市街地における破堤氾濫流の流れ構造と 樹林帯による氾濫流制御に関する研究

Unsteady Flow Structure of Rapid Inundation Flow due to Dyke Break on Urban Area with Tree Belt

椿涼太*・吉田晋**・山田雄也**・河原能久***Ryota Tsubaki, Susumu Yoshida, Yuya Yamada and Yoshihisa Kawahara

*正会員 博(工) 広島大学大学院助教 工学研究科社会環境システム専攻 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1) **学生会員 広島大学大学院 工学研究科社会環境システム専攻 (同上) ***フェロー会員 工博 広島大学大学院教授 工学研究科社会環境システム専攻 (同上)

Inundation due to the flood frequently occurs owing to concentrated heavy rain and typhoons, hence our lives and property suffer damage in some cases. Tree belt along levee, which is one of the traditional measures to mitigate the damage caused by levee-breech inundation, has been preserved at several locations in Japan. The objective of this study is to investigate the unsteady flow structure of rapid inundation flow due to dyke break on urban area with and without the tree belt. We have carried out a series of experiments using large scale open channel. Dyke-break flows were repeatedly aroused under the same flow condition and temporal variations in water level at many points and hydrodynamic force acting on several buildings were measured. Velocity distributions around the tree belt, buildings and street crossings were measured by LSPIV (Large-Scale PIV). Shallow-water numerical flow model is used to estimate unsteady flow structure and calculated result is compared with the experimental result.

Key Words: Levee breech, urban flooding, tree belt, water level, hydrodynamic force, PIV, Shallow water flow model

1. 序論

近年、日本全国において集中豪雨や台風、前線に よる洪水氾濫が多発しており, 甚大な被害が生じて いる.従来,堤防は洪水時の氾濫を防ぐ目的で設け られるが、護岸の改修レベルの低い河川では破堤の 危険性が高く、また改修が進んだ河川であっても計 画値を超える外力の発生により堤防が決壊する懸念 がある. 今後, 地球温暖化や異常気象の発生により, 予測を超えた大規模な洪水氾濫が発生する可能性は さらに増加すると予想され、氾濫域の危機管理対策 はより重要で切実となろう. 破堤による人的あるい は物的被害を小さくするには、洪水ハザードマップ や洪水時の適確な避難体制などのソフト面での対策 と,堤防やダム,樹林帯などの施設設備により氾濫 流を制御することで家屋等の構造物への被害軽減を 図るハード面の対策があり、これらの対策を組み合 わせることで,被害の最小化を図られている.堤防 に沿う樹林帯の設置は氾濫流を制御する一つの手段 であり,過去の調査結果でも被害軽減効果が確認さ

れている ¹⁾.

甚大な被害を引き起こす破堤氾濫流に対して、堤 防や樹林帯などの施設配備計画、洪水ハザードマッ プ作成等の検討には,被災事例を分析するとともに, 氾濫解析モデルを用いた数値計算による評価も不可 欠である. 建物や樹林帯の抵抗が適切にモデル化さ れた信頼性のある氾濫解析モデルの開発はこのよう なソフト対策などの具体的立案に欠かせない技術と いえる. ところが, 破堤氾濫は大規模で突発的であ ることもあり実績データが乏しいため、樹林帯が氾 濫流の挙動に及ぼす影響と建物に作用する流体力の 軽減効果については、その非定常性も含め、 定量的 知見は未だ把握されていない.家屋や構造物に作用 する流体力や水深の急激な変化は、倒壊・損傷につ ながる可能性があり,氾濫流の非定常性の機構解明, 制御法の検討や適切な予測が可能な数値モデルの開 発を進めていく必要がある.

