

京町家の連棟間の接触部分が地震時応答に及ぼす影響に関する検討

A Study of the Influence of Contact Areas Between Connected Rows of Kyomachiya on Seismic Response

井上斐文¹・吉富信太²

Hifumi Inoue and Shinta Yoshitomi

¹立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²立命館大学教授 理工学部建築都市デザイン学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Department of Architecture and Urban Design, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Japanese traditional wooden buildings have a characteristic that multiple buildings are built with their walls touching each other. Although this characteristic assumes to affect the seismic resistance as a group of buildings, this effect has not been examined sufficiently. In this paper, the effect of the contact between two Japanese traditional residential buildings on the seismic response is examined by using microtremor measurement and numerical analysis considering the effect of the contact of actual existing buildings.

Keywords: traditional construction method, microtremor measurement, Kyo-machiya, continuous house

1. はじめに

近年日本では大地震が頻発し、さらなる巨大地震の発生も懸念されている。日本に現存する伝統木造建物についても、耐震性の確保が重要な課題であり、これまでに主として建物単体としての伝統木造建物の耐震性能に関して広く検討がなされている。その一方で、伝統的建物群保存地域では、京町家に代表されるように隣接する建物が壁を接するように建つ形式が一般的であり、この特徴が建物群としての耐震性に及ぼす影響については十分な検討がなされていない。本稿では、壁を接して連担した状態で建つ複数建物を単に連棟建物と呼び、連棟建物の振動特性や耐震性について検討することを目的とする。

本研究では、伝統木造の連棟建物の解析モデルを作成するにあたり、実建物の振動計測に基づいて二棟間の接触による連担の特徴を表現するばね要素を設定する。伝統木造建物の振動特性の推定について常時微動計測に基づく多くの実績があり、これまでに伝統木造連棟建物について微動計測を行った例もある¹⁾。常時微動計測では風や波浪、交通機関により生じる振動を計測し、構造物の固有周期、減衰特性などを知ることができる。その一方で、微動計測では振幅レベルが小さいため、例えば連棟間の隙間が大きい場合などは複数建物が接触するまでは一体として挙動しないことが考えられる。そこで本研究では、起振機を用いて常時微動よりも大きな振幅レベルの振動を生じさせることで、どの程度の振幅レベルで二棟の接触が生じるかについて検討する。次に得られた結果に基づいて、二棟の接触部分のモデル化として、二棟間の相対変位が二棟間の隙間を超えたときにだけ剛性を持つばね要素を設定する。このような接触部位のモデル化を用いることで、二棟が接触するまでに生じるわずかな位相差が地震時応答に影響することが考えられる。最後に、二棟の伝統木造建物の立体解析モデルを構築し、二棟間の接触部分に接触を表現するばねを配置した解析モデルを作成し、実測に近い動きを再現できるか確認し、地震動入力時の応答の特徴についても検討する。

2. 二棟連担建物の振動特性分析

(1) 対象建物の振動計測

図1に示す京都市の長江家住宅を対象として、連棟建物の振動計測を行った。本建物は北棟、南棟の二棟からなり、北棟は昭和50年代に改変された内装を復原する工事とあわせて2017年に耐震補強されている。図2～4に振動計測の様子と平面図上の起振機と微動計の配置を示す。計23台の微動計VSE15Dを用いて、常時微動と、起振機による正弦加振とスイープ加振時の振動を計測する。図3、4の番号はチャンネル番号を、矢印は微動計の正の方向を表す。

(2) 実測結果

二棟の計測データの関連性について検討する。図5、6に二棟が干渉する桁行き方向の同じ通り上の北棟(Ch5)と南棟(Ch10)の応答速度波形を示す。図7、8に二棟が並進する梁間方向の同じ通り上の北棟(Ch14)と南棟(Ch15)の微動・正弦加振時の応答速度波形を示す。横軸に北棟(Ch5、Ch14)の応答波形、縦軸に南棟(Ch10、Ch15)の応答波形の値を取った応答比較のグラフは、原点を通る傾き1の直線上にグラフが描かれると、二棟の揺れ方がほぼ同じであることが言える。いずれの方向も、微動時は二棟の応答の関連は低いのに対して、正弦加振時は二棟がほぼ同じ揺れ方をすることがわかる。

