

## 簡易的な手法を用いた流出解析モデルの活用方法と課題

(株)極東技工コンサルタント 田中 一輝

近年の気候変動の影響による降雨量の増加等に対応するため、流域治水関連法が一部改正され、想定最大規模降雨に対応した内水浸水想定区域図を作成することが急務となっている。しかし、流出解析モデルの構築には手間と時間がかかることから、簡易手法を用いることで、内水浸水想定区域図の作成の加速化が期待されているところである。

一方、降雨損失と氾濫解析のみで実施する簡易手法では浸水継続時間の直接算出が困難であるため、本事例では、既存排水能力を浸透能力に換算することで、浸水継続時間の直接算出が可能か確認することに加え、モデル構築にあたっての課題抽出などを行った。

**Key Words** : 浸水シミュレーション、簡易モデル、内水浸水想定区域図

### 1. はじめに

#### 1-1. 背景・課題

令和 3 年 7 月に施行された流域治水関連法により、雨水出水浸水想定区域の指定対象が拡大し、住宅等の防護対象のある下水道を有する団体が対象となった。また、下水道事業に基づく雨水対策事業を行っている市町村においては、最大クラスの内水に対応した浸水想定区域図（雨水出水浸水想定区域図）を作成することが、令和 8 年度以降の雨水対策事業に対する交付金の重点配分の要件となった。

複数ある内水浸水想定手法の中でも、フルモデル（降雨＋流出＋管きょ＋氾濫）の採用が推奨されているが、解析モデルの構築に長い期間や労力を必要とすることから、簡易モデル（降雨＋氾濫）の活用により雨水出水浸水想定区域図の早期作成が期待されている。

内水浸水想定区域図の作成にあたり参考となる「内水浸水想定区域図作成マニュアル（案）、国土交通省水管理・国土保全局下水道部、令和 3 年 7 月」（以下「マニュアル」と称する）では、簡易モデルの活用について、浸水継続時間の直接算出が困難であることに言及しており、水防法に対応する資料作成には課題がある。

#### 1-2. 目的

本検討では、浸水継続時間の算出が困難である従来の簡易モデル（降雨＋氾濫）に代わり、既存排水施設の排水能力を浸透能力で置き換えた簡易モデル（降雨＋流出＋浸透＋氾濫）の構築により、浸水の経時変化が表現可能であるか検討した。また、今後の簡易モデルを用いた内水浸

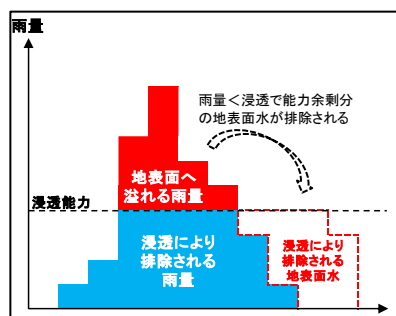


図-1 検証モデル概念図

水想定区域図作成に資するべく、当手法を適用する際の課題を抽出した。

## 2. 解析モデルの構築

### 2-1. モデル化排水区の概要

本検討で用いるモデル排水区の概要を図-2に示す。本排水区は、排除方式は分流式、対象面積は 85.20ha、流出係数は市街化区域で 0.60、市街化調整区域で 0.30 である。また、計画降雨は 5 年確率 (50mm/h) で雨水幹線、枝線管きよともに整備済みであり、放流先河川が掘り込み河道のため、自然流下方式による排水が可能である。また、放流先河川は下水道施設の整備水準と同等である年超過確率での整備が完了しており、流域の最上流部であることから、大幅に余裕のある断面を有している。

