

港湾における可動橋の構造計画

Structural Planning for the Movable bridge in port area

吉川貴志*・成瀬英治**

YOSHIKAWA Takashi and NARUSE Eiji

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部研究員

** 前(財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第二調査部長

The movable bridge keep low under-girder clearance enough for the passage of small ships and has movable system which allows the fairway section of the bridge to open/close(lift up/down) for large ships that rarely sail under it. The manual for the movable bridge will be published in this fall. It shows the technical informations, structural planning, equipment, management and maintenance necessary for planning movable bridges in port area.

Key Words : movable bridge, structural planning, equipment, management, maintenance

1. はじめに

臨港交通施設としての道路が航路や泊地を横断する場合には、トンネル、沈埋函、橋梁などの手段がある。このうち、橋梁の場合は、一般的に航行船舶の最大マスト高に合わせた桁下空間が必要となり、桁の位置が高くなるほど、アプローチ部を含めた橋梁区間が長くなるという難点がある。

可動橋は、小型船舶が航行するための最低限の桁下空間を常時確保し、大型船舶が航行する時だけ橋体を動かして船舶通過可能空間を提供する橋である(図-1)。そのため、固定橋に比べて桁高を低くでき、また、アプローチ部を短縮できることから、初期建設費を抑えることが可能となり、運用コストや維持補修コストを含めたいわゆるライフサイクルコストにおいても有利な構造となる可能性がある。

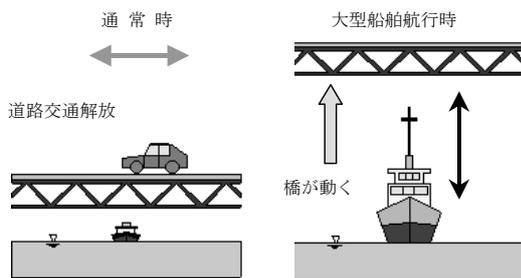


図-1 可動橋の特徴

このような特徴を有す可動橋は、欧州や米国を中心とする海外では古くから建設・運用されており、可動支間が100mを越す事例も数多く存在する。しかしながら、我が国では最長でも可動支間50m程度の小さい規模であり、また事例も少ないのが現実である。

このような状況を踏まえ、(財) 沿岸技術研究センターでは、平成9年度より自主研究として長大可動橋研究会

を設置し、国内外の事例調査^{1),2)}、技術検討および運用方法やその計画手順の検討を実施してきた。その集大成として「港湾における可動橋の構造計画マニュアル」を作成し発刊する運びとなった。

本マニュアルは、臨港交通施設用に可動橋を構造計画するにあたって必要な可動橋に関する基本的な情報、計画手順・方法、構造・設備、施工および運用・維持管理方法等を示したものであり、本稿ではこれらの概要を記述する。

2. マニュアルの適用範囲

「港湾における可動橋の構造計画マニュアル」(以降、可動橋マニュアル)の構成を図-2に示す。

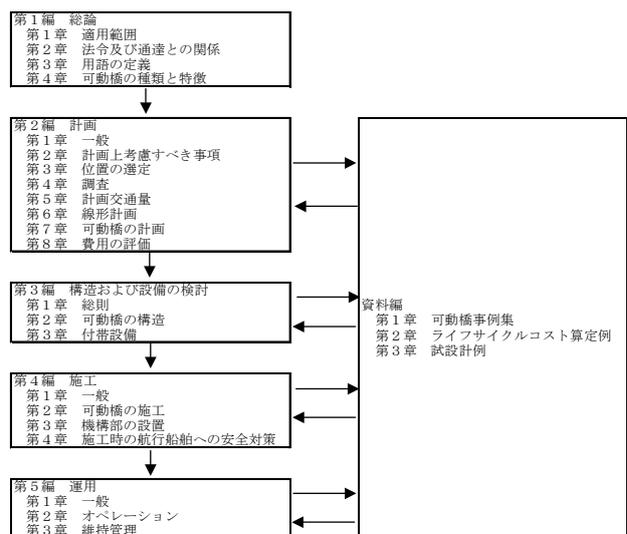


図-2 港湾における可動橋の構造計画マニュアルの構成

また、可動橋マニュアルでは、標準的な可動橋形式と

して適用性の高い跳開橋(写真-1)、昇開橋(写真-2)および旋回橋(写真-3)を対象としている。これら可動橋形式の主な特徴を表-1に示す。



写真-1 跳開橋 (New Barcelona Port 橋 (スペイン))



