

10.1.16 補強土壁

(1) 一般事項

補強土壁とは、盛土内に敷設した補強材と鉛直又は鉛直に近い壁面材とを連結し壁面材に作用する土圧と補強材の引抜き抵抗力が釣り合いを保つことにより、土留め壁として安定を保つ土工構造物である。

補強土壁は、補強材や壁面材の材質や形状の異なる幾つかの構造形式が提案されている。代表的な補強土壁の構造形式には、図-10.1.80 に示すように、コンクリート製又は鋼製の壁面材と補強材として鋼製の帯板を用いた帯鋼補強土壁、鍋製の棒鋼及びアンカープレートを用いたアンカー補強土壁、コンクリート製又は鋼製枠による壁面材と面状の高分子系のプラスチック材料を補強材とするジオテキスタイル補強土壁がある。

代表的な補強土壁の構造形式とその特徴を表-10.1.38 に示す。

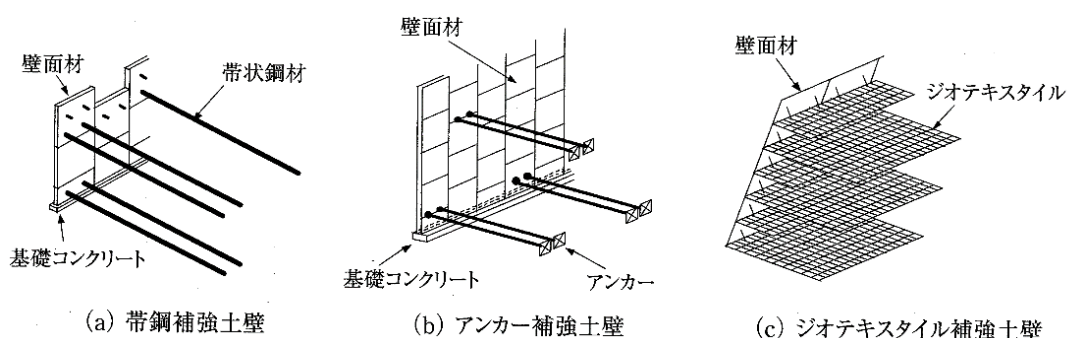


図-10.1.80 代表的な補強土壁の模式図⁸⁾

表-10.1.38 代表的な補強土壁の構造形式と特徴⁸⁾

構造形式	補強材	壁面工	特 徴	留 意 点
帯 鋼 補強土壁	帯状鋼材	・コンクリートパネル (分割型) ・鋼製パネル	・帯状鋼材 (リブ付き、平滑) の摩擦抵抗による引抜き抵抗力で補強効果を発揮する。	・盛土材には、摩擦力が十分に発揮される砂質土系や礫質土系の土質材料が望ましい。岩石材料や細粒分を多く含む土質材料については、必要な対策を別途検討する。 ・補強材には、鋼製の材料を用いるため腐食対策が必要である。
アンカー 補強土壁	アンカー プレート 付棒鋼	・コンクリートパネル (分割型) ・鋼製パネル	・アンカープレートの支圧抵抗による引抜き抵抗力で補強効果を発揮する。	・盛土材には、支圧抵抗力が十分に発揮される砂質土系や礫質土系の土質材料が望ましい。細粒分を多く含む土質材料については、必要な支圧抵抗力を得られることを確認して使用する。 ・補強材には、鋼製の補強材を用いるため、腐食対策が必要である。
ジオテキ スタイル 補強土壁	ジオテキ スタイル	・鋼製枠 ・コンクリートブロック ・コンクリートパネル (分割型) ・場所打ちコンクリート	・面状のジオテキスタイルの摩擦抵抗による引抜き抵抗力で効果を発揮する。 ・鋼製枠やブロック等の壁面材では植生による壁面緑化が可能である。	・角張った粗粒材を多く含む盛土材料は、補強材を損傷する可能性があり、対策が必要である。 ・補強材には種類が多く、伸び剛性の高いジオテキスタイルを選定するのが望ましい。また、クリープ特性や施工時の損傷等、補強材の引張強度への影響について考慮する必要がある。

(2) 補強土壁の適用

ア 適用に当たっての基本的な考え方

補強土壁の適用に当たっては、各構造形式における力学的な安定のメカニズムや特徴を始め、使用される材料、法面勾配や規模の大小等による補強土壁の適用性について十分認識しておく必要がある。代表的な適用例を図-10.1.81に示す。

補強土壁の主な特徴としては、都市部や山岳部のように道路用地に制約がある場所において、特殊な施工機械を用いなくとも鉛直又は鉛直に近い壁面を持つ土工構造物を構築できること、壁面材に鋼製枠やブロックを用いた場合、植生により壁面を緑化し、景観に配慮できることが挙げられる。その一方、補強土壁は、一般にコンクリート擁壁に比べ規模が大きく厳しい条件の箇所で設置されることも多い。このような条件で設置された補強土壁に、変形・変状が生じた場合には、道路交通や周辺の構造物等に与える影響が大きい。このため、補強土壁の適用に当たっては、補強土壁の変形特性や変状形態、適用上の留意点を十分に理解しておく必要がある。

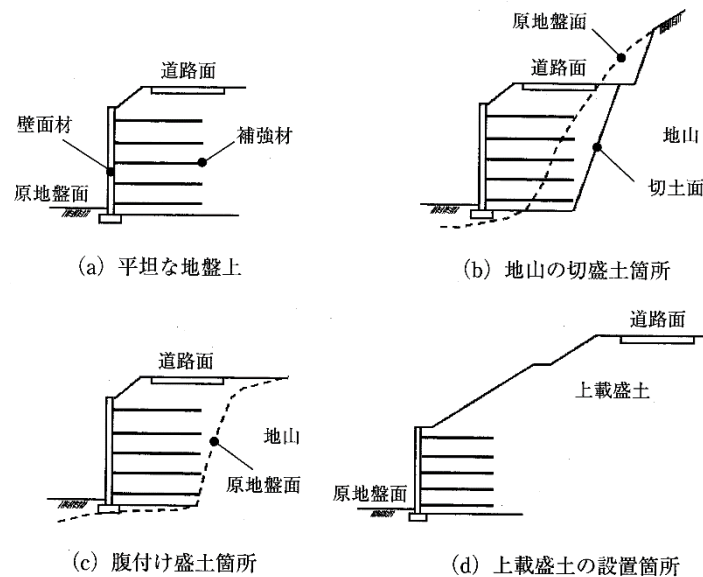


図-10.1.81 補強土壁の代表的な適用例⁸⁾

イ 補強土壁の変状

補強土壁は、力学的なメカニズムに起因し、完成後もある程度の変形を伴うことがある。しかし、適切な設計・施工がなされた場合、その変形量は限定的であり、構造的な安定に支障が生じることはない。しかし、次に示すような要因により盛土材と補強材、壁面材との拘束が不十分となった場合、補強土壁には大きな変形や変状が生じる。さらに、それらを放置した場合、盛土材のこぼれ出し等により、相互の拘束が低下し、補強土壁の力学的な安定性を保持できなくなる。

なお、変形や変状が生じた場合の補強土壁の復旧性については、変形や変状の内容、壁面材や補強材等の構造や補強土壁の規模等によって、その難易が大きく異なることに留意しておく必要がある。

(ア) 盛土材料と締固め不足に起因する変状

せん断強度の小さい盛土材料の使用や締固め不足等の不適切な施工が行われた場合には、補強材の引抜き抵抗力の不足や圧縮変形に伴い図-10.1.82に示すような、(a)壁面の前倒れや盛土の沈下、(b)局所的なはらみ出し、を引き起こすことがある。さらに、想定以上の土圧や引張力による壁面材の破損や補強材の破断、壁面材の基礎底面への荷重の集中に伴う壁面工の基礎の変形等が生じ、補強土壁が崩壊に至ることも想定される。このため、補強土壁に適した盛土材料を選定し、十分に締め固めることが必要である。

