

ジャッキアップ回転架設工法による宿茂高架橋の 設計，製作，架設について

(その4．架設，架設設備及び制御システム)

川 添 俊 之^{*1} 大 谷 正 美^{*2} 藤 田 瑞 穂^{*3} 古 澤 芳 郎^{*3}
内 山 善 雄^{*3} 榎 本 大 輔^{*4} 浜 田 正 敏^{*5} 石 井 貴 之^{*6}

宿茂高架橋の架設工法として採用されたジャッキアップ回転工法は，輸送可能な長さに分割された桁を，ジャッキが組み込まれたリフトアップ装置にて橋脚に沿って鉛直方向に建方（ジャッキアップ）を行い，組上がった桁を橋脚頂部に設けた回転ピンと接合し，桁の両端（上端及び下端）に設置したワイヤーにて張力を制御しながら水平位置に桁を回転し完成させる工法である。本橋のような山岳地に建設され，作業スペースの確保が困難な場所に建設される橋梁には非常に有効な架設工法である。本章ではジャッキアップ回転架設工法の施工，架設設備，および制御システムについて述べる

Design, Manufacturing and Construction of Sukumo Viaduct by Jack-up Turn Method

(Part.4 The Construction, Equipments and Controlling Systems)

Toshiyuki Kawazoe , Masami Ohtani , Mizuho Fujita , Yoshio Furusawa
Yosio Uchiyama , Daisuke Enomoto , Masatoshi Hamada , Takayuki Ishii

Jack-up rotating method is adopted as erection method of Sukumo Viaduct. Girders are erected to up-word along the pier by using the machine with jacks. After connecting with pins at top of the pier, the girder is rotated by controlling stresses of wires located at both edges. This is the very effective erection method for viaducts constructed at mountain areas, since wide area is not necessary for the erection works. This paper reports about the construction, equipments and controlling systems of Jack-up rotating method.

1．はじめに

宿茂高架橋は4径間連続複合ラーメン鋼2主桁橋で橋長が262m，A1，A2橋台及びP1（H=34.01m），P2（H=57.01m），P3（H=22.01m）の3橋脚で構成されており，それぞれの支間長はA1～P1=45.30m，P1～P2=85.00m，P2～P3=85.00m，P3～A2=45.30mである。本工事の架設工法としてジャッキアップ回転架設工法が採用された（Fig.1）。

ジャッキアップ回転架設工法は，輸送可能な長さに製作された桁を，ジャッキが組み込まれたリフトアップ装置にて橋脚に沿って鉛直方向に架設（ジャッキアップ）を行い，組上がった桁を橋脚頂部に設けた回転ピンと接合し，桁の両端（上端及び下端）に設置したワイヤーにて張力を制御しながら水平位置に桁を回転し完成させる工法である（Fig.2）。架設作業を橋脚位置に設置した，リフトアップ

装置にて行うため，作業スペースが橋脚周りのみに確保できればよく，本橋のような山岳地に建設され，作業スペースの確保が困難な場所に建設される橋梁には非常に有効な架設工法である。またリフトアップ装置を使用した機械化工法による省力化にともなうコストの縮減，工期短縮，高所作業の低減による安全性の向上などのメリットが考えられる。しかし一般的に鋼橋は縦断勾配，横断勾配，キャンバー等が考慮されるため，製品は左右の桁で段差があり，橋軸方向は弓形にわん曲している。さらに平面線形R=1400mにたいし中間橋脚上で3.5度の折れ桁となっており，橋脚上で“く”の字に折れ曲がった桁をジャッキアップす

* 1 工事部鉄構工事グループ次長
* 2 工事部鉄構工事グループ施工担当課長代理
* 3 工事部鉄構工事グループ副主任
* 4 工事部鉄構工事グループ
* 5 (株)巴技研課長
* 6 (株)巴技研

