

FRP合成床版を用いた合理化トラス橋の設計・施工

Design and Construction of Rationalized Truss Bridge Using FRP Composite Deck Slabs

熱海 晋^{*1} 久保 圭吾^{*2} 寺田 喜昭^{*3}
Shin ATSUMI Keigo KUBO Yoshiaki TERADA

Summary

We applied the concept of rationalized design, which is generally used for box girders and steel-plate girders, to a truss bridge. FRP composite deck slabs were used to eliminate the floor system. Also, square steel pipes were used as diagonal members to reduce fabrication cost. FRP composite slabs were used to increase resistance to salt damage. In addition, ribbed forms, which are used for FRP composite deck slabs, were used for forms for lining concrete for end crossbeams.

キーワード：FRP合成床版、合理化トラス、FRP、鋼管、端横桁型枠

1. まえがき

近年の橋梁をとりまく環境は高速道路公団の民営化、鋼橋発注量の減少等をはじめとして大きく変化している。また、昨今、わが国は急速に少子高齢化が進み、労働人口の減少とともに税収の減少に伴う財源不足が予想されるため、建設コストの縮減が求められている。このようななか、過去に建設された鋼橋のストックは老朽化が進み、これら全てを架け替えのみで対応することは難しく、維持管理・補修・補強といったメンテナンスコストの増大が問題となっている。このため、新設橋の建設においては、初期建設費の低減のみでなく、長寿命化による維持管理費の削減も考慮した、ライフサイクルコストを縮減することが求められている。

一方、平成14年3月に改定された道路橋示方書では、性能規定型の設計法へ移行し、新しい技術や構造が採用されやすい環境となってきた。

このため、トラス形式の橋梁においても、ライフサイクルコストの縮減や設計・施工の合理化が図られた合理化トラス橋が提案¹⁾されており、以下のような特徴がある。

- 合成床版やPC床版の採用により、床版支間の拡大が可能となり、従来床版を支持していた縦桁やブラケットなどの床組構造を省略または簡素化できる。
- 下横構と対傾構には型钢を利用し、工場製作の合理化を図ることができる。

- 主構の溶接線省略や床組の省略・簡素化により大型・小型の材片数、溶接延長、塗装面積が減少し、製作コストを低減できる。
- 支間の短い小規模なトラス橋では、垂直材を省略することも可能である。

戸賀4号橋は、合成床版を用いた合理化トラス橋として設計され、塩害環境の厳しい架橋地点であったため、床版にはFRP合成床版を用い、鋼桁は亜鉛アルミ溶射が採用された。本稿は戸賀4号橋における合理化トラスの設計・施工について報告するものである。

2. 戸賀4号橋梁の概要

戸賀4号橋は、図-1に示す秋田県男鹿市戸賀地内に



図-1 位置図

*1(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ

*2(株)宮地鐵工所 技術本部設計部技術開発グループ課長代理

*3(株)宮地鐵工所 工事本部工事部長(現場代理人)

