

氾濫シミュレーションのための地理空間情報の 管理手法に関する一考察

南葉潤一^{†1} 畑山満則^{†2}

概要: 氾濫シミュレーションに与えるインプットデータは、通常既存の整備図面等を諸元として二次利用することで得られる。しかしながら諸元の精度が低い場合、インプットデータの作成において自動処理だけではインプットデータの精度が担保出来ないため、マニュアル修正作業が必要になる(データ精度の問題)。また、インプットデータの更新間隔に対して諸元の更新間隔が長い場合、インプットデータの鮮度が担保出来ない(データ鮮度の問題)。本研究では滋賀県の「地先の安全度マップ」を例に取り、インプットデータ作成工程を分析することで、以上の問題を克服するためのデータ維持管理手法を提案する。具体的には、データ精度の問題については、台帳の存在しない河川の河道断面データの整備のみが、マニュアル修正が必要な工程に分類されることを示し、この修正作業のコストを低減するための手法について考察を行う。データ鮮度の問題については、インプットデータの更新に、行政で管理されている別のデータを利用できる可能性があることを示し、その具体的な事例として堤内地の地形変化を捉えるデータを使った場合のデータ維持管理の工程を提案する。

キーワード: 氾濫シミュレーション, データの二次利用, 継続的な更新

A Study on Geographic Database Maintenance Process for Flood Simulation

JUNICHI NAMBA^{†1} MICHINORI HATAYAMA^{†2}

Abstract: This manuscript is a guide to produce a draft to be submitted to IPSJ Journal and Transactions and the final camera-ready manuscript of a paper to appear in the Journal/Transactions, using MS-Word template file (.dot). Since the manuscript itself is produced with the MS-Word template file, it will help you to refer it.

Keywords: IPSJ Journal, MS-Word, Style files, "Dos and Dont's" list

1. はじめに

平成 13 年の水防法改正により、洪水予報河川及び水位周知河川に指定された河川について、洪水防御に関する警告の基本となる降雨により当該河川が氾濫した場合に浸水が想定される区域(浸水想定区域)の指定と、指定の区域及び浸水した場合に想定される水深を浸水想定区域図として公開することが義務付けられた[1]。内閣府社会資本整備審議会の答申[2]によると、近年では、地球規模の気候変動の影響で、時間雨量 50mm 以上の短時間強雨の発生件数が約 30 年まえの 1.4 倍に増加し、日降水量 100 mm, 200mm 以上の日数も増加していることが報告されており、河川整備基本方針で定める基本高水を上回る洪水の発生も見られるようになった。同答申では、このような状況下での具体的な適応策として、災害リスクの評価と災害リスク情報の共有を掲げており、それを実現するためのプロセスとして、単一規模の降雨シナリオだけでなく様々な規模の降雨シナリオや複数の河川が氾濫した場合の浸水想定を作成し提示することを掲げている。

浸水想定区域図の作成については、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」[3]、「中小河川浸水想定区域図作成の手引き」[4]といった国交省の公開するマニュアルに従って作成することが一般的である。これらのマニュアルでは、氾濫解析の手法について、十分な記載があるものの、計算機で解析を行う際に必要とされるデータ(以下、インプットデータ)については、満たすべき条件が中心で、入手手段や整備方法についてはほとんど記載が見られない。

実際に氾濫解析を行う際には、インプットデータは、既存の整備図面や数値情報(以下、諸元データ)を加工して整備されることが多いが、これらの諸元データは氾濫解析のために整備されているわけではないので、必要な項目は一元管理されておらず、諸元データの存在しない項目もみられる。しかし、このような一時凌ぎ的なやり方でのデータ整備では、河川整備の進捗や災害発生に伴う復旧事業により浸水想定区域図を見直す際に、初期作成時と同じコストをデータ整備にかかる必要があり、行政に大きな負担を強いることとなる。

以上を踏まえ、本研究ではインプットデータの維持管理について考察する。まず、2 章において氾濫シミュレーションの一般的な構成要素を述べ、3 章において、諸元データとインプットデータが同一でないことから生じる問題と

^{†1} 京都大学 大学院 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{†2} 京都大学 防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

