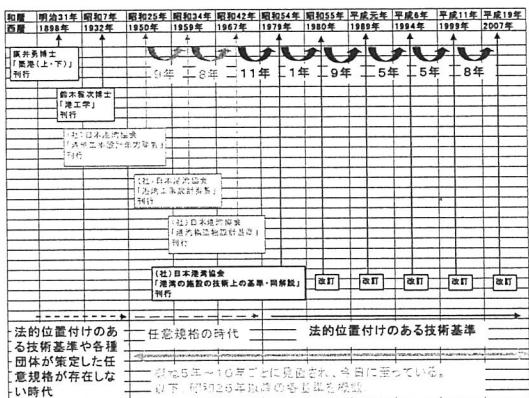


「鋼構造設計法に関する動向」 (海洋・港湾構造物分野)

WGメンバー: 主査)横田弘、笠原、竹鼻、江崎、竹内、長瀬

1

港湾構造物の設計方法の変遷



3

港湾工事設計要覧 (1959年)

- ◆ 最新の知見を取り入れ、いくつかの部分で港湾工事設計示方要覧から大きく進歩（分量的にも約4倍）。
- ◆ 荷重の設定が充実
 - ✓ 【死荷重、積載荷重、活荷重（列車荷重、自動車荷重、ホイールランクレーン荷重・トラッククレーン荷重・カタピラクレーン荷重、軌条走行式クレーン荷重、群集荷重）、船舶の衝撃力、船舶のけん引力、風荷重、地震力、土圧・水圧について規定】。
- ◆ 地震力は、水平設計震度を3つの区分毎に設定。
 - ✓ 第1地区が0.25～0.15、第2地区が0.20～0.05、第3地区が0.10～0.00。
- ◆ 地盤反力と杭支持力の計算方法が与えられた。
- ◆ 鉄鋼材に関してはJISによることを規定。鉄鋼材の防食の規定が充実された。

5

港湾構造物設計基準 (1967年) つづき

- ④ 鋼材: JIS規格品を原則として用いることを標準とし、物性定数としてヤング係数、せん断弾性係数、ポアソン比、線膨張係数が規定された。
- 許容応力度として一般の場合
 - SS41: 1400 kgf/cm², SS50: 1700 kgf/cm², SM50A: 1900 kgf/cm² 異常時荷重に対しては1.5倍してもよい旨が規定された
- ⑤ 鋼管の許容応力度は、④の値をベースに部材の座屈長さと断面2次半径rの比l/rの関数で低減する式が示された。
- ⑥ 鋼材の標準的腐食速度が示された（値は現行基準とほぼ同じ）。腐食代が十分にとれる場合は、防食法を適用しなくてよいとされていた。
- ⑦ 鋼矢板式係船岸および横桟橋の設計の順序がフローチャートで示され、設計者の便が図られている。特に鋼矢板式係船岸では、矢板壁の計算図表が示され、最大曲げモーメント、タイロッド張力、根入れ長がグラフから容易に求まるよう配慮された。

7

港湾構造物設計法の変遷

今日

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に基づき設計

戦前の時代

法的位置づけのある技術基準等は存在せず

廣井勇博士の「築港(前・後)」(明治31年刊行)・鈴木雅次博士の「港工学」昭和7年発刊などを参考

公的な技術基準

昭和25年より整備開始、その後法的位置づけも明確化され、社会経済情勢の変化や技術の進歩に合わせ、約10年ごと大改訂

2

港湾工事設計示方要覧 (1950年)

- ◆ 港湾の設計法を本格的に取りまとめた最初のもの。
- ◆ 鋼構造物の設計に関する以下の規定が示されている。

- ✓ 外力として床面等分布荷重、船舶牽引力、船舶衝撃力、土圧（常時・地震時）、残留水の水圧、浮力、地震力などの求め方が示された。
- ✓ 地震力は、水平震度のみを考え、その震度は地盤の良否、構造物の重要性、地理的状況に応じて0.05～0.3を採った。
- ✓ 材料の許容応力度としては、鉄鋼材の場合には全て日本標準規格（JISの前身）によることが規定された。また、海水の作用により著しく腐食耗耗する欠点があるので、なるべくコンクリート材とするなど、鉄鋼材を使う場合には材料の品質に特に注意が必要あることが示された。船舶の牽引力、衝撃あるいは地震力を考慮した場合の許容応力度は、80%まで増加することができると規定された。

