

### 第6回

# 鋼鉄道橋

#### はじめに<sup>1)~9)</sup>

我が国の鉄道は1872年(明治5年)に新橋―横浜間で開通しました。鉄道の開業にあたりエドモンド・モレルを代表とする外国人技師が招聘され鉄道建設が進められたことは有名なことですが、鉄道橋の建設においても海外から技術の導入が図られました。当初、新橋―横浜間(明治5年開業)と大阪―神戸間(明治7年開業)では、木橋(図1)が用いられていましたが、数年後からは錬鉄を用いた鉄製の鉄道橋(以下、鉄橋という)が架けられるようになり、当初架けられた木橋も鉄橋に置き換えられていきました。その後、材料が錬鉄、ベッセマー鋼から現在の鋼へと変わり、鉄道建設の拡大と共に鋼橋が多く架けられるようになりました。この間、戦争前後の補修・保守対策、新幹線の建設をはじめとする急ピッチでの施工や溶接の全面的採用、長大橋に列車を通す技術や合成構造の開発など、各時代のニーズに応じて様々な技術開発が積極的に行われてきました。鉄橋から鋼橋へのあゆみの中では、鉄道橋の品質管理の経緯や維持管理に関する技術の経緯など、鉄道橋の成り立ちの前提となるような大事な事柄もありますが、ここでは、時代と共に移り変わってきた鉄道橋の姿を簡単に振り返ることとします。なお、本稿では鉄橋と鋼橋に加えて、合成桁、複合構造物も含めて鋼鉄道橋として記載することとします。

#### 鉄橋の誕生<sup>1)~9)</sup>

我が国の鉄橋は明治7年に大阪―神戸間の武庫川、下神崎川、下十三川の3か所で錬鉄製のトラスが架けられたのがはじまりです。この橋はイギリス人技師が設計し、イギリスのダーリントン工場で製作されたものとされています。当時、鉄橋は外国からの輸入に頼っていました。明治政府はイギリスから、北海道開拓使はアメリカから、私鉄の九州鉄道会社はドイツからそれぞれ「お雇い外国人」を招聘して、高い専門的知識を要する

鉄道の建設にあたりました。このように3カ国から鉄道の建設の支援を受けた経緯により、本州には主にイギリス製、北海道にはアメリカ製、九州にはドイツ製の鉄橋が架けられました。

明治15年頃にイギリスから来日したポーナル氏は鉄道橋の建設を促進するため、径間20ftから70ftまで10ftおきに上路プレートガーダーの標準設計図を作成しました。その後、明治30年代頃からはアメリカ製の鋼橋が少しずつ増加していきました。

鉄橋の特徴として、主要線区からローカル線に転用して供用を続けた記録があります。明治時代から鉄橋を転用する考え方があったのは、転用先の列車荷重が概ね軽く、鉄橋を改造することで十分対応が可能であったためと考えられます。このように転用されて、現在でも供用されている代表的な古い鉄橋として、旧真岡線(現:真岡鐵道)の小貝川橋梁と勤行川橋梁(五行川橋梁)、左沢線の最上川橋梁(図2)、箱根登山鉄道の早川橋梁などがあります。

#### 国産化と列車荷重の増大への対応(溶接補強)<sup>4)~10)</sup>

明治時代の後半から国内でも鋼橋が少しずつ製作されるようになり国産化が進みました。鉄道建設が全国的に推進される中、列車荷重の増大に対処するため、昭和初期から溶接補強も行われるようになりました。溶接補強は昭和15年頃には1500連に達したと言われていています。溶接補強に際しては、鋼

鉄道橋では溶接に対する品質管理が重要であると捉えて、鉄道独自に溶接工の資格試験を導入し、品質の確保に努めていました。このことが



図1 木橋(都賀川橋梁1874年頃)  
(提供:小野田滋氏)



図2 明治時代からの代表的な鉄橋  
(最上川橋梁 1886年製作)



図3 水陸連絡可動橋  
(青函連絡橋(青森方)) (提供:中野昭郎氏)



図4 下路トラス(富士川橋梁)  
出典:語り継ぐ鉄橋の技術  
(鹿島出版会発行, 阿部英彦氏所蔵)

