

Design and Construction of Oku-Nagashima Bridge



山岡 良造
Ryozo Yamaoka
川鉄鉄構工業(株) 橋
梁鉄構設計部 主幹(掛
長)



佐藤 守閑
Morikuni Sato
川鉄鉄構工業(株) 橋
梁鉄構工事部 主幹(課
長)



中平 統士
Motoshi Nakahira
川鉄鉄構工業(株) 橋
梁鉄構設計部 課長



中田 恵治
Shigeji Nakata
川鉄鉄構工業(株) 播
磨工場製造課 主幹(掛
長)



久後 雅治
Masaharu Kugo
川鉄鉄構工業(株) 橋
梁鉄構設計部

1 結 言

邑久長島大橋は瀬戸内海の長島と本土とを結ぶ海峡横断橋で、川鉄鉄構工業の設計・施工により1988年5月に完成した中央径間部長さ135mのランガー桁橋である。橋体は周囲の景観との調和を考慮し、グレーに塗装され、島のモニュメント的存在となっている。長島は、岡山市の東方約30kmの瀬戸内海虫明湾に浮かぶ小島である。長島周辺は瀬戸内海国立公園となっており、入りくんだ海岸線は季節を問わず風光明媚なところである。また島内には、国立療養所長島愛生園と邑久光明園があり、現在約1400人が療養生活を送っている。

本橋のランガー桁の架設においては、海上クレーン(Floating crane—FC)による一括吊り上げ輸送および架設工法を採用した。施工に先だって、FCを曳航するタグボートのスクリューによる海底汚濁調査を行い、現場周辺海域のカキ養殖場に悪影響を与えないことを確認した。また吊り上げ時には、完成系とは異なった応力状態となるため、応力検討結果の確認を目的として、応力および変位

要旨

瀬戸内海に浮かぶ長島と本土とを結ぶ支間長135mのランガー桁橋を主体とした邑久長島大橋の施工に際して、海上クレーンによる一括吊り上げ輸送および架設工法を採用した。(1) 施工に先だって、海上クレーンを曳航するタグボートのスクリューによる海底汚濁の汚濁調査を行い、海水の汚濁の程度が許容範囲にあることを確認した。(2) 工場岸壁での吊り上げ時には主要部材の応力および変位を測定した結果、いずれも計算値に近い値であった。(3) 橋体据付け精度は、きわめて良好であった。(4) 工場岸壁での積出しから現地架設完了までの所要日数は、通常の台船輸送工法の場合は4日以上必要なところを、本工事では3日間で完了し最低1日短縮することができた。

Synopsis:

Oku-Nagashima Bridge, a steel langer bridge with total length of 185 m, was constructed, connecting a small island in the Inland Sea called Nagashima with the Mainland of Japan. For the purpose of minimizing the cost and period of construction, a floating crane (FC) was used continuously for lifting the whole body of the bridge at the fabrication yard, transporting the bridge to construction site, and setting it on the abutments. This paper describes the following details:

- (1) Disturbance test result of sea bottom mud, when a tug boat screw with a special hood was in operation, showed that the degree of sea water contamination was reduced within allowable limits.
- (2) Stress and displacement of bridge main members measured at lifting work with FC, generally agreed to calculated values.
- (3) Accuracy of the bridge setting on both fixed and movable supports was quite satisfactory.
- (4) The period ranging from lifting the bridge at the quay wall of the fabrication yard to the setting finish at site was reduced to three days, when four days or more were necessary for the conventional barge transportation method.

を測定した。

本文は、海上クレーンによる一括吊り上げ輸送および架設を中心に、邑久長島大橋のランガー桁の設計および施工について述べるものである。

2 工事概要

工事名: 長島架橋新設工事(上部工工事)

発注者: 国立療養所 邑久光明園

工事期間: 着工 1986年12月12日

竣工 1988年3月15日

* 昭和63年7月28日原稿受付

工事場所: 岡山県邑久郡邑久町 (Fig. 1)
 構造形式: ランガー桁 (中央径間), 単純非合成鉄桁 (側径間)
 橋格: 1等橋
 橋長: 20.025 m + 135.000 m + 29.975 m = 185.000 m
 幅員: 7.0 m (車道 5.0 m, 歩道 2.0 m)
 舗装: アスファルト舗装 厚さ 75 mm
 床版: 鉄筋コンクリート床版 厚さ 180 mm
 コンクリート設計基準強度: $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$
 主要鋼材: SS41, SM41, SM50Y, SM53
 設計震度: $K_h = 0.17$
 鋼重: 625 t
 架設工法: FC による一括吊り輸送および架設
 邑久長島大橋の側面図を Fig. 2 に, 標準断面図を Fig. 3 に示す。
 また工事完成写真を Photo 1 に示す。

