

1998年8月新潟下越豪雨災害に関する調査研究

武藤 裕則・中川 一・戸田 圭一・市川 温・川池 健司*

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

1998年8月、新潟県では佐渡、下越地方を中心に集中豪雨が発生し、県下で多くの水害による被害が生じた。本報は、下越の笹神村、折居川流域を対象として取り上げ、二度にわたり現地へ赴いて実施した水害調査の結果をとりまとめたものである。調査結果より、この水害の成因である短時間降雨の異常性ならびに水害を被りやすい流域特性が明らかとなった。さらに中小河川が有する治水問題の現状についても若干の議論が加えられている。また、分布型流出モデルによる流出解析と2次元の氾濫解析とを結合したモデルにより折居川の氾濫現象を解析し、溢水による氾濫過程の定性的な傾向を再現した。

キーワード：新潟県、下越、豪雨災害、折居川、流出解析、氾濫解析、中小河川、治水問題

1. はじめに

東北・北陸地方に梅雨明け宣言が出されないまま平成10年8月を迎えた新潟県では、北陸付近に停滞していた梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が入り込んだことで、佐渡、下越を中心に集中豪雨が発生した。とくに、8月4日未明から早朝にかけて、新潟県北蒲原郡笹神村では、1時間降雨量73.5mm、6時間降雨量が238.5mm（ともに生起確率1/100以上）（出湯）という集中豪雨に見舞われ、笹神村を貫流する一級河川折居川等が氾濫し、人的被害はなかったものの床下浸水による家屋被害や公共土木施設の被害の他、出穂期にあった水稻が冠水する等して農産物にも甚大な被害が発生した。

新潟県では昭和42年にも前線性の集中豪雨により「羽越水害」と呼ばれている災害が発生している。この水害では、死者・行方不明者併せて140名、被害総額1,200億円（当時）という甚大な被害を受けた（岩崎，1968）。この水害の特徴は大規模な土石流や斜面崩壊といった土砂災害が主であったこと、計画洪水流量を遙かに上回る出水のために広範囲にわたる

中小河川で氾濫を引き起こしたことにあったが、今回の水害では中小河川の氾濫や法面の土砂崩れ等が発生したものの、大規模な土石流や斜面崩壊といった土砂災害は発生していない。

「羽越水害」時の折居川流域平均の時間最大雨量は50mm、日雨量は351mm、累加雨量は406mmであり、今回の水害ではそれぞれ68.9mm、251mm、270mmであることから、日雨量および累加雨量に関しては「羽越水害」時の方が大きいものの、時間最大雨量としては今回の水害の方が大きくなっている（新潟県，1998）。土石流や斜面崩壊といった現象には時間降雨強度（あるいは10分間降雨強度）といった短時間降雨強度の影響が大きいと言われており、今回の豪雨によって土砂災害がほとんど発生しなかったことは、「羽越水害」後の治山・砂防事業の効果が大きいものと考えられる。

「羽越水害」前年に発生した水害や「羽越水害」を契機として、折居川下流部でも災害復旧関連事業により、また、中流部においても昭和42年度より河川局部改良事業により暫定的に治水事業が行われてきた。たとえば、昭和41年からの災害復旧助成

事業では折居川の上一分～折居の4,310 m区間が1/80の確率規模に改修され、昭和42年の水害後には一定災(砂防)で折居地点の1,355 mが計画降雨量275mm/day、高水流量131 m³/s(確率年不明)に改修された(新潟県, 1998)。

このような改修事業にもかかわらず、今回の洪水で折居川流域一帯は浸水した。これは100年を超える生起確率の降雨が発生したために折居川の計画を上回る洪水が発生し、破堤・氾濫が生じたことに主な原因があるが、折居川本川からは越水していてもこれよりさらに小規模な河川、とくに農業利水用河川から越水して周辺の田畑や家屋が浸水するといったことが生じた。

本研究ではまず、新潟県下全域における降雨概況ならびに被害の実態を示し、ついで洪水氾濫が発生した折居川流域における降雨概況、被害の実態を明らかにするとともに、流出解析を行って洪水流量を算定する。さらに、これを入力境界条件とした洪水氾濫解析を実行することにより洪水氾濫現象の再現を試み、このような中小河川を有する堤内地の治水安全度を評価するための一手法を提示する。

2. 1998年8月新潟下越豪雨災害による被害概況

2.1 降雨概況

1998年8月4日未明から、新潟県下越地方は記録的な集中豪雨にみまわれた。今回の豪雨は、これまでに新潟県・北陸地方で起きた大水害(1966年7月17日水害, 1967年8月28日羽越水害, 1995年7月11日水害)と同様、日本海付近に停滞する前線が活発化することによってもたらされたものである。新潟県北部に停滞していた梅雨前線にむかって、南西から暖かく湿った空気が入り込んで前線が活発化し、新潟市では4日午前零時から午前8時までの八時間に237 mmの雨を観測し、これまでの一日最大降水量(165 mm)をはるかに上回る豪雨となった。他の各地でも、安田町で246 mm、新津市で149 mm、新発田市赤谷で129 mmと非常に強い雨を観測した。一時間降水量でも新潟市で4日午前に一時間あたり97 mmという記録的な降水量を観測した。

Fig. 1は8月4日0時から8月4日24時までの日降水量分布図(新潟県土木部河川課, 1998)である。佐渡地方から新潟市付近の一帯および守門岳周辺に強雨域が見られる。Fig. 2～5は8月3日18時から8月4日24時にかけて観測された降水ハイエトグラフである。Fig. 2はアメダス新潟地点で、Fig. 3はアメダス宝珠山地点で、Fig. 4は建設省出湯観測所で、Fig. 5はアメダス守門岳地点でそれぞれ観測されたものである。これらの四観測地点の

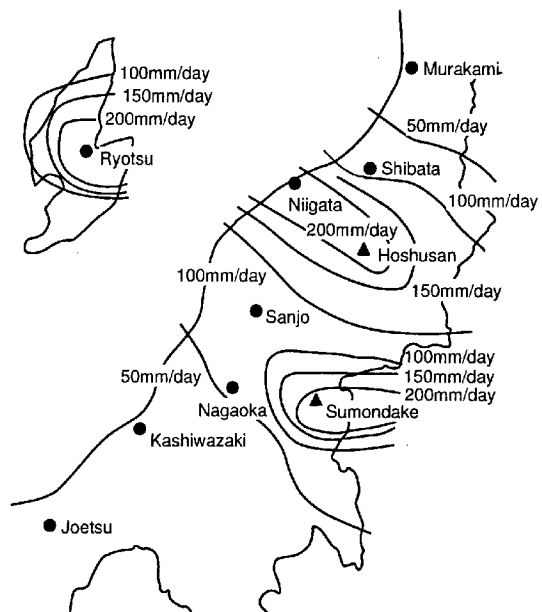


Fig. 1 Spatial distribution of the rainfall in Niigata Prefecture

なかでは、建設省出湯観測所が折居川流域に最も近く、アメダス宝珠山地点から北に約5 km離れたところに位置している。今回の豪雨では、梅雨前線の南下にともなって雨域が北から南に移動している。四観測所のうち最も北に位置している新潟では、8月4日3時～4時にかけて降雨のピークを観測しているが、宝珠山および出湯では降雨のピークは4時～5時に現れている。さらに南方の守門岳では8時～9時にかけて降雨ピークが現れており、雨域の移動の様子がこれらの図からも読み取ることができる。

2.2 被害概況

今回の降雨により被害を受けた地域は、新潟県をはじめとして、福島・富山の3県にわたる。とりわけ新潟県では、死者1名を含む人的被害があったほか、家屋・公共土木施設等にも甚大な被害があった。本節では、新潟県における被害の概況を示す。

河川の出水状況については、北陸・東北地方建設局管内の直轄河川6水系9河川において警戒水位を超えたほか、新潟県内では阿賀野川水系折居川および松岡川、信濃川水系山北川、国府川水系長江川、藤津川および大野川の3水系6河川において、堤防決壊または越水を起こしている。

土砂災害については、佐渡地方を中心に、がけ崩れ18箇所、地すべり9箇所、土石流発生河川45溪流等となっている。また、被害を受けた道路は、国

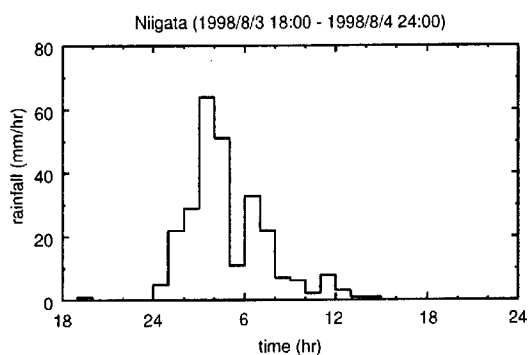


Fig. 2 Hyetograph observed at Niigata AMeDAS Point

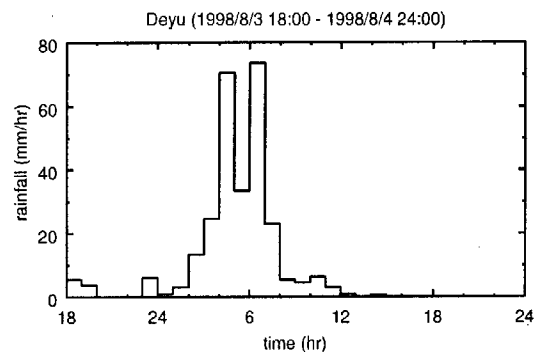


Fig. 4 Hyetograph observed at Deyu observation station of the Ministry of Construction

