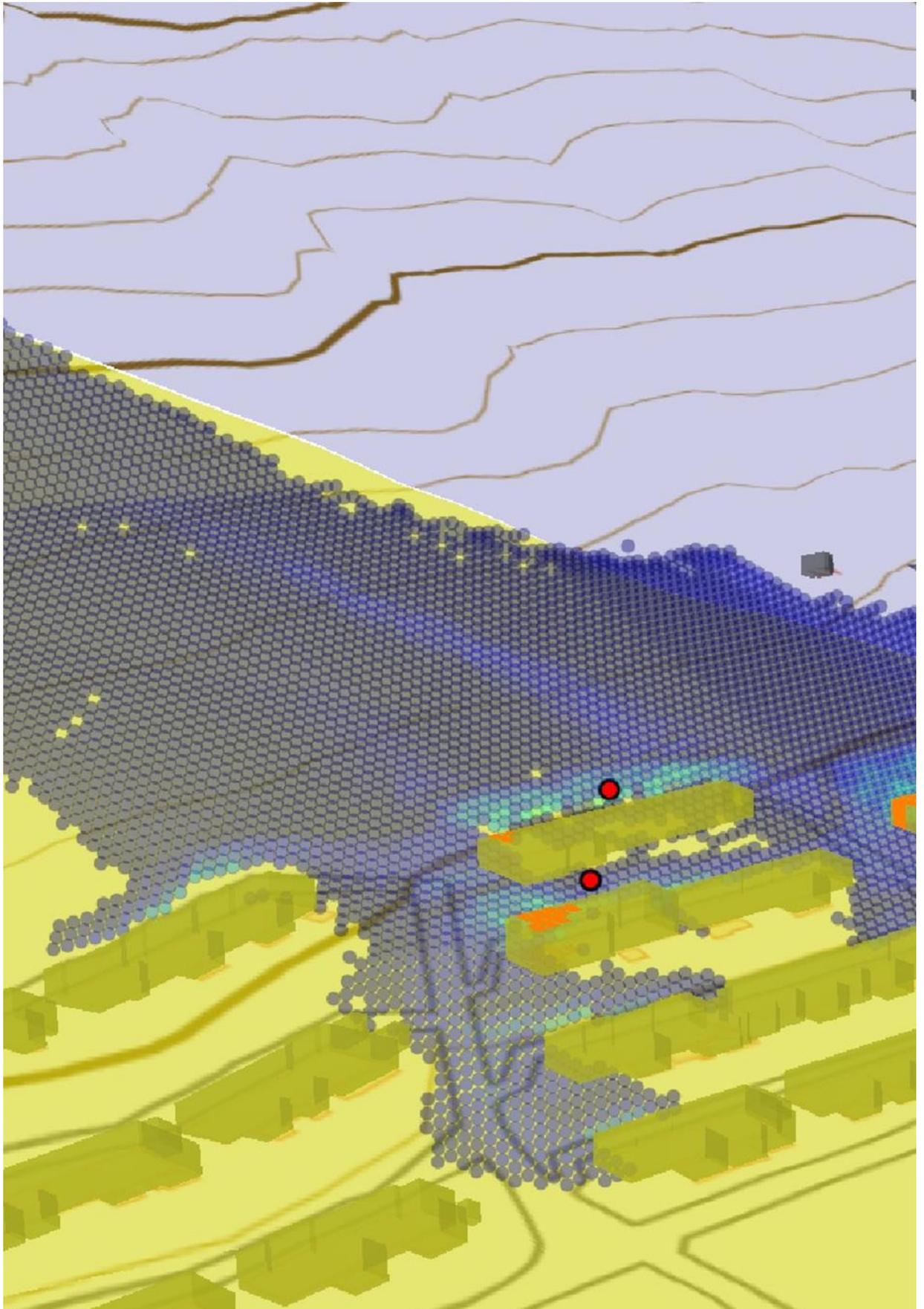




PLATEAU
by MLIT

PLATEAU Technical Report
3D都市モデル活用のための技術資料



精緻な土砂災害シミュレーション

技術検証レポート

Technical Report on Landslide Disaster Simulation with Building

series No. 72

目次

1. ユースケースの概要	- 1 -
1-1. 現状と課題	- 1 -
1-1-1. 課題認識	- 1 -
1-1-2. 既存業務フロー	- 2 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 3 -
1-3. 創出価値	- 5 -
1-4. 想定事業機会	- 5 -
2. 実証実験の概要	- 6 -
2-1. 実証仮説	- 6 -
2-2. 実証フロー	- 6 -
2-3. 検証ポイント	- 7 -
2-4. 実施体制	- 7 -
2-5. 実証エリア	- 8 -
2-6. スケジュール	- 9 -
3. 実証システム	- 10 -
3-1. アーキテクチャ	- 10 -
3-1-1. システムアーキテクチャ	- 10 -
3-1-2. データアーキテクチャ	- 13 -
3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ	- 14 -
3-2. システム機能	- 17 -
3-2-1. システム機能一覧	- 17 -
3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ	- 20 -
3-2-3. 開発機能の詳細要件	- 21 -
3-3. アルゴリズム	- 60 -
3-3-1. 利用したアルゴリズム	- 60 -
3-3-2. 開発したアルゴリズム	- 61 -
3-4. データインタフェース	- 69 -
3-4-1. ファイル入力インタフェース	- 69 -
3-4-2. ファイル出力インタフェース	- 71 -
3-4-3. 内部連携インタフェース	- 72 -
3-4-4. 外部連携インタフェース	- 76 -
3-5. 実証に用いたデータ	- 77 -
3-5-1. 活用したデータ一覧	- 77 -
3-5-2. 生成・変換したデータ	- 86 -
3-6. ユーザーインタフェース	- 87 -

3-6-1. 画面一覧	- 87 -
3-6-2. 画面遷移図	- 90 -
3-6-3. 各画面仕様詳細	- 92 -
3-7. 実証システムの利用手順	- 105 -
3-7-1. 実証システムの利用フロー	- 105 -
3-7-2. 各画面操作方法	- 106 -
4. 実証技術の検証	- 115 -
4-1. アルゴリズムの有用性検証	- 115 -
4-1-1. 検証目的	- 115 -
4-1-2. KPI	- 115 -
4-1-3. 検証方法と検証シナリオ	- 116 -
4-1-4. 検証結果	- 117 -
5. 政策面での有用性検証	- 121 -
5-1. 検証目的	- 121 -
5-2. 検証方法	- 122 -
5-3. 被験者	- 122 -
5-4. ヒアリング・アンケートの詳細	- 123 -
5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル	- 123 -
5-4-2. アジェンダの詳細	- 123 -
5-4-3. 検証項目と評価方法	- 124 -
5-4-4. システムデモの概要	- 126 -
5-4-5. 実証実験の様子	- 132 -
5-5. 検証結果	- 136 -
6. 実証の成果と課題、今後の展望	- 155 -
6-1. 本実証で得られた成果	- 155 -
6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性	- 155 -
6-1-2. 3D 都市モデルのビジネス面での優位性	- 156 -
6-1-3. 3D 都市モデルの政策面での優位性	- 157 -
6-2. 実証実験で得られた課題と対応策	- 158 -
6-3. 今後の展望	- 161 -
7. 用語集	- 162 -

1. ユースケースの概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 課題認識

現在運用されている土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域（以下「土砂災害警戒区域等」とする）のハザード情報は、地形から力学的に推定される最大範囲を網羅するものとなっている。一方で、地域によっては居住エリアの大半が土砂災害警戒区域等に指定されることで、避難場所の選定が困難になるケースがある。また、一般的には土石流に起因する土砂災害警戒区域等は地形条件から定められているが、土石流等が家屋に衝突し、家屋を流出・半壊状態させたことによって生じたエネルギー変化や流動方向に対する変化の影響が評価されておらず、実態に即した土石流の氾濫範囲となっていない。

一方で、近年、記録的短時間大雨情報が頻繁に配信されており、日本各地が土砂災害の危険にさらされている。これに合わせて、全国的に土砂災害警戒区域等の指定範囲が拡大されている。しかし、一般に公表される土砂災害警戒区域等は二次元的な範囲を示すものであり、土石流等の挙動、建物の影響などの実態が予想しにくいといった課題もある。

特に中山間地では、複数の土石流警戒区域等が重複している地域があり、各世帯・施設から安全な避難場所までの距離が遠いため、自治体による避難先施設・避難ルート等の指定が困難である。こうした地域では、自治体が事業者へ委託して作成するハザードマップ、更にはリスクの周知を目的として実施される住民説明会が現実と即していない内容を伝えてしまう可能性がある。

また、平成 29 年 5 月 19 日に公布された「水防法の一部を改正する法律」において、土砂災害警戒区域内の要配慮者利用施設の管理者等に対して、避難確保計画の作成・避難訓練の実施が義務化された。避難確保計画は、施設利用者の円滑かつ迅速な避難の確保を図ることを目的とするものであるが、現行のハザードマップの活用を前提とすると、上述のような地域では、計画作成すら困難となる可能性がある。

加えて、近年は小学校区単位等の地域コミュニティにおいてレベルで地区防災計画を策定する動きも活発であるが、地区防災計画策定及び浸透に際しては地域住民主体のワークショップ、更には自主的な避難訓練の実施が肝要である。地域防災計画が目的とする住民主体の防災計画策定・啓発の進展には、住民一人一人が災害時の避難イメージをもてることが重要であるが、自分が逃げるべき避難先施設・通るべき避難ルートが現実的でない場合、その目的を達成することは難しい。

1-1-2. 既存業務フロー

備前市で行われている避難計画の立案に関わる業務フロー概要を示す。

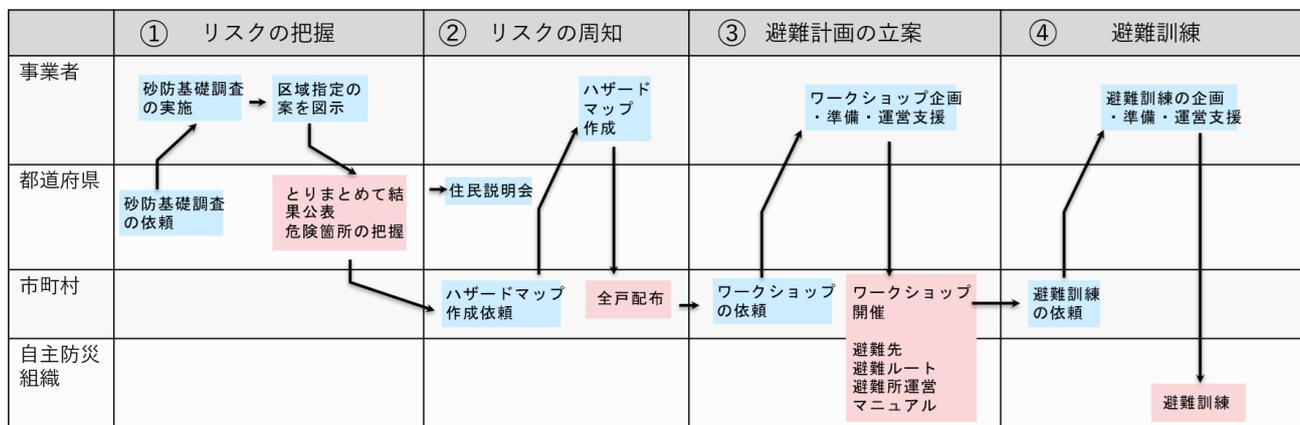


図 1-1 既存業務フロー

表 1-1 既存業務概要

実施項目	実施主体	業務概要
① リスクの把握	事業者 都道府県	<ul style="list-style-type: none"> 都道府県から事業者へ砂防基礎調査の依頼を行う。 事業者において砂防調査を行い、土砂災害区域指定の案を作成する。 作成された案に基づき、都道府県において土砂災害警戒区域を策定し、公表する。
② リスクの周知	事業者 市町村	<ul style="list-style-type: none"> 基礎自治体（市町村）からの依頼にもとづき、事業者においてハザードマップの作成を行う。 市町村の全戸に対してハザードマップを配布する。
	都道府県	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害警戒区域に指定されたエリアの住民に対して説明会を行う。
③ 避難計画の立案	事業者 市町村 自主防災組織	<ul style="list-style-type: none"> 避難計画の立案のため、市町村より依頼を受けた事業者が、各地区の住民で構成された自主防災組織及び市町村を参加者としたワークショップを実施する。 ワークショップにおいて地区ごとの避難計画を策定する。 ※複数の土砂災害警戒区域が重複するエリアにおいては現実的な避難計画が策定できないケースが存在する。
④ 避難訓練		<ul style="list-style-type: none"> 避難計画に基づき、自主防災組織と受託事業者において避難訓練を実施する。

1-2. 課題解決のアプローチ

土砂災害警戒区域等の重複エリアにおける、避難先施設ないし避難ルート選定に係る課題を解決するため、3D都市モデルを活用し、家屋の倒壊状況等を加味した精緻な土石流の流体数値シミュレータを開発する。さらに、シミュレーション結果から土砂災害警戒区域等のエリア内のリスク分布を三次元表現する可視化システムをあわせて開発することで、自治体の避難所選定を支援し、避難計画の高度化を図る。土砂災害に対する現行の避難計画策定フローにおいて、県・市町・事業者が担当する「①リスクの把握」「②リスクの周知」の工程内で精緻な土石流シミュレーションを実施する。本システムにより土砂災害警戒区域等のエリア内のリスク分布を提示することで、避難先施設・避難ルートの選定が従来困難だった土砂災害警戒区域等の重複エリアにおいても、実効性のある避難計画策定を可能とする基礎情報を提供する。

具体的には、3D都市モデルを活用し、家屋の倒壊状況等を加味した土石流の流体数値シミュレータを流体解析ソフト「iRIC」をベースに開発する。さらに、シミュレーション結果を3Dで可視化するための可視化コンバータと自治体職員向けのUI/UXを備えた可視化環境を開発する。

これにより、土石流の衝突による家屋の倒壊状況とこれによるエネルギー・流動方向の変化の影響の評価を行うことで、従来よりも土石流の氾濫範囲を緻密に解析し、比較的风险が低い地点の可視化することができる。また、より精緻に被害範囲を予測することで、避難場所の選定が困難なケースなどで実効的な避難場所の選定を支援できる。さらに、地形から力学的に推定される最大範囲を設定した土砂災害警戒区域を用いた従来の手法に対し、より精緻な被害予測を行うことで、避難計画の高度化を支援できる。

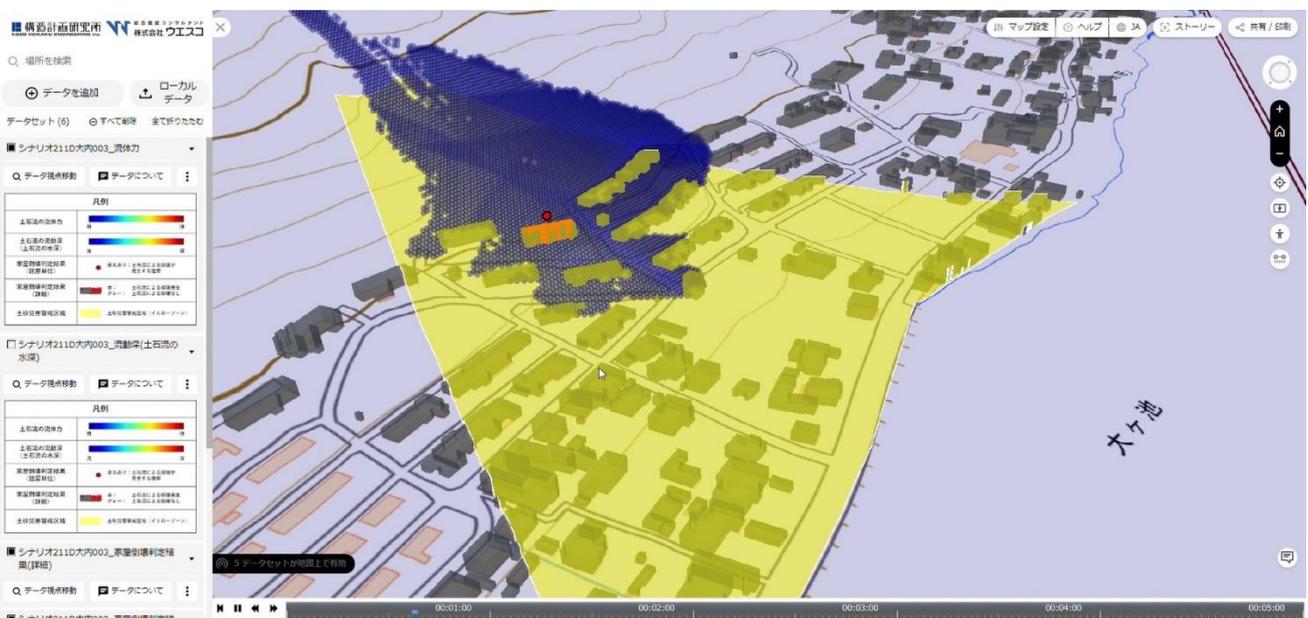


図 1-2 開発したシステムのイメージ

本システムの導入で期待される「①リスクの把握」「②リスクの周知」工程における改善点を、以下の表に示す。

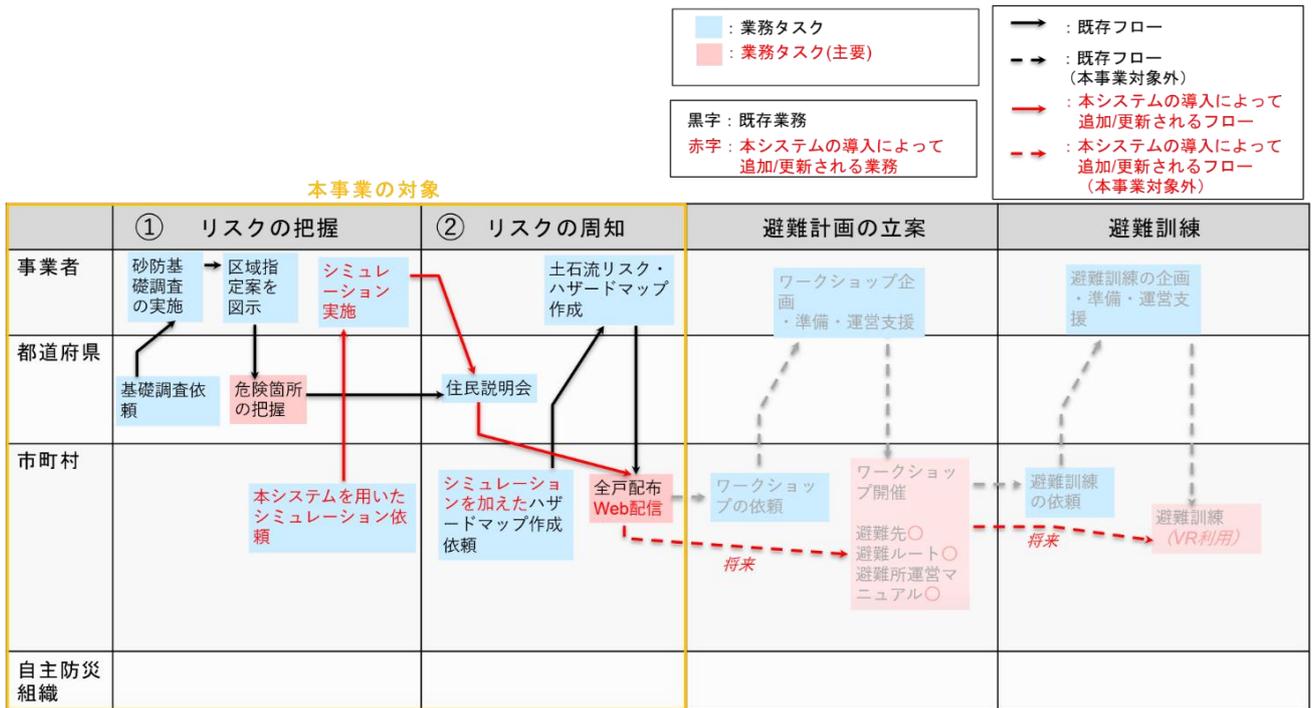


図 1-3 改善後の業務フロー

表 1-2 本システム導入による改善点

実施項目	実施主体	本システム導入による改善点
②リスクの周知	事業者 市町村	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果を用いることで、より精緻なハザードマップの作成が可能となる。 シミュレーション結果を三次元の WebGIS で配信することで、ハザードマップに比べて効果的に住民にリスクの周知を図ることができる。
	都道府県	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション結果を利用して三次元可視化を行うことで、住民説明会において理解の促進とこれに伴う災害意識の啓蒙に繋がる。

1-3. 創出価値

開発した土石流シミュレータは、建築物の位置や形状の情報に加え、属性情報（用途や構造種別等）を保持した3D都市モデル（建築物モデル）を用いることで、土石流等が家屋に衝突した際のエネルギー変化や流動方向に対する変化の影響を考慮することができる。

これにより、これまで困難だった家屋の倒壊等の影響を加味した精緻な土石流シミュレーションを行うことで、土石流の氾濫範囲を緻密に解析し、比較的风险が低い地点等を工学的根拠に基づいて示すことが可能となる。

また、土砂災害警戒区域等が重なるように指定されている地域などにおいて、より実効性のある一次避難場所を設定することや、避難ルートを精緻にすることなど、避難計画の高度化を実現する。

さらに、シミュレーション結果はWebGISを用いて三次元的に可視化することで、自治体関係者間の合意形成の迅速化を実現する。

1-4. 想定事業機会

表 1-3 想定事業機会

項目	内容
利用者	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害避難計画を策定する都道府県砂防課 ● 避難計画の策定・周知に携わる基礎自治体（市町村）の担当部署 ● 自主防災組織
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害（土石流）を警戒すべき精緻なエリア推定サービス ※ 降雨量に対する土砂崩壊発生地点の予測は含まれない ● 家屋倒壊/非倒壊を考慮した土石流の挙動予測サービス
提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ● より精緻な土砂災害リスクマップをもとにした、避難計画の高度化支援 ● シミュレーション結果のアニメーション化を通じた、住民の意識啓発 ● 土石流に対する避難困難地域が存在する他自治体にも適用可能な、新規リスク評価手法の開発 ● 結果表示をWebGISベースで行うことによる、自治体関係者間の合意形成の迅速化

2. 実証実験の概要

2-1. 実証仮説

- 土石災害警戒区域（土石流）は静的な平面情報であり土石流の挙動（時間スケールや破壊力）や精緻な流動現象が予測できないが、3D都市モデルを活用することで土石流の空間的なリスク分布を時間変化とともに精緻に予測・可視化できる。
- 土石流の形態（泥流・土石流）の違いによる挙動の違いも建物倒壊状況と流動方向等の違いから指摘されており、これらの建物倒壊プロセスを組み込むことで、土石流シミュレーションの精度が向上する。
- 3D都市モデルを用いて土石流の挙動を可視化することにより、一般住民への土石流リスクの理解促進につながる。

2-2. 実証フロー

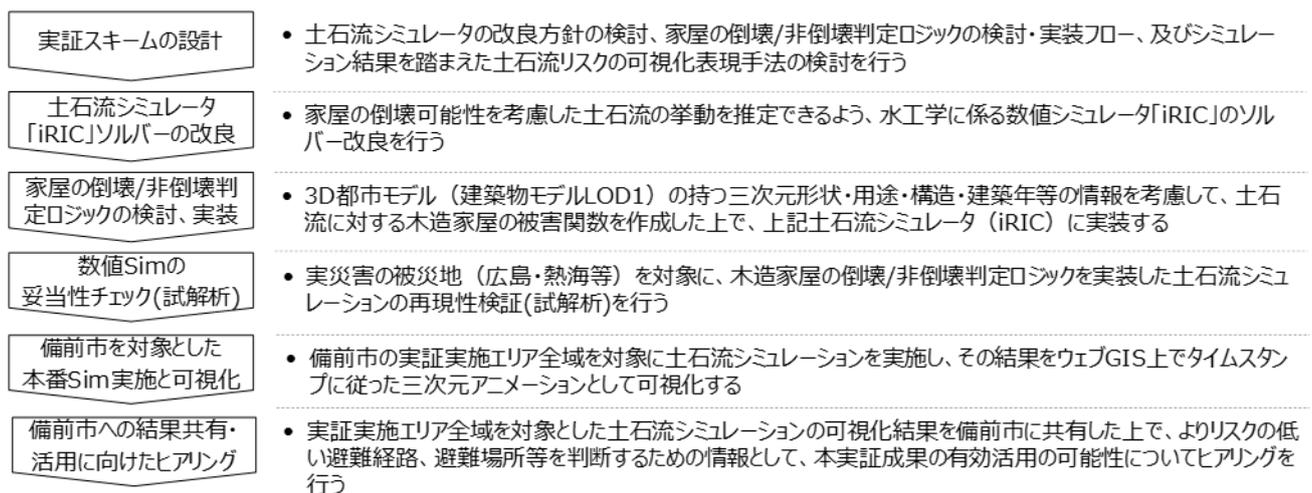


図 2-1 実証フロー

2-3. 検証ポイント

- 3D 都市モデルを活用した家屋倒壊判定ロジックの有用性
 - 木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックの再現性は妥当かを確認する。
 - Morpho2DH（水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォーム iRIC で動作する土石流モデルを主体とした解析ソルバー）による土石流シミュレーションにおいて、土石流氾濫の挙動の再現性は妥当かを確認する。
 - Morpho2DH による土石流シミュレーションの処理速度は妥当かを確認する。

上記 1 点の検証ポイントについては、【4 章：実証技術の検証】にて検証結果を記載する。

- 自治体業務での利用可能性
 - 避難計画への活用が可能かを確認する。
 - 住民啓発への活用が可能かを確認する。
- 自治体業務支援における利用可能性
 - 土石流の力学的現象を適切に表現しているかを確認する。
 - 土石流の最大のリスク分布を分かりやすく適切に表現しているかを確認する。
 - 可視化表現のユーザービリティ（視認性・操作性）は十分かを確認する。

上記 2 点の検証ポイントについては、【5 章：政策面での有用性検証】にて検証結果を記載する。

2-4. 実施体制

表 2-1 実施体制

役割	主体	詳細
全体管理	国土交通省 都市局	プロジェクト全体ディレクション
	アクセンチュア	プロジェクト全体マネジメント
実施事業者	ウエスコ	ユースケース実証における企画・検証・運営 <ul style="list-style-type: none"> ● 実災害の被災地（広島）を対象とした試解析 ● 備前市を対象とした土石流 Sim の実施
	構造計画研究所	ユースケース実証における開発 <ul style="list-style-type: none"> ● 家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックの検討・実装 ● 土石流 Sim 結果の 3 次元可視化
実施協力	備前市	ワークショップ運営協力
	都市計画課、建設課、危機管理課	ヒアリング・アンケートの実施協力
	備前市住民 (自主防災組織)	ワークショップへの参加 ヒアリング・アンケートの実施協力

2-5. 実証エリア

表 2-2 実証エリア

項目	内容
実証地	岡山県備前市
面積	土砂災害警戒区域（土石流）の延べ面積 14.50 km ²
マップ (対象エリア は赤枠内)	

3. 実証システム

3-1. アーキテクチャ

3-1-1. システムアーキテクチャ

本システムは、3D 都市モデル（建築物 LOD1 モデル）の空間属性情報及び主題属性情報（用途・構造種別・建築年代）を活用し、家屋倒壊判定機能を有する土石流シミュレーションを行うシステム及びシミュレーション結果を可視化するシステムである。シミュレーション結果を基に、土砂災害警戒区域等が重なっているエリア（重複警戒区域）の中でも比較的土石流リスクの低い箇所を抽出することで、従来は避難計画策定が困難であった重複警戒区域内の避難計画の策定を支援することができる。また、WebGIS 上でシミュレーション結果を三次元でわかりやすく可視化することにより、土砂災害避難計画の策定・周知に携わる行政職員やシミュレーション結果の閲覧者としてサービスを受容する地域住民、解析を担当するコンサルタント等の幅広い関係者が土石流の氾濫範囲・氾濫速度等のシミュレーション結果を直感的に理解することが可能となる。

土石流シミュレーションシステムで利用する土石流の解析には、氾濫や流出、津波、土石流モデルなどの様々な数値シミュレーションを実行可能なフリーソフト「iRIC」を利用した。iRIC で用いる解析ソルバーとしては、平面二次元の土石流・泥流モデルを主体とし、斜面崩壊の際の土石流・泥流の流動・堆積過程の表現が可能な「Morpho2DH」（京都大学 竹林洋史准教授が開発）をカスタマイズして利用した。今回のカスタマイズでは、Morpho2DH の土石流流動モデルをベースに、iRIC に読み込まれた 3D 都市モデル（地形 LOD1 モデル）を地形条件として土石流流動を計算できるようにしている。さらに、ここで算出した 2m×2m サイズのメッシュ単位の流体力を用い、3D 都市モデル（建築物 LOD1 モデル）の位置情報及び属性情報を組み合わせることで、メッシュごとに土石流に対して家屋が倒壊したかを判定する機能を追加実装した。3D 都市モデルは FME Desktop を利用して CSV 形式または Shapefile 形式に変換して利用している。

家屋倒壊判定機能は、流体力を外力として、あらかじめ構築した「建物耐力テーブル」を参照しつつ、建築物 LOD1 を対象とした家屋倒壊判定を実行するものである。判定は 2m メッシュ及び家屋ごとに行われ、判定結果を倒壊/非倒壊のフラグとして出力することができる。

「建物耐力テーブル」とは、外力の大きさに応じた構造物の壊れやすさを確率論的に評価するためのテーブルである。テーブルの算出のため、まず、木造建物の築年代や、構造種別による（家屋が水平方向に抗う）耐力に関する既往文献（*）を参考として、構造物に荷重を与えて倒壊するかどうかを解析するための三次元フレーム構造解析モデルを構築した。次に、このモデルを用いて様々な流体力や構造物耐力の組み合わせによる応答解析を行い、その結果をもとに「建物耐力テーブル」を作成した。Morpho 2DH が出力した流体力を外力として、「建物耐力テーブル」に基づくフラジリティ関数を実行することで、メッシュ及び家屋ごとに家屋の倒壊確率を計算する仕組みとしている。なお、iRIC の一連の計算フローの中で家屋倒壊判定機能を扱うため、iRIC（Morpho 2DH）及び家屋倒壊判定機能は Fortran で開発した実行環境上で統合され、二つのモジュール間でのデータのやり取りを可能としている。これらの機能の開発は広島大学の三浦弘之准教授の監修の下で進めた。

* 「損害険料率算出機構：住宅の耐震性能に影響を及ぼす要因の調査、地震保険研究、2019」、「長岡・ほか：

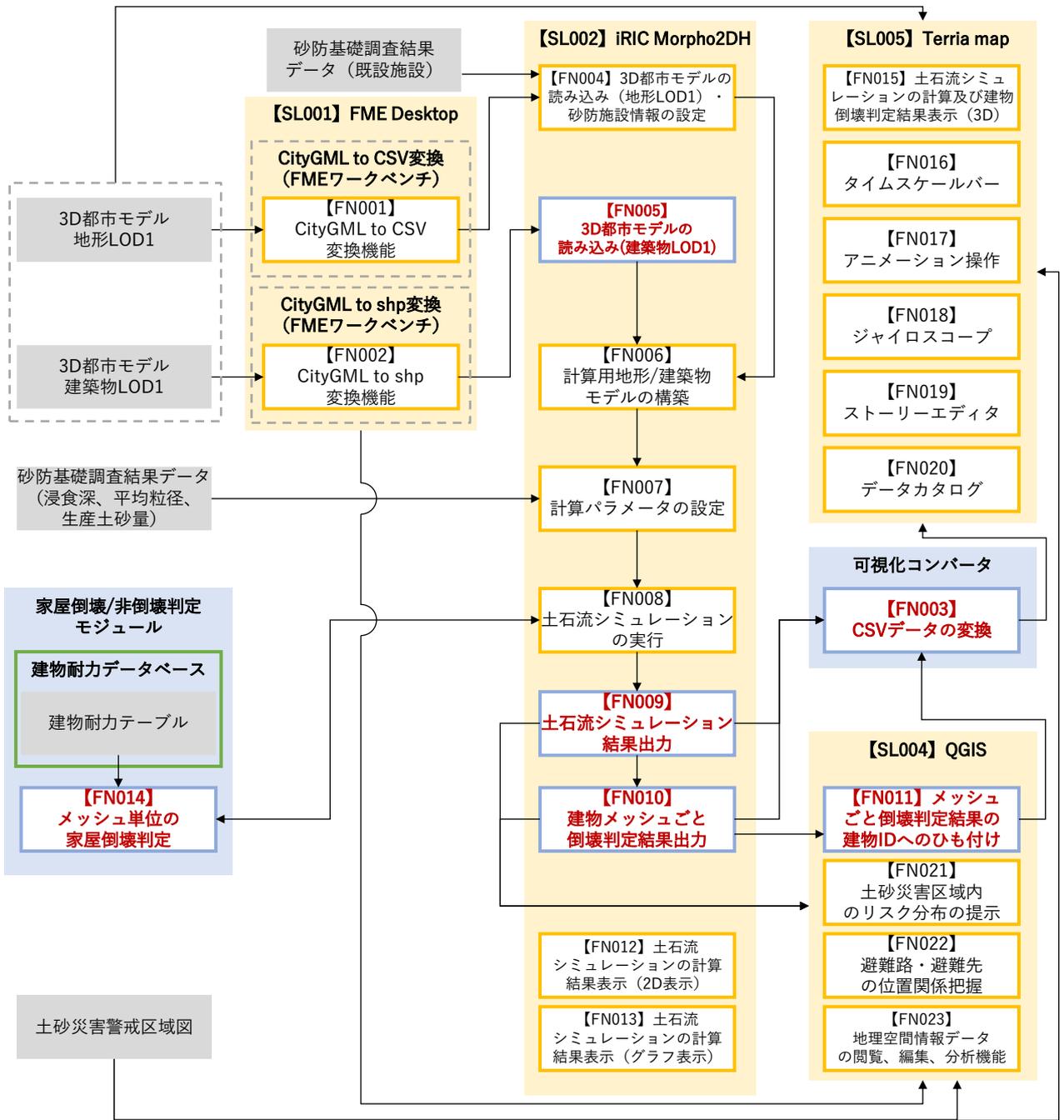
木造軸組構法住宅の倒壊限界変形に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、2012」

解析結果の可視化については、TerriaJS ライブラリを用いた WebGIS 「Terria Map」 をプラットフォームとして、地図上で解析結果をアニメーション表示できるシステムを開発し、Amazon Web Service(AWS)上で構築した。

Morpho2DH による解析結果（1 時刻毎に 1 ファイルで出力される、1 メッシュの情報が 1 行に格納されたテキストファイル。各列にはメッシュの座標・メッシュ番号、単位土砂量・流体力、建物ごと倒壊判定結果のフラグ等が格納される）は CSV 形式で出力されるが、これをアニメーションとして Terria Map 上で表示できるようにするための可視化コンバータを開発した。CSV ファイルの各メッシュ座標は、緯経度の座標系（平面直角座標系）であるため、可視化コンバータを使って Terria Map 上で表現するための緯度経度を持つ CZML 形式への変換を行う。また、同じく Morpho 2DH から出力される家屋倒壊判定結果については、建物の SHP ファイルと重ね合わせて、各建物が存在するメッシュの倒壊/非倒壊結果を建物 ID にひも付け、その建物の位置にフラグを表示する CZML 形式のデータを生成した。

Terria Map 上では、避難計画の策定及び住民への啓発に有用と思われる項目として、土石流の流動深、流体力及び家屋倒壊判定結果を可視化している。閲覧者が解析結果を直感的に把握できるよう、結果表示のカラーリング、ワークベンチ機能を活用した表示項目の切替え、データカタログを活用した可視化地点の選択機能等を実装した。また行政担当者が、解析結果と既存ハザードマップとの重ね合わせや、土石流災害のリスク分布と避難路・避難先の位置関係の把握、避難距離の測定や対象避難者数の分析を容易に行うことができるよう、解析結果を Shapefile 形式で出力し、QGIS 上で二次元による可視化を行った。

本システムのシステムアーキテクチャは下図の通りである。



凡例	既存のソフトウェア	開発したソフトウェア	既存機能	開発した機能	データ	ファイルストレージ	データベース
----	-----------	------------	------	--------	-----	-----------	--------

図 3-1 システムアーキテクチャ

3-1-2. データアーキテクチャ

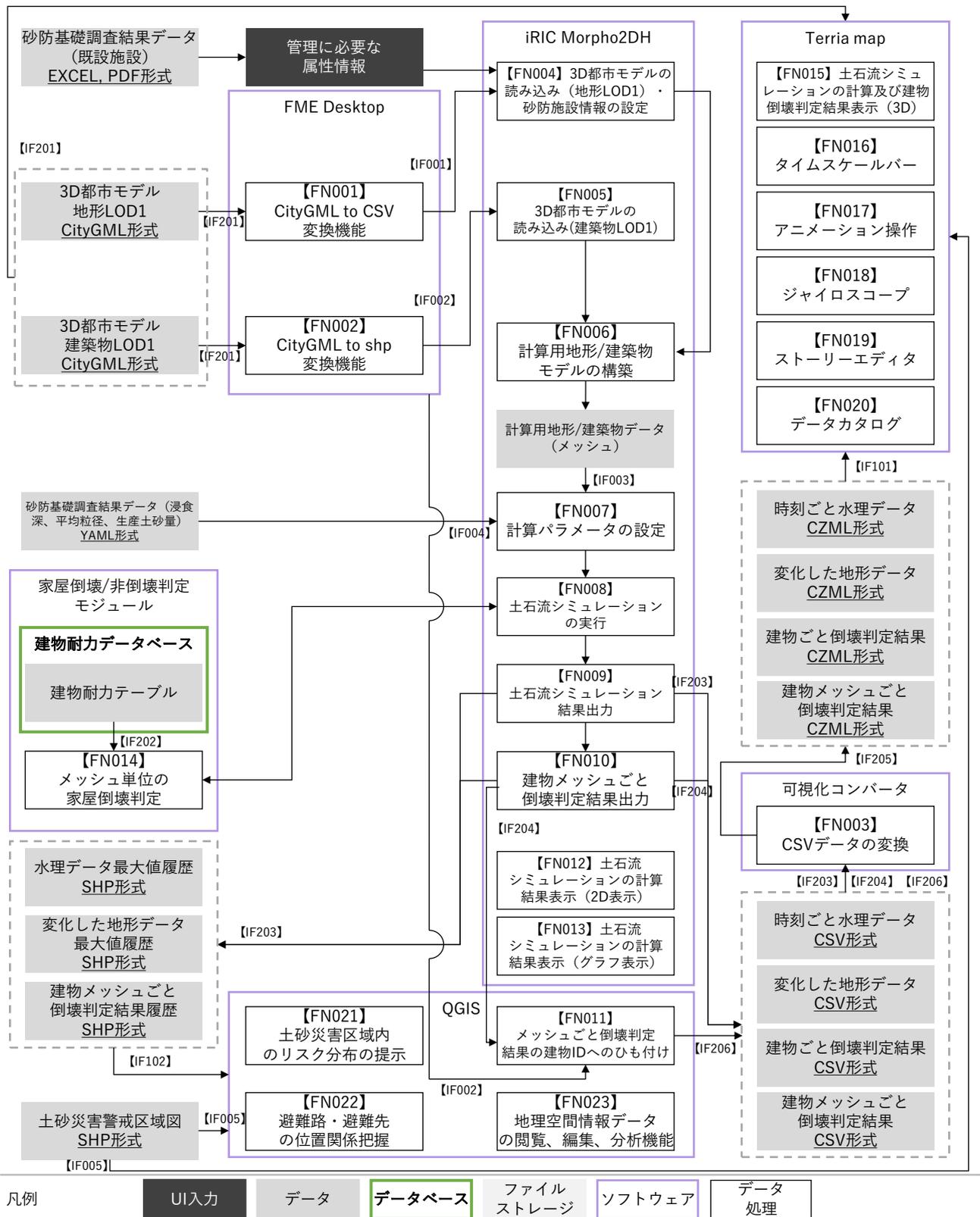


図 3-2 データアーキテクチャ

3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ

3-1-3-a. 利用したハードウェア一覧

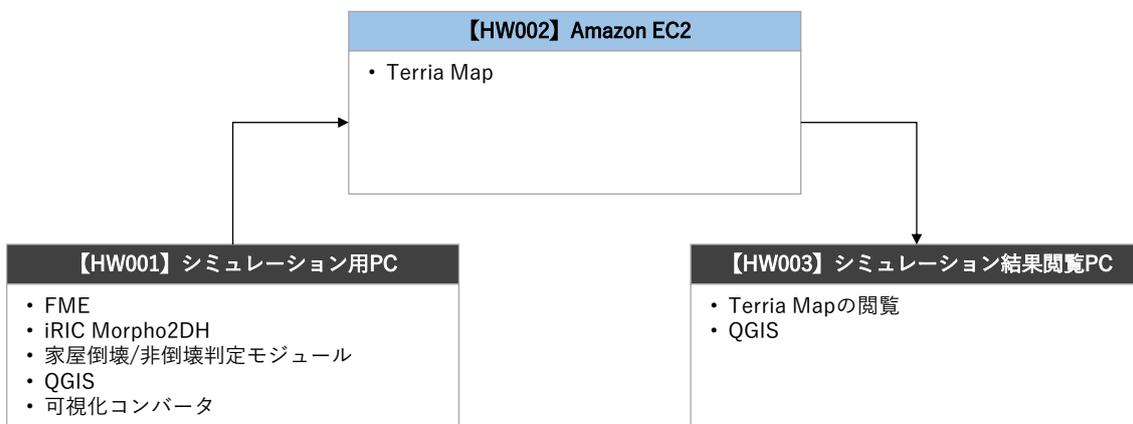


図 3-3 ハードウェアアーキテクチャ

表 3-1 利用したハードウェア一覧

ID	種別	品番	用途
HW001	シミュレーション用 PC	DELL Precision 5820 Tower	<ul style="list-style-type: none"> ● FME ● iRIC ● 家屋倒壊/非倒壊判定モジュール ● QGIS ● 可視化コンバータ
HW002	AmazonEC2	r6g.4xlarge	<ul style="list-style-type: none"> ● TerriaMap
HW003	シミュレーション結果閲覧 PC	GALLERIA GR1650TGF-T	<ul style="list-style-type: none"> ● Terria Map の閲覧 ● QGIS

3-1-3-b. 利用したハードウェア詳細

1) 【HW001】シミュレーション用 PC : DELL Precision 5820 Tower

- 選定理由
 - 計算処理用マシンとして最低限具備すべき想定スペック（仮想 CPU : Core i5、メモリ : 4GB、HDD : SSD 5GB）を満たしているため
- 仕様・スペック
 - プロセッサ : Intel(R) Xeon(R) W-2295 CPU @ 3.00GHz 3.00 GHz
 - 実装 RAM : 32.0 GB (31.7 GB 使用可能)システムの種類 64 ビット
 - プロセッサ : Intel(R) Xeon(R) W-2295 CPU @ 3.00GHz 3.00 GHz
 - システムの種類 : 64 ビット オペレーティング システム、x64 ベース プロセッサ
- イメージ



図 3-4 DELL Precision 5820 Tower¹

2) 【HW002】Amazon EC2 : r6g.4xlarge

- 選定理由
 - スケーラブル
 - ◇ 調達費用の節約
 - ◇ パブリッククラウドとしての高信頼性、高可用性
- 仕様・スペック
 - SLA コミットメント 99.99%
 - Amazon EC2 (r6g.4xlarge)を利用

¹ 公式 HP より抜粋 : <https://www.dell.com/ja-jp/shop/%E8%A3%BD%E5%93%81%E3%82%B7%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%BA/precision-5820-%E3%82%BF%E3%83%AF%E3%83%BC-%E3%83%AF%E3%83%BC%E3%82%AF%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%BC%E3%82%B7%E3%83%A7%E3%83%B3/spd/precision-5820-workstation/awt5820>

3) 【HW003】 シミュレーション結果閲覧 PC : GALLERIA GR1650TGF-T

- 選定理由
 - 3D都市モデル及びシミュレーション結果を Cesium ion 上でスムーズに表示可能なスペックを備えているため。
- 仕様・スペック
 - 画面サイズ : 15.6 型(インチ)
 - CPU : AMD Ryzen 5 4600H/3GHz/6 コア
 - CPU スコア(PassMark) : 14541
 - ストレージ容量 : SSD : 512GB
 - メモリ容量 : 8GB
 - ビデオチップ : GeForce GTX 1650Ti + AMD Radeon Graphics
 - OS : Windows 10 Home 64bit
 - 重量 : 1.9kg
- イメージ



図 3-5 GALLERIA GR1650TGF-T²

² 右記 HP より抜粋 : <https://kakaku.com/item/K0001276824/>

3-2. システム機能

3-2-1. システム機能一覧

表 3-2 システム機能一覧

(赤字：新規開発)

