

## 11章 付帯設備の設計

### 11.1 接続構造の設計

#### 11.1.1 一般

浮体橋本体と固定橋を接続させる構造（緩衝桁、支承、伸縮装置等を含む）の設計においては、浮体橋の動揺等による影響に対応できる構造とし、地盤変形の影響等についても考慮するものとする。部材応力の安全性とともに、変形に対しても機能が確保できる構造とする。

接続構造は、一般の固定道路橋とは異なり潮位差や波浪による海面の変動によって絶えず動揺する浮体橋に追従させる必要がある。このため、浮体橋の動揺特性を考慮して、交通機関の許容傾斜値以内に収める処置や、折れ曲がり部に曲率を与える処置等の検討を行わなければならない。

なお、接続構造の設計に考慮する移動量（固定橋と浮体橋の相対変位）は係留構造の設計とも密接な関係を有している。係留構造における浮体橋の拘束度を上げると、潮位や波浪等にもなう浮体橋本体の動揺による伸縮量は小さくなり、接続構造をより簡易な構造にできる反面、係留構造の反力が増大して基礎が大きくなり、不経済な設計になることもある。したがって、設計においては両者のバランスに留意する必要がある。

また、接続構造は走行車両の安定性及び乗り心地に大きな影響を与えない等、道路構造として安全で耐久的かつ経済的な構造としなければならない。

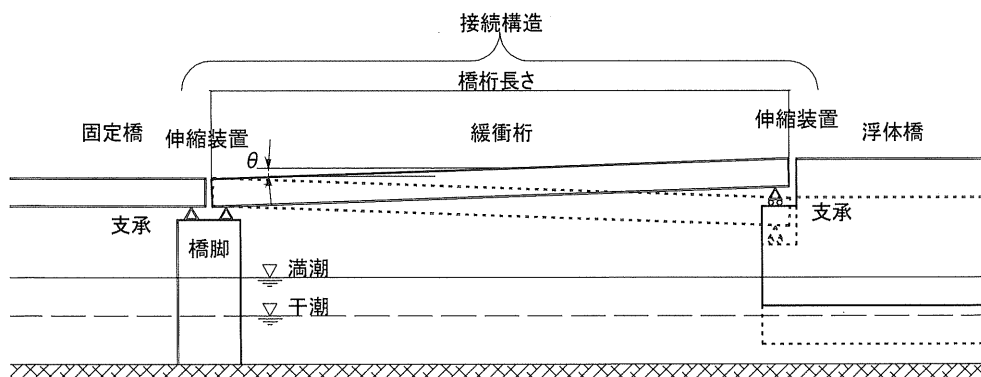


図-11.1.1 接続構造の概念図

- 1) 緩衝桁は、潮位変動、活荷重及び風・波浪により動揺する浮体橋端部と固定橋を接続するものである。
- 2) 支承は、浮体橋の動揺や潮位変動、橋脚の地盤変動等による緩衝桁の角折れ現象に追従さ

せるために設置するものである。

- 3) 伸縮装置は、面内・面外方向の回転に追随し、暴風時における大移動量に対しても車両の安全な走行性を確保するため設置するものである。

### 11.1.2 緩衝桁の設計

- (1) 緩衝桁は、安全性、使用性や耐久性に配慮して設計しなければならない。
- (2) 緩衝桁は、浮体橋本体と固定橋を合理的に接合できる構造であるとともに、その相対変位に対して確実に対応できる構造としなければならない。

- (1) 緩衝桁は、支承、伸縮装置とともに接続構造を構成する要素であり、浮体橋本体と固定橋間に発生する相対変位に対応可能なように設計する必要がある。

緩衝桁において照査すべき事項は次のとおりである。

#### 1) 安全性に関する検討

設計波浪時、設計地震時に対して次の事項を照査する。

- ①作用断面力に対する破壊安全度の照査
- ②修復不可能な相対変位が残らないこと
- ③二次部材が破損しても修復可能な範囲にあること
- ④疲労照査レベルの波浪、活荷重に対して可動部各部位の劣化に対する安全度の照査

#### 2) 使用性に関する検討

温度変化や供用時波浪、潮流に対して次の事項を照査する。

- ・車両の走行性の確保（継手部の伸縮、角折れの許容限度内かを照査）

なお、浮体橋が航路に位置し、船舶通過時に緩衝桁を昇降、旋回、伸縮等により可動させる必要がある場合は、極力単純な機構を採用することとし、可動作業に必要な装置または設備についても動力の遮断、振動等に対して安全側に作動するように検討する必要がある。