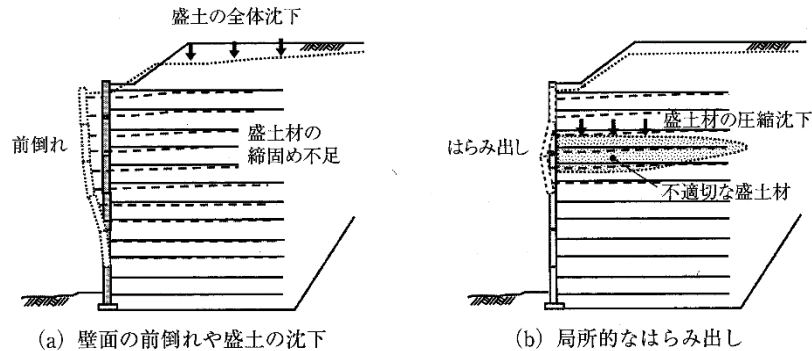


図-10.1.82 盛土材料・締固め不足に起因する補強土壁の変形・変状事例⁸⁾

(イ) 基礎地盤に起因する変状

地盤調査や施工時の基礎地盤の確認が不十分な場合には、基礎地盤の支持力やせん断強さの不足により図-10.1.85に示す重力式基礎の転倒、補強土壁を含む基礎地盤全体のすべりによる変形や崩壊等の重大な変状を生じることがある。また、このような大きな変状に至らないまでも、図-10.1.83(a)に示すような壁面工の基礎地盤の不同沈下に伴う壁面材の開きやズレ、前倒れ等が生じることがある。また、不十分な目地設置や異種構造物との境界において不適切な処理が行われた場合も、不同沈下に対応できず、図-10.1.83(b)に示すような壁面材の開きやズレ、クラック等の変状を伴うことがある。このため、基礎地盤の地質構成や支持力・せん断強さを的確に把握する必要がある。特に規模の大きな補強土壁や斜面上等のように地層構成が補強土壁の縦横断方向に変化すると推定される場所に補強土壁を設ける場合には、通常の調査より頻度を増した入念な調査を行うとともに、施工時には地盤の状況を確認することが重要である。

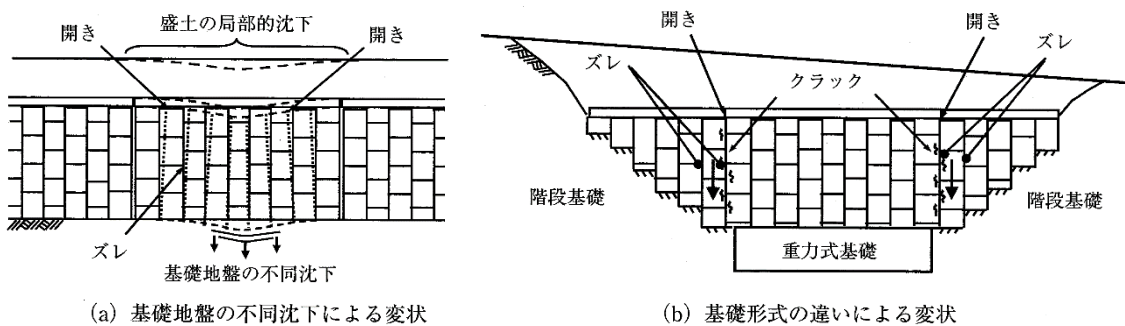


図-10.1.83 基礎地盤に起因する補強土壁の変形・変状事例⁸⁾

(ウ) 水に起因する変状

降雨等により補強領域内へ水が浸入した場合、盛土材の強度低下が生じる。さらに、流入する水が多量になると、盛土材の流出を引き起こすことがある。これらの補強領域内への水の浸入により盛土材の強度低下や流出が生じた場合、図-10.1.84 に示すように壁面のはらみ出しや座屈等の変状が生じ、補強土壁は安定性が著しく損なわれる。このため、補強土壁では、「10.1.16 (7)排水工」に従い、適切な排水対策を行う必要がある。

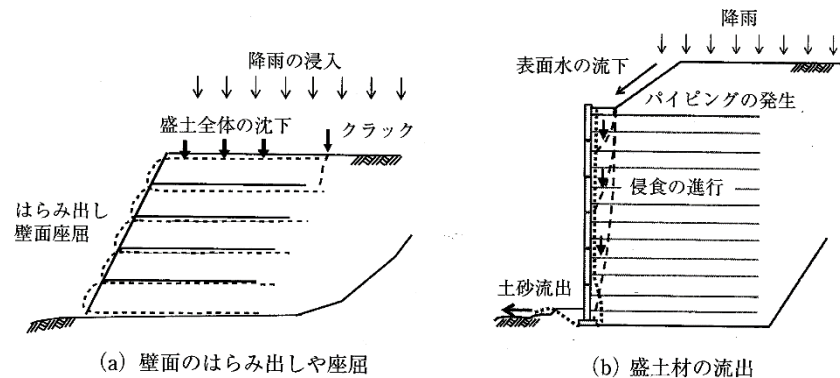


図-10.1.84 水の浸入による補強土壁の変状事例⁸⁾

(エ) 地震動に起因する変状

補強土壁は、強い地震動の作用を受けた場合には、壁面の前倒れや壁面材のクラックや角欠け、開き等の変状を生じることがある。こうした変状が大きくなければ直ちに補強土壁が不安定となることはない。ただし、その変状を放置した場合、前述したように壁面材の開きからの盛土材のこぼれ出し等が発生し、変状が進行するおそれがある。補強土壁に変状が認められた場合、外観だけでは原因の特定や構造的な安定性の判断は難しいため、施工記録を参考としつつ必要に応じて動態観測や周囲の状況等の調査・観察を行い、安定性を判断する必要がある。

補強土壁が安定と判断される場合でも、壁面材の開き等の変状は外観や部材の耐久性への影響が懸念されるため、充填材の注入や欠損部の修復を行う等状況に応じた適切な補修・補強対策を行うことが重要である。

リ 適用に当たっての留意点

(ア) 急峻な地形への適用

補強土壁を急峻な地形に適用する場合、原地盤面上に平坦な基礎底面を確保できないことがある。その際、壁面工の基礎に重力式基礎を設けることが多いが、基礎地盤の確認が不十分な場合、図-10.1.85(a)に示すような支持力不足による重力式基礎の転倒や沈下を生じることがある。また、基礎地盤に軟弱な層があると、図-10.1.85(b)に示すような補強土壁及び基礎地盤を含む全体すべり等を生じることがある。このため、急峻な地形での補強土壁の適用に当たっては、支持層や地層構成を確実に把握するため入念に地盤調査を実施し、重力式基礎の設計や基礎地盤を含む全体としての安定性の検討を行う必要がある。その際、基礎地盤の支持力は斜面上の基礎として評価する。さらに、施工時には、現地において支持層を確認し、設計時の想定と異なる場合は、当初の計画を変更し地盤改良等により支持力を確

保することが必要である。また、急峻な地形では、降雨や地山からの湧水等による水の影響を受けやすい。このため、補強土壁の適用に当たっては、基礎地盤や地山からの湧水の状況等を十分に把握し、適切な規模の排水施設を設ける必要がある。

