

明石海峡大橋の構想と技術開発

おお え しん いち
大江 慎一

本州四国連絡高速道路(株) 取締役常務執行役員

1 架橋構想—架橋への思い—

神戸市と淡路島とを結ぶ明石海峡大橋。その「淡路」の名前の由来に、「阿波への道」が「阿波路」、「淡路」となったとの説がある。昔から、人々是对岸に道がつながることを望んでいたのだろう。

時が過ぎ、1953年に神戸市長原口忠次郎氏が「明石海峡大橋を架けたい」と側近に打ち明けた。以来、種々の調査、技術開発が続けられ、1998年に開通した。調査経緯とその技術の一部を紹介する。

2 自然条件、社会条件

架橋地点である明石海峡は幅約4km、最大水深約110m、潮流速は最大で約4.5m/sに達する。付近は、古くから好漁場であるとともに、1日約1,400隻もの船舶が航行する海上交通の要衝として、その中央に幅1,500mの航路が設定されている。

3 調査経緯

1) 調査経緯の紹介

調査は、原口市長が1957年度神戸市予算案に調査費を盛り込み、海上保安部に委託して測量調査等を実施したことから始まる。建設省も、1959年に本州と四国を結ぶ4ルートについて調査を開始した。1963年には神戸市に本州四国連絡橋調査事務所を設置し、海底地質のボーリング調査を開始した。

1962年に建設省と国鉄から架橋建設の技術的検討を委託された土木学会の「本州四国連絡橋技術調査委員会」は、本州と四国を結ぶいずれのルートでも建設可能との報告を1967年にまとめ、建設省は検討を進め3ルートに絞られた。明石海峡大橋については、中央支間長1,500m級の道路・鉄道併用吊橋並びに大水深・急潮流下での基礎などに多くの技術的課題が残されているとされた。

1969年、閣議で3ルートの調査設計及び技術開発の推進、またその調査結果と地元の受入れ態勢が整ったルートからの着工が決まる。

1970年、事業主体となる本州四国連絡橋公団(以下「本四公団」という)の発足、着工に向け準備を進めていたが、1973年第一次オイルショックに伴う総需要抑制策の一環として3ルートの工事の凍結が決定された。

本四公団では、着工に備え、作業基地の建設、調査設計、列車走行試験等を進めていた。

1975年、工事凍結が解除され、1978年に本州四国連絡橋初の起工式が大三島橋で、その後、瀬戸大橋などが着工となり、1986年には明石海峡大橋でも起工式が行われた。

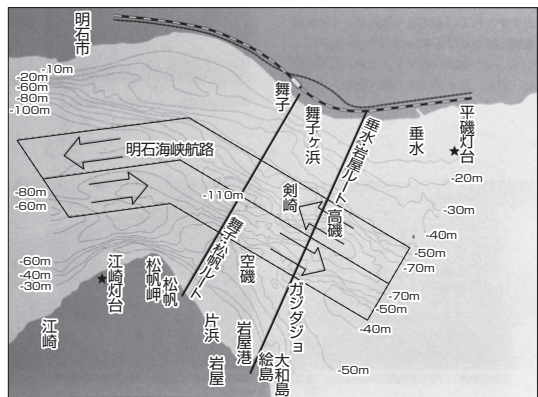


図1 ルート図

2) 橋梁形式の変遷

・3連吊橋の計画

「本州四国連絡橋技術調査委員会」による検討結果では海底の磯を結ぶ垂水・岩屋ルートが示された。現在の架橋地点より東側に位置するこのルートは、海峡幅が5kmを超えるため、中央支間長1,500m級を主橋とし、両側に700m級、900m

級の橋を配置する3連吊橋であった。

・架橋地点の変更

本四公団が海上試験などを行い、橋梁計画の検討を進め、海峡部の橋脚基礎位置の地耐力、神戸側の宅地開発が進んだこと、中央支間長1,800m程度まで建設可能との判断により、舞子・松帆ルートに変更し、中央径間長が1,780mとなる3径間吊橋の橋梁計画となった(図1)。

・中央支間長の変遷

1981年に建設省より、道路単独橋の可能性について調査が指示された。列車荷重などが除かれ補剛桁の構造が単純、軽量化されるため、最適な橋梁計画を検討する必要があった。

中央支間長1,780mを基本として、中央支間長、側径間長を変化させ、工費、工期等を検討した結果、中央支間長1,990mとする現在の橋梁計画となった。これは当時世界一の吊橋の中央支間長を580m上回る挑戦でもあった。

