
研究展望

Review

研究展望

鋼コンクリート合成構造の発展の動向と展望

TREND AND PROSPECT FOR DEVELOPMENT OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES

池田尚治*

By Shoji IKEDA

1. 緒言

鋼およびコンクリートは、それぞれ単独で構造物を構成することができる。鋼の場合、鋼床版を有する橋梁の上部構造、鋼製の塔、あるいは鋼製ポンツーンなど多くの例があり、コンクリートの場合にもコンクリートダム、無筋コンクリート擁壁などがある。鋼構造物の場合には一般にそれを支持する基礎にはコンクリートのフーチングなどが用いられるが、基礎構造を除いて考えるならば、鋼のみで各種の構造物を容易に形成することが可能である。鋼構造物は一般に薄肉の鋼板を組み立てたもの、または薄肉部分から成る形鋼によって構成されるため、軽量で取扱いが容易であるが、振動や騒音の問題を発生させやすく、座屈もしやすい。またコンクリートと比べれば高価であり、かつ、定期的な塗装の塗り換えも必要である。しかしながら、他の金属材料と比較すれば土木構造用の材料として圧倒的に優れたものである。

一方、コンクリートは、その脆性的な性質のためにコンクリートのみで各種の構造物を構成するには限界がある。この限界を取り除いたのが棒鋼によるコンクリートの補強であって、鉄筋コンクリートの概念の登場によってコンクリート構造物が飛躍的に発展普及することとなったのである。鉄筋コンクリートは鋼とコンクリートとの複合機構によって構成されるものであって、鋼とコンクリートとの合成の概念のうちで最も合理的で実績の多いものといえる。しかし、鉄筋コンクリート中の鉄筋は、コンクリートの体積の高々5%程度以下であるか

ら、主体はあくまでコンクリートである。コンクリート自身、セメント硬化体に骨材を分散配置させた粒子分散強化型の複合材料であるが、これをさらに鉄筋によって繊維強化型の複合材料としたものが鉄筋コンクリートであって、鉄筋コンクリートとしての製造が容易であり、遮音性や耐熱性に優れ、かつ鉄筋によって鋼のもつ靱性が付与されたものである。また、一般に安価である。さらに、鋼として高張力鋼材であるPC鋼材を緊張、定着したプレストレストコンクリートも普及している。

合成構造は以上に述べた鋼構造物とコンクリート構造物の中間的な存在であるが、両者の長所を活用し、短所を相補って独自の優れた構造形式を生み出すことが可能な構造であるといえる。一般に鉄筋コンクリートは合成構造とはよばれておらず、合成構造とは部材中に含まれる鋼部分が単独である程度の断面力に抵抗できる構造のことを主として指しているようである。

現在までのところ合成構造として多用されている主要なものは、合成桁橋梁と鉄骨鉄筋コンクリート構造の2種類であるといえる。このほか、合成柱、合成床版、合成杭(SC杭)、プレビーム桁、鉄骨プレパックドコンクリート基礎、等多くの特色ある合成構造が用いられている¹⁾。合成構造は鋼とコンクリートとの組合せの方法によって種々の形式のものを構成することが可能であるから、自由度がきわめて多いのが特徴である。多くの制約条件のもとで構造物を構築しなければならないことが多い現在、合成構造の果たす役割は今後相当に多くなるものと思われる。そのためには合成構造のもつ種々の可能性の追及とその評価方法を検討することが重要である。

ここでは以上に述べた視点を中心として、土木構造物

* 正会員 工博 横浜国立大学教授 工学部建設学科
(〒240 横浜市保土谷区常盤台156)

Keywords: composite, hybrid, mixed structures, steel-reinforced concrete, design, construction, economy, new trend

としての合成構造の発展の動向と展望について実用的観点から概説を試みるものである。

2. 合成構造の基本

合成構造に関連する形式としては、合成構造のほか複合構造、混合構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造、鋼管コンクリート構造などがある²⁾。合成構造とは部材断面が異種材料の組合せによって構成され、断面力に対してこれらが一体となって抵抗する構造のことである。混合構造とは異種材料から成る部材を組み合わせた構造システムで、たとえば支間の片側をコンクリート構造とし、他の側を鋼構造とした連続桁などが挙げられる。複合構造とは合成構造と混合構造を含めた総称であると考えられる。また、複合材料の概念も別に存在しており、用語的にも類似しているので表-1に対応すると思われる英語名を付して関連する用語を示した。

