

鉄道施設改良で用いる PC 構造

木野 淳一*1・醍醐 宏治*2

鉄道施設改良プロジェクトは、さまざまな制約条件下で行われる。河川改修では河川幅の拡幅や河積阻害率を遵守するための長スパン化と桁高の制限、構造物拡幅では既設構造物との一体化というような制約条件が考えられる。このような制約条件下で経済的な構造物を構築するため、PC 構造が用いられる。本稿では鉄道施設改良における PC 構造物について、適用事例を示し解説する。

キーワード：鉄道施設改良、桁高、長スパン化、接合

1. はじめに

鉄道施設の改良は一般的に、鉄道路線を営業しながら工事を実施する。そのため、新たに構造物を作る場合と比べて設計・施工上の制約条件が厳しくなる傾向にある。その制約条件とは、勾配や曲線半径など線形条件が厳しいこと、構造物そのものあるいは接合部でのたわみ・段差・横移動などの変位制限が厳しいこと、レールの平面的あるいは立体的な位置が容易には変更できないこと、施工環境が狭隘なこと、維持管理も列車の運行がない時間帯でしかできない個所があることなど、多岐にわたる。そのような条件下で改良プロジェクトを経済的、効率的に進めるために、PC 構造が多く用いられている。本稿では鉄道施設改良における制約条件とその克服のために用いられる PC 構造物について、適用事例を示し解説する。

2. 河川改修に伴う橋梁改築

2.1 河川改修における制約条件

国や地方公共団体が計画する河川改修工事に伴い、鉄道交差部（主に橋梁形式）の改築が必要になる。この場合、一般に旧河川より川幅が拡幅されるため、橋長は長くなる。また、河積阻害率の制限から河川内の橋脚配置に制限が生じ、支間長も長くなる。一方、鉄道のレールの位置（高さ）を変更する場合、橋梁位置だけでなく前後数十～数百 m

にわたってレール高さを変更しなくてはならないため、多くの構造物改修やレール移動を必要とする。そのため、レール高さを変更せずに済むよう橋梁の設計を行うが、橋梁の支間長は従前より長くなるため、必然的に橋梁の桁高に制限を受けることとなる。

このような場合には、PC 下路桁形式を採用することで、長い支間長を有する橋梁を計画しても、使用中のレールの高さを変えることを必要としない程度の桁高で設計が可能となる。PC 下路桁は U 形断面の単純桁が一般的であるが、支間長が長くなるとウェブ高さが高くなり、巨大な壁が河川上に配置され景観上問題となる。そのため、比較的支間長が長い橋梁では、下路桁形式の PC ランガー橋を採用する事例が増えてきている。以下に、河川改修での設計事例を示す。

2.2 相模線小出川橋梁改築

小出川橋梁は、JR 東日本相模線香川～寒川間に位置する鉄道橋である。旧橋梁は 1921 年に建設されたもので、橋長 35.32 m、構造は桁長 4.4 m の鋼上路単純桁 8 連で構成されていた（写真 - 1）。河川改修事業に伴い、河川内へ橋脚を配置しない構造とすることから、新小出川橋梁は橋長 62.8 m、支間長 60.8 m の橋梁として設計することとなった。

営業路線上の橋梁改築であることから、レールの位置（高



*1 Junichi KINO

東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター



*2 Kouji DAIGO

東日本旅客鉄道(株)
構造技術センター

写真 - 1 旧小出川橋梁¹⁾

さ)は現況に近いことが望まれる。とくに本橋梁においては、橋梁の寒川駅側、桁端から30m程度の位置に踏切が設置されている。レール高さを現況より大きく変更した場合、前後の土構造部のかさ上げだけでなく、踏切改良および横断する道路の改良まで必要となってしまう。一方、旧橋梁が上路桁とはいえスパンが短いため桁高が低かったこと、かつ無道床橋梁であったこと、新橋梁のスパンが長スパン化されることなどから、必然的にレール頂部から桁下までの寸法は大きくなる傾向にある。

そこで、表-1に示す比較表のとおり検討を行った。案2のPC箱桁案は桁構造そのものはもっとも経済的となるが、レール高さから桁下までの高さをもっとも大きい構造となるため、鉄道取付け部での路盤、軌道、電気工事が大掛かりになるだけでなく、近傍の踏切、交差道路まで改修する必要があり、プロジェクト全体では工事費が高くなる。案3の鋼下路トラス案は、構造形式としては一般的だが、騒音が大きくなるため比較的民家の多い当該橋梁付近では不利となること、塗装などの維持管理が必要であるほか、経済性も案4の下路プレートガーダーより高価となる。案4の鋼下路プレートガーダーはレール高さのこう上量が小さく比較的项目全体での経済性に優れるが、案3と同様に環境面、維持管理面で不利となる。よって、まずは案1のPC下路桁の優位性が高いと判断し、構造形式を決定した。

