

(一財)日本建設情報総合センター研究助成事業

都市丸ごとシミュレーション技術の社会実装における
都市データ利活用カスタマイズに関する調査研究
報告書

令和3年11月

神戸大学都市安全研究センター 飯塚 敦

都市丸ごとシミュレーション技術の社会実装における 都市データ利活用カスタマイズに関する調査研究

1. はじめに

2016年、理化学研究所計算科学研究機構において、京コンピュータを用いた「神戸丸ごとシミュレーション」が実施された。神戸の街、約42万棟の建物、その基礎と地盤、上下水道などの埋設管が、資産台帳等のインフラデータから読み込まれ、コンピュータの仮想空間内に再現された。都市デジタルツインである。それに地震波が入力されると、建物一棟一棟の振る舞いがシミュレーションされる。東大地震研で開発されたIES (Integrated Earthquake Simulator, Horiら, 2006, 市村ら, 2006) による「神戸丸ごとシミュレーション」であった。この時、多種多様データを自動で読み取り、必要な形式に変換するデータ変換・統合技術が使われた。DPP (Data Processing Platform, O-taniら, 2017) である。このデータ変換・統合技術をより汎用的に整備し、広範囲に適用可能としながら、社会実装するために、都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合が設立された(2019年8月)。国土交通省が整備を進めている国土交通データプラットフォームを介しての幅広いデータ活用を実現すべく、DPP活用技術を開発し、民間企業に技術移転と実装することによって、防災・減災のみならず、それぞれの企業における業務の生産性向上に寄与しようとするものである。技術研究組合における技術開発はアジャイル方式とすることにした。2020年度、2021年度に国土交通省国土技術政策総合研究所(国総研)に採択された受託研究を実践の場として、ユーザ側からのニーズに注目した都市データ利活用カスタマイズをアジャイル方式で試行した。アジャイル方式での技術開発では、アジャイルを構成する各タスクチーム参加メンバー個々の技術スキルの確保が必須となる。どうやって、その技術スキルを確保するか、さらに持続的な技術スキルの向上を実現するか、それが要である。

2. 技術課題の抽出と技術開発の方法

国土交通データプラットフォームなどに集約されている多種多様なインフラデータの利活用を考える。多種多様な様式のデータの読み取りと必要な様式への変換・統合が必要である。できるだけ汎用性のあるシステムとしたい。そこで、われわれは理化学研究所計算科学研究センターで発明されたDPPを用いたシステム開発を行うこととした。DPPを一言で言えば、多種多様な元データ(画像を含む)から、ツリー状に構造化して必要な情報を保持する技術と言える。このようにして、都市デジタルツインの可視化や現状把握にとどまら

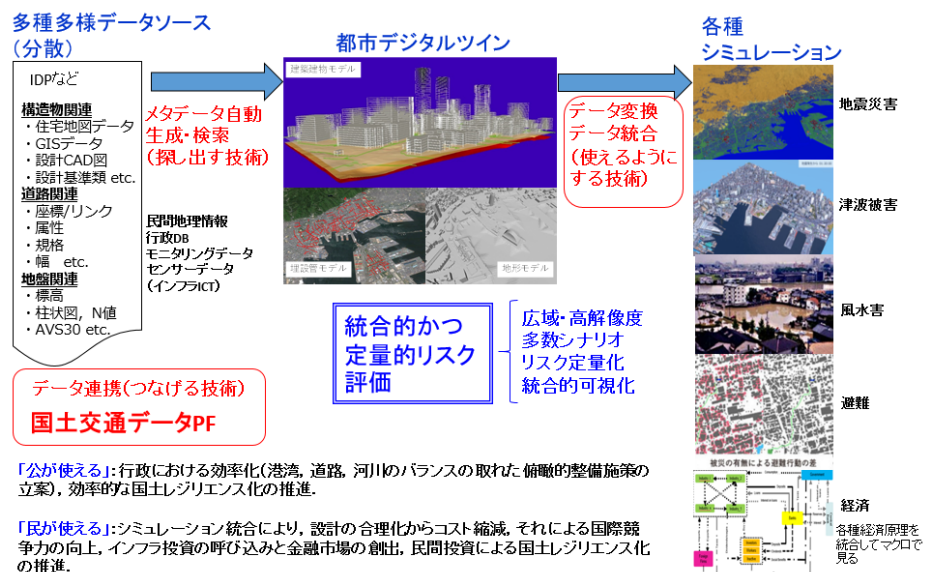


図-1 DX版都市デジタルツインDXにおける技術課題

ず、何らかの外的作用に伴う都市の振る舞いをシミュレーションできるDX版都市デジタルツインの実現と技術の社会実装を目指すことにした（図-1）。ここでDPPを用いて解決をはかる具体的な技術課題は、1)必要なインフラデータを探し出す技術、2)都市デジタルツインから、求められるシミュレーションの実行を可能とするデータ変換統合技術となるらう。

