

河川合流地域における洪水氾濫挙動に関する基礎的研究

石井 義裕*・福山 慶高**・真鍋 圭治***・神原 浩**

(平成20年10月31日受理)

Basic study on Flood Behavior in River Confluence Region

Yoshihiro ISHII, Yoshitaka FUKUYAMA, Keiji MANABE and Hiroshi KANBARA

(Received Oct. 31, 2008)

Abstract

In recent year, the torrential rain, which is known as “guerrilla heavy rain”, occurred in many parts of Japan. The large-scale flood attacked us and caused serious damage. Conveying accurate information a disaster prevention to people is necessary for the reduction of serious damage. It is especially important to forecast where the disaster may be expected to happen. The rapid rising water level has the possibility of leading to the flood flow, and we must be accurately informed where it is happening. In this paper, the model experiment and the numerical simulation are carried out on the river confluence area. The calculation is executed by the finite volume method using the code of CFD2000. The vortex is only observed in the experiment, but the occurrence of the vortex and the upstream flow for upstream are seen in the calculation. The results of numerical simulations qualitatively show the experiment well, except some problems. It will be necessary to improve the model about problems in the future.

Keywords: numerical simulation, flood behavior, river confluence area

1. はじめに

近年、日本の各地では突発的な集中豪雨が発生し、地域や住民に甚大な被害をもたらしている。平成20年8月26日から31日にかけて発生した「平成20年8月末豪雨」では、九州南部に低気圧が接近し、南から暖かく湿った空気が流れ込み大雨となった。その後、さらに停滞していた前線に向かって湿った空気の流れ込みが強まり、上空に寒気が流れ込んだことから大気の状態が不安定となり全国的に記録的な大雨となった。この大雨によって、愛知県岡崎市では浸水により2名が死亡し、浸水被害が4271棟にも上

った。また、関東地方でも埼玉県や千葉県を中心に4327棟が浸水被害を受けた¹⁾。突発的に発生する集中豪雨による被害を軽減していくには、ソフト対策とハード対策の両面を考慮しなければならない。特にソフト対策として、集中豪雨発生時の災害発生場所と河川の流動を認知しておく必要がある。特に河川が合流する箇所では、急激に水位が上昇し越水や決壊の危険性が高くなり、大規模な浸水被害を引き起こすことが予想される。

そこで本研究では、河川合流地域における数値解析と模型実験を行うことにより、比較・検討をし、合流部での河川の流動を明らかにしていく。

* 広島工業大学工学部都市建設工学科

** 広島工業大学大学院工学研究科建設工学専攻

*** 広島工業大学工学部建設工学科

2. 比較対象地域の概要

図1に「全国土木学会 危機管理コンテスト」で用いられた地図を参考に、本研究で比較・検討を行う地域を示す。その中でも特に赤枠で示す河川合流部付近の地域を対象として数値解析及び模型実験を行った。この地域は、家屋が河川に隣接し、堤防の決壊や越水等の災害が発生すると、図2に示すような浸水状況となることが予想される。特に河川合流部では、家屋数も多く、ほとんど浸水すると予想される。

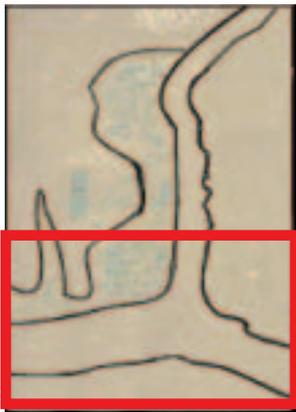


図1 比較対象地域

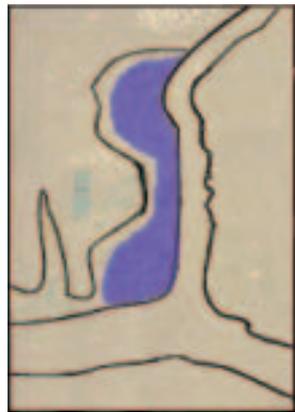


図2 浸水区域図

3. 模型実験における概要

3.1 模型の概要

図3に比較対象地域を示す。この地域を対象に模型を製作し、水理量を観測することで河川挙動を明らかにする。図中の横枠がA河川で、縦枠がB河川である。また、図4に示すように流入口は2カ所、流出口は1カ所を設定した。模型は縮尺1/1400で製作し、模型の寸法は95cm×61cm、等高線ごとに7mmのスチレンボードを重ね合わせており、堤防高は2mmである。

