

第1章 設計の基本

1.1 概説

擁壁を設計する技術者は、常識として、どのような種類の擁壁があり、それらがどのような特徴を有しているか、適用高さはいくらか、といったことを知っておかなければならない。そして、設計に先だっては、現地踏査、測量、地盤調査を行い、現地の条件に適合する擁壁形式を絞り込まなければならない。さらに、擁壁の重要度と要求性能を明確にしなければならない。

本章では、擁壁設計の基本となるこれらの事項について説明する。

1.2 拠壁の種類と特徴

擁壁は使用材料や形状、安定機構によって図 1.1 のように分類される。

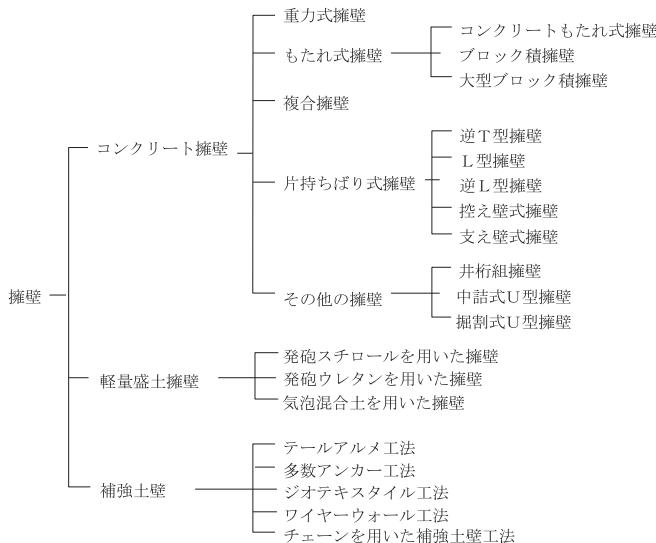


図 1.1 拠壁の分類

通常使用されている擁壁には、図1.2、図1.3に示すような種類がある。

主な擁壁形式の構造的特徴を示せば表1.1、表1.2のようになる。

擁壁の適用高さを図1.4に示す。

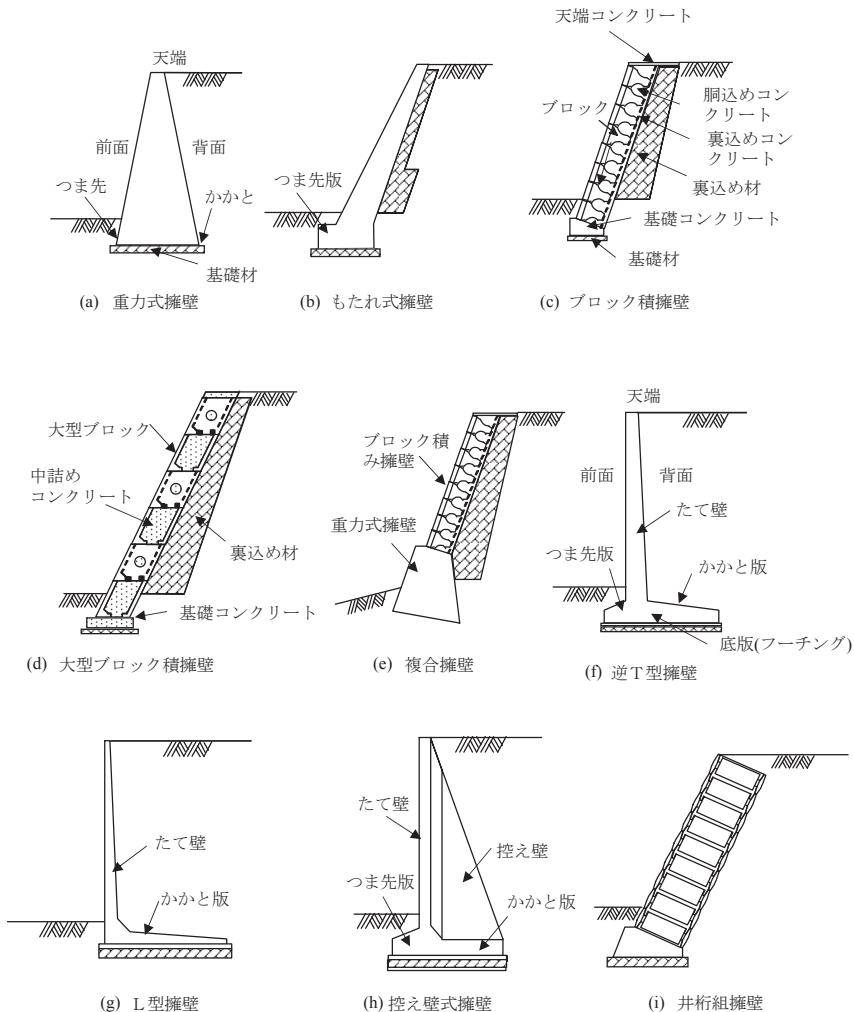
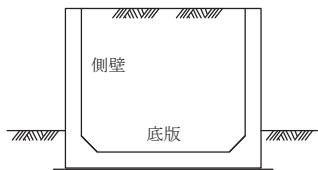
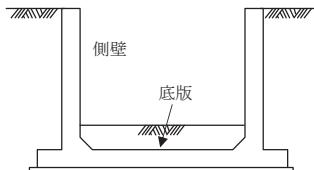


