

### 第55回

# 鋼とコンクリートの複合構造物

## はじめに

「鋼とコンクリートの複合構造物」(以下、複合構造物)は、鋼とコンクリートという性質の異なるふたつの材料を組み合わせた構造物です。一般に、**図1**に示す合成桁、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)部材およびコンクリート充填鋼管(CFT)部材を合成部材と呼び、これを用いた構造物を「合成構造物」と呼びます。また、**はり**には鋼部材、柱には合成部材といったように異種の部材を組み合わせた構造物を「混合構造物」と呼びます。これらの総称を「複合構造物」と呼び、組み合わせの方法から多種多様な構造形式があります。

ここでは、鉄道橋に用いられてきた複合構造物の発展や設計基準の変遷および今後の展望について、代表的な複合構造物である合成桁、SRC構造物およびCFT構造物を中心に紹介します。

## 複合構造物の特長と採用のポイント

鋼は引張力に対して強く、圧縮力には座屈しやすい性質を持つ一方、コンクリートは圧縮力に対して強く、引張力には強度が低い性質を持ちます。この両者を組合せて一体化することで、高い耐力を持つ部材(合成部材)をつくることができます。このため、鉄筋コンクリート(RC)部材などと比べて部材寸法を小さくできるというメリットを得ることができます。

複合構造物は、大きく分けて高架橋・橋脚と桁式橋梁において発展してきました。

高架橋・橋脚においては、RC高架橋・橋脚に対して断面縮小による自重の低減、支間増加による高架下空間の拡大が図れるといった完成形のメリットに加え、支保工が不要、短期間施工や短時間施工が可能といった施工上のメリットから多くの複合構造物が利用されてきました。

桁式橋梁においては、桁高縮小による空頭確保、コンクリート橋に比べ自重が低減できる点や架設が容易な点、鋼橋に比べ騒音が低い点から多くの複合構造物が利用されてきました。

以下、この二つの構造形式に沿って、複合構造物の発展について示します。

## SRC高架橋の発展

SRC高架橋は、**図1**に示すように、鉄骨の周りに鉄筋を配してコンクリートを打設する「SRC部材」を有する高架橋です。

我が国の鉄道では、1925年(大正14年)開業の山手線五條町高架橋において、SRC高架橋が採用されました<sup>1)</sup>。地下室付き2階建て構造となっており、部材断面縮小および支間増加によって高架下空間を確保し、店舗などの施設としての活用を狙っての適用と考えられます。その後、1932年(昭和7年)開通の総武線秋葉原駅付近の高架橋に、

背が高く地盤の悪い地区における自重軽減の目的から、SRC高架橋が採用されました<sup>2)</sup>。時代を経て1970年代から、高架下に大空間を確保するという目的から博多駅(**図2**)、仙台駅、長岡駅、盛岡駅、その他の主要駅で

