

高度な浸水シミュレーション技術検証レポート

Technical report for the elaborated flooding simulation using 3D City Models



PLATEAU
by MLIT



目次

I. 実証概要	2		
1. 全体概要	3		
2. 実施体制	5		
3. 実証エリア	6		
4. スケジュール	7		
II. 実証技術の概要	8		
1. 活用技術	9		
2. 従来の浸水シミュレーション手法	10		
3. ArcGIS Pro	11		
4. Fortran	12		
5. Python	13		
6. FME Desktop	14		
7. AWS	15		
8. Cesium	16		
9. TerriaMap	17		
III. 実証システム	18		
1. 実証フロー	19		
2. 業務要件	20		
3. アーキテクチャ全体図	21		
4. システム機能	24		
5. アルゴリズム	39		
6. データ	55		
① 活用データ	55		
		② データ処理	60
		③ 出力データ	74
		7. ユーザインタフェース	80
		8. システムテスト結果	81
IV. 実証技術の検証	85		
検証内容（全体フロー）	86		
1. 浸水シミュレーションの検証	87		
① 検証内容（浸水シミュレーション結果の検証）	87		
② 検証結果（浸水シミュレーション結果の検証）	101		
③ 検証内容 （入力データ作成作業負荷軽減効果）	102		
④ 検証結果 （入力データ作成作業負荷軽減効果）	103		
2. 防災対策上の実効性の検証	106		
① 検証内容	106		
② 検証結果	108		
V. 成果と課題	113		
1. 今年度の実証で得られた成果	114		
① 3D都市モデルによる技術面での優位性	114		
② 3D都市モデルによる政策面での優位性	115		
③ 今後の取り組みに向けた課題	116		
用語集	117		

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (1/2)

ユースケース名	浸水シミュレーションの高度化
実施場所	愛知県岡崎市
目標・課題 ・創出価値	近年、水害の頻発化・激甚化が深刻化しつつあり、詳細な浸水シミュレーション等を用いた実効的な防災施策の立案が求められている。一方で、これまでの浸水シミュレーションにおいては、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」に基づき、都市の物理条件を一定程度抽象化した計算が行われてきた。3D都市モデルを活用し、詳細な建築物の形状や属性情報、地形等の影響を踏まえた精緻なシミュレーションを実施することで、現実に即した家屋流失・倒壊などの災害リスクの把握を可能にし、激甚化する豪雨災害に対応した高度な防災対策の立案を目指す。
ユースケース の概要	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルの地物の影響や属性情報を考慮した建物流失・倒壊リスクを算定するシミュレーションモデルを開発する。開発したシミュレーションモデルの妥当性を検証するとともに、岡崎市の行政職員および地域の防災関係者へのヒアリングを通じた防災対策上の有効性やデータ作成負担軽減効果の検証を行う。

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (2/2)

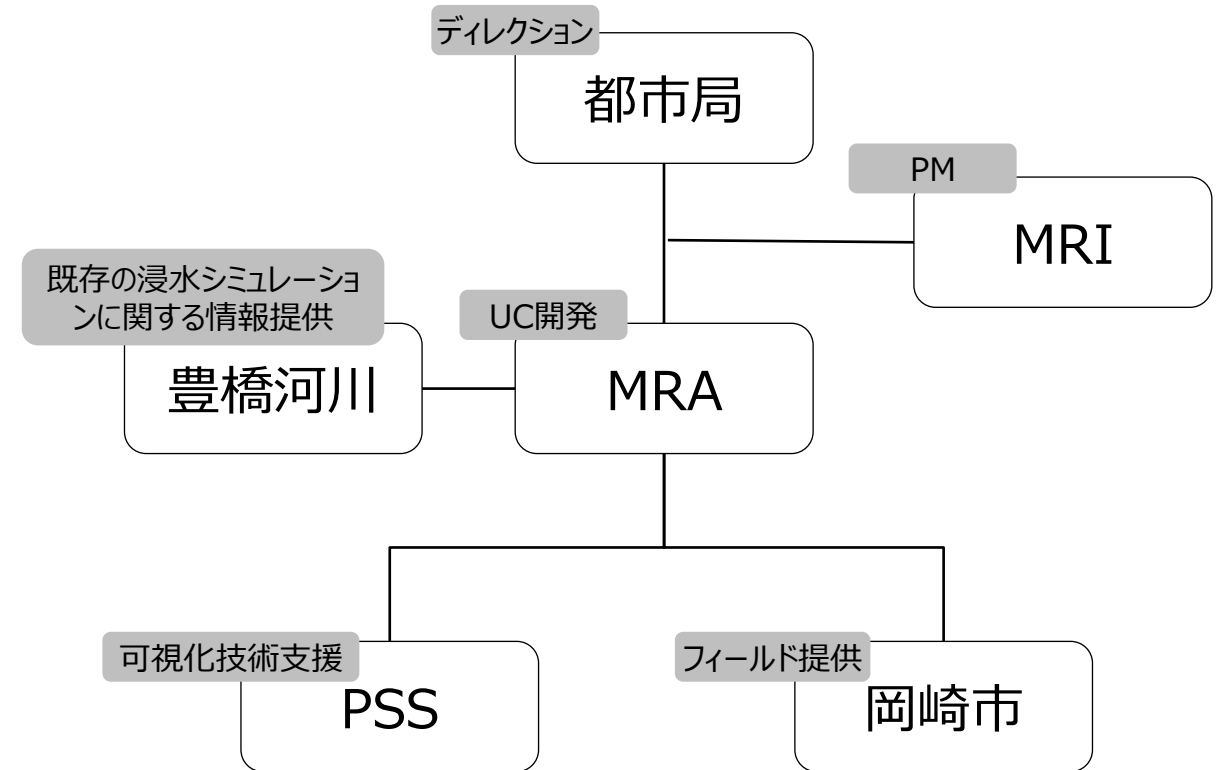
実証仮説	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルが有する微地形・土地利用区分、建物等の地物を考慮した詳細な浸水（氾濫水の広がり）シミュレーションによって浸水被害想定を詳細化し、建物毎の浸水深および流失・倒壊リスクを把握することが、垂直避難先の検討およびリスクを踏まえた段階的な避難計画の立案に有効であること。また、3D都市モデルを活用すれば、浸水シミュレーションのための入力データ作成作業の負担が軽減できること。
検証ポイント	<p>詳細な浸水シミュレーションモデルの検証</p> <ul style="list-style-type: none">微地形や土地利用区分、建物等の地物を詳細化されたメッシュを用いて表現した浸水シミュレーションの結果と、従来の浸水シミュレーション結果との差異を比較・分析する。 <p>防災対策上の有効性の検証</p> <ul style="list-style-type: none">岡崎市防災関係者へのヒアリングを通じて、詳細な浸水シミュレーションモデルによる結果が防災対策を検討する上で役立つことを検証する。 <p>入力データ作成作業負荷軽減効果の検証</p> <ul style="list-style-type: none">3D都市モデルを活用することで、浸水シミュレーション用入力データ作成作業に係る手順等がどの程度低減されるかを検証する。

I. 実証概要 > 2. 実施体制

実施体制

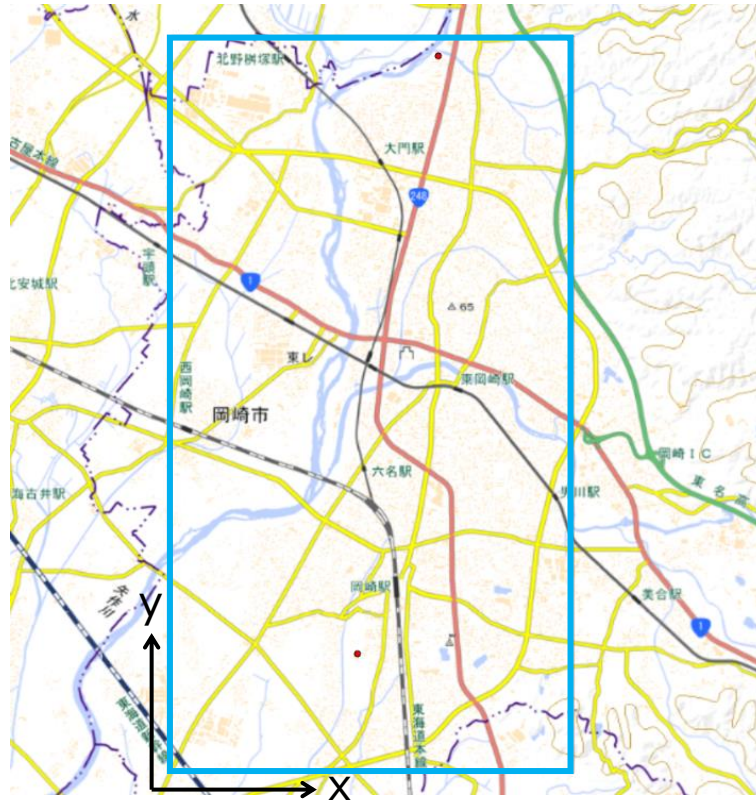
表 各主体の役割

主体	役割
エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社 (MRA)	ユースケース開発・実証
岡崎市防災課	フィールド提供、可視化助言、ヒアリング実証調整
Pacific Spatial Solutions (PSS)	可視化技術支援
豊橋河川事務所 (豊橋河川)	既存の浸水シミュレーション入力条件・結果等の提供
株式会社三菱総合研究所 (MRI)	ユースケース実証に係るマネジメント



I. 実証概要 > 3. 実証エリア 実証エリア

愛知県 岡崎市 矢作川周辺：岡崎地域および本庁地域を含む約5km×約10kmの範囲（青枠のエリア） 約50km²



出所) 国土地理院「標準地図」(2023年2月)を加工して作成
<https://maps.gsi.go.jp/>

I. 実証概要 > 4. スケジュール スケジュール

実施事項	令和4年										令和5年		
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1. 実施計画、システム開発計画、実証計画の策定		実施計画書の作成		システム開発計画書の作成			実証計画書の作成						
2. システム開発・データ整備													
(1)浸水シミュレーションモデルの開発													
(2)浸水シミュレーション用データの整備													
(3)検証解析の実施													
3. ユースケース実証													
(1)防災対策上の実効性の実証							ヒアリング準備（日程調整、可視化環境構築等）			ヒアリング実証			
(2)作業負荷軽減効果の検証													
4. 業務報告書の作成													
(1)技術レポートの作成													
(2)Web原稿の作成			原稿（前半）の作成								原稿（後半）の作成		

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

Ⅱ. 実証技術の概要 > 1. 活用技術 活用技術 | 一覧

活用技術	内容
従来の浸水シミュレーション手法	「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」※1に基づく従来の浸水シミュレーション手法 ※1： https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf
ArcGIS Pro	Esri社により提供されているGISソフトウェア
Fortran	科学技術計算に向けたプログラミング言語
Python	インタープリタ型のプログラミング言語
FME Desktop Professional Edition (FME)	様々なフォーマットに対応した位置情報データ変換ソフト
AWS (Amazon Web Services)	Amazon Web Services, Inc. により提供されるクラウドコンピューティングサービス
CesiumJS	ブラウザ上に3次元データを表示するための描画機能を提供するJavaScriptライブラリ
TerriaMap	オープンソースのフレームワーク TerriaJSにより構築されたwebブラウザ上で動作するGIS（地図情報）ソフト

II. 実証技術の概要 > 2. 従来の浸水シミュレーション手法

従来の浸水シミュレーション手法

- 詳細手法の開発にあたっては、基礎方程式等の基本的なモデルは従来手法を踏襲
- 従来手法で計算された既存の浸水シミュレーション※1は、本実証で開発した詳細手法を検証する際のベンチマーク等にも利用

概要

従来の浸水シミュレーション手法（従来手法）のイメージ

項目	内容
名称	従来の浸水シミュレーション手法（従来手法）
概要	「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」※2に基づく浸水シミュレーション手法※3
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> • 河川流出計算（河川からの溢水・越水・氾濫流量等の算定） • 氾濫計算（氾濫水の広がり計算） • 建物流失・倒壊判定（氾濫、河岸浸食）
利用する機能 ※4	<ul style="list-style-type: none"> • 氾濫計算（氾濫水の広がり計算） • 建物流失・倒壊判定（氾濫）

※1 出所) 豊橋河川事務所「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」、(2019年6月)

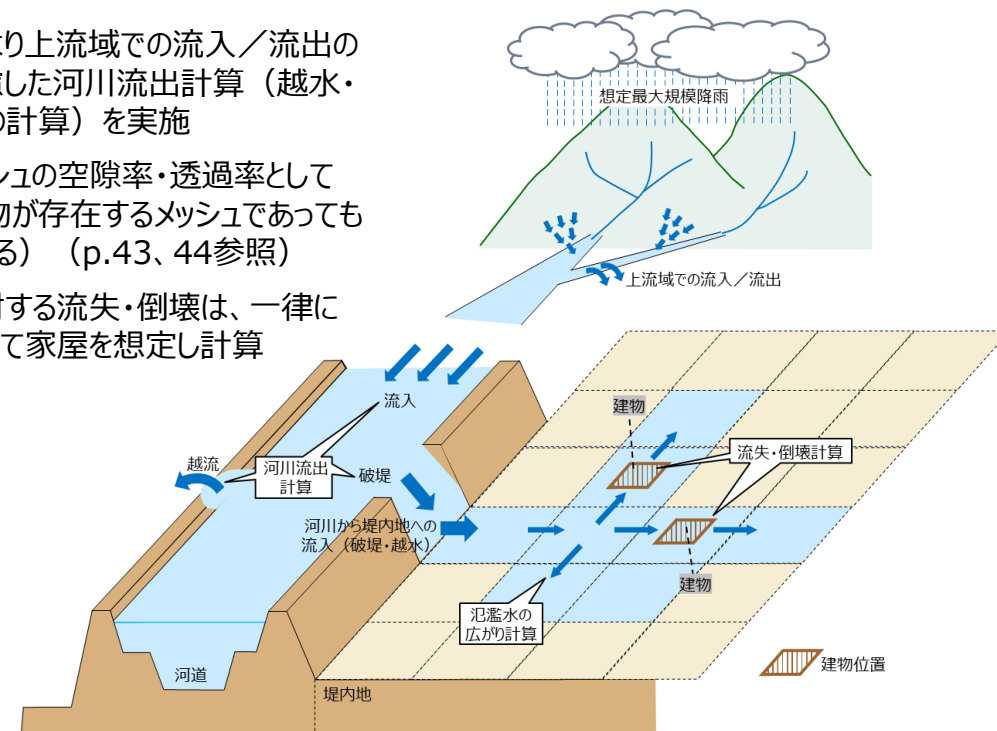
※2 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」、(2017年10月)

https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

※3：洪水浸水想定区域図、家屋倒壊等氾濫想定区域の作成に必要な情報を得るための標準的手法

※4：本実証ではメッシュの微細化や建物高さの表現による効果に着目するため、河川流出計算は実施せず、越水・氾濫流量には矢作川を対象とした既存の浸水シミュレーション結果を利用した。

- 管理区間より上流域での流入／流出の効果も考慮した河川流出計算（越水・氾濫流量の計算）を実施
- 建物はメッシュの空隙率・透過率として表現（建物が存在するメッシュであっても流れが生じる）（p.43、44参照）
- 氾濫流に対する流失・倒壊は、一律に木造2階建て家屋を想定し計算



II. 実証技術の概要 > 3. ArcGIS Pro

ArcGIS Pro



PLATEAU
by MLIT

3D都市モデルのFGDB形式への変換、3D都市モデルやその他データから浸水シミュレーション用入力データへの変換、浸水シミュレーション結果の分析等に利用

概要

利用したジオプロセシングツール

項目	内容	ツール	内容
名称	ArcGIS Pro	Grid Index Features	矩形ポリゴンフィーチャのグリッドを作成
概要	Esri社により提供されているGISソフトウェア	MultiPatch Footprint	マルチパッチフィーチャの2D面積を表すポリゴンのフットプリントを作成
主な機能	GISデータの表示・管理・変換・分析等	Multipatch to Raster	マルチパッチフィーチャをラスターデータセットに変換
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 各種ジオプロセシング※ツール（具体的には右表に記載） 「3D都市モデルデータ変換ツール」による3D都市モデルの変換（CityGML形式からFGDB形式への変換） <p>※GIS データに何らかの処理を行い、新しいデータを出力する一連の流れ</p>	Polygon to Raster	ポリゴンフィーチャをラスターデータセットに変換
		Project	空間データをある座標系から別の座標系に変換
		Summarize Within	入力ポリゴンレイヤーと別のレイヤーを重ね、入力ポリゴン内のポイントの数、ラインの長さ、ポリゴンの面積を集計、統計量を算出

II. 実証技術の概要 > 4. Fortran

Fortran

浸水シミュレーションプログラムの開発に利用

概要

項目	内容
名称	Fortran
概要	<ul style="list-style-type: none"> • 科学技術計算に向けたプログラミング言語 • 数値流体力学分野で豊富な実績を持っていることから利用
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> • 他のプログラミング言語に比べて、コンパイラ型のため計算処理が速く、気象分野の気候モデル・数値予報モデル、数値流体力学などの大規模数値計算において長く使用 • 数値計算用のライブラリが充実
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> • 富士通 Fortran&C 64 V1コンパイラを利用 (Fortran77とほぼ同等の文法)

Fortranの特徴

項目	内容
数値計算	<ul style="list-style-type: none"> • 数学・物理学に必要な演算が言語レベルでサポート
高速性	<ul style="list-style-type: none"> • コンパイラ型言語のため動作が高速 • 配列処理や並列化処理が容易に行えるため、高速性が必要な計算向き
数値流体力学への適用	<ul style="list-style-type: none"> • 特に数値流体力学分野で豊富な実績あり
移植性	<ul style="list-style-type: none"> • 移植性に優れるため、スーパーコンピュータ環境での実行も容易



II. 実証技術の概要 > 5. Python Python

3D都市モデル以外のデータについて浸水シミュレーション用の入力データへの変換、建物リスクの計算、3D都市モデルデータへの属性付与、浸水シミュレーション出力結果の可視化用データへの変換に利用

概要

項目	内容
名称	Python
概要	<ul style="list-style-type: none"> • インタープリタ型の汎用プログラミング言語 • データ処理が効率的に行えるため、シミュレーションの入力データおよび出力データの処理に利用
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> • データ入出力及び変換を容易な文法で実行する • Python標準ライブラリの機能 https://docs.python.org/ja/3/library/index.html • サードパーティー製ライブラリによるデータ分析機能
利用する機能 (ライブラリ)	<ul style="list-style-type: none"> • numpy • pandas • re • glob • ElementTree • Matplotlib

利用したライブラリ

ライブラリ	概要
numpy	数値計算を効率的に行うための拡張モジュール https://pypi.org/project/numpy/
pandas	データ分析を効率的に行うための拡張モジュール https://pandas.pydata.org/
re	正規表現マッチング操作を行うためのライブラリ https://docs.python.org/ja/3/library/re.html
glob	パス名のパターンマッチを行うためのライブラリ https://docs.python.org/3/library/glob.html
Element Tree	XML形式のデータを解析するためのライブラリ https://docs.python.org/ja/3/library/xml.etree.elementtree.html#elementtree-xpath
Matplotlib	グラフを作成するための拡張モジュール https://matplotlib.org/

II. 実証技術の概要 > 6. FME Desktop

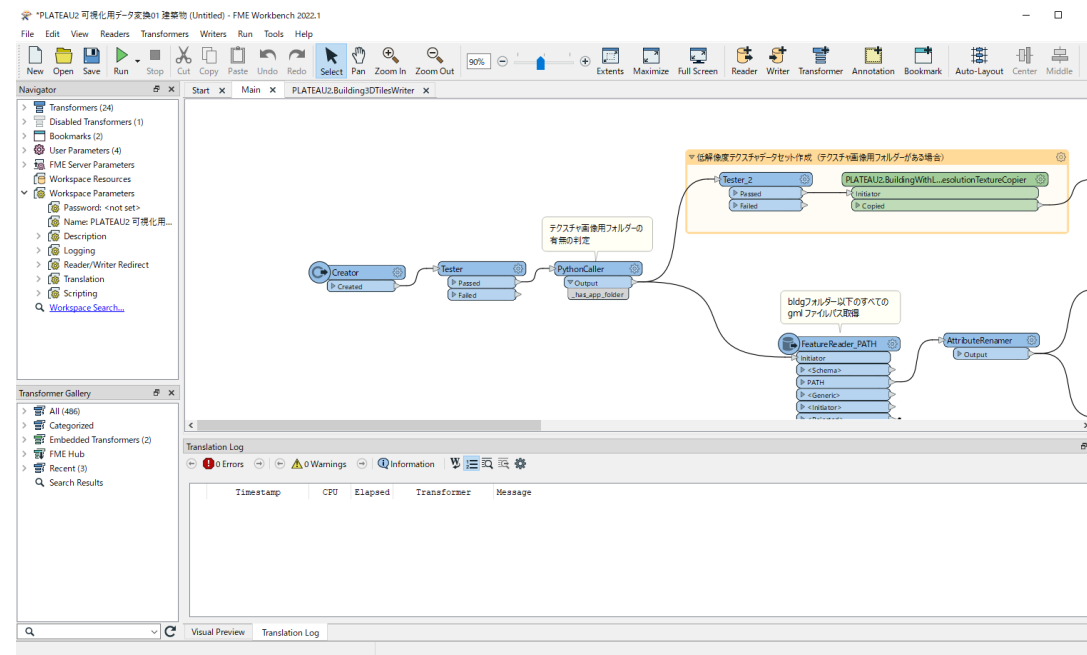
FME Desktop

浸水シミュレーションからの出力結果を可視化用データに変換する際に利用

概要

FME ワークスペースの操作画面

項目	内容
名称	FME Desktop
概要	<ul style="list-style-type: none"> 様々な形式に対応した位置情報データ変換ソフト 入力（Reader）、変換（Transformer）、出力（Writer）を担うオブジェクトをつなぎ合わせることで処理を記述
主な機能	フィーチャの読み取り／書き出し、属性の作成・編集、属性やジオメトリのマージ、3Dジオメトリの作成・修正、Pythonによるフィーチャの操作
利用する機能	<ul style="list-style-type: none"> 3DForcer AttributeCreator AttributeFileWriter AttributeManager FeatureReader FeatureWriter FeatureMerger PythonCaller <p>(利用したTransformerの一部を記載)</p>



II. 実証技術の概要 > 7. AWS AWS

PLATEAU VIEWクローン環境の構築に利用

概要

項目	内容
名称	AWS (Amazon Web Services)
概要	Amazon Web Services, Inc. により提供されるクラウドコンピューティングサービス
主な機能	<ul style="list-style-type: none"> • Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud) : AWS上の仮想サーバ環境 • Amazon S3 (Simple Storage Service) : オブジェクトストレージサービス • Amazon EBS (Elastic Block Store) : ブロックストレージサービス • Amazon RDS : MySQL、PostgreSQLなどのリレーショナルデータベース • Amazon Lambda : コード実行リクエストの自動化
利用する機能	右表に記載

利用する機能 (サービス)

機能 (サービス)	内容
Amazon EC2 (Elastic Compute Cloud)	AWS上の仮想サーバ環境を提供するサービス https://aws.amazon.com/jp/ec2/
Amazon S3 (Simple Storage Service)	AWS上のオブジェクトストレージサービス (データをオブジェクト単位で扱うストレージ) https://aws.amazon.com/jp/s3/
Amazon EBS (Elastic Block Store)	Amazon EC2向けに設計されたブロックストレージサービス (仮想ディスク) https://aws.amazon.com/jp/ebs/

II. 実証技術の概要 > 8. CesiumJS

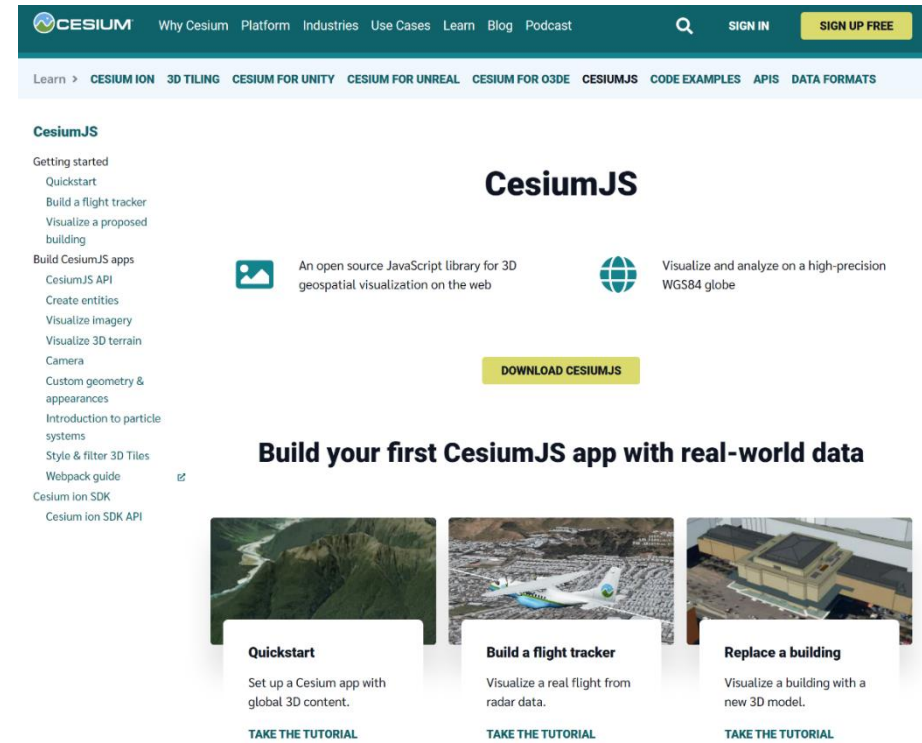
CesiumJS

Webブラウザ上に3次元の地物・地形を表示するためのオープンソースライブラリ

概要

項目	内容
名称	CesiumJS
概要	WebGLを利用してブラウザ上に3次元の地物・地形を表示するための描画機能を提供するJavaScriptによるオープンソースライブラリ
主な機能	<ul style="list-style-type: none">● 航空写真の表示● 地図の表示● Terrain（地形）の表示● 3Dデータの表示
利用する機能	<ul style="list-style-type: none">● PLATEAU VIEWにおいて3Dデータ（3DTiles形式等）および時系列データ（CZML形式等）の描画に利用

CesiumJS



出所) CesiumJS <https://cesium.com/learn/cesiumjs-learn/>

Ⅱ. 実証技術の概要 > 9. TerriaMap

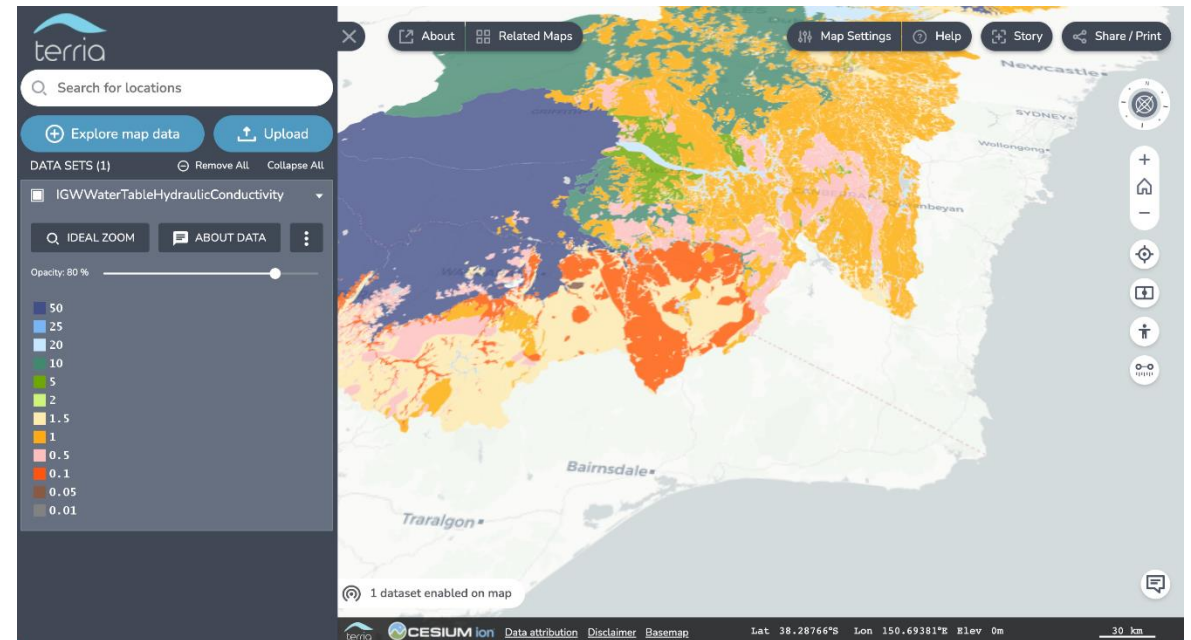
TerriaMap

Cesiumの描画機能をコントロールし、ユーザーインターフェースを追加するためのオープンソースWebシステム

概要

項目	内容
名称	TerriaMap
概要	<ul style="list-style-type: none">• オープンソースのフレームワーク TerriaJSにより構築されたwebブラウザ上で動作するGIS• Cesiumの描画機能をコントロールする役割を持つ
主な機能	<ul style="list-style-type: none">• PLATEAU VIEWにおいて、TerriaのUI機能を使用した下記の機能を利用• 表示データの選択・追加・削除 (Add Data、Data Catalogue、MyData、ワークベンチ)• 背景図の選択 (Map Settings)
利用する機能	同上

TerriaMap



出所) TerriaJS/TerriaMap <https://github.com/TerriaJS/TerriaMap/releases>

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題



Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

実証フロー

実証では、浸水シミュレーションモデル開発・データ整備・検証を実施した後、入力データ作成作業負荷の軽減効果に関する実証、防災対策上の実効性の実証（ヒアリング実証）を行う。

浸水シミュレーション用 データの整備

- 3D都市モデルやその他データから、浸水シミュレーションに必要なデータを抽出し、開発する浸水シミュレーションプログラム（従来手法及び詳細手法）で読み込み可能なデータを整備する。

浸水シミュレーションモデル の開発

- 詳細化したメッシュ上に高さを持った建物を表現したモデルを構築し、河川からの氾濫水の広がりや建物属性を考慮した流失・倒壊リスクを計算するためのシミュレーションプログラム（詳細手法）を開発する。
- また、検証のため、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」と同等のシミュレーションを行うためのプログラム（従来手法）も開発する。

浸水シミュレーション 結果の検証

- 開発した浸水シミュレーションを実施し、モデル及びデータが適切に開発・整備されていること、詳細化の効果を確認する。
- 検証では、従来手法で計算された既存の浸水シミュレーション結果（「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」、豊橋河川事務所（令和元年6月））、開発した従来手法／詳細手法によるシミュレーション結果を比較・分析する。

入力データ作成作業負荷 軽減効果の実証

- 浸水シミュレーション用データ作成作業について3D都市モデルを活用することで作業負担がどの程度軽減されるかを確認する。

防災対策上の実効性 の実証

- 防災対策の立案・実行における3D都市モデルを活用した浸水シミュレーションの有用性について、岡崎市の民間企業および市防災関係各課へのヒアリングを実施する。
- また、ヒアリング結果を踏まえ、必要に応じて浸水シミュレーションの見直しを行う。

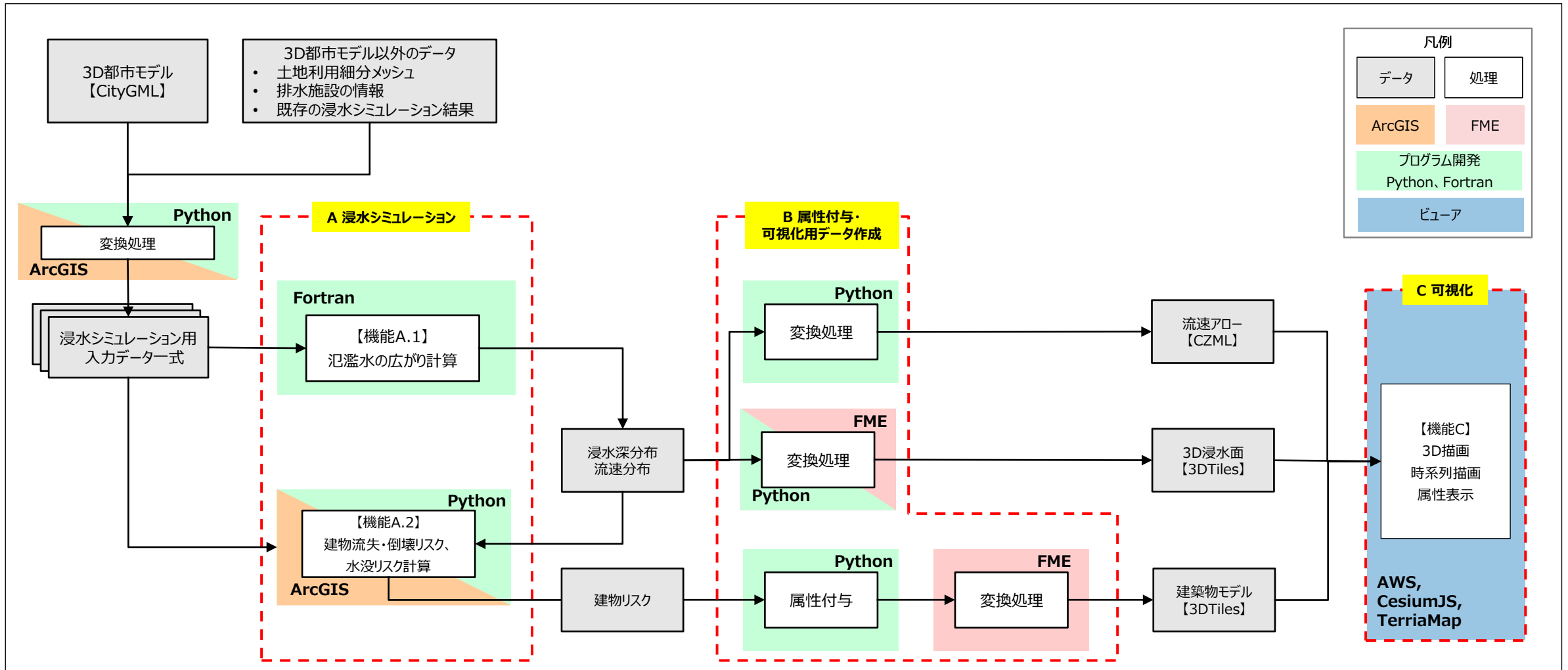
Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件 業務要件

矢作川避難計画策定において想定される業務要件

	従来の業務フロー	本システムが目指す業務フロー
災害リスクの評価	<ul style="list-style-type: none"> 浸水ハザードマップをもとに、地区ごとの浸水想定規模を把握。 	<ul style="list-style-type: none"> 最大浸水深や建物流失・倒壊リスクを建物戸数レベルで分析し、地区ごとの被害想定を把握。
段階的な避難の検討	<ul style="list-style-type: none"> 地区ごとの浸水規模に応じた段階的な避難計画を立案。 	<ul style="list-style-type: none"> 地区ごとの流失・倒壊リスクに応じた段階的な避難計画を立案。
避難手段の検討	<ul style="list-style-type: none"> 地域の特性やアンケート調査にもとづき車両の手配をあらかじめ検討。 	
避難先の検討	<ul style="list-style-type: none"> 小学校など市内における安全な避難施設を選定。 避難施設が不足する場合には、浸水域外で自家用車泊が可能なエリアを選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 建物浸水深を考慮した垂直避難先の検討。 建物浸水深を考慮した自家用車泊が可能な立体駐車場等の検討。
訓練・検討会の実施	<ul style="list-style-type: none"> 避難訓練や検討会を通じて避難計画の課題を抽出。 気象条件やシミュレーション条件の検討を実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 立体的でわかりやすい可視化表現を活用した避難訓練 垂直避難を含めた現実的に可能な避難計画の検討
計画の見直し	<ul style="list-style-type: none"> 必要に応じて気象条件などを見直したシミュレーションを実施し、より確度の高い結果を取得。 その結果をもとに避難計画の都度見直しを実施。 	

