

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510194

研究課題名（和文） 地震被害を受けた木造住宅の復旧可能性判定のための実験解析

研究課題名（英文） Structural performance tests of timber frames and earthquake response analyses investigating recoverability of timber houses after a severe earthquake

研究代表者

津村 浩三（TSUMURA KOZO）

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：30145669

研究成果の概要（和文）：本研究は地震動により被害を受けて傾いた木造住宅について、その復旧可能性判定のための材料を整備するためのものである。種々の補強方法と補修方法の効果について、大変形にいたる倒壊実験により確かめ、ばね特性を調べた。地震被災シミュレーションプログラムにその特性を組み込み、顕著な地震の本震と余震に対し種々の強度の住宅の倒壊可能性について調べた。その結果、検討した 104 ケースのうち本震時に倒壊せずに余震で倒壊したのは 1 ケースと少なかった。

研究成果の概要（英文）：In order to investigate recoverability of timber houses after a severe earthquake, structural performance tests of timber frames and earthquake response analyses were conducted. Several types of strengthened frames and recovered frames were loaded until they lay down on the basement to obtain their structural characteristics, and based on the data the earthquake response analysis program was fixed. On the program various types of strengthened timber house models were attacked by several famous earthquakes and their aftershocks. As a result, among 104 examined cases, there was only one case having collapsed by aftershock, without collapsing by a main shock.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：復旧・復興工学

1. 研究開始当初の背景

地震の被災地では、地震後数度から数十度傾いたまま、立っている木造住宅がしばしば見受けられる（住宅ではないが写真 1 参照のこと）。数度以上傾くと、解体されることが多いようであるが、木材の粘り強さを考えると、数十度傾いても、傾きをもどして使用することが可能な場合が多々あると思われる。

一方、木造建物の耐震設計上目安とされる層間変形角（建物のある階の床に対する上の階の傾き）は $1/120\text{rad}$ (0.5deg) である。また、軸組や部材、接合部等の実験はこれまで多数行われてきたが、そのほとんどは層間変形角や部材角等（まとめて θ で表す）にして $\theta = 1/10\text{rad}$ (6deg) までの加力実験である。層間変形角で考えると、倒壊の判定基準を θ

$=90\text{deg}(\pi/2\text{rad})$ とすれば、 θ の取り得る範囲は $0\sim 90\text{deg}$ (負の場合は省略)とすることができる。つまり、建物において $\theta=0.5\text{deg}\sim 90\text{deg}$ の範囲は設計上ほとんど使われておらず、 $\theta=6\text{deg}\sim 90\text{deg}$ の範囲は実験的に未知の領域であると言える。従って、地震後被害を受けた住宅にどの程度の余力があるか、判断するのに有用なデータは、ほとんどないといってよい。

復旧に関しては、被災の程度をランク付けするための指針が提案されており、被害の程度を表すのに調査者の評価のばらつきを抑えるのに役立っている。しかし、そのランクは余震あるいは大きな地震に対する安全性とどのような関係にあるのかについては必ずしも定量的に分かっているわけではない。

2. 研究の目的

本研究はこの領域における、木造軸組の構造性能を明らかにし、その成果を利用して、地震により傾いた木造住宅について次のような判断を行えるようにするためのものである。これを解体するか否か、余震の程度を考慮して、一時的に使用したときの危険の度合いを推定し、使用するかどうかといった短期的判断。傾きをもどし、補強せず、または補強して使用をつづけるかといった長期的判断。

そのほか、本研究に付随する利点として、次のようなものが挙げられる。

(1)設計の自由度の拡大：例えば、ある装置(部材)が破壊しても別の装置(部材)で、人命は保護するといったフェイルセーフに基づく設計、使用目的によっては大変形を許容する特異な構造物の設計、など。また、

(2)地震被害の的確な予想：例えば、建物の破壊を大変形領域まで追跡することにより、それによる死者数を力学的計算に基づいて推定することなど。特に(1)に関連しては、伝統的構法は剛性が低くなりがちであるので、層間変形角 $1/120\text{rad}$ を越えた変形における性状が評価できるようになれば設計の可能性が大きく広がると期待できる。

