

第1部 擁壁設計の概要と安定計算についての解説

- 擁壁の概念
- 擁壁・護岸・堤防の違い
- 擁壁の種類
- 擁壁の特性（重力式擁壁、もたれ式擁壁）
- 擁壁の特性（片持ちばり式擁壁）
- 擁壁を支える基礎 (1)(2)
- 擁壁設計の準拠指針
- 擁壁設計フロー
- 擁壁に作用する荷重
- 土圧の計算方法
- クーロン土圧の概要
- 試行くさび法の概要
- 土圧の水平成分・鉛直成分 (1)(2)
- 地震時の検討 (1)(2)(3)
- 主動土圧・受働土圧・静止土圧 (1)(2)
- 擁壁の安定計算
- 擁壁の安定計算（斜面上の擁壁）
- 安定照査：滑動照査
- 安定照査：転倒照査（①安全率による照査）
- 安定照査：転倒照査（②偏心距離による照査）
- 安定照査：支持力照査
- 安定照査：支持力照査（①底版全幅による照査）
- 安定照査：支持力照査（②有効載荷幅による照査）

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）

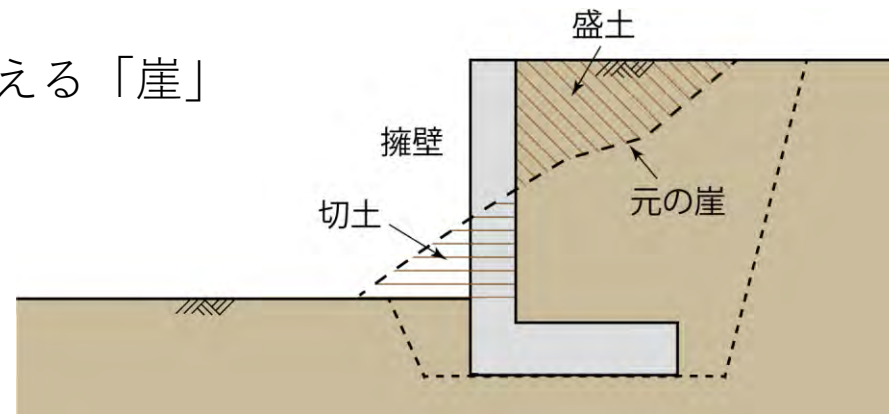
開発事業において

- 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**

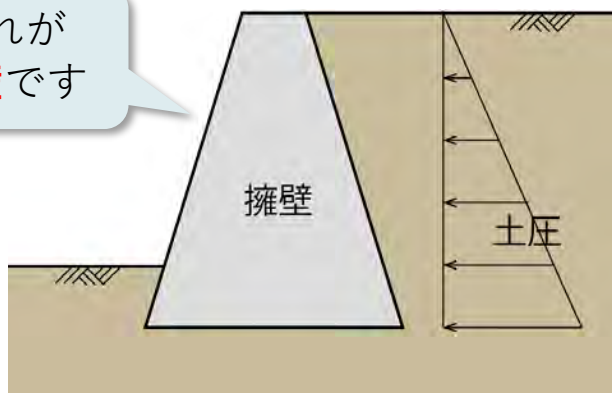
宅地造成及び特定盛土等規制法
(通称 盛土規制法) より



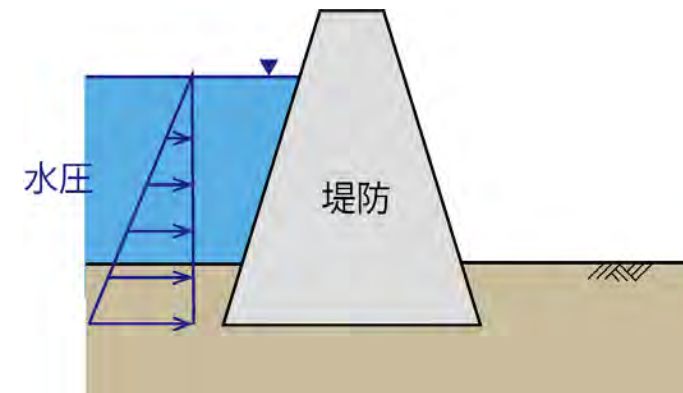
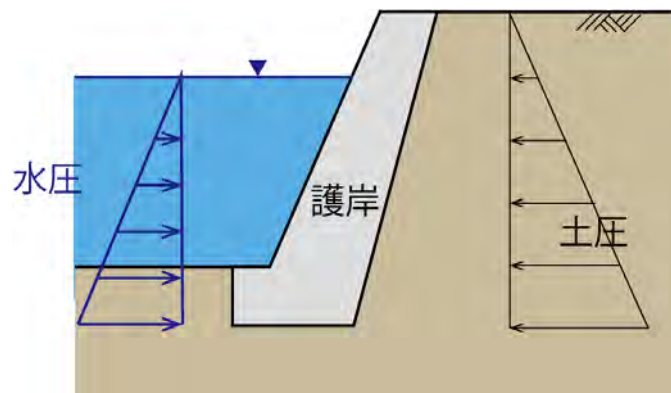
擁壁・護岸・堤防の違い

土を支える建造物

これが
擁壁です



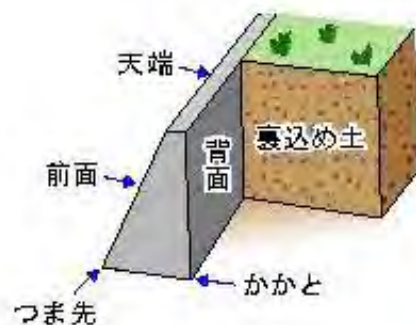
河川や調整池などの建造物



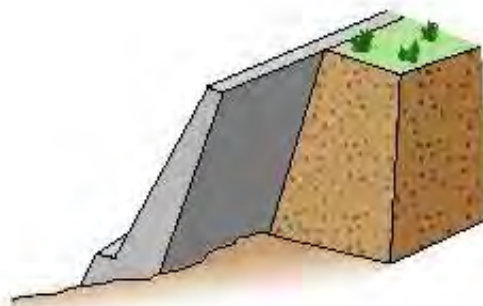
建造物の目的	擁壁	護岸	堤防
土砂の崩壊を防ぐために 土 を支える建造物	○	○	×
河川や池の 水 が流れ出ないようにする建造物	×	○	○
河川や池の 水 により 土 が侵食されないようにする建造物	×	○	×