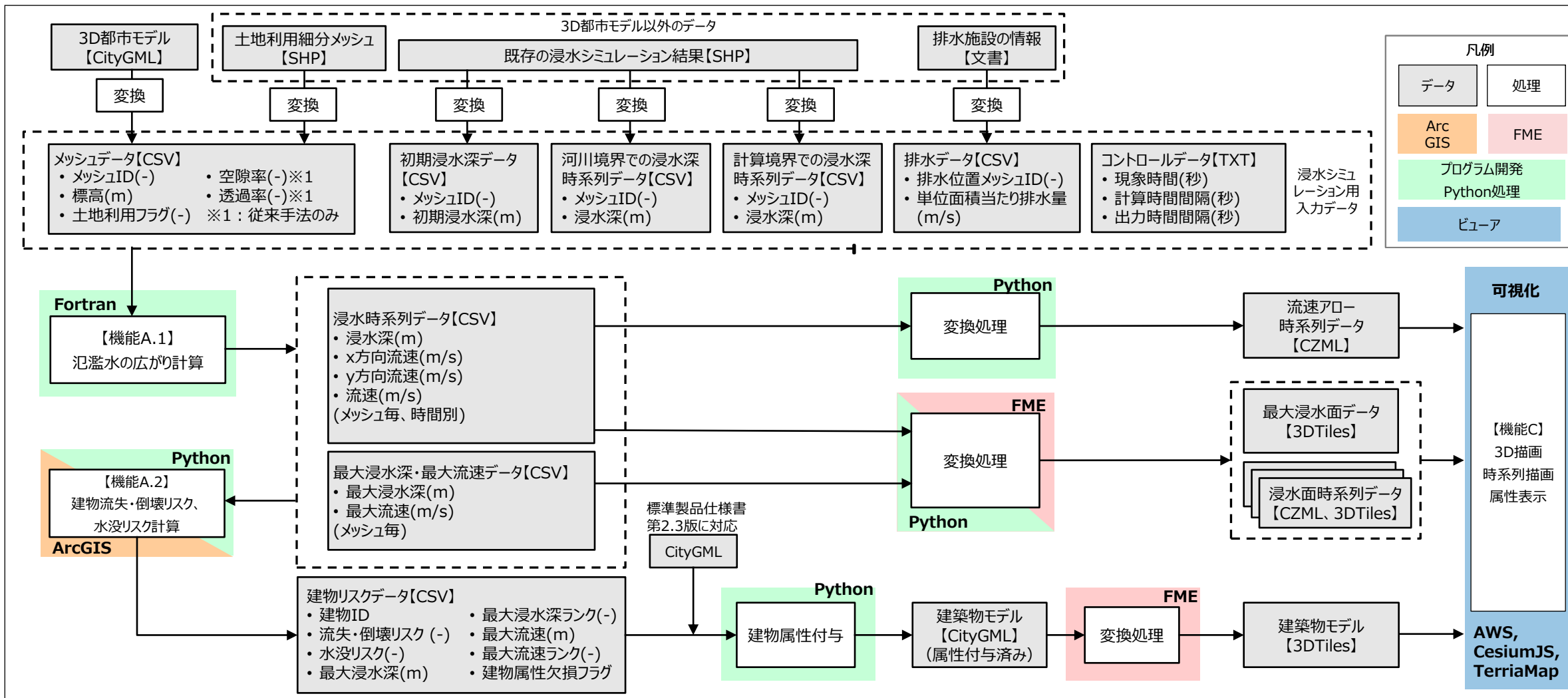
Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

システムアーキテクチャ全体図



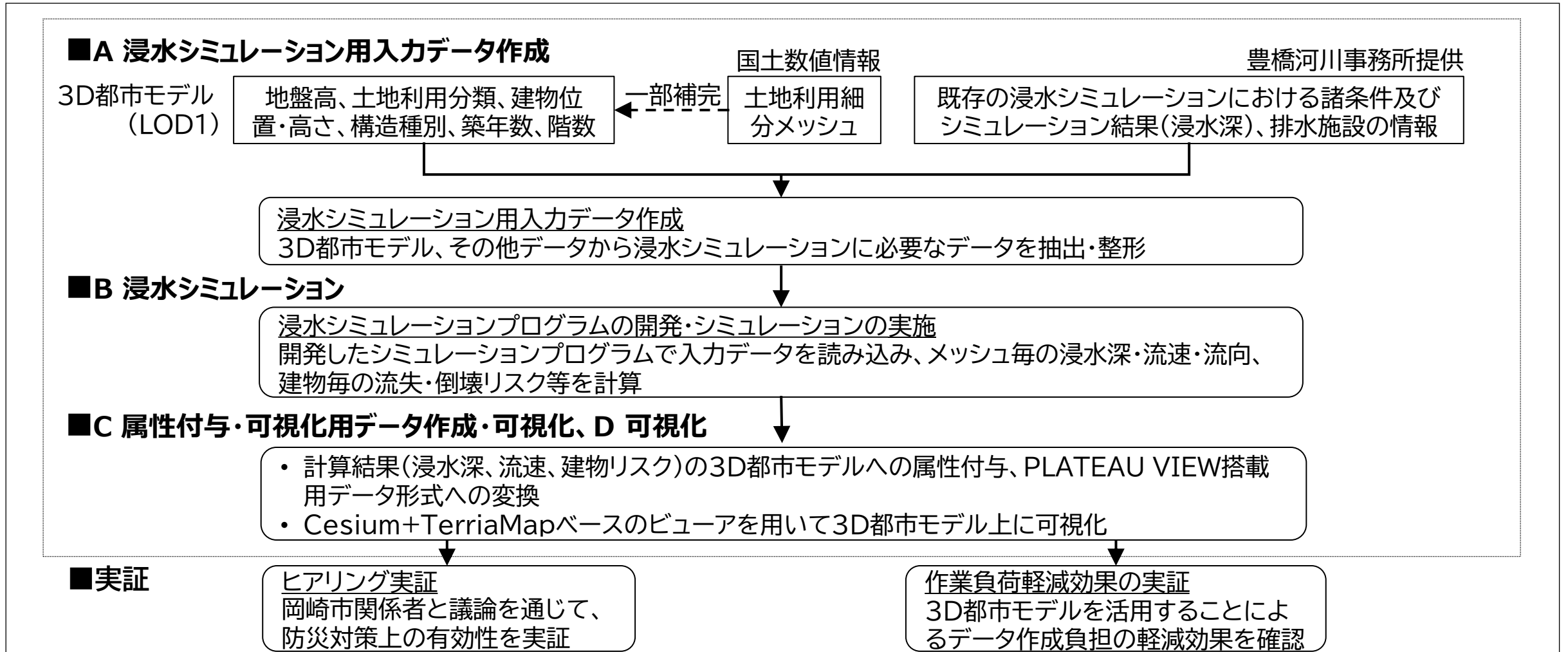
Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

データアーキテクチャ全体図



Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

参考：実証フローとシステムの関係



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

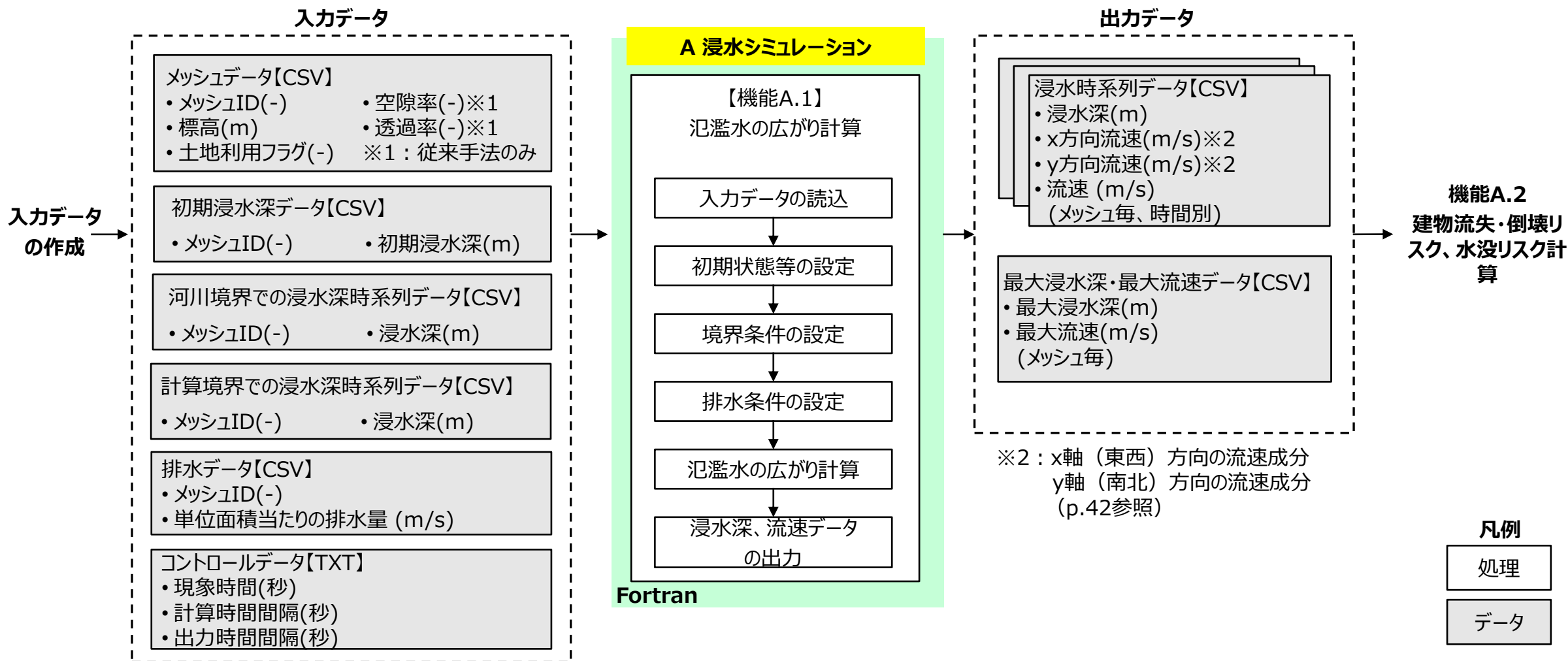
システム機能

システム機能		説明	ツール/プログラム
A 浸水 シミュレーション	1. 氾濫水の広がり計算： 流速・浸水深の計算	浸水シミュレーション用入力データに含まれる標高（地盤高、建物高）、土地利用等を使用して、計算領域内の各メッシュにおける浸水深・流量・流速を計算し、出力する。	Fortran
	2. 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算	システム機能A.1から出力された浸水深時系列データを使用して、建物流失・倒壊リスク、水没リスクを計算・判定し、結果を出力する。	Python/ ArcGIS Pro
B 属性付与・可視化用データ作成		システム機能A.1、A.2から出力された浸水深時系列データ、最大浸水深・最大流速データを使用して、3D都市モデルへの属性付与、可視化用データへの変換を行う。	Python/ FME
C 可視化（ビューア） 3D描画・属性表示		システム機能Bから出力された可視化データの3D描画、属性表示を行う。	AWS/TerriaMap /CesiumJS

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.1 氾濫水の広がり計算 (入出力データ、処理)



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.1 氾濫水の広がり計算（処理内容）

処理	処理内容
入力データの読込	<ul style="list-style-type: none"> 浸水シミュレーション用入力データ内の情報を読み込んでFortranプログラム内で定義された変数に格納する。
初期状態等の設定	<ul style="list-style-type: none"> 初期浸水深を各メッシュの初期状態（浸水シミュレーション開始時点の状態）として設定する。 各メッシュに対して、メッシュデータの土地利用フラグに応じた粗度係数（地表の摩擦係数）を設定する。 その他シミュレーションの諸条件を設定する（現象時間、計算時間間隔、出力時間間隔）。
境界条件の設定	<ul style="list-style-type: none"> 矢作川と堤内地との境界（河川境界）、計算領域内外の境界（計算境界）に該当する各メッシュに対して、河川境界・計算境界での浸水深（時系列）を設定する。
排水条件の設定	<ul style="list-style-type: none"> 排水施設が位置する各メッシュに対して、排水量等の排水条件を設定する。
氾濫水の広がり計算	<ul style="list-style-type: none"> 設定された諸条件を入力として、基礎方程式（5.アルゴリズム システム機能A.1参照）の解（流量、浸水深の時間変化）を求める。
浸水深、流速データの出力	<ul style="list-style-type: none"> 計算された流量を流速に換算し、浸水深・流速の時系列データ、最大浸水深・最大流速データとして出力する。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.1 氾濫水の広がり計算：初期状態等（粗度係数）の設定

各メッシュに対して、メッシュデータの土地利用フラグに応じた粗度係数（地表の摩擦係数）を設定する。

3D都市モデルの土地利用分類と粗度係数の対応

3D都市モデル上の土地利用分類の定義		粗度係数($m^{-1/3} \cdot s$)※1
コード値	説明	
201	田（水田）	0.020（農地）
202	畑（畑、樹園地、採草地、養鶏（牛・豚）場）	0.020（農地）
203	山林（樹林地）	0.030（林地）
204	水面（河川水面、湖沼、ため池、用水路、濠、運河水面）	使用せず（水域）
205	その他自然地（原野・牧野、荒れ地、低湿地、河川敷・河原、海浜、湖岸）	0.025（その他（空地、緑地））
211	住宅用地（住宅、共同住宅、店舗等併用住宅、店舗等併用共同住宅、作業所併用住宅）	0.025（その他（空地、緑地））
212	商業用地	0.025（その他（空地、緑地））
213	工業用地	0.025（その他（空地、緑地））
214	公益施設用地	0.025（その他（空地、緑地））
215	道路用地（道路、駅前広場）	0.020（道路）
216	交通施設用地	0.025（その他（空地、緑地））
217	公共空地（公園・緑地、広場、運動場、墓園）	0.025（その他（空地、緑地））
263	空地	0.025（その他（空地、緑地））

※1：括弧内は、洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)での粗度係数の設定例における土地利用分類

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.1 氾濫水の広がり計算：境界条件の設定

本実証では、メッシュサイズの詳細化や建物等の地物の表現の違いに着目した分析を実施するため、破堤開始時刻の初期条件（破堤点以外からの越水による浸水深の状況）や、対象河川（矢作川）から堤内地への流入、計算領域外から計算領域内への流入を既存の浸水シミュレーション※と同等の条件とした。

※「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」、豊橋河川事務所（令和元年6月）（破堤点はBP117）

- 初期条件は、静止場に対して既存の浸水シミュレーション結果から得られた浸水深（時刻0分（破堤開始時点））を設定した。
- 境界条件は、矢作川と堤内地との境界にあたるメッシュ、計算領域内外の境界にあたるメッシュに対して、既存の浸水シミュレーション結果から得られた浸水深（時系列）を設定した。

河川から堤内地への流入
(イメージ)



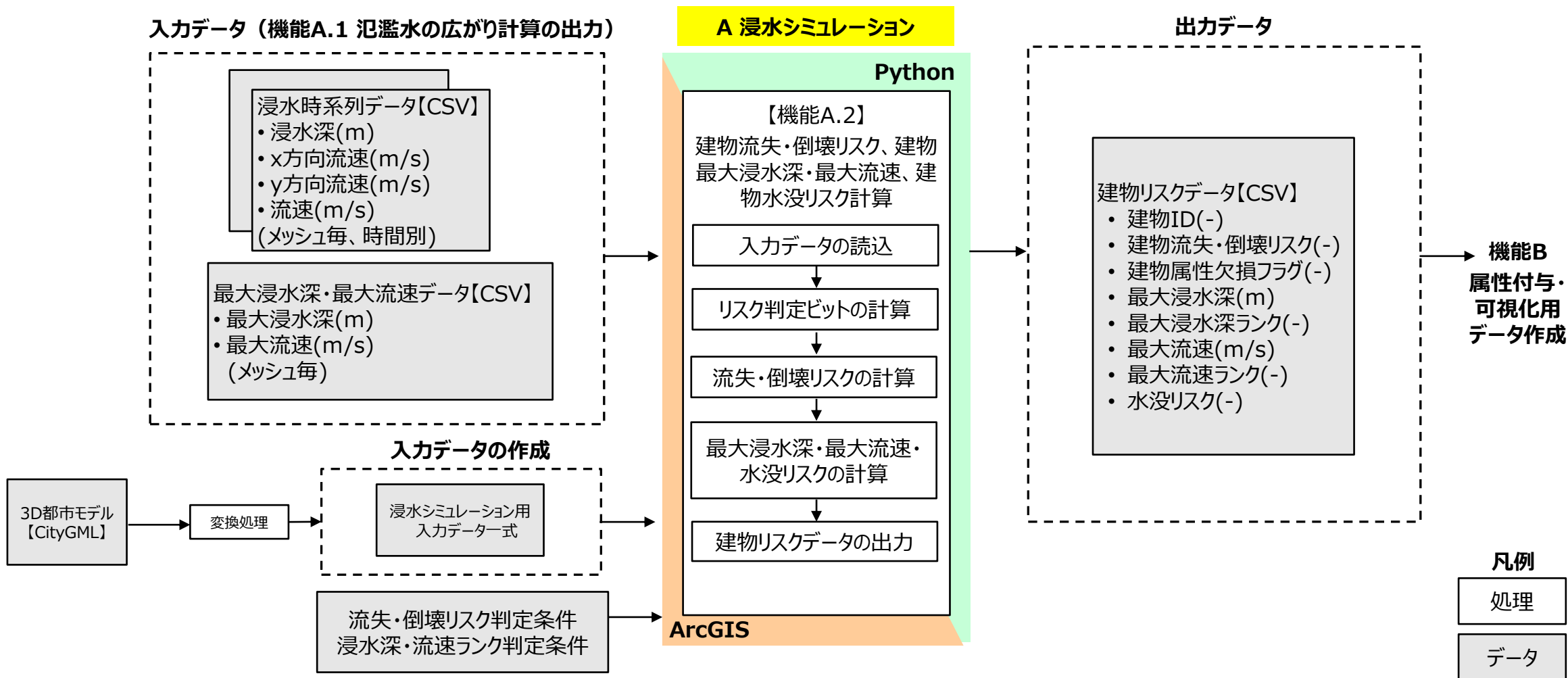
計算領域外からの流入出
(イメージ)



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算 (入出力データ、処理)



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算（処理内容）

処理	処理内容
入力データの読込	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションの入力データをPythonおよびArcGISを使って処理する。
リスク判定ビットの計算	<ul style="list-style-type: none"> A.1で計算したシミュレーション出力データおよびリスク判定条件をPythonスクリプトで処理し、リスク判定ビットに変換する。
流失・倒壊リスクの計算	<ul style="list-style-type: none"> リスク判定ビットから流失・倒壊リスクを計算する。
最大浸水深・最大流速・水没リスクの計算	<ul style="list-style-type: none"> A.1で計算したシミュレーション出力データおよびランク判定条件から最大浸水深・最大流速・最大浸水深ランク・最大流速ランク・水没リスクを計算する。
建物リスクデータの出力	<ul style="list-style-type: none"> 計算結果を建物ID、建物流失・倒壊リスク、建物属性欠損フラグ、最大浸水深、最大浸水深ランク、最大流速、最大流速ランク、水没リスクデータとして出力する。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算（考え方）

【要件】

- 3D都市モデルに含まれる建物属性と氾濫水広がり計算から得た浸水深・流速を利用して、建物ごとの流失・倒壊リスク、最大浸水深・最大流速、水没リスクを評価する。

【建物流失・倒壊リスク、水没リスクの計算】

- 建物とその周りを取り囲むメッシュ（下図赤枠内の全メッシュ）の時系列浸水深・流速から建物流失・倒壊、水没リスクを計算する。
 - リスク判定は建物属性（建築年、構造種別、高さ）に応じて行う。
 - 全メッシュのうち、1つでも浸水深・流速がリスク判定条件を満たせばリスク有と判定する。
 - シミュレーションの全時刻のうち、1時刻でも浸水深・流速がリスク判定条件を満たせばリスク有と判定する。

【建物最大浸水深・最大流速の計算】

- 建物とその周りを取り囲む全メッシュの最大浸水深・流速から建物最大浸水深・最大流速を計算する。
 - 全メッシュのうち、最大値を持つメッシュの最大浸水深・流速をそれぞれ建物最大浸水深・最大流速とする。

【入力データの読込】

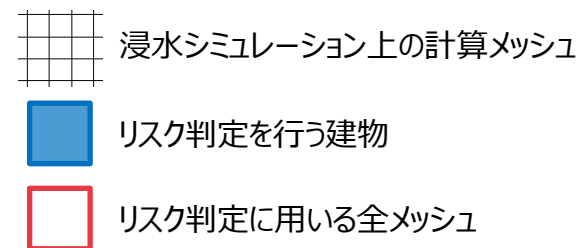
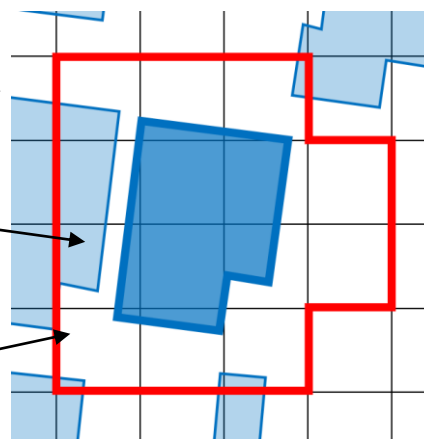
- 氾濫水の広がり計算(機能A.1)から時系列でメッシュごとの浸水深・流速を取得
- 氾濫水の広がり計算(機能A.1)からメッシュごとの最大浸水深・最大流速を取得

【流失・倒壊リスクの計算】

- 建物属性に応じて浸水深・流速のリスク判定条件を決定する
- 建物を取り囲む赤枠内の全メッシュのうち、1つでもリスク判定条件を満たせばリスク有と判定する
- シミュレーションの全時刻のうち、1時刻でもリスク判定条件を満たせばリスク有と判定する

【建物最大浸水深・最大流速、水没リスクの計算】

- 建物を取り囲む赤枠内の全メッシュのうち、最大値を持つメッシュの最大浸水深・流速をそれぞれ建物最大浸水深・最大流速とする



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

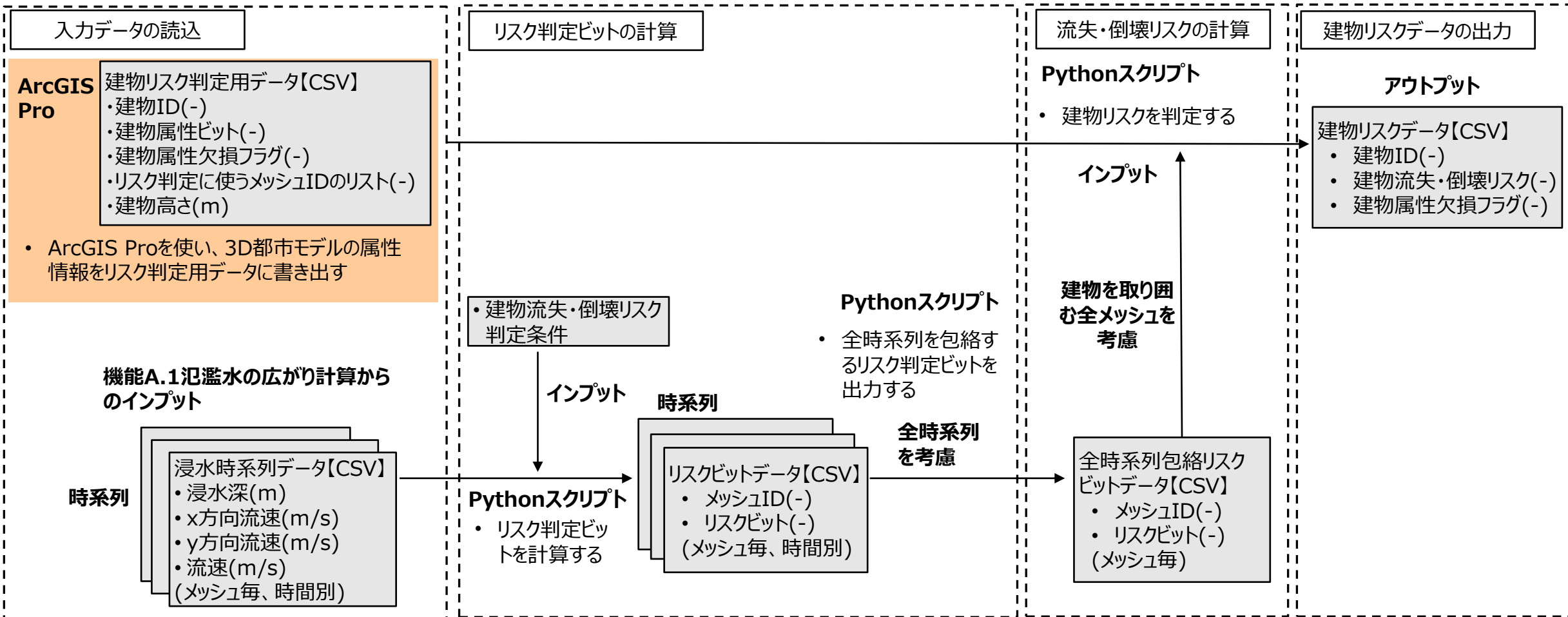
システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物流失・倒壊リスク（全体フロー）

- 3D都市モデルに含まれる建物属性と氾濫水広がり計算から得た浸水深・流速を利用して、建物ごとの流失・倒壊リスクを計算する。
- データ量を削減し効率的な処理を行うため、建物流失・倒壊リスクはビット演算を用いて計算する。

凡例

データ



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

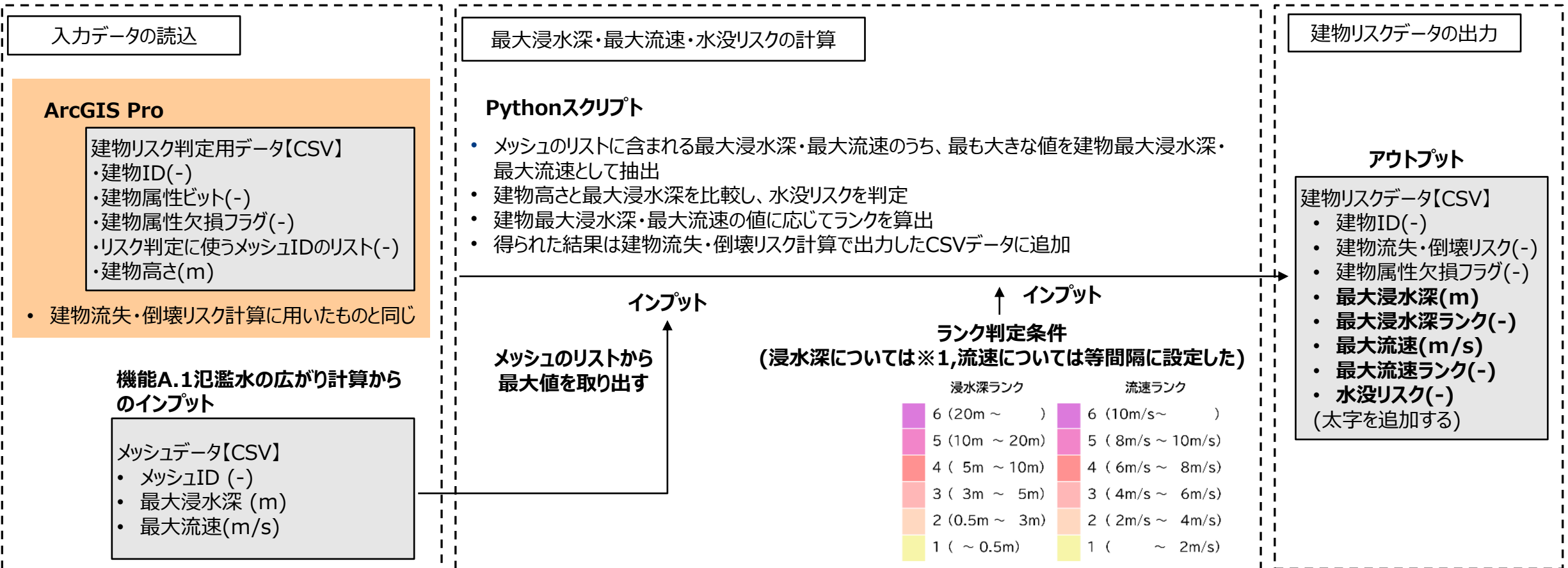
システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物水没リスク (全体フロー)

- 3D都市モデルに含まれる建物属性と氾濫水広がり計算から得た最大浸水深・最大流速から、建物の最大浸水深・最大流速、水没リスクを計算する。

凡例

データ



※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」(2017年10月) https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

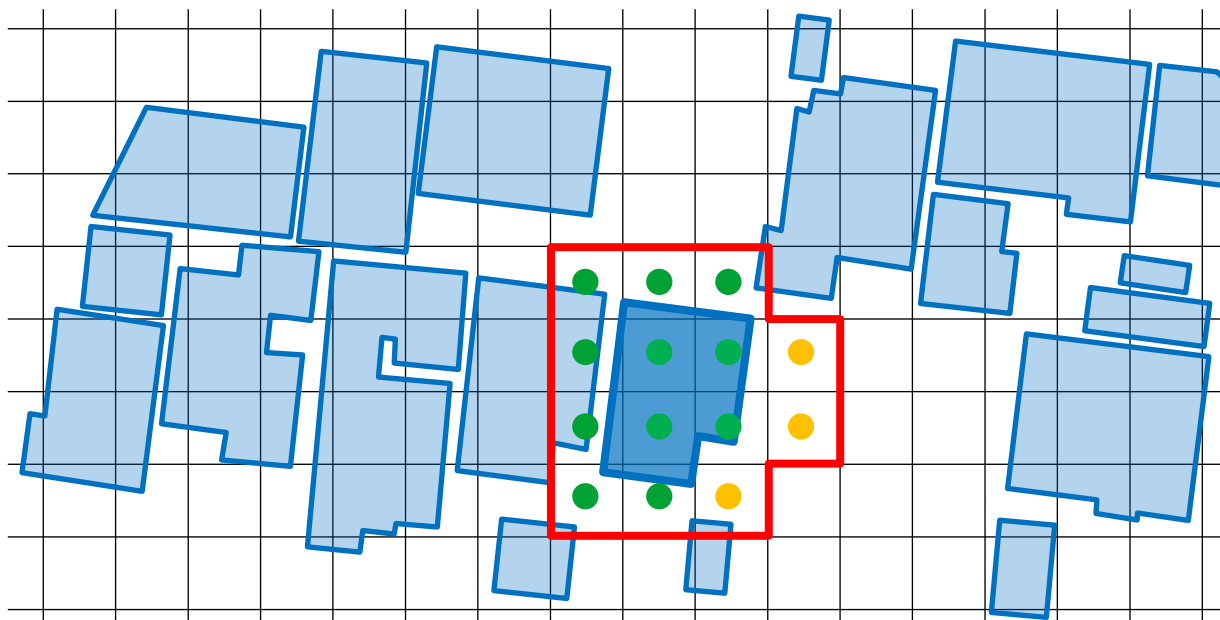
Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能A. 浸水シミュレーション

機能A.2 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算 入力データの読込

- 入力データを読み込み、建物属性ビット、属性欠損フラグ、建物高さ、建物リスク・最大浸水深・最大流速判定メッシュリストを出力する
- 本項の操作はすべてArcGIS ProおよびArcGIS Pro上で動作するPythonスクリプトを用いて行う。
 - ① Pythonスクリプトを用いて、FGDB建物属性から建物属性ビットおよび属性欠損フラグを判定・出力する。同時に建物高さを出力する。
 - ② ArcGIS ProのIntersect機能を用いて、シミュレーション上の計算メッシュとリスク判定を行う建物ポリゴンを重畳する。建物ポリゴンと重なりを持つ計算メッシュをすべて抽出、リスク判定に用いるメッシュのリストとして出力。（下図緑丸のメッシュ）
 - ③ 建物の周りを表現するため、Pythonスクリプトを用いて建物ポリゴンの面積占有率が50%以上のメッシュと辺を接するメッシュをリストに加える。（下図橙丸のメッシュ）
 - ④ 建物リスクはリスト内のメッシュのうち1つでも流失・倒壊リスク、水没リスクの判定条件を満たせばリスク有と判定する。

ArcGIS Pro
画面



浸水シミュレーション上の計算メッシュ

- リスク判定を行う建物ポリゴン
- リスク判定に用いる全メッシュ
- 建物ポリゴンと重なるメッシュ
- 建物ポリゴンと隣接するメッシュ

凡例

データ

アウトプット

建物リスク判定用データ【CSV】

- 建物ID(-)
- 建物属性ビット
- 建物属性欠損フラグ(-)※
- リスク判定メッシュIDのリスト(-)

※建物属性欠損フラグは建物構造種別に欠損がある場合は2、建築年に欠損がある場合は1、欠損無しは0を出力

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

機能		処理内容
B 属性付与・ 可視化用 データ作成	建物属性付与	建物ごとの最大浸水深・最大流速、最大浸水深ランク・最大流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクをCityGMLに属性として付与する。
	流速アロー時系列データへの変換	浸水シミュレーションから出力した時系列データ（流速）を流速アロー時系列データ（CZML）に変換する。
	浸水面データへの変換	浸水シミュレーションから出力した時系列データ（浸水深、流速）を浸水面時系列データ（CZML、3DTiles）に変換する。また、最大浸水深、最大流速データから最大浸水面データ（3DTiles）を作成する。
	建築物モデルへの変換	新たに属性付与した3D都市モデル（建築物モデル）を可視化用の建築物モデル（3DTiles）に変換する。

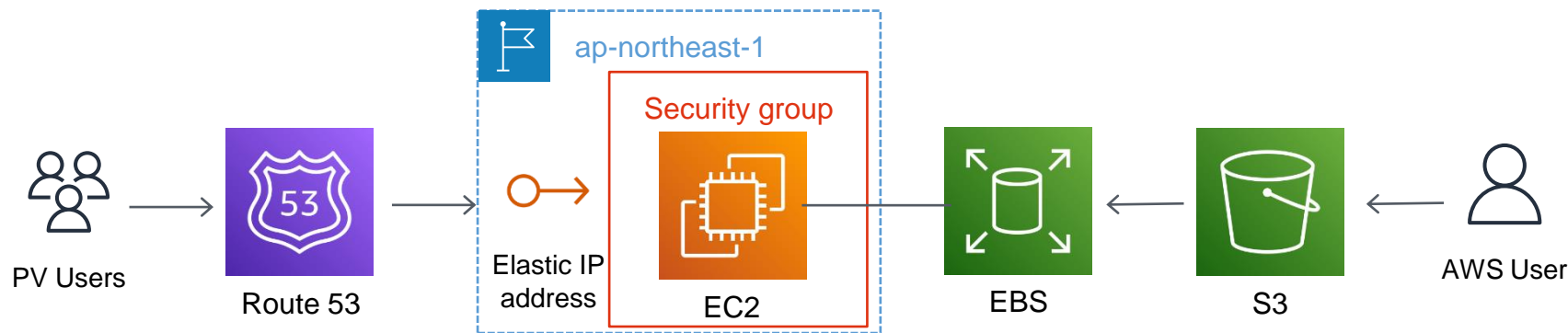
Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能C. 可視化環境の構築

