

# 少数主桁橋梁の横桁取付部の検討

## Study on Connection of Cross-Beams in Rationalized Plate Girder Bridges

櫻井 信彰<sup>\*(1)</sup>  
Nobuaki SAKURAI

中村 宏一<sup>\*(2)</sup>  
Kouichi NAKAMURA

大嶽 敦郎<sup>\*(3)</sup>  
Atsuo OOTAKE

岡本 有造<sup>\*(3)</sup>  
Yuuzou OKAMOTO

### 抄 録

第二東名・名神高速道路を中心に盛んに建設されている少数主桁橋梁では、PC床版などを用いて床版を長支間化し主桁本数を減らしていることから床版の曲げが卓越する。また、従来の桁橋における対傾構、横構といった横部材を省略していることから横桁取付部に応力が集中する。これらの性状から、横桁取付部のずれ止めの耐久性や垂直補剛材の上端部の応力集中といった問題が注目されている。新日本製鐵では、日本道路公団等から受注した数件の少数主桁橋工事の中で、解析的検討あるいは実橋における計測を実施した。

### Abstract

In Japan, many rationalized plate girders are constructed for the new Toumei/Meishin Expressway Project and for others. They reduce the number of main girders, using prestressed-concrete-slabs. The bending moment of the slabs, accordingly, is increased. And their reduction of diagonals and laterals causes stress concentration on the connection of cross-beams. Nippon Steel pursued analytic studies and experiments on real bridges, in several projects contracted with Japan Highway Public Corp.

### 1. はじめに

少数主桁橋梁(図1参照)は、プレキャストコンクリート床版等の採用により、従来橋梁(図2参照)より床版支間が長くなっており、床版支間方向の曲げモーメントが大きくなる。また、対傾構、横構を省略しているため、常時の荷重分配効果はもとより、風、地震の横荷重に対して床版が主部材となり荷重伝達に寄与している。

したがって、床版と鋼桁の接合部は重要であり、日本道路公団では設計要領の中で、ずれ止めの設計に関して非合成桁においても引抜き力の照査を義務づけている<sup>1)</sup>。しかしながら、各機関で様々な研究成果は報告されているものの、今日に至るもその設計方針について統一的な見解は出ていない。

新日本製鐵では、平成11年の東名阪自動車道/高針高架橋から、現在製作段階に入っている栄高架橋に至るまで、この問題に着目し少数主桁の横桁取付部の設計に関して、種々の解析、実橋計測などの検討を行ってきたので、その成果を報告する。

### 2. 既往の研究

前章で述べたように様々な研究成果はあるが、その中でもこの横桁取付部のスタッド、垂直補剛材に着目し、解析、実験、実橋載荷などを行ったものとして、大垣らの研究<sup>2,3)</sup>、日計平橋<sup>4)</sup>などがあり、それらの検討結果の主な事項を示すと以下の通りである。

- ・中間横桁部の垂直補剛材直上にスタッドが配置される場合、スタッドに大きな軸力、垂直補剛材上端に応力集中が作用し、疲労問題が懸念される。
  - ・中間横桁部の垂直補剛材直上にスタッドが配置されない場合は、スタッドの軸力は緩和されるが、上フランジに大きな板曲げ応力度が発生するとともに、床版が上フランジの変形に追従できない場合、床版と主桁の剥離やクラック発生につながる可能性がある。
- 床版施工法の違い(プレキャスト、場所打ち)、合成、非合成など条件によって数値的な結果に多少の差異はあるものの、そのほかの検討事例を含めても傾向としてはほぼ同様となっている。

### 3. 新日本製鐵の取組み

上述のような状況の中で、新日本製鐵は各橋梁において、以下に示すような対策及び解析、実橋載荷による検証を行った。

#### 3.1 高針高架橋

高針高架橋は、名古屋市東部の東名阪自動車道の一部をなす日本道路公団東名古屋工事事務所発注のプレキャストPC床版を有する連続非合成2主桁橋である。本橋では、前述した中間横桁の垂直補

