

高周波振動による筋交いの探索

入野 亮太

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

現在の木造住宅の耐震診断は目視で行っているため、筋交いの有無の判断が難しい。既存研究で、住宅全体の振動から筋交いの有無の判断を行ったが、一般的に住宅の診断適用するのは困難と結論している。本研究では、筋交いがあると思われる一部分に着目し、実物の柱-梁の約1/2のパネルを製作して、高周波振動を与えた。その結果、柱の固有振動数を求め、柱に対して縦向きに加振したときの、パネル全体の振動モードを調べればよいことがわかった。筋交い無しでは、柱・梁ともに加振方向よりも加振直角方向のほうが大きく、筋交い有りでは、筋交い無しのようにはっきりとした振動モードがでない。このように振動モードを調べれば、筋交いの有無を判断する事ができる。

Key Words :耐震診断、筋交い、高周波振動、固有振動数、振動モード

1. はじめに

高知県では平成15年度に木造住宅の耐震診断事業が導入された。診断は建築士の目視でおこなっているが、木造住宅の耐震性で最も重要な筋交い・耐震壁の有効性については目視での判断は難しいといえる。そのため、以前から実際の住宅を用いて振動実験による筋交いの有無の判断をする研究が行われてきた。細川の研究では、筋交いの有無の影響が現れやすいモードは住宅の構造によって変化する可能性があり、一般的に住宅の診断に適用するのは困難と結論している。⁽¹⁾

そのため、本研究では住宅全体の振動から筋交いの有無の判断を行うのではなく、筋交いがあると思われる一部分に高周波振動を与え、筋交いがあるときとないときの応答特性の相違から筋交いの有無を判断する方法の可能性を検討することとした。

2. 予備実験

1) 加速度計の固定方法の検討

本研究では、圧電式加速度変換器（以後加速度計という）を使用する。実際の住宅で耐震診断を行う際には、加速度計をいかに固定するかということが重要となってくる。両面テープで固定し計測を行うのが簡易だが、両面テープが減衰器の役割をしてしまう恐れがあった。そのため、他の固定方法と比較する必要があるため、万力で固定した場合とのフーリエスペクトルで比較し判断すること

とした。このとき、加速度計は中空のアルミにねじで固定し実験を行った。その結果、両固定方法でのフーリエスペクトルは異なる結果になった。異なる理由として、加振時にアルミにも衝撃が伝わりアルミ自体も変形したのではないかと考えた。そのため、固定部分が変形しないように木に置き換えて同様に実験を行ったが、フーリエスペクトルは異なる結果になった。異なる理由として、衝撃時に万力を閉める部分が揺れ、応答を検知しているのではないかと考え、万力から紐、輪ゴムでの固定に変更し、両面テープとの比較を行った。その結果、フーリエスペクトルは同様に検出することができた。このことから両面テープが減衰器の役割をしていないことが証明され、以後の実験では、両面テープで固定し計測を行っていくことにした。

2) 加振方法

加振の方法として、最初はスピーカーを用いて計測を行っていたが出力応答があまりに小さかったため、共振を起こしているかという特定が困難であった。そこで、ボイスコイルモーターを用いて計測を行うことにした。ボイスコイルモーターは昨年、細川が述べた論文に記載されているボイスコイルモーターと同一のものをを用い実験を行った。しかし、ボイスコイルモーター単体でも応答が小さかったため、アンプを用い応答を増幅させ計測を行った。

3. 実験方法

1) フレーム寸法

本研究では筋交いがあると思われる一部分に着目した。そのため梁・柱・筋交いによって構成される、実物の約1/2サイズのパネルを筋交い有り無し3体ずつの計6体作成して実験を行った。

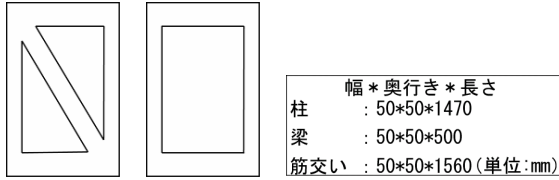


図 3-1 実物の壁の約 1/2 サイズのフレーム

2) 計測方法

ファンクションジェネレーター内のスイープモードという機能で、周波数を連続的に変化させ、パワーアンプを介してボイスコイルモーターを駆動させた。ボイスコイルモーターは床に固定し稼動軸をフレームに直接当てて振動を起し、加速度計で検知し、ハイパスフィルター、整流・積分回路を通してパソコンで計測を行った。

整流・積分回路は、ある検出される波形のマイナス部分をカットし、プラス側の波を積分して直流に変換するものである。これによって近似的に応答の包絡線が得られるので、周波数応答が容易に求められる。