3. 研究の方法

前章で述べた目的を達するためにここでは次に示すように(1)実験と(2)計算機によるシミュレーションの2つを行った。

(1)実験は写真2、3に示すように4本の柱よりなる木造軸組を組み立てて、これを引き倒すものである。筋かいを用いたもの、古い仕様のもの、新しい仕様のもの、などについて実験を行った。また、傾きを 5° までかけた後、補修または補強し、さらにそれを引き倒して補修、補強後の性能を調べ、コンピューターシミュレーションに用いるばね特性のデータを記録した。



写真1 地震後傾いたまま立っている土蔵



写真2 木造軸組の実験例、大きく傾いている状態



写真3 木造軸組の実験例、写真2の状態から傾きが進んで倒壊している状態



写真4 地震応答解析の参考モデルとした青森県弘前市内の木造平屋建て住宅

(2)次に古い仕様の筋かいによる木造軸組及び軸組のみの倒壊実験の結果から復元力(ばねとしての特性)モデルを作成し、これを用いて青森県弘前市に実在した木造平屋建て住宅(写真4)を参考にモデルを作成した。

さらに筋かいのある壁の枚数を0~12枚の間で増減させて計13種のモデルを作成した。これに、拡張個別要素法に基づいたプログラムを用いて、平成12年鳥取県西部地震、平成13年芸予地震、平成15年十勝沖地震、平成16年新潟県中越地震、平成19年能登半島地震、平成19年新潟県中越沖地震、平成20年岩手・宮城内陸地震、平成23年東北地方太平洋沖地震の8つの地震による地動加速度を入力して層間変形角の履歴を得た(表1参照)。

次にその地震の余震の中で最も加速度の大きいものを入力し、その後の建物の挙動を調べた。結局、図2に示すように104のケースについて検討を行った。地動加速度はすべてK-NETのデータを用い、観測点はその地震で最も観測震度の大きいものを選択した。

4. 研究成果

このような手法で解析を行ったところ、本震・余震を通して倒壊を起こしたのは鳥取県西部地震での筋かい壁0~10枚の11モデルと、新潟県中越地震での筋かい壁0枚及び2枚の2モデルのみだった。新潟県中越地震では本震後に余震も被災した事による最大層間変形角が本震のみを被災した場合と比べて平均約5.8度大きく、同じく東北地方太平洋沖地震では平均約1.6度大きいという結果になったが他の6つの地震では本震と余震を続けて被災しても最大層間変形角は本震のみ被災した場合と変わらず、余震によって傾きが増すとといったような事は少ないという結果になった。

本震時には倒壊せず余震時に倒壊したのは新潟県中越地震の筋かい壁2枚のモデルのみで、その場合本震時の最大層間変形角は23度という結果となった。本震時にそれ以下の最大層間変形角のものは余震にさらされて(次ページ右段へ飛び)

表1 シミュレーションに使用した本震

研究の手法-入力する地震動記録

地震	観測点コード	観測点地名
平成12年 鳥取県西部地震	TTRH02	鳥取県日野郡日野町
平成13年 芸予地震	HR5009	広島県広島市佐伯区湯来
平成15年 十勝沖地震	HKD100	北海道広尾郡広尾町
平成16年 新潟県中越地震	NIG019	新潟県小千谷市
平成19年 能登半島地震	ISK005	石川県鳳珠郡穴水町
平成19年 新潟県中越沖地震	NIG018	新潟県柏崎市
平成20年 岩手・宮城内陸地震	AKTH04	秋田県雄勝郡東成瀬村
平成23年 東北地方太平洋沖地震	IWT010	岩手県一関市

