

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：22604  
研究種目：若手研究  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K14873  
研究課題名（和文）BIMデータを用いた補修リスク推定システムの提案

研究課題名（英文）Repair risk estimation system using BIM data

## 研究代表者

國枝 陽一郎（Kunieda, Yoichiro）

東京都立大学・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） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究によって建物外装材補修リスク推定における、4次元雨水挙動予測、力学特性劣化リスク予測、補修負荷予測が可能となった。では粒子法解析ソフトウェアを用いることで経時的な雨水挙動の再現が建物モデルに対して適用可能となった。ではCADソフトウェアの熱解析ツールを用いることで、日射影響を考慮した劣化予測を可能とした。では補修（部分解体）による負荷発生を自作の解体負荷解析ツールを用いて推定可能とした。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によってライフサイクルを通じた補修リスクの推定およびそれに伴う負荷の推定が建物の設計時点で可能となると考えられる。そのため補修の少ないデザインへの設計変更などが可能となり、建物の長寿命化や補修負荷も含めたサステナビリティの向上が期待される。また補修リスクの推定を通して劣化が発生しやすい箇所を明らかにすることで、調査・診断の効率の向上も期待できると考える。最後に補修負荷の推定においては、既存の建物に適用することで、継続利用と建替えによる効率比較も可能となることで、経済性・環境負荷の双方の観点から建物管理の意思決定が可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In the present study, three estimation methods were developed to achieve the final aim to establish the repair risk assessment of building exterior materials using BIM data: i) 4D simulation of rain fall movement on facade, ii) risk estimation of mechanical deterioration with external forces and iii) estimation of repairment burden. i) The application of the multi particle simulation (MPS) method enabled to recreate the chronological rain fall movement on building model facade. ii) The application of thermal analysis add-on in 3D-CAD software allowed to estimate the effect of sunshine on facades. iii) The estimation tool of demolition impact was applied to quantitatively evaluate the repair impact with tool extension.

研究分野：建物補修

キーワード：リスク推定 BIM 外壁劣化 4次元シミュレーション 劣化推定 雨水挙動 粒子解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

スクラップ&ビルドの慣習から持続型社会形成に向けて建物の長寿命化に向けた取り組みが産官学において熱心に行われ、補修は建設需要において近年唯一成長をみせる分野である。補修は定期的な検診・調査から対象箇所を特定する場合が一般的で、危険部位の特定前に劣化が進行した場合には事故発生のリスクがあり、最悪人命に関わる事故となる可能性がある(e.g. 被りコンクリートの剥落)。そこで、既存の「検査 補修」型システムで頻発する劣化物による事故を如何にして防ぐかが重要な課題となる。既存の検診・調査に基づいた補修という劣化に対する対処療法的な形から事前対処型へ移行する方策として、補修リスク推定システムの構築が求められる。

### 2. 研究の目的

本研究は「予測 補修」型システムを確立するため、BIM データを用いた精度の高い補修リスク推定システムの構築を目的とする。既存研究の「構成部材ごとの補修負荷の原単位の積算」や「地震などの外力の解析評価」に対し、本研究は「外装材および接合材の劣化推定」に主眼を置く。汚染の原因である水分挙動に着目し、4次元での雨水挙動の解析を行う。この解析においてBIM データに含まれる材料特性として表面性状を反映することで精緻な解析結果が得られることが期待される。

また改修に解体負荷算出モデルを応用して補修負荷を推定して劣化リスクの結果を掛け合わせることで、補修リスクを定量化可能とする。

### 3. 研究の方法

#### <補修リスク推定システムの構築>

補修リスク推定システムは、劣化推定を「美観」・「力学特性」の2点に分け、BIM データを用いた多次元解析を行うことで経時的な劣化を実性状に近い形で再現する(図1)。既存の静的な劣化リスク推定よりも高い精度が期待される。「美観」劣化推定においては「4次元雨水挙動推定モデルの開発」として、汚染物質の媒体主体と考えられる雨水挙動に着目し、飛散、滑走、浸透、蒸発の4フェイズによる経時的な挙動を再現する。BIM データを使用することで部材形状による雨がかり(自由落下と )のみならず、滴下後の挙動( ~ )が物理特性(e.g. 接触角、硬度、粗さ)を反映して推定可能になる。この推定結果を主要素として美観劣化リスクの推定を可能とする。「力学特性」劣化推定においては「力学特性劣化リスク推定モデルの開発」として、外装材と構造部材の接着性(e.g. 付着強度(引張・せん断)、変形追随性)の経時的劣化を、1 物理的外力(e.g.地震動、風荷重)、2 熱力学的外力(e.g.温冷、日射)、3 化学的劣化(e.g.中性化、酸化)から多角的に推定する。発生頻度の関係で1の地震荷重のみ、規模により場合分けを行い、損壊リスクを推定している。また2の日射に関しては、美観劣化リスクの判定要素としても重複して反映されている。最後に上述の2点の劣化に対する方策として行う補修による生じる負荷(e.g.コスト、時間)について「補修負荷推定モデルの開発」を行う。具体的には、雨水挙動の推定同様に建物形状から仮説足場の設置などの補修作業にかかる時間や作業量の推定を行う。

