

係留施設の設計法について(案)

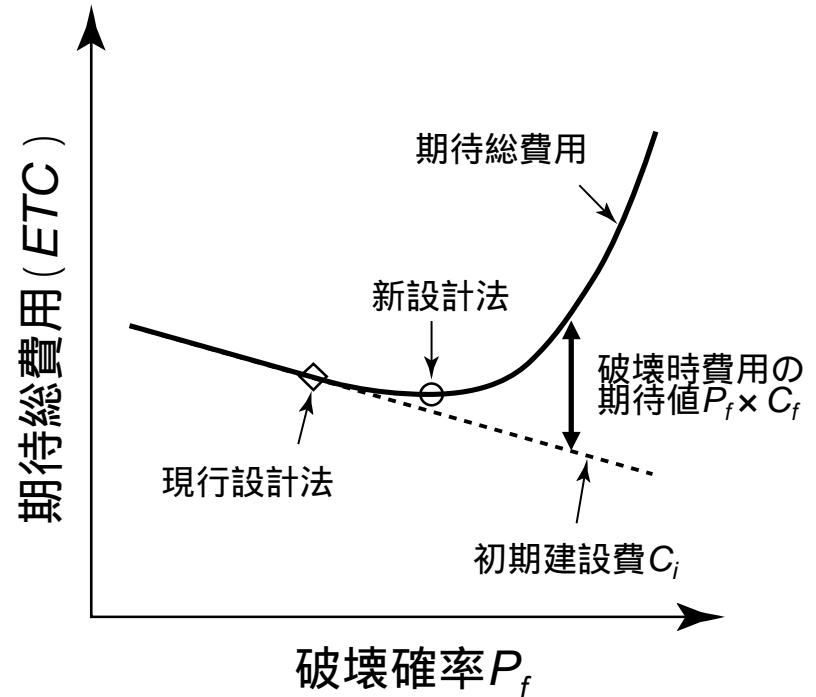
内容

- 永続状態(常時)などに対する部分係数の設定について
- レベル1地震動に対する耐震性能照査
(照査用震度の設定)
- レベル2地震動に対する耐震性能照査
(性能照査手法の概要)

永続状態(常時)などに対する 部分係数の設定について(案)

永続状態(常時)の設計:期待総費用の概念の導入

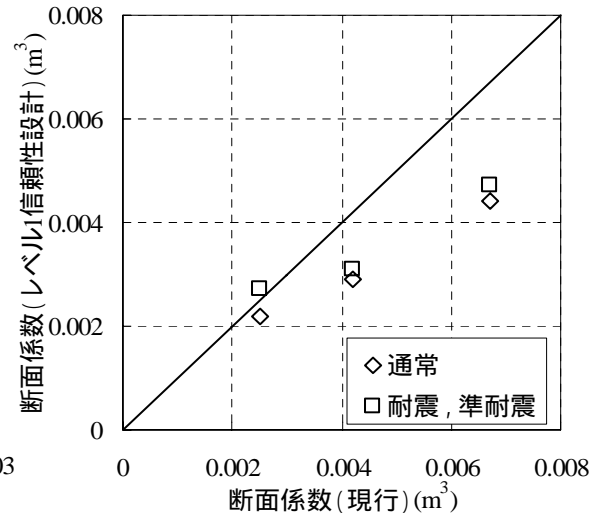
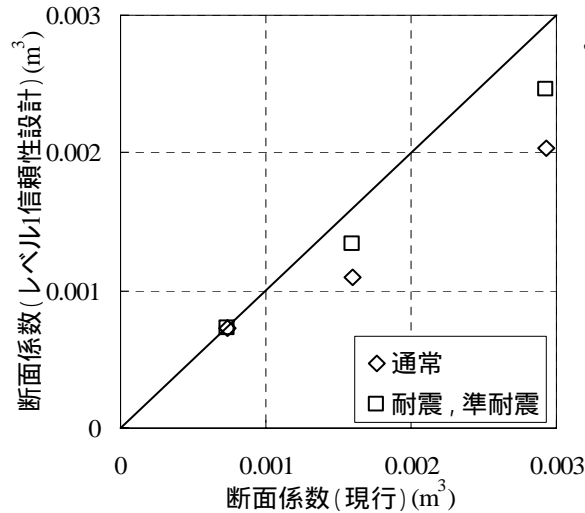
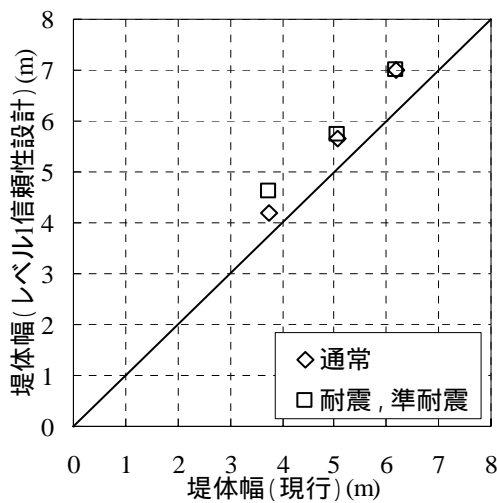
- 重力式, 矢板式, 栈橋式岸壁の永続状態等(土圧, 船舶接岸等, 円弧すべり)および防波堤の永続状態(円弧すべり)のレベル1信頼性設計法は, 目標安全性を期待総費用を考慮した安全性水準とした.
- 期待総費用の算定においては, 経済損失費用を考慮した.
- このことにより, 重力式岸壁の外的安定 ($F_s=1.2$) と矢板式岸壁の鋼材降伏 ($F_s=1.67$) の違いが解消された.



