

開発許可申請などを対象とした設計計算セミナー

# 擁壁設計の考え方と計算方法

## 第1回 擁壁の概要と擁壁設計の流れ

---

株式会社 総合システム

## ➤ 第1回 擁壁の概要と擁壁設計の流れ

- (補足)開発許可・開発行為とは
- 擁壁の概念
- 擁壁設計の流れと概要

## ➤ 第2回 【予定】 擁壁に作用する荷重（土圧、上載荷重、地下水）の計算

## ➤ 第3回 【予定】 擁壁の安定計算（転倒・滑動・支持力の照査）

## ➤ 第4回 【予定】 擁壁の部材計算（たて壁の設計、底版の設計） 許容応力度設計法

# (補足)開発許可・開発行為とは

---

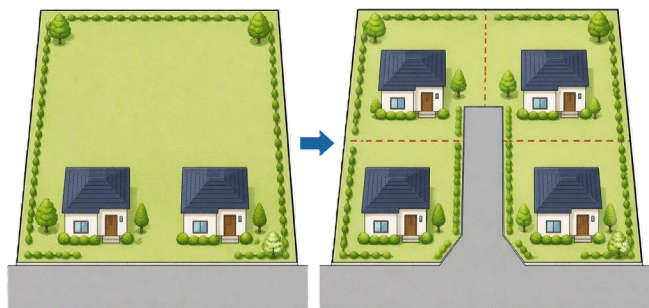
開発許可・開発行為とは  
開発行為による影響

# (補足)開発行為・開発許可とは

**開発行為**：主として、建築物の建築などを目的とした「土地の区画形質の変更」をいう

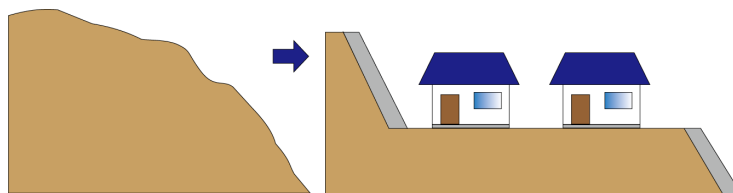
**土地の区画形質の変更**：土地の「**区画の変更**」「**形の変更**」「**質の変更**」の3つの行為に分けられる

## 区画の変更



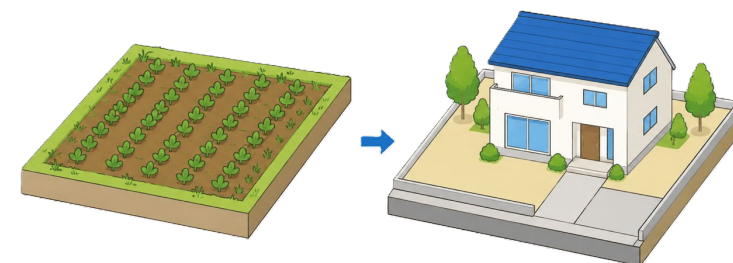
新たな宅地を分割し  
付随する道路や公園等の  
公共施設を造る行為

## 形の変更



宅地利用のために  
盛土や切土の造成工事を行い  
土地の形状を変える行為

## 質の変更



宅地以外の土地利用から  
宅地の利用に変更する行為



開発行為を行う場合、都市計画法に基づく「**開発許可**」が必要となる場合がある

# (補足)開発行為による影響

## 開発行為による影響

- 降雨によるピーク流出量（排水量）が変化する → 通常、**変更前より流出量が高くなる**
- 土砂の切土・盛土により崖の安定性確保が必要となる → 通常、**擁壁の設置が必要**となる



土木系技術判断による  
**施設計画や施設設計が必要**

### 排水計画

- 排水系統の設定
- 降雨量の算定
- ピーク流出量の算定
- 水路の寸法と勾配

### 調整池・浸透施設の設計

- 調整池施設の必要容量算定
  - 浸透施設の浸透量算定
  - これらの施設の設置位置
- ※受け入れ既設水路に  
排水量の制限がある場合

### 擁壁設計

- 擁壁の種類や形状決定
- 基礎形式の決定
- 擁壁の安定計算
- 部材計算

# 擁壁の概念

---

擁壁の概念

擁壁の種類と特性

擁壁を支える基礎

擁壁設計の準拠指針

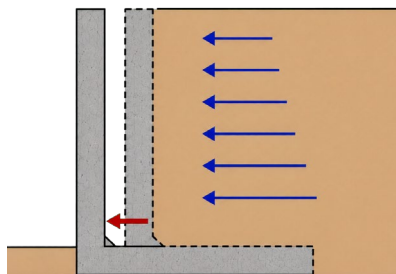
## なぜ擁壁の設計が必要なのか

適切な設計を行わなければ…



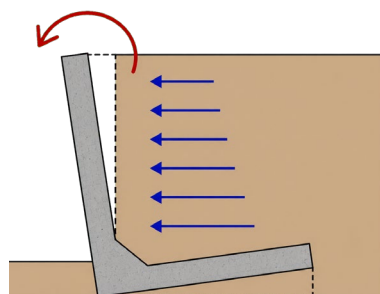
### 滑動

擁壁自体が滑る



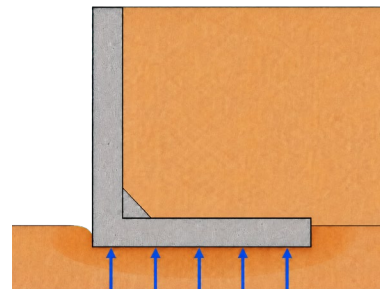
### 転倒

擁壁が倒れる



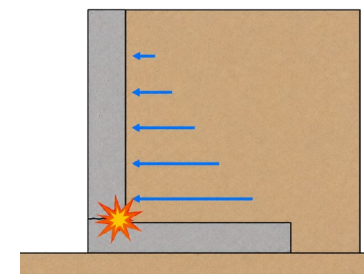
### 支持

擁壁が地盤に沈む



### 部材

擁壁そのものが破損する



安定計算による照査

部材計算による照査

上記の問題が起こる可能性がある

## 道路土工擁壁工指針

土砂の崩壊を防ぐために**土を支える構造物**で、土工に際し用地や地形等の関係で土だけでは安定を保ちえない場合に、盛土部及び切土部に造られる構造物

## 盛土等防災マニュアル（従来：宅地防災マニュアル）

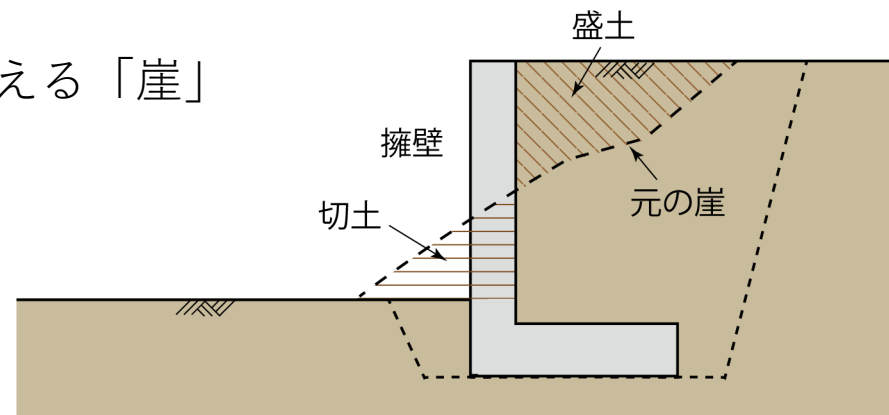
開発事業において

- ① 切土した土地の部分に生じる高さが、**2m**を超える「崖」
- ② 盛土した土地の部分に生じる高さが、**1m**を超える「崖」
- ③ 切土と盛土を同時にした土地の部分に生じる高さが**2m**を超える「崖」



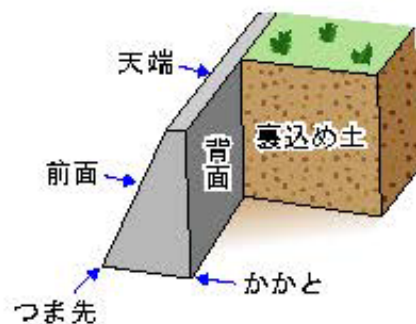
**崖面の崩壊を防ぐための壁状の構造物**  
 （切土・盛土の施工で生まれた高低差は雨などで崩れてしまう。これを防ぐ）