して「データ鮮度の問題」と「データ精度の問題」が存在することを示す。4章において「データ鮮度の問題」を解決する手法について説明し、5章において本研究を総括する。

2. 洪水浸水想定区域図作成フロー

2.1 標準的な洪水浸水想定区域図作成フロー

治水事業を行う上で、河川が氾濫した場合における浸水想定区域を氾濫シミュレーションによって事前に算出することは重要な施策である。「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」に示される洪水浸水想定区域図の標準フローから、計算機による解析部分は、設定された降雨規模に応じた流失計算、河道内不定流計算、浸水解析の3つからなることが読み取れる。つまり、この3つの解析のために必要な情報がインプットデータであると考えられる。

2.2 地先の安全度マップ作成における

浸水想定区域図作成フロー

本研究では、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」では具体的に記述されていないインプットデータやその諸元データについての分析を行うことを目的とするため、以降では具体的な浸水想定区域図作成事例をベースに考察を進めることとする。

ケースとして取り上げるのは、滋賀県流域政策局が作成・公開している「地先の安全度マップ」である。滋賀県では、平成26年3月31日に「滋賀県流域治水の推進に関する条例」(以下、流域治水推進条例)[5]が公布・施行されている。本条例は堤内外の水害対策を組み合わせ合わせた総合的な治水政策、具体的には河川整備対策・流域貯留対策・氾濫原減災対策・地域防災力向上対策を政策実施の枠組みを定めている。流域治水政策を進めるうえで基礎資料として、住民の自宅などの水害リスクを氾濫シミュレーションにより求め地図化した地先の安全度マップ[6]がある。このマップは、特定の河川の外水氾濫のみを対象とするのではなく、中小河川や水路といった内水からの氾濫も考慮したシミュレーションに基づいたものであり、浸水深・流体力・被害発生確率(床上浸水・家屋水没・家屋流出)の3種類が平成24年度公表されている[7]。流域治水推進条例では、治水事業等のハード対策の効果を反映させるため地先の安全度マップを概ね5年毎に更新することが定められている。このことから、地先の安全度マップは、従来の浸水想定区域図作成のフローに基づき、内閣府社会資本整備審議会の答申による水災害分野における気候変動適応策を先取りする形で作成されたものであると位置づけることができる。

地先の安全度マップは図1に示すフローに基づき、以下の手順で作成されている。

① 流出域(山地部)からの流出量の計算

滋賀県降雨強度式を用いて作成された10年、100年、200

年の各発生確率の中央集中型降雨データを滋賀県全域に与え、山地からの流出量を合成合理式によって求め、接続する河川に与える。

② 氾濫原における浸水深の計算

河道域における流量を一次元非定常流解析によって求め、氾濫原との流量交換を行う。氾濫原では降雨流量に加え、河川および水路からの氾濫を与えて平面二次元非定常流解析を行い、50mメッシュ単位の浸水深を算出する。