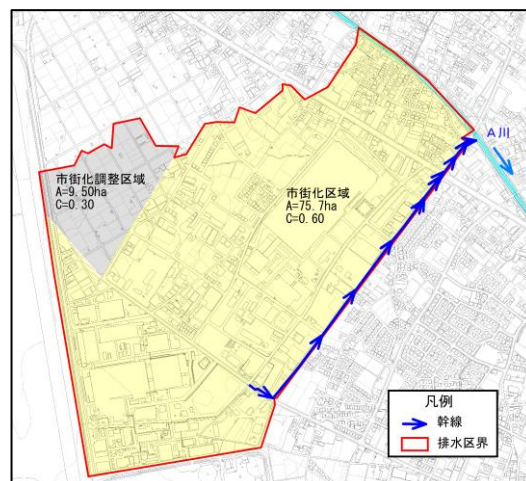


図-2 モデル排水区の施設状況図

### 2-2. 解析モデルの浸水想定手法と設定条件

本検討では、表-1 に示すモデルを構築した。マニュアルで解説されている浸水想定手法として、ケース①フルモデルとケース②簡易モデルを構築し、ケース③で浸透を用いた簡易モデルを構築した。このうち、ケース①は枝線部に相当する管きよまでモデル化した浸水想定手法とし、ケース②は、マニュアルに示される雨水出水浸水想定区域図作成に採用可能な簡易手法であり、検討対象降雨に流出係数を乗じて算出した有効降雨から既存施設の流下能力相当分の降雨 (合理式から逆算して算出) を差し引くことで設定した。ケース③は本検証により検討した手法であり、ケース②で差し引いた排水能力分を浸透メッシュに置き換え、有効降雨を降らせる手法となっている。

なお、解析モデルの構築にあたっては、流出解析ソフトとして一般的に販売されており、導入実績の多い「Info Works ICM」を使用した。

表-1 浸水想定手法と設定条件

| ケース | モデル名称                   | 下水道管きよのモデル化 | 現況流下能力の評価方法                 | 計算モデル              | メッシュサイズ              |
|-----|-------------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| ①   | フルモデル<br>(降雨+流出+管きよ+氾濫) | 末端管きよ       | 既存施設の不定流計算結果による             | 管内水理モデル<br>氾濫解析モデル | 100m <sup>2</sup> 相当 |
| ②   | 簡易モデルA<br>(降雨+氾濫)       | なし          | 既存施設の流下能力相当分を合理式から逆算して降雨に換算 | 氾濫解析モデル            | 100m <sup>2</sup> 相当 |
| ③   | 簡易モデルB<br>(降雨+流出+浸透+氾濫) | なし          | 既存施設の流下能力相当分を合理式から逆算して降雨に換算 | 氾濫解析モデル            | 100m <sup>2</sup> 相当 |

### 2-3. 流下能力相当分の降雨の算出

マニュアルでは、簡易モデルを構築する際には、有効降雨から現況排水能力相当分を差し引いた降雨を作成するとある。本検討では現況排水能力として計画降雨 50mm/h（ピーク 10 分間降雨強度 100mm/h）と流末流下能力を降雨強度に換算したものを比較した。

本検討では整備水準 50mm/h に対応した排水区が対象であるが、余裕率約 20 パーセントを見込んで設計されている。流末管は計画流出係数 0.60 に対し、流出係数 C=0.74 まで対応できる排水能力を有していた。これを降雨に換算した場合、61.7mm/h 相当である。（ピークの 10 分間の降雨強度 123.4mm/h）

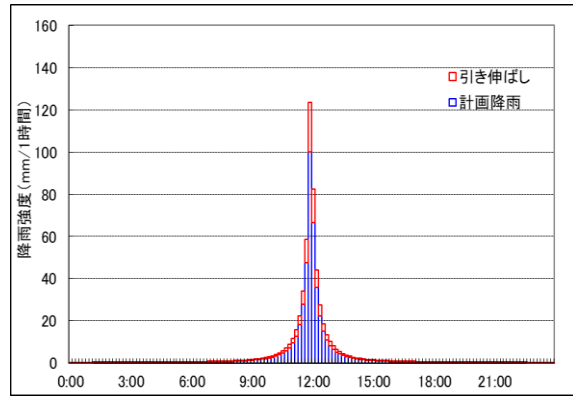


図-3 流末排水能力相当分のハイトグラフ

### 2-4. シミュレーション降雨

シミュレーション降雨は、想定最大規模降雨とし、「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法、国土交通省水管理・国土保全局、平成 27 年 7 月」を基に、既往最大降雨の 1 時間最大雨量を 153mm となるよう引き伸ばして作成した。

