

## 6章 使用材料

### 6.1 一般

浮体橋に使用する材料は、原則として「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会）に従い、適切に選定しなければならない。

- 1) 浮体橋は、基本的に湖水上あるいは海水上で建設される構造物であり、材料の選定にあたっては使用環境に関する十分な配慮が必要である。
- 2) 建築物、鉄道等に使用する材料は、それぞれ、建築基準法（昭和 25 年法律第 201 号）<sup>1)</sup>、普通鉄道構造規則（昭和 62 年運輸省令第 14 号）<sup>2)</sup>、軌道建設規定（大正 12 年内務・鉄道省令）<sup>3)</sup>等、及びこれらに基づく命令等が適用される。

### 6.2 コンクリート

#### 6.2.1 使用材料

浮体橋に使用されるコンクリートの材料は、日本工業規格に適合するもの又はこれと同等以上の適切な品質を有することを原則とする。

浮体橋に使用されるコンクリートの材料は、原則として「コンクリート標準示方書」（土木学会）<sup>4)</sup>、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）、港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）に従い、適切に選定する。

#### [参考]

浮体橋に使用されるコンクリートは、水による影響を受けることを注意する必要がある。詳細については、コンクリート標準示方書、または次の示方書類が参考になる。

「セメントコンクリート舗装要綱」（日本道路協会）<sup>5)</sup>

「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」（鉄道総合技術研究所編）<sup>6)</sup>

「海洋コンクリート構造物設計施工指針」（土木学会）<sup>7)</sup>

「プレストレストコンクリート港湾構造物設計マニュアル」（沿岸開発技術研究センター）<sup>8)</sup>

#### 6.2.2 防食の方針

浮体橋におけるコンクリート構造物は厳しい環境条件下にあるため、防食に対する検

討を行うものとする。

コンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、コンクリートの劣化とそれによって顕在化する内部鉄筋（鋼部材）の腐食を防止する必要がある。とくに、海上橋梁としての浮体橋は、一般的なコンクリート構造物に比較して厳しい環境条件下に置かれることから、防食検討は必ず行う必要がある。なお、防食検討は、設計・施工・供用開始後の各段階におけるコンクリート及び内部鉄筋（鋼部材）の各々に対して行うものとする。

### 6.2.3 劣化機構（劣化要因）の把握

浮体橋におけるコンクリート構造物の防食にあたっては、劣化機構（劣化要因）を把握しなければならない。

コンクリート構造物の防食にあたっては、コンクリートや内部鉄筋（鋼部材）の劣化機構（劣化要因）を把握することが重要である。また、供用開始後の構造物については、劣化調査に基づく要因の分析が必要となる。表-6.2.1は、コンクリート構造物の一般的な劣化機構、劣化要因や劣化現象等をまとめたものであり、本表の劣化指標に着目してコンクリート構造物の劣化を未然に防止する対策を施す必要がある。

供用開始後におけるコンクリート構造物では、表-6.2.2に示すように劣化現象が似通っていることが多く、コンクリート表面の劣化現象から劣化機構（劣化要因）を推定することが困難な場合がある。そこで、外的要因によって顕在化する劣化機構（表-6.2.3参照）を認識したうえで、構造物が置かれている環境条件を調査し、さらに表-6.2.1の劣化の特徴や劣化指標を参考にしながら劣化機構（劣化要因）を特定することが必要である。

