

(7) 鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋の設計・施工 — 北関東自動車道江川橋 —

野村 謙二¹・土橋 徹²・長田 大作³・中嶋 浩之³

¹正会員 中日本高速道路株式会社 建設事業部 技術チーム (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-18-9)
E-mail:kenji.nomura@jhnet.go.jp

²正会員 西日本高速道路株式会社 九州支社 八代管理事務所 (〒869-4616 熊本県八代市川田町西字久木原691)
E-mail:tooru.tsuchihashi@jhnet.go.jp

³正会員 株式会社巴コーポレーション 橋梁部 (〒323-0811 栃木県小山市大塚996)
E-mail:d_osada@tomoe-corporation.co.jp
E-mail:h_nakaji@tomoe-corporation.co.jp

北関東自動車道江川橋は、鋼箱桁とRC橋台を剛結した鋼コンクリート複合ポータルラーメン形式を採用している。本橋における設計上の特徴としては、①鋼桁からの断面力を下部工に伝達する過程で接合部コンクリートへの応力集中といった課題が生じ、境界面にシーリングを施す等により応力集中の緩和が可能であることをFEM解析により検証したこと、②施工手順を工夫することにより接合部背面コンクリートのひびわれ幅を0.2mm以下に制御したこと、が挙げられる。また、施工上の特徴としては、接合部及び鋼箱桁内へのコンクリート充填を確実にするために高流動コンクリートの実物大の充填性試験を実施した上で採用したことが挙げられる。本稿では、これらの特徴について紹介する。

Key Words : hybrid structure, portal rigid frame bridge, crack control, FEM

1. はじめに

北関東自動車道江川橋は、図-1に示すように上り線の橋長65.5m、下り線の橋長61.5mの上下線が分離した鋼箱桁とRC橋台を剛結した鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋である。本橋梁形式の特徴は、維持管理段階で補修頻度の高い伸縮装置や支承といった付属物を省略で

き、維持管理コストの低減が可能となること、騒音・振動・走行性・耐震性能の向上を図ることができること、従来構造に比べて桁高を絞ることが可能であり、計画路面高を低くしてコスト縮減を図れるなど、多くのメリットを有する構造形式である。本橋の交差物件としては、一級河川江川と江川を渡る一般道路があり、架設時におけるベント設置位置に制約があることから、架設工法は

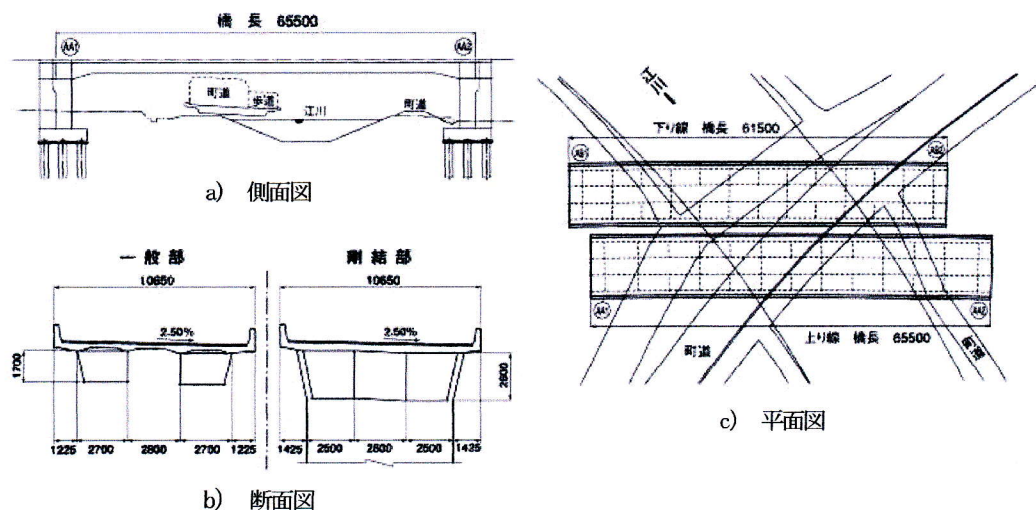


図-1 江川橋の全体一般図

トラッククレーンによる剛結部を利用した張出し架設を採用している。

本橋の設計上の特徴は、①鋼桁からの断面力を下部工へ伝達する過程を考える中で、鋼部材とコンクリートの接合部への応力集中といった課題¹⁾の克服策についてFEM解析により検証を行ったこと、②施工手順の工夫により接合部背面コンクリートのひびわれ幅を0.2mm以下に制御したこと、である。一方、施工上の特徴は、鋼部材とコンクリート部材の接合部および鋼箱桁内へコンクリートを確実に充填するために実験的検討を行い、実施工に適用したことである。