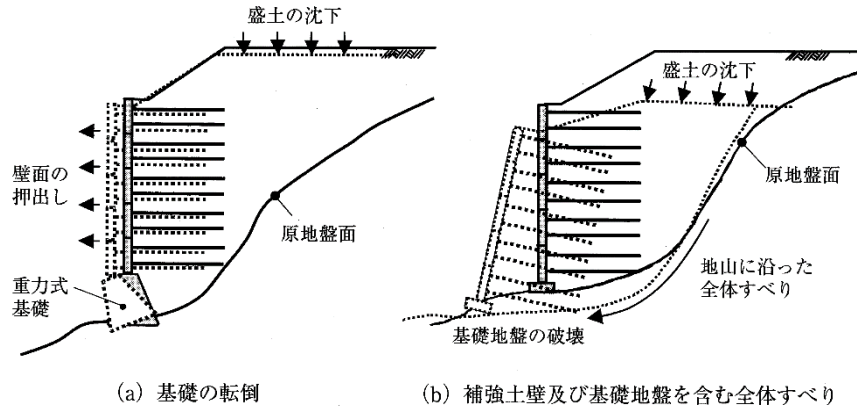


図-10.1.85 急峻な地形での補強土壁の変状事例⁸⁾

(イ) 集水地形への適用

補強土壁の変状は、図-10.1.84に示したように水に起因するものが多い。補強領域内に浸透した水は、盛土荷重の増加に加え、間隙水圧の上昇による盛土材料のせん断抵抗力及び補強材の引抜き抵抗力の減少を招く等、補強土壁の安定性を大きく低下させる。このため、水の浸入の防止と浸入した水の速やかな排除が補強土壁では極めて重要である。特に谷部等の集水地形、切土法面等に湧水のある箇所、地下水位の高い箇所に補強土壁を設置する場合は、水が浸入する可能性が高くなる。これらの地形においては、水の浸入を防止する対策を行うことが適用の前提となる。このため、事前に表流水や地下水、湧水の状況を把握し、十分な排水施設を設け、浸入する前に表流水や湧水等を補強土壁外に排除させることが重要である。さらに、水が浸入しても、速やかに排除できるよう、盛土内に密に排水施設を設ける等の対策を行う必要がある。

(ロ) 軟弱地盤への適用

軟弱地盤や軟弱な土層を含む地盤に補強土壁を構築する場合、基礎地盤の圧密沈下及び基礎地盤の支持力やせん断強さに関して留意する必要がある。軟弱な土層の層厚や荷重の大きさの違いに起因した壁面工の基礎の不同沈下は、図-10.1.82や図-10.1.83に示したような壁面の前倒れや壁面のズレや開き等を生じ、さらに沈下による変形量が大きくなると盛土材のこぼれ出し等の重大な変状に至ることがある。また、地盤条件によっては基礎地盤を含む全体すべりの発生も懸念される。このほか、砂質地盤では地震時の地盤の液状化による壁面の変形等も懸念される。柔な構造物である補強土壁は、基礎地盤の変形に対してある程度の追従性を有しているが、基礎地盤の沈下等により変形量が大きくなると、土留め壁としての機能を満足することができない。このため、軟弱地盤上に補強土壁を適用する場合は、入念な地盤調査に基づき地層構成や地盤特性を調べ、想定される圧密沈下量、不同沈下や全体すべり等を検討し、上記のような変状が想定される場合は、「4.4.4 軟弱地盤対策工」を参考に、軟弱地盤対策を計画した上で、補強土壁の設置を検討する。

(エ) 変形に対する制限が厳しい箇所や異種構造物との隣接箇所への適用

道路用地に制限のある市街地や都市計画道路等では、構造物の変形に制限を設けることがある。このような箇所に補強土壁を適用する場合、定められた形状に精度よく施工し、施工後の変形をできるだけ抑制することが求められる。このため、必要に応じて改良等により強固な基礎地盤を確保し、その上でせん断抵抗角が大きく、圧縮変形量の小さい盛土材料を用いて、十分に締固めを行うとともに、確実な施工管理に基づき精度の高い施工を行うことが必要である。また、補強土壁を他の構造物に隣接して設けると、地震動等の作用に対する挙動の特性の違いにより、壁面材の破損や境界部において開きやズレを生じて背後の盛土材がこぼれ出すことが懸念される。このため、他の構造物との境界部では、緩衝部を設ける等、壁面材の局所的な損傷を防止し背後の盛土材がこぼれ出さない適切な対策を行う必要がある。

(オ) 積雪寒冷地への適用

積雪寒冷地において冬期に盛土工を施工する場合、盛土材に凍土や雪氷が混入することがある。凍土は凍結した状態では大きな強度を有するが、融解すると脆弱になる。また、雪氷が混入すると締固めが困難となり、盛土の品質を確保できなくなる。このため、低温下の気温条件で補強土壁の施工を行う場合は、凍土や雪氷が混入しないようにする。また、補強土壁は、鉛直又は鉛直に近い壁面を有しており、壁面部のほとんどは積雪による断熱効果を期待できず、冷気にさらされ続ける状態となる。このため、壁面の背面に凍上しやすい材料があると、壁面からの冷気により凍結が進行して大きな凍上力が作用し、補強材又は壁面材と補強材の連結部が破断する場合がある。補強土壁の凍上対策については、壁面材の背面の凍結深さまでの範囲を透水性の高い良質材を使用する方法や断熱材を適用する方法がある。凍上対策については、「8.6 凍上防止対策」を参照する。

(カ) 水辺への適用

補強土壁が長期にわたって浸水する箇所では、有効応力の減少、土の湿潤による盛土材の引抜き抵抗力の低下、補強材の腐食が懸念される。さらに、水位変動の影響を受ける箇所では、水位差による残留水圧が壁面に作用し、盛土材の吸出しや基礎の洗掘も生じる可能性がある。このため、水辺での適用に際しては、入念な調査により基礎地盤の地形、土質・地質条件、使用材料の条件や水位の変動等を十分に把握し、有効応力の減少や土の湿潤による盛土材の引抜き抵抗力の低下等により補強土壁の安定性に問題が生じないこと、補強材が腐食に対して十分な耐久性を有していることを照査する。また、水位変動の影響を受ける箇所では、残留水圧の影響を十分に考慮し、盛土材の吸出しや基礎の洗掘により補強土壁の安定性に問題が生じないよう適切な処置を行う必要がある。

なお、補強土壁を流水中に設けると流木等による壁面材の損壊や揚圧力による補強材の引き抜け・盛土材の吸出し、基礎の洗掘等を受け、致命的な変状を引き起こすことがあるため、河川等の流水の影響を受ける箇所では、原則として適用しない。

