

マニュアル改訂に伴う氾濫解析モデルに関する一考察

エンジニアリング本部 防災・環境解析部

齊藤 憲一郎

梅津 貴弘

1. はじめに

河川氾濫による水害は毎年のように発生しており、平成 24 年 7 月においても九州北部豪雨により堤防決壊や観測史上最高の水位を記録し、被災建物棟数のうち、全壊(流失)・半壊棟数の割合が過去 10 カ年で最大を記録する被害が出ている。¹⁾

河川氾濫による危険性を示す洪水ハザードマップは、全国の河川で作成が進められている。洪水ハザードマップに使用される浸水想定区域図は、「浸水想定区域図作成マニュアル(平成 17 年 6 月)」(以降、旧マニュアルという)に則って作成され、国管理河川 412 河川、都道府県管理河川 1519 河川の浸水想定区域が指定されてきた。²⁾その後、平成 25 年に「洪水ハザードマップ作成の手引き(改定版)」の発行および水防法改正により、平成 26 年 3 月に「浸水想定区域図作成マニュアル(改訂版)」(以降、新マニュアルという)が発行された。このマニュアル改訂により、全国の河川の浸水想定区域図の再検討が必要となっている。

浸水想定区域の再検討にあたっては、既往の浸水想定図作成時と現在の土地利用状況の変化、旧マニュアルと新マニュアルによる解析モデルの違い、及び計算に用いるパラメータの違い等により、既往の浸水想定図と、新たに作成される浸水想定図との間に相違が出ることが想定される。

新マニュアルでは浸水想定区域の見直しに当

たって、「従前との整合性に十分留意することが重要」と記載されているため、相違点の発生要因を明確にする必要がある。

本稿では、新マニュアルの解析手法(以降、新モデルという)と旧マニュアルによる解析手法(以降、旧モデルという)との違いについて整理し、影響が大きいと考えられる部分について、新旧両モデルによる試算を行い、相違が発生する原因について検討を行った。

2. 氾濫解析モデルの概要

氾濫解析は図 1 に示す通り、河道部の計算と破堤・溢水流量の計算および氾濫原の計算の組合せで行われる。

氾濫解析モデルの各計算部分の主な機能は表 1 に示すとおりである。

表 1 氾濫解析モデルの主な機能

項目	内容
河道の解析	1次元不定流による計算。河道から氾濫原への破堤流量、溢水流量による流量低減を考慮。氾濫原から氾濫水の河道への戻りによる流量増加を考慮。
破堤流量の計算	河道断面位置におけるメッシュ水位と河道水位から越流式により算出。
氾濫原の解析	メッシュに区分し、河川からの破堤流量、溢水流量による氾濫水の拡散を2次元不定流によって計算。

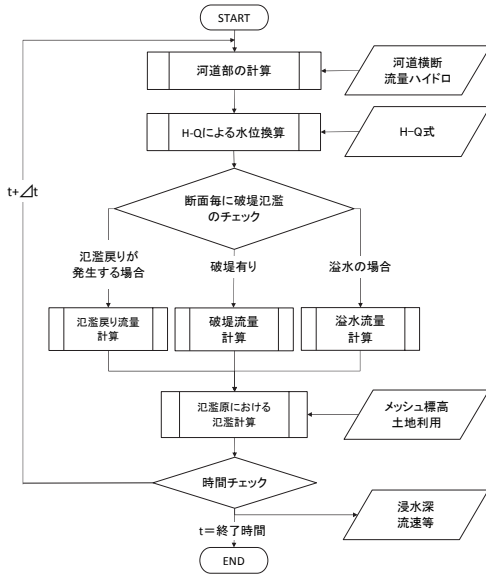


図 1 氾濫解析のフロー図

3. マニュアル改訂における変更点

今回の改訂では、氾濫計算に関わる変更が幾つかあった。マニュアル改訂による氾濫計算結果への影響を整理した。

3.1 設定条件における変更点

(1) 破堤地点からの氾濫流のベクトル設定

旧モデルでは、氾濫流の向きは河道に対して垂直方向であった設定に対して、新モデルでは流下角を考慮する設定となった。

(2) 粗度係数

旧モデルでは、粗度係数設定は 3 種類(農地、道路、その他)であったが、新モデルでは 5 種類(農地、林地、水域、空地・緑地、道路)となり、その値は固定値から、適正範囲内での設定となった。

