

# 論文の内容の要旨

氏名：波 田 雅 也

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：折返し式ブレースの構造特性に関する研究

鉄骨造建物では、柱梁接合部を剛接合としたフレームに耐震ブレースを設置したブレース構造が広く採用されている。ブレース構造は、フレームのみで構成される純ラーメン構造に比べて少ない鋼材量で剛性や耐力を確保でき、合理的かつ経済的な設計を志向できる。しかし、従来の耐震ブレース（以下、従来ブレース）の軸降伏変位は小さく、層間変形角  $R=1/500\text{rad}$  程度の変形レベルで早期に降伏（または座屈）する。一方、柱梁フレームは、一次設計用地震力に対する変形制限である  $R=1/200\text{rad}$  程度まで十分弾性であることが多く、 $R=1/500\text{rad}$  の変形レベルではフレーム耐力が十分に発揮されない。そのため、従来ブレース構造は、部材の降伏を許容しない 1 次設計において地震力の大部分をブレースが負担しなければならず、結果的にブレースを多量に配置する必要がある。したがって、建物の外観や機能面が優先されブレースを少量しか配置できない場合は、従来ブレースを用いたブレース構造を断念して純ラーメン構造を採用せざるを得ないケースが多いという課題があった。

この課題を解消するためには、弾性範囲の広いブレースが有効である。これまでに、鋼材に比べてヤング率の小さなアルミニウムを用いたブレースや、降伏強度の大きな高強度鋼材を用いたブレースが実用化されている。しかし、特殊な材料を用いるが故にコストが高く、また接合方法の制約があること等から、いずれも十分に普及しているとは言い難い。

そこで、普通強度の鋼材でもブレースの弾性範囲を広くでき、 $R=1/200\text{rad}$  程度の変形レベルまで降伏しない“折返し式ブレース”（以下、折返しブレース）が考案された。折返しブレースとは、断面の異なる 3 本の鋼材（内側から芯材、中鋼管、外鋼管）による 3 重構成で、各鋼材を両端のエンドプレートを通じて一筆書きの要領で折り返して直列接合することにより、実際の部材長さを見付けの部材長さ  $(L)$  の約 2.5 倍  $(2.5L)$  に長くしたブレースである。

折返しブレースは、部材長さに比例して軸降伏変位が約 2.5 倍増大するとともに、芯材と中鋼管に作用する軸力の向き（圧縮・引張）が互いに反転することで、芯材（圧縮材）の全体座屈を中鋼管（引張材）が拘束する効果を有する。この折返しブレースを鉄骨造建物に設置することで、従来ブレースでは困難であったブレース材の少量配置が可能となり、1 次設計レベルからフレーム耐力が有効に発揮される合理的なブレース構造が実現する。

本研究は、折返しブレースの「部材構造特性」と、折返しブレースを鉄骨造建物に設置したときの「建物構造特性」の 2 項目を明確に示すことを目的とする。

本論文は、全 6 章で構成している。以下に、各章の概要を記す。

## 第 1 章 序論

第 1 章では、本研究の経緯と目的、および論文の構成を示す。まず、鉄骨造建物におけるブレース構造の現状と課題、弾性範囲の広いブレース（梁曲げ降伏を先行させる偏心ブレースを含む）に関する既往研究について整理する。そのうえで、折返しブレース特有の「部材構造特性」である軸降伏変位の増大と座屈拘束効果の概要について示し、折返しブレースの新規性を明確にする。つぎに、折返しブレースを用いた鉄骨造建物の「建物構造特性」を概念的に整理し、ブレースの少量配置が可能となること、1 次設計レベルからフレーム耐力を有効に発揮させた合理的なブレース構造が実現し得ることを示すことで、折返しブレースの有用性を明らかにする。

## 第 2 章 折返しブレースの実大実験

第 2 章では、折返しブレースの実大実験より、折返しブレース特有の部材構造特性（軸降伏変位の増大、座屈拘束効果）を明らかにする。試験体は、H 形鋼芯材（H-175×175×7.5×11.0, SN400B）を用い