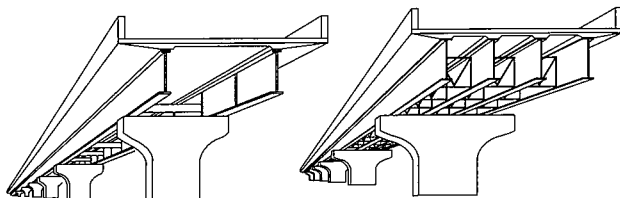


図1 少数主桁橋梁

図2 従来橋梁

<sup>\*(1)</sup> 鉄構海洋事業部 橋梁新事業グループ マネジャー  
千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-6468

<sup>\*(2)</sup> 鉄構海洋事業部 橋梁エンジニアリング部

<sup>\*(3)</sup> 鉄構海洋事業部 設計部

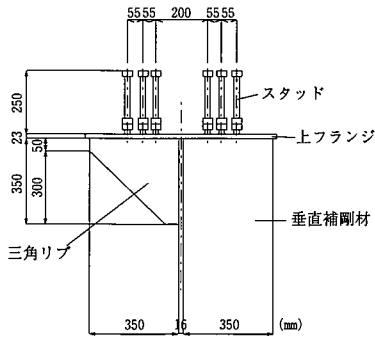
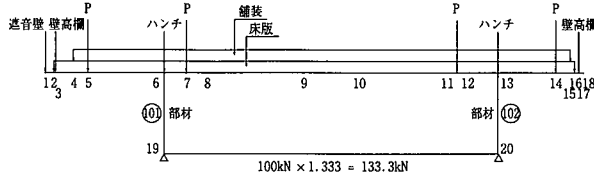


図3 中間横桁取付部

1) 死荷重+活荷重 (Case1)



2) 死荷重+活荷重 (Case2)

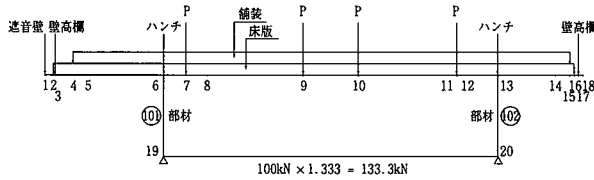


図4 ラーメンモデル

剛材直上にスタッド及び垂直補剛材の応力緩和のため、“三角リブ(図3参照)”と呼ぶ補強リブを主桁上フランジの首部に設置した。当該部分の設計方法を以下に示す。

- ・活荷重を床版張り出し部に荷重したCASE-1と床版支間中央に荷重したCASE-2を想定し、主桁-床版-横桁からなるラーメンモデルとして解析を行う(図4参照)。
- ・上記解析から求めた主桁ウェブ上端部の断面力(M:曲げモーメント, S:せん断力, N:軸力)に対して、スタッド配置と本数を決定する。この時のスタッドの曲げとせん断の合成応力度の照査は平城らの研究を参考にしている<sup>5)</sup>。
- ・軸力と曲げを受ける部材として、三角リブ、主桁ウェブ、垂直補剛材から成る十字断面の照査、及びその上面の床版支圧応力度の照査をする。

本橋は本年6月に無事竣工を迎えたが、横桁取付部の垂直補剛材上縁付近にはクラックは認められず、現在のところ良好な状態を呈している。

### 3.2 延野高架橋

延野高架橋は、島根県西部の中国横断自動車道の一部をなす日本道路公団松江工事事務所発注の、床版に場所打ちPC床版を有する連続非合成2主桁橋である。本橋では、高針高架橋で採用した三角リブをフランジの板曲げ応力度緩和のため垂直補剛材前後にも配置している(図5参照)。また、この三角リブ設置の有用性を三次元有限要素法解析にて確認すると共に、現場にて実橋計測を行って解析の妥当性を確認した。

#### 3.2.1 三次元有限要素法解析

三次元有限要素法解析モデルは、橋梁全体を対象とし図6、7に示すものとした。床版、主桁のウェブ、フランジ、支点上横桁、垂直補剛材、三角リブは全てシェル要素で、その他の部材は梁要素でモデル化した。解析ケースは、三角リブの効果を評価できるように