(3) 補強土壁の設計

ア 設計手順

補強土壁の設計に当たっては、

- ① 補強土壁を構成する部材の安全性の照査
- ② 補強土壁の安定性の照査
- ③ 基礎工、排水工、附帯する構造の検討

を行う。なお、補強土壁の安定性については、補強土壁自体の安定性の照査を行うとともに、補強土壁及び基礎地盤を含む全体としての安定性について検討する必要がある。

これらの照査・検討は図-10.1.86 に示す設計の手順に従って行うのがよい。

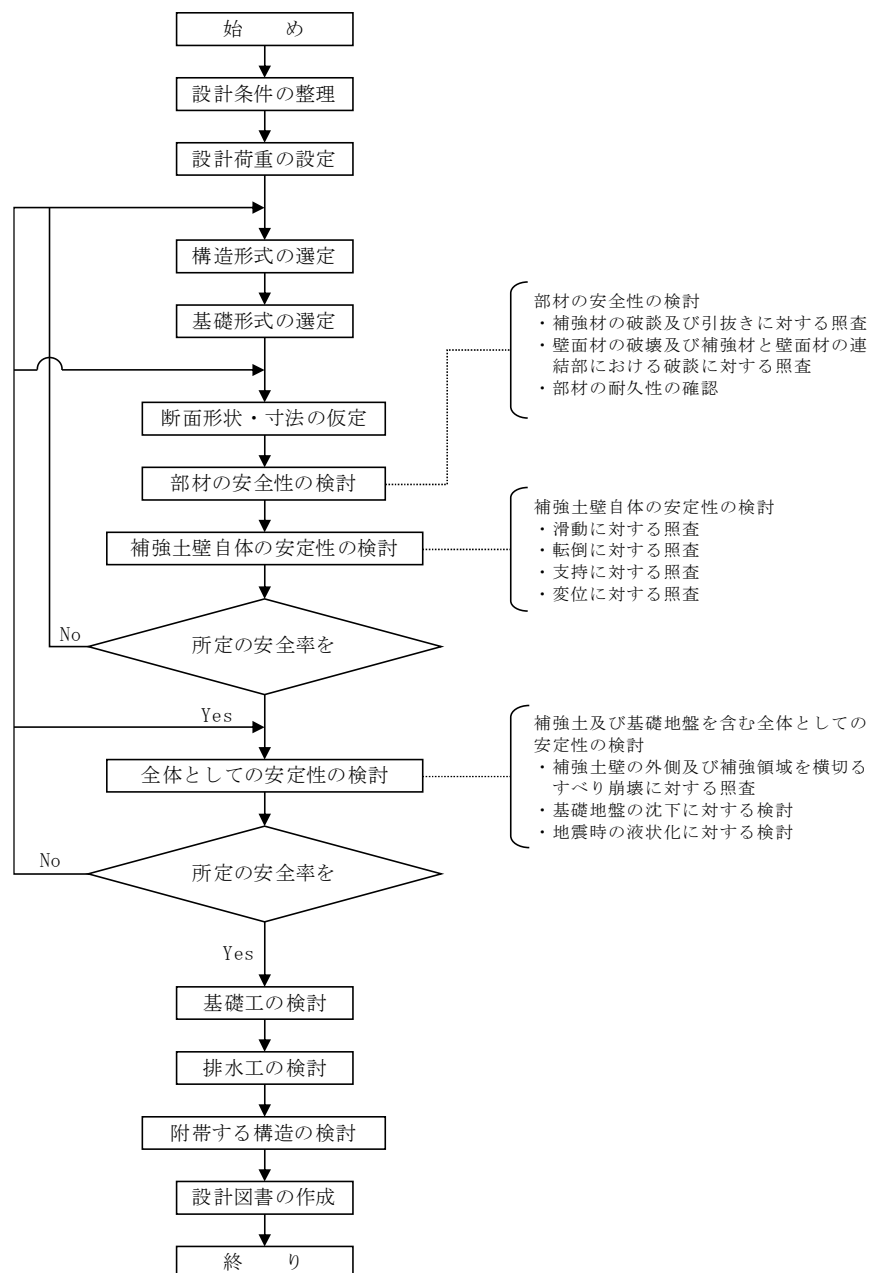


図-10.1.86 設計の基本手順⁸⁾

イ 補強土壁の部材の安全性の照査

補強土壁の部材の安全性に対する照査では、図-10.1.87 に示すように、壁面材に作用する土圧によって発生する補強材の引張力に対して、補強材の破断、引抜き、壁面材の破壊及び壁面材と補強材の連結部の破断に対する安全性を照査し、補強材や壁面材等の強度及び補強材の引抜きに対して必要となる補強材の長さや設置間隔を設定する。

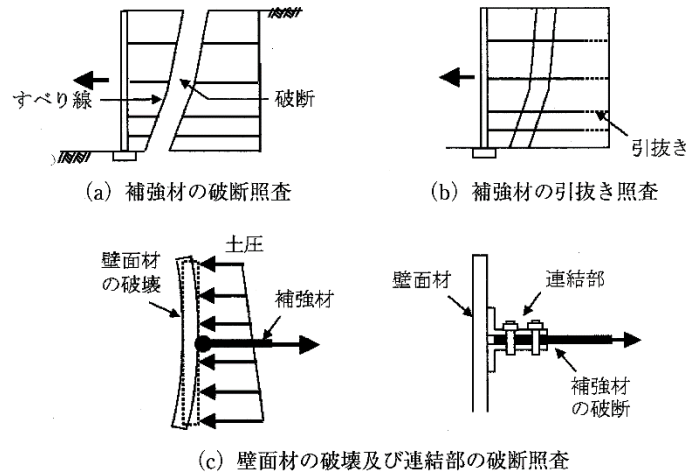


図-10.1.87 部材の安全性の照査における照査項目⁸⁾

(ア) 補強材の破断及び引抜きに対する照査

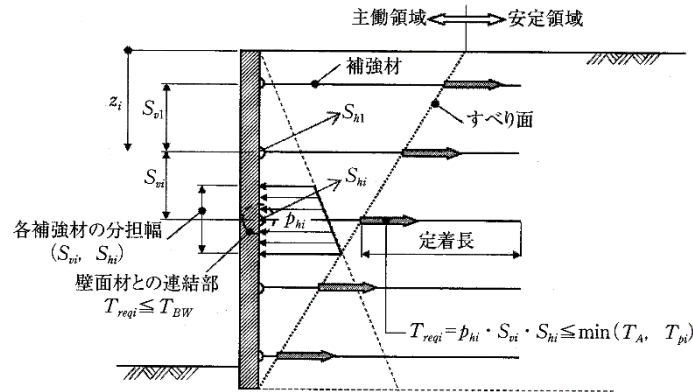
図-10.1.88 に示すように、壁面材には、土圧が作用する。補強土壁が安定するためには、補強材には壁面材に作用する土圧の水平土圧合力 p_h と釣り合う引張力 ΣT_{reqi} が必要となる。深さ Z_i の補強材に作用する引張力の大きさは、連結した壁面材に作用する水平土圧 p_{hi} に補強材の配置間隔 S_{vi} 、 S_{hi} を乗じて求める。

補強材の破断及び引抜きについては、この引張力 T_{reqi} に対し、補強材の破断や安定領域側での補強材の引抜きが生じないことを照査する。地震時は、地震時土圧に対する照査を行う。なお、配置間隔は、盛土材と補強材による拘束効果を十分に期待できる間隔とする。

補強材の破断については、補強材に作用する引張力 T_{reqi} が、補強材の設計引張強さを上回らないことを照査する。

補強材の引抜きについては、補強材に作用する引張力 T_{reqi} が仮定したすべり面より奥側の安定領域側に位置する補強材の設計引抜き抵抗 T_{pi} を上回らないことを照査する。設計引抜き抵抗 T_{pi} は、補強材を設置した深さ Z_i での土の土かぶり圧 ($\gamma \cdot Z_i$) を基に、摩擦で抵抗を発揮する補強材では補強材の長さ・幅から、支圧力で抵抗を発揮する補強材では支圧板の寸法・形状等から、それぞれ安全率を考慮して求める。

以上から、補強材の必要な長さ又はアンカー体の寸法・形状や配置位置を定める。補強材の安定領域での定着長（敷設長さ）やアンカー体の寸法・定着位置は、補強材の引抜き抵抗が確実に発揮できる余裕を持った設定とする。



ここに、

- p_{hi} : 壁面材に作用する水平土圧 (kN/m²)
- S_{vi}, S_{hi} : 補強材の鉛直及び水平配置間隔 (m)
- z_i : 補強土壁天端からの深さ (m)
- T_{reqi} : 各補強材に作用する引張力 (kN/m)
- T_{pi} : 各補強材の引抜き抵抗 (kN/m)
- T_A : 補強材の設計引張強さ (kN/m)
- T_{BW} : 壁面材と補強材との連結部の設計強度 (kN/m)

図-10.1.88 補強材に作用する引張力の考え方⁸⁾

(イ) 壁面材の破壊及び壁面材と補強材との連結部における破断に対する照査

壁面材の破壊については、壁面材に作用する土圧及び補強材に作用する引張力 T_{reqi} により、壁面材のコンクリートや鋼材等に生じる応力が許容応力度を上回らないことを照査する。また、壁面材と補強材との連結部における破断については、補強材に作用する引張力 T_{reqi} が、壁面材と補強材との連結部の設計強度 T_{BW} を上回らないことを照査する。

