

変断面鋼連続箱桁の送出し工法における工夫 ～第二東名高速道路 大井川橋の架設～

能登谷英樹¹・清杉睦雄²・亀川博文³・竹内信弘⁴

¹日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南1-26-20)

²(株)横河ブリッジ 橋梁工事本部 工事第一部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地)

³正会員 (株)横河ブリッジ 技術本部 技術研究所 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町27番地)

⁴正会員 横河工事(株) 大阪橋梁本部 構造技術部 計画課 (〒550-0004大阪府大阪市西区靱本町1-4-12)

主桁高が支間中央部から中間支点部に向かって、徐々に大きくなる変断面の連続桁橋は、経済的で美観も優れている。しかしながら、変断面連続桁の架設工法に送出し工法を採用するのは、各橋脚の送出し装置上での高さ調整量と下フランジの勾配が、送出しをするたびに変化することから、施工が非常に煩雑となる。筆者らは、変断面の鋼連続箱桁で送出し工法を採用した第二東名高速道路大井川橋の架設において、上記に挙げた変断面桁特有の問題を改善し、手延べ機の形状や送出し装置を工夫することにより、作業工程の短縮と作業員の安全性の向上を図った。本論文は、この工夫した点について報告する。

キーワード：変断面桁，送出し工法，大井川橋，手延べ機，送出し装置

1. はじめに

本報告の変断面桁とは桁高が変化する桁であり、上フランジの勾配が設計縦断勾配どおりで、下フランジの勾配が変化する側面形状のものをいう。一般的に、変断面桁が採用される橋梁形式は連続桁がほとんどであり、桁高は支間中央部から中間支点部に向かって徐々に大きくなる傾向にある。変断面桁を採用する長所としては次の点が挙げられる。まず、1点目は桁高の変化で主桁断面の曲げ剛度を調整できることから、等断面桁に比べて少ない鋼重で主桁の断面構成が可能であり、経済性の向上が図られることである。2点目は桁高の変化に2次放物線などの曲線を取り入れることで美観性の向上が図られることである。

このように変断面桁は経済性と美観性という点で長所が挙げられるが、架設工法を選定する場合に問題が生じる恐れがある。この問題とは、架橋地点の桁下空間にベントなどの支保工が設置できない場合において、選定できる架設工法は、送出し工法、架設桁工法、トラベラクレーン工法などが考えられるが、この中で送出し工法は変断面桁に対して採用しづらいということである。たとえば、文献1)では、「送出し工法の適用可能橋梁形式」の項目に「等断面のI形、箱形断面桁、ゆるやかな曲線桁」と記述されており、変断面桁に着目してみると、「架設桁

工法の適用可能橋梁形式」の項目で、「曲線桁、変断面の鉸桁・箱桁」と記述されている。

なぜ、変断面桁に送出し工法が採用しづらいのかという理由を、送出し工法で一般的に用いられている送出し装置を使用した例で説明する。ここで、送出し装置とは桁を送出し工法で架設する専用機械装置である²⁾。この装置を使用した送出し工法は、架設する桁をこの装置で直接支持し、桁を支持した状態で移動させる方法である。この工法では、桁高が一定の等断面桁であれば、桁の下フランジとこの送出し装置との間の距離や勾配が一定であるが、変断面桁では桁の送出しをするたびにこの距離や勾配が変化する。そのため、変断面桁の送出し工法では、この距離や勾配の変化に合わせて、鋼板、合板、サンドルと呼ばれる架設架台、ゴム板などの調整材を桁の下フランジと送出し装置との間に適宜に設置しなければならない。このような作業は非常に煩雑となり、架設の作業工程の遅れや調整材を設置する作業員の危険度が増すなどのことが懸念される。このような理由から変断面桁に送出し工法は採用しづらいものとなっていると考えられる。

では、変断面桁の架設工法に他の工法である架設桁工法やトラベラクレーン工法を採用すればよいのではないかという意見が挙がるかと思う。しかしながら、橋長や支間長などの橋梁の規模や他の様々な架設条件にもよるが、これらの工法は送出し工法に

比べ、架設費の増大や主桁の断面板厚の増大につながる恐れがあり、不経済となる場合もある。このような観点から、変断面桁に送出し工法を採用した橋梁は少ないものの実績はあり、先に述べた作業効率を向上させるための送出し設備の開発の報告³⁾や安全性の問題に対して検討した報告⁴⁾もある。

