

## 2. 既存ストックを活用した浸水対策手法の確立に関する調査

下水道研究室 室長 横田 敏宏  
主任研究官 松浦 達郎  
研究員 中村 裕美  
交流研究員 麦田 藍

### 1. はじめに

近年、日本各地において短時間に集中する豪雨の発生回数が増加しており、過去と比較して降雨の状況が変化している可能性が指摘されている。そのため、既存の対策のみでは対応できない恐れがあり、特に多額の費用と時間が必要となるハード対策のみでは早急な対応は困難である。一方、都市内にはこれまでの事業により一定の施設が整備されており、これらを既存ストックとして評価し、最大限に活用することにより浸水被害を軽減することが重要である。本研究では、気候変動等による降雨特性の変化に対応した計画降雨の考え方や設定手法を整理した上で、既存ストックを活用した雨水管理計画の策定手法や見直し手順について検討し、浸水被害の軽減を図ることを目的としている。

平成 28 年度は、下水道施設計画・設計指針と解説（以下、指針<sup>1)</sup>）に準じて作成した降雨波形（以下、計画降雨波形）について、実績降雨と比較することによりその妥当性と課題等について検討した。

### 2. 研究の手順

浸水対策施設のうち、貯留施設や排水ポンプ施設等の設計においては、流出量の時間変化が必要となることから、降雨開始から終了までの降雨量の変化を示す降雨波形が必要となる。これまでの下水道事業では、指針に示された、計画降雨強度式から求めた流達時間毎の降雨強度を用いて、中央集中型の降雨波形として設定する事が多い。しかし、計画降雨波形はそもそも実際の降雨波形の再現を目指したものであることから、実績降雨波形と差異が生じていることが考えられ、特に過去と比べて降雨状況の変化が指摘されている現在においては、その差が無視できない可能性がある。

過去に実施した研究<sup>2)</sup>では、気候や人口規模等が異なる複数の都市を対象に、計画降雨と実績降雨の波形を比較した結果、降雨継続時間が長くなると両者の総降雨量の差が大きくなる傾向が見られた。そこで本研究では、降雨継続時間の違いによる計画降雨の総降雨量や波形の再現性を確認し、計画降雨波形を浸水対策施設の計画・設計に用いる際の留意点についてとりまとめた。研究手順を図-1に示す。

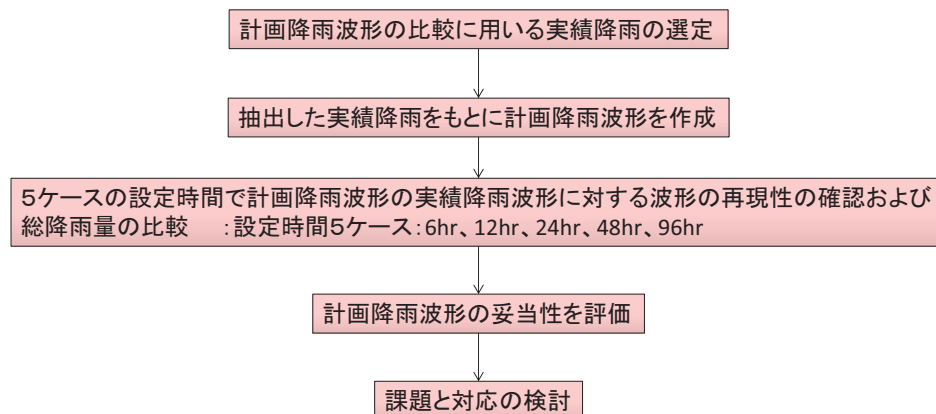


図-1 研究の手順

### 3. 計画降雨波形の妥当性の評価方法

#### 3. 1 比較に用いる実績降雨の選定方法

過去の研究<sup>3)</sup>で対象とした25都市における、過去10年間(2004~2013年)の水害統計調査、及び過去の研究<sup>3)</sup>で実施したアンケート調査から、内水による浸水被害が発生した降雨継続時間が6時間以上の降雨、計167降雨について、降雨データ(気象庁観測データ<sup>4)</sup>の10分間雨量)を収集した。なお、ひとまとまりの降雨は、18時間以上の無降雨時間を基準とした。

