

台風 0423 号による兵庫県内の河川災害

神田 佳一*

River Disasters Caused by Typhoon 0423 in Hyogo Prefecture

Keiichi KANDA

ABSTRACT

A heavy rainfall caused flood disaster by Typhoon 0423 when it passed across Shikoku and Kinki District on October 20, 2004. In the Maruyama River basin, Hyogo prefecture, the average 12-hour precipitation of 206mm was the highest recorded after World War . During this heavy rainfall, 26 people were killed, 130 people were injured and 8,780 houses destroyed in Hyogo prefecture. Three levee breaches happened in the Maruyama River basin and many flood disasters occurred in other rivers

In this study, characteristics of rainfall and flood flow, and the data of disasters because of Typhoon 0423 at Hyogo prefecture are investigated

KEY WORDS: Typhoon 0423, flood disaster, heavy rainfall, Hyogo prefecture

1. はじめに

昨年(2004 年)、日本列島には 10 個もの台風が上陸し、全国各地に甚大な災害を引き起こした。特に、最後に来襲した台風 23 号は、大型で強い勢力を保ったまま四国、近畿地方を通過し、各地に大雨をもたらした。兵庫県内の台風 23 号による被害は、死者 26 名、負傷者 130 名、家屋の損壊 8,780 棟、浸水家屋 11,205 棟(表 1)にのぼる。ここでは、特に浸水被害が顕著であった円山川及び加古川水系における被害の概要について述べる。

2. 円山川水系の河川災害

2.1 流域の概要

円山川は、図 1 に示すように兵庫県朝来郡生野町円山に源を発し、但馬地方を北上して豊岡盆地を流れ、日本海に注ぐ一級河川である。幹川延長は 68km、流域面積は 1,300km² であり、流域の 86%は山地である。流域人口の約 30%が居住する下流部の豊岡盆地は、

河口との高低差が 1m 程度しかなく、河口から上流の出石川合流点付近まで海水が浸入する低平地であり、また、稲葉川、奈佐川、出石川などの主要な支川が合流するため、洪水時には内水被害が生じやすい地形となっている。

表 2 に、伊勢湾台風以降の主要洪水の記録と被災概要を示す。これまでに立野基準点の水位が 7m を超えたのは、1959 年の伊勢湾台風と 1990 年の台風 19 号の 2 度記録されているが、今回の台風 23 号はそれらを 1m 近く上回るものであり、氾濫戻しを考慮した推定流量(4,900m³/s)も過去最高となった。また、浸水家屋数についても、伊勢湾台風に次ぐ規模である。

2.2 降雨と水位の概況

図 2 は、台風 23 号による流域内の 2 日間雨量及び 12 時間雨量分布を示している。また、立野地点の流域平均雨量分布を 1990 年の台風 19 号の場合と比較したものを図 3 に示す。今回の降雨は、立野上流における流域平均の 2 日間雨量(278mm、降雨確率約 1/40)

*都市システム工学科

表1 台風23号による兵庫県内の被害状況(兵庫県提供資料)

	人的被害(人)		住家被害(棟)		
	死者	負傷者	全半壊	一部損壊	床上・床下浸水
但馬地区	9(1)	55(45)	4,039(2,981)	501(178)	4,862(2,913)
播磨地区	4[1]	23[3]	1,012[810]	362[0]	1,741[450]
淡路地区	10	26	2,142	178	3,689
その他	3	26	323	223	913
兵庫県合計	26	130	7,516	1,264	11,205

()内の数値は豊岡市、[]内の数値は西脇市

では1990年の降雨(同364mm)に及ばないが、12時間雨量では206mm(降雨確率約1/80)と戦後最大となっており、特に10月20日には20mmを越す時間雨量が5時間以上継続するなど、短時間に集中して降った豪雨といえる。また、支川流域においても、2日間雨量が稲葉川の日高で307mm、出石川の平田で321mmに達している。

