

町屋の耐震性能評価方法の開発

府川直人*

Development of seismic performance evaluation method of Machiya

Naoto FUKAWA

岸城町南部町会より災害対策の依頼を受け、岸城町南部地域、339棟（空家を含む）の建物概要を外観より目視による調査をおこない建物や工作物の安全性に関する基礎情報を作成した。また、15件の既存住宅を調査し、詳細な実測、耐震性能調査（一般診断法）を実施した。同時に、起振機を用いた振動測定をおこない、計測結果をフーリエ解析し固有周期を導き出した。この調査結果を基に耐震性能と固有周期との関連性に着目し、一般耐震診断の結果から算定される推定固有周期と振動測定による固有周期の関係性の傾向を見出した。

1 はじめに

岸和田市岸城町は戦争の被害を受けなかったこともあり、明治時代から続く街並みの残る古くからの住宅街である。岸和田城を境に北部と南部に分かれ、対象となる地域は、南部220世帯のエリアである。



図1 岸城町南部地区

近年新築された新しい建物と古い建物が混在する町は（図1）、家屋の老朽化とともに住民の高齢化も進んでいることもあり、人々は地震や津波などの災害に対して不安な気持ちを持っている。地震などの自然災害に対し脆弱な建物が多く存在する可能性が高いことから、岸城町南部町会として建物の耐震性能を把握し、災害に備えるべく対策をおこなうことで被害を最小限に抑え、災害ゼロ地域を目指したいという考えを持っている。

2 岸城町の現状

岸城町南部地区は、岸和田城の堀を埋め立てた跡地を含む旧城内に明治から昭和初期にかけて建てられた町家が広がる。戦争の被害を受けていないことから現在も当時の建物が多く残っている。また、阪神・淡路大震災にも耐え、大きな被害が

出ていないことも特徴である。

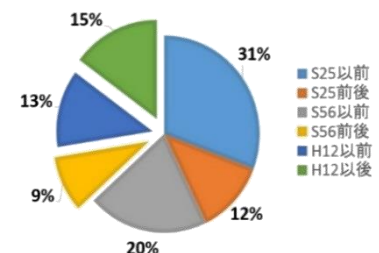
しかし、建物の老朽化は無視できないものがあり、岸和田市の地震被害予測では震度6強の地震が発生した際、岸城町の建物は全体の50%以上が被害を受けるとされている。そこで、岸城町南部地域の建築物や道路工作物の安全性、災害時の避難に障害となる可能性について調査を実施し、避

表1 全棟目視調査の結果

	2014年度調査		2012年度調査		増減(2014-2012)	
	棟数	割合	棟数	割合	棟数	割合
建物構造	木造	283	木造	257	木造	26
	RC造	9	RC造	13	RC造	-4
	S造	47	S造	31	S造	16
推定築年数	S25以前	87	S25以前	122	S25以前	-35
	S25前後	35	S25前後	5	S25前後	30
	S56以前	65	S56以前	58	S56以前	7
	S56前後	43	S56前後	23	S56前後	20
	H12以前	47	H12以前	35	H12以前	12
	H12以後	62	H12以後	58	H12以後	4
屋根材	瓦・土葺き	53	瓦	196	瓦系	-3
	瓦	144	瓦葺き	4	瓦葺き	140
	鉄板葺	10	スレート	11	スレート系	1
	小波鉄板	2	小波鉄板	1	小波鉄板	1
	折板	1	防水シート	9	防水シート	8
	コロニアル	93	コロニアル	51	コロニアル系	42
	防水シート	28	その他	29	その他	1
	その他	8			その他	-21
階数	1階	46	1階	32	1階	14
	2階	266	2階	242	2階	24
	3階	26	3階	26	3階	0
	4階	1	4階	1	4階	0
増改築	有	106	有	118	有	-12
	無	199	無	182	無	17
	不明	34	不明	1	不明	33
居住	有	307	有	266	有	41
	無	32	無	35	無	-3
				新築	10	
				解体	9	