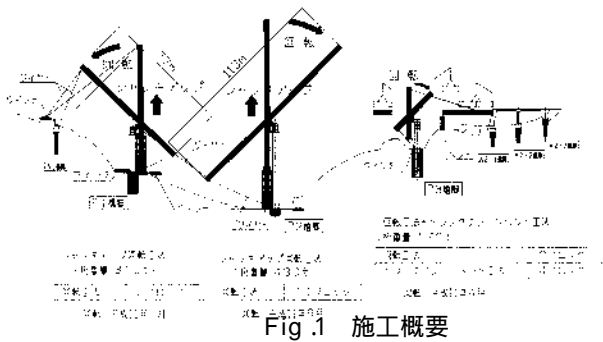


Fig.1 施工概要

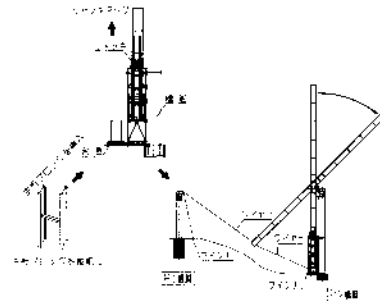


Fig 2 施工要領

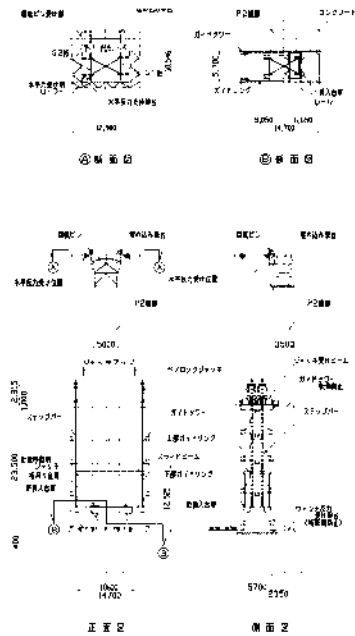


Fig 3 ジャッキアップ設備



Photo. 1 ガイドタワー

る必要がある。従来のジャッキアップシステムの機能だけでは対応できず、ジャッキアップ途中で揚体（桁）の角度を変化させる機能を追加したシステムを開発した。

本章ではジャッキアップ回転架設工法の施工、架設設備、および制御システムについて述べる

2. ジャッキアップ回転架設設備

本工法の設備はジャッキアップ設備および回転設備に大別できる。桁自重の変化に伴いジャッキ台数、ワイヤー本数など、各橋脚で多少変化はあるが、P2 橋脚に用いたそれぞれの設備について以下に示す。

2.1 ジャッキアップ設備

今回のジャッキアップ設備は、Fig 3に示すようにジャッキを支持するジャッキアップ装置と、橋脚に沿って上方に伸びてゆく揚体（桁本体）に加わる水平力を処理するための橋脚上部に設けられた水平力支持架台により構成される。ジャッキアップ装置は主に揚体の自重と、揚体が橋脚上部の水平力支持架台を通過するまでの間桁が片持柱



Photo 2 吊り金具



Photo 3 ガイドローラー

の状態での水平力による桁の転倒モーメントを支持する。揚体頂部が水平力支持架台通過後は本架台にXY両方向に取り付けられたガイドローラーにて、水平力が処理される。ジャッキアップ装置はフレーム（巾W=14,700、奥行D=5,700、高さH=23,500）、鉛直ジャッキ、水平ジャッキ、下部ガイドリング、スライドビーム、上部ガイドリング、

吊り金具（ターンバックル機能）、ステップバー、桁挿入台車により構成される（Fig 3）

スライドビームは下部ガイドリングの外筒として揚体と吊り金具にて連結されて、揚体を吊った状態で水平ジャッキにより水平方向に移動できる機能を持っている。これは剛結部で“く”の字に折れた桁を“く”の字の状態ではジャッキアップは不可能と判断し、剛結部を連結した後の桁を鉛直にジャッキアップするために上部水平力支持架台に設けたガイドローラーを使用し、水平方向の移動を拘束する。この状態で、ガイドリング上に設置された水平ジャッキにて水平方向に加力し、スライドビームを横移動することで桁の角度を変え、折れ曲がり点以降の桁を鉛直方向にジャッキアップする方法を採用した。

