

(43) SRC 継手部の合理的な補強法の開発

REINFORCING BAR DETAILS OF COMPOSITE JOINTS

西村 泰志¹⁾ 南 宏²⁾

Yasushi NISHIMURA Koichi MINAMI

In the composite joints joining principal members, the mechanisms of the stress transfer from steel portion to reinforced portion was clarified. In this mechanism, prying action and truss mechanism were applied. On the basis of this proposed mechanism, the reinforcing bar details of joints were proposed. The details were composed of transverse and longitudinal reinforcing bars. To verify this proposed details, eight beams with joint were tested under pure bending moment. Experimental variables were the amount of transverse reinforcing bars and the length of the longitudinal bars. Failure modes, load vs. deflection relationships and ultimate strength of the joint with the proposed details were examined in detail. From test results, the effectiveness of the proposed details was verified.

1. 序

SRC 継手には、鉄骨部分と鉄筋コンクリート部分の2つの継手部がある。鉄筋コンクリート継手部は鉄筋の継手の問題に帰着するので、ここでは、鉄骨継手部について検討する。

鉄骨継手部に高力ボルト接合を用いた場合、ボルト穴による断面の欠損が過大であったり、ボルトの本数が少なかったりあるいはスプライスプレートが薄かったりすると鉄骨継手が破断し、部材の耐力を発揮できないばかりか靱性を損なう結果となるので、全強接合あるいは少なくとも保有耐力接合とすることが推奨されている。しかしながら、施工上のなんらかの影響で、全強接合あるいは保有耐力接合できない場合がある。しかしながら、このような場合でも、鉄骨部分に作用している応力を鉄筋コンクリート部分に置き換えることができるならば、全強接合あるいは保有耐力接合されていない継手であっても脆性的な破壊を避けることが可能であると考えられる。

このような観点から、谷¹⁾は鉄骨継手部の周囲に鉄筋コンクリート部分を取り付けた試験体を用いて引張試験を行い、鉄骨の付着力が充分あれば鉄骨の応力を鉄筋コンクリート部分に伝達させることは可能であるとして、継手部の耐力を鉄骨継手部の耐力と鉄骨部分の付着耐力の和によって評価できることを明らかにしている。最近になって、福知²⁾らは鉄骨継手部を模して、フランジ部分に断面欠損を有する鉄骨部材を内蔵したSRCばりの実験を行い、鉄骨断面の欠損による曲げ耐力の低下を欠損部周囲に配置した鉄筋によって補強することが可能であり、降伏強度に基づく曲げ耐力の低下に対し、80%以上補強されれば、無欠損

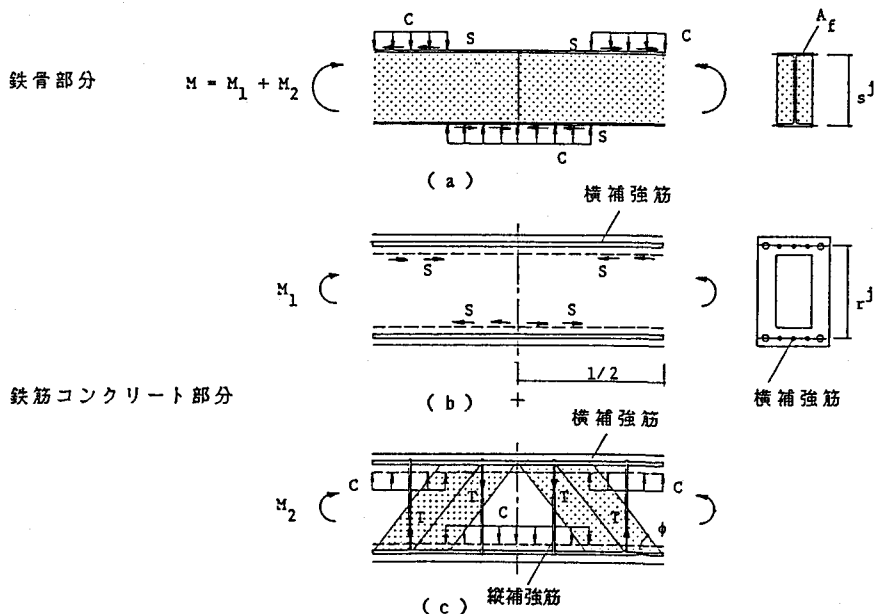


図 - 1 応力伝達機構

のものと同等の耐力を有すること等を明らかにしている。また、部材接合端のはりフランジと柱フランジの溶接の不備に対して、溶接部周囲に補強鉄筋を配置することによって、溶接部の不備を補うことが可能であるとする研究^{3,4)}も行われている。

