

# 1. 鉄骨小梁における材端接合部の構造特性に関する研究

## Study on Structural Characteristics of End Joints in Steel Beams

山内 豊英\*<sup>1</sup> 森 浩二\*<sup>1</sup>

### 要 旨

鉄骨造の小梁について、大梁に取り付けたガセットプレートと小梁のウェブのみを高力ボルトで接合した従来のピン接合形式を対象として構造実験および FEM 解析を行い、接合部の構造特性について検討を行った。構造実験の結果、従来のピン接合部の耐力はウェブ部の滑り耐力と床スラブ筋の降伏によって決まり、簡単な評価式で安全側に評価できることを確認した。また、従来のピン接合部でも相応の曲げモーメントは負担するものの、たわみ角を抑制する効果は小さいことがわかった。FEM 解析による検討の結果、本研究のモデル化方針により実験結果を精度良く表現できた。

キーワード：鉄骨造／小梁／接合部／ピン接合／FEM 解析

### 1. はじめに

鉄骨造において、小梁の材端接合部はピン接合として設計を行うことが多い。これは、材端接合部に溶接等の煩雑な加工を施して剛接合とするよりも、ピン接合として簡素化するほうが合理的との慣例的な判断によるものと推測される。また、このような判断は、小梁が長期荷重のみを支持すればよいこと、建物全体の鋼材量に占める割合が低いこと等に起因すると考えられる。

一般に、鉄骨小梁におけるピン接合は、大梁に取り付けたガセットプレートと小梁のウェブのみを高力ボルトで接合したディテールを指すが、実際は高力ボルトの配置に応じて小梁のウェブ部分で曲げモーメントを負担している。さらに、床スラブは大梁と小梁を跨いで連続的に配置されることから、床スラブによっても相応の曲げモーメントが伝達される。西本ら<sup>1),2)</sup>は鉄骨小梁のピン接合を対象として回転剛性や滑り耐力を明らかにしているが、施工中(床スラブのコンクリート打設前)の曲げ特性に着目しており、床スラブ付き合成梁の曲げ特性については言及していない。また、西田ら<sup>3),4)</sup>による合成梁のピン接合を対象とした研究も見受けられるが、ウェブの高力ボルトのトルク値を低く設定しており、床スラブとボルトの支圧力のみを介した曲げ特性に着目している。このように、従来のピン接合を対象とした研究事例が幾つか見られるものの、ウェブの摩擦接合と床スラブとの複合的

な曲げ特性に関する基礎的な研究はほとんどない。

一方、大型物流施設の増加等に起因して小梁の大断面化が顕著となっており、材端接合部を剛接合とするニーズが高まっている。そのため、近年では小梁の材端接合部における簡素な剛接合あるいは半剛接合工法の開発を目的とした研究も散見される<sup>5)~11)</sup>。

本研究は鉄骨小梁における合理的な材端接合部工法の開発を最終的な目標とし、本報告においては従来のピン接合の構造特性について検討した結果を示す。ピン接合の鉄骨小梁を対象とした実大試験体による構造実験により、材端接合部の構造特性について考察を行うとともに、同試験体を対象とした有限要素法による解析(以下、FEM 解析と称す)と実験結果との比較・検証を行う。

### 2. 構造実験概要

#### 2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に示す。同表には床スラブのコンクリートおよび鉄筋の試験結果も併せて示す。また、試験体の概要を図-1に示す。概ね 10m スパンの小梁を対象とし、図-2のように、両端固定とした場合に小梁が負曲げとなる範囲に相当する形状とした。いずれの試験体も中央の大梁部分に設けたガセットプレートから従来のピン接合を介して小梁が取り付けられており、床スラブの有無と床スラブの補強筋形式をパラメータとした。接合部の

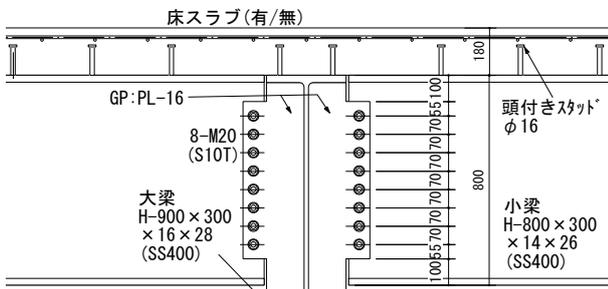
表-1 試験体一覧

試験体名	小梁 (SS400)	GP (SS400)	高力ボルト (S10T)	床スラブ(幅1m)		コンクリート(N/mm <sup>2</sup> )			鉄筋(N/mm <sup>2</sup> )		
				有/無	補強筋(SD295A)	圧縮強度	ヤング係数	割裂強度	径	降伏強度	ヤング係数
H8-N-0-P	H- 800×300 ×14×26	PL-16	8-M20 @70	無	-	-	-	-	-	-	-
H8-S-N-P				有	4-D10	33.9	2.96×10 <sup>4</sup>	3.11	D10	358.6	1.83×10 <sup>5</sup>
H8-S-3U-P				有	4-D10 + U字筋(D16)	35.2	2.97×10 <sup>4</sup>	2.69	D16	350.3	1.93×10 <sup>5</sup>
H8-S-D16-P				有	4-D16	34.7	2.90×10 <sup>4</sup>	3.25			