また、鉄筋コンクリート床版をプレストレストコンクリート桁の上に施工して活荷重に一体断面として抵抗させるPC合成桁もある。鋼コンクリート合成構造といえば鋼断面とコンクリート断面との合成に限定される。

鋼断面とコンクリート断面とが合成されて1つの断面を形成し、この断面が図-1に示すように平面保持の仮定を満足するとき、この断面は完全に合成された断面であるといえる。

一方、鋼断面とコンクリート断面とが単に重ね合わされただけで両者がそれぞれ図-2に示すように独自の

表-1 複合構造の用語例

用語	英語名
合成構造	Composite Structure
混合構造	Mixed Structure
複合構造	Hybrid Structure
鉄骨鉄筋コンクリート	Steel-Reinforced Concrete
鋼管コンクリート柱	Concrete-filled Steel Column
埋込み合成柱	Concrete-encased Steel Column
複合材料	Composite Material
累加方式	Superposition Method
完全合成	Full Interaction
部分合成	Partial Interaction
コンパクト断面	Compact Cross-section

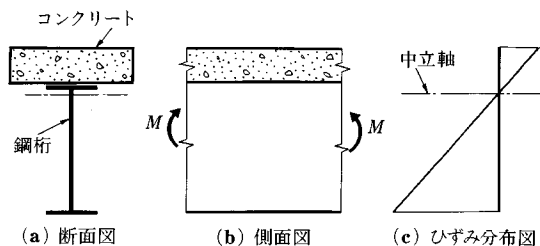


図-1 完全合成の断面とひずみ分布

立軸をもっている場合でも両者の補完的な協力機構を期待することができ、かつ、重ねばりとしての耐力機構を形成する。前者を「完全合成」とよぶならば後者は「完全累加」あるいは「重ねばり」の機構とよぶことができる。

一方、コンクリートには引張応力によって容易にひびわれが発生するが、外力が作用してもコンクリートにひびわれを発生させないように合成させることができる。

図-1の場合がその例であって断面の引張側をすべて鋼断面とすればよいのである。これに対して、コンクリートにひびわれの発生を許容するならば図-3に示すように種々の断面の形式が容易に考えられる。

鉄筋コンクリートは合成構造の中でどのように位置付けられるであろうか。鉄筋は個々に独立な鋼部材とし、コンクリートは軸引張強度のない材料であって、両者は平面保持の仮定を満足するとされている。したがって、鉄筋コンクリートは理論上、個々の鋼断面の曲げ剛性をゼロとした完全合成機構をもつものといえる。ただし、鉄筋の付着は終局状態付近では完全ではないので鉄筋端部にフック等の定着機構をもたせることが多い。

なお、鋼断面が鉄筋コンクリート中に単に埋め込まれている重ねばり形式であっても、鋼断面はコンクリート中で局部座屈や全体座屈の耐力が大幅に向上するので相当に有利となる。同様に、鋼管中にコンクリートを充填した構造は載荷力が大幅に向上する。

材料的な観点からすれば、コンクリートは鋼に比して耐蝕性および耐火性に優れているので鋼をコンクリート中に埋め込むことにより有利な構造物とすることができる。ただし、コンクリートには乾燥収縮やクリープという時間依存性があり、また、鋼とコンクリートとではポ

