

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01580

研究課題名（和文）床スラブ付き立体鋼構造柱梁部分架構の3次元弾塑性挙動と終局限界性能の解明

研究課題名（英文）Three dimensional elasto-plastic behavior and structural performance of steel subframe with floor slab

研究代表者

中野 達也（Nakano, Tatsuya）

宇都宮大学・地域デザイン科学部・准教授

研究者番号：00361361

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：角形鋼管柱とH形鋼梁で構成される鋼構造ラーメン構造について、床スラブ付き立体柱梁部分架構の3次元弾塑性挙動を解明することを目的とした。まず、床スラブ付き中柱梁部分架構試験体の2方向載荷実験を行い、架構形状、載荷方向、部材間耐力比の影響を実験的に明らかにした。また、過去に行った純鉄骨試験体との比較により床スラブの影響を明らかにした。次に、床スラブ付き隅柱梁部分架構試験体の2方向載荷実験を行い、架構形状、床スラブの有無、載荷方向の影響を実験的に明らかにした。関連して、応力伝達機構に関する有限要素解析を行い、梁端接合部のスカラップ底からの破断によって限界づけられる梁の変形性能を解析的に検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋼構造ラーメン骨組は柱・梁・接合部パネルから構成され、床にはRCスラブが使用されている。それらの部材単体に関する既往研究が多いのに対して、本研究ではそれらの集合体である柱梁部分架構の実験データを収集した。また、平面試験体の0度方向入力に関する既往研究が多いのに対して、本研究では立体試験体の45度方向入力に関する実験データも収集した。さらに、純鉄骨試験体を対象とした既往研究が多いのに対して、本研究では床スラブ付き試験体の実験データを収集した。最終的に、部材の集合体としての最小単位である床スラブ付き立体柱梁部分架構の3次元挙動について、学術的価値のある実験データを蓄積することができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, the elasto-plastic behavior of three-dimensional column-beam specimens with a floor slab was investigated for the seismic performance evaluation of the steel moment frame consisted from square hollow section columns and wide flange beams. The center or corner column-beam specimens with a floor slab were investigated by the bi-directional loading test. From test results, the effects of the frame shape, the loading direction and the strength ratio between members were clarified experimentally. In addition, the effect of the floor slab was clarified by comparison with the past test results of specimens without a floor slab. Moreover, the stress transfer mechanism around column-beam connection was investigated by a finite element analysis. From analysis results, the deformation capacity by the fracture of the beam-end connection limited were clarified analytically.

研究分野：建築構造

キーワード：柱梁接合部 床スラブ 3次元挙動 載荷実験 有限要素法解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地震動は任意方向から骨組に入力する。近年、3次元地震動に対する建物の耐震性能を評価する気運が高まっており、鋼構造建物に関しても E-Defense による実大 4 層ラーメン構造 (吹田ら 2007)、実大 5 層制振構造 (笠井ら 2012)、18 層超高層建物 (小鹿ら 2013) の震動台実験に代表されるように、建物の 3 次元挙動に関する実験データが徐々に蓄積されている。実際の建物を対象とした大規模な構造実験から得られる技術資料は非常に貴重であるが、様々な条件下での検討は難しく、部材や接合部の 3 次元挙動に関する要素実験データが切望されている。

鋼構造建物の床には一般に RC スラブが使用され、頭付きスタッドを介して梁と緊結した合成梁とする場合が多い。建物の耐震性能を正しく評価するためには、試験体に床スラブを設ける必要があり、上記の震動台実験でも考慮されている。一方、建物の中間層における柱梁接合部では、中・側・隅柱梁接合部を含む 3 種類の立体的な部分架構が形成されるが、床スラブ付き立体鋼構造柱梁部分架構の 3 次元挙動に関する実験データは見当たらない。

床スラブが取り付くと、梁およびパネルの曲げ耐力は合成効果により上昇する。また、柱およびパネルの曲げ耐力は 0 度方向入力時に比べて 45 度方向入力時の方が低下する。そのため中柱梁接合部では、45 度方向入力を考慮すると純鉄骨の想定でも梁やパネルに比べて柱の曲げ耐力が相対的に小さくなり易い。これに床スラブの合成効果が及ぶと、梁とパネルの曲げ耐力が増加することで柱がさらに弱くなる上に、床スラブは曲げ圧縮側の柱面を押し込むため、柱の局部座屈が助長される可能性が考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、角形鋼管柱と H 形鋼梁で構成される鋼構造ラーメン構造について、多方向入力を受ける床スラブ付き立体柱梁部分架構を対象に、架構全体および柱・梁・パネル・床スラブそれぞれの 3 次元弾塑性挙動、柱梁接合部近傍における応力伝達機構、剛性ならびに耐力・塑性変形能力などの終局限界性能を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 床スラブ付き中柱梁部分架構を対象として載荷実験を行った。実験状況を図 1 に示す。実験パラメータは架構形状、載荷方向、部材間耐力比である。図 2 に示すように、架構形状は T 字形と十字形、載荷方向は 0 度方向と 45 度方向である。部材間耐力比は、架構形状と載荷方向で変化するものに加えて、柱・パネルの板厚で変えた試験体も用意した。床スラブはシングル配筋の等厚スラブで、スタッドは完全合成梁を満足する本数を確保した。

