

(49) 建築における鋼コンクリート合成構造接合部に関する 研究・設計と施工の現状

The State of the Art Report on Design, Construction and Research of Joints
for Steel-Concrete Composite Structures

立花正彦*, 西村泰志**
Masahiko Tachibana, Yasushi Nishimura

* 工博, 東京電機大学教授, 工学部建築学科 (〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2)

** 工博, 大阪工業大学教授, 工学部建築学科 (〒565-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

The state of the art report on design, construction and research of joints for steel-concrete composite structures was drawn up by sub-committee for joints of composite structures in AIJ. To develop a rational design method of various types of joints for steel-concrete composite structures, it was shown that it is necessary to clarify stress transfer from steel member to reinforced concrete member theoretically. From this point of view, it was proposed that it is reasonable to classify joints composed of steel member and reinforced concrete member into three types ; joints connected reinforced concrete member with steel member orthogonally, in series and in parallel. Stress transferring mechanism based on bearing and frictional forces was also proposed to develop a rational design method.

Key Words: the state of the art report, joint, sub-committee for joints of composite structures, AIJ.

1. はじめに

1997 年 4 月、日本建築学会鋼・コンクリート合成構造 (SCCS) 運営委員会 (主査: 南 宏一(福山大学)) のもとに鋼・コンクリート合成構造接合小委員会 (主査: 立花正彦 (東京電機大学)) が設置され、2003 年 3 月まで活動した。

この小委員会の活動は、大きく二つに大別できる。前半は、1995 年兵庫県南部地震で鉄骨鉄筋コンクリート (以下、SRC という) 構造の非埋込み柱脚に建物全体の転倒曲げによる引張力によってアンカーボルトの破断等の被害が生じ、これら被害建物の資料を収集する共に、被害分析等を行い、その結果を含めて、1998 年日本建築学会大会においてパネルディスカッション (PD) 「テーマ: 合成構造の柱脚を考える」を開催した。その検討結果を踏まえて、2001 年 1 月に改定された第 5 版「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(以下、SRC 規準という) の柱脚に関する解説および付録を充実させた。後半は、2000 年度大会 PD 「これからの合成構造に何が求められているのか」、2001 年度大会 PD 「21 世紀を迎えて合成構造の設計法は如何にあるべきか」をテーマに討議され、鋼コンクリート合成構造は、社会的環境ならびに建築的環境の両観点において、次世代の多種多様なニーズに対応できる構造であり、今後ますます期待される構造であると報告された。その結果を踏まえて、合成構造を考えるに当たって基本となる、異種構造部材で構成される接合部に関する設計と施工およ

び研究の現状について調査した。なお、本接合小委員会では、コンクリート充填鋼管 (CFT) と鉄骨 (S)、鉄筋コンクリート (RC) 構造等で構成される柱梁接合部については取り扱っていない。

本報告は、本小委員会の後半の活動で行われた接合部に関する設計と施工および研究の現状についての調査結果の概要について述べるものである¹⁾。なお、表 1 に、鋼・コンクリート合成構造接合小委員会委員構成を示す。

表 1 鋼・コンクリート合成構造接合小委員会

	氏 名	所 属
主 査	立 花 正 彦	東京電機大学
幹 事	西 村 泰 志	大阪工業大学
委 員	市 川 昌 和	鉄建建設(株)
委 員	香 取 修 治	駒井鉄工(株)
委 員	澤 本 佳 和	鹿島建設(株)
委 員	称 原 良 一	清水建設(株)
委 員	鈴 木 英 之	安藤建設(株)
委 員	塚 田 正 紀	大成建設(株)
委 員	筒 井 茂 行	(株)日本設計
委 員	深 澤 協 三	(株)日本建設業経営協会
委 員	福 知 保 長	名古屋工業大学名誉教授
委 員	古 田 新	大成建設(株)
委 員	三 谷 勲	神戸大学
委 員	宮 内 靖 昌	(株)竹中工務店
委 員	横 山 幸 夫	駒井鉄工(株)

2. 設計と施工の現状

設計と施工に関する調査では、現在実務で使用されている柱梁接合部、柱脚および切り替え部等に関して 11 通りの接合部に分類し、それらの接合部の設計法および施工にあたっての留意点あるいは今後解決すべき問題点を抽出した。また、海外の接合部の現状についても調査した。

以下、柱梁接合部、柱脚および切り替え部等に関する調査結果の概要について紹介する。

2.1 柱梁接合部

図 1 に柱梁接合部の種類を示す。No.1 および No.2 の接合部の設計は、SRC 規準によって対応できるが、

- 1) 梁主筋の配筋法
- 2) 最上階柱頭の主筋の配筋法
- 3) 接合部内フープ筋の有効性
- 4) 接合部における S(RC) 部分から RC(S) 部分への応力伝達機構

