

図-2. 断面図(暫定時)

表-1. 大鳴門橋の主要諸元

項目	諸元		
	道路4車線	道路6車線	鉄道複線
路線名	一般国道28号		本四淡路線
路線規格	第1種第4級	第1種第2級	新幹線
設計速度	60km/h	100km/h	160km/h
橋梁規格及び荷重	一等橋(TL-20、TT-43)		N-18、P-19単線載荷
縦断勾配	中央径間0.6%放物線、側径間1.2%直線		
橋長	1,629m		
ケーブル支間	(93m) + 330m + 876m + 330m		
補剛桁支間	(88.8m) + 320m + 864.4m + 312.2m		
主ケーブル	中心間隔	34m	
	中央径間サグ	82m	
径及び断面積	φ=829mm A=4430 ^{mm²} /本(127ストランド/1ケーブル、154本/ストランド)		
ハンガーロープ	φ=60mm (CFRC)		
主塔高	理論塔頂	144.38m	
	主塔高	125.93m	
補剛桁	形式	トラス	
	寸法	図-1、図-2参照	
床組	鋼床版(中央部にグレーチング使用)		鋼直結軌道
航路高	41m		

表-2. 大鳴門橋補剛桁関係の鋼重一覧 (単位: ton)

構造種別	道路4車時	道路6車時	鉄道	最終完成時数	備考
	量	量	量		
補剛トラス	主構トラス	9,935		9,935	
	横構	1,959		1,948	
	端横トラス	658		658	
	中間横トラス	5,380	12	385	5,777
小計	17,932	12	374	18,318	
道路床組	8,431	1,833		10,264	
自動車防護柵	569	-89		480	
管理路	保安管理路	1,005	-2	161	1,164
	内面管理路	424			424
小計	1,429	-2	161	1,588	
検査車レール	下面検査車レール	1,164		1,164	トローリ線除く
	内面検査車レール	605	-605	0	"
小計	1,769		-605	1,164	
スタビライザー	272			272	
道路伸縮装置	899	144		1,043	
支承	リンク	292		292	
	ウィンドシュー	24		24	
	ウィンドタンク・フレーム	65		65	
	小計	381		381	
添架物	公団添架物	273		273	ケーブル重量除く
	電々添架物	743		743	"
	関電添架物	827		827	"
	小計	1,843		1,843	
鉄道床組、緩衝桁			4,176	4,176	電気通信設備除く
合計	33,525	1,898	4,106	39,529	

負の値は鋼重減を示す。

2. 架設工法の検討

(1) 基本計画の立案条件

架設地点の鳴門海峡とその周辺は、国立公園内で自然公園法の第1種特別地域に指定され、風光明媚な風致地区である。

したがって、自然環境を損なう恐れのある架設工法、架設工作物は極端な制約を受けることになっている。

また、鳴門海峡は、北は播磨灘、南は紀伊水道に面し、東西の両側からは急峻な稜線が突き出し狭い水路を形成している。この地形のために大潮時には水位差が最大1.4mにも達し、10ノット以上の激しい潮流が生じる。また、鳴門海峡は外洋の影響を受けて、本四架橋の中では最も高い波にも見舞われる。一方、気象条件も複雑な現象を呈する上に、過去、台風時には最大瞬間風速80m/secを記録するほどの強風地帯でもある。

また、鳴門海峡は瀬戸内海への主航路で、かつ、付近一帯は海産資源の宝庫であることから、通行船舶への影響、工事のための漁業補償問題、および第三者に対する安

全性等に十分配慮し、さらに、本四架橋の社会的意義、経済的メリットを考え、出来るだけ工期の短縮をはからねばならないという厳しい条件にあった。

(2) 工法選定の経緯

工法選定にあたり、まず、内外における吊橋の架設工法を調査し、計画上の留意点を事前に検討した。その調査結果を表-3、4に示す。

調査検討の結果、架設地点の立地条件を加味し、施工実績の多い塔部より各径間側へ張出し架設していくトラベラークレーン工法を採用し、これの詳細検討を行うことにした。

詳細検討にあたっては、本橋の規模に近い関門橋の施工実績、因島大橋の施工計画例を参考にしたことはもちろんであるが、本橋以後の1000m級の本四架橋の補剛桁架設のステップ材料になるということも、充分念頭においた。