$$ETC = C_i + P_f C_f$$

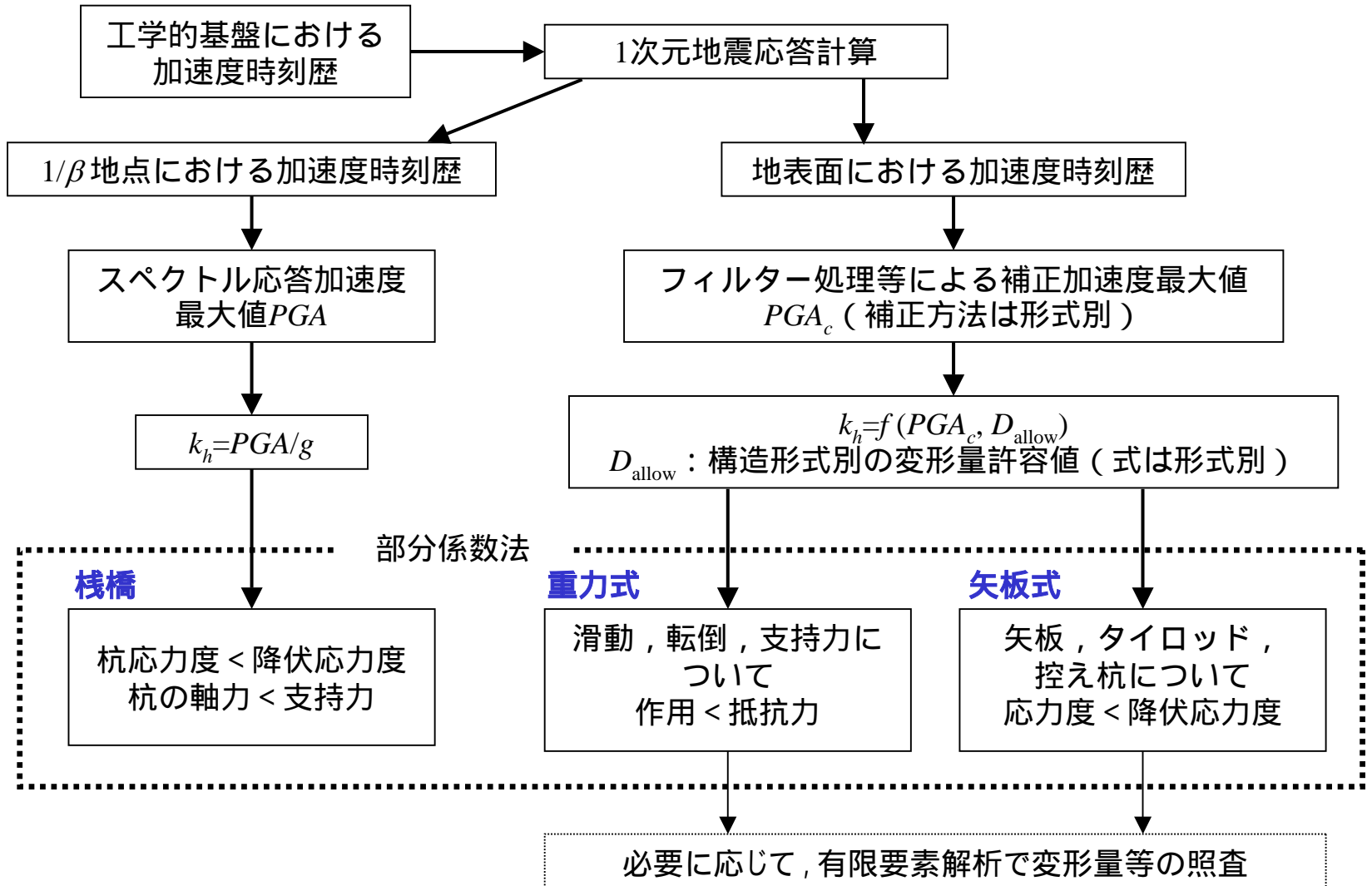
レベル1信頼性設計結果

- ケーソン式岸壁: 永続状態の壁体は現行設計法より安全側の断面.
- 矢板式岸壁: 永続状態の壁体は現行設計法より経済的な断面.
- 栈橋式岸壁: 船舶接岸に対する壁体は現行設計法より経済的な断面.
- 円弧すべり: 現行設計法より経済的な断面.



レベル1地震動に対する 耐震性能照査(案)

レベル1地震動に対する照査フロー



変形を考慮した簡易照査方法(レベル1地震動)

現行基準

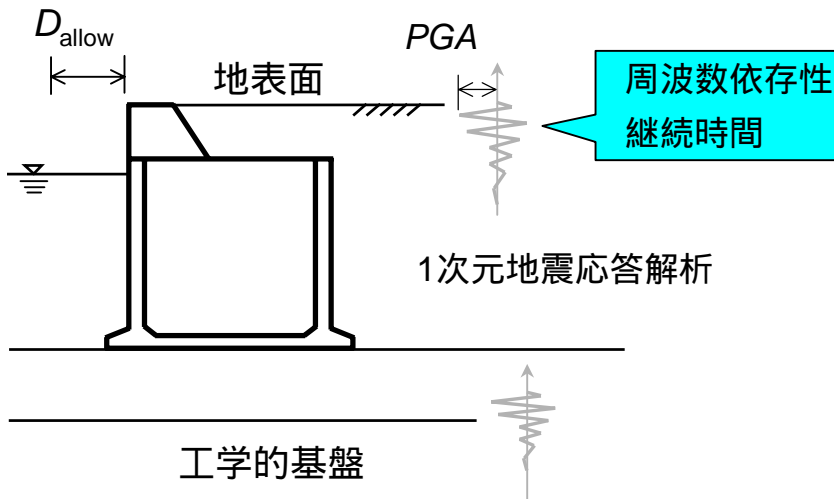
耐震設計(簡易法:震度法)

