

港湾の施設の技術上の基準・同解説の改訂

運輸省港湾技術研究所
横田 弘

1. はじめに

港湾法によれば、水域施設、外郭施設、係留施設等の港湾の施設を建設、改良、または維持する場合には、港湾の施設の技術上の基準を定める省令(昭和49年運輸省令第30号)および港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示(平成11年運輸省告示第181号)に適合しなければならない。この省令および告示とともに、これらに関する解説をも含めて、「港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾」(以下、技術基準という)が公開されている。昭和63年に制定された従前の技術基準は、平成5年の一部改訂を経て、本年4月に大幅な改訂が行われた。これは、この10年間に生じたわが国の経済社会情勢の変化や国民意識の変化、これらを受けての港湾整備政策の変化、および多方面における技術の進歩を反映して行われたものである。すなわち、今回の改訂においては、①安全性の確保、利便性の向上、環境の保全への配慮、②情報公開、行政の透明性の確保、③自由度の向上、性能基準化、④国際的整合化、⑤バリアフリー等の促進、が主要な検討項目となった。結果的にこれらのすべてを十分に反映させることはできなかったが、上述の技術基準への要請および周辺環境の変化をかなり反映したものになっている。

ここでは、技術基準の改訂の概要を紹介し、本シンポジウムの主旨に鑑み、鋼構造、合成(複合)構造および鋼杭式構造に関する改訂の概要について述べる。

2. 改訂の概要

2.1 改訂の基本方針

技術基準の改正の基本方針²⁾は、1.で述べた5つの検討項目に加えて、近年の建設コストの縮減への要請を反映したもので、以下のようにまとめることができる。

(1) 技術施策の反映

(2) 情報公開

技術をできるだけ公開する。省令の解釈および運用を定めた従来の港湾局長通達を廃止し、技術基準の主旨を広く民間事業者にも周知することが行政の透明性を確保する上で望ましいと考えられることから、細目の告示化を行う。

(3) 拘束力の明確化と自由度の向上

法定基準と設計資料との明確な区別と設計の自由度の向上を図る。本文、解説、参考を明確に書き分ける(図-1)。

(4) 新たな技術的知見の導入

研究成果、技術開発成果等の積極的な導入を図る。

(5) ニーズの変化への対応

環境の重視、安全性の向上や利便性への配慮等を図る。

(6) 統一の変革

規格の国際化への対応を図る。また、限界状態設計法等の他の構造物で進められている設計体

系・手法の導入を図る。

技術基準は、幅広い観点から技術的な基準を定めているものである。したがって、個々の港湾構造物の計画・設計・施工・維持・補修に当たっては、技術基準に示す事項のみでは不十分な場合や、今後の技術開発、技術革新等により新しい事項が出てくる可能性もある。したがって、規定のない事項については、技術基準の主旨を踏まえ、適切な方法によって安全性を確認した場合にあっては、その方法を採用してよいとしている。また、省令は、施設が機能を発揮することと安全な構造であることを基本的に求めているが、これをどのような手段で達成するかを強制していない。

この趣旨を反映して、仕様規定を可能な限り排除し、普遍的な事項や安全確保上必要な最小限の事項等を記述している。ただし、不明確な計算方法等の採用により、安全性のレベルが不均一になっては問題が生じるおそれがあるので、現時点で推奨される手法や留意事項を参考として記述する。

2.2 今後の課題

上述の基本方針を検討したものの、近年の建設工事を取り巻く状況は大きく変化している。例えば、規準類の仕様規定型設計から性能照査型設計への動き、ISOにおける国際規格の具体化、情報公開、公共工事のコスト縮減、海外資材調達、再生資源の活用等の社会的要請にも積極的に対応することが必要となっている。これらの幾つかは既に実施されているが、大部分は研究中の課題や、流動的な要素が多い国際的な課題であるため、直ちに技術基準に導入することは困難であると考えられる。今回の改訂では、比較的知見が蓄積されている項目、すなわち、防波堤の滑動安定性の照査に関して信頼性設計法の考え方を導入したこと、コンクリート構造物の細部設計に限界状態設計法を導入したこと、耐震設計の一部に性能規定型設計の考え方を導入したことなどに留まっている。これら以外は、緊急に取り組む課題として、引き続き検討を進めている。