- (2) 緩衝桁は、潮位変動、活荷重载荷にともなう喫水変化による縦断勾配の変化、及び風、潮流等による変位に対する水平面内の回転等に対応可能な構造を選定する必要がある。

なお、緩衝桁にねじれ変形が発生する場合は、床組構造を考慮したねじれ剛性の評価方法及び舗装構造の耐久性についても留意する必要がある。

緩衝桁の構造は、一般に以下のように決定される。

#### 1) 傾斜（縦断勾配）について

一般的な交通機関としての自動車の場合には、設計速度に従った勾配としており、設計速度が50～100km/hでは、6～3%程度（ $\tan \theta$ ）である。道路橋の場合は、架橋地点の干満差を考慮の上、道路規格にあわせた傾斜となるように緩衝桁の長さを決定することが望ましい。

#### 2) 角折れ（鉛直）について

浮体橋と緩衝桁、及び緩衝桁と固定橋の継手に発生する角折れは、構造上、特に車両の走行性を確保する上で、浮体橋特有の考慮すべき問題の一つである。

最大折れ角を抑えたい場合は、角折れ（傾斜）緩衝桁を設けて折れ点を2ヶ所とし、1ヶ所の折れ角を低減させることができる。例えば、図-11.1.2のように角折れ緩衝桁を設置した場合、

$$\theta_1 = \theta / (1 + L_1/L_2) \quad , \quad \theta_2 = \theta / (1 + L_2/L_1)$$

となり、 $L_1$ と $L_2$ を等しくすれば、 $\theta_1 = \theta_2 = \theta / 2$ となり、最も望ましい。

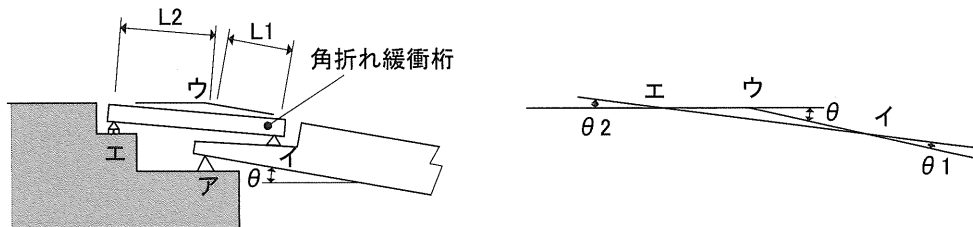


図-11.1.2 角折れ緩衝桁（鉛直）

凸傾斜、及び凹傾斜となる場合の緩衝桁の設置例を図-11.1.3、及び図-11.1.4にそれぞれ示す。

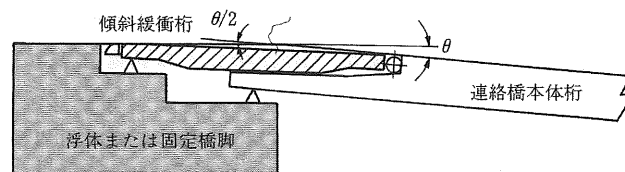


図-11.1.3 凸傾斜の場合

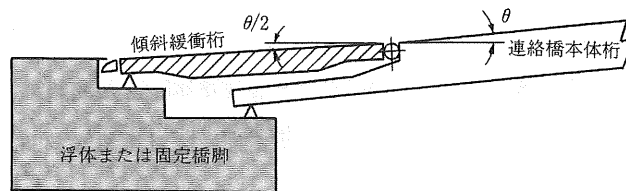


図-11.1.4 凹傾斜の場合

分割後の $\theta_1$ と $\theta_2$ が所定の角折れ量を超える場合には、緩衝桁を多段に使用して、3分割以上にすることになる。

ここで、角折れ量の許容値は、車両の走行性、すなわち乗り心地により設定される。「夢舞大橋」では、走行シミュレーションを実施して角折れ量を決定している<sup>1)</sup>。

なお、路面性状と走行性の関係については、例えば、道路橋伸縮装置便覧（日本道路協会）<sup>2)</sup>が参考となる。

また、角折れにより発生する路面の不陸についても極力小さくする必要がある。この対策としては、

- ①緩衝桁の回転中心，すなわち，視点位置を極力路面に近づける
- ②角折れ位置に，2 次的な緩衝桁を設置する

等が挙げられる。

### 3) 角折れ（水平）について

接続構造が平面線形上曲線部にある場合や、浮体橋に水平面内の回転が許される係留方法となっている場合には、図-11.1.5 に示すような水平面内緩衝桁を設置することにより、回転角度を緩和することが可能である。