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
データ形式の変換	FME	FN001	CityGML to CSV 変換機能	● CityGML をポリゴンデータ (CSV) に変換する
		FN002	CityGML to shp 変換機能	● CityGML をポリゴンデータ (SHP) に変換する
	可視化コンバータ	FN003	CSV データの変換	● Morpho2DH より出力された時刻ごと水量・変化した地形データ・家屋倒壊判定結果 (それぞれ CSV ファイル) を、Terria Map 上でタイムスタンプに従ったアニメーション表示ができるよう、CZML 形式に変換する
土石流シミュレーション	Morpho2DH	FN004	3D 都市モデルの読み込み (地形 LOD1)・砂防施設情報の設定	● FME で変換した 3D 都市モデル地形データ (CSV) を読み込み、表示する ● UI 入力により砂防施設情報を設定する
		FN005	3D 都市モデルの読み込み (建築物 LOD1)	● FME で変換した 3D 都市モデル建築物データ (SHP) を読み込み、表示する
		FN006	計算用地形/建築物モデルの構築	● 中心線・格子数・格子の大きさを設定してメッシュを生成し、読み込み・表示された 3D 都市モデルの地形データ (CSV) 及び建築物データ (SHP) をメッシュ化 (CSV) する
		FN007	計算パラメータの設定	● 地盤の最大浸食深さ、斜面崩壊を発生させる場所と大きさ・深さ、計算の種類 (ここでは土石流)・タイムステップ・出力間隔等、土石流条件 (土砂濃度・内部摩擦角・層流層の厚さ等)、河床材料の条件 (平均粒径や粒度分布等) を設定する

		FN008	土石流シミュレーションの実行	<ul style="list-style-type: none"> ● 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールを呼び出す ● 家屋倒壊/非倒壊判定を含む土石流シミュレーションを実行する
		FN009	土石流シミュレーション結果出力	<ul style="list-style-type: none"> ● 家屋倒壊/非倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果を CSV で出力する
		FN010	建物メッシュごと倒壊判定結果出力	<ul style="list-style-type: none"> ● 建物ごとに家屋の倒壊/非倒壊結果のフラグを出力する
	QGIS	FN011	メッシュごと倒壊判定結果の建物 ID へのひも付け	<ul style="list-style-type: none"> ● QGIS 上で、各建物が存在するメッシュの倒壊/非倒壊結果を、3D 都市モデルの建物 ID にひも付け、倒壊した建物にフラグを付与する
	Morpho2DH	FN012	土石流シミュレーションの計算結果表示 (2D 表示)	<ul style="list-style-type: none"> ● 浸食深等の計算結果を 2D 表示する
	Morpho2DH	FN013	土石流シミュレーションの計算結果表示 (グラフ表示)	<ul style="list-style-type: none"> ● 縦断図等の計算結果をグラフ表示する
土石流を外力とした家屋倒壊/非倒壊判定	家屋倒壊/非倒壊判定モジュール	FN014	メッシュ単位の家屋倒壊判定	<ul style="list-style-type: none"> ● 本実証において構築した土石流に対する木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック (アルゴリズム) に土石流を外力として入力し、3D 都市モデル (建築物モデル LOD1) の持つ三次元形状・用途・構造・建築年等の情報をもとに、メッシュごとに倒壊/非倒壊の判定結果 (Flag) を出力する ● 家屋倒壊/非倒壊の判定結果を Morpho2DH に返す
可視化	Terria Map	FN015	土石流シミュレーションの計算結果及び建物倒壊判定結果表示	<ul style="list-style-type: none"> ● Terria Map 上で、時刻ごと流体力・地形データの変化量・家屋倒壊判定結果を表現する

		(3D)		
		FN016	タイムスケールバー	● 土石流氾濫範囲を時系列で確認するための GUI を表示する
		FN017	アニメーション操作	● アニメーションの頭出し、再生、早送り、巻き戻し等を行う
		FN018	ジャイロスコープ	● 東西南北の視点移動を行う
		FN019	ストーリーエディタ	● いくつかの視点を記録しておき、その位置に切替え、連続して移動できる「ストーリー機能」を使用する
		FN020	データカタログ	● 3D 可視化結果を閲覧したい地点をリストから選択する
	QGIS	FN021	土砂災害区域内のリスク分布の提示	● 土砂災害警戒区域内における精緻なシミュレーションによるリスクの図化を行う
		FN022	避難路・避難先の位置関係把握	● 土石災害リスク分布に対する、避難経路・避難先の空間情報の図化を行う
		FN023	地理空間情報データの閲覧、編集、分析機能	● 避難距離の測定、対象避難者数の分析を行う

3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ

表 3-3 利用したソフトウェア・ライブラリ

ID	項目	内容
SL001	FME Desktop	<ul style="list-style-type: none"> ● ジオプラン・ナムテック社が提供する、空間データの統合やデータ形式の変換などを行えるプラットフォーム
SL002	iRIC	<ul style="list-style-type: none"> ● 水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォーム ● 公開されている各種ソルバーを利用することで、氾濫や流出、津波、土石流モデルなどの様々な数値シミュレーションを実施可能
SL003	Morpho2DH	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般曲線座標系を用いた非定常平面 2 次元流れと河床変動計算の解析用ソルバー ● 斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を表現可能
SL004	DMS (DynamicMotion Simulator)	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造計画研究所が提供する木造家屋倒壊シミュレータ（家屋の倒壊判定ロジック検討用の建物耐力テーブル構築に際して、家屋倒壊シミュレーション実行のため利用）
SL005	QGIS	<ul style="list-style-type: none"> ● 地理空間情報データの閲覧、編集、分析ソフトウェア（シミュレーション結果閲覧のため利用）
SL006	Terria Map	<ul style="list-style-type: none"> ● Web ブラウザ上で地理空間情報データの閲覧、編集、分析が可能な WebGIS（シミュレーション結果閲覧のため利用）
SL007	Python ライブラリ (make_czml.py)	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーションの結果（CSV）に緯度経度情報を付与し、CZML ファイルを作成するためのライブラリ（可視化コンバータ作成に利用）

3-2-3. 開発機能の詳細要件

開発機能の詳細要件を記す。なお、本業務において新規開発した要素（機能名）を赤字で示す。

1. 【FN001】 CityGML to CSV 変換

- 機能概要
 - 3D 都市モデル（地形 LOD1 データ）の CityGML を点群データ(CSV)に変換する
- フローチャート

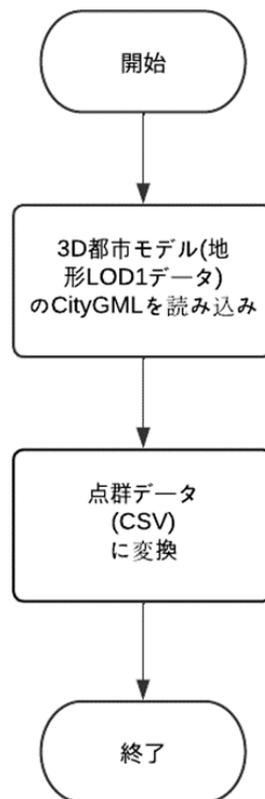


図 3-6 CityGML to CSV 変換のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデル（地形 LOD1）の空間属性情報
 - 内容
 - 3D 都市モデル（地形 LOD1）の空間属性データ
 - 形式
 - CityGML 形式のファイル
 - 属性名：dem:tin

- データ詳細
 - 内部連携インターフェース【IF201】を参照
- 出力
 - ◇ ポリゴンデータ(CSV)
 - 内容
 - FME Desktop により CSV データ変換された 3D 都市モデル（地形 LOD1）のジオメトリデータ
 - 形式
 - FME Desktop から出力された点群データ(CSV)のファイル式
 - データ詳細
 - ファイル入力インターフェース【IF001】を参照
- 機能詳細
 - CityGML データの変換
 - ◇ 処理内容
 - 3D 都市モデル(地形データ LOD1)の TIN モデルデータ(地理座標系)を、FME Desktop のデータ形式の変換画面上のユーザー操作により、点群データ(CSV)に変換する
 - 出力する CSV は X,Y,Z 座標を示しており、X,Y 座標は平面直角座標系における座標位置、Z 座標は標高(m)である。

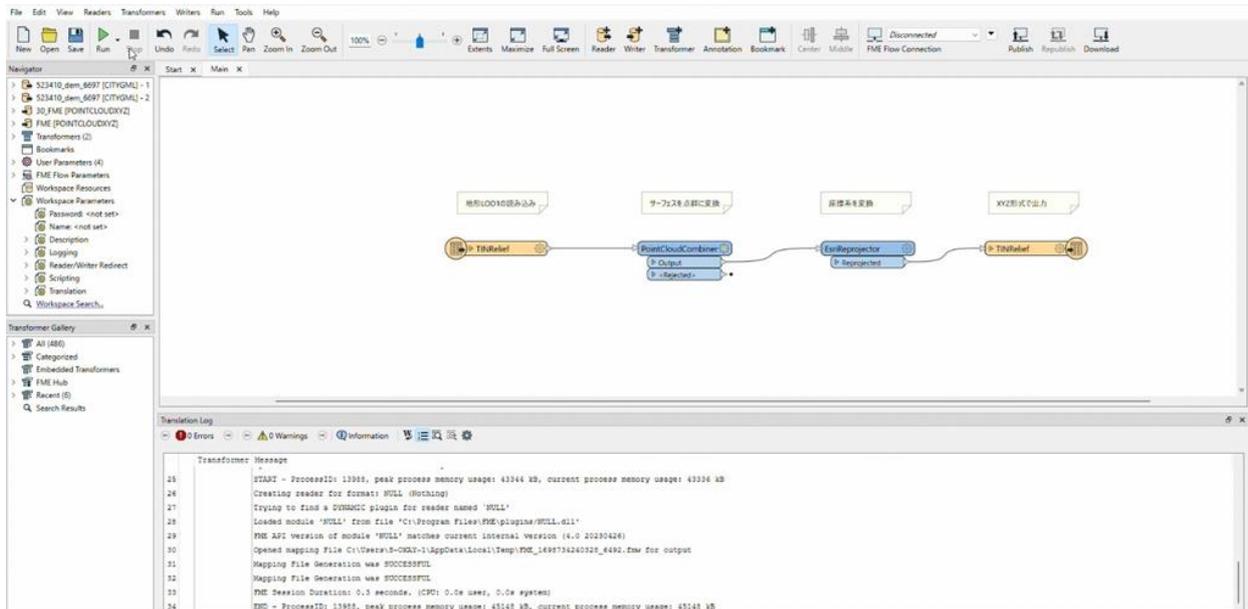


図 3-7 FME による CityGML から CSV への変換画面

- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

2. 【FN002】 CityGML to shp 変換

- 機能概要
 - 3D 都市モデル（建築物 LOD1 データ）の CityGML をポリゴンデータ（SHP）に変換する
- フローチャート

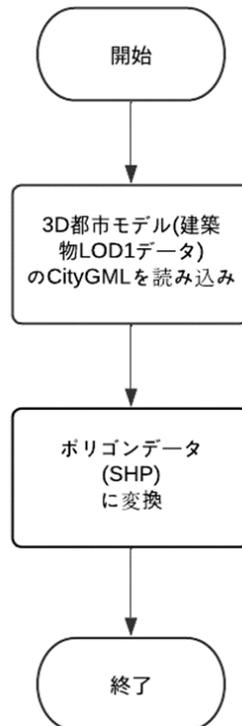


図 3-8 CityGML to shp 変換のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデル（建築物 LOD1）の形状
 - 内容
 - 3D 都市モデル（建築物 LOD1）のジオメトリデータ
 - 形式
 - 「33211_bizen-shi_city_2023_citygml_1」に格納された CityGML 形式のファイル
 - 属性名：bldg.:lod1Solid
 - データ詳細
 - 内部連携インターフェース【IF201】を参照
 - ◇ 3D 都市モデル（建築物 LOD1）の主題属性情報
 - 内容
 - 3D 都市モデル（建築物 LOD1）の主題属性データ(建物建築年・建物構造・建物高さ)

3. 【FN003】 CSV データの変換

- 機能概要
 - メッシュ単位の家屋倒壊判定機能【FN014】を呼び出して実行された土石流シミュレーションの出力結果である、時刻ごと水理量・変化した地形データ・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果（それぞれ CSV ファイル）を、Cesium ion 上でタイムスタンプに従ったアニメーション表示ができるよう、CZML 形式に変換する
- フローチャート

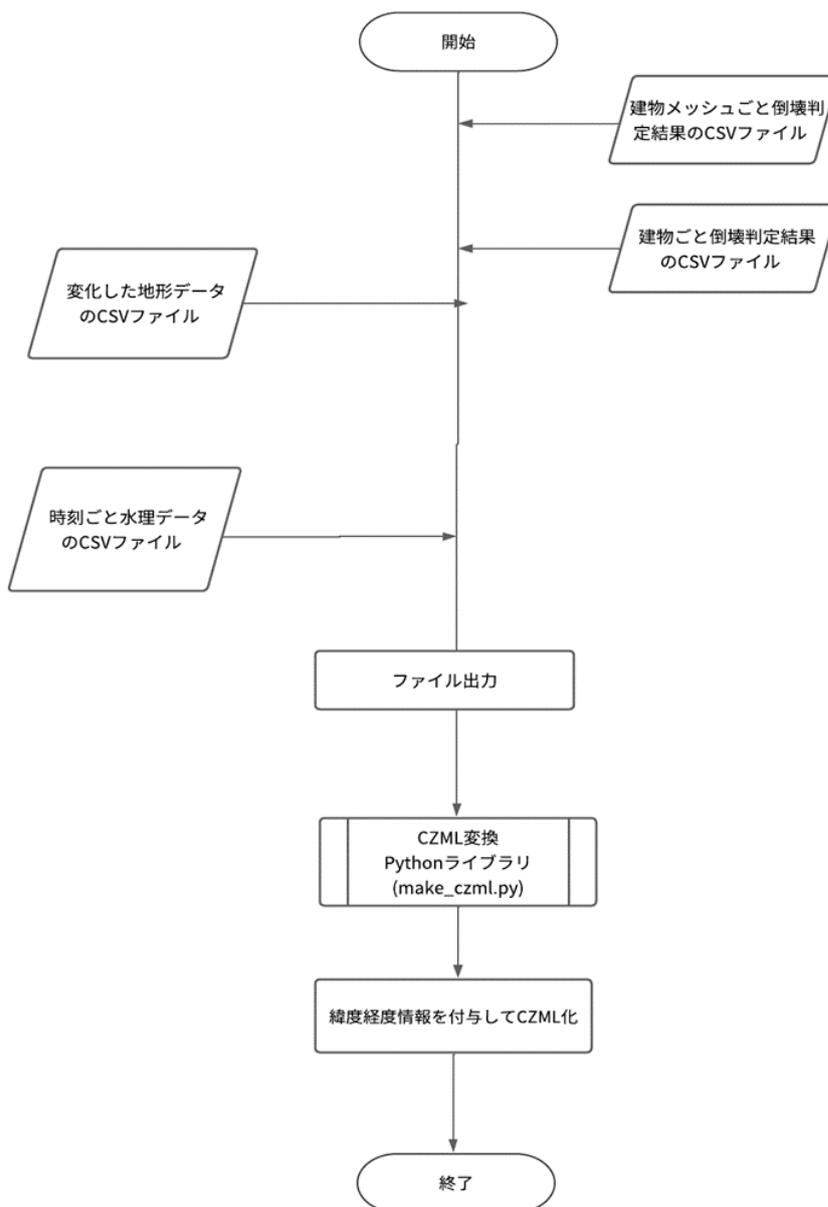


図 3-10 CSV データの変換のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ Morpho2DH による土石流シミュレーション結果
 - 内容
 - 時刻ごと水理データ (CSV)
 - 変化した地形データ (CSV)
 - 形式
 - Morpho2DH の土石流シミュレーション結果出力機能により出力された、土石流シミュレーション結果の CSV ファイル
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF203】を参照
 - ◇ Morpho2DH による建物メッシュごと倒壊判定結果
 - 内容
 - 建物メッシュごと倒壊判定結果 (CSV)
 - 形式
 - Morpho2DH の土石流シミュレーション結果出力機能により出力された、建物メッシュごと倒壊判定結果の CSV ファイル
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF204】を参照
 - ◇ 建物ごと倒壊判定結果
 - 内容
 - 建物メッシュごと倒壊判定結果 (CSV)
 - 形式
 - 建物メッシュごと倒壊判定結果と 3D 都市モデルの建物 ID がひも付けられた、建物ごと倒壊判定結果の CSV ファイル
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF206】を参照
 - 出力
 - ◇ Terria Map に入力する CZML ファイル
 - 内容
 - シミュレーション結果(時刻ごと水理量・変化した地形データ・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果)に緯度経度情報を付与した CZML ファイル
 - 形式
 - 計算対象となる溪流ごとに入力された、時刻ごと水理量・変化した地形データ・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果の複数の CZML ファイル
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF205】を参照

- 機能詳細

- CSV データの変換

- ◇ 処理内容

- Morpho2DH から出力された、CSV 形式の時刻ごと水理データ【IF203】を CZML 形式に変換する
 - 初期時刻の CSV ファイルから順次最後の CSV ファイルまで、1 ファイル内の 1 メッシュ分（1 行）を読み込み、メッシュ位置(X, Y)と流体力(FBuilding)の列を、メモリに格納する
 - 上記処理を全メッシュに対して実行する
 - その際、流体力の最大最小を求め、それをあらかじめ赤から青の輝度分布として輝度分布データ作成する
 - いずれかの時刻で流体力が発生した場合、その時刻から流体力が無くなった時刻までを CZML 形式の点オブジェクトとして生成する
 - その際、各時刻での流体力を、該当する色に点オブジェクトを更新する
- Morpho2DH から出力された、CSV 形式の変化した地形データ【IF203】を CZML 形式に変換する
 - 変化した地形データについても、CSV ファイルの流動深(Depth)列を対象に、流体力(FBuilding)と同様の変換処理を実行する
- Morpho2DH から出力された、CSV 形式の建物メッシュごと倒壊判定結果【IF204】を CZML 形式に変換する
 - 初期時刻の CSV ファイルから順次最後の CSV ファイルまで、1 ファイル内の 1 メッシュ分（1 行）を読み込み、建物メッシュごと倒壊判定結果(Building)の列の値が、「0」でない(=当該メッシュが建物である)場合、メッシュ位置(X, Y)と建物メッシュごと倒壊判定結果(Building)の列を、メモリに格納する
 - 上記処理を全メッシュに対して実行する
 - いずれかの時刻で、建物メッシュごと倒壊判定結果(Building)の列の値が、「0.5」か「1」の場合、その時刻から倒壊を表す赤色の CZML 形式の点オブジェクトを生成する
- データ変換の実行は、可視化コンバータ上の「設定/実行画面」上で行う

- ◇ 利用するライブラリ

- Python ライブラリ (make_czml.py) (ソフトウェア・ライブラリ【SL006】を参照)

- ◇ 利用するアルゴリズム

- なし

4. 【FN004】 3D 都市モデルの読み込み（地形 LOD1）・砂防施設情報の設定

- 機能概要

- FME で変換した 3D 都市モデル地形データ（CSV）を読み込み、表示する
- UI 入力により砂防施設情報を設定する
 - ◇ FME で点群データに変換した地形データには、既設の砂防施設情報（堰堤形状及び堰堤高さ）が反映されていない場合があるため、当該情報を別途設定する必要がある
 - ◇ また、砂防施設の材質を「計算パラメータの設定」機能【FN007】で考慮できるよう、コンクリート等の堰堤については、浸食されない「固定床」として堰堤高さを設定する

- フローチャート

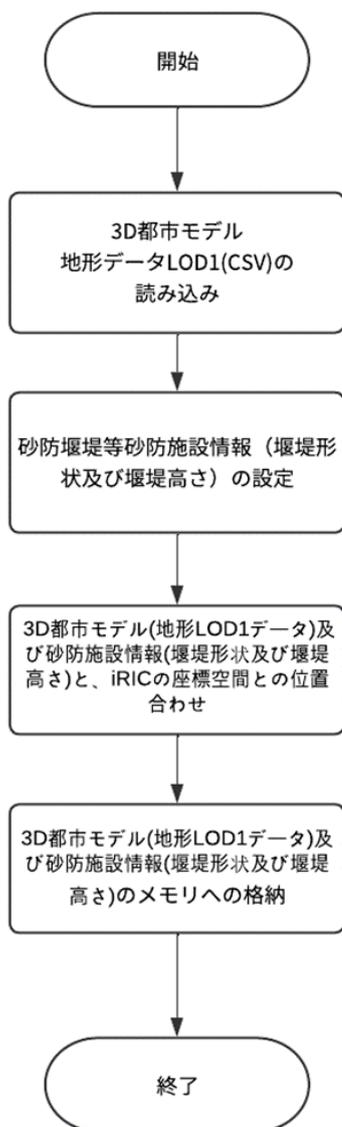


図 3-11 3D 都市モデルの読み込み（地形 LOD1）・砂防施設情報の設定のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデル地形データ (CSV)
 - 内容
 - FME Desktop により点群データ(CSV)に変換された 3D 都市モデル (地形 LOD1 データ) のジオメトリデータ
 - 形式
 - FME Desktop から出力された CSV ファイル一式
 - データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF001】を参照
 - ◇ 砂防基礎調査結果 (既存施設) データ
 - 内容
 - 岡山県が実施した土砂災害防止法に基づく基礎調査 (土石流) の現地調査結果 (既設砂防・治山堰堤など) における、堰堤高さデータ
 - 形式
 - Excel, PDF ファイル一式
 - 上記ファイルに記載の情報をもとに、ユーザーが Morpho2DH 画面 UI 上で、必要な砂防施設情報 (堰堤形状及び堰堤高さ) を設定
 - データ詳細
 - 活用したデータ一覧【DT103】を参照
 - 出力
 - ◇ 3D 都市モデル (地形 LOD1・砂防堰堤等砂防施設情報) の情報をメモリに格納
 - 内容
 - ポリゴンデータに変換された 3D 都市モデル (地形 LOD1 データ) 及び砂防堰堤等砂防施設情報を、メモリに格納する
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - iRIC 標準のメッシュ編集機能で割り当てられている、地形情報のメモリ空間
- 機能詳細
 - 3D 都市モデル (地形 LOD1 データ) の読み込み
 - ◇ 処理内容
 - FME で変換した 3D 都市モデル地形データ (CSV) を読み込み、メモリに格納する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
 - UI 入力による砂防堰堤等砂防施設情報 (堰堤形状及び堰堤高さ) の設定

◇ 処理内容

- 砂防施設情報をユーザーが Morpho2DH 画面上で手動設定できる UI を表示する
- 堰堤形状及び堰堤高さの設定は、Morpho2DH 上の「入力ー固定床高さの設定」画面上で行う（手順を以下に示す）
- 空中写真をもとに、平面的な堰堤形状ポリゴンを作成する
- 固定床高さのポリゴンをコピーし、「固定床高さ条件」は 2 を、「固定床高さ」は基礎調査（土石流）の現地調査結果における、堰堤高さ(m)を入力する

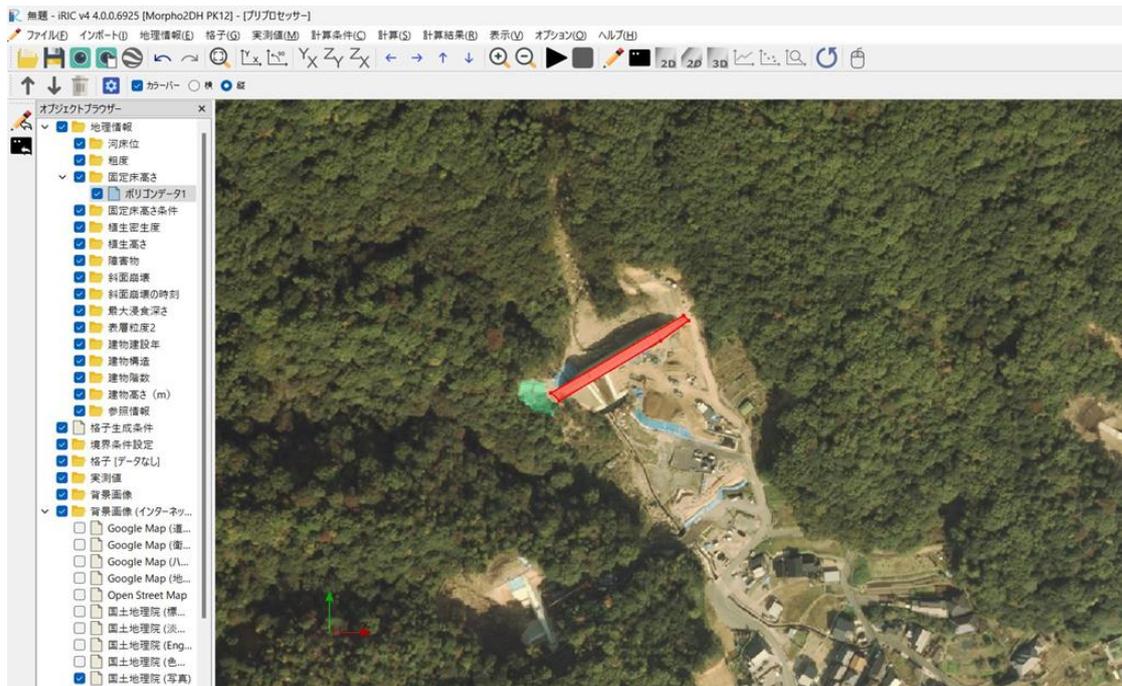


図 3-12 平面的な堰堤形状ポリゴンの設定画面

◇ 利用するライブラリ

- なし

◇ 利用するアルゴリズム

- なし

- 3D 都市モデル(地形 LOD1 データ)及び砂防施設情報(堰堤形状及び堰堤高さ)と、iRIC の座標空間との位置合わせ

◇ 処理内容

- 3D 都市モデル(地形 LOD1 データ)及び砂防施設情報(堰堤形状及び堰堤高さ)を、iRIC の座標系上の適切な位置に配置する
- 設定された砂防施設情報(堰堤形状及び堰堤高さ)をメモリに格納する

◇ 利用するライブラリ

- なし

◇ 利用するアルゴリズム

- なし

5. 【FN005】 3D 都市モデルの読み込み（建築物 LOD1）

- 機能概要
 - FME で変換した 3D 都市モデル建築物データ（SHP）を読み込み、表示する
- フローチャート

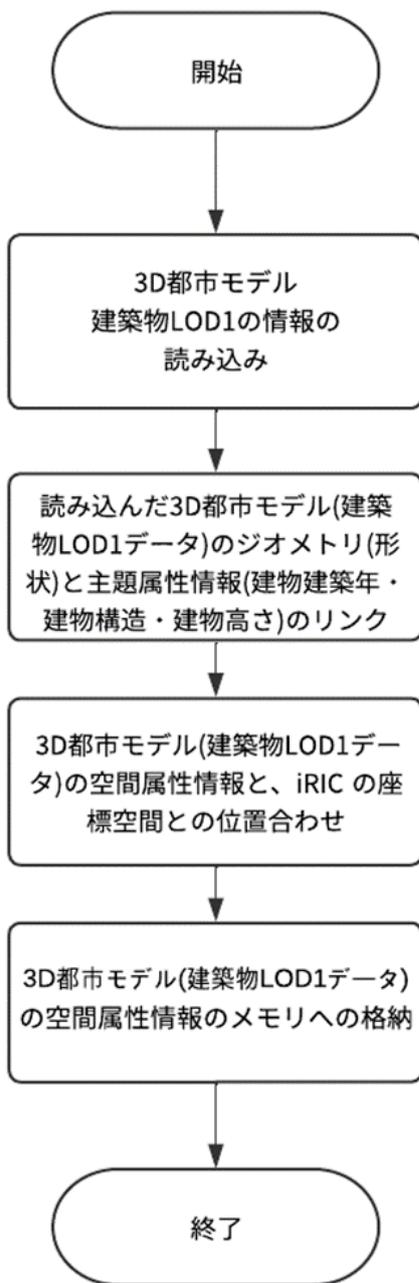


図 3-13 3D 都市モデルの読み込み（建築物 LOD1）のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデルの建築物 LOD1 (SHP)
 - 内容
 - FME Desktop によりポリゴンデータに変換された 3D 都市モデル (建築物 LOD1 データ) のジオメトリデータ (形状) および主題属性情報 (建物建築年・建物構造・建物高さ)
 - 形式
 - FME Desktop から出力された SHP ファイル形式
 - データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF002】を参照
 - 出力
 - ◇ 3D 都市モデル(建築物 LOD1)の情報をメモリに格納
 - 内容
 - ポリゴンデータに変換された 3D 都市モデル (建築物 LOD1 データ) を、メモリに格納する
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - iRIC 標準のメッシュ編集機能で割り当てられている、構造物モデル情報のメモリ空間
- 機能詳細
 - 3D 都市モデル(建築物 LOD1 データ)の読み込み
 - ◇ 処理内容
 - FME で変換した 3D 都市モデル建築物 LOD1 データ(SHP)を読み込み、メモリに格納する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
 - 読み込んだ 3D 都市モデル(建築物 LOD1 データ)のジオメトリ(形状)と主題属性情報(建物建築年・建物構造・建物高さ)のリンク
 - ◇ 処理内容
 - 3D 都市モデル(建築物 LOD1 データ)のジオメトリ(形状)と主題属性情報(建物建築年・建物構造・建物高さ)をリンクする
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし
 - 3D 都市モデル(建築物 LOD1 データ)の空間属性情報と、iRIC の座標空間との位置合わせ

- ◇ 処理内容
 - 3D 都市モデル(建築物 LOD1 データ)を、iRIC の座標系上の適切な位置に配置する
- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

6. 【FN006】 計算用地形/建築物モデルの構築

- 機能概要
 - 中心線・格子数・格子の大きさを設定して、読み込まれた 3D 都市モデルの地形データ（メモリ）から、メッシュを生成する。
 - 生成されたメッシュに対して、建築物 LOD1 データの形状及び属性情報（建物建築年・建物構造・建物高さ）（メモリ）を反映する。
- フローチャート

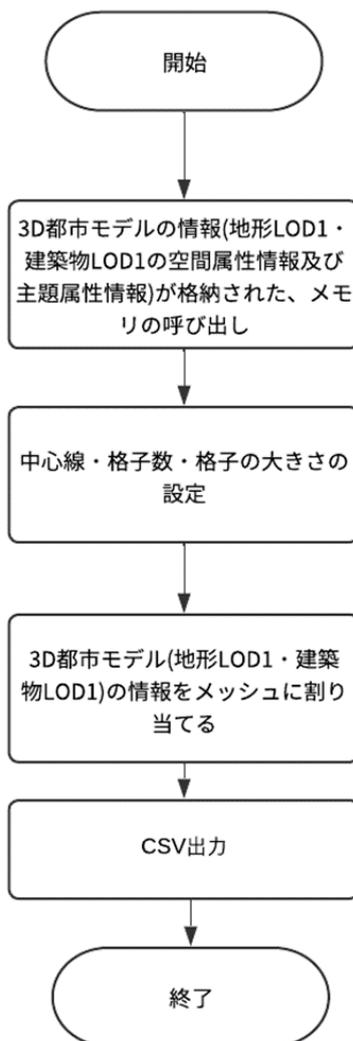


図 3-14 計算用地形/建築物モデルの構築のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 3D 都市モデルの情報(地形 LOD1・建築物 LOD1 の形状及び属性情報（建物建築年・建物構造・建物高さ）)（メモリ）

- 内容
 - iRIC 上にメモリとして格納された、3D 都市モデル(地形 LOD1・建築物 LOD1)の情報
- 形式
 - メモリ
- データ詳細
 - メモリ
- 出力
 - ◇ 3D 都市モデルの情報を反映したメッシュ
 - 内容
 - 3D 都市モデルの地形データ及び建築物 LOD1 データの情報から生成された、Morpho2DH のメッシュデータ
 - 形式
 - CSV 形式
 - データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF003】を参照
- 機能詳細
 - 3D 都市モデルの情報(地形 LOD1・建築物 LOD1)が格納されたメッシュ構築用メモリ情報、及びメッシュ生成条件(中心線・格子数・格子の大きさ)を用い、土石流シミュレーション用のメッシュを生成・画面表示する
 - ◇ 処理内容
 - iRIC 上にメモリとして格納された、3D 都市モデル(地形 LOD1・建築物 LOD1)の情報を読み込む
 - iRIC 上の「メッシュの生成—中心線の決定」画面・「メッシュの生成—格子数・格子の大きさの決定」画面で、中心線・格子数・格子の大きさを設定する(設定手順を以下に示す)
 - 格子を作成する領域の上流端と下流端をクリックして中心線を設定
 - 解析領域の横断方向の幅(W)を設定
 - 各格子の大きさが 2m×2m となるよう、流下方向の格子の数(nI), 横断方向の格子の数(nJ)を設定

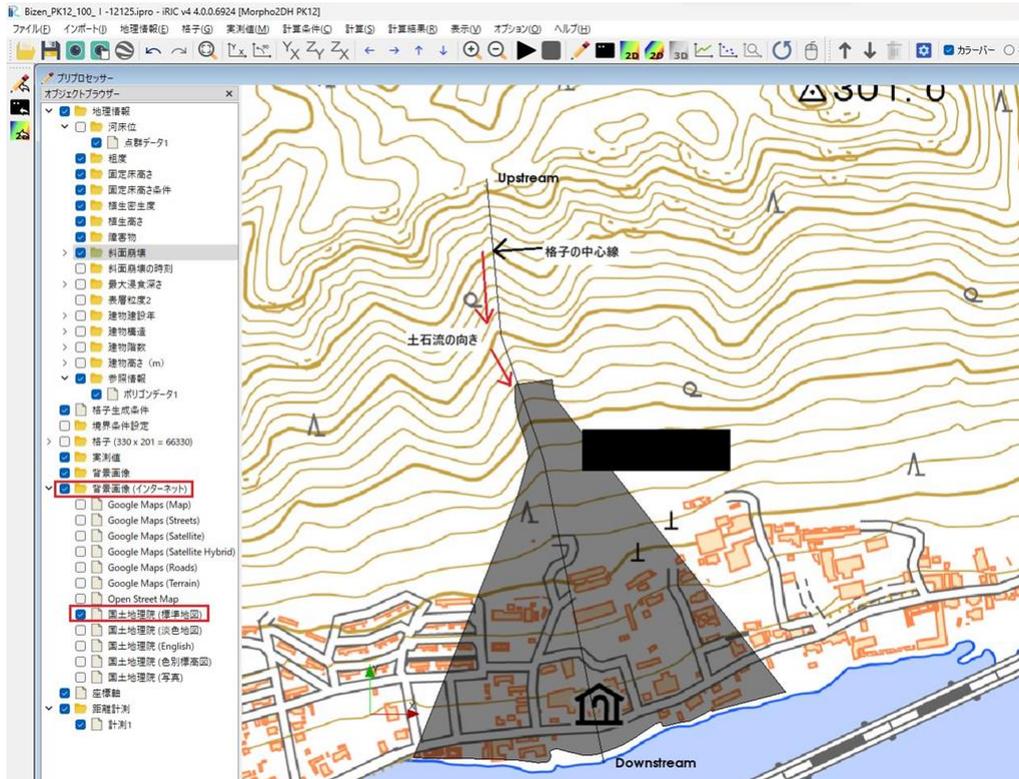


図 3-15 中心線の設定画面

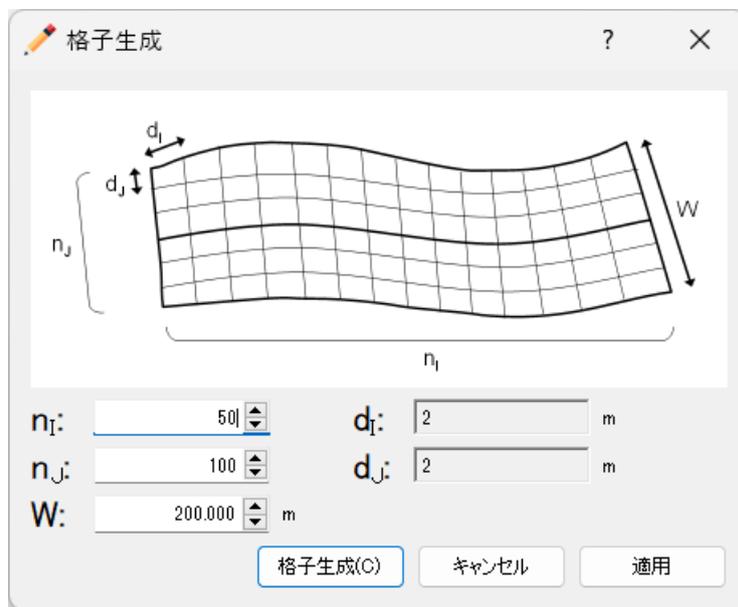


図 3-16 格子数・格子の大きさの設定画面

- 3D 都市モデル(地形 LOD1・建築物 LOD1)の情報をメッシュに割り当てる
- 生成したメッシュを CSV ファイルとして出力する

- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - —

7. 【FN007】 計算パラメータの設定

- 機能概要
 - 地盤の最大浸食深さ、斜面崩壊を発生させる場所と大きさ・深さ、計算の種類（ここでは土石流）・タイムステップ・出力間隔等、土石流条件（土砂濃度・内部摩擦角・層流層の厚さ等）、河床材料の条件（平均粒径や粒度分布等）を設定する。
- フローチャート

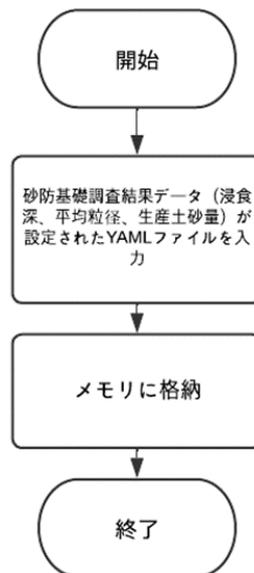


図 3-17 計算パラメータの設定のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 計算条件ファイル（YAML 形式）
 - 内容
 - 地盤の最大浸食深さ、斜面崩壊を発生させる場所と大きさ・深さ、計算の種類（ここでは土石流）・タイムステップ・出力間隔等、土石流条件（土砂濃度・内部摩擦角・層流層の厚さ等）、河床材料の条件（平均粒径や粒度分布等）を設定するためのデータファイル

- 形式
 - YAML 形式
- データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF004】を参照
- ◇ 3D 都市モデルの情報を反映したメッシュ
 - 内容
 - 3D 都市モデルの地形データ及び建築物 LOD1 データの情報から生成された、Morpho2DH のメッシュデータ
 - 形式
 - CSV
 - Morpho2DH の画面上に表示
 - データ詳細
- ◇ ファイル入力インタフェース【IF003】を参照
- 出力
 - ◇ iRIC 上の計算条件設定メモリに格納
 - YAML 形式の計算条件ファイルを用いて設定された計算パラメータを、iRIC 上のメモリに格納する
 - 形式
 - メモリ処理
 - データ詳細
 - —
- 機能詳細
 - 計算用地形/建築物モデルの構築
 - ◇ 処理内容
 - 地盤の最大浸食深さ、斜面崩壊を発生させる場所と大きさ・深さ、計算の種類（ここでは土石流）・タイムステップ・出力間隔等、土石流条件(土砂濃度・内部摩擦角・層流層の厚さ等)、河床材料の条件(平均粒径や粒度分布等)を設定する
 - 本実証実験での設定は以下の通り
 - 地盤の最大浸食深さ：土石流に関する基礎調査調書のデータを用いて、浸食深を溪流長で加重平均した値を使用（活用したデータ【DT101】を参照）
 - 斜面崩壊を発生させる場所：溪流の最上流端（尾根付近）（活用したデータ【DT101】【DT102】を参照）
 - 斜面崩壊の大きさ・深さ：大きさは任意、深さは 0.3m（活用したデータ【DT101】【DT102】を参照）
 - タイムステップ：0.001 秒（2m×2m の格子サイズに対応）
 - 出力間隔：1 秒
 - 土石流条件(土砂濃度・内部摩擦角・層流層の厚さ等)：Morpho2DH デフォルトの値を使用

- 河床材料の条件(平均粒径や粒度分布等)：一様砂とし、平均粒径は 0.01m (現地調査結果より設定：活用したデータ【DT104】を参照)
- 計算条件の設定は、Morpho2DH 上の「入カー浸食深さの設定」画面・「入カー斜面崩壊の設定」画面・「入カー計算の種類とデータの設定」画面・「入カー土石流条件の設定」画面・「入カー河床材料の設定」画面上で行う
- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - ー

8. 【FN008】土石流シミュレーションの実行

- 機能概要
 - 家屋倒壊/非倒壊判定を含む土石流シミュレーションを実行する
- フローチャート

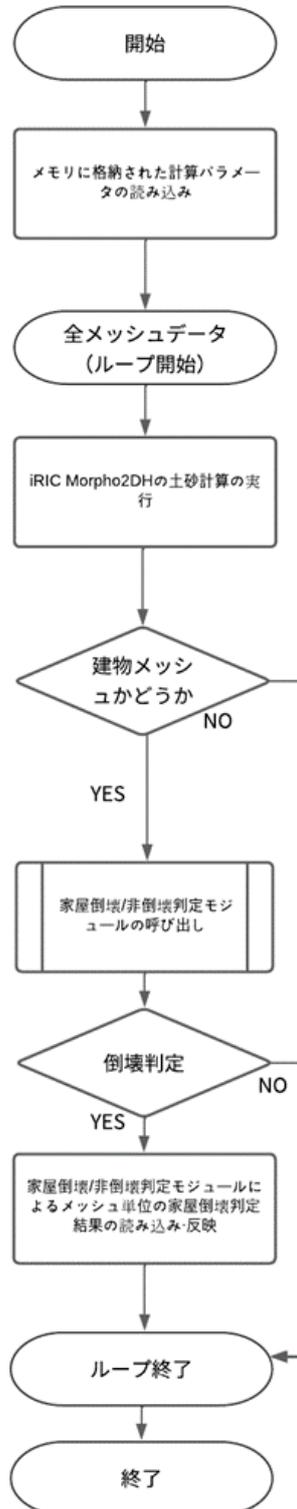


図 3-18 土石流シミュレーションの実行のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ メモリに格納された計算パラメータ
 - 内容
 - 【FN007】で設定されスタンバイ状態になった計算パラメータ
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
 - ◇ 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールによるメッシュ単位の家屋倒壊判定結果
 - 内容
 - 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールによりメッシュごとに行われた家屋倒壊判定結果
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
 - 出力
 - ◇ 土石流解析結果
 - 内容
 - 家屋倒壊/非倒壊判定を含む土石流シミュレーションの実行結果
 - ◇ 時刻ごと水理量・変化した地形データ・メッシュ単位の家屋倒壊判定結果が出力される
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
- 機能詳細
 - 実行開始
 - ◇ 処理内容
 - 実行ボタンを押下
 - 計算の開始は、Morpho2DH 上の「実行—実行画面」上で行う
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - Morpho2DH_土石流解析アルゴリズム（アルゴリズム【AL001】を参照）
 - メモリに格納された計算パラメータの読み込み
 - ◇ 処理内容
 - 【FN007】で設定されスタンバイ状態になった計算パラメータを読み込む

- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - Morpho2DH_土石流解析アルゴリズム（アルゴリズム【AL001】を参照）
- Morpho2DH の土砂計算の実行
 - ◇ 処理内容
 - 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールに受け渡す土石流外力算出のため、土石流シミュレーションを実施する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - Morpho2DH_土石流解析アルゴリズム（アルゴリズム【AL001】を参照）
- 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールの呼び出し
 - ◇ 処理内容
 - サブルーチンとして構成された家屋倒壊/非倒壊判定モジュール内の機能「メッシュ単位の家屋倒壊判定」【FN014】を呼び出す
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 家屋倒壊過程を考慮した Morpho2DH 上の処理アルゴリズム（アルゴリズム【AL101】を参照）
- 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールによるメッシュ単位の家屋倒壊判定結果の読み込み・反映
 - ◇ 処理内容
 - 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールによりメッシュごとに行われてメモリに格納された、土石流に対する家屋倒壊判定結果を読み込み、メッシュに反映させる
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 家屋倒壊過程を考慮した Morpho2DH 上の処理アルゴリズム（アルゴリズム【AL101】を参照）

