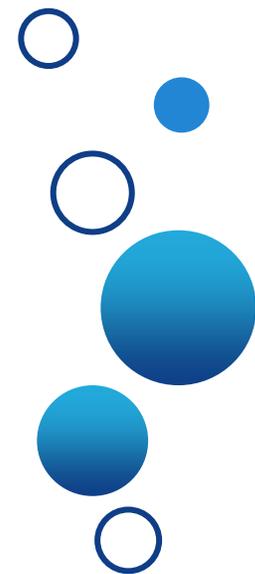


グリーンインフラによる 雨水流出抑制効果の 流出解析を用いた定量評価



株式会社 東京設計事務所
TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

東京支社プランニンググループ 松岡 英和



1. 背景と目的

2. 対象区域

3. 検討方法

- 検討手順
- ポテンシャルマップの作成
- グリーンインフラのモデル化
- 浸水シミュレーション

4. 結果と考察

- 対策効果の定量評価結果
- 気候変動を踏まえた雨水管理総合計画への反映

5. 考察とまとめ



1. 背景と目的

- ✓ 降雨量100mm以上の降雨日、時間雨量50mm以上の降雨が年々増加

➡ あらゆる関係者が協働した「流域治水」：
氾濫の減少、被害対象の減少、被害の軽減と早期復旧、
の3つのテーマに対し、ハード対策とソフト対策を一体として取り組む

- ✓ 近年、下水道分野では、ハード対策の1つの手法として“グリーンインフラ”の導入が求められている
- ✓ 都市域において計画的な導入を促進するためには、その浸水対策効果を明確化することが必要

➡ グリーンインフラの雨水流出抑制効果を定量的に評価



2. 対象区域

- ✓ 対象区域は合流式のポンプ排水区で平坦な地形（約150 ha）
- ✓ 現在の雨水整備水準は47mm/h
- ✓ 将来の気候変動を前提とすると、雨水整備目標は52mm/h相当



3. 検討方法 -- 検討手順

1. ポテンシャルマップの作成

- グリーンインフラの整備が期待できる施設を抽出

2. モデル化

- 抽出した施設をInfoWorks ICMを用いてモデル化
- パラメータは、持続可能な都市排水システム（SUDS）を参考に設定

3. 浸水シミュレーションの実施

- 気候変動を考慮した計画降雨と既往最大降雨の2降雨を対象
- グリーンインフラ導入前後の浸水シミュレーションを実施

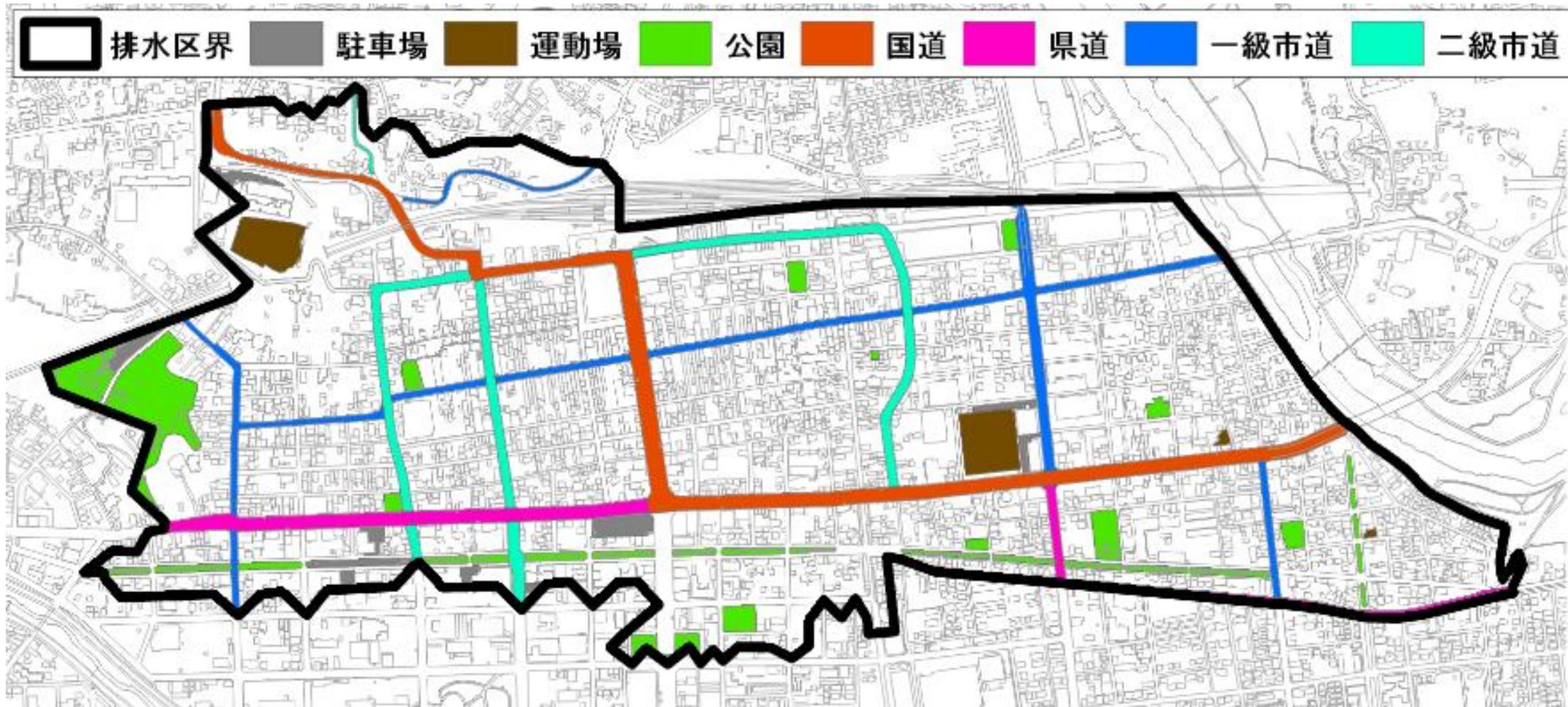
4. 雨水流出抑制効果の定量評価

- グリーンインフラ導入前後の雨水流出量を降雨強度に換算して比較



3. 検討方法 -- ポテンシャルマップの作成

- ✓ グリーンインフラとしてのポテンシャルを有する施設として、公園・緑地、道路、運動場、駐車場を抽出



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

<SUDSの概念>

- ✓ 持続可能な都市排水システム（SUDS）は、浸透などの自然の排水を模倣することで、可能な限り発生源に近いところで地表水流出を管理する自然なアプローチ
- ✓ アメリカ合衆国環境保護庁が公開している流出解析プログラム（EPA SWMM：Storm Water Management Model）では、低影響開発（LID：Low Impact Development）として取り組まれているグリーンインフラ施設のうち、雨水管理に係る「持続可能な都市排水システム（SUDS：Sustainable Urban Drainage Systems）」として、以下の8つのコントロールタイプがある
- ✓ アメリカ環境保護局 EPA SWMM 持続型都市排水システム
 - Bio-Retention Cell：バイオリテンションセル
 - Rain Garden：レインガーデン（雨庭）
 - Green Roof：グリーンルーフ（屋上緑化）
 - Infiltration Trench：浸透トレンチ
 - Permeable Pavement：透水性舗装
 - Rain Barrel：レインバレル
 - Rooftop Disconnection：ルーフトップディスプレイコネクション
 - Vegetative Swale：植生のある湿地帯（浸透緑地）



