

「Foyle 橋主径間の製作と架設」

Proc. Instn Civ. Engrs, Parts I, 1984, 76, May,

411-418論文 8795

J. E. HUNTER RDL-Graham MA (Cantab), MICE,

MIHT, MBIM

M. E. McKEOWN

本論はアイルランドのロンドンデリーのFoyle 橋建設についての2論文の内の後編であり、Wex, Gillespie およびKinsellaの書いた設計編, Quinnによる基礎および高架編と共に読んで戴きたい。この論文は、主航路径間とその両隣の側径間の鋼構造物についての製作、輸送および架設について書いたものである。この新しいFoyle 橋は最大径間が233.4mとアイルランド最大ではあるが、特別長大でもなく、設計も革新的なものはない。北アイルランドの資源が橋梁建設にどのように利用されたか、鋼橋がどのようにして大手造船業者によって製作されたか、そして大ブロック吊上げ工法による架設はどうであったか と云う点に技術者の関心がある。

本論の目的は、全体計画および主要工程の各々に対する技術的決定を簡明に記述することである。よって5200tonの鋼箱桁を6ブロックに製作するのに造船所の設備を利用したことによる輸送や架設の実施に際して発生した諸問題について説明したい。

鋼径間架設の概要

1. 1974年に、RDL (Redpath Dorman Long)社は、企業連合体の形ではあったが、Rio Niteroi橋の鋼桁を完成させた。このブラジルの橋は主要な径間、200 + 300 + 200mを2本の平行な連続鋼箱桁によって深い航路上を高い位置で渡っている。この2連の箱桁は、現場から3km離れた島の地組み場で各々3つの大ブロックに組立られた。架設は最長292m、最も重いものが2250tの6個のブロックの積込み、輸送、荷降しそして吊り上げ作業のくり返しであった。これら大ブロックのすべり移動や吊上げのための特殊技術、とりわけクライミングジャッキを用いた大荷重吊り上げシステムをRDLは工夫し適用した。この計画を実施することは勇気が必要であったが、大ブロック吊上げ架設は目新しいものではなく、BrunelのSaltash橋、StephensonのBritannia橋に先例が示されている。

2. Foyle橋についてのJ/Vの広範囲な応札検討により、組立て及び架設計画を決定し、かつ評価されるべき多くの基本的要素を検証した。

(a) 最適な2連の3径間箱桁は大ブロックで現場まで海上輸送するのに役立った。

(b) 橋梁ブロックを積載する大きな台船は主橋脚の間の河川上で操船、係留された。

(c) Harland & Wolff (以下H & Wと略す)造船所では大規模な橋梁ブロックの製作、組立てのための多くの資材や技能が豊富である。

(d) Belfastの造船所は、重さ1000tのブロックを台船に積込むための理想的な設備を有している。

(e) Rio Niteroi橋でRDL が用いた技術は、橋梁ブロックを側径間の陸地や浅瀬上に荷降し、そして吊上げるのに応用することができた。

3. J/VはRio Niteroi 橋と同じ考え方の計画が入札にあたっての最良の案であると決定した。もし、H & Wの製作金額が受け入れられなければ、計画に多少の変更を加えて、他の製作ヤードから海上に積出して架設することが可能であった。最大の技術的危険は、Belfast 入江からFoyle 入江までの外洋 150kmの台船輸送にある。しかし、諸検討と専門家の見解によって、この輸送が実際に可能であることを確認した。

4. 1979年8月13日に提出した入札ではH & Wによる製作が特記されていた。そして以下の簡単な建設計画が提出された。

(a) 中央径間の1 / 6点付近での現場継手2ヶ所をもつ2連の箱桁のBelfast 造船所での製作・塗装および組立て。

(b) 次に、側径間ブロック (長さ180m) 2本の現場までの同時輸送のための外洋台船への積込み。

(c) 仮設軌道上への各々の側径間ブロックの荷降し。

(d) 側径間ブロックの一括吊り上げと所定位置への移動。

(e) 中央径間ブロック2個 (長さ160m) の積込および現場までの輸送。

(f) 2連の中央径間ブロックの直接吊り上げ。

(g) 4ヶ所の現場継手の本締めおよび中央径間の

零モーメント条件の創出。

計画の展開

5. プロジェクトの設計込みの建設の大きな利点は、技術者のチームの間に密な連絡が存在すれば、設計の概念からその実現に至るすべての過程における決定が孤立しないことである。この利点は特に大規模な橋梁建設においては重要なものとなる。すなわち支間割りを決定することと建設することの技術的問題は、同じように挑戦的なことである。そしてFoyle 橋の場合にはそれが密接に関係していた。

6. 6ヶ月の入札期間中に、J/VチームはFreeman Fox & Partners (以下FF & Pと略す) とH & Wと一緒に総合的なアプローチの方法を確認するための作業を行った。1979年12月3日に J/Vは1年で設計を完了させ、続く3年で橋を建設する条件で契約した。この設計期間はすべての技術者によって以下の詳細検討のために使われた。すなわち

(a) 架設計画に合致した鋼径間設計の完成。

(b) 造船所の機能を最大限に活用した鋼構造物の詳細。

(c) 材料注文以前の製作計画。

(d) 納入者や下請けが関係する以前の基本架設計画の展開。

(e) 詳細設計への熟知。

契約上含みで、請負者が技術的結論を下だす前に、通常許されるのは決まりきった方法での、2、3

ヶ月の照査であるが、今回の上記の作業は丸一年を要して実施した。

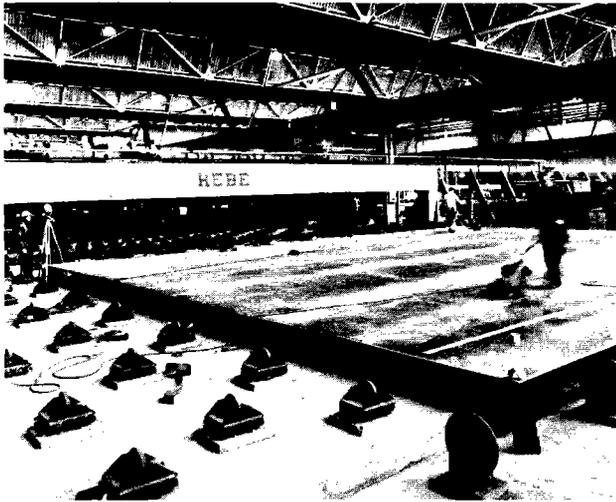


Fig. 1. Plate assembly on the panel line

製作

7. 鋼箱桁に対するRF&Pの設計はFriarton橋の^{*2}2連の鋼箱桁設計に準拠し、Merrisonルール時代の^{*3}終末がやってきていたので、革新的なものではない。熟練した橋梁製作者ならば従来の架設法での鋼箱桁ブロックの製作を完成させるのに、何の新しい問題も見出さないだろう。Foyle 橋製作上の技術的関心は次の問題に答えることにあった。

- (a) 造船業者は橋梁をうまく製作できるか？
- (b) 現場から離れて、設計通りの形状と長さの桁を製作できるか。

8. この報告では、上記の問題に答えることが筆者の目的なので、よく知られている製作の一般的な説明は省略する。造船所の専門用語は必要に応じて説明して用いる。

Belfast 造船所

9. 1970年代の初めにH&Wはその近代化計画を

完成させ、年間20万tonの鋼構造の製作工場として完成した。これは巨大タンカーの世界市場で競合ができるようにしたものだったが、不幸にもこの市場は1972/73年の石油危機によって崩壊してしまった。この新工場は、すべての工程で400tonまでのブロックを取扱えるように設備されている。船体構造は、仕切り可能なドックで建造され現場での作業を最小に抑えて組立てられる。

10. 造船所はBelfast 入江の奥にある。鋼板は船で鋼材波止場に到着する。そこから各々の鋼材は次のような過程を経てドックの中まで数kmのルートを移動する。

- (a) 前処理：鋼板や形鋼は波止場の隣の保管ヤードに貯蔵される。その保管ヤードでは鋼板は平らにローラーがけされ、自動的にショット・ブラストされ、次にプライマーされる。
- (b) 準備：清掃され、プライマーされた鋼材は切断され完全装備の工場前で前処理される。設備にもNC切断機、フレームプレーナー、角取り機、ローラー・プレス機がある。
- (c) 小組立て：20mの幅で20mの長さの寸法まで自動パネルラインで補剛板が製作される。幅30m、長さ235mのパネルラインは、突合せ溶接(Fig.1)、反転、け書き及び切断、回転、補剛材溶接、検査、移動などの一連のステーションからなる。これらのステーションは側面にけん引ユニットをもった床ローラーシステムと連動している。最終ステーションでは240tonのパネルを床ローラーシステムから1.05mの高さまで持ち上げるエレベーターが

あって、パネルを次の工程にまで移動させるトレ
 ラーが、パネルの下にくるようにする。より複雑
 な小組立てでは別の製作工場で生産される。

(d) 組立て：小組立品は、種々の機能をもった設
 備によって400tonまでの溶接ブロックによって組
 立てられる。

(e) 塗装：溶接が完了したブロックは塗装棟に運
 ばれる。塗装棟は42×36mの床面をもち、同じ設
 備の4つの室から構成されている。各室には9台
 の遠隔操作圧力ブラスト機、ショットや粒子を再
 生し再使用するためのポンプとcyclone 分離-集
 収機がある。塗装はエアレススプレーで実施され
 る。ブロックの塗り面に接近できるように各室の
 吊り作業台は6個の押しボタンで制御される。塗
 装仕様を満足するように調整された温度と湿度の
 中で全作業が実施される。

(f) ブロック化：溶接ブロックの大ブロック化な
 いし組立ては建造ドック（幅93m、長さ 556m、
 平均潮位時の吃水 8.4m）で行われるのが一般的
 である。ドックにはいくつかのクレーンがあり、
 大きなものはドックをまたぐ2台の門型（ゴライ
 アス）クレーンで能力は840tである。ドックの外
 側のゴライアスクレーン下の地面には重舗装がな
 されている。何隻もの船が同時建造が可能である。

製作計画

11. H & Wが担当したのは約5200t の鋼構造の製
 作と防錆処理およびLondonderry までの海上輸送
 のために用意された台船上に載せるまで作業であ

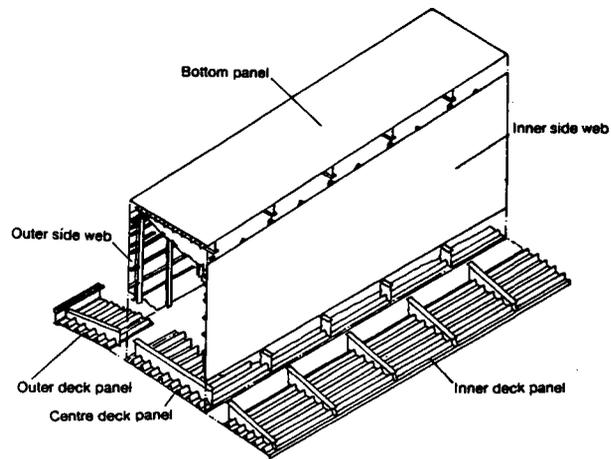


Fig. 2. Exploded view of typical weldment

る。長さ520mの2連の桁は各々3ブロックに分割
 され、仮組みで用意された現場継手をもった正しい
 形状をしている。材料および製作基準はMerrison
 (IDWR)ルールによる。

