

木造住宅における「東北地方太平洋沖地震」前後の固有振動数の変化について

はじめに

2011年3月11日に発生した「東北地方太平洋沖地震」は、甚大は被害をもたらした。1981年(昭和56年)以前の旧耐震基準で建築された建物は、地域によって被害の状況は異なるが、外壁のモルタルが崩れ落ちたり、外壁や内壁にクラックが入ったりするなどの被害が発生した建物や、見た目にはほとんど損傷がない建物もあった。

一見、被害がなく、健全に見える建物は大地震を経験してなお、以前と変わらず耐震性を確保できているのかという疑問がある。そこで、大地震以前に常時微動計測を行っていた茨城県内の20棟の建物について、地震発生後に再度常時微動計測を行い、建物の固有振動数の変化の確認により、耐震性能(建物の剛性)にどのような変化があったのかをまとめた。

1. 分析対象

(1) 分析棟数、種別

表1-1に、分析対象とした住宅の建築年代ごとの棟数を示す。平屋の住宅についても対象外とした。

表1-1 建築年代と分析棟数

	1980年以前	1981年～1999年	2000年以降	合計
在来軸組構法	3件	7件	2件	12件
伝統的構法	2件	2件	0件	4件
2×4工法	0件	3件	1件	4件
計	5件	12件	3件	20件

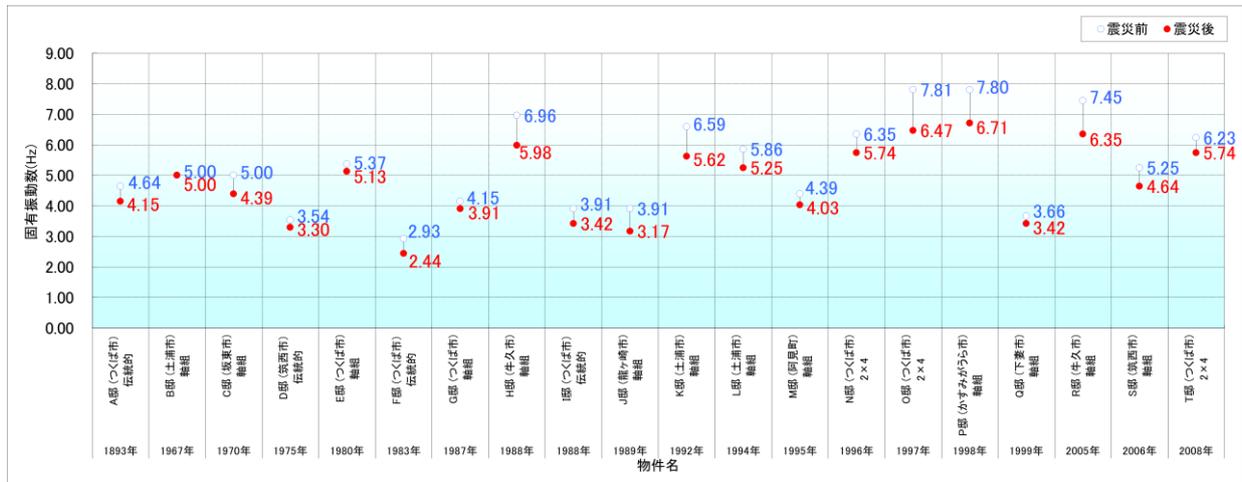
2. 結果

常時微動測定結果(2011.03.11東北地方太平洋沖地震前後比較)