宅地造成及び特定盛土等規制法  
 （通称 盛土規制法）より

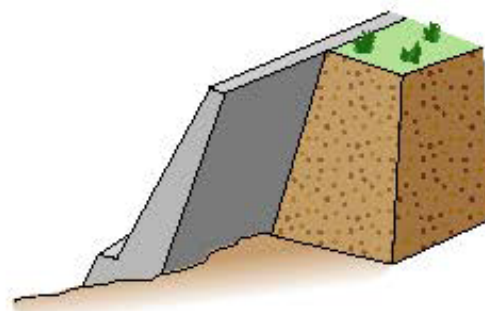


# 擁壁の種類

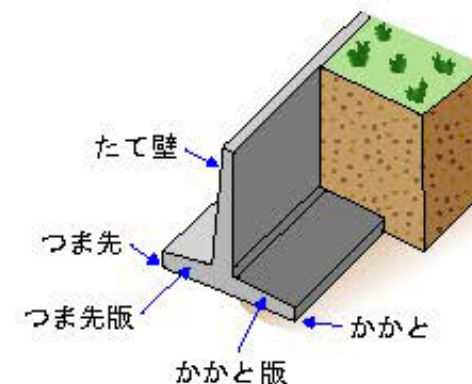
重力式擁壁



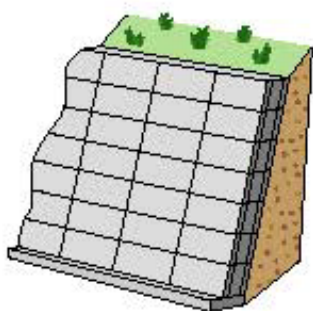
もたれ式擁壁



片持ちばり式擁壁

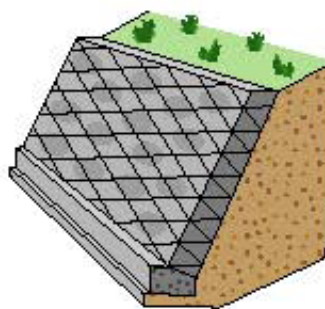


大型ブロック積擁壁

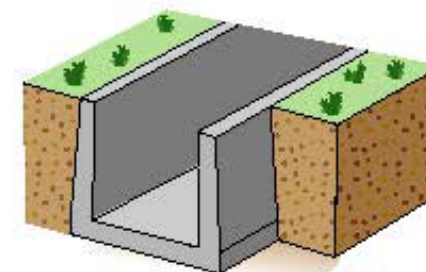


もたれ式擁壁  
に準じた設計  
計算が一般的

ブロック積(石積)擁壁



U型擁壁

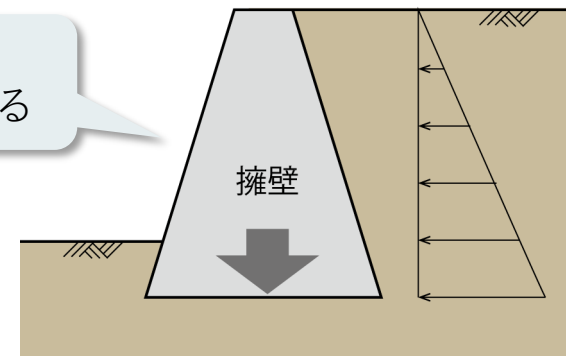


### 重力式擁壁

躯体自重により土圧に抵抗する擁壁

- 基本的には**無筋コンクリート構造**
- コンクリートの**躯体自重**で安定性を確保
- 躯体自重が大きい→**基礎地盤が良好**な箇所に適する
- 比較的小規模な擁壁に適する

コンクリートの  
躯体重量が要である

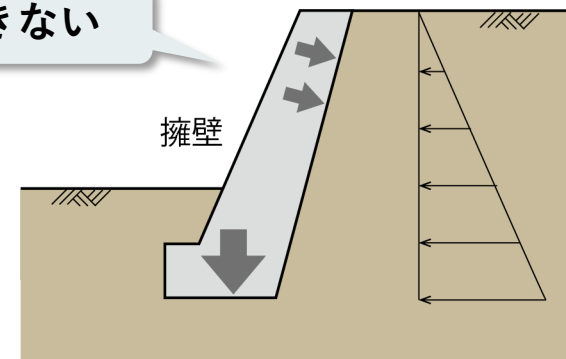


### もたれ式擁壁

躯体自体では**自立せず**、背面土にもたれた状態で自重によって土圧に抵抗する形式の擁壁

- 基本的には**無筋コンクリート構造**
- 背面土が**比較的安定した地山**に適する
- 底版幅が小さい→**堅固な基礎地盤**の箇所に適する
- 壁面の高さ(10m程度)がある場合も適用可
- 力学的な特性から擁壁の**厚さを薄く**できる

自立できない

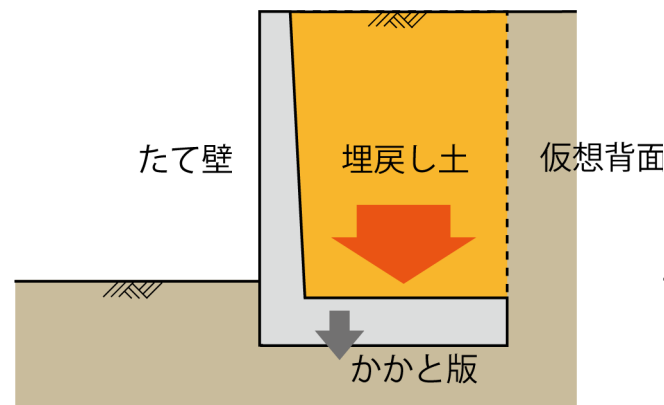


### 片持ちばり式擁壁

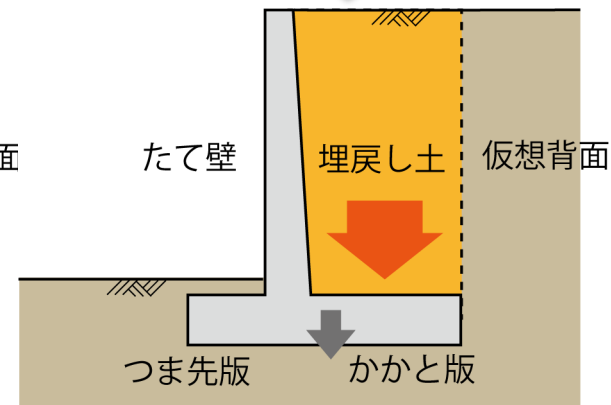
たて壁と底版とからなる擁壁  
たて壁の位置により、**L型**、**逆T型**、**逆L型**に分類される

- 基本的には、**鉄筋コンクリート構造**
- L型、逆T型、逆L型に分類される
- かかと版の上の土を躯体と一体化した荷重**とみなした合理的な構造である（逆L型は除く）
- プレキャスト製品も多い
- 壁高の高さ（10m程度）がある場合も適用可
- 杭基礎にも適用しやすい
- 鉄筋コンクリート構造であり、**部材が薄く**できる
- 逆L型は、背面に張り出しがないため、土地境界の制約がある場合に向く

