

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5月24日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760534

研究課題名（和文） 中高層木造建築物の耐震性能の高度化を目的とした制振構造システムの開発

研究課題名（英文） Development of Energy Dissipation System for Mid-to-high-rise Wooden Structure

研究代表者

宮津 裕次（MIYAZU YUJI）

早稲田大学・理工学術院・次席研究員（研究院講師）

研究者番号：70547091

研究成果の概要（和文）：中高層木造建築物の構造形式として一般的に用いられる木質ラーメン構造のエネルギー吸収能力の向上を目的として、オイルダンパを仕口に方杖状に設置することで粘性減衰を付加する構法と、柱梁接合部に H 形鋼を用い H 形鋼の塑性化によってエネルギーを吸収する構法の 2 種類を開発した。何れの構法についても、実大試験体を用いた実験的検証と時刻歴応答解析による地震応答低減効果の解析的検証を通して、従来の構法と比較して耐震性能を大きく向上できることを明らかとした。

研究成果の概要（英文）：In this research, two types of energy dissipation structural systems are developed in order to enhance seismic performance of wooden frame structures. The one makes use of an oil damper mounted as a knee-brace to increase absorbing energy of the structure. The other system dissipates seismic energy due to plastic deformation of wide flange shapes which is used to connect wooden beams and columns. Through a series of experimental and analytical studies, it is confirmed that both of the structural system can improve seismic response of wooden frame structures subjected to strong ground motions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：建築耐震構造

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：木造建築物、制振構造、オイルダンパ

1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した時期は、国が森林保全を主な目的として「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」を制定した直後に該当する。それまでは、建築物への木材の利用はほぼ戸建て住宅等の小規模の建築物に限られていたが、上記法律の制定により、木造を主な構造材とする中層・高層の建築物が増加することが予想された。

中高層の木造建築物では、太径の集成材を柱梁材としそれらを金物等によって相互に接合する「木質ラーメン構造」により構造フレームを構築するのが一般的である。しかし、このような接合方法で構築された柱梁の接

合部は、地震動のような繰り返しの外力に対しては木材同士あるいは木材と金物との接触部で木材のめり込み変形が生じることが多い。木材に過度なめり込み変形が生じると、柱梁の接合部が緩んだ状態となり、耐震性能が大きく低下してしまうという短所がある。

よって、今後普及することが予想される様々な規模の木造建築物の耐震安全性を向上させるためには、上記の問題点に対応できる構造システムを早急に提案する必要があると考えた。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究では木質ラ

ラーメン構造の耐震性能を向上させることを目的として、木造に適した制振構造システムの開発を行った。

1に述べたように、一般的な木質ラーメン構造の柱梁接合部は地震動による繰り返しの荷重の作用によって緩みが生じるが、その結果、建築物全体のエネルギー吸収能力が大きく低下する。このような問題点を改善するためには、建物の繰り返しの変形に対しても安定してエネルギーを吸収できる機構を付加することや、あるいは柱梁接合部のディテールを工夫することでエネルギー吸収能力の高い構造とすることが合理的である。

よって本研究では、オイルダンパを設置することで粘性減衰を付加しエネルギー吸収性能を向上させる方法(図1)と、柱梁接合部をH形鋼により構成し鋼材の塑性変形を利用してエネルギーを吸収する方法(図2)の2種類の構造システムを提案し、解析と実験による性能検証を通じてより性能の高い仕様について検討を行った。

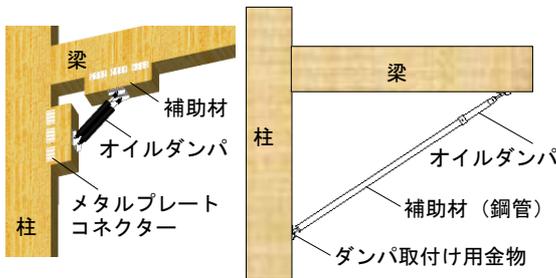


図1 柱梁仕口へのオイルダンパの設置

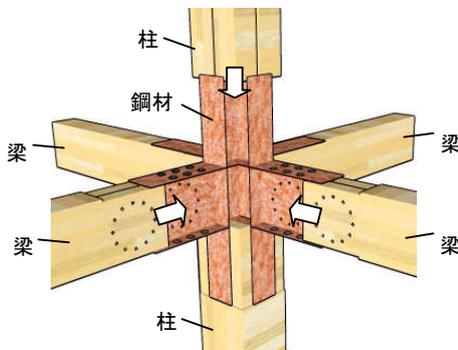


図2 柱梁接合部へのH形鋼の適用

3. 研究の方法

既往の研究において、中高層を想定した木造建築物の地震時の振動挙動を検討している例は少なかったため、本研究では初めに、中高層木造建築物の時刻歴地震応答解析を行い、その基本的な地震応答特性を明らかにすることとした。また、提案する2種類の構造システムを適用した木造建築物の地震応答解析を実施し、既往の構法を用いた建築物の地震応答との比較から提案する構造システムの優位性を検証するとともに、要求される性能を満足できるディテールの検討を行