ここで報告する第二東名高速道路大井川橋⁵⁾（以下；本橋と呼ぶ）は変断面桁に送出し工法を採用した数少ない事例である。本橋では、変断面桁に送出し工法が採用しづらい理由である送出し装置上での高さ調整や勾配調整の煩雑な作業を、手延べ機の形状を工夫することや送出し装置を工夫することにより低減し、等断面桁の送出し工法と同程度の作業工程の実現と作業員の安全性の向上を図った。

本報告では、まず、本橋の概要として、送出し工法を採用した理由とその施工要領について説明する。次に、本橋の変断面桁の送出し工法で採用した手延べ機の形状の工夫と送出し装置の工夫について説明する。

2. 本橋の概要

(1)送出し工法を採用した理由

本橋の一般図を図-1に示す。構造形式は6径間連続合成鋼箱桁で、橋長 704.25m、支間割 97m+4@127m+97mの長大桁橋である。また、本橋の断面構成は、上り線、下り線がそれぞれ独立した橋梁で構成されており、いずれも図-1の断面図に示すように2つの鋼箱桁とPC床版で構成されている。本橋の設計では、前章でも述べたように、経済性と美観性の観点から、変断面桁を採用している。その変断面の形状は、主桁高を中間支点部（P1,P2,P3,P4,P5）で5.65m、中間支間（P1～P2,P2～P3,P3～P4,P4～P5）の中央部で3.8m、端支点部（A1,P6）で3.1mに設定し、その間を2次放物線ですり付けている。

ここで、なぜ、本橋の架設工法に送出し工法を採用したかを簡単に説明する。一般に架設工法を選定する上で、桁下空間が使用できるかどうか、非常に重要な要素であるが、本橋の架橋地点である一級

