

特集

土木分野における複合構造

土木分野における複合構造

池田 尚治*

1. はじめに

複合構造とは、主として鋼とコンクリートとを組み合わせて構成する構造であり、鋼コンクリート合成構造や、鋼コンクリート混合構造等を包含する名称である。1995年1月に世界最長支間を誇るノルマンディ橋がフランスで完成し、フランスの土木技術の先端性を喜んでフランスの首相がその開通式に出席したことがニュースとして世界に報道されたことはまだ記憶に新しい。このノルマンディ橋は中央支間の約3/4の部分が鋼桁であり他の部分はコンクリート構造であって、鋼コンクリート混合構造の代表的な例と言える。我が国でも本州四国連絡橋の尾道・今治ルート中の生口橋がほぼこれと類似の混合構造である。我が国では鉄骨鉄筋コンクリートや鋼コンクリート合成桁が広く用いられており、複合構造の形式は決して目新しいものではないが、近年鋼とコンクリートとを組み合わせた全く新しい複合形式の構造物も登場し、プレストレストコンクリートの分野にも大きな影響を与えはじめてきた^{1)~3)}。また、既存構造物の耐震補強や劣化による品質低下の改善に複合構造が適用されるようになってきた。そこで、ここでは最近注目されている鋼コンクリート複合構造の例を示しながら、この形式の構造についての概説を述べることにする。



* Shoji IKEDA
横浜国立大学 工学部教授、
(株)プレストレストコンクリート
技術協会 会長

2. 複合構造の特質

鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートも複合構造ではあるが、ここではこれらを基本とした一層の複合の形式を主として考えることとする。表-1に鋼とコンクリートとの複合による効果をその特質別に分類した結果を示した。この分類はそれぞれが全く独立したものとは言いがたいが、効果の特質として卓越したものを分類してある。したがって、分類した内容は他の分類の内容をも含むものが多い。

表-1 複合効果の分類

No.	分類	備考
1	長所の組合せによる補完	強度、剛性、靱性、耐久性、耐火性
2	合成作用	断面二次モーメント
3	鋼部材の架設への適用	支保工、架設工
4	鋼部材の架設と躯体への適用	支保工と躯体要素
5	急速施工	工期の条件
6	重量の低減、重量のつりあい	コンクリートと鋼との置換え
7	高品質化	靱性、拘束効果
8	補修、補強	劣化の回復、耐震補強

さて、表-1の分類について若干の説明を加えてみよう。

分類1：コンクリートは引張力に弱いが圧縮力に対しては強く、一方、鋼は引張力には強いが圧縮力には座屈しやすい性質がある。また、鋼は錆やすいが、コンクリートはこれに比べて相対的に耐久である。剛性についてもコンクリートは大断面とすれば有利であるが、鋼は棒状や板状の場合には不利である。しかし、鋼は靱性の点でコンクリートより格段に優れている。ただし、材料費としては鋼は高価である。このようにそれぞれが持つ長所を組み合わせることでそれぞれの短所を補完することにより、鋼とコンクリートとの組合せによる複合効果を発揮することができる。鉄筋コンクリートやプレストレストコンクリートは最も基本的な例と言えるが、鉄骨鉄筋コンクリートや充填鋼管柱などもこの効果を活用したものである。

分類2：平面保持の仮定を保ちながら鋼要素とコンク

リート要素との結合を図るもので、合成効果により断面二次モーメントの大幅な増加を期待するものである。鉄筋コンクリートは鉄筋自身の断面二次モーメントは零であるが、これと圧縮側コンクリートとの合成効果によって断面を構成している。鋼コンクリート合成桁形式はこの分類の代表的な例である。

分類3：鋼部材は取扱いや組立てが容易であるので、架設材として極めて優れている。これらの鋼部材はそのままコンクリート中に埋め込むが、構造本体には設計計算上考慮しない。なぜなら、構造本体に考慮すればその品質や性能および応力度のレベルが本体構造の仕様を満たさなければならないからである。コンクリートアーチ橋の架設に用いられる鉄骨は多くの場合この例に該当している。

分類4：架設に用いた鋼部材を本体構造の要素としても用いるものである。鉄骨鉄筋コンクリートの鉄骨は多くの場合これに該当している。

分類5：工期に制約がある場合や急速施工が求められている場合に複合構造にすると経済的に満足な結果が得られることが多い。したがって、このような場合には全体的な経済性を考えると複合構造が最も有利となる場合が多いと思われる。

分類6：鋼構造は軽量であり、これに対してコンクリート構造は重量が大きい。したがって長径間の構造には一般に鋼構造が有利である。また、斜張橋などで支間の関係で一部の桁の重量を大きくする必要もあることもある。このような場合にはノルマンディ橋や生口橋のような混合構造の採用が適切となる。