図4は、本川上流より京口、上小田、立野及び城崎地点の水位の時間変化を示したものである。水位上昇は、豊岡盆地の立野で最も大きく、20日17時から23時までの6時間で6.2mの急激な水位上昇がみられた。1時間単位で見れば、最大1.8m/hrの速度で水位が上昇したことになる。これは、伊勢湾台風の場合(6時間で最大5.7m)を大きく超える速さであり、上述のように短時間に強い降雨が集中したこと、降雨量の多かった稲葉川及び出石川流域からの流出とピークが重なったことなどによるものと考えられる。

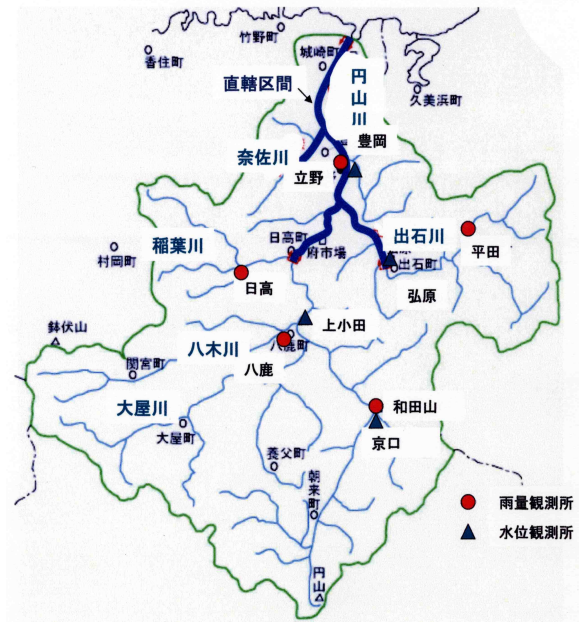


図1 円山川流域図(国土交通省提供資料)

表2 円山川の既往洪水(国土交通省提供資料)

年月日	洪水原因	立野最高水位(m)	立野最高流量(m ³ /s) 【 】内は氾濫戻し流量	浸水戸数(戸)	備考
1959/09/26	伊勢湾台風	7.42	3,043【4,435】	16,833	破堤
1961/09/15	第二室戸台風	6.87	2,624	1,933	破堤
1965/09/10	台風23号	6.86	2,617	7,788	
1976/09/10	台風17号	6.92	2,716	3,022	
1990/09/20	台風19号	7.13	3,176	2,861	
2004/10/20	台風23号	8.29	4,200【4,900】	11,428	破堤

2・3 円山川、出石川の破堤及び浸水被害状況

図5は、直轄区間(円山川27.7km、出石川8.7km)における浸水区域を示している。堤防が整備されていない本川上流の日高町赤崎地区から河口に至る広い範囲で、溢水や内水氾濫による浸水被害が生じている。浸水面積は円山川流域で41km²に及び、豊岡市内では市街地の90%が浸水している(写真1)。

円山川では、豊岡市立野(13.2km)において右岸堤防の一部が決壊した。20日20時過ぎに水位がH.W.L.

を超えて溢水が始まり、21時ごろには、溢水の幅は30m、高さは40cm程度に達していたものとみられる。その後も溢水による堤防裏法面の浸食が進み、23時過ぎには堤体幅減少後の浸透流との複合要因によって破堤に至ったことが確認されている(国土交通省円山川堤防調査委員会報告)。溢水区間は、本川上で約3kmに達していたものと推定されており、破堤部周辺の堤防裏法面には、溢水によるものと見られる洗掘跡が多数残されていた(写真2)。