擁壁の種類

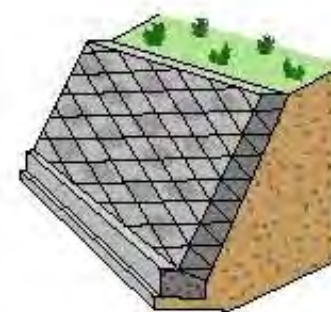
重力式擁壁



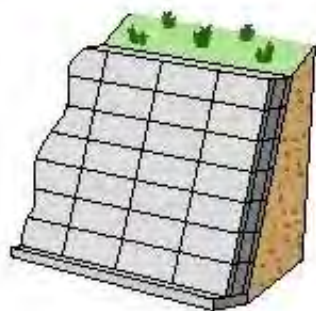
もたれ式擁壁



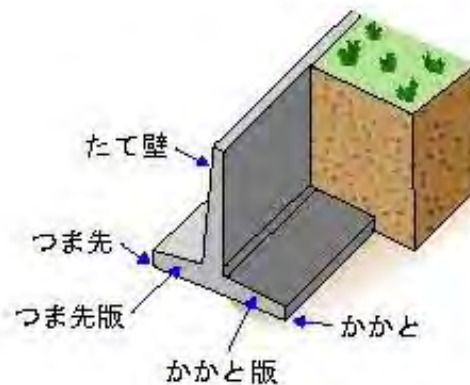
ブロック積(石積)擁壁



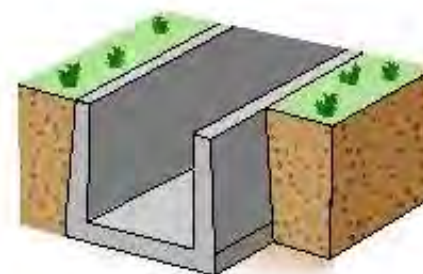
大型ブロック積擁壁



片持ちばり式擁壁



U型擁壁



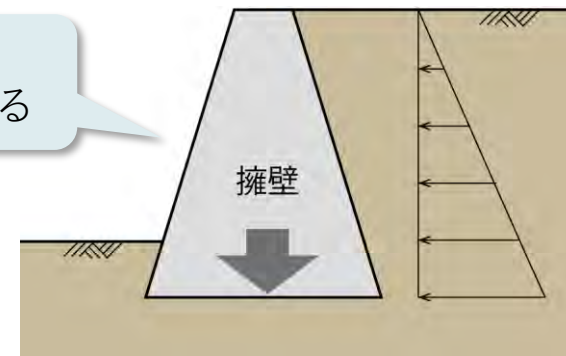
もたれ式擁壁
に準じた設計
計算が一般的

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

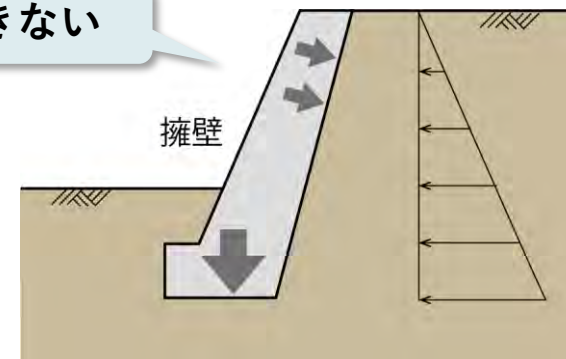


もたれ式擁壁

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

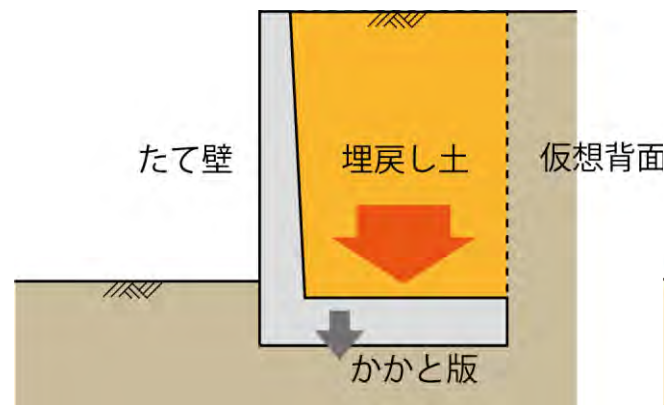


片持ちばり式擁壁

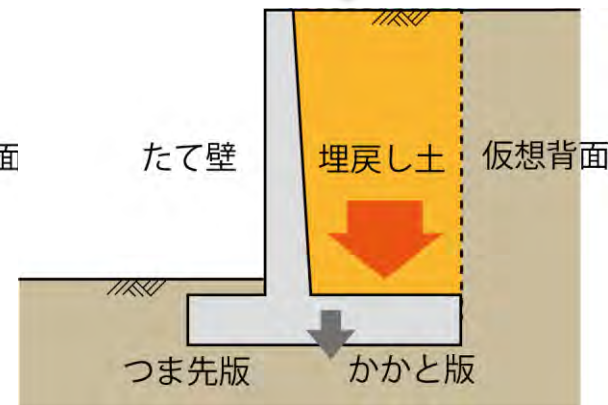
たて壁と底版とからなる擁壁
たて壁の位置により、**L型**、**逆T型**、**逆L型**に分類される

- 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

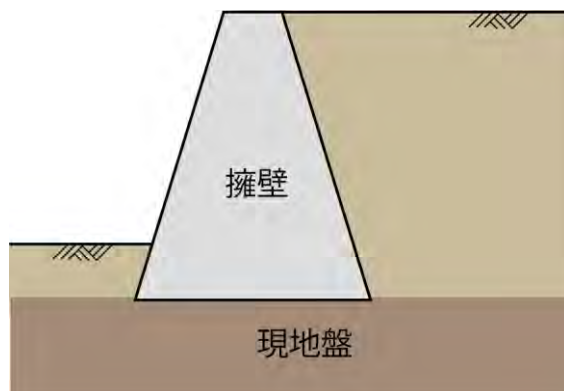


逆L型擁壁

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

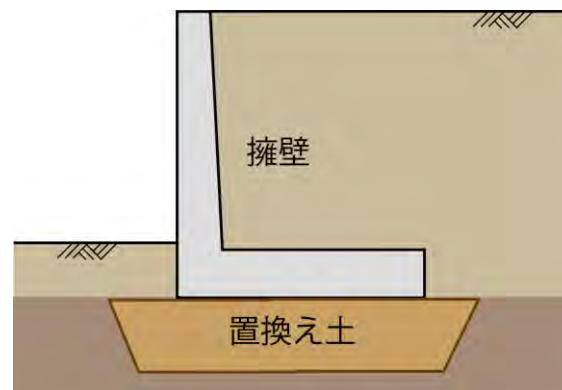


一般的な擁壁の
ほとんどが
直接基礎である

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

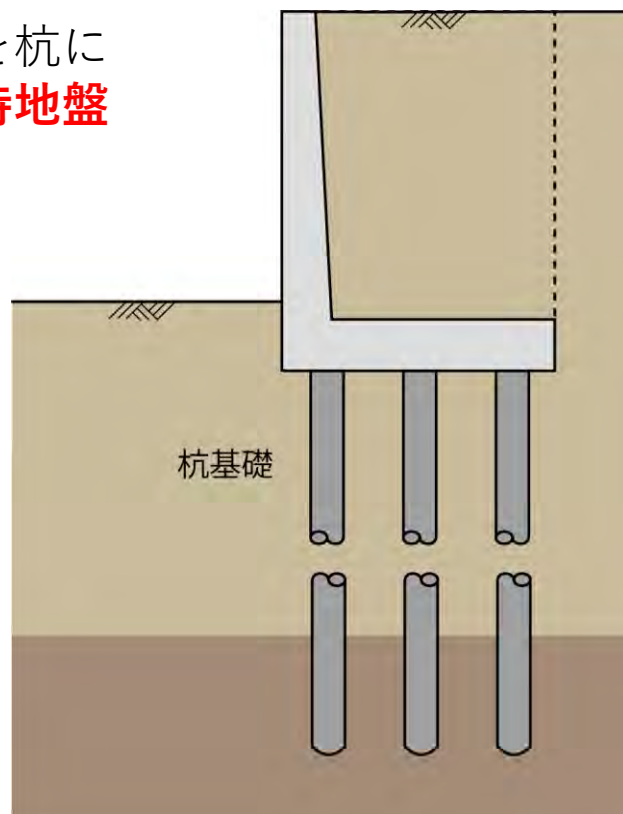
現地盤に**セメント系固化材**などを**混合**して、地盤の強度を高める



擁壁を支える基礎 (2)