設計震度

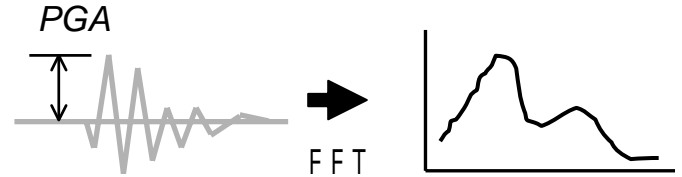
= 地域別震度 × 地盤種別係数 × 重要度係数



構造物の変形を考慮した設計震度を算出



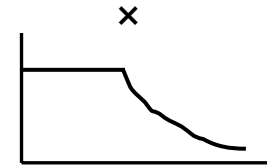
推奨される照査方法



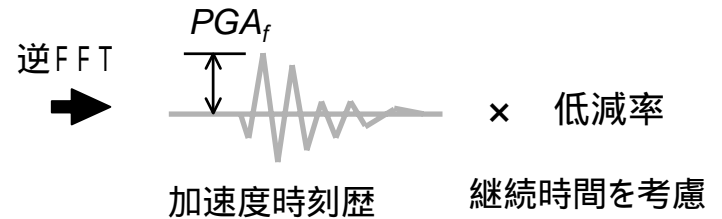
地表面加速度

加速度スペクトル

構造形式ごとの変形特性を加味した周波数フィルター

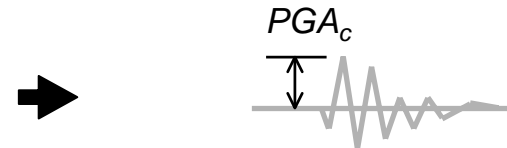


周波数依存性を考慮



加速度時刻歴

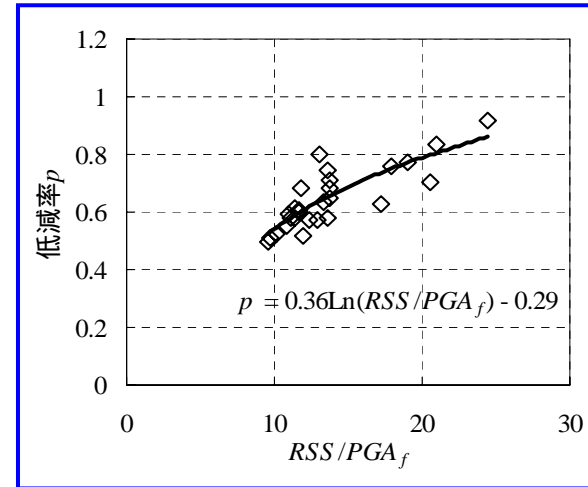
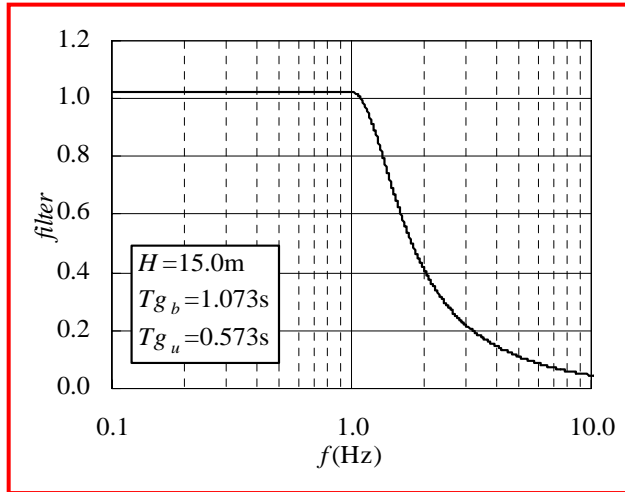
継続時間を考慮



地表面最大加速度 (PGA_c) と構造物ごとの許容変形量 (D_{allow}) の関係をもとに設計震度を算出

重力式岸壁の照査用震度算出法

(周波数特性, 地震動継続時間の影響考慮)



$$filter = \begin{cases} base & 0 \leq f \leq 1.0 \text{ Hz} \\ \frac{base}{1 - \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right)^2 + 6.80 \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right) i} & 1.0 \text{ Hz} < f \end{cases}$$

ここに, $base = 1.05 \frac{H}{H_r} - 0.88 \frac{T_{g_b}}{T_{g_{br}}} + 0.96 \frac{T_{g_u}}{T_{g_{ur}}} - 0.23$