高橋ら²⁾は非定常流を用いた水理模型実験を行い, 市街地内の街路を流動する洪水氾濫流の挙動特性を 明らかにしている.福岡ら³⁾は密集市街地の氾濫流



図-1 実験水路

に関する大型模型実験を行い,建物に作用する流体 力を直接計測し,静水圧分布を近似して流体力を評 価する方法(以降,静水圧モデルと呼ぶ)を提案し ている. 河原ら⁴⁾は2次元ダムブレークによる氾濫 流を想定し、非定常流中における流体力の直接計測 を行って実験データを得ており、静水圧モデルの適 用性を確認している.末次ら⁵⁾は、家屋を考慮しな い場合の氾濫流の流速の自乗と湛水深の積を流体力 と定義し、それを水害防備林による被害軽減効果の 指標として用いることで,水害防備林が有する被害 軽減効果について検討している. 重枝ら⁶は、ダム ブレーク流れを想定し,水害防備林と構造物が設置 された氾濫原での洪水氾濫流のフロントの広がり位 置,水深及び流速の実験データを得て,計算結果と 比較している. 舘ら⁷⁾は, 平成 10 年に余笹川で発生 した洪水氾濫を対象として,洪水時の堤内地樹林の 効果(樹林による家屋被害軽減)および洪水流に対 する樹林の耐性について検討している.

これらの知見を踏まえつつ、本研究では、密集した市街地を想定した家屋配置条件における急激な破 堤氾濫現象の機構解明と樹林帯を用いた制御効果の 検討を行うこととした.具体的には、大型水理模型 実験水路を用いた非定常実験を行い、多数点におけ る水位の時系列的な分布を詳細に計測するとともに、 PIV 法を用いた可視化計測により建物周辺の流速分 布を計測する.また取得された実験データをもとに、 数値解析モデルの検証を行い、妥当性を検証する. 続いて、実験および計算により得られたデータをも とに、詳細な流れ構造を、特にその非定常性や樹林 帯の効果に着目しつつ検討することとした.また、 数値計算で用いる流体力の算定方法である、静水圧 モデルの妥当性について、実験データも利用しつつ 検証を行う.

2. 破堤氾濫流大型水理実験と数値解析

2.1 実験概要

図-1 に実験水路を示す.実験水路は貯水槽部と

氾濫部より構成され、貯水槽部長さ5.6m, 氾濫部長 さ10.4mであり、全長16.0m、水路幅3m、水路勾配 1/624 である. 座標軸について, 流下方向に x 軸, 側 水路堤防に沿って y 軸, 原点を側壁に設定した. 河 床高は実験水路下流端において z=0.014m としてい る. マニングの粗度係数は n=0.010 である(事前に 建物および樹林帯無の定常状態、氾濫部等流区間で 水位の計測を行い、運動量則より算出した).破堤 氾濫を想定するため,破堤部中央に幅0.5mのアクリ ル製ゲートを設置しており、貯水槽内の水位がゲー ト開放時に大きく変化しないようにするため、貯水 槽両側に高さ 0.09m の越流堤を設けている. 建物模 型の大きさは 0.20m (横断方向) ×0.21m (縦断方向) ×0.12m(高さ)であり、非没水型である. 図-2 に建 物群,樹林帯配置図および建物模型を示す.実験で 用いた植生模型は,直径 0.01m,高さ 0.20m のアク リル製の円柱でモデル化し、樹林帯を建物前面に配 置した.列数は5列、植生配置は特に効果が期待さ れる千鳥配置とした.

水位計測について, 図-3 に水位計測地点を示す. 水位計測は4台のサーボ式波高計(KENEK 社製) を用いて行った.また,(*x*,*y*)=(-2.0,1.5)の水位変化の 計測を行うことにより,手動によるゲート開放と計 器の計測時間のずれを調整する.

本実験で製作した流体力計測装置,流体力の計測 方法を図-4に示す.この方法の特長は,分力計を水 路床に固定するのではなく水路上方から吊るし,任 意の箇所において模型に作用する流体力を計測でき るようにした点にある.一方,この計測方法で注意 すべき点は,模型の底部と水路床との隙間内の水と 建物模型の前面の水との間で生じる圧力差を無視す るために,その隙間をゼロに近づけることと,計測 する流体力ベクトルを水路の軸と一致させることで ある.また,建物模型に作用する水圧を静水圧と仮 定して算出する手法(静水圧モデル)の適用性につ いて検討するために模型の前背面のそれぞれ3点で 水位を計測する.本実験の水位・流体力計測のサンプリ ング時間間隔はともに0.1 秒とした.



