

2. 剛構造WG

複合ラーメン橋剛結部に関する設計・施工問題等の対応事例集

剛構造WGメンバー

WGリーダー	中村 之信	開発虎ノ門コンサルタント (株)
部会員	林 暢彦	宮地エンジニアリング (株)
〃	辰巳 裕崇	川田テクノシステム (株)
〃	山野 修	片山ストラテック (株)
旧部会員	荒木 智	宮地エンジニアリング (株)
〃	尾崎 大輔	宮地エンジニアリング (株)
〃	端本 勝介	片山ストラテック (株)
〃	三好 一高	川田テクノシステム (株)
〃	福島 道人	JFE エンジニアリング (株)

剛構造WG 目次

§ 1. 事例集の概要	2- 1
§ 2. 事例集一覧表	2- 2
§ 3. 事例紹介	2- 3
附属資料：日本橋梁建設協会 鋼橋のQ & Aより複合ラーメン橋に関する事項抜粋	2-20

複合ラーメン橋剛結部に関する設計施工問題等の対応事例集

§1. 事例集の概要

複合ラーメン橋は、鋼上部構造とRC下部構造(RC橋脚もしくは橋台)を剛結した複合構造の橋梁であり、支承の省略によるメンテナンスの軽減、橋梁全体構造系での耐震性向上、主桁たわみの抑制や騒音・振動の低減が図れる等の特徴を有している。

最近では、高速道路等の少数鉸桁橋においてある程度、標準的な構造が提案されており、その適用例を増やしてきている。しかし、剛結部の設計・施工・維持修繕方法等について必ずしも十分に確立されているとは言えず、計画橋梁毎に解析や実験による各種検証が行われているのが現状である。

そこで、複合ラーメン橋剛結部について、実際に現場で生じた設計・施工上の問題点及びその対応事例等を収集・整理し、実務者のための参考資料となるように対応事例集としてとりまとめを行った。

次頁に対応事例集として作成した課題・問題点の事例一覧表を示す。

また、参考として日本橋梁建設協会のホームページに掲載されている「鋼橋のQ&A」の中から、複合ラーメン橋に関する質問のリストを付属資料として添付する。

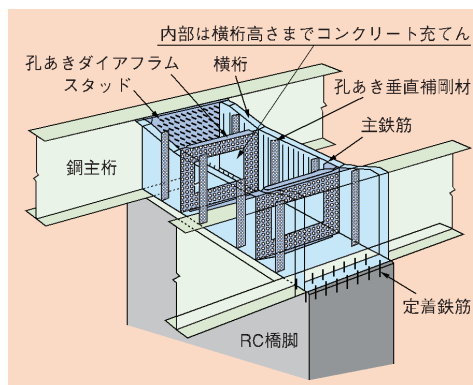


図 2-1-1 複合ラーメン橋の剛結部概念図

§2. 事例一覧表

No	分類	項目（問題点/質疑）
1	設計	主桁間隔＞橋脚幅となる場合の剛結部では、どのような構造が考えられるか。
2	設計	複合ラーメン橋の剛結部に使用するずれ止めとしては、頭付きスタッドと孔あき鋼板ジベルとを用いた事例があるが、用途等による使い分けがあるのか。
3	設計	鉄筋定着方式による剛結構造は、下フランジに橋脚の軸方向鉄筋が貫通する等、製作・架設が煩雑になることが多いため、施工の省力化を図る方法はないか。
4	設計	橋台と上部工の剛結構造(ポータルラーメン橋, インテグラルアバット橋)について、参考となる技術基準等があるか。 また、橋台と鋼上部工の剛結構造には、どのような接続形式の種類があるか。
5	設計/施工	場所打ち PC 床版を用いた複合ラーメン橋では、中間支点上付近において剛結部の拘束による床版横締め PC 鋼材のプレストレスロスが問題となるが、対応事例を教えてください。
6	設計/施工	剛結部にコンクリートを打設する際、側圧の影響を受ける鋼殻(ダイヤフラム等)が変形する可能性はないか。
7	設計/施工	複合ラーメン橋の剛結部内に橋脚の帯鉄筋及び中間帯鉄筋を配置する必要があるか。 また、スカートプレート設置区間に橋脚の帯鉄筋を配置する必要があるか。
8	設計/施工	耐候性鋼材を用いた複合ラーメン橋では、剛結部付近の滞水・錆汁等によって橋脚コンクリート面等を汚してしまい、景観を損ねることが考えられるが、どのような対応事例があるか。
9	設計	剛結部下端スカートプレート(外殻鋼板)の設定根拠を教えてください。
10	設計/ 維持管理	橋脚の軸方向鉄筋の定着長により剛結部のコンクリート設置高(横桁腹板高)を決定する場合、床版下面と剛結部コンクリート天端の隙間が狭くなってしまい、剛結部の上部工検査路の連続性が確保できないことがある。剛結部における上部工検査路の移動経路確保について、どのような対応事例があるか。また、下部工検査路を設置する必要があるか。
11	施工	剛結部が密閉構造となる場合には、コンクリートの打込みや締固め作業が困難となり、充填状況を確認することが難しいので、対応事例等を教えてください。
12	施工	高流動コンクリートを使用した剛結部コンクリートは、普通コンクリートと比較してセメント量が多い富配合なコンクリートとなる。また、剛結部はマスコンクリートであり、水和反応による発熱量が大きく、温度応力ひび割れの発生が懸念されるため、対応事例等を教えてください。
13	施工	鉄筋定着方式による剛結構造では、橋脚の立ち上がり鉄筋との取合いに高い精度が要求されることから、テンプレートを用いることがある。このテンプレートは、現場において撤去作業に手間がかかるため、改善策はないか。
14	施工	施工済み橋脚の剛結部における軸方向鉄筋の立ち上がりを実測したところ、施工誤差により設計図と異なる位置に配筋されていることが判明した。鉄筋位置のズレによって、軸方向鉄筋と剛結部下面の孔あきダイヤフラムが干渉し、剛結部ブロックの据付けができない場合における対応策を教えてください。
15	維持管理	複合ラーメン橋の維持管理について、点検・損傷調査で注意して診るべきポイントは？

次頁より、上記一覧表の項目に対応した対応事例を個別に紹介する。

S 3. 事例紹介

■事例 No. 1	■分類	・設計	・施工	・維持管理
------------------	------------	-----	-----	-------

■問題点／質疑

主桁間隔 > 橋脚幅となる場合の剛結部では、どのような構造が考えられるか。

■解決策／提案

- ・主桁間隔 ≤ 橋脚幅の場合では、下図に示す横桁形式の剛結構造が一般的である。

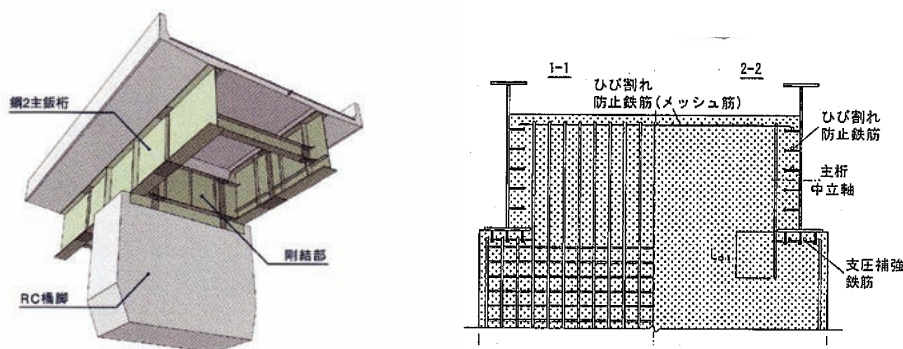


図 2-3-1 横桁形式による剛結構造の例

- ・主桁間隔 > 橋脚幅の場合では、下図に示す横梁形式の剛結構造の対応事例がある。

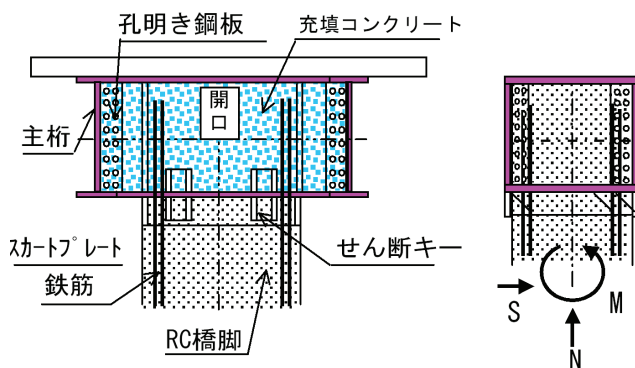


図 2-3-2 横梁形式による剛結構造の例

複合ラーメン橋剛結部の設定にあたっては、各剛結構造形式におけるメリット・デメリットを考慮し、施工性、経済性など総合的に判断した上で、最も合理的な構造を検討する必要がある。