社会実装を念頭におく場合、プログラムなどの成果物の移譲だけでは実装にならない。移譲を受けた企業などの機関において、システムの持続的発展を可能としないといけない。すなわち技術者教育が求められる。

3. 技術スキル

DX版都市デジタルの普及には、各機関において、利活用における専門知に加えて、それを持続的に発展させることのできる技術スキルの獲得が求められる。技術研究組合における技術開発において、参加メンバーの技術スキルの獲得と向上も技術研究組合における重要なミッションと位置付けた。大石(2019)によると、技術者教育のレベルは3段階に分類される。表-1に示すように、A技術者群（指導的役割を担う）、B

表-1 技術者・人材育成イメージ

- ◆A技術者群
 - インフラについて詳細な知識を持つ
 - オントロジー指向プログラミングに対する詳しい理解がある
 - C++でライブラリを書くことができる
- ◆B技術者群
 - インフラについて詳細な知識を持つ
 - C++でプログラミングが可能
- ◆C技術者群
 - 工学部卒程度の工学に対する理解がある
 - CADをある程度使うことができる
 - スクリプト言語でCUIのスクリプトを書くことができる

技術者群（技術開発の中核を担う）、C技術者群（中核技術者の下で作業を担う）である。技術研究組合においては、各機関においてDX版都市デジタルツインを運用・発展させるために、このような技術者群の育成に力を注いだ。