構造	戸数	%
木造	283	83.5
RC造	9	2.7
S造	47	13.9
全体	339	100

年代	戸数	計
S25以前	87	283
S25前後	34	
S56以前	58	
S56前後	26	
H12以前	36	
H12以後	42	104



* 建築施工システム技術科

難ルートの検討などに役立つ資料の作成をおこなうこととなった。

2012年度と2014年度の2回、岸城町対象エリアの全棟調査を実施し、建築年代、構造、外部仕上げ、居住の有無などを外観から目視により調査した。この情報を1件毎にデータベース化し、建替えや取壊しなどの変更や増築や改修などの修正が可能な仕組みを構築した。



図2 GIS建築情報の表示

2013年度は目視調査で収集した情報を、GIS（地理情報システム）を用いてデータの統合をおこない、地図情報の更新と編集が可能な仕組みを構築した（図2）。調査結果をⅠ建築構造、Ⅱ推定建築年、Ⅲ屋根材料、Ⅳ階数、Ⅴ居住の有無、Ⅵ増改築の有無、Ⅶ沿道の工作物等の項目に分け地図形式にまとめた。また、この情報を用いて地域の現状を表現した防災計画補助資料を作成した（図3）。



図3 岸城町南部地区防災計画補助資料（推定建築年）

2014年度の再調査にあたり屋根の仕様を精査し、項目を整理した。耐震診断における屋根重量

の算定において、土葺は「非常に重い屋根」に分類されることから、瓦葺は土葺と引掛葺きに分けて調査をおこなった。建築年別分類については、建築各部の仕様を再検証することで、昭和25年前後の建築について棟数の変更が見られた（表1）。

また、調査を実施した2年の間に新築が10件、解体が9件確認でき、町の代謝がおこなわれていることが感じられた。

3 建築年代による耐震性能の違い

昭和56年に耐震設計法の抜本的な見直しがおこなわれ、必要壁量の増加・壁倍率の評価方法が変わるなど、建物の耐震性能は建築年代によって大きく異なる。

しかし、この年代に建てられた建物の耐震性能でも、現在の建築基準法のように明確に規定された基準は無い。したがって岸城の建物は、現在の耐震性能を満たしていないものが多くあると推測できる。

また、一定の年代に建てられた建物は構造形式や使用部材、外部仕上げ材料などの特徴がほぼ一致していることが確認できた。各年代の建物を一定数調査することで岸城町南部町会に存在する建物について耐震診断をおこなわなくても耐震性能を評価できると考えた。

4 耐震性能評価方法の開発

建物の耐震性能評価は、現地における実測調査、調査結果の作図を経て、大臣認定の耐震診断手法による分析によっておこなわれる。既存住宅の耐震性能把握が自治体により推奨されているものの、専門技術者による調査と作図・分析は時間とコストがかかることから躊躇されているのが現状である。

手軽で簡易な診断手法による耐震性能評価方法の提案をおこなうことを目的として、一定の年代に建てられた建物を調査する。開発の手順は、建物の現地調査を実施し、建物の実測、部材の劣化状況の調査、住人からの聞き取り調査など診断に必要な情報を収集する。合わせて建物の常時微動・加振時の振動を計測する。

現地で測定した情報を基に実測図を作成し、一般診断法による構造耐力評価した。また、加振時の計測データを分析しグラフの作成、建物の固有

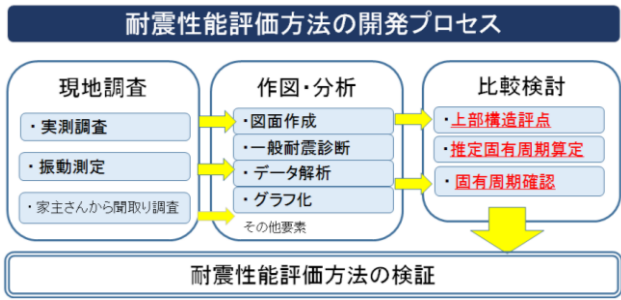


図 4 耐震性能評価方法開発の過程

周期を算出した (図 4)。

一般耐震診断法による上部構造評点および耐震診断の結果を基に算定される推定固有周期、振動測定による固有周期の関係性について比較検討をおこなう。それらを基に耐震性能に関する傾向を探り、耐震性能評価方法の開発をおこなうこととする。

