

鋼材とコンクリートの一体形式

佐藤 勉*

1. はじめに

建築に限らず土木分野においても、構造物の合理性、経済性を見地から、コンクリートと鋼材を組み合わせた複合構造が多用されている。複合構造のうち、典型的な構造の一つである合成桁は、道路や鉄道などで一般に採用され、すでに設計法も体系化されている。また、鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造物の実施例も多い。

最近の都市内における構造物は、道路や鉄道などの直上の高架橋のように架設が困難で、用地の制約を受ける工事が多くなっており、加えて保守と騒音の軽減や急速

施工が要求されている。複合構造物は、RC・PC 構造や S 構造の単独構造では困難な上記の制約条件を比較的容易に満足することができる有利な構造形式である。また、地下構造物や水中構造物等における複合構造の適用も地下空間の有効利用や水密性の面などから有利となることも多い。さらに、景観設計上の利点も大きい。

土木分野における複合構造について、ここではコンクリートと鋼材による複合構造の分類および適用例について述べるものとし、いわゆる複合材料、高分子材料などの異種材料による複合構造については、ここでは取り扱わないものとする。

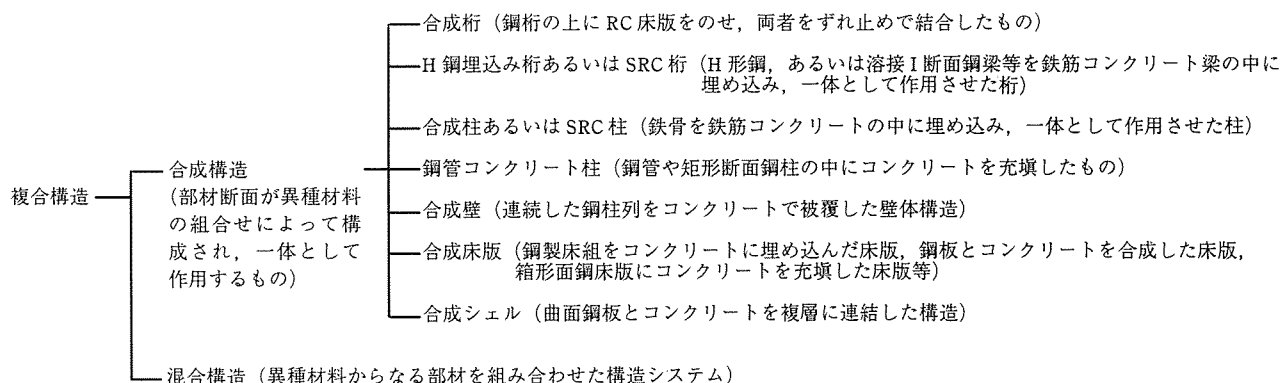


図-1 複合構造の分類 (土木)¹⁾



* Tsutomu SATO
(財)鉄道総合技術研究所
橋梁研究室

2. 複合構造の種類と分類

複合構造について、土木学会「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン」¹⁾によると、図-1のように分類定義されている。この分類は、文献²⁾等を参考として分類されたもので、建築における分類³⁾とは若干異なる部分もある。合成構造とは、一般に2種以上の材料を組み合わせた構造を言い、鉄筋コンクリート構造やプレストレストコンクリート構造も合成構造の一つといえないこともないが、ここでは含めていない。混合構造とは、異種材料からなる部材を組み合わせた構造物で、斜張橋やラーメン形式の構造のほか多様な構造形式がある。

図-1 の分類において、合成床版などは、土木学会からより広義にサンドイッチ構造として設計指針⁴⁾がまとめられており、そこでは、外殻鋼板とコンクリートをサンドイッチ状に積層した合成構造と定義し、鋼板を両面に配置したボックスサンドイッチ構造と、鋼板を片面だけに配置したオープンサンドイッチ構造の2種類に分類されている。

なお、構造物の合理性、経済性または景観に配慮した設計を目的として多種多様の複合構造が生み出されつつあるので、図-1 のような複合構造の分類や定義も、その発展とともに変わっていくものであると考えられる。