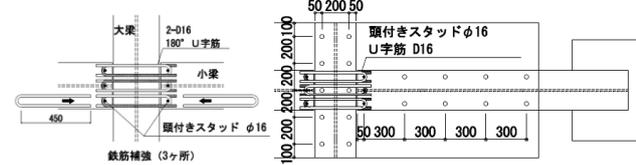
\*<sup>1</sup>技術研究所建築構造研究グループ

摩擦面については、ガセットプレートはショットブラスト処理、小梁ウェブはグラインダー掛けにより赤錆を自然発生させた。

床スラブ有りの試験体の大梁および小梁にはφ16の頭付きスタッドを設け、大梁は200mm間隔、小梁は300mm間隔の2列配置として床スラブと結合した。床スラブの補強筋については、ひび割れ防止筋としてD10を4本追加した試験体 H8-S-N-P を標準とし、3組のU字型のD16補強筋（以下、単にU字筋と称す）を追加した試験体を H8-S-3U-P、補強筋をD16とした試験体を H8-S-D16-P とした。なお、図-1(c)に示すように、U字筋と小梁端部のスタッドは接触させて設置し、U字筋に生じる引張力が直接小梁に伝達されるように配慮した。



(a) 試験体接合部詳細

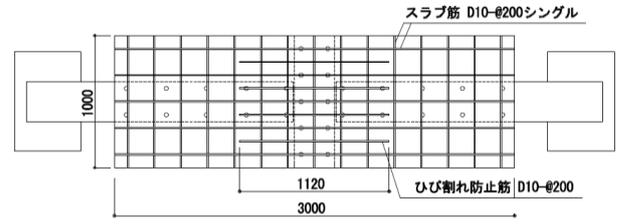


(c) 試験体 H8-S-3U-P の床スラブ

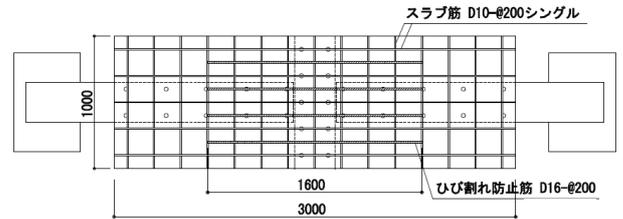
## 2.2 荷重計画

荷重装置の概要を図-3に示す。試験体を上下反転させて両端にピン支持治具を配置し、概ね図-2の曲げモーメント分布となるよう中央大梁部に鉛直荷重を作用させた。

鉛直荷重の荷重スケジュールを図-4に示す。各荷重において荷重と除荷を3回ずつ繰り返し、最終サイクルは大梁部分の鉛直変位が15mm程度となるまで荷重を作用させた。床スラブ無し試験体の荷重スケジュールは、ウェブ接合部の計算滑り耐力に基づいて計画した。床スラブ有りの試験体の荷重スケジュールは、事前に実施したパイロット実験において荷重144kNで床スラブに幅0.2mmのひび割れが発生したことを考慮して計画した。



(b) 試験体 H8-S-N-P の床スラブ



(d) 試験体 H8-S-D16-P の床スラブ

図-1 試験体概要

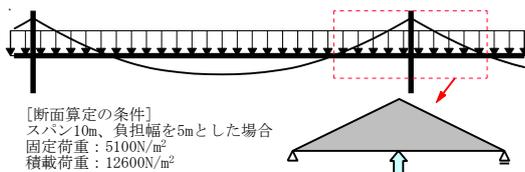
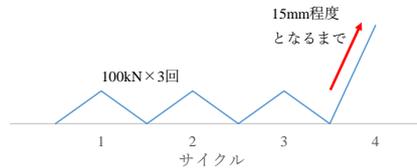
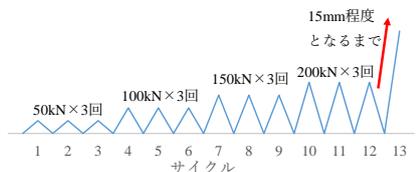


図-2 想定した支持条件



(a) 床スラブ無し試験体



(b) 床スラブ有り試験体

図-4 荷重スケジュール

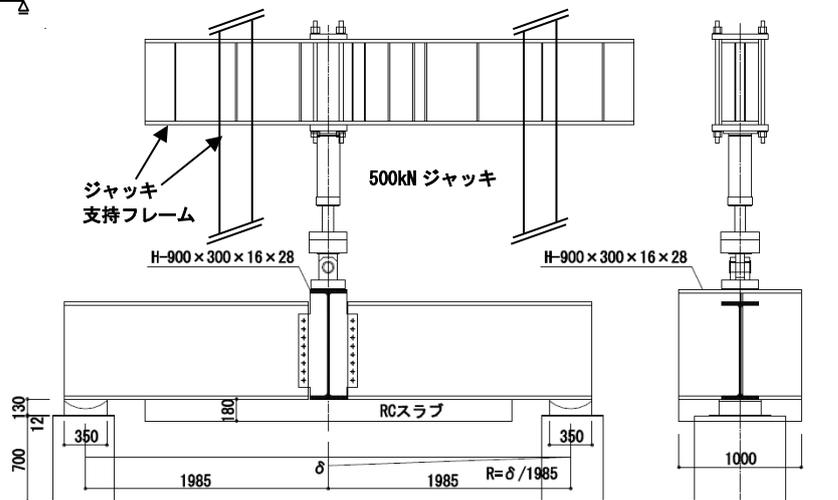


図-3 荷重装置概要

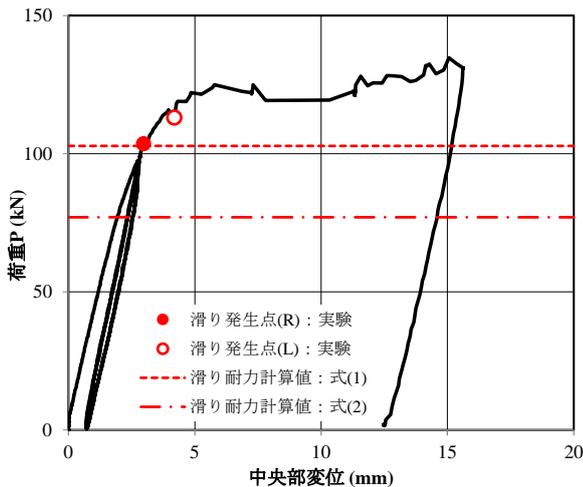
3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

