



# RC床版付半剛接接合部の力学的性能評価と骨組への応用に関する研究

市岡, 大幸

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2007-09-25

(Date of Publication)

2008-02-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4071

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004071>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



|            |                  |
|------------|------------------|
| 氏 名        | 市岡 大幸            |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士（工学）           |
| 学 位 記 番 号  | 博い第 470 号        |
| 学位授与の 要 件  | 学位規則第 5 条第 1 項該当 |
| 学位授与の 日 付  | 平成 19 年 9 月 25 日 |

【 学位論文題目 】

RC 床版付半剛接接合部の力学的性能評価と骨組への応用に関する研究

審 査 委 員

|     |     |       |
|-----|-----|-------|
| 主 査 | 教 授 | 長尾 直治 |
|     | 教 授 | 田淵 基嗣 |
|     | 教 授 | 森川 英典 |
|     | 教 授 | 大谷 恭弘 |

(氏名：市岡大幸 NO. 1)

本研究では、鉄骨骨組における柱－梁接合部に経済性に優れた半剛接合を用いた構造の実用化を目指している。しかし、地震国である我国では、半剛接合部の強度・剛性の不足がしばしば予想されるため、それに対する補強・補剛方法として、RC床版との合成効果を積極的に活用することを本研究では趣旨としている。そのため、RC床版の半剛接合部の力学的性能への効果や影響を評価し、正曲げ、あるいは負曲げを受ける床版付半剛接合部の性状の解明、ならびにそれらの剛性評価式を作成・提案するとともに、RC床版の骨組全体挙動への効果や影響を評価することを目的としている。

第1章では本研究の背景、目的について述べた。

第2章では関連する既往の研究についてまとめ、本研究の位置づけを示した。

第3章では、フラッシュ・エンドプレート形式の部分接合部モデルについて実験を行い、力学的性状、仕口部近傍でのひずみの乱れが接合部回転剛性に与える影響を調べるとともに、フラッシュ・エンドプレート型接合部の性状に関する考察を行った。

結果は次のように要約できる。

1) 実験では初期剛性のバラツキが大きく現れたが、その原因として柱フランジの初期変形に起因する柱フランジとエンドプレートとの接触状態が考えられることを仕口部ひずみ分布より推測できた。

2) 仕口部近傍のひずみの乱れは、仕口部から 50mm 位置での回転剛性評価においてはほぼ無視できる。

なお、実験結果に対するこれらの考察の結果として解析的検討の必要性を掲げ、4章においてFEM解析を行う。

第4章では3章実験結果で初期回転剛性のバラツキの原因として予想された柱フランジの初期変形の回転剛性への影響、および回転剛性に影響すると思われる仕口部近傍での接合部変形性状についてFEMにより解析を行い、3章実験結果と比較検討を行った。

結果は次のように要約できる。

1) 実験で使用した寸法のエンドプレートの場合 ( $a/t=1.5 \sim 3.7$ ,  $b/t=1.4 \sim 3.4$  かつ  $h/t=10 \sim 25$ )、その局所変形は、ボルトの離間とともに仕口部の回転剛性に影響する要因となる。

2) 実験で使用した寸法のエンドプレートの場合、仕口面から梁せい長さ位置までの梁断面における歪分布の乱れは、接合部の回転剛性を求める上での梁部曲げ変形評価において無視できる。

3) 仕口界面における柱フランジやエンドプレートの初期不整は、接合部の初期回転剛性に

(氏名：市岡大幸 NO. 2)

4) ボルト張力による材間圧縮力の分布は、弾性範囲の梁端部局所性状や仕口部局所性状と互いに関係し、初期回転剛性に有意な影響を及ぼす。

第5章では負曲げを受ける床版付半剛接合部の回転剛性のパラメータである、仕口部での鉄筋の抜け出し量を評価するため、鉄筋の抜け出し剛性評価式を提案した。

既往の研究では鉄筋の抜け出し量は、鉄筋を引張パネでモデル化するとともに、そのときの

鉄筋有効長さ  $L_e$  を経験的に評価して算出しており、コンクリート強度などによって変化する鉄筋の付着力などの性状を適切に評価しているとは言い難い。

そこで本研究では、コンクリート塊に埋め込まれた鉄筋の両引き試験を行い、鉄筋のかぶり厚、コンクリート強度、鉄筋径によるコンクリート端部での鉄筋抜け出し剛性に与える影響を調べた。一般に鉄筋のずれ量は付着力－ずれ量関係 ( $\tau - S$  関係) を Bi-Linear などでモデル化し、2階の微分方程式を解くことにより鉄筋引張り力とずれ量の関係式が導かれる。しかし、式が煩雑かつ非線形となるため、接合部回転剛性評価パネモデルにおいて使用するには取り扱いにくい。そこで、コンクリート強度の平方根 ( $\sqrt{F_c}$ )、鉄筋径により鉄筋引張り力－端部抜け出し量関係の基準化を行い、鉄筋の抜け出し剛性評価式の導出を行った。また、十分なかぶり厚を持つコンクリート塊端部での抜け出し量から導出した鉄筋抜け出し剛性評価式が、かぶり厚の小さい鉄筋のひび割れ部での抜け出し量と対応することを確認した。