3. 合成構造における鋼材とコンクリートとの一体形式

合成構造の特徴は、異種材料を合成して単一の材料では得ることのできない有利な力学特性を生み出すことにあると言える。以下に、主な合成構造の例と合成方法について述べる。

(1) 合成桁

合成桁は、鋼桁とコンクリート床版とが一体となるように、鋼桁フランジと床版とをずれ止め等により合成した桁をいう。ずれ止めは、図-2 に示すように輪形筋を取り付けたもの、スタッド、またはずれ止めとボルトを併用したものなどが用いられている。

合成桁を連続桁として設計する場合には、中間支点部の負の曲げにより床版にひび割れが生じないように、床版に PC 鋼材によりプレストレスを導入したり、あるいは中間支点付近のずれ止めを省き、床版に生じる引張力を低減させる方法などがある。

(2) SRC 桁, H 形鋼埋込み桁

SRC 桁の一般的な断面形状を図-3 に示す。鉄道橋として多用されている H 鋼埋込み桁の例を図-4 に示す。H 鋼埋込み桁とは、主桁の H 形鋼に圧延または溶接 H 形鋼の相互を横桁などで連結し、鉄筋コンクリートと合

(断面)

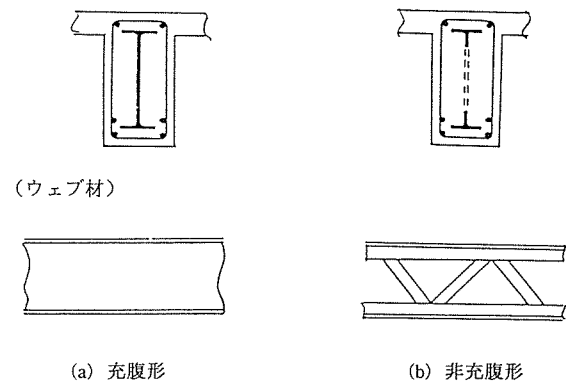


図-3 SRC 桁の断面形状

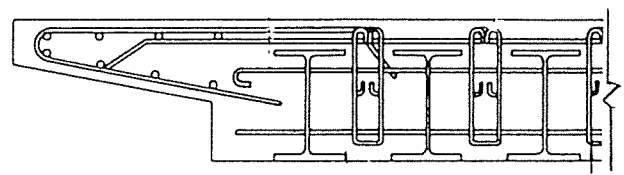


図-4 H 鋼埋込み桁

成させた桁である。これらの SRC 桁は、桁高を小さくできること、支保工なしでも施工できること、工期が短いこと、鋼桁に比べ騒音が小さいことなどの長所を生かし採用されている。

合成構造のうち、鋼材をコンクリート中に埋め込む形式のものにおいては、鋼材の腐食は周囲のコンクリートによって防がれている。しかし、このようにコンクリート中の鋼材として鉄骨が使用された場合、異形鉄筋と比べて鉄骨表面の付着性が劣ることやブリージングなどの影響により、ひび割れ幅が大きくなる。そのため、ひび割れ分散性を考慮して、異形鉄筋をコンクリート表面に配置したり、鉄骨の表面を異形にすることなど、材料・設計上の検討が必要となる。

また、ひび割れ低減のため、コンクリートにプレスト

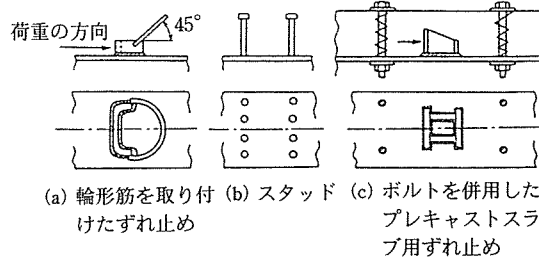
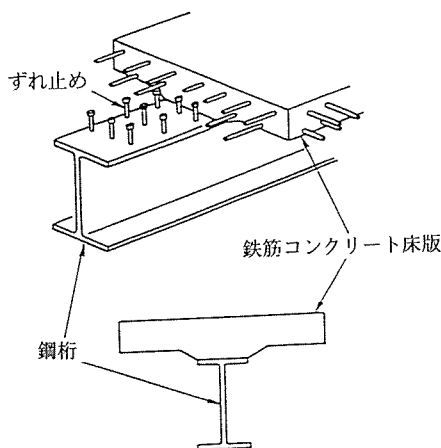