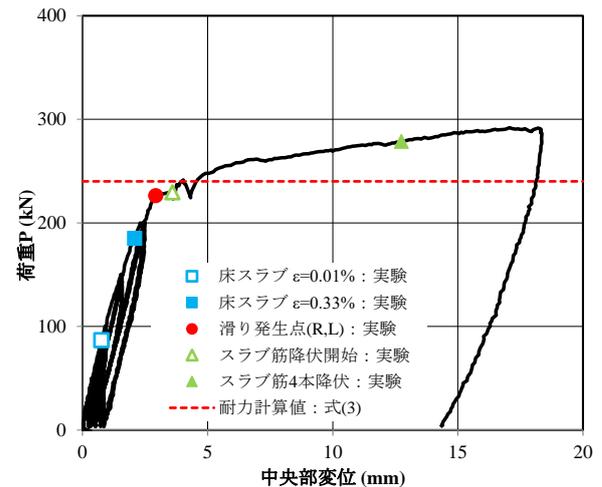
各試験体における中央大梁部の鉛直荷重と鉛直変位の関係を図-5に示す。図において、高力ボルト接合部に明瞭な滑りが発生した点を●あるいは○で示し、凡例中の「R」は図-3の右側の高力ボルト接合部、「L」は左側の高力ボルト接合部を表す。床スラブ有りの試験体については、図-6に示す床スラブ天端に設けたひずみゲージ（ゲージ長 60mm）において、いずれかのひずみ値が0.01%となった点を□、0.33%（ひび割れ幅に換算すると0.2mm）となった点を■で示す。また、図-7に示す床スラブ内の鉄筋に設けたひずみゲージにおいて、いずれかが降伏ひずみ値（0.196%）に達した点を△、以降、小梁材軸方向の同位置のひずみゲージにおいて実験終了までに降伏ひずみ値に達した鉄筋の本数（最大本数 4 本）を▲で示す。なお、本試験体の床スラブ幅は文献(12)による合成梁の床スラブ有効幅（連続梁の場合で 2349mm）より小さいため、床スラブのひずみ値は参考値である。

図-5(a)に示すスラブ無しの試験体 H8-N-0-P では、荷重 P の増加に伴い右側、左側の順に明瞭な滑りが発生しており、それまでは概ね弾性とみなせる。滑り発生直後に剛性が低下し、鉛直変位が 5mm 程度に達したところで荷重が概ね一定となった。

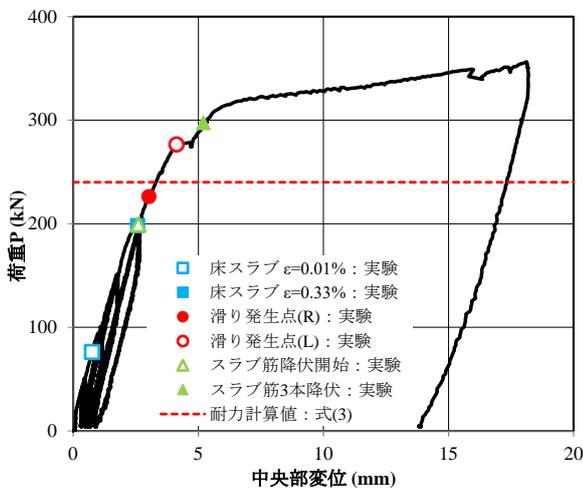
図-5(b)～(d)に示すスラブ有りの試験体も滑りが発生するまでは概ね弾性とみなせる。図-5(b)に示す試験体 H8-S-N-P では、滑り発生直後に剛性が低下して床スラブ筋が降伏し始め、最終的には同位置の全鉄筋が降伏した。図-5(c)に示す試験体 H8-S-3U-P では、滑り発生前から床スラブ筋が降伏し始め、滑り発生直後に剛性が低下し、最終的には 3 本の鉄筋が降伏した。降伏鉄筋 3 本は RW4、RCW4、RC4 の 3 カ所であるが、小梁材軸方向の同位置ではないものの、ほぼ同時に RW5、RCW5、RC3、RC5、RE3 も降伏ひずみ値に達しており、全幅の床スラブ筋が降伏したと考えられる。図-5(d)に示す試験体 H8-S-D16-P では、滑り発生後に徐々に剛性が低下して床スラブ筋が降伏し、最終的には同位置の全鉄筋が降伏した。



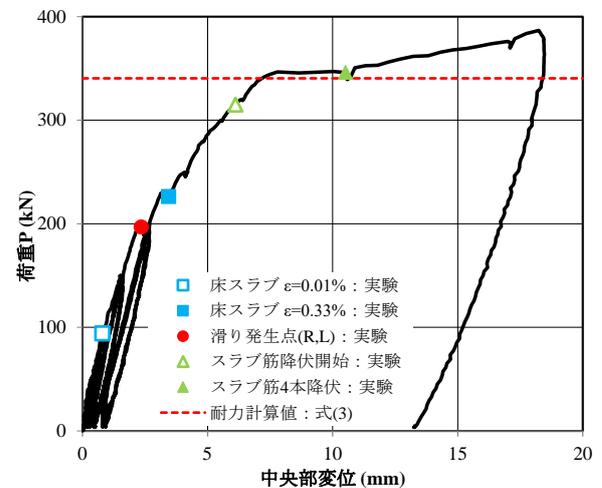
(a) 試験体 H8-N-0-P



(b) 試験体 H8-S-N-P



(c) 試験体 H8-S-3U-P



(d) 試験体 H8-S-D16-P

図-5 荷重-変位関係

続いて、各試験体の接合部耐力について検討を行う。

床スラブ無しの試験体における高力ボルト接合部の滑り耐力は式(1)および式(2)の2ケースで算定した。式(1)は各ボルトの滑り耐力と高力ボルト接合部の中心からの距離との積を累加したもの、式(2)は高力ボルト接合部のせん断力に対する寄与分も考慮し、最外縁の高力ボルトが滑り始める荷重に基づいて導出したものである<sup>1)</sup>。

$$P_N Q_{cal1} = \frac{2 \cdot q_{by} \cdot \sum r_i}{L_s} \quad \text{式(1)}$$

$$P_N Q_{cal2} = \frac{2 \cdot q_{by}}{L_s \sqrt{(y_m / \sum r_i^2)^2 + 1 / (n_b / L_s)}} \quad \text{式(2)}$$