- AWSで動作するLinux OS上にTerriaMap/CesiumJSを利用したPLATEAU VIEWクローン環境を構築する。

AWS上での可視化環境の構築

1. ブラウザでPLATEAU VIEWクローン環境 (以下PV)にアクセスしやすくするために、Route 53でドメインを取得する (EIPでもアクセス可能)。
2. EC2でキーペアを作成し、PV環境構築用のインスタンス (ubuntu) を立ち上げる。ここで、インスタンスのストレージにはEBSを指定。セキュリティグループはHTTPとSSHに関して設定する。
3. EC2でインスタンスにEIPを関連付け、取得したドメインとEIPをRoute 53で関連付ける。
4. インスタンスにPVで表示するデータ格納用のバケットを作成し、バケットからインスタンスへデータをコピーするためのロールをIAMで作成してインスタンスに割り当てる。
5. EC2にSSH接続して、nodejs関連パッケージをインストールし、git上のPVのソースを取得・ビルドする。
6. nginxをインストールし、pm2で起動されるPVへのリバースプロキシとBasic認証を設定する (認証は用途に応じて設定する)。
7. pm2でPVを立ち上げ、SSH接続を終了し、ブラウザでPVにアクセスできることを確認する。



可視化データの表示 (Cesium+TerriaMap)

1. インスタンスにSSH接続し、awsコマンドでS3からインスタンスへPVで表示するデータを取得する。
2. plateauview.jsonで表示設定を編集する (pm2でPVを起動しなおす必要はない)。

Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能C. 3D描画、属性表示

- AWS上に、機能B. 属性付与・可視化用データ作成で作成した可視化用データを搭載し、Webブラウザ上で動作するPLATEAU VIEWクローン環境で表示する。
- 表示設定はplateauview.jsonを編集することで行う。

建築物モデル
【3DTiles】

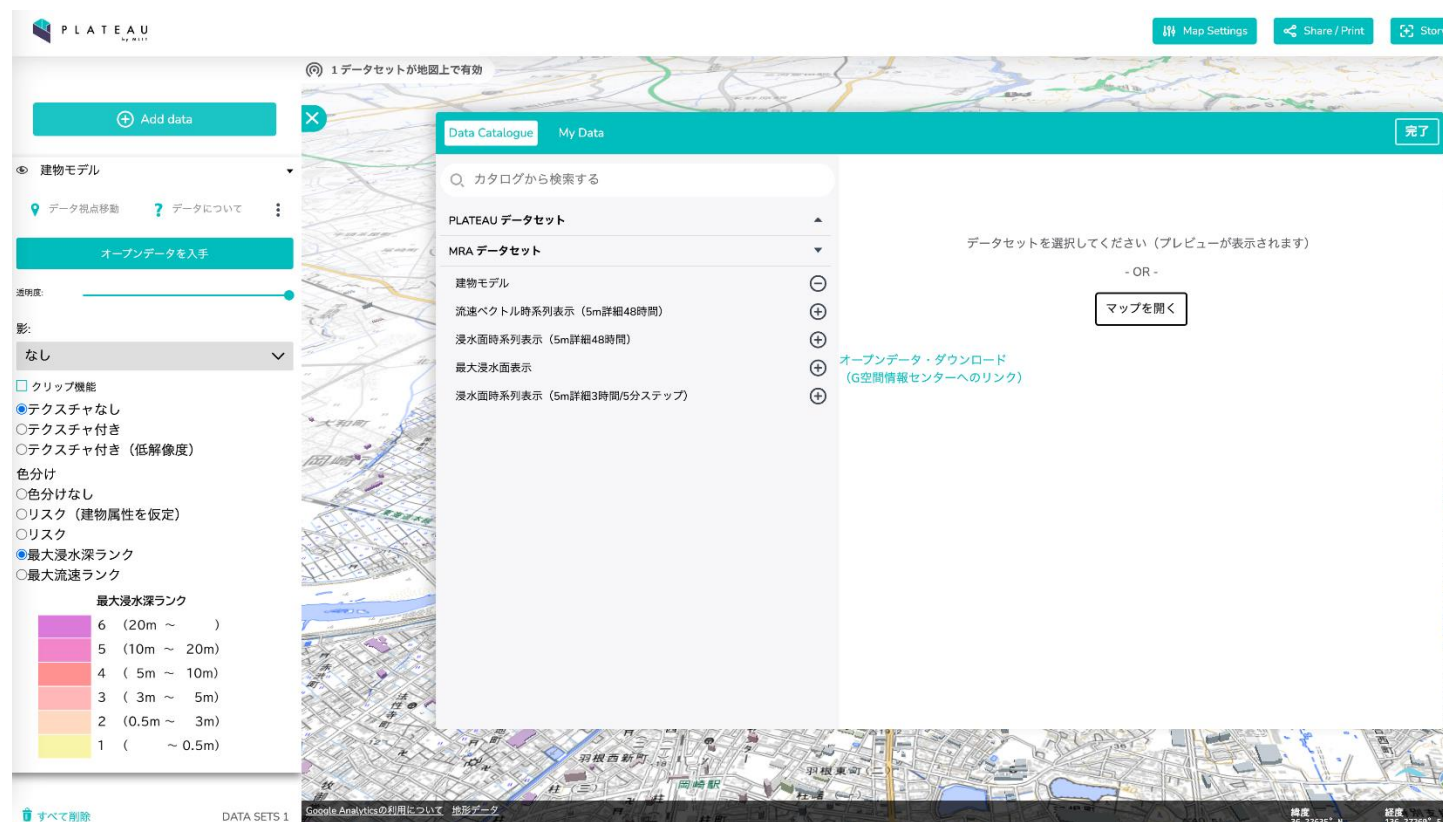
流速アロー時系列データ
【CZML】

浸水面時系列データ
【CZML、3DTiles】

最大浸水面データ【3DTiles】

AWSに搭載

PLATEAU VIEWクローン環境のブラウザ画面



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能C. 3D描画、属性表示

- 可視化用データをPLATEAU VIEWクローン環境で表示する際の表示およびユーザーインターフェースを設定する。
- 表示設定はplateauview.jsonを編集することで行う。

plateauview.jsonの設定例



(例)
建物属性表示の設定部分

(例)
switchableUrlsを用いた
建物表示選択の設定部分

```

{
  "id": "//MRA データセット",
  "name": "MRA データセット",
  "type": "group",
  "isOpen": true,
  "members": [
    {
      "id": "//MRA データセット/bldg_3DTiles_221221TEST",
      "name": "建物モデル",
      "type": "3d-tiles",
      "url": "data/mra/bldg_3DTiles/bldg_lod2_no_texture/tileset.json",
      "hideSource": true,
      "description": "",
      "featureInfoTemplate": {
        "template": "<table><tr><td>建物 ID</td><td>{{gml_id}}</td></tr><tr><td>計測高さ</td><td>{{attributes.gen:measureAttribute_maxheight}}</td></tr><tr><td>水没リスク</td><td>{{attributes.gen:stringAttribute_build_submerge_desc}}</td></tr><tr><td>最大浸水深 (m)</td><td>{{attributes.gen:measureAttribute_maxdepth}}</td></tr><tr><td>最大流速 (m/s)</td><td>{{attributes.gen:measureAttribute_maxvelocity}}</td></tr></table>"
      },
      "customProperties": {
        "switchableUrls": [
          {
            "url": "data/mra/bldg_3DTiles/bldg_lod2_no_texture/tileset.json",
            "label": "テキストチャなし"
          },
          {
            "url": "data/mra/bldg_3DTiles/bldg_lod2/tileset.json",
            "label": "テキストチャ付き"
          },
          {
            "url": "data/mra/bldg_3DTiles/bldg_lod2_low_resolution/tileset.json",
            "label": "テキストチャ付き (低解像度)"
          }
        ]
      },
      "switchableStyles": [
    ]
  ]
}

```

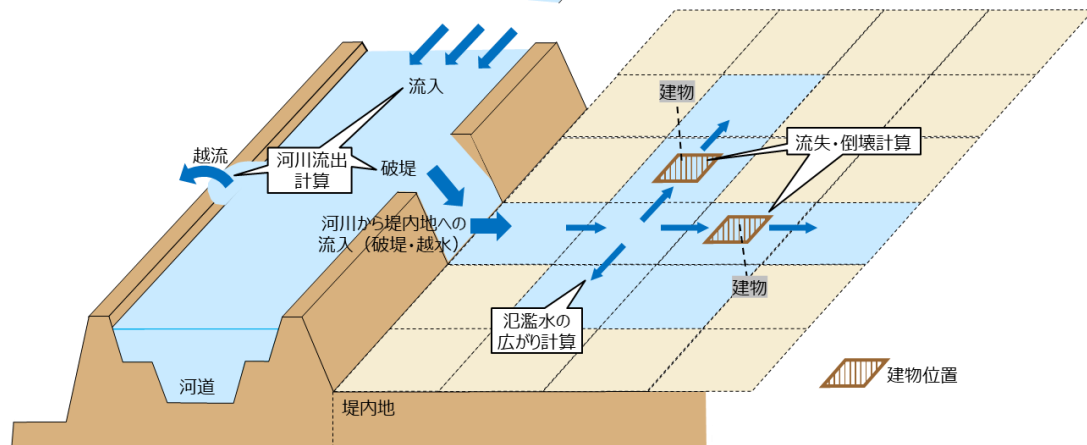
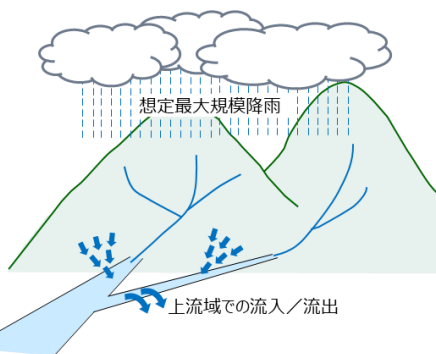
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A. 浸水シミュレーションの概要

本実証では、メッシュサイズの詳細化、建物等の地物の表現方法の違いに着目するため、「氾濫水の広がり計算」、「流失・倒壊リスク、水没リスクの計算」のみを実施

既存シミュレーション（従来手法）※1のイメージ

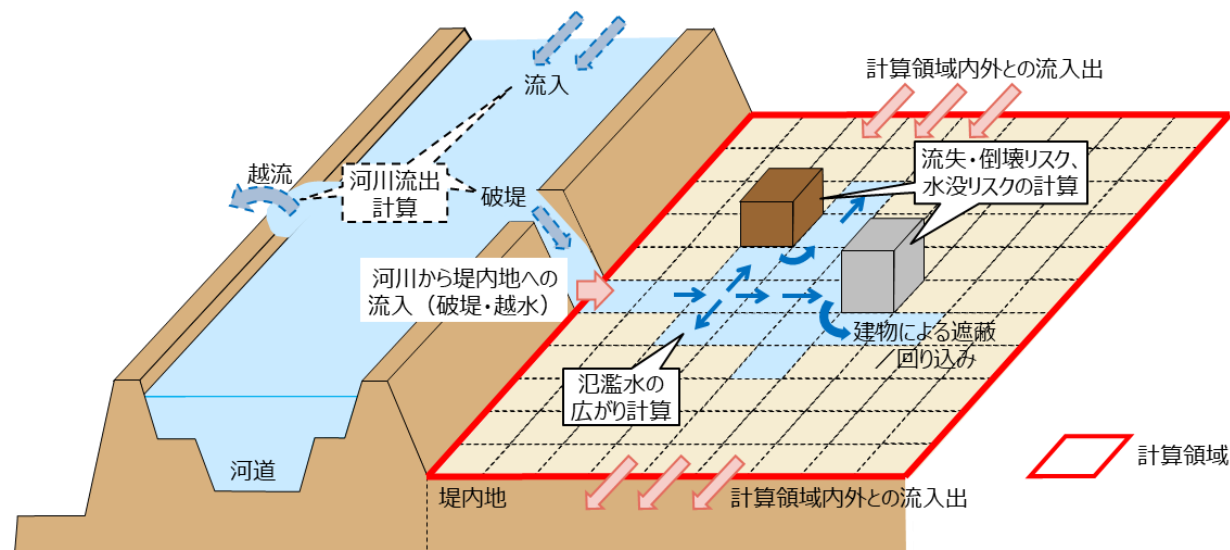
- 管理区間より上流域での流入／流出の効果も考慮した河川流出計算（越水・氾濫流量の計算）を実施。
- 建物はメッシュの空隙率・透過率として表現（建物が存在するメッシュであっても流れが生じる）。
- 氾濫流に対する流失・倒壊は、一律に木造2階建て家屋を想定し計算。



※1 出所) 豊橋河川事務所「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」（2019年6月）

本実証でのシミュレーションのイメージ

- メッシュサイズや建物表現の違いによる効果に着目するため、「河川流出計算」は実施せず、「氾濫水の広がり計算」、「流失・倒壊リスク、水没リスク計算」のみ実施。
- 堤内地への流入（破堤・越水）および計算領域外との流入出には、矢作川を対象とした既存の浸水シミュレーション結果※1を境界条件として設定。
- 詳細手法では、建物による遮蔽・回り込みを表現。また、建物属性（構造種別等）を考慮したリスク計算を実施。



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A. 浸水シミュレーションの概要

従来手法は25mメッシュ単位に分割された領域毎に、詳細手法は5mあるいは2.5mメッシュ単位に分割された領域毎にシミュレーション条件の設定や計算を実施

項目	従来手法	詳細手法
全般	「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」※1に準じた計算条件・モデルを使用	「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」※1に準じた計算条件・モデルに対して、3D都市モデルが有する建築物の高さ等の属性情報や地形データ等を適用
メッシュサイズ	25m×25m	5.0m×5.0m、2.5m×2.5m
土地の起伏	25mメッシュの中で平均化した地盤高を使用	5.0mあるいは2.5mメッシュとすることで、より現実に近い（解像度の高い）地盤高を表現
地表面粗度 （氾濫水の流れやすさ）	25mメッシュの中で平均化した粗度係数を使用	3D都市モデルに含まれる土地利用区分を基に5.0mあるいは2.5mメッシュで粗度係数を表現することで、より現実に近い（解像度の高い）地表面粗度を表現（例えば、小規模な河川や狭小な道路も表現）
建物の存在	25mメッシュ内・メッシュ境界に占める建物の割合（空隙率・透過率）として表現	3D都市モデルに含まれる建物位置・高さを用いることで、より現実に近い氾濫水の挙動（建物による遮蔽・回り込み等）を表現
流失・倒壊リスク	一般的な木造2階建て家屋を想定し評価	3D都市モデルに含まれる建物属性（構造種別、築年数等）を用いることで、建物毎の特徴を考慮して評価
水没リスク	一般的な木造2階建て家屋を想定し評価	3D都市モデルに含まれる建物属性（建物高さ）を用いることで、建物毎に評価

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」(2017年10月)
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A. 浸水シミュレーションの概要

- 従来手法では、実際には地物（建物等）が存在する場所であってもシミュレーションでは水の流が生じてしまう。
- 詳細手法では、氾濫流の遮蔽や回り込みによる効果を表現した計算を行う。

従来手法および詳細手法の特徴

従来手法	詳細手法
<div data-bbox="96 682 606 1159"> </div> <ul style="list-style-type: none"> 洪水浸水想定区域図作成マニュアルに基づく浸水想定は、25mメッシュ単位で地形・建物を平均化し表現 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 詳細な土地の起伏（微地形）や土地利用状況（粗度係数）の表現が困難 ✓ 地物の影響はメッシュ内・境界に占める建物割合（空隙率・透過率）として表現 流体力による家屋の流失・倒壊等は、一般的な2階建て木造家屋を想定し評価 	<div data-bbox="1294 682 1814 1230"> </div> <ul style="list-style-type: none"> 詳細メッシュにより地形・建物等の地物を表現 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 詳細な土地の起伏（微地形）や土地利用状況（粗度係数）、地物の存在を表現 ✓ 地物が存在するメッシュは流れが生じず、氾濫流の遮蔽や回り込み等を表現 より現実的な浸水深や流況変化をシミュレーション 流体力による家屋の流失・倒壊等は、個々の建物属性（高さ、構造種別等）を考慮し評価 <p> ➡ : 流体力によって建物に作用する外力 ➡ : 氾濫水の流れ </p>

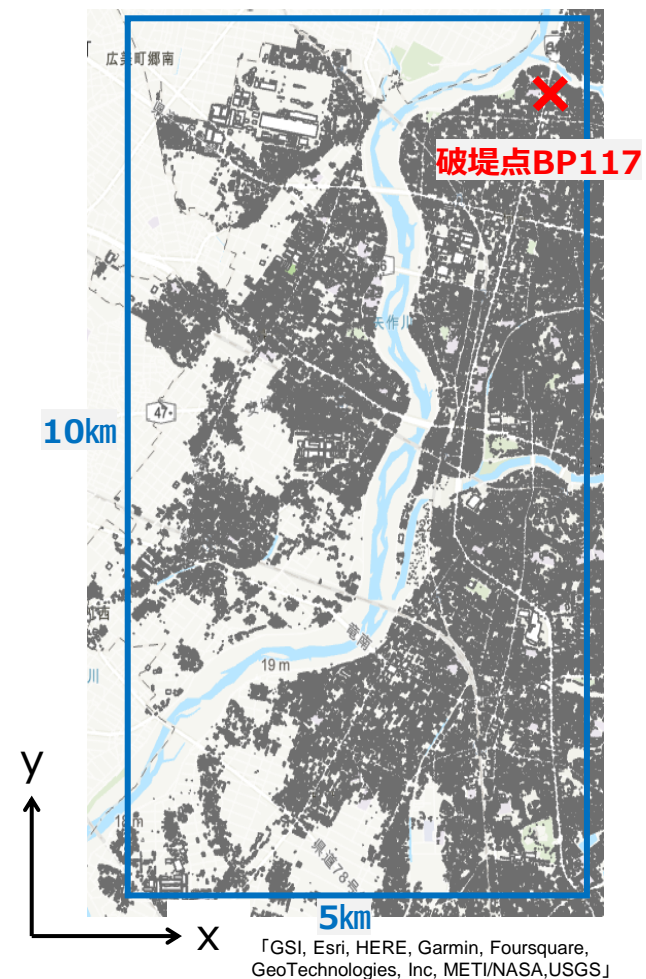
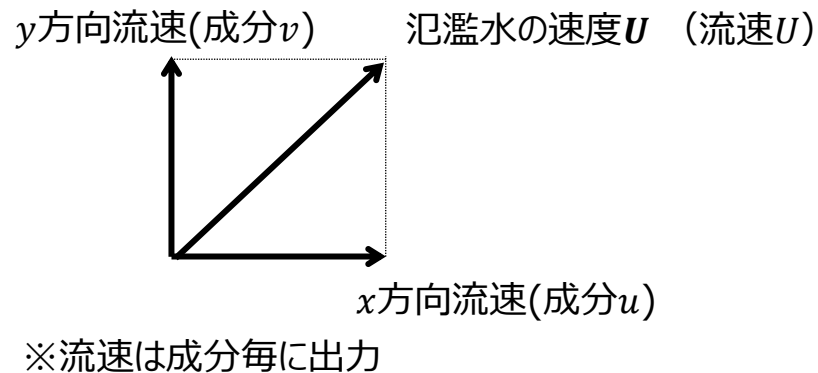
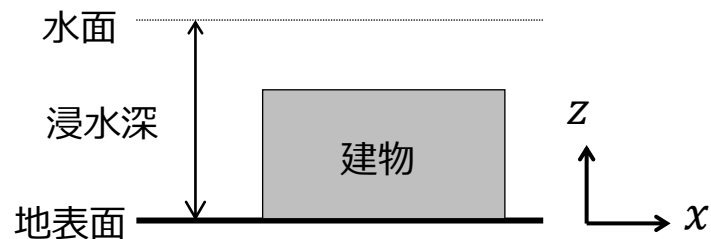
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A. 浸水シミュレーションの概要

計算領域は、岡崎市に大きな浸水被害が予測される代表的な破堤点BP117（矢作川28.6km左岸）を含む、約5km×約10kmの範囲とした。

浸水シミュレーションの座標系

- x 軸を東西方向、 y 軸を南北方向とする平面直角座標Ⅶ系（epsg:6675）を採用し、 z 軸（鉛直上向き方向）は東京湾平均海面からの高さとした。
- 浸水深は、地表面からの水位(m)として定義した。
- 氾濫水の流速 U (m/s)は、 x 軸方向の流速成分を u 、 y 軸方向の流速成分を v として定義される大きさである（ $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ ）。



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.1 氾濫水の広がり計算

流速・浸水深の計算（浸水解析の基礎方程式）

洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)に従い、氾濫水の運動（広がり流速）の鉛直スケールが水平スケールより小さい浅水場で成立する基礎方程式系（静水圧近似）を採用した。計算スキームは、他の計算スキームと比べても、比較的、安定・高精度（時間・空間ともに2次精度）に流体方程式を解けること、流体分野での豊富な実績があることを踏まえ、Lax-Wendroff法を用いた。

浸水シミュレーションに用いた基礎方程式

$$\gamma_v \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_x \frac{Q_x^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma_y \frac{Q_x Q_y}{h} \right) + g \gamma_v h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} + g \gamma_v n^2 \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h^{7/3}} + \frac{1}{2} C_D' (1 - \gamma_v) \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h} - K \left(\frac{\partial^2 Q_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_x}{\partial y^2} \right) = 0$$

$$\gamma_v \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma_x \frac{Q_x Q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma_y \frac{Q_y^2}{h} \right) + g \gamma_v h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} + g \gamma_v n^2 \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h^{7/3}} + \frac{1}{2} C_D' (1 - \gamma_v) \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h} - K \left(\frac{\partial^2 Q_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_y}{\partial y^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_x Q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_y Q_y)}{\partial y} = 0$$

※方程式は、河川から流出した氾濫水が堤内地を流下・拡散する現象を、氾濫流の慣性力、圧力傾度力（圧力差により生じる力）、地面との摩擦力、建物からの抗力、粘性力によって表現したもの。

※詳細モデルでは、建物の存在を標高として表現するため（標高 = 地盤高 + 建物高）、すべてのメッシュで空隙率 $\gamma = 1$ である。

※氾濫水の広がり計算に建物の流失・倒壊は考慮されない（建物は常に存在したままの状態）で氾濫水の広がり計算される。

変数		入出力データとの対応
Q_x, Q_y	x, y 方向の単位幅流量(m^2/s)	流速(m/s)に換算し、時系列データ及び最大浸水深・流速データとして出力
h	水深(m)	<ul style="list-style-type: none"> 時系列データ及び最大浸水深・流速データとして出力 河川及び計算領域の境界部にあたるメッシュでは、河川からの流入データ及び計算境界からの流入データから読み込んだデータから水深の変化を境界条件として設定
z_b	標高(m)	メッシュデータから読み込み
$\gamma_v, \gamma_x, \gamma_y$	空隙率(-)、透過率(-)※従来手法のみ	メッシュデータから読み込み
n	土地利用に応じた粗度係数($m^{-1/3} \cdot s$)	メッシュデータから読み込んだ土地利用フラグに基づき設定
C_D'	抗力係数/建物の代表長さ※従来手法のみ	0.383（「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」と同じ）
K	水平渦動粘性係数(m^2/s)	10（25mモデル）、5（5m, 2.5mモデル）

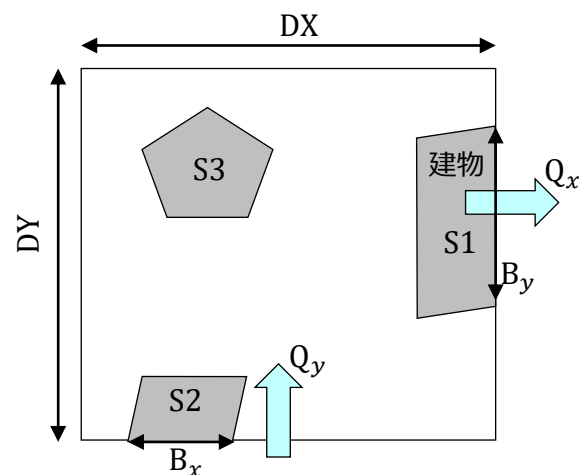
※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」p.12~13（2017年10月）
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.1 氾濫水の広がり計算

空隙率・透過率

1メッシュ内に複数建物が存在する場合のイメージ



$$\gamma_v = 1 - (S1 + S2 + S3)/(DX \times DY) \quad (\text{式(1)})$$

$$\gamma_x = 1 - B_y/DY, \quad \gamma_y = 1 - B_x/DX \quad (\text{式(2)})$$

ここで γ_v を空隙率、 γ_x, γ_y をそれぞれ x, y 方向の透過率とする

- 洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)を参考に、3D都市モデルの建築物モデルから空隙率・透過率(従来手法のみで使用)を算定した。
- 氾濫流が市街地を通過する場合、地形の影響だけでなく、建物により流れを阻止され、道路空間に流れが集中する。ただし、洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)では、浸水解析において広大なエリアを対象とした場合、個々の建物を境界条件とすることは実務上困難であるためメッシュに空隙率と透過率を設定している。
- 空隙率(メッシュ内の空隙の割合)は、メッシュ内の建物占有率($S1 + S2 + S3$)/($DX \times DY$)を用いて式(1)から算定され、個々の建物を取り扱うことなく流量を規定することができる。
※洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)に従い、空隙率の下限値を10%に設定し計算の安定化を図った。
- 透過率(メッシュ境界における空隙の割合)は、メッシュ境界上の建物占有延長率($B_x/DX, B_y/DY$)から式(2)で算定され、メッシュ間の流量の移動を規定することができる。

出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」p.14 (2017年10月)
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.1 氾濫水の広がり計算

排水

- 浸水したメッシュに排水機場や水門等（水門・樋管・樋門）が存在する場合、施設の排水能力に従って当該メッシュに存在する氾濫水が河川に排水される機能を実装した。
- ポンプや水門が位置するメッシュ (x_p, y_p) の排水量 Q_p は、ポンプや水門の現状排水量（p.58）と排水口面積（ ΔS ）から、吸い込み（シンク）として与える。

浸水シミュレーションに用いた基礎方程式

$$\gamma \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma \frac{Q_x^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma \frac{Q_x Q_y}{h} \right) + g\gamma h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial x} + g\gamma n^2 \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h^{7/3}} + \frac{1}{2} C_D' (1 - \gamma) \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h} - K \left(\frac{\partial^2 Q_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_x}{\partial y^2} \right) = 0$$

$$\gamma \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma \frac{Q_x Q_y}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma \frac{Q_y^2}{h} \right) + g\gamma h \frac{\partial(h+z_b)}{\partial y} + g\gamma n^2 \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h^{7/3}} + \frac{1}{2} C_D' (1 - \gamma) \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{h} - K \left(\frac{\partial^2 Q_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q_y}{\partial y^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma Q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma Q_y)}{\partial y} = \boxed{\frac{Q_p(x_p, y_p)}{\Delta S}} \leftarrow \text{吸い込み (シンク)}$$

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物リスク計算

機能A.2 リスク判定ビットの計算

データ量を削減し効率的な処理を行うため、建物流失・倒壊リスクはビット演算を用いて計算する。

- 建物属性は建物属性ビットで表現し処理を行う
- 岡崎市で整備されている3D都市モデルに含まれる右表の9通りの建物属性を考慮した
- 岡崎市3D都市モデルは建物構造種別を木造/非木造で整備
- 判定を行う建物の建物属性ビット
- 桁が建物構造種別に対応し、1のフラグがその建物の構造種別
- 浸水シミュレーションから浸水深・流速をリスクビットに変換
- 桁が建物構造種別ごとのリスクに対応し、1のフラグがリスク有
- リスク判定結果
- 1ならばリスク有
- 0ならばリスク無

建物属性ビット	地上4階	地上3階	地上2階	地上1階
木造かつ建築年S56後, 新耐震基準	00100 0000	00001 0000	00000 0100	00000 0001
木造かつ建築年S56前, 旧耐震基準	01000 0000	00010 0000	00000 1000	00000 0010
非木造	10000 0000			

木造3旧

0 0 0 1 0 0 0 0 0

AND演算

非木造	木造4旧	木造4新	木造3旧	木造3新	木造2旧	木造2新	木造1旧	木造1新
リスク無	リスク無	リスク無	リスク有	リスク有	リスク有	リスク有	リスク有	リスク有

0 0 0 1 1 1 1 1 1

=

0 0 0 1 0 0 0 0 0

演算結果が1、すなわちリスクあり

ビット演算AND = 桁ごとに計算、双方1の場合のみ1

0 1 0 1

AND演算

1 1 0 0

=

0 1 0 0

ビット演算OR = 桁ごとに計算、少なくとも一方が1ならば1

0 1 0 1

OR演算

1 1 0 0

=

1 1 0 1

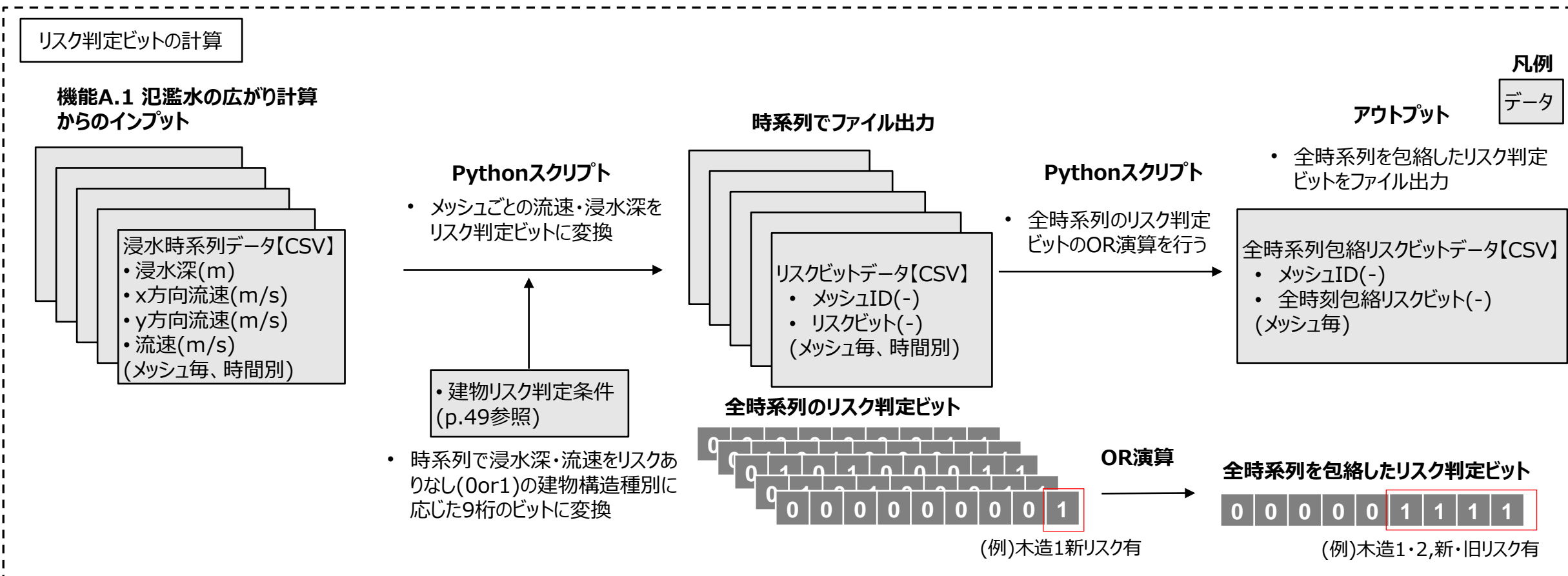
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物リスク計算

機能A.2 リスク判定ビット計算のアルゴリズム

リスク判定ビットの計算

- 機能A.1 氾濫水の広がり計算で得た浸水時系列データから、時系列のリスクビットを計算する。
- 時系列のリスクビットからOR演算を用いて全時系列を包絡するリスクビットを計算する。



Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失リスク計算

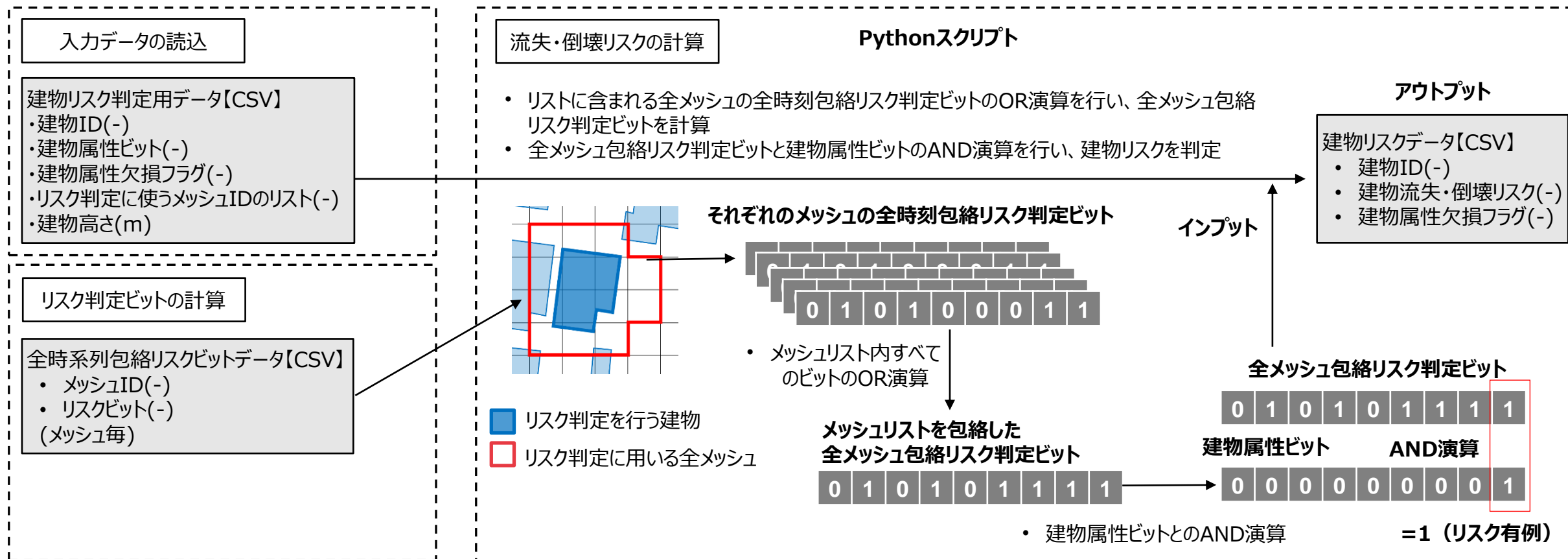
機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

建物流失・倒壊リスクの計算フロー

- 全時刻包絡リスク判定ビットと建物属性ビットのAND演算を用いて建物流失・倒壊リスクを判定する。

凡例

データ



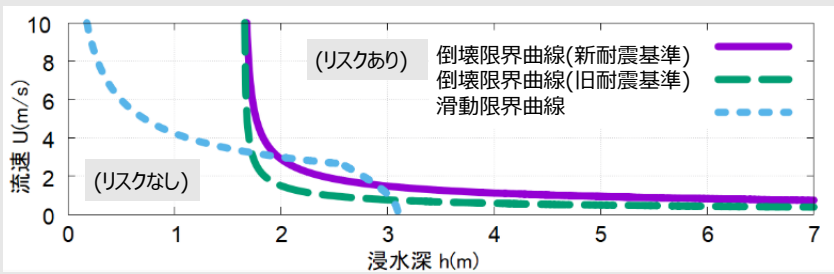
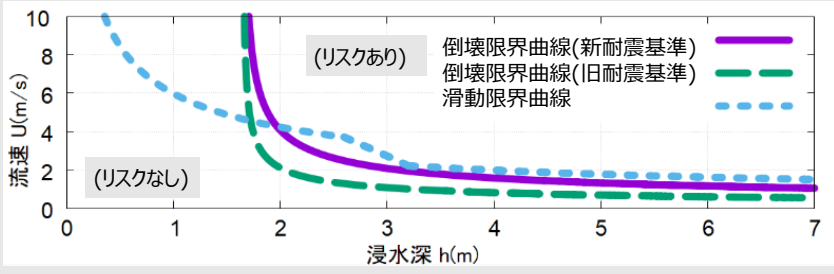
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