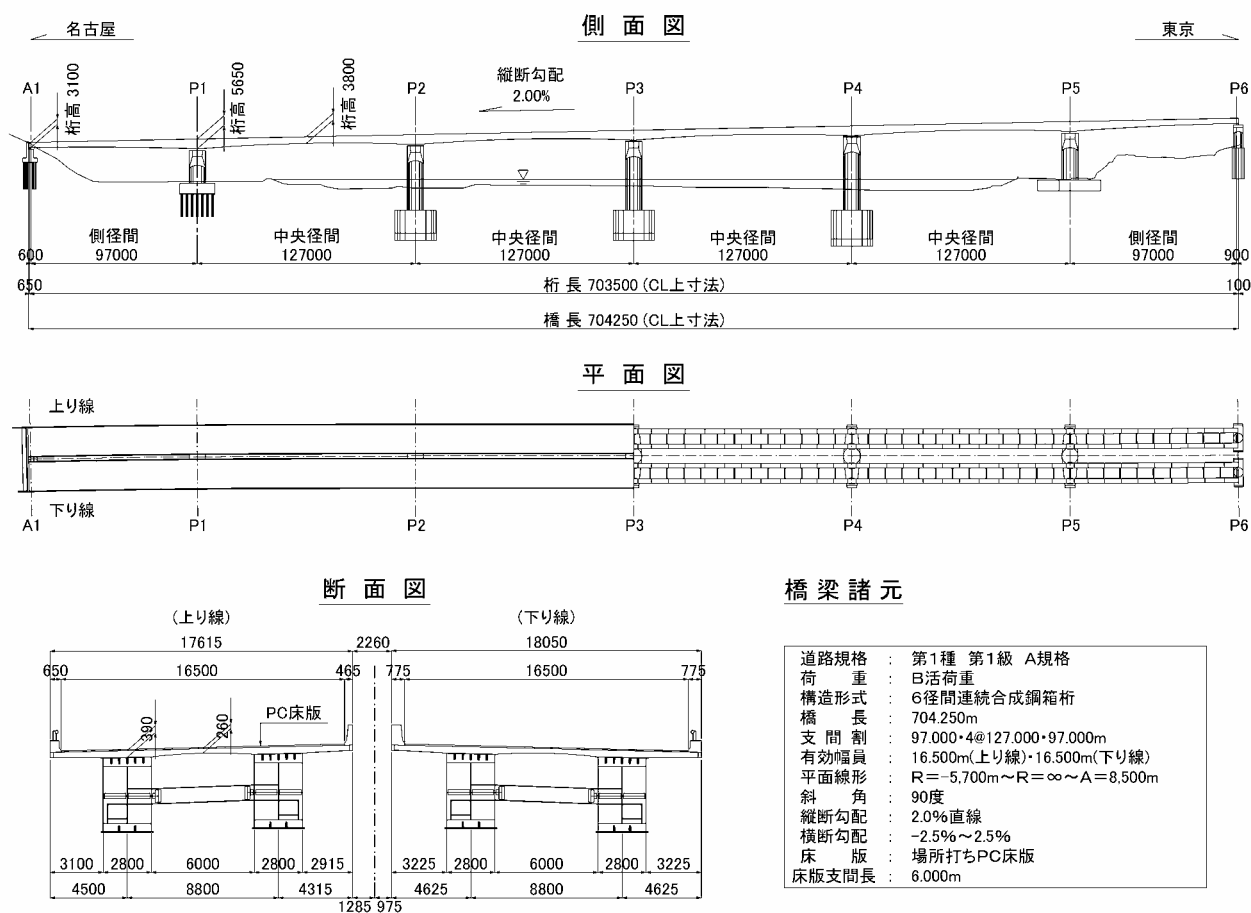


図-1 第二東名大井川橋の一般図

河川大井川は、通常であれば堆積した洲の間を少量の水が網状に流れているが、出水期（6月～9月）、非出水期（10月～5月）を問わず、降雨時は流量が急変し、大量の水が流れるのに加え、水流位置や方向が変化しやすい川である。そのため、河川内である桁下に架設用の栈橋や支保工を設置することが困難であると判断した。よって、架設工法は桁下空間に依存しない、送出し工法、架設桁工法、トラベラクレーン工法から選定することとした。

まず、この選定においては本橋が変断面桁であることから、架設桁工法を検討したが、本橋の最大支間長が127mと大きいことから、架設桁の規模が大きくなり、架設費が非常に増大することがわかった。次に、トラベラクレーン工法を検討したが、トラベラクレーンを桁先端に配置した状態での最大支間長127mの張出し架設となるため、架設時の作用曲げモーメントが非常に大きくなり、それに抵抗する主桁断面の板厚が増大することがわかった。このような観点から、最後に送出し工法を検討した。送出し工法は、最大支間長127mの張出し状態となる点でいえばトラベラクレーン工法と同様であるが、主桁よりも重量の軽い架設機材である手延べ機を主桁に取付けることにより、トラベラクレーン工法に比べて架設時の作用曲げモーメントを低減することができ、経済的であった。また、本橋では主桁ブロックの連結に溶接継手を採用しており、その現場溶接作業に

必要な風防設備の移動を考えると、常に一箇所の架設ヤードで主桁ブロックの連結作業が可能な送出し工法の長所も生かせると考えられた。

以上のような理由から、本橋では架設工法に送出し工法を採用することにした。

(2)施工要領

施工要領図を図-2に示す。この図は、P1～P2径間の送出し状況とP2～P6径間の送出し状況を示したものであり、また、下り線桁と上り線桁がそれぞれ独立しているため、その平面的な位置関係が把握できるように平面図も示している。

ここでは、架設手順の概要を説明する。まず、本来は上り線桁が架設されるべきところで、下り線桁の送出しを行い、送出しが完了した時点で横移動させ、下り線桁の架設を完了させる。次に、下り線桁と同様に上り線桁の送出しを行ない、上り線桁の架設を完了させるという計画である。

送出しについてであるが、まず、P1～P2径間の送出しについて説明する。450t吊りのクローラクレーンを使用し、A1～P1径間に送出し軌条設備を設置して、その上に主桁ブロックを設置する。溶接により、主桁ブロックの連結を行なったのち、連結構⁶⁾と呼ばれる主桁と手延べ機とのアダプター的な部材を主桁の桁端部に設置し、その連結構に長さ66.260mの手延べ機を取付ける。ここで、この状態で桁を送り