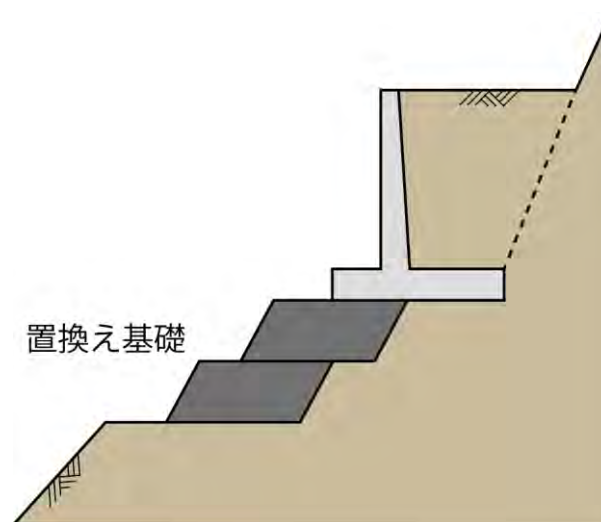
杭基礎

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 (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) 各地方公共団体で定めた指針 基準書、手引き等	[法]宅地造成及び特定盛土等規制法 [法]建設基準法(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

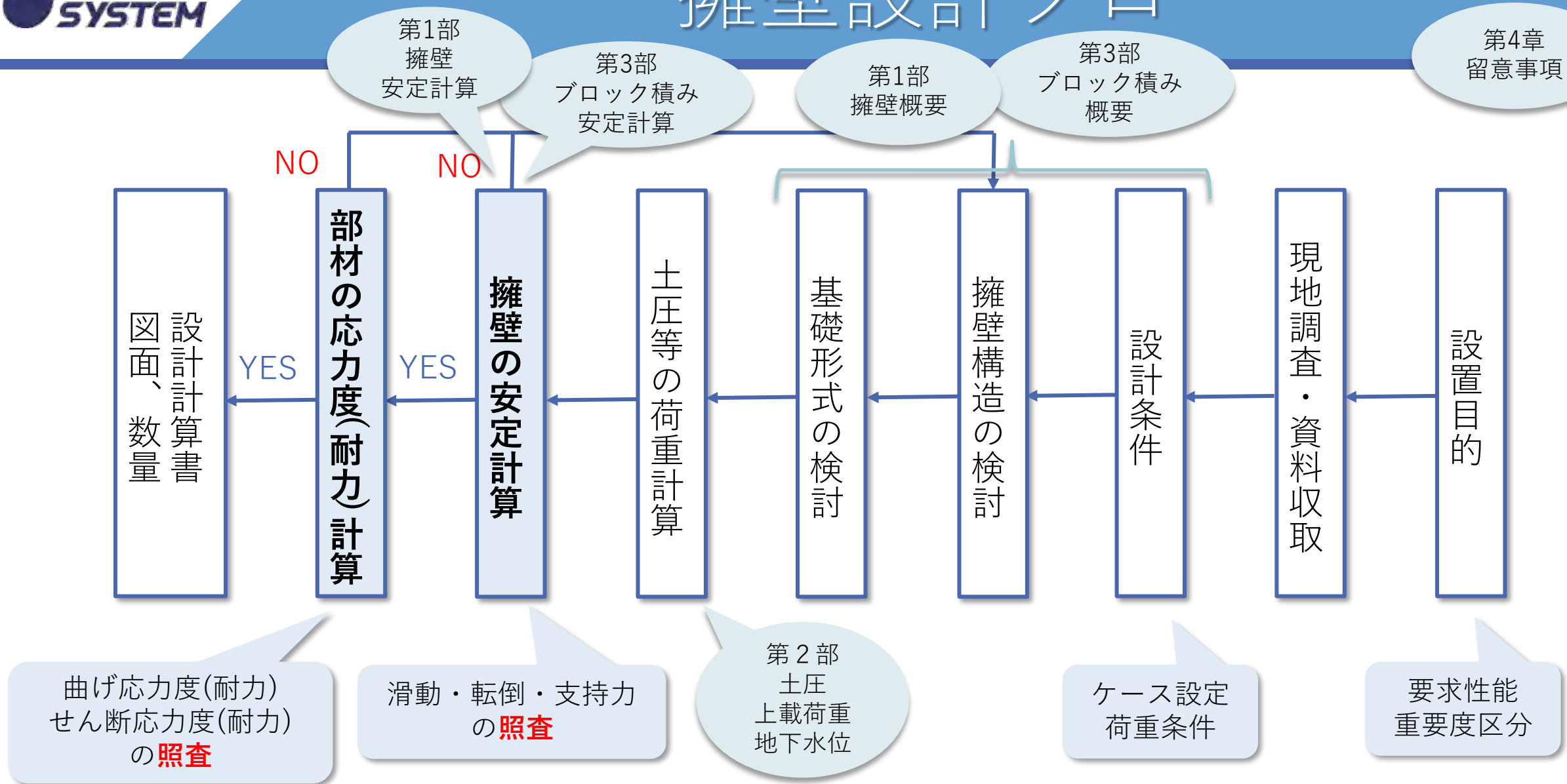
農林水産省

農林	土地改良事業計画設計基準 設計 「農道」(令和6年) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」(平成26年) 土地改良事業設計指針「耐震設計」 (平成27年)	参考・引用指針： 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

擁壁設計フロー

第4章
留意事項



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）

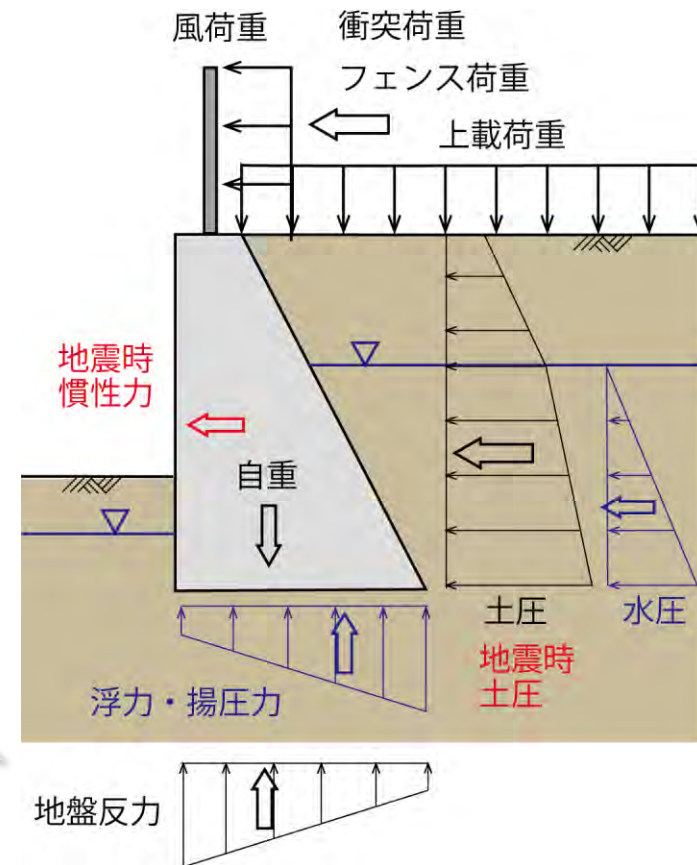
●風荷重 ※道路土工、土地改良

●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**も荷重の一つと言える



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

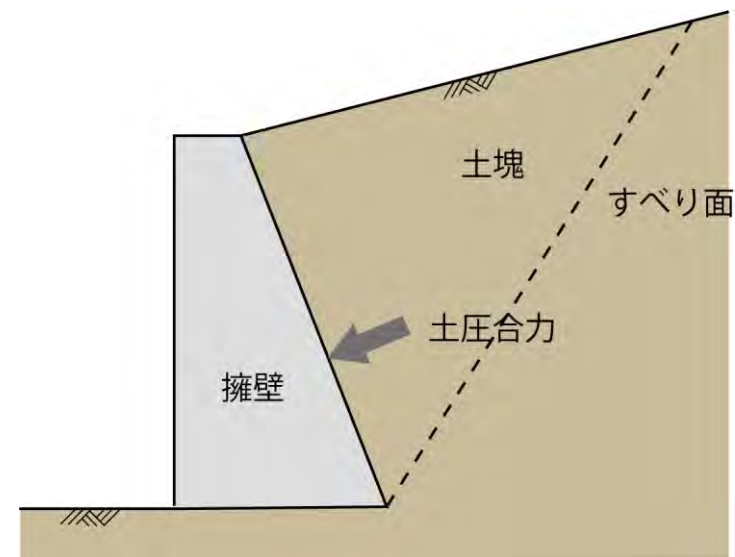
擁壁背後の土に**すべり面**が生じ、
くさび状の土塊がすべり面に沿って動くという考え