$q_{by}$ : 高力ボルト1本当たりの滑り耐力(kN) (4.1節参照)  
 $r_i$ : 高力ボルト接合部中心と*i*番目ボルト孔芯との距離(m)  
 $L_s$ : 高力ボルト接合部中心と支点との距離(m)  
 $y_m$ : 高力ボルト接合部中心と最外縁ボルト孔芯との距離(m)  
 $n_b$ : 高力ボルトの本数(本)

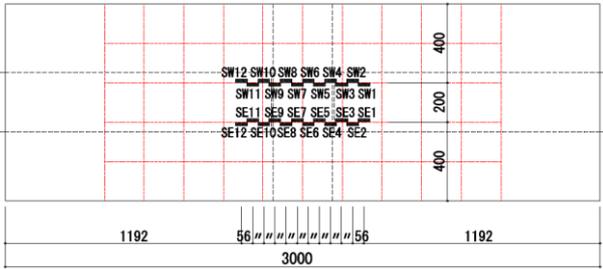


図-6 床スラブのひずみゲージ設置位置

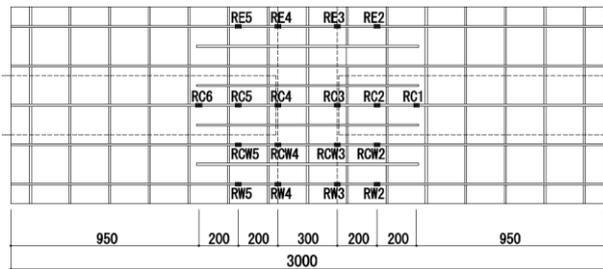


図-7 床スラブ筋のひずみゲージ設置位置

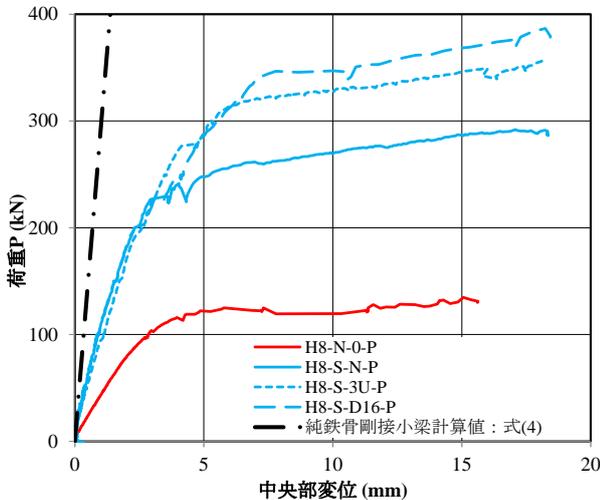


図-8 実験結果と純鉄骨剛接小梁の関係

床スラブ有りの試験体における接合部の耐力は式(3)で算定した。当該試験体については、せん断力の大部分をスラブで負担すると考え、式(1)と同様の滑り耐力と床スラブ筋が負担する曲げ耐力との累加とした。ただし、試験体 H8-S-3U-P においては、いずれの U 字筋も降伏ひずみ値に達しなかったため 9 本の D10 のみを考慮した。また、試験体 H8-S-D16-P においては、式(3)におけるスラブ筋の項を 5 本の D10 と 4 本の D16 の合計として算定した。

$$P_S Q_{cal} = \frac{2 \cdot (q_{by} \cdot \sum r'_i + n_r \cdot a_r \cdot r \cdot \sigma_y \cdot d_r)}{L_s} \quad \text{式(3)}$$

$r'_i$ : 合成梁の中立軸と*i*番目ボルト孔芯との距離(m)  
 $n_r$ : 床スラブ筋の本数(本)  
 $a_r$ : 床スラブ筋1本当たりの断面積(m<sup>2</sup>)  
 $r \cdot \sigma_y$ : 床スラブ筋の降伏強度(kN/m<sup>2</sup>)  
 $d_r$ : 合成梁の中立軸と床スラブ筋重心位置との距離(m)

式(1)～式(3)による接合部耐力の計算値を図-5に併せて示す。床スラブ無しの試験体の図-5(a)によると、式(1)および式(2)の滑り耐力値は、いずれも実験結果を安全側に評価した。式(1)は高力ボルトが滑り始める時点を示しており、実験結果と概ね整合している。

床スラブ有りの試験体の図-5(b)～(d)によると、式(3)による値はいずれも全鉄筋降伏時の荷重を安全側に評価した。一方、U字筋の効果を考慮していない図-5(c)を除き、耐力計算値の余裕度が小さい。合成梁の考え方も含め、より合理的な評価方法については今後の課題とする。

全試験体における荷重-変位関係の包絡線を図-8、実験結果の一覧を表-2に示す。試験体の剛性 $K_{exp}$ は滑り発生点の割線剛性とし、図-8および表-2には式(4)に示す純鉄骨剛接小梁の弾性剛性計算値 $K_{cal}$ も併せて示した<sup>6)</sup>。実験耐力 $Q_{exp}$ は、床スラブ無しの試験体は滑り発生点、床スラブ有りの試験体は図-5(b)～(d)の▲点とした。

$$K_{cal} = \frac{2}{L^3 / (3 \cdot E \cdot I) + L / (G \cdot A_s)} \quad \text{式(4)}$$