また、ウェブのみを鋼板とし、フランジ部をコンクリートとしてウェブの重量を軽減する複合PC構造もこの分類に含まれる。

分類7：充填鋼管柱や鋼板で巻き立てた鉄筋コンクリート柱は靱性に富んでおり粘り強い構造である。このように、複合化によって部材や構造物の品質を高めることが可能である。

分類8：鋼構造物の補修や補強にはコンクリートの充填や巻立てなどが極めて有効である。また、コンクリート部材の補修や補強には鋼材が広く用いられている。

種々の形式の複合構造物はほとんどの場合、上述の分類のいくつかの効果を取り入れてその構造物の建設条件における最適なものとして採用されたはずである。

なお、炭素繊維シートやアラミド繊維補強材などの新素材との複合も今後大いに発展するものと思われるが、この場合には上述の分類の中で鋼材の役割を新素材が果たすことになるとと思われる。

以上に述べた複合効果は、広い意味でも最適な経済性

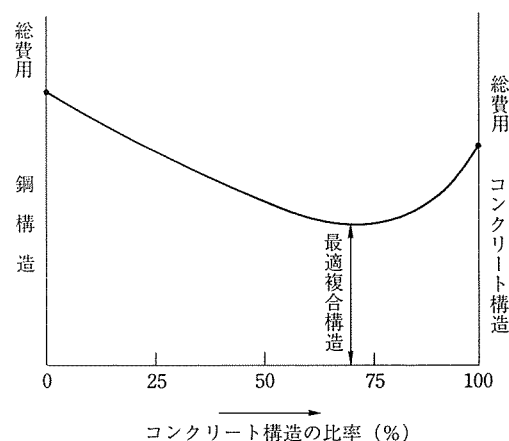


図-1 複合構造が有利な場合の概念図

と合理性とに結び付いて初めて実際に採用されることになるのである。図-1に複合構造が有利な場合の概念図を示したが、この場合には建設条件によって優位性が現れたと考えるべきで、常にこのようなことになるとは限らないのである。例えば、場合によっては鋼構造が最も有利になることもあり得るのであり、複合構造が常に有利になるわけではないことに留意する必要がある。

プレストレストコンクリート構造の場合には外ケーブル技術が確立されてきたことが、複合化への大きな発展となって現われたものと思われ、コニャック橋、モープレ橋、ロアズ橋、および最近のドール橋などの複合形式の橋梁が登場してきたのである。これらは当面は分類6の効果が主要な特徴であるが、将来は分類4、分類5、および分類7などの複合効果へと発展するものと思われる。

3. 最近の複合構造の橋梁

(1) ノルマンディ橋

フランスのセーヌ河の河口近くに本年1月に完成したノルマンディ橋は世界最大支間の斜張橋で、その形式は鋼とコンクリートとを巧みに組み合わせた複合構造である(写真-1)。

ノルマンディ橋は全長2141mの橋梁であって、その中央部分が支間856mを有する2面吊りの複合斜張橋である⁴⁾。中央支間のうちの624mが鋼床版箱桁であり、その他の部分はコンクリート桁であって、コンクリート桁の経済性と長大な中央径間の重量とバランスすることを考慮して複合構造が採用されたのである。また、主塔の斜材定着部位は鋼構造であり、その剛性確保のために鉛直な鋼柱の橋軸直角方向の左右にプレキャストコンクリートセグメントが取り付けられて主塔断面を構成する。したがって主塔も複合構造である。鋼桁部分とコンクリート桁部分の単位m当りの重量はそれぞれ橋面工を含めて45tfおよび13tfであって、この重量

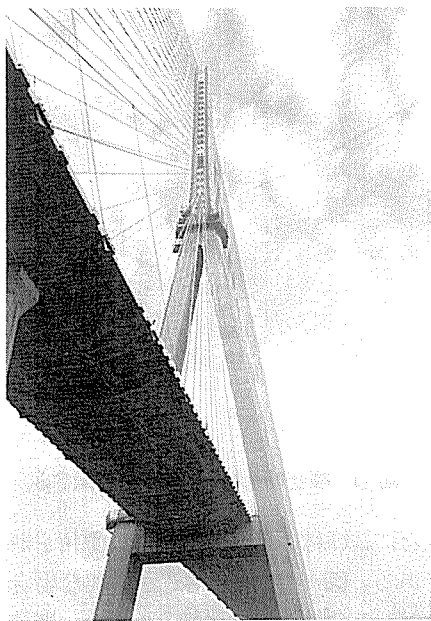


写真-1 ノルマンディ橋

差が巧みに活用されているのである。両側の側径間はそれぞれの橋台部分から押し出し工法によって架設されたが、その勾配が6%であったため水平方向と鉛直方向とを交互にジャッキングする方式が採用された。