結果は次のように要約できる。

1) コンクリート強度 22.4Mpa から 38.4Mpa、鉄筋径 D10 から D29 に対して提案した鉄筋抜け出し剛性評価式は、ひび割れ部での鉄筋抜け出し量を適切に評価できる。

第6章では十字型合成梁試験を行い、対称正曲げ、対称負曲げ、逆対称曲げ時の接合部における床版の影響を調べるとともに検討したことについてまとめている。

既往の研究では回転剛性の支配パラメータとして、負曲げにおいては鉄筋抜け出し量、スラブのずれ量を取り上げられている。これらパラメータおよび、正曲げ時の接合部性状について調べた。

結果は次のように要約できる。

1) 負曲げ時仕口部におけるスラブ幅方向の鉄筋応力分布は一様ではなく、負曲げ剛性を評価する場合それらの分布を考慮する必要がある。

2) 回転中心は正曲げ時はほぼ圧縮フランジに存在しているが、負曲げ時は接合部においても上昇しており、その位置の評価が必要である。

3) 正曲げ時回転剛性評価力学モデルを提案した。正曲げ時は柱フランジ前面の局所変形剛性

(氏名：市岡大幸 NO. 3)

第7章ではFEMを用いて仕口部の床版内鉄筋応力分布の解析を行った。第6章実験結果より仕口部での鉄筋応力分布は一様ではなく、それぞれの鉄筋の回転剛性への寄与度を導入して評価する必要性について示した。また、負曲げ時回転剛性をRC床版のひび割れ状態により4つのPhaseに分類して定義し、ひび割れをスリットでモデル化した3次元弾性解析、分散ひび割れモデルによる2次元非線形解析を行い、ひび割れ進展による鉄筋応力分布の変化を調べ、実験結果との対応を検討した。

結果は次のように要約できる。

1)ひび割れ形成後においても弾性時の鉄筋応力分布に従う「寄与度係数」 $c_1$ を用いる事で、仕口部での梁軸方向鉄筋の応力の梁軸直交方向の分布を考慮した巨視的バネ剛性の評価が可能である。

2)実構造物における寄与度係数  $c_1$  の評価法を提案した。

第8章では第6章において提案した正曲げ時回転剛性評価モデルにおける、柱フランジ前面のスラブコンクリートでの局所変形の剛性  $K_c$ 、および柱前面部分と柱横側に位置するスラブ部分の圧縮力分担比  $\beta$  をFEM解析により検討した。

結果は次のように要約できる。

- 1)  $\beta$  はスラブ幅、スラブ厚によらずほぼ一定で、約0.75となる。
- 2) 単位厚さ当りの局所変形剛性  $K_c$  は  $K_c/E_c=0.113$  で、妥当に評価できる。

第9章では8章までの結果や検討に基づいて、床版付半剛接合部の正曲げ、負曲げ回転剛性評価式を提案した。負曲げ回転剛性の評価において、既往の研究では鉄筋バネ剛性、スラブのずれ量を線形バネで表現している。しかし、本研究では6章十字型合成梁試験結果より、スラブのずれ量はモーメントによる床版と鉄骨梁界面のせん断力と、柱側からの引張力の2つの力によりずれが発生すると仮定した。そのため、2つの力を考慮したスラブのずれ量評価式を付着解析により導出した。これを用い、5章において提案した鉄筋抜け出し剛性評価式により負曲げ回転剛性評価式を導出した。

また、6章において提案した正曲げ回転剛性評価バネモデルを用い、8章で検討したパラメータ  $\beta$  と  $K_c$ 、および本章で導出したスラブのずれ量評価式より正曲げ回転剛性評価式を導出した。

結果は次のように要約できる。

- 1)導出した負曲げ回転剛性評価式より、6章実験結果による対称負曲げ、逆対称曲げ負曲げ側におけるスラブずれ量を計算し、実験での挙動を妥当に評価できることを示した。
- 2)正曲げ、および負曲げに対し回転剛性評価式を提案した。正曲げについては一次剛性、二

(氏名：市岡大幸 NO. 4)

