

明石海峡大橋物語

～2000メートル ひとまたぎ～

「本州と四国を陸続きにしようではないか」と広く呼びかけた人が、すでに明治時代の中頃におりました。

700以上の島々がうかぶ瀬戸内海には、古く縄文時代から船が行きかかっていました。沿岸部では、むかしから文化や産業が発達しており、9世紀には定期船のようなものがあったそうです。

近代に入って、陸の交通が発達するにつれ、やはり海の交通では不便だと思えるようになってきました。そして、四国は日本の発展から取り残されるのではないかと、という不安がおこってきたのでしょう。

この呼びかけは、岡山県の下津井と香川県の坂出との間に散らばる島々を思いうかべてのことですが、その当時では夢物語にすぎませんでした。

長い橋を作る技術は、その頃の日本にはありませんでした。日本で作られた橋といえば、木か石でできたものです。

明治以降にヨーロッパから持ちこまれた鉄の橋の技術を、日本人はいっしょうけんめいに学び続けました。そして、関東大震災で焼け落ちた東京の何百の橋の復旧工事は、日本の橋づくりの技術を飛躍的に向上させました。

舞子海岸の「ケーブル固定基礎」

本州と四国との間に橋をかけるかどうかの検討が始まったのは、1959年のことです。

どこを通るのがよいか、たくさんのルートについて調査をした結果、三つのルートに選ばれました。

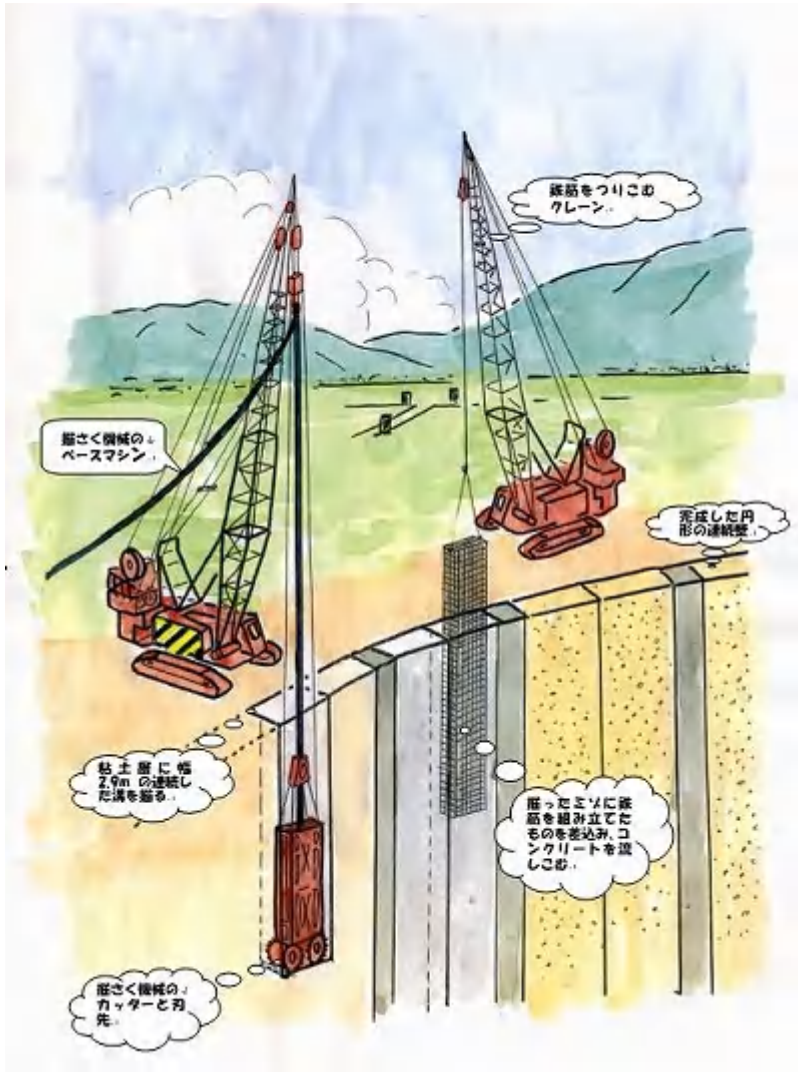
そのうちの一つ、明石海峡にかけられる橋は、世界一の長さです。

海に建てる2つの塔の基礎と、つり橋のケーブルを本州側と淡路島側で引っぱって固定する基礎にわけて、工事が始められました。1988年のことです。

* 地中の「酒だる」の枠づくり

まず、本州側・舞子海岸の「ケーブル固定基礎」の話から始めましょう。

つり橋は、塔にかけわたしたケーブルによって、橋げたをつつて支えます。



そのケーブルを両岸で引っばっている「重し」が、「固定基礎」と言われるコンクリートのかたまりです。橋の両端に、どっしりと座っています。

キャンプの時に使うテント、そのテントの張りづなを大きな石に結びつけて固定するのと同じことです。

この「固定基礎」の形は、地中にうめたコンクリートづめの「酒だる」のようなものです。直径85m、高さ60mの大きな「酒だる」です。

初めに海をうめ立てて、「固定基礎」をつくる場所を用意します。その土地に、地下75mに達するはば2.9mの「ミゾ」をほっていきます。そのミゾを横方向につなぎ合わせると円の形になるように、きちんとならべて掘っていくのです。

掘ったミゾには、鉄筋^{てっきん}を組み立てた

ものを差しこみ、コンクリートを流しこみます。この作業を次々と続けていって、地中に鉄筋コンクリート製の大きな「酒だる」の枠をつくります。