4

港湾構造物設計基準 (1967年)

- ◆ 港湾技術の進歩と電子計算機が設計業務に積極的に導入される事態を考慮して要覧を改訂
- ◆ 前半：設計条件、材料といった共通事項
後半：水域施設、外郭施設など施設別に設計法を記述。体裁も、基準の本文を枠囲みにし、それに解説と資料を付ける方式になり、現在の港湾の施設の技術上の基準・同解説へと受け継がれていた。
- ◆ 設計に関する主な記述には次のものがある。
 - ① 安全率の解釈：その設定の目的と意義、値の決定方法、安全率を低減させる場合の注意点が記述された。
 - ② 船舶の主要寸法：大型船の標準船型、小型船の標準船型、漁船の標準船型が与えられた。
 - ③ 地震力：地域別震度（0.05, 0.10, 0.15）、地盤種別係数（0.8, 1.0, 1.2）、重要度係数（0.5～1.5）の積で設計震度を与えるようになった。

6

港湾の施設の技術上の基準・同解説 (1979年)

- ◆ それまでの参考とすべき指針的な「基準」と異なり、法的位置づけがなされた「基準」。
- ◆ 主な特徴は以下。
 - ① 波の変形と作用の取扱いが不規則波の概念で統一され、波浪スペクトルが設計手法の中に導入された。
 - ② 直立壁面に働く波圧の算定式に合田式が採用され、重複波と碎波を区別せずに波圧の算定が可能になった。
 - ③ コンテナ埠頭とカーフェリー埠頭の基準が設けられた。
 - ④ 鋼構造については、引張強さ24kgf/mm²級と53kgf/mm²級の鋼材が新たに加わり、選択肢が広がった。
 - ⑤ 耐震設計については、これまで区分の無かった重要度係数（0.5～1.5）に、構造物の性格による4つの種別（特級、A級、B級、C級）が導入された。

8

港湾の施設の技術上の基準・同解説（1980年）

- △ 1979年の基準・同解説に、超大型石油タンカー用施設と海上貯油基地施設が加えられた。
- △ 設計荷重や鋼種における許容応力、降伏応力、特性値、基準強度については、1979年の基準と同様である。さらに、耐震設計、疲労設計および接合法についても1979年からの改正点はなかった。

9

港湾の施設の技術上の基準・同解説（1989年）

- △ 1980年の「基準・同解説」発刊後10年が経過し、港湾空間に対する社会的要請が高質化及び多様化し、また技術的知見の蓄積等への対応も必要となり、改訂。
- △ 特徴は以下。
 - ①マリーナ、浮体式施設、港湾の施設の維持管理方法について記述が加えられた。
 - ②砂質土の液状化の予測判定法が大幅に充実された。
 - ③偏心傾斜荷重に対する支持力の検討方法が、ビショップ法による円形滑り法に変更された。
 - ④地盤改良法として、従来の置換工法、バーチカルドレン工法に加えて、深層混合処理法、サンドコンパクションパイル工法など、新たな工法について記述が加えられた。
 - ⑤杭の載荷試験結果の蓄積により、砂地盤に打ち込まれた杭基礎の支持力算定式が見直された。
 - ⑥直立消波ケーソン堤や上部斜面堤、浮防波堤など新形式防波堤の設計法が規定された。

10

港湾の施設の技術上の基準・同解説（1994年）

- △ 鋼矢板セル式係船岸、鋼板セル式係船岸、車止め、臨港交通施設、マリーナについて、より詳細な記述がなされた。
- △ 設計荷重は、1989年と同様
- △ 鋼種における許容応力、降伏応力、特性値および基準強度についても、1989年と同様