図9に2階平面図の二棟が接している部分の拡大図を示す。赤枠で囲まれた棟間の外壁は接しており、特に図中の赤丸の柱位置を接触位置と考え、3章のモデルではこの位置にギャップばねを設置する。また、図10に示すy方向スイープ加振時の振動性状より、図左側の通りでは二棟のy方向応答はあまり一致していないが、図右側の接触位置にあたる通りでは二棟のy方向変位が一致しており、接触位置では二棟がほぼ類似した振動をすることがわかる。以上より接触箇所における影響は振幅依存性があり、ある大きさ以上の振幅で一方の揺れが隣棟に伝わり、もう一方を揺すりだすことが推測できる。



図1 長江家住宅



図2 計測の様子

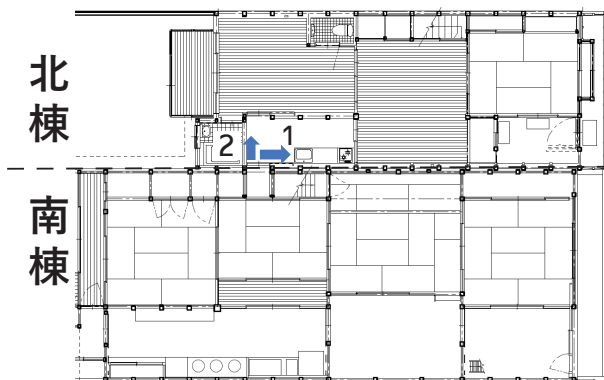


図3 1F平面図

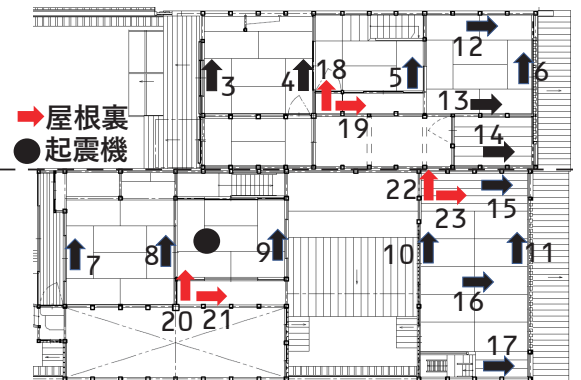


図4 2F平面図

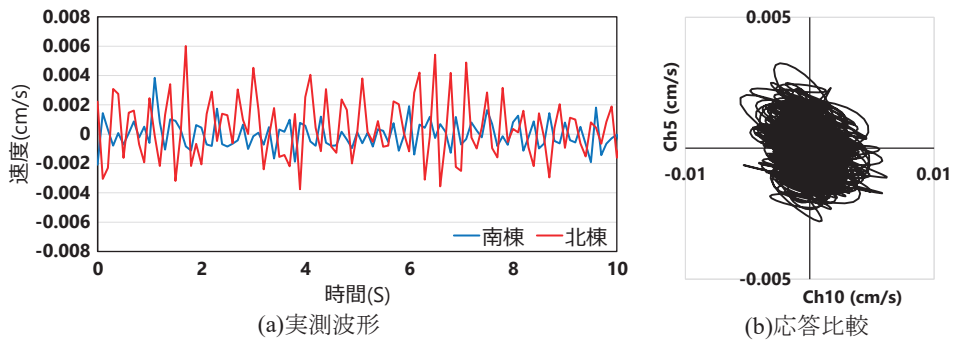


図5 桁行き方向（干渉方向）の微動時応答速度波形比較（Ch5、10）

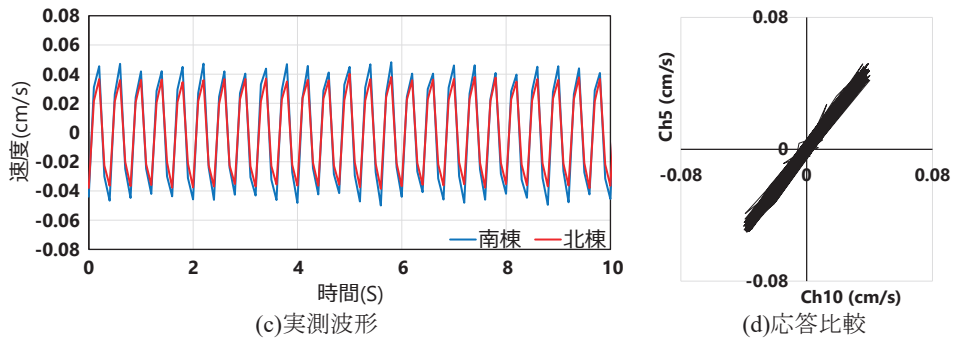


