

豪雨災害における中小河川の 洪水氾濫流の挙動と避難体制 —岐阜県可児川および大谷川を対象として—

浅野 仁美¹・和田 清²・吉田 圭吾³

¹学生会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

E-mail:2012k01@edu.gifu-nct.ac.jp

²正会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授 (同上)

E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

³学生会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (同上)

E-mail:2009c38@edu.gifu-nct.ac.jp

本研究では、岐阜県の中小河川である可児川と大谷川を対象とし、可児川においては、アンダーパスで大きな被害が発生した2010年の可児川水害の検証、大谷川では、洗堰からの洪水越流時の氾濫水の挙動の推定を行った。また、単位幅比力を用いて氾濫域の各地点における避難が困難となる時間を算出し、避難困難度の評価を行った。その結果、可児川水害ではアンダーパスに氾濫水が流入してからわずか2分で浸水深が50cmに達し、被災リスクが短時間で急激に高まったことが示された。大谷川では想定を上回る洪水の場合、荒崎地区の洗堰から越水し、越流から15分で約350m離れた場所まで避難困難な状況となることが算定された。また、現存する十六輪中堤が氾濫域の拡大を軽減する機能を果たしていることが示された。

Key Words : safe evacuation, flood simulation, over-land flow, specific force per unit width

1. はじめに

近年、我が国では気象変動により、予測することが困難である短期的・局地集中的豪雨が増加し、それに伴い、全国各地の河川で洪水氾濫による被害が発生している。特に流域面積が小さく流路延長が短い中小河川では、洪水の流出が早く、洪水氾濫に至るまでの時間がきわめて短い。そのため、洪水氾濫による被害の軽減には、早急で安全な避難行動を伴うことが重要である。

早急で安全な避難には、洪水氾濫時の氾濫流の広がり方や、浸水深の時間変化を想定し、予め被災時にリスクの高いと予想される地点を抽出しておくことが不可欠である。また、過去に大きな被害が発生した地域では、被災時の検証を行い、その結果をもとに、避難体制の整備を行うことが望ましい。近年では避難中の安全性を確保するため、避難困難度と関わりのある水深と流速を用いた指標を適用し、避難の開始時期を含めた避難困難度の評価が行われている¹⁾。

本研究では、岐阜県の中小河川である可児川と大谷川を対象とし、可児川においては、2010年の可児川水害の検証、大谷川では、洪水氾濫時の避難困難度の推定を行う。具体的には、可児川水害の検証では、XバンドMPレーダや土田地区に設置された雨量観測所、水位観測所のデータから、大きな被害が発生した可児川流域の降雨の特性を把握する。また、数値標高データ(DEM)を用いて土田地区における洪水氾濫解析を行い、被災時の氾濫水の広がり方や、被害が大きかった代表地点の水深や流速の時間変化を推定する。さらに、氾濫域の各地点において、既往の研究¹⁾で用いられている指標(避難困難度)である単位幅比力の時間変化を計算し、避難困難な状況となる時間を示すことで、避難困難度の評価を行う。一方、大谷川における想定を上回る洪水氾濫時の挙動では、河川のハイドログラフを仮定し、可児川と同様の手法で洪水氾濫解析により、避難困難度の評価を行い、設定されている避難場所、洗堰や十六輪中堤の機能などに着目しながら考察する。



図-1 洪水氾濫の解析対象領域

2. 可児川水害の氾濫状況の検証

(1) 可児川水害の概要²⁾

2010年7月15日から16日にかけて、梅雨前線の影響により岐阜県内は集中豪雨に襲われ、木曽川水系の1級河川である可児川（岐阜県管理）では洪水氾濫が発生した。

特に可児市土田地区では、流下能力を超える流量となったため、図-1に示す鬼ヶ島と呼ばれる中洲の両岸で溢水・越流して大きな被害となった。鬼ヶ島上流は河川改修により水が流れやすくなっているが、鬼ヶ島では、流路が狭まることなどから、水が流れにくくなっており、洪水氾濫時には警戒が必要な地点となっている。

可児川水害では、鬼ヶ島右岸からの溢水によって、付近に駐車していた業務用大型トラック28台が流される事態が発生した。また、同図に示す鉄道高架の下にある市道アンダーパスでは、周辺の地盤よりも低くなっていることから、氾濫水が勢いよく流れ込み、帰宅途中の自動車の水没・流失する被害が発生した。