表-6.2.1 コンクリートの劣化機構と要因、指標、現象<sup>9)</sup>

劣化機構	劣化要因	劣化現象	劣化指標
塩害	塩化物イオン	塩化物イオンによってコンクリート内部の鋼材の腐食が促進され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の腐食が生じる劣化現象。	塩化物イオン濃度、鋼材腐食量
中性化	二酸化炭素	二酸化炭素がセメント水和物である水酸化カルシウムと反応を起こし、強アルカリであるコンクリートがpH10以下に中性化され、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の腐食現象を引き起こす劣化現象。	中性化深さ 鋼材腐食量
アルカリ骨材反応	反応性骨材	骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物や炭酸塩岩を有する骨材がアルカリ性水溶液と反応して、コンクリートの異常膨張によるひび割れを生じさせる劣化現象	膨張量（ひび割れ）
凍害	凍結融解作用	コンクリート中の水分が凍結・融解を繰り返し、コンクリート表面からスケーリング、微細ひび割れおよびポップアウトなどの形で劣化する現象。	凍害深さ 鋼材腐食量
化学的侵食	酸性物質 硫酸イオン	酸性物質や硫酸イオンとの接触によりコンクリート硬化体が分解したり、化合物生成時に膨張圧によってコンクリートが劣化する現象。	劣化因子の浸透深さ 中性化深さ 鋼材腐食量
床版の疲労	大型車通行 (過積載車の通行)	輪荷重の繰り返し作用によって道路橋床版に2方向ひび割れが進展し、コンクリートの剥離・陥没に至る劣化現象。	ひび割れ密度 たわみ

表-6.2.2 劣化機構とコンクリート表面の劣化現象<sup>11)</sup>

劣化機構	劣化現象の特徴
塩害	鉄筋の軸方向ひび割れ、コンクリート（かぶり）の剥離・剥落、錆汁、内部鉄筋の腐食による断面減少や切断
中性化	鉄筋の軸方向ひび割れ、かぶりコンクリートの剥離・剥落
アルカリ骨材反応	亀甲状のひび割れ、ゲル状物質の析出、コンクリート表面の変色
凍害	微細なひび割れ、スケーリング、ポップアウト
化学的腐食	コンクリートの剥離・剥落、コンクリート表面の変色
床版の疲労	2方向ひび割れ、コンクリート剥離・剥落・陥没、遊離石灰や錆汁の流出

表-6.2.3 外的要因と劣化機構<sup>9)</sup>

外的要因		顕在化する劣化機構
環境条件	海岸地域	塩害
	寒冷地域	凍害、塩害
	温泉地域	化学的侵食
	乾湿繰り返し	アルカリ骨材反応、塩害、凍害
	凍結防止剤使用	塩害、アルカリ骨材反応
使用条件	繰り返し荷重	疲労
	二酸化炭素	中性化
	酸性雨	化学的侵食

#### 6.2.4 防食工法

コンクリート構造物は、設計・施工から供用開始後に至るまで適切に管理し、内部鋼材の防食に努めなければならない。防食工法にあたっては、架橋地点の環境、部位・規模、部材形状及び経済性を考慮して決定するものとする。

コンクリートは pH10 以上の強アルカリ性であることから、十分な管理が行われた密実なコンクリートは外部からの二酸化炭素、水分、塩化物イオン等の侵入を防止し、コンクリート中の鉄筋や鋼部材を腐食から保護する機能を備えている。この保護機能を十分機能させるためには設計・施工から供用後に至るまで適切に管理するとともに、適宜防食を施すことが必要である。

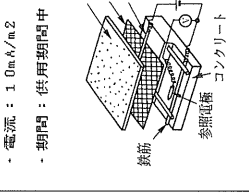
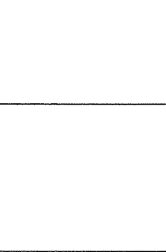
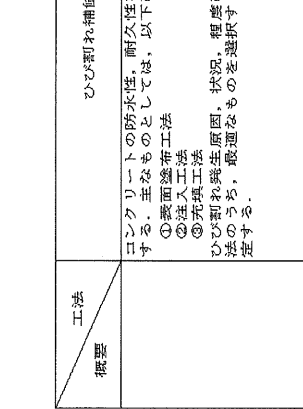
海上に設置される浮体橋の場合にはコンクリートにとってさらに厳しい環境条件下におかれるため、防食対策が必要となる。防食工法としては大きく分けて施工中におけるものと供用開始後におけるものがあり、供用開始後においては劣化・損傷したコンクリートの補修も含まれる。表-6.2.4 は、その概要を、表-6.2.5 は供用開始後に劣化が進展した場合のコンクリートの防食工法をまとめたものであり、実施にあたっては、架橋地点の環境、部位・規模、部材形状及び経

済性を考慮のうえ適切に決定する必要がある。なお、ここで示した施工中の防食工法についての詳細はコンクリート標準示方書（土木学会）<sup>4)</sup>，供用開始後の防食工法の詳細はコンクリート診断技術’03〔基礎編〕（日本コンクリート工学協会）<sup>11)</sup>等が参考となる。