図6 桁行き方向（干渉方向）の正弦加振時応答速度波形比較（Ch5、10）

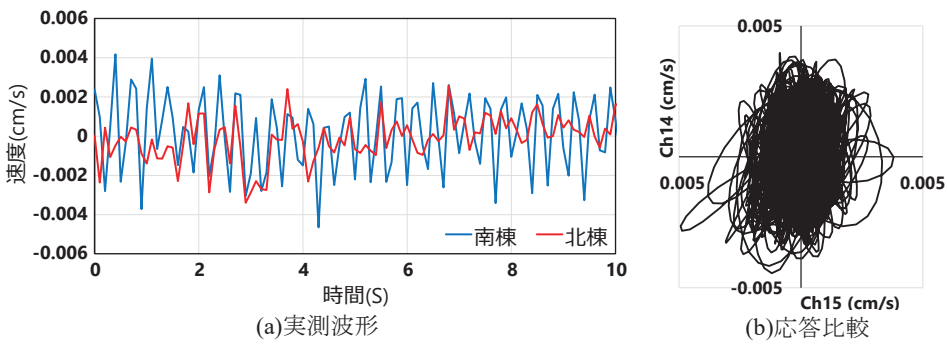


図7 梁間方向（並進方向）の微動時応答速度波形比較（Ch14、Ch15）

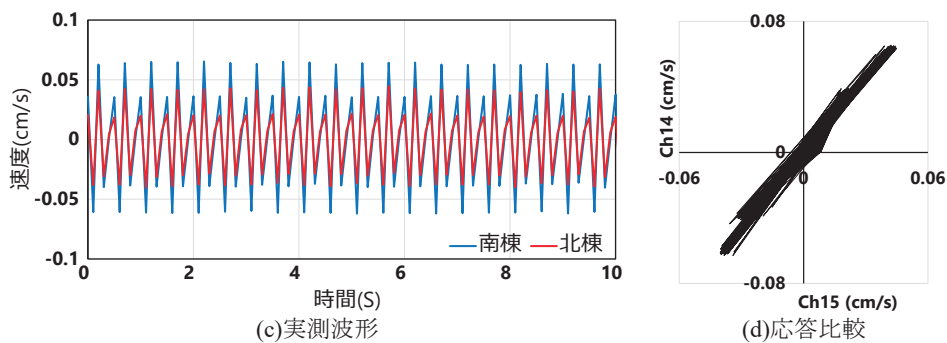


図8 梁間方向（並進方向）の正弦加振時応答速度波形比較（Ch14、Ch15）

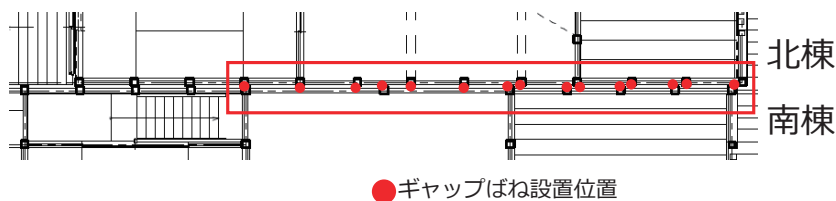


図9 二棟の接触位置

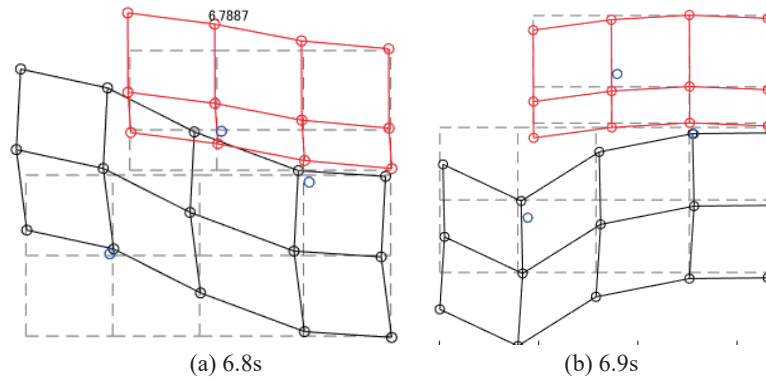


図 10 スイープ加振時の振動形状

3. 立体架構モデルによる解析

(1) 解析モデル

長江家住宅をもとに汎用構造解析ソフト SNAP を用いて解析モデル (図 11) を作成する。隣棟間の接触部分にはギャップばねを設置した。図 12 は二棟の立面図で、ギャップばねを設置した位置を示している。二棟が接触する場合、梁や横架材が衝突すると考え、図のように上下に設置した。柱梁仕口と土壁をそれぞれ回転ばねとせん断ばねでモデル化し (表 1)、復元力特性 (図 13) は既往研究に基づいて設定する³⁾。