

特集：気候変動適応研究本部における5年間の取組み

豪雨強度増加時における効果的な都市浸水対策

松浦達郎・小川文章・橋本 翼

1. はじめに

近年、日本各地において時間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。気象庁においても、統計期間1976～2012年でその増加傾向が明瞭に現れていると報告している¹⁾。各都市において浸水被害を防ぐための対策が進められているところではあるが、長期的に見ると気候変動等により降雨特性が変化し、既存の浸水対策のみでは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考えられる。したがって、既存の浸水対策施設を活用しつつ、豪雨強度増加時に対応できる効果的な都市浸水対策の考え方が必要である。

前報²⁾では、まず、過去50年間（1960～2009年）の降雨情報を用いて中長期的な豪雨の発生傾向の変化を検討し、全国的には50年後の5年・10年確率の10分・60分間降雨強度が、現在より最大で1.3～1.4倍程度に増加する可能性があるとして推測された。これを踏まえて3地区を対象に浸水シミュレーションを実施し、将来的な豪雨の増加が既存の浸水対策に与える影響を評価したところ、表-1の通り、浸水深20cm以上の面積が4～9%増加すると予測されるケースが見られた。また、広域的に雨水排除能力が不足している場合や、枝線の排水能力が原因で局所的に浸水が生じている場合等、各地区の浸水要因に応じた対策が必要にな

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(ha)	約3,350	約62	約1,900
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(mm/h)	34.3	50.0	53.4
シミュレーション対象 10分間既往降雨強度(mm/h)	87.1	109.5	114.6
既存降雨に対する 浸水深20cm以上の 浸水増加面積率	シナリオA 0.7%	シナリオB 6%	シナリオC 0.4%
	シナリオB 7%	シナリオC —	シナリオC 7%
	シナリオC 9%	シナリオC 6%	シナリオC 4%

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

Effective inundation countermeasures against increase of heavy rainfall intensity

ることが示唆された。

本報では、前報で得られた結果を基に、仮想排水区を用いた流出シミュレーションにより、豪雨強度増加時に対応できる効果的な都市浸水対策について検討した結果を示す。

2. 仮想排水区を用いたシミュレーション

2.1 仮想排水区と降雨シナリオの設定

既存対策施設（流下管+ポンプ施設）が設置された排水面積が異なる2つの仮想排水区を設定した（図-1）。ここで排水区Ⅰは幹線レベルを、排水区Ⅱは枝線レベルの排水区を想定している。

降雨シナリオは、東京都における事例³⁾を参考に設定した基準降雨強度（10分間降雨強度：124.5mm/h、60分間降雨強度：59.0mm/h）に対して、10分間降雨強度を30%増加させた降雨をシナリオA、60分間降雨強度を30%増加させた降雨をシナリオB、10分・60分間降雨強度を30%増加させた降雨をシナリオCとした（図-2）。ここでの降雨パターンは、あくまでも仮想的な降雨であるため、降雨強度式の定数決定の際には10分雨量と60分雨量から降雨強度曲線式を決める特性係数法⁴⁾を用いた。

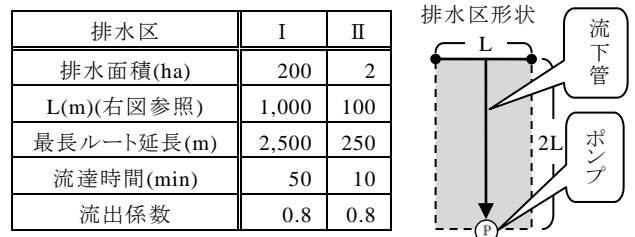


図-1 仮想排水区の設定

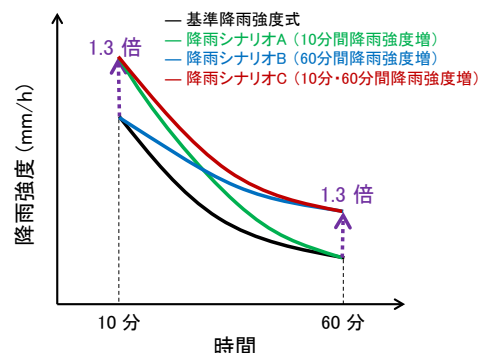


図-2 降雨シナリオ設定のイメージ

2.2 浸水対策必要量と浸水対策施設の設定

各排水区において必要な対策量を設定するために、各シナリオの雨水流出量をタイムエリア法⁴⁾により算出し、各排水区の既存施設による排水能力（以下、許容放流量）を超過する雨水流出量を浸水対策必要量（以下、必要量）として設定した。