連続したミゾをほる作業は、順調ではありませんでした。やわらかい粘土^{ねんど}の地層^{ちそう}では、機械のカッター表面に粘土がこびりついてしまい、カッターの役目を果たさないことがあります。また、かたい砂岩^{さがん}の地層^{はさき}では、カッターの刃先が折れてしまうことがあります。最悪の場合は、ほっている最中にミゾがくずれて、機械がミゾにうまってしまうことだってあるのです。

そのたびに、工事の予定がおくれていきました。

ケーブルを「固定基礎」に固定するには、「アンカーフレーム」という鉄材組立物を「固定基礎」にうめこみます。これは、太くて大きなジャングルジムのような形の巨大な物体ですから、船で運ばなければなりません。

そのためには、海が深くなければなりません。

何年何月何日の何時にはどんな水位になるということが計算で予測できるので、十分な深さになると予測される日に運ぶように計画を立てます。

およそ10年という明石海峡大橋の建設期間のうちには、そうした“その日”でなければ

きないというスケジュールがいくつもあります。全体の作業は、すべてその日との関係によって、逆算して決められるのです。したがって、予定の遅れは、2年後・3年後の“その日”にさしつかえるだけでなく、工事全体にえいきょうすることになるのです。

工事にたずさわる人たち全員の努力によって、鉄筋コンクリート製の「酒だる」の枠が完成したのは、予定した最終日のぎりぎり午後10時すぎのことでした。

* 地下60mでのソフトボール大会

「酒だる」の枠ができあがれば、今度はいよいよ内部をほり始めます。

土のつまった 直径85m・深さ60mの「酒だる」が土中にうまっているような状態です。そのうえ、もともと海であったところをうめ立てた場所なので、地中の真下からも横からも大きな水の圧力を受けます。「酒だる」の下のほうから、中の土全体をおしあげようとする力がかかってくるのです。しかもほりさがっていくほど、「重し」となっている土が少なくなっていくために、足元が持ちあげられそうになります。こうなっては、大事故です。

そうならないようにするために、井戸をほり、地下水をポンプですいあげ続けて、地下水の圧力を小さくするという方法をとります。

このようにして、50～60mの深さまでほり進むと、毎日の作業が終わるたびに足元の岩盤^{がんばん}のかたさを調べるのが日課になりました。ハンマーでたたいて岩盤のかたさを確かめながら、どの深さでほり終わりにするかを決定しなければなりません。深さ60mの「酒だる」の底で、地質の専門家も加わって、岩盤判定会議が開かれました。

これ以上ほりさげても、地質はほとんど変わらないことが判りました。設計はこの程度の強さを基本にして進めてきましたので、問題はありません。問題はありませんが、いざ決定するとなると、緊張^{きんちょう}せずにはいられませんでした。