12. H & Wは基本的な製作方法は船の場合と同じ
 ものと確信していた。

ブロックの形状や長さに対する小さな公差および
 ゆがみに対するMerrison公差は造船所にとっては
 革新的な挑戦であった。応札中のH & Wの抜取り
 検査は造船所での作業が橋梁の製作に対する公差
 に適合していることを明らかとした。

13. 設計が次第に詰められ詳細の検討を行うのと
 併行して製作計画が始められた。桁は18m までの
 長さの溶接ブロックから組立てられる。溶接プロ
 ックは側径間で11個、中央径間で9個、総計 $(11$
 $\times 2 + 9) \times 2 = 62$ 個である。各々の溶接プロ
 ックは6枚の補剛板から構成される（幅が11.0m の
 鋼床版が3枚、腹板が2枚、下フランジ1枚の計
 6枚）。主パネルラインは下フランジと腹板の製
 作に使用され、トラフで補剛される鋼床版に対し

ては特別生産ラインが計画された。

14. 組立て

溶接ブロックは、2つの大きな工場の中でパネルから天地逆の状態にして組立てられた。(Fig. 2がその例)。塗装の後、橋桁の大ブロック化は建造ドックのサイドで行われた。各桁の積込作業は2台のゴライアスクレーンの相吊りによって作業を行なった。

15. 溶接に対する要求規準は工場能力範囲内であったが、Merrison公差内のひずみに抑えるために溶接方法および溶接順序の選定に特別の配慮がはらわれた。

16. 溶接図面は造船製図事務所で作成され、その表記方法は造船と同じものであった。このことは、設計図がH&W情報システムに適合する様式で提供されることを保証するために絶対必要なことであった。これらの図面は工場の近代設備たるNC部門で処理され、図面情報は準備工場でのガス切断機用のNCテープの計算機言語に置換された。設計時のキャンパー計算から導かれた橋の無応力形状は、各々の溶接ブロックの腹板の正確な形状を決めるために、計算機によって作図された。板の切断法には溶収縮の影響を含めた。

17. BS4360の50B材がほとんどで、少量の50C材と50D材がある。トラフを除く橋桁の鋼材は英国製鋼所(BSC)からの調達である。鋼板は製鋼

所で超音波検査をうけ、圧縮領域の鋼板、直接圧縮を受ける材端、および主要継手のすべての板の材端が検査された。

18. 材料についての重大な問題点はなかった。ある注意深いエンジニアリング側の検査者がT型鋼のフランジの厚さが規定よりも薄いことを発見した。橋梁用に調達されたT型鋼の全部が検査され、多くが不合格でBSCによって取換えられた。測定結果の分析から、構造用T型鋼に対しIDWRやBS5400の部分的寸法がBS4360の断面の公差と適合しないことがわかった。

19. 最初のプロジェクト書類では鋼床版閉リブの最小厚さを8mmと規定していた。FF&Pは、英国の大部分の鋼床版に用いられているように、6mmの厚さのトラフを用いた方が好ましいとしていた。しかし、J/Vは慎重にも入札条件に合致させるためにそのような選択をしなかった。その結果、設計は8mm厚のV型トラフを基本としている。選定した溶接長に合わせるためにトラフは18mのロール長で購入された。英国には8mm厚のトラフを適正な価格で供給する業者がなく、そのため780tは西独のEstel-Hoesch Hohenlimberg AGによって製造された。18mの長さのトラフはDIN17,100のst52/3級鋼材から冷間加工された。なお鋼床版製作時のゆがみを防止するために90mmの逆ひずみを施した。

20. すべての橋梁用の鋼板は保管ヤードの自動ブ

ラスト機とプライマー装置を経由した。Sa 3 相当のBS4232-1級のブラスト仕上げは問題が多く、特に型鋼が大変であった。ブラスト装置は通常、造船鋼材のSa2 1/2 仕上げ用にS330の鋼ショットで稼働していた。そこで、ブラスト速度調整を行い、G 17グリッドを1 : 3の割合加え、規定のふるいで粒調解析し、間隔をせばめることによって満足のいく結果を得た。

21. H & W造船所では、すべての造船用鋼材はtwo-pack酸化鉄着色のエポキシブラストプライマーが自動的に塗付される。このプライマーはガス切断や溶接時の低煙性を評価されたものである。この方法をそのまま橋梁用鋼材に適用するのが便利ではあるけれども、仕様書で規定されているのは、標準ブラストプライマーでも、別のエポキシブラストプライマーでもなかった。Foyle 橋の環境にあった塗装系に対するブラストプライマー塗料には前処理に適当なものはなかった。北アイルランド工業試験所での広汎な試験の結果、エンジニアは内側および外側の塗装系に標準のエポキシプライマーの使用を許可した。しかしこの決定は鋼板の大部分がブラスト後プライマーせずに工場の中を流される以前にはなされなかった。

切 断

22. 大小の鋼板、形鋼といった部材は造船用の設備を使用して加工された。デッキ片や下フランジのような並行な端面をもつ部材はフレームプレーナーで、下端がアーチ状の端面をもつウェブ片は

NC切断機で切断された。ガス切断施工試験はすべての切断面に対してエンジニアが充分満足のいくものであった。

パネル組立

23. 全ての下フランジパネルは自動パネルライン上で製作された。長さ18mの2枚の鋼板が自動溶接され幅4.75mの一枚板(板厚10mm~39mm)とされた。け書表面仕上げのあと 200×16~ 400×32の平鋼の補剛材が溶接された。各々の補剛材を配列した時点で中央1m範囲で油圧ジャッキで鋼板に押しつけると同時に2台のすみ肉溶接機で両端から500mmを除いて自動溶接を行った。パネルラインの終点で横リブが手溶接により取付けられた。

24. ウェブパネルの大部分はパネルライン上でフルサイズまでに組立られた。ウェブの水平補剛材の一部または全部が溶接構台におかれたパネルに取付けられるか否かは以下の3つの要因により決められた。

- (a) 経済性の面からみて小さなバルブ片や山形鋼は構台では取扱ができない(最小高160mm以上)。
- (b) 設計で指示された断続すみ肉溶接(ただし、その採用の是非はH & Wにまかせられていた)。
- (c) パネルラインの稼働スケジュール。

25. T形鋼の垂直補剛材は全ての水平補剛材を取付けたあと、手溶接でパネルに溶接された。水平補剛材の30%は構台上で両側連続すみ肉溶接された。

26. V形トラフ補剛材がパネルラインの溶接構台で取扱えないため、デッキパネルのための別生産ラインを特別に設けた。デッキパネルはすべて20年前のBOCアーク溶接構台の設置されている旧工場場で製造された。デッキパネルのための特別な設備はこの機械の整備とV型トラフのトラッキングシステムであった。約19kmのV型トラフのデッキプレートへの溶接は80%溶込みで、溶接延長39kmであったがこの古い機械で11ヶ月かかった。

27. デッキの横リブとトラフの合せの問題は仮付け溶接の間、横リブをトラフの固定治具として用いることによって解決した。すでに述べたように、溶接変形に対応してV型トラフは90mmの逆ひずみをつけたがこの量は適性なものであった。パネルは各トラフのわずかな部分を加熱するだけで簡単に矯正できる程度のわずかなそりをもって仕上がった。

組立

28. 62個の溶接ブロックは高さ2mのトロリーの

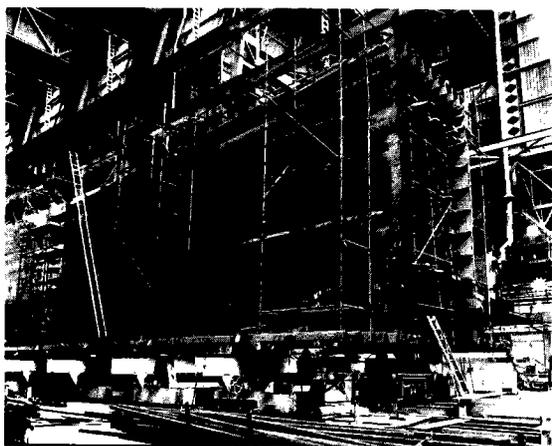


Fig. 3. Assembly of weldment in fabrication shop

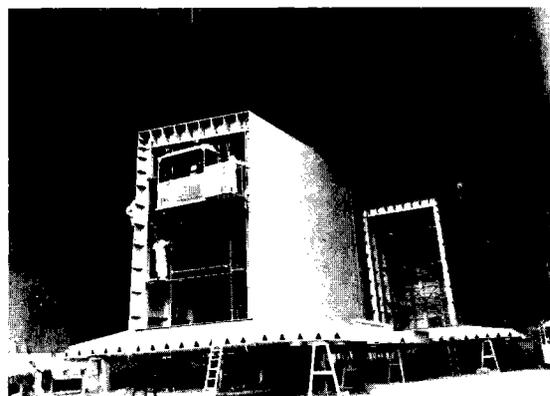


Fig. 4. Weldment in paint cell

上に天地を逆にして組立てられた。組立ては中央のデッキパネルから開始した (Fig. -3)。このパネルは架台の巾を超えていたので、ウェブパネルをそのパネル上に立てた状態で置いた。ウェブは下フランジと垂直ブレースが取つけられるまで仮ストラットで支えられた。2枚の外側のデッキパネルは最後に取り付けられた。

29. 最初のいくつかのブロックの完成の後、デッキのシーム溶接の手順は変更され、以後の中央と外側のデッキパネルのシーム溶接は工場内で手溶接された。これらのシームのデッキ側の上向き手溶接の不利な点は、溶接切換操作と外側での作業を避けることによって克服した。

30. 組立、溶接の間中、品質管理スタッフが所定の精度を保証することと、組立て時の桁長を予測するために寸法測定を行った。補剛材の真直性、補剛材間のパネルの平坦度のチェックのために Merrisonルールが適用された。Merrisonルールに従った橋梁の製作許容公差は造船の許容値よりも厳しいし、この要求を満たすために造船の10~15

%増のトン当たり工数が必要であったと算定された。加えて、かなりの量の品質管理用資材が膨大な量のチェックとその結果を記録するために投入される必要があった。

31. 各溶接ブロックにはゴライアスクレーンで反転できるように吊ピースが取つけられた。完成した部材は加工工場から塗装工場に搬送され、そこから300tの自走式昇降台車でドッククレーンまで運搬された。

防錆処理

32. 仕様書による橋梁構造の防錆設計編に述べられているように大規模な補修なしに12年間耐えるシステムとしなければならなかった。塗装システムはブラストによる一種ケレンのあと、以下の通りであった。

(a) デッキ：ジンクリッチペイント (75 μ m) とエッチングプライマー

(b) 外面：塩ゴムペイント5層 (D T pタイプ3システム)

(c) 内面：リン酸亜鉛エポキシエステル3層 (D T pタイプ6システム)

33. この塗装システムを最高の品質で仕上げるために造船所の最新鋭設備を使用した。前処理の段階で述べたように、エンジニアの全面的な協力にもかかわらずH & Wは通常にくらべてかなりのブラスト清掃を行わなければならなかった。

34. 完成した各溶接ブロックは天地逆の状態です装室に搬入された。この状態で溶接部、プライマー損傷部、無塗装部はブラストされデッキ上面とブロック接合部を除いて上塗まで塗装された。この状態では天井から吊り下げられた塗装かごから外面全部の塗装が可能であった。内面の塗装は組立足場によった。

