

2 施工計画

既設桁上における鋼床版1主箱桁橋の 曲線状送出しについて

日本橋梁建設土木施工管理技士会

日立造船株式会社

現場代理人

柴田 啓吾

1. はじめに

本工事は、熊本都市圏と天草地域を90分で結ぶための熊本天草幹線道路のうち、天草の上島と下島を結ぶ位置に架かる橋梁工事である。海上での施工であり、中央径間部は航路上に位置することから、航路外となる側径間では海上ベントによるクレーンベント架設、航路上となる中央径間では既設桁上での送出し架設が採用されることとなった。

- (1) 工事名：国道324号地域連携推進改築
(G4上部工) 工事
- (2) 発注者：熊本県
- (3) 工事場所：天草市東町～瀬戸町
- (4) 工期：自) 令和2年10月9日
至) 令和4年8月31日
- (5) 諸元：鋼3径間連続鋼床版箱桁橋
橋長236m、鋼重1159.6t
支間長59.2m+100.0m+75.2m
平面曲線R550m～R1450m



図-1 橋梁全景写真

2. 現場における問題点

本工事は送出し架設における問題点として、下記の項目を検討する必要があった。

(1) 平面曲線に対応した軌条設備の設置方法

本工事は既設桁上での送出しとなっており、軌条枕梁の配置箇所が補強リブのある箇所に限定される。また、本工事区間の平面曲線がR=550mと小さいため、軌条梁を直線上に敷設することができない。

(2) 1主箱桁と2主箱桁式手延機の接続方法

中央支間長が100mと長いために、2主箱桁形式の手延機が必要となったが、本橋の主桁形式は逆台形断面の1主箱桁構造であることから、手延機へから主桁へのスムーズな応力伝達機能を確保するために、連結部の構造を工夫する必要があった。

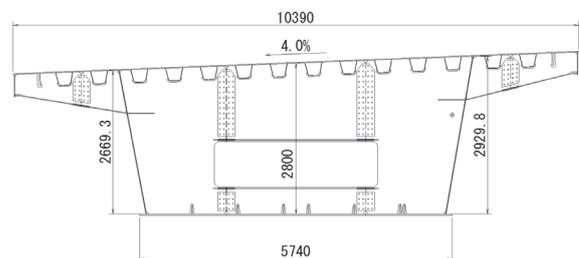


図-2 桁一般断面図

(3) 上り勾配における推進力の確保および平面曲線に対する内輪差の解消

送出し桁の鋼重が480tonと大きく、また2.27%の上り勾配であることから当社の保有の電動式自走台車の推進力では能力が不足する。また、平面曲

線に合わせて送出しを行うため、軌条での内輪差が発生する。これらの問題を解決した上で推進力を確保する必要があった。

(4) 左右送出し受け点間の大きな反力差への対応

本橋は曲線桁であるため、曲線の外側に反力が集中する。送出し最終段階においては各支点上の反力がL側：700kN、R側：1700kNとバランスが悪く、送出し中においては最大でL側：4700kN、R側：1600kNと約3倍の差異が発生する。この反力差により、送出しステップの精緻な検討、適切な送出し設備の構築を行う必要があった。

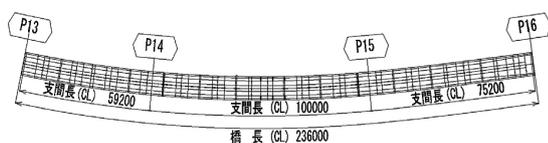


図-3 桁平面図

(5) 既設桁たわみを考慮した送出し計画

既設桁上で送出しを行う場合、既設桁をベント設備で支持し、既設桁のたわみを発生させないように施工することが一般的だが、本工事の既設桁は送出し時にベント設備で支持することが想定されておらず、受け点補強がなされていなかった。そのため、既設桁をベント設備で支持できず、送出し中に既設桁のたわみの発生が予想された。これにより、送出し中の台車設備反力が変化し、送出し設備の許容耐力を超過する恐れがあった。

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 工夫・改善点

(1) 平面曲線に対応した軌条設備の設置方法

一般的にはH300やH400のH形鋼を使用して、一定間隔および梁の両端部に枕梁を設置して軌条梁を設置するが、本工事では既設桁の補強位置が事前に決まっていたため、軌条梁の構造に合わせて枕梁を設置することができない。また、平面曲線状に送出しを行うことから、曲率を考慮して軌条設備を敷設する必要があった。これらの問題を解決するため、軌条梁にはH700を使用し、曲率を考慮してボルト孔に加工を施し添接版にて接続