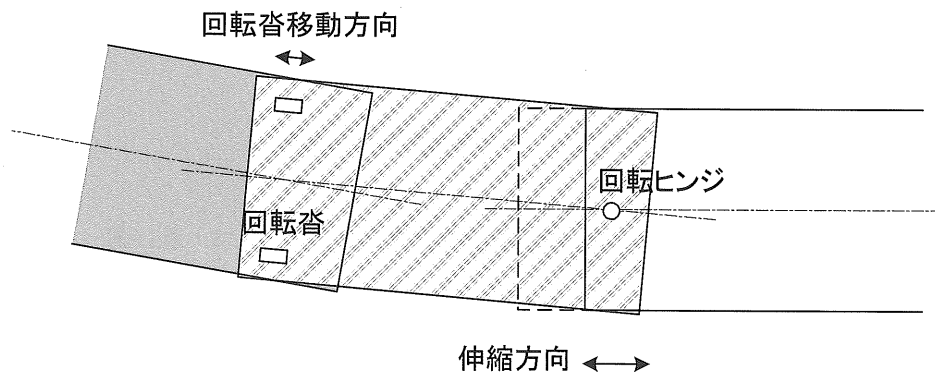


図-11.1.5 角折れ緩衝桁（水平）

### 11.1.3 支承

- (1) 支承は、その取り付く構造部位間（固定橋—緩衝桁間，緩衝桁—浮体橋間，等）の荷重を確実に伝達し、潮位変動，地震，風，温度変化等に対して安全となるように設計しなければならない。
- (2) 可動支承の移動量は、通常の支承と同様に弾性変形等によって生じる移動量のほか、浮体橋本体の動揺に追従できるように余裕のある構造としなければならない。

- (1) 支承は、その取り付く構造部位間（固定橋—緩衝桁間，緩衝桁—浮体橋間，等）の荷重を確実に伝達する機構であるばかりでなく、温度変化や弾性変形による桁構造の伸縮，さらにたわみや潮位変動による回転等に対して忠実に作動するものでなければならない。地震力，風荷重等の横荷重が支承を通して伝達される部位に関しては、支承がこれらの横荷重に対しても安全となるように設計しなければならない。

なお、支承を浮き上がらせるような負の反力が加わると、橋の各部に予期しない応力が発生して好ましくない。橋の構造形式の選定にあたっては負の反力ができるだけ生じない

ような構造系を選ばなければならない。負の反力が発生するおそれのある場合には、十分な余裕を見込んでおくことが望ましい。

- (2) 可動支承の移動量は、上部構造の温度変化、たわみ、コンクリートのクリープ及び乾燥収縮、プレストレスによる部材の弾性変形等によって生じる移動量のほか潮位変動や波浪等によって直接的にけた端における移動量として現われてくるので、余裕のある構造としなければならない。

可動支承の移動量の算定には、上記計算移動量のほかに設置誤差や地盤沈下にともなう下部構造の沈下、側方移動等に対処できるように、余裕量をみておかなければならない。夢舞大橋<sup>1)</sup>では、対象基礎と埋立護岸との距離が近いことから、下記②の事項及び地震時の側方流動に留意し、地盤変動解析を行っている。

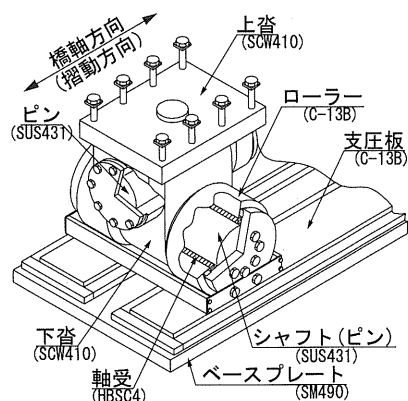
- ① 沖積層及び洪積層の圧密にともなう地盤沈下
- ② 埋立盛土荷重による側方流動
- ③ 支持層より上の粘土の圧密にともない基礎構造に発生するネガティブフリクション