その後、PC下路桁についても、表-1のように桁高が非常に高いことが欠点として浮上したことから、単純U形下路桁とPCランガー桁について構造比較を行った。その結果、アーチ、鉛直材、補剛材の連結部に配筋が複雑になり施工性がやや低下すること、鉛直材とアーチ材の施工

が追加となり工期が若干長くなるなどのデメリットがあるものの、桁高が低くなり景観性が向上すること、同じく補剛桁が車窓より低くなることで車内からの圧迫感が軽減されること、途中架線を支持する設備が必要になるが、PCランガー桁の場合横継材があり電柱を配置せずに架線を添架できることなどの優位性から、PCランガー桁を採用することとなった。

PCランガー桁の各部材の設計は、概要としては以下のとおりである。

- 1) 補剛材：PC構造（フルプレストレス）
- 2) 床版・横桁：PC構造（フルプレストレス）
- 3) アーチ材：RC構造
- 4) 鉛直材：PRC構造
- 5) 横継材：RC構造

本橋梁は2010年より供用を開始している（写真-2）。



写真-2 新小出川橋梁完成状況¹⁾

表-1 橋梁構造形式の比較検討

	案1 PC下路桁	案2 PC箱桁	案3 鋼下路トラス桁	案4 鋼下路プレートガーダー
構造形式				
レールこう上量	55 mm	3 405 mm	860 mm	305 mm
経済性	<ul style="list-style-type: none"> • 桁自体はほかのコンクリート桁構造より割高 • 桁製作台、仮橋脚などの仮設費が大 	<ul style="list-style-type: none"> • 桁自体は軽いため経済的 • 仮線、仮設物、借地など仮設費が大 • 橋梁取付け部の路盤、軌道、電気工事が必要 	<ul style="list-style-type: none"> • 部材が多い • 鋼構造のなかで高価 	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼下路トラス桁より経済的
その他	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼桁に比べ騒音小、維持管理が容易 • 桁自体が防音壁を兼ねた構造 • 桁高が高く、車窓圧迫感、景観影響が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> • 鋼桁に比べ騒音小、維持管理が容易 • 近接踏切および交差道路のかさ上げが必要 	<ul style="list-style-type: none"> • 民家への騒音影響が大 • 桁の保守（塗装）が定期的に必要な 	<ul style="list-style-type: none"> • 民家への騒音影響が大 • 桁の保守（塗装）が定期的に必要な
評価	◎	×	×	△

3. 橋梁・高架橋拡幅

3.1 橋梁・高架橋拡幅における制約条件

既設の鉄道橋梁・高架橋上において路線の平面線形を変更する場合、あるいは分岐などで線路数を増やす場合、さらにはホームを設置するためなど、既設構造物の拡幅が必要となる場合がある。この場合、新設する構造物と既設構造物の接合面の一体性が必要となる。たとえば、ラーメン高架橋の増設を行った場合、新設する構造物側は収縮が発生するが、接合面が一体でない場合はわずかながら目開きが生じ、地震時の荷重伝達が理論どおりとならないことが懸念される。また、降雨による水分が目地部から浸透し、内部鉄筋の腐食要因となる。さらに、鉄道においては列車の走行安全性を確保するため、レールの変位量の制限値はmm単位で制限されており、この制限は走行速度の高くなるほど厳しくなる²⁾。線形変更や線路増設の場合、接合部をまたいだ路線となる場合には構造物の変化点で過度の目違い・角折れを発生させないことが求められる。これらの制約条件から、PC構造を採用する場合がある。以下に、PC構造にて新旧構造物を接合した設計事例を示す。

3.2 田沢湖線（秋田新幹線）新在直通盛岡アプローチ部高架橋新設

(1) 概要

東京方面から秋田まで乗り換えなしで列車を運行する秋田新幹線を実現するため、東北新幹線盛岡駅の北方で高架上の本線から路線を分岐させ、地平の田沢湖線（在来線）へ接続するプロジェクトが行われた。路線計画は、分岐位置は7径間連続PC一室箱桁上となり、既設桁の張出しスラブ位置を渡って新設構造物に敷設した軌道上を走行することになった。一般に軌道と構造目地の関係としては、左右レールで異なる挙動をすることを防ぐため、極力直交させる（まくら木と平行にする）のが基本である。よって、分岐線を単独で支持する構造が構築可能な位置まで既設桁を拡幅する必要が生じ、最大で約6.9mの拡幅が必要となった（図-1）。