工事中であった1995年に阪神・淡路大震災が発生し、基礎を設置していた地盤そのものが動いていたことにより、支間長などの構造寸法が変化した。これにより、中央支間長は1,991mとなった(図2)。

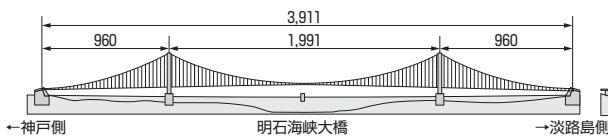


図2 明石海峡大橋の支間長

4 技術的課題の列挙と開発

1) 潮流に対応するための洗堀対策

潮流の激しい明石海峡に基礎を設置すると、その周りに渦が発生し、周辺の海底を削り取る「洗堀現象」が発生する。この現象が進むと、基礎の安定性が損なわれるため、種々の洗堀対策を検討し、実験が行われた。

その結果、潮流に抵抗できる大きさの捨て石で基礎周辺を覆い、石と石との隙間から海底が吸い出されることを防止するため、地盤と捨て石の間

に碎石を詰めた網袋にて海底を覆ったフィルター層を設置した。工事開始前には、神戸側の橋脚位置にて模擬ケーソンを設置し、その効果を確認している(写真1)。



写真1 模擬ケーソン

2) 水中不分離性コンクリートの開発

基礎は、鋼製型枠をドックで製作、現地に設置したのち、内部にコンクリートを打設した。瀬戸大橋では、鋼製型枠内に大径の粗骨材を投入後にモルタルを注入するプレパックドコンクリートとしたが、明石海峡大橋では、水中でも骨材とモルタルが分離しにくいコンクリートを開発し使用した(写真2)。

打設量は、神戸側、淡路側併せて約49万 m³にも及ぶ。大規模な施工実績がなかったため、2年の歳月をかけ、コンクリートの配合と、打設システムを開発した。一回の打設量は9,000m³。3昼夜連続で打設するため、大型台船の上に、プラント設備を艀装し、製造能力、貯蔵設備を確保した。



写真2 コンクリート打設状況

3) 大型風洞試験の実施による耐風安定性の確認

長大吊橋は、風でたわみやすい等により、その影響を十分考慮する必要がある。このため、主塔、橋桁の一部分を模型化し、風洞試験を重ね、形状等の検証を重ねてきた。しかしながら、構造特性の3次元性の影響、より精度の高い耐風設計法を確立する必要性が明らかとなったことから100分の1の全橋模型による風洞試験が可能な大型風洞設備を建造し、風洞試験を行い、設計法の妥当性が確認された(写真3)。



写真3 全橋模型

4) 主塔の制振対策としてのTMDの設置

明石海峡大橋の主塔は、高さがそれまで我が国最大の南備讃瀬戸大橋の1.6倍あり、風の影響を受けやすく、より揺れやすいものとなっている。このため、主塔の架設中のみならず、完成時においても振動の発生が懸念されていた。振動発生の抑制方法としては、主塔断面形状の最適化と、付加減衰がある。

主塔断面形状は、風洞試験を重ね、「隅切り断面」とし、付加減衰の方法として、振り子型の受動式のTMDを主塔内に設置している。なお、建設中は塔頂にもTMDを設置するとともに、架設用クレーンにもTMDを設置して、安全性を確保した。

5) 長大スパンを支えるための高強度鋼線

ケーブルは直径1.1mあり、直径5.23mmの鋼線で構成されている。この強度は1,770MPaあり、従前の1,570MPa鋼線を使用した場合と比

べて主塔高さを低くすることができ、片側のケーブルを2本から1本にすることが可能となり、工費の削減に貢献している。

6) 主ケーブルを守る送気乾燥システムの導入

吊橋の主ケーブルは、吊橋を構成する部材の中で重要な部材であり、取替えが困難なため、確実な防錆が求められる。従来の吊橋の主ケーブルと比べ、気密性を高め、ケーブル内に乾燥した空気を送り込んでケーブルの腐食を抑制する「送気乾燥システム」を導入している(図3)。現在では、国内外の多くの吊橋にこのシステムが採用されている。