写真-2 昇開橋 (Benjamin Harrison 橋 (アメリカ))



写真-3 旋回橋 (George P. Coleman 橋 (アメリカ))

表-1 可動橋の種類と特徴

	事例より見た 適用支間長の目安	特 徴
跳開橋	30~110m	<ul style="list-style-type: none"> 小支間への適用事例が多く、高速に開閉可能。 可動機構が大規模となるため、大支間への適用にはやや難がある。 開橋状態では、航行船舶の高さ制限がない。
昇開橋	70~160m	<ul style="list-style-type: none"> 可動機構は単純なシステムであり実績も多い。 中~大支間橋梁への適用例が多いが、200mを越える長大支間には適用が難しい。 開橋時においても、昇降高さにより航路高制限がある。
旋回橋	70~340m	<ul style="list-style-type: none"> 重力に逆らわない可動形式であり、長大支間への適用に適している。 一点支持であり、橋体を安定させ旋回させる機構が必要。 開橋状態では、航行船舶の高さ制限がない。

3. 計画

可動橋の計画は、利用計画(道路交通)、港湾利用計画、利用形態、自然条件、施工条件、景観および経済性のほか、環境、開橋時の道路交通への影響を考慮して行う。

可動橋が固定橋に比べて、有利となる環境および条件は以下の場合が考えられる。

- ・ 桁下クリアランスを小さくすることによりライフサイクルコストを低減できる場合
- ・ アプローチ部に空間的な制約がある場合
- ・ 埠頭間の連絡道路など地域交通に対応する橋梁が求められる場合
- ・ 将来において大型船舶の航行の減少もしくは廃止

が計画される場合

- ・ 景観や観光的価値を評価する場合

3.1 位置の選定

位置の選定にあたっては、臨港交通施設の計画、付近の土地利用計画、航路計画、施工性、経済性、気象、海象、地盤状況等の自然条件、周辺の環境に与える影響および近隣への影響等を考慮する。

特に可動橋の特徴から、以下の項目等について十分検討を行う。

- ・ 開橋時における車の待機スペースが確保できること
- ・ 開橋時における迂回路が確保できること
- ・ 閉橋時における船舶泊地が確保できること
- ・ 旋回橋の場合、旋回スペースが確保できること

3.2 調査

可動橋の適切な計画、設計、施工および周辺の環境保全を目的として調査を実施する。特に可動橋で必要となる調査項目を以下に示す。

(1) 社会条件調査

1) 立地条件調査

水路条件/航行船舶/交通関係/用地およびその他の利権/電力

2) 支障物件調査

3) 地域防災計画調査

(2) 自然条件調査

気温/風向・風速/降雪/雷/地震

(3) 環境保全のための調査

騒音・振動/景観

3.3 計画交通量

可動橋の形式、桁下クリアランス、開閉頻度を設定するには、道路および航路の計画交通量を適切に予測することが重要である。

道路の計画交通量の算定にあたっては、将来的な貨物取扱量、土地利用、周辺道路との接続等を考慮する。

また、航行船舶の種類、航行頻度は、当該港湾の現状での利用状況調査と将来的な貨物取扱量をもとに推計することができる。

3.4 可動橋の計画

(1) 可動橋の構成

可動橋の構成を表-2に示す。構造部や機構部などの形式や構造は、可動支間の大きさ、許容される道路交通の遮断時間、施工性、維持管理性、経済性などを考慮して

決定する。

表-2 可動橋の構成

可動橋部	構造部	上部工	主構造、床版、タワー
		下部工	橋台、橋脚
		基礎工	
	機構部	駆動系	駆動系 駆動装置 (電動モータ、油圧シリンダ)、 カウンターウェイト、回転軸
		安全装置系	ロック、センタリングデバイス
		制御系	機構部・付帯設備を制御する装置・システム、 モニタリングシステム
		付帯設備	遮断機、信号機、警報装置
	その他	道路交通安全設備	航路灯、信号機、防護工
		航行船舶安全設備	
		電力設備 計測設備 操作室 保安設備	
アプローチ部			