木造建物の建物流失・倒壊リスク判定条件

- 木造建物については、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」で示されたモデル住宅をもとに評価する。
- 建物属性で与えられる建築年情報を活用し、S56年新旧耐震基準による建物強度の違いを考慮する。
- 建物での最大流速・浸水深が表内式で与えられる倒壊または滑動の限界曲線のいずれか1つでも上回った場合には流失・倒壊リスクありと判定する。

構造種別	判定ビット	判定条件		図示
		倒壊限界曲線 (流速 U (m/s)、浸水深 h (m))	滑動限界曲線 (流速 U (m/s)、浸水深 h (m))	
木造地上1階 新耐震基準	00000 0001	$U = \sqrt{\frac{2.92}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{17.88}{h}}$ $0\text{m} \leq h < 2.6\text{m}$	
木造地上1階 旧耐震基準	00000 0010	$U = \sqrt{\frac{0.78}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{103.86-33.53h}{h}}$ $2.6\text{m} \leq h < 3.1\text{m}$	
木造地上2階 新耐震基準	00000 0100	$U = \sqrt{\frac{5.83}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{35.76}{h}}$ $0\text{m} \leq h < 2.6\text{m}$	
木造地上2階 旧耐震基準	00000 1000	$U = \sqrt{\frac{1.56}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{122.95-33.53h}{h}}$ $2.6\text{m} \leq h < 3.2\text{m}$ $U = \sqrt{\frac{15.65}{h}}$ $3.2\text{m} \leq h$	

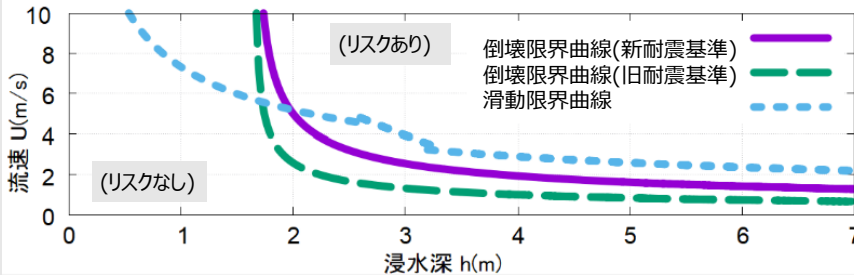
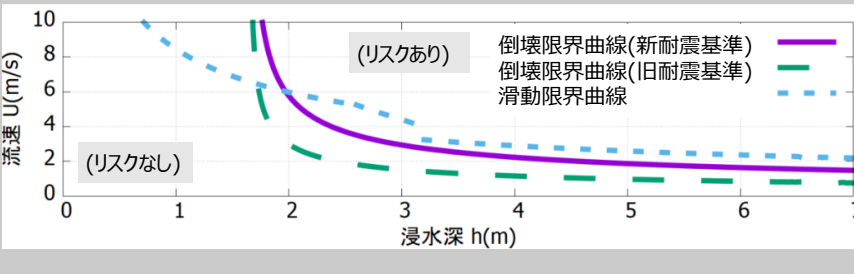
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

木造建物の建物流失・倒壊リスク判定条件

- 木造建物については、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」で示されたモデル住宅をもとに評価する。
- 建物属性で与えられる建築年情報を活用し、S56年新旧耐震基準による建物強度の違いを考慮する。
- 建物での最大流速・浸水深が表内式で与えられる倒壊または滑動の限界曲線のいずれか1つでも上回った場合には流失・倒壊リスクありと判定する。

構造種別	判定ビット	判定条件		図示
		倒壊限界 (流速 U (m/s)、浸水深 h (m))	滑動限界曲線 (流速 U (m/s)、浸水深 h (m))	
木造地上3階 新耐震基準	00001 0000	$U = \sqrt{\frac{8.75}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{53.64}{h}}$ $0\text{m} \leq h < 2.6\text{m}$ $U = \sqrt{\frac{147.04-33.53h}{h}}$ $2.6\text{m} \leq h < 3.2\text{m}$	
木造地上3階 旧耐震基準	00010 0000	$U = \sqrt{\frac{2.34}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{33.53}{h}}$ $3.2\text{m} \leq h$	
木造地上4階 新耐震基準	00100 0000	$U = \sqrt{\frac{11.67}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{71.52}{h}}$ $0\text{m} \leq h < 2.6\text{m}$ $U = \sqrt{\frac{158.7-33.53h}{h}}$ $2.6\text{m} \leq h < 3.2\text{m}$	
木造地上4階 旧耐震基準	01000 0000	$U = \sqrt{\frac{3.12}{(h-1.650)}}$ $1.65\text{m} < h$	$U = \sqrt{\frac{33.53}{h}}$ $3.2\text{m} \leq h$	

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

木造建物の建物流失・倒壊リスク判定条件の導出

- 木造建物のリスクについては、洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）※1をもとに、以下を対象とする。
 - 倒壊限界（作用荷重が家屋の最終せん断応力※2を上回る限界）
 - 滑動限界（作用荷重が基準底面の摩擦力※3を上回る限界）
- 流速と浸水深がこれらの限界を超えた場合、流失・倒壊リスクがあると判定する。

※2 最終せん断応力：

家屋に水平方向の外力を加えたときに、不可逆的な変形を生じる応力の閾値のこと。

※3 基準底面の摩擦力：

家屋への作用加重により基礎底面から家屋全体が横滑りする際に働く摩擦力のこと

倒壊限界

流体力による荷重 F_a と最終せん断応力 P_u が等しくなった時と考え、 $P_u = F_a$ が成り立つ浸水深 h と流体力の関係を算出する。

$$F_a = \frac{1}{2} \rho C_D B (h - z) U^2 = P_u$$

$$U^2 = \frac{2P_u}{\rho C_D B (h - z)} = \left(\frac{2P_u}{\rho C_D B} \right) \frac{1}{(h - z)}$$

浸水深 h と流速 U の関係は
右式で与えられる。

$$U = \sqrt{\left(\frac{2P_u}{\rho C_D B} \right) \frac{1}{(h - z)}} \quad z < h$$

ここで、
流体の密度： $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ 、流速： U 、抗力係数： C_D 、浸水深： h 、
2階床高の1/2の高さ： z 、受圧幅： B 、受圧面積： $A = B(h - z)$
とする。

滑動限界

流体力 F_c と摩擦力 $\mu (W - F_v)$ が等しくなった時と考え、 $F_c = \mu (W - F_v)$ が成り立つ浸水深 h と流速 U の関係を算出する。

$$F_c = \frac{1}{2} \rho C_D B h U^2$$

$$F_v = \rho g V = \begin{cases} 0 & 0m \leq h < 2.6m \\ \rho g B^2 (h - 2.6) & 2.6m \leq h < 3.2m \\ 0.6 \rho g B^2 & 3.2m \leq h \end{cases}$$

流体力 F_c と摩擦力 $\mu (W - F_v)$ が等しくなった時、家屋が滑動すると考えられる。

$$F_c = \frac{1}{2} \rho C_D B h U^2 = \mu (W - F_v)$$

したがって、浸水深 h と流速 U
の関係は右式で与えられる。

$$U = \sqrt{\left\{ \frac{2\mu (W - F_v)}{\rho C_D B} \right\} \frac{1}{h}} \quad 0m \leq h$$

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」付属参考資料1 (2017年10月)

https://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/saigai/tisiki/syozaiti/pdf/manual_kouzuishinsui_171006.pdf

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

木造建物の建物流失・倒壊リスク判定条件の導出※1

- 倒壊、滑動それぞれの限界を求めるのに必要な木造2階建ての諸元（家屋幅、家屋重量、摩擦係数、単位壁量、床面積、屋根形式）については、以下の木造2階建てモデル家屋の数値を用いる。
- 木造1階建てに関しては、木造2階建てモデル住宅をもとに家屋重量と単位壁量を0.5倍と仮定する。
- 木造3階建てに関しては、木造2階建てモデル住宅をもとに家屋重量と単位壁量を1.5倍と仮定する。
- 木造4階建てに関しては、木造2階建てモデル住宅をもとに家屋重量と単位壁量を2倍と仮定する。
- S56新旧耐震基準による建物の強度の違いは単位壁量を用いて考慮する。

1) 入力諸元

家屋の諸元については、家屋幅： $B = 7.280\text{m}$ 、抗力係数： $C_D = 2.128$ （高橋※3より）
 浸水深： h 、2階床高の1/2の高さ： $z = 1.650\text{m}$ である。

また、家屋重量： $W = 554.028\text{kN}$ 、摩擦係数： $\mu = 0.5$ である。

2) 最終せん断耐力

家屋の最終せん断耐力 P_u については「津波避難ビル等の構造上の要件の解説」※2にある「津波により浸水の恐れがある地域における住宅の設計例2（2階建て木造住宅）」より、短期許容せん断耐力 P_a の1.5倍とし、短期許容せん断耐力については、表に示す新耐震基準（1981年）及び旧耐震基準（1950年）の必要壁量を適用し、軽い屋根形式の2階建て家屋における1階部分のせん断力を算定した。

3) 短期許容せん断耐力

家屋の短期許容せん断耐力は基準耐力×単位壁量×床面積で与えられる。基準耐力については新耐震基準について2001年以降の1.96 kN/m、旧耐震基準については2000年以前の1.27 kN/mを適用する。

表 モデル家屋の単位壁量の変遷（単位：cm/m²）

屋根形式	階層	1950年 (旧耐震基準)	1959年 (旧耐震基準)	1981年 (新耐震基準)
軽い屋根の場合	2F	8	12	15
	1F	12	21	29
重い屋根の場合	2F	12	15	21
	1F	16	24	33

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」付属参考資料1（2017年10月）
https://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/saigai/tisiki/syozaiti/pdf/manual_kouzuishinsui_171006.pdf

※2 出所) 国土技術政策総合研究所「津波避難ビル等の構造上の要件の解説」付属資料（2012年3月）
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0673.htm>

※3 出所) 高橋ほか「洪水氾濫による家屋流出の危険度評価」京大防災研究所年報第28号（1985年4月）

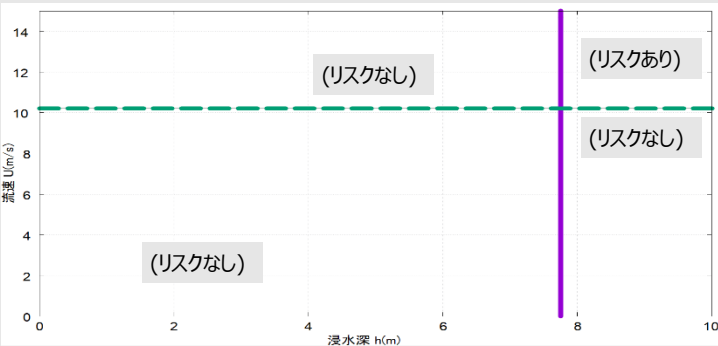
Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

非木造建物の建物流失・倒壊リスク判定条件

- 非木造建物については様々な構造が考えられるため、建物流失・倒壊リスクを簡易に評価する方法は確立しておらず、様々な検討※1,2,3が行われているが、ここではそれらの中から津波被害調査に基づく論文※2で報告された簡易評価法を用いることとする。
- 非木造建物はすべて鉄筋コンクリート造ないしはコンクリート・ブロック造と仮定すると、※2では大破に至る流速を10.2m/s、建物単位幅あたりの抗力を16.9(tf/m)としている。
- 抗力 F_D と浸水深 h_f の関係は右式で与えられる: $F_D = 2.20\gamma C_D h_f^{2.21} B/g$ (ここで、 γ を流体の単位体積重量、 C_D を抗力係数、 B を浸水部分幅、 g を重力加速度とする。)
- 論文に従い抗力係数 $C_D = 1$ とし大破に至る限界を浸水深として算出すると、浸水深 $h_f = 7.75(m)$ となる。

構造種別	判定ビット	判定条件	
		流失・倒壊限界(流速 $U(m/s)$ 、浸水深 $h(m)$)	図示
非木造	10000 0000	$U > 10.2(m/s)$ <i>and</i> $h > 7.75(m)$	

※1 出所) 国土技術政策総合研究所「津波避難ビルなどの構造上の要件」解説付属資料 (2012年3月) <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn0673.htm>

※2 出所) 松富ほか「津波の浸水深、流速と家屋被害」, 海岸工学論文集, Vol.41, 1994

※3 出所) 鈴木ほか「目標性能を考慮するRC造り建築物の耐・対津波設計法に関する考察」コンクリート年次論文集, Vol.36, No.2, 2014

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

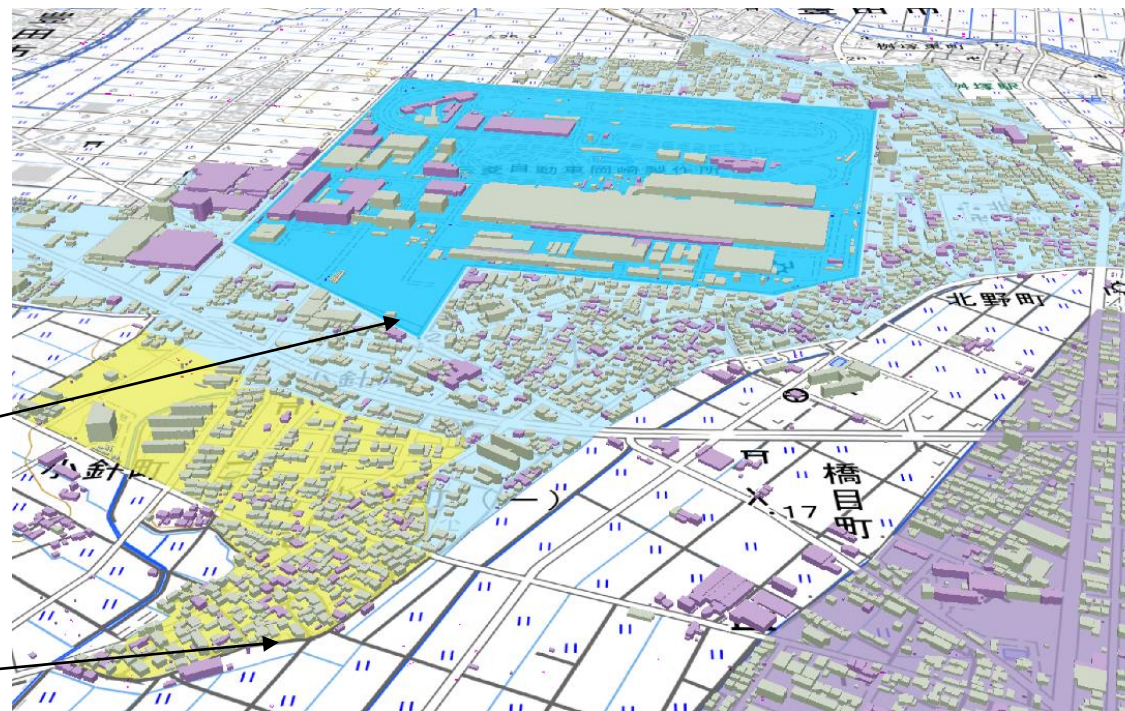
システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算

機能A.2 建物流失・倒壊リスク計算のアルゴリズム

属性が欠損している建物の建物流失・倒壊リスク判定条件

- 一部の建物については属性情報が欠損しているため、建物属性を仮定して評価した。
- 木造建物については一部に建築年の欠損がみられ、安全側のリスク評価を行うため建築年をS56年以前の旧耐震基準と仮定・補完した。
- 一部建物の建物構造種別に欠損がみられるため、下記の表に基づいて3D都市モデルの持つ他の属性から仮定・補完することとした。
- 3D都市モデル属性として、立地地域: luse:LandUseを用いた。

立地/用いた属性	工業専用地域	工業専用地域以外かつ建物面積300m ² 以上	工業専用地域以外かつ建物面積300m ² 以下
仮定した建物構造種別	非木造	非木造	木造2階建て 建築年S56前, 旧耐震基準



工業専用地域：欠損は非木造を仮定

第一種住居地域：欠損は建物面積に応じて非木造/木造2階建て旧耐震を仮定

凡例

- 第1種低層住居専用地域
- 第1種中高層住居専用地域
- 第2種中高層住居専用地域
- 第1種住居地域
- 第2種住居地域
- 準住居地域
- 近隣商業地域
- 商業地域
- 準工業地域
- 工業地域
- 工業専用地域

属性欠損

- 欠損あり
- 欠損なし

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | 3D都市モデル一覧

地物	地物型	属性区分	属性名	内容
建築物LOD1	bldg:Building	主題属性	uro:buildingStructureType	構造種別
			bldg:yearOfConstruction	建築年
			bldg:storeysAboveGround	地上階数
			building_gml:ID※1	建物ID
		空間属性	bldg:lod1Solid※2	lod1立体
地形LOD1	dem:TinRelief	空間属性	dem:tin	TIN
土地利用	luse:LandUse	主題属性	luse:class	土地利用区分

※1標準仕様には含まれないが整備済みの属性

※2建物ポリゴンの座標からなり、建物形状・高さの情報を含む

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | その他の活用データ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
土地利用細分メッシュデータ	3次メッシュ1/10細分区画（100mメッシュ）毎に、各土地利用区分（田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、湖沼、河川等）を整備したデータ ※岡崎市外など3D都市モデルが整備されていない計算領域について、本データを利用した	SHPファイル	国土交通省 国土数値情報 ※1
排水施設の情報	排水機場（ポンプ排水）、排水能力（ m^3/s ） 水門等（水門、樋管、樋門）、形状寸法（m）	文書	豊橋河川事務所 提供資料 ※2
既存の浸水シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 矢作川の想定最大規模の浸水深時系列データ 関連する技術資料 	SHPファイル	豊橋河川事務所 提供資料 およびデータ※2

※1 出所) 国土交通省「土地利用細分メッシュ 第3.1版」(データ作成年度:令和3年度)
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b-v3_1.html

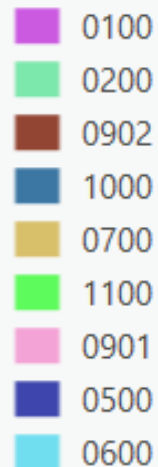
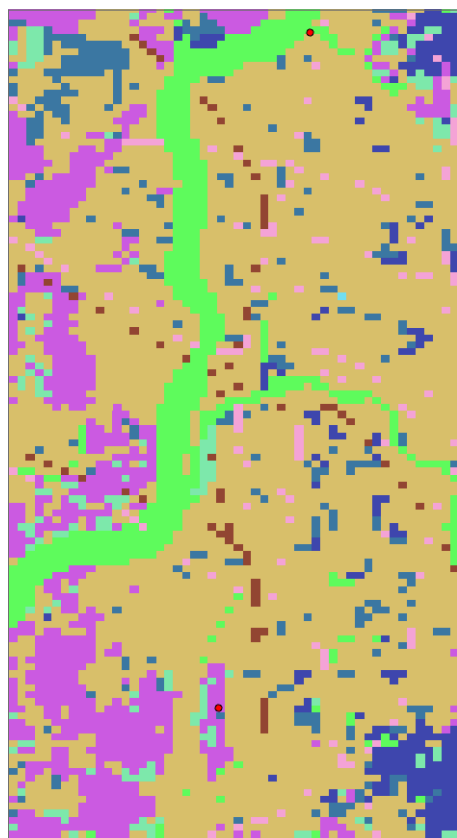
※2 出所) 豊橋河川事務所が実施した矢作川浸水想定区域図作成に関連する技術資料及びデータ

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | 土地利用細分メッシュデータ

計算領域のうち、3D都市モデルの土地利用データが未整備部分（岡崎市外等）のデータを利用

活用した土地利用細分メッシュデータの分布
3次メッシュ1/10細分区画（100mメッシュ）



土地利用コードと定義

土地利用細分メッシュデータ※1			3D都市モデル 土地利用分類		粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot s$)
コード	種別	定義	コード	定義	
100	田	湿田・乾田・沼田・蓮田及び田とする。	201	田（水田）	0.020
200	その他の農用地	麦・陸稲・野菜・草地・芝地・りんご・梨・桃・ブドウ・茶・桐・はぜ・こぞ・しゅろ等を栽培する土地とする。	202	畑（畑、樹園地、採草地、養鶏（牛・豚）場）	0.020
500	森林	多年生植物の密生している地域とする。	203	山林（樹林地）	0.030
600	荒地	しの地・荒地・がけ・岩・万年雪・湿地・採鉱地等で旧土地利用データが荒地であるところとする。	205	その他自然地（原野・牧野、荒地、低湿地、河川敷・河原、海浜、湖岸）	0.025
700	建物用地	住宅地・市街地等で建物が密集しているところとする。	211	住宅用地（住宅、共同住宅、店舗等併用住宅、店舗等併用共同住宅、作業所併用住宅）	0.025
901	道路	道路などで、面的に捉えられるものとする。	215	道路用地（道路、駅前広場）	0.020
902	鉄道	鉄道・操車場などで、面的にとらえられるものとする。	216	交通施設用地	0.025
1000	その他の用地	運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校・港湾地区・人工造成地の空地等とする。	205	その他自然地（原野・牧野、荒地、低湿地、河川敷・河原、海浜、湖岸）	0.025
1100	河川地及び湖沼	人工湖・自然湖・池・養魚場等で平水時に常に水を湛えているところ及び河川・河川区域の河川敷とする。			

※1 出所) 国土交通省「土地利用細分メッシュ 第3.1版」(データ作成年度:令和3年度)
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b-v3_1.html

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | 排水施設

計算領域に含まれる排水施設（排水機場、水門等）の位置、形状、排水能力に関する情報を利用

活用した排水施設の情報（排水機場）※

河川	区間	排水機場	現状排水量 (m ³ /s)
矢作川	河口～上流端	合歓木排水機場	11.000
		赤渋ポンプ場	22.680
		旧八帖及び八帖ポンプ場	14.000
		大門ポンプ場	21.680
		上郷排水機場	4.120
		上郷柳川瀬排水機場	15.000

※表は、活用した排水施設に関する情報の一例。実際には、水門も含む情報を活用した。

出所) 豊橋河川事務所「矢作川河川維持管理計画」p.2-15 (2018年9月) を基に作成
<https://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/jigyuu/yahagigawa/ijikanri/index.html>

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

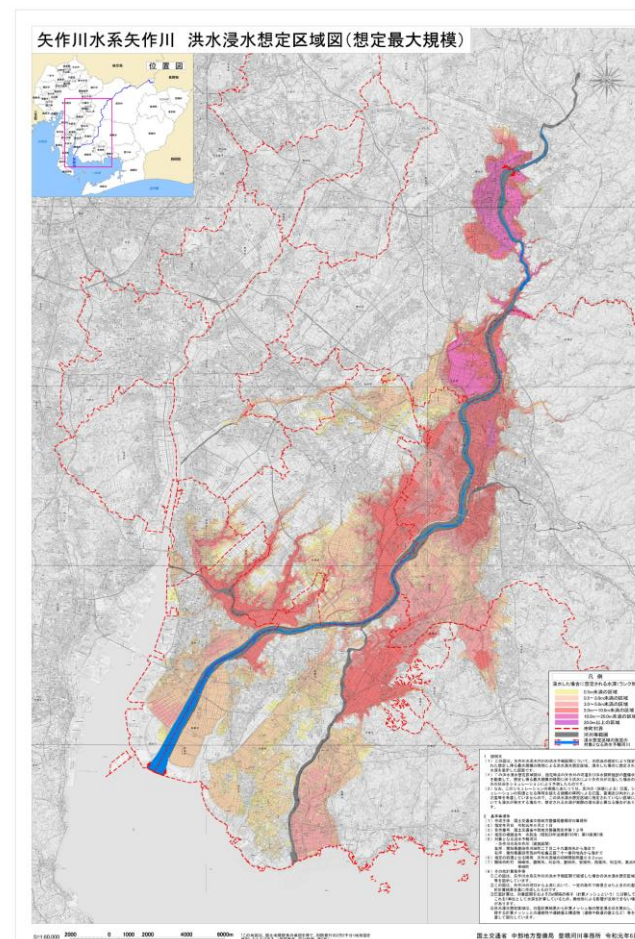
① 活用データ | 既存の浸水シミュレーション

矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）等を作成する際に実施された既存の浸水シミュレーション結果（浸水深）をシミュレーション条件設定や結果の検証に利用

- 想定最大規模の降雨によって矢作川が氾濫した場合の「洪水浸水想定区域図」、「家屋倒壊等氾濫想定区域」等を作成する際に実施された浸水シミュレーションの結果（浸水深）
- シミュレーションは、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」※1に定められた手法（従来手法）※2に基づき実施されている。
- 利用した浸水シミュレーションの主要条件
 - 対象河川：矢作川
 - 破堤点：BP117（矢作川28.6km左岸）
 - 想定降雨規模：想定最大規模降雨（2日雨量683mm）
 - メッシュサイズ：25m×25m

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」(2017年10月)
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

※2：水防法14条に基づき、「洪水浸水想定区域図」、「家屋倒壊等氾濫想定区域」その他洪水時の円滑かつ迅速な避難の確保及び浸水の防止のために必要な情報を提供するための標準的な手法



出所) 豊橋河川事務所「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」(2019年6月)
https://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/bohsai/shinsui/yahagigawa/yaha_ks_max.html

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

「システム機能A.1 氾濫水の広がり計算」への入力データ

システムに入力するデータ (データ形式)		用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
メッシュデータ (CSV形式)	標高(m)	浸水シミュレーション用の標高データ (地盤高+建物高) ※建物高は詳細手法でのみ使用	<ul style="list-style-type: none"> 地形 (起伏) LOD1モデル (FGDB形式) から地盤高を抽出し、CSV形式へ変換 建築物LOD1モデル (FGDB形式) から建物高を抽出し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	3D都市モデル (CityGML形式)
	土地利用フラグ(-)	浸水シミュレーション用の粗度係数データ	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用LOD1モデル (FGDB形式) と土地利用細分メッシュデータ (SHPファイル) を統合し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	3D都市モデル (CityGML形式) 国土数値情報 (SHPファイル形式)
	空隙率(-)	浸水シミュレーション用の空隙率	<ul style="list-style-type: none"> 建築物LOD1モデル (FGDB形式) から各メッシュにおける建物占有率を計算 空隙率 (= 1-建物占有率) をCSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	3D都市モデル (CityGML形式)
	透過率(-)	浸水シミュレーション用の透過率	<ul style="list-style-type: none"> 建築物LOD1モデル (FGDB形式) から各メッシュ境界上の建物占有延長率を計算 透過率 (= 1-建物占有延長率) をCSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	3D都市モデル (CityGML形式)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

「システム機能A.1 氾濫水の広がり計算」への入力データ

システムに入力するデータ (データ形式)		用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
初期浸水深データ (CSV形式)	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の初期浸水深	<ul style="list-style-type: none"> 計算領域の初期時刻における浸水深 (SHPファイル) を各メッシュに補間し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	豊橋河川事務所 浸水深時系列データ (SHPファイル形式)
河川境界での浸水深時系列データ (CSV形式)	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の河川からの流出入量	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用分類コードから河川境界を抽出 河川境界上の浸水深 (SHPファイル) を抽出し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	豊橋河川事務所 浸水深時系列データ (SHPファイル形式)
計算境界での浸水深時系列データ (CSV形式)	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の計算境界からの流出入量	<ul style="list-style-type: none"> 計算境界上の浸水深 (SHPファイル) を抽出し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	豊橋河川事務所 浸水深時系列データ (SHPファイル形式)
排水データ (CSV形式)	単位面積当たりの排水量 (m/s)	浸水シミュレーション用の排水量	<ul style="list-style-type: none"> 排水施設データ (文書) の位置情報から排水施設を設置し、CSV形式へ変換 	ArcGIS Pro、Python	豊橋河川事務所 排水施設データ (文書)
コントロールデータ (TXT形式)	現象時間 (秒) 計算時間間隔 (秒) 出力時間間隔 (秒)	浸水シミュレーション用の計算パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> 処理なし、そのまま読み込み 	—	—

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

「システム機能A.2 建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算」、
「システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成」
への入力データ

システムに入力するデータ (データ形式)		用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
浸水時系列データ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none"> ・浸水深(m) ・x方向流速(m/s) ・y方向流速(m/s) ・流速(m/s) 	建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算、可視化用データ作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸水シミュレーションプログラム内で計算 	Fortran	浸水シミュレーションの入力データ
最大浸水深データ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none"> ・最大浸水深(m) ・最大浸水深に到達した時刻の流速(m/s) 	建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算、可視化用データ作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸水シミュレーションプログラム内で最大値を抽出 	Fortran	浸水シミュレーションプログラム内で計算された時系列の浸水深、流速データ
最大流速データ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none"> ・最大流速に到達した時刻の浸水深(m) ・最大流速 	建物流失・倒壊リスク、水没リスク計算、可視化用データ作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸水シミュレーションプログラム内で最大値を抽出 	Fortran	浸水シミュレーションプログラム内で計算された時系列の浸水深、流速データ
建物リスクデータ (CSV形式)	<ul style="list-style-type: none"> ・建物ID ・流失・倒壊リスク (-) ・水没リスク(-) ・最大浸水深(m) ・最大浸水深ランク(-) ・最大流速(m) ・最大流速ランク(-) ・建物属性欠損フラグ 	属性付与、可視化用データ作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浸水シミュレーションプログラム内で計算 	Python	浸水シミュレーションプログラム内で計算された時系列の浸水深、流速データ、最大浸水深、最大流速データ、および浸水シミュレーションの入力データ

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

「システム機能C. 可視化」への入力データ

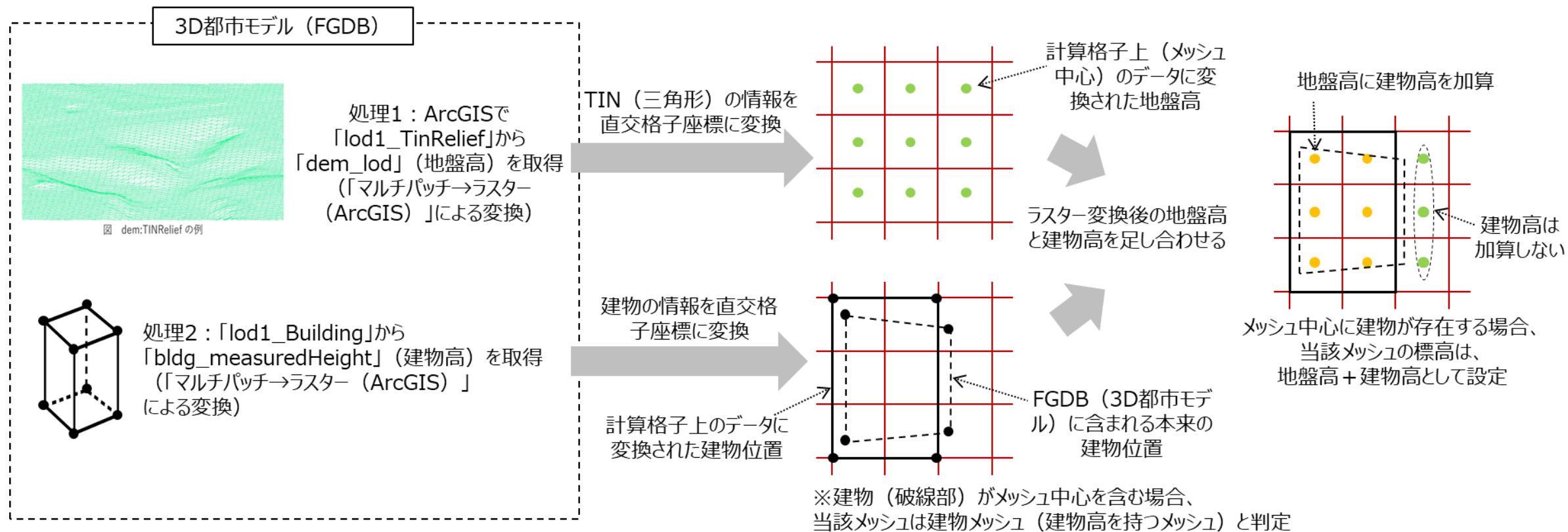
システムに入力するデータ (データ形式)		用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)
属性付与済み3D都市モデル (建築物モデル) (CityGML形式)	-	3D都市モデルへの属性付与	<ul style="list-style-type: none"> Pythonスクリプトを用いて建物最大浸水深・最大流速、浸水深・流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクをCityGML形式のデータに直接書き込み 	Python	建物リスクデータ (CSV形式) (機能Bで出力)
建築物モデル (3DTiles形式)	-	可視化用データ	<ul style="list-style-type: none"> FMEワークスペースを用いてCityGML形式の属性付与済み3D都市モデルを3DTilesに変換 	FME	属性付与済み3D都市モデル (CityGML形式)
流速アロー時系列可視化データ (CZML形式)	-	可視化用データ	<ul style="list-style-type: none"> Pythonスクリプトを用いて時系列の浸水深・流速からCZML形式のデータを生成 	Python	浸水時系列データ (CSV形式) (機能A.1で出力)
時系列浸水面可視化データ (3DTiles, CZML形式)	-	可視化用データ	<ul style="list-style-type: none"> FMEワークスペースを用いてCSV形式の時系列の浸水深・流速データをGeoTIFF形式に変換 FMEワークスペースを用いてGeoTIFF形式のデータをCZML形式に変換 	FME	浸水時系列データ (CSV形式) (機能A.1で出力)
最大浸水面可視化データ (3DTiles形式)	-	可視化用データ	<ul style="list-style-type: none"> FMEワークスペースを用いてCSV形式の時系列の浸水深・流速データをGeoTIFF形式に変換 FMEワークスペースを用いてGeoTIFF形式のデータをCZML形式に変換 	FME	最大浸水深・最大流速データ (CSV形式) (機能A.1で出力)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ 浸水シミュレーション用入力データ処理

メッシュデータ（標高）の生成

- 標高※データ作成においては、地盤高（TIN（三角形）サーフェスで構成）と建物高を浸水シミュレーション用の直交格子座標上のデータに変換する必要がある。このため、まずArcGIS上で地盤高及び建物高をラスタ変換することで、直交格子座標上のデータに変換する。
- 変換後のデータを下図の考え方に従い、浸水シミュレーションで用いる直交格子座標上で重畳し、標高データを作成する。