その後の東海道新幹線をはじめとする溶接術への普及へとつながっていったと考えられます。時期は前後しますが、昭和10年には、貨物ヤードを跨ぐ道路橋ですが、「田端大橋」(支間53m)が全溶接構造で架設されました。この橋は、当時、全溶接構造として世界最大のスパンを誇っていました。現在も「田端ふれあい大橋」(歩道橋)として供用されています。

【 特殊な橋梁(可動橋) 5).6).8)~10) 】

鉄道の発達に伴い、物資の輸送も鉄道の大事な使命となっていきました。北海道や九州と本州の間で荷物を運ぶ際には、一旦、貨車から船に荷物を積み替え、対岸へ着いたら再び貨車に荷物を積み替えるという作業が行われていましたが、戦争が始まると北海道や九州の石炭を出来るだけ早く本州へ輸送することが最重要課題となっていきました。そして、物資輸送の効率化を図るため、貨車の荷物を積み替えずに船に貨車をそのまま載せて航送する方法が検討されました。そこで開発されたのが陸部と船の間を結ぶ水陸連絡可動橋です。明治44年に関門用が、大正10年に宇高用が、大正13年には青函用の水陸連絡可動橋が鋼構造を用いて製作されました。この水陸連絡可動橋は、干満の差による高さの変化や船の揺れに対して貨車が問題無く走行できる構造とすることが大事でした。初期の可動橋では3軸貨車の脱線が見られましたが、その後改良が加えられ、貨車の航送は連絡船が無くなるまで行われました。

この他、河川を船舶が航行する際、橋が跳ね上がる跳開橋や昇開橋、旋回橋なども架けられました。また、可動橋とは異なりますが、蒸気機関車の方向転換を行う転車台も鋼鉄道橋の範疇の一つと考えられます。転車台は明治時代より製作され、蒸気機関車が全盛期の頃は全国で460基ほど設置されていましたが、ディーゼル機関車や電気機関車の導入に伴い姿を消していきました。

水陸連絡可動橋、跳開橋、昇開橋および転車台などは、鉄道構造物としての役目は既に終えたものの、土木構造物としての歴史的価値も高いことから、現在でも一部保存されており、当時の姿を思い浮かべることができます(図3)。

【 リベット構造から溶接構造へ<sup>5)~10)</sup> 】

昭和30年代に入ると、鋼構造物の趨勢は造船分野をはじめとして経済性、作業性、外観等の点で優れている溶接構造が用いられるようになり、鉄道においても工場における部材の接合がリベット構造から溶接構造へと移っていきました。溶接構造はリベット構造と比較して疲労に対する影響が重要であるため、溶接構造を本格的に採用するにあたり、材料や溶接方法など疲労に関する事柄について十分調査する必要があります。そこで、欧米のデータや示方書を調査すると共に、国鉄内部においても疲労試験が精力的に行われました。そして、「溶接鋼鉄道橋設計示方書(案)」が策定され、引張強度が400N/mm<sup>2</sup>のSM400材と490N/mm<sup>2</sup>のSM490材が新たに用いられるようになりました。

この頃、現場における部材の組み立て方法にも変化の兆しが見られ、高力ボルトを用いた継手の検討が行われていました。そして、高力ボルトによる施工がリベットによる施工よりも騒音が小さかったこととリベット工が不足していたことから、溶接構造の適用から10年ほど遅れて現場でもリベットに代わって高力ボルトが用いられるようになっていきました。

【 全溶接術を採用した東海道新幹線の鋼橋<sup>5)~10)</sup> 】

1964年(昭和39年)には東海道新幹線が開業しました。1959年(昭和34年)の着工からわずか5年間で建設されました(図4)。この背景には、支間別に標準タイプの橋梁を設計し、製作・架設する方法を採用したことが挙げられます。大きな河川では支間60mの標準設計の下路トラスが使用され、工期短縮とコスト削減が図られました。この標準化は個々の詳細構造においても行われたため、設計や製作だけでなく維持管理においても大いに役立ちました。なお、新幹線の鋼橋ではありませんが、溶接技術の発達により架けられた安治川橋梁があります(図5)。安治川橋梁は墨田川橋梁と同じランガー形式の鋼橋で、当時の支間長としては最大(120m)を誇ります。鋼橋は標準タイプが多数製作される一方で、このように