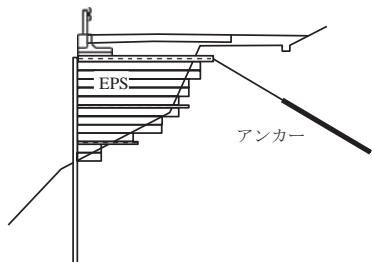
図 1.2 擁壁の種類(その1)



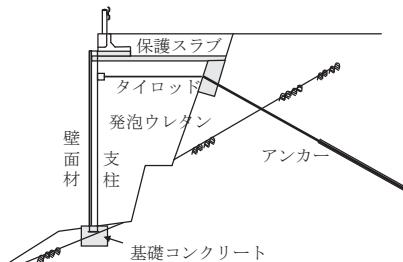
(j) 中詰式U型擁壁



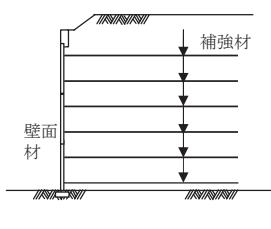
(k) 堀割式U型擁壁



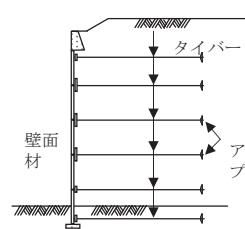
(l) EPS(発泡スチロール)工法



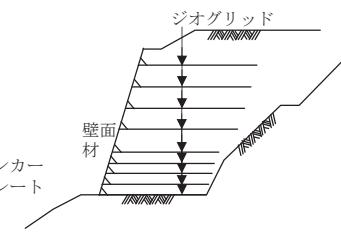
(m) 発泡ウレタン工法



(n) テールアルメ工法



(o) 多数アンカーワーク法



(p) ジオグリッド工法

図 1.3 擁壁の種類(その 2)

表 1.1 擁壁形式の特徴(その 1)