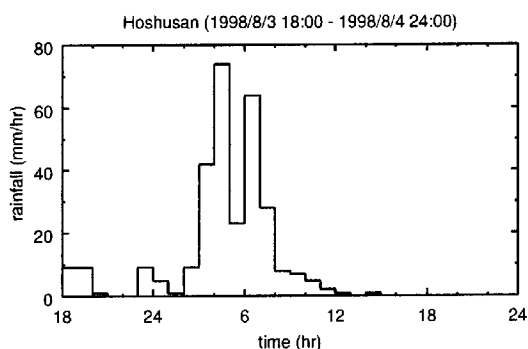


Fig. 3 Hyetograph observed at Hoshusan AMeDAS Point

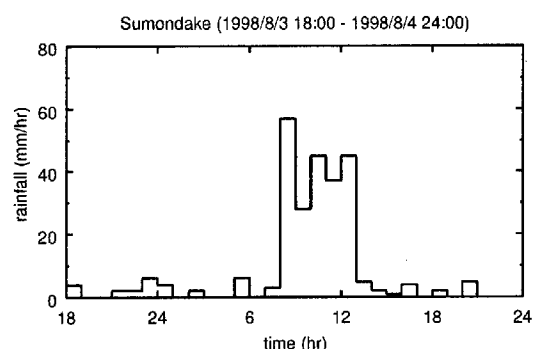


Fig. 5 Hyetograph observed at Sumondake AMeDAS Point

道 290 号、352 号をはじめとして、佐渡地方の主要地方道・県道を中心に新潟県北部にひろがり、通行止めは最大 111 箇所（県道以上）、通行規制は 142 箇所に及んだ（数値は建設省および新潟県調べ）。

Table 1 は、今回の水害による新潟県における人的被害、および住家被害を示したものである。人的被害では、死者 1 名、負傷者 2 名を出す結果となっている。また住家被害では、損壊家屋が 34 戸、浸水家屋が 15,000 戸あまりとなっている。

同表中にはまた、県内でとりわけ被害の大きかった新潟市、北蒲地方（新発田市、豊栄市および北蒲原郡 6 町 4 村）、および佐渡地方（両津市および佐渡郡 7 町 2 村）の被害を内数として示している。これによれば、新潟市における被害はそのほとんどが浸水被害によるものであり、人口の密集度と相まって被害家屋数は大きなものとなっている。これに対して、水害発生時には浸水による被害がマスコミ報道等に大きく取り上げられた北蒲地方であるが、浸水箇所の大半は水田等の非住居地区であり、浸水家屋は 1,500 戸程度にとどまっている。佐渡地方では、死者を出した他、損壊家屋が目立つ。これは、佐渡地方においてがけ崩れ等の土砂災害が相次いだこと

と関係するものと思われる（数値は新潟県調べ）。

Table 2 は、今回の水害による新潟県における公共土木施設の被害額を示したものである。表中には、県下の土木事務所のうち今回の水害による被害の大きかった 4 土木事務所について、その被害額を内数で示している。これによれば、佐渡地方を管轄する相川土木事務所管内において、河川および道路の被害額が突出している。これは、公共施設に被害を及ぼす大規模ながけ崩れ・地すべり等が佐渡地方で相次いだことによるものである。浸水被害が相次いだ新発田、新潟両土木事務所管内では、河川の被害額が大きい。また、新潟土木事務所管内では下水道の被害額もかなりの割合を占めている。阿賀野川中流域を管轄する新津土木事務所管内では、砂防施設の被害額が他土木事務所に比して大きい（数値は新潟県調べ）。

3. 折居川流域における水害に関する調査研究

3.1 水害調査の概要

平成 10 年 8 月 4 日新潟県佐渡・下越地方豪雨災害発生を受けて、防災研究所水災害研究グループで

Table 1 Number of fatalities, injured people and damaged houses in Niigata Prefecture

	Number of people		Number of houses			
	Fatalities	Injured	Wrecked		Flooded	
			Complete	Half or Part	Over Floor	Under Floor
Total	1	2	3	31	2,211	12,878
Niigata City	0	0	0	3	1,381	7,959
Hokukan Area ¹⁾	0	1	0	0	343	1,172
Sado Area ²⁾	1	0	3	22	108	1,067

1) Hokukan Area : Shibata City, Toyosaka City and Kita-Kanbara County (6 Towns and 4 Villages)

2) Sado Area : Ryoutsu City and Sado County (7 Towns and 2 Villages)

Table 2 Damage on public works in Niigata Prefecture

(in million Yen)

	Rivers	Sabo Works	Roads	Bridges	Sewerage	Parks
Total	11,167	362	6,762	376	1,129	13
Shibata Office	827	22	320	74	180	5
Niitsu Office	98	42	56	32	31	-
Niigata Office	792	0	69	0	831	8
Aikawa Office	7,284	37	3,668	136	-	0

は中川・戸田・武藤・市川の4名からなる水害調査班を結成し、8月11、12日の両日、北蒲原郡笹神村を中心に、阿賀野川水系折居川・松岡川の堤防決壊および越水による被災状況を調査した。その後、戸田・武藤の両名が12月18、19日に追加調査を実施した。本節では、調査対象流域の概要および調査実施状況の概要を述べる。

今回調査を行った北蒲原郡周辺地域は、古来より排水不良地域として知られる。排水不良地域の成因および近世以降の治水対策については文献(大熊, 1979; 磯部他, 1981)に詳しいので詳細はそちらに譲るが、排水不良地域の成因の要点としては、元来の低平地であるということの他に、1. 海岸沿いの砂丘(横列砂丘)列の発達による河川のせき止めと、それに伴う分・合流による河川網の発達と乱流、2. 日本海沿岸の潮位差の微小性による排水不良、に求めることができる。また、この地域における排水状況を改善するために近世以降に行われた治水対策についてはFig. 6に示すとおりであるが、江戸期以降

昭和初期まで、流路整理(河川の分離)と放水路開削による潟の干陸化が営々と続けられてきたことがわかる。さらに戦後は、流域で発生した幾つかの水害を契機に、排水機場などの近代的治水対策が施されている。

しかしながら、常時水面を有する領域として最後まで残ったのが、今回調査対象とした折居川の下流域に位置する福島潟である。福島潟は豊栄市に位置し、五頭山系から流れ下る13河川の水を集め、それらの水はただ一つ新井郷川として流出し日本海へ注ぐ。その周辺地域は、Fig. 7に示すように新潟平野内でも最も低く窪んだ土地であり、新井郷川排水機場完成(昭和36年)後もしばしば水害による被害を受けてきた(昭和41, 42, 53および平成7年)。現在、福島潟の水を洪水時には新潟東港へ抜くための福島潟放水路および排水機場(計画洪水流量300 m³/s)の建設が平成17年度完成を目標に進められている。

折居川は、五頭山系に発し福島潟へ流れ込む13

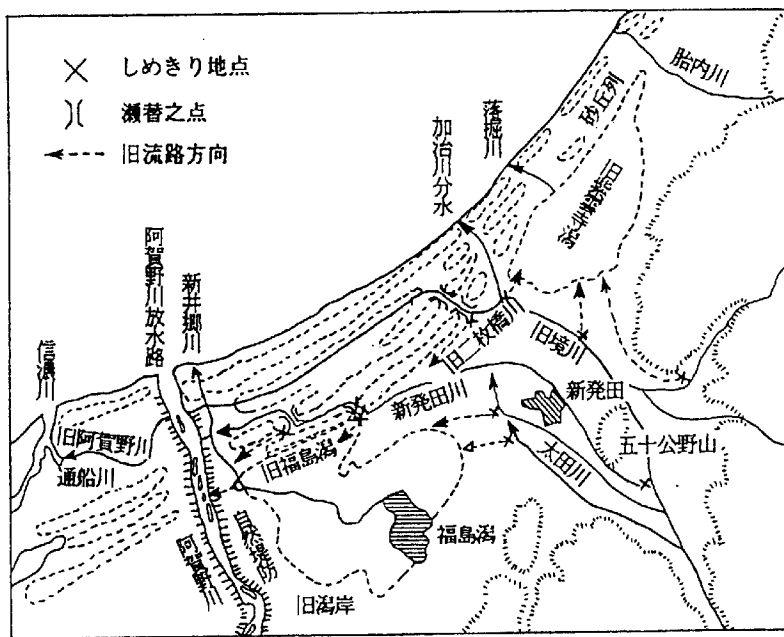


Fig. 6 Preview of the history of flood alleviation schemes in the North of Niigata (Aga-Kita) area (Figure source: Isobe *et al.*(1981))