次頁に各種剛結構造の形式比較事例を示すので参考にされたい。

また、剛結部の下端にスカートプレートを設置することで、型枠の省略等の作業効率の向上、架設時の施工誤差吸収等による工程短縮が期待できる。

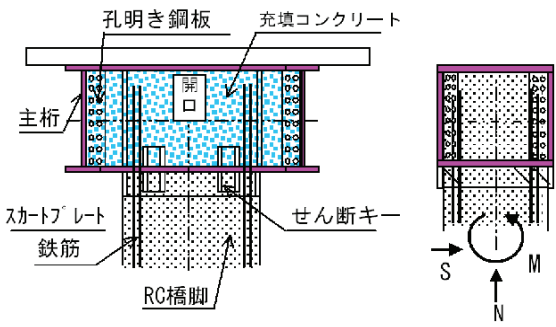
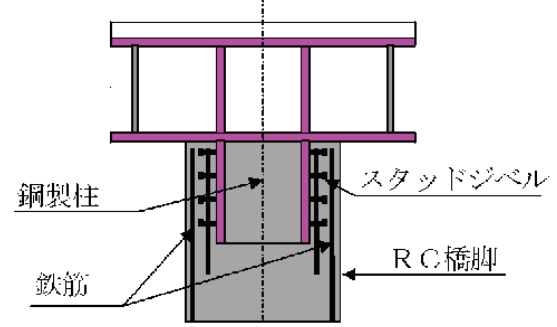
■参考文献

- 1) 設計要領第二集 橋梁建設編 平成 23 年 7 月 東・中・西日本高速道路(株)
- 2) 鋼コンクリート複合構造研究会報告書 複合ラーメン橋の剛結部の実例に基づいた設計資料 平成 21 年 7 月 鋼橋技術研究会

図 2-3-3 各種剛構造の形式比較事例

参考資料: 剛結部の構造形式比較事例(その1)

形式	2主鉄桁(横桁)形式	2主鉄桁(横桁)形式												
構造概要図														
力の伝達機構	<p>伝達機構 鉄桁→横桁→ずれ止め→CON→鉄筋→橋脚</p> <table border="1" data-bbox="279 857 794 1193"> <tr> <td data-bbox="279 857 391 969">M 曲げ</td> <td data-bbox="391 857 794 969">引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は横桁に配置したずれ止めから剛結CON, 橋脚CONへ伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="279 969 391 1081">N 軸力</td> <td data-bbox="391 969 794 1081">主桁ウェブに配置されたスタッド, 横桁から剛結CON, 橋脚CONへ伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="279 1081 391 1193">S せん断力</td> <td data-bbox="391 1081 794 1193">主桁ウェブ, 下フランジに配置されたスタッドから剛結CON, 橋脚CONへ伝達</td> </tr> </table>	M 曲げ	引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は横桁に配置したずれ止めから剛結CON, 橋脚CONへ伝達	N 軸力	主桁ウェブに配置されたスタッド, 横桁から剛結CON, 橋脚CONへ伝達	S せん断力	主桁ウェブ, 下フランジに配置されたスタッドから剛結CON, 橋脚CONへ伝達	<p>伝達機構 鉄桁→横桁→ずれ止め→CON→鉄筋→橋脚</p> <table border="1" data-bbox="869 857 1385 1193"> <tr> <td data-bbox="869 857 981 969">M 曲げ</td> <td data-bbox="981 857 1385 969">引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジおよび主桁・横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 969 981 1081">N 軸力</td> <td data-bbox="981 969 1385 1081">主桁下フランジ, 主桁および横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 1081 981 1193">S せん断力</td> <td data-bbox="981 1081 1385 1193">主桁・横桁などのずれ止めから橋脚CONへ伝達</td> </tr> </table>	M 曲げ	引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジおよび主桁・横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達	N 軸力	主桁下フランジ, 主桁および横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達	S せん断力	主桁・横桁などのずれ止めから橋脚CONへ伝達
M 曲げ	引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は横桁に配置したずれ止めから剛結CON, 橋脚CONへ伝達													
N 軸力	主桁ウェブに配置されたスタッド, 横桁から剛結CON, 橋脚CONへ伝達													
S せん断力	主桁ウェブ, 下フランジに配置されたスタッドから剛結CON, 橋脚CONへ伝達													
M 曲げ	引張力は横桁に配置したずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジおよび主桁・横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達													
N 軸力	主桁下フランジ, 主桁および横桁のずれ止めから橋脚CONへ伝達													
S せん断力	主桁・横桁などのずれ止めから橋脚CONへ伝達													
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 下フランジ上面にスタッドを配置し, 主桁軸方向の力を伝達する。 橋脚柱幅が主桁間隔より小さい場合に適用可能である。 主桁ウェブ付きのスタッドは荷重伝達に寄与する。 コンクリートの充填性が良く, 施工性に優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 2主鉄桁剛結構造の標準的な構造形式である。 コンクリートの充填性が良く, 施工性に優れる。 橋脚柱幅が主桁間隔より大きい場合に適用可能である。 												
採用時の検討事項	<ul style="list-style-type: none"> 実績が少ない。 柱上端部付近(鋼板とコンクリートの境界部)のコンクリート剥落対策が必要である。(繊維ネット設置等) 橋脚柱からの立ち上がり鉄筋は, 定着長確保の方法について検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの実績がある。 橋脚幅が主桁間隔より小さい場合は, 橋脚縁端拡幅を行う必要がある。 柱上端部付近(鋼板とコンクリートの境界部)のコンクリート剥落対策が必要である。(繊維ネット設置等) 橋脚柱からの立ち上がり鉄筋は, 定着長確保の方法について検討が必要である。 												

形式	横梁(箱断面)鉄筋定着方式	横梁(箱断面)鋼製柱埋め方式												
構造概要図														
力の伝達機構	<p>伝達機構 鈹桁→横梁→ずれ止め→CON→鉄筋→橋脚</p> <table border="1" data-bbox="279 806 798 1142"> <tr> <td data-bbox="279 806 391 918">M 曲げ</td> <td data-bbox="391 806 798 918">引張力は横梁から横梁内充填CONに定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジから橋脚CONに支圧応力として伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="279 918 391 1030">N 軸力</td> <td data-bbox="391 918 798 1030">横梁下フランジからそのまま橋脚CONへ圧縮応力として伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="279 1030 391 1142">S せん断力</td> <td data-bbox="391 1030 798 1142">下フランジ下面に設置されたずれ止めまたはせん断キラーから橋脚CONにせん断応力として伝達</td> </tr> </table>	M 曲げ	引張力は横梁から横梁内充填CONに定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジから橋脚CONに支圧応力として伝達	N 軸力	横梁下フランジからそのまま橋脚CONへ圧縮応力として伝達	S せん断力	下フランジ下面に設置されたずれ止めまたはせん断キラーから橋脚CONにせん断応力として伝達	<p>伝達機構 鈹桁→横梁→ずれ止め→CON→鉄筋→橋脚</p> <table border="1" data-bbox="869 806 1388 1142"> <tr> <td data-bbox="869 806 981 918">M 曲げ</td> <td data-bbox="981 806 1388 918">引張力は鋼製柱部のずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は鋼製柱部のスタッドジベルから橋脚CONへせん断応力として伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 918 981 1030">N 軸力</td> <td data-bbox="981 918 1388 1030">鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達</td> </tr> <tr> <td data-bbox="869 1030 981 1142">S せん断力</td> <td data-bbox="981 1030 1388 1142">鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達</td> </tr> </table>	M 曲げ	引張力は鋼製柱部のずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は鋼製柱部のスタッドジベルから橋脚CONへせん断応力として伝達	N 軸力	鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達	S せん断力	鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達
M 曲げ	引張力は横梁から横梁内充填CONに定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は主桁下フランジから橋脚CONに支圧応力として伝達													
N 軸力	横梁下フランジからそのまま橋脚CONへ圧縮応力として伝達													
S せん断力	下フランジ下面に設置されたずれ止めまたはせん断キラーから橋脚CONにせん断応力として伝達													
M 曲げ	引張力は鋼製柱部のずれ止めから剛結CONへ定着された主鉄筋へ伝達 圧縮力は鋼製柱部のスタッドジベルから橋脚CONへせん断応力として伝達													
N 軸力	鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達													
S せん断力	鋼製柱部のずれ止めから橋脚CONへせん断応力として伝達													
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 横梁を用いた場合の標準的な構造形式である。 橋脚柱からの立上り鉄筋が横梁の下フランジを貫通するため、施工性では鈹桁形式に劣る。 横梁内中詰めコンクリートの充填性改善のため、高流動コンクリートを使用する場合が多い。 中詰めコンクリート施工時の型枠を省略できるため、工程の短縮が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 下部工へ鋼製柱を埋め込むため、立上り鉄筋との取合い確認がなく、施工性に優れる。 設計上、必要なスタッド本数が多くなり、スタッド間隔が密になる可能性が高い。 												
採用時の検討事項	<ul style="list-style-type: none"> 多くの実績がある。 柱上端部付近(鋼板とコンクリートの境界部)のコンクリート剥落対策が必要である。(繊維ネット設置等) 橋脚柱からの立上り鉄筋の施工誤差を考慮し、鉄筋施工時にテンプレートを使用する等の対策が必要となる。 橋脚柱からの立ち上がり鉄筋は、定着長確保の方法について検討が必要である。 輸送条件によるブロック長の検討が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの実績がある。 鋼製柱の定着長を確保するため、上・下部工の施工境界位置について検討する必要がある。 上部工・下部工の並列施工となり、工程調整を綿密に行う必要がある。 輸送条件によるブロック長の検討が必要である。 												