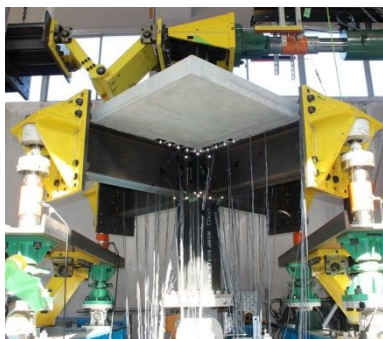


図 1 中柱梁部分架構の実験状況

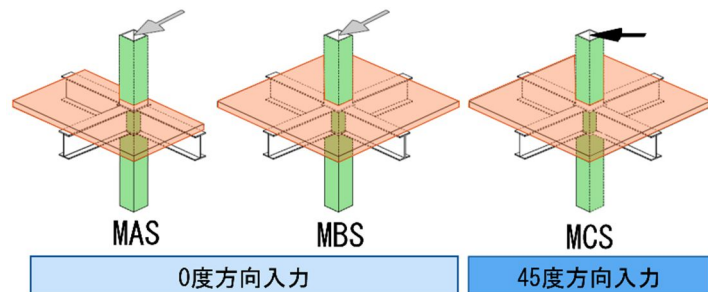


図 2 架構形状および載荷方向

(2) 床スラブ付き試験体と過去に行った純鉄骨試験体の実験データを整理・分析し、各部材の塑性歪エネルギーの分担状況を検討すると共に、床スラブの合成効果などを検討した。

(3) 応力伝達機構に関する有限要素解析を行った。実験結果に基づいて延性破断発生条件を同定し、梁端接合部のスカラップ底からの破断によって限界づけられる梁の変形性能を検討した。

(4) 床スラブ付き隅柱梁部分架構の載荷実験を行った。実験状況を図 3 に示す。図 4 に示すように、実験パラメータは架構形状、床スラブの有無、載荷方向である。架構形状は側柱梁接合部と隅柱梁接合部の 2 種類、載荷方向は 0・45・135 度の 3 種類である。床スラブの仕様は (1) の試験体と同じである。