表-6.2.4 具体的な防食工法<sup>10)</sup>

	施工中	供用開始後
コンクリート	①コンクリートの配合管理 ・水セメント比50%以下 ・高性能AE減水剤等の配合 ・塩化物混入量の管理 ・膨張材添加 ②鉄筋かぶり厚さの確保 ③入念な締め固め ④適切な養生（温度管理，水分管理）	①点検の実施と記録 ・通常点検 ・定期点検 ・異常時点検 ・詳細調査 ②補修による防食 （異常発生後の対応） ・ひび割れ補修 ・断面修復工法 ・表面被覆工法 ・電気防食工法 ・電気化学的補修工法
鉄筋（内部鋼材）	①被覆材の塗布 ・亜鉛めっき（塩分濃度に注意） ・エポキシ樹脂塗装 ②材質変更 ・ステンレス鉄筋 ・耐塩性鉄筋（Ni含有鋼） ③電気化学的な方法 ・電気防食など	

表-6.2.5 供用開始後のコンクリート防食工法例 1)

<p>工法 概要</p>	<p>ひび割れ補修工法</p> <p>コンクリートの防水性、耐久性を向上させる目的で電筋を埋め込む工法は、以下に示す3つの工法がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①薬液塗布工法</li> <li>②注入工法</li> <li>③電筋工法</li> </ul> <p>ひび割れ補修工法は、程度によって、上記3つの工法のうち、最適なものを選択するか組み合わせるかを決定する。</p>	<p>断面修復工法</p> <p>コンクリートの劣化により断面を喪失した場合や、中性化、塩害などの劣化原因を除去する場合は、断面修復工法が有効である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>①既存コンクリートと強度が同等以上であること</li> <li>②既存コンクリートと弾性係数等の物性が同等であること</li> <li>③乾燥収縮が小さく、接着性、施工性に優れること。</li> </ul>	<p>電気防食工法</p> <p>劣化により劣化したコンクリートの補修工法である。基本的に劣化時期に關係なく、劣化進行が懸念される構造物への適用も可能である。</p> <p>コンクリート表面に陽極材を設置し、コンクリート内の内部鉄筋に防食電流を供給する工法であり、外部電源方式と流電陽極方式の2種類の工法がある。</p>
<p>概要 概要図</p>	<p>電流：1.0mA/m<sup>2</sup></p> <p>期間：供用期間中</p> 	<p>電気化学的補修工法</p> <p>b) 再アルカリ化工法</p> <p>中性化が進行し、劣化したコンクリートの再アルカリ化および不動態化を目的として実施する。</p> <p>外部電極と内部の鋼材との間に直流電流をコンクリート中に強制流渡させる。</p> <p>電流：1.0mA/m<sup>2</sup></p> <p>期間：1週間</p> 	<p>電気化学的補修工法</p> <p>c) 電着工法</p> <p>海水中の陽極とコンクリート内部の鋼材を陰極として微弱直流電流を流し、海水中に存在するカルシウムイオンやマグネシウムイオンをコンクリート表面に炭酸カルシウムや水酸化マグネシウムとして析出させ、緻密な被膜を形成する工法。</p> <p>電流：1.0mA/m<sup>2</sup></p> <p>期間：1週間</p> 

## 6.3 鋼材

### 6.3.1 使用材料

浮体橋に使用される鋼材は、日本工業規格に適合するもの又はこれと同等以上の品質を有するものでなければならない。

使用鋼材、設計計算に用いる鋼材の定数は、原則として「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会）に従い、適切に選定する。

### 6.3.2 防食の方針

浮体橋に使用される鋼材については、厳しい腐食環境条件下にあるため、防食に対する検討を行うものとする。とくに、平均干潮面直下部については、厳しい局部腐食が発生することがあるので、適切な処置を講じる必要がある。

- 1) 防食方法は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会） 第3編 2.4 防食に基づいて、適切に選定しなければならない。
- 2) 鋼材に対しては、施設の設計供用期間に応じて適切な防食対策を実施するものとする。