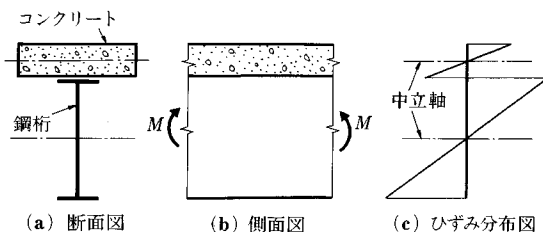


図-2 重ねばりの断面とひずみ分布

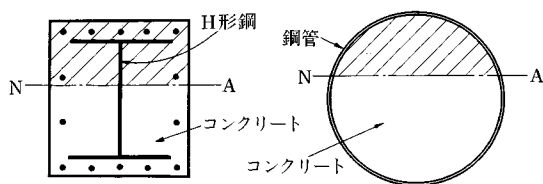


図-3 コンクリートのひびわれを許す合成断面の例

アソン比が異なることなども留意すべき点である。

3. 合成構造発展の経緯

合成構造が今日のように発展してきた理由は、その性能の優れている点とその経済性とである。しかしながら依然として鋼構造とコンクリート構造も存在するので、合成構造が総合的に判断して最も適当な構造として常に選択されるわけではない。したがって、どのような場合に合成構造が最も適した構造となり得るのかを明確に把握しておくことが重要である。

表一2に合成構造の発展に関連する事項について年代順にいくつかの例を示した。これに示されるようにコンクリート充填鋼管柱やコンクリート被覆鋼管柱の歴史は最も古いものであるが、その後の発展普及は遅れていることが伺える。鉄骨鉄筋コンクリートについては関東大震災によってその耐震性が認識されたが、設計法そのものは1958年に建築学会が計算規準を定めるまでは設計方法が特に定められていなかったようである。建築の分野で鉄骨鉄筋コンクリートが普及したのは、階数の多い建物には行政指導によって鉄骨鉄筋コンクリートの採用が求められていたことにもよっている。

合成構造として急速に世界に普及したものとしては合成桁橋がまず第一に挙げられる。合成桁道路橋の場合、別の部材である鉄筋コンクリート床版を主桁の圧縮側にも活用し、かつ、鋼桁の圧縮フランジの断面積を大幅に低減できることによりきわめて経済的な構造となるのである。

表一2の合成構造の発展を眺めるとき、合成構造の大きな特徴として、合成構造は鋼部材をコンクリートによって補強あるいは改良させた構造であることに気が付く。すなわち、出発点はあくまで鋼であって、コンクリートはその補強材あるいは改良材なのである。このことは鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートがコンクリートを鋼材によって補強したものであることと対照的なことである。したがって、いわゆる合成構造の場合、一般に鉄筋コンクリートの場合と比べて断面中の鋼材の比率が相当に高い。

鉄骨鉄筋コンクリートの場合には、一般に鋼材量は鉄筋コンクリートの場合より相当に多いが、これは構造的には鋼部分と鉄筋コンクリート部分との累加的な概念を基本としているからである。したがって、いわゆる合成構造の場合よりはコンクリート構造に近いものといえる。

合成構造に関する示方書や指針類もようやく整備され、種々の目的に応じた合成構造の設計が合理的に行える状況になってきているといえる。土木学会におけるコンクリート構造の限界状態設計法への移行^{3),4)}、日本建

表一2 合成構造発展の経緯

西暦(年)	事 項
1854	Lambot による鉄筋コンクリート製ボートの製作
1886	Jackson によるプレストレストコンクリートの発明
1901	Sewell による角形鋼管へのコンクリートの充填（剛性の増加）
1908	Burr による鋼柱のコンクリート被覆（耐火性の増加）
1923	関東大震災における鉄骨鉄筋コンクリート建物の耐震性の実証
1941	Maier-Leipnitz らによる合成桁の設計
1944	アメリカの合成桁設計規準
1950	西ドイツの合成桁設計暫定規準
1950頃	スタッドの溶植法の開発
1953	わが国初の合成桁である神崎橋竣工
1954	西ドイツの合成桁設計規準
1958	日本建築学会のSRC規準
1959	日本道路協会の鋼管成げた橋の設計施工指針
1967	首都高速道路公団のSRC設計基準
1970	日本道路協会の道路橋示方書に合成桁を規定
1973	日本国有鉄道の合成鉄道橋の設計標準
1975	プレビーム成げた橋設計施工指針（国土開発技術研究センター）
1977	本四公団委託の土木学会SRC構造設計指針
1979	本四公団の大型SRC橋脚設計要領（案）
1979	CEB・ECCS・FIP・IABSEの合成構造のモデルコード案
1979	西ドイツのフレール橋竣工（主径間は鋼けた、側径間はPCけた）
1980	SCくい設計指針（国土開発技術研究センター）
1986	土木学会コンクリート標準示方書改訂（限界状態設計法およびSRCの規定）
1987	日本建築学会のSRC規準に保有水平耐力の検討と鋼管コンクリート構造の組込み

