

5. ポンツーンの設計マニュアル

5.1 総則

5.1.1 一般

本マニュアルは、海洋に設置するフローティングブリッジのポンツーンの構造設計において、必要な強度と機能を確保するために考慮すべき基本事項を示したものである。

本マニュアルは、現状の技術的知見を基に船舶安全法に定める平水域、沿岸域、またはこれらに準じる海域に対し、フローティングブリッジを計画し、ポンツーンを設計する際の参考とされるように必要な事項をまとめたものである。

5.1.2 適用範囲

本マニュアルは、鋼構造、鉄筋コンクリート構造およびプレストレストコンクリート構造あるいは、これらの組合せによるフローティングブリッジのポンツーンの構造設計に適用する。

(1) 本マニュアルでは、ポンツーンが港湾法第 56 条の 2 の規定に基づき運輸省令で定められている港湾の施設に準ずるものとして、技術上の基準およびその解釈および運用を示した運輸省港湾局長通達に適合するように設計することとした。

また、港湾法第 12 条に基づく港湾管理者による水域の使用に関する規制や、港則法による規制等、他法令の規制がある場合には、その規制に留意して、この省令を適用するものとする。

(2) 本マニュアルは、ポンツーンの構造設計に適用するが、従来の鋼構造、プレストレストコンクリート構造を含む鉄筋コンクリート構造を対象としている。その他の材料の利用も考えられるが、材質的なものを除いては本マニュアルを準用することで対応できるものと思われる。なお、ポンツーン製作・施工、検査および係留については本節では取り扱わない。

(3) 浮遊式海洋構造物の設計基準や設計指針の類は国内外も含め、これまでに他分野から多くのものが提案されている。特に海洋浮遊式コンクリート構造物に関するものは、相応の実績もあり、ポンツーンにおいても十分適用できるものと考えられる。参考になる主なものを下記の①～⑧に示す。

なお、これらの設計基準の内容を部分的に採用して混用することは、安全性に一貫性を欠くおそれがあるので避けなければならない。

①「海洋建築物構造設計指針（浮遊式）・同解説」, 日本建築学会, 1990 年

②「プレストレストコンクリートバージ規準」, 日本海事協会, 1975 年

③「海洋コンクリート構造物設計施工指針」, 土木学会, 1997 年

④「港湾の施設の技術上の基準・同解説 上, 下」, 日本港湾協会, 1989 年

⑤「GUIDELINES FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION AND CLASSIFICATION OF FLOATING

STRUCTURES.], DET NORSKE VERITAS, 1979 年

⑥ 「RULES FOR THE CONSTRUCTION OF SEA-GOING REINFORCED CONCRETE SHIPS AND FLOATING DOCKS.], USSR REGISTER, 1963 年

⑦ 「Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures」, American Concrete Institute, 1978 年

⑧ 「Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structures」, Federation International de la Precontraction, 1977 年

5.1.3 設計方針

5.1.3.1 基本計画

- (1) フローティングブリッジの計画にあたっては、海域利用に関する社会的制約を考慮しなければならない。
- (2) 構造形式、規模および材料の選定は自然環境条件および海上浮遊の特性を考慮し、その目的、用途に適合できるように設定する。
- (3) 設計にあたっては、あらかじめポンツーンの計画使用年数を設定し、構造強度の安定性はこの期間内に限定して考え、耐久安全性に関してはこの期間中適切な方法により確認するように努めなければならない。
- (4) 構造計画にあたっては、あらかじめ下記事項について考慮しなければならない。
 - ① 必要上不可欠な設備
 - ② 防災安全上の対策
 - ③ 保守点検の方法および供用上の問題点

- (1) 水域の利用については、今まで長年にわたる経緯のすえ、法律または条約、社会的習慣などが定着してきた状況があり、フローティングブリッジの設計はこの実状を乱さない範囲で進めることが必要である。具体的には、船舶のための港湾区域や航路の指定、水産生物の保護と漁業権、公園法による自然環境の保全などの条件を満足することである。

また、公的な水域に浮遊の必然性をもつ橋梁とはどのようなものか、その事業主体と維持管理の方法、災害時の対応、設置による環境への影響などについては、あらかじめ使用の実状に応じ設計条件として明確にしておかなければならない。

- (2) ポンツーンの構造形式は、浮上型、半潜水型、潜水型またはこれらの組合せによるものに大別できるが、その目的、用途、規模に応じ最適なものを選択する必要がある。

また、それぞれに応じた動揺制御の方法、必要な乾舷の確保、係留方法などがあり、海象・気象条件、水深などを勘案して決めることになる。

- (3) 海上にあっては構造物の材質劣化、疲労の進行状況および設計外力（波浪、高潮など）の長期予測の不確実性などのため、設計にはあらかじめ使用期間を設定し、その範囲内だけは確実に機能を保持できるようにするという方法が一般的に行われている。したがって、波浪・風などの環境荷重に対する再現期間の設定、材質劣化に伴う耐久性の考慮などは、この使用期間に基づいて決めることになる。一般的に道路橋の耐用年数は 50 年と考えられているが、本マニュアルではポンツーンの計画使用年数を規定せずに設計

者の判断に委ねることとした。なお、環境荷重の再現期間に関しては計画使用年数の3倍程度を設定し、材質劣化に関しては20年保証の材質をベースに以後年数に応じた耐久性の措置を段階的に設け、さらに使用期間中は継続監視していくことが望ましい。

フローティングブリッジは、基礎工を有する従来構造に比べ全体的に軽量にする必要があるが、これは一般に耐久性と相反するものである。したがって、建設時および以後の経年変化についても十分な管理体制で望むことが必要である。なお、船舶関連では、一般に1~2年ごとに定期検査が義務づけられている。

- (4) 一般にフローティングブリッジは、独立したポンツーンを単体また連結させて、その上に連続した上部構造を設置する構造物である。そのため、船舶などによる衝突破損や浸水対策、係留装置の破損に伴う流失・転覆の対策などをあらかじめ十分考慮し、ポンツーンには水密隔壁の設置、バラストタンク、予備係留装置などを備え、緊急時でも全体的な機能障害を誘発しないように安全性を考慮した計画が必要である。

このほか、浸水、漏水に対する点検口の設置などに対しても適切な設定をしなければならない。

5.1.3.2 設計

- (1) 設計は許容応力度設計法によることを基本とする。
- (2) 検討に用いる設計用荷重は、荷重の特性値に対して荷重係数を考慮した値とする。
- (3) 構造部材あるいは構造物の力学的挙動および強度は、解析または実験によって確認する。
- (4) 本マニュアルで定めない事項については、各関係機関の関連設計基準に従うものとする。

- (1) 浮遊式海洋構造物の設計法の趨勢は、限界状態設計法である。限界状態設計法は、理論的には従来の許容応力度設計法に比較して合理的な設計法である。しかしながら、現状ではその細部に至るまで普及している段階ではなく、バランスのとれた安全係数の設定や荷重の特性値の設定などに関して検討すべき問題点も多い。また、鋼道路橋の設計手法が未だ許容応力度設計法であることから上部構造との整合を図るため、本マニュアルでは、ポンツーンの設計手法を許容応力設計法によることを基本とする。

ただし、フローティングブリッジを特殊な海域に建設する場合や本編に明記していない材料を用いるときなどは、次の事項に留意して許容応力度を定めなければならない。

- ① 設計理論と実際の構造物の挙動の相違
 - ② 構造物の施工時と完成後の外力条件の相違
 - ③ 疲労、腐食による材料の経年変化
 - ④ 設計外力と実際の外力の相違
 - ⑤ 破壊時の様相
 - ⑥ 構造物の重要度
 - ⑦ 維持、修繕、補修の難易度
 - ⑧ 不測の外力に対する安全係数
- (2) 波浪、風などの不規則かつ変動的で不確定要素が多い環境荷重は、決定論的に定めよ

うとすれば過大評価となりがちである。そこで限界状態設計法に準じ、構造物の計画使用年数を念頭に外力の生起頻度と再現期間を定め、長年にわたる当該海域の観測資料に基づき、確率統計的に最も不利となる条件の特性値を設計用荷重とすることとした。しかし、現状では荷重の統計資料の量的不足や正確に予測することの困難さから、従来どおり経験的に定めた最大荷重を荷重の特性値としてもよいものと思われる。

設計用荷重の組合せに対するそれぞれの荷重係数は、荷重の種類、載荷の実情、構造物の特性などを考慮して適宜加減することもできる。特に、浮遊式では強度的な要因のほか、浸水や動揺による作業性・機能性に与える影響など使用性で決まる場合が多いが、これらの検討に対する設計用荷重はその実情を考慮して組合すことができる。

- (3) 浮遊式海洋構造物の設計については相応の実績が積み重ねられてきたが、フローティングブリッジに関しては経験が浅く、常時、異常時のポンツーンおよび係留施設の安全性に対する検討を行う必要がある。現状では、フローティングブリッジを上部構造とポンツーンに分離して取り扱い、その解析手法も異なっている。全体構造の動的な挙動を解析によって明らかにする手法が幾つか提案されているが、実構造物に適用した際にどれほど精度よく再現できるかは不明である。そこで、部材あるいは構造物の挙動を解析によって求めることが困難な場合は、適切な実験によって確認することとした。
- (4) 本マニュアルに定めない事項については、『コンクリート標準示方書（土木学会平成8年版）』、『道路橋示方書・同解説（日本道路協会平成8年版）』、『鋼構造物設計指針・一般構造物（土木学会平成9年版）』、『鋼構造物設計指針・合成構造物（土木学会平成9年版）』などによることとした。

5.2 荷重

5.2.1 一般

- (1) 本節は、フローティングブリッジのポンツーン的设计にあたり、考慮すべき荷重について示すものである。
- (2) ポンツーン的设计にあたっては、上部構造および橋脚を介して伝達される荷重、およびポンツーンに直接作用する荷重を考慮する必要がある。

- (1) ポンツーン的设计においては、上部構造および橋脚からの作用荷重に対して、必要な浮力、復元力等を算定し、フローティングブリッジ全体系の安定性を照査するとともに、安定計算により算定された断面力に対して部材的设计を行う。
- (2) 上部構造および橋脚的设计は、フローティングブリッジの用途に応じて道路橋示方書・同解説（日本道路協会）等の関連基準に基づいて行う必要がある。
- (3) ポンツーン的设计にあたっては、上部構造および橋脚からの荷重が最も不利となるケースを考慮するものとする。