### 6.3.3 防食区分

浮体橋の一般的な構造形式においては、腐食環境を考慮して適切な処置を講ずる必要がある。

- 1) 係留構造には干満帯が存在するので、後述3) の考え方を採り入れて防食区分を適切に選定しなければならない。
- 2) ポンツーン型浮体橋では、水面の上昇下降に追従して浮体橋本体自体が上下するので、一般に干満帯は存在しないことになる。この場合、鋼材腐食速度の深度方向分布は、図-6.3.1 から干満帯部位を取り除いた形状になると推測される。
- 3) 浮体橋では、内面・外面といった通常橋梁での防食区分以外に、腐食環境に応じた防食区分を設定して、区分毎の適切な防食仕様を選定することが重要である。

以下に、主な区分を示す。

#### ① 海上大気中

常に大気中に暴露して飛沫を受けない部位であり、腐食形態としては全面腐食である。

#### ② 飛沫帯

通常は大気中に暴露して飛沫を受けている部位であり、港湾構造物では一般にH. W. L. 以上としている。腐食環境としては最も厳しい。飛沫帯の上限高さは構造物の設置状況等を考慮して適切に設定することが望ましい。

## ③ 干満帯（存在しない場合がある）

潮位変動等の原因により水中没水と大気暴露を繰り返す部位であり、腐食環境としては厳しい。とくに、L.W.L.直下付近では厳しい局部腐食（港湾関係では集中腐食と呼称）が発生し、条件によっては飛沫帯より厳しい部位である。港湾構造物では一般にH.W.L.~L.W.L. - 1 mを干満部として考慮している。

## ④ 海水中

潮位変動等によらず常に海中に没している部位である。溶存酸素を除いて酸素の供給が少ないため腐食環境としては比較的良好であるが、生物付着や流速等が腐食因子として作用することがあるので注意を要する。

## ⑤ 海底土中

この部位は、チェーン係留における海底定着部等で想定できる。海底土中の腐食速度は一般的には海水中より小さいが、腐食性の大きなヘドロが堆積している場合は注意が必要である。

- 4) 腐食速度は塩分濃度や汚染の程度、河川水混入の有無、水域の気象海象条件等によっても影響を受けることから、その付近での過去の事例や類似条件下での調査結果を参考にし、防食対策を講ずることが望ましい。

## 6.3.4 耐候性鋼

耐候性鋼については、使用場所の適応性に十分に注意する必要がある。

- 1) 耐候性鋼は、全くの裸使用においては初期には錆汁発生の問題が避けられない<sup>12)</sup>。
- 2) 現状では海塩粒子が飛沫する場所（飛来海塩粒子量 $\geq 0.05\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$  as NaCl）では層状剥離錆が生成し、錆層が安定化しにくい海岸地域での鋼構造物への耐候性鋼の適用は制限されている<sup>12)</sup>。
- 3) 最近、1%Cr系の耐海水性鋼が、河川の水門に採用されている。耐海水性鋼は、海水環境においてはその耐食性は普通鋼の倍程度しかなく、塗装あるいはカソード防食等と併用することでその信頼性が高まる<sup>12)</sup>。
- 4) 耐海水性鋼の溶接金属部は、母材に比較して腐食電位がわずかに卑であるため耐食性が若干低下する。その対策として溶接金属部のCu, Ni量を少し高めた溶接材料が推奨される<sup>12)</sup>。

## 6.3.5 防食工法

防食工法には、次の2つがある。

- (1) 電気防食工法
- (2) 塗覆装工法

適用防食工法は、環境の腐食性及び防食工の特性等を十分検討し決定しなければならない。



浮体橋は、陸上の固定橋梁に比較すると厳しい腐食環境にあるため、適切な防食を講じる必要がある。

- 1) 防食工法は、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、信頼度の高い工法を選定するものとする。例えば、電気防食工法・塗覆装工法等がある。電気防食工法の適用範囲は、平均干潮面（M.L.W.L.）以下を原則とする。塗覆装工法の適用範囲は、朔望平均干潮面（L.W.L.）－1 m以浅とする。塗覆装工法は、次の4種類とする。詳細については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会） 第3編 2.4 防食を参考とする。
  - ① 塗装
  - ② 有機ライニング
  - ③ ペトロラタムライニング
  - ④ 無機ライニング
- 2) 無機ライニングの中には、金属ライニングも含まれる。この防食法には、チタンクラッドライニング、ステンレス鋼ライニング及び亜鉛、アルミニウム、アルミニウム合金及び亜鉛・アルミニウム擬合金の金属溶射等がある。
- 3) 防食効果に関し、定期的な点検を実施し、適切な維持管理を行うものとする。
- 4) 海洋における鋼材の腐食速度の深度方向分布は、一般に図-6.3.1のように示されている。鋼材の腐食速度は、腐食環境条件によって異なるので、浮体橋の環境条件を考慮して適切に決定する。表-6.3.1に腐食速度の標準値を示す。