ジャッキについては油圧トラブルによる事故防止を最重要課題とし、メカニカルロック機能を有するベアロックシリンダーを採用した。このジャッキは油圧シリンダーのシリンダースリーブに圧力を与えて、スリーブが弾性変形しピストンとの間に僅かな隙間を作りピストンを上下させている。よって圧力をかけない状態ではしまりばめの効果によりロック機能を有する。従って、任意の位置でロックが可能であり、油圧システムの圧力低下等の事故に対しても、スリーブ内圧が低下すれば自動的にロック力を復元し、瞬時に安定を保つことができる（Fig 4）。また、シリンダーストロークごとに盛替操作を行い必要揚程までリフトアップさせる機構については、I型断面の引張材（ステップバー）のウェブ面にピン挿入用の穴を設け、上部ピン、下部ピンを交互に脱着させながら揚体を持ち上げる尺取り方式である。吊り上げ材に形鋼を使用し挿入ピンとの支圧耐力、引張部材の耐力およびピンのせん断耐力にて確実に限界荷重が算定でき、安全性は高いシステムである（Fig 5）。

以下にジャッキ仕様を示す。

名称	仕様
シリンダーユニット 300t (150t x 2台)	ベアロックシリンダー x 2台 150t推力/ロック力180t
油圧ユニット 11kw	メインポンプモータ11kw 4p 20L/min
ステップバー 300t	BI 432 x 150 x 36 x 16

2.2 回転設備

回転工事はジャッキアップにより鉛直に立てられた桁を送り側ワイヤーと引き側ワイヤーの張力を管理しながら、桁を水平な状態にする作業である。回転ピンは各桁に配置し2個のピンを使用する。この場合2つのピンの軸芯は一直線上に配置される必要があるが、施工誤差や回転時の摩擦抵抗等の問題を解決するために、高荷重特殊型ユニバーサル軸受けを装着し、回転方向は360°の回転が可能であり、面外方向では±5°の自由度を有する。

設計仕様を下記に示す（Photo 4）。

- 鉛直荷重：350ton/台（桁垂直時）
- 500ton/台（桁水平時）

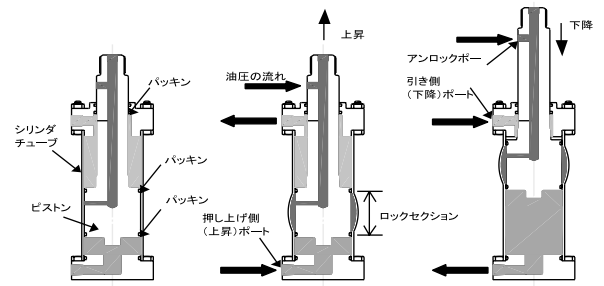


Fig 4 ジャッキシステム

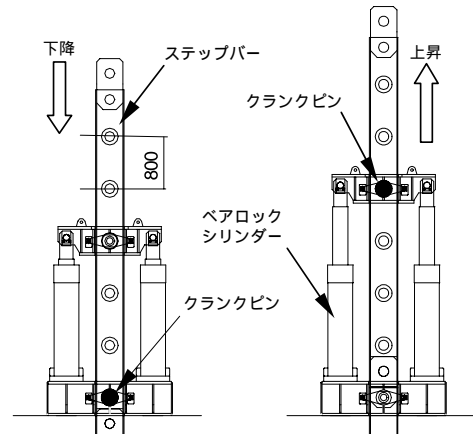


Fig 5 ジャッキ作動図



Photo 4 回転ピン



Photo 5 ワイヤーシステム（送り側）

面外荷重：50ton/台（桁垂直・水平時）

ワイヤーシステムはフェイルセーフを考慮し、送り側と引き側両方とも2系統のシステムを配置した。ワイヤーは滑車を介してウインチに接続されており、これらのウインチでワイヤーを巻き取る、あるいは巻き戻すことで桁を回転させる。この制御は桁とワイヤーの接合部にロードセルを配置しリアルタイムでワイヤー張力を検出し回転制御を行った（Photo 5）。

桁を垂直位置から水平位置まで回転させるとき、ワイヤー張力は大きく変化する。この理由は桁芯とピンの位置が偏心していることにある。桁が回転を始めるときは回転側のワイヤーに張力が発生する。回転がある程度すすむにつれ張力は減少し、桁の重心がピンの中心に重なった時点で張力はゼロとなる。この時点より送り側のワイヤーに張力が発生し水平になった時点で送り側のワイヤー張力は最大になる。本工事においてはP1桁の回転時に約100tonの張力が予想された。