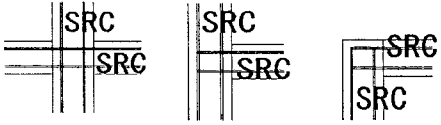
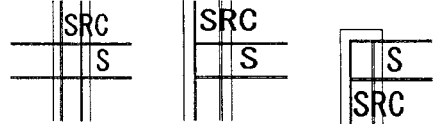
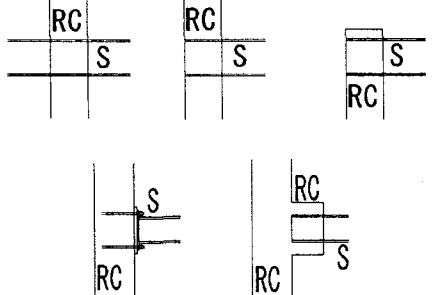
No	柱 梁 接 合 部
1	 SRC 造の一般的な接合
2	 SRC 柱と S 梁の接合
3	 RC 柱と S 梁の接合

図 1 柱梁接合部の種類

等の問題を解明する必要があることを指摘している。

また、No.3 については、

- 1) 指針類が整備されていない。したがって、実際建設する場合、構造実験が必要になる場合がある。
- 2) コンクリートの充填性等の施工性等の問題が指摘されている。

2.2 柱脚

図 2 に柱脚の種類を示す。No.4、No.5 および No.7 の設計は、鋼構造設計規準、鋼管構造設計施工指針・同解説によって、No.6 および No.8 については、SRC 規準によって対応できるが、

No.4 については、

- 1) 剛性評価法等の適用範囲、条件などの制約
- 2) アンカーボルトが短い場合の基礎梁への応力伝達

No.5 については、

- 1) 根巻き高さの規定
- 2) 頂部補強筋の有効性と施工性

No.7 については、

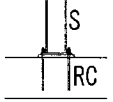
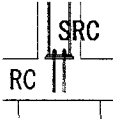
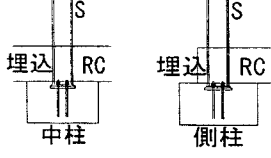
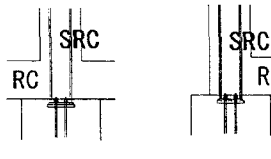
No	柱 脚
4	 S 造露出柱脚
5	 S 造根巻き柱脚
6	 SRC 造非埋込み柱脚
7	 S 造埋込み柱脚
8	 SRC 造埋込み柱脚

図 2 柱脚の種類

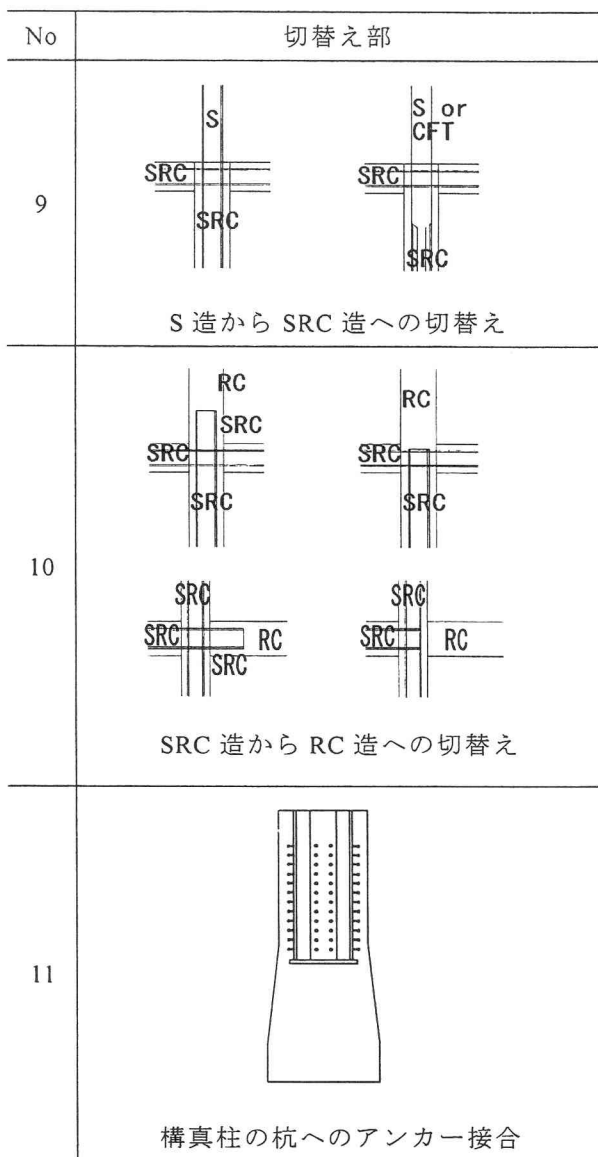


図 3 切替え部の種類

- 1) 埋込み長さが短い場合の基礎梁への応力伝達
- 2) 引張力が作用した場合の基礎梁への応力伝達
- 3) 側柱の応力伝達および補強法

No.6 については、

- 1) アンカーボルトが短い場合の基礎梁への応力伝達
- 2) 引張力が作用した場合の補強法

No.8 については、

- 1) 側柱の応力伝達および補強法
- 等の問題点を提起している。

2.3 切替え部

図 3 に切替え部等の種類を示す。No.9 の設計では、コンクリート充填鋼管設計施工指針、評定・評価を踏まえた高層建築物の構造設計実務（日本建築センター）等の参考となる資料はあるが、