$L$ : せん断スパン(m) →  $L=1.985$ m  
 $E$ : ヤング係数(kN/m<sup>2</sup>) →  $E=2.05 \times 10^8$  kN/m<sup>2</sup>  
 $I$ : 断面二次モーメント(m<sup>4</sup>) → H-800×300×14×26  
 $G$ : せん断弾性係数(kN/m<sup>2</sup>) →  $G=E/\{2(1+0.3)\}$   
 $A_s$ : せん断断面積(m<sup>2</sup>)

表-2 実験結果一覧

試験体名	剛性		耐力		
	$K_{exp}$ (kN/m)	$K_{exp}/K_{cal}$	$Q_{exp}$ (kN)	$P Q_{cal}$ (kN)	$Q_{exp}/P Q_{cal}$
H8-N-0-P	$3.49 \times 10^4$	0.120	103.7	76.9	1.348
H8-S-N-P	$7.75 \times 10^4$	0.266	278.6	240.0	1.161
H8-S-3U-P	$7.50 \times 10^4$	0.257	297.5	240.0	1.240
H8-S-D16-P	$8.38 \times 10^4$	0.287	346.0	340.4	1.016

純鉄骨剛接小梁と各試験体の剛性の比率 $K_{exp}/K_{cal}$ は、床スラブ無しの試験体が12%程度、床スラブ有りの試験体が26%~29%となり、従来のピン接合形式でも相応の剛性を保持していることがわかる。また、床スラブ有りの試験体に着目すると、床スラブの補強筋量に応じて耐力は上昇するものの、剛性はほとんど変化していない。

### 3.2 小梁接合部のたわみ角

小梁接合部におけるたわみ角について検討を行う。図-9のような両端ピン接合の梁に等分布荷重が作用した場合の $x$ におけるたわみ角 $\theta(x)$ は式(5)のように表せる。

$$\theta(x) = \frac{\omega \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I} \left\{ 1 - 6 \left( \frac{x}{l} \right)^2 + 4 \left( \frac{x}{l} \right)^3 \right\} \quad \text{式(5)}$$

$\omega$  : 等分布荷重(kN/m)  
 $l$  : 梁スパン(m)

一方、本実験の試験体では図-10のような変位計測を行っており、大梁中心から200mmの位置におけるたわみ角が算定可能である。

ここで、式(5)よりピン接合の場合の分布荷重と $x=200\text{mm}$ におけるたわみ角との関係を導出し、図-2の状態を仮定して各試験体の支点反力から換算した分布荷重と $x=200\text{mm}$ のたわみ角との関係も導出して、それらを比較したものを図-11および図-12に示す。なお、式(5)において、梁スパン $l$ は10m、ヤング係数 $E$ は $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、断面二次モーメント $I$ は床スラブ無しの試験体では鉄骨小梁断面、床スラブ有りの試験体では文献12)に基づき幅1mの床スラブとの合成梁(正曲げ時)として定めた。試験体のたわみ角は左右両側の平均値とした。

図-11において試験体の弾性範囲に着目すると、従来のピン接合形式の試験体は、同じくピン接合の場合の計算値よりもたわみ角を抑制できていない。図-12の床スラブ有りの試験体の弾性範囲に着目すると、各試験体のたわみ角が計算値よりもわずかに小さくなる範囲が確認できるものの、顕著な抑制効果は見られない。3.1節の検討において、従来のピン接合部でも相応の剛性が確保されることを示したが、接合部付近におけるたわみ角の抑制効果は小さいと考えられる。これは、接合部端部ではガセットプレートのみで曲げモーメントを伝達する部分があり、当該部分の曲げ剛性が相対的に低くなること等に起因する。一方、このような曲げ剛性の低い部分の影響により、実際には小梁の反曲点を実験の支持点よりも大梁側に近づくと考えられるため、図-11および図-12の試験体の $\omega$ - $\theta$ 関係は参考値であることに留意されたい。

