

## 第12章 現代浮橋の現状と趨勢

### 第1節 現代浮橋 (Contemporary Pontoon Bridge) の概要

この章で言う現代浮橋とは、時期的には主に 1950 年代以降に架けられた浮橋のうち、原則として、先端技術を用いた軍用舟橋を除いて、浮体に既製の船舶を用いていないものを言い、技術的には浮体(ポンツーン)の構成材料に、高強度コンクリート(RC・PC)、鋼材・クラッド鋼板・軽金属、プラスチック(FRP)などの強度・耐久性・軽量性のある材料を用いている浮体橋をいう。これらは、特別に設計・建造・施工された軽量コンクリート・普通コンクリート製の大型 RC(reinforced concrete)・PC(prestressed concrete)、金属(鋼・軽金属)製あるいは繊維補強のプラスチック(合成樹脂)製の中空体を用いたもの、またはそれら中空体にフォームプラスチックなどを充填した浮体を用いたものを言い、通常の場合には車両の通行が可能な道路橋・鉄道橋が一般的であるが、近年の新技術を用い歩行者およびサイクリスト用の専用橋もこの範疇に含める。

ここで定義する現代の時代区分は正確なものではなく、上記記述に基づく舟橋技術水準に適用して個々にさだめており、現代浮橋製造の次期は一般的には 1950 年以降の場合が多い。我国における近代は明治維新後から太平洋戦争終結の年、1945 年までと定めるが我国の浮橋技術にかんしては、適用時代は後期にずれ込んでいる。我国におけるこの現代浮橋の規程に適用される浮橋の出現は、主として 1990 年以降、平成年度以降である。

現代浮橋の機能的特長は、桁下を自由に船舶が航行可能な大きなクリアランスを有する構造であるか、または、機械的に浮体の一部あるいは連結されている節あるいは橋梁部分を分離して、迅速に跳開・旋回または垂直・水平に移動させた空域で、大型船舶の航行を可能とする浮橋である。歩行者専用の浮橋の場合は、上部構造が軽量構造でスパンが大きく、材料・構造および景観・デザイン的に勝れ、あるいは水位の変動に対し自動調整機能を有するなど機能に優れている浮橋は、現代浮橋の範疇とする。

古来浮橋技術の先端を担い、先端技術を駆使して発達してきた 20 世紀後半から 21 世紀の現代軍用舟橋は、当然に現代浮橋の範疇に入る。序章および関連章でその概要または詳細については述べてきている。この章で述べる軍用舟橋は、特に橋梁機能性能・移動性能・展開性能に勝れた、軍用あるいはその転用である災害時緊急対策用に特に有効な浮橋に限定している。

本章での現代浮橋で、舟橋の名称を用いるのは、原則として原典資料に用語として用いられている場合の引用、および浮体に特殊船舶を使用している場合に限って用いる。一般に、既製の舟・ボート・函体(ドラム缶などを含む)類を浮体に用いて架けられた古典的な手法の浮橋は、20 世紀半ば以降のものであっても現代浮橋とは称しないこととしている。本章では、総合的・総括的な近代浮橋と現代浮橋の区分規準は、建造された時代の区分ではなく、用途・機能の面からと構造・材料・景観計画の尖端性とふたつの面から判断して行っている。

自動車専用道路の浮橋の場合には、交通量の増加に従いその規模が大型化し、米国の場合には 6 車線の浮橋が一般的となってきつつある。船舶運航が頻繁な海峡・河川・湖沼・港湾に架けられる浮橋の場合は、浮橋の一部を取り外しあるいは回転移動する古典的手段から、現在は、機械的に浮橋の一部をスライドさせて浮橋内部に収納する方式、浮橋全体もしくはその一部が水面を水平に旋回する方式、高架橋桁下を船舶が自由航行できる方式が主流になりつつある。そのほか、古典的な昇開式(タワーブリッジ方式)および橋桁を取り外し水中に沈下させる方式の沈下橋方式が、大型化された現代浮橋の航路開平方式に、機械化を駆使した方式として依然として用いられている。

浮橋の中央部を水中に潜水させる形式の浮橋(水中係留浮遊トンネル方式)も、実用化への研究開発がなされつつある。台風・旋風などの強風の恐れがない地域に於いては、浮体の構造を大きくしそれを連結する橋梁部分(上部構造)もまた長大スパンの鉄骨トラスやボックスガダー(箱型桁)などを用いた大型化が実現し、梁下のクリアランス高さを大きくすることが可能となった。大型船舶の航行を自由にする構法の採用により、大型コンクリート製ポンツーンを用いた大規模な浮橋が、吊橋・PC 桁橋・鋼トラス橋・斜張橋に対し、経済性・安全性で対抗

可能となってきている<sup>1</sup>。さらに、浮上構造物による橋は、吊橋や橋台・橋脚を持つ橋に比べ、大規模地震に対する安全性に勝れている点が検証されつつある。

伝統的に大型浮橋が建造されてきた北アメリカ・カナダの太平洋岸では、より耐震性の勝れた浮橋、更には海中浮橋、海中定床橋の提案が行なわれている。近年、大型のフイヨルド(fjorden)横断浮橋の建造が行われているノルウェーでも、海中浮橋の提案が種々なされている<sup>2</sup>。現代大型浮揚構造物と大型浮橋の技術は同根であり、大型の浮揚構造物建造に数十年以前から取り組んできた、欧米諸国に比較すれば埋立て土建技術を主体としてきた、わが国におけるこれら技術の劣勢は疑いのない現実である。

かつて、国際関西空港の建設に際し、すでに大勢を占めていた埋立型空港派に対し、浮揚型空港建設を主張する業界、主として造船業界は、積極的に鋼製浮揚構造体空港の提案を行ったが、大型浮揚構造物の経験の少ないことを理由にとり、土建業界に組みすの利権派・埋立派が勝利を収めた。しかし、両案採用の最終裁決のはるか以前に、計画の段階で膨大な埋め立て用岩石および土砂の採取場の確保、採石土砂の採取・運搬業務、採取場跡地利用等埋立利権などの諸業務に関しては、採掘を行なう瀬戸内海の島々の地元利権および関連業者(大手ゼネコン・マリコン・海運業者・港湾荷揚利権者およびそれらの下請系列)がすでに末端に至るまで決定していた(造船業界の依頼による関係者への聞き取り調査による)。いまだに、埋立派の勢力は強いが、大型海面埋立に伴う回復不可能な環境破壊の甚大さが、わが国でもようやく市民レベルでの認識が、すくなくとも市民意識として喚起されるような気配となってきたようである。筆者は、当時造船業界の依頼を受け、関西空港鋼製浮揚構造体の軽量化対策の調査研究を行なった経験がある。当時はこれら浮体構造空港の建設は、わが国における大型浮揚構造物の建設技術の未熟もあり、その採用の検討に関しては一顧だにされなかった。

アメリカおよび北欧で開発され発展してきたコンクリート製の現代浮橋技術は、カナダ B.C.州ケロアナ市のオカナガン湖浮橋(Okanagan Lake Bridge)の更新に際し、全面的に採用されている。

## 注 第1節

### 1 参考・引用文献

J.Bobrowski 'Outstanding applications of lightweight concrete and an appreciation of likely future developments' The International Journal of Lightweight Concrete.Vol 2.No1,pp5-20,1980.