#### [参考]

夢舞大橋における、可動沓（プレビディローラー沓）、水平固定沓及び水平可動沓の基本的な鉛直及び水平荷重支持以外の要求性能、ならびに各沓の特徴と構造図を以下に示す。

#### 1) 可動沓（プレビディローラー沓）

- ・ 水平沓を中心とした円弧運動と円弧運動にともなう橋軸方向移動に追従できること。
- ・ 緩衝桁の端横桁のたわみ角に追従できること。
- ・ 耐摩耗性に優れること。
- ・ メンテナンスが容易で迅速に行えること。



#### [特徴]

- ・ 可動沓は、耐久性とメンテナンスの作業性を考慮し、ローラーとシャフト（ピン）を独立構造としている。
- ・ ローラー内部に軸受けを設けて摺動性を高めている
- ・ ローラーの摺動部分には同材質（C-13B）の支圧を設けている
- ・ 荷重偏載時、ローラーに作用する付加モーメントの低減策として橋軸方向ピン機構を追加している。

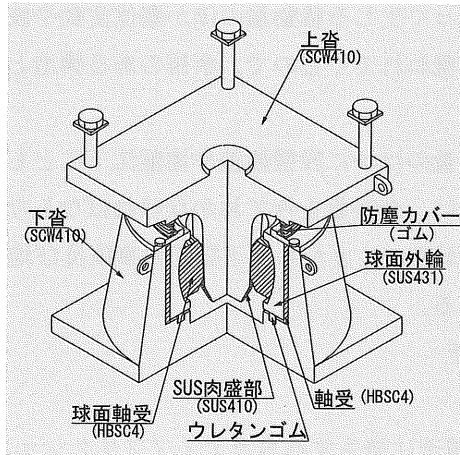
図-11.1.6 可動沓（プレビディローラー沓）の構造概要図

#### 2) 水平固定沓

- ・ 開閉橋時において、上沓突起部の脱着が容易に行えること。
- ・ 地震時及び上沓突起部挿入時の水平力に対して強度を保持し、水平力を確実に伝達させるこ

と。

- ・ 緩衝桁の平面角折れ及び縦断勾配の変化に追随し、かつ全方向に回転可能であること。



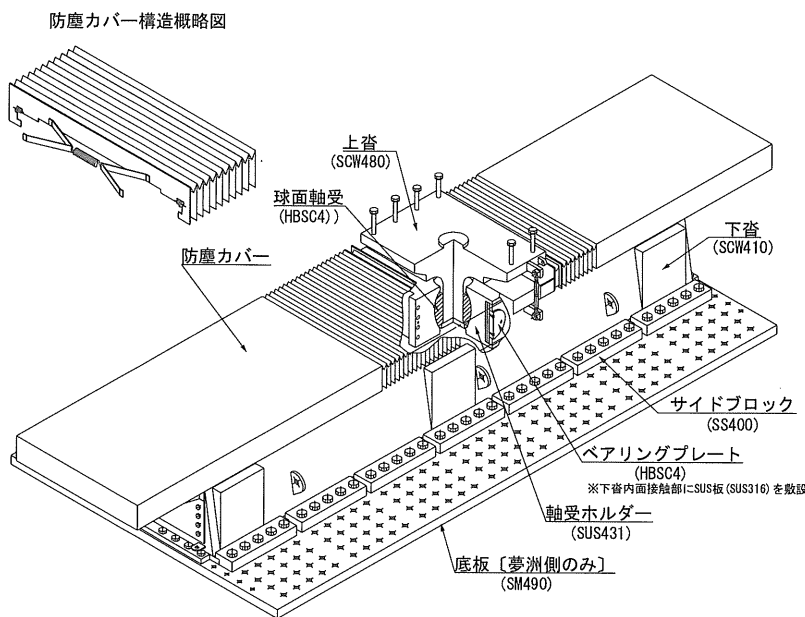
[特徴]

- ・ 水平固定沓は、脱着性を考慮して上沓を凸型、下沓を凹型とし、上沓と下沓の芯ずれが50mm以内であれば、上沓と下沓内部に装着した球面軸受が接触しながら挿入できる構造としている。
- ・ 球面軸受を装着することにより、全方向に対する回転が可能である。
- ・ 上沓突起部で球面軸受と接触する部分については、防錆と接触時の課率係数軽減を図るため、ステンレス(SUS410)の肉盛を施している。
- ・ 上沓と球面軸受けとのかみ合い防止機構として、球面外輪の下面に衝撃吸収用のウレタンゴムを配置している。