図-2 建物群および樹林帯配置図と建物模型



図-3 水位計測地点(Unit:m)



(a) 流体力計測装置の側面図

(b) 静水圧モデル適用のための水位計測点



貯水槽の初期水位について、ゲート開放前における(*x*,*y*)=(-2.0,1.5)地点での水位は*z*=0.14m となっている. なお、ゲート開放前は越流堤から水量が流出しているので、水位は一定である. 氾濫部の初期水位

はゲート開放前において, (x,y)=(4.05,1.5)の水位が z=0.04m になるように下流端の可動堰によって水位 を調節した. 信頼性の高い実験データを取得することを 念頭に置き, 湛水している氾濫域に破堤による氾濫流が拡



図-5 計算格子(グレースケールは河床高を示す)

がる場合を対象としている. 建物群のみの設置の場合 を Case1, 建物群と樹林帯の設置の場合を Case2 と する. なお各測点における水位および流体力計測は 実験の信頼性を高めるために, 同一条件下で3回行 いアンサンブル平均を求めた.

2.2 時刻の調整方法と非定常流の再現性

破堤部のゲートを瞬間的に開放することにより, ダムブ レーク流れを発生させ,水位と流体力をサーボ式波高計, 分力計によって連続的に計測した.計測時間は70秒,計 測間隔は0.1 秒である.計測開始からおよそ $t_s=10$ 秒後に ゲートを手動で開放した.ゲートを開放するタイミングは 毎回ずれるため, 図-3 の (x,y)=(-2.0,1.5)に設置した波高 計のデータを用いて,次のように時間軸を調整した.すな わち,各計測において負の段波の点(x,y)=(-2.0,1.5)への到 達時間を t_i ,負の段波到達時間の理論値 (=1.93 秒)を t_0 とすると,各計測のゲート開放時間のずれは $t'=t_i-t_0$ とな る.したがって,ゲート開放時刻を0秒と設定する場合, 各計測の時間軸は次式で求められる.

$$t_m = t - t' - t_s \tag{1}$$

ここに、 t_m :補正された時刻、t:各計測における時刻、 t_s : ゲート開放設定時刻(=10秒)である.

2.3 PIV による表面流速分布の測定

PIV 法を用いて建物周りの流況を把握する.計測対象領 域の上方から HDD 記録型ハイビジョンデジタルビデオカ メラ (SONY 製 HDR-SR8) を用いて動画の撮影を行った. 撮影はゲートを解放した後の定常状態で撮影を行うこと とし,撮影領域の上流からフルイ分けした破砕木炭(直径 約 5mm)を散布した. 散布された木炭は, その一部が水 没し流体中を浮遊しながら流下した. 撮影された約 20 秒 程度の動画データを対象に Large-scale PIV 解析⁸⁾を行い, 建物周りの流速分布データを得た.

2.4 数値計算

浅水流方程式を,三角非構造格子を用いた有限体積法により離散化^{9,10}した.基礎式は以下のようである.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + S$$

$$- v \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial G}{\partial y} \right) - \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial I}{\partial y} = 0$$

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} uh \\ u^2 h + \frac{1}{2}gh^2 \\ uvh \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2 h + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2 h + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ -gh \left(S_{0x} - S_{fx} \right) + D_x \\ -gh \left(S_{0y} - S_{fy} \right) + D_y \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 \\ u \\ v \end{pmatrix}$$

ここに、h: 水深、uおよびv:xおよびy方向流速、g:重力 加速度、 S_{g} および S_{g} : 底面摩擦力であり、以下のように評価 した.

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}, \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}}$$
(4)

また, SoxおよびSovは河床勾配であり以下のように評価した.

$$S_{0x} = -\frac{\partial z}{\partial x}, \quad S_{0y} = -\frac{\partial z}{\partial y}$$
 (5)

DxおよびDyは樹林帯による抗力であり、

$$D_x = 0.5C_d \lambda h u \sqrt{u^2 + v^2}, \quad D_y = 0.5C_d \lambda h v \sqrt{u^2 + v^2}$$
 (6)

