

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04567

研究課題名(和文) 想定外災害を許容する災害時避難所となる鉄骨置屋根体育館の高靱性支承部の提案

研究課題名(英文) Highly-Resilience Connection for Steel Roof Bearings Preparing for Beyond Scenario Earthquake

研究代表者

古川 幸 (Furukawa, Sachi)

大阪市立大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：30636428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：支承部の回転性能に関する実験より、提案する支承部が十分にピンとみなせる低い回転剛性を有することを明らかにした。また、せん断力と曲げモーメントを受ける支承部の回転剛性と降伏曲げモーメントの評価式を確立した。さらに、アンカーボルトがせん断力と引張力を同時に負担する問題点を指摘し、ばね座金を適用することで解決できることを実験的に示した。

支承部を適用したRC部材のせん断力載荷実験より、RC部材のひび割れ発生耐力は埋込部材のテコ作用力の影響を考慮した側方破壊耐力で、鋼板を溶接したアンカーボルトを用いた提案型接合部の最大耐力はRC部材のせん断耐力で評価できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

市民体育館等で一般的に採用される鉄骨置屋根形式の体育館が被災し、避難所としての機能を果たせず、災害直後の現地の混乱をさらに助長する例が後を絶たない。一方で、大空間構造である体育館は、屋根と屋根を支持する外周構造体の双方で面外剛性が低いことから、地震時における屋根支承接合部への設計要求値を正確に把握し難いという特徴がある。

以上を踏まえて、本研究では脆性的な破壊を生じやすい従来型の屋根支承接合部に対して、より機構が簡明で高い靱性を保有する接合部を提案した。実験を通して提案する接合部の応力伝達機構の解明と回転特性、およびせん断耐力の評価方法を提示した。

研究成果の概要(英文)：Cyclic loading tests of the proposed connection (new variation of exposed-type column base) shows that the connection has a sufficiently low rotational stiffness, and evaluation formula to predict rotational stiffness and yielding moment of the connection is proposed. It also reveals that with spring washer between a nut of an anchor bolt and a base plate, the connection becomes an ideal pin connection without any tension acts on an anchor bolt. The shear behavior of the proposed connection applied to the top of the RC column was tested, comparing with those of the conventional exposed-type column base. Series of tests shows that the shear strength of crack initiation can be predicted by concrete pullout strength. The conventional connection lost stiffness after crack initiation while the proposed connection sustains large stiffness and shear strength which is predicted by sectional shear strength of RC element.

研究分野：耐震工学

キーワード：アンカーボルト 露出柱脚 接合部回転性能 鉄骨置屋根

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 鉄骨置屋根形体育館の地震時被害について

災害時に避難所としての役割を果たす体育館は、地震災害に対して「構造物の損傷が軽微であること」のみならず、「災害直後の継続使用が可能であること」が必須となる。しかし、阪神淡路大震災(1995)、東北地方太平洋沖地震(2011)、ごく近年の熊本地震(2016)においても、市民体育館等で一般的に採用される鉄骨置屋根形式の体育館が被災し、避難所としての機能を果たせず、災害直後の現地の混乱をさらに助長した。30年以内で70~80%超という高確率の発生が予測され、広域被害が想定される首都直下地震や東南海地震に備え、当課題は、即時対処を施すべき、喫緊の課題である。

#### (2) 鉄骨置屋根形体育館の地震に対する構造的な特徴

鉄骨置屋根形体育館では、鋼構造の露出柱脚と同様に、鉄骨置屋根を複数のアンカーボルトで鉄筋コンクリート造に接合する。大空間構造である体育館の構造的な特徴として、以下の2つが挙げられる。

特徴 I：外壁・屋根共に面外剛性が低く、地震時に大きな面外変形を生じる為(図1)、屋根と外周の柱を接合する支承部は応力が均等に分配されない(一部に応力が集中)

特徴 II：支承部に靱性が期待できないため(図1被害例)、許容応力度設計が基本

#### (3) 課題に対する既往の取り組み

建物の耐用年数中の自然災害を設計時に想定することは、現在の工学では不可能である。「想定外」事象に対する継続使用性は、構造物の「冗長性」「変形追従性」「靱性」を高めて担保するほかない。しかし、既往の研究では、従来型支承部の地震時の力学的性状の把握、大空間構造体の面外変形を考慮した支承部の負担応力の予測、ダンパー等の追加機構の効果の検証など、支承部の「必要・保有耐力」に着目しがちである。