図-11.1.7 水平固定沓の構造概要図

3) 水平可動沓

- ・ 地震時の高速摺動に対して、橋軸方向移動が安定していること。
- ・ 緩衝桁の平面角折れ及び縦断勾配の変化に追随し、かつ全方向に回転可能であること。
- ・ 地震時上揚力に抵抗できること。
- ・ 橋軸直角方向の地盤変動に対して横移動可能であること。



[特徴]

- ・ 水平可動沓は、地震時の高速摺動に対して、安定した橋軸方向の移動が可能となるように、上沓部がU字型の下沓で支持され、摺動部分にベアリング機構を有する構造としている。
- ・ 水平固定沓同様、球面軸受を装着することにより、全方向に対する回転が可能である。
- ・ 夢洲側には、地震変動対策として横移動吸収機構を設けている。
- ・ 摺動部における防錆と異物混入を防止する目的で、大移動量に追随するジャバラ形式の防塵カバーを装着している。

図-11.1.8 水平可動沓の構造概要図

## 11.2 伸縮装置の設計

- (1) 伸縮装置は、設置する道路の特性や必要伸縮量を基本とし、耐久性、平坦性、排水性、水密性、施工性、補修性及び経済性等を考慮して設計するものとする。
- (2) 浮体橋の伸縮装置は温度変化や活荷重載荷に伴う桁端部の変位のほか、潮位や波浪等にもともなう浮体橋本体の動揺に十分追従できるよう、必要伸縮量を算定するものとする。

浮体橋に用いる伸縮装置は、通常の伸縮装置の機能である温度変化による桁の伸縮や活荷重載荷による桁端部の回転変位への対応に加えて、潮位変動や浮体橋本体の動揺により生じる桁端部の角折れ等を緩和できる構造とする必要がある。代表的なものとしては、

- 1) パッセージボード伸縮装置
- 2) 荷重支持型ゴム伸縮装置
- 3) ローリングリーブ伸縮装置

等がある。参考までに伸縮装置の構造例を表-11.2.1に示す。

浮体橋の拘束条件にもよるが、橋軸方向のほか橋軸直角方向や鉛直方向、軸周りの回転等伸縮装置に生じる変位方向と変位量を十分に把握した上で、必要伸縮量を算定しなければならない。

また、船舶通過時に桁を開閉・回転等により移動させる浮体橋については、可動作業に要する必要遊間量についても検討する必要がある（図-11.2.1参照）。

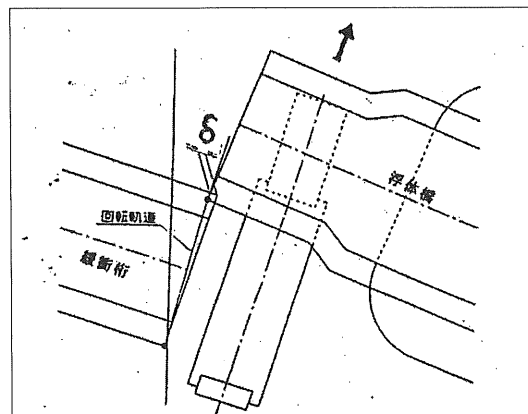
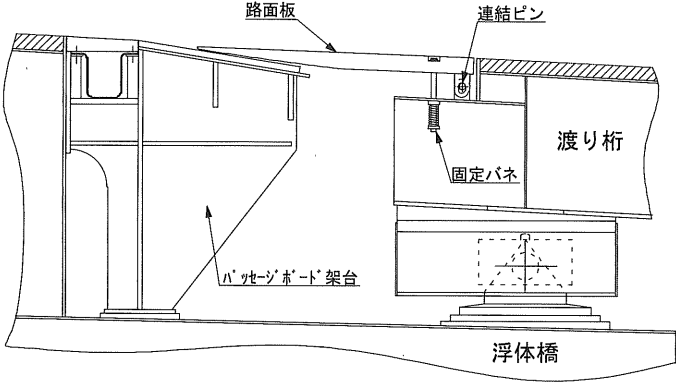
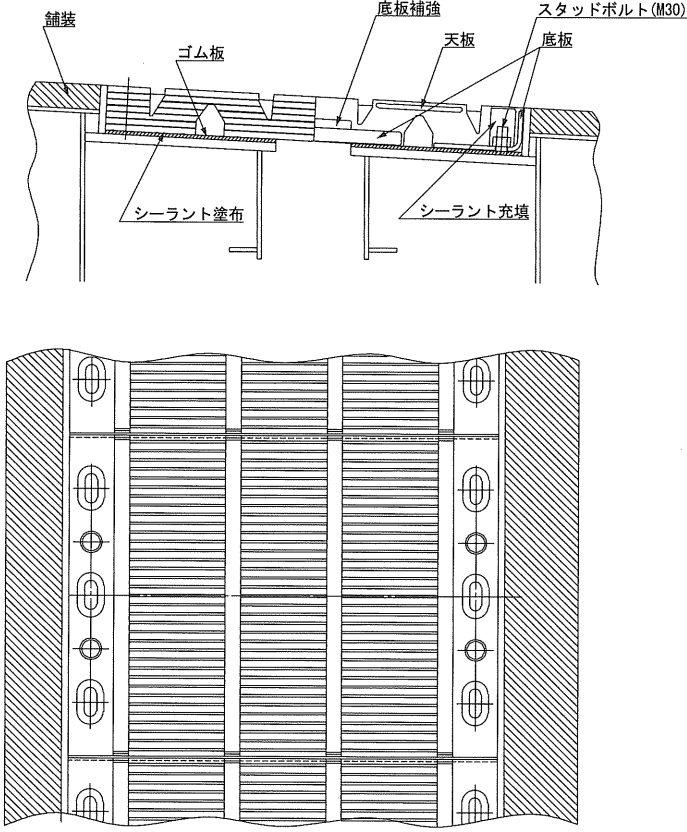


