

論文

親水河川の出水時の危険度解析

戸田 圭一*・徳永 智宏**・井上 和也*

Flood hazard analysis in amenity oriented river

Keiichi TODA*, Tomohiro TOKUNAGA** and Kazuya INOUE*

Abstract

A simulation analysis has been conducted to simulate the rapid change of velocity and water depth in amenity oriented river by short time heavy rainfall. The model used here comprises the runoff model by the kinematic wave model, the 1-D unsteady flow model by the dynamic wave model and the 2-D inundation flow model by the generalized curvilinear coordinate system. The Kamo river in Kyoto city, Japan was studied based on the recently observed rainfall. Through the analysis, it was found that some river sites in the Kamo river including Hiragino park area become dangerous by the short time heavy rainfall. Also, with respect to the maximum velocity and water depth and their rate of change, flood hazard is discussed, and a flood hazard of river recreational site can be presented on the map.

キーワード：流出解析，一次元不定流解析，氾濫解析，危険度評価，親水河川

Key words：runoff analysis, 1-D unsteady flow analysis, inundation flow analysis, hazard prediction, amenity oriented river

1. はじめに

昨今のアウトドア志向の高まりによって、親水空間としての河川への関心も高まっている。河川敷およびその周辺で、散歩や水遊び、あるいはキャ

ンプやバーベキューを楽しむ人を目にすることも多い。しかしその一方で、1999年8月に神奈川県山北町の玄倉川においてキャンパーが増水した河川の中州に取り残され流された事故や、2000

* 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
** (株)建設技術研究所
CTI Engineering Co., Ltd.

本論文に対する討論は平成16年5月末日まで受け付ける。

年8月の群馬県水上町の谷川岳湯檜曾川での鉄砲水による水難事故といった出来事に象徴されるように、河川が危険な場となってしまうことがある。加えて、近年の都市化の進展により流域環境が変化し、雨水の出水形態が変化していること、ヒートアイランド現象などの影響により、短時間であっても時間雨量が50 mmから100 mmに達する豪雨が発生していることなどから、短時間豪雨による河川の水位および流速の急激な増加、あるいはそれに伴う河川の氾濫といった出水時の危険度は増加傾向にあるといえる。

こうした状況の下、河川管理者や河川に深くかかわる人々が、河川の危険性を喚起し、河川利用時の注意を呼びかけている。1999年の玄倉川の事故の後には、土木学会水理委員会から河川の危険性を紹介する記事¹⁾が配布され、また2000年2月には建設省（現国土交通省）河川局内に「危険が内在する河川の自然性を踏まえた河川利用及び安全確保のあり方に関する研究会」が設けられ、10月には「恐さを知って川と親しむために」²⁾という提言が答申された。この提言を受けて様々な取り組みが進められており、最近の活動内容は佐藤³⁾によって、

- (1) 河川利用者を対象とした情報提供の充実、
 - (2) 学校教育や社会教育における安全意識の啓発、
 - (3) 流域における関係機関の連携の充実、
 - (4) 緊急時を想定した体制等の構築、
- に分類されている。

このような活動の重要性は言うまでもないが、実際には出水時に河川の水深や流速がどのように変化するか、また降雨の規模と流況の変化はどのような関係があるのかといった河川の水文・水理事象をできるだけ定量的に把握しておくことが、上で紹介された活動や様々な情報を十分に活用する前提となると考えられよう。

このような状況に鑑み、本研究は、京都市の鴨川を対象として、出水時の流況を流出解析、一次元不定流解析、二次元氾濫解析といった水理解析手法を駆使して明らかにし、その結果得られる出水時の危険度を定量的に評価したものである。さ

らに、モデル降雨を用いた解析結果から、流速や水深の最大値および時間変化の度合いについて整理を行い、出水時の危険度マップの作成を試みている。

2. 対象領域および解析手法

2.1 解析対象領域

図1に示すように、鴨川は賀茂川と高野川が出町柳で合流し、京都市街を貫流する河川である。賀茂川は、京都市と京北町の境界に位置する祖父谷峠と、それに隣接する棧敷ヶ岳山麓に源を発し、途中、鞍馬川、貴船川などを加えて南流しているが、その流域は小さな谷がいくつも入り組んだ複雑な地形をなして、それらの谷のちょうど出口にあたる地点に柵野堰堤がある。この堰堤を通過すると川幅も広くなり、桜の散策路として有名な半木の道を抜け、出町柳まで南流する。一方、高野川は、比叡山麓下の大原より、若狭街道に沿って八瀬・上高野・山端など京都市の東北部を西南に向かって流れ、出町柳まで南流している。

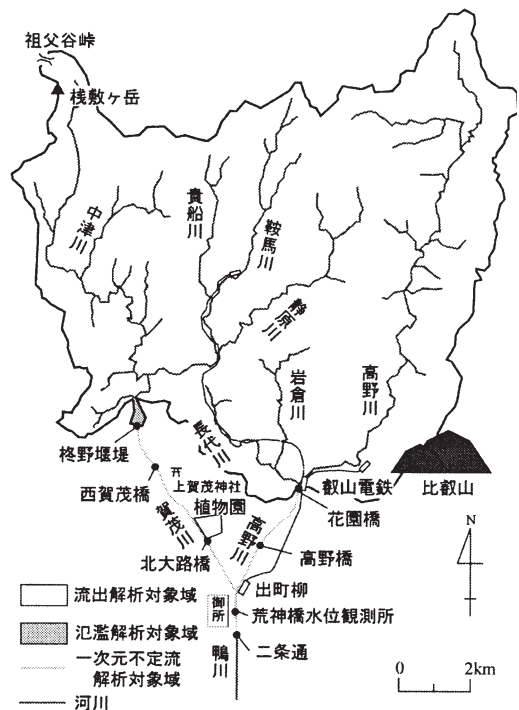


図1 解析対象域

流域には名所旧跡や風光明媚な箇所が多数存在し、観光客やハイカーに親しまれている。また水遊びでにぎわうスポットもいくつかみられる。

解析対象領域は図1に示す領域である。対象領域を上流域山地部と中流域都市部とに分割し、各々に異なる解析手法を適用する。上流域では流出解析の下流端を対象地点に設定し、一次元のkinematic wave法による流出解析結果から得られるその地点での水深や流速の時間変化を把握する。中流域では、dynamic wave法による一次元の不定流解析を行い、水深の急激な時間変化を把握する。また、上流域山地部と中流域都市部のちょうど境界に位置する柵野公園周辺部の河川敷には親水空間が平面的に広がっていることから、この親水空間を含む河川周辺の二次元氾濫解析を行い、水深や流速の急激な時間変化特性を明らかにすることによって出水時の危険度の評価を行う。

