2018年1月31日&2月6日
「港湾の施設の技術上の基準」講習会

総論・改良設計・部分係数法・参考技術資料

国土技術政策総合研究所　港湾研究部
港湾施設研究室

本日の話題

１．基準改訂の大枠

・図書構成（参考技術資料）

・（政令・省令・告示の改正／主要改訂項目） ⇒ 参考配布資料１

２．個別事項

① 性能確保の流れ＋設計の基本理念＜新規追加＞

② 改良設計 ＜新規追加＞

③ 部分係数法の見直し ＜全般＞

④ 防波堤腹付工の設計法の変更

⑤ 津波浸透流を考慮した防波堤の支持力照査手法（暫定）

⑥ 係船柱等その他

・・・雑感・・・・

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の構成（案）

基準・同解説 （平成19年）

第１編　序論
（改訂の背景・特徴）
第２編　総論
（省令１～５条）
第３編　作用及び材料強度条件編
（省令６条）
第４編　施設編
（省令７～５３条）

基準・同解説　共通編　（平成30年）

本書の位置づけ・構成等
第１章　総論
（適用範囲、用語、性能設計体系）
第２章　技術基準対象施設の建設、改良又は維持
（**設計理念、改良設計**、施工、維持）
第３章　環境等への配慮

基準・同解説　作用及び材料強度条件編（平成30年）

第１章　総説
第２章　気象・海象
～　（地盤、土圧・水圧、地震、船舶、環境作用等）
第１１章　材料

基準・同解説　施設編　（平成30年）

第１章　総説
第２章　技術基準対象施設に共通する事項
第３章　水域施設
第４章　外郭施設
第５章　係留施設
第６章　臨港交通施設
第７章　荷さばき施設
第８章　保管施設
第９章　船舶役務用施設
第１０章　移動式施設
第１１章　その他の港湾施設

基準・同解説　参考技術資料編　（平成30年）

■共通編に関する参考技術資料
信頼性設計法／生物共生型港湾構造物

■作用及び材料強度条件編に関する参考技術資料
第１章　観測・調査および試験
（気象・海象／地盤／地震動／材料／環境等）
第２章　大規模災害時の調査・試験

■施設編に関する参考技術資料
第１章　耐震設計（照査用震度／地震応答解析）
第２章　専門ふ頭（ｺﾝﾃﾅ／ｸﾙｰｽﾞ／ﾌｪﾘｰ／ﾏﾘｰﾅ／超大型石油ﾀﾝｶｰ用施設／海底ﾊﾟｲﾌﾟﾗｲﾝ）
第３章　臨港交通施設の計画手法
第４章　設計における参考図表

P.278
～P280

■作用及び材料強度条件編に関する参考技術資料

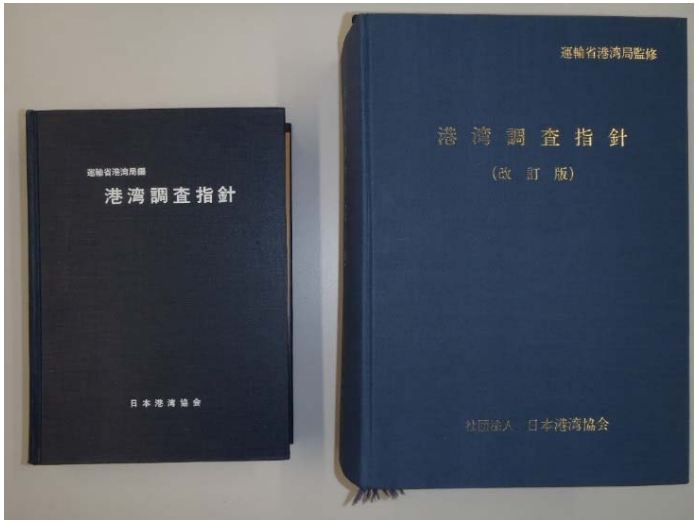
○第１章　観測・調査および試験

（気象・海象／地盤／地震動／材料／環境等）

⇒港湾調査指針（S46発行，S62改訂）の後継

⇒近年の調査・観測等の高度化に対応

⇒調査・設計・施工・維持の連携強化



○第２章　大規模災害時の調査・試験

⇒2011年東日本大震災の教訓

（初期調査、緊急復旧調査、本格復旧調査）

P.26～P.51

① 性能確保の流れ＋設計の基本理念

〇技術基準の体系

〇性能確保の流れ

〇設計の基本理念

・設計における施工への配慮

・設計における維持への配慮

冒頭説明

○ 本書における法令の表記

本書においては、**「港湾の施設の技術上の基準」**（以下「技術基準」という）に関連する法令を、以下に示すとおり略して表記している。

- **「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」　・・・・・・・・・　「基準省令」**または**「省令」**
- **「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」　・・・・・・　「基準告示」**または**「告示」**
- **「技術基準対象施設の施工に関する基準を定める告示」　・・・・　「施工告示」**
- **「技術基準対象施設の維持に関する必要な事項を定める告示」　・　「維持告示」**

○ 本書の位置づけ・構成

1 本書の位置づけ

本書は、技術基準の利用者に対して、技術基準の正しい理解を助け、技術基準の円滑な運用を支援することを目的とした解説書であり、技術基準とその解釈や解説から構成される。解説の部分については、「本解説書」と呼称する。

2 本書の利用者

本書の利用者は、技術基準対象施設の建設、改良、または維持に関与する技術者を想定している。本書では、技術基準対象施設の建設、改良、または維持のための設計に関与する技術者を「設計者」と呼称する。

1.2 技術基準への適合

港湾法第五十六条の二の二に基づき、技術基準対象施設は、技術基準対象施設に必要とされる性能に関して基準省令に適合するように、建設、改良、または維持されなければならない。なお、技術基準対象施設に必要とされる性能とは、当該施設が保有すべき最低限の性能のことである。

技術基準対象施設の建設、改良、または維持とは、技術基準との関係において、一般に以下に示す行為をいう。

①建設：技術基準対象施設を新たに設置する行為をいう。対象施設は、設置時点における基準省令、基準告示及び施工告示への適合が求められる。

②改良：既存の技術基準対象施設に対して、用途変更や設計条件等の変更により、既存施設の一部または全部を利用し、以下の目的を達成するための行為をいう。対象施設は、改良時点における基準省令、基準告示及び施工告示への適合が求められる。

1)既存の施設の用途を変更する。（例：係留施設から護岸への用途変更、その他）
2)既存の施設の性能を変更する。（例：係留施設の増深・耐震化、その他）
3)既存の施設の供用期間を延長する。

③維持：建設または改良された既存の施設に対して、点検等を行い、供用期間にわたって、施設の性能を満足するよう、適切に保持する行為をいう。対象施設は、施設の建設または改良時点における基準省令及び基準告示、施設の維持時点における維持告示への適合が求められ、一般に、以下の行為が含まれる。

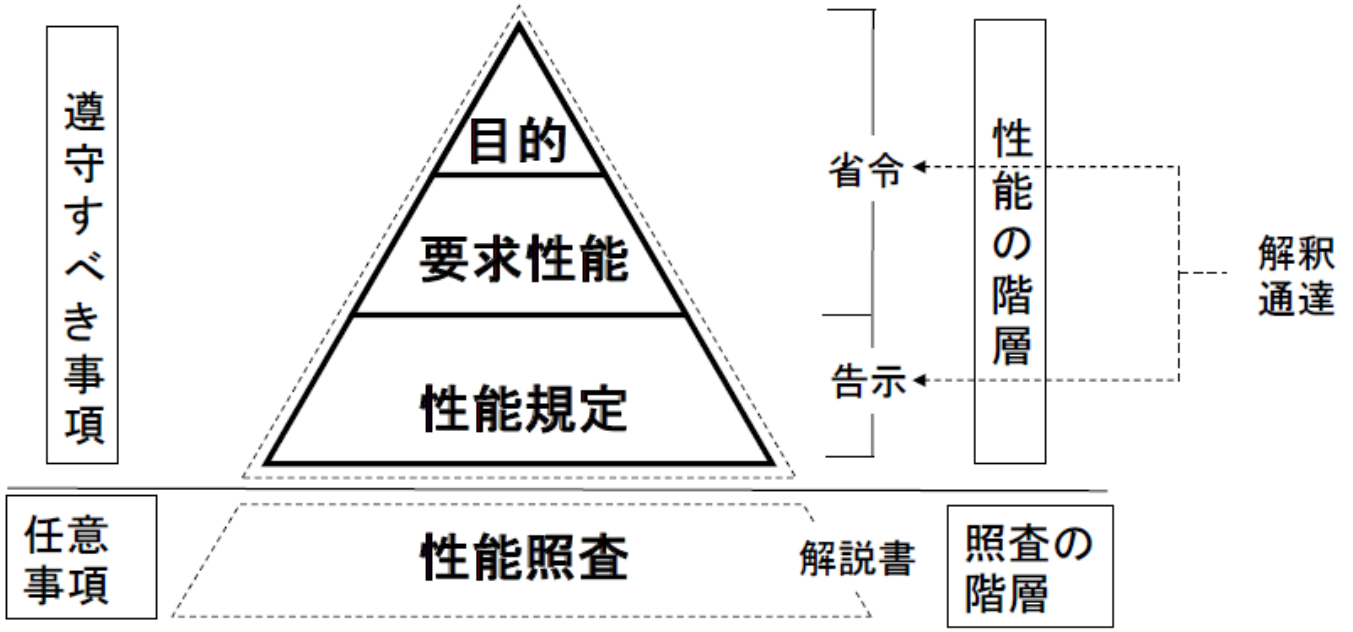
1)施設の点検、清掃、破損した箇所の修理など、日常的な管理を行う行為。
2)施設を良好な状態で保持するために、供用期間中における劣化・損傷等による施設の性能の低下への対応として、構造部材等に対して補修または補強を施し、既存施設の性能を保持する行為。

2.1 性能設計の体系

2.1.1 性能設計

技術基準対象施設の性能設計に関する基本的な枠組みとしては、文献 1)2)3)4)5)を上位規格と考え、**図－2.1.1** に示す性能と照査の階層構造としている。

ここで、目的とは「当該施設を必要とする理由」、要求性能とは「目的を達成するために施設が保有しなければならない性能を、説明責任の観点から平易に表現したもの」である。性能規定とは「要求性能が満たされるために必要な照査に関する規定を技術的観点で表現したもの」である。また、性能照査とは「性能規定が満足されることを照査する行為のこと」である。



図－2.1.1　性能の階層及び性能照査の位置づけ

P.26～P.51

「技術基準対象施設の建設、改良または維持」の構成（案）

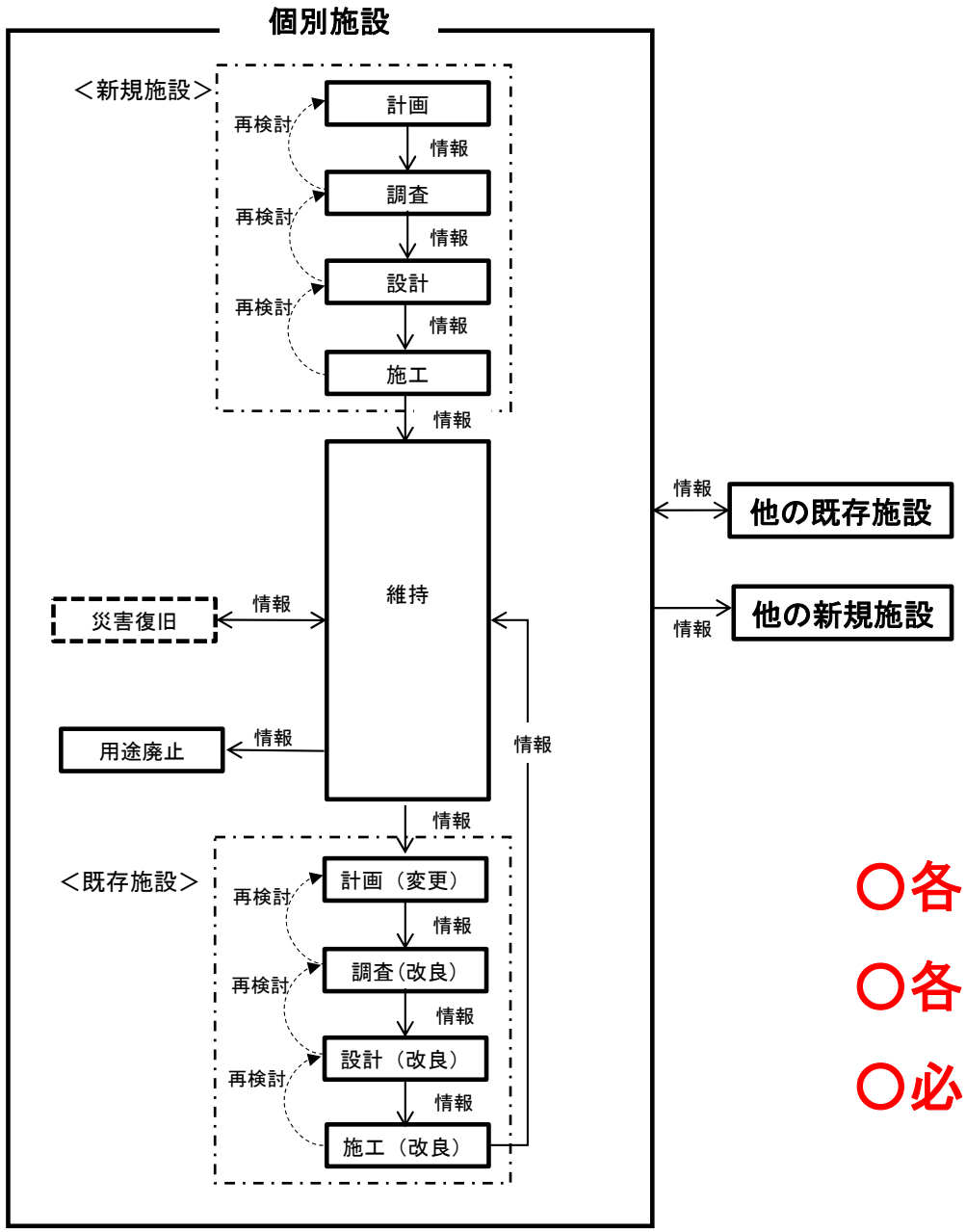
1 技術基準対象施設の性能確保の流れ
- **1.1 性能確保の流れ**
- 1.2 事業への影響度を考慮した各種リスク要因の抽出と各段階における基本的対応
- 1.3 個別事業における情報の流れ
- 1.4 港湾の事業全体における情報の流れ

2 技術基準対象施設の設計
- **2.1 設計の基本理念**
  - 2.1.1 設計の基本理念
  - 2.1.2 設計の前提
  - 2.1.3 設計の範囲と留意点
  - 2.1.4 維持管理の基本的な考え方
- **2.2 各段階における配慮**
  - 2.2.1 各段階における配慮の重要性
  - 2.2.2 設計における施工への配慮
  - 2.2.3 設計における維持への配慮
- **2.3 設計の基本事項**
  - 2.3.1 総論
  - 2.3.2 施設の設置目的
  - 2.3.3 設計供用期間
  - 2.3.4 要求性能・性能規定・性能照査手法
  - 2.3.5 計画条件・利用条件
  - 2.3.6 自然環境条件
  - 2.3.7 材料条件・施工条件
  - 2.3.8 維持に係る条件
  - 2.3.9 設計条件を越える事象への配慮
  - 2.3.10 環境等への配慮
  - 2.3.11 経済性
- **2.4 改良設計の基本事項**
  - 2.4.1 総論
  - 2.4.2 既存施設の改良目的
  - 2.4.3 既存施設の改良の全体手順
  - 2.4.4 改良設計の留意事項

3 技術基準対象施設の施工

4 技術基準対象施設の維持

1 技術基準対象施設の性能確保の流れ（案）



港湾整備事業における一般的な事業の流れ

○各段階の関係機関・関係者の連携

○各段階間における適切な情報伝達

○必要に応じて、再検討

２．１　設計の基本理念＞２．１．１　設計の基本理念（案）

技術基準対象施設の**設計の目的**は、新規施設の設計及び既存施設の改良設計に共通して、当該施設の設置目的、重要度、設計供用期間、要求性能、計画条件、利用条件、自然環境条件、材料条件、施工条件、維持に関する条件、設計条件を越える事象への配慮、環境等への配慮、経済性など、施設の置かれる諸条件を適切に設定及び勘案し、**設計供用期間中にわたり対象施設の要求性能を満足し続けるように、かつ総合的な観点で 最も適切と考えられる構造断面や使用する部材・材料等を決定**することにある。

すなわち、設計とは、**当該施設の施工中から設計供用期間完了時に至る長い時間軸の中で、設置される空間に最も相応しいと考えられる構造物を描くための技術的な行為**である。このため、構造断面の設定や部材・材料選定にあたっては、既存の構造形式、標準的な施工方法や部材・材料に限定せず、当該施設の置かれる諸条件に照らして、**少しでも合理的な設計となるように努めるべき**である。諸条件に照らして、少しでも合理的な設計となるように努めるべきである。**さらに、設計段階における施工方法や使用する部材・材料の検討にあたっては、今後の建設現場における労働力不足等に対応し、建設生産プロセスのさらなる効率化を図る必要がある。このため、ICTや規格化・標準化された部材の活用、工業化・省力化された工法の導入等による生産性の向上にも配慮することが望まれる**。性能規定型の本技術基準においては、このような取り組みが期待されている。

２．２　各段階における配慮＞２．２．２　設計における施工への配慮（案）

P.32

技術基準対象施設の設計にあたって、施工への配慮として必要な措置とは、設計段階において、当該施設の施工条件を十分に踏まえた上で、設計の前提となる対象施設の施工品質や施工中の本体構造や仮設構造等の安定性が確実に確保されることを設計段階で確認するとともに、それらの設計の前提が施工段階で確実に達成されるために施工段階へと伝達すべき事項について整理し、これを設計図書（設計計算書や設計図面等）に明瞭に記載し、施工段階の関係者や技術者に確実に伝達されるように配慮することを指している。

特に、設計上重要な事項で、施工段階で必ず遵守すべき条件等は、設計図面中に注記として示すなどの配慮が必要である。また、設計において、新しい方法（施工方法、構造形式、部材・材料）や特殊な方法（複雑な施工手順、大規模な仮設工等を必要とする工法）を採用する場合には、ここに示す施工への配慮を設計段階において特に入念に検討する必要がある。さらに、ICTの活用や全体最適設計の考え方の導入によって、対象施設の設計、発注、部材・材料の調達、各工種の施工等の一連の建設生産プロセスの効率化を目指し、工業化・省力化された工法の導入等による生産性の向上を図ることも重要である。

～（以下、省略）～

２．２　各段階における配慮＞２．２．３　設計における維持への配慮（案）

P.32

技術基準対象施設の設計にあたって、**維持への配慮として必要な措置とは**、設計段階において、維持管理の基本的な考え方として部材ごとに**維持管理レベルを適切に定める**とともに、**設定した維持管理レベルを合理的に実現できるように設計**がなされていること、設定した維持管理レベルに対応した**点検診断や維持・補修工事等を円滑に実施できるように当該施設の設計時より適切な配慮**がなされていること、及び適切かつ確実に維持がなされるように**維持段階の関係者や技術者に伝達すべき事項について整理し、これを設計段階で策定する維持管理計画書（案）に明瞭に記載し、**維持段階の関係者や技術者に確実に伝達されるように配慮すること、を指している。

特に、設計上重要な事項で、維持段階で必ず遵守すべき条件等は、維持管理計画書（案）に注記として示すなどの配慮が必要である。また、設計において、新しい方法（施工方法、構造形式、材料等）や特殊な方法（複雑な構造形式等）を採用する場合には、ここに示す維持への配慮を設計段階において特に入念に検討する必要がある。

～（以下、省略）～

② 改良設計

- 既存施設の改良と改良目的
- 改良設計における課題例
- 既存施設の改良の全体手順
- 改良設計の基本事項
- 改良設計における設計供用期間

■改良設計（案）

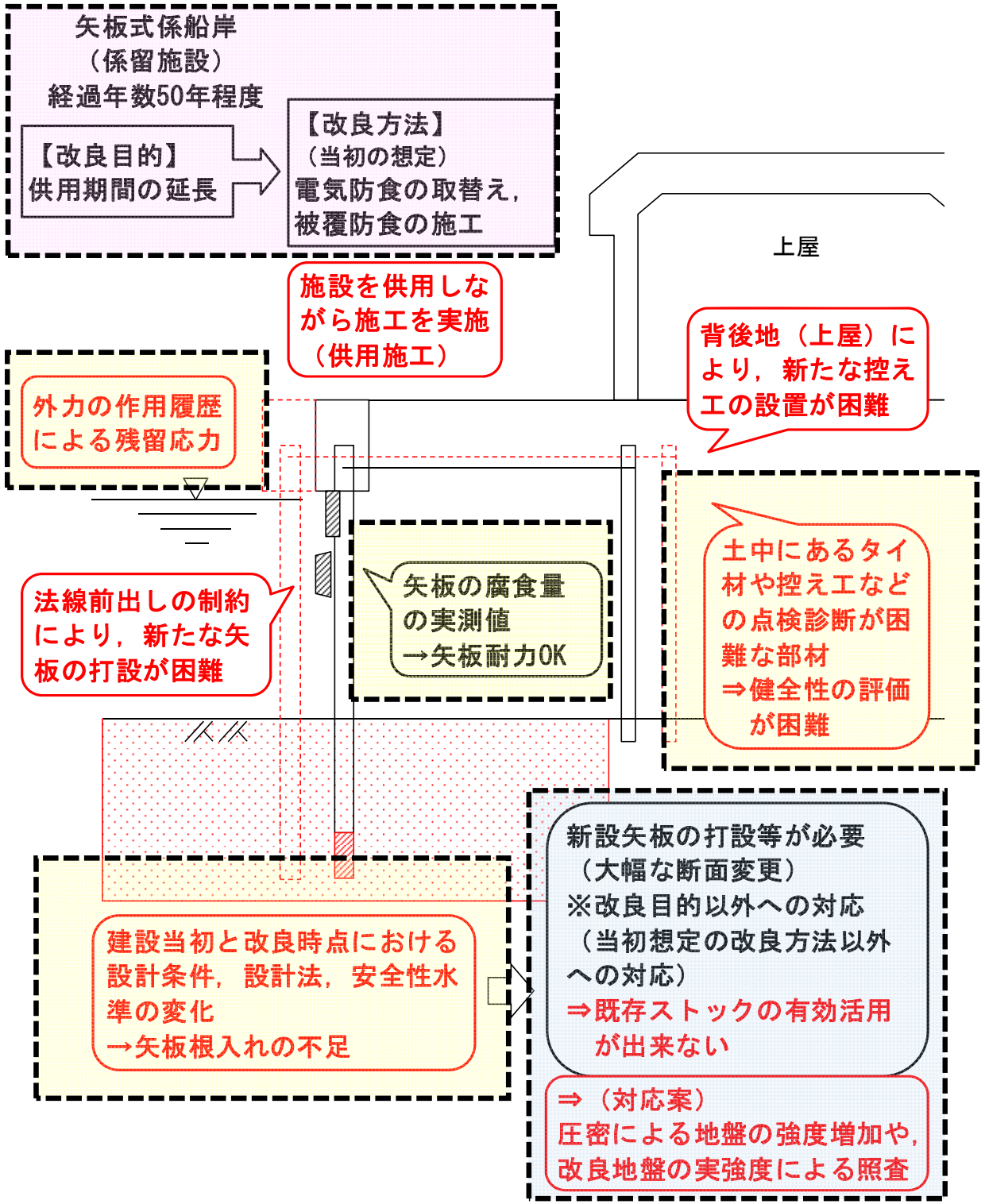
⇒　既存施設に対して、用途変更や設計条件等の変更により、既存施設の一部または全部を利用し、以下の目的を達成するための行為。

P.6

P.43 ～ 44

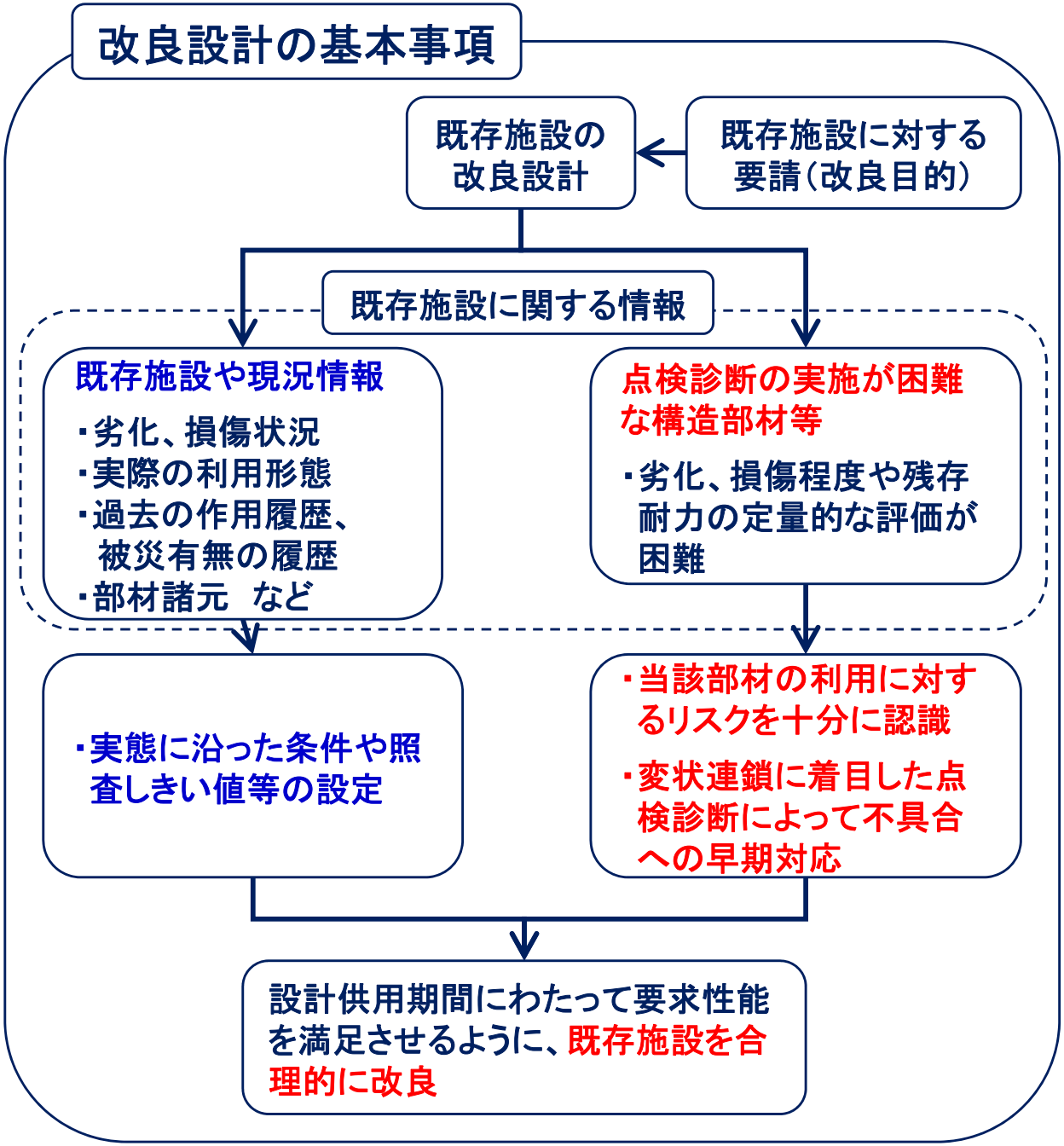
改良目的	説明	内容等	代表的な事例
①用途の変更	既存施設の設置目的や用途（機能）を変更させる場合	設置目的・用途の変更	・防波堤から護岸への変更 ・護岸から岸壁等への変更 ・岸壁等から護岸への変更
②性能の変更	既存施設の設置目的や用途（機能）に変更はないが、要求性能を変更し、性能や能力を変更（向上、または低下）させる場合	設計波の見直し	・防波堤または護岸の嵩上げ
		設計津波の見直し	・防波堤または護岸の耐津波化
		対象船舶の変更	・岸壁等の増深・減深
		設計入力地震動の見直し	・岸壁等の耐震化
		荷役機械の変更	・岸壁等への荷役機械の導入、荷役機械の大型化への対応
		利便性への対応	・岸壁等の天端高の変更
		親水性への対応	・防波堤または護岸の波浪防護方法の変更
		船舶航行、 停泊の安全性向上	・航路、泊地の増深
③供用期間の延長	設計供用期間の終了を迎える施設に対して、供用期間を大幅に延長する場合。（設計供用期間の途中の変更も含む）	新たな設計供用期間の設定	・防食工の取替え ・桟橋上部工や下部工 の取替え

改良設計における課題例(矢板式岸壁)



出典： 高野ら:事例分析に基づく既存港湾施設の改良設計の現状と課題，*土木学会論文集 B3 (海洋開発)* 73.2 (2017): I_426-I_431.

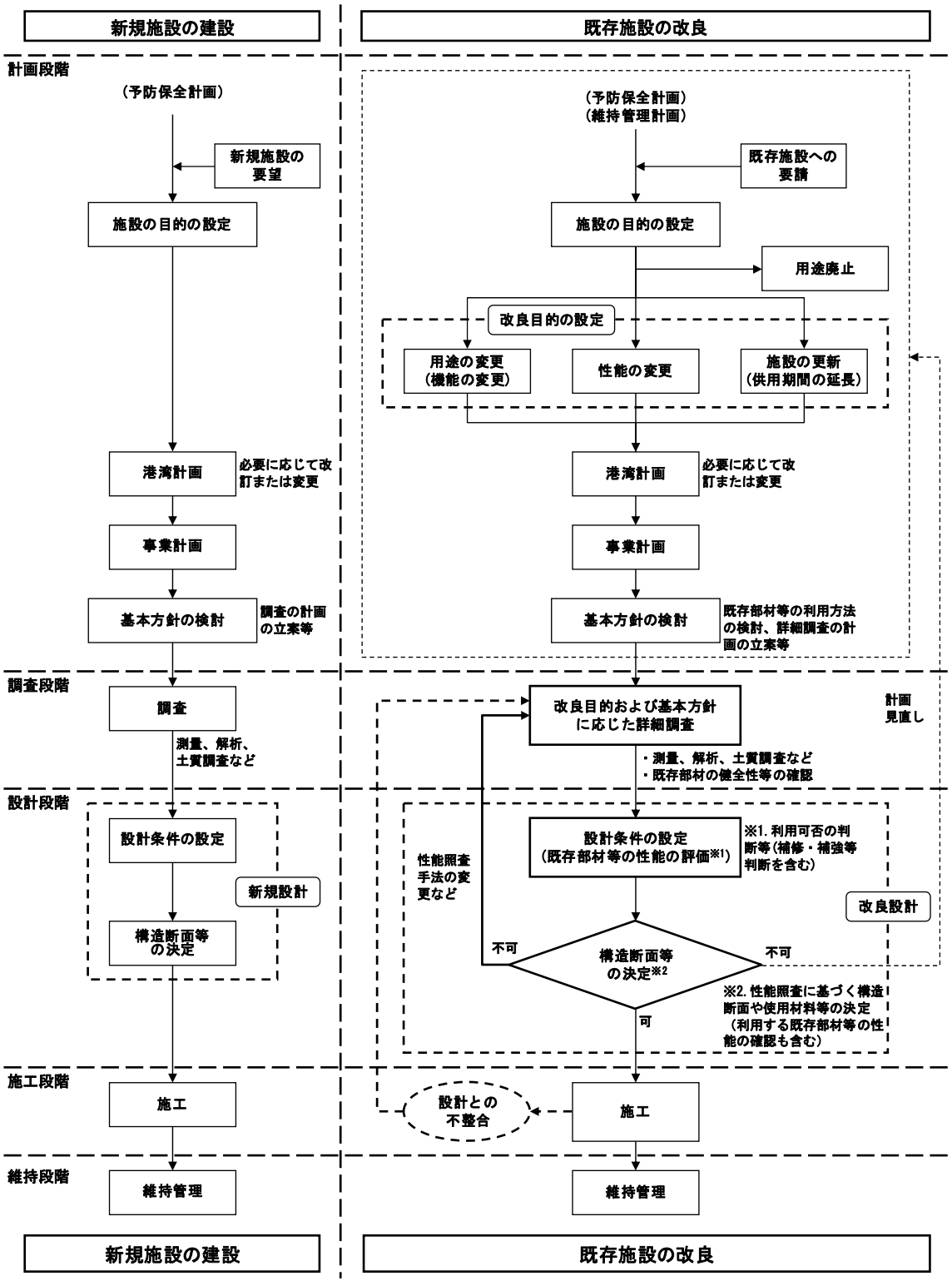
■改良設計の基本事項（案）　⇒　新規設計と異なる視点



既存施設に関する情報の取り扱いの重要性を明示

○既存施設に関する様々な情報
↓
・実態に沿った条件等が設定
↓
★合理的な設計に繋がる可能性

○点検診断が困難な構造部材等
↓
・定量的な評価が困難
↓
★リスクを十分に認識した対応
↓
★リスク残置の場合、維持管理における継続的な確認必要。



既存施設の改良の全体手順（案）

○既存部材等の流用可否判断難しい
（調査難しい部材・部位もある）

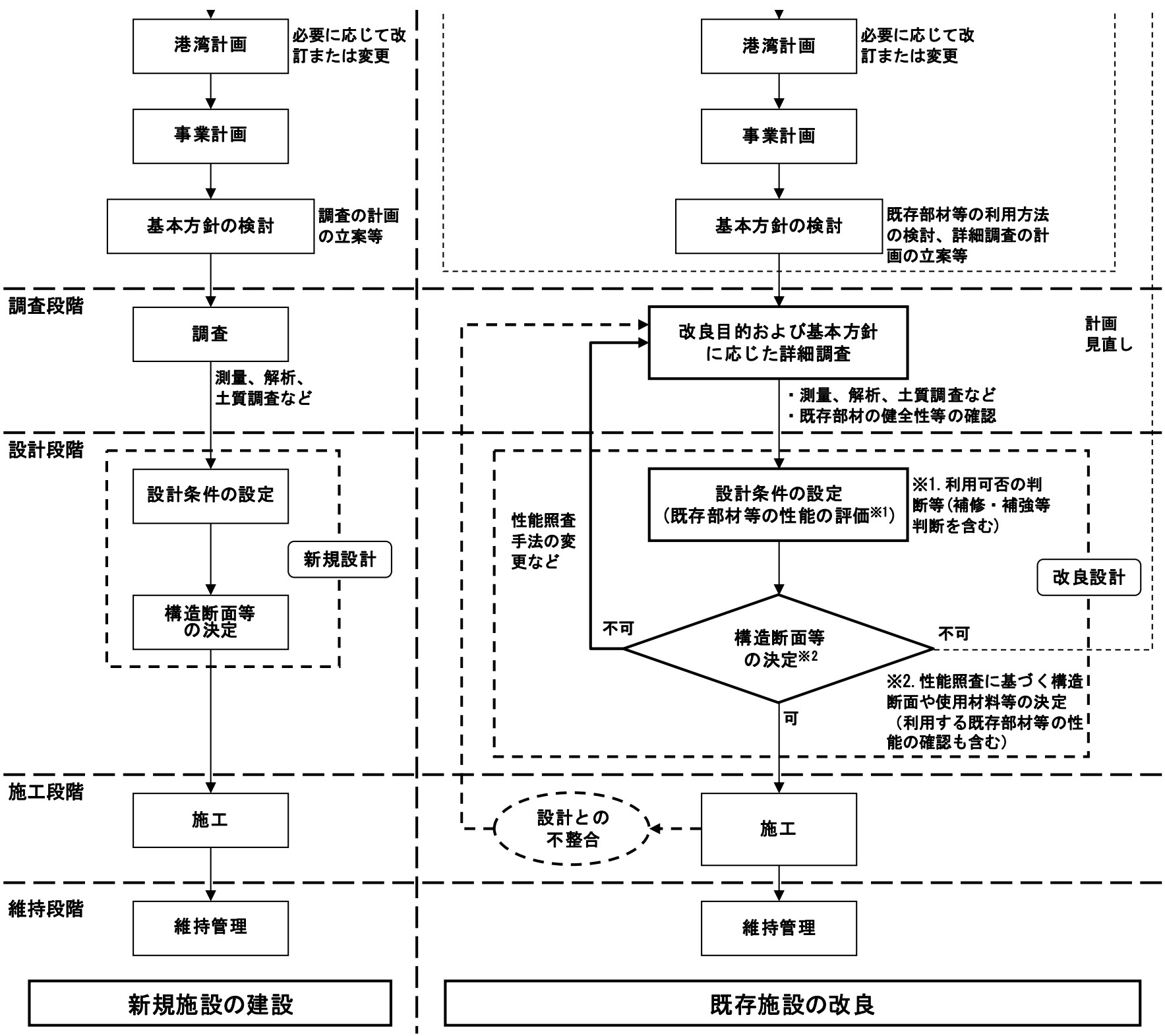
↓

○構造形式、設計断面、施工方法等の選択の幅に大きく影響

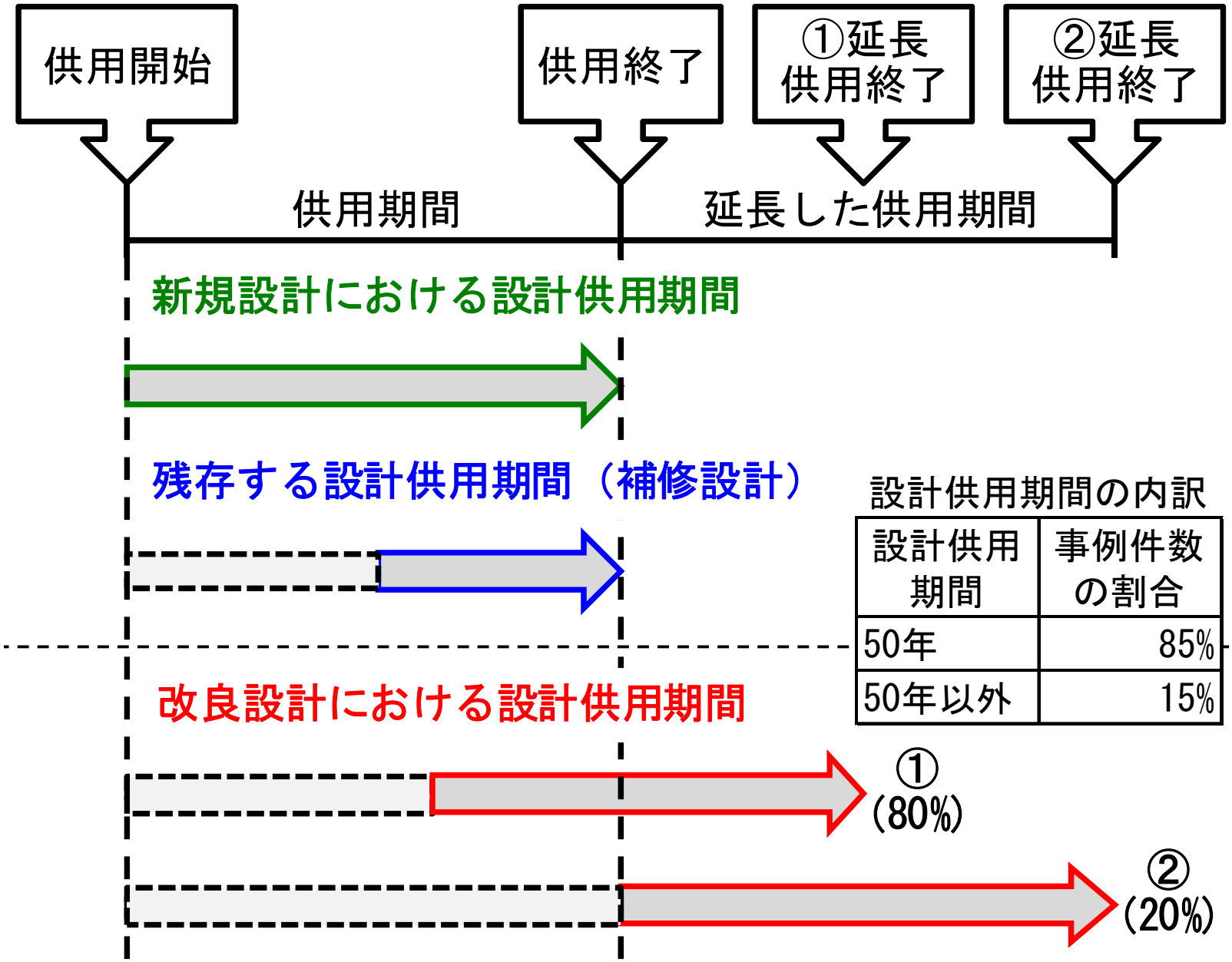
↓

○全体工費・工期に大きく影響

★調査・設計の手間がかかる


港湾計画
必要に応じて改訂または変更
事業計画
基本方針の検討
調査の計画の立案等
港湾計画
必要に応じて改訂または変更
事業計画
基本方針の検討
既存部材等の利用方法の検討、詳細調査の計画の立案等
調査段階
調査
測量、解析、土質調査など
改良目的および基本方針に応じた詳細調査
・測量、解析、土質調査など
・既存部材の健全性等の確認
計画見直し
設計段階
設計条件の設定
新規設計
構造断面等の決定
設計条件の設定（既存部材等の性能の評価※1）
※1. 利用可否の判断等（補修・補強等判断を含む）
性能照査手法の変更など
改良設計
不可
構造断面等の決定※2
不可
※2. 性能照査に基づく構造断面や使用材料等の決定（利用する既存部材等の性能の確認も含む）
可
施工段階
施工
設計との不整合
施工
維持段階
維持管理
維持管理
新規施設の建設
既存施設の改良

改良設計時における設計供用期間



設計供用期間の内訳

設計供用期間	事例件数の割合
50年	85%
50年以外	15%

出典：　高野ら：事例分析に基づく既存港湾施設の改良設計の現状と課題，
土木学会論文集 B3 (海洋開発) 73.2 (2017): I_426-I_431.