- 1) SRC 部材の S および RC 部分の応力分布状況
- 2) 軸力の伝達機構

等、設計の根幹に関わる問題が数多く残されている。

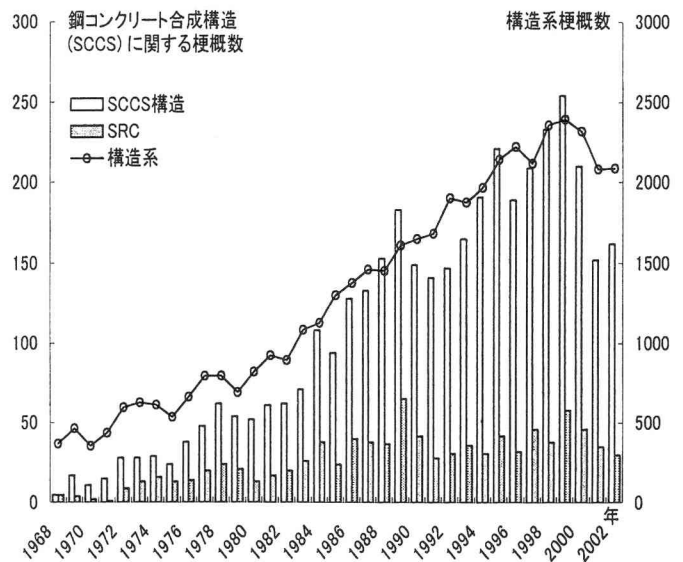


図 4 鋼コンクリート合成構造に関する研究の推移状況

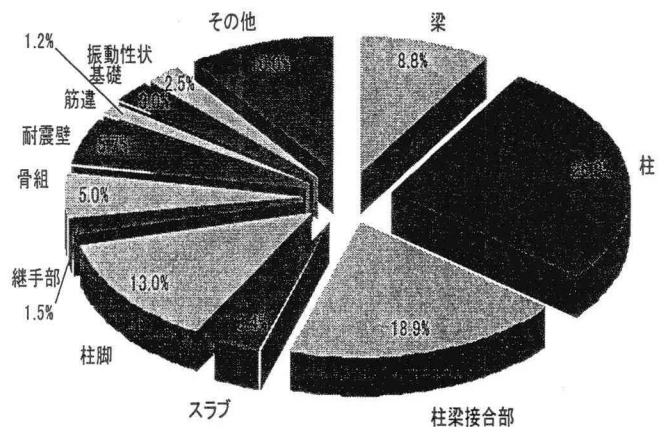


図 5 研究項目の分類

No.10 の設計では、SRC 造配筋指針（案）・同解説、建築構造設計指針（東京都）があるが、

- 1) 鉄骨のカットオフ位置
- 2) 鉄骨カットオフ部の補強方法

等、No.9 と同様、残されている課題は少なくない。

No.11 に関しては、現在のところ指針類はない。設計・施工法が確立されれば、構真柱を単なる仮設に終わらせず、本設構造物の一部として利用することが可能で、合理的な設計が可能となるであろう。なお、この種の構造の設計法として、鋼管コンクリート杭と S 柱を対象として、線路上空建築物（低層）構造設計標準 2002 がある。

以上、11 の接合部について、設計する場合の拠り所となる指針・規準等、また、それらの接合部の設計・施工に当たって解決すべき問題点および留意点について述べた。構造種別によって、指針・規準類がそれなりに準備されているが、残されている問題は少なくない。

3. 研究の現状

研究の現状に関する調査では、まず、接合部に関する既往の研究の現状について調査した。次いで、それらの接合部に共通して内在する問題点および基本的な応力伝達機構を明らかにし、力学モデルに基づく鋼コンクリート合成構造接合部の統一した設計法を構築するための接合部の分類法について提案した。

以下、それらの調査結果の概要について紹介する。

3.1 接合部に関する既往の研究の現状

3.1.1 鋼コンクリート合成構造に関する研究の推移状況

図 4 は、日本建築学会大会学術講演梗概集に掲載された構造系梗概数と鋼コンクリート合成構造に関する梗概数の推移状況を、1968 年から 2002 年までの 35 年間にわたって調査した結果を示したものである。左および右の縦軸は、それぞれ鋼コンクリート合成構造に関する梗概数および構造系梗概数である。○印は構造系梗概数、白抜きの棒グラフは鋼コンクリート合成構造に関する梗概数である。なお、ここで言う「鋼コンクリート合成構造」とは、「構造部材あるいは構造システムとして、RC 構造と S 構造が何らかの形で共同して使用され、それら 2 つの構造が何らかの形で協同して外力に抵抗する構