H : 壁高(m) $H_r = 15.00$ m

T_{g_b} : 背後地盤の初期固有周期(s) $T_{g_{br}} = 0.80$ s

T_{g_u} : ケーソン下地盤の初期固有周期(s) $T_{g_{ur}} = 0.40$ s

$$p = 0.36 \ln(x) - 0.29$$

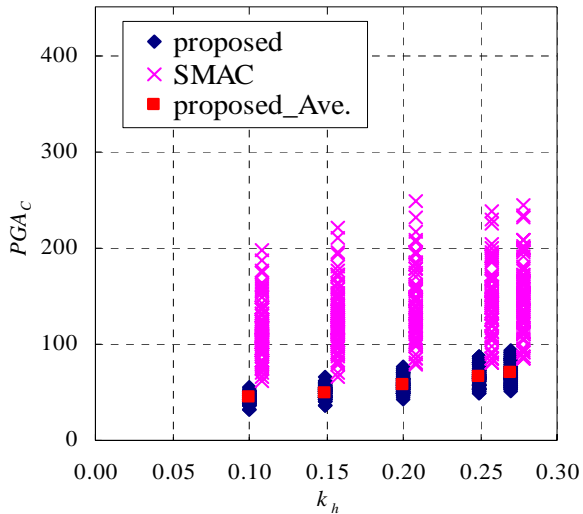
ここに,

p : 低減係数

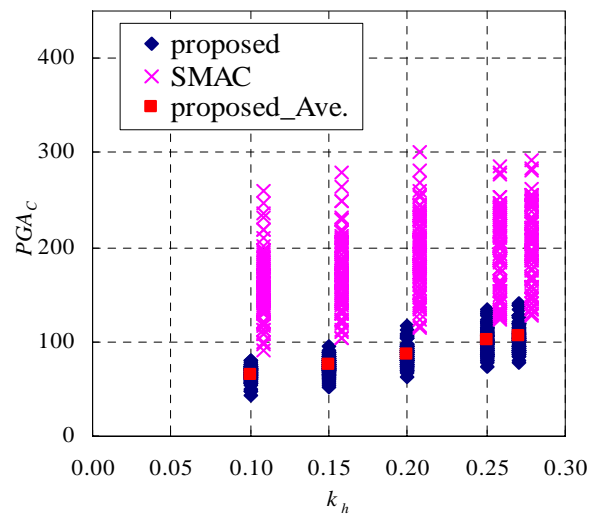
x : RSS/PGA_f

従来式 ($k_h=1/3(PGA/g)^{1/3}$) との比較

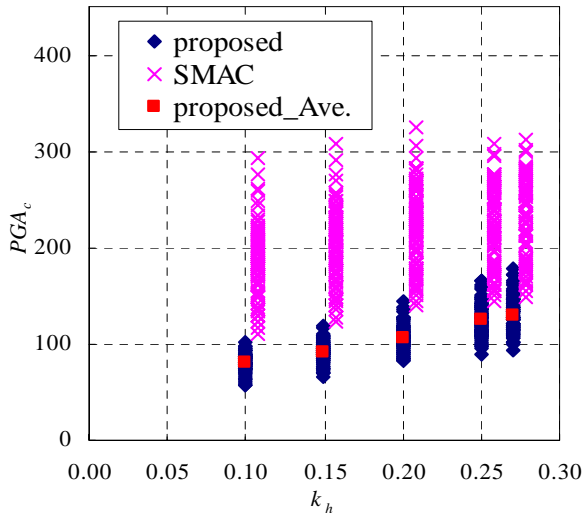
残留変形量5cm



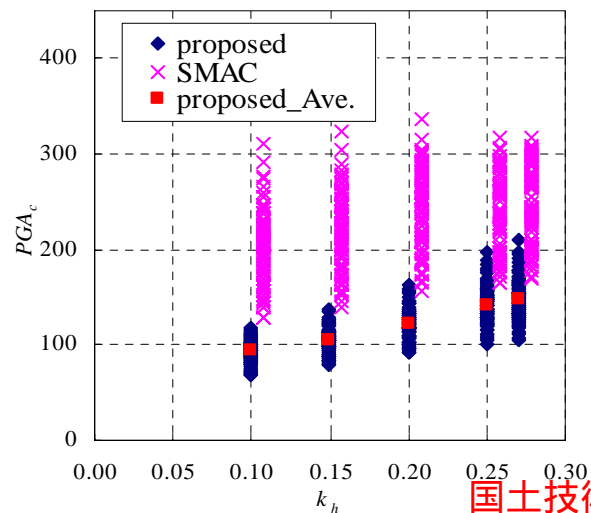
残留変形量10cm



残留変形量15cm



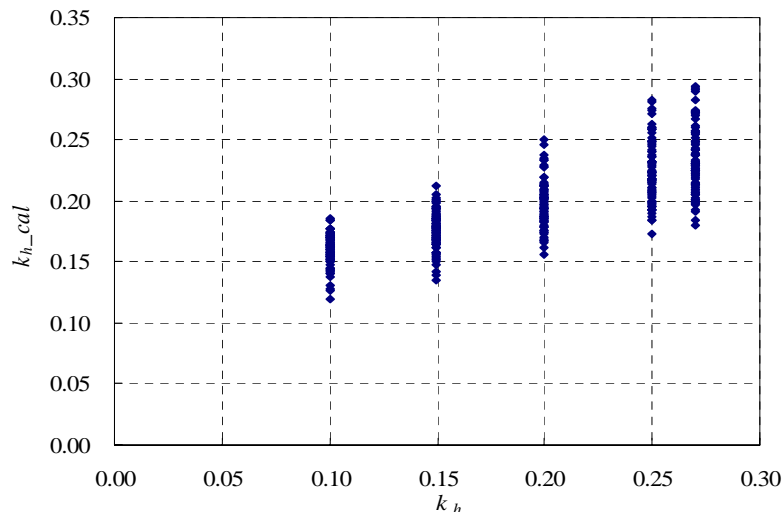
残留変形量20cm



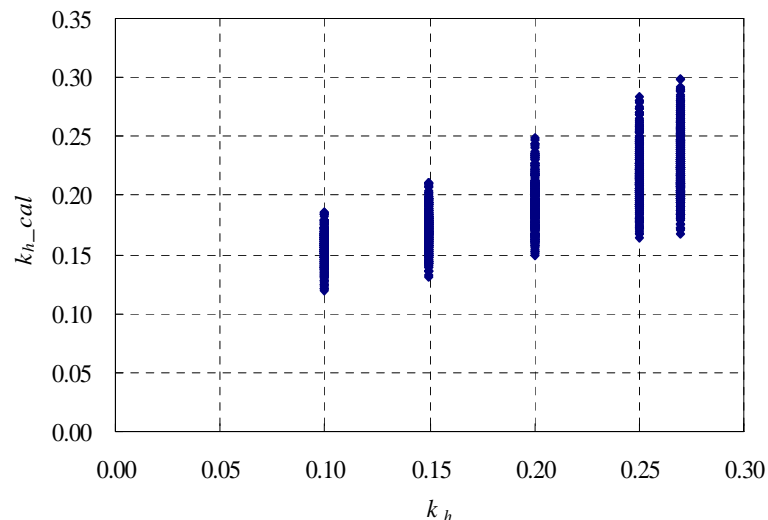
震度算出法(重力式): 部分係数は基本的に1.0

$$k_h = 6.33 \cdot D_{allow}^{-0.55} \cdot PGA_c / g + 0.04$$

- k_h : 照査用震度
 D_{allow} : 変形量許容値 (cm)
 PGA_c : 補正後の加速度最大値 (Gal)

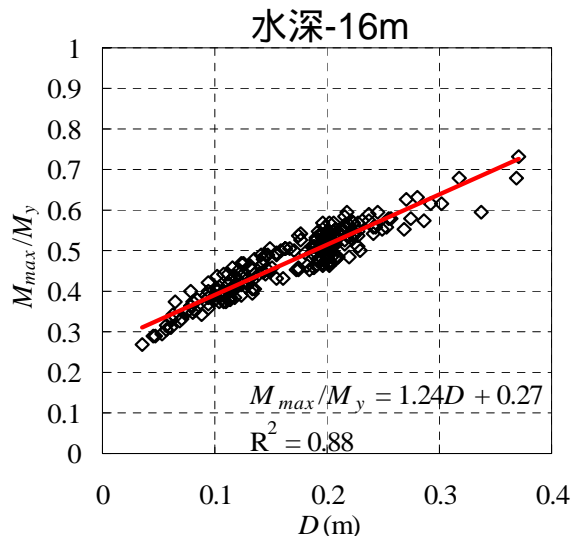
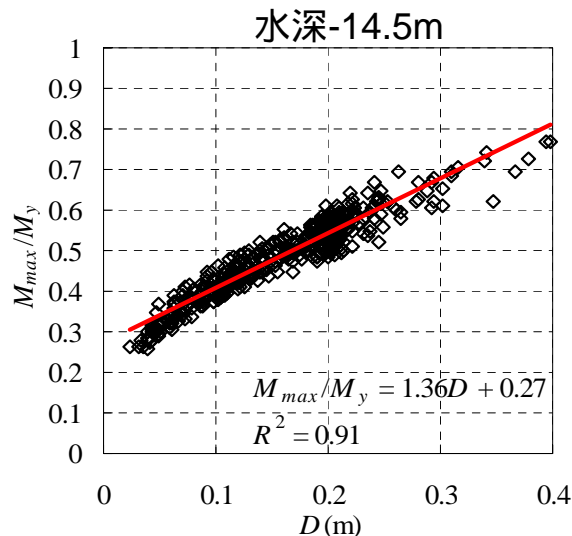
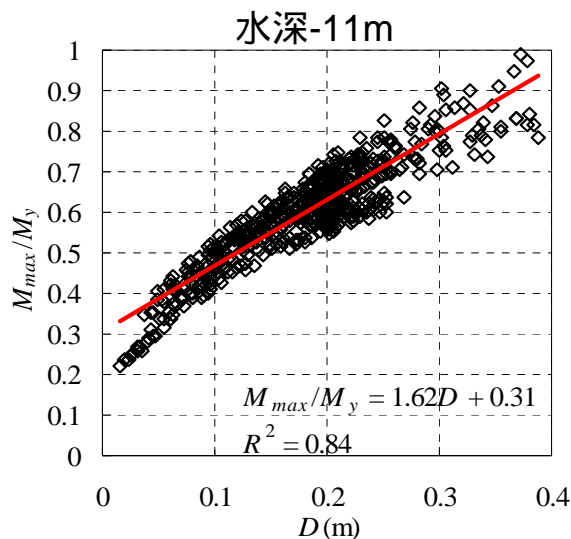
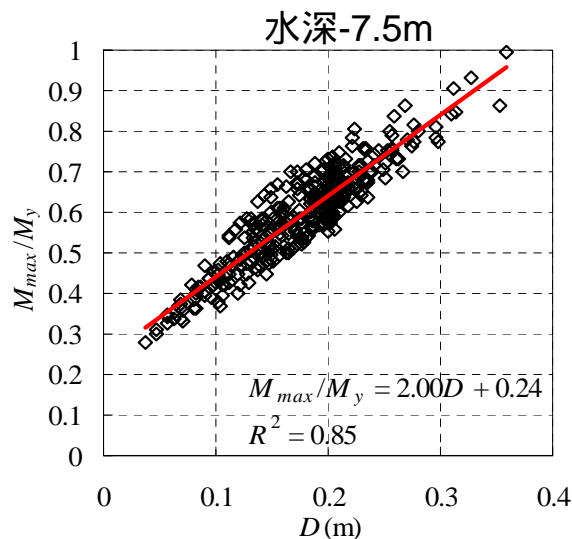


