

簡易シミュレーション手法の確立に向けて

日本水工設計（株） 九州支社 池田 啓輔

近年、内水浸水想定区域の公表による浸水リスクの周知が促進されている等、シミュレーションを用いた浸水想定が必要が高まっている。一方で下水道計画区域全域をフルモデルでシミュレーション(詳細シミュレーション)することが困難な場合もあり、暫定的な対応として簡易モデルによるシミュレーション(簡易シミュレーション)を取り入れる自治体も多い。簡易シミュレーションは、実施者の考え方で設定する項目が多く、それにより解析結果が大きく変わるため、内容をよく理解したうえで解析することが重要となる。本稿では、流出解析モデルを活用した簡易シミュレーション手法の例を紹介する。

Key Words : 浸水シミュレーション、内水浸水、簡易モデル、浸水対策

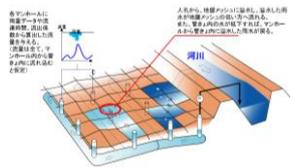
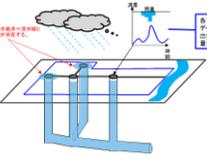
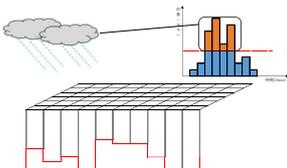
1. 内水浸水想定手法の概要

『内水浸水想定区域図作成マニュアル(案) 令和 3 年 7 月』によると、内水浸水想定手法の主な種類は、以下の 5 つに分類される。

- | | |
|--------------------------|------------------|
| ①降雨+流出+管渠+氾濫(詳細シミュレーション) | ②降雨+流出+管渠(1Dモデル) |
| ③降雨+氾濫(簡易シミュレーション) | ④地形情報を活用 |
| ⑤浸水実績を活用 | |

このうち、雨水出水浸水想定区域図の作成に適用可能な手法は、『①降雨+流出+管渠+氾濫』及び『③降雨+氾濫』である。『②降雨+流出+管渠』は、雨水排除施設の能力を評価する際に有効な手法であるが、氾濫解析を行わないため想定最大規模降雨時の浸水の移動や広がりを変現できない。また、『④地形情報を活用』や『⑤浸水実績を活用』については、シミュレーションを行わず地形情報や浸水実績を基に GIS 等を用いて概略的に作成する手法であり、利用用途が限定的となる。内水浸水想定手法の比較を表-1 に示す。

表-1 内水浸水想定手法の比較(①~③)

	①降雨+流出+管渠+氾濫(詳細シミュ)	②降雨+流出+管渠(1Dモデル)	③降雨+氾濫(簡易シミュ)
概 要			
	降雨損失、表面流出、管内水理、氾濫解析の一連の解析を実施	降雨損失、表面流出と管内水理のみ実施(氾濫水は移動しない)	降雨損失と氾濫解析のみ実施(雨水施設能力を超える降雨を対象に氾濫解析)
業務適用	雨水出水浸水想定区域図 ◎ その他浸水想定区域図 ◎	-	○
留 意 点	<ul style="list-style-type: none"> ・実現象に近い氾濫現象を再現できる ・浸水対策の効果検証を行うことができる ・排水施設情報(形状、位置、管底高等)が必要 ・浸水継続時間をシミュレーションソフト上で確認できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水施設の能力を評価できる ・浸水対策の効果検証を行うことができる ・地表面での浸水の移動や広がりを表現できない 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の排水能力の評価方法により解析精度が左右される。 ・下水道施設による氾濫水の取り込みを計算しない ・浸水継続時間を把握するためには、別途検討を要する