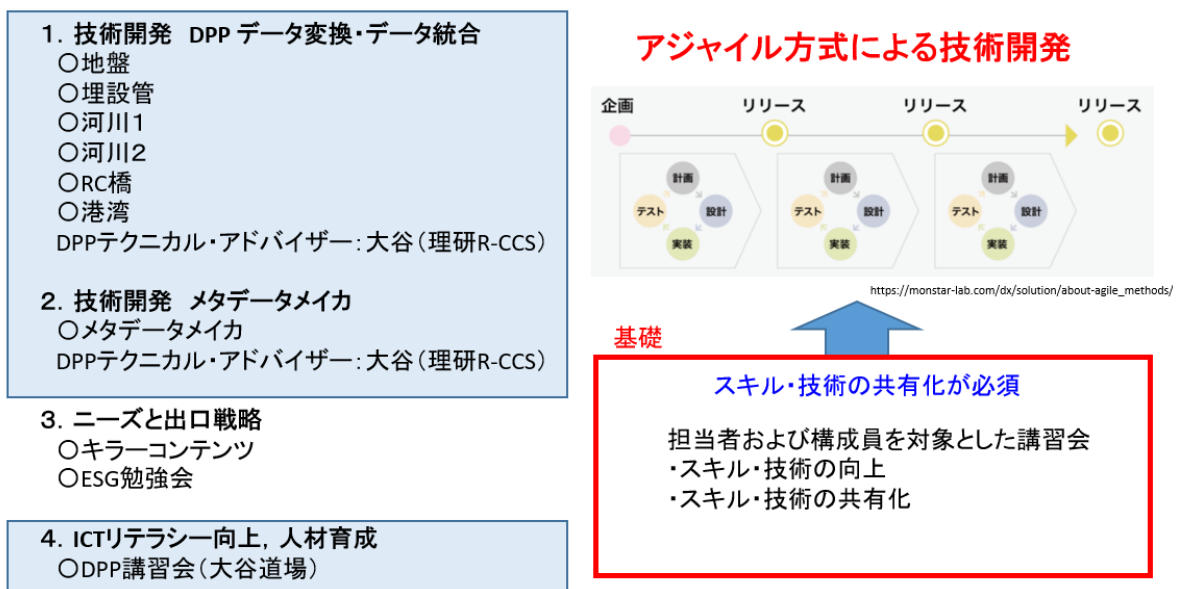
表-2 DPP活用講習会「大谷道場」の開催一覧

- 令和元年11月26日・27日 **第1回大谷道場**
 DPPとIESを利用するためのデータ変換に関する実践的講習会
 11月26日「DPPとは？講義」 大谷氏（理研）
 11月27日午前「DPPとSRA（構造物振動計算）のつかいかた」 小松氏（理研），午後「実習」
 DPPによるデータの準備（script writingの方法），SRAによる震動計算，DPPによる出力結果の変換（CSV,Shape他）堀先生，銭谷先生，飯山先生，大谷氏による巡回個別指導付き
- 令和2年6月15日 **第2回大谷道場**
 INDEXファイルの読み込みプログラム作成講習会
 6月15日「DPPのライブラリプログラミング」大谷氏（理研）
 DPP scriptの作成過程の説明（DPPの機能拡張としてINDEXファイルの読み込みに関するC++プログラム，そのプログラムを駆動するスクリプト言語（.dpp）ファイル作成）
- 令和3年1月7日，8日 **第3回大谷道場**
 1月7日「DPP用のライブラリプログラミング」
 1月8日「DPPのAWS上での実行」
- 令和3年6月29日 **第4回大谷道場**
 ①「テストで開発を強くする -テスト駆動開発の目的とコツ-」担当：バルテス株式会社
 ②「テスト駆動によるDPPライブラリの開発方法」担当：大谷氏（理研）
 ③「テンソルクラス等のテストコードの例」担当：竹山先生(神戸大学)

DPPを技術開発の基幹技術に位置付けたことから、このDPPの習得のために、理化学研究所計算科学研究センターの協力のもと、DPP活用講習会（DPP発明者の名前を用いて「大谷道場」と名付けた）をシリーズで開催した（表-2）。これら講習会が座学での一方通行の情報提供に終わらぬように、DPPを用いたプログラミング技術の習得のための実習を設け、さらにデジタルアーカイブとして整理し、受講機会の繰り返しや受講者数の向上に努めている。

4. アジャイル方式による技術開発

IT, ICTが情報のデジタル化であれば、DXはそのデジタル情報の利活用に視野が拡大されている。都市デジタルツインに照らせば、各種（科学的数理）モデルを用いた、その都市の将来予測の実現が求められる。ここで、都市デジタルツイン構築のために、国土交通データプラットフォームの重要性がクローズアップされてくる。このような視点から国総研に採択された受託研究（2020年度、2021年度と採択された。2021年度の受託研究のテーマは、「インフラに関するデータ連携を目的としたメタデータの自動作成及びデータ統合技術に関する研究」であった）を実践の場として、都市データ利活用カスタマイズの具体化を試行した。技術開発にはアジャイル方式を採用した。成果を利用する立場であるユーザ側のニーズを抽出し、まず都市データ利活用の「出口」を明確にした。次にその「出口」の違いによって技術開発課題を分類し、それぞれに対してタスクチームを編成した。各タスクチームにおいて、計画、設計、実装、テストを実施することとした。タスクチームにそれぞれのマイルストーンを明確化してもらい、全体の調和と情報共有、成果の相互利用をはかった。各タスクチームにおいては、都市データ利活用の「出口」における専門知が求められる（図-2）。同時に情報科学、特にDPPを用いたデータ変換統合技術のスキルが必要になる。両者がある一定レベル以上に兼ね備えていなければ、アジャイル方式の技術開発はうまくいかない。そこで、建設分野の専門知を有している技術者に、DPPを用いたデータ変換統合を可能とできる情報科学の知識の教授につとめた。すなわちDPP活用セミナー（通称「大谷道場」）の定期的な開催とそのコンテンツのアーカイブ化である。加えて、各タスクチームの主査に有能な若手研究者などを据えることで、アジャイル方式による研究開発過程内でも技術スキルの向上が



大谷(理研R-CCS)は、DPPの発明者

図-2 技術研究組合におけるサブチーム構成

はかれるように留意した。アジャイル方式は、先端技術の開発に極めて有効な手段と理解できたが、構成員に一定の技術レベルが整っていないとうまく機能しない。この構成員の技術レベルの獲得・確保が重要である。