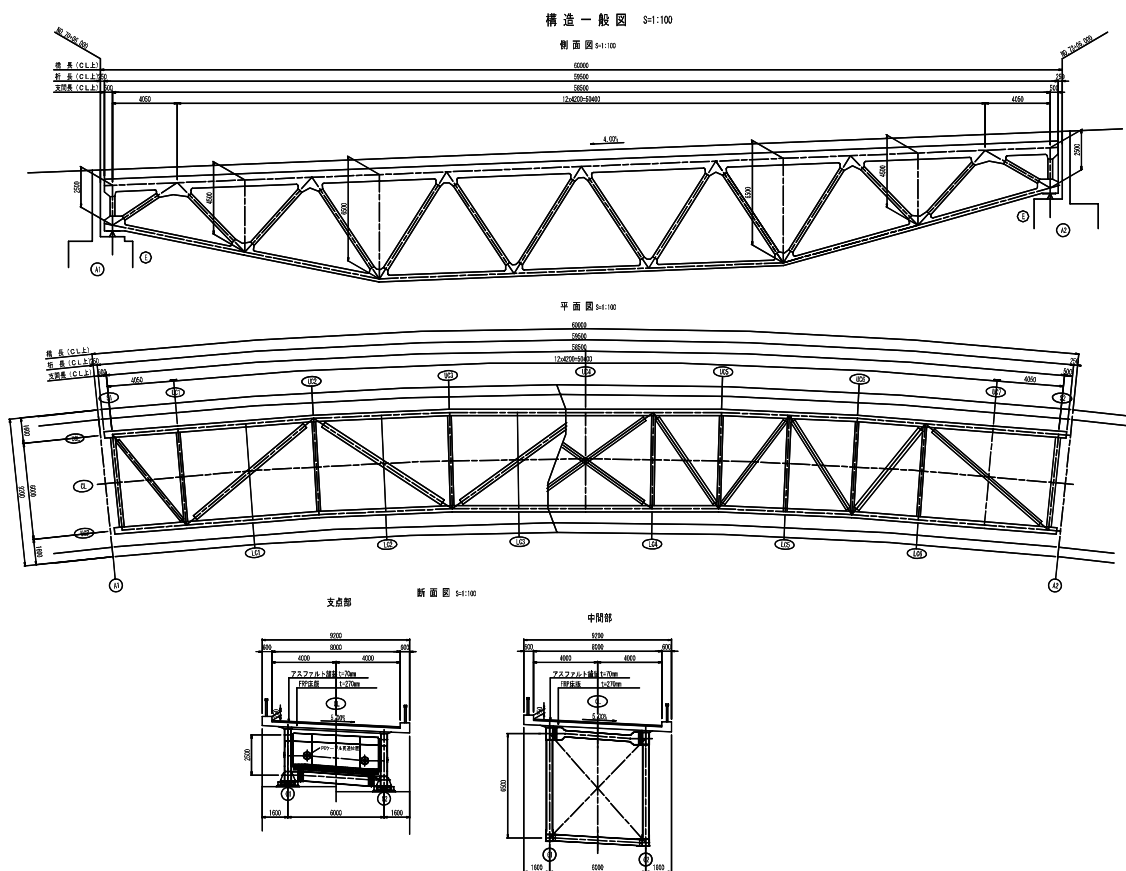


図-2 一般図



写真-1 竣工写真

整備される主要地報道男鹿半島線に位置しており、海岸から近く冬季の季節風による塩害を受けるうえ、積雪地域であるため、融雪剤の影響も受ける非常に厳しい環境条件下におかれた橋梁である。

本橋は、鋼上路式単純トラス桁〔合成床版〕であり、一般図を図-2に、竣工写真を写真-1に、橋梁諸元を表-1に示す。

表-1 橋梁諸元

工 事 名	地方道交付金工事 HF20-N2
工 事 箇 所	秋田県男鹿市戸賀地内
路 線 名	男鹿半島線
道 路 規 格	3種4級
設 計 速 度	50km/h
形 式	鋼上路単純トラス橋
橋 長	60.0m
桁 長	59.5m
支 間 長	58.5m
幅 員	車道8m、総幅員9.2m
斜 角	$A1 = A2 = 90^{\circ} 00' 00''$
活 荷 重	B活荷重
雪 荷 重	1 kN/m^2
縦 断 勾 配	4.00%
横 断 勾 配	5.00%
平 面 線 形	$R = 290\text{m}$
床 版 形 式	FRP合成床版
舗 装	アスファルト舗装 $t = 70\text{mm}$

3. 主構の設計

(1) 平面線形への対応

一般に曲率半径が大きい場合は、トラス主構を直線とし、床版張り出し長さを変化させることで平面曲線に対応できる。しかし、本橋の曲率半径は $R = 290\text{ m}$ と小さく、主構を直線とした場合床版の張り出し長が大きくなりすぎ、構造上不可能となることから主構弦材を格点で折る構造とした。

ところが、本橋の上下弦材の格点は、橋軸方向に一致しておらず、上下の格点を結ぶと、斜材がねじれた形状となり構造上の問題が生じる。そこで、下弦材の折れ位置を上弦材の格点位置に合わせ、格点間で折る構造とした。なお、二次応力の発生を抑制するため下弦材の折れ位置に支材を追加し、横構の配置を変更した（図-3）。

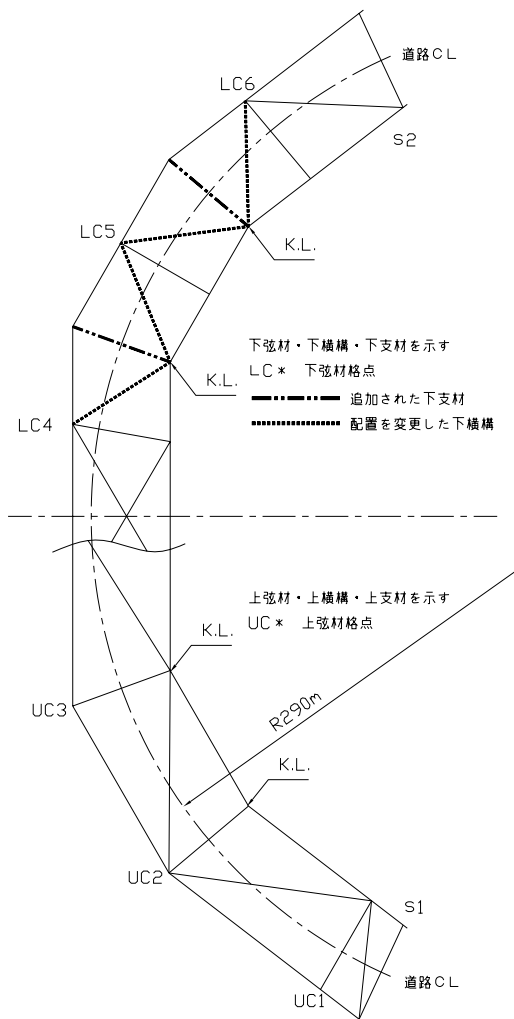


図-3 下弦材の折れ位置の概念図

(2) 床版を直接支持する上弦材の設計

本橋は合成床版を用いた合理化トラス構造のため、床組を省略している。このため、上弦材はトラス構造として作用する圧縮力に抵抗すると同時に、床版から直接伝達される鉛直力が、トラス格点を支点とする連続梁として作用する曲げに抵抗する必要がある。従来、これらの断面力の算出には、トラス格点に集中荷重を載荷した後、簡便式により求めた曲げモーメントを足し合わせる方法が用いられている。しかし、今回の解析では、実構造に近い荷重状態を再現するため上弦材に分布荷重を直接載荷することで、圧縮力と曲げモーメントを直接求めた。

(3) ガセット形状

本橋は、塩害環境の厳しい箇所に施工されることから外面の防錆仕様は亜鉛アルミ溶射+封孔処理としている。亜鉛アルミ溶射は、吹き付けガンを用いて加熱溶融された微細な溶融金属粒子を鋼材表面に吹き付ける方法