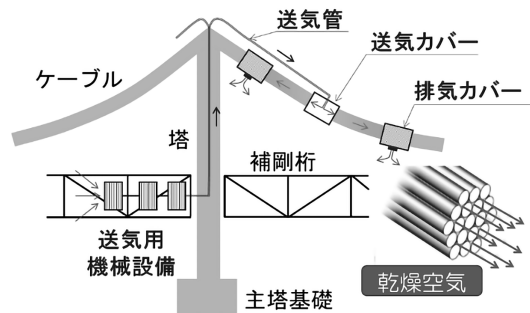


図3 送気乾燥システム概要

7) 予熱低減型調質高張力鋼の使用

明石海峡大橋の橋桁は、その重量を軽減するために、780MPa級、690MPa級の調質高張力鋼材を大量に使用している。

調質高張力鋼材は、溶接時の鋼材の割れを防止するため、100℃以上の予熱を行う必要があり、作業員の負担が大きい。このため、必要な予熱温度を50℃以上と低下させた「予熱低減型調質高張力鋼」を開発し、使用している。

5 景観を考慮した形状、色

1) 景観委員会での検討

明石海峡大橋は、瀬戸内海国立公園を通過するとともに、都市に近いことから周辺地域の環境保全、並びに自然景観に調和することが必要となる。

このため、学識経験者により構成された委員会を設置し、以下に示す基本テーマに基づき、主塔・

アンカレイジの形状、上部工の色彩が審議された。

(1) 信頼感

本州と淡路島を陸路で結ぶ唯一の交通施設として、台風、地震および重交通に耐えられる頼もしさを人々に感じさせる。

(2) 未来性

伸び、広がり、力強さを表現し、未来への限らない可能性を暗示するとともに21世紀への架け橋を感じさせる。

(3) 光と陰

瀬戸内海風景の特徴である光と陰が織りなす変化をモチーフとし、架橋地域のイメージを表現する。

審議内容を踏まえ、工期・経済面等を考慮し、最終形状等が選定された。その後、細部構造を検討し、主塔形状はトラス形式が、アンカレイジ形状は三方向(上部並びに橋梁面側、背面側)を面取した形状、橋梁の色彩はグリーングレーと決定した。

2) ライトアップ

明石海峡大橋のケーブルには、光の三原色である赤、緑、青のランプ3個を一組とした照明器具が取り付けられている。上空や海面に光が飛散しない形状とし、船舶、航空機の運用に影響を与えないよう配慮されており、点灯時は各々のランプの明るさを変えることにより、多様な色、点灯パターンが表現できる。

6 維持管理一厳しい自然環境下での対応一

明石海峡大橋は、その規模ゆえ、架け替えが困難であることから維持管理も重要となってくる。

このため、十分な維持管理が行えるよう橋桁外面、内面点検補修用の作業車が設置されており、橋桁のほとんどの部分に接近ができる。また、橋桁内には自動車が走行可能な管理路が設置されており、効率的な維持管理が行えるようになっている。ケーブル、主塔外面を点検するための作業車も整備されており、通行車両、航行船舶の安全を確保している。

また、架橋地点は飛来塩分による厳しい腐食環

境の海上であるため、寿命の長い塗装系を開発している。大三島橋、因島大橋、大鳴門橋と、耐用寿命の長い塗装系の改良を続けてきたが、明石海峡大橋では、より耐候性を有するふっ素樹脂塗料を採用している。

7 架橋効果

橋がつながるまでは、お盆、年末年始はフェリーを待つ車の長い列が見られ、風物詩となっていたが、橋が架かりその景色は変わった。

現在、新型コロナウイルス感染症の影響の小さい2019年度では1日約38千台の利用が、お盆時期には1日約66千台(2022年お盆期間中の日平均値)もの利用をいただいております、帰省の効率化に寄与している。

また、明石海峡大橋には、電話・電力線の他送水管も添架されており、淡路島島民の水不足の不安が解消されている。

現在では、明石海峡大橋を含む本州四国連絡高速道路は、約2.4兆円(2018年度)の経済効果があると試算されている。

8 200年橋梁を目指して

本四公団は、2005年に本州四国連絡高速道路株式会社が変わった。

明石海峡大橋を含む本州四国連絡橋は代替路線のない重要な幹線道路である。このため200年以上の長期にわたり利用していただくため、ライフサイクルコストの最小化を図る「アセットマネジメント」の考え方を導入した体系的かつ確実な維持管理に取り組んでおり、劣化が進む前に抑制する「予防保全」を基本としている。

また、「長大橋技術の高度化」を推進するため、赤外線サーモグラフィを使った鋼床版点検方法や省工程型塗料の開発、オープンイノベーションによる自動点検・補修技術開発コンソーシアムの設立などを進めており、高い技術力を有し国内外から評価される「長大橋技術企業」を目指す所存である。