

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04465

研究課題名（和文）木造戸建ストック住宅普及のための隙間特性評価法の構築

研究課題名（英文）Investigation of building opening evaluation method for wooden existing housing stock

研究代表者

鳥海 吉弘（TORIUMI, Yoshihiro）

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：90649162

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：住宅の気密性に関して、隙間の所在や気密改修の効果が確認できる隙間特性式（隙間モデル）を提案した。提案する隙間モデルは、サイズが小さく奥行きのある隙間（例えば壁や床など、躯体の隙間）とサイズに対して奥行きの小さい隙間（例えば窓・ドアなど、開口部まわりの隙間）が並列に存在するものと仮定したものである。この隙間モデルを利用して、隙間の特性と構成に関するデータベースを作成することにより、隙間の所在や気密改修効果の確認が可能になった。また、木造戸建住宅の工法（構法）や断熱工法の違いによる気密性の違いを示した。気密の耐久性について、築後10年程度では明確な気密性能の劣化は見られないことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

省エネルギーや室内温熱空気環境の観点から、建物は高气密にして換気を行う必要がある。従来の住宅に関する気密性能の基準では、隙間の特性や隙間の構成が考慮されておらず、また、隙間がどこに存在するのかがわからなかった。隙間の所在を知るには部位別の気密測定が必要であり、多くの時間を要した。本研究で提案する隙間のモデルにより、隙間特性値と隙間構成の関係から隙間の所在を予測し、改修箇所の決定や改修効果の確認ができるようになった。また、住宅に関する気密性能のデータベースを作成することにより、新たな気密性能の基準を定めることに役立つ。中古住宅の流通と、新築・改修住宅の気密性能の基準制定に貢献できると思われる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to determine a method for the evaluation of leakage characteristics related to the building airtightness of dwellings. Our study has proposed the parallel combination model in which narrow leakage openings with low Reynolds numbers (e.g. adventitious openings - cracks in walls, etc.) and large leakage openings (e.g. around door and window, etc.) are assumed to exist in parallel. By using this leakage model, the buildings airtight database related to the leakage characteristics and constitution of openings can be created to confirm the location of the building leakage openings and the effect of airtight retrofitting. In wooden dwellings, variations existed in the ratio of the narrow opening regardless of the construction method. Also, in houses that are about 5 to 10 years after construction, the building airtightness deteriorated in about half of the houses.

研究分野：建築空気環境・換気設備

キーワード：建物気密性 木造戸建住宅 改修 耐久性 実測 断熱工法 隙間特性 隙間構成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1999年の次世代省エネルギー基準で導入された住宅の相当隙間面積に関する基準は、省エネ法の改正に伴い撤廃されたが、漏気による換気熱損失の削減や計画換気の実現の観点では、依然として重要な性能指標である。EU諸国では新築または大規模改修の建築において Nearly zero-energy building を普及させるために、建物とダクト配管の気密性能は結びつきが強いこと、エネルギー効率のよい換気システムを使用する必要があることから、建物は高气密にし、換気を正しく行う必要性について触れている。このように、国内外では気密に対する関心に若干の温度差がある。建物気密性の重要性を再認識する必要があるが、従来の隙間特性値 n を用いない相当開口面積 αA のみで評価する方法では、改修工事における改修対象部位の決定やその効果の確認など、部位別の気密性能測定が必要となる場合もあり、測定に多くの時間を要する。また、室内外の圧力差が 9.8Pa から離れた場合に誤差が生じ、圧力差と通気量の関係式(隙間特性式)の適合性について検討する必要がある。実際の住戸や建物の隙間は複数の開口で構成されるため、隙間特性式の適用には十分な検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、まず測定値から複数の隙間特性式(隙間モデル)の適合性について検討する。次に、隙間特性式に並列結合モデルを用いることにより、住宅および各部位の隙間構成(サイズが小さく奥行きのある隙間とサイズに対して奥行きの小さい隙間の比率)から、住宅における隙間特性値と隙間構成の関係を示し、建物竣工年、建物構造・構法(工法)や改修による隙間構成の違いを明らかにし、改修工事における改修対象部位の決定や改修効果の評価等に利用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 物件選定と気密性能測定