※ここでの標高は、地盤高と建物高を足し合わせた値（従来手法の場合は、建物高を加算せず、地盤高を標高とする）

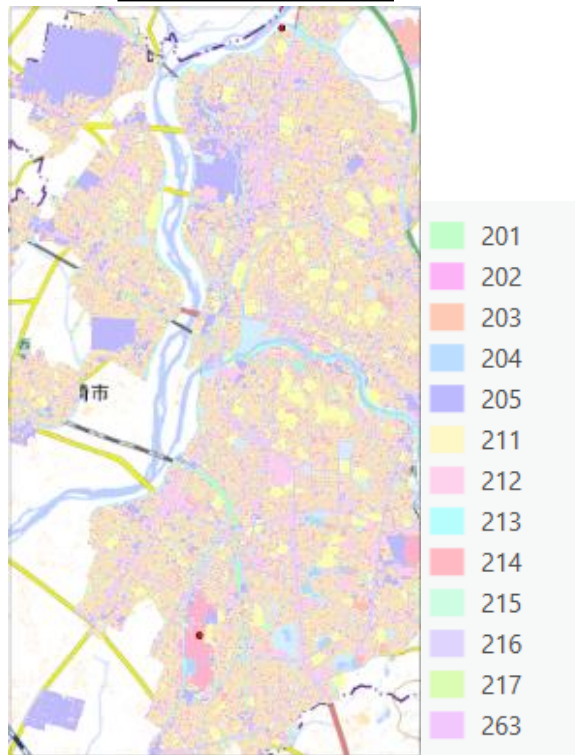


Ⅲ. 実証システム > 6. データ 浸水シミュレーション用入力データ処理

メッシュデータ（土地利用）の生成

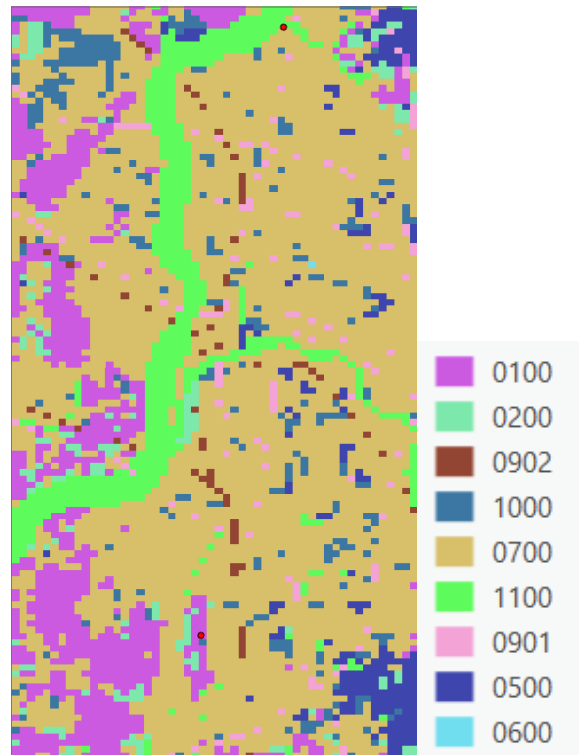
3D都市モデルの土地利用と土地利用細分メッシュを結合することで、土地利用メッシュデータを作成する。

3D都市モデルに含まれる土地利用データの
計算領域内での分布



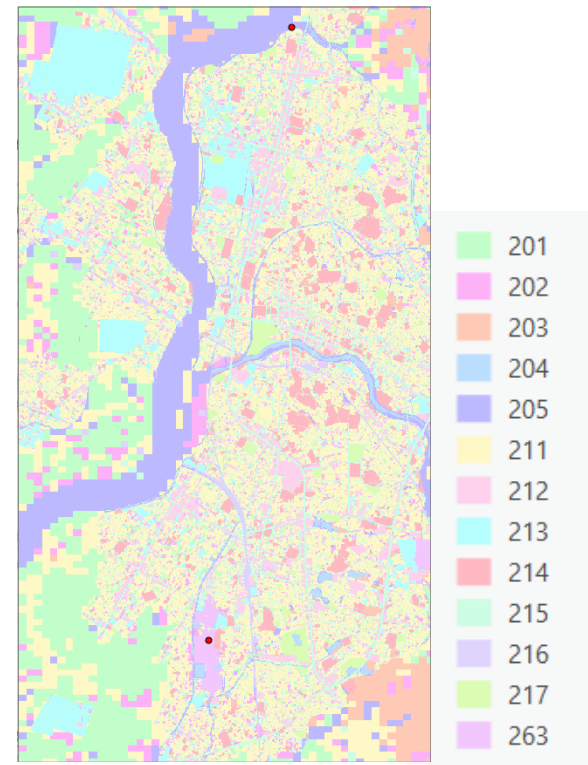
計算領域内（上図内）に土地利用データが
未整備の場所が存在

土地利用細分メッシュの土地利用の分布
(3次メッシュ1/10細分区画 (100mメッシュ))



メッシュは粗いが、3D都市モデルがカバーでき
ていない範囲のデータも含む

統合された土地利用メッシュデータの分布



3D都市モデルの土地利用データが未整備の
場所について、土地利用細分メッシュで補完

ArcGIS Proの
「新規ラスタにモザイク」機能を用いて統合

Ⅲ. 実証システム > 6. データ 浸水シミュレーション用入力データ処理

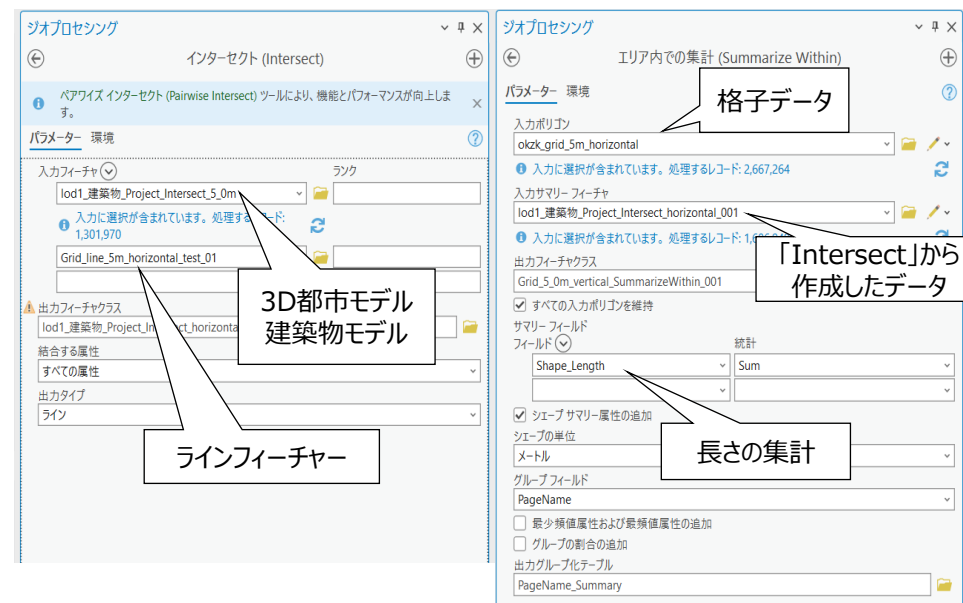
メッシュデータ（空隙率・透過率）の生成

空隙率データの作成方法

- Grid Index Features機能を使用して作成した格子データ（矩形型ポリゴンフィーチャ）と3D都市モデルから取り込んだ建築物モデルとの交差をとる（Intersect機能を使用）。
- 「エリア内での集計（Summarize Within機能）」により、格子内の建物占有率を計算する。さらに「1 - 建物占有率」から空隙率を計算し、CSVに出力する。

透過率データの作成方法

- 計算メッシュの縦線・横線に対応するラインフィーチャをそれぞれ作成し、3D都市モデルから取り込んだ建築物モデルとの交差をとる（Intersect機能を使用）。
- 「エリア内での集計（Summarize Within機能）」により、格子1辺における建物が占める長さ（建物占有延長）を計算する。さらに「1 - 建物占有延長 / 格子1辺の長さ（=メッシュサイズ）」から透過率を計算し、CSVに出力する。



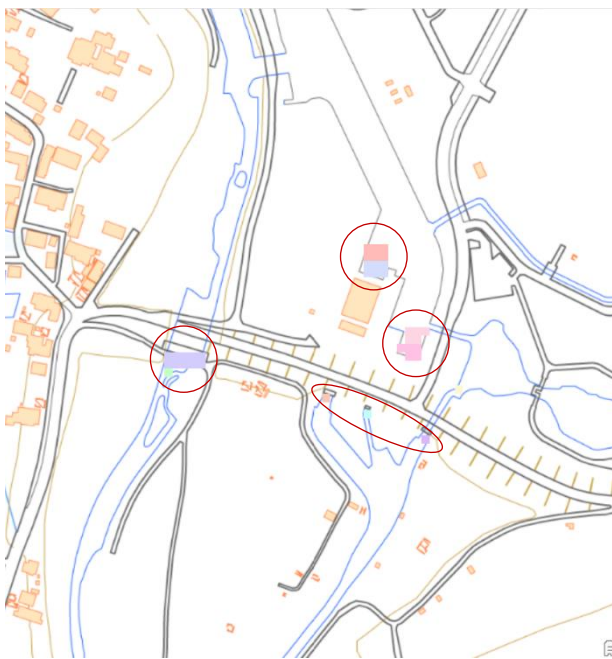
Ⅲ. 実証システム > 6. データ 浸水シミュレーション用入力データ処理

排水データの作成

排水データは、既存の浸水シミュレーション※1に関する技術資料に含まれる排水施設の位置・能力等の情報を使用し以下の方法で作成した。

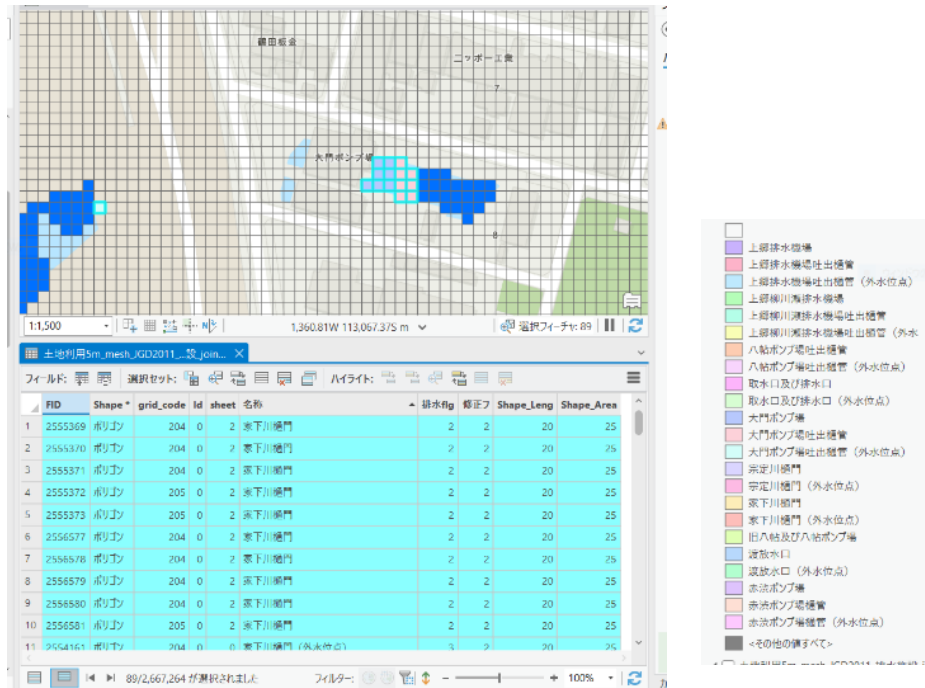
- 技術資料（PDF文書）からは排水施設の具体的な緯度・経度を得ることができなかったため、同資料に掲載された排水施設の場所を記した地図から位置を確認。
- 読み取った位置と、ArcGIS Pro上の地図を突き合わせることで対象となる排水施設を特定し、排水施設を含むメッシュにフラグを立てる。
- メッシュIDと排水施設フラグをCSVファイルに出力する。

計算領域における排水施設位置の分布



「GSI, Esri, HERE, Garmin, Foursquare, GeoTechnologies, Inc, METI/NASA,USGS」

ArcGIS Proによる処理画面（排水施設位置のフラグ）



「GSI, Esri, HERE, Garmin, Foursquare, GeoTechnologies, Inc, METI/NASA,USGS」

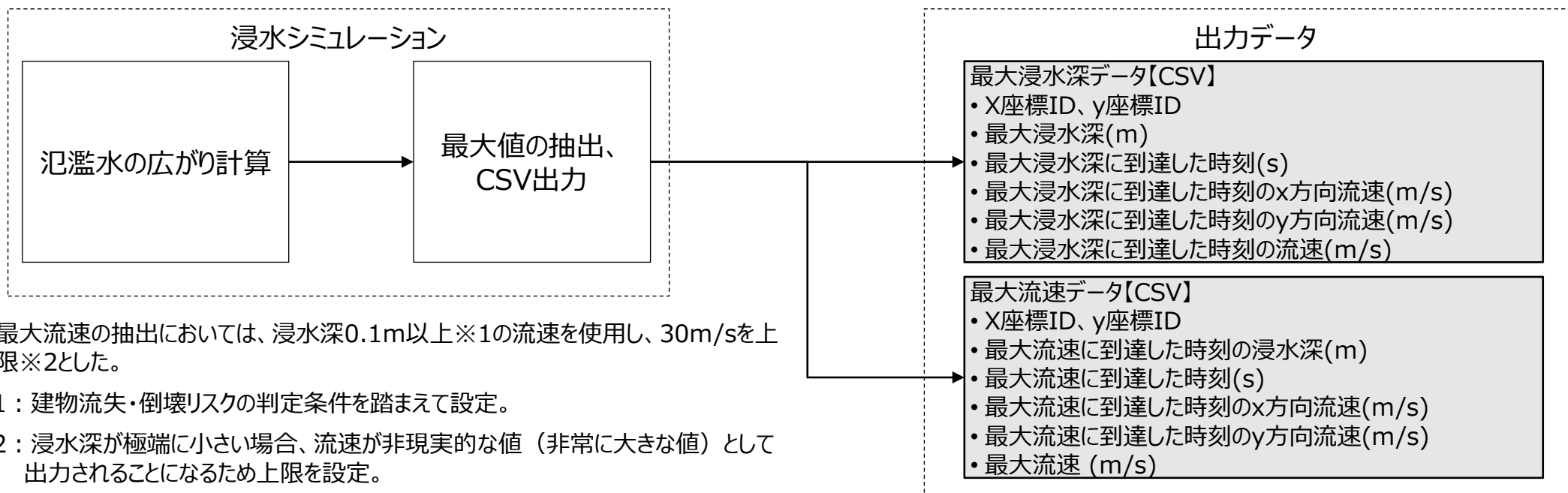
※1 出所) 豊橋河川事務所「矢作川洪水浸水想定区域図(想定最大規模)」(2019年6月) https://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/bohsai/shinsui/yahagigawa/yaha_ks_max.html

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

システム機能A. 浸水シミュレーション

最大浸水深・最大流速の出力

建物流失・倒壊リスク計算および水没リスク計算へのインプットとすること、3D都市モデルに属性情報として付与することを目的として、破堤後（計算開始後）から48時間のシミュレーションで得られた結果の中で、最大の浸水深および最大の流速を抽出し、「最大浸水深データ」（CSV形式）および「最大流速データ」（CSV形式）として出力する。



- 最大流速の抽出においては、浸水深0.1m以上※1の流速を使用し、30m/sを上限※2とした。

※1：建物流失・倒壊リスクの判定条件を踏まえて設定。

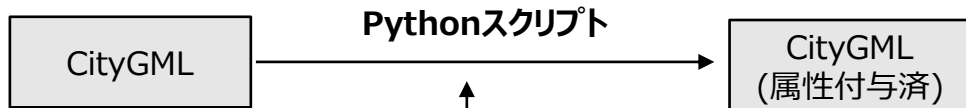
※2：浸水深が極端に小さい場合、流速が非現実的な値（非常に大きな値）として出力されることになるため上限を設定。

Ⅲ. 実証システム > 6. データ システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

建物属性付与

- CityGML形式の建築物モデルに、機能A.2建物リスク計算で計算した最大浸水深・最大流速、浸水深・流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクを属性として付与する。
- 属性は汎用属性セットを用いた汎用属性として与え、PythonスクリプトでCityGML形式のデータに直接書き込む。
- あわせて拡張製品仕様書を作成する。

標準製品仕様書
第2.3版に対応



- 建物リスクデータ【CSV】
- 建物ID(-)
 - 建物流失・倒壊リスク(-)
 - 建物属性欠損フラグ(-)
 - 最大浸水深(m)
 - 最大浸水深ランク(-)
 - 最大流速(m/s)
 - 最大流速ランク(-)
 - 水没リスク(-)

機能A.2建物リスク計算からのインプット

属性付与したCityGML形式の建築物モデルの例

```
<gen:genericAttributeSet name="MraFloodingSimulation">
  <gen:stringAttribute name="build_risk">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="build_flag">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="build_submerge">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="maxdepth_rank">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="maxflow_rank">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:measureAttribute name="maxdepth">
    <gen:value uom="m">0.0</gen:value>
  </gen:measureAttribute>
  <gen:measureAttribute name="maxflow">
    <gen:value uom="m/s">0.0</gen:value>
  </gen:measureAttribute>
</gen:genericAttributeSet></bldg:Building>
```

拡張製品仕様書例

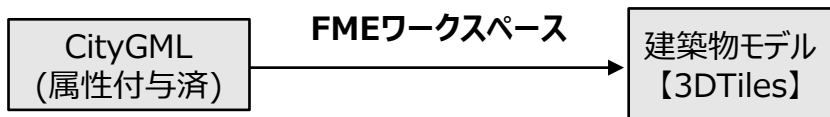
名称	注釈	bldg:建築物の汎用属性セット。					
汎用属性セット	●●洪水浸水想定区域（想定最大規模）]のための汎用属性セット。 洪水想定区域内（想定最大規模）に存在する建築物に、洪水想定区域が持つ属性を与えたいものである。複数の洪水想定区域に建築物が跨って存在する場合は、両属性が最も大きい洪水想定区域の値を採用する。属性割合が同じ場合は、より危険な洪水想定区域の値を採用する。 この時、「●●」は、洪水浸水想定区域において対象となる河川名称等である。「洪水浸水想定区域（想定最大規模）」は固定とする。文字は半角とする。 例：荒川水系荒川浸水想定区域（想定最大規模）						
属性の型	名称	定義	多重性	定義域	単位	注釈	
汎用属性セットに含まれる汎用属性	gen:stringAttribute	規模	洪水浸水想定区域が、想定最大規模に達している計画規模階層のいずれにより作成されたかの区分。	1	L1, L2	-	計画規模の場合は、L1、想定最大規模の場合はL2とする。
	gen:stringAttribute	最大浸水深ランク	シミュレーション計算中の最大浸水深に対応した区分。	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	-	1: 0.5m未満 2: 0.5m以上 - 3m未満 3: 3m以上 - 5m未満 4: 5m以上 - 10m未満 5: 10m以上 - 20m未満 6: 20m 以上
	gen:measureAttribute	最大浸水深	シミュレーション計算中の最大浸水の深さ。	0, 1		m	uom="m"とする。
汎用属性セットに含まれない独自属性	gen:stringAttribute	最大流速ランク	最大流速に応じた区分。	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	-	1: 2m/s未満 2: 2m/s以上 - 4m/s未満 3: 4m/s以上 - 6m/s未満 4: 6m/s以上 - 8m/s未満 5: 8m/s以上 - 10m/s未満 6: 10m/s 以上
	gen:measureAttribute	最大流速	シミュレーション計算中の最大流速。	0, 1		m/sec	uom="m/s"とする。
	gen:stringAttribute	水没リスク	シミュレーション計算中の建物水没リスク	1	0, 1	-	0: 水没リスクなし 1: 水没リスクあり
	gen:stringAttribute	建物流失・倒壊リスク	シミュレーション計算中の建物倒壊・流失リスク	1	0, 1	-	0: 流失・倒壊リスクなし 1: 流失・倒壊リスクあり

Ⅲ. 実証システム > 6. データ システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

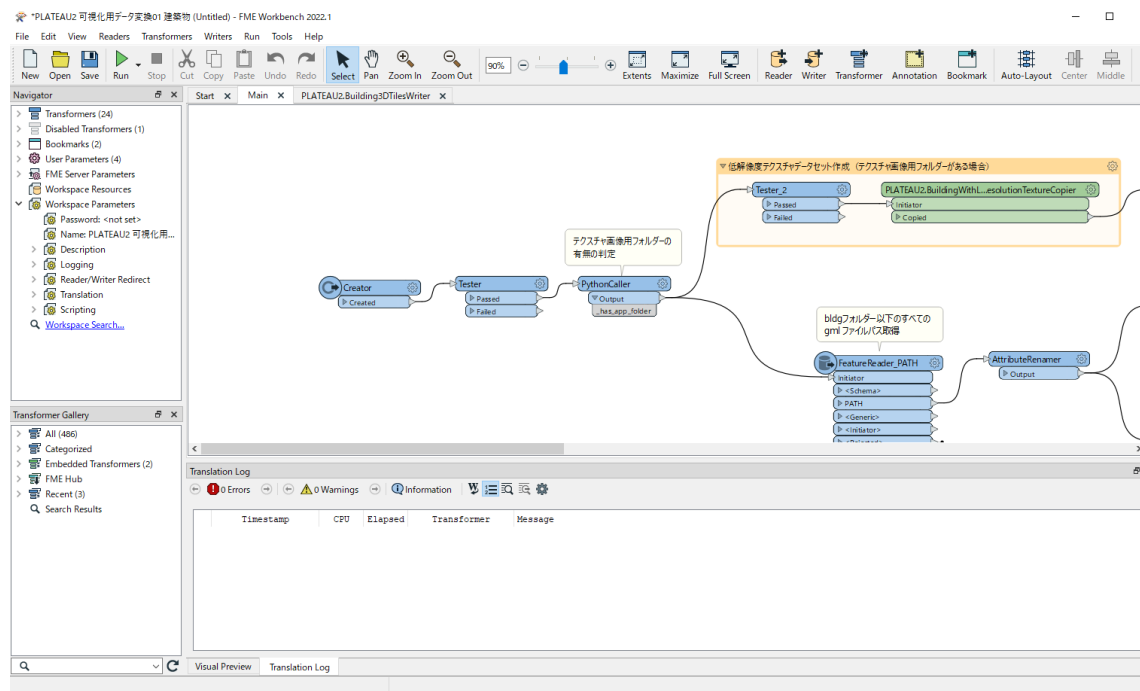
建物可視化データの作成

- 属性付与済CityGML形式の建築物モデルをFMEを用いて3DTilesデータに変換する。
- 拡張属性に対応するため、Project PLATEAUで配布※しているFMEワークスペースのうち属性を処理するスクリプトを一部改修して使用した。

※https://hub.safe.com/?page=1&page_size=10&order=relevance&query=plateau



FMEの操作画面

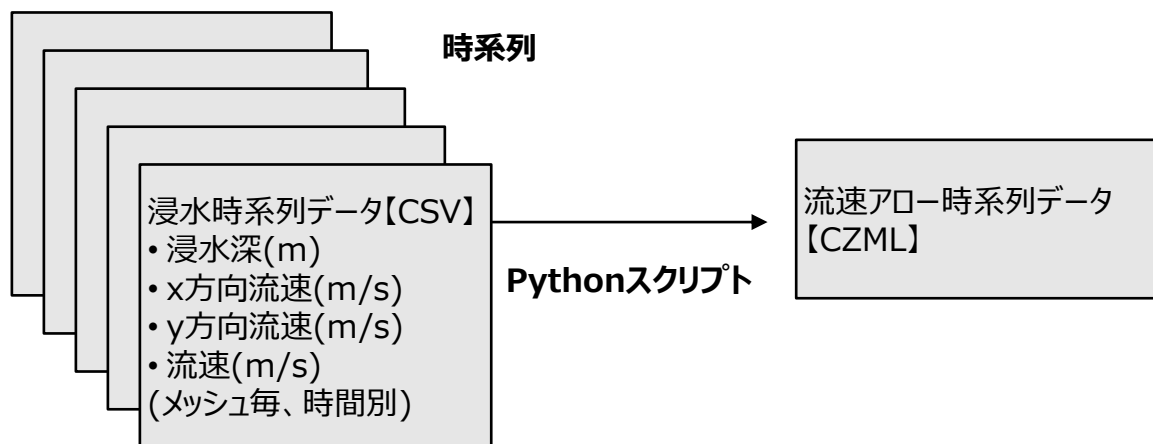


Ⅲ. 実証システム > 6. データ システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

流速アロー時系列可視化データの生成

- 機能A.1 氾濫水の広がり計算で出力したCSV形式の時系列の浸水深・流速からPythonスクリプトでCZML形式のデータを生成する。
- 表示動作性を確保するため、矢印の表示数を削減する処理を行った。

機能A.1 氾濫水の広がり計算からの インプット



生成したCZMLデータ例

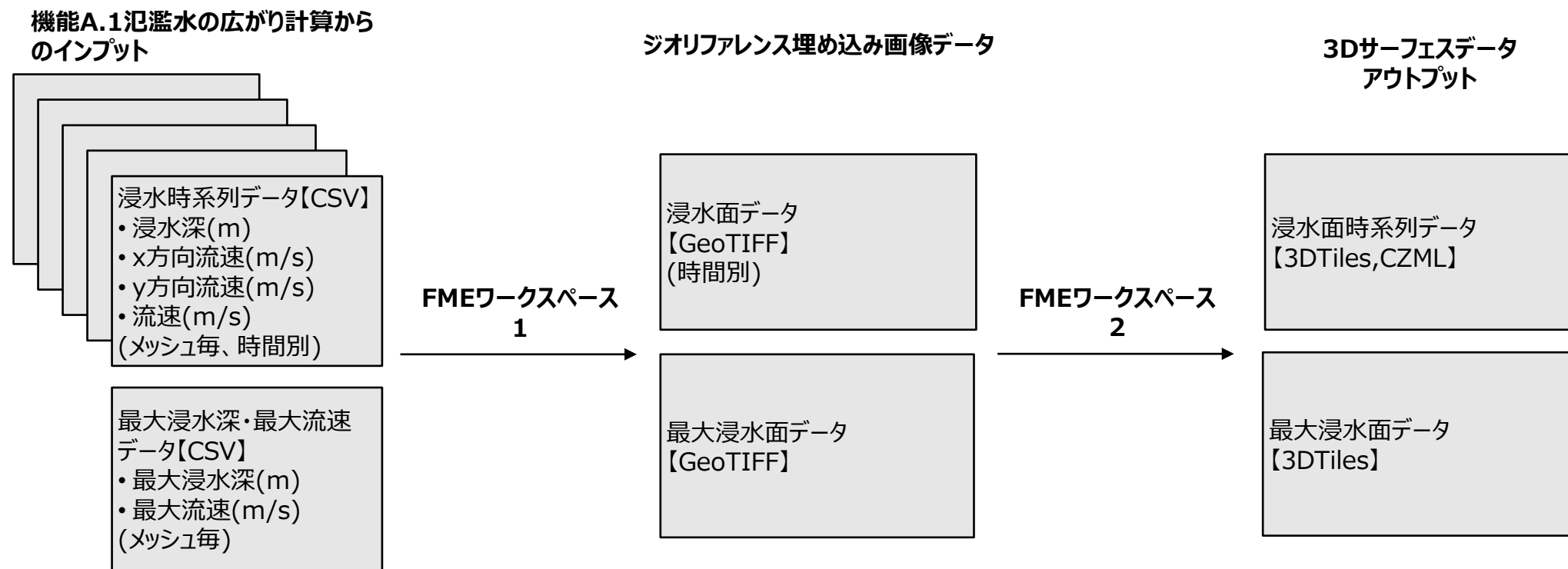
```
[{"id": "document", "name": "line", "version": "1.0",
"clock": {"currentTime": "2022-11-30T15:00:00Z",
"multiplier": 1.0, "interval": "2022-11-
30T15:00:00Z/2022-11-30T19:00:00Z", "range":
"LOOP_STOP", "step": "SYSTEM_CLOCK_MULTIPLIER"}},
{"id": "0", "name": "line", "description": "ライン",
"availability": "2022-11-30T15:30:00Z/2022-11-
30T16:00:00Z", "polyline": {"positions":
{"cartographicDegrees": [137.1212136344549,
34.92441362279685, 70.0, 137.1207269553693,
34.92256424227163, 70.0]}}, "material":
{"polylineArrow": {"color": {"rgba": [128, 128, 0,
255]}}, "width": 10}},
```


Ⅲ. 実証システム > 6. データ

システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

浸水面可視化データの作成

- 機能A.1 氾濫水の広がり計算で出力したCSV形式の時系列の浸水深・流速およびA4で出力したCSV形式の最大浸水深・最大流速から浸水面可視化用データを作成する。
- PSSの技術協力により作成した独自のFMEワークスペースを用いて変換した。
- 変換は2段階で行い、1段階目ではCSV形式の数値データをGeoTIFF形式のジオファレンスを埋め込んだ画像に変換し、2段階目で3DTilesとCZML形式の3Dサーフェスデータに変換した。



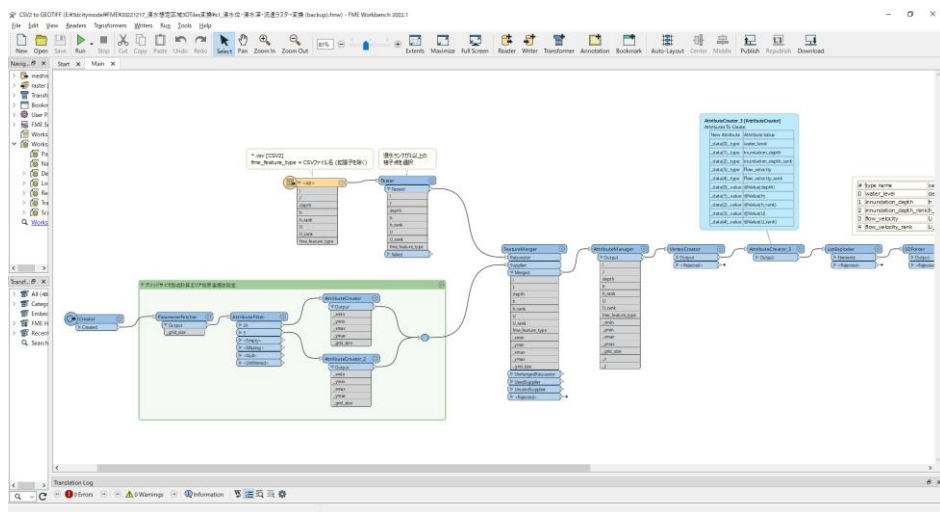
Ⅲ. 実証システム > 6. データ システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成

浸水面可視化データの作成

- 浸水面可視化用データはPSSの技術協力により独自に作成した2段階からなるFMEワークスペースを用いて変換した。
- 変換は2段階で行い、1段階目ではCSV形式の数値データをGeoTIFF形式のジオファレンスを埋め込んだ画像に変換し、2段階目で3DTilesとCZML形式の3Dサーフェスデータに変換した。
- 3Dサーフェスデータのデータ量を圧縮するため、TINGenerator ParametersのSurface Toleranceパラメータを用いて表示精度の最適化を行った。

FMEワークスペース1操作画面

- CSV形式の数値データをGeoTIFF形式のジオファレンスを埋め込んだ画像に変換する

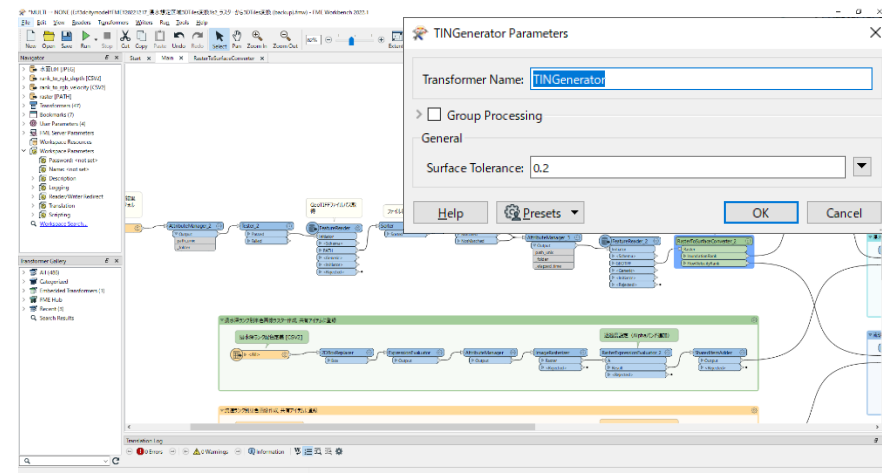


中間ファイル【GeoTIFF】



FMEワークスペース2操作画面

- GeoTIFF形式のジオファレンスを埋め込んだ画像を3DTilesとCZML形式の3Dサーフェスデータに変換する
- TINGenerator ParametersのSurface Toleranceパラメータを用いて、表示精度の最適化を行う



Ⅲ. 実証システム > 6. データ

③出力データ | 一覧

「システム機能B. 属性付与・可視化用データ作成」からの出力データ

出力データ		内容	データ形式
1.	建築物モデル	浸水シミュレーションから得られた建物毎の最大浸水深、最大流速、最大浸水ランク、最大流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクを属性として付与したデータ	CityGML
2.	建築物モデル	1.の建築物モデル（CityGML）をWebGIS上で可視化可能としたデータ	3DTiles
3.	浸水面時系列データ	浸水シミュレーションから得られたメッシュ毎の浸水深を三次元化したデータ	CZML、3DTiles
4.	最大浸水面データ	浸水シミュレーションから得られたメッシュ毎の最大浸水深を三次元化したデータ	3DTiles
5.	流速アロー時系列データ	浸水シミュレーションから得られたメッシュ毎の流速を矢印で表現するためのデータ	CZML

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

1. 建築物モデル (CityGML)

建築物モデル (CityGML)

- CityGML形式の建築物モデルに、最大浸水深・最大流速、浸水深・流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクを属性として汎用属性セット (genericAttributeSet) を用いた汎用属性として付与したもの

genericAttributeSetの
定義部分

```

<gen:genericAttributeSet name="MraFloodingSimulation">
  <gen:stringAttribute name="build_risk">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="build_flag">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="build_submerge">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="maxdepth_rank">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:stringAttribute name="maxflow_rank">
    <gen:value>0</gen:value>
  </gen:stringAttribute>
  <gen:measureAttribute name="maxdepth">
    <gen:value uom="m">0.0</gen:value>
  </gen:measureAttribute>
  <gen:measureAttribute name="maxflow">
    <gen:value uom="m/s">0.0</gen:value>
  </gen:measureAttribute>
</gen:genericAttributeSet></bldg:Building>
  
```

付与した属性部分

付与した属性のデータ仕様

- 属性部分のデータ仕様には汎用属性セット (genericAttributeSet) に用意された measureAttributeとstringAttribute型を用いた

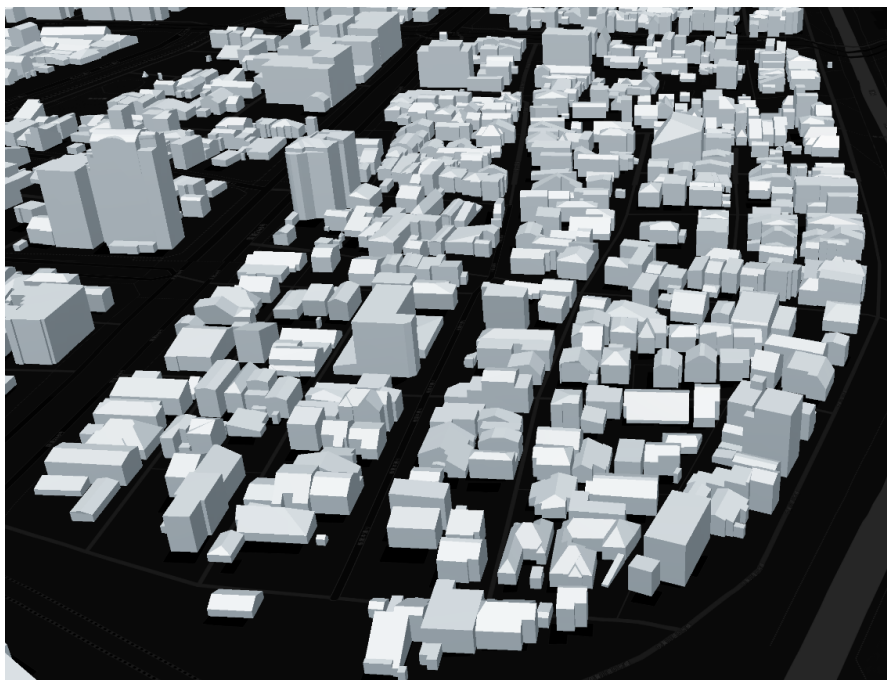
区分	属性の型	名前
汎用属性セットに含まれる汎用属性	measureAttribute	最大浸水深
	stringAttribute	最大浸水深ランク
汎用属性セットに含まれない独自の属性	measureAttribute	最大流速
	stringAttribute	最大流速ランク
	stringAttribute	流失・倒壊リスク
	stringAttribute	水没リスク