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

Bio-Retention Cell バイオリテンションセル	Rain Garden レインガーデン（雨庭）	Green Roof グリーンルーフ（屋上緑化）	Infiltration Trench 浸透トレンチ
<ul style="list-style-type: none"> • 砕石貯留層の上に配置された人工土壌混合物で成長した植生を含む窪地。 • 直接降雨と周辺地域から取り込まれた流出の両方の貯留，浸透，蒸発散に寄与。 • 一般的な例は，ストリートプランター，バイオスウェール（生物低湿地）等。 	<ul style="list-style-type: none"> • レインガーデンは，下部に砕石貯留層がなく，土壌層だけで構成される。 • バイオリテンションセルの一種。 	<ul style="list-style-type: none"> • グリーンルーフは，合成排水マット材料または粗骨材の薄層の上に土壌層があり，屋根から土壌層を經由して排水する。 • バイオリテンションセルの一種。 	<ul style="list-style-type: none"> • 浸透トレンチは，上流の不浸透域からの流出を受ける，砕石で満たされた狭い溝。 • 取り込まれた雨水が下部の土壌層に浸透するまでの貯留容量と時間遅れを確保。
			



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

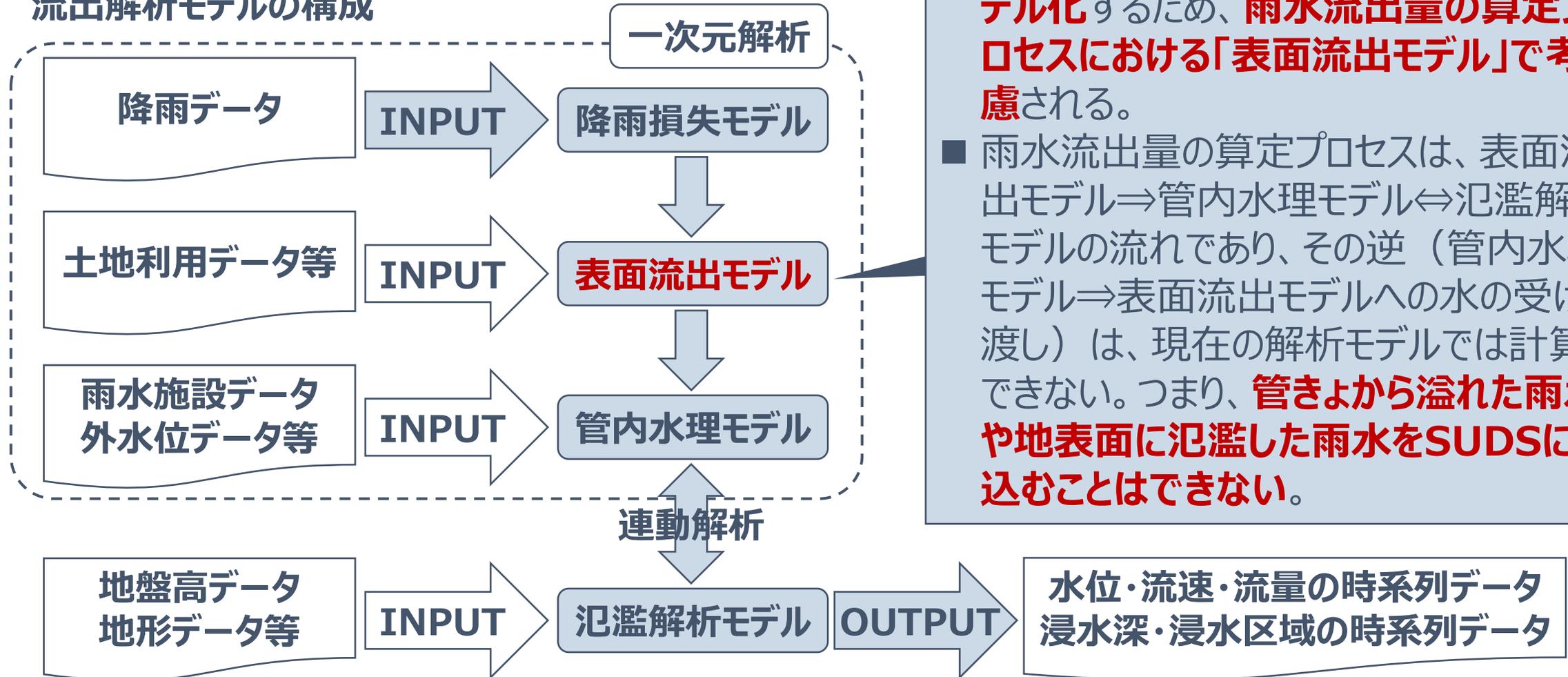
Permeable Pavement 透水性舗装	Rain Barrel レインバレル (貯水槽)	Rooftop Disconnection ルーフトップ ディスコネクション	Vegetative Swale 植生のある湿地帯 (浸透緑地)
<ul style="list-style-type: none"> • 砕石貯留層の上にあるポーラスコンクリートまたはアスファルト混合物で舗装された道路または駐車場。 • 降雨は舗装を通過して砕石貯留層に入り，下部の現地盤（土壌）に浸透。 	<ul style="list-style-type: none"> • レインバレルは，強雨の際に，屋根の雨水を集水し，降雨終了後に排水または再利用できる貯水槽。 	<ul style="list-style-type: none"> • 雨どいの排水を，雨水管ではなく，庭等の造園エリアや芝生に接続する。 • 浸透域にオーバーフローする排水口を備えた屋根をモデル化することも可能。 	<ul style="list-style-type: none"> • 斜面が草や植生で覆われた水路または窪地。 • 集水した雨水の流出を遅らせ，土壌への浸透時間を多く確保する。
			