5.2.2 荷重の種類

- (1) ポンツーン的设计にあたっては上部構造および橋脚を介して伝達される荷重、および次のポンツーンに直接作用する荷重を考慮することを標準とする。
 - ①自重（死荷重）
 - ②静水圧および浮力
 - ③潮流力
 - ④波力
 - ⑤風荷重
 - ⑥衝突荷重
 - ⑦施工・架設時荷重
- (2) 荷重の設定は、フローティングブリッジの供用期間、ポンツーンの形状および規模等の諸条件に応じて、適切な解析方法、または模型実験等により行うものとする。

- (1) ポンツーンを设计する場合に考慮すべき荷重の種類を列举したものであるが、架設地点の状況等により適宜選定すべきものであり、必ずしもすべてを採用する必要はない。逆に、場合によっては上記の他に考慮すべき荷重がある場合もあり、必要に応じてそれらに対する安全性も確かめておく必要がある。
- (2) 上部構造および橋脚からの荷重と上記①～③の荷重は主荷重として考慮するものであり常時荷重として设计する。上記④～⑦は一般に異常時または特別な場合に考慮する従荷重であり、设计にこれらの荷重を考慮する場合には、常時の許容応力度を割増すものとする。
- (3) ポンツーン的设计において考慮すべき荷重では、潮位、潮流、波浪、風等の架設地点の自然条件により設定される、いわゆる環境荷重が重要となる。よって供用期間や現地の自然条件を十分に考慮し、これらの環境荷重を設定する必要がある。また、これらの

荷重はポンツーンの規模や形状にも大きく左右されることから、模型実験等により検証しておくことが望ましい。

- (4) 本項に示す荷重以外に、必要に応じて考慮すべき荷重には、プレストレス力、温度荷重、係留力（ポンツーンを係留する場合）等がある。これらの設定においては、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）、海洋建築物構造設計指針（浮遊式）・同解説（日本建築学会）等を参考にするとよい。

5.2.3 上部構造および橋脚からの荷重

- (1) 上部構造および橋脚を介してポンツーンに作用する荷重は、鉛直力、水平力およびモーメントとする。
- (2) 上部構造および橋脚からの荷重の算定において考慮する荷重状態は、常時、暴風時、地震時、および施工・架設時を標準とする。

通常、ポンツーンを設計する場合には、上部構造および橋脚に作用させる荷重状態は本項の条件を考慮しておけば良い。

5.2.4 自重（死荷重）

ポンツーンの自重（死荷重）の算出には、その用途に応じ、道路橋示方書・同解説（日本道路協会）等の関連基準に示されている単位重量を用いることを標準とする。ただし、事前調査等により、実重量が明らかなものについては、その値を採用するものとする。

材料の単位重量は個々の場合で異なり、また、ポンツーンとしては荷重としての作用の他、その喫水等に影響を及ぼすため、できれば、あらかじめ、実重量を明らかにしておくことが望ましい。

5.2.5 静水圧および浮力

- (1) ポンツーンに作用する静水圧は式 (5.2.1) により算出するものとする。

$$p_h = w_0 \cdot h \quad (5.2.1)$$

ここで、 p_h ：水面から深さ h における静水圧 (tf/m²)

w_0 ：水の単位重量 (tf/m³)

h ：水面からの深さ (m)

- (2) ポンツーンに作用する浮力は式 (5.2.2) により算出するものとする。

$$F_B = w_0 \cdot V \quad (5.2.2)$$

ここで、 F_B ：浮力 (tf)

w_0 ：水の単位重量 (tf/m³)

V ：排水容積 (m³)

- (1) 計算に用いる水の単位体積重量は、あらかじめ明らかにしておくことが望ましい。真水の場合、計算に用いる単位体積重量は、 1.0tf/m^3 である。また、海水の場合は、 1.03tf/m^3 が港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）等では用いられている。強度計算用の荷重として使用する場合はこれらの値を用いてよいが、乾舷量等の設定の場合には危険側となる場合もあるため注意を要する。
- (2) 式 (5.2.2) はアルキメデスの原理である。 F_B は浮心位置に上向きに作用する。

5.2.6 潮流力

- (1) ポンツーン的设计に用いる潮流の流速は、その設置水域あるいは近隣水域における観測値に基づき、再現期間等を考慮した統計処理により設定することを標準とする。
- (2) 流向は、ポンツーンに対して最も不利な方向を採用するものとする。ただし、流向が明らかに限定されている場合はこの限りでない。
- (3) 潮流力は、潮流方向に対するポンツーンの鉛直投影面積に作用する水平荷重とし、式 (5.2.3) により算出するものとする。

$$P_D = C_D \cdot w_0 / 2 g \cdot V^2 \cdot A \quad (5.2.3)$$

ここで、 P_D : 構造物または部材に作用する潮流力 (tf)

C_D : 流向と水平断面形状によって定まる抗力係数

w_0 : 水の単位重量 (tf/m^3)

A : ポンツーン没水部分の流向への鉛直投影面積 (m^2)

V : 流速 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/sec^2)

- (1) 潮流は、地形により大きく影響するため、ポンツーンの設定水域、又は近隣水域における観測値を用いて、流速および流向を設定することが望ましい。ただし、観測値が無い場合には、近年の電子計算機の発達により、数値シミュレーションによる推定も可能であり、その結果を用いても良い。
- (2) ポンツーンに作用する潮流力は、流速の2乗に比例する力であり、流向方向に作用する抗力と流向に垂直な水平方向に作用する揚力、および鉛直方向に作用する成分がある。
- (3) 潮流力は、基本的には式 (5.2.3) に示す流向方向の成分（抗力）のみを考慮すれば良い。ただし、流向に垂直な水平成分（揚力）または鉛直成分の影響が大きく、これを無視できない場合にはこれを考慮する必要がある。
- (4) 計算に用いる抗力係数は、レイノルズ数によって変化するが、その値が大きい場合には、下部構造設計指針・同解説（本州四国連絡橋公団）等々に示されている一般的な値を用いて良い。ただし、形状が特殊なものについては水理実験等により求めるものとする。
- (5) 流速が大きく、ポンツーン後方で渦が発生する場合には、自励振動が発生する可能性があり注意を要する。

5.2.7 波 力

- (1) ポンツーン的设计に用いる波浪の特性値は、その設置水域あるいは近隣水域における観測値に基づき、再現期間等を考慮した統計処理により設定することを標準とする。
- (2) 波向は、ポンツーンに対して最も不利な方向を採用するものとする。ただし、波向が明らかに限定されている場合はこの限りでない。
- (3) ポンツーンに作用する波力は、その安全性が確保されるように適切な方法により算定するものとする。

- (1) ここで波浪の特性値とは波高、周期（波長）、および波向等である。
- (2) ポンツーン的设计における波力の算定は適切な方法により行う必要がある。波力の算定方法として、例えば、本報告書の設計例（第7章）においては、浮体式係船岸の設計・施工マニュアル(案)（漁港新技术開発研究会）に示されている算定式を用いている。また、従来の設計事例として、夢洲～舞洲連絡橋（仮称）の設計においては合田式が用いられている。
- (3) 喫水が小さい場合には、波が部材を打撃し局所的に大きな応力を発生すること（スラミング）があり注意を要する。
- (4) 波浪の周期とフローティングブリッジの固有周期が近い場合は、共振を起こし大きな力が発生する可能性があり注意を要する。

5.2.8 風荷重

- (1) ポンツーン的设计に用いる風速は、その設置水域あるいは近隣水域における観測値に基づき、再現期間等を考慮した統計処理により設定することを標準とする。
- (2) 風向は、ポンツーンに対して最も不利な方向を採用するものとする。ただし、風向が明らかに限定されている場合はこの限りでない。
- (3) 風荷重は、風向に対するポンツーンの鉛直投影面積に作用する水平荷重とし、式(5.2.4)により算出するものとする。

$$P_w = C_D \cdot \rho / 2 \cdot U^2 \cdot A \quad (5.2.4)$$

ここで、 P_w ：構造物または部材に作用する風荷重（tf）

C_D ：風向と水平断面形状によって定まる抗力係数

ρ ：空気密度（ $0.12 \text{tf} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^3$ ）

A ：水面上のポンツーンの風向への鉛直投影面積（ m^2 ）

U ：設計風速（ m/s ）

- (1) ポンツーンの水面上部分が大きく、風荷重の影響が無視できない場合や、製作・架設時の検討においては、本項により風荷重を設定する必要がある。
- (2) 風は、地形により大きく影響するため、ポンツーンの設置水域における観測値を用いて、風速および風向を設定することが望ましい。ただし、観測値が無い場合には、道路橋耐風設計便覧（日本道路協会）を参考にして設定して良い。
- (3) 風荷重の算定に用いる設計風速 U は、海面上10mの地点におけるものを使用すること

を標準とする。

- (4) 計算に用いる抗力係数は、レイノルズ数によって変化するが、その値が大きい場合には、下部構造設計指針・同解説（本州四国連絡橋公団）等々に示されている一般的な値を用いて良い。ただし、形状が特殊なものについては風洞実験等により求めるものとする。

5.2.9 衝突荷重

- (1) 流木その他の流送物の衝突の可能性がある場合には、その衝突力を考慮するものとする。
- (2) 航路上、あるいは航路近辺にポンツーンを設置するために、船舶の衝突の可能性がある場合には、その衝突力を考慮するものとする。

- (1) ポンツーンに衝突の可能性のある流送物および船舶について、その衝突力を考慮する必要がある。
- (2) 流木等の流送物による衝突荷重については、道路橋示方書・同解説（日本道路協会）に、船舶による衝突荷重については、下部構造設計指針・同解説（本州四国連絡橋公団）にその算定方法が示されており、それらを参考にすると良い。
- (3) 船舶等の衝突によるポンツーンの破壊は、フローティングブリッジ全体の健全性に大きな影響を与える可能性があるため、緩衝材の設置や二重構造化の採用等のフェイルセーフ構造を採用する必要がある。

5.2.10 施工・架設時荷重

フローティングブリッジの施工方法および施工時の構造を考慮し、自重、施工機材、風荷重等の環境荷重に対して必要な検討を行うものとする。

施工時、架設時の荷重は、その工法によっては完成後の状態とは全く異質なものであったり、完成時の応力よりも大きな値を示すことがある。よって、工法の十分な検討を行った上で、予測しうる危険な荷重状態を想定して、荷重を設定するものとする。

5.2.11 荷重の組合せ

ポンツーン的设计にあたっては、ポンツーンに最も不利な断面力、あるいは変位が生じるように荷重を組合せるものとする。

- (1) ポンツーン的设计における荷重の組合せは、道路橋示方書・同解説（日本道路協会）等の関連基準を参考に設定するものとする。
- (2) ポンツーン的设计において、一般に考慮される荷重の組合せは以下の通りである。