■事例 No. 2	■分類	・設計	・施工	・維持管理
-----------	-----	-----	-----	-------

■問題点／質疑

複合ラーメン橋の剛結部に使用するずれ止めとしては、頭付きスタッドと孔あき鋼板ジベルとを用いた事例があるが、用途等による使い分けがあるのか。

■解決策／提案

頭付きスタッドと孔あき鋼板ジベルの選択にあたっては、荷重の大きさ・方向性、ずれ止めの配置可能スペース等を考慮し、当該橋梁において合理的となる構造を選定する必要がある。

例えば、剛結部内に配置されるダイヤフラムや垂直補剛材を孔あき鋼板ジベルと兼用することで、頭付きスタッドを用いた場合よりも省スペース化や製作の省力化が図れることがある。

以下に参考として、「平成 12 年度 鋼 2 主桁ラーメン橋の剛結部に関する技術検討 報告書 平成 13 年 3 月 (財)高速道路技術センター」に掲載されている頭付きスタッドと孔あき鋼板ジベルの対比表(一部加筆)を示す。

表 2-3-1 頭付きスタッドと孔あき鋼板ジベルの対比

	頭付きスタッド	孔あき鋼板ジベル
破壊機構	スタッドの引張破断, またはスタッド周辺コンクリートの圧壊のいずれかで, 破壊に至る。	孔内コンクリートのせん断破壊 (せん断破壊で強度が決定されるように, 鋼板厚, 横方向鉄筋量を制限)
ずれ剛性	柔なジベル (約 200kN/mm)	剛なジベル (約 2000kN/mm)
ダクティリティ	スタッドの破断により決定され, 約 15mm 程度の変形能は期待できる (○)	孔内コンクリートのせん断破壊面がコンクリートと接している限り (摩擦力) 高いダクティリティを有する (○)
疲労強度	ビード形状が均一でないため, 応力集中発生箇所となりやすく, 疲労強度はやや劣る (△)	連続したすみ肉溶接部の疲労強度に依存するため, 比較的疲労強度は高い (○)
工場製作性	特に問題なし。ただし, 下向き溶接が必須条件 (○)	補剛材と同様な製作方法であり, 特に問題なし。ただし, NC 加工の場合, 最大板厚は 22mm 程度 (○)
現場施工性	すべてのスタッドの間に主鉄筋が配置される場合, 施工性に劣る。剛結部内帯鉄筋の配置は困難 (△)	主鉄筋間に配置する孔あき鋼板は数カ所のみであることから, スタッドに比べてルーズとなる (○)

なお、剛度の異なるタイプのずれ止めを一部材に配置した場合、鋼-コンクリート間の伝達力や最大耐力の予測が困難となる。したがって、異種のずれ止めを混在される場合には、設計上十分な注意が必要である。(異種のずれ止めを配置する場合には、一般に各々の許容せん断力の足し合わせは行わない。)

また、本報告書の「3. ずれ止めWG 各種ずれ止めの比較および複数配置した孔あき鋼板ジベルのせん断力分担特性に関する解析検討」において、各種ずれ止めの形状寸法・配置間隔等に着眼した場合の耐力やせん断力-ずれ変位関係について比較を行っているので参考されたい。

■参考文献

- 1)平成 12 年度 鋼 2 主桁ラーメン橋の剛結部に関する技術検討 報告書 平成 13 年 3 月 (財)高速道路技術センター

■事例 No. 3 ■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

鉄筋定着方式による剛構造は、下フランジに橋脚の軸方向鉄筋が貫通する等、製作・架設が煩雑になることが多いため、施工の省力化を図る方法はないか。

■解決策／提案

鉄筋定着形式以外の剛構造事例としては、鋼上部工より下方に延ばした鋼製柱を RC 橋脚に埋設する鋼製柱形式や PC 鋼材を用いた剛結等の事例がある（下図参照）。剛構造の形式は、構造的、経済性、施工性（工期の制約）等を総合的に判断した上で設定する必要がある。なお、剛構造形式の種類については、「鋼コンクリート複合構造研究会報告書 複合ラーメン橋の剛結部の実例に基づいた設計資料 平成 21 年 7 月 鋼橋技術研究会」に紹介しているので参照されたい。

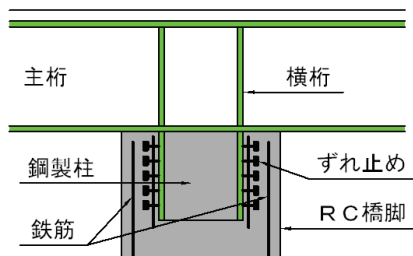


図 2-3-4 鋼製柱形式

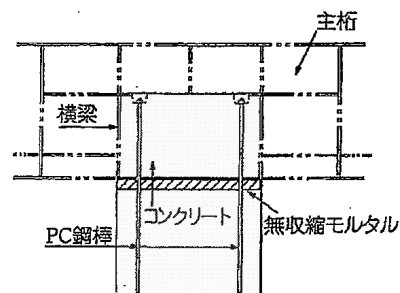


図 2-3-5 PC 鋼材連結形式

また、剛結部の現場における配筋作業を省略し、工期短縮を図る方法として、突起付き H 形鋼 (SC 構造) を用いた剛構造 (RI-Bridge 工法) がある。（下図参照）

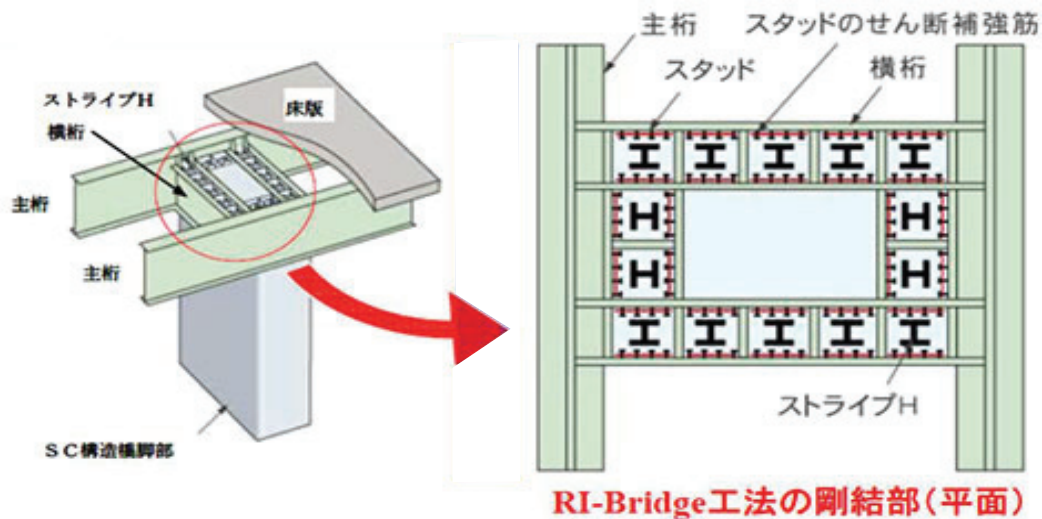


図 2-3-6 RI-Bridge 工法の概念図 (NETIS 登録番号: KT-070001-A)

■参考文献

- 1) 鋼コンクリート複合構造研究会報告書 複合ラーメン橋の剛結部の実例に基づいた設計資料 平成 21 年 7 月 鋼橋技術研究会
- 2) 土木学会論文集 No. 662/V-49: 突起付き H 形鋼とプレキャスト型枠を用いた鉄骨コンクリート複合構造橋脚の構造性能に関する研究 平成 12 年 11 月 原夏生, 河野一徳, 篠田佳男, 横沢和夫, 町田篤彦

■事例 No. 4 ■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

橋台と上部工の剛構造(ポータルラーメン橋, インテグラルアバット橋)について, 参考となる技術基準等があるか。

また, 橋台と鋼上部工の剛構造には, どのような接続形式の種類があるか。

■解決策／提案

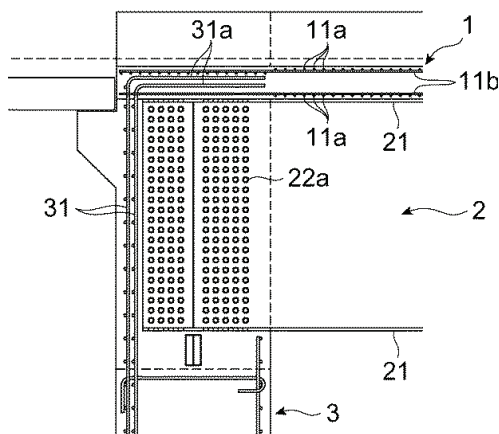
橋台と上部工(鋼橋またはコンクリート橋)の剛構造に関連する技術基準としては, 以下の資料がある。