と評価した. ここに C_d : 抗力係数, λ : 単位面積に占め る遮蔽長さであり,樹林帯のある計算格子でそれぞれ 1.2 および 0.81 とした. 乱れの評価には, Bousinessq 型渦 動粘性モデルを用い,

$$H = h \begin{pmatrix} 0 \\ -\overline{u'^{2}} \\ -\overline{u'v'} \end{pmatrix}, \quad I = h \begin{pmatrix} 0 \\ -\overline{u'v'} \\ -\overline{v'^{2}} \end{pmatrix}$$
(7)

$$-\overline{u'^{2}} = 2D_{h}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) - \frac{2}{3}k, \quad -\overline{u'v'} = D_{h}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right), \quad (8)$$
$$-\overline{v'^{2}} = 2D_{h}\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) - \frac{2}{3}k$$

により評価した.ここに, $D_h = \alpha h u_*$ は水深平均渦動 粘性係数, u_* :底面摩擦速度,k:水深平均乱れ強度であ り $k = 2.07 u_*^2$ と評価した.

以上の式を、セル中心に水理量を配置して、MUSCL法 による空間二次精度、Adams-Bashforth法よる時間二次精 度の離散化を行い、時間進行計算を行った.計算格子は、



図-6 定常状態 (#50sec) での流速ベクトルの比較 (PIV 流速については、撮影範囲のため欠測領域が存在する)

図-5 に示すように, 建物周辺に 0.025 m 幅の格子を 集中させ, 28494 個の三角により構成されている. 境界条件として上流端で水位の時系列を, 下流端で は一定水位を与えた. 上流端の水位時系列は, 計測 点(*x*,*y*)=(-2.0,1.5)での実測水位が再現されるよう調整 して設定した.

3. 結果と考察

3.1 数値計算結果の検証

図-6 に定常状態の PIV および数値計算による流速分布 を比較する.ここで、定常状態とは計測された流体力の変 化が概ね定常的となる t=50sec 以降の状態を示し、以下の 結果では、定常状態は t=50sec の結果を表示する.また、 PIV 流速はトレーサーを散布した約 20 秒の平均流速であ り、数値計算では流速変動がほとんどみられなかったため、 瞬間値を示している.

領域A,領域Bともに建物を回り込む流れの構造はよく 一致している.また,建物背後に形成される死水域での微弱な循環流なども再現されている.

図-7 に示すのは、縦断測線 y=1.66m (図-3 を参照) での各時間での水面形を比較したものである. 建物群前面 (x=1.0m 付近) での局所的な水位上昇や、通路を伝播す

る洪水流フロントの進行は、実験値と計算値で概ね一致している.一方で、建物全面の射流部分については計算値がやや水深を過大評価している.この部分は、水深や流速が急激に変化している領域である.そのため、流速や圧力の水深分布も変化している領域と考えられるため、水深平均モデルを用いた再現性に限界があるのではないかと考えている.

以上の検証により、本研究で用いた本数値計算手法およ び格子分割により、破堤部直下の射流域を除き、水路実験 の流況が、その非定常性を含めて概ね再現されていること が確認できる.

3.2 氾濫流の非定常流れ構造

本節では、数値計算結果により、破堤氾濫により 引き起こされる流れの非定常構造を検討する.図-8 に示すのは、各時間での水位コンター図である.流 れは、ほぼ流軸に沿って対称であるため、図-8(b) ~(e)は、水路の半分のみを示す.

破堤直後の t=1sec (図-8(a)) では,破堤部から扇 状に洪水フロントが伝播している様子が確認できる. t=2sec (図-8(b)) には,フロントは建物群に衝突し, 建物群前面での局所的な水位上昇を引き起こしてい



(v=1.66m)

る. この時間には、フロントの一部は内部の通路に 侵入し、また側壁にも到達している. *t=*4sec (図-8(c)) には、建物群内部のフロントの進行が進むとともに、 側壁に向かったフロントの反射波が発生している. この反射波は、*t=*6sec (図-8(d))には、*x=*0mの堤 防部分(図-3を参照)でさらに反射している.また 同時刻には、建物群内部を通過したフロントが建物 群背後にまで伝播している.最後に、*t=*50secの定常 状態(図-8(e))では、建物群前面を中心とした水 位上昇と、建物群背後の水位低下部分が形成されて おり、後者の領域では射流域が形成されている.