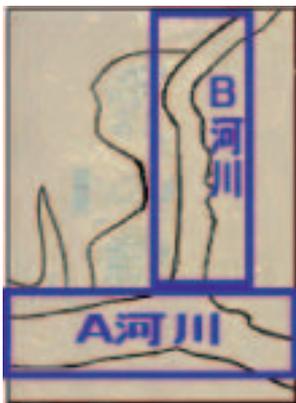


図3 比較対象地域



図4 模型全体図

3.2 フルード相似則

本研究では模型の大きさを実寸の1/1400の縮尺にし、力学的相似を考える際に自由水面を持つ流れを扱うことを考慮して以下のようなフルード相似を用いる。

$$\frac{V_p}{\sqrt{gL_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} \quad (1)$$

式(1)において、模型と原型のフルード数を一致させるため流速、流量、時間を以下のように設定した。

$$V_p = 1400^{\frac{1}{2}} V_m \quad (2)$$

$$T_p = 1400^{\frac{1}{2}} T_m \quad (3)$$

$$Q_p = 1400^{\frac{5}{2}} Q_m \quad (4)$$

ここに、添字 p は原型、 m は模型であることを示し、 V ：流速、 T ：時間、 Q ：流量、 L ：距離である。

3.3 流速設定

破堤箇所より、流入する流速として表1に示すようにCASE1、CASE2、CASE3の3ケースを設定した。実流速として、CASE1はA、B河川共に7m/sとし、CASE2はA河川の流速のみをCASE1の2倍の14m/s、CASE3はA河川の流速のみをCASE1の3倍の21m/sとした。模型実験で用いる流速は、実流速から式(2)で求められるフルード相似則を用いて決定した。

表1 各ケースにおける流速

		CASE1	CASE2	CASE3
流速(原型) m/s	A河川	7m/s	14m/s	21m/s
	B河川	7m/s		
流速(模型) m/s	A河川	0.18m/s	0.36m/s	0.54m/s
	B河川	0.18m/s		

3.4 模型実験における結果と考察

(1) 河川挙動

河川挙動を可視化するため、入浴剤でA河川は紫色、B河川は黄色に着色した。撮影にはデジタルビデオカメラ(Sony製DCR-PC120)を使用し1m20cmの高さから撮影した。画像はPCを用いてDV形式で取り込み、解析用に静止画(1280×1024ピクセル)で出力した。

図5に、3ケースそれぞれの静止画像を示す。CASE1ではA河川の川幅に対しA河川とB河川の水の流れが半分に分かれた。A河川とB河川の流速が同じであるためだと考えられる。CASE2ではA河川の川幅に対して約3/5をA河川の水の流れが占めた。CASE3ではA河川の川幅に対して約4/5をA河川の水の流れが占めた。CASE2、CASE3ではA河川の水の占める割合は増えて



図5 模型における河川挙動

いった。逆流は全ケースにおいて見られなかった。また、水を紫色と黄色に着色したがほぼ混ざることなく、別々の流れとして観測できた。

(2) B 河川の水の着色幅との時間の関係

河川合流部付近における、B 河川水の着色幅と時間の関係を以下に示す。図5に示す地点①、地点②、地点③のB 河川の着色幅の経時変化をそれぞれ図6、図7、図8に示す。縦軸に川幅Bで無次元化してある。なお、地点③のB 河川の水が着色された時の時間を1秒としているため、図中には0秒がない。

表2に各地点における着色幅の平均と標準偏差を示す。標準偏差からCASE1では全地点で変動が小さいが、CASE2では地点②で若干大きくなり、CASE3では地点②、地点③で大きな変動が見られた。また、着色幅の平均は、CASE1では大きく、CASE3で小さくなっていることから、A 河川の流速が速くなるほどB 河川の流動幅が小さくなることが分かる。

表2 B 河川水の着色幅の平均と標準偏差

		地点①	地点②	地点③
CASE1	平均	0.46	0.46	0.41
	標準偏差	0.08	0.09	0.07
CASE2	平均	0.37	0.42	0.32
	標準偏差	0.09	0.13	0.09
CASE3	平均	0.30	0.31	0.23
	標準偏差	0.07	0.16	0.16

4. 数値解析における概要

4.1 シミュレーションモデルの概要

本研究では、3次元モデルに適用可能な熱・流体解析ソフトウェアであるCFD2000（株CAEソリューションズ）を使用して、解析を行う。解析手法としてはナビエストークス方程式有限体積法を用いて解く²⁾。