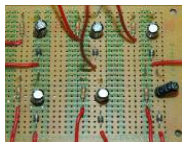


図 3-2 整流・積分回路

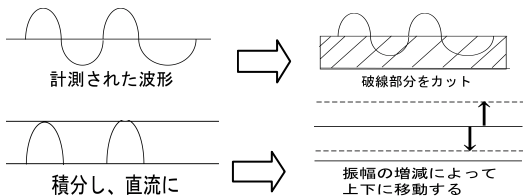


図 3-3 整流・積分回路の図

スイープモードとは、ある範囲を定めた周波数のある定めた秒数内で掃引する機能のことである。今回の実験では、500~3500Hz の周波数を 60 秒間スイープさせた。次の計算式から、柱における縦波の振動数が約 1633Hz、梁における横波の振動数が単純支持で 436Hz、両端固定で 980Hz と算出された。そして、500Hz~5000Hz まで加振してみたが 3500Hz~5000Hz の間はあまり応答がなかったため 500Hz~3500Hz で加振を行った。



図 3-4 ファンクションジェネレーター

縦波の最低次の振動数 P_1

$$P_1 = \lambda c_p = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}} \frac{\pi}{L}$$

E (ヤング率)=800kgf/mm²
 γ (重力密度)=0.34×10⁻⁶kgf/mm³
 L (長さ)

単純支持における横波の最低次の振動数 P_1

$$P_2 = \lambda^2 c_p = \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}} \frac{\pi^2}{L^2}$$

I (断面 2 次モーメント)
 A (断面積)

4. 実験

筋交い有り無しの柱、梁、筋交いの両端と中央に加速度計を 2 個ずつ設置し、加速度計の向きは加振する方向に平行、垂直の 2 方向に設置した。実験の概要を図 4-1 に示し、加速度計の設置方向を図 4-2 に示す。なお、筋交い無しの場合とフレームを横向きに置いた場合の計 10 ケースで実験を行った。このときの境界条件は梁の両端の下に木のブロックを置いて行った。

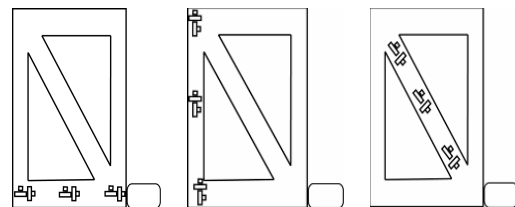


図 4-1 実験の概略図

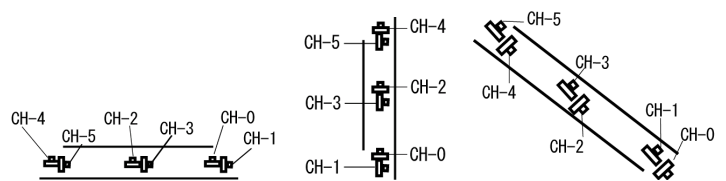


図 4-2 加速度計の配置図

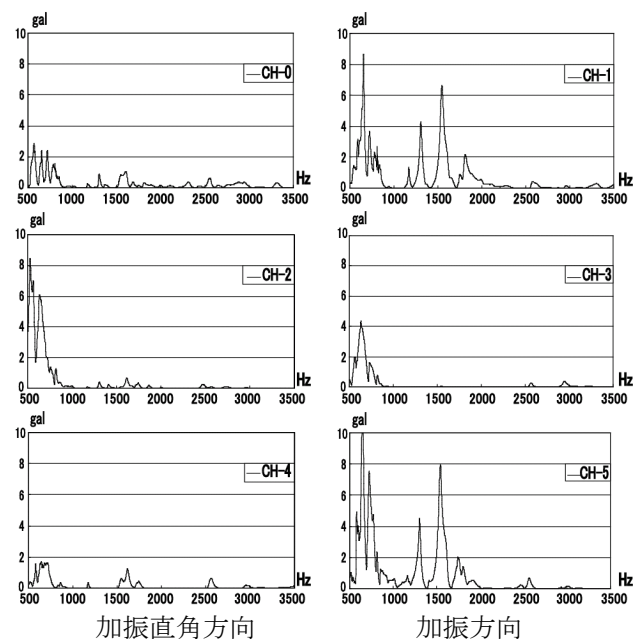


図 4-3 横向き一筋交い無し一柱方向の振動数

図 4-3 は、筋交い無しフレームを横向きに置き、加速度計を柱方向に設置したときの実験結果である。このときの、加振直角方向と加振方向の加速度の大きさを比べてみると、加振方向のほうが大きいことがわかった。その他のケースにおいても同様な結果が計測できた。