(2) 可動橋部の計画

可動橋部の計画においては、現状および将来の航行船舶の種類、航行頻度を考慮して適切な桁下クリアランス、支間長および可動橋形式を定める。また、他形式とした場合の計画も行い、アプローチ部の工費やライフサイクルコストを含めた両者の経済性を比較することが重要である。基本的な計画フローを図-3に示す。

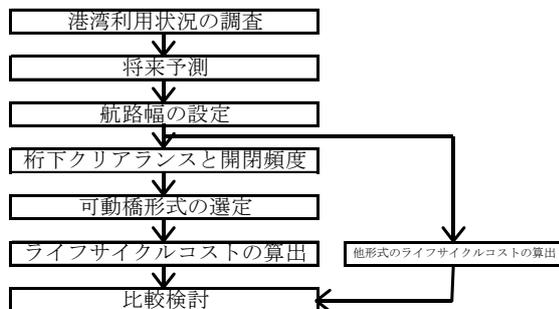


図-3 計画フロー

港湾利用状況の調査：当該港湾の現状での利用状況を把握するために、トン階級別入港船舶隻数、係留施設別利用状況、入港船舶諸元などのデータを入力し整理する。可動橋の開閉頻度が極端に多くならないために、閉橋時の桁下クリアランスを通常船型(=最多入出港船型)のmast高以上にするのがよい。

将来予測：桁下クリアランスを設定するためには、当該港湾の現状のトン階級別入港船舶隻数だけでなく、将来的な利用状況を予測することが重要である。

航路幅の設定：航路幅は、航行する船舶の種類、頻度、航路の長さ、および船舶の行き会う可能性の有無などを考慮し、「港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成11年4月)」により設定することができるが、関係機関と十分協議の上決定する。

桁下クリアランスと開閉頻度：桁下クリアランスは、現状および将来における航行船舶の頻度とmast高、道路の交通量、迂回路の有無などを考慮して定める。桁下ク

リアランスを小さくしすぎると、開閉頻度が多くなり、道路交通に与える影響や運転費が大きくなるので注意する。

一般的に、桁下クリアランスは、略最高高潮面(N.H.H.W.L)での通過船舶の最大mast高(空船時の水面から船舶最上部まで)に船舶のトリム、波高、操船者の心理的影響などを考慮して2m以上余裕高を設ける場合が多い。

ライフサイクルコストの算出：ライフサイクルコストは、初期建設費、一般維持管理費、運用費を足し合わせたものであり、それらの算出期間は設計供用期間とすることを原則とする。また、数種類の桁下クリアランスについて算出、比較検討することが望ましい。各費用については、3.5 費用の評価に記述する。

比較検討：可動橋と他形式のライフサイクルコストを比較し、経済性の検証を行うとともに、陸上交通遮断による経済的影響、船舶の安全性、景観、環境、地域の合意等を含めて総合的に評価することが望ましい。

(3) 駆動方式

可動橋の駆動方式は、可動橋形式の特徴、支間長、開閉時の駆動力、開橋・閉橋時間、配置スペース等の条件を考慮して適切な駆動方式を選定する。代表的な駆動方式の特徴を表-3に示す。

表-3 各駆動形式の特徴

駆動方式	機 械 式 (電動式、エンジン式)	油 圧 式
機 構	・原動機の回転トルクを歯車や減速機を介して機械的に伝達し、ワイヤロープ、ラック・ピニオンギヤを用いて駆動する機構である。	・原動機の回転トルクを作動油を介して油圧力に変換し、さらにアクチュエータを用いて回転運動、往復運動に変換して駆動する機構である。
駆動性能	・大きな開閉時の駆動力に適用する場合、必要トルクを確保するためにギヤ比が大きくなり、設備が大型化する傾向にある。	・高速度運転に対応できる。 ・大きな開閉時の駆動力に対しても対応可能である。
速度制御	・原動機の高速回転を機械的なギヤ比の組合せで減速するため、一定の速度制御となる。	・油圧回路の流量を調節することによりフレキシブルに速度を制御することができる。 ・速度制御が容易である。
配 置	・設備が大きくなるため、広い設置スペースが必要。 ・配置スペースに制約が生じ、システム的に限界がある。	・油圧発生源である油圧ユニットと駆動装置を別置きにできるため、機械式に比べコンパクトとなり、配置の自由度が高い。