【想定最大規模降雨】

時間最大：153.0mm/hr、総降雨量：310.5mm

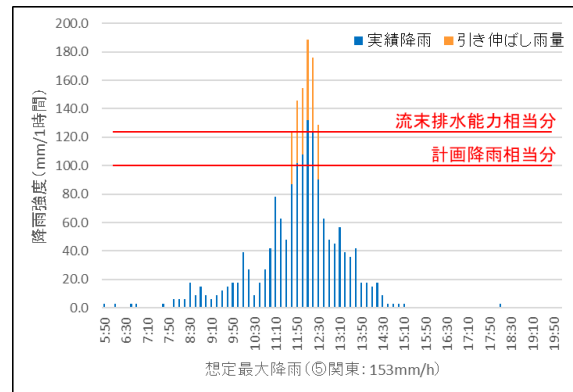


図-4 想定最大規模降雨のハイトグラフ

## 3. 浸水想定結果の比較

### 3-1. 最大浸水深と浸水域の比較

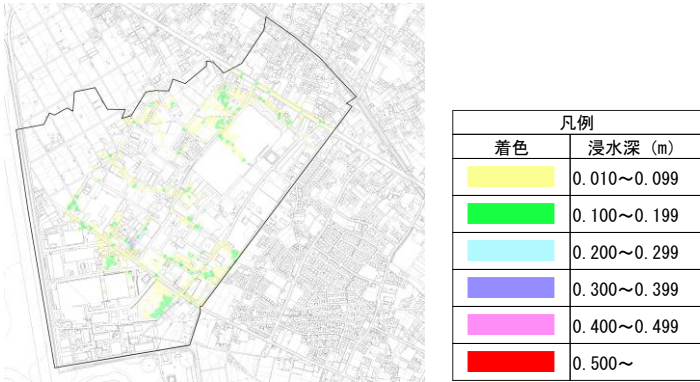
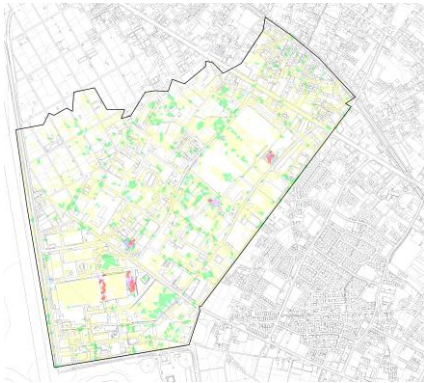
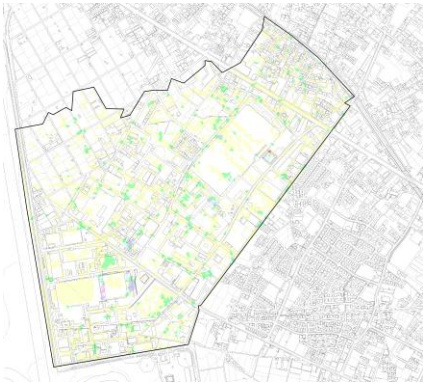
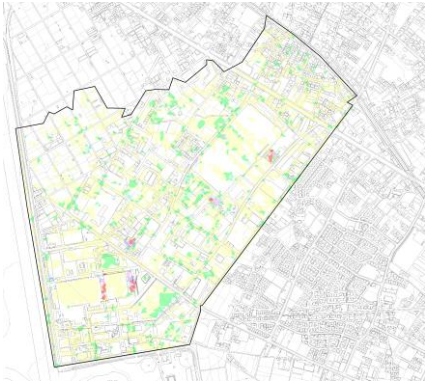
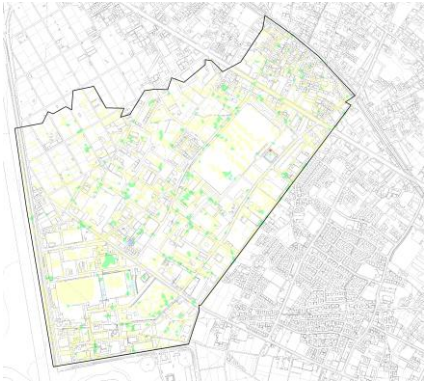
まずは、想定最大規模の浸水想定として有効な手法か確認するため、各メッシュが最大浸水深と浸水域の比較を行った。