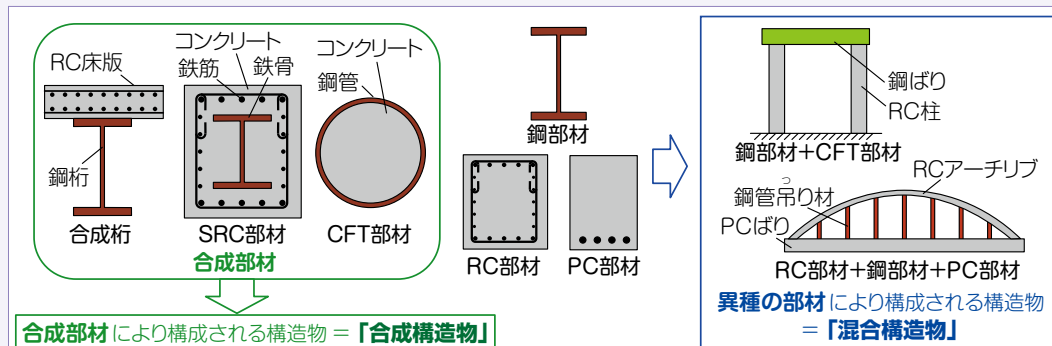


図1 複合構造物の概念

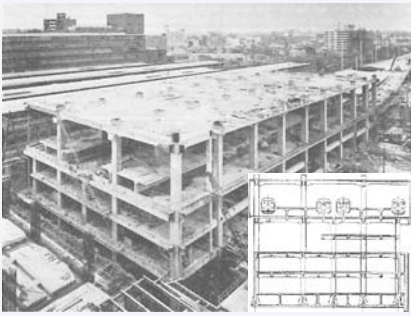


図2 山陽新幹線博多駅高架橋(SRC高架橋)  
出典：構造物設計資料No.42、日本鉄道施設協会発行



図3 軌道階打設後の山陽新幹線小倉東部高架橋(SRC高架橋、逆巻き工法)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術、鹿島出版会発行、2008

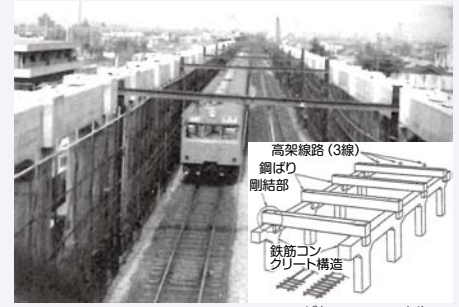


図4 鋼はり架設直前の常磐線第三綾瀬高架橋(RC柱-鋼はり混合構造)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術、鹿島出版会発行、2008



図5 秋田新幹線高架橋(CFT高架橋)

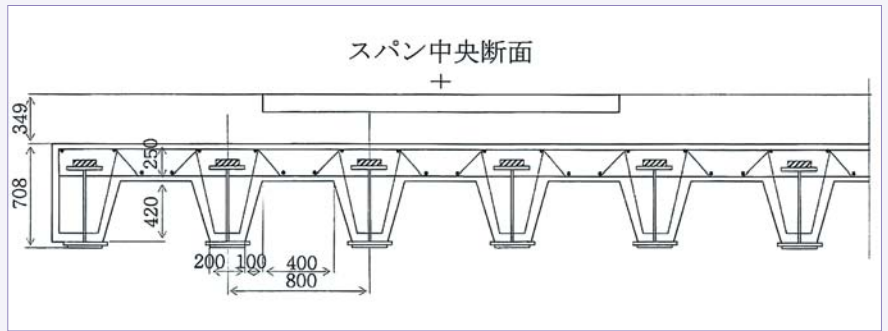


図6 高屋川橋梁断面図(H鋼埋込み桁、合成桁)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術、鹿島出版会発行、2008

SRC高架橋が用いられました<sup>3)4)</sup>。

後の時代では、厳しい施工条件を克服するための構造物としてSRC高架橋やSRC橋脚が用いられるようになります。

SRC梁は、鉄骨を先に架けて、これで吊り型枠を支えることにより、支保工を用いずにコンクリートを打設でき、直下の交通を遮断せずに施工できるという利点があります。これを利用して、1962年(昭和37年)には、東海道新幹線の橋梁を品鶴線(現在の横須賀線)の直上に建設可能とするため、門型ラーメン構造のSRC橋脚が63基に及んで用いられました<sup>2)</sup>。

さらに、山陽新幹線小倉駅東部高架橋(図3)をはじめとして、山陽・東北新幹線の建設では、SRC高架柱や橋脚の鉄骨を構築したあとに、上層梁や軌道階のみ先行してコンクリート打設し、軌道工事を行いながら並行して柱のコンクリート打設を行って完成形にするという「逆巻き工法」を多数の工区で用いることにより、工期の大幅な短縮が可能となりました<sup>2)3)</sup>。

## 混合構造高架橋の採用

施工がきわめて短時間に制限される場合には、鋼梁の適用が有効となります。1969年(昭和44年)完成の常磐線第三綾瀬高架橋では、非常に高密度な営業線の直上に高架橋を構築するため、あらかじめ線路脇にRC柱を構築し(図4)、深夜運休間合いで鋼梁を架設するという形で、RC柱と鋼梁による混合構造の高架橋を採用しました<sup>2)3)</sup>。