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

2. 建築物モデル (3DTiles)

建築物モデル (3DTiles)

- CityGML形式の3D都市モデルデータからFMEワークスペースを用いて作成
- PLATEAU VIEWクローン環境を用いて表示



データ仕様

- 建物3次元形状はb3dm型を使用
- 可視化表現に用いる下記の属性情報を含む

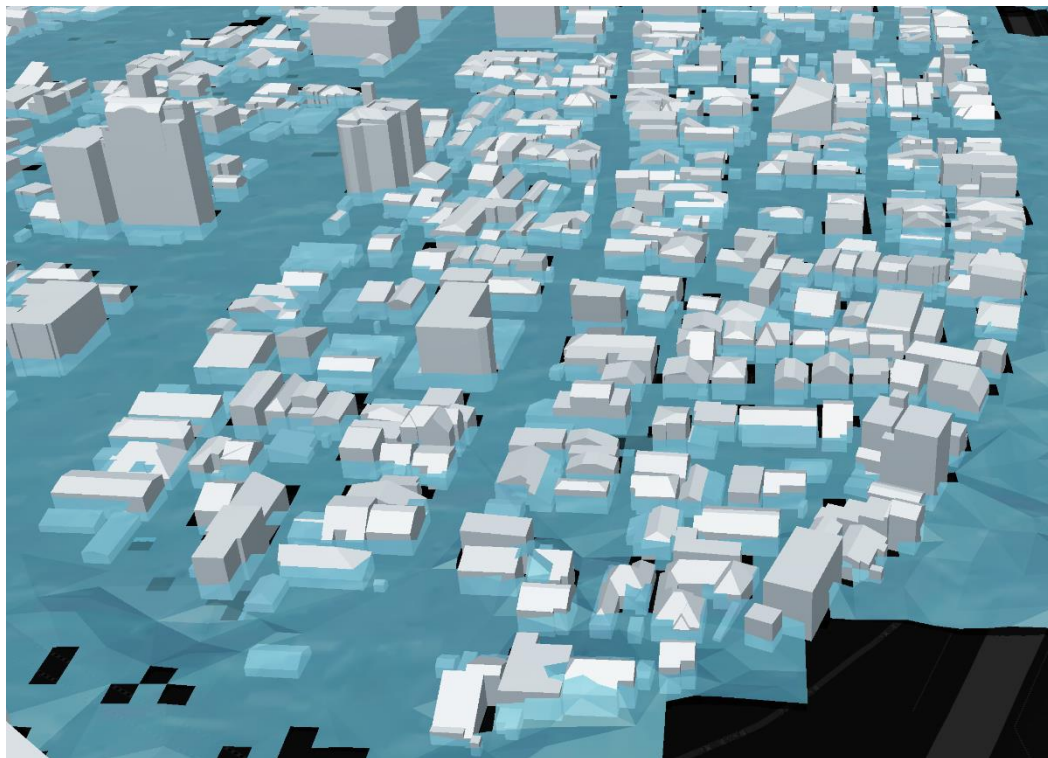
データ型	データ形式	データ内容
b3dm	バイナリ	建物3次元形状
		建物流失・倒壊リスク
		建物水没リスク
		建物最大浸水深
		建物最大浸水深ランク
		建物最大流速
		建物最大流速ランク

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

3. 浸水面時系列データ

3次元浸水面時系列データ (CZML、3DTiles)

- CSV形式のシミュレーション出力データからFMEワークスペースを用いて作成
- PLATEAU VIEWクローン環境を用いて表示



データ仕様

- 浸水面3次元形状はb3dm型を使用
- czml形式で時系列化を実現

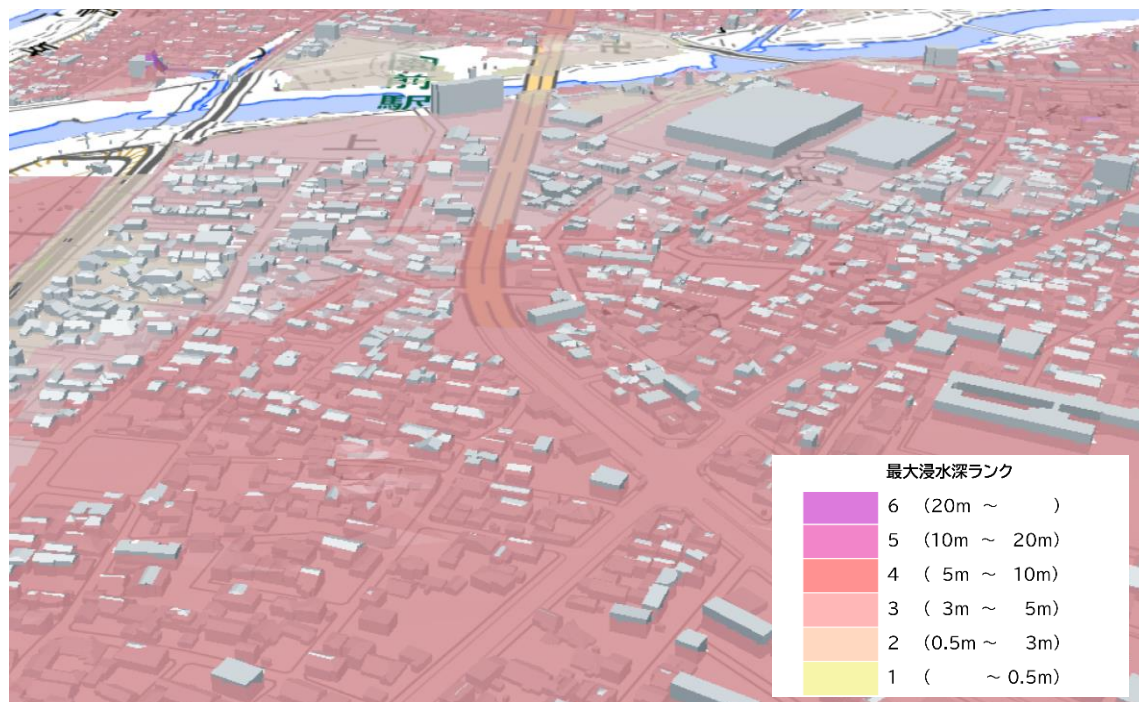
データ型	データ形式	データ内容
b3dm	バイナリ	浸水面3次元形状

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

4. 最大浸水面データ

3次元最大浸水面データ (3DTiles)

- CSV形式のシミュレーション出力データからFMEワークスペースを用いて作成
- 最大浸水面を最大浸水深ランクに合わせて着色
- PLATEAU VIEWクローン環境を用いて表示



データ仕様

- 浸水面3次元形状はb3dm型を使用
- 可視化表現のための下記情報を含む

データ型	データ形式	データ内容
b3dm	バイナリ	浸水面3次元形状
		最大浸水深ランク
		最大流速ランク

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

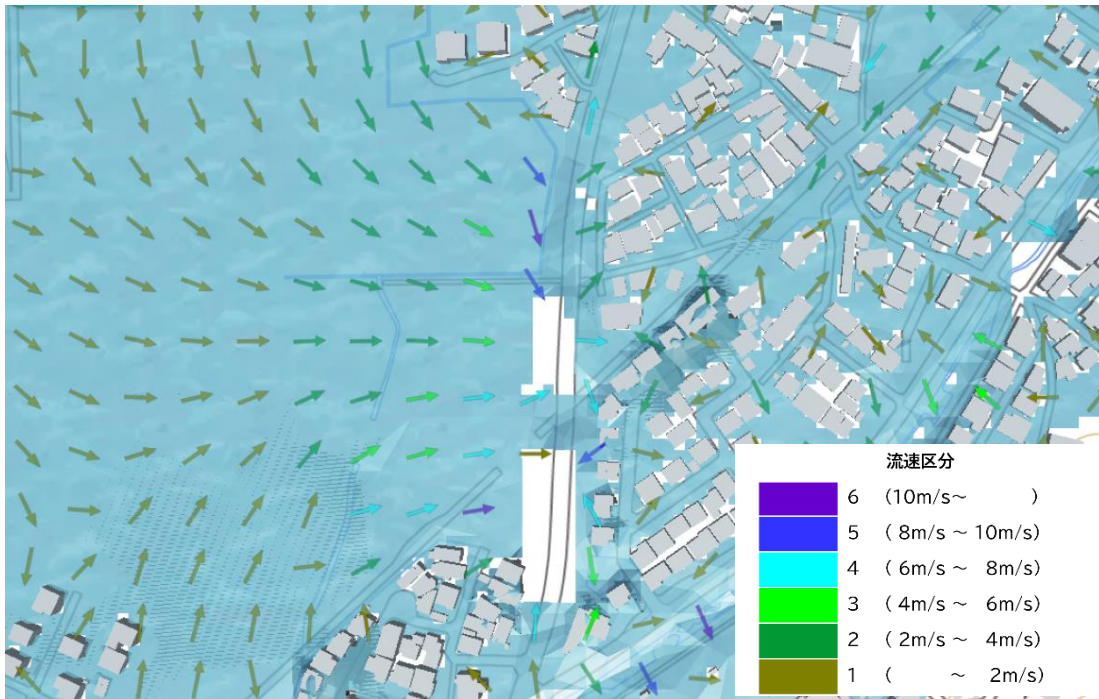
5. 流速アロー時系列データ

流速アロー時系列データ (CZML)

データ仕様

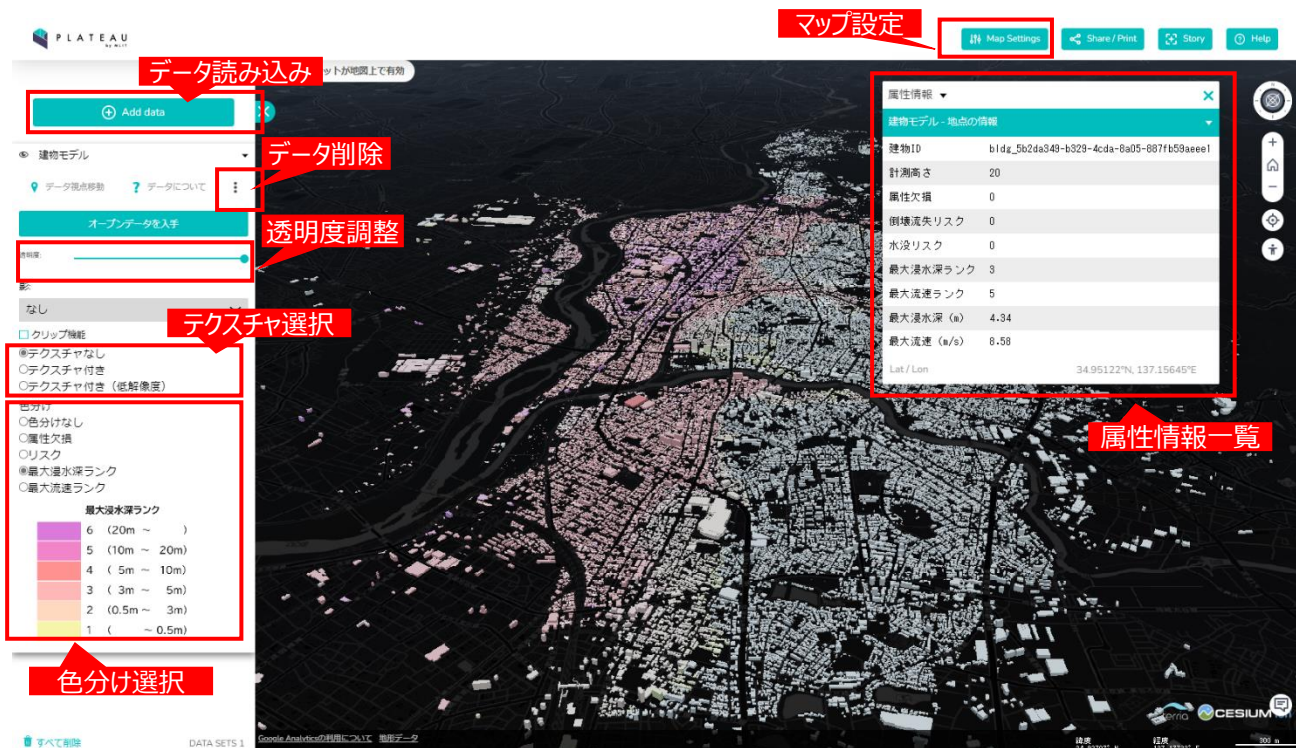
- CSV形式のシミュレーション出力データからPythonスクリプトを用いて作成
- 流速ランクに合わせて着色
- PLATEAU VIEWクローン環境を用いて表示

- 矢印1つずつを下記形式で指定



データ型	データ形式	データ内容
czml	テキスト	矢印始点緯度、経度
		矢印終点緯度、経度
		表示色 (RGBで指定)
		表示線太さ
		表示開始時刻
		表示終了時刻

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース PLATEAU VIEWクローン環境による可視化



機能名	説明
データ読み込み	「Add data」を押下後、表示されるモーダルウィンドウから、読み込むデータを選択してマップに表示する。
属性情報一覧	マップに表示されるオブジェクトを押下すると、画面右側に建物の属性情報が一覧表示される。
データ削除	「3点リーダ」を押下して表示される「削除」ボタンを押下することで、データをマップから削除する。
テキスト選択	マップに表示されるオブジェクトのテキストを切り替える。
色分け選択	マップに表示されるオブジェクトの色分けを切り替える。
透明度調整	マップに表示されるオブジェクトの透明度を調整する。
マップ設定	「Map Settings」押下後に表示されるベースマップから、マップの表示を切り替える。

Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果 システムテスト結果（1/3）

入力データ		用途	確認内容	確認結果
メッシュデータ（CSV形式）	標高(m)	浸水シミュレーション用の標高データ（地盤高+建物高）	3D都市モデルの地盤高、建物高から標高データ（地盤高+建物高）を作成し、メッシュデータに正しく変換できているか。	合格
	土地利用フラグ(-)	浸水シミュレーション用の粗度係数データ	3D都市モデルの土地利用分類コードをメッシュデータに正しく変換できているか。	合格
	空隙率(-)	浸水シミュレーション用の空隙率	3D都市モデルの建物位置等から空隙率を計算し、メッシュデータに正しく変換できているか。	合格
	透過率(-)	浸水シミュレーション用の透過率	3D都市モデルの建物位置等から透過率を計算し、メッシュデータに正しく変換できているか。	合格
初期浸水深データ（CSV形式）	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の初期浸水深	既存シミュレーションの結果から抽出した初期浸水深を入力データに正しく変換できているか。	合格
河川境界での浸水深時系列データ（CSV形式）	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の河川からの流出量	既存シミュレーションの結果から抽出した河川境界部の浸水深（時系列）を入力データに正しく変換できているか。	合格
計算境界での浸水深時系列データ（CSV形式）	浸水深(m)	浸水シミュレーション用の計算境界からの流出量	既存シミュレーションの結果から抽出した計算境界部の浸水深（時系列）を入力データに正しく変換できているか。	合格
排水データ（CSV形式）	単位面積当たりの排水量(m/s)	浸水シミュレーション用の排水量	既存シミュレーションの情報から抽出した排水施設位置・能力を入力データに正しく変換できているか。	合格

Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果 システムテスト結果 (2/3)

機能		説明	ツール/ プログラム	確認内容	確認 結果
A 浸水 シミュレ ーション	1. 氾濫水の広 がり計算： 流速・浸水深の 計算	メッシュデータを読み込み、土地利用に応じた粗度係数をメッシュ毎に設定する。	Fortran	メッシュデータに含まれる土地利用データが、土地利用と粗度係数の対応表(p.27)に従い、正しく変換できているか。	合格
		河川境界での浸水深データ、計算境界での浸水深データを読み込み、境界条件(流入データ)を設定する。	Fortran	河川境界及び計算境界に位置するメッシュの浸水深が、入力データで指定した浸水深時系列データと合致しているか。	合格
		計算領域内のメッシュ毎に浸水深・流量を計算、結果(流速・浸水深)をCSVとして出力する。	Fortran	コントロールデータで指定した出力時間間隔で、指定のデータ項目・単位・データ型のCSVファイルを出力できているか。	合格
		現象時間内におけるメッシュ毎の浸水深・流速の最大値を抽出、結果をCSVとして出力する。	Fortran	<ul style="list-style-type: none"> 最大値を正しく抽出できているか。 	合格
	2. 建物流失・倒 壊リスク、水没リス ク計算	建物に作用する浸水深・流速から建物最大浸水深・最大流速、建物流失・倒壊リスク、水没リスクを計算・判定し、結果をCSVとして出力する。	Python/ ArcGIS Pro	<ul style="list-style-type: none"> 建物とその周りを取り囲むメッシュの浸水深・流速の最大値を正しく抽出できているか。 判定式に従ってリスクを判定できているか。 	合格

Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

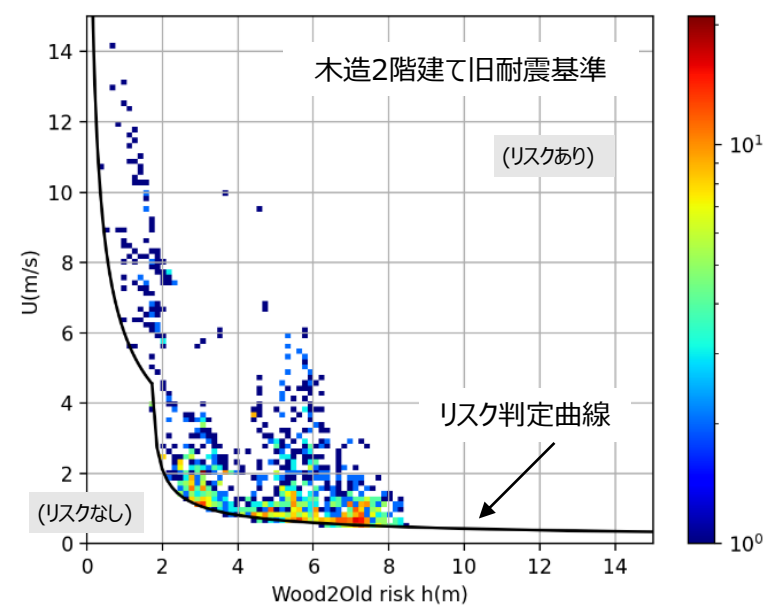
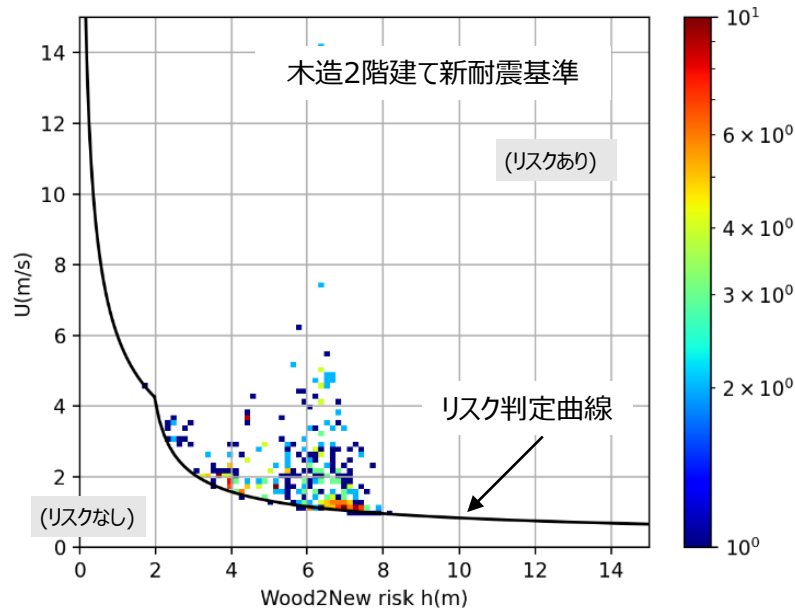
システムテスト結果 (3/3)

機能	説明	ツール/ プログラム	確認内容	確認 結果
B 属性付与・可視化用データ作成	浸水シミュレーションから出力した浸水時系列データ（流速（CSV））を流速アロー時系列データ（CZML）に変換する。	Python	浸水時系列データに含まれる流速のデータ（x方向流速成分、y方向流速成分、流速）をCZML形式のアロー表示のためのデータに変換できているか。	合格
	建物ごとの最大浸水深・最大流速、最大浸水深ランク・最大流速ランク、流失・倒壊リスク、水没リスクを建築物モデル（CityGML）に属性として付与する。	Python	浸水シミュレーションの計算領域に含まれるbldg/*.gmlファイルに指定の様式（p.69）で属性情報を書き込むことができているか。	合格
	新たに属性付与した建築物モデル（CityGML）を可視化用の建築物モデル（3DTiles）に変換する。	FME	CityGML形式（bldg/*.gmlファイル）から3DTiles形式に変換できているか（変換ログに致命的なエラーが含まれないか等の確認）。	合格
	浸水シミュレーションから出力した浸水時系列データ（浸水深、流速（CSV））を浸水面時系列データ（CZML、3DTiles）に変換する。また、最大浸水深データ（CSV）、最大流速データ（CSV）から最大浸水面データ（3DTiles）を作成する。	FME	CityGML形式（bldg/*.gmlファイル）から3DTiles形式に変換できているか（変換ログに致命的なエラーが含まれないか等の確認）。	合格
C 可視化（ビューア） 3D描画・属性表示	AWSで動作するLinux OS上にTerriaMap/Cesiumを利用したPLATEAU VIEWクローン環境を構築し、機能Bで作成したデータを可視化（3D描画、属性表示）する。	AWS/TerriaMap/Cesium	<ul style="list-style-type: none"> 構築した可視化環境上で、機能Bで作成した可視化データを描画できるか。 構築した可視化環境上で、機能Bで作成した可視化データの属性を表示できるか。 	合格

Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果 システムテスト結果（補足）

システム機能A.2 建物リスク計算の確認結果（判定式に従ってリスクを判定できているか。）

- 木造2階建て新旧耐震基準でリスク有と判定された建物について、リスク判定条件が意図したとおりに機能していることを以下の手順で確認した。
 - ある建物のリスク計算に用いるメッシュリストに含まれる全メッシュの(浸水深,流速)を抽出し、それらが実際にリスク判定条件を満たしていることを確認する。
 - リスク判定条件を満たした(浸水深,流速)をヒストグラムにプロットし、木造2階建て新旧耐震基準それぞれのリスク判定曲線（p.49）と重ね合わせる。
 - すべての(浸水深,流速)がリスク判定曲線より上に分布していれば、リスク計算が正しく機能していることが確認できる。



- 実際に(浸水深,流速)のすべての点はリスク判定曲線より上に分布しており、リスク判定計算は正しく機能していることが確認できた。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

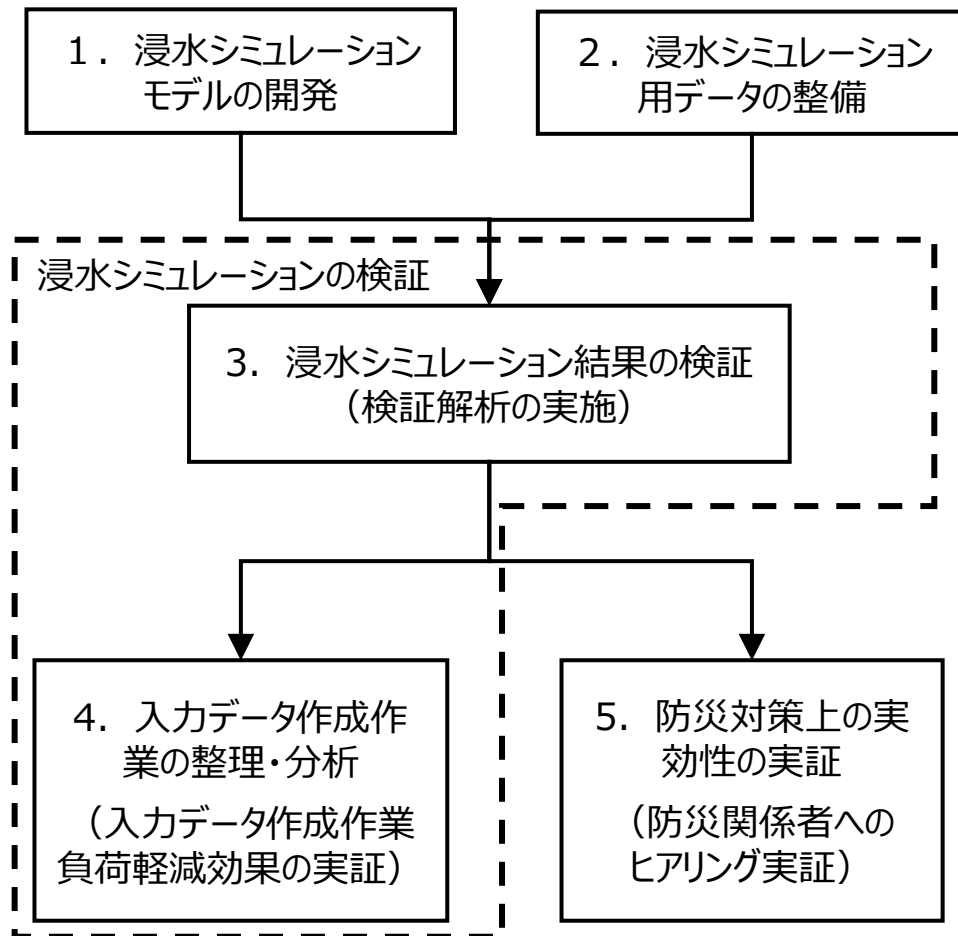
III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

IV. 実証技術の検証

検証内容 | 全体フロー



3. 浸水シミュレーション結果の検証（検証解析の実施）

- 1. のモデルおよび2. のデータを用いた浸水シミュレーションを実施し、モデル及びデータが適切に開発・整備されていること、詳細化の効果を確認する。
- 始めに、今回開発した従来手法によるシミュレーション結果が既存のシミュレーション結果※（浸水域・浸水深）と整合すること（モデルの基礎的なアルゴリズムが正しく実装されていること）等を確認する。
※「矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模）」、豊橋河川事務所（令和元年6月）
- 次いで、詳細手法（従来手法をベースに開発）によるシミュレーション結果と、従来手法による結果を比較し、詳細化の影響が物理的に説明可能であること等を確認する。

4. 入力データ作成作業の整理・分析 - 入力データ作成作業負荷軽減効果の実証 -

- 浸水シミュレーション用データ作成作業について3D都市モデルを活用することで作業手順がどの程度軽減されるかを確認する。

5. 防災対策上の実効性の実証

- 可視化結果や分析結果を資料化し、岡崎市職員（防災担当・都市計画担当等）や民間企業へのヒアリングを実施し、詳細な浸水シミュレーションの防災対策上の有効性を実証する。
- ヒアリングにおいて「3D都市モデルを活用した解析結果の方が防災対策の検討に役立つ」という回答を過半数から得ること、「3D都市モデル活用により新たにアウトプットされる指標のうち、防災対策上役に立つ指標が1つ以上あること」という回答を得ることで実証する。

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

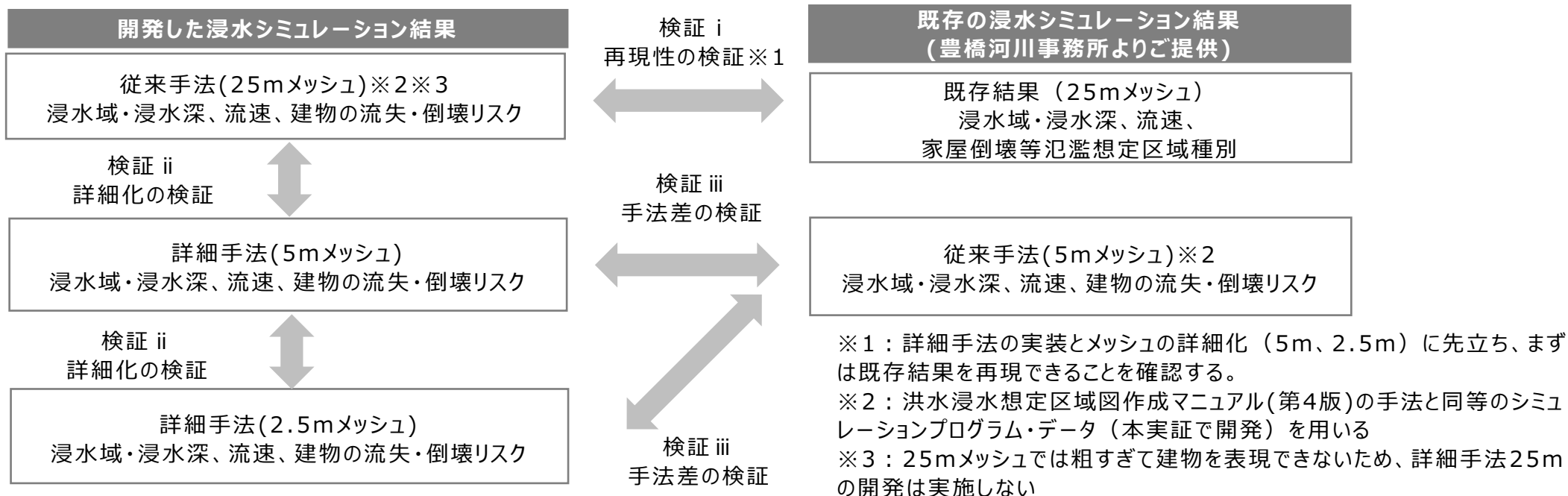
① 検証内容 | 浸水シミュレーション結果の検証

検証 i ~ iii を通じて詳細手法 (5m、2.5m) から得られた計算結果の精度を確認する

検証フロー図

【要件】

- i. 再現性 - 本実証で開発した従来手法 (25mメッシュ) による結果と既存のシミュレーション結果 (25mメッシュ) の傾向が合理的な範囲で一致すること (再現性※1)
- ii. 詳細化の検証 - メッシュサイズが細くなることでより詳細な評価ができていくこと
- iii. 手法差の検証 - 詳細手法による結果と従来手法による結果の傾向が、手法の違いに由来する差異を除いて一致すること



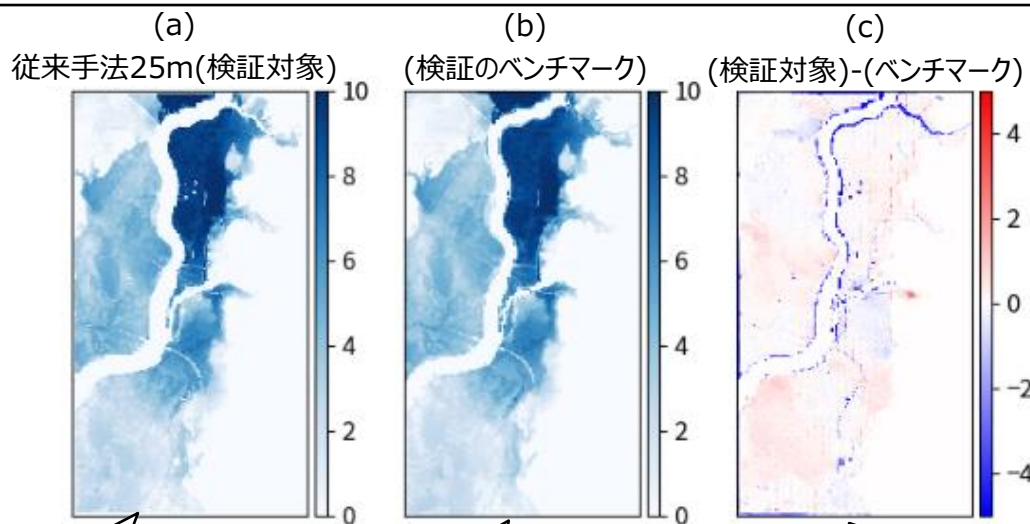
IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 浸水シミュレーション結果の分析手法

検証 i ~ iii メッシュサイズ間・手法間の結果の違いを分析する方法について

- 検証対象の計算結果と、ベンチマークとなる従来手法(25mメッシュ)による既存の計算結果※を比較することで確認する。 ※矢作川洪水浸水想定区域図 (想定最大規模、BP117)
- 確認方法① メッシュごとの浸水深あるいは流速を地図上にプロットし比較する。また2つの結果の間で浸水深あるいは流速の差分を計算し、地図上にプロットし比較する。(左下図)
- 確認方法② 2つの結果のメッシュごとの浸水深あるいは流速の差分を頻度分布にプロットし、統計情報と分布の傾向を確認する。(右下図)

確認方法① 浸水深(m)の空間分布およびそれらの差分の比較 (例)



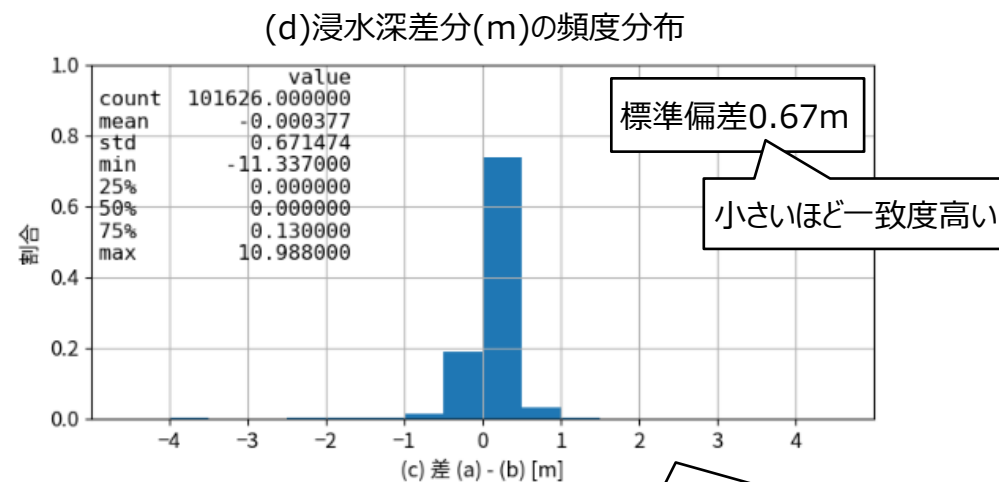
(a)今回開発したシミュレーションの浸水深をメッシュごとに地図上にプロット。色濃度が浸水深(m)に対応

(b)既存のシミュレーションの浸水深をメッシュごとに地図上にプロット。色濃度が浸水深(m)に対応

(a)-(b)浸水深差分(m)を分析

- 色濃度が浸水深差の大きさに対応
- 色が薄いほど一致
- 赤が濃いほどベンチマークに比較して浸水深が大きい
- 青が濃いほどベンチマークに比較して浸水深が小さい

確認方法② 浸水深差分(m)の頻度分布から統計情報と傾向を確認 (例)



左図(d)浸水深差分の数値を頻度分布(度数分布)にプロットし分析

- 縦軸が度数の現れる割合、横軸は数値の度数区分を表す
- 一致度の目安を与える統計量として、分布の標準偏差を用いる
- 横軸0(m)に分布が集中しているほど一致度が高い
- 横軸に対する分布が広いほど一致度が低い
- 標準偏差が小さいほど一致度が高く、大きいほど一致度が低い