擁壁形式	構造的特徴
重力式擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①自重によって土圧に抵抗する構造。 ②曲げ引張応力に抵抗できないため大きな断面が必要で、杭基礎となる場合には不適。 ③無筋コンクリート構造であるため施工が容易。また、現場での形状変更が容易であるため、擁壁高が変化する箇所に適す。 ④適用高さは一般に 5m 程度以下。基礎が岩盤の場合は 10m～15m 程度の規模にも適用される。
もたれ式擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①地山あるいは裏込め土にもたれかかって安定する構造。 ②壁が背後に傾斜しており土圧を軽減できるため、壁厚を薄くできる。 ③壁面が後方へ傾斜しているので転倒に対して有利であるが、滑動の安全率が小さい。 ④掘削量が少ないので、現道拡幅のための路側擁壁としては有利。 ⑤適用高さは一般に 10m 程度以下。
ブロック積擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①間隔ブロックを 1:0.3 ～1:1.0 の勾配で積み重ねて擁壁としたもの。 ②もたれ式擁壁の一種であり、地山あるいは裏込め土にもたれかかって安定する構造。 ③擁壁の剛性が小さいので、圧密沈下のある地盤には不適。 ④施工速度が速く、経済性に優れている。 ⑤適用高さは空積みが 3m 以下、練積みが 5m 以下。
大型ブロック積擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①大型のコンクリートブロックを 1:0.3 ～1:1.0 の勾配で積み重ねて擁壁としたもの。 ②もたれ式擁壁の一種であり、地山あるいは裏込め土にもたれかかって安定する構造。 ③施工速度が速く、経済性に優れている。 ④適用高さは 15m 以下。
逆 T 型擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①自重とかかと版上の土砂の重量によって土圧に抵抗する構造。 ②たて壁は土留め、つま先版は転倒防止、かかと版は転倒と滑動防止の機能を持つ力学的に合理的な形式。 ③RC構造であるため、現場での形状、擁壁高の変更が困難。 ④適用高さは一般に 3m～10m。
L型擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①自重とかかと版上の土砂の重量によって土圧に抵抗する構造。 ②つま先版がないため転倒に対して不利であるが、用地を有効に利用できる。 ③適用高さは一般に 1m～8m。高さが 2m 以下の L型擁壁にはプレキャスト製品が使用されることが多い。
控え式擁壁	<ul style="list-style-type: none"> ①自重とかかと版上の土砂の重量によって土圧に抵抗する構造。 ②控え壁を 3～4m 間隔に設け、たて壁およびかかと版の剛性を高めたもの。 ③逆 T型擁壁に比べて部材断面を薄くできる。 ④構造が複雑であり、型枠・鉄筋の組立、裏込め土の締固めなどの作業性に劣るため最近では採用されることが少ない。 ⑤適用高さは 5m～15m 程度。

表 1.2 擁壁形式の特徴(その 2)

U型擁壁	①側壁と底版を一体化し、U型断面としたもの。 ②一般に、偏土圧を受けないため、滑動、転倒の恐れがない。 ③地下水位が高いと浮力によって浮き上がる恐れがある。 ④掘り割り道路や、立体交差の取り付け道路などに適用される。 ⑤適用高さは一般に1~8m。
複合擁壁 (混合擁壁)	①ブロック積み擁壁と重力式擁壁を上下に組み合わせたもので、経済性と施工性に優れている。 ②壁面が折れ曲がるため、その影響を考慮した解析が必要となる。 ③軟弱地盤には不適。 ④耐震性に劣るため重要な箇所には不適。 ⑤適用高さは5~8m。
補強土壁	①盛土内に帶鋼、鉄筋、ジオテキスタイル、チェーンなどの補強材を敷き込み、盛土の安定性を高めたもの。 ②壁にほとんど土圧が作用しないため、壁厚を薄くすることができる。 ③現場での型枠組立やコンクリート打設が不要なため、大幅な工期短縮が図られる。 ④鉛直壁の構築が可能なため、用地に制約がある箇所でも施工可能。 ⑤適用高さは3~20m。鉄道では10m以下に制限されている。
軽量盛土擁壁	①盛土の代わりに軽量材である発泡スチロールブロック(0.2kN/m^3)、現場発泡ウレタン(0.35kN/m^3)、エーモルタル($5\sim 15\text{kN/m}^3$)などを用いて土圧の軽減を図る工法。 ②軟弱地盤に道路を建造する場合、山岳道路を拡幅する場合、既設擁壁を補強する場合などに適用されることが多い。