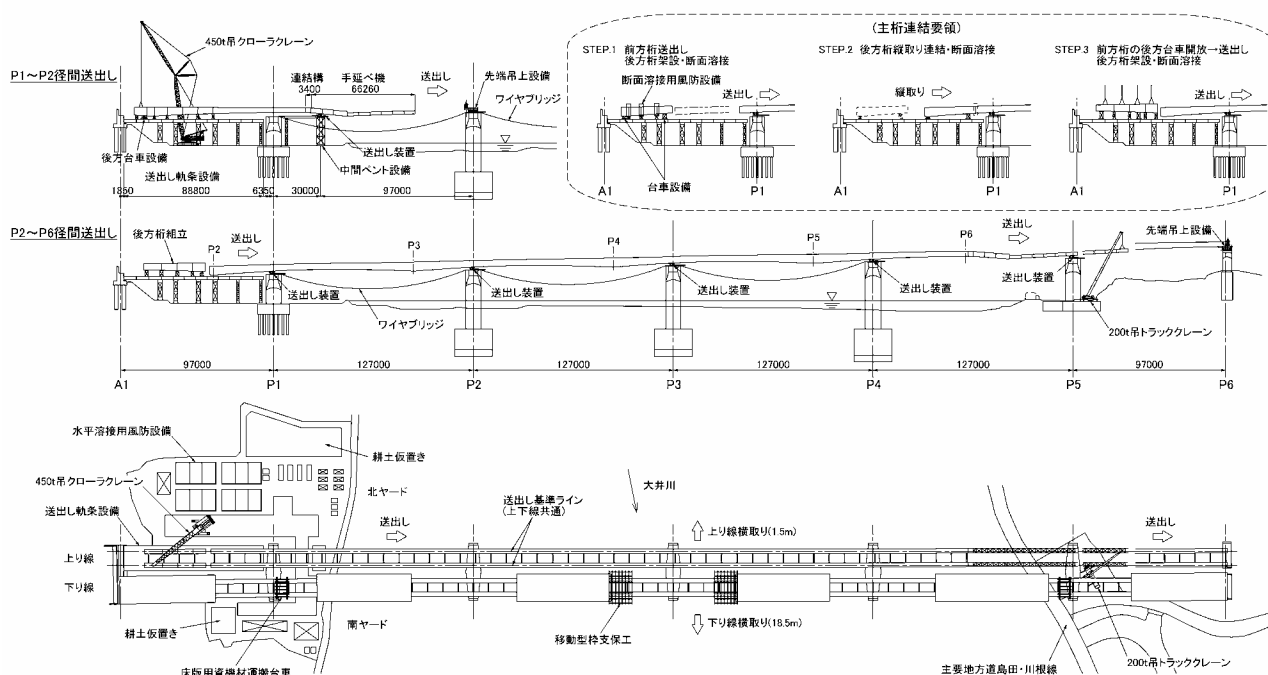


図-2 施工要領図

出しするには、手延べ機が設置されている張出し側に桁が転倒する恐れがあり、P1からP2に向かって30mの河川外区域の位置に中間ベントを設置し、その上に送出し装置を設置している。桁は、この送出し装置と送出し軌条設備上にある後方台車設備にて支持されており、この支持状態にて送出しを行なっている。この送出し装置による桁の送出し移動量は、送出し装置の一部である水平送りジャッキのストローク分の1mであり、1mの移動を繰り返しながら、P2まで移動させる。

次に、P2～P6径間の送出しについて説明する。この径間での送出しは、A1～P1径間部の送出し軌条設備上で図-2中の右上側にある主桁連結要領に示すように、つぎつぎと桁を連結しては送り出すといった手順にて行なっている。ここで、特筆すべき点は、先に説明したP1～P2径間の送出しと違い、送出し軌道設備上の後方台車設備で桁を支持させない状態で送出しを行なっているということである。この利点は、後方台車設備で桁を支持させないことにより、桁の下フランジと後方台車設備の支持点との高さ調整や勾配調整の作業を省略することができるという点である。しかしながら、後方台車設備で桁を支持させないということは、送出し軌道設備上で新たに連結した部分の桁が、P1上の送出し装置を支点とした片持ち梁の状態になってしまうということになる。これによる影響は、新たに連結した片持ち梁部の桁には負の曲げモーメントが作用することと、P1の送出し装置では桁反力の負担が増加するということである。したがって、本橋では上記の影響を考慮しても、桁の設計や送出し装置の能力に影響をおよぼさない範囲として、新たに連結する桁ブロックを4～5ブロック分の50m程度の片持ち梁の状態として送出しを行なっている。

なお、手延べ機の先端が橋脚の直前に到達した状態では、手延べ機先端でのたわみ量が約7mとなる。そのため、橋脚上に先端吊上げ設備という架設機材を設置し、手延べ機先端を引き上げたのちに送出しを再開し、橋脚上に設置された送出し装置に桁を盛り替えるようにしている。

また、下り線桁の次に送出しを予定している上り線桁への手延べ機の転用や、P6上の送出し装置等の設備の省略を考慮し、手延べ機の解体は手延べ機がP5を通り過ぎた時点で、200t吊のトラッククレーンを使用して行なっている。したがって、P5～P6の送出しでは主桁本体のみでの張出し状態となるが、側径間部の長さが中央径間部の長さよりも短いという点で、中央径間部の送出し時に作用する曲げモー