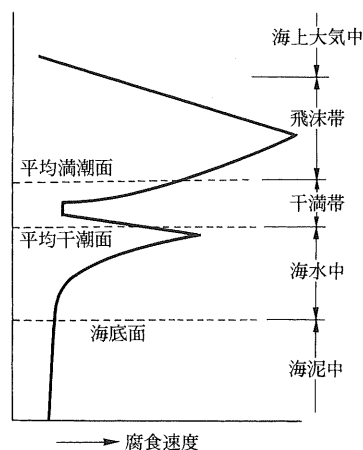


図-6.3.1 鋼材の腐食速度分布

表-6.3.1 鋼材の腐食速度の標準値

	腐食環境	腐食速度(mm/年)
海側	H.W.L. 以上	0.3
	H.W.L. ~ L.W.L. - 1 m まで	0.1~0.3
	L.W.L. - 1 m ~ 海底部 まで 海底泥層中	0.1~0.2 0.03
陸側	陸上大気中	0.1
	土中 (残留水位以上)	0.03
	土中 (残留水位以下)	0.02

[参考]

防食については、全般的に「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（改訂版）」（沿岸技術研究センター）<sup>13)</sup>を参考にすることができる。

### 6.3.6 電気防食工法

電気防食工法には、次の方式がある<sup>13)</sup>。

- (1) 流電陽極方式
- (2) 外部電源方式

- 1) 流電陽極方式は、海水中及び海底土中にある被防食体よりも低い電位の金属（鉄に対してはアルミニウムや亜鉛等）を陽極としている。港湾施設では、アルミニウム合金陽極を被防食体に電氣的に接続し、両者の電位差による電池作用によって連続的に陽極から防食電流を被防食体へ流して防食する方法である<sup>15)</sup>。

その概念図を図-6.3.2に示す。

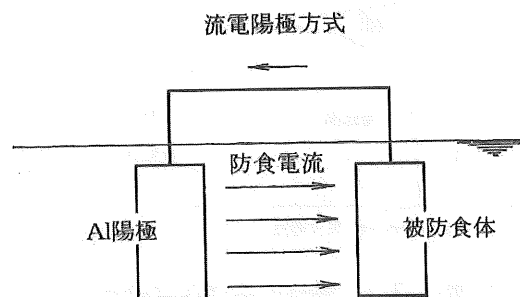


図-6.3.2 流電陽極方式の概念図

- 2) 外部電源方式は、海水中に不溶性電極を設置して、この電極のリード線を直流電源装置の+端子に接続し、一方被防食体に防食電流を強制的に連続して流し、防食する方法である<sup>15)</sup>。