することで、曲線状の送出しに対応できるようにした。

軌条梁は曲線に合わせて接続部で折り曲げることで対応し、レール自体は軌条梁上に罫書いた送出し曲線に合わせてカーブさせた状態で固定金具にて押さえ込んで設置した。

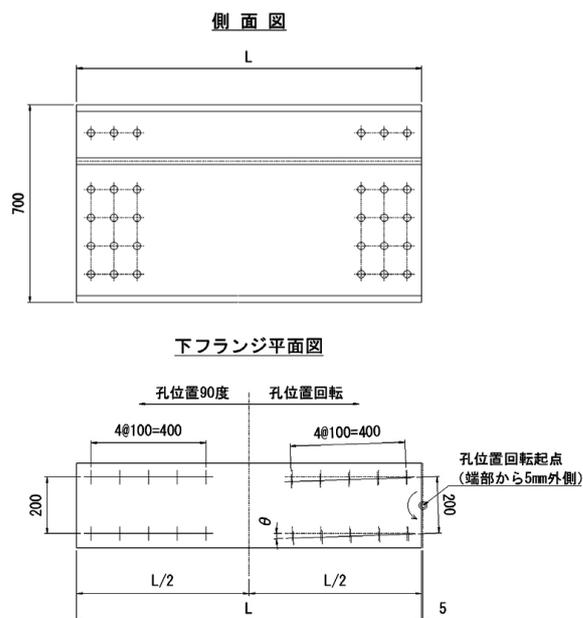


図-4 H700接続部材

(2) 1主箱桁と2主箱桁式手延機の接続方法

本橋の桁断面は逆台形の1主箱桁である。従来箱桁であれば1主桁に対して手延機1本を接続する構造とするところ、本橋のウェブ間隔は下フランジ側で5.5m、鋼床版側で6.5mと広く送出し支間長も90mと長いことから、2主箱桁構造で合計69mの手延機を使用することとした。

しかし一般的に流通する手延機は従来箱桁形状であり、逆台形のウェブに対応していないため、連結側での工夫が必要となった。主桁断面と同構造の連結部をベースとし、手延機と同形状のウェブを内側に配置することで応力の流れをスムーズにする構造とした。また、3Dモデルを活用して詳細構造を検討し、3次元FEM解析によって応力伝達の妥当性を検証した。

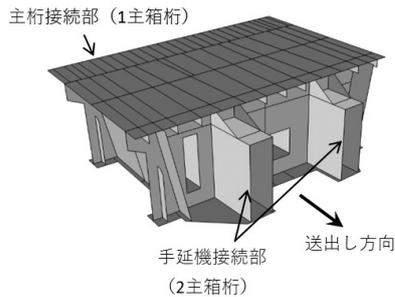


図-5 連結構 簡易モデル

(3) 上り勾配における推進力の確保および平面曲線に対する内輪差の解消

本橋の縦断勾配は起点側から中央に向かって上り勾配、中央から終点側に向かって下り勾配となっている。本工事では起点側から送出しを行うため、上り勾配にて送出しを行う必要があった。前述した通り送出し桁の鋼重は480tであり、手延機や連結構を含めると714tとなるため、上り勾配と鋼重の影響から抵抗が大きく自走台車では推進力が不足する結果となった。そこで今回は、推進設備となる後方台車の前後に500kN押し引きジャッキを4基設置し、送出しを行うこととした。なお、既設桁の構造や、台車反力の影響により軌条は4条、台車設備は2台1組として4組使用した。

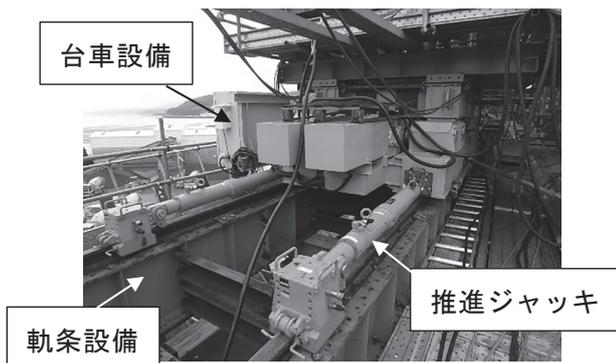


図-6 台車設備推進ジャッキ

しかし、本工事では平面曲率 $R=550m$ に合わせて送出すことから、送出しラインの内側と外側で内輪差が発生する。そのため、CAD上で台車の車輪構造、レール幅およびレール間隔を考慮した上で押し引きジャッキ毎のストローク長を内外で異なる長さに設定した。

また、台車設備開放後は送出し設備の盛替えを行い、スライドベースによる送出しを行うこととした。

(4) 左右送出し受け点間の大きな反力差への対応

送出し反力が大きくなると、送出し設備や台車設備、既設桁の受け点補強などの耐力に大きく影響する。過大設備によるコストアップを抑えるべく、送出しステップを1～2m間隔で格子解析を行い、既設桁のたわみや、手延機張り出し量の変化による受け点反力の変動を考慮した上でステップ毎の受け点反力を算出した。

(5) 既設桁たわみを考慮した送出し計画

送出しステップのうち、既設桁の支間中央に台車反力が載荷するタイミングや、支点上に台車反力が載荷するタイミングでの既設桁のたわみ量を格子解析により算出し、算出したたわみ量に応じた台車位置の支点沈下量を送出しステップ解析に考慮することで各台車反力の変化量を確認した。