③ 浸水深のマップ表示

算出した浸水深に対して補正処理を加え、地先の安全度マップを作成する。

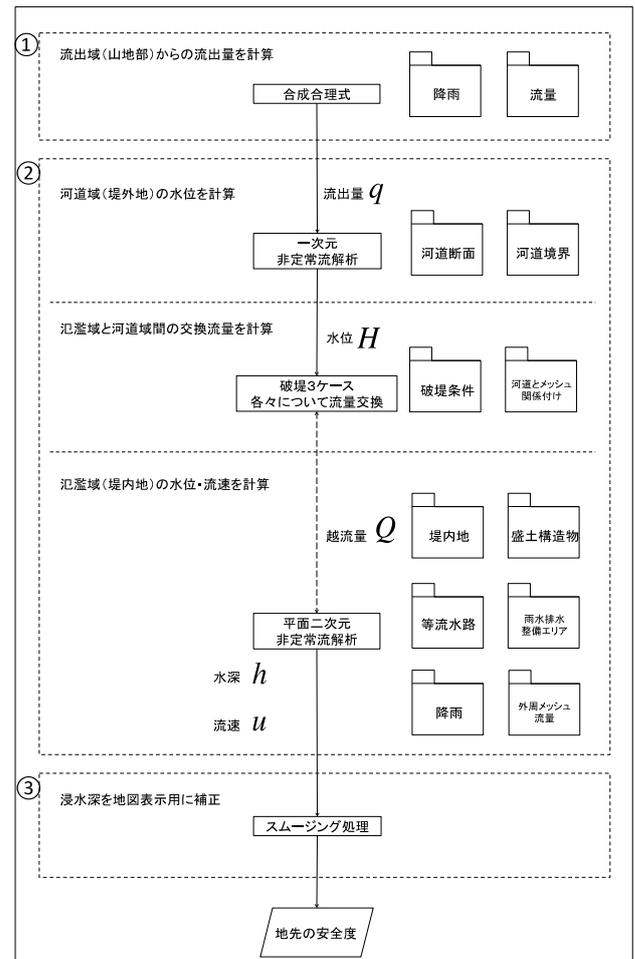


図1 地先の安全度の計算フロー

(平成19年度 滋賀県流域治水計画検討業務委託 報告書より抜粋)

上記①及び②の工程は、流域での降雨・流出・氾濫といった各場を一体的に解析し、氾濫域における氾濫頻度や氾濫した場合の水理諸元(浸水深及び流速)の時間的変化を推定するために、滋賀県が開発した統合的な水理解析手法「統合型水理モデル」(図2)を用いている。このシミュレーションモデルは、「洪水浸水想定区域図作成マニュアル」に示されるモデルに比べ、堤内の降雨や中小河川・排水を取り扱えるような工夫がなされているものの、基本的な考

え方は踏襲されており、インプットデータに関する分析のためのケースとしては適切であると考えている。

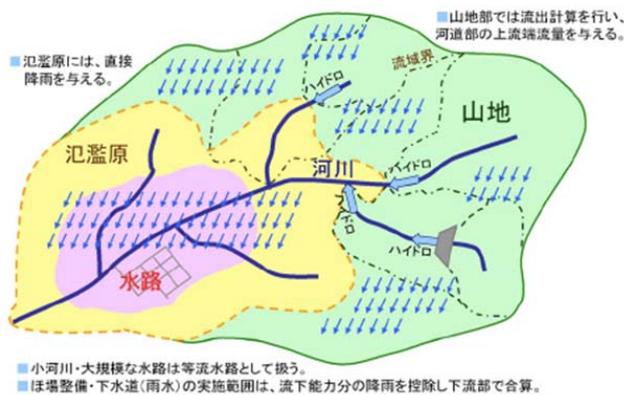


図2 統合型水理モデルの概略

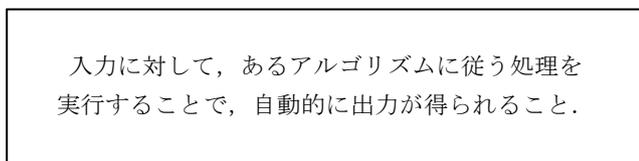
(平成19年度 滋賀県流域治水計画検討業務委託 報告書より抜粋)

3. シミュレーションを構成するデータの分析

3.1 インプットデータの分類

浸水想定区域図を作成するにあたり、管理の対象とするデータあるいは情報を同定する。管理対象の同定にあたって、入力データをその作成工程の複雑性に注目して「Simple Flow だけで構成されるデータ」と「Complex Flow を含むデータ」の2種類に分類することを考える。

まず、Simple Flow を以下のように定義する。また Simple Flow の概念図を図3に示す。



<Simple Flow>



$I = \text{Input}$

$O = \text{Output}$

図3 Simple Flow 概念図

また、Complex Flow を以下のように定義する。また Complex Flow の概念図を図4に示す。

入力に対して、あるアルゴリズムに従う処理を実行し、自動的に得られる中間出力に対して、人間の手作業による修正処理を加えること。

<Complex Flow>



$I = \text{Input}$

$O' = \text{Intermediate Output}$

$O = \text{Output}$

図4 Complex Flow 概念図

作成工程が複数の Simple Flow のみで構成されるデータは、あるデータ及び情報を最初の入力として、あるアルゴリズムを実行するプログラムによって自動的に出力を得るプロセスを繰り返すことで最終的に作成される。そのため、入力の変化を出力に反映させる更新作業は、時間的及び人的コストが低いという点で、比較的容易であると考えられる。この場合、入力となる情報を管理対象とすれば良い。