### 2. 研究の目的

#### (1) 参考とする既往の知見

鋼構造とRC造の混合構造は、体育館のみならず、一般建築物においても良く採用される。しかし、鋼構造-RC造間接合部が早期に損傷し、鋼構造の靱性が十分に発揮されなかったという地震被害報告が後を絶たない。申請者は、これまでに鋼とRC造の接合部に関する研究に従事し、アンカーボルトに十字型鋼板を配することで、せん断耐力が2倍近く向上し、部材角1/30まで安定してせん断耐力を保持できるという知見を得た。本成果は、現行の設計指針では考慮されないアンカーボルト周囲に配した帯筋が、「側方破壊の高靱性化」に対して効果を十分に発揮することを示す。つまり、本アイデアは、震災時の損傷が大きな問題となった置屋根体育館の支承部の脆性破壊を防ぎ、大災害時における体育館の継続使用の高い実現性を示唆する。

#### (2) 本研究の目的

そこで本研究では、地震時に極めて厳しい応力状態におかれる鉄骨置屋根支承部の「高靱性化」により、災害時における体育館の安全な継続使用が可能な構造システムの実現を目的とする。具体的には以下の工夫をもって「高靱性」支承部を実現する。(1)1本のアンカーボルトで接合することで支承部の回転剛性を下げて曲げモーメントを小さく抑え、アンカーボルトが常時せん断力のみを負担する状態とする。(2)鋼板をアンカーボルトに溶接することで、アンカーボルトが早期に曲げ降伏することを防ぎ、せん断耐力を十分に発揮できるようにする。さらには、コンクリートの支圧範囲を広げてRC部材の帯筋の靱性を積極的に活用することで、脆性的な側方破壊を防ぎ、支承部の靱性を向上する。

### 3. 研究の方法

本研究では、主に接合部を模した構造実験を実施し、提案型支承部の力学性状を把握、評価を行い、設計手法を確立する。

#### (1) 支承部(アンカーボルト接合部)の耐力・許容回転性能の評価

接合部の力学的保有性能：従来型支承部の力学的性能を検証した実験を参考に、地震時における鉄骨置屋根支承部の実挙動(せん断作用力、支承部回転角)を想定した載荷実験を行い、接合部の力学的保有性能の評価手法を構築する。

#### (2) 支承部(RC部材)の側方破壊性能の評価

コンクリートの脆性的な引張破壊を伴う側方破壊性状を、せん断・圧縮力載荷実験に主軸を据えて把握する。試験体パラメータは、側方破壊性状を決定する、接合金具の形状、配置(RC部材端からの縁あき、端あき距離)とする。

### 4. 研究成果

## (1) 支承部（アンカーボルト接合部）の耐力・許容回転性能の評価

### (1-1) 提案する支承部の耐力・許容回転性能の評価と課題の抽出

構造物に適用した場合に想定されるせん断力と曲げモーメントを接合部に作用させる荷重装置を用いて、正負交番繰返し漸増荷重を行うことで、支承部の耐力と許容回転性能を評価した。試験体は、2/3 縮尺相当の接合部を模擬したものである。試験体パラメータは、接合部の力学的性能に最も影響を与えるアンカーボルト径、接合部の回転半径、曲げとせん断力が作用する接合金具の RC 部材への固定度を上げる為に十字型鋼板下部に設けた定着鉄筋径を変数とした。また、荷重高さを変数とすることで、支承部に作用するせん断力と曲げモーメントの比率が異なる条件下での支承部の力学特性の変化を明らかにした。

実験結果より、本接合部がいずれの実験条件においても、十分にピンとみなせる低い回転剛性を有することを明らかにした。また、実験結果に基づき、支承部に作用するせん断力と曲げモーメントの比率を考慮した接合部の回転剛性と接合部の降伏曲げモーメントの評価式を確立した。一方で、一連の実験より、アンカーボルトがせん断に併せて支承部曲げモーメントにより発生する引張力の双方を同時に負担することから、接合部の降伏回転変形量が小さく、接合部に作用するせん断力に対する十分なせん断耐力を両立させる接合部設計が困難となる課題も明らかとなった。