①常時：主荷重（＝死荷重＋静水圧＋潮流力）

②暴風時：主荷重＋波力（＋風荷重）

③衝突時：主荷重＋衝突荷重（＋波力）

④施工・架設時荷重

上記以外にも自然条件等によっては、必要に応じて他の組合せによる設計を加える必要がある。

(3) これらの組合せでは、それぞれの荷重の発生頻度や各部材に与える影響が異なることから、それらを考慮し、それぞれの組合せに応じて許容応力度を割増すものとする。

5.3 材料

5.3.1 一般

- (1) 本節は、鉄筋コンクリート構造、プレストレストコンクリート構造、鉄骨・鉄筋コンクリート構造および鋼構造に用いる材料に適用する。
- (2) 材料は、使用環境下において、強度、耐久性などの所要の性能が得られるように選定する。
- (3) 信頼できる調査や試験に基づき、所要の性能が十分に検討される場合には、本節はこの限りではない。

(1) 本節は、ポンツーンの方法について規定したもので、本節に記されていない事項は『コンクリート標準示方書（土木学会平成 8 年版）』、『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（運輸省港湾局）』、JIS などの関連基準に基づくものとする。

なお、外国製品で JIS に相当する品質を有するもの、JIS として規格化されていないが、これに見合う品質を有するものについては、これらを使用してもよい。

- (2) 海洋環境下においては、ポンツーンは海水の化学作用や激しい気象作用、波浪や漂流物による衝撃や摩耗作用などの影響を受ける。陸上に比べてこれら種々の相乗作用を伴って、環境は著しく過酷なものとなり、部材に欠陥部が生じ始めると、急速に劣化が進行する傾向にある。また、メンテナンスによって機能の回復を図ることが困難であるばかりか、メンテナンス自体が困難を伴う場合が多い。使用材料の選定ならびに設計に際しては、これらの点に十分留意し、材料の劣化により橋梁としての機能が大きく損なわれることのないように対処する必要がある。
- (3) 所要の性能のうちポンツーンの耐久性は海洋環境や使用条件が著しく異なる場合には影響を受けて大きく変動することが予想される。本マニュアルは、ごく一般的な海洋環境を対象としたものであり、特殊な環境にあつては本節の適用は困難となる。また、信頼できる調査や試験によって所要の耐久性が十分満足されている場合は、本節の規定によらない。

5.3.2 耐久性に関する事項

ポンツーンは、露出状態に応じて表-5.3.1 に基づき区分する。

表-5.3.1 露出状態による区分

露出状態による区分	露出状態
I	海水に接する部分 波しぶきを受ける部分
II	外気に面する部分
III	I, II 以外の部分

ポンツーンを取り巻く劣化環境はその露出状態によって各々異なり、固定式では、海底<海水中<海気体<飛沫帯の順に過酷なものとなり、腐食速度に差異を生ずる。浮遊式に

おいては、露出状態に応じて、喫水以下の没水部、波しぶきの影響を受ける飛沫帯、海洋外気に面する海気帯およびポンツーン内部に区分することができる。本マニュアルにおける露出状態による防食上の区分は、施工や構造解析の煩雑さを避ける意味から、表-5.3.1に示すように、(Ⅰ)~(Ⅲ)の3区分のみとして取り扱うものとした。ここに、波しぶきを受ける部分とは、喫水線より最大波高の1.5倍を見込んだ高さ方向の範囲として定義するものとする。

5.3.3 鋼材

5.3.3.1 一般

ポンツーンに用いる鋼材は、その構造物の設置される露出状態による区分に応じて、適切な防食方法を考慮したうえ、強度、じん性、溶接性などにに基づき選定する。

鋼材を選定する場合、重量や部材寸法を軽減する必要があるときは高張力鋼を、寒冷海域の溶接構造には低温用鋼を、また、設計条件や使用状況に応じて耐候性鋼、耐海水性鋼などを検討の対象とすることがある。これらの製品は、JIS規格品以外としても各鉄鋼メーカーで生産されているので、使用に際してはその品質を調査する必要がある。鋼種の選定にあたっては、溶接性や防食について十分配慮する必要があり、溶接および5.3.3.7「鋼材の防食および防汚法」を参照のこと。

5.3.3.2 規格

ポンツーンに用いる鋼材は、JISに適合するか、またはこれと同等以上の品質を有するものを使用する。

JIS規格品以外で最も多く海洋構造物に用いられているものは、船舶用鋼材である。海洋を航行する船舶は、多年の経験から各国とも船級協会指定の規格鋼材があり、特に、溶接性・耐ぜい性に対する配慮がなされている。船体用圧延鋼材の機械的性質および低温用圧延鋼材の機械的性質については、日本海事協会・昭和62年度鋼船規則集を参照されたい。

5.3.3.3 試験

- (1) 規格品でJIS表示のもの、または規格証明書の提出されたものは、特別の場合を除き材料試験を割愛することができる。
- (2) 上記以外のものについては、材料試験（化学成分分析試験、機械的性質試験、外観・形状および寸法試験）、溶接施工法確認試験を関連JIS規格の方法によって行い、その適否を判定する。

船舶用鋼材など JIS 規格によらないものに対して適用する。日本海事協会の規格鋼材を使用する場合は、同協会の試験方法による。

5.3.3.4 材料定数

鋼、鋳鋼および鍛鋼の材料定数は、表-5.3.2 に示す値とする。

表-5.3.2 鋼構造材料の材料定数

材 料	ヤング率 (kgf/cm ²)	せん断弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
鋼・鋳鋼・鍛鋼	2.1×10^6	8.1×10^5	0.30	12×10^{-6}

鋳鉄については、ヤング率 1.0×10^6 (kgf/cm²)、ポアソン比 0.25 としてもよい。

5.3.3.5 鋼材の許容応力度

- (1) 構造用鋼材の許容応力度は、道路橋示方書・同解説（日本道路公団）を準用する。
- (2) 鋳鍛造品の許容応力度は、道路橋示方書・同解説（日本道路公団）を準用する。
- (3) 溶接部および接合用鋼材の許容応力度は、道路橋示方書・同解説（日本道路公団）を準用する。
- (4) 鋼管の許容応力度は、道路橋示方書・同解説（日本道路協会）を準用する。

- (1) 鋼材を主要部材として使用し、しかも座屈の危険が予測されるときは、これに対し十分な考慮を払い、許容応力度も道路橋示方書・同解説（日本道路協会）に準じて低減する必要がある。
- (2) 鋳鉄品は、主要部分に使用しないのが原則であるであるが、付属物などに使用する場合もあるので、この場合の計算に必要な許容応力度を規定したものであり、使用に際し別途十分な検討が必要である。
- (3) 現場溶接の場合、船舶による作業など足場も悪く、かつ、しぶきを受けるなどの悪条件が考えられるため、許容応力を低減することが望ましい。信頼性の高い施工を行う場合には状況に応じて判断してもよい。
- (4) 局部座屈が予想される場合は、道路橋示方書・同解説（日本道路協会）に準じて、許容応力度を低減する必要がある。

5.3.3.6 許容応力度の割増し

数種類の外力の組合せるを考慮するときには表-5.3.3により、5.3.3.5に定めた許容応力度を割り増した値を許容応力度とすることができる。

表-5.3.3 許容応力度の割増係数

荷重・外力の組合せ	割増係数
温度変化を考えた場合	1.15
地震の影響を考えた場合	1.50
温度変化および地震の影響を考えた場合	1.65

構造物の安全維持のためには、想定外のばらつき、設計計算法の誤差、使用材料のばらつき、製作、施工、保守等に含まれる不確定要素などを考慮して設計する必要がある。これらのすべての条件を確率的に評価して設計法に導入することは極めて難しいが、本編では地震および温度変化を同時に考慮するとき、はじめて、ほぼ鋼材の降伏点に達するように割増係数を定めた。

特別な外力を想定するときには、表-5.3.3以外の割増係数を用いてもよい。特別な場合とは、例えば衝突荷重などである。このときは、一般に防衝施設を設けることが多いが、直接衝突荷重を考慮するときには、『港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）』に準じ、割り増し係数を1.7としてよい。

5.3.3.7 鋼材の防食および防汚法

- (1) 鋼構造物については、構造物の特性や当該海域の環境に適合した防食および防汚計画を構造設計と関連づけて進め、適切な防食および防汚法あるいはこれらを組み合わせて適用することを原則とする。
- (2) 鋼材の防食計画としては、次のものがある。
 - ①腐食シロ
 - ②塗装
 - ③金属被覆
 - ④ライニング
 - ⑤電気防食
- (3) 構造物への生物の付着防止が要求される場合には、海洋環境と部材の形状に応じて、防汚処理を施す。ただし、その適用に当たっては、海洋汚染が起こらないように十分注意する。

(1) コンクリート構造物とは異なり、鋼構造物については、適当な防食および防汚処理を施すことを原則とする。なお、防食および防汚計画に当たっては、5.3.4.10「コンクリートの防食および防汚法」の解説で述べることにについて検討するとともに、次のことを考慮する。

- ①応力腐食を防止するために、残留応力、過大な応力、振動などに注意する。

②異種鉄筋と接触使用しないようにする。

(2) 防食計画の選択に当たっては、各工法の特徴をよく把握したうえで、防食法に要求される性能を明確にし、構造物が当該海域の海洋環境において目標とする耐久性が得られるような工法を選択する。一般に、海気帯および飛沫帯については、塗装およびライニングを、海水中については、電気防食を適用することが多い。なお、必要に応じて、各工法を組合せて施工する。また、防食箇所については、定期的な保守点検を行い、防食施工箇所に欠陥が生じ、補修を必要とする場合には、防食施工箇所の不健全な部分を取り除き、欠陥が生じた原因を調査したうえで、適当な方法によって補修する。表-5.3.3.1に、海洋鋼構造物の環境別防食法を示す。

表-5.3.3.1 海洋鋼構造物の環境別防食法

防食法の種類	海気中		水線部		海水中		海底土中		陸上土中	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
塗装	◎	◎	◎	○	○	×	○	×	○	×
ライニング（厚さ1mm以上）	◎	◎	◎	○	○	×	○	×	○	×
コンクリート巻き	◎	◎	◎	○	○	×	△	×	○	×
耐食金属被覆（めっき含む）	◎	◎	◎	△	○	×	△	×	△	×
電気防食	×	×	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎

