

# 論文 鉄骨部材から鉄筋コンクリート部材への応力伝達

松本剛史 \*・馬場 望 \*\*・西村泰志 \*\*\*

**要旨**：本研究は、RC 部材と S 部材が直列的に結合される接合部の耐力が、S 部材の埋め込み長さによってどのように影響されるのか実験的および理論的に検討した。その結果、接合部の耐力は、埋め込み長さが長くなるほど大きくなり、本実験の範囲では、部材の曲げ耐力を發揮させるためには、RC 部材に埋め込まれる S 部材の埋め込み長さが、S 部材せいりの 3 倍程度必要であることが示された。また、支圧力と摩擦力による S 部材から RC 部材への応力伝達機構が示され、支圧力によるこの機構に基づく耐力評価法によって実験値を良く評価できることが示された。

**キーワード**：RC-S 継手接合部，支圧力，摩擦力，応力伝達機構

## 1. 序

近年、鉄骨(以下、S という)、鉄筋コンクリート(以下、RC という)および鉄骨鉄筋コンクリート(以下、SRC という)構造の構造特性を巧みに利用した合成構造物が建設されている。これらの合成構造物において問題になるのは、RC 部材と S 部材との接合部である。これらの接合部は、部材が直交する場合と直列的に接合される場合の二つが考えられる。前者の問題については、数多くの研究資料が蓄積されているが、後者の問題に関しては、ほとんどなされていない。

このような観点から、本研究は、RC 部材と S 部材が直列的に結合される接合部に着目して、S 部材から RC 部材への応力伝達機構を実験的および理論的に解明しようとするものである。なお、本研究は、RC 部材と S 部材で構成される接合部の問題に適用されるばかりでなく、SRC 柱脚および継手部等の問題にも応用することが可能である。

## 2. 応力伝達機構の一考察

図 1 に仮定された応力伝達機構を示す。ここでは、最も基本的な観点から、継手接合部が純曲

げを受ける状態を想定する。図 1 (A) は、S 材フランジ面に働く一対の支圧力と摩擦力が S 材に働く曲げモーメントと釣合系を構成することを示している。図 1 (B) および (C) は、S 材のフランジ面に作用する支圧力と摩擦力を分離して示したものである。S 材フランジ上下面に作用する支圧力は 図 1 (B) に示すように、反作用と

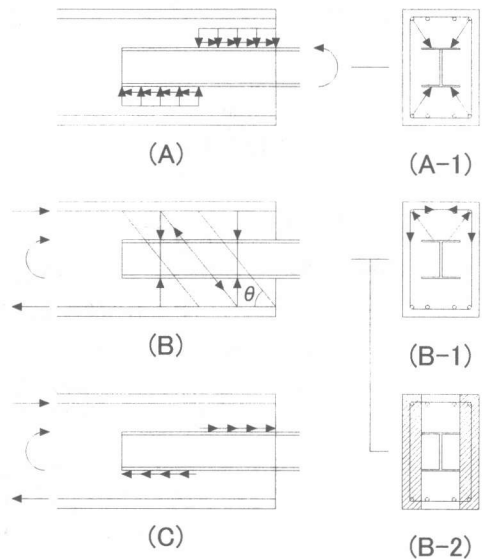


図 1 応力伝達機構

\* 株式会社 大春工業 (正会員)

\*\* 大阪工業大学大学院博士後期課程 工修 (正会員)

\*\*\* 大阪工業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

してRC部材を押し広げようとする。この押し広げようとする力に対して、せん断補強筋に引張力を生じさせ、それに伴って、コンクリートに斜め圧縮束が生じ、トラス機構を形成することを意味している。なお、図1(B-1)は、S材フランジ上下面に働く支圧力は反作用として、RC隅角部を向く力となり、その力に対してせん断補強筋が抵抗していることを示している。したがって、トラス機構を構成する幅は図1(B-2)に示すようにS材フランジより外側の部分である。支圧力によって決定される強さは、トラス機構を構成するせん断補強筋、コンクリート圧縮束の圧縮強度および鉄筋とコンクリートとの付着強度によって決定される。一方、S材フランジとコンクリートとの摩擦力は、コンクリートを介して主筋に伝達され、RC部材に作用する曲げモーメントと釣合系を構成する。

