

飯塚市を中心とした都市域の ダイナミック氾濫解析

～2003 年 7 月遠賀川豪雨災害を対象として～

DYNAMIC FLOOD SIMULATION FOR INUNDATION FLOW OF THE URBAN AREA IN THE ONGA RIVER BASIN

秋山 壽一郎¹・重枝 未玲²

Juichiro AKIYAMA and Mirei SHIGE-EDA

¹正会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科 (〒 804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

²正会員 博士 (工) 九州工業大学講師 工学部建設社会工学科 (大学戦略室付) (同上)

A filed study and dynamic flood simulation on the Onga River heavy rainfall disaster in July 18~21, 2003 were conducted. Firstly, the flood process in the Iizuka-city area, which suffered the greatest damage in the Onga basin, was examined based on field study. Secondly, the flood simulation model was applied to the Iizuka-city area. The water movement in the urban area including the Onga River, main branch rivers was simulated simultaneously and the computed results compared with the flood process examined in the field study. Finally, the effect of the river improvements on the flood damage was examined through the numerical simulation. It shows that the model is a useful tool for examining the effects of the improvement work of a main river to inundation flows from tributary rivers.

Key Words : *inundation flow, dynamic flood simulation, urban areas*

1. はじめに

現行の治水計画では、過去の災害実績などを勘案し、計画基準点で設定された基本高水流量に対して洪水防御効果が確保されるように雨水処理分担が決定される。このような基本高水に基づく治水計画は、自然現象として超過洪水が発生する可能性がある以上、妥当な計画手法と考えられる。しかしながら、近年の集中豪雨の激化に伴い、過去の降水記録に基づく計画降雨量の根拠が乏しくなっていることや、都市域内では内水域が存在する場合が多いにもかかわらず、外水氾濫を主体として体系化されていることなど、現行の洪水防御計画に限界が生じていることもまた事実である。広範囲にわたってライフライン等への被害が生じる都市域では、出水被害を最小化するようなハード・ソフト両面での流域対策がこれから益々重要になると考えられ、都市域での流域対策に深く関与する本川と支川の整合性、本川と下水道による雨水排除、堤外地と堤内地との雨水のやりとりなどの諸要因を適正かつダイナミックに評価し、流域対策を検討・策定できるツールや手法の確立が強く望まれる。そのような検討等が可能な

氾濫解析モデルとしては、流域全体を対象として、氾濫原・河川・下水道網等の各流れを個別にモデル化し、それらを越流公式等で接続した統合型氾濫解析モデルがある^{1),2)}。一方、著者らは、都市域程度のスケールを対象として、これら各流れを平面的かつ一体的に取り扱えるダイナミック型氾濫解析モデル（以下、包括型ダイナミック氾濫解析モデル）^{3),4)}の開発を行っている。平成 15 年度に「特定都市河川浸水被害対策法」が制定されたことで、このような包括型の氾濫解析モデルの需要は高まっている。

2003 年 7 月の九州豪雨災害では、梅雨前線の停滞、台風 7・8 号等の相乗作用により 18 日～21 日にかけて記録的な豪雨となり、死者・行方不明者 23 名、住家の全半壊 104 棟、床上浸水 3539 棟、床下浸水 4213 棟に及ぶ甚大な被害となった。北部九州でも御笠川の氾濫による博多駅周辺の浸水被害、遠賀川流域の浸水被害などが発生した。本研究で対象とする遠賀川流域では、飯塚市の旧飯塚地区で最大で約 1.5m の湛水深となり、中心商店街および周辺一体が大きな被害を受け、床上浸水 1,569 棟、床下浸水 724 棟をはじめとして、電気・水道などのライフラインにも被害が生じ、被害総額は

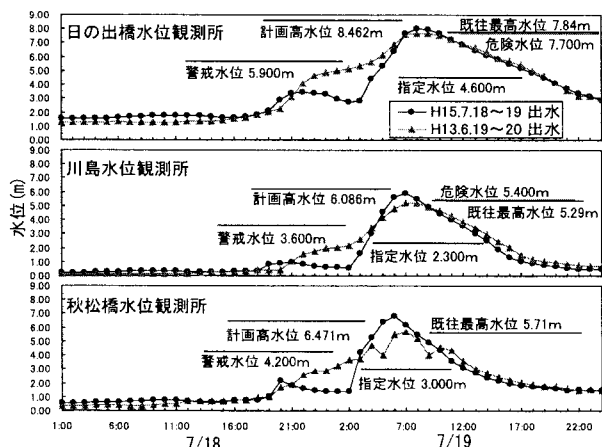


図-1 各観測所での水位の時間変化 (出典 国土交通省⁵⁾)