#### 3. 2 計画降雨波形の作成方法

浸水被害が発生した際の実績降雨波形と計画降雨波形を比較するため、指針に示された作成方法に基づいて、降雨継続時間内の最大降雨強度が実績降雨に相当する計画降雨波形を作成した。なお指針では、降雨継続時間の中心を原点に設定するのに対し、本研究では図-2に示すように実績降雨の最大降雨強度発生時刻を計画降雨の原点に設定するとともに、実績の降雨継続時間内で複数の降雨継続時間(5ケース:6,12,24,48,96時間、以下設定時間)を設定し作成した。また、計画降雨波形作成に用いる降雨強度式は、各都市の計画降雨強度式で採用されている式型と同じとし、実績降雨の60分最大降雨強度相当の確率規模のものを新たに作成した。

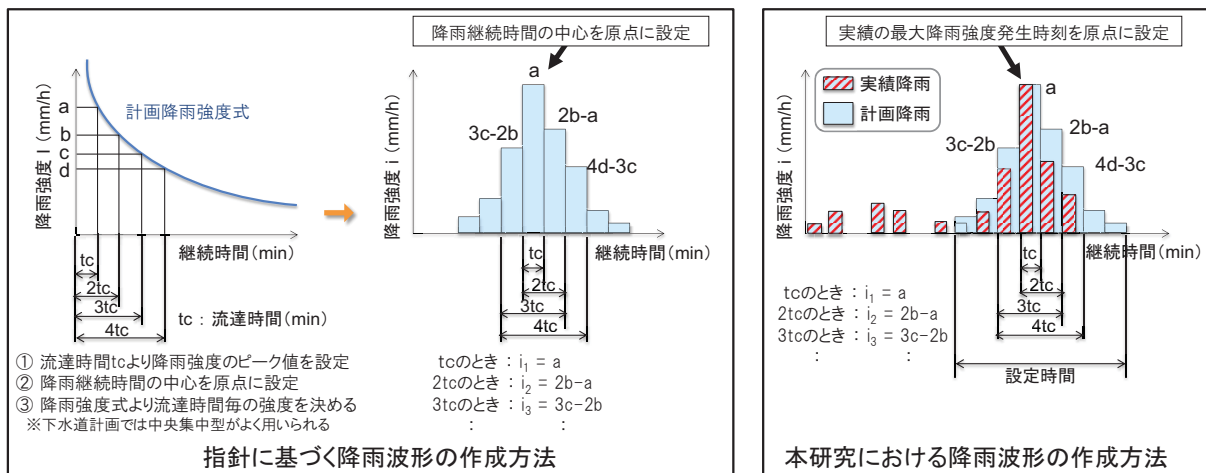


図-2 指針に基づく計画降雨波形の作成方法と本研究における作成方法

#### 3. 3 計画降雨波形と実績降雨波形の比較方法

##### (1) 評価項目

計画降雨波形と実績降雨波形を比較する際の評価項目として、「総降雨量」と「波形そのものの再現性」を用いた。

##### (2) 波形の再現性の評価方法

波形の再現性はNash-Sutcliffe係数(以下、NS)を用いて評価した。NSは一般的に流量ハイドログラフの適合性を評価する指標として用いられ、その値が1に近いほど精度は良いとされ、その値が0.7以上であれば、再現性が高いとされている<sup>6)</sup>。NSの算出式を以下に示す。

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_{av}\}^2}$$

$$q_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_o(i)$$

N : 計算時間数、 $q_o(i)$  : i 時の実績降雨波形の値、 $q_c(i)$  : i 時の計画降雨波形の値、 $q_{av}$  : 実績降雨波形の値の平均値

### (3) 評価基準

計画降雨波形の妥当性を評価するための、評価項目ごとの評価基準は表-1のとおり設定した。総降雨量については、自治体における貯留施設の設計基準等において、必要量の2割程度の余裕を見込んでいる場合が確認されたことから、計画降雨波形と実績降雨の比率120%を評価区分とし、比率120%以下のものを計画降雨と実績降雨の差が小さいものとした。NSについては、一般的に用いられる0.7を評価区分とした。

