

打撃法による実木造住宅の 筋交い探索

1110311 大原 勇輝

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

加速度計を用い木材の衝撃伝播の時間差による木造住宅の壁の筋交い探索の実用の可能性について検討した。実際の住宅の壁に使用される1/2のサイズのパネルを用いて予備実験を行なった後、筋交いのあると分かっている実際の住宅での実験を行い、住宅の壁に使用されている石膏ボードが測定を難しくしていることを明らかにした。さらに、壁に小さな穴を空けて釘を打ち込み、釘に打撃を加える方法が有効であることを示した。

Key Words : 打撃法, 衝撃伝播時間, 石膏ボード, 実住宅

1. はじめに

木造住宅の耐震診断は目視で行うため、耐震性に関して最も重要な筋交い・耐震壁の有効性について判断が困難である。既往研究では家全体の振動から筋交いの有無の判定を試みているが、判定は困難と報告されている¹⁾。また、縮尺パネルを使用して衝撃の伝播時間差から筋交いの有無を判定する研究も行われている。その結果、筋交い有無で衝撃の伝播時間が大幅にかかわることから、この方法で筋交い有無の判断ができることが報告されている²⁾。

本研究では、実際の木造住宅へ適用するに当たって必要であるにも関わらず未検討であった幾つかの事項を事前に検討し、実際の木造住宅で実験を行って実用の可能性を探った。

2. 予備実験

2.1 予備実験の概要

既往研究では、実際の住宅への適用を想定して合板壁の影響、胴縁と間柱の影響の調査、また壁を介して衝撃を伝えるための打撃方法、センサーの取り付け方法と位置についての検討が行われている。ここでは、更に実住宅での測定条件を詳細に検討して、次の3点について予備実験を行った。

1. 壁紙の影響

2. 計算値の精度

3. 実際の住宅実験を想定してのセンサー取り付け位置

実際の住宅実験では、今まで通り3つのセンサーの両方を柱の上に設置することは難しい。よって片方を柱の上に、もう片方を柱に近づけた位置に設置し筋交い探索が可能であるかを検討した。

既往研究で使われていた計算値は、木材が杉であること想定し計算を行っている。しかし住宅では杉を使っているとは

限らないので、他の木材でも計算値が導き出せるよう改良を検討した。

2.2 供試模型

実験に使用した縮尺パネルを写真-1に、各部材の寸法を表-1に示す。このパネルに市販の壁紙を張り付け、供試模型とした。



写真-1 パネル模型

表-1 各部材の寸法

	幅×深さ×長さ (単位 mm)
柱	50×50×1400
梁	50×50×550
筋交い	50×20×1470
合板 (壁)	550×4×1500

2.3 壁紙の影響

実験ではブロックをパネルに押し当てて摩擦によって衝撃を伝えている。この方法では衝撃を与える際にブロックが壁紙を傷つける可能性が懸念された。実際、当初用いたブロックでは壁紙に疵が残ったが、ブロックの角を丸く削ることでこの問題は解消できることが分かった。

次に壁紙を貼ったパネルを用いて、既往研究と同様の実験

を行ない、衝撃の測定が可能であるかを検討した。2個の加速度センサーをパネル端から200mmの位置に設置し、壁紙の有無、筋交いの有無のそれぞれの条件で衝撃伝播時間を計測した。十分な時間分解能を得るため、スキャンレート数は500000/秒とした。なお、壁紙がない場合に用いていたセンサー取り付け用ブロックでは測定値が不安定であったため、ブロックの壁への接触面積を約5倍程度拡大したところ良好な結果が得られた。おそらく壁紙表面の凹凸によって接触が不完全となったためではないかと推測される。

実験結果を表-2に示す。表から、壁紙の有無に関係なくセンサーが衝撃を感知すること、伝播時間は壁紙無しの場合とほぼ同じであることが分かる。よって、壁紙は打撃法の実用化の妨げにはならないと結論される。