表-2 浸水対策必要量

項目	排水区Ⅰ	排水区Ⅱ
排水面積 (ha) ①	200	2
到達時間 (分)	50	10
浸水対策必要量 (m ³) ②	シナリオA 10分間雨量増	9,538
	シナリオB 60分間雨量増	29,740
	シナリオC 10分・60分間雨量増	30,803
1ha当り対策量 (m ³ /ha) ③=②/①	シナリオA 10分間雨量増	48
	シナリオB 60分間雨量増	149
	シナリオC 10分・60分間雨量増	154
ピーク流量 (m ³ /s) ④	シナリオA 10分間雨量増	29
	シナリオB 60分間雨量増	36
	シナリオC 10分・60分間雨量増	37
許容放流量 (m ³ /s) ⑤	シナリオA 10分間雨量増	24
	シナリオB 60分間雨量増	24
	シナリオC 10分・60分間雨量増	24

浸水対策施設は、排水施設（流下管+ポンプ施設）、雨水貯留管、雨水浸透施設を対象とした。なお、ここでの排水区はポンプ排水区を想定し、流下管の最下流端にはポンプ施設を設置する。対策施設の設置は、まず雨水浸透施設による対策を優先し、浸透施設による対策が必要量に満たない場合、不足分を排水施設及び雨水貯留管により対応する設定とした。また、雨水浸透施設の平均浸透強度は自治体の事例を参考に対象区域全域に浸透施設を設置した場合、6.0mm/hと設定した。

仮想排水区域内における対策施設の配置イメージを図-3に示す。浸透施設は、表-3に示す設置面積相当となるよう、排水区全域に均等に配置する。

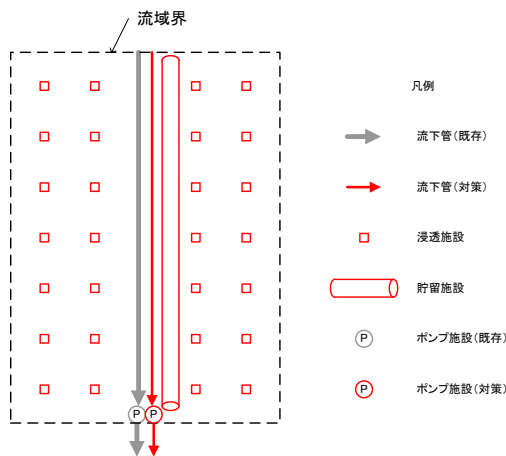


図-3 浸水対策施設配置イメージ

流下管は、排水区を排水面積が等しくなるように、また、管きよ延長が全体の延長 L_R に対して最上流ブロックで $2L_R/5$ 、その他のブロックで

$L_R/5$ となるように4つのブロックに分割した上で、各ブロック下流端における対策量を算出し、必要量に応じた管径（ブロック内では管径一定）を設定した。排水施設の設定イメージを図-4に示す。

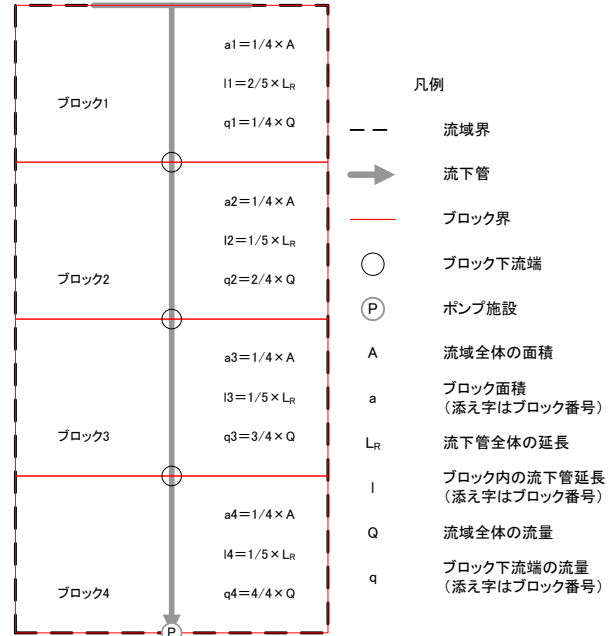


図-4 排水施設（流下管+ポンプ施設）設置イメージ

2.3 検討ケース

2.1で設定した仮想排水区（2ケース）・降雨シナリオ（3ケース）と表-3のシナリオ（4×5ケース）を組み合わせた全120ケースとした。

表-3 検討ケース

シナリオ	内容
浸透施設の設置	浸透施設の設置面積割合75%
	浸透施設の設置面積割合50%
	浸透施設の設置面積割合25%
	浸透施設の設置面積割合0%
貯留管及び流下管の設置	貯留管負担率100%、流下管負担率0%
	貯留管負担率75%、流下管負担率25%
	貯留管負担率50%、流下管負担率50%
	貯留管負担率25%、流下管負担率75%
	貯留管負担率0%、流下管負担率100%