その概念図を図-6.3.3に示す。

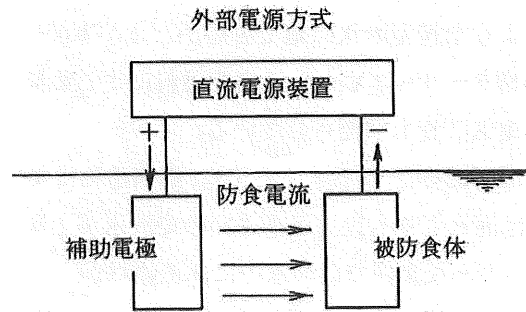


図-6.3.3 外部電源方式の概念図

### 6.3.7 塗覆装工法

塗覆装工法には、次の種類がある<sup>13)</sup>。

- (1) 塗装
- (2) 有機ライニング
- (3) ペトロラタムライニング
- (4) 無機ライニング

塗覆装工法は、基本的には被防食体を腐食環境要因から遮断することにより防食する方法である。

### 6.3.8 工法の選定

塗覆装工法は、それぞれ特徴をもっているため、以下の事項を十分検討した上で浮体橋に最も適合するものを選定しなければならない<sup>13)</sup>。

- (1) 浮体橋の状況
- (2) 防食工法に対する要求性能
- (3) 防食施工上の要因

- 1) 港湾鋼構造物で、海水への浸漬時間が短い部位には電気防食が適用できないため、塗覆装工法を用いる。
- 2) 電気防食工法の適用範囲を平均干潮面以深としたが、その近傍は集中腐食が発生しやすいこと、また波浪の影響、季節的な潮位変動等で海水への浸漬時間が短くなることのあるので、(L.W.L. - 1 m) 以浅の部位は、塗覆装工法を併用することとする。
- 3) 主な塗覆装工法の適用性を表-6.3.2に示す<sup>13)</sup>。
- 4) 海洋における浮体橋の場合、海水面以上は重防食塗装、鋼製ポンツーンの側壁部の海水面

以下は重防食塗装と電気防食の併用，ポンツーン底面は電気防食が一般的である。耐用年数が長い場合は（例えば100年等），飛沫帯においてステンレス鋼やチタンクラッド鋼等の金属ライニングを行うことが望ましい。ペトラタムライニングは，適用例には杭が多いため，ポンツーンのような箱型形状に施工可能かどうか事前に十分検討する必要がある。

- 5) 淡水においては，通常タール・エポキシ系樹脂塗料による塗装が一般的である。最近では淡水中に適用可能な電気防食も開発されている。
- 6) 河口のように淡水と海水が流入するところでは，鋼構造物に集中腐食を発生させる恐れがある。一般に河川水は海水よりも比重が小さいので淡水が上層，海水が下層となる塩水クサビが形成され，このような条件では淡水中にある鋼材がカソード部また海水中にある鋼材がアノード部となりこの間に大きな電位差が生じマクロ腐食セルを形成し，淡水層直下の海水中の鋼材に大きい集中腐食が起こることがあるので注意する<sup>14)</sup>。

表-6.3.2 主な塗覆装工法の適用性<sup>13)</sup>

			防食範囲					部材形状					耐用年数	初期建設費	適用実績	備考
			海上大気部	飛沫帯	干満帯	海中部	海底土中部	鋼管	鋼矢板	鋼管矢板	形鋼・鋼管	部材接合部				
塗装	無機シンクリッチ+ エポキシ樹脂塗料	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A	A	注2
		既設	○	○	—	—	—	○	○	○	○	○	B	B	B~C	
	無機シンクリッチ+ ターレポキシ樹脂塗料	新設	△	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A	A	注2
		既設	△	○	—	—	—	○	○	○	○	○	B	B	B	
	ガラスフレーク入り塗料	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A~B	A~B	B	
		既設	○	○	—	—	—	○	○	○	○	○	B	B	B~C	
有機ライニング	ポリエチレンライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	—	—	—	A	A	A	
		既設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	ウレタンエラストマーライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A	A	A	注3
		既設	○	○	—	—	—	○	○	○	○	○	B	B~C	C	
	超厚膜形ライニング	新設	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	A	B	B	
		既設	○	○	—	—	—	○	○	○	○	○	B	B~C	C	
	水中施工形ライニング	新設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		既設	△	○	○	○	—	○	○	○	○	○	A~B	C	A	
ペトロタムライニング	新設	△	○	○	○	—	—	○	○	○	△	A	B~C	B		
	既設	△	○	○	○	—	○	○	○	○	△	A	C	A		
無機ライニング	モルタルライニング (保護カバー方式)	新設	○	○	○	○	—	○	○	○	○	△	A	B~C	A	
		既設	○	○	○	○	—	○	○	○	○	△	A	C	B	
	モルタルライニング (保護カバーなし)	新設	○	○	○	○	—	○	○	○	○	△	A~B	B	A~B	
		既設	○	○	○	○	—	○	○	○	○	△	A~B	C	B	
	クラッド鋼 (チタン, ステンレス鋼)	新設	○	○	○	○	—	○	△	△	—	—	A	C	C	注3
		既設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	耐食性金属巻 (モノメタル等)	新設	○	○	○	○	—	○	△	△	—	—	A		B	
		既設	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(適用性)		(耐用年数)					(初期建設費)					(実績)				
○: 適する		A: 15年程度以上					A: 安価					A: 多い				
△: 一般には用いない		B: 10~15年程度					B: 中位					B: 中位				
—: 適用外		C: 10年程度以下					C: 高価					C: 少ない				
注1: 干満帯はL.W.L-1mまでを含む																
注2: 耐用年数のA~Bは海上大気部A, 飛沫帯, 干満帯B																
注3: 15年の実績はないが現在までの推移から耐用年数Aとした																