[注] ◎：施工可能（きわめて有効），○：施工可能（有効），△：施工可能（あまり効果的ではないまたは経済的に得策ではない），×：施工不可能かまたは効果的でない

A：新設構造物，B：既設構造物

①腐食シロ

防食計画に当たって、腐食シロを採用する場合には、あらかじめ当該海域の環境における暴露期間と鋼材の腐食量を調査し、腐食によって失われるものを加味して鋼材の肉厚を設計することが行われる。これを一般に腐食シロ設計と称している。海洋構造物における鋼材の腐食シロの定め方についての規準は現時点では見当たらない。したがって、当該海域の海洋環境の腐食性について、多くの腐食データ・防食例などを十分に検討したうえで、露出状態に応じた腐食シロを決定する必要がある。しかし、腐食の進行は必ずしも均一ではなく、特に局部腐食速度は全面腐食速度の倍数以上に達する。腐食シロの採用に当たってはこのことを十分考慮する必要がある、特に局部腐食の生じやすい環境においては、他の防食法と併用することが重要である。表-5.3.3.2に、海洋環境における鋼材の腐食速度を示す。

表-5.3.3.2 海洋環境における鋼材の腐食速度

海洋環境の分類		鋼種		
		炭素鋼	耐海水性鋼	耐候性鋼
		腐食速度（mm/年）		
海気中	海岸より遠い	0.04～0.10	0.025～0.05	0.025～0.05
	海岸より近い	0.04～0.20	0.030～0.10	0.030～0.10
飛沫帯		0.20～0.50	0.10～0.20	0.20～0.30
干滴帯		～0.10	～0.10	～0.10
海水中	海面～50m	0.06～0.25	0.030～0.15	0.06～0.20
	50～200m	0.20～0.15	0.015～0.010	0.015～0.010
	200m以上	<0.025	<0.025	<0.025
海底土中		<0.1	<0.06	<0.06

②塗 装

使用する防食塗料の特徴をよく把握したうえで、適切な塗装法を採用する。特に、いずれの防食塗料においても、素地調整を入念に行い、できるだけ厚膜仕上げとする。また、部材をその製造工場で塗装し、現場塗装を少なくする。表-5.3.3.3には、防食塗料の種類と特徴を示す。

③金属被覆

金属ライニングは機械的強度が大きく、耐衝撃性および耐摩耗性に優れている。また、塗装や電気防食との併用も可能である。しかし、金属ライニング材と鋼構造物の素地との接触部では、異種金属接触による腐食が生じ、構造物の素地が侵されやすいので、その対策を講じる必要がある。表-5.3.3.4には、金属被覆の種類と特徴を示す。

表-5.3.3.3 海洋構造物に使用される防食塗料の種類と特徴

塗膜形成機構	一般名称	主成分	長所	短所	用途	塗膜性能				被膜物の分類と適用性						
						耐候性	耐水性	耐酸性	耐アルカリ性	一般環境(陸上)	海辺環境	浸漬(水)	浸漬(塩水)	乾燥交替(塩水・水)	高温	著者腐食
揮発および酸化重合	フタル酸樹脂塗料	油性フタル酸樹脂	耐候性, 速乾性	耐薬品性, 耐ガス性	船舶上構造物, 居住区, 海辺の鋼構造物	○	×	△	×	○	○	×	×	×	×	×
	フェノール樹脂塗料	油性変性フェノール酸樹脂	耐薬品性, 耐ガス性, 耐水性	チョーキング, 耐候性, 黄変性	船舶外板(水線・外舷), 海辺の鋼構造物暴露部	△	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△
	変性エポキシ樹脂塗料(1液形)	エポキシ樹脂 脂肪酸エステル	耐薬品性, 耐ガス性, 耐水性, 硬さ, 速乾性	チョーキング	海辺の鋼構造物の暴露部	△	○	○	△	○	△	△	△	△	△	△
揮発乾燥	塩化ゴム塗料	塩化ゴム 変性樹脂	速乾性, 低温乾燥性, 耐水性, 耐薬品性, 耐湿性, 塗り重ね密着性	耐溶剤性, 耐熱性	船舶(船底・外板・上構外部), 海辺の鋼構造物	○	◎	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	○	○
	ビニル樹脂塗料	塩化ビニル樹脂(塩化ビニル, 酢酸ビニル共重合)	速乾性, 耐摩耗性, 可とう性, 耐候性, 耐水性, 耐薬品性	膜厚, 耐熱性	船舶(船底・外板), 石油掘削装置などの暴露部	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
重合乾燥硬化	エポキシ樹脂塗料	エポキシ樹脂/ポリアミドまたはアミンダクト	耐水・耐塩水性, 耐薬品性, 密着性, 耐摩耗性, 耐油性	低温乾燥, 塗り重ね間隔	船舶の外板および暴露部, タンク海洋構造物の主要塗料	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	タールエポキシ樹脂塗料	コールタール/エポキシ樹脂/ポリアミドまたはアミンダクト	膜厚, 耐水・耐塩水性, 耐薬品性, 安価	黒色, ブリード, 塗り重ね間隔, 耐候性	船舶, 海洋鋼構造物の主として没水部およびタンク内部のなどの主要鋼材	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	無溶剤型エポキシ樹脂塗料	エポキシ樹脂/ポリアミドまたはアミンダクト	無溶剤, 厚塗り性, 耐食性	耐候性	海洋構造物暴露部	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	水中硬化型エポキシ樹脂塗料	エポキシ樹脂/ポリアミドまたはアミンダクト	水中硬化, 耐水・耐食性	耐候性, 施工性	海洋施設, 鋼管杭, 鋼矢板, 海中鋼材	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	ガラスフレーク塗料	不飽和ポリエステル樹脂, ビニルエステル樹脂	膜厚, 耐薬品性, 耐水性, 耐湿性	耐候性	煙突, 反応装置, 海洋石油施設	△	◎	◎	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	常乾フッ素樹脂塗料	常温硬化型フッ素樹脂	超耐候性, 耐薬品性	ポットライフ, 高価	海洋構造物暴露部	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	○
	ポリウレタン樹脂	ポリオール/イソシアネート	耐水・耐海水性, 耐薬品性, 可とう性, 密着性, 耐候性, 速乾性	ポットライフ, 高価	海洋構造物暴露部	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
反応	有機質ジンクリッチペイント	亜鉛末/エポキシ樹脂/ポリアミド	防食性, 上塗り密着性, 耐熱性	膜厚管理(溶断・溶接), 上塗り選択性	船舶, 海洋構造物の主要ショッププライマー	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	×
	無機質ジンクリッチペイント	亜鉛末/ケイ酸エチルまたはケイ酸アルカリ	防食性, 耐熱性, 耐水・耐塩水性, 耐溶剤性	可とう性, 耐酸・耐アルカリ性, 上塗り選択性	タンク, 海洋構造物の主要下塗り塗料	◎	◎	×	×	○	◎	◎	◎	◎	◎	×

表-5.3.3.4 金属被覆の種類と特徴

被覆の種類	被覆の方法	被覆に用いる金属の種類
溶融めっき	溶融した金属の液に、鋼材を浸して、比較的厚いめっき（厚さ；40～50μm）をする。	Znが最も一般的である。
電気めっき	水溶液中で、陰極としての鋼材の表面に陽イオン元素を電解析出させる（厚さ；10～20μm）。	Cu、Ni、Crは多重めっきとする。Znが最も効果的である。
浸透めっき	高温で金属の拡散浸透により、鋼材表面に合金層を作る。	Cr、Znが耐海水性に優れ、Alは主として乾食の防止に用いる。
溶射	サンドブラストによる素地調整後、アークなどで溶融した金属を鋼材表面に吹付けて、かなり厚い皮膜（厚さ；50～100μm）を作る（現場被覆可能）。	主に、Al、ZnおよびZn合金が大型鋼構造物の防食に有効である。
金属合せ板（板張り法、クラッド法）	ビス止めやスポット溶接による板張法や圧延・溶接などによって、鋼材により耐久性に優れた金属薄板を巻き付ける方法あるいは張り合わせる方法。	ステンレス鋼、モネル、チタンなどを用いる（干満帯および飛沫帯に使われる）。

④ライニング

ライニングは、その膜厚が通常1mm以上（最小0.5mm程度）で、塗装に比べ膜厚が厚く、防食性、耐衝撃性、耐摩耗性などに優れている。表-5.3.3.5には、代表的なライニング工法の特徴を示す。鋼材のライニングには、有機ライニング、ペトロラタムライニング、モルタルライニングがあり、それぞれ、次のような特徴を有する、なお、いずれのライニングを採用する場合にも、素地調整を入念に行う必要がある。

表-5.3.3.5 ライニング工法の特徴

防食工法	標準膜厚（mm）	標準施工法	施工法		特徴
			工場	現場	
ポリエチレンライニング	2～3	押出し張付け	○		工場生産で品質安定大量生産可能で安価。
ポリマーモルタルライニング	3～10	塗付け	○	○	耐衝撃性がよい、複雑な形状も可能。
FRPライニング	2～5	ハンドレイアップ	○	○	耐摩耗性がよい、複雑な形状も可能。
厚膜無溶剤形ライニング	0.5～5	塗付け	○	○	特殊塗装機による吹き付けが可能。
水中硬化形ライニング	1～10	ハンドワーク		○	水中施工が可能。
	0.1～1	はけ			
防食テープライニング	0.3～5	粘着		○	同上
ゴムライニング	3～15	シート張付け+加減	○		耐衝撃性・耐摩耗性がよい。

(a) 有機ライニング

表-5.3.3.5に示したような種類があるが、その施工法別にみたライニングの特徴を表-5.3.3.6に示す。

表-5.3.3.6 ライニング施工方法と主な長所と短所

施工法	対象となる合成樹脂	主な特徴	欠点
溶射法	ポリエチレン、ナイロン、エポキシ樹脂、ポリサルファイド	一般に大型機器に適用するが、部分的なライニングも可能である。現場ライニングができる。ライニング層を希望通り調整できる。 種々の樹脂を混合して溶射することができる。金属、コンクリート、ガラス、木材などにもライニングできる。	手動のため均一な厚さのライニング層を得ることが難しい。細長いパイプの内部のライニングはできない。樹脂が熱風で酸化し、劣化しやすい。
ディスパージョン法	三フッ化塩化エチレン樹脂、四フッ化エチレン樹脂およびポリエチレン	適当な溶剤のない樹脂の施工に適する。変質度の少ない、したがって耐食性のよいライニングができる。	高価な溶剤を用いることはライニング費が高くなり、焼成炉が必要なため、現地での施工はできない。 樹脂の微粉が必要である。 高度の技術を要する。
流動浸漬法	ポリエチレン、塩化ビニル樹脂および酢酸セルロース樹脂	小物体を大量にライニングするのに用いる。均一な厚さになる。複雑な構造物にも適用できる。溶剤不要	大型の物体には適用できない。タンクなど内部のみのライニングには不適である。 プラスチック粉末の最良の流動化条件を保つのに操作上技術が必要である。
溶液塗装法 (機械吹付け法)	エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂およびフラン樹脂	手間がかかるが、どんな形状のものでも一応ライニングができる。大容量タンクおよび大型機器の現場ライニングができる(機械化したものが機械吹付け法)。	液状樹脂しか用いられない。焼付けを必要とするものは焼成炉が必要である。
シートライニング法	塩化ビニル樹脂、ポリエチレン、ポリプロピレンおよび合成ゴム	簡単な構造のものに向く、大面積の現場ライニングができる。 ピンホールの心配がない。	複雑な形状のものには、ライニングができない。 溶接部分など、接合部の加工に技術が必要である。
積層法 (FRP ライニング法)	エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂、フラン樹脂、フェノール樹脂、ビチューメン(コールタールおよびアスファルト)	強化プラスチックとしての加工である。大型機器に適用できる。	熱硬化樹脂が主体であるため、現場施工に適用しにくい。