表-2 衝撃伝播時間に及ぼす壁紙の影響

(単位: 秒)

	壁紙無し	壁紙有り
筋交い無し	6.80×10^{-4}	6.81×10^{-4}
筋交い有り	3.80×10^{-4}	3.85×10^{-4}

2.4 計算値の精度

筋交い有無に対応する伝播時間の計算値があった方が打撃法による筋交い有無を判定が容易になる³⁾。そこで、2.3の実験における衝撃の伝播経路を推定し、伝播時間を計算した。推測した伝播経路を図-1(筋交い無し)、図-2(筋交い有り)に示す。

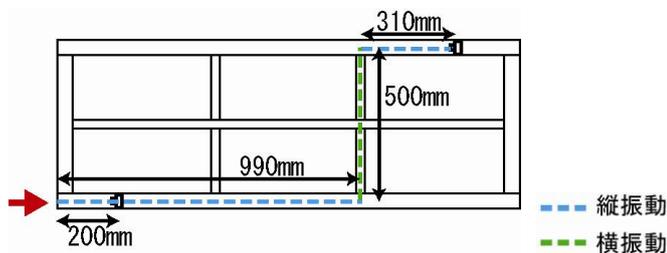


図-1 筋交い有りにおける衝撃の伝播経路

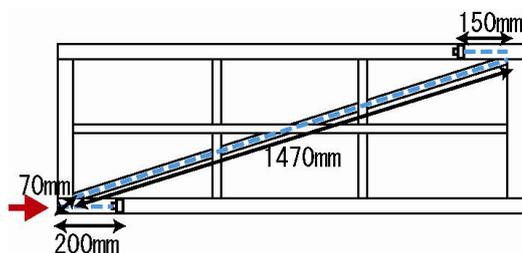


図-2 筋交い無しにおける衝撃の伝播経路

縦波、横波の伝播速度は次式で計算した。

$$\text{縦波の伝播速度} : C^2 = E/\rho$$

$$\text{横波の伝播速度} : C^2 = G/\rho$$

弾性係数、密度は既往研究では次の値を用いている。

$$E = 8000 \text{ N/mm}^2 \quad \rho = 0.34 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \quad G = E/15$$

上記の値を用いて計算した伝播時間を表-3に示す。

表-3 計算値

(単位: 秒)

筋交い無し	6.25×10^{-4}
筋交い有り	3.07×10^{-4}

表-2, 3を比較すると、筋交い有無による伝播時間の変化が大きいため、筋交いの有無の判定には差し支えないと考えられるが、実験値と計算値には有意な差が生じていると言える。そこで再計測によって密度を若干修正した後、伝播時間が実験値に一致するような弾性係数を求めた。結果は次の通りである。

$$E = 5000 \text{ N/mm}^2 \quad \rho = 0.33 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \quad G = E/10$$

この値は杉材についてのものであり、他の樹種では適用できないと考えられる。念のため、檜材で同様な実験を行った結果、次の結果が得られた。

$$E = 7000 \text{ N/mm}^2 \quad \rho = 0.33 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3 \quad G = E/13$$

実際の住宅では、樹種が杉、檜以外であることもあり得るであろう。その場合、 ρ の実測が不可能であるから、上述の方法で弾性係数を推定することはできない。しかし、 $E/\rho = C^2$ であるから、縦波の伝播速度の実測値から E/ρ を求めることは可能である。実際の住宅でも、縦波の伝播速度の計測は比較的容易に行うことができると考えられるので、初めに一本の柱で計測を行うことで E/ρ を算出しておくことは可能であろう。一方、横波の速度の実測はさほど容易ではないと想像されるので、杉、檜の実測結果から $G = E/10 \sim 13$ 程度の数値を使えばよいのではないかと考える。