本稿では、鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋の設計上および施工上の特徴について紹介する。

2. 設計上の特徴

(1) 接合部の応力集中の克服策とその効果の検証

a) 概要

江川橋の剛結部は、RC橋台に主桁端部を埋め込み、主桁間を横梁で連結する構造としている。曲げモーメントおよび軸力に対して鋼桁隅角部内に定着された鉄筋の付着力とコンクリートの圧縮力で抵抗するとして設計している。せん断力に対しては、鋼桁下面のスタッドジベルで抵抗する。鉄筋の定着長は、鉄筋の降伏応力に相当する軸力に対して、コンクリートの付着力で抵抗できる長さとした²⁾。江川橋の剛結部の断面を図-2に示す。

接合部前面は、コンクリートの前方縁端部に応力が集中し、局部的にコンクリートが圧壊することが懸念される。また、ウェブ部分とフランジ部分で剛度が著しく異なることから、ウェブ部分への応力集中が懸念される。鋼部材とコンクリートの接合部への応力集中の対策として、図-3に示すように、①剛結部手前の鋼桁本体側へ800mmの部分にコンクリートを充填し、応力伝達の均等化を図ること、②接合部前面にシーリングを施すことで欠け落ち防止と応力緩和を図ることを計画した。

以上の2つの応力集中対策を講じることが、十分な応力緩和措置となっているか否かを確認するために3次元FEM解析を行った。

b) 3次元FEM解析

本解析では、橋軸方向のラーメン面内の断面力が卓越するので、面外方向の断面力は無視し、解析モデルは幅員中央で対称な1/4モデルとした。モデル化の範囲は、橋軸方向においては剛結部に隣接する横梁までとし、橋台はフーチング天端を固定支持とした。図-4に解析モデルを示す。解析に用いた要素は、鋼桁にはシェル要素、コンクリートにはソリッド要素、鉄筋にはビーム要素を

