

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15135

研究課題名（和文）長期荷重の支持と横補剛材の役割を担う鉄骨小梁におけるピン接合部の力学挙動と設計法

研究課題名（英文）Structural Behavior of Pin Connections on Steel Sub-beams

研究代表者

巽 信彦（TATSUMI, Nobuhiko）

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：60835544

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、長期荷重下における床スラブ付き鉄骨小梁の構造実験を行うことで、小梁端部の接合部ディテールの違いが小梁全体の力学挙動に及ぼす影響について確認した。また、構造実験の結果を踏まえた数値解析も実施し、小梁の長さや接合部の回転剛性などの影響をパラメトリックに検討した。本研究の結果、長期荷重下における鉄骨小梁のピン接合部における力学挙動を把握し、小梁全体の剛性に大きな影響を与える因子を捉えることができた。また、接合部ディテールの工夫を施したり、床スラブ内の鉄筋を積極的に利用したりすることで、小梁全体の剛性が向上し、長期荷重下における変形を抑えられる可能性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉄骨小梁の端部はピン接合部ディテールになっているため、鉄骨小梁の上に床スラブが付いた場合に、長期荷重下において床スラブコンクリートにひび割れが生じることが問題視されている。このような問題に対して、本研究では、接合部ディテールの工夫により回転剛性を上昇させることを提案しており、床スラブにひび割れが生じないような接合部設計が可能となると考えられる。また、接合部ディテールの工夫は横補剛材としての小梁の機能も向上させ、鉄骨骨組の地震時の安定性に貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, structural experiments were conducted on steel sub-beams with concrete slabs under long-term loading to verify the effects of different connection details at the ends of the sub-beams on the structural behavior of the entire beams. Also, numerical analysis based on the results of the structural experiments were carried out to parametrically study the effects of the length of the sub-beams and the rotational stiffness of the connections. As a result of this study, the structural behaviors of the pin connections of steel sub-beams under long-term loading were understood, and the factors that have a significant influence on the stiffness of the entire beam were captured. It was also confirmed that the stiffness of the entire beam can be improved and the deformation under long-term loading can be suppressed by applying some details to the connections and by actively utilizing the rebars in the concrete slab.

研究分野：建築構造

キーワード：鉄骨小梁 ピン接合部 長期荷重 横補剛材 接合部設計 床スラブ 連続梁 変形抑制

### 1. 研究開始当初の背景

鋼構造建築物における小梁は、長期荷重を支持する部材であると同時に、地震時においては大梁の横補剛材としての役割も担っており、建築物の安定性を確保する上で重要な部材である。小梁の端部接合部は、長期荷重に対する設計時にはピン接合として扱われる一方で、横補剛材としては曲げ負担を積極的に考慮されており、両者の接合部の扱い方は大きく異なる。この背景として、ピン接合部の力学挙動が必ずしも明確ではないことが挙げられ、横補剛材としての接合部の設計を複雑にする原因にもなっている。したがって、小梁における接合部の設計法を確立するためには、まずはピン接合部の挙動を把握する必要があるが、また、接合部として求められる剛性・耐力を明らかにすることが重要である。

### 2. 研究の目的

鉄骨小梁の端部接合部は、H形鋼のウェブのみを高力ボルト摩擦接合したピンディテールとすることが多く、構造計算上はピン接合とみなされている。しかし、実際には少なからず曲げモーメントを負担するため、長期荷重によって小梁端部には負曲げが作用する(図1)。小梁の上に床スラブが存在する場合、この負曲げによって接合部付近の床スラブにひび割れが生じる(図2)。一方、床スラブを活用するとともに接合部詳細に工夫を施すことで、半剛接合として小梁のたわみを低減でき、床スラブのひび割れを抑制することが可能であると考えられる。

本研究課題では、床スラブを有する鉄骨小梁の構造実験を行い、小梁の力学挙動を明らかにする。また、数値解析を用いて様々なパラメータについて、実験と同様の検討を行うことで、小梁の変形に大きな影響を及ぼす因子を確認し、接合部の設計法を構築する。

