

石場建てを考慮した岐阜県高山市伝統構法建物の3次元地震応答解析

3D Earthquake Response Analysis for Traditional Wooden Houses Considering Ishibadate Base in Takayama Style

清水一史¹・村田 晶²・吉富信太³・向坊恭介⁴

Kazufumi Shimizu, Akira Murata, Shinta Yoshitomi and Kyousuke Mukaibou

¹金沢大学大学院 博士前期課程 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)

Master Course Student, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

²金沢大学 助教 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

Assistant Professor, School of Environmental Design, Kanazawa University

³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, Dept. of Architecture and Urban Engineering, Ritsumeikan University

⁴木四郎建築設計室 (〒605-0811 京都府京都市東山区小松町148-1)

Staff, Kishirou Architectural Design

Traditional construction method has the part of images that are old and structurally inferior. However, it became clear that the traditional construction method is substantial against earthquakes by the smallness of the damages from past earthquakes, and doing numerous experiments. We have a problem that we don't have much analytical consideration of Ishibadate base. In this study, we conducted seismic response analysis of traditional construction method building, including the Takayama, Gifu Prefecture of Ishiba denominated, and explore the impact of Ishiba denominated specifications on.

Keywords : traditional wooden house, 3-D earthquake response analysis, Ishibadate base

1. はじめに

伝統的な構法は、古くさく構造的にも劣るというイメージが一部持たれている。しかし、過去の大地震での被害の少なさと数々の実験により、地震に対ししなやかな挙動で強いということがわかってきた。そのため、国土交通省では建築基準法の見直しを進め、伝統的な構法の別途告示化を目指すため、伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会が設立された。委員会では、2010年から2012年にかけて要素実験から実大建築物実験まで多くの実験を行い、コンピュータでの時刻歴解析と合わせて多くの知見を残しており、それらは公にデータとして公開されている。またそのデータを元に定式化を行い、設計法として標準設計、詳細設計および汎用設計の3つがまとめられている¹⁾。告示化へ向けた設計法は、数多くの実証実験を重ねられ、先人の知恵、大工の高等技術を誰にでも利用可能な知識、手段として整理し、実際に適応されれば新築で伝統構法を選択することも可能となる。しかしながら、問題点として石場建てを考慮した解析的な検討が十分になされているとは言えない。

本研究では、岐阜県高山市の石場建てを含む伝統構法建物の地震応答解析を行い、石場建て仕様が及ぼす影響を探る。高山では、多くの伝統構法建物が残っており、文化庁が定める重要伝統的建造物群保存地区に2つの地区が選定されている。高山市では「高山市美しい景観と潤いのあるまちづくり条例」などの条例を設けて保存への取り組みを進めている。一方で生活様式の変遷や災害に対する安全性などの懸念から移住や建て替えなどにより美しい町並みが少しずつ失われつつある。本研究では、高山の伝統構法建物を守って行く上で重要となる伝統構法木造建築物の設計法構築の一助として高山の街並みを守ることを目指している。

2. 3次元立体モデルについて

高山の伝統構法建築物の平面形状での特徴としては、玄関から裏へと続く土間（通りどじ）が通り、通りどじに沿って1間ないし2間の部屋（おおえ）が正面から裏へ配している。また、高山の古い町並みは伝統構法建物が通り沿いに数十棟連なり、隣家との距離がほとんどないため、建物の張り間方向両脇の外壁には吹き抜け空間の明かり窓以外は開口部がなく、全て全面壁である。一方で、桁行き方向には2階吹き抜け空間の周囲以外は壁などの耐震要素が少なく、特に1階にはほとんどないような特徴を持っている。このような特徴をモデル化し、解析を行うに当たり、本研究では3次元フレームモデルを用いた解析を行う。解析には汎用解析ソフトであるwallstat⁴⁾を使用する。解析対象として、岐阜県高山市大新町の重要伝統的建造物群保存地区に指定され、市指定文化財である明治初期の高山の標準的な町屋であるM家を選定する。