った。なお、解析で得られる結果の信頼性を高いものとするためには、建物の荷重と変形の関係を精確に再現できる力学モデルを解析に用いることが重要であるため、解析に先立って木質ラーメン構造の柱梁接合部の載荷実験を行い荷重変形関係のデータを取得することとした。

2年目は、提案する構造によって製作した実大スケールの試験体の動的載荷実験を実施し、その耐震性能を確認するとともにさらなる性能向上を目的としたディテールの策定を行うこととした。

4. 研究成果

①オイルダンパを適用した構造システムに関する研究成果

はじめに、4階建ての木質ラーメン構造(図3)を対象に、①リリース機構付のオイルダンパを設置する場合と、②建物の剛性耐力を増加させる場合について時刻歴応答解析を行い、両者の地震応答性状を比較検討した。また、オイルダンパを設置する場合に十分な減衰性能を得るために必要な取り付け部材の剛性についても検討し、仕口に方杖状にダンパを設置することの妥当性を検証した。なお、解析では事前に実施した柱梁接合部の載荷実験の結果を模擬するように作成した力学モデル(図4)を使用した。入力する地震動の強さは極めて稀に発生する規模とした。

解析結果より、建物の剛性と耐力を1.5倍、2倍に増大させた場合には、層間変形は低減される場合はあるが傾向が安定しないこと、また加速度応答については剛性・耐力の増大に伴って増加してしまうことがわかった(図5)。一方で、オイルダンパにより粘性減衰を付加した場合には、加速度応答をほとんど増

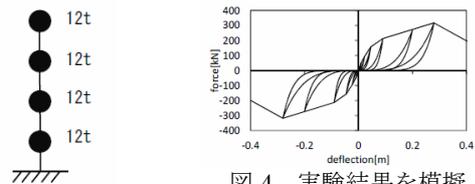


図3 解析モデル

図4 実験結果を模擬した荷重変形履歴

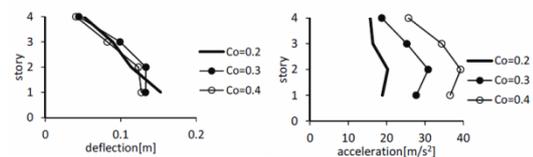


図5 剛性・耐力を増した場合
(左:層間変形、右:加速度)

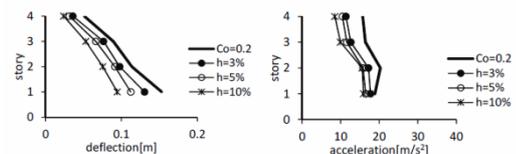


図6 オイルダンパを付加した場合
(左:層間変形、右:加速度)

大きさせることなく、付加するダンパの増加に比例して層間変形を低減できることが認められた(図6)。また、仕口に方杖状にオイルダンパを設置する場合には、オイルダンパの抵抗力による柱や梁材の曲げ変形が悪い影響を及ぼすことがあるが、解析結果より、最大抵抗力が15kN程度のダンパであればダンパ端部が仕口から60cmの位置(図7)となるように設置することで期待する効果が得られることが分かった。

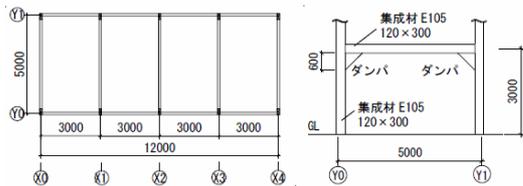


図7 ダンパの設置位置(単位:mm)
(左:平面図、右:軸組図)

次に、オイルダンパを適用する構造システムの具体的な構法として、これまでに研究代表者らが戸建て木造住宅用として開発してきた圧効きオイルダンパを利用する構法を提案し、実大試験体を製作してその性能検証実験を実施した(写真1)。圧効きオイルダンパは、全長35cmで重量9.8Nの小型軽量の制振装置である。特徴的なのは、ダンパが圧縮される時には最大15kN程度の抵抗力を発揮し、引っ張られる場合にはほとんど抵抗力を発揮しない特性を付与することで、木材へのダンパの取付けに要するビスの本数を大幅に低減できる点である。なお、木造住宅の場合には仕口から約30cmの位置に方杖状にダンパを取り付けることでもある程度の量を設置することで十分な減衰付加が可能であるが、木質ラーメン構造は一般に仕口が少ないため、同様の設置方法では十分な効果が得られない。そこで本試験体では、図1に示したように補助材として木材あるいは鋼管を用いて仕口からダンパの端部までの距離を延長させることで、1基のダンパによって付加される建物の水平抵抗力を増大するように工夫した。