2.4 整備効率性の評価

表-3の各ケースの検討結果について、以下に基づき整備効率性の評価を行った。

- ①対策量の算出：2.2の考え方にに基づきシナリオ毎に各対策施設で負担する対策量を算出した。
- ②整備費用の算出：対策量に既往文献や自治体事例を参考に設定した整備単価を乗じて、対策施設の整備費用を算出した。

③整備期間の算出：対策量と既往文献や自治体事例を参考に設定した整備速度を基に、対策施設の整備期間を算出した。

④総合評価：各整備費用と整備期間について、指標の数値化を行った。具体的には、整備費用は対策量 1m^3 あたり費用を指標値とし、整備期間は対策完了までに要する年数を指標値とした。これらの指標は単位が異なるため、降雨シナリオ・排水区毎に次式で点数の基準化を行った。

1- (指標値) / (表-3の20ケースのうち最も劣る指標値)

整備費用と整備期間の基準化された点数の和を基準化点数と定義し、それを比較することで評価を行った。基準化点数の値が大きいほど、整備効率性が高い評価となる。

3. 豪雨の強度増加対策手法の評価

評価事例として、図-5に排水区Ⅰで浸透施設の設置面積割合が25%の場合の評価結果を示す。ポンプ施設の整備費用が比較的高額なこともあり、本ケースでは貯留管負担率100%の整備効率性が最も高い評価となった。また最も低い評価となったのは貯留管負担率75%の場合だが、これはポンプ施設における 1m^3 あたり費用が、対策量が少ないほど高くなるためである。さらに、シナリオAでは貯留管負担率100%が突出して高いが、シナリオB・Cでは貯留管負担率100%と0%の差が比較的小さくなった。これは、シナリオB・Cでは必要量が多く、貯留管による負担率を100%で整備すると、かなり大規模な施設が必要となること、ポンプ施設における 1m^3 あたり費用は対策量が大きくなるほど低下することから、整備費用に関して排水施設（流下管+ポンプ施設）との差が小さくなったためと考えられる。これらの傾向は、排水区Ⅰの他のシナリオにおいても同様だった。

また詳細は割愛するが、排水面積が小さい排水区Ⅱでは、全てのケースにおいて、貯留管負担率100%の点数が他の場合より高くなった。これは、排水区Ⅰと比べ必要量が少ない排水区Ⅱでは、ポンプ施設の対策量 1m^3 あたり費用が他の施設と比べ非常に高額となり、その結果ポンプ施設による整備費用が大きくなるためである。したがって、排水面積が小さい地区での対策は、貯留管によるピークカットが有効と考えられる。

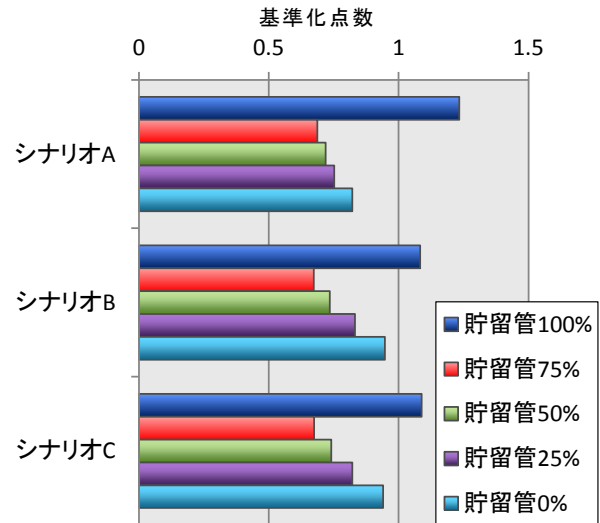


図-5 評価結果の例 (排水区Ⅰ、浸透施設の設置割合25%の場合)