対象建築物の柱脚部が石場建て仕様の場合と水平、垂直方向ともに固定された場合を考え、両ケースでの地震応答の比較を行う。剛接合となっているパターンでは摩擦や滑り、浮き上がりなどを考慮せずに地盤に固定したモデルとして解析を行う。一方で剛接合となっていないパターンでは石場建てによる柱脚の滑りや摩擦、浮き上がりによる衝撃を考慮し解析を行う。そこで地盤との接触条件として文献¹⁾を参考に、静止摩擦係数を0.5、動摩擦係数を0.4、地盤と解析モデルが接触した際の跳ね返りの弾性剛性を50000kN/m、粘性減衰を0.02とそれぞれ設定する。軸組は折損を考慮するために弾塑性回転バネ+弾性梁要素でモデル化を行う。M家では、横架材の材種にヒメコマツ、柱にアカマツを使用していることから、解析対象とする建築物の材種ごとに部材の曲げ強度を設定し、断面係数に従い最大曲げモーメントを決定することとし、軸組断面を3パターンに分け、3つの断面で計算を行う。軸組間の接合部は、回転バネ+弾塑性バネを用いてモデル化を行う。バネは強軸、弱軸の各方向に独立して作用するようになっている。軸組（図1）、接合部（図2）、屋根耐力、柱脚のパラメータは検討委員会のデータベース^{1)、3)}を使用する。特に石場建て柱脚部の礎石の材料による摩擦係数の差異を表した要素実験データを図3に示す。今回使用するデータは6枚びしゃん仕上げの礎石・細のデータのみである。また、土壁、板壁、床の復元力として、高山伝統木造部材を対象に行われた実験値¹⁾よりモデル化を行った。解析対象の重量に関しては、屋根荷重、外壁、内壁、床、載積荷重を表1より考慮する。地震波は、模擬波としてBCJ-L1、L2⁴⁾と3方向成分を持つ最大級観測波としてJMA神戸波を用いる。

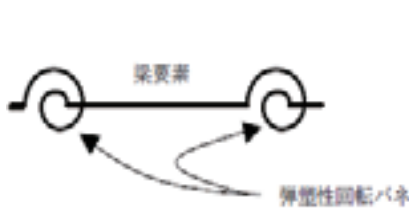


図1 軸組モデル

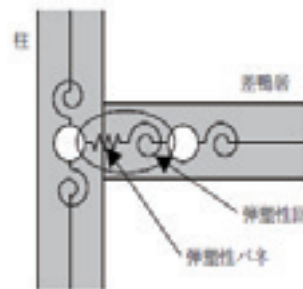


図2 接合部モデル

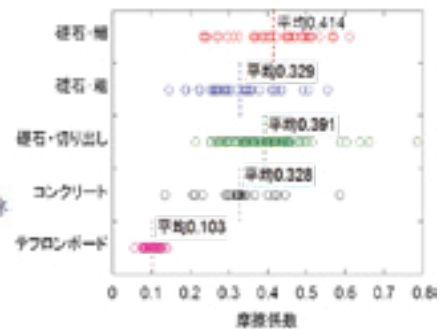


図3 石場建ての要素実験結果

表1 M家の重量

	部位	仕様	単位面積荷重(N/m ²)
固定荷重	屋根	金属板葺	200
		母屋	100
	板間	板張 (根太含)	250
	畳敷	畳敷 (床板・根太含)	440
	壁	土塗り壁 (t=60)	1080
	吹抜	木組み	150
	天井	天井	100
積載荷重	2階床	(地震力算定用)	600



図4 M家の全体架構モデル

3. M家の地震応答特性

前章でモデル化を行ったM家の全体架構モデルについてX（張り間）、Y（桁行）、Z（鉛直）軸として図4に示す。また、BCJ-L1、L2入力時の応答解析結果を基に、図6の①～⑧で示したM家の四隅4点を含む計8点の最大層間変形角を表2に示す。表中の色分けは図5に示すよう青、黄、橙、赤の順に被害が大きくなっていくことを表す。両ケースとも、X（張り間）方向加振時では1階、2階ともにほとんど変形していない。一方、Y（桁行）方向加振時には大きく変形し、ほぼすべての点でいずれかの損傷レベルに達している。これは張り間方向において内部空間にはほとんど耐力壁がないが、両脇の外壁が1、2階ともに全面壁であることが原因だと考えられる。

石場建てが架構に与える影響として、石場建てと柱脚固定の各モデルで比較を行う。一例として、BCJ-L2 Y方向加振時のY方向応答結果では平均27%の低減が見られた。各モデル、加振パターンによって多少異なるものの1F、2F部分では大差がなくX方向で平均33%程度、Y方向で平均25%程度石場建てを取り入れていないモデルよりも石場建てモデルにおいて表3に示す石場建て部への応答変位が小さくなる傾向となった。また、JMA神戸波を用いた最大級の地震に対する応答を考察すると、柱脚固定ではモデル全体が倒壊する結果となった。一方、石場建ては建物裏手側以外のほとんどの点で安全限界に達し被害は甚大だと考えられるもの、倒壊まで至ることはなかった。以上より、石場建てにより、地震応答が低減されることを定量的に確認できた。