本橋の架設工法は種々の検討経緯を経ながら、表-5に示すフローチャートにより、「面材による逐次剛結法

表-3. 吊橋補剛桁の架設工法

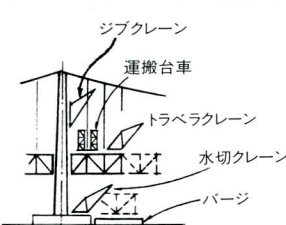
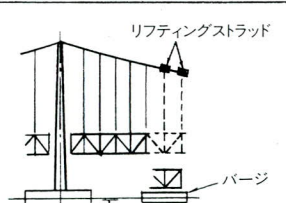
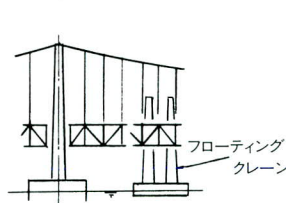
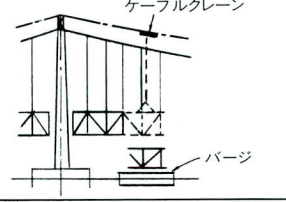
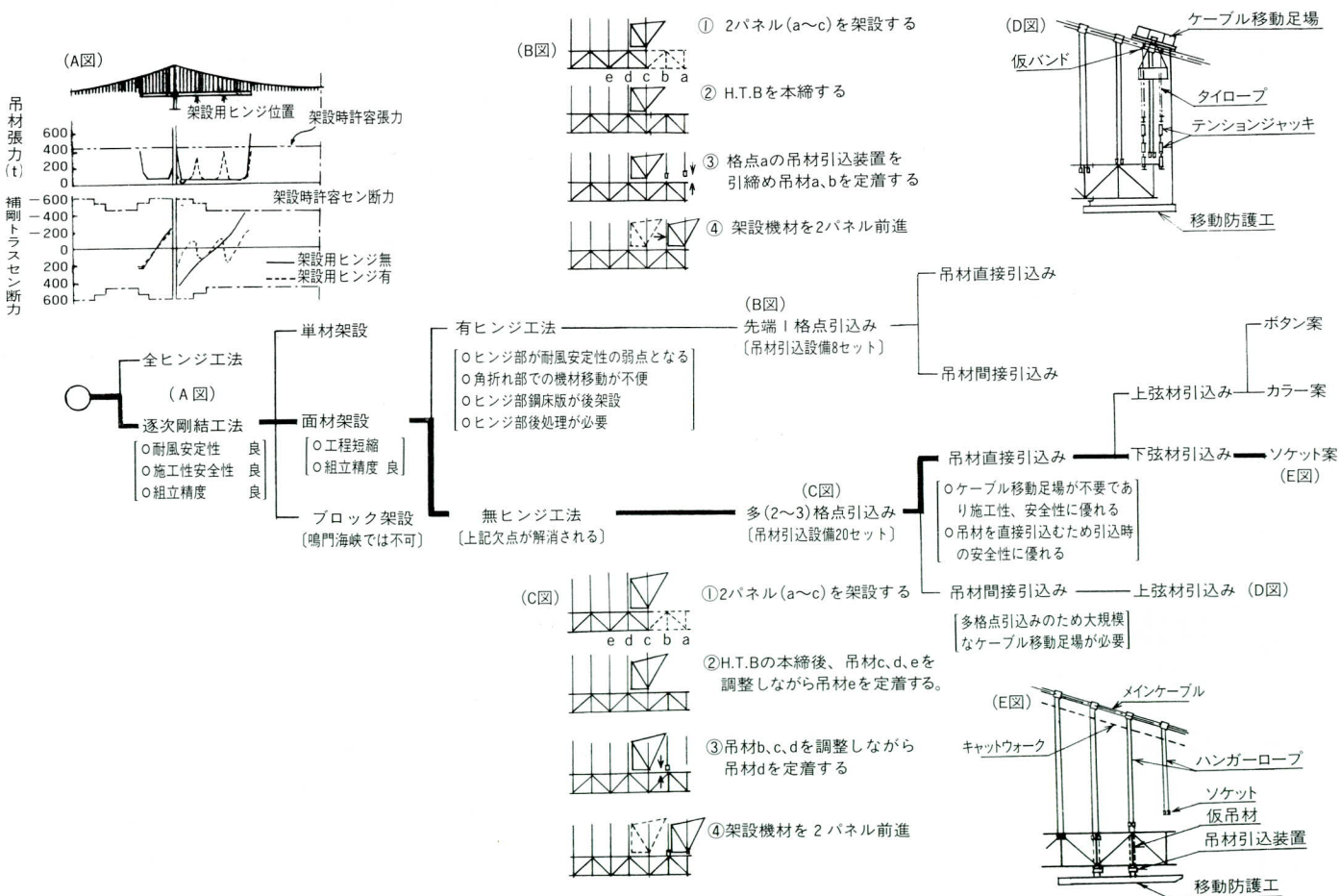
工法	施工概要図	施工法の概要	架設計画上の留意点	施工例
① トラベラークレーン工法		塔付ジブクレーンを、あらかじめ設けておき最初の数パネルの補剛桁を、このクレーンで架設する。次は、この架設された補剛桁上に、トラベラークレーンを塔付ジブクレーンにて組立てる。トラベラークレーンの組立後は、順次クレーンを前方に移動させながら、部材を架設して行く方法である。 本工法は、クレーンの能力などの関係から単材または面材といった比較的小さなユニットに適している。	クレーンおよび運搬台車の、レールの配置については、床組構造との関連性に留意しなければならない。	○ゴールデンゲート橋 ○フォース道路橋 ○関門橋 ○ジョージワシントン橋 ○デラウェア橋 ○メモリアル橋 ○ウォルトホイットマン橋
② リフティングストラッド工法		あらかじめ所定の場所で、数パネルに組立てられた架設ユニットをバargeで架設地点まで運搬し、直接メインケーブル上に設置したリフティングストラッドにより吊り上げ、ハンガーに連結しながら架設する方法である。	この方法で架設する場合は、架設ユニットは架設位置の直下のバargeより、直接吊り上げる方法で行なわれており、潮流の急な海峡や、船舶の航行が頻繁で航路規制ができないような場合には採用されない。 ①の方法に比べれば、大幅な工期の短縮が可能となる。	○ベラザノナロウス橋 ○サラザール橋 ○マキノ橋 ○サンフランシスコ橋 ○オークランドベイ橋 ○平戸大橋 ○東大橋
③ フローティング工法		あらかじめ数パネルのブロックに組立てた補剛トラスの架設ユニットを、所定の架設順序に従ってFC船（フローティングクレーン）にて吊込み、ハンガーに連結していく方法である。架設ユニットの運搬は、所定の組立て場所からバargeにて行なう場合と、FC船で直接行なう場合とがある。	本工法を採用する場合、大ブロック架設ができる利点のある反面、次のような点には特に配慮して計画を立案する必要がある。 1) 気象・海象条件に対する作業限界条件 2) 通行船舶に対する安全対策。 3) 稼働率の推定。	長径間吊橋に実績なし。 今後注目されるべき工法。
④ ケーブルクレーン工法		この方法は、両岸の塔頂間に架設用のケーブルクレーンを設置し、これによって部材を吊り上げ架設する工法である。	この方法によれば、ケーブルクレーン用のワイヤー径やキャリアの構造上の制約から、吊荷重は必然的に小さくなる。したがって、長径間吊橋の架設には適していない。	若戸大橋の主径間