(3) メッシュサイズ

測量精度が向上し、道路や建物等の微地形を考慮できるようになったため、メッシュサイズが 250m から 25m 程度に変更となった。

(4) 空隙率、透過率の考慮

旧モデルでは建物の影響を建物占有率によって摩擦項で考慮していたが、新モデルでは空隙率、透過率という形で移流項等でも考慮される設定となった。なお、空隙率はメッシュ内の建物を除いた面積の割合、透過率はメッシュ間の境界における建物を除いた氾濫水が通過できる割合を示したものである。

3.2 基礎式における変更点

設定条件の変更に伴い基礎式が改良された。変更部分は、氾濫原における氾濫流の拡散を計算する平面2次元不定流計算式の部分である。

平面2次元不定流計算は、連続式と運動方程式から成り、それぞれの式に建物の影響である空隙率・透過率が考慮されることとなった。旧モデルと新モデルにおける基礎式を以下に示す。なお、運動方程式は x 方向の式のみ記載する。

(1) 旧モデルの基礎式

【連続式】

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

【運動方程式】

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}}$$

ここで、

h:水深

M:x 方向流量フラックス, M=uh

N:y 方向流量フラックス, N=vh

t:時間

x:x 方向の距離

y:y 方向の距離

u:x 方向の流速

v:y 方向の流速

H: 水位
 g: 重力加速度
 n: 粗度係数
 n' : 水深をパラメータとした粗度係数

(2) 新モデルの基礎式

【連続式】

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_y N}{\partial y} = 0$$

【運動方程式】

$$\gamma_v \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_y v M}{\partial y} = -\gamma_v g h \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{g n^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} - \frac{1}{2} C_D' (1 - \gamma_v) \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{h}$$

ここで、

γ_v : 空隙率
 γ_x, γ_y : x, y 方向の透過率
 C_D' : 抗力係数

連続式は、x、y 方向それぞれのフラックスに空隙率・透過率を考慮することとなった。運動方程式は、時間項、移流項に空隙率・透過率が考慮され、摩擦項は抗力係数を用いた式に変更となった。

4. 検討条件

4.1 検討項目

本稿では、新旧両モデルの比較をする際に氾濫計算結果に最も影響の大きいと思われる項目に着目して検討することとした。考えられる項目は、氾濫流のベクトル設定、粗度係数、メッシュサイズ、空隙率・透過率である。

ベクトル設定は、破堤地点周辺の拡散に影響があると考えられるが、破堤地点から離れると、地形勾配によって流向が決定するため、破堤地点付近にのみ影響があると考えられる。

粗度係数は、流速に対して抵抗として働くパラメータであるが、流速の決定要素は氾濫ボリューム

と地形に依るところが大きいため、粗度係数の影響は小さいと考えられる。

メッシュサイズは、モデルケースがマニュアルに記載されており、詳細なメッシュほど現実に近いとされている。特に建物密集している地域では、道路による氾濫水の拡散が高い再現性を示している。

空隙率や透過率は、旧モデルでは検討されていないパラメータであり、その影響についてマニュアルには記載されていない。空隙率・透過率を考慮した基礎式に変更されているため、氾濫原全体に旧モデルとの違いが生じる可能性がある。

そのため、本稿では空隙率、透過率に注目して氾濫計算への影響を検討した。

4.2 ケーススタディ

氾濫原における空隙率、透過率の影響を検討するため、建物が多い市街地を対象とすることとし、旧モデルと新モデルの比較を行った。

表 2 ケースの内容

No.	内容
case1	旧モデル
case2	新モデル

これらの検討を行うために、図 2 に示す流量ハイドロ、図 3～図 5 に示す氾濫原において、氾濫解析を行うこととし、主な計算条件は表 3 に示す。

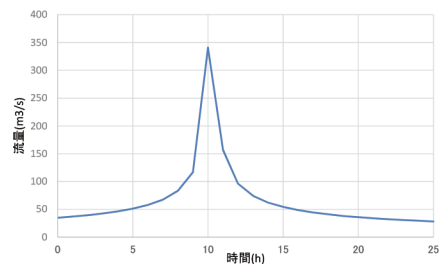


図 2 流量ハイドロ

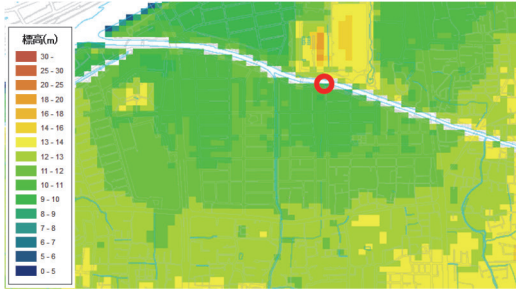


図 3 地盤高(赤丸:破堤想定位置)