図9に対象領域を示す。対象領域は、図中の赤枠内の領

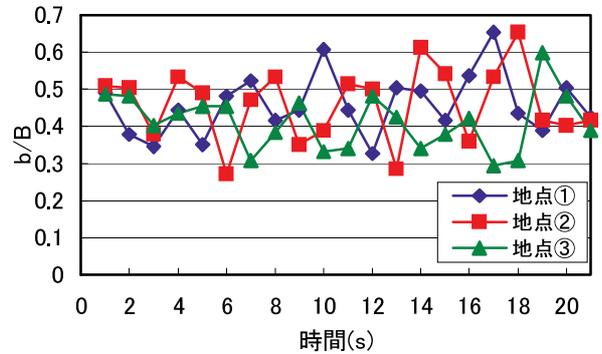


図6 B 河川水の着色幅の経時変化 (CASE1)

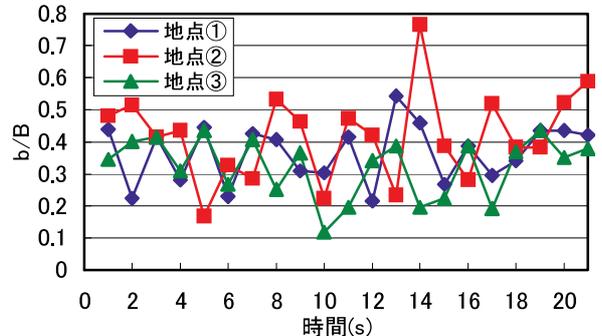


図7 B 河川水の着色幅の経時変化 (CASE2)

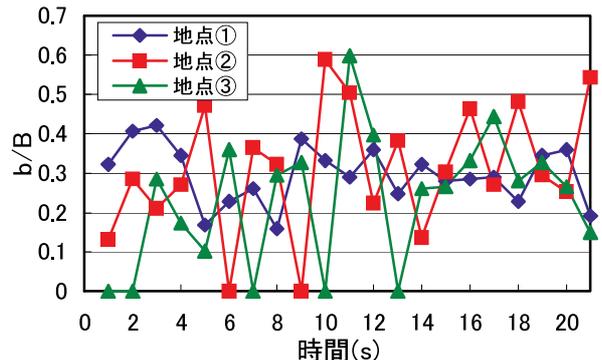


図8 B 河川水の着色幅の経時変化 (CASE3)

域を考えた。また図中の横枠が A 河川であり、縦枠が B 河川である。本研究で使用する解析モデルは、図 10 に示すような縮尺 1/200 とした 4(m) × 4(m) × 0.05(m) の 3 次元モデルになっており、簡略化のため河川形状を直線と考
えモデル化した。

モデルの格子数は、図 11 に示すように X 軸方向に 90 格子で 1 格子あたり平均 4cm, Y 軸方向に 40 格子で 1 格子あたり 0.09cm, Z 軸方向に 39 格子で 1 格子あたり平均 10cm に細分化した。また、河川合流部付近では、X 軸方向に 1 格子あたり 3cm, Y 軸方向に 1 格子あたり 0.09cm, Z 軸方向に 1 格子あたり 5.5cm と集中的に格子を配置した。

4.2 計算条件

(1) 境界条件

図 10 に示すように流入口は 2 ヶ所、流出口は 1 ヶ所を設置した。流出口では水が制約を受けずに流入出できるよう VOF を No Source とした。(1) 式のフルード相似則を用いて、表 3 のように設定し、流入口①の流速を変えた 3 つのケースとした。

(2) 初期条件

本研究では、実際の洪水時の河川と同様に、計算を行う前に一定量の水が存在している状態を再現するため、初期場の設定を行った。初期条件は図 12 に示す初期場①と初期場②の 2 ヶ所にそれぞれ設定した。初期場①は、A 河川の範囲で X 軸 0 ~ 4m, Y 軸 0 ~ 0.05m, Z 軸 0 ~ 1.1m, また初期場②は、B 河川の範囲で X 軸 1.75 ~ 2.25m, Y 軸 0 ~ 0.05m, Z 軸 1.1 ~ 4m とした。初期場での流速は流入速度の時と同様に考え、表 4 のように設定した。水の流れは乱流とし VOF を用いて水面を取扱う 3 次元計算とした。