実践の場である受託研究における技術課題は、1)膨大にして多種多様なインフラデータの中から、ユーザが求める情報を探しあてるためのメタデータの自動生成・付加技術、2)多種多様なデータから、ユーザが必要とする情報を自動で読み取って、求められる様式にデータを変換・統合する技術である。共にDPPを用いた技術開発となる。メタデータ自動作成・付加技術においては、ユーザが用意するインベントリに基づき、メタデータを自動付与する。その情報の曖昧さをどこまで包含し、情報の抽出を行うことができるかが課題となる。最終的には、突き詰めればAIとの協働が必要となるかもしれないが、まずは、多種多様な書式や様式のデータから、求める情報を正しく読み取れ、必要なデータを正しく探し出せる技術の開発が求められる。一方、データ変換・統合の技術開発では、必要なデータはすでに与えられている前提のもと、多種多様な書式や様式のデータから必要な情報を抜き出し、有限要素法などのシミュレーションに必要な入力データを自動生成させる技術の開発が必要である。この有限要素シミュレーションは「出口」であるユーザが決めることになる。ユーザが求めるシミュレーションは何かを抽出・特定することが都市データカスタマイズの第一歩でもある。ただし、ユーザが求める有限要素法などによるシミュレーションの対象は多岐に渡るため、その対象を複数個具体化し、それぞれの対象ごとにデータ変換・統合技術を開発することとした。これにより都市データカスタマイズを具現化しようとした。同時に、この対象を広げること（横展開）は、システムの汎用性を高めることも意味し、受託研究の要求にも合致するものとなっている。

このように対象ごとの技術開発を同時並行的に実施し、それぞれの開発グループをアジャイル的に運用することとした。アジャイル的運用においては、それぞれのグループの構成メンバーの技術スキルがある程度そろっていることが求められる。実際には、構成メンバーの技術レベルはまちまちであり、負荷と足並みがそろわないが、それぞれのグループに、有能な若手大学教員を主査において、構成員の技術スキルの向上も同時に達成しようとしている。ここで、前章で述べた「大谷道場」などの講習会が構成メンバーの技術力向上の基盤を与えており、アジャイル方式の技術開発が成り立つ所以となっている。なお、開発グループを率いる主査の集まりを定期的に設け、それぞれの開発グループのマイルストーンを確認し、成果の共有と整合は必須である。なお、図-2において、2021年度の国総研受託研究に対してアジャイル方式で運用されている開発グループを青色背景で囲って示している。

アジャイル方式における技術開発の成果一例を以下に紹介する。図-2に示す「地盤」サブチームによる技術開発である。「地盤」サブチームは、竹山智英先生（神戸大学）を主査として、技術研究組合の富士通、鹿島建設、アサノ大成基礎設計、安藤ハザマ、東洋建設、フジタ、東電設計からメンバーが参加している。まず参加メンバーのニーズから、どのようなシミュレータを想定するかを決定した（前提）。それらのシミュレータの運用は各機関が独自に行うものとして、それを競争領域として分離し、それぞれの競争領域をできるだけ小さくできる（各機関が独自に開発するコストを小さくできる）ように共同で開発する協調領域を具体化した。それを説明しているのが図-3である。ここでは協調領域として、各種シミュレータに供することができる3次元地盤モデル

（GridModelと称している）を自動生成させるシステム開発を協調領域のゴールに定めている。3次元地盤モデル（GridModel）は、空間的に離散的なボーリングデータを自動補完して作成され、有限要素法による3次元メッシュに容易に変換できるものとしている。さらに、3次元地盤モデル（GridModel）の各Gridには、その位置における地盤の材料特性データも保持させることによって、有限要素シミュレーションのインプットデータをほぼ自動で作成できるように設計されている。図-4に成果の一例が示されている。