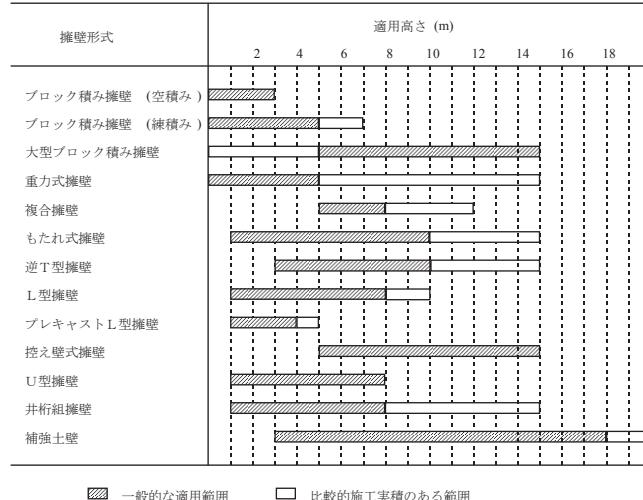
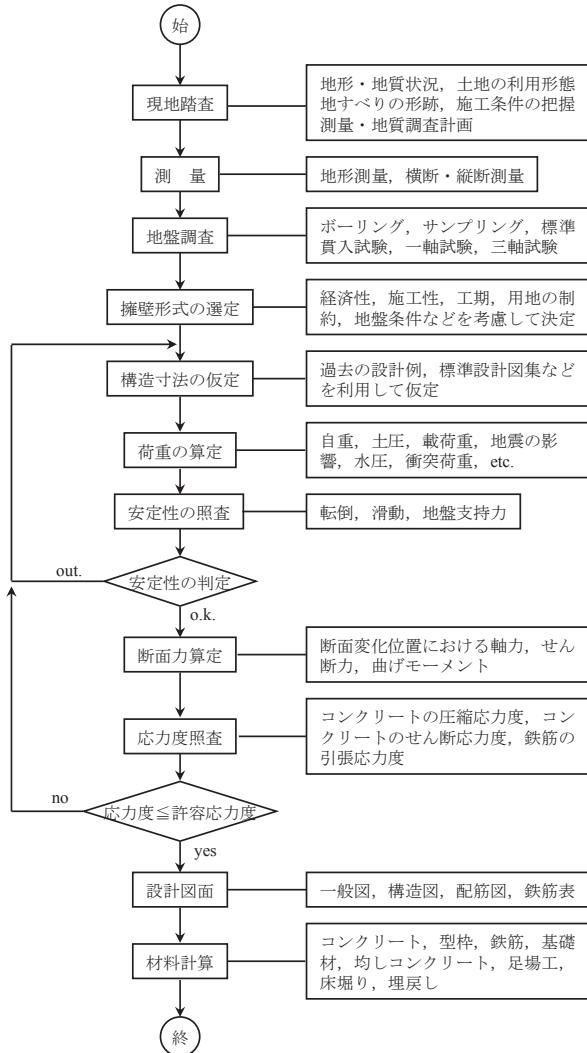


図 1.4 擁壁の適用高さ

1.3 調査

擁壁の設計は、通常図 1.5 に示すようなフローで行われる。設計計算に先立ち、現地踏査、測量、地質調査、資料収集などの調査を行う必要がある。



1.3.1 現地踏査

現地踏査は、地形、地質の概要を調査し、設計および施工上の問題点を把握することと、引き続いて行われる測量および地質調査の位置と内容を判断する目的で実施する。

調査内容には、以下の事項がある。

- ①地形状況
- ②基岩盤の露出状況、岩質、節理・層理の方向、土質
- ③湧水の状況、地下水位の深さ
- ④地すべり、斜面崩壊の痕跡
- ⑤河床の変動、洗掘状況
- ⑥隣接する構造物（民家、埋設物、記念碑など）の有無、移転の可能性
- ⑦交通量、施工時の交通規制や迂回路
- ⑧資材搬入路の状況

1.3.2 測量

擁壁の規模や形式を決定するには、地形図、縦断図、横断図が必要である。これららの図面が用意されていない場合には、地形測量、縦断測量、横断測量を実施する必要がある。

横断測量の間隔は 20m が標準である。地形の変化が著しい場合にはその中間の地形変化点でも実施する必要がある。

1.3.3 地盤調査

(1) 地盤調査の種類

地盤調査は下記の目的で実施される。

- ①擁壁形式および基礎形式の選定
- ②土圧・水圧の算定
- ③支持力の算定
- ④沈下量および圧密時間の推定
- ⑤地震時の液状化の判定、耐震設計上の地盤種別の判定
- ⑥施工方法の決定

良質な支持層が浅く、基礎底面を支持層に直接設置できる場合、あるいは軟弱層が薄くて良質土による置き換えが可能な場合には、ボーリング調査と標準貫入

試験のみ行えばよい。しかし、軟弱層が複雑に変化している場合や擁壁延長が長い場合は、ボーリング調査を補完する目的でサウンディング調査を併用するのがよい。軟弱層が厚く良質な支持層に直接支持させることができない場合には、一軸圧縮試験や三軸圧縮試験、圧密試験、ボーリング孔内水平載荷試験なども必要になる。

地下水位が現地盤面から 10m 以内、かつ現地盤面から 20m 以内に N 値が 10～15 以下の飽和砂質土層があると地震時に液状化の恐れがある。液状化を判定するには標準貫入試験だけでなく、土の粒度試験、細粒分含有率試験、液性・塑性試験を行わなければならない。

