

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 鋼橋をリニューアルする

鉄道における鋼橋は供用期間の長いものも多く、疲労き裂や腐食によって架設当初の性能が大幅に低下している場合があります。日常の維持管理の中で、補修や補強によって性能を回復することも可能ですが、リニューアル技術を用いて構造や機能を改良することで、架設当初より性能を向上し、鋼橋を長寿命化させることが可能です。ここでは、鋼橋のリニューアル技術として、主にIビーム橋りょうに発生した疲労き裂の対策方法をご紹介します。



小林 裕介  
Yusuke Kobayashi  
構造物技術研究部  
鋼・複合構造研究室  
主任研究員  
[専門分野] 鋼構造, 複合構造

## はじめに

鉄道において鋼橋は明治時代から用いられており、既設鋼橋のうち半数以上が架設してから70年以上経過しています。また、新設の橋りょう数が減っていることを鑑みると、鋼橋は日本人と同様に少子高齢化な状況にあると言えます。

当然、供用している年数が増えてくると不具合も生じてきますが、実は、鋼橋には明確な寿命というものはなく、適切な維持管理をすれば70年を経過しても十分に供用することができます。実際、世界では200年以上も昔に架設された鉄橋が現存しており(☞参照)、日本でも腐食環境の厳しい立地条件に

ありながら100年も供用された余部鉄橋などがあります。

維持管理では、検査を主体とし、変状箇所を補修・補強する、もしくは予防保全的に補修・補強しておくことが基本となります。ここで、補修・補強というのは、発生した変状に対しての原状復帰、もしくは変状の再発生防止であり、鋼橋の基本構造や機能は大きく変化しません。これに対し、老朽鋼橋に対しては、構造や機能を抜本的に改良することが有効であり、このようなりニューアル技術の必要性が近年ますます高まっています。

ここでは、既設の鋼橋を対象とした「合成構造化工法」や「鋼桁・橋台・盛土一体化工法」などのリニューアル技術を紹介するとともに、Iビーム橋りょうに発生した疲労き裂に対する「コンクリート巻き立て工法」を紹介します。

## ☞ アイアンブリッジ (英国)

1779年に架設された鑄鉄製の橋りょうで、現在も歩道橋として利用されています。



## 合成構造化工法

既設の鋼橋では、図1(a)に示すような橋まくらぎ式のデッキガーダーが多く見られます。このタイプでは、まくらぎ下の上フランジの腐食が著しく、上フランジの板厚減少に伴う耐荷力不