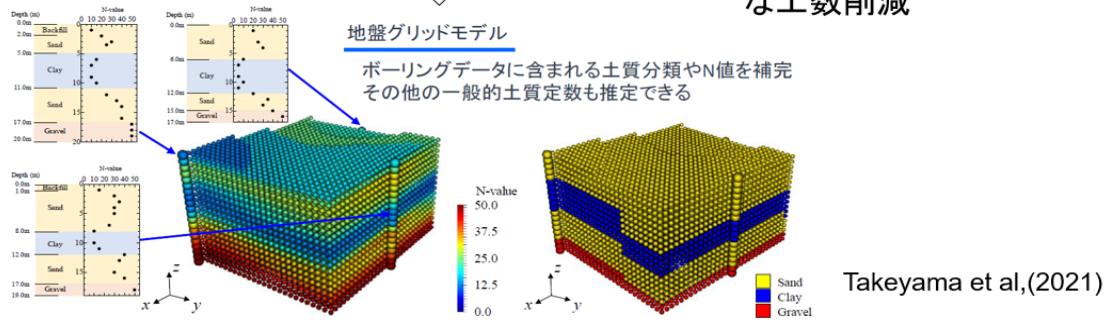
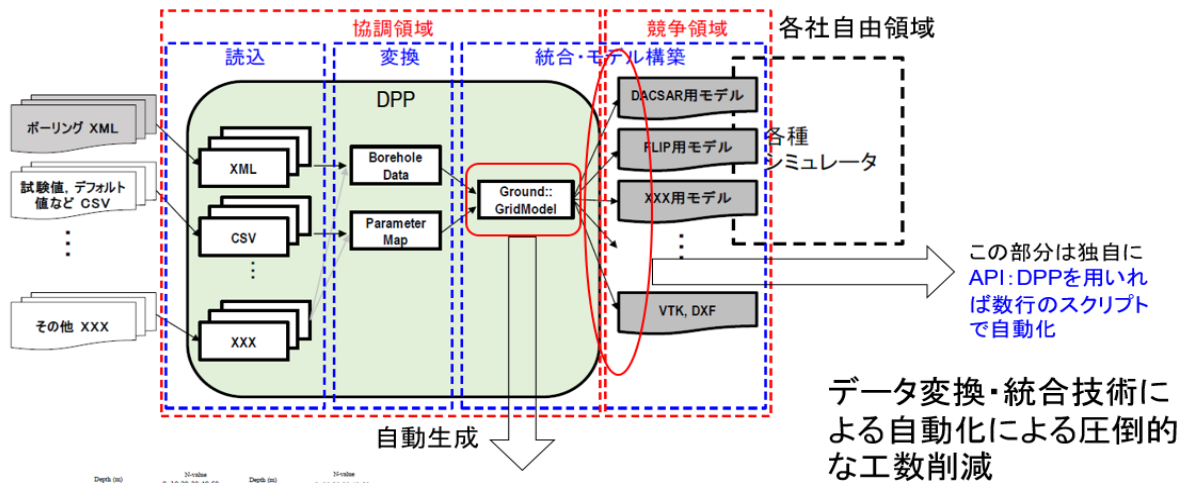