4.3 解析結果・考察

(1) CASE1

CASE1 で、A 河川で渦が発生した時と一定の流れとなった時の河川挙動を図 13, 渦度分布を図 14 に示す。CASE1 では、流入直後に渦が発生した。その後、河川全体の流れは一定な流れとなり大きな変化は見られなかった。CASE1 の河川挙動は、両河川における流速が等しいことから A 河川の川幅に対して約 1/2 を A 河川の水の流れが占め、模型実験における河川挙動と相応の結果が得られた。

(2) CASE2

CASE2 で、A 河川から B 河川へ逆流が発生した時と一定の流れとなった時の河川挙動を図 15, 渦度分布を図 16 に示す。CASE2 では CASE1 と同様に流入直後に A 河川沿いで渦が発生したが、次第に流出口方向に流された。そ

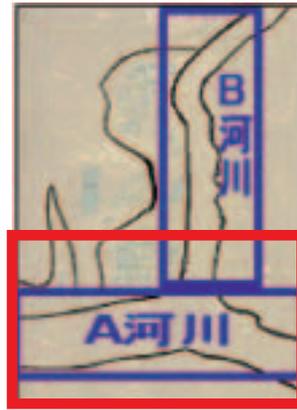


図 9 比較対象地域

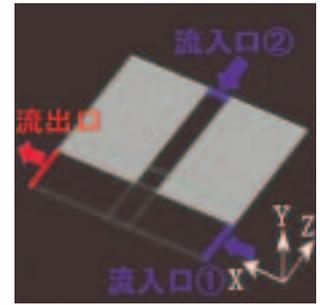


図 10 解析モデル

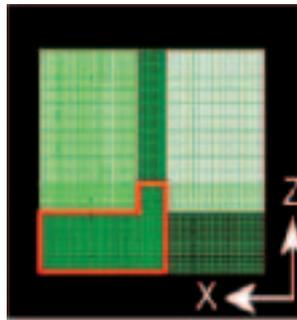


図 11 格子分布

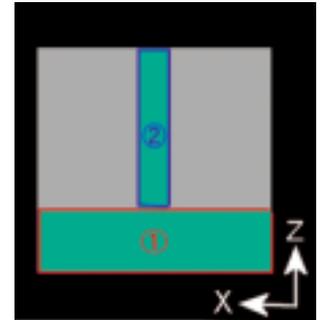


図 12 初期場

表 3 流入速度

		CASE1	CASE2	CASE3
流速(原型) m/s	流入口①	7m/s	14m/s	21m/s
	流入口②	7m/s		
流速(解析) m/s	流入口①	0.5m/s	1.0m/s	1.5m/s
	流入口②	0.5m/s		

表 4 初期場における流速

		CASE1	CASE2	CASE3
流速(原型) m/s	初期場①	7m/s	14m/s	21m/s
	初期場②	7m/s		
流速(解析) m/s	初期場①	0.5m/s	1.0m/s	1.5m/s
	初期場②	0.5m/s		

の後、A 河川の水の流れが B 河川に入り込む逆流現象が発生した。これは A 河川の流れが B 河川よりも大きいことから、B 河川の流れが押されることによって生じたと思われる。CASE2 では、この逆流現象が発生したため B 河川沿いでも渦が発生した。逆流現象発生後は、河川全体の流れは一定な流れとなった。河川挙動は、A 河川の川幅に対して約 3/5 を A 河川の水の流れが占め、CASE1 と同様、模型実験と同じ結果が得られた。

(3) CASE3

CASE3 で、A 河川から B 河川へ逆流が発生し B 河川で

渦が発生した時と一定の流れとなった時の河川挙動を図17、渦度分布を図18に示す。CASE3ではCASE2と同様の流れとなったが、A河川の流れがCASE2の場合よりも大きいため、逆流現象によるB河川へ入り込む距離と頻度はCASE2に比べCASE3の方が大きくなった。河川挙動は、A河川の川幅に対して約4/5をA河川の水の流れが占め、CASE1、CASE2と同様に模型実験と同じ結果が得られた。

(4) 渦度の検討

図14に示す、地点①(X: 2.15m, Y: 0.025m, Z: 2.5m)、地点②(X: 2.15m, Y: 0.025m, Z: 1.2m)、地点③(X: 2.4m, Y: 0.025m, Z: 1.0m)、地点④(X: 3.5m, Y: 0.025m, Z: 1.0m)の計4カ所の地点を設定し、渦度の経時変化を調べた。渦度は高さ方向であるY軸方向を中心とした次の式(5)を用いた。

$$\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \quad (5)$$

ここで ω はY軸まわりの渦度成分、 u はX軸方向の速度成分、 w はZ軸方向の速度成分を表す。渦度は負の値になるにつれて強い渦が発生していることを表す。

CASE1で観測した渦度を図19に示す。CASE1では流入直後の影響から、地点③付近で渦が大きくなっているが、他の3地点では大きな変化みられなかった。

CASE2で観測した渦度を図20に示す。CASE2では、地点②と地点③で大きくなっており地点④でも若干ではあるが渦度が大きくなっている。CASE1の場合と違いB河川の方でも渦度が大きくなっており、A河川の河川水が