筋交い方向に加速度計を設置しても波形の値が小さく判断が困難であるため、筋交い方向では以後実験を行わない。図 4-3 より、加速度計は加振方向に設置したときの波形が見やすく共振（ピーク時がはっきりしており、尚且つ他の加速度計でも同じ振動数付近でピークが発生している）らしいものを判断することができるため、以後の実験は加速度計は加振する方向に設置し長手方向から加振することにした。以後は、共振が起きた周波数を与えて、パネルがどのような振動を起こすかを計測することにした。実験の概要を図 4-4 に計測結果を図 4-5 に示す。このときの境界条件は柱の下全体に木のブロックを置いて行った。

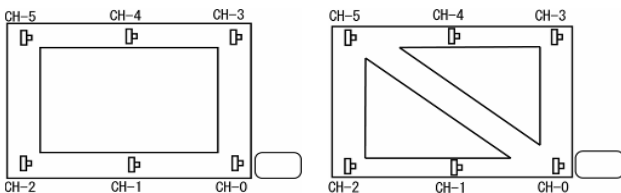


図 4-4 実験の概略図

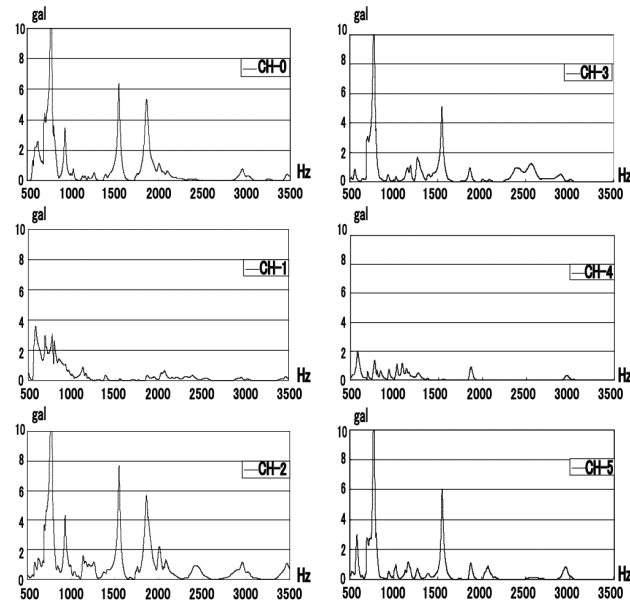


図 4-5 筋交い無し時の振動数

図 4-5 より、高次の周波数時において柱の両端では共振が起こっているのに対し、真ん中では共振が起こっていない。この結果、両端では加振方向に伸び縮みし、中央では動いていないと判断することができる。しかし、筋交い有りではパネルがどのように変形しているかを判断することが

できなかった。理由として筋交いによって拘束され柱が加振方向に伸び縮みしないからであると考えられる。次に、加振時の筋交い有り無しの、振動モードを詳しく調べるために柱部分を 20 分割し、梁部分を 10 分割した。加速度計は、加振場所に設置した加速度計（図で言えば右下の角）を基準とし、分割した点に加速度計を移動させ計測し、得られた応答値の比と両者の符合を基に振動モードを調べていくこととした。加速度計は加振方向と、加振直角方向に設置した 2 パターン行った。与える振動数は最初の実験（加速度計を両端、中央に 2 個ずつ設置した実験）で得られた周波数を用いて、下記の図 4-6 のピークが大きい振動数 A~D を与えることとした。実験方法を図 4-7 に、実験結果を 4-8~4-11 に示す。筋交い有りでも同じように実験を行うこととした。