優美な姿が相応しいとしてランドマークとしての価値を併せ持つ橋梁も架けられています。

### 合成桁と複合構造<sup>6)~10)</sup>

合成桁は鋼桁とコンクリート床版を一体化して両者の利点を活かした構造です。最初の合成桁は東北本線の柳原架道橋で支間は約20mでした。合成桁は昭和30年代から適用され始め、大阪環状線や東海道新幹線で実績を増やしました。その後、騒音低減を目的として山陽新幹線で多数用いられました。現在では、曲線合成桁や連続合成桁の例もあり、支間も100m近くまで伸びています。

在来線では景観を重視した鋼橋として新桂川橋梁が挙げられます(図6)。この橋には合成桁とトラスが混在しており、トラスの側径間を直線的に変化させて合成桁とトラスの桁下のラインが連続して見えるようにしています。

駅部高架橋では、大空間の確保、工期短縮、安全性、耐震性等の観点から、鋼桁の周りをコンクリートで覆い一体化した鉄骨鉄筋コンクリート構造(図7)や、鋼管の中にコンクリートを充填して一体化したコンクリート充填鋼管構造が用いられるようになりました。

さびは切っても切れない関係にあることから、古くから鋼橋の防食対策が検討されてきました。そして、防食対策の一つとして、鋼材表面を緻密なさび(保護性さびと呼ぶ)が覆うことによって鋼材の腐食を防止する耐候性鋼材が開発され、この耐候性鋼材を用いた無塗装鋼鉄道橋が昭和55年頃から架けられるようになりました。初期の代表的な鋼橋は第三大川橋梁です(図8)。その後の耐候性鋼材を用いた鋼橋で代表的なものは保津川橋梁です。保津川橋梁は山陰本線の線形改良に伴って架けられた橋梁で第1保津川橋梁から第5保津川橋梁までありますが、代表的な例として、上路アーチタイプでガーダー部を支えている柱の数を少なくし景観に配慮した第2保津川橋梁を示します(図9)。

耐候性鋼材は、海岸に近い地域では保護性さびの生成が難しいことから適用が控えられていましたが、その後、海岸近くのような腐食環境が厳しい箇所においても保護性さびが生成可能な耐腐食性を向上したニッケル系高耐候性鋼材が新たに開発され、無塗装鋼鉄道橋(主として合成桁)が各方面で適用されています。なお、近年では無塗装鋼鉄道橋の経過観察から、保護性さびが生成されにくい箇所が部分的に見られることから、耐候性鋼材やニッケル系高耐候性鋼材の適用にあたっては、部分的に塗装を行うなどの対応も併せて行われるようになってきています。

### 耐候性鋼材を用いた鋼橋<sup>7)~10)</sup>

鋼は、自然環境の下では不安定な存在であり、酸素や水と結合して安定な状態である「さび」に戻ろうとします。鋼橋と

### 本州四国連絡橋<sup>8)~10)</sup>

昭和63年に開通した本州四国連絡橋(以下、瀬戸大橋と呼ぶ)は、吊橋としては世界初の本格的な鉄道・道路併用橋です。

中央支間1000mの吊橋2橋を含む長大橋梁群が約13kmの海峡部を渡っています(図10)。一般に吊橋はたわみやすく軌道にも大きな変形が生じ、端部では列車の走行安全に影響するような伸縮や角折れが生じることが予想されます。そこで瀬戸大橋では緩衝桁が設けられ、列車通過時の桁



図5 ランガー橋(安治川橋梁)  
(提供:中野昭郎氏)



図6 景観を重視した上路トラス橋  
(新桂川橋梁)(提供:中野昭郎氏)



図7 鉄骨鉄筋コンクリート構造  
(赤羽高架)(提供:中野昭郎氏)



図8 無塗装鋼鉄道橋(第三大川橋梁)  
出典:語り継ぐ鉄橋の技術  
(鹿島出版会発行,楳横河ブリッジ所蔵)



図9 無塗装鋼鉄道橋  
(第2保津川橋梁)(筆者撮影)



図10 吊橋(南備讃瀬戸大橋(手前)と北備讃瀬戸大橋)  
出典：語り継ぐ鉄橋の技術  
(鹿島出版会発行、旧本州四国連絡橋公団所蔵)



図11 ニールセンローゼ型アーチ橋  
(小形山橋梁)



図12 SRC床版を有する下路トラス橋  
(鴨川橋梁) (提供：JR西日本)