2.5 センサーの取り付け位置

実際の住宅では、壁と壁が柱を介して繋がっているためセンサーを柱中心も合わせて設置することはできない場合がある。その様な壁の例を図-3に示す。

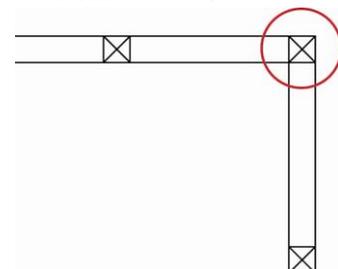


図-3 センサーの設置困難な柱

2つのセンサーの片方を柱の真に、もう片方を柱の真からずらして設置して計測を行い、筋交い探索が可能なデータが得られるかを検討した。実験モデルを図-4(筋交い無し)、図-5(筋交い有り)に示す。

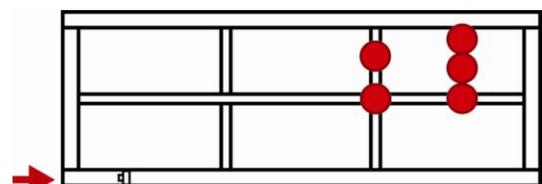


図-4 筋交い無しにおけるセンサー位置図

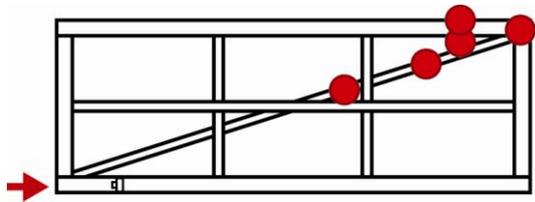


図-5 筋交い有りにおけるセンサー位置図

図-4, 5 の赤い点に加速度センサーを設置し、衝撃の伝わり方をより詳しく調べた。筋交い無しでは柱からずれるほど伝播時間は短くなり、筋交い有りではずれるほど長くなるという結果が得られた。この供試模型の筋交いは壁に密着していないため、筋交い有りでは筋交いから柱、最後に柱軸直角方向に壁を伝わる経路が最速となるため、中心から離れるほど遅れるものと思われる。筋交い無しでは、おそらく壁を伝わる経路が最速となる場合があって、柱中心から離れた方が衝撃が早く伝わるのではないかと推測される。しかし、筋交いの有無に関わらずできるだけセンサーを柱の真に近づければ筋交い有無の判定の障害となるような大きな誤差は発生しない。よって、住宅の図-3 のような壁でも筋交い探索は可能であると結論できる。

3. 実際の住宅での打撃実験

本研究の最終目的は古い木造住宅での筋交い探索であるが、今回は打撃法が有効であるかを検討することを目的として、平面図があり筋交いが有ると既に分かっている住宅で実験を行った。壁のどちらの方向に筋交いが入っているかは図面上で判断できないため、壁の両斜め方向の計測を行った。実験の様子を写真-2、計測した壁の寸法を図-6 に示す。



写真-2 住宅実験

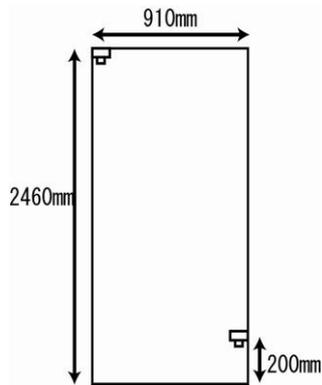


図-6 壁の寸法

まず、柱一本での計測を行って E/ρ を求め、 $G = E/10$ として計算値を算出した。計算値と測定結果を表-4 に示す。

表-4 住宅の壁での測定値と計算値

(単位：秒)

計算値 (筋交い無し)	13.20×10^{-4}
計算値 (筋交い有り)	6.23×10^{-4}
測定値 (筋交い無し)	10.28×10^{-4}
測定値 (筋交い有り)	10.22×10^{-4}

