

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02280

研究課題名（和文）制振鋼構造のダンパーと主架構間の変動応力伝達を考慮した合成梁-柱の保有性能評価

研究課題名（英文）Evaluation of Ultimate Strength and Plastic Deformation Capacity of Composite Beam-Columns Considering Variable Stress Transfer between Damper and Main Structure of Vibration Damping Steel Structures

研究代表者

木村 祥裕 (Yoshihiro, Kimura)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：60280997

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：建物における多くの梁には、コンクリート床スラブが取り付け、大地震時に梁が局部座屈や横座屈を生じる際、高い補剛効果を発揮すると考えられてきた。しかし、地震時には床スラブも大きな繰返し応力を受け、剛性や耐力が引張時には大きく低下し、圧縮時には回復するというメカニズムを繰返し、徐々に低下することから、大きな地震力を負担する制振構面の梁は、ダンパーから変動軸力を受けるため、座屈による不安定性が増大する一方、床スラブによるH形鋼梁の局部座屈および横座屈による変形を拘束効果効果および梁、柱の終局耐力および塑性変形能力を高精度に評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋼構造建築物におけるH形鋼梁と床スラブが一体化した合成梁の履歴挙動を明らかにしてきた。一方、鋼構造建築物では、地震被害を低減するために、制振部材（ダンパー）を取り付ける場合がある。その際、大きな地震力を負担する制振構面の梁は、ダンパーから変動軸力を受けるため、座屈による不安定性が増大する一方、床スラブによる座屈変形拘束効果が期待されているほど発揮できない可能性がある。合成梁や柱の保有性能をより高精度に評価することができた。また、「制振構面と非制振構面の応力伝達機構」を解明したことで、地震時に想定される損傷を的確に捉える設計法を確立でき、安心・安全な社会の構築に貢献できた。

研究成果の概要（英文）：Concrete floor slabs are attached to most of beams in buildings, and it has been considered that they are highly effective in restraining for local buckling and lateral buckling of H-shaped beams during large earthquakes. However, during earthquakes, the concrete slab is also subjected to large cyclic stresses, and its stiffness and bearing capacity decrease gradually through a mechanism in which the stiffness and bearing capacity decrease significantly in tension and recover in compression. On the other hand, the deformation due to local buckling and lateral buckling of H-beams by the floor slab was evaluated with high accuracy in terms of the restraining effect and the ultimate bearing capacity and plastic deformation capacity of beams and columns.

研究分野：鋼構造

キーワード：制振構造 H形鋼梁 連続補剛 床スラブ 柱 局部座屈 横座屈 応力伝達機構

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大地震に対する被害軽減を目的とした制振鋼構造における制振部材が配置された構面の部材には、地震時にはダンパーからの変動軸力が作用し、その大きさは降伏軸力比の30%に達することが、既存の制振構造建物の調査で明らかにされている。通常、梁にはコンクリート床スラブが取り付けことから、合成梁としての保有性能評価が求められる。床スラブと梁はスタッドで接合されているが、現行の「各種合成構造設計指針・同解説(2010)」では床スラブによる曲げ剛性と曲げ耐力に対する効果として、梁幅方向に有効幅を規定しているものの、地震時の繰返し荷重下でのひび割れによる床スラブの剛性・耐力低下は考慮されておらず、制振部材から作用する変動軸力に対する梁と床スラブとの応力伝達機構も不明である。また、制振構面における梁の保有性能はダンパーから伝達される変動軸力による影響が大きく、また地震時の繰返し荷重による床スラブの剛性・耐力低下の影響により、鉄骨梁の保有性能が変化することは、未だ明らかにされていない。そして、地震時、同一層間変形角であっても梁の保有性能は床スラブの損傷の程度により変動するため、梁と柱の作用応力の分担率が変化する。そのため、制振設計時に梁崩壊型を設定したとしても、大地震時には柱崩壊を生じる可能性があることから、図1のフローに示す網掛け部分について学術的に解明すべき課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、制振鋼構造骨組における制振構面の合成梁及び柱を対象に、局部座屈もしくは横座屈崩壊する場合の保有性能評価である。地震時に座屈拘束ブレースから梁に伝達される変動軸力は、鉄骨梁の終局耐力及び塑性変形能力を低下させることから、これまでに梁の保有性能を明らかにしてきた。しかし、建物で通常用いられる、コンクリート床スラブを含む合成梁が地震時に曲げモーメントと変動軸力を受ける場合については未だ検討されていない。そして、繰返し応力を受けるスタッド - スラブ系は、剛性低下を生じ、スリップ現象により履歴吸収エネルギーも低下することから、スタッド - スラブ系の繰返し履歴挙動と梁への座屈拘束効果についても解明する。これらの知見を踏まえて、骨組が梁崩壊型となるための合成梁及び柱の要求性能を明らかにするとともに、激震時に骨組内でダンパーが取り付け、高い水平剛性を有する制振構面と非制振構面間での応力伝達機構について、ダンパーの塑性化に伴う水平剛性の変化に着目し、骨組全体が安定した挙動を示すための両構面の要求性能のバランスの把握を目的とする。