図-2 合成桁およびずれ止めの例

レスを導入する方法として、鋼桁の曲げ復元力を利用する方法とPC鋼材を用いる方法がある。また、これらを併用する方法もある。桁の曲げ復元力を利用する典型的な例は、プレビーム合成桁である。プレビーム合成桁は、鋼桁に曲げ変形を与えた状態（プレフレクション）で下フランジを包むようにコンクリートを打ち込み、硬化した後にプレフレクション荷重を除荷して下フランジに圧縮力を導入する桁である。この種の桁は、鋼桁に比べ桁剛性は大きく、騒音も少なく、またコンクリート桁に比べて、架設も容易で、桁高もやや低くすることができる。その反面、施工管理はやや複雑である。プレビーム合成桁を適用する場合、合成後にコンクリートにプレフレクション荷重を伝達する必要性から、一般にフランジにジベル筋等を溶接するため、鋼材溶接部の疲労に対する配慮、およびコンクリートのクリープによるプレフレクション荷重の損失量の検討も重要である。

(3) 合成柱、鋼管コンクリート柱、SRC 橋脚

合成構造の柱は、図-1に示したように合成柱（またはSRC柱）と鋼管コンクリート柱とに分けられる（図-5）。合成柱のように鋼柱をコンクリート内へ埋め込むタイプは、耐火性を高める目的で建築の分野で用いられてきたが、埋込みによる柱の剛性と強度の増加は比較的最近まで考慮されなかった。鋼管コンクリート柱は、当初円形のものが多かったが、最近では角形のものも用いられている。これらの合成柱や鋼管コンクリート柱は、近年都市内における高架橋などにおいて、柱断面の縮小などから実施例も増えている。

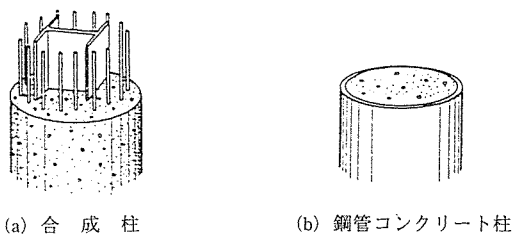


図-5 合成柱および鋼管コンクリート柱の断面¹⁾

SRC 橋脚は、施工上の制約条件や耐震性の面などから採用される場合が多い。例えば、施工時の型枠移動のため鉄骨を配置し、構造計算上鉄骨を考慮しない架設主体構造から、耐震性能（耐力や変形性能）の向上のため積極的に採用する場合など種々のケースがある。また、急速施工を目的としてSRC橋脚を採用した例として、基礎コンクリート打ち込み後、鉄骨による仮橋脚を組み立て、上部工の施工を行う。これに並行して、仮橋脚をコンクリートで巻きSRC構造とする工法が採用されている。

また、SRC橋脚の鉄骨のフーチングへの定着方法と

して、アンカーフレームを用いる方法、付着特性の優れた極太鉄筋や形鋼等を直接フーチングに定着する方法などがある。

なお、複合構造の橋脚としては、コンクリート充填鋼製橋脚や施工時型枠移動用として利用した鋼管をコンクリートで被覆後、本体構造として活用した橋脚なども施工されている。

(4) 合成床版、合成壁、合成シェル（サンドイッチ構造）

橋梁床版として適用されている合成床版を分類すると、コンクリート埋込み型合成床版（I形鋼格子床版など）、鋼板とコンクリートの合成床版など多用な構造のものが利用されている。