図1に示すフロー図に示されたパッケージ図において、Simple Flow だけで構成されるパッケージを抽出し表1に示す。表1ではさらに、管理対象とするデータ及び情報の種類によって分類を行っている。

表1 Simple Flow だけで構成されるパッケージとその分類

複雑性	管理対象による分類	パラメータ
Simple Flowのみで構成される	計算条件値/他のパラメータ	降雨
		流量
		河道とメッシュの関連付け
		破堤条件
		外周メッシュ流量
	台帳等の整備資料	堤内
		盛土構造物
		等流水路
		排水整備エリア
		河道境界
	整備図面由来の河道断面	

降雨パラメータ、流量パラメータ、河道とメッシュの関連を行うパラメータ、破堤条件パラメータ、外周メッシュ流量パラメータについては、表2に示すデータを管理対象として、Simple Flow の反復で更新することが可能である。

堤内パラメータ、盛土構造物パラメータ、等流水路パラメータ、排水整備エリアパラメータ、河道境界パラメータ、整備図面由来の河道断面については、他部署、他業務で整備される台帳や図面等の資料を管理対象として二次利用する手法を取ることによって、Simple Flow の反復で更新することが可能であると考えられる。

表2 管理対象とするデータ

パラメータ	管理対象データ
降雨	滋賀県降雨強度式より算出される
流量	降雨パラメータ
河道とメッシュ関連付け	堤内パラメータ・河道断面パラメータ・河川平面位置情報
破堤条件	堤内パラメータ・河道断面パラメータ・河道とメッシュ関連付けパラメータ
外周メッシュ流量	流量パラメータ・堤内パラメータ

作成工程に Complex Flow を含むデータは、アルゴリズムによって自動的に出力を得るだけでなく、手作業による修正作業プロセスを介在させることで作成される。そのため、入力の変化を最終的な出力に反映させる更新作業を行う場合、その度に手作業による修正作業プロセスを繰り返すことになる。手作業に要するコストが高い場合、継続的な更新作業は時間的及び人的コストが高いという点で困難であると考えられる。

3.2 インプットデータの管理に関する考察

作成工程に Complex Flow を含まないインプットデータに関しては、今後は諸元データを管理対象と、必要に応じて二次利用することで、パラメータの整備が可能であると考えられる。

作業工程に Complex Flow を含むインプットデータは、河道断面パラメータのみであることが明らかになっているが、その工程には、以下のマニュアル作業が必要であることがわかっている。

- ① LP データより作成した河川データの更新
- ② 河道断面の追加（落差工）
- ③ 一次元河川と二次元メッシュの接続
- ④ 河道断面の追加（支川下流端の断面無し区間）
- ⑤ 河道と盛土構造物のラスタ重復

これらの工程は、初回のデータ整備では多大なコストをかけることが必要であったが、2 回目以降は、その変化を捉えて修正することで対応が可能となると考えた。それぞれの変化は、下記のように捉えられる。

- ① 河川データが大きく変わるのは、計画的な河川整備が実施された場合と災害が発生した際の復旧事業が行われた場合のみ
- ② 落差工は、河川整備によってのみ追加される
- ③ 接続点の変更は河道の付け替えがあったときのみ
- ④ 断面の追加は支川が付け替えられたときのみ
- ⑤ 修正は盛土構造物が新設されたときのみ

3.3 データ管理における鮮度向上の要求

インプットデータの要求更新間隔に対して諸元データの更新間隔が長い場合、インプットデータの鮮度が担保出来ないという問題が発生する。シミュレーションの再計算頻度に応じてインプットデータの更新が発生するのに対して、

諸元データは本来の整備管理主体の管理枠組みに従って更新や再整備が行われるため、必ずしも両者の更新タイミングが合致しない。インプットデータの鮮度はシミュレーション結果に影響を与えうるため、インプットデータ鮮度を担保するための維持管理手法が必要である。