表-2 浸水想定結果の比較

| ケース | モデル名称                   | 排水能力分                                    | 最大浸水深    |                        | 浸水面積 <sup>*1</sup> |                        | 溢水量       |                        |
|-----|-------------------------|--|----------|------------------------|--------------------|------------------------|-----------|------------------------|
|     |                         |  | 解析結果 (m) | 増減率 <sup>**2</sup> (%) | 解析結果 (ha)          | 増減率 <sup>**2</sup> (%) | 解析結果 (m3) | 増減率 <sup>**2</sup> (%) |
| ①   | フルモデル<br>(降雨+流出+管きよ+氾濫) | —  | 0.410    | —                      | 10.46              | —                      | 6,558     | —                      |
| ②   | 簡易モデルA<br>(降雨+氾濫)       | 計画降雨50.0mm/h差し引き<br>(10分降雨強度100mm/h)     | 1.258    | 207%                   | 35.21              | 237%                   | 24,503    | 274%                   |
|     |                         | 流末流下能力61.7mm/h差し引き<br>(10分降雨強度123.4mm/h) | 0.658    | 60%                    | 26.51              | 154%                   | 16,060    | 145%                   |
| ③   | 簡易モデルB<br>(降雨+流出+浸透+氾濫) | 計画降雨50mm/h差し引き<br>(10分降雨強度100mm/h)       | 1.153    | 181%                   | 35.18              | 236%                   | 23,753    | 262%                   |
|     |                         | 流末流下能力61.7mm/h差し引き<br>(10分降雨強度123.4mm/h) | 0.584    | 42%                    | 26.37              | 152%                   | 15,289    | 133%                   |

\*1…0.01m以上、\*2…ケース①に対する増減率=各ケース/ケース①-1×100

表-3 浸水想定結果図の比較（最大水深）

| ケース  | 計画降雨分差し引き   | 流末流下能力分差し引き  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
|------|---|--|----|--|----|---------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|----|-------------|------|-------------|----|--------|
| ①    |  <table border="1" data-bbox="959 495 1209 763"> <thead> <tr> <th colspan="2">凡例</th> </tr> <tr> <th>着色</th> <th>浸水深 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>黄色</td> <td>0.010~0.099</td> </tr> <tr> <td>緑色</td> <td>0.100~0.199</td> </tr> <tr> <td>青色</td> <td>0.200~0.299</td> </tr> <tr> <td>紫色</td> <td>0.300~0.399</td> </tr> <tr> <td>ピンク色</td> <td>0.400~0.499</td> </tr> <tr> <td>赤色</td> <td>0.500~</td> </tr> </tbody> </table> |  | 凡例 |  | 着色 | 浸水深 (m) | 黄色 | 0.010~0.099 | 緑色 | 0.100~0.199 | 青色 | 0.200~0.299 | 紫色 | 0.300~0.399 | ピンク色 | 0.400~0.499 | 赤色 | 0.500~ |
| 凡例   |   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 着色   | 浸水深 (m)   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 黄色   | 0.010~0.099   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 緑色   | 0.100~0.199   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 青色   | 0.200~0.299   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 紫色   | 0.300~0.399   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| ピンク色 | 0.400~0.499   |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| 赤色   | 0.500~  |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| ②    |   |   |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |
| ③    |    |  |    |  |    |         |    |             |    |             |    |             |    |             |      |             |    |        |

各メッシュの最大浸水深を示した図で比較したところ、ケース①とケース②③は浸水の範囲が大きく異なる。これは、ケース①では流下能力不足路線の管内水位が、地表面を超えノードからの溢水することで浸水となるのに対し、ケース②③は現況排水能力超過分の降雨を区域全体の地表面に与えるため、広く浸水が発生する状況が発生しやすい。

ケース③はケース②と近い浸水リスクを示しているものの、若干小さい傾向が見られた。これは、ケース③では排水能力を表現している浸透能力を超過した降雨が地表面に溢れるが、地表勾配によって地表面水の移動が終了する前に降雨が弱まるため、降雨強度<浸透能力となり、浸透により地表面から排除される地表面水分で差が生じていると考えられる。