メントとさほど変わらずに送出しを行なえている。

3. 変断面桁の送出し工法における架設機材の工夫

(1)手延べ機の形状による工夫

桁の下フランジと送出し装置との間の調整材による高さ調整量は、各橋脚に設置された送出し装置上の桁高の相対差に大きく影響する。ここで、簡単な例を挙げて、その影響について説明する。たとえば、図-3に示すように、各橋脚に設置された3基の送出し装置（順に装置A,B,Cと呼ぶ）に変断面桁が支持されていると仮定する。

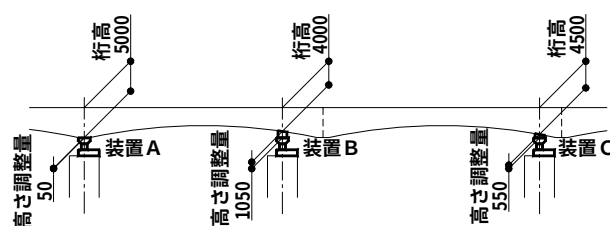


図-3 高さ調整量の説明図

装置Aでの桁高を5.0m、装置Bの桁高を4.0m、装置Cでの桁高を4.5mとすると、一番高い桁高の装置Aで高さ5cmの調整材を使用するものとすれば、装置Bの調整材による高さ調整量は、装置Aの高さ5cmの調整材に装置Aと装置Bでの桁高の相対差100cmを加え、高さ105cmとなる。装置Cの調整材による高さ調整量も同様の考えから、高さ55cmとなる。以上のような例から、各送出し装置上の桁高の相対差が、調整材の高さ調整量に大きく影響していることが理解できると思う。しかしながら、逆に言えることは、その桁高の相対差を小さくしてやれば、調整材の高さ調整量を低減することができるということになる。

このような観点で、本橋の変断面形状をみると、本橋の連続桁の形式は、図-1に示すように6径間であり、そのうちの端部である側径間を除いた4つの中央径間は支間長が同じ127mで、桁高の変化形状や側面からみた下フランジの曲線形状も同じである。したがって、桁高の相対差は中央径間部の桁を支持している送出し装置上との間においては生じないということになる。したがって、本橋での桁高の相対差は、中央径間部の桁を支持している送出し装置上と、側径間部の桁および手延べ機を支持している送出し装置上との間でのみ生じるものであり、中央径間部よりも桁高の低い側径間部および手延べ機を支

持している送出し装置上で、高さ調整が必要となる。

そこで、筆者らは、この高さ調整が必要となる側径間部の桁および手延べ機の下フランジ形状に着目して、この下フランジ形状を中央径間部の下フランジの曲線形状になるべく近づけることで、高さ調整量が小さくならないかということを考えた。これについては、側径間部の下フランジ形状は中央径間部の下フランジ形状と同様に2次放物線で設定してあることから、ある程度は中央径間部の下フランジ形状に近いといえる。よって、課題としては、手延べ機の下フランジ形状を中央径間部の下フランジ形状にどのように近づけるかが問題となる。

この問題に対して、本橋では図-4に示すように、手延べ機の形状を逆への字型の折れ線形状とすることにより、中央径間部の下フランジの曲線形状に極力合わせるように工夫した。この折れ線形状は、図-4に示すように中央径間の下フランジラインを想定して、そのライン上の点を結ぶようにして設定している。この手延べ機を使用した本橋の送出し状況を写真-1に示す。

このように、高さ調整量の低減を図る目的で、逆への字型の手延べ機を開発したが、その高さ調整量の低減効果については、図-4の下図に示す一般的な直線形状の手延べ機との高さ調整量との比較にて



写真-1 送出し状況

検証することとする。それぞれの手延べ機での高さ調整量を算出した結果を表-1に示す。

この表は、手延べ機先端からの距離と高さ調整量との関係を示しており、中央径間の下フランジの曲線形状に手延べ機の下フランジ形状が近ければ近いほど、高さ調整量が小さくなることを示している。そのような観点でみると、手延べ機先端から距離70mの箇所である主桁の桁端部は、手延べ機が折れ線形状でも直線形状でも、高さ調整量は1053mmと変わらないものの、それより先の手延べ機先端に向かって、折れ線形状の手延べ機の高さ調整量は、直線