ほり終わりを祝って、「大酒だる」



の底のグラウンドで、計画した人・計算した人・図面を書いた人・工事を指図した人、みんなでソフトボールの試合をしました。白線を引き、ベースを置いて、「あっ、かべに当たった」「あれはホームラン!!」。秋の太陽が西にかたむきかけたころ、巨大な「酒だる」の中から、男たちの楽しげな大声が空に向かって広がっていきました。

海からわずか20mの所で、地下60mにおけるソフトボール大会。大人たちが、いつまでも喜んで転こんでいました。

明石海峡の「塔の基礎」

瀬戸内海は、“速くて複雑な海水の流れ”で知られたところでは、

本州と四国との間にあって、東は紀伊水道、西は豊後水道から流れこむ海水がぶつかるためです。そのうえ、入りくんだ海岸線と無数に散らばる島々により、流れはさらに複雑になります。

また、淡路島が大きくさえぎることによって流れのはばがぐっとしぼられ、瀬戸内海の東口を出入りする海水のほとんどが集中する明石海峡では、それがきわだっています。

海中に建てる2基の塔のうち、淡路島側の塔の付近は特に流れが速く、大潮おおしおのときには秒速4mに達します。台風情報でよく聞く風速40mの1割ではないかと思われるでしょうが、空気の流れと水の流れとでは、その力は全くちがいます。

たとえば、風が秒速25mになれば、戸外での作業はむずかしくなります。これと同じ程度の力は、水の流れでは秒速1m程度なのです。農村の小川のようなものです。この計算でいくと、秒速4mの海水の流れの力は、風速100mの力です。大雨のあとの大きな川のあらゆる流れ、という感じです。

* 基礎の「ケーソン」を、うかべて運ぶ

こんなむずかしい明石海峡に建てる塔の基礎づくりには、「設置ケーソン」という方法が取り入れられました。「ケーソン」とは、鉄やコンクリートで作られた大きな箱のことです。本州側の塔の「ケーソン」は、直径80mの円形で、高さは70mです。

風ノ子島は、小豆島の南西にうかぶ小さな島です。その風ノ子島の沖合おきあいに巨大な「ケーソン」がうかんだのは、1989年2月のことでした。

三重県津市の工場から、12せきのタグボートに引っぱられ、船のようにして風ノ子島沖まで運ばれてきたのです。紀伊半島をまわって、黒潮にさからいながら8日間かかりました。

この「ケーソン」は、水面に顔を出している部分だけでも57mの高さです。まるで、人工

島の出現です。

この「ケーソン」は、鋼鉄で作られたただの円い筒に見えますが、中は二重になっています。外から見える円い筒のなかに、直径5.4mの筒があります。外の筒と内の筒にはさまれた部分にだけ底を張って、うくことができるようにしてあります。

設置点に着いたら、この部分にポンプで海水を流しこみ、その重みで「ケーソン」を海底に着地させる考えです。そして、内の筒のなかにも、内外の筒の間にもコンクリートを流しこみ、がっちりと海底にすえつけて基礎とするのです。

ひとことで言ってしまうと簡単ですが、海水の流れの速い明石海峡での作業です。これは、台風の最中にテントを張るよりも、もったきびしい条件です。

ただ幸いなことに、海水の流れが止まる瞬間が、一日に4回あります。西からの流れがしだいに弱くなって止まり、ついに西への流れに変わる瞬間です。あるいは、東からの流れが、東への流れに変わる瞬間です。

この2時間の「潮止まり」の間に作業をすれば、よいわけです。しかし、この短い時間に作業を正確にやり終えるには、作業に熟練しておく必要があります。わざわざ風ノ子島沖まで運んできたのは、本番の前にしっかりと練習するためだったのです。

