

論文・報告

明石海峡大橋のヘリコプタ渡海工事

Report on Stretching a Pilot Rope at the AKASHI-KAIKYO Bridge by Helicopter

横山 仁 規*
Masanori YOKOYAMA田口 吉 彦**
Yoshihiko TAGUCHI清水 隆 裕***
Takahiro SHIMIZU浅倉 豊 紀****
Toyonori ASAKURA山梨 善 弘*****
Yoshihiro YAMANASHI内藤 尚 人*****
Naoto NAITOU

As to AKASHI-KAIKYO Bridge now under construction, pilot rope stretching work was carried out across the sea by helicopter on Nov. 10, 1993. It was the first attempt to use this kind of work method for super-long suspension bridge in Japan. This construction method had been studied since about five years ago for practical use and it was adopted this time through two times of experiments by Honshu-Shikoku Bridge Authority. As a result, the pilot rope stretching was completed successfully in very short time and with small scale facilities, as anticipated from experiment and study. Furthermore, the rope could be stretched with the shape as planned, without invading waterway even during stretching across the sea, allowing any navigating vessel to pass through the channel as usual. We are convinced that future super-long suspension bridge construction plan became more realistic by the success of this work method in AKASHI-KAIKYO Bridge. The aim of this paper is to report the details of the work carried out in AKASHI KAIKYO Bridge.

Key words : AKASHI-KAIKYO Bridge, helicopter, pilot rope, crossing the sea

1. まえがき

現在建設中の本州四国連絡橋・明石海峡大橋は、完成時世界最大・最長となる橋梁構造物である。

この架橋現場において1993年11月10日、長大スパンとしては世界発の工法であるヘリコプタによるパイロットロープの渡海工事が実施された。パイロットロープの渡海工事は、ケーブル架設の中でも本格的工事開始の節目に当たるイベントとして、内外より注目を浴びる工事である。

この工法は5年程前より本州四国連絡橋公団による本格的検討が開始され、(株)本州四国連絡橋エンジニアリングによる「明石海峡大橋の最適渡海工法検討業務」が実施された。その後ケーブル施工業者である新日本製鐵(株)と(株)神戸製鋼所が参画しての、同工法に関する基礎的実験と模擬実験とが行われた。これら一連の検討および開発について、川田建設は東邦航空との協力により初期段階よりこれに参画し、数回の自主的確認試験・訓練なども実施してこの工法を確立したものである。

実験までの経緯や実験結果についてはすでに報告されているので、本稿では昨年11月に実施した明石海峡大橋における渡海の実行工事について筆者らが担当した内容を中心に報告する^{1)~3)}。