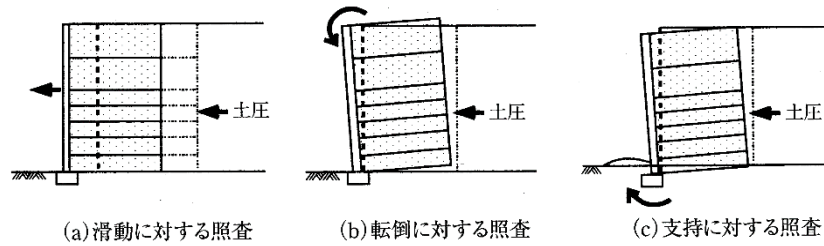
ウ 補強土壁の安定性の照査

(ア) 補強土壁自体の安定性の照査

補強土壁自体の安定性に対する照査として、補強土壁を一つの土工構造物とみなし、この土工構造物に作用する荷重に対して安定であるとともに、変位が許容変位以下であることを照査する。このときの許容変位は、補強土壁により形成される道路及び隣接する施設に有害な影響を及ぼさない変位とする。なお、変位の照査については、通常的地盤では、安定に対する照査を行えば一般に省略してもよい。ただし、補強土壁の規模や地盤条件等から補強土壁の変形が予想される場合、変形に関する制限が厳しい箇所等、厳しい条件下で補強土壁を適用する場合は、必要に応じて沈下・変形に対する照査を行うものとする。

[参 考] 補強土壁自体の安定性の照査

補強土壁自体の安定性の照査においては、壁面工及び部材の安全性の照査により決定した補強領域からなる補強土壁を一つの土工構造物とみなし、「10.1.11 安定計算」に準拠し、図-10.1.89のように、滑動、転倒及び支持に対して安定であることを照査する方法がある。

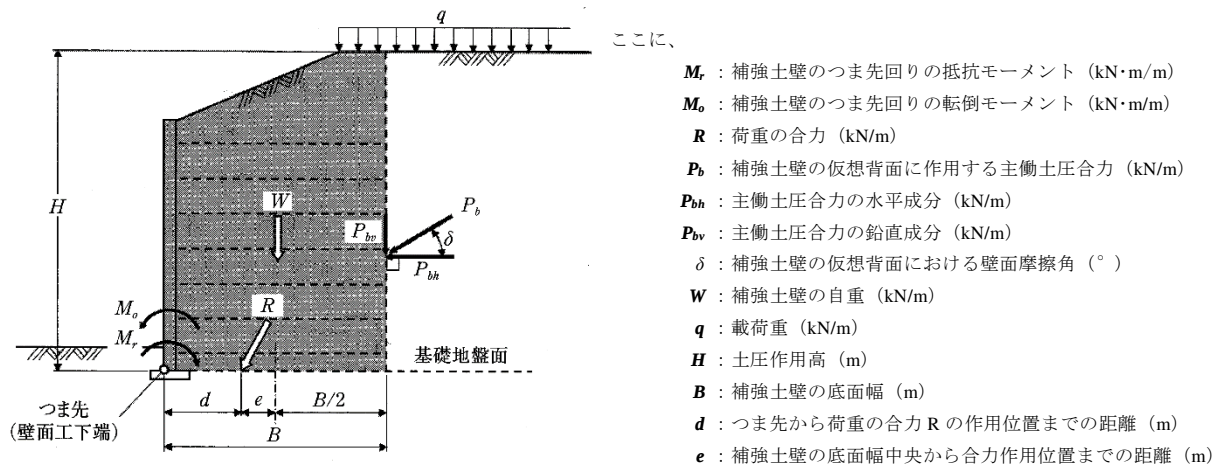
図-10.1.89 補強土壁自体の安定性の照査項目⁸⁾

(a) 滑動に対する安定の照査

滑動に対する安定の照査は、補強土壁の仮想背面に作用する土圧、慣性力等による滑動力と、補強土壁の底面に生じる滑動抵抗力とを比べて、所定の安全率を有するかを照査する。ジオテキスタイル補強土壁のように、補強土壁の底面全面に補強材を配置する場合は、底面に生じる滑動抵抗力として、基礎地盤と補強材、補強材と盛土材の間に生じるせん断抵抗力のうち最小となる値を用いて照査する。

(b) 転倒に対する安定の照査

転倒に対する安定の照査は、図-10.1.90のように、補強土壁に作用する荷重の底面での合力 R の作用位置 d を求め、補強土壁の底面幅 B の中央からの偏心距離 e が許容値内（常時では底面幅の中央の $B/3$ の範囲内、地震時では $2B/3$ の範囲内）に入ることの照査する。なお、補強土壁は、後方へ転倒するような挙動を示さないため、合力 R の作用位置が補強土壁の底面幅 B の中央から後方に位置する場合は、転倒に対しては安定とみなすことができる。

図-10.1.90 作用荷重と合力の作用位置の考え方⁸⁾

(c) 支持に対する安定の照査

補強土壁は柔な構造特性を有し、底面に作用する地盤反力は、仮想背面に土圧が作用しても剛なコンクリート擁壁において見られるような偏った反力分布は生じにくいことが実験等で確かめられている。このため、通常の盛土と同様に、円弧すべりにより地盤のせん断破壊を照査することで、支持に対する安定の照査は省略してもよい。

ただし、壁面材にパネルやブロック等を用いる場合は、壁面工の基礎底面に地盤反力が集中することがあり、支持に対する安定の照査を行うものとする。その際、壁面工の基礎と補強領域の基礎地盤面で沈下・変形に大きな差が生じないように留意する。

補強土壁の支持に対する安定の照査は、補強領域の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度を参図-10.1.3に示すように、自重、補強土壁の仮想背面に作用する主働土圧合力の鉛直成分、載荷重等の鉛直成分が補強領域の底面に均等に作用するものとして求め、基礎地盤の許容鉛直支持力度以下であることを照査する。また、壁面材に剛なコンクリート製のパネルやブロックを用いる場合は、壁面工の基礎に壁面材の自重と壁面材に作用する土圧合力の鉛直成分 P_v が作用するものとして照査する。なお、壁面材に作用する土圧合力の鉛直成分は、土圧合力の水平成分 P_h と土圧合力の作用方向 δ_w により求められ、通常、土圧作用面の状態が土とコンクリートの場合は、常時 $\delta_w = 2\phi/3$ 、地震時 $\delta_w = \phi/2$ とすることができる。

補強土壁を斜面上に適用する場合には、斜面の影響を考慮した許容鉛直支持力度を用いて照査を行う。また、表層は軟弱であるが、比較的浅い位置に良質な支持層がある場合には、安定処理や良質土による置換えを行い、改良盤を形成してこれを基礎地盤とし、その上に補強土壁を設けることがある。その際、改良範囲は補強土壁の底面全幅以上を対象とすることを原則とし、安定照査を行う必要がある。さらに、補強土壁の規模や地盤条件等から補強土壁の変形が予想される場合、変形に関する制限が厳しい箇所等、厳しい条件下で補強土壁を適用する場合は、支持に対する安定の照査とともに、必要に応じて沈下・変形に対する照査を行うものとする。

