

フローティングブリッジの開発について

Development of Floating Bridge

吉本靖俊*・今井泰男*・堀田 治**
Yasutoshi.Yoshimoto,Yasuo.Imai,Osamu.Horita
南兼一郎***・宮井真一郎****
Kenichiro.Minami,Shinichiro.Miyai

In recent years coastal development projects including man-made islands are carried out in Japan. In these projects floating bridges as the access road is considered to be more economically constructed than usual types of bridge under the severe conditions such as deep sea area and soft seabed. Therefore Ministry of Transport makes researches on applicability of floating bridges from technical and economical point of view.

According to the results of case studies, floating bridges are applicable at the relatively calm sea area like an enclosed bay where the depth from water surface to support layer is larger than 15m.

Keyword: floating structure, bridge, coastal development

1. はじめに

近年、沖合人工島にみられるように港湾整備が沖合化していることから、そのアクセスルート等の臨港交通施設についても大水深海域や、軟弱地盤等の苛酷な施工条件のもとでの架橋が要請されている。しかし、このような条件下では、既存の構造形式のもの（橋梁、沈埋トンネル）を採用するとかなり割高となり、施工期間も長くなることから、より経済的かつ施工期間の短縮が図れるような構造物の開発が望まれている。

フローティングブリッジはアメリカやトルコで本格的な道路橋として供用されており、その利点として施工期間の短縮、大水深、軟弱地盤等の条件下での高い経済性等があげられるため、国内の水域への適用が期待されている。しかし、海外事例に見られるフローティングブリッジの波浪、風等の設計条件はいずれも比較的穏やかなものであるが、わが国においては台風の影響もあり、かなり苛酷な条件となることが予想される。これ以外にもフローティングブリッジを設置する場合には、津波や波浪、干満の影響などこれまでの橋梁では大きな要因とされなかった海象条件が加わることとなる。このため、日本国内の海域に適用する際には新たに検討すべき課題が数多くある。

そこで、運輸省ではフローティングブリッジの国内への適用可能性及び実現化にあたっての課題を明らかにすることを目的として調査を実施した。以下、その概要を紹介する。

2. 事例調査

海外事例と国内の類似事例を対象として設計条件、構造諸元、特徴などについて調査を行い、フローティングブリッジの特性を把握した。海外事例の諸元及び設計の主な考え方をそれぞれ表-1、2に示す。また、国内の類似施設の諸元を表-3に示す。表-1 フローティングブリッジの海外事例

	第一ワシントン湖浮橋	第二ワシントン湖浮橋	第三ワシントン湖浮橋	フード・キャナル浮橋	トルコ・ガラタ橋
開通年次	1940	1983	1989	1961	1912
長さ(m)	2018	2310	1771	1988	457
幅(m)	18	18	32	9	25
最大水深(m)	65	61	65	104	41
水位(潮差)(m)	+0.3~-0.9	+0.3~-0.9	+0.3~-0.9	+3.7~-1.4	+0.50~-0.14
最大波高(m)	2.4	2.7	2.4	3.4	—
最大風速(m/s)	28	38	28	37	—
ポンツーン数	25	33	18	23	50
最大ポンツーンの全長(m)	114	110	108	110	38.7
ポンツーン材質	RC	PC	PC	PC	鋼製
備 考	・直載式 ・1990年一部水没	・直載式 ・初めてプレストレスを採用	・直載式	・上跨式 ・1979年被災、1982年再建	・上跨式 ・ポンツーン上は食堂等に利用