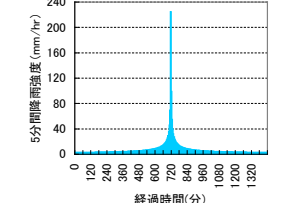
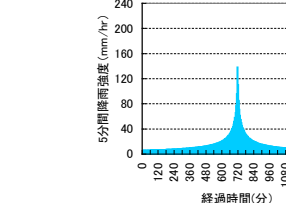
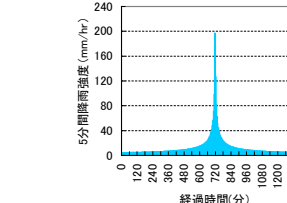
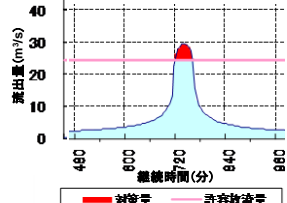
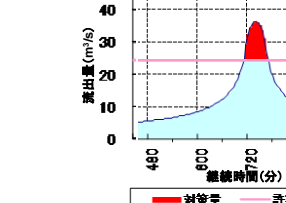
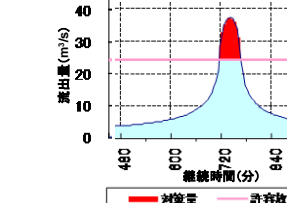
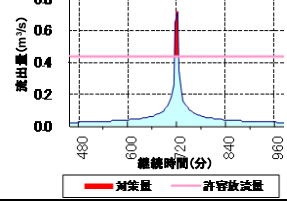
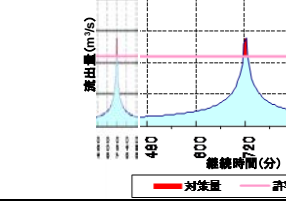
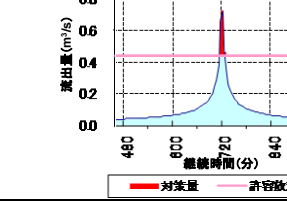
検討結果のまとめを表-4に示す。排水区ⅠではシナリオAの場合、対策量が少ないため、ピークカット型の貯留施設による対策で十分であるのに対して、シナリオB・Cは対策量が多く、大規模な貯留施設だけでなく、排水施設やベースカット型の浸透施設を組み合わせることが効果的な場合もあると考えられる。排水区Ⅱでは、いずれの降雨シナリオに対しても許容放流量を超える流出の継続時間が短いこともあり、ピークカット型の貯留施設が効果的と評価された。

これらの結果より、枝線レベルの排水区域や短時間豪雨に対してはピークカット型の貯留施設が有効であるとともに、幹線レベルの排水区域で長時間続く豪雨に対しては、排水施設、貯留施設等を効果的に組み合わせ、面的に排水能力を向上させることによる排水区域全体のレベルアップを図ることが重要と考えられる。

4. おわりに

上記結果より、降雨や排水区特性によって有効な浸水対策が異なることが確認できた。したがって、効果的な浸水対策のためには、対象とする都市の降雨や浸水特性を把握することが重要であり、XRAINによる降雨の時空間分布情報や下水管内の水位情報を継続的に計測・蓄積するとともに、現在の浸水対策能力について適切に評価することが必要である。今後はこれらを踏まえた都市浸水対策計画策定手法について、検討を進める予定である。

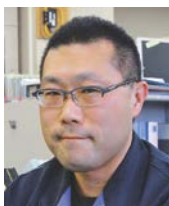
表-4 降雨シナリオ及び排水区の特徴を踏まえた効果的な浸水対策

	降雨シナリオA (10分間降雨強度増)	降雨シナリオB (60分間降雨強度増)	降雨シナリオC (10分・60分間降雨強度増)
ハイトグラフの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ■ 降雨継続時間が短い ■ 10分降雨強度が強い ■ 総降雨量が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 降雨継続時間が長い ■ 60分降雨強度が強い ■ 総降雨量が多い 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 降雨継続時間が長い ■ 10分・60分降雨強度が強い ■ 総降雨量が多い 
排水区Ⅰ(幹線排水域レベル)	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が長い ■ ピーク流出量が少ない ■ 総流出量が少ない 	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が長い ■ ピーク流出量が多い ■ 総流出量が多い 	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が長い ■ ピーク流出量が多い ■ 総流出量が多い 
効果的な対策	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管) ■ 排水能力アップ(流下管+ポンプ、大規模幹線のネットワーク化など) ■ 貯留施設との組合せで浸透施設もある程度効果的 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管) ■ 排水能力アップ(流下管+ポンプ、大規模幹線のネットワーク化など) ■ 貯留施設との組合せで浸透施設もある程度効果的
排水区Ⅱ(枝線排水域レベル)	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が短い ■ ピーク流出量が多い ■ 総流出量が少ない 	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が短い ■ ピーク流出量が少ない ■ 総流出量が少ない 	<p>対策量の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 継続時間が短い ■ ピーク流出量が多い ■ 総流出量が少ない 
効果的な対策	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ピークカット型の貯留施設(雨水調整池、貯留管)

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) 橋本翼、小川文章：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、土木技術資料、第56巻、第3号、pp14～17、2014
- 3) 東京都総合治水対策協議会：東京都雨水貯留・浸透施設技術指針－資料編－、2009年
- 4) 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)

松浦達郎



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 主任研究官
Tatsuro MATSUURA

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

橋本 翼



国土交通省水管理・国土保全局下水道部流域管理官付調整係長(前 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