表-4. 国内における長径間吊構造部架設方法一覧表

橋名	建設年月	吊構造	スパン(m)	架設方法	架設ユニット	架設順序	架設ヒンジ状態	鋼重吊構造/全体	工期吊構造/全体	備考
若戸橋	1962. 10	ワーレントラス	89+367+89	中央径間：ケーブル・クレーンにより陸上(海上)より直接吊上げ面材架設 側径間：スティフレグデリックにより陸上(海上)からの面材架設	2パネル面材 10t		一部剛結	3,507°	6ヶ月 43ヶ月	
東大維橋	1975. 12	ワーレントラス	264	バージによる曳航、リフティングストラットによるブロック架設	10パネル ブロック70m ブロック重量 112t			418° 1,048°	3ヶ月 34ヶ月	
平戸大橋	1977. 4	ワーレントラス	465.4	バージによる曳航、リフティングストラットによるブロック架設	4パネル ブロック40m ブロック重量 210t		逐次剛結法 但し6パネル目に架設ヒンジ点	3,200° 6,300°	4ヶ月 45ヶ月	架設日数 14ブロック62日間。但し1ブロック架設は1日で完了
関門橋	1973. 11	ワーレントラス	178+712+178	ジブ・クレーンによる吊上→台車による橋面移動→トラペラ・クレーン(23t cap, R=25m)による面材架設	2パネル面材 23t		逐次剛結法 但し中央径間7パネル目に架設ヒンジ点	12,329° 26,600°	12ヶ月 56ヶ月	
因島大橋	1984. 11	ワーレントラス	250+770+250	ジブ・クレーンによる吊上→台車による橋面移動→トラペラ・クレーン(35t cap, R=18.5m)による面材架設	2パネル面材 33t		逐次剛結法 但し中央径間9パネル目に架設ヒンジ点	15,251° 29,130°		

表-5. 架設工法の選定フローチャート



「無ヒンジ工法」とし、「吊材直接引込による下弦材引込方式」に決定した。

以下に工法選定の経緯を述べる。

(a) 全ヒンジ工法と逐次剛結工法の比較

全ヒンジ工法は、架設しようとする桁をハンガーロープに吊下げた後、それを既設桁にヒンジ状態で連結していく工法である。本工法での架設中は、ケーブルの変形が大きく、既設桁群が剛結可能な形状に達するまでヒンジ状態のまま、作業を進めなければならない。したがって、架設途中の耐風安定性に不安が残る。また、トラベラークレーン工法を採用すれば、クレーンおよび運搬台車等、架設機材の移動にも問題が生じる。

これらの欠点を解消し、さらにトラベラークレーン工法を生かすため、既設桁にまず架設しようとする桁を剛結し、その後で架設する桁の先端を引込んでハンガーロープに定着する方法が逐次剛結工法である。

この工法の利点は、

- 1) 架設中の桁が完全に剛結されているために架設途中での耐風安定性が良い。
- 2) 現場作業が主として、架設先端のみで行われるために集中的な現場管理ができ、安全上有利である。
- 3) サイクリックな作業の繰返しとなる。
- 4) 補剛桁の組立精度の向上がはかれる。

などがあげられる。架設途中に補剛桁先端のハンガーロープに大きな張力が発生する等欠点はあるが、本橋の立地条件、自然条件を考慮すると後者の「逐次剛結工法」が有利であると判断し、本工法を採用した。

(b) 架設単位の選定

補剛桁の架設単位としては「単材」「面材」「ブロック」の3種類が考えられた。ブロック架設は、本橋の諸条件を考慮して採用したトラベラークレーン工法には不向きであり、特に海上使用の問題が残り不適とした。

また、単材、面材架設を比較した場合、架設工期の短縮、形状精度の確保および作業の安全上、「面材架設」が適切であると判断した。

(c) 無ヒンジ工法と有ヒンジ工法の比較

「逐次剛結工法」の欠点として、架設先端におけるハンガーロープの連結時（以下吊材の引込みという）に大きな引込み張力を必要とするほか、補剛桁部材に過応力が発生することがあげられる。その対策として、関門橋も因島大橋も中央径間に2個の架設ヒンジを設けている。

しかし、本橋の場合は4個以上のヒンジが必要であ

るため、全ヒンジ工法にみられる欠点が発生する。

一方、「無ヒンジ工法」では、架設先端の吊材引込みを2～3格点で行い、吊材張力の分散および部材過応力の発生を防ぐ必要があり、吊材引込設備の数量が増大する欠点が残る。しかし、本橋の架設計画で特に配慮せねばならない耐風安定性、施工性、第三者に対する安全性の確保という条件面、工程面から「無ヒンジ工法」を適切とした。