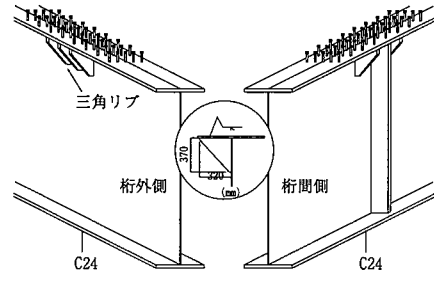


図5 横桁位置垂直補剛材上端詳細

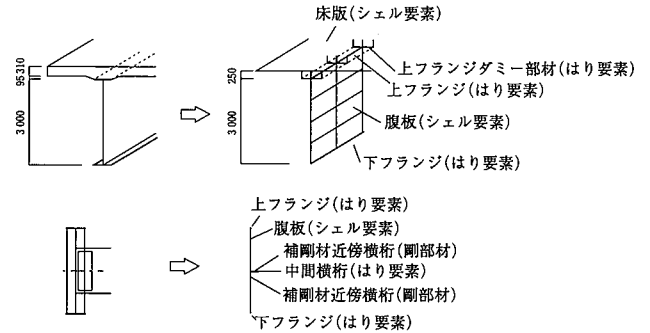


図6 解析モデル(その1)

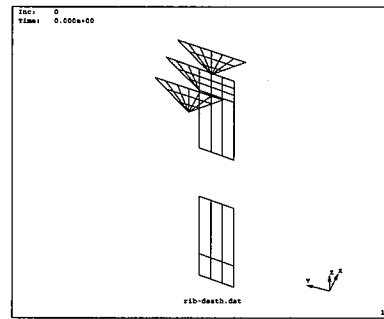


図7 解析モデル(その2)

三角リブ無と三角リブ有の2ケースとし、それぞれに死荷重載荷と活荷重載荷の荷重ケースを組み合わせた。

解析結果を図8~11に示す。これらの図では中間横桁上を0mとして、横桁間中央までのスタッド軸方向力を表示している。この結果、三角リブを配置することで発生軸方向力及び軸力変動を3割程度軽減できることが分かった。また、死荷重載荷時の垂直補剛材上端部の応力状態を図12、13に示すが2割程度応力集中が緩和されている。

#### 3.2.2 実橋計測

前項の解析について妥当性検証のため、本橋では道路橋示方書のB活荷重に相当するラフタークレーンを用いた実橋計測を行った。計測は、スタッドの軸力、垂直補剛材上端部の応力集中、上フランジの板曲げ応力などに注目し、パーソナルコンピューターを用いた自動計測とし、計測頻度は30分毎に1回、床版打設前から壁高欄打