橋梁床版のほか、水密性などの特徴を生かして水中構造物や地下構造物で適用されており、沈埋トンネル函体、防波ケーソン、連続地中壁などがある。また、サイロ、容器などでも利用されている。

4. 混合構造における鋼とコンクリートとの一体形式

鋼・コンクリート混合構造とは、鋼部材、RCあるいはPC部材と言った異種部材を接合して、一つの構造システムとするものである。これは構造システムとして、各種材料を構造物に要求される性能に対して最も合理的に利用しようとするもので、数多くの構造形式が考えられる。

鋼・コンクリート混合構造は、適切に設計されれば、構造物に要求される多様な性能を合理的かつ経済的に満足させることが可能となる。その反面、部材間の接合に関しては、十分な検討がなされる必要がある。接合部では、断面力が確実に伝達されなければならないが、一般には、プレストレスによる方法、鉄筋をコンクリート中に定着する方法や、スタッドその他ずれ止めによる方法、摩擦による方法などにより各種断面力を伝達する。

プレストレスによる接合は、コンクリート構造におけるPCブロック工法などでは多くの適用例があるが、混合構造ではその一方が鋼部材であることに起因する鋼部材端のPC鋼材の定着方法、鋼材フランジやリブからのコンクリート部材への荷重分布、鋼部材の補強方法などを検討する必要がある。

以下に混合構造の接合部の例を示す。

(1) 斜張橋

斜張橋においては、主桁、塔などを異種部材で構成する場合のほか、中央径間の主桁に自重の軽い鋼桁を、側径間にコンクリート桁を用いることにより、側径間側の橋脚上での浮上りを軽減することにより、中央径間の長大化と経済性を達成するもので、鋼とコンクリート材

料の持つ特性を有効に利用した構造形式である。この場合、鋼部材とコンクリート部材との接合部において著大な断面力を確実に伝達する必要があり、その接合部構造の例を図-6(斜張橋とPC ラーメンの端部ヒンジ結合の例⁵⁾)に示す。

(2) 高架橋・橋脚

たとえば、都市内高速道路の高架橋の橋脚などでは、T形橋脚の柱がRCまたはSRC、横梁がSといった混合構造の施工例がある。鉄道においては、横梁にS、柱にRCを用い、これらをPC鋼棒で締結したラーメン構造の高架橋が施工されている。(図-7 RC柱+S梁の混合構造のラーメン橋の例)。

また、最近では、波形鋼板をPC箱桁のウェブに用いた構造、さらに下床版を鋼管コンクリートとした構造など独創的な高架橋も実施されている。

(3) 地中構造物

地下駅などにおいては、SRC構造、合成柱などが採用される場合が多い。地下空間の有効利用のため、梁をSRC構造、軸力が大きい柱部材などには、柱を鋼管コンクリート柱とする混合構造なども多い。

また、道路や鉄道の下を土被りの小さい所で横断するカルバートなどにおいては、鋼管を圧入し、それにコンクリートを充填し、PC鋼材で一体化する構造なども用いられている。

また、図-8⁷⁾に示す深部地下駅部のトンネル形状は、多円の複雑な断面形状となることから構造上の検討を要するところである。このような多心円のトンネル構造とする場合には、セグメント間の継手や柱等取付け部の構造が非常に複雑になるため、複合構造が採用されている。

5. おわりに

土木構造物における鋼とコンクリートの複合構造について、その分類と適用例について述べたが、都市内では、断面形状の制約、騒音の面から鋼やコンクリート単独構造はその適用が制約されること、また、施工性、高強度、高靱性、水密性などの性能向上への要請も高いため、複合構造へのニーズは今後ますます高いものとなると予想される。このような状況下において、新たな複合構造システムの研究開発とその適用に際しての合理的設計・施工法の検討が今後とも必要であると思われる。