4-1 開発の目標 構造耐力評価に一般耐震診断を適用すると、1 件当たりの耐震診断にかなりの時間が必要となる。そこで岸城町内にある家屋を対象に調査・分析をおこない、特定の地域における建物の耐震性について傾向を見出し、評価をおこなえることに加え、振動測定を実施するのみで、診断時間の短縮を図り、ある程度の耐震性能を判断できる仕組みの開発をおこなうことを目標とする。

4-2 実測調査 実測は一般耐震診断をおこなうために、柱間、柱径、間仕切り、開口部の位置及び大きさ、天井高等を内部より測る。また、外部より開口部の位置、軒の出、屋根勾配、建物各部の高さ等を測定する (図 5)。^[1]



図 5 外部実測調査，床下状況の確認

実測と並行して、基礎・接合部・床仕様の確認、建物の劣化状況の調査をおこなう (図 5)。床下部材や小屋裏部材の状況、内壁と外壁の亀裂、建物の傾き等の劣化度により低減係数が算出される。

現地調査の情報を基に、一般耐震診断に必要な図面を作成する (図 6)。平面図・立面図・断面図を作成し、高さ関係の確認と壁量の算定資料とする。

これらの資料を基に、一般耐震診断法にて耐震性能を判定する。

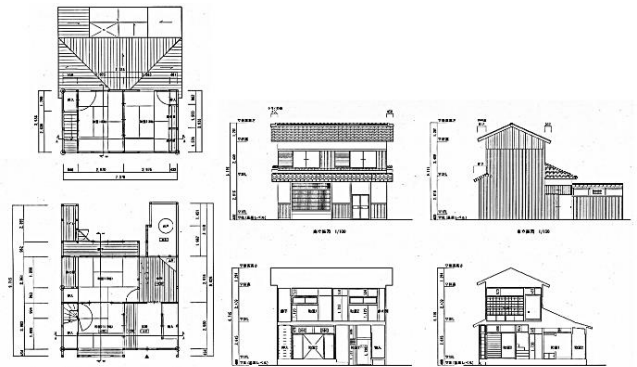


図 6 実測図 (KW 邸)

4-3 一般耐震診断 耐震診断の方法には一般耐震診断と精密耐震診断の 2 種類があるが、精密診断は必要に応じて壁を剥がすなど正確な調査が求められることから、目視による確認を主体にした一般診断法により耐震診断を実施する。現地調査で得た情報と作成した実測図面を基に一般診断法を実施し、すべての階のすべての方向の上部構造評点を算定することで倒壊の危険度を求め、耐震補強の必要性を判定する。

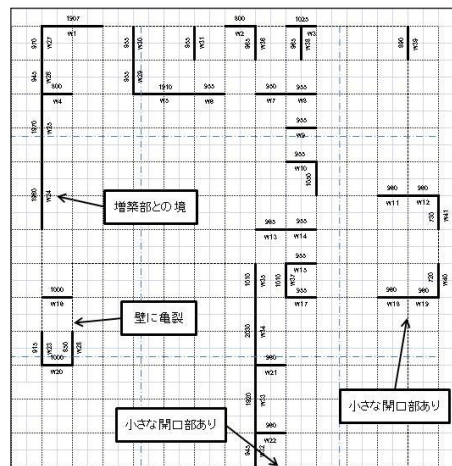


図 7. ST 邸 (主屋) 壁配置図

上部構造評点は、建物の耐震性能を評価するもので、「強さ」、「耐震要素の配置等による低減係数」、「劣化度による低減係数」の 3 項目を診断してそれらを掛けあわせた「保有する耐力」を各床面積から求めた「必要耐力」で除して算出したものである。