#### 1) 4次元雨水挙動推定モデルの開発(「美観」劣化推定)

雨水の衝突解析を行うことで部材表面における水分挙動を再現し、汚染物質の付着量を把握する。水分の主要挙動を4フェイズに分けて再現を行う。また外装材の物理特性の簡易な試験方法についても提案を行うことで、属性データが無い場合でも容易に適用可能とする。

・目標設定（優先度順）

- i) 雨水挙動モデルの開発
- ii) 降雨再現モデルの開発
- iii) 外装材の物理特性試験方法の提案

## 2) 力学特性劣化リスク推定モデルの開発（「力学特性」劣化推定）

対象構造物を3次元モデル化し、外的要因を入力、劣化解析を行うことで外装材（および接合材）の劣化程度を推定し、補修が必要となる時期を把握する。外的要因としては、物理的外力（e.g.地震動、風荷重）、熱力学的外力（e.g.温冷、日射）、化学的劣化（e.g.中性化、酸化）が挙げられる。外部ツールとの互換性を保ち、常に高精度の解析手法を適用可能とすることで、本モデル自身も高い精度で維持可能であると考えられる。

・目標設定（優先度順）

- i) 外力推定可能な外部ツールの選定（地震動、温冷解析は既に自己開発済）
- ii) 外力推定データ抽出手法の提案
- iii) 外壁接合材劣化係数の決定（各外力の影響度を定量化）

## 3) 補修負荷推定モデルの開発

補修と改修について負荷の推定を提案する。補修にかかる負荷として作業を実施するための仮設足場やゴンドラの設置についてファサードの物理形状および構造性能を基に、適用可能な手法を選定する。主な外装材補修手法における必要な機材、人員、施工時間を考慮することで、最もコストの少ない補修手法およびそれに伴う負荷を算定する。改修については、建物の被構造部材あるいは構造部材に対する部分解体と捉えることが出来、その際に発生する負荷は、解体負荷算出モデル 1) を用いることで4次元シミュレーションを通して推定を行う。

・目標設定

- i) 補修負荷推定モデルの開発
- ii) 改修負荷推定への解体負荷算出モデルの転用
- iii) 補修・改修負荷比較機能の付与

## 4) 補修リスク推定手法の提案

補修リスクは劣化リスクと補修負荷の積の総和で表される。補修による性能変化は経年および施した補修により変動し、必要となる修繕量は大きくなる傾向にある。補修計画を大型規模修繕の間隔で評価することで、補修リスクの抑制できる計画方針を把握する。

・目標設定

- i) 補修リスク算定モデルの開発（劣化リスク・補修負荷データの掛け合わせ）
- ii) 補修時の性能復元割合の推定（既往文献を参照）
- iii) 補修計画比較機能の付与

## 4. 研究成果

### 1) 4次元雨水挙動推定モデルの開発

4次元雨水挙動推定モデルとして、3次元モデルに対して降雨量の情報を入力することで、建物外壁における雨水挙動を4次元で解析することを可能とし、それに基づく汚染リスクの推定手法も提案した。第一ステップとして、実建造物の壁面を対象として3Dスキャナを用いた外壁表面データを用いた解析と、実際に降雨装置を作成して降雨量分布の実測および画像解析による壁面汚染性状を定量化して比較することで、解析結果と降雨挙動の整合および汚染リスク推定精度の検討を行った。

第二ステップとして、実建造物の図面を基にして3次元モデルを作成して行った解析と、同建造物外壁への画像解析による壁面汚染性状のデータを比較することで、降雨量に基づいた汚染リスク推定精度の検討を行った。最終年においては複数の実建造物を対象とすることで解析手法の汎用性の検討を明らかとした<sup>1)</sup>。

### 2) 力学特性劣化リスク推定モデルの開発

力学特性劣化リスク推定モデルとして、外装タイルの剥離リスク推定手法の提案・検証を行った。具体的には、有限要素法を用いた解析手法において剥離性状から施工時の付着性状を推定して解析に反映する手法を改善策として提案し、アンカーピンやネットを用いた補修による剥離挙動について実験結果と比較して提案手法による解析の正確性も検討を行った<sup>2)-4)</sup>。並行してモルタルに対する熱や疲労による強度変化についても実験的検討をおこなった<sup>5),6)</sup>。

