

(17) 複合PCランガー橋における接合部の設計に関する検討

川村 力¹・渡辺 忠朋²・松岡 茂³・枝松 正幸⁴

¹正会員 北海道旅客鉄道(株) 工務部工事課 (〒060-8644 北海道札幌市中央区北11条西15丁目1-1)
E-mail:c-kawamura@jrhokkaido.co.jp

²正会員 北武コンサルタント(株) (〒062-0020 北海道札幌市豊平区月寒中央通7丁目)
E-mail:chuho@hokubu-c.co.jp

³正会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町二丁目5-3)
E-mail:shigeru-matsuoka@tekken.co.jp

⁴正会員 北海道旅客鉄道(株) 工務部工事課 (〒060-8644 北海道札幌市中央区北11条西15丁目1-1)
E-mail:m-edamatsu@jrhokkaido.co.jp

JR根室本線新大楽毛・新富士駅間において、鉄道高架化工事が行われており平成20年秋の開業を目指している。本高架橋には日本最大級のスパンを有する複合PCランガー橋がある。この複合PCランガー橋はアーチ材にRC構造、鉛直材に鋼構造、補剛桁にPC構造を採用した複合構造となっている。本橋の設計にあたり、RC構造のアーチ材と鋼構造の鉛直材との接合部の設計が課題となった。そこで、接合部の設計について載荷実験やFEM解析を行い、接合部の設計の妥当性を検証するとともに、破壊形態および設計荷重作用時の損傷レベルについて検討した。

Key Words : PC langer bridge, Composite construction, FEM analysis, Joint, Model experiment

1. はじめに

JR 根室本線新大楽毛（しんおたのしけ）・新富士駅間において、港湾整備計画に基づく主要幹線道路の整備と併せて、都市交通網の円滑化を目的とした鉄道高架化工事が行われており、平成20年秋の開業を目指している。図-1に位置図を示す。

本高架橋の特徴の一つとして、鉄道高架橋では初めて摩擦杭として鋼管ソイルセメント杭を採用している¹⁾。もう一つの特徴として、日本最大級のスパンを有する複合PCランガー橋がある。ランガー橋は、鉄道橋りょうとしては比較の実績の多い構造形式である。しかしながら、本橋りょうのようにアーチ材にRC構造、鉛直材に鋼構造を採用した組合せは例が無く、その接合部の設計についてはFEM解析による検討から載荷実験による検証まで様々な検討を行うこととなった。

本論文は、複合PCランガー橋の設計にあたり、特にアーチ材と鉛直材の接合部の設計について検討した結果について述べる。

2. 構造物の概要

図-2に当該橋りょうの一般図を示す。表-1に構造物の諸元を示す。当該橋りょうは、スパンが65.0mで日本最大級のPCランガー橋である。さらに各部材は、アーチ材にRC構造、鉛直材に鋼構造、補剛桁にPC構造を採用しており、各部材に要求される力学的特性を考慮して構造形式を選択した複合構造となっているのが特徴である。また、本橋りょうは美観に優れたアーチ橋とすることで、地域のランドマークとしての意味合いも有した構造物である。