※「内水浸水想定区域図作成マニュアル(案) 令和3年7月 P36、P41、P42」を基に作成

2. 簡易シミュレーション手法

簡易シミュレーションの作業項目とモデル化する際の考え方について、詳細シミュレーション手法と比較しつつ本項にて整理する。

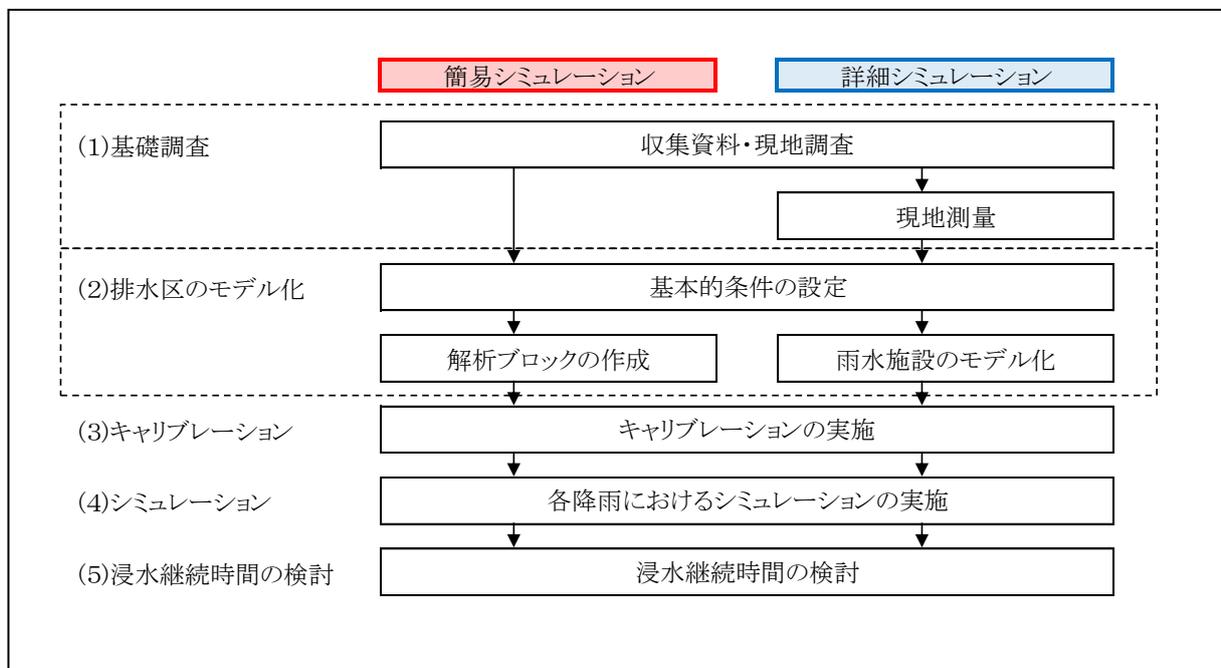


図-1 簡易シミュレーション、詳細シミュレーション手法の実施フロー

(1) 基礎調査

簡易シミュレーションでは、基礎調査で対象区域内における雨水排除施設の排水能力を把握する必要がある。一方、詳細シミュレーションでは、下水道台帳や現地測量等による雨水排除施設の施設諸元(形状、勾配、管底高等)を整理する必要がある。

(2) 排水区モデル化

簡易シミュレーションでは、解析ブロックごとに排水能力を差し引いた降雨を与えるため、排水能力に相当する降雨損失(mm/単位時間)の整理が必要となる。一方、詳細シミュレーションでは雨水排除施設をモデル化し、解析ソフト上で排水能力を計算するため、排水能力の設定は不要である。

<解析ブロックの設定方法>

- ・基礎調査にて整理した吐き口が受け持つ排水区域を現地状況や下水道区画割平面図等を基に整理し、吐き口単位で設定した排水区域を解析ブロックとする。
- ・管径が小さい吐き口については、周辺と合わせて1つの解析ブロックとする。
- ・解析ブロックへの区域外流入(山地流入)についても同様に、標高コンター図や下水道区画割平面図等を基に整理する。

解析ブロックの作成例について、イメージ図を図-2 に示す。各ブロックの排水能力は、吐き口の断面やポンプの吐出量で設定することができる。また、浸水被害状況に応じてブロック割りをを行い、浸水被害が発生していない降雨量を解析ブロックの排水能力として適用する手法等が考えられる。状況に応じて、適切な解析ブロックの作成及び排水能力の設定について検討する必要がある。