一般的な擁壁の土圧計算

クーロン土圧

試行くさび法

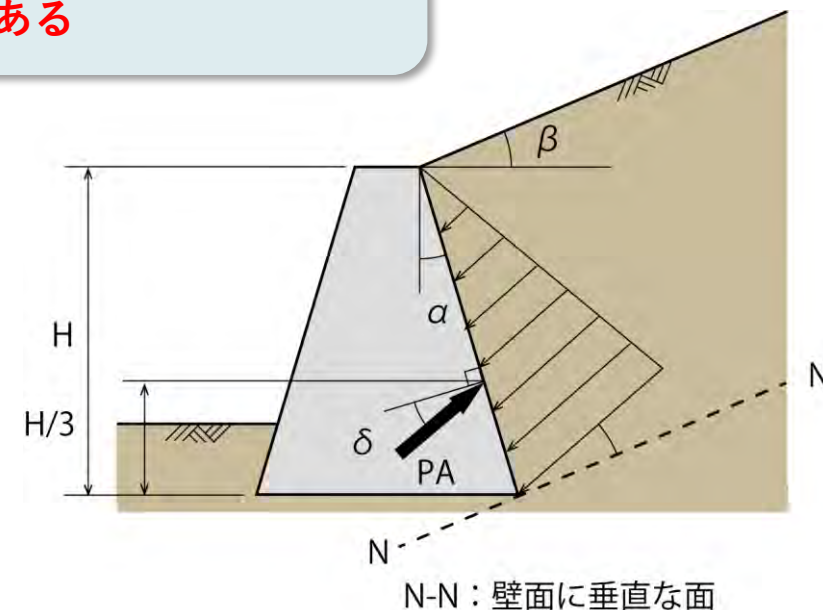


第2部で詳細な説明をします

砂質土を対象とし、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で導かれた計算方法

クーロンの常時主動土圧の計算式

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、**条件制限がある**



P_a : 土圧強度(kN/m²)

P_A : 土圧(kN)

K_A : 主動土圧係数

γ : 土の単位体積重量(kN/m³)

H : 土圧作用高(m)

L : 擁壁延長(m)

q : 上載荷重(kN/m²)

ϕ : 土の内部摩擦角(°)

δ : 壁面摩擦角(°)

α : 擁壁背面のなす角(°)

β : 背面土のなす角(°)

試行くさびの概要

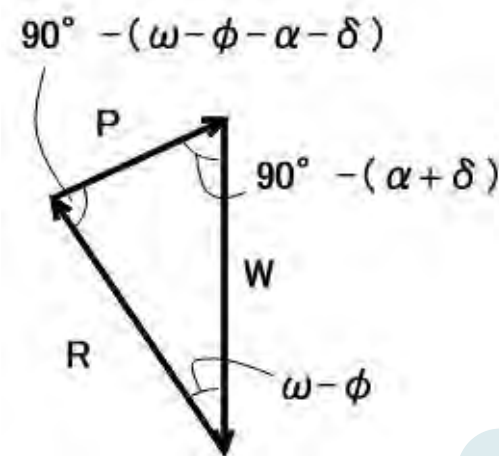
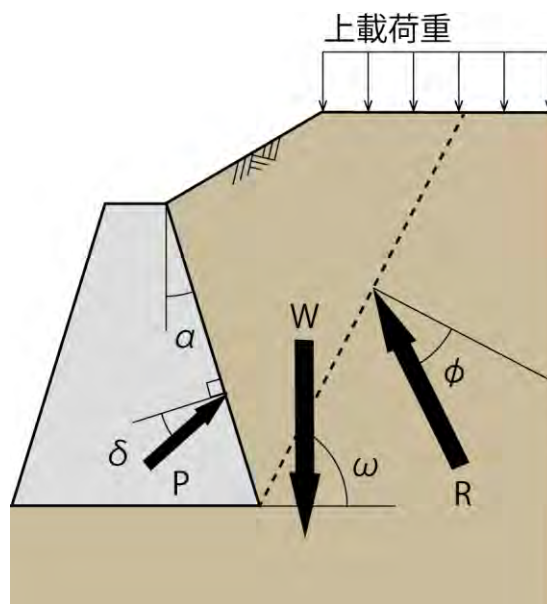
第2部で詳細な説明をします

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、クーロン土圧を図解によって求める方法

試行くさび法による常時主動土圧の計算式

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

P_A : 土圧(kN)
 W : 土くさびの重量(kN)
 ω : 仮定のすべり面の角($^{\circ}$)
 ϕ : 土の内部摩擦角($^{\circ}$)
 δ : 壁面摩擦角($^{\circ}$)
 α : 擁壁背面のなす角($^{\circ}$)
 β : 背面土のなす角($^{\circ}$)
 R : すべり面からの反力(kN)



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**である

土圧の水平成分・鉛直成分 (1)

擁壁背面のなす角 α 、
壁面摩擦角 δ を
考慮する場合

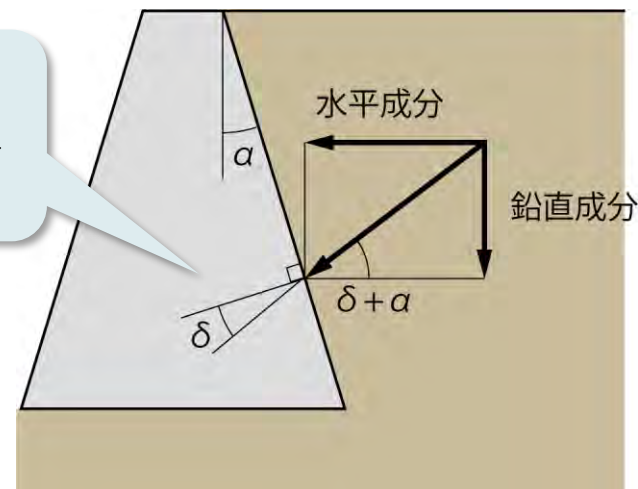
土圧が斜め方向に
作用する

土圧は
水平成分と**鉛直成分**に
分けて扱うことが多い

土圧合力の水平成分・鉛直成分

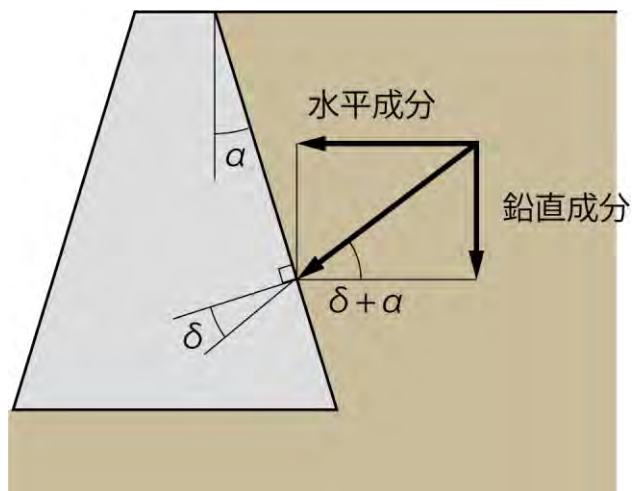
壁面摩擦角 δ とは、力が伝わる
ときに土粒子と壁面等の間に生
じる摩擦力による偏角をいう

