

2. 効率的な都市雨水対策推進に関する調査

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1時間降水量50mm以上の豪雨、さらには10分間程度の短時間に集中する豪雨が頻繁に発生するようになってきている。豪雨の発生頻度が高まる中、都市化の進展に伴う雨水の貯留浸透能力低下や、地下空間利用の発達に伴う浸水被害ポテンシャルの増大等が懸念されており、各都市は限られた財源の中で、効率的かつ効果的に都市雨水対策を進めていく必要がある。

平成25年度は、下水道以外の他事業との連携対策手法や内水ハザードマップ策定率向上のための課題と解決の方向性の整理、落葉等による排水能力低下を低減する改良型雨水枘蓋の排水性能の評価等を実施した。その結果、他事業との連携については、文献調査や自治体へのヒアリング等により収集した具体的な事例に基づき、効果的な連携対策とその課題、課題解決の方向性を整理した。内水ハザードマップ策定率向上については、過去のアンケート結果を基に、未策定理由を2つのカテゴリーに分類し策定促進のための方向性を整理した。さらに、改良型雨水枘蓋の排水性能については、現地実験を行い、従来型鋼製グレーチング蓋と改良型雨水枘蓋における、落葉混入時の枘内流入水量を比較し、改良型雨水枘蓋の排水能力の有効性について確認した。

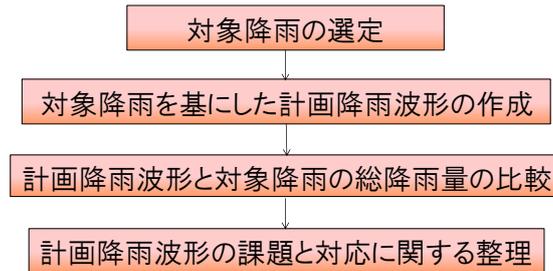
平成26年度は、近年指摘されている降雨状況の変化を踏まえ、気候や人口規模等が異なる複数の都市を対象として、降雨の発生要因別や近年までの降雨データを考慮して試算した降雨強度式と現在用いられている計画降雨強度式を比較・分析することにより、現計画の能力を把握し、現在の降雨に対する安全性について検討した。その結果、降雨の発生要因別に整理した降雨強度式や、近年までの降雨データを考慮して試算した降雨強度式が、現在用いられている計画降雨強度式を上回る事例が確認された。これは、現在の計画降雨強度式に基づいて計画を策定した場合、ある特定の要因による降雨の場合、あるいは計画策定時点と比較して現在の降雨状況が変化したことにより、想定よりも安全性が低くなる可能性を示唆していると考えられた。

平成27年度は、過去の調査結果を踏まえ、降雨状況の変化が指摘されている現状において、効率的な都市雨水対策を推進する上で整理が必要と考えられる、計画に用いる降雨波形の設定手法について、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. 調査方法

下水道事業における雨水対策施設の計画・設計を行う際に用いる降雨波形は、下水道施設計画・設計指針¹⁾(以下、「指針」とする)に示された手順に従い作成することが多い。これは、計画で用いる降雨強度式を基に流達時間毎の降雨強度から設定する方法であるため、必ずしも実際の降雨波形の再現を目指したものではない。したがって、指針に従い作成する降雨波形(以下、「計画降雨波形」とする)は実際の降雨波形と差異が生じていることが考えられ、特に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。

本研究では、各地で浸水対策として、計画・設計の際に計画降雨波形を用いて量の設定をする可能性のある貯留施設などの設置が検討されていることを踏まえ、まずは総降雨量に着目した計画降雨波形の課題と対応について図—1の手順に則り、調査した。



図－1 研究の手順

2. 1 対象降雨の選定

過去の研究²⁾で収集した29都市を対象に、過去10年間(2004～2013年)で浸水被害が生じた際の降雨データ(気象庁観測データ³⁾の10分間雨量)を収集した。さらに、収集した降雨のうち、同年の水害統計調査⁴⁾と過去の研究²⁾で実施されたアンケート調査で内水が原因と思われる降雨を対象とした。