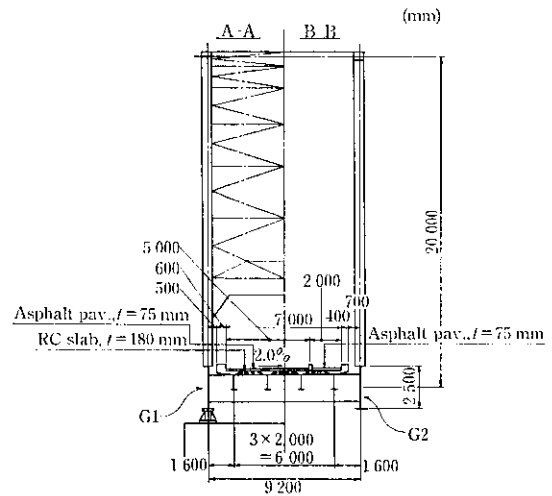


Fig. 3 Cross section

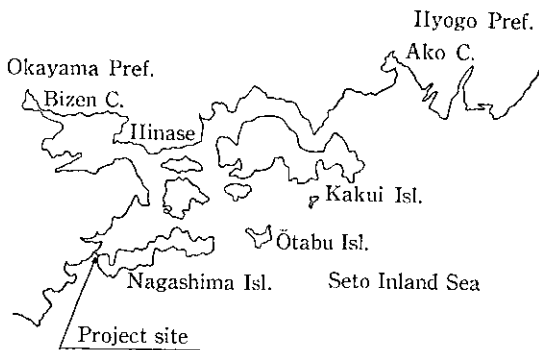


Fig. 1 Project site



Photo 1 View of Oku-Nagashima bridge

3 設 計

3.1 床組の設計

本橋のような補剛アーチ橋においては, 荷重の載荷にともない主構作用により補剛桁が橋軸方向に変形するが, これと並列に配置される縦桁は床組としての作用のみを受けるために橋軸方向の変形は微少である。よって両者間に橋軸方向の変位差が生じ (死荷重載荷時で 63 mm), それにともない横桁に床組面内の変形を強制されることによる過大な付加応力 (端横桁に $\sigma = 4,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度) が発生する。この付加応力を低減するために, 縦桁と横桁の取付部のトルクシャーボルト (TCB) 孔を長孔もしくは過大孔とし, 補剛桁の橋軸方向の変形を吸収できる構造にした。

3.2 主構の設計

橋体吊り上げ時において, 主構には完成系と異なる応力が発生する。よって, 主構の安全性を確認するために, 各部材の応力照査を行い, 発生応力が許容値をこえる部材については補強の検討を行った。

3.2.1 吊り上げ時の検討

(1) 構造解析

FC の吊り具取付の施工性を考慮して, 吊り点を補剛桁の上フランジに 1 主構当たり 4 個 (計 8 個) 設けた。ワイヤー張力はイコライザー滑車を使用するため均等と仮定した。Fig. 4 に構造解析に用いた骨組図を示す¹⁾。