擁壁を設計する上で必要な地盤調査、土質試験の種類を基礎形式ごとに示せば表 1.3 のようになる。

規模の小さい擁壁でも、地盤の状態が不明であれば最低限でも標準貫入試験は実施すべきである。

表 1.3 基礎形式と地盤調査の目安

地盤調査の種類	直接基礎	段切り基礎	置換え基礎	杭基礎	備考
ボーリング	○	△	○	○	
標準貫入試験	○	△	○	○	
土の粒度試験	△	×	○	○	
一軸圧縮試験	△	×	○	△	塑性指数 $I_p \geq 30$ の粘性土
三軸圧縮試験	△	×	○	△	塑性指数 $I_p < 30$ の粘性土
孔内水平載荷試験	×	×	×	△	N 値 < 4 の軟弱地盤
圧密試験	×	×	△	△	圧密沈下が問題になる場合
土の細粒分含有率試験	×	×	△	○	地震時に液状化が問題になる場合
液性・塑性限界試験	×	×	△	○	圧密沈下・液状化が問題になる場合

○：一般に必要、△：場合によっては必要、×：不要

(2) ボーリングの位置

調査ボーリングは、擁壁の規模や地形によって異なるが、一般には 50m～100m の間隔で実施されている。山岳部や平地の山裾付近は地層の変化が著しいので 20m

～50m の間隔で実施すべきであろう。擁壁の基礎形式として、段切り基礎や杭基礎などが想定され、岩盤の傾斜を高い精度で把握する必要がある場合には、同一の測点位置で横断方向に最低 2 箇所は調査しなければならない。

(3) ポーリングの深さ

直接基礎のすべり破壊面は、擁壁底面から擁壁高さの 1.5 倍以内、沈下の影響は擁壁高さの 1.5～3 倍以内の深さと考えられる。従って、直接基礎における調査は、支持力を推定するためには擁壁底面から擁壁高の 1.5 倍の範囲、沈下の影響を調べる場合には擁壁高さの 3 倍の範囲が目安となる。

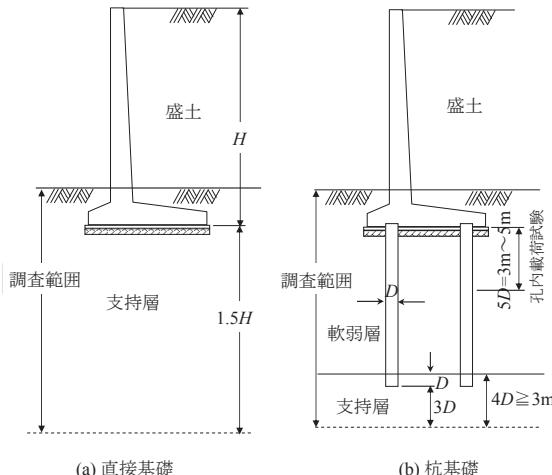


図 1.6 地盤調査深さ

(4) 支持層の目安

擁壁工指針では、擁壁の支持層の目安を砂質土の場合は N 値が 20 以上、粘性土の場合は N 値が 10～15 程度以上あるいは一軸圧縮強度 q_u が $100\sim200\text{kN/m}^2$ 程度以上と考えてよいとしているが、これは一般的な場合である。擁壁の高さを H とすれば、 $N \geq 5H$ を支持層の目安とすればよい。

杭基礎の場合は、層厚 3～5m または杭径の 4 倍以上良質の支持層が確認されるまでの深さを調査するのがよい。

擁壁高が 8m を超える大規模な擁壁や重要度 1 の擁壁については、耐震設計上の

地盤種別を判定する必要がある。このため地表面から耐震設計上の基盤（岩盤もしくは N 値 ≥ 50 の砂質土層、あるいは N 値 ≥ 25 の粘性土層）面までボーリングおよび標準貫入試験を行って、土質構成と N 値を明らかにする必要がある。

(5) 孔内水平載荷試験

杭基礎の設計では、地盤の変形係数が必要になる。変形係数は標準貫入試験の N 値から推定することもできるが、 N 値が 4 未満の軟弱地盤では N 値の信頼性に問題がある。このような場合には、ボーリング孔を利用して水平載荷試験（LLT 試験、プレシオメータ試験など）を実施するのが望ましい。