(d) 吊材の直接引込法と間接引込法の比較

吊材の引込設備は、張出し架設した補剛桁先端とメインケーブルの間隔が吊材長より大きい場合、その間隔を引き締める設備である。

この引き締め方法としては、関門橋、因島大橋で施工した仮設用ワイヤーロープを用いる「間接引込法—タイロープ方式」と、本工事に採用することになった本吊材

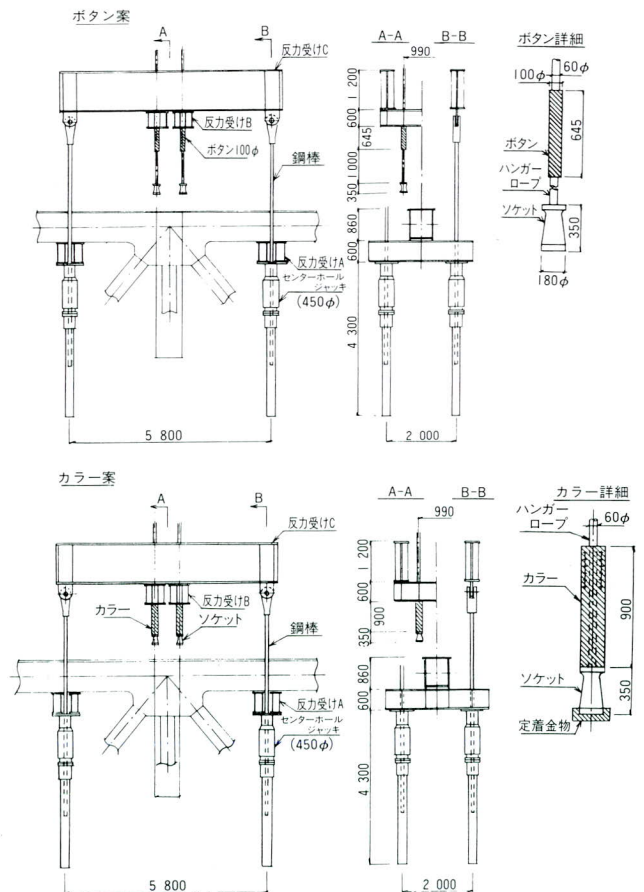


図-3. 上弦材引込方式（ボタン案、カラー案）

を使用する「直接引込法」が考えられた。

「間接引込法」ではタイロープをメインケーブルに取付けるためのケーブル移動足場が必要である。したがって、2本以上の吊材を同時に引込む場合は引込設備の台数が多くなり、その盛替、移動を考慮すると実際には施工困難であり、不適切である。

本工事のように2格点以上の同時引込みの場合は、「直接引込法」が適切であると判断した。

(e) 上弦材引込方式と下弦材引込方式の比較

吊材引込設備を上弦材、下弦材どちらに据付けるかで、本吊材と引込設備の連結方法が異なってくる。

上弦材引込方式の場合、引込用ジャッキの能力による形状、寸法より、**図-3**に示す本吊材のソケット上面に加工するカラー案、またはボタン案が考えられた。

カラー案は、ソケットの上端に筒状のカラーを設けて押込む方法である。したがって、ソケットの定着がシムプレートでは不可能であり、その定着構造はソケット下端にネジ機構を設けた大巾な改造となるほか、ネジの製作精度及び耐久性に問題が残り、現実性に乏しい。

ボタン案は、本吊材の上弦材上面の位置付近に、圧着金物（ボタン）を永久構造物として取付け、それをアンカーとして、補剛桁を引き上げる方法である。

本案の場合

- 1) 引込み時の補剛桁たわみ角に対する配慮が不要である。
- 2) 作業位置が上弦材上に限定される。
- 3) ソケットの定着が無応力で行える。
(1)、2)、3)はカラー案にもいえる)
- 4) 将来のハンガーロープ取替時、有利に利用できる。

等の長所がある反面、次のような問題点がある。

- 1) ボタン取付による疲労強度の低下の懸念。
- 2) 防錆処理、美観上の問題。
- 3) 吊材製作費の大巾な増加。
- 4) 吊材長の短い区間では引込方法の変更が必要。

一方、下弦材引込方式とは、吊材ソケットと仮吊材を連結し、下弦材に据付けた引込用ジャッキで仮吊材を引込み、吊材ソケットを定着する方法である。本方式とした場合、吊材ソケット下端に仮吊材と連結するための何んらかの取合構造が必要である。

本方式の場合は次のような長所がある。

- 1) 上弦材方式のボタン案等の欠点が解消される。
- 2) 吊材長に無関係に同一設備で全格点の引込みが

可能である。

- 3) 引込油圧ユニットシステムが下面移動防護工に設けられ、固定化できる。
- 4) 下面移動防護工上を利用して、ジャッキ設備の盛替移動が可能である。

また、欠点としては、

- 1) 垂直材が圧縮材となるため、補強が必要である。
- 2) 補剛桁のたわみ角の処理のため、ガイド設備が必要である。
- 3) 下面移動防護工の移動に対し、ジャッキ設備をクレーンするための配慮が必要である。

以上、上弦材、下弦材引込方式を総合的に比較して、作業性、経済性とも下弦材引込方式が有利であると判断し、本橋の架設に採用することにした。

(3) 架設工法のまとめ

以上のように「トラッククレーンによる張出し架設」を基本工法とし、種々の比較検討を行なった。

その結果、本橋の架設工法の基本方針を以下のように定め、次の詳細計画へと移行した。

架設工法の基本方針

1) 逐次剛結法

本橋の架設工法は、架設地点における気象・海象条件が非常に厳しいことを考慮し、架設途中の耐風安定性に優れている「逐次剛結法」とする。

2) 面材架設

本橋の架設工事は、国立公園内という特殊かつ厳しい環境下での作業であることを考慮し、工程と安定性および形状精度の確保に重点をおいて2パネルを単位とする「面材架設」とする。

3) 無ヒンジ工法

耐風安定性、施工性等の「逐次剛結法」の特色を十分に活かした「無ヒンジ工法」とする。

4) 架設順序

補剛桁部材の供給場所が3P、4Pの海上作業足場であることから、主塔部塔付パネルより釣合を考慮して中央径間および側径間に張出し架設を行う。

5) 吊材引込方法

吊材ソケット下端にネジ部を設け、これに仮吊材を連結し、下弦材に設置した中空ジャッキを用いて吊材を直接引込む方法とする。

また、補剛桁および吊材に過応力が発生しないよう多格点引込みとする。

- 6) 主構トラス、主桁トラスは工場で面材に組立て、現地に搬入する。
- 7) 鋼床版の架設
耐風安定性向上のため、中央径間半載架設、側径間全載架設とする。
- 8) 塗装は、工程および塩分付着の観点から継手部のみ現場で行うものとする。