このような考えに基づいて、RC部材に埋め込まれたS部材との接合部の耐力は、

$$M = \frac{X^2 \times sB \times \sigma_u}{4} \quad (1)$$

となる。ここに、

$$\sigma_u = \min(\sigma_{u1}, \sigma_{u2}, \sigma_{u3}) \quad (2)$$

$$\sigma_{u1} = \frac{{}_{RC}B \times r \rho_w \times r_w \sigma_y}{sB} \quad (3)$$

$$\sigma_{u2} = \frac{({}_{RC}B - sB) \times c \sigma_{cw} \times \sin^2 \theta}{sB} \quad (4)$$

$$\sigma_{u3} = \frac{rT \times \tan \theta}{sB \times \frac{X}{2}} \quad (5)$$

$X$  : 鉄骨埋め込み長さ

$sB$  : 鉄骨幅

${}_{RC}B$  : 鉄筋コンクリート幅

$r \rho_w$  : せん断補強筋比

$r_w \sigma_y$  : せん断補強筋の降伏応力度

$c \sigma_{cw}$  : コンクリート圧縮束の圧縮応力度

$\theta$  : コンクリート圧縮束と部材材軸とのなす角度

$rT$  : 主鉄筋に作用する引張力  $rT = \min({}_yT, {}_bT)$

${}_yT$  : 主鉄筋の降伏引張力  ${}_yT = a_t \times r \sigma_y$

${}_bT$  : 主鉄筋の付着強度から求められる引張力

$${}_bT = \frac{X}{2} \times \tau_b \times n \times \psi$$

${}_r a_t$  : 引張主鉄筋量

${}_r \sigma_y$  : 主鉄筋の降伏応力度

$\tau_b$  : 付着応力度

$n$  : 引張側の主鉄筋の本数

$\psi$  : 一本あたりの主鉄筋の周長

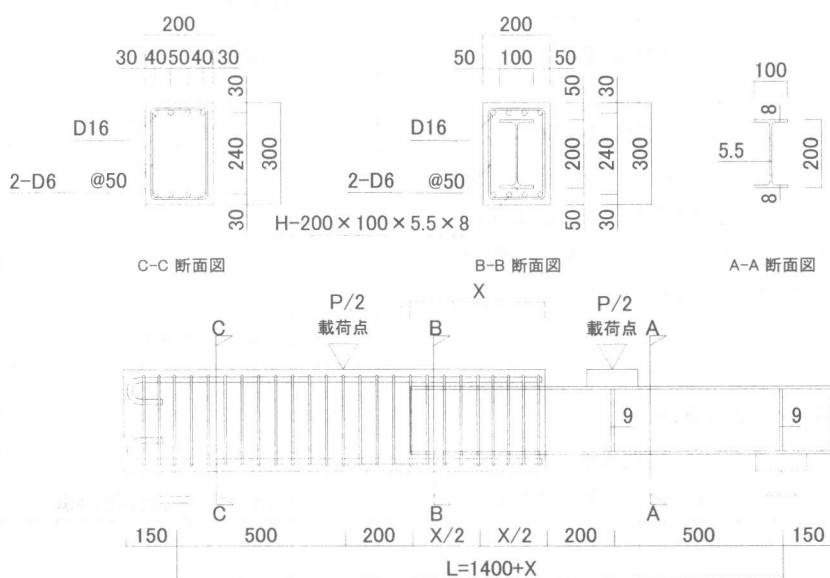


図2 試験体の形状寸法、断面および配筋詳細

なお、コンクリートと S フランジ面との摩擦力は不明な点が多く、式(1)では、無視して考えている。

### 3. 実験概要

図 2 は、計画された試験体の形状寸法、断面および配筋詳細図である。RC 断面は  $200 \times 300$  mm であり、主鉄筋は圧縮及び引張側に D16 (SD295) が 4 本配筋されている。せん断補強筋は D6 (SD295) が 50 mm 間隔で配筋されている。せん断補強筋比  $P_w$  は 0.64% である。S 材は公称寸法が H-200×100×5.5×8 (SS 400) の H 形断面である。