

長支間PC斜張橋の広幅員断面の構造に関する研究

三井住友建設(株)	正会員	○高岡 怜
三井住友建設(株)	正会員	内堀 裕之
三井住友建設(株)	正会員	永元 直樹

キーワード：長支間PC斜張橋，広幅員断面，自碇式吊床版構造

1. はじめに

現在、PC斜張橋の最大支間長は国内では261mであるが、海外では500mを超えるPC斜張橋もあり、今後も長大化が進むと考えられる。長支間斜張橋では、経済性や重要性の観点から広幅員断面が採用されることが多い。しかし、一般的に長支間斜張橋は柔な構造のため風による振動が問題となることが懸念される。特に、広幅員の長大橋の場合は主桁の風によるねじり振動が問題になることが多く、ねじり剛性を高める工夫が必要になる。そのため、斜材の1面吊りと比較してねじり剛性が高い2面吊り構造を採用することが多い。一方、2面吊りの広幅員断面を成立させるには横方向剛性を高める必要があるため、その対策として従来では斜ケーブル定着位置に横桁を設置することで構造を成立させていた。本研究では、支間長800mの長支間PC斜張橋を対象として想定し、施工性と経済性を考慮して、横桁を設置することなく構造を成立させる方法を検討した。

2. 対象橋梁の構造概要

対象橋梁として、支間長800mの長支間PC斜張橋を想定した(図-1)。斜材は、長支間斜張橋のねじり耐風安定性がより高い2面吊りとし、幅員構成は図-2に示すように2.0mの中央分離帯を挟んだ両側3車線に加え壁高欄の外側で斜材を定着することのできるスペースを設け、全幅員は34.0mと仮定した。橋軸直角方向の斜材定着間距離は、32.0mとした。

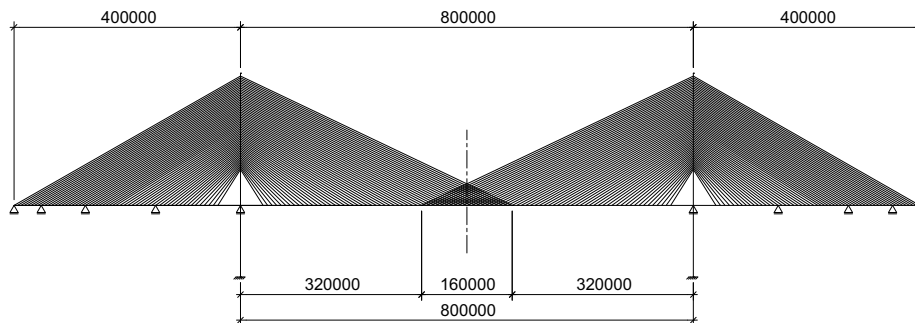


図-1 全体一般図

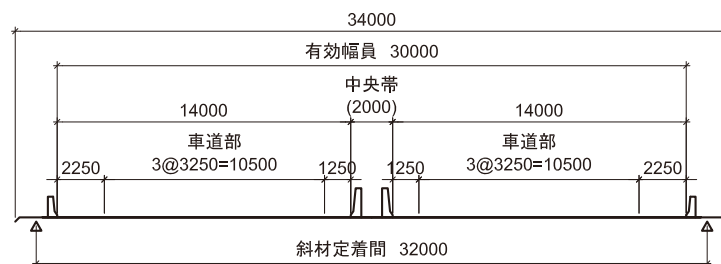


図-2 幅員構成

3. 補剛桁構造の検討

3.1 検討概要

断面構造は橋軸方向に連続した箱桁構造として検討したが、斜張橋では斜材定着部が支持点となり支持条件が橋軸方向に連続しない。その影響を考慮できるように3次元で構造形状をモデル化し、FEM解析によって発生する応力度の確認を行った。解析モデルは図-3に示すように1ブロックを8.0mとし、橋軸方向のモデル延長は荷重載荷による影響を十分に確認できるように、幅員の2倍程度となる8ブロック分の64.0mとした。斜材定着位置は1ブロックに1箇所設け、その位置を支持点として鉛直方向に拘束した。コンクリート強度は $50\text{N}/\text{mm}^2$ を想定した。

