

3章 浮体橋設計の基本

3.1 浮体橋設計の基本理念

- (1) 浮体橋の設計は、設計供用期間における、使用目的との適合性、構造物の安全性・耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮した上で、必要とされる要求性能を確保することを目標として行う。
- (2) 設計にあたっては、地形・地質・地盤条件・立地条件などを考慮し、浮体橋として望ましい構造形式を選定するとともに、橋を構成する各部材および橋全体系が必要な性能を有するように配慮しなければならない。

- (1) 浮体橋の設計では、道路防災上において、その路線のもつ重要性を明確にし、使用目的との整合性を考慮しなければならない。その上で安全性の確保を第一に置くとともに、繰り返し荷重や塩分などの環境的な要因による経年的な劣化状況に対して耐久性を確保する必要がある。さらに、構造物に要求される安全性や機能などの要求性能については、完成時だけでなく設計供用期間中に常に満足している必要がある。したがって、設計供用期間中に予想される安全性や機能を損なう様々な影響については設計上考慮するとともに、どのような維持管理が必要になるかについても予め想定し、設計計算や構造細目あるいは鋼材の防食工法などの決定において考慮することが求められる。
- (2) 設計にあたっては、地形・地質・地盤条件・立地条件などを考慮して、橋を構成する部材のみならず橋全体系においても強度、変形、安定などの検討を行わなければならない。また、浮体橋として望ましい構造形式を選定することが必要である。

3.2 設計供用期間

浮体橋の設計にあたっては、適切な設計供用期間を設定するものとする。

浮体橋に対する要求性能を考慮する場合、設計のみならず維持管理においても何らかの目標とする期間が必要となる。このために設ける設計供用期間については、それぞれの設計荷重において、一定の知見が得られているものについては、構造物の重要性や社会的影響等を勘案して適切に設定してよい。

3.3 浮体橋の重要度

- (1) 浮体橋の重要度は、道路橋示方書V耐震設計編 2.3 に準拠し、道路種別及び橋の機能・構造に応じて、重要度が標準的な浮体橋ととくに重要度が高い浮体橋（以下、それぞれ、「A種の浮体橋」および「B種の浮体橋」と呼ぶ）の2つに区分するものとする。
- (2) A種の浮体橋ならびにB種の浮体橋は、表-3.3.1 に示すように区分するものとする。

表-3.3.1 浮体橋の重要度の区分

| 重要度の区分 | 対象となる浮体橋 |
|--------|---|
| A種の浮体橋 | 下記以外の浮体橋 |
| B種の浮体橋 | <ul style="list-style-type: none"> ・高速自動車道，都市高速道路，指定都市高速道路，一般国道の浮体橋 ・都道府県道，市町村道のうち，複断面，跨線橋，跨道橋及び地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等からとくに重要な浮体橋 |

浮体橋の重要度を道路橋示方書V耐震設計編 2.3 に示されるA種の橋ならびにB種の橋と同様な原則により区分することを規定したものである。なお、地域の防災計画上の位置付けや当該道路の利用状況等から重要度を区分する場合には、以下の事項を考慮するものとする。

- 1) 地域の防災計画上の位置付け
 - 浮体橋が異常事態後の救援活動，復旧活動等緊急輸送を確保するために必要とされる度合い
- 2) 2次災害の可能性
 - 複断面，跨線橋や跨道橋等，浮体橋が被害を受けたとき，それが他の構造物・施設に影響を及ぼす度合い
- 3) 利用状況と代替性の有無
 - 利用交通量や浮体橋が通行機能を失ったとき直ちに他の代替構造物・施設によってそれまでの機能を維持できるような代替性の有無
- 4) 機能回復の難易
 - 浮体橋が被害を受けたのちに，その機能回復に要する時間，費用の大きさ