9. 【FN009】土石流シミュレーション結果出力

- 機能概要
 - 土石流シミュレーションの結果を CSV および SHP(ポイントデータ)で出力する
- フローチャート

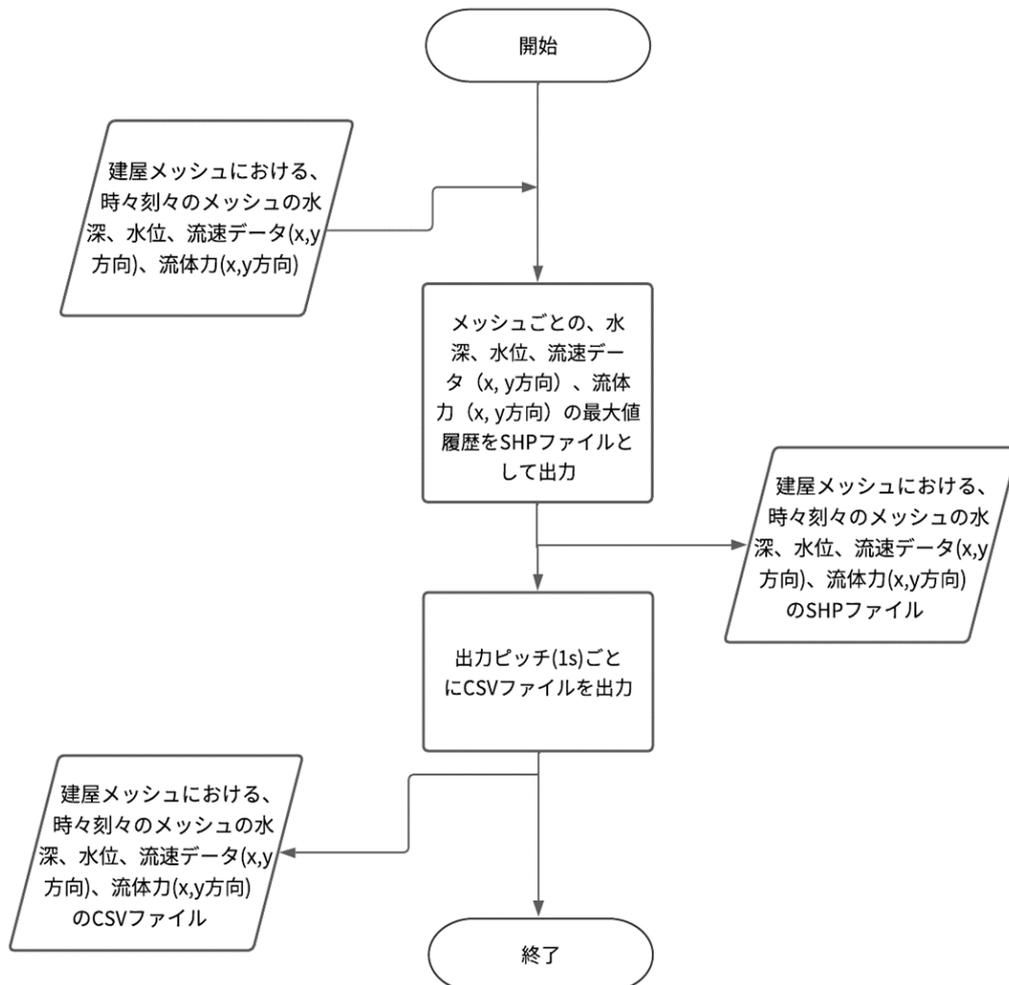


図 3-19 土石流シミュレーション結果出力のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 土石流シミュレーション結果 (メモリ)
 - 内容
 - 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向)
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細

➤ —

➤ 出力

◇ 土石流シミュレーション結果 (CSV)

● 内容

➤ 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向)

● 形式

➤ CSV

● データ詳細

➤ 内部連携インタフェース【IF203】を参照

◇ 土石流シミュレーション結果 (SHP)

● 内容

➤ 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの、水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向) の最大値履歴

● 形式

➤ SHP(ポイントデータ)

● データ詳細

➤ 内部連携インタフェース【IF203】を参照

● 機能詳細

➤ 土石流シミュレーション結果出力

◇ 処理内容

● 土石流シミュレーション結果 (メモリ) を読み込む

● 出力ピッチ(1s)ごとに、メッシュ単位の土石流シミュレーション結果の CSV ファイルを出力する

● メッシュ単位の土石流シミュレーション結果の最大値履歴の SHP ファイルを出力する

◇ 利用するライブラリ

● なし

◇ 利用するアルゴリズム

● Morpho2DH_土石流解析アルゴリズム (アルゴリズム【AL001】を参照)

10. 【FN010】 建物メッシュごと倒壊判定結果出力

- 機能概要
 - 建物メッシュごとに倒壊/非倒壊結果のフラグを CSV ファイルとして出力する
- フローチャート

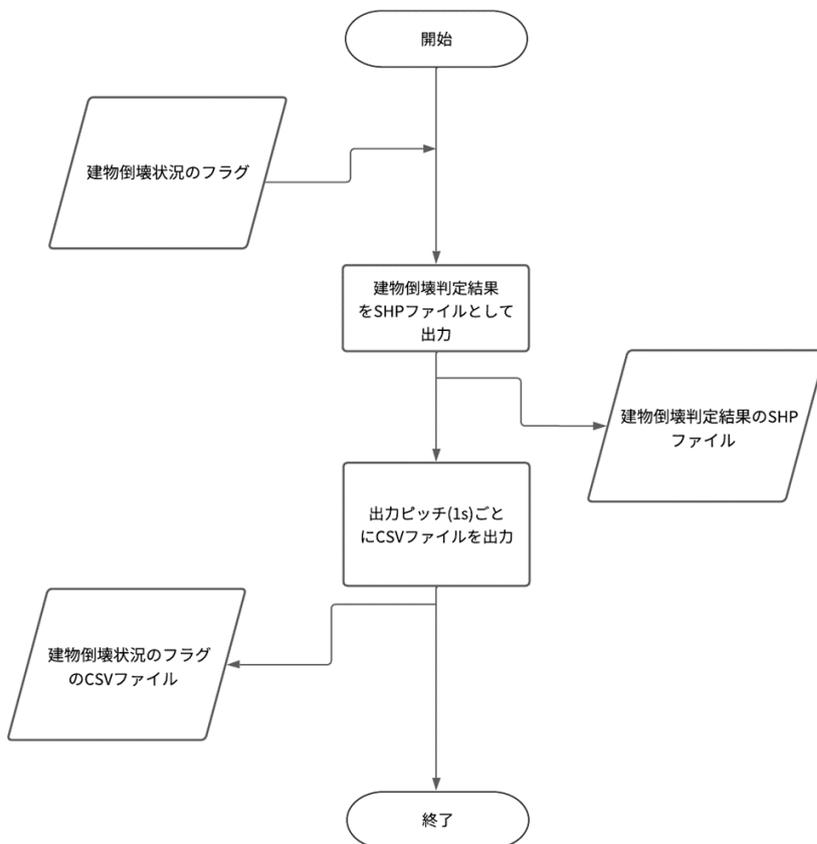


図 3-20 建物メッシュごと倒壊判定結果出力のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 土石流シミュレーションの結果として得られる建物メッシュごとの倒壊/非倒壊判定結果 (メモリ)
 - 内容
 - 土石流シミュレーションの結果としてメモリに格納された、建物メッシュごとの倒壊判定結果
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
 - 出力

- ◇ メッシュごと建物倒壊状況のフラグの CSV ファイル
 - 内容
 - 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの建物倒壊/非倒壊状況のフラグの CSV ファイル
 - 形式
 - CSV
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF204】を参照
- 出力
 - ◇ メッシュごと建物倒壊判定結果の SHP ファイル
 - 内容
 - 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの建物倒壊/非倒壊判定結果の SHP ファイル
 - 形式
 - SHP(ポイントデータ)
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF204】を参照
- 機能詳細
 - 建物メッシュごと倒壊判定結果出力
 - ◇ 処理内容
 - 土石流シミュレーションの結果としてメモリに格納された、建物メッシュごとの倒壊判定結果を読み込み、出力ピッチ(1s)ごとに、メッシュ単位の建物メッシュごと倒壊の CSV および SHP ファイルを出力する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 家屋倒壊過程を考慮した Morpho2DH 上の処理アルゴリズム (アルゴリズム【AL101】を参照)

11. 【FN011】メッシュごと倒壊判定結果の建物IDへのひも付け

- 機能概要
 - 各建物が存在するメッシュの倒壊/非倒壊結果を、QGIS上で、3D都市モデルの建物IDにひも付け、倒壊した建物にフラグを付与する
- フローチャート

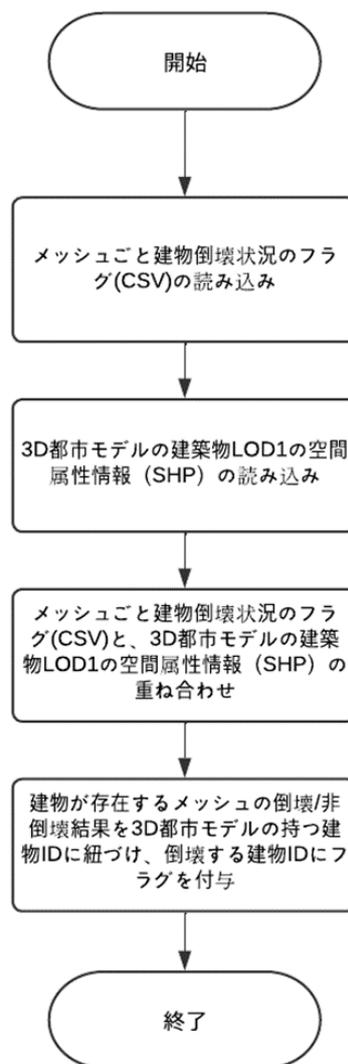


図 3-21 建物メッシュごと倒壊判定結果出力のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ メッシュごと建物倒壊状況のフラグの CSV ファイル
 - 内容
 - 家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごと

の建物倒壊/非倒壊状況のフラグの CSV ファイル

- 形式
 - CSV
- データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF204】を参照

◇ 3D 都市モデルの建築物 LOD1 の形状 (SHP)

- 内容
 - FME Desktop によりポリゴンデータに変換された 3D 都市モデル (建築物 LOD1 データ) のジオメトリデータ
- 形式
 - FME Desktop から出力された SHP ファイル一式
- データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF002】を参照

➢ 出力

◇ 建物ごと倒壊判定結果の CSV ファイル

- 内容
 - 各建物が存在するメッシュの倒壊/非倒壊結果を 3D 都市モデルの持つ建物 ID にひも付け、倒壊する建物 ID にフラグを付与した CSV ファイル
- 形式
 - CSV
- データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF206】を参照

● 機能詳細

➢ 建物ごと倒壊判定結果出力

◇ 処理内容

- QGIS の所定フォルダ(QGIS プログラムフォルダ/QgisPy/iRIC_result/)に、メッシュごと建物倒壊状況のフラグの CSV ファイル【IF204】を格納する (※)
※事前作業として実施
- QGIS を起動して、iRIC の建物情報 (CityGML 形式の 3D 都市モデル) と iRIC で解析したメッシュの格子情報を設定し、実行ボタンを押下することによって、メッシュごと建物倒壊状況のフラグが 3D 都市モデル(建築物 LOD1)の建物 ID に紐づけられた CSV 形式のファイルが出力される
 - CityGML 形式の 3D 都市モデル及びメッシュの格子情報の設定画面を開く

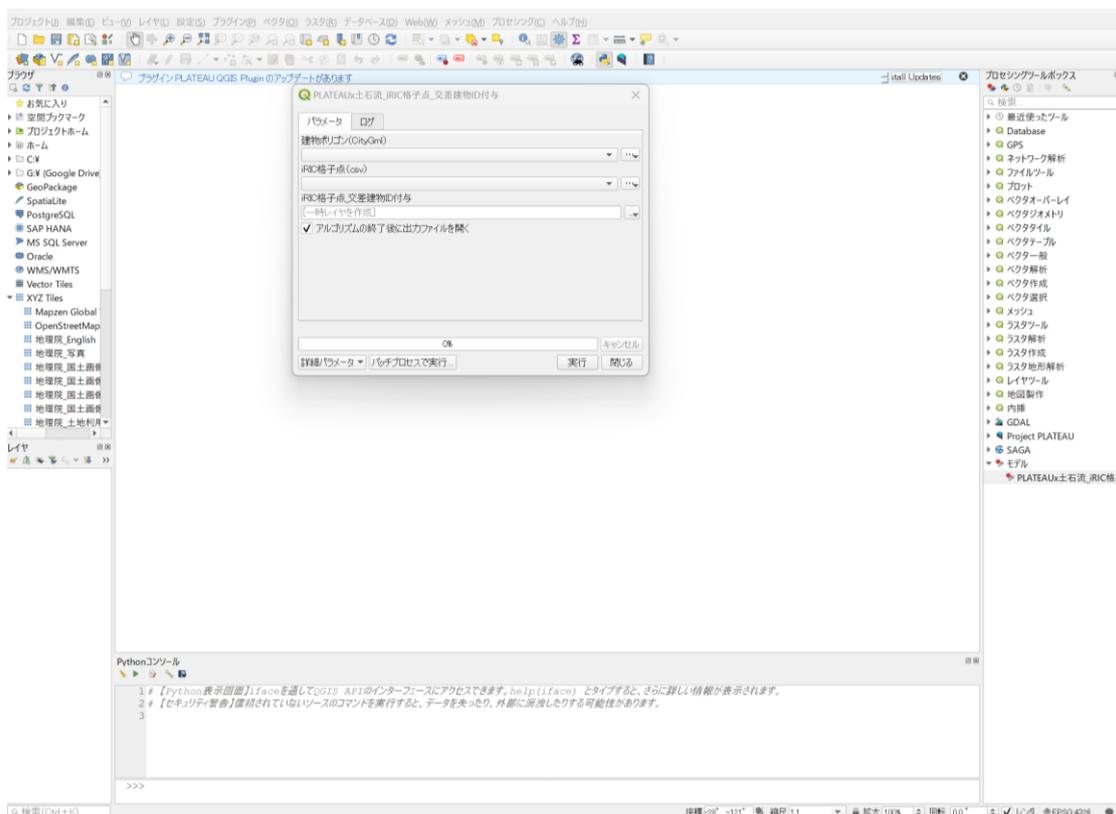


図 3-22 QGIS メイン画面及び建物情報（CityGML 形式の 3D 都市モデル）とメッシュの格子情報読み込み画面

- 2つのファイルが読み込まれたら、メッシュごと建物倒壊状況のフラグ(CSV)と、3D都市モデルの建築物 LOD1 の形状 (SHP) の重ね合わせが自動実行される

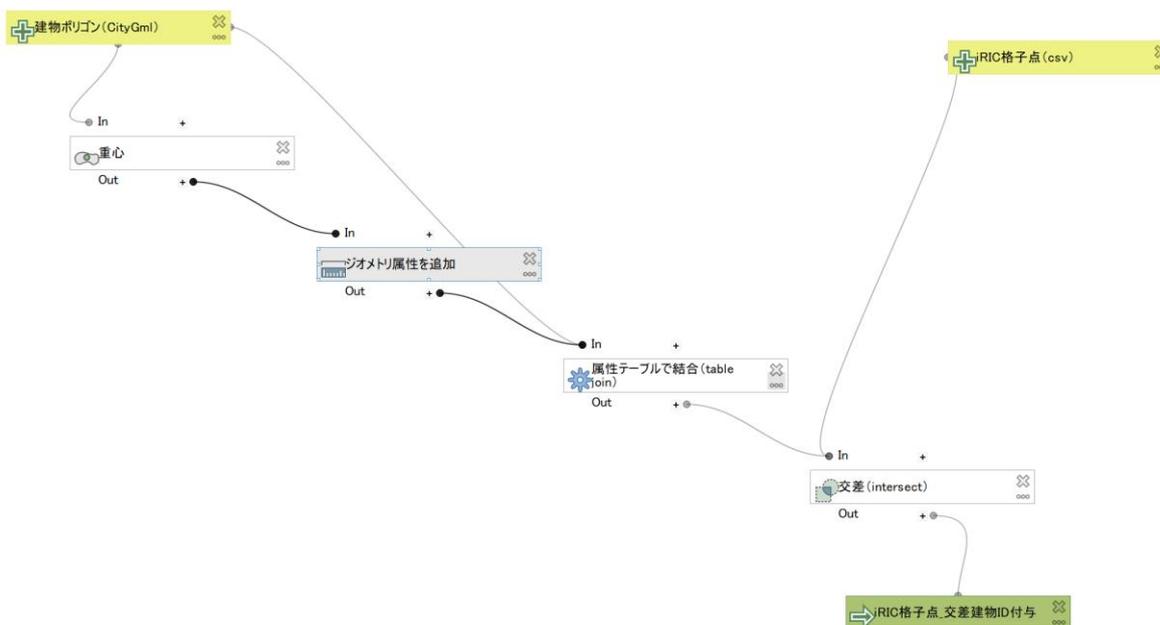


図 3-23 QGIS の建物ポリゴンと iRIC 格子点紐づけの演算を定義するルールの図

- Morpho2DH から出力されるメッシュごと建物倒壊状況のフラグの CSV ファイルと、3D 都市モデルの建築物 LOD1 の形状 (SHP) が紐づけられた各建物 ID から、建物ごとに、倒壊/非倒壊の結果を付与する処理(Python)が実行される

- ◇ 利用するライブラリ
 - なし
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

12. 【FN012】土石流シミュレーションの計算結果表示 (2D 表示)

- 機能概要
 - 浸食深等の計算結果を 2D 表示する
- フローチャート

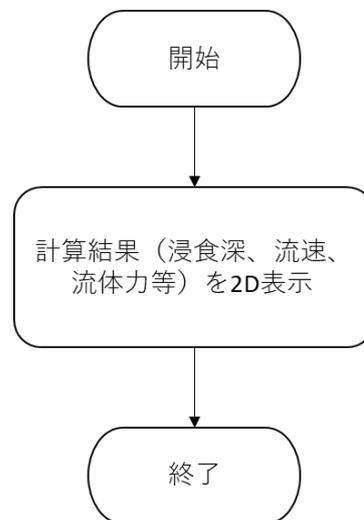


図 3-24 土石流シミュレーションの計算結果表示 (2D 表示) のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 土石流シミュレーション結果 (メモリ)
 - 内容
 - 土石流シミュレーションの結果として出力されメモリに格納された、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向)
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
 - 出力
 - ◇ 土石流シミュレーション結果 (画面表示)

- 内容
 - 土石流シミュレーション結果が妥当であるかどうかについて、CSV/SHP ファイルとして出力する前に確認するため、家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向) を Morpho2DH 上の画面に表示する
- 形式
 - 画面表示
- データ詳細

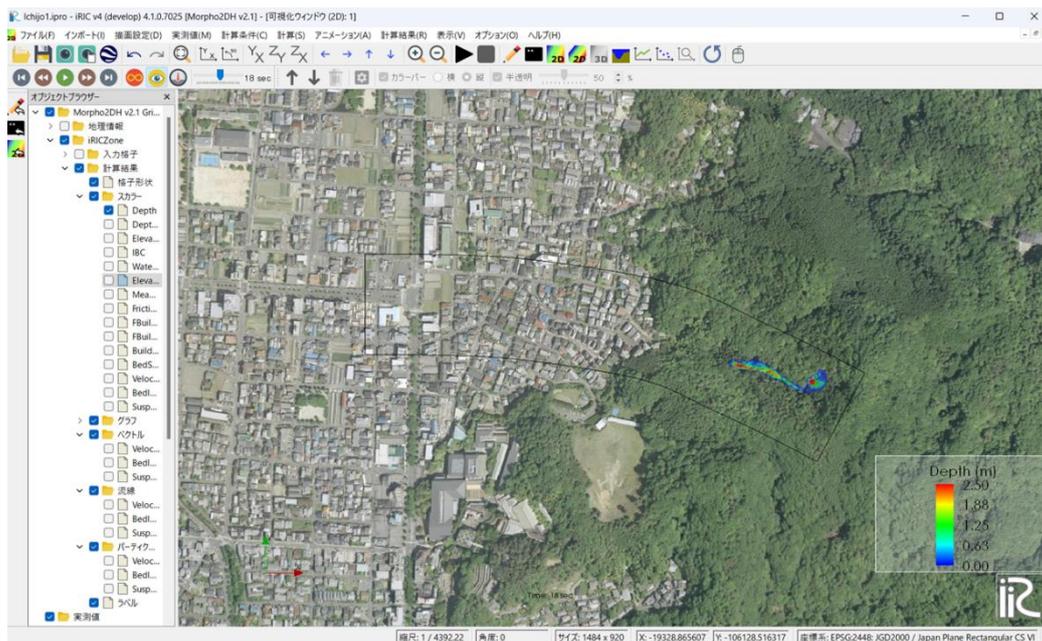


図 3-25 土石流シミュレーションの計算結果表示 (2D 表示) _サンプル画面

- 機能詳細
 - 土石流シミュレーションの結果の 2D 表示
 - ◇ 処理内容
 - 土石流シミュレーションの結果として出力されメモリに格納された、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向) を読み込む
 - 読み込んだ土石流シミュレーションの結果を、Morpho2DH 上の「出力ー計算結果 (2D 表示)」画面に表示する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

13. 【FN013】土石流シミュレーションの計算結果表示（グラフ表示）

- 機能概要
 - 土石流シミュレーションの計算結果を縦断図等としてグラフ表示する
- フローチャート

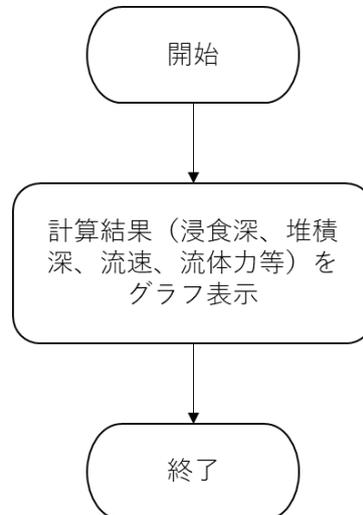


図 3-26 土石流シミュレーションの計算結果表示（グラフ表示）のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 土石流シミュレーション結果（メモリ）
 - 内容
 - 土石流シミュレーションの結果として出力されメモリに格納された、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ（x, y 方向）、流体力（x, y 方向）
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
 - 出力
 - ◇ 土石流シミュレーション結果のグラフ表示（画面表示）
 - 内容
 - 土石流シミュレーション結果が妥当であるかどうかについて、CSV/SHP ファイルとして出力する前に確認するため、家屋倒壊判定を含む土石流シミュレーションの結果として出力される、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ（x, y 方向）、流体力（x, y 方向）を、縦断図等として Morpho2DH 上の画面に表示する
 - 形式
 - 画面表示

- データ詳細
 - —

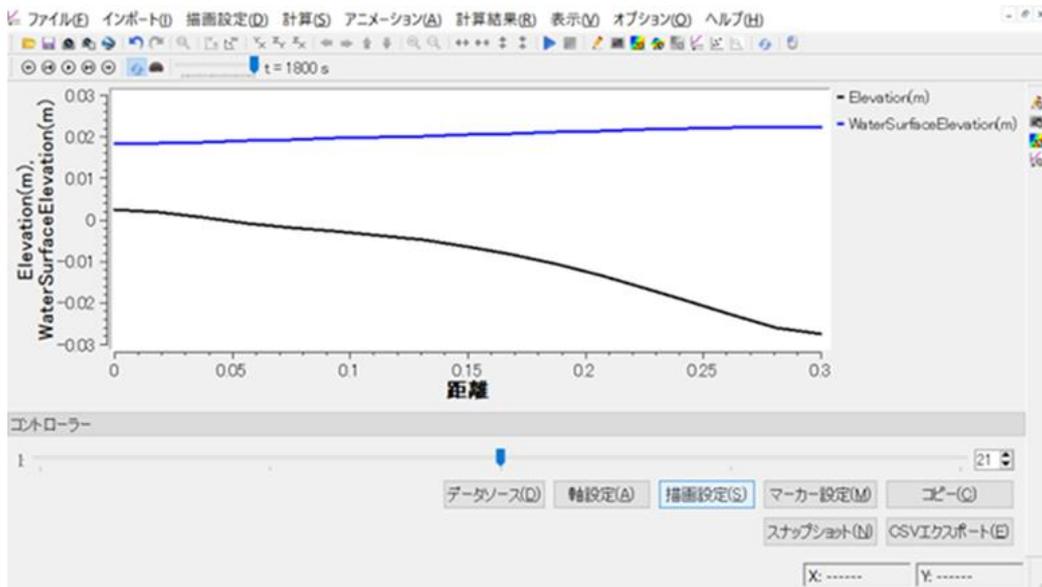


図 3-27 土石流シミュレーションの計算結果表示 (グラフ表示) _サンプル画面

- 機能詳細

- ◇ 処理内容

- 土石流シミュレーションの結果として出力されメモリに格納された、メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向) を読み込む
 - 読み込んだ土石流シミュレーションの結果を、Morpho2DH 上の「出力—計算結果 (グラフ)」画面に、縦断図等としてグラフ表示する

- ◇ 利用するライブラリ

- なし

- ◇ 利用するアルゴリズム

- なし

14. 【FN014】メッシュ単位の家屋倒壊判定

- 機能概要

- 本実証において構築した土石流に対する木造家屋の倒壊判定ロジック (アルゴリズム) に、家屋倒壊判定の外力となる Sim 結果を入力し、3D 都市モデル (建築物モデル LOD1) の持つ三次元形状・用途・構造・建築年等の情報を加味して、対象エリア内の家屋ごとに倒壊/非倒壊を判定する
- 判定結果を、呼び出し元である「土石流シミュレーションの実行」機能【FN008】に、返り値として返す

● フローチャート

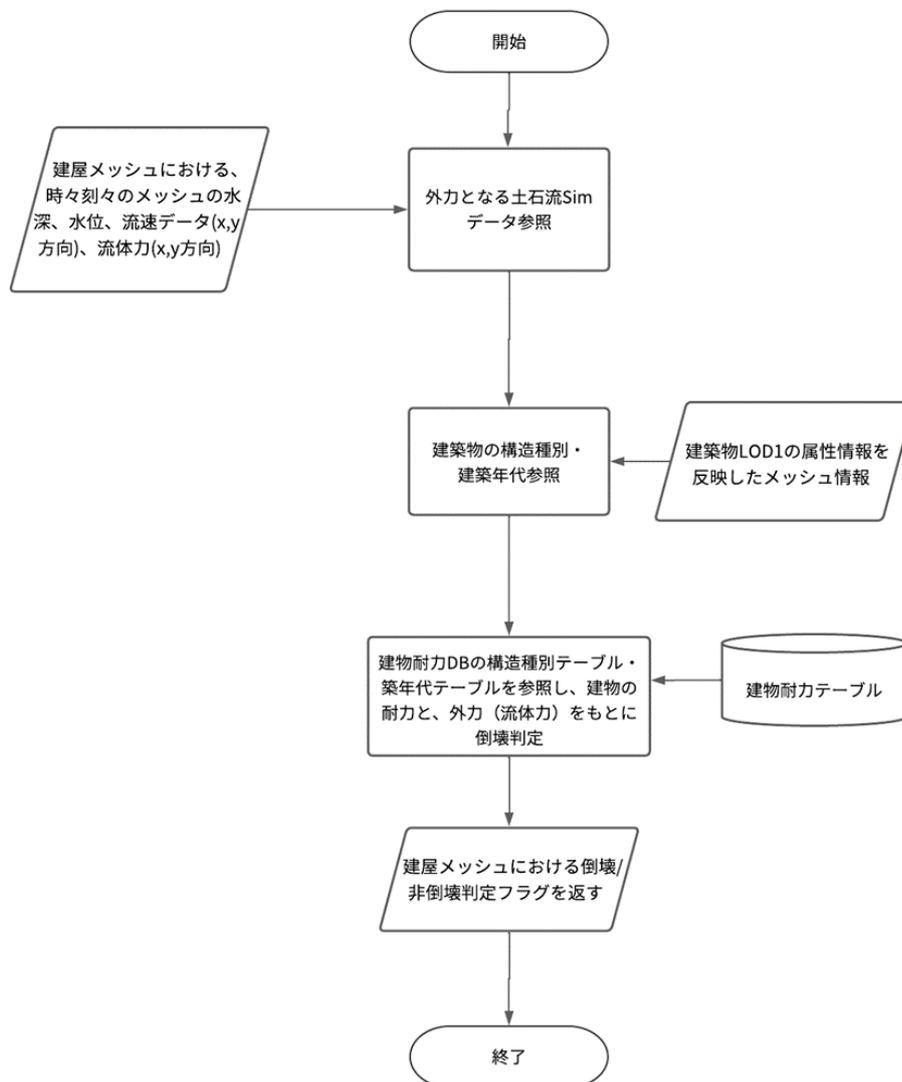


図 3-28 メッシュ単位の家屋倒壊判定のフローチャート

● データ仕様

➤ 入力

◇ 土石流シミュレーション結果

● 内容

- メッシュごとの、時々刻々のメッシュの水深、水位、流速データ (x, y 方向)、流体力 (x, y 方向)

● 形式

- メモリ

- データ詳細
 - —
- ◇ 3D 都市モデル(建築物 LOD1)の主題属性情報
 - 内容
 - 建築物 LOD1 の主題属性情報(建物建築年・建物構造・建物高さ)を反映したメッシュ情報
 - 形式
 - メモリ
 - データ詳細
 - —
- ◇ 建物耐力テーブル
 - 内容
 - 外力の大きさに応じた構造物の壊れやすさを確率論的に評価するためのテーブル
 - 形式
 - サブルーチン内の定数
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF202】を参照
- 出力
 - ◇ 家屋メッシュにおける倒壊/非倒壊判定フラグ
 - 内容
 - メッシュごとに判定された家屋倒壊判定結果をフラグ化したもの
 - 形式
 - 整数
 - データ詳細
 - 返り値として呼び出し元機能【FN008】に値を返す
- 機能詳細
 - メッシュごとの家屋倒壊判定
 - ◇ 処理内容
 - 外力となる土石流シミュレーションの結果データを参照する
 - メッシュごとに格納されている建築物の構造種別・建築年代を参照する
 - 建物耐力 DB の構造種別テーブル・築年代テーブルを参照し、建物の耐力と、外力（流体力）をもとに家屋倒壊判定を行う
 - ◇ 利用するライブラリ
 - なし
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールにおいて用いる倒壊判定ロジック(アルゴリズム【AL102】を参照)

15. 【FN015】土石流シミュレーションの計算結果及び建物倒壊判定結果表示（3D）

- 機能概要
 - Terria Map 上における、時刻ごと流体力・地形データの変化量・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果のアニメーション化
 - 土砂災害警戒区域図の Terria Map 上での表示
 - 3D 都市モデル建築物 LOD1 データの Terria Map 上での表示
 - 3D 都市モデル地形 LOD1 データの Terria Map 上での表示
- フローチャート

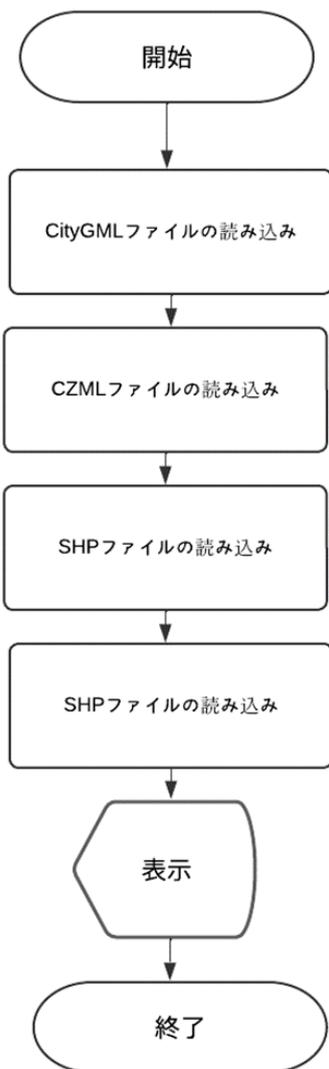


図 3-29 土石流シミュレーションの計算結果及び建物倒壊判定結果表示（3D）のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 可視化コンバータによって CSV 形式から変換された、CZML 形式の時刻ごと流体力・地形データの変化量・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果のデータ

- 内容
 - 土石流シミュレーションの結果・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果 (CZML)
- 形式
 - CZML
- データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF205】を参照
- ◇ 土砂災害警戒区域 (土石流) データ
 - 内容
 - 岡山県が「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律 (通称:土砂災害防止法)」に基づき、土砂災害警戒区域等を指定した備前市内の区域を図示した SHP ファイル
 - 形式
 - SHP
 - データ詳細
 - ファイル入力インタフェース【IF005】を参照
- ◇ 3D 都市モデル (建築物 LOD1) の空間属性情報
 - 内容
 - 3D 都市モデル (建築物 LOD1) のジオメトリデータ
 - 形式
 - 「33211_bizen-shi_city_2023_citygml_1」に格納された CityGML 形式のファイル
 - 属性名: bldg.:lod1Solid
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF201】を参照
- ◇ 3D 都市モデル (建築物 LOD1) の主題属性情報
 - 内容
 - 3D 都市モデル (建築物 LOD1) の主題属性データ
 - 形式
 - 「33211_bizen-shi_city_2023_citygml_1」に格納された CityGML 形式のファイル
 - 属性名: bldg:yearOfConstruction, uro:buildingStructureType, bldg.:storeysAboveGround
 - データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF201】を参照
- ◇ 3D 都市モデル (地形 LOD1) の空間属性情報
 - 内容
 - 3D 都市モデル (地形 LOD1) の空間属性データ
 - 形式
 - 「33211_bizen-shi_city_2023_citygml_1」に格納された CityGML 形式のファイル

- 属性名：dem:tin
- データ詳細
 - 内部連携インタフェース【IF201】を参照
- 出力
 - ◇ 土石流シミュレーションの結果・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果の3Dアニメーション表示
 - 内容
 - 土石流シミュレーションの結果を「流体力」「流動深(土石流の水深)」というデータラベルとして、Terria Map上の「シミュレーション結果のアニメーション再生」画面で3Dアニメーション再生する
 - 建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果を「家屋倒壊判定結果(建屋単位)」「家屋倒壊判定結果(詳細)」というデータラベルとして、Terria Map上の「シミュレーション結果のアニメーション再生」画面で3Dアニメーション再生する
 - 形式
 - 画面表示
 - データ詳細
 - —
 - ◇ 土砂災害警戒区域図(イエローゾーン)の表示
 - 内容
 - シミュレーションの結果の可視化を行いたいエリアの土砂災害警戒区域図(イエローゾーン)を、「土砂災害警戒区域_(溪流番号)」というデータラベルとして、Terria Map上で表示する
 - 形式
 - 画面表示
 - データ詳細
 - —
 - ◇ 3D都市モデル(建築物 LOD1)のジオメトリデータの表示
 - 内容
 - Terria Mapのデータカタログ上で選択された3D都市モデル(建築物 LOD1)のジオメトリデータを画面表示する
 - 形式
 - 画面表示
 - データ詳細
 - —

◇ 3D 都市モデル(地形 LOD1)のジオメトリデータの表示

- 内容
 - Terria Map のデータカタログ上で選択された 3D 都市モデル（地形 LOD1）のジオメトリデータを画面表示する
- 形式
 - 画面表示
- データ詳細
 - —

● 機能詳細

- Terria Map に各種データを追加する
- Terria Map に 3D 都市モデルを表示する
- 時刻ごと流体力・地形データの変化量・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果を
- Terria Map で、各種シミュレーション結果をアニメーションとして 3D 可視化する
- Terria Map に土砂災害警戒区域図を表示する

◇ 処理内容

- TerriaMap の画面上に、「ワークベンチー各種データ追加・凡例表示・ズーム」を表示する
- Terria Map の「データカタログビューワに表示させるデータの選択」画面で、各種データを追加する
- Terria Map の「シミュレーション結果のアニメーション再生」画面上で、3D 都市モデルを表示する
- Terria Map の「シミュレーション結果のアニメーション再生」画面上で、時刻ごと流体力・地形データの変化量・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果を、アニメーションとして 3D 可視化する
シミュレーションの結果の可視化を行いたいエリアの土砂災害警戒区域図(イエローゾーン)を、「土砂災害警戒区域_(溪流番号)」というデータラベルとして、Terria Map の「シミュレーション結果のアニメーション再生」画面上に表示する

◇ 利用するライブラリ

- なし

◇ 利用するアルゴリズム

- なし

3-3. アルゴリズム

3-3-1. 利用したアルゴリズム

1) 【AL001】 Morpho2DH_土石流解析アルゴリズム

- Morpho2DH とは
 - Morpho 2DH は Morpho2D に土石流・泥流モデルを加えた計算ソルバーである。
 - ◇ 【参考資料】 Morpho 2DH Solver Manual - Debris/Mud flow - (https://i-ric.org/webadmin/wp-content/uploads/2023/06/Morpho2DH_SolverManual_ja.pdf)
 - 平面二次元の土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバーであり、斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を表現可能。砂防ダム，堰，家屋などの構造物や地盤の浸食深さの平面分布等を考慮した解析が可能。
- 計算モデルの特徴
 - 運動方程式の移流項の差分法は、TVD-MacCormack 法（2 次精度）を使用。
 - 河床面付近に層流、その上に乱流が形成された二層モデルによる構成則を用いてエネルギー散逸を計算している。
 - 土石流の初期条件は、斜面崩壊による水と土砂の混合物の流動を与える方法を用いている。
 - 地盤の最大浸食深さは、空間的に分布を与えることが可能。
 - 砂防ダムや堰などの河川構造物については、河川構造物が存在する計算セルをポリゴンで指定し、構造物の表面の高さデータを固定床の高さとして考慮できる。河川構造物を簡単に計算に取り入れることができる。
 - 家屋などの計算領域中の障害物については、障害物が存在する計算セルをポリゴンで指定し、障害物として認識させることにより考慮できる。これにより、障害物を簡単に計算に取り入れることができる。
 - 斜面崩壊の発生時間は、斜面崩壊ごとに変えることができる。

3-3-2. 開発したアルゴリズム

家屋倒壊を考慮した土石流シミュレーションのため、以下の2つのアルゴリズムを開発した。

- 【AL101】 家屋倒壊過程を考慮した Morpho2DH 上の処理アルゴリズム
- 【AL102】 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールにおいて用いる倒壊判定ロジック

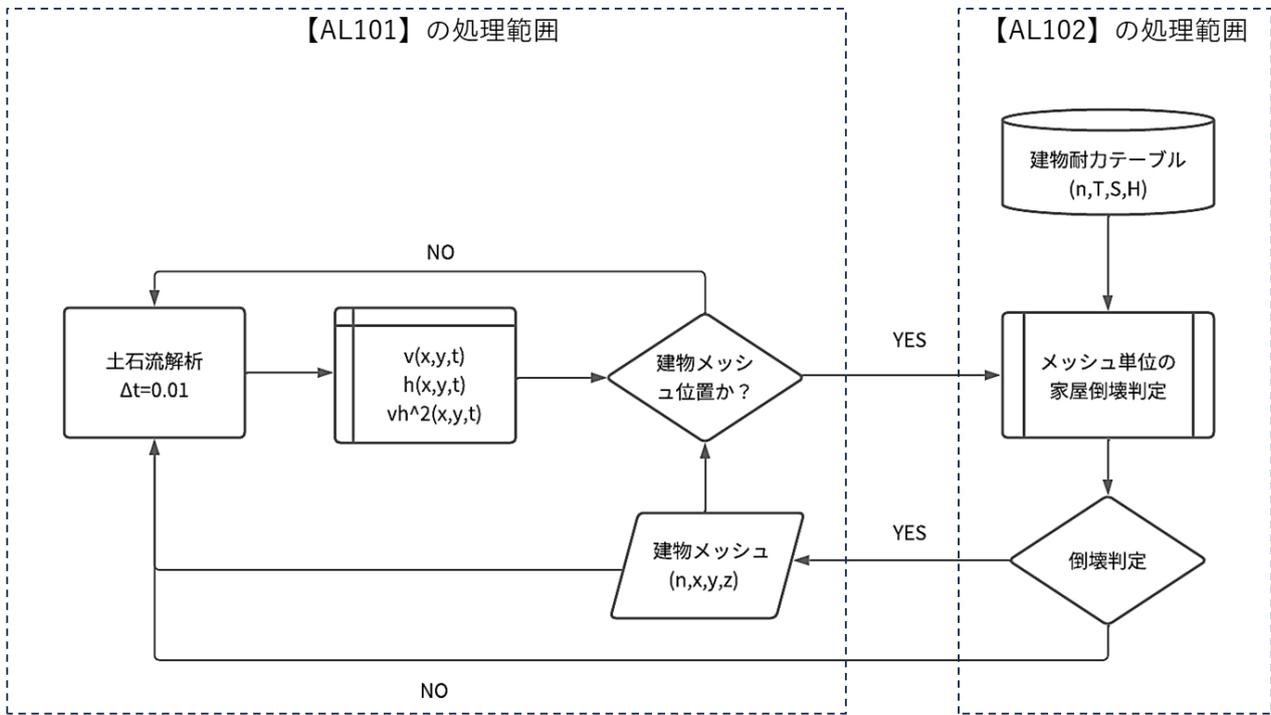


図 3-30 開発したアルゴリズムの処理範囲

1) 【AL101】家屋倒壊過程を考慮した Morpho2DH 上の処理アルゴリズム

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN008】
- アルゴリズムの詳細
 - 土石流のシミュレーションでは、障害物をモデル上に設置することができるが、家屋倒壊/非倒壊を地区年代や構造等の建物属性情報に応じて判定した後、障害物を取り除く処理が実装されていない。
 - このため、今回 Morpho2DH のサブルーチンとして開発された、家屋倒壊/非倒壊判定モジュールの「メッシュ単位の家屋倒壊判定」機能【FN014】を呼び出し、家屋倒壊/非倒壊を考慮した土石流シミュレーションを実施する。
 - 家屋倒壊/非倒壊を考慮した土石流シミュレーションの実施に際しては、メッシュごとの家屋倒壊判定結果をフラグとしてサブルーチンから受け取ったうえで、倒壊フラグの立ったメッシュについては、メッシュ上に格納された建物諸元を削除する処理を行う。
 - ◇ 倒壊判定を受けるまで、建築物は土石流を阻害する要素として寄与するため、土石流の流動応力の減少（外力減少）が考慮される

2) 【AL102】家屋倒壊/非倒壊判定モジュールにおいて用いる倒壊判定ロジック

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN014】
- アルゴリズムの詳細

本実証において開発する家屋倒壊/非倒壊判定モジュールは、過去の土砂災害における家屋の被災実績等を参考に構築されたアルゴリズムである、「倒壊判定ロジック」により家屋の倒壊判定を行う。以下に記載する検討フローを経て倒壊判定ロジックを構築した上で、Morpho2DH から呼び出されるサブルーチンである「家屋倒壊/非倒壊判定モジュール」として外部モジュール化を行う。なお、本モジュールによって得られる家屋倒壊/非倒壊判定結果は、Morpho2DH 上の、該当メッシュに存在する家屋の情報を更新するために活用される。

 - 倒壊判定ロジックの検討フロー
 - ◇ 倒壊判定ロジックとは、地形 LOD1 データを反映した土石流シミュレーション結果を外力として、建築物 LOD1 データを対象とした家屋倒壊判定を実行した後、判定結果をメッシュごとにフラグ立てするためのアルゴリズムである。家屋倒壊/非倒壊判定ロジックの検討に当たって、「家屋倒壊/非倒壊ロジック用 DB（=建物耐力テーブル）作成」「倒壊判定ロジックへの落とし込み」「倒壊判定ロジックの妥当性検証」を下図の作業フローで進める。

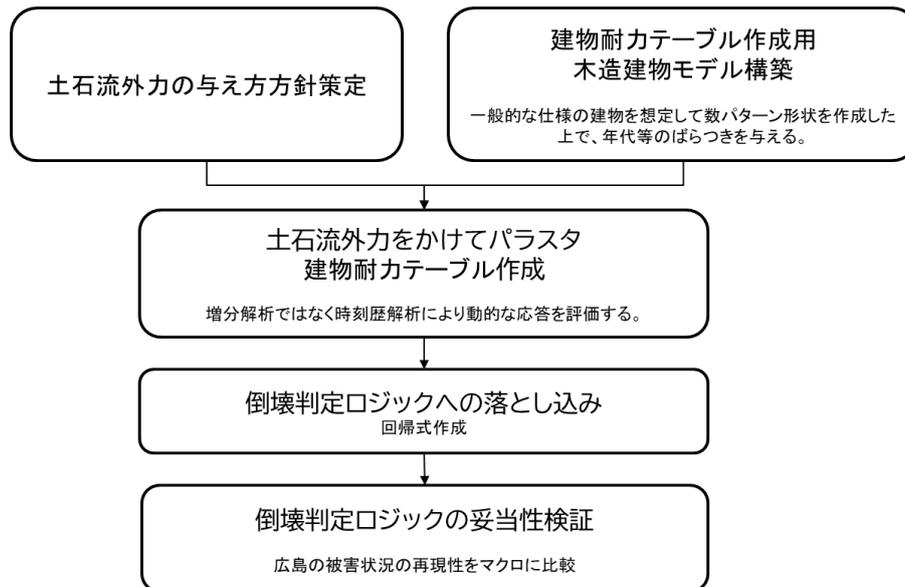


図 3-31 倒壊判定ロジックの構築及び妥当性検証の作業フロー

- 建物耐力テーブル作成、倒壊判定ロジックへの落とし込み
 - ◇ 「建物耐力テーブル作成用木造建物モデル構築」に当たっては、木造建物の築年代や仕様による耐力の違いについて検討されている既往文献³を参考に三次元解析モデルを構築し、そのモデルに土石流を想定した外力を与え、倒壊するかどうかを応答解析により求める。ばらつきを考慮した様々なパターンを想定したパラメトリックスタディを実施し、倒壊／非倒壊に影響が大きい因子を明らかにした上で、倒壊判定ロジックへの落とし込みを行う。応答解析には、個別要素法による木造建物の倒壊解析ソルバー「DMS (Dynamic Motion Simulator)」(構造計画研究所開発)を用いる。
 - ◇ 「DMS (Dynamic Motion Simulator)」内の、個別要素法を用いた木造建物の倒壊解析手法については、既往研究にて示されている手法⁴を参照した。
- 建屋の三次元解析モデルの作成
 - ◇ 作成する三次元解析モデルの設定方針としては、上述の既往研究等を参考にして在来軸組工法2階建て(建物高さ:5.7m)とし、各年代の代表的な壁量(耐力)と接合部を仮定したモデルとする。以下、壁面内方向・壁面外方向それぞれについて建物モデルの設定方針を説明する。
 - ◇ 壁面内方向の設定
 - 実建物を参考に、現行設計基準で求められている耐力(耐震等級1相当)となるように耐力壁を配置する。

