

論文審査の結果の要旨

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

審査委員：（主査） 教授 北 嶋 圭 二

（副査） 教授 福 井 剛

名誉教授 安 達 洋

元教授 中 西 三 和

本研究は、鉄骨造建物の耐震要素であるブレース部材の弾性限変位である軸降伏変位を増大し、建物の一次設計用地震力に対する変形制限である層間変形角 $1/200\text{rad}$ 程度の変形レベルまで軸降伏しない“折返し式ブレース”（以下、折返しブレース）という独自に考案された部材と、その折返しブレースを設置した鉄骨造建物の構造特性に着目した研究である。

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）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したブレース部材である。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)に長くなり軸降伏変位が約2.5倍増大するという軸降伏変位増大効果と、3本の鋼材各々に作用する軸力（圧縮・引張）が互いに反転し、芯材（圧縮材）の全体座屈を中鋼管（引張材）が拘束するという座屈拘束効果という2つの特有な部材性能が発揮される。この折返しブレースを鉄骨造建物に設置することで、従来の耐震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している。

提出者は、このような特長を有する折返しブレースを研究対象として、軸降伏変位の増大効果と座屈拘束効果という特有の「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項目を理論的かつ実験的に明確にすることを目的として本論文をまとめている。

まず、第1章「序論」では、本研究の経緯と目的、および論文の構成を示すとともに、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している。その上で、折返しブレース特有の「部材構造特性」である軸降伏変位増大効果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している。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、ブレース材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により、折返しブレースの有用性（実用的価値）を明確にしている。既往の研究をよく調査し、本研究の対象である折返しブレースの新規性と有効性を明確にしている点で評価できる。

第2章「折返しブレースの実大実験」では、従来ブレースと折返しブレースの実大スケールの試験体に対する加力実験を実施し、両試験体の実験結果の比較から、第1章で示した折返しブレース特有の「部材構造特性」を実験的に検証している。限られた条件下での検証ではあるが、実大スケールの試験体の加力実験により、第1章で概念的に示された折返しブレース単体の「部材構造特性」が明確に検証されており、有用な実験結果であると考えられる。

第3章「座屈拘束メカニズムの検討」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理論的に明確にし、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用いて力の釣合い条件より「折返しブレースが全体座屈しない限界軸力」の算定式を導出している。また、導出した限界軸力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た要素実験を実施し、想定した座屈拘束メカニズムと算定された限界軸力が、要素実験結果とよく対応することが示されている。導出された算定式は、近年に普及してきている座屈拘束ブレースの限界軸力算定式との整合性がよく考慮されてお

り、拘束材に圧縮材と同じ引張軸力が作用する折返しブレース特有の座屈拘束効果が算定式上においても明確になっていることが非常に有益であり、一般性を有している算定式となっていること、境界条件等、非常によく考えられた精緻な要素実験により、想定した座屈拘束メカニズムと限界軸力算定式の妥当性を実験的に検証していることが高く評価できる。

第4章「折返しブレース構造建物の性能に関する検討」は、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」を明確にするために実施された解析的な検討と、5階建て鉄骨造建物を対象とした設計ケーススタディー結果についてまとめたものである。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、フレームおよびブレースの耐力および剛性をパラメトリックに変化させて比較・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している。また、設計ケーススタディーでは、5階建て鉄骨造建物を対象とした試設計を行い、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している。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、ブレース負担率に応じて総鋼材量が低減できることが確認できること、また、立体骨組モデルの時刻歴応答解析を実施し、折返しブレース構造の最大応答値は純ラーメン構造とほぼ同程度の値であることが確認されており、限られたケースではあるが、折返しブレース構造建物の有効性が明らかにされている点が評価できる。

第5章「鉄骨造建物への適用とその効果の確認」では、実際の8階建て鉄骨造事務所ビル新築工事の設計と施工に折返しブレースを適用し、従来ブレースでは設計上成立しないブレースの少量配置かつ偏心配置が成立し、同等の保有水平耐力を有する純ラーメン構造建物より総鋼材量削減され、経済的に有利であったこと、また、実建物の設計・施工を通じて、部材設計や部材の製作および建方に特殊性はなく容易に施工可能であったことを確認している。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、設計時に想定した通りの部材構造性能を有していることを確認しており、折返しブレースを適用することで合理的な鉄骨造建物の実現が可能であることを明示している。

第6章「結論」では、各章で示した検討項目ならびに研究成果を総括している。

以上、本論文は合理的な鉄骨造建物の実現を目指し独自に考案された折返しブレースの「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項目を理論的かつ実験的に明確にまとめたものであり、合理的な鉄骨造建物の実現に大いに貢献する内容の論文であると考えられる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和2年 2月 20日