## CFT高架橋の発展

厳しい条件下の施工としては、CFT構造物も大きな利点を有しています。CFT部材は、円形あるいは角形の鋼管の内部にコンクリートを充填した部材で、鋼管が型枠代わりとなるため、本来型枠の構築に必要なだった離隔が不要となるため、営業線近接箇所などに適しています。さらに型枠の設置・撤去の期間が不要なので工期を短縮可能です。

1997年(平成9年)開業の秋田新幹線では、盛岡駅へのアプローチ区間に

において、柱にCFT部材を、梁にSRC部材を用いたCFT高架橋(図5)が適用されました。これは、周囲に住宅地が密集しており、線路両脇の限られた空間に柱を建てる必要があったこと、短期間での高架化を実現する必要があったことからCFT柱の採用が決められたものです<sup>5)</sup>。

その後、急速施工や営業線近接施工を主な理由として、SRC高架橋に代わってCFT高架橋が適用されるようになりました。最近では、CFT部材の高い耐力を利用してスレンダーな柱を構築できることから、景観性に優れた構造物としてCFT高架橋が用いられる場合もあります<sup>6)</sup>。

## 最初の桁構造への適用

桁構造として複合構造物が最初に適用されたのは、1953年(昭和28年)設計の、大垣駅構内の高屋川橋梁(支間10.6m)で、通常のコンクリート桁の限界を超えて桁高を小さくする必要性から適用されました<sup>3)</sup>。図6に示すよ

うに、断面形状は後述のH鋼埋込み桁と同様、I形断面の鋼桁全体をコンクリートで覆ったものでしたが、上フランジに配置したずれ止めによって床版が鋼桁と一体化したものととして、後述の合成桁の要領で断面計算して設計されました。

以降の発展について、合成桁とH鋼埋込み桁に分けて紹介します。

## 合成桁の発展

合成桁は、桁の上側（圧縮側）に鉄筋コンクリート床版を、下側（引張側）に鋼桁を配置することで、両者の利点を組み合わせた合理的な断面形状の部材となっています。

前述の高屋川橋梁の後、コンクリート床版と鋼桁の組み合わせとして本格的に合成桁が適用されたのは、1955年（昭和30年）設計の東北本線柳原通り架道橋<sup>3)</sup>（図7、支間19.9m）でした。



図7 東北本線柳原通り架道橋(合成桁)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術，鹿島出版会発行，2008

その後、大阪環状線や東海道新幹線に合成桁が大量投入されました<sup>3)</sup>。その理由は、鋼橋と比べて鋼重つまり建設コストを低減できる点、鋼橋より騒音を低減可能な点が挙げられます。とくに騒音を低減できる利点は大きなメリットであり、山陽新幹線では鋼橋の代替として合成桁が標準的に用いられるようになりました<sup>3)</sup>。さらに、鋼桁を「送出し架設」などの方法で架設したあとに鋼桁上で床版のコンクリートを打設できるため、コンクリート橋と比べて架設が容易であるという点から、道路や鉄道との交差部に積極的に採用されました<sup>3)</sup>。

当初は20m程度であった支間は、時代とともに拡大されましたが、当時の許容応力度法による設計では、1985年（昭和60年）完成の東北新幹線荒川橋梁（支間86.7m）が合成桁として適切な支間の限界でした<sup>3)</sup>。その後、限界状態設計法が導入されてコンクリート床版の許容応力度による制限が



図9 北陸新幹線境川橋梁

なくなるなどの経緯を経て、東北新幹線奥入瀬川橋梁（図8）のように、支間100mを超える合成桁も適用されるようになりました<sup>7)</sup>。

2006年（平成18年）には、北陸新幹線境川橋梁（図9）に、連続合成桁の中間支点部をRC柱と剛結した「混合ラーメン構造」の橋梁が採用されました<sup>8)</sup>。従来の連続合成桁および単柱橋脚に比べ、中間支点部の支承を省略でき、さらにラーメン構造化されることで中間橋脚の断面も縮小できる構造となっています。

## H鋼埋込み桁の発展

H鋼埋込み桁は、H鋼などの鉄骨を並べ、鉄筋コンクリートで覆う、桁式のSRC構造物を指します。桁高を抑えられるため桁下空頭制限が厳しい箇所によく適用されます。また、コンクリート打設用の支保工が不要であることから、桁下の交通規制が難しい箇所にも適用されます。断面形状としては前述の高屋川橋梁が初めてですが、設計は合成桁と同様な方法で行われました。

