

豪雨の強度増加に対する効果的な都市雨水対策手法の抽出

橋本 翼・小川文章

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の発生が頻繁に見られるようになってきている。気象庁では、1時間降水量50mm以上及び80mm以上の豪雨の1,000地点あたりの年間観測回数、統計期間1976～2012年で増加傾向が明瞭に現れていると報告している。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も懸念されており、効果的に都市雨水対策を進めていく必要がある。

各都市において対策が進められているところではあるが、長期的に見ると降雨特性が変化し、既存の対策のみでは5年確率や10年確率で発生する豪雨に対応できなくなる可能性がある。

本報では、将来的な豪雨の強度増加が既存の都市雨水対策に対してどのような影響を与えるのか、3地区でケーススタディを行った結果について紹介する。また、ケーススタディを踏まえて、多岐にわたる都市雨水対策手法から、降雨特性ごとに効果的な手法を抽出した結果についても示す。

2. 豪雨の強度増加が都市雨水対策に与える影響の評価

2.1 豪雨の強度増加傾向

豪雨の強度増加傾向について定量的に把握するため、気象庁の降雨データを整理・分析した。

- ① 毎年最大降雨強度の50年間のデータ（1960～2009年）を収集し、5年確率の10分・60分間降雨強度について、全国57気象台ごとに50年間の増加率を算出
- ② 57気象台の増加率を昇順に並べ、パーセンタイル値を整理（図-1）

5年確率の降雨強度とは、5年に1回の割合で発生する降雨強度を指し、ここではトーマスプロット

法²⁾を用いて算出した。増加率の50パーセンタイル値（中央値）は0.1となり、95パーセンタイル値は0.3～0.4となった。これより、5年確率の10分・60分間降雨強度は、全国平均的には50年間で1.1倍、大きいところでは1.3～1.4倍になったと示唆される。なお、10年確率の10分・60分間降雨強度についても、5年確率と同様の結果が得られた。

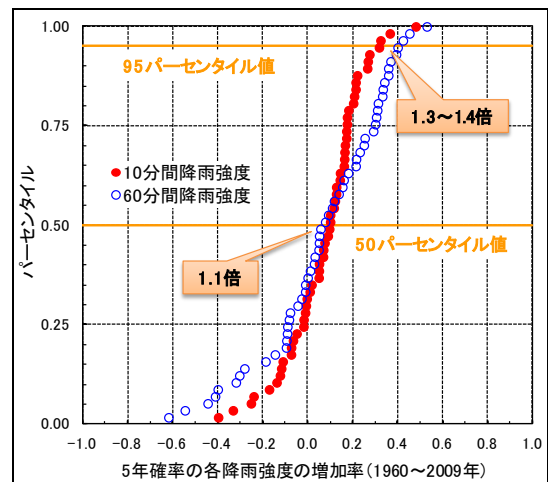


図-1 全国57気象台における10分・60分間降雨強度の増加率（5年確率）

2.2 ケーススタディの検討方法

前節の豪雨の強度増加傾向の分析結果を踏まえ、ケーススタディに用いる降雨シナリオを図-2のように設定した。具体的には、降雨シナリオAではピークの10分間降雨強度については1.3倍とし、ピーク前後の60分間降雨強度が1.0倍となるように設定した。降雨シナリオBでは、ピーク前後の60分間降雨強度については1.3倍とし、ピークの10分間降雨強度が1.0倍となるように設定した。降雨シナリオCではピーク10分間、ピーク前後の60分間の降雨強度共に1.3倍とした。ここでの降雨パターンは、降雨強度式の定数決定の際には10分雨量と60分雨量とからのみ降雨強度曲線式を決める特性係数法²⁾を用いた。なお、既往降雨強度は、各都市が下水道計画策定時に設定していた降雨強度とした。

Effective countermeasures against increase of heavy rainfall intensity

ケーススタディを実施する対象都市は3都市とし、それぞれの中心市街地を含む地区（X～Z地区）を選定した。対象都市については、集水面積や流出係数等の特性が異なる都市を選定している。

シミュレーションに用いる浸水解析ソフトウェアは、各都市が下水道計画策定時に使用していたソフトウェアに従い、X地区及びY地区についてはMOUSE³⁾、Z地区についてはInfoWorks³⁾とした。