表-1 評価項目毎の基準

総降雨量		各降雨時間の波形の再現性 (NS)		計画-実績の差
比率 (%) ※	妥当性評価区分	NS	妥当性評価区分	
$X \leq 120\%$	計画降雨波形の値に対して 実績降雨波形の値が 1.2倍以下	$0.70 \leq NS$	NSが0.7以上	
$120\% < X$	// 1.2倍より大きい	$NS < 0.70$	NSが0.7未満	

※ 比率 X (%) : 実績降雨の値 ÷ 計画降雨の値 × 100

### (4) 実績降雨の分類

降雨継続時間の違いによる計画降雨波形と実績降雨波形の差異を分析するために、計画降雨波形における降雨継続時間の設定時間を、ピークを中心に6時間、12時間、24時間、48時間、96時間で抽出し、それぞれの設定時間ごとに計画降雨波形と実績降雨波形との波形誤差(NS)および総降雨量の差を評価した。(図-3)

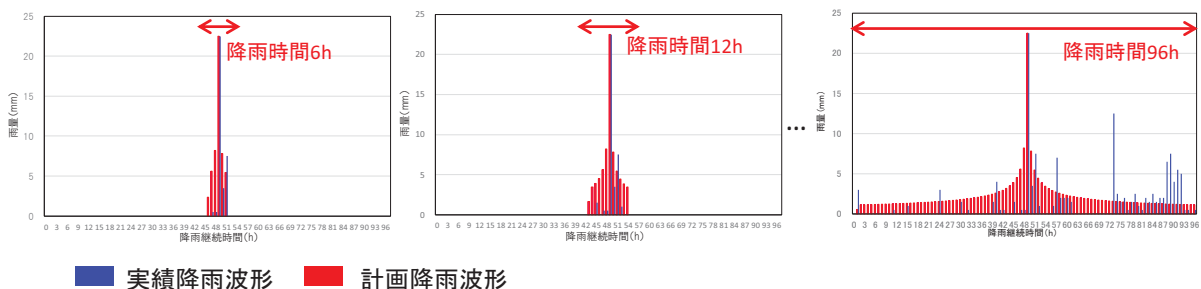


図-3 各設定時間での降雨波形の比較例

さらに、実績降雨の波形の形状により波形の再現性や総降雨量の整合性の違いが出てくることが考えられるため、降雨波形の形状を表す指標として平均降雨強度に対する最大降雨強度の割合(最大降雨強度/平均降雨強度)(以下、ピーク度)を用いて、対象とする167の実績降雨を、図-4および表-2に示すとおりピーク度の高いものから順に①から③に3等分に分類した。

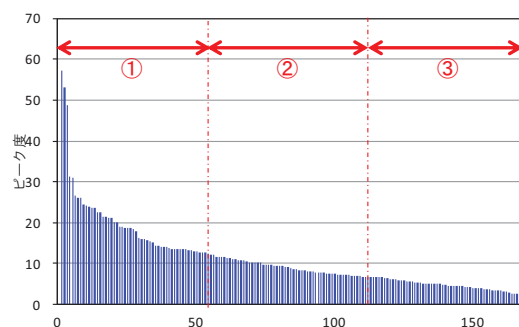


図-4 実績降雨のピーク度

表-2 ピーク度による実績降雨の分類

分類	① ピーク度大	② ピーク度中	③ ピーク度小
降雨数	56 降雨	55 降雨	56 降雨
ピーク度	12.04~57.27	6.69~11.66	2.28~6.64
概念図			

#### 4. 研究成果

##### 4. 1 総降雨量およびNSの比較

計画降雨に対する実績降雨の総降雨量の比率、およびNSについてピーク度①~③の分類毎に各設定時間での評価項目の平均値を算出し、傾向を確認した結果を図-5、図-6に示す。ピーク度が小さい③の降雨については、降雨継続時間が96時間以上となる降雨がなかったため、設定時間48時間までの評価となった。