土壁の剛性については、材料設定においてヤング係数とせん断弾性係数、単位容積重量を定義する際に計算する (図 14) ことで考慮している。ヤング係数とせん断弾性係数から土壁の復元力特性が分かり、単位容積重量を土壁のものにすることで土壁と定義する。仕口の回転ばねとせん断ばねの剛性について、微動時の地動加速度に対する応答加速度の伝達関数のピーク (図 15) より求めた固有振動数 2.4Hz と解析モデルの固有振動数が対応するように試行錯誤的に変化させた。一般に大変形時に比べて微動時は剛性が大きく高振動数になることが知られており、本稿では北棟南棟ともモデルの固有周期や応答を微動計測の結果に近づけたため、初期剛性が図の復元力特性のものよりも大きくなっている。北棟と南棟の固有振動数の違いが及ぼす影響に関する検討については稿を改める。

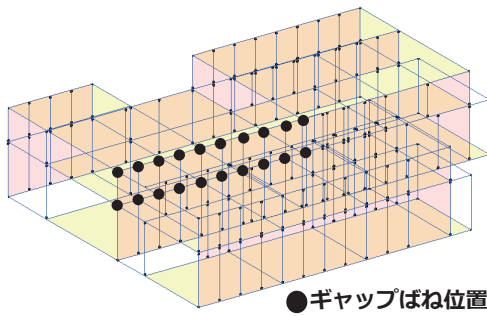


図 11 解析モデル

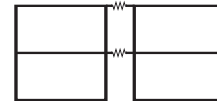
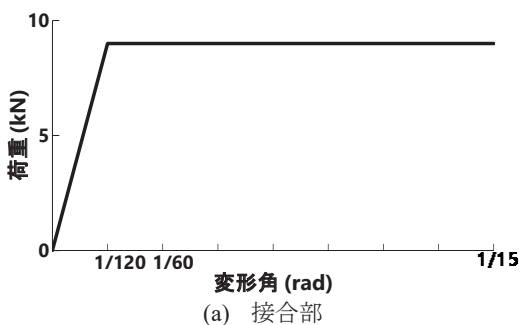