35. 塗装完了後、溶接ブロックは塗装室から搬出され、ゴライアスクレーンにより反転され、デッキ面をブラストしジンクリッチペイントとエッチングプライマーを施工した。

36. 各溶接ブロックは平均12日で塗装を完了した。

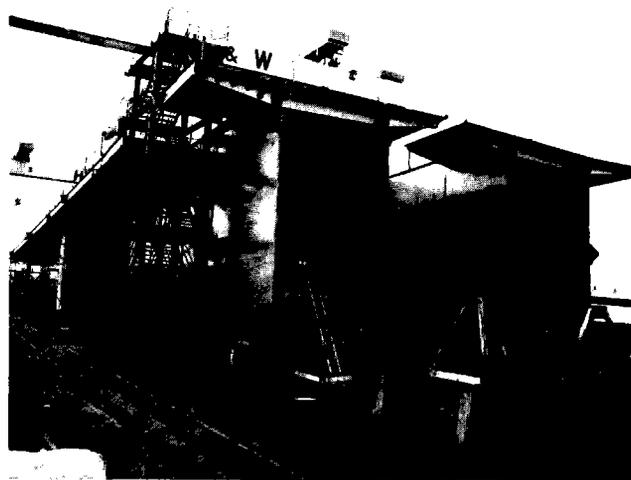


Fig. 5. Blocking of side span units

大組立

37. 溶接ブロックの大ブロック化 (側径間の4ブロック及び中央径間2ブロック) は2台のゴライアスクレーンの内側のドックサイトで行なわれた。

38. 最初に2つの西岸ブロックを組立て続いて東岸ブロックを組立てた。2つのブロックはドック

に対して平行に約 900mm 離して置いた

(Fig-5)。

各々のブロックは11の溶接ブロックよりなり、7～8間の継手から組立て始められ、桁の端部に向かって同時に行われた。

39. 橋の設計形状を確保する為に、H & Wは設計で指示された無応力形状となるように6ブロックにわけて、全長にわたって組立てた。各々の溶接ブロックの四隅を架台の上に置いた。そして小ブロックの端部におけるウェブ位置のデッキプレートの高さをチェックすることにより無応力形状となるように調整された。

40. ブロック溶接手順は上フランジと下フランジとの間の溶接縮み差が最小になるように工夫された。そしてこの溶接縮みは厳しく観察された。デッキプレートのレベルは作業中定期的に各継手部でチェックされた。あるブロック継手の溶接が開始される前には、それまでの溶接が実質的に完成していなければならない。それまでに組立誤差があった場合これを考慮して次に移った。

形状のチェックは通常早朝の鋼材の温度が一定の時行った。

41. 長さの測線はドック側面に備えつけてあるラインでチェックした。余長は各々のブロックに対して2つの溶接ブロックの片端に設けてあったので桁の長さに対する最終調整は最後のブロック継手で行われた。

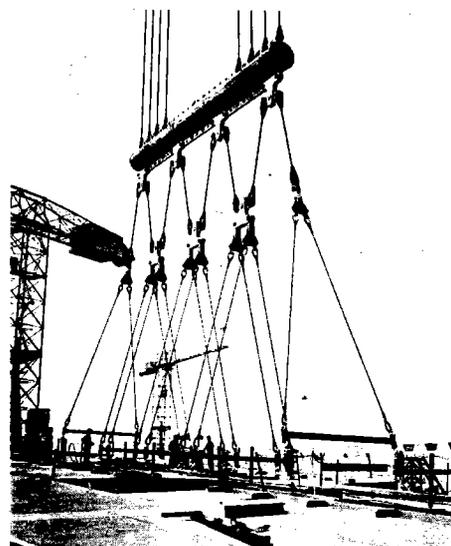


Fig. 6. Lifting gear for load-out

42. 側径間ブロックと中央径間ブロックとの現場継手はデッキプレートは溶接、下フランジとウェブはボルトで行われる。

各々の側径間ブロックの継手側端部が組立てられた時、中央径間ブロックと取合うブロックはあらかじめ中央径間ブロックに対して正確に位置決めされた。添接板をテンプレートとして使用して、側径間、中央径間両方の部材にボルト孔をドリルで穿けた。

中央径間における溶接ブロックの位置は継手を解体する前に測定しておいたので後の段階で各々の中央径間ブロックの両端を互いに正しく関連づけることができた。

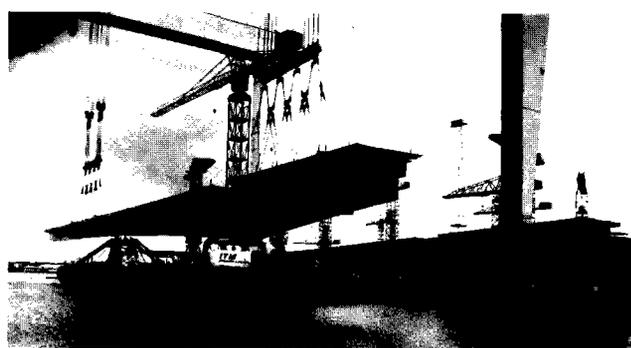


Fig. 7. Load-out of first side span unit

43. 多分、組立におけるもっとも困難な作業はデッキ位置でのトラフの継手であった。設計では裏当材付突あわせ溶接間のショートピースの長さを150mmと規定していたが製作側の技術者はすくなくとも500mmを要求した。

エンジニアは通りの公差を規定したが、その結果ショートピースは当初の規定の約30%増が必要であることが分かった。

44. 主脚の沓は造船所で桁に取りつけられた。メーカーは最終調整のためにオーバサイズで残してある上沓の頂部を除いて各々の沓を完全に作り組立てた。

ヤードでは各一对の沓が機械加工され、支承ピンが同軸で回転できるようにダイヤフラム位置にあるソールプレートの下側に取りつけられた。

45. ブロック間の溶接が終わった後、ジョイント部を、ショットブラストし塗装をした。継手の検査と試験は積出工程にあわせるのに非常にクリティカルとなった。

側径間の積出し

46. 組立ドックの2つのクレーンはSamsonとGoliathと名付けられていた。各々840tの吊上げ能力を持っている。

クレーンのスパンは140mで、吊上げ高さは夫々80mと70mである。

試運転をして、初めて2つのクレーンは縦に並んで使われた。相談を受けたクレーンメーカーKrupp

とすべての大型の船舶用起重機の配置を設計する造船所のチームがこの特殊な吊上げに対する特別なギア-の設計にとりかかった。

47. 各々のブロックを2台のクレーンでそれぞれ16点吊りすることで合意を得た。吊り上げの中心は2台のクレーンへの荷重を等しくするように配置された。すなわち、各々の中心の囲りに8個の吊りピースがウェブ直上のデッキに溶接された。各ピースには約30tしか作用しないので、桁に特別な補強を必要としなかった。図-6にみるようにリフトの装置は吊索、吊ビーム、70tのシャックルを経てクレーンの2つの滑車で荷重を支持している。

48. ブロックの中、2つはドックに沿ってクレーンを動かさずに吊上げ、積出した。他の2つのブロックはクレーンをドックに沿って動かして行った。

2台のクレーンの間隔を一定にして動かす為、クレーンに緊張ワイヤーを取りつけた。又、クレーンの脱線をオペレーターに知らせるチェーン駆動のセンサーをつけた。

49. 所定の位置に鋼製架台を艀装した外用台船がBelfastに到着した。4つの側径間ブロックの積出しの期間に、ドックの半分には水が入れられ、中央ゲイトの後の半分で船の製作が続けられていた。

50. 予定の時間に予想通りの風のもとでブロックは地切りし、桁下側のタッチアップと防錆処理の手直しをした。この単純支持での桁形状を特別な計算を行って予測した形状に対してチェックされた。

51. 次の日、ブロックはドックにあるバージ上に横持された。(Fig.-7)。

最初にベアリング沓を鋼製架台上に置きボルトで緊結した。それからもう一方の支持点を荷重の盛替が終る前に最終の調整が行える状態で置いた。早速の出航を可能にするために、リフティングギアの撤去とラッシングが迅速に行なわれた。

52. すべて、4つの浜出しは最初のブロックを除いて浜出し時に突風があったにもかかわらず障害もなく迅速に行われた。

尚、いくつかの重要な船積、こん包は、点検後、急いで行う必要があった。

中央径間

53. 2つの中央径間の組立は4つの側径間桁が Belfast を出た後開始され、同じ方法、同じ手順で行われた。

54. The Engineerと J/Vは正しい形状が達成された事を確認する為、あらゆる実用的な測定がヤードで取られる事に特に関心を持っていた。

H & Wは端部部材が取付けられる前に、中央径間ブロックが架台から吊り上げられた最終段階の仮

組状態の形状と撓みの設計値に対してチェックを行うことに合意した。

現場に於ける単純に支持した桁のこの情報と観察報告が最終の部材の取りつけが承認される前に解析されていた。

55. それから2つのユニットは完成し Foyle へ積出され輸送された。

台船の選定

56. 外洋をバージによって1000t 近い橋梁を輸送することは、一見したところでは、北海における多くのバージ操船に比べれば単純な仕事であった。革新的要素は、180mの側径間ブロックが選定されたバージより大変長いということである。最少140mの長さは必要だとする人を含めた専門家による数ヶ月の技術審査の後に、バージの長さが決定され、特殊バージが選定された。

57. 応札ときの輸送計画は、操船の費用の見積りについては十分なものであったが、その方法についてはしっかりした技術的基礎を与えていなかった。Decision-making はさらに複雑であった。というのは、第1便が契約後2年以上先となりそのような先のバージのマーケットは不確定である。適切なバージの規模は、側径間を横すべりさせるか、あるいは船を長さ方向に回転させるという積み降ろし時の条件によって限定された。そして、このためにはがん強なデッキが必要となる。中央径間の桁は短く、バージから吊り上げられるだろ

うから、問題は側径間の輸送にあった。

58. バージの検討では重荷重輸送車が時間節約と危険回避の点でRDLが得意とする横すべり技術と比較して有利となることが明らかになった。J/Vは荷降しに当って横すべり降下をやめることを決定するとともに、バージ操船と重量物の輸送を一つのSub-conの手はずとして組み合わせることを決定した。

59. 輸送と荷降しの見積は2社に依頼された。そのうち一社はクローラーユニットを採用しており、もう一社は多重車輪トレーラーを用いている。最終的にSub-conは4つの側径間ブロックについてはITM Offshore Ltdとの間で協定され、彼らの多重車輪トレーラーと台船の“ITM Voyager”を用いる事となった。2度目の中央径間2主桁の輸送のSub-conもひき続いてITMとの間で協定が結ばれた。全5回の輸送には長さ×幅×吃水が91.5m×27.5m×6.1mの平坦なデッキをもつITM Voyagerが使われた。2m間隔でクロスフレームを持つデッキは補強なしで輸送架台荷重と重いローリングトレーラーの荷重を支持するのに十分な強度があった。

船体はトリムと乾舷がバージ自身のポンプまたはデッキ上に搭載したポンプを使って、バラストコントロールを行うことによって正確に調整できるようにいくつかのタンクに分けられている。

