

## ヨーロッパにおける最近の鋼・コンクリート複合橋梁

## RECENT STEEL-CONCRETE HYBRID BRIDGES IN EUROPE

栗田 章光\* 吉田 順一郎\*\* 大山 理\*\*\*

Akimitsu KURITA, Junichiro YOSHIDA and Osamu OHYAMA

**ABSTRACT** During a last decade, the steel-concrete hybrid construction has been remarkably developed, especially in the field of bridge which needs the high competitiveness. The steel-concrete hybrid construction is classified into the three kinds. They are composite-, steel reinforced concrete(SRC)- and mixed constructions. Focusing the countries of Germany, Switzerland and Spain, the notable recent seven constructed examples of steel-concrete composite- and mixed bridges and their structural characteristics are introduced and discussed herein.

**KEYWORDS:**合成構造、混合構造、二重合成、外ケーブル、移動型枠  
composite construction, mixed construction, double composite,  
external cables, traveling formwork

## 1. まえがき

鋼・コンクリート複合橋梁は、ここ10年間で飛躍的に発展してきた。これは鋼橋とプレストレストコンクリート橋との熾烈な競争の結果であって、この状況は、特にヨーロッパの国々において著しいといえる。もちろん、鋼・コンクリート複合橋梁へのアプローチは、鋼とコンクリートとの両分野からなされているが、ここでは、鋼橋の立場から研究・開発され、かつ施工された事例を紹介することにする。したがって、コンクリート橋関係の技術者が開発した最近の注目すべき構造形式として、波形ウェブ鋼板を用いた鋼・コンクリート合成箱桁橋があるが、ここではふれないことにする。

周知のように、鋼・コンクリート複合構造(Hybrid Construction)は、合成構造(Composite Construction)、SRC構造(Steel Reinforced Concrete Construction)、および混合構造(Mixed Construction)の3つに分類される。SRC構造は、わが国独自の考え方をを用いて設計される構造形式であるから、本文での対象外である。

本文では、ヨーロッパ、とりわけ斬新な構造形式を可能にしたドイツ、スイス、およびスペインでの合成および混合橋梁に関する計7つの施工事例と構造的特徴、ならびに今後の課題などを紹介することにする。なお、本文を執筆するにあたって、J. Haensel博士(ドイツ・HRA社)、K. Doblies氏(ドイツ・A-D&P社)、F. Nather名誉教授(ミュンヘン工科大学)、J.-P. Lebet博士(スイス・ローザンヌ工科大学)、J. Hain氏(スイス・ステュブアンス社)およびJ. M. Calzon教授(スペイン・マドリッド大学)らから有用な資料とコメントを頂いた。冒頭に記して、謝意を表す次第である。

---

\* 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

\*\* 川田工業(株)大阪支社 技術部設計1課 課長 (〒550-0014 大阪市西区北堀江 1-22-19)

\*\*\* 大阪工業大学大学院・博士後期課程 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

## 2. ドイツの施工事例

### 2.1 概説

ドイツで一般的に採用されている開断面合成げたの横断面を図-1に示す。合成げた橋は、第2次世界大戦後ドイツで開発された。開発当初は、アウトバーン A52 に架かるウナ(Unna)橋などに見られるように多主げた形式が多かったが、経済性を追求した結果、図-1に示した2主げた形式が一般的となった。コンクリート床版厚は28cm(最小)~45cm程度で、当然、この値は主げた間隔に依存する。床版の張り出し長は3m程度である。もちろん、コンクリート床版は幅員方向にプレストレスが導入され、連続合成げた橋の場合、中間支点域床版は橋軸方向にもプレストレスが導入される。しかし、最近の傾向として主に現場作業の省力化、つまり工費削減の観点から、橋軸方向へのプレストレス導入を省略する、いわゆるプレストレスしない連続合成げた橋が架設されるようになってきた。つまり、床版内の軸方向鉄筋によってひび割れ制御を行い、かつ適切な防水層を設けることによって、床版の耐久性を確保しようとする考えである。

一方、ドイツではアウトバーンにおける車輛の快適な高速走行性を確保するとともに伸縮装置等の維持管理を低くおさえる目的で、古くから多径間(10~15径間)ないし超多径間(20径間以上)連続げた橋の採用を、鋼橋あるいはコンクリート橋を問わず計画の基本としている。例えば、ルール河上の鋼一箱げた橋であるミンタード(Mintard)高架橋(1966年完成)の場合、19径間連続で約1,800m目地なしの橋梁である。もちろん、アウトバーン本線上の合成げた橋にも多径間連続構造が適用される。

以下に、ドイツにおける注目すべき二重合成連続箱げた橋(道路橋)、二重合成連続トラス橋(鉄道橋)、および圧延げたを用いた混合形式の連続げた橋(道路橋)の3例を紹介する。

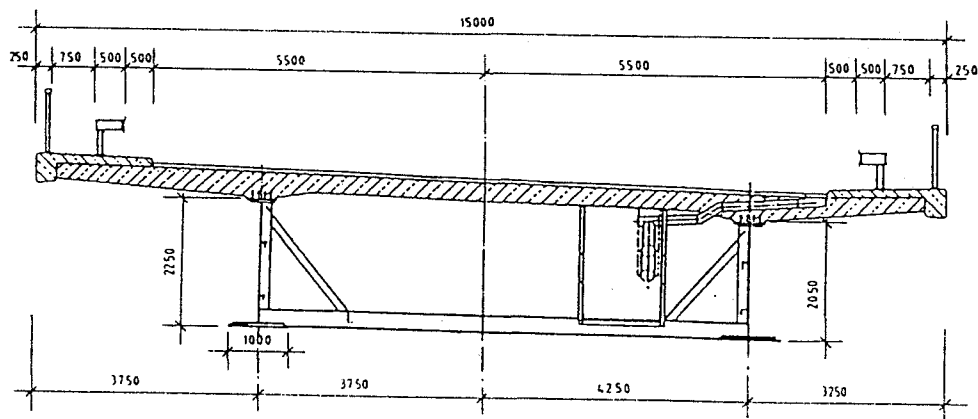


図-1 ドイツでの一般的な合成げたの横断面<sup>1)</sup>

### 2.2 二重合成連続箱げた橋：トルガウ(Torgau)でのエルベ橋(Elbebrücke)<sup>2)</sup>

連続合成箱げた橋の中間支点域においてのみ鋼箱げた下フランジの上面にもコンクリート床版を配置し、この領域においてのみ鋼箱げたの上下にコンクリート床版を有する構造形式を、二重合成(Double Composite, Doppelverbund)という。中間支点域に下コンクリート床版を配置する目的は、鋼下フランジ厚を薄くし、かつ補剛材を削減するとともに、けたの剛性を増すことなどである。もちろん、このような特殊な構造を採用するには理由があって、その主なものは、工期短縮のため支間中央部を大ブロックで一括架設する必要があるとか、あるいは、けた高を極力低く押さえた場合などである。

エルベ橋は、図-2に見られるとおり、古いトルガウ城に隣接して架設されることになった。図の手前がエルベ川上流側である。特に、上流側からの城に対する景観への配慮から、本橋には極力けた高を低く押さえたけた橋が要求された。アーチやトラス、それに斜張橋など、橋面に主部材が突き出る構造形式は、景観上好ましくないとの判断であった。また、河川上の鋼げたは、台船を利用

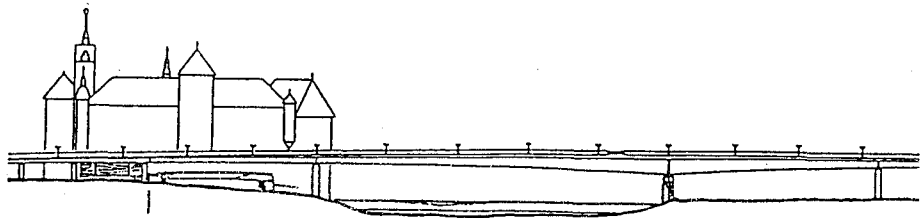


図-2 古い城に隣接したエルベ橋

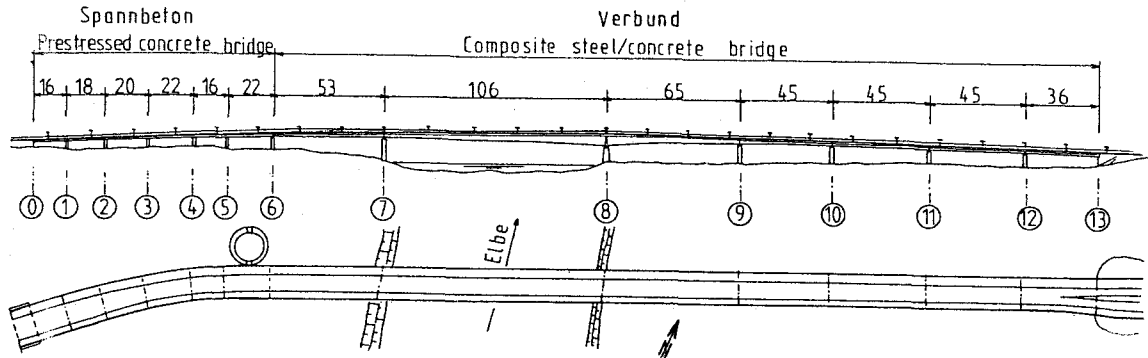


図-3 エルベ橋の側面図と平面図

した大ブロック架設が可能である。

図-3 にエルベ橋の側面図と平面図を示す。エルベ川右岸 8P 橋脚上のみ左右 45m の長さにあわたって二重合成構造が採用されている。その 8P 橋脚上の主げた横断面を図-4 に示した。図-4 より明らかかなように、橋脚上での下コンクリート床版厚さは 90cm である。その全長 45m の両端部での厚さは 40cm となっている。