ケース③とケース①を比較した場合は、ケース③の方が浸水リスクは大きい結果が得られ、想定最大規模の浸水リスク情報を公表する目的として作成される雨水出水浸水想定区域図では有効な手法であると考えられる。

### 3-2. 浸水継続時間の比較

ケース③に関しては、排水区全域に管きよの流下能力分の浸透ゾーンを設定しているため、降雨強度が浸透能力を上回った際には浸透能力超過分が地表面に溢れ、降雨強度が減少し浸透能力を下回った際には地表面水が浸透（排水）し、地表面水の減少が見られる。このため、ケース③では浸水継続時間の直接算出が可能となる。なお、よりケース①の結果に近い、流末流下能力を見込んだ結果で比較した。

浸水継続時間は、雨水出水浸水想定区域図の作成において、長時間にわたり浸水するおそれのある場合（浸水深 50cm 以上がおおむね 24 時間以上継続する場合）に表示するものとされている。本検討に用いた排水区は、整備水準以上に流下能力を有しており、自然流下可能な排水区であるため、フルモデルであるケース①では 50cm 以上の浸水が 24 時間以上継続するエリアはなく、ケース③においても浸水が長時間継続するエリアは確認できなかった。

表-4 に示す経時変化を確認すると、ケース③は排水区全域で浸透ゾーンを設けているため、浸水が解消するまで経時変化を算出できるが、ケース①は 16 : 00 から浸水の経時変化が見られない。これは、ケース①で発生した浸水は、地表面水として低地に流れていくが、流下した先に管きよモデルに取り込むノードがない箇所では地表面で滞水し続けるためである。