図-11.2.1 浮体橋回転時の必要遊間

表-11.2.1 伸縮装置の参考例<sup>2)</sup>

形式	構造図	特徴	適用
<p>パッセージボード 伸縮装置</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮体橋の切り欠き部にパッセージボード架台と称する緩い傾斜を持った架台を設置し、この上を厚板の路面板がスライドする形式</li> <li>・幅方向にブロック単位での取り替えが可能で、かつ構造も簡単なためメンテナンスが容易</li> </ul>	<p>伸縮量 小</p>
<p>荷重支持型ゴム伸縮装置（板状型）</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゴムと鋼材を一体化した構造で、ゴムのせん断変形によって伸縮量をとる形式</li> </ul>	<p>伸縮量 中</p>



形式	構造図	特徴	適用
<p>荷重支持型ゴム伸縮装置（セル型）</p>		<p>・サポートビーム上にシールゴムがついたミドルビームが載っており、移動に対してシールゴムが変形するとともに、サポートビームが上下ベアリング間をスライドする形式</p>	<p>伸縮量大</p>
<p>ローリングリフ伸縮装置</p>		<p>・可動側の構造物に定着する端桁と固定側の構造物に定着する支持台、輪荷重を直接受ける路面板から構成され、中間滑り板が舌板下面に潜り込むような形でスライドする形式</p>	<p>伸縮量特大</p>

## 11.3 維持管理設備の設計

### 11.3.1 一般

浮体橋には維持管理計画に基づき、適切な維持管理が行える設備を設けるものとする。

浮体橋を長期間にわたり供用するためには、12章に規定しているように適切な維持管理が必要であり、事前の維持管理計画に基づいた作業を行うための諸設備を設けなければならない。

浮体橋の維持管理設備は一般の固定橋と同様の設備と、浮体橋の特性を十分に考慮した浮体橋独自の設備に分類される。いずれも維持管理作業が安全かつ合理的に実施できるよう設計する必要がある。表-11.3.1に浮体橋特有の事象に対して必要な維持管理設備を示す。

表-11.3.1 浮体橋の維持管理に必要な設備

部 位	調査・点検項目	維 持 管 理 設 備	
浮体本体	喫水	喫水調整	バラストタンク，ポンプ (バラスト材料：水，スラリー，流動化砂等)
	浸水	浸水探知	喫水マーク 浸水モニタリング設備
		浸水点検	内部点検設備 (マンホール，昇降用設備等)
		浸水対策	排水用ポンプ
		浸水予防	ポンツーン構造の多室化 衝突防止設備 (緩衝工等)
	コンクリートのひび割れ	健全度点検	内部点検設備 (マンホール，昇降用設備等)
	鋼材の損傷，腐食		外部点検設備 (点検歩廊等)
	アクセス用設備 (船舶係留装置等)		
緩衝桁部	異常音の有無	健全度点検	内部点検設備 (マンホール，昇降用設備等)
	摩耗状態		外部点検設備 (点検歩廊等)
	鋼材の損傷，腐食		
係留装置	ローラー部の損傷，摩耗	健全度点検	外部点検設備 (点検歩廊等)
	係留アンカー・チェーン・ 索の腐食，劣化		
	防舷材の劣化		
	鋼管杭の損傷，腐食		