図-1 位置図

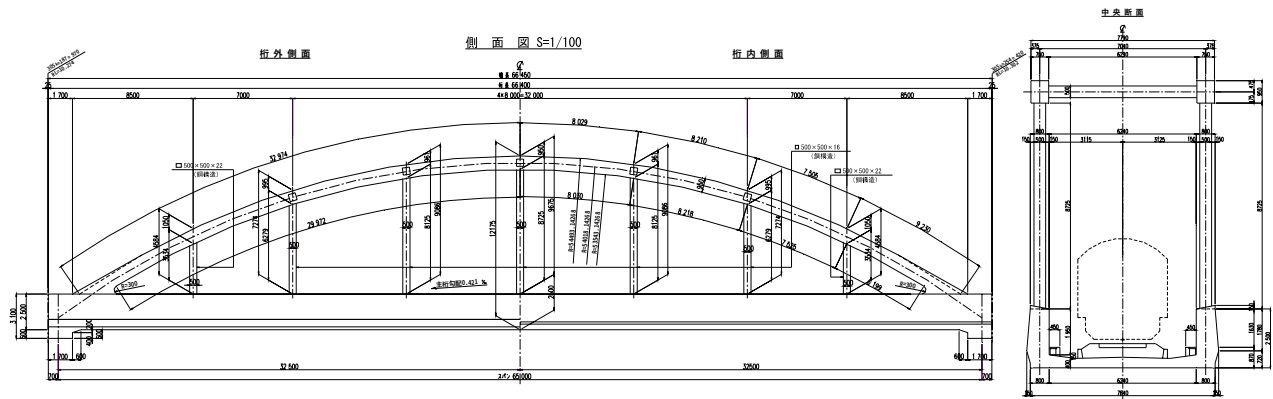


図-2 一般図

表-1 構造物の諸元

桁形式	単線2主桁下路形式 PCランガー橋
桁 長	66.4m
支 間	65.0m
スパンライズ比	1/5.8
軌道構造	バラスト軌道
環境条件	塩害環境 (S1 地域)
セメントの種類	普通ポルトランドセメント (補剛桁) 高炉セメント (アーチ材)
コンクリートの 設計基準強度	40N/mm ² (補剛桁) 60N/mm ² (アーチ材)
最大水セメント比	40%

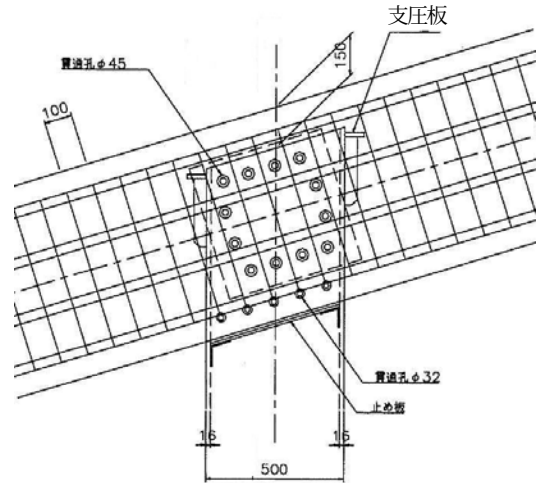


図-3 接合部の構造

3. 設計方針

(1) 設計上の課題

本橋りょうの設計で課題となったのは、RC構造のアーチ材と鋼構造の鉛直材との接合部の設計である。アーチ材と鉛直材の接合部は、鉛直材となる鋼管がアーチ材に埋め込まれ、アーチ材と横鋼材の鉄筋が鋼管を貫通する構造となっている。また、鉛直材の埋め込み部には支圧板が設置されている。図-3に、接合部の構造を示す。

(2) 接合部の設計

接合部の設計は、コンクリートの支圧応力の照査と引き抜きせん断の照査を行うこととした。

a) コンクリートの支圧応力の照査

曲げモーメント、せん断力に対しては、鋼管側面に作用する支圧応力の照査を行った。軸引張力に対しては、支圧板に作用する支圧応力の照査を行った。破壊に対する支圧応力の限界値は、鋼角ストッパー埋め込み部の考え方を準用し、コンクリートの設計圧縮強度とした。ひび割れに対する支圧応力の限界値は、コンクリートの設計圧縮強度の40%とした。

b) 引き抜きせん断に対する照査

鉛直材の定着部は、幅がアーチ材と主桁に制約され、載荷面と自由縁が近接することから、棒部材の設計せん断耐力式を用いた。ひび割れに対しては、コンクリートによる設計せん断耐力の70%以下に制限することとした。

c) 照査結果

表-2に、接合部における照査結果を示す。引き抜きせん断に対するひび割れは、鉄筋の応力度の制限を満足する結果となった。

表-2 接合部の照査結果

照査項目		応答値 (N/mm ²)	限界値 (N/mm ²)	照査 結果
支圧応力 (支圧板)	安全性 (破壊)	10.7	46.2	0.28
	応力度の制限	9.4	24.0	0.39
支圧応力 (側面)	安全性 (破壊)	20.7	46.2	0.54
	応力度の制限	19.9	24.0	0.83
引き抜き せん断	安全性 (破壊)	1091.7 (kN)	2089.0 (kN)	0.63
	せん断 ひび割れ※	96.1	100	0.96