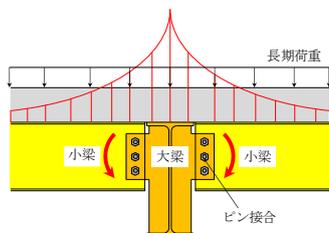


図1 長期荷重による曲げモーメント

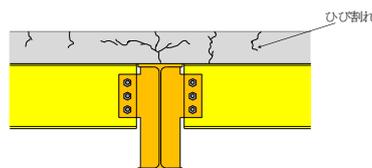


図2 長期荷重による床スラブのひび割れ

### 3. 研究の方法

#### 3.1 実験計画

試験体は、図3に示すスパン5.5m、梁間隔3mの床組みから抜き出した実大の大梁-小梁部分架構とし、大梁H500x200x10x16、小梁H300x150x6.5x9および床スラブで構成される。小梁の長さは両端固定時に負曲げを受ける領域に設定した。

試験体の概要を図4に示す。試験体はH形鋼の大梁、小梁の上に床スラブが取り付けられた連続梁とする。大梁-小梁接合部は、小梁H形鋼のウェブのみを高力ボルト(3-M20(F10T))によりガセットプレートと摩擦接合したピンディテールとなっている。床スラブは全長2250mmとし、幅は日本建築学会の各種合成構造設計指針に基づき算出される有効幅を満たすように1200mmとして、頭付きスタッド(13-φ19x90@150)により小梁と緊結している。床スラブ内の鉄筋は溶接金網D6@100x100(SD295)に加え、床スラブのひび割れ防止を目的として、D10@100x200(SD295)を配置している。

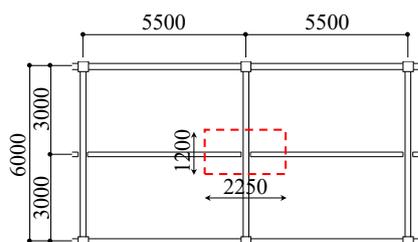


図3 床組図(鉄骨柱梁配置図)

