

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：22604

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06988

研究課題名（和文）都市別被災方策事前提案システムの提案

研究課題名（英文）Preliminary formulation system of city-based disaster policies

研究代表者

國枝 陽一郎（Kunieda, Yoichiro）

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：30795943

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究によって震災時における住居損壊予測、震災廃棄物発生マップ化、最適方策立案が可能となった。では3D-CADソフトウェアおよび構造解析ソフトウェアを用いることで経時的な住居損壊時のがれきの混ざりこみの再現が可能となった。ではGISソフトウェアを用いることで、地理的要因を考慮した震災廃棄物の発生予測を可能とした。では震災による既存処理場の処理能力低下も考慮した処理負荷推定をGISソフトウェアを用いて行い、最適な施設配置について提案可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって震災時における被災地復旧の迅速化および資源循環によるサステナビリティの両立が実現可能であると考えられる。また都市レベルでの建築ストックのモデル化によって、将来的に解体時においてもシミュレーションの適用および解体廃棄物の次期建設フェーズにおける利用が促進でき、更なるサステナビリティの向上が可能と考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the present study, three models were developed to achieve following aims; i) simulation of building corruption, ii) mapping of disaster waste and iii) optimized policy planning. i) The application of 3D-CAD analysis and structural analysis allowed to recreate the chronological behavior of debris. ii) Generation of disaster waste could be geographically estimated with GIS software. iii) The impact of waste treatment was evaluated with concerning the degradation of conventional treatment facilities by disasters. According to the result of GIS analysis, optimized facility distribution after disasters were suggested.

研究分野：建物解体

キーワード：震災廃棄物 住居損壊予測 シミュレーション 4D-CAD 最適化 アルゴリズム

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

## 1. 研究開始当初の背景

地震大国日本において被災により損壊する住居ストックの早期修繕あるいは建直しは被災地域復興の最重要課題であり、震災廃棄物を如何に効率良く次期建設へと循環させるかが大きな鍵となる。これに対し現状住居ストックの所有者に対する解体や建替えに承認を得るプロセス等により法律的な、また発生箇所予測が困難であることに起因する対処療法的な側面から迅速な方策実行が困難となっている<sup>1)</sup>。地震調査委員会の長期評価により南海トラフで今後30年以内のM8-9クラスの地震発生確率は70%程度と予測されていることから<sup>2)</sup>、特に都市部における被災後の方策実行の抜本的な改善は社会的な急務である。

## 2. 研究の目的

都市部における大型震災の方策を、震災発生をもって策定する対処療法的な手順からの脱却および震災発生から方策実行までの期間短縮を本研究の目標とする。都市単位で建築環境総合性能評価システムを建築設計に導入するCASBEEについての研究発表をヒントに、解体においても環境を考慮した設計を都市レベルで実施することで突発的な災害による損壊に対しても解体廃棄物フローとして環境負荷を最小化する方策が提案できるのではと考え、震災廃棄物の資源循環の視点から都市ごとの事前対処型の方策提案システムの構築実現のため、以下で示す4点（1. 都市別被災方策事前提案システムの構築、2. 住居損壊再現モデルの開発、3. 最適方策立案モデルの開発、4. 被災状況観測システムの導入）を研究対象として提案した。

## 3. 研究の方法

本研究目的である「事前対処型の方策提案システムの構築実現」を達成する上で、図1に示したそれぞれのプロセスに対して以下4段階の研究方法を提案する。4D-CADを用いた住居損壊予測モデルの開発によりシミュレーションによる廃棄物量の予測を可能とした上で（図1プロセス①）、被災による震災廃棄物発生マップおよび建設系資源需要マップの作成を行いマクロデータとして蓄積する（②）。最適方策立案モデルを開発することでシミュレーションおよび観測により作成されたマクロデータに対する最適方策の立案が可能となり（③）、その差異から事前提案に修正を加えることで立案時間の迅速化を実現する（⑤・⑥）。以上3点が最重要課題として設定され、可能であれば被災状況観測システムの構築としてUAVを使用した観測手法のシステムへの取組みも試みる（④）。