* 正会員 運輸省港湾局技術課（100 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3）

** 正会員 運輸省第三港湾建設局企画課（前運輸省港湾局技術課）

*** 正会員 関西国際空港（株）建設事務所（前運輸省港湾技術研究所）

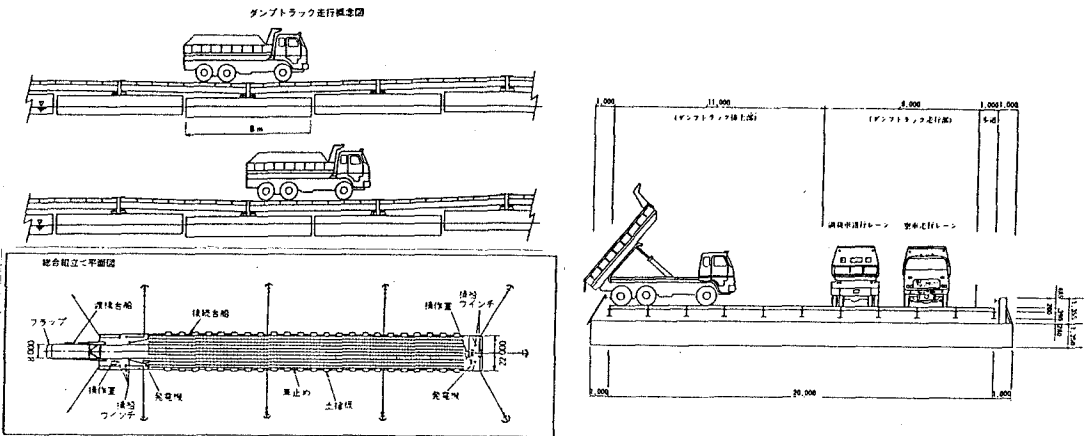
**** 正会員 運輸省港湾技術研究所計画・設計基準部

表－2 海外事例における設計の主な考え方

		構 造	備 考
フローティングブリッジ本体 (浮体部)	連結構造 (一体構造)	・コンクリート製（PCまたはRC）の各ポンツーンはドックで製作後架設現場に曳航され、互いにボルト接合し、各ポンツーン間の空隙にはグラウトが充填される。更に、PCストランドによって一体化されている。	・連結されたポンツーンは1本の梁として働く。構造的には船に近いものであると考えられる。 ・波と風には対処が容易。ポンツーン全体で作用力に対処する構造のほうが適している。
	単体構造	・ポンツーンは互いに独立している。 ・上部構造はポンツーン上の支柱によって支持される。 ・この構造の場合、上部構造に対しては外力が複雑に作用する。 ・橋の上部構造は各ポンツーンごとにピンジョイントされ、そこに働く曲げに対処する。	・ねじり、水平移動に伴う曲げなどはジョイント部への負担になっていると思われる。 ・波と風が弱い地域に適していると思われる。
アンカー方法	埋設形式	・埋設形式又は重力式のアンカーとケーブルによって定着される。	・風と波によって起こる水平方向、鉛直方向およびねじれの荷重に対して設計 ・チェーンの場合は中間シンカー等を用いることにより、移動量に対応が出来る。ワイヤーは緊張でき、チェーンはカタナリーをとる。
	船舶形式	・船舶用のものと同じ形式のドラッグアンカーとアンカーチェーンによって定着される。	
設計の考え方	基礎的な考え方	・鉛直方向の力およびねじりに対しては弾性基礎上の連続梁と考え、水平力に対してはアンカーケーブルによる弾性支持の連続桁と考える。	・風及び波圧荷重は架橋地点での詳しい現地調査が必要 ・経済性、安全性を考慮して設計風速を40m/s、これによる波高を1.8m、波長を21.9m、周期を4.24sとした。（第一ワシントン湖橋） ・過去の実績の上に100年再現期待値の風を29.5m/sとし、それによって起こる波は有義波高を0.93mとした。また、毎年再現期待値の風と波圧は先の100年再現期待値の荷重の30%とした。風と波によって起こる水平方向、鉛直方向およびねじれの荷重に対して設計された。（第三ワシントン湖橋）
	設計条件 (荷重条件)	・死荷重、水圧、活荷重、衝撃、毎年再現期待値の風荷重と波圧、100年再現期待値の風荷重と波圧、活荷重に対する風、制動荷重、クレーン、乾燥収縮、温度変化、水位の変動、衝突およびそれによる浸水の荷重の組み合わせに対して設計する。	

表－3 国内の類似事例

地 名	羽 田 沖	名護屋漁港	給・大島港	塩 釜 港	大島漁港
所 在 地	東 京 都	佐 賀 県	山 口 県	宮 城 県	岡 山 県
型 式	浮 棧 橋	浮岸壁式	浮岸壁式	浮体式係船岸	突 堤 式
浮 体 材 質	鋼	PC+鋼	PC+鋼	PC+鋼	PC+鋼
浮体寸法 L×B×D (m)	22× 8×1.25	110 ×15× 3	36.5× 6× 2× 2基	51.5× 9×2.5	20× 3× 2
基 数	25基	1基	28× 6× 2× 1基	4基	2基並列連結