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

<モデル化の方法>

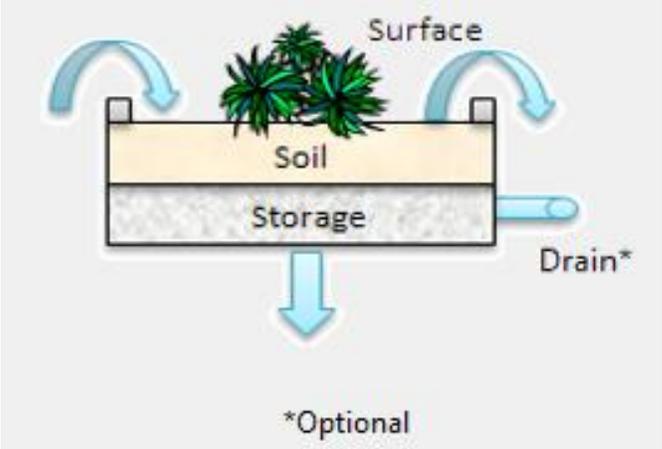
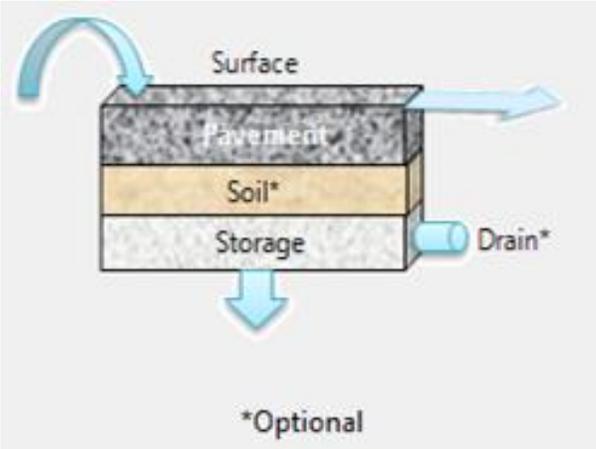
流出解析モデルの構成



- **SUDSは下位集水域の一部としてモデル化**するため、**雨水流出量の算定プロセスにおける「表面流出モデル」で考慮**される。
- 雨水流出量の算定プロセスは、表面流出モデル⇒管内水理モデル⇔氾濫解析モデルの流れであり、その逆（管内水理モデル⇒表面流出モデルへの水の受け渡し）は、現在の解析モデルでは計算できない。つまり、**管きよから溢れた雨水や地表面に氾濫した雨水をSUDSに取り込むことはできない。**

3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

<採用したSUDSコントロールタイプ>

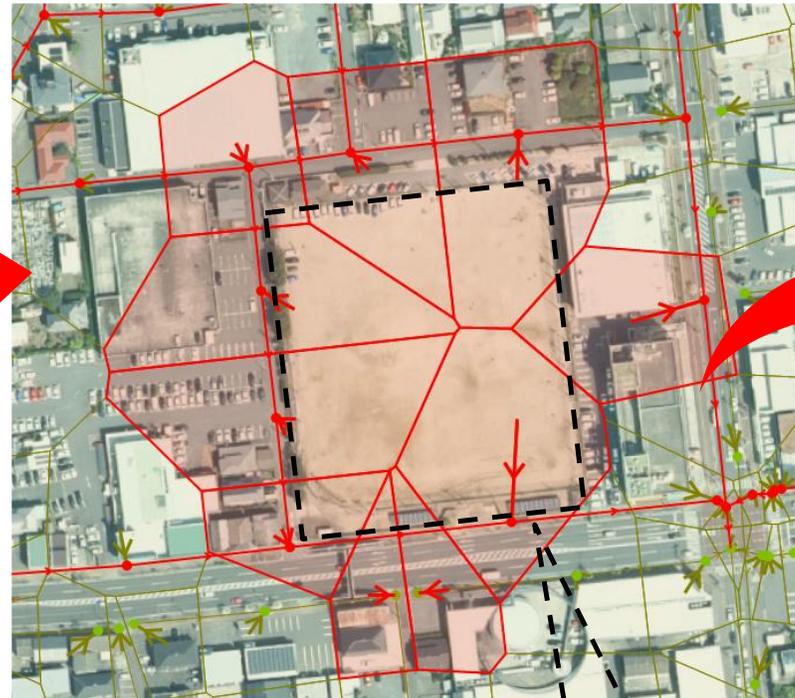
対象施設	適用するコントロールタイプ	概念図
<ul style="list-style-type: none"> ・ 公園 ・ 運動場 ・ 校庭・園庭 ・ 道路（植栽帯） 	<p style="text-align: center;">Bio-Retention Cell バイオリテンションセル</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路（歩道部） ・ 駐車場 	<p style="text-align: center;">Permeable Pavement 透水性舗装</p>	



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

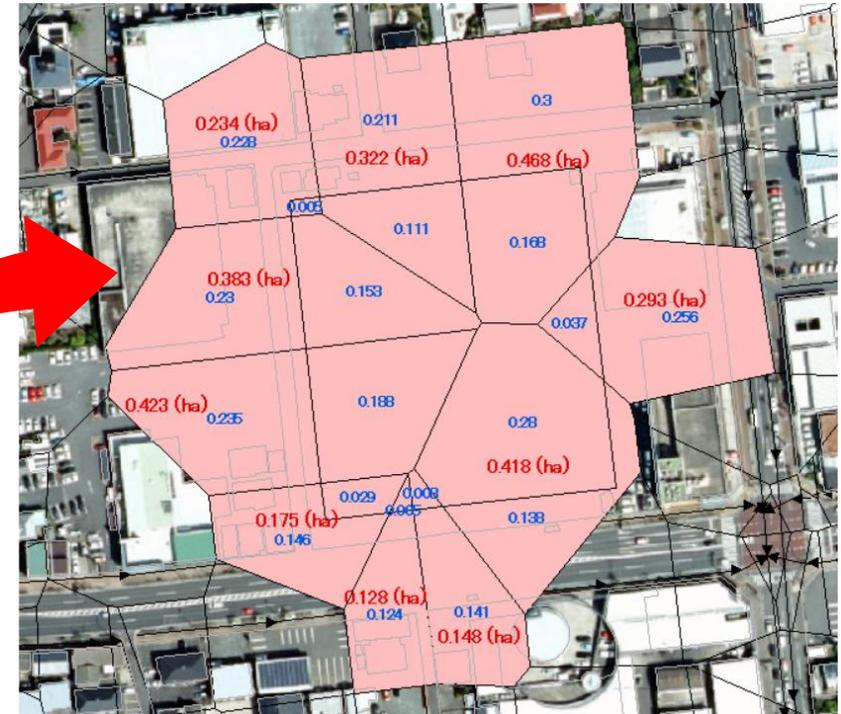


運動場付近の区画割 (Parcel Division near Sports Ground)



この範囲が運動場 (This range is the sports ground)

各区画について運動場とそれ以外の面積を分けて整理 (Organize area by parcel, separating sports ground and other areas)