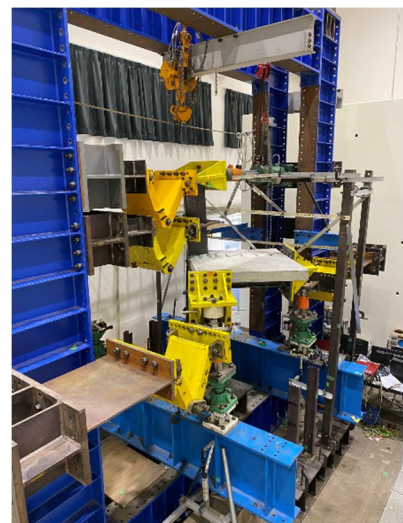


図 3 隅柱梁部分架構の実験状況

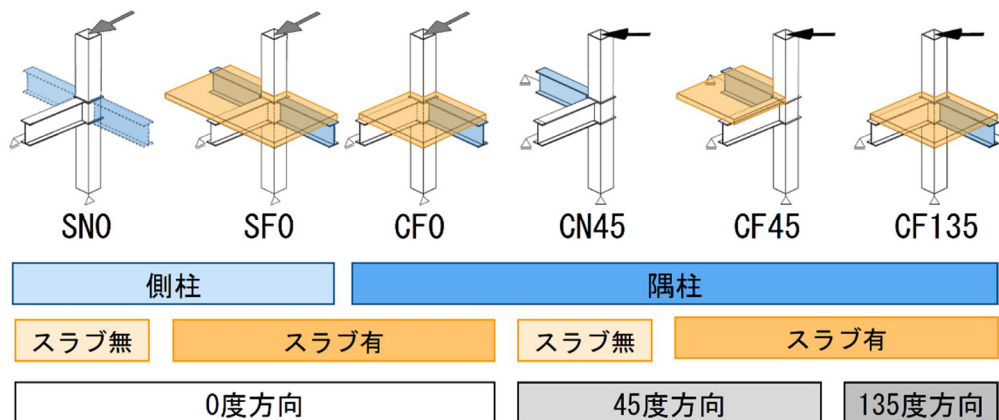


図4 架構形状および荷荷方向

#### 4. 研究成果

(1) 床スラブ付き中柱梁部分架構の荷荷実験から以下の知見が得られた。

- ・ 図5に示すように、架構形状が同じであっても、荷荷方向が0度方向と45度方向の場合で架構全体の曲げ耐力、崩壊機構、終局状態が異なるケースがあることを実験的に確認した。
- ・ 図6に示すように、床スラブ表面のひび割れパターンは、実験パラメータによらず概ね共通しており、柱コーナー部近傍でコンクリートが引張側となる箇所から生じた後、主として梁フランジの縁に沿って進展した。

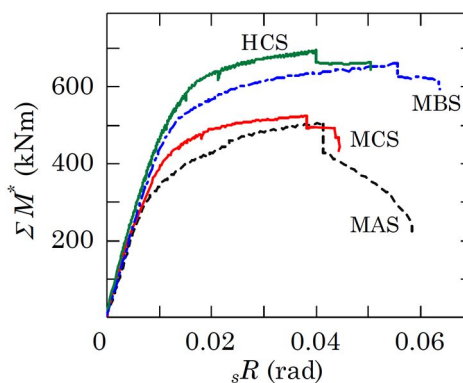


図5 荷重変形関係（骨格曲線）の比較

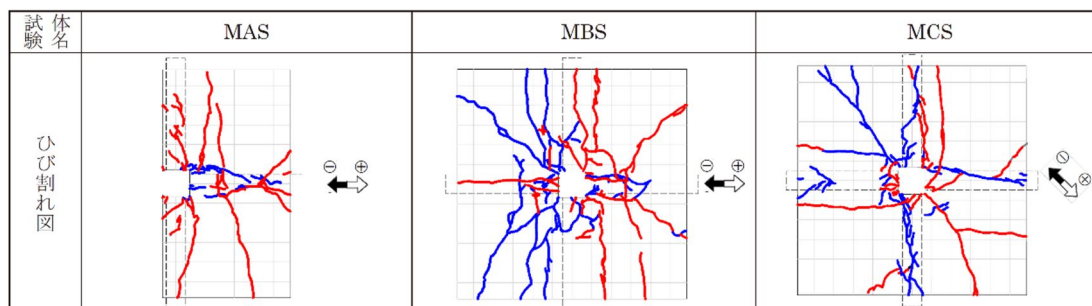


図6 床スラブのひび割れ状況

(2) 中柱梁部分架構の床スラブ有無に関する実験データの分析から、以下の知見が得られた。

- ・ 床スラブの合成効果を考慮した全塑性曲げ耐力の評価式を構築し、その比率である部材間耐力比によって、主として塑性歪エネルギーを吸収する部材を概ね評価できることを示した。
- ・ 床スラブ板要素と直交梁によるねじり抵抗が、構面梁の曲げ耐力の上昇に及ぼす影響は小さいことを実験的に確認した。
- ・ 図7に示すように、床スラブの有無により試験体の終局状況が異なるケースがあった。具体的には、MAS試験体の変形能力は、純鉄骨試験体が0.06rad、床スラブ付き試験体が0.04radとなり、床スラブが取り付くことで架構の変形能力が減少した。MCS試験体の終局状態は、純鉄骨試験体がパネルの延性破断、床スラブ付き試験体が柱の局部座屈となり、冒頭の研究背景で述べたとおり、床スラブが取り付くことで相対的に柱が弱くなるケースがあることを実験的に確認した。

(3) 応力伝達機構に関する有限要素解析から、以下の知見が得られた。

- ・ パネル梁耐力比が小さい場合の方が、スカラップ底の歪が増大した。
- ・ パネル梁耐力比が小さい場合の方が、スカラップ底からの破断時期が早まり、梁が保有する変形性能は低下した。
- ・ パネル梁耐力比が小さい場合の方が、パネルおよび柱の変形負担割合が大きくなり、梁に要求される変形性能が低下した。

	MAS 試験体	MBS 試験体	MCS 試験体
床スラブ有			
	$sR = 0.04 \text{ rad}$	$sR = 0.095 \text{ rad}$	$sR = 0.04 \text{ rad}$
	梁フランジの延性破断	梁フランジの延性破断	柱の局部座屈
床スラブ無			
	$sR = 0.06 \text{ rad}$	$sR = 0.06 \text{ rad}$	$sR = 0.06 \text{ rad}$
	梁フランジの延性破断	終局状態に至らず	パネルの延性破断