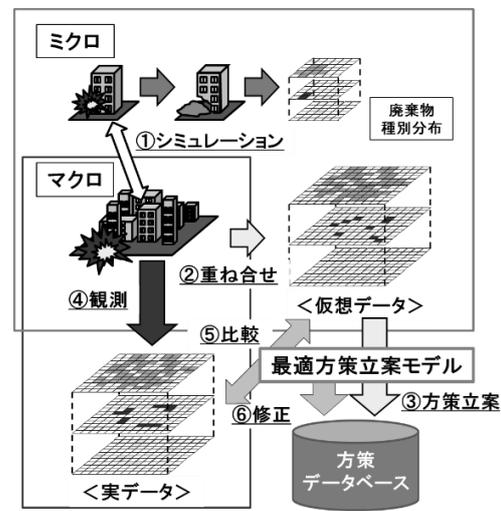


図1 都市別被災方策事前提案システム概要図

### (1) 4D-CADを用いた住居損壊予測モデルの開発(図1内①)

対象となる構造物を3次元モデル化、地震波を入力、構造解析を行うことで部材の損壊具合を再現し、瓦礫の混成具合を把握する。既往研究に小野里ら<sup>3)</sup>の瓦礫からの人命救助に関する研究があり、部材同士が構成する空隙構造を再現する程の精度を有する。3D-CADソフトBlender（博士課程で解体負荷予測モデル開発時に使用）の外部ソフトとの高い互換性を生かし、そのデータに解体負荷算出モデルを用いることで環境負荷ベースの最適化提案を行う。

・目的設定

- i) 地震再現モデルの組み込み <既存研究引用>
- ii) 解体負荷モデルの適用
- iii) 最適解体スケールの選定

(2) 被災による震災廃棄物発生マップおよび建設系資源需要マップの作成(②)

住居損壊予測モデルの結果を重ね合わせることで震災廃棄物発生マップを作成することが出来る。これに対し建設系資源需要マップは、オーナーの意向、行政の指針等によって変わる可能性がある。これは住居に損壊が起きた場合、主に再建、補修、転居（新規購入）から対応が選ばれられると考えられ（根拠は内閣府が定める罹災者支援融資対象）、オーナーにヒヤリングの上で敷地内建設需要および資源需要の検討が必要と考えられる。また同時に仮説住居の設置等の行政の対応も考慮が必要と考えられる。従来仮説住宅は学校の校庭や公園といった広大な公共スペースを利用し設置されるため住居敷地の転用は考慮に含めないが、被災の影響で材料資源（断熱材としてのベニヤや合板）の提供が滞る東北大震災の事例を鑑みた場合<sup>4)</sup>、資源需要の一部としての考慮が必要と考えられる。

・目的設定

- i) 震災廃棄物発生マップの作成（マイクロデータの統合）
- ii) 建設系資源需要マップの作成

(3) 最適方策立案モデルの開発(③⑤⑥)

震災廃棄物発生マップおよび建設系資源需要マップから資源循環ベースの最適方策を提案するモデルを開発する。修正に関しては予測および実測データによる発生および需要分布のズレを処理施設の座標および規模に反映させることで、施設数等の大幅な修正を行うことなく最終方策を決定する。

・目的設定

- i) 交通インフラ復興モデルの開発
- ii) 最適シナリオ策定への拡張
- iii) 方策修正機能の付加

(4) 被災状況観測システムの構築(④)

上述の通り交通インフラの復興以前にデータ収集を行う必要性が有るため、被災地域の観測方法として Unmanned Aerial Vehicle (UAV) を用いた空からの手法を提案する予定であったが、進捗の関係で達成できなかった。

4. 研究成果

(1) 4D-CAD を用いた住居損壊予測モデルの開発

住居損壊予測モデルとして 3次元モデルに対して地震波を入力することで、構造部材ごとの加速度、変位を経時的に推定可能とした。本研究では主に2手法によって推定を提案している。

第一の手法として 3D-CAD ソフトウェア Unity を使用した動的シミュレーションによる推定を行っており、これにより非構造部材として取付けられている内・外装材および天井アンカーに発生する外力の算定が可能となった。これはタイル剥落やアンカー抜けなど細分化された部材に対しても適用可能であり、剥落リスク推定として既存構造物のみならず設計段階においても

用いることで補修計画の最適化等にも転用が期待される<sup>5),6)</sup>。

第二の手法として、有限要素法を用いた構造解析手法を適用した。第一手法と同様に 3D-CAD ソフトウェア（ここでは Blender を使用）で対象構造物データを取り込み、各部材データに対して、単位グリッドに細分化を行った。これに材種特性を紐づけ、構造解析ソフトのデータ形式に変換を行った。ここでは解析に FrontISTR を用いて、地震波（変位変形）データを対象構造物に入力することで、各部位に発生する応力が推定され、破壊時刻が出力される。これを再度 3D-CAD ソフトウェアに入力し、経時的に破壊を再現してやることで震災がれきの混ざりこみの再現が可能となった。がれき回収において数値的アルゴリズムを用いることで、処理負荷最適化手法についても同時に提案を行った<sup>7)</sup>。