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 i 再現性の検証

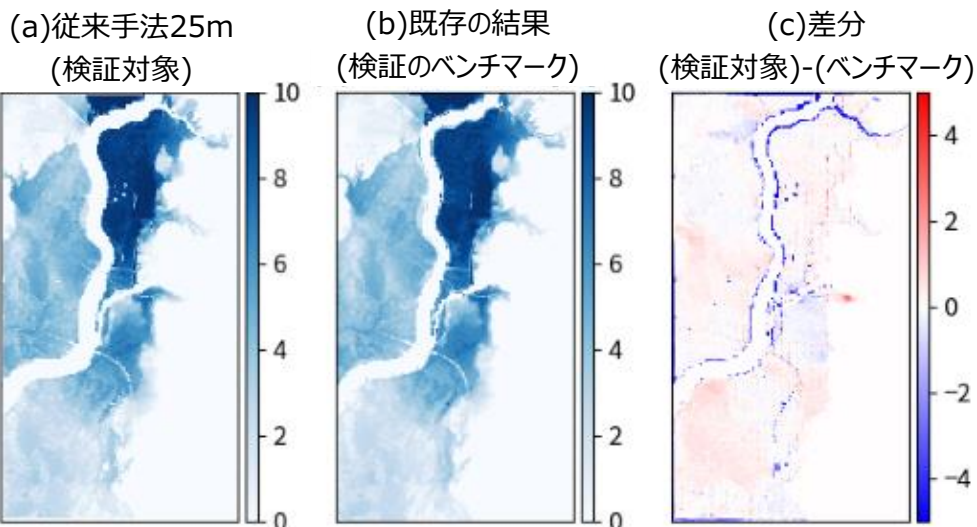
従来手法 (25mメッシュ) と既存シミュレーション (25mメッシュ) の比較・検証

【目的】詳細手法の実装とメッシュの詳細化 (5m、2.5mメッシュ) に先立ち、まずは既存の結果を再現できることを確認する。

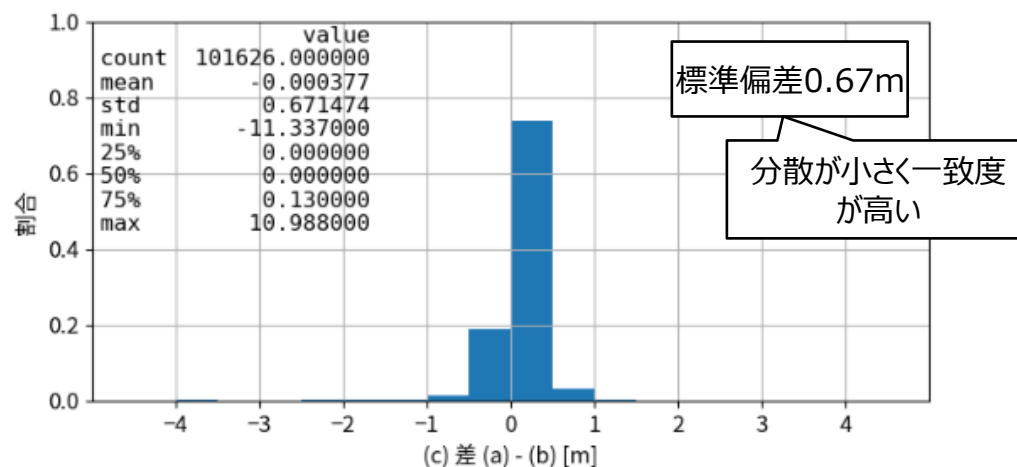
※破堤から300分後 (概ね最大浸水深) の結果をプロット

確認方法① 浸水深(m)の空間分布およびそれらの差分の比較

確認方法② 浸水深差分(m)の頻度分布から統計情報と傾向を確認



(d)浸水深差分(m)の頻度分布



今回開発したシミュレーションの結果
色濃度が浸水深(m)に対応

既存のシミュレーションの結果
色濃度が浸水深(m)に対応

浸水深の差分(m)
色濃度が浸水深差の大きさに対応
色が薄いほど一致

- 今回開発した従来手法(25mメッシュ)と既存のシミュレーション (25mメッシュ) の結果を比較すると、両者の空間分布はおおむね一致 (左図)
- 浸水深差分の頻度分布の標準偏差は0.67mと良い一致が得られている (右図)

【結果】今回開発したシミュレーションは過去の結果を再現できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

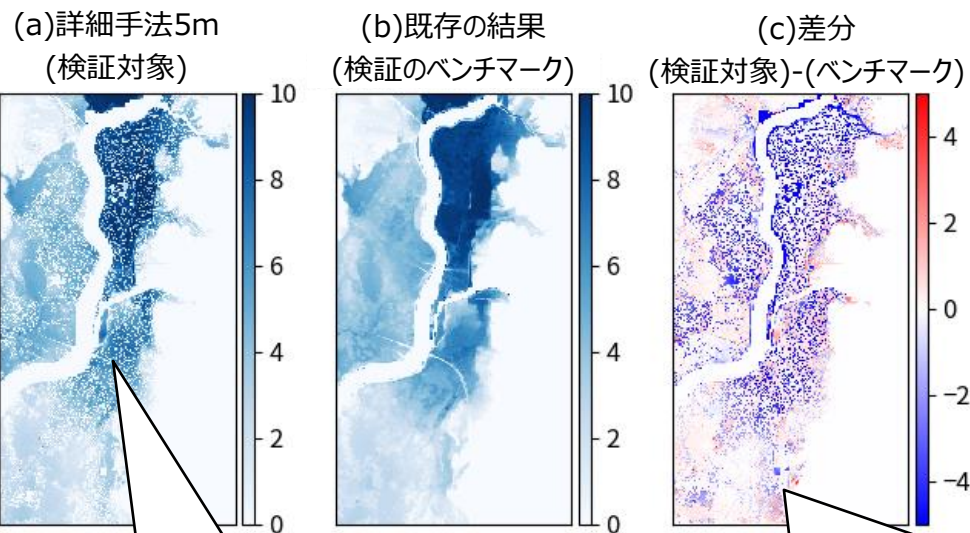
① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・建物の表現による効果を検証する。

※破堤から300分後（概ね最大浸水深）の結果をプロット

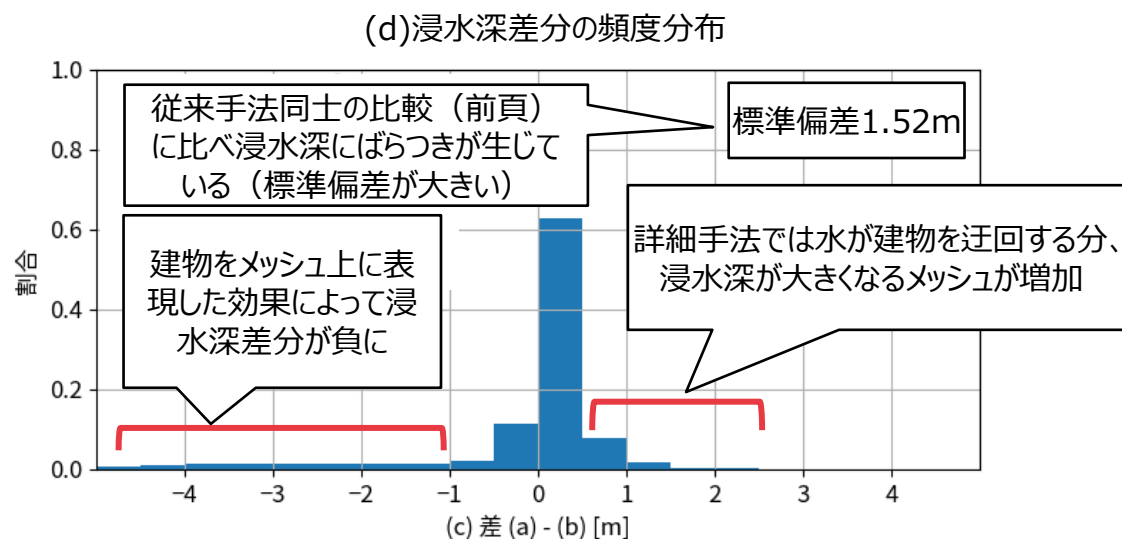
確認方法① 浸水深(m)の空間分布およびそれらの差分の比較



白点が建物をメッシュ上に表現した効果
→水が迂回し浸水深が0

青点が建物をメッシュ上に表現した効果
→従来手法(b)では建物位置であっても水が流れ、詳細手法(a)では建物を表現したメッシュでは流れないため建物位置での(a)-(b)は負（青色）となる

確認方法② 浸水深差分(m)の頻度分布から統計情報と傾向を確認



- 詳細手法では、従来手法よりも浸水深が小さいメッシュ、大きいメッシュが増加（上図）
- 計算領域に流入する水量は手法によらずほぼ同じであるため、水が建物を迂回する分、建物位置での浸水深差分は負になること、建物周辺メッシュの浸水深が大きくなることは理論的にも妥当である

【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、建物の効果を考慮した浸水深を評価できている

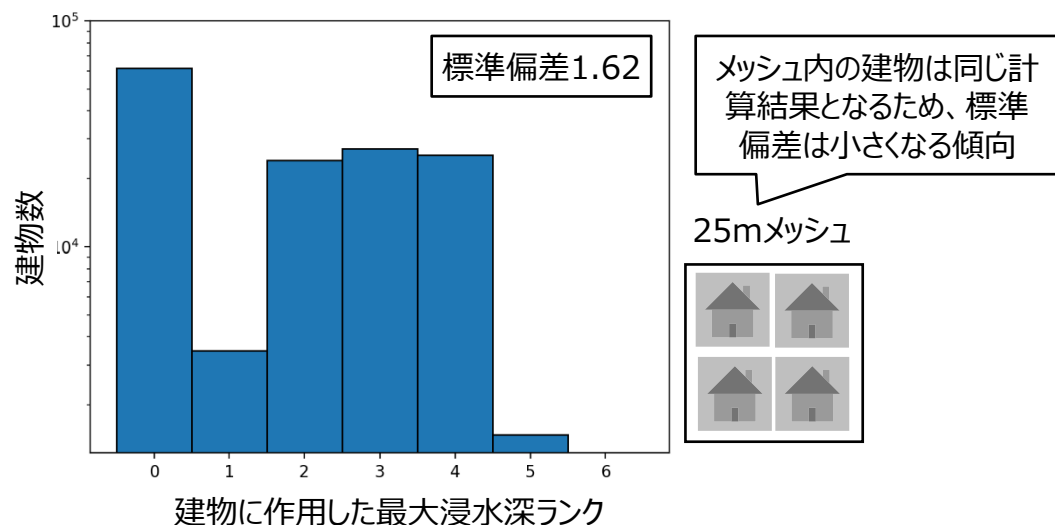
IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

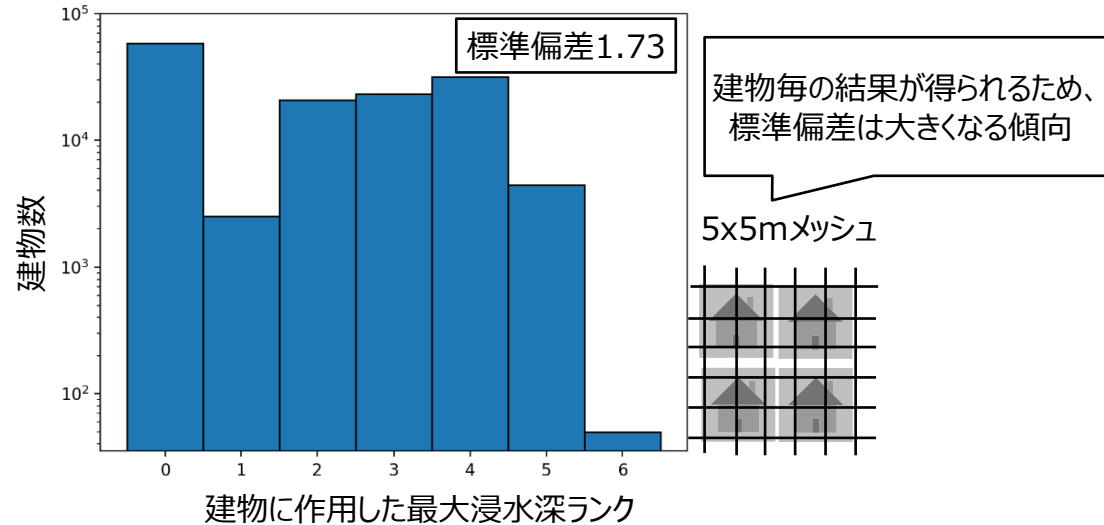
詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存のシミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・建物の表現による効果を検証する。

既存のシミュレーション(25mメッシュ) 建物最大浸水深ランクの度数分布



詳細手法(5mメッシュ) 建物最大浸水深ランクの度数分布



最大浸水深ランク	ランク0 0m	ランク1 ~0.5m	ランク2 0.5~3m	ランク3 3~5m	ランク4 5~10m	ランク5 10~20m	ランク6 20m~
建物数	62,000	3,500	24,000	27,000	25,000	1,500	0

最大浸水深ランク	ランク0 0m	ランク1 ~0.5m	ランク2 0.5~3m	ランク3 3~5m	ランク4 5~10m	ランク5 10~20m	ランク6 20m~
建物数	58,000	2,500	21,000	23,000	32,000	4,400	50

- ・ 詳細手法(5mメッシュ)では、従来手法(25mメッシュ)に比べて最大浸水深ランクの標準偏差が1.62から1.73に拡大 (25mメッシュから5mメッシュに細分化されたことの効果)
- ・ また、最大浸水深ランク4~6の建物が増加 (ランク0~3の建物は減少) しており、水が建物を迂回する分浸水深が大きくなるメッシュが増加する結果とも整合

【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、メッシュ詳細化・建物表現の効果を考慮した浸水深を評価できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・建物の表現による効果を検証する。

※破堤から300分後（概ね最大浸水深）の結果をプロット

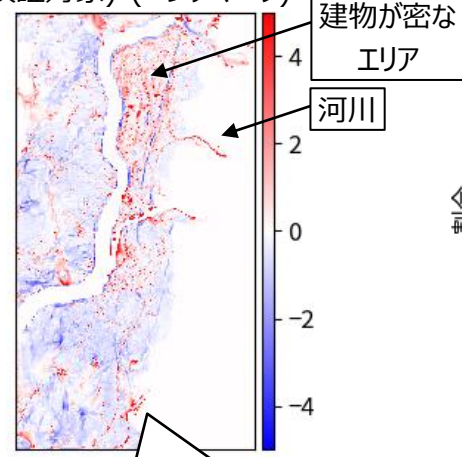
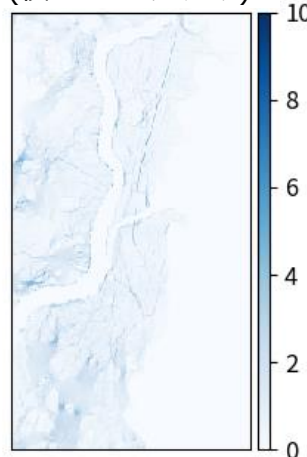
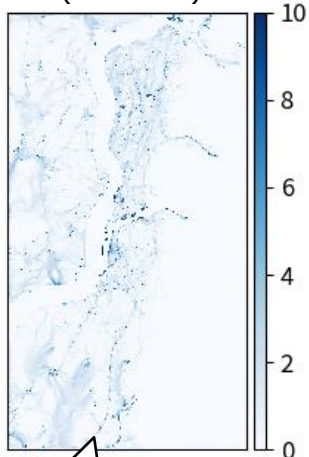
確認方法① 流速(m/s)の空間分布およびそれらの差分の比較

確認方法② 流速差分(m/s)の頻度分布から統計情報と傾向を確認

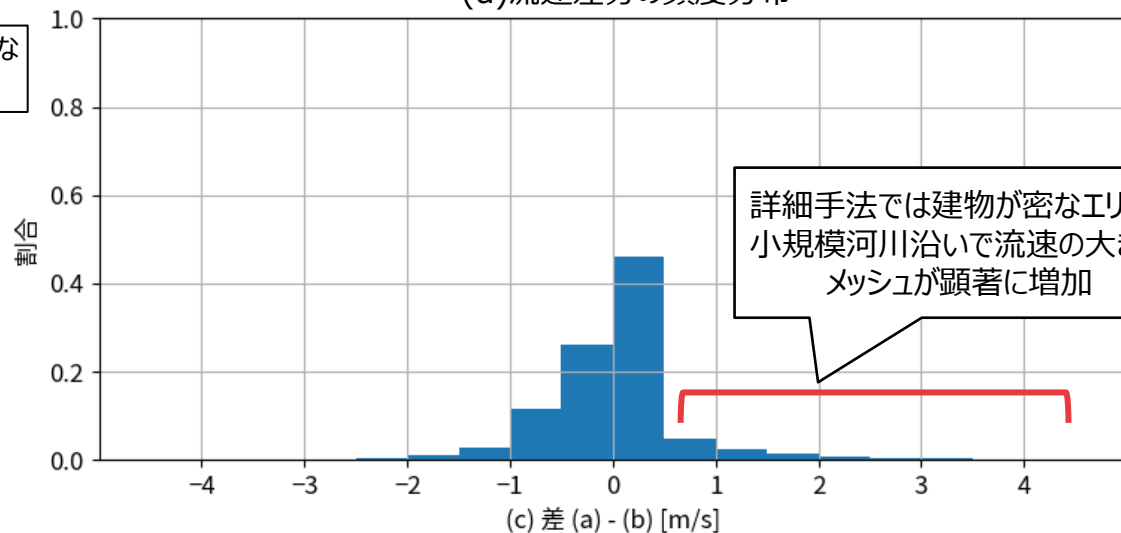
(a) 詳細手法5m
(検証対象)

(b) 既存の結果
(検証のベンチマーク)

(c) 差分
(検証対象)-(ベンチマーク)



(d) 流速差分の頻度分布



詳細手法(a)では小規模河川が表現されている
(濃い青線)

赤色の濃い部分が流速差分の大きなメッシュ
→ 詳細手法(a)では、建物密度が密なエリア、小規模河川沿いで流速の大きなメッシュが増加

- 詳細手法では建物密度が密なエリア、小規模河川沿いで流速の大きなメッシュが増加
- 手法によらず計算領域に流入する水量がほぼ同じであれば、建物密度が密なエリアや小規模河川のように狭い流路において流速が大きくなることは理論的にも妥当である

【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、メッシュ詳細化・建物の効果を考慮した流速を評価できている

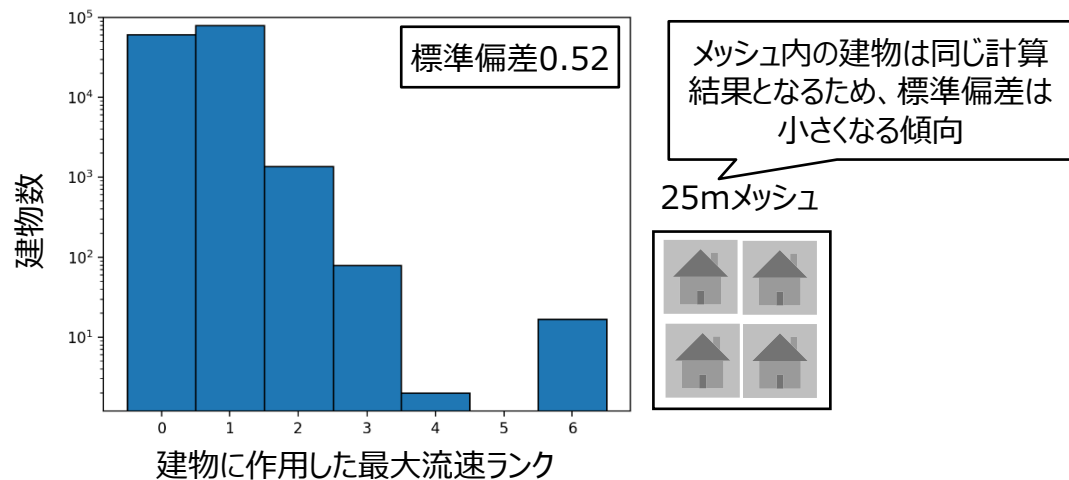
IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

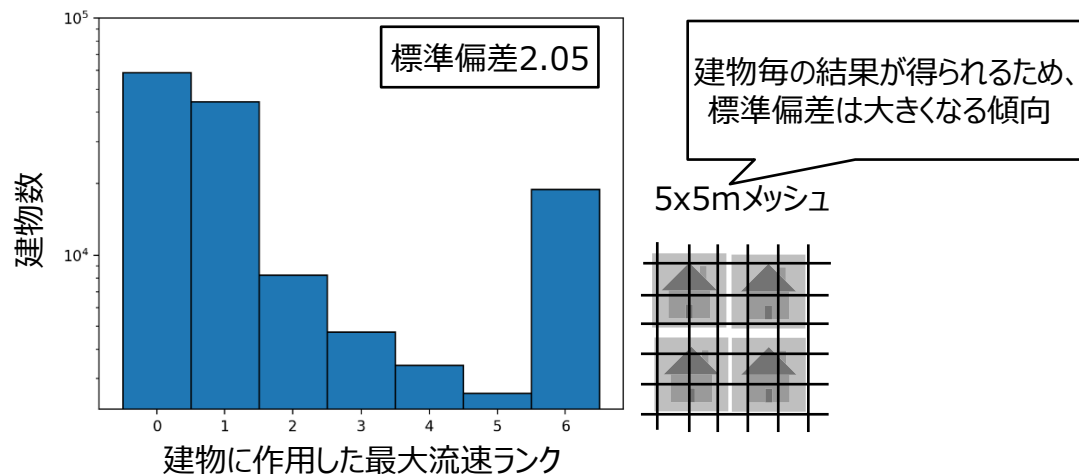
詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存のシミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・建物の表現による効果を検証する。

既存のシミュレーション(25mメッシュ) 建物最大流速ランクの度数分布



詳細手法(5mメッシュ) 建物最大流速ランクの度数分布



- 詳細手法(5mメッシュ)では、従来手法(25mメッシュ)に比べて最大流速ランクの標準偏差が0.52から2.05に拡大 (25mメッシュから5mメッシュに細分化されたことの効果)
- また、最大流速ランク2~6の建物が増加 (ランク0~1の建物は減少) しており、メッシュ詳細化によって建物が密なエリアや小規模河川周辺における流速が大きくなる結果とも整合

【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、メッシュ詳細化・建物表現の効果を考慮した流速を評価できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

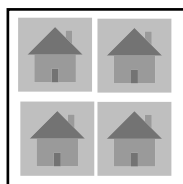
詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存のシミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・建物の表現による効果を検証する。

既存のシミュレーション(25mメッシュ) リスク建物数

構造種別/ 建物数	流失・倒壊 リスクあり	流失・倒壊 リスクなし
木造かつ 建築年S56前, 旧耐震基準 (約57,000棟★) ※属性補完全	約8,300棟 (15%)	約48,000棟 (84%)
木造かつ 建築年S56後, 新耐震基準 (約36,000棟)	約2,500棟 (7%)	約34,000棟 (94%)
非木造 (約50,000棟) ※属性補完全	0棟 (0%)	約50,000棟 (100%)
全建物数	水没リスクあり	水没リスクなし
約140,000棟	約36,000棟 (26%)	約110,000棟 (79%)

25mメッシュ

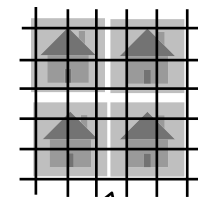


メッシュ内の建物
は同じ計算結果
となる

詳細手法(5mメッシュ) リスク建物数

構造種別/ 建物数	流失・倒壊 リスクあり	流失・倒壊 リスクなし
木造かつ 建築年S56前, 旧耐震基準 (約55,000棟★) ※属性補完全	約14,000棟 (25%)	約41,000棟 (75%)
木造かつ 建築年S56後, 新耐震基準 (約36,000棟)	約7,000棟 (20%)	約29,000棟 (81%)
非木造 (約50,000棟) ※属性補完全	約90棟 (0.2%)	約49,000棟 (100%)
全建物数	水没リスクあり	水没リスクなし
約140,000棟	約48,000棟 (34%)	約93,000棟 (66%)

5x5mメッシュ



建物毎の結果が
得られる

- 詳細手法(5mメッシュ)では、従来手法(25mメッシュ)に比べて「流失・倒壊リスクあり」「水没リスクあり」建物数が増加
- メッシュ詳細化や建物の表現によって浸水深が大きくなったこと、建物が密なエリアや小規模河川周辺における流速が大きくなったこととも整合

【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、メッシュ詳細化・建物表現の効果を検討した建物リスクを評価できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

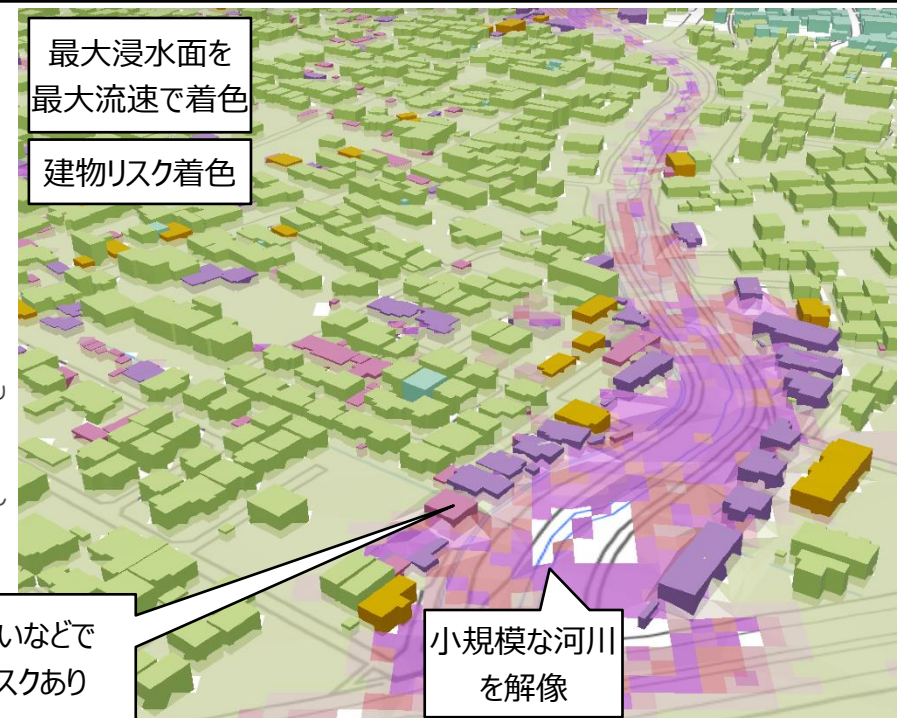
詳細手法(5mメッシュ)と既存シミュレーション(25mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と既存のシミュレーション(25mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・地物の表現による効果を検証する。

既存のシミュレーション(25mメッシュ) 建物リスク



詳細手法(5mメッシュ) 建物リスク



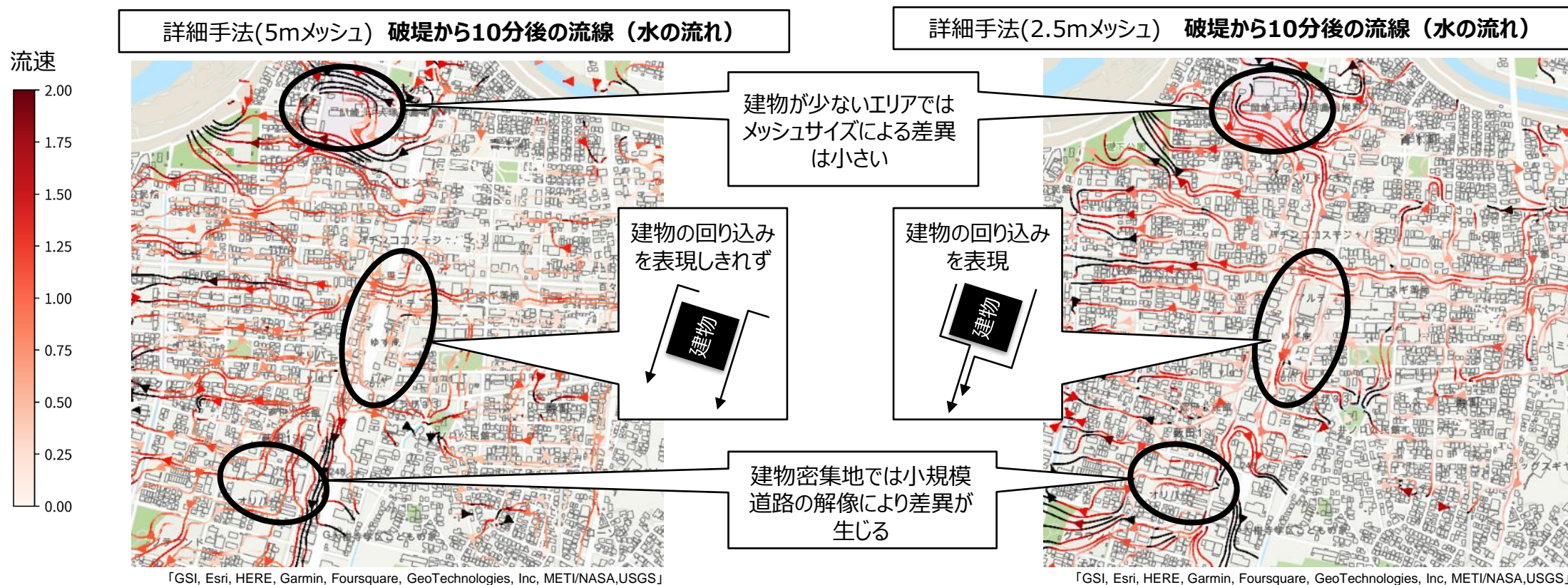
- 従来手法(25mメッシュ)の粗く平均化されたメッシュによる計算では「建物リスクなし」であっても、詳細手法(5mメッシュ)では場所によっては「建物リスクあり」の結果が得られた
【結果】詳細手法(5mメッシュ)では、小規模河川とその周辺の流況（浸水深・流速の増加）が表現され、より詳細に建物リスクを評価できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 ii 詳細化の検証

詳細手法(5mメッシュ)と詳細手法(2.5mメッシュ)の比較・検証

【目的】詳細手法(5mメッシュ)と詳細手法(2.5mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・地物の表現による効果を検証する。



- 2.5mメッシュでは、5mメッシュで表現しきれない建物を回り込む流れ（建物に沿った流れ）や小規模道路に沿った流れを表現（5mメッシュでは地物と流線が重なる部分が多い）

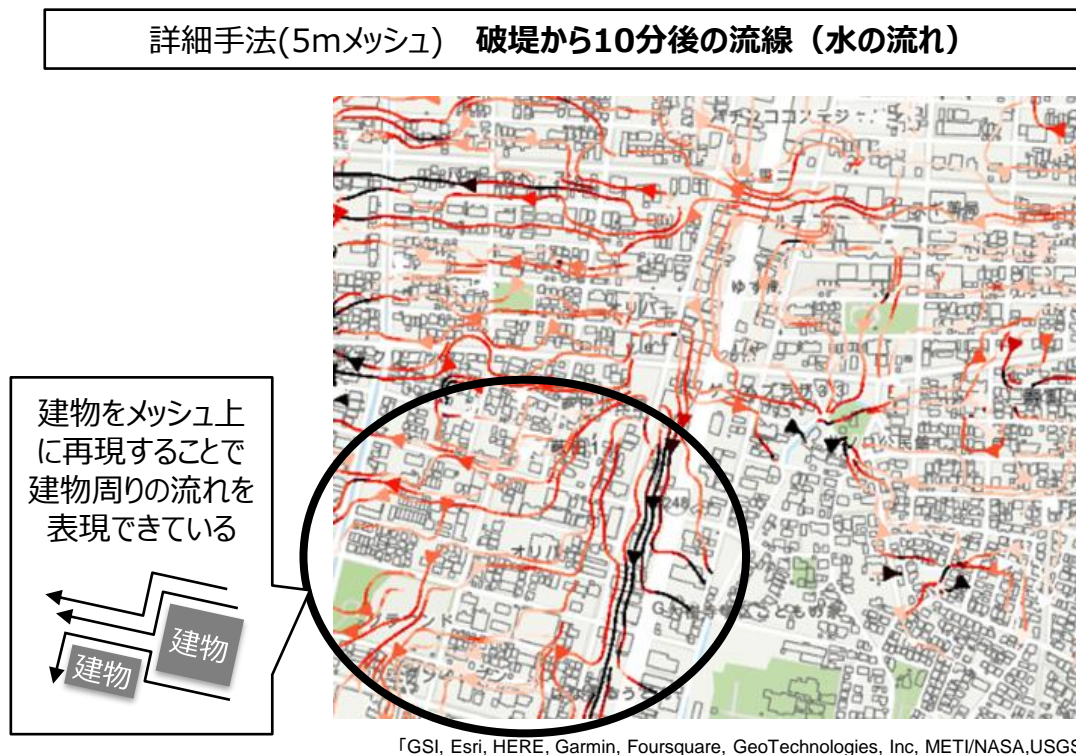
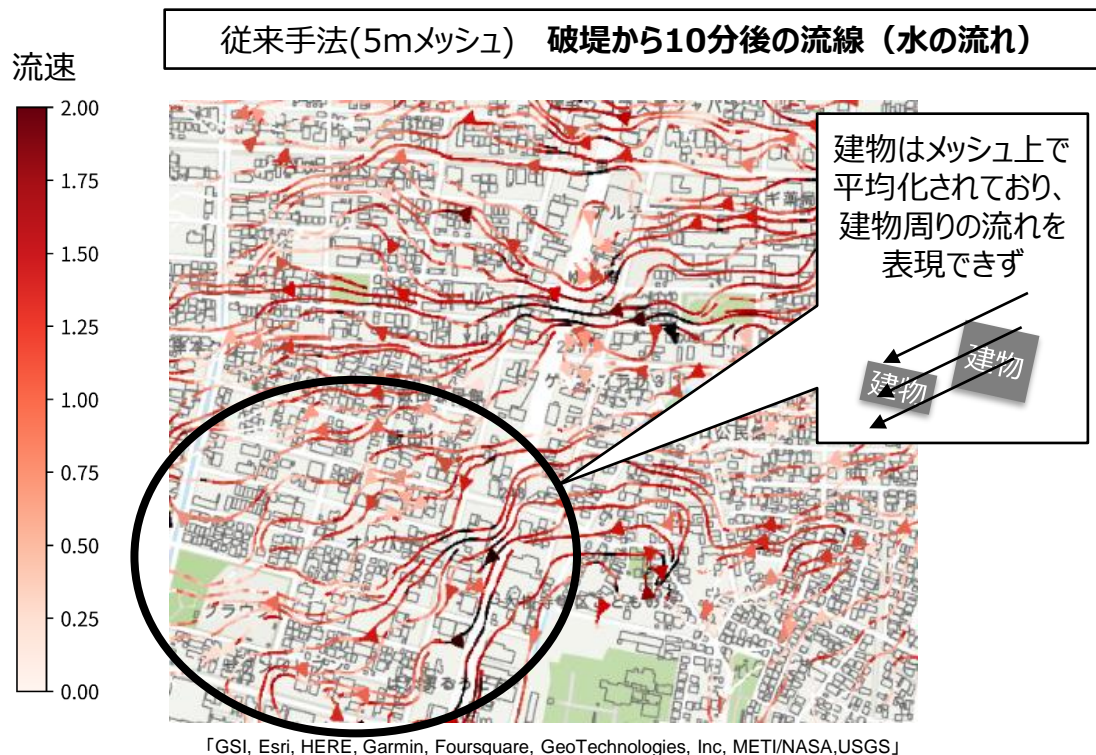
【結果】詳細手法では、メッシュサイズを微細化することで地物周りの水の流れをより詳細に表現できている