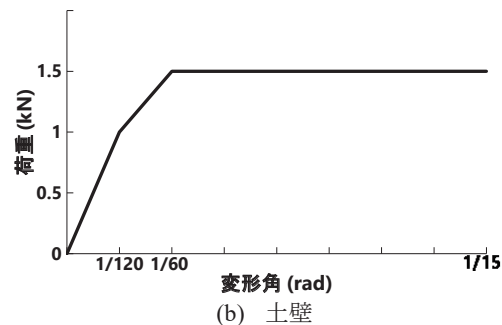
図 12 二棟間の接触ばね

表 1 剛性表

	せん断剛性 (kN/mm)	回転剛性 (kNm/rad)
北棟	2000000	700
南棟	10000	1000



(a) 接合部



(b) 土壁

図 13 復元力特性

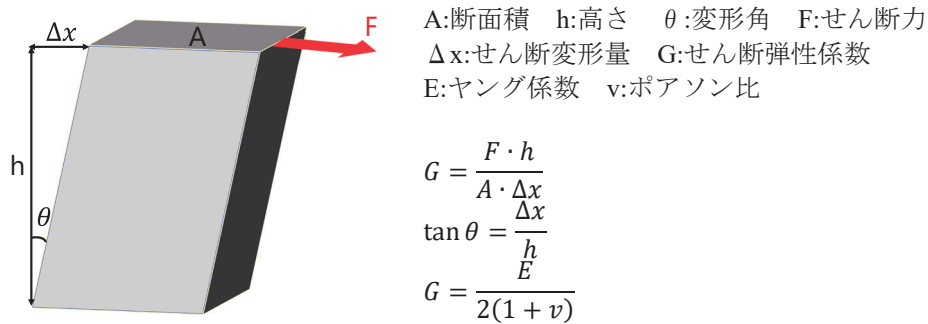


図14 せん断弾性係数の求め方

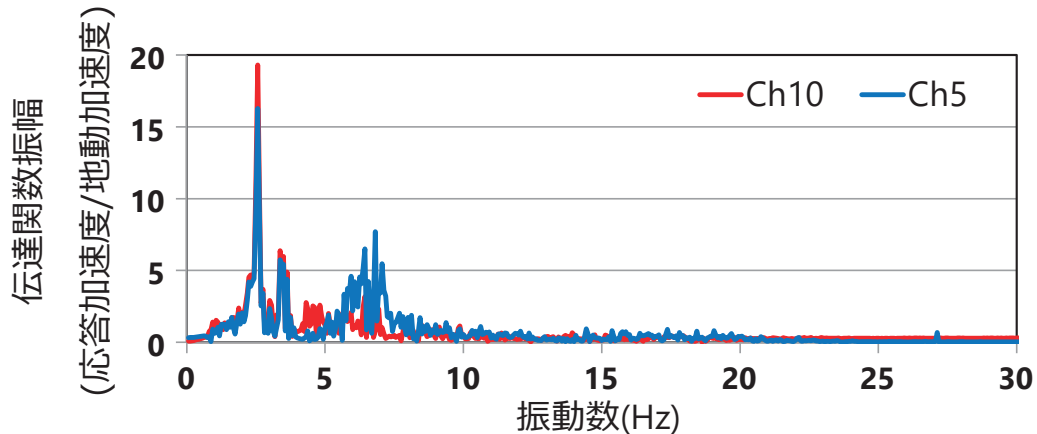


図15 桁行き方向の伝達関数

(2) ギャップばねの設定

二棟の接触を再現するために、隣棟間にギャップばねを設置した(図9)。ギャップばねとは、ばねで繋がれた二点間の距離がある距離(以下ギャップ距離)だけ伸び縮みすると、その時点から剛性を与える仕組みである。まず、接触した時のみ抵抗する物理現象として表すために、二棟が近づいてばねが縮んだときに圧縮側のみに効くようなばね(図16)を設定した。このとき、ギャップ距離を0.003mm、初期剛性を2000kN/mmとした。このときの桁行き方向(Ch5、Ch10相当)の解析応答波形の比較を図17に示す。モデルの応答波形が正、つまりギャップばねにおける圧縮側では北棟の揺れが南棟よりも小さく、実測に近い挙動をしているのが分かる。これに対してモデルの応答波形が負、つまりギャップばねにおける引張側では北棟の揺れが南棟よりも大きく、北棟の柱梁が南棟の柱梁を追い越していることになっている。そこで、引張側のときの北棟の応答が南棟より小さくなるように引張側においてもギャップばね(図18)を設定することで引張時の北棟の応答低減を表現できるか確認する。