

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：74325

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011 年～2012 年

課題番号：23760521

研究課題名（和文） 階段の耐震性能に着目した木造建物の耐震性能再評価に関する研究

研究課題名（英文） A Study on Seismic Performance reassessment of wooden structure that focuses on seismic performance of the wooden stairs

研究代表者 清水 秀丸

(SHIMIZU HIDEMARU)

一般財団法人 建築研究協会・研究員

研究者番号：70378917

研究成果の概要（和文）：2 階建て以上の建物が必ず持つ階段が有する耐震性能に着目し、構造実験と数値解析の実施から、その耐震性能を検証した。実験的研究では、軸組構法木造試験体(壁有)、枠組壁工法木造試験体などの実験を行い、荷重変形曲線を確認した。解析的研究では、階段の耐震性能発現機構を表現できる構造力学的モデルとして、階段の側板部分とビスとの接合部分に着目し、側板をブレース、ビスをせん断バネと置換することで構造力学モデルを構築し、実験結果との比較を行った。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to obtain quantitative understanding of the seismic performance provided by the staircase which a wooden building with two or more stories always has, through static lateral loading tests and numerical analysis based on structural dynamics models. A total of four buildings by two construction methods; post-and-beam and light-frame, and with two types of staircases; U-shape winding staircase and straight flight staircase, were used as specimens. The test results revealed that the seismic performance of the staircases resulted from the fact that the sideboards incidentally serve as non-buckling braces combined with the treads. This demonstrates how the fasteners joining the timber frame and sideboards are of crucial importance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：木造住宅、耐震性能、非構造部材、階段

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素排出量の制御に代表される地球環境負荷の軽減対策に伴い、建設分野では既存建物の長寿命化に対する構造的技術開発が求められている。歴史的価値のある建物・町並みの保存はもとより、近年では老朽化した建築物の耐震改修や再生・転用といった活用が多く試みられ、今後その重要性は

益々高まるものと思われる。我が国の国家戦略の一つ、観光の大きな資源として期待される歴史的木造建造物や伝統的町並みの保存・再生と同様に、既存住宅を長寿命化させ活用することは次世代の観光資源の確保のみならず、循環型社会を形成する上でも大変有意義なことである。

現在、我が国では住宅戸数が世帯数を上回

る状態が続き、都市部を中心にストックされている既存建物が増加する傾向にある。また、都市部の既存建物では、解体・新築を行うための作業空間の建物外確保が難しいという問題点から、建物外観と室内空間のリフォームのみによる改修が増加している。しかし、既存建物の改修工事の主目的は、建物が持つ資産的価値を高めることにのみ着目することが多く、耐震的観点からの改修は少ない。また、既存建物は既存不適格建物と呼ばれる、現在の耐震基準を満たしていない場合が多い。既存不適格建物が耐震的観点を考慮されないまま改修された場合、地震時のリスクが軽減されず多くの死傷者が発生する可能性を残したままとなる。地震国である我が国で地震時の被害軽減を図るには、既存建物の耐震性能を確保することが必要不可欠であり、それは建物の長寿命化に直結する。

2. 研究の目的

本研究は、2階建て以上の建物が必ず持つ階段が有する耐震性能を積極的に活用し、構造実験と構造力学モデルの構築による数値解析の実施から、その耐震性能を定量的に把握することを目的とした。

階段の耐力発現機構の解明は、新築住宅に対する耐震設計のみではなく、既存住宅の耐震補強にも適応することが可能であり、既存不適格住宅に対する簡易な耐震補強としても非常に有用である。

3. 研究の方法

本研究は先ず、提案耐震補強技術に関する実験的研究を行う。実験結果を基に構造力学モデルを構築し、既存の実大振動実験結果に適応して階段の有無による耐震性能の違いを、荷重変形曲線などを用いて評価する。実験的研究では、階段の初期剛性を含めた耐震性能を確認する。

実験的研究に続いて、階段の耐震性能発現機構を表現できる構造力学的モデル化を行う。構造力学的モデル化では、階段の耐震性能発現機構として階段の側板部分とビスに着目し、側板をブレースに、ビスをせん断バネと置換することで構造力学モデルを構築する。蹴上げ・踏み板は側板の座屈を防止する部材として作用させ、ブレースの圧縮・引張による最大耐力の違いが現れないよう、解析モデルを用いた研究を行う。

4. 研究成果

階段の耐震性能を把握するための構造実験を実施した。試験体は、幅2.73m、高さ2.73mの2構面を0.91mの間隔で並列配置した間に直線階段を持つ形状2体である。軸組構法試験体(壁有)、枠組壁工法試験体(A)の写真を図1、2に示す。