図－1 羽田沖埋立

海外の5事例はいずれも道路橋として使用されているが、国内類似施設の利用形態は以下の通りである。

羽田沖：埋立工事においてダンプトラックが浮棧橋を走行し、土砂投入を行っている（図－1）。

名護屋漁港：漁港岸壁を浮体式係船岸とし、その上部を2車線の道路として利用する計画。

給・大島港：漁港岸壁を浮体式係船岸とし、その上部を自動車が通行できる構造としている。

塩釜港：観光船用の浮棧橋が4バース連続しており、歩行者が通行できる構造としている。

大島漁港：突堤式の浮体式係船岸の中央部をイクスとして利用している。

以上より、フローティングブリッジの特徴を他の工法と比較すると表－4に示すような事項があげられる。

表－４ 他の工法との比較

	フローティングブリッジ	橋 梁	沈 埋 ト ン ネ ル
利 点	• 水深が大きくなっても工事費の上昇は少ない。 • 軟弱地盤の影響が少ない。 • 現地における施工期間が短い。 • 移設が容易である。 • 干満差に対応できるため小型船係船岸との併用が出来る。 • 親水性があり、多目的利用が可能。 • 取付部の規模を小さくできる。 • 内部空間を利用できる。 • 吊橋や斜張橋の場合より航空機の制限表面にかかりにくい。 • 周辺海域の静穏化が期待できる場合がある。 • 浮体の大きさによっては地震の影響が小さくなる。	• 波浪や潮流の影響をほとんど受けない。 • クリアランスをとれば航路との交叉が可能	• 波浪や潮流、風の影響をほとんど受けない。 • 航路との交叉が可能
欠 点	• 波浪や潮流、潮位、風の影響を受ける。 • 津波の可能性のあるところでは設置が難しい。 • 船舶が航行する場合は、それなりの対応が必要である。	• 軟弱地盤の場合、下部工の工事費がかさむ。 • 現在のところ橋脚の最大水深は岩盤で明石海峡の60m、軟弱地盤でリスボンの4月25日橋の27mである。	• 照明、換気等の維持費がかさむ。 • 取付部の規模が大きくなり、工事費がかさむ。 • 最大水深は現在のところバート（サンフランシスコ～オークランド間の地下鉄）の28mである。

国内へ適用する際の社会的、地理的背景を勘案するとフローティングブリッジの利用形態は次のものが考えられる。

- 島へのアクセス（海上空港への補助アクセス等）
- 湾内の横断道路（軟弱地盤の影響が少ない）
- 埠頭間道路（現地における施工期間が短く移設が容易なため、イベント等の利用が考えられる。）
- マリーナ、リゾート施設への連絡道路（親水性があり、多目的利用が可能である）
- 工事用などの仮設道路（移設が容易）

３．ケーススタディ

フローティングブリッジの国内への適用可能性を技術面、経済面から検討するためにケーススタディを実施した。その際、フローティングブリッジの特性をふまえ表－５に示す３ケースを設定し、さらに設計条件を３ケースとも風速55m/s 及び潮流0.5kt として構造形式を検討した。

表－５ ケースの概要

	CASE A	CASE B	CASE C
海域の分類	開放性湾域	閉鎖性湾域	閉鎖性湾域
波 浪	H1/3=2.5m, T=6.0s	H1/3=2.5m, T=6.0s	H1/3=1.0m, T=10.0s
最大水深	140m	16m	13m
地 盤	岩又は軽石	軟弱（層厚10m）	軟弱（層厚10m）
延 長	2.6km（2.0km）	3.3km（3.0km）	500m（300m）
用 途	島へのアクセス横断道路	空港へのアクセス及び横断道路	マリーナ・リゾート施設への連絡道路

延長の（ ）内は浮体部

CASE A

- 道路部 4車線、直載式
- 浮体部 PC製、幅20m 高さ10m 長さ500m（長さ100mを5函剛結）、4ブロック（2,000m）
- 橋梁部 水深30m部 200m、水深10m部 250m（陸域150mを含む）の桁橋2基（兩岸）
- 係留部 チェーン係留：長さ600m、アンカーブロック：800tブロック、20個×4 ブロック＝80個

CASE B

- 道路部 4車線、上路式
- 浮体部 PC製、幅20m 高さ 8m 長さ500m（長さ100mを5函剛結）、6ブロック（3,000m）

- ・橋梁部 水深10m 軟弱地盤厚10m部 150m, 水深 0m (陸域) 軟弱地盤厚10m部 150mの桁橋2基 (両岸)
- ・係留部 チェーン係留:長さ100m、アンカーブロック:600tブロック, 20個×6 ブロック=120 個

CASE C

- ・道路部 2車線、直載式
- ・浮体部 PC製、幅20m 高さ10m 長さ300m(長さ100mを3 函剛結)
- ・橋梁部 水深10m 軟弱地盤厚10m部 100m, 水深 0m (陸域) 軟弱地盤厚10m部 100mの桁橋2基 (両岸)
- ・係留部 チェーン係留:長さ100m、アンカーブロック:200tブロック 12個