(4) 開閉計画

可動橋の開閉タイミングは、時刻表などによりスケジュールを定めて開閉する場合や、船舶からの要求により必要に応じて開閉する場合など、開閉頻度や交通量などを考慮して計画する。また、船舶からの要求により開閉する場合は、船舶からの開橋要求手続き、開橋の手順、開閉に要する時間などについても計画する。

(5) 景観

可動橋は橋体が開閉するという特徴により、景観への

影響が大きい。可動橋の景観設計にあたっては、周辺環境との調査、可動橋のもつ社会的・地域的意義を考慮する。閉橋時はもとより、開橋時の景観への配慮も必要である。

3.5 費用の評価

可動橋の費用計画においては、初期建設費の他、将来的に可動橋を運用するための費用を適切に評価する。また、船舶通過時の道路交通遮断による経済的影響についても評価しておくことが望ましい。図-4に可動橋の費用計画における費用の構成を示す。

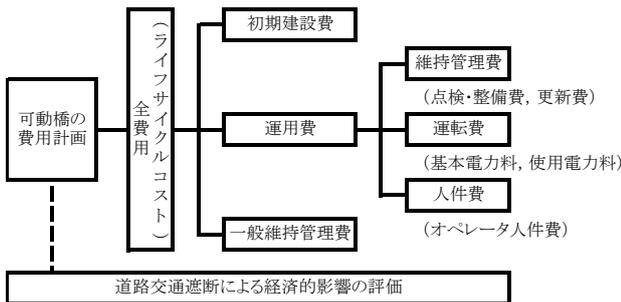


図-4 可動橋の費用計画における費用の構成

一般維持管理費とは、橋体の塗替え塗装等の一般橋梁と同じ維持管理費である。

運用費は、機械設備・電気設備の点検・整備・更新などに必要となる維持管理費、可動橋の機構部に必要な電力・燃料に要する運転費およびオペレータに対する人件費から構成される。

4. 構造および設備の検討

可動橋の構造および設備の設計においては、自然条件、社会条件、施工性、経済性、環境適合性などを考慮した個別の設計目的に応じて、所定の性能を実現し、より合理的な構造体の構築をはかるよう計画することが必要である。

また、可動橋の使用状態には、構造的には一般の固定橋と全く同様と見なせる閉橋時と、構造系や荷重の作用位置が大きく変化する開橋時があり、それぞれの構造系に対応した構造および設備の検討が必要である。表-4に開橋時の風荷重作用例を示す。

4.1 可動橋の要求性能

可動橋の設計にあたり要求される性能は以下のとおりである。

- ・ 水上および陸上交通に対する機能と安全性の確保
- ・ 開閉時間の短縮による陸上交通の円滑化
- ・ 開橋・閉橋動作の信頼性

- ・ 操作性
- ・ 耐久性および維持管理性
- ・ 景観性

表-4 開橋時の風荷重作用例

	橋軸方向	橋軸直角方向
跳開橋		
昇開橋		
旋回橋		

※AASSTOでは橋面に垂直に荷重を作用させる

※タワー、カウンターウェイトに対する風作用を考慮する

※作用位置によっては、風荷重強度に高さ補正を考慮する

※旋回動作中に対しては、回転に伴う空気抵抗による不均等を考慮する

4.2 可動橋の構造

(1) 駆動系

可動橋の駆動系は、計画時間内に橋体を開閉できる十分な能力を有するとともに、風や地震に対しても安全性を確保した構造、容量とする。また駆動装置には主システムが故障した場合にも応急的に橋体を開閉できるバックアップシステムを持たせる。

(2) 安全装置系

可動橋の閉橋状態を固定するためのロックを設置する。また、閉橋動作時の位置調整装置として、橋体を所定の位置に導く装置（センタリングデバイス）や、開橋および閉橋動作を停止するときに緩衝機能を有するバッファを設置するのがよい。写真-4に昇開橋の安全装置の例を示す。