このように、鉄骨部分の応力を鉄筋コンクリート部分に置き換えることは可能であることが既往の研究によって明らかにされているが、鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達機構には不明な点が多い。

本研究は鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達機構を明らかにするとともに、その応力伝達機構に基づく合理的な補強方法を提案し、その妥当性を実験的に明らかにする。

2. 応力伝達機構

図 1 は、SRC 継手部が純曲げを受けたときの鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への 応力伝達機構を示したものである。鉄骨部分には、図 1 (a) に示すように摩擦力 S と支圧力 C が作用していると考えられる。図 1 (b) および (c) は、鉄筋コンクリート部分について示したものであり、摩擦力と支圧力を、それぞれ分離して検討したものである。図 1 (b) は、鉄骨フランジ面に作用する摩擦力 S は、コンクリートを介して、鉄筋へと伝達されることを示している。もし、継手部に横補強筋(ここでは、はりの材軸に平行に配置される鉄筋をいう)が配置されているならば、摩擦力 S は横補強筋に伝達され、継手部の応力伝達の効果を増大させることができると考えられる。一方、図 1 (c) は、鉄骨フランジ面に作用する支圧力は反作用として鉄筋コンクリート部分を押し広げる力となり、この押し広げる力に対し、縦補強筋(ここでは、はりの材軸に直交方向に配置される鉄筋をいう)の引張力 T が釣り合い、その結果コンクリートには斜め方向に圧縮場が形成され、トラス機構を形成して抵抗することを示している。もし、縦補強筋と横補強筋が配筋されているならば、コンクリート束に生ずる圧縮力の水平および鉛直成分はそれぞれ縦および横補強筋に伝達されるので、鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達の効果を増大させることが可能であると考えられる。鉄骨フランジの全応力を鉄筋に伝達するためには、横補強筋と縦補強筋の降伏応力度が同じであれば、横補強筋量 a_2 は $a_2 = (A_r \cdot s_j) / r_j$ を満足する必要がある。また、縦補強筋量 A_w は、

$l/2$ の範囲に $a_2 \cdot \tan \phi$ の面積があれば良いと考えられる。なお、この縦補強筋量 $a_2 \cdot \tan \phi$ はトラス機構によってのみ鉄骨の応力が鉄筋コンクリート部分に伝達されると仮定して求められる量である。ここに、 A_f はフランジの断面積、 l は横補強筋の長さ、 ϕ は材軸とコンクリート束とのなす角、 s_j はフランジ重心間距離、 r_j は横補強筋間距離である。

SRC 継手部の鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達機構は、図 1 (b) の摩擦による機構と図 1 (c) のトラス機構の 2 つが混在していると考えられる。

3. 実験計画

本実験で計画された試験体ははり型形式である。はり中央の鉄骨部分に継手部が設けられ、ウェブのみボルト接合されている。実験変数は、鉄骨継手部の周囲に配置される横補強筋の長さ l およびせん断補強筋比 p_w である。 l は 45 cm および 90 cm である。 p_w は 0.47 % および 0.24 % である。なお、比較の為に、鉄骨継手部のない試験体、無補強の試験体、純鉄骨の試験体および鉄骨継手部は有するがボルト接合していない試験体も計画し、計 8 体とした。なお、表 1 に各試験体の特性を示す。

