

河川合流部における流動シミュレーションモデルに関する基礎的研究

広島工業大学大学院

広島工業大学

中電技術コンサルタント(株)

学生会員○ 福山 慶高

正 会 員 石井 義裕

正 会 員 神原 浩

1. 研究目的

近年、日本各地では突発的な集中豪雨が発生し、地域やその住民に甚大な被害をもたらしている。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。しかし、ハード対策を重点的に考慮していくことは、莫大な費用と時間を費やすことから難しいと考える。そこでソフト対策として、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と考える。

本研究では、仮想地域において数値計算を行うことにより災害発生場所の検討とその周辺での河川の流動を明らかにしていく。

2. シミュレーションモデルの概要

本研究では、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)を使用する。対象地域は図1の仮想地域の枠内で、モデルは図2に示すような4(m)×0.05(m)×4(m)の3次元モデルである。

モデルの格子数は、図3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に分割した。また、河川の合流部付近では、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とした。

境界条件は、図2に示すように流入口は2ヵ所、流出口は1ヵ所を設置した。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。流入速度は縮尺1/200でフルード相似則を用いて、表1のように設定した。

初期場条件は図4に示す初期場①と初期場②の2ヵ所にそれぞれ設定した。初期場①はX軸0～4m、Y軸0～0.05m、Z軸0～1.1mの範囲で、また初期場②ではX軸1.75～2.25m、Y軸0～0.05m、Z軸1.1～4mの範囲とした。初期場での流速は流入速度の時と同様にフルード相似則を用いて、表2のように設定した。水の流れは乱流とし、3次元計算とした。



図1 仮想地域

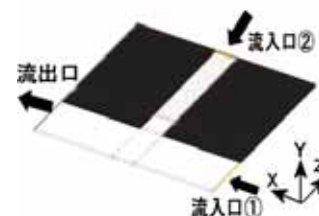


図2 計算モデル

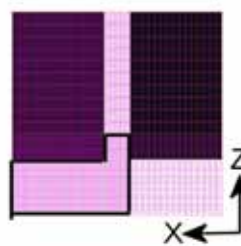


図3 格子分布

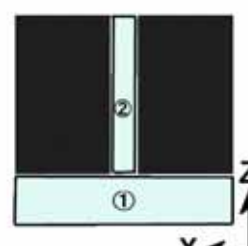


図4 初期場設定

表1 流入速度

CASE1	CASE2	CASE3
流入口① X軸:0.5m/s	流入口① X軸:1.0m/s	流入口① X軸:1.5m/s
流入口② Z軸:-0.5m/s	流入口② Z軸:-0.5m/s	流入口② Z軸:-0.5m/s

表2 初期場の流速

CASE1	CASE2	CASE3
初期場① X軸:0.5m/s	初期場① X軸:1.0m/s	初期場① X軸:1.5m/s
初期場② Z軸:-0.5m/s	初期場② Z軸:-0.5m/s	初期場② Z軸:-0.5m/s

3. 計算結果・考察

紙面の都合上、CASE1のみ説明する。

図5に流線、図6に渦度の分布を示す。CASE1の場合の流動では、図5の左に示すように渦現象が発生し、

その後 10 秒後から 14 秒後の間で河川全体の流れは図 5 の右のような定常な流れとなり、15 秒後以降再び渦が発生した。CASE1 では両河川の設定流速が同じであり、B 川の流れが押されることがないため逆流は発生していない。また、渦が与える影響を、渦度、運動エネルギー、流量から考慮する。渦度は高さ方向である Y 軸方向を中心とした式(1)を用いた。

$$\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \quad (1)$$

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。

図 6 中にある①～④の 4 カ所の観測地点を設定し、渦度、運動エネルギー、流量の経時変化をそれぞれ図 7、図 8、図 9 に示す。

図 7 を見ると、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し、A 川沿いの地点③の場所で渦度が強くなっており、他の 3 カ所ではあまり変化はない。図 8 では、地点③では渦度が大きくなると運動エネルギーは小さくなっている。これは、渦が発生することで周辺の流量が減少するためだと考え、図 8 の運動エネルギーと図 9 の流量の挙動が一致しており、渦度が大きくなると流量が減少することがわかる。