3.4 浮体橋設計の基本方針

- (1) 浮体橋の設計においては、一般の地盤固定型の基礎を有する橋梁の基本方針に加えて、波浪や津波の影響といった浮体橋特有の荷重を架橋地点に応じて考慮するものとする。
- (2) 浮体橋に必要とされる要求性能は、確保すべき橋の機能の状態に応じて以下の通りに設定するものとする。
 - 1) 要求性能0
橋の機能を確保するための安定性を損なわない。
 - 2) 要求性能1
橋の機能を確保するための健全性を損なわない。
 - 3) 要求性能2
橋の機能は限定的になるが、橋の機能の回復を速やかに回復することのできる損傷に留める。
 - 4) 要求性能3
橋の機能は喪失するが、落橋、沈没、漂流など致命的な被害に対する安全性を確保する。
- (3) 浮体橋は、設計で想定した常時、供用時波浪、暴風時波浪、津波時、地震時の荷重および重要度に応じて、それぞれ以下に示す要求性能を確保するよう設計する。
 - 1) 浮体橋は、常時荷重及び供用時波浪においては、要求性能0を確保するよう設計する。
 - 2) 浮体橋は、レベル1地震動においては、要求性能1を確保するよう設計する。
 - 3) 浮体橋は、暴風時波浪においては、橋の重要度に応じて、要求性能1もしくは要求性能2を確保するよう設計する。
 - 4) 浮体橋は、津波およびレベル2地震動においては、橋の重要度に応じて、要求性能2もしくは要求性能3を確保するよう設計する。
- (4) 浮体橋における要求性能の照査においては、必要とされる要求性能に応じて、各部材の力学的特性および橋全体系の挙動を踏まえ、橋全体系の限界状態とこれを照査すべき工学的指標を適切に設定するものとする。

- (1) 浮体橋を設計するにあたって、一般の地盤固定型の基礎を有する橋梁と同様に想定した橋の機能を確保することを規定したものである。
- (2) 浮体橋の設計で目標とする要求性能として、安全性、供用性、修復性および浮体橋特有の要求性能である動揺安定性のそれぞれの観点から4段階のレベルを設定し、条文のように定義したものである。

ここで、安全性とは、異常発生時の変形・変位による橋の崩落によって人命を損なうことな

いようにする性能をいう。供用性とは、橋が本来有すべき通行機能や異常発生後の防災上の輸送路としての機能を維持できる性能をいう。修復性とは、異常現象によって生じた損傷を修復できる機能をいう。浮体橋特有の要求性能である動揺安定性とは、走行車、通行人に対して不快感を与えない性能をいう。

まず、要求性能0は「橋の機能を確保するための安定性を損なわない」と定義した。安全性、供用性、修復性については要求性能1と同様の要求性能を確保するものとするが、浮体橋特有の動揺安定性の確保という観点から、橋の通行に支障のない程度の動揺に留めることとした。

要求性能1は「橋の機能を確保するための健全性を損なわない」と定義した。要求性能1には、崩落に対する安全性を確保するのはもちろんのこと、異常現象直後においても機能回復のための補修なしに通常と同じ橋としての機能を確保でき、また、長期的に必要な修復もひび割れ補修程度の軽微な補修で対応できるようにすることとした。さらに、動揺によって一時的な規制を行ったとしても、橋の通行は可能であるとした。

要求性能2は「橋としての機能の回復を速やかに行うために限定された損傷に留める」と定義した。要求性能2には、崩落に対する安全性とともに、異常時直後においても橋としての機能が応急復旧程度で速やかに確保でき、かつ長期的に必要な修復に対しても比較的容易に行うことができるようにすることとした。さらに、異常時の動揺によっても、限定された橋の通行は可能であるとした。

要求性能3は「致命的な被害を防止する」と定義した。要求性能3には、設計上の供用性や修復性の観点からの要求性能は考慮せず、崩壊に対する安全性を確保することを要求性能としたものである。