(b) ペトロラタムライニング

ペトロラタムライニングは、ペトロラタム系防食材で鋼材を被覆するものであるが、必ず、防食層の保護被覆を設ける必要がある。ペトロラタム系防食材は、石油ワックスの一種で、JIS K 2235 (ペトロラタム) および JIS K 2246 (錆止めペトロラタム) に規定されるペトロラタムを主成分とし、粘着性と柔軟性に富むため、鋼材表面に密着して、水分や空気の浸透を妨げる。一般には、ペトロラタム系防食材を含浸したテープ状またはシート状の不織布を鋼材に貼り付けるかまたは、ペースト状のものを鋼材にライニングしたうえで、保護層を設けた仕様とする。

(c) モルタルライニング

モルタルライニングの防食性は、セメントの水和によって生ずる水酸化カルシウムのアルカリ性に基づくものであり、モルタルの中性化が進めば、その防食は失われることになる。したがって、海洋環境に対して耐久性のあるセメントの使用や、その配合が重要であり、同時に入念な施工を行い、乾燥収縮や外力によるひびわれ、衝撃などによる剥離などの欠点が生じないように十分注意しなければならない。

なお、これらのライニング法のほか、5.3.4.10「コンクリートの防食および防汚法」のライニングの項の解説で述べたような永久型枠を用いて鋼材を包み、その中にコンクリー

トやモルタルを充填する方法もある。

⑤電気防食

電気防食の適用範囲は、喫水線が一定の場合には喫水線以下、潮位の影響がある場合には、月平均干潮面以下とする。表-5.3.3.7には、電気防食による防食効果を示す。一般には、被防食体に水中から電流を通電する陰極防食法を用いるが、海洋環境、構造物の種類、形状および規模、保守管理の容易さ、耐用年数などを考慮し、流電陽極法または外部電源法のいずれかを採用する。

表-5.3.3.8には、流電陽極法および外部電源法の特徴を示す。流電陽極法は、アルミニウム (Al)、亜鉛 (Zn)、マグネシウム (Mg) などの陽極を鋼構造物に取り付け、両金属間の電位差で発生する電流を防食電流として利用する方式である。特に、アルミニウム合金陽極は単位重量当たりの発生電流が大きく、経済的にも優れるため、多くの港湾構造物に使用されている。表-5.3.3.9には、流電陽極の特性を示す。

外部電源法は、外部の直流電源の陽極に電流を流す対極を接続し、陰極に鋼構造物を接続して、対極から鋼構造物に向かって防食電流を流入させることによって防食するものである。表-5.3.3.10には、外部電源法用の電極性能を示す。

なお、電気防食を施した鋼構造物の維持管理は、鋼構造物の電位を定期的に測定することによって行い、所定の防食電位にあることを確認する。また、流電陽極法では電流の発生に伴い陽極が消耗するので、一定期間ごとに取り替える必要がある。

(3) 防食法については、5.3.4.10「コンクリートの防食および防汚法」参照のこと。

表-5.3.3.7 電気防食法による防錆効果

海水浸漬率 (%)	防食率 (%)
0~40	40 以下
41~80	41~60
81~99	61~90
100	91 以上

表-5.3.3.8 流電陽極法ならびに外部電源法の特徴

方式	特徴
流電陽極法	<ul style="list-style-type: none"> ・メンテナンスが容易である。 ・長期的な防水に適している。 ・施工が容易である。 ・陽極寿命を自由に設定できる。 ・小規模、独立した設備にも適用できる。 ・電源のない場所でも施工が可能である。
外部電源法	<ul style="list-style-type: none"> ・出力電圧を自由に調節できる。 ・高流速下、河川水混入下など、変化の激しい特殊な環境にも対応できる。

表-5.3.3.9 流電陽極法における電極の特性

特 性	電極の種類				
	Al-Zn-In	純 Zn, Zn 合金	純 Mg, Mg-Mn	Mg-6Al-3Zn	
比重	2.6~2.8	7.14	1.74	1.77	
開路陽極電圧 (V)	1.08	1.03	1.56	1.48	
鉄に対する有効電圧 (V)	0.25	0.20	0.75	0.65	
発生電気量理論値 (A·h/g)	2.87	0.82	2.20	2.21	
海水中 1mA/cm ²	電流効率 (%)	90	95	50	55
	発生電気量 (A·h/g)	2.60	0.78	1.10	1.22
	消耗量 (kg/A)	3.4	11.8	8.0	7.2
地中 0.03mA/cm ²	電流効率 (%)	67*	65	40	50
	発生電気量 (A·h/g)	1.86*	0.53	0.88	1.11

[注] * : 組成によって変動がある。

表-5.3.3.10 外部電源法用電極の性能

電極の種類	常用電流密度 (A/dm ²)	消耗量 (kg/A·y)
白金めっきチタン	5~7	6~10×10 ⁻⁶
鉛-銀 2%合金	0.5~3	約 0.03
磁性酸化鉄	0.1~1.0	約 0.1
人造黒鉛	0.1	0.1~0.2
ケイ素鋳鋼	約 0.5	0.3~0.5
鉄 鋼	-	約 9

5.3.1 コンクリート

5.3.4.1 一般

- (1) ポンツーンに用いるコンクリートは、海洋環境において、所要の強度・耐久性を有し、品質のばらつきの少ないものでなければならない。
- (2) コンクリートの材料選定および配合は、所要の強度・耐久性が得られるようにしなければならない。

- (1) 海洋環境下においては、外力や海水の化学作用により、一旦コンクリートに欠陥が生じると、急速に劣化が進行する傾向にある。このため、コンクリートの品質は、ばらつきの少ない安定したものとする必要がある。
- (2) 海洋環境下に設置される海洋コンクリート構造物では、強度・耐久性の評価を同一に扱うことはできない。したがって、海水との接触状態、飛沫の影響の有無など設計時の要求に合わせた材料の選択および施工が必要である。

5.3.4.2 セメント

- (1) セメントは JIS R 5210 (ポルトランドセメント)、JIS R 5211 (高炉セメント)、および JIS R 5213 (フライアッシュセメント) に適合したものを使用する。
- (2)(1)以外のセメントについては、その品質を確かめ、所要の性能が得られるものでなければならない。

海水に接するコンクリートでは、海水中の硫酸塩の化学作用などを受けて、セメント硬化体が次第に侵食される。これらに比較的安定とみなせるポルトランドセメントをはじめ、高炉セメント、フライアッシュセメントを対象とした。環境条件・施工条件などを考慮して適正に選択することが必要である。

5.3.4.3 骨材

- (1) 骨材は、有害量のごみ、土、有機不純物、塩化物などを含まず、所要の強度および耐久性を有するものとする。
- (2) 粗骨材は砂利、碎石、高炉スラグ粗骨材または人工軽量粗骨材、細骨材は砂、砕砂、高炉スラグ細骨材または人工軽量細骨材とし、いずれも JIS 規格に適合したものとする。ただし、高炉スラグ粗骨材は、分類が B 種に適合するものとする。
- (3) 骨材の品質および標準粒度は、構造物の露出状態などに応じて適切なものでなければならない。
- (4) 粗骨材の最大寸法は、部材断面の形状・寸法および補強鋼材またはシースのあきを考慮して定める。
- (5) 寒冷海域の飛沫帯および海気帯での凍結融解の著しいところに用いる粗骨材は、コンクリートの凍結融解試験において十分な耐久性が確かめられたものを用いなければならない。

- (1) 骨材は海水中の物理的・化学的作用による影響を受けやすく、一般に、砕けやすいもの、節理のあるもの、強度の小さいものなどは耐久性に乏しいので、用いてはならない。また、鋼材の発錆を促進するような有害量の塩分を含むものがある。また、使用骨材の石質によっては、セメント中のアルカリ成分と骨材とが反応して異常膨張を生ずるなど、コンクリートの品質に重大な影響を及ぼすことがある。特に碎石や砕砂を用いる場合には、試験もしくは使用実績に基づき、その安全性を確認のうえ使用することが必要である。
- (2) 高炉スラグの中には、気泡が連続しているものがある。このようなものは透水性の大きいことが予想されるので、品質上好ましくない。したがって、高炉スラグ粗骨材を海洋コンクリート構造物に用いる場合には、JIS A 5011（コンクリート用高炉スラグ粗骨材）のうち、分類が B に適合するものを用いることとした。
- (3) 構造物の露出状態に応じた骨材の品質および粒度範囲は、日本建築学会（JASS 5）の規定を準用することとして、表-5.3.4.1 に示す仕様を標準とする。なお、各仕様の詳細については、JASS 5 を参照されたい。

表-5.3.4.1 骨材の品質と粒度範囲に関する仕様

露出状態による区分	仕様
I	高耐久性
II	コンクリート仕様
III	基本仕様

- (4) 粗骨材の最大寸法は、部材断面の形状や鉄筋間隔、締固め方法などを考慮して定める。一般に、型枠側面間の最小寸法の 1/5 以下、スラブ厚 1/3 以下、鋼棒相互の空きの 4/5 以下を標準としている。

- (5) 凍結融解作用によるコンクリートの劣化が骨材の品質に起因するような低品質骨材の使用は努めて避けなければならない。このため、コンクリートによる凍結融解試験を行うか、または信頼できる資料に基づき検討した結果、十分な耐久性が認められる粗骨材を選定することが必要となる。

5.3.4.4 水

- (1) 水は、コンクリートの品質および鋼材に悪影響を及ぼすような不純物を有害量含まないものとする。また、いかなる場合においても、海水を練り混ぜ水に用いてはならない。
- (2) レディーミクストコンクリートの場合、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）2.3「水」による。ただし、塩化物は塩化物イオン（Cl⁻）として200ppm以下とする。

5.3.4.5 混和材料

- (1) 化学混和剤は、JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）に適合するものとする。
- (2) 防錆剤は、JIS A 6205（鉄筋コンクリート用防錆剤）に適合するものとする。
- (3) フライアッシュは、JIS A 6201（フライアッシュ）に適合するものとする。
- (4) その他の混和材料は、試験または信頼できる資料に基づき、所定の効果が確認されたものとする。