H.Bonhard 'Lightweight concrete structures potentialities, limits and realities' The International Journal of Lightweight Concrete.Vol 2.No4,pp193-209,1980.

T.A.Holm 'Performance of Structural Lightweight Concrete in a Marine Environment' ACI Publication P-65 'Performance of Concrete in Marine Environments' Canada, August,1980

M.Yokoyama et al. 'Some Long-Term Observation : Results of Artificial Lightweight Aggregate Concrete for Structural Use in Japan' RILEM/ACI International Symposium on Long-Term Observation of Concrete Structures, Budapest/Hungary, 1984

'Floating Concrete Structures Example From Practice' VSL INTERNATIONAL LTD. Berne, Switzerland, Second Printing July 1992..

『未来の海洋構造物のための材料・工法、福手 勲ほか著』(コンクリート工学、Vol.31, No.11, pp63-68,1993.)

『コンクリート浮体構造物の現状、著』(コンクリート工学、Vol.33, No.6, pp. 5-13, 1995年)

### 2 'Reinforced concrete application in underwater and floating marine structure and Design and construction of reinforced concrete marine structures.' International Symposium on Concrete Sea Structure, Sep.1972 Tbilisi, USSR

Anton Brandtzæg (Norway) 'Concrete Underwater Floating Tunnels'

Alan B. Grant (England) 'Floating Submerged Tunnel for the Strait of Messina'

Costas E Markis (Greece) 'Floating Tunnels with Floating Bridges'

Z.V. Tsagareli, Z.Z. Tsagareli (USSR) 'Prestressed Concrete in Floating and Submerged Structures'

## 第2節 近・現代戦争と軍用浮橋の発展

プロシア軍の近代化に刺激を受けたナポレオンは、軍隊の迅速な移動手段として、舟橋用舟艇・ポンツーンおよび敵前架設と撤去・移設・修理・保全とを任務とする工兵隊を常備していた。浮体本体は木製ボートでその組立用金物には、耐腐食性能の高い真鍮を用い、ポンツーンの上部が蓋で閉鎖されたものと、覆いのないものの2種類が用いられた。ナポレオンは、すでに浮体舟艇の近代化・規格化を図り、ナポレオン戦争のウイーン占領の際、ドナウ河に舟橋を架けて軍隊を迅速に渡し、対岸に陣を位置するオーストリアの将軍カール大公(Karl Rudwig Johann : 1771-1847)との戦いに勝利を収めた。このドナウ河の舟橋架橋には、かつてオスマントルコ第10代スルタンのスレイマン1世(Süleyman I : 1494-1566、在位 1520-66)が、1529年に中欧侵攻の際の舟橋架橋に用いたと伝えられ、オーストリアが捕獲して保管していた、鉄鎖「スレイマン大帝の鎖」を持ち出し舟橋の連結に用いた。この鎖は、長さ360m、重量16トンのロングリンクチェーンと伝えられ、その構成鉄材(線材)の直径は、衣川製鎖工業社の資料によると42mm-44mmと算定されている。スレイマン大帝の鎖については、第8章 イスラム圏諸国およびオスマン帝国の舟橋・浮 第2節 オスマントルコの舟橋・浮橋を参照。

米軍は、南北戦争以前の19世紀初めから舟橋専用舟艇やポンツーンによる架橋の研究を、上陸用舟艇開発とともに開始したが、ゴム製のポンツーンを現場で足踏式フイゴを用いて空気を圧入するシステムの開発も行い、南北戦争で実戦に用いている。第2次世界大戦では、鋼製・軽金属製・木製・ゴム製などのを始めとする多量のボートポンツーンが、米軍を主体とする連合軍によりセーヌ・ライン・ドナウなどのヨーロッパの主要河川に架けられ、シャーマン戦車軍団は圧倒的な戦力でナチスドイツ陸軍を粉砕していった。しかしこれらのシステムは、原理的には南北戦争に用いられた方式を改良し、大型化したに過ぎない。

太平洋戦争においても、アジア戦場での各地の渡河に用いられた。日本軍も中国戦線に多数の舟橋を架けていたが、国際的なレベルには到底達し得ずまた数量も少なかったのか、東南アジア・南方諸島での米空軍による爆撃目標としての記録も殆ど残されていない。中国戦線では、1944年になると制空権を奪還した米空軍により、軍用舟橋は各個撃破されていった。中国南部戦線での帝国陸軍敗退のさいの記録・日記類にも、浮橋を用いていた例は管見では存在していない。

現在でも、戦場で戦車などの重量車両を安全・急速に渡河させるためには、舟橋専用の旅団単位の工作隊による架橋が、ますます重要となってきた。2003年2月の資料では韓国のイムジン川で行われた米韓合同の渡河演習の写真が報道されている。約40隻の鉄舟をつなげて上部に鉄板を渡し、戦車と歩兵を敵前渡河させるものである。近・現代戦での敵前架橋は、橋頭堡の確保・制空権の確保と圧倒的な火力の支援が無ければ不可能となってきた。ただし、この米軍舟橋は写真判断では在来型であり、後述する最新鋭のIRBではない。

ソ連は、1960-70年代には当時としては世界最高クラスの、走行荷重60トン型と小型の20トン型の、水上準自動展開式の軍用舟橋(Pontoon bridging column : PMP)<sup>1</sup>を完成し、赤軍への配備を行っていた。60トン型は、幅員6.59m、最長227mを30分で架橋し、20トン型は幅員3.29m、最長382mを50分で架設されたと称している。両システムとも川の流速2.5m/sec.以下で展開可能とされている。PMP60システムは、32個の浮節、4個の橋台(abutment section)、2個の路面カバーおよび12艘のタグボートで構成されている。各節は特殊な装置でトラック積載され、ボートは水陸走行式とトレーラー運搬によるものの2種類を有していた。

架橋方法は、浮節を積載したトラックを水深1m以上まで後進させ、浮節を川中に1部入れたままトラックは前進し、水上にダンピングさせる。ダンピングされ水中に浮いた浮節は、3個のヒンジにより4個の浮体が水上展開する。これ等ポンツーン路面部の1個のヒンジと下部水中2個のヒンジ部分は、工兵によって金具で緊結され、幅員6.5mの浮節、橋進行方向の長さは明記されていないが、約6.3m程度と推定される浮節が、川辺に次々と浮かび、所要長さまでこれ等の浮体節を連結する。この浮橋の端部に結んだ綱索を用いて、向こう岸へ移動させて陸上より綱索で仮固定し、タグボートの支援により、浮橋の位置を錨により固定する。

現代軍用舟橋の技術的展開は、このソ連PMP(Ribbon Bridge)方式の延長線上にあり、現在では大型専用トラック載荷して移動し、自走により水上で複数の舟の連結が自由に展開できる方式が、多数の国の軍隊で配備される体制となりつつある。場合によっては数隻のポンツーンを連結して、戦車などの重量車両を渡す自走式フェリーとしても用いている。現在米軍は旧ドイツ製(現米国GD SBS製)の最新型リボン浮橋(IRB)<sup>2</sup>の配備を行ってい