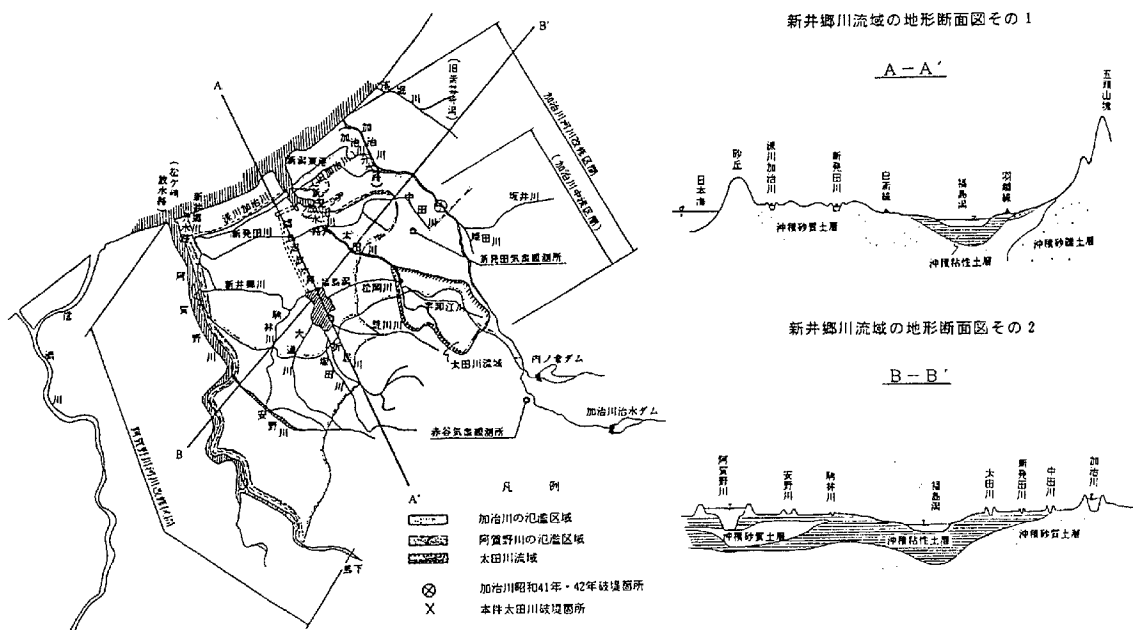


Fig. 7 Topographical map of the North of Niigata (Aga-Kita) area (Figure source: Niigata Prefecture (ed.))

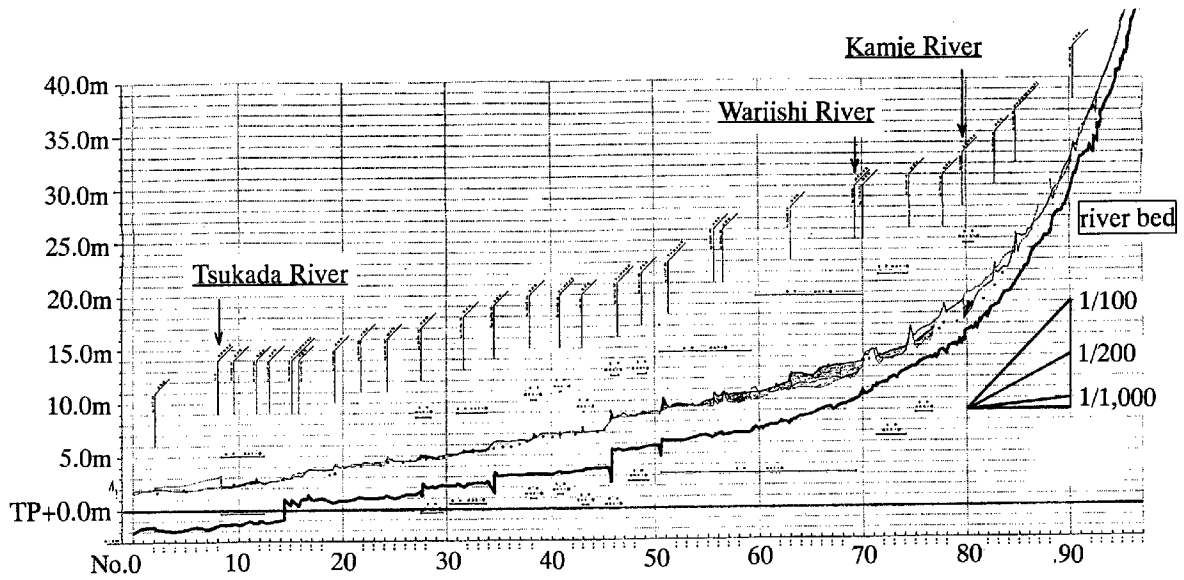


Fig. 8 Longitudinal river bed profile of the Orii River

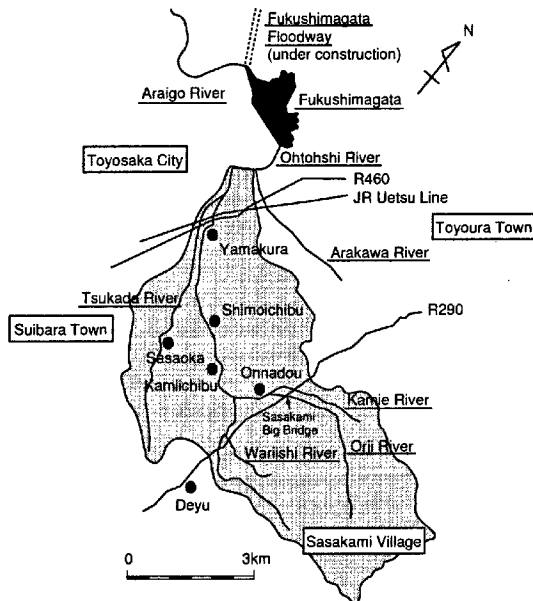


Fig. 9 Orii River basin

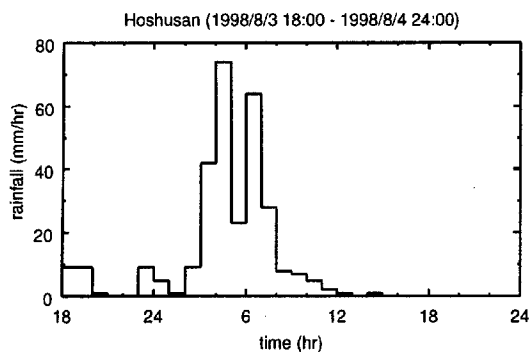


Fig. 10 Hyetograph observed at Hoshusan AMeDAS Point

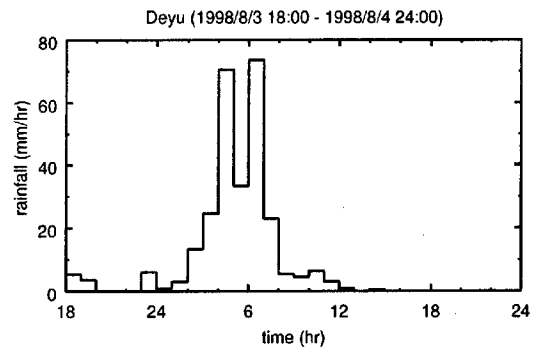


Fig. 11 Hyetograph observed at Deyu observation station of the Ministry of Construction

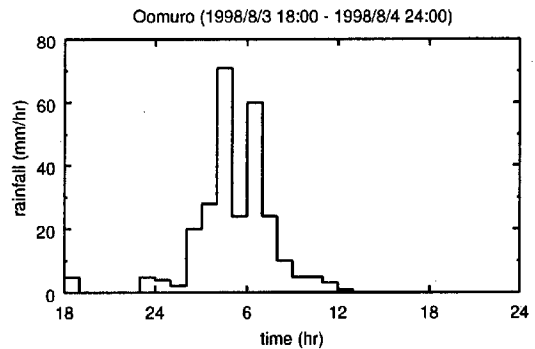


Fig. 12 Hyetograph observed at Oomuro observation station of Niigata Prefecture

河川のうちの一つで、その源を松平山（標高 954 m）に発する流域面積 37.7 km² の中小河川である。主要な支川として、右岸側支川上江川、左岸側支川塚田川および割石川を持つ。その縦断図は Fig. 8 に示すようであり、下流～中流域（No. 0～No. 70：割石川合流点付近）は河床勾配 1/500 程度以下の緩やかな河川であるが、上流に向かうに従って河床勾配は急激に大きくなり、No. 85（国道 290 号笹神大橋付近）より上流では勾配 1/100 以上となり山地河川としての様相が強くなる。今回破堤したのは、女堂地区（No. 85 付近）および下一分地区（No. 43 付近）の二箇所である。また越水は、塚田川が合流する No. 10 付近の他、山倉村から女堂地区に至る No. 30～80 の間のほとんどの区域の両岸で起こっている。

水害調査は、Fig. 9 に示すように、折居川の氾濫により被災した北蒲原郡笹神村内を中心に行った。笹神村は、新潟市の東約 20 km に位置し、面積 87.5 km²、人口 9,740 人、世帯数 2,289 戸（平成 7 年現在）を数える。現在の村制は、昭和 31 年笹岡村と神山村が合併して施行された。900 m 級の五頭連山のすそ野に位置するため、村の面積の約 60 % を森林が占め、山地と平地の境界部では勾配および土地利用が一変する。また第一次産業就業人口は 18.6 % を数え、平地部での米作りを主体とした都市近郊農村である。上述した過去の水害時には常に浸水等による被害を受けており、水害常襲地域といえる。