上流域流出解析対象領域は、柵野公園上流地点までの賀茂川流域(約63.9 km²)および花園橋までの高野川流域(約58.9 km²)で、その合計面積は約122.7 km²である。柵野公園周辺部の氾濫解析対象領域は、図2に示すように賀茂川の山地からの出口の柵野公園上流部を上流端とし、下流端は柵野堰堤、左右岸は河川敷よりも十分地盤の高くなった道路または水田を境界とし、面積は約0.14 km²である。また中流域の一次元不定流解析対象範囲は、賀茂川は柵野堰堤を、高野川は花園橋を上流端とし、合流点の出町柳を経て下流は二条通までの区間である(柵野堰堤～出町柳約5.7 km, 花園橋～出町柳約4.2 km, 出町柳～二条通約1.8 km)。

2.2 上流域の流出解析モデル

上流部の流出解析には、長方形斜面が河道に接続していると仮定した従来からのkinematic waveモデルに基づく手法を用いる。その基礎式は以下のとおりである。

<斜面流>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = r_e \quad (1)$$

$$q_s = \alpha h^m \quad (2)$$

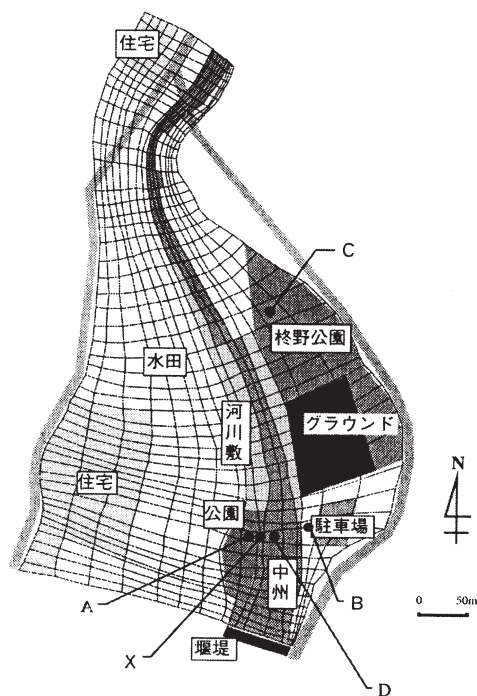


図2 柵野公園周辺部

ここに、 h は水深、 q_* は斜面の単位幅流量、 r_e は有効降雨($r_e=f \cdot r$, f は流出率、 r は降雨)、 α, m は定数であり、斜面こう配 θ_s とManning則の式形を用いると、 $m=5/3, \sqrt{\sin \theta_s} / N$, N は等価粗度である。

<河道流>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_s}{B} \quad (3)$$

$$q = \alpha h^m \quad (4)$$

ここに、 q は河道の単位幅流量、 q_s は斜面からの単位長さあたりの横流入流量、 B は河道幅である。また河床こう配を θ とし、Manning則を用いると、 $m=5/3, \alpha = \sqrt{\sin \theta} / n$, n はManningの粗度係数である。河道断面は長方形近似を行っているが、河道幅の縦断方向の変化は考慮している。

前節で示した対象領域を、図3に示すような斜面と河道に分割する。賀茂川および高野川流域の斜面の総数はそれぞれ104個、72個で、河道断面の総数はそれぞれ3084個、2000個である。斜面流については特性曲線法により河道への横流入

流量を計算し、河道流については、Leap-frog 法に基づく差分法で洪水流量を算出する⁴⁾。

2.3 中流域の一次元不定流解析モデル

一次元不定流解析の基礎式は、次の連続式と St.Venant 式である。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{5}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - s_f \tag{6}$$

ここに、 A は流水断面積、 g は重力加速度、 Q は流量、 $v=Q/A$ は断面平均流速、 $s_0 = \sin \theta$ は水路床勾配で、基準面から河床までの高さを z とすれば、 $\sin \theta = -dz/dx$ 、 s_f は摩擦勾配で、抵抗則として Manning 公式を用いるとき、 $s_f = n^2 v |v| / R^{4/3}$ 、ただし R は径深である。河川の計算は井上⁵⁾の方法に準じる。

2.4 平面的に広がる親水域の氾濫解析モデル

平面二次元の氾濫解析の基礎式である浅水方程式をデカルト座標系で表現すると以下ようになる。

<連続式>

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M^x}{\partial x} + \frac{\partial M^y}{\partial y} = 0 \tag{7}$$

<運動量式>

(x 方向)

$$\frac{\partial M^x}{\partial t} + \frac{\partial (u^x M^x)}{\partial x} + \frac{\partial (u^y M^x)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u^x \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2}}{h^{1/3}} \tag{8}$$

(y 方向)

$$\frac{\partial M^y}{\partial t} + \frac{\partial (u^x M^y)}{\partial x} + \frac{\partial (u^y M^y)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 u^y \sqrt{(u^x)^2 + (u^y)^2}}{h^{1/3}} \tag{9}$$

ここに、 t は時間、 x, y はデカルト座標系の座標、 u^x, u^y は x, y 方向の流速、 M^x, M^y は x, y 方向の流量フラックス ($M^x = u^x h, M^y = u^y h$)、 H は水位である。