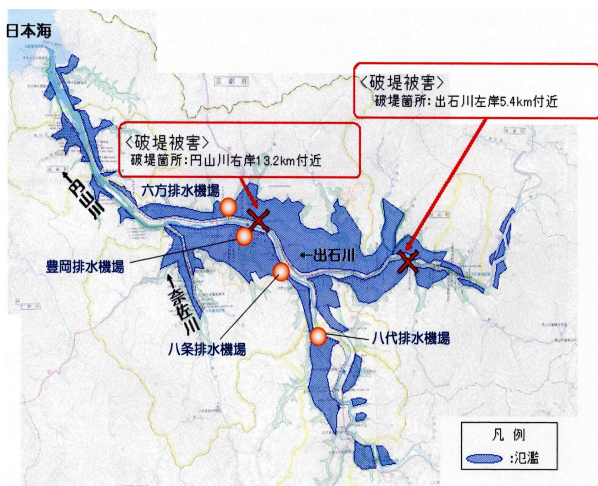


図5 丸山川直轄区間流域の浸水範囲
(国土交通省提供資料)

れ以前に内水排除用のポンプの運転が停止され内水による浸水被害が生じていたが、破堤に伴う外水の氾濫が浸水域をさらに拡大させたものと考えられる。この他、豊岡市一日市(9.6km 左岸)でも堤防の上部が欠損し、豊岡市の浄化センターが浸水している。

一方、出石川では、鳥居橋地点(出石川 5.4km 左岸)において、橋脚や流木等による疎通障害が生じ、橋の上流部で水位が上昇して溢水が起こり、鳥居樋門に続く左岸堤防の一部が決壊・破堤した。破堤地点及び氾濫地域の被災状況を写真2に示す。破堤地点より2.2km上流の弘原では、20日19時ごろに計画高水位を約9cm超過する最高水位を記録している。

堤防調査委員会の試算によれば、鳥居橋周辺の越流水深は30~40cmで、左岸では4時間以上越水が続いていたものと推定されている。決壊地点が山付け部と築堤部との境界であって、水衝部となっていたことも決壊の一因であろう。

破堤により一気に堤内地に浸入した洪水は、周辺家屋や車両を押し流し、県道を越えて広い範囲にわたって氾濫した(写真3)。氾濫域の痕跡調査から、浸水深は地盤の低いところで最大3m程度にまで達していたものと考えられる。



写真1 豊岡市街地の浸水状況(豊岡市提供資料)



写真3 家屋の被災状況(神戸大学 川谷教授提供資料)



写真2 堤防部裏法面の洗掘状況
(神戸大学川谷教授提供資料)

また、破堤した堤防断面は、1983年以降従来の堤防を段階的に嵩上げ・拡幅したものであり、堤防調査委員会では、こうした堤体荷重の増加に伴い、堤体下層の軟弱粘土層が沈下していたことも溢水の一因であるものと指摘している。また、破堤地点の周辺では、そ

県管理河川においては、奈佐川では河道の流下能力不足により護岸が崩壊し、約150mにわたって河岸が10m前後後退した。奈佐川に合流する宮井川や目坂川でも護岸の崩壊や堤防道路の陥没がみられた。六方川や八代川流域の低平地では、排水ポンプ容量を超える内水による浸水被害が顕著であった。稲葉川や来日川では、丸山川本川の水位上昇に伴う背水によって合流部付近が浸水している。

また、出石川や稲葉川上流部の急傾斜地では、崖崩れや地すべり、土石流による多数の土砂災害が発生している。特に、但東町奥赤地区では、幅30m、長さ

1.4kmにわたって土石流が生じ、崩壊土砂量は 4 万 m³ 以上と推定されている。

2・4 住民の避難状況

豊岡市における住民の避難状況については、本川水位が警戒水位を超えた 19 時過ぎに豊岡市民 42,794 人に対して避難指示が出されたが、実際に避難したのはその内の 8.8% (3,753 人) であった。屋外スピーカーや防災無線によって水位情報や交通・避難情報は、随時住民に伝えられていたが、避難行動の遅れや過去の水害による浸水経験から住居に留まった住民が多かったようである。