側径間ブロックの手順

60. バージは一度に2つの桁ブロックを輸送することができるので、そうすれば2回の航海を節約できたが、非対称な荷降しの複雑さと潜在的危険性などの多くの技術的問題が選択を許さなかった。

61. 長く柔な桁は、バージが許容するかぎり離れた2つの支点を用いてバージ上に単純支持させねばならなかった。かくして桁はバージとは独立に自由にたわむ事ができた短いながら片持梁を持つことになる。

桁とバージのデッキ面はほぼ平行で、12.7m離れている。主脚橋位置のダイヤフラムには、工場で正確に位置決めされた2つの沓が付き、理想的な支持位置を取ることができた。更に反力の大きな2番目の支持点は経済的に局所的な荷重の影響を分散するために箱桁内の二つの隣接する横梁とつなげなければならなかった。

62. 曳航時にはバージはピッチングとローリングを行うだろう。しかし、いかなるときでも桁の端が海につからない事が必要であったので、基準航海状態は桁端が1m以上の余裕をもって波をクリアするという基準によっても部分的に決定されるものとした。ロイドの船舶保険のコンサルタントによると、限界航海状態は5.5secの見掛けの周期での最大の波高が2.3mを越えないことと定められている。この状態は風力5から6より大きな風が吹けば越える可能性があった。

63. 架台と沓に作用する静的鉛直荷重は624tと331tであった。動的荷重は4.5sec周期のローリング角 $\pm 12.5^\circ$ と7.8sec周期のピッチング角度 $\pm 3.9^\circ$ に対して導かれた。解析の結果沓反力は倍増し、またアップリフトも生じた。さらに横反力は、静的鉛直荷重と同様な大きさとなった。

64. Sub-con が支持架構を設計し、バージへの荷重を計算した。それらの値はロイドによって独立にチェックされた。J/V は桁の挙動を解析し、補強を施した。それらについては、設計者とthe Engineerによってチェックされた。

65. 全ての支持金具は航海に対処するためバージのデッキに溶接されている取付金具と溶接された。荷降しに先立ち、両支点は多重車輪トレーラーのそう入路を設けるために中央の格子構造がはずされる間、ガーダー重量を支えなければならなかった。

メイン沓はデッキの架台上の鋼製横梁上で支えられた。沓のベースと沓のエンドリングを通るholding down boltsは海上での動的アップリフトの作用に対して十分であった。架台の端では桁はスライディング台の4つのコーナー上のくさび型のPack上に据付けられた。荷重が等分に分布するように、内部を連結した4つのダブルフラットジャッキがくさび型packの下にあてがわれた。かくして桁は、一点支持であるかのように、架台上で曲がるのが可能となった。バージのデッキと支持架台、箱桁の上部をつなぐくま手形のパイプスト

ラットは海上でローリング荷重を支えるために設計された。

66. 側径間桁の航海の計画は9日サイクルで立てられた。

4日間；準備，積み込み，ラッシング

5日目；Londonderry への航海

3日間；準備，荷降し，帰航の準備

9日目；Belfast への航海



Fig. 8. Side span unit on barge ready to sail

各航海のタイミングは大変厳しい波高条件をもたらすRathlin 島まわりの潮の状態によって影響を受けた。また載荷されたバージは暗やみの中をFoyle へ出航すべきでないとするHarbour Master'sの要求によっても影響された。

67. 最初に、航海は1982年の初夏に計画された。ノースアイルランドの波の記録分析によれば、このシーズンでの4回の航海に対して計10日間の天候遅延を考慮すべきであることが推定された。従って、建造ドックはFoyle の桁を積込むために5週間満水とすることを必要とし、バージは約50日間アイルランドに居ることが求められた。

側径間の航海

68. 側径間ブロックの組立ては再スケジュールされた。そして最初の一つは1982年8月初旬に積み込みの準備ができた。The ITM VoyagerはFelistoweで支度され、そして、54t 引きの外洋航海用タグ Indomitable によってBelfast へ曳航された。バージは最小の予定日数で8月8日に到着した。最初のブロックは既に述べたように8月12日に積み込んだ。バージの係留ウインチはゴライヤスクレーンの移動を避けるため、ドックにそってバージを最適な場所へ移動させるために使われた。搭載作業の後に工場の作業員は、ラッシングを行い、ロイド検査官の得心がいくように航海の準備をした。

69. 天気予報と海事予報は、各航海の準備がなされる時に、ITMによってロンドンの測候所から一日二度入手された。搭載されたバージは航海に対する必要最低条件が満足される時間が24時間保証されるまでBelfast を出港することは出来なかった。積み込み時に好天であった天候は悪化し、バージは8月15日に航海の用意ができたけれども、8月23日まで出港出来なかった。Lough Foyle への曳航は約18時間かかった。到着した時には風は風力7にも増大していた。

Belfast では天気予報が典型的な彼岸あらし（これが吹くと秋がくる）の天候を示したため8日間待機した。その後の航海も各々9, 20, 10日と遅れ、ITM Voyager'のアイランドの滞在は予定されたより5週間もオーバーした。

70. 航海でバージ上の桁の挙動を観察する機会はほとんどなかった。一旦Belfast Lough からであると、引き綱は800mに伸ばされ、また、曳航時間のほとんどは夜間であった。桁の激しい上下動に関するタグ船長の生々しい評価がいくつかあったが、4つの桁の全ては完全な状態で到着した。

ただ一度の損傷が第2回目の航海でくま手形固定支柱の2本が、集中端結合部で座屈したときに起きた。

しかし桁への影響はほとんどなかった。

71. 全航海中で最も運が悪い出来事は、第1番目のブロックがLough Foyle の先端に来た時で、川の入口にさしかかったときであった。短くされた引き綱状態で、風力7の変動風下でLough を上っている時、大きな航行面積をもったバージは90°以上大きく針路からそれた。18t 引きハーバータグがバージの船尾を引っぱったそのとき、その綱がはずれた。そして揺れ挙動はバージが河口近くの岸壁に係留された船の間を通り抜けて行く間続いた。2つの小さなこすり傷で致命的破壊は避けられバージは橋の3km下流のLisahally で無事停泊した。

この事故はこの種の操作がなされるとき必要となる万全な注意を関係者全員に強調する結果となった。

72. Lisahally の昔の戦時中の材木坑を打ち込んだ波止場で、バージは側径間ブロックの荷降しのためラッシングの大部分をはずし、2つの支点の

下に積み降し用のトレーラーを入れることによって十分に準備がなされた。

中央径間ブロックの手順

73. 中央径間ブロックを川を横断して係留されたバージから直接吊上げることによって架設は完成することになった。一度に2つのユニットを吊上げた場合の対称であるという有利性は如何なる欠点をも出し抜いた。そこで、バージは2ブロックを運ぶように用意されなければならなかった。

74. 2つのブロックに対する計画は、一つの新しいファクターを除いて、初期の段階から全く容易に展開された。ブロックは側径間ブロックより短かったが、ピッチングモードを計算したところ、支持架台の高さを10.6mに増大することの必要性が証明された。変断面桁の端部は支持点より下にたれさがるので、低い支持架台では波を安全にクリアしないだろう。161.5m長さの桁は72m間隔の支持架台上に対称に搭載された。ブロックを高く搭載して運ぶことは支持位置での動的荷重が問題となった。設計者にとって唯一のなぐさめは、2つのブロックで荷重の幅が広がるので、ラッシングのための架台の材料が少なくてすむことであった。

75. 同様の設計評価は、側径間ブロックの架台と同様の支持機構の配置をもつ、バージの巾一杯に溶接された2つの鋼製架台に対して使われた。桁を積み込んだ後に1つの架台の上に2つの箱が所

定の位置に取付けられた。もう一方の架台上の2つの箱は長さ方向に自由スライドするようにした。かくして2つの桁が鉛直方向に変形することが可能となった。ローリング時の横方向支持のために2つのブロックは26組の衝突防護性用の柱の間に小さい部材をボルトでつなげるによって、デッキの高さ位置で互いに結ばれた。格子状の2つの架台には、仮設鋼材300tが用いられた。

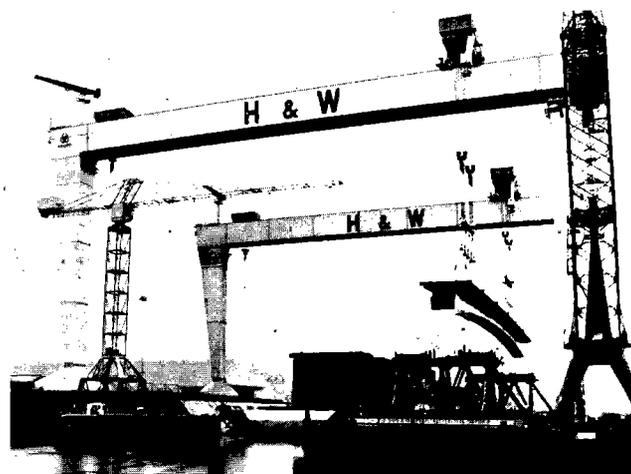


Fig. 9. Load-out of first centre span unit

中央径間の航海

76. The ITM Voyager は、Birkenheadで支度された。そこでSub-con が彼の工場で作られた部材から架台を組み立てたので、バージがBelfast に到着したときには、実質的な積み込みの準備ができていた。

2つのブロックは3月23日、24日に積み込まれた (Fig. 9)。そしてあらかじめ予期した好天時の遅れの後、バージは4月3日に Londonderry に向けて出航した。そのバージは、大型クレーンによって吊上げのための桁うへの準備作業を行えるように市の中心 Guildhallの後方の拡張岸壁に係留された。

鋼径間の架設

77. Rio Niteroi 橋と Foyle 橋の計画概念の間の10年のうちに、大きく重い目的物を動かす問題は、北海石油の発展において、着目すべきものが得られた。

結果的に、Foyle橋の計画には、試したり、テストしたりした吊上げ及び移動の技術が役に立った。

78. 4つの主要な決定が最終計画になされた。

(a) 荷下しには、横に滑らすかわりに大型トレーラーを使用する。

；これは早く荷降しができ、河川の閉鎖を確実に短縮できるが、唯一大型の栈橋を必要とする欠点があった。

(b) 全吊り上げ作業に、ストランドつきの油圧ジャッキを使用；これはRioのジャッキシステムより簡単で、精度もあまり要求されず、残余価値のある仮設の鋼構造物を使うことができた。

(c) 両側径間ブロックを、一度に1つ、橋脚の同じ側から吊り上げる；これは、各岸上で最初の桁を横引きするために支柱間に橋をかけるエキストラコストが必要であるにしても、栈橋と仮設盛土が4個でなく2個だけでよかった。

(d) 側径間端部を6.5m吊り上げて添接し、その後、下げて中央径間で最終“0モーメント”状態を達成する；このことにより整合性にも影響が予想された過密な現場添接区域でのジャッキ操作をさけることができた。

これら4つの決定事項は、いろいろな点で相互に関係しており、最終計画が入札時の許容範囲にお

さまるよう調整された。

同時に、それらは、多くの不確実な事柄や技術的リスクを取り去った。

79. 側径間のブロックの輸送と吊り上げの間のステップで、最初のブロックが地上にあるうちに各岸で第2ブロックが荷降しされるように調整することによって作業の流れが中断されないよう慎重な選択がなされた。これは多少の地上作業と二つの鋼架台の追加による比較的低いコストですみ賢明な決定であった。