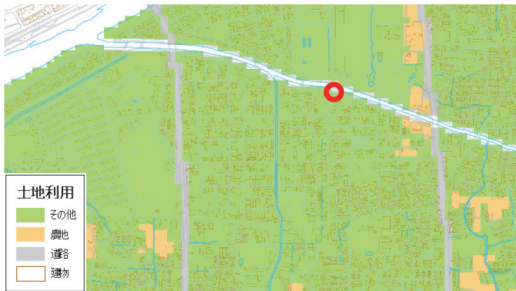


図 4 土地利用(赤丸:破堤想定位置)

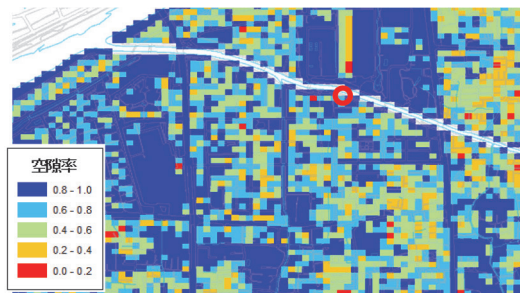


図 5 空隙率(赤丸:破堤想定位置)

表 3 主な計算条件設定

項目	内容
標高データ	LPデータより25mメッシュ標高値を作成。 解析範囲:約4km×3km
流量ハイドロ	中央集中型降雨量条件より作成。
河道条件	100m間隔で横断面を設定。
破堤条件	河川水位が破堤水位(堤防高-余裕高)を超えた場合。
土地利用	国土交通省のデータより設定。
空隙率、透過率	国土地理院のデータ、都市計画図等より設定。

5. 結果と考察

5.1 case1, case2 の結果と考察

(1) 結果

各ケースの計算結果(最大浸水深、浸水時系列)を以下に示す。

表 4 氾濫解析結果出力項目

項目	内容
最大浸水深	全計算期間において、各メッシュの浸水深の最大値を整理。
浸水深時系列	破堤地点、地点A(標高が最も低い)における浸水深の時系列変化を整理。



図 6 最大浸水深(上:case1 下:case2)

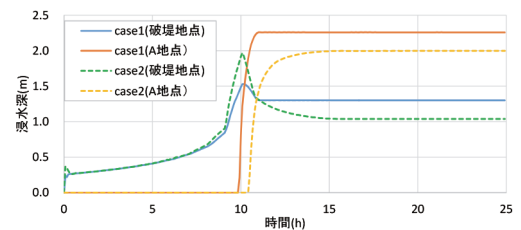


図 7 浸水深時系列

- 最大浸水深は case1、2 とともに破堤地点付近で1m 以上の浸水があり、破堤地点から離れた地点 A 付近でも最大 2m を超える結果となっ

た。

- case2 の浸水エリアは case1 に比べて約 12% 狭くなった。特に、浸水深 1m 以上のエリアは case1 に比べて約 48%狭くなった。

- 浸水深時系列結果は、破堤地点では、case1、2 ともに同じペースで上昇しているが、ピーク値は case2 が約 44cm 大きい結果となった。

また、地点 A では、case2 の方が浸水深の上昇が遅く、ピーク値は case1 に比べて約 26cm 小さい結果となった。

(2) 考察

case2 の浸水域が狭いのは、新モデルによる氾濫ボリュームが旧モデルより小さいと考えられる。また、地点 A での浸水深が一定値になる時期が case2 の方が遅いことから、新モデルにおいては旧モデルよりも氾濫水の拡散が遅いと考えられる。

新モデルの氾濫ボリュームが小さくなる原因を把握するには、氾濫ボリュームが同じ条件で検討を行う必要がある。そこで、氾濫ボリュームを同じ設定としたケースを行うこととした。

5. 2 氾濫ボリュームを同一とした計算結果と考察

(1) ケーススタディ

前項の考察に基づき、氾濫ボリュームを同一とした計算を行うため、通常の氾濫計算から河道モデルを外した氾濫原のみの計算モデルで行った。流量は、同じ氾濫流量を氾濫原に設定することとした。設定した流量は、case2 より浸水深が増大する期間からの流量とした。