図 2 に試験体の形状寸法、配筋詳細および断面を示す。主鉄筋は各試験体 D16 が 4

表 - 1 試験体の特性

試験体名	No. 1	No. 2	No. 3 ²⁾	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
断面構成	S	SRC						
R C 部	-	4 - D16, D6□@90						
補強詳細	-	-	l = 900 6 - D16 D6□@45		l = 900 6 - D16 D6□@45 D6□@90		l = 450 6 - D16 D6□@45 D6□@90	
S 部	H - 150×100×6×9							
S 継手部	継手有 ¹⁾	継手無	継手有					

- 1) 継手有の場合ウェブのみボルト接合されている。継手部のスプライスプレートの板厚は 4.5 mm、12φ の高力ボルトが 4 本使用されている。
- 2) 継手は無するがボルト接合無し。

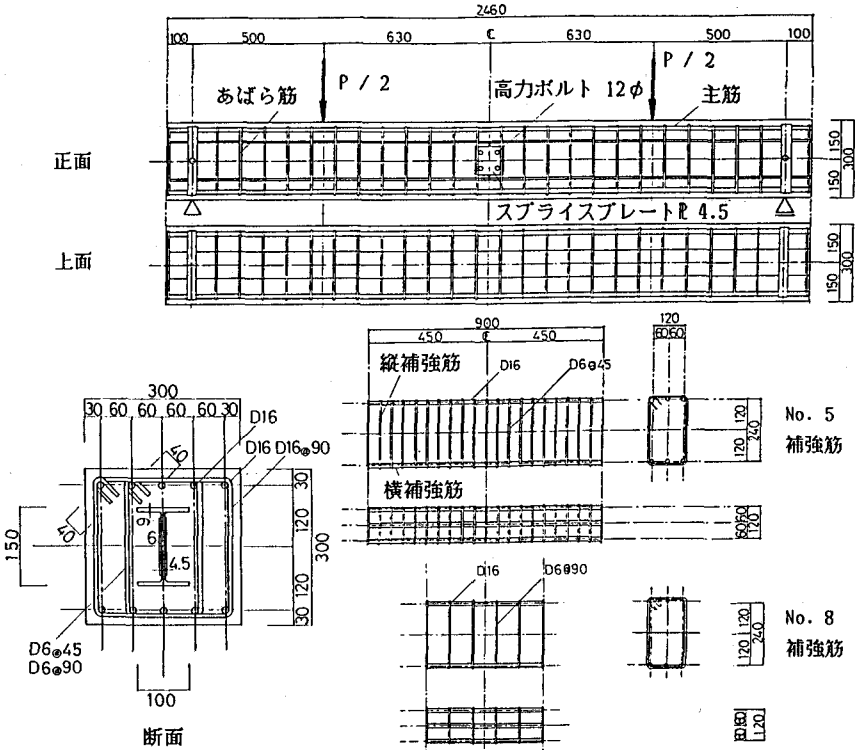


図 - 2 試験体の形状寸法、配筋詳細および断面

本、D6 のせん断補強筋が 90 mm 間隔で配筋されている。横補強筋は D16、縦補強筋は D6 が使用され、実験変数に応じて鉄骨継手部周囲に配筋されている。主鉄骨は H 形鋼で構成され、その公称寸法は H - 150 × 100 × 6 × 9 である。スプライスプレートの板厚は 4.5 mm で、12 φ の高力ボルトが 4 本用いられている。鉄骨継手部の性状が各試験体同一になるように、トルクレンチを用いて 900 kg・cm のトルクで手締めした。なお、このような手法によって、各試験体同一の変形状態を有する鉄骨継手部を求められることが予備実験によって確かめられている。本実験は、図 2 に示すように継手部をはさんで 2 点載荷するものである。なお、表 2 に使用材料の力学的特性を示す。

