

設計者の技術力を測るバロメーター

—主桁断面—

Cross Section Tells Engineer's Ability

Kasuga Akio
春日昭夫*

まえがき

橋を見るととき構造全体も重要であるが、主桁断面がどのようになっているかを見れば設計者の考えがよくわかる。主桁断面を難しくする要因として、広幅員・桁高制限・曲線橋・軽量化・施工性や経済性の追及などがあるが、特に斜張橋などの吊り構造は吊り材の張力をいかに効率よくウェブなどのせん断を負担する部材に伝達するかという目的から、さらに断面構成を難しくする。

本文では、海外の著名な橋梁エンジニアが設計した実例をもとに、どのような点に技術的工夫があるのか、また、どこが革新的なのかを筆者の見解であるが検証してみる。

1. J. Muller

J. Muller といえば、まず斜張橋のプロトヌ橋を挙げなければならない(図-1)。この橋は、その後の広幅員1面吊り斜張橋の断面構成に大きな影響を与えたという意味において画期的であった。力の流れとしては図ようになるが、主桁重量を軽くするために1室箱桁とし、1面吊りの斜材を定着するためにストラットを介してウェブと下床版の交点に斜材張力を伝達する究極のトラス構造である。J. Muller はストラットにプレキャストコンクリートを用いており、斜材張力に抵抗する量のプレストレスを配置している。その後はストラットに鋼材を用いたりした事例もあったが、いずれもストラットの軸方向の剛性が斜材張力の主桁への伝達にとって重要であり、同様の斜張橋で鋼材を用いたエロルン橋(図-2)では直径150mmの無垢の

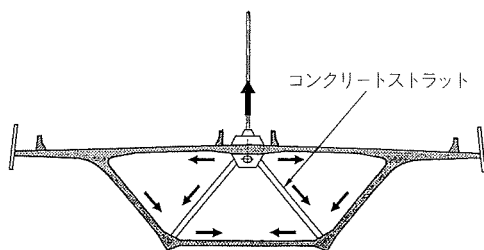


図-1 プロトヌ橋の断面

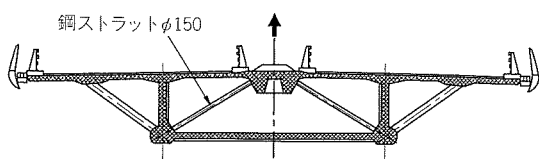


図-2 エロルン橋の断面

棒鋼が使用されている。筆者もこのストラット構造を検討したことがあるが、斜材の軸力伝達が遅れる通常のウェブの近傍に定着する構造と違って、ストラット構造は鉛直成分も有効に作用するまで定着点からある程度の距離が必要になるという結果を得たことがある。この点注意が必要であるが、主桁を軽くできるという利点は大きい。

プロトヌ橋の断面構成を拡張したのがCD運河橋である(図-3)。この橋も1面吊りの斜張橋である。そして最も特徴的なものが、橋のコストを下げるために上下線に分離したアプローチスパンの断面をそのまま斜張橋部に適用し、斜材張力はそれぞれの桁の間に配置したプレキャストトラスを介して伝達する構造ということである。こうすることでプレキャストセグメント工法の優位性を最大限に生かすことができる。上下線の断面を分割することによって、セグメントの重量が軽量化でき、架設機械の軽減にもつながる方法である。

イゼール橋は、図-4に示すように、逆三角形の断面をもつ斜張橋である。先の2橋と違うのは、斜材をウェブ近傍に定着していることである。そして施工の合理化を図るために断面を分割して施工している。また、主桁高さが低いために斜材定着部は桁の外に出してデザイン的にも特徴を持たせている(写真-1)。このような逆三角形断面の1面吊り構造は、せん断力のほとんどを鉛直ウェブで負担するために、斜め床版はねじり剛性を高めるとともに上床版を支えるストラットの役目も果たす。イゼール橋では斜材位置に横桁を配置している。