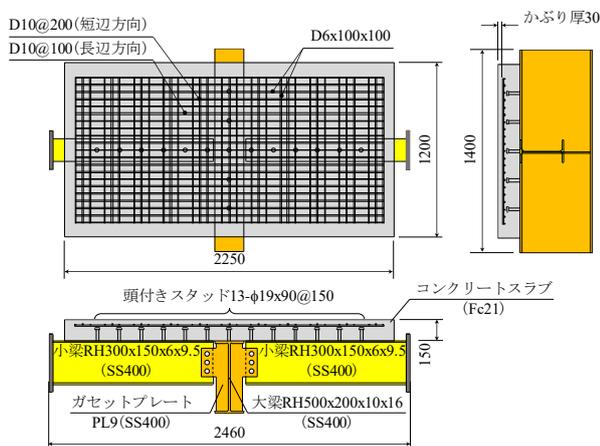


図4 試験体の概要

実験パラメータを図5に示す。実験パラメータは、小梁端接合部における接合部ディテールとコンタクトプレートの有無である。

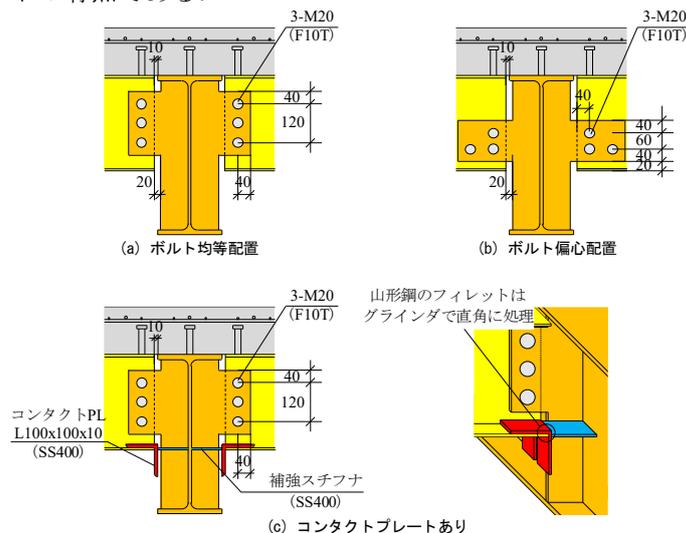


図5 実験パラメータ

実験のセットアップを図6に示す。試験体は、小梁の両端部をピン支承、ピン・ローラー支承により支持し、自己釣合型反力フレームに固定する。実験は、大梁の両端部に加力治具を接続し、加力梁を介して接続した油圧ジャッキにより試験体の大梁に強制変形を与える。

载荷は大梁位置での小梁のたわみ $\Delta$ をスパン $L$ の半分で除した $\theta$ を制御振幅とした正負交番繰り返し繰り返し载荷とした。 $\theta$ が $\pm 0.001, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01$ radとなる振幅を2サイクルずつ行った。

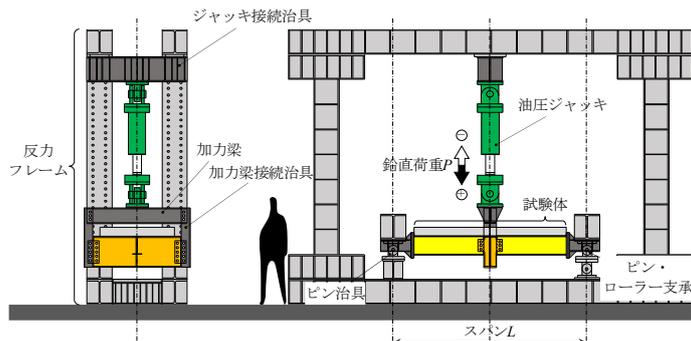


図6 セットアップ

### 3.2 数値解析の概要

床スラブによる合成効果を反映可能な詳細な解析モデルを構築し、実験の再現解析を行う。さらに、この解析モデルを用いて長期荷重が作用する小梁のたわみと床スラブのひび割れ抑制効果を確認する。

再現解析モデルを図7に示す。解析モデルは鉄骨小梁を梁要素、床スラブをトラス要素とした線材モデルである。両者間のずれを再現するために、小梁の図心から床スラブの図心までを材長とする剛体を設け、床スラブとの間に頭付きスタッドを模したせん断ばねを介在させる。小梁端接合部は回転ばねとして再現し、大梁と小梁を接続する。なお、大梁およびガセットプレートは剛体として変形を無視する。

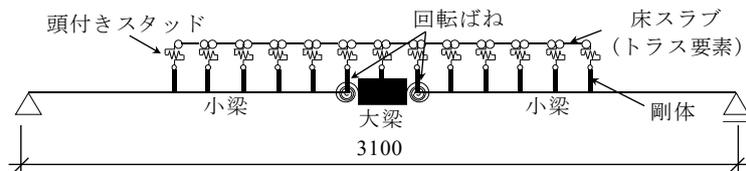


図7 再現解析モデル(詳細モデル)

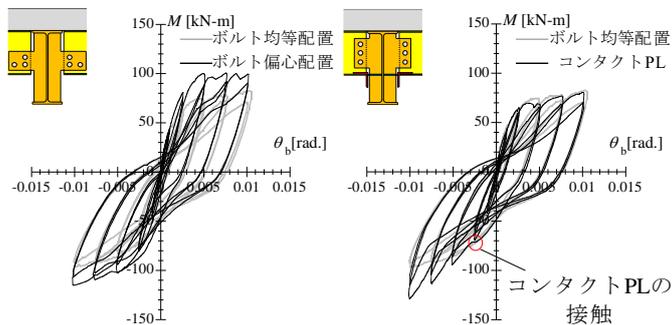
## 4. 研究成果

### 4.1 実験結果

実験より得られた実験結果より得られた全体挙動を図8に示す。図の縦軸は試験体中央に作用する曲げモーメントであり、横軸は振幅 $\theta$ である。両軸の符号は、ともに正曲げ(床スラブが圧縮)となる方向を正としている。