4. 他工法との比較

4. 1 技術面での比較検討

各ケースについてフローティングブリッジと他の工法を比較したものが表－6である。これより、

CASE A：大水深で延長も長く、他工法は対象となりにくい。したがって、技術面からフローティングブリッジが有利である。

CASE B：地盤条件、通航対象船舶の大きさが明らかでないが、フローティングブリッジおよび橋梁が対象として考えられる。自然条件や施工条件によってはフローティングブリッジが有利になる。

CASE C：橋梁が有利と考えられるが、親水性等の他機能を付加することにより、フローティングブリッジにも有利性が出てくる。

4. 2 経済性の比較検討

フローティングブリッジ、橋梁、沈埋トンネルの概算工費を比較したものを各構造の特徴とともに表－7に示す。

水深、地盤条件等が明らかでなく、仮定に基づいて算出したものであるため、概算工費については相当の幅をもっているものと考えて頂きたい。

CASE A：フローティングブリッジ以外は考えにくい。

CASE B：経済性ではフローティングブリッジが有利と考えられる。

CASE C：フローティングブリッジを採択するには付加機能が必要。

表－6 他工法との比較

ケース	構造型式	構造の適性
CASE A	フローティングブリッジ	大水深で延長も長く適する。
	橋 梁	構造的には水深が急に深くなり、支間長2,000m程度となり経済的に成り立たない。
	沈埋トンネル	大水深のため、構造的に現在の技術では不可能。
CASE B	フローティングブリッジ	大水深ではないが、軟弱地盤であり、延長も長く適している。
	橋 梁	大型船が通行しないためクリアランスをとる必要がなく、地盤条件によっては適する。
	沈埋トンネル	延長が長く、大型船の通航がない場合にはメリットが少ない。
CASE C	フローティングブリッジ	延長が短いため航路等を考えると特に有利とはいえない。
	橋 梁	延長が短いため地盤条件によっては有利である。
	沈埋トンネル	大型船の通航を考えないため不利である。

表－7 ケーススタディ概要 単位：億円

ケース	フローティングブリッジ	橋 梁	沈埋トンネル
CASE A	300	成立せず	成立せず
CASE B	330 (直載型で算定)	770	1,600
CASE C	①45 ②90	①50	①190
一般的特徴	大水深軟弱地盤に適する。	良好な地盤に適する。	大型船の通航が必要な場所に適する。

注：水深、地盤条件等を仮定して算出した。
①幅 10m
②幅 20m

5. 国内への適用について

国内への適用については、大型浮体構造物に関する動揺シミュレーション等の調査結果より推定した（図-2）。それによると浮体形状の長さ500m、幅20m、吃水5mの大型矩形断面に対して、設計風速を55m/sとした場合、例えば波高 $H1/3 = 1.0\text{m}$ かつ周期 $T = 6\text{s}$ では左右揺れ（片振幅）も0.5mと少なく技術的に適用が可能とみられ、波高 $H1/3 = 2.5\text{m}$ かつ周期 $T = 8\text{s}$ では左右揺れが2m程度と大きくなるため浮体形状を風に有利な形状にしたり、移動の少ない係留方法を用いることにより適用が可能となるものとみられる。

また、フローティングブリッジの経済性については、大水深又は軟弱地盤のように水面から支持地盤までの深さが15m以上となると従来の橋梁より有利となる可能性が高いことが判明した（図-3、尚、グラフ中で工費の比率とはフローティングブリッジの水深10mでの単位長さ当たりの工費を1としたときの各構造物の工費比率である）。

従って、フローティングブリッジは国内の比較的静穏な海域での適用が可能で、建設地点が大水深、軟弱地盤の場所であれば、経済的な構造としての適性を有するものと判断される。