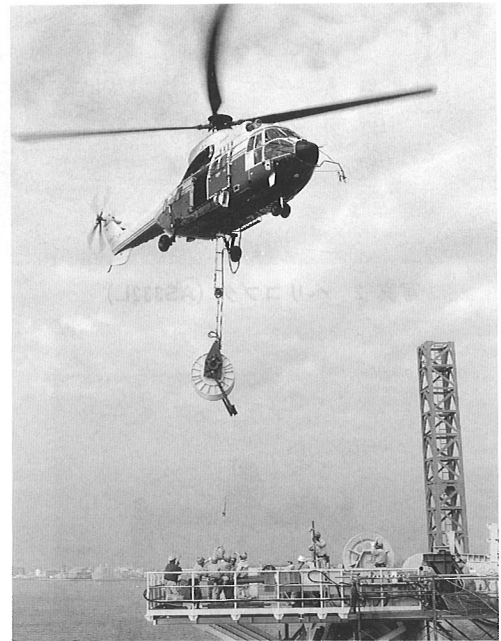


写真-1 渡海本工事（始点作業）

2. 施工概要

(1) 工事内容

a) 延線リハーサル

実践スタッフの役割、作業手順、資機材の機能、実行システムなどの確認を目的として、神戸港・六甲アイラ

*川田建設(株)工事本部技術部技術一課課長 **川田建設(株)工事本部技術部技術一課係長 ***川田建設(株)工事本部技術部技術一課

****東邦航空(株)査察室次長 *****東邦航空(株)整備部整備一課課長 *****東邦航空(株)運航部運航管理課課長

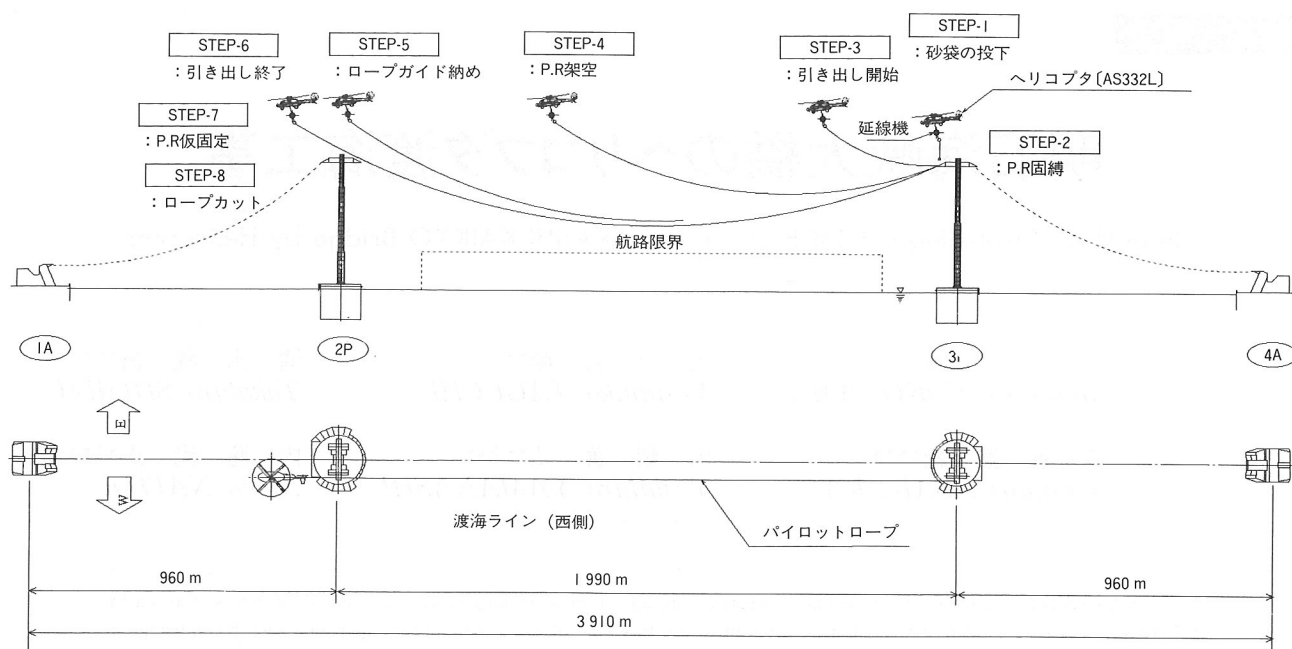


図-1 パイロットロープ渡海実施要領図



写真-2 ヘリコプタ (AS332L)

表-1 ヘリコプタ (AS332L)

性能	諸元	外形寸法	諸元
エンジン出力	1 662 HP 双発	主ロータ直径	15.60 m
巡航速度	280 km/hr	全 長	18.70 m
航続距離	635 km	全 高	4.92 m
最大機外吊下重量	4 500 kgf	胴体全幅	3.72 m
自 重	4 265 kgf	胴体全長	15.52 m
最大旅客数	22人	脚 幅	3.00 m

ンド沖合いに2隻のフローティングクレーンを1 000 m間隔で配置し、そのシアーストップ間にパイロットロープを架設した。延線リハーサルは、航空スタッフと地上作業員との組み合わせを変えて、合計4回実施した。