る。このような現代軍用舟橋は、益々戦略・戦術上重要となっており、時刻で生産できない国は、技術導入や輸入を行っている。米国 GD SBS 社の IRB 方式舟橋は、10 数カ国に輸出され、その総延長は数 10km を越えているであろう。

中国人民解放軍もこの IRB 方式の舟橋旅団を編成配備しつつある。さらに、現在米軍・NATO 軍は、GD SBS 方式の水陸自走型の大型ポンツーン舟橋(Alligator, M3)、陸上を自走し水上で自動展開連結する方式を配備する可能性が高い。さらには、場合によっては戦場の近くまでは専用船による舟橋の輸送方式か、大型輸送機あるいはヘリコプタによる空輸システムとなるであろう。これらの最先端舟橋の利用は、戦場ではなく広域災害救援対策に用いられるべきであろう。

第 6 章 第 6 節.中国近・現代の舟橋・浮橋、第 8 章 第 8 節.ロシアの舟橋および第 9 章 第 2 節 (4)ローマ軍団の軍用浮橋を参照のこと。

## 注 第 2 節

1 PMP(ПМП)は、旧ソ連軍が 1960 年代に開発した新式の移動展開型軍用舟橋(pontoon-bridging column)を称し、60 トン型と 20 トン型の 2 種類がある。長さ 227m の PMP60 の組立架橋に要する時間は 30 分、長さ 382m の PMP20 の組立には 50 分を要するとされている。この PMP 方式が、軍隊・物資輸送のフェリーとして用いられる場合には、数個の浮節を 20 分以内に連結して、40-170 トンを積載することが出来る。一般に PMP60 は、36 個のポンツーン、32 個の中央部のポンツーン(縦 6.75m、幅 8m)と 4 個の斜路ポンツーン(ramp pontoon)、および 6 艘のタグボートで構成され、最大長さ 227m の舟橋を架橋できる。2 個舟橋工兵大隊が半分ずつのポンツーンを装備し、すべて 3 軸の重トラックにより移動している。米語では、浮体がリボンのように折りたためることから、この形式のポンツーンを用いた軍用舟橋を、リボン舟橋(ribbon bridge)と称している。

ロシア側では、米国が 1972 年に配備した最新式の軍用舟橋は、この PMP の単なるコピーでありロシアの鋼製をジュラルミンに置き換えたに過ぎないと酷評している。米軍の希望があれば長さ 430m までの PMP が提供できると称している。

2 米軍が現在採用しているリボンブリッジは、略称 IRB(Improved Ribbon Bridge)と呼ばれ、ドイツの EWK(Eisenwerke Kaiserslautern GmbH)が、1972 年に開発したリボンブリッジを改良したものである。その後 SRB(Upgraded Standard Ribbon Bridge)へ改良され、無限軌道車両の場合には 80 トン、一般車両の場合の最大荷重は 100 トンとされている。基本的な構造は、ソ連の PMP を踏襲しており、軍用規格通過荷重クラスは 96 トン(Military Load Capacity : 96)の大型軍用舟橋である。

### 第3節 アメリカ合衆国およびカナダの現代浮橋

アメリカ合衆国現代浮橋の特長は規模の大型化であり、より高い経済性への追求である。そのことは浮体(函体)・浮揚構造物の長大化技術、特に安全性に関する技術開発の推進により可能となった。さらには、歩行者やサイクリストへの自動車専用道路の積極的開放と都市再開発にともなう親水施設の一つとしての浮橋である。現在、米国ハイウェイに架けられている浮橋の殆どは、サイクリストおよび歩行者専用通路が設けられている。

既に述べたウイーン・ロンドンの近代的な歩行者専用浮橋と同じく、ワシントン州ポートランドの洗練されたショッピングセンター再開発地区の、専用歩行者用の浮橋にその例を見ることが出来る。さらに、効率が悪く耐久性にも乏しい歴史資産の木製浮橋の保存・再建を、環境のための市民運動として推進している。

大型浮橋に事故が生じた場合、その被害の社会生活への影響はますます大きくなってきている。これまでの浮橋に生じた数々の衝突事故、設計・施工上の欠陥・不具合による被害・損傷および補修記録は、経験の集積によるノウハウの蓄積として新たな設計・施工方法へにフィードバックとともに、実際の浮体およびケーブル(錨索: anchor stay)に作用する各種応力の遠隔自動測定システムの完備、保守点検方法・補修方法の確立とその確認システムの整備などが行われている。

現在、大型浮橋を含めた巨大浮揚構造物の主体には、著者の経験による知見からは、高強度軽量コンクリート造(RC造・PC造およびハイブリッド構造)の大型ポンツーンが、経済性・耐久性・構造的安定性の面で、鋼製に比べ有利性を主張しているように見える。しかし、アメリカ現代浮橋の特長は、環境重視の趨勢にすばやく対応している点にある。これまでは、自動車専用道路の効率化を主目的とし、歩行者や自転車旅行者の通行を拒否してきた浮橋に、新設或いは改修の際に、歩行者・自転車通路が設置されるようになってきた。また、湖沼や海上に設置される浮橋の場合には、景観保全とともに、棲息している水禽類・魚類の環境保護対策を講じている。

次に、現代の米国浮橋技術を代表するハワイ浮橋について論考する。ハワイ、オアフ島(Oahu)のパールハーバーとフォード島(Ford Island)間に架けられている浮橋は、通勤用ではあるが軍事的色彩が強く、橋名もかつての潜水艦隊司令官の名前を取り、The Admiral Clarey Bridge<sup>1</sup> と命名されている。この橋の特長は、①耐震性、波浪・風などの検討を有限要素法(finite element analysis)による検討、②ポンツーンは、PCコンクリートを用いポストテンション方式で組み立てて製作、③世界最大の長さ315mのポンツーンを、架橋部分の下部(draw span)に引き込み、幅285mの大型艦船航行用の水路(navigation channel)を確保、④周辺の海域に生息する水禽類・魚類の保護と景観保持を行っている点である。

ポンツーンは、壁材と隔材にプレキャストコンクリート板を用いて、現場打コンクリートとポストテンション方式により組み立てた、3個の浮体節(module)から構成されている。各モジュールの寸法は、長さ310ft.(約94.5m)で、内部には21個(3×7)のセルを持つもので、これら3個のモジュールの製作は、ワシントン州タコマ市のCTC社(Concrete Technology Corporation)で行なわれて、パールハーバーまでバージで運搬され、現地でボルト接合により長さ930ft.(283.5m)の世界最長の可動式ポンツーンを組み立てた。

艦船の航行時には、固定橋の上部構造をジャッキで持ち上げ、その高く持ち上げられた部分の下部に、ポンツーン(橋梁舗装部分共)を水圧式ウインチで出し入れさせ、ドロースパン(draw span)による幅285mの水路を確保している。ポンツーンの移動速度は毎秒35cmで、移動終了まで25分を要している。船高9m以下の小型船舶は、固定橋(fixed trestle)部分を通過できる。この橋には、歩道部分が設けられ自転車の利用もできる構造となっている。さらに、棲息している水禽類の保護のための諸施設を整備し、景観対策も行っている。この浮橋は、2000年の交通施設デザイン部門のアメリカ賞(Design for Transportation National Awards 2000)を受賞している。

