

コンセプト設計に基づく長大橋の橋梁計画～みなと神戸に架かる橋～

阪神高速道路

正会員　〇杉山裕樹　正会員　佐藤彰紀　岡上政史

国土交通省近畿地方整備局浪速国道事務所

谷成二　上中一弘

大日本コンサルタント

正会員　平山博　正会員　池田大樹　正会員　松井哲平

1. はじめに

インフラが成熟してきた現代においては、個々の橋梁に求められる真の性能を検討し、それを実現していくことが重要と考え、大阪湾岸道路西伸部では、計画コンセプトを立案し、それに基づく橋梁計画を行っている。本稿では図-1に示す六甲アイランドとポートアイランドの間に位置する新港・灘浜航路部に架かる長大橋の橋梁形式選定の取組みを示す。

2. 計画コンセプト

神戸市に位置する本路線は、阪神淡路大震災の被災地故の取組み、ユネスコのデザイン都市である神戸のシンボルとなる神戸らしい elegant な橋を目指す、将来にわたって健全な状態を維持することが重要と考え¹⁾、図-1に示す計画コンセプトを立案した²⁾。

橋梁形式の検討では、計画コンセプトへの適合性と経済性を総合的に勘案することとし、詳細な検討を行う候補を抽出する橋梁形式比較案の選定と選定した案に対して、種々の課題に対する詳細な検討を行い、橋梁形式を確定する2段階の検討により行った。

3. 橋梁形式比較案の選定

新港航路部および灘浜航路部は航路幅の制約から最小支間長がそれぞれ600mおよび520mとなる。橋梁形式案は、それぞれの航路部に従来の斜張橋形式とした単独斜張橋、2つの航路を連続形式として跨ぐ形式である連続斜張橋および連続吊橋の3形式を軸に、支間割のバリエーションを加えた5案を立案した。抽出した各橋梁形式について、計画コンセプトへの適合性と経済性を整理した結果を表-1に示す。ここで、連続構造の長大橋では活荷重たわみが大きくなるが、この段階では既往の事例を参考に活荷重たわみに特に制限を設けない条件で概略試設計を行い、たわみの抑制策が必要となった場合の費用は考慮していない。表-1より、橋梁形式比較案には、「(c)連続斜張橋（等径間案）」および「(a)単独斜張橋」の2形式を選定した。連続斜張橋の方が単独斜張橋に比べ、景観性と維持管理性に優れるが、活荷重たわみが大きい等の技術的課題があるため、また、本橋に交差する摩耶断層の影響や各部材形式などより詳細な検討を加え、両形式の優劣を見極めることとした。

前述に示した課題に対する詳細な検討を概説し、その結果を踏まえた橋梁形式の選定結果を述べる。

(1) 摩耶断層の影響

本橋の架橋位置には摩耶断層が存在している。断層は深さ2,000mに渡り堆積した地層にとう曲として現出しており

4. 詳細検討を踏まえた橋梁形式の選定

前述に示した課題に対する詳細な検討を概説し、その結果を踏まえた橋梁形式の選定結果を述べる。

(1) 摩耶断層の影響

本橋の架橋位置には摩耶断層が存在している。断層は深さ2,000mに渡り堆積した地層にとう曲として現出しており



図-1 検討対象橋梁

<計画コンセプト>		
災害時においても、人流・物流ネットワーク機能を確保できる道路	「みなと神戸」にふさわしい世界に誇れる景観を創出する道路	将来にわたって健全な状態を維持し、時代の変化に対応できる道路
■設計の想定と異なる状況に対しても、致命的な状態になりにくいこと	■地域をつなぐ線としての連続性を意識し、「みなと神戸」にふさわしく、まちの魅力づくりに貢献できること	■百年、さらにその先においても、健全で快適な状態を維持しやすいこと
■非常時においても、地域の道路ネットワークとして速やかに機能すること	■百年先の土地利用の変化にも対応しうること	■将来の社会環境の変化にも対応が容易な構造とすること
■これまでの橋梁技術の知見の蓄積に、先進的な技術を組み合わせ、より効率的に性能を確保できる構造とすること	■社会環境や自然環境と調和すること	■維持管理しやすい構造であるとともに、先進的な技術の活用により、高度化及び効率化が図られた構造とすること