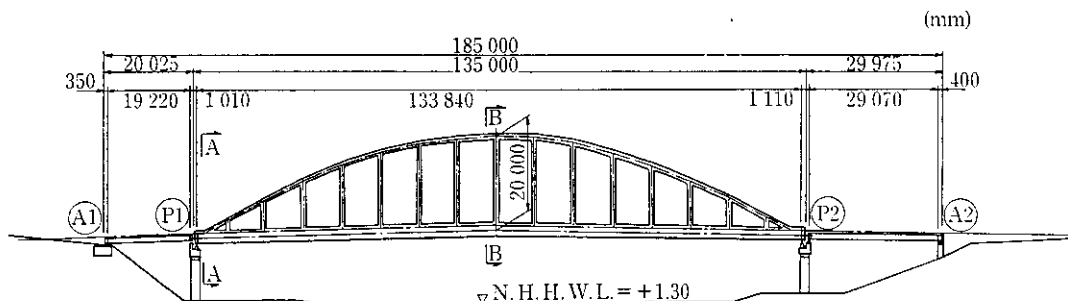


Fig. 2 General elevation

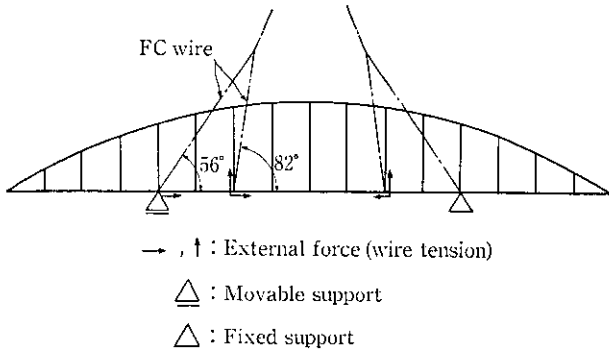


Fig. 4 Skeleton diagram for structural analysis

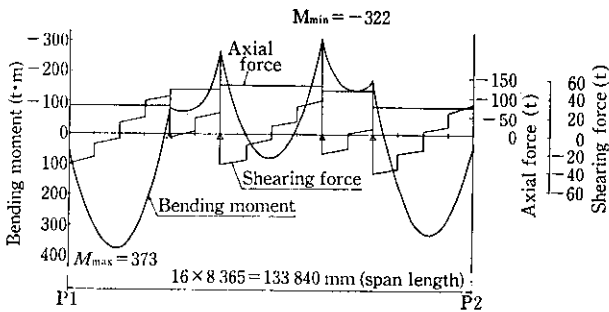


Fig. 5 Sectional forces diagram of main girder

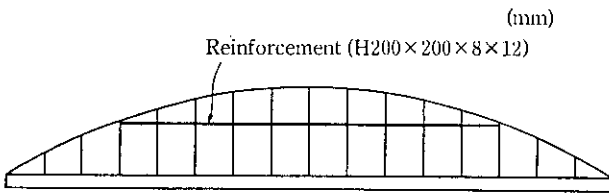


Fig. 6 Reinforcement of hanger

吊り上げ時には主構各部材の軸方向力は、完成系と正負が逆となり、補剛桁に発生する曲げモーメントは、吊点および端支点を支点とした連続梁のような性状を示すが、断面照査の結果、すべて許容応力度内におさまった。Fig. 5に補剛桁の断面力図を示す。

(2) 補剛桁の腹板座屈照査

補剛桁には、吊り上げ時に軸方向圧縮力と、吊り点間に負の曲げモーメントが作用するため、完成系と異なり下フランジ側が圧縮域となる。そこで腹板の座屈照査をDASt 指針012 (板の座屈安全度の照査)³⁾に基づいて行った。その結果、負の曲げモーメントが発生する区間の下フランジ側に水平補剛材が必要となった。

(3) 吊材の補強

吊材は、吊り上げ時には圧縮部材となるため、有効座屈長を短くし、細長比を120以下に低減する目的でFig. 6に示すような補強材を取付けた。なおこの補強材は、架設完了後撤去した。

(4) 吊金具の設計

基本方針は鋼構造架設計指針³⁾に拠った。同指針にしたがい衝撃係数は1.20とした。不均等係数は、イコライザー滑車を使用し、2フックで吊り上げるのでフック間での荷重の不均等の調整が可能であること、一括吊り輸送を行うこと、さらに

他の同様な工事の実績も参考にして1.30と設定した。荷重の割増係数は両者を乗じて1.56とした。また鋼材の許容応力度については、一層の安全を確保するため割増は行わなかった。

本橋の吊金具は製作時および吊金具撤去時の施工性からフランジに溶接する構造としたため、吊金具取付部のフランジには板厚方向(Z方向)の応力が作用し、ラメラティアの発生が懸念された。そこでラメラティア対策として、吊金具取付部のフランジには清浄度の高い耐ラメラティア鋼相当材を使用した。

3.2.2 吊り上げ時の応力測定およびたわみ測定

吊り上げ時の応力検討結果の確認を目的として、製作工場において応力測定およびたわみ測定を行った。

(1) 応力測定

応力の測定点は、支点支持から吊り上げ状態へと支持状態が変化することにより、応力が大幅に変動する点および吊金具近傍とした。なお測定後のゲージ取付け点の塗装など補修作業が現地での高所作業となるため、測定点は補剛桁付近のみとした。