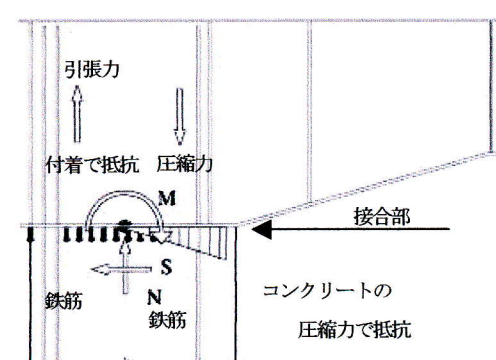


図-2 剛結部の断面

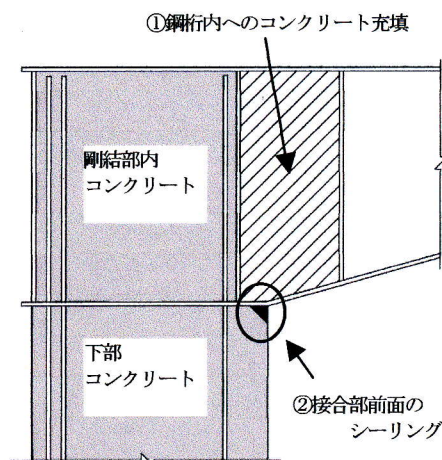


図-3 応力集中対策

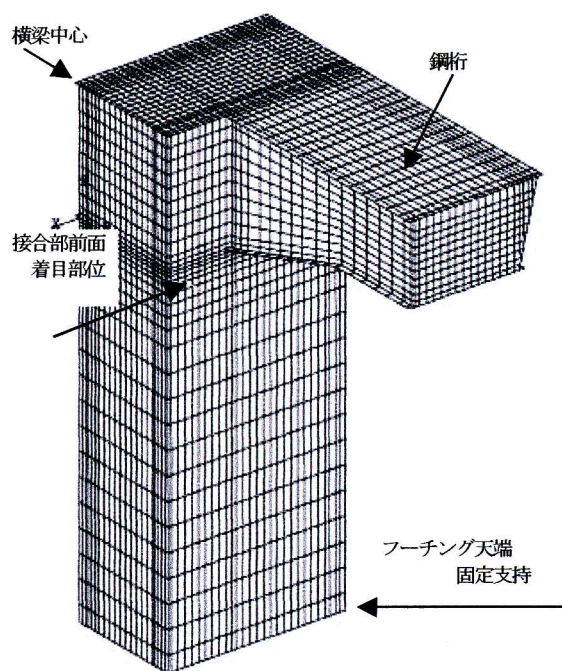


図-4 解析モデル

用いた。スタッドジベルはモデル化に考慮していないが、本解析では、鋼桁とコンクリートの接触、乖離状態および付着を表現するために、鋼桁とコンクリートとの境界面にそれぞれ別々に節点を設け二重節点とし、節点間の相対変位の拘束・非拘束により力の伝達・非伝達を考慮することとした。

c) 解析結果

図-5に対策を施した場合と無対策の場合の接合部コンクリートに発生する圧縮応力分布の比較を示す。横軸に横梁中心からの橋軸直角方向距離を、縦軸に接合面のコンクリート圧縮応力（最前面要素の節点応力）を示す。対策モデルと無体策モデルともに、主桁ウェブ近傍に応力が集中する傾向を示しているが、無対策モデルでは節点応力の最大値は 40.7N/mm^2 であるのに対し、対策モデルでは 27.4N/mm^2 と、33%の応力低減となった。応力集中対策を検討した結果、応力の緩和効果が図れるものと判断した。

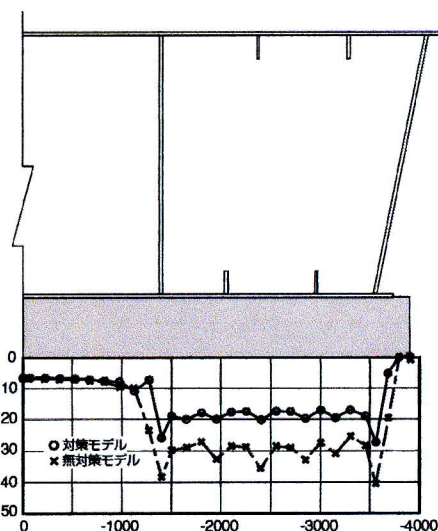


図-5 接合部コンクリートの圧縮応力分布

この時のひびわれ幅を計算した結果、 0.73mm となった。そこで、接合部背面のひびわれ幅を 0.2mm 以下に制御するため、鉄筋応力の低減を図る方法を検討した。具体的な対策を以下に示す。

- ① 鉄筋ピッチを密に配筋（ $300\text{mm} \rightarrow 150\text{mm}$ ）
- ② 接合部背面に作用する曲げモーメントの低減

b) 作用曲げモーメント低減の工夫とその効果

接合部背面に作用する曲げモーメントを低減するための施工順序を図-6に示す。曲げモーメントを低減させる施工手順は、①接合面より上側については、鋼桁内のみにコンクリートを打設する。②鋼桁架設後、床版を剛結部の中心位置まで打設、壁高欄を端部より 5m 程度離して打設する。③鋼桁背面の接合部背面コンクリートを打設し、残りの床版・壁高欄を打設する。以上の手順で施工することにより、接合部背面が受ける曲げモーメントは、主な作用荷重を舗装および活荷重の影響のみとすることができる。表-1に通常施工の場合と対

(2) 施工手順の工夫によるひびわれ幅の制御

a) 概要

図-2からも分かるように、接合部背面では曲げによる引張力が発生するため、背面に大きなひびわれが発生する可能性がある。そこで、ひびわれ幅を補修の有無の目安となる 0.2mm 以下に制御するための検討を行った。実構造物では接合部背面に鉄筋が配置されることから、この鉄筋を考慮した多段配筋のRC断面に対して、コンクリート標準示方書・構造性能照査編³⁾に示されるひびわれ幅の算定式 (1) を用いて行った。