そのうち最小の値^[1]がこの住宅の上部構造評点となり、この評点と判断表により、地震時の安全性が判断できる (表 2)。4 段階判定の内 1.0 以上

で「一応倒壊しない」となる。ただし、1.0 未満であれば必ず倒壊するというわけではなく、ひとつの目安と考える。

表 2 一般耐震診断法の結果例 (TY 邸)

	壁・柱の耐力 Qu (kN)	配置等による 低減係数eKflx	劣化度による 低減係数Kd	保有する 耐力edQu	必要耐力 Qr (kN)	上部構造評点 edQu/Qr
2階	桁行方向	2QuX 24.48	2eKflX 1.0	17.14	2Qr 25.13	0.68
	梁間方向	2QuY 20.20	2eKflY 1.0	14.14	25.13	0.56
1階	桁行方向	1QuX 68.04	1eKflX 1.0	47.63	1Qr 63.70	0.75
	梁間方向	1QuY 25.87	1eKflY 1.0	18.11	63.70	0.28
判定 倒壊する可能性が高い						

4-4 推定固有周期の算定 実測調査の結果を基に、建物高さおよび推定重量から必要保有耐力を算出する。さらに、一般耐震診断により得られた上部構造評点や構造特性係数 D_s を含めた保有耐力から建物の剛性を求め、固有値解析することで推定固有周期の算定をおこなう。

4-5 振動測定 振動測定の目的は加振機による振動を建物に与え、応答を計測しフーリエ解析することで固有周期を算出することである。

振動測定には起振機にサンエス SSV-125ME、ファンクションジェネレーターに TEXIOFGX-293, 増幅アンプにサンエス SVA-ST-1K, 加速度ピックアップに IMV VP-5113 HHV を使用する。動的計測・データ処理ソフトウェアには東京測器研究所 TMR-7630 を用いて分析・保存をおこなう (図 8)。



図 8. 振動測定機器

振動測定の方法は XYZ3 方向の振動を、加速度計を用いて計測する。まず地盤と 2 階中央の床上に次に建物の固有周期を求めるために、2 階中央の加速度計を設置し常時微動測定をおこなう。

床上と 2 階小屋梁上 (屋根裏) に加速度計を設置し、2 階中央の床上にセットした起振機により 10Hz から 1Hz まで定量変化させた振動数にて加

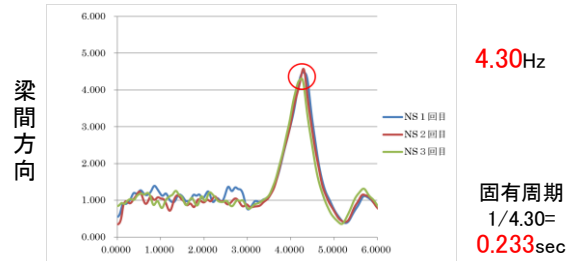
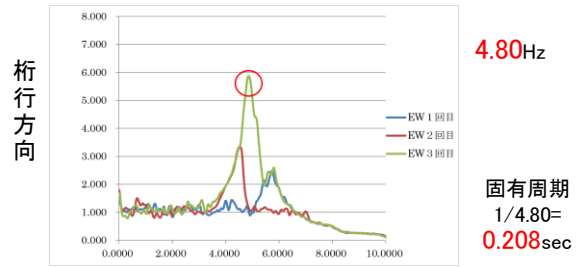