ボルト均等配置の場合、初期载荷時の正曲げ時には高い剛性を発揮しているが、負曲げ時には

正載荷時のおよそ半分程度の剛性となっている。ボルト偏心配置の場合、ボルト均等配置と比較して初期載荷時から剛性・耐力は正負両側で大きい。コンタクトプレートありの場合、初期載荷時はボルト均等配置と同様の挙動を示している。これは小梁下フランジとコンタクトプレートが未接触であったためである。振幅 $\theta_b$ が $-0.005\text{rad}$ .に向かう途中で小梁下フランジとスチフナがコンタクトプレートを介して接触し、負曲げ時の剛性・耐力は上昇した。一方、正曲げ時はコンタクトプレートの影響がないため、ボルト均等配置の試験体と同様の挙動を示した。



(a) ボルト偏心配置 (b) コンタクトプレートあり  
図 8 全体挙動

次いで、負曲げ 100kNm 作用時における小梁端接合部付近の床スラブのひび割れ状況を図 9 に示す。床スラブのひび割れは、すべての試験体で振幅 $\theta_b$ が $-0.0025\text{rad}$ .の時点から小梁接合部付近にひび割れが発生し始めた。その後も荷重振幅が大きくなるにつれてひび割れが増えた。ひび割れ幅の最大値は、ボルト均等配置の  $0.45\text{mm}$  が最も大きく、次いでボルト偏心配置の  $0.25\text{mm}$ 、コンタクトプレートありで  $0.2\text{mm}$  となっており、接合部の剛性を高めることにより、同一荷重下における床スラブのひび割れを抑制できている。

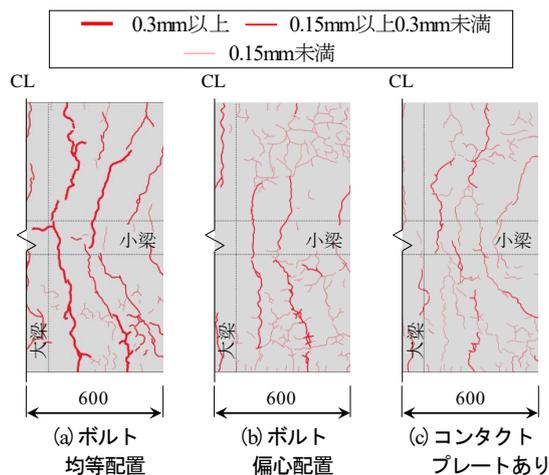


図 9 床スラブのひび割れ状況

#### 4.2 数値解析の結果

数値解析より得られた小梁端接合部の剛性について、解析値の実験値に対する比を図 10 に示す。正曲げ時については、すべての試験体において精度よく再現できている。一方、負曲げ時については、ボルト偏心配置の試験体において解析値の方がやや小さくなるが、概ね実験値と対応している。したがって、実験を再現するための解析モデルの妥当性が確認できたといえる。

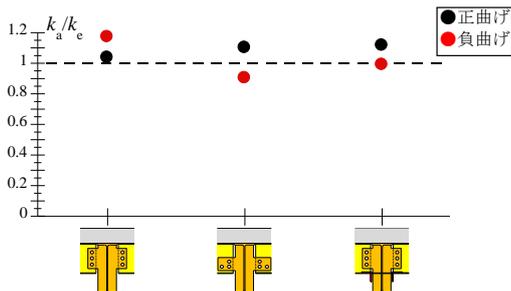


図 10 再現解析から得られた剛性と実験結果の剛性の比較

解析モデルを用いたパラメトリックスタディを行い、接合部詳細の工夫による小梁のたわみや床スラブのひび割れ抑制効果を確認する。スパン 5.5m, 梁間隔 3m の床組から抜き出した単純梁とし、梁端部の拘束条件や床スラブによる合成効果について検討する。梁端部の拘束条件は、ピン接合と回転剛性( $k=3500\text{kNm/rad.}$ )を有する半剛接合について考える。床スラブの合成効果は、上記の再現解析モデル(以下、詳細モデル)の他、純鉄骨としたモデルと、断面性能を等価断面二次モーメントとした完全合成梁モデルを検討する。