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 iii 手法差の検証

詳細手法(5mメッシュ)と従来手法(5mメッシュ)による結果の差異を検証

【目的】従来手法(5mメッシュ)と詳細手法(5mメッシュ)を比較することで、メッシュの詳細化・地物の表現による効果を検証する。



- 詳細手法では、従来手法に比べて建物を回り込む流れ（建物に沿った流れ）や小規模道路に沿った流れを表現

【結果】手法の詳細化（建物や小規模河川・道路をメッシュ上に詳細に表現）によって地物周りの水の流れをより詳細に表現できている

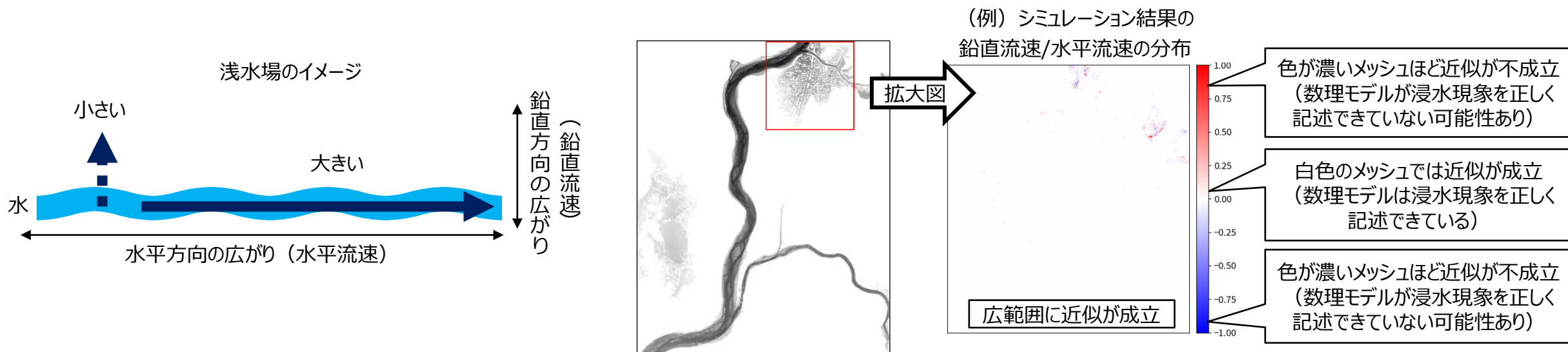
IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 分析手法の説明

検証 iii 静水圧近似成立の可否を分析する手法について

- 本実証では、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版）」に従い、浅水場に適した静水圧近似に基づく基礎方程式を採用している。
- 静水圧近似とは、鉛直方向の流れの広がり（鉛直流速）が水平方向の広がり（水平流速）よりも小さい浅水場（左下図）で成立する近似である。温度（密度）一定の水は、水平方向に広がりやすいが鉛直方向には広がりにくく、同マニュアルでは静水圧近似に基づく基礎方程式が例示されている。
- 一方で、本実証ではマニュアルと異なる手法を採用していることから、静水圧近似の成立性（実装した詳細手法の数理モデルが浸水現象を正しく記述できているか）について確認した。静水圧近似が不成立のメッシュでは、浸水深や流速が過小／過大評価されている可能性がある。

確認方法：計算結果から得られるメッシュごとの鉛直流速と水平流速の比を地図上にプロットして確認する。（右下図）



IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 iii 手法差の検証

静水圧近似の成立性の分析

確認方法：計算結果から得られるメッシュごとの鉛直流速と水平流速の比を地図上にプロットし、静水圧近似の成立性（実装した詳細手法の数理モデルが浸水現象を正しく記述できているか）を確認する。（下図※）

※破堤から300秒後の結果をプロット

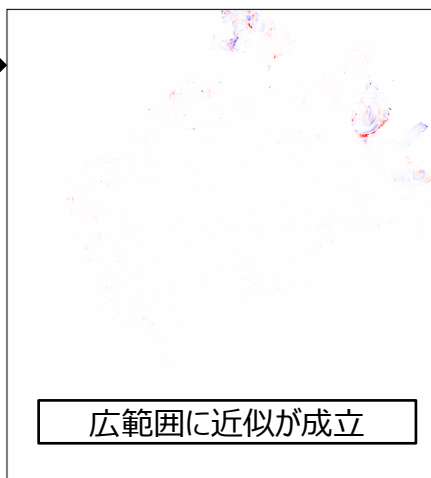
確認方法①メッシュごとの鉛直流速と水平流速の比を地図上に時系列プロットして確認

【破堤点付近を詳細に分析】

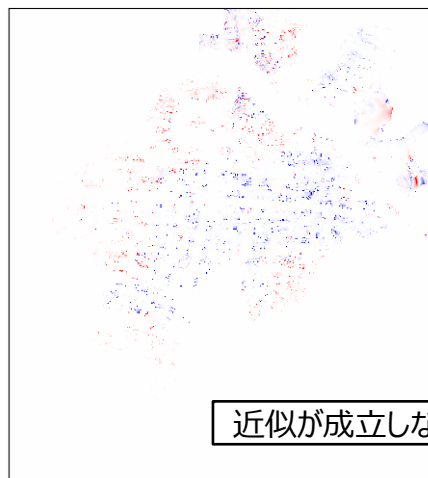


拡大図

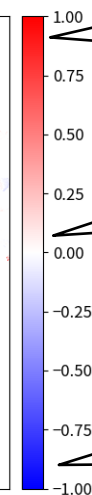
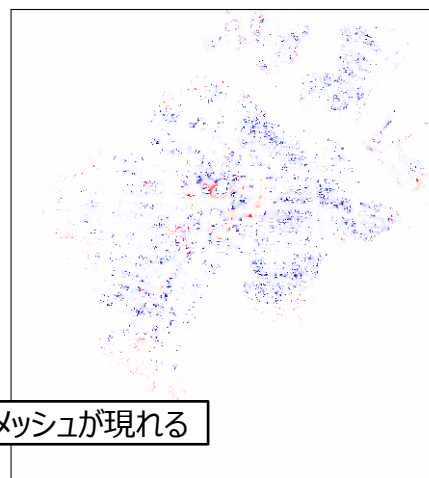
従来手法(5mメッシュ)



詳細手法(5mメッシュ)



詳細手法(2.5mメッシュ)



色が濃い領域
ほど
近似が不成立

白色の領域
では
近似が成立

色が濃い領域
ほど
近似が不成立

- 詳細手法では、氾濫流が建物に当たることで鉛直流速が大きくなるため、浅水場を前提とした静水圧近似が成立しにくくなる（建物周辺のメッシュにおいて不成立となる傾向）
- また、メッシュサイズを2.5mへと微細化した場合にも、氾濫流の水平スケールに対して鉛直スケールが大きくなることもあるため近似が成立しにくくなる

【結果】詳細手法（5m、2.5mメッシュ）では、建物周辺メッシュの浸水現象（浸水深、流速）を正しく記述できていない可能性（浸水深や流速を過小／過大評価している可能性）がある。

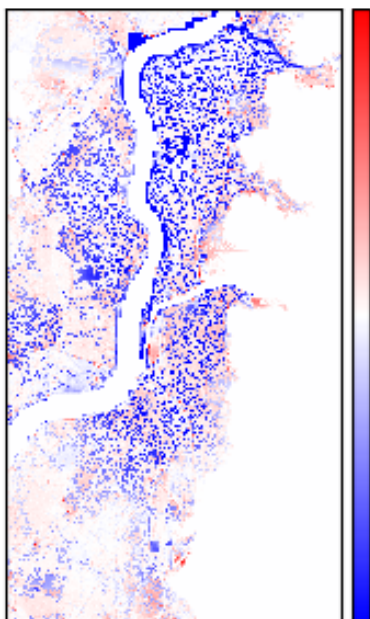
IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

① 検証内容 | 検証 iii 手法差の検証

静水圧近似の成立性の分析

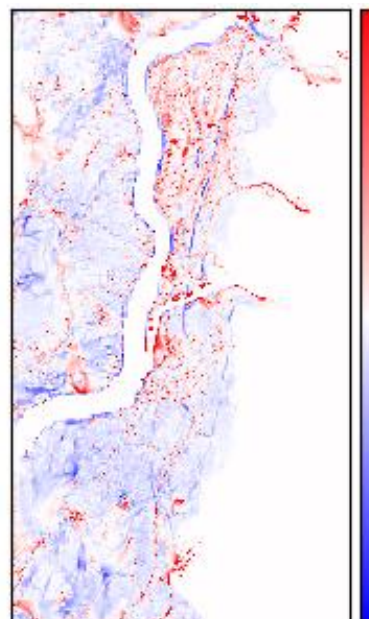
静水圧近似が不成立の（現象を正しく記述できていない可能性がある）メッシュ（主に建物周辺）に着目し、浸水深や流速について従来手法との差異を分析することで、静水圧近似不成立の影響を確認する。

浸水深(m)の差分
 (詳細手法5m)-(ベンチマーク※)



- 詳細手法では、建物周辺において浸水深の大きいメッシュ（赤点）が存在
- 浸水深の増加は建物の存在による効果ではあるものの、静水圧近似が成立していないため、詳細手法では浸水深を過大評価している可能性がある
- ただし、範囲（左図の赤点）は限定的

流速(m/s)の差分
 (詳細手法5m)-(ベンチマーク※)



- 詳細手法では、建物周辺において流速の大きいメッシュ（赤点）が多数存在
- 流速の増加は建物の存在による効果ではあるものの、静水圧近似が成立していないため、詳細手法では流速を過大評価している可能性がある

※従来手法(25mメッシュ)による既存の計算結果（矢作川洪水浸水想定区域図（想定最大規模、BP117））

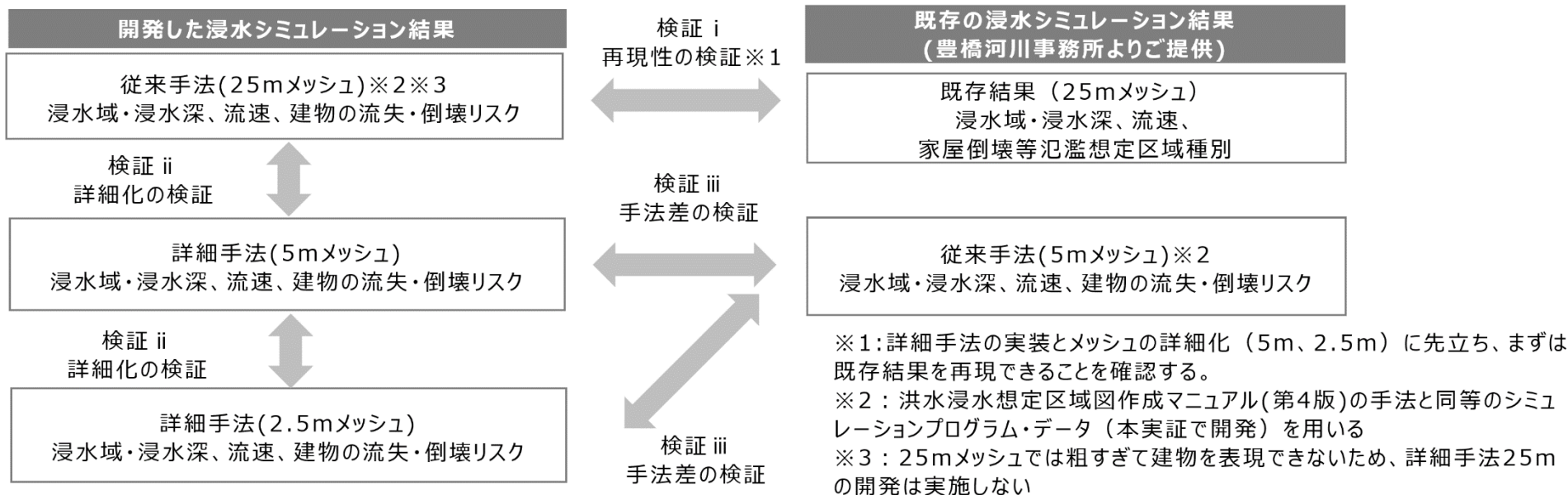
➡詳細手法では、氾濫流が建物に衝突することによって生じる浸水深・流速の大きな変化を扱うことができるようになったものの、このような現象をより高い精度で扱うためには、基礎方程式系の見直し等について、有識者も交えて検討する必要がある

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

② 検証結果 | 浸水シミュレーションの検証

◆ 検証の結果

- ① 今回開発した25m従来手法は、同等の手法を用いた既存の浸水シミュレーション結果を概ね再現することができた
- ② メッシュサイズが詳細化するほど、現象の解像度が向上し、詳細な流速・浸水深・流線（水の流れ）の把握が可能になることを確認できた
 詳細手法では、小規模河川等の地物や建物をシミュレーション上で解像することで、建物リスク・浸水深・流速の詳細な把握が可能になることを確認できた
- ③ 従来手法（5mメッシュ）と詳細手法（2.5m、5mメッシュ）それぞれの浸水深の比較・検証から、両者の結果は手法の差を除いて一致することが確認できた
 【要件】
 - i. 再現性 - 本実証で開発した従来手法（25mメッシュ）による結果と既存のシミュレーション結果（25mメッシュ）の傾向が合理的な範囲で一致すること（再現性※1）
 - ii. 詳細化の検証 - メッシュサイズが細くなることでより詳細な評価ができていくこと
 - iii. 手法差の検証 - 詳細手法による結果と従来手法による結果の傾向が、手法の違いに由来する差異を除いて一致すること



IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

③ 検証内容 | 入力データ作成作業負荷軽減効果の検証

- 一般に浸水シミュレーション用の入力データは、各種の地理空間情報（地盤高、土地利用、建物位置・形状等）を収集・調査・処理し、広範囲にわたる計算領域を格子（メッシュ）状に分割した上でシミュレーションに必要なデータを各格子（メッシュ）に紐づく形でデータ化する。このため、計算領域の広さや格子（メッシュ）サイズの取り方（従来の浸水シミュレーションでは25m、本実証では5m、2.5m）にもよるが、膨大なデータを扱うことになる点が作業上の負担につながっている。
- 本実証では、3D都市モデルを活用することで上記のような入力データ作成作業上の負担の軽減が見込まれる手順を抽出し、その効果について検討した※。

※検討対象の入力データは、浸水シミュレーションを実施する際に一般に必要とされているメッシュデータ（標高(m)、土地利用分類コード(-)、空隙率(-)、透過率(-))を含む)とした。

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

④ 検証結果 | 入力データの作成作業負荷軽減効果の検証

入力データ作成作業の負担軽減効果の分析

作成する入力データ		用途	3D都市モデルを活用する場合	3D都市モデルを活用しない場合	作業負荷軽減効果
メッシュデータ (CSV形式)	標高 (m)	浸水シミュレーション用の標高データ (地盤高+建物高) ※建物高は詳細手法でのみ使用	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルに含まれる地盤高、建物高を活用できる。 CityGML形式から、3Dデータを扱うことができるGISツールで処理可能な形式 (FGDB形式等) に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により格子 (メッシュ) データに変換できる。 浸水シミュレーションの対象領域に、3D都市モデルが整備されていない市区町村も含まれる場合には、3D都市モデル以外のデータも活用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 航空レーザー測量 (LP測量) 等による数値標高モデル (DEM) データ、「基盤地図情報 5mメッシュ又は10mメッシュ (国土地理院)」等を活用できる。※1 詳細手法で建物高を使用する場合は、上記以外のデータから入手する必要がある。 必要に応じて、GISツールで扱いやすい形式 (SHP形式等) に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により格子データに変換できる。 	高 (建物高を利用したシミュレーションを行う場合)
	土地利用分類 コード (-)	浸水シミュレーション用の粗度係数データ	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルに含まれる土地利用を活用できる。 CityGML形式から、3Dデータを扱うことができるGISツールで処理可能な形式 (FGDB形式等) に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により格子 (メッシュ) データに変換できる。 浸水シミュレーションの対象領域に、3D都市モデルが整備されていない市区町村も含まれる場合には、3D都市モデル以外のデータも活用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 「国土数値情報 土地利用細分メッシュ (国土交通省)」、 「国土数値情報 都市地域土地利用細分メッシュ (国土交通省)」等を活用できる。 必要に応じて、GISツールで扱いやすい形式 (SHP形式等) に変換する必要がある (上述の国土数値情報はSHP形式で公開)。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により格子データに変換できる。 	低

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」、p.7~8 (2.2. 対象とする浸水範囲における地盤高等の調査)、(2017年10月)
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

④ 検証結果 | 入力データの作成作業負荷軽減効果の検証

入力データ作成作業の負担軽減効果の分析

作成する入力データ		用途	3D都市モデルを活用する場合	3D都市モデルを活用しない場合	作業負荷軽減効果
メッシュデータ (CSV形式)	空隙率 (-)	浸水シミュレーション用の空隙率	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルに含まれる建物位置・形状を活用できる。 CityGML形式から、3Dデータを扱うことができるGISツールで処理可能な形式（FGDB形式等）に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により、格子（メッシュ）内に占める建物割合の計算や格子（メッシュ）データへの変換ができる。 浸水シミュレーションの対象領域に、3D都市モデルが整備されていない市区町村も含まれる場合には、3D都市モデル以外のデータも活用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 「基盤地図情報 2500（国土地理院）」、「基盤地図情報 25000（国土地理院）」、「基盤地図情報 1/10 細分メッシュ（国土地理院）」（建築物の外周線）等を活用できる。 ※1 必要に応じて、GISツールで扱いやすい形式（SHP形式等）に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により、格子（メッシュ）内に占める建物割合の計算や格子（メッシュ）データへの変換ができる。 	低
	透過率 (-)	浸水シミュレーション用の透過率	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルに含まれる建物位置・形状データを活用できる。 CityGML形式から、3Dデータを扱うことができるGISツールで処理可能な形式（FGDB形式等）に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により、格子（メッシュ）境界線上に占める建物割合の計算や格子（メッシュ）データへの変換ができる。 浸水シミュレーションの対象領域に、3D都市モデルが整備されていない市区町村も含まれる場合には、3D都市モデル以外のデータも活用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 「基盤地図情報 2500（国土地理院）」、「基盤地図情報 25000（国土地理院）」、「基盤地図情報 1/10 細分メッシュ（国土地理院）」（建築物の外周線）等を活用できる。 ※1 必要に応じて、GISツールで扱いやすい形式（SHP形式等）に変換する必要がある。 ArcGIS Pro等のGISソフトの機能により格子（メッシュ）境界線上に占める建物割合の計算や格子（メッシュ）データへの変換ができる。 	低

※1 出所) 国土交通省「洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)」, p.7~8 (2.2. 対象とする浸水範囲における地盤高等の調査)、(2017年10月)
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1710.pdf

IV. 実証技術の検証 > 1. 浸水シミュレーションの検証

④ 検証結果 | 入力データの作成作業負荷軽減効果の検証

3D都市モデル活用による入力データの作成作業負荷軽減効果

入力データの作成手順	3D都市モデルを活用することによって期待される負荷軽減効果
入力データ作成に必要な情報の収集・調査	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルにはメッシュデータ（標高、土地利用、空隙率・透過率）の作成に必要な情報が含まれていることから、複数の情報源（基盤地図情報、数値地図、国土数値情報など）から計算対象地域の情報を収集・調査する作業を省略できる可能性がある。なお、このような情報収集・調査に掛かる工程を省力するためには、3D都市モデルが常に最新の都市の状態を反映した状態で更新され、他の情報源よりも詳細なデータを有している必要があると考えられる。 建物高を利用したシミュレーションを3D都市モデルを活用せずに実施する場合には、建物高をある仮定の下で作成（例えば、階数×●m）する、あるいは、基盤地図情報や数値地図以外のデータ（建築計画概要書等）からデータを作成する必要があるが、3D都市モデルを活用することでこれらの工程は省略可能となる。
元データから入力データへの変換処理	<ul style="list-style-type: none"> 入力データ作成の元となるデータをGISツールで扱いやすい形式に変換することや、GISツールのデータ処理機能（例えば、ArcGIS Proのジオプロセシング機能）を用いて入力データへの変換処理を行うこと自体は、3D都市モデルの活用有無によらず共通的な手順であり、負荷軽減効果としては大きくない。

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

① 検証内容 | 防災対策上の実効性の検証

実証の方法

- 地域のライフライン維持・復旧に関わる主な企業および岡崎市関係6部署より防災対策上の実効性についてヒアリングを行った。
- 2023/1月下旬～2月上旬にかけて実施した。

分類	ヒアリング先	ヒアリングの主な観点（3D都市モデルの活用ポイント）
岡崎市	市民安全部 防災課	<ul style="list-style-type: none"> ● 市民の防災意識の啓発、防災関係者間のリスクに対する認識共有 ● 防災訓練・教育への活用 ● 新たな地域防災拠点（発災時にも流失・倒壊しないエリア・建物）の探索、避難計画への反映 ● 段階的避難（矢作川避難計画）の見直しへの活用 ● 浸水の進展に応じた避難ルート検討や救助・救護活動への活用（逃げ遅れへの対応）、防災拠点への物資供給活動への活用 ● 立地適正化計画の検討への活用（高リスク地域での開発抑制・移転促進） ● 河川整備（堤防強化等）、下水道整備（雨水ポンプ設置・排水能力強化）、雨水貯留浸透施設の設置への活用
	消防本部 総務課	
	消防課	
	都市政策部 都市計画課	
	土木建設部 河川課	
	道路維持課	
上下水道局 下水工事課		
民間企業	インフラ系企業A（企業名は非公開）	<ul style="list-style-type: none"> ● 従業員の防災意識の啓発、自治体等の地域関係者とのリスクに対する認識共有 ● 防災訓練・教育への活用 ● 水害BCPの更新への活用 <ul style="list-style-type: none"> □ 自社施設のリスク把握 □ 重要施設の立地エリアの選定、対策検討（止水板設置、重要設備の高所配置等） □ サプライチェーン（取引先施設、物流経路等）への影響の把握 □ 従業員の安全確保 □ 復旧計画（復旧要員・資機材の配置、復旧時の行動計画等）
	中部電力パワーグリッド	
	愛知県LPガス協会	
	愛知環状鉄道	
	岡崎市土木安全協力会（加盟2社）	

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

① 検証内容 | 防災対策上の実効性の検証

岡崎市ヒアリング実証の様子



IV. 実証技術の検証 > 2.防災対策上の実効性の検証

② 検証結果 | 防災対策上の実効性の検証

KPI	KPIの評価方法	達成度・結果
①「3D都市モデルを活用した解析結果の方が防災対策の検討に役立つ」という回答を過半数から得ること。	ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・民間企業・関係団体の6社のうち5社より役立つとの回答を得た。残る1社からは、現実的な降雨条件を想定したシミュレーションがあれば、役立つ可能性があるとの回答を得た。 ・市防災関係7課からはいずれも役立つとの回答を得た。
②「3D都市モデル活用により新たにアウトプットされる指標のうち、防災対策上役に立つ指標が1つ以上ある」という回答を得ること。	ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・民間企業・関係団体の6社のうち5社より役立つ指標があるとの回答を得た。指標として、「建物位置での浸水深を1mより細かいスケールで把握できること」が4社、「人が流される可能性のある流速を把握できること」が1社、「時系列での水の広がり方、最初に浸水する部分が把握できること」が2社であった。 ・市防災関係7課からはいずれも役立つ指標があるとの回答を得た。指標として、「建物位置での浸水深を1mより細かいスケールで把握できること」、「自身で自分の建物のリスクを把握できること」、「浸水時に最寄りの安全で高い建物を把握できること」があった。

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

② 検証結果 | 防災対策上の実効性の検証

項目	活用ポイント	活用に当たっての課題、今後の発展の方向性
ライフライン 防災・復旧 の観点から	<ul style="list-style-type: none"> 自社設備で予測される浸水深を正確に把握したいニーズがある。3D都市モデル上で自社設備と浸水深を重ね合わせて表示できれば作業負担の軽減が期待できる。 復旧時には機材・車両を送り込む必要があり、どの道路が浸水しておらず通行可能な状況か時系列で把握できるのがよい。 令和6年度から、浸水時にLPガス容器の流出防止対策が義務化され、容器設置場所の浸水深が1mを超える場合に流出防止のための固定具を追加する必要がある。現在のハザードマップでは浸水深1mの目盛りがないため、対策が必要か判断できず課題となっている。3D都市モデルで容器設置場所ごとの浸水深を把握できると、対策を進める上で非常に役立つ。 重要設備の配置を検討する際に、1mより詳細な単位で浸水深の予測値があると非常に参考になる。 	<ul style="list-style-type: none"> 社内で持っている非公開データも3D都市モデルに重ね合わせることができる方法があるとよい。 3Dで詳細化シミュレーションを行う方向性はよいと思う。活用に当たっては、シミュレーションの想定にリアリティが欲しい。平成12年の東海豪雨や平成20年8月末の伊賀川の越水を正確に再現したシミュレーションをまず実施し、さらに降雨規模を1.2倍や1.5倍に想定したシミュレーションできると、実効性のある対策を検討できる。 数年に一度の線状降水帯や台風による降雨が起こった場合にどこが浸水するか事前に把握したい。降雨規模に応じた被害予測があるとよい。 破堤が起こる可能性が高い場所を想定したシミュレーションがあると活用できるのではないかと。

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

② 検証結果 | 防災対策上の実効性の検証

項目	活用ポイント	活用に当たっての課題、今後の発展の方向性
民間企業 BCP・ 地域住民 の観点から	<ul style="list-style-type: none"> • 車が浸水しないように避難場所を指定する取り組みがあり、適した場所を探すのに活用できる。 • 大きな浸水が予想される際に、避難場所を選定するのに活用できる。これまでは小学校の体育館を指定しても一階しかないために浸水してしまい意味がない可能性があった。 • 時系列で浸水の広がり方が把握できれば、逃げ遅れた際の現実的な垂直避難先を決めておくことができる。 • 浸水深50cmを超えると徒歩で避難は難しくなる。徒歩で避難できるエリアを時系列で示せるのが良い。 	<ul style="list-style-type: none"> • 矢作川上流で氾濫に備えた河川整備工事を行っており、その影響が下流の岡崎市に及ぶのかどうか関心を持っている。矢作川上流の様子も取りこんだシミュレーションが行えると、防災対策にさらなる根拠を与えることができるのではないか。 • 流域治水整備を行う際に、整備による効果が反映されたシミュレーション結果があると地域住民にとってわかりやすい説明ができるのではないか。

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

② 検証結果 | 防災対策上の実効性の検証

項目	活用ポイント	活用に当たっての課題、今後の発展の方向性
岡崎市 防災関係課 の観点から	<ul style="list-style-type: none"> 現実的な避難行動を検討する中では、自宅が安全な場所であることが把握できていれば自宅にとどまる選択肢が現実的といわれている。従来のハザードマップでは自宅が安全な場所なのか判断が難しく、行政としても把握できなかった。流失・倒壊リスクや水没リスクといった指標で示されることで現実的な避難行動を考えるツールになりうる。 浸水時の消防活動において通信指令から高い建物を即座に把握するのに活用できる。浸水時、通信指令が119番通報を受けた時点で最寄りの安全で高い建物を把握できていれば、避難場所として伝えることができる。過去の豪雨の際にも岩川での浸水時にそのような案内を行った。 浸水するまでの時間に応じて消防車が通れるアクセスポイントを検討する際に活用できる。 流速を考慮して、要救助者を救出する優先順位を検討することやアクセス経路を検討することに活用できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ほかのシステムと組み合わせ活用できる可能性がある。リアルタイムで浸水が起こっている可能性がある場所をシミュレーションから表示し、それを避難所の様子や消防の指令台のシステムに重ね合わせて表示できれば活用できるのではないか。 今回のシミュレーションを既存のプラットフォームと結びつけるのが重要ではないか。例えば岡崎市で使っている、総合防災システムとシミュレーションの情報を重ね合わせると、日々の業務の中での活用に広がると思う。

IV. 実証技術の検証 > 2. 防災対策上の実効性の検証

② 検証結果 | 防災対策上の実効性の検証

項目	活用ポイント	活用に当たっての課題、今後の発展の方向性
岡崎市 まちづくり の観点から	<ul style="list-style-type: none"> 浸水が想定されるエリアについては、まちづくりの過程において、浸水対策も含めて事前に住民説明を実施してきた。浸水深を従来の分類より細かく把握できるので、具体的な対策の検討にもつなげられると思う。 従来の平面的な水害リスクの分析に比べて立体的ではるかに見やすいと思う。立地適正化計画の中で防災指針を策定しており、災害リスクを市民に周知するにあたっては平面的なものよりも立体的な方が分かりやすく、安心感も与えられると思う。 地域住民に自身の地域の特徴を理解してもらうことが一番大切。誰もが気軽に自宅のパソコンもしくはスマホから今回のシミュレーションを見られるようになるのは非常によいと思う。例えば、岡崎市に新しく住む方がどのような地域なのか事前に確認できるようになると非常に有効。実際に家を建てる際には、防災についても考えてもらうことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 今回は矢作川が破堤するシミュレーションになっているが、堤防が高い地域なので内水氾濫が先に起こりやすいという認識もある。内水氾濫を先に起こすシミュレーションができれば多様な活用ができると思う。 想定最大規模のシミュレーションは非常時の対応を検討する際に使えるが、破堤なしの内水氾濫のケースを通じて、よりリアルな降雨の状況をシミュレーションで再現できれば、市で対策している災害対応のレベルでも活用できる。

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

① 3D都市モデルによる技術面での優位性 | サマリ

項目	3D都市モデルの優位性	想定される技術面での優位性
シミュレーションの高度化	建物形状	<ul style="list-style-type: none"> • 建物を2.5m・5mの詳細なメッシュ上に再現することで、氾濫水が建物によって遮蔽される効果や回り込む効果をシミュレーションできる。 • 建物での流速・浸水深の評価を個々の建物レベルで行うことが可能となる。
	建物属性	<ul style="list-style-type: none"> • 個々の建物高さを用いた水没リスクの判定が可能になる。 • 個々の建物構造種別・建築年・階数を用いることで、従来はエリアごとに行っていた流失・倒壊リスクの判定を建物ごとに行うことが可能になる。
	土地利用	<ul style="list-style-type: none"> • 従来より詳細な5mメッシュ単位で土地利用の情報をシミュレーションに入力することが可能となる。 • 小規模な道路・河川をシミュレーション上で解像することで、建物周りの流れが詳細に表現され、従来の浸水シミュレーションでは見えなかった流失・倒壊リスク、水没リスクを明らかにできる。

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

② 3D都市モデルによる政策面での優位性 | サマリ

項目	シミュレーションの高度化から想定される防災施策面での優位性
市民の防災意識の啓発、防災関係者間のリスクに対する認識共有	<ul style="list-style-type: none"> 水害リスクを市民に周知する観点から、3D都市モデルは従来の平面地図よりも立体的で分かりやすい。
防災訓練・教育への活用	<ul style="list-style-type: none"> 建物の階数を考慮したより適切な避難場所の選定が可能になる。 徒歩で避難が難しくなるエリアを時系列で示すことで、より身近に避難について考えることができる。
新たな地域防災拠点（発災時にも流失・倒壊しないエリア・建物）の探索、避難計画への反映	<ul style="list-style-type: none"> 時系列での浸水の広がり方を道路単位で把握することで、垂直避難先となる建物をより現実的に決めておくことができる。 車の避難場所を指定する取り組みの中で、適した建物（立体駐車場等）や場所を探すことができる。
段階的避難（矢作川避難計画）の見直しへの活用	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深以外にも建物流失・倒壊リスクや水没リスクという指標を示し、自宅が安全な場所かどうかを把握することで、現実的な避難行動の選択肢の一つとして自宅にとどまることを検討できる。
浸水の進展に応じた避難ルート検討や救助・救護活動への活用（逃げ遅れへの対応）、防災拠点への物資供給活動への活用	<ul style="list-style-type: none"> 浸水開始から浸水までの時間を道路レベルで把握することで消防車が通れるアクセスポイントを検討することができる。 流速を考慮して要救助者を救出する順番を検討することや、アクセス経路を検討することができる。 消防通信指令が119番通報を受けた時点で、最寄りの安全で高い建物を避難場所として伝えることができる。
立地適正化計画の検討への活用（高リスク地域での開発抑制・移転促進）	<ul style="list-style-type: none"> 浸水深を従来の分類より細かく把握することで、具体的な対策を検討できる。 3D都市モデルは従来の平面地図よりも立体的で見やすく、防災指針を市民に分かりやすく周知し安心感を与えることができる。
水害BCPの更新への活用	<ul style="list-style-type: none"> 自社設備で予測される浸水深を正確に把握することができる。 復旧機材・車両を送り込む道路の浸水状況を時系列で把握できる。 建物等の地物の影響を考慮した詳細なシミュレーションに基づく浸水深の予測結果を使うことで、重要設備・機器の設置方法を検討することができる。

V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題

今後の取り組みに向けた課題

分類	項目	活用にあたっての課題
シミュレーションの条件	<ul style="list-style-type: none"> 降雨の条件 破堤点の選択 内水氾濫 	<ul style="list-style-type: none"> リアリティのある降雨条件（高頻度の降雨、過去の豪雨）の選定 複数の破堤点を選択したシミュレーションの検討 下水道モデルなどを組み込んだ内水氾濫を再現するシミュレーションモデルの検討
シミュレーションのシステム化	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション領域 シミュレーション時間 可視化の動作性 	<ul style="list-style-type: none"> 対象河川の流域全体をカバーする広域化、データ量・計算時間の最適化 シミュレーションする現象時間の長時間化、データ量・計算時間の最適化 可視化環境のパフォーマンスの最適化（利用目的に応じたシミュレーションの詳細化と描画パフォーマンス、操作性等の検討）
シミュレーションの表現方法	<ul style="list-style-type: none"> 他システムとの連携 リスク可視化表現 	<ul style="list-style-type: none"> 消防等の既存システムとの組み合わせによる活用の検討 住民の意識向上・理解深化を促す表現方法の検討
防災施策	<ul style="list-style-type: none"> 防災計画高度化 復旧計画 	<ul style="list-style-type: none"> 建物リスクを考慮した段階的な避難計画の検討 建物リスクを考慮した復旧計画の検討

用語集

用語		内容
ア行	AWS	Amazon Web Services, Inc. により提供されるクラウドコンピューティングサービス
	ArcGIS Pro	ESRI社の提供する高機能な地理情報ソフトウェア
カ行	基礎方程式系	氾濫流の運動を規定する基礎となる方程式系（運動方程式）
	空隙率	各メッシュ内の氾濫流が流れることのできる面積割合（1-建物占有率）
サ行	静水圧近似	氾濫水の運動（広がりと流速）の鉛直スケールが水平スケールより小さい浅水場で成立する近似
	浅水場	氾濫流の水平スケールが鉛直スケールより大きい流れ場
	粗度係数	土地利用によって異なる地表の摩擦係数
	GeoTIFF	位置情報を付加した画像データ
	CesiumJS	Webブラウザ上に3次元の地物・地形を表示するためのオープンソースライブラリ
タ行	TerriaMap	Cesiumの描画機能をコントロールし、ユーザーインターフェースを追加するためのオープンソースWebシステム
	透過率	各メッシュ境界上において氾濫流が流れることのできる長さ割合（1-建物占有率）
ナ行	内水氾濫	大雨などによる地表水の増加に排水が追いつかず、住宅や田畑が水につかること

用語集

用語		内容
八行	破堤点	河川において堤防が決壊し、水が流出する箇所のこと
	ビット演算	整数を0か1の2進数で表し、各桁ごとの論理演算を行うこと
	Fortran	科学技術計算に向けたプログラミング言語
	Python	インタプリタ型の汎用プログラミング言語
	FME	様々な形式に対応した位置情報データ変換ソフト
	平面直角座標VII系 (epsg:6675)	局所平面座標系の一つ (岡崎市を含むVII系を採用した)
う行	流線	氾濫流の速度ベクトルを接線とする線、瞬間の流れ場
	Lax-Wendroff法	差分スキーム、時間・空間に関して2次精度
	Linux	オープンソースのオペレーティングシステムの種類

高度な浸水シミュレーション 技術検証レポート

令和5年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局 都市政策課

受託者：エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社

本報告書は、エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されておられません。