

## 直下吊り架設の無係留工法と玉掛け装着システムの開発 (第2ボスボラス橋建設工事から国内工事への展開)

日大生産工(院)   ○  清水健介  
石川島播磨重工業(株) 本庄英夫  
日本大学生産工      木田哲量

### 1. はじめに

1987年9月24日、トルコ・イスタンブールの第2ボスボラス橋建設工事において世界初の無係留工法による直下吊り架設工法を成功させた。『船舶はアンカーさせるもの』という概念を打ち破り、アメーバーの4本足の如く4基のプロペラの回転数・方向をコントロールしながら台船を定点保持する技術を開発した。この技術によって国内の海事工事は飛躍的に進歩し、6年後の鶴見つばさ橋ではハーバータグ2隻による横抱き方式が、来島海峡大橋では全自動式の自航台船が建造され、それぞれ無係留工法による直下吊り架設が実施された。

本報文は第2ボスボラス橋建設工事で開発した無係留工法と玉掛け装着システムに関する技術が国内工事において発展した経過について述べる。



図 - 1 アメーバーの定点保持

### 2. 第2ボスボラス橋建設工事

#### 2.1 自航台船の開発

ボスボラス海峡の架橋地点はマルマラ海と黒海の間地点に位置し、水温・比重の低い黒海の水と、その逆のマルマラ海の海水とがぶつかりあうところであった。特に、ヨーロッパ側の蛇行部では4～5ノットの流速で海面が持ち上げられ、小さい渦とともに湧き水状態となり複雑な流れを形成していた。地組ヤードから架橋直下まで約1.5km離れているために輸送台船が必要であった。トルコ国内には汎用可能な作業船が少なく、架設専用の自航台船(図-3)を開発し建造しなければならなかった。台船の仕様

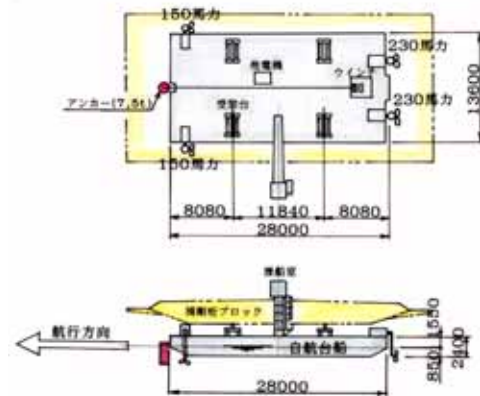


図 - 3 自航台船と補剛桁搭載姿図

は、幅13.76m×長さ27.84m×深さ2.5m、230馬力×2基の主エンジンを台船後方に、また150馬力×2基を補助エンジンとし前方両側面に取付けた。これら2種類のエンジンは全て中古品で、150馬力は第1ボスボラス橋建設当時のものを海軍から、また、230馬力はオランダから調達した。操船室にはそれぞれの操作盤を正面と側面に配置したが、コントロールレバーが離れすぎているために、定点保持時の瞬時の動きに追従できず、筆者と船長の2人で操船することとなった。中古品の組合わせで2つの操作盤を一箇所で集中管理できるシステムにしなかったことは反省材料であった。開発された台船は『FUJI』と命名され船級を取得した。

#### 2.2 無係留工法と着脱装置の開発

吊橋ケーブル上の吊上げ装置から降下してくる吊具目掛け自航台船を架橋直下に進入させる。4基のプロペラの方向と回転数をコントロールしながら定点保持体勢に入り、タイミングを見計らって手際よく、すばやく、安全に装着作業に入る。そして水切り後すみやかに離脱し、海面を解放する。これが無係留工法の作業の流れである。作業時間が短いこと、

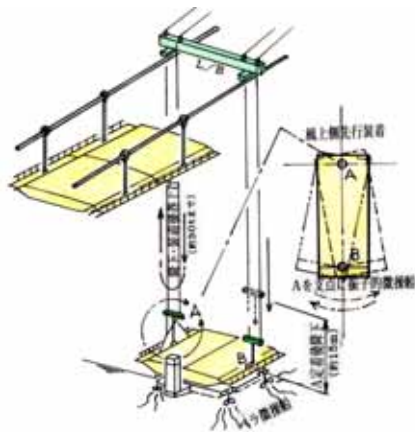
### Development of the non-anchoring method and the Slinging Equipment System for Direct Hanging Bridge Erection Method