180億円余に及んだ。また、飯塚市に隣接する穂波町でも床上浸水 460 棟、床下浸水 341 棟などの被害となった。家屋罹災率は飯塚市で 6.93 %、穂波町で 7.91 %となっており、これらの数字が両地域での浸水被害の深刻さを物語っている。

本研究では、まず遠賀川流域で最大の被害となった飯塚市とその周辺区域の氾濫プロセスについて考察を加え、次に現在開発中の包括型ダイナミック氾濫解析モデルにより、遠賀川（本川）と河道および氾濫原を包括的に取り扱った洪水・氾濫解析を試みた。最後に、数値シミュレーションに基づき、本川の河道改修が氾濫プロセスに及ぼす影響と効果について検討を加えた。

2. 遠賀川流域と災害の概要

遠賀川は、穂波川などの多くの支川が合流し筑豊平野を流れ響灘に注ぐ、全長 61km、流域面積 1,026km²の 1 級河川である。流域面積は九州地方の 1 級河川では中規模にすぎないが、流域内には飯塚市、直方市、中間市、田川市などの中小都市が位置しており、流域人口は約 67 万人で筑後川に次いで多い。

降雨状況としては、雨雲が集中的に流れこんだ太宰府市から北九州市小倉南区へかけての帯状の範囲で記録的な豪雨となり、18 日 00 時の降り始めから 19 日 09 時までの総雨量は、太宰府市で 361mm、小倉南区で 306mm を記録した。飯塚市では 83 mm の観測史上最大の 1 時間降水量を記録し、総雨量は 329 mm に達した。遠賀川流域の川島雨量観測所、内野雨量観測所および採銅所雨量観測所では、18 日の降り始めから 19 日 24 時までに、総雨量 313 mm、178 mm および 237 mm がそれぞれ記録されている⁵⁾。

出水状況としては(図-1)、秋松橋水位観測所では、19 日 6 時に 6.84m（ピーク水位）となり、計画高水位を約 0.4m 上回った。川島水位観測所では 19 日 6 時 50 分に 5.92m（ピーク水位）を記録し、危険水位を 0.52m 上回った。日の出橋水位観測所では、19 日 8 時 20 分に

8.07m（ピーク水位）を記録し、危険水位を 0.37m 上回った。また、いずれも平成 13 年 6 月の出水時に記録した既往最高水位を遥かに超えた。秋松橋水位観測所では 19 日 2 時～3 時の間に 1.44m から 4.21m、川島水位観測所では 4 時～5 時の間に 2.99m から 4.57m に急激に水位が上昇した。昭和 28 年と平成 13 年の出水と比較すると、短時間での急激な水位上昇に今回の出水の特徴が見られる。

3. 氾濫プロセスの考察

特に浸水被害が大きかった飯塚市および穂波町を中心とした氾濫区域を調査対象とした。遠賀川と穂波川沿いに湛水区域が広がっており、家屋浸水区域の大部分が飯塚市周辺に集中している(図-2)。調査対象区域には、a～f で示す河川、A～F で示す排水機場、 α と β で示す排水樋門、破線で囲んだ地域には用・排水路網などの氾濫プロセスに影響を及ぼす要素が存在している。これより、内住川(a)、穂波川(b)、明星寺川(c)、建花寺川(d)、碓川(e)の周辺地域、用・排水路網が存在する地域、および市街地で浸水したことがわかる。

図-2 は、湛水域と 10m 格子標高データに基づき作成した地盤高コンター図とを重ね合わせたものである。なお、詳細な部分については 1/2,500 地図に基づいている。以下では、痕跡湛水域、地形特性、排水区等の情報に基づき区分された①～⑥の各サブ地域での氾濫プロセスを考察する。