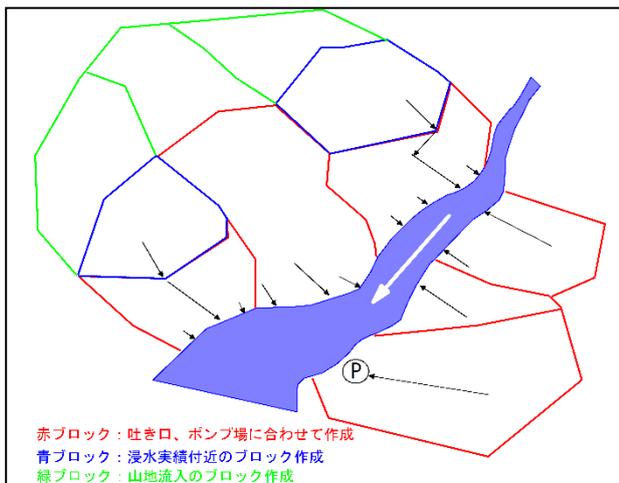


図-2 解析ブロック作成例のイメージ

なお、簡易シミュレーションでは、排水能力を超える降雨 (mm/単位時間) を解析モデルに与えるため、総降雨から差し引く排水能力の単位は【mm/単位時間】に換算して整理する必要がある。排水能力の設定例を以下に示す。

- ・ 解析ブロックが受け持つ排水面積 (ha) を整理する。(区域外流入の面積を含む。)
- ・ 基礎調査結果を基に、各解析ブロックの排水能力 (m³/単位時間) を整理する。
- ・ 上下流で一連の流れとなる解析ブロックの場合、下流側では上流側の排水能力 (m³/単位時間) を差し引いて設定する。
- ・ 解析ブロックの排水能力 (m³/単位時間) を排水面積 (ha) で除して、排水能力に相当する降雨 (mm/単位時間) に換算する。

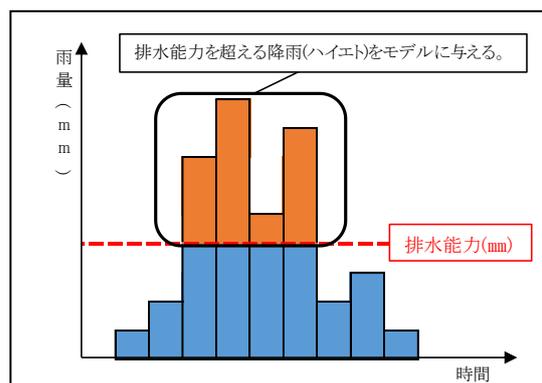


図-3 モデルに与える降雨のイメージ

<特殊構造物のモデル化>

簡易シミュレーションでは、雨水排除施設をモデル化しないため、調整池等の特殊構造物はモデル化しない。ただし、状況に応じて簡易的にモデル化することは可能である。例えば、盛土された大規模商業施設等にあるオンサイト貯留施設で、貯留施設の集水範囲が盛土範囲のみである場合、

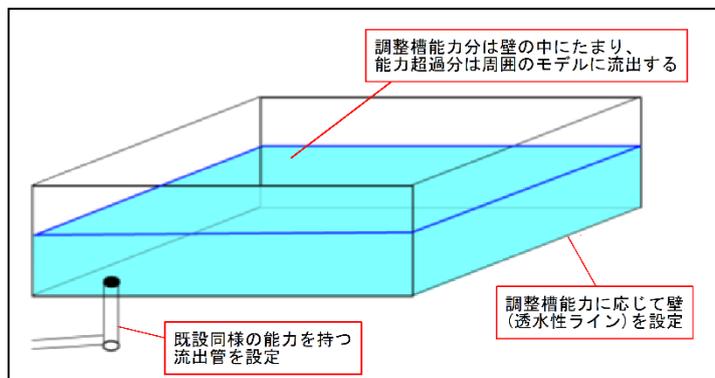


図-4 特殊構造物のモデル化例

図-4 のように流出管と貯留槽（透水性ライン）をモデルに組み込むことで、貯留槽能力分を貯留、能力超過分は地表面モデルに流出するシミュレーションを行うことができる。