## 6.4 その他の特殊材料

### 6.4.1 係留索

係留に用いる材料には、鋼ケーブル、鋼製チェーン、アラミド繊維のロープ及びFRP製のロープ等がある。要求性能や作用断面力の大きさと種類を考慮し、それぞれの材料の特徴を生かして選択する。

- 1) 鋼ケーブルに用いる材料は、「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会） 16章ケーブル構造、「上部構造設計基準・同解説」（本州四国連絡橋公団）を参考にして、適切に選定する。また、表-6.4.1に示すケーブル用材料の規格を参考にする。

表-6.4.1 係留索用材料

種 別	規 格
平行線ケーブル用鋼線	HBS G 3501
平行線ケーブル用鋼線継手	HBS G 3502
プレハブパラレルワイヤストランド	HBS G 3503
ハンガー用ストランドロープ	HBS G 3504
ハンドロープ用スパイラルロープ	HBS G 3505
平行線ケーブル用ラッピング鋼線	HBS G 3506
平行線ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線用線材	HBS G 3507
平行線ケーブル用高強度亜鉛めっき鋼線	HBS G 3508

- 2) 各種係留索用材料の物理特性を表-6.4.2に示し、表-6.4.3に一般的な施工性、耐久性及び経済性の特性を示す<sup>16)</sup>。

表-6.4.2 係留索用材料の一般的な物理特性比較

	鋼ケーブル	チェーン	FRP製ロープ	アラミド繊維ロープ
ヤング係数 (GPa)	200	200	80~220	80
引張り強さ (MPa)	170	84	196~227	280
比重	7.75	7.85	2.1~3.1	1.45

表-6.4.3 係留索用材料の施工性、耐久性及び経済性の一般的な比較

	鋼ケーブル	チェーン	FRP製ロープ	アラミド繊維ロープ
施工性	○	◎	△	△
耐久性	○	△	◎	◎
経済性	○	○	△	△

◎；優， ○；良， △；普通

3) ケーブルの防食防水機構について、表-6.4.4 に示す。

表-6.4.4 ケーブルの防食防水機構

位置	防食防水機構
一般部	基本機構：素線の亜鉛めっき＋内部防錆材＋PE 被覆 追加機構：2重 PE 被覆（＋鉛シース）
ソケット口元部	基本機構：素線の亜鉛めっき＋端部防錆材＋鋼製口金 ＋PE オーバーラップ管＋（熱収縮チューブ）
ソケット部	基本機構：完全密封構造（端部キャップを含む）

PE 被覆は、有機ライニング工法の一つであり、工場製作時に被覆され安定した品質が得られるとともに、吸水性・透水性が小さく、また絶縁性に優れていることから、海中（海底）で使用される通信ケーブル・電力ケーブル・海底パイプライン等に広く使われている。また PE 被覆は、生物付着が小さいとされている。なお、電力ケーブルにおいては、防水性をさらに確保する目的から PE 被覆間に鉛シースを設けている事例もある。