図 9 南部町会館の計測結果

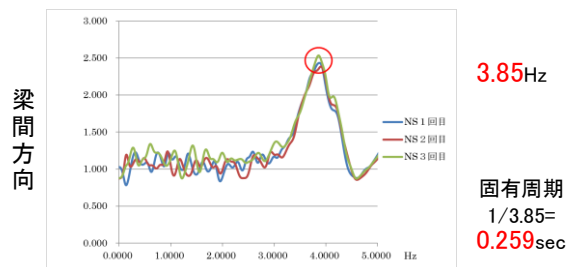
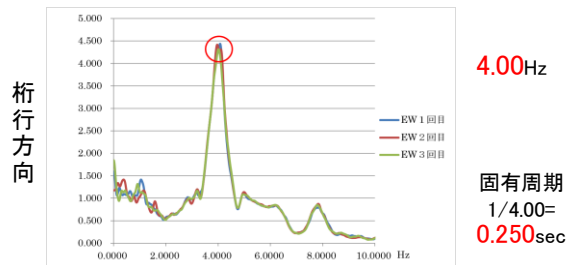


図 10 ST 邸 (主屋) の計測結果

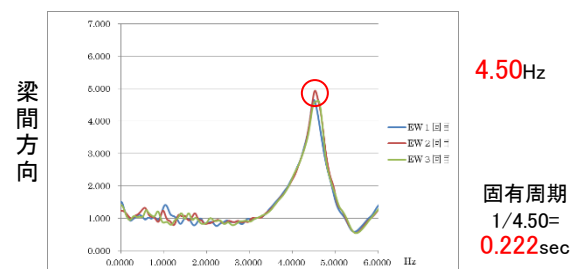
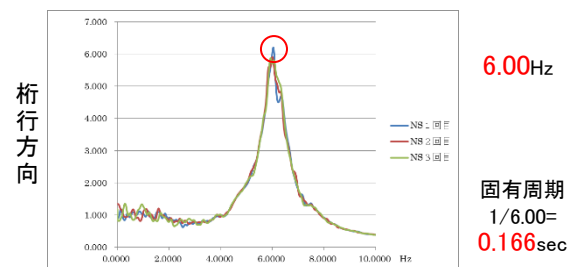


図 11 ST 邸 (増築部) の計測結果

振をおこなう（図 12）. 測定は、常時微動・梁間方向加振・桁行方向加振を、それぞれ 10 分間 3 回計測する. 測定結果を基に一般診断法で出された結果と比較し、耐震性能評価方法を検討する.



図 12. 振動測定状況（2 階）振動測定状況（天井裏）

4-6 固有周期算出 建物が共振する振動数で、応答倍率が大きくなることから、建物の固有周期を特定できる. 建物の常時微動・加振計測の測定データをフーリエ解析することで、スペクトルグラフを表示し固有周期を読み取る（図 9, 10, 11）. グラフは、縦軸を入力・応答の倍率、横軸を振動数（Hz）とした. 3 回の波形はほぼ一致し、一次モードの卓越する振動数から固有周期を特定する.

4-7 構造要素による分類 2012 年度から 2014 年度にかけて、延べ 15 件（内空家 5 件）の一般耐震診断及び振動測定をおこなった（表 3）. 岸城町の住宅は、その形態や構造に共通の特徴が見られることから、一定の特徴を持つ建物に分類し、耐震性能の傾向を確認することで、その分類のものについては固有周期にも一定の傾向が見られると推測できる.

固有周期と上部構造評点の変動に関係性を見出し、耐震性能評価方法の開発に繋げようと考えた. 固有周期 T は質量 m 、剛性 k を用いて表される（式 1）

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \begin{array}{l} T = \text{固有周期 (sec)} \\ m = \text{質量 (ton)} \\ k = \text{剛性 (kN/cm)} \end{array} \quad \dots \text{(式 1)}$$

このことから、調査した建物を質量 m と剛性 k に着目し、屋根および壁の仕様を構造要素で分類することで特性を検証した（表 3）. 収集できたデータの中で最も多く得られたタイプ「重い屋根・土壁」仕様のタイプ A（5 件）について比較し傾向を考察することとした. 瓦屋根、土壁の比率が高いことが読み取れる.