3.2 降雨概況

今回の豪雨に関する全般的な降雨概況については 2.1 ですでに述べた。ここでは折居川流域付近における降雨の時空間分布状況について簡単に述べる。

Fig. 10～15 に折居川流域付近における毎時降水量を示す。Fig. 10 と Fig. 11 は、比較検討のため、それぞれ Fig. 3 と Fig. 4 を再掲したものである。これらを見ると、折居川流域に比較的近い宝珠山、出湯、大室、豊栄ではほぼ同様の降水強度、時間分布を示している。総降水量も、宝珠山で 298 mm、出湯で 278 mm、大室で 267 mm、豊栄で 265 mm とほぼ同様である。一方、折居川流域から若干離れた新津、新発田では、上記の四地点とは異なった傾向を示している。ピーク時の降水強度は上記四地点の約半分の約 40 mm/hr であり、大きく突出したピークも見られない。総降水量も新津で 180 mm、新発田で 132 mm と折居川流域付近に比べてかなり少ない。このことから、折居川流域を中心にかなり集中的な豪雨があったこと、ならびに、折居川流域内における降雨の空間分布はさほど大きくなかったことが推定される。

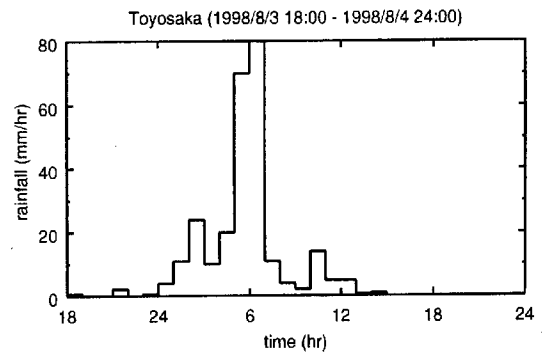


Fig. 13 Hyetograph observed at Toyosaka observation station of the Ministry of Construction

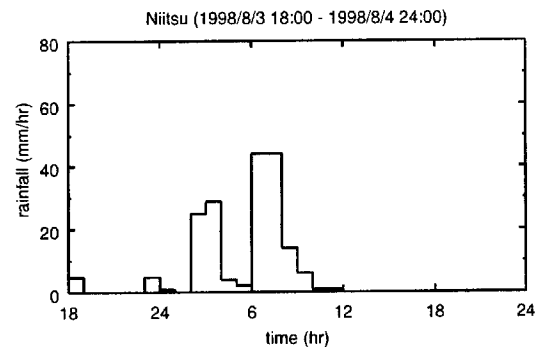


Fig. 14 Hyetograph observed at Niitsu AMeDAS Point

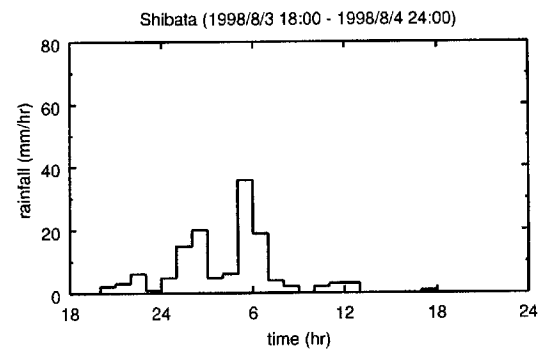


Fig. 15 Hyetograph observed at Shibata observation station of Niigata Prefecture

3.3 被害概況

今回の豪雨による笹神村内の人的被害は死者・負傷者ともなく、住家被害は床上浸水 135 戸、床下浸水 306 戸の他、小学校の床下浸水が 1 棟となっている。また、河川堤防の損傷が 12 箇所（うち破堤 2 箇所）、道路の路肩損傷などが 112 箇所、橋梁損傷が 3 箇所など、公共土木施設の被害額は合わせて 50,000 千円に上っている。この他、山岳地を中心に土砂崩れが 30 箇所、地すべりが 1 箇所が発生している。

る。産業関係の被害としては、冠水または浸水した田畑 2,240 ha、それに伴う農産被害額は 1,070,279 千円、農林水産業施設の被害額は 349,800 千円、また観光を含む商工被害額は 213,900 千円などとなっており、公共施設被害と合わせた被害総額は 1,816,759 千円に上っている（数値はいずれも笹神村調べ：平成 10 年 9 月 4 日現在）。

Fig. 16 に今回の水害による破堤箇所および浸水区域を示す。折居川の破堤は女堂地区 (Photo 1) および下一分地区 (Photo 2) で発生した他、折居川および塚田川のかなりの区間にわたって越水しており、その結果 Fig. 16 に見られるように笹神村の平地部の大半が浸水する結果となった。Photo 3 には今回床下浸水した小学校とその付近の水田の浸水状況、また Photo 4 には上一分地区の民家に残る洪水痕跡を示す。この地区での浸水深は約 1.2 ~ 1.3 m と見積もられる。Photo 5 は、破堤に伴う土砂流出により被害を受けた水田である（女堂地区）。砂質は、五頭山系から流出したものと思われる良質なマサ土である。折居川はまた、女堂地区から下一分地区までの中流域では、集落の間を縫うようにして蛇行している。この結果、曲線部の外岸側はおしなべて堤防・護岸が被災することとなった (Photo 6)。なお、山倉村付近の直線部は戦後新たに開削されたものであり、それまでは山倉村の上流側（上関口付近）で折居川と塚田川は合流していた。旧折居川である塚田川は、山倉村等の集落内を蛇行している上に河積もかなり小さく (Photo 7)、今回の豪雨でもかなりの水量が越水したものと思われる。

これらの調査結果より、今回破堤・越水を起こした河川形状の特性としては、以下の四つに要約される。

1. 無堤地区（上一分地区）
2. 曲線部外岸側（女堂地区および大幸橋付近）、河川合流部（割石川合流部）などの水衝部
3. 橋梁上流部（下一分地区）
4. 通水断面積の不足箇所（塚田川）

特に 3. に関しては、橋脚が洪水時の流木・ゴミ等をせき止め、疎通能の減少により上流側水位をせき上げて破堤・越水させるという、従来から多く見られる被災形態がここでも見られた。

今回の豪雨に際し、村当局ではいち早く災害対策本部を設置し（8 月 4 日 5 時 30 分）、折居川が 2 箇所堤防決壊した同日 7 時 50 分には全村に避難勧告を出している。また県では同日 7 時 30 分、陸上自衛隊に対して災害派遣を要請している（救助活動への出発は 8 時 50 分）。Fig. 16 には今回の水害対策として実際に使用された避難所の位置も示している。大半の避難所は、公会堂など住民が普段から

その位置を良く周知していると思われる場所が選ばれており、避難経路の熟知等と相まって、実際の避難行動が円滑に進んだことが想像される。しかしながら、その地形上の位置に関しては、河川のそばであったり地盤高が堤防天端より低かったりする場所もあり、河川の氾濫を想定した避難対策としては必ずしも良好とは言えない点も散見された。

既往最大の被害といわれた羽越水害（昭和 42 年 8 月）時の浸水状況を Fig. 17 に示す。Fig. 16 と比較すると、羽越水害時の方が笹神丘陵裏側の国道 290 号沿いの集落にまで浸水域が広がっていることがわかる。しかしながら、両者の浸水域は折居川中・下流域では良く一致しており、前回・今回共に浸水を免れた小集落の位置も良好に一致する。これらの小集落は、自然堤防上の微高地に形成されたため浸水を免れたものと思われる。

3.4 災害特性に関する考察

ここでは折居川流域での洪水氾濫について解析を行ない、その結果について検討する。はじめに、分布型流出モデルを用いて山地域からの洪水流出計算を行ない、その計算結果を境界条件として平地域での氾濫シミュレーションを行なう。

(1) 流出解析

(a) 用いた流出モデルについて

解析に用いたモデルは、数値標高データと河道網流路位置データを利用した分布型の洪水流出モデルである。モデルの基本的な枠組を以下に述べる。

まず、対象流域のグリッド型の数値標高データから流水線を決定する。流水線とは、ある格子点と周囲四方向あるいは八方向に位置する格子点を結ぶ線のことである。雨水はこの流水線に沿って流下すると考える。流水線の決定方法として従来よく用いられているのは、落水線法とよばれる手法である。落水線法とは、雨水は各格子点の周囲四方向あるいは八方向のうち、最急勾配で下る方向に流れるとする方法である。流水線の決定方法は他にも多数存在し、市川ら（1998）は落水線法を拡張して、発散地形が雨水流動に与える効果を考慮することのできる手法を提案している。ここでは簡単のため、落水線法を用いて流水線を決定した。

このようにして作成した流水線網に河道網流路位置データを重ね合わせて、対象とする河道区間の集水域を構成する流水線群を抽出する。この抽出された流水線群に集水域の面積を配分して、小さな斜面として取り扱えるようにする。この小斜面のことを斜面素片とよぶ。流域斜面は斜面素片の集合体としてモデル化されることになる。