3. 鋼構造物一般

港湾構造物において、鋼構造を使用している構造形式には、鋼矢板、鋼管杭、ジャケット、鋼製ケーソン、鋼製ポンツーン等がある。これらの鋼構造物に用いる鋼材については、従前の技術基準に比べて基本的な変更はなく、設計も許容応力度設計法を基本として行う。

腐食に対する対応としては、従来の腐食しろのみによる方法は原則として廃止し、電気防食あるいは塗覆装による防食対策を行うことを基本とする。

4. 複合構造物

4.1 ハイブリッドケーソン

ハイブリッドケーソンは、防波堤あるいは岸壁、護岸に用いられるもので、図-2に示すように、鋼板と鉄筋コンクリートを複合した構造(合成版)あるいはH形鋼等を埋め込んだSRC構造により構造部材が構成される。また、隔壁には鋼板あるいは鋼製トラスが用いられる。既にハイブリッドケーソン

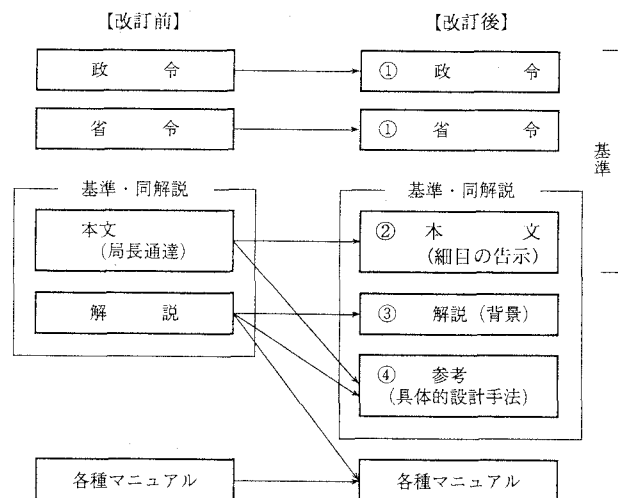


図-1 技術基準類の新たな体系

の建造実績は10年を超えているが、今回の技術基準で初めてハイブリッドケーソンに関する記述が加わった。

ハイブリッドケーソンの設計時の検討項目としては、合成版およびSRC部材の設計、隔壁の設計、隅角部・接合部の設計、疲労破壊に対する安全性、防食に関する記述がある。しかし、詳細な記述については、技術基準改訂の方針に従い、技術基準に合わせて別途発行されたマニュアル³⁾による。

設計・照査の基本⁴⁾は、ハイブリッドケーソンにおける必要な構造細目を満たしていれば、基本的に鉄筋コンクリート部材と同じフォームで耐力等の照査が行えると考

えており、限界状態設計法に基づいて照査が行われる。曲げ耐力に関しては、各種の部分安全係数を導入しつつ、設計曲げモーメントと設計曲げ耐力を比較する。その際、鋼板を断面積が等価な鉄筋に置換する。鋼板に圧縮力が作用する場合には、スタッド等が適切な間隔で配置されていないと、鋼板に座屈が生じる可能性があるため、鋼板の座屈による耐力低減を考慮して、式(1)のように合成版の曲げ耐力計算に用いる鋼板厚を便宜的に低減している。