### 11.3.2 点検通路及び作業空間

- (1) 浮体橋には作業者の移動及び維持管理作業が安全かつ容易にできるよう、点検通路や作業空間を設けるものとする。
- (2) 点検通路及び作業空間は浮体橋の機能を妨げず、かつ損傷を与えないような構造及び配置としなければならない。

点検通路及び作業空間は、維持管理計画にもとづく点検・補修作業が安全かつ容易に実施できるよう、浮体橋の構造に応じて適切な設備を整備する必要がある。

該当する設備としては、

- ・点検歩廊
- ・昇降設備
- ・マンホール
- ・作業用足場

等が考えられる。

いずれも所与の機能を十分に発揮できるよう設計することはもちろん、波浪や潮位変動等による浮体橋の運動による影響を加味した構造にしなければならない。また、他部材との干渉等により浮体橋の機能を阻害することのないよう、取り付け位置等には十分に注意しなければならない。

さらに、これらの設備は腐食環境の厳しい箇所に設置されることも多く、設計に当たっては、防錆にも十分配慮する必要がある。

点検通路、作業用足場等の設計する際には、その設計荷重は、保守点検作業用機器等の持込を想定し決定する必要がある。また、手摺の高さの設定においては、「労働安全衛生規則（足場等の高さ）」を考慮する必要がある。

作業用足場については、使用頻度等を考慮して取り外し可能な構造とすることも一つの方法である。その場合、例えば吊ピース等の二次的な部材を構造物本体に取付ける場合には、それを起点とする疲労損傷が生じないよう取り付け位置等を十分検討し、本体構造に損傷を与えないよう十分に配慮しなければならない。

### 11.3.3 アクセス用施設

浮体橋には維持管理に使用する機材等を安全かつ合理的に搬入できるよう、必要に応じてアクセス用施設を設けなければならない。

点検や補修等の維持管理を行うにあたり、人員のみならず、車両や機材等を対象部位までアクセスさせなければならないことがある。あらかじめ策定した維持管理計画において、作業の頻度や規模、方法に応じて必要と判断された場合には、車両や機材等が対象部位までアクセスするための施設を設けるものとする。

具体的には、車両の搬入口、機材搬入用の開口部、小型船舶の係留装置等が考えられる。

設計に当たっては、11.3.2と同様にこれらの施設は橋梁本来の機能を妨げず、かつ浮体橋本体に損傷を与えない構造としなければならない。また、設計荷重は、それぞれの用途に応じ適切に設定する必要がある。

なお、関係者以外が容易には侵入できない対策も施しておく必要がある。

#### 11.3.4 喫水調整用設備

ポンツーンの喫水調整等が将来必要である場合には、バラスト材料や調整方法に応じて適切な喫水調整用設備を設けなければならない。

橋台側の地盤変動等により縦断勾配や桁端部での角折れ等が車両通行に支障を生じさせるような状態に達した場合、車両や人を安全に通行させる橋梁としての機能を確保するためにポンツーンの喫水調整が必要となる。このようなケースが想定される場合には、浮体橋にあらかじめ喫水調整用設備を設けなければならない。

喫水調整用設備は、調整時に用いるバラスト材料やその投入方法等に応じて適切な設備（例えば、それが水等の液体であればバラストタンクやポンプ等）を設けなければならない。

#### 11.3.5 浸水対策設備

ポンツーンの浸水対策等が必要である場合には、浸水規模や排水方法等に応じて適切な浸水対策設備を設けなければならない。

ポンツーンの浸水は浮体橋の崩壊に直接つながるため、浸水に対して十分な安定性を確保する必要がある。

Bergsoysund 橋では、環境条件、橋体応答、安全運用ならびにポンツーンの鉄筋腐食監視のための計器が設置されている。計測は現地の管理室に設置されたパソコンで自動化計測を実施しており、現地管理室と PRA（ノルウェー公共道路庁）とはオンラインで、リアルタイムのデータが得られるシステムとなっている。しかし、いずれも自動制御機能はなく、道路管理者によってその対策が施される。