(2) 被災時における降雨特性の把握

被災時における降雨の特性を把握するために、XバンドMPレーダと観測雨量・水位データを使用する。XバンドMPレーダ観測は降雨強度の推定手法であり、近年頻発している局地的な豪雨に対する緊急の水防活動などのために用いられている。XバンドMPレーダは水平方向、垂直方向の2種類の電波を送受信できるレーダであり、雨から反射してくる電波の強さや、水平方向、垂直方向の電波の速度差から降雨強度を推定する方式である。被災時の降雨の時空間分布を把握するため、豪雨期間（2010年7月15日17～20時まで）の可児川周辺のXバンドMPレーダ時間雨量の変化を、250mメッシュごとの空間分布としてGISを用いて可視化した。

観測雨量・水位は土田地区にある土田雨量観測所、土田水位観測所のデータを使用した。豪雨時を含む2010年7月15日15時～7月16日0時の土田雨量観測所で観測された時間雨量データ、土田水位観測所で観測された10分ごとの水位データを入手し解析した。

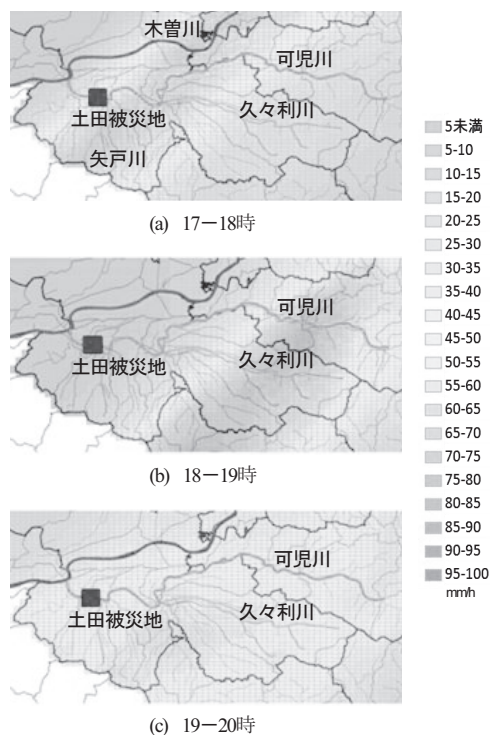


図-2 可児川流域における時間雨量の推移

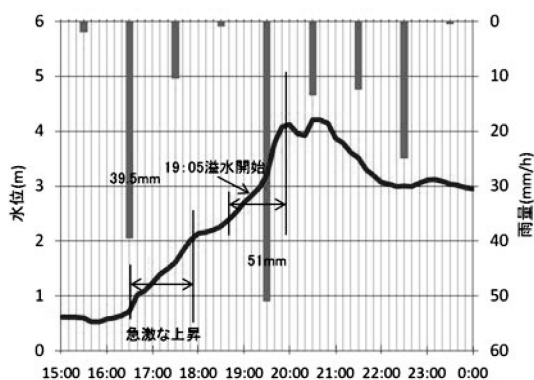


図-3 土田地区の時間雨量と水位の変化

図-2にXバンドMPレーダから求めた7月15日17～20時の可児川流域における時間雨量の空間分布を示す。同図(a)から、17～18時には可児川中流部、下流部で時間雨量最大約80mmの強雨域が発生している。また、同図(b)から、18～19時には可児川上流部と支川の久々利川上流部において、時間雨量最大約100mmの強雨域が形成されている。さらに、同図(c)から、19～20時には強雨域の最大雨量は17～19時よりも小さくなったが、再び時間雨量30～70mmの強雨域が広範囲となり、土田地区を含む可児川流域下流部を覆い、下流域へ雨水を集中させるように不利に働いた可能性が考えられる。