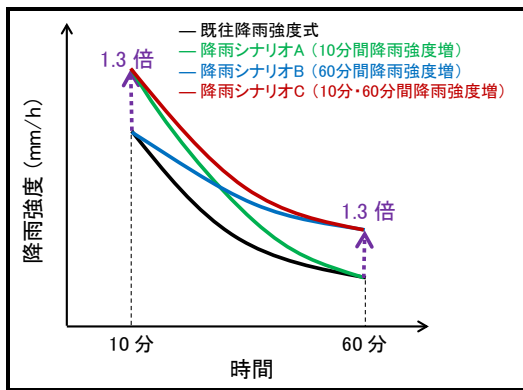


図-2 降雨シナリオ設定のイメージ

2.3 ケーススタディの結果

表-1に、地区別・シナリオ別に整理したケーススタディの結果を示す。浸水面積については、浸水深20cm以上（床下浸水相当以上）の箇所を評価対象としたが、参考値として、浸水深45cm以上（床上浸水相当以上）の算出結果も示す。

① 集水面積が比較的小さなY地区では、既存降

雨に対して10分間降雨強度を増加させた降雨シナリオA、降雨シナリオCにおいて浸水深20cm以上の浸水面積が増加した。降雨シナリオBに対しては、既存の対策のみでも浸水深20cm以上の浸水箇所は発生しなかった。

② 集水面積が比較的大きいX及びZ地区では、60分間降雨強度増の降雨シナリオB、降雨シナリオCでの浸水面積の増加が顕著であった。

③ いずれの地区においても、10分降雨強度と60分降雨強度を共に増加させた降雨シナリオCにおいては、浸水深20cm以上の浸水面積が既存降雨の時に対して増加した。

これらの結果より、降雨や都市の特性によって、必要な都市雨水対策が異なることがわかる。Y地区については上流の枝線部における排水不良が浸水原因であり、このような集水面積が小さな地区では短時間雨量における影響を考慮することが重要と考えられる。X及びZ地区については雨水幹線において流下能力を超えることが浸水原因であり、広範囲で排水能力のレベルアップを図ることが有効と考えられる。

2.4 各降雨シナリオの特徴と浸水原因

ケーススタディの結果を踏まえ、表-2に各降雨シナリオの特徴と、想定される主な浸水原因を整理した。主な浸水原因として、降雨シナリオAでは枝線の排水能力不足、降雨シナリオBでは幹線の排水能力不足、降雨シナリオCでは排水域全体の排水能力不足が想定される。

表-1 ケーススタディの結果

地区名		X地区	Y地区	Z地区
集水面積		約3,350 ha	約62 ha	約1,900 ha
流出係数		約0.45	約0.60	約0.82
シミュレーション対象60分間既往降雨強度		34.3 mm/hr	50.0 mm/hr	53.4 mm/hr
シミュレーション対象10分間既往降雨強度		87.1 mm/hr	109.5 mm/hr	114.6 mm/hr
既存降雨に対する浸水深20cm以上 (床下浸水相当以上)の浸水増加面積率	降雨シナリオA	0.7%	6%	0.4%
	降雨シナリオB	7%	—	7%
	降雨シナリオC	9%	6%	4%
【参考】既存降雨に対する浸水深45cm以上 (床上浸水相当以上)の浸水増加面積率	降雨シナリオA	—	3%	—
	降雨シナリオB	2%	—	2%
	降雨シナリオC	5%	4%	1%

※浸水増加面積率 = {(当該シナリオによる浸水面積) - (既存降雨による浸水面積)} / (集水面積)

表-2 降雨シナリオの特徴と浸水原因

特徴	対象降雨	降雨シナリオ		
		降雨シナリオA	降雨シナリオB	降雨シナリオC
	計画超過降雨の特性	10分間降雨強度 60分間降雨強度	計画超過 計画内	計画内 計画超過
想定される降雨		● 降雨継続時間は短い ● 10分降雨強度が強い ● 総降雨量は少ない ● 降雨区域は局所的	● 降雨継続時間は長い ● 60分降雨強度が強い ● 総降雨量は多い ● 降雨区域は広域的	● 降雨継続時間は長い ● 10分・60分降雨強度が強い ● 総降雨量は多い ● 降雨区域は広域的
主な浸水原因		局所的な短時間集中豪雨	これまでの下水道整備水準を越える豪雨(台風など)	既往最大降雨など、これまでの下水道整備水準を大きく越える集中豪雨
		枝線の排水能力不足	幹線の排水能力不足	排水域全体の排水能力不足