(Application of the Second Bosphorus Bridge Construction Method to Bridge Construction in Japan)

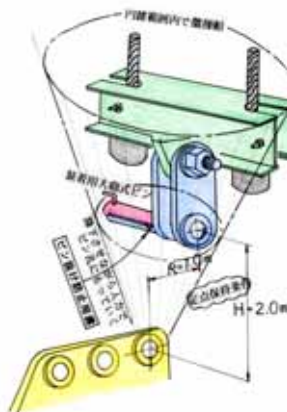
By Kensuke SHIMIZU, Hideo HONJO,

And Tetsukazu KIDA

無アンカーであること等から工事海域を設定することなく1日5ブロックの架設を行うことができた。装着作業の基本は図—4に示すように上流側、もし



図—4 無係留工法と装着作業の原理



図—5 装着システム



図—6 ピン詳細



図 - 7 自航台船の離脱

くは風上側を先行させ、A点が装着したあと速やかに巻上げ装置に25%分(約30t)の張力を負荷させ、自然波や走行波等の動揺に抵抗できるようにした。これによって吊上げ装置と台船上の補剛桁との間にはスプリング状の柔な1本棒が形成され、A点を固定点とする振り子運動(船の帆柱に付けた風見の動き)によってB点の装着を容易にした。定点保持範囲の許容は、図—5に示すとおり装着治具の高さが約2mのところまで直径1m位のずれがあっても人力でピン装着ができる範囲とした。図—6に大砲型ピンの詳細を示すが、挿入後の抜け防止はガイド管の窪みにハンドル棒を落とし込むといった簡単な構造であった。図—7は補剛桁が水切られた瞬間の台船の離脱状況を示す。

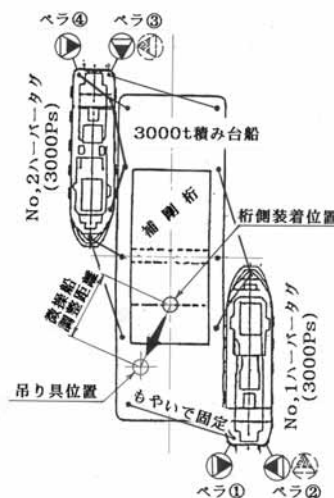
表—1は第2ボスボラス橋補剛桁工事の直下吊り架設実績である。

### 3. 鶴見つばさ橋への展開

#### 3.1 非自航台船の開発

国内初の無係留工法は6年後の'93年9月から鶴見つばさ橋で実施された。当時バブル崩壊の影響を受けて海運業者にも不況の波が押し寄せ、船舶の運休や余剰船舶が目立ち始め、新造船の建造は許可されない状況下にあった。また、専用の自航台船は汎用船舶に比べて割高であったことから、2軸付き全旋回式曳船2隻を台船に横抱きさせ『非自航台船』とする技術を開発した(図—8)。鶴見航路は最大流速3ノット、平均1~2ノットと比較的穏やかで、500馬力/隻クラスの曳船で十分であったが、このクラスには2軸の全旋回式がなく、港で使用されている3000~3600馬力のハーバータグ(以下曳船という)を汎用船舶とした。曳船2隻は対角に、またプロペラの推力が台船側面にぶつからないよう艀側を2~3m突き出るようにセットした。この時、台船と曳船は金物等で溶接固定すると船団構成全体が『動力を有する船舶』と見なされ船級取得が必要となり『もやい固定』を厳守した。

#### 3.2 無係留工法と着脱装置の開発



図—8 非自航台船の基本系



図—9 装着作業



図—10 装着ピン

#### 2隻の曳船は補剛桁ブロックの架設時には、その都度船種が変わり定点保持技術の習得者が入れ替わったため、2隻の船長を統括する船長が必要となり、ドックマスターを乗船させて各船長をコントロールした。図—8に定点保持時の桁側装着位置と吊具側の位置にズレ量が発生したときのベラ ~ の動かし方の一例を示す。補剛桁ブロックの吊り方は第2ボスボラス橋と同様の1