その後、在来線や東海道新幹線の桁にH鋼埋込み桁が用いられましたが、この頃の考え方としては、コンクリートは鉄骨の保護用であり、鉄骨のみが荷重に抵抗するとして設計されていました。桁の構造も、図10に示すように、



図8 東北新幹線奥入瀬川橋梁(合成桁)  
出典：橋梁と基礎，Vol.45，No.4，p37，建設図書発行

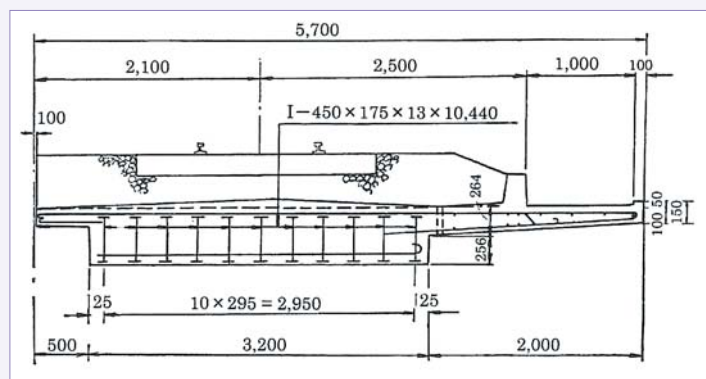


図10 東海道新幹線標準設計(H鋼埋込み桁)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術，鹿島出版会発行，2008

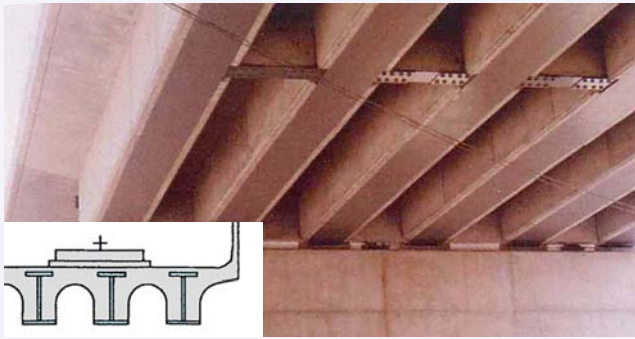


図11 山陽本線第一宮浦架道橋(T型断面のH鋼埋込み桁)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術，鹿島出版会発行，2008

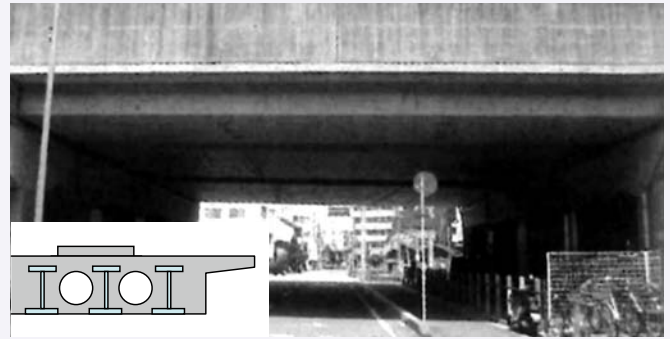


図12 東海道本線稲荷架道橋(ホロー断面のH鋼埋込み桁)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術，鹿島出版会発行，2008

形鋼を並べて鉄筋コンクリートでつなぐというシンプルなものでした。その後、1970年(昭和45年)のコンクリート構造物の設計標準において、コンクリートを無視せず断面に考慮する設計方法が採用されました。

その後、支間の増加に伴って、鉄骨には溶接桁が用いられるようになり、鋼横梁<sup>はり</sup>で鉄骨どうしをつなぐ形状が標準となりました。さらに適用支間が拡大すると、桁自重の軽減が課題となりました。1980年(昭和55年)設計の山陽本線第一宮浦架道橋(図11)では、引張の応力が発生する桁の下側部分は、鋼桁間にコンクリートを設けない構造(T型断面)として桁自重を軽減する構造が考案されました。しかし、これでは型枠の施工に手間がかかるため、東海道本線稲荷架道橋桁(図12)では、桁の外形は矩形に戻し、内部にホロー型枠を用いて空洞を設ける方式とし、現場施工の手間を軽減しながら自重を軽減しました。