本震の地動データと余震の地動データを連続して入力

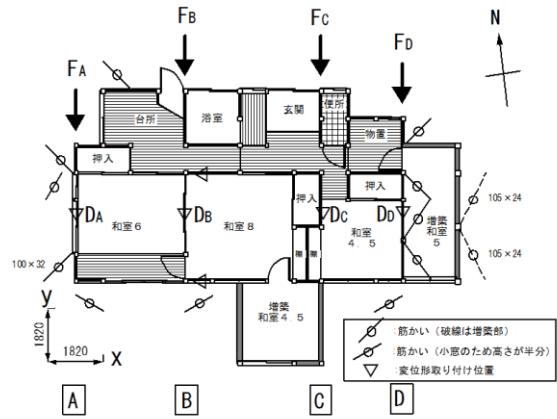


図1 地震応答解析の参考モデルとした青森県弘前市内の木造平屋建て住宅の平面図

解析パラメータ

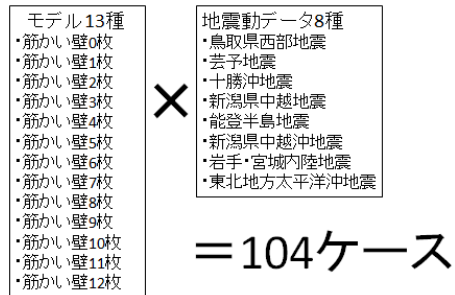
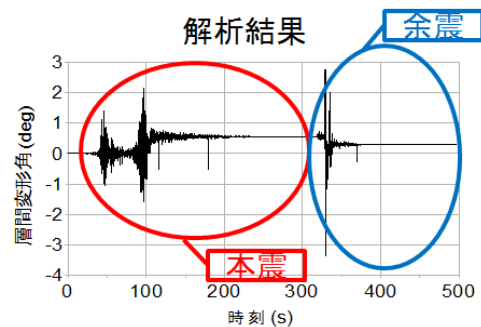


図2 地震応答解析により検討したケース



東北地方太平洋沖地震層間変形角時刻歴 筋かい壁12枚モデル

図3 解析結果の例、横軸は解析開始からの時間、本震の後に余震を入力して双方の結果を調べた、縦軸は建物の傾き、倒壊まで検討するため単位が度 (degree) になっている(つまり大きく傾いている) ことに注意されたい

表2 各地震によるシミュレーション結果

平成12年 鳥取県西部地震

筋かい 壁枚数	本震		本震+余震		筋かい 壁枚数	本震		本震+余震	
	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)		最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)
0	倒壊	-	-	-	0	1.55	0.15	1.55	0.14
1	倒壊	-	-	-	1	-1.52	-0.08	-1.52	-0.09
2	倒壊	-	-	-	2	-1.58	-0.17	-1.58	-0.18
3	倒壊	-	-	-	3	-1.60	-0.18	-1.60	-0.20
4	倒壊	-	-	-	4	-1.58	-0.16	-1.58	-0.18
5	倒壊	-	-	-	5	-1.56	-0.15	-1.56	-0.16
6	倒壊	-	-	-	6	-1.53	-0.09	-1.53	-0.10
7	倒壊	-	-	-	7	-1.51	-0.09	-1.51	-0.10
8	倒壊	-	-	-	8	-1.49	-0.09	-1.49	-0.11
9	倒壊	-	-	-	9	-1.48	-0.08	-1.48	-0.10
10	倒壊	-	-	-	10	-1.48	-0.08	-1.48	-0.10
11	-22.89	-21.75	-22.89	-21.71	11	-1.49	-0.08	-1.49	-0.10
12	-20.60	-19.26	-20.60	-19.22	12	-1.50	-0.09	-1.50	-0.11

平成15年 十勝沖地震

筋かい 壁枚数	本震		本震+余震		筋かい 壁枚数	本震		本震+余震	
	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)		最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)
0	-2.36	-0.72	-2.36	-0.85	0	倒壊	-	-	-
1	-2.18	-0.69	-2.18	-0.73	1	-16.04	-14.29	-24.01	-22.9
2	-2.00	-0.36	-2.00	-0.43	2	-23.44	-22.29	倒壊	-
3	1.91	0.22	1.91	0.26	3	-16.96	-15.80	-28.88	-28.18
4	2.02	-0.04	2.02	-0.07	4	-15.94	-14.14	-21.68	-20.40
5	2.07	0.09	2.07	0.08	5	-16.67	-15.30	-24.71	-23.68
6	2.10	0.16	2.10	0.16	6	-17.41	-15.74	-25.84	-24.90
7	2.12	0.23	2.12	0.28	7	-16.80	-15.10	-23.39	-22.25
8	2.12	0.29	2.12	0.34	8	-15.96	-14.20	-21.12	-19.79
9	2.08	0.31	2.08	0.34	9	-15.47	-13.66	-19.66	-18.69
10	2.03	0.31	2.03	0.35	10	-14.77	-12.91	18.97	-17.48
11	1.97	0.34	1.97	0.35	11	-13.90	-12.00	-17.89	-16.25
12	1.92	0.37	1.92	0.37	12	-13.11	-11.14	-16.43	-14.73