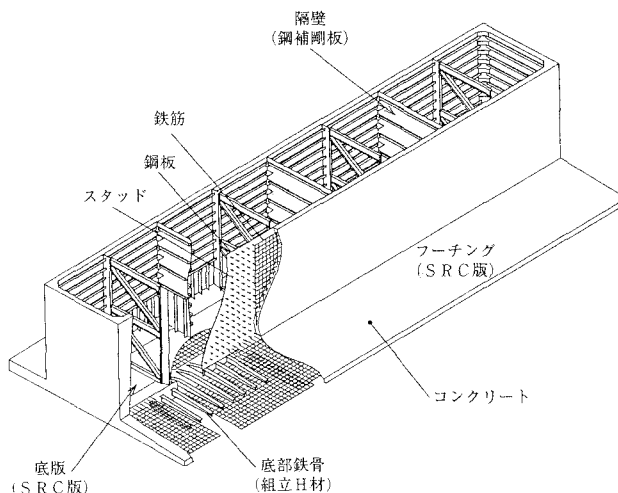


図-2 ハイブリッドケーソンの構造

$$t_{eq} = t_f'^2 / b (E_s / f_{yd}')^{1/2} \quad (1)$$

- ここで、 t_{eq} ：圧縮鋼板の等価板厚
- t_f' ：圧縮鋼板の板厚
- b ：部材軸方向に配置された補剛材の間隔
- E_s ：圧縮鋼板のヤング係数
- f_{yd}' ：圧縮鋼板の圧縮降伏強度の設計用値

SRC部材では、鉄骨端部がコンクリート内に十分に定着されていることを前提に、鉄骨を鉄筋に換算して、鉄筋コンクリート方式で曲げ耐力を算出する。また、せん断耐力の算定には、埋設形鋼等の負担するせん断力を考慮する。

疲労限界状態に対しては、式(2)の照査フォームに従って安全性の検討を行う。

$$\gamma_i \Delta \sigma_{rd} / (f_{rd} / \gamma_b) \leq 1 \quad (2)$$

- ここで、 γ_i ：構造物係数(=1.0)
- γ_b ：部材係数(=1.0)
- $\Delta \sigma_{rd}$ ：設計変動応力範囲
- f_{rd} ：設計変動応力範囲に対する等価繰返し回数に対応した設計疲労強度

f_{rd} を求める際のS-N曲線としては、コンクリートおよび鉄筋についてはコンクリート標準示方書、スタッド付鋼板は鉄道構造物等設計標準-強度等級E、板継ぎ鋼板は鉄道構造物等設計標準-強度等級Dをそれぞれ準用している。

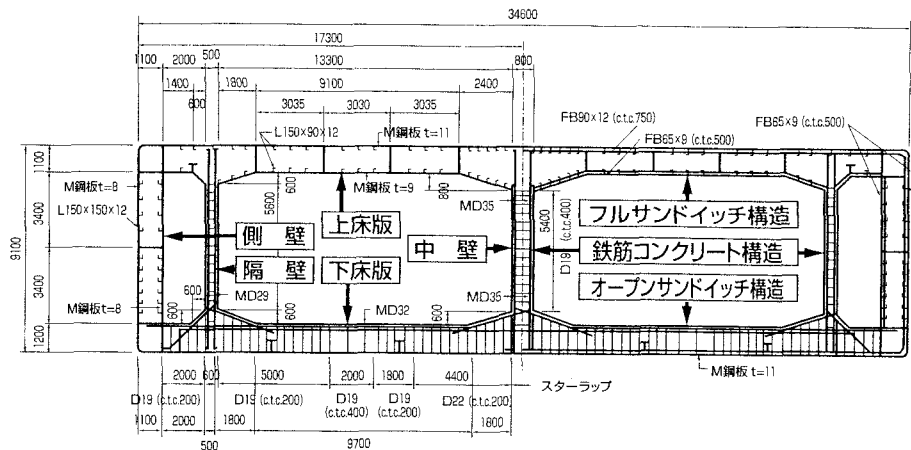


図-3 合成構造方式沈埋函の構造事例

4.2 複合構造沈埋函

沈埋トンネルを構成する沈埋函は、従来、鉄筋コンクリート方式あるいは鋼殻方式により建造されてきたが、大阪港咲洲トンネルで初めてオープンサンドイッチ構造が採用されて以降、わが国の港湾地域の沈埋函には複合構造が採用される事例が多くなっている。技術基準では、これら沈埋函の設計に関しては、基本的な検討項目を記述するに留めており、個別の施設毎に設計手法を検討してきた。神戸港島トンネルの設計時に、これまでの検討成果に基づいて、合成構造設計指針(案)⁵⁾を策定し、標準的な設計手法としてとりまとめ、公刊した。

本指針案での設計に関する記述は、基本的に鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)⁶⁾に準じている。しかし、サンドイッチ構造指針案では限界状態設計法に基づく部分安全係数法が採用されているが、許容応力度法に基づく従来設計法との整合性や係数の設定に課題が残されていたため、合成構造設計指針案では、許容応力度設計法を基本とし、終局荷重作用時には曲げ、せん断、およびシアコネクタのせん断伝達に関する終局耐力を照査する体系となっている。