のたわみによるレールの伸縮を吸収する装置が新たに開発されました。

また、瀬戸大橋では吊橋の補剛桁の軽量化のため、多くの調質高強度鋼が使用されました。当初、調質高強度鋼の本格的な採用実績はほとんどなかったことと、鉄道では活荷重の比率が高いことから、疲労に対する検討が重要となり多くの疲労試験が行われました。当時、世界最大クラスの疲労試験機を用いたトラス格点部の疲労試験も行われました。瀬戸大橋で培われた技術は、その後、関西国際空港や中部国際空港の連絡橋のような海上を横断する鋼橋にも生かされました。

#### 最近の鋼鉄道橋と今後の鋼鉄道橋<sup>9)~12)</sup>

平成に入ってから新しい鋼鉄道橋としては、山梨のリニア実験線に架けられた小形山橋梁が挙げられます(図11)。この橋は鉄道としてはじめてニールセンローゼ型アーチ橋を採用しており、アーチ部分を内側に傾けて、弦材の側面を溶接とするなど、景観上の配慮を行った橋で実験線のランドマーク的な存在となっています。

トラス構造に関しては、従来の床組形式に対して床版と床組を一体化した鉄骨鉄筋コンクリート床版を有する下路トラスが新たに開発されました(図12)。床版と床組を一体化し縦桁を無くした構造としており、床版の高さを抑えてレールレベルを低くすることが可能となります。従来の床組形式のトラスと比較して騒音の低減も可能であり、今後の新しい鋼鉄道橋の形式の一つとして注目されています。

合成桁や複合構造物に関しても各鉄道事業者や鉄道・運輸機構において技術開発が積極的に進められ、良好な品質を有する構造物が多数架けられてきています。

今後は、鋼構造の優れた点を適材適所に活かして耐荷性や耐震性に優れている構造とするだけでなく、ライフサイクルコストやアセットマネジメントも考慮した耐久性に優れた構造とすることや、環境影響評価や騒音など環境にも配慮した構造とすることが今まで以上に求められるようになると考えられます。

#### おわりに

以上、鋼鉄道橋の歴史を簡単に振り返ってみました。これらの技術は鉄道省の頃からの鉄道技術研究所をはじめとして国鉄の施設局特殊設計室や構造物設計事務所などの技術者が現場と協力して積み上げてきたものです。計算機も試験機の設備も十分でなかった時代にこのような技術開発が行われてきたことに対して改めて驚くと同時に、当時の技術者の先人の明を感じずにはられません。先行きが不透明な時代ですが、諸先輩方が築き上げた技術の重みをしっかりと受け止めて、引き続き鋼鉄道橋が土木構造物として重要な役割を担うことができるように鋼・複合構造研究室一同頑張っていきたいと思えます。

本原稿の作成に際しましては、旧国鉄の構造物設計事務所の諸先輩にご指導頂きました。特に稲葉紀昭氏、中野昭郎氏には細部にわたりご助言頂くと共に写真を提供頂きました。また、JR西日本からも写真を提供頂きました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

(杉本一朗／構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室)

#### 文献

- 久保田敏一：本邦鉄道橋梁ノ沿革二就イテ、鉄道技術研究所業務研究資料、1934.1
- 小野田滋：鉄道構造物探検、JTB、2002.12
- 西村俊夫：国鉄トラス橋総覧、鉄道技術研究資料、第14巻第12号、鉄道技術研究所、1957.12
- 阿部英彦：鉄道橋の再利用、東京鉄骨橋梁技報、No.51、2005.
- 沼田政矩、友永和夫、阿部英彦、美藤恭久：橋りよの今昔、鉄道土木、1976.3
- 中野昭郎：国鉄の鋼鉄道橋、鉄道土木、第14巻1~3号、1972.1~3
- 仁杉巖監修、廣田良輔、鳥取誠一、宮本征夫、稲葉紀昭、朝倉俊弘：鉄道土木構造物の耐久性、山海堂、2002.8
- 構設史編集研究会編：鉄道構造物を支えた技術集団、日本鉄道施設協会、2009.9
- 仁杉巖監修、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、2008.12
- 日本鉄道施設協会：鉄道施設技術発達史、1994.1
- 西村康之、下野一行、紀伊昌幸、矢島秀治：奈良線鴨川橋梁の設計と施工、橋梁と基礎、2000.11
- 保坂鐵矢、杉本一朗：鉄道における最近の鋼・コンクリート複合橋梁、橋梁と基礎、2000.7