- ・道路橋示方書・同解説IV下部構造編 H24.3 日本道路協会〈8.8 橋台部ジョイントレス構造〉
- ・インテグラル橋の計画ガイドライン(案)(鋼桁編)H16.3 土木研究センター・新日本製鐵株
- ・ポータルラーメン橋の設計に関する基本事項 H20.1 土木研究所
- ・橋台部ジョイントレス構造の設計法に関する共同研究報告書(その3) H24.3 土木研究所・他
- ・イージーラーメン橋計画・設計マニュアル(案) H21.8 イーゼースラブ協会
- ・設計要領第二集橋梁建設編 H23.7 東・中・西日本高速道路株(8章Ⅲ-1.7ポータルラーメン橋)
- ・北関東自動車道構造物に関する技術検討(その3) PRC 道路橋設計マニュアル(案) H9.3 高速道路技術センター〈第13章 PRC ポータルラーメン橋〉

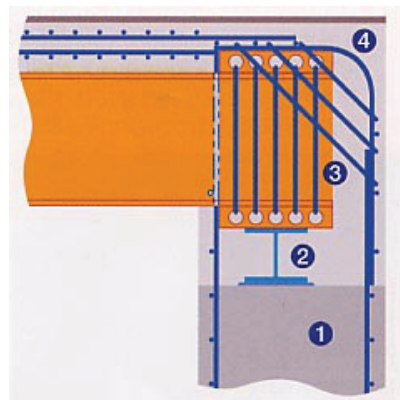
橋台と鋼上部工を剛結した施工事例は, 当初, 鋼殻セルと頭付きスタッドを用いた SRC 方式(観音沢川橋等)が用いられていたが, 近年, 施工性や経済性を配慮した簡易な孔あき鋼板ジベルを用いた方式(西浜陸橋や下谷池橋等)が提案されており, 実績を増やしている。

なお, 孔あき鋼板ジベルを用いた橋台部の簡易な剛構造方式では, 各種の特許(下記参照)について留意する必要がある。

- ①特開 2007-231583 : 鋼製主桁と下部工との接合構造 (株)トニー大地, 西日本高速道路株
- ②特許第 3660826 : 上下部複合部材の剛構造 新日本製鐵株 (複合ラーメン H-BB-C, CT-BB-C)



①の説明図



②の説明図: 複合ラーメン H-BB-C
(H-BB-C カタログより)

図 2-3-7 橋台と上部工の剛構造

■参考文献

■問題点／質疑

場所打ち PC 床版を用いた複合ラーメン橋では、中間支点上付近において剛結部の拘束による床版横締め PC 鋼材のプレストレスロスが問題となるが、対応事例を教えてください。

■解決策／提案

既往の論文等において、鋼 2 主桁橋における複合ラーメン橋剛結部の床版プレストレスロス量は、導入量の 1～3 割程度であることが報告されている。しかし、プレストレスロスの算定方法は確立されておらず、FEM 解析や実橋ひずみ計測を実施して個別に評価しているのが現状である。

床版を拘束する原因となる剛結部コンクリート天端（橋脚天端）と床版の間に離隔を確保したことにより、プレストレスロス量が低減された事例の報告¹⁾もされていることから、あらかじめ設計段階においてプレストレスロスを考慮した形状設定を行うべきである。なお、剛結部コンクリート天端位置は、剛結部内のずれ止め配置、橋脚軸方向鉄筋の定着長、床版施工用移動型枠のスペース、検査用通路の確保などを踏まえて設定する必要がある。

床版プレストレスロスを抑制する 1 つの構造例として、樹脂モルタルを使用した「遅延合成構造（ポストリジットシステム：NETIS 登録番号 KT-010149-A）」が挙げられる。

参考として、遅延合成構造の概要²⁾を以下に示す。

「遅延合成構造」とは、施工から必要に応じて設定した一定期間が経過した後に合成作用を発現させる、すなわち『鋼とコンクリートの合成時期を遅延させる構造』である。

この遅延合成構造は、図 2-3-8 のように設定時期に硬化するように配合調整した樹脂モルタルを、鋼材とコンクリートの接合部の一時的な縁切り材として使用することで実現する。図 2-3-9 のように樹脂モルタルが硬化するまでは、縁切りされた鋼材とコンクリートは互いに拘束されずに自由にずれることができ、設定時期に樹脂モルタルが硬化すると完全な合成構造へと変化させることができる。

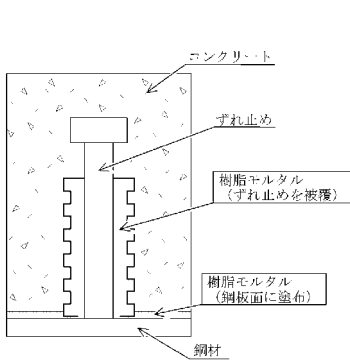


図 2-3-8 遅延合成構造

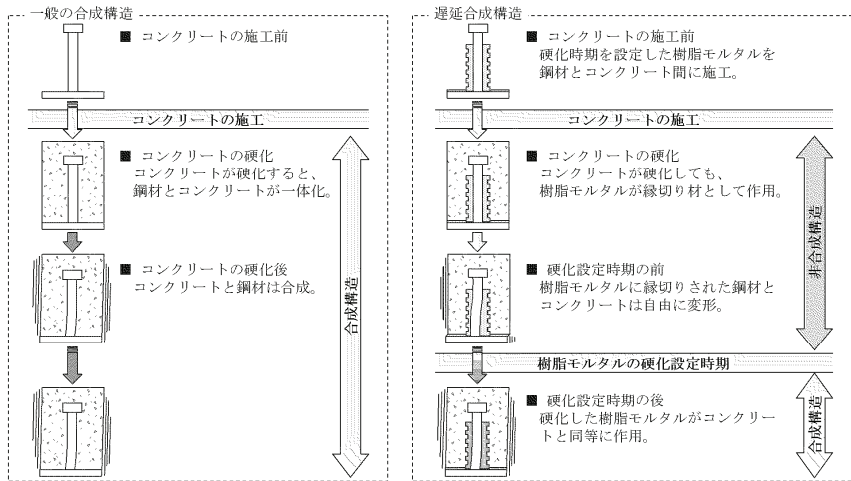


図 2-3-9 時間経過と合成作用の発現時期

■参考文献

- 1) 三井造船技報No. 187 複合ラーメン橋剛結部の床版プレストレス量に関するFEM解析及び実橋ひずみ計測による評価 平成18年2月 松田秀一, 内田大介
- 2) 遅延合成構造の手引き 場所打ち PC 床版編 平成 17 年 5 月 日本橋梁建設協会

■事例 No. 6

■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

剛結部にコンクリートを打設する際、側圧の影響を受ける鋼殻(ダイヤフラム等)が変形する可能性はないか。

■解決策／提案

コンクリート打設の影響を受ける剛結部の部材(ダイヤフラム等)は、鋼製型枠として形状保持ができるようコンクリートの側圧に対する安全性照査を実施するべきである。

また、下図に示す事例では、横梁形式の剛構造において横梁部材に検査孔(開口部)を設けており、コンクリート側圧に対する補強部材を開口部鋼板に設置している。

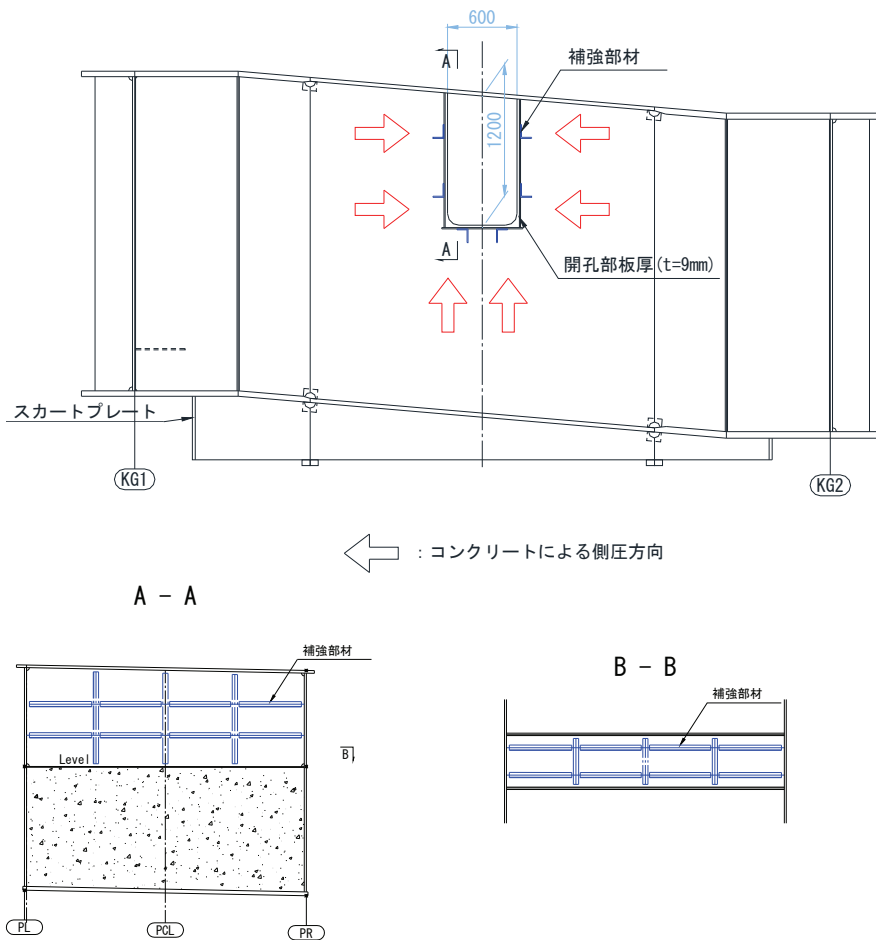


図 2-3-10 横梁開口部の補強事例

なお、剛結部のコンクリートは、充填性を考慮し、高流動コンクリートを使用することが多い。コンクリート打設時における施工計画を十分に検討し、品質の確保に努める必要がある。