3.3 静水圧モデルの適用性

静水圧モデルの適用性を検討するための計測位置1(図 -2(a)を参照)における分力計により直接計測された流体 力と,模型前背面で計測した水位から算出した流体力を図 -9 に示す.水位は各面3点で計測された値を基に、全水 圧を算出し圧力差を算出している. 同図より直接計測の結 果は概ね静水圧モデルの結果と合致しているが、流体力が 急変する流れの衝突時には、静水圧モデルの過大評価 傾向が認められる.同様にCase2の場合や計測位置2に おいても概ね同様の結果が得られた. この事から,静水圧 モデルにより基本的には流体力の算定は可能であるもの の、流体力の急変時のピーク値には、適用性について注意 する必要があることがわかった. これは、ピーク時におい て、建物前面では波飛沫を発生させるほどの激しい水位変 動であるため、波高計による正確な水位の計測が困難であ ることが原因であると考えられるが、河原ら4)では静水 圧モデルの過小評価傾向が認められた.静水圧モデ



(b) *t*=2sec



(c) *t*=4sec



(d) *t*=6sec



(e) t=50sec (定常状態)

図-8 水位コンター(計算値, Casel)





図-10 実験水位コンター (Unit:cm)





ルの非定常時の適用性についてはさらなる検討が必要と考えられる.なお,静水圧モデルの考え方は,本研究の数値計算において建物へ作用する流体力の算定にも利用される.

3.4 樹林帯の存在による流れの変化

本節では、樹林帯の存在による流れの変化および 建物へ作用する流体力への効果を検討する.図-10 に示すのは、実験により得られた*t=2sec*および*t=6sec* での植生の有無による水面形の違いを比較したもの である.また、図-11に示すのは、数値計算により



図-12 樹林帯の有無による流体力の比較 (実験値,計測位置1)

得られた t=6sec での水位分布である. 図-10 及び図-11 より,樹林帯の無い Casel の分布に比べ樹林帯の存在する Case2 の分布は、フロントの到達が遅くなるとともに、 建物群前面での局所的な水位上昇量が小さくなると ともに、水位上昇域の幅(範囲)が破堤部側へ拡大 していることが確認できる.これは、樹林帯の存在 により、破堤部から射流状態で急激に広がる氾濫流 の持つ運動量が樹林帯の存在により低減するととも に流れの集中が緩和されることで、衝突エネルギー が削減され、水位上昇量が低下するとともに、跳水

表-1 樹林帯の流体力軽減効果

Case	流体力(N)			Case1と比較した 軽減効果(%)		
	1回目 ピーク	2回目 ピーク	定常時	1回目 ピーク	2回目 ピーク	定常時
1	4.04	4.97	5.51	-	-	-
2	3.29	3.99	3.94	18.6	19.7	28.8

位置が上流側ヘシフトしたものと考えられる.

図-12 には、流体力計測位置1 での樹林帯の有無に よる流体力の実験値の比較図を示す.なお、ここで 示す流体力は,分力計で直接計測した実験値である. 同図で確認できる1回目の流体力のピーク(t=2sec 付近)はゲート開放後における破堤部から流入した 第1波によるものである. ピーク時の流体力につい ては, 表-1 にまとめている. 1 回目のピーク時にお いて、樹林帯が流体力作用建物前面に存在している ので、流体力が軽減されている.2回目の流体力のピ ーク(t=6sec 付近)は破堤部から流入した流れとその前 に到達した流れが側壁に反射し返ってきた波が干渉した ものである.2回目のピークでは、1回目のピークよりも 流体力の軽減効果が若干高く発揮されているのが分かる. これは、側壁から反射してきた氾濫流が樹林帯により再度 拡散の影響を受け、Casel の場合よりも、流体力軽減の効 果を発揮したと考えられる. 定常時(概ね開放後40秒か ら60秒までの状態)には、建物の影響等で計測建物の前 面水位が増すことで、静水圧差により全体的に流体力の値 は上昇しているものの、Casel と比較した流体力はさらに 抑制されている. 樹林帯の存在による効果が発揮されてお り, これは建物前面に水位が増し, 建物計測位置1の前 面 (0<x<1) の左右部分 (0<y<1, 2<y<3) で大きな渦が定 常的に発生し、樹林帯によってこの流れが拡散し大きな抵 抗を与えられているため,軽減効果が十分発揮されたと考 えられる.