表 3 調査建物一覧

タイプ	調査年度	建物名	構造	階数	屋根の仕様	壁の仕様	上部構造評点
A	H24	町会館	木造	2	重い屋根	土壁	0.22
	H24	ST邸(増築)	木造	2	重い屋根	土壁	0.54
	H24	ST邸(既存)	木造	2	重い屋根	土壁	0.18
	H25	AK邸	木造	2	重い屋根	土壁	0.64
	H25	KO邸	木造	2	重い屋根	土壁	0.45
B	H24	NK邸	木造	2	軽い屋根	土壁	0.28
	H25	UE邸	木造	2	軽い屋根	土壁	0.10
C	H26	TN邸	木造	2	軽い屋根	合板	1.11
D	H24	TY邸	木造	2	重い屋根	土壁・CB	0.28
E	H26	KW邸	木造	2	非常に重い屋根	土壁	0.11
F	H25	5軒長屋(1)	木造	2	非常に重い屋根	土壁	0.10
G	H25	5軒長屋(2)	木造	2	非常に重い屋根	土壁	0.10
H	H25	ST邸	木造	1	重い屋根	土壁	0.51
I	H25	TN邸	木造	3	軽い屋根	合板	0.18
J	H26	KN邸	軽量鉄骨	2	軽い屋根	ALC板	-

4-8 傾向の考察 タイプ A（木造 2 階建て、瓦屋根葺き（重い屋根）、土壁仕様の建物）について上部構造評点、推定固有周期、振動測定による固有周期を表にまとめ（表 4）、梁間・桁行の最低上部構造評点と振動測定による固有周期と梁間・桁行の最低上部構造評点と推定固有周期のグラフを作成し傾向を考察した（図 13, 14）.

表 4 上部構造評点と推定固有周期

住宅名称		①KO邸	②ST邸	③ST邸	④AK邸	⑤町会館
面積 (㎡)	1階床面積	48.60	52.93	105.59	49.05	73.95
	2階床面積	40.50	34.30	21.66	33.28	53.78
	延べ床面積	89.10	87.23	127.25	82.33	127.73
上部構造評点	桁行方向	0.990	0.980	0.180	0.640	0.260
	梁間方向	0.640	0.540	0.220	0.850	0.220
固有周期 (sec)	推定固有周期(桁行)	0.556	0.538	1.510	-	1.050
	推定固有周期(梁間)	0.689	0.743	1.361	0.603	1.164
	振動測定(桁行)	0.152	0.179	0.277	-	0.251
	振動測定(梁間)	0.205	0.218	0.279	0.201	0.265

※AK邸は桁行きにガラスブロックが使用されているため考察対象から除いている.

ここで、耐震性能は建物の持つ耐力（耐力壁など）と建物の総重量から推定される固い建物（在来軸組工法）であれば固有周期が短く、柔らかい建物（伝統工法）は長くなる. また、固有周期には建物の総重量と耐力の要素が内包されており、特性に大きく反映される. さらに特性別に分類した後の固有周期は少ない建物の範囲にて変動している.

これらのことから、上部構造評点と振動測定による固有周期・推定固有周期 2 つのグラフの関係を比較すると、上部構造評点が高くなると固有周期も短くなるという建物の剛性と質量の関係を読み取ることができる. さらに双方の近似曲線に一定の比例関係が見られることを確認できたことにより、傾向を探るデータとして扱うことが可能だと判断した.