サブ地域① この地域には、内住川、排水路網および道路 1 が存在する。痕跡水位が、道路 1 の標高よりも低くなっていることから、内住川と排水路網が氾濫し、道路 1 の西側の流域では内住川からの氾濫水は地盤の高低差のために図中の白抜き矢印のように流下し道路 1 で堰き止められたと考えられる。なお、穂波と内住川の合流部付近の氾濫は確認されている。排水路網からの氾濫水は地盤の高低差と道路 1 のために図中の白抜き矢印のように流下したと考えられる。

サブ地域② この地域には、穂波川と道路 2 が存在する。湛水域から穂波川が氾濫したと推察され、氾濫水は地盤の高低差のために図中の白抜き矢印のように流下し、痕跡水位より標高の高い道路 2 で堰き止められたと考えられる。なお、道路による氾濫流制御効果が認められる。

サブ地域③ この地域には、明星寺川と建花寺川、明星寺川と穂波川との合流部に徳前排水機場(A)、また建花寺川と遠賀川との合流部に片島排水機場(B)、飯塚排水樋管(α)および排水路網が存在する。飯塚市の中心市街地は、穂波川と遠賀川の左岸に沿って広がっており、そこでの標高は周辺地域に比べて低くなっている。また、この地域の雨水排除は片島排水機場により行われている。湛水域から明星寺川と建花寺川が氾濫