表-3.4.1は浮体橋としての要求性能を、安全性、供用性、修復性および動揺安定性の観点から、それぞれ考慮すべき事項を整理して示したものである。

表-3.4.1 浮体橋における要求性能の観点

| 浮体橋の性能 | 安全性 | 供用性 | 動揺安定性 | 修復性 | |
|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | 短期 | 長期 |
| 要求性能0： 安定性を損なわない | 走行車、通行人に対する安全性を確保する | 通常の橋としての機能を確保する | 橋の通行に支障のない程度の動揺に留める | 機能回復のための修復を必要としない | ひび割れ補修程度の軽微な修復でよい |
| 要求性能1： 健全性を損なわない | 崩落に対する安全性を確保する | 通常の橋としての機能を確保する | 橋の通行は可能である (一時的な規制も含む) | 機能回復のための修復を必要としない | ひび割れ補修程度の軽微な修復でよい |

| | | | | | |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 要求性能2： 限られた損傷 に留める | 崩落に対する 安全性を確保 する | 異常発生後、橋 としての機能 を速やかに回 復できる | 橋の通行は限 定的である (一時的な規 制も含む) | 機能回復のた めの修復が応 急復旧で対応 できる | 比較的容易に 恒久復旧を行 うことが可能 である |
| 要求性能3： 致命的な被害 を防止する | 崩落に対する 安全性を確保 する | (機能回復は 困難な場合も ある) | 橋の通行は困 難である | (応急復旧だ けでは機能回 復が困難な場 合もある) | (撤去・再構築 となることも 想定する) |

(3) 浮体橋の設計では、供用時波浪（交通規制時の波浪条件）、暴風時波浪（供用期間中に発生する確率が高い波浪）、津波、レベル1地震動（供用期間中に発生する確率が高い地震動）、レベル2地震動（供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動）を考慮することとした。

3.5、3.6、3.7に規定する設計で想定した常時、波浪時、津波時、地震時の荷重および3.3に規定する2種類の重要度に応じて、浮体橋に求める要求性能を条文のように規定した。

1) 常時

常時における浮体橋の目標とする要求性能を表-3.4.2に示す。

表-3.4.2 常時における目標とする浮体橋の要求性能

| 設計荷重 | A種の浮体橋 | B種の浮体橋 |
|------|------------------|--------|
| 常時 | 【要求性能0】安定性を損なわない | |

2) 波浪時

波浪時における浮体橋の目標とする要求性能を表-3.4.3に示す。

表-3.4.3 波浪時における目標とする浮体橋の要求性能

| 設計荷重 | A種の浮体橋 | B種の浮体橋 |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| 供用時 波浪 | 【要求性能0】安定性を損なわない | |
| 暴風時 波浪 | 【要求性能2】限られた 損傷に留める | 【要求性能1】健全性を 損なわない |

3) 津波時

津波時における浮体橋の目標とする要求性能を表-3.4.4に示す。

表-3.4.4 津波時における目標とする橋の要求性能

| 設計荷重 | A種の浮体橋 | B種の浮体橋 |
|------|--------------------|-------------------|
| 津波 | 【要求性能3】致命的な被害を防止する | 【要求性能2】限られた損傷に留める |

4) 地震時

地震時における浮体橋の目標とする要求性能を表-3.4.5に示す。

表-3.4.5 地震時における目標とする浮体橋の要求性能

| 設計荷重 | | A種の浮体橋 | B種の浮体橋 |
|-------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| レベル1 地震動 | | 【要求性能1】健全性を損なわない | |
| レベル2 地震動 | タイプⅠの地震動（プレート境界型の大規模な地震） | 【要求性能3】致命的な被害を防止する | 【要求性能2】限られた損傷に留める |
| | タイプⅡの地震動（兵庫県南部地震のような内陸直下型地震） | | |

(4) 構造物の設計においては、要求性能が満足されているかどうかについて適切な手法により照査する必要がある。したがって、照査を適用する評価手法は、照査の目的、適用範囲、部位・部材の構造特性、照査のための評価指標、手法としての精度と信頼性等を総合的に考慮して適切に選定しなければならない。また、要求性能の照査のための工学的指標は各部材の限界状態とその構造特性に応じて適切に設定することを基本とした。

3.5 地震の影響

浮体橋の耐震設計においては、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に準拠し、浮体橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動（以下、レベル1地震動と呼ぶ）と浮体橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動（以下、レベル2地震動と呼ぶ）の2段階のレベルの設計地震動を考慮するものとする。