7P 橋脚上の主げたは通常の合成箱げたで、それに続く PC げた橋と 6P 上で剛結されている。それゆえ、本橋を全体形式で見た場合、13 径間連続(全長：509m)の合成箱げたと PC 箱げたとの混合形式橋梁ということもできる。ちなみに、7P 上でのけた高さは 2.6m であり、けた高を低く押さえるという設計目的を満足したことが述べられている。

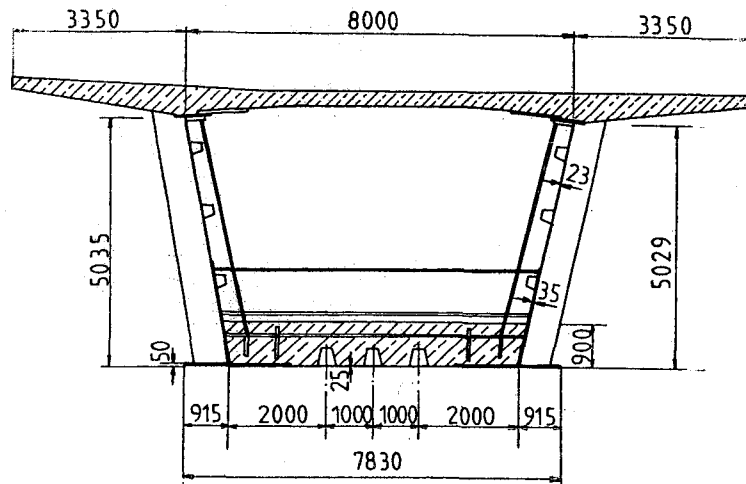


図-4 8P 橋脚上の主げた横断面

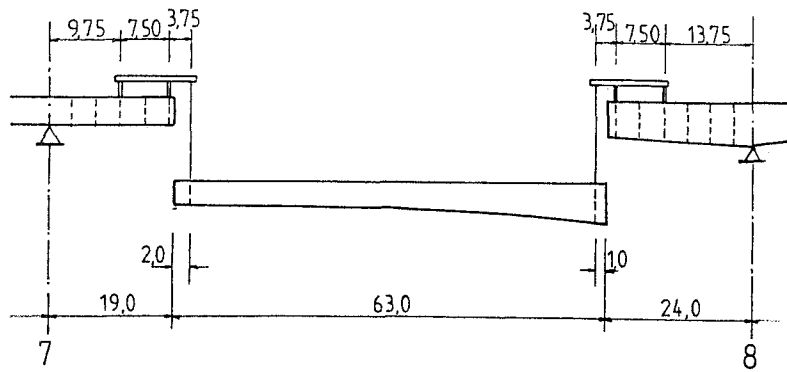


図-5 エルベ橋での中央径間部の一括架設

図-5に、河川上の鋼げたの台船よりの引き上げ方法を示す。もちろん、一括架設前に、8Pより左22.5mの距離まで箱げた下フランジ上にコンクリート床版が打設された。一括架設された鋼げた63mの総重量は250tfであった。本橋は1993年に完成した。

### 2.3 二重合成連続トラス橋：ナンテンバッハ(Nantenbach)でのメイン橋(Mainbrücke)<sup>3)</sup>

本橋は複線の高速鉄道用であり、その一般図を図-6に示す。スパン割は、83.2+208.0+83.2mである。地形の関係上、本橋には12.5‰の縦断勾配があり、かつ平面的にR=2,650mの曲率を有している。鋼トラスの高さは、中間支点上および中央スパン中央で、それぞれ15.26mおよび7.26mである。

厳しいたわみ制限、ならびに景観上の配慮から、本橋に初めて二重合成トラス構造が採用された。トラスの格間長は10.4mである。下コンクリート床版は側径間83.2mの全域ならびに両中間支点から左右48.6mの範囲にわたって配置され、下弦材とスタッドを介して合成されている。

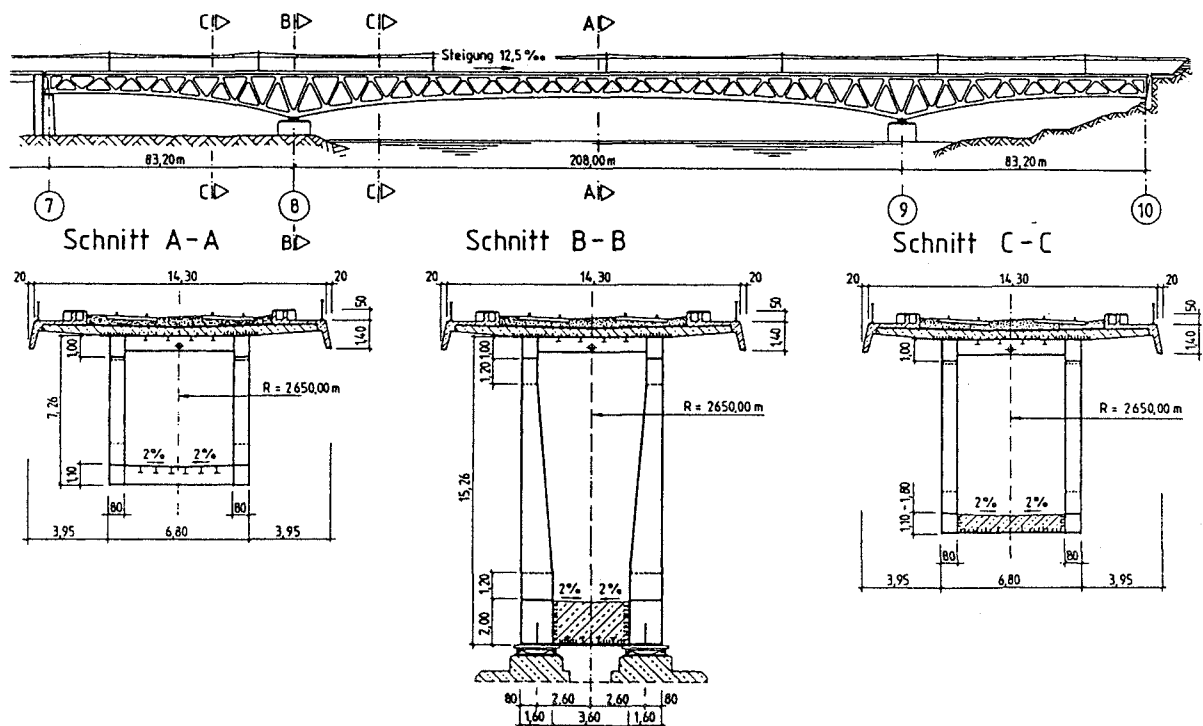


図-6 マイン橋の一般図<sup>3)</sup>

中間支点上での下コンクリート床版厚は2.0mである。この床版厚は、中間支点から離れるにしたがって薄くなり、1.8~1.1mの範囲内にある。一方、上コンクリート床版厚は、平均で35cmであり、長さ約15.6mのユニットで移動型枠工法を用いて施工された。

もちろん、本橋は全溶接橋であり、側径間部は仮支柱を用いて部材が順次組み立てられた。側径間部の溶接組立と並行して、中央径間部のトラスが陸上で組み上げられた。そして、側径間部のトラスならびに中央径間側へ4パネル分のトラスが組み上がった後、下弦材との合成作用を発揮させるため下コンクリート床版が打設された。その後、長さ約120m、重さ約1,100tfの中央径間部のトラスが台船に載せられ、一括架設された。この施工順序を図-7に示す。