3. 先行パネル数の検討

中央径間、側径間の径間長の差、工程上および架設応力上の問題等から、中央径間側はある程度の先行架設が必要である。

したがって、上記の架設工法で架設する場合の架設応力等が、先行パネル数とどのような関係になるかを検討した。

即ち、中央径間で最大吊材張力の発生するSTEP-15に着目し、中央径間のパネル数が側径間に対し、それぞれ12、14、16パネル多い場合について試算したが、吊材張力、補剛桁の曲げモーメント、せん断力共にほとんど差はみられなかった。補剛桁の垂直変位については、先行パネル数が増加するにしたがい、中央径間の変形量が大きくなり、側径間は少なくなる。

この計算結果と工期短縮の目的を考慮し、最大先行パ

表-6. 先行パネル数の比較検討数値

種別	先行 パネル数	中央径間		側径間	
		3P方	4P方	2P方	5A方
ハンガー張力 (t)	12	318.8	318.8	345.8	347.2
	14	319.9	319.9	342.9	344.3
	16	320.9	320.9	354.7	352.6
補剛桁 曲げモーメント (tm)	12	19,553	19,540	5,886	5,928
	14	19,912	19,901	5,886	5,928
	16	22,222	20,021	5,884	5,926
補剛桁 剪断力 (t)	12	429.0	429.1	383.3	385.7
	14	435.1	435.1	383.5	385.7
	16	440.4	440.4	383.2	385.5
補剛桁 垂直変位 (mm)	12	1,297	1,305	2,416	2,415
	14	1,908	1,916	1,922	1,918
	16	2,443	2,451	1,946	1,977

ハンガー張力：中央径間は架設先端から4本のハンガーの張力を平均し、側径間は3本の平均値

曲げモーメント：各区間での最大曲げモーメント(+)

剪断力： " 最大剪断力 (-)

垂直変位： " 最大垂直変位(前死完成系からの下り量)

ネル数を14パネルとした架設段階図に基き架設することにした。表-6に先行パネル数の検討数値を示す。

4. 稼働率の検討

全体工程計画は、施工計画の基本方針に基き、作業の種類別、内容、工程の詳細計画を行った後、各作業の施工順序をきめ、架設資機材・労務者等の適材配置を考慮し、全工事期間を通じて忙しきの均等化をはかることが目的であり、契約条件を満足しつつ、工事の実行予算に見合った工程管理を行うため必要で、かつ、欠かせないものである。

通常の橋梁上部工架設工事の工程計画は、計画の基本方針に伴って、おのずとその大綱が決められるのが一般的である。ところが、本橋の架設地点は自然条件の厳しい環境下にあり長期にわたる本工事の正確な工期を決定するうえでは、気象条件による作業限界の設定および稼働率の算定は非常に重要である。

このような観点から、本工事の計画においては、作業限界気象を設定し、これに基き算定された稼働率を用いて工程を計画した。

表-7. 作業区分と限界気象

気象階級	限界気象	作業区分
I	瞬間風速 20m/sec 10分平均風速 15m/sec 波高 1.5m	(1)一般船輸送：港施設から出入する船輸送で骨材、セメント、鋼材等を作業基地港に運ぶのはこれに属する。ただし、沖合の作業足場に接岸する作業は除く。 (2)海上作業足場作業：陸からつき出した棧橋足場や海上に設けられた堅固で大きな足場上での作業で、ほとんど陸上作業に近い状態のもの。
	瞬間風速 14m/sec 10分平均風速 10m/sec 波高 0.6m 潮流 2ノット	(3)船上作業：船による測量や音波調査・作業船による沈設アンカー作業、支持わくやケーソンの曳航船によるしゅんせつ作業等。 (4)沖接岸：港外にある固定物(バージ・作業足場)に接岸しての荷の揚げ下ろしをする普通の作業 (5)潜水作業：水深30m以下での軽作業 (6)ワイヤ作業：キャットウォーク、クレンケーブル、ハンガー等相当剛性のあるワイヤ類の取扱い作業
III	瞬間風速 11m/sec 10分平均風速 8 m/sec 霧 視程 4 km 日雨量 2 mm	(7)重量物取扱：10t以上のものを運搬・吊り揚げ・接合するような高所での作業(接岸と水切りが困難) (8)素線屋外作業：細い素線類を屋外で長い距離取扱う作業
	瞬間風速 7 m/sec 10分平均風速 5 m/sec 日雪量 1 mm	(9)精密作業：精密測量作業や調整作業 (10)溶塗・塗装：小屋掛けなど設備がある場合を除き、海上で行なう溶接・塗装の作業

本州四国連絡橋調査概要報告書(S.45-3)より

(1) 作業区分と限界気象の設定

稼働率は、作業限界気象条件と長期間にわたって収集された気象データにより求めねばならない。

作業区分と限界気象については、本州四国連絡橋調査概要報告書（建設省、昭和45年3月）で、数年間の海上での調査作業の分析整理や諸外国の長大橋の記録、国内での各種工事実績を資料にして、表-7に示す限界値を掲示している。この数値を参考にして定めた本橋の工事における「作業区分と限界気象」を表-8に示す。