3. 研究の方法

床スラブとH形鋼梁の一部を取り出し、床スラブ

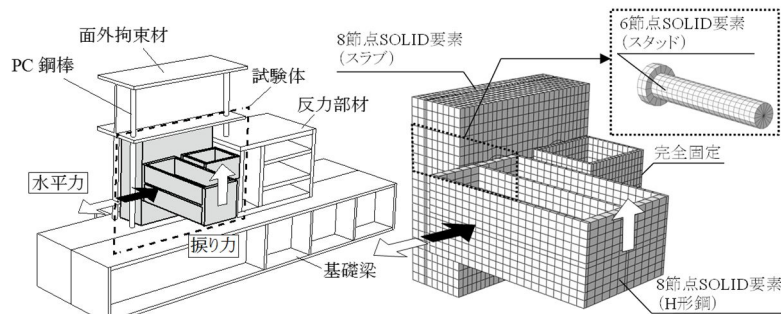


図1 繰返し応力下におけるスラブ・スタッド・梁の振り実験 図2 数値解析モデル

には梁の面内曲げモーメントに相当する繰返し応力を与えつつ、梁には横座屈を想定したねじり変形を与える載荷実験を考案し、同様に試験体部分を取り出したモデルの有限要素解析を行う。これにより、大変形に伴い剛性低下を生じた床スラブが梁の横座屈変形拘束効果に与える影響について、載荷条件(横座屈が生じるタイミングの違い)、梁断面と床スラブ厚・鉄筋径の違い(相対的な補剛剛性・耐力)、床スラブの有効幅(応力負担領域)をパラメータとした。そして、制振構面における柱・梁、床スラブの応力伝達機構および床スラブによる局部座屈・横座屈拘束効果を把握するために、図3に示す部分架構モデルを構築した。

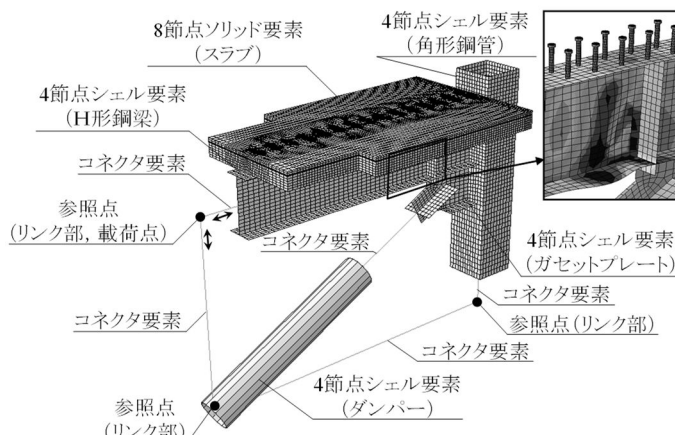


図3 スラブを有する制振構面における有限要素解析モデル(左)及び局部座屈性状の例(右)

4. 研究成果

振鋼構造骨組の地震応答性状の把握及び制振構面における座屈崩壊型となる梁と柱の保有性能評価の精緻化と制振設計法の高度化を目指して以下の項目を明らかにした。

(1) 制振構面において変動軸力と繰返し水平力が作用する連続補剛 H 形鋼梁の局部座屈及び横座屈挙動の把握と保有性能評価

骨組内の多くの梁には床スラブが取り付け、梁の上フランジ局部座屈及び横座屈に対して高い補剛効果を有するものと考え、連続補剛された梁が圧縮軸力を受ける場合の横座屈耐力に及ぼす軸力の影響や連続補剛効果を明らかにしてきた。しかし、地震時に梁にはランダムな繰返し曲げ応力とダンパーからの変動軸力が作用することから、本研究ではこのような繰返し応力下における連続補剛された梁の横座屈挙動を載荷実験及び有限要素解析により明らかにし、既往の研究で提案した一般化細長比にダンパーからの変動軸力を考慮することで、梁の横座屈耐力、塑性変形能力及び累積塑性変形能力を評価した。

(2) 繰返し応力を受ける床スラブの剛性・耐力変化が梁の座屈拘束効果に及ぼす影響

床スラブを連続補剛材として活用する前提で、1)では梁の局部座屈及び横座屈に対する連続補剛効果と作用応力の変動を明らかにした。しかし、床スラブには梁からの曲げモーメント、軸力による応力が作用し、スタッド・スラブ系は繰返し応力によりひび割れ、そしてスタッドの抜け出しを生じる。そして、スラブの圧縮応力時と引張応力時で剛性・耐力が異なることから、大変形時には剛性低下を生じたコンクリートは、梁の座屈に対する連続補剛効果を喪失するものと考えられる。そこで本研究では図1, 2に示すように床スラブと H 形鋼梁の一部を取り出し、床スラブには梁の面内曲げモーメントに相当する繰返し応力を与えつつ、梁には横座屈を想定