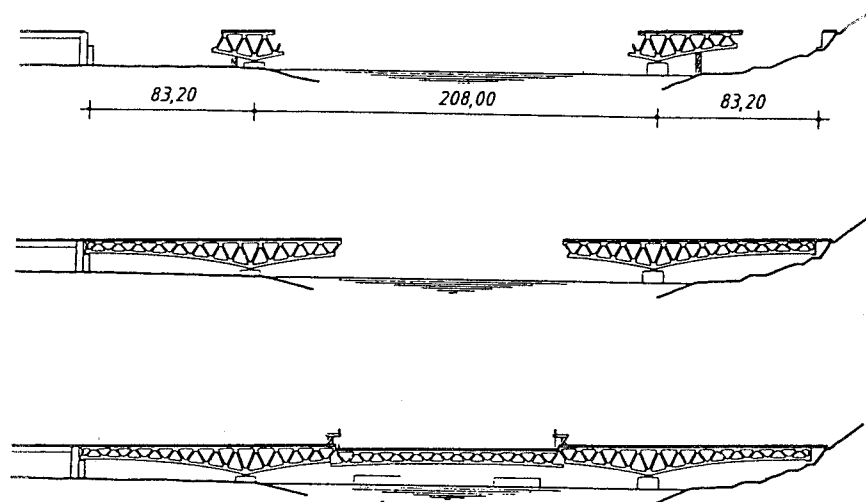


図-7 マイン橋の架設順序

図-8に中央径間部での下弦材のコンクリート打設部と通常の純鋼部材との遷移構造の詳細を示す。同図から明らかなように、コンクリート床版厚を徐々に薄くする遷移区間長は1/2パネルで、最小のコンクリート厚は35cmである。コンクリートの強度クラスはB45、つまり450kgf/cm<sup>2</sup>のものが用いられた。ずれ止め材としては、専らφ22、長さ150mmの頭付きスタッドが使用されている。

中央径間部の閉合後、中央径間中央から両支点に向かって上コンクリート床版が打設された。

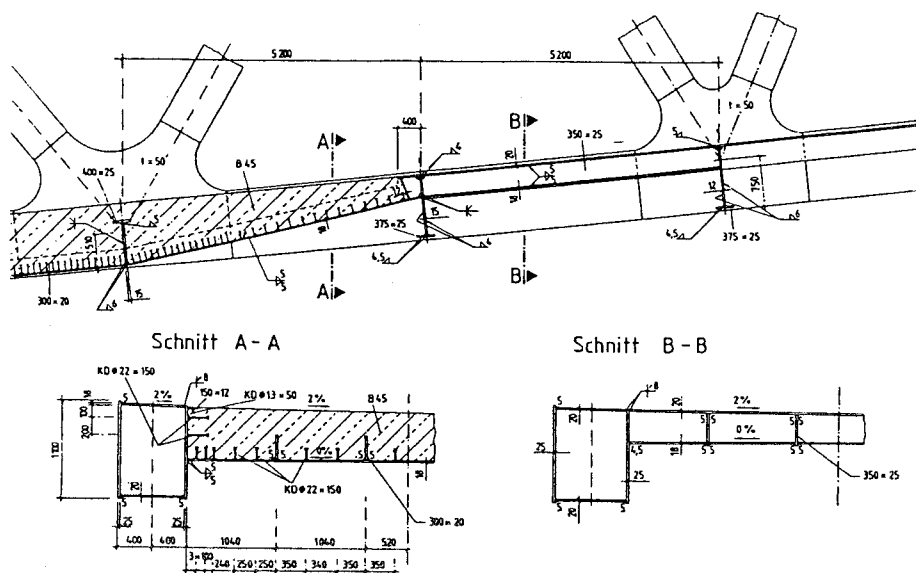


図-8 遷移区間の詳細構造

本橋の下部工を含む全工事期間は3年で、1991年の初めに開始され、1993年の末に終了した。鋼鉄道橋の場合、常に騒音・振動が問題となる。本橋のように全橋長の約2/3の区間にわたり、上下にコンクリート床版を有することから、この問題に対して、かなりの軽減効果が期待できるものと思われる。

## 2.4 圧延げたを用いた混合橋梁：ニーダーハウゼン(Niederhausen)でのナーヘ橋(Nahebrücke) <sup>4)</sup>

スパン長45mまでの短径間橋梁において鋼橋がPC橋との競争に勝つため、ドイツでは、圧延げたの活用という徹底した合理化橋梁の建設を可能にした。この発想は、プレテンのPCげたを単純形式でまず架設し、ついで横げたを施工の後、支点上でそれらのけたをPC鋼材を用いて連結し、連続化を図るという考えとよく似ている。図-9に施工事例であるナーヘ橋の一般図を示す。

ナーヘ橋は幅員8.5m、スパン長約26mの4径間連続成げた橋である。鋼げたとして5本の圧延げた(高さ:1,000mm)が1.65m間隔で用いられている。本橋の場合、総重量435.8tfの大型変圧器輸送用の特殊車輛が通行するため、主げた間隔が狭いにも拘わらず、コンクリート床版厚は37.0～45.5cmと非常に厚いものとなっている。

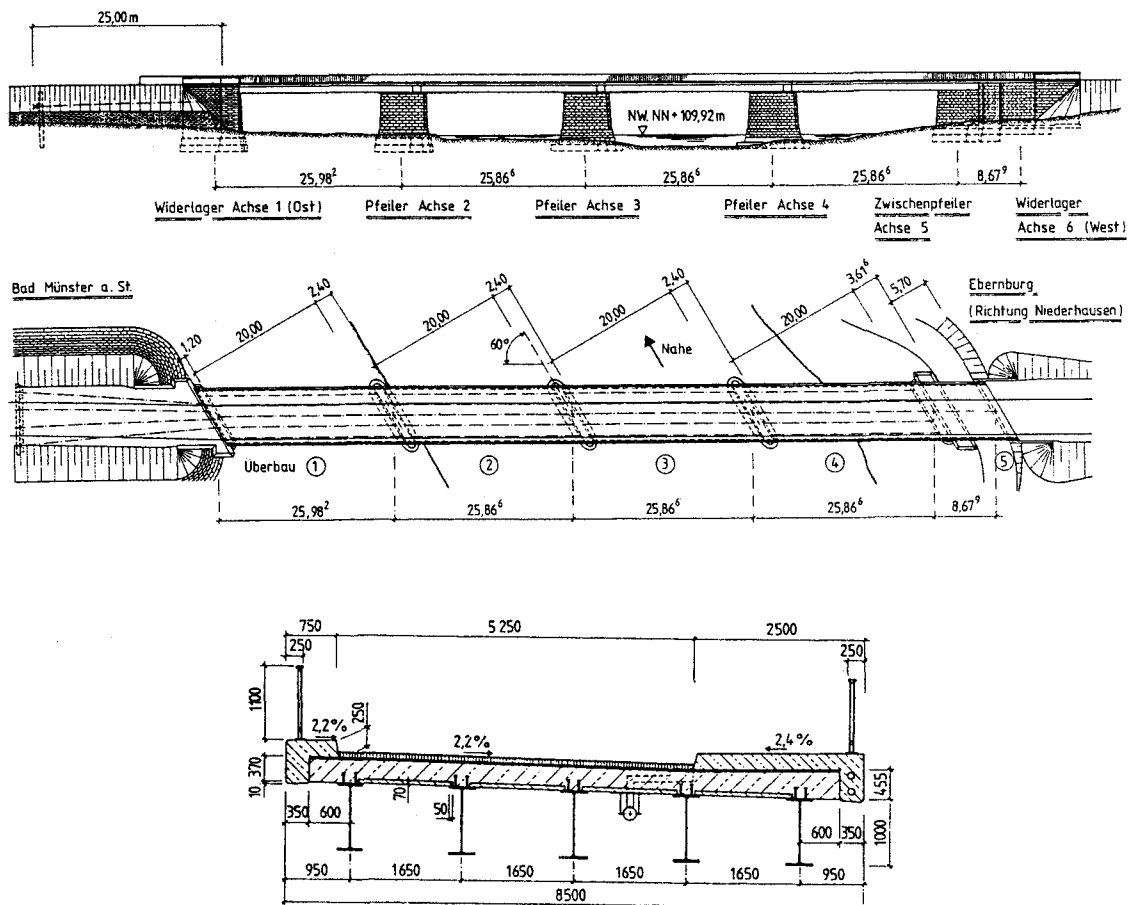


図-9 ナーヘ橋の一般図

ナーヘ橋での大きな特徴は、大型の圧延げたをほとんど加工なしに用いている点と、図-10に見られるとおり、中間支点上での鋼げたの連結構造にある。つまり、現場打ちのコンクリート横げたとスタッド、床版内の軸方向鉄筋ならびに鋼げた下縁に配置された圧縮板を介して2つの鋼げたが連結されている点にある。すなわち、鋼・コンクリート混合構造を中間支点部に採用していることである。この考えの原点はオーストラリアにある<sup>5)</sup>。同国には、Iげたのみならず箱げた<sup>6)</sup>の場合をも含めて、すでに多数の施工事例がある。