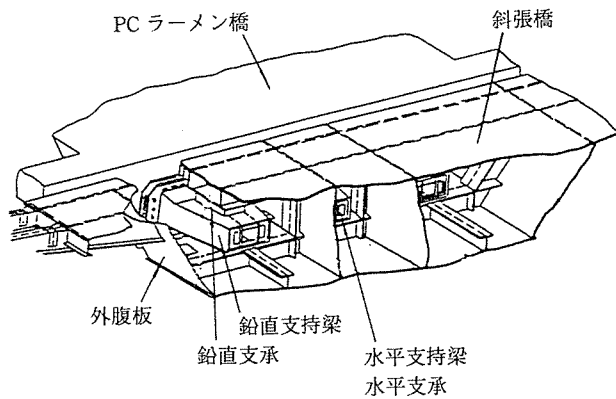


図-6 斜張橋とPC ラーメンのヒンジ結合の例⁵⁾

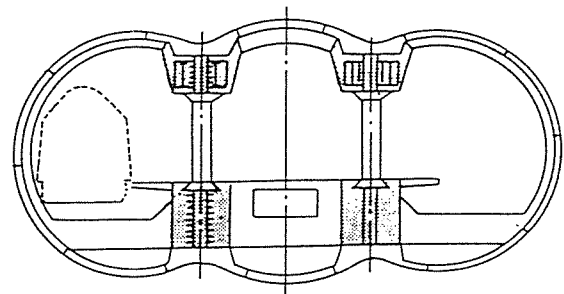


図-8 深部地下トンネル駅部の構造例⁷⁾

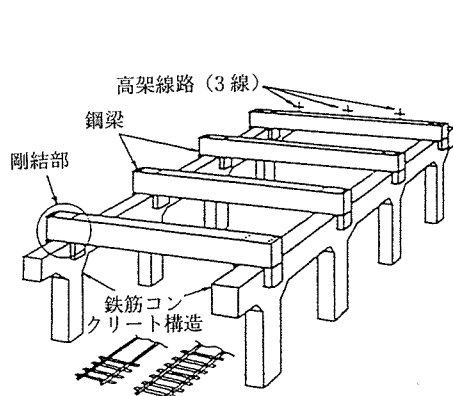
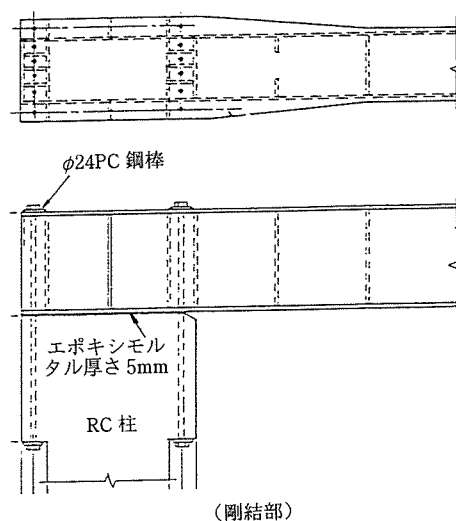


図-7 RC柱+S梁の混合構造のラーメン橋の例⁶⁾



参 考 文 献

- 1) 構造工学シリーズ3：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン, 土木学会
- 2) 前田幸雄：複合構造に関する研究の発展の歴史と動向, 土木学会論文集, 第344号, I-1, 1984. 4
- 3) 若林貫：建築における合成構造, コンクリート工学, Vol. 21, No. 12, 1983. 12
- 4) 土木学会 鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）, コンクリートライブラリー第73号, 1992. 7
- 5) 藤沢政夫, 井上泰具, 亀井正博：菅原城北大橋・ヒンジ部の設計, 橋梁と基礎, Vol. 23, No. 5, 1989. 5
- 6) 中野昭郎：RC柱+Sばりの合成立体ラーメン, コンクリート工学, Vol. 21, No. 12, 1983. 12
- 7) 福島昭男：21世紀の交通ネットワーク拡大を目指す新技術(1), 都営地下鉄12号線環状部, トンネルと地下, Vol. 24, No. 12, 1993. 12

【1994年12月19日受付】