³ 例えば、「損害保険料率算出機構(2019):住宅の耐震性能に影響を及ぼす要因の調査」

⁴ 中川貴文:大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発、建築研究資料、第128号、2010年11月、<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/128/>

- パラメトリックスタディでは壁の面内耐力を増減させるとともに、接合部仕様を年代によって変更することで、建築年代の違いを表現する。
 - 開口部が存在する壁面については、面内の耐力・剛性を無視する。
- ◇ 壁面外方向
- 土石流外力を建物の見付面積と開口低減率を考慮して作用させる。面外にかかる力は壁面周囲の節点に分配して集中荷重として与える。
 - 耐力壁に対しては、既往文献⁵に記載されている壁の面外耐力を設定し、非耐力壁に対しては同様の既往文献に記載されている筋交いなし壁の面外耐力を設定する。
- ◇ また、柱の梁要素を階の途中で分割し、土石流外力の高さ変化を考慮出来るようにする。ただし、階の途中では柱の破壊が起こらないようにする。
- ◇ 開口部の形状は作成せず、開口低減率でばらつきを考慮する。開口低減率は建屋全体で一つの値（壁ごとに変えない）とする。

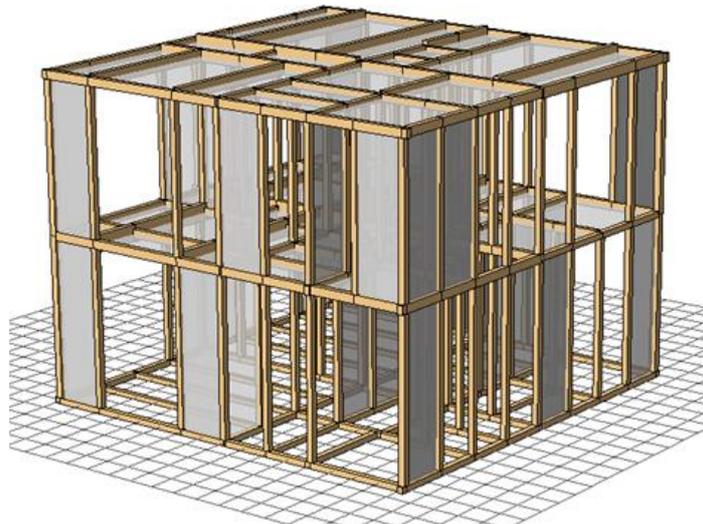


図 3-32 作成した建屋の三次元解析モデル

- ◇ なお、建屋の三次元解析モデルの耐力設定に当たっては、既往文献⁶を参考に、層間変形角 $1/3$ ($=0.333$) を倒壊・非倒壊の閾値とした。

⁵ 川村政史ら：木造建築物壁の面外加力による限界耐力に関する実験的研究（その1,2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、2002年8月

⁶ 長岡ほか：木造軸組構法住宅の倒壊限界変形に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，2012

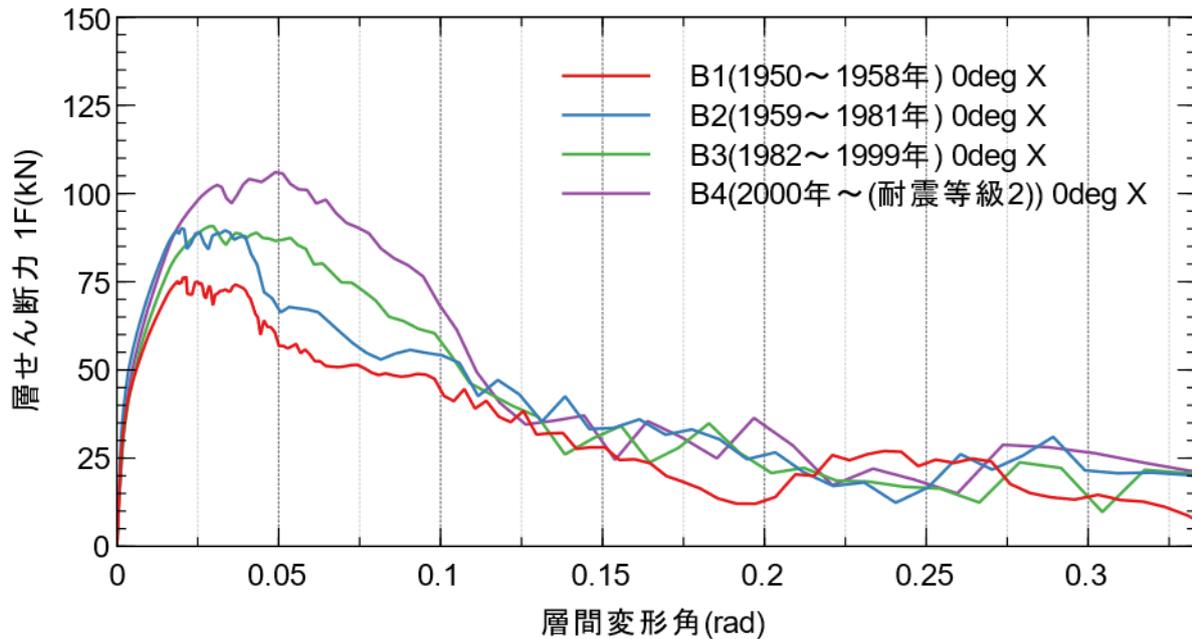


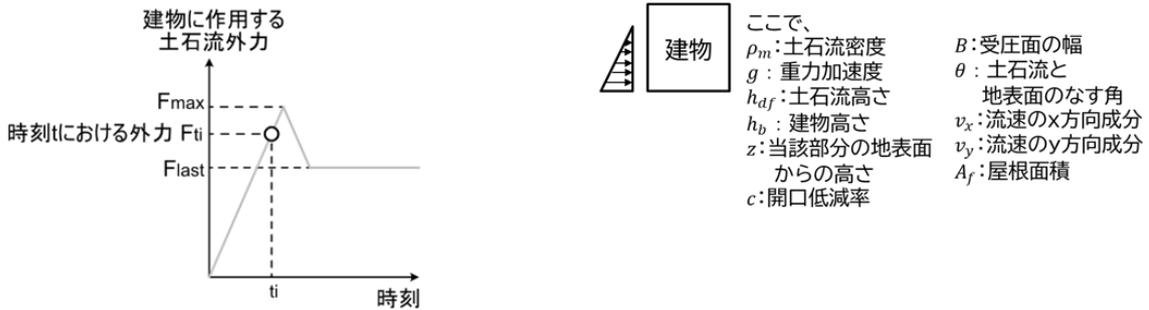
図 3-33 層間変形角と層せん断力（1F）の関係を、建築年代別に表したグラフ

➤ 土石流外力の与え方方針策定

◇ 建屋の三次元解析モデルへの外力のかけ方は、以下の方針で設定する。

- 外力となる土石流シミュレーション結果（建物考慮なし）としては、時々刻々（0.01 秒刻み）の瞬間の水深・流速ベクトルデータとする。深さ方向は一様分布を想定する。
- 各壁と流れの向きを考慮し、土石流による水平力を面外方向のみに成分分解して作用させる。
- 壁面が受ける力は壁面外周節点に等分配する。節点が密集している場合は、基本的に負け端側に作用させる。
- 壁面外方向の耐力を設定しておき、それを超えたら壁が抜ける（外力低減率=0.1）とみなす。
- 建屋全体が同じタイミングで、一種類の外力を受けると仮定する。
- 外壁かつ土石流が衝突する前面の壁だけで力を受ける仮定とする。
- 前面の壁が抜けたとしても、内部の壁や背面の壁は土石流外力を負担しない。

◇ また、土石流外力 F_{ti} (図 3-26 参照) の計算方法は以下である。



F_{ti} = 静的成分 + 動的成分

静的成分: $\rho_m \cdot g \cdot \int_0^{h_{df}} (h_{df} - z) \cdot dz \cdot (c \cdot B \cdot \cos \theta) = \frac{1}{2} \cdot \rho_m \cdot g \cdot h_{df}^2 \cdot (c \cdot B \cdot \cos \theta)$

動的成分: $\rho_m \cdot (v_x^2 + v_y^2) \cdot h_{df} \cdot (c \cdot B)$

図 3-34 パラメトリックスタディに用いる土石流外力の時刻歴波形

◇ なお、建物高さを超えた時点で、土石流をせき止める壁として家屋は機能しないため、「せき止められない (倒壊した)」判定とする。

➤ パラメトリックスタディによる建物耐力テーブルの構築

◇ 上述の方針で作成した三次元解析モデル、及び土石流外力の考慮方法に従い、パラメトリックスタディを実施し、倒壊・非倒壊を整理する。この結果を統計分析することで建物耐力テーブルを作成する。

◇ 実施する解析パターンは以下のとおりである。

階数 (1パターン) ・2階	×	建築年代 (4パターン) ・1950~1958 ・1959~1981 ・1982~1999 ・2000~(耐震等級2)	×	面外荷重に対する開口低減率 (2パターン) ・0.7 ・0.9	=	計8パターン
2階建ての建物の方が多いため (平成30年住宅・土地統計調査 付表4-1より)		→過去の航空写真から建物の建築年代を推定		土石流外力にこの係数をかけて低減させる		

- 立ち上がり時間・ピーク倍率・流速・推進を変動させ、模式化した土石流の水深と流速の時刻歴波形を生成
- 解析事例の分析結果を用いて流速、土石流高さを数ケース設定する。
- 作用角度は、0度・45度・90度

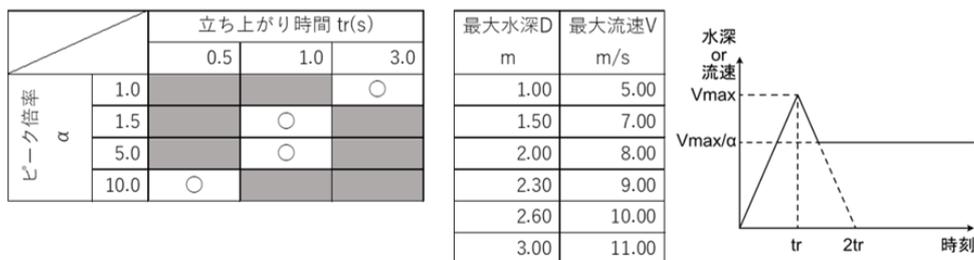


図 3-35 パラスタで実施する解析パターン

➤ 倒壊判定ロジック（アルゴリズム）への落とし込み・仕様案

- ◇ 建物耐力の変動要素として、CityGML（建築物 LOD1）の主題属性情報より、「構造種別（木造/非木造）」、「建築年代」、「建物高さ」の情報を考慮する。パラメトリックスタディにより得られた結果を、累積正規分布（式 3-1）でフィッティングする。

$$\text{式 3-1: } F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt$$

- ◇ フィッティングの結果として設定された、建物耐力に係るフラジリティカーブの一部を以下に示す。

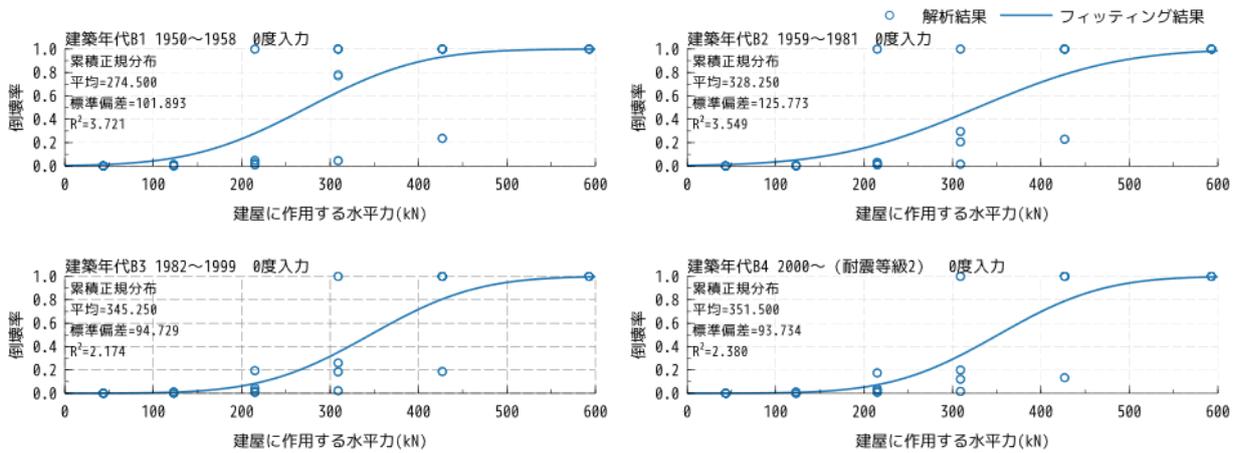


図 3-36 パラスタの結果得られたフラジリティカーブ

- ◇ なお、一つの建物が複数の計算メッシュにまたがっていたとしても、メッシュごとに倒壊/非倒壊を判定する。この理由は、一箇所倒壊判定になった時点で全て倒壊にしまうと、本来あるはずの建物中央や背面側によるせき止めの効果が一瞬で失われてしまい、実態と大きく異なる可能性が高いからである。



図 3-37 複数メッシュにまたがる建物ポリゴンの例

- Morpho2DH への家屋倒壊/非倒壊判定モジュールの実装
 - ◇ 倒壊判定ロジックは、Fortran サブルーチンとして Morpho2DH から呼び出されるよう、モジュール化する。家屋倒壊/非倒壊判定モジュールの実装にあたっては、以下方針で設計する。
 - Morpho2DH の解析ステップ (0.01 秒等) ごと・全メッシュに対し、建物倒壊判定が呼び出されるため、判定負荷が極力小さくなるようにする。
 - 時々刻々変化する過去のデータがどうしても必要な場合、最小限に抑える必要がある。
 - 建物判定に用いるプリセットのパラメータは、サブルーチンのソースの中に記載しておく。

3-4. データインタフェース

3-4-1. ファイル入力インタフェース

1) 【IF001】 Morpho2DH への入力 3D 都市モデル（地形 LOD1 データ） 地形 LOD1 ファイル（CSV） 入力

- 本インタフェースを利用した機能：【FN004】

表 3-4 地形 LOD1 データから FME Desktop を用いて変換した CSV

X	Y	Z
-21000	-6000	56.5
-21100	-6100	58.0
...

※各カラムの説明

X：点群データの各点の X 座標（平面直角座標系）

Y：点群データの各点の Y 座標（平面直角座標系）

Z：点群データの各点の Z 座標（標高(m)）

2) 【IF002】 Morpho2DH への入力 3D 都市モデル（建築物 LOD1 データ） 建築物 LOD1 ファイル（SHP） 入力

- 本インタフェースを利用した機能：【FN005】 【FN011】

表 3-5 建築物 LOD1 データから FME Desktop を用いて変換した SHP の属性

建物建築年	建物構造	建物高さ
1970	1	4.0
1991	7	7.8
...

※各カラムの説明

建物建築年：年数表示

建物構造：コード表示（木造相当：1、鉄筋コンクリート造：7）

建物高さ：単位は m

3) 【IF003】 Morpho2DH におけるメッシュデータの生成 メッシュファイル (CSV) 入力

- 本インターフェースを利用した機能：【FN007】

表 3-6 計算用地形/建築物モデルの構築のため Morpho2DH に読み込まれるメッシュファイル

IMAX	JMAX	KMAX	—	—	—
330	201	1	—	—	—
I	J	K	X	Y	Z
0	0	0	312475.25	-163632.5	0
1	0	0	312475.24	-163634.5	0
...

※各カラムの説明

IMAX：流下方向の格子の最大数

JMAX：横断方向の格子の最大数

KMAX：高さ方向の格子の最大数

X：各格子の X 座標 (平面直角座標系)

Y：各格子の Y 座標 (平面直角座標系)

Z：各格子の Z 座標 (高さ：m)

4) 【IF004】 Morpho2DH における計算諸元設定 計算パラメータファイル (YAML)

- 本インターフェースを利用した機能：【FN007】

➤ YAML 形式計算パラメータファイル

```

Bed_evolution_time: 0    #[real] 河床変動の開始時間 (s)
Bed_material_type: 0     #[integer] 河床材料の種類
calculation_type: 2      #[integer] 計算の種類
computational_timestep: 0.01    #[real] タイムステップ (s)
concentration_cal: 0     #[integer] 土砂濃度
contenue_file: flow.prn  #[string] 継続計算用ファイル
discharge: discharge.csv #[function] 流量
end_time: 100           #[real] 終了時間 (s)
exchange_layer_thicknessime: 0.3    #[real] 交換層厚さ
    
```

5) 【IF005】土砂災害警戒区域図（SHP）入力

- 本インターフェースを利用した機能：【FN016】【FN021】【FN022】【FN023】

表 3-7 土砂災害警戒区域の SHP の属性

箇所番号	箇所名	町名	大字	Type	調査年度	告示年月日
211K 東片上 001	沖浦	備前市	東片上	急傾斜	H30	R3 年 3 月 30 日
211K 西片上 001	内座 (C)	備前市	西片上	急傾斜	H22	H24 年 2 月 28 日
...

3-4-2. ファイル出力インターフェース

1) 【IF101】Terria Map における CZML ファイル出力(3次元アニメーション表示)

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN016】【FN017】【FN018】【FN019】【FN020】【FN021】
 - ◇ 時系列データとして作成された CZML ファイル

2) 【IF102】QGIS における可視化 SHP ファイル出力(表示)

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN022】【FN023】
 - ◇ SHP ファイル

3-4-3. 内部連携インターフェース

1) 【IF201】 FME Desktop への入力/Terrria Map への入力 (CityGML 形式の 3D 都市モデル)

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN001】 【FN002】 【FN015】 【FN016】
 - ◇ CityGML ファイル (地形 LOD1 モデル、建築物 LOD1 モデル)

2) 【IF202】 家屋倒壊/非倒壊判定モジュールへの入力 (建物耐力テーブル)

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN014】

表 3-8 建物耐力テーブル

分類	建築年代	fragility curve (累積対数正規分布の平均)	fragility curve (累積対数正規分布の標準偏差)
0	1950～1958 年	275	102
1	1959～1981 年	275	102
2	1982～1999 年	340	95
3	2000～(耐震等級 2)	340	95

3) 【IF203】 Morpho2DH からの土石流解析結果出力（水理データ及び地形データの CSV ファイル/SHP ファイル(ポイントデータ)）

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】 【FN009】 【FN022】 【FN023】

表 3-9 土石流解析結果（水理データ・地形データ）の出力データサンプル(CSV および SHP の属性)

I	J	X	Y	Depth	DepthMax	Elevation	WaterSurfaceElevation	ElevationChange	FBuilding	FBuildingMax
612	79	29509.71	-168683	0	0.0099	25.5870	25.5969	-50	1.0182	813.6624
613	79	29510.51	-168685	0	0.0099	25.5153	25.5253	-50	0.5830	817.8988
593	92	29518.22	-168638	0	6.9960	24.8643	24.8741	-4.8686	1.9161	849.6729
555	101	29504.13	-168561	0	2.4434	32.6035	32.6138	-9.7713	7.0805	804.8391
556	101	29504.94	-168563	0	2.4493	32.4974	32.5073	-9.8327	2.6933	800.5241
555	102	29505.96	-168560	0.0363	2.4851	32.5444	32.5807	-9.9792	0	800.2245
556	102	29506.77	-168562	0.1273	2.4608	32.3137	32.4410	-10.162	0	800.4869
574	120	29554.18	-168580	0	3.3303	27.7516	27.7615	-8.5967	0.0070	275.4009
575	121	29556.81	-168581	0.3016	2.8061	27.1264	27.4281	-9.0419	1.6192	732.6209
594	121	29572.09	-168616	0	0.0099	27.0690	27.0789	-50	0	11.4856
575	122	29558.64	-168581	0	4.6945	27.5683	27.5783	-8.738	0	487.3701
576	122	29559.45	-168582	0.4977	2.6614	26.6754	27.1732	-9.1685	0	405.1975
586	122	29567.49	-168601	0	7.4883	27.7246	27.7345	-4.7940	0	807.4540
587	122	29568.29	-168603	0	4.0493	27.2538	27.2630	-5.1508	0	478.9581
588	122	29569.1	-168604	0	4.971	27.3656	27.3755	-4.8078	0	0.1782
584	123	29567.71	-168596	0.4194	3.632	25.2093	25.6288	-0.5877	0	0
586	123	29569.32	-168600	0.3477	3.9996	24.6142	24.9620	-7.9640	14.3722	114.0266
587	123	29570.12	-168602	0.4089	2.6407	24.2215	24.6305	-8.1283	0	0.0011
588	123	29570.93	-168604	0.2992	2.5120	24.0074	24.3067	-8.0880	0	0
589	123	29571.73	-168605	0.4878	2.2305	23.6203	24.1082	-8.336	0	0

※各カラムの説明

I：流下方向の格子番号

J：横断方向の格子番号

X：各格子の X 座標（平面直角座標系）

Y：各格子の Y 座標（平面直角座標系）

Depth：各格子の土石流流動深（土石流の深さ）(m)

Depthmax：各格子の土石流流動深の最大値履歴(m)

Elevation：各格子の地盤高さ(m)

WaterSurfaceElevation：各格子の土石流・泥流表面の高さ（水位）(m)

ElevationChange：各格子の地盤高さの変動量(m)

FBuilding：各格子の単位幅当たりの土石流流体力(kN/m)

FBuildingMax：各格子の位幅当たりの土石流流体力の最大値履歴(kN/m)

4) 【IF204】Morpho2DH からの建物メッシュごと倒壊判定結果出力（建物メッシュごと倒壊判定結果の CSV ファイル/SHP ファイル(ポイントデータ)）

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】 【FN010】 【FN011】 【FN022】 【FN023】

表 3-10 建物メッシュごと倒壊判定結果の出力データサンプル(CSV および SHP の属性)

I	J	X	Y	Building
612	79	29509.71	-168683	0.5
613	79	29510.51	-168685	1
593	92	29518.22	-168638	0.5
555	101	29504.13	-168561	1
556	101	29504.94	-168563	0
555	102	29505.96	-168560	1
556	102	29506.77	-168562	0

※各カラムの説明

I：流下方向の格子番号

J：横断方向の格子番号

X：各格子の X 座標（平面直角座標系）

Y：各格子の Y 座標（平面直角座標系）

Building：各格子の建物倒壊判定結果（0：非建物、0.5：倒壊建物、1.0：非倒壊建物）

5) 【IF205】可視化コンバータ変換（土石流解析結果 CSV ファイルの CZML ファイルへの変換）

● 本インタフェースを利用した機能

➤ 【FN003】

◇ CZML のコード(サンプル)

```
var animation =
[
  {
    "id": "document",
    "name": "name",
    "version": "1.0"
  },
  {
    "id": "1",
    "name": "animation",
    "description": "test",
    "availability": "2018-03-13T12:00:00Z/2018-03-13T12:01:00Z",
    "billboard": {
      "image": "imageURL.png",
      "scale": 0.3
    },
    "position": {
      "epoch": "2018-03-13T12:00:00Z",
      "cartographicDegrees": [0,139,35,0,
        5,141.064,38.366,0,
        6,140.94532,38.337405,0,
        7,141.061363,38.238789,0,
        8,141.215858,38.341713,0,
        9,141.099129,38.439652,0,
        10,140.94532,38.337405,0,
        15,135.190,35.567,0,
        16,135.14831542968753,35.58920198716242,0,
        17,135.14488220214847,35.54619518601583,0,
        18,135.20942687988284,35.544519165584674,0,
        19,135.21080017089847,35.586968406786504,0,
        20,135.14831542968753,35.58920198716242,0,
        25,132.318,34.297,0,
        26,132.24929809570315,34.31650345811414,0,
        27,132.24826812744143,34.225704902867896,0,
```

```

28,132.38250732421878,34.22769216967081,0, 29,132.38216400146487,34.31650194389378,0,
30,132.24929809570315,34.31650345811414,0
]
}
}
];
    
```

6) 【IF206】 メッシュごと倒壊判定結果と 3D 都市モデルの建物 ID がひも付けられた CSV ファイル

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】 【FN011】

表 3-11 メッシュごと倒壊判定結果と 3D 都市モデルの建物 ID がひも付けられた CSV データ(CSV)

gml_id	measuredHe	xcoord	ycoord	1	2
bldg_4e186fe1-a37f-49fe-b54d-7a81ce03c1ce	4.7	-17426.7	-139778	0.5	0.5
bldg_3b3c02d4-64d4-4824-86d5-6e141991dec4	4.4	-17431.3	-139810	1	1
bldg_96c9ea08-6827-4f58-8de8-2d0e7eda5f40	4.8	-17441.2	-139842	0.5	0.5

※各カラムの説明

gml_id : 3D 都市モデル(建築物 LOD1)の建物 ID

measuredHe : 建物高さ(m)

xcoord : 各格子の X 座標 (平面直角座標系)

ycoord : 各格子の Y 座標 (平面直角座標系)

1,2,... : 各タイムステップの倒壊判定結果

3-4-4. 外部連携インターフェース

外部サービス及び外部 API は利用していない

3-5. 実証に用いたデータ

3-5-1. 活用したデータ一覧

1) 利用した 3D 都市モデル

- 年度：2023 年度
- 都市名：岡山県備前市
- ファイル名：33211_bizen-shi_2023_citygml_1_op.zip
- メッシュ番号：523400、523401、523402、523411、523412（インデックスマップで赤色囲いの箇所）

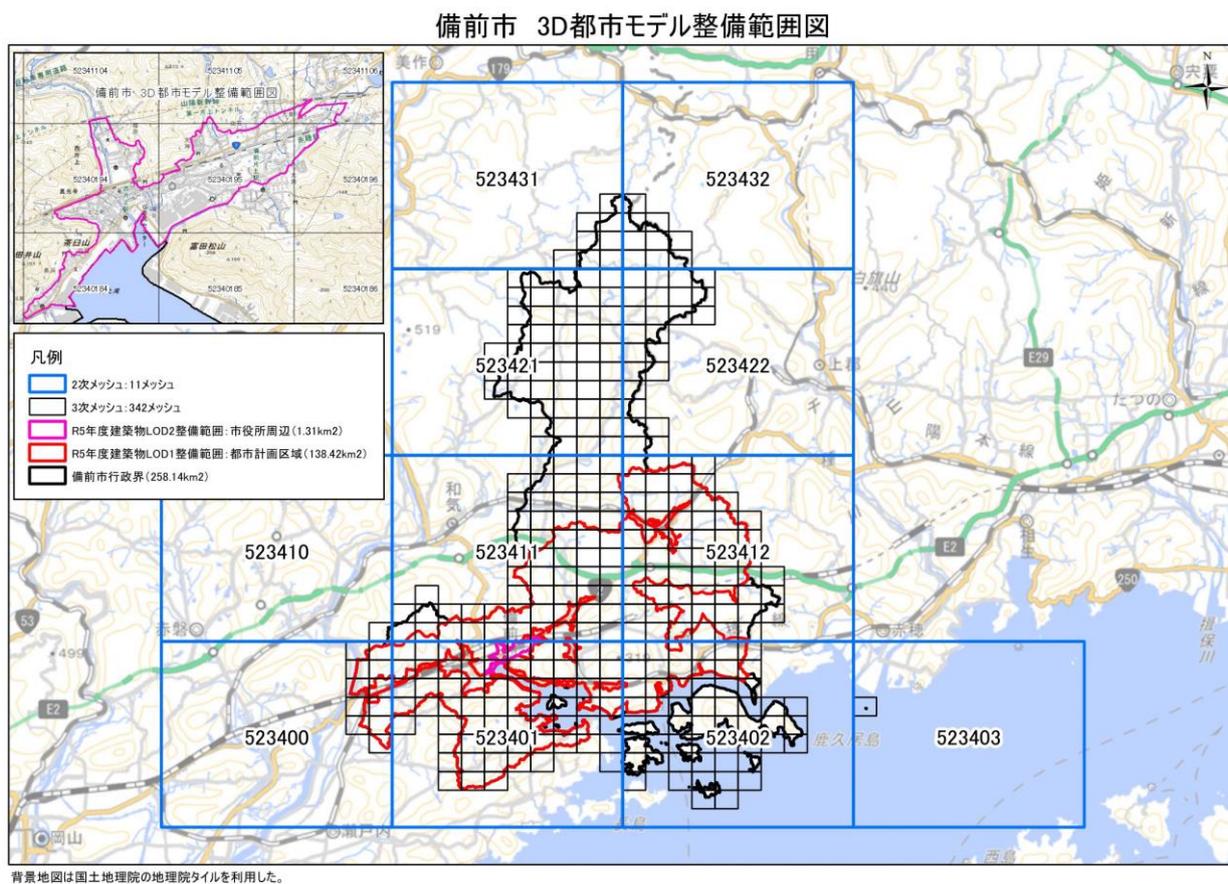


図 3-38 インデックスマップ（備前市）

表 3-12 利用した 3D 都市モデル

地物	地物型	属性区分	ID	属性名	内容	データを利用した機能 (ID)
建築物 LOD1	bldg:Building	空間属性	DT001	bldg:lod1Solid	建築物 LOD1 の立体形状	FN002 FN016
		主題属性	DT002	bldg:yearOfConstruction	建築年代 ※以下区分に基づくコードを uro_key_value_pair_attribute{0}に格納 ※ uro_key_value_pair_attribute{0} } 901：昭和 46 年以前 902：昭和 47 年～56 年 903：昭和 57 年～平成元年 904：平成 2 年～平成 11 年 905：平成 12 年～平成 21 年 906：平成 22 年～平成 31 年（令和元年） 907：令和 2 年～ 911：不明	FN002 FN016
			DT003	uro:buildingStructureType	構造種別	FN002 FN016
			DT004	bldg:storeysAboveGround	地上階数 ※以下区分に基づくコードを uro_key_value_pair_attribute{0}に格納 ※ uro_key_value_pair_attribute{0} } 501：地下階なし_地上 1 階 502：地下階なし_地上 2 階 503：地下階なし_地上 3 階 504：地下階なし_地上 4-5 階 505：地下階なし_地上 6-7 階 506：地下階なし_地上 8-10 階 507：地下階なし_地上 11-15 階 508：地下階なし_地上 16 階以上 511：地下階あり_地上 1 階 512：地下階あり_地上 2 階 513：地下階あり_地上 3 階 514：地下階あり_地上 4-5 階	FN002 FN016

uc23-02_技術検証レポート_精緻な土砂災害シミュレーション

					515：地下階あり_地上 6-7 階 516：地下階あり_地上 8-10 階 517：地下階あり_地上 11-15 階 517：地下階あり_地上 16 階以上 521：不明	
地形 LOD1	dem:TINR elief	空間 属性	DT005	dem:tin	地形形状	FN001 FN016

2) 利用したその他のデータ

1. データ一覧

表 3-13 利用したその他データ（一覧）

ID	エリア (都市)	活用データ	内容	データ 形式	出典	データを利用した 機能 (ID)
DT101	備前市	砂防基礎調査結果 (侵食深) データ	岡山県が実施した土砂災害 防止法に基づく基礎調査(土 石流)の現地調査結果(浸食 深)	YAML	岡山県(備 前市を通じ て入手)	FN007
DT102	備前市	砂防基礎調査結果 (生産土砂量) デ ータ	岡山県が実施した土砂災害 防止法に基づく基礎調査(土 石流)の現地調査結果(生産 土砂量)	YAML	岡山県(備 前市を通じ て入手)	FN007
DT103	備前市	砂防基礎調査結果 (既設施設) デー タ	岡山県が実施した土砂災害 防止法に基づく基礎調査(土 石流)の現地調査結果(既設 砂防・治山堰堤など)	Excel PDF	岡山県(備 前市を通じ て入手)	FN004
DT104	備前市	平均粒径	溪床の平均粒径	YAML	現地調査に より設定	FN007
DT105	備前市	土砂災害警戒区域 (土石流) データ	岡山県が「土砂災害警戒区域 等における土砂災害防止対 策の推進に関する法律(通 称:土砂災害防止法)」に基づ き、土砂災害警戒区域等を指 定した備前市内の区域	SHP	岡山県(備 前市を通じ て入手)	FN016 FN022 FN023 FN024
DT106	広島市安 佐南区	過去土砂災害にお ける被災家屋の属 性情報	家屋倒壊/非倒壊モジュール の妥当性検証に用いる、広島 県広島市安佐南区における 被害家屋の属性情報(築年 代、構造種別等)	PDF (論文)	監修者を通 じて入手	FN014
DT107	広島市安 佐南区	過去土砂災害の被 災状況写真データ	広島県広島市安佐南区の過 去土砂災害時を対象とした、 家屋の被災状況が把握可能 な航空写真 Google Map も活用	JPEG PNG	UC 開発事 業者で作業	FN014

2. データサンプル (イメージ)

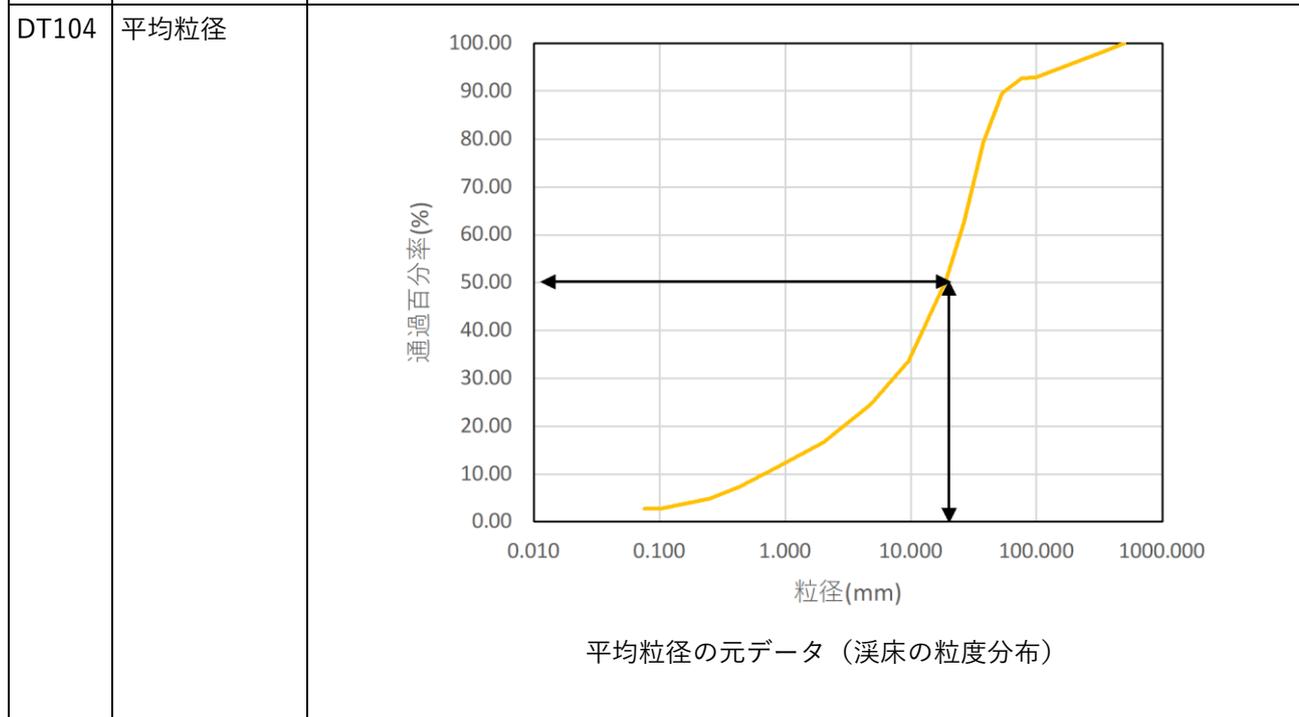
表 3-14 利用したその他データ (サンプル)

ID	活用データ	サンプル・イメージ
DT101	砂防基礎調査結果 (浸食深) データ	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">砂防基礎調査結果 (浸食深) 元データ</p> <pre> Bed_evolution_time: 0 #[real] 河床変動の開始時間 (s) Bed_material_type: 0 #[integer] 河床材料の種類 calculation_type: 2 #[integer] 計算の種類 computational_timestep: 0.01 #[real] タイムステップ (s) concentration_cal: 0 #[integer] 土砂濃度 contenue_file: flow.prn #[string] 継続計算用ファイル discharge: discharge.csv #[function] 流量 end_time: 100 #[real] 終了時間 (s) exchange_layer_thicknessime: 0.3 #[real] 交換層厚さ </pre> <p style="text-align: center;">元データを利用して作成した YAML ファイル</p>

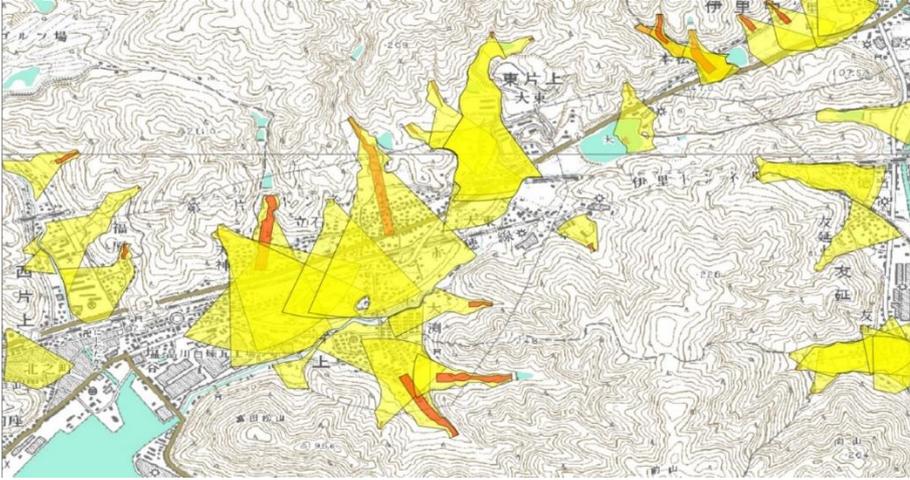
DT103		砂防基礎調査結果（既施設）データ																																																																																																																																																																													
土石流区域調査																																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">種式2-1 地形・地質状況等</td> <td style="text-align: right;">調査年度</td> <td style="text-align: right;">平成30年度</td> </tr> <tr> <td>渓流の位置</td> <td>渓流番号</td> <td>1-19012</td> <td>深流名</td> <td>飯沼谷(1)</td> <td>所在地</td> <td>備前市吉永町菅目</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">谷次敷区分図・対策施設位置図・基準地点位置図</td> </tr> <tr> <td colspan="2">流域面積(km²)</td> <td colspan="5">0.077</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">合計 深流 長</td> <td>0次谷(m)</td> <td colspan="5">323</td> </tr> <tr> <td>1次谷(m)</td> <td colspan="5">375</td> </tr> <tr> <td>2次谷(m)</td> <td colspan="5">22</td> </tr> <tr> <td>3次谷(m)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>4次谷(m)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">流域 内の 対策 施設</td> <td>砂防えん堤(基)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>治山ダム(基)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>山腹工(箇所)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>床固工(基)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>護流工(箇所)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td rowspan="10">土質 定数</td> <td>深流保全工(箇所)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>その他施設(基)</td> <td colspan="5">-</td> </tr> <tr> <td>礫の密度 σ (t/m³)</td> <td colspan="5">2.6</td> </tr> <tr> <td>設定根拠</td> <td colspan="5"> 基礎調査マニュアル参照</td> </tr> <tr> <td>水の密度 ρ (t/m³)</td> <td colspan="5">1.2</td> </tr> <tr> <td>設定根拠</td> <td colspan="5"> 基礎調査マニュアル参照</td> </tr> <tr> <td>電積土砂の内摩擦係数 ϕ (度)</td> <td colspan="5">35</td> </tr> <tr> <td>設定根拠</td> <td colspan="5"> 基礎調査マニュアル参照</td> </tr> <tr> <td>粗度係数 α</td> <td colspan="5">0.1</td> </tr> <tr> <td>設定根拠</td> <td colspan="5"> 基礎調査マニュアル参照</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">備考</td> <td>電積土砂の容積土砂濃度 C_s</td> <td colspan="5">0.6</td> </tr> <tr> <td>設定根拠</td> <td colspan="5"> 基礎調査マニュアル参照</td> </tr> <tr> <td>谷幅延長</td> <td colspan="5">720 m</td> </tr> <tr> <td colspan="6">上記土質定数は、「土砂災害防止に基づく基礎調査のガイドライン」(第1版) (平成16年3月、国土院土木部砂防課) p41の表3-2より「警戒区域等の設定に必要な標準数の標準値」を使用。</td> </tr> </table>			種式2-1 地形・地質状況等		調査年度	平成30年度	渓流の位置	渓流番号	1-19012	深流名	飯沼谷(1)	所在地	備前市吉永町菅目	谷次敷区分図・対策施設位置図・基準地点位置図							流域面積(km ²)		0.077					合計 深流 長	0次谷(m)	323					1次谷(m)	375					2次谷(m)	22					3次谷(m)	-					4次谷(m)	-					流域 内の 対策 施設	砂防えん堤(基)	-					治山ダム(基)	-					山腹工(箇所)	-					床固工(基)	-					護流工(箇所)	-					土質 定数	深流保全工(箇所)	-					その他施設(基)	-					礫の密度 σ (t/m ³)	2.6					設定根拠	基礎調査マニュアル参照					水の密度 ρ (t/m ³)	1.2					設定根拠	基礎調査マニュアル参照					電積土砂の内摩擦係数 ϕ (度)	35					設定根拠	基礎調査マニュアル参照					粗度係数 α	0.1					設定根拠	基礎調査マニュアル参照					備考	電積土砂の容積土砂濃度 C_s	0.6					設定根拠	基礎調査マニュアル参照					谷幅延長	720 m					上記土質定数は、「土砂災害防止に基づく基礎調査のガイドライン」(第1版) (平成16年3月、国土院土木部砂防課) p41の表3-2より「警戒区域等の設定に必要な標準数の標準値」を使用。					
種式2-1 地形・地質状況等		調査年度	平成30年度																																																																																																																																																																												
渓流の位置	渓流番号	1-19012	深流名	飯沼谷(1)	所在地	備前市吉永町菅目																																																																																																																																																																									
谷次敷区分図・対策施設位置図・基準地点位置図																																																																																																																																																																															
流域面積(km ²)		0.077																																																																																																																																																																													
合計 深流 長	0次谷(m)	323																																																																																																																																																																													
	1次谷(m)	375																																																																																																																																																																													
	2次谷(m)	22																																																																																																																																																																													
	3次谷(m)	-																																																																																																																																																																													
	4次谷(m)	-																																																																																																																																																																													
流域 内の 対策 施設	砂防えん堤(基)	-																																																																																																																																																																													
	治山ダム(基)	-																																																																																																																																																																													
	山腹工(箇所)	-																																																																																																																																																																													
	床固工(基)	-																																																																																																																																																																													
	護流工(箇所)	-																																																																																																																																																																													
土質 定数	深流保全工(箇所)	-																																																																																																																																																																													
	その他施設(基)	-																																																																																																																																																																													
	礫の密度 σ (t/m ³)	2.6																																																																																																																																																																													
	設定根拠	基礎調査マニュアル参照																																																																																																																																																																													
	水の密度 ρ (t/m ³)	1.2																																																																																																																																																																													
	設定根拠	基礎調査マニュアル参照																																																																																																																																																																													
	電積土砂の内摩擦係数 ϕ (度)	35																																																																																																																																																																													
	設定根拠	基礎調査マニュアル参照																																																																																																																																																																													
	粗度係数 α	0.1																																																																																																																																																																													
	設定根拠	基礎調査マニュアル参照																																																																																																																																																																													
備考	電積土砂の容積土砂濃度 C_s	0.6																																																																																																																																																																													
	設定根拠	基礎調査マニュアル参照																																																																																																																																																																													
	谷幅延長	720 m																																																																																																																																																																													
	上記土質定数は、「土砂災害防止に基づく基礎調査のガイドライン」(第1版) (平成16年3月、国土院土木部砂防課) p41の表3-2より「警戒区域等の設定に必要な標準数の標準値」を使用。																																																																																																																																																																														

| | | |

砂防基礎調査結果（既設砂防・治山堰堤等）データ



- Bed_evolution_time: 0 #[real] 河床変動の開始時間 (s)
- Bed_material_type: 0 #[integer] 河床材料の種類
- calculation_type: 2 #[integer] 計算の種類
- computational_timestep: 0.01 #[real] タイムステップ (s)
- concentration_cal: 0 #[integer] 土砂濃度
- contenue_file: flow.prn #[string] 継続計算用ファイル
- discharge: discharge.csv #[function] 流量
- end_time: 100 #[real] 終了時間 (s)