P.43

２．４　設計の基本理念＞２．４．１総論（２）技術基準への適合

［共］第1章1.2技術基準への適合に示すとおり、既存施設の改良設計の際は、改良時点における技術基準への適合が求められる。なお、既存施設の部材等を引き続き利用する場合、対象施設に関する全ての照査項目について、改良時点の技術基準で想定している標準的な性能照査手法（新規施設の設計を想定した簡便法）と限界値を一律に適用すると、改良目的に照らして過大な改良費用が発生するなど著しく合理性を欠く場合がある。このような場合には、設計者は、有識者や専門技術者などの判断のもと、その他の性能照査手法（高度な数値解析、模型実験、過去の実績や経験に基づく方法など）と限界値等を設定し、照査項目の一部に適用することもできる。

6 本書に記載されている技術の扱いについて

P.3

～省略～

なお、新技術の導入にあたって、有識者や専門技術者などの意見を踏まえ、導入の可否を適切に判断する必要がある。ここで、専門技術者とは、技術士などの国家資格や「公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格」として国土交通省にて登録されている民間資格所有者等のことをいう。

③ 部分係数法の見直し

・見直し概要（荷重抵抗係数アプローチによる部分係数へ）

・照査フォーマット

・部分係数の事例（防波堤、杭基礎支持力）

・見直し一覧

（【参考配布資料2】 ⇒　見直しの背景）

荷重抵抗係数アプローチによる部分係数

【例：滑動に関する照査式（最もシンプルな場合）】

f ：摩擦係数　P_V ：鉛直土圧
W ：壁体重量　P_B ：浮力

P_H ：水平土圧
P_w ：残留水圧

各抵抗項ごとに部分係数を設定してもOK

$$\gamma_R \times f(W + P_V - P_B) \geqq \gamma_S \times (P_H + P_w)$$

（抵抗項）　（荷重項）

部分係数　部分係数

各荷重項ごとに部分係数を設定してもOK

荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法（部分係数法）

材料係数アプローチによるレベル1信頼性設計法（部分係数法）

$$f(W + P_V - P_B) \geqq (P_H + P_w)$$

$f = \gamma_f \times f_k$
$W = \gamma_c \times (\gamma_{ck} \times B \times H)$
$P_H = \gamma_{Ka.\cos\delta} \times Ka \times \tan\delta \times \cdots$
$\cdots$

個別の設計パラメータに部分係数をかける方法【現行基準】

照査フォーマット（案）

○作用耐力比 ≤ 1.0 を照査することが基本

○部分係数は、作用側、抵抗側ともに、何個でも設定可能なフォーマット（将来の拡張性）。

$$m\left(\gamma_i \frac{S_d}{R_d}\right) \leq 1.0 \qquad (3.9.1)$$

$$S_d = f(\gamma_{S_1} S_{1k}, \cdots, \gamma_{S_n} S_{nk}) = f(\gamma_{S_1} S_{1k}(x_{1k} \cdots x_{pk}), \cdots, \gamma_{S_n} S_{nk}(x_{1k} \cdots x_{pk})) \qquad (3.9.2)$$

$$R_d = g(\gamma_{R_1} R_{1k}, \cdots, \gamma_{R_m} R_{mk}) = g(\gamma_{R_1} R_{1k}(x_{1k} \cdots x_{pk}), \cdots, \gamma_{R_m} R_{mk}(x_{1k} \cdots x_{pk})) \qquad (3.9.3)$$

S_d ：応答値の設計用値

R_d ：限界値の設計用値

γ_i ：構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響等を考慮するための係数（構造物係数）。本解説書では、特段の断りがない限り、γ_i =1.0 であり、表記しない。

m ： 調整係数（後述の「(3) **調整係数**」における説明を参照のこと）

S_{jk} ：作用効果 j の特性値$(j = 1..n)$

γ_{S_j} ：作用効果 j の特性値 S_{jk} に乗じる部分係数

$S_j()$ ：作用効果 j の特性値 S_{jk} を算定するための計算式

R_{jk} ：抵抗（耐力）j の特性値$(j = 1..m)$

γ_{Rj} ：抵抗（耐力）j の特性値 R_{jk} に乗じる部分係数

$R_j()$ ：抵抗（耐力）j の特性値 R_{jk} を算定するための計算式

x_{j_k} ：設計因子 x_j の特性値$(j = 1..p)$

■部分係数・調整係数（案）

$$m\left(\gamma_i \frac{S_d}{R_d}\right) \leq 1.0$$

設計用値　部分係数　特性値

$$S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_d = \gamma_R R_k$$

○ 部分係数

⇒ 目標とする性能を確保するために、作用効果や抵抗の特性値に乗ずる係数として統計的解析又は信頼性の高い手法により算出された値をいう。

⇒ 部分係数が1.0以外の数値である場合、当該部分係数は統計的解析によって算出された部分係数。この場合、調整係数mを便宜上1.0として性能照査を行う。

○ 調整係数

⇒ 調整係数は、「過去の経験に基づく方法」によって規定される安全性の水準と同等の構造断面になるように調整するための係数であり、従来の安全率法や許容応力度法における許容安全率に対応する値である。なお、調整係数は、H19基準・同解説 において構造解析係数で処理されていたものに相当する。

⇒ この場合、統計的解析により算出される部分係数を用いた照査とは異なることを明示するため、全ての部分係数を便宜上1.0とした上で、調整係数を用いて照査する。

■重力式防波堤の変動波浪に関する堤体の滑動照査

P.196

②堤体の滑動に対する検討

(a)変動波浪に対する堤体の滑動に対する安定性の検討には、**式**(3.1.2)を用いることができる。なお、以下において、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示し、当該式中における部分係数は**表**－3.1.2 に示す数値を用いることができる。**表**－3.1.2 において「－」と示された部分に関する値は、便宜上、() 内の数値を用いて照査できることを示す。

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = \{f_k(W_k - P_{B_k} - P_{U_K})\}$$

$$S_k = P_{Hk} \qquad (3.1.2)$$

ここに、

f：壁体底面と基礎との摩擦係数
W：堤体の重量（kN/m）
P_B：浮力（kN/m）
P_U：揚圧力（kN/m）
P_H：水平波力（kN/m）
R：抵抗項（kN/m）
S：荷重項（kN/m）

γ_R：抵抗項に乗じる部分係数
γ_S：荷重項に乗じる部分係数
m：調整係数

$\gamma_S / \gamma_R = 1.08/0.83 \fallingdotseq 1.3$

表－3.1.2　堤体の滑動照査に用いる部分係数

照査対象	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
堤体の滑動 （変動波浪による変動状態）	0.83	1.08	- （1.00）

■杭の支持力照査（直杭式桟橋の箇所に記載）

P.252

(4)杭の支持力に関する性能照査（レベル 2 地震動に関する偶発状態以外の設計状態）

①桟橋の杭に発生する支持力に関する照査は**式**(5. 2. 9)により行うことができる。記号γはその添字に関する部分係数であり、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示す。当該式中における部分係数は**表**－5. 2. 5 に示す数値を用いることができる。**表**－5. 2. 5 において「－」と示された部分に関する値は、便宜上、（）内の数値を用いて照査できることを示す。

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \qquad R_d = \gamma_R R_k \qquad S_d = \gamma_S S_k \tag{5.2.9}$$

表－5. 2. 5　杭の支持力に関する性能照査に用いる部分係数

照査対象	杭の種類	抵抗項に乗じる部分係数γ_R	荷重項に乗じる部分係数γ_S	調整係数 m
直杭式横桟橋の支持力（船舶作用時、載荷重に対する変動状態）	引抜杭	-（1.00）	-（1.00）	3.00
	押込杭	-（1.00）	-（1.00）	2.50
直杭式横桟橋の支持力（暴風時、波浪時及びレベル 1 地震動に対する変動状態）	引抜杭	-（1.00）	-（1.00）	2.50
	押込杭（支持杭）	-（1.00）	-（1.00）	1.50
	押込杭（摩擦杭）	-（1.00）	-（1.00）	2.00

■部分係数の見直し一覧

●未掲載：上部斜面堤（国総研資料No.995），SCP・CDM（資料準備中）

構造形式	照査モード	H11年基準 安全率	H19基準の 目標安全性水準	H19基準の 安全率相当値 （↑↓はH11基準との比較）	H30基準の 目標安全性水準	次期基準の部分係数 （安全率相当値）	国総研資料
重力式 岸壁 (永続)	滑動	1.2		約2.0（↑）	H11基準の 安全性水準	γ_S=1.06, γ_R=0.87（約1.22）	No.880
	転倒	1.2		約1.2（ー）		γ_S=1.23, γ_R=0.99（約1.24）	
	支持力	1.2		（未検討）		調整係数m=1.2（1.2）	
● 矢板式 岸壁 (永続)	根入れ長	1.5 （砂質土）	期待総費用 最小化	約2.0（↑）	H11基準の 安全性水準	【砂地盤】γ_S=1.09, γ_R=0.72（約1.51） 【粘性土】γ_S=1.09, γ_R=0.72（約1.44）	No.901 ↓ No.956
	矢板応力	1.7		約1.1（↓）	H19基準以降の実事例を参考とした目標安全性水準の再設定	γ_S=1,18 γ_R=0.84（約1.4）	
	タイ材応力	2.5		約1.7（↓）		γ_S=1.29, γ_R=1.01 （約2.0）	
桟橋 （直杭式）	接岸時 杭応力	1.7(常時扱い) 1.1(異常時扱い)		約1.3 （常時扱い：↓） （異常時扱い：↑）	H19基準の 安全性水準	水深12m未満：γ_S=1.34, γ_R=0.97（約1.38） 水深12m以上：γ_S=1.29, γ_R=1.01（約1.28）	No.899 ↓ No.931
防波堤 （混成堤 & 消波堤）	滑動	1.2	過去の安全性水準の平均	混成堤：約1.3（↑） 消波堤：約1.2（ー）	H19基準の 安全性水準	混成堤：γ_S=1.08, γ_R=0.83（約1.30） 消波堤：γ_S=0.90, γ_R=0.79（約1.14）	No.922
	転倒	1.2		混成堤：約1.2（ー） 消波堤：約1.0（↓）		混成堤：γ_S=1.14, γ_R=0.95（約1.20） 消波堤：γ_S=0.99, γ_R=0.98（約1.01）	
	支持力	1.0		（未検討）	H11基準の 安全性水準	調整係数m=1.0（1.0）	
● 円弧滑り		1.3	期待総費用 最小化	1.0-1.3（↓）	実事例（H19以前も含む）等を参考とした目標安全性水準の再設定	【砂地盤】γ_S=1.01, γ_R=0.83（約1.21） 【粘性土】<粘性土の変動係数CVで場合分け> CV<0.1: γ_S=1.05, γ_R=0.86（約1.2） 0.1≤CV<0.15: γ_S=1.04 γ_R=0.85（約1.2） 0.15≤CV<0.25: γ_S=1.02 γ_R=0.80（約1.27） （その他条件） 調整係数m=1.3（1.3）	No.900 ↓ No.955

参考文献（国総研資料）（港湾施設研＆保全研究室）

参考

■部分係数法の見直し

（改訂方針）

・竹信正寛・西岡悟史・佐藤健彦・宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～，国総研資料No.880，2015

（防波堤）

・ 佐藤健彦・竹信正寛・宮田正史：重力式防波堤のレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒照査を対象に～，国総研資料No. 922，2016
・高野 向後・竹信 正寛・宮田 正史・佐藤 健彦：上部斜面を有する防波堤のレベル１信頼性設計法に関する検討～滑動照査および転倒照査を対象として～，国総研資料No. 995，2017

（船舶接岸速度、直杭式桟橋（接岸時））

・ 村上和康・竹信正寛・宮田正史・米山治男：船舶の接岸速度の特性に関する基礎的分析，国総研資料No.864，2015
・ 村上和康・竹信正寛・宮田正史：直杭式横桟橋の船舶接岸時のレベル１信頼性設計法に関する諸考察（その１），国総研資料No.899，2016
・ 勝俣優・竹信正寛・宮田正史・村上和康：直杭式横桟橋の船舶接岸時のレベル１信頼性設計法に関する諸考察（その２），国総研資料No.931，2016

（控え矢板式岸壁）

・ 松原弘晃・竹信正寛・宮田正史：控え矢板式岸壁の永続状態における目標安全性水準に関する諸考察，国総研資料No.901，2016
・ 松原弘晃・竹信正寛・宮田正史・渡部要一：控え矢板式岸壁の永続状態におけるレベル１信頼性設計に関する基礎的研究，国総研資料No.956，2017

（円弧すべり）

・ 川俣秀樹・竹信正寛・宮田正史：修正フェレニウス法を用いた円弧すべり解析における安全性水準の基準間比較，国総研資料No.900，2016
・ 川俣秀樹・竹信正寛・宮田正史：修正フェレニウス法を用いた円弧滑り照査のレベル１信頼性設計法に関する基礎的研究，国総研資料No.955，2017

④ 防波堤腹付工の設計法の変更

・腹付工を有する防波堤の耐波設計法（津波浸透流なし）

（【参考配布資料3】）

■腹付工（石材）を考慮した防波堤設計

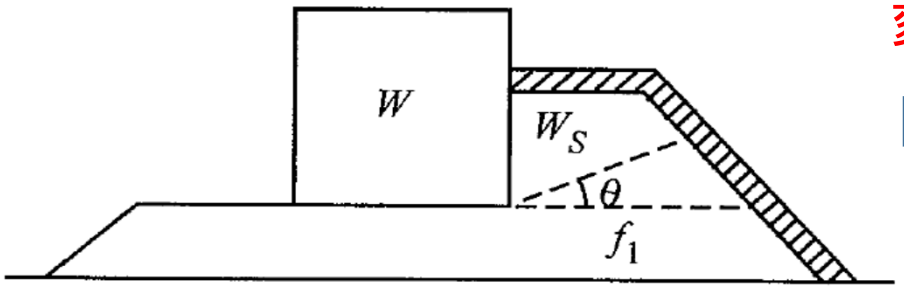
（課題）

・粘り強い構造として腹付工の有効性が研究されている。

・現行基準の腹付工を有する防波堤の設計方法は、40年前から暫定的に運用されている方法。

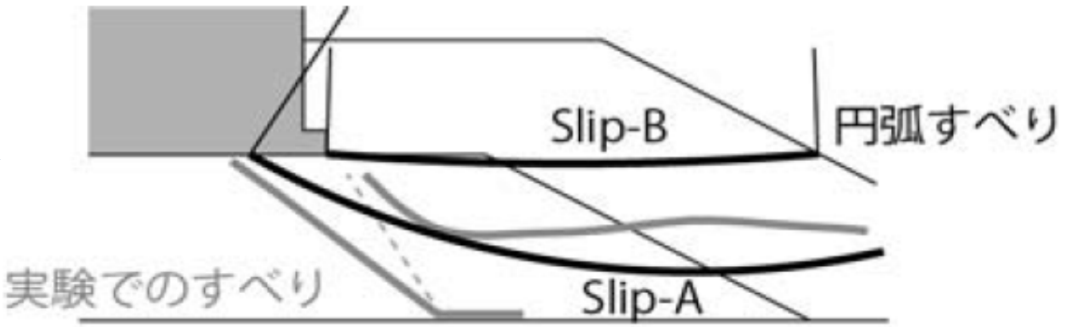
・港空研において、腹付工（石材）と基礎マウンドの複合地盤に対する実験が実施され、その検討手法が提案されている　※港研報告 第54巻第2号 2015.9

設計法の変更



(a)割石

変更



❑H11基準の方法

【規定】

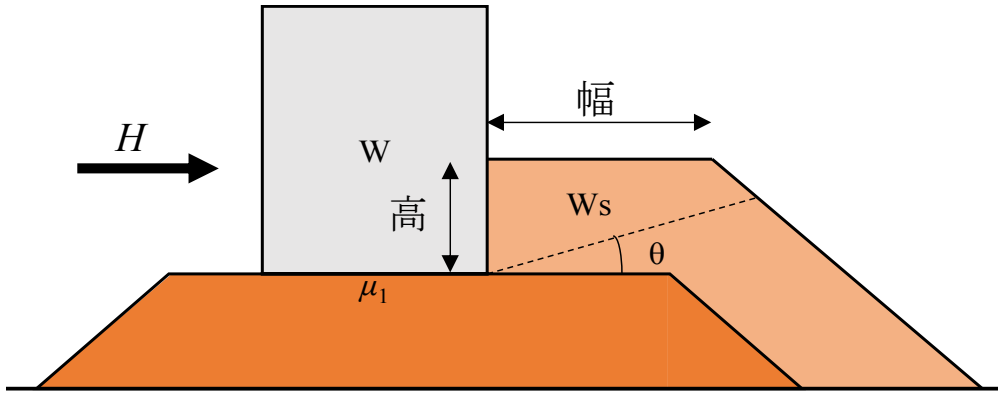
・腹付の高さは直立部の高さの1/3以上、上幅は高さと同程度以上
・腹付工を無視した直立部の滑動・転倒はFs≧1.0

【滑動照査式】

$$\frac{\mu W + R}{H} \geqq 1.2$$

$$R = W_s \tan(\theta + \phi)$$

ここに、W_s：滑り面より上の腹付の水中重量
θ　：滑り面傾斜角
φ　：内部摩擦角相当（$\varphi = \tan^{-1}\mu_2$）
H　：直立部に作用する水平波力
W　：直立部の清水中の水中重量－揚圧力
μ　：直立部と基礎捨石の摩擦係数
R　：腹付の滑動抵抗力



※40年前から暫定的に使用

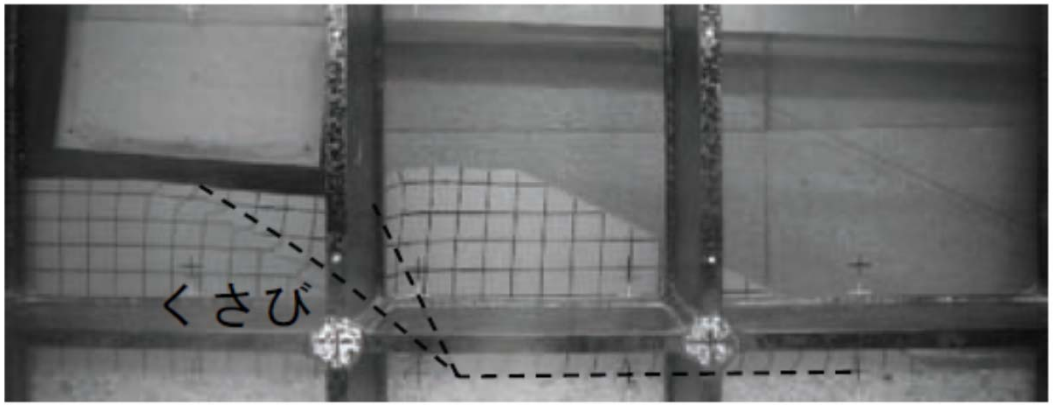
問題点

・実際の破壊メカニズムに基づいたものではない　※あくまで暫定手法
・実験と比較すると安全過ぎる　※40年前からわかっていること
・滑動以外の検討方法について不明瞭
・設計状態（変動or偶発）が不明　※Fs≧1.2なので変動状態？

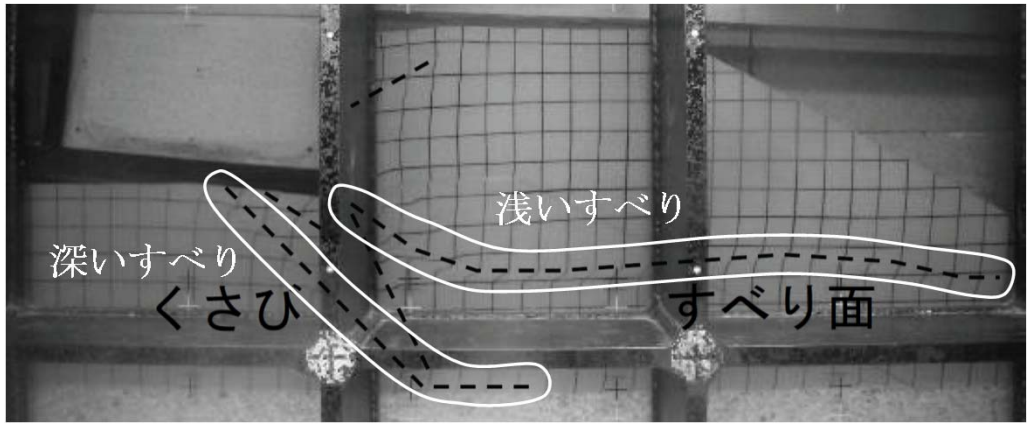
❑新しい方法の基本的考え方

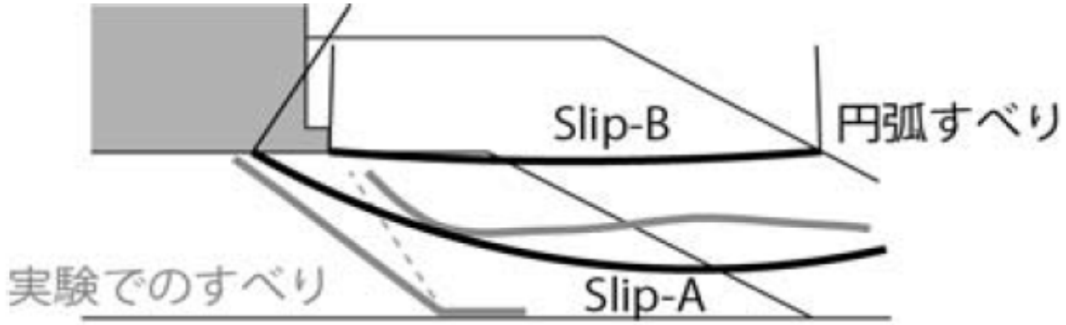
※港研報告 第54巻第2号 2015.9

【腹付工がない場合】



【腹付工がある場合】



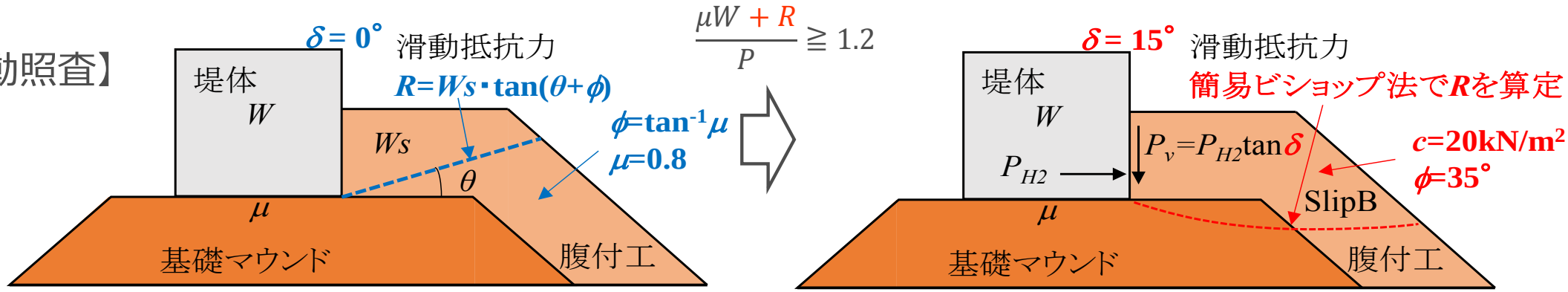


・腹付工がある場合、**深いすべり(SlipA)**と**浅いすべり(SlipB)**を検討すればよい
・SlipAとSlipBの検討には**簡易ビショップ法（円弧すべり計算）**が適切である

❑新しい方法の基本的考え方

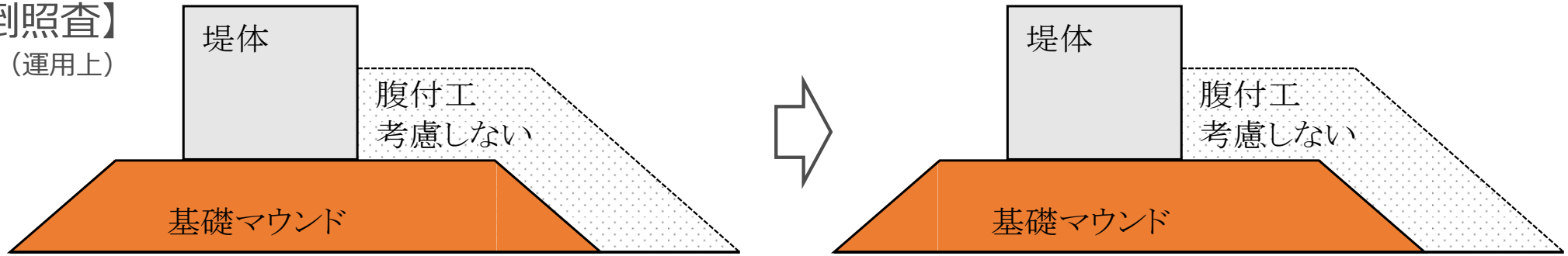
【現行法】　　【提案法】

【滑動照査】



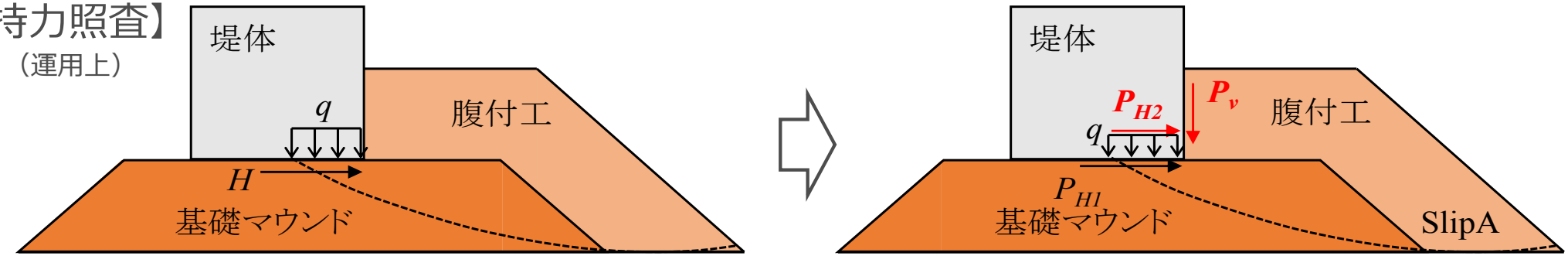
※腹付工の滑動抵抗力を**直線すべり計算**から**円弧すべり計算（SlipB）**に変更

【転倒照査】
（運用上）



※転倒照査については**変更なし**

【支持力照査】
（運用上）

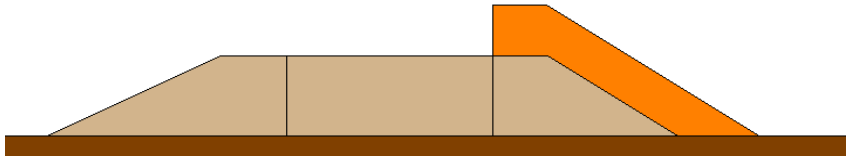


※腹付工による**荷重分担を考慮**した支持力照査(**SlipA**)に変更

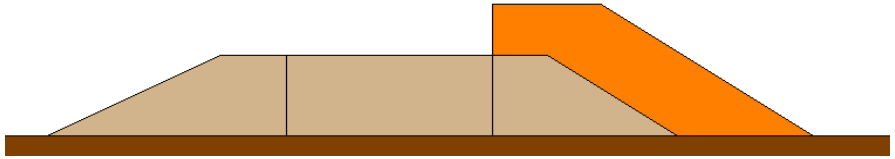
❑現行法との比較

【腹付天端幅を変化した場合】

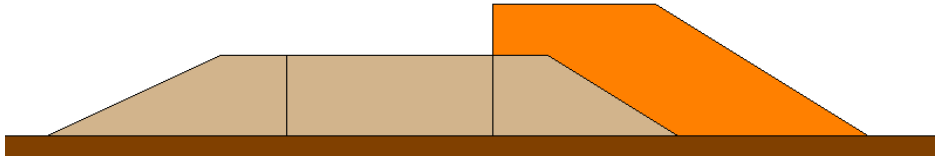
❑case1-1　高さ：5.0m　**天端幅：5.0m**



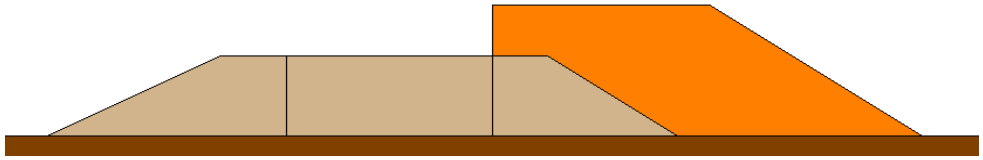
❑case1-2　高さ：5.0m　**天端幅：10.0m**



❑case1-3　高さ：5.0m　**天端幅：15.0m**

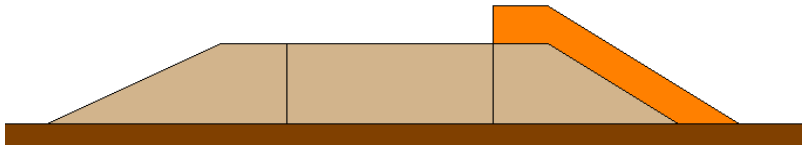


❑case1-4　高さ：5.0m　**天端幅：20.0m**



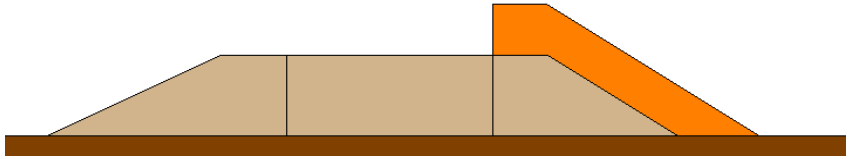
【腹付高さを変化した場合】

❑case0-1　**高さ：3.75m**　天端幅：5.0m

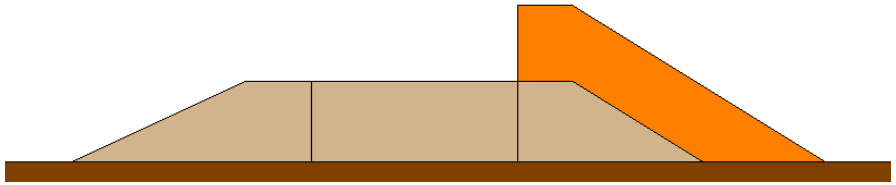


同じ

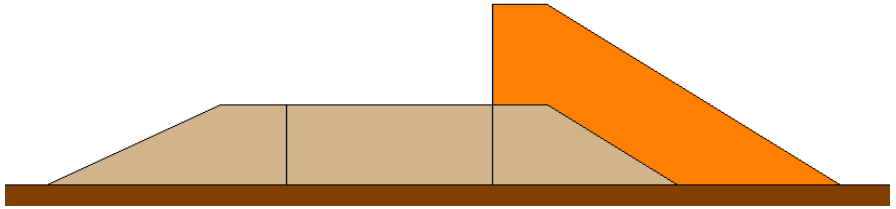
❑case1-1　**高さ：5.0m**　天端幅：5.0m



❑case2-1　**高さ：7.5m**　天端幅：5.0m



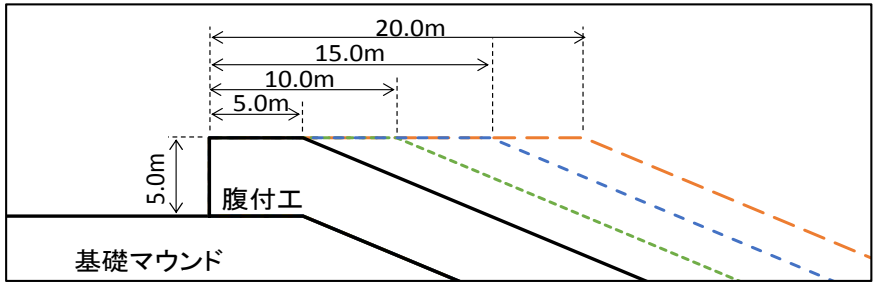
❑case3-1　**高さ：10.0m**　天端幅：5.0m

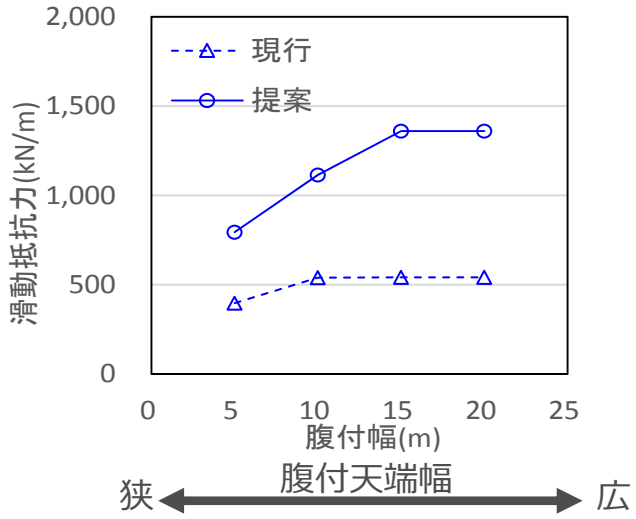


設計法の違いによる影響（滑動）

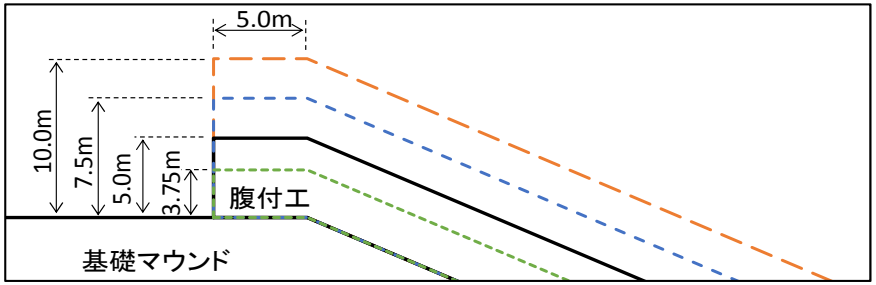
❑腹付工の滑動抵抗力の比較

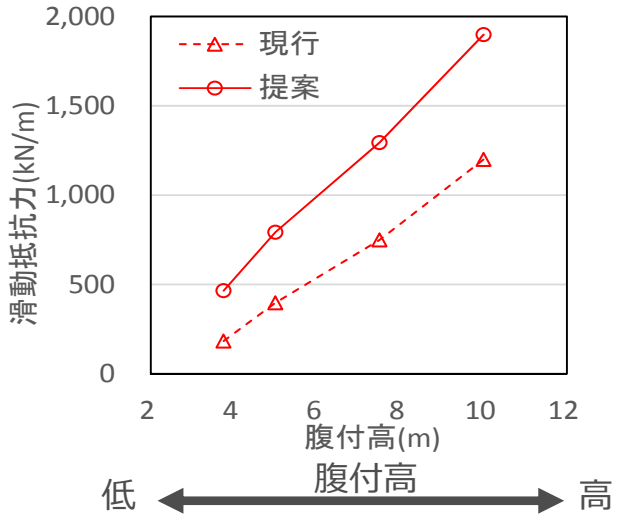
【腹付天端幅を変化】





【腹付高さを変化】





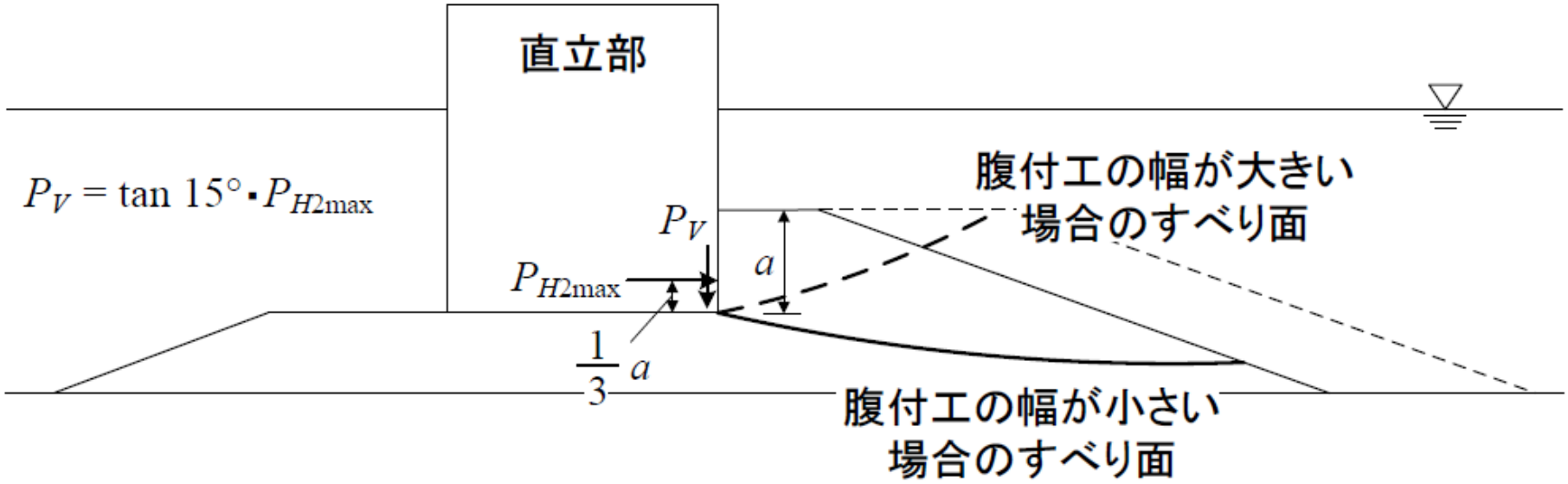
- 提案法は現行法よりも、**腹付工の耐力が大きく算定**される。
  - ☞ 現行法の**腹付工を過小評価する課題を改善**
- 腹付工の天端幅を拡げた時、**ある幅で腹付工の耐力が頭打ち**になる。
  - ☞ **幅を拡げすぎると効果がない**
- 腹付工の高さを高くすることに効果はある。
  - ☞ **腹付工の天端幅は高さと同程度以上でなくともよい**