埋戻し土の荷重が最大の利点

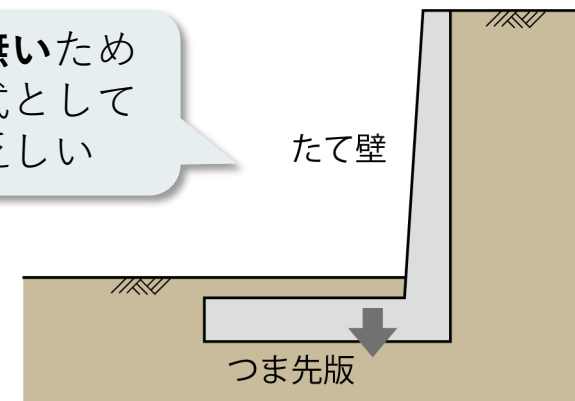


L型擁壁



逆T型擁壁

かかと版が無い  
ため片持ちばり式  
としての利点が  
乏しい

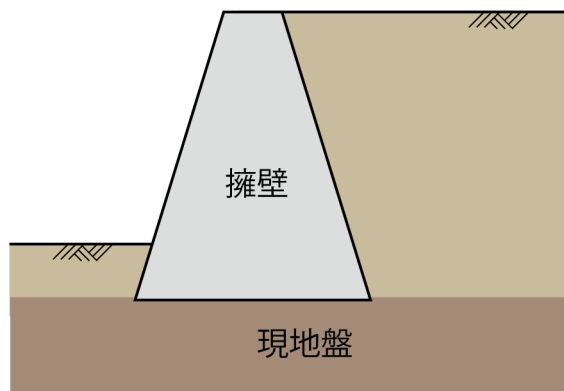


逆L型擁壁

# 擁壁を支える基礎 (1)

## 直接基礎

基礎底面に作用する鉛直力を、基礎地盤面で直接、**地盤反力として支持**する

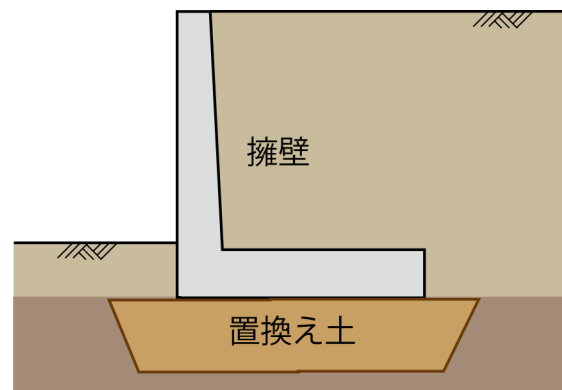


一般的な擁壁の  
ほとんどが  
直接基礎である

現地盤が軟弱地盤など支持力が許容できない場合

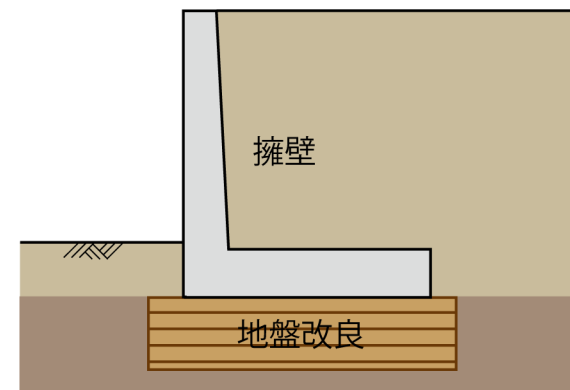
## 置換え基礎

軟弱地盤を取り除き、**良質な土砂**（砂質土など）に置き換えて支持力を高める



## 地盤改良基礎

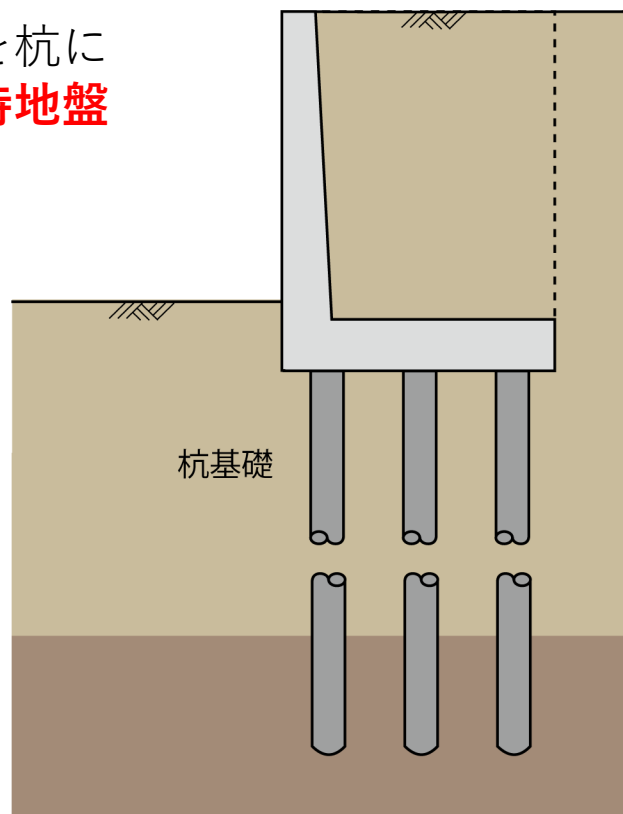
現地盤に**セメント系固化材**などを**混合**して、地盤の強度を高める



# 擁壁を支える基礎 (2)

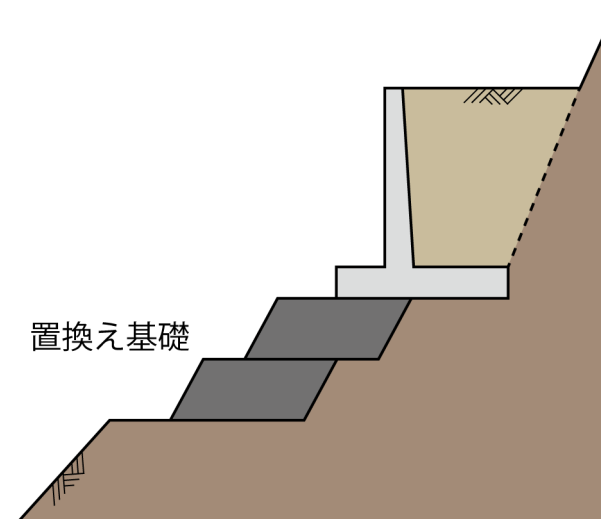
## 杭基礎

基礎底面に作用する鉛直力を杭に伝達して、**杭先端の固い支持地盤**や**杭の周辺摩擦**で支持する



## 斜面上の置換えコンクリート基礎

斜面上や傾斜した支持地盤等に擁壁を設ける場合に、**置換えコンクリート基礎**を設けて擁壁を支持する基礎形式



# 擁壁設計の準拠指針

(※)設計の考え方の整合を図るため、**平成24年版**の内容が適用されている。

## 国土交通省

|         |                                                  |                                          |
|---------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 土木      | 道路土工擁壁工指針(平成24年)日本道路協会                           | 道路橋示方書・同解説(※)平成24年版<br>(共通編、下部構造編、耐震設計編) |
| 宅地開発・建築 | 盛土等防災マニュアルの解説(令和5年)<br>各地方公共団体で定めた指針<br>基準書、手引き等 | [法]宅地造成及び特定盛土等規制法<br>[法]建築基準法(施行令)       |

宅地防災マニュアルの解説 第三次改訂  
(令和4年)の後継マニュアル

## 農林水産省

|    |                                                                                                       |                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 農林 | 土地改良事業計画設計基準 設計<br>「農道」(令和6年)<br>土地改良事業計画設計基準及び運用・解説<br>設計「水路工」(平成26年)<br>土地改良事業設計指針「耐震設計」<br>(平成27年) | 参考・引用指針：<br>道路土工指針、道路橋示方書(H24) |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|

土地改良事業計画設計基準 設計「農道」  
(平成17年)から改訂

# 擁壁設計の流れと概要

---

擁壁設計の流れ

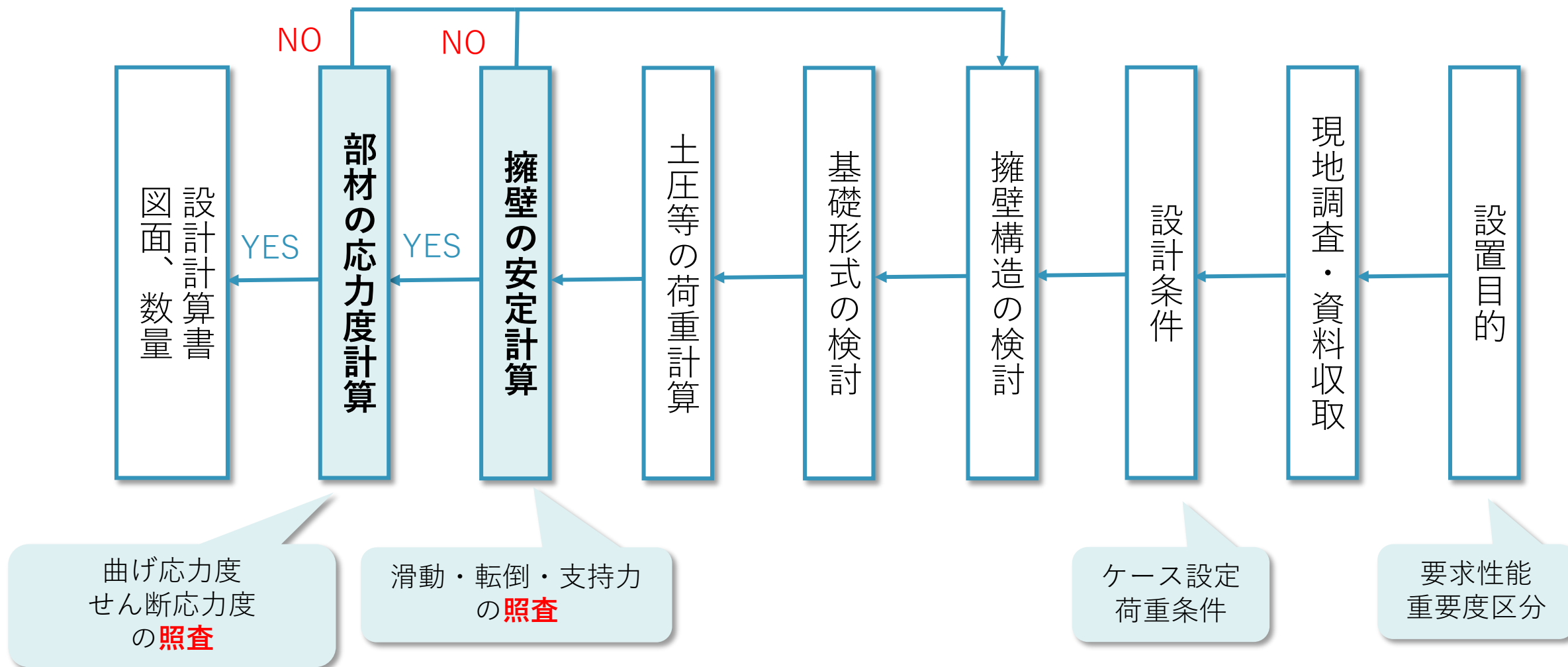
擁壁に作用する主な荷重

土圧、上載荷重、地下水や地震時の作用について

作用力合力や地盤反力について

安定計算や部材計算の必要性

# 擁壁設計の流れ



# 擁壁に作用する荷重

## ●自重

## ●上載荷重

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 道路土工  | 活荷重、死荷重             |
| 盛土等防災 | 積載荷重                |
| 土地改良  | 自動車荷重、群集荷重、宅地荷重、雪荷重 |