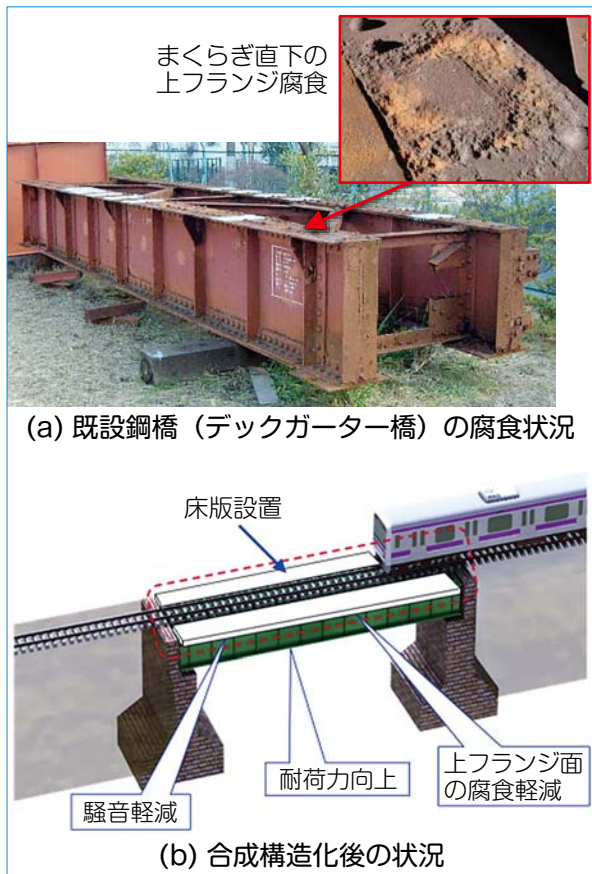


図1 合成構造化工法

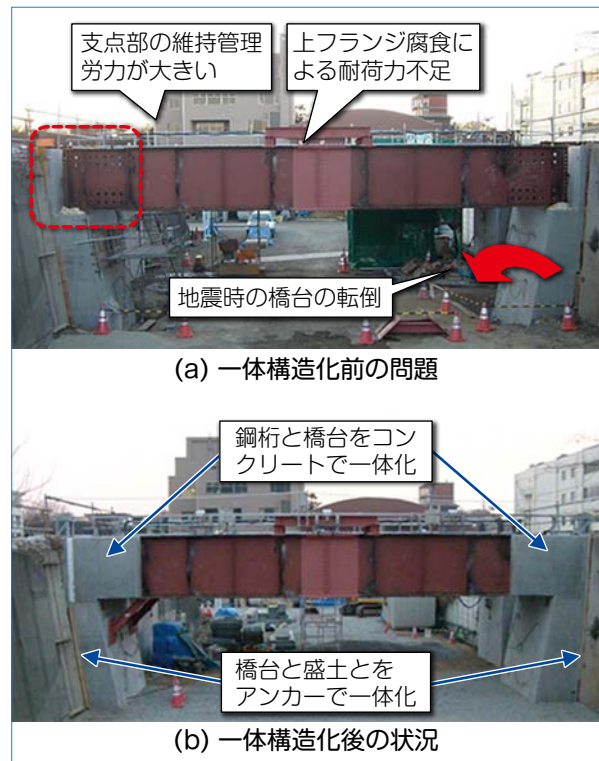


図2 鋼桁・橋台・盛土一体化工法

足が問題となります。これに対し、橋まくらぎの部分にコンクリート床版に置き換えて鋼桁と一体化するのが「合成構造化工法」です(図1(b))。

合成構造となることで断面剛性が高まり、また中立軸の位置も当初より上がるため、上フランジに発生する応力が低減し耐力不足を補うことができます。また、上フランジ上面がコンクリートで覆われることで、腐食の進行を抑制することも期待できます。

本技術は、騒音を低減できるといった点にも大きな特徴があります。開床式の構造では、列車通過時の転動音などが桁下に抜けていくことに加え、鋼桁の腹板などが大きく振動することで音を生じ、騒音がしばしば問題になります。コンクリート床版を敷設することで、転動音などが桁下に抜けることを防ぎ、かつ鋼桁が振動しづらくなります。

このように「合成構造化工法」は、構造を変えることで耐力や耐久性を

大幅に向上し、さらに騒音の低減も可能な技術となっています。

### 鋼桁・橋台・盛土一体化工法

既設の鋼橋では、前述の上フランジの腐食に加え、支点部において腐食・疲労き裂・沓座損傷(沓座<sup>しゅうざ</sup>参照)などの変状が多く発生し、支点部の維持管理にも多くの労力を要します。また、旧式の橋台は、地震時において背面盛土からの土圧により傾斜もしくは躯体の破壊が生じやすいといった耐震上の問題も有しています(図2(a))。このような問題に対し、鋼桁の端部と橋台とをコンクリートで一体化し、橋台と盛土をアンカーで一体化するのが「鋼桁・橋台・盛土一体化工法」です(図2(b))。