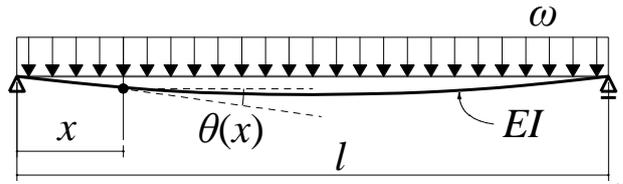


図-9 両端ピン接合・等分布荷重のたわみ角 $\theta(x)$

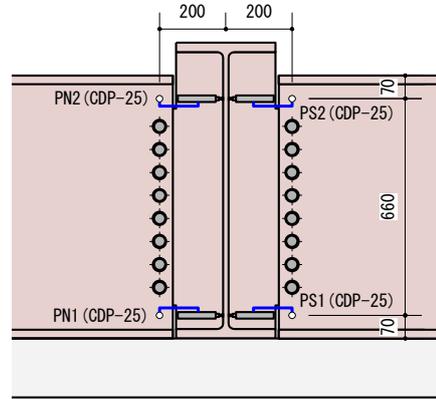


図-10 接合部付近の変位計設置位置

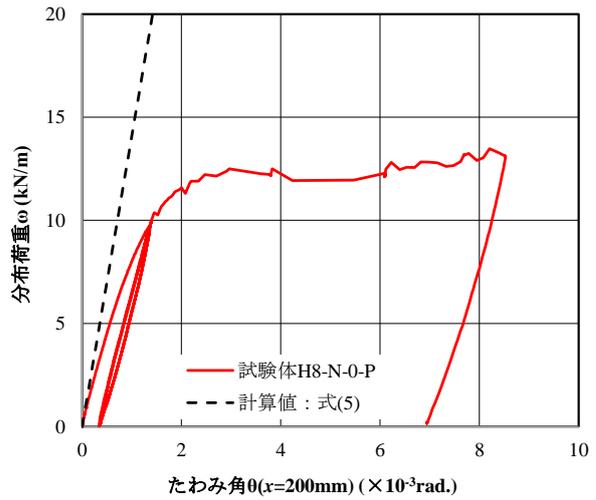


図-11 床スラブ無し試験体の分布荷重-たわみ角関係

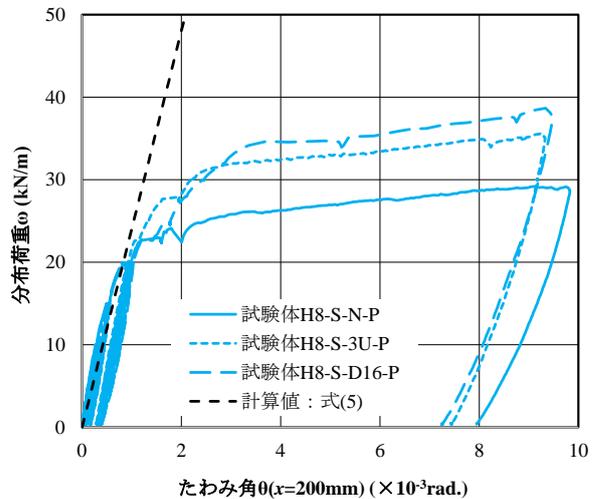


図-12 床スラブ有り試験体の分布荷重-たわみ角関係

4. FEM 解析による検討

実験を対象とした FEM 解析を行い、小梁の応力分布の確認や荷重-変位関係の比較により構造特性の考察を行う。対象試験体は H8-N-0-P、H8-S-N-P、H8-S-D16-P の 3 体とし、解析プログラムには Marc 2019 を使用した。

4.1 解析条件

FEM 解析モデルの一例を図-13 に示す。いずれも大梁との接合部の中央で軸対称とした 3 次元モデルとし、大梁の対称面を固定として、実験と同様の条件となるように小梁端部に荷重または変位を与えることとした。鉄骨部、高力ボルトおよびコンクリート部はソリッド要素、床スラブ筋およびスタッドは線材要素とした。高力ボルトには Marc2019 に実装されるボルト要素を使用し、ボルト要素それぞれに S10T-M20 の標準ボルト張力 182kN を作用させた。

床スラブ部分を除く材料特性の概要を表-3 に示す。床スラブ以外の各試験体モデルの材料条件は同じとし、H 形鋼、高力ボルト、剛体要素（載荷点の応力集中抑制のため）で構成した。H 形鋼の構成要素には完全弾塑性型の非線形特性を与え、von Mises の降伏条件<sup>13)</sup>に従うこととした。

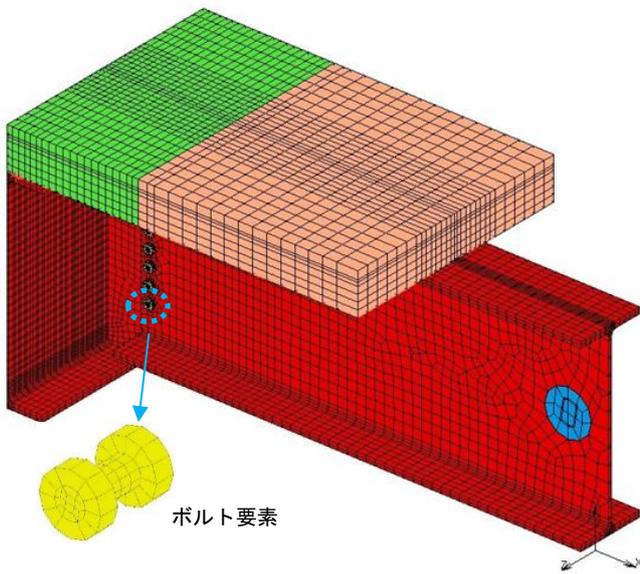


図-13 FEM 解析モデル（試験体 H8-S-N-P）

表-3 床スラブ部を除く材料特性一覧

要素	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>	ポアソン比	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>
H形鋼	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	235
高力ボルト	2.05×10 <sup>5</sup>	0.3	900
剛体	2.05×10 <sup>7</sup>	0.3	-

床スラブ有りの試験体について、コンクリート要素の一部を非表示とし、床スラブ筋要素とスタッド要素を可視化したものを図-14 に示す。床スラブは、コンクリート要素、床スラブ筋要素、スタッド要素で構成した。コンクリート要素は、ひび割れ発生域と非発生域に分けてモデル化し、コンクリートの圧縮強度、ひび割れ強度（割裂強度）、ヤング係数は表-1 に示す材料試験結果の値とした。ひび割れ発生域のコンクリートの材料特性は完全弾塑性型とし、降伏条件は Mohr-Coulomb の破壊規準<sup>13)</sup>に従うこととした。また、引張側の応力-ひずみ関係には図-15 のような条件を与え、引張軟化係数は文献<sup>14)</sup>によるコンクリートの破壊エネルギー式に基づいて定めた。スラブ筋要素も表-1 に示す材料試験結果の値に基づいてモデル化し、完全弾塑性型の非線形特性を与えた。

それぞれの要素間には接触条件を設け、表-4 に示す摩擦係数を与えた。小梁ウェブとガセットプレートの接触面については、試験体の小梁ウェブにおける赤錆の発生が乏しかったことを考慮して摩擦係数を 0.46 とした。