※鉄筋の応力度の制限

4. FEM解析

(1) 解析モデル

FEM解析は、アーチ材中央部および端部の接合部について行った。解析モデルは、対象部位を2次元でモデル化した。アーチ材と補剛桁は、鉛直材間隔の中央までをモデル化し、端部節点は全て完全固定とした。鉛直材埋め込み部の境界面にはジョイント要素を設けてせん断によるズレや開口を考慮した。ジョイント要素は、せん断剛性を0とし、接触剛性は隙間が閉じているときは $10\text{kN/mm}^2/\text{mm}$ 、開いているときは0とした。図-4に、アーチ中央部の解析モデルを示す。

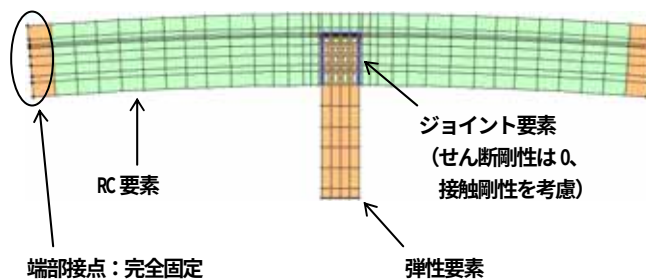


図-4 アーチ中央部の解析モデル

(2) 解析結果

図-5,6にアーチ材中央部の解析結果を示す。アーチ材中央部については、まずアーチ材下側の鋼管を貫通している軸方向鉄筋が降伏し、次に支圧板付近のコンクリートの圧縮ひずみが増大して、最後に支圧板付近を支点としたひび割れによって破壊にいたる結果となった。設計荷重作用時には、アーチ材に曲げによる局所的なひび割れが発生するが、破壊の原因となるひび割れの発生は無く、設計上の最大軸引張力に対して十分な安全性を有しているものと考えられる。

アーチ材端部については、破壊にいたる過程は中央部と同じであるが、損傷がアーチ材の引張側に卓越する結果となった。設計荷重作用時には、中央部同様破壊の原因となるひび割れの発生は無く、十分な安全性を有しているものと考えられる。

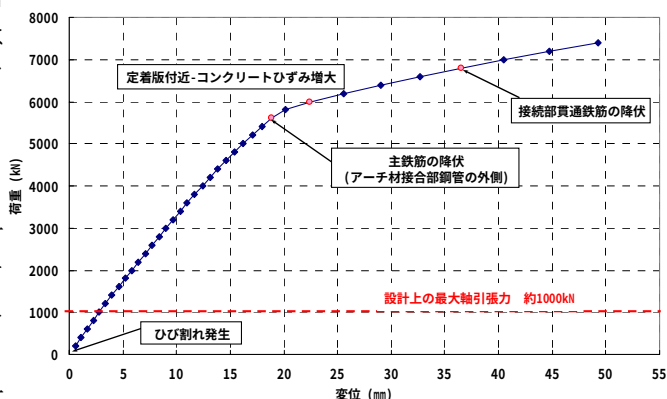


図-5 アーチ材中央部の解析結果（荷重変位）

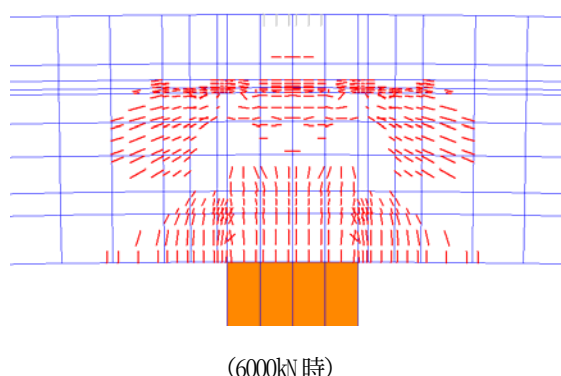


図-6 アーチ材中央部の解析結果（ひび割れ図）

5. 載荷実験

(1) 実験概要

接合部の破壊形態の把握や設計荷重作用時の損傷レベルを確認し、さらにFEM解析結果の妥当性を検証する目的で載荷実験を行った。実験は4ケース行い、case1～3はアーチ材中央部について、軸力をパラメータとして行った。Case4はアーチ材端部について行った。表-3に実験ケースを示す。図-7に実験の対象部位を、図-8に載荷装置の概要を示す。