■参考文献

- 1) 設計要領第二集 橋梁建設編 平成 23 年 7 月 東・中・西日本高速道路(株)

■問題点／質疑

複合ラーメン橋の剛結部内に橋脚の帯鉄筋及び中間帯鉄筋を配置する必要はあるか。
また、スカートプレート設置区間に橋脚の帯鉄筋を配置する必要はあるか。

■解決策／提案

- ・剛結部内の帯鉄筋の取り扱いについて

高速道路等で採用されている鋼 2 主桁桁の RC 橋脚を主桁・横桁で囲む剛結構造では、基本的に剛結部内の帯鉄筋は不要となる。また、横桁間に設けたダイヤフラムは、中間帯鉄筋の役割を果たしており、終局時においても十分な拘束効果を発揮する。従って、一般には施工性を損なう剛結部内の帯鉄筋及び中間帯鉄筋は配置していない¹⁾²⁾。

ただし、上記以外の事例の少ない構造等については、別途、剛結部構造の安全性を確認した上で、鋼材及び鉄筋の配置等を設定する必要がある。

- ・スカートプレート設置区間の帯鉄筋の取り扱いについて

上記に示したとおり剛結部内の帯鉄筋については不要となるが、剛結部直下のスカートプレート区間については、下端が拘束されておらず、確実な拘束効果が期待できないことが想定されるため、帯鉄筋を配置している事例が多いようである。

帯鉄筋の施工については、スカートプレート内側に配置された頭付きスタッドにあらかじめ帯鉄筋を載せた状態で剛結部のブロックを架設した事例がある。(下図参照)

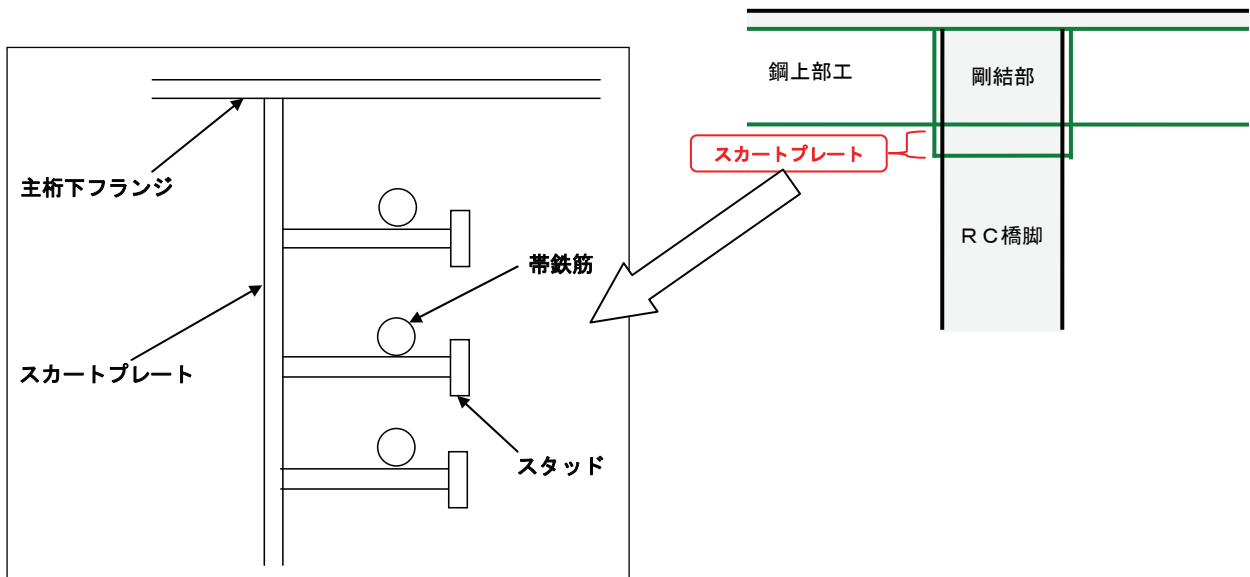


図 2-3-11 スカートプレート設置区間の帯鉄筋配置例

■参考文献

- 1) 設計要領第二集 橋梁建設編 平成 23 年 7 月 東・中・西日本高速道路(株)
- 2) 平成 12 年度 鋼 2 主桁ラーメン橋の剛結部に関する技術検討 報告書 平成 13 年 3 月 (財)高速道路技術センター

■事例 No. 8	■分類	・設計	・施工	・維持管理
-----------	-----	-----	-----	-------

■問題点／質疑

耐候性鋼材を用いた複合ラーメン橋では、剛結部付近の滞水・錆汁等によって橋脚コンクリート面等を汚してしまい、景観を損ねることが考えられるが、どのような対応事例があるか。

■解決策／提案

無塗装橋梁では、施工中(特に床版施工前)に主桁から流れてきた初期錆汁が剛結部で橋脚コンクリートに流出し、橋脚表面を汚してしまうことから、剛結部近傍に水切り板を設置して対応した事例がある。また、剛結部自体の初期錆汁を防止するため、剛結部に錆安定化補助処理剤を塗布して対応した事例もある。(下図参照)

塗装・無塗装に関わらず、施工中(特に床版施工前)は雨に直接当たるため、滞水が予想される箇所には水抜き孔を設ける等の処置も考えられる。

なお、耐候性鋼材を用いた橋梁では、保護性錆の形成が重要であることから、特に水まわりに配慮した構造ディテール等を考えるべきである。

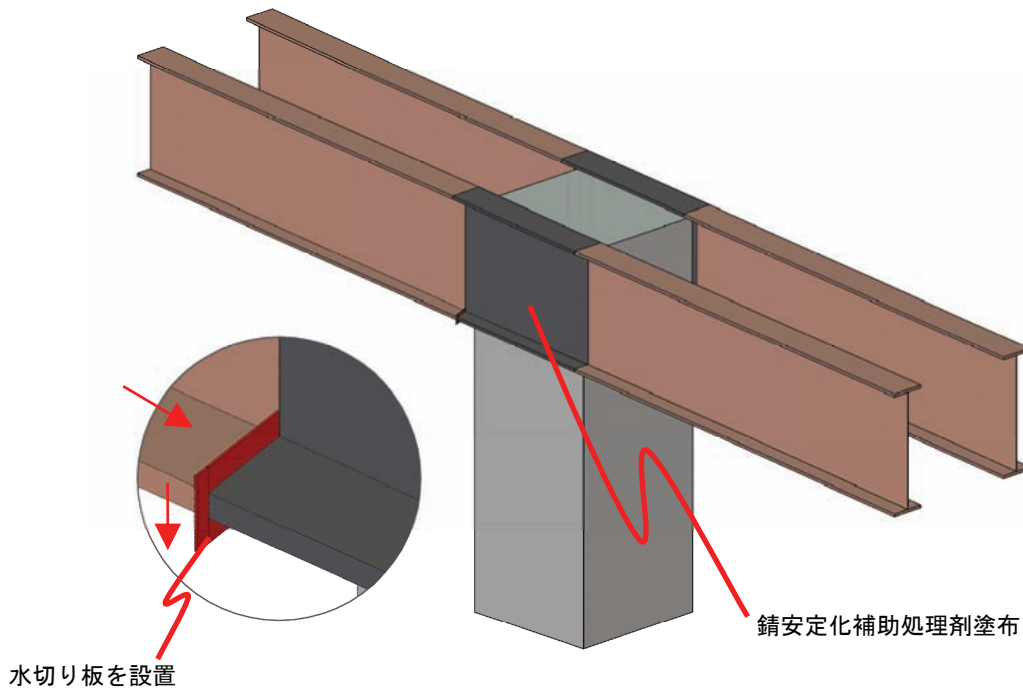


図 2-3-12 耐候性鋼材を使用した場合の流れ錆への対応事例

補足：耐候性鋼材の錆安定化補助処理とは…

「錆安定化補助処理剤を耐候性鋼材に塗布することにより、無塗装時に見られる初期の流れ錆を防止し、保護性錆の形成を促進するものである。」

■参考文献

- 1) 無塗装橋梁の手引き (改訂版) 平成 18 年 8 月 (社)日本橋梁建設協会 ほか

■問題点／質疑

剛結部下端スカートプレート(外殻鋼板)の設定根拠を教えてください。

■解決策／提案

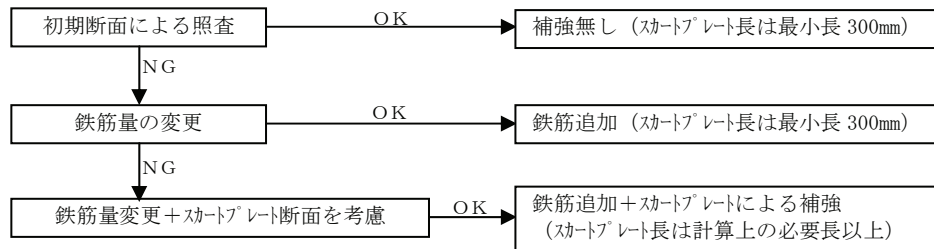
剛結部下フランジ下面にリング状に配置するスカートプレートは、一般に以下の役割を果たすものと考えられる。