備考：ここでは鉄骨鉄筋コンクリートのことをSRCと記した。

築学会における保有水平耐力の検討の追加⁵⁾、およびヨーロッパにおける統一コード制定の準備⁶⁾などが設計規準の最近の主な動きといえる。

4. 経済性の検討

構造物の設計に際しては経済性の検討を欠かすことができない。合成構造の採用を検討する場合、その経済性の特徴を把握しておくことはきわめて重要である。

ここではまず、鋼構造とコンクリート構造についての最も簡単な例について経済比較することから話を進めたい。

いま、圧縮力を受ける柱を考え、これを鋼で造る場合とコンクリートで造る場合とで比べてみる。

計算を単純にするため鋼の降伏耐力を3000 kgf/cm²、コンクリートの圧縮耐力を300 kgf/cm²とすると、同じ大きさの荷重に対してコンクリートは鋼に比して10倍の面積が必要である。また、安全率として鋼に1.0、コンクリートに1.5を与えれば、コンクリートの面積は鋼の15倍が必要である。一方、コストの方は、鋼は材料費、製作費、架設費等を含めて1t当たり50万円とし、コンクリートは打込み費等すべて含めて1m³当たり単純に8万円と仮定する。鋼の比重は7.85であるから1m³の鋼は7.85tであり、したがって1m³当たりの鋼の価

格は約400万円である。これより柱の高さを同じとすれば同じ断面積当たりの価格では鋼はコンクリートより50倍高いことになる。したがって、コンクリート柱は面積では15倍必要であるが単位面積当たりの価格は1/50であるからコストはコンクリート柱の方が鋼柱に比して相当に安く、その比率は約0.3である。

以上のことから、単純に経済比較しても柱の場合には鋼構造はコンクリート構造に比して3倍以上も高価なものになることがわかる。このことは通常の場合、柱に鉄筋コンクリート構造が圧倒的に用いられている事実と合致するものである。

一方、鋼柱はその断面積をコンクリート柱の1/15にすることができるから設計上きわめて有利である。また、鋼材としてロール材である形鋼を用いれば組立ての工費が大幅に減って価格も安くなる。

柱の場合、鋼柱からスタートし、コンクリートで補強する方策を考えるならば、鋼のみで部材を構成するよりもコンクリートでその一部を置き換える方が安価となる。なぜならばコンクリートは鋼に比して約30%の価格だからである。このことは合成柱とすることにより経済性を図れる可能性を示すものである。

一方、コンクリート柱からスタートして合成柱を検討する場合には通常の場合では価格は上昇する方向となる。この場合には柱の断面的な制約、施工の工程上の制約、その他の条件で合成構造の方が有利になる場合にコンクリート柱に代えて合成柱が採用されることとなる。

近年、柱の地震時の靱性の必要性が求められるようになり、コンクリート充填鋼管柱が注目されるようになったが、合成構造の力学的有利性の評価が定まれば合成柱の採用が増えるものと考えられる。

はりについての経済比較は柱の場合ほど単純ではなく、死荷重の影響、コンクリートのひびわれの影響、等があってやや複雑である。一般に支間の長さや単位長さ当たりの死荷重は比例すると考えられるので、鉄筋コンクリートは、死荷重の影響が大きいことから長支間のはりには不利である。一方、合成桁や鋼桁の場合には鉄筋コンクリート桁と比べ死荷重に関して大幅に有利である。

以上に述べたように合成構造の経済上の有利性は架設上や工期的な制約がある場合にその特徴が発揮されることが多いので、積極的に合成構造の適用を検討し、その有利性を発揮させる場合の実績を作っておくのがよいと思われる。この場合、鋼合成桁橋が優れた経済性を有していることも銘記しておくことが必要である。しかしながら構造物の経済性の評価はそのときの経済の諸指標等の変化に伴って当然変化するし、建設原価の設定の仕方も一般の商品同様に複雑であって、真の原価を設定する