建物の隙間特性や隙間構成の評価をする上で、比較する対象は実測による測定データとなる。また、データベースを作成するためにも測定データが必須である。建物種別は戸建住宅、構造は木造とする。建設年、構法や改修の有無の違いによる建物隙間特性値を明らかにするために、建物竣工年は幅広く、ストック(1980-2000年建設)・ストック改修(ストックを改修した物件)・新築(2000年以降建設)を含むように選択する。工法については、在来、2×4、木枠断熱パネルとし、断熱工法についても充填、外張りなど、幅広く選択する。また、既にある気密測定データの解析も行う。

(2) 隙間特性式(隙間モデル)の適合性の検討と選択

隙間モデルについては、指数式、並列結合モデル、2次式、2つの隙間モデルの適合性に関して検討する。各式の適合性は、測定した通気量に対する線形残差二乗和の比較により検討する。

(3) 気密測定に関するデータベース作成

建物構造により、適合する隙間特性式が異なる可能性がある。集合住宅の場合は、並列結合モデルによる隙間特性の評価が可能で、RC・SRC造では、隙間特性値を代入するだけでクラック開口比率(サイズが小さく奥行きのある隙間とサイズに対して奥行きの小さい隙間の比率)を推定することが可能となり、隙間特性値と隙間構成の関係から、現在の集合住宅の気密性能レベルや、改修による隙間特性の変化を確認することができる。この手法を木造戸建住宅に転用する。また、改修前後の気密性能の変化、気密性の耐久性、給気口を開けた実使用条件下での気密性能など、様々な項目について検討する。

4. 研究成果

(1) 隙間特性式(隙間モデル)の測定値に対する適合性

測定値である圧力差 Δp と通気量 q に、式(1)の指数式、式(3)の並列結合モデル、式(4)の2次式をあてはめ、最小二乗法により各係数を求めた。測定結果から、測定範囲での圧力では各式に差は見られないが、それ以外の範囲では各式に差異が見られた。各式の適合性は、測定値 q に対する線形残差二乗和の比較(カッコ内数値は指数式で基準化)により検討した。分析結果を図1に示す。測定値と最も対応が良いのは2次式だが、並列結合モデルの適合性は指数式より良好である。モデルの持つ応用性から並列結合モデルは有用である。

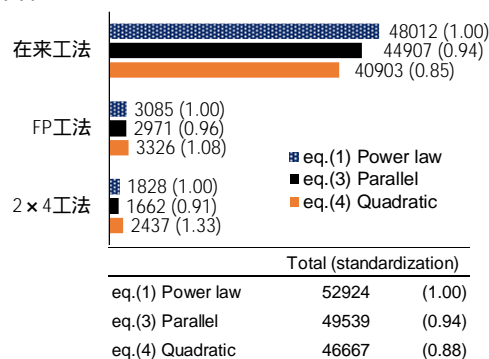


図1 測定値に対する残差平方和

(2) 気密測定に関するデータベース作成

戸建住宅 230 戸の気密測定結果を用いてデータベースを作成し、相当隙間面積 C 値[cm²/m²]と隙間特性値 n の関係性についても示した。C 値と n 値の関係を図 2 に示す。強い相関はみられず、 n 値は 1.4 ~ 1.6 に集中している。一般的に、開口部（窓・ドアなどのサッシ）隙間の n 値は躯体まわりの隙間の n 値に対して大きい。建物（住宅）が同程度の C 値を有していても、隙間の構成によって住宅の n 値は変化する。そのため、C 値と n 値は比例関係にはならない。在来工法（外張）と木枠断熱パネル工法の C 値は 1.0cm²/m² より小さく、気密性能が高いことがわかる。