なお、ひとまとまりの降雨の判定は、気象観測統計指針⁵⁾に基づき、24時間以上の無降雨時間を基準とした。

2. 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設計に用いられる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則り、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。具体的には、実績の降雨継続時間の中心を原点とし、ここに降雨のピークをとり、雨の降り始めからピークまでとピークから降り終わりまでの時間について、流達時間毎に降雨強度を決めるものであり¹⁾、本研究では、1時間間隔に降雨強度を整理し、降雨継続時間が実績と同値となる中央集中型の計画降雨波形を作成した。なお、各都市における降雨強度式は10分間降雨強度および60分間降雨強度を用いた特性係数法によって整理された降雨強度式を用いた。

2. 3 計画降雨波形と実績降雨波形の総降雨量の差

本研究では、計画降雨波形と実績降雨の総降雨量に着目して比較を行い、その差について分析した。差については、計画降雨波形の総降雨量から実績降雨の値を差し引いた総降雨量の差 ΔR を確認した。

$$\text{総降雨量の差 } \Delta R \text{ (mm)} = \text{計画降雨波形の総降雨量 (mm)} - \text{実績降雨 (波形) の総降雨量 (mm)}$$

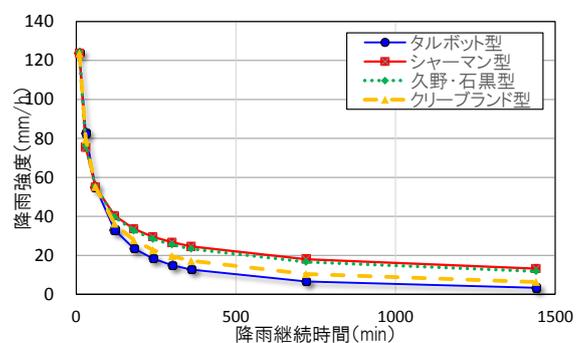
また、実績降雨、計画降雨波形の比較の際は、以下の点に着目し、降雨量に関する計画降雨波形の課題を整理した。

(1) 降雨強度式の式型に着目した比較

指針¹⁾では、降雨強度式の式型として図－2に示す4種類の式型が示されており、採用した式型により作成される計画降雨波形の形状が異なるため、各都市で採用する式型に着目して比較を行った。

(2) 降雨継続時間が24時間以内となる降雨に着目した比較

下水道では浸水対策に関する様々な計画や設計で計画降雨波形を用いることがあるが、貯留施設の計画・設計時に用いる降雨波形の降雨継続時間は24時間⁶⁾が標準とされていることから、今回の分析対象の降雨として、「浸水被害が発生した降雨のうち、「降雨継続時間が24時間以内となる降雨」に限定した場合の傾向についても確認した。