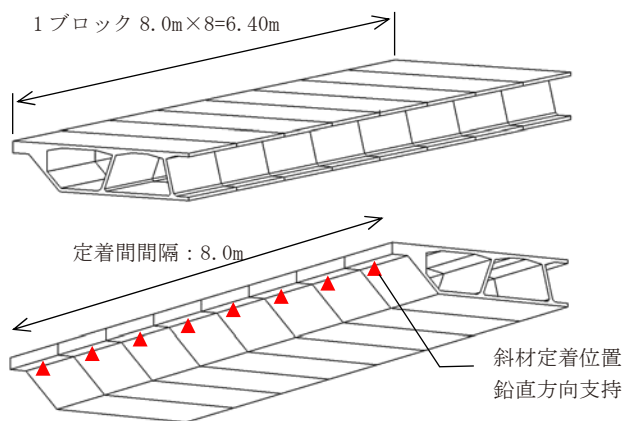


図-3 解析モデル図

橋軸直角方向の検討において、T活荷重では上床版に局所的な曲げモーメントが生じる程度であり、L活荷重では下床版に $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の引張応力が生じる。一方自重によって下床版に発生する引張応力が $3.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度と大きく、設計上支配的であるため、本検討では死荷重状態に着目して構造を検討した。

3.2 従来の補剛桁構造

十勝大橋¹⁾を参考に、従来の補剛桁構造を図-4のように決定した。桁高は4.0mとし、横方向剛性を高める対策として、斜材定着位置には厚さ500mmの横桁を設置させた。斜材定着間隔は支間長800mの斜張橋構造で設定した8.0mとした。横桁は、5室すべてのウェブ間を埋めた壁形状とした。図-5は、3次元FEMにおいて上記の補剛桁構造に自重を載荷した場合の橋軸直角方向の応力分布である。自重載荷時には上下床版および横桁が梁として曲げモーメントに抵抗し、上床版には圧縮応力、下床版には引張応力が発生した。部材厚300mmの横桁間の下床版部では、自重載荷時に発生する引張応力が $2.7\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であった。この引張応力に対しては十勝大橋での対策を参考に、横桁に横締め鋼材12S15.2を配置して下床版に圧縮力を導入することにより、死荷重時にフルプレストレス状態とすることが可能である。

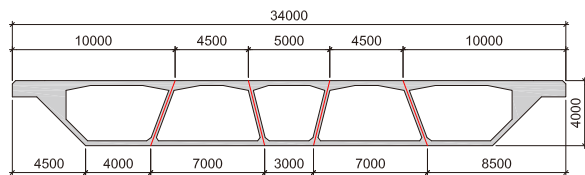


図-4 検討構造断面図 (横桁間)

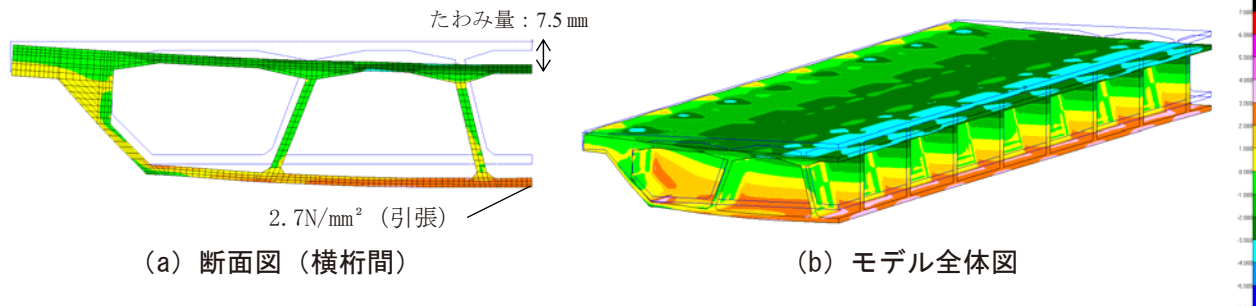


図-5 橋軸直角方向の応力分布 (自重載荷時)

3.3 横桁を省略した断面形状

従来の補剛桁構造のように横桁を設置した場合、張出し架設においては桁内の内型枠を毎回組みば

らしする必要がある。施工性と経済性の観点から改善が求められる。参考として、横桁が横方向剛性にどの程度寄与しているのかを確認するために、従来の補剛桁構造において横桁がまったくない場合を検討した。図-6に、横桁を設置しなかった場合の自重載荷時の橋軸直角方向の応力分布を示す。横桁を無くしたことで横方向剛性が著しく低下し、自重に対して平面保持の仮定が成立せず、外側の一室が大きく変形した。上下床版のそれぞれで曲げモーメントに抵抗しているため、曲げ変形が発生し、重ね梁のような挙動を示した。下床版に発生する引張応力は 3.4N/mm^2 程度だが、外側の1室は局部で 15N/mm^2 を超えるため下床版横締め鋼材による補強を行っても構造を成立させるのは困難であり、横桁が構造成立のために大きく寄与していることが分かった。