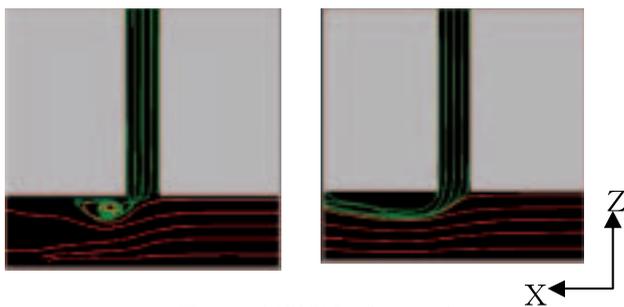


図13 河川挙動 (CASE1)

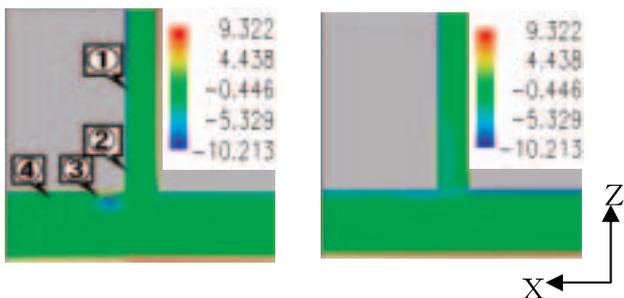


図14 渦度分布 (CASE1)

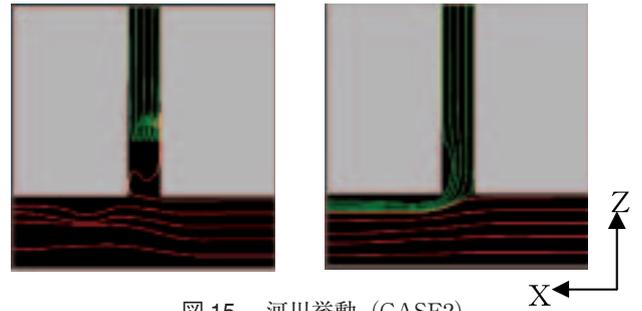


図15 河川挙動 (CASE2)

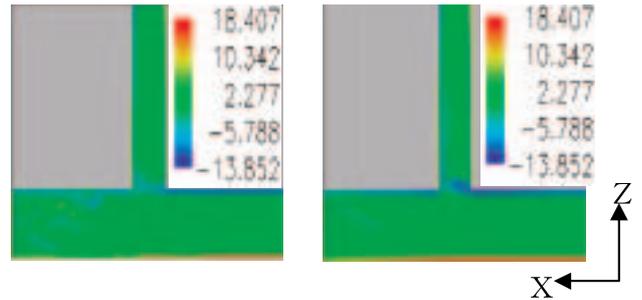


図16 渦度分布 (CASE2)

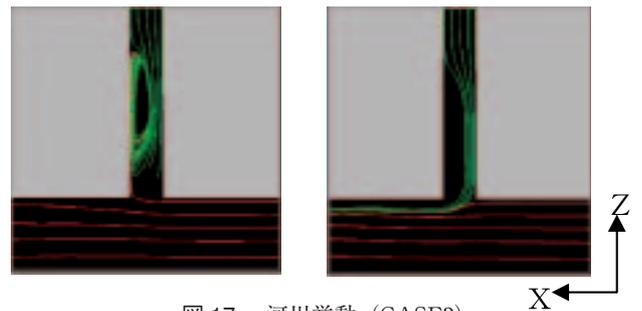


図17 河川挙動 (CASE3)

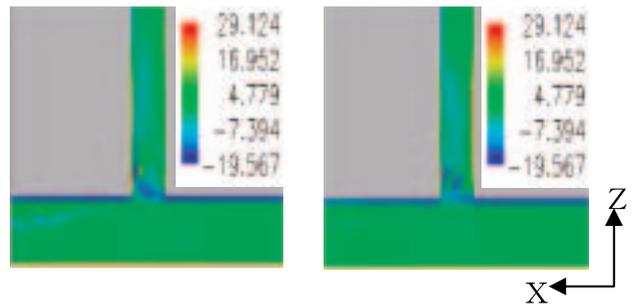


図18 渦度分布 (CASE3)