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \left\{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \right\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad (1)$$

通常の施工では、剛結部ブロックの接合部背面を含む側面コンクリートおよび鋼桁内に充填するコンクリートを一体で打設し、その後、支間部の鋼桁を架設し、床版および壁高欄をそれぞれ継ぎ目なく端部まで施工する。

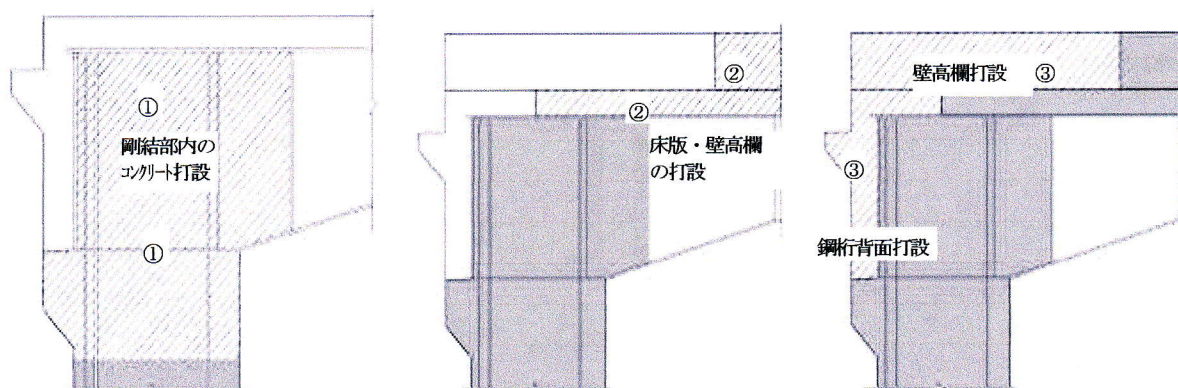


図-6 曲げモーメントを低減させる施工順序

表-1 曲げモーメントとひび割れ幅の比較

	曲げモーメント (kN・m)	ひび割れ幅 (mm)
計画時	67715	0.73
対策後	21603	0.18
低減率(%)	68	75

策施工の場合の曲げモーメントおよびひび割れ幅の比較を示す。曲げモーメントは通常施工時の約30%に低減され、ひび割れ幅を0.18mmに制御することが可能となった。

3. 施工上の特徴

(1) 剛結部のコンクリート充填性に関する実験的検討

剛結部のコンクリート施工に先立ち、普通コンクリートと高流動コンクリートの充填性の比較および高流動コンクリートの流動性・材料分離抵抗性について実験的検討を行った。

a) 充填性確認試験

図-7 に充填性確認の試験体を示す。試験はスタッドジベルが密に配置されている鋼桁下フランジ面でのコンクリートとの密着性に重点をおいて行った。密着性は気泡率で評価し、気泡率とはコンクリート表面に占める気泡径 10mm 以上の面積比として算出したものである。試験体の一边は 1000mm のアクリル板を用いた矩形断面とし、上面にスタッドジベルを想定した鉄筋を型枠に固定した。普通コンクリートのスランプは 8cm、高流動コンクリートのスランプフローは 68cm とし、それぞれ充填性試験を行った。

上面の型枠を撤去した後のコンクリート表面状況を写真-1 に示す。普通コンクリートと高流動コンクリートの表面状況より、明らかに高流動コンクリートの空隙率が低いことが分かった。普通コンクリートはパイプレータを用いるため、多くの気泡が発生したものである。普通コンクリートの気泡率が 20%程度であるのに対し、高流動コンクリートの気泡率は、約 6%と良好な結果が得られたことから、実施工に高流動コンクリートを用いることとした。

b) コンクリートの流動性・骨材の材料分離確認試験

実施工では、マスコンクリートとなることから水和熱を抑制することも重要となる。そこで、本橋の剛結部に用いるコンクリートは、石灰微粉末を添加して水和熱を抑制させるとともに、コンクリートの粘性を高めることとし試験練を行い、表-2に示す配合とした。

表-2 高流動コンクリートの配合表

材料名	水セメント比 w/c	配合率 S/h	単位量 (kg/m³)					単位量 (kg/m³)		
			水	セメント	細骨材	粗骨材	減粘剤	膨潤剤	増粘剤	石灰微粉末
21	44.5	48.8	77.0	223	798	819	7.75	21	0.2	15