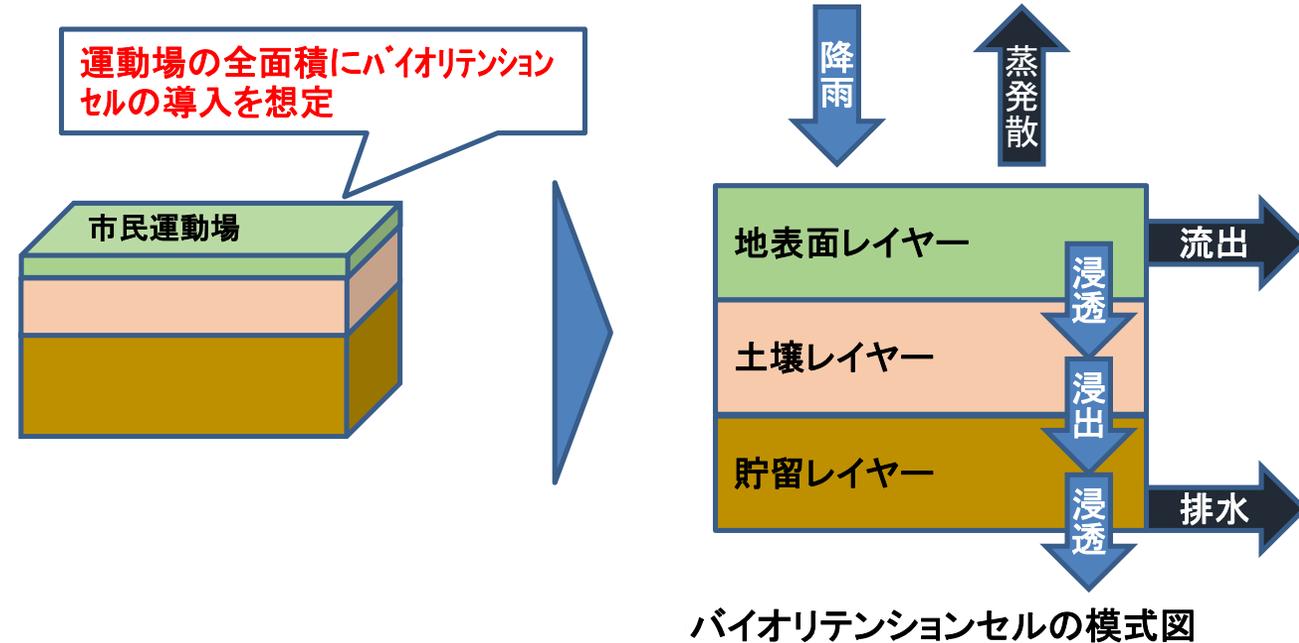


- 運動場部分はSUDSに流入し、それ以外は従来どおり接続先Nodeに流入することを想定
- 運動場部分は地下部に砕石貯留層の設置を想定し、バイオリテンションセルを利用



3. 検討方法 -- グリーンインフラのモデル化

レイヤー	パラメータ	設定値	備考
地表面	バーム高(mm)	10	地表面の貯留高さ(想定)
	植生の体積割合	0	運動場につき植生なしとする
	地表面粗度(マニングN)	0.025	農地 0.020 と 林地 0.030 の中間値とした
	地表勾配(m/m)	0	地表勾配は見込まない
土壌	土壌分類	Sand	運動場につき、砂を想定
	土壌厚(mm)	150	想定値
	土壌空隙率	0.437	デフォルト値
	ほ場容水量	0.062	デフォルト値
	しおれ点	0.024	デフォルト値
	透水係数(mm/h)	120.396 × 0.9	デフォルト値に目詰まり影響係数0.9を考慮
	透水係数の減少係数	48	砂層のデフォルト値
吸込水頭(mm)	49.022	デフォルト値	

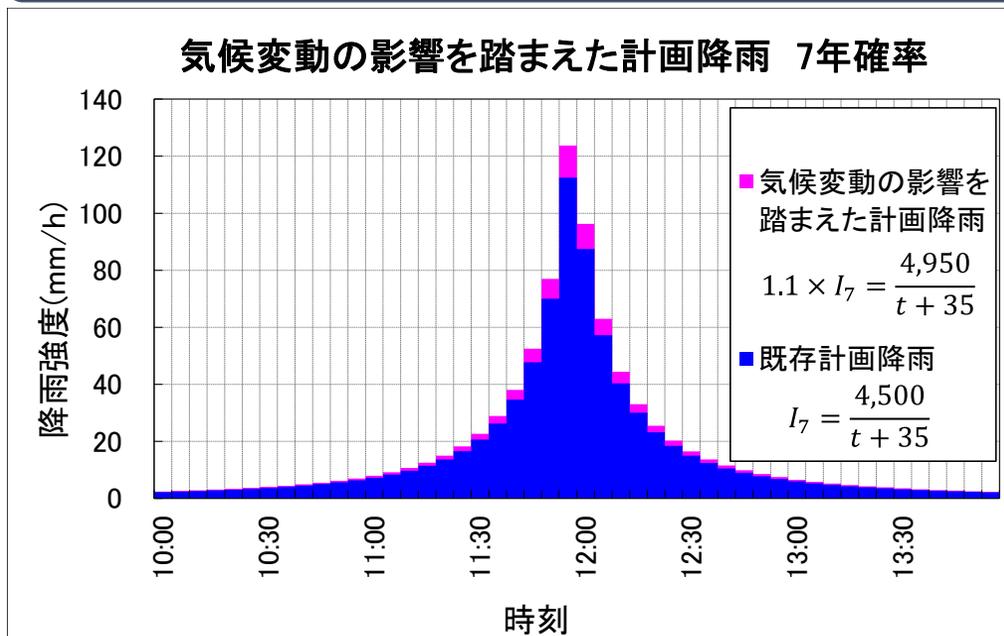


レイヤー	パラメータ	設定値	備考
貯留	貯留層厚(mm)	1350	掘削深 1.5m を想定, 土壌厚 0.15m より, 1.35m
	貯留層間隙比	0.429	貯留層間隙比 = 空隙率 / (1 - 空隙率)
	透水係数(mm/hr)	120.396 × 0.81	貯留レイヤーの下に砂層を想定(砂の透水係数) デフォルト値に地下水影響による補正係数0.9 × 目詰まり影響係数0.9 = 0.81 を考慮