計算値と測定値を比較すると、誤差が大きいうえに測定では筋交いの有無による伝播速度の違いが見られなかった。柱に衝撃が伝わっていないことが考えられたので、柱1本を対象に打撃法を変えて何回かの測定を行ったが、柱の伝播速度として期待されるようなデータは得られなかった。なお、この住宅の壁は室内実験で用いたパネルのような合板ではなく、石膏ボードのようであった。

4. 石膏ボード壁の打撃伝播特性

柱に衝撃が伝わらなかった原因が石膏ボードであるかを調べるため、石膏ボードを用意し、石膏ボードの衝撃伝播を調べる実験を行った。壁として貼り付けられるように供試模型と同じサイズのボードを用意し、先ずボードだけで、衝撃伝播時間を測定した。ボードの寸法と測定結果を図-7 に示す。

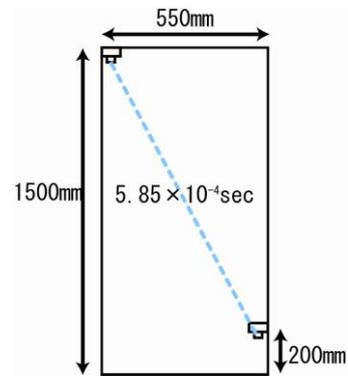


図-7 石膏ボードの寸法と観測値

衝撃は最短距離の斜め方向に伝わっていると思われる。住宅実験で測定したセンサーの斜め距離は 2436mm であり、石膏ボードの斜め距離は 1411mm である。よって、両実験における衝撃伝播速度は次のようになる。

住宅の壁： 2.38×10^6 mm/sec

石膏ボード： 2.41×10^6 mm/sec

両者を比較すると、ほぼ同じ衝撃伝播速度であるので住宅の壁と石膏ボードは同一な性質を持っていると考えられ、住宅の壁は石膏ボードであると言える。しかし、石膏ボードの壁から衝撃を与えても柱には伝わらなかったことの原因は明らかではないため、用意した石膏ボードをパネルに貼り付け、壁として衝撃伝播の詳細を調べた。

筋交い有りの供試模型を使用し、センサー位置は図-2 と同様として、石膏ボードの上から衝撃を与え伝播時間の計測を行った。また、同様なセンサー位置で柱に直接衝撃を与えた場合についても計測した。その両者の結果と石膏ボードだけの伝播時間をまとめたものを表-5 に示す。

表-5 石膏ボードが及ぼす衝撃伝播時間

(単位：秒)

石膏ボード	5.85×10^{-4}
石膏ボードの上から打撃	5.75×10^{-4}
柱を直接打撃	3.85×10^{-4}

表-5より、石膏ボードの上から打撃を加えた場合の伝播時間は石膏ボードだけの伝播時間とほぼ一致していることから、上から打撃を加えてもほとんど柱には伝わらず、石膏ボードだけを伝播していると考えられる。

柱を直接打撃した場合には石膏ボード上のセンサーが打撃を検知していることは、柱から石膏ボードに衝撃が伝わることを意味する。逆方向、すなわち石膏ボードから柱にも衝撃は伝わると考える方が自然であろう。そこで、石膏ボードの上から打撃を加えた場合のデータを詳細に調べた結果、微小ではあるが、ボードから柱に衝撃が伝わっていることが分かった。計測データの例を図-8に示す。図の横軸は時間(s)、縦軸は加速度計の出力電圧(V)である。



写真-3 釘実験の様子

表-6 釘からの打撃による衝撃伝播時間差

(単位: 秒)

釘から打撃	3.75×10^{-4}
石膏ボードの上から打撃	5.75×10^{-4}
柱を直接打撃	3.85×10^{-4}

表-6から、釘から衝撃を与える方法でも、柱から直接衝撃を与える方法の衝撃伝播時間とほぼ等しい結果を得ることができる。この方法を使用すれば、石膏ボード壁の場合でも筋交い探索は容易に可能であると言える。