ここで、BCJ-L2波とJMA神戸波入力による加振結果のSnapshot例を図8～図11にそれぞれ示す。図に示すように赤丸で表記されている接合部のヒンジについては、両モデルによる大差はないが図10に示すように柱脚固定モデルでは柱脚部にヒンジの発生することが分かる。また石場建てモデルでは1階床の変形が抑制される傾向となることがわかる。

表2 石場建てモデルにおける最大層間変形角

		最大層間変形角 1/ (rad)										
		JMA神戸					bcj-L2					
		bcj-L1 x	bcj-L1 y	bcj-L2 x	bcj-L2 y	JMA神戸	bcj-L1 x	bcj-L1 y	bcj-L2 x	bcj-L2 y		
1F	X方向	①	231	1029	2852	583	567	16	454	96	339	90
		②	234	1055	2710	587	582	8	305	95	386	41
		③	298	1130	3370	605	1023	7	263	25	186	13
		④	308	1177	1679	641	393	69	2037	236	1373	134
	Y方向	⑤	276	1283	1454	655	565	16	462	96	345	101
		⑥	273	1256	1419	643	547	8	313	96	393	46
		⑦	291	959	1552	588	1027	7	266	25	188	13
		⑧	290	976	1223	598	469	69	1973	239	1338	129
2F	X方向	①	63	403	484	252	165	9	274	57	212	43
		②	111	619	743	395	186	8	202	76	229	39
		③	273	808	615	530	338	10	287	33	171	19
		④	70	552	173	312	71	33	705	109	650	109
	Y方向	⑤	62	405	297	224	156	10	271	57	207	51
		⑥	129	519	527	333	172	8	198	75	217	37
		⑦	203	583	522	421	305	10	275	33	162	18
		⑧	72	349	153	231	76	34	681	109	487	111

安全限界 1/15rad 大破 1/30rad
 中破 1/60rad 損傷限界 1/120rad

x:X方向加振 y:Y方向加振 X:張り間方向 Y:桁行方向

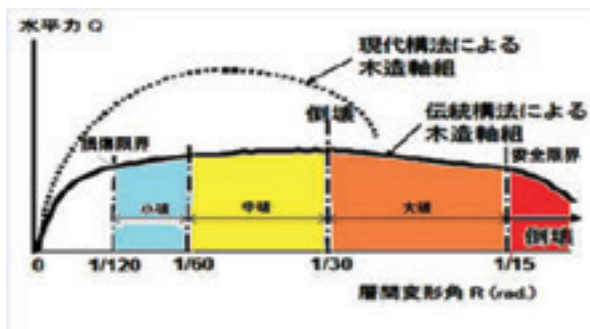


図5 伝統構法木造建築物のクライテリア

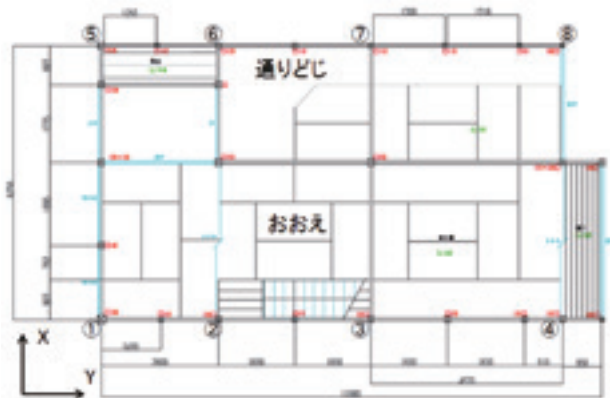


図6 M家の1階図面と観測点

表3 BCI-L2 Y方向加振による石場建て部の最大変位

		最大応答変位 (mm)				
		JMA神戸	bcj-L2 x	bcj-L2 y	bcj-L1 x	bcj-L1 y
X 方向	①	1.6	0.9	0.3	0.5	0.2
	②	2.1	1.1	0.5	0.7	0.1
	③	1.9	1.2	0.3	0.7	0.1
	④	1.4	0.8	0.3	0.5	0.2
	⑤	1.9	1.0	0.3	0.7	0.1
	⑥	2.5	1.2	0.5	0.8	0.1
	⑦	1.8	1.2	0.3	0.6	0.1
	⑧	1.3	0.7	0.4	0.4	0.1
Y 方向	①	22.0	0.3	3.0	0.2	1.2
	②	34.3	0.7	13.3	1.0	3.5
	③	39.4	1.4	35.7	1.0	13.1
	④	1.3	0.1	0.6	0.0	0.4
	⑤	21.9	0.3	2.8	0.2	0.8
	⑥	39.9	0.6	12.3	0.8	2.5
	⑦	29.3	1.1	32.2	0.7	11.2
	⑧	1.4	0.0	0.7	0.0	0.3