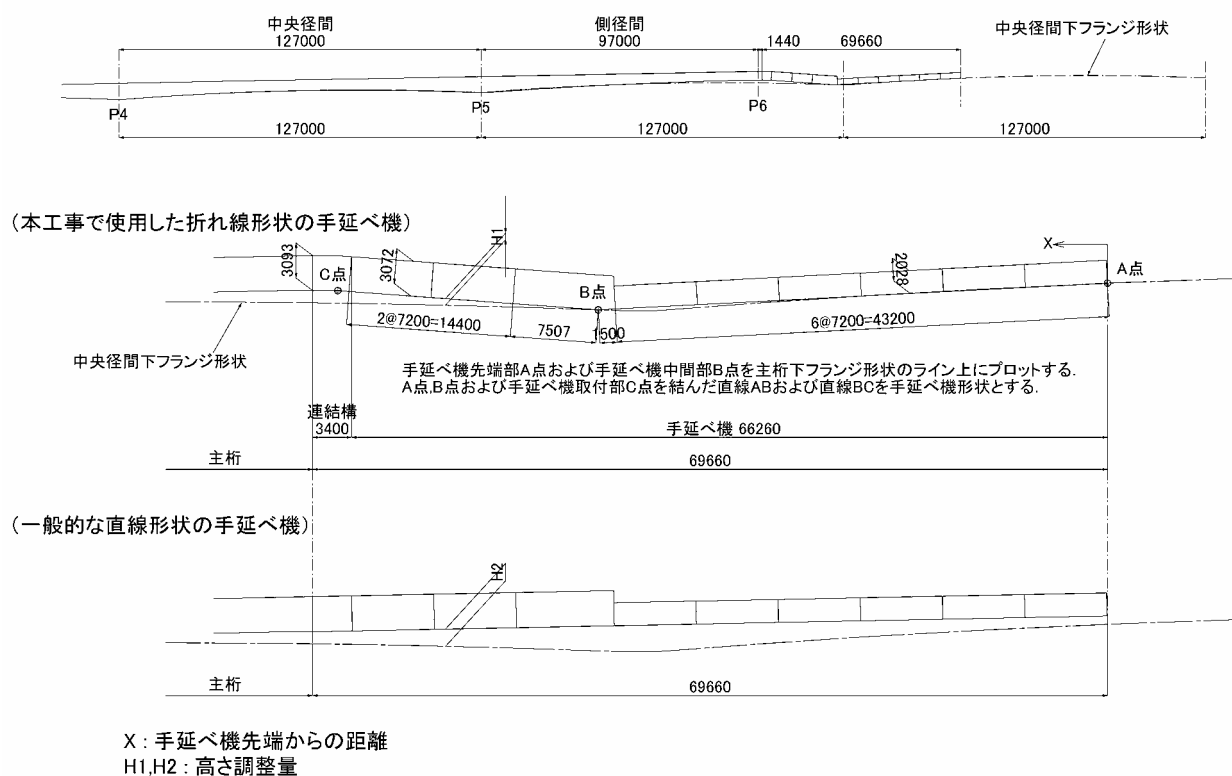


図-4 手延べ機の側面形状

表-1 高さ調整量の算出結果

手延べ機先端 からの距離 X(m)	高さ調整量	
	折れ線形状 H ₁ (mm)	直線形状 H ₂ (mm)
0 手延べ機先端	0	786
5	-26	873
10	-53	1009
15	-39	1185
20	-15	1372
25	49	1598
30	120	1832
35	229	2104
40	318	2355
45	14	2168
50	211	1896
55	439	1653
60	670	1424
65	954	1164
70 主桁の桁端部	1053	1053

注) 記号X, H₁, H₂は図-3中の寸法を示す。

形状の手延べ機の高さ調整量に比べ、非常に小さい値となっている。たとえば、手延べ機先端からの距離が45mの位置での高さ調整量は、一般的な直線形状の手延べ機では2168mmになるのに対して、折れ線形状の手延べ機では14mmとなり、その差が2154mmとメートル単位で大きく改善されていることから、折れ線形状の手延べ機が高さ調整量の低減に非常に効果があることが証明できる。

また、この高さ調整量を低減させたことにより、高さ調整量を桁への強制変位として架設時の断面力計算に取り込んでも、主桁断面の板厚構成に大きな影響がおよばなかったことから、本橋では高さ調整を全く行わずに送出しを行なっている。

なお、手延べ機断面の構成についてはトラスタイプやI桁タイプのものがあるが、本橋での架設時の断面力からI桁タイプを使用している。また、図-4

に示すように折れ点のところでI桁の桁高を変化させており、手延べ機の軽量化を図っている。

(2)送出し装置の工夫

次に、桁の下フランジの勾配変化の調整に対して、送出し装置にて工夫した点について説明する。

ここで、下フランジの勾配は、中間支点部近傍が一番大きくなり、かつ、その勾配が支点を越えると逆の勾配となる。また、文献7)には「変断面げたの送出し工法のポイントは、中間支点上をどのような支持状態で通過させるかということである。」と記述されているように、このような点からも、中間支点部の送出し装置上の通過が、変断面桁の送出し工法での一番の難所といえる。したがって、送出し装置上では、中間支点部の下フランジの大きな勾配に追従するとともに、急変する勾配にも追従することが必要である。