入り込む逆流現象が原因であると考えられる。地点④などの離れた場所でも渦度が若干大きくなっているのは、A河川の流速が速くなったことで渦を巻く力が増加したことによると考えられる。

CASE3で観測した渦度を図21に示す。渦度は、全ての観測地点においてCASE1、CASE2より大きくなっており地点①ではCASE2に比べて3倍近く大きくなっていて、CASE3では全地点において渦が発生している。地点①でも渦が発生しているのは、A河川水がB河川に入り

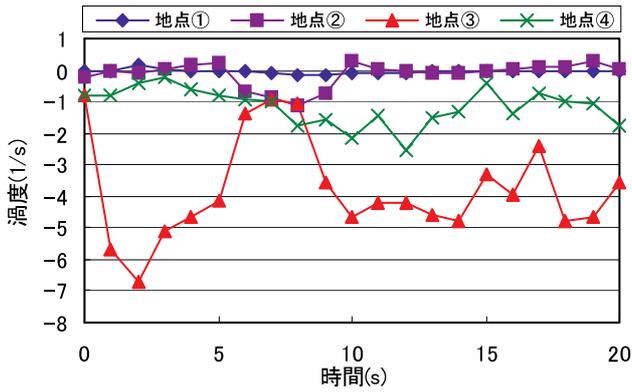


図 19 渦度の経時変化 (CASE1)

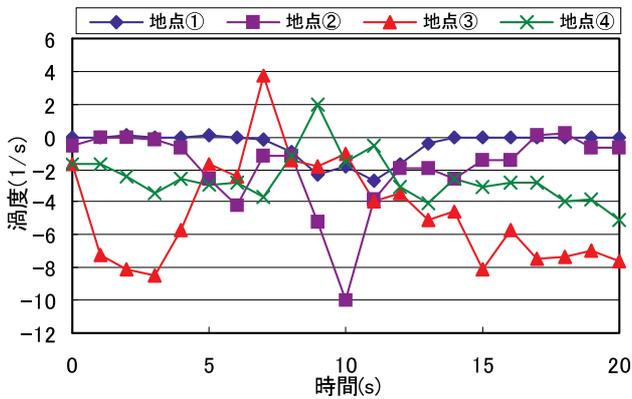


図 20 渦度の経時変化 (CASE2)

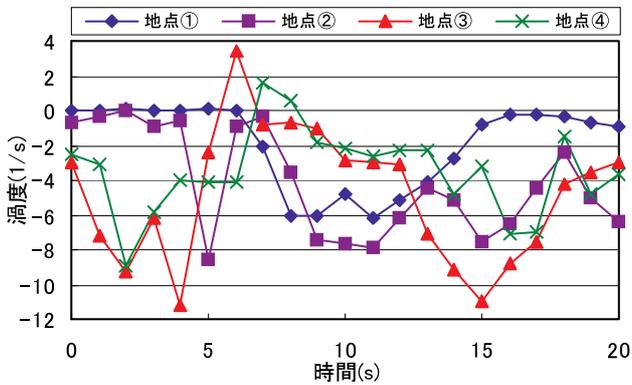


図 21 渦度の経時変化 (CASE3)

込む距離が長くなったことが原因と考えられる。

5. 結論

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- ・ 模型実験における河川合流部での河川挙動は、A 河川での渦の発生は見られたが、逆流現象の発生は見られなかった。
- ・ 2 河川が合流する河川合流部における数値解析モデルの構築を行うことができた。
- ・ 数値解析における河川合流部での河川挙動は、渦や逆流現象の発生が見られた。
- ・ 模型実験と数値解析によって得られた河川挙動は、逆流現象以外の河川挙動とは比較的一致した挙動となった。模型実験で逆流現象の発生が見られなかったのは、河川合流部と流入口との距離が短かったためだと考える。
- ・ 渦度は、流入速度が速くなるにつれ大きくなり、渦度が大きくなる範囲も広がった。

6. 参考文献

- 1) 気象庁：災害時自然現象報告書（2008 年）
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2008.html
- 2) CAE ソリューションズ CFD2000 ユーザーページ
<http://www.fluid.co.jp/docs/cfd2000/index.htm>