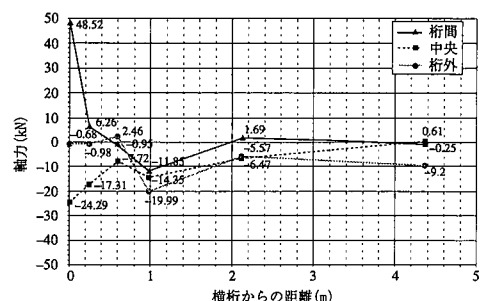


図8 スタッド軸力 三角リブ無, 死荷重

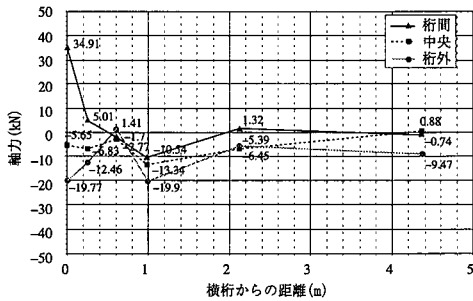


図9 スタッド軸力 三角リブ有, 死荷重

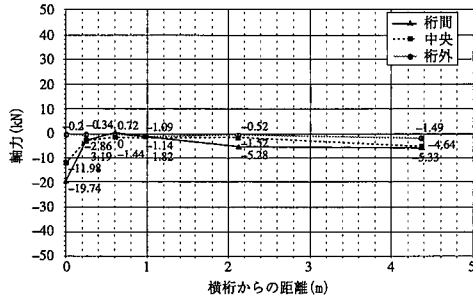


図10 スタッド軸力 三角リブ無, 活荷重

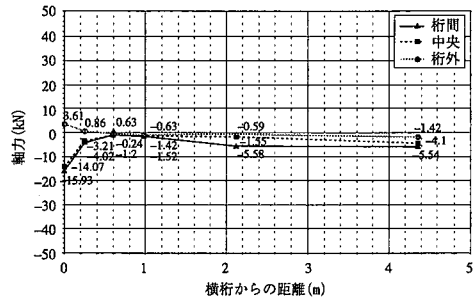


図11 スタッド軸力 三角リブ有, 活荷重

設、及び載荷試験までの約4ヶ月(6月下旬~11月初旬)の期間計測した。

実橋計測結果の代表として、横桁直上に輪荷重が載荷された場合のスタッド軸力の計測結果を図14に示す。同じ荷重載荷状態の解析結果である図11と比較してみると、スタッドの発生引張軸力は半分程度である。これは、解析が床版とスタッドの荷重伝達はスタッドのみで行う前提で解析しているが、実際はコンクリートの支圧や付着なども寄与しているためと思われる。同様の理由から、垂直補剛材上端部の発生応力も解析結果の1/3程度であった。

したがって、活荷重による引抜きに対しては本橋の対策で十分安全といえる。しかし、床版打設以後の2ヶ月程度の経時変化を見ると(図15, 16参照)、温度変化によって中間横桁直上のスタッドは、軸力と曲げを足し合わせる許容応力度に達する引抜き力が作用し、応力振幅も非常に大きい。活荷重のみならず温度変化を含めたものを想定して、100年耐用に対するスタッドの引抜きの問題を考察すべきである。

上フランジの板曲げに関しては図17に示す。中間横桁直上付近で発生応力度として10N/mm<sup>2</sup>程度で応力振幅も10N/mm<sup>2</sup>程度であり本橋の対策案は十分安全であった。しかし、横桁間中央のフランジに床版打設の際に35N/mm<sup>2</sup>程度の板曲げ応力度が発生していることを考えると、合成桁の際には注意が必要と思われる。

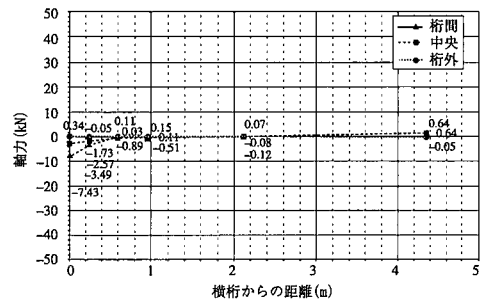


図14 スタッド軸力 実測値(活荷重時)

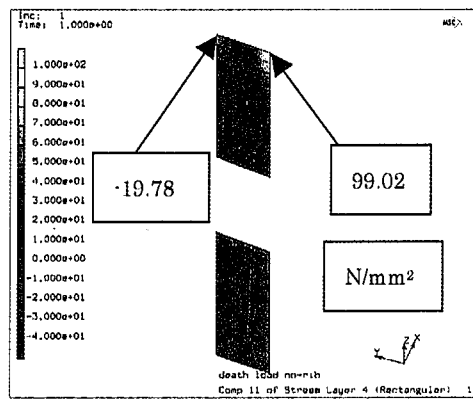


図12 垂直補剛材応力 三角リブ無, 死荷重

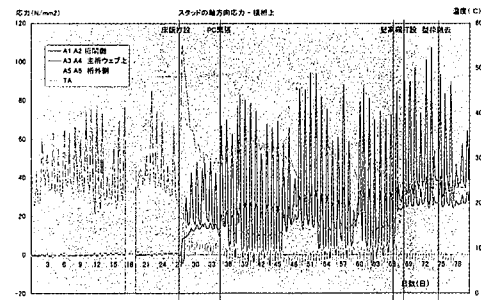


図15 スタッド軸力 経時変化(横桁直上)