架設のための地上作業

80. 荷降し及び吊り上げ作業は、河の両岸で、多くの仮設機材を必要とした。これらは橋梁の基礎工事と同時に施工された。東岸は干満のある水ぎわであった。西側堤防上の配置も似ていたが、水ぎわと橋台の間で地面が傾斜していた。

81. 深い湾の端の堤防から220mの脚2までの搬入路が、その脚の施工のために必要であった。干満差はわずか2.9mで、脚は低水位よりわずかに上なので、簡単な岩の搬入路をつくるのが最も経済的だった。

それは地元の採石場の岩60,000Tを使って橋梁に平行に作られた。その搬入路は仮設工事設計のために脚側の詳しい調査と試験を行なえるようにするという契約で、請負工事の中できわめて早い段階に完成された。

82. 荷降しには、数百トン荷重のトレーラーを運べる栈橋と幅8m以上長さ90mの道路が必要であった。作業性からこの道路は橋梁中心線から27.5mに中心をもってくとされていた。橋は大きな湾にそって曲がっているので、工事を最小にするために、東栈橋は橋の上流に、西栈橋は下流に作った。各栈橋は河床に数m打込んだLarssen No.6シートパイルの幅9m長さ16mの箱から出来ていた。それに岩と小石を密に詰めた。マッカロイタイバーによる腹起しは、大きな上載荷重によるbursting effect(押し拡げる効果)を支えるのに適当であった。300×300mmの角材が、栈橋面上に緩衝材として置かれた。東側栈橋は橋脚の締切りに欠く事のできない部分であり、締切りの内側の角を通る流れに対して効果的な稜堡として働く。

83. 2本の横引き軌道は各側径間ブロックを脚の方へすべらせて運ぶために搬入路に直角に作られた。

幅7m、長さ43.5m、厚さ300mm~500mmの鉄筋コンクリート版からできている4つの軌道のうち3つは深さ6mの押しかためた岩の堆積上にすえられた。4番目は西側径間の下の岩の中におかれた。荷降し用けんいん滑車装置をとめるための2つの50tアンカーは主橋脚内にもうけた。

84. 4個の50T係留用アンカレッジは橋梁の周りの低水位の所に配置され、各々はコンクリートブロックが二つのアンカーによって河床に固定されるように作られた。主橋脚に更に係留すれば、こ

れら4個で全5方向の動きに対して十分であった。

85. 側径間の吊上げは、リフティングタワー用のベースとして岩の中に設置した小さな4個のコンクリート版だけで足りた；これらの工費は3橋脚の締切り面積の増加に比べれば小さなものだった。

架設のための桁の変更

86. 箱桁は、十分な強度と剛性があり、積込み、輸送、荷降し、架設中のどんな支持状態でも曲げやねじりに対する補強は必要なかった。二、三の特殊な細部変更やいくつかの部分的な補強が製作時に組み込まれた。変更は次の通りである。

(a) 台船上の架台支持点の腹板の垂直補剛材の補強と地上での横引きのための腹板垂直補剛材の補強

(b) 中央径間吊上げのため、補強された張出し部(階段上に切欠かれた形状のウェブ)の添接の詳細

(c) 側径間吊上げを容易にするため主橋脚と桁端部のところで、短い張出しデッキのパネルをはずしておく。

(d) 桁端吊上げのため端ダイヤフラムのところにアンカー・ポイントを設ける。

(e) ボルト及び溶接取付け点の種別

これらの全ては造船所での定常の作業の中で行われた。

側径間ブロックの荷降し

87. 荷降し作業の方針は、荷を積んだ台船を栈橋

に係留，ブロックを縦方向に約90m移動し，吊上げ準備のできた脚の横あるいは仮置き場所へブロックを横移動，それからなるべく短い河川の閉鎖で現地から台船を撤去することと明記していた。

88. 現地の干満差は0.6 ~2.9mである。台船のデッキ上に固定した一連のバラストポンプを使って，その月の何時でも荷降しが出来るよう乾舷が調整された。係留や係留解除は，係留装置にボートで近づくため日中満潮の潮留り時に行わねばならなかった。荷降しは，設備の故障による遅れの危険をさけるために干潮時とした。

89. 毎年，現地を通過する船は数百隻あるので，港湾長と密接な協力のもとに，荷降しのための河川交通の中断をなるべく少なくするように，河川の閉鎖を計画するのが重要であった。完全に準備しても，現地の連続作業を24時間以下に計画する事はできなかった。風速が風力5以上の状況下では台船もブロックも動けないので一層複雑となった。



Fig. 10. Off-loading trailer for side span trestle support

90. 2台の荷降しトレーラーは，操縦できる空気入りタイヤ車輪のユニットからできていた。各対の車輪は600mm以上もち上げておける油圧懸架装置付きである。ユニットは，荷重の大きさに合うように，強固に組まれたトレーラーを組立てるためにしっかりと結合される。トレーラー上の電源によりトレーラーを操縦したり，段や小さな勾配の変化を乗り越す事ができるように，別のけん引装置を備えている。

側径間架台用トレーラーを(Fig. 10)に示した。

91. 側径間荷降し用のけん引は，後方のトレーラー（主支承側）と最初の横引き用軌道にある2つのアンカレッジに結んだ2本のけん引索を，台船の船首にある10t ウインチを使ってひきこむことにより行なった。

92. 台船のデッキと搬入路間の通路は，栈橋に渡した長さ2mの鋼製斜路でできていた。東側堤防上の通路は，栈橋面から移動方向の終点に向かって約1mさがっていた。西岸上の通路は，栈橋基準面より10m上に位置する西側橋台基礎の上に桁端を誘導するために，最初の横引き軌道から1/33上り勾配としなければならなかった。詳細な解析によって，桁とトレーラー間の機構は勾配の変化に対応できる十分な自由度がある事を証明する必要があった。勾配の最も重要な影響は，一方向に牽引して，引張り過ぎに東側でなく，西側の岸で耐えられるかと言う事であった。

93. 荷降しから吊り上げの間では、各ブロックは側径間下の横引き軌道上にある高さ約5.5mと8.5mの二つの滑り架台上に支持されている。その架台は、滑動時には重量を支持しなければならなかった。また、静止状態では暴風による転倒に耐えなければならなかった。台船の架台上と同様に一对のフラットジャッキのついた鋼くさびは桁と架台の間に荷重を均一に分布させた。高い方の架台上のくさびは伸縮やタワミによる移動を許すためと取合を簡単にするため、橋軸方向に自由に動けるようになっていた。

94. 各々の横引き軌道上で 3.6m間隔に配された二本の高さ356×巾406、340kg/mのユニバーサル・コラムの軌道梁は、滑動のために水平な鋼製面になっていて、軌道床に大きな大荷重を分散させた。4台の200t能力のVerrolecスケートは各架台のコーナーの下で、サイドガイドのローラーと接し、移動に必要なけん引力を最小にした。各スケートと架台の間の25mmネオプレンパッドは、スケートが傷つかないように少し回転できるようになっていた。各横移動が終ると、4台のスケートは鋼製台に取り換えられた。そして架台の風対策くま手は軌道から取りはずされた。

95. 一对のチルホール装置が約40t ある各架台を動かしたり制止させるために取りつけてあった。結果的にとにかくこれらは桁位置もまた十分調整できる事がわかった。2台の50t 引き用として備えた10t ウィンチは各々ブロック重量の10%まで

の横引き力をもっていた。

96. 各荷降しは、不連続な一連の操作からなっており、それぞれは次のような特有の問題がある。

- (a) 停泊地から現地への台船曳航。
- (b) 高水位時に台船を係留し栈橋に対して位置決めする。
- (c) 準備完了。
- (d) ブロックを低水位時に台船から降す。
- (e) ブロックの下に二つの滑り架台を横引きし、正確に位置決めする。
- (f) 滑り架台に荷重を移し、ブロックを固縛する。
- (g) 吊り上げあるいは位置決めのためブロックを横移動。
- (h) 台船の上にトレーラーをもどす。
- (i) 潮止まりの満潮時に係留をとく。



Fig. 11. Barge in position for first off-loading

97. Sub-conはブロックの位置調整及びそのブロックへの横移動用架台の据付（これらはJVが作業する）を除いた全工程に責任をもった。各ブロックはPoyle 側に到着後可能となればすぐに荷降しされた。台船が現地に近付くと、台船上のITM 管理者は2隻のタグボートと作業船との連続的な無線連絡によって、係留索をひろうためのタグボート

の動きを調整できた。係留索が引張られると台船上のウインチによって台船を方向転換させる。台船が栈橋に対して正確に位置決めできると (Fig. 11), 連続的バラスト調整によってデッキ面は栈橋と水平を保った。低潮位が近付くと, 2台のトレーラーは桁の重量を支えるため支持点の下で背を高くした。トリム及びレベルを保ためのバラスト調整の段階では, ブロックは横断位置で 300mm ひっこむように頭をふった。この作業には約90分かかった。最終の微調整は架台によってなされた。

98. 横移動用架台の位置決め及び桁への連結金具合せには数時間要した。架台は荷降し作業の後のみ位置決めが可能となる。そして, その時のみ工場で作られた穴あけボルト孔は軌道の位置と水平度並びに架台の製作誤差と姿勢誤差の総和と一致させることができる。

99. 一旦適切な位置に納ると荷重はトレーラーを低くすることにより次第に架台に移される。横方向ガイド及び沓のせん断拘束具は各架台に溶接付けされ, また台船の架台は取りはずされる。



Fig. 12. Traversing side span unit—heavy trestle

100. 横移動 (Fig. 12) は最初のブロックの場合約 16.0m, 控えブロックの場合約 7.4m であるが, 標準的には 20~30分を要した。荷重移行の後, 即座に通路は架台トレーラーが台船に戻るために片付けられた。ウインチは各軌道上を動く距離を観察することによって, 斜めになる動きを避けるように制御された。6回の地上での横移動のうち1回だけトラブルが発生した。3番目のブロックを荷降して, 約 3m 横移動したところ, 1つのスケート内のローラが破壊した。修理し 2~3m 動かしただけのところ, 更に別のスケートが破壊し, 操作が停止した。

しかし, トレーラー及び台船を取り除くには十分な空間があった。横移動は全てのスケートを一新した後, 一週間の遅れで完了した。破壊の原因は明白にはならなかった。したがって以後の全ての横移動の際には注意を集中し, 心配しながら行った。

101. 西岸の第1ブロックと第2ブロックの荷降しの際に, 桁支持は西側橋台及び橋脚1で, 2つの横移動架台から格子状の枠組に移された。これによって, 架台は解放され第2ブロック用に再使用できた。

102. 風力5に達する風速下での載荷台船の位置決めは正確な制御と調整が要求された。

103. 4回の荷降しのうち3回は約30時間の航路閉鎖中に完了した。第1回目の荷降しの場合,

改造された架台の調整操作によって派生した台船架台の基部の改良のため、またトレーラーの不慮のねじり変形を修正するための遅れのため、48時間以上続いた。台船は昼間は停泊し、各回とも作業のほとんどは夜間となった。作業条件は寒くて、時には風が吹いたけれども、重要な作業時間中には雨はほとんど降らなかった。