## ●土圧

## ●水圧及び浮力（地下水がある場合）

## ●地震の影響（地震時土圧、地震時慣性力）

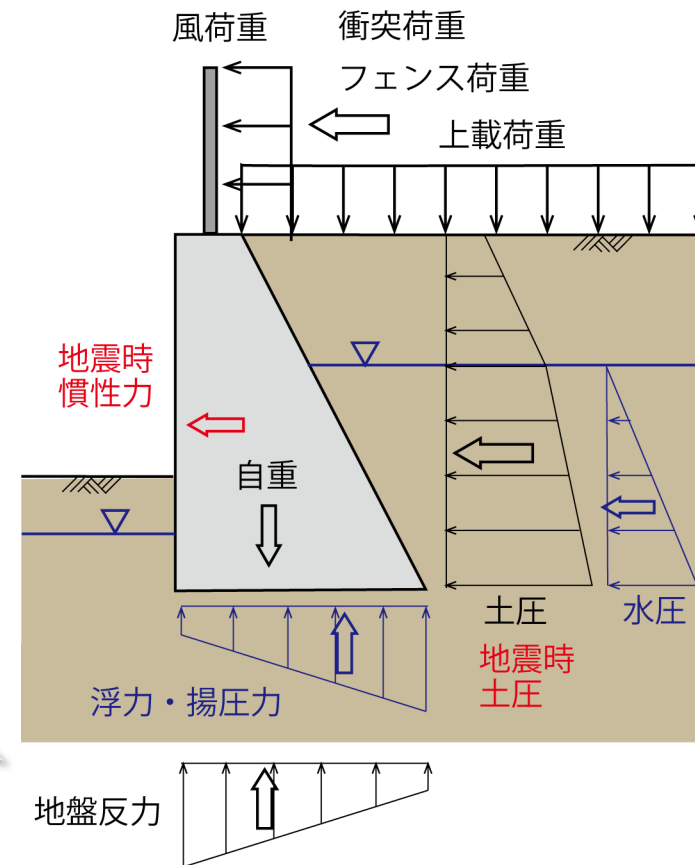
## ●風荷重 ※道路土工、土地改良

## ●衝突荷重 ※道路土工、土地改良

## ●フェンス荷重 ※盛土等防災

## ●その他荷重（擁壁に直接載荷する工作物荷重など）

これら荷重が作用することにより、その反力として生じる**地盤反力**も荷重の一つである



# 土圧の計算方法

土圧の大きさや向きを決める設計条件

地質 背後地形 上載荷重 地下水 土圧作用面 など

擁壁背後の土に**すべり面**が生じ、  
**くさび状の土塊**がすべり面に沿って動くという考え

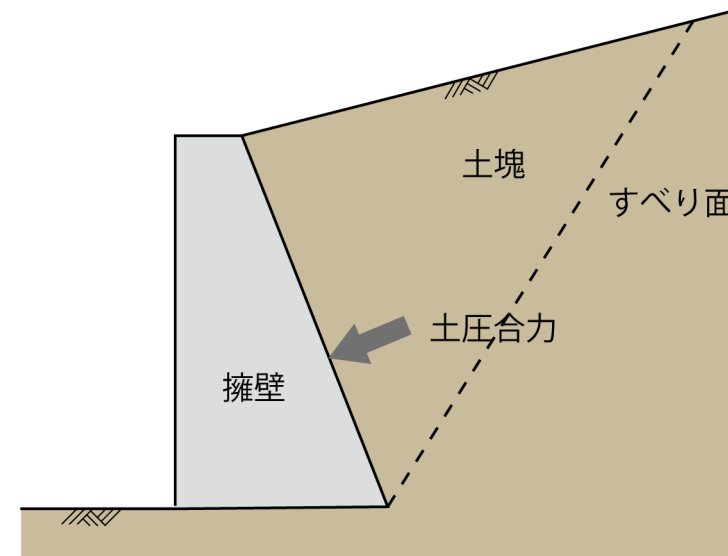


擁壁設計で一般的に用いられる土圧計算方法

①クーロン土圧

②試行くさび法

土質ごとに定められた土圧係数を乗じるだけの簡易的な土圧計算方法もある



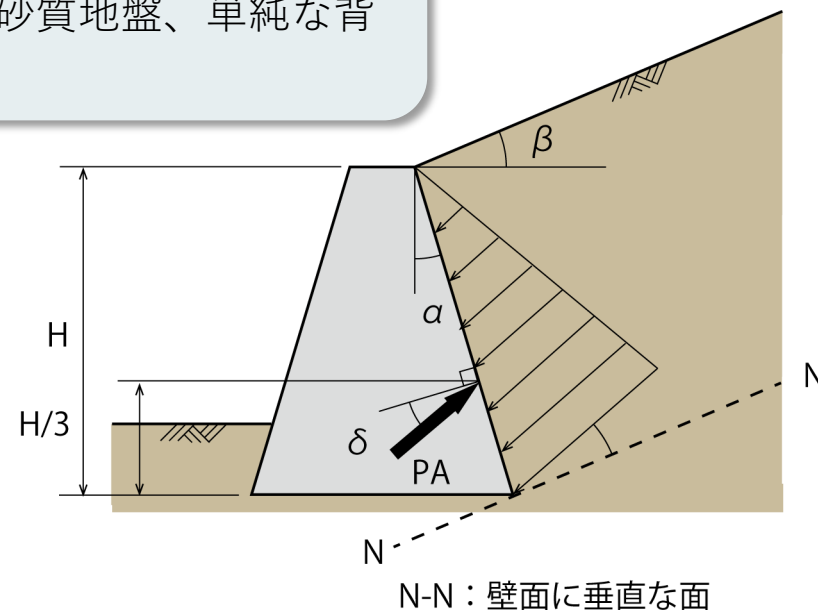
## クーロンの常時主働土圧の計算式

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot L + K_A \cdot q \cdot H \cdot L$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right\}^2}$$

$\beta$ : 背面土のなす角( $^{\circ}$ )

形状や土質定数等の諸元値を**計算公式に代入**にするだけで土圧が算出できる  
ただし、**条件制限**（砂質地盤、単純な背面形状など）がある



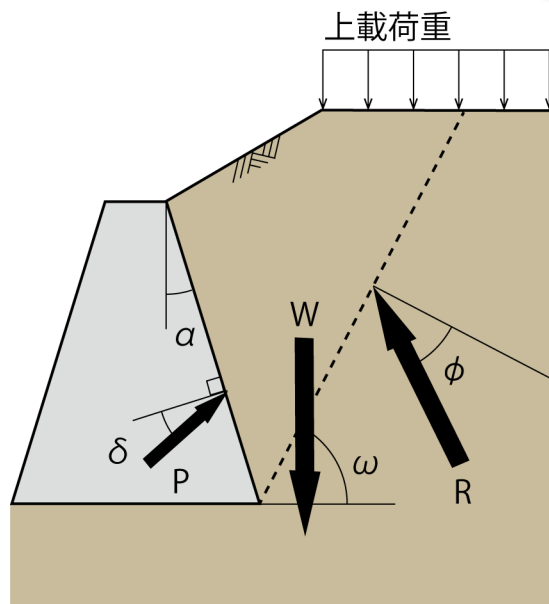
# 土圧計算方法② 試行くさびの概要

試行くさび法は、くさび状の土塊に作用する連力が互いにつり合い状態（ベクトル閉合）となるように、すべり面の角度（ $\omega$ ）を変化させながら解を得る方法です

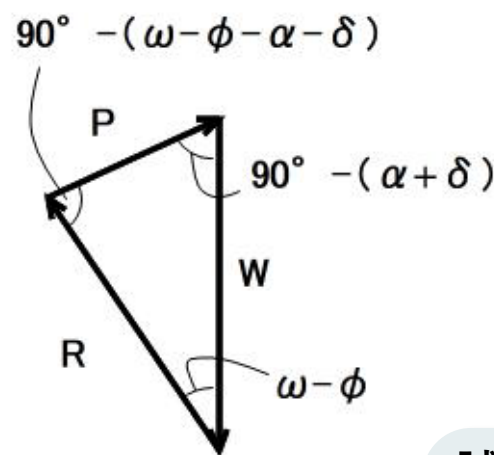
試行くさび法による常時主動土圧の計算式

$$P_A = \frac{W \cdot \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha - \delta)}$$

$P_A$  : 土圧(kN)  
 $W$  : 土くさびの重量(kN)  
 $\omega$  : 仮定のすべり面の角(°)  
 $\phi$  : 土の内部摩擦角(°)  
 $\delta$  : 壁面摩擦角(°)  
 $\alpha$  : 擁壁背面のなす角(°)  
 $\beta$  : 背面土のなす角(°)  
 $R$  : すべり面からの反力(kN)



収束計算が必要となるため、原則、**計算機ありきの解法**と言える  
クーロン土圧より適用範囲が広い



連力図

試行くさび法

クーロン  
土圧

試行くさび法に対して、**クーロン土圧**は条件制限があり、**適用範囲が狭域**（砂質地盤、単純な背面形状など）である

# 土圧の水平成分・鉛直成分

通常、土圧は擁壁背面のなす角  $\alpha$  や壁面摩擦角  $\delta$  によって偏角して作用するため、**斜め方向の向きをもった力**として計算される

クーロン土圧  
試行くさび法  
による土圧計算

擁壁背面のなす角  $\alpha$   
壁面摩擦角  $\delta$  を  
考慮する

土圧が斜め方向  
に作用する

計算された**土圧(合力)**は  
**水平成分**と**鉛直成分**に分けて  
扱うことが一般的である

## 土圧合力の水平成分・鉛直成分

$$P_{AH} = P_A \cdot \cos(\delta + \alpha)$$

$$P_{AV} = P_A \cdot \sin(\delta + \alpha)$$

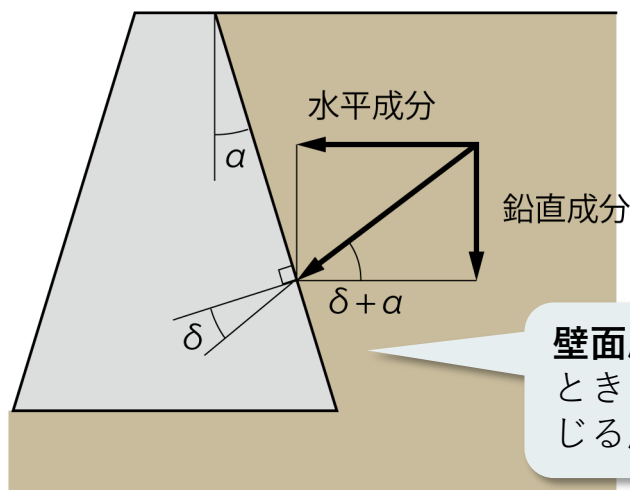
$P_{AH}$  : 主働土圧の水平分力(kN)

$P_{AV}$  : 主働土圧の鉛直分力(kN)

$P_A$  : 主働土圧の合力(kN)

$\delta$  : 壁面摩擦角(°)

$\alpha$  : 擁壁背面のなす角(°)



斜め方向の土圧合力（ベクトルの扱い）のままでは、安定計算や部材計算で扱いにくいため

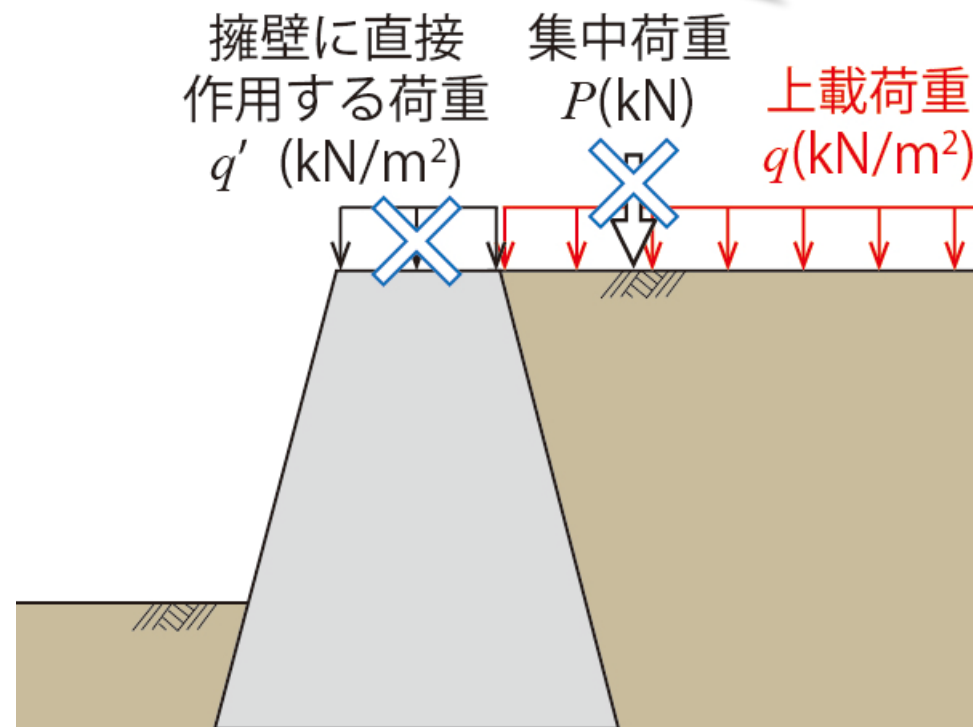
**壁面摩擦角  $\delta$**  とは、力が伝わる  
ときに土粒子と壁面等の間に生  
じる摩擦力による偏角をいう