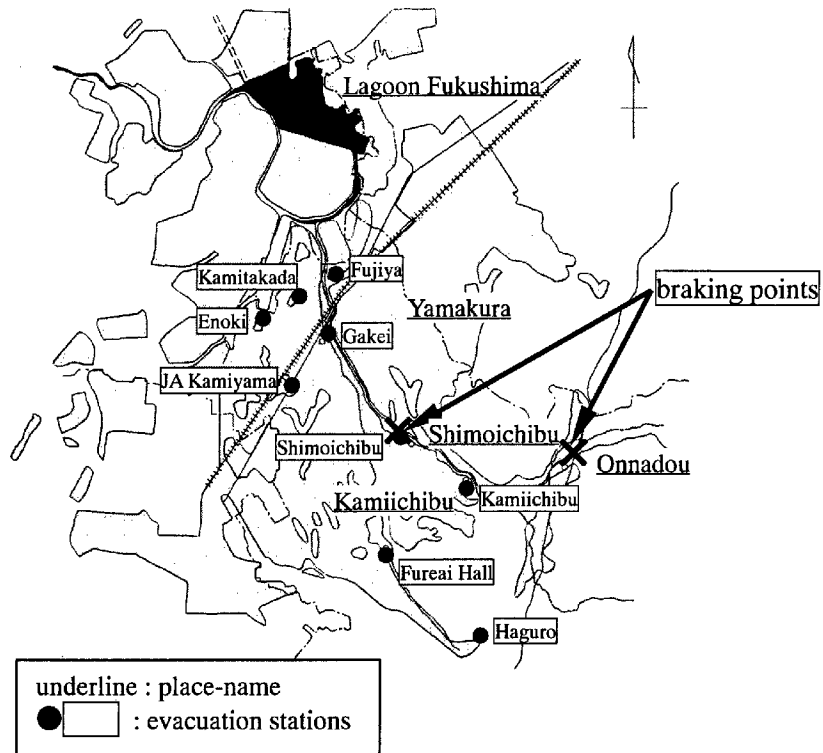


Fig. 16 Inundation area due to heavy rainfall in August 1998

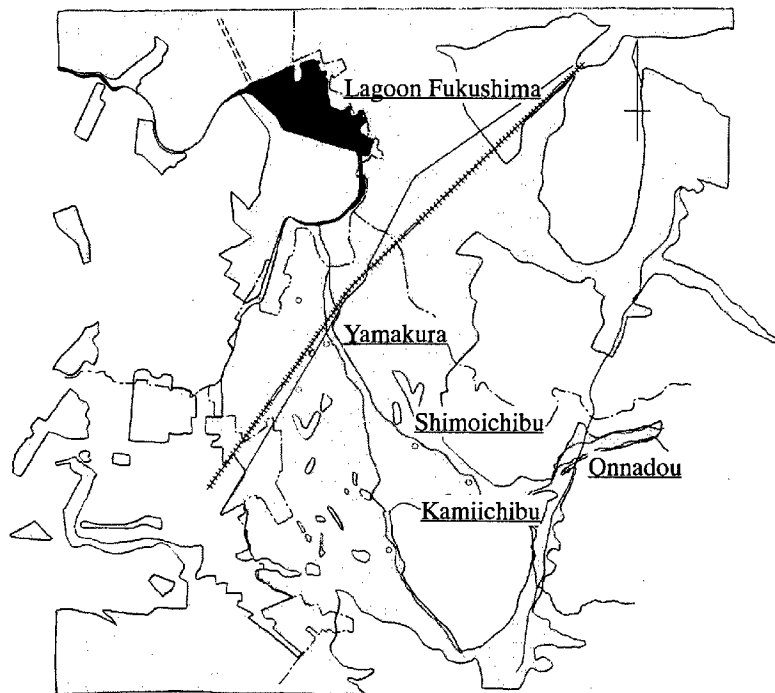


Fig. 17 Inundation area due to heavy rainfall in August 1967

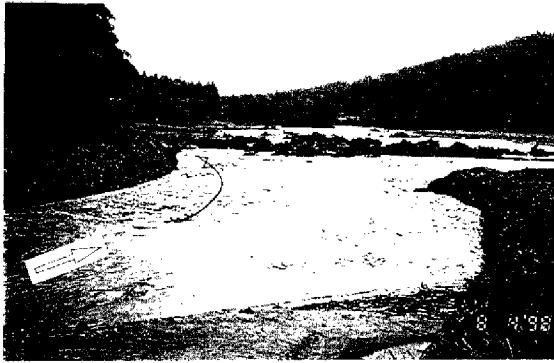


Photo 1 Braking point of embankment, Orii River, at Onnado (Courtesy of Niigata Prefecture)



Photo 4 Flood mark on a house wall in Kamiichibu

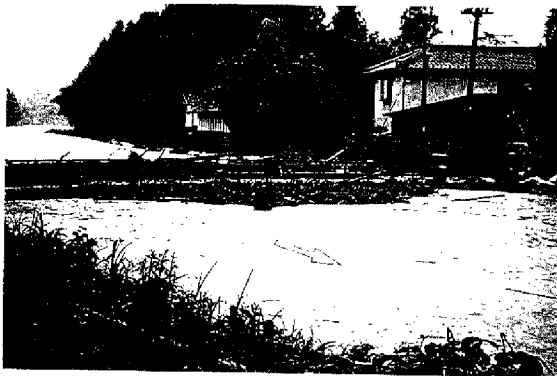


Photo 2 Braking point of embankment, Orii River, at Shimoichibu (Courtesy of Niigata Prefecture)

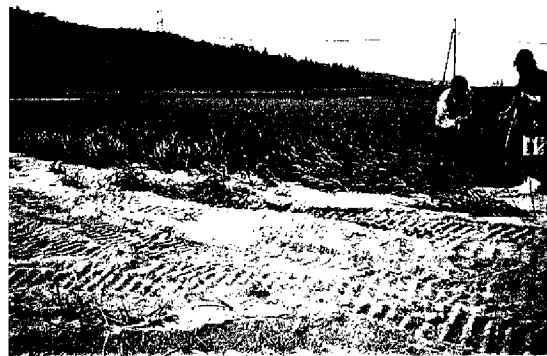


Photo 5 Damaged paddy fields

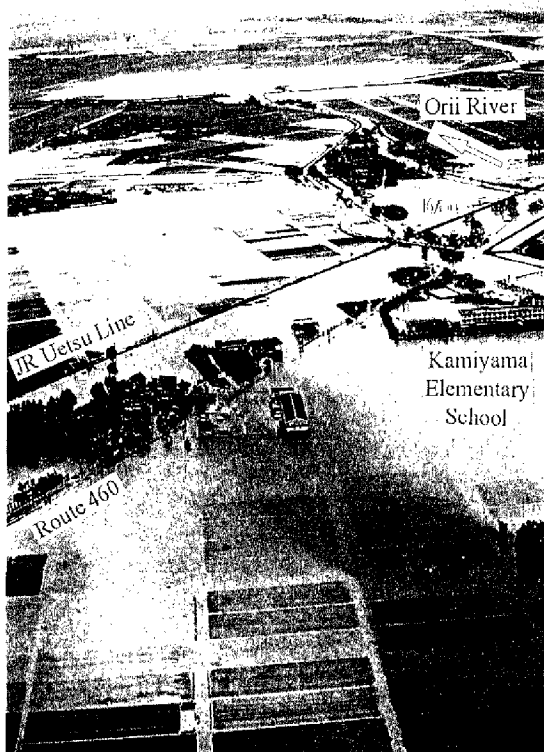


Photo 3 Outlook of inundation at Yamakura (Courtesy of Niigata Prefecture)



Photo 6 Damaged revetment along the outer embankment



Photo 7 Tsukada River at Yamakura

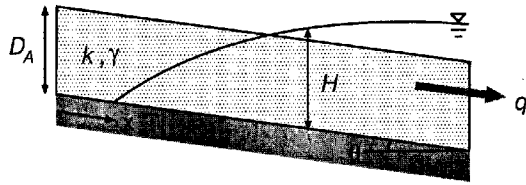


Fig. 18 Schematic representation of the kinematic wave model which integrates the sub-surface and surface flow

そして、各斜面素片に対して中間流・地表面流統合型 kinematic wave モデル（高棹・椎葉，1981）を適用し、上流の斜面素片から下流の斜面素片へと逐一雨水の追跡計算を行なう。本モデルが想定している水利機構は Fig. 18 のようである。すなわち、斜面表層に存在する極めて透水性の高い土層（A 層）に浸透した雨水が、表土層の下の比較的固くて透水性の小さい土層に達すると、透水性の差によって停滞し、やがて重力水となって側方に流動しはじめる。この側方浸透流は中間流とよばれる。中間流が流下するのにもなって水深が増し、ついには表土層をこえて地表面流（飽和地表面流）が発生する。この機構を以下の基礎式で記述する。

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = r \quad (1)$$

$$q = \begin{cases} ah & (h \leq d) \\ \alpha(h-d)^m + ah & (h > d) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $a = k \sin \theta / \gamma$ 、 q ：斜面単位幅流量、 h ：流積、 r ：降雨強度、 d ：実質 A 層厚（ $= \gamma D_A$ 、 γ は有効空隙率、 D_A は A 層厚）、 k ：透水係数、 θ ：斜面勾配である。なお、 α 、 m は定数であり、Manning 則を用いると $m = 5/3$ 、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$ （ n ：Manning の粗度係数）である。