Fig. 13. Positioning barge for third off-loading

104. 4つの側径間の台船輸送が悪天候のために遅れたため吊上げ操作の開始が遅れたが、全体的な契約時の計画を完遂させるのに障害とはならなかった。コストの上昇を別とすれば、遅延の最も大きな影響はすべての作業に生じる心理的圧迫であった。

側径間ブロックの吊上げ及び横移動

105. 吊上げ方法及びその設備は有力なSub-conの3社の見積りをもとにして決定された。1つは既存のクライミングジャッキを使用する方法であり、残りの2つはプレストレス設備を改造したジャッキ及びストランドシステムを使用する方法である。J/VはPSC Freyssinetの提案を受入れた。

それはジャッキとストランドを使用した重量物の吊上げシステムであり、また、全ての吊上げ操作を1つのSub-Conがすることとした。

106. 4つの側径間ブロックの吊上に対してJ/VとPSCが共同で計画をつめた。Sub-conは設計、架設、吊上げ及び横移動設備等の合意された計画に責任をもつことになった。

Sub-conは1回の吊上げが吊上げそのものと橋梁天端での横移動(2日間)を含んだ、3週間サイクルを基本にした計画を提案した。吊上げには次のことが要求された。

- (a) 地上から橋脚天端上まで鉛直に吊り上げる(荷重約1000t,揚程22m)システム
- (b) 橋脚天端を越えてブロックを横移動させて最終位置に据付けるシステム
- (c) 吊上げモードから横移動モードへの変換方法
- (d) 橋脚1, 2, 3では橋桁の最初のブロックが更に向こう側の橋脚まで移動できるようにする。
- (e) 厳しい暴風雨を巻上げ設備の設計に考慮する必要がないように保証連続操作時間は48時間以下とする。

107. 各側径間のブロックは2つの吊上げビームに載せて持上げられた。その1つは主橋脚位置の主支承の下に、また他の1つは、桁端で2ヶの仮ロッカー支承の下にある。桁には橋脚及び橋台位置でのデッキ張出部のパネルを両側とも省くことによって切欠きを設けている。これによって桁のウェブを橋脚柱に接近させることが可能となり、

吊上げ用塔は反対側のウェブに接近させることが出来、吊上げビームの長さをできるだけ短くした。



Fig. 14. Lifting tower at main pier

橋脚や橋台の反対側に設置された大きな吊上げ用塔はSub-conの標準にあった12m長の鋼管製の3脚型式である (Fig. 14)。約650tonの荷重が作用する主橋脚位置では、吊上げビームは上端に560tonの油圧ジャッキを有した、30ストランドのケーブル2本によって吊られている。塔上のジャッキは塔の反対側に定着されたバランス用鉛直ケーブルを備え、2本の柱の前面の上で支られているバラシングビームの端部上に据付けられている。

このようにして、塔はジャッキ荷重による大きな曲げモーメントは生じないようにした。

Cathead(突き出た受架)上に設置している (Fig. 15)。

それは橋脚天端にボルト付けされ、橋脚に埋込まれた非常に重いneedle beam上に支持されている。

橋脚3及び西側の橋台でも350ton荷重に対して12

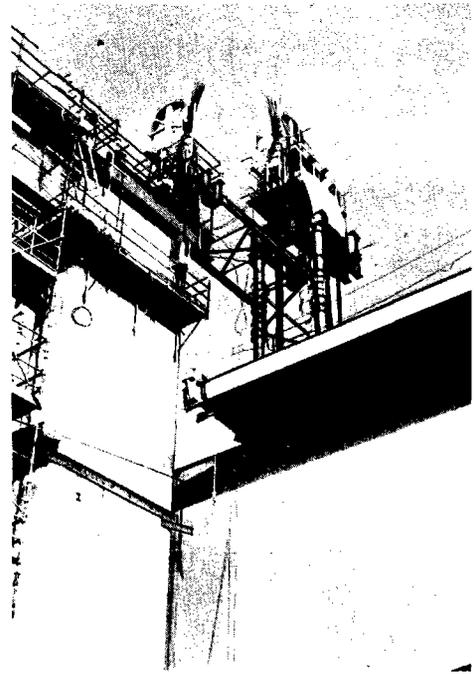


Fig. 15. Lifting cathead at main pier

本のストランドと180 ton ジャッキが同様の機構で適用された。塔の安定性は橋脚頂部及び中間部での塔と橋脚の間に取り外し可能なブレースフレームを設置することによって向上させた。

108. 横移動システムはグリースをベースとした2硫化モリブデンを塗布した鋼板上をすべらせる方式である。その際、各吊上げ位置でけん引用に3本ストランドのケーブルを備えた50ton ジャッキ2基を使用した。

主橋脚位置では主支承を吊上げビーム上を直接にすべらせ、それから橋脚天端上にグラウトされ水平にされた連続した鋼板上をすべらせた。西側の橋台では仮支承がすべり板の上の台座上に設置された。これによって、それらは橋台の梁上の吊上げビームを取り外しながら同様の手順ですべらせることが可能となった。幅2.5mの橋脚3では吊上げビームから3つの梁を連絡させることにより仮

支承のすべり板のためのすべり道が用意された。

109. Engineerの同意を得て、8つの主橋脚支承の各々には分割した鋼板のベースプレートが取り付けられ、シェアー・コネクターによって橋脚天端に取付けられた。これらの鋼板は橋脚天端の横移動用のすべり道の一部を形成した。後に、これらは支承が橋脚天端上で前後にすべることを可能とした(§ 121)。移動中には、有用な条件として支承は鋼板のkey溝中の4本の鋼製引張材によって拘束されている。

110. 吊上げモードから横移動モードへの切替はCat-headの鋼構造から吊上げビームの橋脚側端部を支持するためのMacalloy barの吊具を使うことによって可能となった。吊り上げの最後の段階でこの吊具は固定されビームが油圧フラットジャッキにてレベル調整される。また内側のリフトジャッキはケーブルおよび支持鋼板と共に取り除かれる。

111. 各橋脚の全てのジャッキを操作し、制御する動力はディーゼルエンジンポンプユニットによっている。それはタワー基部付近の地上に設置され、リフト及び横移動ジャッキとホースで接続されている。

112. 橋脚1及び2の第1ブロックの横移動には橋脚柱間で650ton荷重を支える桁が必要となった。永久的な鋼製の門型箱部材がこの機能を満足させ

るため取り付けられた。(橋脚柱に埋込んだ一対の鋼Stub beamに支えられた仮支持物を支える為にその両端を補強している)。箱桁はユニバーサルジョイントではなくスラスト支承を結合して架設された。また鉄筋コンクリートスラブがその頂部に打設され、すべり道のための鋼板を支持した。横移動の後、スラブの除去はポリエチレン膜によって鋼箱部材からの分離を楽にした。橋脚3では橋脚柱の頂部のロック支承上の一対のユニバーサルビームが隙間を埋めた。

113. 全体移動時の限界風速は16m/sであり、実行の場合には48時間の好天予測を得ることが不可欠であった。しかし、特別な場合には高風速も許容した。吊上げ用の主油圧ジャッキは450mmのストロークを有し、5分間で完全にもとにもどる。しかし全操作時間は構造的な盛替のための中断によって支配される。

吊上げ及び横移動は次の手順から成る。

- (a) 荷重を持ち上げ、塔の鉛直度を照査する。
- (b) デッキが橋脚天端のブレーシングのすぐしたにくるまでブロックをあげる。
- (c) 1/2高さのブレーシングの設置及び橋脚天端のブレーシングの移設。
- (d) 吊上げ用梁が横移動の軌道と同じ高さになるまでのブロックを持上げる。
- (e) 吊上げビーム端の吊具設置、レベル合せ及び内側ジャッキの取りはずし
- (f) 横移動用引張システムの索具装着
- (g) 最終位置へのブロックの横移動

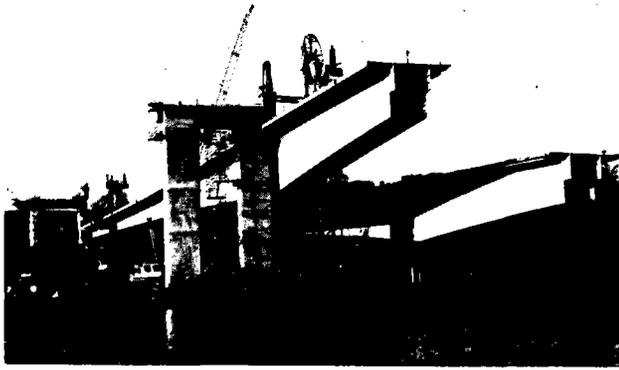


Fig. 16. Lifting first side span unit

114. § 101 に述べた第1のブロックの荷重移しかえは、桁の西側橋台端を2.5m持上げるとによって2つの横移動用架台を取りはずし、それから小さな格子構造上に降下させる。

主橋脚の吊上げ準備が完了すると、第1回の吊上げ作業は6日間で出来た。Fig. 16はこの作業の初期段階を示す（2番目のブロックが仮置位置に見られる）。また、Fig. 17は横移動途中を示す。吊上げ及び横移動にはそれぞれ約8時間及び2時間要した。遅れの主要因は盛替操作に表われている。この操作には連続する悪天候下では終了まで2日要した。この吊上げ方法は荷重や設備の位置的な誤差に対してはかなり耐えるが、この吊上げ装置の頂部において、吊上げビーム位置はすべり軌道位置に一致せねばならなかった。西岸で手順を照査すると基礎、桁、設備の起こりうる誤差の総和が十分には許容できていなかったことがわかった。調整は合計荷重のもとで何度か行われた。連結がなされ不整は横移動が始まる前に取り除かれた。第1回目の横移動は主橋脚支承が吊上げビーム上ですべりが止まったので、補助ジャッキの準備ができるまで始められなかった。横移動の計算

は摩擦係数0.15を基本にしている。0.25以上と等価なジャッキと牽引力が必要とされた。後の研究は一つの支承と軌道間にわずかなSwart がはさまっていたことがわかった。このことは中央径間の操作の為にブロックをすべらせる時に更に別の問題を引起こした。

115. 第1ブロックは1982年12月17日に横移動完了した。それから2つの吊上げタワーは2番目のブロックを地上の仮置き位置から吊上げ位置に横移動させるため大ブロックのままどけられた。吊上げ及び横移動のサイクルは繰返され、東岸の操作も同様に実施された。全ての吊上げ及び横移動の作業は、4番目の1983年3月21日の最後の横移動時に桁方向に風力10の突風がふき影響を受けたが、最初よりずっとスムーズに実施された。

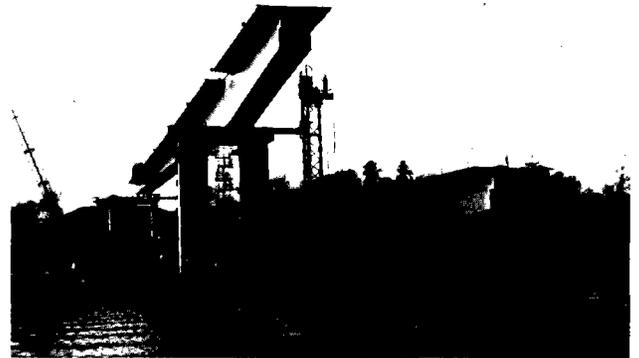


Fig. 17. Traversing first side span unit on pier top

中央径間の架設準備

116. 2つの中央径間のブロックは、両側径間から張り出した桁の先端から降ろされた吊索によって、台船から直接、吊り上げられる。橋の設計では中央径間の各ブロックで自重による正のモーメントを十分に除去すること、すなわち主径間の中央で