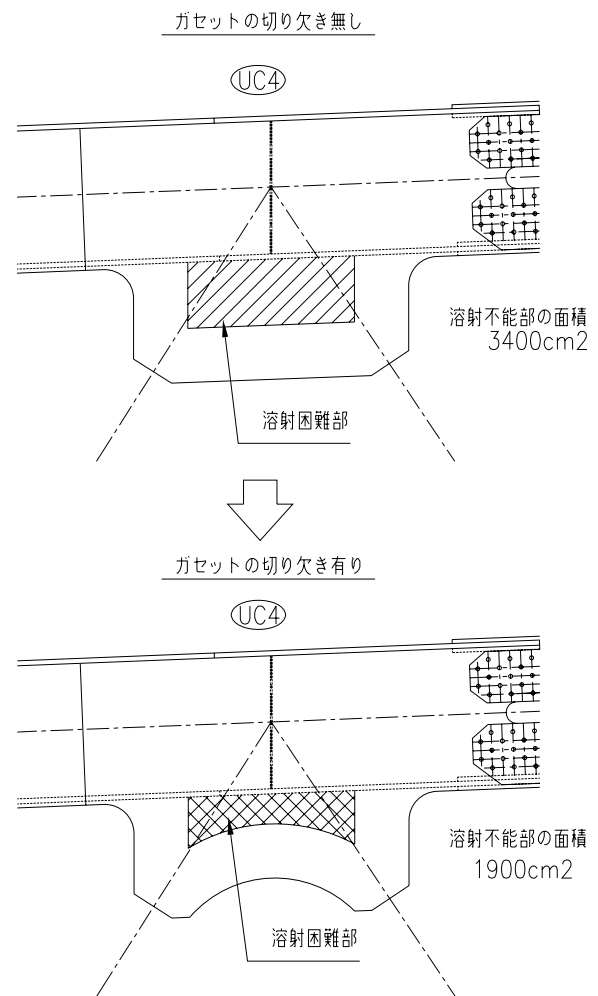


図-4 ガセット切り欠き形状

で施工される。このため、吹き付けガンの角度が施工面と45度以上確保できない場合は、溶射の施工が困難であり、重防食塗装が施される。しかし、重防食塗装は、溶射と比べ耐久性に劣り維持管理上問題となることから、溶射困難部を可能な限り少なくするほうが望ましい。

そこで、溶射困難部にあたるトラス格点部のガセット形状を鉄道橋で良く用いられる曲線で切り欠いた形状とした(図-4)。これにより溶射不可能な範囲を当初面積の60%程度まで減少させることが可能となり、耐食性の向上を図った。

4. 主構の架設

架設支保工の位置は下弦材の桁高変化位置とし、A1・A2側に1基ずつ設置した。端部の部材は地組で端部2ブロックを一括箱組架設、中央の部材は単材架設とした。クレーンの吊荷能力は端部の一括箱組みのブロック荷重で決定され、定格荷重から550t吊のオールテレクレーンを選定し、A1側橋台側とA2側橋台側で交

互に架設した(図-5)。

直線橋の場合、死荷重によるキャンバーは標高(z座標)を用いて鉛直方向の桁の変形を管理するが、今回のような曲線橋の場合、死荷重が載荷されると桁は橋台間を結ぶ軸を中心に回転しながら完成時の位置に移動することから、桁のねじれを製作時のキャンバーに考慮する必要がある。このため、キャンバーは、x、y、zの3次元座標を用いて管理を行った。