本研究では、河岸沿いに広がる河川親水域の微地形を取り込むことを念頭において、河岸線を基

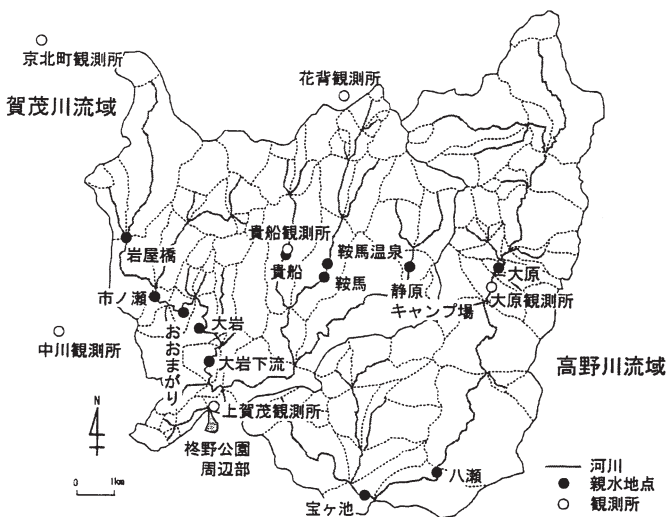


図3 上流域流出解析対象域

準に座標軸を設定できる一般曲線座標を用いることとし、デカルト座標系の基礎方程式を物理平面 (x, y) 系から計算平面 (ξ, η) 系に変換して解析を行っている。解析法の詳細は井上ら⁶⁾を参照されたい。実際の計算においては、河川の流量が増加するにつれて水の存在しない領域に氾濫水が浸入していく現象を取り扱うことになり、氾濫水の先端の処理が問題になるが、その扱いは井上ら⁶⁾の方法に準じることとする。

3. 鴨川への適用

3.1 1999年6月降雨に基づくパラメータの決定

(1) 上流域の流出解析

図3には、親水地点と、京都府の上賀茂、貴船、大原、中川の各水位雨量観測所および気象庁の花背、京北町のアメダス雨量観測所とをあわせて示している。対象領域を Thiessen 法を用いて分割し、各観測所での降雨支配圏を定めた。

流出解析のパラメータ決定のために用いた降雨は、図3に示した各観測所で1999年(平成11年)6月26日21時～27日10時にかけて観測された降雨(図4)であり、総降雨量は、上賀茂:106mm, 貴船:115mm, 大原:110mm, 花背:123.5mm, 京北町:52.5mm, 中川:116mmで

あった。ここでは計算開始時刻の6月26日21時を0時と書き換えて表記している。本研究では流出解析において飽和雨量⁷⁾の概念を導入しており、予備検討計算結果から飽和雨量 R_{sa} を $R_{sa} = 150$ mm と設定し、総雨量がこれを超えるまでは一次流出率 $f_1 = 0.5$, それ以降は飽和流出率 $f_s = 1.0$ としている。すなわち、式(1)の有効降雨強度 r_e を以下のようにして算出する。

$$r_e = f_1 \cdot r, \quad 0 < R < R_{sa} \tag{10}$$

$$= f_s \cdot r, \quad R_{sa} \leq R$$

ここに、 R は累加雨量である。河道断面の間隔は $\Delta x = 20$ m, 計算時間ステップは $\Delta t = 0.5$ s とする。

流出解析は、上流域の流速、水深の時間変化を解析するのに必要なだけでなく、流出流量を上流端の境界条件として用いる二次元氾濫解析、一次元不定流解析の結果にも大きな影響を及ぼす。そこで河道の粗度係数 n と斜面の等価粗度 N を種々変化させて解析を行った。なお初期流量は不明であったので、簡単のため、初期条件として河道はドライな状態を仮定している。 $n = 0.030, 0.035, 0.040, N = 0.8, 1.0, 1.2$ の組み合わせの9ケースの解析を実施し、上賀茂水位観測所地点での水位の観測値との比較を行った。初期条件の影響により、いずれのケースでも計算初期では計算値は観測値