結果、ピーク度の分類に関わらず、設定時間が長くなると総降雨量の比率は高くなり、NSは低くなることが分かった。ピーク度が大きい①の降雨については、設定時間が6時間であれば総降雨量の比率は120%を下回り、NSについては0.7以上となり、計画降雨波形は妥当であることが分かった。①について、設定時間が長くなると総降雨量の比率が高くなること、NSが低くなることの理由の一つとして、図-7のように、強い雨量が急に発生することが挙げられた。

②、③の降雨については、設定時間が6時間の時点で平均して、実績降雨波形の総降雨量が計画降雨波形の1.3倍以上、NSも0.7を下回っており、計画降雨波形はいずれの設定時間も妥当でないことが分かった。これは、ピーク度が低い降雨は、ピーク前後の時間帯においても計画降雨波形と比較して強い雨量が続いており、降雨時間が長くなるほど総降雨量の差が顕

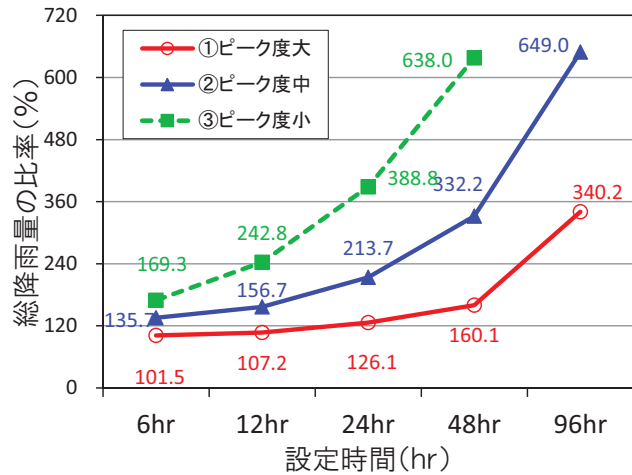


図-5 設定時間毎の総降雨量の比率

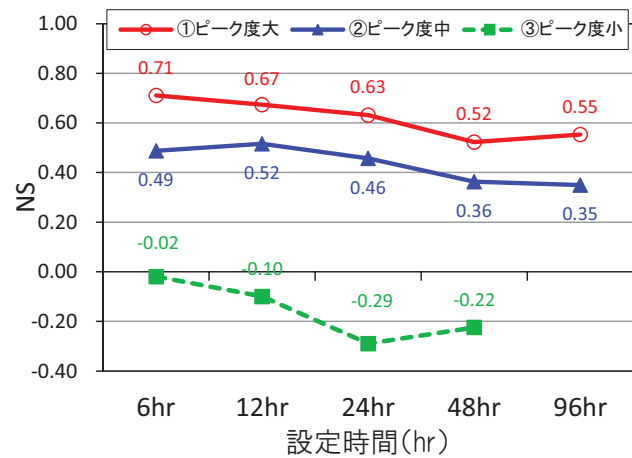


図-6 設定時間毎のNS

著になるためである。なお、②の降雨の方が、③の降雨より総降雨量の比率が低いことについては、②の降雨は設定時間のうちに、一時的な無降雨時間を含むのに対し、③の降雨は、**図-8**のように、連続して強い雨量が発生しているためである。