補剛桁の上下フランジおよびウェブの応力度分布はFig. 7のようになり、計算値とはほぼ同じ傾向を示した。Fig. 7においてほとんどの測定値が計算値より小さいのは、計算上は平面骨組で解析しているのに対し、実際は、立体骨組として縦桁、横桁なども変形に抵抗しているためと考えられる。

吊金具取付部には、ワイヤー張力の垂直分力および水平分力

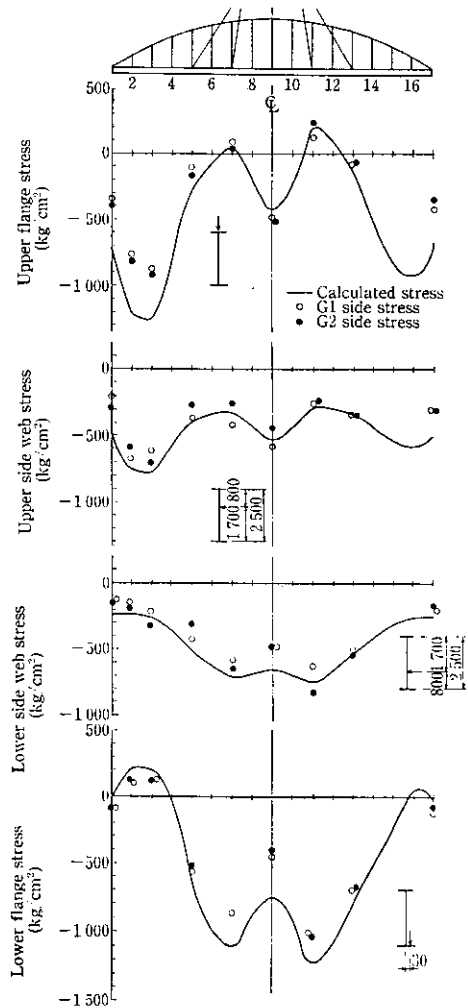


Fig. 7 Actual stress distribution

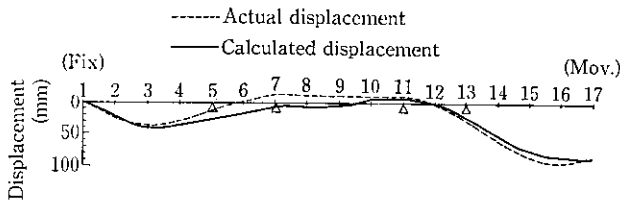


Fig. 8 Vertical displacement of main girder by lifting

による曲げモーメントが作用し、応力集中の影響もあって複雑な応力状態を示した。すべての測定値は許容応力度内に収まっており、最大実応力度は、フランジで $\sigma = -289 \text{ kg/cm}^2$ 、ウェブで $\sigma = 1344 \text{ kg/cm}^2$ (いずれも SM50Y 材) であった。

(2) たわみの測定

吊り上げ時の補剛桁のたわみの特性としては、可動側の支承 (1 支承当たり 3.3t) のみ取付けたことにより、可動側の方が相対的にたわみが大きくなること、吊点の関係から支間中央部より支点部の方がたわみが大きくなること予想された。

吊り上げによる補剛桁の鉛直方向のたわみ測定値を計算値と共に Fig. 8 に示すが、これによると固定側の吊点付近で、両者に若干差があることを除けば、たわみ形状はおおむね近似している。

可動側の鉛直方向の最大変位量は、内側の吊点 (ポイント 11) を基準にすると、計算値 102 mm に対し 88 mm となった。また補剛桁の回転およびたわみにより橋軸方向に 31 mm (計算値 35 mm) 短くなった。