5. FRP合成床版の設計

(1) 床版概要

戸賀4号橋の合成床版は海岸に近いこと、融雪剤の使用があることなどを勘案し耐食性に優れたFRP合成床版²⁾を採用した。本床版の概念図を図-6に示す。

(2) 支保工としての照査

これまでのFRP合成床版の床版支間は、北谷橋の5.2mが最大である³⁾が、本橋梁の床版支間は5.6m

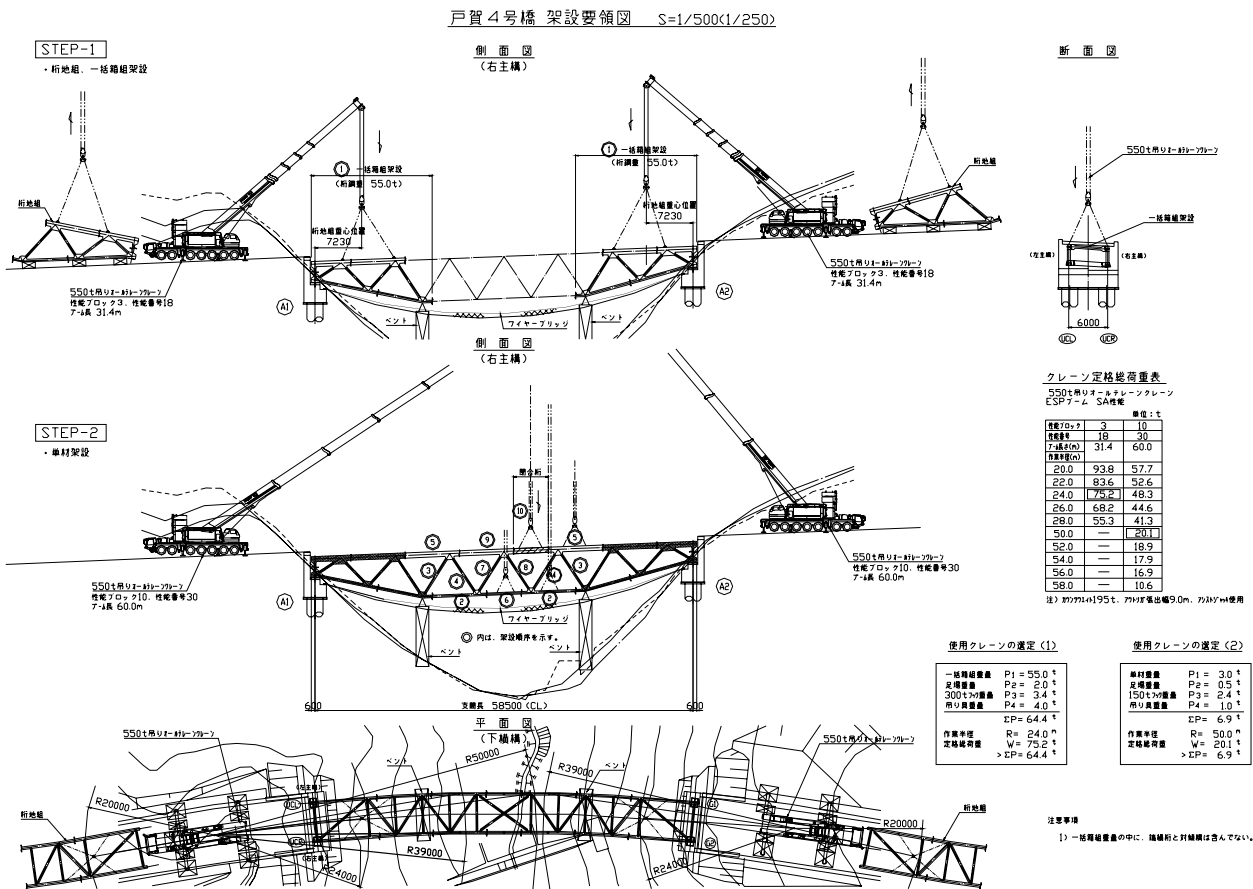


図-5 架設要領図

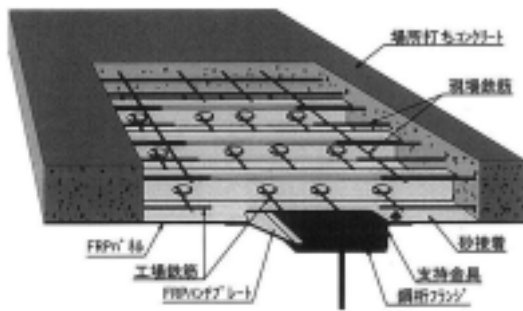


図-6 FRP合成床版の概念図

であり、僅かながらFRP合成床版の実績として最長床版支間を更新している。

FRP合成床版はFRPパネルが床版コンクリート打設時の支保工を兼用することから、コンクリート打設時の死荷重によるパネルのたわみ量を許容値(L/500)に抑える必要がある。そこで、図-7に示すモデルを用い、たわみ量の照査を行った。なお、本橋は平面線形が曲線で、主構が折れ線であるため、床版支間および張り出し量に変化している。そのため、照査においては各照査部位のたわみが最も不利になる位置の床版支間・張り出し長とした。また、解析は主桁上で支持される連続梁として行い、FRPパネルはリブ高200mmのものを適用した。このときの結果を表-2に示す。これより、いずれの箇所も許容値を満足しており、支保工としての性能を満足していることが確認できた。

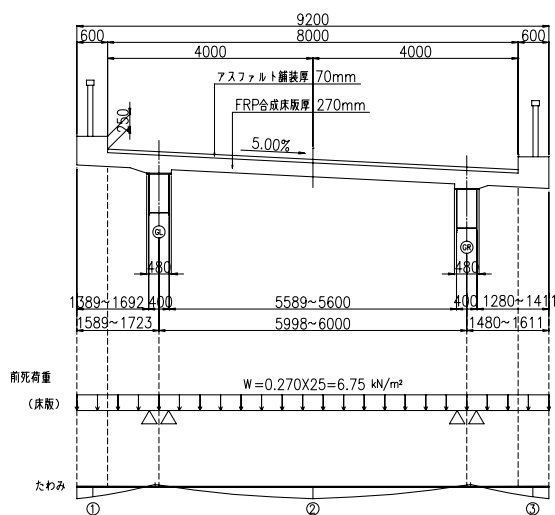


図-7 解析モデル

表-2 たわみの解析結果

単位：mm

支間	許容値 L / 500	①	②	③
L = 5.6m	11.2	3.3	9.3	2.6

(3) 床版厚及び断面構成

FRP合成床版は床版支間から求められる最低床版厚以上とし、応力度、たわみ、鉄筋のかぶり厚等を考慮して決定する。

本橋梁では床版支間が最大5.6mのため、最低床版厚は250mmとなる。しかし、FRPパネルのリブ高が200mmのため、鉄筋のかぶりを考慮し床版厚を270mmとした。図-8に床版の断面構成を示す。