ノルマンディ橋は我が国の本四架橋の多々羅大橋が完成するまで世界一の斜張橋の支間を誇るものである。

(2) ドール橋

ドール橋 (Dole Bridge) はフランスのジュラ地方のドール市を流れるドウブ川に架かる道路橋であり、ウェブに鋼波板を持つ7径間連続の複合橋である⁵⁾ (写真-2)。

この橋の特徴は変断面箱桁の鋼波板構造を現場打ちコンクリートによって片持張出し施工したことであって、勿論世界で初めての試みである。全長は496mであって中央部の5径間の支間が80mの大型橋梁である。幅員は3車線と両側歩道を持つ14.5mである。縦断勾配

は3.5%である。桁高は支点上で5.5m、支間中央で2.5mである。鋼波板ウェブの厚さは、一般部、支点付近、およびデビエーター部分でそれぞれ8mm、10mm、および12mmである。波の形は幅が22cmで折曲げ間隔が43cmである。鋼波板と上下フランジのコンクリートとを組み合わせた断面はウェブが軸力に抵抗しないので、プレストレスに対する断面の効率が極めて優れている。

緊張材は張出し施工時に直線形状に上フランジ中に配置されるもの、閉合時に支間中央付近の下フランジ中に配置されるもの、および、上床版施工後に配置される連続した外ケーブル、の3種類である。それぞれの tendon は、12 T 15, 12 T 15, および 19 T 15 である。

鋼波板の各セグメントごとの接合は現場溶接であり、その作業は上下のコンクリートの打込みと緊張および型枠の移動後に行われた。これによって1週間に片側2セグメントの施工が可能となった。各セグメントの長さは3.2mであり、橋脚上のセグメントは全コンクリート製でその長さは4mである。

この橋梁は契約時に施工業者の代替提案が採用されたことで実現したものであり、このことは経済的で合理的な構造が複合構造形式によって実現したことを意味するものである。

なお、鋼ウェブを波板とすると、ウェブのせん断座屈強度が著しく高くなるのでスティフナーが不要なこと、これによる溶接ひずみが生じないので外観が優れていること、などの特徴を有している。すでにこの種の橋梁は、コニャック橋、モープレ橋、アステリック橋がフランスで実現しており、我が国でも新開橋 (新潟県) が完成し、現在、松ノ木7号橋 (秋田県) が施工中である。また、類似の形式の橋梁としてウェブ以下を鋼トラスとし外ケーブルを用いたロアズ橋がある (写真-3, 写真-4)。