避難場所は、学校、公民館など豊岡市内の 39 施設であったが、その内の 3 箇所に 1200 人を超える避難者が集中した。市の指定した避難所の情報が不十分で、小さなコミュニティ単位で避難誘導が行われていたようである。また、豊岡市の調査によれば、防災無線は情報伝達手法としては有効であったが、避難を喚起するだけでなく、河川の水位や浸水状況に関する具体的な情報を求める市民の意見が多かった。

今回の水害で被害にあった人々の多くは、逃げ遅れた高齢者や小さな子供などの、いわゆる災害弱者の人々であった。今後、このような災害弱者の被害を最小限に抑える仕組みづくりとともに、どのタイミングで避難指示を出すか、どこまで情報を的確に伝えるか、ハザードマップ等を有効に活用して、如何に住民の判断基準とのギャップを埋めるかなど残された課題は多い。

3. 加古川水系の河川災害

3・1 流域の概要

加古川は、図 6 に示すように、播磨地域の北端に位置する但馬市栗鹿山を水源とし、西脇市、滝野町、小野市、加古川市等の市街地を貫流して瀬戸内海に注ぐ幹川流路延長 96km の一級河川である。流域面積は 1730 km² で兵庫県面積の 21% を占め、流域内人口は約 60 万人である。加古川流域は平野部が内陸部まで広がり、河口から 80 km までの平均河床勾配は約 1/500 で緩やかな流れとなっている。

3・2 降雨と水位の概況

図 7 は、台風 23 号による流域内の 2 日間雨量分布を、兵庫県下で 6300 棟が浸水した 1983 年の 10 号台風の場合と比較したものである。また、流域内の船町、板波、小野及び加古川の各雨量観測所の降雨記録を図 8 に示す。

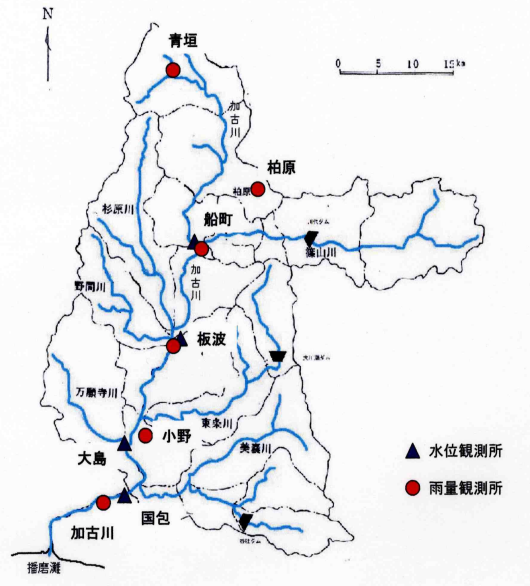
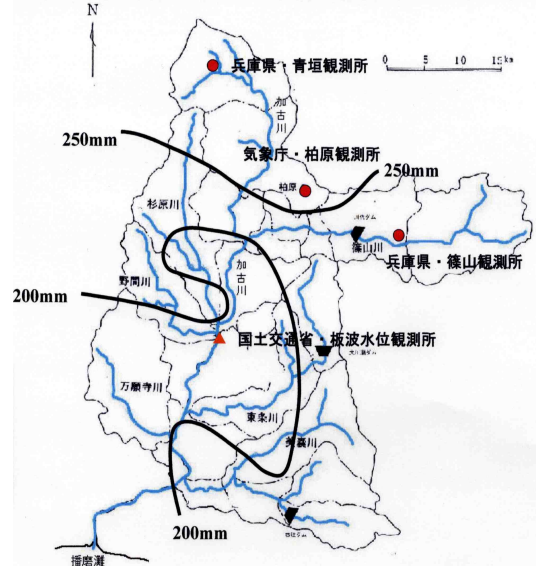
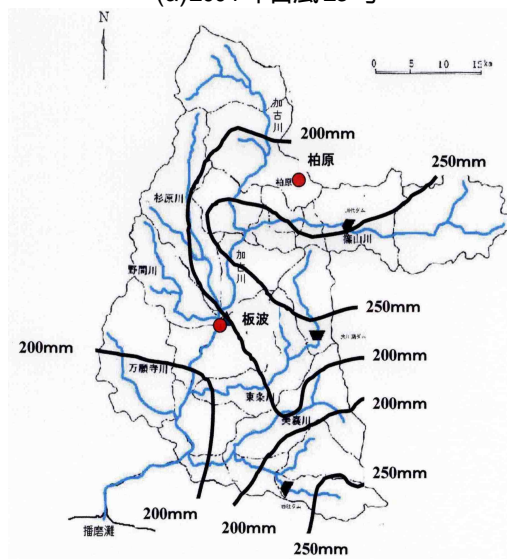