		<p>exchange_layer_thicknessime: 0.3 #[real] 交換層厚さ</p> <p>元データを利用して作成した YAML ファイル</p>
DT105	土砂災害警戒区域 (土石流) データ	 <p>土砂災害警戒区域 (土石流) データ</p>

DT106 過去土砂災害における被災家屋の属性情報

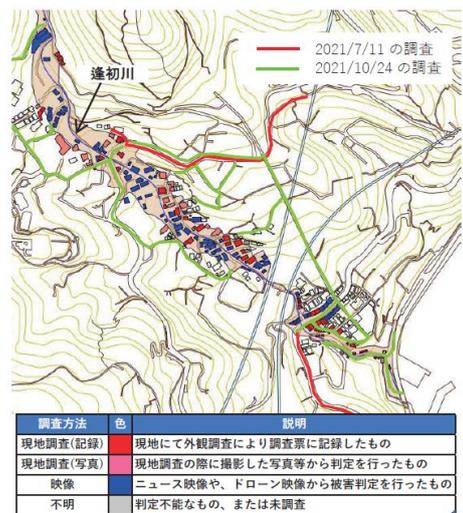


図2 現地調査ルートと調査方法 (図1の調査範囲が対象)

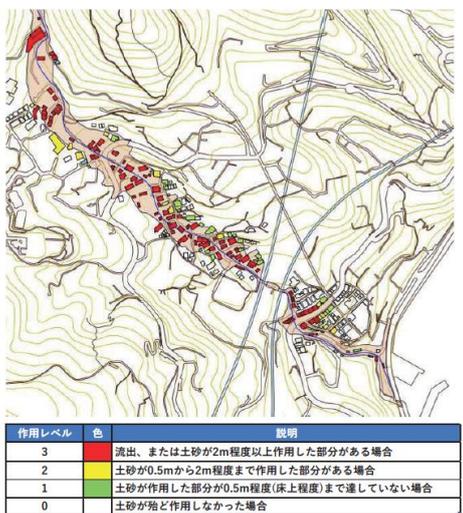


図4 土石流の作用レベル (紫線は逢初川)

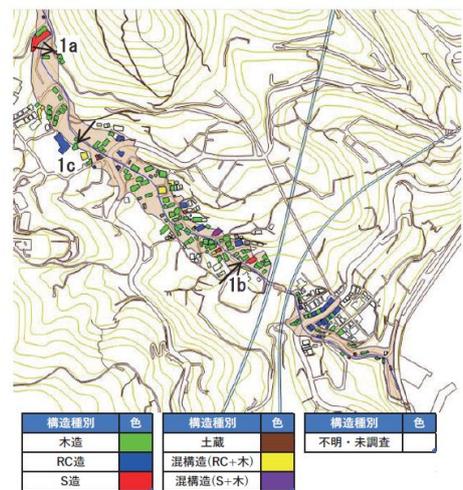


図3 構造種別 (図中の番号/英文字は写真1の建物に対応)

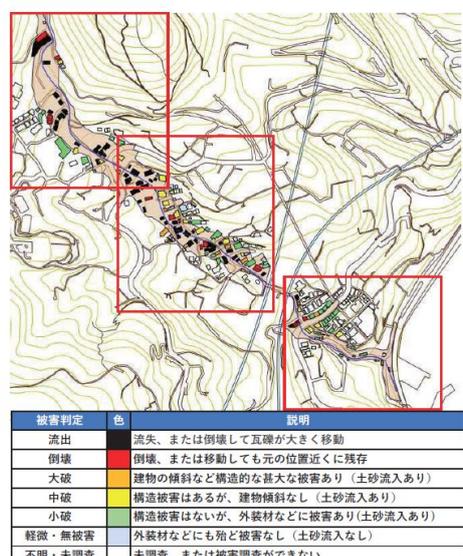
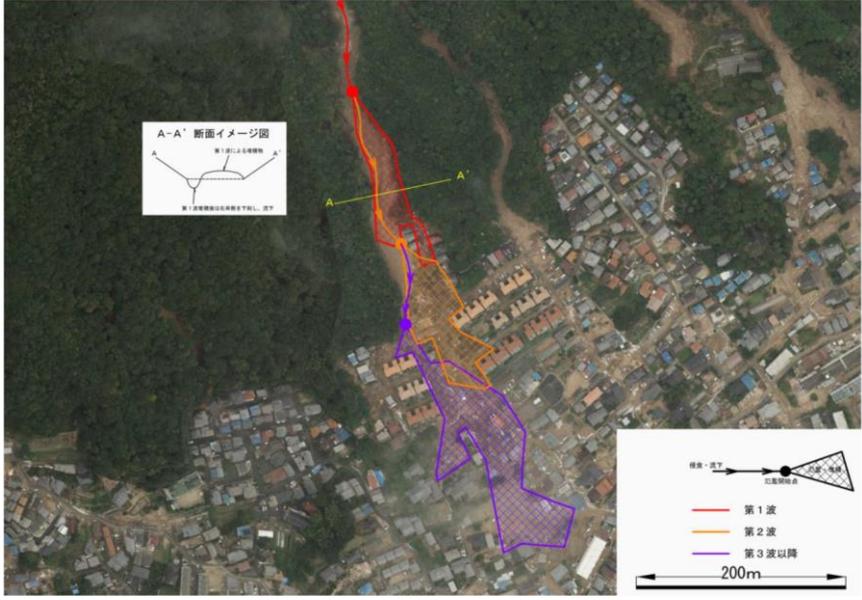


図5 被害判定結果 (図中の口は図6~8に対応)

2021年熱海市伊豆山地区の土石流による被害家屋の属性情報⁷

⁷ 久田嘉章・藤内健太郎, 2023, 2021年熱海市伊豆山地区の土石流による建築物の被害調査, 日本建築学会技術報告集, 第29巻第71号, 549-554

<p>DT107</p>	<p>過去土砂災害の被災状況写真データ</p>	 <p>平成 26 年 8 月広島豪雨災害時の航空写真⁸</p>
--------------	-------------------------	---

3-5-2. 生成・変換したデータ

基礎調査資料から入力する資料はあるものの、システムへの入力に当たって、変換等必要なデータは存在しない。

⁸ 水工学委員会災害調査団, 2015, 平成 26 年 8 月広島豪雨災害調査報告書

3-6. ユーザーインターフェース

3-6-1. 画面一覧

1) FME 画面

表 3-15 FME 画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC001	-	データ形式の変換	<ul style="list-style-type: none">● CityGML をポリゴンデータ (CSV) に変換する● CityGML をポリゴンデータ (SHP) に変換する	FN001 FN002

2) Morpho2DH 画面

表 3-16 Morpho2DH 画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC101	SC102,103	メッシュの生成 —中心線の決定	● 土石流の流下方向に中心線を作成する	FN006
SC102	SC101,103	メッシュの生成 —格子数・格子の 大きさの決定	● 計算精度や計算時間等を考慮して格子の大きさを決定する	FN006
SC103	SC101,102	メッシュの生成 —格子生成	● 格子生成の完了画面である	FN006
SC104	SC105,106, 107,108	入力 —浸食深さの設 定	● 地盤の最大浸食深さ、建物情報を設定する	FN007
SC105	SC104,106, 107,108	入力 —斜面崩壊の設 定	● 斜面崩壊を発生させる場所と大きさ、深さを設定する	FN007
SC106	SC104,105, 107,108	入力 —計算の種類と データの決定	● 計算の種類（ここでは土石流）、タイムステップ、出力間隔等を設定する	FN007
SC107	SC104,105, 106,108	入力 —土石流条件の 設定	● 土砂濃度、内部摩擦角、層流層の厚さ等、土石流条件を設定する	FN007
SC108	SC104,105, 106,107	入力 —河床材料の設 定	● 平均粒径や粒度分布等、河床材料の条件を設定する	FN007
SC109	-	実行 —実行画面	● 計算実行中の画面である	FN008
SC110	SC111	出力 —計算結果 (2D 表示)	● 浸食深等の計算結果を 2D 表示する	FN012
SC111	SC110	出力 —計算結果 (グラ フ)	● 縦断図等の計算結果をグラフ表示する	FN013

3) 可視化コンバータ画面

表 3-17 可視化コンバータ画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC201	-	設定/実行画面	<ul style="list-style-type: none"> ● CSV 形式のシミュレーション結果を入力し、czml 形式に変換するための設定/実行画面を表示する 	FN003

4) Terria map 画面

表 3-18 Terria map 画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC301	SC302,303	ワークベンチ ー各種データ追加・凡例表示・ズーム	<ul style="list-style-type: none"> ● 各種データの追加等を行うためデータカタログを開く ● 凡例を表示する ● 追加したデータの表示エリアにズームする 	FN016
SC302	SC301,303	データカタログ ービューワに表示させるデータの選択	<ul style="list-style-type: none"> ● erria Map で表示させる 3D 都市モデル・土砂災害警戒区域図(イエローゾーン)・シミュレーション結果を選択・追加する 	FN016 FN021
SC303	SC301,302	シミュレーション結果のアニメーション再生	<ul style="list-style-type: none"> ● 追加された各種データの表示・アニメーション再生を行う 	FN016 FN017 FN018 FN019 FN020

5) QGIS 画面

表 3-19 QGIS 画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC401	-	土石流リスクマップ図の表示画面	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の土砂災害警戒区域(土石流)に対し、土石流シミュレーション結果(最大流動深分布)、メッシュごと倒壊判定結果を重ねて表示する 	FN022 FN023 FN024

3-6-2. 画面遷移図

1) FME 画面



図 3-39 FME 画面遷移図

2) Morpho2DH 画面

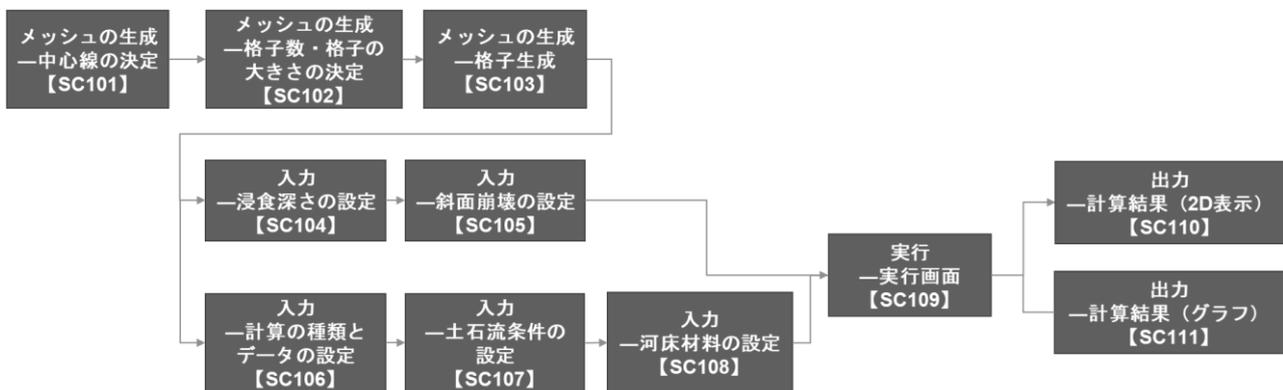


図 3-40 Morpho2DH 画面遷移図

3) 可視化コンバータ画面



図 3-41 可視化コンバータ画面遷移図

4) Terria map 画面

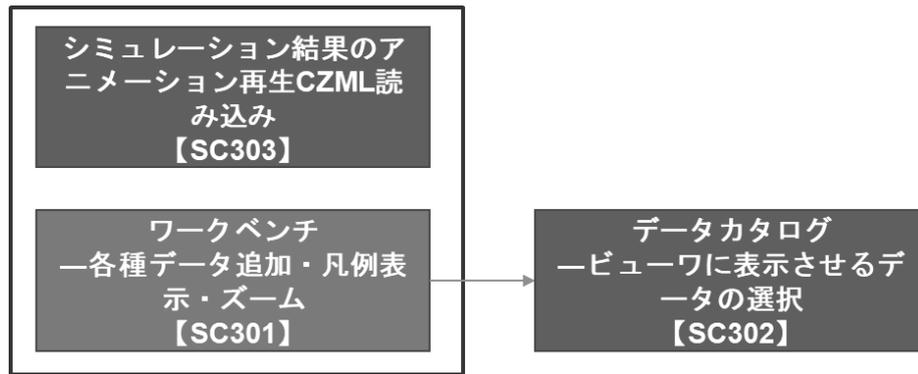


図 3-42 Terria map 画面遷移図

5) QGIS 画面



図 3-43 QGIS 画面遷移図

3-6-3. 各画面仕様詳細

1) FME 画面

1. 【SC001】 データ形式の変換

● 画面の目的・概要

- CityGML をポリゴンデータ (SHP) に変換するための画面。
- 3D 都市モデルビューとダッシュボードを連携させ、同一画面上で相互の情報を確認可能。
- 画面上部のテーマ選択プルダウンから、表示するテーマを選択可能。

● 画面イメージ

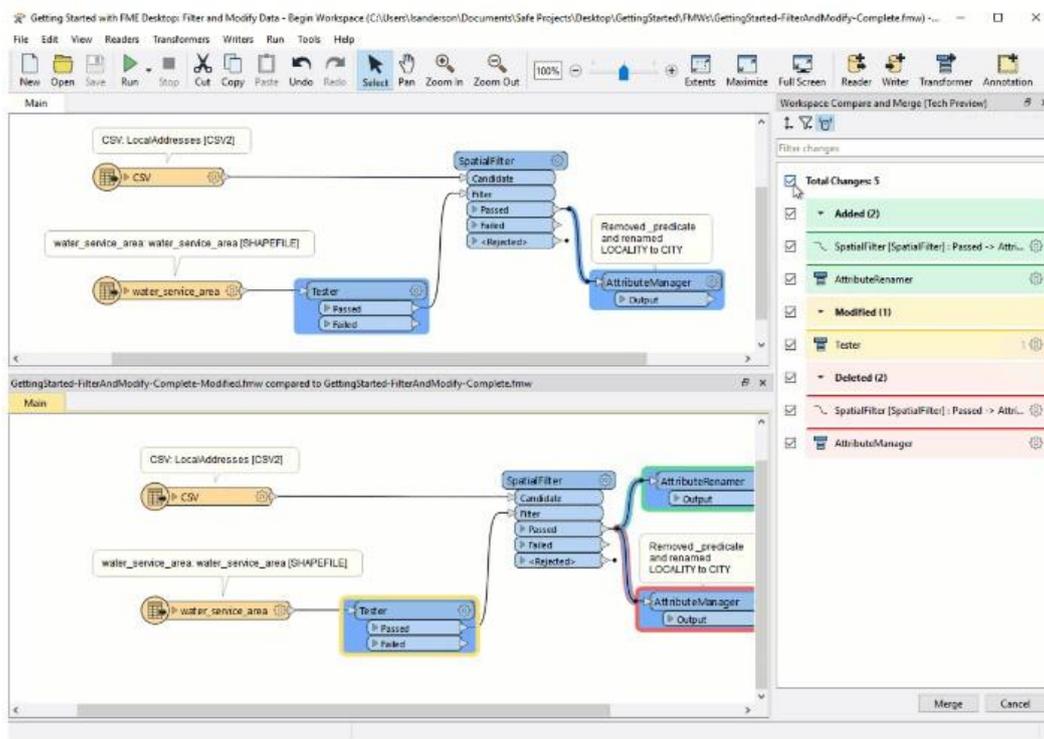


図 3-44 データ形式の変換の画面イメージ

2) Morpho2DH 画面

1. 【SC101】メッシュの生成—中心線の決定

● 画面の目的・概要

- ▶ 土石流の流下方向に中心線を作成する
- ▶ テーマごとに表示レイヤが設定されており、設定されていないレイヤを表示することは不可
※テーマに設定されたレイヤの表示/非表示切替は可能
- ▶ 画面上の選択地物の関連情報がグラフ画面及びリスト画面で連携してハイライト表示する
- ▶ 画面上のアイコンから凡例情報の閲覧、町丁目検索、経路検索、地域情報登録、ダッシュボード部分の非表示が可能（ダッシュボード部分の非表示以外は、各画面がポップアップ表示する）

● 画面イメージ

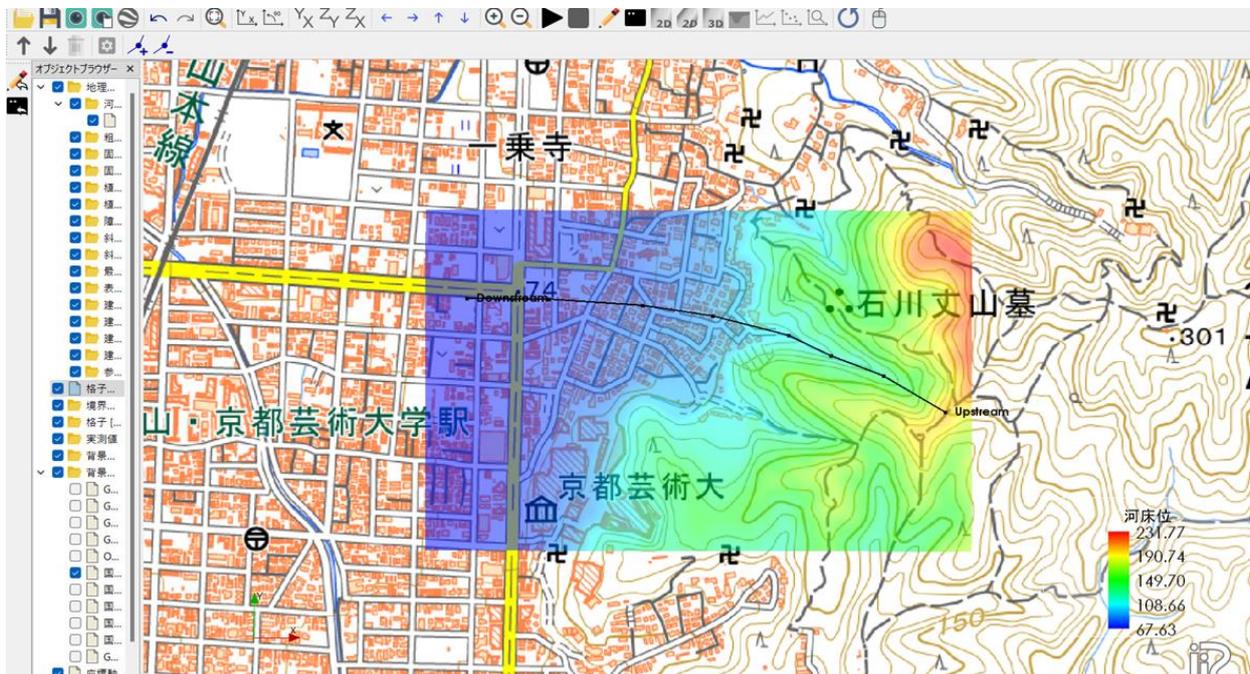


図 3-45 メッシュの生成—中心線の決定画面イメージ

2. 【SC102】メッシュの生成—格子数・格子の大きさの決定

- 画面の目的・概要
 - 計算精度や計算時間等を考慮して格子の大きさを決定する
- 画面イメージ

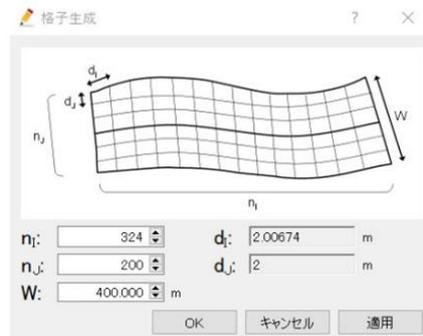


図 3-46 メッシュの生成—格子数・格子の大きさの決定の画面イメージ

3. 【SC103】メッシュの生成—格子生成

- 画面の目的・概要
 - 格子生成の完了画面
 - 画面上の選択地物の関連情報がグラフ画面及びリスト画面で連携してハイライト表示する。
- 画面イメージ

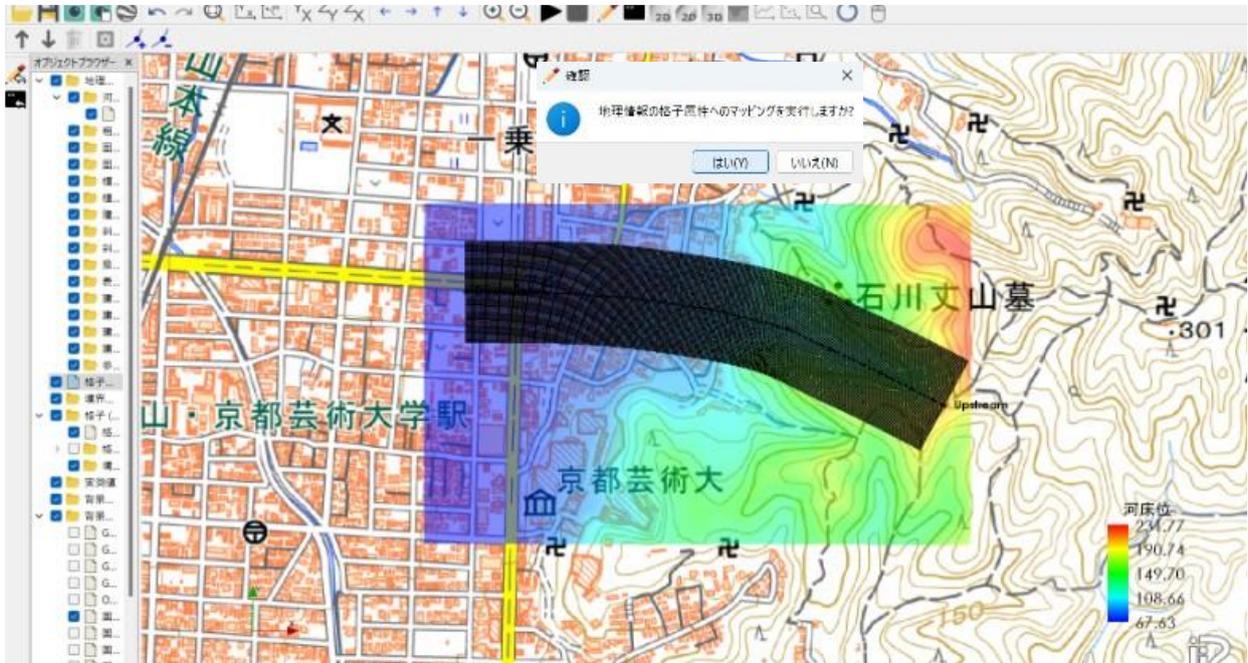


図 3-47 メッシュの生成—格子生成の画面イメージ

4. 【SC104】 入力ー浸食深さの設定

- 画面の目的・概要

- 地盤の最大浸食深さ、建物情報を設定するための画面。
- 非表示アイコン  でグラフ画面及びリスト画面を非表示とし、地図画面を大きく表示することが可能。

- 画面イメージ

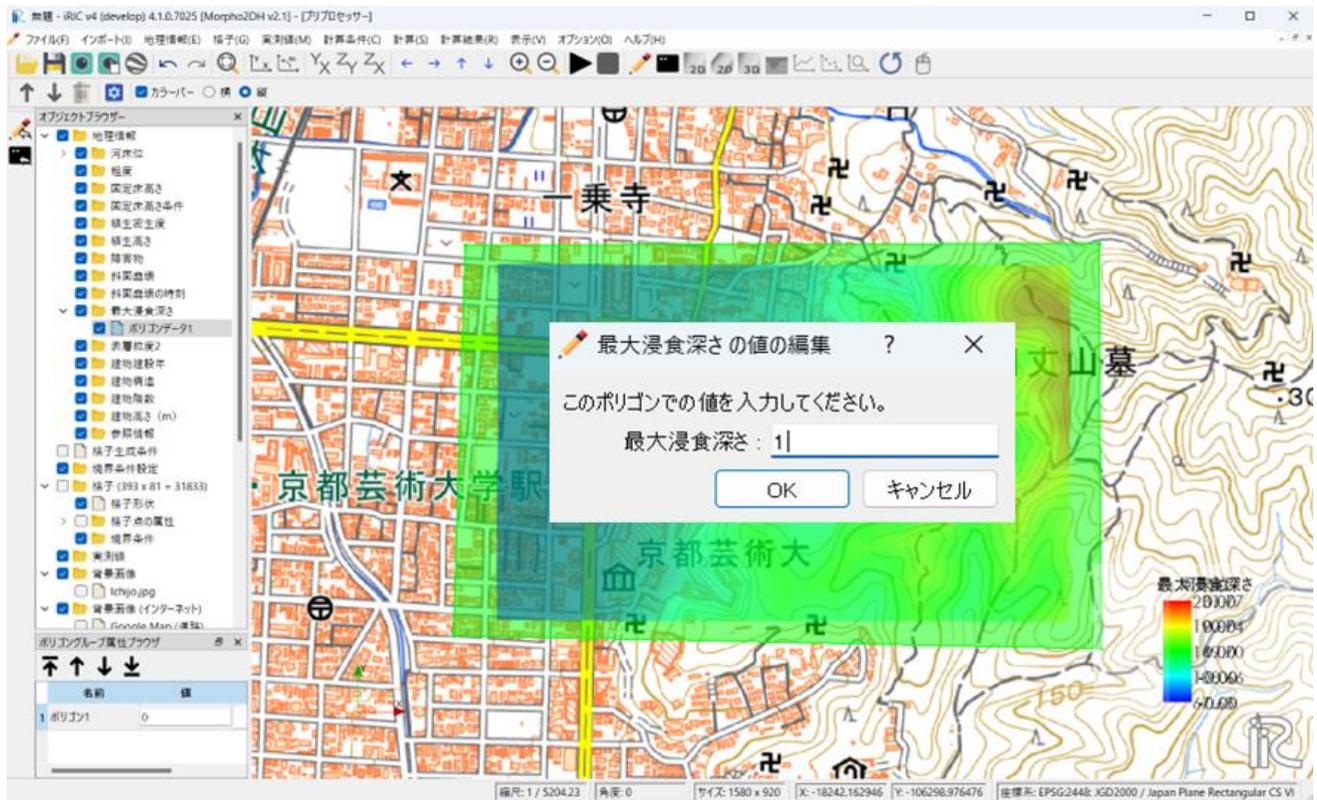


図 3-48 入力ー浸食深さの設定の画面イメージ

5. 【SC105】 入力ー斜面崩壊の設定

- 画面の目的・概要
 - 斜面崩壊を発生させる場所と大きさ、深さを設定するための画面。
 - 非表示アイコン  でグラフ画面及びリスト画面を非表示とし、地図画面を大きく表示することが可能。
- 画面イメージ

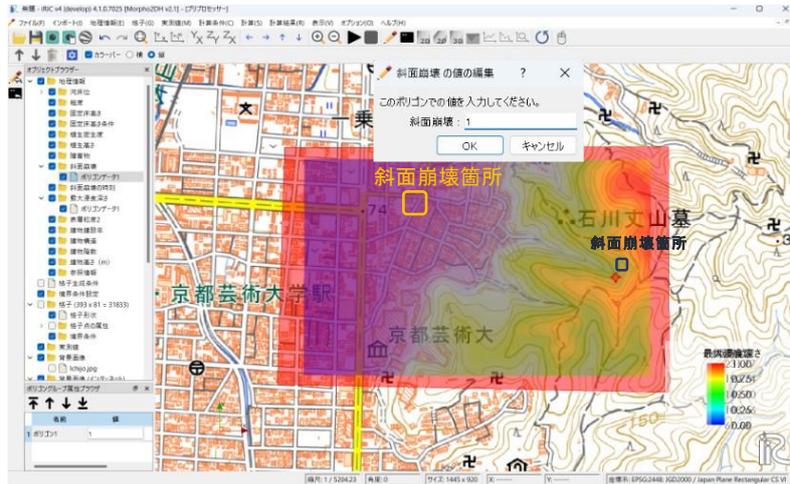


図 3-49 入力ー斜面崩壊の設定の画面イメージ

6. 【SC106】 入力ー計算の種類とデータの設定

- 画面の目的・概要
 - 計算の種類（ここでは土石流）、タイムステップ、出力間隔等を設定するための画面。
- 画面イメージ



図 3-50 入力ー計算の種類とデータの設定の画面イメージ

7. 【SC107】 入力ー土石流条件の設定

- 画面の目的・概要
 - 土砂濃度、内部摩擦角、層流層の厚さ等、土石流条件を設定するための画面。
- 画面イメージ



図 3-51 入力ー土石流条件の設定の画面イメージ

8. 【SC108】 入力ー河床材料の設定

- 画面の目的・概要
 - 平均粒径や粒度分布等、河床材料の条件を設定するための画面。
- 画面イメージ

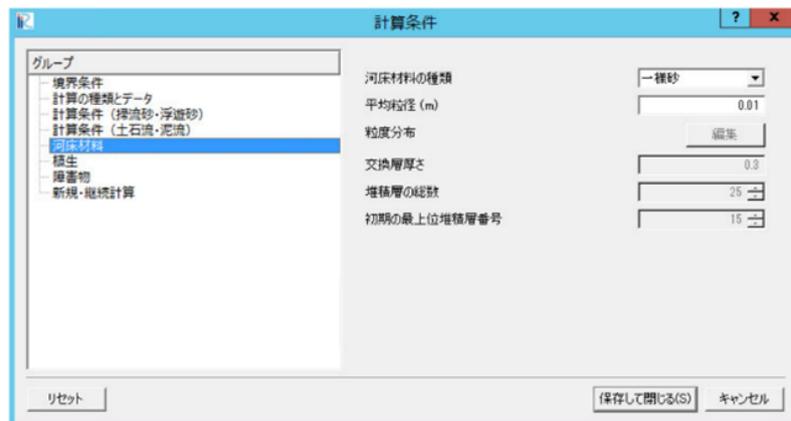


図 3-52 入力ー河床材料の設定の画面イメージ

9. 【SC109】 実行—実行画面

- 画面の目的・概要
 - 計算実行中の画面。
- 画面イメージ

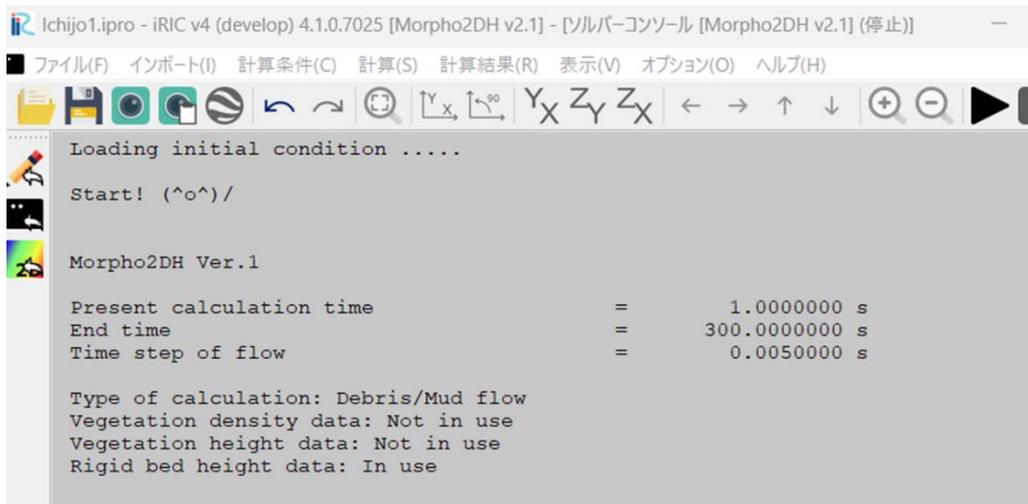


図 3-53 実行—実行画面の画面イメージ

10. 【SC110】 出力—計算結果（2D 表示）

- 画面の目的・概要
 - 浸食深等の計算結果を 2D 表示するための画面。
 - 非表示アイコン  でグラフ画面及びリスト画面を非表示とし、地図画面を大きく表示することが可能。
- 画面イメージ

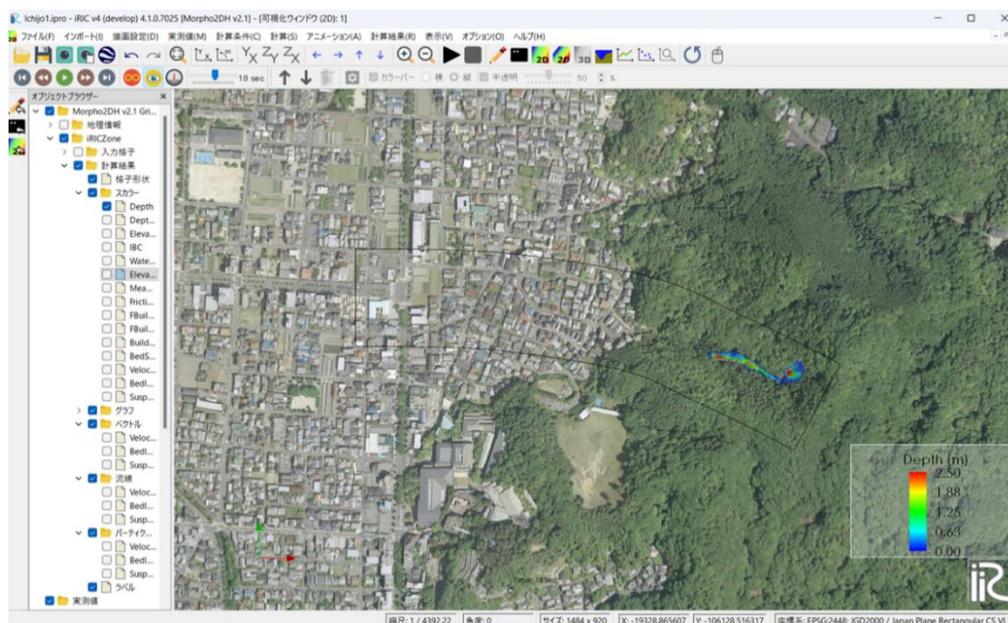


図 3-54 出力—計算結果（2D 表示）の画面イメージ

11. 【SC111】 出力ー計算結果（グラフ）

- 画面の目的・概要
 - 縦断図等の計算結果をグラフ表示するための画面。
 - 非表示アイコン  でグラフ画面及びリスト画面を非表示とし、地図画面を大きく表示することが可能。
- 画面イメージ

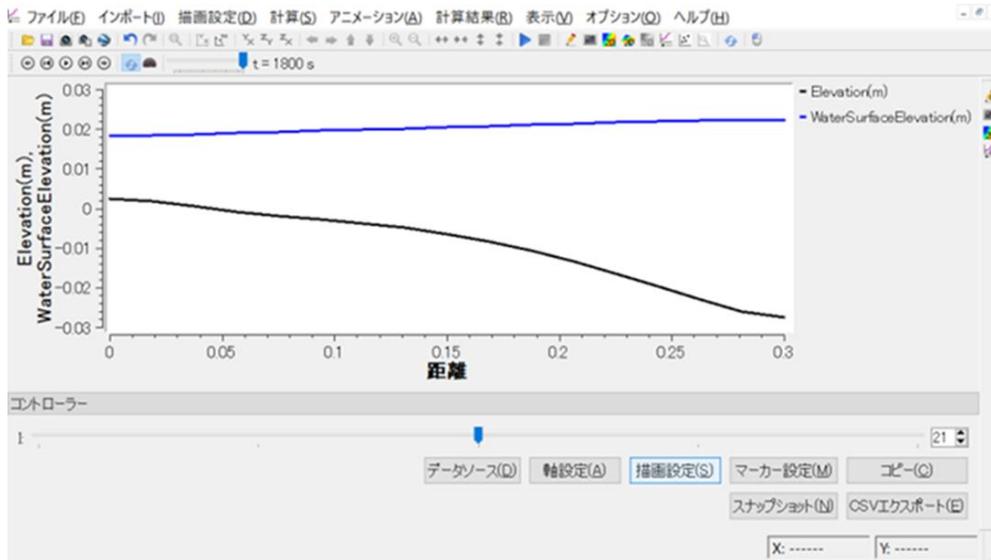


図 3-55 出力ー計算結果（グラフ）の画面イメージ

3) 可視化コンバータ画面

1. 【SC201】 設定/実行画面

- 画面の目的・概要
 - 家屋倒壊逐次判定機能を有する土石流シミュレーションの出力結果である、時刻ごと水理量・変化した地形データ・建物メッシュごと倒壊判定結果・建物ごと倒壊判定結果（それぞれ CSV ファイル）を、Cesium ion 上でタイムスタンプに従ったアニメーション表示ができるよう、CZML 形式に変換するための画面。
- 画面イメージ



図 3-56 可視化コンバータ設定/実行画面の画面イメージ

4) Terria map 画面

1. 【SC301】 ワークベンチ ー各種データ追加・凡例表示・ズーム

● 画面の目的・概要

➤ 各種データ追加・凡例表示・ズーム等、各種操作を行うための画面

● 画面イメージ

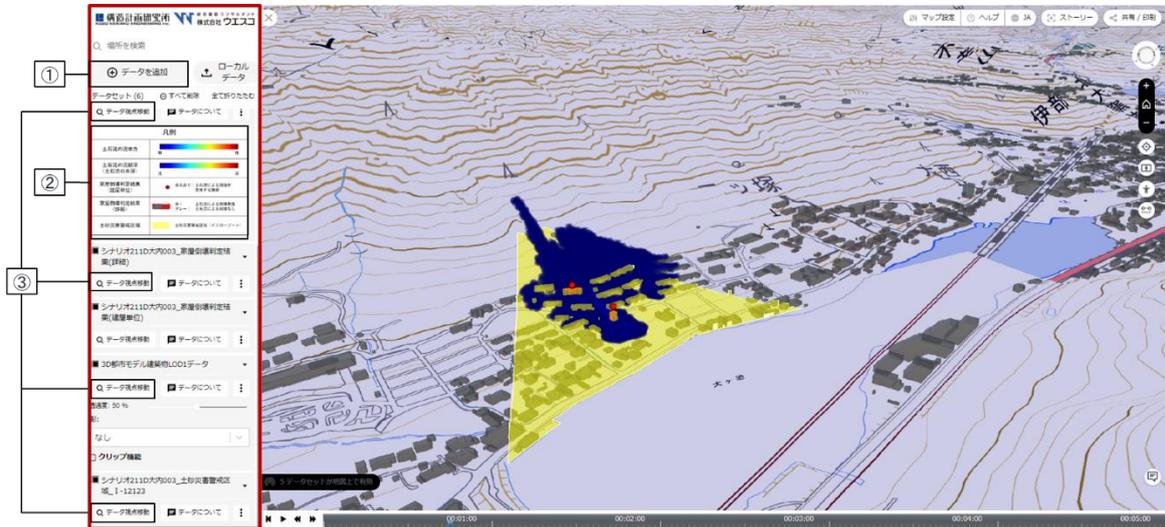


図 3-57 ワークベンチ ー各種データ追加・凡例表示・ズームの画面イメージ

表 3-20 ワークベンチ各種ボタン/表示説明

No.	項目名	説明
①	データ追加	各種データの追加等を行うためデータカタログを開く
②	凡例	凡例を表示する
③	データ視点移動	追加したデータの表示エリアにズームする

2. 【SC302】 データカタログ ビューワに表示させるデータの選択

● 画面の目的・概要

- Terria Map で表示させる 3D 都市モデル・土砂災害警戒区域図(イエローゾーン)・シミュレーション結果を選択・追加するための画面
- ⊕ ボタンでデータを追加する

● 画面イメージ

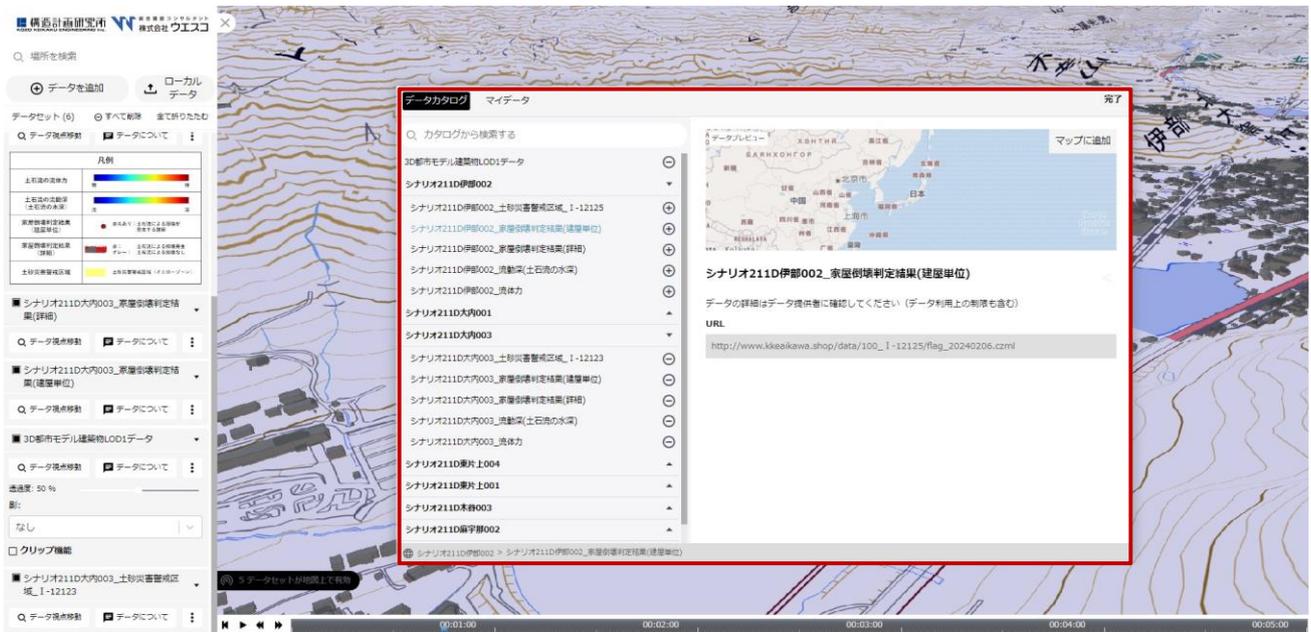


図 3-58 データカタログ ビューワに表示させるデータの選択の画面イメージ

3. 【SC303】シミュレーション結果のアニメーション再生

- 画面の目的・概要
 - 追加された各種データの表示・アニメーション再生を行うための画面
- 画面イメージ

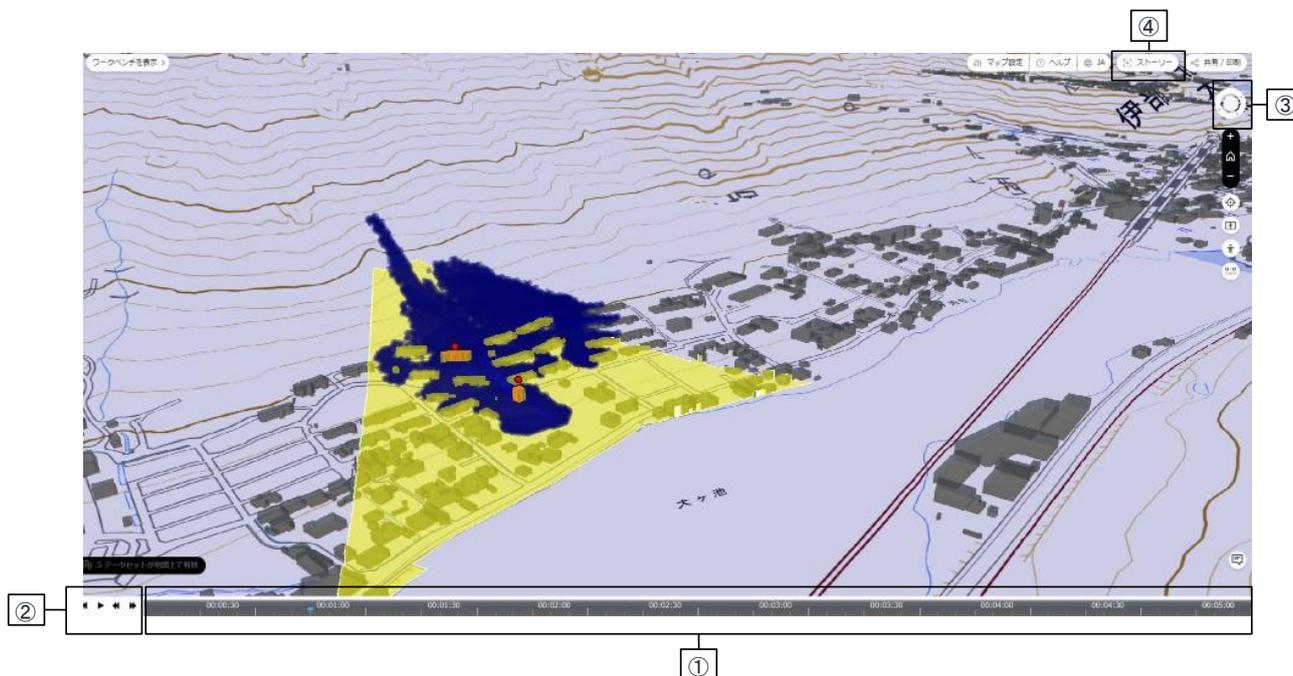


図 3-59 シミュレーション結果のアニメーション再生

表 3-21 ワークベンチ各種ボタン/表示説明

No.	項目名	説明
①	タイムスケールバー 【FN017】	・シミュレーション結果アニメーションの開始から終了まで、経過時間を表示する ・スライダーコントロールによって任意の再生位置に移動する
②	アニメーション操作 【FN018】	再生/一時停止/再生速度の調整を行う
③	ジャイロスコープ 【FN019】	地図の回転、視点の移動を行う
④	ストーリーエディタ 【FN020】	地図を使ってストーリーを作成し、共有する