* 「ケーソン」のつなぎとめ完了！

「ケーソン」を囲んだ大船団が神戸沖の待機場所に着いたのは、1989年の3月27日午後4時のことでした。

6せきのタグボートがワイヤーロープを引き、後ろからも6せきが寄りそうようにして、船団は進みました。



前日の午後5時半に風ノ子島沖を出航。真夜中も休むことなく航行を続け、27日の昼すぎに明石海峡を通り過ぎて、夕方に神戸港の和田岬^{みさき}沖に着いたのです。

次の日の午前1時、船団は現地へ向けてゆっくりと発進を始めました。風ノ子島沖を出航してから30時間が経過。待機場所での9時間をのぞけば、あとは航行しどおしです。食事はコンビニ弁当。ゆっくりねむる場所也没有。

「まもなく工事区域には入ります。いっそう注意して航行して下さい！」朝もやが消えかかる午前7時、沿岸の人々がこの巨大な「ケーソン」の出現におどろくなかを、スピーカーから指揮者^{しきしや}の緊張した声がひびきわたりました。

その10分後。「工事区域に入りました。つなぎとめ作業にかかれ！」。その命令とともに、「ケーソン」を運んできたタグボートは、いっせいにそれぞれの持ち場での作業に取りかかりました。

「ケーソン」の中心位置を決めるのは、海岸に設置された2台の測量機械です。訓練の成果で、つなぎとめ作業は着々と進んでいきました。小さなトラブル也没有。指揮者のマイクから「ケーソンつなぎとめ完了！」の聲がとどろいたのは、午前11時のことでした。

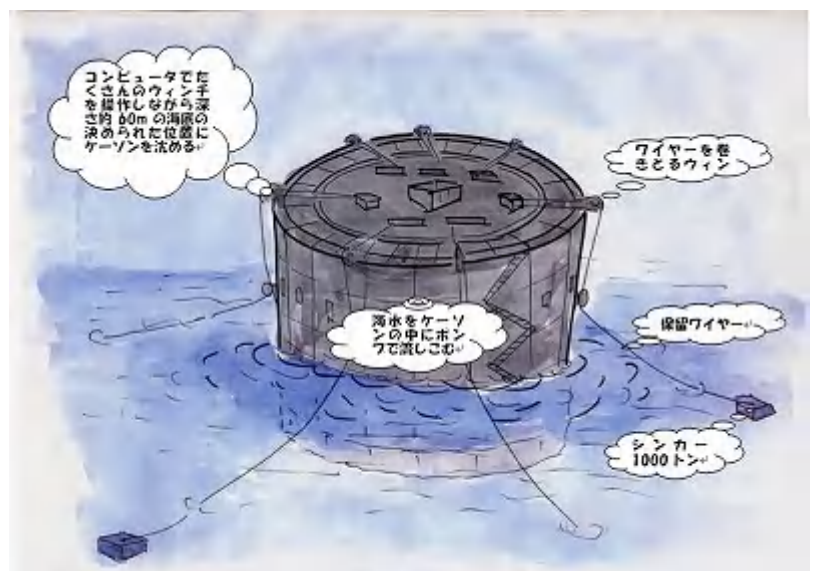
* 「ケーソン」の設置完了！

ケーソン内に、ポンプでくみあげた海水がはげしく流れこんできました。

その海水の重みで「ケーソン」の沈下が始まったのは、昼の12時半でした。「ケーソン」の沈下は、2日間をかけて、慎重^{しんちょう}に行われます。午後3時15分、この日の作業はここまでです。

高さ65mの「ケーソン」は、下の方30mが海中に沈んだ状態です。

その後の沈下は、あくる29日の午前4時、まだ暗いなかで始められました。最終の位置決めをしながら、「ケーソン」をいっきに深さ60mの海底近くまで沈めます。海底には、1年がかりでほりさげた、直径110mの巨大な平面がありました。



ウインチ（ワイヤーをまきとるリールのようなもの）をあやつるレバーは、いっぱい引けばワイヤーロープをたくさんまきとり、おせばたくさん送り出します。指先でつまむようにして引いたりおしたりしてやれば、ウインチはびみように動きます。そして、ミリ単位の変化までコンピュータの画面に表示されるようになっています。「8番ちよいまいて・・・、4番ちよい出して・・・」。