■常時微動計測結果

管理No	物件名	構法	建築年	固有振動数			X方向(長手方向)			Y方向(短手方向)			震災前	震災後
				震災前	震災後	差	震災前	震災後	差	震災前	震災後	差		
1	A邸(つくば市)	伝統的	1993年	4.64	4.15	0.49	3.05	2.91	0.24	4.64	4.15	0.49	2007/12/14	2011/06/23
2	B邸(土浦市)	軸組	1967年	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	2008/02/17	2011/06/24
3	C邸(坂東市)	軸組	1970年	5.00	4.39	0.61	4.88	4.27	0.61	5.00	4.39	0.61	2007/05/13	2011/04/30
4	D邸(筑西市)	伝統的	1975年	3.54	3.30	0.24	3.30	3.30	0.00	3.54	3.30	0.24	2007/12/19	2011/04/17
5	E邸(つくば市)	軸組	1980年	5.37	5.13	0.24	5.49	5.25	0.24	5.37	5.13	0.24	2008/12/18	2011/06/23
6	F邸(つくば市)	伝統的	1983年	2.93	2.44	0.49	2.93	2.44	0.49	3.05	2.81	0.24	2008/02/02	2011/06/26
7	G邸(つくば市)	軸組	1987年	4.15	3.91	0.24	4.15	3.91	0.24	5.49	5.37	0.12	2008/01/31	2011/06/23
8	H邸(牛久市)	軸組	1988年	6.96	5.98	0.98	4.88	4.39	0.49	6.96	5.98	0.98	2007/09/22	2011/04/29
9	I邸(つくば市)	伝統的	1988年	3.91	3.42	0.49	3.91	3.42	0.49	4.03	3.66	0.37	2007/05/09	2011/04/29
10	J邸(龍ヶ崎市)	軸組	1988年	3.91	3.17	0.74	3.42	3.17	0.25	3.91	3.17	0.74	2007/06/03	2011/04/25
11	K邸(土浦市)	軸組	1992年	6.59	5.82	0.97	6.59	5.82	0.97	6.23	5.49	0.74	2007/05/26	2011/04/07
12	L邸(土浦市)	軸組	1994年	5.86	5.25	0.61	5.86	5.25	0.61	5.98	5.37	0.61	2007/09/12	2011/06/24
13	M邸(阿見町)	軸組	1995年	4.39	4.03	0.36	4.39	4.03	0.36	5.37	5.25	0.12	2008/02/06	2011/04/17
14	N邸(つくば市)	2×4	1996年	6.35	5.74	0.61	6.35	5.74	0.61	7.81	7.57	0.24	2007/05/06	2011/04/06
15	O邸(つくば市)	2×4	1997年	7.81	6.47	1.34	5.86	5.25	0.61	7.81	6.47	1.34	2008/12/13	2011/04/14
16	P邸(かずみがうら市)	軸組	1998年	7.80	6.71	1.09	7.80	6.71	1.09	7.93	6.90	1.03	2008/04/10	2011/04/20
17	Q邸(下妻市)	軸組	1999年	3.66	3.42	0.24	3.91	3.78	0.13	3.66	3.42	0.24	2008/06/10	2011/04/25
18	R邸(牛久市)	軸組	2005年	7.45	6.35	1.10	7.45	6.35	1.10	6.71	5.86	0.85	2007/05/15	2011/04/13
19	S邸(筑西市)	軸組	2006年	5.25	4.84	0.61	5.37	4.88	0.49	5.25	4.64	0.61	2007/12/18	2011/04/17
20	T邸(つくば市)	2×4	2008年	6.23	5.74	0.49	6.23	5.74	0.49	7.32	6.84	0.48	2008/04/10	2011/04/20

●東北地方太平洋沖地震前後における建物の固有振動数の変化



- ・今回対象となった 20 件の建物については、1 件を除いて固有振動数の低下（剛性の低下）がみられた。
- ・固有振動数の低下の幅は、最大で 7.45Hz から 6.35Hz と 1.10Hz の低下がみられた。
- ・伝統的構法の建物について、ほとんど固有振動数の低下がみられなかった。

3. まとめ

常時微動測定の結果から求めた固有振動数(実測値)を使い、耐震診断の精度向上の可能性を検討した。以下に、本研究により分かったことをまとめる。

- (1) 建築年と固有振動数(実測値)の関係を確認したが、バラツキが大きく、傾向を確認することはできなかった。
- (2) 固有振動数(理論値)は固有振動数(実測値)の 1/3 程度の値となることが分かった。
- (3) 精密診断（1 階評点、合計評点）と固有振動数(実測値)の関係を確認したが、バラツキが大きく、相関性を確認することができなかった。合計評点(各階同方向の合計評点)より 1 階評点との相関性の方が高くなることを確認した。
- (4) 固有振動数(理論値)と固有振動数(実測値)について、近似直線から大きく外れているデータについては、固有振動数(実測値)を正解値とすれば、固有振動数(理論値)の計算の基となる現地調査に再検討の余地があると言える。つまり、固有振動数(実測値)に対して固有振動数(理論値)が大きく出ている場合には、過大評価し、小さく出ている場合は、過小評価している可能性がある。
- (5) 固有振動数(理論値)と固有振動数(実測値)について、耐力、剛性を保有する壁や筋かいの評価を見直すことで、相関性が大幅に向上することが確認できた。