ナーへ橋の施工順序は、次のとおりである。

- 1) まず、鋼げたを架設する。
- 2) ついで、鋼げた間に永久型枠(オムニア板)をのせ、配筋する。ただし、張り出し部については支保工を設ける。
- 3) 床版および横げたコンクリートを打設して、橋梁本体が完成する。

活荷重に対する中間支点上の床版コンクリートの設計は、いわゆるプレストレスしない連続合成げたの考えが用いられている。すなわち、床版内の橋軸方向鉄筋によりひび割れ制御を行う設計法である。断面上側の引張力に対応する下側の圧縮力は支圧板で受けもたれる。また、支点上の垂直方向せん断力は、水平に溶植されたスタッドを介して伝達される。

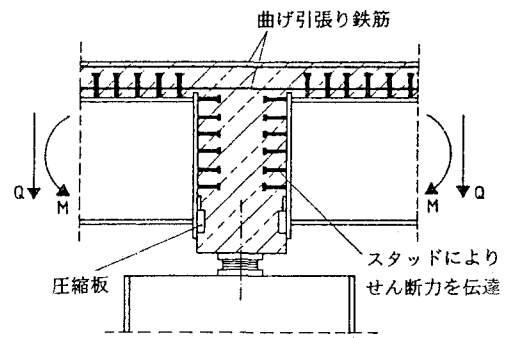


図-10 中間支点上での鋼げたの連結構造  
(混合構造の採用)

### 3. スイスの施工事例

#### 3.1 概説

スイスでの合成橋梁の最近の傾向は、ローザンヌ工科大学の Badoux 教授と Lebet 博士の論文<sup>7)</sup>に詳しく述べられている。その要点は次のとおりである。

- 1)設計面では構造ディテールが単純化し、山岳部では耐候性鋼材をよく用いる。
- 2)アスファルト舗装はより厚くなり、防水層の選択には特別な注意が払われる。
- 3)床版はかなり厚くなり、PC床版でも最小厚は24.0cmである。床版には、通常、縦横にプレストレスが導入される。プレキャスト床版はもはや使用されず、必ず、移動型枠工法を用いて現場打ちされる。
- 4)ずれ止めはスタッドであり、そのグループ配置を認めている。
- 5)主げたは2主1げたか1箱げたである。
- 6)補剛材は厚くなり、その数は少なくなっている。
- 7)伸縮継手は極力少なくする。そのため、多径間連続形式を採用し、しばしば1,000m以上にわたって連続化する。
- 8)横構はあまり使用しない。横げたの形式は単純化されており、最も一般的なものは、主げたの垂直補剛材と剛結したラーメン形式である。

スイスでの合成げた橋の特徴は、上で述べた内容の他に、床版の張り出し長がことさら大きいことも挙げられる。後で紹介するボア・デ・ロゼ高架橋の場合、ブラケットなしで4.5mの張り出し長を有している。

以下に特徴ある2つの事例を紹介する。

#### 3.2 外ケーブルを用いた合成箱げた：ボア・デ・ロゼ(Bois de Rosset)高架橋<sup>7)</sup>

本高架橋は、チューリッヒとジュネーブ間の高速道路N1に建設された。図-11にボア・デ・ロゼ高架橋の一般図を示す。図-11から明らかなように、この高架橋の全長は約620mであり、平均スパン長42.75mの15径間連続1箱げた形式である。本橋は平面的に半径1,500mの曲率を有している。それゆえ、主げたは箱断面であり、前述のように、本橋の床版の張り出し長は長く、4.5mもある。支承形式は、橋脚6～13までが固定で、橋台を含む他の全ては橋脚上で可動となっている。

コンクリート床版は25cm～40cmの間にあり、幅員方向にプレストレスされている。中間支点上にあるコンクリート床版の橋軸方向へのプレストレスは、図-12に示すように、箱げた内に配置された4本の外ケーブルでもって導入される。床版内に配置される通常の内ケーブルによるプレスト

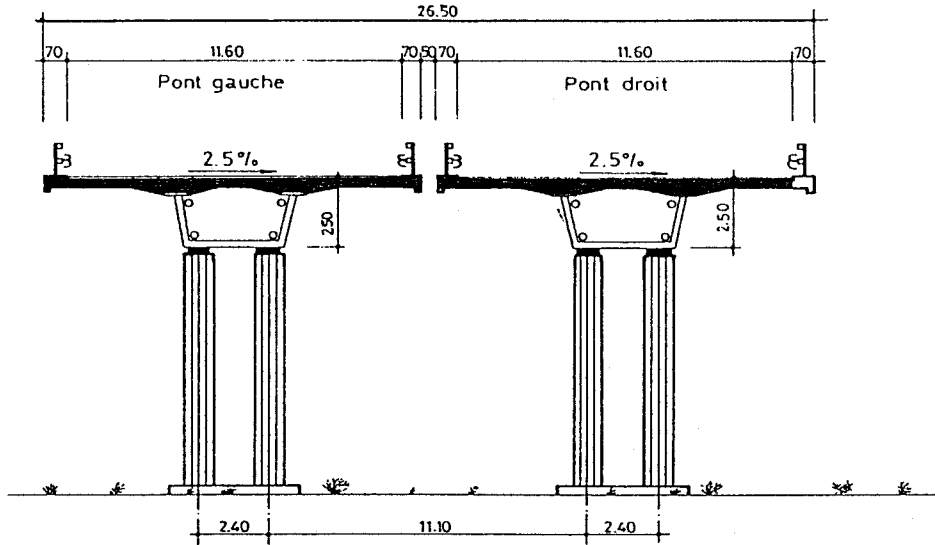
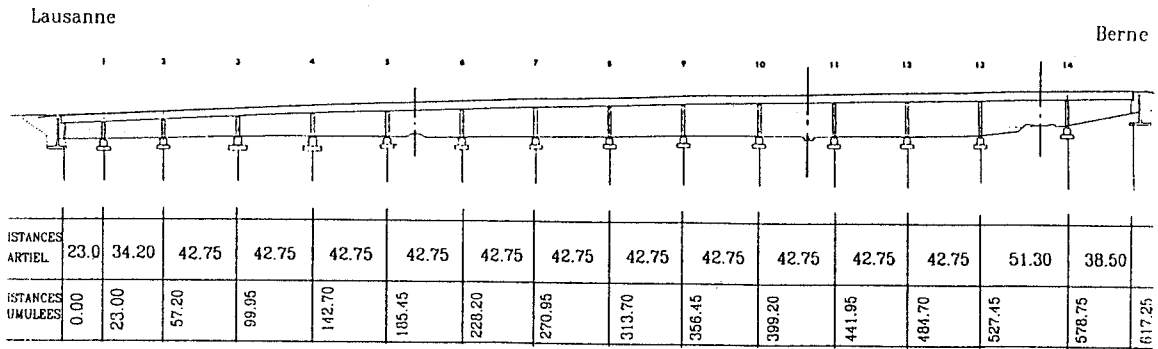


図-11 ボア・デ・ロゼ高架橋の一般図

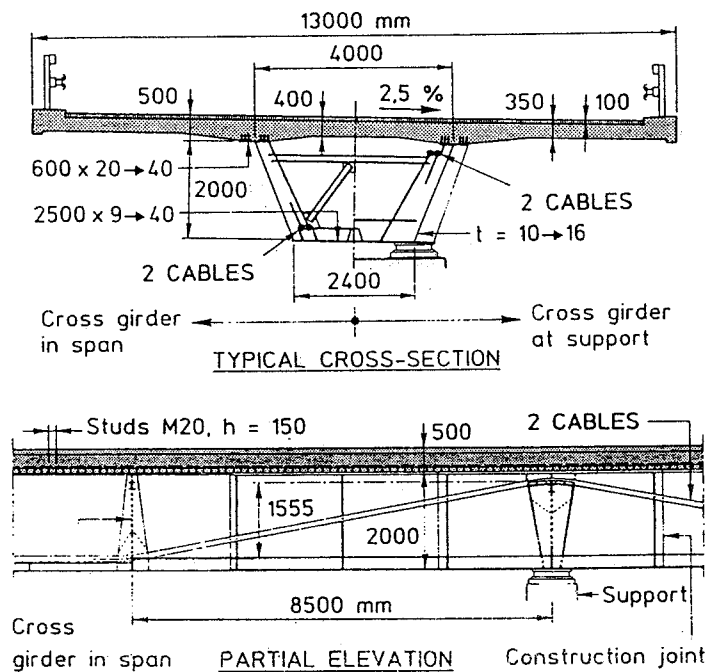


図-12 ボア・デ・ロゼ橋の構造詳細



レッシング工法と比較して、外ケーブル工法の場合、次の利点を有する。

- 1) 点検および維持管理が容易である。
- 2) 曲げモーメントの調整が比較的簡単に行える。
- 3) 必要ならば、取り替えや再緊張が可能である。
- 4) クリープおよび乾燥収縮による導入張力の損失が少ない。