- (1) コンクリート用化学混和剤を大別すると、AE 剤，減水剤（標準、遅延形および促進形），AE 減水剤（標準、遅延形および促進形）となる。これらの使用に際しては、一般的な性能を十分把握したうえで目的に合致したものを選び、使用実績などを検討して良質なものを適正に使用することが大切である。
- (2) 防錆剤は、鉄筋の防錆を目的とした混和剤であるが、安易にその効果を期待した使用方法であってはならない。良質なコンクリートを用い、均質で密実なコンクリートが得られるように入念な施工を行うことが何よりも大切であり、このことが防錆の決め手となることに留意すべきである。
- (3) フライアッシュは、主として、コンクリートのワーカビリティの改善と水和熱を抑制するために用いられる。特に、砕砂や粗目の砂を用いる場合などでは、コンクリート中の微粒分の不足を補うために、混和剤としてフライアッシュを使用することが望ましいと言われている。その使用量は、一般に、セメント重量の10～20%程度に止め、多くても30%を超えないようにするのがよい。
- (4) その他の混和材料には、流動化剤，高性能減水剤，膨張剤，高炉水砕スラグ微粉末，シリカフュームなどがある。それぞれの特性について、試験または信頼できる資料により有効性を把握し、使用目的に応じた混和材料を選定する必要がある。

5.3.4.6 配合

- (1) コンクリートの計画配合は、ワーカビリティ、均一性、強度、耐久性、水密性などの所要の性能が得られるように定める。
- (2) コンクリート強度は、設計基準強度に品質管理、施工条件、環境条件などを考慮し、割増しをして定める。
- (3) 水セメント比は、表-5.3.1 に区分した構造物の露出状態に応じて定める。なお、人工軽量骨材コンクリートの場合は、水セメント比を減ずるものとする。また、水硬性混和材を用いる場合は、セメントの一部とみなして水セメント比を求めてよい。
- (4) スランプは、コンクリートの種類および使用箇所に応じて、所要の品質が得られるように定める。流動化コンクリートを用いる場合のスランプの最大値は、流動化直後のスランプを、普通コンクリートでは18cm以下、軽量コンクリートでは21cm以下とする。
- (5) コンクリートの空気量は、表-5.3.4 に示す値を標準とする。

表-5.3.4 コンクリートの空気量

環境条件	コンクリートの種類		
	普通コンクリート	軽量コンクリート	
	粗骨材の最大寸法 (mm)		
	20, 25	40	20
	空気量 (%)		
凍結融解作用を受けるおそれのある場合	5.0	4.5	6.0
凍結融解作用を受けるおそれのない場合	4.0	3.5	5.0

- (6) 単位セメント量の最小値は、表-5.3.5 による。

表-5.3.5 単位セメント量の最小値

コンクリートの種類		単位セメント量の最小値 (kg/m ³)
鉄筋コンクリート	普通コンクリート	300
	軽量コンクリート	330
プレストレストコンクリート	普通コンクリート	350
	軽量コンクリート	380

- (7) コンクリートに含まれる塩化物量は、塩化物イオン (Cl⁻) として 0.30kg/m³ 以下とする。ただし、鉄筋の防錆上有利な対策を講ずる場合は、塩化物イオン (Cl⁻) として 0.60kg/m³ 以下とする。

- (1) 設計条件を確認することによって、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの所要の性能が得られるように、計画配合を立案する。
- (2) コンクリート強度の特性値は、コンクリート標準示方書に準じ、原則として標準養生、材齢 28 日の供試体の圧縮強度で表すものとする。設計基準強度が普通コンクリートで 360kgf/cm²、人工軽量骨材コンクリートで 270kgf/cm² を超える場合は、JASS 5 と同様な考えで、試験または信頼できる実績に基づいて配合強度を定めるものとする。なお、配合強度が高くなるに伴い最大応力度に達した後のひずみ増加に対する応力度の低下の割合が大きくなる点を考慮し、標準偏差、不良率および最低強度の保証値を設定する必要がある。
- (3) 海洋構造物では、海洋環境として、海気帯、飛沫帯、海水中、潮風または海水の影響を受けない部分に区別されることが多い。しかし、施工に伴って構造躯体をこのように区分すれば、打継ぎ部が多くなり、かえって耐久性上欠陥となりやすい。このため、施工条件および

完成後の状態を考慮して、構造物の露出状態を表-5.3.1の3区分とし、取り扱うこととした。

それぞれの状態に応じた水セメント比の標準値を関連規格や規準を参考として定めることとした。なお、海洋気象条件から判断して凍結融解作用のおそれのない箇所、重要度の低い箇所および腐食シロを考慮した箇所などに用いるコンクリートでは、水セメント比のそれぞれの標準値を+5%以内で大きくしてもよいものと考えられる。したがって、配合強度から水セメント比が定まる場合でも、水セメント比はこれらの最大値を超えることがあってはならない。

それぞれの露出状態に応じて、耐久性を低下させる要因としては、海水の浸透、浮遊粒子による表面の摩耗、凍結融解作用などが考えられる。

- (4) コンクリートの耐久性を確保し、品質の向上を図るためには、単位水量を少なくして、かつ空隙の少ない密実なコンクリートとすることが必要である。この意味で、コンクリートの配合設計に際して、水セメント比のみならず、所要スランプに限度を設け、定める必要がある。なお、コンクリートの施工性を改善する必要がある場合には、流動化コンクリートとすることが望ましい。
- (5) コンクリートに連行される空気は、単位水量の低減のみならず、耐凍結融解性の向上に寄与するところが極めて大きい。空気の連行によって強度性状を大きく損なうことがなく、かつ、耐凍結融解性が期待される空気量の範囲は、細孔径分布によっても多少異なるが、4~6%とみなされている。国内外の資料に基づき適性値を検討した結果、その標準値を4~5%、凍結融解作用を受けるおそれのある箇所では5~6%として、空気量の範囲を設けた。
- (6) 海洋環境下において、所要の性能を維持するためには、コンクリートはワーカブルでの分離せず十分密実になるように施工されることが重要である。JASS 5に準じ、単位セメント量の最小値を表-5.3.5のように定めた。なお、水中コンクリートでは、打込みのコンクリートが流動し、セメントの一部が水中に流出する。コンクリートの分離に対する抵抗性・施工性および強度の確保などを考慮して、単位セメント量もしくは単位結合材の最小値を370kgf/m³以上とすることが必要である。また、プレパックスドコンクリートにおいて、注入モルタル1m³中の単位結合材料の最小値は、おおよそ750kg/m³である。粗骨材の空隙率を45~50%とみなせば、コンクリート中の単位結合材量は340~380kg/m³に相当することになる。
- (7) コンクリート中の鋼材は、コンクリートのpHが約10以上の場合、鋼の表面がFe₂O₃またはFe₃O₄の保護膜に覆われ、不動態化してさびは発生しない。しかし、未洗浄の海砂を用いるなどしてコンクリート中に塩化物が一定以上存在すると、塩化物イオンが水酸化鉄に対して解膠(かいこう)作用を示し、保護膜を破壊し、鋼材に腐食を生じさせる。また、塩化物による鋼材の腐食作用は、コンクリートが中性化することによってさらに助長されるといわれている。

本項に示した塩化物量の総量規制値は、基本的には従来の細骨材の塩分の規制値を基礎としている。

5.3.4.7 材料定数

設計に必要なコンクリートの材料定数は、表-5.3.6 に示す値とする。

表-5.3.6 鋼構造材料の材料定数

ヤング率 (kgf/cm ²)	せん断弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
$2.1 \times 10^6 \times (\gamma / 2.3)^{1.5} \times (F_c / 200)^{0.5}$	$E_c / 2(1 + \nu)$	1/6	0.00012

[注] γ : コンクリートの気乾単位容積重量 (t/m³)
 E_c : コンクリートのヤング係数 (kgf/cm²)
 ν : コンクリートのポアソン比
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

表-5.3.6 に示す材料定数のうち、コンクリートのヤング係数は $F_c > 500 \text{kgf/cm}^2$ において、やや小さくなる傾向にある。試験もしくは信頼できる資料に基づき、適切な値を採用することが必要である。

5.3.4.8 コンクリートの許容応力度

鉄筋コンクリートに用いるコンクリートの許容応力度は、コンクリート標準示方書・設計編（土木学会）を準用する。

形鋼の許容付着応力度については、コンクリート標準示方書より削除されたが、港湾における実績等を参考として、便宜上暫定的に普通丸鋼と同程度として取り扱うこととした。

なお、コンクリート強度の特性値は、諸外国の設計例においても明らかに高強度化の傾向にあり、その趨勢に従い 240kgf/cm^2 以上とすることが望ましい。

5.3.4.9 許容応力度の割増し

- (1) 数種類の荷重・外力等などの組合せを考慮するときには、5.3.4.8 に定めた許容応力度を表-5.3.7 によって割り増すことができる。

表-5.3.7 許容応力度の割増係数

	荷重・外力の組合せ	割増係数
無筋コンクリート	地震の影響を考えた場合	1.50
	温度変化及び乾燥収縮の影響を考えた場合	1.15
鉄筋コンクリート	地震の影響を考えた場合	1.50
	温度変化、乾燥収縮及び地震の影響を考えた場合	1.65

- (2) 一時荷重を受ける場合には、荷重の載荷状態、材料の性質などに応じて、5.3.4.8 に定めた許容応力度を高めることができる。

- (1) 温度変化、乾燥収縮および地震の影響を考慮した場合の許容応力度の割増しに関する考え方は、コンクリート標準示方書（土木学会平成8年版）に準ずる。
- (2) コンクリート部材や構造物の運搬などの施工作业に伴って生じる一時的な荷重を対象とし、荷重の状態やコンクリートの材齢などを考慮して許容応力度を高めてよいことにした。しかし、一時的荷重の大きさなどは設計および施工条件によって著しく異なるので、許容応力度を高める程度については明記しない。

5.3.4.10 コンクリートの防食および防汚法

- (1) 構造物の特性や当該海域の環境に適合した防食および防汚計画を構造設計と関連づけて進め、必要に応じてコンクリート構造物にとって適切な防食および防汚法を適用する。
- (2) コンクリートの防食法としては、次のものがある。
- ①塗装
 - ②ライニング
 - ③含浸材料による表面処理
- (3) 構造物への生物の付着防止が要求される場合には、海洋環境と部材の形状に応じて、防汚処理を施す。ただし、その適用に当たっては、海洋汚染が起こらないように十分配慮する。