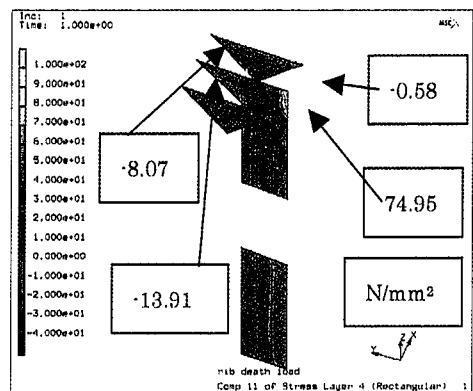


図13 垂直補剛材応力 三角リブ有, 死荷重

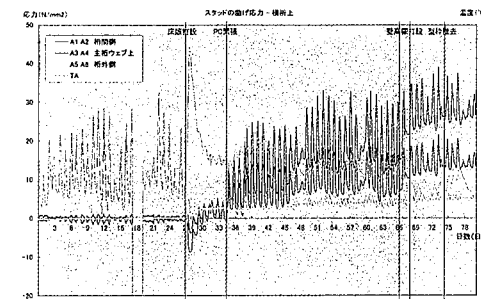


図16 スタッド曲げ応力 経時変化(横桁直上)

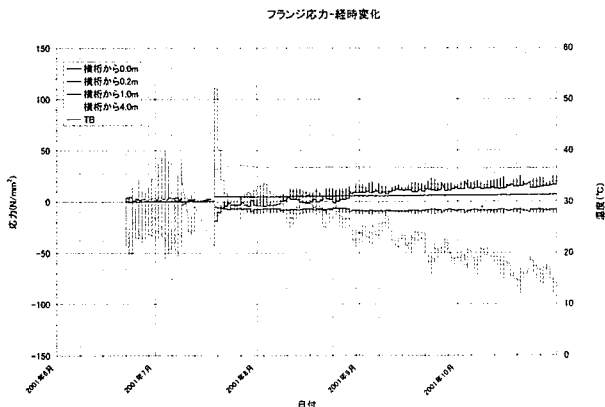


図17 フランジの板曲げ応力

### 3.3 松館高架橋

松館高架橋は、国土交通省青森工事事務所から受注したプレキャストPC床版を有する連続非合成2主桁橋である。既往の研究<sup>6)</sup>では、場所打ちPC床版を持つ少数主桁の横桁取付部の垂直補剛材とハンチ部コンクリートの割裂に関する検討が行われており、結論として、割裂力抑制のために垂直補剛材幅をフランジ幅程度まで延長することが望ましいと報告されている。そこで、本検討では調整モルタルが存在し、かつハンチ形状も異なるプレキャスト床版の場合も同様の現象が生じるかを確認し、最適な垂直補剛材幅を決定することを目的に、2次元FEM解析を用いた検討を行った。

以下に解析結果を述べる。垂直補剛材幅が小さい場合の応力分布を図18に、垂直補剛材幅をフランジ幅まで延長した場合の応力分布を図19に示す。図18では上フランジと床版の接合部に層状の引張応力が分布するが、図19ではその引張応力の発生を抑制できることが確認できる。この引張応力は、上フランジと調整モルタル間の剥離を引き起こし、長期的な防錆上問題となるものと考えられる。

以上より、プレキャストPC床版の場合、場所打ち床版のような割裂力は発生しないものの、上フランジと調整モルタル間に生じる剥離抑制という点から、横桁取付部の垂直補剛材をフランジ幅程度