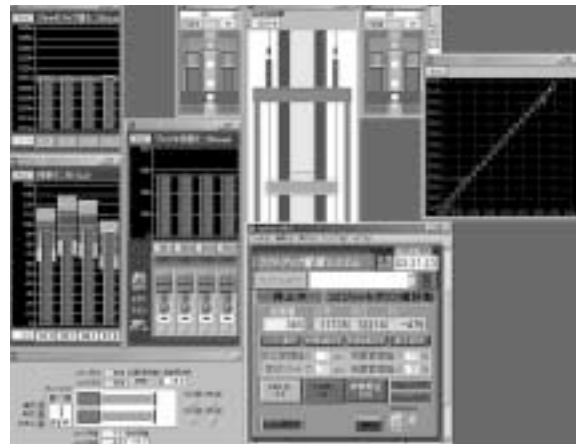
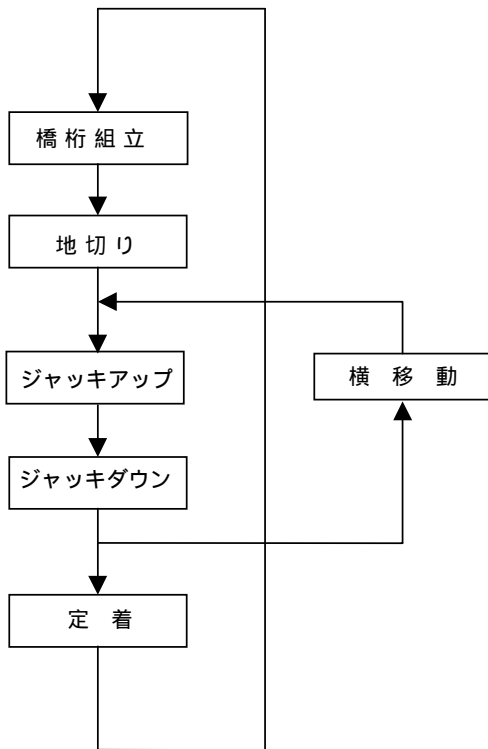


Photo 5 制御モニタ

3. 制御システム

3.1 ジャッキアップ制御システム

1) ジャッキアップ制御フローチャート



2) 制御方法

① 地切り（荷重制御）

ジャッキアップを行う前の操作で、段階的に荷重をジャッキアップ装置に移動させる安全性を考慮した荷重制御である。橋桁を地切ってからジャッキアップを行い、地切りは目視およびリアルタイムモニターで監視する。ただし変位リミットが働いた場合はジャッキアップ制御に切

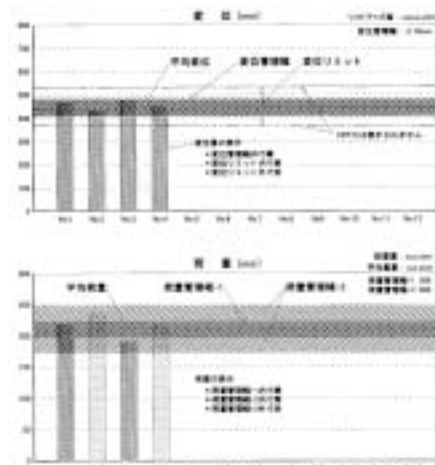


Fig 6 ジャッキ変位荷重モニタ

り換える。

② ジャッキアップ（変位制御）

2台または4台のジャッキアップ装置の変位差が設定された±10mmの変位管理幅内になるように制御しながら桁を目標の位置までジャッキアップすることを目的としている。

③ ジャッキダウン（変位制御）

2台または4台のジャッキアップ装置の変位差が設定された±10mm変位管理幅内になるように制御しながら桁を目標の位置までジャッキダウンすることを目的としている。

④ 横移動ジャッキアップ（変位制御）

桁を横移動させるジャッキアップで、2台のジャッキアップ装置によるジャッキアップ制御を行いながら橋桁を目的位置（角度）まで横移動させる制御を行う。ただし盛換え時のピンの荷重移動による10mmの上昇、下降は固定側のジャッキアップ装置も同時制御を行う。