「ケーソン」が数m沈むたびに、ウインチがワイヤーロープをまきとり、そのたびに中心位置の調整がくりかえされました。

午前9時過ぎに、第2段階の沈下は完了しました。「ケーソン」の中心は、目標点から1cmもはなれていません。

最後の1mを沈める最終段階の沈下が続いて行われ、9分後に完了しました。

「設置完了！ 位置のずれは5mm以下！」。15階建てのビルほどもある「ケーソン」において、おどろくべき正確さです。

* 「ケーソン基礎」の完成

すえつけが終わった「ケーソン」を、そのままにしておいたら、どうなるか。「ケーソン」周辺の海水の流れは秒速3、5m以上。大きな川の洪水こうずいよりも速い。この流れが、「ケーソン」の周りの海底をえぐっていくのです。

それを防ぐために、もけい模型による実験や現地での試験調査などの研究を重ねてきました。

その結果、“ふくろづめの石”で「ケーソン」の足元を取り囲む方法を採用しました。

ネットで作られたふくろに、じゃがいも大からメロン大までの石を約1トンつめたものです。このふくろを、「ケーソン」の足元全体にしきつめます。さらに、外側の広範囲こうはんいに、「すて石」とよばれる1個が1～2トンの石を数mの厚さに積みあげます。

海底がしっかりした花崗岩かこうがんなら、この「すて石」だけで十分です。しかし、この強い海水の流れは、「すて石」のすき間から海底すなの砂をすいあげてしまいます。この砂の流出を防ぐために、“ふくろづめの石”を採用したのです。

今、「ケーソン」では、プラント船から送りこまれたコンクリートが、内部の海水をおしあげながら、ゆっくりとせりあがってきます。

この特殊コンクリートが注入管からおし出されると、成分がばらばらになることなく、ゆっくりと広がって行って固まります。厚さが4mになるまで 続けてコンクリートを流しこむのに、プラント船は3昼夜働きどおしです。

1990年の年末に、コンクリート工事はほぼ完了しました。

4000mのつり橋を かけわたす

明石海峡大橋の塔とうは、東京タワーなみの高さで吹き付ける風、そして1mmのくるいもなく組みあげていく精密せいみつさとのたたかいです。完成すれば、風や地震にもたえて、約10万tの重量を支え続けなければなりません。

今から約60年前にアメリカで、つり橋が完成して間もなく、風速19mの横風を受けてこわれたことがありました。それ以来、大規模な橋や超高層ビルを建設するときには、正確な模型を作り、“強風にどこまでたえるか”という実験をするようになりました。

明石海峡大橋の場合も、100分の1の模型を作って、実験をしました。

100分の1といっても、実物がデカイものですから、全長が40mにもなります。瀬戸内海は台風がよく通過する地域ですから、さうとう強い大量の風で実験をしなくてはなりません。そのために、わざわざ世界最大の風洞（風をおこして吹きつけるための設備）を作りました。

* 塔の高さは300m

つり橋の塔の柱は高さ300m。これを30のブロックに区切ったものを、積み木のように重ねて、組みあげていきます。

1992年10月1日、淡路島側の塔の柱は2本とも7ブロック目まで組みあげられています。

建設現場の朝はラジオ体操で始まります。大事な作業にかかるまえに、体をほぐして頭をフレッシュにするためです。体操が終わったあとで安全に関する注意があつて、その話が終わると今日一日の作業の打ち合わせです。

作業が始まると、現場はいっきに活気づきました。

クレーンの音、作業の人たちを運ぶエレベータの音、ウインチ（ワイヤーロープをまきとるドラム）を回すモーターの音が飛びかっています。

下の方では、その日に着いた新たな塔の柱ブロックを、輸送船から荷あげする準備が進められていました。たくさんの作業員が声をかけあつたり、合図をしたりしながら、クレーンのワイヤーロープを船上のブロックに取りつける作業にかかっています。

塔の柱ブロックは、3つの部材に分けて運ばれてきたものを、組み合わせて作ります。午前9時すぎ、船上から1つの部材が引きあげられようとしていました。高さ10m、たami 20枚分ほどの大きさがあります。