実験は、初めに木材を補助材として用いた

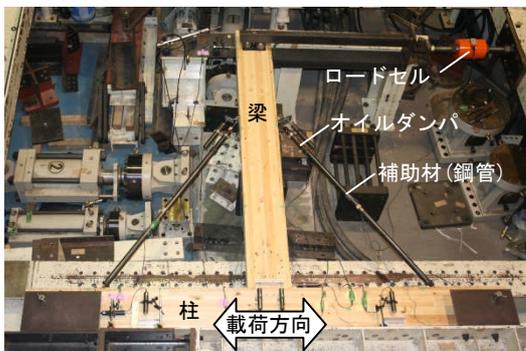


写真1 実大柱梁接合部の荷重実験の状況

試験体について実施した。実験結果から、ダンパを設置しない場合は、エネルギーの吸収性能を表す指標である等価減衰定数が5%程度であったのに対して、ダンパを設置することで20~30%に増大することが確認され、耐震性能を大幅に向上できることが分かった。しかし、木材を補助材とした構法では、仕口からダンパ端部までの距離を十分に長くすることが困難なため、十分な耐震性能を得るには未だに多くのダンパが必要となる点が課題として残った。よって、より有効な構法とするため補助材に鋼管を用いる方法を提案し同様の実験を実施した。その結果、鋼管を補助材とした場合にも安定したエネルギー吸収性能を発揮することが認められ(図8、図9)、また建物に必要なダンパ量は木材を補助材とする場合の1/5程度に低減できる結果が得られた。

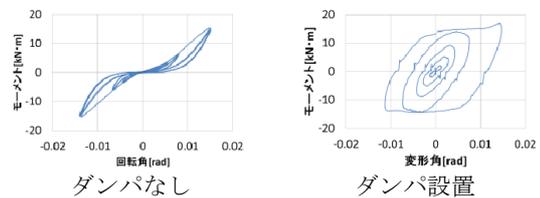


図8 実験で得た荷重変形関係

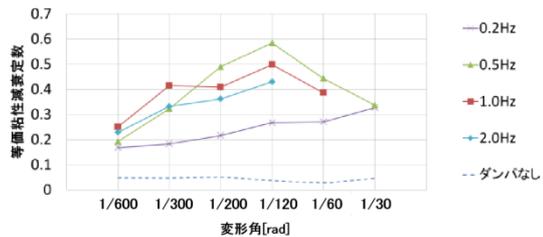


図9 等価減衰定数の比較

②H形鋼を用いた柱梁接合部の開発に関する研究成果

提案する接合部は、木材のめり込み降伏に先行して鋼材を降伏させることで、柱梁接合部のエネルギー吸収能力を向上させることを目的としている。そのため、鋼材が降伏しやすいようにH形鋼には軽量で薄い規格材(SS400, H-150×300×4.5×3.2)を使用し、さらにフランジ部分に適切に開孔することで降伏荷重を調整した。また、木材と鋼材との接合部で木材のめり込み降伏が生じないように、接合用のドリフトピンの直径を決定した。

考案した仕様の接合方法を用いた実大試験体を製作し荷重実験を実施した。試験体形状は柱梁を含むT型とし(図10)、写真1と同様の実験システムで荷重を行った。実験で得られた荷重変形関係から、提案する接合方法とすることで大変形時には鋼材の降伏が生じ、吸収エネルギーが大幅に増大することが認められた(図11)。また、パネルゾーンの変形が大きかったことからパネルゾーン

を補強した試験体を新たに製作し同様の実験を行ったところ、剛性を向上できる結果が得られた。しかし、何れの試験体においても小～中変形時のエネルギー吸収能力が、従来型の接合方法を用いた試験体と比較して大差が無かったことが初年度の課題として残った。

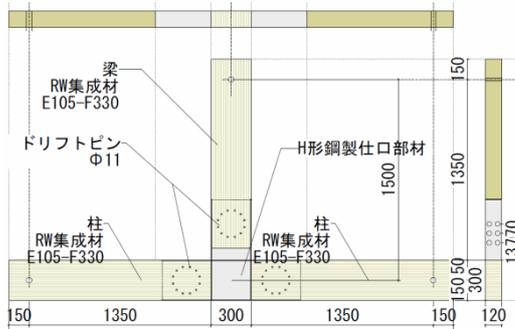


図 10 試験体の仕様(単位:mm)