なお、鉄骨部分の曲げ耐力  $M_S$  と鉄筋コンクリート部分の曲げ耐力  $M_{RC}$  の比  $M_S/M_{RC}$  は 1.12 である。また、鉄骨部分の曲げ剛性  $E_S I_S$  と鉄筋コンクリート部分の曲げ剛性  $E_{RC} I_{RC}$  の比  $E_S I_S/E_{RC} I_{RC}$  は 0.317 である。実験変数は、RC 部材に埋め込まれた S 部材の埋め込み長さ X である。埋め込み長さは 200, 400, 600 および 800 mm であり、計 4 体の試験体が計画された。なお、せん断補強筋量は、埋め込み長さが、800 mm の試験体について、上述の式(1)によって求められる耐力が、部材の耐力よりも大きくなる

表 1 使用材料の力学的特性

材料		降伏応力度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
鉄骨	フランジ PL8	334	456	$2.07 \times 10^5$
	ウェブ PL5.5	367	473	$2.03 \times 10^5$
鉄筋	主筋 D16	320	510	$1.98 \times 10^5$
	せん断補強筋 D6	397	532	$1.80 \times 10^5$
コンクリート		圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
		22.9	2.37	$1.60 \times 10^4$

ように決定された。表 1 に使用された材料の力学的特性を示す。

実験は、試験体の両端を単純支持し、継手接合部に純曲げモーメントが作用するように 2 点载荷を行った。なお、载荷は、単調载荷とした。

### 4. 実験結果とその考察

#### 4.1 ひび割れおよび破壊性状の考察

図 3 に試験体の最終破壊状況を示す。各試験体とも、埋め込み始点近傍より埋め込み端部にかけて斜張力ひび割れが生じている。純曲げ区間に斜張力ひび割れが生じていることから、RC 部材には、せん断力が生じていることが推察される。また、これは、上述の応力伝達機構で示されたコンクリート圧縮束の形成を意味して

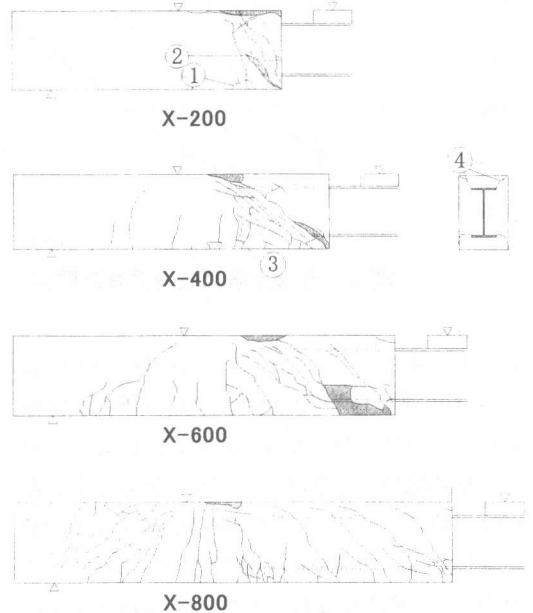


図 3 最終破壊状況

表 2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

発生荷重 (kN)	試験体名				最大荷重
	①*曲げひび割れ	②せん断ひび割れ	③付着ひび割れ	④支圧に伴う斜めひび割れ	
X-200	43.1	48.3	-	43.1	55.6
X-400	52.3	109.3	129.0	62.4	129.1
X-600	77.5	149.1	-	210.4	243.7
X-800	78.3	198.6	273.1	256.0	318.7