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)



重力式擁壁

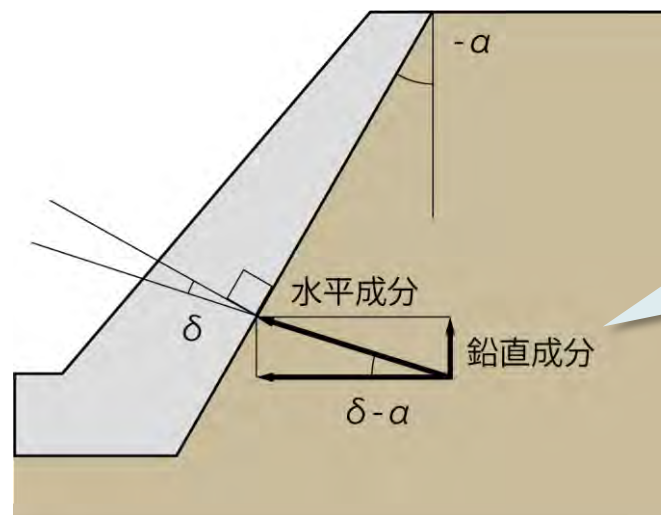
土圧合力は擁壁背面に
斜め下向きに作用する



もたれ式擁壁・ブロック擁壁

擁壁背面が逆ころび

- 土圧合力の**鉛直成分が上向き**になる場合が多い
- 安定性が確保される理由



鉛直成分が上向き
になると、**擁壁を
助ける働き**をする

地震時の検討 (1)

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 (橋脚など)	ボックス カルバート	管	杭基礎
地震時の 検討	不要 (常時のみ)	○	○	△	○	○	△
	レベル1 地震動	○	○	○	○	○	○
	レベル2 地震動	△	△	○	○	○	○
地震時 計算方法	レベル1 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 地震動	震度法	震度法	保有水平耐力法 (保耐法)	応答変位法	応答変位法	保有水平耐力法 (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。

地震時の検討 (2)

道路土工擁壁工指針	盛土等防災マニュアルの解説	土地改良事業設計方針 農道・水路工・耐震設計
・ レベル1地震動 ⇒ 性能1を満足 ・ レベル2地震動 ⇒ 性能2を満足 性能1：擁壁としての健全性を損なわない 性能2：損傷が限定的で機能回復が速やかに行える 性能3：損傷が擁壁として致命的にならない	・ 中地震時(震度5程度) 宅地又は建築物の共用期間中に1～2度程度発生する確率の地震を想定 ・ 大地震時(震度6～7程度) 発生確率は低いが直下型または海溝型巨大地震を想定	・ レベル1地震動 ⇒ B種 ・ レベル2地震動 ⇒ A種 A種：復旧困難で、極めて重大な2次災害を引き起こす可能性があるもの B種：A種、C種以外 C種：高さH=8m以下で、重要度は低く、かつ復旧が容易なもの
震度法 等の静的照査法	震度法	震度法 (固有周期を考慮しない)
部材照査 ⇒ 許容応力度法	・ 中地震時 ⇒ 部材照査 ・ 大地震時 ⇒ 安定照査、部材照査 ※部材照査は許容応力度法が一般的	・ レベル1地震動 ⇒ 許容応力度法による部材照査 ・ レベル2地震動 ⇒ 限界状態設計法(許容応力度法による部材照査)

地震時の検討 (3)

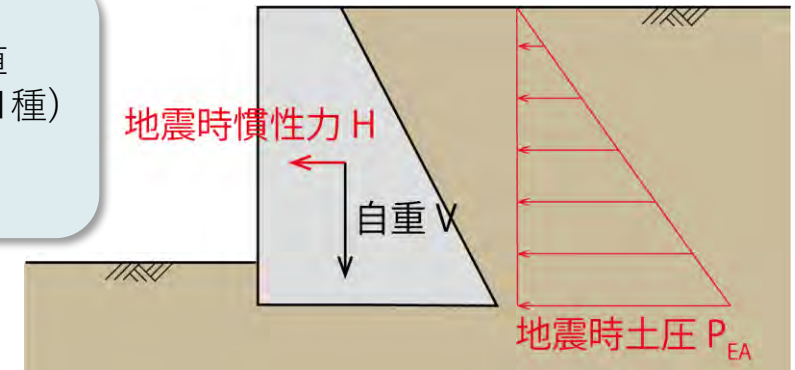
擁壁設計に用いる地震時荷重		
道路土工擁壁工指針	盛土等防災マニュアルの解説	土地改良事業設計指針 農道・水路工・耐震設計
・ 擁壁躯体の慣性力 ・ 地震時土圧 ↓ 共に作用させる	①地震時土圧 ②常時土圧 + 擁壁躯体の慣性力 ↓ いずれか大きい方の荷重を作用させる	・ 擁壁躯体の慣性力 ・ 地震時土圧 ↓ 共に作用させる

かつては、
常時土圧 + 擁壁
躯体の慣性力の
適用もあった

震度法（静的照査法）による計算

k_h : 設計水平震度
 V : 擁壁の自重(kN)
 H : 擁壁の自重による慣性力(kN)
 θ : 地震時合成角(度)

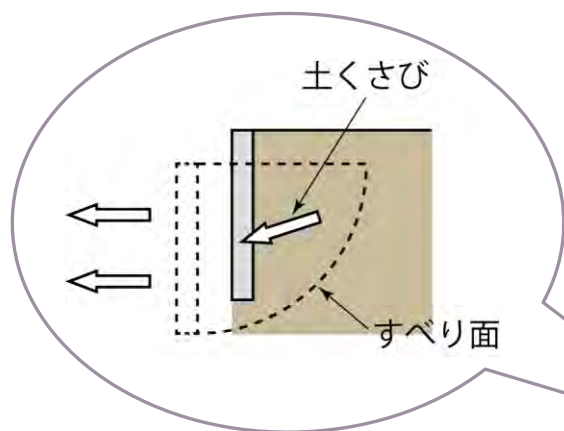
$k_h = k_{h0} \cdot c_z$
 k_{h0} : 設計水平震度の標準値
 (地盤種別Ⅰ種,Ⅱ種,Ⅲ種)
 c_z : 地域別補正係数
 (地域区分A,B,C)



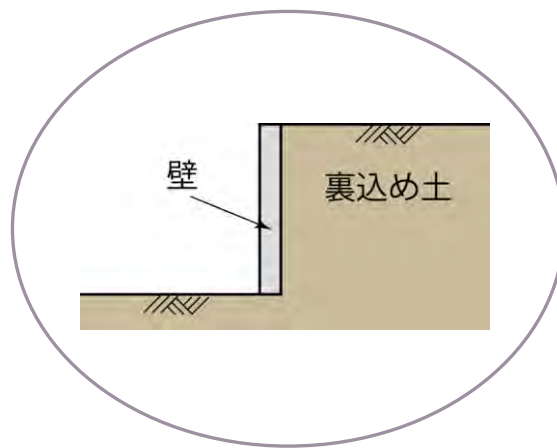
主働土圧・受働土圧・静止土圧 (1)