5) QGIS 画面

1. 【SC401】 土石流リスクマップ図の表示画面

● 画面の目的・概要

- 従来の土砂災害警戒区域（土石流）に対し、土石流シミュレーション結果（最大流動深分布）、倒壊判定結果を重ねて表示するための画面

● 画面イメージ

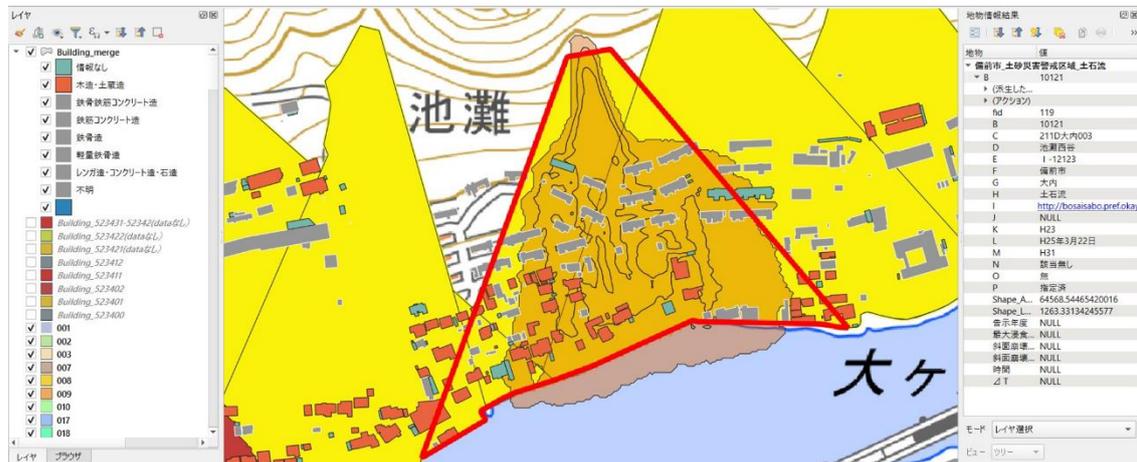


図 3-60 土石流リスクマップ図の表示画面の画面イメージ

3-7. 実証システムの利用手順

3-7-1. 実証システムの利用フロー

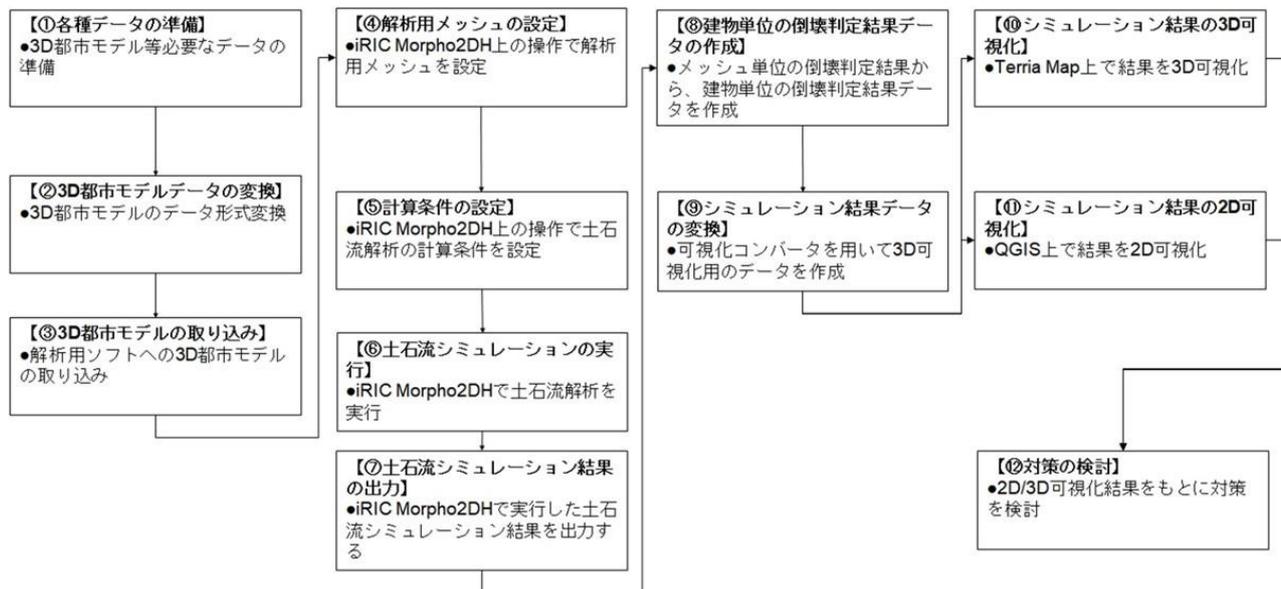


図 3-61 システムの利用フロー

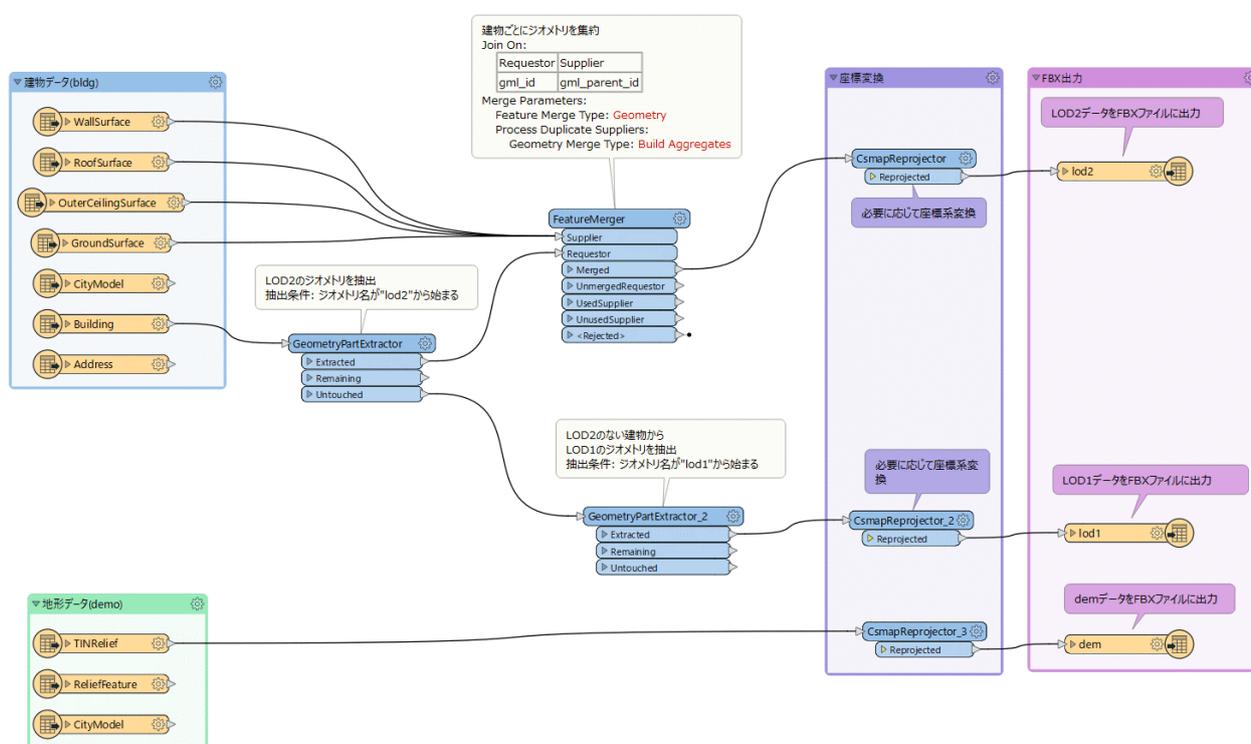
3-7-2. 各画面操作方法

1) 各種データの準備

- G 空間情報センターの HP 等から、選定したエリアを含む 3D 都市モデルデータを入手する
- 砂防基礎調査結果・土砂災害警戒区域図のデータを準備する
 - 都道府県を通して上記データを入手する

2) 3D 都市モデルデータの変換

- Morpho2DH に入力できるように、FME Desktop を用いて 3D 都市モデルのデータ形式を変換する

図 3-62 3D 都市モデルデータの変換(FME)⁹

⁹ CityGML から各種データ形式へのコンバート[1/2] | FME Form の機能と基本的な使い方 (国土交通省 PLATEAU ホームページ)

<https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/tpc04-1/>

3) 3D 都市モデルデータの取り込み

- データ変換した 3D 都市モデルを Morpho2DH に読み込ませる

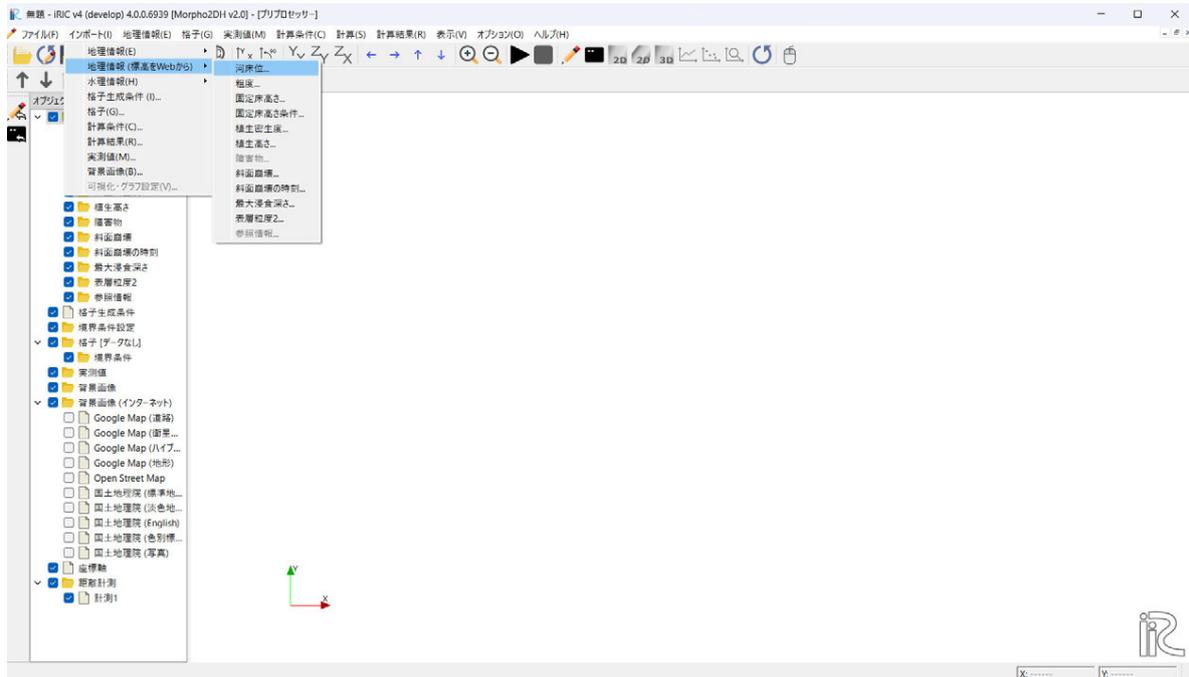


図 3-63 3D 都市モデルデータの取り込み

4) 解析用メッシュの設定

- Morpho2DH 上の操作で解析用メッシュを設定する
 - 取り込んだ 3D 都市モデルの情報が作成したメッシュに反映される
 - 既設砂防堰堤等の情報については、砂防基礎調査結果データを用いてユーザーが入力する



図 3-64 メッシュの生成—中心線の決定

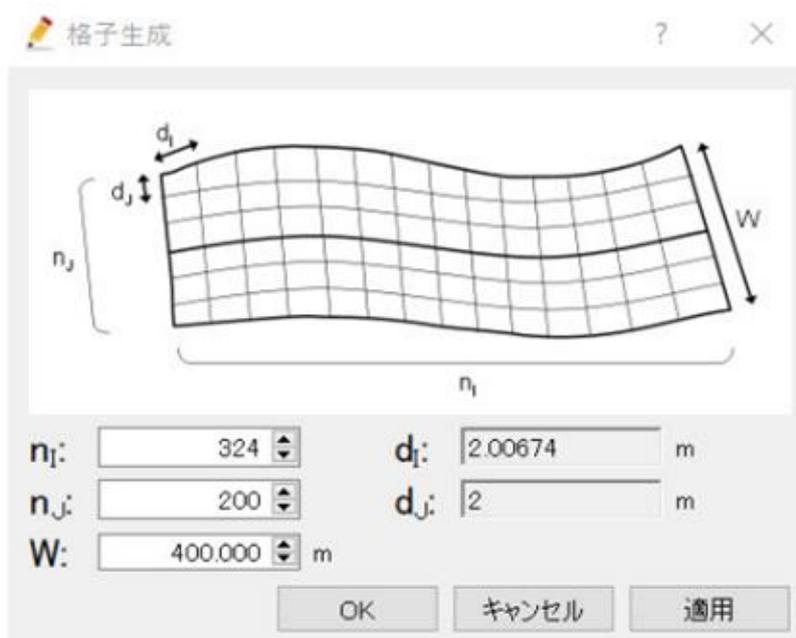


図 3-65 メッシュの生成—格子数・格子の大きさの決定

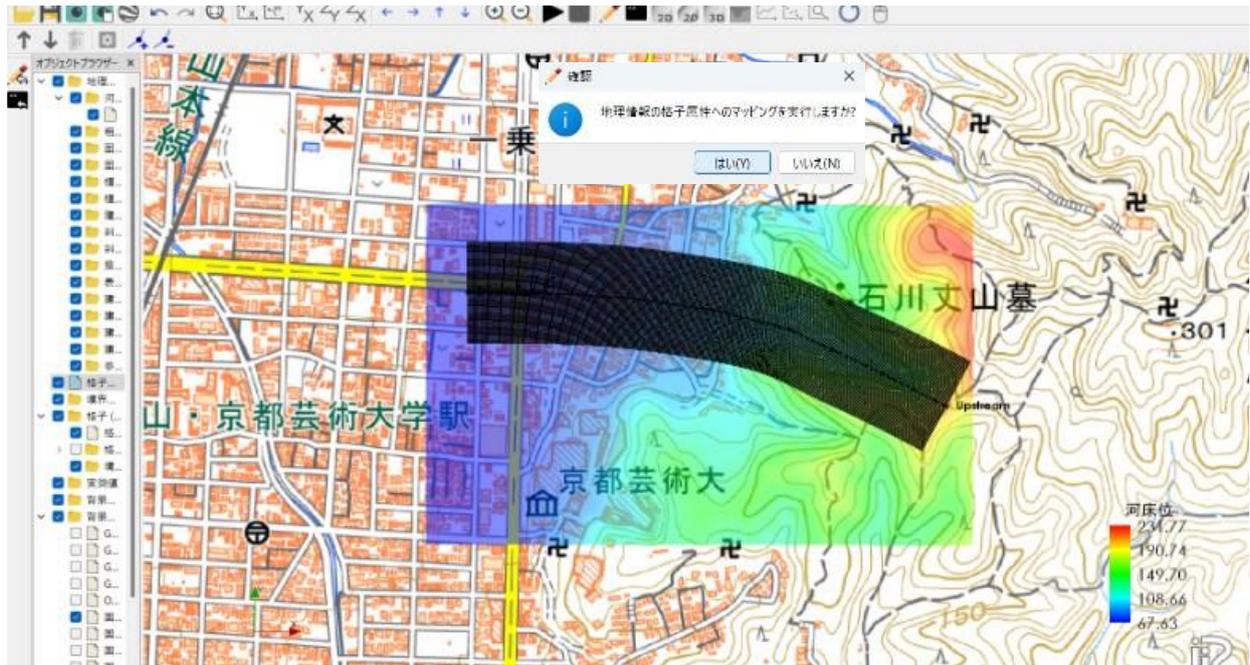


図 3-66 メッシュの生成—格子生成

5) 計算条件の設定

- Morpho2DH 上の操作で土石流解析の計算条件を設定する
 - 砂防基礎調査結果データ（浸食深、平均粒径、生産土砂量）を利用する
 - 計算条件の設定にあたっては、YAML 形式の設定ファイルを Morpho2DH に読み込ませる
 - ◇ YAML 形式の設定ファイル

```
Bed_evolution_time: 0    #[real] 河床変動の開始時間 (s)
Bed_material_type: 0    #[integer] 河床材料の種類
calculation_type: 2     #[integer] 計算の種類
computational_timestep: 0.01    #[real] タイムステップ (s)
concentration_cal: 0    #[integer] 土砂濃度
contenue_file: flow.prn    #[string] 継続計算用ファイル
discharge: discharge.csv    #[function] 流量
end_time: 100    #[real] 終了時間 (s)
exchange_layer_thicknessime: 0.3    #[real] 交換層厚さ
```



図 3-67 計算条件の設定

6) 土石流シミュレーションの実行

- Morpho2DH で土石流解析を実行する
 - 家屋の倒壊/非倒壊を考慮した土石流シミュレーションが実行される

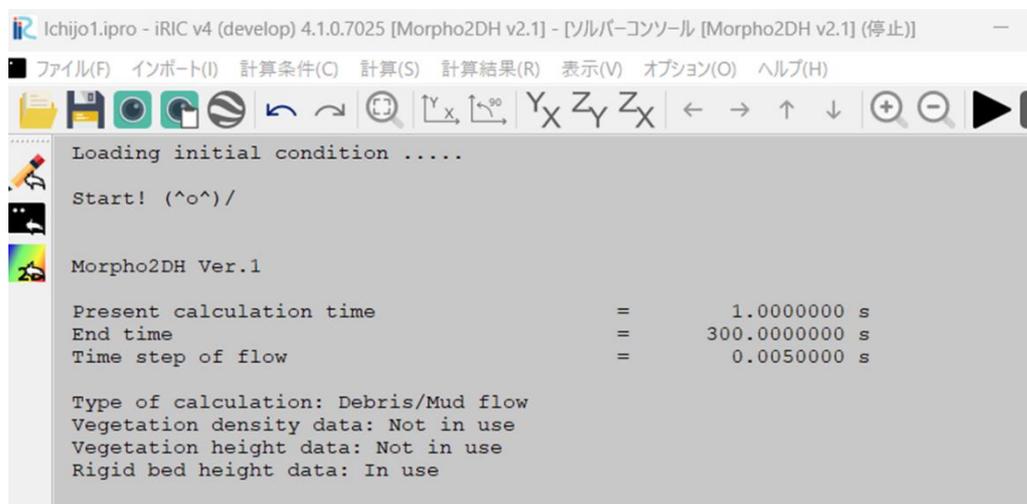


図 3-68 土石流シミュレーションの実行

7) 土石流シミュレーション結果の出力

- Morpho2DH で実行した土石流シミュレーション結果を出力する
 - 時刻ごと水理データ、変化した地形データ、建物メッシュごと倒壊判定結果が CSV/SHP 出力される
 - iRIC Mprho2DH 上の 2D 可視化・グラフ表示機能で解析結果を確認する

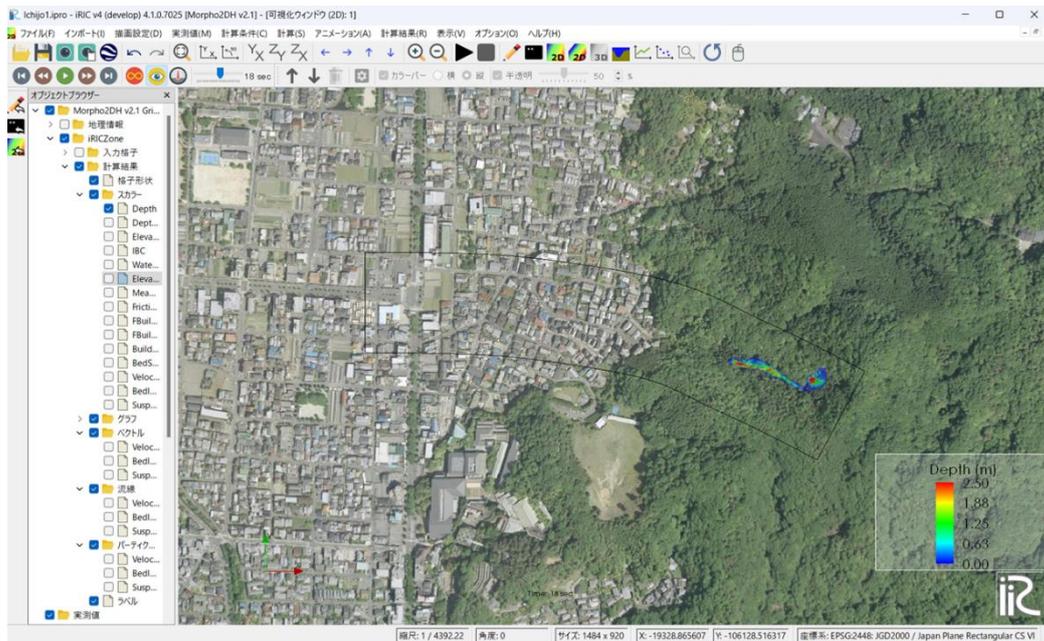


図 3-69 土石流シミュレーション結果の出力 (2D 表示)

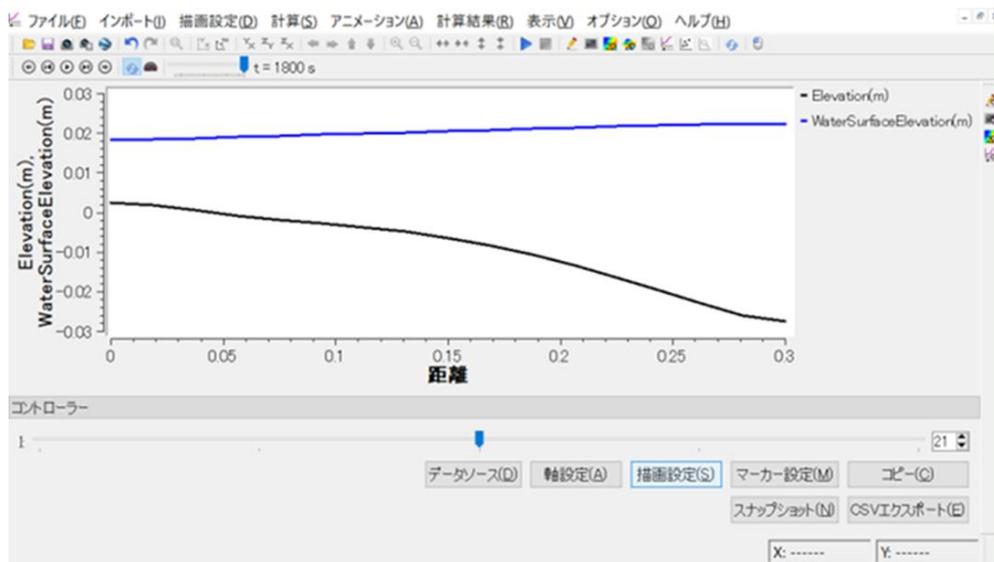


図 3-70 土石流シミュレーション結果の出力 (グラフ)

8) 建物単位の倒壊判定結果データの作成

- メッシュ単位の倒壊判定結果から、建物単位の倒壊判定結果データを作成
 - QGIS を用いて、Morpho2DH から出力された建物メッシュ単位と、3D 都市モデルの建物 ID をひも付ける
 - ひも付けたデータを CSV 形式で出力する

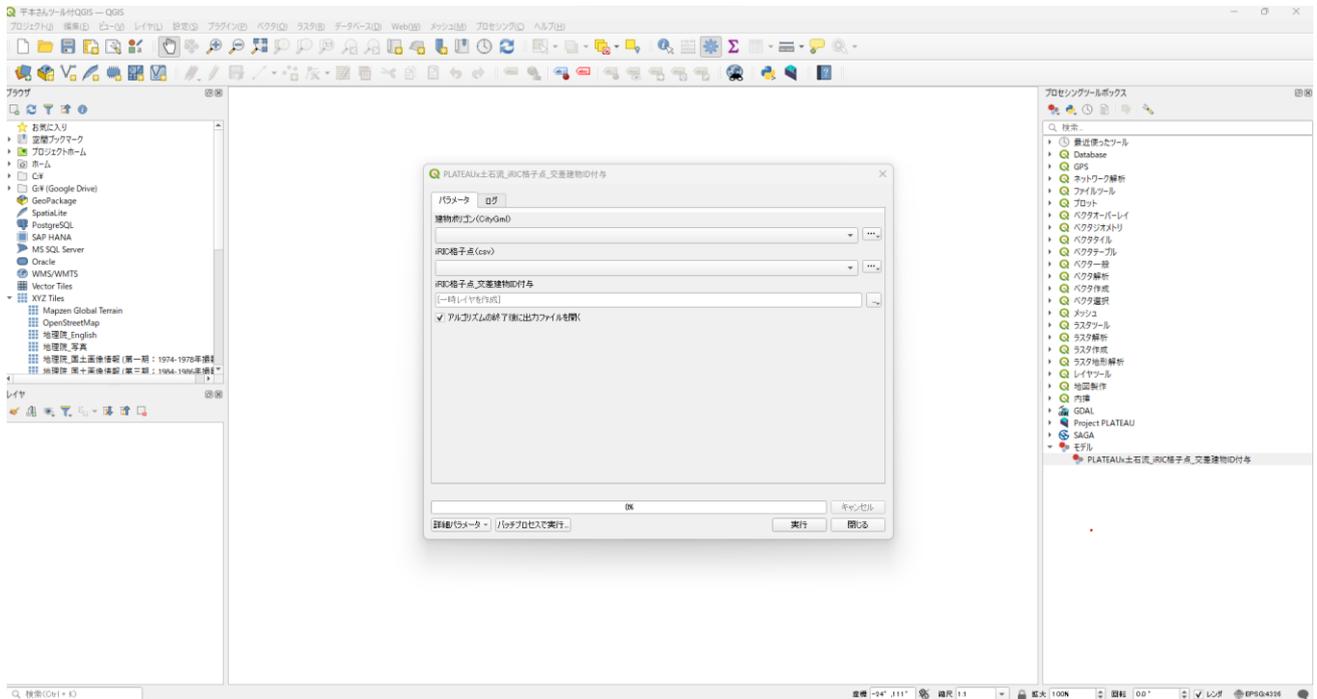


図 3-71 建物単位の倒壊判定結果データの作成 (QGIS)

9) シミュレーション結果データの変換

- 可視化コンバータを用いて 3D 可視化用のデータを作成する
 - CSV 形式の各種結果データを CZML 形式に変換する

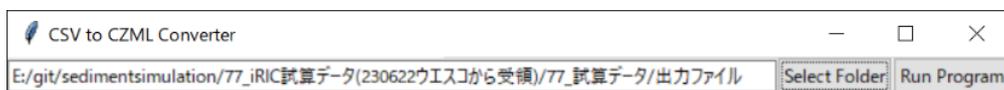


図 3-72 シミュレーション結果データの変換 (可視化コンバータ)

10) シミュレーション結果の3D可視化

- Terria Map 上で結果を3D可視化
 - 3D都市モデル、シミュレーション結果、土砂災害警戒区域図を Terria Map に読み込む
 - アニメーションで結果を再生

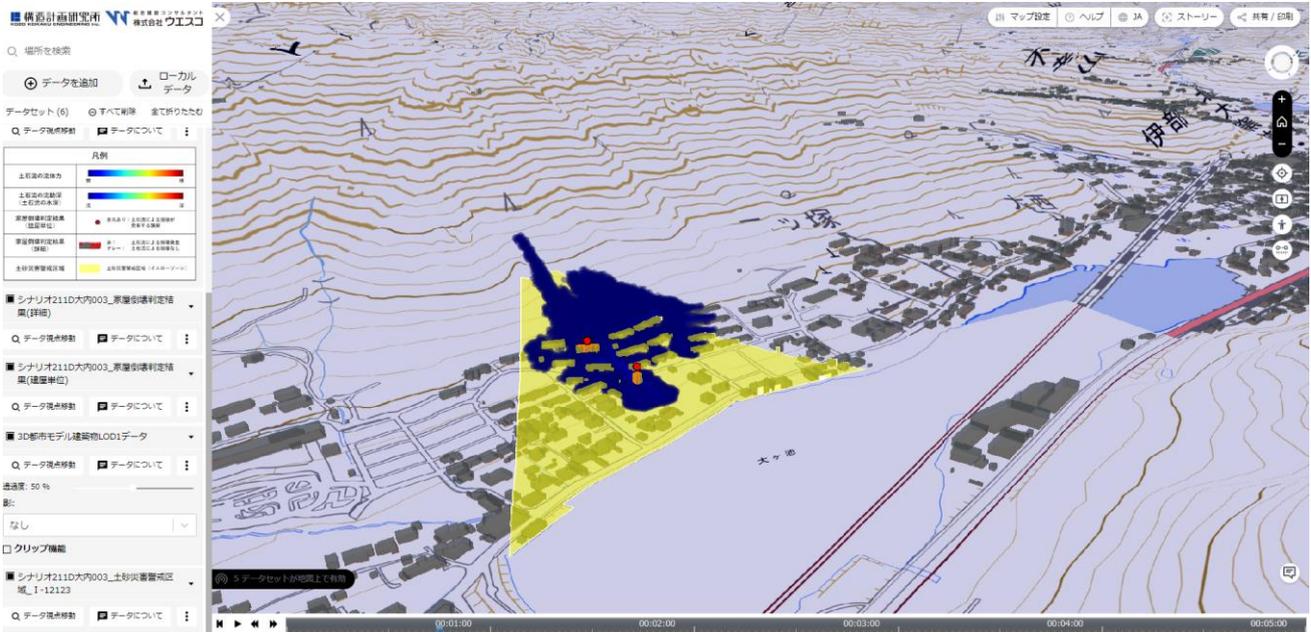


図 3-73 シミュレーション結果の3D可視化 (Terria Map)

11) シミュレーション結果の2D可視化

- QGIS 上で結果を2D可視化
 - 3D都市モデル、シミュレーション結果、土砂災害警戒区域図を QGIS に読み込む

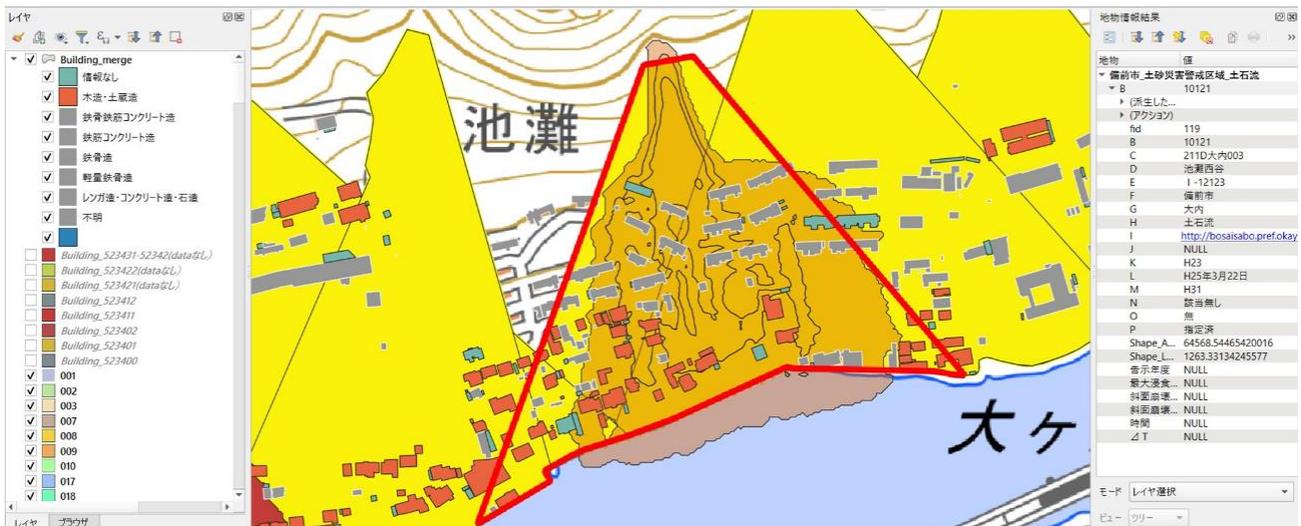


図 3-74 シミュレーション結果の2D可視化 (QGIS)

4. 実証技術の検証

4-1. アルゴリズムの有用性検証

4-1-1. 検証目的

- 木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックを実装した土石流シミュレーションの再現性及び効率性を検証する。

4-1-2. KPI

表 4-1 KPI 一覧

No.	評価指標・KPI	目標値	目標値の設定理由	検証方法サマリー
1	正解率（木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック）	70%以上	● 正解率が低すぎると、土石流シミュレーションの精度も低下し、結果を利用した避難計画等の信頼性を損なう。	● 詳細な被害調査結果が得られている家屋に対する倒壊/非倒壊判定ロジックの結果の比較
2	速度の妥当性（木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮しない場合に対する処理時間）	2倍以内	● シミュレーションの処理時間がかかりすぎると、普及の足かせとなる。	● Morpho2DH のシミュレーション時間について、木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックを考慮しない場合の計算時間を比較し検証

4-1-3. 検証方法と検証シナリオ

1) 正解率（木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック）

実災害の被災地（広島市）を対象に、木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックを以下のフローによって検証する。再現計算の対象とする災害は、平成 26 年 8 月豪雨による広島市安佐南区八木三丁目の土石流災害とする。

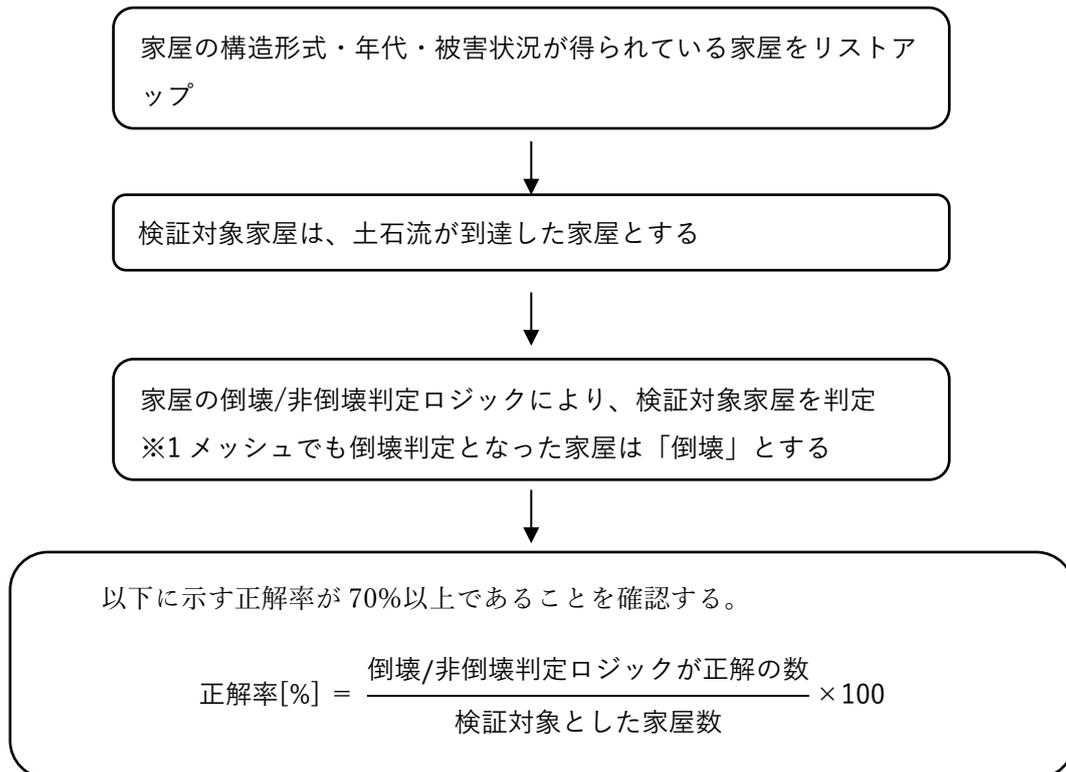


図 4-1 木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックの検証フロー

2) 速度の妥当性（木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮しない場合に対する処理時間）

以下に示す処理時間の比較が 2 倍以内であることを確認する。

$$\text{処理時間の比較} = \left(\frac{\text{木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮する場合の処理時間}}{\text{木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮しない場合の処理時間}} \right)$$

なお、処理時間の不確実性を考慮し、平成 26 年 8 月豪雨による広島市安佐南区八木三丁目の土石流災害の再現計算に加えて、備前市内の複数の溪流において処理時間の比較を行う。

4-1-4. 検証結果

木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックの正解率については、80%を超えており、判定は概ね妥当と考えられる。また、速度の妥当性（処理時間の比較）については、木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した場合でも、考慮しない場合とあまり変わらない結果となった。計算箇所によっては、木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した方が、処理時間が短い場合もあった。したがって、木造家屋の倒壊/非倒壊判定の考慮は、処理時間への影響が少ないことが分かった。

表 4-2 検証結果サマリー

黄セル：KPI 達成

青セル：KPI 未達

検証内容	評価指標・KPI	目標値	結果		示唆
			項目	評価値	
木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック	正解率	70%以上	広島土石流災害の再現計算	85.3%	● 木造家屋の倒壊/非倒壊判定は概ね妥当と考えられる
速度の妥当性	処理時間の比較	2倍以内	広島土石流災害の再現計算	0.92倍	● 木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した場合でも、考慮しない場合と処理時間があまり変わらない ● 木造家屋の倒壊/非倒壊判定の考慮は、処理時間への影響が少ない
			備前市(211D伊部002)	1.00倍	
			備前市(211D大内003)	1.07倍	
			備前市(211D大内001)	1.10倍	

a. 正解率（木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック）

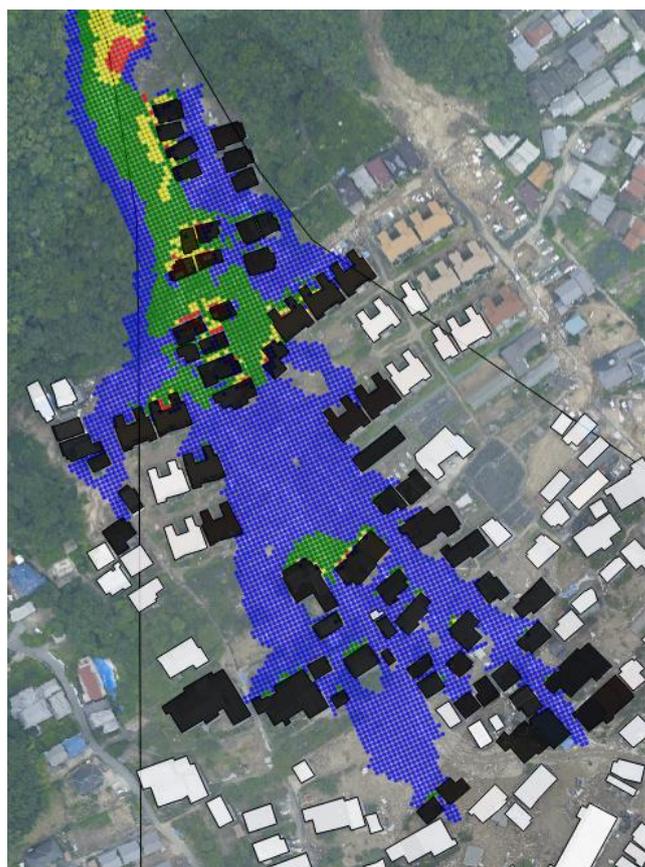
評価指標：正解率=85.3%（KPI の 70%を達成）

$$\text{正解率}[\%] = \frac{\text{倒壊/非倒壊判定ロジックが正解の数}}{\text{検証対象とした家屋数}} \times 100 = \frac{(7 + 51)}{(7 + 51 + 9 + 1)} \times 100 = 85.3(\%)$$

表 4-3 正解数（木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジック）

黄セル：正解数

正解の区分	木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックの判定結果	
	倒壊	非倒壊
倒壊	7	9
非倒壊	1	51



凡例		
家屋	検討対象	■
	検討対象外	□
土石流の 最大流動深 (DepthMax)	0.01-2.5m	●
	2.5-5.0m	●
	5.0-7.5m	●
	7.5m-	●

図 4-2 検討対象家屋（土石流が到達した家屋）



図 4-3 正解データ (家屋の倒壊/非倒壊判定) の根拠¹⁰

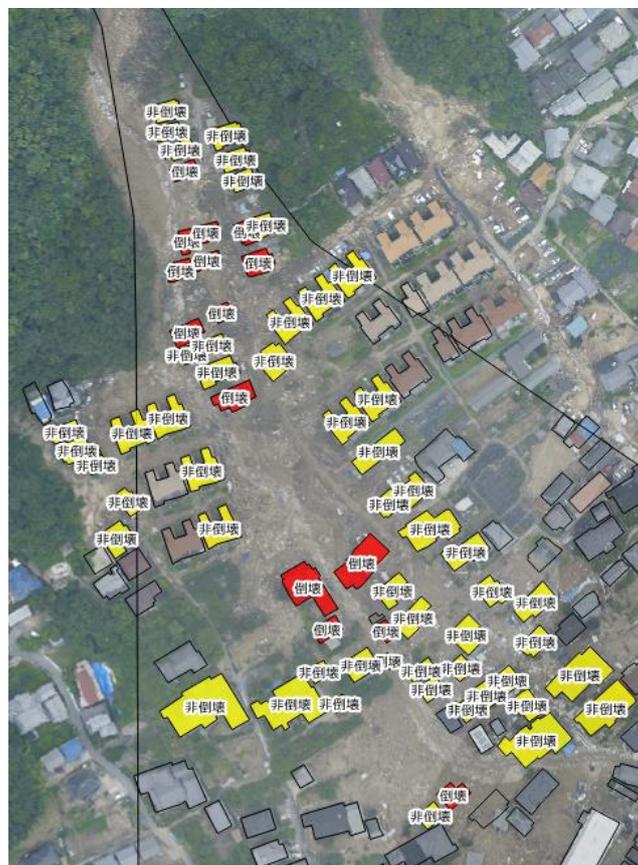


図 4-4 正解データ (家屋の倒壊/非倒壊判定)

¹⁰ 家屋の破壊過程を考慮した土石流の数値シミュレーション 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.4, I_919-I_924, 2018. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/74/4/74_I_919/_pdf/-char/ja



図 4-5 判定結果（家屋の倒壊/非倒壊判定）

b. 速度の妥当性（木造家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮しない場合に対する処理時間）
 評価指標：処理時間の比較=1.02 倍（KPI の 2 倍以内を達成）

表 4-4 処理時間の比較表

計算箇所	計算時間(秒)	処理時間(分)		処理時間の比較 ①/②
		①倒壊/非倒壊判定 を考慮した場合	②倒壊/非倒壊判定 を考慮しない場合	
広島土石流災害の再現計算	300	509	556	0.92
備前市(211D 伊部 002)	100	70	70	1.00
備前市(211D 大内 003)	100	44	41	1.07
備前市(211D 大内 001)	100	65	59	1.10
平均値	—	—	—	1.02

5. 政策面での有用性検証

5-1. 検証目的

実証仮説に基づき、以下の検証仮説を設定する。

【検証仮説】

土石流の力学的現象及び最大リスク分布を適切に表現でき、かつ視認性・操作性に優れた3次元可視化システムを開発することにより、自治体による避難計画への反映、及び住民啓発への活用が可能となる。