【参考論文】

既存木造軸組構法住宅の耐震性評価の精度向上のための常時微動の活用に関する研究

柳澤 泰男, 田端 千夏子, 大橋 好光 日本建築学会技術報告集 17 (37), 873-878, 2011-10-20

<https://cir.nii.ac.jp/crid/1390282680147262720>

【補足資料】

1. 常時微動の計測機器構成

使用した機器の構成（図 2-1）は以下の通り。計測者による計測の精度のバラツキを防ぐため、専用の計測ソフトを開発し、専門家でなくとも正確に計測を行えるようにした。また、機器を最小構成とし、携帯性を向上させた。

- 加速度センサー：サーボ式振動検出器 MODEL-2205 2式（昭和測器株式会社）
※X、Y各方向の加速度を計測
- ADコンバータ：NI USB-9233（日本ナショナルインスツルメンツ）
※サンプリング周波数 2000Hz にてデータ収集
- 計測ソフトウェア：ホームズ君 常時微動計測システム（株式会社インテグラル）

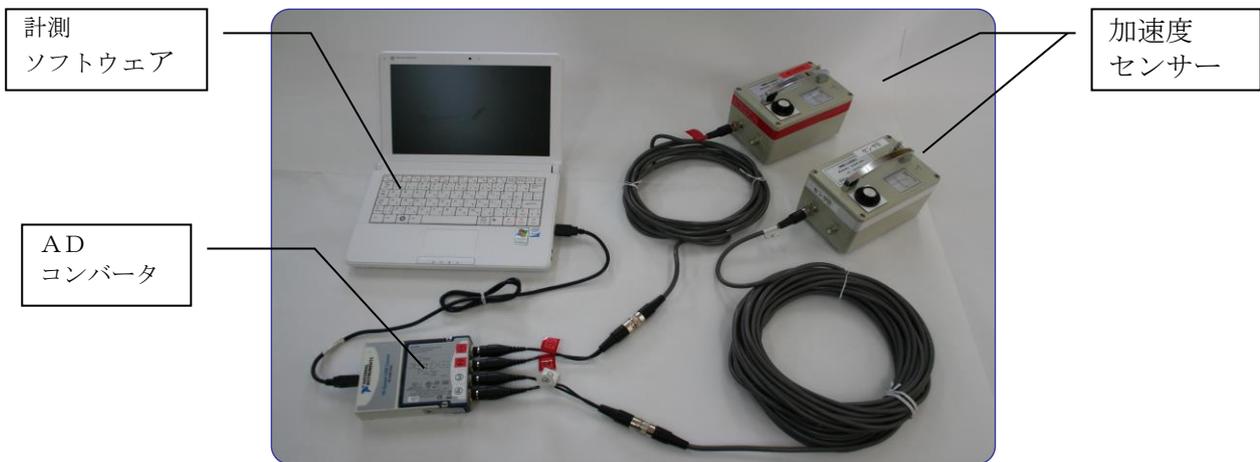


図 2-1 常時微動の計測機器構成

2. 常時微動の計測方法

分析対象の個々の住宅について、以下の計測を行った。各階・各方向の4成分を同時に計測した。

■計測箇所および計測時間

- | | | |
|----------|-----------------|-----|
| 常時微動の計測 | ：2階の中央および1階玄関土間 | 5分間 |
| ねじれ振動の計測 | ：2階長辺方向の両端 | 5分間 |