解析結果を図 11 に示す。図の縦軸はスパンに対するたわみ $\theta_b$ であり、横軸は接合部のパラメータである。詳細モデルのボルトを均等配置とした場合、梁端部を両端ピン接合および半剛接合とした合成梁のたわみの半分程度に抑えることができる。さらに、偏心配置の場合のたわみは均等配置より小さくなっている。したがって、梁端部に積極的に負曲げを負擔させることにより、小梁のたわみを抑えられると言える。ここで、断面性能が約半分となる H250x125 とした場合の詳細モデル均等配置および偏心配置の解析結果を図中に示す。梁断面を小さくした場合においても、接合部詳細に工夫を施すことにより、両端ピン接合とした合成梁のたわみ以下に抑えることができている。

次に、単純梁の接合部の回転角と床スラブのひび割れ幅の関係を図 12 に示す。図の縦軸はひび割れ幅  $w_{\text{max}}$ , 横軸は接合部の回転角  $\theta_c$  を示す。実験結果から得られた負曲げピーク時の接合部の回転角と床スラブのひび割れ幅の関係から回帰線を求め、解析結果から得られた接合部の回転角より各パラメータの床スラブのひび割れ幅を求める。詳細モデルの接合部を均等配置とした場合のひび割れ幅は、両端ピン接合とした合成梁の約 1/2 となり、偏心配置した場合はさらに小さくなっている。

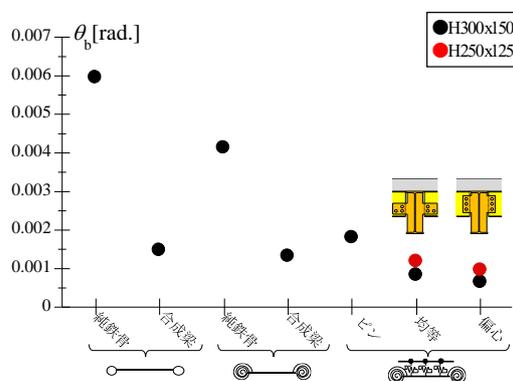


図 11 スパンに対するたわみの解析結果

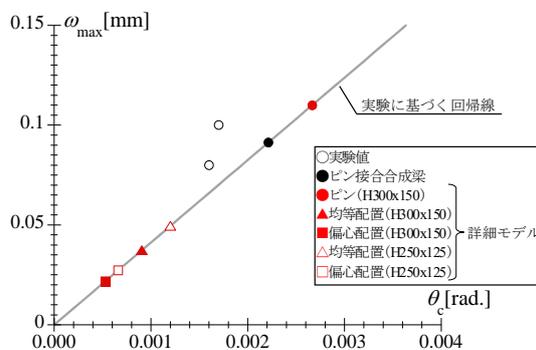


図 12 ひび割れ幅の推定値

よって、接合部詳細に工夫を施すことによる床スラブのひび割れ抑制効果を確認できたといえる。また、梁断面を小さくした場合においても接合部詳細に工夫を施すことにより、両端ピン接合とした合成梁のひび割れ幅以下に抑えられることが確認できた。

本研究課題では、小梁端接合部における接合部詳細をパラメータとし、床スラブを有する大梁-小梁部分架構の実験・解析を行った。床スラブの積極的な活用や小梁端接合部詳細に工夫を施すことにより、接合部の剛性・耐力の向上や小梁の変形抑制が可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 宮田悠理, 巽信彦, 吉敷祥一	4. 巻 29
2. 論文標題 床スラブ付き小梁端接合部の回転剛性の向上	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 655-661
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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮田悠理
2. 発表標題 床スラブ付き小梁の接合部回転剛性が長期荷重下の変形に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 巽信彦
2. 発表標題 床スラブを有する大梁 - 小梁部分架構の実験その1 実験計画
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮田悠理
2. 発表標題 床スラブを有する大梁 - 小梁部分架構の実験その2 実験結果と考察
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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