow extremely. The flood control measures of the Yosasagawa River were considered, based on the results of investigations.

Keywords: the Yosasagawa River, flood disaster, excess flood, field survey, aerial photographs