b) 総合リハーサル

通信指揮系統、手順、工程、緊張時対策などの確認を目的として、全員が実橋配置について本番同様の交信を実施した。

c) 渡海本工事

明石海峡大橋の両橋台間(1A~4A)西側ラインに、径間ごとに計3回の渡海延線を実施した。要領を図-1に、始点側の様子を写真-1に示す。

(2) 主要資機材

a) ヘリコプタ；アエロスパシアル社製AS332L型機(スーパーピューマ)。国内民間機最大級の離陸重量を持つ(写真-2、表-1)。

b) 延線機；登録番号“TH-330-L1”で、明石海峡大橋渡海用に新規開発した(写真-3)。

c) パイロットロープ；φ10 mmのポリアラミド繊維

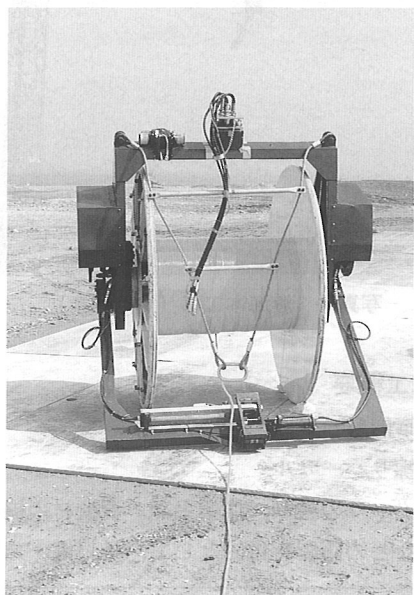
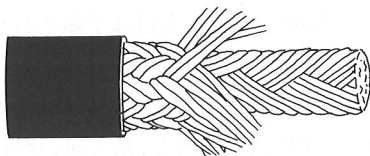


写真-3 延線機 (TH-330-L1)

表-2 渡海工事実施日程工程

月		10月			11月														
		29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
作業内容		(金)	(土)	(日)	(月)	(火)	(水)	(木)	(金)	(土)	(日)	(月)	(火)	(水)	(木)	(金)	(土)	(日)	(月)
現場 全体 工程	延線リハーサル準備																		
	延線リハーサル打ち合わせ																		
	延線リハーサル						(予備)												
	総合リハーサル打ち合わせ																		
	総合リハーサル												予備						
	1A仮ヘリポート設置																		
	渡海設備配置																		
渡 海 (1A~4A)																予備			
ヘリ コプ タの 動 き	東京~神戸 空輸	荒天 待機																	
	延線リハーサル飛行																		
	現场上空視察飛行																		
	総合リハーサル飛行																		
	神戸HP~1A仮HP 移動																		
	神戸~東京 空輸																荒天待機		



形 式	構 造	材 質			特 性
008B-BC		内層：アラミド繊維 中層：ポリエステル繊維 外層：ウレタン樹脂 (#129)			非自転型 防水構造
直 径 (標準) (mm)	内層アラミド繊維径(ブレード) (mm)	外層厚(ウレタン+繊維) (mm)	アラミド繊維断面積 (mm²)	質 量 (g/m)	引張り強さ kN(tf)
10	8.0	1.0	25.9	91.7	46.1[4.70]

図-2 パイロットロープの仕様³⁾

ロープ (図-2)。

(3) 実施工程

本工事の実施工程を表-2に示す。

3. 航空作業要素

(1) 資機材管理

渡海に使用した航空機とパイロットロープの管理について述べる。

a) ヘリコプタ

使用機は国内に数機しか保有されておらず、さらに延線装置を取り付けるための修理改造検査を受検した機体は1機のみである。このため、定期的実施する通常点検に加え、渡海の1カ月前より特別な点検体制を組んで本番に備えるとともに機体の過去の故障状況を洗い出し、

部品の確保および整備支援機材の確保も同時に実施した。

b) 延線機

TH-330-L1型延線機も、機体同様国内に1基しか存在しないものであるため、各種実験作業などを通じて得た不具合を順次改良し、本番に向けてのオーバーホールを実施するとともに、予備部品の調達および現地での整備点検要領を事前に作成・準備することで万全を期した。