## 上載荷重

指針・基準により  
「載荷重」「表面載荷重」「積載荷重」の記載あり

- 擁壁の**背後地盤上に載荷する荷重**を指す  
擁壁躯体に直接作用する荷重は含まれない
- **等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)**  
集中荷重(kN)としては考えない

**上載荷重**：一般的に5～10(kN/m<sup>2</sup>)



# 上載荷重の分類

**活荷重**：常に載荷状態ではない荷重

**死荷重**：常に載荷した荷重

| 指針・基準 | 記載名称                  | 設計での適用例                                                                |
|-------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 道路土工  | 載荷重（自動車荷重等）           | <b>活荷重</b> （自動車荷重、群集荷重等）<br><b>死荷重</b> （建築物、工作物等）                      |
|       | 雪荷重                   | 雪荷重（雪荷重、圧雪された雪荷重）                                                      |
| 盛土等防災 | 積載荷重<br>（建築物、工作物、積雪等） | <b>活荷重</b> （自動車荷重、群集荷重等）<br><b>死荷重</b> （建築物、工作物等）<br>雪荷重（雪荷重、圧雪された雪荷重） |
| 土地改良  | <b>活荷重</b> ：自動車荷重     | そのまま適用                                                                 |
|       | <b>活荷重</b> ：群集荷重      | そのまま適用                                                                 |
|       | <b>死荷重</b> ：宅地荷重      | そのまま適用                                                                 |
|       | 死荷重：雪荷重               | そのまま適用                                                                 |

同時に作用させない

## 雪荷重

$$q_s = \gamma_s \cdot Z_s$$

$q_s$ ：雪荷重（ $\text{kN/m}^2$ ）

$Z_s$ ：設計積雪深（ $\text{m}$ ）

$\gamma_s$ ：雪の単位堆積重量（ $\text{kN/m}^3$ ）  
一般的に $3.5$ （ $\text{kN/m}^3$ ）

$$q_s = 1.00 \quad (\text{圧接された雪荷重})$$



圧接された雪荷重 + 活荷重（自動車荷重）として適用する

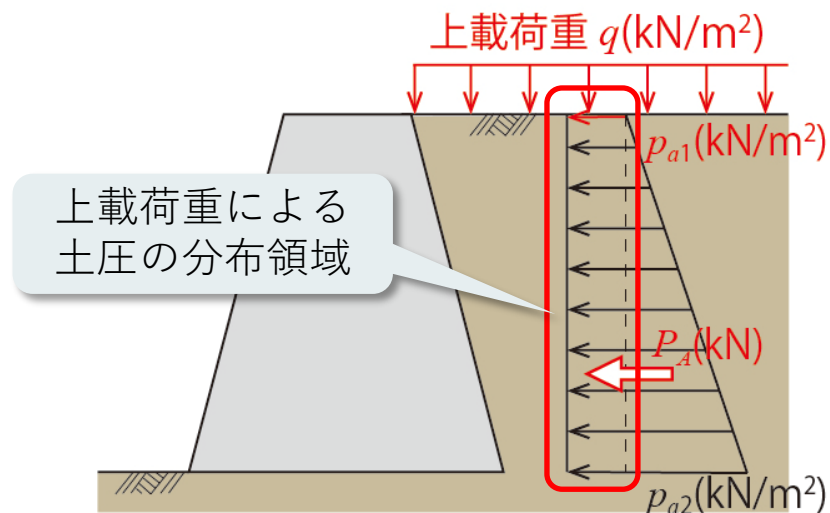
# 上載荷重の作用

背面地盤上に作用する上載荷重は、**上載荷重による土圧**として作用する

上載荷重は土圧を介して擁壁に**間接的に作用**する

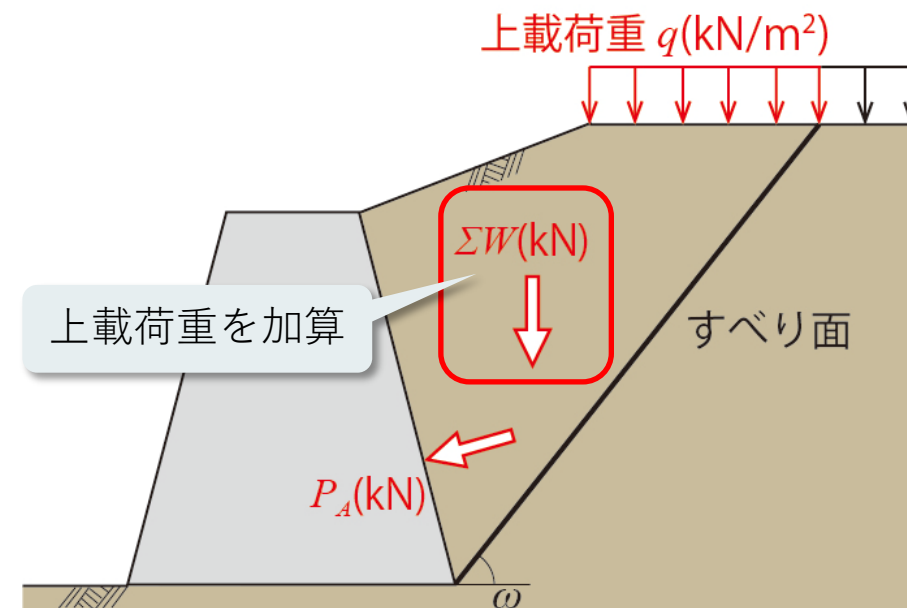
- クーロン土圧による場合

地表面位置での**土圧強度** $P_{a1}(\text{kN/m}^2)$ として計算



- 試行くさび法による場合

すべり面までの範囲の上載荷重が**土塊重量** $\Sigma W(\text{kN})$ に加算



擁壁の前面や背面の地盤に**地下水がある場合**、擁壁には横方向の**水圧**が作用する。  
一般的に、水圧は**静水圧**として計算してよい。

水槽内にある静止した水が壁に作用する力と同じ計算方法

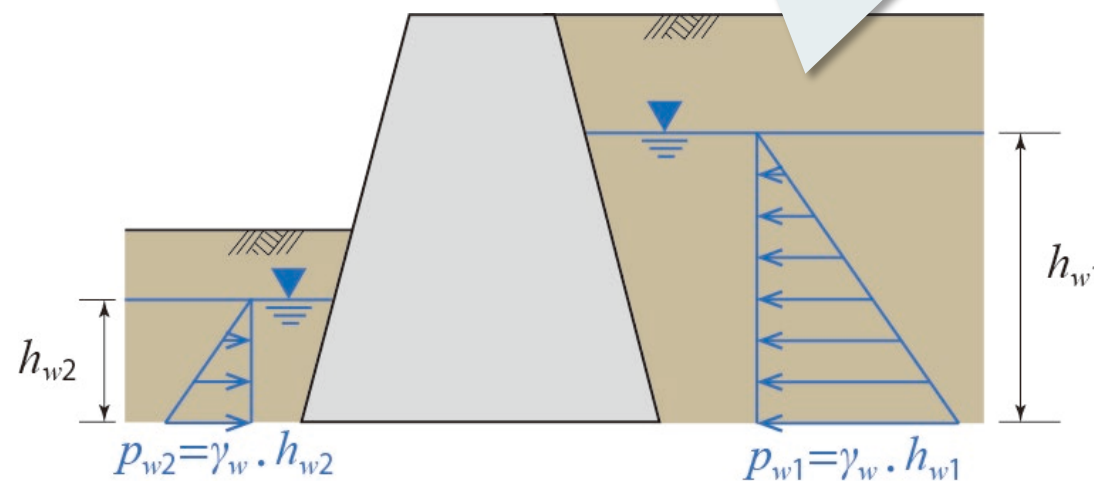
## 水圧（静水圧）の計算式

$$p_w = \gamma_w \cdot h$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h^2 \cdot L$$

$p_w$  : 水圧強度(kN/m<sup>2</sup>)  
 $P_w$  : 水圧(kN)  
 $\gamma_w$  : 水の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)  
 $h$  : 擁壁底面からの水深(m)  
 $L$  : 擁壁延長(m)

水圧は、**水平方向の力のみ**で鉛直方向の力は生じない



# 地下水による浮力

擁壁の前面や背面の地盤に**地下水がある場合**、擁壁を押し上げようとする**浮力**が生じる

**アルキメデスの原理**：擁壁の地下水位以下にある躯体体積分の水重量に値する力が上向きに働く

浮力の計算式

$$U_p = -\gamma_w \cdot V$$

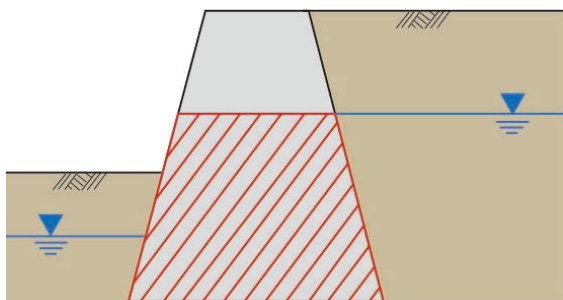
$U_p$  : 浮力(kN)

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

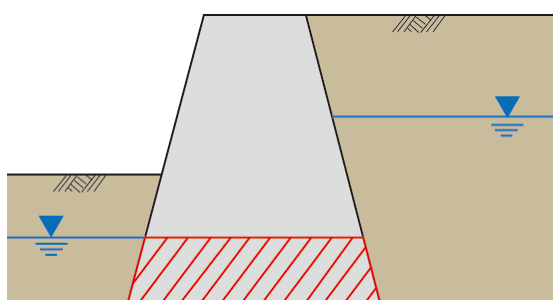
$V$  : 地下水位以下の擁壁体積(m<sup>3</sup>)