5. 杭式構造物

5.1 耐震性能照査

港湾地域における杭式構造物としては、栈橋、ジャケット等があるが、いずれも鋼管杭により建造されている。これらの杭式構造物のうち、直杭式の栈橋に関しては、今回の改訂により保有耐力法を骨子とした照査体系⁷⁾に移行した。これは、栈橋の構造性能を鑑み、地震時に構造物全体の崩壊に至らないものの局所的な損傷を許容し、栈橋の変形性能を指標として耐震性能を照査することで、合理的かつ経済的な断面を設計することが可能となると考えたためである。

栈橋の耐震性能照査の概念は以下のとおりである。

- (1) 栈橋の地震時要求性能の設定
- (2) 修正震度法による照査震度の設定
- (3) 保有耐力法による耐震性能照査

耐震性能照査の流れの概略を図-4に示す。まず、照査断面を設定することがスタートとなるが、これ以降は栈橋の性格によって目標と内容が異なる。通常岸壁としての栈橋では、レベル2地震動を設計対象としないため、レベル1地震動に対して終局状態のみを照査する。一方、耐震強化岸壁は、レベル1地震動に対しては、栈橋としての機能を損なわせないことを、レベル2地震動に対しては、終局

状態を照査する2段階の照査となる。両栈橋とも、終局状態の照査とは、部分的な破壊は許容するものの、栈橋全体の崩壊を防止するとともに、復旧に支障となるような過大な損傷や変形が生じない状態にあるかどうかを検討するものである。

栈橋に限らず、港湾構造物の耐震性能は、一律に規定されるものではなく、施設の重要度や性格、果たすべき機能等に応じて付与されるものである。耐震性能照査は、このように個々の栈橋に求められる性能(要求性能)が地震時および地震後に達成できるかどうかを確認することにある。その要求性能は、施設の管理者、設計者、あるいはユーザ等が設定することになる。栈橋の耐震性能を一律に規定しないために、設計者にとって非常に自由度の大きな設計手法となっているが、一方で、個々の施設毎に性能を規定することが困難な場合も想定される。栈橋の地震時の要求性能を設定する際の主要な指標は、以下のとおりである。

- (a) 損傷程度
 - ・局部的損傷の箇所とその規模
 - ・補修・補強等の難易
- (b) 最大変位
 - ・渡版や背後護岸との距離
- (c) 残留変位
 - ・使用性
 - ・他の施設との比較

損傷程度の観点からは、鋼管杭が地中部において全塑性化し、塑性ヒンジあるいは局部座屈が発生する時点を標準的な終局状態としている。これは、地中部に座屈等が生じた場合には発見することが難しく、また補修等の対策も困難であることから、できるだけ避けた方がよいためである。また、上部工においては、せん断破壊が生じると耐力が急激に低下することから、せん断破壊が生じないことが望ましい。

最大変位および残留変位については、周辺構造物との相互作用、地震後の役割や、船舶の種類や荷役の形態等により異なる。

5.2 保有耐力照査法

保有耐力法は、塑性変形による地震エネルギーの吸収を考慮して、実際の弾塑性(非線形)応答と等価な仮想的耐力を線形応答システムに対して求める方法である。したがって、栈橋が地震動により弾性応答域を超えて塑性域に入ることを前提としており、地盤、鋼管杭、およびコンクリート上部工の非線形性を考慮した弾塑性解析手法を用いることが必要である。弾塑性解析法は、栈橋をフレームモデルに置換して、地盤の水平抵抗および鋼管杭と上部工の弾塑性挙動を考慮して保有耐力を評価するいわゆるPush-over解析を標準としている。