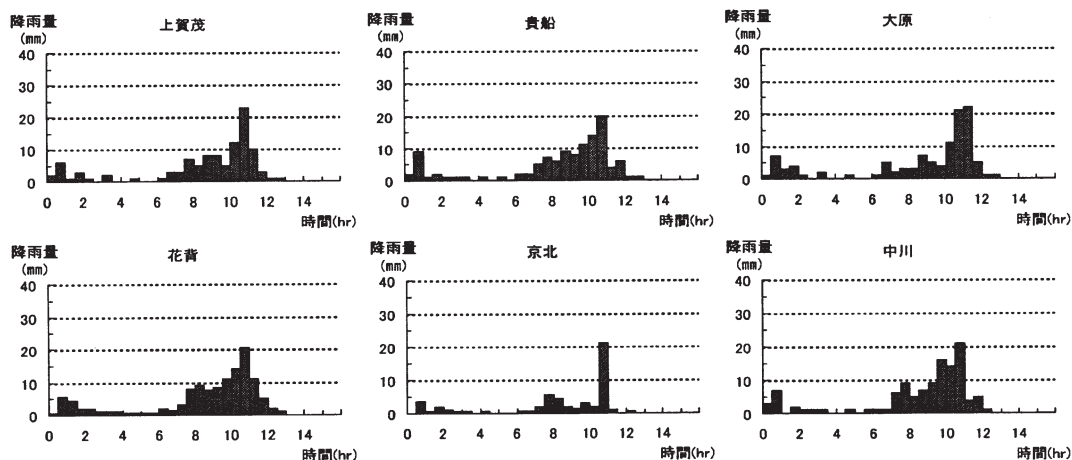


図4 1999年6月26日～27日降雨

を下回る傾向にあるが、ピーク値を最もよく再現できたのは、図5に示すように $n=0.035$ 、 $N=0.8$ の組み合わせのときであった。この組み合わ

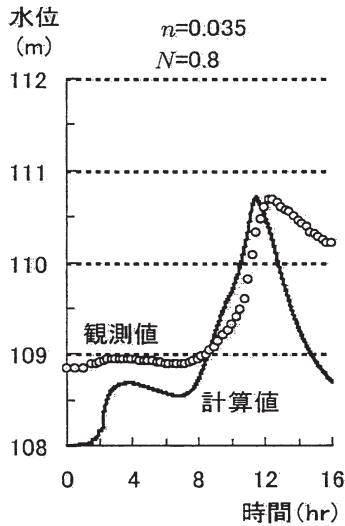


図5 上賀茂観測所での水位変化の比較

せで得られた流出流量を用いて終野公園周辺部の氾濫解析および中流域の一次元不定流解析を行い、浸水実績、観測値との比較を行う。

(2) 終野公園周辺部の氾濫解析

上流端境界条件には、流出解析より得られた終野公園上流地点での流量ハイドログラフを用いる。図2に示すように下流端には堰堤高7mの終野堰堤が存在することから、下流端では段落ち式で氾濫水を流下させることにする。図2には解析格子もあわせて示している。格子は河道部も含めて一般曲線座標系に基づき、 ξ 方向(河道の横断方向)に16個、 η 方向(河道の縦断方向)に50個に分割している。各格子の地盤高データは京都府から貸与された終野公園周辺部(河道も含む)の平面図内の地盤高の情報を基に作成した。終野公園周辺部のマンニングの粗度係数 n_1 は、河川格子(普段水が流れていると考えられる格子)では $n_1=0.03$ 、それ以外の格子では $n_1=0.04$ を用い、計算時間ステップは $\Delta t=0.01s$ である。

氾濫解析結果のうち、最大浸水深を図6に示す。

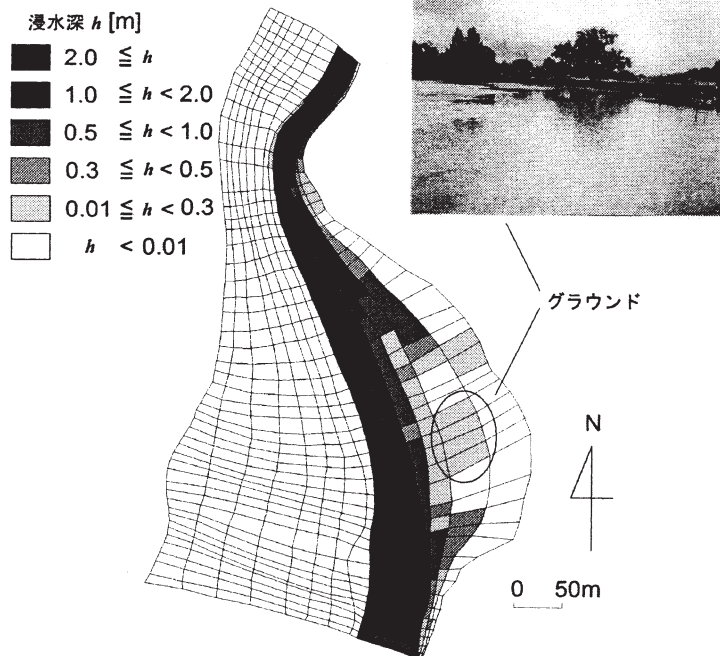


図6 終野公園周辺部の最大浸水深の比較

柘野堰堤付近の洪水の様子を、京都府の職員が写真に記録している(図6)。この写真によると、左岸側のグラウンドはほぼ全域が水没し、10~30 cm 程度の浸水があったと推測される。なお、補足的に(1)と同様に n と N を変えて流出流量を変化させ、その条件下で氾濫解析を行ったところ、グラウンド部分の浸水状況が現れたのはここで示した $n=0.035$, $N=0.8$ の場合だけであった。図6の氾濫解析結果と浸水実績との比較から、ここ

で提示された氾濫解析結果が浸水実績をほぼ再現していると判断された。

(3) 中流域の一次元不定流解析

上流端境界条件として、賀茂川には柘野公園上流地点、高野川では花園橋地点での流出解析より得られた流量ハイドログラフを与える。なお、高野川流域の n , N も賀茂川流域と同じ値を用いる。また、下流端は段落ち部となっているため、段落ち式で流下させる。この場合も初期流量が不明であったため、微小な流量として賀茂川、高野川ともに $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量を仮定して与えて十分長い時間計算を行い、水位が一定となったときの状態を初期水位とした。河道断面の断面特性は断面図をもとに作成し、その間隔は鴨川および賀茂川では $\Delta x=100 \text{ m}$ 、高野川では $\Delta x=200 \text{ m}$ である。中流域河川のマニングの粗度係数 n_2 は、 $n_2=0.030$ 、計算時間ステップは $\Delta t=0.1 \text{ s}$ である。

解析の結果得られた荒神橋観測所地点での水位の時間変化を図7に示す。図には観測値もあわせて示している。観測値と計算値を比較すると、計算値のほうがピーク値がやや小さく、それが現れるまでの時間も遅れているが、本解析では上流部の山地領域から流出した流量のみを与えており、残流域(市街地)から鴨川への横流入を考慮していないことを考えると、計算値は観測値をおおむね再現しているといえよう。なお荒神橋観測所で