➡ 擁壁の設計目的やその設置する条件に応じて、**浮力の設定条件**を考える

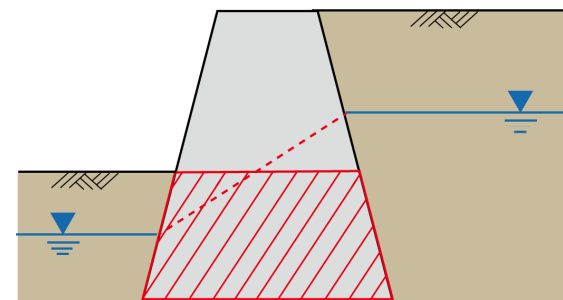
背面側水位で浮力を考慮



前面側水位で浮力を考慮



背面側水位と前面側水位の  
平均高さで浮力を考慮



# 地震時の検討

地震時の検討は、施設の重要度によって必要とされる検討レベルが異なり、各施設の特性によって適正と判断される地震時計算方法で行なう必要がある。

○：設計機会が多い △：設計機会が少ない

| 構造分類        |              | 地上構造物 |     |                  | 地中構造物         |       |                  |
|-------------|--------------|-------|-----|------------------|---------------|-------|------------------|
| 施設          |              | 擁壁    | 開水路 | 橋梁<br>(橋脚など)     | ボックス<br>カルバート | 管     | 杭基礎              |
| 地震時の<br>検討  | 不要<br>(常時のみ) | ○     | ○   | △                | ○             | ○     | △                |
|             | レベル1<br>地震動  | ○     | ○   | ○                | ○             | ○     | ○                |
|             | レベル2<br>地震動  | △     | △   | ○                | ○             | ○     | ○                |
| 地震時<br>計算方法 | レベル1<br>地震動  | 震度法   | 震度法 | 震度法              | 応答変位法         | 応答変位法 | 震度法              |
|             | レベル2<br>地震動  | 震度法   | 震度法 | 保有水平耐力法<br>(保耐法) | 応答変位法         | 応答変位法 | 保有水平耐力法<br>(保耐法) |

一般的に、**擁壁**で地震時の検討が必要とされる場合は、**震度法(静的照査法)**でよいとされている。

## 震度法（静的照査法）による計算

$$k_h = k_{h0} \cdot c_z$$

$$H = V \cdot k_h$$

$$\theta = \tan^{-1} k_h$$

地震時慣性力とは擁壁躯体が地震によって横揺れする力

地震時土圧の計算に使用される

$k_h$ ：設計水平震度の標準値

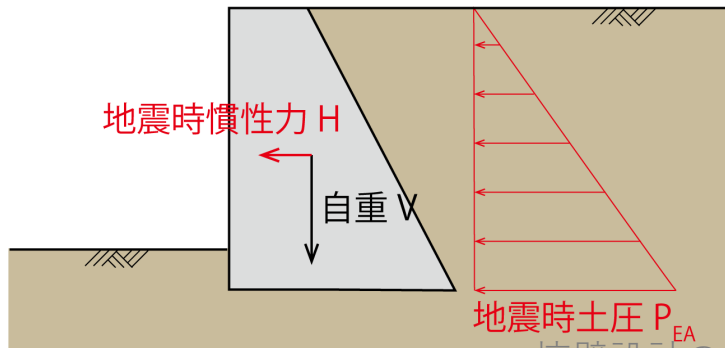
$c_z$ ：地域別補正係数

$k_h$ ：設計水平震度

$V$ ：擁壁の自重(kN)

$H$ ：擁壁の自重による地震時慣性力(kN)

$\theta$ ：地震時合成角(度)



## 設計水平震度の標準値 $k_{h0}$

地盤に及ぼす地震動の特性から、地盤の特性値  $T_G$  を求め、地盤種別（Ⅰ種, Ⅱ種, Ⅲ種）ごとに定められた設計水平震度の標準値  $k_{h0}$  が決まる。

|         | 地盤種別           |                         |                   |
|---------|----------------|-------------------------|-------------------|
|         | Ⅰ 種            | Ⅱ 種                     | Ⅲ 種               |
| 地盤の目安   | 良好な洪積地盤及び岩盤    | Ⅰ, Ⅱ 種地盤に属さない洪積・沖積地盤    | 沖積地盤のうち軟弱地盤       |
| 地盤の特性値  | $T_G < 0.2(s)$ | $0.2 \leq T_G < 0.6(s)$ | $0.6 \leq T_G(s)$ |
| レベル1地震動 | 0.12           | 0.15                    | 0.18              |
| レベル2地震動 | 0.16           | 0.20                    | 0.24              |

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

$T_G$ ：地盤の特性値(s)

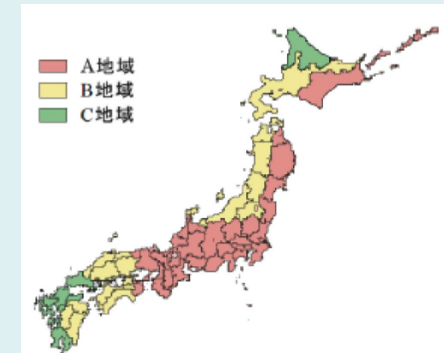
$H_i$ ：i番目の地層の厚さ(m)

$V_{si}$ ：i番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

## 地域別補正係数 $c_z$

設計水平震度の標準値  $k_{h0}$  は、強い地震動が生じる可能性が高い地域(A)を標準として定めている。それ以外の地域(B,C)には補正係数を乗じて値を低減させることで合理性をもたせている。

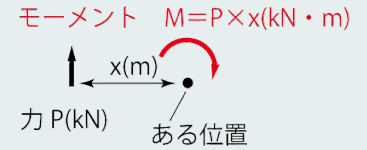
| 地域区分 | 地域別補正係数 $c_z$ | 対象地域                                                                                      |
|------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| A    | 1.0           | 下記2地域以外の地域                                                                                |
| B    | 0.85          | 「Zの数値 $R_1$ 及び $A_1$ を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」（建設省告示第1項（Zの数値）表中（二）に掲げる地域      |
| C    | 0.7           | 「Zの数値 $R_1$ 及び $A_1$ を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準」（建設省告示第1項（Zの数値）表中（三）及び（四）に掲げる地域 |



# 作用力合力と重心位置

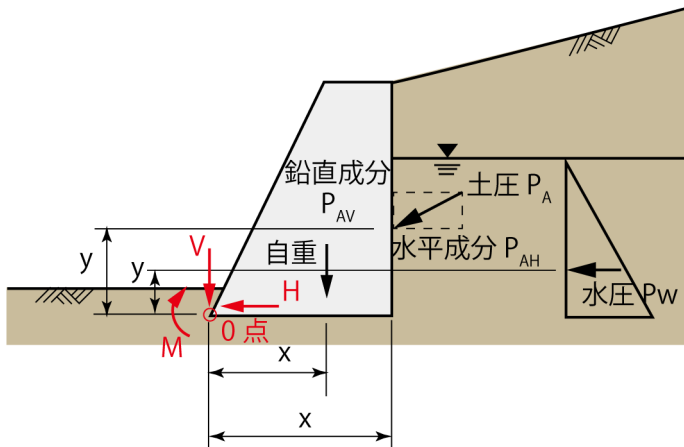
安定照査や地盤反力の計算には、擁壁に作用する**作用力の合力(V,H,M)**と**作用力合力の重心位置(偏心量e)**を求めておく必要がある。計算手順として、先につま先端位置での合力(V,H,M)を求め、**偏心量(d,e)**を算出し、**底版中心位置**での合力(V,H,M)に換算する流れが一般的である。

モーメント $M(\text{kN}\cdot\text{m})$ とは、任意の位置(0点)での回転力のことをいい、力 $P(\text{kN})$ に任意の位置(0点)までのアーム長 $x(\text{m})$ を乗じることで求められます



擁壁のつま先端点(0点)での作用力(各荷重の集計値)を求める

- ・鉛直力の合力 $V(\text{kN})$
- ・水平力の合力 $H(\text{kN})$
- ・つま先端点(0点)位置でのモーメント $M(\text{kN}\cdot\text{m})$

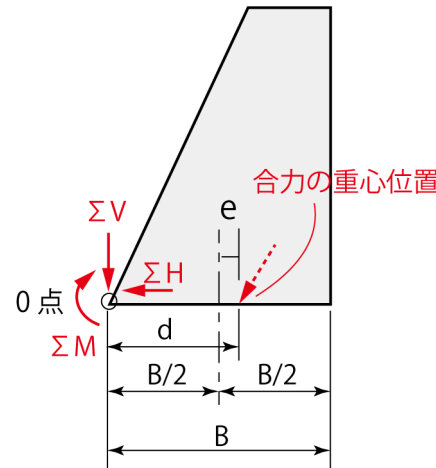


つま先端点(0点)から作用力合力 $R$ の重心位置までの偏心量 $d(\text{m})$ を求める

$$d = \frac{M}{V} = \frac{\sum V \cdot x - \sum H \cdot y}{\sum V}$$

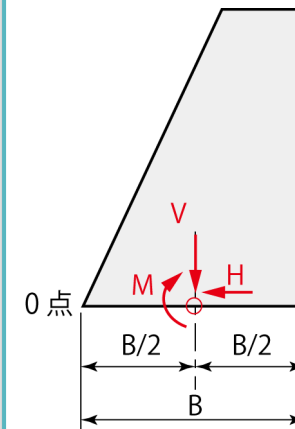
擁壁の底版中心(B/2)位置から作用力合力 $R$ の重心位置までの偏心量 $e(\text{m})$ を求める

$$e = \frac{B}{2} - d$$



擁壁の底版中心(B/2)位置での作用力に置き換える

- ・鉛直力の合力 $V(\text{kN})$
- ・水平力の合力 $H(\text{kN})$
- ・底版中心(B/2)位置でのモーメント $M(\text{kN}\cdot\text{m})$