表-8. 本工事における「作業区分と限界気象」の設定

気象階級	限界気象	作業区分
I	瞬間風速 20m/sec 10分平均風速 15m/sec	(1)海上足場上営繕設備及び仮設々備の設置組立作業 (2)塔下頂版上仮設々備の設置組立作業 (3)移動防護工、局部防護工の地組立作業
II	瞬間風速 14m/sec 10分平均風速 10m/sec 波高 0.6m 潮流 2ノット 時間雨量 0.5% _m /H	(4)部材水切作業及び横持ち作業 (5)各吊上設備の段取作業 (6)塔部端床トラスの頂版上での地組作業 (7)塔部EXP、橋台部EXPの架設作業 (8)防護柵、道路EXP添架物等の調整作業 (9)H.T.B本締作業(ただし無降雨日とする) (10)足場組立、解体作業 (7)~(10)は全て高所作業とする
III	瞬間風速 11m/sec 10分平均風速 8 m/sec 霧 視程 1 km 時間雨量 0.5% _m /H	(1)移動防護工、局部防護工の吊上げ及び解体作業 (2)トラベラクレーン組立、解体作業 (3)補剛桁部材荷揚作業及び橋上運搬作業 (4)補剛桁架設作業 (5)残鋼床版架設作業 (6)吊材引込み作業 (7)移動防護工等及びトラベラクレーンの移動作業 (8)検査車の架設(ただし塔部作業)
IV	瞬間風速 7 m/sec 10分平均風速 5 m/sec 時間雨量 なし	(9)精密測量作業 (20)溶接、塗装作業

(2) 稼働率算定の基本事項

稼働率については、立地条件および考え方で種々の算定方法があるかと思うが、ここでは、今回行った稼働率算定の際の基本的な考え方を示す。

(a) 気象調査資料

風雨データの分析に用いた資料は、本州四国連絡橋公用鳴門工事事務所より入手した鳴門海峡の気象資料であり、その内容を表-9に示す。

今回の分析に用いたのは、補剛桁の架設に特に関係あると思われる観測地点の風関係のデータ3種類と、雨関係のデータ1種類の計4種類である。なお、算定にあたっては、昭和50年4月~昭和54年3月までの4年間の風雨資料を分析した。気象観測地点位置は図-1によ

表-9. 気象資料データ

資料No.	気象データ	観測場所	観測期間	今回分析した資料
1	風向風速	中瀬(海上ステーション)3P	49/11-17 ~54/3-31	○
2	"	裸島(海上ステーション)4P " 頂上	50/9-30~52/6-13 52/6-13~54/3-31	○
3	"	門崎観測所(No.4)	46/12-1 ~54/12-31	○
4	"	門崎(海上ステーション)1A	50/5-22 ~52/9-31	
5	"	大毛(海上ステーション)5A	50/5-21 ~52/9-31	
6	降水量	本四公団第1建設局 鳴門工事事務所	50/4-1 ~55/6-31	○

る。

(b) 稼働率算定に用いた要因

稼働率算定に用いた要因は次のとおりである。

- 風速
- 降雨量
- 暦・休日
- 作業限界風速、雨量

今回の検討には、部材輸送が海上輸送であることから水切可能日の算定等に海象条件も必要であったが、波高、視程等の調査資料が入手できなかった。しかし、波高はほとんどが風速と相互関係にあるほか、外洋からのうねりの影響が大きいものであり、一方、視程に影響する瀬戸内海特有の霧の多発生月は一応分かったため、風雨データで十分と考えた。

(c) 稼働率算定に当たって考慮した事項

稼働率算定に当たって、風雨データの分析結果や暦休日について次のような点を考慮して検討を行った。

- 1) 時間帯の違いにより、風の吹送率が異なるので、シフト時間を仮定し、各シフトに対する不稼働日数を求めた。シフトは現場作業時間帯を考慮して日中を6時~12時までと12時~18時の2シフト、夜間を18時~6時とした1シフト、計3シフトに分けて算定する。
- 2) 休日は表-10に示す通り4ケース設定し、比較検討する。

表-10. 休日の設定ケース

Case	暦休日	正月休み	盆休み	年間休日計	備考
1	64	3	3	70日	暦上の日・祭日と正月休み、盆休みのすべてを休日日数と考えた場合
2	48	6	1	55日	毎月日曜日4回と正月休み、盆休みを休日日数と考えた場合
3	36	5	2	43日	月休みを3回とし、かつ、正月休み、盆休みを休日日数と考えた場合
4	24	4	2	30日	月休みを2回とし、かつ、正月休み、盆休みを休日日数と考えた場合

3) 降雨量の取扱いについても風の集計と同じく、時間シフト別とし、雨の不稼働日算出にあたっては、シフト前後の降雨量によって次のように定めて算定する。

- 作業開始前の6時間累計降雨量が1mm/6Hを越えた場合は、午前中を半日不稼働とする。
- 作業開始の2時間前の時間雨量が0.5mm/H有る場合も半日不稼働とする。
- 午後からの降雨については、午後1時から2時の間の時間雨量が1mm/H有った場合は、午後からを半日不稼働として算定する。

(d) 稼働率算定の分析手順

稼働率算定の分析は以下の順序で行った。

- 1) 各観測地点のシフト別、風速階級別データ仕分けを行う。風速階級は先に定めた限界気象に準じて表-11に示すように、9段階について行った。表-12には各観測地点を調査した4年間の年平均風速階級別吹送率集計グラフを示す。

表-11. 10分間平均風速の階級区分

段階	10分間平均風速
1	0 ~ 4.9 m/sec
2	5.0 ~ 7.9
3	8.0 ~ 9.9
4	10.0 ~ 11.9
5	12.0 ~ 14.9
6	15.0 ~ 19.9
7	20.0 ~ 29.9
8	30.0 ~ 39.9
9	40.0 ~