4. 実験結果およびその考察

図 3 に代表的な試験体のひび割れおよび破壊状況を示す。純曲げ区間において、鉄骨継手のない試験体 No. 2 では、曲げひび割れのみ発生し、変形の増大とともに圧縮側のコンクリートが圧壊する。一方、鉄骨継手を有する場合、補強筋が配置されていない試験体 No. 4 では、鉄骨継手部位置に発生した曲げひび割れは変形の増大とともにそのひび割れ幅は大きくなり、その部分にのみ破壊が集中する。それに対して、継手部に補強筋を配した試験体では、補強筋を配置していない部分では曲げひび割れのみ発生するが、補強筋を配置した部分に生じた曲げひび割れは、せん断ひび割れへと進展していく。これは、補強筋が存在することによって、鉄骨部分の応力が鉄筋コンクリート部分に伝達され、鉄筋コンクリート部分にはせん断応力が存在しているからである。なお、表 3 に純曲げ部に生じた曲げ、斜張力ひび割れおよび圧縮側コンクリートの圧壊荷重を示す。

図 4 に荷重たわみ曲線を示す。縦軸は載荷梁に負荷した荷重 P 、横軸は鉄骨継手部位置のたわみと載荷点位置でのたわみの差 δ ($= \delta_c - \delta_p$ 、 δ_c は鉄骨継手部位置のたわみ、 δ_p は載荷点位置でのたわみ) である。図中の一点鎖線は、一般化累加強度式によって求められた SRC 部材の曲げ耐力より求められた荷重である。補強筋を有する試験体の荷重たわみ曲線は、補強筋を配置していない試験体 No. 4 と継手部のない試験体 No. 2 の荷重たわみ曲線の間