\*①～④は、図 3 中に示されるひび割れに対応している

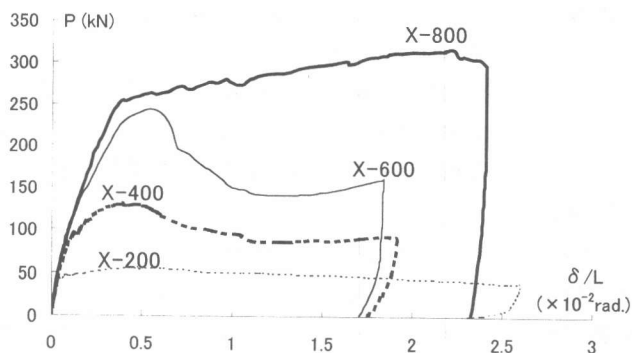


図4 荷重変形曲線

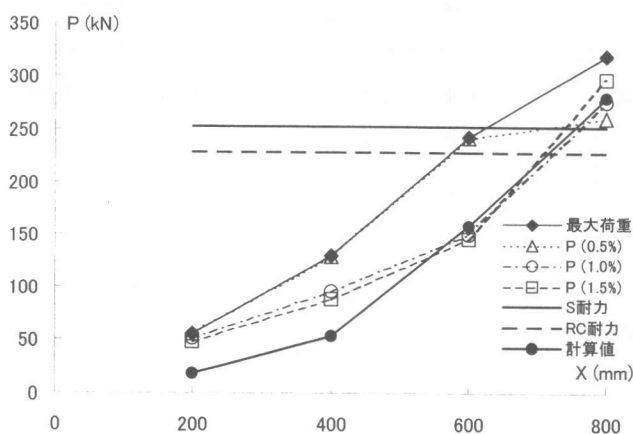


図5 荷重と埋め込み長さの関係

いるものと考えられる。また、X-200、400 および X-600 試験体では、埋め込み始点側の引張主筋に沿ったひび割れがみられる。これは、上述の応力伝達機構で示された主鉄筋の付着によるものと考えられる。なお、X-800 試験体は、X-600 試験体と同じ様な角度で斜張力ひび割れが生じたが、その範囲は接合部の埋め込み始点よりに生じ、埋め込み端付近では観察されず、埋め込み端部に多数の曲げひび割れが見られた。なお、表 2 に、代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

#### 4.2 荷重 - 変形関係

図 4 は、各試験体の荷重変形曲線を示す。縦軸は荷重  $P$ 、横軸は継手接合部中央部の撓み  $\delta$  を部材長  $L$  で無次元化した値  $\delta/L$  を示す。

X-800 試験体は、主鉄筋が降伏後部材角の増

大に伴って耐力が上昇する。X-400 および 600 試験体では、最大耐力発揮後急激に耐力が低下するが、耐力の低下後変形が大きくなると、ほぼ一定の耐力を維持している。これは、最大耐力までは、S フランジとコンクリートとの摩擦力の影響が顕著であるのに対し、耐力低下後は支圧力の影響が顕著になるためではないかと推察される。一方、X-200 の試験体は、X-400 および 600 試験体のような現象は観察されず、ほぼ一定の耐力を維持している。

図 5 は、荷重と埋め込み長さの関係を示す。縦軸は荷重  $P$ 、横軸は埋め込み長さ  $X$  を示す。実線および破線は、それぞれ S 部材および RC 部材の終局曲げ耐力を示す。◆、△、○ および □ は最大荷重、部材角が 0.5%、1.0% および 1.5% 時の耐力を示す。● は、上述の式 (1) より、求められた計算値である。なお、これらの計算値はせん断補強筋

の強さによって決定される (3) 式により求められた結果である。耐力は、埋め込み長さが長くなるほど増大し、埋め込み長さが、600 mm の試験体では、部材の耐力を発揮している。本実験の範囲では、部材の耐力を発揮させるためには、S 部材せいの 3 倍程度の埋め込み長さが必要である。式 (1) によって計算された結果は、埋め込み長さが長くなるほど耐力が上昇し、実験結果と同様の傾向を示している。しかしながら、部材角が 1.0% あるいは 1.5% 時の耐力をみると、埋め込み長さの短い試験体に対しては小さめの結果を与えている。これは、ひび割れ状況でも示されたように、埋め込み始点近傍の主筋の付着破壊の影響を考慮していないことが原因ではないかと推察される。また、計算値は、最大耐力に対しては埋め込み長さに拘わらず実験値に対して小さめの結果を与えている。これは、式 (1) では、