しており、回転中心位置の適切な評価法が課題である。

第10章では3層3スパン3ペイの半剛接骨組を設定し、RC床版のみ、あるいは筋かい材との併用による骨組の補強、補剛効果を検討した。半剛接合部は回転剛性、接合部耐力をEC3の分類に従い4種類の接合部性状を設定した。床版の接合部補強、補剛効果は9章の回転剛性評価式より半剛接合部のボルト位置を仮定し、妥当と考えられる補剛効果を設定する。また、解析では層間変形角 1/100 を目標として骨組の性能評価を行った。

結果は次のように要約できる。

1) 層間変形角 1/100 の時の層せん断力と必要保有水平耐力を比較した。床版の配筋を適切に設計し、筋かい材を用いた簡易な補強を併用することで、層間変形角 1/100 における必要保有水平耐力を満足しうる、骨組水平剛性、耐力を確保することが可能である。

第11章では本論文の結論をまとめた。

|                  |                                  |     |         |
|------------------|----------------------------------|-----|---------|
| 氏名               | 市岡 大幸                            |     |         |
| 論文<br>題目         | RC床版付半剛接接合部の力学的性能評価と骨組への応用に関する研究 |     |         |
| 審<br>査<br>委<br>員 | 区 分                              | 職 名 | 氏 名     |
|                  | 主 査                              | 教 授 | 長尾 直治   |
|                  | 副 査                              | 教 授 | 田淵 基嗣   |
|                  | 副 査                              | 教 授 | * 森川 英典 |
|                  | 副 査                              | 准教授 | 大谷 恭弘   |
|                  | 副 査                              |     |         |

## 要 旨

本研究は鋼構造骨組の柱梁接合部に経済性に優れた半剛接合を用いる構造の実用化を目指している。わが国のような地震国では、ラーメン構造に半剛接合をそのまま適用すると、半剛接合部の強度や剛性が小さいため骨組に必要な強度や剛性が不足することとなる。このような半剛接合部の強度や剛性を向上させる要因として、RC床版と鋼構造梁との合成効果がある。これを積極的に活用して、所期の目的を達成することが本論文の趣旨である。このためには、半剛接合部の力学的性能に及ぼすRC床版の効果や影響を評価することが必要となるが、本論文は、正曲げおよび負曲げを受けるRC床版付半剛接合部の性状を実験および解析的に解明し、それらの剛性評価式を作成し、提案するとともに、RC床版の骨組全体挙動への効果や影響を評価したものである。

1章では、本研究の背景について述べ、研究の目的を明確にしている。

2章では、半剛接合、床版付半剛接合、半剛接合骨組に関連する既往の研究を調査し、RC床版の影響に関する主なパラメータについてまとめるとともに、課題を指摘し、本研究の位置づけを明確にしている。

3章では、フラッシュ・エンドプレート形式の半剛接合を対象として大型の実験を行い、力学的性状を分析している。

フラッシュ・エンドプレート形式の半剛接合の仕口部近傍でのひずみの乱れ、および柱フランジの初期変形が接合部回転剛性に与える影響を調べ、仕口部近傍のひずみの乱れは局部的であることや、初期剛性のバラツキの主な原因は柱フランジ等の初期変形に基因する柱フランジとエンドプレートの接触状態である、などの知見を得ている。

4章では、3章の実験結果を解析的に検討している。

初期回転剛性のバラツキの主な原因として想定された柱フランジの初期変形の影響、および回転剛性に影響すると思われる仕口部近傍での接合部変形性状をパラメータとして有限要素法解析(FEM解析)を行い、3章の実験結果と比較検討を行っている。これらから、本実験および解析で用いたエンドプレートの寸法範囲ではエンドプレートの局所変形はボルトの離間とともに仕口部の回転剛性に影響する要因となることや、仕口界面における柱フランジとエンドプレートの初期変形、あるいはボルト張力による材間圧縮力の分布は互いに関係しあって接合部の初期回転剛性に有意な影響を及ぼす、などの知見を得ている。

5章では、負曲げを受けるRC床版付半剛接合部の回転剛性のパラメータである仕口部での鉄筋の抜け出し量を評価するため、実験および解析を行い、新たに鉄筋の抜け出し剛性評価式を提案している。実験はコンクリート塊に埋め込まれた鉄筋の両引き試験であり、鉄筋のかぶり厚、コンクリート強度、鉄筋径をパラメータとしてコンクリート端部での鉄筋抜け出し剛性に与える影響を調べている。また、コンクリート強度の平方根( $\sqrt{f_c}$ )と鉄筋径で鉄筋引張力と端部抜け出し量の関係を基準化し、鉄筋の抜け出し剛性評価式を導いている。十分なかぶり厚を持つコンクリート塊端部での抜け出し量から導出した鉄筋抜け出し剛性評価式が、かぶり厚の小さい鉄筋のひび割れ部の抜け出し量と対応することを実験で確認している。