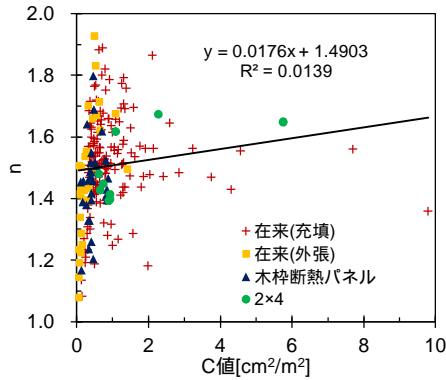


図 2 相当隙間面積と隙間特性値

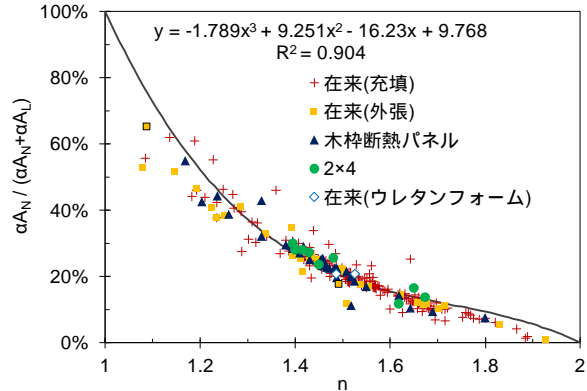


図 3 隙間特性値とクラック開口比率

(3) 建物隙間特性

図 3 に 2015 ~ 2016 年の気密測定データを利用して、並列結合モデルにより算出した n 値とクラック開口比率の関係を 3 次式で表したものに、2019 年の測定結果（在来工法外張り断熱 2 戸、在来工法ウレタンフォーム断熱 2 戸）をプロットしたものを示す。3 次式は n が 1 のときにクラック開口比率が 100%、 n が 2 のときに 0%、の 2 点を通る制約条件を加えて最小二乗法により各係数を算出している。在来工法ウレタンフォーム断熱住宅のうち 1 住戸は断熱・気密改修住戸であるが、3 次式とよく対応している。現在の住宅の測定データを図 3 にプロットすることにより、現在の住宅の気密性能レベルや、改修による隙間特性の変化を確認することができる。

(4) 気密の耐久性と経年劣化

図 4 は圧力差 50Pa 時の通気量の変化を示す。小屋裏を改修した 19co6 では気密性が低下しているが、建物気密性の劣化ではなく、居住者の行為によるものである。19co6 を除き、既往研究により気密性劣化を q_{50} の進捗により分類すると次のようになる。

- ・ q_{50} は大幅な減少 (< -50m³/h) : 2 住宅
- ・ q_{50} は殆ど変化なし (-50 ~ 50m³/h) : 0 住宅
- ・ q_{50} は緩やかな増加 (50 ~ 150 m³/h) : 1 住宅
- ・ q_{50} は強い増加 (> 150m³/h) : 2 住宅

サンプルサイズが小さいため判断が難しいが、減少・ほとんど変化なしが 2 住宅に対し、増加傾向は 3 住宅で、築 8 ~ 12 年程度では明確な気密性の劣化傾向は認められない。

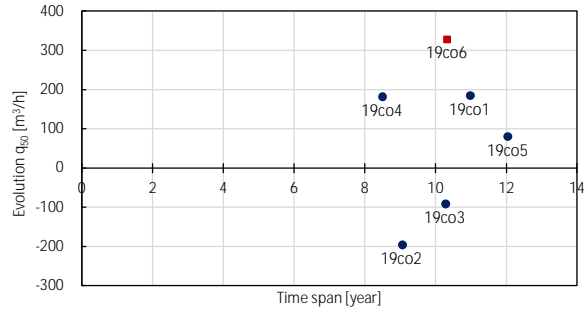


図 4 住宅の築年数と 50Pa 時通気量の変化

(5) 給気口が気密性と気密測定に与える影響

図 5 に 2015 ~ 2016 年の 230 物件のデータを利用して、 n 値とクラック開口比率の関係を 3 次式で表した結果に、2021 年の測定結果をプロットしたものを示す。21coo1 の給気口開以外は 3 次の回帰式によく対応している。21coo1 の給気口開はどの隙間特性式でも対応が悪く、21coo2 の給気口開も他より残差平方和が大きい。隙間の少ない超高気密住宅で給気口などの大開口が存在するような状況では測定エラーが起き易く、測定点が 5 点では少ない可能性がある。3 次式と対応が悪いのは、測定誤差が多い測定データである。