#### [参考]

- 1) 浮体橋をケーブルで係留する場合、腐食モニタリング法が重要な課題であると考えられる。ただし、現状ではまだ研究途上であるため、ここでは一般論を論じることとする。
- 2) ケーブルの腐食状況のモニタリング法としては、「直接外観調査」・「電気化学的調査法」・「非破壊検査手法」が研究開発で試みられている。
  - ① 直接外観調査は、ケーブルを予め設けた観察窓からの直接目視、または事前に埋め込み設置したファイバースコープにより腐食状況を観察する方法である。本方法は、極めて明確に腐食状況が把握できるが、一方決められた位置または局部しか観測できず、さらに観測窓等が防食弱点部となりうることに注意する必要がある。
  - ② 電気化学的調査法は、鋼材がその存在する環境で維持し有している自然電位を経時的に測定し、その電位の変化を見ることにより腐食の発生や進行速度を評価しようとするものである。本方法は、現状では、腐食の有無や進行速度を定性的に把握できるが定量的な把握は困難であり、また配線方法等具体的実施法を十分に検討する必要がある。
  - ③ 非破壊検査手法は、「放射線を用いる方法」・「電磁及び磁氣的検査法」・「振動・超音波、AE 利用法」等がある。これらの内、磁氣的検査法は腐食量（残存断面積）を定量的に把握することができ、また被覆材料の劣化を評価できる可能性があり、今後の研究開発が期待される。

#### 6.4.2 係留フェンダー

係留フェンダーを用いる場合には、使われる部位、目的、環境条件、耐久性、経済性等を勘案し、適切な材料を選定する。

- 1) 係留フェンダーには、クロロプレン系の合成ゴムまたは天然ゴムが使用されている。ゴムはその物性から様々な要因によりその力学特性が変動するので、注意する必要がある。
- 2) 係留フェンダーは、疲労試験から設計条件で算出される耐久期間内の圧縮ひずみ頻度に対して十分な耐久性を有する材料<sup>17)</sup>を選定する。

### 6.4.3 その他の材料

その他の材料を用いる場合には、目的、使われる部位、環境条件、耐久性、経済性等を勘案し、最適な材料を選定する。

- 1) その他の材料には、歴青材料、石材、木材、プラスチック及びゴム等が挙げられる。これらの材料は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会）等を参考にして、適切に選定する。
- 2) 「耐候性鋼板」は、海岸線から数 km 離れたところでの使用は可能であるが、浮体橋のように水面上に設置される場合は、使用は困難である。ただし、1998 年から開発・商品化されている「海浜・海岸耐候性鋼板」<sup>18)</sup>は非常に厳しい飛来塩分環境においても使用可能であるとされている。しかし、実際に用いるときには、使用環境等をよく検討することが必要である。
- 3) 新材料に関しては、その特性、耐久性、経済性等を十分に考慮して、採用しなければならない。

## 6.5 設計計算に用いる物理定数

設計計算に用いる物理定数の値は、原則として「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会）に従い、適切に選定するものとする。

設計計算に用いる物理定数は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会）・「コンクリート標準示方書」（土木学会）から、適切に選定することも可能である。

### 参考文献

- 1) 建築基準法，昭和 25 年法律第 201 号。
- 2) 普通鉄道構造規則，昭和 62 年運輸省令第 14 号。
- 3) 軌道建設規定，大正 12 年内務・鉄道省令。
- 4) (社)土木学会：コンクリート標準示方書，2002 年。
- 5) (社)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，昭和 59 年。
- 6) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成 16 年 3 月。
- 7) (社)土木学会：海洋コンクリート構造物設計施工指針，1977 年 3 月。



- 8) (財)沿岸開発技術研究センター：プレストレストコンクリート港湾構造物設計マニュアル，昭和62年
- 9) (財)海洋架橋・橋梁調査会：道路橋マネジメントの手引き，pp16-17，平成16年8月
- 10) (社)鋼材倶楽部 土木構造物防食委員会：土木構造物の腐食・防食 Q&A
- 11) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'03，2003年
- 12) (社)日本鋼構造協会編：鋼構造技術総覧[土木編]
- 13) (財)沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（改訂版），平成9年4月
- 14) 阿部正美：港湾施設の防錆防食（その2），防錆管理，pp. 216-223，2001-6
- 15) 阿部正美：港湾施設の防錆防食（その4），防錆管理，pp. 287-297，2001-8
- 16) (社)水中トンネル研究調査会：水中トンネル，1995
- 17) 上田茂，白石悟，丸山忠明，上菌晃，高崎守，山瀬晴義：浮体橋に使用する係留用ゴムフエンダーの特性，海洋工学シンポジウム，pp. 359-364，1998
- 18) 安部研吾：耐候性鋼の利用技術と新耐候性鋼の評価，鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，2000