■腹付工の最大抵抗力(案)

P.203

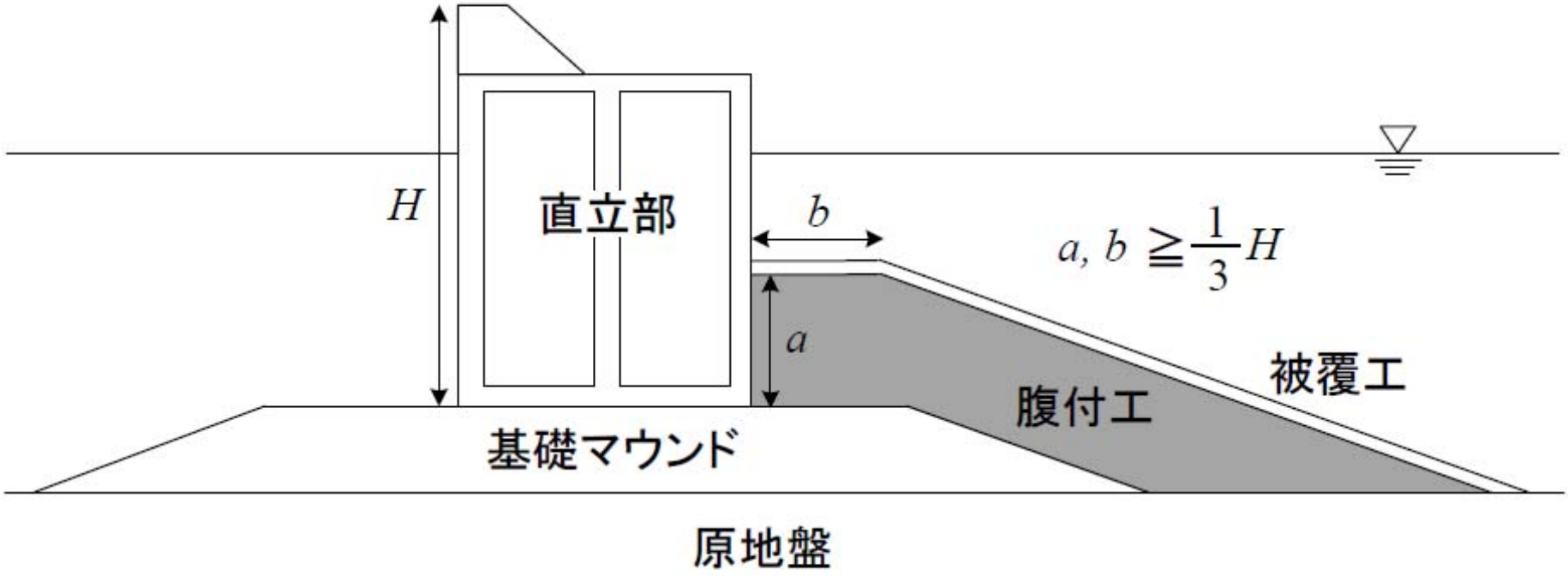
②割石で補強する場合、以下の**式**(3.1.10)を用いて最大抵抗力 $P_{H2\max}$ を求めることができる。この式は部分係数を 1.0 とした簡易ビショップ法の算定式（有効応力形式で表示）であり、**図**－3.1.7 に示すように直立部後趾を始点とする浅い円弧すべり面を仮定して $P_{H2\max}$ を求める。円弧すべり面の位置を変化させて、最も小さな $P_{H2\max}$ を求める必要がある。なお、腹付工の c'やϕ'などのせん断強度の値については、基礎マウンドの値に準じて設定する。

$$\sum\left\{\frac{\{c'_k s+(w'_k+q_k)\tan\phi'_k\}\sec\theta}{1+\tan\theta\tan\phi'_k}\right\}=\sum\{(w'_k+q_k)\sin\theta\}+\frac{a_2 P_{H2\max_k}}{r} \qquad (3.1.10)$$



図－3.1.7　割石で補強する場合の浅いすべり面の考え方

■腹付工の形状（案）



図－3.1.6　港内側を割石で補強した防波堤

■まとめ

❑新設計法についてのまとめ

(1)提案法の適用条件

腹付工の高さは堤体高さHの1/3以上　（**a≧H/3**）
腹付工の幅は堤体高さHの1/3以上　　（**b≧H/3**）

(2)提案法の主な特徴

滑　動：腹付工の滑動抵抗力を**簡易ビショップ法**で算定
転　倒：腹付工の効果は**考慮しない**
支持力：腹付工による**荷重分担を考慮**

(3)現行法から提案法への主な変更点

①腹付工の滑動抵抗力を直線すべり計算から**簡易ビショップ法**に変更
②腹付工の地盤強度を、ϕ=38.66°から**c=20.0kN/m²、ϕ=35°**に変更
③堤体と腹付工の**壁面摩擦（δ=15°）を考慮**

(4)提案法に求める安全性水準

【変動波浪≒50年確率波】

滑　動：R/S ≧ **1.2**(堤体のみ： R/S≧**1.0**)
転　倒：R/S ≧ **1.2**
支持力：R/S ≧ **1.0**

【偶発波浪】

滑　動：R/S ≧ **1.0**
転　倒：R/S ≧ **1.0**
支持力：R/S ≧ **1.0**

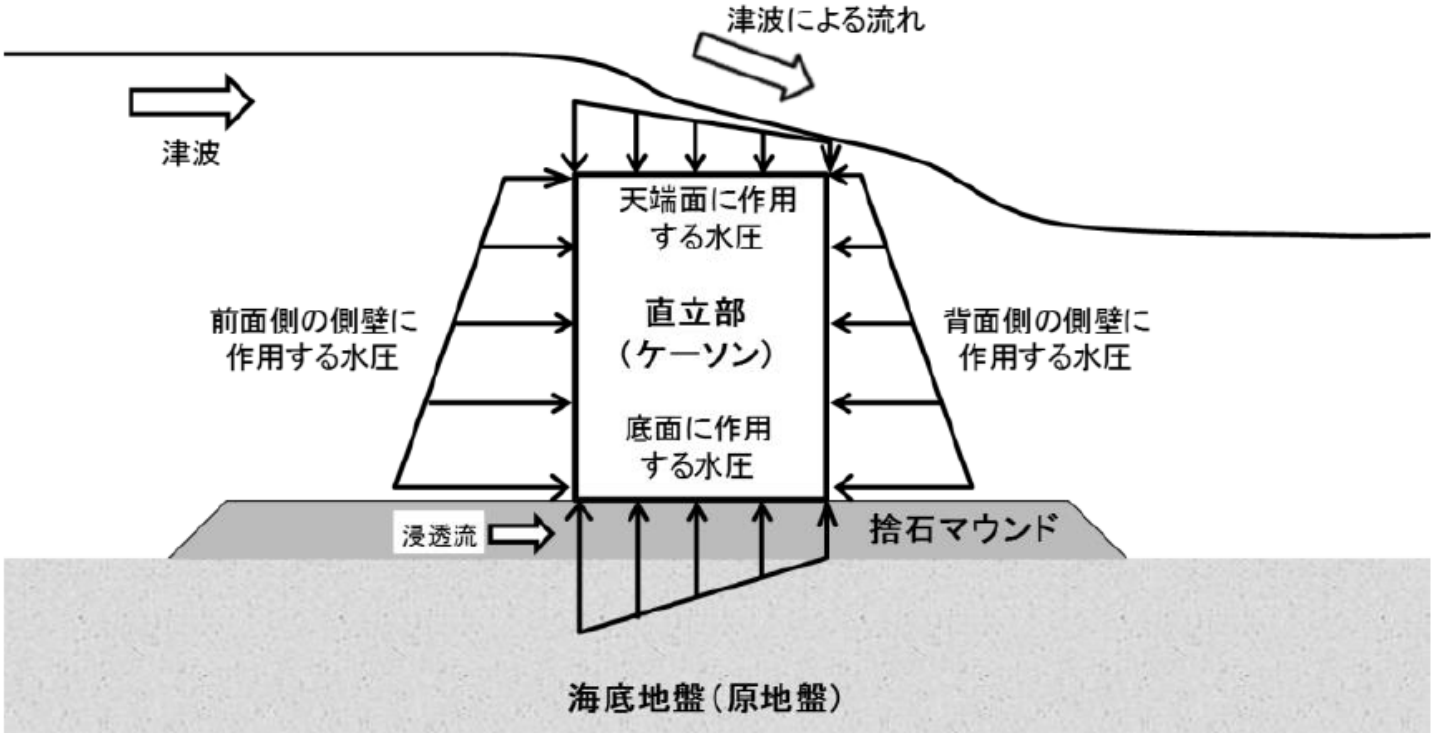
❑今後の課題

・大規模な腹付工の場合に、ケーソン転倒照査に腹付工反力を見込めないか？
・ケーソン底版反力の低減効果を見込めないか？
・津波時のマウンド内浸透流による耐力低下（マウンド、腹付工）の考慮

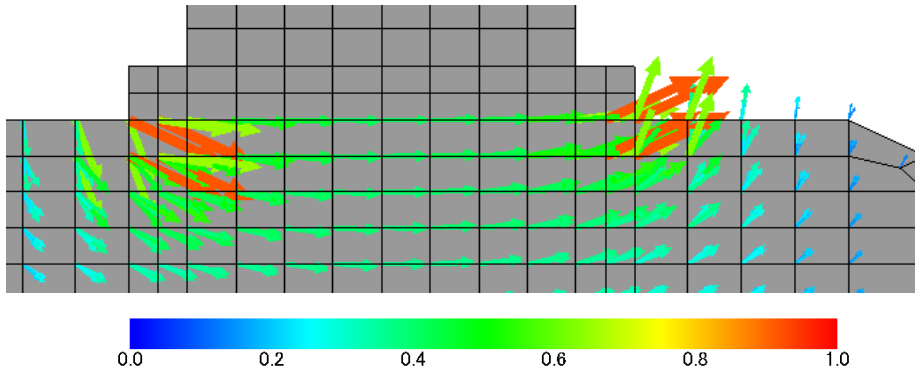
⑤ 津波浸透流を考慮した防波堤の支持力設計法（暫定）

（【参考配布資料4】）

P.221～222



❑浸透力の影響（イメージ）



③ 基礎地盤の支持力に対する照査

P.221～222

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = \sum \left[\{ c'_k \, s + (w'_k + q_k) \tan \phi'_k \} \sec \theta / (1 + \tan \theta \tan \phi'_k / F_f) \right]$$

$$S_k = \sum \left[\{ (w'_k + q_k) \sin \theta \} + a_1 P_{Hk} / R \right] \qquad (7.4.3)$$

ここに、

P_H ：津波の水平波力（kN/m）（[作]第 2 章 6 波力参照）
a_1 ：津波の水平波力のアーム長（m）
c' ：粘性土地盤の場合においては、非排水せん断強さ、砂質土地盤の場合においては、排水条件における見掛けの粘着力（kN/m^2）
s ：分割細片の幅（m）
w' ：分割細片の重量（kN/m）
q ：分割細片に作用する上載荷重（kN/m）
ϕ' ：有効応力に基づく見かけのせん断抵抗角（°）
θ ：分割細片の底面となす角（°）
F_f ：耐力の設計用値と作用効果の設計用値の比を示す補助パラメータ
R ：すべり円弧の半径（m）
γ_R ：抵抗係数
γ_S ：荷重係数
m ：調整係数

P.221～222

基礎マウンド内の浸透流は、基礎の支持力を低下させるため、一般的な形状と規模の防波堤においては9～10m程度の港内外の水位差で、支持力は10～17%程度低下する可能性がある[6),7)]。浸透流の影響は十分には解明されていないため、10mの水位差で2割程度の余裕を持った設計とすることが必要である[8)]。この支持力の低下率は水位差に比例するため、例えば、港内外の水位差が5mの場合、低減率を1割と考え、調整係数を1.1として**式**（7.4.3）を満たす必要がある。なお、浸透流の影響を加味できる有限要素解析や実物スケールの支持力特性を再現できる遠心模型実験などを用いて、浸透流の影響を加味した支持力の照査を行うことも可能である。有限要素解析を利用する場合、浸透流の影響によって低下した拘束圧下での地盤のせん断強度を適切に評価できる見かけの粘着力とせん断抵抗角を用いる必要がある[9)]。

表－7.4.3　基礎地盤の支持力照査に用いる部分係数

照査対象	抵抗項に乗じる抵抗係数γ_R	荷重項に乗じる荷重係数γ_S	調整係数 m
基礎地盤の支持力破壊 （設計津波による偶発状態）	－ （1.00）	－ （1.00）	1.00

⇒水位差5m：　m=1.1
⇒水位差10m：　m=1.2

⑥ 係船柱等その他

・船舶質量

・係船柱

・岸壁の天端高

・係留施設の附帯設備（繋離船作業への安全性への配慮）

・エプロン舗装

＝＝（鈴木TLより説明あり。以下、補足資料）＝＝

（・うねり性波浪の導入　⇒【参考配布資料5】）

（・シナリオ型の台風に基づく波浪・潮位条件の設定

⇒【参考配布資料6】）

今回資料に掲載なし

■船舶の質量DT（船舶の満載排水トン）（案）　※カバー率75%の回帰式

貨物船	$DT_k = 2.920 DWT^{0.924}$
コンテナ船	$DT_k = 1.634 DWT^{0.986}$
タンカー	$DT_k = 1.688 DWT^{0.976}$
ロールオン・ロールオフ（RORO）船	$DT_k = 8.728 GT^{0.790}$
自動車専用（PCC）船	$DT_k = 1.946 GT^{0.898}$
LPG 船	$DT_k = 4.268 GT^{0.914}$
LNG 船	$DT_k = 1.601 GT^{0.970}$
旅客船	$DT_k = 2.730 GT^{0.871}$
中短距離フェリー（航海距離 300km 未満）	$DT_k = 4.980 GT^{0.855}$
長距離フェリー（航海距離 300km 以上）	$DT_k = 15.409 GT^{0.735}$

ここに、

DT ：船舶の満載排水トン数（t）
DWT ：船舶の載貨重量トン数（t）
GT ：船舶の総トン数（トン）

（主要変更点）
⇒回帰式を全て見直し（直線⇒べき関数）。
⇒H19基準とH30基準で同程度であるが、式の変更に注意。

今回資料に掲載なし

■船舶の牽引力の標準値（案）

船舶の総トン数（トン）				曲柱に作用する牽引力（kN）	直柱に作用する牽引力（kN）
200	を超え	500	以下	150	150
500	を超え	1,000	以下	250	250
1,000	を超え	2,000	以下	250	350
2,000	を超え	3,000	以下	350	350
3,000	を超え	5,000	以下	350	500
5,000	を超え	10,000	以下	500	700
10,000	を超え	20,000	以下	700	1,000
20,000	を超え	50,000	以下	1,000	1,500
50,000	を超え	100,000	以下	1,000	2,000
100,000	を超え	120,000	以下	1,500	2,000
120,000	を超え	150,000	以下	1,500	2,000
150,000	を超え	170,000	以下	2,000	2,000
170,000	を超え	200,000	以下	2,000	2,000

（主要変更点）

⇒10万GT超の船舶に対する標準値を追加

■岸壁の天端高（案）

今回資料に掲載なし

(3)　岸壁の天端高

①　岸壁の天端高の設定に当たっては、以下に示す事項に配慮して、適切に設定する。

- 安全かつ円滑な荷役作業や旅客の乗降
- 対象船舶の乾舷と満載時・空載時の各喫水との関係
- 桟橋における揚圧力
- 高潮による浸水等の可能性
- 波浪による浸水等の可能性
- 津波による浸水等の可能性
- 地盤の圧密沈下の可能性の有無や予測される圧密沈下量
- 維持段階における点検診断や補修工事等のし易さ（特に、桟橋などの場合）
- 大規模地震後の地殻変動による沈降の可能性
- その他

②　岸壁の天端高の基準となる潮位は、朔望平均満潮面とすることができる。

③　対象船舶が特定できない場合にあっては、岸壁の天端高は、一般に**表－2.1.2** の値が多く用いられている。なお、表中の値は、朔望平均満潮面を基準として表している。

表－2.1.2　岸壁の標準的な天端高

	潮位差　3.0m 以上	潮位差　3.0m 未満
大型岸壁 （水深 4.5m 以上）	+0.5～1.5m	+1.0～2.0m
小型岸壁 （水深 4.5m 未満）	+0.3～1.0m	+0.5～1.5m

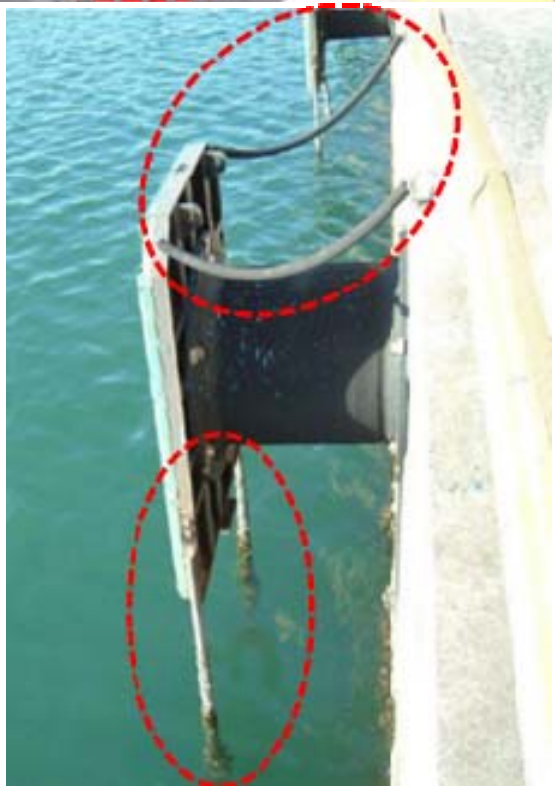
（主要変更点）

⇒天端高設定の配慮事項を明示（性能設計の深化）

■係留施設の附帯設備における繋離船作業への安全性向上への配慮

「繋離船作業に係る安全問題検討会」（日本繋離船協会，国土交通省（海事局・港湾局））

今回資料に掲載なし



（写真）西岡ら：係留施設の付帯設備等の整備における繋離船作業の安全への配慮事項に関する検討，国総研資料No.957，2017

今回資料に掲載なし

■エプロン舗装関連の改訂概要（案）

〇半たわみ性舗装

・採用事例が増加している半たわみ性舗装について，留意点を追加.

〇耐流動性を有する特殊アスファルト

・コンクリート舗装が望ましいが工期等の点で施工が困難な場合は，半たわみ性舗装だけではなく，半たわみ性舗装と同等の耐流動性を有する特殊アスファルトも選択肢となることを追加.

参考文献（国総研資料）（港湾施設研＆保全研究室）

参考

■地震条件／耐震設計関連

① 福永勇介・竹信正寛・宮田正史・野津厚・小濱英司：重力式および矢板式岸壁を対象とした被災検証による照査用震度式の妥当性の評価，国総研資料No.920，2016

② 福永勇介・野津厚・宮田正史・小濱英司・竹信正寛：被災検証結果に基づく震度修正方法に関する考察，国総研資料No.979，2017

■腹付工を有する防波堤の耐津波・耐波設計法

① 佐藤健彦・宮田正史・ 高橋英紀・竹信正寛：腹付工を有する防波堤の耐波設計法の提案、国総研資料No.954，2017

②佐藤健彦・ 高橋英紀・宮田正史・竹信正寛：津波浸透流を考慮した防波堤の支持力設計法に対する解析的検討，国総研資料No.994，2017

■設計・施工・維持の連携強化／改良設計／維持／繋離船作業安全性

① 坂田憲治・井山繁・宮田正史・佐藤徹・竹信正寛：鉄筋腐食発生限界濃度等が桟橋上部工のライフサイクルコストに及ぼす影響に関する一考察，国総研資料No.837，2015

② 坂田憲治・井山繁・藤井敦・宮田正史：点検診断の劣化度判定結果による消波ブロック被覆堤本体工側壁の変状傾向に関する一考察，国総研資料No.918，2016

③ 高野向後・井山繁・坂田憲治・藤井敦・宮田正史・西岡悟史：港湾施設の点検診断結果を踏まえた維持管理における配慮事項に関する検討，国総研資料No.921，2016

④ 西岡悟史・井山繁・藤井敦・宮田正史・坂田憲治・高野向後：港湾分野における設計・施工・維持の連携強化方策に関する基礎的検討，国総研資料No.932，2016

⑤ 藤井 敦・佐藤 徹・坂田憲治・山路 徹・加藤絵万：港湾の施設の点検診断および補修技術等に関する技術資料，国総研資料No.933，2016

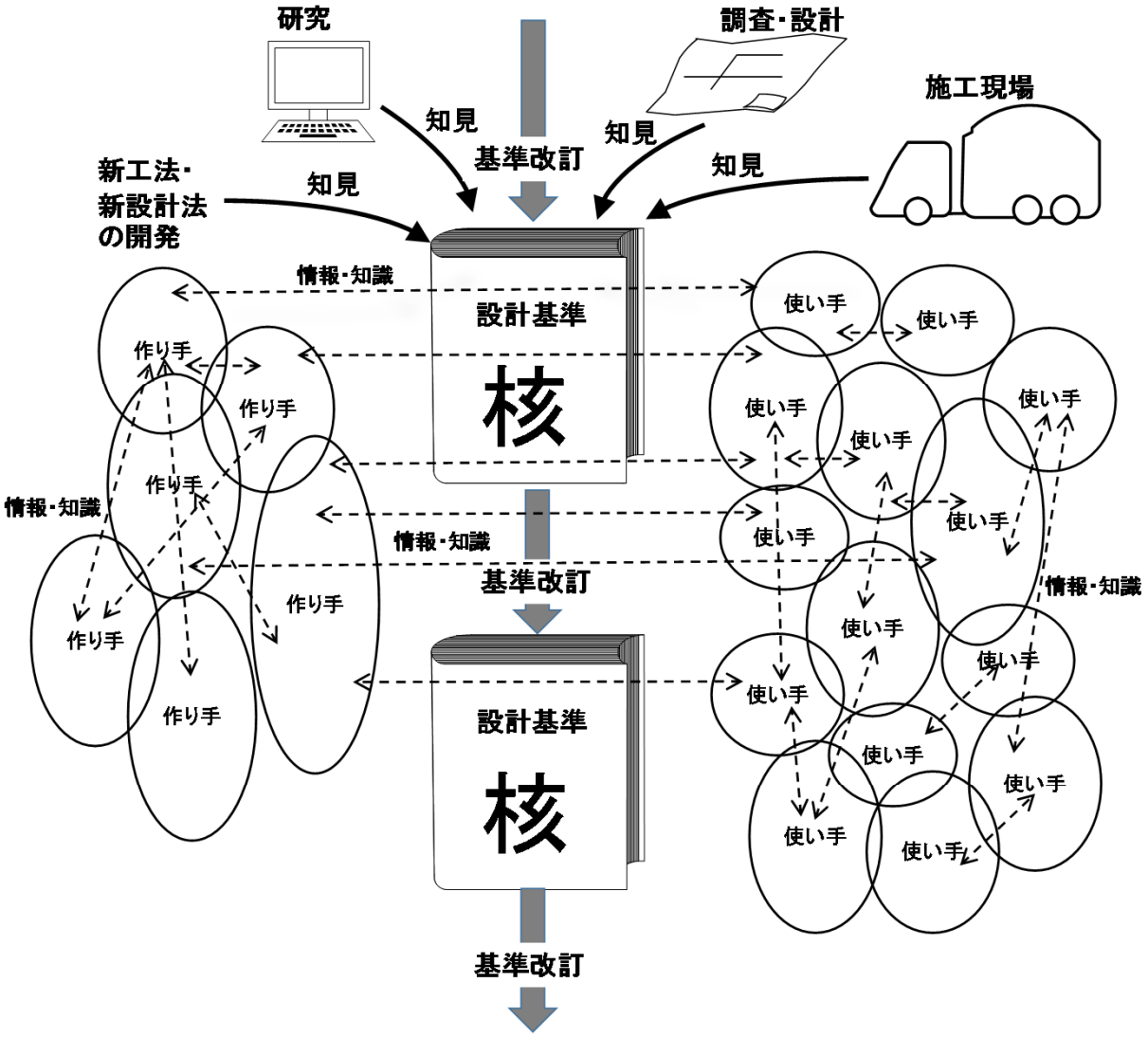
⑥ 高野向後・宮田正史・藤井敦・井山繁・加藤絵万・山路徹・坂田憲治：既存の港湾施設の改良における設計上の留意事項に関する検討～外郭施設および係留施設を対象として～，国総研資料No.944，2017

⑦ 西岡悟史・井山繁・宮田正史・米山治男・辰巳大介・木原弘一：係留施設の付帯設備等の整備における繋離船作業の安全への配慮事項に関する検討，国総研資料No.957，2017

⑧田端優憲・宮田正史・水谷崇亮・松村聡・鍵本慎太郎・高野 向後・岡元渉：既存係留施設の改良工法選定および改良設計に関する基本的な考え方，国総研資料No.996，2017

雑感

技術伝承における設計基準の役割(宮田・高橋，地盤工学会誌,65-3(710), pp.15-pp.15)



図−1　核としての設計基準（イメージ）

異なる組織や技術者を繋ぐ

異なる時代の技術や技術者を繋ぐ

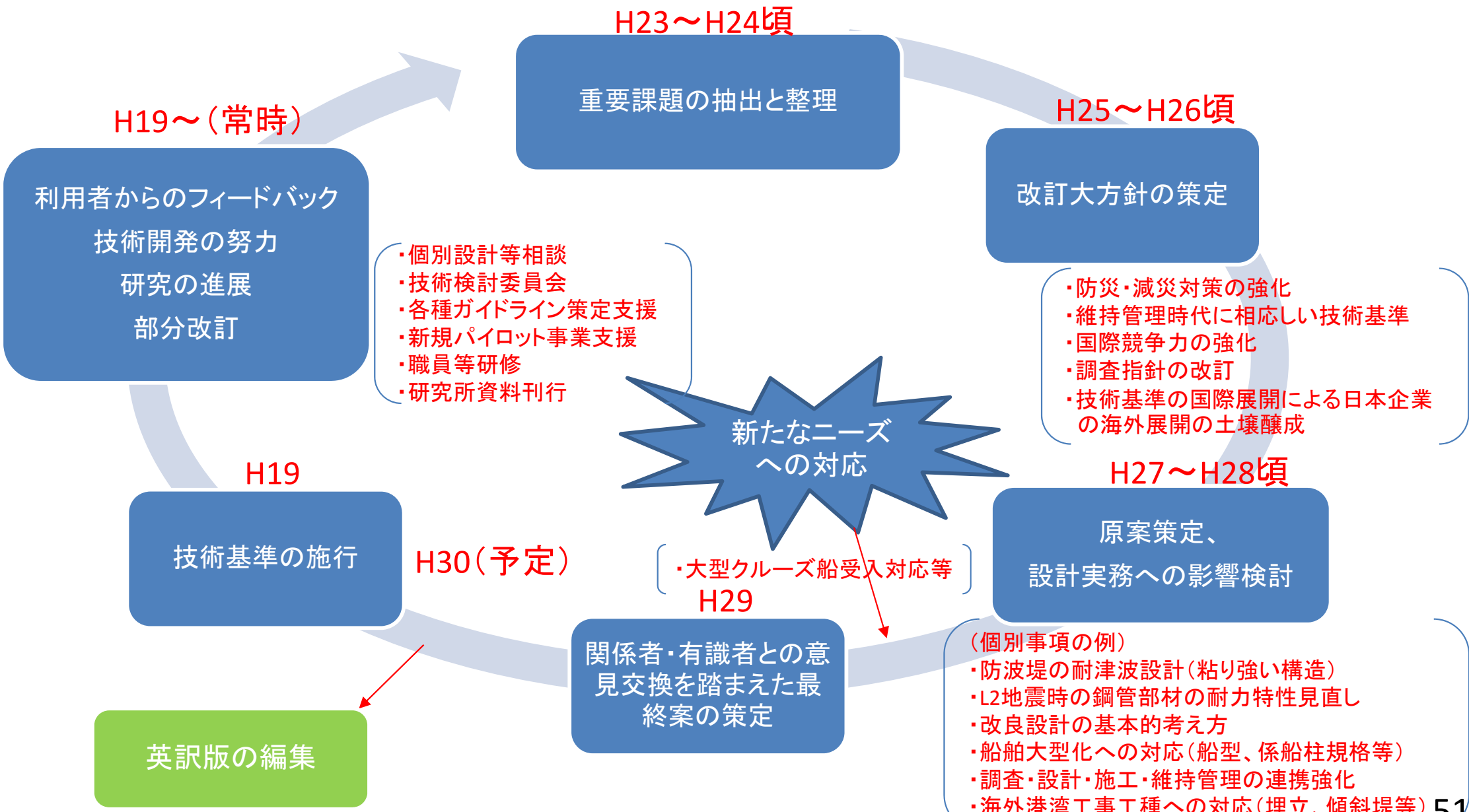
↓

〇定期的な見直し

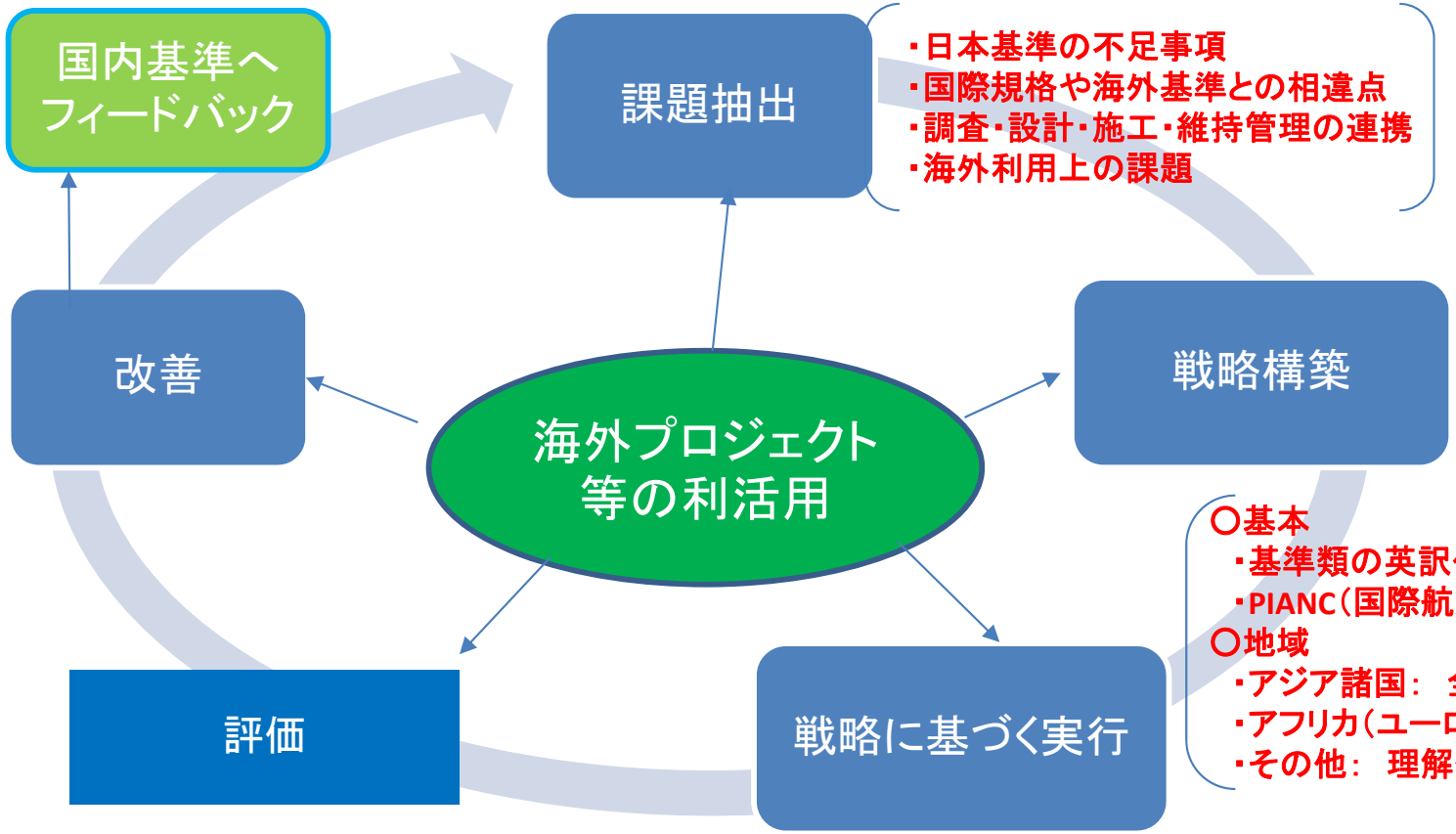
〇計画、調査、発注、施工、維持

技術基準の策定・改訂はロングスパンのPDCA

○技術基準を中心として、10年ピッチで、港湾技術の大きなPDCAサイクルを回す。
→ この過程で、組織・人材の能力維持・向上、時代を超えた技術伝承を図ることができる。