杭の横抵抗に影響がある範囲は、杭頭（フーチング下面）から下方へ $1/\beta$ (β : 杭の特性値) までである。 $1/\beta$ の値は地盤の密度、杭径、杭の剛性などによって異なるが、目安は $1/\beta \approx 5D$ (D : 杭径) である。既製杭の場合は $1/\beta \approx 3m$ 、場所打ち杭の場合は $1/\beta \approx 5m$ を目安にし、その範囲内で 1~2 箇所試験を実施すればよい。

1.4 擁壁の計画

1.4.1 基礎の根入れ

基礎は、擁壁に作用する荷重を完全に支持することができる支持層まで根入れしなければならない。この他に、将来的な地盤の変動、地盤の凍結深さ、河床低下、洗掘深さ、地下埋設物の影響などについて検討した上で決定する必要がある。

これらの影響を考慮する必要がない場合には、図 1.7 を参考にして根入れ深さを決定すればよい。

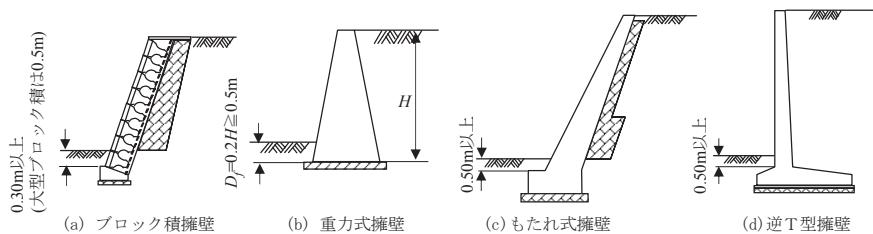


図 1.7 基礎の根入れ深さ

1.4.2 擁壁形式の選定

表 1.4 に擁壁形式選定の目安を示す。主な擁壁の各種条件に対する適合性を○, △, ×で評価してある。これを参考にすれば現場条件に適合する擁壁形式を絞り込むことができよう。

表 1.4 擁壁形式選定の目安

		間知 プロック 積み 擁壁	大型 プロック 積み 擁壁	重力式 擁壁	もたれ式 擁壁	逆T型 擁壁	現場 打ちL型 擁壁	プレキヤス ストL型 擁壁	逆L型 擁壁	控え壁式 擁壁	U型 擁壁	補強土壁	軽量 盛土 擁壁
擁壁構造	設置個所	切土部	○ ○	△ ○	○ ×	×	×	△	×	×	×	×	×
		盛土部	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	擁壁高	1~3m	○ △	○ ○	○ △	○ ○	○ ○	○ ○	×	○ △	○ △	○ △	○ △
		3~5m	○ △	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
		5~8m	△ ○	△ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
		8~10m	×	○ △	○ ○	○ ○	△	×	×	○ △	○ △	○ ○	○ ○
		10~12m	×	○ △	△ △	△	×	×	×	○ ×	○ ×	○ △	○ △
		12~15m	×	○ △	△ △	△	×	×	×	○ ×	○ ×	○ △	○ △
		15m~	×	×	△	×	×	×	×	×	×	○ ×	○ ×
	壁面勾配	鉛直	×	×	○ ×	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
		1:0.3	○ ○	○ ○	○ ○	△	△	×	○ △	○ △	○ ×	×	×
		1:0.5	○ ○	○ ○	○ ○	×	×	×	×	×	△ ×	△ ×	×
		1:1.0	○ ○	×	○ ○	×	×	×	×	×	×	×	×
地盤条件	支持地盤	軟弱地盤	△	×	×	×	○	△	△	×	○ ○	○ ○	○ ○
		傾斜大	○	○	○ ○	○ ○	△	△	△	△	△ ×	△ △	△ △
	基礎形式	杭基礎	△	×	△ △	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
施工条件	擁壁前方の用地制約		×	×	○ ×	×	○ ○	×	×	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	背後の掘削の制約		○	○	△ ○	○ ○	×	×	○ ○	×	×	×	×
	作業の迅速性		△	○	△ △	△	×	×	○ ○	×	×	○ ○	○ ○
	大型重機の進入不可		○	×	○ ○	○ ○	○ ○	×	○ ○	○ ○	○ ○	△ ○	○ ○