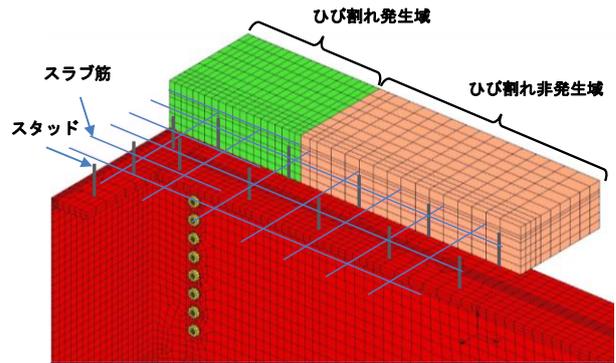


図-14 床スラブ部のモデル概要

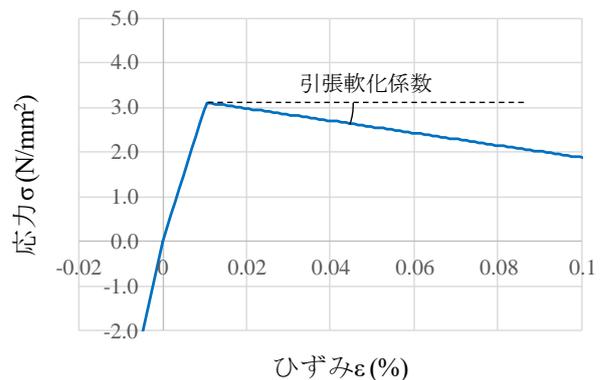


図-15 コンクリートの引張側の応力-ひずみ関係

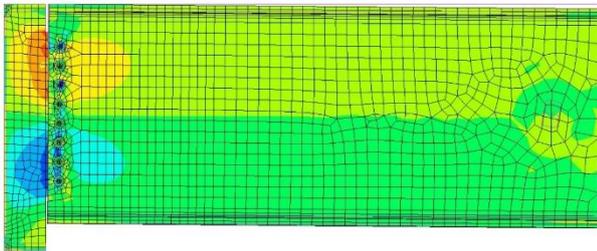
表-4 モデル要素間の摩擦係数一覧

	床スラブ コンクリート	小梁 上フランジ	ボルト 要素	ガセット プレート	小梁 ウェブ
床スラブコンクリート	-	0.10	-	-	-
小梁上フランジ	0.10	-	-	-	-
ボルト要素	-	-	-	0.20	0.20
ガセットプレート	-	-	0.20	-	0.46
小梁ウェブ	-	-	0.20	0.46	-

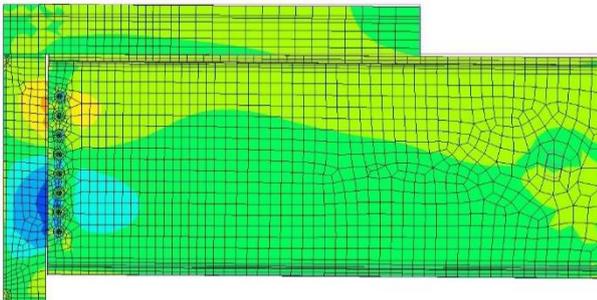
4.2 解析結果

小梁の材軸方向を  $x$  とした場合の荷重ピーク時における  $\sigma_x$  応力分布を図-16に示す。床スラブ無しの試験体を示した図-16(a)によると、接合部付近では高力ボルト周辺に応力が集中しており、応力伝達に寄与する範囲が限定的である。床スラブ有りの試験体を示した図-16(b)および(c)においても、接合部付近の応力伝達に寄与する範囲が限定的であり、図-16(a)と比較して圧縮応力の範囲が大きい。これは、床スラブの影響により中立軸が床スラブ側に移動しているためと考える。

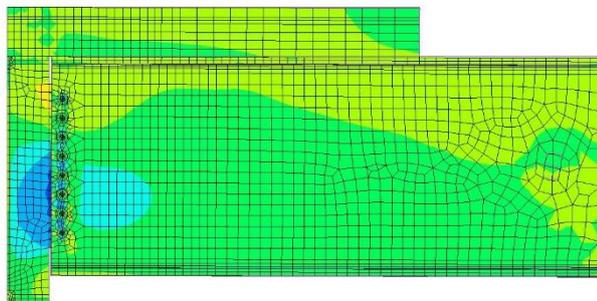
続いて、荷重-変位関係について、実験結果と FEM 解析との関係を図-17に示す。いずれの結果においても、実験結果と FEM 解析は精度良く一致しており、本研究