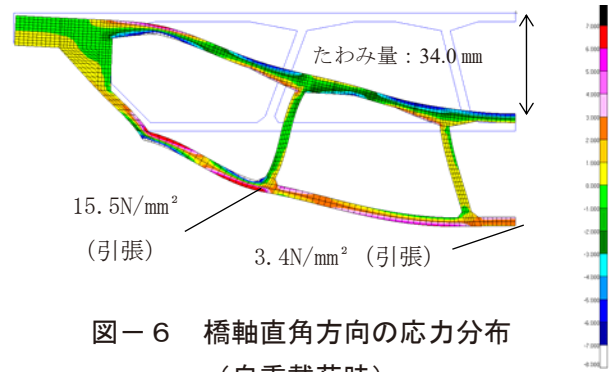


図-6 橋軸直角方向の応力分布 (自重載荷時)

3.4 桁高増による横方向剛性を高めた断面形状

ここで、横桁を設置せずに横方向剛性を高めるために、桁高を高くした断面について検討した(図-7)。図-8にその結果を示す。桁高を高くしたことにより、断面全体としての横方向剛性が増加し、自重により発生する曲げモーメントに対して、図-5と同様に断面全体で梁として抵抗している。そのため、上床版には圧縮応力、下床版には引張応力が 3.3N/mm^2 程度発生した。この発生した引張応力度に対しては、D25の鉄筋を125mm間隔で配置することでRC構造として成立させることが可能である。また、下床版横締め鋼材として1S28.6を500mm間隔で配置した場合には、死荷重時をフルプレストレスとすることが可能である。しかし、幅員34mに対してウェブが4枚の現構造では断面方向の支間長が10mを超え長くなるため、活荷重などの荷重が載荷される際には上床版に発生する局部応力への対応が必要になると考えられる。また、桁高が高くなったことにより補剛桁の橋軸直角方向の投影面積が大きくなり、風荷重による抗力が大きくなる。さらに、補剛桁の断面辺長比(幅員/桁高)が小さくなるため、空力安定性が低下すると考えられ、柔な構造である長大斜張橋としては何らかの空力対策が必要になる可能性が高い。

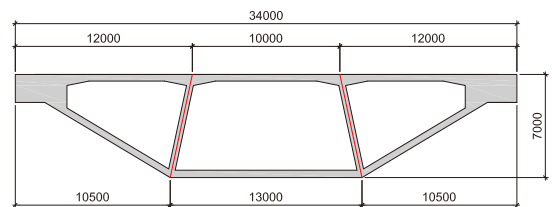


図-7 検討構造断面図

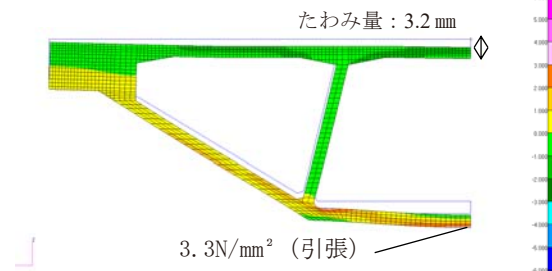


図-8 橋軸直角方向の応力分布 (自重載荷時)

3.5 応力伝達と耐風安定性を考慮した断面形状

上記の検討結果を踏まえて、応力の伝達がスムーズとなり、かつ耐風安定性にも配慮した断面を考案した。断面構造は自碇式吊床版²⁾を断面方向に応用した新しい構造とした(図-9)。全体剛性の高い自碇式吊床版橋を広幅員となる長大斜張橋の断面に応用することで、桁高を高くしたり横桁を設置することなく横方向の剛性を向上させ、構造を成立させることができると考えた。また、吊床版橋を応用した形状であるため下床版には角が無く、円弧形状をしている。一般的に、固有振動数などの他の条件

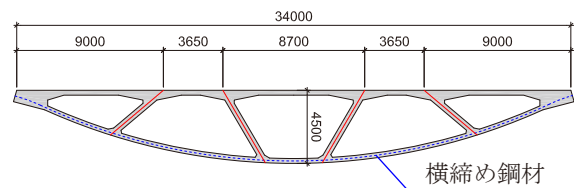


図-9 検討構造断面図

が同一の場合には、補剛桁の耐風安定性を向上させるためには断面辺長比を大きく（よりスレンダーに）することが有効である。また、風の上流側の形状を丸みを帯びたスムーズな形状とすることにより前縁で剥離して形成される渦の形成を抑制することが可能となり、耐風安定性を向上させる効果が期待できる。さらに、桁高を低くすることと、断面形状を風の抵抗を受けにくい流線型とすることにより、抗力を低減することが可能となる。図-9に示す提案断面はこれらの効果が期待でき、図-7の断面に対して耐風安定性の向上が期待できる。コンクリート体積は、従来の補剛桁構造に比べ、約8割程度に減らすことができた。これは、横桁設置の有無が大きく影響している。