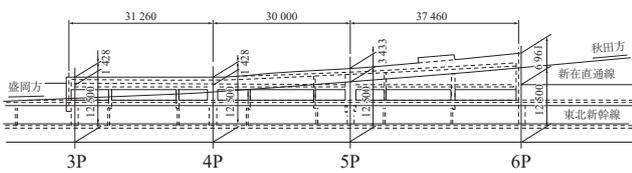


図-1 PC桁拡幅部平面図³⁾

当初計画では、拡幅量が少ない箇所については張出しスラブを補強し拡幅し、張出し量の大きい箇所は新設桁を併設することとしていた。しかし、張出しスラブがPC構造であるため、拡幅施工が難しいと判断された。そこで、拡幅部全域にわたって新設桁を併設し、既設桁と連結する構造とした。

(2) 新設桁と既設桁の結合方法

新設桁と既設桁を結合した結果、新設桁の収縮・クリープにより不静定力が発生する。この不静定力に新設桁と既

設桁の接合方法が及ぼす影響について検討した。新設桁と既設桁の接合方法は、以下の3ケースについて検討を行った。

- 1) ケース1 完全一体構造（横桁・床版一体構造）
- 2) ケース2 床版分離構造（全横桁連結）
- 3) ケース3 床版分離構造（支点横桁のみ連結）

検討の結果、ケース1とケース2の比較では主桁発生応力の相違はあまりなく、床版結合の影響が小さいことが分かった。一方ケース1とケース3の比較では、曲げ応力の相違が大きく、中間横桁の影響が大きいことが分かった。よって、本設計ではケース2の全横桁連結を採用した。

(3) 新設桁設計概要

新設桁の主方向はPRC構造とし、横方向はRC構造とした。主方向については前述のとおり収縮・クリープの影響があることから、各施工段階に応じた構造系およびコンクリート材齢を設定し、コンクリートの収縮・クリープおよび荷重の分配について構造解析を行い、断面照査を行った。

新設桁の横桁は、格子解析により求めた断面力に対して必要な鋼材を配置した。なお、新設桁の桁端となる3P、6P橋脚上では、横桁位置が新設桁と既設桁でずれるため、図-2に示すとおり補強PC鋼材を連結鋼材とはべつに配置した。

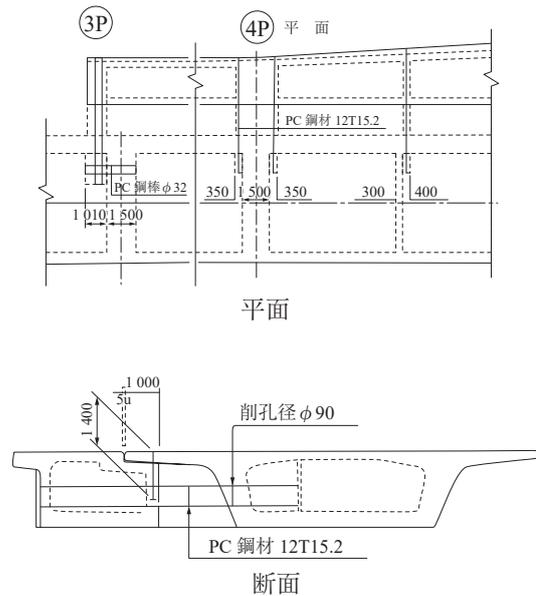


図-2 新設桁と既設桁の結合概略図³⁾

床版部は(2)の検討のとおり結合が不要であるが、新旧桁の境界位置で列車荷重による上下動を発生させないように、1.6mピッチでPC鋼棒により連結を行った（図-2）。この結合により、列車の載荷位置により床版に新旧桁のたわみ差による断面力が発生することから、床版の断面照査を行った。

(4) 既設桁への影響検討

既設桁については、全体系の構造解析の結果から得られる応力度を既設桁当初設計の応力度に付加して検討した。新設桁の収縮・クリープの影響は既設桁に軸圧縮応力度を

付加することになるため、安全側の発生応力であり問題がなかった。一方、床版についてはわずかに断面力が当初設計より大きくなる箇所があったものの、設計上問題のない程度であった。