c) パイロットロープ

円滑で安全な延線を実施するためには、延線機のリールに巻かれるロープ (パイロットロープ) の取り扱いに細心の注意が必要であり、以下の点を重視した (写真-4)。

- ① 巻付け時の接触部におけるロープ損傷防止
- ② 巻きむらの発生防止 (整巻きの確保)
- ③ 所定の巻付け張力の確保



写真-4 パイロットロープの巻き付け

(2) 延線操作上の課題と実践

ロープ延線は機長と延線操作員との機内連携で実施され、送電延線などでは延線操作員がロープの出具合を目視判断し、ブレーキ調整を実施する。

しかしながら、明石海峡大橋の渡海のように海上の延線を実施する場合は背景が一様であること、最長2 kmの延線であること、ロープ径が10 mmであることなどより延線操作員が目視でその弛み具合を判断することは不可能である。一方、中央径間は国際航路であり、航路限界を侵すような延線は許されないと同時に、あまり張りすぎの延線をすると、到達点でヘリコプタがホバリング(定点保持)するために不可欠のビジュアルキー(塔頂クレーンブーム)から外れてしまうという状況があり、上下限を拘束された飛行および延線が要求された。

明石海峡大橋のヘリコプタ渡海における技術的課題は、上記のことに集約されると言ってよく、これらを解決するために、これまでの実験や検討の結果より次の対策が論じられた。

a) 飛行中の自位置に関して；

- ① 電波高度計と気圧高度計の併用による高度把握
- ② GPS装置による平面位置、対地速度の把握
- ③ 100 mごとの通過コール(セオドライト観測による)

b) ロープ張力に関して；

- ① 始点側における張力検出値のコール
- ② ブレーキ油圧値と張力との関係図示

c) ロープ最下点；監視員による直接値のコール

d) ロープ繰り出し長；マーキング(図-3)

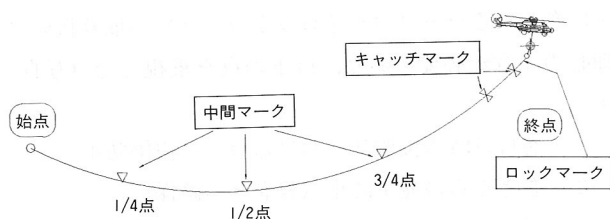


図-3 ロープマーク

(3) 操縦における課題と実践

渡海延線操縦において、操縦士としての課題は以下のことである。

- ① 延線中、一定の高度・速度・姿勢を維持すること。
- ② 精度の高いホバリングを実施すること。
- ③ 非常時対策を適切に実行すること。
- ④ 延線順序と、実行可否を適切に判断すること。

まず、①と②については明石海峡大橋の場合は、海上300 mで周囲は全部海、最も近い構築物等は1 km先という条件であるため、自分の位置や姿勢を目視的に把握す

ることが難しい。これらを解決するために前述の諸計器を用いるとともに、工法の命ともいえるビジュアルキーの確保について、伴走機による方法を社内訓練で実施するなど事前検討を十分に尽くし、最終的に本橋では塔頂クレーンブームをビジュアルキーとして使用することとした。

③は飛行延線中に起こりうる延線機などの故障に対し、どのような対策をとれるか事前に検討し、それを想定した訓練を総合リハーサルの中で実施することで備えができた。また、延線機についてはカッターやブレーキ部分などの重要パーツ予備品を現地に準備し、いつでも交換可能な態勢をとった。

④についての判断は、機長判断のなかで最もデリケートな判断となる。衆目の中、実行直前に判断しなければならず、また安全確保は絶対条件である。操縦に関する技術的課題は事前に解決されていたものの、それを計画どおりに実現できるか否かは実行時の天候(気象)に大きく依存する。気象に関しては現地で入手する局地情報が得られ、確度が高かった。当日午前の予報としては、薄曇りで北東よりの風が、3～7 m程度であった。実際現地に行くと、風向・風速ともほぼ予報どおりであったため、風の緩いうちに最も難度の高い中央径間を3 Pから2 Pに向けて引き出すことにした。また、若干の背風方向となる1 A～2 P間は最終とし、最も風いだ状況を待つて実施した。

(4) 渡海工事における航空法の紹介

航空作業は法律を実行していくことだと言っても過言ではないほど多種の法律で成り立っており、今回の渡海工事でもいくつかの法律が絡んでいる。

ヘリコプタは、機能上はわずかのスペースで離着陸可能であり、また地上すれすれの飛行やホバリングも可能である。しかし、これらはいずれも航空法第79条および81条で原則禁止されている⁴⁾(表-3)。