図-2 計画コンセプト

表-1 橋梁形式案の計画コンセプトへの適合性と経済性の比較

	側面図・構造概要	経済性(5スツ)		特長 (●○●は計画コンセプトの番号に対応)
		初期コスト	LOCC	
単独斜張橋	(a) 基本案 【立案趣旨】2つの航路幅より決定される最小支間を設定した2連の斜張橋	1.0	1.0	● これまで実績のある橋梁形式と環境であり、構造上の課題は少ない ○ 中間橋脚の存在により、景観や将来の発展性に劣る ● 弱点となる桁端部、伸縮装置、海上橋脚などが多く、維持管理面で相対的に劣る
	(b) 不等径間案 【立案趣旨】塔位置を基本案に同じとし不等径間で割付けた連続斜張橋	1.1	1.0	△ (a) 連続斜張橋(等径間)より特に優れる性能がない ● 側桁の上段ケーブルの移動活荷重による強力変動が非常に大きく課題がある
多径間連続斜張橋	(c) 等径間案 【立案趣旨】各主径間を均等割付けた連続斜張橋	1.0	1.0	●○● 単独斜張橋案と比較し、景観面で連続性やゲート性・ランドマーク性等に優れるとともに、連続化により桁端部も少なくでき、維持管理面でも有利となる ● 活荷重たわみが大きい
	(d) 5径間案 【立案趣旨】各主径間を均等割付けた連続吊橋	1.2	1.1	○ 軟弱地盤上に設置するアンカレイジの沈下リスクがある △ 陸上部のアンカレイジ設置に伴う土地収用による影響が大きい ●○● 単独斜張橋案と比較し、景観面で連続性やゲート性・ランドマーク性等に優れるとともに、連続化により桁端部も少なくでき、維持管理面でも有利となる ● 活荷重たわみが大きい
多径間連続吊橋	(e) 4径間案 【立案趣旨】(d)案の中央塔2基を1基とし4径間とした連続吊橋	1.4	1.2	

キーワード 多径間連続斜張橋, 橋梁計画, 計画コンセプト, 橋梁形式, 大阪湾岸道路西伸部

連絡先 〒650-0041 神戸市中央区新港町16-1 阪神高速道路㈱ 神戸建設部 TEL 078-331-9801

り、詳細調査の結果、単独斜張橋および連続斜張橋とも、図-3 に示すように主塔の一部がとう曲帯に位置することを確認したが、とう曲変位による上部構造への影響は、安全性に影響を与える程度ではないことを確認した。また、不測の事態に対するリスクを考慮すると、単独斜張橋は2橋の掛け違い部で桁衝突のリスクがあること、さらには国際航路間の狭隘部に位置するため、復旧が困難であることなどから連続斜張橋の方が構造冗長性がより高いと考えた。

(2) 連続斜張橋における変形特性の改善

本橋の比較案である連続斜張橋は、端橋脚および中間橋脚による拘束効果がないため、中央主塔の見かけの剛性が小さく、活荷重に代表される鉛直荷重が橋軸方向に偏って載荷されると図-4 に示すように斜張橋全体の変形が大きくなる³⁾。この変形特性の改善を図るためには、主塔の橋軸方向の剛性を高めることが効果的であることから、図-5 に示すような主塔形状を橋軸方向に A 型形状とした主塔を基本構造とした。

(3) 橋梁形式の選定

上述の課題に対する詳細な検討を踏まえた単独斜張橋および連続斜張橋の比較結果を表-2 に示す。連続斜張橋は活荷重に対する変形特性の改善を行った結果、経済性では、単独斜張橋に比べ、初期コストで 1.10、ライフサイクルコスト

(LCC) で 1.04 と若干大きい結果となった。一方で、連続斜張橋は単独斜張橋に比べ、計画コンセプトの 3 本柱のいずれにも適合性が高い結果となった。耐災害性に対しては、地震時に損傷リスクの高い桁端部が少なく、また、桁端部が陸上部に近接した箇所が存在し、緊急点検時のアクセス性や修復性に優れること、さらには、摩耶断層によるとう曲変形に対して構造冗長性を有していること、景観性に対しては、2 つの人工島を結ぶ一本の線として連続性を有し、世界に誇れる景観を創出できること、維持管理性に対しては、損傷リスクの高い桁端部が少ないこと、また、国際航路間の狭隘箇所に設置される海上橋脚がなく、点検・補修が容易であることなどを高く評価し、総合的な観点から、連続斜張橋を選定した。

5. まとめ

本稿では大阪湾岸道路西伸部の新港・灘浜航路部の長大橋を対象に計画コンセプトに基づく橋梁形式の選定に対する一連の検討結果を示した。今後は選定した世界最長の支間長を有する連続斜張橋に対して、耐震検討や耐風検討、景観検討などの詳細検討を行い、計画コンセプトにより適合した橋梁の実現に取り組んでいく予定である。

謝辞

本検討にあたっては、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会（委員長：横浜国立大学藤野陽三上席特別教授）の委員の方々に貴重なご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1) 金治, 小坂, 杉山, 篠原: 多径間連続長大橋の構造計画と技術展望, 橋梁と基礎, Vol.151, pp.51~54, 2017.8.
2) 横井, 杉山: 大阪湾岸道路西伸部の海上部長大橋の橋梁形式検討, 第 33 回日本道路会議, 2019.11.
3) 中村, 吉岡, 石井, 杉山, 岡上ほか: 連続径間数の違いによる斜張橋の構造特性に関する一考察, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.9.