このとき、ギャップ距離を0.002mm、初期剛性を2000kN/mmと設定する。このときの桁行き方向(Ch5、Ch10相当)の解析応答波形の比較を図19に示す。よって、圧縮側と引張側の両方に効くばねを隣棟間に設置することで、北棟の応答が減り、南棟の応答が増え、二棟がほぼ同じ揺れ方をするという実測に近い挙動が得られた。

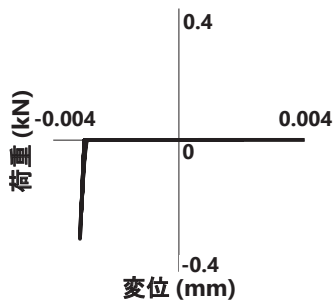


図 16 圧縮のみに効くばね

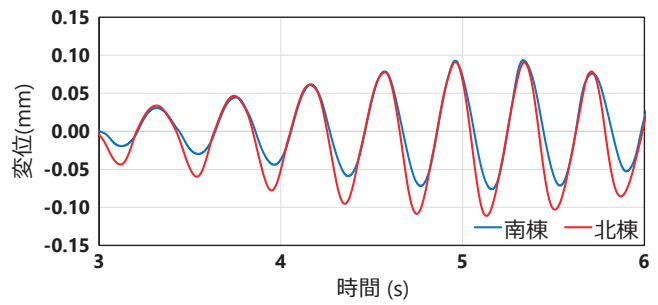


図 17 圧縮側にのみ効くばねを入れたときの応答

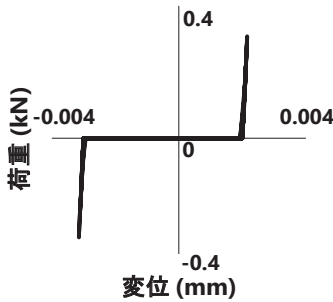


図 18 圧縮・引張に効くばね

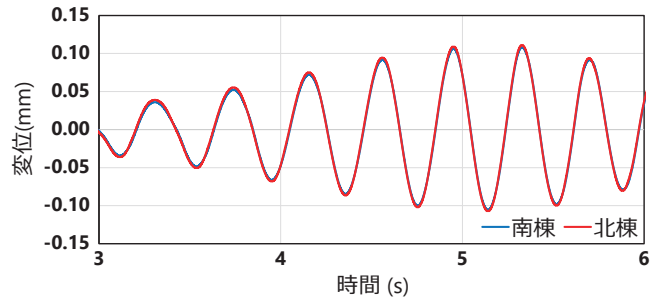


図 19 圧縮・引張に効くばねを入れたときの応答

(3) 時刻歴応答解析

実建物の起振機位置に対応したモデルの節点に起振機の計測波形を入力した時刻歴応答解析を行い、モデルと振動計測時の応答を比較する。計測波形（図 20）はスイープ波を用いる。このスイープ波は上りの 90 秒で 1Hz から 20Hz、下りの 90 秒で 20Hz から 1Hz まで変化する。図 21、22 に桁行方向にスイープ波を用いた場合の実測と解析の Ch5、Ch10 近傍の節点変位応答比較を示す。実測値よりも応答が大きいが、モデルにおいても低振幅時は二棟の応答の関連が低いのにに対して、高振幅時は二棟がほぼ同じ揺れ方をすることが分かる。図 23 に正弦波を入力した解析結果を示す。図 6 の実測値の応答と、応答範囲もほぼ同じであり、モデルは実建物に近いことが示せていると考えられる。