明石海峡大橋の渡海工事では、乗務員との綿密な打ち合わせが不可欠であること、給油や飛行前後の点検がスムーズに行える必要があることから1 Aの東端に仮ヘリポート(場外離着陸場)を設定し、その周辺での低空飛

表-3 航空法条文抜粋⁴⁾

条 番	条 文
第79条	航空機は、陸上にあつては飛行場以外の場所において、水上にあつては運輸省令で定める場所において、離陸し、又は着陸してはならない。但し、運輸大臣の許可を受けた場合は、この限りではない。
第81条	航空機は、離陸又は着陸を行う場合を除いて、地上又は水上の人又は物件の安全及び備航空機の安全を考慮して運輸省令で定める高度以下の高度で飛行してはならない。但し、運輸大臣の許可を受けた場合は、この限りでない。

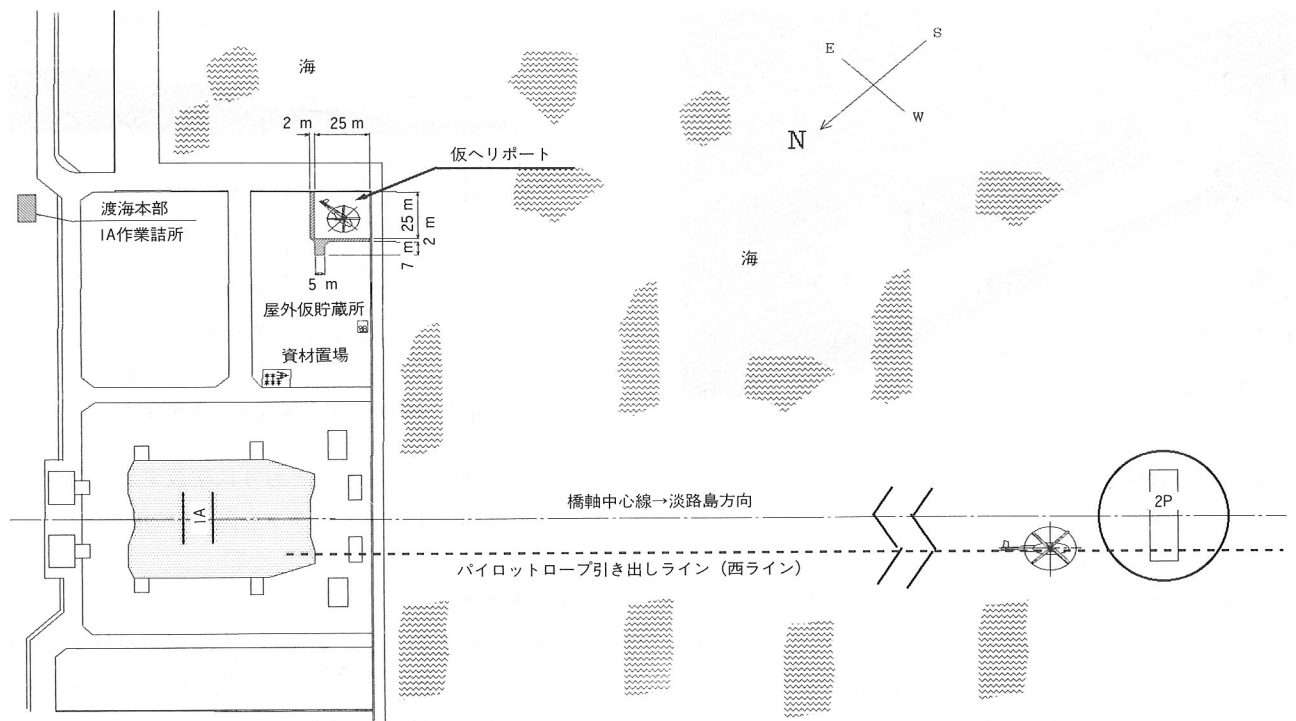


図-4 1A仮ヘリポート配置図

行ができるようそれぞれ同条但し書き部分に応じて航空局への許可申請を実施した（図-4）。

このほか、第16条「修理改造検査」、第73条第2項「（機長の）出発前の確認」、第28条「（技能資格者の）業務範囲」などが今回の渡海に関連している。

（5）機体との通信連絡設定について

渡海作業のように綿密な連携が要求される場合、作業者同士の連絡設定（意思の疎通）の可否が、作業の成否を左右しかねない重要な条件となる。このため今回の渡海では、機体と本部ならびに機体と地上作業ポイントとの連絡用として、航空移動無線局（地上局）を配置し、運用した。