図-3 「地盤」サブチームにおける協調領域の設定とその内容

実際のボアリングデータを使った地盤グリッドモデル作成と数値解析例

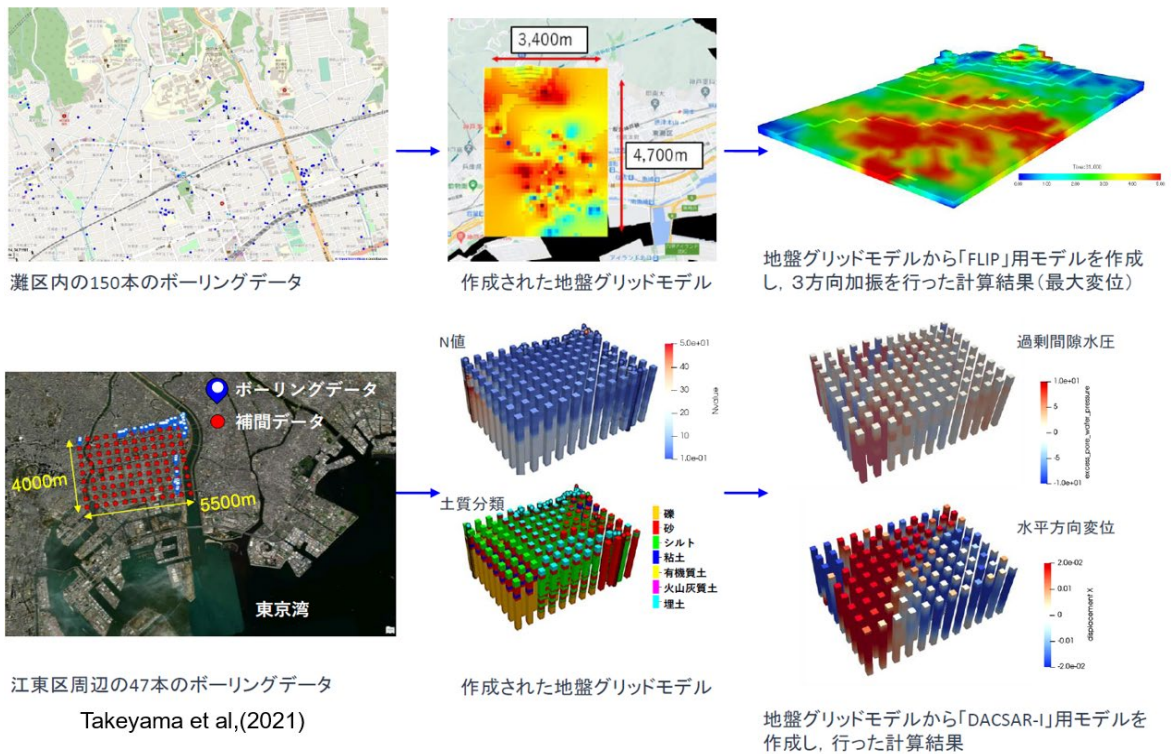


図-4 「地盤」サブチームにおける有限要素シミュレーションの試行例

このGridModelから実施された2種類の有限要素シミュレーションの試行結果が示されて

いる。

5. おわりに

都市丸ごとシミュレーション技術の社会実装における都市データ利活用カスタマイズに関する調査研究において、国総研からの受託研究を実践の場とした。国土交通データプラットフォームからの都市データの利活用を想定する場合、都市データをどのようにカスタマイズするかは、ユーザが何を求めて都市データを利活用しようとしているかをまずは明確にすることが重要である。そこでユーザが想定する利活用を対象ごとに分類して、それぞれの対象に対してサブチームを編成した。次いで、それぞれのサブチームにおいて、ユーザ（サブチームの構成メンバー）がどのようなシミュレーションを「出口」として想定しているかを調査した。個々のシミュレーションは、それぞれが行うもの（競争領域）として捉え、それに至る共通の領域を協調領域として明確化した。ここまでの作業で、都市データ利活用カスタマイズが具体化される。次いで、それぞれのサブチームを技術開発のユニットとみなして、アジャイル方式で技術開発を行った。この時、各チームの構成員の個々の技術レベルの確保が重要となる。本試行においては、DPPを共通の技術基盤とすることから、ITの基礎から、DPPの理解を目的にした講習会（大谷道場）を理化学研究所計算科学研究センターの協力の下で企画し、シリーズで開催した。一定の技術レベルを広く授けるために、講習会はアーカイブ化し、必要に応じて受講できるようにした。このような手立てによって、都市データ利活用カスタマイズが具現化された。その一例として、「地盤」を対象としたサブチームの成果を紹介した。

さらに、本調査研究において認識を新たにした事柄を列挙して、むすびとしたい。

- ・DX（デジタルトランスフォーメーション）とは、単なる情報のデジタル化にとどまらず、データ駆動型技術を前提とした動的なデジタル情報活用ループの構築と理解される。その観点に立てば、都市デジタルツインは可視化や現状把握にとどめてはならず、その都市の将来予測を可能とするものとしなければならない。すなわちDX版都市デジタルツインへの進化が求められる。

- ・多種多様なデータに対して、データ駆動による利活用を考えると、DPPは最も有効な技術基盤となり得る。

- ・DX版都市デジタルツインの利活用において、例えば都市のインフラ整備や維持補修を考えると、土木工学の専門知が必須となるのは論を待たないが、同時に情報科学に関する知見の保持も重要となる。土木工学は土木工学、情報科学は情報科学と分離、分担できず、相互に知のインターアクションが求められる。

- ・技術開発において、ウォーターフロー方式よりもアジャイル方式は極めて有効な手段であるが、作業メンバーの技術レベルがそろっていないと上手く機能しない。技術開発をアジャイル方式で行う場合には、同時に、作業メンバーの技術トレーニングの手立ても組み込まねばならない。

最後に、以上の考究と試行を可能としたJACICからの研究助成に深く感謝の意を表します。

参考・引用文献

Hori,M., Ichimura,T. and Oguni,K. : Integrated Earthquake Simulation, Estimation of strong ground motions and structural response, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.81, pp.331-339, 2006.など

市村 強・堀 宗朗・篠竹 英介 : GIS/CADと大規模数値シミュレーションを用いた広域震災想定シミュレータ, 地質と調査, No.4, pp.28-33, 2006.など

O-tani, H., Chen, J., Fujita, K. and Hori, M.: A Data Integration Framework for Urban Area Disaster Simulations, 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPdyn2017),

Rhodes Island, Greece, June 2017. (KEYNOTE), 2017

大石 哲：私的討議，2019

Takeyama,T., O-tani,H., Oishi,S., Hori,M., Iizuka,A.: Automatic construction of three-dimensional ground model by data processing, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,2021