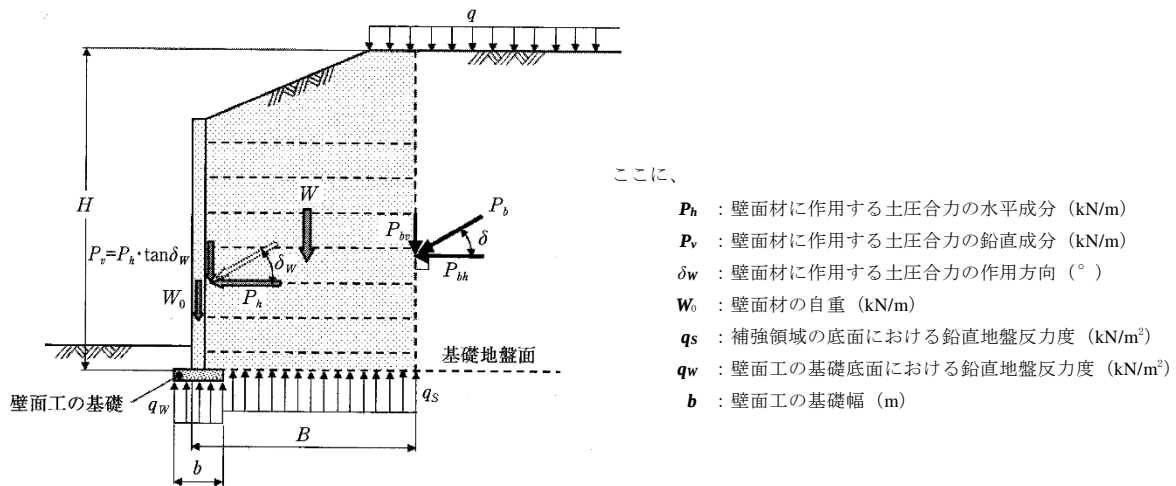


図-10.1.91 補強土壁の地盤反力度分布の考え方⁸⁾

(イ) 補強土壁及び基礎地盤を含む全体としての安定性の検討

補強土壁及び基礎地盤を含む全体としての安定性については、図-10.1.92に示すように、補強土壁の外側及び補強領域を横切るすべりや基礎地盤の沈下、液状化の影響等に対する検討を行う。

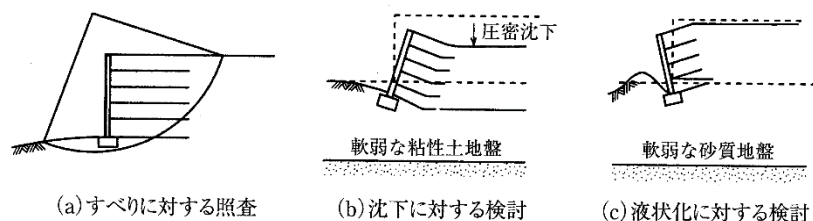
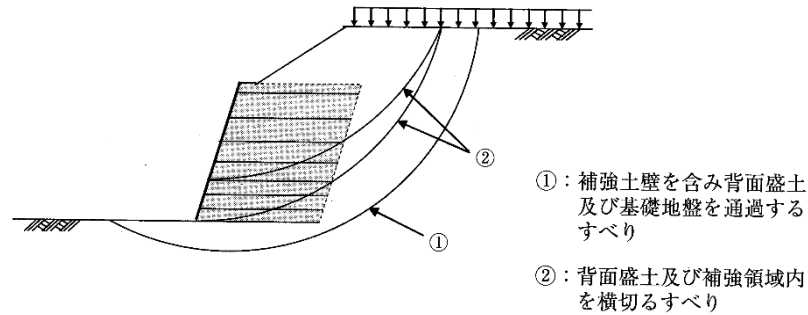


図-10.1.92 全体としての安定性に対する検討項目⁸⁾

a 補強土壁の外側及び補強領域内を横切るすべりに対する安定の照査

補強土壁の外側及び補強領域を横切るすべりの照査は、補強土壁を含めた背面盛土及び基礎地盤を含む全体のすべりに対する安定を照査する。特に、図-10.1.93に示すように、補強土壁の背後に高いかさ上げ盛土を設ける場合や斜面上等に補強土壁を設置する場合は、背面盛土及び基礎地盤を含めた補強土壁の外側及び補強領域を通過する全てのすべりに対する照査を行う。なお、補強領域を横切るすべりの照査では、仮定するすべり面を横切る補強材の引抜き抵抗力を考慮する。これらの検討は、「5.4 補強盛土・軽量盛土」を参照する。

図-10.1.93 想定される全てのすべり面に対する安定の照査⁸⁾

b 基礎地盤の沈下に対する検討

基礎地盤に軟弱な土層を含む場合には、圧密沈下に対する検討が必要である。「10.1.16 (2) 補強土壁の適用」に記述したように、軟弱地盤上に補強土壁を構築した場合、軟弱な土層の層厚や荷重の大きさの違いに起因した不同沈下により壁面材の開きや角欠け等の変状・損傷を生じることがある。また、過度な沈下が生じると、応力集中により補強材や壁面材等の部材に損傷等が発生し、補強土壁の安定性に重大な影響を及ぼすこともある。このため、軟弱地盤上に補強土壁を適用する場合には、「4.4 軟弱地盤対策」及び「5.4 補強盛土・軽量盛土」に従い、基礎地盤のすべりに対する安定とともに、圧密沈下についても検討を行い、変形・変状が懸念される場合には、必要な対策を検討する。

c 液状化の影響に対する検討

基礎地盤に液状化が懸念される緩い砂質土層が存在する場合には、地盤の液状化に対する安定性を検討する。なお、地盤の液状化の判定については、「4.4.3 基礎地盤の液状化」を参照する。

(4) 補強材の配置

補強材は適切な間隔で配置しなければならない。補強材の設置間隔を広くすると盛土材との拘束効果や補強領域の一体化効果が損なわれる等、構造上の問題を生じる。このため、補強材の設置間隔は、鉛直方向は最大 1.0m 程度で、水平方向は面状の補強材は連続して配置し、帯状や線状の補強材は鉛直方向と同程度の間隔に配置する。なお、鉛直方向への設置間隔は、盛土締固めの仕上がり層厚の整数倍の間隔にしておけば、締固めの管理等の面では効率的である。

補強領域の上段部に位置する補強材は、土かぶり厚さが薄いと十分な引抜き抵抗力が作用せず、地震時に変形が生じやすい。このため、引抜き抵抗力を発揮できる適切な長さや土かぶり厚さを確保し、十分に締固めを行うことが必要である。なお、壁面材の脱落は盛土材のこぼれ出しをまねき、補強土壁の崩壊につながるため、補強材は壁面材を確実に支持できるように配置するとともに、補強材と壁面材との連結部の一部に損傷や破断が生じて壁面材が一気に脱落しない構造とする必要がある。

(5) 基礎工

壁面工の基礎には、壁面材の自重に加え壁面に作用する土圧合力の鉛直成分が作用するため、十分な支持力を確保できる構造とする。壁面工の基礎形式は、図-10.1.94 に示すように、良好な基礎地盤面上に設置する布状基礎や、良好な支持層まで掘削して設ける重力式基礎等があり、

基礎地盤や壁面材の種類、荷重条件等に応じて適切な基礎形式を選定する。剛な壁面材を用いる場合は、基礎の仕上がり面の不陸が壁面の変形の原因となるため、平坦性の確保が極めて重要である。

重力式基礎は、補強土壁を山岳地の急峻な地形等に設置する場合に、平坦な基礎地盤を確保し、壁面工からの荷重を崩積土等の土層を避け、堅固な基礎地盤に伝達するために用いられる。この重力式基礎の設計は、重力式基礎の天端に作用する壁面及び補強土壁底面からの作用荷重と、背面盛土による土圧を考慮し、滑動、転倒及び支持に対する安定について照査する。

また、基礎地盤の変形は、補強土壁の仕上がりに大きく影響する。このため、補強土壁の基礎地盤は、有害な沈下や変形等を生じないように荷重や地盤条件に応じて適切な措置を行う。一般の地盤条件では、良質土を用いて平坦かつ水平に仕上げる。