表-3 都市雨水対策手法の定性的評価

区分		対策手法		効果発現性			実現可能性					
				降雨シナリオ			A	B	C	A	B	C
				降雨強度			10分増	60分増	10分60分増	10分増	60分増	10分60分増
ハード対策手法	公助	流出抑制型施設	雨水貯留施設	雨水調整池	I	I	I	イ	イ	イ		
				貯留管	I	I	I	イ	イ	イ		
			雨水浸透施設	浸透ます	I	I	I	ハ	ハ	ハ		
				浸透トレンチ	I	I	I	ハ	ハ	ハ		
				浸透側溝	I	I	I	ハ	ハ	ハ		
				透水性舗装	I	I	I	ハ	ハ	ハ		
		施設の有効活用	大規模幹線の	I	I	I	ロ	ロ	ロ			
			取水施設の早期整備	I	-	I	ロ	-	ロ			
			大規模幹線のネットワーク化	-	I	I	-	イ	イ			
			小規模管路における対応/相互接続	I	-	I	イ	-	イ			
			合流改善施設等の活用/合流改善用貯留施設の浸水対策利用	I	I	I	ロ	ロ	ロ			
		流下型施設	管路施設	増補管	I	I	I	イ	イ	イ		
				バイパス管	I	I	I	イ	イ	イ		
			ポンプ施設	ポンプ場の新設及び増設	-	I	I	-	イ	イ		
	高性能ポンプの導入			-	I	I	-	イ	イ			
	局地排水用小規模ポンプの設置	I	-	I	イ	-	イ					
	効率的・効果的な施設の構築	雨量計、水位計、光ファイバー網等の設置による情報収集体制の構築		II	II	II	イ	イ	イ			
		リアルタイムコントロールを利用したゲート、堰等の運転管理システムの構築		-	I	I	-	ロ	ロ			
	非常時に備えた防災機能の確保	可搬式ポンプ・移動ポンプ車の活用		I	I	I	イ	イ	イ			
		ポンプ施設の耐水化		-	I	I	-	イ	イ			
	その他の連携施策	道路雨水ます蓋のグレーチング蓋への取替え		I	-	I	イ	-	イ			
		道路雨水ますの増設及び道路横断・縦断側溝の設置		I	-	I	イ	-	イ			
		緑地・農用地による流出抑制		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
	自助	地下施設等の止水板の設置・耐水化		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
		浸水時の土のう設置		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
		地下(半地下)式駐車場の対応策		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
		各戸の貯留・浸透施設の設置		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
		建物の耐水化		I	I	I	ハ	ハ	ハ			
地下室等の建築時の配慮		I	I	I	ハ	ハ	ハ					
雨期前の重点的管路清掃、ポンプ場の点検作業		I	I	I	イ	イ	イ					
ソフト対策手法	維持管理・体制	危機管理体制、事前準備体制、下水道施設被災状況調査体制の構築		II	II	II	イ	イ	イ			
		光ファイバーネットワークの活用による浸水情報の収集・提供及び処理・制御等		II	II	II	ハ	ハ	ハ			
	情報収集・提供	降雨時・被災時・被災後	降雨・水位情報を利用した施設の効率的運用		-	II	II	-	ロ	ロ		
			降雨情報、幹線水位情報の提供		II	II	II	イ	イ	イ		
			住民等からの浸水情報の収集と提供		II	II	II	ハ	ハ	ハ		
			下水道雨水排水整備状況図の作成・公表		II	II	II	イ	イ	イ		
		平常時・防災	内水ハザードマップの作成・公表		II	II	II	イ	イ	イ		
			過去の浸水履歴の表示		II	II	II	イ	イ	イ		
			浸水に関する防災手引き・リーフレットの作成・配布		II	II	II	イ	イ	イ		
			建築上の配慮に対する普及啓発		II	II	II	イ	イ	イ		
			住民の理解を深めるための取り組み(でまへ授業・見学会・戸別訪問等)		II	II	II	イ	イ	イ		
			住民に判りやすい対策効果の設定と公表		II	II	II	イ	イ	イ		
	自助対策の支援	止水板及び土のうの配布、各戸貯留・浸透施設の設置に対する支援制度		II	II	II	ハ	ハ	ハ			
		法律等による各戸貯留・浸透施設の設置促進を目的とした施策		II	II	II	ハ	ハ	ハ			
土地利用規制等による浸水に強いまちづくり		II	II	II	ハ	ハ	ハ					
他の事業主体との連携	低地における住宅のかさ上げの義務付けを目的とした施策		II	II	II	ハ	ハ	ハ				
	雨水ポンプの運転調整		-	II	II	-	ハ	ハ				
	被災時支援		-	II	II	-	ハ	ハ				
	道路雨水ますの清掃		I	-	I	ハ	-	ハ				
	土のう積み・体験訓練		II	II	II	ハ	ハ	ハ				
	避難所、避難経路等の確認、自主避難訓練		II	II	II	ハ	ハ	ハ				
自助	高齢者等災害時要援護者の支援		-	II	II	-	ハ	ハ				
	非常時持ち出し品の確保		-	II	II	-	ハ	ハ				
	災害ボランティアとの連携		-	II	II	-	ハ	ハ				
			-	II	II	-	ハ	ハ				