表-3 実験ケース

Case	軸力比	部位
No.1	0.0	アーチ材中央部
No.2	0.19 (設計軸力相当)	アーチ材中央部
No.3	0.30	アーチ材中央部
No.4	0.0	アーチ材端部

(2) No.1～3の実験結果

図-9～12にひび割れ状況を示す。No.1～3ともに下側に複数のひび割れが発生している。最も軸力の高いNo.3では鋼管の背面側コンクリートの損傷が激しい。いずれの試験体も、斜めひび割れの進展が大きく、最終的にせん断破壊に至っているものと考えられる。

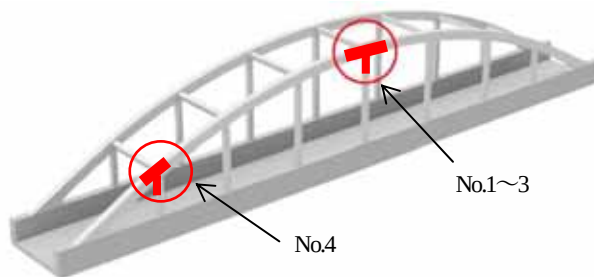


図-7 実験の対象部位

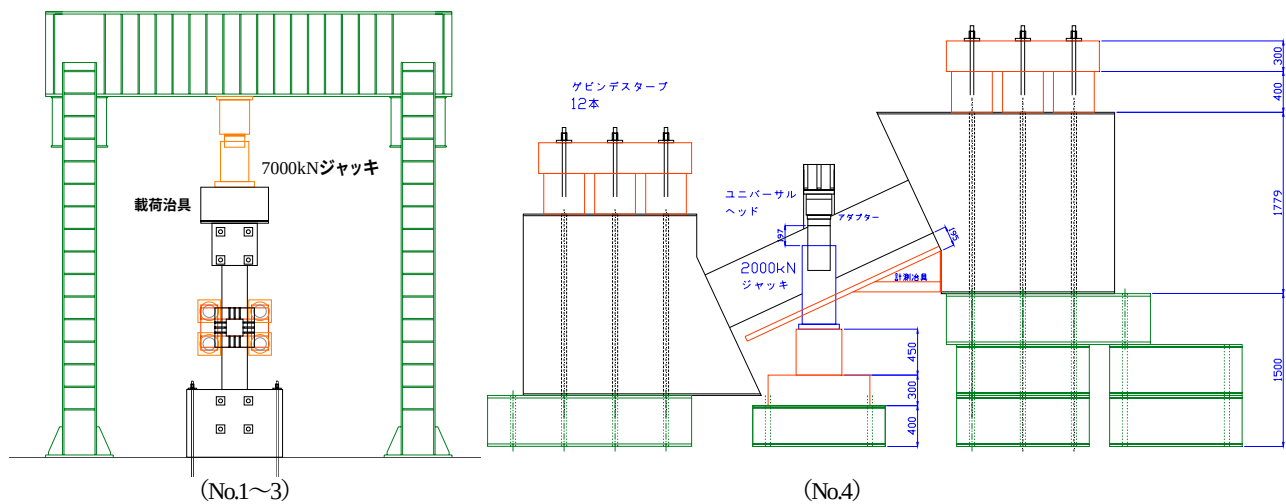
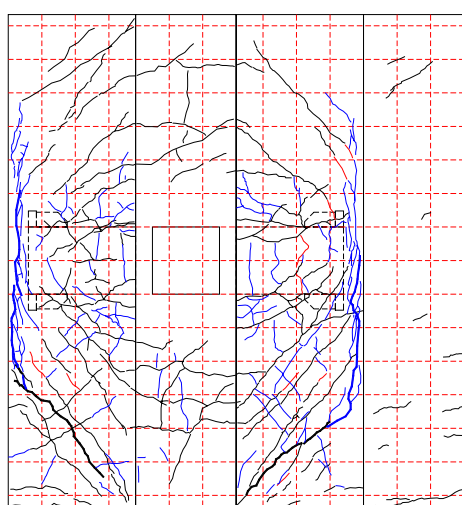