##### ①環境条件

風向・風速、波高・周期、潮位、気温、水温、ポンツーン外壁の静水圧

##### ②橋体応答

上部構造・連結装置（フレキシブルロッド）のひずみ、上部構造の鉛直・水平加速度及び角加速度

##### ③安全運用

ポンツーン外部ハッチ及び内部水密隔室扉の開閉状態、内部水密隔室の水位、ポンツーン

ン内部の警報装置，橋梁構造の崩壊検知，電送/情報システムの故障検知

④腐食

電気抵抗探査，固有抵抗探査，照査電極

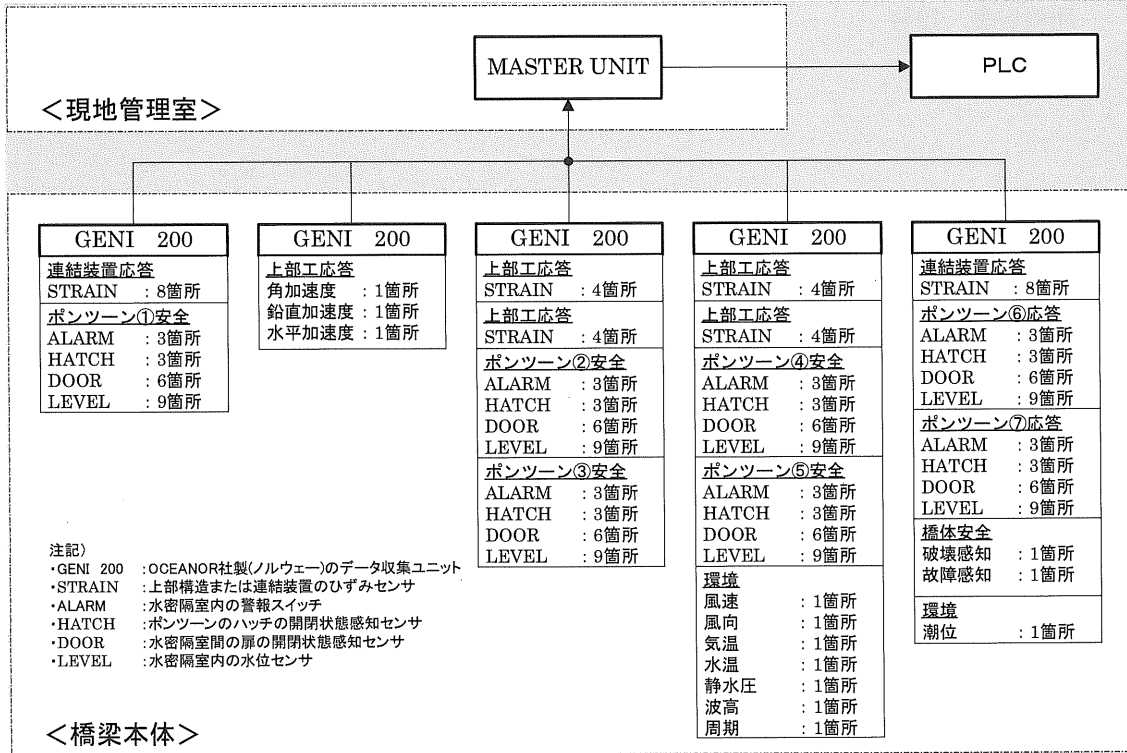


図-11.3.1 モニタリングシステムの事例<sup>3)</sup>

11.3.6 防食対策設備

ポンツーン的设计供用期間に応じて適切な防食対策を実施するとともに、定期的に防食効果を点検するため、適切な防食対策設備を設けなければならない。

一般環境に比較して、ポンツーンは腐食に対して厳しい環境にあるとともに、海上大気中、飛沫帯、干満帯、海水中の別により腐食速度も異なる。このため、構造条件、環境条件、防食性能、施工性、経済性等について総合的に検討し、信頼性の高い防食工法を選定する必要がある。

防食工法には、電気防食工法、被覆工法、腐食代による方法等があるが、いずれも恒久的な防食対策ではなく、定期的な維持補修が必要である。なお、参考資料2.鋼の防食工法に、構造物ごとの防食対策が示されているので参照されたい。

## 参 考 文 献

- 1) 大阪市：夢舞大橋工事誌，平成14年3月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋伸縮装置便覧，昭和45年4月
- 3) (財)沿岸開発技術研究センター：海峡横断路シンポジウム参加及びノルウェー浮体橋視察団報告書，1994