

令和元年6月3日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18914

研究課題名（和文）制振構面における合成梁の応力伝達による崩壊メカニズムの解明

研究課題名（英文）Elucidation of Collapse Mechanism due to Stree Transfer of Compsite Beams in Damping Frames

研究代表者

木村 祥裕（Kimura, Yoshihiro）

東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授

研究者番号：60280997

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：制振構面において合成梁の負曲げにより作用する軸力は、ダンパーから作用する軸力に累加され、鉄骨梁の塑性変形能力をさらに低下させる可能性があることから、負曲げ時のスタッドとコンクリートスラブの応力伝達機構を解明することは重要となる。そこで、本研究では制振構面における合成梁の負曲げ時のスタッドとコンクリートスラブ間の応力伝達機構を解明し、負曲げにより鉄骨梁に作用する軸力の予測式を構築するために、曲げせん断を受ける床スラブ及びスタッドの応力伝達機構の解明及び制振構面床スラブ付きH形鋼梁の部分架構モデルによる弾塑性大変形解析と合成梁の作用圧縮軸力評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

成梁に曲げが作用する際、コンクリートスラブの有効幅に関する検討は、合成梁の負曲げ時の挙動を把握する際に重要となる。本研究では、合成梁に負曲げが作用するときの挙動を載荷実験及び詳細解析モデルにより検討し、コンクリートスラブの材長方向への有効幅の分布、スタッドとコンクリート間の応力伝達機構を明らかとする。得られた結果を踏まえ、合成梁に負曲げが作用した際の鉄骨梁への圧縮軸力評価式を構築することができ、将来的には設計法の高度化につなげることができる。

研究成果の概要（英文）：In the design of steel structures, composite effects by stud shear connectors are generally measured using ordinary push-out tests. Furthermore, based on those results, the evaluation formulae of the ultimate shear strength are constructed in the design guidelines. However, a concrete slab is subjected to reversed stress during an earthquake, whereas existing tests consider only compressive stresses on the concrete. The mechanical behavior in existing structures thereby might be different from those under compressive force alone. This research therefore proposes a component model in composite beam modeling the stress in actual buildings. In conclusion, results show that the ultimate shear strength is considerably lower than that under compressive stress. Consequently, this report presents equations to assess structural performance precisely considering various influential factors of composite structures.

研究分野：耐震構造

キーワード：スラブ スタッド系 制振構面 載荷実験 数値解析 スタッド コンクリートスラブ 応力伝達機構
合成効果

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

合成梁に負曲げが作用した場合には、コンクリート及び鉄筋が引張軸力を負担するため、中立軸が鉄骨梁単体の中立軸よりも上に移動し、コンクリートスラブ下の鉄骨梁には圧縮軸力が生じる。通常のラーメン骨組では、負曲げにより作用する圧縮軸力は、鉄骨梁の降伏軸力の数パーセントであるため、梁の保有性能に及ぼす影響は小さいと考えられる。そのため、各種合成構造設計指針・同解説においても、負曲げにより鉄骨梁に作用する圧縮軸力に関して言及されていない。その一方、制振構面においてダンパーが取り付けられた梁では、ダンパーから作用する圧縮軸力に合成梁の負曲げにより作用する圧縮軸力が上乗せされるため、鉄骨梁の保有性能をさらに低下させる。

制振構面の梁を対象に、交番繰り返し軸力を受ける H 形鋼梁単体の繰り返し載荷実験を行い、作用軸力を考慮した最大耐力比、塑性変形能力、累積塑性変形能力の評価式を構築した。一方で、塑性変形能力の算出に必要な、制振構面の合成梁に負曲げが作用した際の圧縮軸力の評価はこれまでに行われていない。制振構面における合成梁をコンクリート床スラブと鉄骨梁に分解する方法を採用し、鉄骨梁の塑性変形能力を明らかにする。

2. 研究の目的

地震に対して建物応答および損傷を軽減できる制振架構は、鋼構造建物に最も多く用いられている。制振架構に設置される座屈拘束ブレース（ダンパー）は、紡錘型の安定した弾塑性履歴性状を示し、座屈により耐力劣化やピンチングが生じる従来の耐震ブレースに比べて、建物に大変形が生じた場合であっても安定してエネルギーを吸収し続ける。制振構面には比較的大容量のダンパーを設置することから、梁にはダンパー力の水平成分が大きな軸力として作用する。実建物において、ダンパーから作用する軸力は、梁降伏軸力の 30% ほどに達する場合もある。

一般的に、制振鋼構造における設計時の静的増分解析及び地震応答解析では剛床仮定が用いられ、梁には軸力が作用しないものと考えられているものの、合成梁に負曲げモーメントが作用すると、スラブ下の鉄骨梁に圧縮軸力が生じる。通常のラーメン骨組では、負曲げにより梁に作用する圧縮軸力は、鉄骨梁の降伏軸力の数パーセントであるため、梁の保有性能に及ぼす影響は小さい。しかし、制振構面において合成梁の負曲げにより作用する軸力は、ダンパーから作用する軸力に累加され、鉄骨梁の塑性変形能力をさらに低下させる可能性があることから、負曲げ時のスタッドとコンクリートスラブの応力伝達機構を解明することは重要となる。本研究では制振構面における合成梁の負曲げ時のスタッドとコンクリートスラブ間の応力伝達機構を解明し、負曲げにより鉄骨梁に作用する軸力の予測式を構築する。