このモデルでは、雨水の一次元鉛直浸透計算は行なわず、表面から浸透した雨水は瞬時に地下水面に到達するものとしている。

これらの基礎式を差分化し、上流側の斜面素片から逐一雨水流動を追跡計算して山腹斜面系下端での流出量を得る。

(b) 折居川流域を対象とした流出モデルの構成

上述の手法を用いて折居川流域を対象とした流出モデルを構成した。流出モデルの構成図を Fig. 19 に示す。流域は、河道網の構造および今回の水害の氾濫域を考慮して五つのサブ流域に分割した（Fig. 19 中の ①～⑤）。サブ流域 ① は、折居川と上江川の合流地点の集水域、サブ流域 ② は、割石川の集水域である。サブ流域 ③ の下端は下一分地区、

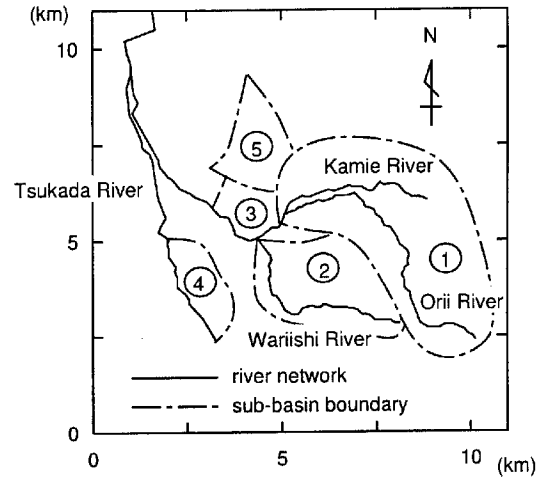


Fig. 19 The Orii River basin runoff model

Table 3 Area of the sub-basins (km²)

①	15.9
②	7.5
③	2.6
④	1.9
⑤	3.3

Table 4 Parameter values used by the runoff model

n	(MS unit system)	0.3
m		1.667
k	(m/s)	0.015
D_A	(m)	0.8
γ		0.15

サブ流域 ④ の下端は笹岡地区である。サブ流域 ⑤ は、折居川と荒川の間低平地に接している丘陵地である。それぞれのサブ流域の地形を、国土院数値地図 50 m メッシュ（標高）データ（天王：二次メッシュコード 5639-62、出湯：二次メッシュコード 5639-52）と、国土数値情報 KS-271（河川単位流域台帳）、KS-272（流路位置）データを用いてモデル化した。Table 3 に各サブ流域の面積を示す。モデルパラメタの値は Table 4 に示すものを用いた。また、降水データとしては折居川流域に最も近い建設省出湯観測所のものを用い、降雨損失はないものとして流出計算を行なった。

(c) 計算結果

流出計算は 1998 年 8 月 3 日 17 時～8 月 4 日 23 時ま

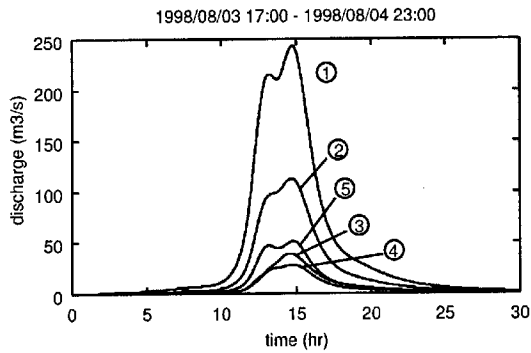


Fig. 20 Water discharge hydrograph

で行なった。観測降水量データおよび各サブ流域における計算流量ハイドログラフを Fig. 20 に示す。

この流域では比較対象とすべき観測流量が存在しないため検証が難しいが、新潟県がまとめた資料（新潟県，1998）によると、折居川・割石川合流地点における氾濫戻し流量は約 320 m³/s と推定されており、サブ流域 ① とサブ流域 ② からのピーク流出流量を足し合わせた約 350 m³/s とほぼ同等であることから、本モデルによる計算結果は妥当なものと考えられる。しかし、実際には折居川の通水能は 100 m³/s 程度であり、折居川・割石川合流地点ではすでにかなりの雨水が流域に湛水していたものと考えられる。以下で行なう氾濫解析ではこのようなことは考慮しておらず、本計算で得られた流量ハイドログラフをそのまま境界条件として用いている。

(2) 氾濫解析

折居川の氾濫によって笹神村周辺に生じた洪水氾濫を再現する氾濫解析計算を行った。用いた基礎式は、以下に示す浅水方程式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (5)$$

ここに、 h ：水深、 M, N ：それぞれ x, y 方向の流量フラックス、 u, v ：それぞれ x, y 方向の流速、 H ：基準高さからの水位、 g ：重力加速度、 n ：Manning の粗度係数である。

氾濫原において、河川を一段地盤の低い長方形断面水路とみなす平面二次元の氾濫解析を実施した。

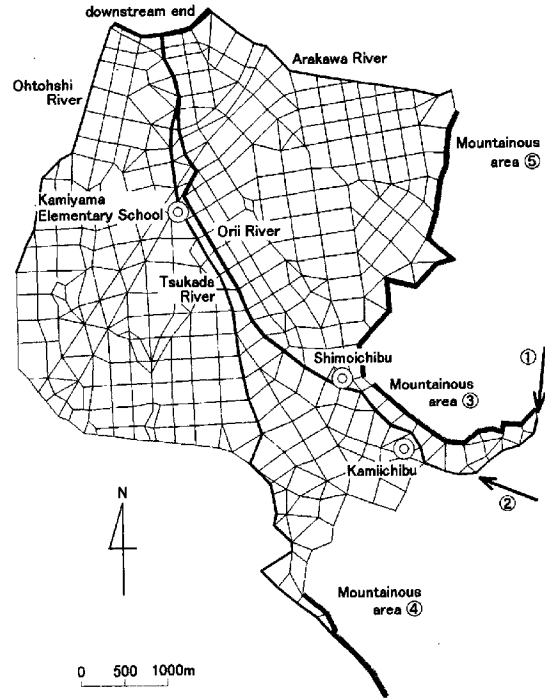


Fig. 21 Studied area and unstructured meshes

山地部での流出解析の結果得られた流出流量ハイドログラフを河川上流端の境界条件として与え、河川流量の増加に伴う河川からの溢水を氾濫外力とした。解析格子には、河川を含めた不規則形状を考慮できる非構造格子を用いた。なお、ここで用いた解析モデルの詳細は井上ら（1999）に譲る。

氾濫解析の対象とした領域は、西は大通川、北は荒川川、東は山地部分、南は塚田川左岸を境界としている。解析領域および用いた格子を Fig. 21 に、対象領域の地盤高を Fig. 22 に示す。領域の周囲は下流端境界を除いて十分高い壁で囲まれているとし、領域境界の河川からの氾濫水の流入、対象領域からの境界の河川への排水は考慮しないこととした。

領域内の河川に関しては、折居川と塚田川を河川格子として認識させた。折居川に関しては、河床高および堤防天端高を河川の横断面図から読みとった。塚田川に関しては、河川の断面図が得られなかったため、本川である折居川の川幅と水深（この場合は周辺地盤高と河床高の差）の比の値を参考にして、河床高を周辺地盤よりも一律に 1 m 低い値に設定し、また現地調査の結果より、堤防は存在しないものとして取り扱った。河川格子の Manning の粗度係数は 0.025 とし、その他の氾濫原は 0.067 とした。なお、対象領域内には農業用水路が網の目のように引

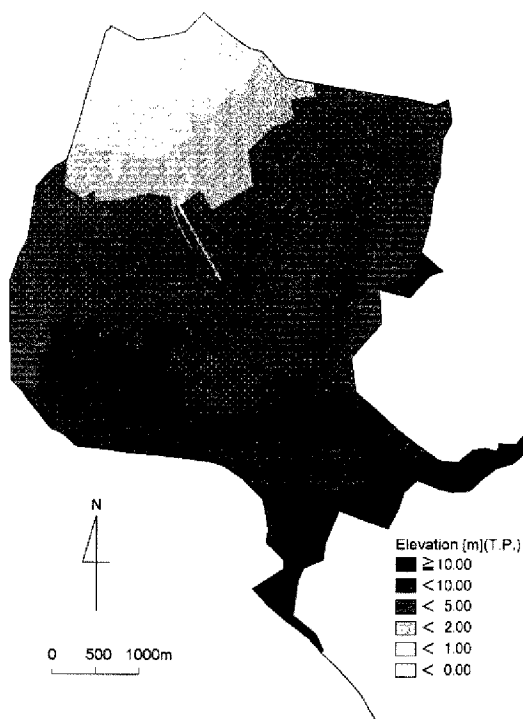


Fig. 22 Elevation map

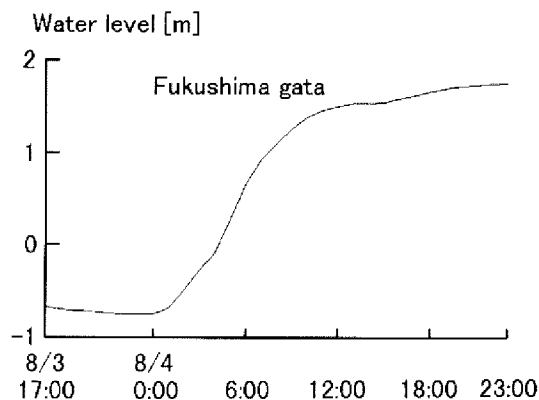


Fig. 23 Water stage at downstream boundary

かかれているが、これら用水路は解析格子の中で特に考慮はしていない。

計算開始時刻は1998年8月3日17時、同終了時刻は8月4日23時に設定した。氾濫外力として、山地部での流出解析から得られた流出流量 (Fig. 20) を、折居川上流端、割石川合流点、塚田川上流部の山地、領域の東側境界となっている山地にそれぞれ与えた。Fig. 21 中の境界位置番号は、Fig. 20 中