日本国内と海外の両方のサイクルを回せないか？



今後の方向性

・国内外の港湾技術のPDCAサイクルを両輪で回す基点。

⇒海外プロジェクト等を利活用し、更なる技術の向上、技術伝承、人材教育

⇒日本技術が比較優位となる条件の整理（「質の高いインフラ展開」や本邦企業の後方支援）

■意義

日本ベースの港湾関連技術（調査、計画、設計、施工、維持管理、各種製品等）の世界におけるステータスの維持・向上

⇒ 本邦港湾技術者のステータスの維持・向上

⇒ 海外展開企業等への後方支援（競争力の維持・向上）

⇒ 海外の良いものを導入する（創造的模倣）

ご清聴ありがとうございました。

参考配布資料1

港湾技術基準の改訂方針

国土交通省

⇒各項目の改訂概要については、参考配布資料を参照

区分	項目
【国際競争力の強化】	1. コンテナ船やクルーズ船の大型化への対応 2. 荷役作業の安全確保・効率化
【維持管理・老朽化対策】	3. 施設の適切な維持管理・更新と施工の安全確保 4. 材料及び構造
【設計法全般】	5. 設計法の見直し
【防災・減災対策の強化】	6. 耐震設計の見直し 7. 耐波・耐津波設計の見直し
【環境への配慮】	8. 環境保全・自然再生
【技術基準体系の合理化・国際化】	9. 港湾調査技術 10. 技術基準に関する全般事項

国土交通省

1．コンテナ船やクルーズ船の大型化への対応

【背景】輸送効率化等のため、年々、コンテナ船やクルーズ船が大型化しており、対応する船舶諸元、係留施設の附帯設備等の見直しが必要。

【目的】大型船舶の受入促進。

【改訂検討項目】
- ○船舶及び係留施設の標準諸元の更新（大型船舶の全長、型幅など諸元の更新）
- ○航路諸元の設計法の充実（航路の幅員や水深等の照査手法の追加など）
- ○泊地の記載の拡充及び津波への対応（船舶の大型化や操作性向上に伴う泊地規模の更新など）
- ○防舷材の設計
- ○係船柱の設計

大型化が進むクルーズ船（H27年に境港に寄港したクァンタム・オブ・ザ・シーズ【167,800t】）

旅客船の船舶諸元の標準値（例）

総トン数 GT（トン）	全長 L_{oa} (m)	垂線間長 L_{pp} (m)	型幅 B (m)	満載喫水 d (m)
3,000	97	88	16.5	4.3
5,000	115	104	18.6	5.0
10,000	146	131	21.8	6.4
20,000	186			7.8
30,000	214			7.8
50,000	255	224	32.3	7.8
70,000	286	250	32.3	8.1
100,000	324	281	32.3	8.1
110,000	—	—	—	—
130,000				
160,000				

標準諸元の更新

大型船への対応（追加）

国土交通省

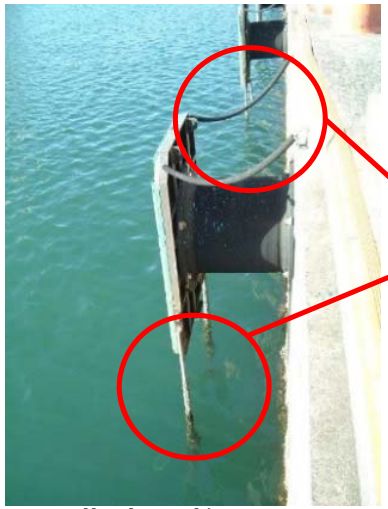
2. 荷役作業の安全確保・効率化

【背景】世界的な資源・エネルギー等の需要の急増に伴い、資源・エネルギー等の輸送形態が多様化。風によるクレーンの逸走防止、繋離船作業中の事故防止など、荷役作業の安全確保が課題。また、今後増加が見込まれる、国際海上コンテナ貨物に対応するため、コンテナターミナルの効率化が必要。

【目的】安定的かつ効率的な海上輸送網の形成。荷役作業の安全確保。国際競争力の強化。

【改訂検討項目】
- ○専門ふ頭等の記載の集約・再整理（個別に記載されているフェリー、マリーナなどを施設毎に集約・整理）
- ○荷さばき施設の記載の拡充（コンテナクレーンの逸走対策、港湾の施設への設計上の配慮事項などを考慮）
- ○臨港交通施設の記載の更新（発生交通量を推計する原単位の更新）
- ○載荷重の記載の更新（荷役機械の大型化に伴う係留施設への載荷重を更新）
- ○附帯設備の記載の更新（LED照明など附帯設備に関する新たな技術の反映）

コンテナクレーンの風による逸走事故



港湾の施設への設計上の配慮事項の事例

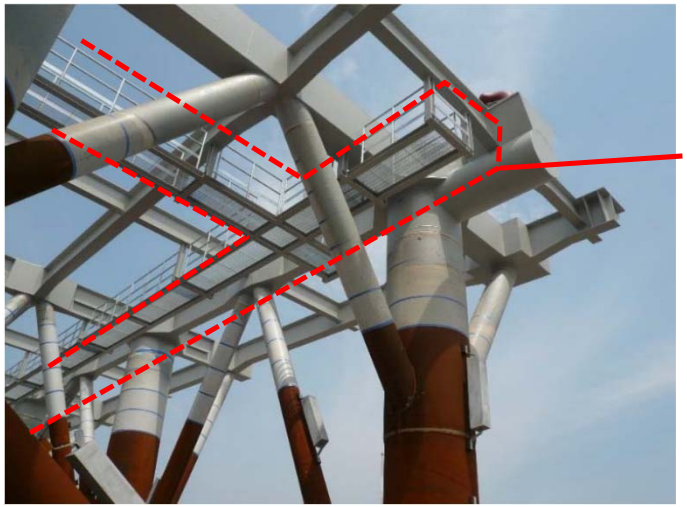
■荷役作業の危険防止対策として、防舷材への係留ロープの引っ掛かりを防止する対策を考慮

3. 施設の適切な維持管理・更新と施工の安全確保

【背景】社会インフラのストックの蓄積と老朽化の進展を踏まえ、施設の的確な維持管理が必要。また、港湾工事における事故を踏まえ、施工時のより一層の安全確保が必要。

【目的】施設の的確な維持管理、効率的な更新。施工の安全性向上、事故災害の防止。

【改訂検討項目】
- ○設計・施工・維持管理の連携強化と維持管理に関する記載の充実（設計における維持への配慮事項など設計・施工・維持の連携強化の考え方の拡充）
- ○改良設計の考え方（改良時の設計の考え方や事例を整理し、内容を拡充）
- ○施工時の安全確保



■設計時から維持管理を容易にする点検歩廊を設置

維持管理と連携した設計事例

■大型起重機船3隻相吊り作業管理システム（吊り荷重・高度・起重機船位置、トラス吊上時管理モニター等）を構築し、側径間トラスの大ブロックを架設

施工時の安全確保の事例

4. 材料及び構造

【背景】施設の長寿命化・延命化、維持管理に対応した設計法や材料の検討が必要。

【目的】ライフサイクルコストを考慮した構造。施設の適切な延命化。

【改訂検討項目】
- ○鋼材、コンクリート材、その他材料の記載の更新（高耐久性材料や高機能材料に関する内容を拡充）
- ○「構造物の部材」への鋼部材等の記載の追加（鋼部材、鋼・コンクリート合成部材等の内容を拡充）
- ○ケーソン関係の部材の記載の更新（ケーソン等の既設コンクリート構造部材の転用時等の性能評価に関する内容を拡充）

■コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を適用

■航路拡幅に伴い撤去となる既存ケーソンを新設防波堤の一部に転用

5. 設計法の見直し

【背景】現行基準では、レベル1信頼性設計法（部分係数法）や新技術等の導入により、設計体系や手法が高度・複雑化。

【目的】設計効率の向上、設計者が自由なアイディア・新技術を提案しやすい環境の創出。

【改訂検討項目】
- ○レベル1 信頼性設計法（部分係数法）の見直し
- ○土質関係の記載の拡充
- ○舗装に係る記載の拡充
- ○数値計算を取り入れた設計プロセスに係る記載の拡充

「レベル1 信頼性設計法（部分係数法）の見直しの方向性」

■重力式岸壁の滑動安定性照査に用いる現行基準のフォーマット

$$f_d\left(W_d + P_{V_d} - P_{B_d}\right) \geq \gamma_a\left(P_{H_d} + P_{w_d} + P_{d_{wd}} + P_{F_d}\right)$$

$f_d = \gamma_f f_k$　$P_{H_d} = \gamma_{P_H} P_{H_k}$　★個別の設計因子に部分係数を乗じる。

↓

部分係数を乗じる部分を「荷重項」と「抵抗項」に集約（荷重抵抗係数アプローチ）

■重力式岸壁の滑動安定性照査に用いる新しい基準でのフォーマット（案）

$$\gamma_R\{f(W+PV-PB)\} \geqq \gamma_S\{(PH + Pw + Pdw + PF)\}$$

★部分係数は、まとめて乗じる。

国土交通省

6. 耐震設計の見直し

【背景】近い将来に南海トラフ・首都直下等の巨大地震の発生が予想されているなか、東日本大震災等を教訓とした新たな知見から、大規模地震・津波に対する防災・減災対策が必要。

【目的】低コストで効果的な防災・減災対策の推進。

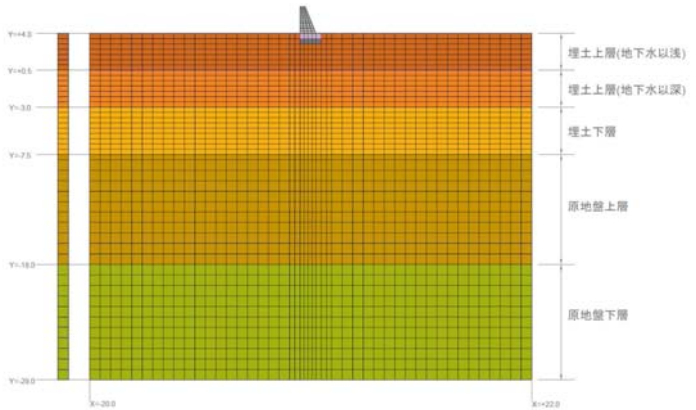
【改訂検討項目】 ○耐震設計の見直し

・照査用震度の見直し（レベル1地震動に対する性能照査に必要となる地震動の周波数特性等を考慮した照査用震度について、被災事例を踏まえて妥当性を検証）

・胸壁やアンローダーなど、耐震設計法の記載が無い施設・構造形式について、内容を拡充

被災事例（はらみ出し）

■現行の照査用震度算定式について、水深の浅い護岸や大水深岸壁への適用性を、実構造物の被災事例を踏まえて検証



胸壁の動的FEM解析モデルのイメージ

■地盤や構造物などを有限要素ごとに分割し、電算機による解析にて、地震動による変形特性や液状化特性などの挙動を求める

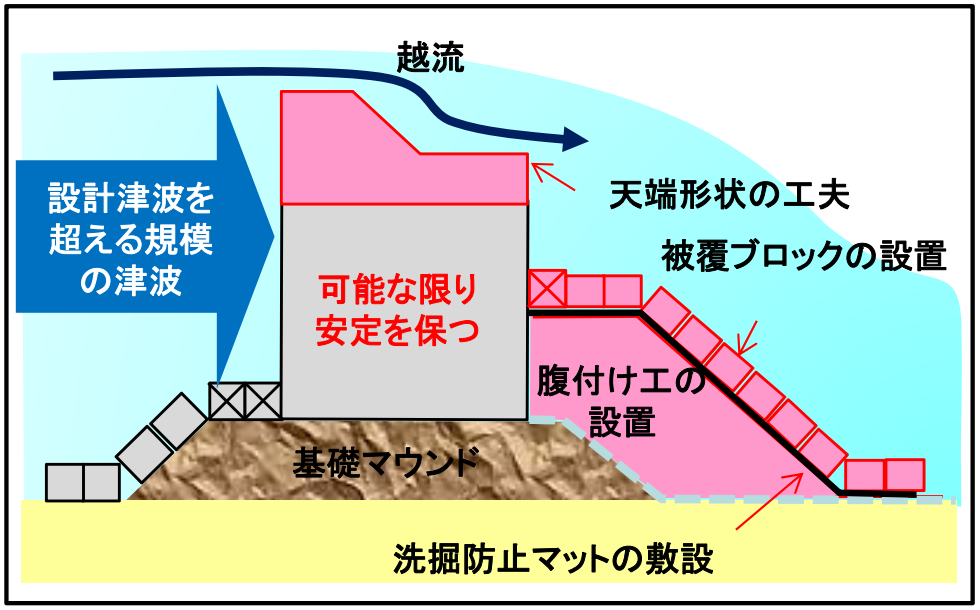
国土交通省

7. 耐波・耐津波設計の見直し

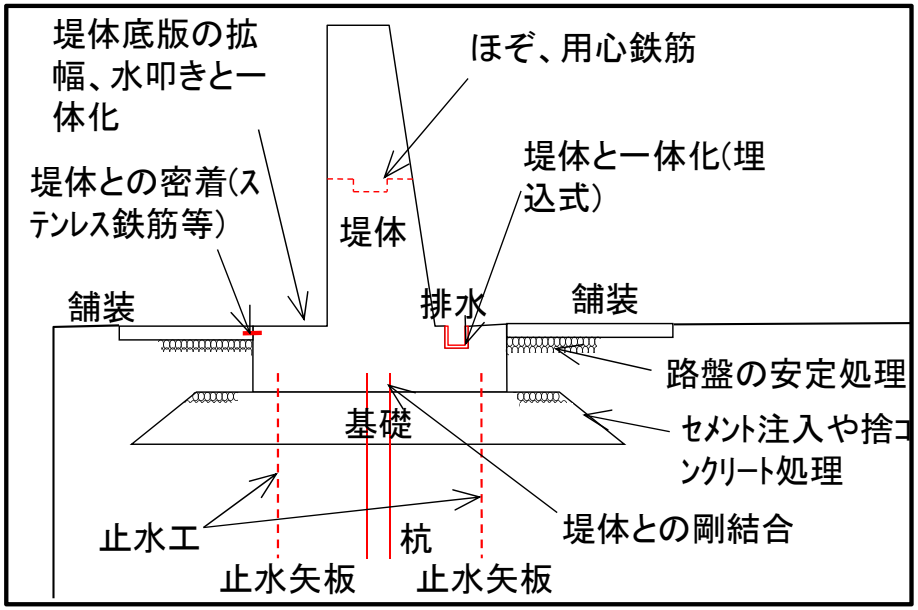
【背景】近い将来に南海トラフ・首都直下等の巨大地震の発生が予想されているなか、東日本大震災等を教訓とした新たな知見から、大規模地震・津波に対する防災・減災対策が必要。

【目的】低コストで効果的な防災・減災対策の推進。

【改訂検討項目】
- ○耐津波設計・粘り強い構造の高度化（防波堤直背後の津波の越流による基礎の洗掘を防ぐ、腹付工や被覆ブロック等の効果や性能照査の考え方を再整理）
- ○高潮・高波に対する記載の拡充（構造物に作用する超過外力の考え方を導入し、粘り強い構造を検討）
- ○地球温暖化に関する記載の更新
- ○気象場・波浪場に関する記載の充実（風波、うねりのそれぞれに対する偶発波浪の内容の拡充など）
- ○外郭施設等の記載の更新



粘り強い構造の設定事例



港湾における防潮堤（胸壁）の粘り強い構造の工夫【耐津波の例】

国土交通省

8. 環境保全・自然再生

【背景】港湾の持続可能な発展のため、自然環境を修復し、港湾の機能について環境への配慮を取り込むことが必要。

【目的】豊かな海域環境・憩いの場の創出、自然環境の保全。

【改訂検討項目】
- ○リサイクル材料の環境利用の記載の追加
- ○生物共生型港湾構造物の記載の追加
- ○自然再生技術の記載の追加
- ○「環境等への配慮」の記載の拡充

生物共生型港湾構造物の設置事例

■老朽化した護岸に耐震性の構造と生物生息効果を併せ持つ「テラス型護岸」と「磯場」を設置

自然再生技術の事例

■浚渫土を有効活用して人工の干潟を造り、海洋生物の増加や鳥類の飛来など、自然と共存した干潟を造成

9. 港湾調査技術

【背景】耐震設計法等の高度化に応じた調査手法、高品位サンプリング等の調査技術の開発など新たな調査技術の反映が必要。

【目的】設計、施工、維持管理との一体不可分性から調査技術を基準に反映させ、調査項目の適切な選択、効率的な調査計画を立案

【改訂検討項目】　○港湾調査技術のあり方

・調査編として、自然条件及び環境条件に関わる調査・試験業務を対象に、調査・試験項目毎にポイント・留意点をまとめる

臨時の地震計の例

■設計対象施設の設置位置における地震のサイト増幅特性を把握することにより、最適な構造断面を検討

10. 技術基準に関する全般事項

【背景】参考値の設定根拠の明確化、技術情報の時点更新等が必要。

【目的】設計効率の向上、設計者が自由なアイディア・新技術を提案しやすい環境の創出。また、日本企業の海外進出を促進。

【改訂検討項目】
- ○総論等の記載内容の見直し
- ○国際標準化
- ○全体構成・体裁

ベトナムにおける「港湾の施設の技術上の基準」に関するセミナー開催状況

参考配布資料2
（部分係数法の見直し関連資料）

■部分係数法（レベル1信頼性設計法）の見直し

■現行基準における部分係数法の課題

○現行基準における部分係数法は、全ての材料や作用毎の設計変数に部分係数を乗じており、作用や耐力の力学的イメージを直感的に把握しづらい。

■改訂方針

○力学的イメージを把握しやすいよう、荷重と抵抗の特性値を算出後に係数を乗じる「荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法」の導入を検討。

部分係数表の改訂案（ケーソン式岸壁の永続状態（常時）に対する照査）

目標システム信頼性指標β_T			3.1			
目標システム破壊確率 P_{fT}			1.0×10^{-3}			
γの計算に用いる目標信頼性指標β_T'			3.31			
			γ	α	μ/X_k	V
滑動	γ_f	摩擦係数	0.55	0.946	1.06	0.15
	γ_{PH} ， γ_{PV}	土圧合力	1.15	-0.288	1.00	0.12
	γ_{RWL}	残留水位	1.00	-0.024	1.00	0.05
	$\gamma_{W_{RC}}$	RC の単位体積重量	0.95	0.026	0.98	0.02
	$\gamma_{W_{NC}}$	NC の単位体積重量	1.00	0.009	1.02	0.02
	$\gamma_{W_{SAND}}$	中詰め砂の単位体積重量	1.00	0.143	1.02	0.04
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
転倒	γ_{PH} ， γ_{PU}	土圧合力	1.35	-0.832	1.00	0.12
	γ_{RWL}	残留水位	1.05	-0.092	1.00	0.05
	$\gamma_{W_{RC}}$	RC の単位体積重量	0.95	0.097	0.98	0.02
	$\gamma_{W_{NC}}$	NC の単位体積重量	1.00	0.035	1.02	0.02
	$\gamma_{W_{SAND}}$	中詰め砂の単位体積重量	0.95	0.538	1.02	0.04
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
基礎地盤の支持力	γ_{PH}	土圧合力	1.15	-0.328	1.00	0.12
	$\gamma_{w'}$	基礎地盤の単位体積重量	1.00	0.032	1.00	0.03
	γ_q	載荷重	1.00	0.031	1.00	0.04
	$\gamma_{\tan\phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.70	0.903	1.00	0.10
	$\gamma_{c'}$	地盤強度：粘着力	0.90	0.252	1.00	0.10
	γ_{RWL}	残留水位	1.00	-0.023	1.00	0.05
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
円弧すべり	$\gamma_{c'}$	地盤強度：粘着力	0.90	0.407	1.00	0.04
	$\gamma_{\tan\phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.90	0.330	1.00	0.04
	γ_{w_i} マウンドが海底面より下に位置する場合	1　海底面より上にある地盤、消波工等	1.10	-0.176	1.00	0.03
		2　マウンド、海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00	0.03
		3　海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00	0.03
	γ_{w_i} マウンドが海底面より上に位置する場合	1　海底面より上にある地盤、マウンド、消波工等	1.10	-0.176	1.00	0.03
		2　海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00	0.03
		3　海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00	0.03
	γ_q	載荷重	1.80	-0.543	1.00	0.40
	γ_{RWL}	残留水位	1.10	-0.014	1.00	0.05

新しい部分係数（次期基準）

照査モード	荷重項に乗じる係数（荷重係数 γ_S）	抵抗項に乗じる係数（抵抗係数 γ_R）
壁体の滑動	1.06	0.87
壁体の転倒	1.23	0.99
基礎地盤の支持力破壊	○.○（検討中）	○.○（検討中）
円弧滑り	○.○（検討中）	○.○（検討中）

○荷重抵抗係数アプローチによる部分係数

⇒部分係数の数は、目標とする破壊確率のコントールと設計結果への影響程度等を勘案した上で、できる限り少なくする

次期基準改訂に向けた部分係数の見直しの手順と基本的考え方

ステップ1．安全率水準の俯瞰･見直し

○ 安全性水準の基準間比較（H11基準，H19基準）

○ 目標安全性水準の見直し（必要に応じて）

★運用上、不具合はないか？

ステップ2．目標破壊確率の設定

○ ﾓﾝﾃｶﾙﾛｼﾐｭﾚｰｼｮﾝを用いた信頼性解析による破壊確率の計算

○ 目標破壊確率の設定（破壊モード別）

ステップ3．荷重抵抗係数アプローチによる部分係数の設定

○ 部分係数フォーマットの比較検討

⇒ 部分係数の設定数を、多数～2つ、まで試す

○ 目標破壊確率との合致度，設計結果への影響評価(利便性を含む)

⇒ できる限り部分係数の数は減らすフォーマットを採用

★以上の部分係数の設定プロセスについては、国総研資料にて詳細に提示

部分係数の設定フロー～重力式岸壁を例に～ （1）

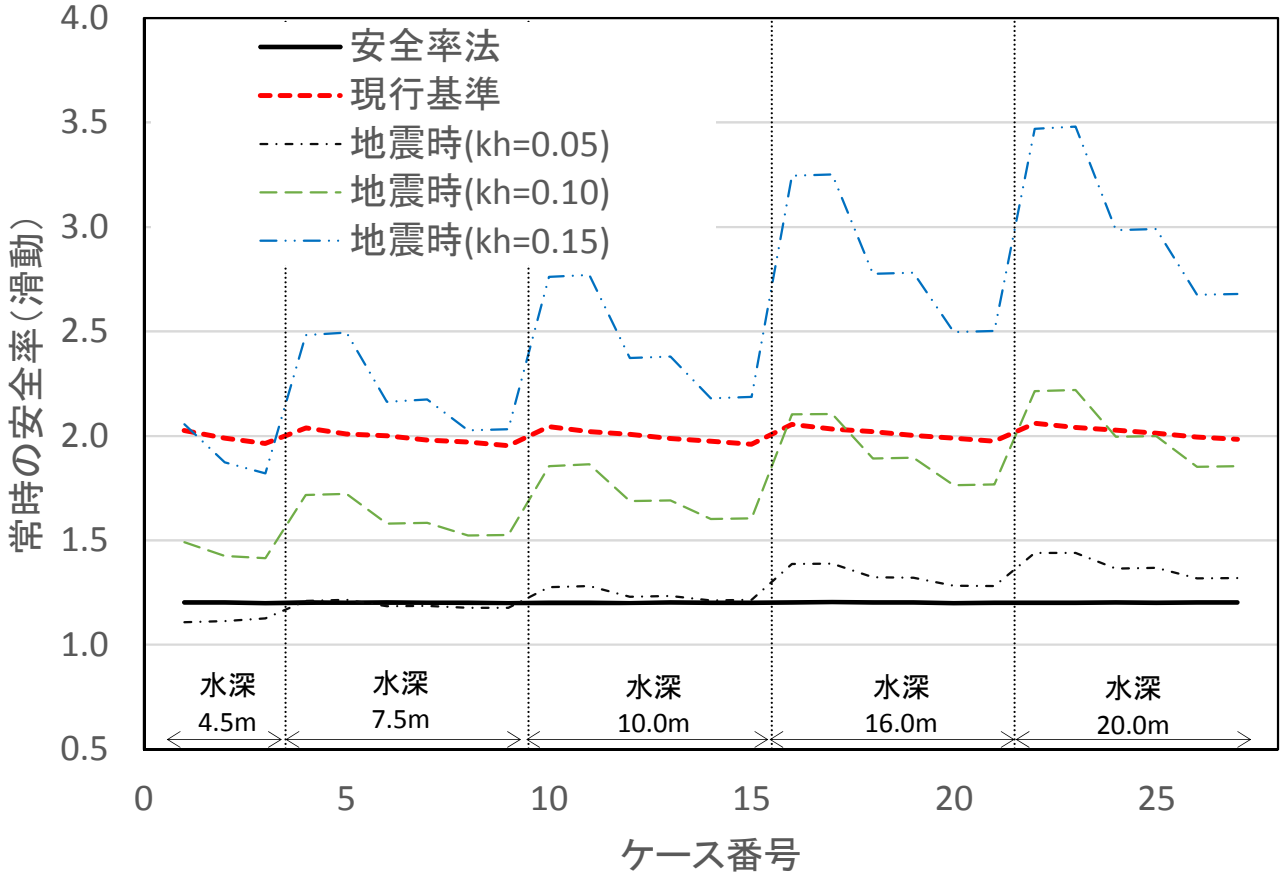
ステップ1．安全率水準の俯瞰･見直し

○ 安全性水準の基準間比較（H11基準，H19基準）

○ 目標安全性水準の見直し（必要に応じて）

★運用上、不具合はないか？

❑基準間比較（安全率の比較）の事例（ケーソン式岸壁、永続状態（滑動））



要　点

○ 現行基準の滑動照査で決定した断面は安全率は2.0相当となる。

○ 水平設計震度で換算すると、kh=0.10相当からkh=0.15に相当となる。

部分係数の設定フロー～重力式岸壁を例に～（2）

ステップ1．安全率水準の俯瞰・見直し
- ○ 安全性水準の基準間比較（H11基準，H19基準）
- ○ 目標安全性水準の見直し（必要に応じて）

★運用上、不具合はないか？

（ケーソン式岸壁、永続状態（滑動・転倒））

対応

目標安全性水準は安全率法の常時相当とする

理由①：現行基準で既存構造物を照査すると永続状態を満足しない場合があり、**基準を満たすための対策を求められる**懸念がある。

理由②：永続状態の安全性を、安全率法で設定されていた水準より**高くする必要性がない**。

理由③：**港湾基準を海外展開**する際、耐震設計の必要ない国々において、現行基準では永続状態に過大となる懸念がある。

部分係数の設定フロー（3）

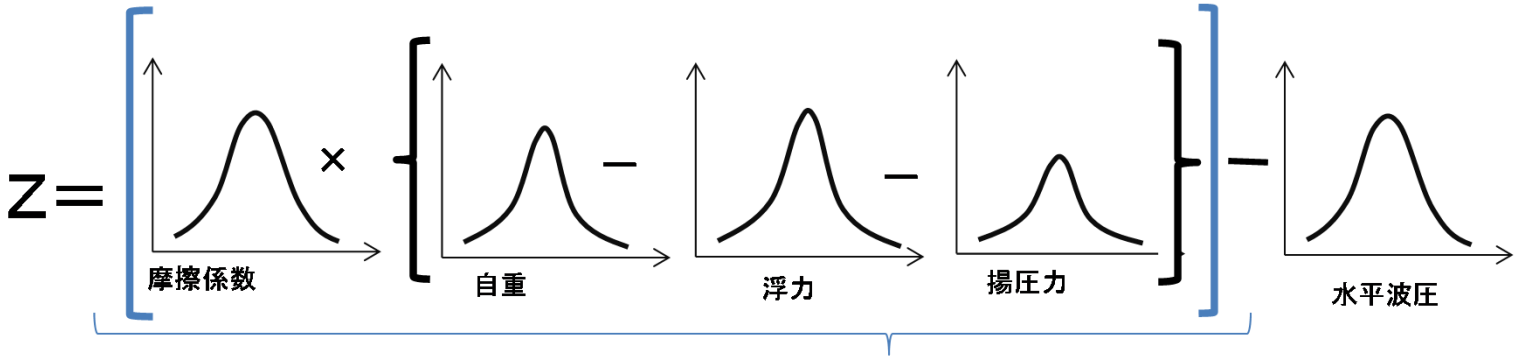
ステップ2．目標破壊確率の設定

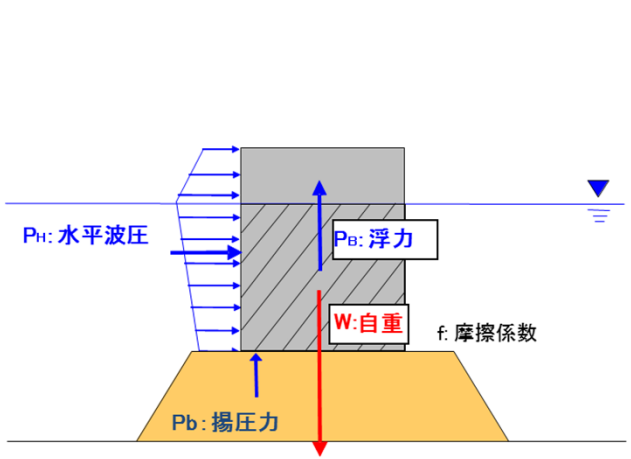
○　モンテカルロシミュレーションを用いた信頼性解析による破壊確率の計算

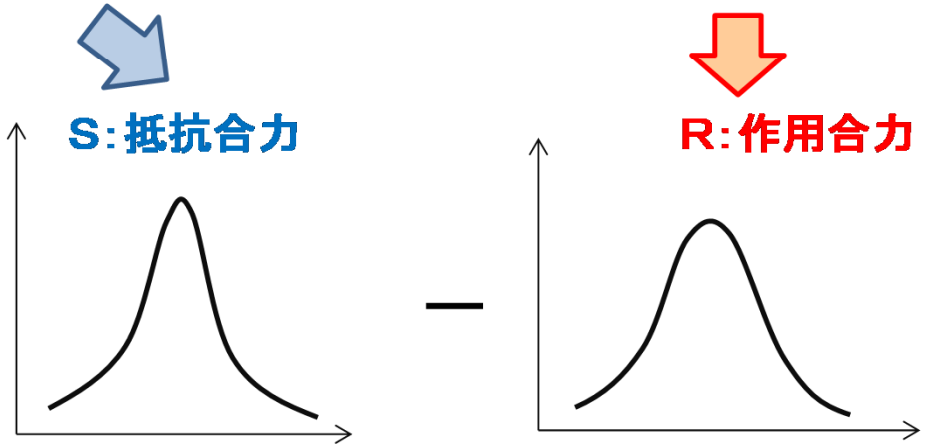
○　目標破壊確率の設定（破壊モード別）

■モンテカルロシミュレーションを用いた信頼性解析による破壊確率の計算
（防波堤の滑動照査の場合）

★各設計因子の統計的性質を全て反映した上で荷重側と抵抗側に大きく分けて評価





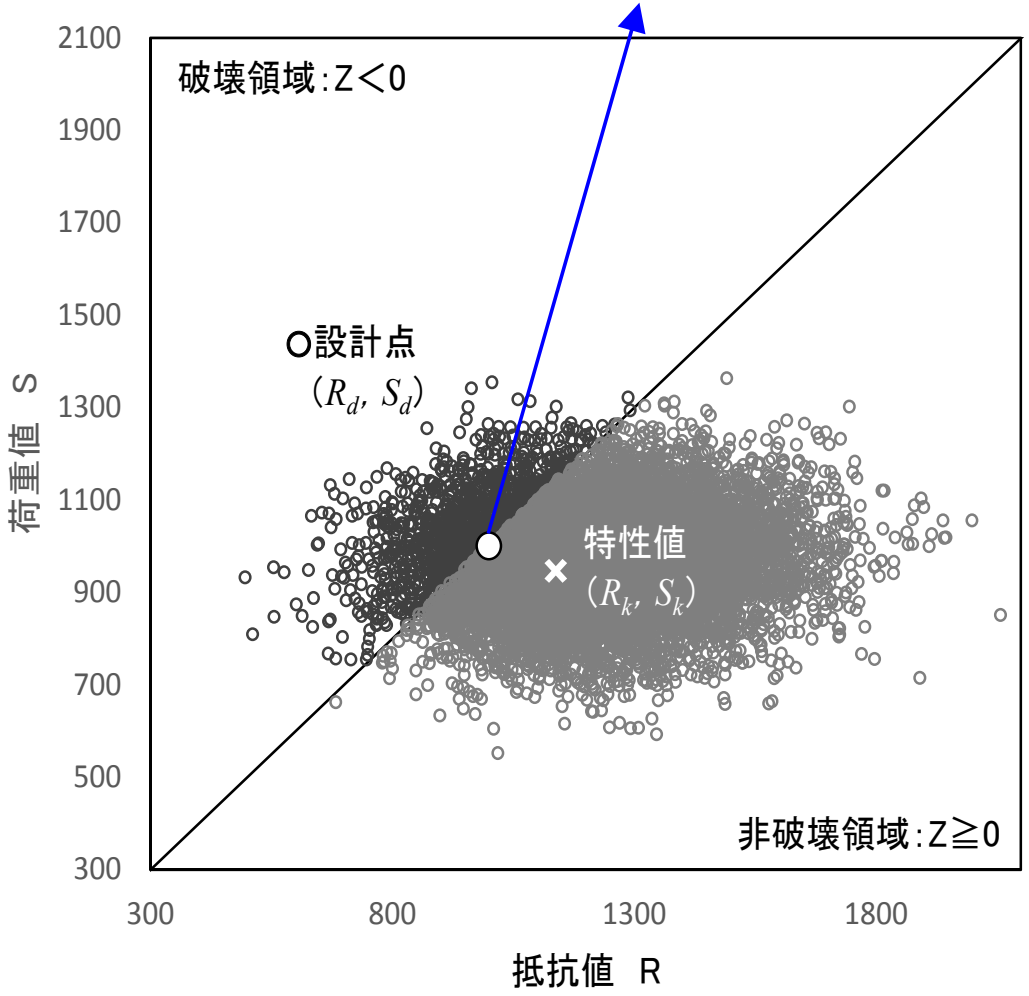


★破壊確率：　性能関数Zが、ゼロを下回る（Z＜0）確率

部分係数の設定フロー（4）

■破壊確率の計算　および　部分係数の評価（イメージ）

▨ 設計点（破壊領域の中で、破壊が最も発生しやすい点）



▨ 破壊確率
＝破壊回数／全試行回数

▨ 部分係数

$$\gamma_S = S_d / S_k$$

$$\gamma_R = R_d / R_k$$

S_k　：荷重の特性値

R_k　：抵抗の特性値

S_d　：荷重の設計点における値

R_d　：抵抗の設計点における値

γ_S　：荷重S_k に対する部分係数

γ_R　：抵抗R_k に対する部分係数

部分係数の設定フロー（5）

【例：滑動に関する照査式】

f ：摩擦係数　P_V ：鉛直土圧
W ：壁体重量　P_B ：浮力

P_H ：水平土圧
P_w ：残留水圧

$$\gamma_R \times f(W + P_V - P_B) \geqq \gamma_S \times (P_H + P_w)$$

（抵抗項）　（荷重項）

部分係数　部分係数

荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法（部分係数法）

材料係数アプローチによるレベル1信頼性設計法（部分係数法）

$$f(W + P_V - P_B) \geqq (P_H + P_w)$$

$f = \gamma_f \times f_k$
$W = \gamma_c \times (\gamma_{ck} \times B \times H)$
$P_H = \gamma_{Ka.\cos\delta} \times Ka \times \tan\delta \times \cdots$
$\cdots$

個別の設計パラメータに
部分係数をかける方法
【現行基準】

部分係数の設定フロー～重力式岸壁を例に～（6）

▩ 部分係数のフォーマット比較の例（ケーソン式岸壁の永続状態（滑動・転倒））

荷重抵抗係数法A

☞ 特性値で計算した荷重項と抵抗項に部分係数を考慮

滑動）$\gamma_R \cdot R \geqq \gamma_S \cdot S$

転倒）$\gamma_R \cdot R \geqq \gamma_S \cdot S$

荷重抵抗係数法B

☞ 特性値で計算した代表的な合力に部分係数を考慮

滑動）$\gamma_\mu \cdot \mu \times (\gamma_W \cdot W - \gamma_U \cdot U + \gamma_{Pv} \cdot P_v) \geqq (\gamma_{PH} \cdot P_H + \gamma_{PwH} \cdot P_{wH})$

転倒）$\gamma_{Wx1} \cdot W \times x_1 - \gamma_{Ux2} \cdot U \times x_2 + \gamma_{Pvx3} \cdot P_v \times x_3 \geqq (\gamma_{PH\,y1} \cdot P_H \times y_1 + \gamma_{PwH\,y2} \cdot P_{wH} \times y_2)$

材料係数法

☞ 特性値に部分係数を考慮

滑動）$\mu[\mu] \times (W[\gamma_c] - U[RWL] + P_v[\gamma_{sat1},\ \gamma_{t1},\ \gamma_{t2},\ RWL,\ K_a \cdot \cos\delta]) \geqq (P_H[\gamma_{sat1},\ \gamma_{t1},\ \gamma_{t2},\ \mathrm{RWL},\ K_a \cdot \cos\delta] + P_{wH}[RWL])$

転倒）$W \times x_1[\gamma_c] - U \times x_2[RWL] + P_v \times x_3[\gamma_{sat1},\ \gamma_{t1},\ \gamma_{t2},\ \mathrm{RWL},\ K_a \cdot \cos\delta] \geqq (P_H \times y_1[\gamma_{sat1},\ \gamma_{t1},\ \gamma_{t2},\ \mathrm{RWL},\ K_a \cdot \cos\delta] + P_{wH} \times y_2[RWL])$