1958年6月に開通したカナダのブリティッシュコロンビア州の、キローナ市(Kelona)のOkanagan Lake Bridge(Kelowna Bridge)が、2008年4月に更新され、公式名はWilliam R. Bennett Bridgeと命名されたが、一般にはNew Kelowna Bridgeと呼ばれ、歩行者および自転車通行の便宜が図られている。5車線のこの新浮橋の自動車交通量は、現在一日46,000台であるが2017年には69,000台以上が予測されている。

北欧・北海の大型浮橋および石油掘削用浮体構造体に使用されている、高強度人工軽量骨材コンクリートが、米国の西海岸地区で、大型浮遊構造物に高強度軽量コンクリートが使用されていないのは、米国西部地区では品質にすぐれた人工軽量骨材が、製造されていないことが理由と判断される。

注 第 1 節

1 Michael J. Abrahams, Gary Wilson 'Precast Prestressed Segmental Floating Drawspan for Admiral Clarey Bridge'  
PCI Journal, July/August Vol.43, No.4, 1998

2 New Okanagan Lake Bridge

## 第4節 ヨーロッパ諸国の現代浮橋

### (1) ノルウェーの現代大型浮橋

#### 1) Sulhus 浮橋

近年になり、北欧ではコンクリート製浮揚構造物の北海石油掘削基地に、耐久性に優れた人工軽量骨材を用いた高強度コンクリート構造、特にプレストレスト・コンクリートポンツーン構造の発展により大型の浮橋が発達してきた。後述するノルウェーの Sulhus 浮橋の浮体となるポンツーン(42×20.5m、10基)の建造には、浮力を大にするために、設計基準強度 55N/mm<sup>2</sup> の高強度軽量コンクリートが用いられている。フィヨルトのような数百メートルの水深を持ち、強風の影響のほとんどない静水面における架橋には、浮橋構法の採用が今後増加するものと思われる。

これら大型浮橋の設計・施工技術は、これまでの北海油田開発に際し開発されてきた、大型浮揚形式の油田掘削基地の建造技術を用いて建造されている。高強度軽量コンクリートを用いた大型PC浮体構法による浮橋もその技術の適用例の一つである。ヨーロッパの現代長大浮橋は、ノルウェイ・ドイツを中心とする北ヨーロッパの、浮上構造物の全てに関する総合技術の賜物であるといえる。これまではノルウェーのフィヨルト(fjord)の横断輸送には、主としてフェリーによっていたが、輸送力に限界が認められて来たため、近年、多くの長大浮橋が建造されてきている。そのうちの最新のものを次に示す。

ホルダラン(Hordaland)地域のベルゲン(Bergen)のサルフスフィヨルト(Sulhusfjord)に自動車用橋梁として、1991-1994年に架けられた Nordhordland Floating Bridge(Nordhordlandsbrua)<sup>1</sup> は、the Sulhusbrua pontoon bridge とも呼ばれている。兩岸のアバットメント(橋台: abutment)間の合計長さは1246mで、幅員10m有する、世界最長の兩岸端部を固定した自由係留型浮橋(free floating bridge)<sup>2</sup> である。11本の鋼製箱型梁(steel box girder)は、10個の高強度軽量コンクリート製ポンツーン上の橋台に、自由にその上を滑動できる鋼鉄製の受け金具を介して載せられている。ポンツーン間の標準距離は、113.25m、橋面での海面からの平均高さは11mである。

設計仕様は、ボックスガダー(箱型桁)下部5.5mでの実測風速は、5.5m/s、大気温度は-20~+25℃を採用し、設計に用いた風荷重、高さ10m地点における10秒間の平均風速(V<sub>10,10</sub>)には26.9m/sを、最大波高は1.76m、潮流速さには1.75m/sの値を設計定数として採用している。浮橋に作用する荷重のうち、ポンツーンへの波力が最も大きく(most dominant force action)、桁に懸かる応力の150%と算定されている。この波力による応力は、ポンツーンの潜水部分に均等分布荷重とされている。

ポンツーン寸法は、長さ42m、幅20.5m、高さ7.38mで楕円形の平面を呈し、縦横3区画、合計9個の隔室(cell)を有している。その内の2区画は、安定性の確保のために水で満たされている。ポンツーン喫水は、4.3m-5.6mで乾舷の高さは、両端のアバットメント側の2個で3.0m、その他の8個は2.6mである。PCポンツーン建造に用いたコンクリートには、ノルウェー規格NS 3473に規定する高強度人工軽量骨材コンクリート(LC55)<sup>3</sup>が用いられた。ポンツーンは、海上800kmはなれたフレドリクスタ(Fredrikstad)<sup>4</sup>のドライドックで建造され、曳船で現地まで曳航された。

ボックスガダーには、C65<sup>5</sup>を用いたPC桁と鋼製桁の2案が提案されたが、建設工程に有利な鋼製が採用された。鋼製ボックスガダーは、モス(Moss)<sup>6</sup>の工場で作られた長さ20.36-42mの34個のセグメント(segment)を、11箇の節(module)に組み立てたものを、バージ輸送して現地で取り付けを行なっている。この橋は、2車線で片側には歩道を設けている。

#### 2) Bergsoysund Floating Bridge

ノルウェー西南部メーレ・ロムスダル地域(Møre og Romsdal)のスカゲラク海峡(Skagerrk)西端部に面した都市、クリスティアンサン(Kristiansand Møre og Romsdal)のフィヨルトには、ベルグソイスン浮橋(Bergsoysund Floating Bridge)が、1992年に完成して架けられている。Nordordland Floating Bridge とほぼ同様な形式の全長845mの非固定係留型浮橋である。この浮橋の上部工は、7個のPCポンツーン(間隔105m)に支持された、曲率半径1300mの緩やかに水平弧状の鋼製トラス桁で構成されている。

7個のポンツーンは、端部の2個を除いて同一形状・寸法を持ち、長さ34m、幅20m、高さ6mの高強度軽

量コンクリート製である。両岸に接続する橋桁を支持する 2 個のポンツーンの高さは、潮位の変動に対応する喫水(乾舷高)調整のため、標準より 1m 高い 7m で製作されている。ポンツーン構造は、前述の Nordhordland Floating Bridge に比べ規模は小さいが、9 個の隔室(セル: cell)を持ちほぼ同様の形状を示している。使用した高強度軽量コンクリートも、同じ設計基準強度の  $55\text{N/mm}^2$  を用いている。

ヨーロッパ現代浮橋の特徴は、公道用の大型浮橋のみでなく中世期都市や新しい計画都市の景観にふさわしい新しい歩行者専用の浮橋に、よく象徴されている。橋は、高い箇所に架けられ、其処からの眺望を楽しめるところに意義がある点を強調する人がいるが、真澄やユゴーのように、浮橋の上から流れを体感した人たちがいたことも事実である。また、藻の花がまじかにのぞけ、水中自然景観を楽しめる橋も必要である。湖や人造湖にわざわざ不経済な吊橋や高架橋をかける必要があろうか。米国では、既設の自動車専用浮橋に歩行者や自転車利用者のための通路の増設が行なわれている。

#### 注 第 4 節

1 P.meas et al. 'Design of the Salhus Floating Bridge' Proc.of the 3rd Symposium on Strait Crossings , pp 543, 729-734, Alesund, Norway, 1994.