本橋の場合、長さ約 200m の 3 ブロックに分けて外ケーブルが配置され、最終的に  $20\sim 30\text{kgf/cm}^2$  の圧縮応力が残存するよう設計されている。ちなみに、外ケーブル 4 本の合計緊張力は約 880tf であった。

鋼箱げたの架設は、長さ 18~28m のブロックで仮ベントを用いて行われた。1 ブロックの重さは 17~35tf であった。対傾構は 8.5m 間隔に配置されている。中間支点上でのケーブル偏向部の構造詳細を図-13 に示す。径間部でのケーブル偏向部の構造もほぼ同じである。

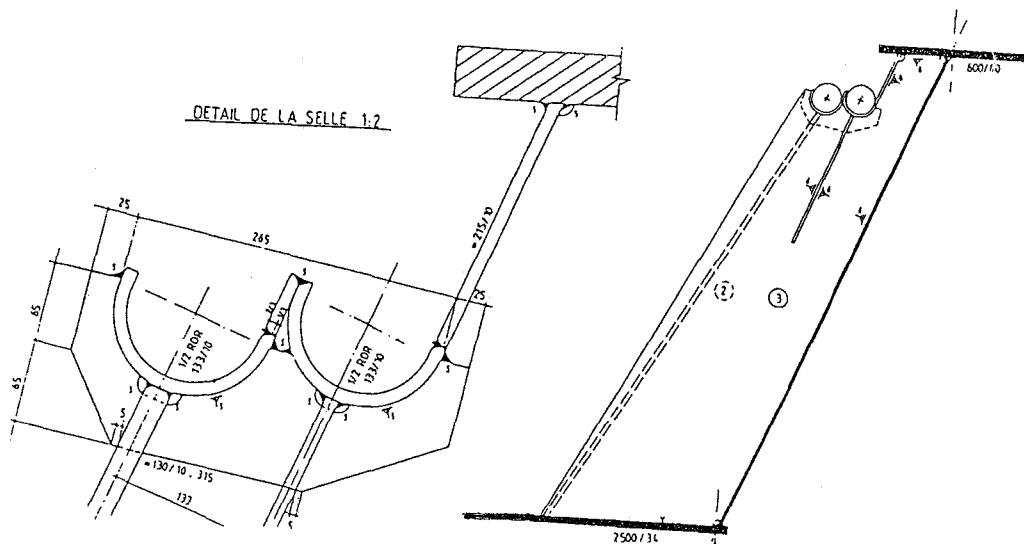


図-13 ケーブル偏向部の構造詳細

コンクリート床版は長さ 42.5m の移動型枠を用いて施工された。本橋は 1991 年に完成した。

### 3.3 合成トラス：ルーリー(Lully)高架橋<sup>8)~10)</sup>

本橋は、PC 連続箱げた橋と競争の結果、経済性ならびに景観上有利であることから勝利した。それゆえ、本橋では主部材に徹底したパイプ構造を採用し、軽量の合成トラス橋の実現を可能にした特筆すべき施工事例である。一般図を図-14 に示す。

本橋は全長約 1,000m の 23 径間連続合成トラス橋であり、平面的に半径 3,000m の曲線を有している。その有効幅員は  $2\times 12.0\sim 14.65\text{m}$  で変化しており、上下車線分離構造である。ただし、2つの主トラスは支点上に配置された横トラスで連結されている。

図-15 に 2 径間分のトラスの格間割と横断面を示す。トラスの上および下弦材に使用されているパイプの直径は、それぞれ 219~234mm(管厚  $t=14\sim 50\text{mm}$ )および 324~508mm( $t=25\sim 50\text{mm}$ )である。同様に斜材は直径 168~267mm で、管厚  $t=11\sim 50\text{mm}$  となっている。部材の接合は、横トラスの一部を除いて、全て溶接である。

図-15 に示す有効幅員 12m 部のコンクリート床版厚は、最小で 24cm、最大で 60cm あり、縦横にプレストレスが導入されている。ちなみに、横(幅員)方向プレストレス力は、幅員の最も狭い箇所および広い箇所、それぞれ 70tf/m および 100tf/m となっている。同様に、縦(橋軸)方向のプレストレス力は、支点上およびスパン中央断面で、それぞれ 980tf および 330tf であった。床版の施工は、図-16 に示すようにトラスの架設が進むにつれ、たえず 3 径間分を余裕をもちつつ移動型枠工法に