#### 沓座

橋台や橋脚の天端において、橋りょうの支点から荷重を受ける部分。一般にモルタルが敷かれており、さまざまな要因により破損しやすい。

鋼桁は支持条件が単純支持から両端固定に変わることによって、同一の列車荷重に対して発生する曲げモーメントが半分になり(参照)、上フランジの腐食で問題となっていた耐力不足が解消されることとなります。また、支点部がコンクリートで覆われてなくなることで、支点部の維持管理に要する労力も不要となる利点があります。橋台は、地震時に土圧を受けても、鋼桁がつかえ棒のように抵抗し、また橋台が盛土と一体化していることで傾斜や躯体の破壊が生じにくくなり、橋台の耐震性の向上も図れます。

#### 桁支間中央の曲げモーメント

一体化前の曲げモーメント

$$M_1 = \frac{PL}{4}$$

一体化後の曲げモーメント

$$M_2 = \frac{PL}{8}$$

このように「鋼桁・橋台・盛土一体化工法」は、旧式で老朽化した鋼桁と橋台の諸問題を一挙に解消することが可能な技術となっています。

### Iビーム橋りょう支点部の疲労き裂

ここでは、Iビーム橋りょうに発生した疲労き裂に対する「コンクリート巻き立て工法<sup>1)</sup>」に焦点をあてて説明します。Iビーム橋りょうとは、I形鋼を主桁に用いた数メートルの短スパン橋りょうのことで、盛土区間における用水路をまたぐ場合などに利用され、架設数が比較的多い橋りょうです。このIビーム橋りょうでは支点部において疲労き裂がしばしば発生します(図3)。

疲労き裂に対しては、一般的にストップホールなどの応急処置を施し、当板により断面修復をします。さらに疲労き裂の再発生、再進展防止を目的として、当該部位の発生応力低減のための補強をします。

しかしながら、Iビーム橋りょうでは疲労き裂の発生部位が湾曲しているため、当板の加工と施工が難しく(図4)、必ずしも当板の効果を得られるとは限りません。また、疲労き裂の発生部位の応力を低減するためには、原因である沓座損傷(理由は後述します)を補修する必要がありますが、この施工では桁をジャッキアップする必要があり、夜間間合いの短い線区や、ロングレール区間では、施工が極めて困難であるという問題があります。