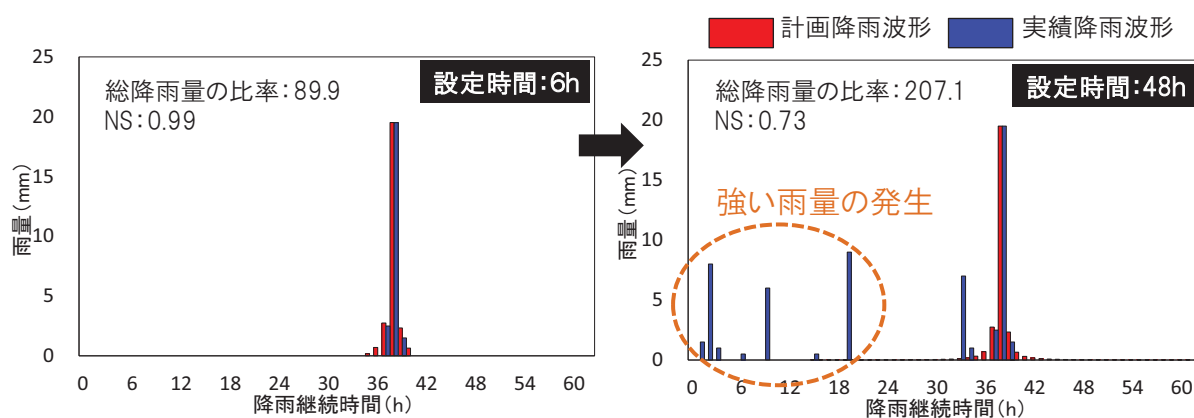


図-7 設定時間毎の降雨波形例 (①の降雨)

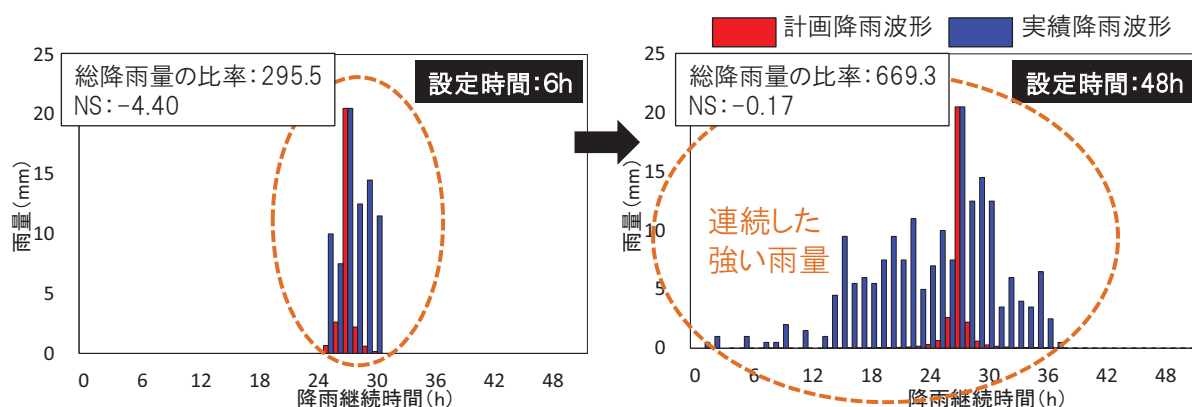


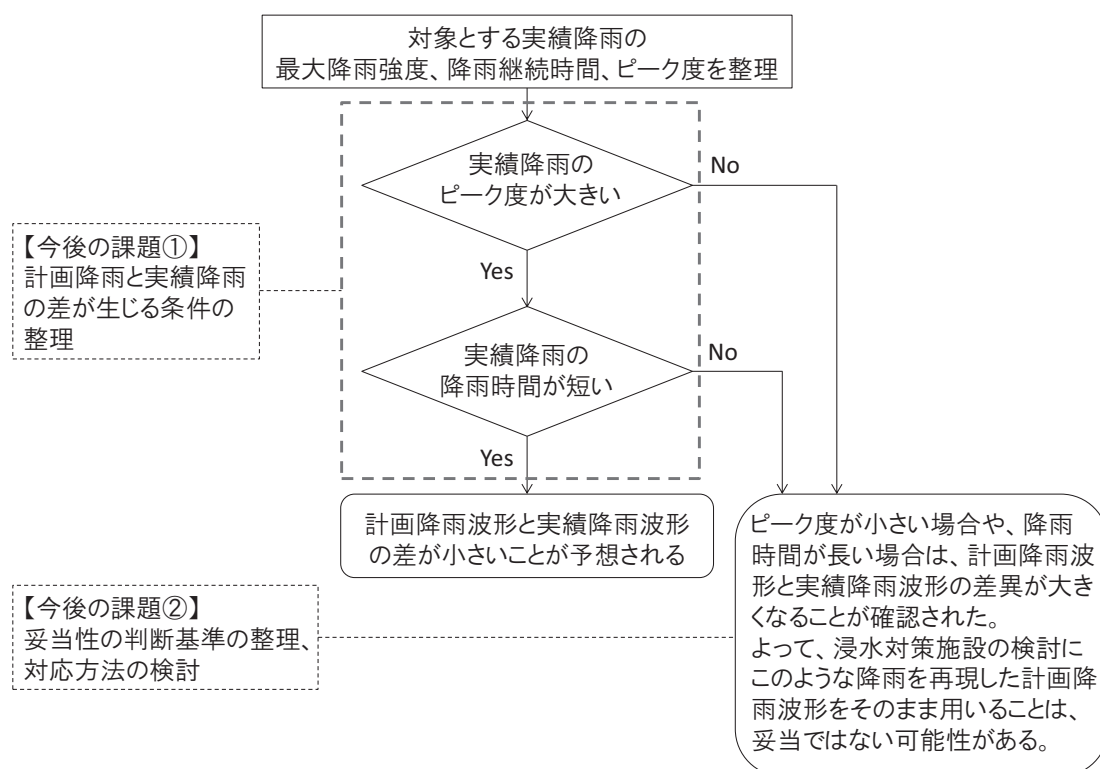
図-8 設定時間毎の降雨波形例 (③の降雨)