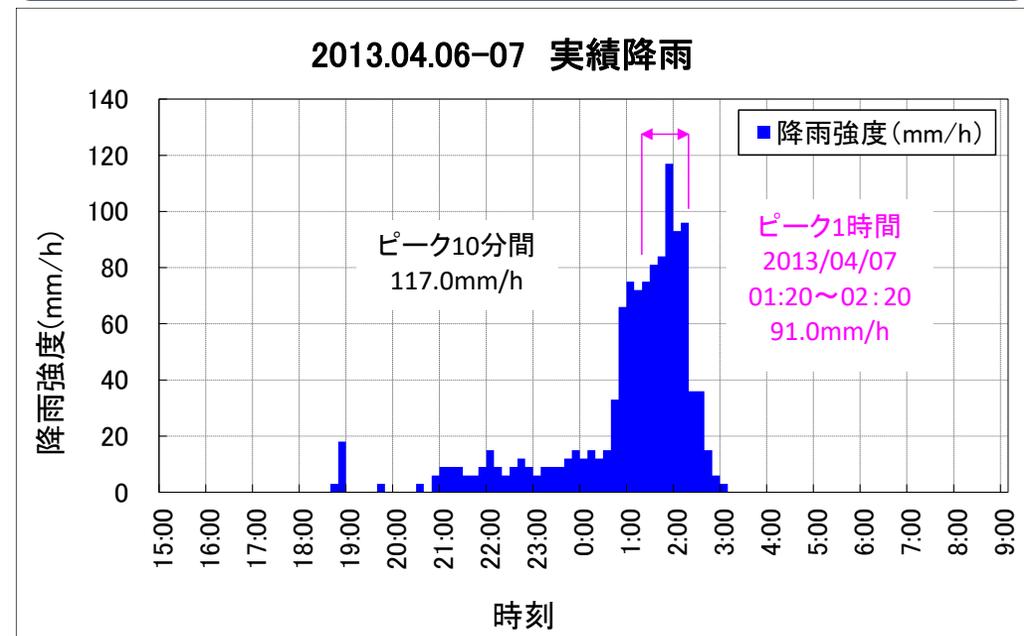
3. 検討方法 -- 浸水シミュレーション

- ✓ グリーンインフラ整備前後の浸水シミュレーションを実施
- ✓ 気候変動を考慮した計画降雨 ($R_1=52\text{mm/h}$) と既往最大降雨 ($R_2=91\text{mm/h}$)
- ✓ 排水区面積Aは148.06haで、うちグリーンインフラは13.3ha (排水区面積の約9%)
- ✓ 流出係数Cは全域で70%

計画降雨=52.1 (mm/h)

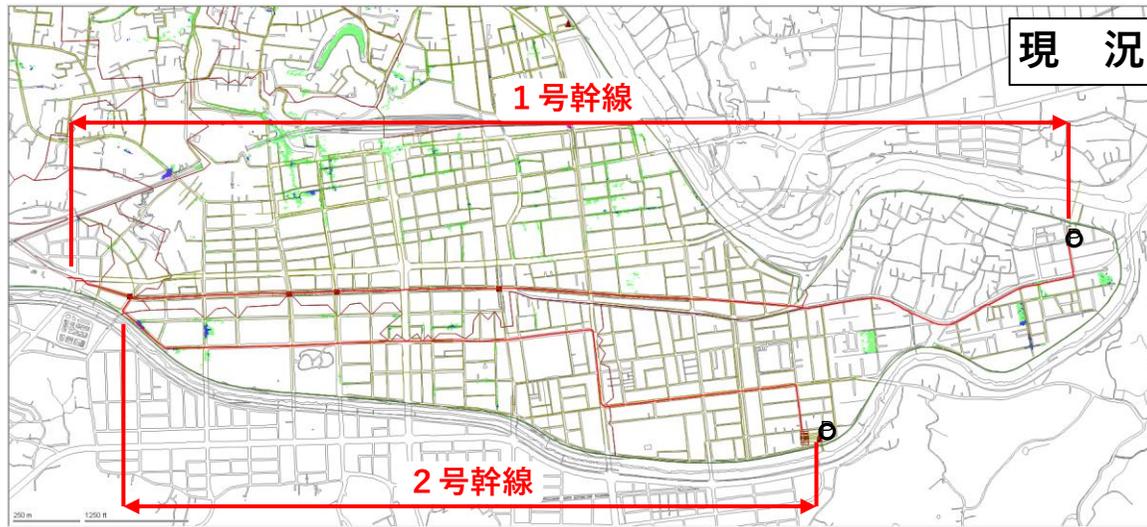


既往最大 = 91.0mm/h

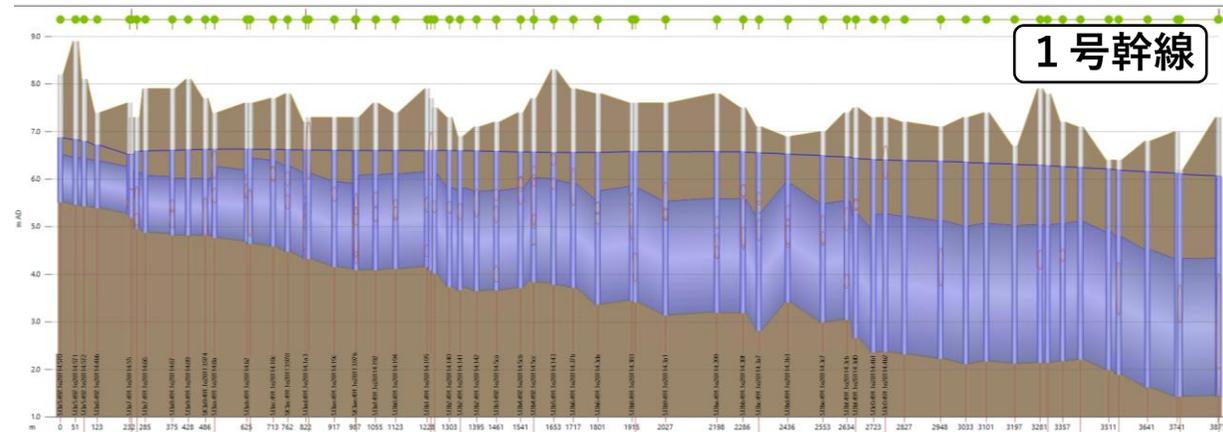


3. 検討方法 -- 浸水シミュレーション

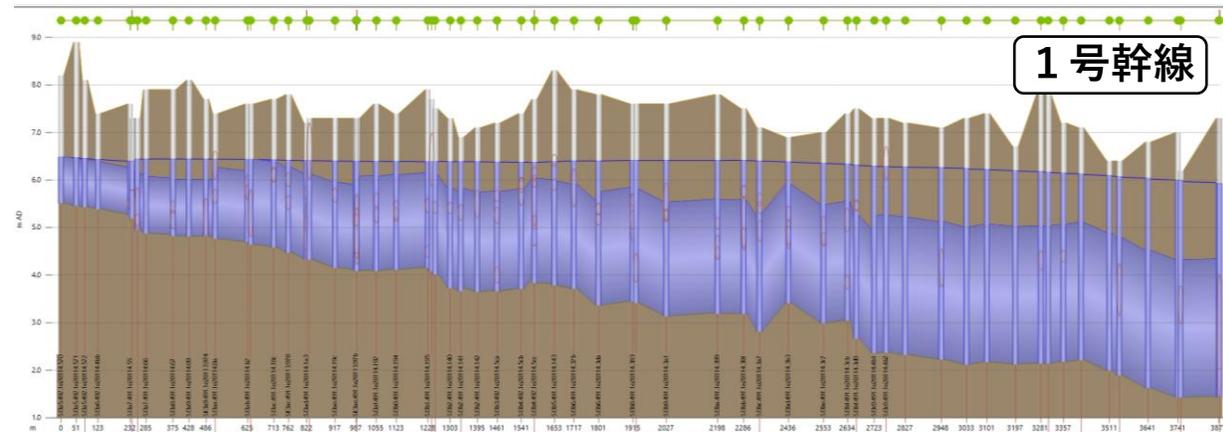
■ 気候変動を考慮した計画降雨 ($R_1=52\text{mm/h}$)