主に以下の5点について、政策面での有用性検証を行った。

- 避難計画への反映可能性
 - 土石流に対して相対的な安全エリアの抽出、及びその情報を踏まえた自宅待機による避難の選択が可能か確認する
- 住民啓発への活用可能性
 - 土石流をアニメーションにより可視化することにより現象に対する理解が深まるか、及び住民啓発への活用効果を確認する
- 土石流現象の力学的表現
 - 土石流による土砂の形態（流動深）及び力の作用（流体力）の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか確認する
- 土石流の最大のリスク分布の表現
 - 土石流の最大のリスク分布、及びそれに対する家屋の破壊の分布を適切に表現しているか確認する
- 可視化表現の視認性・操作性
 - 土石流シミュレーション結果を3次元的に可視化する際の、機能性及び反応速度・レスポンスを確認する

5-2. 検証方法

自治体・事業者向け検証として、被験者に対してデモンストレーションを取り入れたヒアリング・アンケートを実施した。

- 会場：備前市市民センター 講習室（岡山県備前市西片上 17-2）
- 機材：体験・デモ用に以下のスペックの社用 PC を用意する。
 - CPU：Core i7 以上
 - メモリ：16.0GB 以上
 - OS：Windows 11
 - 通信環境：各社で用意された社用 Wi-Fi

5-3. 被験者

表 5-1 被験者リスト（自治体側）

分類	具体名称	部署	役職	担当業務	人数
自治体	岡山県	土木部防災砂防課	総括副参事、副参事	● 土砂災害警戒区域（土石流）の設定業務	2名
		東備地域管理課	総括副参事、主事		2名
		土木部都市計画課	技師	● 都市計画業務	1名
		土木部技術管理課	総括副参事、〇〇	● 技術管理業務	2名
	備前市	都市計画課		● 都市計画業務	2名
		建設課		● 公共土木施設の整備業務	1名
		危機管理課		● 避難計画策定業務	1名
一般住民	備前市	他部署の職員	—	—	3名

表 5-2 被験者リスト（事業者側）

分類	具体名称	部署	役職	担当業務	人数
事業者	株式会社 ウエスコ	防災・環境事業部 防災・環境部 河川防災課		● 防災及びシミュレーション業務	4名
	株式会社 構造計画研究所				1名

5-4. ヒアリング・アンケートの詳細

5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル

表 5-3 アジェンダ・タイムテーブル

No	アジェンダ	所要時間
1	概要説明	20分
2	土石流シミュレーション・可視化等のデモ	20分
3	シミュレーション結果の3次元可視化の体験	40分
4	アンケート回答・ヒアリング	40分

5-4-2. アジェンダの詳細

表 5-4 アジェンダの詳細

No	アジェンダ（再掲）	内容
1	概要説明	<ul style="list-style-type: none"> ● プラトールとは ● ユースケースの概要 ● 実証の内容 ● システムについて（土石流シミュレーション、シミュレーション結果の3次元可視化） ● 備前市における活用
2	土石流シミュレーション・可視化等のデモ	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーション：「Morpho2DH」を用いた、木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックを実装した土石流シミュレーションのデモ（データの読み込み、格子の生成→属性のマッピング、計算条件の設定、計算の実行、結果の確認・出力） ● シミュレーション結果の3次元可視化：解析結果を3次元的に可視化する機能のデモ <ul style="list-style-type: none"> ➢ 土石流シミュレーション結果をWEBGISエンジンに取り込み、3次元的に可視化 ➢ 土石流のリスクを理解してもらうため、様々な視点から土石流の挙動及び家屋倒壊プロセスを見せる。
3	シミュレーション結果の3次元可視化の体験	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーション結果の3次元可視化を体験
4	アンケート回答・ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● アンケート用紙を用意し、その場で回答し回収する

5-4-3. 検証項目と評価方法

検証項目と評価方法については、以下の通りとした。

定量評価及び定性評価の評価方法は、対象ユーザーに本年度開発したシステムを体験していただいた後、アンケートを実施した。定量評価は、回答を集計し、各選択肢の選択率から評価した。各設問で、過半数の4以上の回答を目標とする。

表 5-5 検証項目と評価方法

検証観点	No	検証項目	定量評価	定性評価
1) 避難計画への反映可能性 (自治体)	1	土石流に対して相対的な安全エリアが抽出できたか	● 選択肢は「不可能」を1、「可能」を5とした5段階で設定	● アンケートの各設問に自由記入欄を設定
	2	抽出された相対的に安全なエリア情報を踏まえ、自宅待機による避難の選択が可能か		
	3	避難計画に活用できる可能性はあるか	● 選択肢は「全くない」を1、「大いにある」を5とした5段階で設定	● 具体的な活用方法及び社会実装する際の課題についても質問
2) 住民啓発への活用可能性 (自治体)	4	土石流をアニメーションにより可視化することで、現象に対する理解は深まったか	● 選択肢は「理解できなかった」を1、「理解できた」を5とした5段階で設定	● アンケートに自由記入欄を設定
	5	土石流に対するイメージが具体的にになると、どういった啓発効果が得られるか	● 選択肢を複数用意し、複数回答可とする。	● その他は自由記入とする
	6	住民啓発に活用できる可能性はあるか	● 選択肢は「全くない」を1、「大いにある」を5とした5段階で設定	● 具体的な活用方法及び社会実装する際の課題についても質問

3) 土石流現象の力学的表現 (事業者)	7	土石流による土砂の形態 (流動深) の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか	● 選択肢は「不適切」を1、「適切」を5とした5段階で設定	● アンケートの各設問に自由記入欄を設定
	8	土石流による力の作用 (流体力) の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか		
4) 土石流の最大のリスク分布の表現 (事業者)	9	土石流の最大のリスク分布を分かりやすく表現しているか	● 選択肢は「分かりにくい」を1、「分かりやすい」を5とした5段階で設定	
	10	土石流の最大のリスク分布に対し、家屋の破壊の分布を適切に表現しているか	● 選択肢は「不適切」を1、「適切」を5とした5段階で設定	
5) 可視化表現の視認性・操作性 (事業者)	11	使える機能は十分か	● 選択肢は「不十分」を1、「十分」を5とした5段階で設定	● その他、ほしい機能があるかについても質問
	12	反応速度・レスポンスは十分か		● アンケートに自由記入欄を設定

5-4-4. システムデモの概要

システム実証では、Terria map によるシミュレーション結果の 3D 可視化について、デモ及びシステム操作体験を実施した。

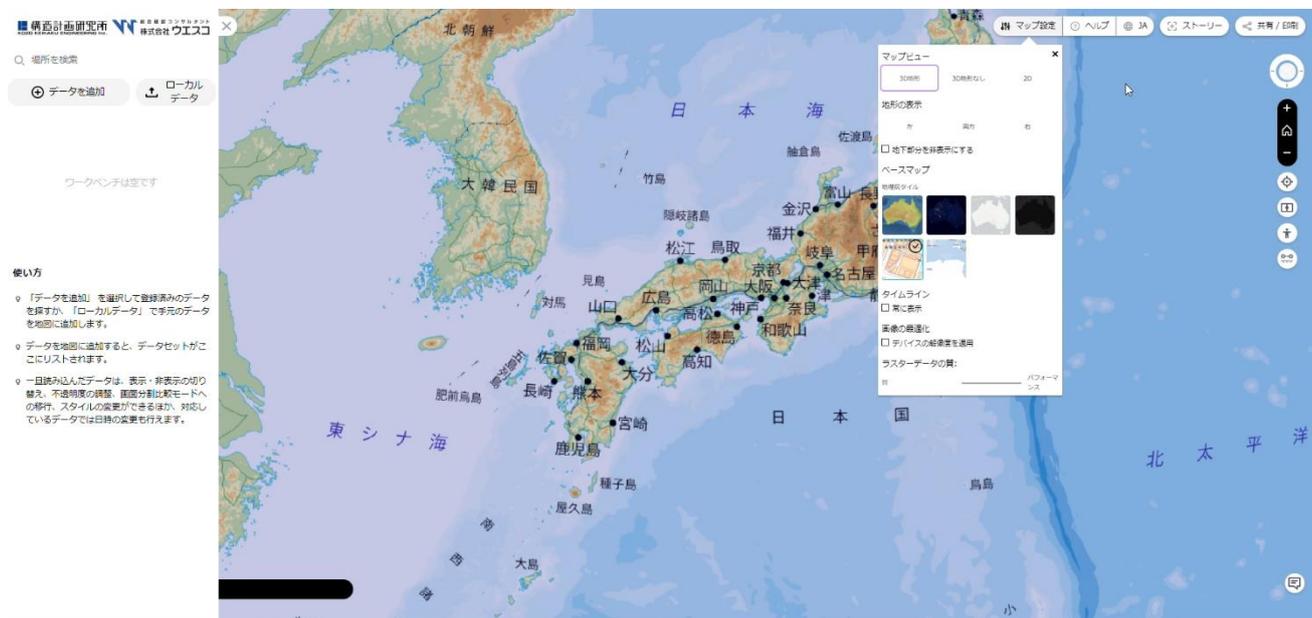


図 5-1 3D 地形及びベースマップの選択

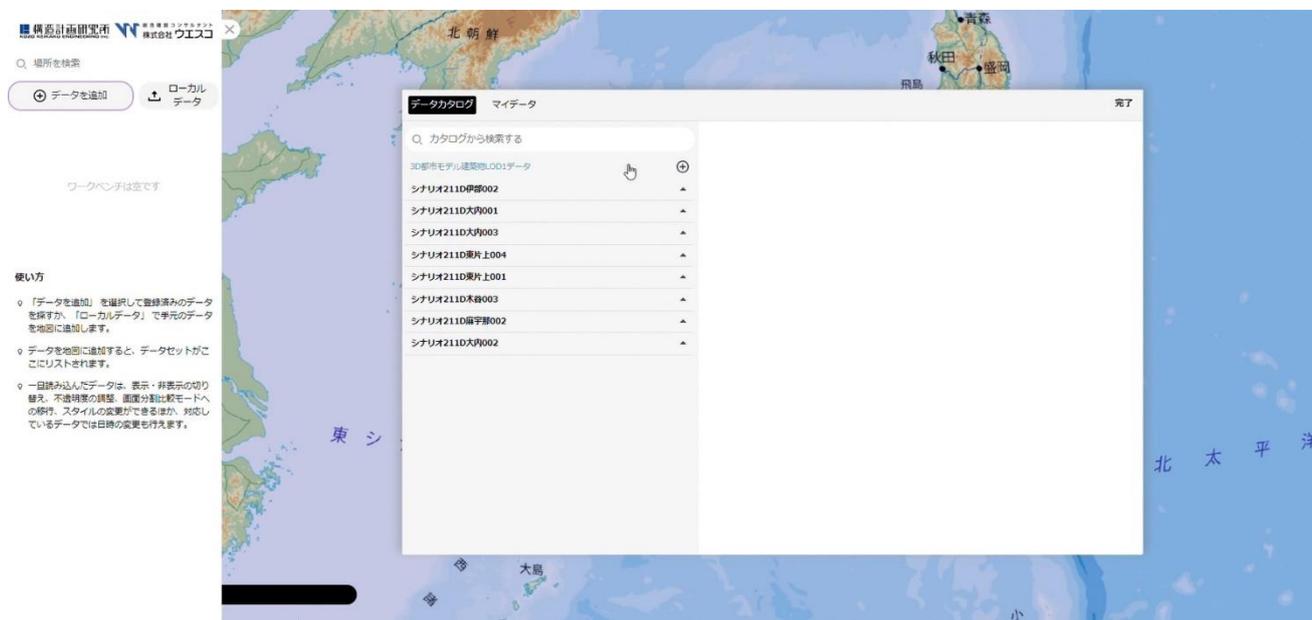


図 5-2 データカタログ画面_3D 都市モデル建築物 LOD1 データの追加

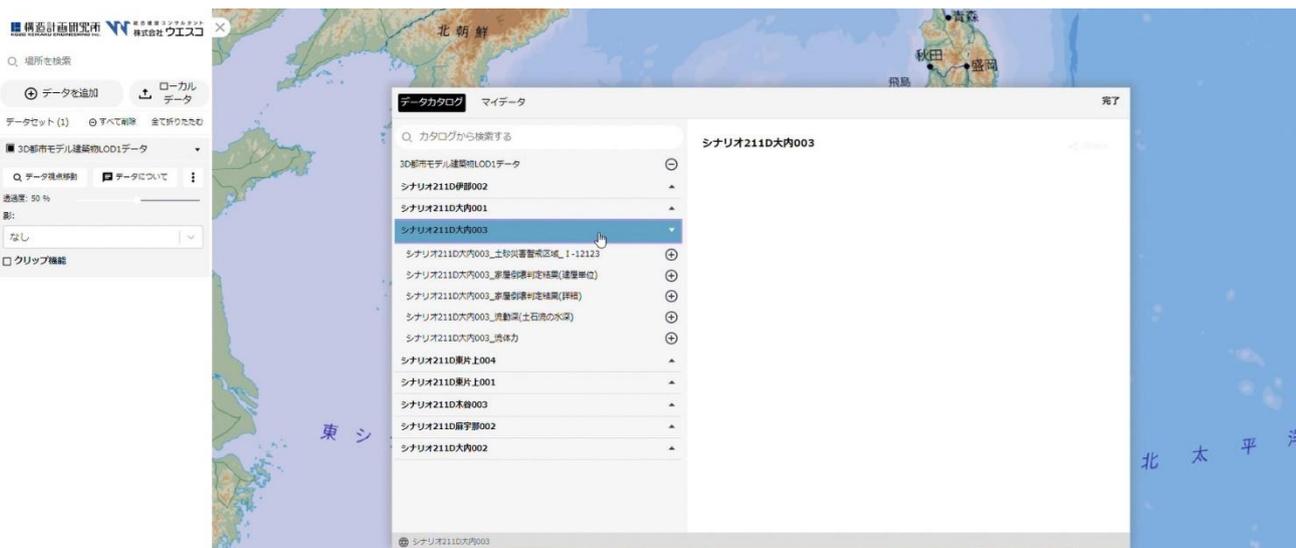


図 5-3 データカタログ画面_ 3D 可視化対象とする地域の各種データの追加

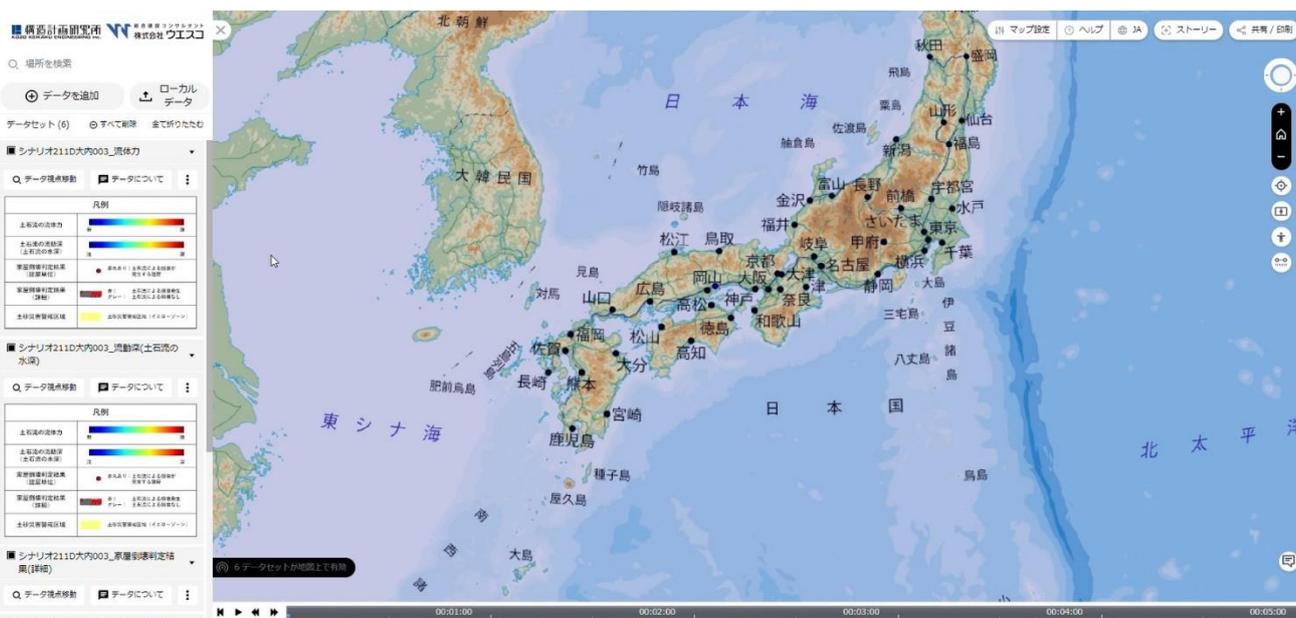


図 5-4 追加データのワークベンチへの表示



図 5-5 「データ視点移動」ボタンで可視化対象エリアにズーム



図 5-6 シミュレーション結果のアニメーション動画を再生

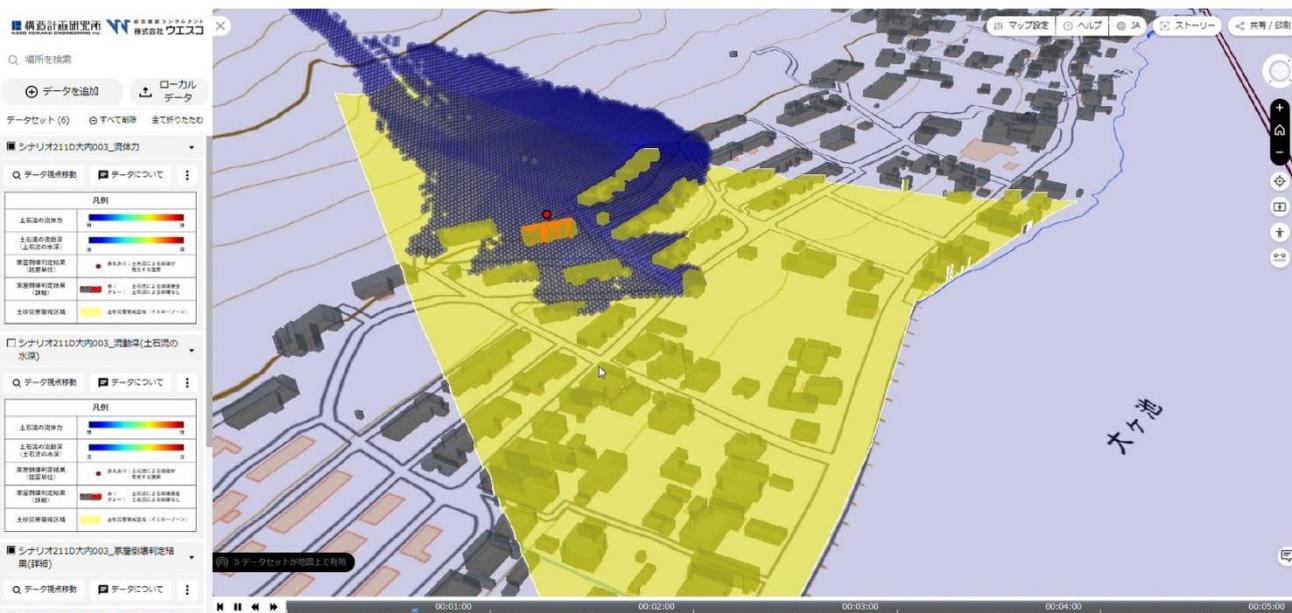


図 5-7 家屋の損壊状況を確認



図 5-8 家屋の属性情報を確認

凡例	
土石流の流体力	弱 強
土石流の流動深 (土石流の水深)	浅 深
家屋倒壊判定結果 (建屋単位)	赤丸あり：土石流による損壊が発生する建屋
家屋倒壊判定結果 (詳細)	赤：土石流による損壊発生 グレー：土石流による損壊なし
土砂災害警戒区域	土砂災害警戒区域（イエローゾーン）

図 5-9 凡例を確認

また、QGIS による可視化も行った。

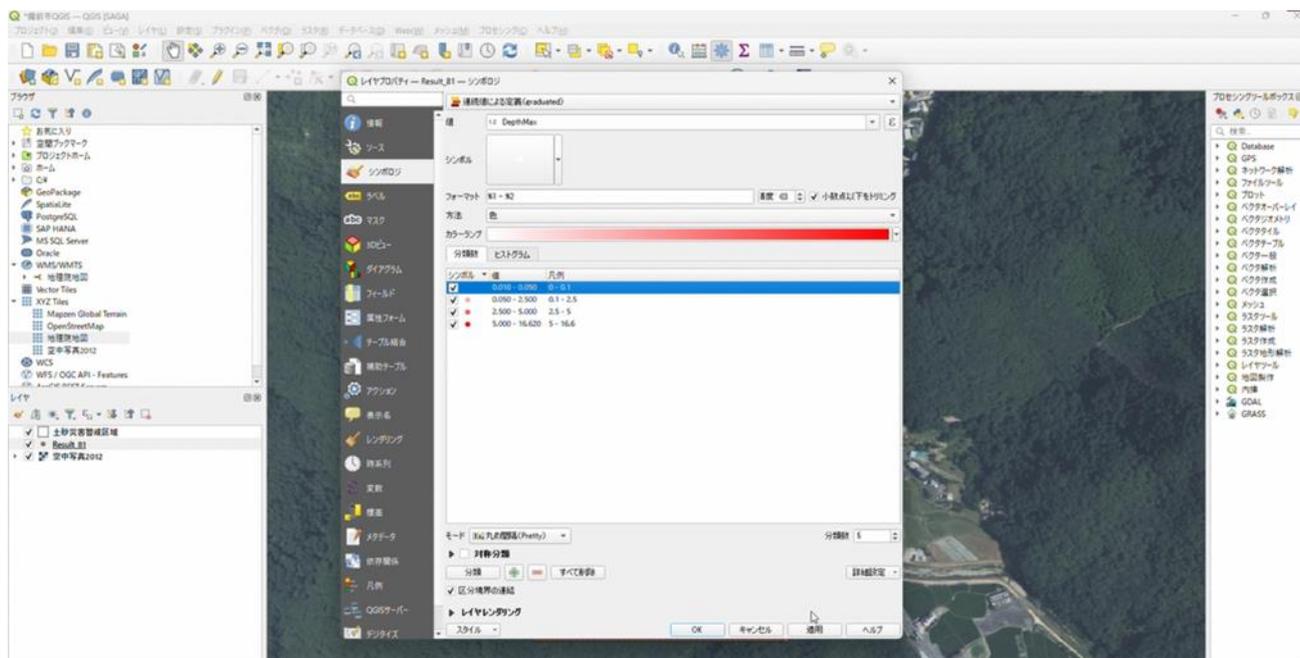


図 5-10 土石流流動深の最大値履歴（Depthmax）の QGIS による可視化（設定画面）

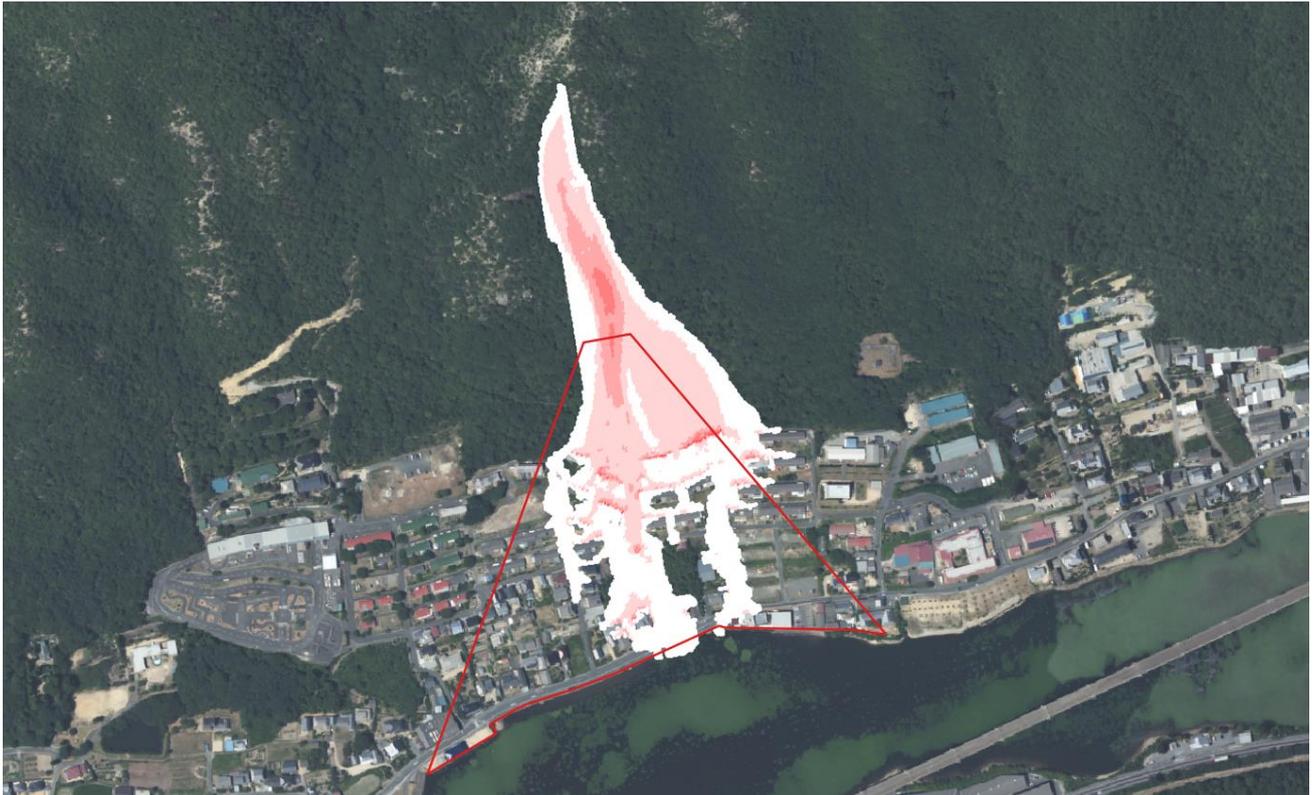


図 5-11 土石流流動深の最大値履歴 (Depthmax) の QGIS による可視化



図 5-12 建物倒壊判定 (Building) の QGIS による可視化

5-4-5. 実証実験の様子

概要説明



図 5-13 概要説明

土石流シミュレーション結果の3次元可視化のデモ

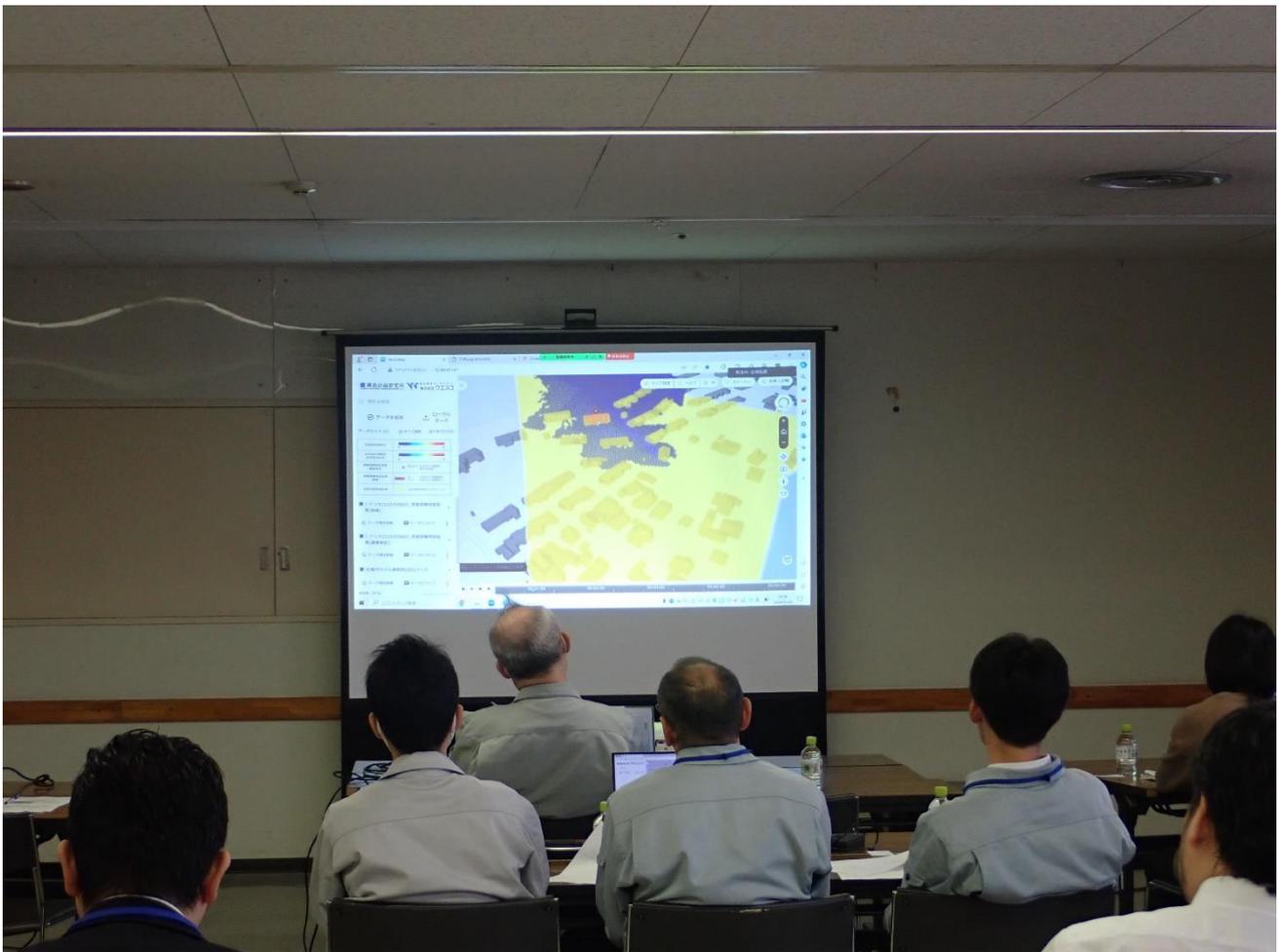


図 5-14 3次元可視化のデモ

土石流シミュレーション結果の3次元可視化の体験



図 5-15 3次元可視化の体験

土石流シミュレーション結果の3次元可視化の体験



図 5-16 質疑応答

5-5. 検証結果

1) 避難計画への反映可能性

避難計画への反映可能性に関して、自治体側参加者から一定以上の評価を得られた。反映方法については、否定的な意見もあること踏まえる必要がある。

土石流シミュレーション結果の3次元可視化により、土石流に対して相対的な安全エリアが抽出可能かという点では、自治体側参加者の大半が、ある一定以上可能という評価であった。

ただし、避難計画への反映方法は、参加者の間で意見が分かれる結果となった。

抽出された相対的に安全なエリア情報を踏まえ、自宅待機による避難の選択や、避難経路の検討に活用できるという意見があった。一方、土石流の発生速度を考えると自宅待機による避難のみが考えられるという意見もあれば、自宅待機1択にするのは危険という意見もあった。

従って、避難計画への反映にあたっては、地域の実情に応じて対応する必要がある。

また、避難計画への反映にあたっての今後の課題についてアンケートで質問したところ、以下のような意見が出された。

- 1つの警戒区域のシミュレーション結果だけでなく、隣接する複数の警戒区域で土石流が発生した場合の複合的なシミュレーション結果を可視化する。
- 警戒区域内の相対的に安全な箇所が、真に安全であるかどうかの判断を誰がどのように行うのか。
- 土砂災害に限定した視点ではなく、交通渋滞や洪水による影響等、マクロな視点からも検討する。
- 災害条件や時間経過等の条件を、どのように避難計画に反映するか。

Q1 土石流に対して相対的な安全エリアが抽出できたか

自治体側参加者 10 名のうち、9 名から回答があった。80%以上（8/10 名）が「可能」か「やや可能」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を 3 次元可視化することで、土石流に対して相対的な安全エリアが抽出できる可能性があることが明らかになった。

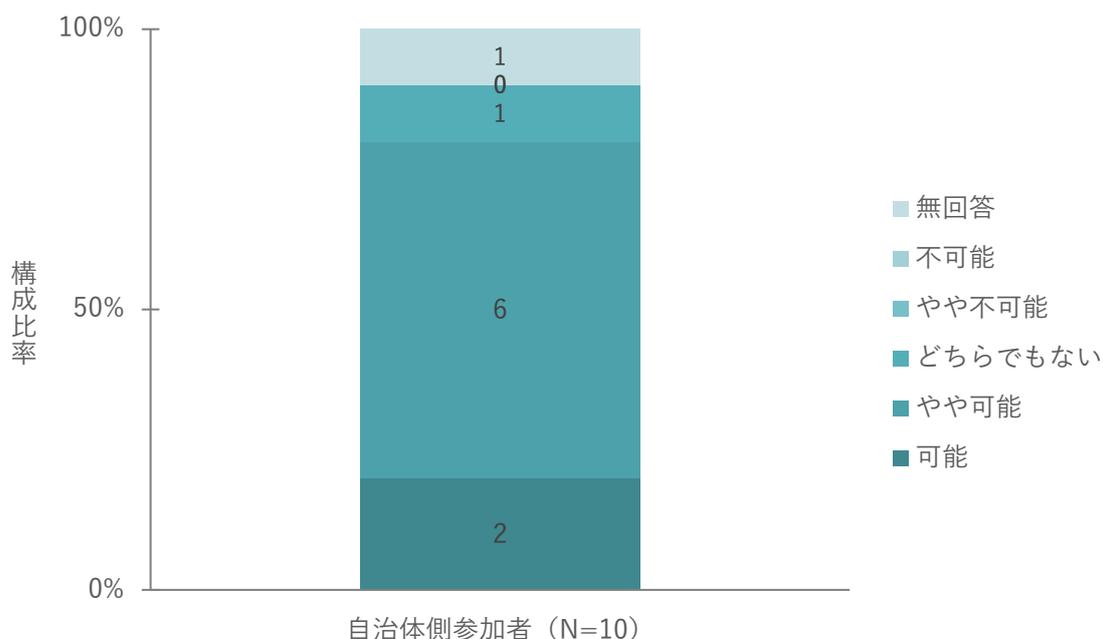


図 5-17 相対的な安全エリアが抽出できたか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-6 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	可能、やや可能	<ul style="list-style-type: none"> ● シミュレーションにより、視覚的に流体力、流体深の強弱を確認できる ● 建物の状態により、土石流の到達しない箇所がわかるが、それが避難計画のどの場面を想定するのか分からない。逃げる途中のこと？自宅にのこる場合のこと？ ● 土砂警戒区域内でも、安全エリアがあることを確認できました。地形によって様々なパターンがあるのだらうと思いました。同じような警戒区域のカタチをしていても、全面的に被害の可能性がある区域と、部分的に被害可能性のある区域があることがわかりました。 ● 土石流のイメージはつきやすくなるが、イエローゾーン以外にも土石流が流れ込んでいたことに懸念を抱いた。レイヤのずれにより生じたことなのか、シミュレーション上はイエロー以外にも土石流被害が生じる恐

		<p>れがある旨を周知しておかなければ、利用者に疑問点を与え、安全エリアの抽出に支障をきたすと感じた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 土石流の流れがわかるため、ある程度は可能。 ● 色があって分かりやすかったです。 ● 土砂災害の発生から、そのスピードまで可視化されていて、適切な安全エリアの抽出が出来ると思う。 ● アニメーション上は可能だが、発生箇所等の条件次第で変わると思われる。
2	どちらでもない	<ul style="list-style-type: none"> ● 地域が重なる場合のシミュレーションが知りたい。等高線も表示があれば、山からの方向も予測つくのでは？

Q2 抽出された相対的に安全なエリア情報を踏まえ、自宅待機による避難の選択が可能か

自治体側参加者 10 名のうち、9 名から回答があった。60%以上（6/10 名）が「可能」か「やや可能」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を 3 次元可視化することで、抽出された相対的に安全なエリア情報を踏まえ、自宅待機による避難の選択が可能であることが明らかになった。一方、20%以上（2/9 名）が「やや不可能」か「不可能」と回答し、様々な意見があることが分かった。

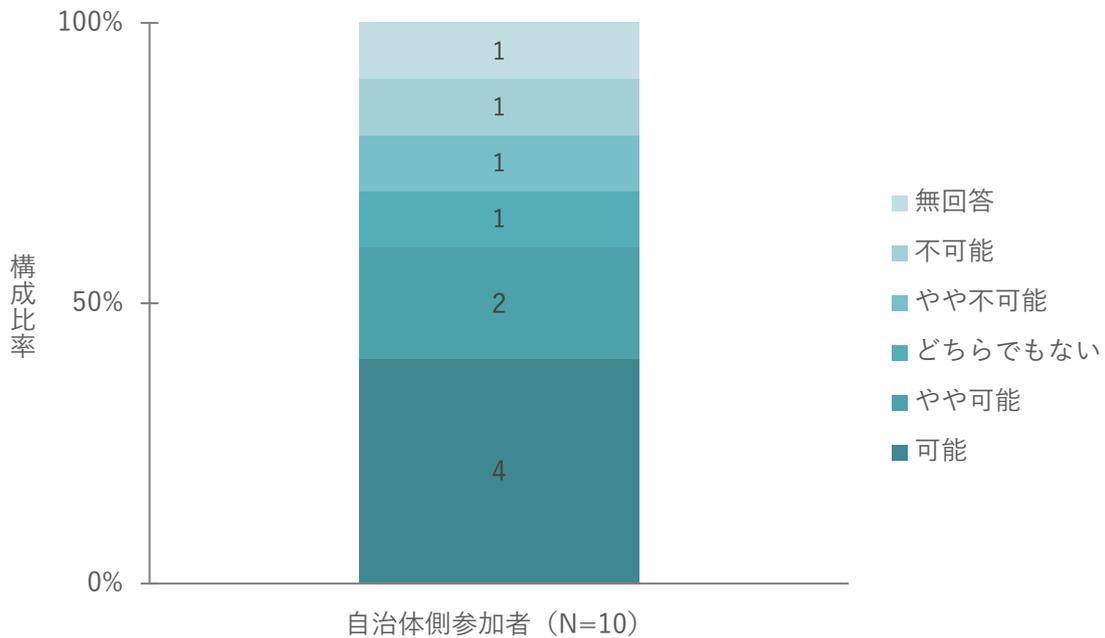


図 5-118 抽出された相対的に安全なエリア情報を踏まえ、自宅待機による避難の選択が可能か

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-7 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	可能、やや可能	<ul style="list-style-type: none"> ● エリアによっては、安全エリアが明確な箇所もあったとわかりました。区域によっては、土石流の被害の多いエリアもあり、外に出ない方が安全な場合は、自宅待機という方法も一つの方法だと認識できました。 ● 損壊発生判定を受けた家屋の構造や位置等が今後より詳細にわかるようになれば、自宅や周辺環境を比較することで、自宅待機の検討の一助になると考える。 ● 詳細なデータの基に抽出された安全なエリアであれば可能。 ● 建物の状況まで予測されており、また、土砂による影響範囲も分かることから可能だと考える。
2	どちらでもない	<ul style="list-style-type: none"> ● 避難所への避難が不可能な場合等、ケースバイケースと思われるが、規模や箇所が不明な段階で、自宅待機を選択できるのかわからない。
3	やや不可能、不可能	<ul style="list-style-type: none"> ● シミュレーションにより弱とされていても、自宅待機 1 択にするのは危険と考える。 ● 避難を進めるようお願いしたい。仮に逃げない人がいた場合は、役に立つと思うが、あまりおすすめできないと思う。

Q3 避難計画に活用できる可能性はあるか

自治体側参加者 10 名のうち、9 名から回答があった。「大いにある」か「ある程度ある」と回答したのは 50% (5/10 名) であった。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を 3 次元可視化することで、避難計画に活用できる可能性はあることが明らかになった。

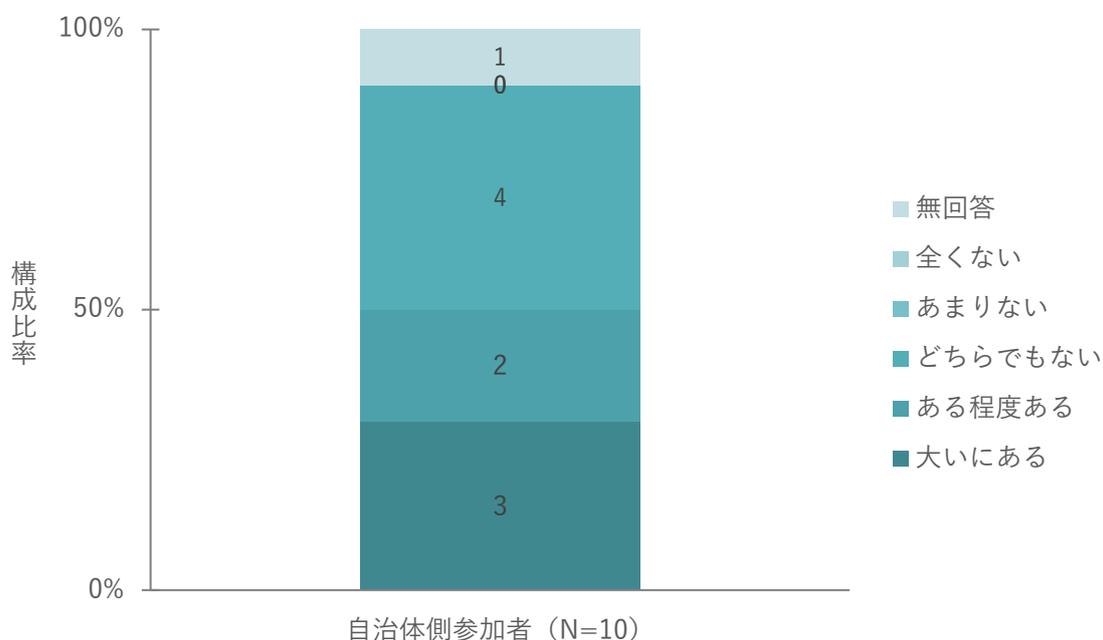


図 5-19 避難計画に活用できる可能性はあるか

定性評価では、避難計画への具体的な活用方法等、及び社会実装する際の課題について質問した。以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-8 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	大いにある、ある程度ある	<p>【具体的な活用方法等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 100%確定ということは言えないと思いますが、相対的に安全な避難ルートという点で考えていただくきっかけになるのではないのでしょうか。 ● 俯瞰的な視点から土石流のシミュレーションを見ることで、被害が想定される地域のイメージを持ちやすくなるため、シミュレーション上被害が少ないルートによる避難計画の検討に活用できる可能性があると考えられる。 ● 避難経路の検討に活用できる可能性がある。 ● 被害範囲が示されているので、避難所なのか、自宅避難なのか計画可能。 <p>【社会実装する際の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 市民の方々に普及させる際には、相対的に安全な対象避難ルートを考え

		<p>てもらうための補助的なツールとして、まずは認識してもらえればと思います。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現段階の土砂災害シミュレーションでは、その目的上、交通渋滞や洪水による影響はカバーし切れないため、避難計画活用の際には、土砂災害に限定した視点ではなく、もっとマクロな視点からも検討するように一般住民に促す必要があると考える。 ● シミュレーションが具体的すぎると、色のつかない地域の防災意識がうすれてしまう。絶対大丈夫ではないのに、そんな意識をあたえてしまう危険性。
2	どちらでもない	<p>【具体的な活用方法等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 現状では、具体的な活用方法は想定できていない。 ● 住民に対して、避難途中に土石流が発生する恐れがある場合に避難する場所をおしえることは意味があると思うが、土石流の発生速度を考えると、そもそも自宅避難の安全性のみ見せることになると思う ● 隣のエリアの情報も含めた複合的なシミュレーションも拝見したかった。 ● 土砂災害の発生箇所等の条件により、臨機応変に対応できるなら可能性はあると思われる。 <p>【社会実装する際の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 警戒区域内の相対的に安全な箇所が、真に安全であるかどうかの判断を誰がどのように行うのかといった点が課題と感じる。 ● 災害の条件や時間経過等の条件を避難計画にいかにか計画に落とし込むかだと思われる。

2) 住民啓発への活用可能性

住民啓発への反映可能性に関して、自治体側参加者から一定以上の評価を得られた。

土石流をアニメーションにより可視化することで、現象に対する理解が深まることが分かった。自治体側参加者からのコメント例を以下に示す。

- リアリティがあり、土石流の現象に対しての怖さを実感した
- 言葉や数字よりイメージしやすい
- 時間の経過もあったので、より分かりやすかった
- 視覚的に理解してもらうことで、2D マップよりは啓発につながる

一方、住民啓発への活用にあたり、以下の点で住民に誤解を与えないよう留意し、正しく理解してもらう必要がある。

- シミュレーションにおいて、土石流が来ない、または建物が倒壊しないと判断された箇所についても、安

全であるとは限らない。

- ▶ シミュレーションは土砂災害警戒区域（イエローゾーン）の範囲を否定するものではない。警戒区域内及びその周辺は土石流による被害の恐れがある。
- ▶ シミュレーションは自然現象を対象としており、また崩壊発生箇所等の条件に依存する。そのため、シミュレーション結果は完全ではなく、あくまで検討の参考である。