ことは不可能に近い。したがって絶対的な経済上の最適性を各工事ごとに求めることは不可能であり、合成構造を最適なものとして評価するための一般的な論拠を得ることはきわめて困難であると思われる。構造物の形式を選定する場合の経済性の考慮の中には当然のことながら工事全体としての経済性、工期および建設後の維持管理の要因も考えることが必要なのである。完全な競争設計や設計施工を含めた競争入札を行えば合成構造が有利となる場合が今以上に多くなるものと思われるが、そのためには合成構造の細部にわたっての仕様書の整備がまず必要である。

いずれにしてもわが国の実情を考えるならば、合成構造が設計計画の時点で検討の対象にされるよう経済上の有利性の実績の積み重ねが必要であると思われる。なお、合成構造の力学的性能等の有利性の評価についても最終的には経済的な評価として包含できるものと考えられる。

5. 合成構造採用の実例

現在までに多くの合成構造が建設されてきたがこれらはその採用にあたり最適なものと判断されたはずである。なぜならば責任ある設計者が採用した構造形式が、その時点での最適な構造形式であると定義してもよいからである。そこで、ここではいくつかの合成構造の実例についてその採用の理由を検討し合成構造の特質を抽出してみたい。

(1) 活荷重合成桁橋

衆知のように活荷重合成桁橋は鋼桁を架設した後にそれを支保工としてその上に鉄筋コンクリート床版を築造して合成させ、その後作用する荷重のみに対して合成断面で抵抗するものである。すでに道路橋において多数の実績があり、地盤があまり良くない地域では下部工まで含めた全体の工事費を見積るとこの形式が最も経済的な橋梁となる例が多くみられた。合成桁による道路橋の場合、鉄筋コンクリート床版は、床版としての機能に加えて鋼桁との合成により主桁の圧縮フランジとしての二重の機能をもつことにより飛躍的な経済性が図れるのである。しかしながら単純支持橋では伸縮継目の設置が必要となり、車両走行上の快適性の問題および維持管理上の問題から伸縮継目の少ない形式の橋梁が求められるようになってきた。合成桁橋でも連続桁形式のものが今までいくつか建設されてきたが⁷⁾、中間支点上のコンクリート床版に発生する引張応力を打ち消すための方策が必ずしも容易でないためにあまり普及していないのが現状である。また、合成桁橋の場合にはコンクリート床版の乾燥収縮が鋼桁によって拘束されるために床版に収縮ひびわれが発生しやすくこれがコンクリート床版の劣化

の一因ともなっている。これらのことから径間数の多い道路橋の場合、活荷重合成桁橋以外の形式の橋梁が種々の理由で選択されることが増えてきている。

鉄道橋の場合には列車走行時の騒音および振動の点で鋼橋を用いることが不適当となったが、鋼橋は架設の工期を短縮する点等の多くの優れた特徴を有している。そこで、合成桁形式とすることにより騒音と振動の問題を解決し、かつ、支間が河川からの制約によって70m程度以上とする必要から複線鉄道橋に対して1箱形合成桁橋が東北新幹線の荒川橋梁に採用された²⁾。

コンクリート床版にプレキャスト版を用い、これと鋼桁とを合成する方法も施工の合理化を図る目的で用いられるようになってきた²⁾。

鋼桁をヤードであらかじめ曲げ変形させた後にその引張側フランジ周囲にコンクリートを打ち込んで一体化させ、曲げ変形を解除することによってそのコンクリートにプレストレスを与えるプレブーム工法が合成桁橋として用いられている。プレブーム橋では鋼ウェブの周囲にもコンクリートを被覆し、鋼桁の上フランジはコンクリート床版の中に埋め込まれるために外見上はコンクリート橋である。しかしながら設計計算上ではコンクリートの引張強度を無視するためにまったく通常の鋼合成桁と同じ扱いとなっている。プレブーム橋の特徴は、鋼桁をコンクリートで被覆するために騒音や振動を大幅に軽減できること、たわみの検討に際してはコンクリートの曲げ剛性を適切に考慮することによってたわみ制限に対して有利となること、桁高を小さくできること、などを挙げることができる。すでに350橋の実績があるが、支間41.4mの2径間連続桁橋2連からなる富山県の二上大橋へと発展してきた⁸⁾。なお、プレブーム橋の発展は1975年に刊行された「プレブーム合成げた橋設計施工指針」⁹⁾に負うところが多い。