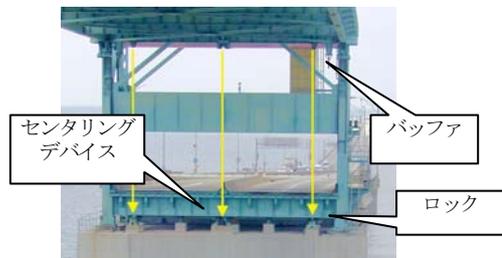


写真-4 昇開橋の安全装置の例

(3) 制御系

可動橋の橋体を円滑また確実に開閉させるため、橋体

の位置・姿勢，安全装置系および交通制御する付帯設備をモニタリングするとともに，操作室（写真-5）の操作盤で集中制御できるような制御システムを設置するのがよい。



写真-5 操作室の例

4.3 付帯設備他

(1) 道路交通安全設備・航行船舶安全設備

道路交通を円滑に制御するため，交通標識や案内標識あるいは情報表示板を適切に配置する。また，道路交通安全を確保するために，可動橋の直前には原則として，信号機，遮断機，バリア，警報装置などを配置する（図-5）。

可動橋の橋脚および橋桁部分には，原則として航行船舶の安全を確保するために，航行灯や航路標識などの航路制御システムを設置する。

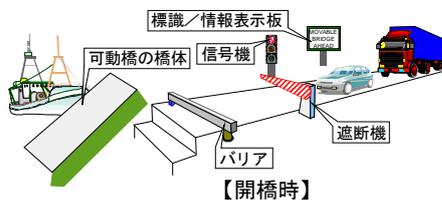


図-5 開橋時の車両防護システムの設置例

(2) 電力設備

可動橋では，電力供給のための受変電設備を設置する。また，必要に応じ非常用電源として自家発電設備，無停電設備を設置する。

(3) 操作室

可動橋の日常の円滑な運用をはかるとともに異常時には迅速に適切な対応ができるよう，可動橋の監視，システムの集中管理・制御，外部との連絡，操作員の生活環境などの機能をもった操作室を設置する。

5. 運用

可動橋では，水上陸上交通にそれぞれ安全で円滑な通行を供するために，開閉操作であるオペレーションの形

態や方法について十分に配慮する必要がある。さらに塗装の塗替えなど固定橋でも行われている一般的な維持管理に加え，可動橋に特有な機構部や付帯設備などといった部位に対する維持管理も必要である。

5.1 オペレーション

開閉頻度，開閉時間などは，陸上交通と水上交通の兼ね合いにより決定し，利用者にはその内容を周知しておく。可動橋の開閉操作は，所定の教育と訓練を受けたオペレータが実施し，その業務は開閉操作を主体とするが，簡単な日常点検も実施できるようにしておくことが望ましい。また，操作マニュアルを整備し，さらに開閉動作を行ったときの状況や日常点検結果について記録することが望ましい。

異常時（構造や設備の故障などにより開閉動作が制約される場合や，風速などの観測値があらかじめ設定した値を超過するために意図的に開閉動作を制約する場合）においては，開橋・閉橋どちらの固定状態とするかは，関係者間であらかじめ協議しておくことが望ましい。

5.2 維持管理

可動橋の構造部や機構部などの健全性を確保する目的で，日常点検および定期点検を行う。可動橋では日常点検をオペレータが行うことが可能であり，各点検の実施例を表-5に示す。点検する部材や装置および手順，方法について点検マニュアルを作成する。

表-5 点検の実施例

点検種別	実施時期	実施者
日常点検	日常運転前	オペレータ
定期点検	月毎	点検技術者
	年毎（隔年毎）	専門技術者
総合点検	10～15年毎	専門技術者

6. 謝辞

可動橋マニュアル発刊においては，北海道工業大学白石悟教授（当時，（独）港湾空港技術研究所地盤・構造部部長）を委員長とする可動橋技術検討委員会の委員の方々にご審議，ご指導を頂きました。また，長大可動橋研究会の諸先輩方による長年の調査研究の成果によりマニュアルを編集することができました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター：長大可動橋に関する海外報告書，平成12年7月
- 2) (財) 沿岸開発技術研究センター：長大可動橋に関する海外報告書，平成14年10月

