

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 鋼材を利用した制震デバイスの開発とその実用化に向けた検討

Developments of Energy Dissipating Steel Fuses and Studies on Their Practical Application

氏 名 萩野谷 学

論 文 内 容 の 要 旨

近年、地震時における建物の安全性を向上させることは当然のこととして、更に、地震後も地震前と同じ機能性を実現させることを想定した制震構造が注目され、数多くの制震部材が開発されている。しかし、制震構造とした構造物は、法整備に後押しされて増加傾向にあるものの構造物全体数から見ると少ない。その理由は、制震部材の性能確保はできているものの、施工面や製作面に配慮している制震部材が少ないことが挙げられる。つまり、これまでに数多く開発されている制震部材の多くは、施工面や製作面に配慮しているとは言い難く、どちらかといえばオリジナル性を追求し、そのため制震部材の形状が複雑化しコストにも影響している傾向にある。なかでも鋼材を利用した履歴型ダンパーはその傾向が強い。こういった状況が制震構造の普及を足踏みさせていると言える。

したがって、今後、要求される構造物は、限られた財源のもとで効率的・効果的な社会資本整備を念頭に置き、構造物をできる限り長寿命化することであるため、こうした問題点を改善した制震部材がますます要求されるものと考えられる。すなわち、制震部材の性能を保障した上において、安価であり、かつ、製作面・施工面に配慮した制震部材を開発することは重要であり、こういった制震部材を開発することによって、構造物に対して地震が起こった後も建築物を利用可能とする「機能維持」までを想定した構造物の設計や提案を行うことが可能になる。

そこで、本研究は長寿命化を意識したストック型社会への対応として、建築構造物が地震後も機能維持できるようにするための技術の一つである制震構造をこれまで以上に普及させるために、制震構造に不可欠である制震部材の研究を行ったものである。特に制震設計において信頼性が高く、制震部材の中でもコストパフォーマンス良く実用化された例も多い鋼材系の履歴型ダンパーを対象として行ったものである。具体的には、制震部材の製作面や制震部材を取付ける施工面に配慮した簡単な形状にすることを念頭に置き、新築の建築物或いは既存建築物の構造性能を向上させる制震部材として、軸型の座屈拘束ブレースである鋼棒ダンパーとせん断型のパネルダンパーを提案した。また、これらのダンパーを提案した背景としては、軸型のダンパーはこれまでに数多くの座屈拘束ブレースが研究され実用化に至っているが、座屈拘束ブレースの軸材には、形鋼や鋼管を使用した場合がほとんどである。さらに、軸材の材料には低降伏点鋼を使用している場合が多い状況にある。一方、座屈拘束ブレースの軸材に鋼棒を使用し、軸材の材料に 400N/mm^2 の鋼材を使用した研究は比較的少ない。さらに、低層から高層といった建物に適用できる、軸材に鋼棒を使用した座屈拘束ブレースの研究は比較的少ない。また、せん断型

のダンパーは、一般的に周辺架構の中間に間柱を施工し、その間柱の間にパネルダンパーを設置することが多い。この場合、パネルダンパーを用いることで建物全体はパネルダンパーのせん断変形によるエネルギー吸収のみを許容し、かつ、周辺架構自体もせん断変形のみを許容する変形モードになるように配慮しなければならない。しかしながら、ダンパーを設置するための接合部を完全固定にした場合にはダンパーの変形に伴って軸力が発生することが考えられる。特に、耐震補強に使用する場合にはダンパーの性能や配置によっては、発生した軸力が既存建築物の骨組み（柱や梁）に影響を与える可能性がある。これまでに行われている研究では、ダンパーの変形に伴ってパネルは軸力を負担するものの、降伏後においては軸力の負担が小さくなり、パネルダンパーの性能に対して影響が小さいと報告されているが、これらの研究においてもダンパーの変形に伴い、若干ではあるが軸力が発生している。さらに、パネルのせん断変形に伴って発生する軸力が周辺部材に影響を与えないようにするダンパー形式の研究は比較的少ない。こうした状況を踏まえて、本研究では軸系とせん断系のダンパーを提案した。また、本研究で提案したダンパーの特徴については、軸型の鋼棒ダンパーは軸力を伝達する芯材が鋼棒となっており、この部分が軸方向に降伏することによって地震時のエネルギーを吸収する。さらに、地震時の大変形においては、鋼棒ダンパーを構成している隙間調整材と補剛管が、芯材である鋼棒に生じる座屈現象を抑制する。また、芯材に一般的な鋼棒を用いていることから、形鋼に比べて形状を細くすることができるため、比較的狭い個所への設置が可能になること、制震部材の軽量化にも繋がり施工性が良くなることが期待できる。さらに、鋼棒ダンパーは簡単に組立てられることを想定している。よって、鋼棒ダンパーは現場での組立てが可能になり、納品時の輸送やダンパーの交換において効率的な対応が期待できる。一方、パネルダンパーは建築構造物の架構面を極力塞がずにダンパーを設置する間柱型に適用することを想定している。また、パネルダンパーを構成しているパネル材には、これまでのパネルダンパーと同様に低降伏点鋼材を使用し、パネル材のせん断変形によってエネルギーを吸収する機構であるが、既存のパネルダンパーと異なり、パネルダンパーを取付ける接合部が凹凸状の鋼材を噛み合わせた形状となっている。この形状を有することでダンパーの変形に伴って発生する軸力を緩和することが可能になり、周辺架構の梁に対する影響を小さくすることができる。さらには、提案する接合部は上下にクリアランスを設けていることから、ダンパーを設置する際の施工誤差を吸収できることや、パネルダンパーを設置する際のボルトを締付けることによる軸力の影響が無いことが特徴として挙げられる。