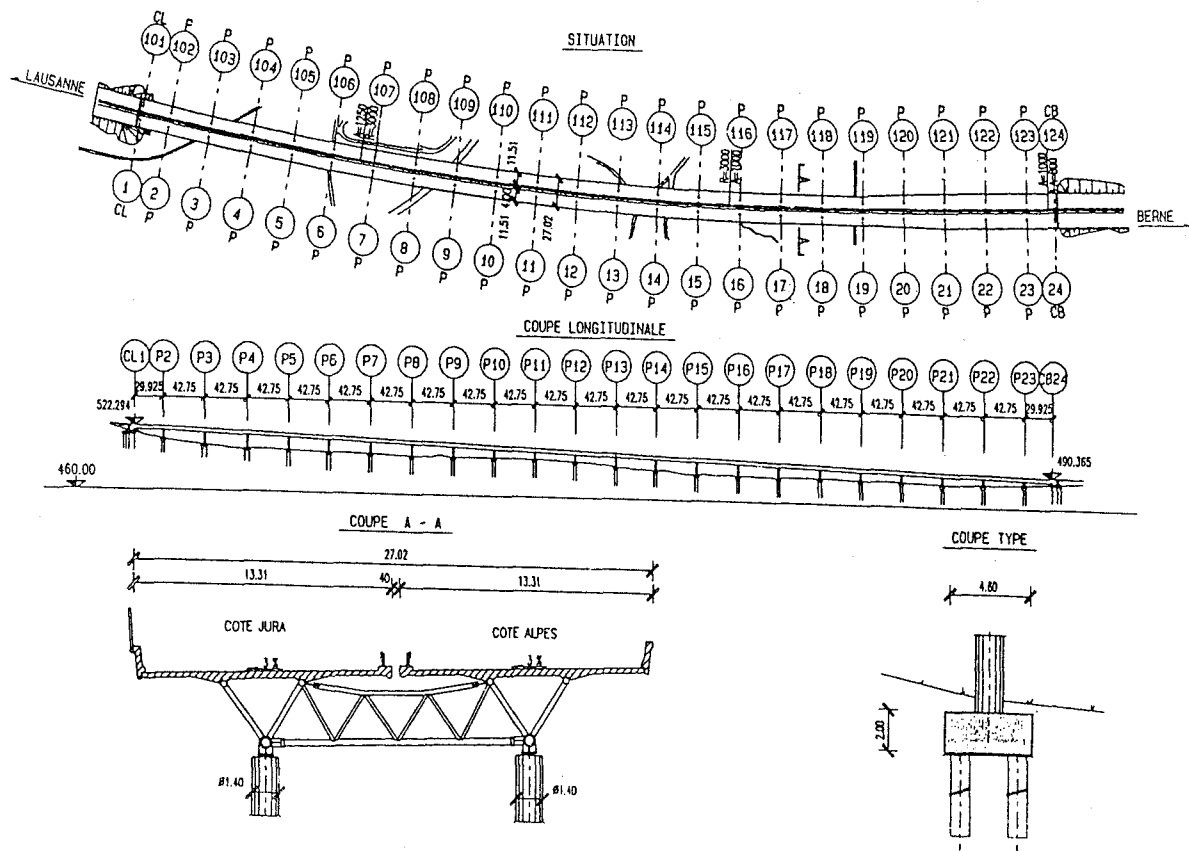


図-14 ルーリー高架橋の一般図

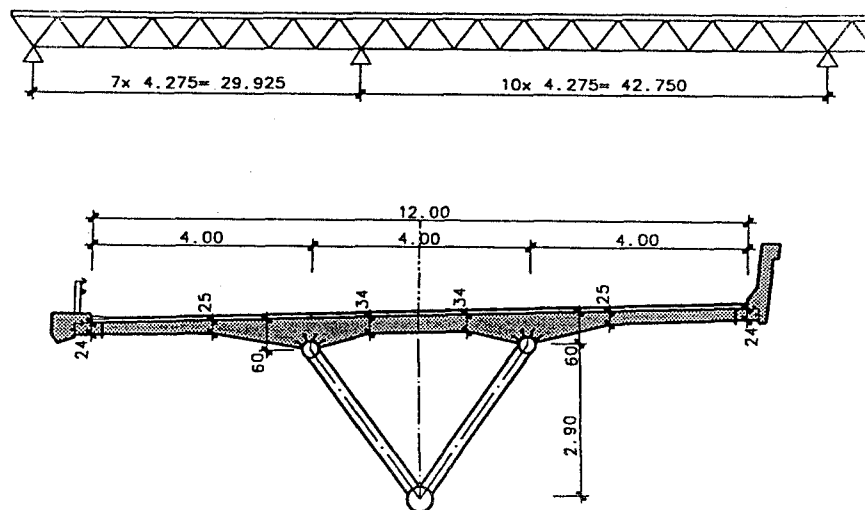


図-15 トラスの格間割と最も狭い横断面

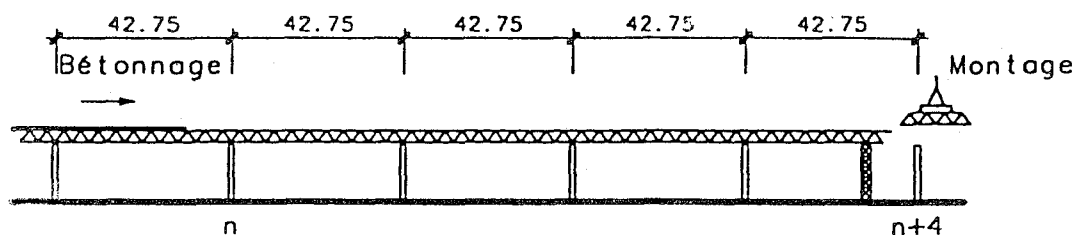


図-16 コンクリート床版の施工方法

より順次行われた。

移動型枠の横断面形状を図-17に示す。この型枠の1ユニットの長さは25mである。それゆえ、1回の移動で1スパン長分のコンクリート打設が可能であった。床版張り出し部の施工を容易にするため、支点上の横トラス上弦材の形状および主トラス上弦材への取り付け方法に工夫がなされていることが、図-17より理解される。

ルーリー高架橋は1997年に完成した。

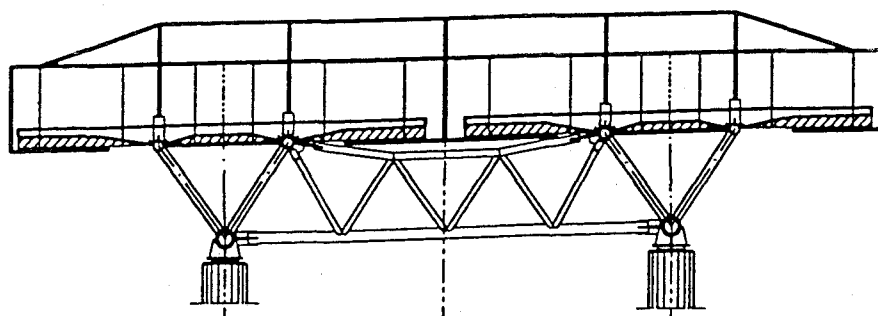


図-17 移動型枠の横断面形状

#### 4. スペインの施工事例

##### 4.1 概説

日本道路公団では、けた橋の耐震性や車輛の走行性の向上、ならびに建設費や維持管理費の削減などを目的に鋼げたとRC橋脚とを剛結した、いわゆる鋼・コンクリート混合形式の橋梁を相継いで建設している。最近では、その適用範囲がトラス形式にまで拡大されつつある。

一方、スペインには、極めて奇抜な混合形式のけた橋が5橋みられる。その設計は、鋼コンクリート複合構造がもつ建設の容易性ならびに多様性といった特徴を大いに活用しようという考えに基づいている。つまり、種々の形式の合成げたをRCまたはPCの橋脚に直接固定し、美観的に優れた非常にスレンダーな橋梁構造を実現している。以下にかなり古いものと最近のものとの2つの施工事例を紹介する。

##### 4.2 混合形式の箱げた橋(1)：トルトーサ(Tortosa)橋<sup>11)</sup>

本橋は図-18に示すとおり、102+180+102mのスパン割をもつ混合形式橋梁である。橋脚との剛結域にある主げたには二重合成構造が採用されている。この二重合成の区間長は、剛結部から側径間側および中央径間側にそれぞれ20および27mである。鋼げたには、耐候性鋼材が使用された。鋼げた高は、中央径間中央で3.1m、橋脚との接合部で6.3mとなっている。

T字形のPC橋脚の構造は図-19に示すとおりで、軽量化を図るため中空構造を採用している。同図に見られるとおり、PC鋼材の配置は複雑である。

厚さ25cmの上コンクリート床版には、中央径間中央部の76m区間と側径間部の29m区間を除いて、橋軸方向にプレストレスが導入されている。一方、上述の二重合成作用を発揮する下コンクリート床版の厚さは32cmから22cmの間で変化している。

本橋の設計を行うにあたっては、特別な構造解析プログラムを必要とした。すなわち、鋼、コンクリート、鉄筋およびPC鋼材などの異種材料で構成される複雑な合成構造の応力-ひずみ履歴を正確に追跡できるもので、カールツォン教授らによって開発されたプログラムが使用された。

本橋に関して特筆すべき点は架設工法にある。当初、本橋での鋼げたの架設方法は、先のドイツでの二重合成げた橋の例と同じく中央径間部の一括架設を前提にしていた。しかし、施工業者は全てを張り出し架設で行うよう提案し、その案が採用された。したがって、構造を何ら変更せずに、

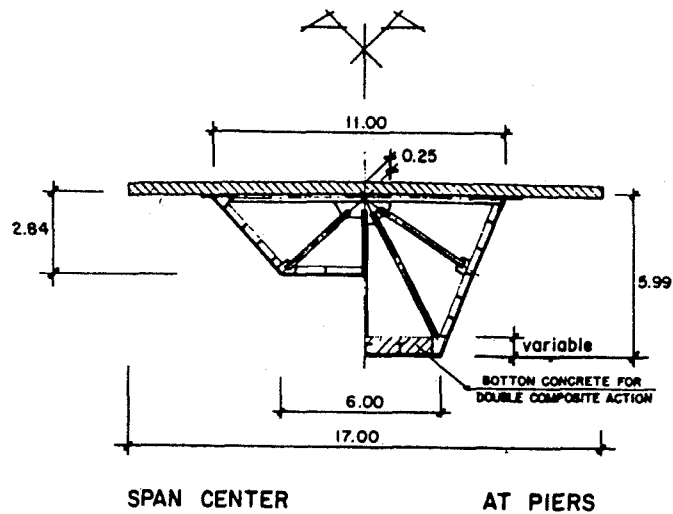
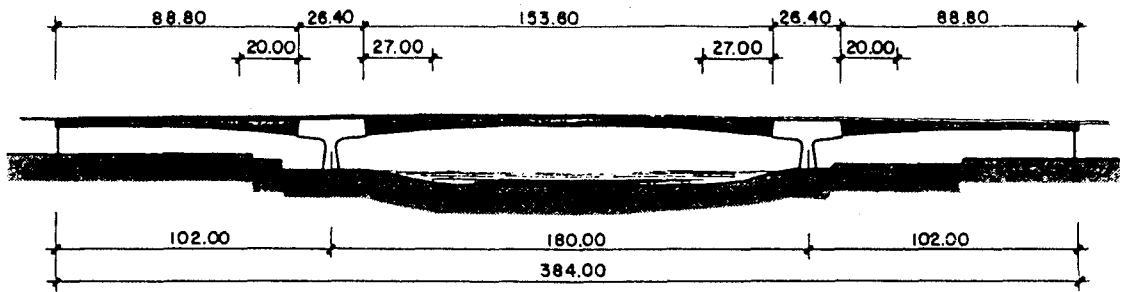