フローティングブリッジの国内での要請が高いと考えられる8つの利用形態について適性の評価を行うと表-8の通りである。

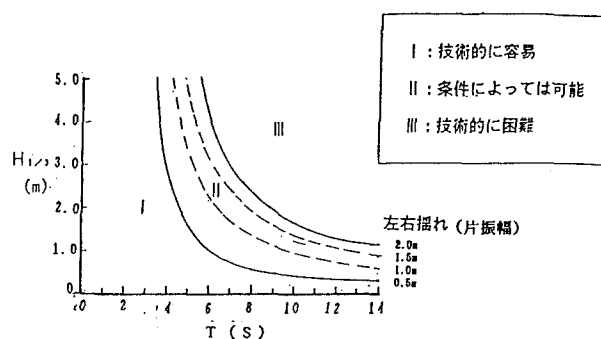


図-2 波高と周期から見た
フローティングブリッジ建設の可能性

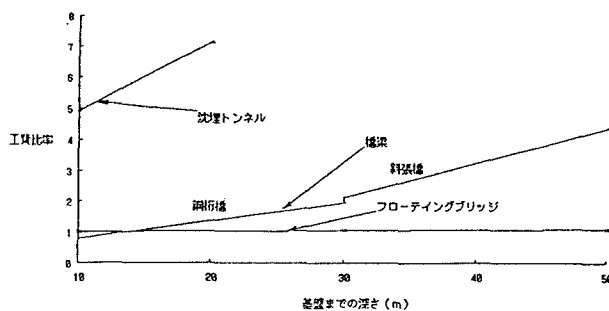


図-3 構造別工費比較図

表-8 フローティングブリッジの適用性について

番号	設置場所の 利用形態	浮体の規模		基礎地盤		風		波 浪		適性条件に 対する評価	備 考
		長さ	幅	水深	地 盤	設計条件	利用条件	設計条件	利用条件		
①	島へのアクセス (外 洋)	3Km	4車線	20m	砂	55m/s	15m/s	$H1/3 = 4\text{m}$ $T = 14\text{s}$	$H1/3 = 2\text{m}$ $T = 14\text{s}$	Ⅲ	風、及び波浪の条件 から技術的に困難
②	島へのアクセス (内 湾)	"	"	"	軟 弱	"	"	$H1/3 = 2.5\text{m}$ $T = 8\text{s}$	$H1/3 = 1\text{m}$ $T = 8\text{s}$	Ⅱ	浮体形状を風に有利 な構造にしたり、中 間シンカーを用いて 左右揺れを少なくす ることにより可能
③	横 断 道 路 (内 湾)	"	"	"	"	"	"	"	"	Ⅱ	
④	リゾート施設への 連絡道路	"	2車線	"	"	35m/s	"	$H1/3 = 1\text{m}$ $T = 6\text{s}$	$H1/3 = 0.5\text{m}$ $T = 6\text{s}$	Ⅰ	技術的に容易
⑤	埠頭間道路(車道) (港 内)	300m	2車線	10m	"	"	"	"	"	Ⅰ	"
⑥	埠頭間道路(人道) (港 内)	"	4m	"	"	"	"	"	"	Ⅰ	"
⑦	埠頭間のコンベア等 (港 内)	"	2m	"	"	"	"	"	"	Ⅰ	"
⑧	工事用等の仮設道路 (港 内)	"	2車線	"	"	"	"	"	"	Ⅰ	"

Ⅰ：技術的に容易

Ⅱ：条件によっては可能

Ⅲ：技術的に困難

6. 今後の課題

本調査の結果等から考察して、フローティングブリッジを国内へ適用するに当り、新たな臨港交通施設として実現化する際の技術的課題としては、以下の事項が考えられる。

a) 技術的課題

- 気象海象条件の把握
- 動揺に対する対応（台風来襲時等）
- 施工方法の開発、技術の向上（据付、ジョイント部の接合方法等）
- 保守・管理技術の向上（アンカーチェーンの防蝕方法等）

b) 社会的課題

- 航行船舶への対処（開閉方式、橋梁等との複合型式等）
- 多目的利用のための積極的アプローチ
親水性、レジャー、リゾート施設（水上レストラン、展望台等の観光施設）への利用で付加価値を高める

7. おわりに

本報においては、わが国の沿岸域におけるアクセスルートとしてのフローティングブリッジの適用について技術面、経済面から検討し、その可能性が確認された。

しかしながら実用化に際しては、現地の条件に対応した詳細な技術的検討が必要となるほか、荒天時に動揺が生ずる橋を実用に供するということについて社会的な理解を得ることも必要になると考えられる。

そのためにも、フローティングブリッジならではの特性を生かした利用方策を検討するとともに、まずは工用仮設橋やレクリエーション用遊歩道等、技術的に容易かつ経済的に有利と考えられるものから実績を積むことが望ましいと考えられる。引き続き検討していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) フローティングブリッジに関する調査報告、日本大学理工学研究所速報 第5号、1977.12
- 2) 古賀尚宏他：フッドキャナル浮橋の事故調査（抄訳）、第1部、第2部、プレストレストコンクリート、1980.11、p.31～48.
- 3) 梅沢宣雄他：フローティングブリッジの歴史と現状、橋梁と基礎、1987.7、p21～26.
- 4) 新しい国土の創造－沖合人工島に関する調査報告書（V）、昭和60年6月、p228～231.
- 5) 吉本靖俊、南兼一郎：フローティングブリッジの開発について、海洋開発論文集 vol.6、1990年6月、p343～346.