

既存木造共同住宅・長屋の耐震性能に関する研究

墨田区京島での耐震補強事例

STUDY ON STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF EXISTING TIMBER APARTMENT HOUSES

Case study of reinforcement repair work in Kyojima Sumida-Ward

佐々木隆允 — * 1 藤田香織 — * 2
石川永子 — * 3

Takamasa SASAKI — * 1 Kaori FUJITA — * 2
Eiko ISHIKAWA — * 3

キーワード：
耐震診断, 耐震補強, 木造長屋, 劣化, 破壊調査

Keywords:
Seismic diagnosis, Reinforcement repair work, Existing wood apartment houses, Deterioration, Destructive investigation

This paper describes the results of investigations operated on four timber apartment houses and their seismic diagnosis. The results of the seismic diagnosis were far below the required values in the Building Standard Law. The authors conducted structural reinforcement repair work on two of these apartment houses in collaboration with the Foundation of Sumida Community Development Cooperation in Kyojima. Detailed investigation accompanied by partial destruction of the members were conducted before the repair work, and deterioration of the hidden members were revealed. Their structural performance evaluation is discussed based on the results of the detailed investigation and repair work.

1. はじめに

既存木造戸建住宅の耐震性能向上に関する研究及び耐震補強事例は充分行われているとはいえないが、近年徐々に増加している。一方、過去の地震で木造戸建住宅と同じように甚大な被害を受けた木造共同住宅と木造長屋(写真1・図1)の構造性能についての研究はほとんど行われておらず、耐震補強も進んでいない状況である。既往の研究¹⁾では、実測調査に基づき主に木造戸建て住宅で使用されている耐震診断方法を木造共同住宅・長屋に適用し、その構造性能を把握することを検討すると同時に、耐震診断の適用範囲に関する考察を行った。しかし、非破壊の実測調査では基礎や壁の詳細な仕様などの特定、躯体の劣化の程度を確認することは困難である。研究の対象とした木造共同住宅や木造長屋は建築年代が古いものが多いため、現在と異なる仕様や各部の劣化が想定される。

そこで本研究では、墨田区京島地区にて長屋2棟の実測調査、破壊を伴う詳細調査、耐震診断、耐震補強工事を実施した結果を報告する。さらに、筆者らが過去に行った木造共同住宅および長屋の調査研究の結果をもとに木造長屋の構造性能に影響する因子を整理し、対策について検討した。

2. 研究の対象

本研究は、木造(防火木造を含む)共同住宅と長屋を対象としている。共同住宅は長屋が積層、または並列し積層したものであり³⁾、壁の配置が同様であるため構造的特徴が類似していると考えられる(図2)。そこで、利用形態は異なるがどちらも研究対象とした。

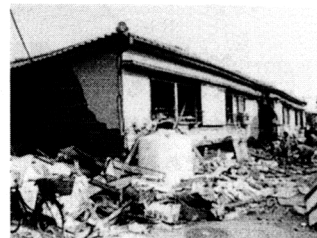


写真1 木造共同住宅の地震被害

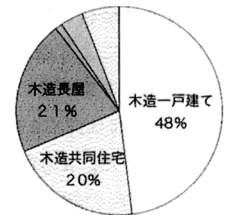


図1²⁾ 死者発生住宅の割合
(平成7年兵庫県南部地震)

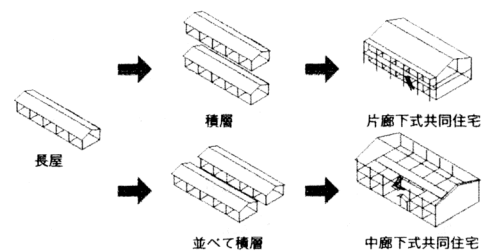


図2 長屋から共同住宅へ

3. 研究方法

- ・実測調査 壁、屋根等の仕様や劣化状態を把握するため、各部寸法の測定、目視による非破壊の調査を行った。
- ・耐震診断 実測調査の結果をもとに調査対象住宅の耐震診断を行った。
- ・耐震補強工事 2棟の長屋の耐震補強工事を行った。同時に破壊を伴う詳細調査を行った。