11

港湾の施設の技術上の基準・同解説（1999年）

- △ 基準改訂の主なポイントは、以下の項目。
 - ①レベル2地震動の設定と耐震強化施設の設計法
 - ②新しい地域別震度（5段階）と重要度係数の導入
 - ③桟橋の設計に用いる設計震度と保有水平耐力法による耐震性能照査
 - ④限界状態設計法によるRC構造物の部材設計
 - ⑤期待滑動量を用いた防波堤の信頼性設計法
 - ⑥SI単位系の導入

12

港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007年）

1. 技術基準の性能規定化（港湾法、港湾の施設の技術上の基準を定める省令）

→ 施設に要求される性能のみを規定し、施設の材料、寸法、工法、設計方法などの仕様を定めない基準に変更。多様な設計方法を可能にする。
(併せて、参考として示す設計方法についても改正)

2. 技術基準対象施設の追加（港湾法施行令）

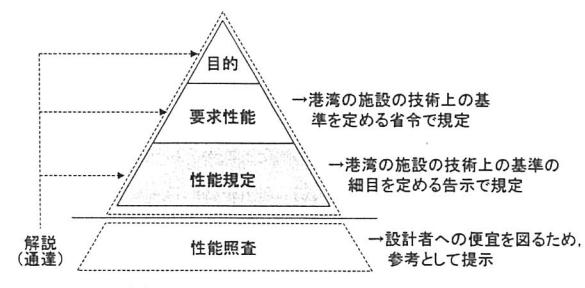
→ 港湾における防災拠点機能の要請等を踏まえ、技術基準の対象施設を追加。

3. 技術基準への適合性確認制度の導入（港湾法、港湾法施行令、港湾法施行規則）

→ 國又は技術力のある登録認証機関による技術基準への適合性を確認する制度を創設。

13

性能規定化後の技術基準の体系



- 要求性能
技術基準対象施設が保有しなければならない性能
- 性能規定
性能照査が行えるよう、要求性能を具体的に記述した規定
(構造形式ごとに性能照査が必要な事項を規定)
- 性能照査
要求性能を満足されることを照査する行為の参考

14

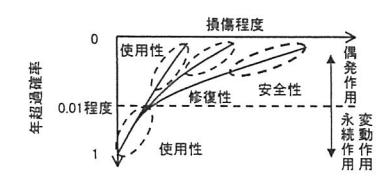
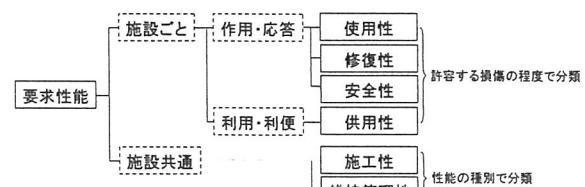
港湾構造物設計法の現状

■ 基本的な要求性能

安全性	非常に大きな損傷が発生するものの、損傷の範囲が人命や背後圏の財産に甚大な影響を及ぼさないこと
修復性	ある程度の修復が必要となるが、比較的短期間のうちに機能を再び発揮することが可能であること
使用性	僅かな修復を行うことにより速やかに機能が発揮できること

15

技術基準で規定される主な性能



16

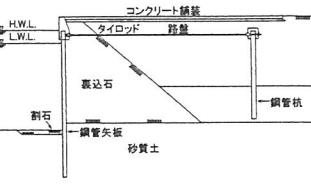
■ 主な作用の分類

作用	定義	施設に求められる性能
永続作用	自重、土圧、水圧、腐食・凍結融解などの環境作用	使用性
変動作用	風、波浪、水位、載荷重、船舶の接岸・牽引、レベル1地震動等	使用性
偶発作用	船舶の接岸以外の衝突、津波、レベル2地震動等	使用性、修復性、安全性