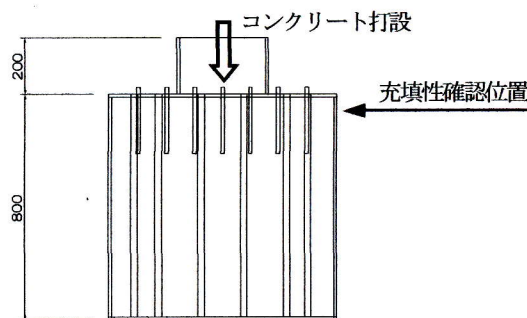
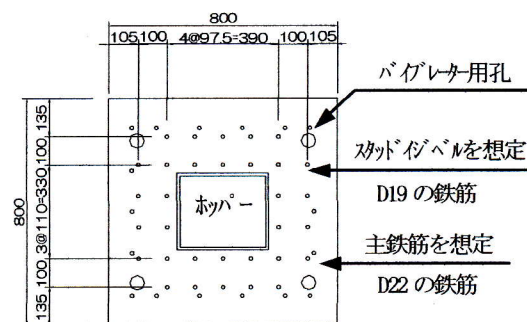


図-7 コンクリートの充填性確認のための試験体



写真-1 コンクリートの表面状況

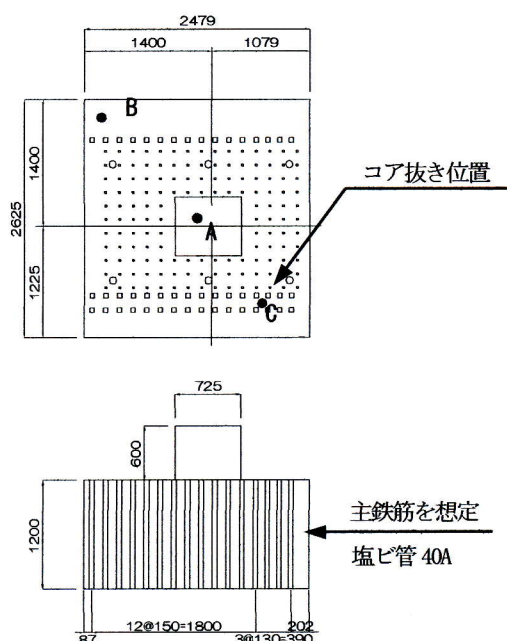


図-8 実物大の充填性確認試験体

高流動コンクリートの流動性及び骨材の材料分離抵抗性の状況を実際に近いコンクリートボリュームで打設し確認することとした。試験体の大きさは、実際にホッパーより打設を行うため、平面寸法は図-8に示すように、ホッパーからの流動距離が実施工と同程度となる2600×2500とし、高さは1200mmとした。

高流動コンクリートの流動性は、試験体上面の目視用窓より確認し、骨材の材料分離抵抗性については、試験完了後にコアを抜き、表面の骨材を目視にて確認した。図-8にコア抜き位置を●印で示し、その個所はコンクリートを打設した位置 (A) , 打設位置より約2000mm離れた位置 (B) およびD51鉄筋裏側の位置 (C) の3ヶ所とした。写真-2に示すコア表面の状況より、骨材が偏ることなく分布しており、材料分離についても問題ないことを確認した。

(2) 剛結部の実施工

橋台コンクリートは鋼桁下面より下約4mの位置までを後打ち部として計画した。剛結ブロックの架設は、後打ち部の鉄筋 D51 を圧接し、図-9に示すように、仮受架台と橋台前面にベントを設置して行った。その後、帯鉄筋を組み立て剛結部接合面より1200mm下まで普通コンクリートを打設し、再度、桁の据え付け高さ・支間長を調整し、剛結部コンクリートの施工に備えた。