*1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科建築学専攻 修士課程
(〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

*2 東京大学工学系研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

*3 (財)墨田まちづくり公社/首都大学東京 都市科学研究科 博士課程

*1 Department of Architecture and Building, Graduate Student of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University

*2 Assoc. Prof., Department of Architecture, Graduate School of Engineering, University of Tokyo, Dr. Eng.

*3 Foundation of Sumida Community Development Corporation/Graduate School of Urban Science, Tokyo Metropolitan University

4. 実測調査

墨田区京島地区にあるK1邸（2階建て）、K2邸（平屋）で実測調査を行った。過去に筆者らが行った調査研究¹⁾で対象とした共同住宅(O邸)1棟、長屋(N邸)1棟と合わせて建物概要を表1に示す。K2邸の北側住戸は居住者が高齢のため調査を行わなかった。

5. 耐震診断

既往の研究で調査した2棟は、調査結果をもとに一般診断法で診断を行った⁴⁾。新たに調査した2棟の長屋は、一般診断法と精密診断法で診断を行った(表2)。一般診断法と精密診断法はその建物の保有する耐力 $P_d(Q_d)$ の算出方法が異なる((1)(2)式)。

一般診断法

$$P_d = P \cdot E \cdot D \quad (1)$$

P :無開口壁の強さ+必要耐力の1/4(雑壁の耐力)

E :耐力要素の配置等による低減係数 D :劣化度による低減係数

精密診断法

$$Q_d = (Q_{wn} + Q_{ww}) \times F_s \times F_e \quad (2)$$

Q_{wn} :無開口壁の耐力 Q_{ww} :有開口壁の耐力

F_s :剛性率による低減係数 F_e :偏心率と床の仕様による低減係数

注)精密診断法では Q_{wn} 、 Q_{ww} に劣化による低減が含まれている

どちらも壁量計算のように壁の仕様と壁量で強さは決まるが、耐震診断では部材の劣化と偏心による影響に応じてその強さを低減する。劣化による低減は目視による調査で決定される。調査項目に該当する事象が多い程、劣化低減は大きくなる(下限は0.7)。

・**N邸** X方向は評点0.32となり、「倒壊する可能性が高い」という判定になった。X方向の壁の量が不十分であるため評点が低くなった。Y方向の評点は0.94で、判定は「倒壊する可能性がある」となった。Y方向では外壁と建物の境の壁が十分にあるために評点が1.0に近くなった。また、実測調査により柱の腐朽や壁の損傷が見られたため劣化による低減が生じた。

・**O邸** X、Y方向ともに評点は0.7未満であり、「倒壊する可能性が高い」という判定になった。特にX方向は壁の量が不十分であるため評点が低くなった。南側X方向、東側Y方向に壁が少ないために偏心による耐力の低減が生じた。さらに、建具の建て付けが悪くなってきていることなどから劣化による耐力の低減も生じた。

・**K1邸** 1階X、Y方向ともに精密診断評点は0.7未満であり、「倒壊する危険性が高い」となった。全ての方向で壁の量が不十分であるため評点が低くなった。特に1階X方向の偏心低減が0.5と高くなっており、評点は0.08と他と比べても低い値となっている。これは全面道路に向かって1階東側に土間が設けてあるためだと考えられる。土間部分には全く壁がなく、また北東面が全て開口部なので壁の量が不十分で、偏心による低減が生じている。また、柱脚、柱頭には金物は設置されていないため各壁の耐力に接合部低減が生じ評点が低くなった(写真2)。