Iビーム橋りょうは架設数が多く、

#### 端補剛材

支点上の補剛材で、柱として荷重を支える部材。腐食や経年摩耗によって下端に隙を生じやすい。

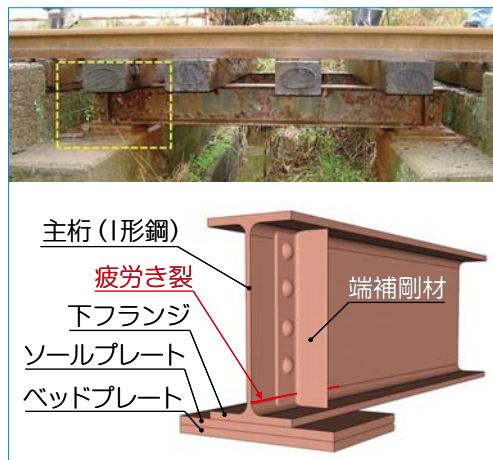


図3 Iビーム橋りょうの疲労き裂

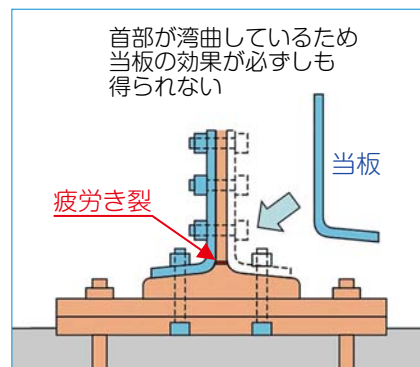


図4 疲労き裂の当板補修



図5 疲労き裂の発生原因

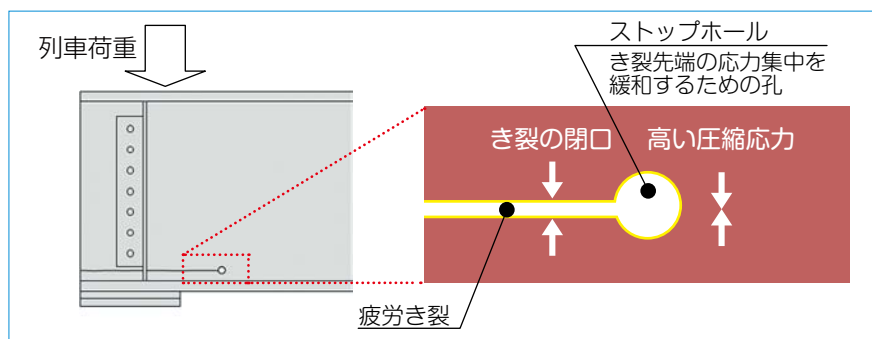


図6 疲労き裂の進展要因

また疲労き裂の発生事例が多いにもかかわらず有効な対策がないため、Iビーム橋りょうの支点部における疲労き裂には多くの事業者が苦慮しています。

### 疲労き裂の発生原因と進展要因

発生した疲労き裂の対策を考えるうえで、疲労き裂の発生原因と進展要因を把握しておくことが重要になります。これは、疲労き裂を発生させるような大きな応力の根本因子を取り除かない限り、疲労き裂が再発生したり、再進展したりするためです。

Iビーム橋りょうの支点部の疲労き

裂の発生原因は、研究の結果、沓座損傷と端補剛材下端(☞参照)の間であることが分かりました(図5)。この二つが同時に生じると、列車が通過した時に、下フランジ首部が大きく曲げられて高い応力が生じ、疲労き裂が発生します。

当該部位に疲労き裂が発生すると、疲労き裂は非常に僅かですが開いた状態になります。ここを列車が通過すると、首部の曲げによる応力に加え、疲労き裂が開くことでも高い応力が生じ、疲労き裂が進展していきます(図6)。