x: X方向加振 y: Y方向加振 X: 張間方向 Y: 桁行方向

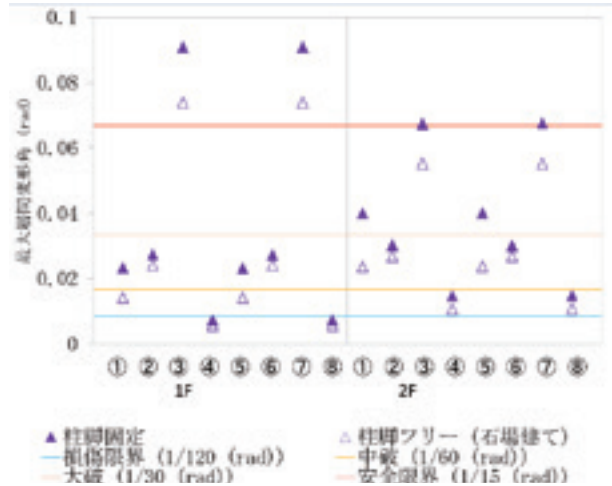


図7 BCI-L2 Y方向加振による最大層間変形角

4. 結論

高山市伝統構造物を3次元モデルで表現し、地震応答解析を行った。筆者らの既往研究⁵⁾では、石場建てなどの高山町家建築の特徴を考慮していなかったため、本研究の結果より詳細な解析が行えるモデルの構築、および石場建て仕様が架構全体に与える影響についての解析と評価を行うことができた。

その結果各モデルや各加振パターンによって多少異なるものの、石場建て仕様を取り入れていないモデルよりも石場建てモデルの応答変位が小さくなる傾向が見られ、X方向で平均33%程度、Y方向で平均25%程度、応答値が小さくなるという効果を確認した。しかしながら、本解析では柱脚部のすべり量については評価できていないことから、今後はその点を解析的に評価する予定である。

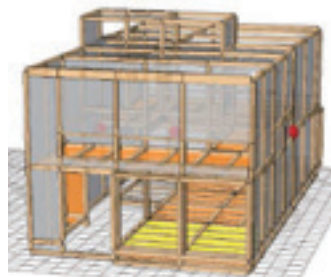


図8 柱脚固定のBCI-L2 Y方向加振結果

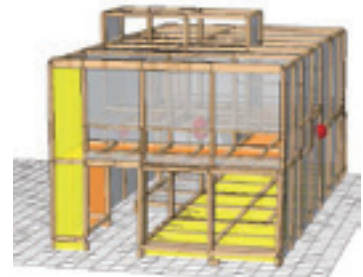


図9 石場建てのBCI-L2 Y方向加振結果

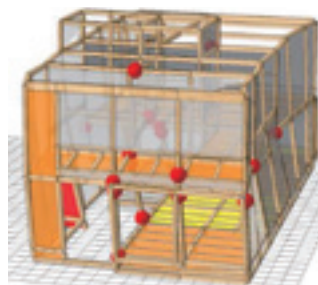


図10 柱脚固定のJMA神戸波加振結果

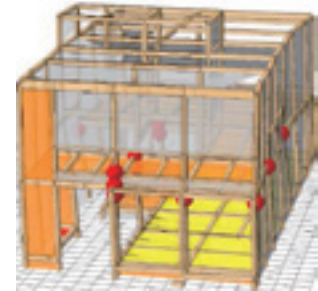


図11 石場建てのJMA神戸波加振結果

参考文献

- 1) 伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会：平成22-24年度事業報告書・設計法案，
http://www.green-arch.or.jp/dentoh/report_2012.html (2015.4.14アクセス)
- 2) T.Nakagawa, M.Ohta, et.al.”Collapsing process simulation soft timber structures under dynamic loading III: Numerical simulations of the real size wooden houses”, Journal of Wood Science, vol.56, No.4, pp.284-292, 2010.
- 3) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会:「伝統木造構法を生かす木造耐震設計マニュアル」, 株式会社学芸出版社, pp.1-128, 2004.
- 4) 建築研究所・財団法人日本建築センター:「設計用入力地震動作成手法技術指針」, 建築研究資料 No.83, 1994.
- 5) 村田 晶: 飛騨高山伝統構法木造建物の3次元個別要素法を用いた地震応答解析、2014年度日本建築学会大会(近畿)、構造3、pp.255-256, 2014.