・**K2邸** 精密診断評点はX方向0.52、Y方向0.70となり判定は、X方向「倒壊の危険性が高い」Y方向「倒壊の危険性がある」となった。X方向は開口部が多く壁の量が不十分であるため評点が低くなった。Y方向は偏心があるため若干の低減がかかっている。また、基礎の仕様は礎石、接合部は金物が設置されていないとしたので壁の耐力に接合部低減が生じ評点が低くなった(写真2)。

表1 調査建物概要

	N邸	O邸
所在地	東京都台東区	東京都杉並区
建築年	1923年頃(震災復興時)	1970年(S45年)
面積[m ²]	1F 59.6 2F 56.3	1F 84.1 2F 84.3
屋根仕様	金属板葺き(トタン)	金属板葺き(トタン)
壁仕様	外壁 土塗壁、金属板 内壁 土塗壁	外壁 ラスモルタル壁 内壁 ラスボードの上塗喰仕上げ
外観写真		
	K1邸	K2邸
所在地	東京都墨田区	東京都墨田区
建築年	1926年頃(S元年)	1930年頃
面積[m ²]	1F 52.9 2F 39.7	1F 75.9
屋根仕様	瓦葺き、一部金属板葺き	瓦葺き
壁仕様	外壁 土塗壁 内壁 土塗壁、一部板壁	外壁 土塗壁 内壁 土塗壁
外観写真		

表2 平面図・耐震診断評点一覧

		N邸			O邸		
		8190			12726		
		7280			8181		
		Y方向			Y方向		
		X方向			X方向		
一般診断	1階		X方向	Y方向		X方向	Y方向
		偏心低減	1.00	1.00	偏心低減	0.75	0.75
		劣化低減	0.70	0.70	劣化低減	0.70	0.70
		評点	0.32	0.94	評点	0.26	0.37
		K1邸			K2邸		
		7280			12740		
		7280			6370		
		Y方向			Y方向		
		X方向			X方向		
一般診断	1階		X方向	Y方向		X方向	Y方向
		偏心低減	0.45	0.80	偏心低減	1.00	1.00
		劣化低減	0.70	0.70	劣化低減	0.70	0.70
		評点	0.13	0.50	評点	0.55	0.81
精密診断	1階		X方向	Y方向		X方向	Y方向
		偏心低減	0.50	1.00	偏心低減	1.00	0.96
		評点	0.08	0.63	評点	0.52	0.70

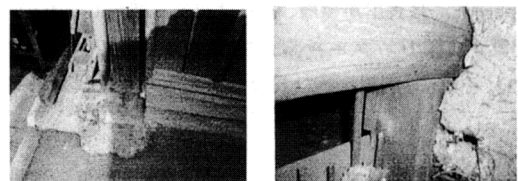


写真2 (左) K1邸 柱脚接合部 (右) K2邸 柱頭接合部

6. 耐震補強工事 (K2邸)

今回、耐震補強工事を行った2棟のうちのK2邸を例に耐震補強工事の方針と内容を報告する。

・**補強方針** 該当長屋K2の北側の住戸には居住者がいるが、南側の住戸は高齢者施設として月に数回使用している。今回の補強では段階的な改修工事の第一段階として高齢者施設として利用している住戸のみの耐震補強を計画した。補強箇所は、高齢者の生活の中心となる和室を中心に行い、補強箇所が偏在することに伴う偏心を避ける、という2点に留意し、図3の位置に補強箇所を決定した。耐震補強工事に際して借り主の「長屋の雰囲気を残した工事してほしい」「和室が暗くなるのは避けてほしい」という要望を踏まえ、和室に面した構造用合板補強(補強番号②④)は軸組に受け材を設けた真壁仕様に、補強⑤はブレース補強とした。また、建具を通常使用していない開口部への補強を行った(補強番号①③⑤)。さらに、無筋コンクリートである既存の基礎のまま補強を行なっても、柱の引抜力に抵抗できないため布基礎を補強部分の下に新設した(図4)。