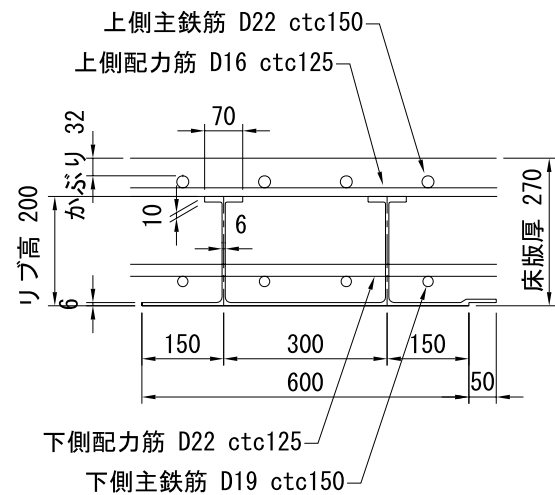


図-8 FRP型材の基本形状と断面構成

(4) 上弦材の継手形状

本橋のFRP合成床版では、構造の簡略化を図るため、支間側のハンチを省略した構造を採用している。このため、床版パネルと上弦材との取り合い構造は、図-9のように上フランジにはFRPパネルの固定金具が設置される。したがって、上弦材上フランジの添接板は、この

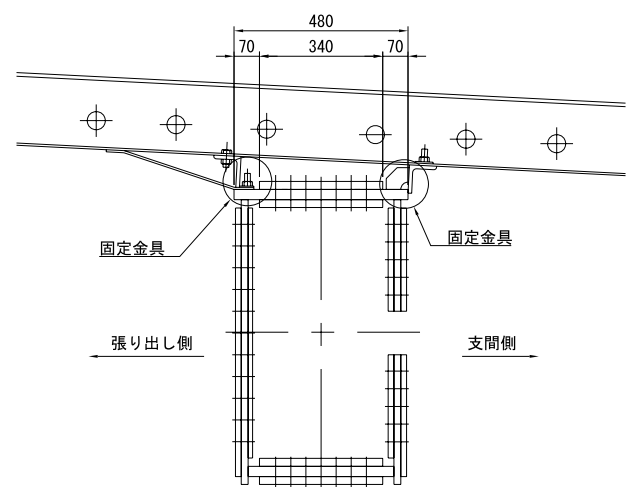


図-9 FRPパネルと上弦材の取り合い構造

平面図 S=1:200

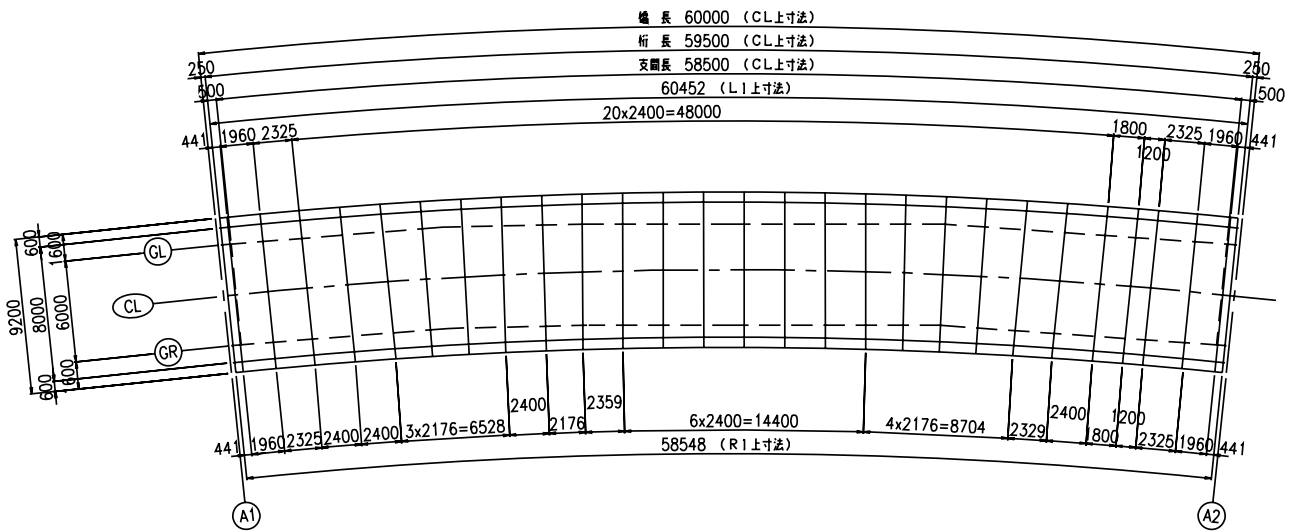


図-10 パネル配置図

金具との干渉を避けるため、上フランジ幅の両側を70mm控えた形状とした。

(5) パネル配置

FRPパネルは、幅600mmのリブ付き引抜き成形材を4枚組み合わせた幅2.4mを基本形状としているが、本橋は平面線形に曲線を有するため、パネル形状を扇形にすることで対応を行った。しかし、全パネルを扇形にすると、パネルの加工が煩雑となるため、全26枚中10パネルのみを扇形とし、残りは長方形のパネルとした。このときの、パネル配置を図-10に示す。

6. FRP合成床版の施工

(1) FRPパネルの敷設

FRPパネルの底板はパネル同士ラップする構造となっており、敷設順序がパネル製作に影響するため、パネルの製作前に架設順序を決める必要がある。そこで、今回はA2橋台付近に工事用搬入路が確保されていることから、A2橋台側から200t吊オールテレーンクレーンにより、A1橋台側に向かって敷設することにした。ただし、A2側のクレーンだけでは全てのパネルの敷設はできないため、A1側に50t吊ラフタークレーンを設置してA1側のパネルを敷設した。このときの敷設要領図を、図-11に示す。