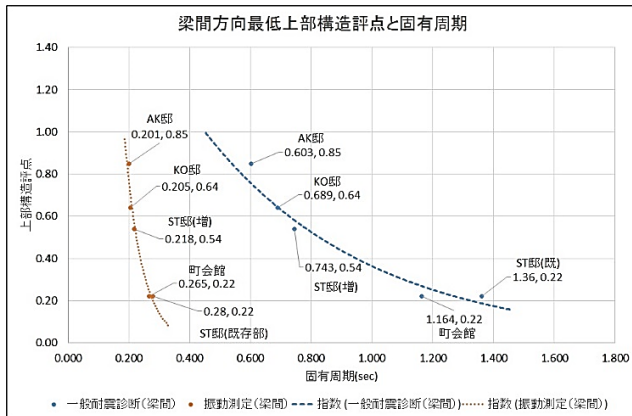


図 13 上部構造評点と固有周期（梁間方向）

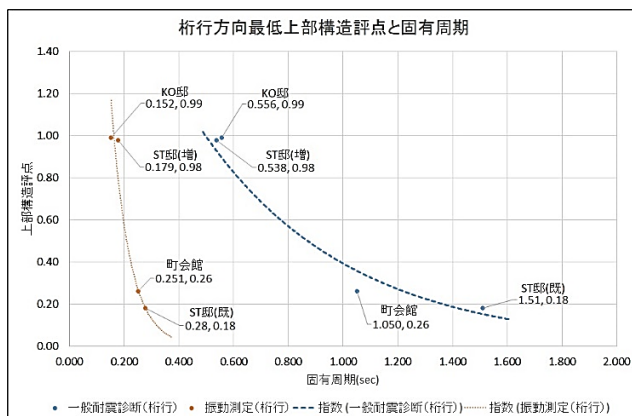


図 14 上部構造評点と固有周期（桁行方向）

表 5 振動測定結果と耐震性能の評価

振動測定による固有周期(sec)	上部構造評点	耐震性能の評価
0.15～0.18付近	1.0前後	一般耐震診断判定1.0「一応倒壊しない」に相当すると考えられる。
0.18～0.22付近	0.7前後	補強することで安全性を確保できる。
0.22～0.25付近	0.4前後	耐震補強で建物の安全性を確保するのは難しいと考えられる。

タイプ A の建物について振動測定と上部構造評点の算定値について傾向を考察した結果、振動測定によって 0.15～0.18sec 付近の固有周期が得られた場合、上部構造評点は 1.0 に近いことが認められた。これは一般診断法による判定の「一応倒壊しない」に相当する。固有周期 0.18～0.22sec 付近が測定された場合、上部構造評点 0.7 前後の値が得られ、「補強することで安全性を確保できる」となり、固有周期 0.22～0.25sec 付近が測定された場合、上部構造評点 0.4 前後の値が得られ、「耐震補強で建物の安全性を確保するのは難しい」と考えることができる（表 5）。

5 おわりに

上部構造評点と固有周期を計測できた、限られた調査件数の中から、建物の耐震性能を評価するのに必要な屋根と壁の仕様を対象に分類し、岸城町に比較的多く存在する、木造の重い屋根・土壁仕様の建物について、傾向を考察することで、上部構造評点と固有周期の関連性を見出すことができた。特定の地域における建物の耐震性について傾向を見出し、評価をおこなえる仕組みの提案に結びつく結果が得られたと考えている。

データを増やし統計的にまとめることにより、この結果を確実にすることで、振動測定のみで耐震性能を予測でき、一般耐震診断をおこなう前の簡易な診断手法として提案できるものと考えている。

調査した建物のうち年数の経った既存住宅の耐力を耐震補強により 1.0 まで引き上げるのは大がかりな耐震補強が必要となり現実には困難な場合が多い。

岸城町の 4 割ほどを占める昭和 25 年前後より前に建てられた建物は、柱を直接基礎に置く石場建てとなり土台がない伝統工法に分類され、この工法の耐力壁を補強する方法を検討する必要がある。伝統的な街並み景観を損なわない手法の提案と共に今後の課題である。

謝辞

岸城町南部町会の住民の皆様には、課題を進めるにあたり家屋の実測調査および振動計測に協力頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- [1] 日本建築防災協会「木造住宅の耐震診断と補強方法」2012年6月
- [2] 大橋好光「耐震補強による既存木造住宅の耐力UP術」建築技術 2012年8月
- [3] 岩井 哲「木造在来構法住宅の耐震壁量と常時微動特性ならびに地震被害の関係」広島工業大学紀要 2007年10月
- [4] 岩井 哲「木造在来構法住宅と常時微動特性」広島工業大学紀要 2005年9月