※感度の高い設計因子にモデル化誤差や計算式の誤差が集約されてしまう

※現行基準はこれに近い方法

部分係数の設定フロー～重力式岸壁を例に～（7）

ステップ3．荷重抵抗係数アプローチによる部分係数の設定

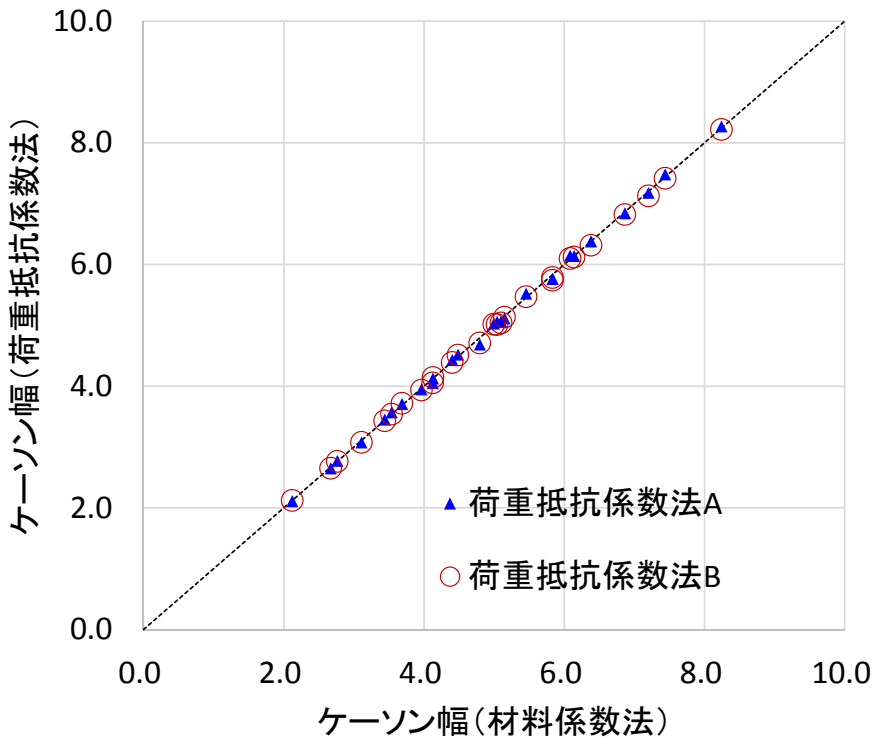
○　部分係数フォーマットの比較検討

○　目標破壊確率との合致度，設計結果への影響（利便性を含む）の評価

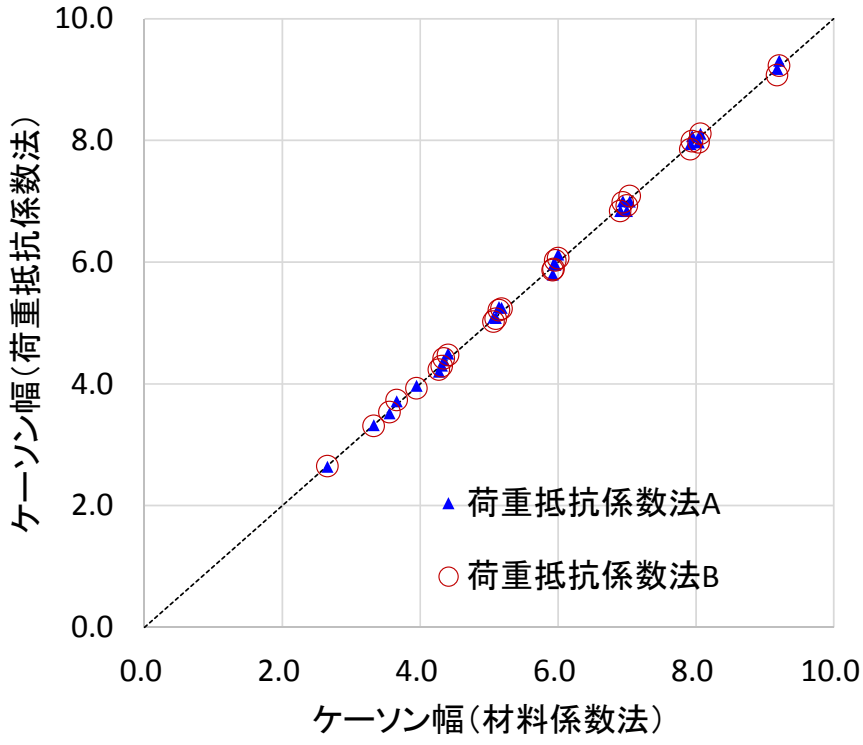
⇒　できる限り部分係数の数は減らす部分係数フォーマットを採用

❑各アプローチによる試設計の結果

■ 滑動で決まる堤体幅の比較



■ 転倒で決まる堤体幅の比較



要　点

○どの部分係数法を採用しても、必要なケーソン断面幅の差は（両者の差は**最大でも15cm**）

部分係数の設定フロー～重力式岸壁を例に～　（８）

❑部分係数の設定事例（ケーソン式岸壁の永続状態（滑動・転倒））

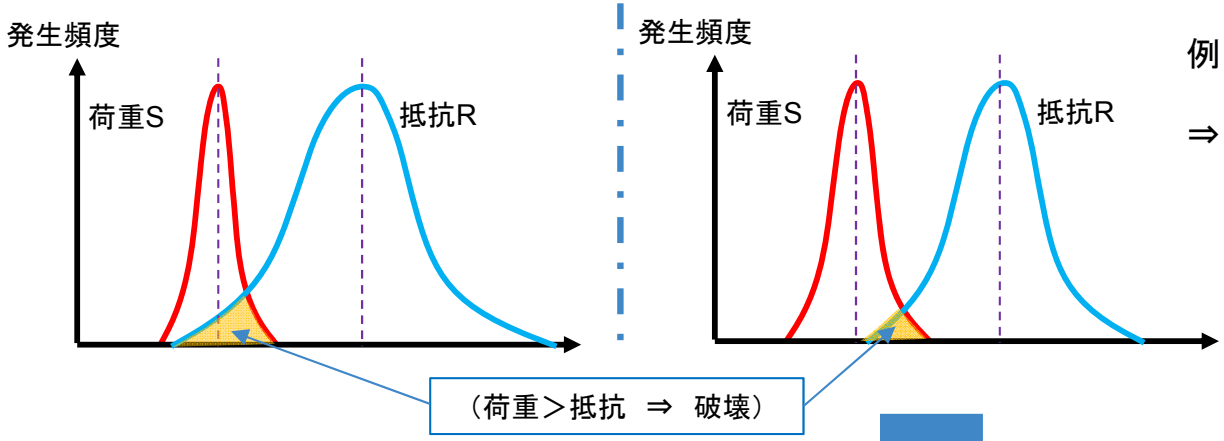
分類	項　目	記号	部分係数	滑動	転倒
荷重抵抗係数アプローチA	抵抗	R	γ_R	0.87	0.99
	荷重	S	γ_S	1.06	1.23
荷重抵抗係数アプローチB	摩擦係数	μ	γ_μ	0.86	-
	壁体重量	W	γ_W	1.00	0.96
	浮力	U	γ_U	1.00	1.00
	鉛直土圧	P_v	γ_{PV}	1.06	1.27
	水平土圧	P_H	γ_{PH}	1.06	1.26
	残留水圧	P_{wH}	γ_{PwH}	1.00	1.02
材料係数アプローチ	壁体平均単位体積重量	γ_c	$\gamma_{\gamma c}$	1.00	0.95
	摩擦係数	μ	γ_μ	0.86	-
	裏込石飽和単位体積重量	γ_{sat1}	$\gamma_{\gamma sat}$	1.03	1.03
	裏込材湿潤単位体積重量	γ_{t2}	γ_{t2}	1.02	1.04
	裏込石湿潤単位体積重量	γ_{t1}	γ_{t1}	1.02	1.03
	残留水位	R.W.L.	γ_{RWL}	1.00	1.02
	土圧係数	Ka.cosδ	γ_{Ka}	1.04	1.22

※本表に示す部分係数は，各アプローチで計算された部分係数を，キャリブレーションの対象とした各27断面から得られた部分係数を平均して得られたもの

【参考】信頼性設計の枠組みによる合理的な設計体系

同一の安全率で設計された，ある構造物の信頼性解析結果

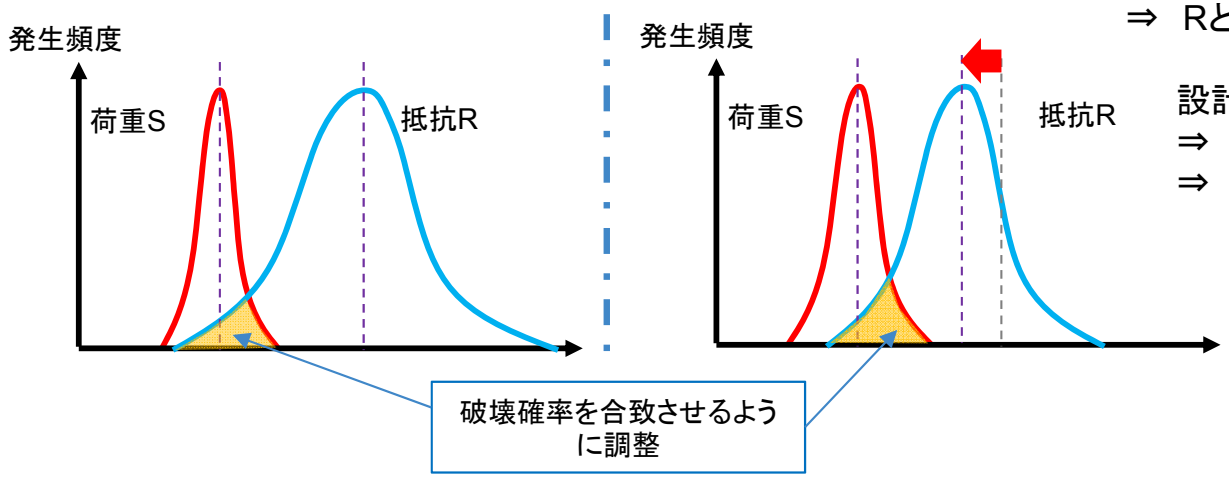
設計条件A ←（例えば岸壁の設計水深）→ 設計条件B



例：安全率が同一（≒荷重と抵抗の平均値の比は同じ）でも、荷重と抵抗の分布形状が異なる
⇒　破壊確率は異なる

両者の破壊確率を合致させるように調整

設計条件A ←（例えば岸壁の設計水深）→ 設計条件B



例えば抵抗Rの平均値を低減して設計
⇒　RとSの比（≒安全率）も低減することが出来る

設計条件によって破壊確率が変化
⇒　ある目標水準に破壊確率をコントロール可能。
⇒　安全率相当値を合理的に操作できる。

部分係数表の改訂案（ケーソン式岸壁の永続状態（常時）に対する照査）

目標システム信頼性指標β_T			3.1			
目標システム破壊確率 P_{fT}			1.0×10^{-3}			
γの計算に用いる目標信頼性指標β_T'			3.31			
			γ	α	μ/X_k	V
滑動	γ_f	摩擦係数	0.55	0.946	1.06	0.15
	γ_{PH} ， γ_{PV}	土圧合力	1.15	-0.288	1.00	0.12
	γ_{RWL}	残留水位	1.00	-0.024	1.00	0.05
	$\gamma_{W_{RC}}$	RC の単位体積重量	0.95	0.026	0.98	0.02
	$\gamma_{W_{NC}}$	NC の単位体積重量	1.00	0.009	1.02	0.02
	$\gamma_{W_{SAND}}$	中詰め砂の単位体積重量	1.00	0.143	1.02	0.04
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
転倒	γ_{PH} ， γ_{PU}	土圧合力	1.35	-0.832	1.00	0.12
	γ_{RWL}	残留水位	1.05	-0.092	1.00	0.05
	$\gamma_{W_{RC}}$	RC の単位体積重量	0.95	0.097	0.98	0.02
	$\gamma_{W_{NC}}$	NC の単位体積重量	1.00	0.035	1.02	0.02
	$\gamma_{W_{SAND}}$	中詰め砂の単位体積重量	0.95	0.538	1.02	0.04
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
基礎地盤の支持力	γ_{PH}	土圧合力	1.15	-0.328	1.00	0.12
	$\gamma_{w'}$	基礎地盤の単位体積重量	1.00	0.032	1.00	0.03
	γ_q	載荷重	1.00	0.031	1.00	0.04
	$\gamma_{\tan\phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.70	0.903	1.00	0.10
	$\gamma_{c'}$	地盤強度：粘着力	0.90	0.252	1.00	0.10
	γ_{RWL}	残留水位	1.00	-0.023	1.00	0.05
	γ_a	構造解析係数	1.00	—	—	—
円弧すべり	$\gamma_{c'}$	地盤強度：粘着力	0.90	0.407	1.00	0.04
	$\gamma_{\tan\phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.90	0.330	1.00	0.04
	γ_{w_i} マウンドが海底面より下に位置する場合	1 海底面より上にある地盤、消波工等	1.10	-0.176	1.00	0.03
		2 マウンド、海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00	0.03
		3 海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00	0.03
	γ_{w_i} マウンドが海底面より上に位置する場合	1 海底面より上にある地盤、マウンド、消波工等	1.10	-0.176	1.00	0.03
		2 海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00	0.03
		3 海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00	0.03
	γ_q	載荷重	1.80	-0.543	1.00	0.40
	γ_{RWL}	残留水位	1.10	-0.014	1.00	0.05

新しい部分係数（次期基準）

照査モード	荷重項に乗じる係数（荷重係数 γ_S）	抵抗項に乗じる係数（抵抗係数 γ_R）
壁体の滑動	1.06	0.87
壁体の転倒	1.23	0.99
基礎地盤の支持力破壊	○.○（検討中）	○.○（検討中）
円弧滑り	○.○（検討中）	○.○（検討中）

○荷重抵抗係数アプローチによる部分係数

⇒部分係数の数は、目標とする破壊確率のコントールと設計結果への影響程度等を勘案した上で、できる限り少なくする

↓

簡単ではあるが

↓

○全ての設計因子のばらつきを考慮
○目標破壊確率も考慮
○設計の簡便さ、ミス防止にも寄与
○拡張性が高い
- **任意の確率分布に対応可能**
- **部分係数の設定が容易**

参考配布資料3
（防波堤腹付工の設計関連）

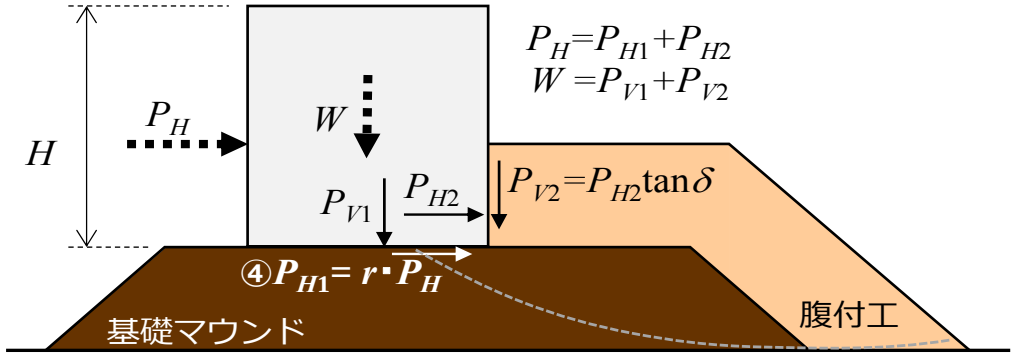
参考．提案法の支持力照査式

❑提案法

$$R \geqq S$$

$$R = \sum \left\{ \frac{cs + (w' + q)\tan\phi}{\cos\theta\left(1 + \tan\theta\tan\phi/(R/S)\right)} \right\}$$

$$S = \sum \left\{ (w' + q)\sin\theta \right\} + \frac{a_{C1}P_{H1} + a_{C2}P_{H2}}{R_R}$$



ここに、

S：転倒照査における荷重の合計値
R：転倒照査における抵抗の合計値
c：粘性土地盤においては非排水せん断強さ，砂質土地盤の場合においては0，基礎マウンド又は腹付工（石材）の場合においては排水条件における見かけの粘着力
ϕ：粘性土地盤の場合においては0，砂質土地盤・基礎マウンド・腹付工（石材）の場合においては排水条件におけるせん断抵抗角
s：分割細片の幅
w'：分割細片の有効重量
（水面上で気中重量、水面下で水中重量）
q：分割細片に作用する鉛直荷重（qv，PV を含む）
θ：分割細片底面が水平面となす角度
P_{H1}：基礎マウンドに作用する水平荷重
P_{H2}：腹付工に作用する水平荷重
（作用高さは補強体の高さaの1/3の高さ）
a_{C1}：PH1の作用位置の円弧すべりのすべり円中心から腕の長さ
a_{C2}：PH2の作用位置の円弧すべりのすべり円中心から腕の長さ
R_R：円弧すべりのすべり円の半径

○荷重分担比

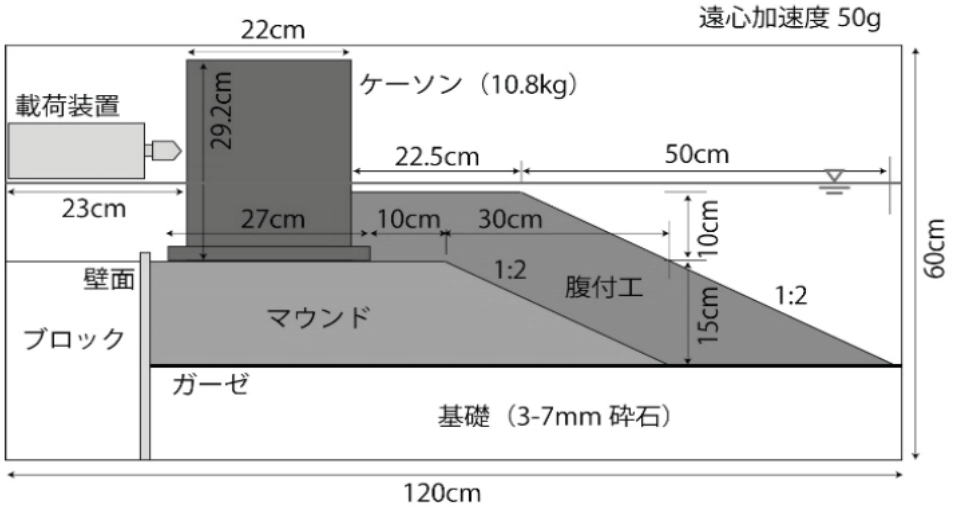
$$P_{H1} = r \cdot P_H$$
$$P_{H2} = (1 - r) \cdot P_H$$

ここに、P_H　：堤体に作用する水平波力
P_{H1}　：堤体から基礎マウンドへの作用
P_{H2}　：堤体から腹付工への作用
R　：荷重分担比（原則r=0.5）

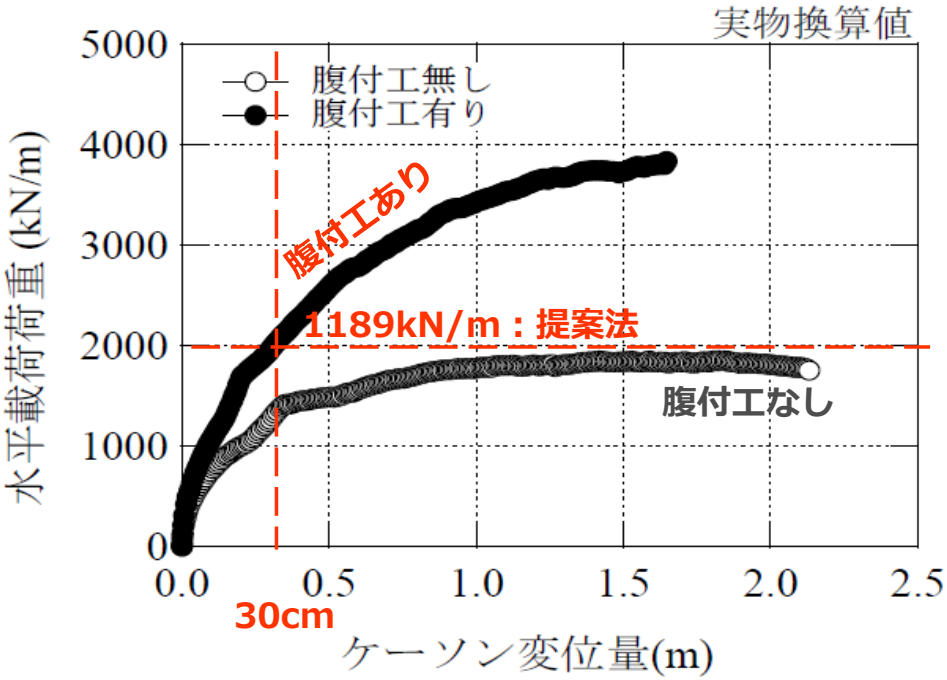
新しい方法の妥当性

❑既往の遠心模型実験結果による検証

【遠心模型実験】



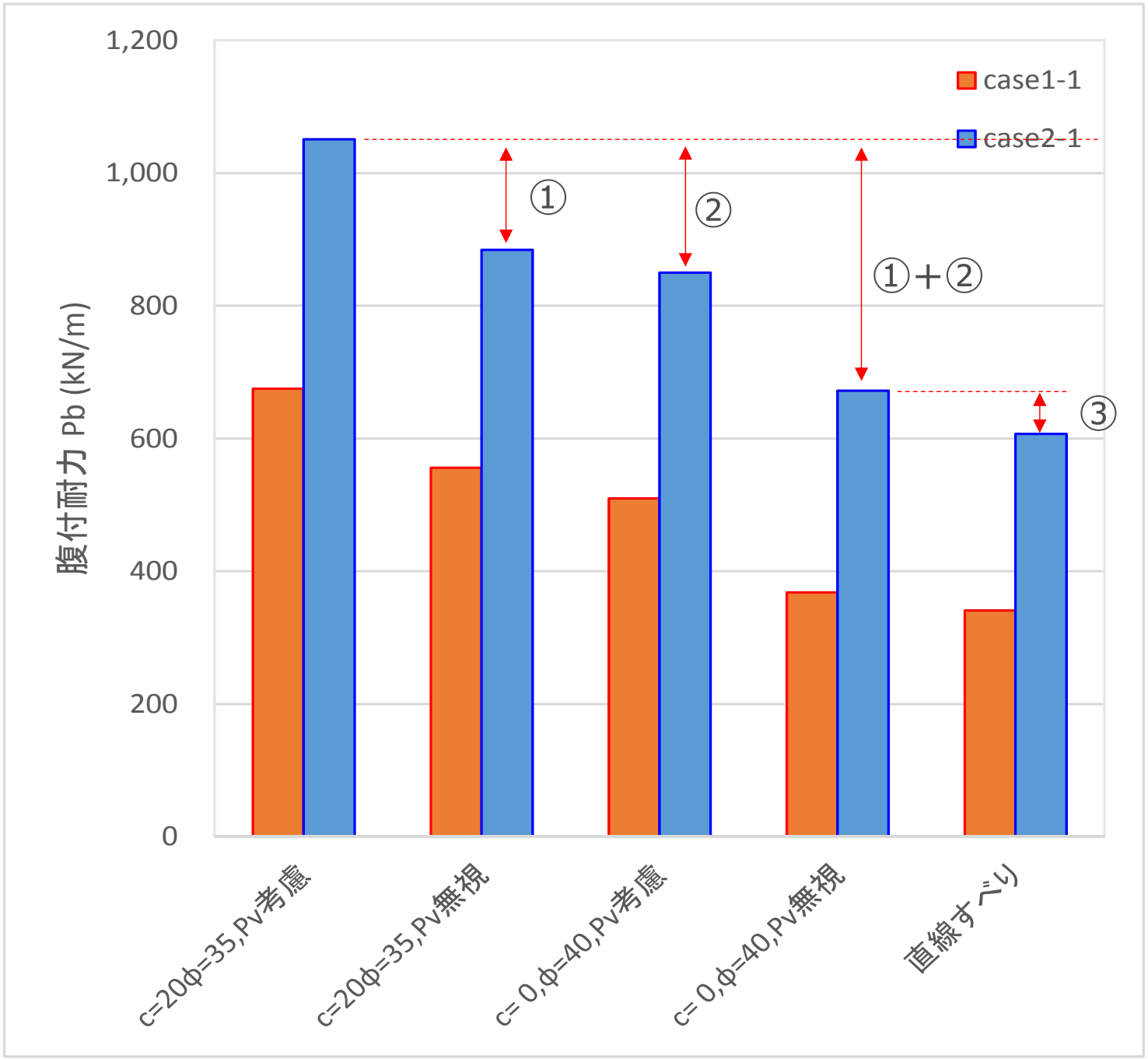
【滑動抵抗力】



【再現計算】

- 提案法の計算結果は、**堤体の変位がほぼ無い**（最大30cm程度）ときの抵抗力
  ☞ **設計耐力として妥当な値を算定する**　※他の遠心模型実験でも同様であることを確認済
- 提案法の計算結果は、実験で確認された**最大滑動抵抗力**に比べて**かなり安全側**

参考：従来の方法と新しい方法の比較



① 腹付物性の違い

② 壁面摩擦角の有無

③ 円弧と直線の違い

＜備考＞

・同じ条件（物性と鉛直Pv）で、円弧すべりと直線すべりでは、当ケースの場合は大きな違いがない。

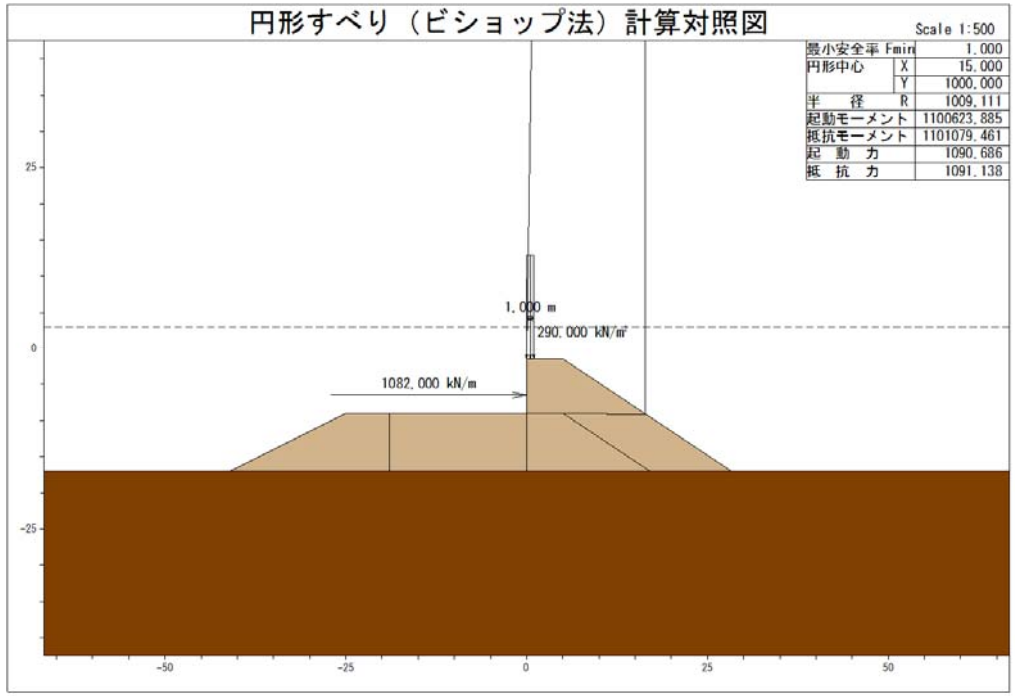
・このとき、物性の違いとPv考慮の違いで、最終的には大きく結果が異なる。

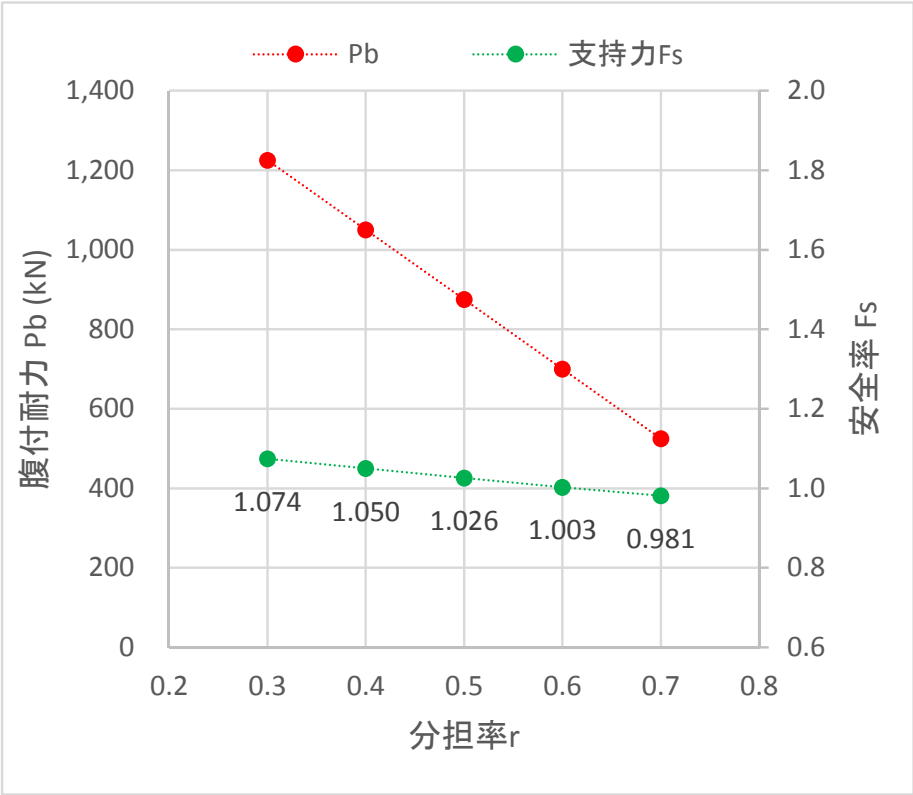
参考：荷重分担率の支持力安全率への影響

$$P_a = \frac{r}{\text{荷重分担率}} \times \frac{H}{\text{水平波力}}$$ ：マウンドが分担する水平波力

$$P_b = \frac{(1-r)}{1-\text{荷重分担率}} \times \frac{H}{\text{水平波力}}$$ ：腹付工が分担する水平波力

【例】腹付高さs=7.5m　腹付天端幅b=5.0m





○荷重分担率の変化が、SlipA（深い滑り）の支持力安全率に及ぼす影響は小さい。

※　r＝0．5を仮定。以下条件に合致しなければ、rを再設定。それでも満足しない場合には断面変更。

1）腹付工での水平力分担Pb　＜　SlipBでの極限荷重Pb_{max}

⇒不一致の場合、ケーソン底面の分担率rをUPさせる。　⇒　腹付工の極限荷重以内となる。

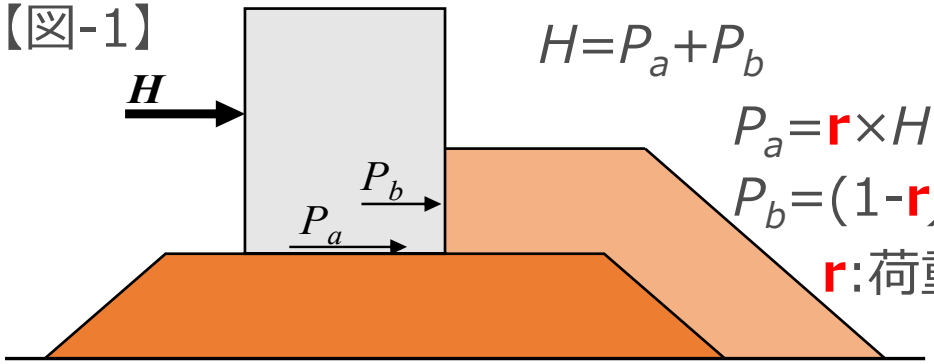
2）ケーソン底面での水平力分担Pa　＜　ケーソン基礎マウンドの最大摩擦抵抗（＝ μ ×（W－Pb））

⇒不一致の場合、ケーソン底面の分担率rをDOWNさせる。⇒　摩擦抵抗以内となる。

❑参考：新しい方法の基本的考え方

①SlipAもSlipBも**支持力**の問題（円弧すべりで照査）	図-3、図-4
②SlipBは**滑動照査**をしていることと同じ	図-3
③SlipAは基礎マウンドの**支持力照査**をしていることと同じ	図-4
④水平波力は、マウンドと腹付工に分担される。（$H=P_a+P_b$）	図-1
⑤ケーソン重量は、直接マウンドに作用する分と壁面摩擦により、腹付工を介してマウンドに作用する分に分けられる。（$W=P_q+P_v$）	図-2
⑥SlipBは分解された荷重（P_b、P_v）で照査する。	図-3
⑦SlipAはすべての荷重（P_a、P_b、P_q、P_v）で照査する	図-4

【図-1】



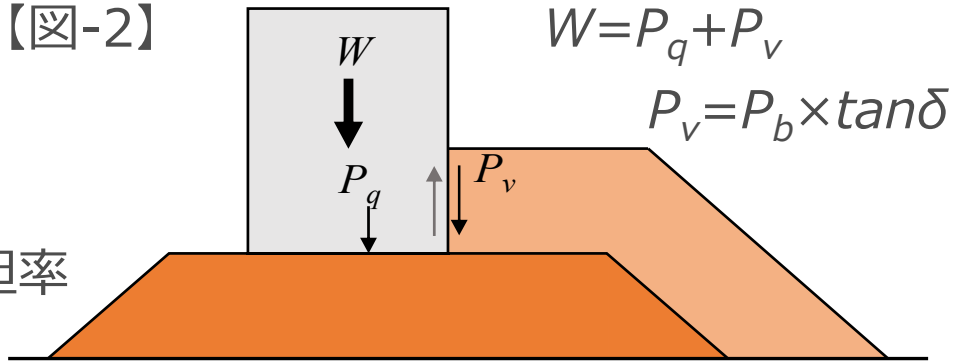
$H=P_a+P_b$

$P_a=r\times H$

$P_b=(1-r)\times H$

r:荷重分担率

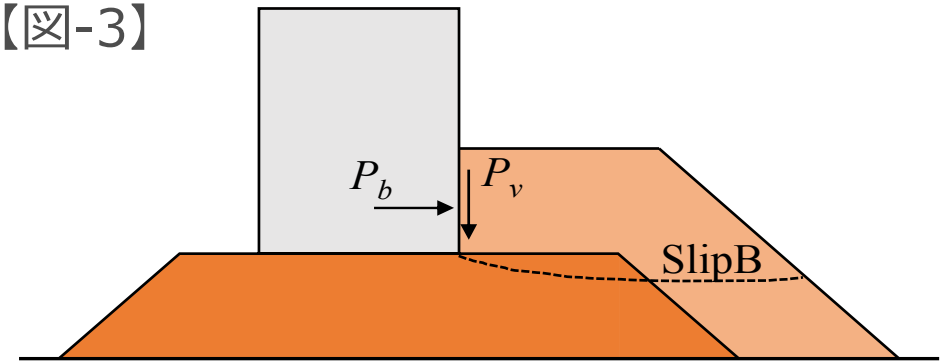
【図-2】



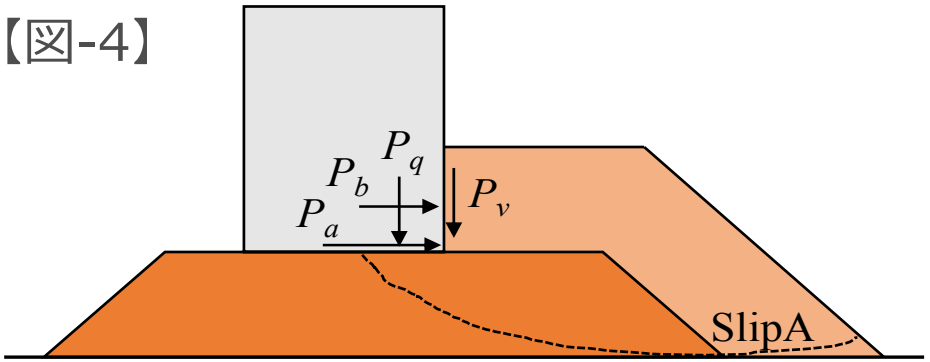
$W=P_q+P_v$

$P_v=P_b\times\tan\delta$

【図-3】



【図-4】



■安全性水準

❑防波堤に関する安全率の変遷

発刊年	書籍名	滑動 安全率	転倒 安全率	支持力		
				底面反力	安全率	:すべり面形状
昭和25年	港湾工事設計示方要覧	1.2	1.5	許容値内	1.2	:直線
昭和34年	港湾工事設計要覧	1.2	1.2	許容値内	－	
昭和42年	港湾構造物設計基準	1.2	1.2	許容値内	1.2 /1.5	:直線/直線以外
昭和54年	港湾の施設の技術上の基準・同解説	1.2	1.2	許容値内	1.0	:円弧(三建法), ほか
平成元年	港湾の施設の技術上の基準・同解説	1.2	1.2	－	1.0	:円弧(簡易ビショップ)
平成11年	港湾の施設の技術上の基準・同解説	1.2	1.2	－	1.0	:円弧(簡易ビショップ)
平成19年	港湾の施設の技術上の基準・同解説	1.2	－	－		

※H19基準は構造解析係数

:腹付工に適用できる記載あり

❑提案法の耐力作用比 R/S

【変動波浪】
滑　動：R/S≧**1.2**（**堤体のみ**R/S≧**1.0**）
転　倒：R/S≧**1.2**
支持力：R/S≧**1.0**

【偶発波浪】
滑　動：R/S≧**1.0**
転　倒：R/S≧**1.0**
支持力：R/S≧**1.0**

・滑動安全率は昭和25年以降**Fs≧1.2**
・転倒安全率は昭和34年以降**Fs≧1.2**
・支持力照査は昭和54年以降円弧すべり計算で**Fs≧1.0**
・提案法の作用耐力比R/Sは、**過去の基準の安全率を踏襲**する。