各棟単体モデルと連棟モデルに対し JMAKobe 波（図 24）を入力した。各棟に対する連棟時と単体時の解析応答比較を図 25、26 に示す。いずれの棟も、連棟時の方が単体時よりも応答が減少する。これは二棟が共に揺れることによって影響し合い、お互いの揺れを低減しているからであると考えられる。ただし、これらは倒壊しない想定である。入力波が大きくなると二棟と一緒に揺れてしまい固有周期が同値になっている。

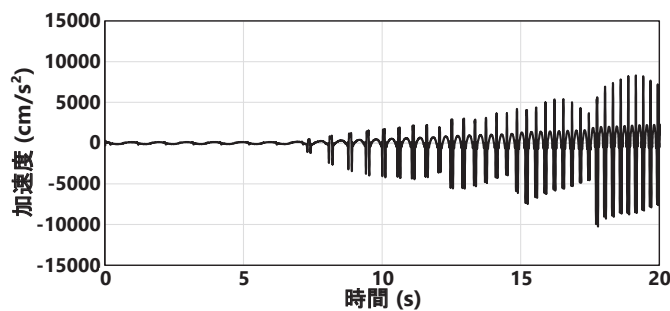


図 20 スイープ波

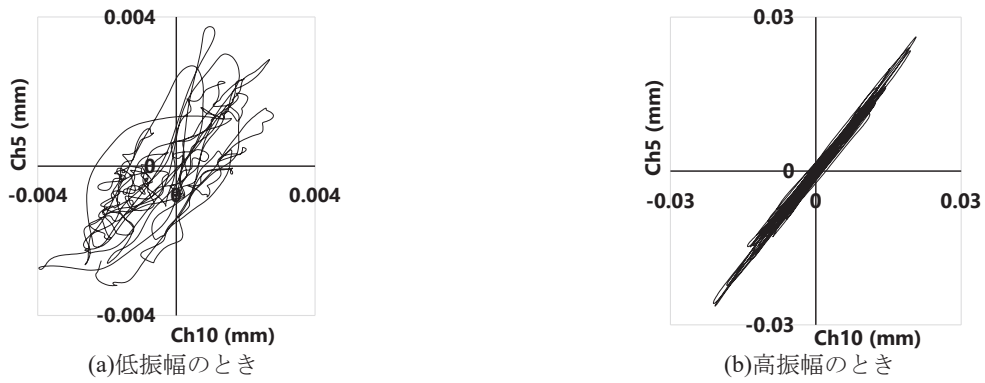


図 21 桁行き方向(Ch5、Ch10) 実測応答波形比較(スイープ波)

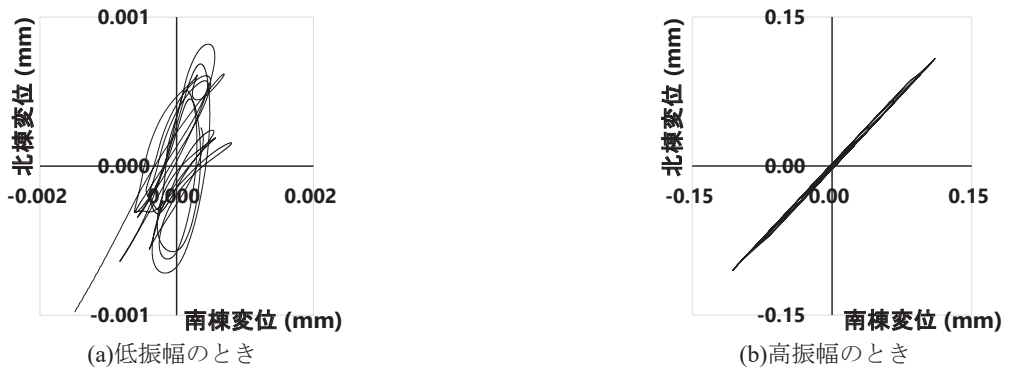


図 22 桁行き方向(Ch5、Ch10相当) 解析応答波形比較(スイープ波)