平成19年 能登半島地震

筋かい 壁枚数	本震		本震+余震		筋かい 壁枚数	本震		本震+余震	
	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)		最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)
0	-11.29	-9.13	-11.29	-9.12	0	5.61	0.77	5.61	0.65
1	-10.22	-7.97	-10.22	-7.96	1	4.86	0.22	4.86	0.05
2	-9.36	-7.16	-9.36	-7.16	2	4.35	0.22	4.35	0.21
3	-8.80	-6.66	-8.80	-6.65	3	3.58	-0.36	3.58	-0.36
4	-8.18	-6.11	-8.18	-6.10	4	-3.15	-0.27	-3.15	-0.18
5	-7.56	-5.56	-7.56	-5.55	5	-3.04	-0.12	-3.04	0.03
6	-6.95	-5.00	-6.95	-4.99	6	-2.93	-0.01	-2.93	0.15
7	-6.36	-4.46	-6.36	-4.47	7	-2.77	0.09	-2.77	0.24
8	-5.77	-3.92	-5.77	-3.92	8	2.69	0.17	2.69	0.33
9	-5.23	-3.16	-5.23	-3.46	9	2.63	0.29	2.63	0.44
10	-4.76	-2.61	-4.76	-3.04	10	2.55	0.32	2.55	0.44
11	-4.40	-2.39	-4.40	-2.72	11	2.47	0.26	2.47	0.36
12	-4.12	-2.33	-4.12	-2.46	12	2.40	0.20	2.40	0.28

平成20年 岩手・宮城内陸地震 平成23年 東北地方太平洋沖地震

筋かい 壁枚数	本震		本震+余震		筋かい 壁枚数	本震		本震+余震	
	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)		最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)	最大変 形角 (deg)	残留変 形角 (deg)
0	-2.55	0.52	-2.55	0.59	0	3.35	1.77	4.68	2.97
1	-2.84	0.57	-2.84	0.58	1	3.11	1.57	4.40	1.63
2	-3.03	0.28	-3.03	0.30	2	2.88	1.35	4.11	1.84
3	-3.18	0.06	-3.18	0.08	3	2.71	1.19	-3.99	1.74
4	-3.43	-0.11	-3.43	-0.10	4	2.49	1.00	-3.97	1.69
5	-3.36	-0.04	-3.36	-0.03	5	2.36	0.88	-3.95	1.50
6	-3.27	-0.05	-3.27	0.06	6	2.25	0.79	-3.90	0.90
7	-3.31	-0.01	-3.31	0.01	7	2.16	0.70	-3.85	0.61
8	-3.14	0.17	-3.14	0.18	8	2.08	0.63	-3.79	0.06
9	-3.15	0.17	-3.15	0.19	9	2.08	0.61	-3.70	0.89
10	-3.19	0.13	-3.19	0.14	10	2.12	0.65	-3.60	-0.06
11	-3.24	0.11	-3.24	0.13	11	2.14	0.66	-3.50	-0.06
12	-3.42	0.05	-3.42	0.07	12	2.13	0.65	-3.39	0.30

も倒壊は起こさなかった。よって本研究の範囲では、本震による傾きが23度未満であれば、余震によって倒壊は起きないという結果が得られた。ただし、本研究において参考とした住宅はかなり軽い部類に入るとされる。また、検討した地震動データの数にも限りがあるので、一般的な結論を得るには更なる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件)

- ① 津村浩三、木造軸組の地震被災後の使用可能性に関する大変形加力実験(その4)、日本建築学会学術講演梗概集、構造Ⅲ、No.22198、2012年、C-1分冊、p.395-396、2012.9.14 発表
- ② 津村浩三、木造軸組の地震被災後の使用可能性に関する大変形加力実験(その3)、日本建築学会学術講演梗概集、構造Ⅲ、No.22052、2011年、C-1分冊、p.103-104、2011.8.24 発表
- ③ 津村浩三、木造軸組の地震被災後の使用可能性に関する大変形加力実験(その2)、日本建築学会学術講演梗概集、構造Ⅲ、No.22169、pp.337-338、2010.9.10 発表

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津村浩三 (TSUMURA KOZO)

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：30145669