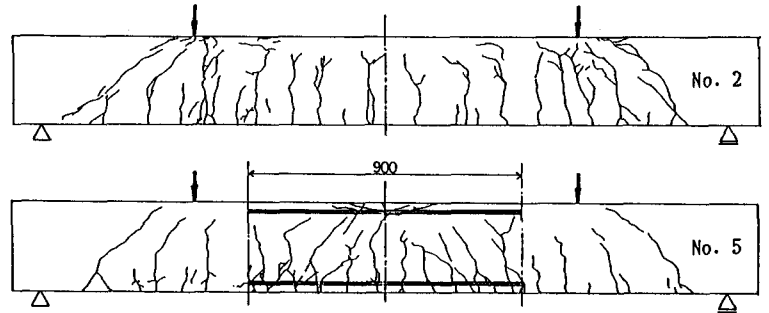


図 - 3 ひび割れおよび破壊状況

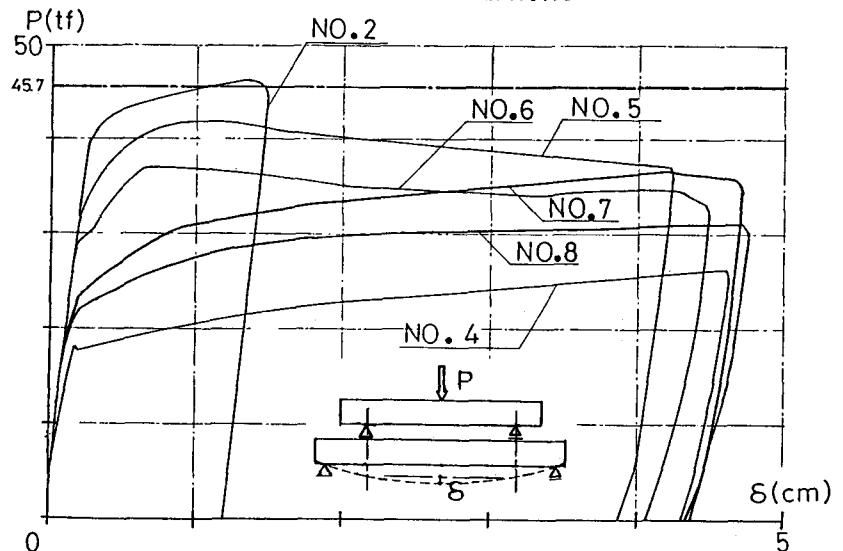


図 - 4 荷重たわみ曲線

に位置し、補強筋を配置することによって、鉄骨部分の応力を鉄筋コンクリート部分に伝達させることが可能であることがわかる。特に、横補強筋長さが大きく、かつ、縦補強筋量の多い No. 5 試験体の耐力は SRC 部材の曲げ耐力の 95 % に達している。なお、No. 5 試験体は前述の手法によって求められる補強筋量の必要量を満足するものであり、おおむね本補強法の妥当性が示されると考えられる。また、継手部をボルト接合していない No. 3 試験体でも SRC 部材の曲げ耐力の 82 % 程度発揮している。なお、No. 5 と No. 3 試験体の耐力差はボルト接合された鉄骨継手部の耐力に対応している。横および縦補強筋の補強効果に関してしてみると、横補強筋長さが一定の場合は、縦補強筋量が多い程、一方、縦補強筋量が一定であれば、横補強筋長さが長い程最大耐力は大きくなる。しかしながら、横補強筋の長さが異なる No. 5、7 と No. 6、8 についてみると、横補強筋の長さが長くなると最大耐力の発現するたわみ量は小さいが、最大耐力発揮後、耐力は徐々に低下し、横補強筋の長さの短い No. 7、8 の試験体の荷重たわみ曲線に漸近する傾向にある。

図 5 に鉄骨フランジ表面のひずみの推移状況から求められた鉄骨部分の負担する曲げモーメント分布の数例を示す。図中の ○—○ は $\delta_c = 10$ mm、△—△ は $\delta_c = 20$ mm および □—□ は $\delta_c = 80$ mm の時の外力モーメントおよび鉄骨部分の負担する曲げモーメント分布である。継手のない No. 2 試験体で

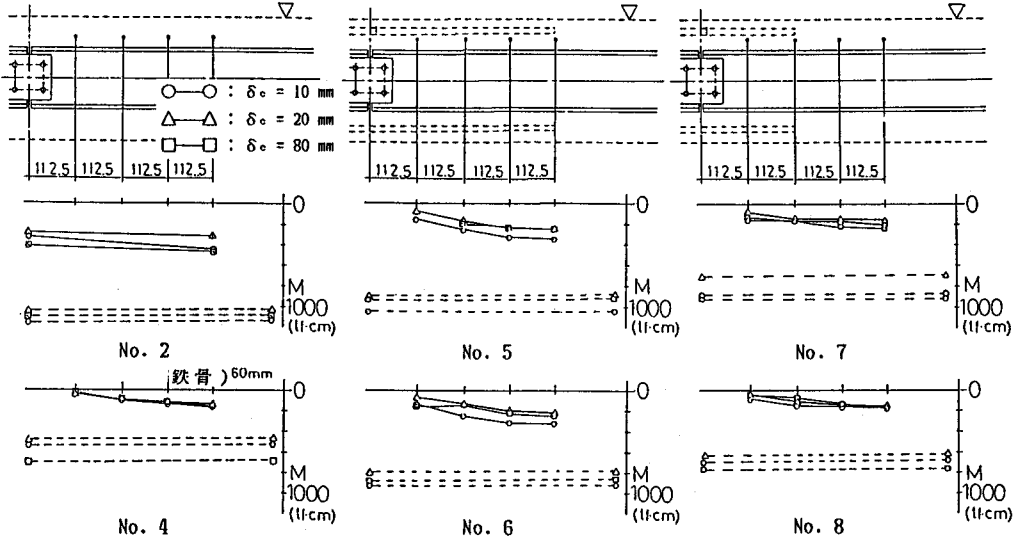


図 - 5 鉄骨部分の負担する曲げモーメント

表 - 2 材料の力学的特性

	鉄 骨				鉄 筋			コンクリート	
	σ_v	σ_u	ϵ_u		σ_v	σ_u	ϵ_u	F_c	F_t
	(tf/cm ²)				(tf/cm ²)			(kgf/cm ²)	
R 4.5	2.54	3.27	0.380		D16	3.64	5.38	0.162	
R 6	3.08	4.18	0.247		D6	3.09	5.28	0.200	313 23.4
R 9	2.91	4.05	0.351						