図7 床スラブ有無の影響

(4) 床スラブ付き隅柱梁部分架構の荷重実験から以下の知見が得られた。

- ・ 図8に示すように、梁の破断時期は床スラブが取付くことで早まった。また、荷重方向が0度から45度方向に変化することで遅くなった。
- ・ 一構面に投影した架構の耐力は、架構形状が側柱梁架構から隅柱梁架構に変化することで減少した。また、隅柱梁架構では荷重方向0度 > 45度 > 135度の順に正荷重時の曲げ耐力が減少した。
- ・ 図9に示すように、(2)で構築した床スラブの合成効果を考慮した全塑性曲げ耐力の評価式を隅柱梁部分架構に拡張し、現行評価式に比べて実験値を良好に評価できることを確認した。

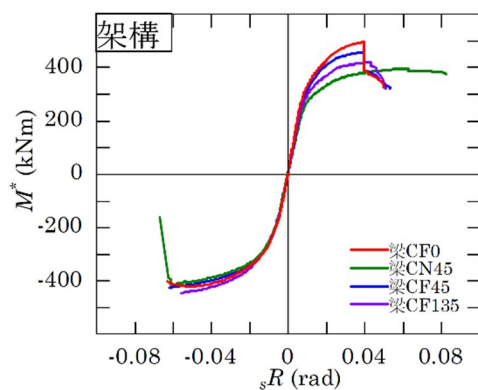


図8 荷重変形関係(骨格曲線)の比較

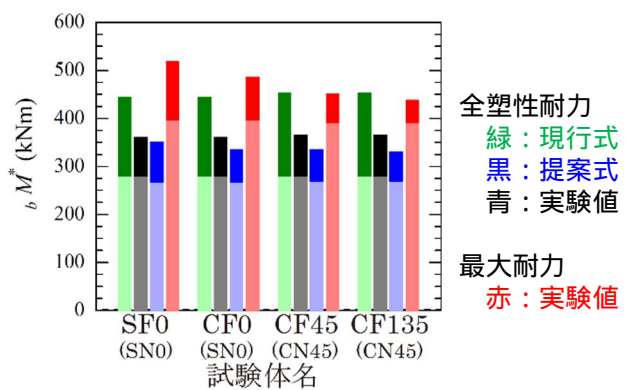


図9 合成梁の曲げ耐力比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Yandong, Koetaka Yuji, Chan Iathong, Nakano Tatsuya	4. 巻 159
2. 論文標題 Cyclic behavior of beam-column joints with various yielding modes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Constructional Steel Research	6. 最初と最後の頁 245 ~ 259
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcsr.2019.04.020	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 Wang Yandong, Koetaka Yuji, Chan Iathong, Nakano Tatsuya	4. 巻 168
2. 論文標題 Elasto-plastic behavior of weak-panel beam-column joints with RC slabs under bidirectional loading	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Constructional Steel Research	6. 最初と最後の頁 105880 ~ 105880
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcsr.2019.105880	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6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 川口長泰, 中野達也, 橋本直央, 向出静司, 聲高裕治
2. 発表標題 床スラブ付き立体鋼構造柱梁接合部の弾塑性挙動と力学性能（その1 立体十字架構の2方向載荷実験）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yandong Wang, Yuji Koetaka, Iathong Chan, Tatsuya Nakano
2. 発表標題 CYCLIC BEHAVIOR OF WEAK-PANEL TYPE BEAM-COLUMN JOINTS WITH RC SLABS UNDER BIDIRECTIONAL LOADING
3. 学会等名 Proceedings of 12th Pacific Structural Steel Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川口長泰，中野達也
2. 発表標題 床スラブ付き立体鋼構造柱梁接合部の弾塑性挙動と力学性能（各部材の弾塑性挙動と損傷評価）
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口長泰，中野達也，髙裕治，向出静司
2. 発表標題 床スラブ付き立体鋼構造柱梁接合部の弾塑性挙動と力学性能（その2 塑性化部位と部材間耐力比の関係）
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川口長泰，中野達也
2. 発表標題 床スラブ付き立体鋼構造隅柱梁接合部の弾塑性挙動（その1 実験計画および実験結果）
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川口長泰，中野達也
2. 発表標題 床スラブ付き立体鋼構造隅柱梁接合部の弾塑性挙動（その2 考察）
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2021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	聲高 裕治  (Koetaka Yuji)  (80343234)	京都大学・工学研究科・教授    (14301)	

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
---------	---------