本工事では、1橋台あたり90m³の高流動コンクリートの打設となるため、ポンプ車を2台配置し、3箇所のホッパーの内2箇所づつからコンクリート打設を行った。

打設に際しては、一度の打設高さを30cm程度とし、コンクリートの打設量および打ち継ぎ時間を管理し、コンクリートの表面の平坦性を目視確認しながら打設を行った。写真-3は、接合部下フランジ下面の打設を一時的に止め、コンクリート表面の平坦性を確認している状況である。コンクリート表面の平坦性確認後、打設を再度開始する。桁内面の打設前にホッパー内にコンクリートを溜め込み、コンクリートの自重により自己充填させて打設した。写真-4に示すように、D51貫通孔からのコンクリートのオーバーフローを十分に確認しながら、桁内面のコンクリートの打設を続けていく。その際にホッパーが3ヶ所あるため、2台のポンプ車のホースを抜き差し換えながら、3ヶ所のホッパーから均等に打設した。また、写真-5に示すように、下フランジ下面と同様に鋼桁上フランジ下側のコンクリートを打ち上げていき、フレッシュコンクリートの表面の平坦性を確保しながら打設した。ホッパーに詰め込んだコンクリートが落ち着いた状態を確認した後、ホッパー内のコンクリートを撤去し、表面を金コテ仕上げして施工完了とした。

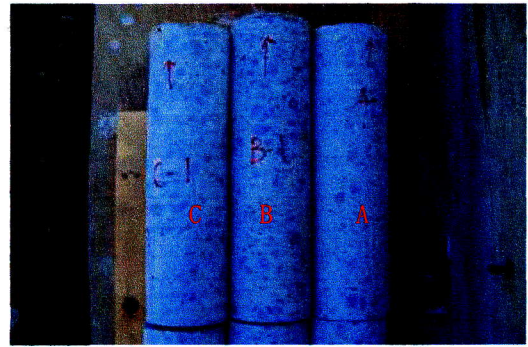


写真-2 骨材の分離状況

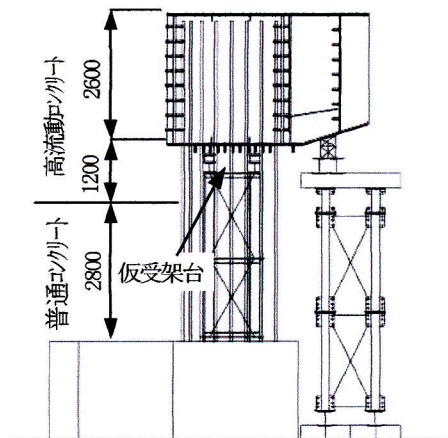


図-9 剛結部の架設



写真-3 接合部下フランジ下面の状況



写真-4 鋼桁下面ホッパー内の充填状況

4. おわりに

本稿で紹介した江川橋は、鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋としては橋長65m程度の長スパンを有している。比較的長スパンの橋梁でも複合構造とすることで、伸縮装置や支承を省略したポータルラーメン形式を実現することができた。橋梁の維持管理面での弱点となる伸縮装置や支承を省略することは、維持管理コストを低減し、車両の走行性を向上させ、伸縮装置部の衝撃音を低減させるのに有効と考えられる。以上の観点から、鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋への期待は大きいものと考えられる。本工事で実施した設計・施工上の検討事項について、今後計画される鋼コンクリート複合橋梁の一助となれば幸いである。



写真-5 剛結部内鋼桁上フランジ下面の状況

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集，1998.7
- 2) (財) 高速道路技術センター：鋼2主桁ラーメン橋の剛結部に関する技術検討，2001.3
- 3) 土木学会：2002年制定，コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕

Design and Execution of a Steel - Concrete Hybrid Structure Portal Rigid Frame Bridge - The Egawa Bridge on the Kita-Kanto Expressway -

Kenji NOMURA, Tooru TSUCHIHASHI, Daisaku OSADA and Hiroyuki NAKAJIMA

The Egawa Bridge on the Kita-Kanto Expressway has a steel-concrete hybrid portal rigid frame structure connecting steel box girders to RC abutments. Unique design features of this bridge with steel-concrete hybrid structures were (1) Confirming the countermeasures for concentration of compressive stress in the contact line between steel box girders and RC abutment using FEM analysis, (2) Controlling the crack width in the contact line between steel box girders and RC abutment by execution procedure planned carefully. On the other hand, the execution feature was that compacting tests for high-fluidity concrete were carried out before casting concrete for connecting part between steel box girder and RC abutment. These features of this bridge are introduced in this paper.