図-8 荷装置



左側面 正面（鋼管） 右側面 背面



左側面



正面（鋼管）

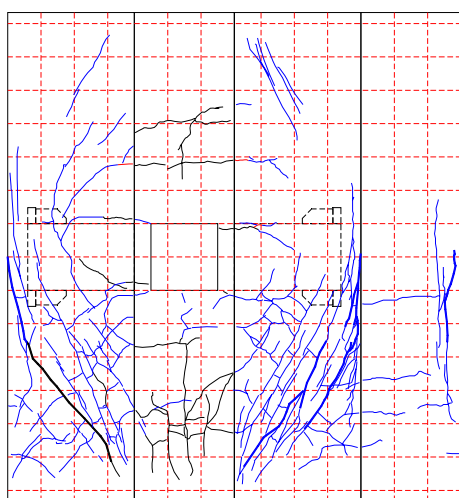


右側面



背面

図-9 ひび割れ状況 (No.1)



左側面 正面（鋼管） 右側面 背面



左側面



正面（鋼管）

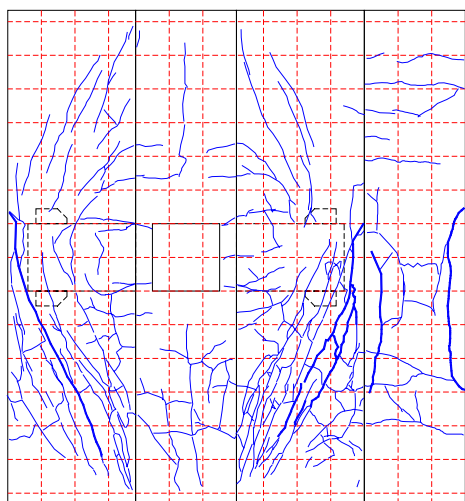


右側面



背面

図-10 ひび割れ状況 (No.2)

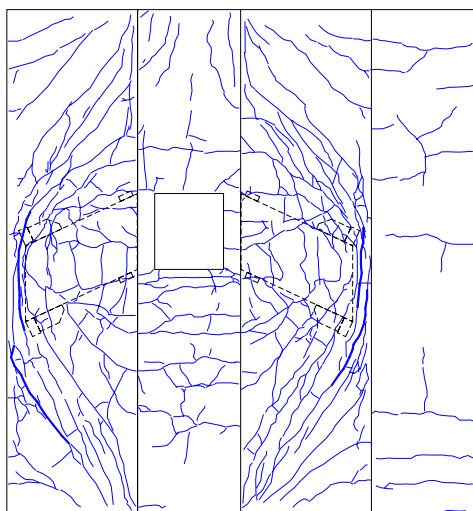


左側面 正面 (鋼管) 右側面 背面

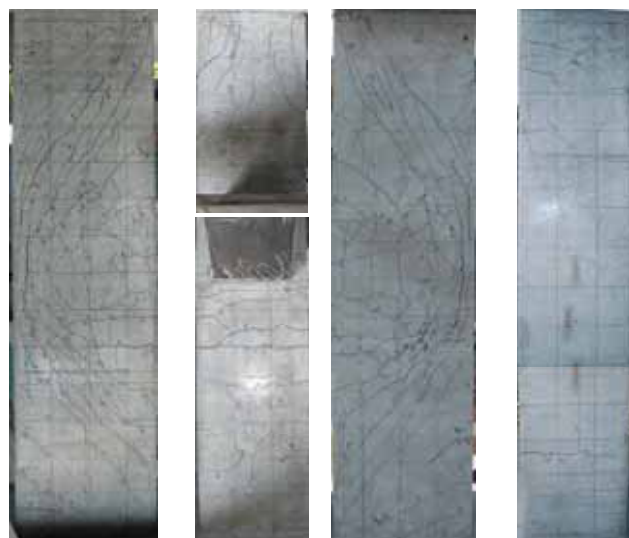


左側面 正面 (鋼管) 右側面 背面

図-11 ひび割れ状況 (No.3)



左側面 正面 (鋼管) 右側面 背面



左側面 正面 (鋼管) 右側面 背面

図-12 ひび割れ状況 (No.4)