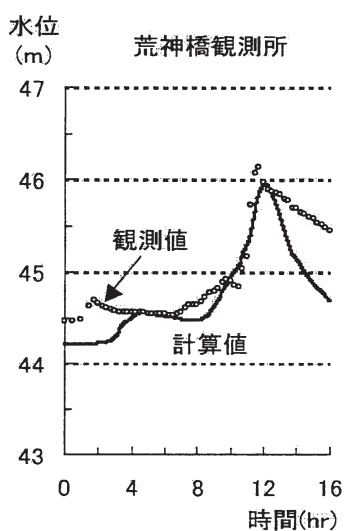


図7 荒神橋観測所の水位の時間変化の比較

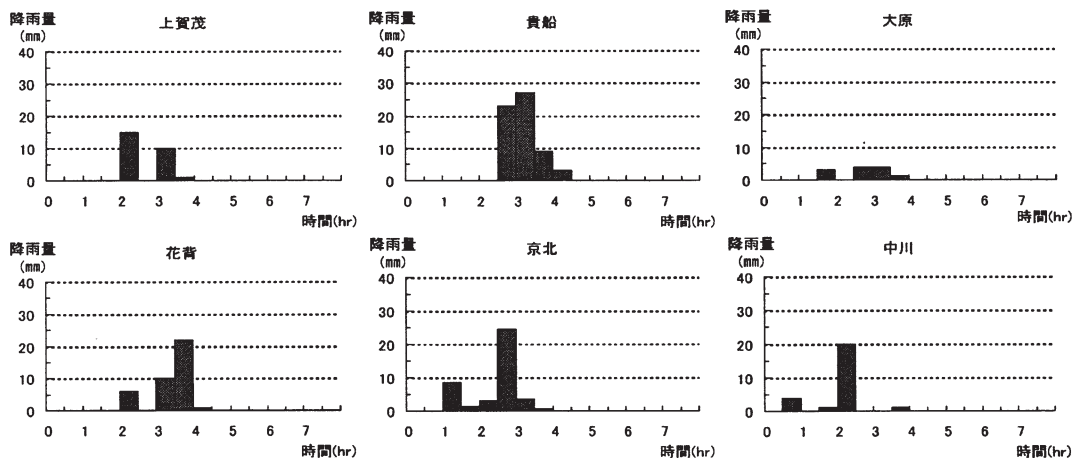


図8 1994年7月26日降雨

の最大流量は約 $350 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、これは賀茂川流域および高野川流域の流出解析による最大流量の和とほぼ等しい値となっている。

終野公園周辺部での氾濫解析結果と氾濫実績との比較、ならびに荒神橋観測所地点での一次元不定流解析結果と水位の観測値との比較から、ここで用いた解析手法および上流端の境界条件として与えている流出流量がおおむね妥当なものと判断された。よって以降の解析では流出解析のパラメータは $n = 0.035$ 、 $N = 0.8$ を用いることとする。

3.2 短時間豪雨時の出水時危険度（1994年7月26日の降雨）

図8に示す1994年7月26日14時～22時の降雨のもとで解析を行った。7月26日14時を計算開始時刻としている。この降雨は典型的な短時間の豪雨である。各観測所での総降雨量は、上賀茂：26 mm、貴船：62 mm、大原：12 mm、花背：39 mm、京北町：41.5 mm、中川：26 mm mであり、貴船観測所では30分間の最大降雨量が25 mmを超えている。図9の上流部の親水地

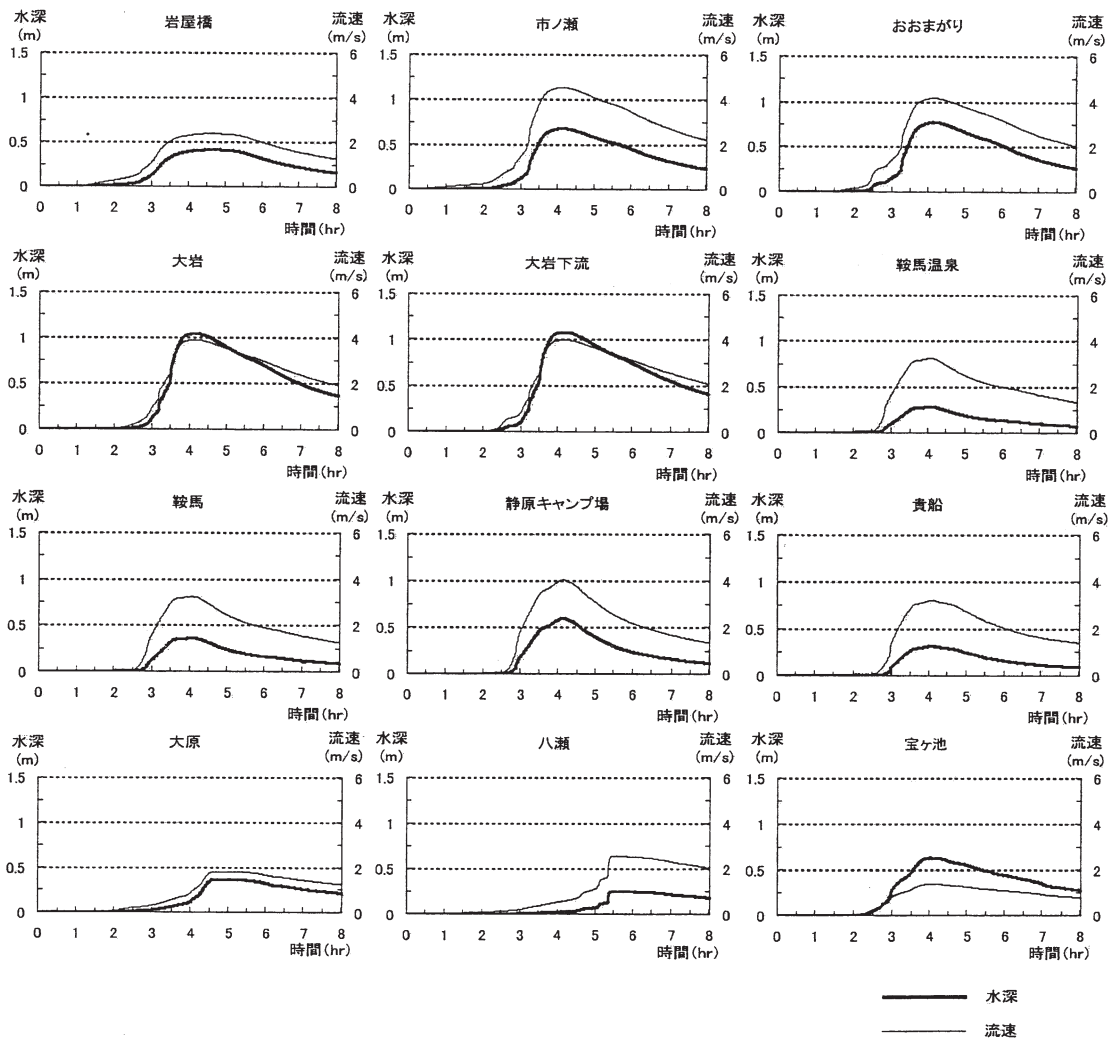


図9 上流域各地点の水深と流速の時間変化

点での水深と流速の変化を見ると、賀茂川流域の市ノ瀬、おおまがり、静原キャンプ場では、流速が4 m/sを超えており、大岩、大岩下流では水深が1 mにまで達している。また水深、流速ともに変化が始まってから約30分~1時間で最大値まで上昇しており、短時間の豪雨でも危険な状態になりうる事がわかる。