図 6 加古川流域図 (兵庫県提供資料)



(a) 2004 年台風 23 号



(b) 1983 年台風 10 号

図 7 加古川流域内雨量分布 (兵庫県提供資料)

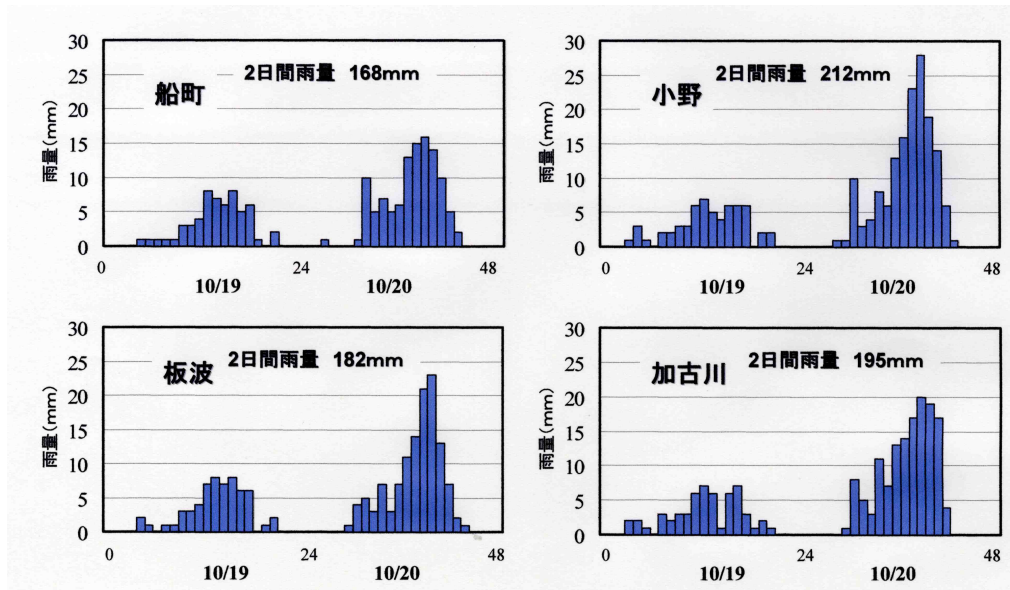


図8 時間雨量の経時変化

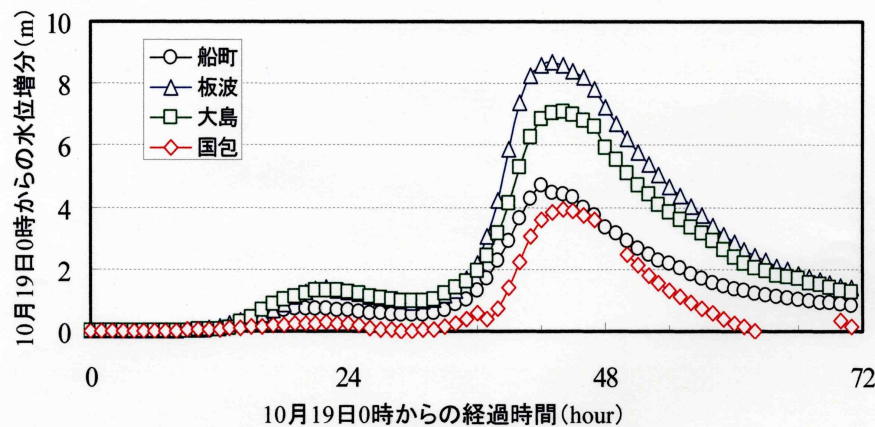


図9 水位変化量の比較

台風 23 号による総雨量は、上流の青垣で 260mm(時間雨量 39mm)、中流部の板波で 182mm(時間雨量 23 mm)、下流部の加古川で 195mm(時間雨量 20mm)、また、支川美の川上流の吉川で 242mm(時間雨量 35 mm)に達し、加古川流域では、1983 年 10 号台風に匹敵する記録的な降雨であった。1983 年の洪水では、総雨量が 250mmを超える領域は流域東部の篠山川及び東条川上流域であるが、今回の台風 23 号では加古川本川上流域で 250mm以上の激しい降雨が観測されている。一方、10月20日8時から19時までの12時間降雨では、気象庁の柏原観測所で観測史上最大の降雨量(193mm)を記録している。

図9は、本川上流より船町、板波、大島及び国包地点(図6)の水位変化量の時間変化を示したものである。加古川の水位は、円山川の場合と同様に20日午後から急