したねじり変形を与える載荷装置と、同様に試験体部分を取り出したモデルの有限要素解析により、大変形に伴い剛性低下を生じた床スラブが梁の横座屈変形拘束効果に与える影響について、載荷条件、梁断面と床スラブ厚・鉄筋径の違い、床スラブの有効幅をパラメータとして、大変形時に刻々と変化する床スラブの補剛効果を解明した。

(3) 床スラブによる応力変動及び補剛効果を考慮した H 形鋼梁の保有性能評価

(1)で得られた連続補剛効果の知見及び(2)で得られた繰返し応力による床スラブの剛性・耐力の変化と梁の捩れ変形拘束効果との関係を踏まえ、本研究では図 3 に示すように床スラブ・H 形鋼梁、柱 - ダンパー系の部分架構モデルの有限要素解析モデルを構築し、ダンパーからの H 形鋼梁、床スラブへの変動軸力、柱フェイスから床スラブへの支圧応力、梁からスタッドを介し、床スラブに伝達される曲げモーメントなどの応力伝達機構を詳細に把握した。さらに、有限要素解析ではパラメトリックスタディに加え、実験では計測できなかったスタッドの支圧応力、スラブの応力伝達、応力幅の評価方法を確立した。

(4) 制振構面における合成梁及び柱の応力伝達と梁崩壊型を形成する梁及び柱の要求性能評価

(3)の知見を踏まえて、本研究では、層モデルを構築し、床スラブからの支圧応力、ガセットプレート、柱スティフナを介したダンパーからの変動軸力が柱の局所損傷に与える影響を明らかにし、地震動（水平力）による作用曲げモーメントに加え、これらの応力を考慮した柱の塑性変形能力評価方法を構築した。そして、(3)で把握した合成梁（床スラブ+H 形鋼梁）の保有性能及び応力伝達機構の知見を踏まえて、床スラブ及びガセットプレート、柱スティフナとの接合部による局所応力を緩和するためのディテールを考案し、想定外地震動であっても梁崩壊型となるための柱の要求性能を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Suzuki Atsushi, Abe Kanako, Suzuki Kaho, Kimura Yoshihiro	4. 巻 147
2. 論文標題 Cyclic Behavior of Component Model of Composite Beam Subjected to Fully Reversed Cyclic Loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Structural Engineering	6. 最初と最後の頁 1, 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002955	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 木村祥裕, 佐藤唯	4. 巻 86
2. 論文標題 等曲げモーメントを受ける連続補剛H形鋼梁の弾塑性横座屈に及ぼす横曲げ拘束効果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 53,63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Atsushi Suzuki, Yoshihiro Kimura, and Kazuhiko Kasai	4. 巻 146
2. 論文標題 Rotation Capacity of I-shaped Beams under Alternating Axial Forces Based on Buckling Mode Transitions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers	6. 最初と最後の頁 1, 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Atsushi Suzuki, Kanako Abe, and Yoshihiro Kimura	4. 巻 146
2. 論文標題 Restraint Performance of Stud Connection during Lateral-torsional Buckling under Synchronized In-plane Displacement and Out-of-plane Rotation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers	6. 最初と最後の頁 1, 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 阿部叶子, 鈴木佳歩, 鈴木敦詞, 木村祥裕	4. 巻 28
2. 論文標題 スタッド接合部の非線形性能を考慮したH形鋼梁の横座屈耐力評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告	6. 最初と最後の頁 933, 939
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴木敦詞, 木村祥裕, 笠井和彦	4. 巻 28
2. 論文標題 変動軸力下の鋼種の異なるH形鋼梁への保有性能評価式の適用性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 883, 888
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉野裕貴, 中村祥子, 廖望, 木村祥裕	4. 巻 28
2. 論文標題 連続補剛されたH形鋼梁の部分架構載荷実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 856, 861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 阿部叶子, 鈴木佳歩, 鈴木敦詞, 木村祥裕
2. 発表標題 面内せん断力と面外捩り力を受けるスタッド接合部の補剛性能評価 その1, その2
3. 学会等名 日本建築学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村祥裕, 吉野裕貴, 中村祥子, 廖望
2. 発表標題 部分架構載荷実験による連続補剛H形鋼梁の横座屈性状 その1, その2
3. 学会等名 日本建築学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉野裕貴, 中村祥子, 廖望, 木村 祥裕
2. 発表標題 連続補剛材が取り付くH形鋼梁の部分架構繰返し載荷実験
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木佳歩, 阿部叶子, 鈴木敦詞, 木村祥裕, 高橋順一
2. 発表標題 正負繰返し載荷を受ける孔あき鋼板ジベルの履歴挙動
3. 学会等名 日本建築学会東北支部研究報告会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	古川 幸 (Furukawa Sachi) (30636428)	大阪市立大学・大学院工学研究科・講師 (24402)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	吉野 裕貴 (Yoshino Yuki) (70756428)	仙台高等専門学校・総合工学科・助教 (51303)	
研究分担者	鈴木 敦詞 (Suzuki Atsushi) (20898118)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関