航空移動無線局の使用周波数については、通常全国共通周波数を使用するが、過去の実験における経験などから他局との混信により通信障害が危惧されたため、新たな周波数での限定免許を受けて運用した。

この結果、作業実施中に他局からの混信を受けることなく、本部においても作業の進捗状況が把握でき、運航監視上非常に有効であった。

4. 施工管理

（1）施工体制

渡海工事は航空作業のほかに、地上作業、海上警戒、計測などが一体となって実施され、それらを統括して情報の収集と指示を一括管理する目的の現地渡海本部が設置された。図-5に全体施工体制を示す。

（2）施工順序

渡海実施経間の順序は、直前の風向・風速情報をもとに、機長と本部とで決定した。実施した順序と施工内容を図-6に示す。

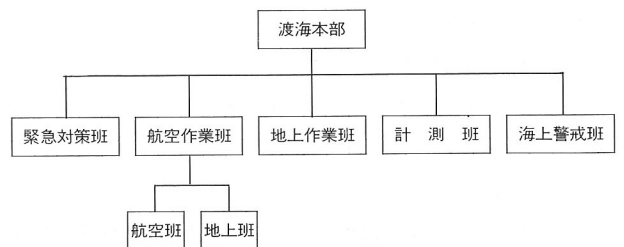


図-5 渡海工事全体施工体制

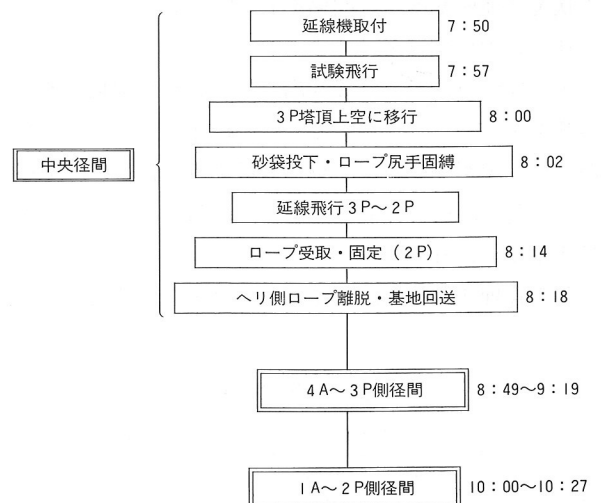


図-6 渡海実施フローチャート

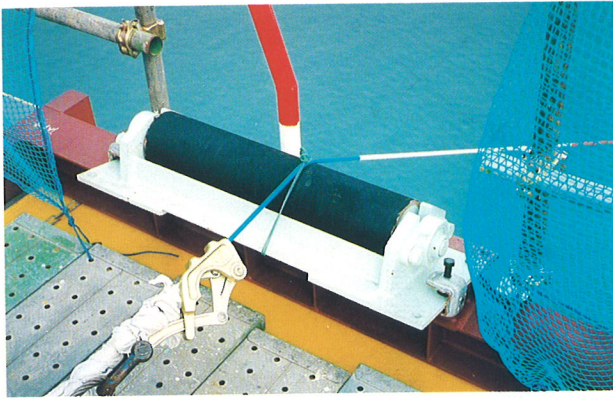


写真-5 キャッチマーク

(3) 実行管理項目

a) サグ管理

渡海実行中の作業管理はサグ（ロープ最下点）管理に集約されるといい良い。しかしながら、延線中のすべてのコントロールを実施するヘリコプタ側でサグを直接的に知ることはできないため、次の情報をヘリコプタに伝えるシステムが構築された。