(2) 鉄骨鉄筋コンクリート

わが国の建築の分野で発展した鉄骨鉄筋コンクリート構造は、都市内の高速道路の高架橋の橋脚に適用されそのために土木構造物に対する鉄骨鉄筋コンクリートの設計基準が定められた¹⁰⁾。この場合の鉄骨鉄筋コンクリートの採用の理由としては狭い建設空間の中で可能な限り小さい断面の橋脚を経済的に建設できることが挙げられる。また、鉄道の建設に際しては、鉄骨部分のみにて上部工を支えておき、上部工の施工と併行して逆巻きで橋脚の鉄骨部分の周りにコンクリートを施工することにより工期を大幅に短縮した例がみられる¹⁾。

一方、上述のような都市内の構造物と異なって長大橋の高橋脚の場合には鉄筋の多段配筋を避けたり、鉄骨を定規やガイドとする架設上の必要性から鉄骨鉄筋コンクリートが用いられるようになってきた。これに関しての

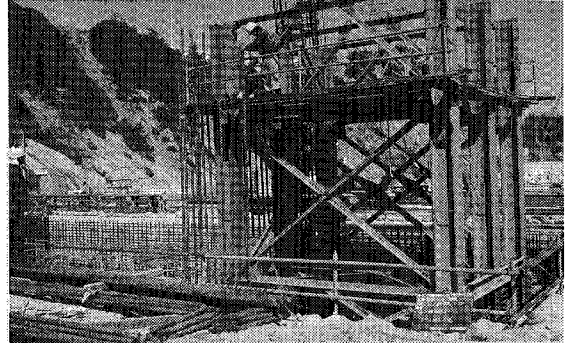


写真1 400×400のH形鋼を用いた門崎高架橋のSRC橋脚におけるD51鉄筋の組立状況

設計方法として都市内高架橋の橋脚を主として対象とした設計基準を用いることは不適当な点が多かったので、大型鉄骨鉄筋コンクリート橋脚のための設計要領が定められ実験的な裏付けも行われた^{11)~13)}。この設計要領に沿って本州四国連絡橋の鳴門大橋に接続する門崎高架橋の設計が実施された。この設計の基本的考えは、鉄骨に価格の安いH形鋼を用い、これを鉄筋の一部と置き換えて断面を構成するとともに鉄骨をブレース材でトラス状に結合することによって架設時および完成後のせん断抵抗を確保しようとしたものである(写真-1)。また鉄骨のフーチングへの定着はアンカーフレームを省略し、それに代えてH形鋼のフーチング埋込み部分にスタッドジベルを用いたことである。この構造形式はその後の本州四国連絡橋の瀬戸大橋の建設にも採用された。

以上のような土木分野における鉄骨鉄筋コンクリートの設計施工の実績を踏まえて、1986年制定の土木学会のコンクリート標準示方書の中に鉄骨鉄筋コンクリートに関する条項が定められたのである³⁾。

土木学会のコンクリート標準示方書に定められた条項の特徴としては、鉄骨鉄筋コンクリートの形式を、累加型構造、鉄筋鉄骨併用構造、および架設主体構造の3種類に分類したことである。これにより、構造物の状況に応じて鉄骨と鉄筋コンクリートとを適切に組み合わせ設計することが可能となったのである。

なお、鉄骨鉄筋コンクリートを方杖ラーメン橋の脚部に適用し、鉄骨を支保工としながら脚部を構築し、張出し架設によってわが国最大支間のこの種の橋梁を建設した富山県の祖山橋(PC方杖ラーメン橋、支間108m)の例が報告されている¹⁴⁾。このように、ユニークな架設方法や構造形式を計画する場合、鉄骨を活用すると有利性が多くなるものと思われる。