T. Stabenfelt 'The Salhus Bridge ; Construttion and Installation' Proc.of the 3rd Symposium on Strait Crossings , pp543-546, Alesund/Norway, 1994.

A.Solheim et al. 'Instruction for verification of design criteria forergsoysund and Saihus floating bridge, Proc.of the 3rd Symposium on Strait Crossings , pp743-750, Alesund/Norway, 1994.

2 浮体非固定型浮橋(free floating bridge)は、浮橋の固定(アンカー)・係留を両岸のみで行い、各浮体の係留を錨で行なわない方式を用い、浮橋に生じる風力・波力、流れの抵抗力などの水平力は、主として剛構造の上部構造と浮体との連結部分で分担している。浮体の連結は、強固な橋桁の両端連結部分が浮体上部の橋台(アバットメント)を自由に移動できる形式と剛接合形式との 2 方式から構成されている。水流や風に対しては、浮橋の両端でそれらの荷重を受ける形式である。現代ではドルフィン・フェンダー方式で係留を行う場合も見られる。吊橋の荷重原理を横にしたと同様な荷重を受け、施工方法の原理も極めて類似している。黄河の蒲津舟橋、神通川舟橋も、個々の舟の固定を錨で行なわず、両岸間に張り渡した鉄鎖に繋いでいる。浮体固定型は、個々の浮体の固定を、水底のアンカー(錨)により複数のケーブルを用いて行う方で、ギリシャ・ローマ時代の舟橋は、代表的な例である。

3 この軽量コンクリートの設計基準強度は、 $55\text{N/mm}^2$ 、配合強度は、 $64.4\text{N/mm}^2$  と規定された。人工軽量粗骨材には、世界最高品質のドイツ製の膨張粘土(商品名 Liapor 8)を用いている。 $1\text{m}^3$  のコンクリートを製造するための配合(材料所要量)は、セメント材にポルトランドセメント(HS65)410kg とシリカフェーム(silica fume)33kg、細骨材に砂(0-5mm)655kg、軽量粗骨材に人工軽量骨材の膨張粘土(4-8mm)270kg および膨張粘土(8-16mm)325kg、有効水量 155kg(加水量 200kg、骨材吸水量 45kg)<sup>\*1</sup>とし、混和剤には減水剤と高性能減水剤(水溶液: 10-12 リットル)とを用いている。コンクリートの配合設計上の練り上がり時の密度は、 $1.915\text{t/m}^3$  と算定される。通常の密度の粗骨材を用いたコンクリート密度の標準値の範囲は、 $2.3-2.4\text{t/m}^3$  である。強度特性やコンクリート強度や品質の指標となる水・結合材比( $w/(c+s)$ )<sup>\*2</sup>は、0.35 である。一般環境下の耐久性を必要とする構造用コンクリートの場合、水セメント比は 0.55 以下が必要とされている。

10cm 直方体を用いた材齢 28 日の平均圧縮強度は  $70.4\text{N/mm}^2$ 、静弾性係数(Modulus of Elasticity:ヤング率)は  $20-23\text{kN/mm}^2$  の値を示した。なお、ポンツーンの構造設計は、限界設計法(limit design method)を用いている。コンクリート強度特性(圧縮・引張・弾性係数)の試験には、日本・アメリカでは直径と高さの比が 1:2 の円筒型(cylinder)試験体を、ヨーロッパ基準では、立方体型(cube)の試験体をそれぞれ用いている。圧縮強度の試験値は同一試料のコンクリートでも試験体の形状・寸法の差により異なった値を示す。一般に円筒型より直方体の試験体のほうが高い強度を示すが、高強度領域( $60\text{N/mm}^2$  程度以上)では其の差は少なくなる傾向を示している。

※1 軽量粗骨材(lightweight coarse aggregate)は、乾燥状態で水・セメント・細骨材・混和剤とともにミキサで混合されるので、フレッシュコンクリート中で、軽量骨材は混襟・運搬・施工および初期養生中に吸水する。骨材吸水率は、7.5 %であるとされているので、骨材吸水量の計算値( $270\text{kg}+325\text{kg}$ ) $\times 7.5\div 100$ ) は 45kg とする。コンク

リートに用いられる骨材のうち径 5mm 以上を粗骨材(coarse aggregate)とし、それ以下を細骨材(fine aggregate)としている。人工骨材(man - made aggregate, manufactured aggregate, artificial aggregate)が製造されていなかった時代には、これら骨材は砂・砂利(sand & gravel)と呼ばれていた。

※2 水・結合材比の算定に用いた水量は、155kg、結合材量はポルトランドセメント 410kg とシリカフェーム 33kg との合計 443kg である。従って、水・結合材比は、 $155\text{kg} \div 443\text{kg} = 0.35$ 。シリカフェームの活性シリカは、コンクリート中の水酸化カルシウム( $\text{CaOH}_2$ )と反応し、強固で安定した鉱物の珪酸カルシウムを形成し、長期強度および耐久性の増強に役立っている。

4 コンクリート製ポンツーンの製造が行なわれたフレドリクスタ(Fredrikstad)は、ノルウェー南東部、スカゲラク海峡(Skagerrak)の最奥部のオスロー峡湾の入口東側に位置する工業都市。首都オスロー市の南 80km に位置し、ベルゲンへの海上輸送距離は約 800km である。ドイツ南部地方の工場で生産されたコンクリート用軽量粗骨材‘Liapor 8’は、バージでライン川を運ばれオランダのロッテルダム経由で船輸送され、フレドリクスタに荷揚げされた。

5 PCは Prestressed Concrete。C65 は、普通コンクリートの設計基準強度  $65\text{N/mm}^2$  を示す記号。

6 鋼製箱桁(ボックスガダー)の製作を行ったモス(Moss)は、オスロー峡湾の中ほど東側の位置する工業都市で、フレドリクスタの北西 25km の地点にある。

## 第5節 日本の現代浮橋および浮揚構造物とその社会性

国会図書館の文献・資料の検索項目分類でも、舟橋・浮橋の項は無く、ふなはし・ふなばし・船橋の検索では、地名・人名とともに、船舶の船橋・ブリッジ、bridge が所蔵文献・資料の分類項目として検出される。

現代になり、各自治体および住民による地方の歴史・文化・技術の見直しや懐古の風潮が高まり、その一環として舟橋の遺跡の洗い出しや保護とともに、故事来歴の探求が盛んになり、遺跡の保護・指定や記念碑・由来碑の建立が相次いで行われている。かつて公共的な舟橋が長期間利用されてきた地域、特に富山市、福井市、盛岡市や美濃街道の一宮市などでは、遺跡の保護・資料の収集と展示・刊行物の発行と広報を行っている。また、東京都葛飾区や関東地方の各自治体などでは、史跡・事跡の掘り起こし、各地域の中世史・近代史を含む関連資料の整備・研究が行なわれるようになってきている。