4. データ鮮度問題を解決する提案手法

本研究では、インプットデータの諸元データとして、実世界における地形変化を捉える法定台帳を二次利用する手法を提案する。実世界での変化頻度が高く、かつ氾濫シミュレーションにおいてモデル化されインプットデータとなる地形は、河道形状、道路及び鉄道による線状盛土構造物、宅地造成による面状盛土構造物、宅地開発による建築物である。また変化頻度は比較的低いモデル化される地形は、農業用排水路や放水路といった水路、下水道や圃場整備エリアによる雨水排水ネットワーク、樋門や排水ポンプといった河川排水施設である。以上で述べた地形変化は行政及び民間事業者による整備事業に起因するものであり、整備事業の際には一般的に整備図面が調製される。したがって、整備事業の都度調製される整備図面及び法定台帳をインプットデータの諸元として随時二次利用することで、「データ鮮度の問題」に対応することが可能である。

4.1 地形変化に対応した法定台帳及び整備図面

(1) 河道形状および河川排水施設

河道形状変化を引き起こす要因は大きく分けて次の3つ、すなわち①河川整備事業、②水位上昇や出水による堤体破壊や土砂堆積などの洪水災害、③流水の自然作用による流砂堆積や河床掘削である。①の河川整備事業については、築堤や護岸補修等のハード整備が該当し、河川法において定められる河川管理者が事業計画及び実施を行う。事業計画段階において、対象河川の現況把握や工事の実施、整備後の堤体の予測等の様々な目的から河川整備測量図面が調製される。本図面は河川法施行令[9]において指定される河川現況台帳調書および河川現況台帳図面に該当し、河道の平面図・横断図・縦断図を示すものである。本図面をインプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

②の洪水災害について、公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法[10]を根拠法令とする災害復旧事業において復旧対象として採択された場合、災害復旧事業または改良復旧事業としてハード整備が実施される。この場合も通常の河川整備事業と同じく河川整備測量図面が調製されるため、インプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

③の自然作用による変化については、各河川管理者が実施する定期縦横断測量によって捕捉されるが、河川の維持管理に含まれるため基本的に追跡されることはない。

(2) 線状盛土構造物

線状盛土構造物の変化を引き起こす要因は大きく分けて次の2つ、すなわち①道路開発、②鉄道建設である。①の道路開発については、道路法の規定に基づく道路管理者が台帳を調製保管することが定められ、道路法施行規則において台帳の記載事項に変更があった場合は速やかに訂正を行うことが定められている。本図面は道路法施行令において指定される道路台帳調書および道路台帳図面に該当し、道路の詳細情報及び立体区間についてはその平面図・横断面図・縦断面図を示すものである。本図面をモデル化しインプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

②の鉄道建設については、一般に事業計画段階で民間事業者と当該行政機関との間で申請及び協議が行われ、詳細な工事図面が調製される。本図面をモデル化しインプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

(3) 面状盛土構造物

面状盛土構造物の変化を引き起こす要因は、主に切り土及び盛り土を伴う宅地造成開発事業である。都市計画法及び宅地造成等規制法に基づき、対象区域内において一定の開発規模基準を超える開発行為が行われる際には、事業計画段階において当該行政機関への申請及び許可を受ける必要がある。設計図書及び開発登録簿において、切土及び盛り土工事を行うエリア及び工事前後の地盤面が示されるため、本図面をモデル化しインプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

(4) 建築物

建築物の新築行為において、建築基準法[]において建築許可及び状況調査が必要であると定められる建築物については、平面図及び延べ面積等を示す建築計画概要書及び確認申請書が調製される。本図面をモデル化しインプットデータの諸元として二次利用することが可能である。

(5) その他の地形変化

農業用排水路や放水路といった水路である準用河川・普通河川、及び樋門や排水ポンプといった河川排水施設については、4.1(1)で述べた河川整備図面と同様に、整備図面が二次利用可能である。

また下水道事業については、下水道法において定められる整備図面が、圃場整備エリアについては、土地改良法において定められる整備図面が二次利用可能である。

4.2 提案手法を用いたインプットデータ維持管理工程

4.1 節で提案した法定台帳を諸元として二次利用した場合の具体的なインプットデータ維持管理工程を構築する。本手法の原理は、実世界における地形変化を捉える法定台帳を二次利用することでインプットデータの鮮度を補完す