軸組構法試験体(壁有)は、柱と梁に集成材を使用し、柱は寸法120mm角のE95-F315の同一等級構成集成材、間柱はスギの短ほぞである。土台はヒノキとし、階段を構成する側板と軸組はコーススレッド(4.2×75mm)を用いて各柱・間柱に2本ずつ留め付け、その際に木工用接着剤(酢酸ビニル樹脂エマルジョン)による接着も併用する。階段の施工後、架構の内側に取り付けられた石膏ボード(厚さ12mm)は、石膏ボードビス(3.8×41mm)にて外周、中通りとも@150mm間隔で計6枚貼り付けた。

枠組壁工法試験体(A)は、スタッドと梁および土台はSPF材(38mm×90mm)を使用し、垂直材として扱うスタッド同士はCN75釘によって接合した。土台材-スタッド間および梁材-スタッド間はCN釘2本を打設した。石膏ボード(厚さ12mm)は架構の内側に取り付け、石膏ボードビス(3.8×41mm)で外周、中通りとも@200mm間隔として計6枚貼り付けた。階段の側板は、石膏ボードに接着剤とビスを介して接合した。

実験はタイロッド式によるコンピュータを用いた自動変位制御として、目標変形角に相当する頂部の水平移動量を外部変位計で計測した。繰り返し履歴は、1/300、1/200、1/150、1/100、1/60、1/30radの正負交番3回繰り返しとし、1/30rad以後は、油圧ジャッキのストロークが縮める側で引ききりとして実験を行った。

試験体毎の損傷写真を図3、4に示す。軸組構法試験体(壁有)は、側板を留め付けていたコーススレッドの破断と接着面の剥離が



図1 軸組構法試験体(壁有)



図2 枠組壁工法試験体(A)



a) 石膏ボード-側板

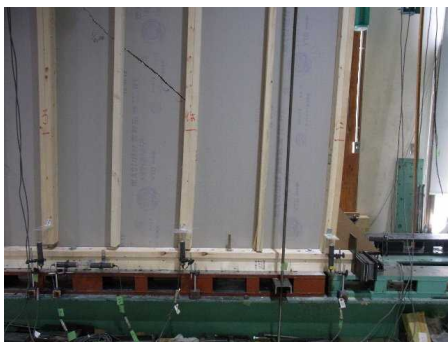


b) 接着剤の剥離

図3 軸組構法試験体(壁有)の損傷



a) スタッドの曲がり



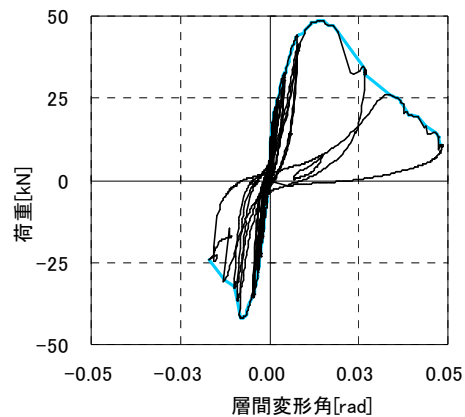
b) 石膏ボードの割れ

図4 枠組壁工法試験体(A)の損傷

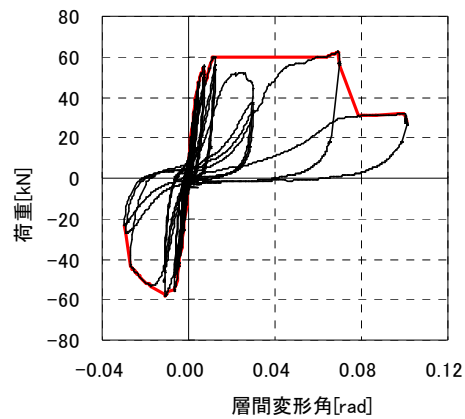
見られた(図3 b))。枠組壁工法試験体(A)では、1/100rad時に側板を留め付けている部分の石膏ボードに亀裂が入り、変形増大に従い石膏ボードに割れが大きくなった。破壊性状は、図4 a)に示すようなスタッドの曲がり、

図4 b)のような石膏ボードの割れが見られた。図に示す石膏ボードの割れは側板に沿って生じるなど、石膏ボードに大きなせん断力が作用していることが確認できた。

各試験体の変形を、真の変形角に変換した荷重変形角関係と包絡線を図5に示す。なお、枠組壁工法試験体(A)は、1/30radで荷重装置が試験体の変形を拘束したため、実験を終了している。図5より、軸組構法試験体(壁有)の最大耐力は62.2kN、枠組壁工法試験体(A)は48.8kNであった。最大耐力を記録した変形角は、軸組構法試験体(壁有)0.069rad、枠組壁工法試験体(A)で0.014radである。初期剛性は、枠組壁工法試験体(A)が非常に高い。軸組構法の直線階段では、最大耐力近傍で耐力を維持しながら変形する、大きな変形性能が見られた。



a) 軸組構法試験体(壁有)



b) 枠組壁工法試験体(A)