のハイドログラフの番号に対応している。なお、折居川上流端と割石川合流点に関しては、流出流量を直接河川格子に割り当て、山地からの流出流量は、その総量を Fig. 21 に示す辺長で割ることによってそれぞれの格子辺からの流量フラックスとして与えた。下流端境界は、Fig. 21 に示すように大通川の荒川合流点から90°の湾曲点までの区間とし、境界条件として、約2 km 下流の福島潟の水位を下流端の格子に与えた (Fig. 23 参照)。なお、この区間の左岸には堤防がなく、福島潟の水位が増大すると、この区間も潟の一部と見なされる。また、折居川、塚田川では、氾濫計算開始前の段階でそれぞれ $25 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量を上流端の格子に与え、下流端の水位を計算開始時刻の水位に固定して河川格子のみで計算を続けて、河川格子の水深が一定値になった時点を定常状態とし、そのときの水深を河川の初期水深に用いた。

氾濫解析結果について、浸水深の時間変化を Fig. 24 ~ 27 に、最大浸水深分布図および浸水域の実績図をそれぞれ Fig. 28, 29 に示す。実績の浸水域は、笹神村による災害後の調査によるもので、稲穂の高さまでの冠水 (浸水深 $0.5 \text{ m} \sim 1.0 \text{ m}$ 程度と推察される) があつた場所を浸水エリアと定義している。浸水深の時間変化をみると、8月4日の6時ごろに下流端の水位上昇による氾濫が開始する。浸水深のピークは9時頃であり、折居川、塚田川がともに氾濫し、その氾濫水が下流に向かって流下している。なお、浸水深のピークは山地からの流出量のピークよりも約1時間遅れて現れている。12時以降は氾濫水の排出が進んでいるが、福島潟の水位が依然高いため、下流端に近い地域は1 m 以上浸水した状態が続いている。

次に、最大浸水深分布の計算結果と浸水実績とを比較する。計算では折居川およびその支川である塚田川からの溢水による氾濫のみを考慮したが、その影響が及ぶと考えられる範囲のうち、折居川の右岸側および塚田川中流部で浸水深が大きくなるという定性的な傾向はある程度再現されていると言えよう。しかしながら、氾濫解析結果は、実績と比較して浸水深が小さく、氾濫水が影響を及ぼす範囲も小さく現れていることがわかる。これは、計算条件として折居川の一部に見られた堤防の決壊を含んでいないこと、領域内への降雨を横流入量として考慮していないこと、および下流端の水位を福島潟の水位でおきかえていることが原因と考えられる。また浸水実績には大通川、荒川からの溢水による氾濫も含まれていることも差違の要因となっている。

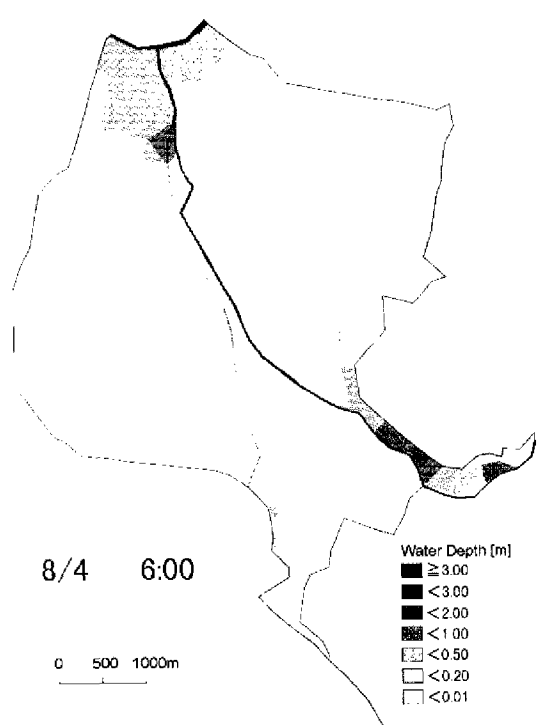


Fig. 24 Inundation depth distribution at 6:00 (computed)

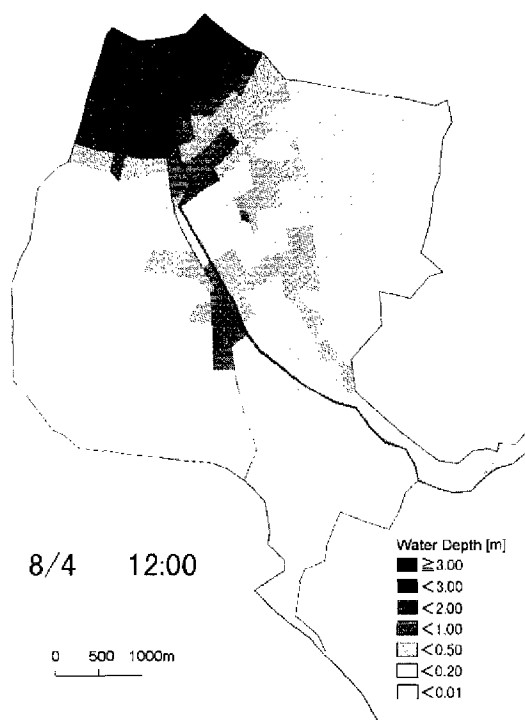


Fig. 26 Inundation depth distribution at 12:00 (computed)

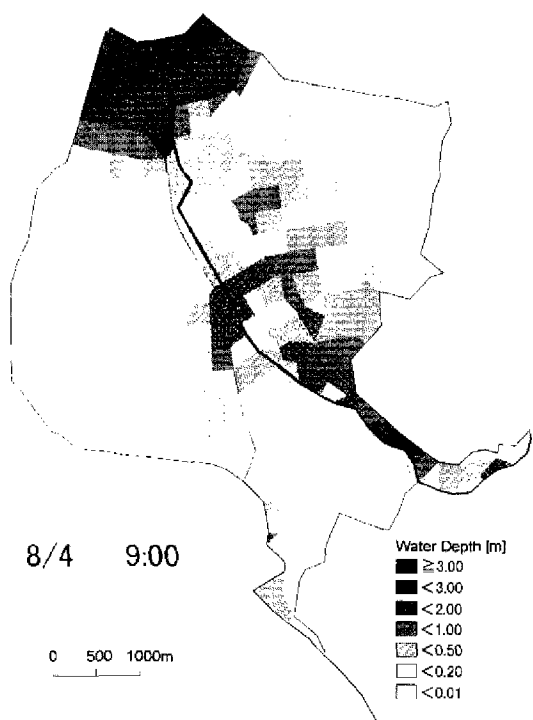


Fig. 25 Inundation depth distribution at 9:00 (computed)

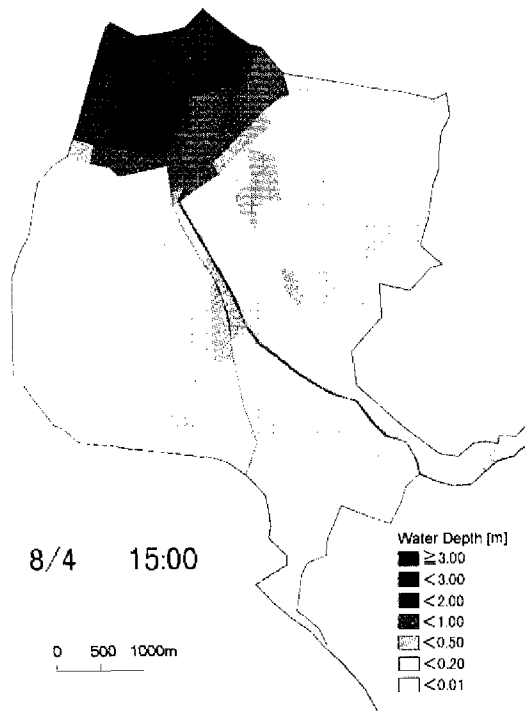


Fig. 27 Inundation depth distribution at 15:00 (computed)