死荷重モーメントが理論上ゼロとなるよう求められた。この要求は設計編に述べられている。

117. 中央径間の正のモーメントを解放するために全く異った2つの方法が考え出された。その一つは、主添接部から桁に負のモーメントをジャッキにより導入するという明快な方法、すなわちデッキプレートと下フランジとの150mm以上の相対

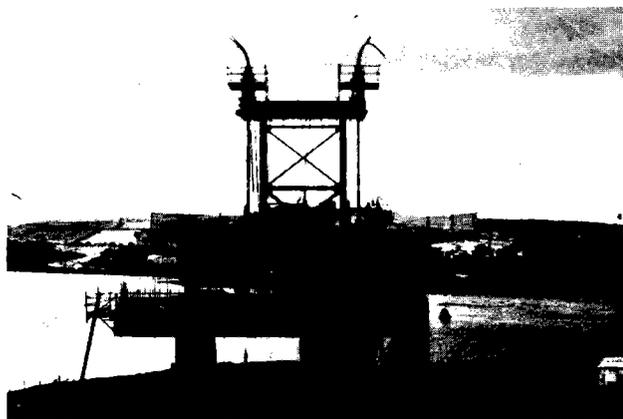


Fig. 18. Tail and lifting frame at west abutment

差を閉じ合わせるといったものだったが、次の諸々の理由から採用されなかった。

- (a) 引張側のデッキ及び圧縮側の下フランジに2000t以上の大きな力を発生させるジャッキ装置がなければならない。
- (b) ジャッキ圧力を分散させるため、十分な局部補強が、特にデッキプレートで必要になる。
- (c) 導入された応力は、添接部材を合せるときに障害となる。
- (d) 高張力の鋼棒の利用は、添接部の溶接やボルト締めを妨げ、かつ余計な危険を招く。

118. 選定された方法は、§78に示したように上記の問題点を回避し、しかもよりエレガントな方

法であった。すなわち、中央径間の吊上げに先立って、側径間の端支点を上げ越しておき、中央径間のブロックを吊上げ、単純剪断の状態で添接を行い、その後正規の支承位置に側径間端部を降下するものである。始めの解析では、両支点をあらかじめ6.5m上げなければならないことが明らかになったが、それは桁の柔軟性を示すもので、その事自体は何ら特別の問題を生ずるものではなかった。主橋脚のピン支承は、主桁の桁端を上げ下げする際に桁あるいは支承に特別な加工をしなくても十分に機能できる許容範囲を持っていた。

119. Fig. 18に見られるように、橋の各端部を吊上げるのに構造上むだのない案がJ/Vより提出された。平面状の単純なブレースが桁端の間に立てられた。そのフレームの頂部梁の張出し端に、各桁の吊上げ用に500tストランドジャッキが据付けられた。各ケーブルの下端は、内ウェブの内部側へ0.5m入った位置で桁とダイアフラムに定着され、フレームは吊上げられた桁の架設時の風荷重をしっかりと支持するものであった。各々の桁で、中央径間の重量によって、必要吊上げ力が約2000KNに減少するまでは、ケーブルの支持力は約3000KN必要とされた。支持力は、桁端を下げるにつれて次第に低下して行き、最終的には、1000KNに減少すると想定された。桁のねじれ剛性が強いので、吊上げが多少偏心しても、ねじれ回転による応力超過は起こらない。各々の吊上げフレームは、ピン支承の軸まわりに前後に自由に動くため、いつでも吊上げケーブルとほぼ同一平面にあった。

フレームの支承はケーブルの定着部より下側にあったので、両側径間ブロックと吊上げフレーム及びケーブルから成る安定な4つのbar-chain機構を形成した。したがって、フレームに荷重がかかった時には控索は不要であった。

フレームは、鋼の温度伸縮や桁の添接が始まる時の大きな動きに対して自由に追従しなければならなかった。

120. P3 橋脚では、吊上げフレームが、桁端と橋脚天端の間かけられた仮設ビームの上に建てられるために、降下装置が複雑になった。この端部で最後の1mを降下するのに、吊上げフレームと仮設ビームが移動できるような補助のジャッキ機構が案出された。

121. 中央径間ブロックが吊上げられる時、そのブロックは、両側径間の端部との隙間にぴったりと合せることが必要であった。

桁端の回転はこの間隙を縮める方向に働くので、この効果を相殺する為、側径間のブロックを全体的に外側に移動しなければならなかった。前述した主橋脚の支承の底板は、側径間の方に約350mm主橋脚上で移動できるように設計されていた。各支承は、双方向に動く時、支承と脚柱との間にすべり力1700tを発生できる水平ジャッキフレームを備えていた。

各橋脚の油圧調整器は、170tのジャッキ押し用回路と100tの制動用回路に接続された。

122. 桁端の吊上げと橋脚天端での水平ジャッキ操作は互いに独立して行われた。中央径間の架設に先立つこと数日のうちに両側径間の2ブロックずつが、さしたる問題もなく、2~3時間で、Sub-conによって吊上げられた。引続いての橋脚天端でのジャッキ作業では、4ブロックのうちの3ブロックは予想されたすべり力以内で350mm一杯動いた。

一方、4ブロック目は主支承とその底板との間で30%の摩擦力に相当するジャッキ圧力の割り増しが必要だった。

123. 中央径間の吊り重量は主橋脚上で負のモーメントを増大させる。§86に述べたような、切欠きのあるデッキパネルのままで、ブロックが架設された後、主橋脚上の全部で8枚のデッキパネルを取付け、溶接することで、桁は全断面が復旧した。

デッキプレートと切り欠いた部材の溶接の完了を待って、中央径間の吊上げを開始することをエンジニアが許可した。

両側径間の各ブロックは所定位置に移動されるとすぐにパネルの溶接が始まっていたので、中央径間の吊上げの日までに、パネルの大部分が完全に溶接された。

中央径間ブロックの吊上げ

124. J/Vは、PSC フレシネ・ストランドジャッキを用いた中央径間の吊上げ機構を考案した。この場合、Sub-conの役割はJ/Vの全体的な管

理下に、そのジャッキを供給し、設置し、操作することであった。2つのブロックが同時に吊上げられるために、4つの主添接部において同一の吊上げ装置が必要であった。

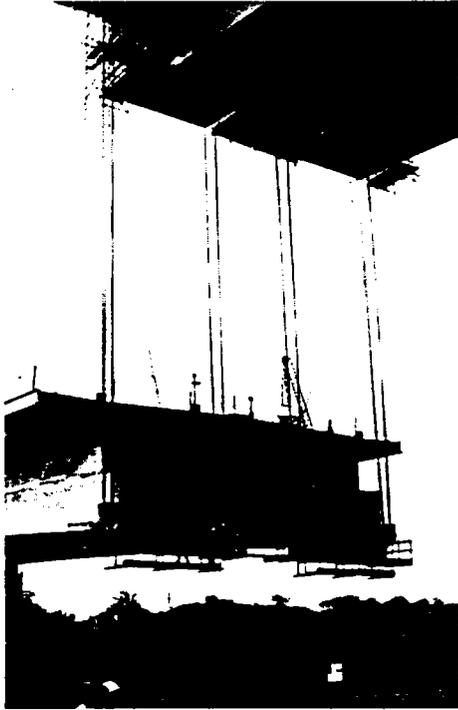


Fig. 19. Lift arrangement for centre span units

125. 最後の吊り上げ作業を予想して、メインプライスについて、各々のウェブの中央が階段上に加工されている。つまり、側径間ブロックの上端は中央径間ブロックの下端より約1m突出す設計となっている。

この事により、350t吊り上げ装置の支持機構をひじょうに簡単なものにすることができた。

つまり、箱桁ウェブのすぐ外側に吊るした吊り上げケーブルを用いて側径間デッキ上の梁でジャッキを支持し、中央径間端部の下フランジ下方に吊るされた第2の梁で重量を支えた (Fig. 19)。

各ウェブの外側に単一のジャッキとケーブルを適切に配置することもできた。しかし、一対のジャッキの採用によって構造詳細は、より単純化され

た。この事は、各桁で4つのジャッキ、つまり全部で16個のジャッキを同時に作動させることで各桁を吊り上げるという事である。パワーユニットと制御システムは、非常に敏速に作動させる事ができた。

126. デッキの横桁と、下フランジの横リブ位置に対応する主桁のウェブの垂直補鋼材の近くに、添接があり、それ故、わずかな補剛により、吊上力は、容易に箱桁に伝達される。ケーブル用に長円孔が桁ウェブの外側 680mmのデッキプレート上に開けられた。

補剛された一対の高さ914×巾305, 単位重量289kg/mのユニバーサルビーム製の上面リフトビームは、ウェブ上に固定され、長円孔上の一対の145tジャッキを、各張出し先端に据付けた。下面リフトビームは同様に作られ、桁の下フランジにボルト連結された。ピンプレートがウェブの外側に 680mm張出した位置に取付けられた。各組の吊り上げケーブルは、下フランジのアンカー・ブロックに単純なピンプレートにて固定された。このようにして一対のケーブルは、すみやかに下側の梁に取付けることができた。

127. 上部梁の吊上げの日の前に、ジャッキとケーブルが、側径間の全ての張出し部先端に設置された。ケーブルは定着ブロックが位置する所まで伸ばされて、そしてそれらのセットは係船の間隙を考慮して、橋脚柱側に引き込まれた。下部吊り上げ梁は、港にてFig. 20に示す台船上の中央径間プロ

ックに固定された。ただし、航行時の侵水や不測の事態による荷くづれなどのおそれがあるので Belfast では固定されなかった。このように、わずか8個のピンが完全に連結されれば吊上げが開始できる方式が考案された。なじみと機構上の問題が生じる場合を警戒して、これらの連結は引き潮時になされ、上げ潮時にはそれらの機構が有利に働くように計画された。

128. 風の影響に対して何らかの処置が必要であった。吊上げは24時間以内に風力5以下である場合にのみ行なうことになってはいても万が一、吊上げ作業中、機構上の事故がおこれば長期間の工事遅延を引き起こすことは避けられないからである。

そのために、重い褥がけしたワイヤを取り込む器具が、二つのブロックの各端部に用意された。それらは、吊上げ作業中に軽工具で長さを調節できるものであり、必要ならば、大きなワイヤ張力にも追従できるものであった。

風による励起振動が二つのブロックに生じた場合にそなえて、自己調節の減衰機構も付与された。

129. 1983年4月末までに、吊上げの準備は全て完了した。両側径間のブロックは上げ越しされ（それらのデッキの高さは端部を6.5mもち上げた状態では水平だった）、両側径間の間隙が予定量だけ開けられ、吊上げ設備は準備が全て整い、架設ブロックは、台船上で上流3kmの地点に係留されていた。

そこで、計画を変更して1983年5月2日、月曜日の公休日に、吊上げ工事が実施の運びとなり、数千人の現場周辺の観客や報道陣の注視の中で作業が開始された。



Fig. 20. Centre span units arriving at site for lifting

130. 台船は、町を離れて（Fig. 20）、日中の高潮位時の潮止まりに現地に係留され、側径間の時と比べると非常に良好な気象条件のもとに無事に位置決めがされた。最終的な位置決めは、台船上のマークと地上の定規を視準して行われ、側径間の張り出し部から吊り下げられた下げ振りによって照査された。このようにして、ITMは陸上からの助けなしに係留を制御できた。台船の位置は、係船索によって保たれ、精密な調整が必要なときには係船用ウィンチを使うことができた。