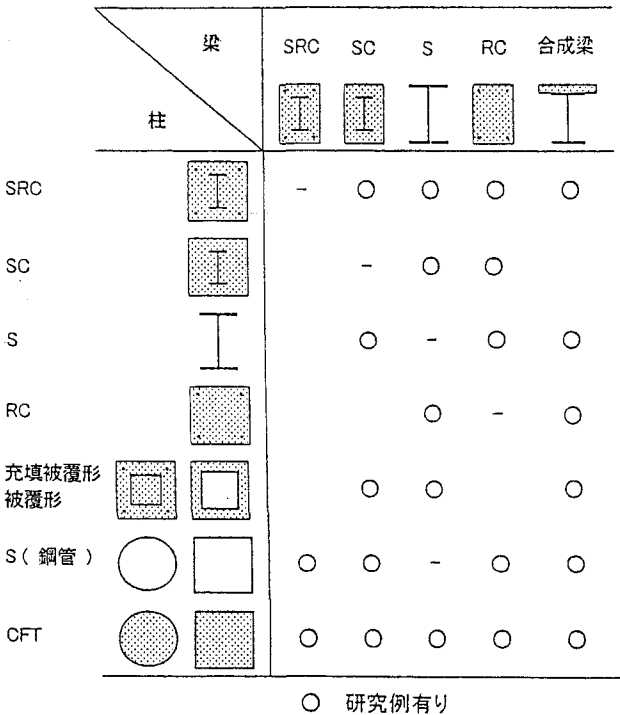


図 6 柱梁接合部の既往の研究対象

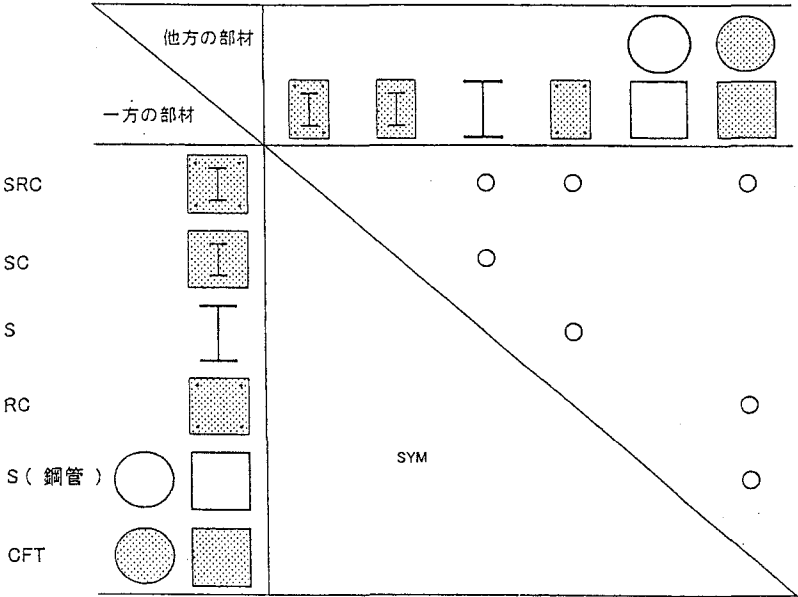


図 7 継手部の既往の研究対象

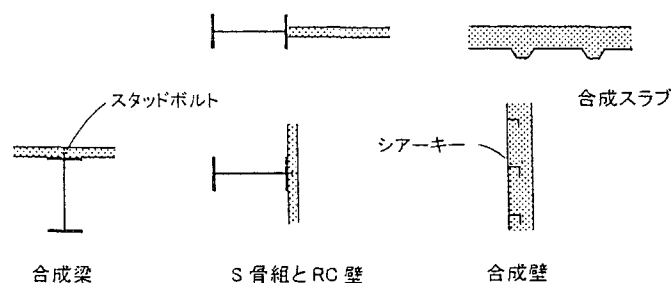


図 8 その他の接合部の既往の研究対象

造」であると定義している。したがって、現在の大会学術講演梗概集で分類されている「鋼コンクリート合成構造」よりも広義の意味で使用されていることに注意されたい。なお、黒塗りの棒グラフは、梗概の題名に、「鉄骨鉄筋コンクリート構造」ないしは「SRC」の語句が使用されている梗概数を示している。

SCCS 構造に関する梗概数は、構造系梗概数に対して、当初 数 % 程度であったが、年とともに増加し、1980 年代半ば頃から 10 % 程度になっている。なお、構造系梗概数には、木質構造、荷重、応力解析、シェル・立体構造・膜構造等の梗概数が含まれており、各種構造に限定すれば、その割合は 2 倍以上の値になるものと考えられる。なお、SCCS 構造に占める、鉄骨が柱に内蔵される従来の SRC 構造の研究は 25 % 程度である。したがって、従来の SRC 構造の枠組みを離れて、RC 構造と S 構造をその構造特性に合わせて巧みに組み合わせで構成される SCCS 構造が増加しているのがわかる。