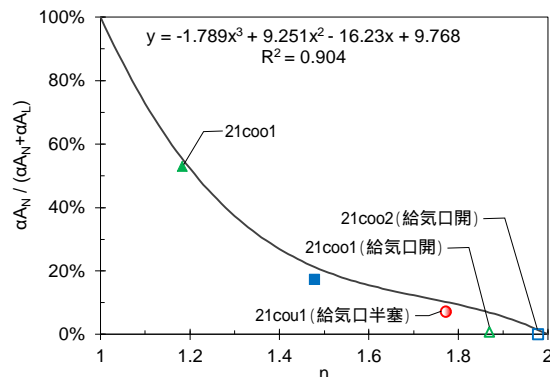


図 5 住宅の築年数と 50Pa 時通気量の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 3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 鳥海 吉弘, 倉淵 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その5 給気口が気密性と気密測定に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 鳥海 吉弘, 倉淵 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その4 外張り断熱工法とウレタンフォーム断熱工法の気密性能	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 1461-1462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 鳥海 吉弘, 倉淵 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その3 戸建住宅における建物気密の耐久性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 1527-1528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Toriumi Yoshihiro, Kurabuchi Takashi	4. 巻 111
2. 論文標題 Impact of Negative Pressure in a Room Due to Increased Airtightness in Residential Apartment Housing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 E3S Web of Conferences, CLIMA 2019 Proceedings	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/e3sconf/201911101094	査読の有無 有
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 Yoshihiro Toriumi, Takashi Kurabuchi	4. 巻 -
2. 論文標題 EVALUATING BUILDING LEAKAGE CHARACTERISTICS FOR SINGLE-FAMILY DWELLING STOCK	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Roomvent 2020 Proceedings-book (ISBN 9788894612301)	6. 最初と最後の頁 585-588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
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 鳥海 吉弘, 倉淵 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その1 新築戸建住宅に対する検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 705-706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 鳥海 吉弘, 倉淵 隆	4. 巻 -
2. 論文標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その2 断熱方法と経年劣化が戸建住宅の気密性能へ与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 637-638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yoshihiro Toriumi, Takashi Kurabuchi	4. 巻 -
2. 論文標題 EVALUATION METHOD OF BUILDING LEAKAGE CHARACTERISTICS CONSIDERING GEOMETRY AND COMBINATION OF OPENINGS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PROCEEDINGS Roomvent & Ventilation 2018 (ISBN978-952-5236-48-4)	6. 最初と最後の頁 493-498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 鳥海 吉弘, 倉渕 隆
2. 発表標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その5 給気口が気密性と気密測定に与える影響
3. 学会等名 日本建築学会大会（北海道）
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Yoshihiro Toriumi, Takashi Kurabuchi
2. 発表標題 EVALUATING BUILDING LEAKAGE CHARACTERISTICS FOR SINGLE-FAMILY DWELLING STOCK
3. 学会等名 Roomvent 2020（国際学会）
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 鳥海 吉弘, 倉渕 隆
2. 発表標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その4 外張り断熱工法とウレタンフォーム断熱工法の気密性能
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 鳥海 吉弘, 倉渕 隆
2. 発表標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その2 断熱方法と経年劣化が戸建住宅の気密性能へ与える影響
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 鳥海 吉弘, 倉渕 隆
2. 発表標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その3 戸建住宅における建物気密の耐久性
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Toriumi, Takashi Kurabuchi
2. 発表標題 Impact of Negative Pressure in a Room Due to Increased Airtightness in Residential Apartment Housing
3. 学会等名 CLIMA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 鳥海 吉弘
2. 発表標題 建物の隙間の評価方法に関する研究 その1 新築戸建住宅に対する検討
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Toriumi
2. 発表標題 EVALUATION METHOD OF BUILDING LEAKAGE CHARACTERISTICS CONSIDERING GEOMETRY AND COMBINATION OF OPENINGS
3. 学会等名 Roomvent & Ventilation 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

E3S Web of Conferences CLIMA 2019 Congress
https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2019/37/contents/contents.html#section_10.1051/e3sconf/201911102001

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
研究分担者	倉淵 隆 (KURABUCHI Takashi) (70178094)	東京理科大学・工学部建築学科・教授 (32660)	

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
---------	---------