図-10に自重載荷時の結果を示す。発生する曲げモーメントには、横桁を設置した断面同様に、平面保持の仮定が成立し、断面全体が梁として抵抗し、上床版には圧縮応力、下床版には引張応力が発生した。下床版中央付近で発生した引張応力度は 2.3N/mm^2 となり、従来の補剛桁構造で発生した引張応力 2.7N/mm^2 と同程度となった。また、自重載荷時の支間中央部のたわみ量は、従来の補剛桁構造では 7.5mm であったのに対して 5.5mm であった。これらのことから、十分な横方向剛性を確保できたと考えられる。

自重により下床版に発生した引張応力に対しては、自碇式吊床版のように下床版全体に横締め鋼材を配置することで下床版に必要なプレストレスを導入させることが可能である。また、上床版は自碇の効果によりプレストレスが導入されるため、活荷重への抵抗性が確保できる。

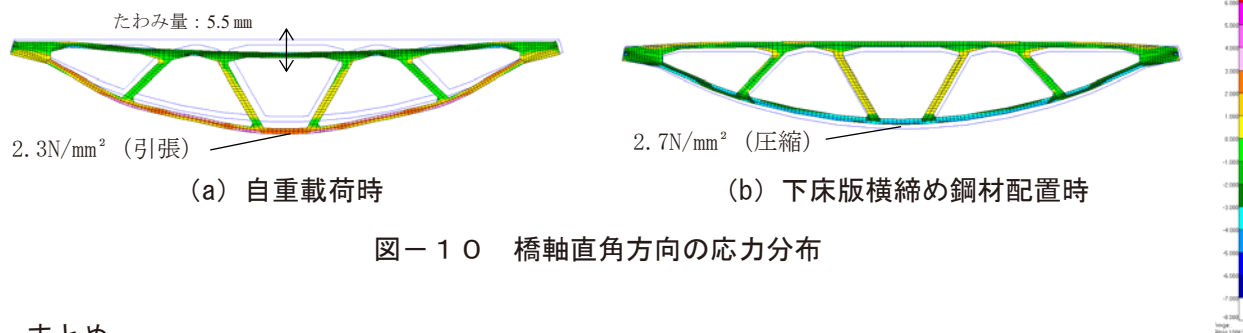


図-10 橋軸直角方向の応力分布

5. まとめ

広幅員2面吊り長支間PC斜張橋の断面構造の検討を行った。以下に得られた知見を示す。

- ・従来の補剛桁構造は斜材定着部に横桁を設けることで横方向剛性を向上させ、発生する曲げモーメントには上下床版および横桁が抵抗していた。そのため、従来の補剛桁構造において横桁を設けない場合は横方向剛性が不足し、横締め鋼材による補強を行っても構造の成立は困難であった。
- ・横桁を設けずに桁高を高くした場合、桁高は 7.0m で構造が成立したが、桁高が高いことにより、補剛桁の橋軸直角方向の投影面積が大きくなり風荷重による抗力が大きくなることや、補剛桁の断面辺長比が小さくなり、空力安定性が低下すると考えられる。
- ・全体剛性の高い自碇式吊床版構造を断面に応用した結果、横桁の設置や桁高を高くすることなく十分な横方向剛性を得ることができた。横桁を設けないことによって施工性の向上と重量軽減による経済性の向上が期待できる。また、断面形状を風の抵抗を受けにくい流線型とすることにより、抗力を低減することが可能となるため耐風安定性の向上が期待できる。

今後は、自重以外の荷重についての影響や、耐風安定性の確認も行っていく予定である。

参考文献

- 1) 中田泰広, 関根武雄, 太田竹雄, 山口光男: 十勝大橋 (PC斜張橋) の構造特性について, プレストレストコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集, 1992. 11
- 2) 桑野昌晴, 乗常晃男, 山崎和彦, 齋藤謙一: 山城中学校進入路橋 (青雲橋) の設計と施工, プレストレストコンクリート技術協会 第13回シンポジウム論文集, 2004. 10