3.1.2 研究の特徴

図 5 は、35 年間の間に発表された 3,827 件の SCCS 構造に関する梗概を、1. 梁、2. 柱、3. 柱梁接合部、4. スラブ、5. 柱脚、6. 継手部、7. 骨組、8. 耐震壁、9. 筋違、10. 基礎、11. 振動性状、12. その他の研究項目に分類して、それらの項目に対する割合を示したものである。なお、12. その他は、1 - 11 の内容に分類できない設計、調査および耐震補強等の研究内容を含むものである。柱および梁部材の研究は 36 % 程度、柱はり接合部、柱脚および継手部に関する研究は 33 % 程度となっており、接合部の研究は部材の研究とほぼ同じ割合である。柱および梁部材に関する研究では、耐力や変形性状を理論的に明らかにしようとする研究は数多くみられるが、接合部に関する研究は実験的研究が主で、力学モデルを用いて理論的に検討した研究は非常に少ない。

3.1.3 接合部の研究対象

1) 柱梁接合部

図 6 は、柱および梁部材の構造の組み合わせによる柱梁接合部の研究対象を示したものである。柱および梁部材の構造の組み合わせによって 23 通りの研究対象がある。なお、CFT 柱とフラットスラブとの接合部等を対象とした研究もみられるので、これらを含めると 26 通りとなる。なかでも、柱 SRC・梁 SRC、柱 SRC・梁

S、柱 S・梁合成梁、柱 RC・梁 S および柱 CFT・梁 S の研究例が多い。

2) 継手部

図 7 は、継手部の研究対象を示したものである。継手部については、S、SC、RC、SRC および CFT 部材の組み合わせによって、7 種類の継手部の研究が行われている。なお、ここで言う継手部は、複合梁のように端部 SRC 中央 S 等とする異種構造部材の接合部のことを意味している。

3) その他の接合部

図 8 は、前述の柱梁接合部および継手部以外の SCCS で問題となる接合部の研究対象を示したものである。合成梁、S 部材と鉄筋コンクリート壁、合成スラブあるいは合成壁等、部材と面材あるいは面材と面材がスタッドボルト等のシアーキーを介して並列的に結合される接合部が存在する。

3.2 接合部に内在する問題の抽出

図 9 は、柱、はり共 SRC 構造で構成される柱梁接合部を対象として、柱および梁部材の S および RC 部分が負担する曲げモーメントの割合によって、柱はり接合部に内在する問題を抽出したものである。一例として、ここでは、 $sM_c > sM_b$ 、 $rcM_c < rcM_b$ の場合を考えてみる。なお、 sM_b および sM_c は、梁および柱材に内蔵される S 部分の曲げ耐力、 rcM_b および rcM_c は、梁および柱材の RC 部分の曲げ耐力である。この場合、 $sM_c > sM_b$ であるので、梁部材が有している曲げ耐力 sM_b に相当する曲げモーメントは、S 構造の柱梁接合部を介して柱部材に直接伝達される。また、 $rcM_c < rcM_b$ であるので、前述と同様に、柱部材が有している曲げ耐力 rcM_c に相当する曲げモーメントは、RC 構造の柱梁接合部を介して梁部材に伝達される。したがって、両者の場合は、それぞれ S あるいは RC 構造の問題として考えれば良い。一方、梁部材の RC 部分には、 $(rcM_b - rcM_c)$ の耐力、柱部材の S 部分には、 $(sM_c - sM_b)$ の耐力が残存している。したがって、S 部材と RC 部材との間の応力伝達が支障なく行われるならば、この残存する耐力を生かした合成構造としての特徴を有する設計法の確立を計ることができると考えられる。

前述のように、現在までに、23 通りの構造の組み合わせに対する柱はり接合部の研究が行われているが、こ

これらの構造の組み合わせを、前述と同様の観点から考えると、これらの接合部に共通して存在する問題は、RC 部材と S 部材が直交して結合される接合部の応力伝達の問題に帰着することがわかる。なお、ここでは、SRC 構造の柱梁接合部を対象として、RC 部材と S 部材との応力伝達の問題を解決することの必要性を述べたが、この問題を解決することは、柱 RC 梁 S とするハイブリッド構造の接合部の問題等に直接応用できることは言うまでもない。また、S あるいは SRC 構造の埋込柱脚の S 部材から RC 部材への応力伝達の問題は、柱はり接合部の問題と全く同じであることが分かる。S 構造の露出柱脚は、S 部材がアンカーボルト等を介して RC 部材に伝達される問題であり、S 部材と RC 部材が直交して結合される接合部の応力伝達の問題になる。

図 10 は、柱は SRC、梁は端部が SRC、中央が S 構造の場合について、上述の観点に基づいて、接合部の問題点を検討したものである。なお、ここでは、 $sM_c > sM_b$ とする。この場合、柱および梁部材とも sM_c の曲げ耐力を有する S 部材で構成される S 構造の骨組と柱は RC 構造、梁の端部は SRC 構造、中央部 S 構造の問題に分離することができる。前者の場合は、S 構造の問題として取り扱えば良い。一方、後者の場合、梁の鉄骨は柱梁接合部で切断されているので、この構造が性能を発揮するためには、梁 S 部材に作用する応力が梁端部の RC 部分