表-12. 年平均風速階級別吹送率集計グラフ

平均風速 m/sec	観測所 %	中瀬(海上ステーション)3P									裸島(4P)									門崎観測所No.4								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	10	20	30	40	50	60	70	80	90	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0~4.9	6時~12時	65%									64%									50%								
	12時~18時	57%									58%									43%								
	18時~6時	63%									57%									48%								
5.0~7.9	6時~12時	22%									24%									23%								
	12時~18時	28%									26%									25%								
	18時~6時	26%									30%									24%								
8.0~9.9	6時~12時	8%									7%									10%								
	12時~18時	10%									9%									12%								
	18時~6時	7%									8%									11%								
10.0~11.9	6時~12時	3%									3%									7%								
	12時~18時	4%									4%									8%								
	18時~6時	3%									3%									8%								
12.0~14.9	6時~12時	1%									1%									6%								
	12時~18時	1%									2%									8%								
	18時~6時	1%									1%									7%								
15.0~19.9	6時~12時																			3%								
	12時~18時																			4%								
	18時~6時																			3%								
20.0~29.9	6時~12時																											
	12時~18時																											
	18時~6時																											
30.0~	6時~12時																											
	12時~18時																											
	18時~6時																											

2) 4年間の月別および年平均の吹送率集計グラフより、先に定めた作業区分と限界気象に合わせ、気象階級別の稼働日数を算出した。

なお、ここで各観測地点の集計データから判断し、作業場所で用いる稼働日算定の使用データには表-13に示すように作業足場上では中瀬(海上ステーション)3Pのデータを、塔頂及び補剛桁上の高所作業には門崎観測位置のデータを使用するよう絞りこみを行った。

表-13. 稼働率算定に用いるデータ箇所と気象階級

	気象階級	限界風速	使用したデータ
作業足場上	I	15m/sec	中瀬(海上ステーション)3Pのデータ
	II	10m/sec	"
塔頂 および 補剛桁上	II	10m/sec	門崎観測位置のデータ(No.4)
	III	8m/sec	"
	IV	5m/sec	"

また、風速資料データについては作業場所と各観測地点の高度差に対し、補正を行った。表-14にその補正換算表を示す。

- 3) 次に降雨量に基づく稼働日を各シフト別に算出した。
- 4) 風および雨による稼働日数の算出を行った後、

表-14. 各作業別限界風速と各観測地点と風速換算表

観測場所	作業場所 基準高H(m) 気象階級 限界風速Ver(m/s)	塔頂				補剛桁上				作業足場上			
		141.98m				70.0m				10.0m			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
中瀬(海上ステーション)3P (H=10.0m)	α	15	10	8	5	15	10	8	5	15	10	8	5
裸島(海上ステーション)4P (H=10.0m)	α	1.393				1.275				1.0			
	V_N (m/s)	10.8	7.2	5.7	3.6	11.8	7.8	6.3	3.9	15.0	10.0	8.0	5.0
門崎観測所(No.4) (H=42+69)=111)	α	1.031				0.944				0.740			
	V_T (m/s)	14.5	9.7	7.8	4.8	15.9	10.6	8.5	5.3	20.3	13.5	10.8	6.8

$\alpha = (H/H')^{\frac{1}{2}}$: 高度による補正係数

H' : 各観測所の風速計の高さ(m)

$V_{N,H,T} = \frac{V_{Cr}}{\alpha}$: 各作業場所の限界風速に対する各観測所の限界風速(m/sec)

風雨のみによる稼働率を、次式により算出した。

$$\text{稼働率} = \frac{(\text{風による稼働日数}) - (\text{風による稼働日数に含まれる雨による不稼働日数})}{\text{観測日数}} \times 100$$

5) 次に風雨と休日を考慮した稼働率の算出を行った。風雨による不稼働日数に休日を考慮し、重複させた時の不稼働日数の算出には次式を用いた。

$$K = L \times \frac{N - M}{N}$$

ここで、

K：休日を考慮して低減した気象による1ヶ月間の不稼働日数

L：風雨による1ヶ月間の不稼働日数

M：1ヶ月のうちの休日日数

N：1ヶ月の総日数

(e) 調査結果

4年間の気象観測資料より求めた「風雨と休日を考慮した年間稼働率を表-15に、休日の3ケース、4ケースに対する月別稼働率を表-16に示す。

検討始めには、1日を3シフトに分け、調査分析を行ったが、本橋の工事では夜間作業時における照明が、架橋下を航行する船舶に幻惑を与え、安全操行に支障をきたすとの理由で夜間作業は原則として行なわないとの条件になった。したがって、月別稼働率は日中(6時~18時)のデータを示した。

表-15. 風雨と休日を考慮した年間稼働率 (%)

シフト	作業場所	気象階級 限界気象	塔下作業		橋上および高所作業		
			I	II	II	III	IV
			15m/sec 0.5mm/H	10m/sec 0.5mm/H	10m/sec 0.5mm/H	8 m/sec 0.5mm/H	5 m/sec 無降雨
昼間 (6時~18時)	ケース1	70日	70.6	66.9	60.4	52.3	30.8
	ケース2	55日	74.2	70.3	63.5	55.0	32.4
	ケース3	43日	77.1	73.0	65.9	57.1	33.6
	ケース4	30日	80.2	76.0	68.6	59.4	35.0
夜間 (18時~6時)	ケース1	70日	70.4	67.3	60.9	53.2	32.2
	ケース2	55日	74.0	70.7	64.0	56.0	33.9
	ケース3	43日	76.8	73.5	66.5	58.1	35.2
	ケース4	30日	79.9	76.5	69.2	60.5	36.6
日平均	ケース1	70日	70.3	67.1	60.5	52.6	31.2
	ケース2	55日	73.9	70.5	63.6	55.3	32.9
	ケース3	43日	76.8	73.2	66.1	57.4	34.1
	ケース4	30日	79.8	76.2	68.7	59.7	35.5

表-16. 風雨と休日を考慮した月別稼働率 (%)