10cm変形時の震度の精度



20cm以下の任意の変形量に対応する震度の精度

矢板式岸壁の照査用震度算出法



従来

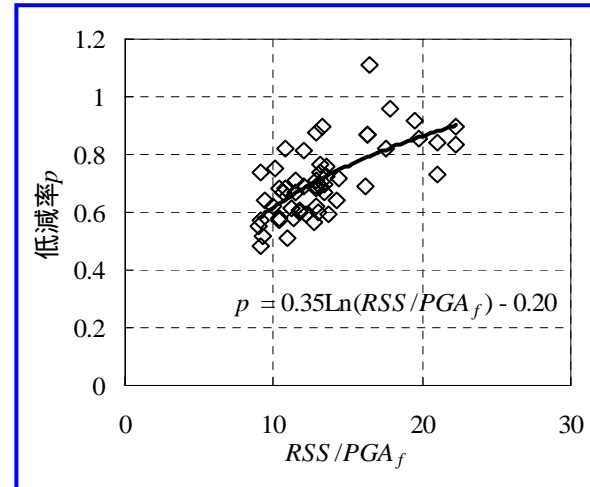
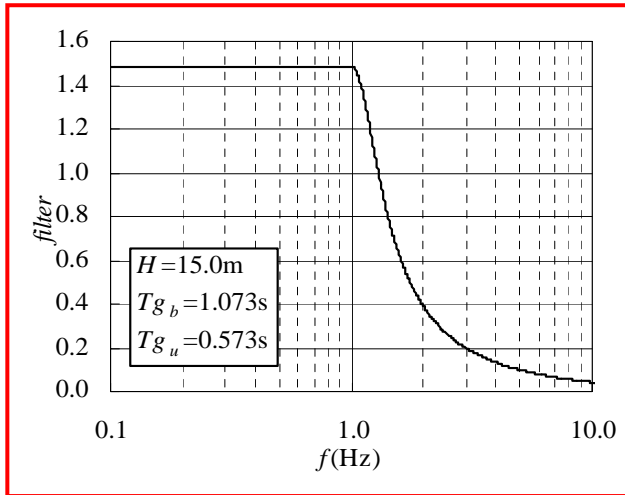
矢板は固定（変形なし）という前提で、応力照査をしてきた

実際

応力よりも変形が厳しい

矢板式岸壁の照査用震度算出法

(周波数特性, 地震動継続時間の影響考慮)



$$filter = \begin{cases} base & 0 \leq f \leq 1.0\text{Hz} \\ \frac{base}{1 - \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right)^2 + 11.00 \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right)^i} & 1.0\text{Hz} < f \end{cases}$$

ここに, $base = 2.25 \frac{H}{H_r} - 0.88 \frac{Tg_b}{Tg_{br}} + 0.96 \frac{Tg_u}{Tg_{ur}} - 0.96$