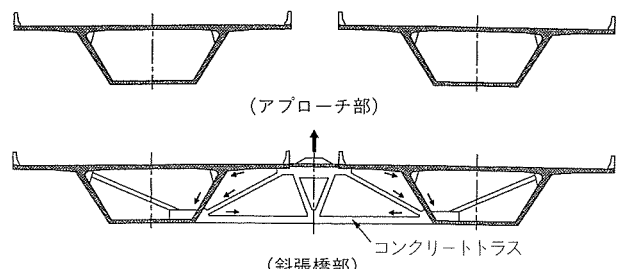


図-3 CD運河橋の断面

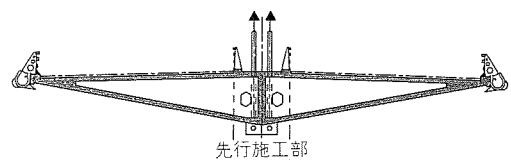


図-4 イゼール橋の断面

*三井住友建設㈱ 土木事業本部 PC設計部長

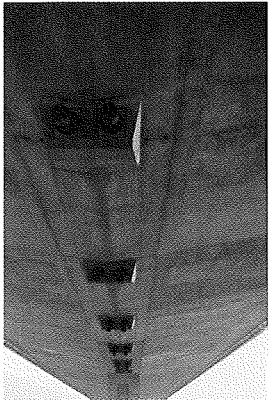


写真-1 斜材定着部

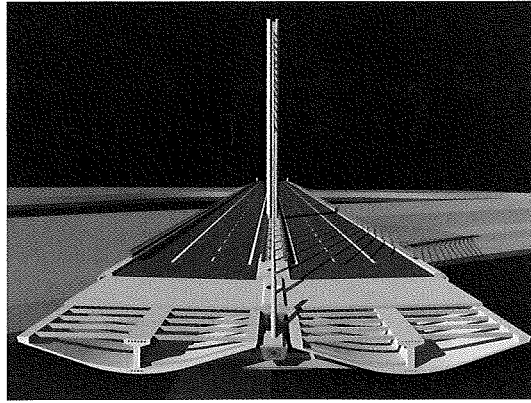


写真-2 オドラ橋のメイン部とアプローチ部 (写真提供: J. Strasky)

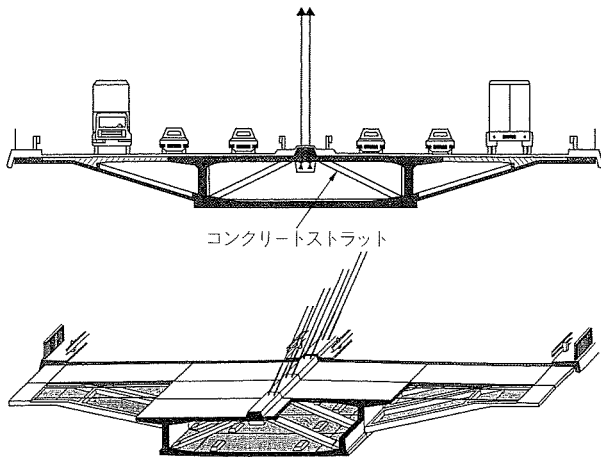
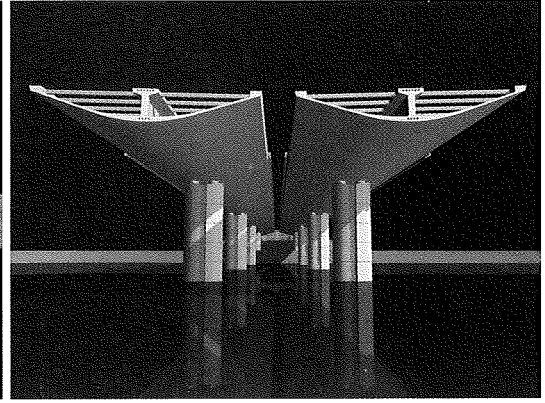


図-5 エルベ川橋の断面と施工要領

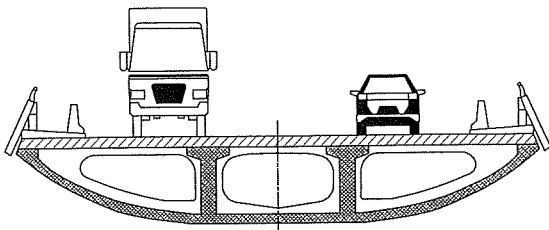


図-6 ピルゼン高架橋の断面

2. Strasky

Strasky は、コア断面を先行張出した斜張橋のエルベ川橋が特徴的である (図-5)。この橋は広幅員の1面吊りであり、プロトヌ橋のストラット構造を採用している。しかし、プロトヌ橋と違うのは、断面を箱桁のコア断面と張出し床版部に分割して施工した点である。そして張出し床版は、斜め床版にプレキャスト板を使用することで、ねじり剛性の確保と床版施工の合理化を図っている。このような施工法は、施工機械を軽量化することが可能になり、経済性にも優れた工法である。海外では、広幅員のプレキャストセグメント工法では、コア断面先行架設を採用する場合が多い。