⑤ 定着（荷重制御）

ジャッキダウン終了後の操作で、変位制御による定着ではなく荷重制御により段階的に荷重を搬入台車にセットしてある橋桁に荷重を移動させることを目的としている。

定着は目視およびリアルタイムモニターで監視する。

3.2 回転制御システム

ジャッキアップ工法により垂直に組み立てられた桁は、回転を行うために、桁と橋脚の間を回転ピンで接続し、桁の上端には2本、下端には4本のワイヤーを取り付けてある。ワイヤーはそれぞれ滑車を介しウインチに接続されており、これらのウインチでワイヤーを巻き取る。あるいは巻き戻すことで桁を回転させる。

桁を垂直位置から水平位置まで回転させるとき 2段階の異なる制御が必要になる。最初の段階は、Fig. 7において桁の重心がピンの中心の鉛直線上に達するまで（Fig. 7のA区間）の回転であり、これを桁重心移動までの回転と呼ぶ。

A区間では、桁の重心が回転ピンの右側にあるため、桁は右側に回転しようとする。このため桁の上端に接続した2本のワイヤーを巻き取る回転制御となる。このときのワイヤー張力は、回転開始時（桁が垂直位置）が最大であり、回転により徐々に張力は減少し、重心移動位置で0になると考えられる。これ以降の回転は、ウインチの巻き取りを行わなくても桁の自重のみで回転するので、桁の下端に接続した4本のワイヤーで回転を抑える制御が必要となる。この回転制御が、第2段階の回転制御である。

ここで注意しなければならないのは、第1段階から第2段階に変わるとき、あらかじめ第1段階で桁の自重による回転を抑える制御を行っておかなければならないことである。

今回開発した制御方法は、引き側2本のワイヤー張力及び送り側の4本のワイヤー張力を設定した荷重管理幅内に制御する方式である。ワイヤー張力は桁とワイヤーの間に取り付けられたロードセルで検出した。制御にはパソコンを使用しており、回転により変化するワイヤー張力の読み取り、管理値の計算、ウインチへの指令及びリミット管理等をリアルタイムに行った。