- ・下フランジとコンクリートの境界面から水が侵入するのを防ぐ水切りとなる。¹⁾
- ・木製型枠組立て時の当て板の役目をする。¹⁾
- ・接合面に接する柱コンクリート天端は、下フランジからの繰り返し支圧力を受けるので、コンクリートの局所的な欠け落ちを防ぐ。

スカートプレートの設置長さについては、最小長 300~500mm 程度としている事例が多いようである。また、柱上端部付近における曲げ応力度の不足をスカートプレートで補うため、補強の目的で必要長さを設定している算定事例がある。事例を以下に示す。

【スカートプレート必要長の算出事例】

◆柱上端付近の鉄筋コンクリート応力度照査



◆補強範囲の照査方法

柱上端より 100mm 単位で応力度照査を実施し、下表に示す応力度超過範囲についてはスカートプレートで補強を行うものとした。

表 2-3-2 柱上端部付近の応力度照査結果の一例

照査位置	曲げ圧縮応力度(N/mm ²)			曲げ引張応力度(N/mm ²)		
	σ_c	σ_{ca}	判定	σ_s	σ_{sa}	判定
柱上端	10.18	10.00	NG	227.35	180.00	NG
柱上端~100mm位置	9.96	10.00	OK	221.24	180.00	NG
柱上端~200mm位置	9.73	10.00	OK	215.12	180.00	NG
柱上端~300mm位置	9.50	10.00	OK	209.00	180.00	NG
柱上端~400mm位置	9.27	10.00	OK	202.89	180.00	NG
柱上端~500mm位置	9.04	10.00	OK	198.78	180.00	NG
柱上端~600mm位置	8.82	10.00	OK	190.67	180.00	NG
柱上端~700mm位置	8.59	10.00	OK	184.56	180.00	NG
柱上端~800mm位置	8.36	10.00	OK	178.46	180.00	OK
柱上端~900mm位置	8.13	10.00	OK	172.35	180.00	OK
柱上端~1000mm位置	7.90	10.00	OK	166.25	180.00	OK

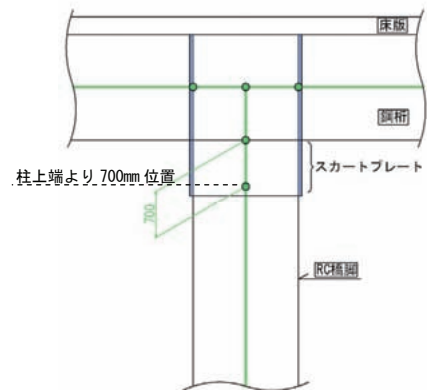


図 2-3-13 スカートプレート設置範囲の一例

■参考文献

- 1) 橋梁と基礎「上信越自動車道北千曲川橋の施工」2006.9 笹井幸男, 桑山豊六, 佐藤正勝

■事例 No. 10

■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

橋脚の軸方向鉄筋の定着長により剛結部のコンクリート設置高(横桁腹板高)を決定する場合、床版下面と剛結部コンクリート天端の隙間が狭くなってしまい、剛結部の上部工検査路の連続性が確保できないことがある。剛結部における上部工検査路の移動経路確保について、どのような対応事例があるか。また、下部工検査路を設置する必要はあるか。

■解決策／提案

コンクリートが充填されている剛結部において、上部工検査路を設置した事例を以下に示す。

下図の事例では、床版と剛結部コンクリートの隙間を安全に通過できるようにするため、剛結部側面に昇降用のステージを設置し、剛結部コンクリート天端に手摺を設置することで対応している。また、橋脚軸方向鉄筋にフックを設けて剛結部の定着長を確保し、横桁腹板高及び中詰めコンクリート打設高を低く抑えることで検査用の空間を確保する構造が考えられる。この場合、解析・実験等の検討を行い、橋脚柱上端が塑性化しても剛結部の健全性が保たれることを確認しなければならない。

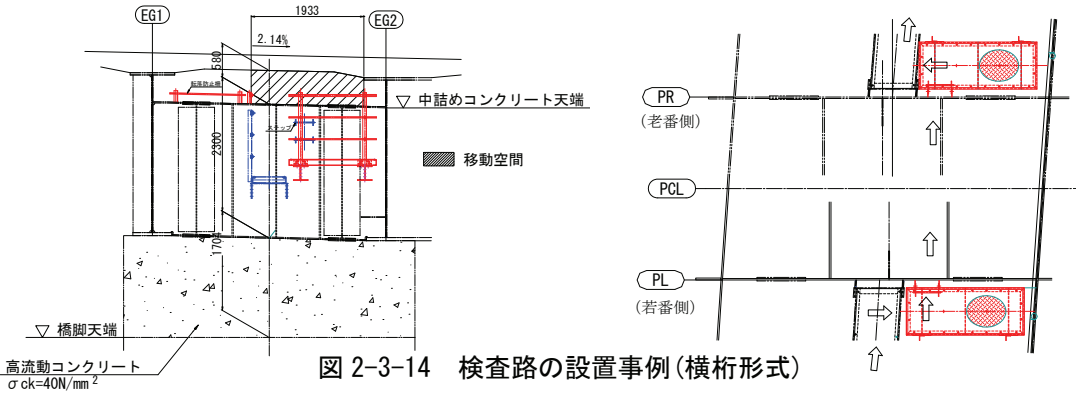


図 2-3-14 検査路の設置事例(横桁形式)

剛結部が横梁形式の場合では、下図に示すとおり剛結部を迂回して上部工検査路を設置した事例がある。また、横梁の中央に検査経路用の開口(検査孔)を設ける等の構造も考えられる。

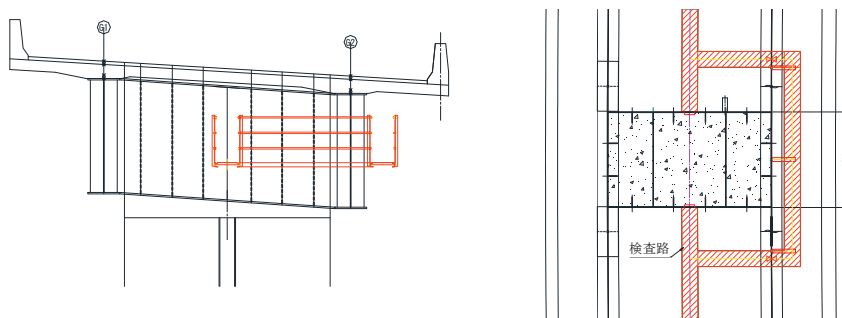


図 2-3-15 検査路の設置事例(横梁形式)

剛結部を有する中間支点上橋脚の下部工検査路については、橋梁の中で損傷の生じやすい支承や伸縮装置が設置されないことから、一般に省略が可能であると考えられるが、当該橋梁の特徴、架橋地点の状況等を踏まえ、設置の有無を判断する必要がある。

■参考文献

- 1) 設計要領第二集 橋梁建設編 平成 23 年 7 月 東・中・西日本高速道路(株)
- 2) 鋼コンクリート複合構造研究会報告書 複合ラーメン橋の剛結部の実例に基づいた設計資料 平成 21 年 7 月 鋼橋技術研究会

■問題点／質疑

剛結部が密閉構造となる場合には、コンクリートの打込みや締固め作業が困難となり、充填状況を確認することが難しいので、対応事例等を教えてほしい。

■解決策／提案

剛結部においてコンクリートの打込み、締固めの作業に制約を受ける場合は、一般に高流動コンクリートの採用、モニタリング孔、空気孔を設けること等で対応している。ここでは、図 2-3-16 に示す鋼箱桁と RC 橋脚との剛結部におけるコンクリートの充填性・施工性の確認を行うため、剛結部の約 1/8 の縮小模型を用いて、施工試験を実施し、施工方法を検討した事例を紹介する。

鋼箱桁下フランジ下面の充填性に着目した「下フランジ側供試体」と、鋼箱桁上フランジ下面の充填性に着目した「上フランジ側供試体」の 2 供試体を作成し、コンクリート打込みの条件に合わせ施工試験を実施した（図 2-3-17）。

コンクリートの充填確認について、下フランジ側供試体では、下フランジ下面にコンクリートが十分充填され、その後に鉄筋貫通孔の隙間からコンクリートが漏れて（フローして）くることを確認した。（図 2-3-18）上フランジ側供試体では、空気抜き孔からコンクリートが漏れてくることで、フランジの縦リブまわりや角部にコンクリートが充填されることを確認した。充填養生期間終了後に供試体からのコンクリートのコア抜きを行い、目視確認および密度測定により、供試体上下部で材料分離が生じないことを確認した。