図 3-1 常時微動の計測風景

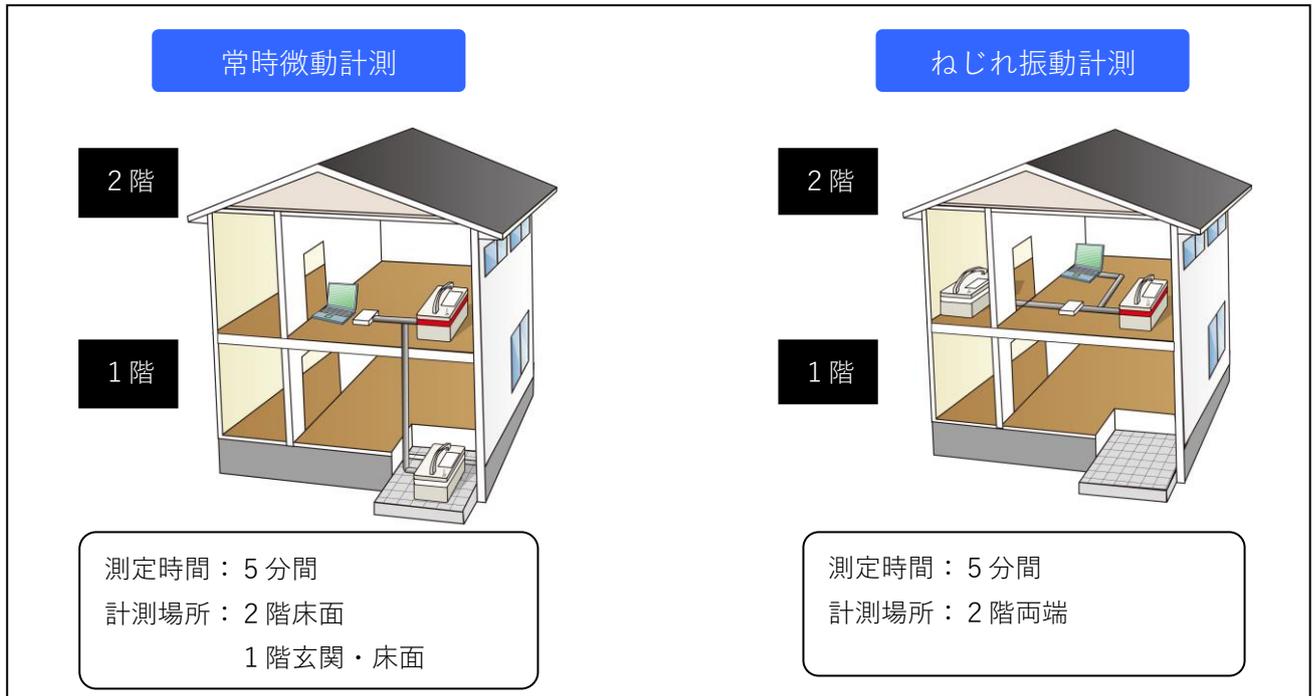


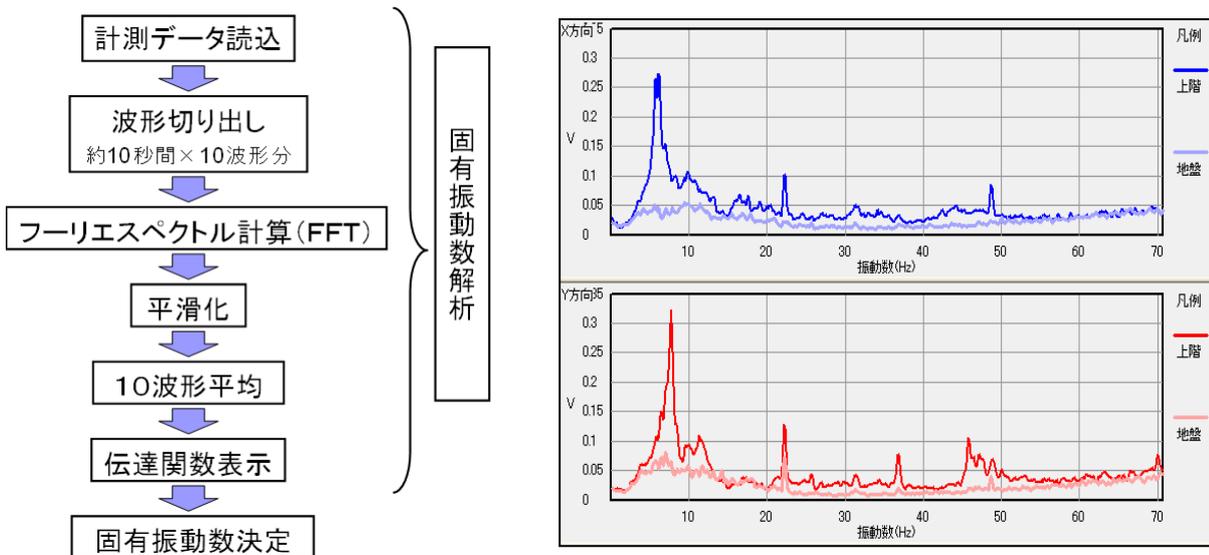
図 3-2 常時微動計測の設置箇所および計測内容

3. 計測データからの固有振動数算出方法

計測データを基に各階、各方向の4成分について分析し、X方向、Y方向それぞれについて固有振動数を算出した。手順は以下に示す。

① 計算に使用する区間の抽出

1回目で2つのセンサーにより計測したデータ（2階データおよび地盤データ）から、8.19秒（サンプリング点数 2^4 点）の区間を重複無しで10区間抽出。できるだけ計測ノイズの影響が小さい区間を使用するために、2階データと地盤データにおける区間内の（最大値－最小値）の平均が小さくなる順に抽出を行う。