3. 研究の方法

(1) 曲げせん断を受ける床スラブ及びスタッドの応力伝達機構の解明

合成梁の負曲げ時には曲げモーメントとせん断力の組合せ力がスタッド及びコンクリートスラブに作用するものの、コンクリートによるスタッドの剛性・耐力は、せん断力のみを対象とした従来の押し抜き試験では評価できない。そこで、床スラブの応力伝達機構を再現するために、曲げせん断を受ける床スラブと鉄骨梁で構成される要素試験体を試作し、コンクリートスラブとスタッド間の詳細な応力伝達メカニズムを明らかにする。

(2) 制振構面床スラブ付き H 形鋼梁の部分架構モデルによる弾塑性大変形解析と合成梁の作用圧縮軸力評価

曲げせん断実験より得られた応力伝達メカニズムを元に、鉄骨柱 - 合成梁 - ダンパーからなる部分架構モデルを構築し、ダンパーから鉄骨梁に作用する軸力がスタッドを介し、コンクリートスラブに伝達されるまでの応力伝達経路と合成効果により負曲げ時に鉄骨梁に作用する軸力を明らかにする。圧縮軸力を受ける鉄骨梁のみの載荷実験結果及び数値解析結果を踏まえ、制振構面における合成梁の負曲げ時に作用する圧縮軸力評価式を構築する。

4. 研究成果

(1) 曲げせん断を受ける床スラブ及びスタッドの応力伝達機構の解明

合成梁に負曲げが作用した際、スタッド及びコンクリートスラブには、曲げモーメントとせん断力の組合せ力が作用するため、スタッドの剛性・耐力はせん断力のみを対象とした従来の押し抜き試験では評価できない。そこで、実現象を再現した曲げせん断を受ける床スラブの実験モデルを構築した。試験体は、架構の一部を取り出した、4点曲げ試験であり、コンクリートスラブは面外方向へ半スパン分の幅を有する。面外方向のコンクリートスラブの境界条件は、実建物における他構面との梁の連成効果を踏まえ、ピンローラー支持とした。載荷実験は、2本の鉛直ジャッキを用いて試験体に負曲げを作用させることを行い、パラメータはスタッド剛性、スタッド耐力、スラブ強度である。

スタッド剛性は、コンクリートスラブが弾性時とコンクリートスラブがひび割れ後の耐力劣化時で異なると考えられる。そのため、コンクリートとスタッド間の応力伝達機構を解明し、コンクリートスラブとスタッドの支圧効果及び合成効果の評価を行うことで合成梁の負曲げ作用時の詳細な履歴モデルを構築した。また、合成梁に負曲げが作用した際の鉄骨梁への圧縮強度は、コンクリートスラブの引張力の負担量に依存するため、コンクリートスラブが負担する応力の幅方向の範囲（有効幅）とその分布、有効幅の材長方向への分布について検討する必要がある。そこで、コンクリートスラブの有効幅に対してスタッド剛性、スタッド耐力、コンクリートスラブ剛性の違いが与える影響をコンクリートスラブの材長方向及び面外方向に貼付したひずみゲージから得られるひずみ分布により明らかにした。

(2) 制振構面床スラブ付き H 形鋼梁の部分架構モデルによる弾塑性大変形解析及び載荷実験と合成梁の作用圧縮軸力評価

制振構面において床スラブが取りつく鉄骨梁の応力伝達機構を、写真 1 に示す実建物における合成梁をモデル化した詳細な数値解析モデルによって明らかにする。数値解析は、3次元有限要素法による弾塑性大変形解析である。既往の研究では鉄骨梁と床スラブを梁要素とし、スタッドを介して応力伝達した実用的なモデルが提案されているが、床スラブの幅方向の（平面的な）応力分布やスタッドの降伏後の応力伝達機構は必ずしも明らかにされていない。

そこで、鉄骨梁を 4 節点シェル要素、コンクリートスラブを 8 節点ソリッド要素、スタッドを 8 節点ソリッド要素、ダンパーを 4 節点シェル要素で構成し、スタッドをコンクリートに埋め込み拘束することで合成梁を再現した。材料特性は、鉄骨梁、鉄骨柱、ダンパーを複合硬化則、コンクリートスラブをひび割れによる耐力劣化を考慮した応力-歪関係により与えた。また、載荷実験については数値解析と同様の試験体を製作した。数値解析より、載荷実験で網羅できないパラメータについても、載荷実験で計測できないスタッドの高さ方向への負担せん断力の分布やコンクリートスラブとスタッド間の支圧力などの詳細なデータを明らかにした。曲げせん断実験より得られた履歴性状を適用しながら、ダンパ

ーから梁に作用する軸力がコンクリートスラブに伝達されるまでの応力伝達機構と合成効果により負曲げ時に鉄骨梁に作用する軸力をスタッド剛性・耐力,鉄骨梁曲げ剛性・耐力,ダンパー軸力比等のパラメータに対して明らかにした。得られた解析結果を用いて,合成梁に負曲げが作用した際の圧縮軸力評価式を構築した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 3件)

- (1) 阿部叶子, 鈴木敦詞, 木村祥裕: 交番繰り返し軸力を受ける短スパン H 形鋼梁の塑性変形能力, 日本建築学会東北支部研究報告集構造系, 第 81 号, pp.73-76, 2018.6
- (2) 古川幸, 木村祥裕: 定着鉄筋を施した層中間ピン柱脚接合部のせん断力耐力評価, 日本建築学会東北支部研究報告集構造系, 第 81 号, pp.81-84, 2018.6
- (3) Sachi Furukawa, Yoshihiro Kimura, Katsunori Kaneda and Akira Wada: Shear Behavior of Connection between Steel and Reinforced Concrete Members Adopting a New Column Base System Allowing the Steel Moment-Resisting Frame to Perform Beam Yielding Mechanism, 8th International conference on Geotechnique, Construction Materials & Environment (GEOMATE) 2018, pp.670-676, Kuala Lumpur, Malaysia, 2018.11

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。