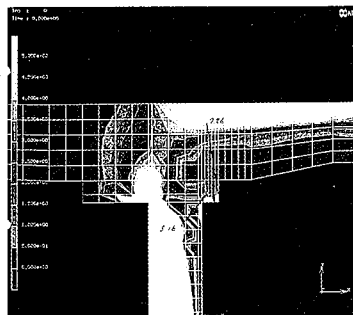


図18 垂直補剛材応力 幅小

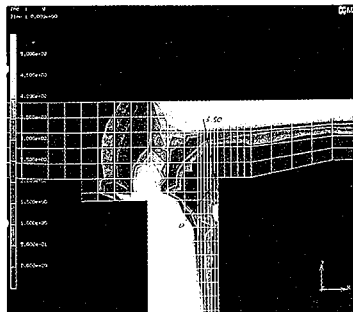


図19 垂直補剛材応力 幅大

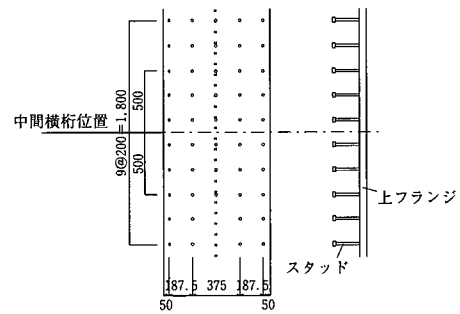


図20 スタッド配置

まで延長することが有効であることが確認できた。

### 3.4 栄高架橋

栄高架橋は、東京外環自動車道の一部をなす日本道路公団さいたま工事事務所発注の上下部剛構造の場所打ちPC床版連続2主桁橋である。ここでは現在設計中である本橋について、少数主桁の横桁取付部の設計に関する最新動向として報告する。

本橋のスタッド配置は、これまでの知見や他工区の検討結果から、図20に示すようにスタッドの軸力低減と床版とフランジの剥離防止を考え、以下の方針としている。

- ・中間横桁直上にはスタッドは配置しない。
- ・上フランジ縁端から1本目のスタッドは50mmの位置に配置し、主桁ウェブ上付近のスタッドはウェブ直上に近い位置に配置している。特に横桁取付部付近1mの範囲は主桁ウェブ直上に配置している<sup>7)</sup>。

上フランジの板曲げ応力度については、上記のようなスタッドが補剛材を跨ぐ配置では床版とスタッド及び補剛材の拘束により、上フランジに局所的な板曲げが発生する。他工区のFEM解析によると、荷重ケースにより、垂直補剛材直上付近に約410N/mm<sup>2</sup>の応力が発生している。しかし、本橋ではFEM解析が一般に過大な値になることと、非合成桁であること、荷重載荷状態が最も不利な状態を考えているため再現確率が低いことから、補強は不要としている。

## 4. おわりに

本報では、数件の少数主桁橋梁の横桁取付部の設計に関して、解析・実験的な検討の概要を示したが、現時点ではスタッドの引抜き疲労耐久性に関する規定が明確になっていないことから、横桁取付部直上から離す方が好ましい。また、床版と桁の剥離の原因となる上フランジの板曲げ変形に関しては、特に合成桁の場合フランジにある程度の剛性を持たせるか、必要な箇所への補強も必要と思われる。新日本製鐵の取組みが少数主桁橋梁の耐久性を増すことの一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集 橋梁建設編。1998.7
- 2) 大垣賀津雄, 川口喜史, 八部順一, 長井正嗣：連続合成2主桁橋のずれ止め設計に関する一考察。鋼構造論文集, 4(15), (1997.9)
- 3) 八部順一, 山本晃久, 大垣賀津雄, 済藤英明：連続合成2主桁橋のずれ止め作用力の簡易計算法。川崎重工技報, (139), (1998.12)
- 4) (財)高速道路技術センター：第二東名高速道路 鋼橋の新技术に関する調査研究。少数主桁橋設計・施工指針(案)フォローアップ検討。2000.3
- 5) 松井繁之, 平城弘一, 三好栄二：西ドイツの頭付きスタッドの新しい認可と計算例。橋梁と基礎。(1986.9)
- 6) (財)高速道路技術センター：第二東名高速道路 鋼少数主桁橋梁の設計施工に関する調査研究(その3)報告書。1997.3
- 7) (財)高速道路技術センター：PC床版鋼連続合成2主桁橋の設計・施工マニュアル。2002.3