H : 壁高(m) $H_r = 15.00\text{m}$

Tg_b : 背後地盤の初期固有周期(s) $Tg_{br} = 0.80\text{s}$

Tg_u : 海底面下地盤の初期固有周期(s) $Tg_{ur} = 0.40\text{s}$

$$p = 0.35\text{Ln}(x) - 0.20$$

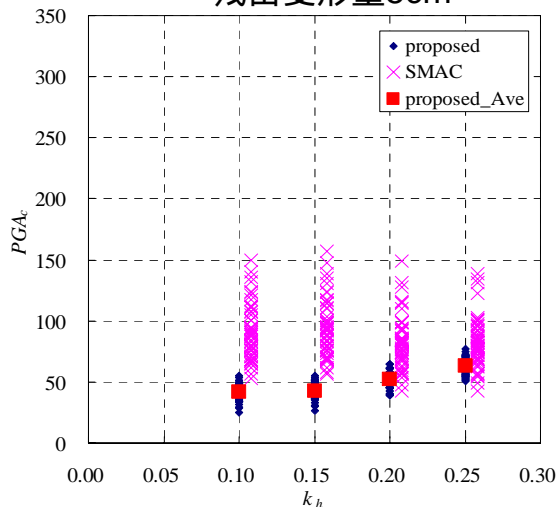
ここに,

p : 低減係数

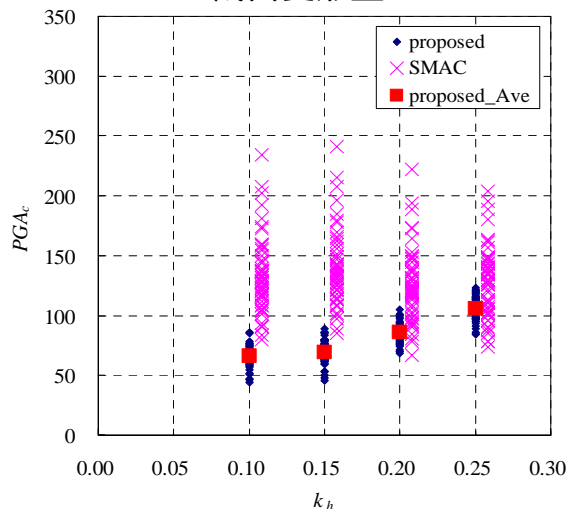
x : RSS/PGA_f

従来式 ($k_h=1/3(PGA/g)^{1/3}$) との比較

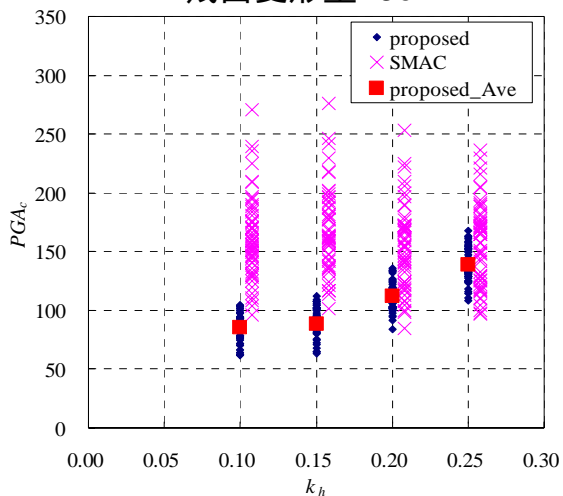
残留変形量5cm



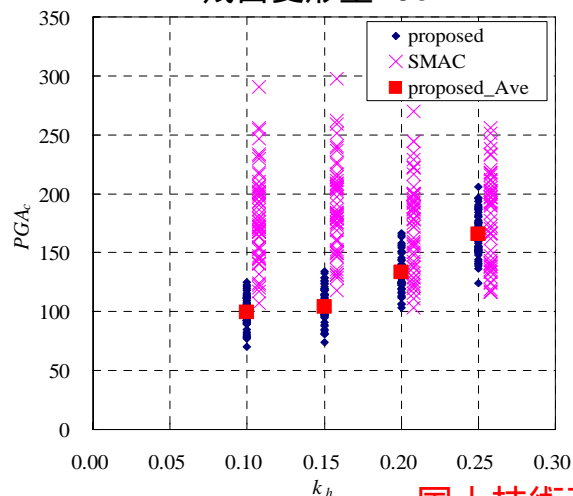
残留変形量10cm



残留変形量15cm



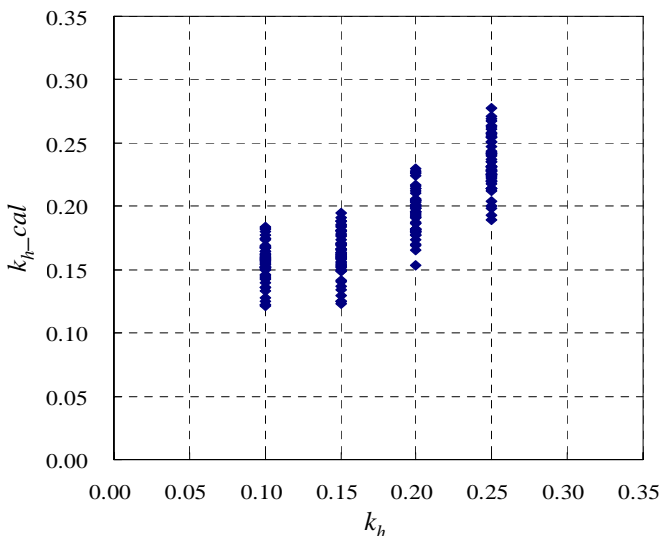
残留変形量20cm



震度算出法(矢板式): 部分係数は基本的に1.0

$$k_h = 9.36 \cdot D_{allow}^{-0.69} \cdot PGA_c / g + 0.03$$

- k_h : 照査用震度
 D_{allow} : 変形量許容値 (cm)
 PGA_c : 補正後の加速度最大値 (Gal)



15cm変形時の震度の精度

震度は照査用断面決定
のための震度

2次元動的解析による
チェックを推奨

控え組杭式矢板式岸壁の 照査用震度算出法

$$filter = \begin{cases} base & 0 \leq f \leq 1.0\text{Hz} \\ \frac{base}{1 - \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right)^2 + 11.00 \left(\frac{f-1.0}{1/0.34}\right)^i} & 1.0\text{Hz} < f \end{cases}$$

ここに , $base = 2.25 \frac{H}{H_r} - 0.88 \frac{Tg_b}{Tg_{br}} + 0.96 \frac{Tg_u}{Tg_{ur}} - 0.76$

H : 壁高(m) $H_r = 15.00\text{m}$

Tg_b : 背後地盤の初期固有周期(s) $Tg_{br} = 0.80\text{s}$

Tg_u : 海底面下地盤の初期固有周期(s) $Tg_{ur} = 0.40\text{s}$

$$p = 0.31 \ln(x) - 0.10$$

ここに ,

p : 低減係数

x : RSS / PGA_f

継続時間の影響を考慮

周波数特性を考慮するためのフィルター

$$k_h = 7.26 \cdot D_{allow}^{-0.74} \cdot PGA_c / g + 0.05$$

k_h : 照査用震度

D_{allow} : 変形量許容値 (cm)

PGA_c : 補正後の加速度最大値 (Gal)

照査用震度算出式

標準的な震度算出法を用いる際の留意点

提案法は液状化を発生させない条件で構築しているため、この条件においてのみ適用が可能である。

75年再現期間の波形は、サイトによっては非常に小さな地震動となる。そのため、提案法により k_h を算出した場合、L1地震動によっては0.05を下回るような小さな k_h が得られる場合があるが、地震ハザード解析の精度、従来の設計法との整合性等に配慮して、下限値は0.05とする。

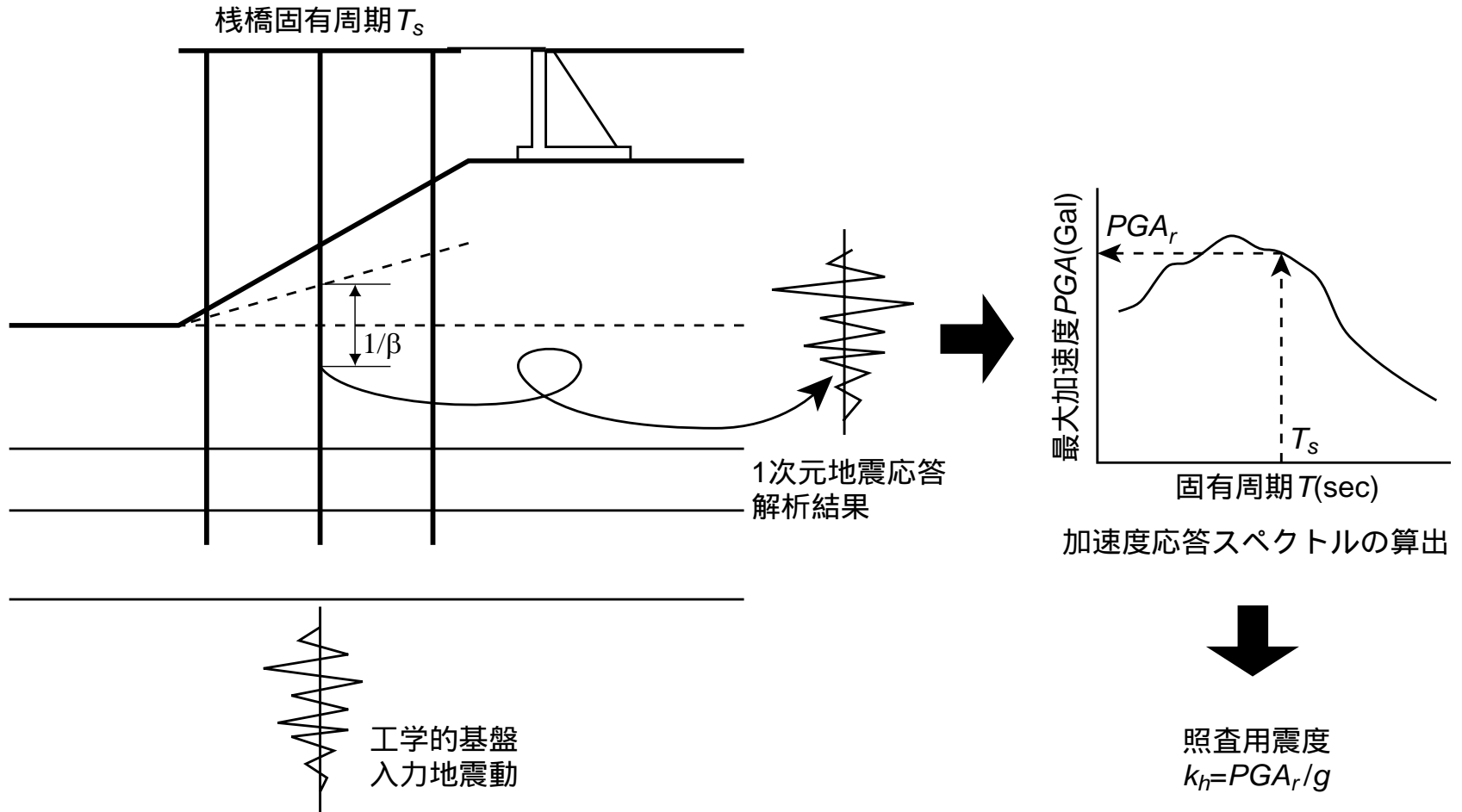
提案法により k_h を算出した場合、非常に大きな k_h が算出されることがある。0.25程度以上の k_h が算出された場合の対応として以下のようなものがある。ただし、b.～d.の場合にも動的解析等により性能を確認する必要がある。