この補強計画による耐震診断評点を表3に示す。

・**詳細調査** 補強工事に先駆け床を解体して床下部分の調査を行った。この調査により基礎は無筋コンクリートであることが判明した。しかし老朽化しているため耐力的に期待できないと判断した。また土台も腐朽が激しく、交換を行った。

・**補強工事の実施** 主な工事内容は以下のとおりである。

基礎工事 既存の無筋コンクリート基礎、土台を撤去した後、鉄筋コンクリートの布基礎、土台(防腐剤塗布)を新設した。

構造用合板補強 補強番号①、⑥は柱、桁、土台に構造用合板をビスによって留め付け、補強番号②、③、④は軸組に受け材を設け、構造用合板をビスで留め付けた(以下、真壁仕様)。真壁仕様の補強では既存の長押と周り縁は残したまま工事を行い、既存の雰囲気を残すよう配慮した(図5・写真3)。

開口部ブレース補強 補強番号⑤は和室の明るさを保ったまま補強が出来る直径9mmのステンレス製ブレース補強を行った。垂壁を補強する部分のみ切り取り、柱を新設したあとブレースを設置した。ブレースが既存のサッシと干渉するため既存サッシを取り外し、外側から柱に打ちつけた枠に再び固定した(図6)。また、和室の雰囲気を損なわないように、補強番号①の補強で不要になった既存の建具を室内側からビスによって留め付けた(写真4)。

外部筋違補強 補強番号⑦は外部に基礎、土台、柱を新設し筋違補強を行った(図7)。下地板を構造用合板(厚さ12mm)、外壁仕上げはケイ酸カルシウム板の下見板張りとした(写真5)。

・**補強工事後の耐震診断評点** 補強工事後の耐震診断評点を表4に示す。解体を含む詳細調査の結果により診断評点は変化しなかったが、外壁の施工方法の変更や損傷が激しい外壁の取り替えて、想定していた補強箇所以外にも構造用合板を使用したためY方向の評点が上昇した。

表4 補強工事後の耐震診断評点

	補強前	→	補強計画	→	補強工事後
X方向	0.52	→	0.86	→	0.86
Y方向	0.70	→	0.98	→	1.13

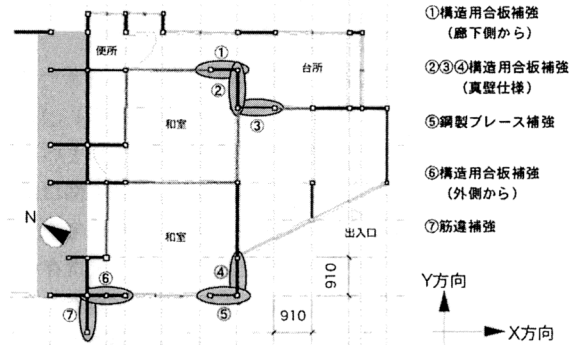


図3 K2邸補強計画

表3 K2邸耐震診断評点

	補強前	→	補強計画
X方向	0.52	→	0.86
Y方向	0.70	→	0.98

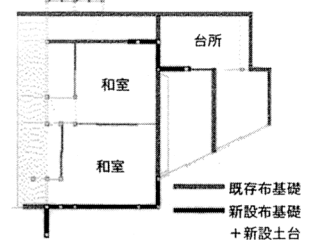


図4 基礎伏図

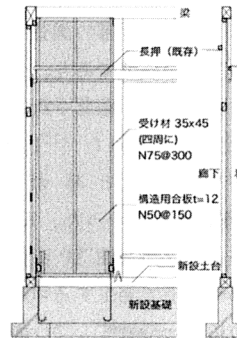


図5 構造用合板補強(受け材仕様)