グリーンインフラ導入前



グリーンインフラ導入後

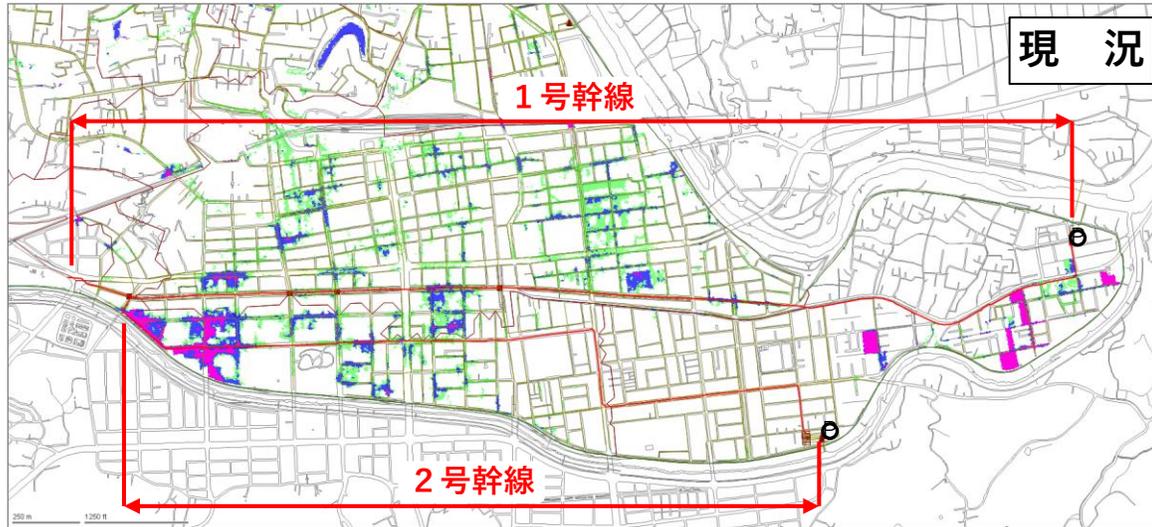


	導入後の変化
1号幹線の水位	0.11~0.38 m程度低下
2号幹線の水位	0.08~0.20 m程度低下
浸水面積	約3.2 ha 減少 (約21.5ha→約18.3ha)
自由水面の管きよ	約1,500 m 増加

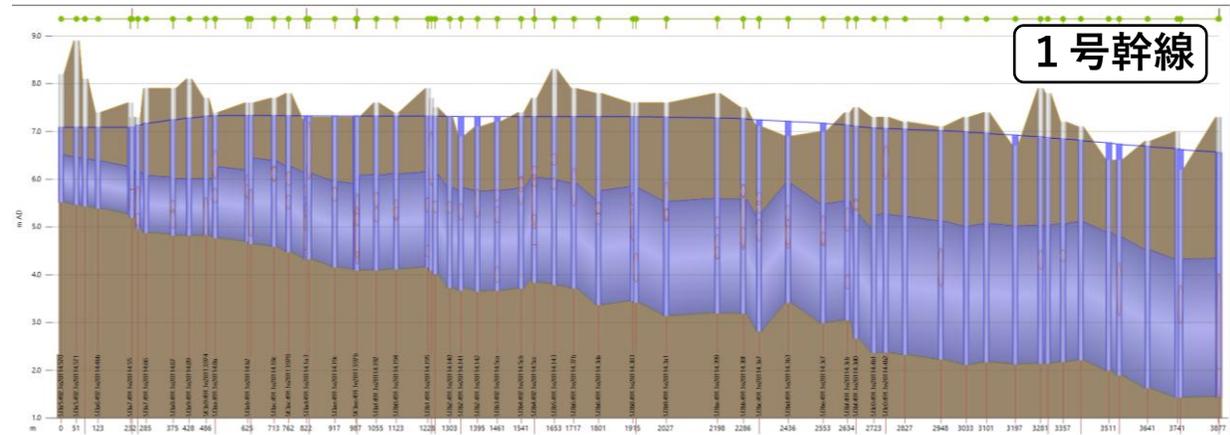


3. 検討方法 -- 浸水シミュレーション

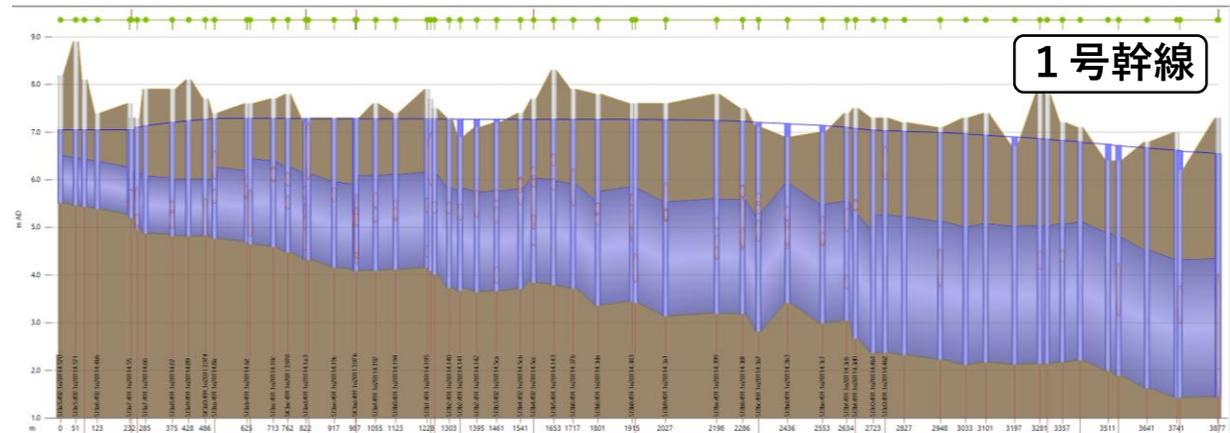
■ 既往最大降雨 ($R_2=91\text{mm/h}$)