その後、長支間、連続桁、SRC橋脚との一体ラーメン構造、下路桁形式など、さまざまな形式のSRC構造の桁が応用されてきました<sup>3)4)</sup>。

### 複合構造物に関する技術基準の変遷

複合構造物の技術基準は、合成桁が先行しており、1963年(昭和38年)に「合成桁鉄道橋設計示方書案」(土木学会)が制定され、その後、何度か改

訂されています。平成4年には「鉄道構造物等設計標準(鋼・合成構造物)」において限界状態設計法が導入され、平成21年には性能照査型の設計法となっています。

SRC構造物の適用当初は設計標準は制定されておらず、1970年(昭和45年)のコンクリート構造物の設計標準(旧国鉄)からH鋼埋込み桁の設計法が新たに規定されました。その後1976年(昭和51年)に「鉄骨鉄筋コンクリート構造物設計指針」(旧国鉄)制定、1983年(昭和58年)改訂、1987年(昭和62年)改訂となり、1987年には限界状態設計法が取り入れられました。平成10年(1998年)には「鉄道構造物等設計標準(鋼とコンクリートの複合構造物)」が定められ、CFT構造物に関しても規定されました。平成28年(2016年)には、性能照査型設計法を取り入れた設計標準に改訂されました。

### 複合構造物の今後

複合構造物は多種多様な材料・部材の組み合わせ方が可能であり、さまざまな可能性を持った構造物です。今後は、さらなる複合構造物の適用拡大に向けた技術開発などが期待されます。

たとえば、現在適用が進められている、橋台背面の補強盛土と橋梁<sup>りょう</sup>を一体化した「補強盛土一体橋梁<sup>りょう</sup>」<sup>9)</sup>のように、「鋼とコンクリートの複合」より拡大

した範囲の構造物の開発や、新設構造物に留まらず、「高架橋リニューアル技術」などのように、既設の鋼構造物やコンクリート構造物を複合構造化することにより性能を向上していく技術の開発などが挙げられます<sup>10)</sup>。

### おわりに

鉄道構造物において代表的な鋼とコンクリートの複合構造物の、これまでの変遷と今後の展望についてまとめました。参考資料として設計や技術開発の一助になれば幸いです。

(斉藤雅允／構造物技術研究所  
鋼・複合構造研究室)

### 文献

- 1) 鐵道省：東京市街高架線東京上野間建設概要，1925
- 2) 構設史編集研究会：鉄道構造物を支えた技術集団—国鉄構造物設計事務所の足跡—，日本鐵道施設協会，2009
- 3) 仁杉巖，阿部英彦，稲葉紀昭，中野昭郎，市川篤司：語り継ぐ鉄橋の技術，鹿島出版会，2008
- 4) 鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)の駅高架，構造物設計資料，No.42，pp.2-7，1975
- 5) 大槻茂雄，川瀬千佳，高橋裕行，前沢二郎：日本初のCFT構造を用いた鉄道高架橋の設計・施工，コンクリート工学，Vol.36，No.6，pp.16-20，1998
- 6) 森研一郎，千葉正弘，畑山義人，寿楽和也，蝦名崇宏，斎藤和也：仙台地下鉄東西線広瀬川地区橋梁の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.47，No.4，pp.5-11，2013
- 7) 南邦明，横山秀喜：東北新幹線，九州新幹線の鋼鉄道橋，橋梁と基礎，Vol.45，No.4，pp.35-40，2011
- 8) 北陸新幹線境川橋りょうの設計・施工に関する一報告，土木技術，Vol.61，No.7，pp.31-37，2006
- 9) 小島謙一：橋りょうと補強盛土をつないで耐震性を向上する，RRR，Vol.72，No.5，pp.16-19，2015
- 10) 谷村幸裕：構造物のリニューアル技術の革新，RRR，Vol.72，No.7，pp.36-39，2015