- a. $k_h=0.25$ として断面を設定し、非線形有効応力有限要素解析により動的解析で性能を確認する。
- b. 栈橋等の他の構造形式の採用を検討する。
- c. 地盤改良を検討する。地盤改良により地盤の固有周期が変化すると、baseの値が変化するため、 k_h は変化する。
- d. D_{allow} の変更を検討する。

提案法によってもなお、ばらつきはあるため、本方法により耐震性能照査用断面を設定した後に、非線形有効応力有限要素解析により動的解析を実施して、性能を確認することが望ましい。

ここで示す標準的な照査用震度算出法は、 D_{allow} が5～20cmに対して作成されたものである。それ以外の変形量の採用にあたっては、注意が必要である。

照査用震度の算出方法



栈橋の性能照査

- 杭の応力度 杭頭の曲げ降伏(縁部降伏を起こさない)
- レベル1地震動に対しては使用性で目標安全性水準を設定
- 性能照査式

$$\gamma_a (\sigma_{bd} + \sigma_{cd}) \leq \sigma_{yd}$$

$$\sigma_{bd} = \frac{M_d}{Z}$$

$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A}$$

ここに,

σ_b : 曲げモーメントによる最大曲げ圧縮応力度

σ_c : 軸方向圧縮力による軸圧縮応力度

σ_y : 鋼杭の降伏強度

M : 曲げモーメント

N : 軸方向圧縮力

Z : 鋼杭の断面係数

A : 鋼杭の断面積

γ_a : 構造解析係数

栈橋の性能照査

- 杭の支持力 軸方向抵抗力に達しない。
- 杭基礎を参照し、従来の方法を踏襲する。
- 従来の手法における安全率に相当する構造解析係数を用いる。

$$\gamma_a \cdot R_{ud} \geq N_d$$

ここに、

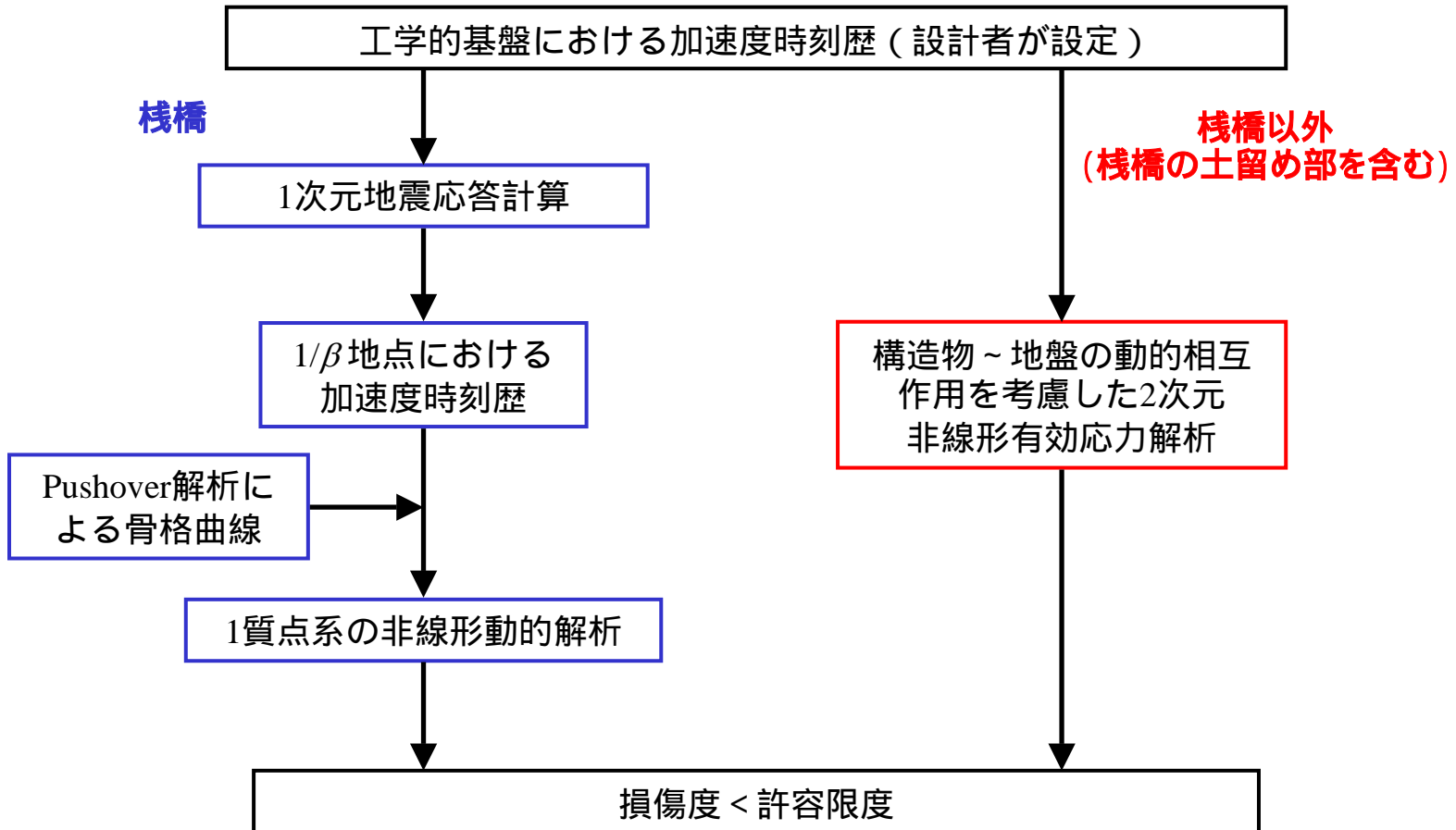
N : 軸方向圧縮力

R_u : 極限支持力or許容引抜き力

γ_a : 構造解析係数

レベル2地震動に対する 耐震性能照査(案)