② フーリエスペクトル算出

2階データ、地盤データそれぞれについて、高速フーリエ変換（FFT）によりフーリエスペクトルの算出を行う。その後、フーリエスペクトルの実部と虚部からパワースペクトルを求める。

③ スペクトル平滑化

パワースペクトルに対して平滑化を行う。平滑化は、バンド幅 0.4Hz の parzen 窓により行う。

④ スペクトル平均化

抽出した10区間のデータそれぞれについて①～③により平滑化したパワースペクトルが求められたので、振動数ごとにそれら10スペクトルを平均化したパワースペクトルを求める。

⑤ 伝達関数算出

2階データから求めた平均化パワースペクトル÷地盤データから求めた平均化パワースペクトルを振動数ごとに計算し、伝達関数を求める。

⑥ 固有振動数特定

伝達関数をグラフ表示し、そのピークから目視により固有振動数を特定する。

なお、グラフ上で2つ以上のピークが表れたり、はっきりしたピークが見られないなど、特定が難しい場合は続けてねじれ計測データの分析を行う。

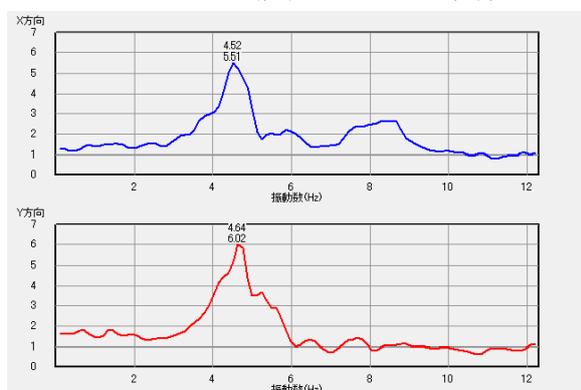
4. 計測データから求めた固有振動数の信頼性

前項の固有振動数算出方法においては、最終的には目視による判断であるため、場合によっては判断を行う人間の主観により算出結果が変わることもありえる。

ただし、今回の分析においては、ほとんどの建物で伝達関数のピークが 10Hz 以下にはっきりと表れており、判断に迷うことは無かった。その他、伝達関数からの判断が難しい少数の建物についても、ねじれの分析から固有振動数を確定することができた。そのため、今回の分析において計測データから求めた固有振動数はほぼ間違いないものと考えられる。

分析対象の住宅について、計測結果より求めた波形を、下図 5-1 のように A パターン（ピーク（山）が 1 つある場合）と B パターン（ピーク（山）が 2 つある場合）と分類すると、ほとんどの建物で、A パターンの傾向となり、ピーク（固有振動数）を特定できた。

Aパターン：ピーク（山）が 1 つある場合



Bパターン：ピーク（山）が 2 つある場合

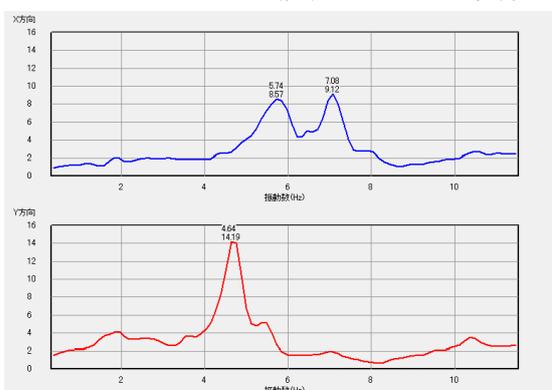


図 5-1 計測結果より求めた波形のパターン

* 1) 【参考】ねじれ振動計測

1) ねじれ計測データによるフーリエスペクトル算出

ねじれ計測データから、「4. 計測データからの固有振動数算出方法」①～②と同様の手順でフーリエスペクトルを求める。

2) フーリエスペクトルからの位相計算

フーリエスペクトルの実部と虚部から、各振動数における振動の位相を求める。

3) 2 階両端における位相差計算

2 階両端の計測データを元に 2) で求めた振動の位相について、各振動数における位相の差をとる。

4) 固有振動数とねじれ振動数の判別

位相差をグラフ表示し、各振動数における位相差を確認する。

位相差が 0 に近い振動数は固有振動数（1 次、2 次……）である可能性が高く、位相差が π (rad.)

に近い振動数はねじれ振動数（1 次、2 次……）である可能性が高い。「4. 計測データからの固有振動数算出方法」の⑥で作成した伝達関数のグラフと合わせて目視による判断で固有振動数を特定する。