図-6 に示すピルゼン高架橋 (桁橋) は、セグメントの重量を軽減するために上床版を後打ちにしている。Strasky はその後、上床版を打ち替えることのできる断面を提唱しているが¹⁾、このタイプの断面もそのひとつに挙げている (図-7)。なお、古川高架橋²⁾のU形コア断面は、セグメント重量を30t 以下にしなければならないという工場セグ

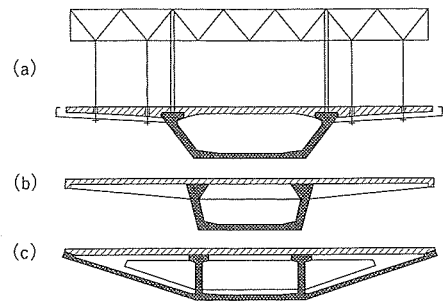


図-7 床版を打ち替えることができる断面の例¹⁾

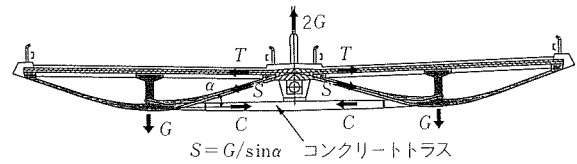


図-8 オドラ橋の断面

メントであるがゆえに考え出されたものであるが、図-7 (b) のようにコンセプトが違う Strasky の断面にもまったく同じものがあるというのは非常に興味深い。

ピルゼン高架橋の断面を、先に述べた J. Muller の CD 運河橋と同じコンセプトで用いたものが図-8、写真-2 に示すオドラ橋である。斜張橋を開断面で架設し、どの時点で閉断面にするかなど検討事項は多いが、架設機械の軽量化と断面統一による経済性の追求は参考になる。アプローチがない場合はエルベ川のタイプを、ある場合はこのタイプをというように使い分けることが可能になる。

3. Srinivasan

DAR コンサルタントの Srinivasan は元 Ove Arup の技術者である。図-9 に示すワジレバン橋は中央支間が405m の斜張橋であるが、断面が横桁を用いないで斜材張力をウェブに伝達できるよう工夫されている。つまり、ほとんどのせん断力を負担する内側のウェブにできるだけ近く斜材定着部を設け、横桁なしでも十分斜材張力の鉛直分力を桁

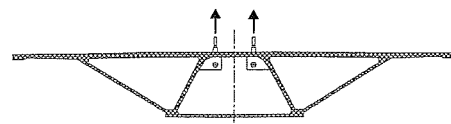


図-9 ワジレバン橋の断面

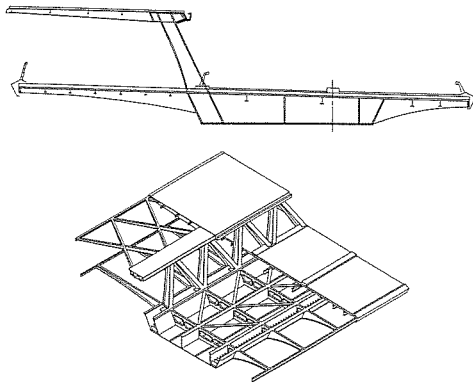


図-10 エスカルドゥナ橋の構造

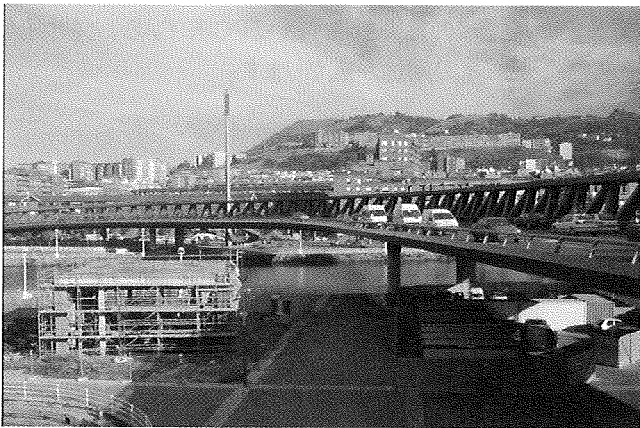


写真-3 エスカルドゥナ橋

に伝える構造になっているのである。この橋は、斜材が並列に配置されているために図-9のような断面になっているが、並列でなければできない限り内側のウェブ間隔を小さくする必要がある。並列の場合でも斜材が中央分離帯の中に配置されることを考えるとウェブ間隔はそう大きくとれない。そして、斜材の緊張を主桁側で行う場合は、ジャッキのスペースなどからも必要空間が決まってくる。