(3) 長大橋への合成構造の活用

長大支間のアーチ橋の建設にはアーチリブに鉄骨を用いることが多い。日本道路公団の中国自動車道では、鉄

筋コンクリートアーチ橋の張出し架設上の必要から支間中央部分に鉄骨を用いて帝釈橋（支間 145 m）および宇佐川橋（支間 204 m）が建設された。

最近竣工したものとしては同じく日本道路公団の別府明礬橋がある。この橋梁は支間が 235 m で東洋一のコンクリートアーチ橋である。架設は PC 鋼棒を斜材としたトラス形式の張出し架設の後に中央部約 70 m を鋼トラス桁を用いて閉合した（写真—2）。このトラス桁は架設後にコンクリートで巻き立てられた。また、架設時の応力度とその後作用する荷重による応力度とで鋼トラス桁の応力度が許容値を越えるため、この鋼トラス桁は本体の断面としては考慮されず、あくまで架設のために用いられている。このような鉄骨材の活用方法は土木学会のコンクリート標準示方書の分類における架設主体構造に該当するものである²⁾。

長大橋への合成構造の適用例の特色あるものとしては、PC 斜張橋の桁の重量をできるだけ軽くする方策として横桁に鋼桁を用いて成功した East Huntington 橋（支間 274.3 m+185.3 m）の例がある¹⁵⁾。

世界最大級の鋼斜張橋であるカナダの Alex Fraser 橋



写真—2 支間中央部 70 m を閉合した状態の別府明礬橋の鋼トラス桁

（Annacis 橋、支間 465 m）では鋼 2 主桁上にプレキャストコンクリート床版を用いて合成させた。なお、この橋梁の主塔は鉄筋コンクリート構造である¹⁵⁾。

合成構造とは異なるが、鋼とコンクリートとの複合構造の合理的なものとして支間の一方を鋼構造とし、他をコンクリート構造とするいわゆる混合構造も長大橋の建設に登場してきた。西ドイツの Flehe 橋（支間 367 m）の完成によって注目されたこの構造はわが国の本州四国連絡橋の生口橋の建設に応用されている²⁾（図—4）。

また、特色ある混合構造として、鋼斜張橋の両端支点の橋脚を省略して直接 PC 連続桁と接合した大阪の菅原城北大橋（支間 238 m）がある¹⁶⁾。

今後フランスの Normandy 橋（支間 856 m、工事着手）のような長大橋に混合構造が多く適用されるようになるものと思われる。

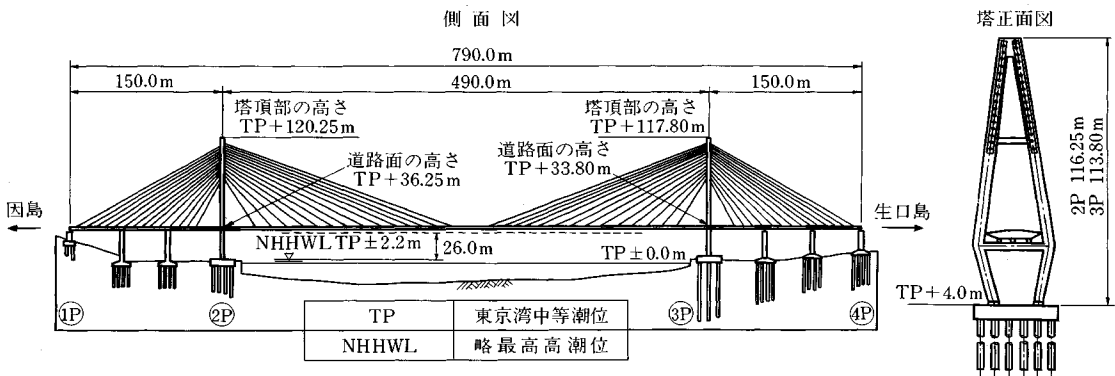
6. 合成構造の新しい展開

鋼管の中にコンクリートを打ち込んだ構造はコンクリートが鋼管によって拘束されるためにきわめて強固で靱性に富んだ構造とすることができる。

鋼管のみは比較的軽量であるから架設や組立ても容易に行うことができる。

佐渡島に建設された城址橋（支間 82 m）は 3 本の角形鋼管を建設地点の両アバット部分に鉛直に組み立て、これを回転しながら倒して閉合し、鋼管の中にコンクリートを充填してアーチリブの剛性を高めてから、これにコンクリートを巻き立ててコンクリートアーチリブを構築する方法である¹⁷⁾（写真—3）。この方法は内外で注目されており、今後の発展が期待されるものである。