図-18 トルソーサ橋の一般図

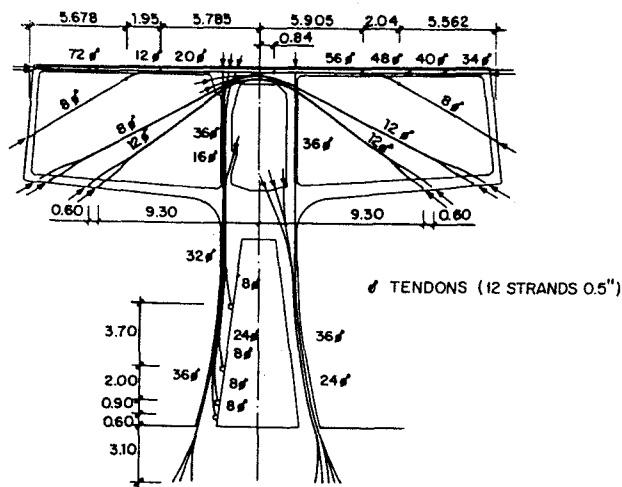


図-19 トルソーサ橋でのPC橋脚

かつ、完成時の応力状態を当初設計のものと一致させるためには、閉合前に上フランジ部でジャッキ2台を使って1,200tfもの大きな軸力の導入を必要とした。鋼げた閉合前にその軸力を導入した結果、けたおよび橋脚に作用する最終応力は、当初予定した架設法によるものほぼ同じものとなった。2台のジャッキの取り付け位置を図-20に示す。このような架設法の変更を受け入れられるのも複合構造がもつ大きな特徴であるといえる。

本橋は1987年に完成している。

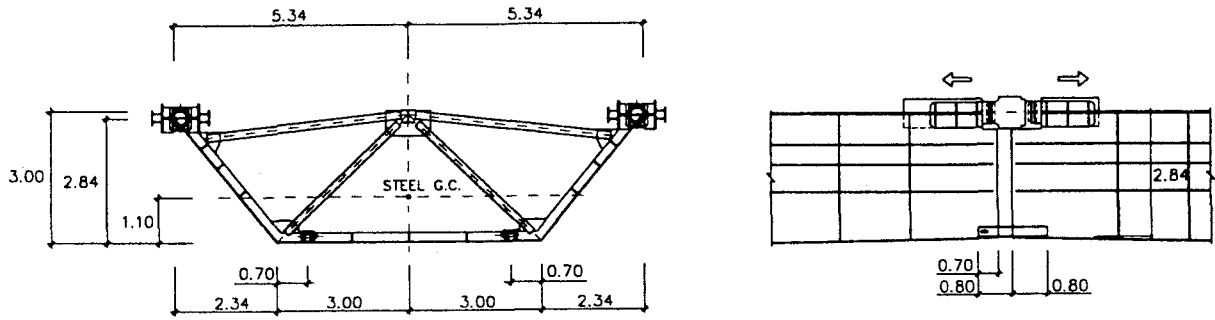


図-20 中央径間中央での軸力導入位置

#### 4.3 混合形式の箱げた橋(2)：メンジバル(Mengibar)橋<sup>11)</sup>

本橋も三径間連続箱げた橋で、そのスパン割は55+110+55mである。一般図を図-21に示す。同図にみられるとおり、幅員が非常に広く、主げたは2室の逆台形箱げたである。本橋の特徴は、床版構造および鋼げたとRC橋脚との接合構造にある。もちろん、本橋でも中間支点域の主げたには二重合成構造が用いられている。

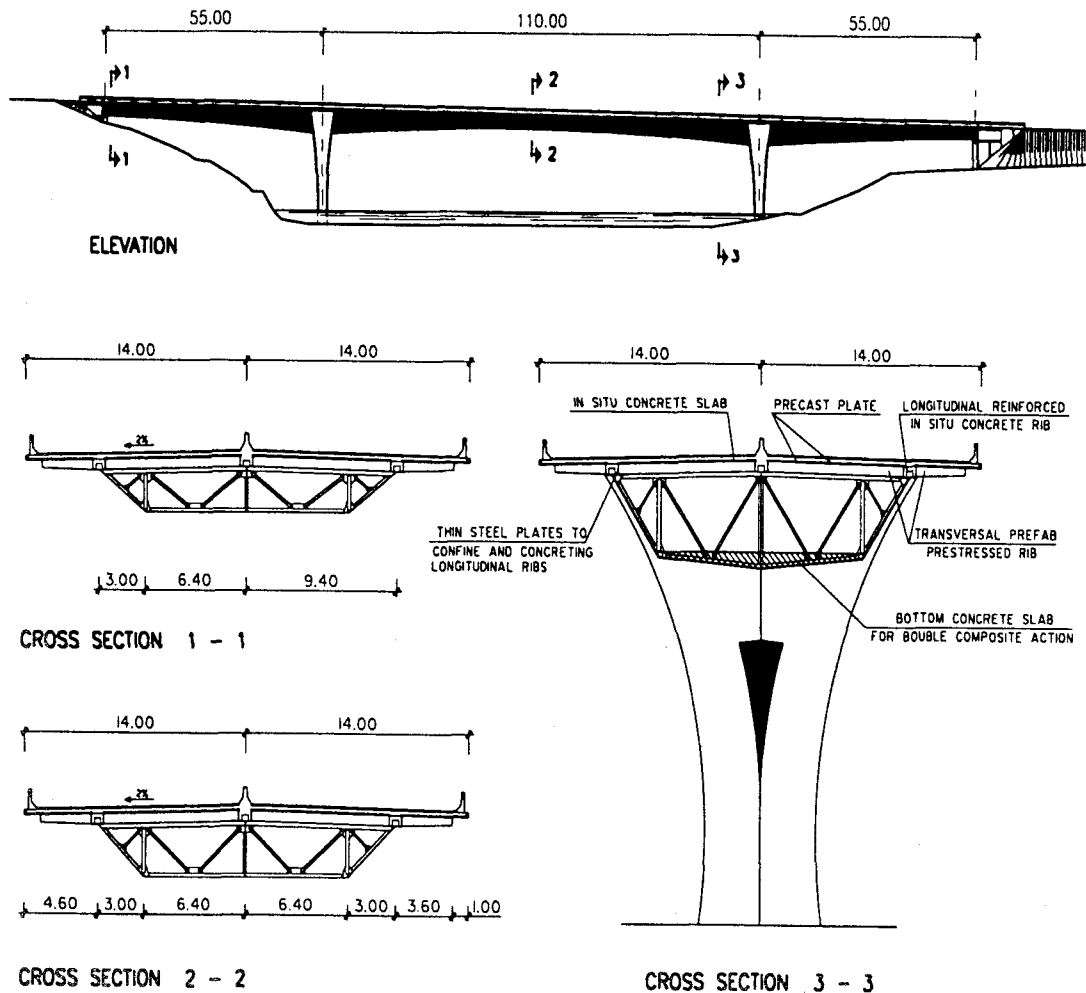


図-21 メンジバル橋の一般図

鋼げた上フランジの中心間隔は9.4mである。上コンクリート床版の施工は次のとおりである。まず、橋軸方向に4m間隔でプレキャストのPCリブが配置される。このPCリブには上フランジと接する位置に孔が設けられてあり、床版コンクリート打設時に穴埋めされる。つぎに、PCリブ上に薄いPC版を敷設し、配筋の後、コンクリートが打設され、床版が完成する。もちろん4mおきに配置されたPCリブ間の主げた上面も床版コンクリート打設時に穴埋めされる。本橋には、このようなプレキャストPC製の支保工と埋殺し型枠が使用されているため、工期の短縮とコンクリート施工の簡素化が実現できたといわれている。

本橋での鋼げたとRC橋脚との結合部の構造を図-22に示す。同図から明らかなように、重量軽減を図るため、結合部や橋脚本体にも中空構造が採用されている。脚の頭部に配置された厚さ30cm