3.2.3 風琴振動の検討

ランガー桁の吊材のように細長比の大きい部材では、10 m/s 前後の低風速で風琴振動による発振をする場合がある。そのような発振風速が常時その橋の地点に吹くようなものである場合には、部材の応力交番数が容易に大きくなるので疲労破壊にまで至ることにもなる⁴⁾。よって本橋では鋼道路橋設計便覧にある応力算定法により、風琴振動の共振状態での吊材に発生する最大応力度の照査を行った。また、Bridge Aerodynamics⁵⁾により、風琴振動の最大応答振幅が、疲労を考慮した部材の許容応力度から推定した疲労限界振幅に収まるか否かを照査した。その結果、いずれの場合も基本設計時の断面で吊材の応力は許容限度内に収まることを確認した。また共振風速は、支間中央の吊材で $V = 12.7 \text{ m/s}$ となり、現地付近の気象月報によれば平均風速が最大で 6~7 m/s であること、吊材の長さが短くなるにつれて共振風速は大きくなることをあわせて考えると、風琴振動は発生しないものと想定できる。しかし、計算には多くの仮定条件が含まれており、最大応力レベルも高いことなどを考慮し、さらに安全を期して、吊材取付部のガセットプレートの厚さを 16 mm から 19 mm に増厚し、取付部の溶接を完全溶け込み溶接とした。これにより、取付部の応力が約 2000 kg/cm^2 から 1700 kg/cm^2 に低減された。

4 仮組立および地組立

仮組立、地組立は工場岸壁にて行った。FC による一括吊り輸送のため、FC のリーチ内とし、また支点支持に置換した場合の地耐力、橋軸方向変位を考慮して組立場所、架台等を決定した。架台高さについては仮組立、TCB 締付け、塗装、添加物の取付、現地用作業足場取付における作業性などを考慮して決定した。

まず多点支持状態で地組立を行い、縦桁以外の部材の TCB (ボル

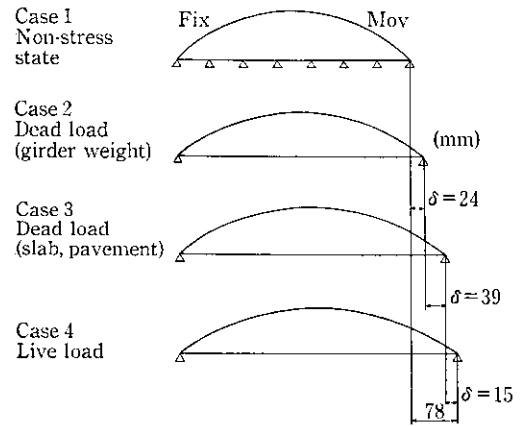


Fig. 9 Horizontal displacement by loading

ト径 22 mmφ) の本締めを行った。その後、支点支持とし鋼重により補剛桁が橋軸方向に伸びた後に過大孔部 (26.5 mmφ) の TCB を本締めた。鋼重により Fig. 3 に示す G1 桁が 22 mm、G2 桁が 25 mm (計算値 24 mm) 伸びたが、横桁に変形は見られず、過大孔とボルト径とのすきまによって補剛桁の橋軸方向の伸びを吸収できたものと考えられる。

なお、鋼重以外の死荷重 (後死荷重: コンクリート他) による補剛桁の伸びを吸収するために、縦桁と横桁の取付部の TCB 孔を長孔 (17 格点中 4 格点) とし、現地で床版コンクリート打設後に本締めを行った。その結果、横桁の変形は許容範囲内に収まり後死荷重による付加応力の低減ができたものとする。Fig. 9 に補剛桁の荷重の載荷による橋軸方向変形図を示す。

5 現地工事

ランガー桁を海上一括工法で架設するためには、FC あるいは台船を架橋地点まで安全に曳航する必要がある。そのためには、現場の状況を十分把握し、その周辺地域への影響および細部に至る技術的検討を行い、安全管理を最重点にした最善の工法を選定することが第一である。本工事では現場の状況を十分に配慮し、技術的諸調査を行ったうえで、工事を実施した。