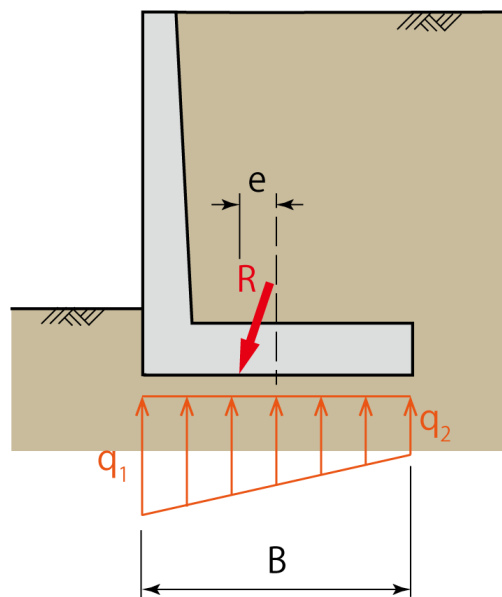


作用位置によって変わるのはモーメント $M$ だけである  
鉛直力 $V$ と水平力 $H$ の合力は、作用位置を変えても同値である

擁壁の躯体には、自重・土圧・浮力・フェンス荷重・地震時慣性力など様々な荷重が作用しているが、この擁壁を下から地盤が支えていることで安定が保たれている。これは地盤から**地盤反力**という反作用の力が働いているためである。

地盤反力は、荷重の合力Rとその偏心量eを考慮した**台形分布**や**三角形分布**として計算される。

台形分布の場合

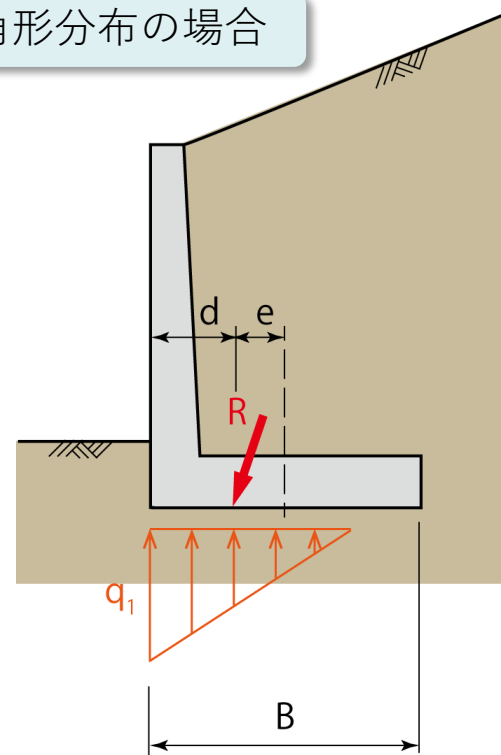


$$q_1 = \frac{V_0}{B} \cdot \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{V_0}{B} \cdot \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$q_1, q_2$  : 擁壁両端部の地盤反力度 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $e$  : 擁壁中心軸から荷重合力Rまでの水平距離 (m)  
 $V_0$  : 擁壁底面における全鉛直荷重 (kN)  
 $B$  : 擁壁底版幅 (m)

三角形分布の場合



$$q_1 = \frac{2V_0}{3d}$$

$q_1$  : 擁壁先端部の地盤反力度 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $d$  : 擁壁先端から荷重合力Rまでの水平距離 (m)  
 $V_0$  : 擁壁底面における全鉛直荷重 (kN)

偏心量eが小さいと台形分布、大きいと三角形分布となる場合が多い

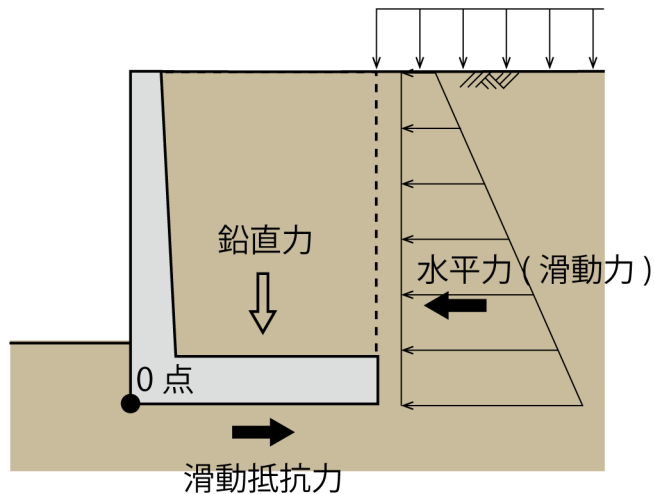
# 擁壁の安定計算

常時・地震時など想定される荷重条件に対して、**擁壁一体**で所定の**安全性（抵抗力）**が確保されている必要がある。

照査が必要

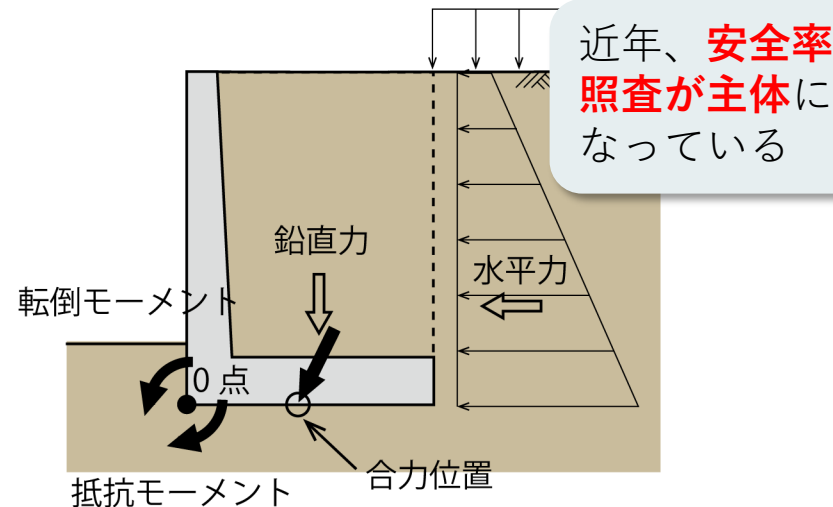
## 安定計算

### 滑動照査



### 転倒照査

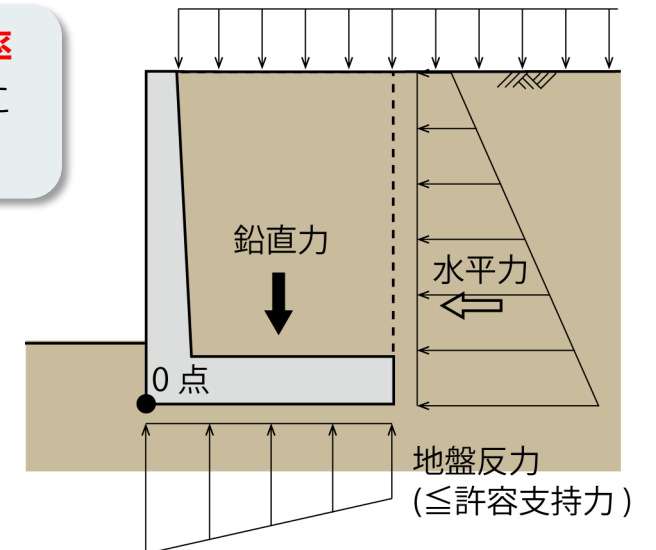
- ①安全率による照査
- ②偏心距離による照査



### 支持力照査

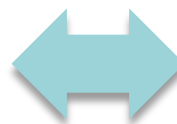
直接基礎による照査

- ①底版全幅による照査
- ②有効載荷幅による照査



## 滑動力

擁壁を前面に押し出そうとする力



## 滑動抵抗力

擁壁底面と地盤との間に生じる力

滑動抵抗力が不足すると、擁壁が前面に押し出されるように滑動する危険性があるため、滑動しないように滑動照査を満足する擁壁としなければならない

## 滑動照査の計算式

滑動抵抗力

滑動力

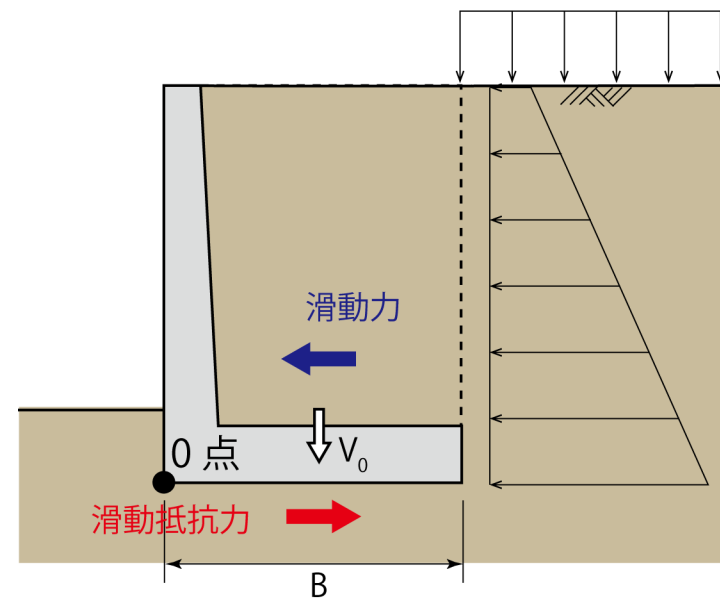
≧

安全率( $F_s$ )

一般的に  
常時 : 1.5  
地震時 : 1.2

$$\frac{V_o \cdot \mu + c \cdot B}{H_o} \geq F_s$$

$F_s$  : 安全率  
 $V_o$  : 全鉛直荷重(kN)  
 $H_o$  : 全水平荷重(kN)  
 $\mu$  : 地盤の摩擦係数  
 $c$  : 地盤との粘着力(kN/m<sup>2</sup>)  
 $B$  : 擁壁底面幅(m)