図－2 各式型の降雨強度曲線

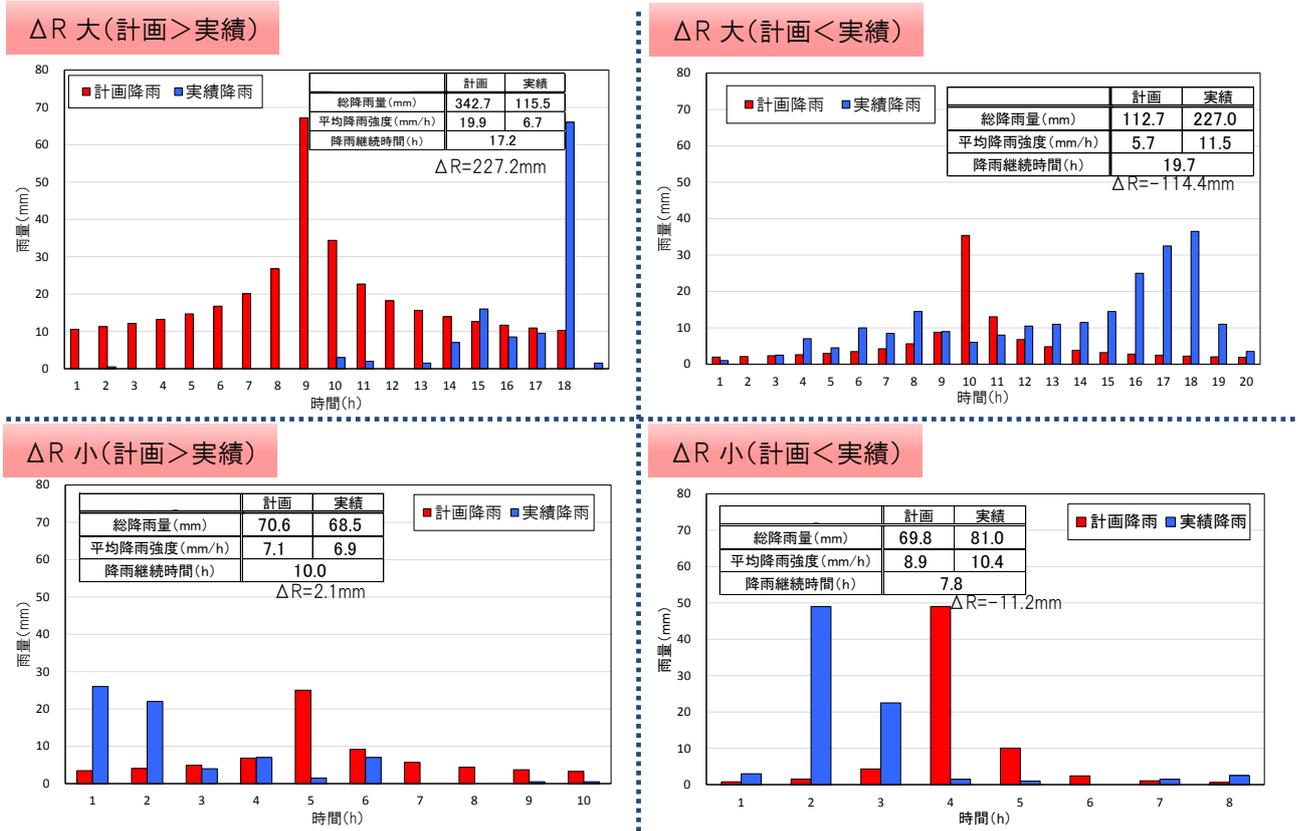
3. 研究成果

3.1 対象降雨の選定

分析の対象とする降雨は132降雨あった。そのうち、降雨継続時間24時間以内となる降雨は28降雨であった。

3.2 計画降雨波形と実績降雨波形の総降雨量の差

132降雨について、計画降雨波形を作成し、 ΔR について比較した結果の例を図—3に示す。



図—3 作成した計画降雨波形と実績降雨波形の比較例

浸水被害が発生した132降雨を対象に ΔR を算出した結果、計画降雨波形の総降雨量が実績降雨の総降雨量を下回る降雨($\Delta R < 0\text{mm}$)が93降雨確認された。(図—4)

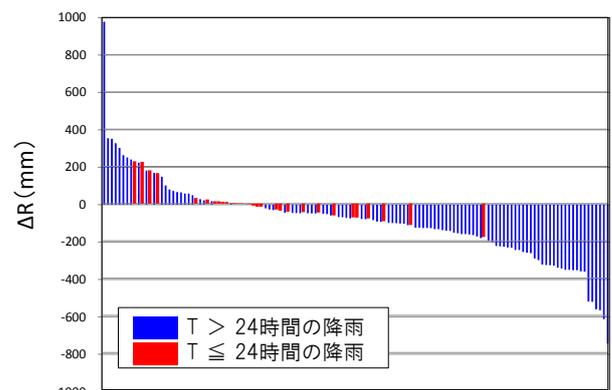
以下に、降雨強度式の式型および降雨継続時間に着目した分析結果を示す。

(1) 降雨強度式の式型に着目した比較

① 式型の特徴整理

任意の都市の10年確率の各降雨強度式を用いて降雨継続時間が24時間となるハイトグラフを作成し、タルボット型の総降雨量に対する各式型の比率について具体的に算出した。