本論文は、提案するダンパーを制震構造に適用できるようにすることを目的として、静的実験と数値解析を通して、それぞれのダンパーに対して性能検証を行い、提案したダンパーの力学特性を明確化するとともに、履歴型ダンパーとして建物に適用した場合の有効性について評価した。

本論文は、全7章により構成されている。第1章では、本研究の背景、履歴型ダンパーに関する既往の研究および研究目的について述べている。第2章では、本研究で主として扱っている制震工法の概要や分類、そして、研究の対象として提案した軸型とせん断型の履歴型ダンパーの特徴および構成概要、各構成部材の機能について述べている。第3章では、提案した鋼棒ダンパーの形状を確定するために行った縮小実験および確定した形状を対象とした実大実験を行っている。そして、実験データを元に復元力特性、軸剛性、耐力上昇率および塑性変形能力、履歴吸収エネルギーと等価減衰定数について詳細な検討を行い、制震部材としての有効性を評価している。また、行った実験を再現した解析モデルによって FEM 解析を行い、実験結果と解析結果の比較検討、さらに、実験で得られた不明な点についての分析を行っている。第4章では、パネル材の形状として縦横比を 1:1 とした場合のパネルダンパーを対象として、提案する接合部形式を採用した場合と採用しない場合の試験体に対して行なった静的実験を行っている。そして、実験データを元に提案する接合部形式を採用した場合と採用しない場合の実験結果に対して、復元力特性、パネルダンパーの性能値、発生軸力の比較検討を行い、提案する接合部形式を採用した場合の有効性について評価を行うとともに、実験を再現する解析モデルによって FEM 解析

を行い、実験結果と解析結果の比較検討、さらに実験で得られた不明な点についての分析を行っている。第5章では、提案した鋼棒ダンパーおよびパネルダンパーの履歴モデルの検討を実施した。具体的には、鋼棒ダンパーについては実験結果を踏まえて鋼棒ダンパーの復元力特性を完全弾塑性型と仮定し、既往の履歴モデルを用いて応答解析を行い、その結果を実験結果と比較し鋼棒ダンパーの履歴モデルの妥当性について検討している。また、パネルダンパーについては実験結果を踏まえて提案するパネルダンパーの復元力特性として、材料の歪硬化の影響によって繰り返すごとに耐力が上昇することを考慮した既往の履歴モデルを用いて応答解析を行い実験結果と比較し、提案するダンパーの履歴モデルの妥当性について検討している。そして、提案したそれぞれのダンパーに対して行なった応答解析結果の考察を通じ、既往の履歴モデルを用いて設計を行う有効性について論じている。第6章では、実際の建物に本研究で提案した鋼棒ダンパーとパネルダンパーを制震要素として組み込み地震応答解析を行っている。具体的には、実建物を想定した主架構モデルを作成し、架構のみのモデルと架構に制震部材として提案する鋼棒ダンパーとパネルダンパーを組み込んだモデルに対してそれぞれ地震応答解析を行い、本研究で提案した鋼棒ダンパーとパネルダンパーの制震効果と制震設計に用いる際に使用する履歴モデルの妥当性について検討を行っている。さらに、その結果を踏まえて、本研究で提案した鋼棒ダンパーとパネルダンパーの有効性について述べている。第7章では、本研究で得られた知見を要約し、本研究の総括的な結論を示すとともに今後の課題について述べている。

これらの一連の研究における様々な検討を通して、提案した鋼棒ダンパーとパネルダンパーが履歴型ダンパーとしての可能性、有効性、適用性を示すことによって、建物に組み込む構造的価値のある制震部材として適用可能であることを明らかにした。さらに、提案した鋼棒ダンパーとパネルダンパーは、制震工法に対する今後の制震建物の普及に繋がる実設計への適用に向けて、必要となる基礎的データの蓄積を行った。