擁壁の背面土から生じる土圧

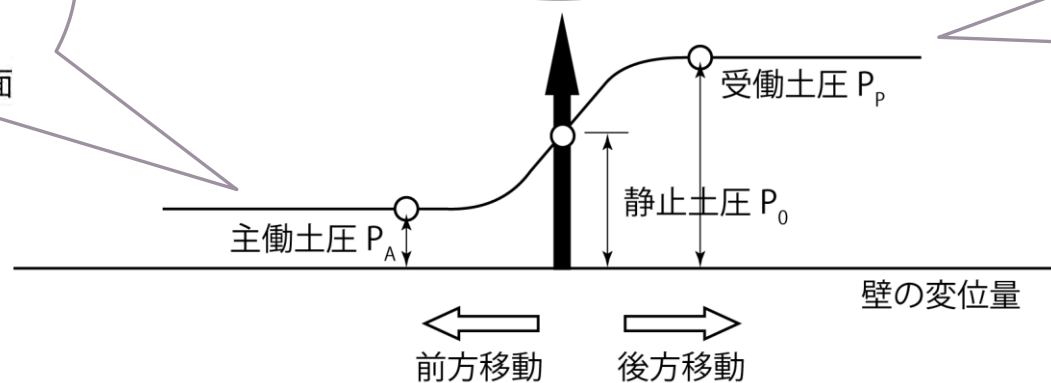
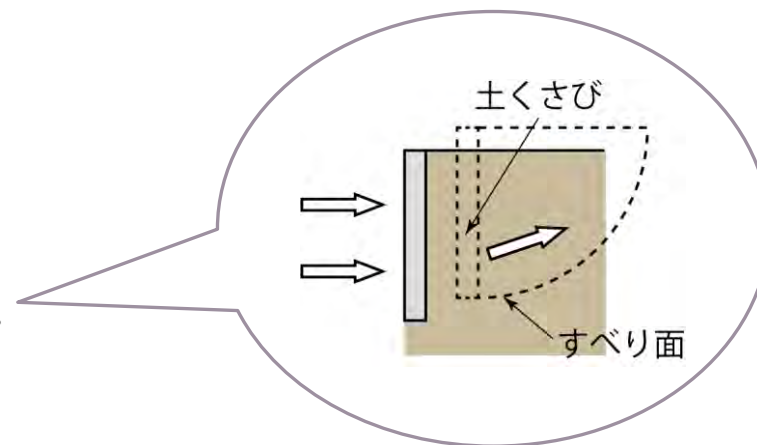
主働土圧



静止土圧



受働土圧



壁の移動と土圧

主働土圧・受働土圧・静止土圧 (2)

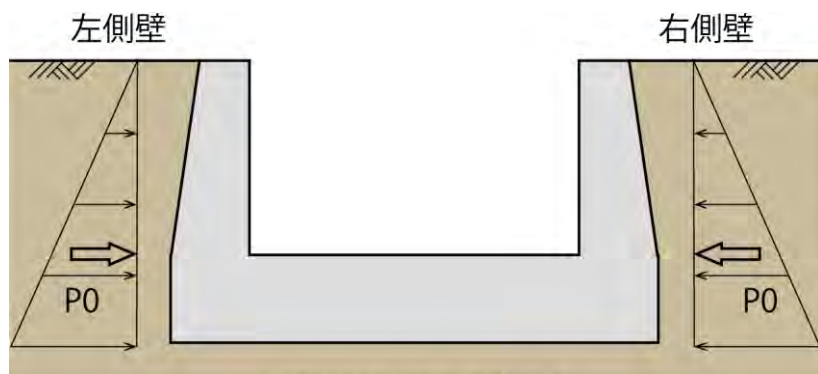
左右対称のU型擁壁

左側土圧と右側土圧が均衡している状態

→土圧は左右ともに静止土圧(P_0)となる

静止土圧

すべり面は生じない
(土圧係数 K_0 : **0.5**)



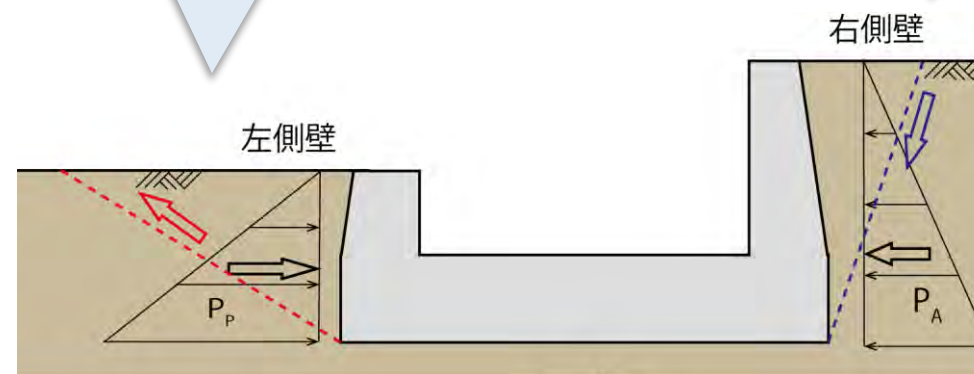
滑動抵抗力は生じない

受働土圧

擁壁が土塊を
押し上げようとする
⇒重力に逆らう方向
(土圧係数 K_p : **大**)

主働土圧

土塊が擁壁を
押してくる
⇒重力に沿う方向
(土圧係数 K_A : **小**)

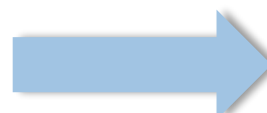


滑動抵抗力

U型擁壁に作用する土圧

擁壁の安定計算

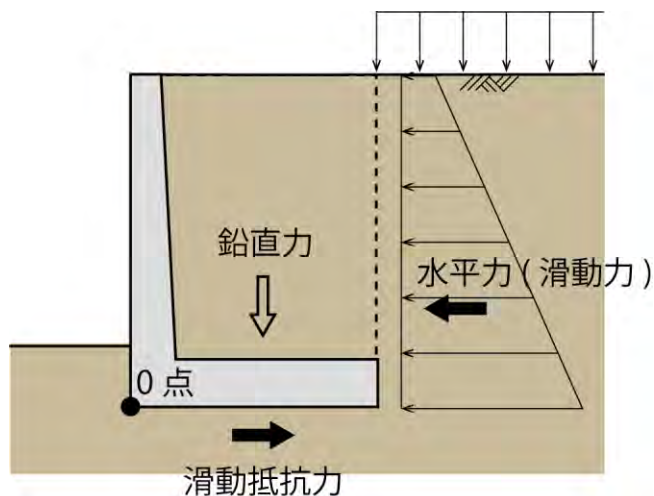
常時・地震時など想定される荷重条件に対して、**擁壁一体**で所定の**安全性（抵抗力）**が確保されている必要がある。