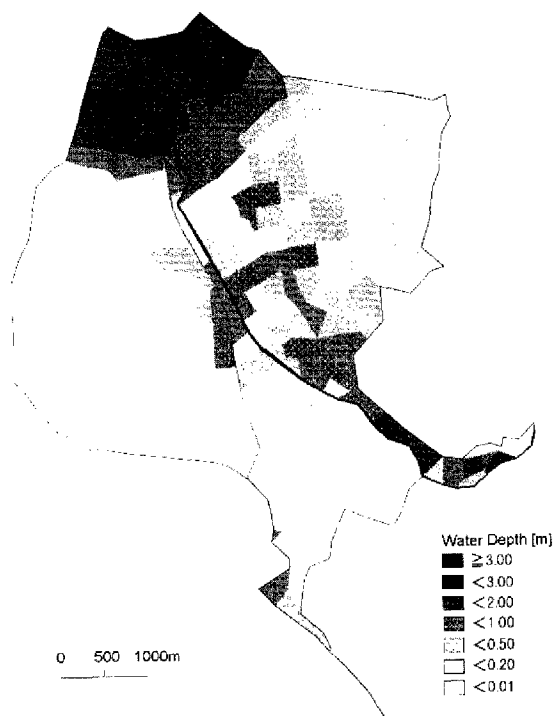


Fig. 28 Maximum inundation depth distribution (computed)

以上述べたように、降雨条件と河川の下流端の境界条件を与えて河川からの溢水による氾濫現象を解析した。今回の計算結果は浸水実績を過小に評価したものの、氾濫プロセスの定性的な傾向については概ね妥当な結果を与えているのではないかと考えられる。

3.5 折居川の防災対策に関する提言

今回の水害は100年確率を超える降雨により発生したものであるが、地方の中小河川を、治水施設により軒並み1級河川の治水安全度の程度まで早急に高めることは現実問題として困難であろう。しかしながら、流量増に伴う河川からの溢水は別にして、河川湾曲部外岸側の護岸の被災、橋脚設置箇所上流部での越水や護岸の被災は従来から多く見られる被災形態であり、河川を縦断しての線的な整備は困難でも、これら点的に存在する明確な弱点部の補強を計画的に整備していくことも一つの有効な方法であろう。

また、人命を守るという観点から避難システムを充実させることも重要である。水害常襲地区ということもあり、水害の危険性、避難の重要性に対する住民の意識は高いものがあると考えられ、今回の避難も全体的には円滑に進められたようである。しか

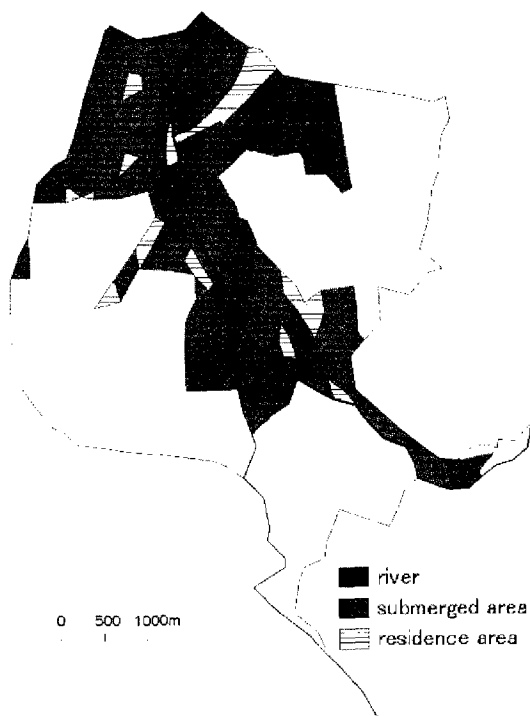


Fig. 29 Inundation depth distribution (observed)

しながら、避難所が河川に近い低地に設けられているものも見受けられた。また、避難所の収容数等の問題で、ある避難所から他の避難所に移動したという住民の話も耳にした。洪水氾濫のピークが真夜中であれば、避難活動はより困難を極めたと想像され、過去および今回の避難実績に基づいて、より効果的な避難のあり方、すなわち、適切な避難所、避難ルートの見直しや再検討が望まれるところである。

降雨量の程度により、洪水氾濫規模の予測ができれば防災上、大いに有効である。今回提示したモデルは、未だ改良の余地を多く残しているものの、基本的には降雨条件と下流端の水位条件から溢水による氾濫を予測することを可能とするものである。今後、モデルの改良を進めてモデルの精度を向上させ、実用に供する水害予測情報を提示することにより、より具体的な地域防災計画の展開が可能になると考えられよう。

4. おわりに

本研究では、1998年8月に新潟下越地域で発生した豪雨災害の概要を示すとともに、洪水流出解析および洪水氾濫解析を行って災害現象の再現を試みた。今回の水害は「羽越水害」で発生したような土砂災害はほとんど生じておらず、水害規模としては

小規模ではあったけれども、中小河川での洪水氾濫に対して今後どのように対応すればよいのか、大規模な一級河川の治水安全度とこれによって守られた堤内地の小規模河川の治水安全度との整合をどのように考えていけばよいのか、という従来から問題にされてきたものの殆ど手がけられなかった課題を顕在化させた水害であった。

阿賀野川のような一級河川では100年確率以上の治水安全度が確保され、今回の洪水では破堤・氾濫といったことも生じておらず、治水対策の効果には目を見張るものがある一方で、堤内地の折居川やそれよりも小規模な河川では確率年が小さく設定されるために内水氾濫が頻発するという事態が生じている。大河川の治水安全度を上げなければ破堤氾濫で多大の人的・物的被害が出ることは明白であり、そのような河川の治水安全度を上げるための事業を優先して実施することが重要なことは論を待たない。一方、折居川のような中小河川では破堤氾濫しても外力規模は小さく、被害も大きくはないと考えられ、費用対効果の面から見ても大河川よりも治水安全度が小さくならざるを得ないのが現状である。

内水常襲地帯で宅地化が進行し、河川改修をするにも用地買収に経費と時間が費やされ、改修後にはコンクリートで固めた三面張りの河川になってしまうことは、過去の歴史が物語っている。流域の宅地化が進んでいない中小河川でも治水安全度が高く、かつ親水性のある自然環境豊かな河川を創成していくことは重要であり、宅地化が進行していない地域ではそのような事業を展開し易いという利点もある。大規模な河川の改修と平行してこれが可能となる方策を考えていく必要がある。

一方で、現在の折居川では30年規模の洪水には耐えるので、人間の一代を30年と考えれば、30年に一度襲う水害は未曾有のものであり、人々が今回の規模の水害に遭遇するのは一生に一度ないし二度程度であり、これを多いとするか、少ないとするかは別に、この現状を受け入れるというのも一つの考え方ではある。

とくに折居川のような中小河川流域では、どのような立場をとるかはもはや行政が決めることではなく、地域住民の意思形成と合意のもとに決められるべきものであろう。そのためには地方自治体は技術力をつけ、複数の選択肢に対する回答を準備して説得力のある説明を住民にしなければならないし、住民にもそれ相応の負担と責任を負う覚悟が要る。いずれにせよ、限られた予算を有効に活用して中小河川の治水安全度を上げ、環境に配慮した自然な河川を創成することが先送りにされて手遅れにならない

ようにするための知恵を出さねばならない時期に来ていると言える。ここで示した流出・氾濫解析手法は流域の治水安全度を客観的に評価するための一手段になり得るものと考えられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、京都大学防災研究所今本博健所長から本水害調査を企画していただくとともに、リーダーシップ支援経費による調査旅費を支弁していただいた。また、新潟県土木部および笹神村役場から水害資料を提供していただくとともに、貴重な御助言を賜った。ここに記して深謝する。

参考文献

- 磯部 利貞・林 正巳・山崎 久雄(1981):新潟県の地理散歩下越編,野島出版.
- 市川 温・立川 康人・椎葉 充晴(1998):河川流域地形の新たな数値表現とそれに基づく分布型流出モデルの構成,第17回日本自然災害学会講演会講演概要集,pp. 133 - 134.
- 井上和也・川池健司・戸田圭一(1999):非構造格子による氾濫解析モデル,京都大学防災研究所年報,第42号,B-2(投稿中).
- 岩崎敏夫(1968):昭和42年8月羽越水害の総合的研究,昭和42年度文部省科学研究費特定研究(災害科学)序文.
- 大熊 孝(1979):信濃川治水の歴史,アーバンクボタ, No. 17, pp. 44 - 55.
- 高棹 琢馬・椎葉 充晴(1981):Kinematic Wave法への集水効果の導入,京都大学防災研究所年報,第24号,B-2, pp. 159 - 170.
- 新潟県(1998):一級河川折居川・荒川川災害復旧助成事業説明資料.
- 新潟県土木部河川課(1998):福島潟放水路事業概要.新潟県編:太田川水害訴訟記録2-1.

Field Survey and Analysis on the Flood Disaster in Niigata Prefecture in August 1998

Yasunori MUTO, Hajime NAKAGAWA, Keiichi TODA, Yutaka ICHIKAWA and Kenji KAWAIKE*

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

In August, 1998, local heavy rainfall occurred in Sado and Kaetsu area in Niigata Prefecture and it caused much flood damage. This study investigates local flood occurred at Orii River basin in Sasakami Village through the double field surveys. By this study, it is clarified that the flood was caused by the extraordinary heavy rainfall in a short period and that this basin originally had a tendency of suffering flood damage. Some flood control problems which small river basins have are also discussed. Next, the inundation phenomena were analyzed by a mathematical model comprising a distributed type runoff model and a 2-D inundation flow model. The model could express the inundation process by overflow qualitatively well.

Keywords: Flood disaster, Niigata Prefecture, Kaetsu area, Orii River, Runoff analysis, Inundation analysis, Small river, Flood control