クレーンのワイヤーロープがぴんと張り、その鋼鉄でできた部材が、音もなくゆっくりとつりあげられていきます。

鋼鉄製の部材を積みあげるときに、下の部材の上にどんと置いたのでは、すぐにひずみ（ごく小さな変形）ができてしまいます。ぎりぎりまで近づけておいて、そつと置かなければなりません。置き終わると、直ちに添接板（2つの部材をつなぐために、両側に当てる鋼鉄板）と部材のボルトあなに、太い鋼鉄のピンをたたきこんでいきます。

最後に、下の部材と上の部材がすき間なく接しているかどうかをチェックします。厚さ0、04mmのステンレス板を、下の部材と上の部材のすき間にさしこんでみて、ステンレス板が

すき間に入らなければ合格です。

こうして検査に合格すると、ボルトを本格的にしめつけていきます。 3つの部材からできている1つのブロックを積みあげるのに、3日間はかかります。

100tの積木^{つみき}を、5cmの鋼鉄板の厚みの上に重ねていくのは、とてつもなく神経をすり減らす作業です。

* 舞子海岸の「ケーブルアンカーフレーム」

一方、本州側・舞子の現場は、どんな具合になったことでしょうか。

1992年10月17日の朝は、秋晴れでした。 接近しつつある台風が、前日に進路を大きく変えて、東の海上にぬけたのです。

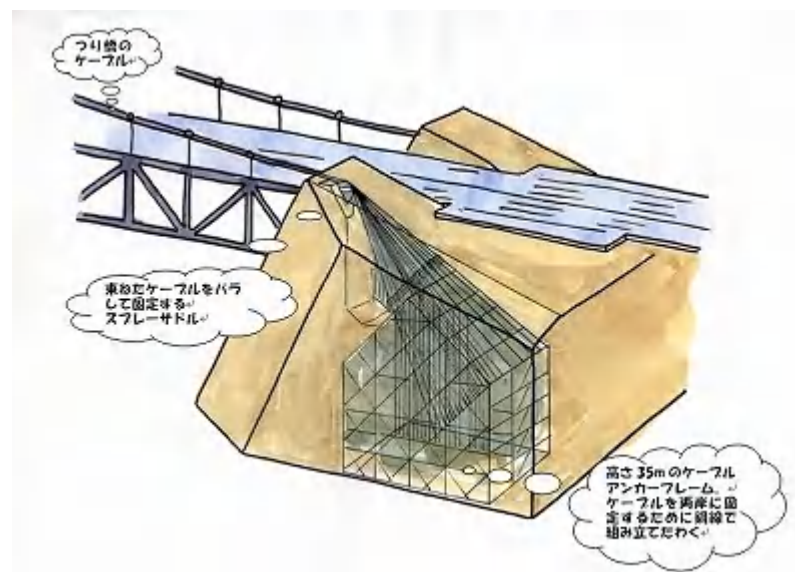
目の前に、巨大なクレーン船がうかんでいました。

「ケーブルアンカーフレーム」をつりあげたまま、工場からここまで、海の上を運んできたのです。

「ケーブルアンカーフレーム」は、つり橋のケーブルを両岸に固定するために鋼鉄で作られたわく組で、高さが35mですから、8階建てのビルほどもあります。

この日に「ケーブルアンカーフレーム」を舞子海岸にすえつけることは、この年の1月からすでに決まっていたことなのです。 精度よくすえつけるために、クレーン船に当たる潮流がもっとも弱くなる小潮^{こしお}のときが好都合だからです。

この日に間に合わせるために、24時間連続の作業などの苦労も重ねてきたのです。ところが、いざというときになって台風の接近に出くわしてしまい、気が気ではありませんでした。



* 塔の完成を急ぐ

1993年4月は、連日の快晴にめぐまれ、淡路島側の塔でも最後の30ブロック目を積み終わりました。

4月30日、塔の閉合式^{へいごうしき}が行われました。 塔の左右の柱の最上部を横につないで固定したことを祝う式典です。

塔の工事は、ペンキぬりや電気設備の取り付け作業が始まりました。

マラソンで言えば折返し点を過ぎたわけで、関係者はようやくあせりから開放されました。

しかし、それから1ヶ月半後に梅雨が始まりました。この年の雨は格別でした。梅雨による工事のおくれは計画するときから予定していたことですが、7月下旬になっても梅雨が明ける気配はありません。8月に入っても、雨は少なくなりません。