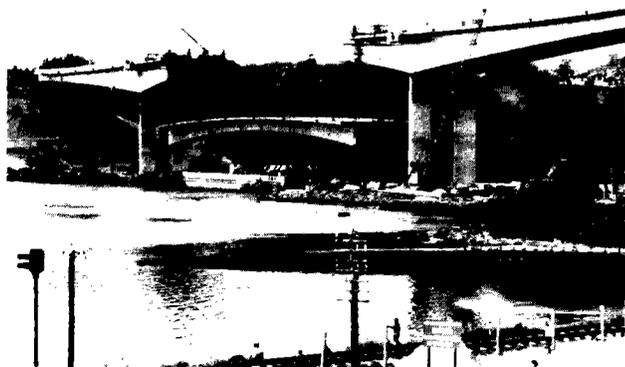


Fig. 21. Commencement of centre span lifting

131. 潮が引いて来たとき、吊上げ用アンカーブロックは所定位置に引き戻され、午後5時30分に連結が開始され、8本のピンは25分以内に全て打ちこまれた (Fig. 21)。

P S Cは荷重が完全に移動するまで序々に吊上げを進めるように求められた。これは、約3mの吊上げが完了するまではゆっくりした工程となった。ケーブルが短くなるにつれ、

- (a) 両側径間が撓み
- (b) 逆そりの状態の中央径間は1.7m以上の撓み量で上方に曲げられ、
- (c) 軽くなった台船は、浮揚し、
- (d) 潮は上り始める。

このように、吊上げ荷重が徐々に増大するとき、構造物と装置の状態を観測するには十分な時間があった。数回の重要な段階の全てについて徹底的な検査が行われた。荷重がほぼ完全に移動したとき、中央径間ブロックの腹板の切欠き部に座屈が生じた。設計者はこのことを予期していたので、吊上げ作業は続行され、桁は午後7時30分に台船上の支保工からごく微かに離れた。



Fig. 23. Steel spans structurally complete

132. 一度ブロックが台船上を離れたら、吊上げは中断せずに進められ、12時30分にあと約1m残すまで続けられた。吊上げブロックが側径間ブロックに接近したとき、足場がじゃまにならないような注意が払われた。桁端が擦れ違う時には十分な間隙があり、そのような状態においては、腹板の添接部は鉛直に対してわずかな角度がついていたが、それも吊上げの続行と共に次第に減少して行った。

133. 翌朝の引き潮時、台船はもやいを解かれた。吊上げ作業は再開され、非常に速やかに4ヶ所の添接部は数mm以内に高さを合わされた。全ての作業は理想的な天候条件のもと、機械的な故障もなく、耐風索あるいは減衰装置を煩わすこともなく完了した。P S Cが別個にジャッキを操作することができたので、鋼桁の一樣な温度条件のもとで、2~3日のうちに非常に徹底した添接部の検査を行い、最終的な高さ調整がなされた。

この段階では、鋼橋のデッキは全てにわたってほぼ水平となった (Fig. 22)。



Fig. 22. Centre span lifting completed

構造の完成

134. 中央径間の吊り上げ作業の完了は、そりや幾何学的解析の厳密なテスト、製作精度の正確さ、それに現地作業によるものであった。結果において、4つの主添接部の精度はスーパーバイザーのエンジニアの期待以上のものであった。箱桁の鋼の温度が均一ならば、接合部は平面上は平行となり、デッキプレートは下フランジとの相対差が15mm以内であった。(構造上許容できるスキマである)。

135. J/Vは添接部はできるだけボルト締めすることにし、溶接はデッキのプレートと部材のみに限った。Coronetのワッシャー付の高強度のHSFG(M24とM20)ボルトをウェブと下フランジに用いた。各々のスプライスの回りには、スキマを予想してfairing aidsを配置した。(これらのほとんどは用いられなかった)。各々のスプライスが順々に締付けられて、風、荷重、温度変化に充分耐えうる強度を持つようになった。仮締めボルトとドリフトピンが下フランジの接合に使用された。デッキが日光により膨張した時は、マカローバーが作用して開かないようにした。

136. ボルト締め付けとデッキ溶接作業は、吊上げ用ジャッキに、荷重を持たせた状態で行った。工場製作と仮組み立ての品質として、4800個のボルトに対してリーマ仕上げが必要なボルト孔は20以内となるよう明記されていた。大部分のウェブボルトを締め付けた時点で、4本の吊上げ用ケー

ブルの個々のストランドを切断して荷重をボルトにかけた。接合作業は7月中旬までに完了した。

137. 架設完了した桁の端部は、§ 119の吊上装置を逆転させる操作と橋脚上でのジャッキ操作(§ 121)の各々を少しづつ行なうことによって、2本同時に支承の高さにある仮の支持点まで下げられた。§ 120に記したように最後にPier3のジャッキ操作により完了した。西側橋台では、コンクリートに固定された雄型の金物に固定用のアンカーのメス型の部分が容易にはまりこむように作業時の動きをコントロールした。Fig. 23に完成状態を示す。このあと数ヶ月に渡る作業によって溶接と組立作業が終り、細部にわたって構造物が完成し、仕上げ作業を待った。

138. 構造物がこの段階まで進んだ時、§ 7に示した2番目の問題—桁は設計形状・設計長さを満足する精度にて組立てられたか。—が確認された。しかし、死荷重として加えられるべきたくさん作業が残っておりこの論文の段階では、最終の結論は得られていない。最新の測定では2つの桁(上・下線)が極めて近似の形状(20mm以下)であり、又キャンバーは許容値内(スパン/3000)であることを示している。

フレキシブルな主橋脚の温度が補正された時の垂直度は、許容値内であった。

139. 設計段階において、エンジニアが風洞実験は必要なしと判断するまでに、上部工の耐風安定

性について多くの意見が出された。完成した桁はある風の条件によって振動し、中央の垂直変位は風力5程度の状態にて上側に約65mmまでとなる。しかしこの振動はすぐに減衰する。

最終作業

140. 2つの桁が支承上に固定された後、始めて仕上作業に取りかかることができた。この段階にてJ/Vが決めた3つの案は記載するだけの意味がある。

(a) 鋼床版上のマスチックアスファルトは機械にて敷設する機会が多いのであるが、Foyle 橋の場合8000m²と少なく材料が不経済であり、又Englandからの装置の運搬もコスト高になる。手作業にて敷設し、良好な仕上げができたが、2.5%の横断勾配と4%の縦断勾配の組合せのため、熟練工の技量が必要であった。

(b) ステンレススチールのTeekayカップリングを持つ、GRPパイプ(glass reinforced plastic pipes)を、スチールパイプに代わって排水装置に使用した。これらは取付けが容易で塗装を必要としない。

(c) P2とP4の手摺には、取付けを容易にし塗装を省くためにスチールに代わってアルミニウムを使用した。

141. 橋のメンテナンスに関して、請負人は適切な設計を申し出ていたにもかかわらず、契約には特別な設備は含まれていなかった。建設の段階になって、鋼材に下記の設備が付け加えられることになった。

(a) 高さ203×幅133 単位重量30kg/mのユニバーサル・ビームの2つの走行梁、これはデッキの張り出し部の下に取り付けられており、検査用の軽い台車と足場が移動する。

(b) デッキの中央2.6m下の鋼製の内部歩廊。

(c) 内部照明と電源

結 び

142. メインスパンの製作と架設は、大きな事故もなく、又日程的な遅れもなく完了した。製作を担当したHarland & Wolff Ltd.は橋梁の製作実績が近年はあまりない造船所であるが、正確な製作作業と品質について、十分信用できることが証明された。

143. 今後のためとして、輸送と架設計画が評価されている。これらは、小さな改善がたくさん実施されてはいるが、時間と費用を節約する目立った技術的な改善点はほとんどない。

144. 本プロジェクトの成功は多くのエンジニアとスタッフの努力と創意工夫の結果であり、協同作業のための、準備のたまものである。

謝 辞

145. 契約についてのエンジニアの首席管理者はResident Engineer のMr. J. Fletcher, BSC, MICEであり、現場代理人はMr. L. Brindle BSC (技術) MICEと、造船所のMr. B. Wilkins BSC MICEである。工事作業の中で、Mr. Fletcher とスタッフ及

びJ/Vのスタッフとの間に明確な作業役割があり、これが造船所と現地における作業の質と進行を高めた。

146. 基礎と高架橋のための仮設作業の大部分は、Dr. D. T. Donald MICEの指導のもとに、Graham Contracts Ltd.が設計し、Mr. K. Simm, FICE of

Frreman Fox & Partnersによって照査された。主橋脚の締切はDr. I. G. Doran & Partnersの助言を入れて設計され、それらは彼らにより個々にチェックされた。輸送、重量物吊り上げ、そして土木と仮設作業の設備設計は、現在はDorman Long Bridge & Engineering LtdであるRDL Contracting Ltd.設計事務所により行われた。そこでは、Mr. R. W. Swith, Design office Manager M A(oxon) MICEと Mr. R. L. Poole MIMechEの監督のもとで行われた。

全体架設計画に対する独立した照査はMr. M. FieldとMr. B. L. Swith, BSC, MICE of Freeman Fox & Partersのコンサルタントにより行われた。計画の考案と照査は、Ove Arup & Partners,特にMr. Angus Lowのコンサルティングのもとに行われた。

技術的及び設計作業は主要なSub-conのHarland& Wolff, ITM(offshore)とPSC Freyssinetによって行われた。製作と架設における成功は、これらの会社からのたくさんのエンジニアの協力体制と専門的知識を持ち寄った結果である。

147. 現場への交通手段と鉄道上での作業につい

てはNorthern Ireland Railway Companyに多くの助力をいただいた。鋼径間の架設作業と台船の操作はLondon derry港湾事務所の助言と協力なしには行えなかった。又、J/VはHarbour MasterのCaptain P. J. Collierの助言と助力に特に感謝している。

148. 2つの工事論文の著者らは、この論文の発表を許可してくれた。北アイルランド環境省の道路局長であるMr. T. J. McCormickに感謝する。

付記1 主要 Sub-conとサプライヤー

149. 鋼橋の主要Sub-conとサプライヤー

主桁の製作

: Harland & Wolff Ltd, Belfast

輸送・桁の積下ろし

: ITM(offshore)Ltd., Middlesbrough

重量物の吊上げ

: PSC Freyssinet Ltd, Iver

伸縮継手の供給と据付

: Mageba Ltd., Bicester

主支承の製作

: Goodwin Steel Castings Ltd,

Stoke on Trent

セーラー支承の供給

: PSC Freyssinet Ltd., Iver

ガートレールと手摺(高架橋も含む)の供給と据付

: Varley & Gulliver Ltd., Sparkbrook,

Birmingham

道路の防水工と舗装

: Tilcon Ltd., Newtownabbey

Portal boxの製作と仮設用鋼構造物

: Normanby Estate Engineering Ltd.

Scunthorpe

GRP排水管の製作

: GPE teo, Anagry, Co. Donegal