- (1) 防食および防汚計画に当たって、具体的に検討すべき条件を挙げれば、次のようになる。
- ①防食環境および生物付着環境
 - ②構造物の設置場所と海洋・気象条件
 - ③構造物の使用目的
 - ④構造物の形式と構造
 - ⑤防食・防汚法、施工場所（ドックまたは海洋上）および施工時期
 - ⑥防食および防汚施工による構造物の自重の増加の程度
 - ⑦耐用年数

⑧定期保守（維持管理）の条件および作業場所

⑨美観上の要求

⑩工期および経済性

海洋コンクリート構造物の材料については、前項までの条件を満足することによって、所要の耐久性が確保される。しかしながら、鉄筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート構造物および鉄骨・鉄筋コンクリート構造物における劣化は、使用される鉄筋および鉄骨の腐食によって起こされ、海洋環境下でのこれらの鋼材の腐食は、コンクリート表面からの塩化物イオンの浸透に起因するものである。そのため、コンクリート表層部を何らかの方法で保護し、塩化物イオンの浸透を抑制することは、これらの鋼材の腐食を防止する上で有効な手段であり、比較的膜厚の薄い塗装を施した場合でも、未塗装のコンクリートに比べれば、塩化物イオンの浸透を相当に防止する効果がある。また、コンクリートの防食に用いられる殆どの被覆材の表面は、未処理コンクリート表面に比べて滑らかであり、塩化物イオンが付着しにくく、雨水による付着した塩化物イオンの洗浄効果も期待できる。

コンクリートの防食法の特徴は、次の通りである。

- ①構造物の種類や形状によって、使用材料および工法を適宜選択して使用できる。
 - ②使用材料および工法によっては、構造物の自重をあまり増加させることなく、耐久性を向上させることができる。
 - ③構造物の使用環境の変更などが生じた場合、比較的容易に、防食法を変更したり、再度防食を施すことができる。
 - ④適用した防食材料に欠陥が生じた場合、比較的容易に補修ができ、構造物の部分的な補修にも使用できる。
- (2) 防食法の選択に当たっては、各工法の特徴をよく把握したうえで、防食法に要求される性能を明確にし、当該海域の海洋環境において必要とする耐久性が得られるような工法を選択する。また、必要に応じて各工法を組合せて施工する。

なお、防食施工箇所については、定期的な保守点検を行い、防食施工箇所に欠陥が生じ、補修を必要とする場合には、下地コンクリートおよび防食施工箇所の不健全な部分を取り除き、欠陥が生じた原因を調査したうえで、適当な防食法を選択する。

(a) 防食法の適用範囲

塗装およびライニングによる防食法の適用範囲の目安を海洋構造物の耐用年数および海洋環境との関連で示せば、表-5.3.4.2の通りである。

表-5.3.4.2 耐用年数および海洋環境を考慮した防食法の適用範囲の目安

露出状態による区分	海洋環境	耐用年数		
		20年	30年	40年
(Ⅱ)	海気帯	塗装系 A (B)	塗装系 C (D)	塗装系 E (F)
(Ⅰ)	飛沫帯	塗装系 C (D)	塗装系 E (F)	
	海中	塗装系 E (F)	ライニング	

[注] () の防食法は、コンクリートに多くのひびわれが発生することが予想される場合

なお、塗装系 A を沿岸域の鋼構造物の防食に用いた場合の塗膜の標準耐用年数は約 15 年、塗装系 E を用いた場合の標準耐用年数は約 20 年であることを基準として、この適用範囲を設定した。

(b) 塗装

コンクリートの塗装に用いる防食塗料の選択に当たっては、塗膜の外観、耐候性、遮塩

性、耐アルカリ性、接着性、下地のひびわれに対する追従性などについて詳細に検討する必要がある。

塗装する範囲は、原則として、干満帯より上部とするが水中施工が可能で、十分な耐久性を有することが確認できる防食塗料については、干満帯下部の塗装に用いてもよいものとする。表-5.3.4.3には、コンクリート構造物に適用可能な塗装系の分類を示す。なお、いずれの塗装系を適用する場合でも、入念な下地調整を行う必要がある。また、一般に厚い塗膜のほうが耐久性に優れ、保守管理にも有利であり、海気帯で150~200 μm 、飛沫帯で200~500 μm 程度の塗膜厚が推奨される。

表-5.3.4.3 コンクリート構造物用塗装系の分類

塗装系種類	使用する塗料および塗装系の特徴*	塗装膜厚**
塗装系 A	一般に、鋼構造物の重防食塗料として多く用いられているものと同系統で、エポキシ樹脂塗料（プライマーおよび中塗り）およびポリウレタン樹脂塗料（上塗り）を用いる。	100 μm
塗装系 B	塗装系 A と同級品であるが、柔軟性に富むエポキシ樹脂塗料およびポリウレタン樹脂塗料を用いる。	
塗装系 C	厚膜形エポキシ樹脂塗料やビニルエステル樹脂塗料を中塗りに用いた厚膜形塗装系で、防食、遮塩性を向上させたもの。	300~400 μm
塗装系 D	塗装系 C と同級品で、柔軟性に富む塗料を用いる塗装系。	
塗装系 E	塗装系 C および D に比べ、さらに厚膜形のエポキシ樹脂塗料を用い、防食性、遮塩性を向上させた塗装系。	1 000 μm
塗装系 F	ポリブタジエン樹脂系や柔軟性に富むポリウレタン樹脂系塗料を用いた厚膜形の塗装系で、特に防食性の優れるもの。	

[注] *上塗りとしてはポリウレタン樹脂塗料が用いられるが、必要に応じて、耐久性に優れた自然乾燥形フッ素樹脂塗料が用いられる。

**膜厚は標準的なものであり、素地の状態や施工条件によって若干異なる。

(c) ライニング

5.3.3.7「鋼材の防食および防汚法」のライニングの項の解説に準ずる。ライニングは、塗装系によるライニングの他に、シートライニング、防食テープライニングおよびモルタルライニングや、シートライニングよりも膜厚が厚い形成材料、例えば FRP、繊維補強ポリマーセメントモルタルおよびポリマー含有コンクリート製永久型枠などを用いて、コンクリートを打込む工法も含まれる。なお、いずれのライニングを適用する場合も、入念な下地調整を行う必要がある。

(d) 含浸材料による表面処理

含浸材料による表面処理には、現場ポリマー含浸工法および塗布含浸の塗布によるコンクリート表面の処理方法がある。しかし、含浸材料によって性能が著しく異なるため、含浸材料および工法の特徴をよく把握したうえで、その種類および施工法を決定する。

(3) 防汚法としては次のものがある。

(a) 防汚塗料

防汚塗装に用いられる防汚塗料としては、各種防汚剤（材）を含むものおよびシリコン系防汚塗料がある。

(b) 防汚ライニング

防汚ライニングとしては、各種防汚性混和剤（材）を含むセメントペーストやモルタルライニングおよび防汚性金属ライニングがある。使用される防汚性混和剤（材）としては、亜酸化銅、硫酸第一鉄、銅粉などが、また、防汚性金属ライニングとしては、銅板、キュ

プロニッケル板などが用いられる。なお、最近では、これらの混和剤をコンクリート中に添加する方法も開発されている。

なお、各種防汚剤（材）および防汚性混和剤（材）を含む防汚法の適用に当たっては、含まれる毒物による海洋汚染が起こらないように十分注意する。

5.3.5 鉄筋および PC 鋼材

5.3.5.1 一般

- (1) ポンツーンに用いる鉄筋および PC 鋼材は、当該海域の海洋環境の条件に対して十分安全で耐久的となるように、使用実績を考慮して選定する。
- (2) 鉄筋および PC 鋼材の材質は、いずれの場合も、JIS 規格に定められたもの、またはそれと同等以上のものを使用するものとする。ただし、再生棒鋼は除外する。

- (1) 海洋環境下のコンクリート中に埋め込まれる鉄筋・PC 鋼材は、コンクリートのひびわれ発生に伴い、海水の化学作用とともに腐食が促進され、鉄筋コンクリートの耐久性を低下させる。このため、鉄筋・PC 鋼材については、計画耐用年数に応じて、十分安全で耐久的となる対策を選定する必要がある。

鉄筋の防錆処理方法としては、金属めっき、エポキシ樹脂塗装などがある。本マニュアルでは、計画耐用年数 50 年の場合は、必ずエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することを基本としている。

- (2) 海洋コンクリート構造物に用いる鉄筋コンクリート用棒鋼および PC 鋼棒は、JIS に規定する規格品とした。JIS G 3112 のうち丸鋼については使用しないことを原則としたが、コンクリートの付着・ひびわれなどを十分検討した場合はこの限りではない。鉄筋コンクリート用再生棒鋼（JIS G 3117）は適用から除外した。

運搬中・取扱い中あるいはコンクリート打込み時にシースが変形したり、また、シース中にセメントペーストが入り込んだりすると、プレストレス導入時に摩擦が増大し、所定のプレストレスが導入できなかったり、あるいはグラウトの充填が不完全になるおそれがある。したがって、シースはその取扱い中、あるいはコンクリート打込み時に、容易に変形したり、つぶれたりするようなものであってはならず、合せ目や継ぎ目からセメントペーストがシース内に入り込むようなものであってはならない。

5.3.5.2 材料定数

鉄筋および PC 鋼材の材料定数は、表-5.3.8 に示した値とする。

表-5.3.8 鋼構造材料の材料定数

材 料	ヤング率 (kgf/cm ²)	せん断弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
鉄 筋 PC 鋼材	2.1×10 ⁶	8.1×10 ⁵	0.30	1.2×10 ⁻⁶

5.3.5.3 鉄筋の許容応力度

鉄筋の許容応力度は、コンクリート標準示方書・設計編（土木学会）を準用する。

- (1) 高張力異形棒鋼を使用する場合には、次の諸点に注意して設計しなければならない。
 - ①コンクリートの強度が鉄筋の許容応力度に伴って増加しなければ、コンクリートの断面が大きくなって不経済な設計となる。
 - ②鉄筋の継手に溶接継手を用いる場合には、継手部の有効断面積を鉄筋断面積の 80%として設計するのがよい。
- (2) 鉄筋コンクリートの水中での曲げおよびせん断強度は、大気中のものに比較して低下する場合もあるので、この場合には許容応力度を低めに抑えることが必要である。

5.3.5.4 許容応力度の割増し

鉄筋の許容応力度は、5.3.5.2 に定めた許容応力度を表-5.3.7 によって割り増すことができる。

5.3.5.5 鉄筋の防食

- (1) 露出状態による区分(I)および(II)に用いる鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋とする。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜は、製造段階および運搬・加工・組立てなどの一連の過程で、有害な弱点を生ずるものであってはならない。
- (3) 鉄筋の防食性を高める方法として、上記以外の防食法を選定する場合には、試験または信頼できるデータに基づき、その効果が十分確認され、(1)に相当するものでなければならない。