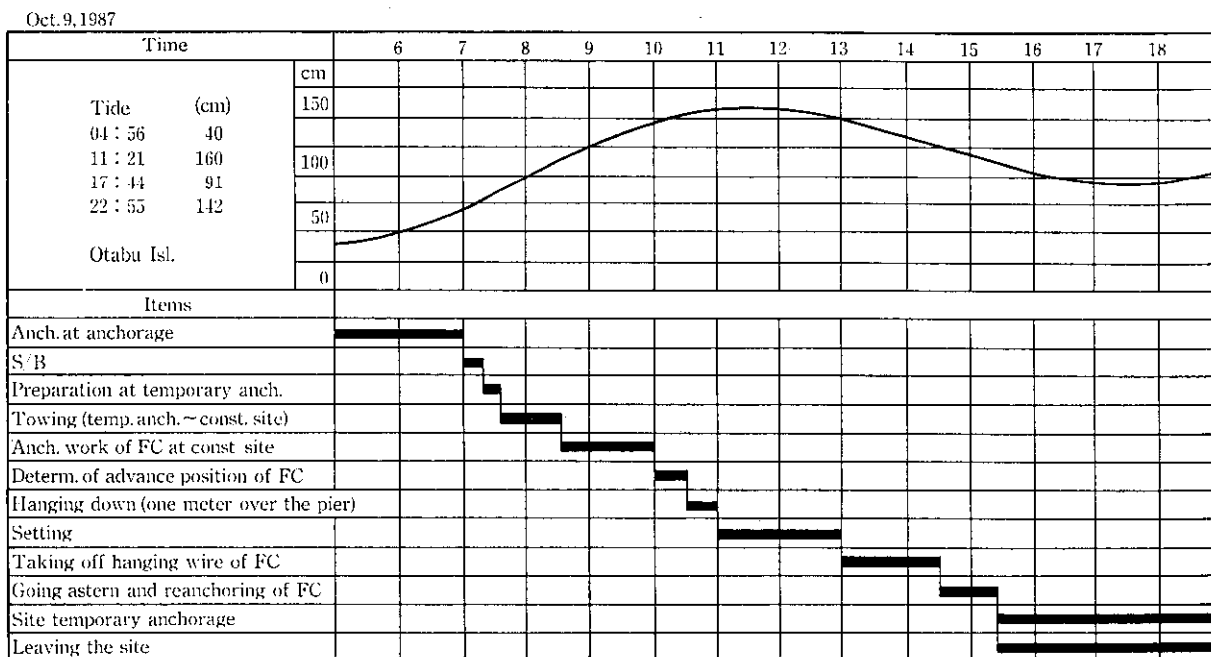
5.1 工法の選定

海上一括架設工法には、FC 工法、FC+台船工法および台船工法の 3 工法があるが、現場の状況、安全性、経済性を勘案したうえで、工法を決定する必要がある。

台船工法は狭い湾内で台船の方向転換等の操船が漁業関係者などに与える影響が大きいことから、問題が多いので実施が困難である。

FC 工法には、製作工場より虫明湾の入口付近の外海まで台船で橋体を輸送し、この地点で FC に切り換えて吊り輸送し架設する工法と製作工場より直接 FC にて吊り輸送し架設する工法とがある。一般には前者が採用される場合が多いが、本工事の場合、製作工場が比較的近い (62.1 km) こと、輸送ルートが瀬戸内海の沿岸であることから、気象、海象条件の良い時を選べば、後者も実施可能である。前者の場合、FC に加えて台船および台船用の曳船の費用と、橋体を搭載するための台船の補強が必要となり、経済的には後者の方が有利である。また架設所要日数においても、前者は台船を補強、解体する日数を加えると 4 日以上必要であるのに対し、後者は 3 日間で架設可能である。以上の経済性および架設所要日数の比較

Table 1 Erection work progress



により、本工では製作工場より直接FCにて吊り輸送による海上一括架設工法に決定した。

5.2 桁の輸送ルートの特長

虫明湾内に進入する航路図を Fig. 10 に示す。また架設時間工程表を Table 1 に示す。

ランガー桁の輸送ルートの特徴を示すと以下のとおりである。

- (1) FCの輸送ルートになる虫明湾内はカキの養殖場として使用され、航路を除いてカキいかだがほぼ全域に分布している。
- (2) 虫明湾の入口から段島付近までの航路の水深はDL 3.4 m ~ 14.6 m であるが、段島から架橋地点までの海域の水深は不明確である。
- (3) 虫明湾内の航路は小型船舶 (200 hp) の航行実績しかなく大型曳船 (TB) の航行実績はない。
- (4) 虫明湾内に大型曳船を進入させた場合、水深が浅いため、スクレーによる海水汚濁を引き起こし、カキの育成に影響を与えるおそれがある。
- (5) カキいかだは9月頃、約半数が湾外に移動し、翌年4月には湾内に戻る作業サイクルとなっている。