ることであるため、任意のインプットデータを取り上げて維持管理工程を示せばよい。ここでは、インプットデータの一つである堤内地データについて述べる。堤内地データ属性(表3)のうち、地形をモデル化した属性値はメッシュ平均地盤高及びメッシュに占める建物占有率である。本維持管理工程は、初回作成、地形変化に即応した堤内地データの更新から構成される。

(1) 初回作成

本維持管理工程(図5)では、まず堤内地データの初回作成において、航空レーザ測量データ(以下、LPデータ)及び都市計画図を諸元データとして二次利用することで、メッシュ平均地盤高及び建物占有率をそれぞれ得ている。具体的には、LPデータよりDEMを作成し、メッシュ単位で標高値の平均を取ることでメッシュ平均地盤高が得られる。また都市計画図より建築物を読み取り、メッシュ面積に占める建築物面積合計値の割合を求めることで建物占有率が得られる。これらの諸元データの管理主体及び更新頻度は表に示す通りである。

(2) 地形変化に即応した堤内地データの更新

宅地造成及び建築物の建築が計画あるいは実施された時点で、調製された設計図書及び建築計画概要書を二次利用してその変化の内容を工程(1)で作成した堤内地データに反映させる。具体的には、宅地造成許可申請で届け出のあった土地利用計画書および設計図書より、切り土及び盛り土を行うエリアとその前後の地盤面を読み取り、メッシュ単位での平均地盤高を求める。また建築許可申請で届け出のあった建築計画概要書より建築物面積を読み取り、メッシュ面積に占める建築物面積合計値の割合を求めることで建物占有率が得られる。

表3 堤内地データの属性

インプットデータ	属性
堤内	メッシュI番号
	メッシュJ番号
	メッシュ平均地盤高(単位:T.P.+m)
	建物占有率
	底面粗度係数
	河道内フラグ
	降雨流域番号
	流出率

5. まとめと今後の課題

本研究では、インプットデータの諸元データとして、実世界における地形変化を捉える法定台帳を二次利用する手法を提案した。提案手法では、実世界での変化頻度が高く、

かつ氾濫シミュレーションにおいてモデル化されインプットデータとなる地形の変化は、行政及び民間事業者による整備事業に起因するものであることを利用して、整備事業の都度調製される整備図面及び法定台帳をインプットデータの諸元として随時二次利用した。さらに、堤内地データを具体例として取り上げ、提案手法を用いたインプットデータ維持管理工程を構築した。具体的には、維持管理工程は以下の2つの要素から構成される。

- 堤内地データ初回作業時には、航空レーザ測量データ及び都市計画図を諸元データとして二次利用する。
- 堤内地データ更新作業時には、地形変化に連動して調製される設計図書、土地利用計画書、建築計画概要書を二次利用する。

これらより、「データ鮮度の問題」を解消し、インプットデータの鮮度向上及び氾濫シミュレーション結果の精度向上に寄与出来たと言える。

本研究では、データ二次利用に起因するインプットデータの維持管理における「データ鮮度の問題」と「データ精度の問題」に着目し、法定台帳を二次利用する維持管理手法を提案した。しかしながら、本手法を用いてインプットデータを維持管理する実験評価は未実行であり、その有効性については今後実証実験が必要である。また、「データ精度の問題」については、コスト原因となる修正作業は特定出来た一方で、その解消手法については検討段階である。

今後はデータ精度の問題についてより具体的な議論を行うとともに、提案した手法について実証実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 水防法，最終改定平成27年5月2日，<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S24/S24HO193.html>
- 2) 内閣府 社会資本整備審議会：水災害分野における
- 3) 気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～答申，平成27年8月
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/s-houinkai/kikouhendou/pdf/1508_02_toushinhonbun.pdf
- 4) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室，国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版），平成27年7月。
- 5) 国土交通省河川局治水課：中小河川浸水想定区域図作成の手引き，平成17年6月。
- 6) 滋賀県：滋賀県流域治水の水深に関する条例(平成26年条例第55号)，滋賀県流域治水政策室ホームページ(オンライン)，入手先<<http://www.pref.shiga.lg.jp/h/ryuiki/files/alljoureitext.rtf>>，2014
- 7) 滋賀県：地先の安全マップ，
http://www.pref.shiga.lg.jp/h/ryuiki/tisakinoanzendo/top_page.html
- 8) 滋賀県：滋賀県防災情報マップ，
http://shiga-bousai.jp/dmap/map/index?l=M_r_k_risk_map&z=&lon=&lat=
- 9) 河川法施行令，最終改正平成25年12月6日，
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S40/S40SE014.html>
- 10) 公共土木施設災害復旧事業費国庫負担法，最終改正平成11年12月22日，<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S26/S26HO097.html>