結果、「タルボット型」の計画降雨波形は、他の式型と比べて総降雨量が小さくなることを確認した。一方、「シャーマン型」、「久野・石黒型」は他の式型と比べて特に総降雨量が大きくなり、「タルボット型」の算出値の約4倍となることが確認された。(図—5)



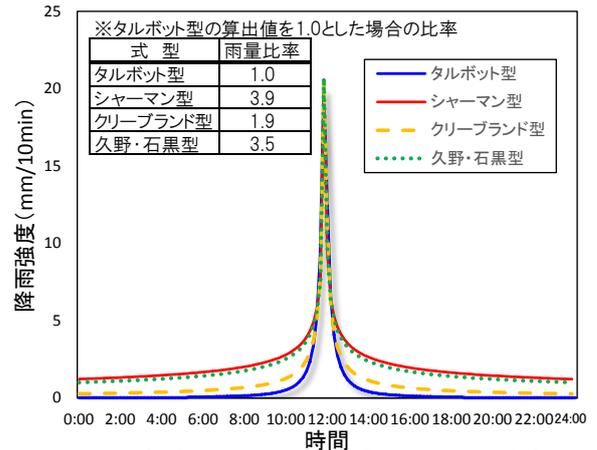
図—4 浸水被害が発生した降雨の ΔR

② 降雨波形の比較

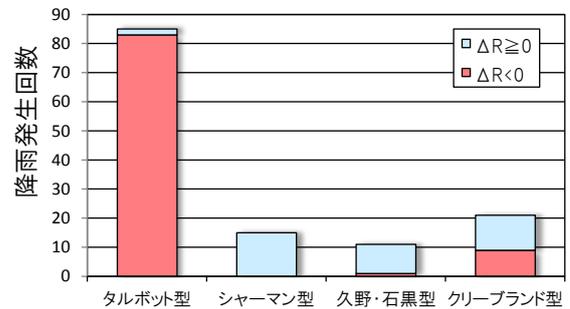
降雨強度式の式型にタルボット型を採用している都市の降雨は本研究対象の大半（132 降雨中 85 降雨）を占めている。総降雨量について計画降雨波形が実測を下回っている 93 降雨中、83 降雨がタルボット型の降雨強度式を採用していることを確認した。（図—6）タルボット型を採用している都市の実績降雨と計画降雨波形の総降雨量について散布図を作成し比較すると、98%の実績降雨が計画降雨波形を上回る傾向があることを確認しており、波形に関わらず計画降雨波形では過少に評価されていることが分かった。（図—7）

対して、シャーマン型、久野・石黒型、クリーブランド型を採用している都市については、70~100%の計画降雨波形が実績降雨の総降雨量を上回ることを確認しており（図—7）、総降雨量については安全側（ $\Delta R > 0$ ）に設定されていることが分かった。

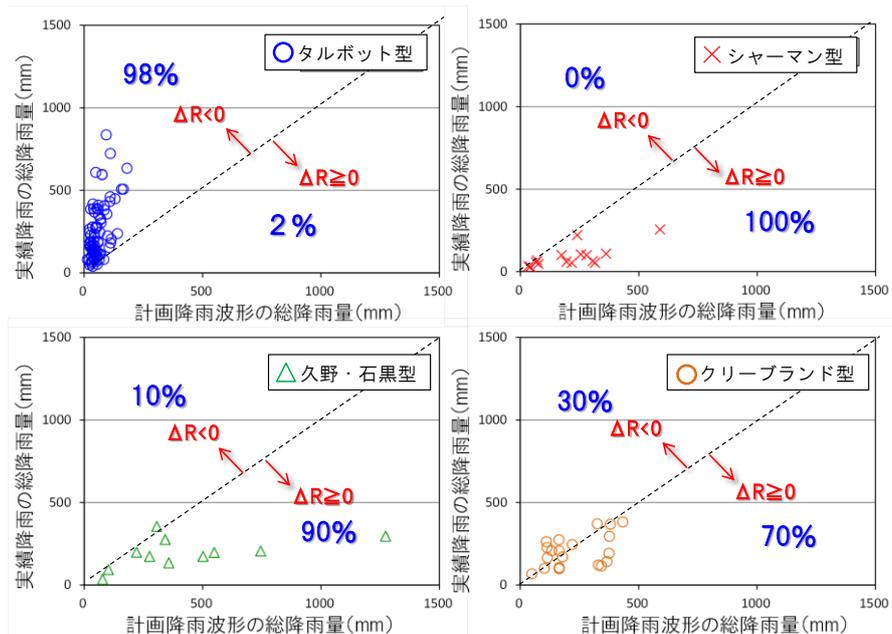
以上より、タルボット型の降雨強度式を用いて作成した計画降雨波形の総降雨量は、他の式型に比べて実績降雨を下回りやすい傾向にあることが確認された。計画降雨波形によって貯留施設を設計する場合、当該地区において観測された同程度のピーク降雨強度をもつ実績降雨と比較し、総降雨量の差を確認することが重要であり、総降雨量について差異が認められた場合は、両者の波形を確認する等、差の要因について確認し、計画降雨波形の妥当性を検討することが必要であると考えられた。