図5 試験体別の荷重変形角関係と包絡線

本試験体と、石膏ボードを有しない実験結果との比較を行った。図6に包絡線の比較を示す。軸組構法試験体(壁無)とは、軸組構法試験体(壁有)から石膏ボード6枚を除いた試験体である。枠組壁工法試験体(B)とは、枠組壁工法試験体(A)の石膏ボードビスを(3.8×28mm)に変更し、ビス間隔を外周@100mm、中通り@150mmとしたものである。

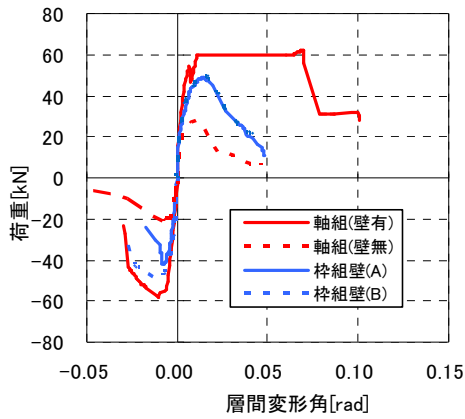


図 6 直線階段試験体包絡線の比較

直線階段を持つ軸組構法では、石膏ボードの有無によって耐力・変形性能に大きな違いが生じ、石膏ボードと階段が同じ面に配置されても耐力の加算が成立することが確認できる。一方、枠組壁工法では、2試験体の荷重変形曲線がほぼ同じとなり、石膏ボードビス間隔を変化させても、包絡線には大きな変化が生じていない。

表 1 各試験体の壁倍率と諸係数

	軸組 (壁有)	軸組 (壁無)	枠組壁 (A)	枠組壁 (B)
P_y	44.30	21.40	25.71	29.62
$0.2P_u$ $/D_s$	31.72	13.40	21.67	30.43
$2/3P_{max}$	40.10	18.69	32.51	33.44
$P_{1/150}$	51.84	23.42	37.37	35.74
D_s	0.33	0.38	0.41	0.30
P_a	31.72	13.40	21.67	29.62
壁倍率	2.96	1.25	2.02	2.77

直線階段試験体について、既往の実験結果も含め、壁倍率による評価を実施した。壁倍率と、壁倍率を決定する各数値を表 1 に示す。

表より、階段を壁倍率で評価すると、変形性能の項 ($0.2P_u/D_s$) で値が決定される傾向が強い。軸組構法の直線階段試験体は、石膏ボードを配置した場合、石膏ボードの耐力と階段の耐力との加算則が成り立つ事を示し、石膏ボードの壁倍率 (1.0 など) 以上であった。枠組壁工法では、壁倍率に違いが生じているが、これは枠組壁工法試験体 (A) では $1/30\text{rad}$ で実験を終了したためと思われる、石膏ボードのビスによって耐力が大きく変化しない可能性が高い。これは、図 4 b) で示す石膏ボードの割れにも関係するが、石膏ボー

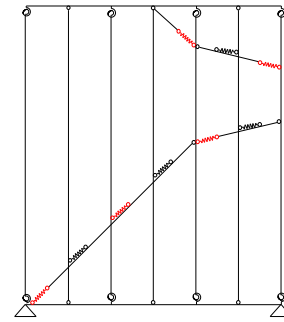


図 7 解析モデル

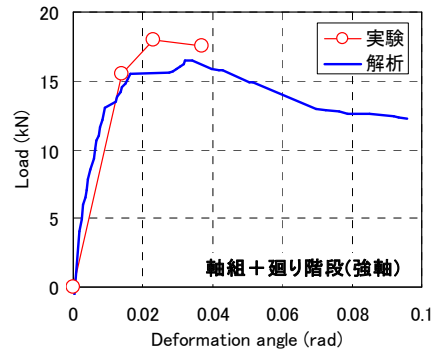


図 8 実験と解析の比較

ドのビスではなく、ポート自体のせん断によって最大耐力が決定しているものと考えられる。

実験結果に基づき、構造力学的モデル化を行った。モデル化は、側板の面外変形がないとした軸組-側板間のビス接合をバネ置換した剛性マトリクスによる増分解析である。解析モデルの一例として、軸組構法の廻り階段試験体の解析モデルを図 7 に示す。ビスのバネ置換には、要素実験より得られた荷重変位関係を用い、バネは側板の角度と並列とした。解析結果を図 8 に示す。

図 8 より、解析値の初期剛性が若干低いが、良い一致を示している。最大荷重では、解析値が実験値より 3kN 程高くなる傾向ではあるが、荷重低下も表現することができるなど、概ね追跡できることを確認した。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1 件)

1. Hidemaru Shimizu, Takuro Mori, and Hiroshi Isoda : A Study on the Influence of Non-Structural Member Timber Staircases on Seismic Performance, 15th World Conference on Earthquake Engineering, pp.4563_1-4563_8, Sep . 2012.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 秀丸 (SHIMIZU HIDEMARU)
一般財団法人 建築研究協会・研究員
研究者番号 : 7 0 3 7 8 9 1 7