氏 名 市岡 大幸

6章では、フラッシュ・エンドプレート形式の半剛接合部を有する十字形合成梁試験体について、対称正曲げ、対称負曲げ、および逆対称曲げ荷重を載荷し、主に接合部の回転剛性に及ぼす床版の影響を調べている。

これらから、負曲げ剛性評価には仕口部における床スラブ幅方向の鉄筋応力の不均一な分布形状を考慮する必要があることや、回転中心の評価(正曲げ時はほぼ圧縮フランジ付近であり、負曲げ時は鉄骨梁重心付近である)が必要である、などの知見を得ている。

また、この知見に基づき、7章では負曲げ時の仕口部におけるスラブ幅方向の鉄筋応力の分布形状について解析的に考察し、8章では正曲げ時回転剛性評価力学モデルを提案している。

7章では、負曲げ時の仕口部における床スラブ幅方向の鉄筋応力分布形状を解析的に評価している。FEM解析の結果から、それぞれの鉄筋の回転剛性への寄与度を導入し、巨視的な鉄筋バネ剛性  $K_r$  の評価モデルを提案している。

また、負曲げ時回転剛性をRC床版のひび割れ状態により4つのPhaseに分類して定義し、ひび割れをスリットでモデル化した3次元弾性解析、分散ひび割れモデルによる2次元非線形解析を行い、ひび割れ進展による鉄筋応力分布の変化を調べ、実験結果との対応を検討している。

ひび割れ形成後においても弾性時の鉄筋応力分布に従う「寄与度係数」 $c_1$ を用いる事で、仕口部での梁軸方向鉄筋の応力の梁軸直交方向の分布を考慮した巨視的バネ剛性の評価が可能であることを示し、実構造物における寄与度係数  $c_1$  の評価法を提案している。

この寄与度係数  $c_1$  と5章で提案した鉄筋抜け出し剛性評価式を用いることで、より実際的な鉄筋バネ剛性が評価でき、負曲げ剛性の評価が可能となっている。

8章では、正曲げ時回転剛性評価力学モデルを提案している。

ここで、パラメータとした柱フランジ前面の局所変形剛性  $K_c$ 、および柱前面と柱横のスラブ圧縮力比  $\beta$  をFEM解析により検討している。

$\beta$  はスラブ幅、スラブ厚によらずほぼ一定で、約0.75と表せること、および単位厚さ当りの局所変形剛性  $K_c$  は、 $K_c/E_c=0.113$  (ここで、 $E_c$  はコンクリートの弾性係数)を用いることで妥当に評価できるとの知見を得ている。

9章では、8章までの結果や検討に基づいて、床版付半剛接合部の正曲げ、および負曲げ回転剛性評価式を提案している。

正曲げ回転剛性の評価式は、本章で導出したスラブのずれ量評価式から導出している。

負曲げ回転剛性の評価式は、6章の知見に基づいて床版と鉄骨梁界面のせん断力と柱側からの引張力の2つの力を考慮したスラブのずれ量の評価を付着解析により行い、さらに、5章で提案した鉄筋抜け出し剛性評価式を適用して導いている。これは、鉄筋バネ剛性とスラブのずれ剛性を線形バネで表現する従来の力学モデルとは異なった新しいものである。

これらの結果を6章の実験結果と比較し、正曲げについては、一次剛性、二次剛性ともほぼ妥当に評価できることを示している。また、負曲げについては、回転剛性を多少過大に評価しており、回転中心位置の適切な評価法が課題であるが、その他のパラメータについては性状を反映した適切な評価法となっている。

10章では、3層の3x3スパンの半剛接合を有する鋼構造骨組を試設計し、RC床版による補強・補剛効果を検証している。具体的には、半剛接合部の性状をEuro Code 3の分類に従い4種類設定し、RC床版による補強・補剛効果の有無をパラメータとして、骨組がわが国の耐震設計法で必要とされる保有水平耐力や剛性を有しているかを検討している。

これらの検討から、RC床版によって半剛接合部の剛性と耐力は相当程度の改善が期待でき、適切な構造計画的配慮を行えば、十分に実用的であるとの結論を得ている。

11章では、以上で得られた知見についてまとめ、全体の結論としている。

以上、本論文はRC床版の補強・補剛効果を利用した半剛接合を有する鋼構造骨組について、その力学的性能評価の方法と骨組への応用について研究したものであり、工学的に有用な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって学位申請者の市岡大幸は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。