そこで、本橋では図-5に示すような送出し装置の一部にヒンジ構造を取り入れ、そのヒンジの回転角で下フランジの勾配調整が可能となる送出し装置を開発した。以下では、まず、本橋で使用した送出し装置のシステムについて簡単に説明し、次に、工夫したヒンジ構造について説明する。

本橋の送出し装置のシステムは、次の3つのジャッキから構成されている。1つ目は桁を支持して動くスライドジャッキ、2つ目はこのスライドジャッキを水平に動かすための水平送りジャッキ、3つ目は桁の盛替え用の鉛直ジャッキである。これらのジャッキは送出し装置上に作用する最大反力4,500kNに適應できるよう負荷能力が決定されており、スライドジャッキには最大負荷能力3,000kNのジャッキを2台使用し、鉛直ジャッキには最大負荷能力5,000kNのジャッキを1台使用している。このうち、最大負荷能力3,000kNのジャッキを2台使用したスラ

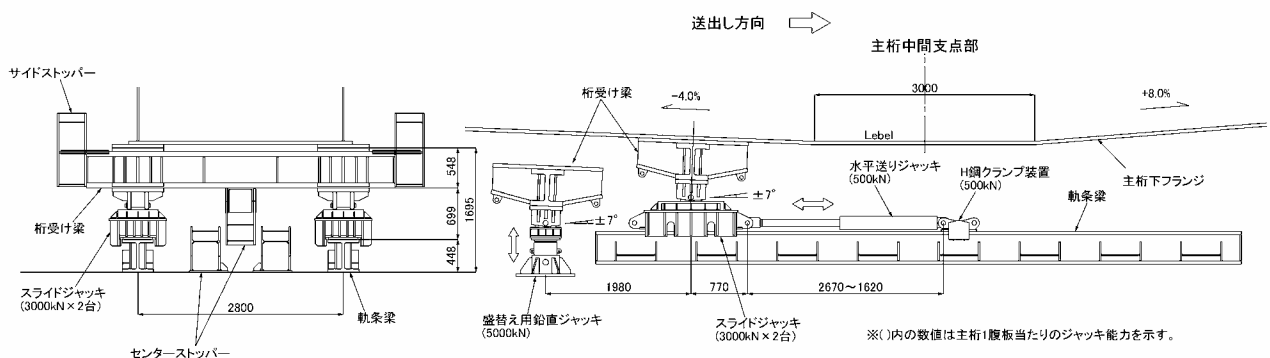


図-5 送出し装置

イドジャッキは、2台のジャッキが一体となるよう鋼製のカバーでしっかりと固定されており、それぞれのジャッキの底には摩擦係数0.02～0.08のテフロン板が設置されている。水平送りジャッキは、このスライドジャッキの鋼製カバーとピン結合されており、水平送りジャッキのラムを引くことにより、スライドジャッキが桁を支持した状態で移動できるようにしている。参考として、送出し装置が手延べ機を支持している状態を写真-2に示す。



写真-2 手延べ機を支持した送出し装置

次にヒンジ構造について説明する。ヒンジ構造は図-5に示すスライドジャッキおよび鉛直ジャッキにそれぞれ設置しており、その取付け位置は桁受け梁の下としている。本橋での下フランジの勾配は、勾配の符号を右肩上がり方を正とすると、中間支点部を境に最大-4.0%～+8.0%となる。したがって、ヒンジ構造の回転角度はこの勾配を調整しうるものとして、本橋では $\pm 7^\circ$ とした。この $\pm 7^\circ$ の回転角度は勾配に変換すると $\pm 12\%$ であり、本橋の下フランジの最大勾配である+8.0%に対しても十分に追従可能な角度である。このヒンジ構造の構成について、桁受け梁側のヒンジに被さる部材（以下、ヒンジ被覆部材と呼ぶ）を写真-3に、ヒンジ部材を写真-4に示す。