に伝達され、柱梁接合部では RC 構造として応力が伝達されなければならない。したがって、このような構造が十分性能を発揮するためには、梁端部において、S 部材から RC 部材へ支障なく応力伝達されなければならないことがわかる。このような観点から、図 7 で示された種々の継手部の応力伝達を考えると、継手部の問題は、S 部材と RC 部材が直列的に結合される接合部の問題に帰着することがわかる。また、S 構造の根巻き柱脚は、その性能を発揮するためには、柱脚部において、S 部材に作用する応力が RC 部材に支障なく伝達されることが必要であり、上述の問題と全く同じである。

3.3 接合部の基本的な抵抗機構と応力伝達機構

前節では、鋼コンクリート合成構造接合部の問題は、RC 部材と S 部材の接合部の問題に帰着することを述べた。ここでは、既往の研究に基づいて、接合部の基本的な抵抗機構と応力伝達機構について述べる。

図 11 は、形鋼が用いられた接合部の抵抗機構を分類したものである。図 11 (a) は、S 部材が RC 部材に埋め込まれた場合について示したものである。なお、RC 部材が $b \times D \times h$ の場合、RC 部材と S 部材が直列的に接合される継手部の問題、RC 部材が $b \times D' \times h'$ あるいは $b \times D'' \times h'$ の場合、RC 部材と S 部材が直交して接合される柱梁接合部あるいは埋込み柱脚の問題になる。また、RC 部材が $b' \times D' \times h'$ の場合、基礎フー