3.6 波浪の影響

浮体橋に対して支配的となる波浪の影響については、交通規制時の波浪（以下、供用

時波浪と呼ぶ)と浮体橋の供用期間中に発生する確率が高い波浪(以下、暴風時波浪と呼ぶ)の2段階のレベルの波浪を考慮するものとする。

3.7 津波の影響

波浪と同様に浮体橋に対して支配的となる津波の影響については、浮体橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ津波を考慮するものとする。

3.8 構造計画

3.8.1 構造計画

浮体橋の設計にあたっては、浮力を有効に活用できる全体構造系を選定しなければならない。

浮体橋は、一般橋梁における上部工形式だけでなく、ポンツーンの形態や係留方法によって多様な構造形式が考えられる。架設地点の自然および交通条件を考慮して全体構造系を選定する必要がある。

浮体橋の構造的長所としては、

- 1) 大水深や軟弱地盤等、苛酷な基礎建設条件での架橋
- 2) 係留施設と並行工事による工期の大幅短縮(移動、撤去が容易)
- 3) 周辺海域の静穏化
- 4) 工事による水質の保全が可能

等が挙げられる。全体構造系選定にあたっては、これらの構造的特質を十分発揮できるよう留意して構造計画をする必要がある。

3.8.2 全体構造系の選定項目

構造計画では以下の項目について最適な選定を行うこと。

- (1) ポンツーンの形状と配置
- (2) 係留方法
- (3) 橋体構造
- (4) 陸上部との取り付け

浮体橋の全体構造系を決定する際の検討項目を示した。

- (1) ポンツーンの形状と配置

ポンツーンは、面積が広いほど活荷重を含む上載荷重によるポンツーンの沈み込みが小さくなるとともに、一般には動揺も小さくなるが、波浪の周期によっては動揺が大きくなることもある。ポンツーンの選定は、架設地点の条件に適合し、かつ経済性、安全性および使用性を満足する必要がある。

具体的には、ポンツーン構造（分離型あるいは連続型）、ポンツーンの平面および断面形状、ポンツーンの配置（カタマランタイプ（双胴型）や消波効果のある複合型等）の選定理由を明確にすること。

(2) 係留方法

浮体橋の係留方法は、以下のような方法が考えられる。

- 1) シンカーとケーブルやチェーン
- 2) 橋台
- 3) フレキシブルロッドやフレキシブルプレート
- 4) 反力壁やリンクダンパー等のドルフィン

浮体橋の横方向支持方法は、その動揺特性を決定する重要な項目である。免震性など浮体橋の構造的長所を活用するためには浮体を柔らかく横支持する方法がよい。そのため、橋台や反力壁等のドルフィンで支持する場合、浮体橋と横支持部材の間に定反力型フェンダー等の非線形材料や減衰機能を付加する装置を設置する方法もある。ただし、動揺に伴う使用性および伸縮装置の適応変位に留意する必要がある。

また、想定外の過大な外力に対しては浮体橋をリリースし、漂流だけを避ける等、目的構造物の要求性能によって最適な支持方法を選定する必要がある。

(3) 橋体構造

橋体構造形式の選定は、陸上一般橋梁と同じく形式選定する。ただし、この選定にあたっては以下の項目に留意する必要がある。

1) ポンツーンの変位による変形

ポンツーン変位の位相差によって橋体構造に強制的な変位が発生したり、橋体構造の変形が構造系全体の応答に影響（7.4.6 弾性影響を参照）する。

2) 架設地点の波浪の卓越周期と橋体構造の固有周期

架設位置での有義波周期と橋体構造の固有周期については、橋体構造の固有周期を有義波周期から十分に離すことにより、大きな動揺を避けるように計画する。

3) 橋体構造形式によっては、変形を1ヶ所に集中したり、曲げおよびねじり剛性をユニフォームにして分散する等、風および波浪に伴う弾性変形の対応を明確にするのがよい。

(4) 陸上部との取り付け

浮体橋の端部変位や縦横断勾配の変化を推測し、その量に応じた支承、伸縮装置および緩衝桁の選定を行うこと。