写真-3のヒンジ被覆部材の材質については、高い強度と靱性が要求されるヒンジ球面の接触部分にクロムモリブデン鋼のSCM440材、その他のリブ等の部材はSM490材を使用している。写真-4のヒンジ部材の材質についても、ヒンジ被覆部材の材質と同様に高い強度と靱性が要求されることから、クロムモリブデン鋼のSCM440材を使用しており、球面形状は半径140mmに機械加工を行なっている。また、ヒンジ被覆部材とヒンジ部材の取り付けについては潤滑な回転と防錆を兼ねて、ヒンジ球面に機械用のグリー

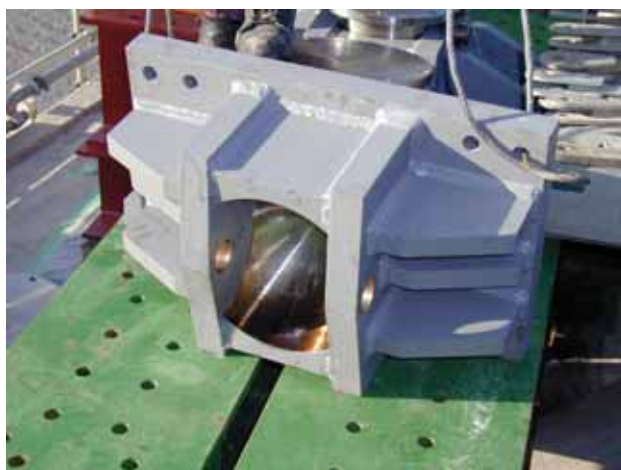


写真-3 ヒンジ被覆部材



写真-4 ヒンジ部材

スを塗布しており、この両部材の逸脱防止のために直径50mmのピンにて接合している。

送出し装置にヒンジ構造を設置する工夫により、下フランジの勾配調整はヒンジを回転させるだけで済むことから、従来の勾配をつけたテーパ材と呼ばれる調整材を適宜に設置する方法に比べて、作業工程の短縮と作業員の安全性の向上が図られ、最大の難所である中間支点部の送出し装置上の通過も作業工程に支障を来たことなく行なえた。

なお、本報告の論旨から少し外れるが、図-5の送出し装置では桁受け梁にサイドストッパーを設置しており、送出し架設時の地震や風による横方向の荷重に対して、桁の逸脱を防ぐ措置を施している。

4. おわりに

変断面桁に送出し工法を採用した第二東名高速道路大井川橋において、桁の下フランジと送出し装置

との調整材による高さ調整や勾配調整などの作業の煩雑さを改善すべく、逆への字型の折れ線形状の手延べ機の開発やヒンジ構造を有する送出し装置の開発といった架設機材の工夫により、作業工程の短縮と作業員の安全性の向上を図った。特に作業工程については、等断面桁の送出し工法で一般的に言われている1日当りの送出し距離20m～30mに対して、本橋での1日当りの送出し距離は最大で34m、平均で20m～25mと等断面桁と同程度の送出しが実現でき、今回の架設機材の工夫の効果が表れた。

また、本報告では、変断面桁に送出し工法を採用する場合、各送出し装置上の桁高の相対差を小さくすることで、高さ調整量を低減できることを述べた。本橋においては、中央径間部がすべて同支間長で桁高変化も同じであったため、中央径間部での桁高の相対差が生じなかったことが幸いであったが、仮に中央径間部が不等径間の変断面連続桁で、架設工法に送出し工法を採用するような橋梁が今後あるとすれば、主桁の設計段階でこの相対差をなるべく小さくするような変断面形状を採用するなどの工夫により、高さ調整量の低減は可能であると考えられる。

本報告が、今後の変断面桁の送出し工法の参考資料となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造架設設計施工指針〔2001年度版〕，pp.6-11，2002.3
- 2) (社)日本橋梁建設協会：わかりやすい鋼橋の架設，pp.44-45，1997.3
- 3) 山根三弘：変断面桁送出設備の開発，石川島播磨技報2001橋梁特集号，pp.50-55，2001.
- 4) 吉岡昭彦，藤浪紀雄，原田秀一，澤野弘龍，松永久夫，内海靖：変断面を有する鋼2主桁橋の送り出し架設時における安全管理システム，土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第6部，pp.18-19，1999.
- 5) 本間淳史，長谷俊彦，黒岩正，清杉睦雄，亀川博文，竹内信弘：第二東名高速道路大井川橋の設計と施工，橋梁と基礎，pp.2-11，2003.10
- 6) (社)日本道路協会：鋼道路橋施工便覧，pp.289-290，1985.2
- 7) (社)日本橋梁建設協会：鋼橋のQ&A，架設編，pp.1-6-4(1/3)-(2/3)，1993.12