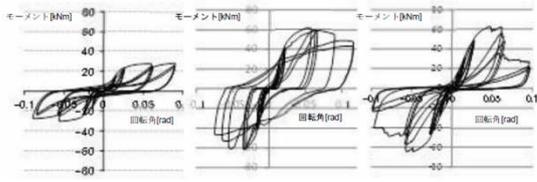


図 11 荷重変形関係の比較

よって2年目では、その点を改善するため、木材と鋼材との接合仕様を変更した試験体を製作し同様の実験検討を行った。具体的には、木材と軽量H形鋼はフランジと木材を貫通するように全ネジボルト(SNB7)を挿入し、ナット(S45C)によって締め付けて接合した。ナットで締めることによって、木材と鋼材との隙間を小さくすることができ、ガタの影響を低減することを意図した。なお、仕様変更後の力学性能はFEM解析によって事前に解析的に予測することで、実験回数を削減しつつより効果的な仕様を策定した(図12)。

仕様の改良により荷重変形履歴が全体的に紡錘形となり、小変形から大変形に至るまで高いエネルギー吸収性能を有する仕様とすることが出来た(図13)。また、木材と鋼材との接合部のガタを小さくすることができ、その結果、改良前の仕様の試験体と比較して、小変形時の剛性を向上できた。また、1/150rad程度の変形からH形鋼が降伏することで、小中変形時のエネルギー吸収性能を

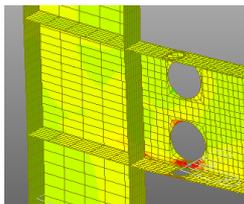


図 12 FEM 解析の例

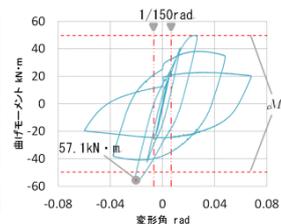


図 13 荷重変形関係

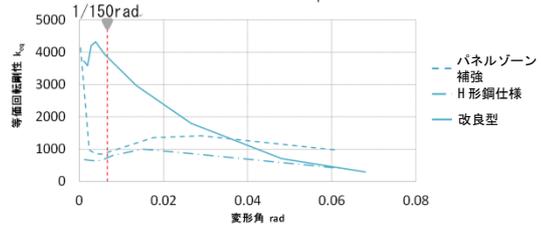


図 14 各変形での等価剛性の比較

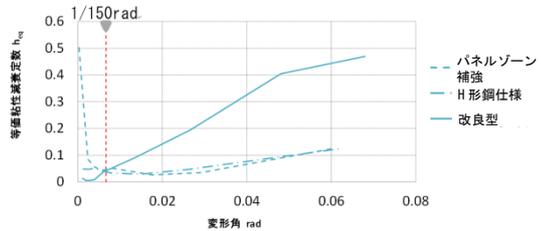


図 15 各変形での等価減衰定数の比較

大幅に改善できた。(図14,15)

以上より、本研究によって木質ラーメン構造を対象とした2種類の構造システムを開発した。いずれの構法もエネルギー吸収能力が高く、加速度応答を過大にすることなく変形を低減できることから、木質ラーメン構造の耐震性能を向上させることに有効な技術である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ①村上達彦、曾田五月也、津畑慎哉、宮津裕次、オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 (その3) 圧効きオイルダンパの設置方法の改善と効果検証、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ②津畑慎哉、曾田五月也、宮津裕次、有孔軽量H形鋼を用いた木質ラーメン柱梁接合方法の開発、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ③宮津裕次、曾田五月也、津畑慎哉、オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 その1 オイルダンパによる地震応答低減効果の解析的検討、日本建築学会大会(愛知)、2012年9月
- ④津畑慎哉、宮津裕次、曾田五月也、オイルダンパによる木質ラーメン構造の高減衰化に関する研究 その2 圧効きオイルダンパを用いた制振架構の強制載荷実験、日本建築学会大会(愛知)、2012年9月
- ⑤内田郁子、曾田五月也、宮津裕次、高靱性H形鋼仕口を有する木質ラーメン構造の開発、日本建築学会大会(愛知)、2012年9月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮津 裕次 (MIYAZU YUJI)

早稲田大学・理工学術院・次席研究員 (研究院講師)

研究者番号 : 70547091