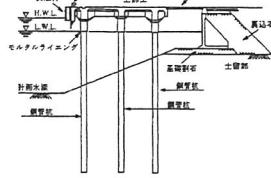
17

港湾における土木構造物

■ 矢板式係船岸



■ 桟橋



18

基本的な性能照査の考え方

推奨される
照査手法

- ・信頼性に基づく方法
- ・施設の作用応答を適切に評価しうる数値解析手法
- ・過去の経験等に基づく方法

状態	主たる作用	推奨される性能照査手法
永続状態 変動作用	自重、土圧、風、波浪、水圧、船舶の接岸・牽引による作用、防衛工反力、載荷重、活荷重	・信頼性設計法(部分係数法等)
	レベル1地震動	・信頼性設計法(部分係数法等) ・数値解析法 (変形量や損傷程度を具体的に評価できる方法:矢板式係船岸) (1次元地震応答解析:桟橋)
偶発状態	レベル2地震動	・数値解析法 (変形量や損傷程度を具体的に評価できる方法:矢板式係船岸) (地盤-構造物の動的相互作用を考慮した非線形地震応答解析法:桟橋) 19

矢板式係船岸の設計

告示第50条(矢板式係船岸の性能規定)

- 主たる作用が土圧である永続状態及び主たる作用がレベル1地震動である変動状態に対して、矢板が構造の安定に必要な根入れ長を有し、かつ、矢板に生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること。
 - 主たる作用が土圧である永続状態並びに主たる作用がレベル1地震動及び船舶の牽引である変動状態に対して、次の基準を満たすこと。
イ 控え工が、構造形式に応じて、適切な位置に設定され、かつ、構造の安定性を損なう危険性が限界値以下であること。
ロ タイ材及び腹こしに生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること。
ハ 上部工の部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること。
 - 主たる作用が船舶の接岸である変動状態に対して、上部工の部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること。
 - 主たる作用が自重である永続状態に対して、矢板下端以下を通る地盤のすべり破壊の生じる危険性が限界値以下であること。
- 2 (略)
3 (略)

21

岸壁の設計(要求性能)

省令第26条(岸壁の要求性能)

- 岸壁の要求性能は、構造形式に応じて、次の各号に定めるものとする。
- 船舶の安全かつ円滑な係留、人の安全かつ円滑な乗降及び貨物の安全かつ円滑な荷役が行えるよう、国土交通大臣が定める要件を満たしていること。
 - 自重、土圧、レベル1地震動、船舶の接岸及び牽引、載荷重等の作用による損傷等が、当該岸壁の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと。
 - 前項に規定するもののほか、耐震強化施設である岸壁の要求性能にあっては、レベル2地震動等の作用による損傷等が、軽微な修復によるレベル2地震動の作用後に当該岸壁に必要とされる機能の回復に影響を及ぼさないこととする。ただし、当該岸壁が置かれる自然状況、社会状況等により、更に耐震性を向上させる必要がある岸壁の要求性能にあっては、レベル2地震動の作用後に当該岸壁に必要とされる機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこととする。

20

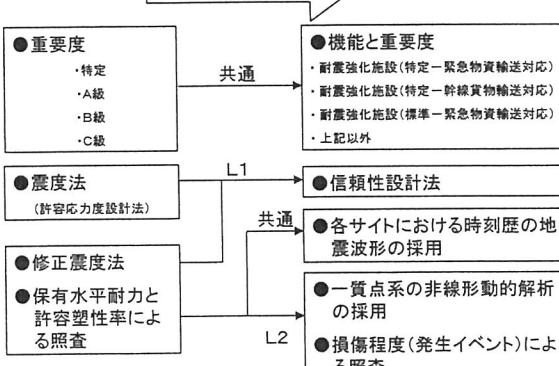
桟橋の設計

告示第55条(桟橋の性能規定)

- 第四十八条の規定は、桟橋の性能規定について準用する。
- 前項に規定するもののほか、桟橋の性能規定は、次の各号に定めるものとする。
 - 桟橋の渡版が次の基準を満たすこと。
(略)
 - 主たる作用がレベル1地震動、船舶の接岸及び牽引並びに載荷重である変動状態に対して、次の基準を満たすこと。
イ 上部工の部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること。
ロ 杭に作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること。
ハ 杭に生じる応力度が降伏応力度を超える危険性が限界値以下であること。
 - 主たる作用が変動波浪である変動状態に対して、次の基準を満たすこと。
イ 渡版に作用する揚圧力により渡版の安定性を損なう危険性が限界値以下であること。
ロ 上部工の部材の健全性を損なう危険性が限界値以下であること。
ハ 杭に作用する軸方向力が地盤の破壊に基づく抵抗力を超える危険性が限界値以下であること。
 - (略)
- 3 (略)