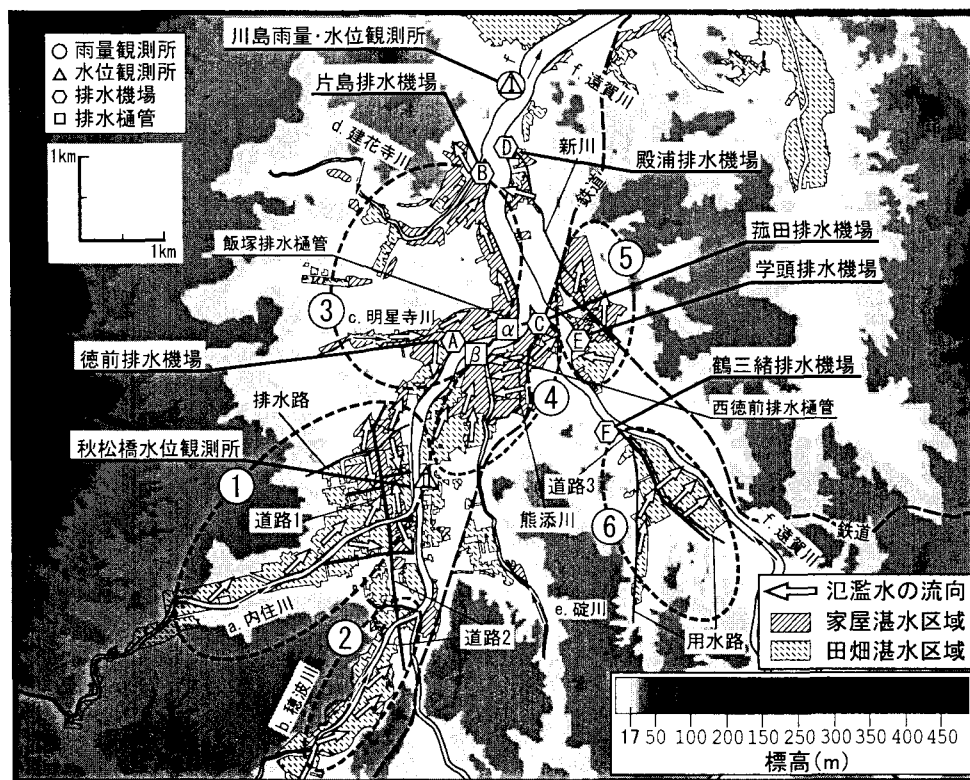


図-2 調査対象領域，湛水域および地盤高

したと考えられる。明星寺川については、穂波川の秋松橋水位観測所と遠賀川の川島水位観測所のいずれの水位も明星寺川の堤防高より大きくなっていることから、明星寺川と穂波川の合流部付近での水位が明星寺川の堤防高を超え、氾濫・湛水したと考えられる。また、明星寺川上流では地形が谷底ようになっており、雨水と氾濫水は合流部に向かって集まったと考えられる。その結果、徳前排水機場の処理能力を超え、氾濫水は穂波川との合流点付近から、矢印に示すように標高の低い中心市街地に広がり、さらには片島排水機場に向けて浸水が拡大していったと予想される。その一方で、この地域の雨水排除を担う片島排水機場も処理能力を超え、中心市街地の浸水が拡大していったと考えられる。建花寺川については、蛇行部や遠賀川との合流点周辺で湛水が生じている。蛇行部での氾濫は確認されており、蛇行部ではそこでの水位上昇のため溢水したと考えられる。遠賀川との合流点周辺の湛水は、上述したように明星寺川の氾濫に起因している。

サブ地域④ この地域には、碓川、熊添川および用・排水路網が存在する。碓川の堤防高には充分な余裕があることや、地盤高さと痕跡水位から碓川周辺の湛水量はおおよそ右岸側で 180.000m^3 、左岸側で 300.000m^3 程度と推定され、碓川の両岸側での湛水量はかなり異なっていることから、碓川が溢水した可能性は小さい。一方、熊添川の氾濫は確認されていることから、熊添川が氾濫し碓川右岸側の地域が湛水したと考えられる。碓川左岸側の地域では、穂波川の水位が計画高水位を

超え、西徳前排水樋管(β)が閉鎖されたために、用・排水路網が氾濫し湛水したと考えられる。

サブ地域⑤ この地域には、新川、JR 九州の福北ゆたか線および学頭排水機場(E)がある。新川は福北ゆたか線との交差点で暗渠化されており、これがボトルネックとなり、新川が氾濫したと推察される。鉄道の北側で湛水が認められないのは、鉄道盛土によって氾濫水が地域⑤に止められたためと考えられ、盛土による氾濫流制御効果が認められる。また、学頭排水機場周辺についても、同様に新川からの氾濫水は鉄道盛土により堰き止められたと考えられ、そこでの湛水は農業用水路の氾濫によると推察される。

サブ地域⑥ この地域には、周辺より標高の高い道路3とその両側に用水路がある。痕跡水位が道路3より低いことから、用水路からの氾濫水が図中の白抜き矢印のように流下したと考えられる。

4. 包括型ダイナミック氾濫解析

本研究で用いた包括型ダイナミック氾濫解析モデルは、非構造格子に基づく SA-FUF-2DF(Spatial Averaged Finite-volume method on Unstructured grid using Flux-difference splitting technique for 2D Free surface flows) モデル³⁾に氾濫の主因となる河川と氾濫流に固有の種々の要素の取扱いを組み込んだものである。その基本性能としては、河川と市街地を含む都市域での本川や支川の破堤を含む外水氾濫^{3),4)}と内水氾濫を解

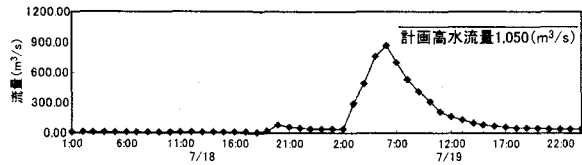


図-3 秋松橋水位観測所での流量の時間変化 (出典 国土交通省⁵⁾)

析可能なモデルである。河道と氾濫原を区別せず一体的に取り扱うため、例えば、破堤氾濫、越流公式等で曖昧に取扱われていた河川から氾濫原への越水や溢水プロセス、あるいはその逆のプロセスなどを含む、対象領域全体での雨水のダイナミックな評価が可能である。なお、このような氾濫プロセス^{3),4)}やSA-FUF-2DFの河道内流れ⁶⁾の再現性については、室内実験結果を通じ十分に検証されている。

以下では、飯塚市を中心とした氾濫域に同モデルを適用し、氾濫プロセスならびに本川の改修効果について検討を加える。

(1) 氾濫解析の対象領域と解析用データ

氾濫解析の対象領域は、飯塚市街地および遠賀川・穂波川・建花寺川・碓川・明星寺川の5河川を含むように選定した。遠賀川と穂波川については、水位あるいは流量の時系列がわかっている川島水位観測所から鶴三緒排水機場の区間と遠賀川との合流点から秋松橋水位流量観測所までの区間を、明星寺川については直轄区間を、その他の支川については合流点から氾濫原の境界までの区間をそれぞれ対象領域とした。