図-3は、2010年7月15日15時～7月16日0時の土田地区で観測された時間雨量、10分ごとの水位変動を示したもの



図4 土田地区の数値標高

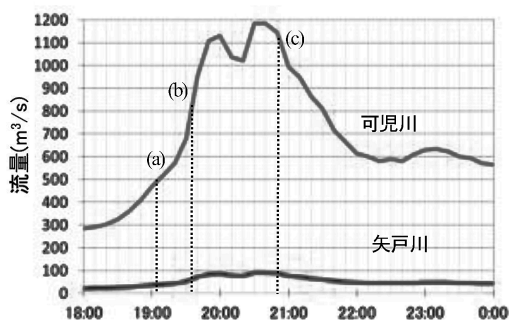


図5 可児川のハイドログラフ

である。同図から、土田地区では16～17時に39.5mmの雨が降ったため、17～18時に約1m水位が急上昇したことがわかる。そして、18～19時には強雨域が東へと移動したことにより、土田地区の時間雨量は2mmとなり、水位の上昇も一時的に緩やかとなった。しかしながら、19～20時には再び土田地区が強雨域に入ったため、時間雨量は51mmとなった。これらより、水位が再び急上昇し、19時05分に土田地区の鬼ヶ島右岸で溢水が発生したとみられている。これは、周辺の激しい降雨に加え、18～19時にかけて可児川上流部や久々利川上流部で強く降った雨水の流下と集中が重なったことが要因と考えられる。

(3) 洪水氾濫解析

土田地区における洪水氾濫解析を行い、可児川水害の検証を試みた。解析は、水平2次元の数値計算手法である洪水氾濫ソフトウェアNaysFloodを用いた。

まず、数値標高データを読み込み、格子(5m×5m)を生成する。その後各格子に粗度係数を与え、流入位置やハイドログラフの設定を行う。そして、計算を実行し、各地点の各時刻における浸水深と流速を可視化する。なお、数値標高モデルであるDEM (Digital Elevation Model) データは、2mメッシュを使用した。この結果を図示したものが図-4である。粗度係数は、可児川の河道を0.05(m⁻¹³s)、支流の矢戸川0.03、氾濫域0.06と仮定した。また、解析に用いたハイドログラフは、式(1)に示す可児川の土田地区における水位・流量曲線式を適用した。

$$Q = 71.45 \times (H - 0.14)^2 \quad (1)$$



(a) 19:05 (氾濫開始直後)



(b) 19:35 (アンダーパス到達直後)



(c) 20:50 (最大浸水域)

図6 氾濫解析による浸水深と流速の時間変化

ここに、 H (m)は土田水位観測所で観測された被災時の水位（水深に換算）、 Q (m³/s)は各時間における流量である。図-5は、7月15日18時～16日0時までの6時間分のハイドログラフである。なお、支流の矢戸川については水位・流量曲線式が存在しないため、ピーク流量を90m³/sと仮定して同様のハイドログラフを設定した。

氾濫開始直後における解析結果を図-6(a)に示す。同図から、19時05分に鬼ヶ島右岸上流部で溢水が発生したことが示されている。そして、氾濫水は徐々に北へと広がっていったが、氾濫から約3分後には方向が変化して地盤高の低いアンダーパスへ向かう流れとなった。19時25分には最初に溢水した箇所とは異なる場所、アンダーパスに近い鬼ヶ島右岸下流部から溢水が発生し、その氾濫水がアンダーパスに向かったことがわかっている。

その10分後である19時35分における解析結果を図-6(b)に示す。鬼ヶ島右岸下流部からの氾濫水がアンダーパス



図-7 土田地区の解析対象地点

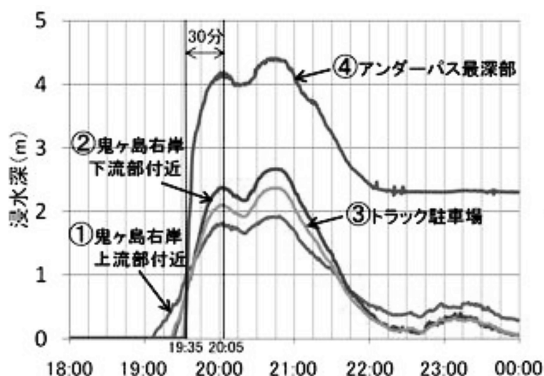


図-8 対象地点の浸水深の時間変化

に到達し内部に流入し始めた。その後、鬼ヶ島右岸上流部からの氾濫水もアンダーパスに到達して合流し、水位が急上昇したことにより、流入から30分後の20時05分にはアンダーパスが冠水したと推定される。

20時50分における解析結果を図-6(c)に示す。アンダーパスの冠水後も氾濫水は広がり続け、最大浸水域に達した。同図から、鬼ヶ島右岸から溢水した氾濫水は、アンダーパスへ向かう流れとなっていることや、アンダーパスを通り抜けて流速 3 m/s 程度にまで加速した氾濫水は、再び可見川本川に合流したことがわかる。