ステップと制御

1. ステップ1

桁の重心が下方にある状態で 水平方向へ回転するモード

- 引き側ウインチ：巻き制御
- 送り側ウインチ：ホールド（出し）制御

2. ステップ2

桁の重心が上方にある状態で 水平方向へ回転するモード

- 引き側ウインチ：ホールド（巻き）制御
- 送り側ウインチ：出し制御

3. ステップ3

桁の重心が上方にある状態で 垂直方向へ回転するモード

- 引き側ウインチ：ホールド（出し）制御
- 送り側ウインチ：巻き制御

4. ステップ4

桁の重心が下方にある状態で 垂直方向へ回転するモード

- 引き側ウインチ：出し制御
- 送り側ウインチ：ホールド（巻き）制御

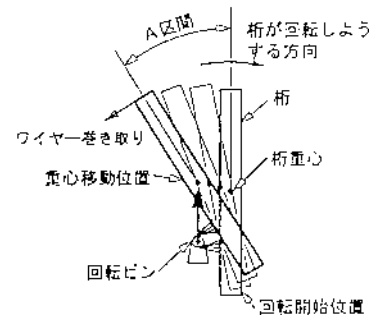


Fig. 7 桁重心移動までの回転

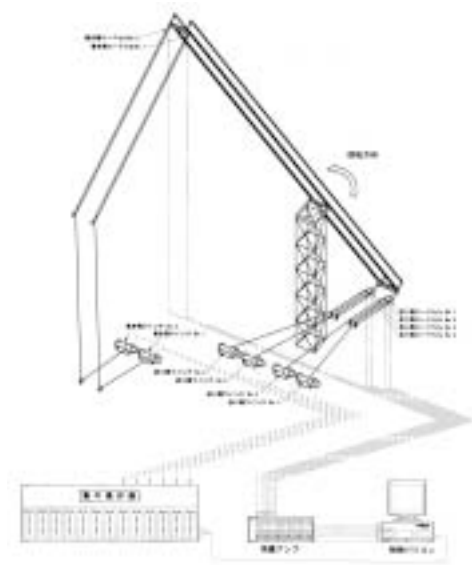


Fig. 8 システム図

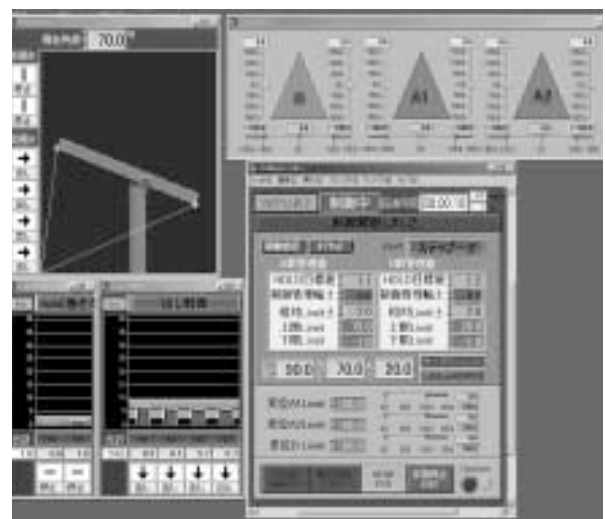


Photo. 7 制御モニタ

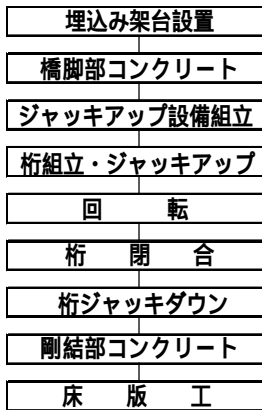
4. 架 設

4.1 作業フロー

架設作業はP3 P1 P2の順番に行った。P3については橋脚が短くクレーン架設を行った後、回転作業のみを本システムを使用しておこなった。ジャッキアップから回転までの作業フローをFig.9に示す。

4.2 ジャッキアップフロー

ジャッキアップステップをFig.10に示す。



前節でも説明したように桁が“く”の字に折れているためジャッキアップの基本方針をどのように決定するかが大きな問題であった。鉛直ジャッキのみでジャッキアップを行うためには桁ジョイント位置を変更しかつ吊りピースの方向を地組状態で鉛直方向に向ける必要がある。また地組を傾斜した状態で行う必要があるため安全面で問題が生じて

くる。工場製作でも製品形状が変化するため製作コストに影響する。これらの問題点を解決するために、ジャッキアップおよび地組の方針は常に鉛直方向行うこととした（Step 1～5）。従って剛結部の折れ桁を架設するために、上部ローラを支点として、揚体を吊った状態で水平ジャッキを使用しスライドビームを水平方向に移動し、同時に片側のジャッキを持ち上げることで3.5°傾斜させ、折れ桁を挿入する計画とした（Step 6～10）。こうすることでその後の桁を鉛直に地組し、鉛直にジャッキアップすることができる。しかし、折れ桁より下部の桁を鉛直にジャッキアップするため偏心量が大きくなり桁全体の転倒モーメントの処理が問題となる。この転倒モーメントは左右ジャッキの反力により処理されるが、安全性を向上させるため、橋脚上部に設けた水平力支持架台に取り付けたガイドローラに常時接した状態を保持する計画とした。従って、折れ桁以降のジャッキアップに際しては、スライドビームの横移動をジャッキアップと同時にを行い、固定されたローラに桁が接する状態を保持した（Step11）。