次に、柗野公園周辺部の各地点の水深、流速の時間変化をそれぞれ、図10、図11に示す。公園周辺の各地点は、A：右岸の親水性を有する河川敷内、B：左岸の駐車場内、C：左岸の公園内、D：中州、X：A地点の前面の河道内である。A地点では浸水が始まってからわずか10分ほどで浸水深が0.7 mを超え、最大時には1 m以上にまで達している。またD地点でも1 mにまで達している。この時、X地点の流速は2 m/sにも達しており、中州で遊んでいる人が取り残されたり、保護者が目を離した際に河川べりにいた小さな子供が思わぬ水難事故にあうことも十分考えられる状況といえる。

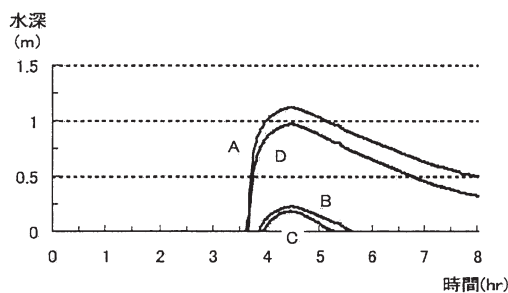


図10 柗野公園周辺部各地点の水深の時間変化

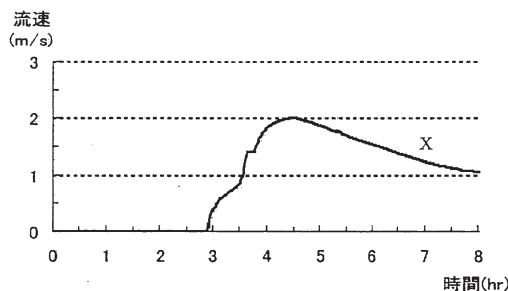


図11 柗野公園周辺部 X 地点の流速の時間変化

図12に示す中流域一次元不定流解析の対象地点での水深の変化をみると、西賀茂橋、北大路橋下流では0.4~0.5 mであった水深がおよそ30分間で0.8 m程度上昇し、1.2~1.3 mに達している。一方、荒神橋観測所地点では1.2 m程度であった水深が20分ほどの間に2 m近くにまで上昇している。

以上の結果より、鴨川流域では様々な地点で短時間の豪雨によりかなり急に水深や流速が上昇しており危険な状態が生じることがわかる。

4. 出水時危険度の評価法

ここでは、モデル降雨を用いた際の出水時の流況を、水深や流速の最大値およびそれらの時間変化の度合いに注目することによってその危険性を定量的に評価し、その結果を危険度マップとしてわかりやすく表現する手法を提示する。

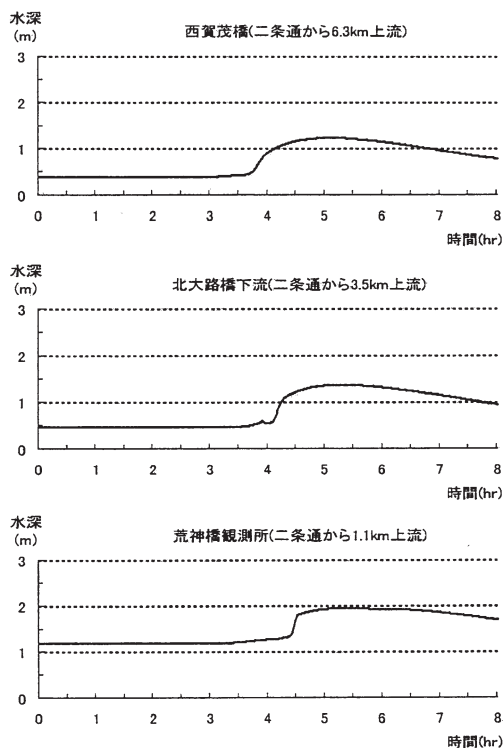


図12 中流域各地点の水深の時間変化

4.1 出水時危険度の定量的評価

対象としたモデル降雨は降雨継続時間 30 分で総降雨量 20, 30, 40 mm の矩形波の一定降雨である。モデル降雨を R_{30} と記す。降雨継続時間 30 分は夏場の激しいわか雨を想定している。まず、これらの降雨を鴨川流域に一樣に与え、各地点において流速や水深がどの程度にまで上昇するかをみる。図 13 は流速および水深の最大値 (v_{max} および h_{max}) について整理したものである。流速の最大値である v_{max} に着目すると、鴨川上流部の各親水地点での値が大きくなっているのに対して、中流部ではそれほど大きな値を示していないことがわかる。一方、水深の最大値 h_{max} は鴨川上流部よりも柘野公園周辺部および宝ヶ池地点で大きくなっている。

次に、流速および水深が、ある基準値 v_f , h_f を超える（最大流速、最大水深が大きく現れる）地

点において、それらの時間変化をみる。 v_f については、溪流部で見られる流速や、人間の水中での最大移動速度と考えられる水泳選手の遊泳速度（競泳 100 m 自由形の日本記録が 50 秒程度）を参考にここでは $v_f = 2 \text{ m/s}$ とし、また大人の腰ほどの高さの水深を考え $h_f = 1 \text{ m}$ とした。そして、図 14 に示すように流速の最大値 v_{max} が v_f よりも大きいとき、この降雨に対する流速の 10 分間の上昇量の最大値（図中で 10 分間の勾配が最も大きい区間の縦軸の変化量）を Δv_{10max} と定義する。水深についても同様の考え方に基づき Δh_{10max} を定義する。なお 10 分間という時間は、人が身の周りのものを片付け避難を完了するのに要する時間と考えた。図 15 に Δv_{10max} および Δh_{10max} について整理した結果をそれぞれ示す。図から、例えば $R_{30} = 20 \text{ mm}$ のとき、最大流速が 2 m/s を超える鴨川上流部の市ノ瀬、おおまがり、大岩、大岩