図—1 1 ステー取付け作業



図—1 2 水切り・台船離脱

点吊りで(正面から見ると4点吊り:図—1 2)、ピンの装着も1m範囲内に吊具がくれば人力で押込むことができるとした(図—9)。ピンは大砲式で先端側に抜け防止用のアイボルトを、反対側に取っ手を付けてハンドルを取付け抜け防止とした(図—1 0)。工事海域の占有時間(架橋直下への台船進入から水切り・離脱までの所要時間)は約25～35分位であったが、図—1 1に示すように重心ズレ対策として使用した30tチエーンブロックの取付けに大半の時間が取られてしまい反省材料となった。図—1 2に水切り後の台船の動きと離脱状況を示すが、ブロック巻上げ完了後、即工事海域を解放するという早業に海事関係者は驚嘆とため息の連続であった。

#### 4．本四来島海峡3吊橋への展開

##### 4.1 自航台船の開発

第2ボスボラス橋から10年後に20世紀最大の直下吊り架設が来島海峡3吊橋で行われた。前述までの橋梁と違い、規模も設備も大型化され専用の自動定点保持機能をもった自航台船(図—1 3)が開発された。架設ブロックは2ハンガー分を1ブロックとし片側2箇所の4点吊りとなった。この海域は最

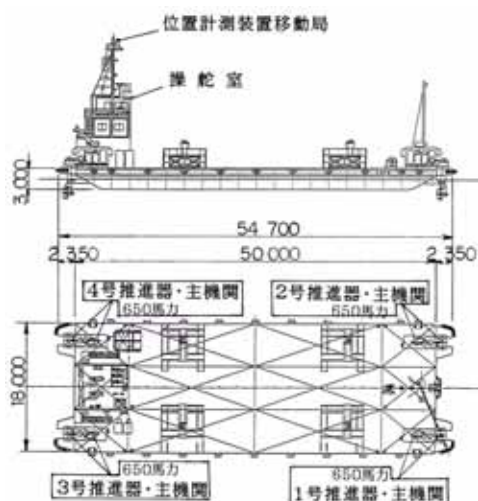


図 - 1 3 自動化された自航台船

大潮流10ノットと速く、且つ、国際航路で船舶数も多く海面使用に条件が多かった。架設は潮止まりの時間帯と航行制限を受けた転流時の50分間内の直下吊り架設となった。

コンピューターを駆使した自動定点保持システムには、台船の位置計測に光波測距+自動追尾方式が採用された。架橋直下までは手動操船で進入し、定点保持すべきおおよその位置で、陸上部の固定局2箇所と台船マスト部に設置した移動局との三角測量を光波測距儀によって行い、自動操船スイッチに切り替えることによって完全な定点保持体勢を作り上げるシステムであった。また、台船上の補剛桁を安全かつ迅速に装着するシステムとして航走波や自然波に追従できるクイックジョイントの開発が行われ採用された(図—1 4)。

この装置は補剛桁側に雄ソケットを、吊上げ装置側に雌ソケットを取付け、吊上げ装置から先行降下させたロープを雄ソケット先端に固定し、このロープをガイドとして雌ソケットが雄ソケットまで誘導され装着するとした。この最新鋭技術の採用によって架橋地点進入して4点同時装着後の離脱までに要した時間は平均30分程度と短く、海事関係者との50分間の約束は十分果たせた成果は大いに評価された。

#### 5．安芸灘大橋への展開

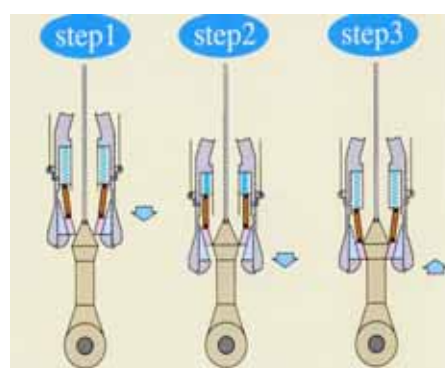


図 - 1 4 クイックジョイント要領

20世紀最後の長大吊橋の架設は広島県の安芸灘大橋となった。この橋も第2ボスボラス海峡大橋と同様、無係留による1点吊り直下吊り架設工法が採用され、平成10年11月3日から開始した。自航台船は来島海峡3吊橋で使用した『うまし』を借用したため、熟練した操船技術により作業は順調であった。前述の2、3項と大きく違う点は重心位置が大きくずれていたためにブロックが回転しやすかったこと、そのため勾配調整用ステーに作用する力が50～60tと大きくなることから、大型チエーンブロックでの操作は無理と考えて油圧ジャッキ式ステーシステムを採用した。この開発によってステーシステムは図—1 1と比べ、大幅に簡素化されて作業効率もアップした。また、このジャッキは既設桁との