表 5 氾濫ボリュームを同一としたケースの内容

No.	内容
case3	氾濫原のみのモデル。 旧モデル
case4	氾濫原のみのモデル。 新モデル

(2) 結果

各ケースの計算結果(最大浸水深、浸水時系列)を以下に示す。

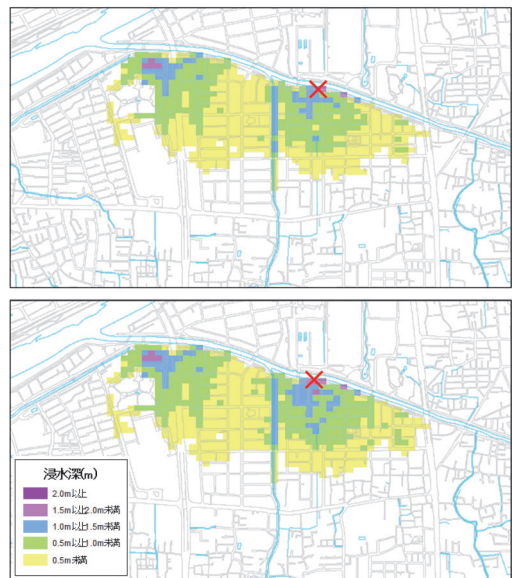


図 8 最大浸水深(上:case3 下:case4)

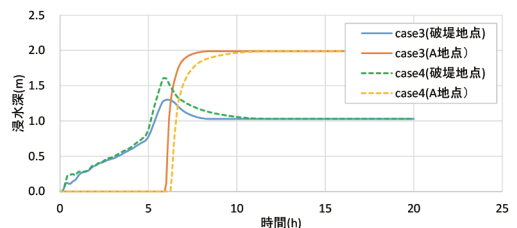


図 9 浸水深時系列

- ・最大浸水深は case3、case4 とともに破堤地点付近で1m 以上の浸水があり、地点 A 付近でも最大 1.5m を超える浸水域が生じる結果となった。
- ・case4 は case3 に比べて氾濫水の拡散速度が遅いため、水が溜まりやすく、浸水深が大きくなる。case4 では上流域の 1.0m 以上の浸水域が case3 に比べて 33%広い結果となった。
- ・浸水深時系列結果は、破堤地点付近の地点では、case3、case4 とともに同じペースで上昇しているが、ピーク値は case4 が約 31cm 大きい。時間が経過すると同じ浸水深になった。本川合流付近の地点では、case4 の方が浸水深の上昇が遅いが、ピーク値は同じとなった。

(3) 考察

破堤地点付近の浸水深は新モデルの方が大きい結果となった。氾濫水の拡散を阻害する要因として、粗度に空隙率・透過率が加わったことで、旧モデルに比べて氾濫水の拡散がしにくくなり、そのため浸水深が大きくなったと考えられる。

6. まとめ

今回は、マニュアル改訂により最大浸水深への影響のある項目を整理した。特に、空隙率・透過率については、氾濫原全域に関わるため、新旧モデルの比較検討を行った。

検討は基礎式で建物の影響を考慮されていたため、建物の多い市街地にて行った。通常の氾濫計算である河道と氾濫原の同時計算では、新モデルでは旧モデルに比べて氾濫ボリュームが小さくなり、浸水域や浸水深が小さくなる結果となった。

氾濫ボリュームが小さくなる原因を把握するため、

同じ氾濫流量とした平面 2 次元不定流のみの計算を行った。破堤地点付近においては、新モデルの方が浸水深が大きくなった。これは、新モデルでは破堤地点付近では建物の影響により旧モデルに比べて河道水位との水位差が小さくなり、氾濫流量が小さくなるためであると考えられる。

本稿で注視した空隙率・透過率の影響は、氾濫原に建物が多い場合、旧モデルによる結果に比べて最大浸水深のエリアや浸水深が小さくなる可能性があることがわかった。

浸水域の縮小は、河道改修や治水対策が無い場合、旧モデルに比べてリスクを危険側に評価することになる。

氾濫計算は具体的な浸水実績情報が少ないことが多いため、計算モデルの検証が十分に行えない。そのため、マニュアルに従った計算が基本となる。よって、新モデルによる氾濫計算を行う際は、危険側リスク評価の可能性を事前に河川管理者等に確認の上、行っていく必要と考えられる。

<参考文献>

- 1) 「平成 24 年の水害被害額について」
(国土交通省:http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo03_hh_000755.html)
- 2) 「浸水想定区域と洪水ハザードマップの作成・公表状況」(国土交通省:http://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/saigai/kisotishiki/pdf/shinsui-hm_graph.pdf)