図—5 各式型のハイエトグラフの重ね合わせ



図—6 式型別に見た $\Delta R < 0$ となる降雨発生回数



図—7 実績降雨と計画降雨波形の総降雨量の関係

(2) 降雨継続時間が24時間以内となる降雨に着目した比較

浸水被害が発生した降雨のうち、降雨継続時間が24時間以内となる降雨について、 ΔR を確認した。結果、計画降雨波形が実績の総降雨量の値を下回る割合は、浸水被害のあった降雨全てを対象とした場合(70%)より低くなったが、半数を占めていた。(図-8)

$\Delta R < 0$ となる降雨の割合が減少した理由の一つとして、降雨継続時間が24時間を超える実績降雨には図-9に示す特徴を持つ降雨量の多い多峰性の降雨が多く含まれていることを確認した。

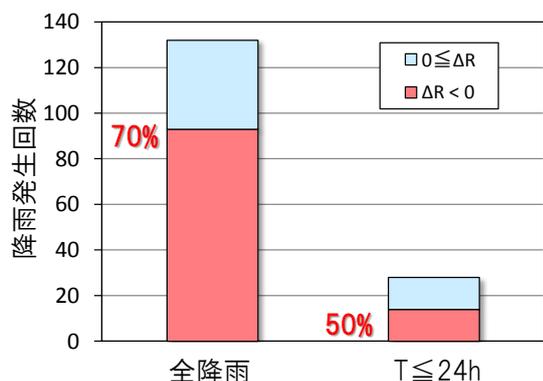


図-8 $\Delta R < 0$ となる降雨の割合

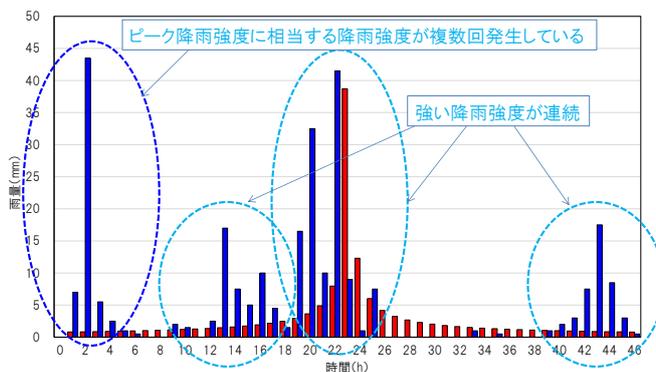


図-9 降雨継続時間が24時間以内の降雨に多く見られる特徴

また、降雨継続時間が24時間以内の降雨のうち、 $\Delta R < 0$ となる時の実績降雨の特徴を確認した結果、図-10に示す特徴により、ピーク降雨強度を除いた平均降雨強度が、計画降雨波形の値を上回る降雨であることが確認できた。