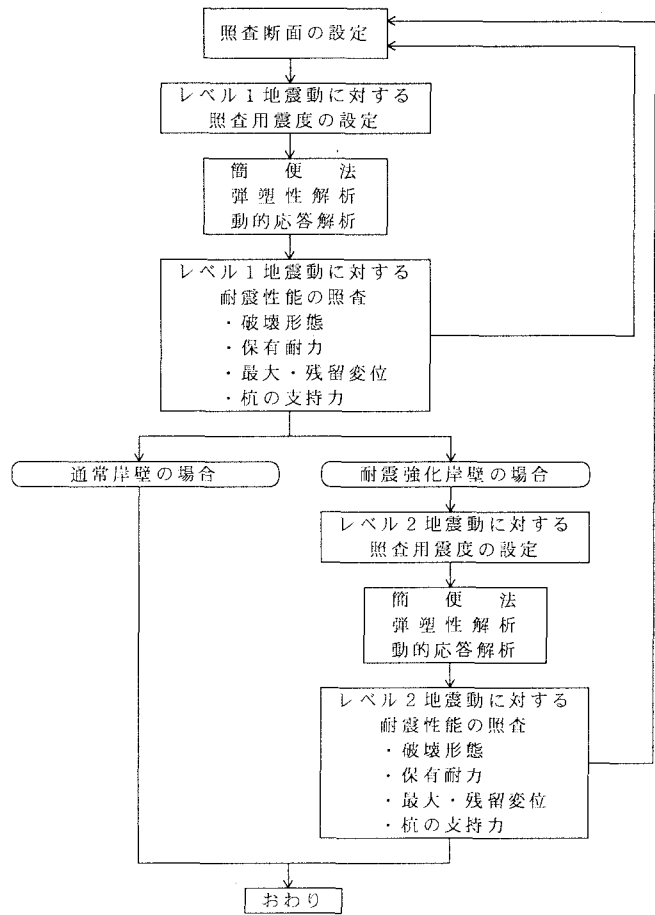


図-4 栈橋の耐震設計照査の流れ

弾塑性解析による保有耐力法では、上部工の水平変位に関する塑性率を指標として、間接的に局部損傷をコントロールする手法となっている。その場合に、標準的な許容塑性率 μ_a が必要であり、レベル1地震動の検討では表-1に示す値を、レベル2地震動に対しては、鋼管杭の肉厚(t)と鋼管杭の直径(D)の比により、式(3)によって許容値を求めることとしている。

表-1 レベル1地震動に対する許容塑性率の標準値

重要度	許容塑性率(μ_a)
特定(耐震強化施設)	1.0
A級	1.3
B級	1.6
C級	2.3

$$\mu_a = 1.25 + 62.5t/D \quad (3)$$

同時に、設計者の便を考慮して、技術基準では簡便法の紹介も行っている。これは、栈橋上部工を剛体とみなし、構成する各鋼管杭の重ね合わせで保有耐力を評価する方法である。直杭式栈橋で、各杭列の剛性比に顕著な差がない場合に適用可能である。簡便法は、既往のわが国の標準的構造諸元を有する栈橋の解析結果から新たに提案した手法である。

6. おわりに

ここ数年、ISOあるいはEurocode等の国際的な規格をめぐる議論が活発に行われている。ISO2394⁸⁾が国際的な基準として発効し、わが国においてもこれを設計の基本として位置付けるようになることを想定して、将来の技術基準のあり方に関して委員会を組織して検討を進めている。また、現段階では、港湾構造物を含む海洋域での構造物の構造設計に関する国際規格の将来像が不透明であるが、わが国の港湾施設に適用している技術基準が国際的にも十分通用するものとなるよう、今後も検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1999年4月
- 2) 春日井康夫：技術基準改正の基本方針、港湾、Vol.75, No.12, 1998.
- 3) 沿岸開発技術研究センター：ハイブリッドケーソン設計マニュアル、沿岸開発技術ライブラリー No.5、1999年6月
- 4) 辻岡和男・山本修司・横田弘・北澤壮介・堀内博：ハイブリッドケーソンへの限界状態設計法の適用、第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、土木学会、1999.(投稿中)
- 5) 沿岸開発技術研究センター：鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の設計と高流動コンクリートの施工、1996年11月
- 6) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)、1992
- 7) 横田弘：栈橋の保有水平耐力、港湾構造物設計事例集、上巻、沿岸開発技術研究センター、1999.
- 8) International Organization for Standardization: ISO2394-General principles on reliability for structures, Second edition, 1998.