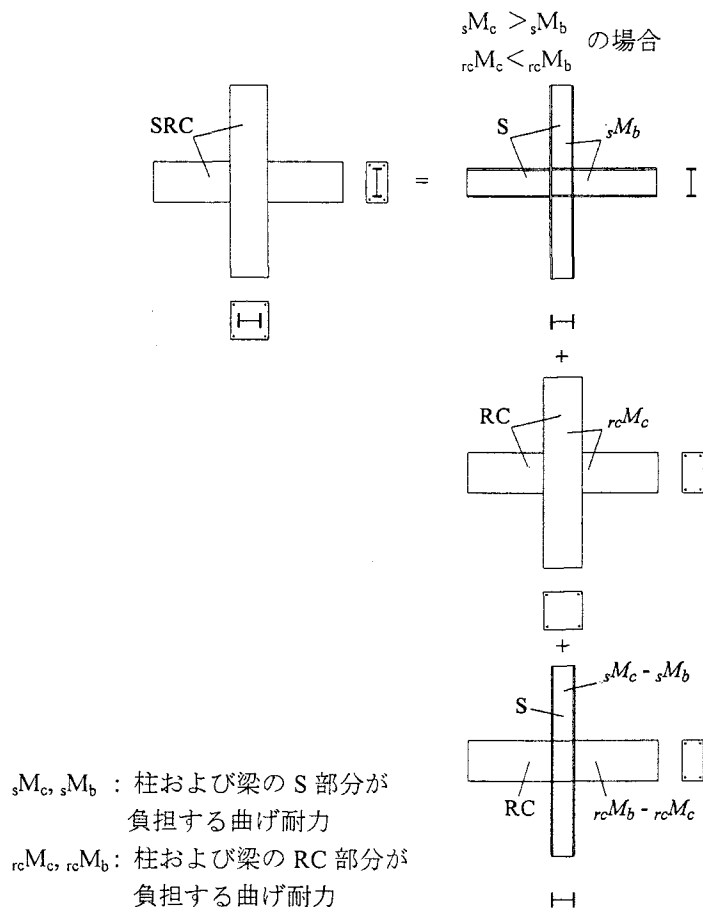


図 9 柱梁接合部に内在する問題の抽出

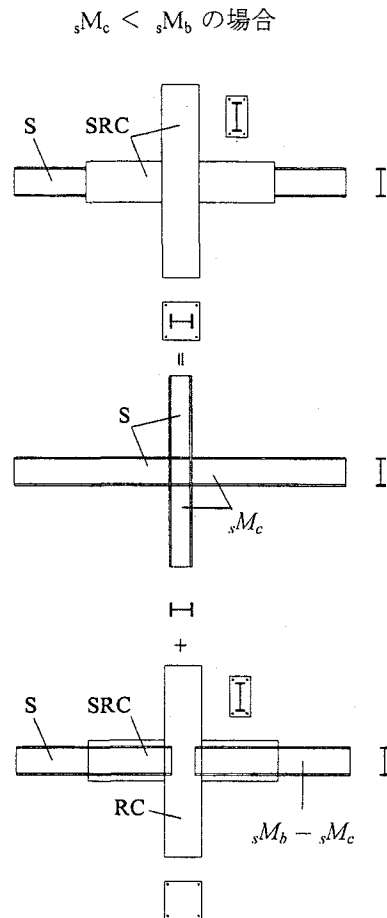


図 10 継手部に内在する問題の抽出

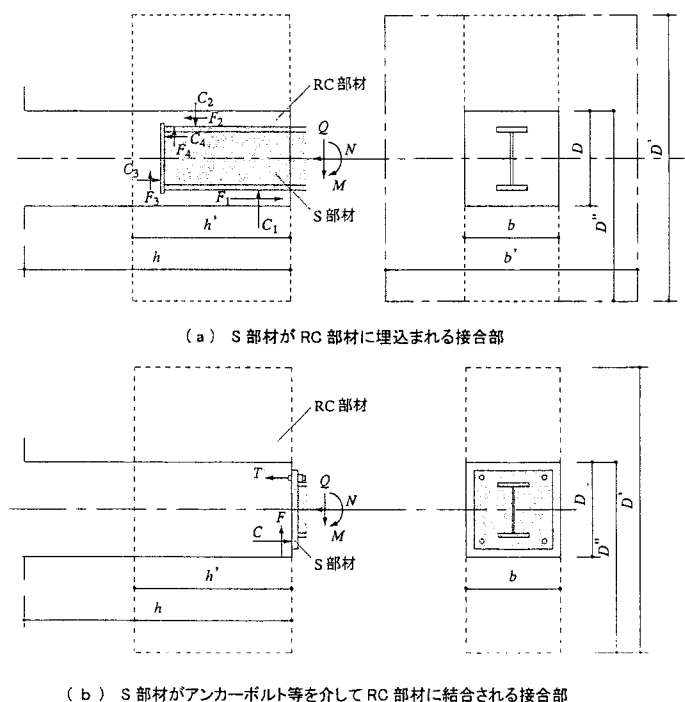


図 11 コンクリートに接する鋼材面に作用する応力

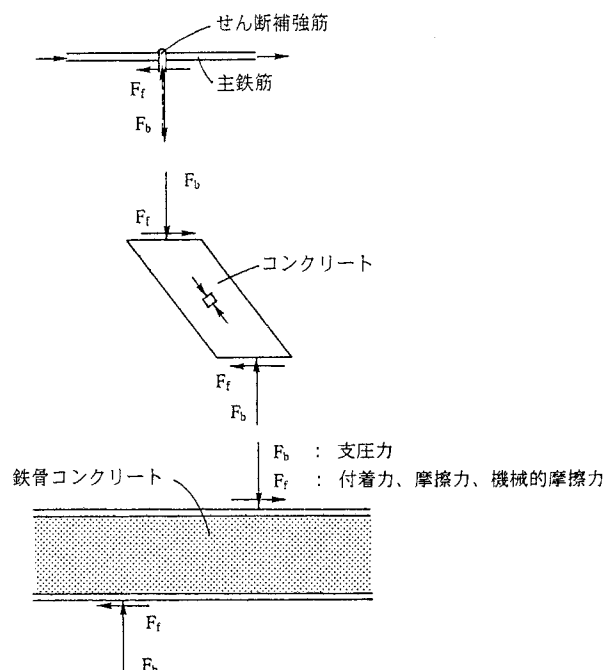


図 12 接合部の基本的な応力伝達

チングと杭との接合部の問題になる。S 部材に曲げモーメント M 、軸力 N およびせん断力 Q が作用すると、埋め込まれた S 部材には、支圧力 C_1 、 C_2 、摩擦力 F_1 、 F_2 が作用する。また、鉄骨端部にエンドプレートが配置されていると、エンドプレートには、曲げ圧縮力および曲げ引張力 C_3 、 C_4 および摩擦力 F_3 、 F_4 が作用する。これらの応力は、反作用として、RC 部材に作用することになる。

図 12 は、一例として、RC 部材が $b \times D \times h$ の場合について、これらの応力が RC 部材にどのように伝達されるのかを模式的に示したものである。これらの 2 つの応力は、反作用として鉄骨部材に接するコンクリートに伝達され、コンクリート圧縮束を介して他端に伝達された支圧力あるいは摩擦力は、主筋に作用する付着力とせん断補強筋に作用する引張力によってつり合い系を構成し、その結果、鉄骨部材に作用している応力が RC 部材に伝達されることを示している。したがって、S 部材から RC 部材への応力伝達を考えると、接合部の耐力は、コンクリートの圧縮強度、せん断補強筋の引張強度および主筋の付着強度によって決定されることがわかる。

埋め込まれた鉄骨部材に作用する応力は、接合部の種類に関わらず同じであるので、接合部の種類に対応した応力伝達機構を考えることによって、統一した考えに基づく設計法を構築することが可能であることを示唆している。

図 11 (b) は、S 部材が RC 部材の外面に取り付けられた場合である。なお、RC 部材が $b \times D \times h$ の場合、RC 部材と S 部材が直列的に接合される継手部の問題になる。一方、RC 部材が $b \times D' \times h'$ あるいは $b \times D$