○ : 適合性が高い △ : 場合によっては適合性がある × : 適合性が低い

現地条件に適合する擁壁がピックアップされれば、それらの擁壁について構造上の安全性、施工性、経済性、将来の維持管理性、周辺環境への適合性、景観性などの面から総合的に検討した上で形式を決定する。

経済性の評価にあたっては、擁壁の材料費と施工費だけでなく、施工時の仮設費、用地補償費なども含めて評価する必要がある。

近年は、ローコスト化が唱えられる一方で動植物や魚介類などの生態系に配慮した設計や周囲の景観に調和した設計が求められている。これらの点についても十分に配慮する必要がある。

1.5 設計で想定する作用

擁壁の設計に当たって想定しなければならない作用には、「常時的作用」「降雨の作用」「地震動の作用」「その他の作用」がある。

- ① 常時的作用：自重、載荷重、土圧、水圧、浮力など
- ② 降雨の作用
- ③ 地震動の作用

レベル1 地震動：供用期間中に発生確率が高い地震動

レベル2 地震動：発生確率は低いが大きな強度を持つ地震動

- ④ その他の作用

風、自動車の衝突、落石の衝突、凍上、塩害、酸性土壌中の部材の腐食や劣化など。

土木工学では、風荷重、落石荷重などのように荷重という用語が一般に使用されており、作用という用語にはなじみが薄い。

作用とは、構造物に働く力学的な力や構造物の変形の原因、材料を劣化させる原因となるものと定義される。これに対して荷重は、構造物に働く作用をモデル化し、断面力、変位などの算定のために設計計算のインプット用に変換したものと定義される。

質量 m の自動車が速度 v で壁に衝突することを考えれば、衝突時の運動エネルギーは $E=1/2mv^2$ である。運動エネルギーと同じであっても固くて変形しにくい壁と柔らかくて変形しやすい壁とでは、衝突時に壁に加わる荷重の大きさは異なる。つまり、作用は同じでも荷重の大きさや変形は異なるのである。

従来、土木工学で作用と荷重を厳密に区別してこなかったのは、設計の対象と

している作用が静的作用であったためである。

降雨の作用とは、擁壁背面への雨水および地下水などの浸透水による影響である。これらを定量的に評価することは難しい。しかし、適切に排水工が設置され、入念な施工が行われていれば擁壁の所要の安全性を確保できることが経験的にわかっている。こうしたことから、日本道路協会の道路土工－擁壁工指針¹⁾(以後、擁壁工指針と呼ぶ)では、降雨の作用に対する安定性の照査は省略してもよいとしている。

レベル2地震動には、タイプI地震動(=プレート境界型の大規模地震)とタイプII地震動(=内陸直下型地震)があるが、擁壁設計では両者を区別しない。既往の地震動の逆解析結果で両者に有意な差が見られていないためである。

1.6 拥壁の重要度と要求性能

擁壁工指針では、交通機能や隣接する施設に対する影響の程度に応じて、表1.5のように擁壁を重要度1と重要度2に区分するものとしている。図1.8のフローに示すように、迂回路の有無、緊急輸送道路であるか否か、道路ネットワーク機能へ与える影響などを考慮して判断する¹⁾。

擁壁の性能水準は、表1.6のように性能1、性能2、性能3の3つに区分し、想定する作用と擁壁の重要度に応じて要求性能を表1.7のように定めるものとする¹⁾。

表 1.5 拥壁の重要度区分

重要度の区分		区分の判断
重要度1	万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、隣接する施設に重大な影響を与える場合。	擁壁が損傷した場合の道路の交通機能への影響と隣接する施設などに及ぼす影響の重要性を総合的に勘案して定めること。道路の交通機能への影響は、必ずしも道路の規格による区分を指すものではなく、迂回路の有無や緊急輸送路であるか否かなど、万一損傷した場合に道路ネットワークとしての機能に与える影響の大きさを考慮して判断すること。
重要度2	上記以外	

表 1.6 要求性能の水準

区分	性能の限界状態	満足すべき性能
性能1	健全性を損なわない	安全性、修復性、供用性
性能2	損傷が限定的であり、擁壁としての機能の回復が速やかに行い得る	安全性、修復性
性能3	損傷が擁壁として致命的とならない	安全性