地点③では渦度が大きくなると運動エネルギーは小さくなる。ベルヌーイの式から考えると圧力が大きくなる。よって、A 川沿いの地点③近くの堤防は渦の発生により大きな圧力が加わり、被害を受ける危険性があると考えられる。

4. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

(1)河川の流動について…ウ地区周辺では、3 つの全てのケースで A 河川沿いに渦が発生し、CASE2、CASE3 では B 河川への逆流が発生し、その影響で B 河川沿いにも渦の発生がみられた。

(2)渦が与える影響…渦が発生すると CASE1 では A 川沿いの合流部地点、CASE2 では A 川沿い・B 川沿いの合流部の 2 地点、CASE3 では A 川沿い・B 川沿いの合流部と合流部から離れた A 川沿いの 3 地点付近に被害の危険性がある。また CASE2 では CASE1 に比べ 2～4 倍の圧力を受け、CASE3 では CASE2 に比べ 3 倍程度の圧力を受けるため A 川の流速が速いほど危険性が高くなると考えられる。

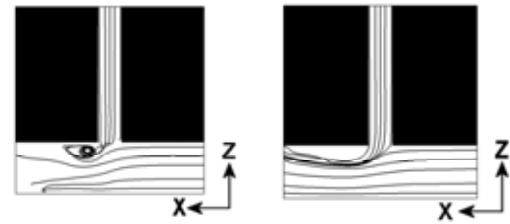


図 5 流線(左：4.8 秒後，右：13 秒後)

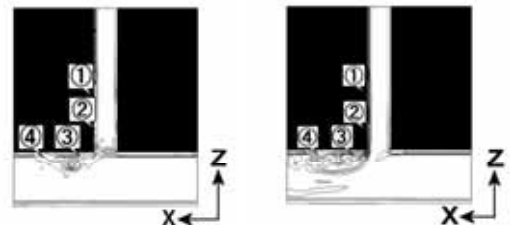


図 6 渦度分布(左：7 秒後，右：17 秒後)

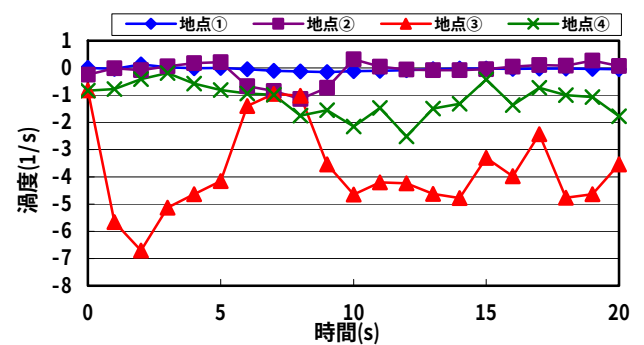


図 7 渦度の経時変化(CASE1)

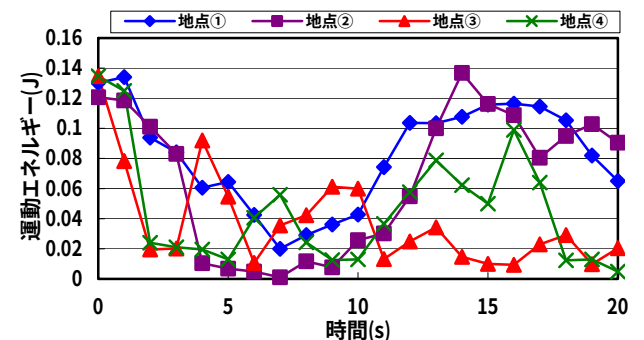


図 8 運動エネルギーの経時変化(CASE1)

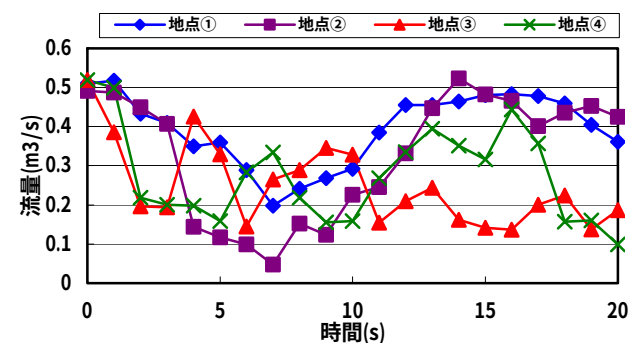


図 9 流量の経時変化(CASE1)