＜外水位の設定＞

簡易シミュレーションでは、外水位を設定して解析することができない。一方、詳細シミュレーションでは、各吐き口に外水位を与えて解析することができ、外水位の変動による排水能力の変化を踏まえた解析ができる。

簡易シミュレーションにおいても、外水位が高く自然排水できない状況では解析ブロックの排水能力を下げることで外水位の影響を考慮することはできるが、排水能力の下げ方によって解析結果が大きく変わる可能性がある。また、水防法に基づく雨水出水浸水想定区域図を作成する際には、簡易シミュレーションの条件設定を明記する必要があることに留意し、外水位の影響をどの程度考慮するか関係者との調整が必要となる。

（3）キャリブレーション

簡易シミュレーションでは、浸水範囲や浸水深といった浸水実績を基にキャリブレーションを行う。一方、詳細シミュレーションでは、管渠やポンプ場等の雨水排除施設をモデル化するため、浸水範囲や浸水深の他、水位変動やポンプ稼働時間の実績等によるキャリブレーションが可能である。

簡易シミュレーションでは、解析ブロックの設定方法や資料の収集状況に応じてキャリブレーションで見直す項目を決める必要がある。キャリブレーションの方法としては、①解析ブロックの排水能力を修正する、②解析ブロックの分け方を修正する、③流出係数を修正する等が考えられる。なお、②による修正は解析ブロックの分割方法を見直すとともに、新たに作成する解析ブロックの条件を再設定する必要があることから、①や③と比較して作業が煩雑となる。②による作業をできる限り減らすためにも、解析ブロックの設定については、現地状況を十分に考慮したうえで実施することが望ましい。

（4）シミュレーション

（3）までに作成したモデルに、降雨を与えて浸水の挙動を確認する。

（5）浸水継続時間の検討

雨水出水浸水想定区域図を作成する際は、浸水深が 0.50m 以上となる継続時間を整理する必要がある。しかし、簡易シミュレーションでは、基本的に解析ソフト上で浸水継続時間を確認することができない^{*1} ため、別途検討が必要となる。詳細シミュレーションでは、既設の雨水排除施設をモデル化しているため、時間経過による雨水の流出過程を解析し、解析ソフト上で浸水継続時間を確認することができる。簡易シミュレーションにおける浸水継続時間の検討例を次に示す。

- ①解析ブロックのうち、最大浸水深が 0.50m以上となる区域を抽出する。
- ②抽出した区域の溢水量(m³)を解析ブロックで設定した排水能力(m³/単位時間)で除し、溢水量がゼロになる排水時間を算出する。
- ③浸水深 0.50m以上となる時から降雨終了までの時間に②の排水時間を合計する。
- ④上記③で算出した浸水継続時間が 24 時間以上となる区域について、現地を確認したうえで最終的な浸水継続時間の区分を決定する。

※1 排水能力を土壌浸透等として設定すると浸水継続時間を確認できる。

3. 簡易シミュレーション手法における降雨損失について

「内水浸水想定区域図作成マニュアル(案) P43」によると、簡易シミュレーションは、『有効降雨から施設の排水能力を差し引いた降雨を作成し、直接、氾濫解析モデルにインプットし、解析する手法』と記載されている。有効降雨は、降雨量から地下浸透や凹地貯留を代表とする降雨損失を差し引いたものである。

降雨損失の代表的なモデルとしては、「流出係数モデル」と「ホートンモデル」が挙げられる(イメージ図は図-5を参照)。しかし、ホートンモデルは浸透量の時間変化を求めるモデルであることから、それを検証できるデータの有無、有効降雨の算出が流出係数モデルと比べて煩雑になるため、マニュアルに準じて有効降雨を設定する場合、基本的には流出係数モデルを用いると考えられる。