照査が必要

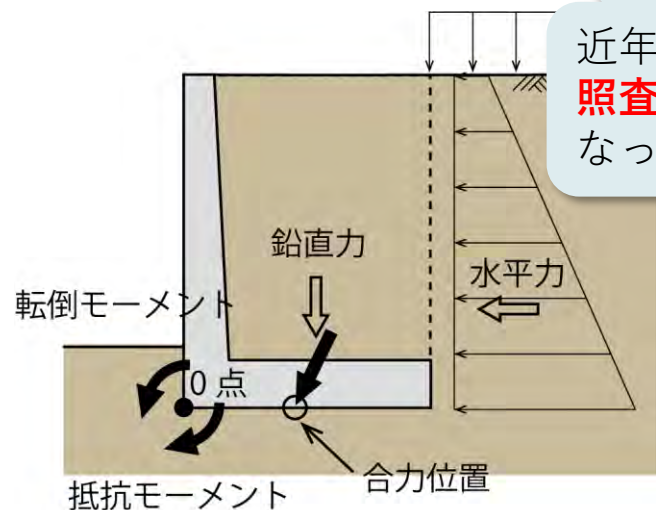
安定計算

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

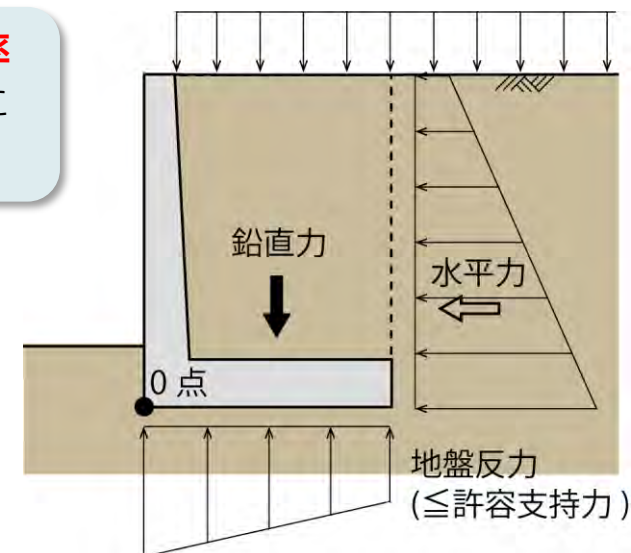


近年、**安全率照査が主体**になっている

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



斜面上のすべり破壊の照査

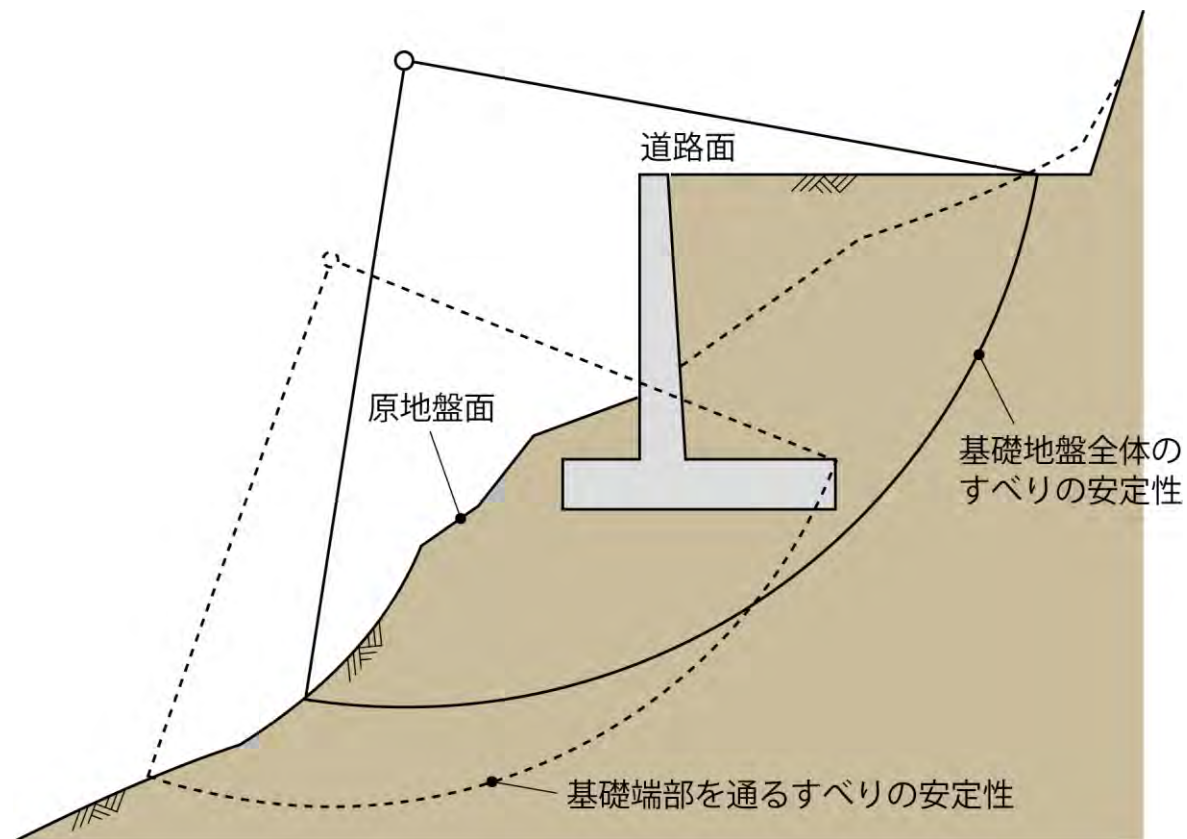
斜面上に擁壁を設けた場合

擁壁を包括した斜面全体が**すべり破壊**を起こす可能性がある



斜面全体の安定性も
検討しなければならない場合がある

本セミナーでは
すべり破壊の解説
は設けていません



滑動照査

滑動力

擁壁を前面に押し出そうとする力



滑動抵抗力

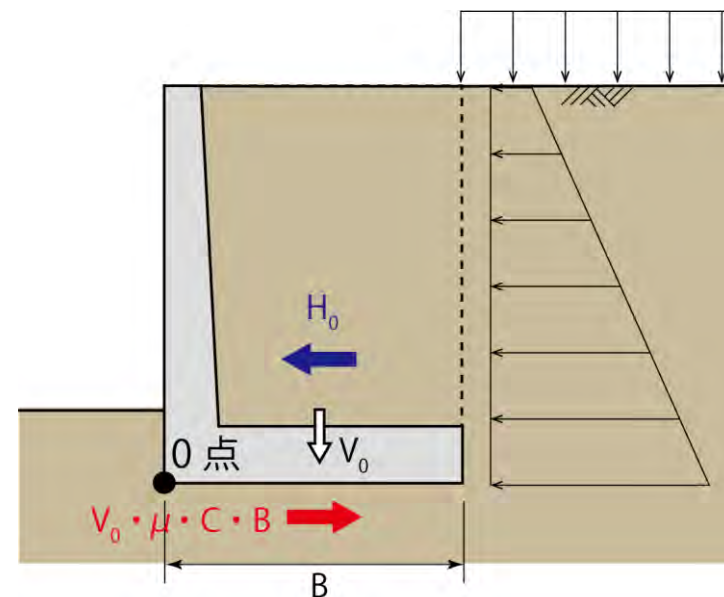
擁壁底面と地盤との間に生じる力

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

F_s : 安全率 = (常時) 1.5
 V_o : 全鉛直荷重(kN) = 2508.840kN
 H_o : 全水平荷重(kN) = 863.467kN
 μ : 地盤の摩擦係数 = 0.6
 c : 地盤との粘着力(kN/m²) = 0.0kN/m²
 B : 擁壁底面幅(m) = 10.0m