3-2 適用結果

(1) 平面曲線に対応した軌条設備の設置方法

軌条梁をH700とし、接続部材を製作することで軌条梁を補強リブ間隔で支持することが可能となった。また、レールを一定な曲線状に設置できたことにより、スムーズな送出しが可能となった。

H300等の山留め材には一般的にエンドプレートが取り付けられており、添接板を使用した接続ができない。H700を採用したことにより接続部材が使用でき、これによる擬似的な曲線対応ができたと考える。また、枕梁も補強のある一定間隔に設置したため、枕梁の数量が最低限となり、高さ調整の時間短縮とライナープレートの節約ができた。

しかし、送出し曲率、H700部材長により曲げ角度が異なるため、他現場への接続部材の転用もできない。加えて軌条延長が160mと長く軌条も4条あったため、接続部材の製作数量が多くなり、コスト的には厳しいものとなった。

(2) 1主箱桁と2主箱桁式手延機の接続方法

1断面の主桁と2主箱桁の手延機を接続するた

めの連結構を応力伝達可能な構造としたことで、送出し中も問題なく施工完了することができた。

連結構が送出し支間中央に来た時が曲げモーメント最大になり、見た目的にも大きく桁が反りあがったが、計画時に想定していたたわみ量に近い挙動を示すことが確認されたため、桁の変形や連結構の座屈等もなく、応力伝達が問題なく行われたことが確認できた。

構造上、一般的な連結構の重量より大きな設備となったため製作コストが大きくなり、構造が複雑なため連結構の設備設計に多くの時間を要した。今後の課題としては、構造の簡略化による重量減と、特殊構造の連結構における設計手法の確立が挙げられる。

(3) 上り勾配における推進力の確保および平面曲線に対する内輪差の解消

推進ジャッキを4基使用したことで、安定した送出しを行うことができた。また、台車解放後、送出し設備上に設置したスライドベースによる送出しに切り替えたあとも、曲線に対する平面位置調整を行いながら問題なく送出しを完了することができた。

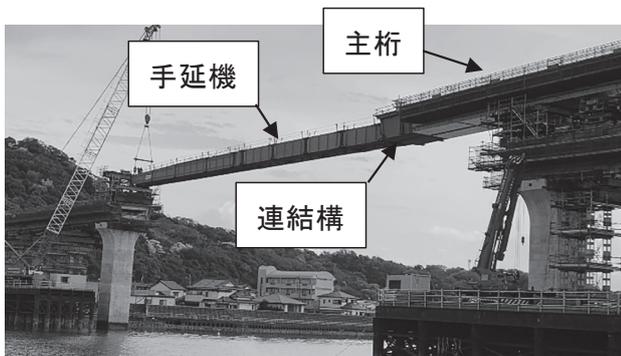


図-7 手延機到達

内輪差についても、台車の左右で3mm、隣り合う台車設備で12mmのストローク差を設けることで、レールから脱輪することなく曲線送出しを行うことができた。

(4) 左右送出し受け点間の大きな反力差への対応

事前に詳細なステップでの反力確認を行ったことで、送出し中もステップ毎の反力を検証しながら施工することができた。本工事では送出しの進

捗に合わせて進捗量、設計反力、実反力をモニター上で一元管理できるモニタリングシステムを構築した。これにより、設計反力を超えず、想定通りの反力で送出しを行えていることを定量的かつ速やか確認できた。反力が設計値を超えそうな場合は各設備の高さ調整を行うことで反力バランスを調整できた。

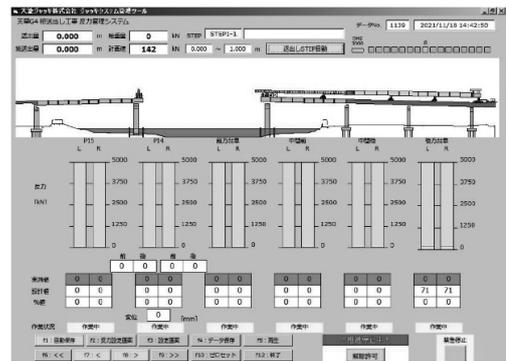


図-8 モニタリングシステム

(5) 既設桁たわみを考慮した送出し計画

支点上および支間中央に台車設備を載荷した際の既設桁のたわみによる反力の影響度を確認したところ、各設備への反力影響は±10%以下であった。そのため、各設備の設計時に見込んだ不均等荷重や、架設時における許容応力度の割増を考慮することで、追加補強は不要であると判断した。事前に影響が少ないことが確認できたことで、安心して施工することができた。

4. おわりに

ベント支持なしでの桁上送出し架設であり、平面曲線R=550mの曲線送出しという施工条件の厳しい工事であったが、社内外の関係者で知恵を出し合い、何度も施工方法に関する話し合いを行った結果、無事故無災害で工事を完遂することができ、工事評価点87点を取得できた。

本稿が桁上送出し工事の一例として、施工方法の参考となれば幸いである。また、本橋のようなシンボリックな橋の建設に携われたことを誇りに思う。

最後に本工事の施工にあたりご協力頂いた熊本県天草広域本部の皆様、ならびに工事に関係したすべての皆様に深く感謝の意を表します。