解析用データは次のように作成した。河道・道路・堤防など氾濫原要素の線形は、1/2,500の平面地図から座標を抽出した。次に、計算領域の境界と氾濫原要素の線形に沿って、40~50m間隔でメッシュ間隔を与え、メッシュジェネレータにより非構造格子を形成した。その際、本川については8~15個、支川については1~5個のメッシュを配列した。さらに、各メッシュに対して地盤高と河床高を与え、地盤高コンター図を作成した。氾濫原の地盤高は10m格子の数値標高データに基づいている。遠賀川、穂波川および明星寺川の河道および堤防周辺については、河道の横断面図から堤防高と河床高を読み取り、流下方向にそれらを線形補間し作成した。碓川と建花寺川の河道については、河床高に関するデータが入手できなかったため、周辺地域の地盤高から一定高さ掘り下げ、1/2,500の平面地図に基づき、河道線形に沿って一定高さの堤防を作成した。用・排水路網や規模が極めて小さい新川と熊添川については、河道の情報に不明な点が多く考慮していない。鉄道盛土については、地盤高で解像できるものについてのみ考慮している。

粗度係数については、飯塚市基本図(1/2,500)の地図記号に基づき氾濫原の土地利用形態を分類し、河道

(0.035)、田畑(0.025)、山林(0.06)、宅地(0.04)をそれぞれ与えた。降雨と雨水排除システムについては、川島雨量観測所の時間降雨量から求めた各排水区の流出流量 Q_r を排水区の面積で除した単位面積あたりの流出流量 q_r および各排水区の排水先となる幹線下水道の計画流量または排水機場の計画排水量 Q_d を排水区の面積で除した単位面積あたりの排水量 q_d をそれぞれ求め、連続の式の発生・消滅項として q_r と q_d を各計算メッシュに与え処理した。ただし、雨水幹線の計画流量が不明な箇所では $Q_d=0$ とした。なお、用・排水路網については排水量が不明であったために考慮していない。

河道の境界条件としては、穂波川上流端では秋松橋水位観測所での流量ハイドログラフ(図-3)を、遠賀川上流端については鶴三緒排水機場での水位の時間変化を、下流端については川島水位観測所の水位の時間変化(図-1)を与えた。支川(明星寺川、建花寺川、碓川)については、解析に必要な資料が得られなかったため、計画高水流量および川島雨量観測所の降雨データを用い、単位図法で仮想的なハイドログラフを作成し与えた。

計算時間ステップは、クーラン型の安定条件³⁾に基づき決定した。クーラン数としては0.1を用いた。なお、計算に要した実時間は、CPU: Pentium 4 3.1GHz、メモリ: 1GBのPCで72時間程度であった。

(2) 氾濫プロセスの再現

図-4は、本解析より得られた浸水プロセスを示したものである。これより、地盤高の低い殿浦排水機場(D)、飯塚排水樋管(α)、西徳前排水樋管(β)、建花寺川と遠賀川との合流部付近および鉄道の東側と新川の北側に囲まれた地域で、雨水排水システムで排除できなかった余水のために湛水が生じる様子や、明星寺川の氾濫水により徳前排水機場から飯塚排水樋管さらには片島排水機場に向けて浸水域が拡大していく様子などがわかる。本解析結果は、明星寺川からの氾濫水が午前5時40分頃に東町商店や嘉穂劇場に到達したことや、堤防高が右岸側に比べ低くなった左岸側より明星寺川の溢水が始まり、次に右岸側からも溢水が生じ、その後明星寺川の水位の低下とともに右岸側から溢水が治まったことなどを示唆している。一方、建花寺川では蛇行部上流での水位上昇により溢水し、地盤高の高低差のため、浸水域が左岸側では河道沿いに、右岸側では痕跡湛水域と同様な方向に広がっていくことがわかる。

痕跡調査によれば、サブ領域③での痕跡湛水深は0.25~1.55mの範囲であり、飯塚排水樋管(α)と徳前排水機場(A)との間に位置するK点では午前7時10分の時点での湛水深が約1.0mであったことが確認されているが、解析結果もほぼこれと同程度であった。一方、サブ領域④の碓川周辺の地域での痕跡湛水深は、碓川左岸側の地域では0.2~0.8m、右岸側の地域では0.1~0.6m程度であったが、解析ではいずれも0.2m程度で