図-7に示す解析対象地点：①鬼ヶ島右岸上流部付近、②鬼ヶ島右岸下流部付近、③トラック駐車場、④アンダーパス最深部における浸水深の時間変化を図-8に示す。同図から、19時20分には氾濫水がトラック駐車場③に流れ込み始め、40分後には水深2.10 m、空積みのコンテナを積載した大型トラックの駐車場では、水深増加とともに大きな浮力と流体力によって掃流されたと想定される。また、19時35分にアンダーパス最深部④に氾濫水が流入し、20時05分の30分間で水深が4.2mとなり冠水した。普通自動車の車体が浮き始める水深は0.5m程度といわれており、氾濫水が流入してから0.5mの水深となるまでの時間は約2分、アンダーパスを通過していた自動車は、非常に短い時間で避難困難な状態となったと考えられる。

一方、鬼ヶ島右岸上流部付近①の最大浸水深は1.90m、

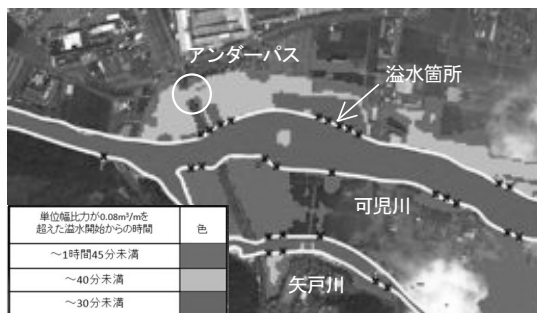


図-9 避難困難度を考慮したハザードマップ（可見川）

であり下流部付近②では2.70mと推定された。下流部付近②は、地盤高が低くアンダーパスに近い。そのため、アンダーパスに向かう氾濫水と、アンダーパスに入らなかった上流部から流れてきた氾濫水が溜まり、水深が増加したものと考えられる。

(4) 避難困難度による評価

氾濫水の流速と水深は、避難の困難さに大きな影響を及ぼしている。流速が大きい場合は水深が小さくても避難は困難となる。また、反対に水深が大きい場合は流速が小さくても避難の困難さは大きくなる。そのため、流速と水深のどちらも考慮した指標で避難困難度を評価することが望ましい。

土田地区における洪水氾濫解析では、被災時の氾濫水の挙動が推定された。その結果をもとに、流速と水深を考慮した指標である単位幅当たりの比力を算定し、氾濫域の各地点において、いつどこが避難の困難な状態になるか、いつまでに避難が必要かの観点から検討する。

単位幅比力は、式(2)に示すように静水圧と運動量の総和で表される。

$$M_0 = \frac{h^2}{2} + \frac{q^2}{gh} \quad (2)$$

ここに、 M_0 (m³/m)は単位幅当たりの比力、 h (m)は水深、 q (m²/s)は単位幅および単位時間当たりの流量、 g (m/s²)は重力加速度である。既往の研究¹⁾では、避難体験実験を行うことにより、年齢、性別ごとの安全に避難できる単位幅比力の限界値が算出されている。今回は、避難弱者となる高齢女性が安全に避難できる単位幅比力の限界：0.08 m³/mを基準値として設定した。

図-9は、氾濫域の各地点で基準値が0.08 m³/mを上回る場合、鬼ヶ島右岸上流部で溢水が始まってからの経過時間を示したものである。同図から、溢水がいち早く発生した鬼ヶ島右岸上流部と、その20分後に溢水が発生した鬼ヶ島右岸下流部では、30分未満で基準値が0.08 m³/mを超えており、早急な避難が必要であることを示している。また、30分～40分の10分間程度でアンダーパス付近において基準値が0.08 m³/mを超えることがわかった。さらに、