仕口合わせにも威力を発揮し、思わぬ効果を得ることができた。

自航台船の定点保持精度が良かったことから図—12のような無理な吊具の押込み作業がなく、装着作業は順調であった。桁との装着はシャックル方式とし、全て人力作業とした(図—15)。図—16は自航台船が定点保持体勢に入ったところでプロペラによる水かきが丁度アメーバーの4本足でできる水輪のように見える。



図 - 15 簡素化された装着システム



図 - 16 自航台船の定点保持

## 6. 今後への装着システムに関する提案

図—17は大型シャックルを使つての装着システムの提案である。装着システムは迅速かつ安全で、安価なものでなくてはならない。大砲型ピンは、構造は簡単で経済性に富み汎用性に向くため捨てがたい装着システムであるが、今後ますます大型化する架設ブロックと更なる安全性のことを考えると、より簡単で汎用性のある経済的なシステムの開発が必要である。大型シャックルにも汎用性の限度があり、吊り荷重との関係から使用ができない場合もある。今回のタイプは吊り荷重が200t用として提案したもので、ガイドロープで誘導して桁側の治具に装着できるシステムは来島で開発されたクイックジョイントと同様である。

## 7. まとめ

第2ボスボラス大橋で開発された無係留工法は、国内に持ち込まれてからめざましい進歩を成し遂げた。海上工事の難しさは『気象・海象・時間との闘

い』と『海事関係者との協議と諸手続き』にある。

特に、海事関係者からのコンセンサスを得るための労力と時間は容易なものではなく、それを実現化させるためには海面の使用範囲を狭くしたり、海底調査をしたり、作業時間を短縮したりして、あらゆる角度から計画を練り、一般航行船舶や地域住民への影響を少なくすることを配慮してきた。従来から海上工事は公衆災害に巻き込まれる恐れがあるとして安全への配慮が特に厳しく『船舶はアンカーするもの』として取り扱われてきた。従って、無アンカー工法の採用に当っては厳しい評価を受けるのは当然であった。これも実績主義を重んじる国内事情からで、特に公共工事においてはその傾向が大きい。これからの新技術は海外からの発信ではなく国内から展開されなければならない。若い技術者達への開発意欲や競争意欲を向上させるためにも新技術の評価と採用が重要なテーマとなり期待するところである。表—2は無係留工法の歴史とそれによって架設されたブロック数についてまとめたもので、この表に記すスイング架設も第2ボスボラス橋から発信された。この施工技術については時期を改め発表したいと思います。筆者らは第2ボスボラス橋を皮切りに国内の全ての無係留工法に関する架設技術の開発や施工に関与してきた。ここに、その成果をまとめ技術発表できる機会を与えていただいたことに感謝致すとともに関係者に深く御礼申し上げます。

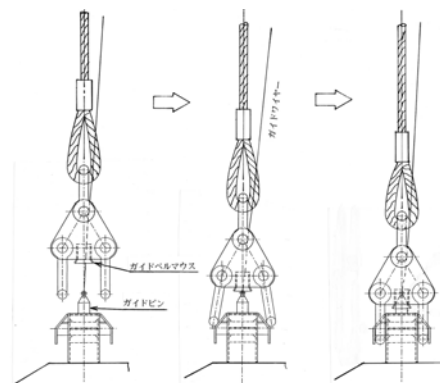


図 - 17 装着治具の提案

## 8. 参考文献

- (1)清水健介: 第2ボスボラス橋の建設 '89No41 日本鋼管工事技報
- (2)清水健介: 『鶴見つばさ橋』の架設工事 '95 第30号 日本鋼管工事技報
- (3)来島大橋南桁(その6) 工事記録写真集
- (4)安芸難大橋工事誌
- (5)平山純一: 本四技報 自航台船「うまし」の開発について Vol.23No.91'99.7
- (6)瀧下健二、亀井敏弘、中村修: 本四技報 自航台船の開発 Vol.23No.91'99.7