FRPパネルの敷設は全26枚であり、桁端部の端横桁上のパネルは、巻き立てコンクリート打設後に設置し

た。FRPパネルの敷設に要した日数は24枚で3日間、一日の最大敷設枚数は10枚であった。なお、パネルは主桁上フランジのスタッドボルトと、FRPパネルにかけられた孔の位置を合わせることにより所定の位置に設置する。したがって、パネルの位置が大きすぎることは無いが、1パネルあたり24個スタッドボルト位置を同時にあわせる必要があったため、調整に時間がかかる結果となった。

(2) 床版コンクリート打設

一般的に単純版の合成床版では、床版支間に対する張り出し長さの割合を4割程度にすると、支間部と張り出し部のコンクリート打設時のたわみが同程度になり、バランスが良いとされている。しかし、本橋ではこの割合が3割弱と少なく、支間部のたわみが大きくなる傾向にある。また、主桁上のコンクリート打設によりFRPパネルの回転変形が拘束されるため、橋軸直角方向の打設順序によりFRPパネルのたわみが設計値と異なることが考えられる⁴⁾。

このため、床版のコンクリート打設にあたってはFRPのたわみをなるべく押えるために、打設順序の検討を行った。

検討にあたっては、張り出し部を先に打設した場合と支間部を先に打設した場合を考慮し、型枠のたわみ量を解析した。この結果、張り出し部を先に打設したほうが型枠の変形が少ないことがわかった。したがって、コンクリート打設はこの順序により施工した。打設後、たわ

FRP床版 架設要領図 S=1/500(1/250)

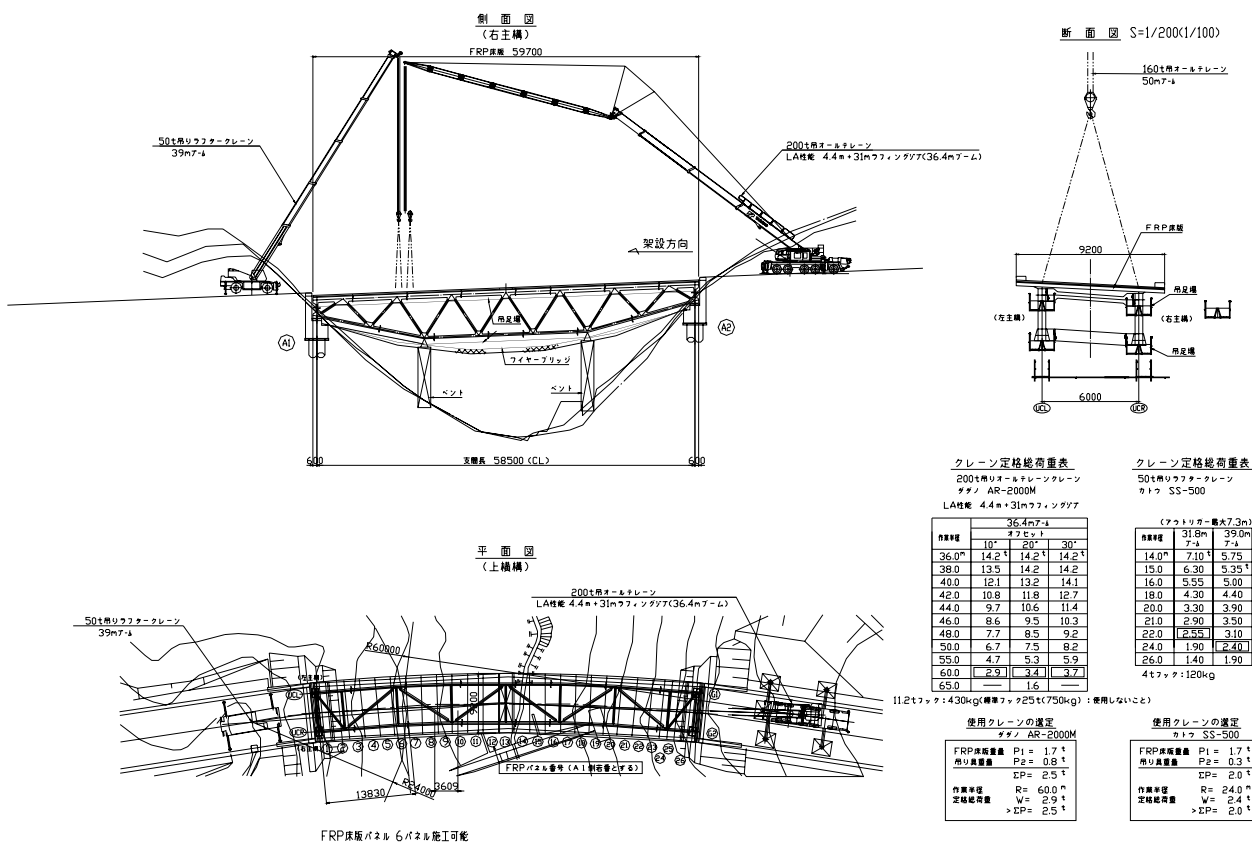


図-11 敷設要領図

みを計測した結果、床版型枠の変形はほぼ解析値どおりであることが確認できた。

架設現場は男鹿半島国定公園内に位置するため、コンクリート打設時におけるセメントミルクの桁下への落下を、可能な限り防ぐことが求められる。このため、桁の上フランジとFRP型枠の間には止水スポンジを設置しているものの、さらに止水を確実なものとするため、別途床版型枠と上フランジの境界部分へ外側からシリコン系のシール材を施した。

7. 端横桁型枠

(1) 端横桁型枠形式

本橋梁の端横桁は鋼製の充腹式端横桁にコンクリートを巻き立て、落橋防止ケーブルを取り付ける構造である。この巻き立てコンクリートと橋台パラペットの間隔は250mmと狭く、桁架設後の橋台側型枠の組立、取り外しが不可能となる。このため、端横桁のコンクリート型枠は地組時に取り付け、埋め殺し型枠を採用した。