【対策の効果発現性の分類】

- I: 直接的効果
- II: 間接的効果(運用状況等により間接的に効果が期待できる手法)

【対策の実現可能性の分類】

- イ: 比較的早期に実施可能な手法
- ロ: 比較的早期に実施可能だが、関連施設が建設されていることが条件となる手法
- ハ: 実施に時間を要する手法(例えば、他部署や住民の協力・制度整備に時間を要する場合)

【効果的な対策】

- 降雨シナリオA・B・Cに効果的(効果発現性I、実現可能性イ)な手法
- 降雨シナリオA・Cに効果的(効果発現性I、実現可能性イ)な手法
- 降雨シナリオB・Cに効果的(効果発現性I、実現可能性イ)な手法
- : 大きな効果が期待できない

表-4 各降雨シナリオに対する効果的な手法

効果的な手法	
各降雨シナリオ共通 (10分及び60分間降雨強度の増加に効果的な手法)	降雨シナリオA・B・C:効果発現性I、実現可能性イ(表-3) ・雨水調整池 ・貯留管 ・増補管 ・バイパス管 ・可搬式ポンプ・移動ポンプ車の活用 ・雨期前の重点的管路清掃、ポンプ場の点検作業 【手法の特徴】 ■主にピークカットや排水能力アップ
降雨シナリオA・C (特に10分間降雨強度の増加に効果的な手法)	降雨シナリオA・C:効果発現性I、実現可能性イ(表-3) ・小規模管路における対応/相互接続 ・局地排水用小規模ポンプの設置 ・道路雨水ます蓋のグレーチング蓋への取替え ・道路雨水ますの増設及び道路横断・縦断側溝の設置 【手法の特徴】 ■局所的な短時間集中豪雨に対しては流達時間の短い上流域などが主な対象地区 ■広域的、もしくは大規模施設(幹線水位の低下等を目的とした手法)は効果的な施設運用が困難
降雨シナリオB・C (特に60分間降雨強度の増加に効果的な手法)	降雨シナリオB・C:効果発現性I、実現可能性イ(表-3) ・大規模幹線のネットワーク化 ・ポンプ場の新設及び増設 ・高性能ポンプの導入 ・ポンプ施設の耐水化 【手法の特徴】 ■幹線の流下能力アップ

3. 各降雨シナリオに対する効果的な都市雨水対策手法の抽出

3.1 都市雨水対策手法の定性的評価

「下水道総合浸水対策計画策定マニュアル」⁴⁾に掲載されている都市雨水対策手法を中心に、各手法の特徴を踏まえ、表-2の降雨シナリオごとに、効果発現性や実現可能性を定性的に評価した。ここでは、流出抑制型施設や流下型施設等のハード対策のみならず、降雨情報の活用や内水ハザードマップの作成等のソフト対策も対象とした。なお、降雨シナリオAに対する評価については、「局所的な豪雨による被害の軽減対策に関する調査研究((一財)日本下水道新技術機構)」⁵⁾を参考にした。表-3に、各降雨シナリオについて都市雨水対策手法を定性的評価の結果を整理した。表-3の凡例に、評価指標とした「効果発現性」と「実現可能性」の定義を示す。

3.2 各降雨シナリオに対する効果的な手法

各降雨シナリオに対して効果的な都市雨水対策手法について整理するため、表-3の「効果発現性」と「実現可能性」の双方で高い評価がされている手法を抽出し、その特徴を表-4に示した。なお、ここでは、流出抑制型施設における貯留容量や浸透能力、流下型施設における流下能力等の効果については考慮していない。

4. おわりに

本報では、将来的な豪雨の強度増加が都市雨水対策に与える影響を試算するとともに、豪雨の強

度増加に対する対策として、多岐にわたる都市雨水対策手法の効果発現性や実現可能性を評価し、各降雨シナリオに対する効果的な手法を示した。

この成果は、今後、地方自治体において、将来的な豪雨の強度増加に対して、都市雨水対策計画を策定・変更する際の都市雨水対策手法を選定する際の検討材料等として活用ができるものと考えている。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>
- 2) 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 - 2009年度 - ((公社)日本下水道協会)
- 3) 流出解析モデル利活用マニュアル(案) ((一財)日本下水道新技術機構)
- 4) 下水道総合浸水対策計画策定マニュアル(案) (平成18年3月、国土交通省下水道部)
- 5) (一財)日本下水道新技術機構ホームページ：<http://www.jiwet.or.jp/result/annual/pdf/2010/plan/01/2010a1-1-1m.pdf>

橋本 翼



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室 研究官
Tsubasa HASHIMOTO

小川文章



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室長
Fumiaki OGAWA