実際の舟橋の復元は、現在ところ行われていない。文化祭・祭りのイベントとしての擬似復古形式の仮設舟橋が、和船を用いて期限を区切り構築されている。実用常設としての舟橋の架橋は、公園や観光地などの小規模の浮橋が殆どである。それらに用いられている浮体構造は、既製ドラム缶を用いているものから、鋼製・コンクリート製(PCを含む)、プラスチック製などの現代浮橋の浮体構造へと移行している。しかし、現在の日本の小さな浮橋は、湖・ダム湖・人工池などの静水に架けられており、その構造は世界各地で架橋されている大型現代浮橋の雛形でもない。

明治時代には神通川の舟橋は、地理教科書も富山県の欄にも記載され、北上川の米谷の舟橋は、明治天皇行幸記念の写真集を飾り、山口県防府市の船橋の写真説明には『奇橋ノ名夙ニ人口ニ膾炙セリ』とある。おそらく、我が国の多くの地方では、20世紀の明治末期・大正・昭和時代には、舟橋・浮橋の用語は廃語となり、すでにこれらは絶滅種となっていたのであろう。

歩行者専用を除いて1965年以降、日本の自動車の通行可能な新しい浮橋は、1999年12月に大阪市の埋立地に完成するまでは、まったく水上から姿を消してしまっていた。浮体橋「夢洲・舞洲連絡橋」(Yumemai Bridge)<sup>注9)</sup>は、大阪での2008年のオリンピック開催誘致を目指すインフラ整備の一環として、建設された大阪湾に面した埋立地、此花区北港緑区の、安治川河口の西部に位置する、主会場に目されていた人工島、舞洲と夢洲とを連結する鋼製浮体橋である。

夢舞大橋は、鋼製トラスアーチ橋の両端を2基の大型浮体の橋台に載せた形式の、旋回式可動浮橋である。この両人工島間の北航路水路は、災害時緊急用の水路であり通常船舶の航行は制限されている。橋の総長940mの内、浮橋部分は410mである。幅員は38.8m(有効幅員:31.2m、六車線・2歩道)、桁下高さは24mである。緊急時には舞洲側を回転軸として90度旋回し航路の確保を行う。移動用の動力は、押船(pusher boat)による。

夢舞橋は、大阪府堺市の日立造船堺工場の第2ドックで、造船・橋梁会社8社のJVで建造され、完成後大阪湾を曳航して現場に設置された。鋼製トラス橋を支えるポンツーンには、2基の鋼製ポンツーン(58m×58m×8m)を用いている。浮体の係留、即ち横方向移動防止には、ゴムフェンダー(防舷材)を備えた2基の係留ドルフィン<sup>第8章8・2・8・3参照</sup>をもちいている。この浮橋のスプラッシュゾーン(海水飛沫帯)には、高純度のチタン板をクラッド(clad)した約200tの鋼板が約500m<sup>2</sup>使用されている。チタンクラッド鋼板は、基板の厚さ4mmの鋼板に1mm厚のチタニウム板を、熱間圧延で一体化したもので、50年間の有効寿命が保証されている。

しかしこの高価なチタン・クラッド鋼板をなぜ用いたのであろうか、亜鉛を用いた電気防蝕との費用対効果の検討が為されていたのであろうか。チタンの使用が鋼製浮体の海中耐久性実地試験の為とすれば、余りにも愚かな税金の無駄遣いである。

設計定数として風速(V<sub>10</sub>)は、大阪地区の台風時風速の観測データから、42m/sの数値を採用している。この値は、前述したノルウエーのフィヨルトの浮橋の設計に採用されている、風荷重 V<sub>10, 10</sub> (高さ10m地点における10秒間の平均風速)より大きい、26.9m/sを採用している。

最大波高は1.76m、潮流速さは1.75m/sの値を設計定数として採用している。潮流の早さは、観測常態時の流速0.2m/sに対し、暴風時の計測値が無かったため、架橋地点の地政学的検討から、安全を見て0.5m/sの値を採用している。ノルウエーのフィヨルト浮橋では、潮流速さは1.75m/sの値を設計定数として採用している。また、設計波高(H1/3)は、40年間の実測資料の解析から1.4mがもちいられ、大型水槽を用いたモデル試験に

よる検討から、構造体の安全性は確認されている。ノルウエーの場合には、最大波高は 1.76m としている。

耐震性の検討は、架橋地点の活断層・地勢・地質・土質に配慮して行い、震源としては東南海道・南海道断層によるプレート境界地震および上町活断層<sup>1</sup>の活動による地震などを想定して、『道路橋示方書(平8年改訂?)』の震度規準を参考にして耐震設計を行っている。津波高さに関しては、大阪市防災計画に基づく 2.62m を、流速は 2.6m と設定されている。大阪湾での最高津波高さを、3m とする資料<sup>註 12)</sup> も 2、3 見受けられるので、この設計値が妥当であるのかは、現在判断できない。

この夢舞大橋については、世界初の巡回式可動橋(the world first floating swing bridge)と称しているが、何が世界最初なのかその意味はよくわからない。アーチ式トラス橋の水平回転が、世界で初めてという意味なのか。ポンツーン 2 個を用いた大スパン浮橋であることなのか。この架橋の目的はさらに新しいメガフロートシステムの開発へと繋がっているとしている。ただし、現在のわが国の大型浮揚構造物への適用技術は、諸世界先進国とは異なり実績に乏しいため、そのほとんどが大型浮揚構造物の実測データに基づかない、コンピュータによるシミュレーションに頼っている。しかし造船業界がかつて試作を行ったメガフロートの残骸は、2012 年 4 月 11 日の東北関東大震災により爆発・損壊し、東京電力(株)の福島第 1 原子力発電所から漏洩した多量の放射能物質で汚染された、危険な汚染水の一事貯留タンク使用されているが、1 万トン程度の貯蔵量ではまさに九牛の一毛である。【※以降書き換えのこと】

#### 注 第 5 節 日本の現代浮橋および浮揚構造物とその社会性

- 1 上町活断層は、大阪府の北は豊中市から南は堺市・岸和田市にいたる、中心部を南北に通じている断層である。この約長さ 40 km に及ぶ数本の断層からなり、南海トラフ地震の原因といわれ、約 1 万年ごとの周期で活動し、最悪の場合には震度 7 の地震が想定されている。

##### 参考引用文献

『浮体橋の設計指針(案)、土木学会 浮体橋の研究委員会編』(土木学会、2002 年)

T. Maruyama etc. Proc. of the Sixth East Asia-Pacific Conf. on Structural Eng. & Const., pp.429 ~ 434, Jan. 14-16,1998, Taipei, Taiwan

T.Mruyama,T.Kawamura 'Construction of a Floating Swing Bridge—Yumemai Bridge' Osaka City Fondation for Urban Tecnology OSAKA No.39,Osaka Municipal Government,2000

## 第6節 現代浮橋の種別と機能

### (1) 常設浮橋

常設橋梁としての舟橋は、洪水の度に橋が流出する箇所や、交通量が多い渡し場での舟渡しでの危険を避ける目的で、比較的流れの穏やかな河川・海峡等に設置されてきた。フィヨルトなど水深が大で橋脚の立てられない箇所では吊橋より経済性が高い場合、湖沼など泥質地盤が深くて橋梁の基礎工事に莫大な費用を擁する場合には、特に長大浮橋が経済性・安全性のうえで有利となる。大型浮橋が2箇所に架けられているワシントン州シアトルのワシントン湖は水深100m、湖底の泥質地盤の厚さが約100mで、橋脚用の基礎工事費用が、浮橋を採用した決定的要因であった。