以上の結果を踏まえ施工し、1997年3月に秋田新幹線の開業に至った。施工後25年以上経過しているが、変状の発生はなく、健全な状態を維持している(写真-3)。

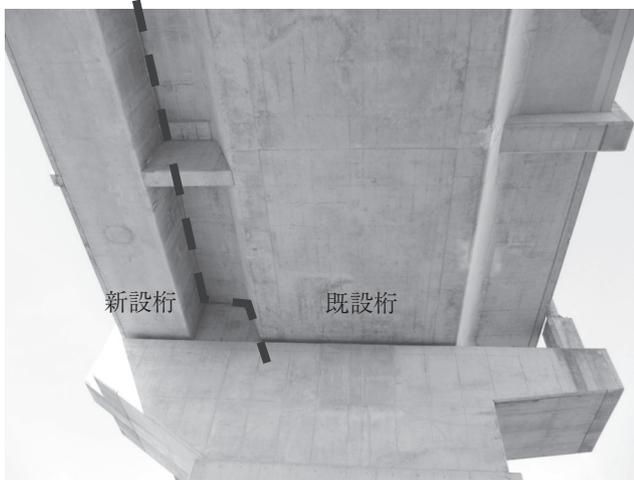


写真-3 秋田新幹線桁拡幅部

3.3 東北新幹線新花巻駅新設

(1) 概要

東北新幹線新花巻駅は、東北新幹線建設時点では設置予定がなかった。地元の要請により、東北新幹線大宮～盛岡間開業後に駅の設置が決定した。このような経緯であったことから、新花巻駅設置区間の構造物(主にラーメン高架橋)は将来の増設を考慮した構造ではなかった。そのため、新たに設置するホームを受ける高架橋を独立構造とするか既設構造と一体の構造にするかを検討することから設計を始めた。既設高架橋の高さが14mと高く、独立構造とした場合には地震時に増設部と既設部の位相が異なる変位をして新幹線走行面にホーム等構造物が入り込むおそれがあったことから、既設高架橋に増設高架橋を連結して一体化する構造を採用した。

(2) 新旧構造接合の詳細

線路直角方向に2柱式であった既設構造物の両外側に1本ずつ柱を追加して、新設ホームを既設構造物および新設構造物のそれぞれで支持する構造とした(図-3)。

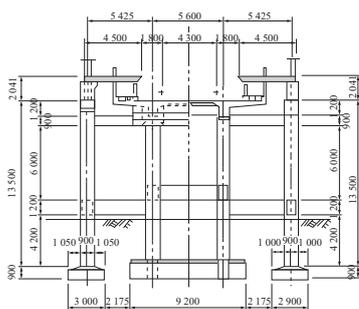


図-3 新花巻駅構造断面図

前述のとおり、地震時の挙動を一体化する必要があるため、既設高架橋柱上端部付近に横梁を設置するとともに、2層ラーメン高架橋では中層梁付近にも横梁を設置した。横梁と既設構造接合部は、乾燥収縮による目地切れ、地震時の開きを制御するため、PC鋼棒により緊張力を導入した。緊張力は地震時に横梁に発生する軸引張力より大きくなるよう設定した。そして、新設側のデッドアンカーとし、既設柱を削孔の上PC鋼棒を貫通させ、緊張力を導入した(図-4)。

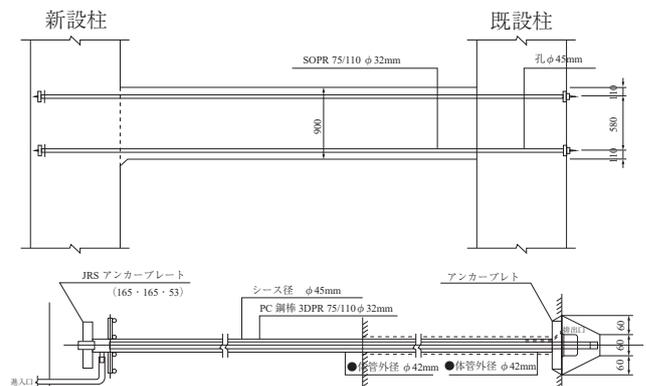


図-4 新設横梁結合部詳細図

新花巻駅は1984年に着工し、翌1985年に完成、同年東北新幹線上野駅乗り入れに合わせて開業した。その後、2011年に東北地方太平洋沖地震を経験し、花巻市内では最大加速度500gal強の地震動を記録しているが、本高架橋はとくに目立った損傷を受けることがなかった。

4. おわりに

PC構造は本稿で示したように、桁の長スパン化・桁高抑制・接合部の一体化など、多くの優位性を有する。鉄道建設はすでにピークを大きく過ぎている状況ではあるが、利便性向上、防災対策など、既設の鉄道を改良するプロジェクトは今後も引き続き行われていくことが想定されている。それらのプロジェクトにおいて、さまざまな制約条件のもとでPC構造の特性を生かした設計を実施していくことが今後も必要であると考えている。

参考文献

- 1) 国分宏樹, 前田 哲, 上床卓也: 河川改修事業に伴う相模線小出川橋りょうの改築工事, SED, Vol.35, pp.2-9, 2010.11
- 2) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限, 丸善株式会社, 2006.2
- 3) 初貝隆一, 清水 登, 興石逸樹: 連続PC桁の拡幅設計, SED, Vol.2, pp.56-61, 1994.5
- 4) 大庭光商, 松田芳範: 高架橋の拡幅設計・施工事例(1), SED, Vol.3, pp.2-13, 1994.11

【2020年12月21日受付】