参考配布資料4
（津波浸透流を考慮した防波堤の支持力設計法関連）

津波浸透流を考慮した
防波堤の支持力設計法に対する解析的検討

①研究の必要性

研究の背景

津波浸透流の影響により、**基礎マウンドの支持力が低下**する可能性が、既往の研究成果よりわかっている。しかし、この現象を考慮した**支持力照査方法**は確立されていない。

研究の目的

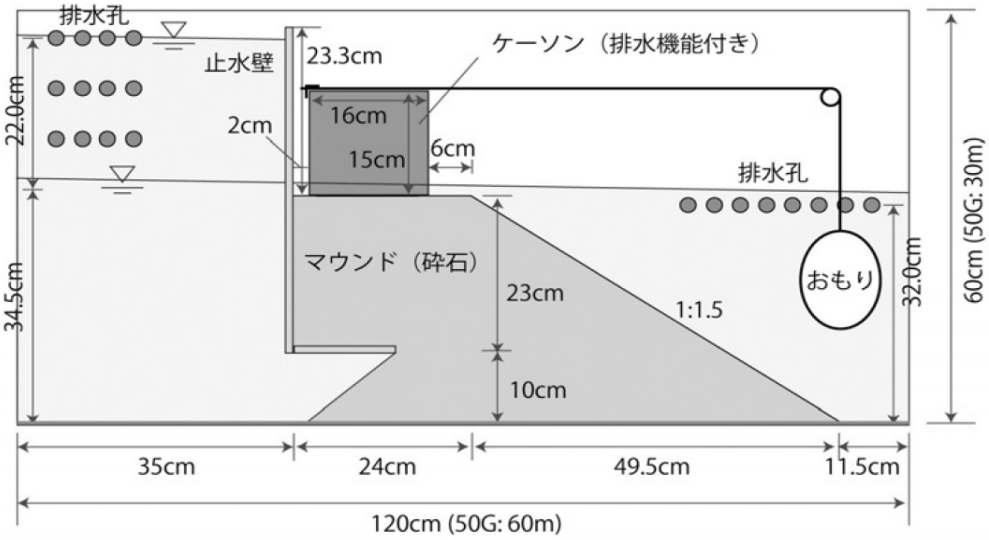
津波浸透流による基礎マウンドの**支持力低下の程度を数値計算で確認**し、現在の支持力照査方法に対して**津波浸透流の影響を考慮する方法**を検討
（円弧すべり計算）

②研究の手法（既往の研究成果の活用）

❑津波浸透流に関する既往の研究成果の整理

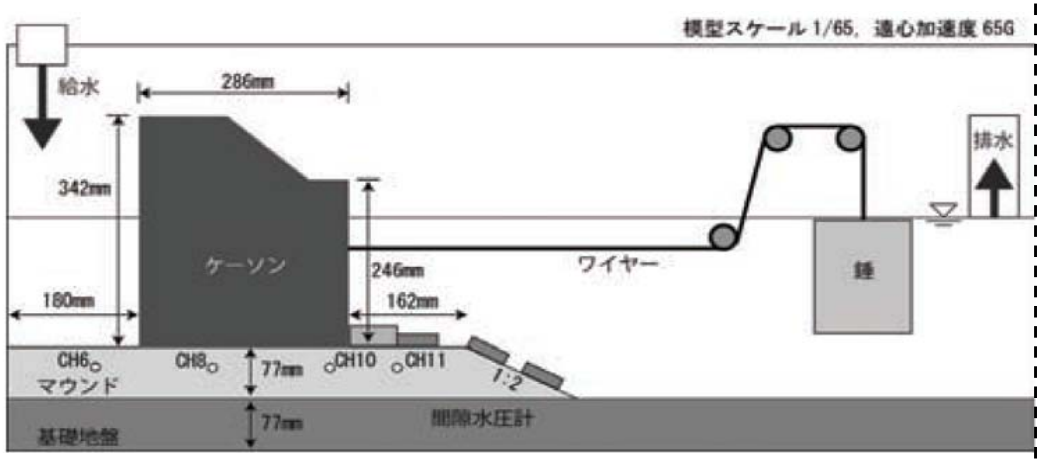
◆遠心模型実験を用いて、基礎マウンドに浸透流を発生させ、支持力の低下を確認

【研究①】港研報告2013（高橋ら）



当実験に基づく解析では、**水位差10m**で支持力は**17%（２割弱）低下**。
（当実験において、支持力は**23～36%の間で低下**。）

【研究②】港研報告2015（高橋ら）



当実験において、**水位差8.3m～9.3m**で支持力は**10～16%低下**。

①水位差を大きくするほど支持力が低下する。
②**水位差10m**で支持力が**2割程度低下**する。

②研究の手法（数値計算を用いた検討）

❑検討内容

検討①：津波浸透流が支持力に与える影響を検討

【 方 法 】**FEM解析（浸透流無し）**と **FEM解析（浸透流有り）**の比較

浸透流が基礎マウンドの支持力にどのように影響するか確認
（既往の研究成果との整合性も確認）

検討②：津波浸透流を考慮した設計法を検討

【方法①】**円弧すべり計算(浸透流無し)**と **FEM解析(浸透流無し)**の比較

浸透流を考慮しない条件において、円弧すべり計算とFEM解析を比較し、**計算手法の違いによる計算結果の違いを確認**

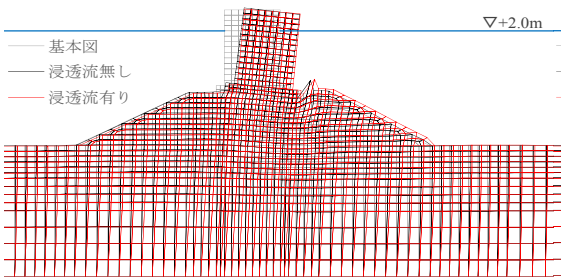
【方法②】**円弧すべり計算(浸透流有り)** と **FEM解析(浸透流有り)**の比較

浸透流を考慮した条件における両計算結果の違いと、方法①の計算結果の違いを比較検証し、**津波浸透流を考慮した設計法の適用性を確認**

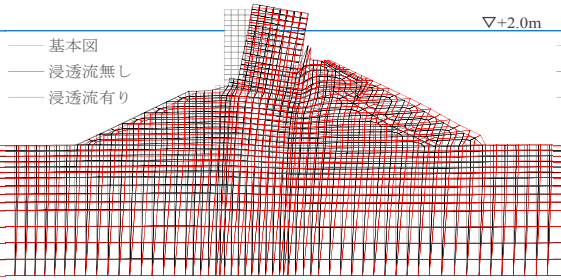
※ 円弧すべり計算
腹付工を有する防波堤に対しては、国総研資料No.954を適用

参考．破壊時変形図

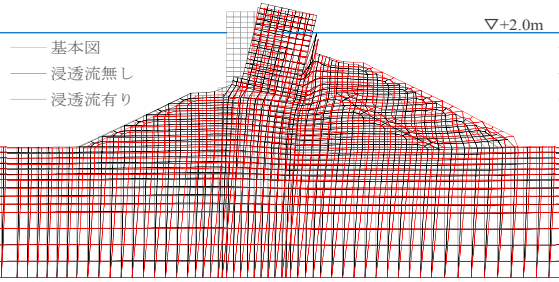
Case1-1



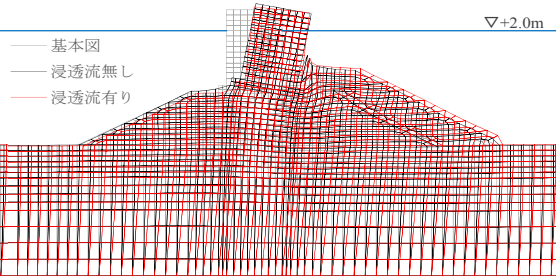
Case2-1



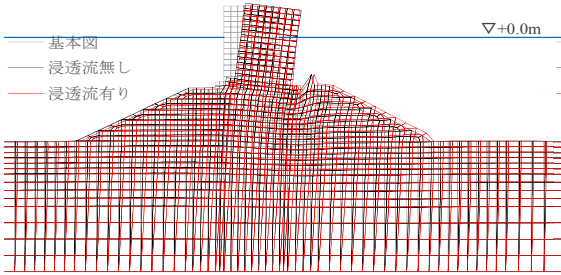
Case3-1



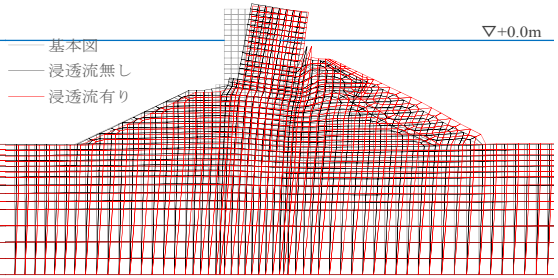
Case3-4



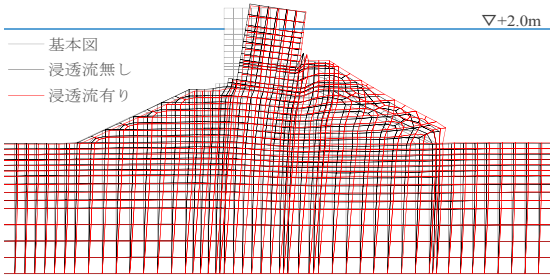
Case1-2



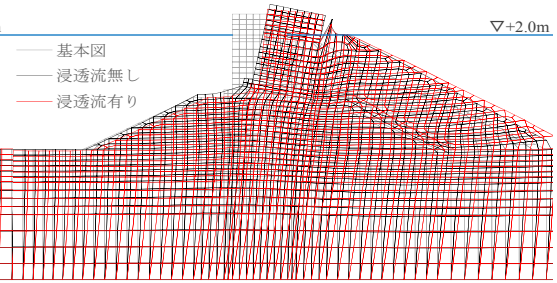
Case2-2



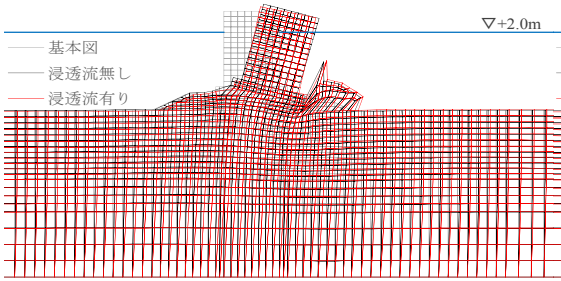
Case3-2



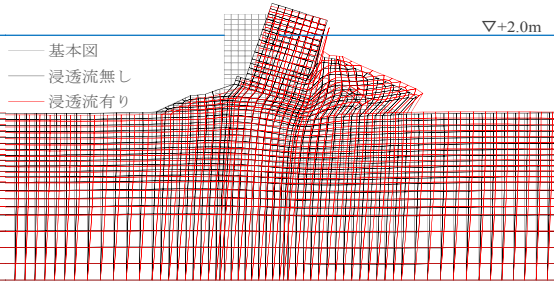
Case3-5



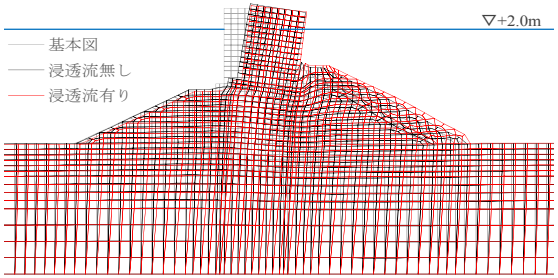
Case1-3



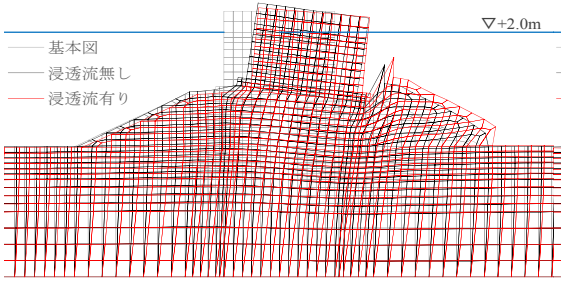
Case2-3



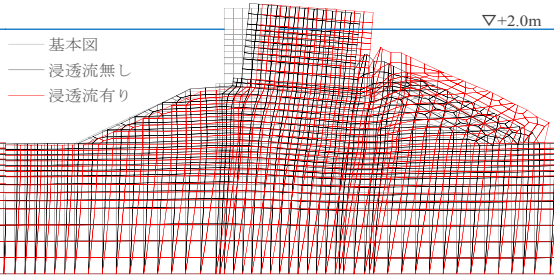
Case3-3



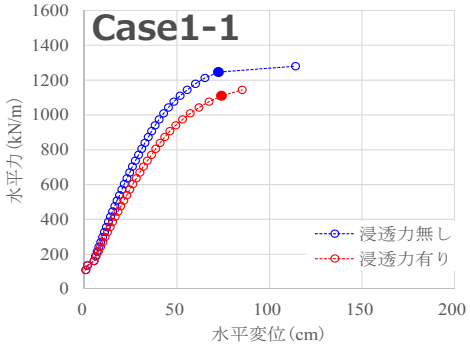
Case1-4

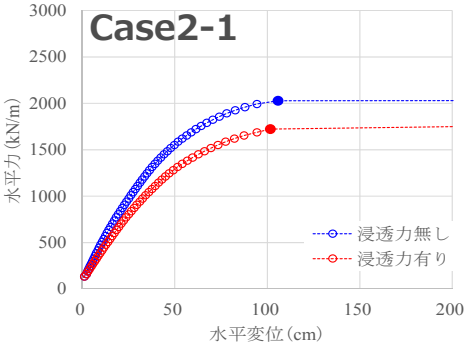


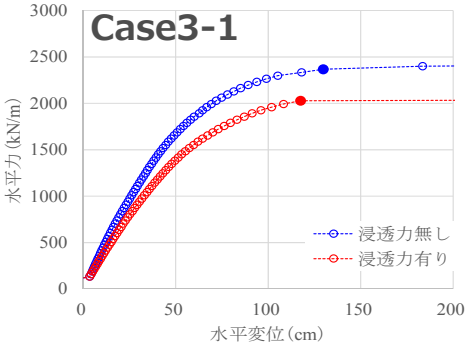
Case2-4

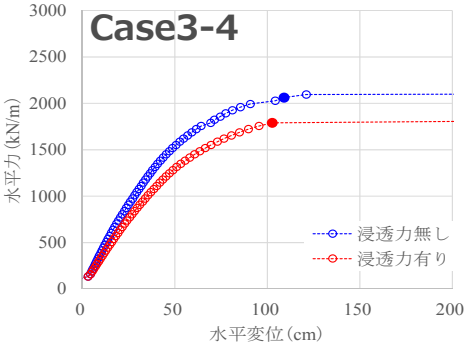


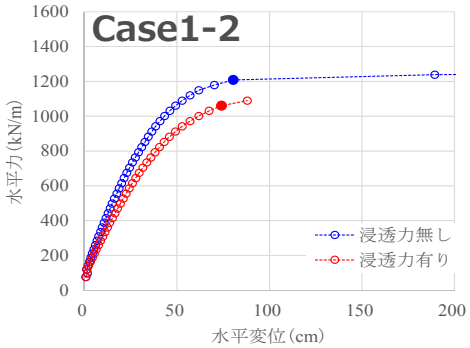
参考．水平変位～水平力関係

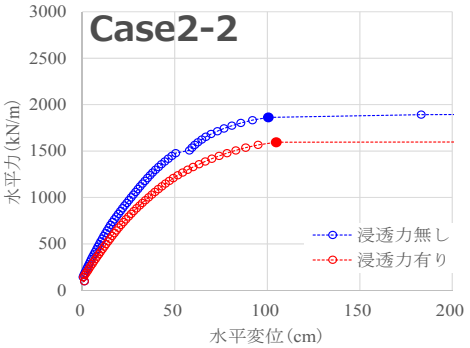


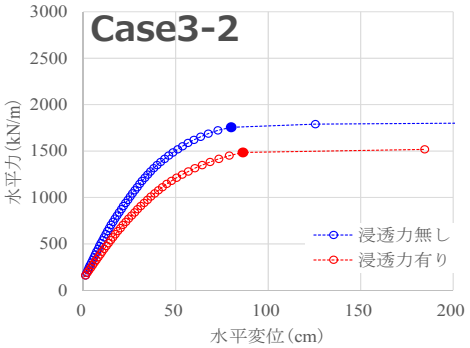


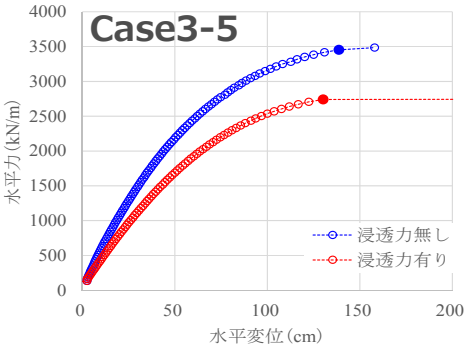


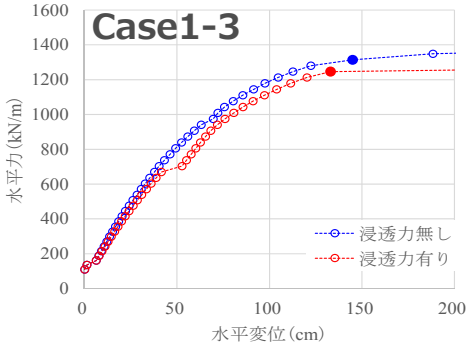


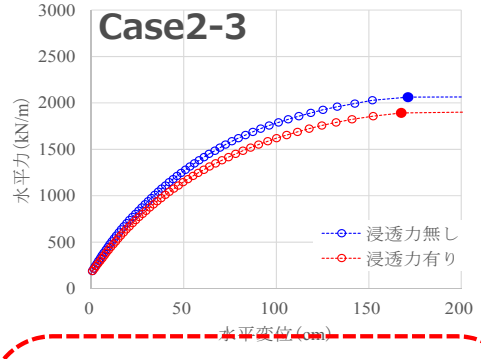


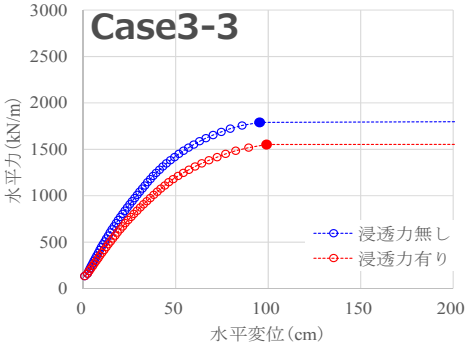


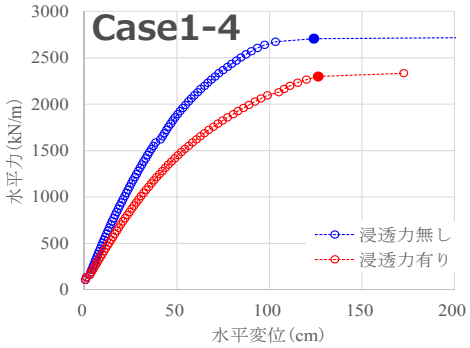


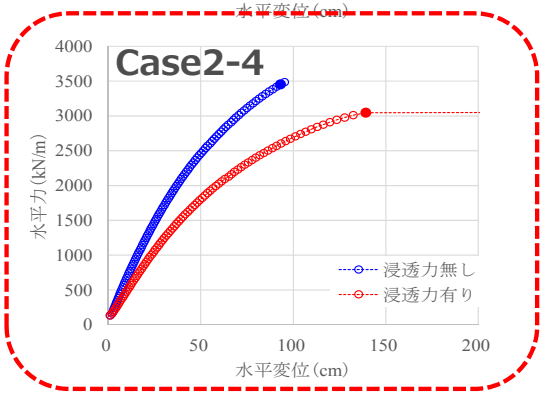










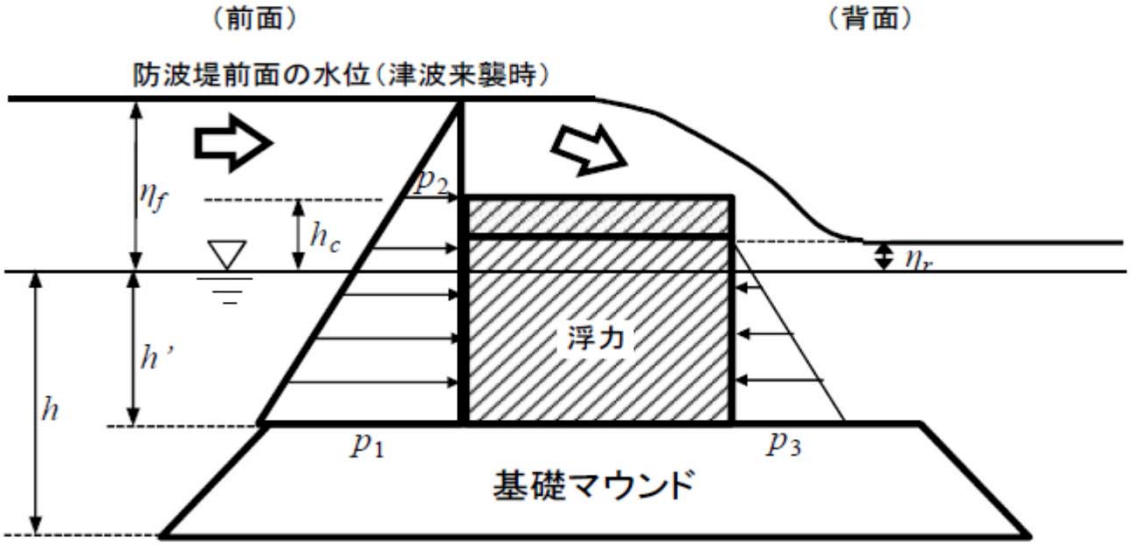


②研究の手法（数値計算を用いた検討）

❑検討対象津波

【 防波堤の耐津波設計ガイドライン　平成25年9月　抜粋 】

$$p_1 = \alpha_f \rho_0 g(\eta_f + h') \qquad p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} p_1 \qquad p_3 = \alpha_r \rho_0 g(\eta_r + h')$$



p_1 ：直立壁前面の底面における波圧強度(kN/m^2)
p_2 ：直立壁前面の天端面にける波圧強度(kN/m^2)
p_3 ：直立壁背面の底面における波圧強度(kN/m^2)
$\rho_0 g$ ：海水の単位体積重量 (kN/m^3)
h' ：直立壁の底面の水深(m)
h_c ：静水面から直立壁天端面までの高さ(m)
η_f ：直立壁前面の静水面からの津波高さ(m)
η_r ：直立壁背面の静水面からの津波高さ(m)
α_f ：直立壁前面の静水圧補正係数
α_r ：直立壁背面の静水圧補正係数

・水理模型実験による結果により、現時点では、前面の静水圧にα_f=1.05 倍、背面の静水圧にα_r =0.9 倍した静水圧を用いる。

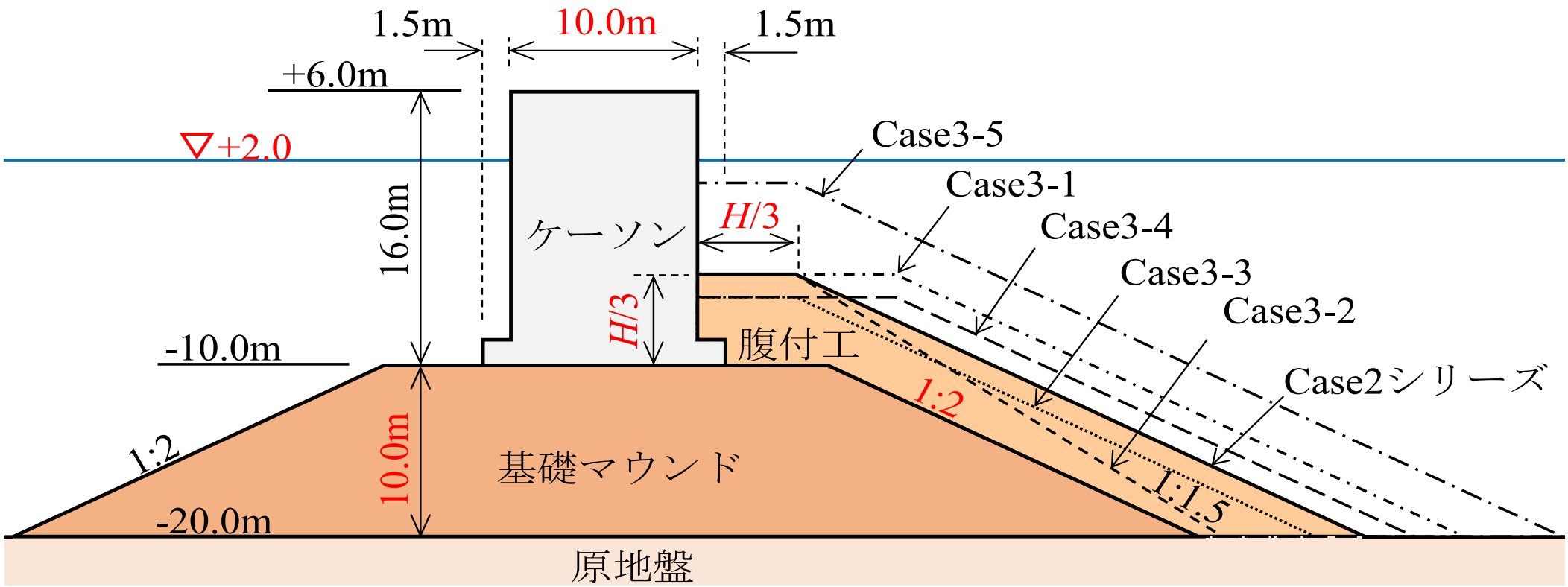
※1　浮力については、水没している堤体全体（前面水位を背面まで考慮した場合の容積：斜線の部分）として計算すること。揚圧力については考慮しない。

「**防波堤の耐津波設計ガイドライン**」の「**津波が防波堤を越流する場合**」を検討対象とし、「**静水圧差による算定式**」を適用する。

②研究の手法（数値計算を用いた検討）

❑検討対象断面

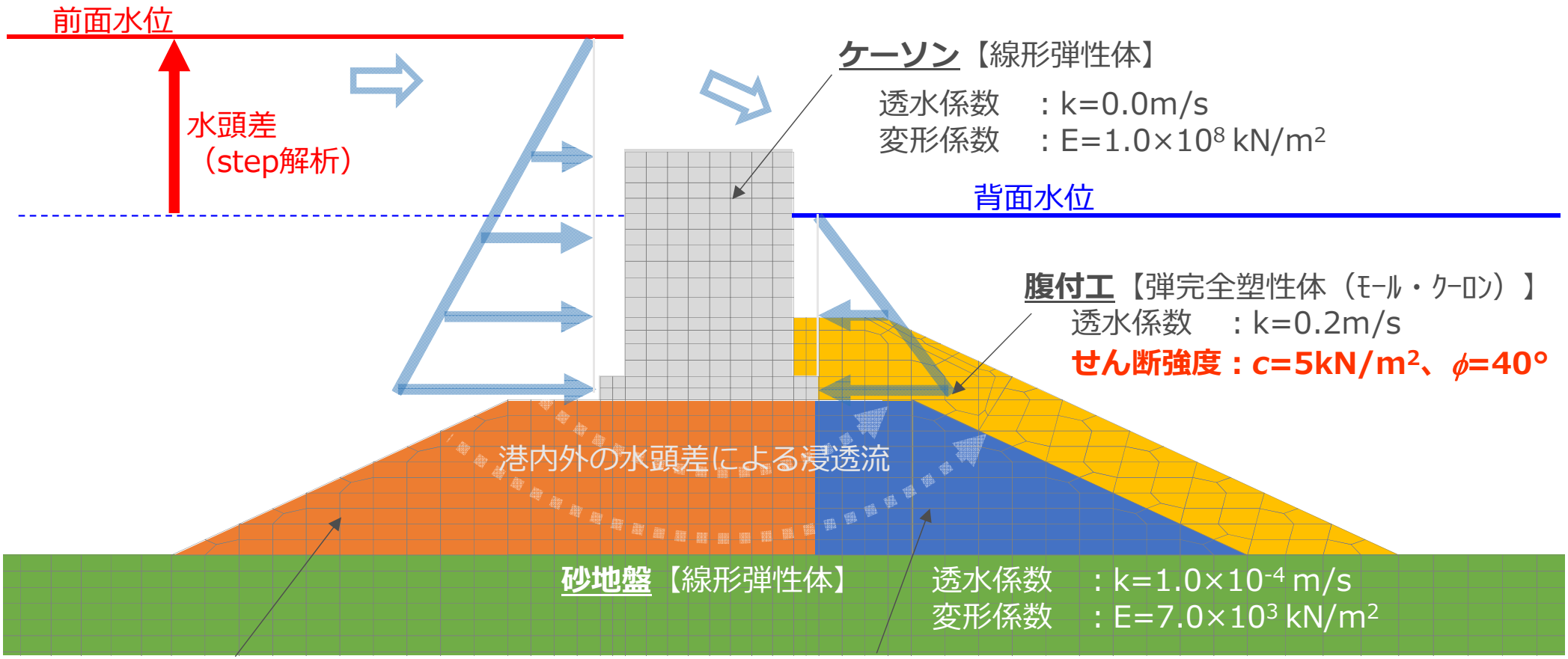
ケース	内　　容	ケース	内　　容	ケース	内　　容
Case1-1	基本ケース	Case2-1	Case1に対して腹付工を追加	Case3-1	Case2-1に対して、a=2/3×H、b=1/3×H
Case1-2	Case1-1の潮位を0.0m	Case2-2	a=1/3×H、b=1/3×H	Case3-2	Case2-1に対して、法勾配を1:1.5
Case1-3	Case1-1のマウンド厚を3.0m	Case2-3	a：腹付高、b：腹付幅	Case3-3	Case2-1に対して、a=1/4×H、b=1/3×H
Case1-4	Case1-1のケーソン幅を20m	Case2-4	H：ケーソン高	Case3-4	Case2-1に対して、a=1/4×H、b=2/3×H
				Case3-5	Case2-1に対して、a=2/3×H、b=1/3×H



②研究の手法（数値計算を用いた検討）

❑FEM解析モデルの概要

解析プログラム：GeoFem改良版

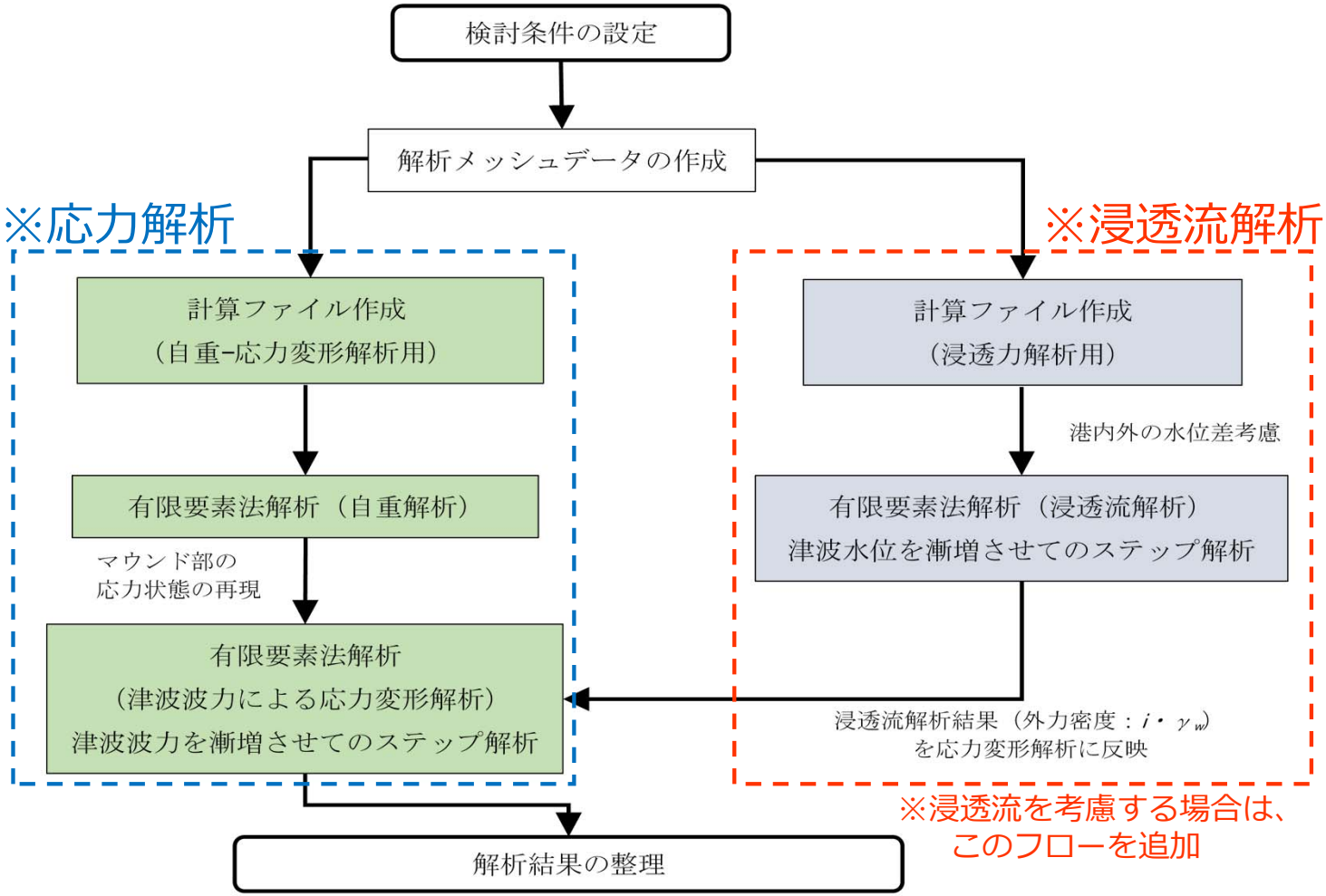


ケーソン後趾より港内側は、**浸透力の影響によるマウンド内の拘束圧低下を表現**するため、**見かけの粘着力を低減（c=5.0kN/m²）**した。

参考．全体解析フロー（応力解析と浸透流解析）

❑GeoFemを利用した場合の事例

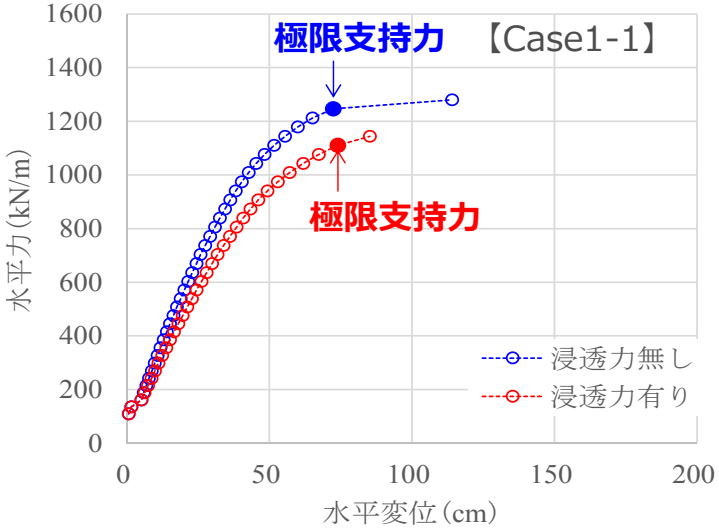
※運輸省港湾技術研究所で開発されたプログラムで、東日本大震災以降、津波浸透流の影響を考慮できるよう、浸透流解析の機能が追加された。

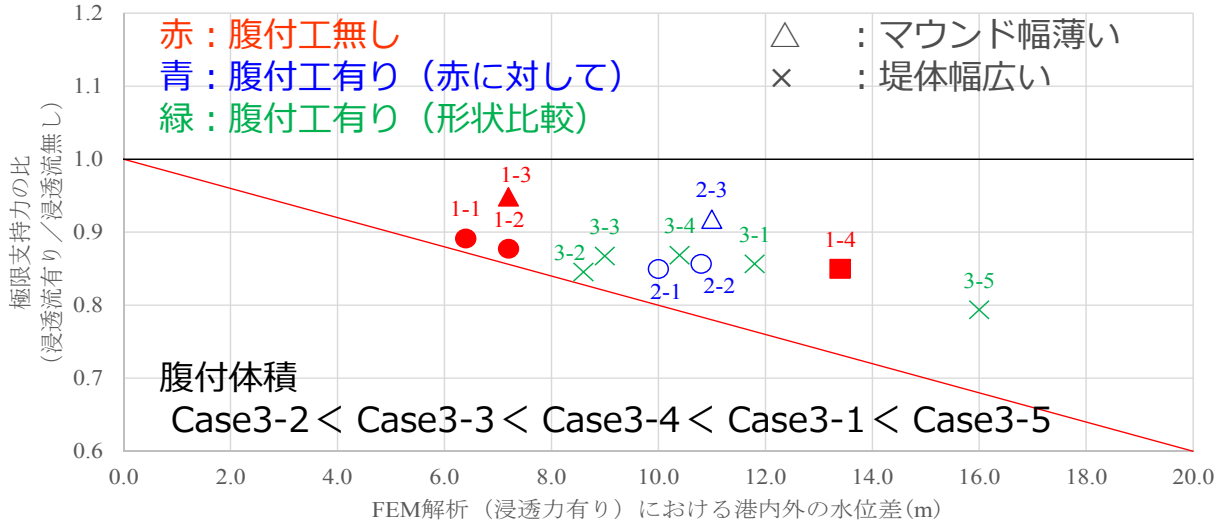


浸透力を考慮しない計算と、**浸透力を考慮する計算**を実行し、両者の結果を比較することで、**浸透力が防波堤の耐力に与える影響**を確認

③研究の結果と主な論点（浸透流による影響）

❑方法①の結果





①浸透流を考慮する場合は、**水位差に応じて極限支持力比が低減**
②低減の割合は、水位差5mで1割、**水位差10mで2割**
③FEM解析の結果は、**既往の遠心模型実験の結果と整合**