幅員の大きな河川の場合には、浮橋の建設費が、PD橋、アーチ橋、吊橋、トラス橋、通常の木造橋に比べ、耐久性の評価を抜きにすれば、安価であったことが魅力となっていた。また、カナダのヴァンクーヴァーやシアトル地区は名だたる地震頻発地帯であり、今後も大型橋梁の地震対策として安全な浮橋、さらには海中・水中浮橋の研究開発プロジェクトが進行中である。

### (2) 仮設浮橋

仮設的に一時架橋される舟橋は、ほとんどが軍事作戦にさいしての兵馬・武器・糧秣の輸送のために架橋されている。しかし、わが国江戸時代の参勤交代において、仮設舟橋が架橋されたのは、軍事的に架橋を禁止していた箇所に設けた場合と、舟による渡河が非常に危険であった場合との2つの理由がある。

現在では洪水時の住民避難用の臨時橋としては、中国では工兵隊の舟橋の活動がしばしば報道されている。

アフガン戦争時やアフリカ大陸など極貧国、常時戦動乱国における国連の人道支援策として、舟橋の緊急架橋が行われている。

また、浮橋は、流出・損傷・焼失した本橋が復旧されるまでの、臨時の橋(仮橋)として架けられることが多い。パラオ(Parau)のコロール(Koror)島とバベルツゥーラブ(Babelthuap)間の海峡に架けられた米国援助による空港連絡橋が崩壊し、日本ODA資金による本格橋が完成する間、架設舟橋が架けられていた。

### (3) 浮橋の船舶航行用の水路対策

浮橋はその属性として船舶航行の障害となる場合が多い。この古来種々の対策が採られてきた。初期の常設浮橋でとられていた最も普遍的な対策は、橋の袂に船着場・埠頭・港を設けて河川の舟の航行を浮橋の場所で中断し、旅客や貨物を水揚げして、中継地を設ける方式が行われていた。この方式は、江戸時代の神通川舟橋、北上川南部舟橋で行われていた。しかし、この方法では、不便な点も多かったため以下に示す対策方法を用いていた。

#### 1) バイパス運河の設置

中世期のラインやドナウなど大河の船舶自由航行のために、浮橋や桁橋の架橋箇所には、舟航行用のバイパスとなる運河を掘削して水路とし、あるいは閘門(lock)をもうけて船舶通行の管理を行っていた。現在、セルビア・モンテネグロ共和国ノヴィサドのドナウ川に架けられている浮橋の船舶航行は、バイパス運河に拠っているが、バイパス運河とドナウとの水位調整に設置されている閘門の容量・寸法と操作時間など能力に問題があり、大型船舶の通過には多くの時間を要し、その効率の悪さが現在問題となっている。

#### 2) 大型浮体と高架鉄骨梁による梁下クリアランス確保 (fixed spans and trestles type)

明治時代の有料船橋の場合、浮体の舟の上に橋脚を建て其の上に桁橋を渡して、梁下に舟や筏航行用のクリアランスを確保していた例が多くある。橋面と橋両詰との間に道路勾配を無くして、人力車・乗合馬車の通行安全のためでもあったと考えられる。この構法は大型の浮体を用いない限り、強風や波浪による転覆の危険性も高く、通常でも橋の揺動は大きかったと考えられる。初期の有料舟橋の場合、架橋費を節約するために、舟橋両詰の堤防を掘削して、取り付け道路の高さを浮橋面に合わせていた例も初期には見られたが、長良川の明七橋などの例のように、舟に井形の木組みを重ねた上に桁を載せた形式や、短柱の上に桁梁を渡しその上に橋床を構成する舟

橋形式が多くなり、これが発展して明治の 30 年代終わりごろには、桁下を川舟が自由航行できるわが国独特の木造高架舟橋が誕生したと考える。

現在の大型コンクリート製ポンツーンを用いている、ノルウェーのフィヨルトの浮橋のように、高架橋部分の梁下が高く、ある程度の大きさの船舶航行が可能となっている。

### 3) 浮橋の全部または部分的曳航移動 (removable span bridge type)

船舶の航行時や筏の通過時には、定期或は不定期に浮橋の数節か或は全部を外して、舟で曳航して移動させ、水路を確保する方法である。わが国で、明治・大正・昭和時代の利根川・荒川などに架けられていた有料船橋の場合には、殆どがこの形式を用いていた。切断され曳航される浮橋との接続部分の浮橋は、ドルフィン・杭係留方式あるいはアンカーステイ(カテナリ)による係留が必要である。錨両岸間に鉄鎖・竹索・綱を張りこれ等に浮体を連結して、浮橋を構成する形式の場合には、不適切な方式で増水時や流氷・結氷時の全浮橋切り離しの緊急対策としのみに行っていた。removable span bridge の用語は、後述する 4)・5)・6) の方式を含めた移動方式全般を指す用語としても用いられている。

## 第5節 日本の現代浮橋および浮揚構造物とその社会性

### 4) 旋回橋：浮橋の水平回転移動 (swing type)

浮橋の片岸を浮橋曳航回転の軸として、浮橋全体或はその1部を回転して船舶航行の水路を確保する方法で、浮橋の回転移動の動力には電力ウインチか、押船(pusher boat)・曳船が通常用いられている。両開き(観音開き)を行っている浮橋も見受けられる。

### 5) 引込収納式 (retractable type, drawspan type)

浮橋の一部が浮橋の上部或は下部に引き込まれ、開けた水面を船舶用の水路とする方式で、現在の米国・カナダの大型浮橋の多くに用いられている。このため、浮体同士を剛接合するとともに開平部分に隣接する浮体は、特に強固な錨によって係留する方式を用いている場合が多い。底質や水深によっては、ドルフィン・フェンダーで水路に面する浮体を係留する構法を用いることもある。

### 6) 垂直上昇橋・昇開橋方式 (vertical lift type)

タワーブリッジを浮橋の途中か接岸部付近に設け、船舶航行時には橋を垂直上昇させて水路を開く方式である。カナダ B.C.のオーカーナガン湖浮橋の架替計画では、現在の上昇時の桁下クリアー高さ 18m をさらに高くする予定である。この形式は、各種の船舶衝突事故に見られるように、昇降機のタワー部分に構造的脆弱性が認められ、衝突を避けるシステムおよび船舶衝突時のエネルギー吸収システムの開発が必要となる。米国南部ルイジアナ州のメキシコ湾岸地帯に、存在している無数のパイヨウ(bayou：湿地帯の沼)・河川・運河を渡る鉄道橋には、橋を上昇させて船舶を通過させる形式のものが多く見受けられる。

### 7) 跳橋・跳開橋方式 (bascule bridge type, lift bridge type)

この方式には、跳橋を陸側両岸あるいは片岸側に設ける方法と、浮橋本体の片端(one leaf)あるいは両端(double leaf)とに設置する2種類の方法が用いられている。bascule はフランス語由来の用語で、跳ね板、シーソー、橋秤(balance à bascule)の意味を有する。