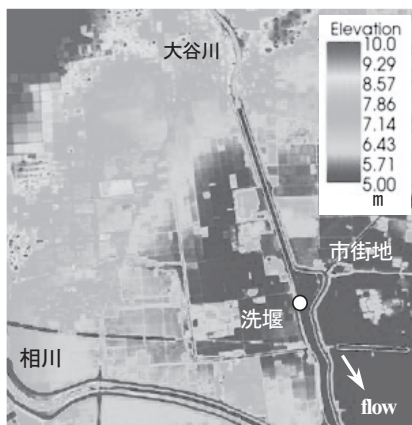


図-10 荒崎地区周辺の数値標高

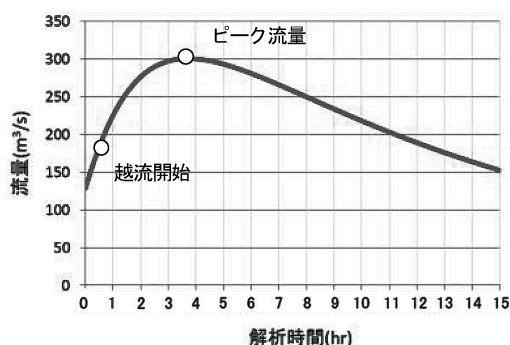


図-11 大谷川のハイドログラフ（仮想）

右岸の溢水開始から1時間45分後は、解析で最大浸水域となった時刻である。この時間までに、鬼ヶ島左岸、矢戸川からも越流が発生し、これらに囲まれた広範囲にまで、基準値を超える領域が拡大している。

3. 大谷川の洪水氾濫を想定した避難困難度

(1) 解析対象の概要³⁾

大谷川は岐阜県大垣市を流れる中小河川の一つである。大垣市内には20の一級河川が流れており、標高が低いという特徴をもつことから、豪雨時には河川の洪水氾濫が発生し、度々被害に見舞われてきた。その一方で、水害から地域を守るために堤防で囲った輪中が発達した地域でもある。特に大谷川の右岸側に位置する荒崎地区は、左岸側の大垣市街地を水害から守るため、戦前まで無堤状態であり、大きな被害を受けてきた。戦後には堤防が築かれたが、周囲の堤防よりも一段低い洗堰が設置されたことにより、設計流量以上の豪雨時にはこの洗堰から越水し、現在も度々被害が発生する地区となっている。また、相川と隣接する荒崎地区の南端の十六町では、100年以上前に造られた輪中堤が現存する地区であり、過去の水害では被害を軽減している（図-10参照）。

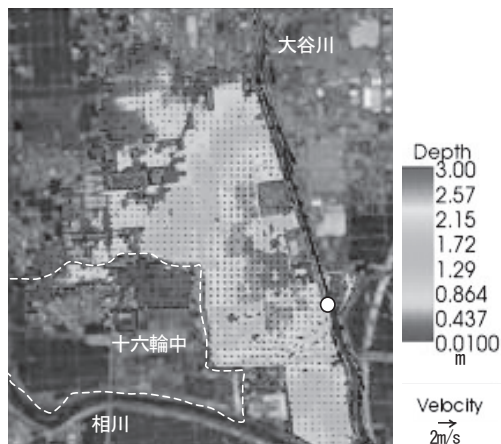


図-12 越流開始から約5時間30分後の水深と流速

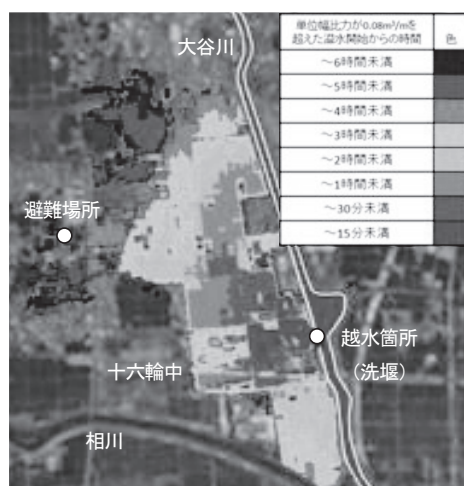


図-13 避難困難度を考慮したハザードマップ（大谷川）

(2) 洪水氾濫解析

解析手順は、2(3)で述べた可見川水害の検証の場合と同様である。粗度係数は $0.03 \text{ (m}^{-1/3}\text{s)}$ と仮定した。また、解析に用いるハイドログラフは、設計流量を上回る状況を想定してピーク流量を $300 \text{ m}^3/\text{s}$ と仮定し、図-11のような仮想の状況を設定して15時間分の計算を行った。解析開始から29分後、洗堰からの越水がみられた。そして、氾濫水は地盤高の低い北側へと広がっていった。越水が始まってから8分後には、氾濫水は南方へも拡大していき、十六輪中堤の外部を浸水した。なお、その氾濫水は洗堰下流部で渦を巻くように流れる状況であった。

図-12はピーク流量から約2時間が経過した越流開始から約5時間30分後の解析結果である。同図から、洗堰下流部では、3mを超える浸水深となっていることがわかる。十六輪中内に向かって氾濫水が西側へ流入する様子が見られ、一部ではやや浸水しているものの、その水深は小さい。十六輪中と隣り合う地域では水深が2m程度

