

氏名	崔 瑤
----	-----

(論文内容の要旨)

鋼構造建物における柱脚や柱梁接合部は、その性能が建物全体の耐震性状に大きな影響を及ぼす重要な接合部位であり、わが国では露出柱脚と通しダイヤフラム形式柱梁接合部が最も多用されている。しかし、一般に露出柱脚は、それに接続する柱を上回る耐力を付与する設計が難しく、履歴減衰性能においても乏しい。また、通しダイヤフラム形式は、製作に大量の溶接を要するが、溶接の品質確保の難しさが往々にしてその性能の劣化を促す。これらの問題への解決法として、現行の設計ではその構造的寄与がないと見なされている鉄筋コンクリート (RC) 床スラブの活用が考えられる。このスラブに適切な配筋を施し、さらに、従来のコンクリートに比べてはるかに高い強度や靱性をもつ新素材を活用すれば、コンパクトかつ高性能な、または、新しい応力伝達機構をもつ接合形式を開発する道が拓ける。本論文では、このような新素材として、密実な組織をもつセメント系材料と極めて高い体積比率の鋼繊維で構成される SFRCC を採用し、上記のような床スラブ活用手法を詳細に検討した。本論文は、研究目的に沿って行った実験と数値解析の結果を、柱脚に関しては第 2~4 章、柱梁接合部に関しては第 5~6 章に記し、全 7 章でまとめたもので、各章の要旨は下記の通りである。

序論である第 1 章では、既存の鋼構造接合部形式の耐震性に関する問題点として、過去の大地震における鋼構造建物の主たる破壊原因が、接合部、特に溶接不良にあったことから、溶接頼みの接合形式では、耐震性能への懸念が拭えないことを指摘するとともに、SFRCC という新素材の組成や材料特性が有する際立った特徴を整理し、SFRCC の接合部形式への適用可能性を記述した。

第 2 章では、RC スラブに被覆された露出柱脚を対象に、スラブの厚さとその内部の補強鉄筋を変数とした一連の繰返し載荷実験を行い、次の知見を得た。スラブにひび割れが生じない初期変形時でのスラブの寄与は大きく、柱脚の剛性と最大耐力が増大する。その一方、引張り側のベースプレートの浮き上がりに伴うパンチングシアに起因して 0.01rad の層間変形時に発生した後、急速に拡大するスラブのひび割れによって、それを超える変形レベルでは耐力劣化の激しい、つまりエネルギー吸収の乏しい履歴性状を示す。スラブの寄与による耐力上昇は、パンチングシア破壊形式に対して理論的に求められるスラブの終局耐力式によって、20%以内の誤差範囲で算定できる。このほか、一般的な厚さのスラブでは、スラブ内に収めることができる補強鉄筋量には限界があり、塑性化部位を柱脚ではなく柱下部に移行するほどの大きな耐力増加は達成しにくいことも明らかとなった。

第3章では、RCスラブ付き露出柱脚の破壊および履歴性状を再現する有限要素モデルを構築し、スラブ厚やスラブ内の補強鉄筋、柱の軸力比、アンカーボルト数を変数とする一連の数値解析を行い、スラブの寄与耐力と剛性の増減に支配的である変数が、スラブ厚と軸力比であること、また、解析結果が提案評価式の妥当性を支持するものであることを示した。

第4章では、まず、本研究で用いたSFRCCを構成する鋼繊維とマトリクスの組織や形状特性を普通コンクリートと相対する形で詳述し、SFRCCスラブで被覆された露出柱脚試験体に対して実施した載荷実験と、3章と同様の手法をスラブ材料がSFRCCである場合に適用して行った解析結果について述べた。実験と解析の結果、SFRCCからなるスラブも最終的にはパンチングシアによって破壊するが、2章の実験で見られた普通コンクリートの脆性的な破壊とは異なり、マイクロクラックの進展がファイバーによって抑制されるため、大変形に至るまで耐力劣化の小さい安定した履歴性状が得られ、さらに、SFRCCにおいても普通コンクリートの場合と同様に、2、3章で提案した耐力算定式や有限要素解析が適用できることを明らかにした。

第5章では、スタッド本数を実験変数とする試験体に対する押し抜き試験と有限要素解析を行い、SFRCCスラブ内に溶接機の使用上可能な限り密に配した群状のスタッドコネクタのせん断性状を調べ、SFRCCのもつ高い引張り強度と靱性によって、通常のRCスラブよりも格段に密にスタッドを配してもスラブの破壊は生じることなく、高いせん断耐力が得られることを明らかにした。この知見は続く第6章に示す柱梁接合形式を実現するための礎となっている。

第6章では、溶接を使わない柱梁接合形式をもつ実大の十字形骨組試験体を、梁に塑性化が生じる崩壊機構形成を志向して設計し、繰返し載荷実験を通じてその耐震性能を調べた。骨組試験体では、梁の二次曲げなど、押し抜き試験では見られない現象が複合的に生じることによって、試験体は最終的にはスラブの破壊によって崩壊に至った。しかし、試験体の最大水平耐力は梁の降伏耐力を基に求められる計算耐力を10%強上回ったことから、提案設計法によって想定する崩壊機構が達成しうることを明らかにした。

第7章では、本論文から得られた成果を、各章毎に得られた知見としてまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、鋼構造物において、鋼繊維補強セメント系材料 (SFRC) という、鋼と鋼もしくは鋼とコンクリートとの接合に最適と目される新素材の適用を想定し、現行の設計では非構造要素として取り扱われてきた RC 床スラブを巧みに利用しつつ、新しい柱脚や柱梁接合部を開発したものである。本論文から得られた主たる知見は下記のとおりである。

1. 鋼構造建物の構成上、必然的に存在する床スラブを利用して、従来の構造形式に対して余剰な投資を要することなく構造物の耐震性向上や溶接の省力化を図ることができる、新しい柱脚と柱梁接合部形式を提示した。床スラブを通常的设计と同等の厚さとする条件下では、従来材料を用いる限り配筋に工夫しても飛躍的な性能向上が期待できないが、SFRC を適用することによって、柱や梁の断面耐力を上回る耐力をもつ剛強な柱脚が十分に実現できることを、一連の構造実験を通して明らかにした。
2. 建築構造の接合部は詳細が複雑であるために、縮尺の小さな試験体を用いた実験では、建物の実地震時挙動を再現することが難しい。このため、接合部の挙動を精度よく再現できる解析モデルの構築が必要となる。本研究では、接合部各要素の材料特性と接触条件を詳細に模し、かつ、0.03 ラジアンに至る大変形レベルまで実験結果を忠実に再現できる柱脚および柱梁接合部の有限要素モデルを開発し、このモデルを用いてこれら接合部に及ぼす床スラブの影響を破壊に至るまで定量的に検討した。
3. 特に床スラブ柱脚に関して、実験で観察された床スラブの破壊性状に基づいて、コンクリートの支圧、パンチングシア、鉄筋の引張から構成される床スラブ抵抗機構を考案し、実験結果と整合性が高くしかも耐震設計に供しうる耐力評価式を提示した。

以上、既存の構造形式より耐震性能の高い新しい鋼構造接合形式を開発するとともに、その適用が限られていた新素材の有効活用法を提示した本論文は、鋼構造建物の一層の高性能化と、設計に使える技術の拡充が期待される今後の耐震設計に対して、実現可能かつ有益な情報を提供している。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 21 年 8 月 14 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果合格と認めた。