また、住民啓発への活用にあたっての今後の課題についてアンケートで質問したところ、以下のような意見が出された。

- ▶ スマートフォンで簡単に操作できるようになれば、より多くの住民に利用されるツールとなる。

Q4 土石流をアニメーションにより可視化することで、現象に対する理解は深まったか

自治体側参加者 10 名のうち、9 名から回答があった。90% (9/10 名) が「理解できた」か「やや理解できた」と回答。土石流をアニメーションにより可視化することで、現象に対する理解が深まったことが明らかになった。

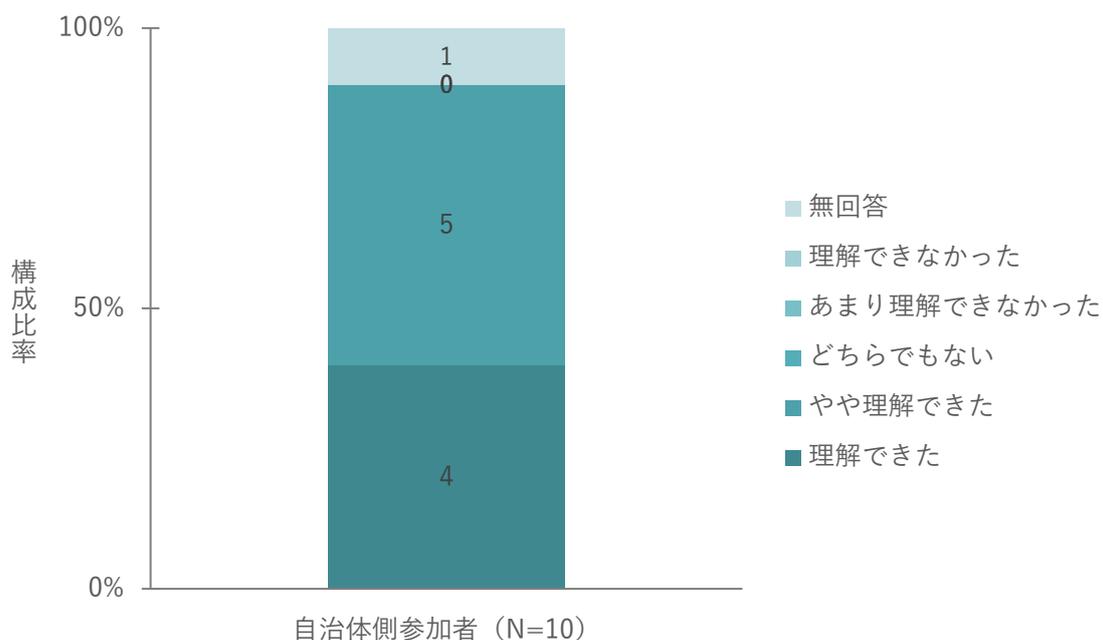


図 5-20 土石流をアニメーションにより可視化することで、現象に対する理解は深まったか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-9 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	理解できた、やや理解できた	<ul style="list-style-type: none"> ● それですべてだとの誤解を招かないようにしてほしい。警戒区域のイエローの範囲を否定しないよう、注意が必要。 ● 意識啓発という点では、とてもわかりやすいシステムだと思いました。とてもリアリティのあるアニメーションで、土石流の現象に対しての怖さを実感しました。 ● 被害の拡大の仕方、到達時間の想定等、文章では実感しづらい土石流の危険性が、アニメーションで可視化されたことで、非常に理解しやすくなったと感じた。 ● 土石流と倒壊箇所を同時に見られたため、言葉や数字よりイメージしやすい。 ● 時間の経過もあったので、より分かりやすかったです。 ● 理解が深まった。 ● 可視化自体は、よりよい取り組みと思われる。

Q5 土石流に対するイメージが具体的にになると、どういった啓発効果が得られるか

複数回答可でアンケートを実施し、自治体側参加者 10 名のうち、自由記述も含めて 8 名から回答があった。

「土石流に対する正しい避難場所や避難ルートの選定に関する啓発効果」は 60% (6/10 名) が、「土石流の危険性に関する啓発効果」は 50% (5/10 名) が効果ありと回答。土石流に対するイメージが具体的にすることで、土石流の危険性や正しい避難場所や避難ルートの選定に関する啓発効果が高い可能性があることが明らかになった。

また、「土石流に対する事前の備えに関する啓発効果」は 40% (4/10 名)、「土石流現象の正しい知識に関する啓発効果」は 20% (2/10 名) が効果ありと回答した。

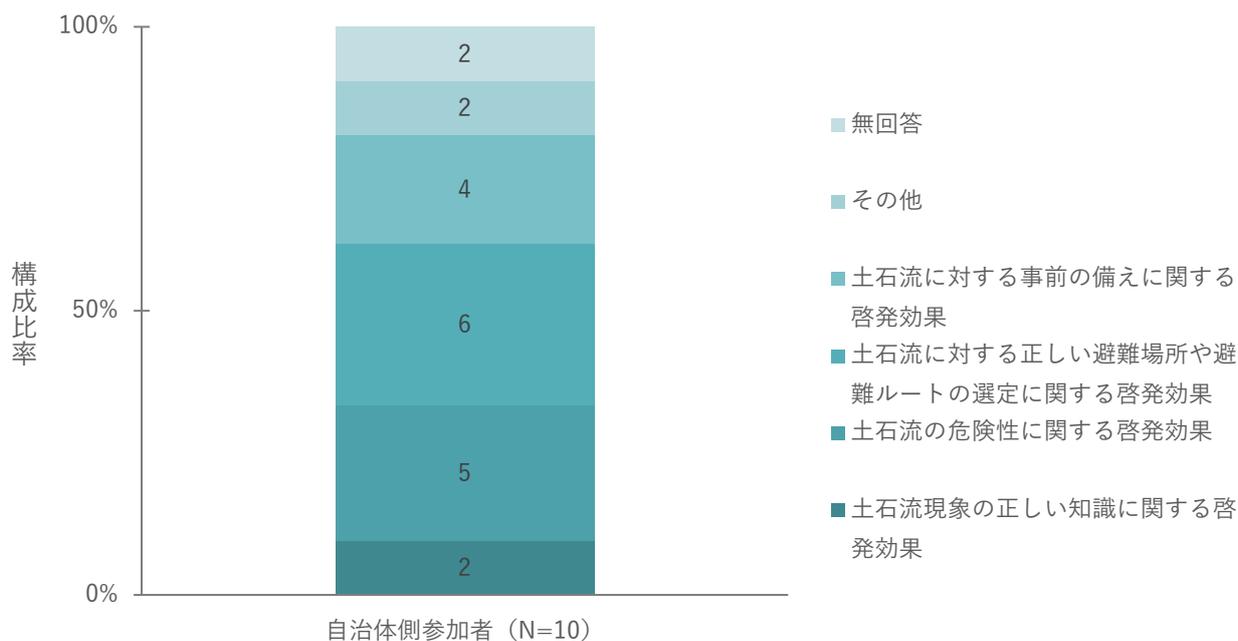


図 5-21 土石流に対するイメージが具体的になると、こういった啓発効果が得られるか

定性評価では、その他、こういった啓発効果が得られるかについて質問した。以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-10 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	その他、こういった啓発効果が得られるか	<ul style="list-style-type: none"> ● 1人1人の具体的な避難行動計画づくりにつながる可能性があると思います。土石流というものが、人々の想像以上の速さスピードでせまってくることで、とにかく逃げるという意識をもってもらうことができると思います。 ● 安全であるとの誤解をまねくおそれがある。

Q6 住民啓発に活用できる可能性はあるか

自治体側参加者 10 名のうち、8 名から回答があった。60%以上（6/10 名）が「大いにある」か「ある程度ある」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を 3 次元可視化することで、住民啓発に活用できる可能性はあることが明らかになった。

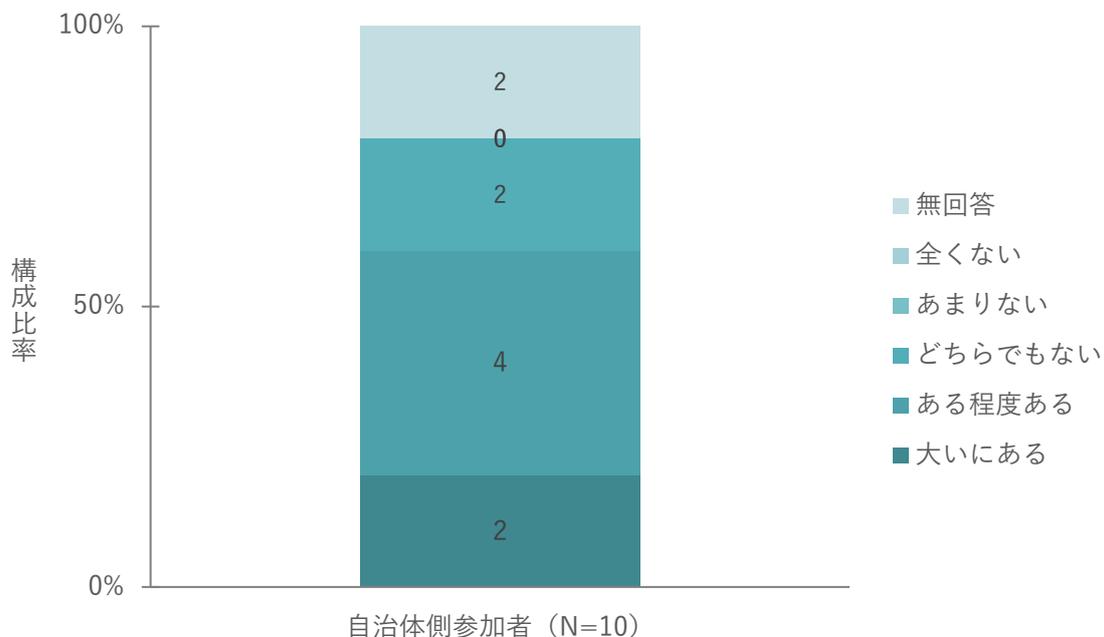


図 5-22 住民啓発に活用できる可能性はあるか

定性評価では、住民啓発への具体的な活用方法等、及び社会実装する際の課題について質問した。以下のよう
に一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-11 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	大いにある、ある程度ある	<p>【具体的な活用方法等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 住民との防災ワークショップや、児童防災教育などに活用できると思います。 ● 地域での防災訓練など自分の住んでいる所を見てもらう。 ● 地域住民で実施している防災関連の集会等で紹介するといったののではないかと。ただ、使い方や見方を説明する必要があるので人員・時間を要するという課題がある。スマホで簡単に操作ができれば、QRコードやチラシや市誌に載せるだけで広く伝えることも出来ると思う。スマホに限らずPCでも、例えばマウスでポイントすると「ここをクリックすると〇〇の情報に切り替わるよ」といった説明が出るようにするとか、もう少し分かりやすいものだと嬉しいです。 ● 視覚的に理解してもらうことで、2Dマップよりは啓発に繋がると思われる。 <p>【社会実装する際の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● （正しく理解されるよう）誤解がないように啓発に活用する必要がある（警戒区域内及びその周辺は土砂災害のおそれがあるといった前提を理解したうえでの活用となるように啓発する必要がある） ● スマホなど、身近なツールで活用できると、多くの人々に利用してもらい役立つツールになると思います。 ● シミュレーションが完全なものでなく、あくまで検討の参考に留めること、絶対的安心を保障するものではないことは、住民へ周知すべきであると考えている。 ● 今回のシミュレーション及び3D PLATEAUデータは、国交省HPにてオープンデータ化されると思うが、その存在と活用方法をいかに住民（市民）に広めていくかが、課題と考えられる。
2	どちらでもない	<p>【具体的な活用方法等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 妙な安心感を持たれないよう注意が必要。 <p>【社会実装する際の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 安全な場所があるとの誤解を招くおそれがないよう、注意を払う必要がある。

3) 土石流現象の力学的表現

土石流現象の力学的表現に関して、事業者側参加者から一定以上の評価を得られた。土石流による土砂の形態（流動深）や力の作用（流体力）を色によって表現しており、直感的に変化が理解できるという評価であった。

Q7 土石流による土砂の形態（流動深）の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか

事業者側参加者のうち、100%（4/4名）が「適切」か「やや適切」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を3次元可視化することで、土石流による土砂の形態（流動深）の時空間的な分布の変化を適切に伝えることができる可能性があることが明らかになった。

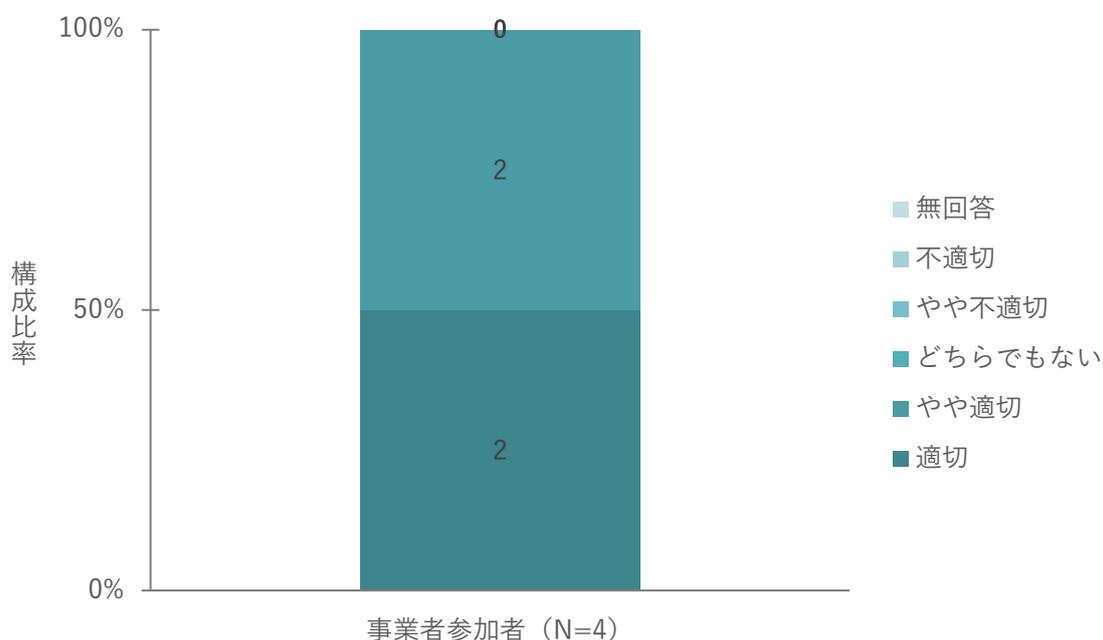


図 5-23 土石流による土砂の形態（流動深）の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-12 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	適切、やや適切	<ul style="list-style-type: none"> ● 凡例の色分けの設定は可能？値が小さい場合に色が同じになってしまう。 ● 下流に進むにつれて広がり、それが可視化されていたため、分かりやすかった。 ● 着色で、ひと目で変化が分かるから。 ● 土石流が建物の間を縫って流れていく様子がわかりやすかった。地元の方など土地勘のある方だとより実感を持ってシミュレーションを見てもらえると思う。

Q8 土石流による力の作用（流体力）の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか

事業者側参加者のうち、100%（4/4名）が「適切」か「やや適切」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を3次元可視化することで、土石流による力の作用（流体力）の時空間的な分布の変化を適切に伝えることができる可能性があることが明らかになった。

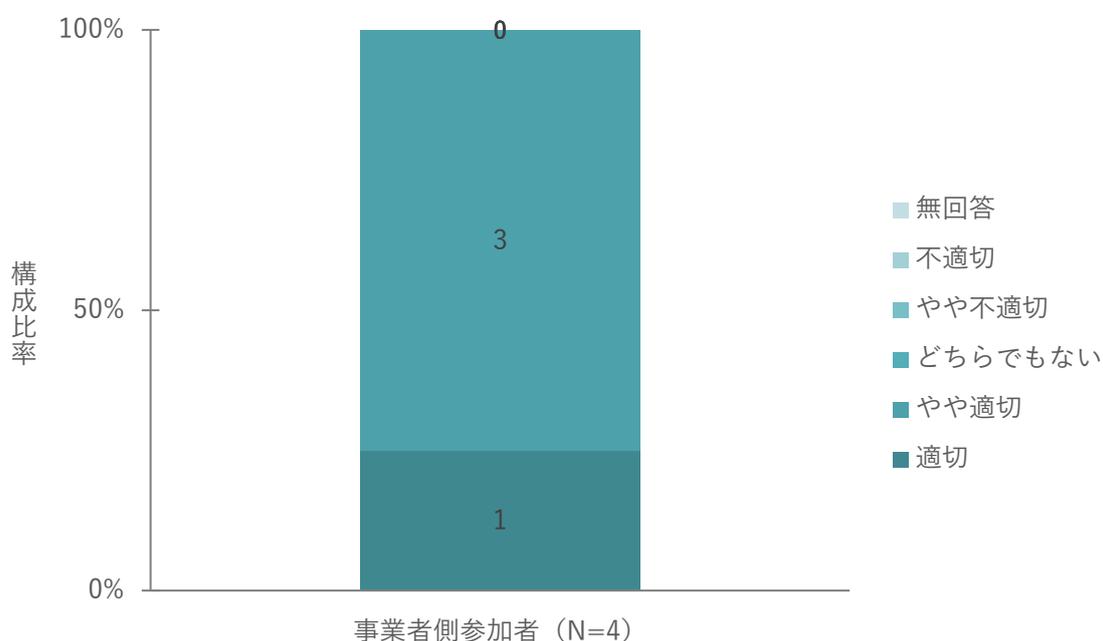


図 5-24 土石流による力の作用（流体力）の時空間的な分布の変化が適切に伝わるものであるか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-13 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	適切、やや適切	<ul style="list-style-type: none"> ● 同上（凡例の色分けの設定は可能？値が小さい場合に色が同じになってしまう）。同じ色で同じ建物構造で破壊の有無が異なるのが不思議。当たり方？ ● 色によって直感的に力の強さが理解できた。 ● 問1と同様（着色で、ひと目で変化が分かるから）。 ● 力学的な理解がない方だと、色分けから分布を理解したり、そこから状況を想像するのは難しそう。

4) 土石流の最大のリスク分布の表現

土石流の最大のリスク分布の表現に関して、事業者側参加者から一定以上の評価を得られた。

Q9 土石流の最大のリスク分布を分かりやすく表現しているか

事業者側参加者のうち、100%（4/4名）が「分かりやすい」か「ある程度分かりやすい」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を3次元可視化することで、土石流の最大のリスク分布を表現できる可能性があることが明らかになった。

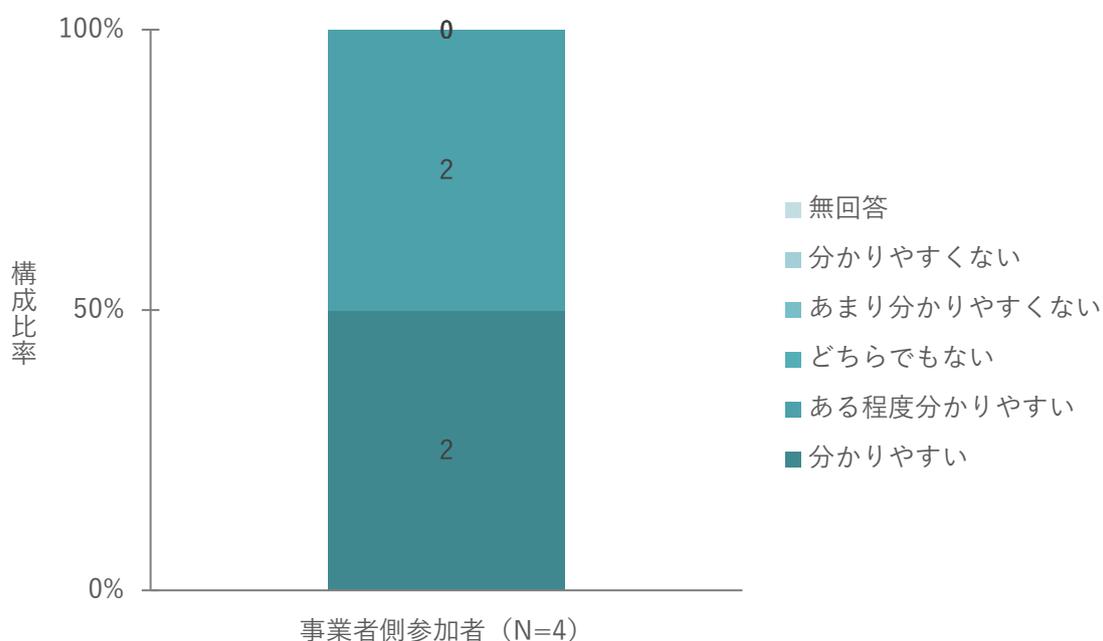


図 5-25 土石流の最大のリスク分布を分かりやすく表現しているか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-14 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	分かりやすい、ある程度 分かりやすい	<ul style="list-style-type: none"> ● これまで可視化されなかった情報のため分かりやすい。 ● 結果だけでなく、土石流が広がる過程を時間的に見えるため、分かりやすかった。 ● (崩壊地点へ与える) 土石流の量はどのように決定されるのか。最大規模や規模が小さい場合といった区分は可能なのですか。土石流発生地点の地質条件などで解析に影響はでないものなのですか。iRIC で設定できるのですか。 ● 実際に住民等に説明する時は、土石流がそれぞれのリスク段階ごとにどの程度危ないのかイメージできるような説明があると分かりやすいと思った。

Q10 土石流の最大のリスク分布に対し、家屋の破壊の分布を適切に表現しているか

事業者側参加者のうち、75% (3/4 名) が「適切」か「やや適切」と回答。家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションを実施し、結果を 3 次元可視化することで、土石流の最大のリスク分布に対し、家屋の破壊の分布を適切に表現できる可能性があることが明らかになった。

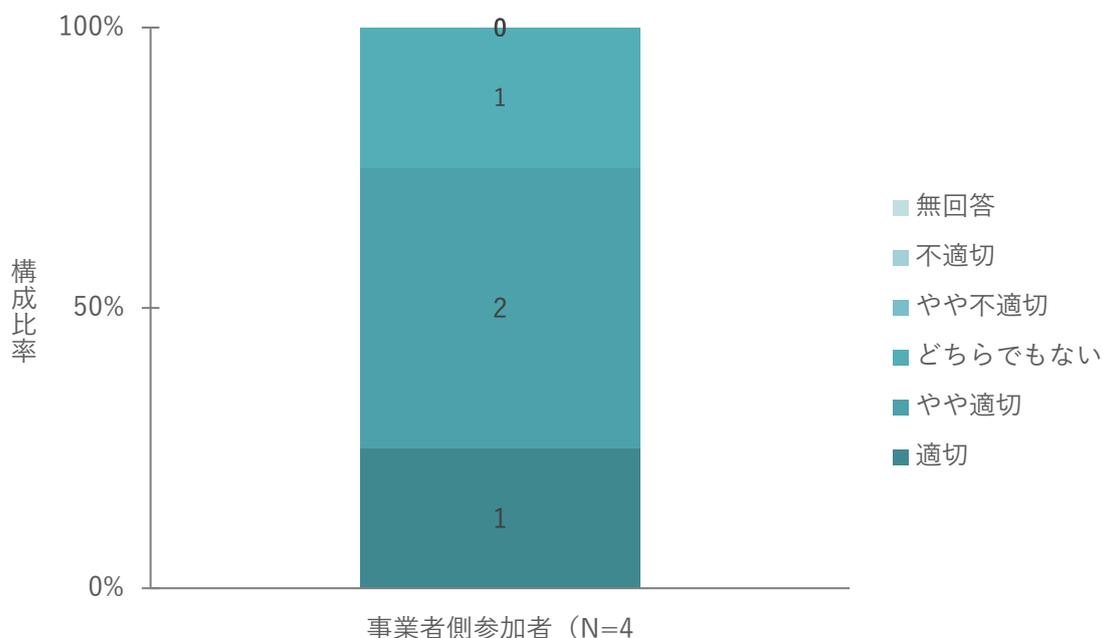


図 5-26 土石流の最大のリスク分布に対し、家屋の破壊の分布を適切に表現しているか

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-15 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	適切、やや適切	<ul style="list-style-type: none"> ● 半壊はどちらの扱いになるか。表現としては分かりやすいと思います。 ● 築年数や材質で倒壊・非倒壊を判断するというのは根拠として適切だと感じたため。 ● 家屋が倒壊した後、倒壊家屋の背後などで流体力などに変化はありますか。
2	どちらでもない	<ul style="list-style-type: none"> ● 倒壊の判定となった家屋に想定される被害はどのようなイメージなのか（室内に土砂が流入、家ごと流される etc）気になります。

5) 可視化表現の視認性・操作性

可視化表現の機能は概ね十分と考えられる。追加してほしい機能については、以下が挙げられた。

- 表示項目の絞り込み機能
- 避難経路の表示や自動算出機能
- 色を現実に近くするモードの設定機能

一方、可視化表現の反応速度・レスポンスの改善が課題である。視点を動かしたり再生したりする際に操作が重く、今後 1 箇所だけでなく複数箇所のシミュレーション結果を可視化すればさらに重くなる恐れがある。また、可視化表現の際に反応速度・レスポンスを確保するには、PC のスペックにも留意する必要がある。

Q11 使える機能は十分か

事業者側参加者のうち、100%（4/4名）が「十分」か「やや十分」と回答。土石流シミュレーション結果の3次元可視化について、使える機能が十分である可能性があることが明らかになった。

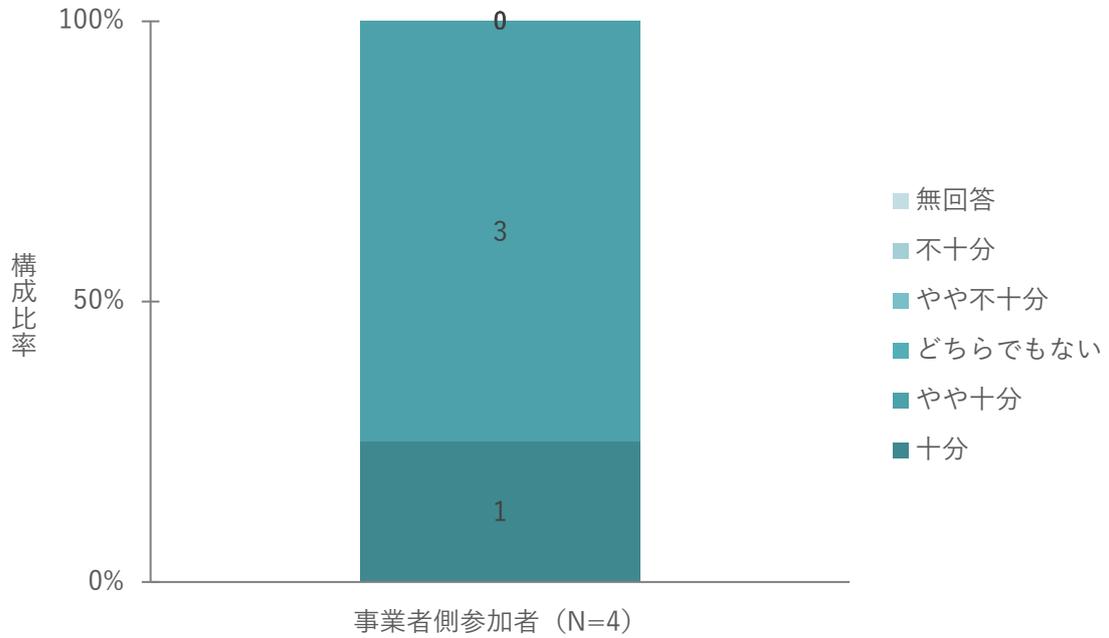


図 5-27 使える機能は十分か

定性評価では、理由・自由意見等に加えて、その他、ほしい機能があるかについても質問した。以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-16 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	十分、やや十分	<p>【理由・自由意見等】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 概ね十分。下記の機能も可能であれば追加してほしい。 ● 読みこんだデータの容量が確認できると、表示の調整がしやすくなると感じた。 ● 利用目的によって必要な機能は変わってくると思うが、住民説明レベルであれば十分だと思う。 <p>【その他、ほしい機能があるか】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ①建物の属性情報の表示が多すぎると思われる。表示項目を限定してはどうか。 ● ②土砂の総量（総堆積量）の表示。 ● 避難経路の地図上への表示。 ● 避難経路自動算出。 ● 一般の人にまず災害のイメージを持ってもらうために、より現実に近い色合い（土→茶色、建物→白系 etc）で見られるモードがあると伝わりやすいのではないかと思った。

Q12 反応速度・レスポンスは十分か

事業者側参加者のうち、「十分」か「やや十分」と回答したのは 25%（1/4 名）に留まった。土石流シミュレーション結果の 3 次元可視化について、反応速度・レスポンスに改善の余地があることが明らかになった。

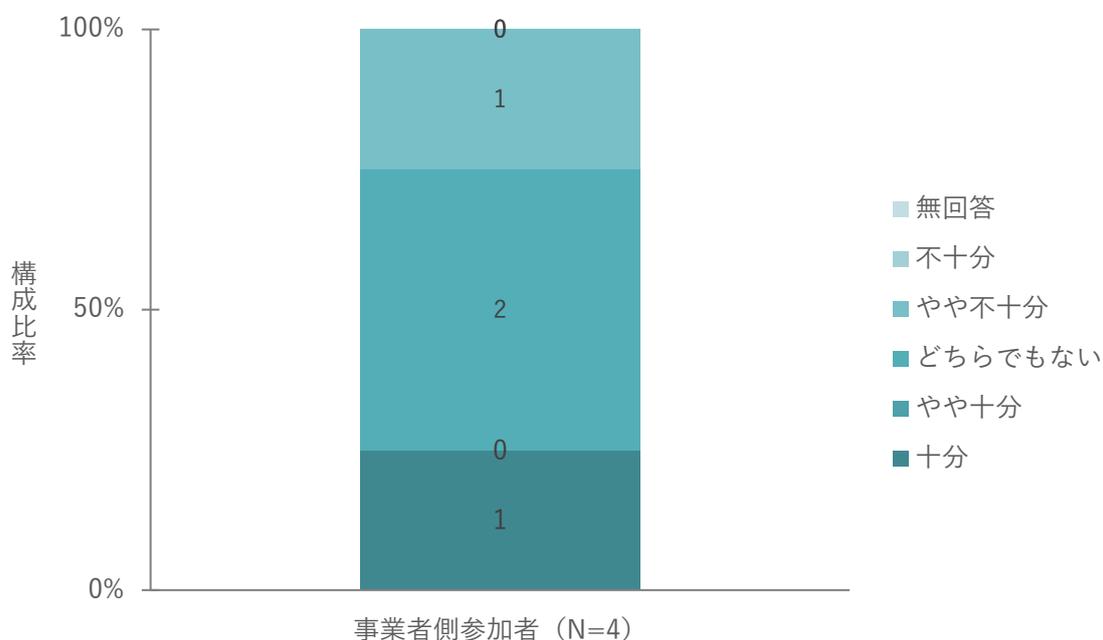


図 5-28 反応速度・レスポンスは十分か

定性評価では、以下のように一定評価があるものの、次年度に向けた課題となるフィードバックが寄せられた。

表 5-17 関連する定性コメント

No	定量調査の結果・示唆	関連する定性コメント
1	十分、やや十分	● スペック、使用状況の制限などはどの程度あるのですか。
2	どちらでもない	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 箇所であれば問題なし、実用上は、5 箇所程度を同時に見ると考えられるため、PC のスペックに依存するのではないか。 ● シミュレーションを web 上で見られるのは便利だと思います。操作面では、今回お借りした PC だと 1 つ 1 つの動作に数秒かかっていたので、実際に住民等に見せる際は PC のスペックも見過ごせないのかなと感じました。
3	やや不十分、不十分	● 視点を動かしたり、再生したりするときに、かなり重かった。

6. 実証の成果と課題、今後の展望

6-1. 本実証で得られた成果

6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性

実証実験を通じて、以下のような 3D 都市モデルの技術面での優位性が示された。

表 6-1 3D 都市モデルの技術面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの技術面での優位性
システム (シミュレーション 結果の 3 次元可視 化)	複数視点のシームレ スな切替え	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルを用いた土石流シミュレーション結果の 3 次元的可視化により、土石流流動深・流体力等のリスク情報を、俯瞰視点や地上からの視点等、様々な視点から把握することが可能 (従来の土砂災害警戒区域の 2 次元図面では、リスクを平面的にしか把握できず、また時系列の把握が不可能)
	属性情報の確認	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルに含まれている属性情報(建物建築年、建物構造、建物階数)は、3 次元可視化ビューワにおいてクリックするだけで容易に確認可能
アルゴリズム(土石 流シミュレーショ ン)	土石流シミュレーシ ョンの高度化	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルにおいて整備されている高精度な地形・建物高さデータを使用することにより、「建物無し」計算と比較して、高精度な土石流シミュレーションが可能
	データ変換における 属性情報の引き継ぎ	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルに含まれている属性情報(建物建築年、建物構造、建物階数)は、FME によるシェープファイルへの変換において引き継がれるため、容易に家屋の倒壊/非倒壊判定に利用可能

6-1-2. 3D 都市モデルのビジネス面での優位性

表 6-2 3D 都市モデルのビジネス面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルのビジネス面での優位性
土石流シミュレーションの労力・コストの削減	労力・コストの削減の削減	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルが整備される以前は、土石流シミュレーションに使用する建物データの準備にあたり、LP データ等処理する作業が発生していた。3D 都市モデルの導入により、建物の属性データ・高さ情報を一定の精度で簡単に入手できるようになり、従来よりも低労力・低コストでの土石流シミュレーションが可能となる。
	土石流シミュレーションの操作の簡易化	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルの活用により、家屋の倒壊/非倒壊判定を考慮した土石流シミュレーションの操作が簡易化され、自治体担当者等、多くの人々がシミュレーションを実施可能となる。

6-1-3. 3D 都市モデルの政策面での優位性

表 6-3 3D 都市モデルの政策面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの政策面での優位性
土石流現象への理解	土石流現象への理解の促進	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルを用いて、高精度な土石流シミュレーションおよびシミュレーション結果の 3 次元的可視化を行うことで、行政担当者および住民が土石流現象への理解を深め、また土砂災害警戒区域内の時空間的なリスク分布を把握することが可能。 (従来の土砂災害警戒区域の 2 次元図面では、土石流の時空間的なリスクの把握が不可能)
	相対的な安全エリアの抽出	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルを用いて、シミュレーション結果を 3 次元的に可視化し、またアニメーションによって時間の経過を表示することで、土石流に対して相対的な安全エリアの抽出が可能となる。

6-2. 実証実験で得られた課題と対応策

表 6-4 実証実験で得られた課題

大項目	小項目	実証実験で得られた課題	課題に対する対応策
システム (土石流シミュレーション)	計算条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーションには不確実性があり、土砂量等の条件により結果が変動 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、発生土砂量をもとに複数ケースの土砂量を設定してリスクマップを作成することを検討
	流木の考慮	<ul style="list-style-type: none"> ● 今回は土石流のみを対象としたが、より現実的なものとするには、流木を考慮した土石流シミュレーションの実施が課題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、Morpho2DH において、流木を考慮する機能を追加することを開発者に提案することを検討
システム (シミュレーション結果の3次元可視化)	反応速度・レスポンスの改善	<ul style="list-style-type: none"> ● 視点を動かしたり再生したりする際に操作が重く、反応速度・レスポンスの改善が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 以下のいずれかの対応を検討 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 動画にまとめたものを住民等に見せる ➢ データの軽量化による反応速度の改善 ● 今後、PC の推奨スペックの目安を明示することを検討
	表示方法の改善	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流の流動深および流体力は値の大きさにより色分けしているが、値が小さい場合は色の変化が分かりにくい場合がある ● 土石流の流動深は、3次元的な高さ表示が分かりやすいが、現時点では値の色分けで対応 ● 色分けは青系の色を使用しており、実現象の色とは異なる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、土石流の流動深および流体力の値による色分けを任意に設定できるよう、システムの改良を検討 ● 今後、土石流の流動深について、3次元的な高さ表示ができるよう、システムの改良を検討 ● 今後、災害のイメージを持ってもらうために、より実現象に近い色合い（例：土→茶色）で表示する機能を追加することを検討
	複数渓流の表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 複数の渓流が隣接している場面で避難計画に活用するには、複数渓流を同時にシミュレーションした結果を表示することが有効であるが、現時点ではデータ容量の関係で1 渓流単独のシミュレーション結果の表示に留まる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、複数渓流を同時にシミュレーションした結果を表示できるよう、3次元可視化ビューワの改良を検討

	避難場所・避難経路の表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 現時点では避難場所や避難経路が分からない 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、避難場所や避難経路を地図上に重ねて表示することを検討
アルゴリズム（土石流シミュレーション）	再現性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ● 再現計算は、平成26年8月豪雨による広島市安佐南区八木三丁目の土石流災害を対象としている 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、他の災害事例においても再現性を確認することを検討
	土石流と建物の整合性	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流の外力分布はメッシュ単位である一方、建物は1つの構造体であり、耐力の考え方をどう整合させるかが課題 ● 土石流の外力が大きくなると、建物は一つの構造体としてではなく部分的に倒壊する現象についての再現性向上が課題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、土木工学と建築工学の知見を融合して検討
避難計画への反映	避難計画への反映方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 避難計画への反映方法は行政職員の間でも意見が分かれ、土石流の発生速度を考えると自宅待機による避難のみが考えられるという意見と、自宅待機1択にするのは危険という意見の両方が存在 	<ul style="list-style-type: none"> ● 避難計画への反映にあたっては、地域の実情に応じて、また行政担当者・住民の意見を適切に反映しながら対応
	複数渓流の表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 複数の渓流が隣接している場合、土石流シミュレーション結果をもとに一時避難場所および避難経路を設定するには、複数渓流の同時シミュレーション結果を示すことが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、複数渓流が隣接している場合は、複数渓流の同時シミュレーションを実施し、3次元可視化ビューワで表示できるようにシステムを改良することを検討
	土石流シミュレーションの不確実性への対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーションは、土砂量等の条件により結果が変動する。避難計画への反映にあたり、自治体が土石流シミュレーションの不確実性を懸念する可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、発生土砂量をもとに複数ケースの土砂量を設定してリスクマップを作成することを検討
	複合的な災害への対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 避難計画を立てる際、洪水等、土石流以外の災害も視野に入れることが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、土石流に限定した視点ではなく、交通渋滞や洪水による影響等、複合的な視点から避難計画が立てられるよう検討

<p>住民啓発への活用</p>	<p>土石流シミュレーションに対する正しい理解</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流シミュレーションにおいて、土石流が来ない、または建物が倒壊しないと判断された箇所について、絶対に安全であるという誤解を与え、防災意識が薄れる懸念 ● 土石流シミュレーションは土石災害警戒区域（イエローゾーン）の範囲を否定するという誤解を与える懸念 ● 土石災害警戒区域（イエローゾーン）以外にも土石流が流れ込む場合があり、利用者に疑問点を与える懸念 ● 住民が土石流シミュレーション結果の精度を過信する懸念 	<ul style="list-style-type: none"> ● 住民への説明の際、以下の事項について誤解を与えないよう留意 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 土石流シミュレーションは自然現象を対象としており、また崩壊発生箇所等の条件に依存する。そのため、シミュレーション結果は完全ではなく、あくまで検討の参考である。 ➤ 土石災害警戒区域（イエローゾーン）内及びその周辺は土石流による被害の恐れがある。 ➤ 土石流シミュレーションにおいて、土石流が来ない、または建物が倒壊しないと判断された箇所についても、安全であるとは限らない。
	<p>リスクの説明</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 住民が、土石流の流動深および流体力の色分けから、災害状況や危険性を想像するのは困難である懸念 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、発生土砂量をもとに複数ケースの土砂量を設定してリスクマップを作成し、特に危ない箇所を一定の科学的根拠を持って示すことを検討
	<p>システムの普及</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● より多くの住民への啓発を行うには、システムの普及が課題 	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後、より多くの住民に利用してもらえるよう、スマホ等、身近なツールでの活用を検討

6-3. 今後の展望

本年度のユースケースで開発した「木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックを実装した土石流シミュレーション」および「シミュレーション結果の3次元可視化」について、試行利用した自治体および事業者からは概して好意的なフィードバックが寄せられ、今後の他自治体等への展開に向けて好感触を得ることができた。特に、3次元可視化ビューワの表示方法や反応速度・レスポンスは改善の余地があるが、必要な改良を続けつつ、次年度以降は他地域への展開の加速が望まれる。また、土石流シミュレーションおよび木造家屋の倒壊/非倒壊判定ロジックは、今後も引き続き妥当性の検証および改善を行い、より信頼度の高いシミュレーション結果を提供することが求められる。

また、シミュレーション結果の3次元可視化により、避難計画への反映や住民啓発への活用の面で、以下のことが期待される。

- 住民が土石流現象の危険性を実感でき、正しい避難行動につながる
- 防災教育や防災訓練等に活用される
- 行政、専門家、住民等で共有可能となるため、防災計画等に関する円滑な合意形成が可能となる

なお、住民への説明に当たっては、土石流シミュレーションに関して、住民に過度な安心感または不安を与えることの無いよう、また誤解を与えることが無いよう留意することが求められる。

今後は、VR等を用いて、土石流を経験したことがない人にも疑似体験を可能にすることで危険性を認識してもらうことや、避難訓練への活用も今後の展望の1つである。また、3次元ハザードマップ等に土石流シミュレーション結果および洪水等の情報を動的に表示できるようにする等により、避難計画立案および住民啓発をより高度化することが期待される。

7. 用語集

A) アルファベット順

表 7-1 用語集（アルファベット順）

No.	用語	説明
1	FME	データの変換や統合などの処理機能を持つソフトウェアである。XML、GIS、CADなどで使われる、さまざまな空間データのフォーマットに対応しており、GIS業界や建築業界などで、幅広く使われている。PLATEAUでは、CityGML形式のデータを加工するときによく使われる。 ¹¹
2	iRIC	水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォームで、無償で利用することができる。河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアとして開発が始まったが、その後、氾濫や流出、津波、土石流モデルなどの様々な数値シミュレーションモデルに対応することで機能拡張が継続されている。 ¹²
3	Morpho2DH	平面二次元の土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバであり、斜面崩壊を初期条件とした土石流・泥流の流動・堆積過程を表現可能なモデルである。砂防ダム、堰、家屋などの構造物や地盤の浸食深さの平面分布などを考慮した解析が可能である。 ¹³

¹¹ CityGML から各種データ形式へのコンバート[1/2] | FME Form の機能と基本的な使い方（国土交通省 PLATEAU ホームページ）

<https://www.mlit.go.jp/plateau/learning/tpc04-1/>

¹² iRIC について（iRIC ホームページ）

<https://i-ric.org/about/>

¹³ Morpho2DH（iRIC ホームページ）

<https://i-ric.org/solvers/morpho2dh/>

B) 五十音順

表 7-2 用語集（五十音順）

No.	用語	説明
1	記録的短時間大雨情報	数年に一度程度しか発生しないような短時間の大雨を、観測したり、解析したりしたときに発表する情報。 現在の降雨がその地域にとって土砂災害や浸水害、中小河川の洪水災害の発生につながるような、稀にしか観測しない雨量であることを知らせるために、雨量基準を満たし、かつ、大雨警報発表中に、キキクル（危険度分布）の「危険」（紫）が出現している場合に発表する。 ¹⁴
2	土砂災害警戒区域	土砂災害による被害を防止・軽減するため、危険の周知、警戒避難体制の整備を行う区域。 土砂災害防止法（土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律）に基づく。 ¹⁵
3	土砂災害特別警戒区域	避難に配慮を要する方々が利用する要配慮者利用施設等が新たに土砂災害の危険性の高い区域に立地することを未然に防止するため、開発段階から規制していく必要性が特に高いものに対象を限定し、特定の開発行為を許可制とするなどの制限や建築物の構造規制等を行う区域。 土砂災害防止法（土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律）に基づく。 ¹⁶
4	土石流	山腹、川底の石や土砂が長雨や集中豪雨などによって一気に下流へと押し流されるもの。その流れの速さは規模によって異なるが、時速 20～40km という速度で一瞬のうちに人家や畑などを壊滅させる。 ¹⁷
5	要配慮者利用施設	社会福祉施設、学校、医療施設その他の主として防災上の配慮を要する者が利用する施設。市町村地域防災計画にその名称及び所在地が定められた施設が対象。 ¹⁸

以上

¹⁴ 記録的短時間大雨情報（気象庁ホームページ）：

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/kirokuame.html>

¹⁵ 土砂災害防止法の概要（国土交通省ホームページ）：<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>

¹⁶ 土砂災害防止法の概要（国土交通省ホームページ）：<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/sinpoupdf/gaiyou.pdf>

¹⁷ 土石流とその対策（国土交通省ホームページ）：https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/dosekiryou_taisaku.html

¹⁸ 要配慮者利用施設における避難確保計画の作成等に関するパンフレット（国土交通省）：

<https://www.mlit.go.jp/common/001189349.pdf>

精緻な土砂災害シミュレーション
技術検証レポート

2024年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局

受託者：株式会社ウエスコ/株式会社構造計画研究所