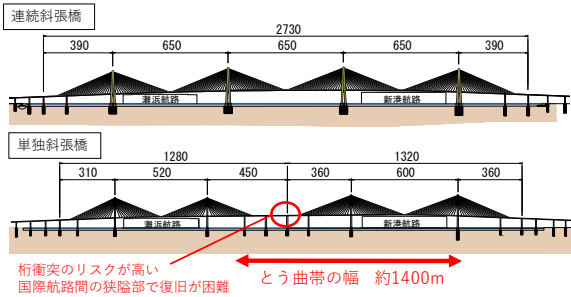


図-3 とう曲帯位置と橋梁の関係

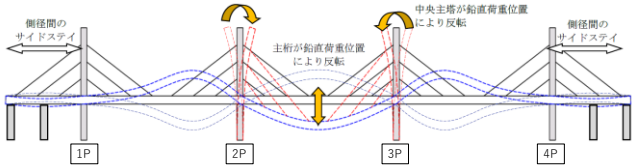
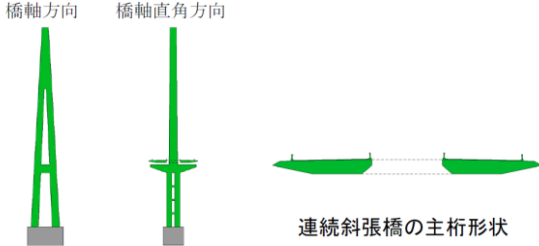


図-4 連続斜張橋の構造的特徴



連続斜張橋の主塔形状

図-5 連続斜張橋の主塔・主桁形式

表-2 橋梁形式比較案の計画コンセプトへの適合性と経済性の比較

計画案	計画コンセプトに係る各案の特徴		
	① 災害時にいとも、人・物・物・ネットワーク機能を確保できる道路	② 「みどりと緑」にふさわしい「世界に誇れる景観を創出する道路	③ 将来にわたって健全な状態を維持し、時代の変化に対応できる道路
【第1案】連続斜張橋 鋼桁 鋼製主塔（橋軸A型を基本） 鋼管矢張基礎 初期コスト 1.10 LCC 1.04 	【大地震】地震時に損傷リスクの高い桁端部が相対的に少ない 【地震変位】とう曲の不安定性に対するリスクは残るが、橋としての冗長性を有している。 【津波】海上橋脚が少ない分、津波船舶衝突のリスクは相対的に低い。 【緊急時の点検・修復性】地震時に損傷リスクの高い桁端部が少なく、陸上部に近い海上部に桁端部を有することから、緊急点検時にアクセスしやすく修復しやすい。 【強風】ねじれ面有振動数は単独斜張橋より小さいが、主桁が箱桁であるため、フラッターに対する耐風安全性を確保できる。	【都市景観】ゲート性、ランドマーク性、周辺景観との一体性がある。 【路線の連続性】等支間として連続するため、1本の線としての連続性が生まれる。 【先進性】国内外を問わず最大規模の橋梁形式であり、高い橋梁技術を認識できる。 【将来の発展性】将来の拠点からシンボル性を有する。 【社会・自然環境との調和】海上橋脚が少なく、土地改変への影響は小さい。	【腐食・塩害】弱点となる桁端部、伸縮装置、海上橋脚などが少ない。 【通行規制】伸縮装置が少ないことから、交通規制が最小限にできる。 【確実な点検】連続化により海上橋脚が少ないため、伸縮装置や支承等の点検部材が少ないため、点検しやすい。 【更新・伸縮等】更新が必要な伸縮装置、支承が少ない。 【周辺環境の変化】既存の航路空間を確保しつつ、中央支間部にも空間ができるため、将来の港湾計画変更の自由度は大きい。
【第2案】単独斜張橋 鋼桁 鋼製主塔（ダイヤ型を基本） 鋼管矢張基礎 初期コスト 1.00 LCC 1.00 	【地震変位】とう曲の不安定性に対するリスクがある。 【強風】ねじれ面有振動数が連続斜張橋より大きく、フラッター発現風速に対する余裕がある。		【使用性・変形・振動】単独斜張橋は、連続斜張橋に比べて、活荷重たわみが小さく、固有振動数が大きい。想定しない変形や振動が生じにくい。

長所 短所