フランスでは PC 橋の経済化を進めるためにコンクリートウェブに代えて波形鋼板をウェブに適用し自重の軽減を図る試みがなされた¹⁸⁾。この場合 PC ケーブルは外ケーブル方式である。この延長上としてさらに合理化を進めた結果、下フランジに鋼管を用いてその中にコン



図—4 生口橋の一般図

の論文集も刊行されたので合わせてご参照賜りたい。

すでに研究展望として、土木学会論文集第1部門に前田幸雄教授が複合構造に関する研究の発展の歴史と動向についての詳細な論文⁷⁾を發表されており、合成プレートガーダー、合成箱桁、合成柱、混合構造、ずれ止め、および設計法に分けて貴重な論述がなされている。コンクリート技術者が合成構造を指向する場合にきわめて有用な情報が盛られていると思われるのでご参照いただきたい。

参 考 文 献

- 1) 鋼コンクリート合成構造小委員会：鋼コンクリート合成構造の現況，土木学会誌，pp.45～54，1981年9月。
- 2) 鋼コンクリート合成構造小委員会：鋼コンクリート合成構造の設計ガイドライン，構造工学シリーズ3，土木学会，1989年1月。
- 3) 池田尚治：鉄骨鉄筋コンクリート（コンクリート標準示方書改訂資料），コンクリートライブラリー，第61号，土木学会，pp.250～252，1986年。
- 4) 池田尚治：合成構造の設計法とその問題点—土木構造物—，コンクリート工学，Vol.21，No.12，日本コンクリート工学協会，pp.81～87，1983年12月。
- 5) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準，1987年。
- 6) CEB-ECCS-FIP-IABSE Joint Committee on Composite Structures, Draft Model Code for Composite Structures, Sept.1979.
- 7) 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，pp.13～25，1984年4月。
- 8) 松井・栗田・渡辺・武田：プレビーム連続合成桁の設計と施工，第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.379～384，1989年9月。
- 9) 国土開発技術研究センター：プレビーム合成げた橋設計施工指針，1975年。
- 10) 首都高速道路公団：鉄骨鉄筋コンクリート設計基準，1967年。
- 11) 本州四国連絡橋公団：大型鉄骨鉄筋コンクリート橋脚設計要領（案），1979年。
- 12) 池田・大町・森・山口：スタッドジベルによる鋼材とコンクリートとの応力の伝達について，第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集，日本コンクリート工学協会，pp.321～324，1981年。
- 13) 池田・上田・樋口・山口：形鋼鉄筋併用コンクリート構造の実験的研究，第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集，日本コンクリート工学協会，pp.313～316，1981年。
- 14) 斉藤・前田・得能・大井：祖山橋の施工管理と載荷試験，橋梁と基礎，Vol.23，No.11，（株）建設図書，pp.11～16，1989年11月。
- 15) 前田幸雄：合成構造の最近の話題，第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.(1)～(7)，1989年9月。
- 16) 亀井・井下・高田・折口：菅原城北橋複合ヒンジ部の設計と施工，第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.117～122，1989年9月。
- 17) 山本・佐川・小林・遠山：合成アーチ巻立て工法による城址橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.23，No.11，pp.2～10，1989年11月。
- 18) ISTE, French know-how in bridge engineering, pp.111～115, 1987.
- 19) 猪股俊司：プレストレスされた鋼コンクリート組合せ橋梁—鋼コンクリート合成構造の最近の話題—，新しい分野でのPCの活用，プレストレストコンクリート技術協会，pp.1～21，1989年2月。
- 20) 池田尚治：極太径ねじふし鉄筋の使用による新しいコンクリート構造形式の研究，第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.15～20，1989年9月。

(1990.1.23・受付)

技術展望

Technical Over View