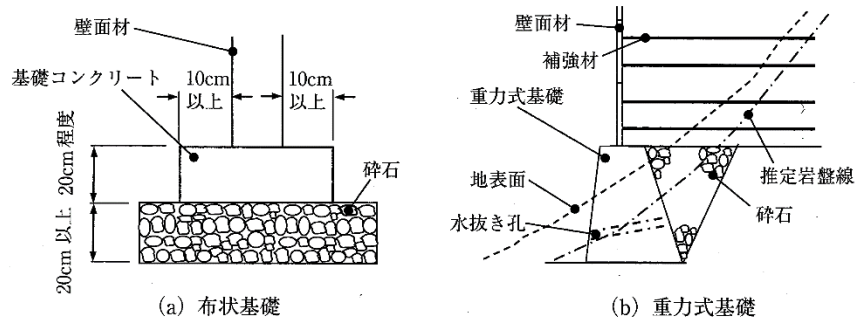


図-10.1.94 壁面工の基礎形式の例⁸⁾

壁面工の基礎の根入れ深さ(D_f)は、図-10.1.95 に示すように、原地盤面あるいは計画地盤面から補強土壁の基礎地盤面又は壁面工の基礎天端までの深さで、原則として50cm以上とし、基礎地盤のせん断抵抗力等を確保できるように洪水時や豪雨時の洗掘、人為的な掘り返しによる前面地盤の撤去、凍結や融解等の影響を考慮して決定する。補強土壁を水辺構造物として適用する場合は、基礎を岩着させる等、基礎地盤の洗掘や盛土材のこぼれ出しが生じないように、補強土壁の前面には根固め工を設ける等基礎の安定には十分な対策を検討する。

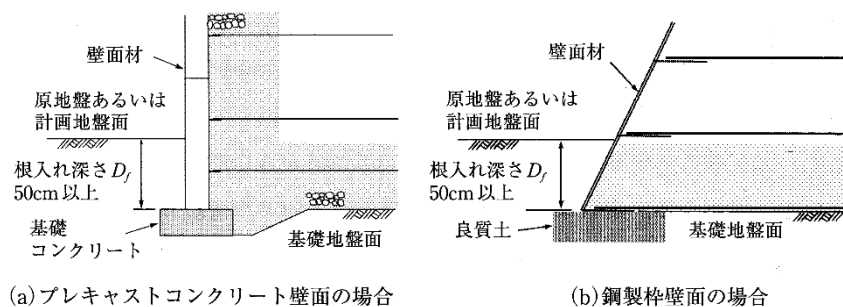


図-10.1.95 基礎の根入れ深さの例⁸⁾

(6) 壁面工

補強土壁の壁面には、縦断方向に基礎形式が異なる場合や壁高の高低により補強材の配置が大きく変化するような箇所では、図-10.1.83 に示したように、施工時の変形や基礎の不同沈下等により、壁面工の縦断方向にクラックや開き等を生じることがある。そのような変形が予想さ

れる箇所には、壁面工に適切な間隔で鉛直目地を設ける。また、補強土壁を橋台やカルバート等の剛な構造物と直接、接して設ける場合、地震時に補強土壁と構造物の挙動が異なるために壁面材が破損することがある。このような箇所では、緩衝部を設ける等、相互の変形の相違を吸収させ、壁面工や構造物の破損を防止するための措置を行う。

パネルやブロック等の剛な壁面材を用いる場合は、隣り合う壁面材の継目や目地部、壁面材に設けた水抜き孔、補強土壁と隣接する他の構造物との境界部等から、排水に伴い背面の盛土材が流出しないよう留意する。また、補強土壁の変形に伴い壁面材の継目等に関きやズレが生じた場合においても、盛土材のこぼれ出しが生じないように、不織布等の透水性を有したこぼれ出し防止材を壁面工の背面に設ける。

鋼製枠とこぼれ出し防止用の不織布で構成される壁面工や、植生土のう等を補強材で巻き込んだ壁面工では、表面に露出したジオテキスタイル（不織布、補強材等）が紫外線による劣化や衝突・火災等により損傷することが考えられる。このため、図-10.1.96 に示すような、壁面保護工を設け壁面材を保護する。

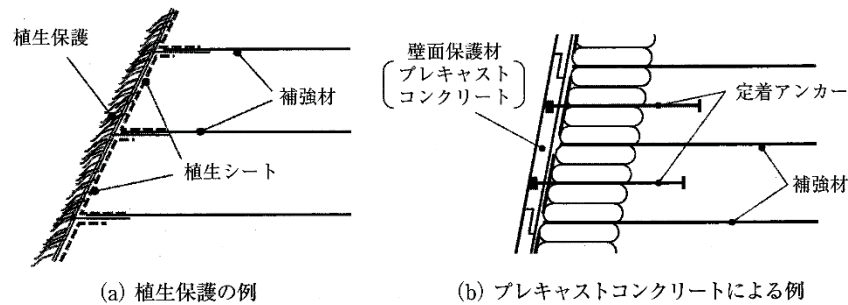


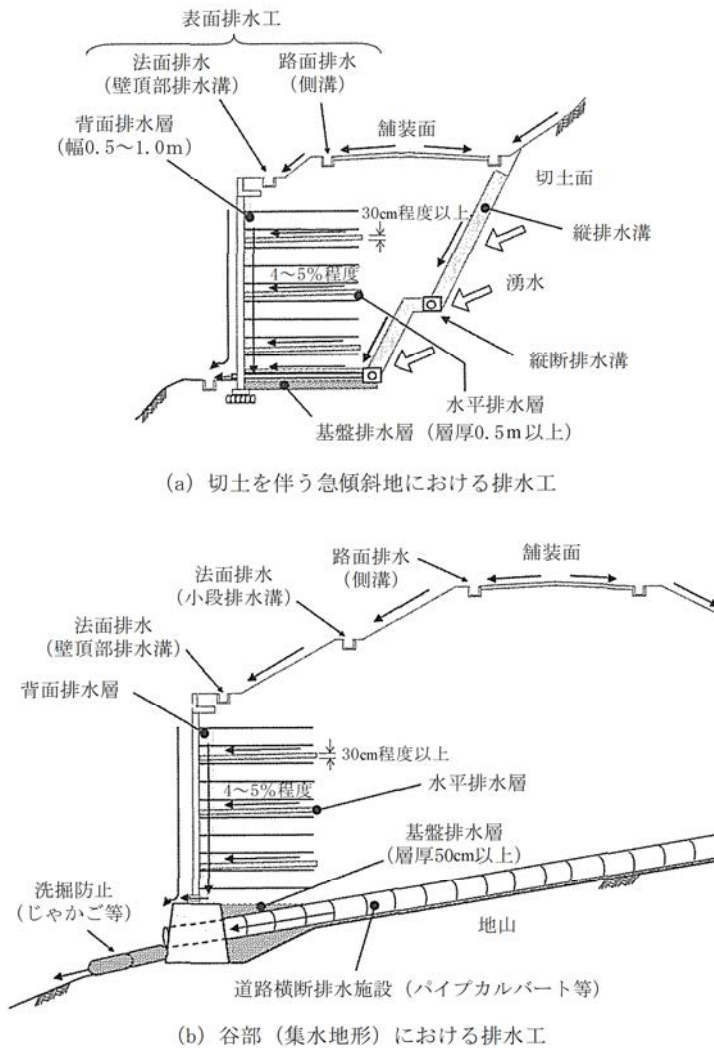
図-10.1.96 壁面保護工（例）⁸⁾

(7) 排水工

ア 一般事項

補強土壁には、雨水や雪解水、湧水等の補強領域内への浸入を防止するとともに、浸透してきた水を速やかに排除するため、補強土壁の設置条件や構造に応じて、適切に排水工を設ける必要がある。

排水対策としては、路面や法面に降った雨水・雪解水、あるいは補強土壁が横断する沢の水を円滑に流下・排除し、補強領域への浸入を防止する表面排水工と、切土面における湧水等の補強領域内への浸入の防止と補強領域内に浸透した水を速やかに排除する地下排水工がある。また、施工中においても、その進捗状況に応じて、補強領域内への水の浸入を防ぐ適切な排水対策を行う必要がある。図-10.1.97 には、切土面に設置する補強土壁と谷部を横断して設置する補強土壁の排水工の例を示す。