# 転倒照査

## 転倒モーメントM

擁壁のつま先を支点として  
擁壁を転倒させようとするモーメント



## 抵抗モーメントMr

擁壁の転倒を抑止しようとするモーメント

**転倒モーメントが過大**になると、擁壁が前面側に**転倒**する危険性があるため、  
転倒しないように**転倒照査を満足する擁壁**としなければならない

## 転倒照査の計算式

$$\frac{\text{抵抗モーメント} M_r}{\text{転倒モーメント} M} \geq \text{安全率}(F_s)$$

$$\frac{M_r}{M} \geq F_s$$

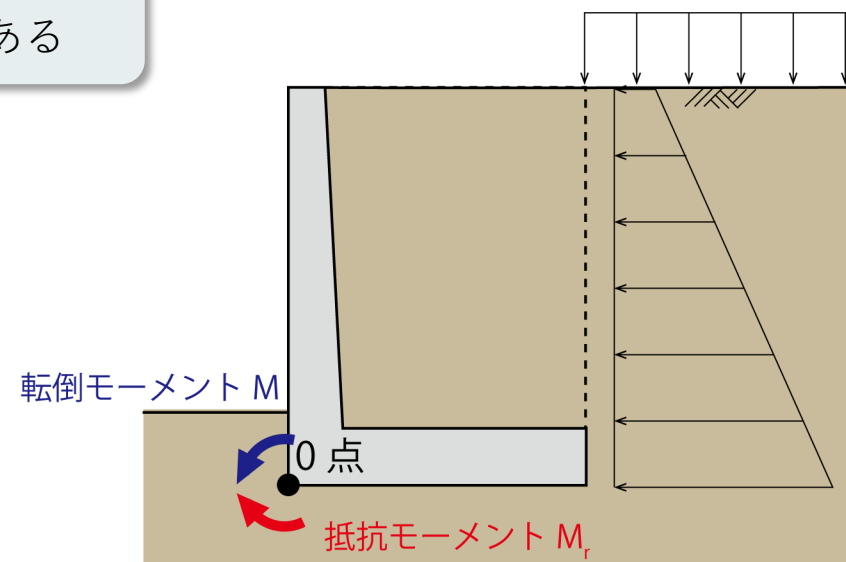
$F_s$  : 安全率

$M_r$  : つま先(0点)での抵抗モーメント(kN・m)

$M$  : つま先(0点)での転倒モーメント(kN・m)

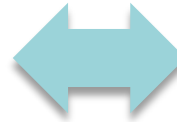
転倒照査の方法には、  
偏心距離による照査もある

一般的に  
常時 : 1.5  
地震時 : 1.2



## 地盤反力度 $q$

荷重によって地盤に生じる反力



## 地盤がもつ許容支持力度 $q_a$

地盤の特性によって決まる  
その基礎地盤が有する支持力

基礎地盤の支持力が不足すると、擁壁が**地盤内に沈下**したり、偏心により前面または背面側に**擁壁が傾く**などの危険性があるため、基礎地盤が必要とする支持力を有しているか**支持力照査**を満足する擁壁としなければならない

## 支持力照査の計算式

地盤反力度  $q$   
( $q_1, q_2$ : 台形分布の場合)  $\geq$  基礎地盤の  
許容支持力度  $q_a$

$$q_1 = \frac{V_0}{B} \cdot \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$q_1, q_2$  : 両端の地盤反力度(kN/m<sup>2</sup>)  
 $e$  : 底版中心軸から荷重合力までの  
水平距離(m)

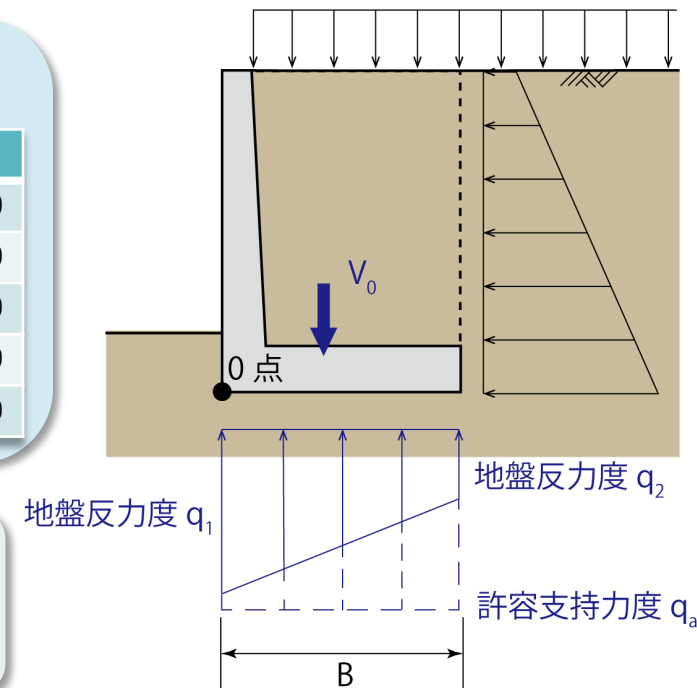
$$q_2 = \frac{V_0}{B} \cdot \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$V$  : 擁壁底面における全鉛直荷重(kN)  
 $B$  : 擁壁底版幅(m)

地盤種類による  
許容支持力度の標準値

| 地盤      | 常時   | 地震時  |
|---------|------|------|
| 岩盤      | 1000 | 2000 |
| 密実な砂質岩盤 | 200  | 400  |
| 砂質岩盤    | 50   | 100  |
| 堅い粘土質地盤 | 100  | 200  |
| 粘土質地盤   | 20   | 40   |

支持力照査の方法には、**有効載荷幅による照査**もある



部材に作用力(荷重)が作用

圧縮力により  $\Rightarrow$  圧壊  
 曲げにより  $\Rightarrow$  ひび割れ破壊  
 せん断力により  $\Rightarrow$  せん断破壊

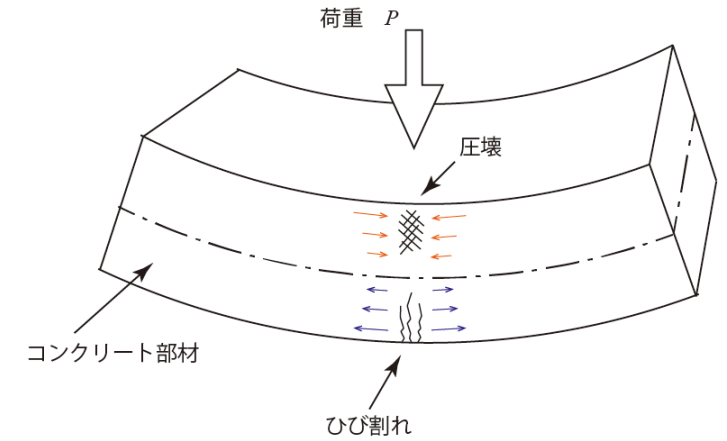
擁壁の役割を果たせなくなる

擁壁の安定照査  
 (転倒・滑動・支持力)  
 の意味がなくなってしまう

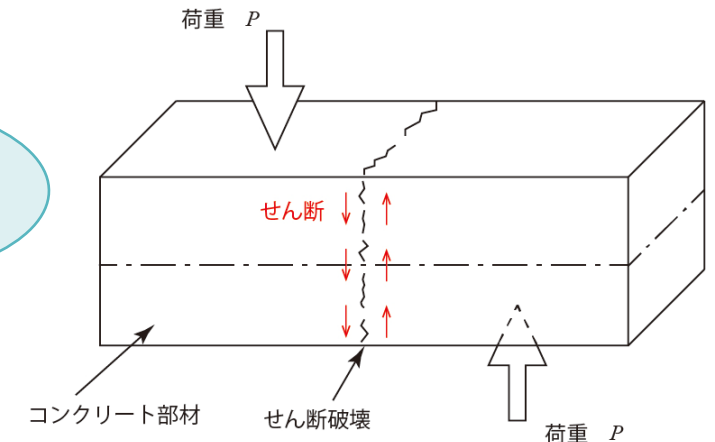
- ① **曲げ(+軸力)**に対して **部材の安全性を確保**する
- ② **せん断**に対して **部材の安全性を確保**する

部材計算は、主に①**曲げ(+軸力)**と②**せん断**に対して、  
**部材の安全性を確保**するための計算

構造条件に  
 よっては他の  
 照査も必要



部材に荷重が作用して曲げ生じた場合



部材に荷重が作用してせん断が生じた場合

擁壁：一般的に「鉄筋コンクリート構造」「(無筋)コンクリート構造」が用いられる

→ 部材計算による安全性照査は、特に、**鉄筋コンクリート構造**での重要性が高い

擁壁の照査方法：

従来からの「許容応力度設計法」と「限界状態設計法」がある

→ 一般的な擁壁設計では、**許容応力度設計法**が用いられている

**許容応力度**は、擁壁材料として用いる

- ・コンクリートの強度  
(設計基準強度  $\sigma_{ck}=24\text{kN/m}^2$  など)

- ・鉄筋の種類  
(SD295, SD345 など)

が持つ**材料強度**、**使用条件**(一般・水中)、**荷重条件**(常時・地震時)などによって決まる

## 許容応力度設計法の流れ

作用力(荷重)  
の算定

断面(M N S)  
の計算

応力度( $\sigma_c$   $\sigma_s$   $\tau$ )  
の計算

曲げモーメント :  $M(\text{kN}\cdot\text{m})$   
軸力 :  $N(\text{kN})$   
せん断力 :  $S(\text{kN})$

コンクリート曲げ圧縮 :  $\sigma_c (\text{N/mm}^2)$   
筋の曲げ引張 :  $\sigma_s (\text{N/mm}^2)$   
コンクリートのせん断 :  $\tau (\text{N/mm}^2)$

**許容応力度**による照査

$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$  (コンクリートの許容曲げ圧縮応力度)  
 $\sigma_s \leq \sigma_{sa}$  (鉄筋の許容曲げ引張応力度)  
 $\tau \leq \tau_a$  (コンクリートの許容せん断応力度)

- 切土や盛土による高低差が発生した場合、地盤を支えるため**擁壁**が必要
- **重力式、もたれ式、片持ちばり式**などの種類の選定、擁壁を支える**基礎**の検討
- **自重、土圧、上載荷重、地下水、地震**などを計算して集計
- **安定計算**で滑動・転倒・支持力照査を確認
- 擁壁の各部材が**曲げやせん断**により壊れないか、**部材計算**で**応力度照査**を確認
- 擁壁の**設計計算書**を見る場合、基準、荷重条件、滑動・転倒・支持力、必要な部材計算という全体の流れの確認により、**計算書の意味の把握が容易に**

ご清聴ありがとうございました。