判定：OK

通常、常時では**1.5**、地震時では**1.2**の安全率(F_s)を下回ってはいけない



①安全率による照査

転倒モーメント

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

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**

F_s : 安全率 = (常時)1.5

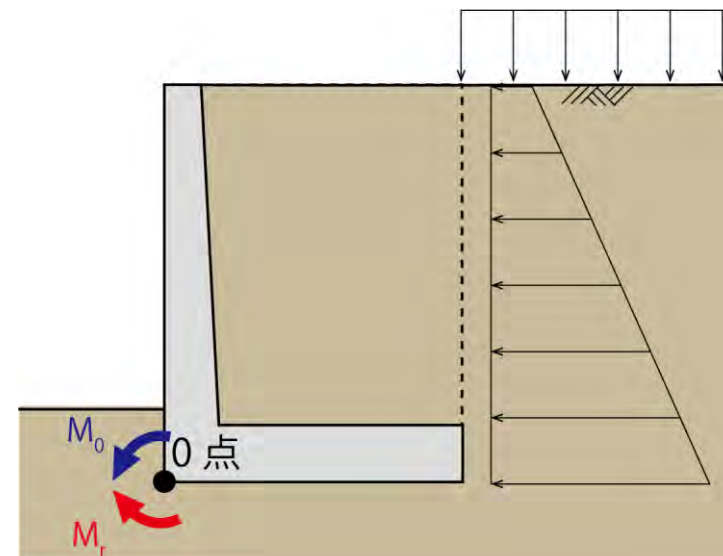
M_r : つま先(0点)での抵抗モーメント (kN・m)
= 5685.270 kN・m

M_o : つま先(0点)での転倒モーメント (kN・m)
= 1977.325 kN・m

判定 : OK

通常、常時では**1.5**、地震時には**1.2(1.0)**の
安全率(F_s)を下回ってはいけない

「宅地防災マニュアル[第三次改訂]」以降、
転倒照査が計算式②から①の方法に変更されています。



②偏心距離による照査

「宅地防災マニュアル[第三次改訂]」以降、
転倒照査が計算式②から①の方法に変更されています。

d : 0点から荷重合力までの水平距離(m)

e : 底版中心から荷重合力までの水平距離(m)

M_r : つま先(0点)での抵抗モーメント(kN・m)
=4452.714kN・m

M_o : つま先(0点)での転倒モーメント(kN・m)
=1109.618kN・m

V_o : 底版下面での全鉛直力(kN)=2508.840kN

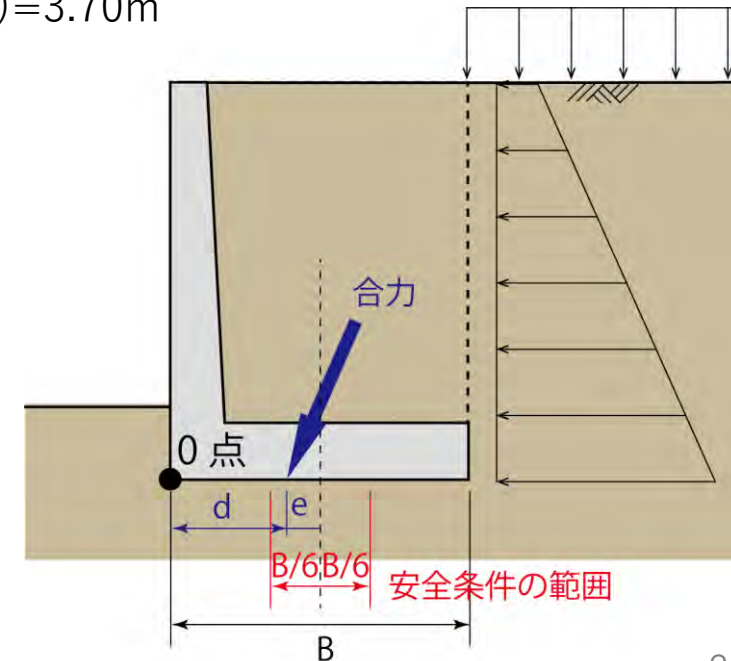
B : 擁壁底版幅(m)=3.70m

判定 : OK



	偏心距離(e)
常時	$e \leq B/6$
地震時	$e \leq B/3$

荷重合力の作用位置eが安全条件の範囲内に入っていること



ここで述べる支持力照査は、**直接基礎**の照査方法である

擁壁に作用する荷重は基礎地盤によって支持されている

荷重偏心により部分的にしる**基礎地盤の支持力が不足**すると

- 擁壁が**地盤内に沈下**する
- 前面側または背面側に**擁壁が傾く** など



基礎地盤の許容支持力度を計算し、**地盤反力度**との照査を行う

①底版全幅による照査

地盤反力度の計算式①（**底面幅Bの台形分布**による場合）

「道路土工指針」
「盛土等防災マニュアル」
「土地改良基準」

照査

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

q_1, q_2 : 擁壁両端部における地盤反力度(kN/m^2)
 e : 擁壁中心軸から荷重合力までの水平距離(m) = 0.517m
 V_0 : 擁壁底面における全鉛直荷重(kN) = 2508.840kN
 B : 擁壁底版幅(m) = 3.70m

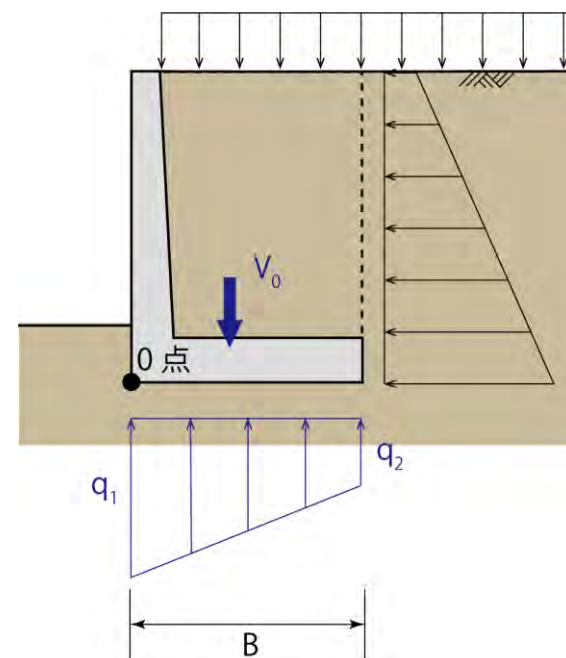
地盤種類による許容支持力度
標準値 q_a (kN/m^2)

建築基準法施行令第83条より引用

基礎地盤の許容支持力度
 $q_a = 200 (\text{kN/m}^2)$ とした場合

判定 : OK

判定 : OK



②有効載荷幅による照査

地盤反力度の計算式② (有効載荷幅 Be による場合)

q_1, q_2 : 擁壁両端部における地盤反力度(kN/m^2)
 e : 擁壁中心軸から荷重合力までの水平距離(m) = 0.517m
 V_o : 擁壁底面における全鉛直荷重(kN) = 2508.840kN
 B : 擁壁底版幅(m) = 3.70m

照査

許容支持力度の計算式 (「道路橋示方書 下部構造編 H24」適用の場合)

判定 : OK

q_a : 地盤の許容支持力度(kN/m^2)
 n : 安全率 (※常時 : 3、地震時 : 2)
 $S_{c,\gamma,q}$: 寸法効果の程度を表す補正係数
 $N_{c,\gamma,q}$: 荷重傾斜を考慮した支持力係数
 α, β : 底版面の形状係数
 $\alpha = 1.080, \beta = 0.893$

c : 基礎地盤の粘着力(kN/m^2) = 8.5 kN/m^2
 q : 根入れ地盤による上載荷重(kN/m^2)
 $= 18.0\text{kN/m}^2$
 $\gamma_{1,2}$: 土の単位体積重量(kN/m^3)
 D_f : 根入れ深さ(m) = 0.2m
 κ : 根入れ効果に対する割増係数 = 1.023

「道路土工指針」