桁輸送の安全を期すために、航路幅、深浅測量を行うとともに、海水汚濁調査を実施し、カキ養殖への影響についても調査を行った。海水汚濁調査は180tの大型曳船(PCダックプロペラ装備)を用いて行った。この結果、大型曳船による海水汚濁がカキの酸素消費量に及ぼす影響は汚濁時間が短時間であれば問題ないことが判明した。

実際の輸送計画では、さらに万全を期すために、カキいかだの移動の完了する10月以降で、満潮が正午頃になる漁協の休日を選ぶこととした。

架設に使用するFCは吊り輸送時の安全性および虫明湾内の水深とFCの吃水との関係から1600t吊りものとした。このFCは船長85m、船幅38.8m、吃水3.2m(650t負荷時)である。

この船団構成にあたっては航路幅およびスクレーによる海水汚濁を最小限におさえるために規模を縮小して計画した。

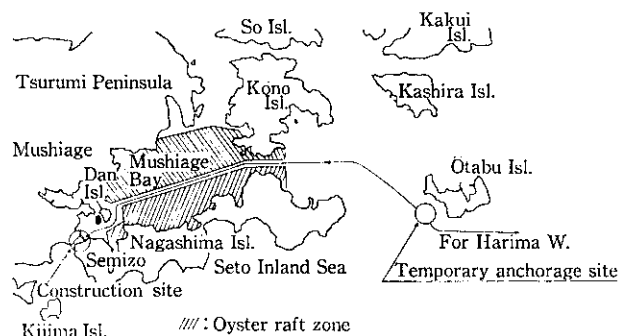


Fig. 10 Entering course in side Mushiage bay

Table 2 Whole job progress

Items	1987						1988			
	3-6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Shop fabrication	█	█								
Fastening of TCB			█							
Shop painting				█						
Hanging stage					█					
Fitting of water supply pipe						█				
Erection							█			
Floor slab work								█	█	█
Field painting									█	█
Accessory									█	█
Asphalt pavement										█

5.3 施工

工場製作から完成までの全体工程表を Table 2 に示す。

5.3.1 浜出しおよび輸送

工場地組立は9月末日予定どおり完了し、10月7日浜出し準備に着手した。FCによる吊り上げ時には、橋体の主要部材の応力および変位の測定を行い、さらに吊り金具、吊りワイヤーの点検を行いフックの芯ずれを補正しながら吊り上げた。15時頃、橋体の揺れ

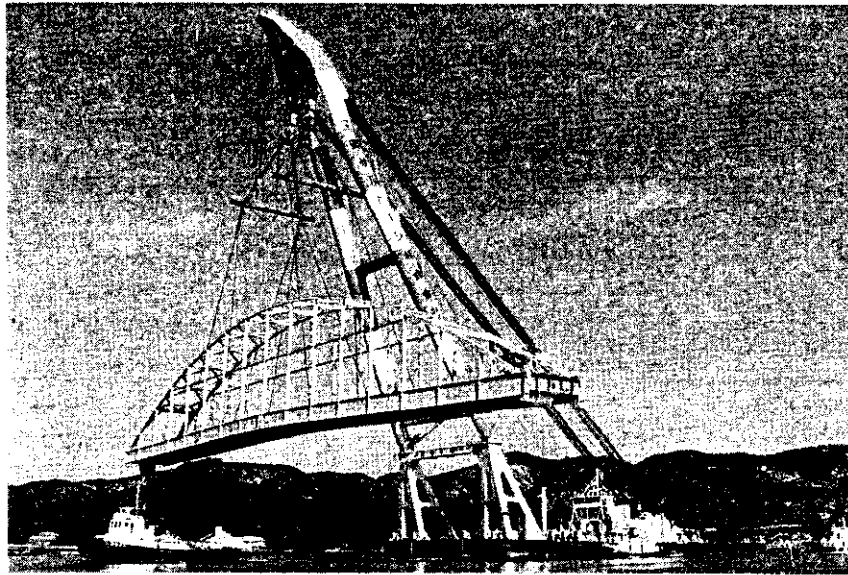


Photo 2 View of transporting large block by floating crane (1 600 t)

もなく、吊り上げを完了した。

吊り上げた状態でFCと橋体とを振れ止めワイヤーで固定し、工場岸壁で停泊し、翌日10月8日早朝に工場を出航した。気象、海象に恵まれて、予定より早く正午過ぎ仮泊地に到着した。平均時速は6ノットであった。吊り輸送時の状況写真をPhoto 2に示す。