シフト	作業場所	気象階級 限界気象	塔下作業		橋上および高所作業		
			I	II	II	III	IV
			15m/sec 0.5mm/H	10m/sec 0.5mm/H	10m/sec 0.5mm/H	8 m/sec 0.5mm/H	5 m/sec 無降雨
ケース3	1	77.2	67.7	53.3	44.9	23.4	
	2	79.8	72.5	54.9	45.4	25.7	
	3	79.0	75.7	66.3	55.0	31.7	
	4	76.1	71.3	61.4	55.4	30.3	
	5	78.7	75.8	68.3	58.6	34.7	
	6	70.4	68.5	67.1	61.2	35.3	
	年間休日日数 43日	7	81.2	79.3	72.5	64.9	42.6
	8	71.0	69.9	69.0	61.9	39.9	
	9	75.0	74.6	71.2	65.2	36.4	
	10	72.7	71.6	71.9	67.2	45.0	
	11	78.8	73.5	74.5	59.0	32.5	
	12	79.1	75.2	65.3	48.7	27.4	
年日中平均	77.1	73.0	65.9	57.1	33.6		
ケース4	1	80.3	70.4	55.0	46.7	24.4	
	2	83.0	75.4	57.1	47.2	26.7	
	3	81.9	78.4	68.7	57.0	32.9	
	4	78.9	73.9	63.6	57.4	31.4	
	5	81.5	78.5	70.7	60.7	36.0	
	6	73.0	71.0	69.6	63.5	36.6	
	年間休日日数 30日	7	84.1	82.2	75.1	67.1	44.1
	8	73.7	72.6	71.7	64.3	41.4	
	9	77.8	77.3	73.8	67.5	37.8	
	10	75.3	74.2	74.4	69.6	46.5	
	11	81.7	76.2	77.3	61.1	33.7	
	12	85.2	81.0	70.3	52.5	29.5	
年日中平均	80.2	76.0	68.6	59.4	35.0		

(3) 稼働率の設定

気象観測資料の調査結果より、本工事における稼働率を工種ごとに表-17のとおり推定した。

表-17. 調査結果より採用した年間稼働率推定値

作業場所	気象階級	作業工種	推定稼働率
塔下作業	I	○海上作業足場上の仮設備組立解体 ○塔下頂版上での仮設備組立解体	80.2%
	II	○部材水切及び横持ち作業 ○各吊上設備の段取作業 ○端部主横トラスの地組立作業	76.0%
橋上作業 及び 高所作業	II	○各吊上設備の段取作業 ○トラベラクレーン、塔付ジブクレーン以外の仮設備組立解体作業 ○道路防護柵、道路EXPの架設作業 ○H.T.B本締作業(但し無降雨日) ○仮設足場の組立解体作業	68.6%
		III	○移動防護工の吊上げ及び解体作業 ○トラベラクレーン、塔付ジブクレーンの組立、解体作業 ○塔柱足場の組立、解体作業 ○補剛桁部材の荷揚げ及び橋上運搬作業 ○補剛桁架設作業及び吊材引込み作業 ○残鋼床版の架設作業 ○架設機材の移動作業
	IV	○精密測量作業 ○溶接、塗装作業	35.0%

※ただし、休日ケースはケース4としたとき。

推定にあたっては、次の点を考慮した。

- 1) シフト採用は対外的問題もあったが、本工事は夜間作業が少ないことにより、日中作業時間帯となる6時～12時、12時～18時の平均データーを採用した。
- 2) 休日については、建設業界、労働諸団体の推進運動、諸官庁の行政指導とは相反するが、調査結果の低データー値および本四架橋を取巻く社会情勢と先行工事の実績にかんがみ、「ケース4」を努力目標として採用した。
- 3) 資料分析にあたっては本工事（長大吊橋）の特性から、作業場所を高所と低所とに大別することができること、高さによって吹送風速に差が生じること等により、塔下作業と橋上および高所作業の2作業場所に区分けし、階級別の限界気象の目安を定めた上、データー分析を行った。
- 4) 塔下での主要作業は、海上輸送されてきた部材の水切りである。したがって稼働率の推定には、海象条件の影響も考慮しなければならぬが、調査資料不足から塔工事の実績および潮汐表による日の出～日没間の転流から南流時間（4～6時間）の調査により稼働率の推定を行うしかなかった。

気象観測資料の分析に希望数値を加味して求めた表-17から、本工事の工程計画に用いる主要工事の年間稼働率を表-18のように定めた。

表-18. 工程計画に用いた年間稼働率

	工 種	稼働率%		摘 要
		3P	4P	
1	桁本体架設	60	60	限界気象条件より
2	仮設備作業足場、頂版上	60	70	下部工、塔、ケーブル
3	仮設備桁橋面上、塔頂部	60	60	限界気象条件より
4	現 場 溶 接	50	50	防風対策条件より左記数値を努力目標とした
5	現 場 塗 装	50	50	”
6	資材水切	10ton未満	60	下部工、塔、ケーブル
		10ton以上	45	

5. あとがき

限られた条件のもとで、与えられた工事を安全第一に遂行すること、これが現場に従事する者の最大の任務である。したがって、過去に実績の豊富な工法に基礎をおいて施工計画を立てるのは当然のことである。しかし一方では、困難な条件を克服する為に新しい試みにあえて

挑戦することもまた技術者の使命であると考え。試みを技術として確立する為には、施工前の綿密な検討が極めて重要であることは論を待たない。

その意味から、工事の実施報告に先立って、本文では大鳴門橋補剛桁の架設工事の施工計画立案に当ってなされた、種々の前検討についてその概略を報告した。特に稼働率の算定については、同種の報告が少ないことから、お読みいただく方々に多少なりともお役に立てるものと自負している。なお、計画立案と本文の執筆に当っては、鳴門工事に務所をはじめとする本四公団の方々、共同企業体の方々、その他多くの関係者の皆様に御指導ならびに御協力をいただいた。末筆ながら、こゝに心から感謝申し上げる次第である。