ただし、実験の結果、釘を打ち付ける位置が柱の真に近い位置で無ければ、測定結果に誤差が生じることが明らかになっているので、実用にあたっては予め、柱の真の位置を調べておく必要がある。

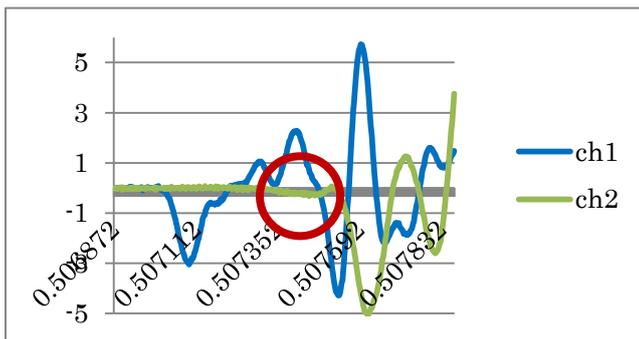


図-8 石膏ボードの上からの衝撃伝播時間グラフ

図-8において、赤い丸で囲んだ緑の波形が微小に変化しているのが分かる。この微小な変化点は、柱を伝わる衝撃伝播時間の計算値とほぼ合致する。波形変化が微小な理由は二つ考えられる。第一に、石膏ボード自体に伝わる衝撃の方が遥かに大きく、これに加速度計の感度を合わせるため、柱から石膏ボードに伝わる衝撃については微小な値しか計測できない。第二に、石膏ボードと柱の密着度の問題があると考えられる。壁の素材が合板の場合、釘でしっかりと打ちつけてあり壁と柱の密着しているため、上から衝撃を与える方法で問題なく計測できた。石膏ボードの場合は木ねじで留めているので密着が弱く、摩擦による衝撃の伝播が困難となるためであると推測される。よって、石膏ボードの上から衝撃を与える方法で筋交い有無の判定は不可能ではないと言えるが、あまりに微小な波形変化であるため、筋交い有無の判定は容易でなく、この方法は実用的ではないと考えられる。

5. 石膏ボード壁の場合の打撃方法の提案

石膏ボードの上から衝撃を加えて測定する方法で筋交い有無の判定は困難であるが、柱自体に直接衝撃を与えることができれば測定結果より筋交い有無の判定は容易に可能である。よって、石膏ボードに小さな穴を開けて釘を柱に直接打ち込み、釘を打撃することで衝撃を柱に伝播することにより実用化は出来ないだろうかと考え、実験を行った。実験の様子を写真-3、実験結果と他のデータとをまとめたものを表-6に示す。

6. 結論

実際の木造住宅へ適用するに当たって必要であるにも関わらず未検討であった幾つかの事項を事前に検討し、実際の住宅で実験を行なった。住宅実験では期待されるような結果は得られなかったが、石膏ボードでの追加実験を重ね、石膏ボードの衝撃伝播特性を明らかにし、打撃による筋交い探索の実用化の障害と、実用化に向けての方法を検討した。得られた主要な結論は次の通りである。

- (1) 壁紙の影響は無く、センサーの取り付け位置を柱の真に近づけることにより測定は可能である。
- (2) 実測値から E/ρ を定めて衝撃伝播速度の予測値を算出するのがよい。
- (3) 石膏ボードを用いた住宅では、壁の上からの打撃による筋交い探索は困難である。その原因は壁と柱の密着度である。
- (4) 石膏ボードの壁の場合、小さな穴を開け柱の真に釘を打ち付け打撃する方法が有効である。

参考文献

- 1) 細川智加
振動実験結果を用いた木造住宅の構造特性推定法 高知工科大学修士論文 2006年
- 2) 土師大輔
衝撃または高周波振動による筋交いの探索 高知工科大学修士論文 2007年
- 3) 山本宗史
実木造住宅の打撃法による筋交い探索の実用化 高知工科大学修士論文 2009年