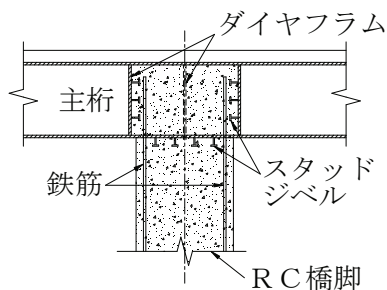
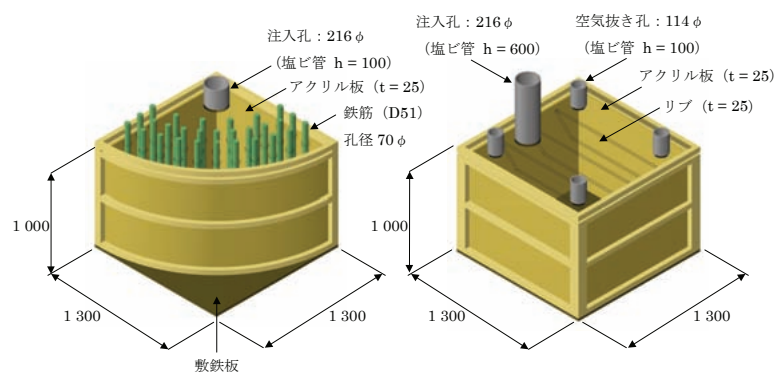


図 2-3-16 剛結部のイメージ



図 2-3-18 下フランジ側供試体のコンクリートフローの状況



下フランジ側供試体：
RC 橋脚と箱桁下フランジ間

上フランジ側供試体：
鋼箱桁の内部

図 2-3-17 充填性に着目した供試体の例

■参考文献

- 1) 宮地技報 No. 19 鋼・コンクリート複合構造部における高流動コンクリートの冬期施工（北千曲川）平成 16 年 3 月 P. 6～P. 14

■事例 No. 12 ■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

高流動コンクリートを使用した剛結部コンクリートは、普通コンクリートと比較してセメント量が多い富配合なコンクリートとなる。また、剛結部はマスコンクリートであり、水和反応による発熱量が大きく、温度応力ひび割れの発生が懸念されるため、対応事例等を教えてほしい。

■解決策／提案

マスコンクリートとして高流動コンクリートを施工する際の適切な施工方法および養生方法を設定するため、本事例では温度応力解析を実施し、ひび割れの発生傾向について検証を行っている。

解析では、①剛結部鋼箱桁（内部コンクリート含む）、②柱頭部RC橋脚、③既設RC橋脚を3次元ソリッド要素にてモデル化(図 2-3-19)した。解析のパラメータ(表 2-3-3)としては、給熱養生温度、給熱養生期間、型枠残置期間、膨張材の有無に着目するものとした。

ここでは、温度応力ひび割れの発生傾向を解析結果により得られたひび割れ指数（引張強度／発生応力度）で把握し、検討結果を実際の施工方法に反映させることでひび割れの発生を制御することができた。

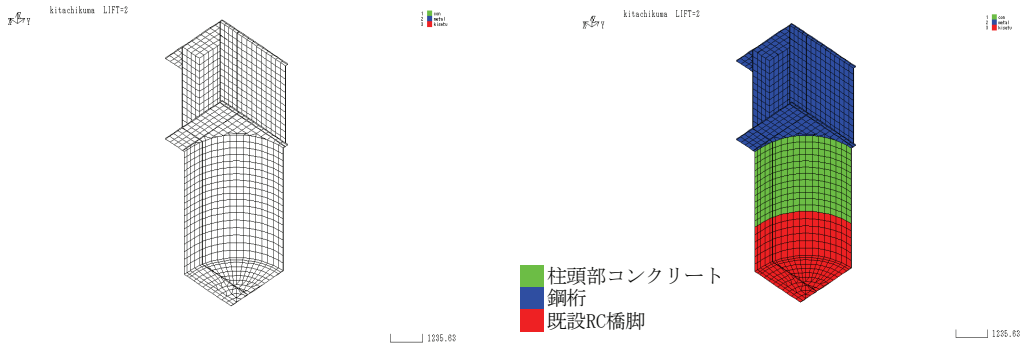


図 2-3-19 解析モデルの例

表 2-3-3 解析ケースのパラメータ

	給熱養生温度			給熱養生期間		型枠存置期間			膨張材	
	5℃	10℃	15℃	3日	7日	7日	14日	21日	なし	あり
Case 1		○		○		○			○	
Case 2		○			○		○		○	
Case 3		○			○			○	○	
Case 4	○				○			○	○	
Case 5			○		○			○	○	
Case 6			○		○			○		○

補足：ひびわれ指数とは…

ひび割れ発生の有無は、ひび割れ発生確率の限界値から定められるひび割れ指数によって照査する。ひび割れの発生確率の限界値は環境条件、構造物の寸法形状、施工方法、コンクリートの配合を考慮して設定するものとしている。ひび割れ指数は、コンクリートに発生する引張応力に対する引張強度の比である。その値が大きいくほどひび割れが発生しにくく、小さいほどひび割れが発生しやすい。

■参考文献

- 1) 宮地技報 No. 19 鋼・コンクリート複合構造部における高流動コンクリートの冬期施工（北千曲川）平成 16 年 3 月 P. 6～P. 14
- 2) コンクリート標準示方書〔設計編〕 平成 19 年 3 月 土木学会

■事例 No. 13

■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

鉄筋定着方式による剛構造では、橋脚の立ち上がり鉄筋との取合いに高い精度が要求されることから、テンプレートをを用いることがある。このテンプレートは、現場において撤去作業に手間がかかるため、改善策はないか。

■解決策／提案

下図に示した事例では、コンクリート打込みの際のテンプレートの撤去作業が煩雑であったため、取り外しを容易にするテンプレートを考えた。テンプレートにボルトで接合する部位を作り、取り外しが容易となるような構造とした。

テンプレートは、鉄筋位置の精度を向上させるために必要となるため、あらかじめ設計段階より見込んでおくことが望まれる。

テンプレートをコンクリート部材内に存置する構造も可能と思われるが、鋼材かぶりなどの課題も残るので十分な検討を要する。

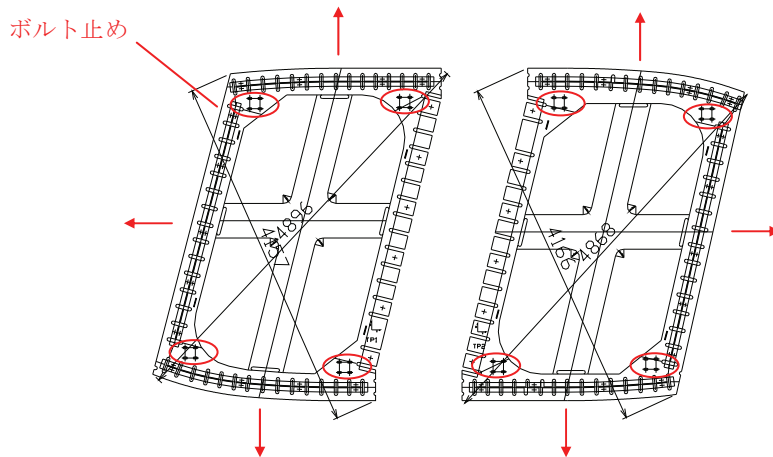


図 2-3-20 テンプレート形状



図 2-3-21 テンプレート設置状況写真

■参考文献

- 1) 鋼コンクリート複合構造研究会報告書 複合ラーメン橋の剛結部の実例に基づいた設計資料
平成 21 年 7 月 鋼橋技術研究会

■事例 No. 14

■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

施工済み橋脚の剛結部における軸方向鉄筋の立ち上がりを実測したところ、施工誤差により設計図と異なる位置に配筋されていることが判明した。これにより、配筋された鉄筋位置と剛結部底面の鉄筋貫通孔が一致しないため、剛結部ブロックの据付けができない場合について対応策を教えてください。

■解決策／提案

下図に示す事例では、実測した鉄筋位置にあわせて剛結部底面の鉄筋貫通孔及び補強リブ(垂直補剛材)位置を変更することで、施工誤差に対応している。その際、柱軸方向鉄筋の倒れ量(型抜き)を考慮し、必要に応じて貫通孔を拡大する等の対策を実施することが考えられる。