激に上昇を始め、野間川が合流する西脇市の板波(37.6 km)で最大8.6m、小野市の大島(20km)で7.0mの水位上昇を記録した。これにより、西脇市から滝野町、小野市にかけての広い地域で河川水位が堤防高さを越え、堤内に水が溢れた。特に、西脇市では、死傷者数が4名、800棟以上の家屋が全半壊するなど、1983年の洪水以来の甚大な浸水被害が生じている。

3・3 西脇市の浸水被害状況

図10は、西脇市周辺の浸水区域を示したものである。板波地点(37.6km)の水位は、20日15時ごろに危険水位(4.8m)を超えて上昇を続け、16時半にはH.W.L.(6.1m)を超え、20時には堤防高さを0.36m上回る最高水位8.16mに達した(図9)。このときのピーク流量は3000m³/sと推定されている。このため、

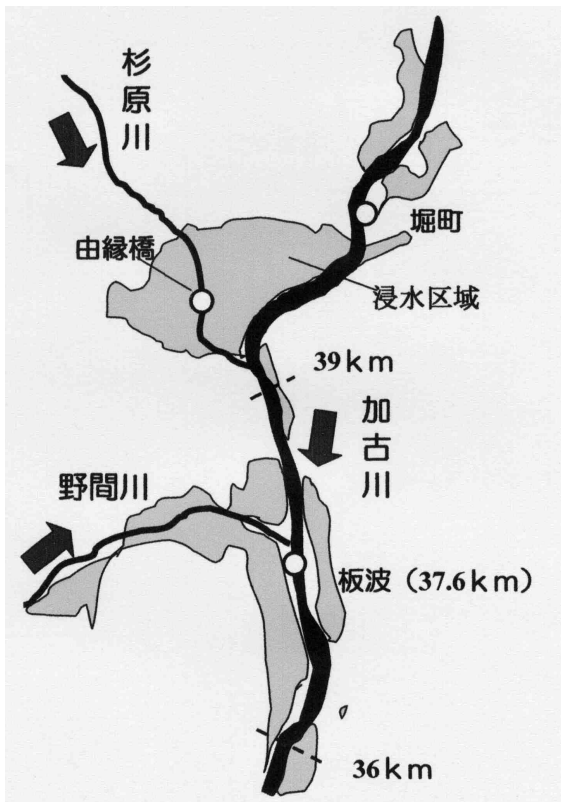


図 10 西脇市周辺の浸水状況



写真 4 加古川 36km 付近の河道被災状況



写真 5 杉原川由縁橋での流下物の付着状況

板波橋の上流 1km、下流 2km 及び野間川沿い 2km の広い範囲にわたって外水が堤内地に流入し、浸水被害が生じた(写真 4)。加古川左岸の県道に沿った浸水区域では、浸水深が 1.6m から 2m 程度に達していた。