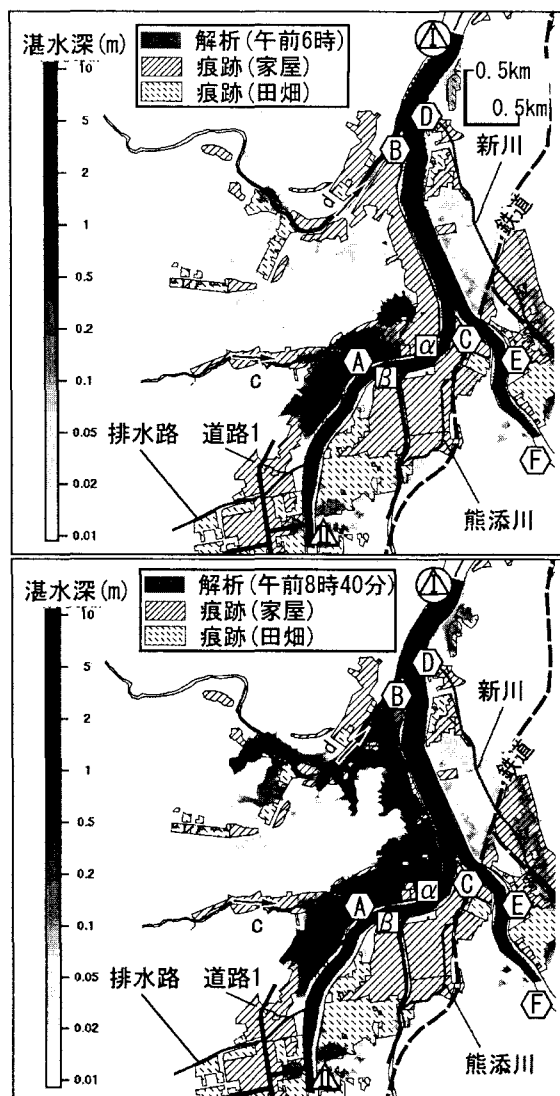


図-4 6:00 AMでの解析浸水域(上), 8:40 AMでの湛水域と痕跡湛水域の比較(下)

あった。また、サブ領域⑤では0.3~1.0mであったが、解析では0.2m程度であった。サブ領域④と⑤で解析結果が小さくなった理由は、先述したように用・排水路網と新川・熊添川が考慮されていないためである。図-4には、痕跡調査と解析より得られた湛水区域も示してある。サブ地域③では、解析結果は痕跡調査から得られた湛水区域と全体的にほぼ一致している。ただし、明星寺川周辺や建花寺川の蛇行部周辺での再現性は必ずしも十分ではない。これは本モデルの再現性に起因したものではなく、地盤高データが十分な解像度を有していないためである。

図-5は、河道流れと氾濫水の流速ベクトルを示したものである。図中の黒塗り矢印と白抜き矢印はそれぞれ解析と調査から得られた氾濫水の挙動を示している。なお、白抜き矢印に対応する黒塗り矢印が示されていない箇所は、氾濫水に動きが認められなかった箇所である。これからも、サブ地域③では明星寺川からの氾濫水が飯塚排水樋管(α)から片島排水機場(B)に向かっ