また日射により外壁に発生する温度ひずみによる劣化影響(ディファレンシャルムーブメント)を明らかにするとして、3D-CADのアドオンツールを用いることで、建物モデルに対する日射影響による力学的劣化リスク推定手法も提案した<sup>7)</sup>。

### 3) 補修負荷推定モデルの開発

補修(部分解体)負荷推定モデルの開発として、自作の解体負荷解析ツールを用いて動的に対象部材のみを解体解析可能とした。具体的な適用方法として、対象部材や工法、重機の選定による解析結果(推定負荷)を比較することで補修計画の最適化提案を可能とした<sup>8)</sup>。ただし足場の設置による負荷の推定や、クレーンの設置箇所に伴う部材搬出負荷の推定などの当初計画については達成することが出来ず、全体的な補修負荷推定については更なる推定モデルの改善・拡張が必要と考えられる。

### 4) 補修リスク推定手法の提案

3)に示す通り、補修負荷推定においてすべてのプロセスに対する負荷推定を可能にすることが出来ていないため、補修リスク推定についても同様にその開発をもって推定が可能になると考えられる。そのため上記成果においては1)から3)までの内容を成果として記載した。

#### <参考文献>

1) 國枝陽一郎, 橋高義典, 吉岡昌洋, 廣川光, 2021, MPS法を用いた外壁面の雨水汚れリスク推定手法の提案, 日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文, Vol.39 (2), pp.76-80

- 2) 佐々木聡, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2021, タイル仕上げの目地強度と剥離性状に関する研究 その1 浮きタイル目地の剥離性状定量化手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.937-938
- 3) 矢島わかな, 佐々木聡, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2021, タイル仕上げの目地強度と剥離性状に関する研究 その2 浮きタイル目地の剥離性状に関する解析手法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.939-940
- 4) 佐々木聡, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2022, 外壁仕上タイルの剥離に関する動的試験方法の提案および剥離性状の把握, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88(805), pp.356-363
- 5) 佐々木広哉, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2022, 高温加熱下における繊維補強モルタルの力学的特性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.155-156
- 6) 佐々木広哉, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2022, 超音波探傷法による繊維補強モルタルの強度低下の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.545-546
- 7) 原田詩織, 吉岡昌洋, 橘高義典, 國枝陽一郎, 2022, 外装塗料の光沢保持率低下の予測式に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp.833-834
- 8) 國枝陽一郎, 2022, 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 その2 : 動的破碎挙動を再現した解体負荷推定, 日本建築学会構造系論文集, Vol.88(806), pp.550-557

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 SASAKI Satoshi, KITSUTAKA Yoshinori, KUNIEDA Yoichiro	4. 巻 88
2. 論文標題 PROPOSAL OF DYNAMIC TEST METHOD FOR PEELING OF EXTERIOR WALL FINISH TILES AND UNDERSTANDING OF PEELING PROPERTIES	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 356 ~ 363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.88.356	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 KUNIEDA Yoichiro	4. 巻 88
2. 論文標題 BASIC STUDY OF 4D-CAD APPLICATION TO DEMOLITION IMPACT ESTIMATION (PART2) DEMOLITION IMPACT ESTIMATION WITH DYNAMIC DEMOLITION BEHAVIOR	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 550 ~ 557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijs.88.550	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 -

〔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 國枝陽一郎, 橘高義典, 吉岡昌洋, 廣川光
2. 発表標題 MPS法を用いた外壁面の雨水汚れリスク推定手法の提案
3. 学会等名 日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 佐々木聡, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 タイル仕上げの目地強度と剥離性状に関する研究, その1 浮きタイル目地の剥離性状定量化手法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 矢島わかな, 佐々木聡, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 タイル仕上げの目地強度と剥離性状に関する研究, その2 浮きタイル目地の剥離性状に関する解析手法の検討
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 原田詩織, 吉岡昌洋, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 外装塗料の光沢保持率低下の予測式に関する研究
3. 学会等名 日本建築工上学会大会学術講演会研究発表論文集
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 佐々木広哉, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 高温加熱下における繊維補強モルタルの力学的特性について
3. 学会等名 日本建築工上学会大会学術講演会研究発表論文集
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 野口涼子, 橘高義典, 國枝陽一郎
2. 発表標題 超音波探傷法による繊維補強モルタルの強度低下の評価
3. 学会等名 日本建築工上学会大会学術講演会研究発表論文集
4. 発表年 2022年～2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------