#### 4. 2 計画降雨波形の課題と対応の検討

今回対象とした、過去10年間に内水氾濫が生じた実績降雨の場合、実績降雨のピーク度が大きく設定時間が比較的短い範囲においては概ね計画降雨波形によって再現できているが、設定時間が長くなると計画降雨波形の総降雨量と実績降雨比率が120%を大きく越え、計画降雨波形が妥当でない可能性があること、さらにピーク度が小さい場合はその傾向が強いことを確認した。このことから、貯留施設など対策量の設定が必要な浸水対策施設の検討において、ピーク度が小さい実績降雨や降雨時間が長い実績降雨に対して最大降雨強度を同規模に合わせた計画降雨波形を用いる際には、計画降雨波形の取り扱いについて特に注意が必要になると言える。

これまで示したように、ピーク度に応じて設定時間毎の波形の再現性および総降雨量の妥当性が異なることが示唆されたため、今後は、まずピーク度と降雨要因、降雨継続時間、総降雨量等の関係を整理し、ピーク度に影響を与える要素を明確にして実績降雨を分類する必要があると考えられる。その上で、再度計画降雨波形と実績降雨波形の比較を実施し、どのような実績降雨の場合に計画降雨波形が無視できない差異を生じるかを明確にした後に、浸水対策施設を検討する際の対応方法を検討する必要がある。なお、計画降雨波形と実績降雨の差異による妥当性の判断基準については、実績降

雨と計画降雨波形の差異が流出状況へどのように影響するかを分析した上で、より詳細に設定することが望ましいと考えられる。



図－9 本研究で得られた知見と今後の課題

## 5. まとめ

平成 28 年度の研究では、浸水被害が発生した実績降雨を対象に、計画降雨波形と実績降雨波形を比較することでその差異について確認し、計画降雨波形の課題およびその対応について検討した。本研究で得られた成果及び知見は、下水道施設計画・設計指針の中で、雨水管理計画策定のための基礎情報として活用するとともに、今後、地方自治体において都市雨水対策を進める際の参考資料として活用されることが期待できる。

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本下水道協会 (2009) : 下水道施設計画・設計指針と解説 —2009 年版—
- 2) 横田敏宏、松浦達郎、中村裕美、麦田藍 (2017) : 2. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査、平成 27 年度下水道関係調査研究報告書集、No950、pp.7-12
- 3) 松浦達郎、横田敏宏 (2015) : 降雨特性を考慮した降雨強度式の試算と現計画が持つ能力の分析、第 52 回下水道研究発表会講演集、pp.398-340
- 4) 気象庁ホームページ : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>
- 5) 国土交通省河川計画課 : 水害統計調査 (平成 16～25 年)
- 6) 日本学術会議 (2011) : 河川流出モデル・基本高水の検証に関する学術的な評価、p.10