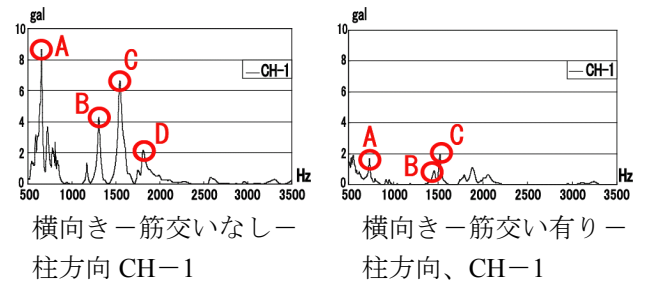


図 4-6 与える振動数

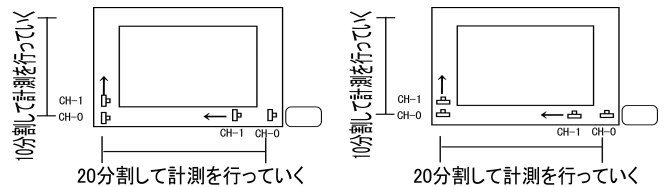


図 4-7 加速度計を設置したときの計測風景

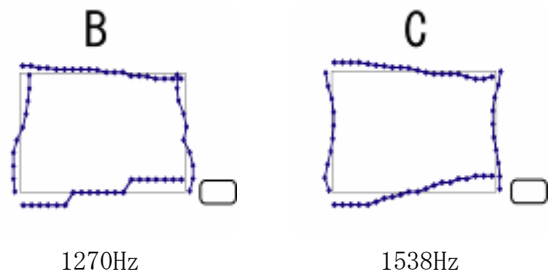


図 4-8 筋交い無し-加振方向の振動モード

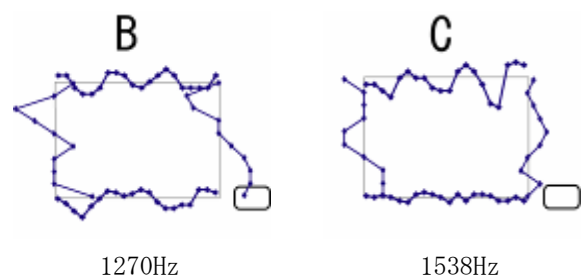
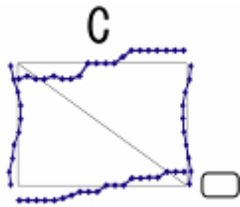
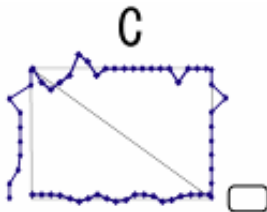


図 4-9 筋交い無し-加振直角方向の振動モード



1509Hz

図4-10 筋交い有りー加振方向の振動モード



1509Hz

図4-11 筋交い有りー加振直角方向の振動モード

実験結果より、柱に関しては加振直角方向の加速度のほうが、加振方向の加速度より大きいことがわかった。また、梁に関しても同様な結果が得られ、加振直角方向の加速度のほうが、加振方向の加速度より大きくなった。上記の図以外の振動点、筋交い無しなら A・D、筋交い有りなら A・B も同様な結果になったが、今回は比較的きれいに計測することができた図を示す。

当初は、柱に関しては加振方向の加速度のほうが、加振直角方向の加速度よりも大きく、梁に関しては加振方向の加速度のほうが、加振直角方向の加速度よりも大きくなると仮説をたてて実験を行ってきたが、実験結果は逆になった。その理由としては、筋交い無しの場合で考えると、加振したことにより柱が伸縮運動をし、柱と梁の節点に曲げモーメントが発生し、梁に曲げ振動が起きる。この曲げモーメントにより柱に曲げ振動が発生し、最終的には伸縮よりも曲げ振動のほうが卓越して実験結果のようになると考えられる。筋交い有りでは、筋交いによって拘束され、筋交い無しのような振動は起こさず振動もきれいに出てこないと考えられる。

計算式で求められた柱における縦振動の固有振動数と、実験結果より共振が起こっているのだろうと思われる振動数 C 点 (1538Hz) がおよそ一致している。C 点の振動モードでは、筋交いなしにおいては梁の横振動がはっきりと現れているのに対して筋交い有りでは梁の横振動は小さく判断することが困難であるといえる。

5. 結論

これまでの実験結果より、次のようなことが分かった。

- ・柱の縦波の最低次の固有振動数を求める。
- ・パネルを横に倒し、柱に対して縦に加振を行ったときの固有振動数付近のピークが他のより大きく出た。
- ・加速度計の向きは、加振直角方向に設置するのがいいという結果が出た。
- ・筋交い無しの振動モードでは、柱に関しては加振直角方向の加速度が大きく、梁に関しても同様の結果になった。
- ・筋交い有りの振動モードでは、筋交いによって拘束され、筋交い無しのような振動は起こさず振動もきれいに出てこない。

このことより、柱の固有振動数を求め、振動モードを調べれば筋交いの有無を判断することができるであろうと結論される。

6. 今後の課題

実用化に向けては、柱に対して縦に加振を行うことは実際の住宅では難しい。また本研究で行った実験以外の実験も行い応答の違いを調べる必要性がある。

- ・パネルにベニヤ板を貼り付けた場合。
- ・パネルを横に連続して並べた場合。
- ・パネルを2階建てのように縦に並べた場合。
- ・境界条件の違い。(コンクリートブロックなど)
- ・実際の住宅での実験。

このように、まだまだ実験を行っていく必要があるが、筋交いの有無の判断は不可能ではないと考えられる。

参考文献

- (1) 細川智加：振動実験結果を用いた木造住宅の特性推定の試み 日本建築学会四国支部研究報告集 第5号, 2005年