## (2) 被災による震災廃棄物発生マップおよび建設系資源需要マップの作成

住居損壊予測モデルの結果を重ね合わせることで震災廃棄物発生マップを作成することが可能と考えた。ただし震源地による発生地震波の推定が、建設地盤などの影響も多く受けると考えたため、ここでは GIS ソフトウェア（ArcGISPro）を使用して、震源地からの距離による地震動による被害および津波による被害（海岸部に対して）を、統計的分析を行い震災廃棄物発生図の作成を行った<sup>8)</sup>。将来的には地盤影響も考慮した地震波推定を(1)のモデルに適用して、より精緻な推定を可能とする。

資源需要に関して大型震災における処理履歴を調査した結果、現状処理最優先での方針が採択される傾向にあり、臨時処理場の設置に対する最適化提案が現実的であると考えた。そのため建設系資源需要マップの作成は行わず、震災廃棄物発生マップに対する処理の最適化方策立案に移行した。

## (3) 最適方策立案モデルの開発

(2)を受け、震災廃棄物発生マップから廃棄物処理の最適方策を提案した。具体的には既存処理場の震災後の処理能力を考慮するとして、東北および熊本大震災における既存処理施設の処理能力を震災前後で比較し、震度等に伴う処理能力低下の推定式を立案した。全発生廃棄物に対する既存処理場能力との差分が臨時処理場の負担分として、GIS を用いた施設配置シミュレーションを行った。ポロノイ分割による配置の最適化を行った上で、施設数に対する負荷計算をコストベースで行い、最適な施設数とそれによるコスト削減効果について算定を行った<sup>8)</sup>。

## (4) 被災状況観測システムの構築

上述の通り進捗の関係で(3)までしか達成できなかったため、今後の課題とする。

### <参考文献>

- 1) 日本建築学会,2014, 災害時のレジリエンス対応技術と資源ストック利活用の接点日本建築学会大会学術講演会材料施工部門 PD
- 2) 地震調査研究推進部地震調査委員会,2013, 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）
- 3) Onosato M. et al. 2012, Digital gareki archive, SSRR
- 4) 毎日新聞,2011, 東日本大震災 仮設住宅、資材不足 早期整備に懸念も,毎日新聞オンライン記事 4月3日
- 5) 橘高義典, 國枝陽一郎, 2019, 被災瓦礫シミュレーションを目指した 4 次元住居損壊モデルに関する研究：その 1 建物の地震応答に伴う外壁タイルの剥落危険性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1361-1362
- 6) 安藤すなみ, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2019, 被災瓦礫シミュレーションを目指した 4 次元住居損壊モデルに関する研究：その 2 建物の地震応答に伴うアンカーボルトの破壊危険性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1363-1364
- 7) 榎本遼, 國枝陽一郎, 橘高義典, 2018, 建物解体時における廃棄物回収手法の最適化アルゴリズムに関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.333-334
- 8) 甲斐千義, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2019, GIS を用いた大規模災害時の災害廃棄物の処理における適切な分配についての研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 都市計画, pp.859-860

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kunieda Yoichiro, Codinhoto Ricardo, Emmitt Stephen	4. 巻 26
2. 論文標題 Increasing the efficiency and efficacy of demolition through computerised 4D simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering, Construction and Architectural Management	6. 最初と最後の頁 2186 ~ 2205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1108/ECAM-11-2018-0492	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 國枝陽一郎, Ricardo Codinhoto	4. 巻 83
2. 論文標題 4D-CADを用いた解体負荷シミュレーション手法に関する基礎的研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 773-779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.83.773	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 榎本 遼, 國枝 陽一郎, 橘高 義典
2. 発表標題 建物解体時における廃棄物回収手法の最適化アルゴリズムに関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 被災瓦礫シミュレーションを目指した4次元住居損壊モデルに関する研究：その1 建物の地震応答に伴う 外壁タイルの剥落危険性の評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安藤すなみ, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 被災瓦礫シミュレーションを目指した4次元住居損壊モデルに関する研究: その2 建物の地震応答に伴うアンカーボルトの破壊危険性の評価
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 甲斐千義, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 GISを用いた大規模災害時の災害廃棄物の処理における適切な分配についての研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國枝陽一郎, 橘高義典
2. 発表標題 建物解体工事の環境影響低減化に向けた発生騒音評価手法の提案
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎本遼, 國枝陽一郎, 橘高義典
2. 発表標題 建物解体時における廃棄物回収手法の最適化アルゴリズムに関する基礎的研究
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----