図-13に、No.1～3の荷重変位曲線を示す。軸力が大きいほど最大荷重が大きい結果となった。鉄筋のひずみは、軸方向鉄筋については鋼管との接合部分のみが降伏ひずみに達しているが、その他の箇所は降伏ひずみに至っていない。せん断補強鉄筋については、複数の鉄筋が降伏ひずみに達しており、降伏ひずみに達した鉄筋の位置は斜めひび割れの発生位置に沿って分布している。軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した箇所は、鋼管の抜け出しによる影響を最も受ける部分に限定されていることと、複数のせん断補強鉄筋が降伏ひずみに達したことから、せん断破壊先行型の破壊形態を示したものと想定される。

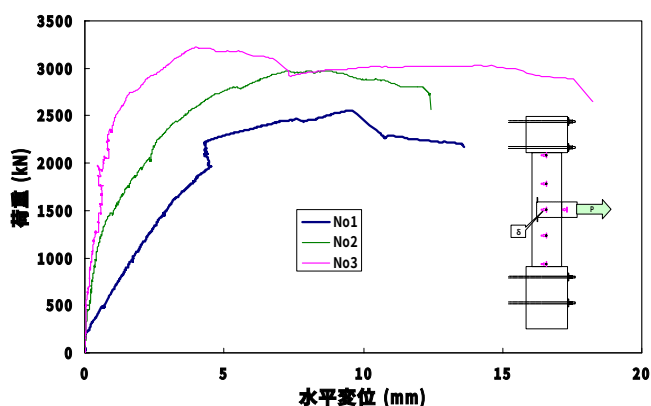


図-13 荷重変位曲線

(3) No.4の実験結果

図-12 より、鋼管付近に RC 部材 (アーチ材) の部材軸に直交する方向のひび割れが発生し、その後 RC 部材

の端部付近に部材軸に直交する曲げひび割れと推定されるひび割れが生じた。さらに、载荷を継続すると斜めひび割れが発生した。最終的には、斜めひび割れ先端で圧

縮力による損傷が発生した。鉄筋ひずみの分布状況および破壊状況からは、斜めひび割れが発生したことは確認できるが、最終的な破壊形状については単純なせん断破壊とは判定できなかった。しかしながら、RC 部材の破壊荷重は、設計で考慮したせん断耐力以上であることが確認された。

6. まとめ

アーチ材（RC 構造）と鉛直材（鋼構造）の接合部の設計について、FEM 解析を行って破壊形態や設計荷重作用時の損傷レベルについて検討を行った。さらに载荷実験により解析結果の妥当性について検証した。その結果、载荷実験と解析結果はほぼ一致し、解析モデルの妥当性を確認できた。

FEM 解析の結果、設計荷重作用時では破壊の原因となるひび割れの発生は無く、設計上の最大軸引張力に対して十分な安全性を有しているものと考えられる。

载荷実験では、鉛直材である鋼管の引き抜き荷重で斜めひび割れが発生して破壊にいたるように、実橋より小さいせん断スパンで载荷を行っている。したがって、実際の構造物では、最終的な破壊形態として斜めひび割れによる破壊は発生しないものと考えられる。

以上より、アーチ材と鉛直材の接合部は、十分な安全性が確保されているものと考えられる。

謝辞：本検討にあたり、北海道大学大学院の上田多門教授、杉山隆文教授、佐藤靖彦准教授および(財)鉄道総合技術研究所コンクリート構造の谷村幸裕室長、田所敏弥副主任研究員、鋼・複合構造の杉本一朗室長、池田学主任研究員にご指導を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 川村力ほか：鋼管ソイルセメント杭工法の周面支持力の評価，第 61 回年次学術講演会，2006.9

STUDY ON THE DESIGN OF JOINTS IN COMPOSITE PC LANGER BRIDGE

Chikara KAWAMURA, Tadatomo WATANABE, Shigeru MATSUOKA
and Masayuki EDAMATSU

Railway viaduct is constructed between Shin-Otanoshike and Shin-Fuji of JR Nemuro line. This viaduct has composite PC Langer bridge that has the span of a Japanese maximum level. This composite PC Langer bridge adopts the RC structure in the arch material, the steel structure is adopted in a hanging material, and the PC structure is adopted for the digit. In the design of this bridge, the design of the joint part of an arch material and a hanging material was a problem. Then, the design of the joint part was examined in detail by the model experiment and FEM.