杉原川が合流する 39km 付近でも、本川水位が堤防の一部を越えた。また、その背水の影響で杉原川の水位が上昇して左右岸ともに越水が生じ、西脇市街地に甚大な浸水被害を及ぼした。浸水深は地盤の低い所で 2m 以上に達していたものと推定される。写真 5 では、杉原川に架かる由縁橋の高欄上部まで流木やごみが付着しており、河道内水位の高さがうかがえる。その他、西脇市堀町では、加古川左岸の堤防護岸が長さ 200m にわたって損壊し、さらに、黒田庄町前坂では、左岸堤防が決壊している。西脇市の浸水被害面積は、約 200ha と推定されている(西脇市の調査による)。

また、本川直轄区間の闘竜灘付近では外水が溢れ、支川の万願寺川や東条川、美の川の合流部でも内水による浸水被害が生じている。直轄区間周辺の浸水面積は、500ha 以上に及ぶ。

3・4 野間川、杉原川の合流に伴う水位上昇量

今回の水害では、野間川、杉原川の合流部周辺の異常な水位上昇による外水氾濫が特徴的であった。野間川は、流路延長 11.8km、流域面積 84.4km² で、板波基準点(37.6km)の直上流でほぼ真横から加古川に合流する右支川である。杉原川の流路延長は 36.5km、流域面積は 138km² で、加古川 39km 付近での合流角は 2/3π 程度である。支川の合流角度や流量が大きい場合には、合流部で形成される渦によってエネルギー損失が生じ、合流部で大きな堰上げ水位が現れることが予

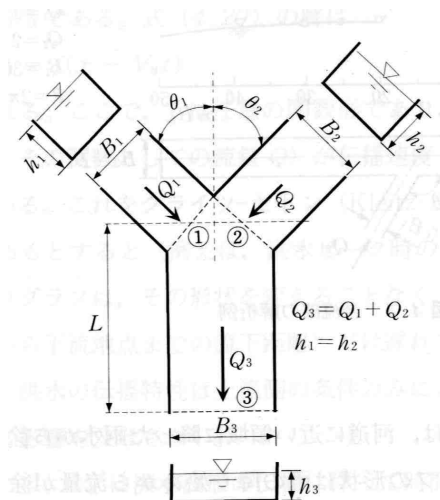


図 11 合流部のモデル

表3 合流部解析に用いた本川流量と合流部の断面パラメータ

	野間川合流後の本川流量 Q_3	野間川合流後の本川水深 h_3	野間川合流後の本川幅 B_3	θ_1	θ_2	B_1/B_3	B_2/B_3
野間川合流点	3000m ³ /s	7.0m	200m	1.40rad	0rad	0.4	1.0
杉原川合流点				0.79rad	0.53rad	0.7	1.0

測される。ここでは、野間川、杉原川の合流に伴う堰上げ効果を評価するために、一次元の運動量解析法を用いて解析を試みた。

合流部の流れを図11のようにモデル化し、流れは常流とした。合流部の直上流に断面及び θ_1 をとり、合流に伴う局所流の効果が無視できる下流の地点を断面とする。上流断面及び θ_2 の水深が等しいと仮定し、各断面を境界とする河道内でx方向の運動量方程式を用いると、合流部上下流の水深比 $h_1 (= h_2)/h_3$ と合流後のフルード数 $F_{r3} = V_3/\sqrt{gh_3}$ との関係は、次のようになる。

$$\left(\frac{h_1}{h_3}\right)^3 - (1 - 2F_{r3}^2) \left(\frac{h_1}{h_3}\right) + 2\eta F_{r3}^2 = 0 \quad (1)$$