一般的に、滞水のリスクがある窪地には集水ますやマンホールポンプが設置され、排水が可能となるように対策されて

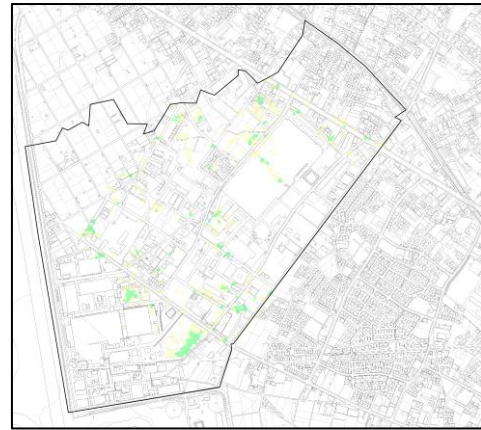


図-5 ケース① ピーク降雨終了時

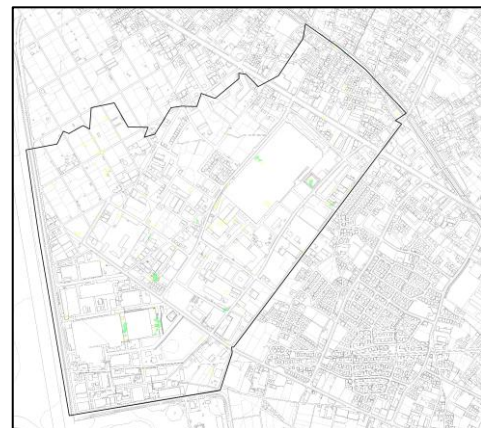


図-6 ケース③ ピーク降雨終了時

表-4 浸水想定結果の経時変化

| 時刻    | ケース①      |             |          | ケース③      |             |          |
|-------|-----------|-------------|----------|-----------|-------------|----------|
|       | 最大浸水深 (m) | 浸水面積 (ha) ※ | 溢水量 (m3) | 最大浸水深 (m) | 浸水面積 (ha) ※ | 溢水量 (m3) |
| 12:00 | 0.029     | 0.05        | 15       | 0.048     | 4.10        | 2,228    |
| 12:30 | 0.339     | 8.30        | 4,870    | 0.430     | 24.89       | 13,548   |
| 13:00 | 0.259     | 5.55        | 3,906    | 0.574     | 14.08       | 8,848    |
| 13:30 | 0.305     | 4.80        | 3,513    | 0.551     | 9.53        | 5,778    |
| 14:00 | 0.306     | 4.82        | 3,438    | 0.523     | 5.72        | 3,429    |
| 14:30 | 0.306     | 4.82        | 3,411    | 0.492     | 2.95        | 1,868    |
| 15:00 | 0.306     | 4.82        | 3,399    | 0.456     | 1.48        | 995      |
| 15:30 | 0.306     | 4.82        | 3,397    | 0.420     | 0.81        | 557      |
| 16:00 | 0.306     | 4.82        | 3,396    | 0.383     | 0.45        | 302      |
| 16:30 | -         | -           | -        | 0.346     | 0.24        | 168      |
| 17:00 | -         | -           | -        | 0.309     | 0.15        | 95       |
| 17:30 | -         | -           | -        | 0.272     | 0.08        | 51       |
| 18:00 | -         | -           | -        | 0.235     | 0.03        | 29       |
| 18:30 | -         | -           | -        | 0.198     | 0.02        | 18       |
| 19:00 | -         | -           | -        | 0.161     | 0.01        | 14       |
| 19:30 | -         | -           | -        | 0.124     | 0.01        | 10       |
| 20:00 | -         | -           | -        | 0.087     | 0.01        | 7        |
| 20:30 | -         | -           | -        | 0.050     | 0.01        | 4        |
| 21:00 | -         | -           | -        | 0.013     | 0.01        | 1        |
| 21:30 | 0.306     | 4.82        | 3,396    | 0.001     | 0.00        | 0        |

※浸水面積は0.01m以上の浸水を集計

いることが多いが、下水道施設の枝線を末端管きよとしているモデルでは、宅地内や間地における氾濫後の排水が反映できない可能性がある。

#### 4. 課題の抽出および検討にあたり苦労した点

前項までの検討を踏まえ、既存排水施設の流下能力を浸透能力として組み入れた場合の利点と課題について以下に示す。また、本検討に際し苦労した点を挙げる。

##### 【利点】

1. 既存の簡易手法（降雨＋氾濫）における最大浸水深の解析結果と同等の結果が得られるため、簡易手法としての適用性が高い
2. 氾濫後の排水をモデルに反映できるため、浸水継続時間の直接算出が可能である
3. 既存の簡易手法では複数シナリオの浸水想定区域図を作成する場合、対象降雨ごとに有効降雨を作成するため作業が煩雑になるが、浸透モデルを用いた簡易手法であれば、排水能力がモデル上に組み込まれるため、有効降雨の作成は最低限で済む
4. 末端の枝線管きよまでを対象としているフルモデルでは表現できない微小な窪地や民有地内の雨水排除施設による排水を反映することが可能である

##### 【課題】

1. 管きよの圧力状態の評価や、管きよ内を流れ窪地で溢水する現象を表現できない
2. 外水の影響により排水能力が変化するエリアへの適用には不適當である
3. 浸水継続箇所の確認を目的とした場合、雨水排除施設がない窪地においても、浸透能力が排水として反映されるため、浸水リスクが小さい結果となる可能性がある

##### 【苦労した点】

簡易モデル構築には有効降雨から既存排水能力を差し引いた降雨を作成する必要があるが、1つの排水区内においても各施設の排水能力は異なり、どの施設の排水能力を見込むのかによって結果が大きく変化するため、キャリブレーションの必要がある。

簡易モデル構築当初は、面的な整備が完了している排水区のため、時間降雨強度 50mm/h を見込んだが、浸水が過大となったため、10 分間の降雨強度 100mm/h を見込んで解析結果を確認するなど、トライアルにて差し引く排水能力を検討した経緯がある。

#### 5. おわりに

本稿で紹介した検討結果は一例であり、条件により異なる結果になる可能性があることに留意は必要であるが、既存施設の排水能力を有効降雨からの差し引きにより反映するしかなかった簡易モデルにおいて、浸透モデルを活用することで、氾濫後の排水を想定することが可能であることがわかった。

現在、(公財)日本下水道新技術機構から発刊されている「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）」改訂のために共同研究が行われている状況であり、簡易モデルに関する記載が改変される可能性があるため、動向を注視したい。