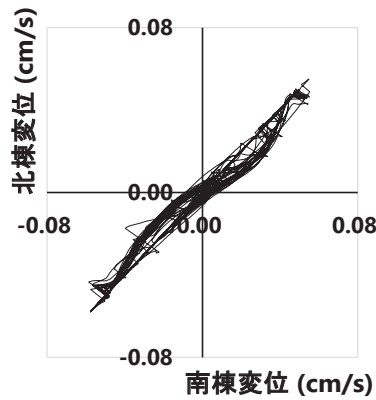


図 23 桁行き方向(Ch5、Ch10相当) 解析応答波形比較(正弦波)

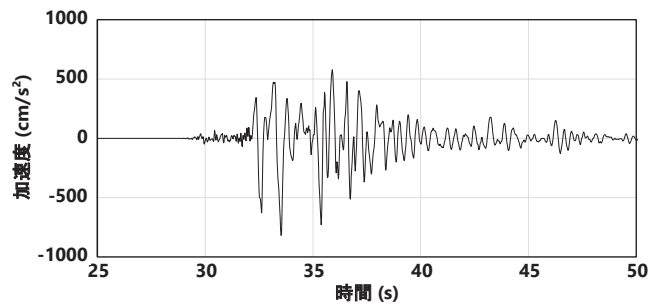


図 24 JMAKobe波

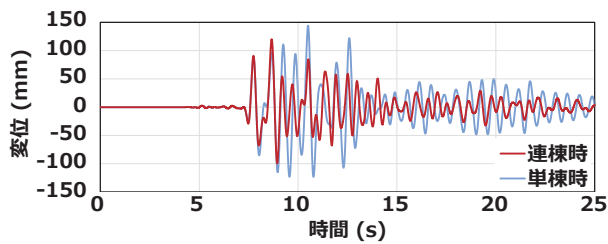


図 25 北棟同士の解析応答波形比較(JMAKobe 波)

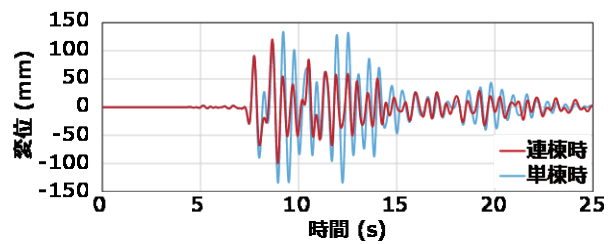


図 26 南棟同士の解析応答波形比較(JMAKobe 波)

4. まとめ

- (1) 連担する二棟の京町家の起振機と微動計を用いた振動計測により連棟建築物の振動特性の検討を行った。微動時は二棟の応答の関連が低い、加振時は一定以上の振動では二棟がほぼ一体で振動することを確認した。
- (2) 解析モデルにおいて桁行方向に二棟間をギャップばねでつなぐことでスイープ加振時と正弦加振時に実測に近い応答が再現できた。
- (3) 建物単体モデルと二棟連担モデルの応答を比較して、連担時には二棟とも応答が小さくなる場合が見られた。これは二棟に揺れが互いに影響しあうことで双方の揺れを低減しているからであると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、元立命館大学学生の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 比嘉静・熊谷考文・森井雄史・腰原幹雄・林康裕・長谷見雄二：歴史的町並み保存の防災計画手法の構築に関する研究(その6)、連棟建物の微動計測，日本建築学会大会学術講演梗概，C-1，2008.
- 2) 林康裕：伝統軸組構法木造住宅の微動計測 健康診断 重伝建 防災計画策定研修会 シンポジウム資料 塩尻市 塩尻市教育委員会，pp.55-60，2008.
- 3) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設マニュアル，株式会社学芸出版社，2004.