グリーンインフラ導入前



グリーンインフラ導入後

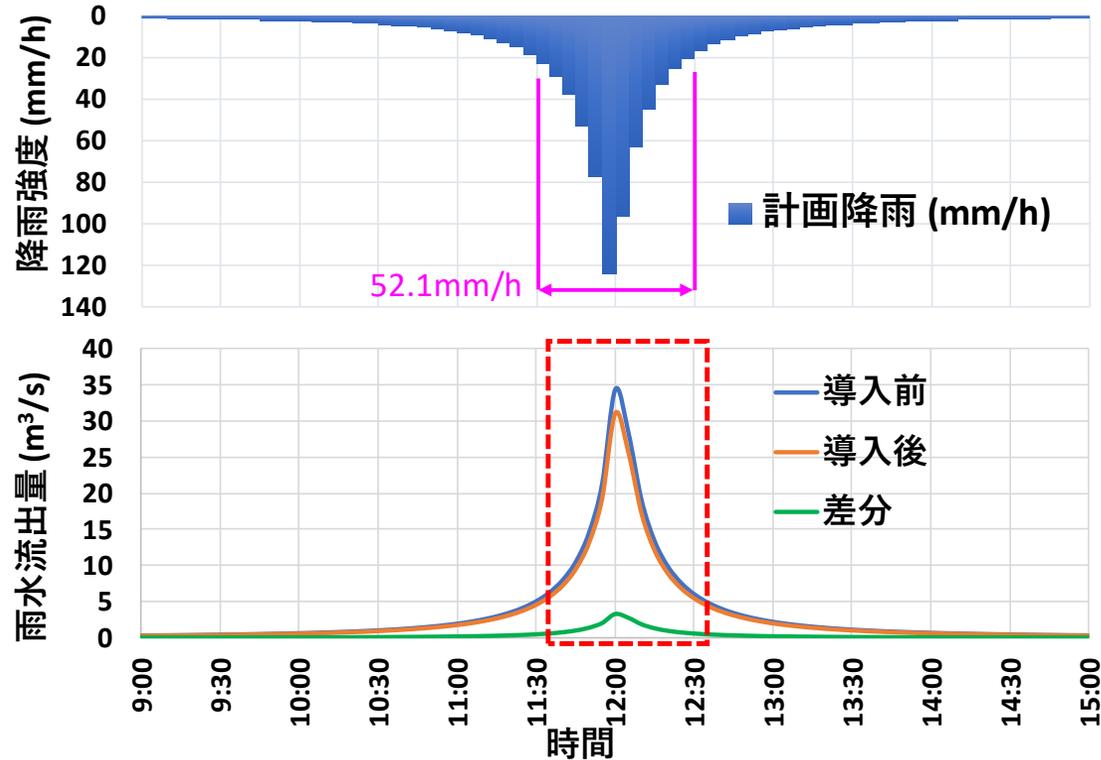


	導入後の変化
1号幹線の水位	0.02~0.05 m程度低下
2号幹線の水位	0.03~0.04 m程度低下
浸水面積	約5.8 ha 減少 (約65.6ha→約59.9ha)
自由水面の管きよ	約360 m 増加



4. 結果と考察 -- 対策効果の定量評価結果

対象降雨R1 計画降雨 (52mm/h)



気候変動の影響を踏まえた計画降雨 L1

- 現況の雨水流出量 : Q_1 (m³/s)
- 対策後の雨水流出量 : Q_2 (m³/s)
- 60分積算値の対策前後の差分 : $\Sigma(Q_1 - Q_2) = 5,251$ (m³/h)
- 流出係数 : $C = 70$ (%)
- 見直しL1 降雨の時間最大値 : $I_1 = 52.1$ (mm/h)
- 排水区面積 : $A = 148.06$ (ha)

とし、合理式 $Q = 1/360 \cdot C \cdot I \cdot A$ より、グリーンインフラ施設による対策量を差し引いた後の降雨強度を I_2 とすると、

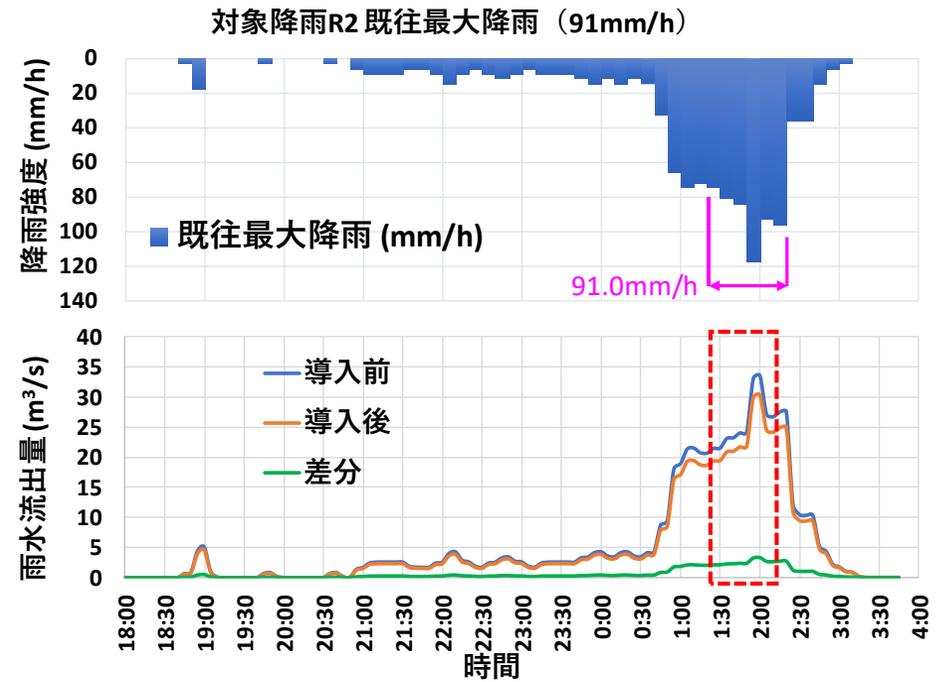
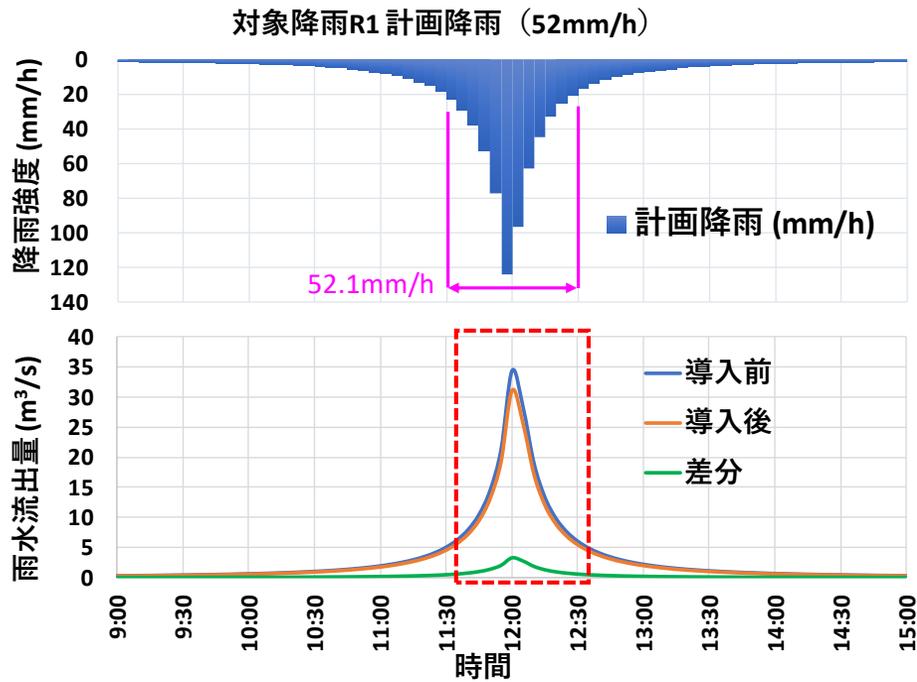
$$\Sigma(Q_1 - Q_2) = C \cdot (I_1 - I_2) \cdot A$$

$$(I_1 - I_2) = \Sigma(Q_1 - Q_2) / (C \cdot A)$$

$$(I_1 - I_2) = \mathbf{5.1 (mm/h)}$$

- 対策前後の差分（60分あたり）が最大となるのは赤枠部11:35～60分間で5,251 m³/h
- グリーンインフラ施設の導入は、降雨強度に換算すると**5.1 mm/h相当の対策効果**