ただし、流出係数を乗じて降雨損失を算出する場合、キャリブレーションで設定した流出係数をそのまま用いて想定最大規模降雨に係るシミュレーションを行うと、降雨損失を過大評価(浸水としては過小評価)する可能性がある。そのため、キャリブレーションの結果を踏まえ、降雨損失を適切に評価したうえで想定最大規模降雨時における流出係数を設定する必要がある。

なお、流出係数モデルは、時間経過による降雨損失の減衰を考慮しないことから、キャリブレーションの際に浸水実績の再現が困難となる可能性があるため、使用するソフト等の状況を踏まえてホートンモデルを採用することも考えられる。

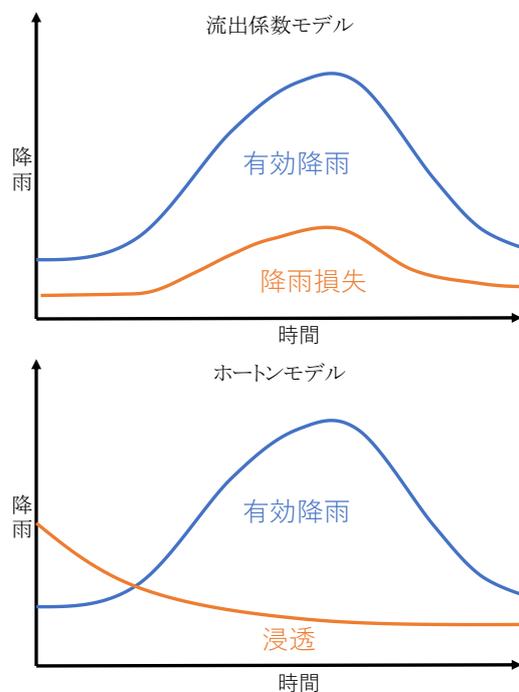


図-5 降雨損失のイメージ図

4. まとめ

簡易シミュレーションによる浸水想定を行うにあたり、本稿では以下の項目について設定方法を検討し、解析に係る手法の確立に向けて体系的に整理することができた。

以下に簡易シミュレーション手法における留意事項を整理する。

①解析ブロックの設定

与える降雨毎に解析ブロックを設定する。

②排水能力 (m³/単位時間) に相当する降雨 (mm/単位時間) への換算

有効降雨から差し引く排水能力は、【mm/単位時間】に換算する。

③外水位による排水能力に与える影響

外水位は設定しないが、排水能力の調整によって考慮することは可能である。ただし、調整の手法によっては解析結果に大きく影響する可能性がある。

④キャリブレーションで調整する項目と考え方

解析ブロックの設定方法や資料の収集状況に応じてキャリブレーションで見直す項目を決める。

⑤浸水継続時間の算出

基本的に解析ソフト上で浸水継続時間を確認することができないため、別途検討を要する。

⑥降雨損失の設定

キャリブレーションで定めた流出係数をそのまま乗じて降雨損失を算出すると、想定最大規模降雨に係る解析時に降雨損失を過大評価する可能性がある。

簡易シミュレーションは、雨水排除施設をモデル化しない代わりに、解析ブロック、排水能力、外水位の影響、降雨損失等の設定で実施者の判断を要し、その設定の方法で解析結果に多大な影響を及ぼすことから、関係者と十分に協議を重ねたうえで、状況に応じて適切な条件設定を如何にして行うかが重要となる。

また、簡易シミュレーションは、特殊構造物や外水位の影響等を考慮することが困難な手法である。このため、簡易シミュレーション手法は、排水区域の特徴やシミュレーションの目的を十分に把握したうえで採用する必要がある。今後の展望として、簡易シミュレーションを採用した区域について、対策が必要な区域については詳細シミュレーションへレベルアップし、より精度の高い浸水想定を行うことが望ましい。

<参考文献>

- 1) 内水浸水想定区域図作成マニュアル(案) 令和 3 年 7 月
- 2) 流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き) 2017 年 3 月