工程(1)初回作成

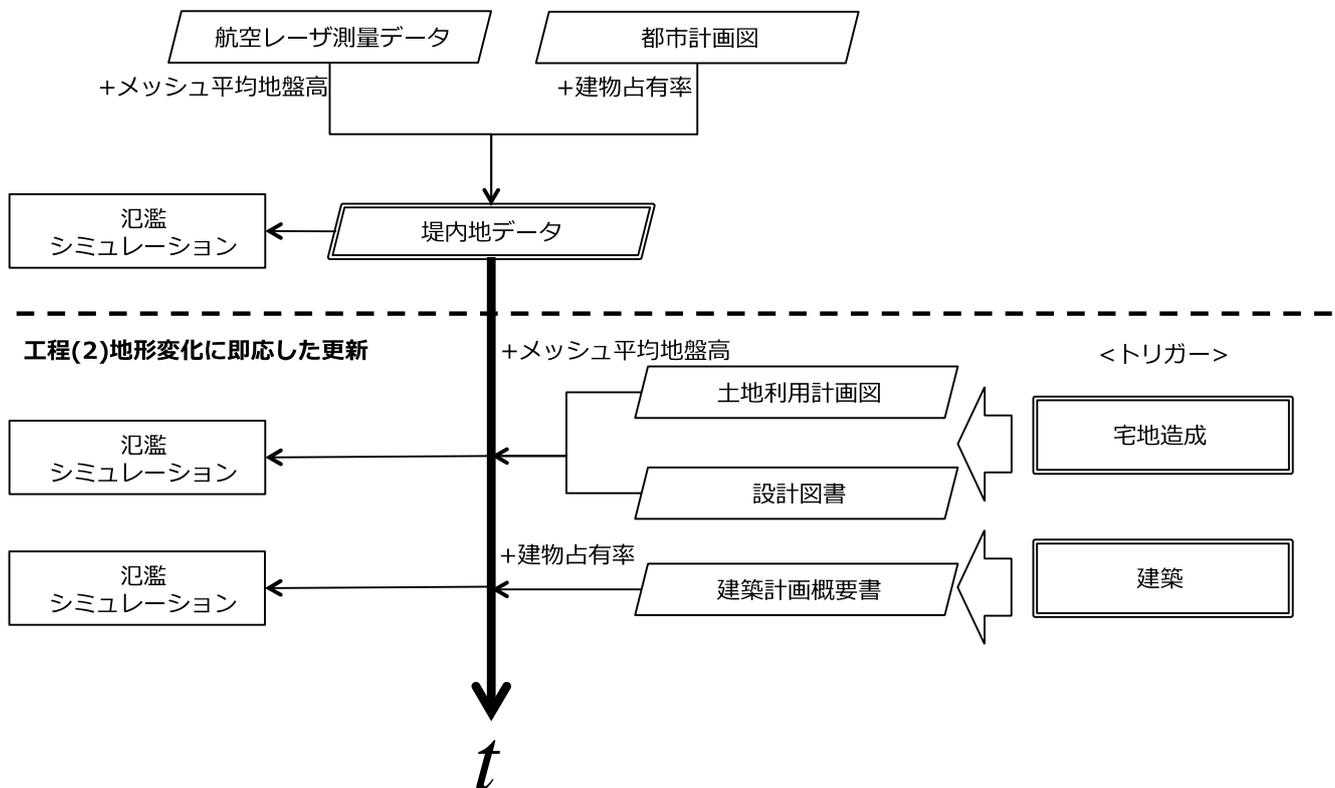


図5 提案する維持管理工程