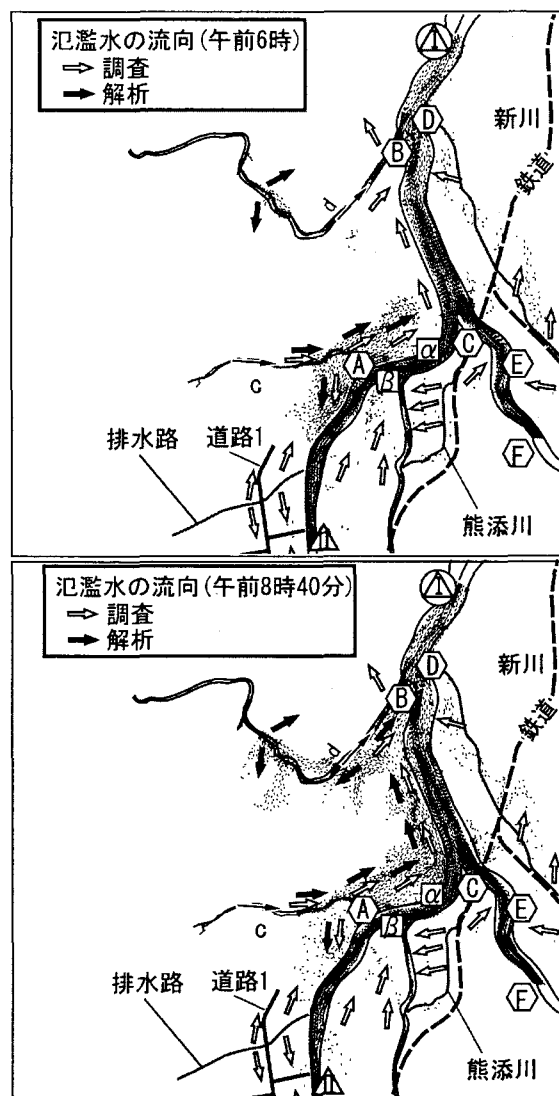


図-5 飯塚市街地周辺における氾濫水の挙動(上: 6:00 AM, 下 8:40 AM)

て広がったことが確認できる。

5. 本川の改修効果

「7.19 浸水対策連絡協議会遠賀川部会報告」⁷⁾では、今回と同規模の降雨量を想定し、遠賀川と穂波川の河道掘削が必要であると報告されている。河道掘削区間は遠賀川鯉田堰付近から王塚古墳近くまでの約10kmであり、今回の出水では秋松橋水位観測所で計画高水位を、川島水位観測所で危険水位を超え、外水氾濫の危険性が高かった区間である。

この区間での河床掘削量としては、7.19 出水規模に対し穂波川で計画高水位以下での流下能力を確保することが目標となっている⁷⁾。これを踏まえ、本川の河道掘削区間における河床掘削量を穂波川の秋松橋水位観測所での最大水位と計画高水位の差(0.4m)とし、本川の河道改修による支川の水位低下が、浸水プロセスに及ぼす影響と効果の検討を行った。

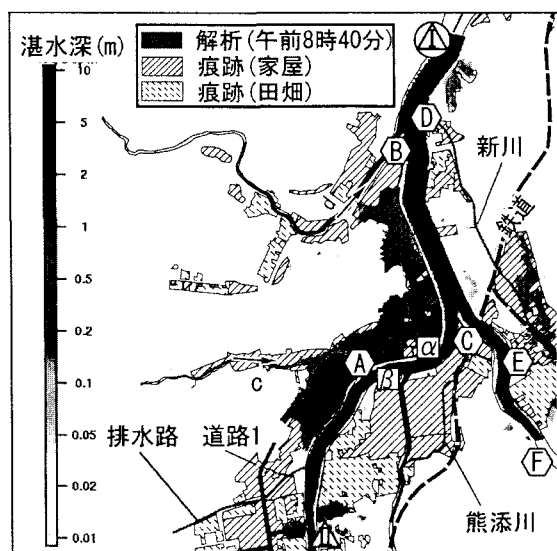


図-6 改修後の 8:40 AM での湛水域と痕跡湛水域の比較

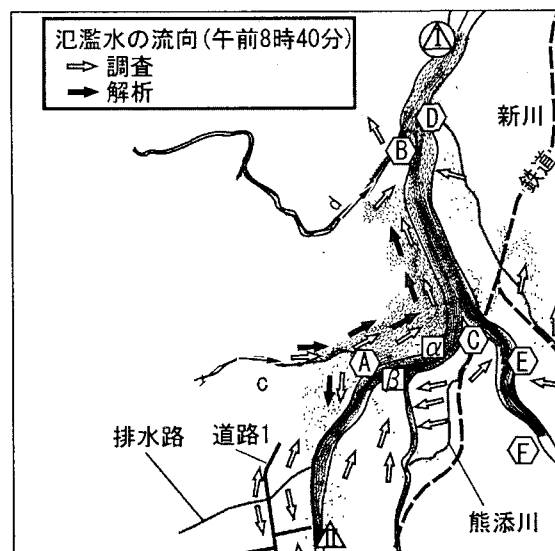


図-7 改修後の氾濫水の挙動 (8:40 AM)