❑提案法（浸透流を考慮した円弧すべり計算方法）

$$R/S \geqq 1.0 \qquad (1)$$

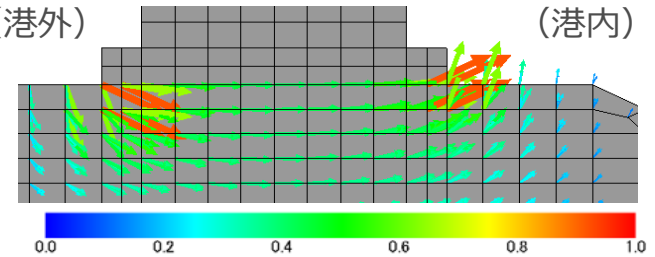
水位差　5mのとき1.1
水位差10mのとき1.2

$$R=\sum\left\{\frac{cs+(w'+q)\tan\phi}{\cos\theta\left(1+\tan\theta\tan\phi/(R/S)\right)}\right\}$$

$$S=\sum\{(w'+q)\sin\theta\}+\frac{a_{C1}P_{H1}+a_{C2}P_{H2}}{R_R}$$

R：抵抗の合計　S：作用の合計

❑浸透力i_{xy}の影響　※Case1-1の例



③研究の結果と主な論点（設計法の提案）

❑方法②の結果

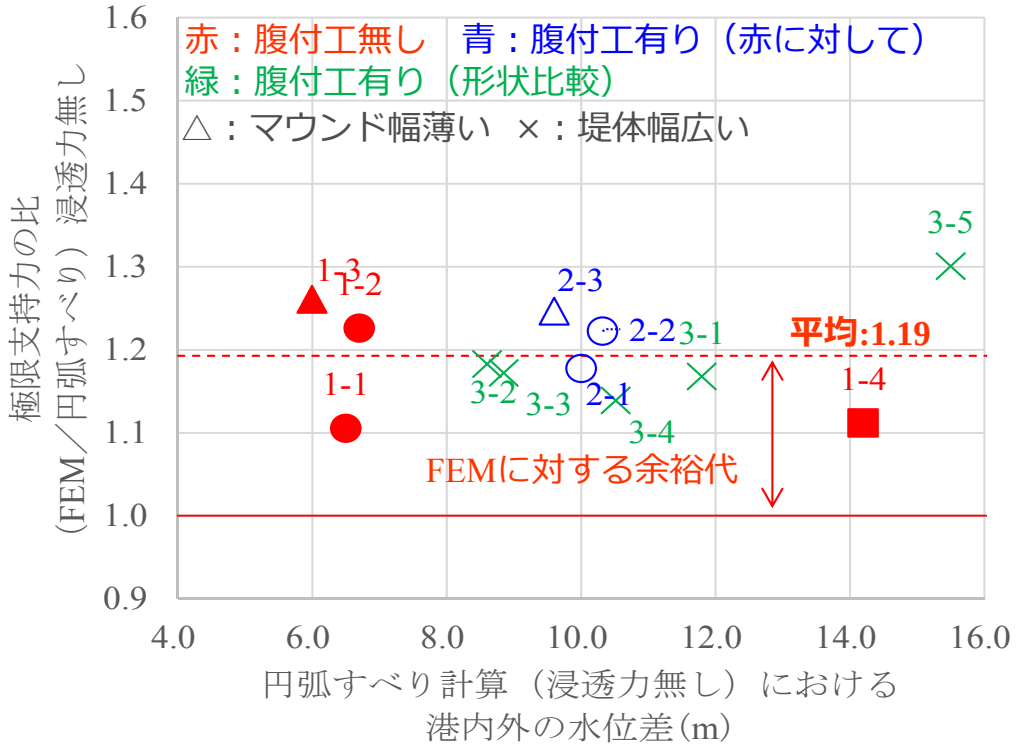


図-1　浸透流を考慮しない場合

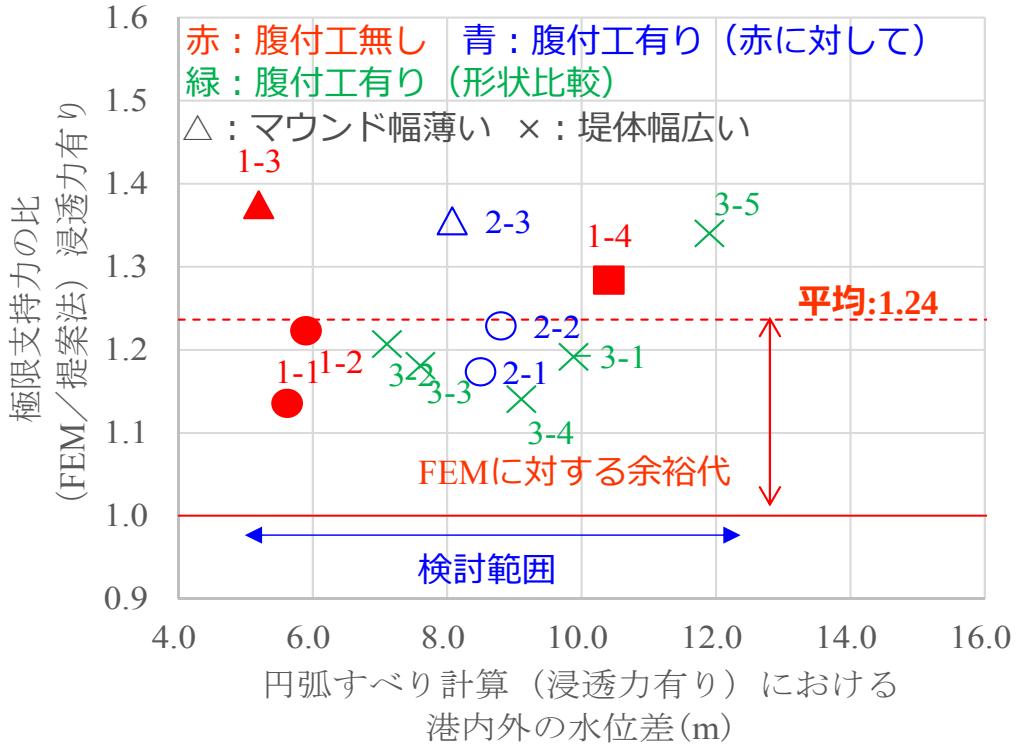


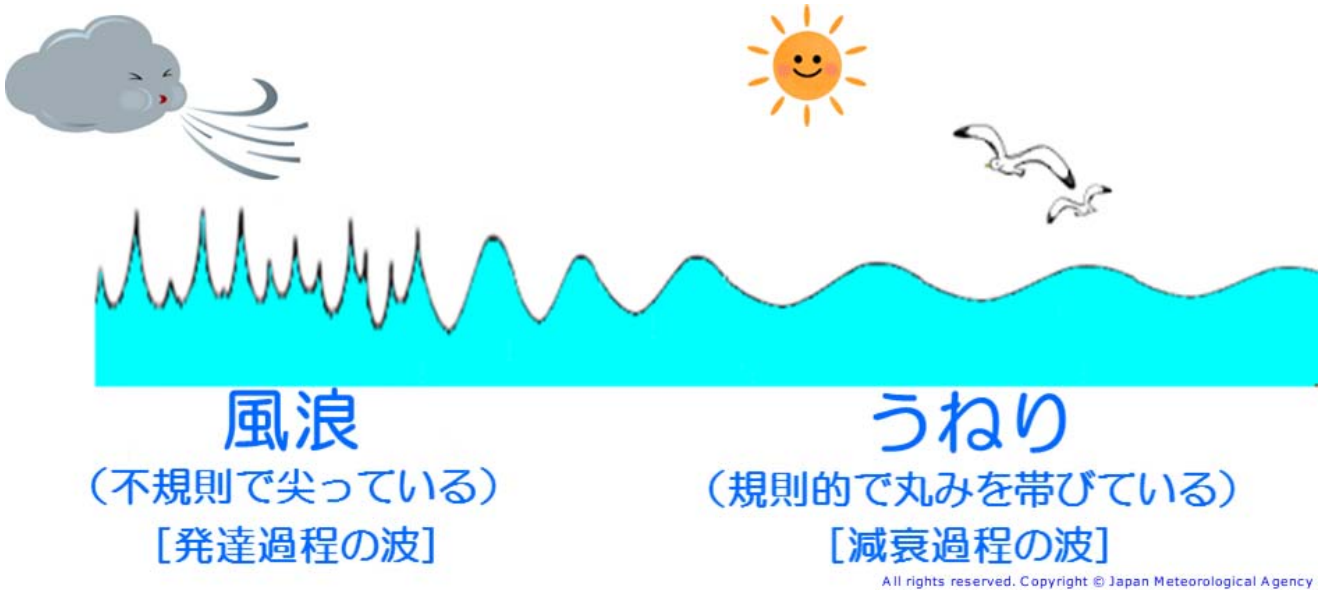
図-2　浸透流を考慮した場合

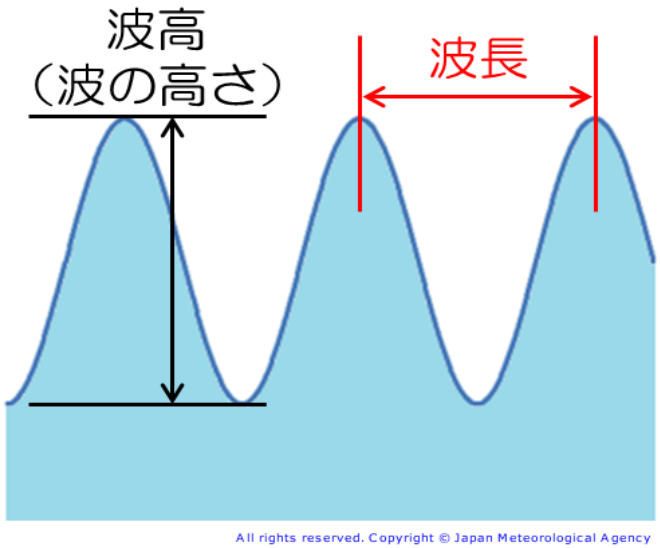
①**計算手法の違いとして**、**FEM解析は円弧すべり計算より支持力を2割程度大きく計算する**ことがわかった。（図-1）
②**浸透流を考慮した場合**においても、**FEM解析は提案法より支持力を2割程度大きく計算する**ことがわかった。（図-2）
③**計算手法の違いによる余裕代（19%）**が、**提案法においても確保（24%）**されていることから、**提案法でも浸透流の影響を評価できる。**

参考配布資料5
（うねり性波浪の導入）

①うねり性波浪の導入

“従来の設計波”に、追加的に“うねり性波浪”を導入





●波形勾配＝波高／波長

⇒うねり：　波形勾配が小さい

⇒風浪：　波形勾配が大きい

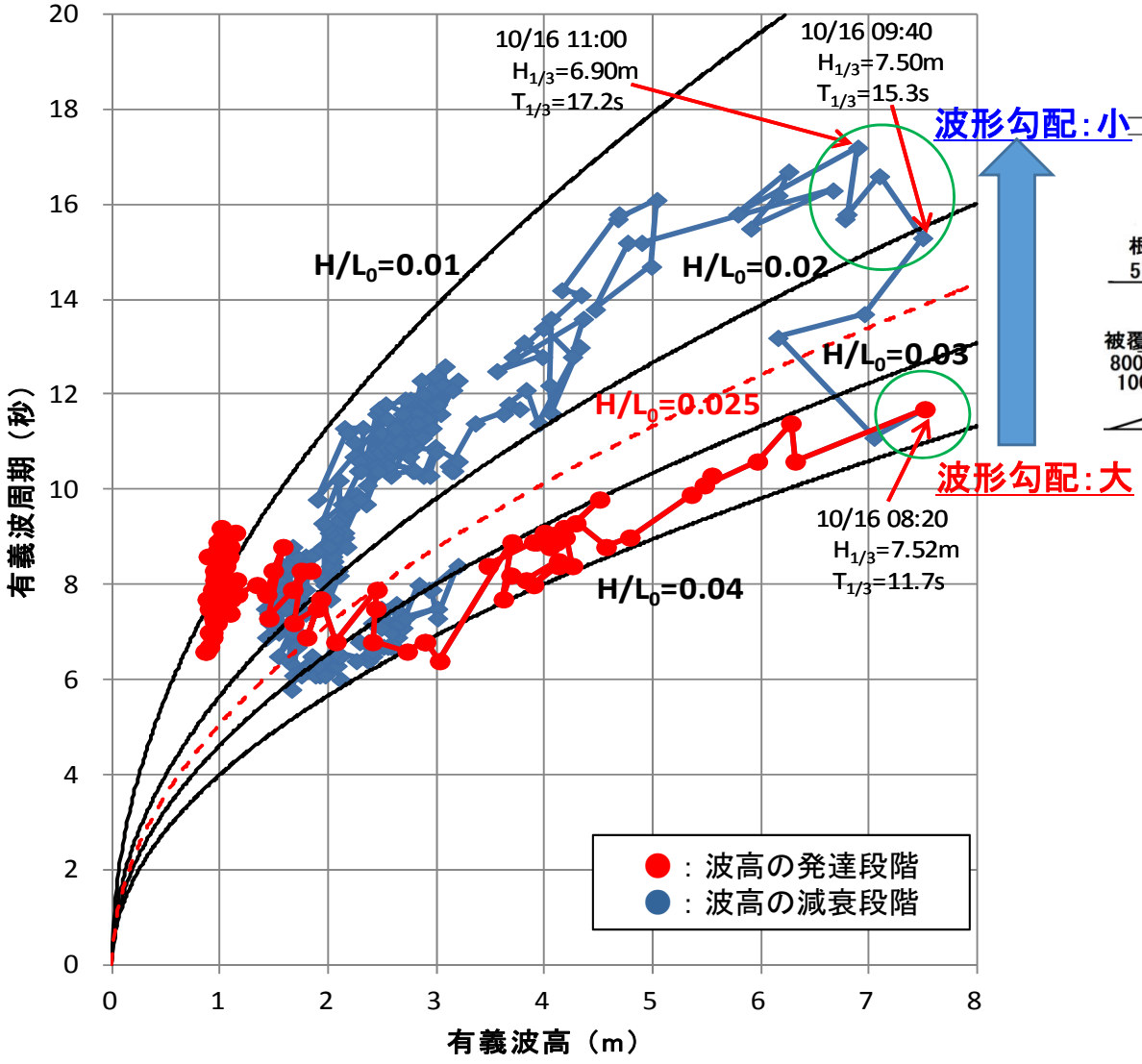
出典：気象庁（http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/wave/comment/elmknwl.html）

うねり性波浪による被害

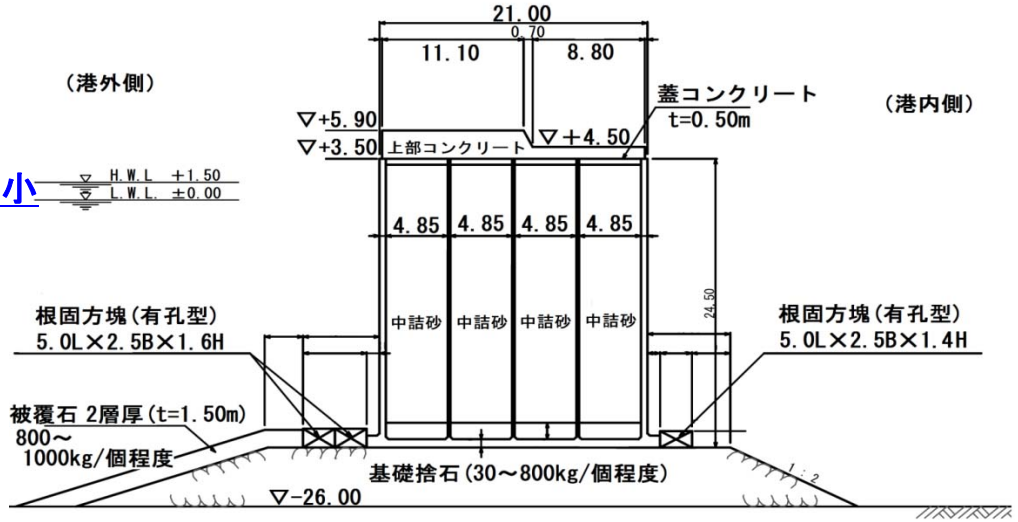
出典：高嶋宏ほか：,うねり性波浪を考慮した設計沖波算定手法について，
土木学会論文集 B2 (海岸工学) 71.2 (2015): I_91-I_96.

鹿島港における防波堤の波浪災害
（2013年10月，台風1326号）

被災時の波浪特性の分析（鹿島港事例、横浜技調提供資料）

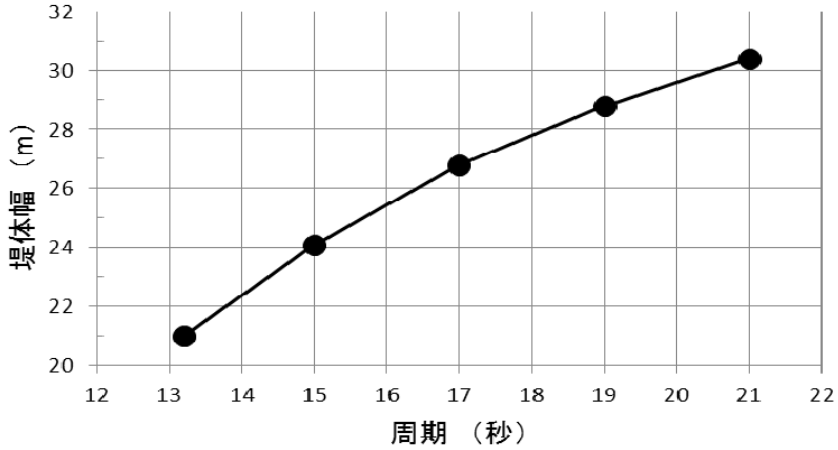


被災時（10/15～10/19）の波高と周期の時間変化



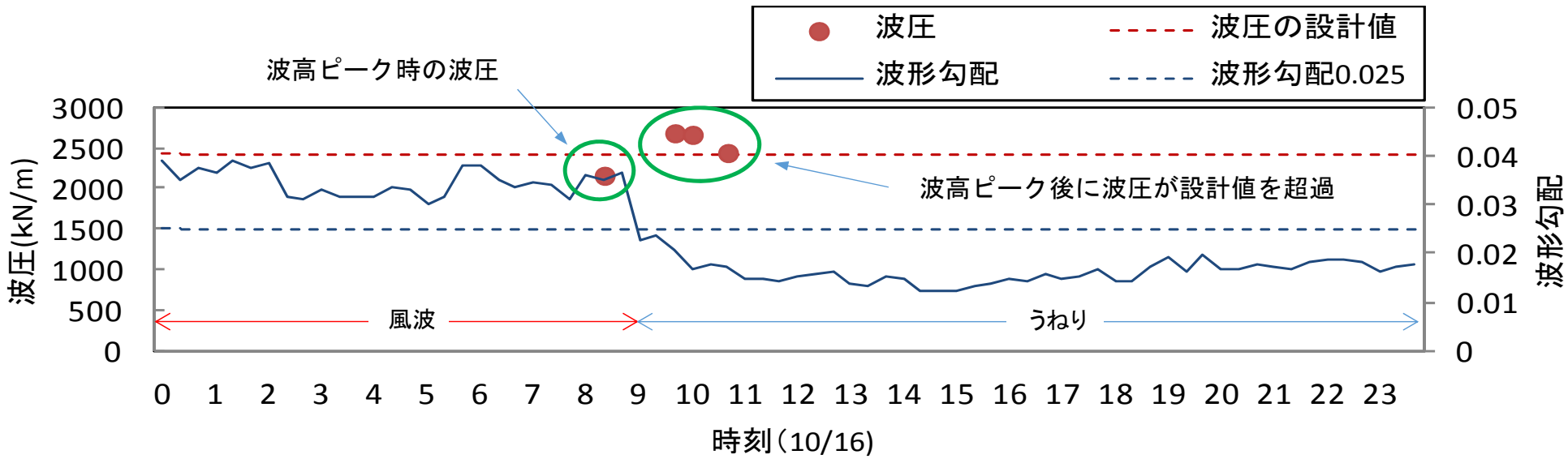
仮想防波堤の諸元

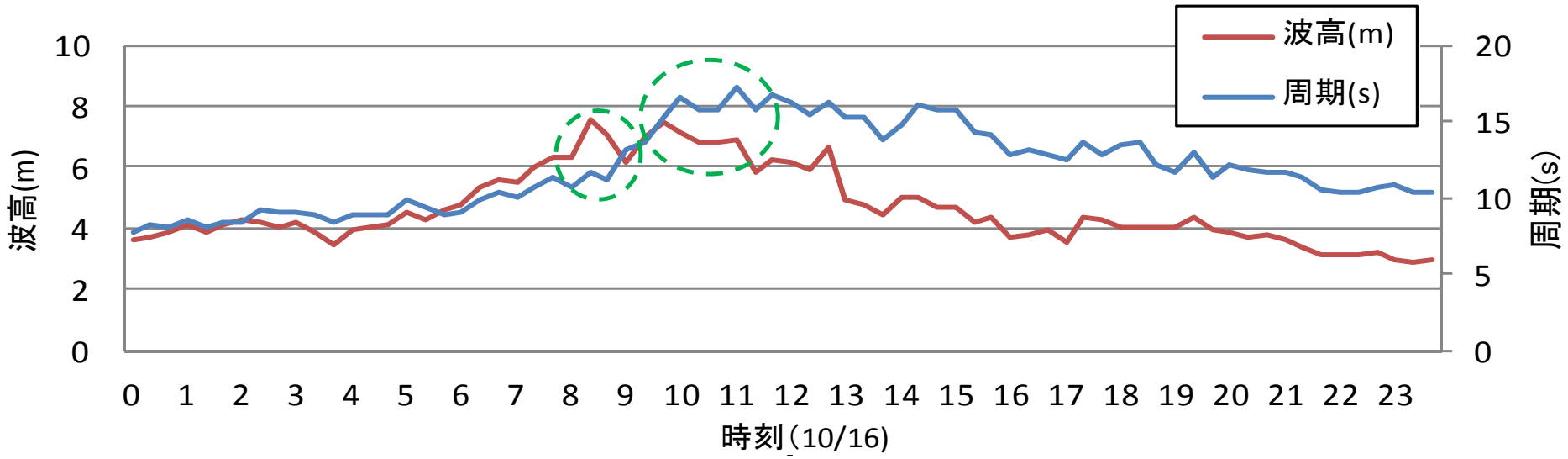
＜条件＞
- H1/3=7.3m、Hmax=13.2m、周期13.18s～21s
- 堤体の滑動及び転倒の耐力作用比が1.0以上
- 端趾圧の許容値は700KN/m2以下



堤体幅と周期の関係

鹿島港の被災原因の推定（横浜技調提供資料）





■うねり性波浪の導入　＜防波堤等の耐波設計＞

うねり：

有義波周期8秒以上で、かつ波形勾配※が概ね0.025未満

※波形勾配＝波高／波長

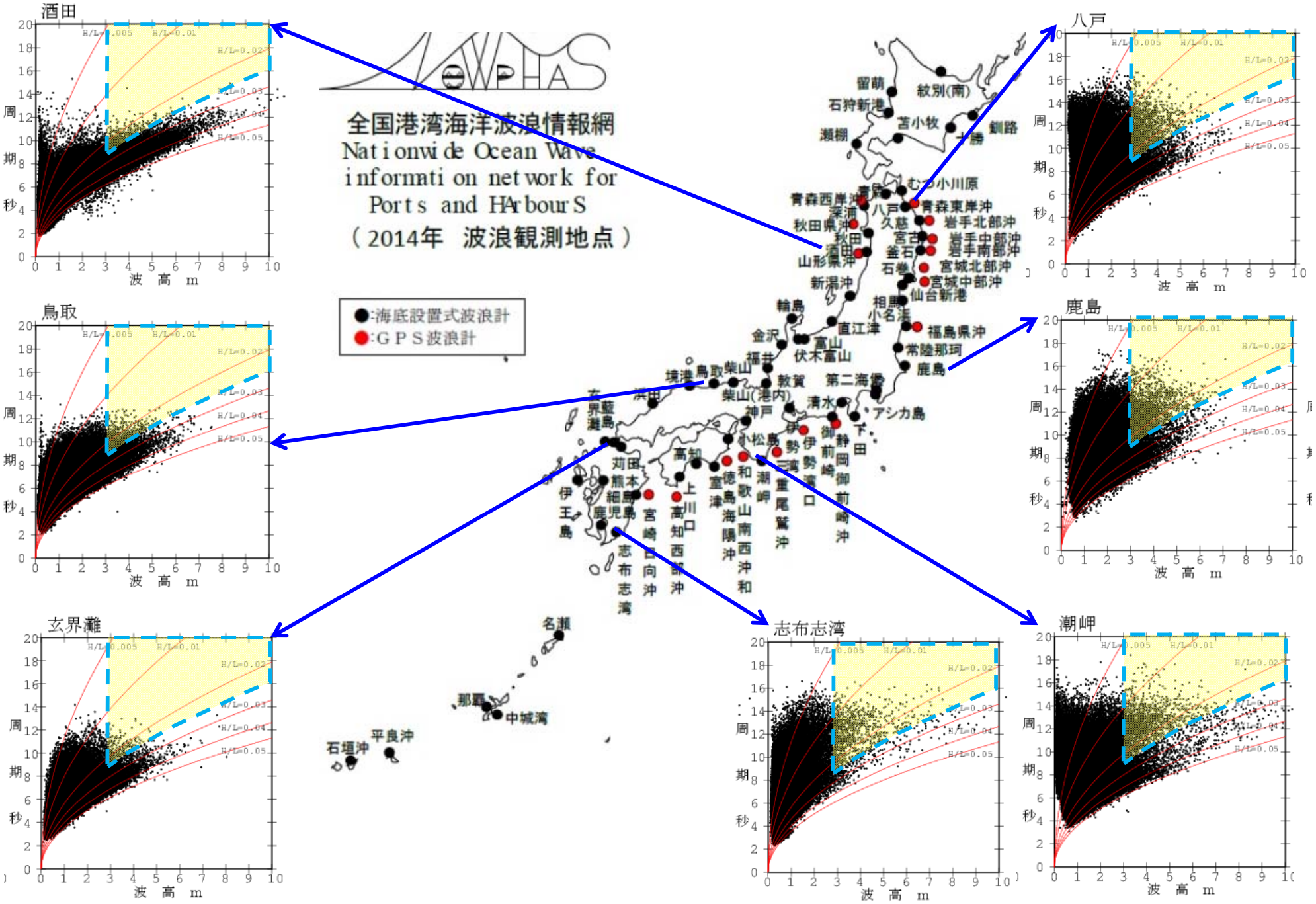
“従来の設計波”に追加的に“うねり性波浪”を導入

※うねり波高の極値データに対して極値統計解析を実施

※高波基準を超える十分な極値データが得られない場合は，
その海域において顕著なうねり性波浪はみられないものと判断し，
うねりの設計波の設定を省略する．

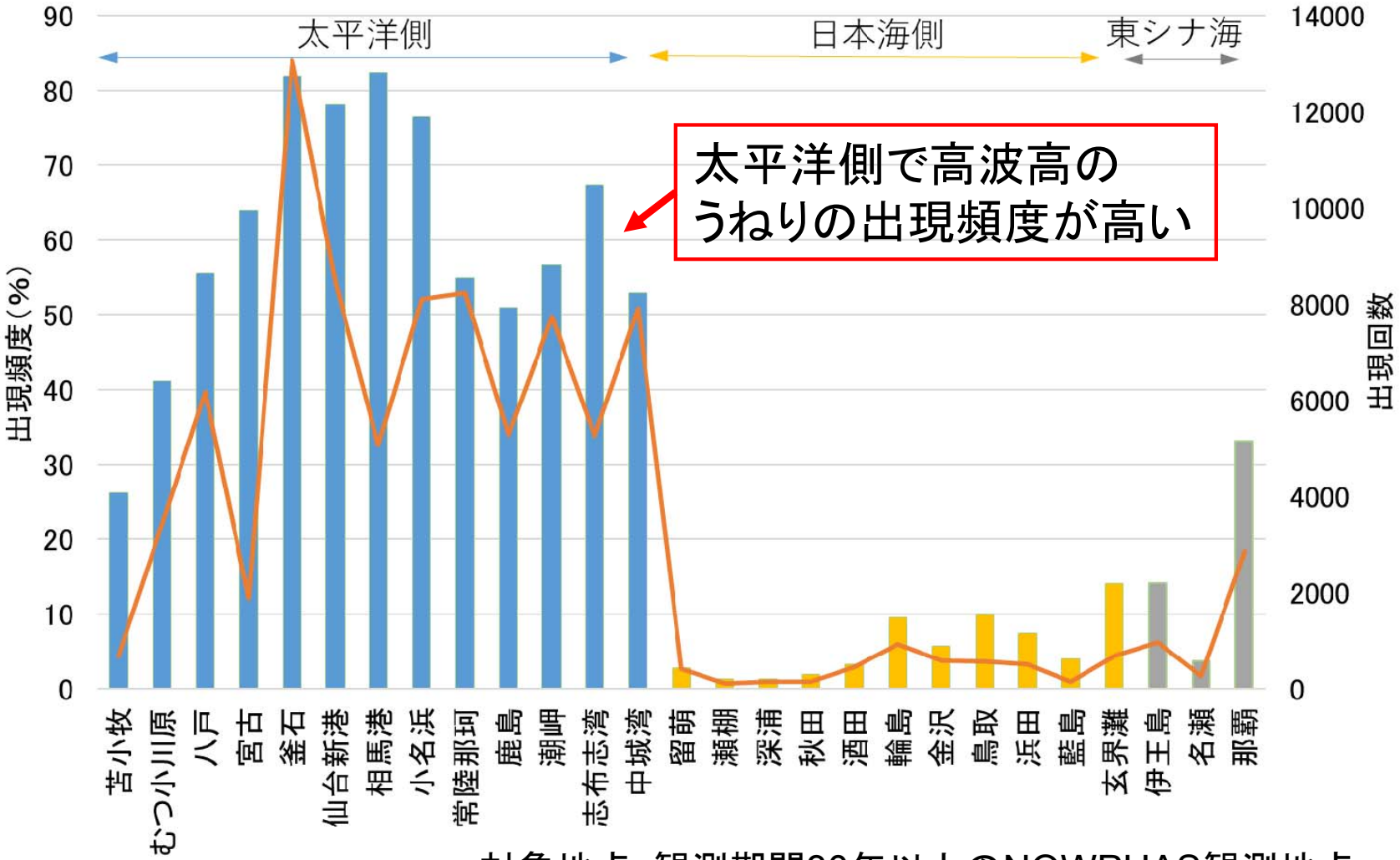
■うねりの発生頻度が高い海域

（周期8秒以上、かつ波形勾配0．025未満）　＋　（波高3m以上）



■うねりの発生状況（全国港湾）

高波高（高波抽出基準値以上）のうねりの発生頻度



対象地点：観測期間30年以上のNOWPHAS観測地点
対象期間：観測開始～2015年

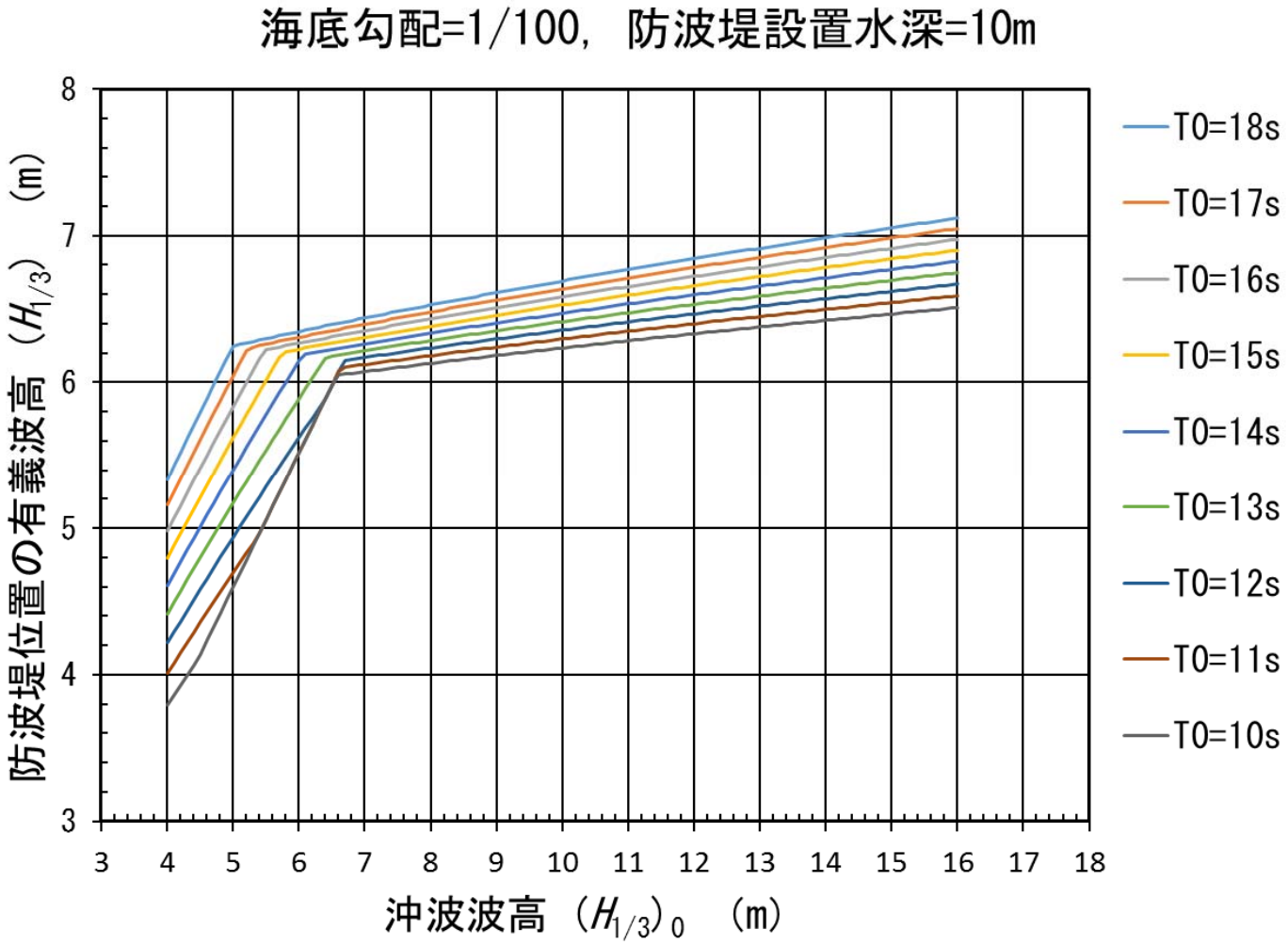
松藤絵理子, 高山知司, 宮田正史, 平山克也, 河合弘泰, 鈴木善光,福永勇介. (2017). うねり性波浪を考慮した設計波の設定法について. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, *73*(2), I_1153-I_1158.

■うねり性波浪の防波堤設計への影響（簡単な試計算）

（試算条件）

・一様海底勾配に直交入射する波浪の浅水変形のみを考慮

・設置水深10mの防波堤位置で、従来設計沖波の波高・周期の組合せで作用する波力、と同じ波力になるうねり設計沖波の波高・周期を計算



○波高 ⇒ 沖波周期が長くなっても、波高は微増（砕波影響）

松藤絵理子ら(2017). うねり性波浪を考慮した設計波の設定法について. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, *73*(2), I_1153-I_1158.