- ① サグ監視員による100 mごとの最下点コール
- ② 位置計測員による100 mごとの通過点コール
- ③ 張力監視員による100 mごとのロープ張力コール
- ④ 各種管理位置のロープマーク

さらに受け取り位置のロープマーク（キャッチマーク）については、理想架設形状を中心に青／白の色分けがなされた。実行結果は、いずれの径間もキャッチマークの範囲内でキャッチできた（写真-5）。

b) タイムスケジュール

渡海実行中の各ステップでの時刻を記録した。結果は図-6の右欄に示すとおりである。

c) 気象管理

ヘリコプタの運航管理にとって、気象特に風速・風向の情報はなくてはならない。局地予報情報と、2P塔頂で観測される風向・風速の即時情報が用いられた。実行時の状況と運航基準との関係を表-4に示す。

d) 延線操作管理

延線操作員はロープ繰り出し量に応じた制動調整を行いサグをコントロールする。この操作ガイドとしてあらかじめ延線距離に対するロープ最下点と張力との関係をグラフ化し、中央径間で大きく4段階の設定張力で実行できるように計画した。

この管理法により、パイロットロープは航路限界を侵

表-4 気象状況

	実行時	運航管理基準
風速(向)	4 ~ 7 m/s(東)	9 m/s以下
雲高	500 m以上	350 m以上
視程	10 000 m以上	4 000 m以上

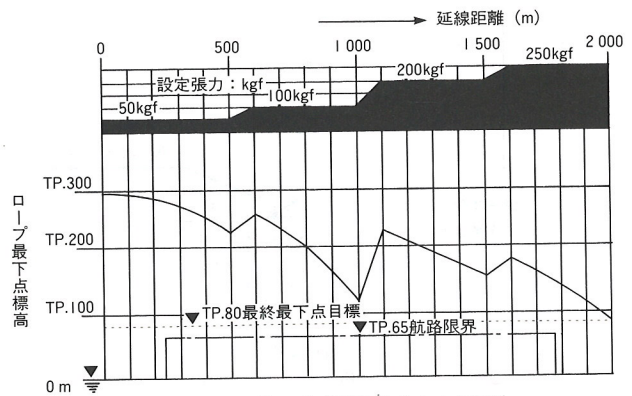


図-7 張力-最下点管理図（中央径間）

すことなく理想的目標形状どおりに架設することができた。中央径間の張力設定グラフを図-7に示す。

5. あとがき

大勢の一般見学者と、来賓・工事関係者が見守るなか、世界一の吊橋に初のヘリコプタ工法で挑んだ渡海工事は、予定より早い時間で無事完了した。

成功は、この工事に関係した技術者集団の妥協を許さない姿勢がもたらしたものと言える。また、天候に恵まれ、実行工事がすべて予定どおりに実施できたことも成功の大きな要因である。これも、事前に過去のデータを調査し、入念な検討の基に日取りの設定がなされたことにほかならない。

明石海峡大橋での成功が、超長大吊橋における渡海工法の確立を証明したものであることを確信するとともに、本工法の更なる改善改良にも取り組む所存である。

最後になりましたが、本工法の開発に挑戦し採用を英断された施主本四公団、検討・実験段階より本工法への執念を示された(株)本州四国連絡橋エンジニアリング、終始適切な指導をいただいた客先ケーブルJV、現地協力をいただいた横河・川田・宮地JVの皆様には心よりお礼申し上げます。

なお、本工事の担当者は表記の本文文責者のほか次のとおりである（順不同）。

俵矢与文、高橋一郎、村山曜一郎

参考文献

- 1) 奥田・吉元：長大吊橋ケーブルの架設技術，橋梁と基礎，Vol.26，No.8，pp.28～29，1992.
- 2) 横山・田口：ヘリコプタ渡海工法開発実験報告，川田技報，Vol.12，pp.91～98，1993.
- 3) 保田・河口・武野・細川：明石海峡大橋におけるヘリコプター渡海，橋梁と基礎，Vol.28，No.6，pp.8～14，1994.
- 4) 運輸省航空局監修：航空法，平成5年7月1日現在，鳳文書林出版販売.