図-6と図-7は、午前8時40分での浸水深と飯塚市周辺における氾濫水の挙動を示したものである。これより、改修により建花寺川上流の蛇行部上流付近での溢水氾濫が生じなくなることがわかる。一方、明星寺川では、改修後は溢水が開始する時間が改修前に比べ、約1時間程度遅くなること、氾濫水が片島排水機場付近まで到達しなくなることが認められ、湛水深と湛水域ともに改善が確認された。前述した午前7時10分におけるk地点での湛水深は0.8mに減少し、改修前に比べ約20%小さくなった。これらのことより、明星寺川についても、河道掘削により長時間の自然流下が期待でき、被害軽減対策として有効であると考えられる。しかし、明星寺川の流量が増大するに伴い、徳前排水機場での排水が困難になり、その余水のため内水氾濫が拡大していくことから、河道改修のみならず、同排水機場の能力向上や明星寺川への流出抑制対策等も併せて実施する必要があると考えられる。

6. おわりに

本研究では、まず、①飯塚市を中心とした遠賀川流域の災害調査に基づき、そこでの内水氾濫プロセスについて考察を加えた。次に、②飯塚市を中心とした氾濫域に現在開発中の包括型ダイナミック氾濫解析を適用し、氾濫プロセスの再現を試みた。最後に、③本川の河道改修が氾濫プロセスに及ぼす影響と効果について検討を加えた。その結果、解析データの解像度や解析資料の不足のために、調査結果とやや異なる傾向も見られたが、最も重要なサブ領域③での氾濫プロセスは十分に捉えられており、本ダイナミック氾濫解析モデルが本川-支川-氾濫原での複雑な雨水のやり取りや、支川から溢れた洪水が氾濫原を広がるプロセスなど、都市域全体の雨水の動きをダイナミックに捉える能力を有

していることが確認された。また、本モデルがどの程度の本川の河道掘削が支流の水位低下をもたらし、どの程度まで内水氾濫が軽減されるのか、などを定量的に評価できることを示した。

今後は、本モデルに排水・用水路網、規模の小さな支川等の取り扱いを可能な限り組み込み、より実用的なダイナミック氾濫解析モデルへと発展させる予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、国土交通省遠賀川河川事務所、飯塚市および（株）日鉄鋼コンサルタントより資料の提供を受けた。また、本学学部生、池村剛宜君（現山口県）、田尻真太郎君（現大阪府）、白川寛樹君（現本学大学院）には現地調査・氾濫解析データの作成等に多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川池健司, 井上和也, 戸田圭一, 野口正人: 低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析, 土木学会論文集, No. 761/II-67, pp. 57-68, 2004.
- 2) 辻本哲郎, 本守真人, 安部友則, 山田哲夫: 氾濫シミュレーション手法の開発と東海豪雨災害の再現, 河川技術論文, 第8巻, pp. 121-126, 2002.
- 3) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 浦勝: 非構造格子を用いた有限体積法に基づく1次および2次精度平面2次元洪水流数値モデル, 土木学会論文集, No. 705/II-59, pp. 31-43, 2002.
- 4) 重枝未玲, 秋山壽一郎: 数値シミュレーションに基づく堤防に沿った樹林帯の治水機能の検討, 土木学会論文集, No. 740/II-64, pp. 19-30, 2003.
- 5) 国土交通省 九州地方整備局 遠賀川河川事務所: 遠賀川集中豪雨災害 平成15年7月18日~19日出水(梅雨前線), http://www.qsr.mlit.go.jp/onga/13_gouu/index.html, 2003.
- 6) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 鬼束幸樹, 白川寛樹: 平面2次元数値モデルによる急流都市河川の流況解析, 水工学論文集, 第48巻, pp. 631-636, 2004.
- 7) 国土交通省 九州地方整備局 遠賀川河川事務所: 第3回「7.19 浸水対策連絡協議会」遠賀川部会報告資料, http://www.qsr.mlit.go.jp/onga/16_sinsui/index.html, 2004.

(2004.9.30 受付)