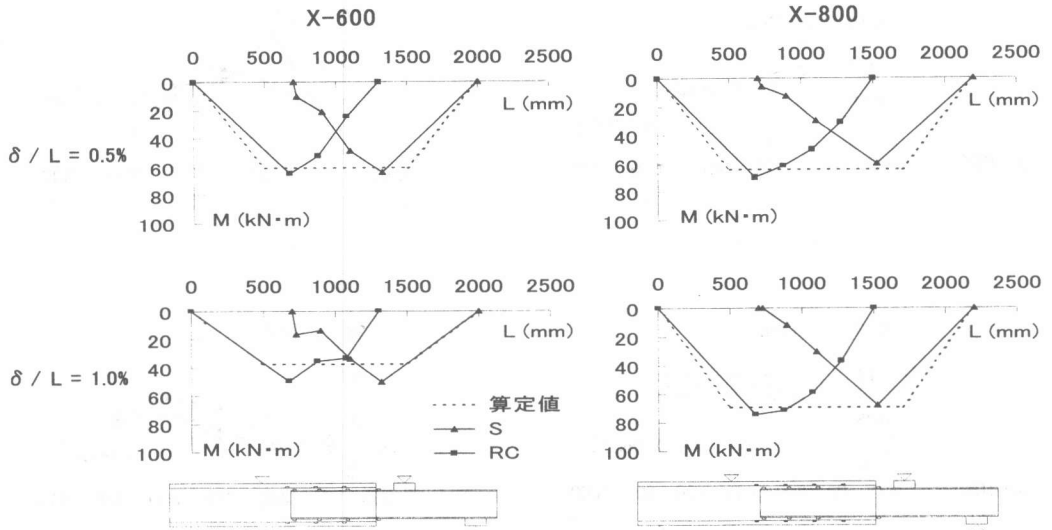


図 6 モーメント分布

摩擦力の影響を無視しているためであると考えられる。

#### 4.3 モーメント分布

図 6 に、X-600 試験体と X-800 試験体について、部材角が 0.5% および 1.0% 時の RC および S 部分の負担モーメントの分布状況を示す。▲ および ■ は、それぞれ、S および RC 部分の負担モーメントを示す。なお、負担モーメントは、S 部分は S フランジ両外面、RC 部分は引張および圧縮側主筋のひずみ測定値から平面保持を仮定し、鉄骨および主鉄筋の応力ひずみ関係はバイリニア型、一方、コンクリートの応力ひずみ関係は、圧縮強度まではパラボラ曲線、圧

縮強度以降の強度は一定と仮定して求めた。また、破線は、部材角が 0.5% および 1.0% 時の荷重から求められる曲げモーメントである。S 部分の負担モーメントは、埋め込み始点から急激に減衰し、埋め込み端部では、ほぼ 0 になっている。それに対して、RC 部分の負担モーメントは、埋め込み始点から急激に増大をしている。

#### 4.4 軸力分布

図 7 に、X-600 と X-800 試験体について S 部分の負担軸力分布を示す。なお、負担軸力の算定は、負担モーメントを求める場合と同じである。各試験体とも、引張力が生じており、S 部分には摩擦力が存在することが推察され、上述