5.3.2 支承擔付

支承（固定2個、可動2個）のうち、長島側可動支承1個の重量が3.3tあり、P2脚上に上架するには大型クレーンを現場に搬入する必要がある。フェリー、島内の棧橋および道路の状況からクレーンの搬入は不可能と判断し、工場組立時に可動支承2個は橋体にセットし輸送することにした。本土側の固定支承2個（1個の重量は1.0t）はP1脚上にトラッククレーンにて上架し、そのうち1個は架設時の橋体位置決めポイントとするためにアンカーボルトおよび無収縮グラウトで完全に固定した。架設完了後、残りの3個を固定した。

5.3.3 架 設

前日までに、FC吊り輸送時に支障となる仮泊地から架橋地点までのカキいかだの一時移動およびFC位置決め用のアンカーの打設を完了した。10月9日午前7時過ぎに仮泊地を出発した船団は9時前架橋地点手前で係留した。9時過ぎから前進、位置決めを行い、10時前巻き下げを開始した。10時過ぎ、まず固定支承に橋体をセットした。つぎに可動側に引き寄せるための装置を取り付け、橋体の位置を確認しながら徐々に吊り下げ、午前11時30分可動支承にセットして架設は完了した。カキいかだへの影響もなく架設作業は計画どおり無事に終了した。架設完了後の桁中心のずれは8mmで規格値の30mmを十分満足し、据付け精度はきわめて良好であった。

6 ま と め

川鉄構工業の設計と施工による邑久長島大橋のランガー桁橋の架設は海上クレーンによる一括吊り上げ輸送および架設工法を採用した。このため吊り上げにともなう応力の影響について検討を加えると共に、海上輸送にともなう技術的課題についても検討を加え、1987年10月に架設を無事完了した。本工事により得られた結果は以下のとおりである。

(1) ランガー桁の吊り上げ時の応力および変位の測定を行った結

果、測定値の応力分布の傾向は計算と合致するが、ほとんどの測定値は計算値よりも小さくなった。これは計算では平面骨組で解析しているのに対し、実際は、立体骨組として縦桁、横桁なども変形に抵抗しているためと考えられた。

(2) 本橋の場合、架橋地点が製作工場より62.1kmと比較的近いこと、輸送ルートが、海のおだやかな瀬戸内海沿岸であることから海上クレーンによる一括吊り上げ輸送及び架設工法を採用した。一般には、海上クレーンによる一括架設工法においては、輸送には台船を使用するケースが多く、輸送から架設までを一括吊りにて行う工法は他に例を見ない。しかし本工法の採用により、積出しから架設完了までの所要日数を最低1日短縮できた。

(3) 輸送ルートとなる虫明湾内は、水深が浅いうえに、カキの養殖用のいかだが分布しており、海上クレーンの曳航による海水汚濁が懸念されたため、事前に汚濁調査を行い、カキの成育に悪影響をおよぼさない許容範囲内におさまることを確認した上で架設を行った。その結果、漁協関係のトラブルもなく、架設を完了することができた。

今後、地域開発の一端として、離島架橋プロジェクトが増大すると思われる。また本橋のように作業環境の厳しい海峡部に架橋するケースも少なくないと予想され、その場合には本工事の実績が参考になれば幸いである。

なお本橋は、1988年5月9日に開通式を迎え、現在、患者および付近住民に利用されている。

最後に、本工事の施工にあたって御指導、御援助を賜った厚生省中国四国地方医務局、国立療養所邑久光明園、岡山県農林部水産課、(財)海洋架橋調査会、玉野海上保安部および邑久町漁業協同組合の方々に、深く謝意を表する次第であります。

参 考 文 献

- 1) 大舛久嗣, 中田文昭, 田盛繁夫, 渡辺 潤: 「瀬底大橋の設計と施工」, 橋梁と基礎, 19 (1985) 11, 1-5
- 2) 伊藤敏一: 「DAST 指針 012 を適用した計算例」, 橋梁と基礎, 17 (1983) 10, 9-14
- 3) 土木学会編: 「架橋設計指針」
- 4) (社)日本道路協会: 「鋼道路橋設計便覧」, (1980) 8, 339-348
- 5) ICE: 「Bridge Aerodynamics Proposed British Design Rules」, (1981), January