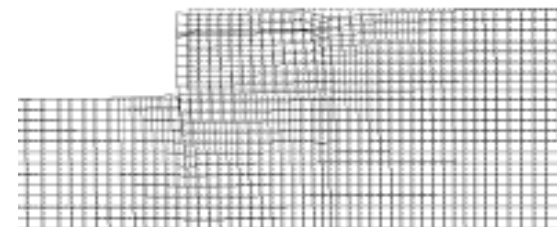
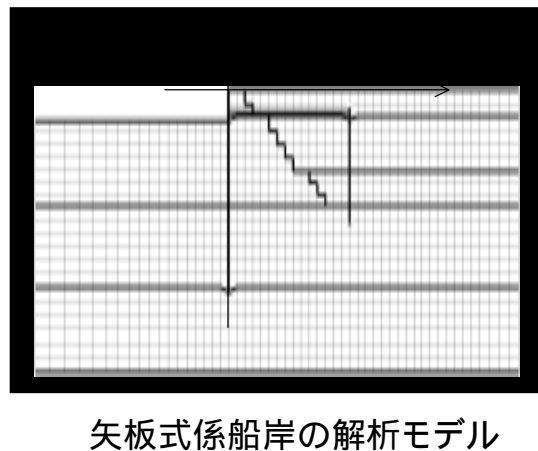
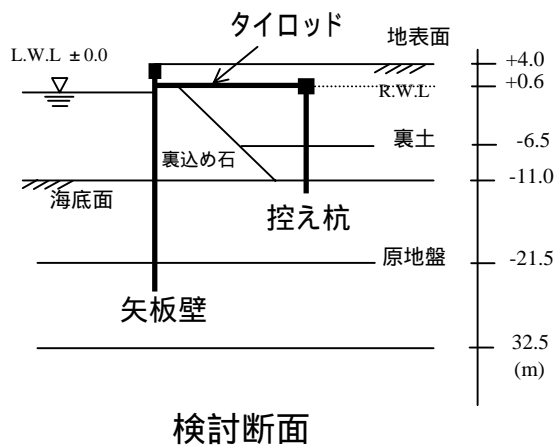
レベル2地震動に対する照査フロー



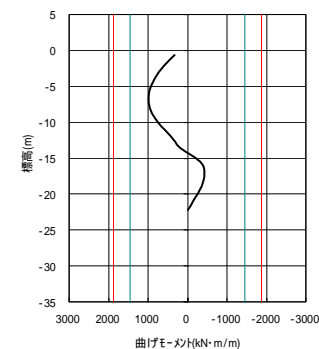
偶発状態における性能照査

・レベル2地震動に対する照査

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を実施し、施設の変形量や部材の応力が限界値以下であることを確認する。



変形量の照査

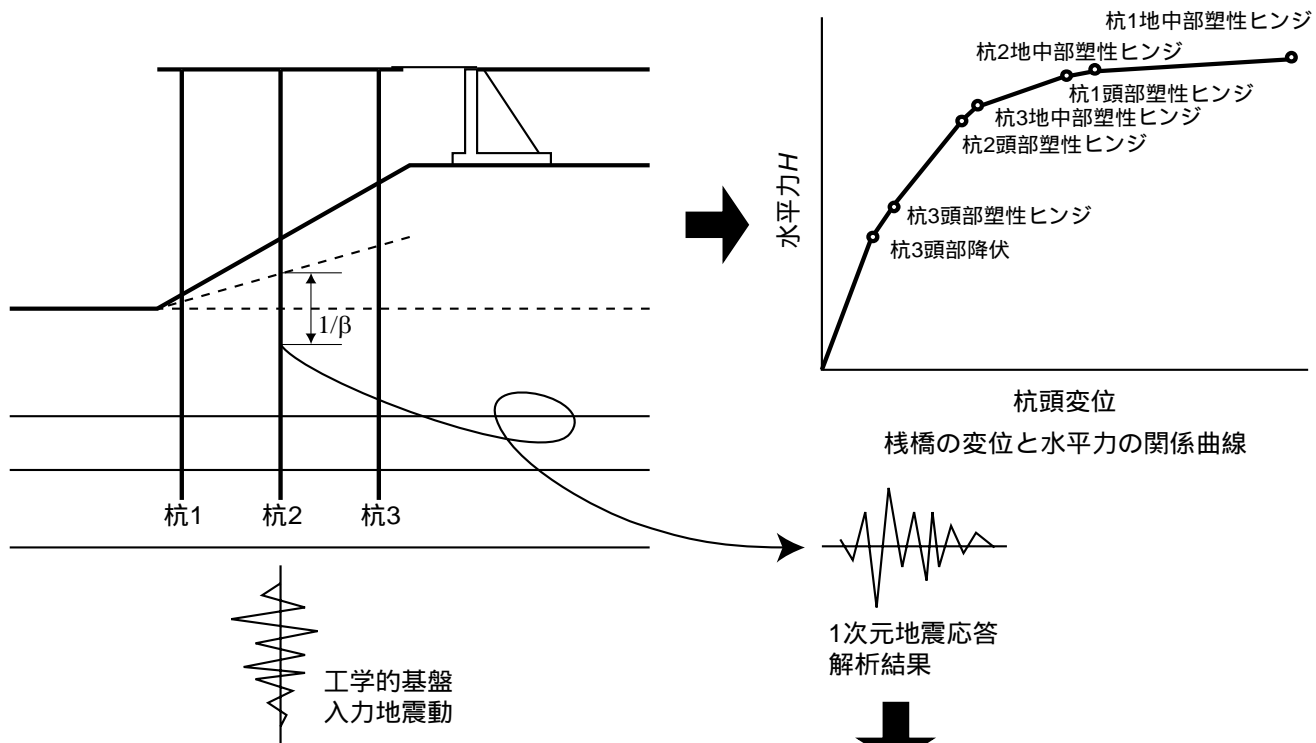


矢板の曲げモーメント図(部材応力の照査)

FLIPによる矢板式係船岸の性能照査(例)

偶発状態における性能照査

・レベル2地震動に対する照査



$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{z}$$

\ddot{z} : 入力地震動

1質点系の非線形動的解析による性能照査(例)