ただし、埋め殺し型枠は鋼板を用いるのが一般的であるが、鋼板を用いた場合、施工中の塗装損傷や経時劣化による塗り替えが困難となる。さらに、桁端部は、伸縮装置からの漏水など最も損傷を受けやすい部位であることから、耐食性の高い材料が求められた。

そこで、FRP合成床版に用いた耐食性の高い、FRPリブ付パネルを端横桁の橋台側型枠として使用することとした。

(2) 型枠の構造

FRPパネルを端横桁巻き立てコンクリートの型枠として使用するにあたり、要求される条件は以下の2つである。

- ・防錆及び、遊間の確保の観点から型枠固定金具を全て型枠の内側に設置し、端横桁と固定すること。
- ・巻き立てコンクリートの鉄筋配置の妨げにならないこと。

前者の条件に対しては、端横桁ウェブに高ナットを溶接し、FRP型枠側には鋼製アングルをブラインドリベ

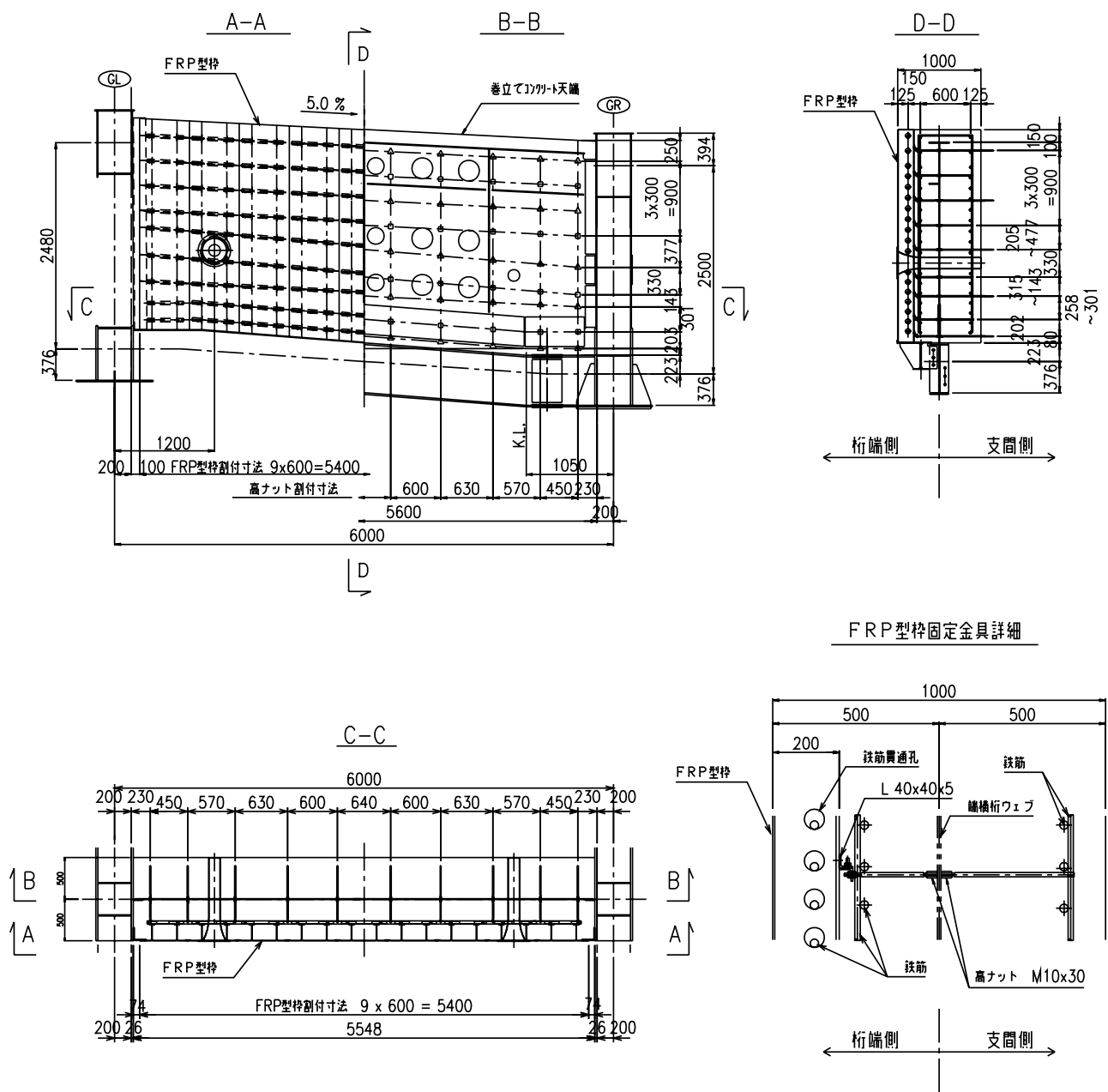


図-12 端横桁FRP型枠

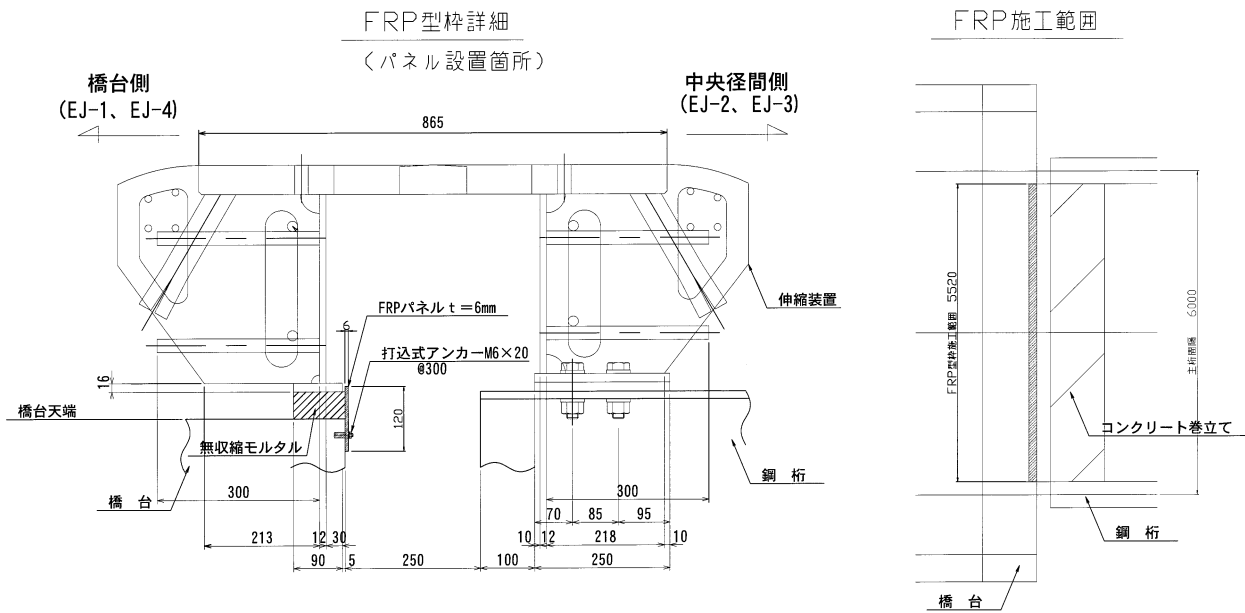
ットで固定し両者を丸鋼で固定する方法とすることで対応した。また、後者に対しては、床版と同様にFRP型枠のリブに鉄筋貫通孔を設け、ここに端横桁の鉄筋を貫通させることで対応した(図-12)。なお、端横桁ではFRP型枠を強度部材に見込まず、型枠として設計を行った。

(3) 端横桁FRP型枠の施工

FRP型枠は、高さ2500mmであり端横桁との隙間も狭いため、一体化したパネルを設置することは困難であ

る。このため、幅600mmのパネルを端から順に内側の金具で固定する方法とした。なお、FRP型枠を貫通する鉄筋は、作業スペースの関係で2分割とし、両側から挿入した。

また、橋台側の伸縮装置下部の無収縮モルタルの型枠も、橋台と端横桁の間隔が狭く、設置作業が困難であったため、FRP製埋め殺し型枠を用いることにした。ただし、型枠の高さが低いため、FRP型枠には、6mmのFRP板材を使用し、橋台へ打ち込み式アンカーで固定した(図-13)。



図一 13 無収縮モルタル型枠

8. 終わりに (課題)