た降伏軸力 1600kN 程度の折返しブレースを 1 体、比較用として同じ H 形鋼芯材を単体で用いた一般的なブレース(芯材単体ブレース)を 1 体の計 2 体とする。実験方法は、柱梁架構を模擬した載荷装置に取付け角度 45 度で設置した状態で、正負交番の繰り返し漸増載荷とする。実大実験の結果、折返しブレースの軸降伏変位は芯材単体ブレースに比べて約 2.5 倍に増大し、層間変形角  $R=1/200\text{rad}$  程度の変形レベルまで弾性挙動を示すことを確認した。また、折返しブレースは、座屈拘束効果によって圧縮・引張とも芯材が軸降伏し、引張耐力と同等の圧縮耐力を発揮するとともに、軸降伏後も圧縮側で全体座屈することなく、 $R=1/50\text{rad}$  の変形まで概ね安定した紡錘型の履歴を示すことを確認した。

### 第 3 章 座屈拘束メカニズムの検討

第 3 章では、芯材(圧縮材)の全体座屈を中鋼管(引張材)が拘束するという折返しブレース特有の座屈拘束メカニズムを明らかにする。まず、圧縮軸力が作用して横たわみ(全体座屈)しようとする芯材と、それを拘束する中鋼管の関係を表す力学モデルを示し、力の釣合い条件について整理することで、「折返しブレースが全体座屈しない軸力の限界値(以下、これを限界軸力  $N_c$  と称す)」の算定式を導出する。 $N_c$  算定式は、中鋼管の断面特性値(降伏軸力  $N_y$ 、降伏曲げモーメント  $M_y$ )と、芯材と中鋼管との隙間  $s$  を用いた陽な形で表される。 $N_y$  と  $M_y$  が大きいほど、また  $s$  が小さいほど、 $N_c$  は大きくなる。つぎに、導出した  $N_c$  算定式の妥当性を検討するために、芯材と中鋼管の関係を模擬し、 $s$  のみを変数として単調圧縮載荷した要素実験を行う。要素実験の結果、限界軸力  $N_c$  の算定式による計算値が、要素実験で得た実験値とよく対応することを示し、導出した  $N_c$  算定式の妥当性を確認した。

### 第 4 章 折返しブレース構造建物の性能に関する検討

第 4 章では、純ラーメン構造、従来ブレース構造および折返しブレース構造建物を比較・検討し、折返しブレース構造建物の耐震性能や経済的な優位性を明らかにする。まず、鉄骨造建物の基本性能が 1 層 1 スパンに模擬した単純モデルで把握できるものと仮定し、フレームの耐力および降伏変形をパラメトリックに変化させて、純ラーメン構造、従来ブレース構造および折返しブレース構造建物の基本性能を比較する。このとき、従来ブレースは層間変形角  $R=1/500\text{rad}$  で降伏し、折返しブレースは  $R=1/200\text{rad}$  で降伏するものとする。その結果、折返しブレースを適用すれば、1 次設計レベルの耐力・剛性の不足分のみを負担するブレースを設置すればよく、従来ブレースでは困難な少量配置が可能となって合理的に耐震性能を確保できることを確認した。つぎに、5 層 5×2 スパン鉄骨造建物を対象とした試設計スタディを行い、折返しブレース構造建物の建物構造特性ならびに経済的な優位性について検討する。その結果、折返しブレース構造とすることで、保有水平耐力が同程度の純ラーメン構造に比べて、ブレースの水平力分担率に応じて総鋼材量が低減できることを確認した。また、立体骨組モデルの時刻歴応答解析を実施した結果、折返しブレース構造の最大応答値は純ラーメン構造と同程度の値であることを確認した。

### 第 5 章 鉄骨造建物への適用とその効果の確認

第 5 章では、実際の 8 階建て鉄骨造事務所ビル新築工事に折返しブレースを適用し、その効果を確認することで、折返しブレースの実用的価値を明らかにする。まず、実建物の設計概要を示し、折返しブレースを適用することで従来ブレースでは成立しないブレース配置(少量かつ偏心配置)が実現すること、同等の保有水平耐力を有する純ラーメン構造建物と比較して総鋼材量が約 20%削減することを確認した。また、実建物の設計・施工を通じて、部材設計や製作および建方に特殊性は無く、容易に施工可能であることを確認した。さらに、実建物に適用した折返しブレースの構造実験を行い、設計時に想定したとおりの部材構造特性を有することを確認した。

### 第 6 章 結論

第 6 章では、各章で示した検討項目ならびに研究成果を総括する。