最近の橋梁断面の複合化については少数鋼桁とコンク

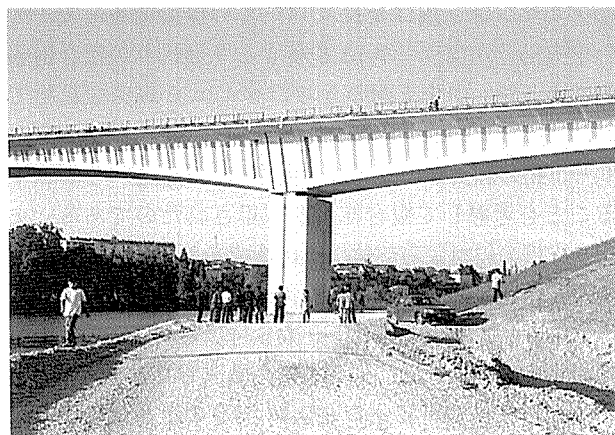


写真-2 ドール橋

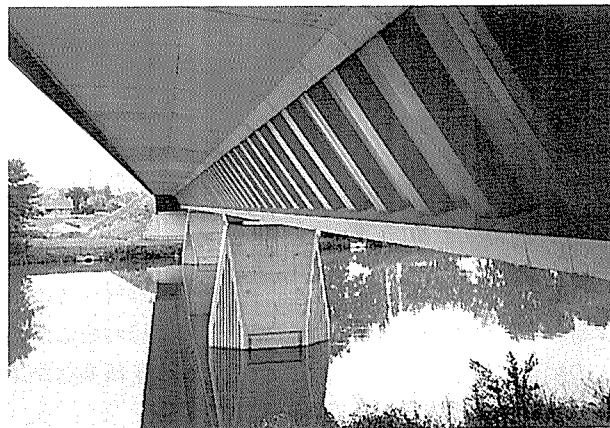


写真-3 コニャック橋

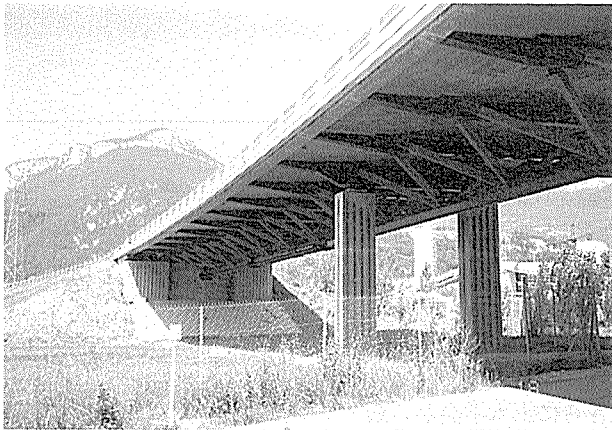


写真-4 ロアズ橋

リート床版とを複合させた構造や、コンクリート床版の張出し部に鋼製ストラットを配する構造など、多くの革新的な工夫が図られてきた⁶⁾。また、軽量コンクリートや高強度コンクリート、さらには新素材なども組み合わせた複合化も進んでおり、橋梁の建設における複合化は急速に発展するものと思われる。

4. 複合構造の活用

複合構造は橋梁上部工のほかに多くの構造に適用されてきている⁷⁾。橋梁の下部構造や沈埋トンネルなどにも適用が図られ、その有用性が広く認識され始めてきた。特に高さが100 mにも及ぶ高橋脚を早期施工する手法としての技術開発が盛んである。

既存構造物の補強に関しても複合構造はその特徴を大いに発揮できるのである(写真-5)。また、震害によって損傷を受けた構造物の補修や補強にも複合構造は最適な手法として採用が検討されている。震災後の応急的な安全対策に用いる緊急補強に関しても複合形式の手法は欠くことのできないものである。

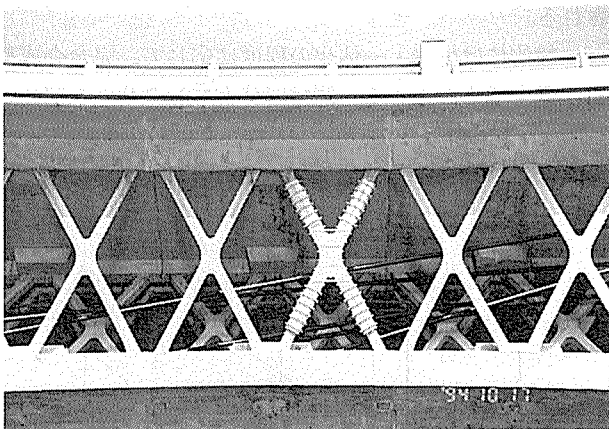


写真-5 シランス・グレシアル橋

5. おわりに

複合構造に関しては、1989年3月に土木学会から「鋼コンクリート合成構造の設計ガイドライン」が刊行され⁸⁾、1993年3月には「合成構造用鋼材の利用に関する調査研究報告書」が土木学会鋼コンクリート複合構造研究小委員会によってまとめられた。また、今年1月には日本コンクリート工学協会の会誌「コンクリート工学」で複合構造に関する記事を中心に特集が組まれた。ぜひこれらを参照され複合構造に関する認識を深めていただきたい。

参 考 文 献

- 1) 池田尚治：鋼コンクリート合成構造の発展の動向と展望，土木学会論文集，第414号，V-12，1990年2月，pp. 15~22
- 2) 池田尚治：土木分野における合成構造・複合構造の現状，コンクリート工学，Vol. 29，No. 6，1991年6月，pp. 4~12，日本コンクリート工学協会
- 3) 池田尚治：土木における新構造形式——総論——，コンクリート工学，Vol. 30，No. 3，1992年3月，pp. 5~7，日本コンクリート工学協会
- 4) Virlogeux, Michel, et al., Design of the Normandie Bridge, Proc. Cable stayed and suspension bridges, International Conference A.I.P.C.-F.I.P., Deauville, Oct 12-15, 1994, pp. 605~630
- 5) Combault, Jacques, Jean-Daniel Lebon, and Gordon Pei, Box Girders using corrugated steel webs and balanced cantilever construction, Proc, FIP Symposium 1993 Kyoto, pp. 417~424, Prestressed Concrete Engineering Association of Japan
- 6) 岡 米男：橋りょうけた断面の複合化について——フランス，スイス，ドイツの例——，コンクリート工学，Vol. 33，No. 1，1995年1月，pp. 86~90，日本コンクリート工学協会
- 7) 吉川 紀：道路橋——合成・混合構造に見るコンクリート技術の現状と将来——，コンクリート工学，Vol. 33，No. 1，1995年1月，pp. 55~60，日本コンクリート工学協会
- 8) 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

【1995年2月27日受付】