にまで増大している地域もあり、十六輪中堤が内部への浸水を遮断し、現在でもその機能を果たしている。

(3) 避難困難度の評価

避難困難度を評価する手順は、可児川における2(4)と同様である。図-13に氾濫域の各地点で基準値が $0.08 \text{ m}^3/\text{m}$ を上回る時間を示す。ただし、洗堰で越水が始まった時刻を基準としている。同図から、越水が始まってから15分未満で洗堰から西に350m離れた地域まで、避難困難領域が拡大していることがわかる。この地域内では、わずかな時間で避難のリスクが高まることから、越水前に避難を開始する必要がある。また、洗堰から700m離れた地域でも、越水から1時間未満で避難困難となることから、避難に要するリードタイムが短い。特に、洗堰の北部では避難困難となるリスクが早期に高まる地区と考えられる。さらに、避難場所である荒崎地区センターは、越水から5時間未満で浸水の影響を受ける場所にあることがわかり、一時避難として利用した後に安全な場所にまで誘導する策を事前に検討する必要がある。一方、本計算条件下では、浸水被害が軽減されている十六輪中堤内部や地盤の高い洗堰北部の一部地域では限界値を超えることはない。ただし、本結果は、設定したピーク流量の規模や波形に大きく依存するので、想定を上回るような外力についてはさらなる検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、岐阜県の2つの中小河川（可児川および大谷川）を対象として、豪雨災害時の洪水氾濫の挙動と避難困難度の評価を通して避難体制の考察を行った。

可児川水害の検証では、被災した土田地区の洪水氾濫域が、相次いで強雨域に入り下流域へ雨水を集中させるように不利に働いた可能性が指摘された。また、氾濫解

析結果は浸水実績図とほぼ対応し、自動車が流される被害が発生したアンダーパスでは、氾濫水の流入から自動車が浮き始める状態まできわめて短時間（2分程度）しかなかったこと、鬼ヶ島右岸において溢水が始まってから30分未満で、アンダーパス付近では避難困難な状態となったことが推定された。さらに、大谷川において、設計流量を上回る洪水氾濫を想定した際の避難困難度では、荒崎地区の洗堰から越流が始まった6時間後には洗堰付近で3mを超える水深となること、洗堰付近では、越流から15分未満で避難困難となるリスクの高い地域が抽出され早期の避難警戒を周知する必要があること、設定されている避難場所も5時間未満で浸水が到達することなどから、本モデルが避難場所の安全度を再検討する上で有効なツールとなり得ることが指摘された。

謝辞：

本研究の遂行に関して、可児川流域の雨量、水位などのデータは岐阜県河川課、氾濫解析に使用したDEMデータは、公益財団法人岐阜県建設研究センター、国際航業(株)、(株)パスコ、アジア航測(株)から提供していただいた。末尾ながら、最後に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 川中龍児・石垣泰輔：避難困難度指標及び避難開始時期を考慮した洪水ハザードマップの検討，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68, No.4, pp.1_1081-1_1086, 2012.
- 2) 岐阜県 7.15 豪雨災害検証委員会：7.15 豪雨災害検証報告書，95p., 2010.
- 3) 岐阜県揖斐川流域総合治水対策検討委員会：揖斐川流域における総合的な治水対策プラン，32p., 2007.

(2013. 7. 19 受付)

BEHAVIOR OF FLOOD STREAM AND EVACUATION SYSTEM IN HEAVY RAINFALL DISASTER OF SMALL RIVERS - IN THE CASE OF KANI RIVER AND OTANI RIVER -

Hitomi ASANO, Kiyoshi WADA and Keigo YOSHIDA

Recently, heavy rain has increased in the past few decades. It is important that people living area of potential flooding evacuation quickly and safely. In this study, we estimated past flood damage of Kani River and unknown flood damage of Otani River. Then, we figured out flood high-risk area and timing to evacuation. Based on flood simulation, the under-pass near the overflow point of Kani River was poured overflow waters and the depth increase fifty centimeters in only a few minutes. And overflow occurred at a side-overflow-weir in Otani River and the specific evacuation area away from the weir became hazardous situation for evacuation. However, Jyuroku ring levee which adjoined the weir in Arasaki area is functioning even now, therefore the traditional ring levee has reduced flood damage in Jyuroku area.