図-13には、計測位置1における流体力の実験値と計算 値の比較図を示す.同図によりピーク値等に若干のずれは 認められるものの概ね実験値の傾向を再現しており、樹林 帯が存在するような複雑な条件においても、抗力係数を用 いた粗視的な樹林帯の効果のモデル化により建物に作用 する流体力をある程度見積もることは可能と思われるが、 第3.3節で行った実験的な流体力の違いもあり静水 圧モデルによる流体力算定の適用性や信頼性につい ては検討の余地がある.また、樹林帯による拡散効 果や抗力の非等方性などがモデルで考慮されないこ とが、図-13の非定常変化の相違に関連していると 考えているが、具体的な検討は今後の課題である.

4. 結論

本研究では、樹林帯を伴った破堤氾濫流に関する基礎



的な実験の第一段階として、大型実験水路を用いた破 堤氾濫に関する実験を行うとともに、数値計算法を 援用することで、市街地における破堤氾濫流の詳細 な流れ構造を、その非定常性も含め検討を行った. 以下に本研究の主要な結論を述べる.

- 本研究で用いた数値計算法により、市街地にお ける破堤氾濫流の水位や流れ構造をその非定常 的挙動も含め概ね再現できることが確認できた.
- 2) 市街地における破堤氾濫において、氾濫初期には、建物群や堤防等での洪水フロントの反射が発生し、流れや建物に作用する流体力が急激に変化することが確認された。
- 3) 静水圧モデルによる流体力の評価が概ね妥当で あることを実験的に確認した.
- 4) しかし、流体力の非定常的な挙動について、数値計算や実験的な静水圧モデルともにずれが認められた。
- 5) 樹林帯の氾濫流に及ぼす影響を,実験および数 値計算により検討し,氾濫流速の抑制による流 体力低減効果と,氾濫流フロントの進行時間の 遅延効果が確認された.

今後は,破堤部から樹林帯までの位置を変化させ, 家屋に作用する流体力の計測を行い,樹林帯位置の 最適化を検討する.また列数が少ない場合における 植生群の抵抗評価実験を行い,氾濫モデルの改良を 進める予定である.

参考文献

- 財団法人河川環境管理財団編:堤防に沿った樹林 帯の手引き、山海堂、2001.
- 高橋保、中川一、加納茂紀:市街地における洪水 氾濫と土砂堆積に関する研究、京都大学防災研究 所年報、第27号 B-2, pp.497-511, 1984.
- 3) 福岡捷二,川島幹雄,横山洋,水口雅教:密集市 街地に氾濫シミュレーションモデルの開発と洪 水被害軽減対策の研究,土木学会論文集,No.600/ II-44, pp.23-26, 1998.
- 4) 河原能久, 伊藤康, 内田龍彦, 家藤憲司: 非定常

流中の建物に作用する流体力の直接測定,水工学 論文集,第 53 巻, pp.979-984, 2009.

- 5) 末次忠司, 栗城稔: 改良した氾濫モデルによる氾 濫流の再現と防災への応用に関する研究, 土木学 会論文集, No.593/II-43, pp.41-50, 1998.
- 6) 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,No740/II-64, pp.19-30, 2003.
- 7) 舘健一郎,末次忠司,小林裕明,都丸真人:洪水 氾濫時の防災樹林帯の効果に関する検討-余笹 川流域を対象として-,水工学論文集,第45巻, pp.913-918,2001.
- 8) 岡部健士,藤田一郎,椿涼太,和久田敦志:現地

洪水流の表面ビデオ映像に対する LSPIV 解析の 適用要領,水工学論文集,第51巻, p.178,2007.

- 9) 重枝未玲,秋山寿一郎,浦勝,有田由高:非構造 格子を用いた有限体積法に基づく平面二次元洪 水流数値モデル,水工学論文集,第45巻, pp.895-900,2001.
- 10)Tsubaki, R. and Fujita, I.: Estimation of flow past a side cavity using a finite volume method with an unstructured grid, Proc. of the sixth international summer symposium, international activities committee (JSCE), pp.149-152, Saitama, Jul., 2004.

(2009年4月9日 受付)