$\times h'$ の場合、RC 部材と S 部材が直交して接合される柱梁接合部あるいは柱脚の問題になる。

S 部材に曲げモーメント M 、軸力 N およびせん断力 Q が作用すると、S 部材端部に取り付けられたエンドプレートには、曲げ圧縮力および引張力 C 、 T および摩擦力 F が作用する。一方、RC 部材には、反作用として、これらの応力が作用することになる。したがって、S 部材が RC 部材に埋め込まれた場合と同様、これらの応力に対して、RC 部材がどのように抵抗するかを検討することによって、接合部の耐力を評価することができる。

なお、RC 部材に S 部材が埋め込まれた場合あるいは取り付けられた場合とも、RC 部材での応力伝達の問題を解決することは、鋼コンクリート合成構造独自の合理的な配筋法に関する問題をも解決する手段を与えてくれる。

3.4 接合部の分類の提案

接合部は、従来、柱梁接合部、継手部あるいは柱脚等の部位によって分類されていた。施工性は部位によって異なるものの、前述のように、鋼コンクリート合成構造接合部の問題は、RC 部材と S 部材で構成される接合部の問題に帰着し、その問題は力学的な観点からみると部位に関わらず同じである。したがって、鋼コンクリート合成構造接合部の体系的な設計法を確立するためには、従来の部位別による分類では無く、抵抗機構に立脚した接合部の分類の方が合理的である。

このような観点から、表 2 に示すように、

- (I) 部材が直交して結合される接合部
- (II) 部材が直列的に結合される接合部
- (III) 部材が並列的に結合される接合部

の 3 つに分類することを提案する。なお、(I) 部材が

表 2 接合部の分類

接合部の分類			対応する部位
I	部材が直交して結合される接合部	i) S 部材が RC 部材に埋込まれる接合部	・ 梁貫通形式柱 RC・梁 S 柱梁接合部 ・ 埋込み柱脚 ・ 基礎フーチングと鋼管コンクリート杭等
		ii) S 部材がアンカーボルト等を介して RC 部材に結合される接合部	・ 柱貫通形式柱 RC・梁 S 柱梁接合部 ・ 露出柱脚等
II	部材が直列的に結合される接合部	i) S 部材が RC 部材に埋込まれる接合部	・ SRC 継手部 ・ SRC 非埋込柱脚 ・ SRC-S 継手部 ・ SRC-RC 継手部 ・ 根巻き柱脚 ・ CFT-S 継手部 ・ CFT-RC 継手部 ・ CFT-SRC 継手部等
		ii) S 部材がアンカーボルト等を介して RC 部材に結合される接合部	・ RC-S 継手部等
III	部材が並列的に結合される接合部	-	・ 合成梁(スラブと鉄骨梁との接合部) ・ 周辺S骨組とRC耐震壁との接合部等

直交して結合される接合部および (II) 部材が直列的に結合される接合部は、i) S 部材が RC 部材に埋め込まれる接合部 と ii) S 部材がアンカーボルト等を介して RC 部材に結合される接合部に分類する。

なお、表 2 に、提案された接合部の分類に対応する従来の部位別による接合部を示す。

4. あとがき

鋼コンクリート合成構造接合部の研究・設計と施工の現状について、鋼コンクリート合成構造接合小委員会の活動成果に基づいて紹介した。

今後、合成構造の健全な発展と普及を図るためには、合成構造ならびにその接合法の現状を明確に把握し、さらに合理的な異種部材・システムの接合部の応力伝達機構の解明と構造性能評価方法の確立、異種部材・システムから構成される構造物全体の構造性能評価法の確立、合理的な生産方法の確立など、解決すべき設計に役立つ資料・情報を蓄積し、設計者に提供する必要がある。

なお、鋼コンクリート合成構造運営委員会（主査：三谷 勲（神戸大学））のもとに、本年 4 月より設置された異種構造接合小委員会（主査：西村泰志（大阪工業大学））では、鋼コンクリート合成構造接合小委員会の成果に基づいて、異種構造部材、特に、RC 部材と S 部材で構成される接合部の性能評価法を確立するための活動が行われている。

参考文献

1) 鋼コンクリート合成構造運営委員会、鋼コンクリート合成構造接合小委員会：鋼コンクリート合成構造接合部に関する研究・設計と施工の現状、2003.3.

付 録

報告書¹⁾「鋼コンクリート合成構造接合部に関する研究・設計と施工の現状」の目次の概要を示す。

第 1 章 序

第 2 章 設計と施工の現状

2.1 はじめに

2.2 現行規準および指針類

2.3 各種接合部の設計および施工

2.3.1 柱梁接合部

2.3.2 柱脚

2.3.3 切替え部

2.3.4 その他の接合部

2.4 海外における合成構造および混合構造の接合部設計の概況

2.5 まとめ

参考文献

第 3 章 研究の現状

3.1 はじめに

3.2 鋼コンクリート合成構造接合部の分類

3.3 応力伝達機構と抵抗機構

3.3.1 部材が直交して結合される接合部

3.3.2 部材が直列的に結合される接合部

3.3.3 部材が並列的に結合される接合部

3.4 まとめ

参考文献

第 4 章 結論

付 録 A-1 PD 概要

A-2 兵庫県南部地震の被害状況と分析

A-3 接合部設計法の歴史的変遷