σ_v : 降伏応力度、 σ_u : 引張強度、 ϵ_u : 破断伸び
 F_c : 圧縮強度、 F_t : 割裂強度

表 - 3 実験結果

試験体	曲げひび割れ 荷重 P_{ri} (tf)	斜張力ひび割れ 荷重 P_{or} (tf)	圧壊荷重 P_{ore} (tf)	最大荷重 P_{max} (tf)
No. 1	-	-	-	4.6
No. 2	8.2	-	46.1	47.4
No. 3	9.6	31.4	32.6	37.1
No. 4	3.4	-	22.4	27.5
No. 5	9.8	36.7	42.9	42.9
No. 6	12.5	31.4	36.1	37.7
No. 7	7.7	24.0	31.1	37.1
No. 8	7.8	24.4	29.5	32.0

は鉄骨の負担する曲げモーメントは鉄骨部分の位置に関係なくほぼ一定であり、かつ、鉄骨部材の曲げ耐力を発揮している。一方、継手を有する場合、鉄骨の負担する曲げモーメントは継手部に接近するにつれて減衰している。この減衰する傾向は補強筋の有無にかかわらずほぼ同じである。No. 4 試験体は補強筋が配置されていないので、摩擦力によって応力が減衰したものと考えられるが、補強筋を有する場合でも減衰する傾向がほぼ同じであることから、補強筋がある場合でも摩擦による機構が卓越しているのではないかと推察される。鉄骨部分の負担する曲げモーメントに関して、横補強筋の長さが長くなるほど、また、縦補強筋の量が多くなるほど鉄骨部分の負担する曲げモーメントを大きくする働きを有していることがわかる。なお、No. 5 試験体の継手位置での横補強筋のひずみは降伏ひずみに達しているものの、その耐力は SRC 断面の曲げ耐力の 95 %であったのは、鉄骨部分の耐力が発揮できなかったことによる。No. 5、7 と No. 6、8 試験体の荷重変形曲線が変形の増大とともに漸近する傾向にあるのは、横補強筋の軸ひずみの分布状況から、横補強筋端部の付着力が変形の増大とともに失われ、鉄骨部分の負担モーメントが小さくなるためと推察される。

5. 結語

SRC 継手部の鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達に関する検討および鉄骨継手を有する 8 体の SRC ばりの加力実験によって、以下のような結論が得られた。

- 1) SRC 継手部において、鉄骨部分から鉄筋コンクリート部分への応力伝達に関して、摩擦による機構と支圧力による機構に基づく応力伝達機構が提案された。
- 2) 提案された応力伝達機構に対して、横補強筋と縦補強筋を用いた補強方法が提案された。
- 3) 提案された補強方法に対して、横補強筋の長さが大きい程また縦補強筋量の多い程応力伝達の効率は増大する。
- 4) ひずみの推移状況から、提案された 2 つの応力伝達機構のうち摩擦による機構が卓越していることが示されたが、この点の是非を含めて、今後、補強筋量の定量的な評価法について詳細に検討する必要がある。

6. 参考文献

- 1) 谷 資信：鉄骨鉄筋コンクリート構造の継手に関する考察、日本建築学会研究報告 No.35、昭和 31 年 3 月、pp.93 - 96.
- 2) 杉田 浩・下村波基・福知保長：高張力鋼を用いた SRC 構造の開発研究 3 鉄骨の断面欠損に対する鉄筋の補強効果（その 1：実験計画）、同（その 2：実験結果）、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 61 年 8 月、pp.1319 - 1322.
- 3) 福知保長・外狩吉隆：高張力鋼を用いた SRC 構造の開発研究 No.21 鉄骨の断面欠損に対する鉄筋の補強効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 62 年 10 月、pp.1243 - 1244.
- 4) 松井千秋・森野捷輔・津田恵吾ほか：突起付 H 形鋼を用いた SRC 骨組接合部の研究 その 1、単調加力実験、同 その 2、繰返し加力実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 59 年 10 月、pp.2771 - 2774.
- 5) 鬼塚浩一郎・上垣一弘・南 宏一：高張力鋼を用いた SRC 構造の開発研究 No.17 高張力鋼を用いた SRC 構造の柱はり接合部の塑性変形能力（その 1）、日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 61 年 8 月、pp.1347 - 1348.