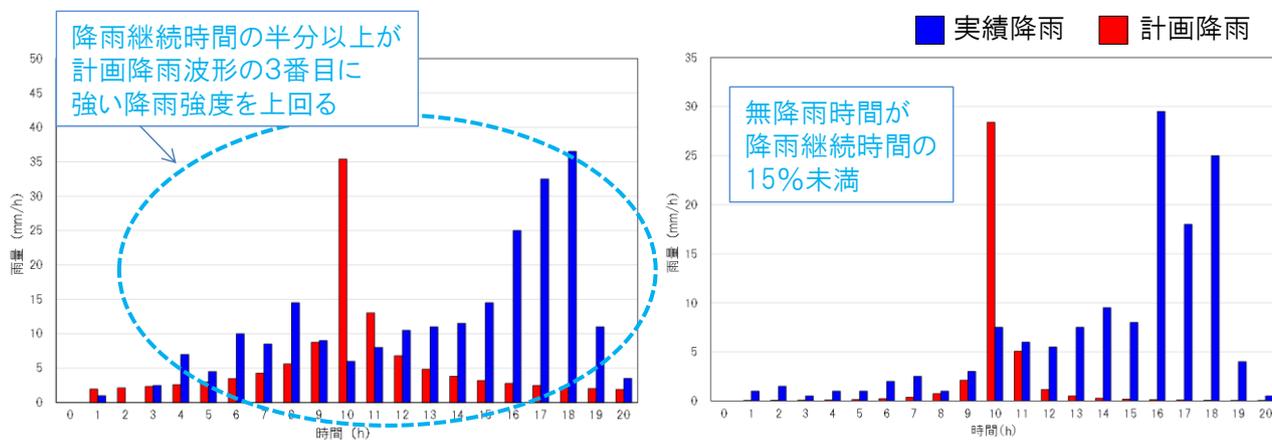


図-10 降雨継続時間が24時間以内で $\Delta R < 0$ となる降雨の特徴例

以上より、雨量と波形が流出特性に関与すると考えられる流出解析および浸水予測シミュレーションを計画降雨波形を用いて実施する際には、下水道で対象とする実績の降雨波形に着目し、雨量の配分を行い、降雨波形を調整することが望ましいと言えた。

(3) 計画降雨波形の課題と対応の検討

29 都市における過去 10 年間で浸水被害があった降雨を対象に、貯留施設の設計において重要となる総降雨量について計画降雨波形と実績降雨を比較した結果、計画降雨波形は実績を下回る場合が多いことが分かった。特に、降雨強度式にタルボット型を採用している場合は、降雨波形に関わらず雨量に関して危険側となる傾向があるため、貯留施設の容量検討をする際など、降雨継続時間が長時間となる計画降雨波形を用いる場合には、当該地区において観測された同程度のピーク降雨強度をもつ実績降雨と比較し、総降雨量の差を確認することが重要であると言えた。さらに、総降雨量について差異が認められた場合は、両者の波形を確認する等、差の要因について確認し、計画降雨波形の妥当性を検討することが必要である。

また、降雨継続時間が 24 時間未満の降雨であっても、計画降雨波形の総降雨量は実績を下回る場合があることを確認した。下回った実績降雨の特徴として、強い降雨強度が連続していること、無降雨時間が含まれていないことが挙げられた。よって、雨量と波形が流出特性に関与すると考えられる流出解析および浸水予測シミュレーションを計画降雨波形を用いて実施する際には、下水道で対象とする実績の降雨波形に着目し、雨量の配分を行い、降雨波形を調整することが望ましいと言えた。また、無降雨時間が含まれることによって、その分、実績降雨の総降雨量が低くなることから、下水道施設計画・設計の目的に応じて、ひとまとまりの降雨を抽出するために用いる無降雨期間の条件を整理し、抽出した実績降雨の特性を把握した上で、計画降雨波形を調整することが大切である。

4. まとめ

平成 27 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) 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、pp398-340
- 3) 気象庁ホームページ : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>
- 4) 国土交通省河川計画課 : 水害統計調査 (平成 16~25 年)
- 5) 気象庁 (2015) : 気象観測統計指針
- 6) 社団法人 日本下水道協会 (1984) : 下水道雨水調整池技術基準 (案) 解説と計算例
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部 (2016) : 下水道浸水被害軽減総合計画策定マニュアル (案)