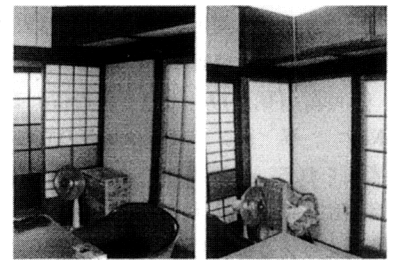


写真3 補強番号2 左)補強前 右)補強後

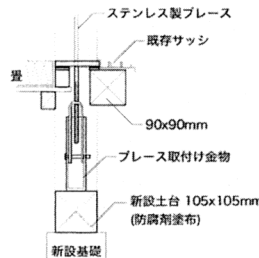


図6 補強番号5 断面詳細図

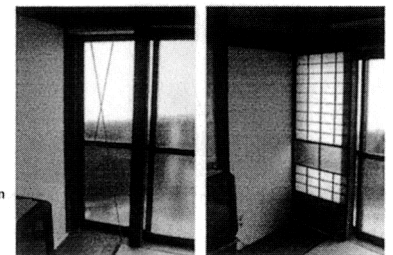


写真4 補強番号5 左)鋼製ブレース 右)建具取付け後

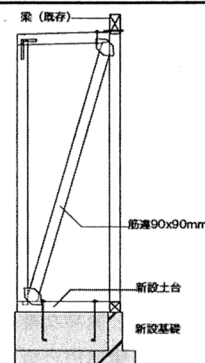


図7 補強番号7 筋違補強

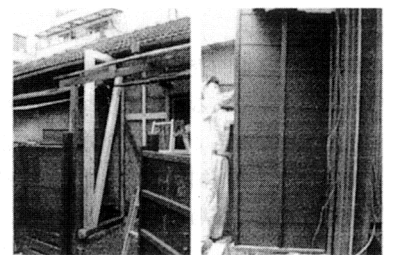


写真5 補強番号7 左)筋違補強 右)外壁下見板張り

7. 考察

・**建物形状と診断評点** 表2の各建物の耐震診断評点から、共同住宅や長屋は桁行方向(X方向)の評点が梁間方向(Y方向)の評点より明らかに低いことがわかる。これは共同住宅や長屋の接道面に開口部を取り、内部の間仕切り壁がほとんどないという建物形状の特徴が原因である(写真6)。梁間方向は外壁の開口部の有無で評点が大きく変わると考えられる。つまり共同住宅や長屋の耐震補強では桁行方向の補強が必須である。しかし、既存の壁が少ないためそれらを補強するだけでは十分ではない場合が多いと考えられる。そのため、使用していない開口部への補強や土間部分への補強等、耐力要素の新設が必要であると考えられる。

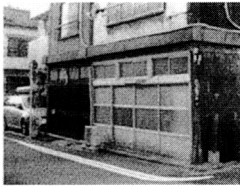


写真6 左) N邸全面開口

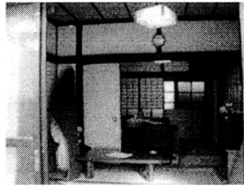


写真6 右) K2邸和室

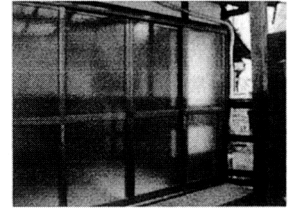
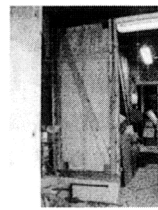


写真9 土間部分の補強 写真10 開口部ブレース補強

・**部材の劣化** 補強工事を前提として、床下や壁体内部の調査を行った。外部に露出した柱の柱脚は表面の劣化が顕著であり、外壁内部の柱脚は蟻害と腐朽により全断面に及ぶ劣化が確認された(K1邸)(写真7)。土台も腐朽による劣化が確認された(K1、K2邸)(写真8)。これらは基礎の立ち上がりが高いことが原因と考えられる。柱脚以外では柱材の劣化は確認されなかった。K1邸やK2邸と建築年代が近い建物では、このような構造性能に直接影響を与える部材劣化・断面欠損が壁内部や床下で発生する可能性があり、より正確な性能評価を行うためには一部破壊を伴う調査を行うか、ファイバースコープ等の利用による調査の検討が必要である。