塔の完成予定は、9月30日と決められていました。

10月1日には、橋けたをつるケーブル工事を受け持つ技術者たちに、現場をバトンタッチしなければなりません。

* ロープをかけるリハーサル

11月8日、本州側から海峡の2基の塔を経て淡路島まで、先導するロープをかけわたす作業の総合リハーサルが行われました。

直径わずか1cmの先導ロープですが、これが両岸を結ぶ第一歩です。

今回は、日本で初めてヘリコプターでロープをわたしました。これまでは、船で引いてわたしていたのです。しかし、船の往来のはげしい場所では、ロープで船の交通を止めてしまうわけにはいかないのです。

リハーサルは、午前7時半に始まりました。海峡に立つ塔の頂上のクレーンの腕が、ゆっくりと動き始めました。

ヘリは、砂ぶくろを結びつけた先導ロープのはしを、塔の決められた位置に投下します。そのためには、正確な空中停止が必要です。しかし、海のまんなかの、しかも300m上空では、パイロットが自分の位置で調整できるような目印となるものはありません。そこで、塔のクレーンのうでを所定の方向に向け、パイロットの「目印」にするのです。



ヘリは、まず淡路島側の塔の上空で、係員の待機する塔の頂上に砂ぶくろを投下しました。次に、ゆっくりした速度で本州側の塔に向かって行きました。本番なら、機体の下にロープを引いているはずです。

本州側の塔の上空に着いたヘリは、空中停止を始めました。パイロットが、「目印」となるクレーンのおうでを確かめながら、停止位置をこまかく調整しています。このように、最初に海峡の2基の塔の間にロープをかけ、次いで各々の塔と淡路島あるいは本州との間をかけわたします。最後に、塔の頂上でそれぞれのロープを結びます。

* ロープわたしの本番

11月10日、本州と淡路島とは、海峡の2基の塔を経て先導ロープで結ばれました。

ヘリコプターによってかけわたされた先導ロープは、軽い化学せんいでできています。これをワイヤーロープに置きかえます。まず、先導ロープの本州側のはしに、直径が10mmのワイヤーロープを結びつけます。そして、淡路島側の大型ウインチで先導ロープをまきとるとともに、本州側から少しずつ送り出します。それが終わると、淡路島側で直径10mmのワイヤーロープのはしに、直径14mmのワイヤーロープを結び、本州側からウインチでまきながら引っぱります。

ワイヤーロープは、さらに直径20mmへ、そして28mmへ、最後には37、5mmへと置きかえられます。先導ロープから数えると、海峡を行ったり来たりしながら、5回に分けて置きかえたこととなります。

手間がかかりますが、本州～淡路島間の4キロを、細いロープにいきなり太いロープを結んで引っぱれば、細いほうのロープが切れてしまいます。これだけ長くなると、ワイヤーロープ自身の重さも相当なものになり、2基の塔の間では、どうしても中央が大きいたれ下がります。あまりたれ下がると、下を通る船のじゃまになります。かといって、引っぱりすぎればロープは切れてしまいます。切れたロープが海上に落ちれば、航行のじゃまどころか、事故につながります。

このちょうどよい引っぱり具合が、むずかしいのです。

* ついに、世界一のつり橋が完成！

ケーブルは、ワイヤーの束をたくさんまとめたものです。

明石海峡大橋の場合は、まず直径5、23mmの鋼線127本を、断面が六角形になるように束ねます。これを290束分ぎっしりまとめて1本にしたのが、直径1、12mのケーブルです。このケーブルを、塔の頂上を経て兩岸の間にかけてわたします。そして、ケーブルから多数のワイヤーロープを下げ、その先に橋げたをつり下げて固定する。これが、つり橋です。

このようにして、日に日に橋の形がつくり出され、あの世界一のつり橋が完成したわけです。

{注} この「橋の話」については、1993年から94年にかけて「科学朝日」に連載された、中野不二男さんの「海に架ける」～巨大橋に挑む技術者たち～を、全面的に参考にさせていただきました。