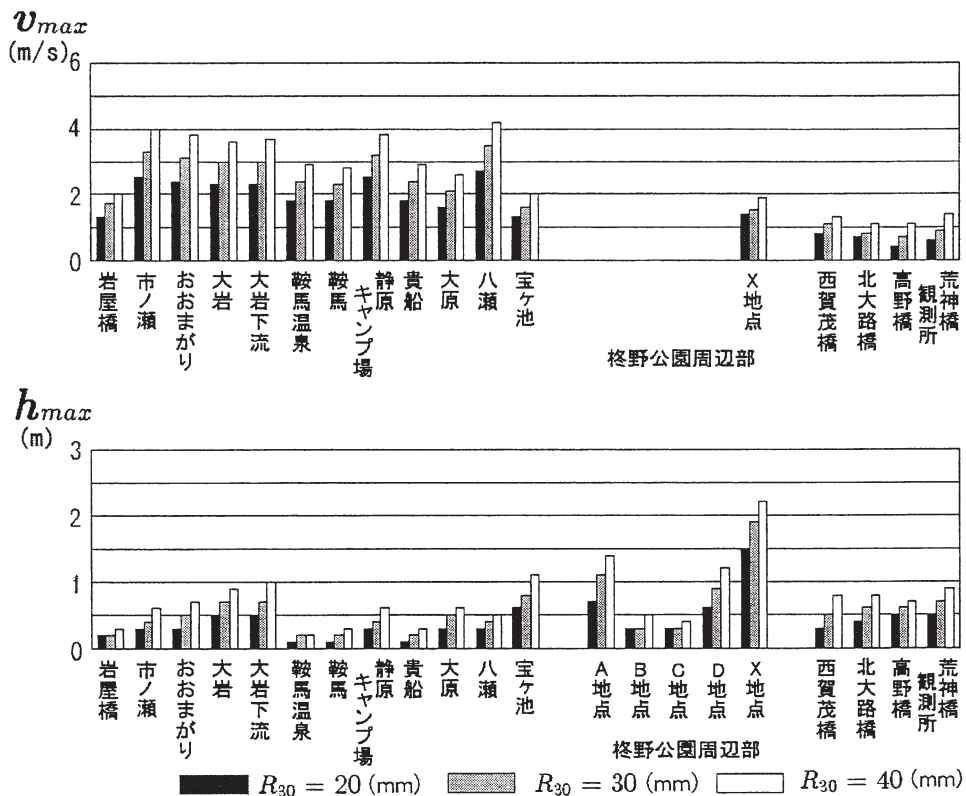


図 13 最大流速・最大水深の比較

下流, 静原キャンプ場, 八瀬のうち市ノ瀬, 静原キャンプ場では流速が 10 分間で最大 1 m/s 以上

も上昇するということがわかる。また柘野公園周辺部の X 地点では最大水深が 1 m を超え, しかも水深は 10 分間で最大 0.5 m 以上上昇するということがわかる。

このようにして, 出水時に対象地点の流速あるいは水深がどの程度にまで上昇するか, またその時間的変化がどの程度かがわかるだけでなく, 異なる地点間の危険度を巨視的に比較することができる。

4.2 出水時危険度マップの作成

前節の結果をまとめ, 出水時危険度マップを作成する。まず第一段階の危険度として, $R_{30}=30$ mm のときに流速あるいは水深の最大値が $v_{max}=2$ m/s, $h_{max}=1$ m を超える地点を危険度レベル A として取り扱う。次に第二段階の危険度として,

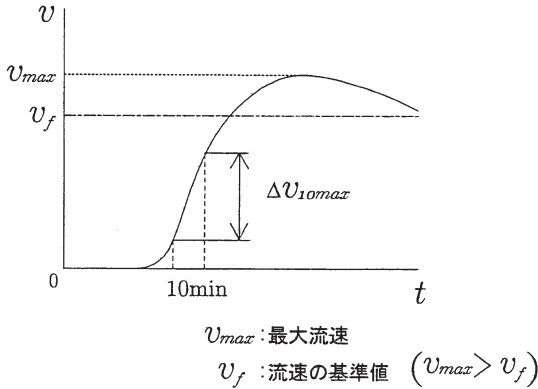


図 14 Δv_{10max} の定義

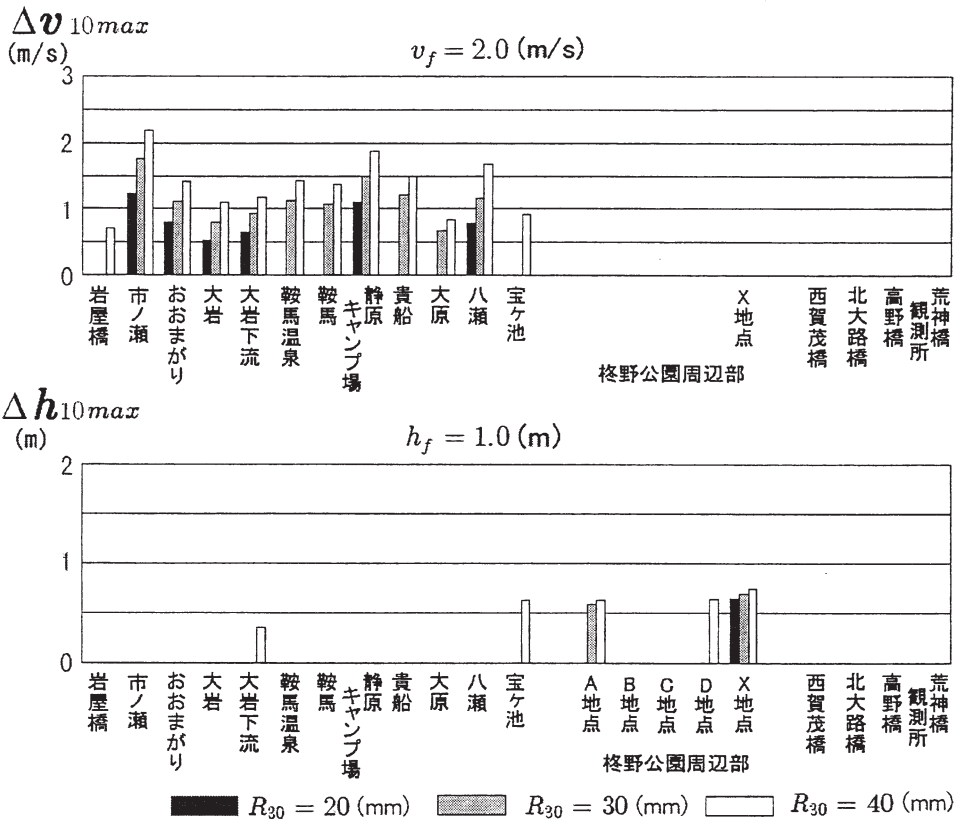


図 15 Δv_{10max} , Δh_{10max} の比較

危険度レベルAの地点のうち $\Delta v_{10max} \geq 1.0$ m/s, または $\Delta h_{10max} \geq 0.5$ m となる地点を危険度レベルAAとして取り扱うこととする。なお, これら 1.0 m/s, 0.5 m は, 10 分間で v_f および h_f の半分の大きさにまで達する変化量として設定した。またこのほかの地点(危険度レベルAに達していない地点)については危険度レベルBとする。