### 8) 沈水橋方式

橋梁・浮橋のスパンの一部を切り離してクレーン・ウインチで吊り上げ、水中に沈下させて水路を作り、その水中の上部を船舶の航行部分とする方法である。この方式は、ごく一部の浮橋の鋼製桁橋に実用化されているが、その使用例は少ない。※湾岸諸国の使用例を引用のこと。

### 9) 水中浮遊・潜水トンネル方式 (submersible bridge type)

カナダ太平洋岸は環太平洋地震帯上にあり、マグチュード 6-8 の大地震による長大スパン橋の耐震性がヴェンクーバーの海峡横断橋に要求されている。このため、現在通常の浮橋とともに海中に浮遊するトンネル管形式の道路橋の提案がなされ、その安全性・経済性の検討が行われている。浮遊道路管体の保持には、海上の浮体から吊り下げる方式と海底から保持する2種類の方式とがある。現在のコスト試算では2-3倍以上とされている。

中国では、海峡に架けられる浮橋の中央部を筒状トンネルにし、V字状に曲げて水中に浮遊させて海底から固定して、その上部の海面を船舶航行用の水路として常時確保する方式の提案がなされている。中国ではこのシステム案の浮橋を「便航式跨海橋」、海中浮遊のトンネル部分を「便航管道」と称している。

将来の浮橋の巨大地震および津波による橋梁被害対策の1形態として、その可能性の追求が近年各国で行われている。

## 第7節 現代浮橋・浮体構造と環境

欧米で浮橋の再評価と見直しが行なわれている理由には、経済性がその選択の最大の理由であるが、浮橋の特長の一つは、長大橋でも橋脚を持たず架橋でき、水域(河川・海峡・湖沼)への環境悪化の影響が少ない施工できるとともに、その後の水辺動植物の生態系に与える影響をも低減でき、さらに景観破壊をも少なくすることがかかるとなる。現代社会では生活の至便・利便性追及のあまり、環境負荷の増大および経済性およびを無視している場合が多い。所要資材・機材量の増加は、特にCO<sub>2</sub>換算負荷の増大を招いている。

ヨーロッパを含め世界各地では、増大する電力需要と炭酸ガス対策および在来型発電設備の安全性の危惧のどの理由により、火力発電のエネルギー源である化石燃料の節減および原子力発電の耐震性の危険性を避けるため、自然エネルギーの発電への適用研究と実用化が、行われている。風力・潮力・波力などの発電基地としては、現在では浮揚構造物をもっとも将来性に富むと認識されている。この面における我が国の現状は、政府施策および企業の技術の技術水準の面からも、先進諸外国に後進国であることは異ならない事実である。

現代の建造物の主要資材であるセメント、鉄・鋼材の製造に際しては熱源以外にも、原材料に多量の石灰石(CaCO<sub>3</sub>)を消費し、その分解による炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)の大気中への排出は、全世界的に急増し今後も抑制される趨勢にはない。これらの製品製造時に発生する炭酸ガスおよび窒素化合物(NOx)の発生と大気中への逸散は技術的な対応が可能であるが、多量の石灰岩・鉄鉱石・鉱石・石炭の採掘・選鉱・運搬に伴う自然環境の破壊は、世界的な規模で行われ、これらの鉱山業に伴う環境負荷(LCA)については、これまでだれも包括的な積算をおこなっていない。現在では、これらの環境破壊は、規制の緩やかな非発展国・発展途上国多く見られ、特に規模の大きいアフリカ諸国・オセアニア・ブラジル・インド・中国などにおいて近年顕著である。

これらの自然破壊は、森林破壊のみならず採鉱に伴い発生する廃泥・廃土砂の河川の汚染さらには海洋汚染にも直接関係し、地球生態系も甚大な悪影響を与えている。貴金属・非鉄金属類の金・銀・銅・鉛・亜鉛・アルミニウム・ニッケルなどの場合も、個々の生産規模はセメント・鉄に比較して小さいが、原単位における原料・エネルギー消費と有害排気ガスの発生量は大きい。

物の製造・流通・消費・廃棄にいたる、地球環境に与えるすべての環境負荷に与える影響を測定する、いわゆるライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment: LCA)の評価は非常に困難であり、現在のところ重要な基礎資料に欠けている。森林の炭酸ガス抑制効果は、その消費と発生量の差からある程度から、ある程度の推定が可能である。また、ヴァジンの鉱石原料を用いた場合の、我国を含めた先進諸国でのこれら建設主要資材の、製錬・製造工程から消費にいたる LCA は、把握が可能であり基礎資料が蓄積され、可能な限りの対策が各企業でとられ、米国などを除いては先進国政府は京都議定書達成のための行政指導が行われつつある。

しかし、現在鉱物資源の開発・採掘は主として南米・アフリカ大陸、オセアニア・東南アジア諸国、インド、中国で行われている。このため、未発展国・発展途上国における鉱業・工業開発に伴う環境負荷に関する資料はなく、今後も自然破壊が推移し炭酸ガス・メタンガスなどの大気中での蓄積により、今後の地球温暖化は加速されるであろう。

建設産業が消費するあるいは発生させている環境負荷の評価は、力学的に最適な構造体の採用と共に、使用材料・施工・維持管理・耐久性・廃棄処理にいたる LCA 評価を計画の段階で行なう必要がある。今後はその上で、予算に伴うコストが評価されるべきである。これまでは土建業が得意とする、先ず埋め立てありきは基本的に修正する必要がある。

湖沼・海岸・干潟の埋め立ては、復活不能の自然環境破壊であることが、漸く認識されつつある。埋め立て不要構法の採用により潮流変化・環境破壊を最小限度に食い止め、施工中での有機質・鉱物質・金属類の有害物「底質へドロ」の拡散を防止し、水質汚染・腐敗・へドロ堆積、砂浜の消失、或は過剰堆積災害、水辺・水中動植物の生存環境破壊を最小限に食い止めることが可能である。

かつて、千葉県はデベロッパーと共同して、広範囲にわたる東京湾奥地の干潟・砂浜を埋め立て、道路・鉄道・住宅・工業・倉庫・展示・遊興施設など用地を開発し、その成果を挙げている。しかし、埋め立て土砂の不足のため、埋立海浜近隣の海中からサンドポンプで多量の土砂を採取した。当事者および権威者は、このことは東京湾潮流の流れを良くして、有害プランクトンの発生を抑止し、その結果沿岸漁業にも役立つとしてきた。その後、

植物性プランクトンの異常発生による赤潮により、湾奥部の魚介が全滅した。ダイバーによる海底調査の結果、これらの海底部分にはサンドポンプの浚渫による、巨大クレーター状の凹部が多数存在し、その部分にはヘドロが堆積し、むしろこれらのクレーターの存在が、潮の流れを阻害し赤潮発生に寄与して事実が、写真と共に新聞報道された。この問題に関する関係者および識者のコメントは、発表されなかった。また不適切な埋立用土砂の地震時の地盤流動化対策が、埋め立て時に考慮されることは無かった。