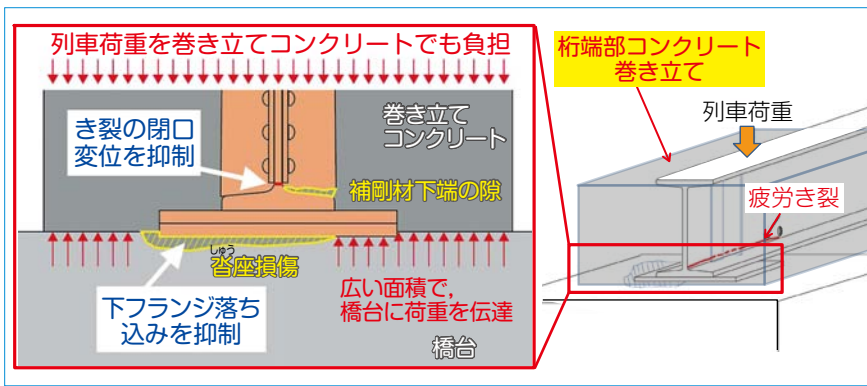


図7 コンクリート巻き立て工法

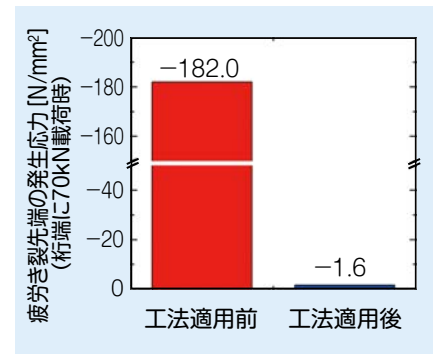


図8 工法の効果

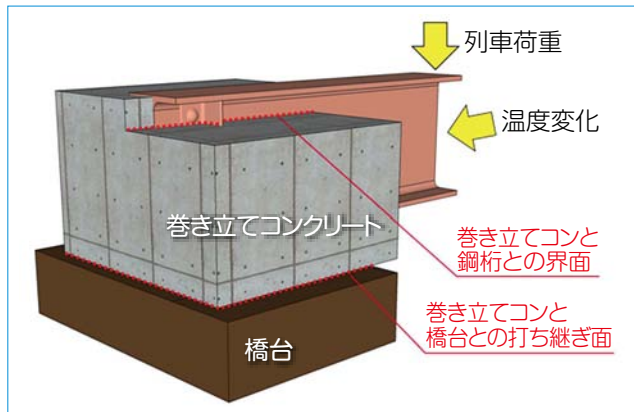


図9 巻き立てコンクリートの接合面

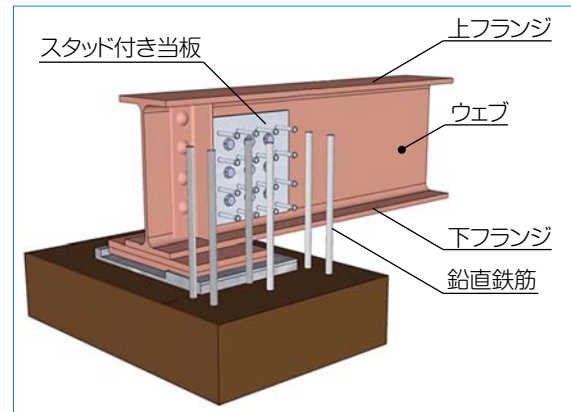


図10 スタッドと鉛直鉄筋の配置

つまり、Iビーム橋りょうの支点部の疲労き裂に対しては、下フランジの変形と疲労き裂の閉口を抑制するような対策が必要と言えます。

### コンクリート巻き立て工法

「コンクリート巻き立て工法」は、Iビーム橋りょうの桁端をコンクリートで巻き立てるものです。これにより、列車からの荷重を、巻き立てたコンクリートを介して沓座損傷<sup>しゅう</sup>していない橋台天端で受け、下フランジの変形と疲労き裂の閉口を抑止し、疲労き裂の発生や進展を防止します(図7)。実物大の試験では、実際に疲労き裂先端の応力を大幅に低減できることを確認しています(図8)。

本工法は、沓座損傷<sup>しゅう</sup>を別途補修する必要がないため、桁をジャッキアップせずに施工できることに大きな特徴があります。また、端補剛材下端の隙の補修や、断面修復のための当板も不要です。なお、桁端部は腐食の進行が著

しい部位ですが、コンクリートで覆うことで腐食の進行を抑制することも期待できます。

### 工法の構造概要

Iビーム橋りょうの桁端を、単にコンクリートで巻き立てただけだと、列車が通過したときや温度変化が生じた際に、鋼桁と巻き立てコンクリートの界面がずれたり、巻き立てコンクリートと橋台との打ち継ぎ面が破壊したりします(図9)。

本工法では、鋼桁と巻き立てコンクリートのずれ止めとして、主桁のウェブにスタッドを設置します(図10)。スタッドは予め工場で当板に溶着しておき、現場ではボルトにより当板を添接することとし、現場では簡易な施工となるよう工夫しています。巻き立てコンクリートと橋台との打ち継ぎ面に対しては、鉛直鉄筋を施工することで打ち継ぎ面に作用する断面力に抵抗させています(図10)。

なお本工法を適用すると、鋼桁と橋台が一体化し構造系が変わるため、鋼桁と橋台の各部に対し、耐荷性などの照査を行う必要があります。また、必要なスタッドの本数や鉛直鉄筋の本数についても設計計算により求める必要があります。ただし、一般的なIビーム橋りょうであれば本工法は適用可能であり、耐荷性などを満足する照査結果となります。

### おわりに

ここでは、鋼橋に対するリニューアル技術として開発してきた工法を紹介しました。なお、本成果の一部は、国土交通省鉄道技術開発費補助金を受けて実施したものです。[RRR]

### 文献

- 1) 小林裕介, 福本守, 山下健二: 既設鋼Iビーム支点部疲労き裂の原因究明とコンクリート巻き立て工法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.10, pp.17-22, 2015