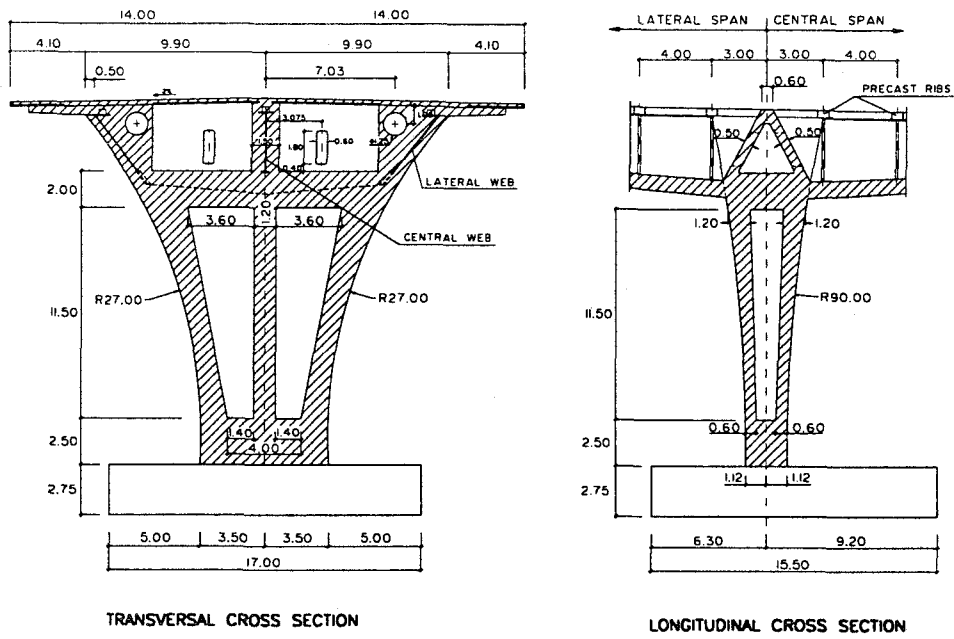
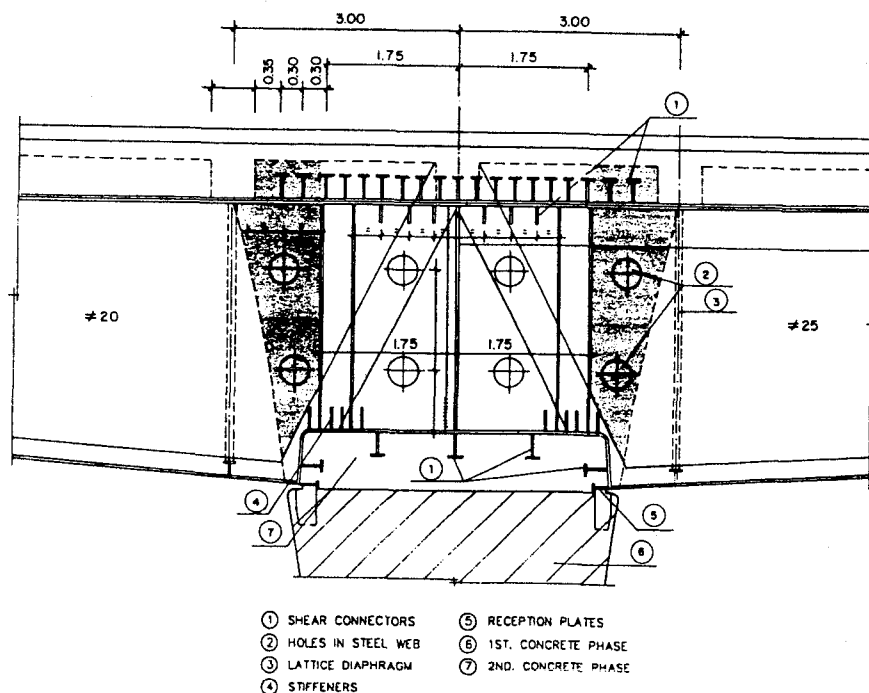


図-22 剛結部の構造



- ① SHEAR CONNECTORS
- ② HOLES IN STEEL WEB
- ③ LATTICE DIAPHRAGM
- ④ STIFFENERS
- ⑤ RECEPTION PLATES
- ⑥ 1ST. CONCRETE PHASE
- ⑦ 2ND. CONCRETE PHASE

図-23 剛結部の構造詳細

の三角形の壁構造は、軽量化と剛域形成の両面に大きく寄与している。結合部の詳細を図-23に示す。鋼げたウェブは脚上で連続している。しかし、鋼下フランジは脚上でとぎれており、そのかわりに、迂回したプレートを配置し、脚の頂部をつつみ込む構造となっている。つまり、下フランジに作用する大きな圧縮力を、鋼とコンクリートとの複合システムで負担する新しい構造が、本橋に採用されている。図-23に見られるとおり、ウェブ(ダイアフラムにも)には、コンクリートの施工のための大径の孔が多数設けられている。ちなみに、ウェブの板厚は、側径間および中央径間側でそれぞれ 20 および 25mm となっている。

## 5. あとがき

鋼げた橋に関して、わが国とヨーロッパの国々との大きな相違点は次の3つであるといえる。

- 1) 美観や環境に対する配慮：構造本体はもとより、例えば排水管の処理など。
- 2) 多径間連続形式の採用：1 スパン 40～50m で 10 径間程度の連続構造は常識である。
- 3) 全面的な現場溶接継手の採用：まれに見えない部分に高力ボルト接合を用いる。

この3点以外にも、古いものに対する愛着や経済観念が根本的に違うように思われる。

以上に紹介した特徴ある7つの施工事例は、いずれも社会から厳しい要求を受け入れるとともに、PC橋との激しい競争の中から考え出されたものである。いうまでもなく、鋼のみでは経済的に対応しきれない領域が存在する。それゆえ、相反する性質をもつ鋼とコンクリートとを適切に組み合わせることにより、それらの領域をカバーすることができる。僅か2つの材料の組み合わせであるが、設計の構造的、美観的自由度が単独の場合よりもはるかに拡大するからである。

例えば、二重合成構造の出現は、鋼げたの圧縮フランジをコンクリートで補剛するという極めて素直な考えに端を発している。その構造を採用すると、補剛リブを少なくし、かつ溶接延長を短くできる。さらに、桁高を低く押さえることができるし、また、ナンテンバッハ橋のように径間比が大きな橋梁の場合、側径間部の二重合成構造はカウンターウエイトの役目も果たすことになる。あわせて、騒音の低下にもつながるというプラスアルファの効果も発揮するのである。しかし、二重合成構造の場合、次のような課題が残されている。

- 1) 箱げた下フランジ上に打設するコンクリートの収縮とそれに伴うひび割れ。
- 2) 全体系のクリープ、乾燥収縮および温度変化、すなわち経時挙動の正確な予測。
- 3) 外ケーブルの利用、など。

一方、わが国でも大型の圧延げたの積極的利用を提案したい。かつて日本道路公団でも採用されたことがあるが、いずれも単純形式であった。多径間連続形式とすることで、世の中に受け入れられると思われる。

終わりに鋼げたと RC 橋脚とを結合した混合形式橋梁について述べてみたい。すでに日本道路公団で5つの施工事例がみられ、合成トラスと RC 橋脚との混合形式も検討されつつある。スペインでの事例でみられたように、両者の結合方法には種々のものが考えられる。もちろん、鋼げたと RC 橋脚とを剛結した混合形式の場合、温度変化により径間数に制約がある。しかし、剛結形式を高架橋の中央部に採用し、他は支承形式とすることで、多径間化は可能である。他方、上部工のみを混合形式とすることも可能である。これは、ドイツでの圧延げたを用いたナーヘ橋の例でみられた。この考えは新設橋のみならず、既設橋の連続化にも適用可能である。事実、日本道路公団の札樽自動車道・桜町高架橋でこの方式による施工がなされた。すなわち、橋脚上の主げた間にコンクリート横げたを打設し、それによって連続化するというアイデアである。本方式を採用すれば、鋼げたウェブの少々目違いは十分に吸収できる。このように自由度の高い鋼・コンクリート混合形式橋梁の将来は明るく、既設橋への適用も含めて今後ますます発展していくであろう。

けたおよびトラス形式の橋梁の他、アーチや斜張橋にも種々の複合構造が採用されているが、紙面の制約上割愛した。

#### 【参考文献】

- 1) Haensel, J. : Recent Trends in Composite Bridge Design and Construction in Germany, Composite Construction in Steel and Concrete III, ASCE, pp.554~565, 1997.
- 2) Nather, F. : Stahlbrücken mit Doppelverband, bau intern 12, S.238~245, 1994.
- 3) Schwarz, O., Haensel, J., Doblies, K. und Epple, J. : Die Mainbrücke Nantenbach, Ausführungsplanung und Montage der Strombrücke, Bauingenieur 70, S.127~135, 1995.
- 4) Haensel, J., Kina, J. und Schaumann, P. : Zur Erweiterung des Anwendungsbereiches von Stahlträgerverbundkonstruktionen, Stahlbau 63, H9, S.279~283, 1994.
- 5) Fried, A. : Jointless Bridges-A New Constructional Method, A. R. R. B. Proceedings, Vol. 3, Part2, pp.1625~1635, 1966.
- 6) Fried, A. : Design of A Steel Box Girder Bridge over The Hawkesbury River, A. R. R. B. Proceedings Vol.7, Part7, pp.326~334, 1974.
- 7) Badoux, J. C. and Lebet, J.-P. : Recent Developments in Composite Bridges, Composite Construction in Steel and Concrete II, ASCE, pp.577~591, 1993.
- 8) Bureau des autoroutes : N1 Autoroute Lausanne-Berne, Viaduc de Lully, 1995.
- 9) Dauner, H. G. : Das Viadukt von Lully-eine Autobahnbrücke, der Natur abgeschaut, Baukultur 6/96, S.14~15, 1996.
- 10) Dauner Ingénieurs Conseils SA+Devaud Monigatti & Associés SA : Viaduc de Lully, Conditions Particulieres, Construction Metallique, 1997.
- 11) Calzon, J. M : Long Span Composite Bridges Combined with Big Elements of Reinforced or Prestressd Concrete, Composite Construction in Steel and Concrete III, ASCE, pp.713~724, 1997.