### (1-2) 提案する支承部の改良

(1-1) で明らかとなった、1 本のアンカーボルトにせん断力と接合部の回転によって生じる引張力の双方を同時に負担させるという提案型支承部の課題に対処すべく、アンカーボルトナット下面と RC 部材上面間にばね座金を挿入することを提案した。曲げモーメント作用時における鋼部材の浮き上がりに伴う支承部鉛直変位を吸収できるばね座金を用いることで、アンカーボルトにせん断力のみ作用させる支承部を実現した。

複数のばね座金を考案し、実験的に検討した結果、支承部が想定通りの回転性能を発揮することが明らかとなった。一方で、アンカーボルトに接合部を締め付ける引張力が発生しないおことで、低荷重時にも支承部の横ずれが発生した。この問題は、孔-アンカーボルト間に適切なスペーサーをかませることで、解消できることも実験的に確認した。

以上から、支承部の力学的性能を明らかにし、支承部回転剛性・耐力評価式を提案し、かつ実用化に伴う課題も克服できる提案を行った。

## (2) 支承部（RC 部材）の側方破壊性能の評価

### (2-1) 提案する支承部を適用した RC 接合部の側方破壊性状の把握

提案する支承部を適用した RC 接合部の側方破壊実験を実施し、提案する支承部の断面諸元と側方破壊性状の関係を把握した。実験パラメータは、RC 部材の配筋の有無と支承部の断面諸元であり、具体的には十字鋼板がない場合、十字鋼板のうち荷重方向と直交する方向にのみ鋼板を有する場合、逆に平行する方向にのみ鋼板を有する場合、十字型鋼板が溶接された場合とした。

実験結果より、十字鋼板のうち荷重方向と直交する方向にのみ鋼板を有する場合、つまり RC 部材を支圧する範囲を広げる効果が期待できる試験体では、RC 部材の帯筋の歪値よりその効果を確認できたが、十字型鋼板を有する試験体には及ばなかった。また、十字鋼板のうち荷重方向と平行する方向にのみ鋼板を有する場合、つまり RC 部材を支圧する範囲を広げる効果は期待できない試験体において、接合部の剛性の向上が見込めたことから、アンカーボルトの曲げ変形を拘束する部材の必要性が明らかとなった。

### (2-2) 提案する支承部を適用した RC 接合部の力学特性の把握と評価

より実際の接合部を模した試験体を作製し、水平力正負交番荷重実験を実施することで、RC 接合部の力学特性を明らかにした。試験体は従来型接合部と 1 本のアンカーボルトを用いた提案型接合部複数体とした。

実験結果より、従来型の接合部では、初期ひび割れが顕出するせん断力が増加する傾向がみられるが、ひび割れ顕出後はひび割れが急速に進展し、せん断耐力はそれ以上増加しなかった。1 本のアンカーボルトのみを用いた接合部では、初期ひび割れが顕出するせん断力がやや低下する傾向がみられるが、ひび割れ進展は緩慢でせん断耐力は増加した。しかしアンカーボルトの曲げ降伏は防げず、せん断耐力は微増にとどまった。一方、アンカーボルトに鋼板を溶接した提案型接合部では、せん断力に対して高い接合部剛性を保ち、3 割以上せん断耐力が増加した。また、アンカーボルトのみを接合金具として用いた試験体では、アンカーボルトで計測した歪分布より従来考慮されてこなかったテコ作用力が無視できない大きさで発生していることを明らかにした。

以上の実験結果を踏まえ、アンカーボルトのテコ作用力は、主に杭の力学特性評価式として使用される Chang の式より評価できることを明らかにした。また、それぞれの試験体の RC 部材にひび割れが発生する耐力は埋込部材のテコ作用力の影響を考慮した側方破壊耐力、鋼板を溶接したアンカーボルトを用いた提案型接合部の最大耐力は RC 部材のせん断耐力式で評価できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 猪股史也, 古川 幸, 木村祥裕
2. 発表標題 一本のアンカーボルトで接合された露出型柱脚の回転性能評価
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
---------------------------	-----------------------	----

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