4. 結果と考察 -- 対策効果の定量評価結果

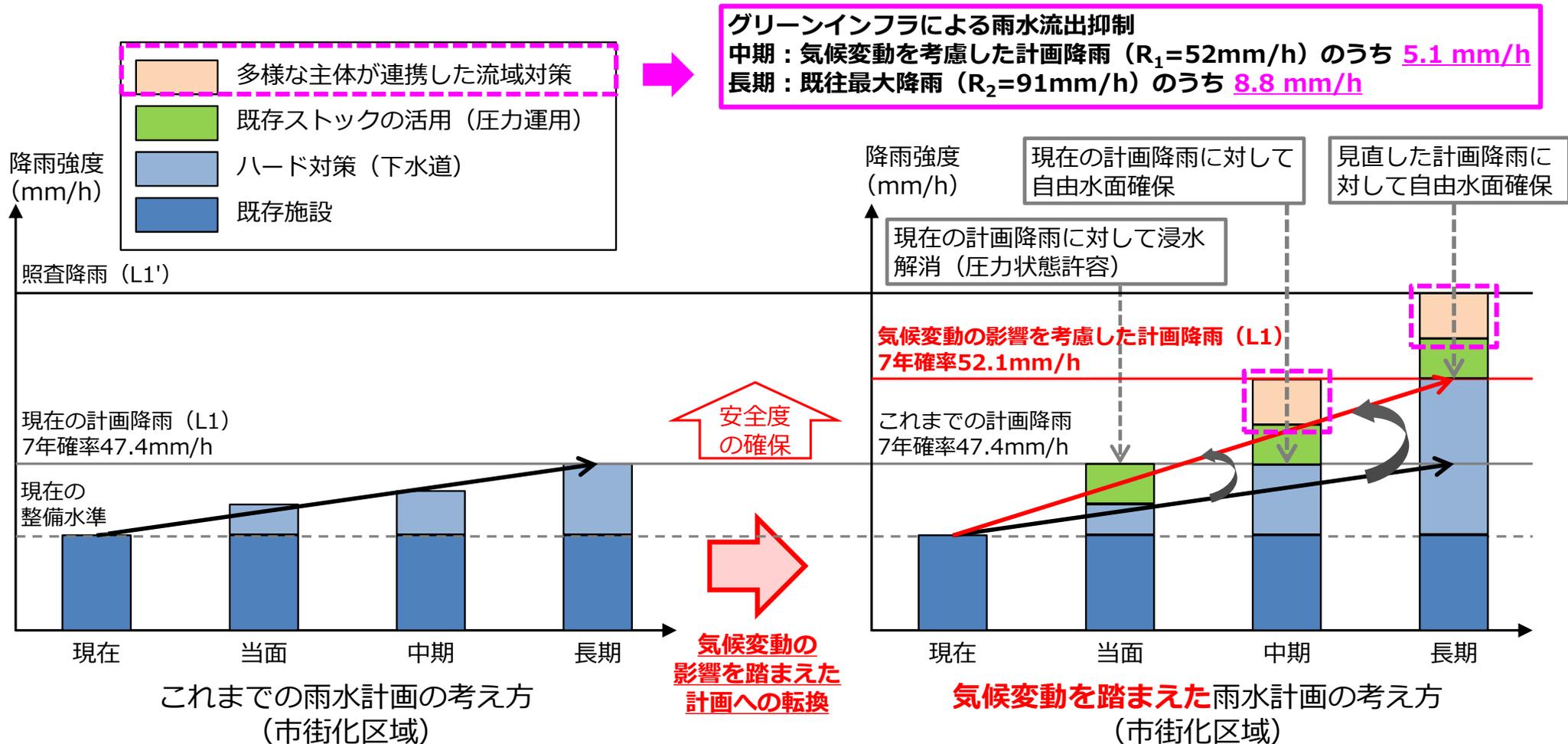


対象降雨	R ₁ (= 52.1mm/h)	R ₂ (= 91.0mm/h)
雨水流出抑制効果が最大となる時間	11:35~12:35	1:25~2:25
グリーンインフラ導入後に低減される流量	5,251 m ³ /h	9,137 m ³ /h
雨水流出抑制効果	5.1 mm/h相当	8.8 mm/h相当

最大で10%程度の雨水流出抑制効果が期待 (GI導入面積割合と同程度)

4. 結果と考察_気候変動を踏まえた雨水管理総合計画への反映

- ✓ 雨水流出抑制効果を降雨強度に換算して定量化することで、グリーンインフラの浸水対策効果を下水道計画に定量的に見込むことが可能



5. 考察とまとめ

- ✓ グリーンインフラの導入による雨水流出抑制効果について、降雨強度に換算することにより定量化
- ✓ これにより、下水道計画にグリーンインフラの浸水対策効果を簡易に反映することが可能



都市域におけるグリーンインフラの計画的な導入の促進と、水災害に強いまちづくりに寄与

- ✓ グリーンインフラの導入にあたっては他事業や民間の協力が不可欠



計画的に導入を促進するためには雨水管理総合計画等の策定の段階で多様な主体との連携を検討

- ✓ 浸水シミュレーションにおいては、使用するモデルの再現性や、SUDSの各パラメータの設定が、評価結果に影響



より高精度な解析には、現地の土質状況の把握など詳細な検討が必要

参考

<本検討で参照した文献>

アメリカ合衆国環境保護庁（EPA）

Storm Water Management Model (SWMM) Manuals and Guides

<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

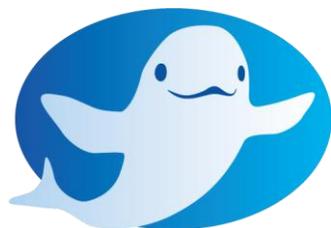


Manuals and Guides

Date	Title
08/01/2022	SWMM Reference Manuals Errata (pdf) (232.94 KB)
02/01/2022	SWMM 5.2 User's Manual (pdf) (9.46 MB)
08/03/2022	SWMM-CAT User's Guide (Version 1.1) (pdf) (701.64 KB)
09/07/2016	SWMM Applications Manual (zip) (7 MB)
01/29/2016	SWMM Reference Manual Volume 1- Hydrology (pdf)
08/07/2017	SWMM Reference Manual Volume II- Hydraulics (pdf)
02/01/2022	SWMM Reference Manual Volume II – Addendum (pdf) (913.85 KB)
09/08/2016	SWMM Reference Manual Volume III—Water Quality (pdf) (Includes description of the LID Module)
09/2015	SWMM 5.1 User's Manual (pdf)



ご清聴
ありがとうございました



株式会社 東京設計事務所
TOKYO ENGINEERING CONSULTANTS CO., LTD.