合理化構造のトラス橋にFRP合成床版を用いるという過去に例の無い特殊な工事であったが、様々な検討や、関係各位の努力の結果、大きな技術的問題も無く竣工を迎えることができた。しかし、改善すべき点は多々あり、そのうちの主なものを以下にあげる。今後の同様な工事で参考になれば幸いである。

FRP型枠の敷設ではFRPパネルの孔に桁のスタッドボルトをあわせるための調整に時間を費やした。このため、FRP型枠にあける孔を大きくし、数を減らすことで敷設の工程を短縮することが可能であると考えられる。

下側配筋筋の配筋の際、FRPリブに設けられた鉄筋貫通孔はφ50、これに対して下側配筋筋がD22であった。このため、鉄筋ラップ部分では余裕が少なく、ラップ筋を引き出す作業が困難であったため、鉄筋貫通孔の拡大が必要であると考えられる。

端横桁のFRP型枠に関しては課題が多い。まず、上下の弦材が干渉するためパネルの横から鉄筋を差し込めない箇所があり、この鉄筋は機械継手を用いることとなった。またFRP型枠はリブ直角方向の剛性が小さいため、全てのパネルに固定金具が必要となり、位置決め時の取り合いの箇所数が多く、配置が困難であった。加えて、型枠内側の狭隘なスペースでナット締めを行う必要

が合ったため、構造の改善が必要である。

<謝辞>

本工事の設計、施工を進めるにあたり発注者である秋田県秋田地域振興局の方々、並びに宮地・東北機械JVの関係各位に御指導、ご協力をいただいた。誌面を借りてこれらの関係各位に厚く御礼を申し上げ、本稿を閉じることとする。

<参考文献>

- 1) 新しい鋼橋 (改訂版), 日本橋梁建設協会, pp10, 平成16年2月
- 2) 久保, 古谷, 能登: FRP合成床版の紹介, 宮地技報No20, pp32~28, 平成17年3月
- 3) 久保, 小松原, 山口, 若山, 興地, 石崎: 長支間FRP合成床版の設計と施工, 第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, pp277~282, 2003
- 4) 望月, 花田, 石崎, 久保, 松井: FRP合成床版の実橋への適用例と疲労耐久性評価, 第一回FRP橋梁に関するシンポジウム, 土木学会, pp65~72, 2001.1.

2008.2.5 受付