(a) 試験体 H8-N-0-P



(b) 試験体 H8-S-N-P

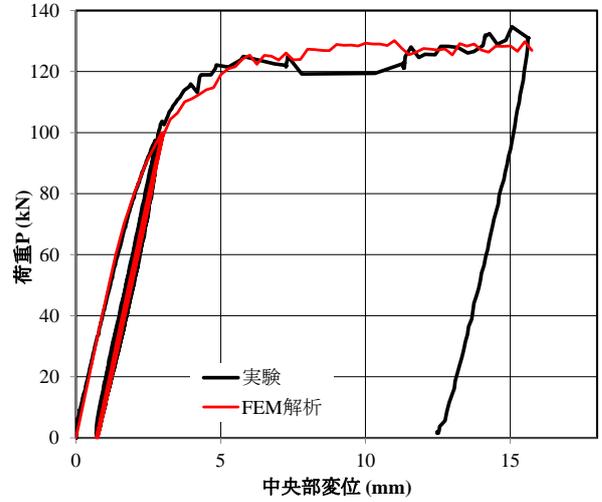


(c) 試験体 H8-S-D16-P

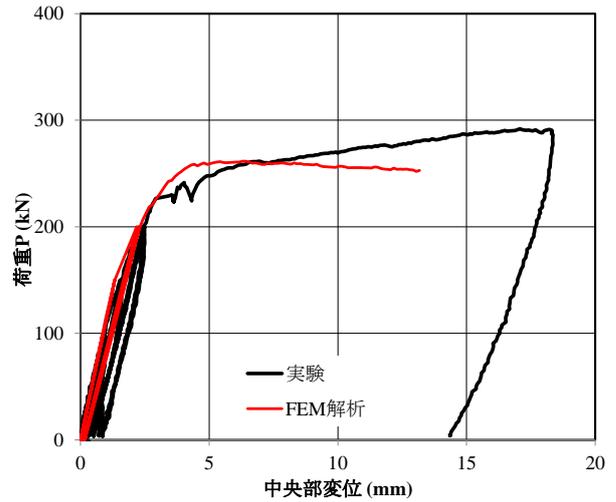


図-16 荷重ピーク時の  $\sigma_x$  応力分布

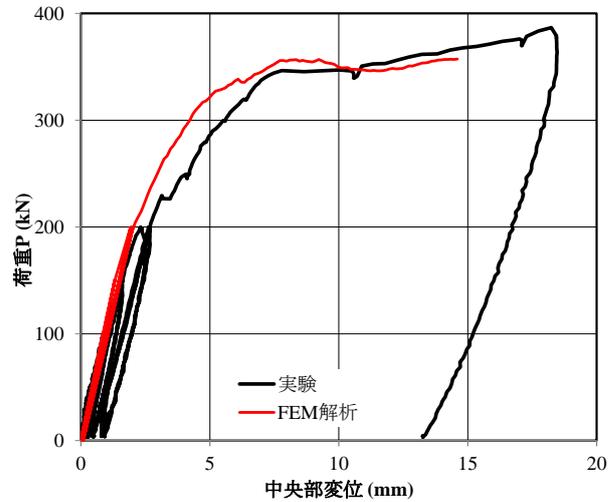
における FEM 解析のモデル化方針は概ね妥当と判断できる。



(a) 試験体 H8-N-0-P



(b) 試験体 H8-S-N-P



(c) 試験体 H8-S-D16-P

図-17 荷重-変位関係における実験と FEM 解析の比較

## 5. まとめ

鉄骨造の小梁について、ピン接合形式の従来の材端接合部を対象とした構造実験およびFEM解析を行い、接合部の構造特性について検討を行った。本検討の範囲で得られた知見を下記に示す。

- (1) 接合部の耐力はウェブ接合部の滑り耐力および床スラブ筋の降伏によって決まり、それらを累加した評価式で安全側に評価できる。
- (2) 従来のピン接合部においても小梁ウェブ部および床スラブ部において相応の曲げモーメントを負担しており、純鉄骨の剛接小梁と比較して、床スラブ無しの場合で12%、床スラブ有りの場合で26~29%程度の剛性を有する。床スラブ有りの試験体に着目すると、補強筋の量に応じて耐力は上昇するものの、剛性はほとんど変化しない。
- (3) 接合部付近に生じるたわみ角について、実験結果とピン接合の場合の計算値を比較した結果、両者の値に大きな差異はなかった。従来のピン接合部は相応の曲げモーメントを負担するものの、たわみ角の低減効果は小さい。
- (4) 実験を対象としたFEM解析によると、接合部付近では高力ボルト周辺に応力が集中しており、応力伝達に寄与する範囲が限定的である。本報告のFEM解析は実験結果と精度良く一致しており、モデル化方針は妥当と判断できる。

今後、本報告で抽出された種々の課題について検討を行い、鉄骨小梁における合理的な材端接合部工法の開発を目指す。

### [謝辞]

本実験は2016年度に実施したものです。本実験において多くのご指導をいただいた名古屋工業大学の井戸田秀樹教授に深く感謝申し上げます。

### [参考文献]

- 1) 西本信哉、安田聡、成原弘之、関清豪、佐藤英佑：鉄骨小梁端高力ボルト接合部の回転剛性とすべり耐力 その1 実験概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.703-704、2010.9
- 2) 安田聡、西本信哉、成原弘之、関清豪、佐藤英佑：鉄骨小梁端高力ボルト接合部の回転剛性とすべり耐力 その2 解析的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.705-706、2010.9

- 3) 西田裕一、有田政樹、北岡聡、鈴木一弁：合成スラブを有する連続梁の接合部の構造性能 その1 実験計画、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1493-1494、2019.9
- 4) 有田政樹、西田裕一、北岡聡、鈴木一弁：合成スラブを有する連続梁の接合部の構造性能 その2 実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1495-1496、2019.9
- 5) 木村正人、嶋崎敦志、宮脇正尚、鈴木康正、浅井英克、齋藤諭：床スラブを利用した鉄骨小梁半剛接合法の構造性能 その1 実験計画、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.959-960、2016.8
- 6) 鈴木康正、嶋崎敦志、木村正人、宮脇正尚、浅井英克、齋藤諭：床スラブを利用した鉄骨小梁半剛接合法の構造性能 その2 実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.961-962、2016.8
- 7) 宮脇正尚、嶋崎敦志、木村正人、鈴木康正、浅井英克、齋藤諭：床スラブを利用した鉄骨小梁半剛接合法の構造性能 その3 FEM解析による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.963-964、2016.8
- 8) 齋藤諭、木村正人、嶋崎敦志、宮脇正尚、鈴木康正、浅井英克：床スラブを利用した鉄骨小梁半剛接合法の構造性能 その4 H700 半剛接小梁の載荷実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1049-1050、2017.8
- 9) 木村正人、嶋崎敦志、宮脇正尚、鈴木康正、浅井英克、齋藤諭：床スラブを利用した鉄骨小梁半剛接合法の構造性能 その5 FEM解析によるH700 半剛接小梁の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1051-1052、2017.8
- 10) 西田裕一、有田政樹、清水信孝、北岡聡：合成スラブを有する連続梁の接合部の構造性能 その3 下フランジメタルタッチ接合の実験計画、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1307-1308、2020.9
- 11) 有田政樹、西田裕一、清水信孝、北岡聡：合成スラブを有する連続梁の接合部の構造性能 その4 下フランジメタルタッチ接合の実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.1309-1310、2020.9
- 12) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説、2010
- 13) 土木学会：材料特性の数理モデル入門—構成則主要用語解説集、1989
- 14) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】、2013