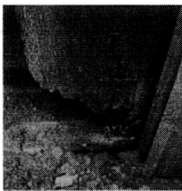


写真7 K1邸柱脚の蟻害、腐朽

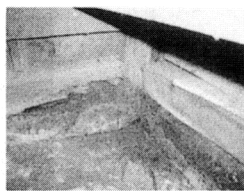


写真8 K2邸土台の腐朽

・**既存の基礎** 既存基礎の解体・撤去時に、K1邸の基礎は大谷石で、K2邸の基礎は無筋コンクリート布基礎であることがわかった。O邸、N邸は非破壊調査による結果であるため、実際の仕様とは異なる可能性がある。表面が劣化している場合や地面に埋もれている場合は、目視調査による判断は困難であるため、一部破壊を伴う調査が必要であると考えられる。基礎の仕様は補強計画を立てる上で重要な項目であり、十分な調査が必要である。

・**耐震補強工事** 補強部分の効果を発揮させるためには、基礎の新設を行う必要がある場合がある。しかし、基礎工事は工期・費用への影響が大きい。そのため基礎のない開口部や土間が存在する長屋の補強では、K1邸で行った土間部分への新設など簡易な補強手法について検討する必要がある。上部構造は主に構造用合板を用いた補強を行った。大壁補強の多くは直交壁や梁等と干渉するた

め、一部受け材を介して留め付けた。大壁補強では受け材を用いた場合の耐力の低減等を検討する必要がある。真壁仕様は従来からの土壁の雰囲気を変えずに補強できる。しかし、土壁を撤去する際に大量の粉塵が発生するため、居ながら施工の場合は工夫が必要である。K1邸の土間部分の補強(写真9)や、K2邸の開口部ブレース補強(写真10)は、耐力要素のない部分に耐力要素を新設するので、補強後の使用性などについて居住者と十分に相談し検討する必要がある。これらの補強方法は間口が広い長屋については有効である。しかし共同住宅の調査棟数が不足しているため、更に共同住宅の調査をした上で検討する必要がある。

8. まとめ

木造長屋2棟の詳細調査と一部基礎工事を伴う耐震補強工事を行い、その結果と既往の研究結果を併せて検討を行った。既存木造共同住宅や長屋は接道面(桁行方向)の耐震性能が一般的に低い。桁行方向の補強として開口部及び土間部分への補強を行い、その施工性と使用性を確認した。一部破壊を伴う詳細調査の結果から、耐震性能を考える上で無視できない程度の構造部材の劣化があり得ることがわかった。劣化は非破壊の調査では確認することが困難である壁体内部・床下部分に多い。このような劣化が発生している可能性のある木造住宅の構造性能を正確に把握するためには、一部破壊を伴う調査が不可欠である。

今後は詳細調査によって明らかになった劣化を定量的に評価することと、今回行った桁行方向の補強方法の構造性能と汎用性の検証が必要である。

謝辞

本研究は首都大学東京21世紀COEプログラム「巨大都市建築ストックの賦活・更新技術育成」プログラム名称：既存木造住宅の構造性能評価と改善手法 一京島地区内の木造住宅耐震診断と構造補強計画(代表者：深尾精一)により行った。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木隆允、藤田香織：既存木造共同住宅への耐震診断の適用に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集C-1, pp.267-268, 2006,9
- 2) 阪神淡路大震災調査報告委員会：阪神淡路大地震調査報告建築編-4, 日本建築学会, 1998
- 3) 西山卯三：日本のすまいI, 勁草書房, 1976
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課監修：木造住宅の耐震診断と補強方法, (財)日本建築防災協会, 2004年改訂版

[2007年4月20日原稿受理 2007年7月26日採用決定]