ジャッキアップ完了後、桁本来の形状に戻すために、同様の手順により1.75°桁を逆方向に回転し橋脚上部のピンに接合する。

実施状況写真を次ページに示す（Photo 8～14）

Fig.9 架設工事フロー

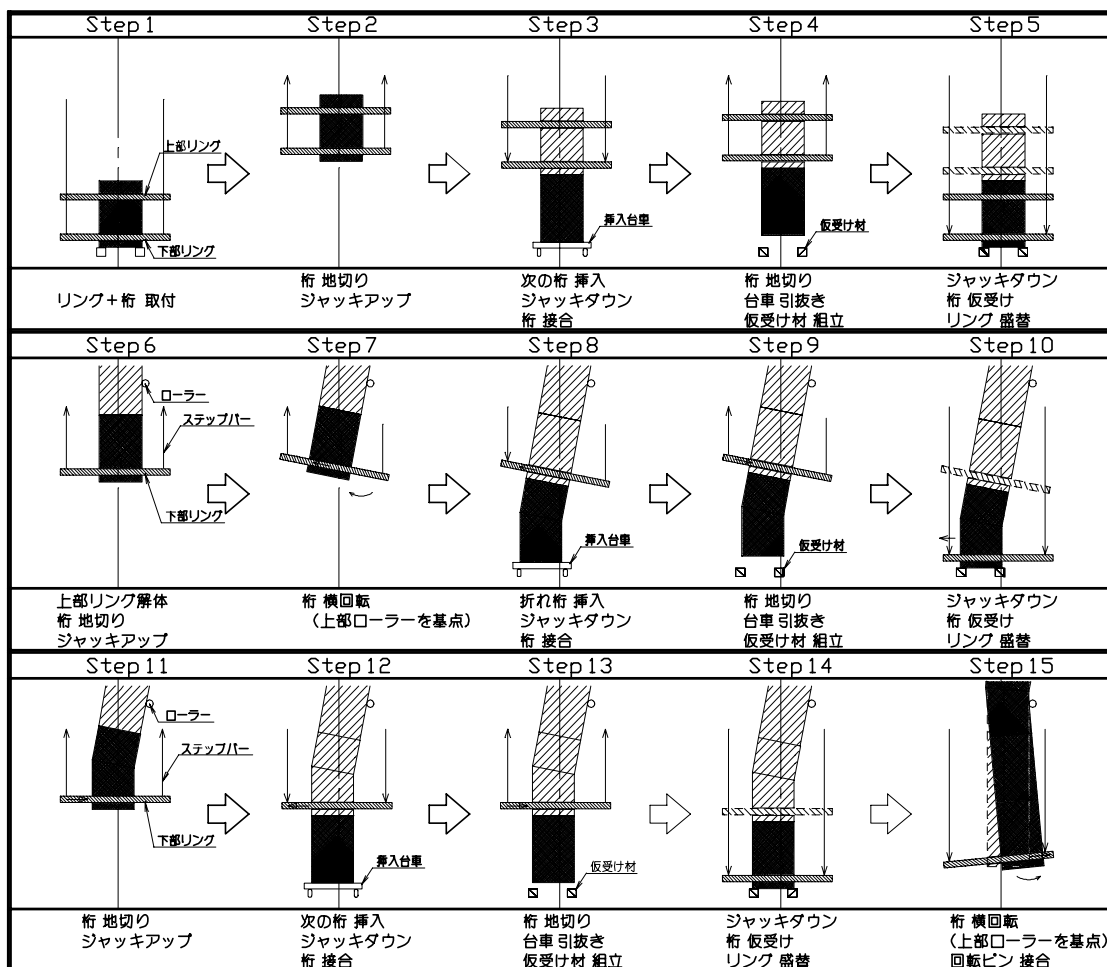


Fig.10 ジャッキアップステップ



Photo 8 ジャッキアップ施工状況桁組立及びジャッキアップ前



Photo .11 施工状況（回転状況）

Photo 9 ジャッキアップ施工状況ジャッキアップ後及び桁挿入前



Photo .12 回転前



Photo .13 回転中



Photo .10 施工状況ジャッキアップ完了



Photo .14 回転完了

5. 計測結果

ジャッキアップ時の計測はステップバーの先端に設置されたロードセルにより荷重が計測された。P1, P2 ジャッキアップ時の各ステップ毎の荷重推移をFig.11, Fig.12 に示す。

実線が計測データを示し、点線はジャッキ反力の予測値を示す。この場合の予測値算出根拠としては、桁の折れによる幾何学的な偏心の影響と、ガイドリング上に設けられた横移動用のジャッキによる外力と、上部水平反力架台に設けられたローラーにより処理される反力により、桁に対し転倒モーメントの影響を加味してある。ジャッキによって負荷される荷重をP1, P2 共転倒モーメントとして作用する方向に5.0tonを考慮した。

計測結果と予測値の比較を見ると、両ケースともジャッキアップ最終ステップの値で±10%の範囲にあり、単に幾何学的な影響だけではなく、水平ジャッキの影響も考える必要がある事が解る。

回転時のワイヤー張力計測結果をFig.13, Fig.14に示す。理論的には桁重心が、ピン位置を越えるまでは送り側のワイヤー張力はゼロであるが、送り側から引き側へ急激な荷重移動を防止するため3~5 tonの張力を保持させながら回転作業を行った。