安全性とは、想定する作用などによる変状によって人命を損なうことのないようにするための性能。修復性とは、想定する作用によって生じた損傷を修復できる性能。供用性とは、想定する作用による変形や損傷に対して、通常の維持管理水平の補修で、道路が本来有すべき通行機能、および避難路や救助・救急・医療・消火活動・緊急物資の輸送路としての機能を維持できる性能である。

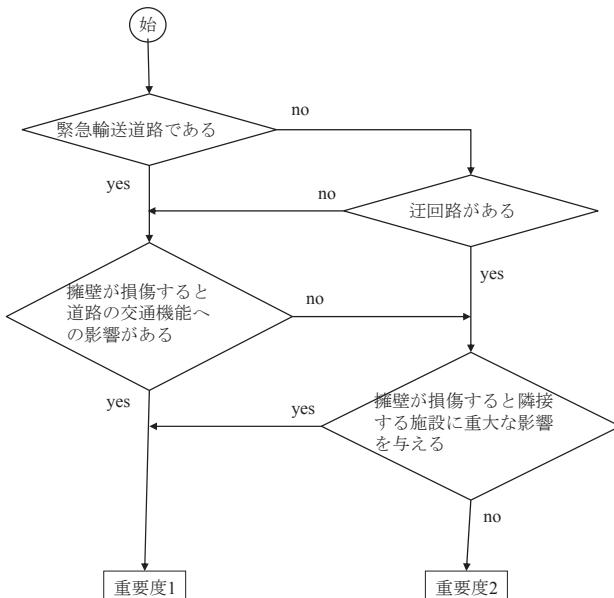


図 1.8 擁壁の重要度を決定するフロー

表 1.7 擁壁の要求性能の例¹⁾

		重要度 1	重要度 2
常時の作用		性能 1	性能 1
降雨の作用		性能 1	性能 1
地震動の作用	レベル 1 地震動	性能 1	性能 2
	レベル 2 地震動	性能 2	性能 3

1.7 性能の照査

擁壁が常時の作用や地震動の作用を受けたときに、どの程度の損傷を生じるかを予測することは難しい。

擁壁工指針では、一般的な形式のコンクリート擁壁の場合については、従来の慣用的な手法で適切に設計・施工されたものは、表 1.8 に示す性能が確保されているものと見なすことができるとしている¹⁾。

従来の設計と同様に、重要度 2 で高さが 8m 以下の擁壁は常時の作用、8m を超える擁壁は常時およびレベル 1 地震動の作用について、重要度 1 の擁壁は常時およびレベル 2 地震動の作用について安全性を照査すればよい。フローで示すと図 1.9 のようになる。

表 1.8 照査により満足すると見なせる性能

擁壁高	照査内容	満足すると見なせる性能		
		常時の作用	地震時の作用	
			レベル 1 地震動	レベル 2 地震動
$H \leq 8m$	常時の作用で照査	性能 1	性能 2	性能 3
$H > 8m$	常時の作用で照査	性能 1	—	—
	レベル 1 地震時の k_h で照査	—	性能 1	性能 3
	レベル 2 地震動の k_h で照査	—	性能 1	性能 2

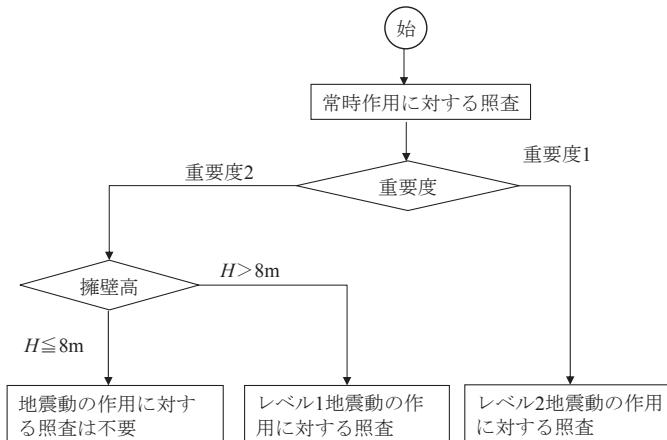


図 1.9 拥壁の重要度などによる照査内容を決めるフロー

参考文献

[第 1 章]

- 1)日本道路協会：道路土工－擁壁工指針(平成 24 年度版), 2012.
- 2)日本道路協会：道路土工－軟弱地盤対策工指針(平成 24 年度版), 2012.