力の流れを最短にするという構造力学の基本と、できるだけウェブ近くで斜材を定着するというプレストレスの基本に忠実に従ったというだけのことではあるが、この結果、主桁の軽量化が図られている。

4. Manterola

スペインのカルロス・フェルナンデス・カサド事務所の技術者である Manterola は非常に魅力的な橋を設計する。まず挙げたいのは、図-10、写真-3 に示すスペイン北部のビルバオにあるエスカルドゥナ橋である。この橋は曲線橋で桁下空間が制限されており、トラスを橋面の上に作らざるをえなかった。ここまでは普通の解決法であるが、彼らはここからが違っている。当然曲線橋であるがゆえにこのトラスが面外に変形をするのであるが、その変形を低減しトラスの補剛効果と全体のねじり剛性を高めるために、歩道の屋根部の中にまた水平トラスが隠されているのである。ビルバオというところは非常に雨が降りやすいところだが、筆者もこの橋を見たときは屋根の秘密がすぐにはわからな

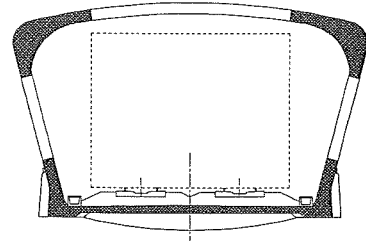


図-11 エプロ橋の断面

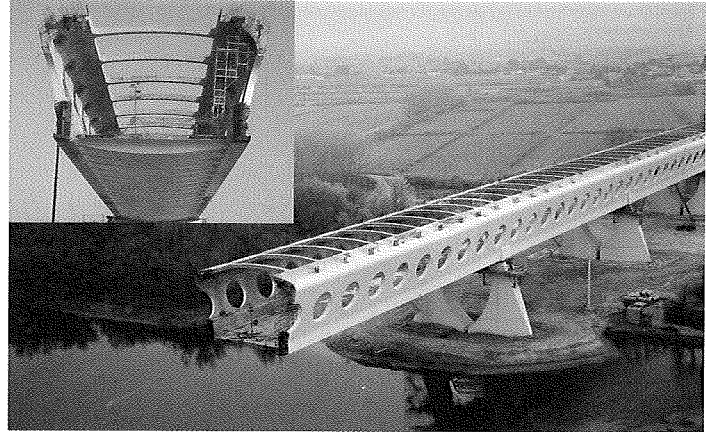


写真-4 施工中のエプロ橋(写真提供: Carlos Fernandez Casado, S.L.)
 かった。しかし、図-10を見て初めてこの橋のすごさを実感したのである。

そして、もうひとつが図-11に示す高速鉄道のエプロ橋である。支間120mのエプロ川に架かる橋であるが、桁下制限を受けるため特殊な下路橋になっている。ウェブを丸く抜いてフィーレンデル構造とし、その面外変形を低減するために上部を部材でつないでいる。そして、列車が走る床版は写真-4のように横桁で補剛されている。

いずれの橋も構造が橋の形態を決め、またそれが非常によく考えられており、これ以外の最適解はないであろうと思わせられる例である。

あ と が き

ここに挙げた主桁断面はほんの一例であるが、いずれもそれを一見したときに感嘆せずにはいられないほど高い完成度をもった構造である。断面構成は合理的な構造を求めるといふ点においてそれほど多くの解を持たないと思われるが、どの事例をとっても力学の基本に忠実に従っていることは明解である。

構造全体も重要であるが、ここに示した事例は様々な制限を受ける中で考える断面構成にこそ、橋梁技術者の力量を発揮することができることを教えてくれているのではないだろうか。

〔参考文献〕

- 1) J. Strasky : Segmental Structure with Replaceable CIP Deck Slab, International Bridge Conference (2000)
- 2) 池田, 水口, 春日, 室田 : 古川高架橋の設計と施工 (上), 橋梁と基礎 (2001. 2)