このようにして地点ごとの危険度を, 最も危険なAAから順に, A, Bと3段階に分類し, 地図上に示したものが図16の出水時危険度マップである。この図を見れば出水時にどの地点がより危険な状態になるかを容易に知ることができる。なお, 危険度レベルBの地点であってもその地点では急激な出水時に危険な状況が発生しないというわけではなく, 河川利用時には常に河川の持つ危険性

を考えながら行動しなければならない。またほかの流域においても, 同様の方法を用いて解析結果を整理し, 地図上に示すことで河川の出水時危険度マップを作成することが可能である。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論は以下の通りである。

1. kinematic wave 法による流出解析, dynamic wave 法による一次元不定流解析, 一般曲線座標を用いた平面二次元の氾濫解析を組み合わせることで, 鴨川での出水時の流況を表現できるモデルを開発した。
2. 鴨川流域で過去に発生した短時間豪雨によ

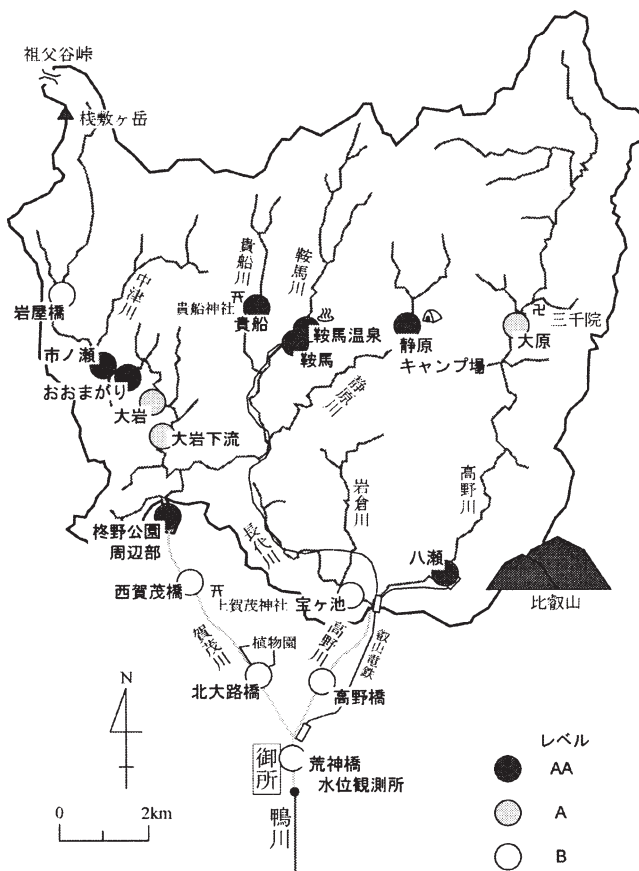


図 16 出水時危険度マップ

る出水の流況を解析したところ、短時間の豪雨であっても幾つかの地点で十分危険な状況になる可能性が知られた。

3. モデル降雨を用いて、出水時の流速や水深の最大値およびそれらの時間変化の度合いに着目することによって、水難事故発生の危険性を定量的に評価する手法を提示した。さらに、得られた結果を地図上にわかりやすく表現する一手法を提示した。

また今後の課題としては以下のことが挙げられる。

1. 出水時の危険度を3段階に分類して表示したが、その際に基準とした v_f , h_f の値や、流速、水深の変化時間(10分間)の妥当性について、さらなる検討を進める必要がある。
2. 今回はいくつかの親水スポットに焦点をあてて点的な位置情報の形で危険度マップを表しているが、河道沿いに線的な情報として危険度を表示するほうが利用価値が高いと考えられ、この種の高度化、精緻化が今後必要である。なお、線的な危険度マップはここで提示した手法を用いて、解析対象地点を連ねていくことにより作成可能である。

謝 辞

氾濫解析で種々ご教示いただいた長崎大学工学部 川池健司先生に感謝の意を表します。鴨川に関する資料を快くご提供いただきました京都府京都土木事務所の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。また、貴重な助言をいただいた本論文の査読者の方々にも感謝いたします。なお、本研究を実施するにあたり(財)河川環境管理財団の助成を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会水理委員会：キャンパーの水難事故について—河川でのアウトドアライフを楽しむために—,(社)土木学会水理委員会資料, 1999.
- 2) 危険が内在する河川の自然性を踏まえた河川利用

及び安全確保のあり方に関する研究会：恐さを知って川と親しむために、建設省河川局河川環境課資料, 2000.

- 3) 佐藤寿延：提言「恐さを知って川と親しむために」を踏まえた取組みについて—全国の13モデル河川における取組み—, 河川, 9月号, pp.101-104, 2001.
- 4) 高橋 保・井上素行・中川 一・里深好文：山岳流域における土砂流出の予測, 水工学論文集, 第44巻, pp.717-722, 2000.
- 5) 井上和也：開水路非定常流の数値計算法とその水工学への応用に関する研究, 京都大学学位論文, pp.92-101, 1986.
- 6) 井上和也・戸田圭一・林秀樹・川池健司・坂井広正：市街地における氾濫解析モデルの考察, 京都大学防災研究所年報, 第41号 B-2, pp.299-311, 1998.
- 7) 土木学会編：水理公式集, 昭和60年度版, p.160, 1985.

(投稿受理：平成15年4月1日
訂正稿受理：平成15年7月25日)