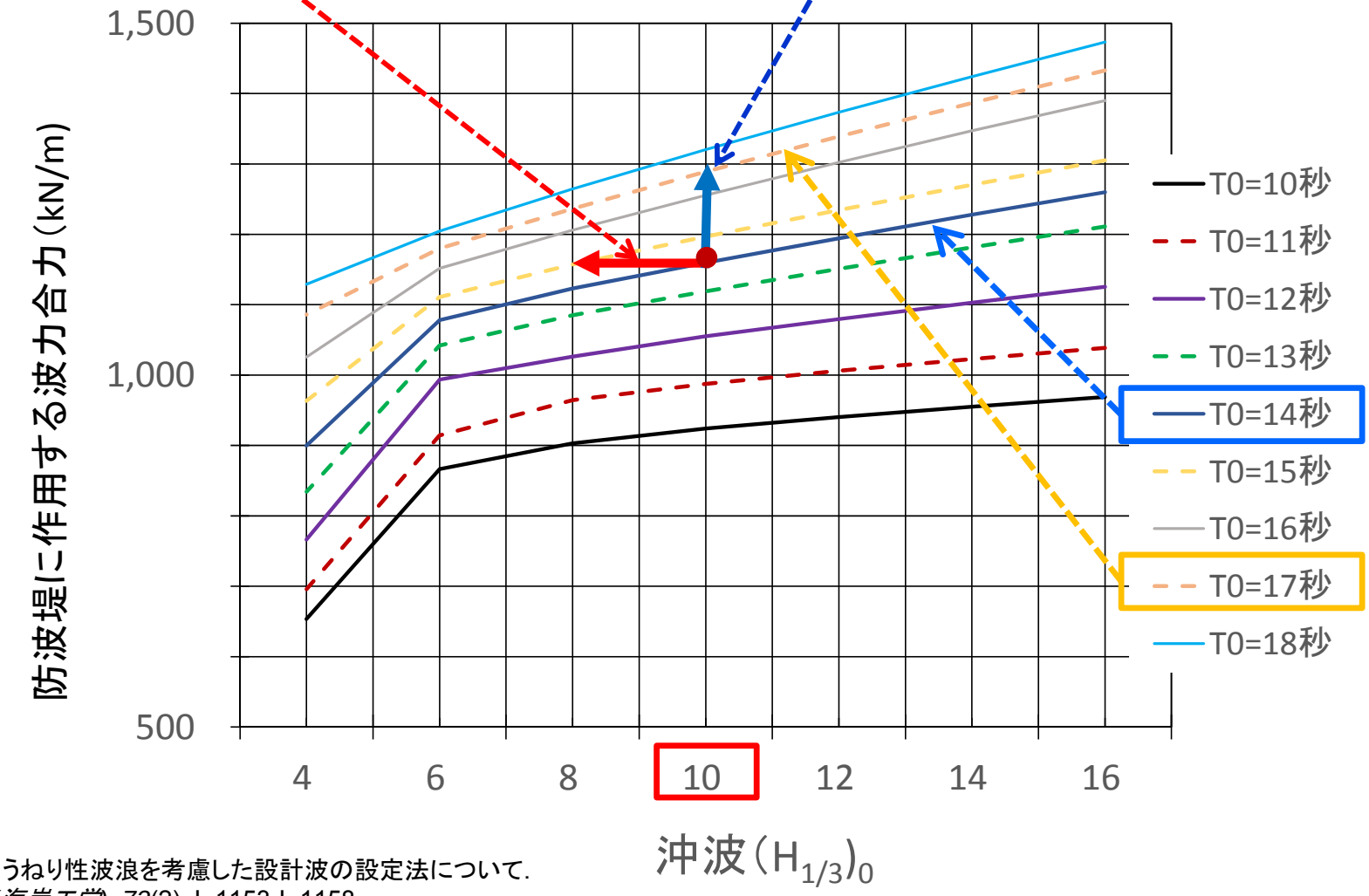
■うねり性波浪の防波堤設計への影響（簡単な試計算）

○従来設計波（波形勾配は約0.033）と同じ波力を発生させる波形勾配条件を探索

⇒沖波波高が2 m低下かつ周期が1秒増加する条件が該当（波形勾配は0.023）

○従来設計波：波高10 mで周期約14秒（波形勾配は約0.033）

⇒周期が約3秒長いうねり（波形勾配約0.02）になると波力は約11%増加



松藤絵理子ら(2017). うねり性波浪を考慮した設計波の設定法について. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, *73*(2), I_1153-I_1158.

参考配布資料6
（シナリオ型の台風に基づく波浪・潮位条件の設定関連）

宇都宮好博, 宮田正史, 高山知司, 河合弘泰, 平山克也, 鈴木善光, 福永勇介(2017). シナリオ台風に基づく最大クラス高潮の設定法について. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, *73*(2), I_247-I_252.

P.71

■偶発波浪に設定する潮位

(3)偶発波浪に設定する潮位

浅海域においては波浪の波高や波向等が潮位によっても変化する。偶発波浪に組み合わせる潮位の設定にあたっては、既往最高潮位や高潮による既往最大潮位偏差にとらわれず、当該地域だけでなく全国の気象擾乱の記録や気象学に基づく台風の発達限界に基づき、適切な強度、規模及び経路の台風または低気圧を想定する。そのシナリオに基づいて高潮を含む潮位と波浪の経時変化を推算して、当該港湾に最も被害をもたらす潮位と波浪の条件を検討する[29)30)31)32)]。観測値の極値統計[33)]や確率台風シミュレーション[34)]等によって、設定した潮位または偶発波浪の再現期間が十分に長いことを確認しておくことが望ましい。

■シナリオ台風の設定例

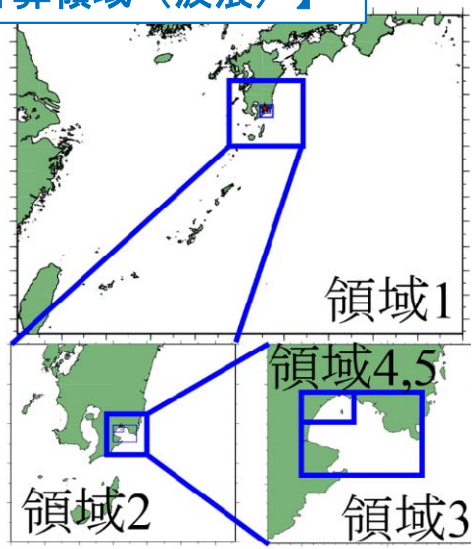
➢設定手順

１．シナリオ台風（最大クラス）の基本設定　※高潮浸水想定区域図作成の手引き（2015）
台風規模（中心気圧：880～900hPa，最大風速半径：75km，移動速度：73km/h）

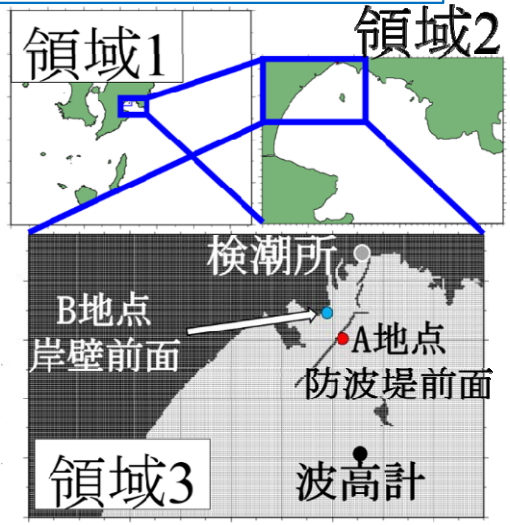
２．港内の潮位偏差が最大となる台風経路の絞り込み（簡易高潮シミュレーション）

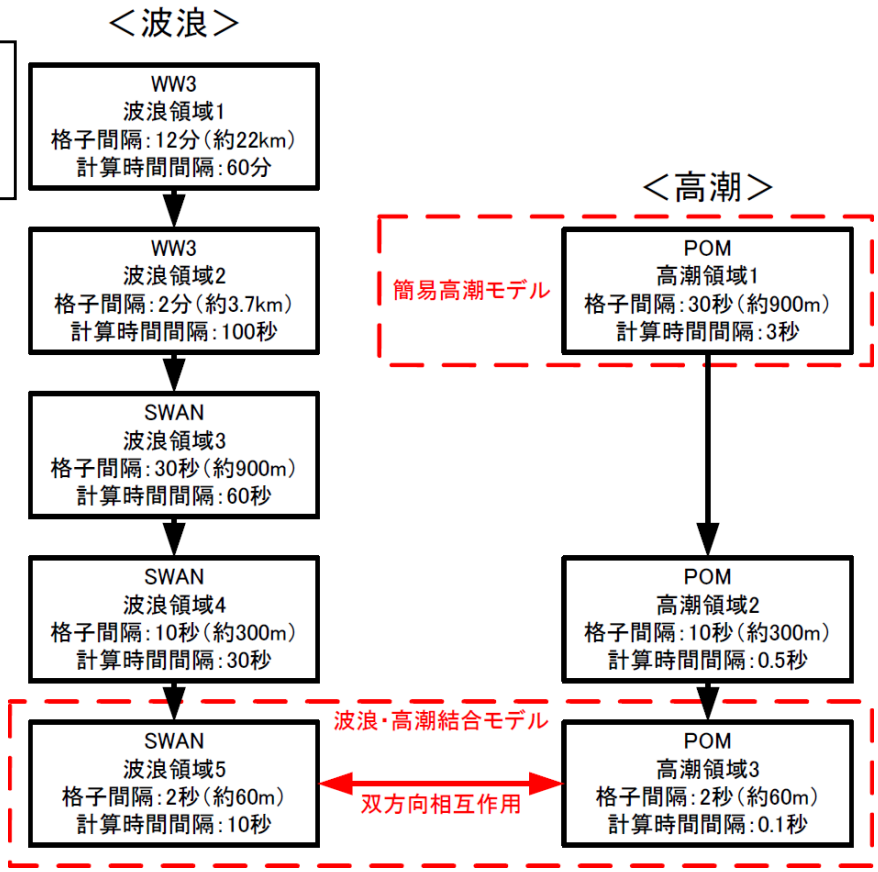
３．詳細な波浪・高潮シミュレーションによる潮位・波浪条件の評価

【計算領域（波浪）】



【計算領域（高潮）】



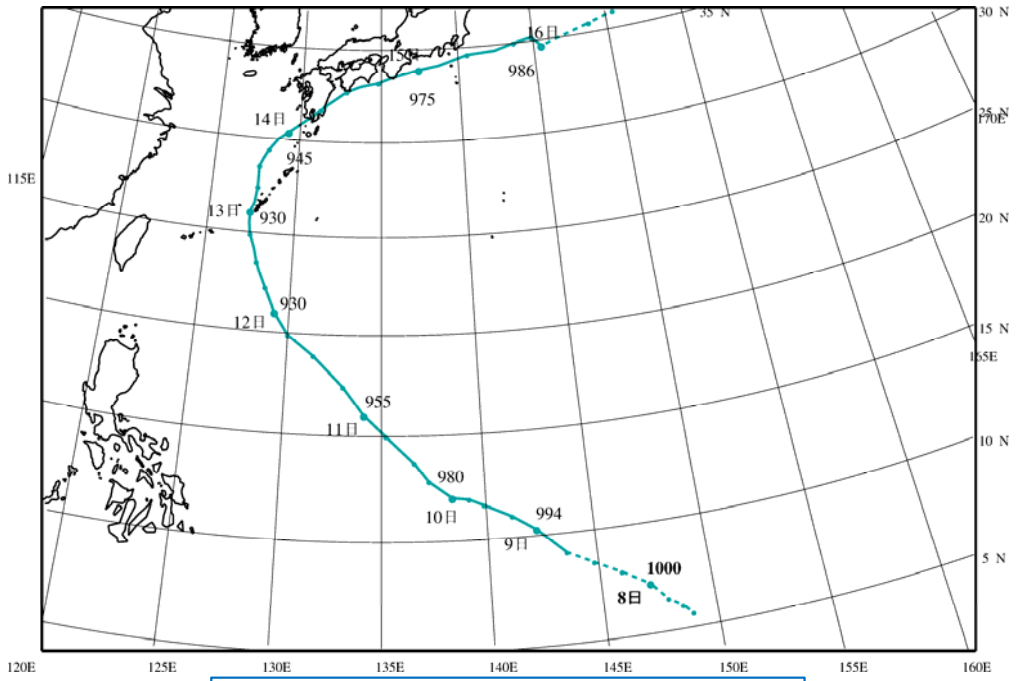


【詳細な波浪・高潮シミュレーション】

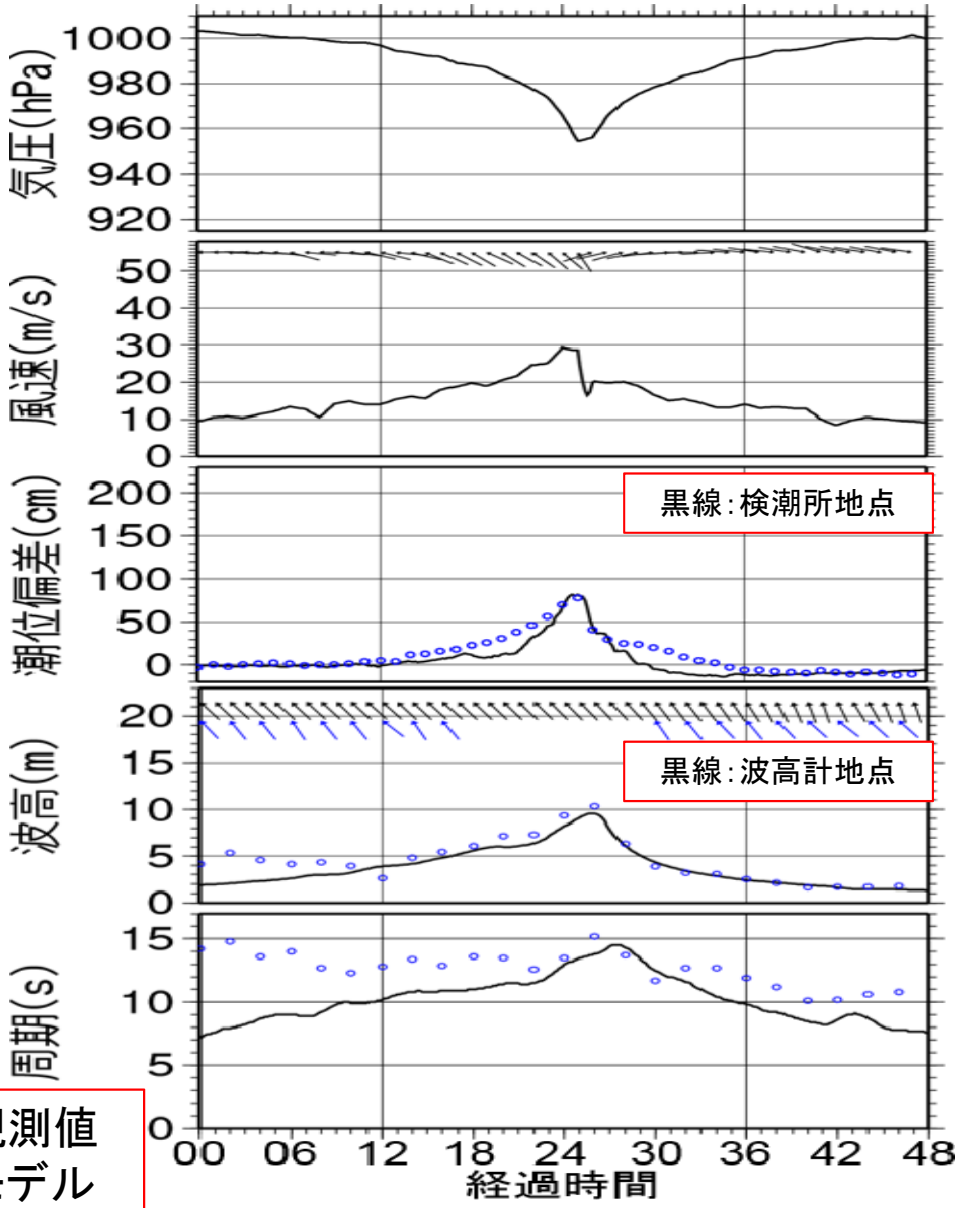
➢既往最大潮位をもたらした実台風によるモデルの精度検証

2007年台風第4号について
観測値とモデルの結果を比較

ピーク時の潮位偏差・波高：
再現性が高い



【2007年台風第4号の台風経路図】



黒：観測値
青：モデル

■シナリオ台風の設定例

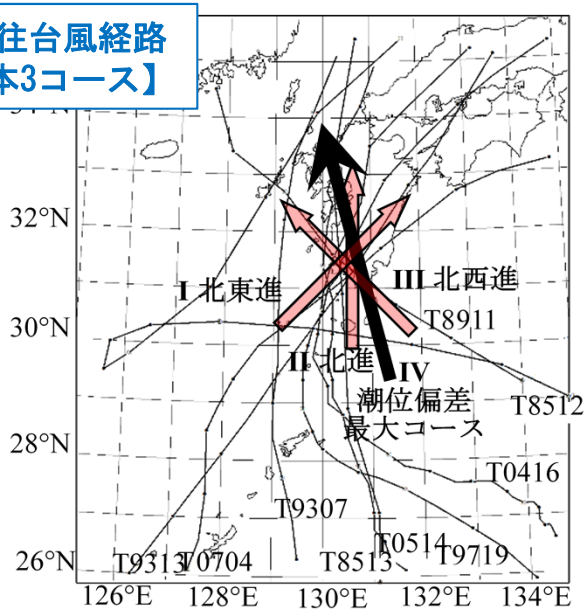
➢簡易高潮モデルによる台風経路の絞込み＆詳細計算による選定

①簡易高潮モデルの作成：POM（Mellor 2002）
②平行移動距離の感度分析
　基本３コース及びその平行移動コース
③台風進行方向の感度分析
　②の最大コースを進行方向変更
④潮位偏差及び波浪が最大となるコースの設定
　・潮位偏差　・波浪
　・設計断面への影響及び護岸の越波流量
　→上記を総合的に判断

【詳細波浪・高潮シミュレーションの計算条件】

計算ケース	台風の進行方向（北から反時計周りの角度）		台風の通過位置 (km)	防波堤の有無
	(deg.)	備考		
CASE 1	15	コースIV（北北西進）	0.507r_0 (= r_0-37)	あり
CASE 2			0.640r_0 (= r_0-27)	
CASE 3			0.373r_0 (= r_0-47)	
CASE 4	0	コースII（北進）	0.507r0 (= r0-37)	
CASE 5	45	コースIII（北西進）		
CASE 6	30	コースIIIとIVの中間		
CASE 7	15	コースIV	0.640r_0 (= r_0-27)	なし

【既往台風経路と基本3コース】

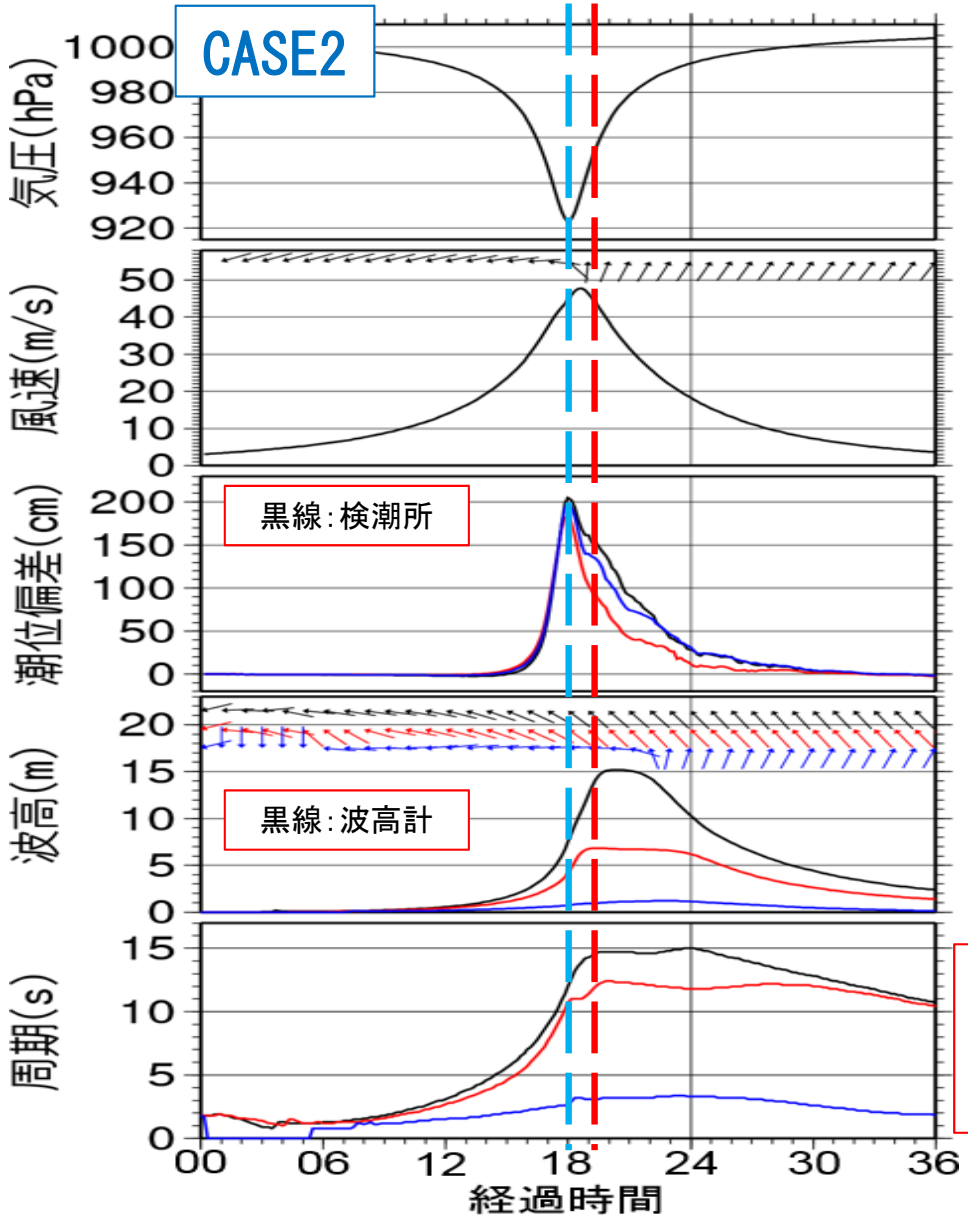


【詳細波浪・高潮シミュレーションの計算結果一覧】

計算ケース	波高 (m)				潮位偏差 (cm)			
	波高計	防波堤 (A地点)	岸壁 (B地点)	検潮所	波高計	防波堤 (A地点)	岸壁 (B地点)	検潮所
CASE 1	15.13	6.79	1.24	0.76	169	181	194	201
CASE 2	15.20	6.83	1.22	0.74	167	183	197	205
CASE 3	15.03	6.74	1.26	0.77	166	174	180	184
CASE 4	14.10	6.68	1.41	0.85	169	183	197	206
CASE 5	12.85	6.53	1.07	0.47	157	169	178	187
CASE 6	14.94	6.72	1.10	0.59	163	175	185	192
CASE 7	15.20	6.84	5.61	2.33	167	184	193	204

■シナリオ台風による高潮・波浪

➢潮位偏差・波浪の経時変化



■潮位偏差の最大時

気圧低下、風速のピーク時と一致

気圧上昇に伴い、潮位偏差も現象。

■波高の最大時

潮位偏差のピークより1時間半ほど遅い。

→時間差、護岸越波流量に大きく影響

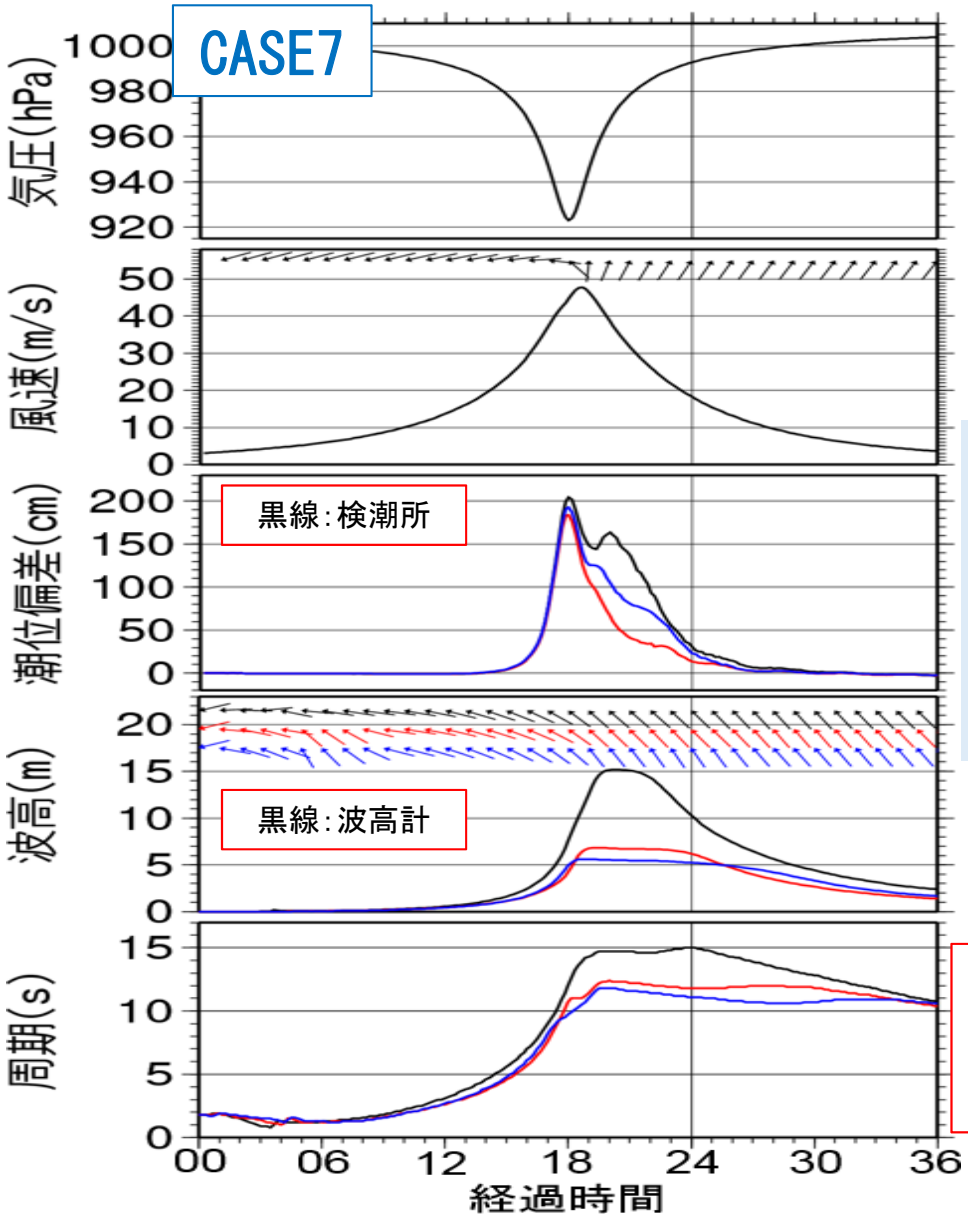
（河合ら 2002海岸工学論文集）

岸壁地点（B地点）の周期が非常に小さい

→波向と風向が一致。港内発生波

黒線：観測地点
赤線：A地点
青線：B地点

➢防波堤の倒壊が岸壁前面の波浪に及ぼす影響



■岸壁前面(B地点)

防波堤前面（A地点）と同程度の波高

波高のピーク形状：緩やか

→砕波などによって波高は高くならない

波高と潮位偏差のピーク時間差：約50分

→防波堤があるとき(約5時間)より短い

■潮位偏差と波浪の同時生起性

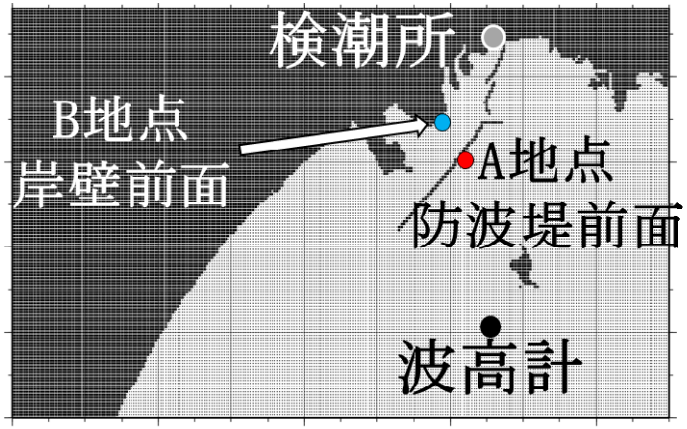
潮位最大から波高最大の時間差：1.5～2.5時間後

潮位最大時の波高：波高最大時の0.51～0.61倍

波高最大時の潮位：潮位最大時の0.23～0.47倍

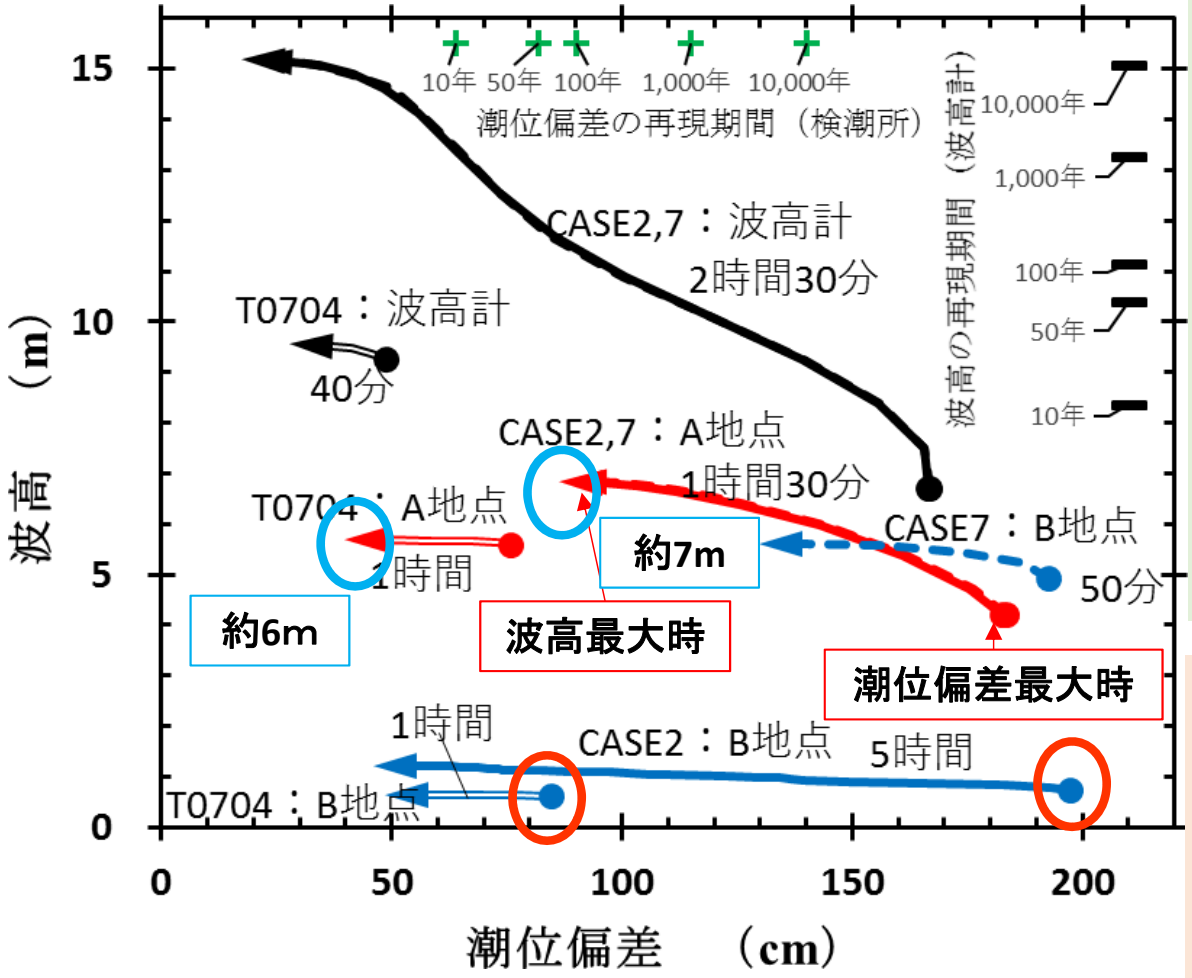
→同時生起を確認しないと、過大設計もありうる

黒線:観測地点
赤線:A地点
青線:B地点



■シナリオ台風に対する防波堤と防潮堤の設計

➢防波堤と防潮堤の補強対策の実現性



黒線：波高計地点、赤線：A地点、青線：B地点
二重線：実台風、実線：CASE 2、破線：CASE 7

■防潮堤の設計（検潮所）

2007年台風4号（既往最大） 約85cm
シナリオ台風 約2m
⇒<u>既往最大より1m程度大きい</u>

- IPCC第5次報告書：（1990年→2100年）
  全球平均0.26m～0.83mの海面上昇
- 近年の老朽化に伴う補修工事

防潮堤1m程度の嵩上げ：
<u>実現性のある対策</u>

■防波堤の設計（防波堤前面）

防波堤の補強対策も選択肢として
入れる必要がある。

2007年台風4号（既往最大） 約6m
シナリオ台風 約7m
⇒<u>1m程度の差。実現性も低くはない</u>

■シナリオ台風に対する防波堤の安定性(時刻変化)

➢防波堤の安定照査の事例

1/30の一様勾配海岸を持つ単純な防波堤

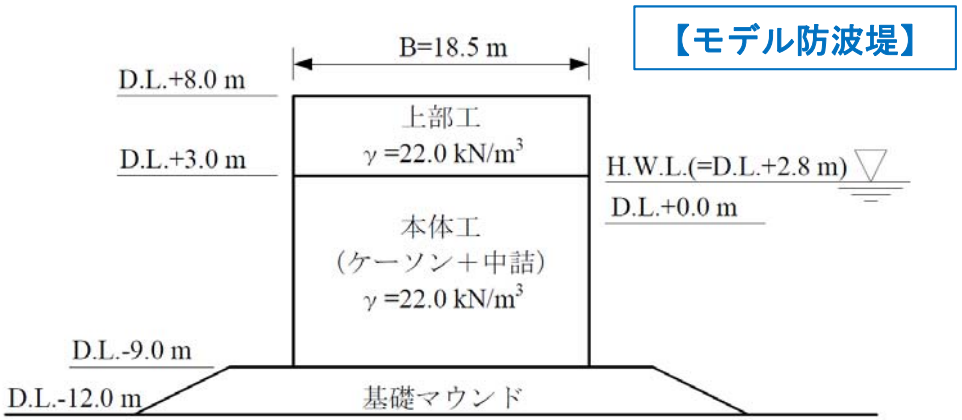
・天文潮位：D.L.(基本水準面)＋2.8m

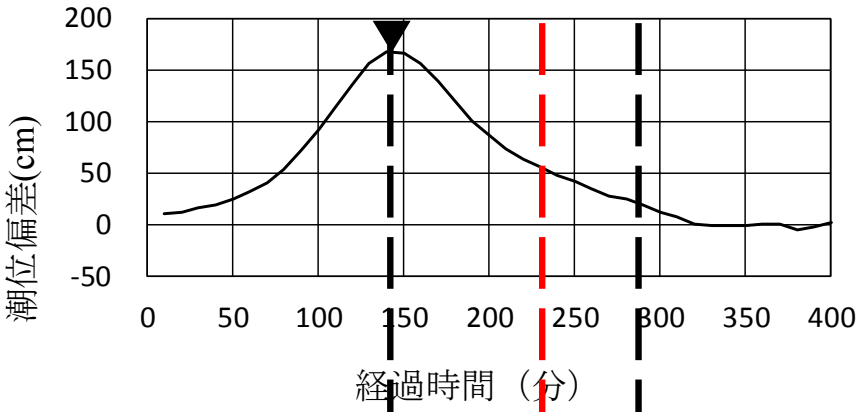
・沖合での波向：海岸に直交

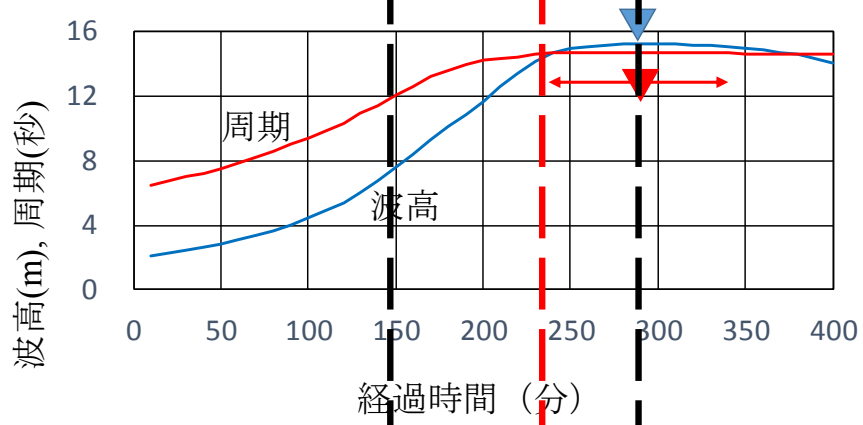
・CASE2での潮位偏差・沖合での波高･周期

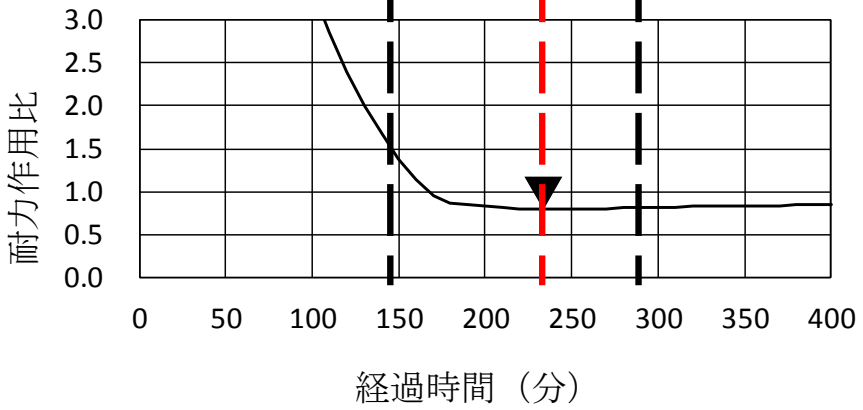
（浅水変形・屈折変形・砕波変形を考慮）

⇒防波堤の耐力作用比を求めた









■潮位低下時、波浪ピーク直前で最大

・潮位偏差ピーク時：耐力作用比1.5以上(安定)

・波高ピーク時：耐力作用比 ピークよりやや高い

★最も防波堤が危険な状態になるのは、潮位最大でも波浪最大でもなく、その中間の時間帯。

■まとめと今後の課題

①まとめ

- モデル港湾に対して最大クラスのシナリオ台風を仮定して高潮・波浪を推算し、防潮堤・防波堤の補強の実現性を議論
  - 潮位偏差と波高の最大値：必ずしも同時生起しない
    ⇒過大な設計条件となる可能性がある。
  - 沖防波堤の被災が背後地域の高潮被害に及ぼす影響が大きい場合
    ⇒沖防波堤を波高の最大値まで耐えるように補強する。
- モデル防波堤について、シナリオに沿った安定性照査を試算
  - 時系列に沿った検討が必要

②今後の課題

- 波浪が最大となるシナリオ台風？