22

旧基準 明確化 僅密化 新基準



23

L1地震動に対する部分係数

杭の応力	β_T	照査項目			部分係数		
		目標信頼性指標	3.65	2.67	耐震(特定)	耐震(標準)	その他
	P_{IT}	目標破壊確率	1.3×10^{-4}	3.8×10^{-3}	1.4×10^{-2}		
	γ_{ov}	鋼材降伏強度	1.00	1.00	1.00		
	γ_{ch}	地盤反力係数	0.66	0.72	0.80		
	γ_{bh}	照査用震度	1.68/1.77	1.36/1.43	1.23/1.30		
	γ_q	載荷重	1.00	1.00	1.00		
	γ_a	構造解析係数	1.00	1.00	1.00		
支持力	γ_c	粘着力	1.00				
	γ_N	N値	1.00				
	γ_o	構造解析係数	0.40				
		引抜					
		押込	0.66				
		支持杭					
		摩擦杭	0.50				

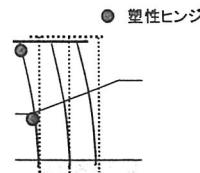
注記)「照査用震度の部分係数」はSKK400/SKK490で表記(これ以外は同値)

24

L2地震動に対する使用・修復限界状態

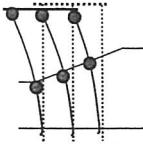
耐震強化施設(特定)

- 杭頭部および地中部の双方において全塑性状態に達する杭が存在しない
- 上部工の断面力が設計断面耐力を越えない
- 杭の軸力により地盤に破壊が生じない
- 適切な残留変形量



耐震強化施設(標準)

- 杭頭部および地中部の双方において全塑性状態に達する杭が一部にとどまる
- 上部工の断面力が設計断面耐力を越えない
- 杭の軸力により地盤に破壊が生じない
- 適切な残留変形量



25

性能規定化の特徴

長所

- 自由な設計を導入しやすく、新技術の導入促進コスト縮減に資する
- 国民に施設の性能を示すことが容易(説明責任)

短所

- 自由な設計の場合、照査による信頼性の証明や適切な審査が必要

26

今後の動向

▶ 2007年制定の「基準・同解説」は、性能設計の考え方を前面に押し出した体系になっている。

遵守すべき事項（施設（構造物）の設置目的、要求性能、要求性能をブレイクダウンした性能規定）と、そうでない事項（照査法の選定は設計者に委ねられている）とが明確に区分けされており、今後もこの体裁が続けられるものと思われる。

▶ 照査方法については、推奨すべき参考という位置づけはあるものの、信頼設計法をベースとした部分係数法が採用されており、世界的に見ても先進的であると考えられ、今後も原則的にその方針は変わらないものと推察される。

27

今後の動向 つづき

▶ 信頼性設計法により、施設（構造物）が有すべき構造システムとしての破壊確率の目標が明確になったことから、このための技術開発が進められることが期待される。

▶ 信頼性設計法の問題は、安全率1.2と言えば設計者なら感覚で理解できるが、目標信頼性指標が2.9とか目標破壊確率が 1.9×10^{-3} といつても、現状は設計者にとってなかなかピンときにくい。これから多くの経験を踏む必要がある。

▶ 複雑な解析や計算を要する設計をすべての構造物に強いるのは、設計者の負担を増すとともに、過誤の要因となる。技術基準の精神を維持しつつ、構造物の形態や重要度等に応じて、照査を要するものとみなし照査でよいものとを区分けするような体系の構築も必要であると考えられる。

28

ご清聴どうもありがとうございました

29