- (1) 鉄筋の腐食によってコンクリートの耐久性が著しく損なわれることを防止する方法としては、一般に①良質なコンクリートを入念に施工する、②かぶり厚さを増す、③過大なひびわれを発生させない、などがその基本になるが、フローティングブリッジにおいては設計上ポンツーンの軽量化が求められることから、本マニュアルでは、過大なかぶり厚さを必要とせず、かつ、厳しい環境下で長期の耐食性が期待できるものとして、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することを推奨する。その適用範囲は、海水または外気に接する部材に用いるすべての鉄筋を対象としている。この場合、無塗装鉄筋との継手部において腐食電池が形成され、無塗装鉄筋の腐食が促進されることがないように十分留意することが必要であり、そのためには当該部材のほか、同部材と接する部材にあっても1スパンないしは少なくとも継手に至る鉄筋のすべてはエポキシ樹脂塗装鉄筋とすることが必要となる。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋は塗膜の損傷により防錆効果が著しく損なわれるので、製造段階における諸検査のほか、運搬・保管・加工・組立てなどの使用段階で入念な目視検査を実施し、塗膜の傷、切断面、溶接箇所などの弱点部は、コンクリートの打込みに先がけ、専用塗料な

- どにより速やかに補修しなければならない。なお、土木学会『エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）』があり、その他、日本建築学会『JASS 5 22 節 海水の作用を受けるコンクリート』、日本道路協会『道路橋の塩害対策指針（案）・同解説』、日本コンクリート工学協会『海洋コンクリート構造物の防食指針（案）』などが参考となる。
- (3) 鉄筋の防食性を高める方法としては、エポキシ樹脂塗装のほか、熔融亜鉛めっきなどによる表面被覆法、耐塩性鉄筋などに代表される防錆鉄筋の採用、電気防食法などが知られている。

5.3.6 その他の材料

前項までに記述した以外の材料の使用にあたっては、各材料の特徴を十分に把握して、その使用を決定しなければならない。

前項までに記述した材料の他に、ポンツーンの製造に使用される主要な材料としては、次のようなものがある。これらの材料の使用にあたっては、関連規格、技術資料などを参考にして、各材料の特徴を十分に把握して、要求される力学的性質および耐久性が得られることを確認する必要がある。

- ①繊維補強セメントおよびコンクリート
- ②フェロセメント
- ③ポリマーセメントモルタルおよびコンクリート
- ④ポリマーモルタルおよびコンクリート
- ⑤FRP（繊維強化プラスチック）
- ⑥その他（防舷材に使用される材料など）

5.4 設計

5.4.1 一般

- (1) フローティングブリッジに使用するポンツーンは、フローティングブリッジの建設中および供用中において想定されるすべての荷重に対して、フローティングブリッジ全体が十分な安全性を有するように設計されなければならない。
- (2) フローティングブリッジに使用するポンツーンは、全体の安定性、構造部材の破壊に対する安全性、利用者の使用性、および耐久性について、所要の性能を有するように設計されなければならない。

フローティングブリッジの設計フローを図-5.4.1に示す。安定の検討やポンツーン的设计がフローティングブリッジ独自の項目であるが、基本的な流れは一般橋梁と変わり無い。

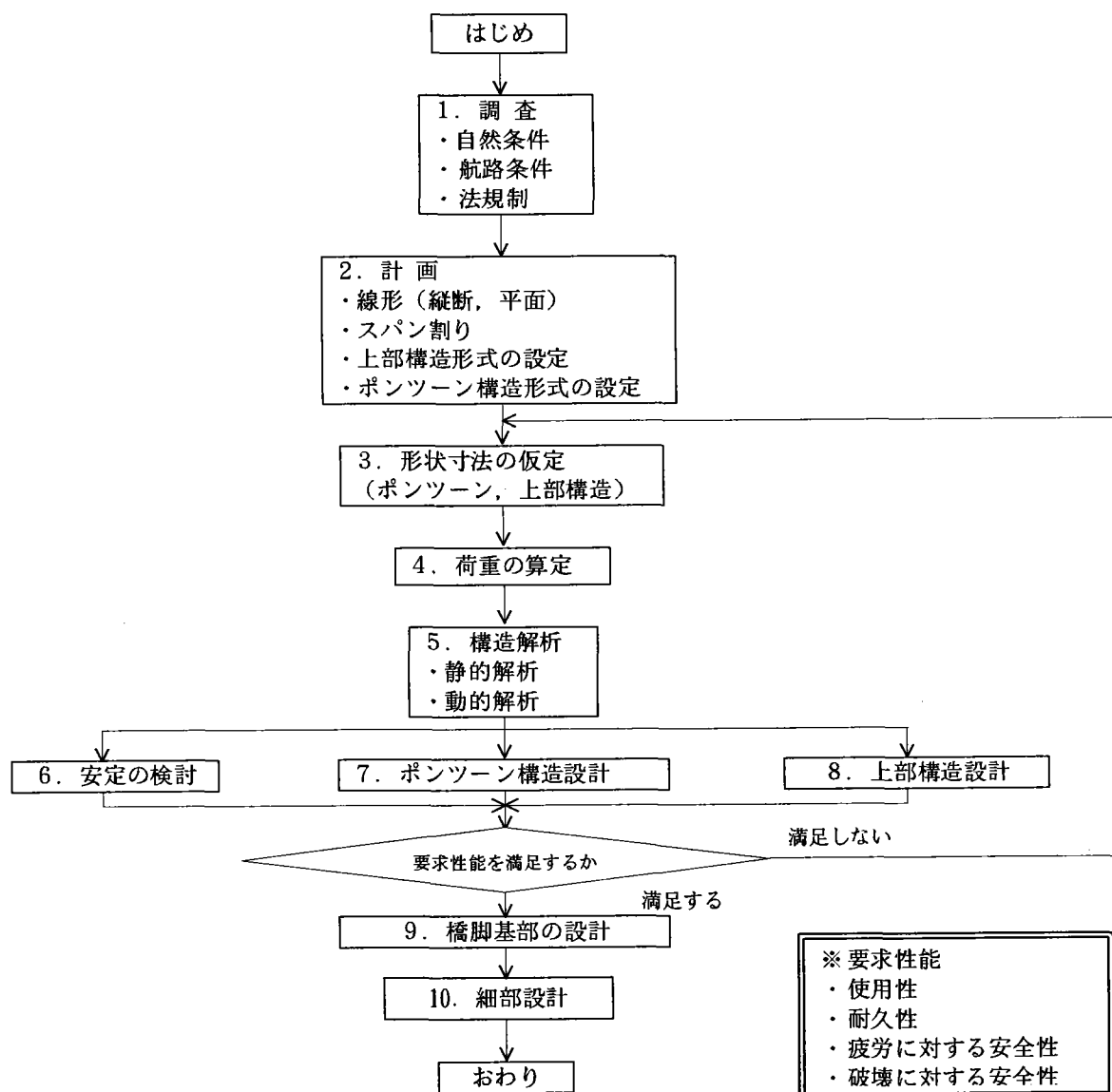


図-5.4.1 フローティングブリッジの設計フロー

5.4.2 安定性の検討

- (1) フローティングブリッジに使用するポンツーンは、フローティングブリッジ全体系の安定的な浮遊状態を保持しうるだけの十分な復元特性を有するよう設計しなければならない。
- (2) 安定性の検討は、非損傷状態および損傷状態について行う。

- (1) フローティングブリッジの安定性は、検討状態（ポンツーン単体、架設系、完成系）に応じて、適切なモデルにより検討する必要がある。特に、完成系においては、上部構造により連結されている効果を考慮するために、全体系の解析モデルを用いた構造解析の結果に基づいて検討することが必要である。
- (2) 過去のフローティングブリッジの事故では、ポンツーン内への浸水が致命的な被害をもたらしている。よって、フローティングブリッジが航路を跨ぐ場合や近接する場合は、ポンツーンの一部が損傷した場合についても安定の検討を行い、必要に応じて適切な対策を講じておく必要がある。

5.4.3 構造解析

- (1) 構造解析は、自然条件、荷重条件およびフローティングブリッジの構造特性を踏まえ、適切な方法で行わなければならない。
- (2) 静的解析
静的荷重、あるいは静的荷重に換算可能な動的荷重に対しては、静的解析により構造部材の断面力や変位を算定してよい。
- (3) 動的解析
発生する構造部材の断面力や変位にフローティングブリッジの動特性の影響が大きく現れる荷重状態に対しては、動的解析を実施し、安全性を確認しなければならない。

- (1) 構造解析の方法としては、静的解析と動的解析があり、動的解析にも種々の手法があるが、荷重状態、構造特性、解析の目的に応じて、適切な方法を選択する必要がある。また、使用する解析モデルは、ポンツーン単体、架設系、完成系などの検討状態に応じて、適切な範囲をモデル化する必要がある。
- (2) 死荷重のように変動しない荷重、温度変化や潮位の変化のように変動速度がゆっくりした荷重、あるいは活荷重のように静的荷重として扱われている荷重については、静的解析により断面力や変位を算定してよい。
- (3) 波浪荷重や風荷重などの変動量が大きく、変動速度が構造物の固有周期に近接する可能性のある荷重に関しては、構造物の動的応答の影響が大きくなるため、動的解析により安全性を確認する必要がある。

5.4.4 疲労設計

フローティングブリッジの設計に当たっては、波浪等の繰返し荷重や風による振動に対して疲労破壊が生じないように十分な配慮を行う必要がある。

フローティングブリッジには、波浪や風による振動により繰返し荷重が作用するため、構造部材の強度の照査は、初期通過破壊だけでなく、疲労破壊についても行う必要がある。

5.4.5 動揺と利用者の安全性確保

フローティングブリッジの設計にあたっては、その海域における自然条件に基づいて動揺の大きさおよび周期特性を把握し、走行安全性を損なうような動揺が生じる可能性がある場合には、適切な対策を講じる必要がある。

風や波浪などの変動外力により、フローティングブリッジには動揺振動が生じるが、これがドライバーのハンドル操作を誤らせたり、利用者に不快感を与える可能性がある。よって、発生する動揺振動が大きいと予想される場合は、振動を低減する対策や通行止めなどの管理基準値をあらかじめ検討しておく必要がある。

5.4.6 実験

フローティングブリッジの設計に当たっては、風洞実験や水槽実験などの模型実験を実施し、フローティングブリッジに作用する荷重やフローティングブリッジの挙動を確認するのが良い。

フローティングブリッジに作用する環境荷重やこれに対する挙動については未解明な部分が残されており、必要に応じて模型実験を行い、その結果を設計に反映させることが望ましい。