ここで、 $\eta = \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right)^2 \cos \theta_1 / \left(\frac{B_1}{B_3}\right) + \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)^2 \cos \theta_2 / \left(\frac{B_2}{B_3}\right)$

は、流量条件と合流部の幾何形状によって定まる。上式の有意な解は次のようである。

$$\frac{h_1}{h_3} = \begin{cases} |\eta| < \eta_* \text{ の場合 :} \\ 2 \left\{ \frac{(1 + 2F_{r3}^2)}{3} \right\}^{1/2} \cos \left\{ \frac{\pi - \cos^{-1}(\eta/\eta_*)}{3} \right\} \\ \eta < \eta_* \text{ の場合 :} \\ -(\eta F_{r3})^{1/3} \left[\left\{ 1 + \left(1 - \frac{\eta^2}{\eta_*^2}\right) \right\}^{1/2} + \left\{ 1 - \left(1 - \frac{\eta^2}{\eta_*^2}\right) \right\}^{1/2} \right] \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $\eta_* = \left\{ (1 + 2F_{r3}^2)/3 \right\}^{3/2} / F_{r3}^2$ である。下流水深 h_3 が与えられれば、上式から合流点上流部の水深を求めることができる。解析に用いた本川流量及び合流部の幾何形状特性を表3に示す。

図12は、支川流量をパラメータとして、合流に伴う水位上昇量の解析結果を示している。支川の流量をいずれも野間川の計画流量(750m³/s)に等しいものと仮定すると、野間川合流点では1m、杉原川合流点では1.2m程度の堰上げが生じることになる。

これらの値は、今回の台風23号による板波地点とその17.6km下流の大島地点での最大水位上昇量の差1.6m(図9)の2/3~3/4に相当するものであり、野間川及び杉原川の支川合流が本川水位の急激な上昇の一因となっていたものと考えられる。

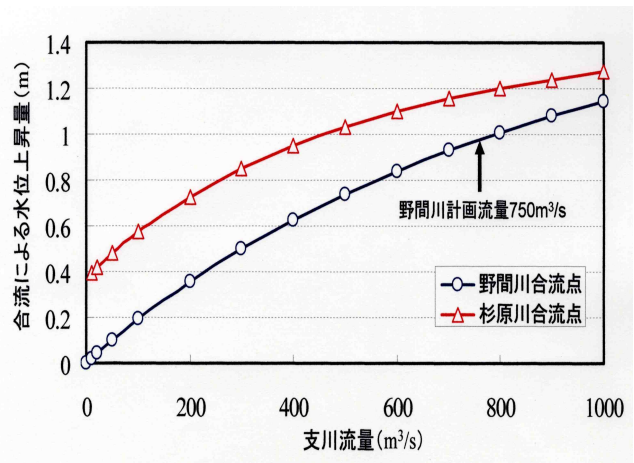


図12 解析結果

4. おわりに

台風23号による兵庫県下の被害総額は、3,652億円にのぼる。円山川、加古川流域では、洪水が生じやすい流域の地形的特性に加えて、流域全体に短期間に降雨が集中したこと、無堤部などの未改修区間が多く堤防高さや川幅が不足したこと、流木等による疎通障害、支川合流部における背内処理の不備、堤防や内水排除施設の老朽化などが洪水被害を大きくしたものと考えられる。円山川直轄区間(豊岡市・出石町・日高町・城崎町)及び加古川(西脇市)は、河川激甚災害対策特別緊急事業(2004年度~2009年度)の指定を受けた。河道掘削や築堤、堤防強化等の河川改修と内水対策の実施、及び地域と連携した情報伝達や避難等のソフト対策の早期充実が望まれる。

最後に、本研究は河川環境管理財団の河川整備基金の助成を受け、土木学会の台風23号災害緊急調査の一環として行ったものである。国土交通省豊岡工事事務所、姫路工事事務所、並びに兵庫県県土整備部から、多くの資料をご提供いただき、災害調査に対してもご協力をいただいた。ここに、記して謝意を表わす。