張力の変化を見てみると、P1 については約20°, P2 については約40°で桁重心がピンを越えて、送り側ワイヤーに荷重が移行している。最大張力はP1 予測値で約100ton, P2 で60tonであった。P2 については、剛結部の桁重量増により桁の重心位置がピンに近づいたためと想定できる。

6. おわりに

ジャッキアップ工事は地組 挿入 接合 ジャッキアップのサイクルを2.5日/サイクルのペースで作業を進めることができた。今回桁挿入後ボルト本締め工事のための足場をジャッキアップ架台から吊り下げる形で計画したが、現場での足場組立て解体にかなりの時間を費やす結果となった。今後の改良点としては、接合のための作業足場のシステム化が課題である。またジャッキアップ作業は、桁が直線でないため、ジャッキアップ機能に加え、横移動の機能を組み合わせる必要があるため非常に複雑な作業であり、システム面での改良の余地があり、今回の計測データをもとにして今後の工事に反映させたい。

桁回転については計画どおり実施することができた。制御システム、機材共に問題は認められなかった。これは回転の挙動が明快であり、また事前に1/3縮小モデルにて回転実験を実施し十分なデータが蓄積されていたためであると考えられる。

最後に、本工事の実施にあたり施工計画の段階から種々の御意見、御指導をいただきました日本道路公団四国支社及び大洲工事事務所の皆様、また計画に際し貴重な種々の

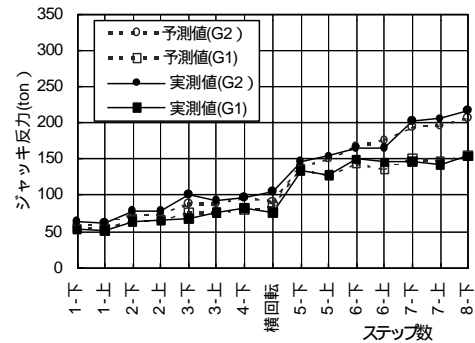


Fig.11 P1 ジャッキ反力

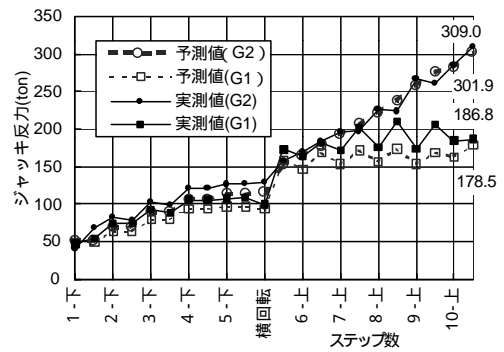


Fig.12 P2 ジャッキ反力

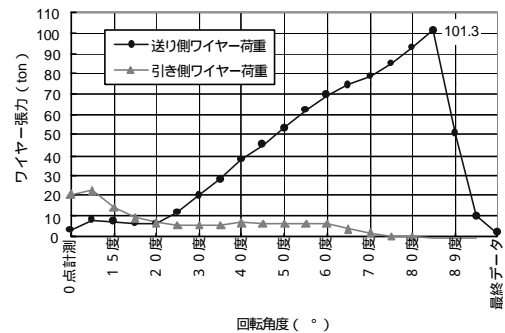


Fig.13 P1 回転時ワイヤー張力

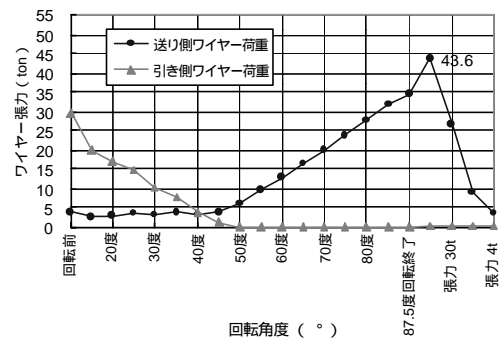


Fig.14 P2 回転時ワイヤー張力

御意見をいただきました大阪大学教授 西村宣男教授, 横浜国立大学教授 宮田利雄教授, 山田均教授, 山岳橋梁グループの皆様にご感謝の意を表します。

ジャッキアップ回転架設工法実現のため、信栄建設工業(株)ほか関係各位に多大なる協力をいただいたことに感謝いたします。