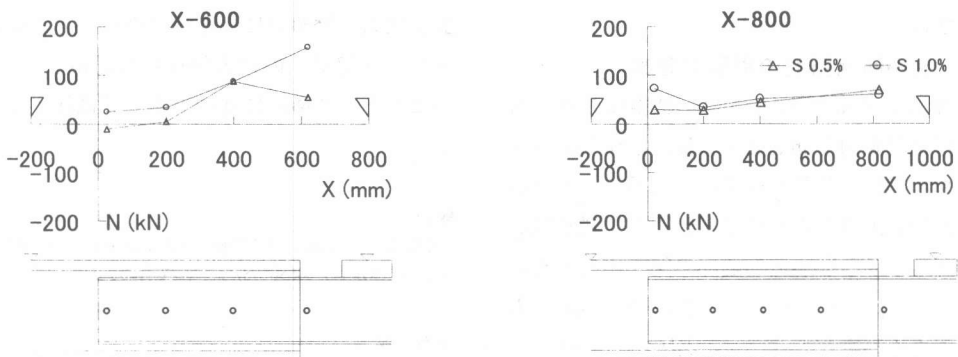


図 7 鉄骨部分の軸力分布

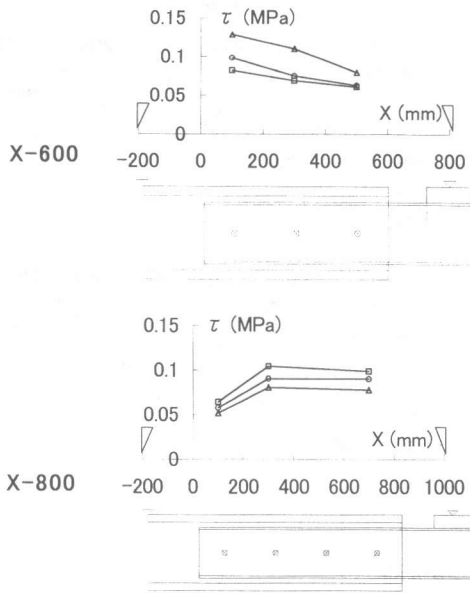


図 8 鉄骨ウェブ中央部のせん断応力度分布

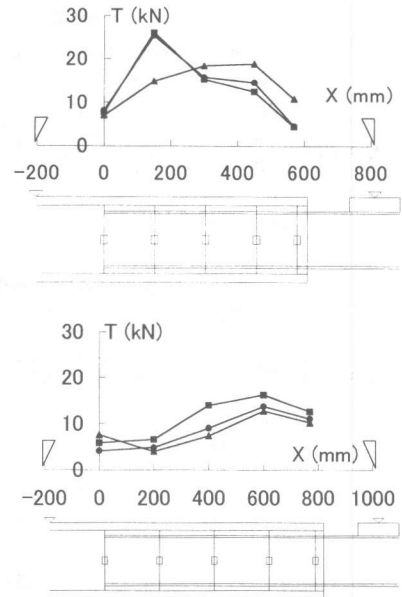


図 9 せん断補強筋の引張力分布

の応力伝達機構に対応しているものと考えられる。

#### 4.5 せん断応力度分布

図 8 に、X-600 および 800 試験体について、S 部分ウェブ中央部の負担せん断応力度分布を示す。前述の仮定された S フランジに作用する支圧応力分布のもとでは、せん断力分布は、山型の分布を示すと考えられるが、測定された応力分布は X-600 試験体は右下がりの分布状況を示しているが、X-800 試験体はそのような傾向は見られない。このことから、仮定された支圧応力の分布については、今後更に詳細な検討が必要である。

#### 4.6 せん断補強筋の引張力分布

図 9 に、X-600 および 800 試験体のせん断補強筋の引張力分布を示す。仮定された応力伝達のもとでは、支圧力を受ける部分では、一様な引張力が作用すると考えられるが、実験では、埋め込み始点と埋め込み端部の間で山型分布となっている。このことから、4.5 節のせん断応力度分布で述べられたように、支圧応力の分布については、更に検討の余地が残されていると考

えられる。

### 5. 結論

RC 部材と S 部材が直列的に結合された接合部の応力伝達機構を実験的および理論的に検討した結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 鉄筋コンクリート部材と鉄骨部材が直列的に結合される接合部の耐力は、埋め込み長さが長くなるほど大きくなる。本実験の範囲では、部材の曲げ耐力を發揮させるためには、鉄筋コンクリート部材に埋め込まれる鉄骨部材の埋め込み長さは、鉄骨せいりの 3 倍程度必要である。
- 2) 支圧力と摩擦力による鉄骨部材から鉄筋コンクリート部材への応力伝達機構が示され、支圧力によるこの機構に基づく耐力評価法が示された。

#### 謝辞

本研究は、文部省科学研究補助金基盤研究 C (研究代表者 西村泰志 課題 No. 10650578) によって行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 西村泰志・南 宏一: S 部材と RC 部材で構成される継手部の応力伝達機構, 構造工学論文集 Vol. 34B, pp. 221-226, 1988. 3