なお、柱軸方向鉄筋の施工誤差(倒れ量等)を考慮し、下部工施工時にはテンプレートの使用を標準化する等の対策が望ましい。

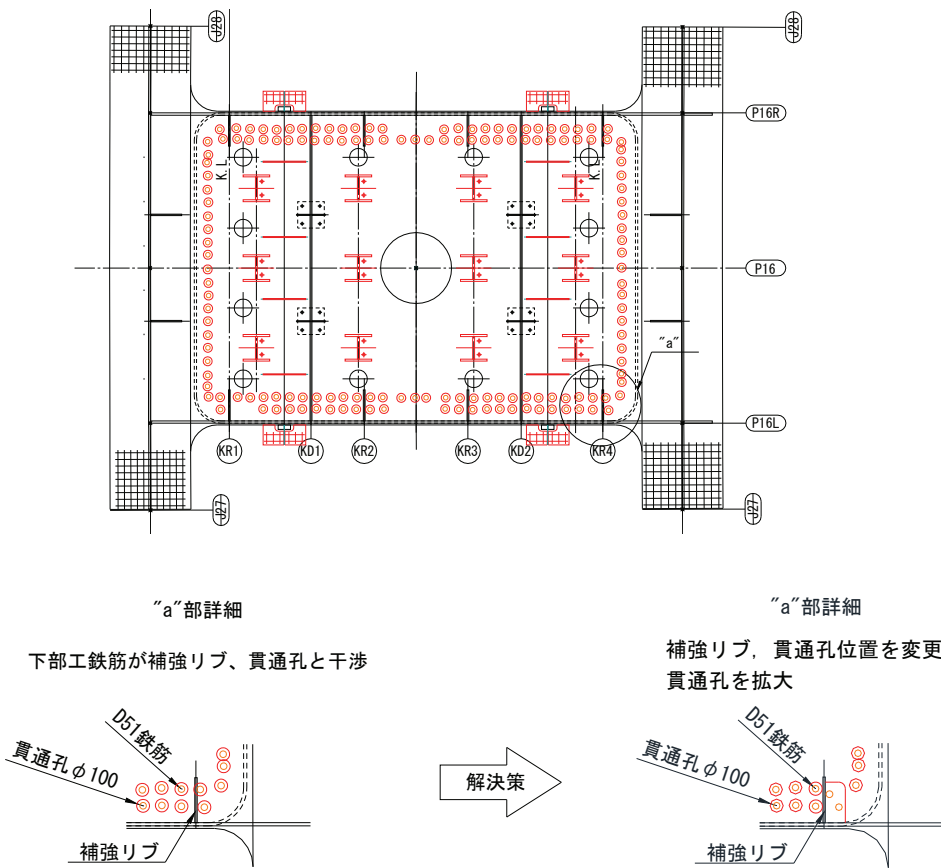


図 2-3-22 剛結部底面における鉄筋貫通孔の改善例

■参考文献

■事例 No. 15

■分類 ・設計 ・施工 ・維持管理

■問題点／質疑

複合ラーメン橋の維持管理について、点検・損傷調査で注意して診るべきポイントは？

■解決策／提案

複合ラーメン橋剛結部の点検調査では、鋼板とコンクリートの境界部の損傷（ひび割れ、剥離、欠落、隙間、挙動等）に留意して損傷状況を確認する必要がある。

目視によるほか、たたき試験にて鋼殻とコンクリートの界面の隙間を確認する。なお、鋼とコンクリートの接合は、各種ずれ止め（頭付きスタッドや孔あき鋼板ジベル）によっているため、多少の肌隙が生じていても問題となるものではないが、鋼板の変形の有無や、境界部の水の浸入の有無を確認すべきである。

また、鋼板とコンクリートの境界部のシール材の劣化にも注意が必要である。

剛結部以外の鋼上部工、コンクリート下部工部材については、従来の構造形式と同様の点に留意して点検調査を行えばよいが、コンクリート下部工の上・下部工施工区分の打ち継ぎ目の状況についても留意しておく必要がある。

なお、複合ラーメン橋は新しい構造形式であるため、損傷形態及び劣化機構等を把握していくためには、今後のモニタリング等が重要である。

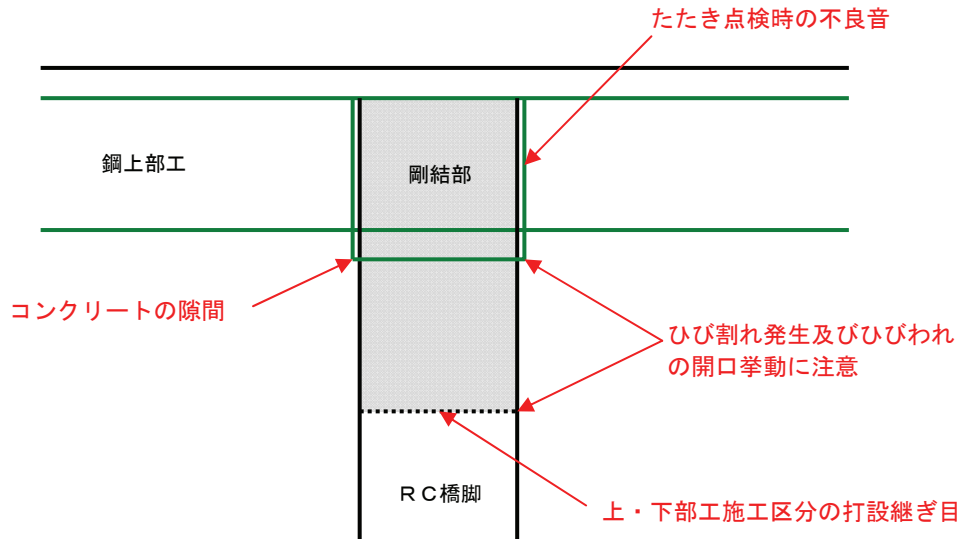


図 2-3-23 複合ラーメン橋剛結部の点検留意事項

■参考文献

- 1) 道路橋マネジメントの手引き 平成 16 年 8 月 (財)海洋架橋・橋梁調査会
- 2) 事例に基づく複合構造の維持管理技術の現状評価 平成 22 年 5 月 土木学会

付属資料：鋼橋のQ & A 2010年04月21日更新 (社)日本橋梁建設協会

「<http://www.jasbc.or.jp/>」より、複合ラーメン橋に関連する事項を抜粋

分類 No	No	大分類	質問	出典
1-60	754	新形式 橋梁編	鋼桁とRC橋脚の剛結構造において、多主桁の剛結構造の実績はありますでしょうか？また、設計・施工において、少数桁の剛結部の構造と比べ異なる点や留意する点がありますでしょうか？	設計小委員会:平成19年6月25日
1-59	753		多主桁の剛結構造の場合、少数桁の剛結構造と比較し、工事費は割高になるのでしょうか？部材数などの増加は考えられるのでしょうか。工事費が何割増しになるか教えていただけませんか？	設計小委員会:平成19年6月25日
1-52	706		複合ラーメン橋を設計する上で、柱基部の塑性化をどのように評価、あるいはどの程度の塑性化を許容して設計しているかについて教えて下さい	設計小委員会:平成18年10月27日
1-12	663		張出し架設工法を適用した鋼・コンクリート複合ラーメンにおいて、以下の点について教えてください。①最小平面曲線半径はどの程度でしょうか②最小縦断勾配は、どの程度でしょうか③ブロック長のMAX・MINはどの程度でしょうか④多主桁形式の適用は可能でしょうか⑤合成桁としての負曲げの処理はどうするのでしょうか⑥橋脚周りの施工ヤードの最小ペースはどの程度ですか(正方形・長方形)⑦運搬機械の大きさはどのくらいでしょうか	ホームページ版 Q&A(設計小委員会):平成18年6月7日
1-11	662		少数主桁のインテグラルアバット橋で桁端部に鋼殻セルが必要か？	ホームページ版 Q&A(設計小委員会):平成17年10月6日
1-10	661		複合ラーメンのスパンは、110mが限界ですか。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(設計小委員会):H18年3月
1-9	660		複合ラーメンの温度応力はどのように考えればよいですか。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(設計小委員会):H18年3月
1-8	659		複合ラーメン橋の施工実績は既に多数ありますが形状管理、精度管理等に着目した設計、施工上の留意点を教えてください。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(架設小委員会):H18年3月
1-7	658		複合ラーメンの閉合作業に問題はありませんでしたか。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(架設小委員会):H18年3月
1-6	657		複合ラーメンでは下部業者が施工したRC橋脚の施工精度への対応に問題はありませんでしたか。(上部工が管理する精度と大きく違うはずです)	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(架設小委員会):H18年3月
1-5	656		コンサルタントの設計段階で、剛結部のアンカーフレーム(架台)の詳細設計は必要ですか。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(架設小委員会):H18年3月
1-4	655		「張出し工法を適用した鋼・コンクリート複合ラーメン橋」のパンフレットにある複合ラーメンの工費を算出したモデルは、どのようなものですか。	建設コンサルタントからの要望・質問と回答(架設小委員会):H18年3月
2-285	749	設計編	細幅箱桁のラーメン化の実績を教えてください。	設計小委員会:平成19年5月21日
2-231	614		複合ラーメン橋の海外での工事事例で、伸縮装置や支承を省いたシンプルな構造が紹介されていましたが、国内で採用する場合の注意点はありますか。	平成17年度 技術講習会:平成18年1月19日
2-143	526		複合ラーメンの剛結部について ①剛結構造を孔明きジベルとした場合、耐震設計上、柱上端部に塑性ヒンジを発生させてもいいですか(下図参照) ②剛結部のコンクリートにクラックが入るのではないのでしょうか(下図参照)	平成17年度 技術講習会:平成18年1月19日
2-142	525		複合ラーメンの概略工費について ①複合ラーメンの柱頭部コンクリート(充填コンクリート)の概略単価または、工費が知りたい。(剛結部の工費、PBL(パフォーボンドリブ:孔明垂直補剛材及び孔明ダイヤフラム構造)の場合) ② TEG工法(トラベリングエレクトロニクス工法)の架設費 t当り単価が知りたい。	平成17年度 技術講習会:平成18年1月19日
2-136	519		複合ラーメン橋剛結部の耐震設計について教えてください。	ホームページ版 Q&A(設計小委員会):平成17年8月6日