図-10.1.97 補強土壁の排水工の例⁸⁾

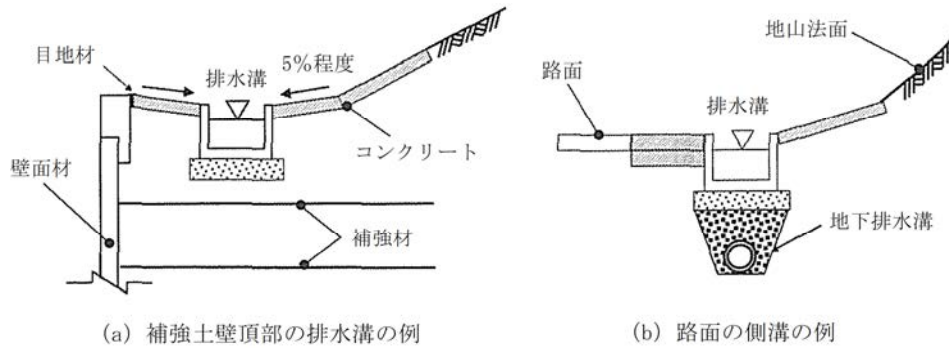
イ 排水工の設計

(ア) 表面排水工

補強土壁の表面排水工としては、法面排水工と横断排水工がある。

a 法面排水工

補強土壁の天端にかさ上げ盛土を設ける場合は、盛土や補強領域や基礎地盤への雨水や雪解水等の表流水の浸入や法面の侵食を防ぐため、法面には植生工やコンクリートブロック張り等の不透水層を設ける。法面や路面を流下する表流水は、法肩、小段、補強土壁の頂部に設ける図-10.1.98に示すように、排水溝で集水し流末まで流下させる。また、切り盛り境は、水を集めやすいため、図-10.1.98(b)に示すような排水溝や地下排水溝を設け、表流水が補強領域等に浸入しないようにする。これらの設置に当たっては、溢水が生じないように十分な断面を見込むとともに、合流部や排水勾配の変化点では跳水、溢水が生じないように排水溝等の構造や流下方向に留意する。また、盛土の沈下が想定される場合には、排水溝の通水能力の低下が生じないように配慮する。これらの排水工の流末は、基礎部の洗掘等が生じないように配慮するとともに、流域全体で流末処理を計画することが重要である。

図-10.1.98 表面排水工の例⁸⁾

b 道路横断排水工

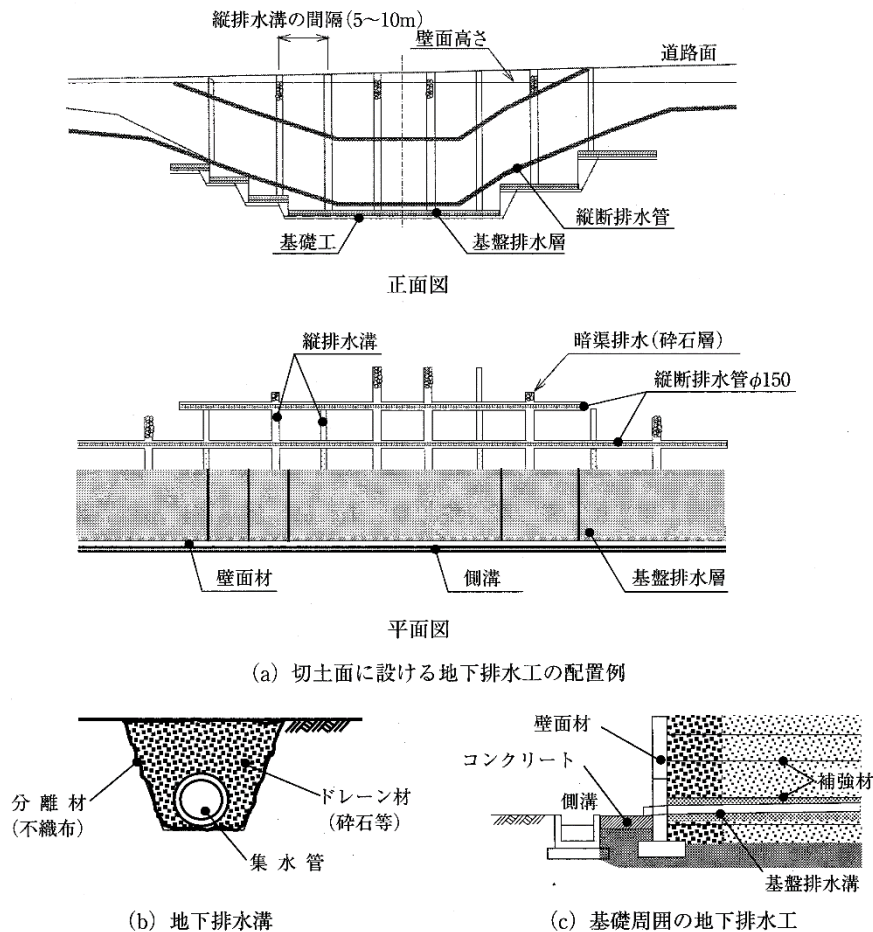
図-10.1.97(b)に示すような、谷部や沢等の集水地形を横切る場合に設置する道路横断排水施設は、流入する水の流れを阻害しないように断面に余裕をもたせ、流入口の形状や勾配等に十分な配慮が必要である。

(イ) 地下排水工

補強土壁の地下排水工には、地下排水溝、基盤排水工、水平排水層、壁面背面排水層がある。地下排水工は、補修が困難であるため、目詰まりが生じにくく、盛土や基礎地盤の沈下に追従できるようにする必要がある。

a 地下排水溝

自然斜面を切土して補強土壁を設置する場合は、図-10.1.97(a)及び図-10.1.99(a)に示すように、水が集まりやすい切り盛り境や掘削法面の小段に縦断排水溝を設け、5.0～10.0m 間隔で設けた縦排水溝により基盤排水層又は基盤排水溝へと浸透水を導く地下排水工を設ける。また、掘削時に切土面から湧水が流出する場合は、湧水量の程度に応じて排水施設を増設する。湧水量が著しく多い場合には、排水計画全体を再検討し、余裕を持った排水工を計画する。

図-10.1.99 表面排水工の例⁸⁾

b 基盤排水工

補強土壁の底面には、地下水及び地山からの湧水等による補強領域内への浸入を防止し、速やかに補強領域外に排除するため、基礎地盤の表面には厚さ 50cm 程度以上の基盤排水層又は基盤排水溝を設置する。基盤排水層には、碎石、砂等の透水性が高く、せん断強さの大きい土質材料を用いるものとし、透水係数は $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} (\text{cm/s})$ 程度以上、かつ、盛土材料の透水係数の 100 倍程度以上とする。また、排水層の設置幅については、補強領域の底面幅程度とし、切土部に補強土壁を設置する場合は、切土面に設置する地下排水溝と連続して排水できる長さを目安にする。

c 水平排水層

補強領域内への浸透水を排除するため、必要に応じて盛土の一定厚さごとに、補強領域内に適切な排水勾配で水平排水層を設ける。特に、規模が大きい補強土壁やかさ上げ盛土を有する補強土壁に細粒分を多く含む材料を盛土材として用いる場合には、水平排水層を設置する必要がある。排水材料としては、碎石や砂、又は高い排水機能を有する不織布を用いる。碎石や砂を用いる場合は、厚さ 30cm 程度以上で透水係数が $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} (\text{cm/s})$ 程度以上、かつ、盛土材料の透水係数の 100 倍程度以上の良質な材料を使用する。なお、これらの排水層には、周囲の盛土材が流入して目詰まり等を生じないように、境界部に不織布等を配置しておくのが望ましい。また、補強領域内の水平排水層は、湧水等を

補強領域内に導水しないように切り盛り境に設置する縦断排水溝と連結しないことが重要である。

d 壁面背面排水層

コンクリート製の壁面材を設ける場合、図-10.1.100に示すように、壁面材の背面には厚さ 0.5～1.0m 程度の透水性の良い碎石等、又は目詰まりが生じにくく十分な通水性を持った透水マット等による背面排水層を設ける。なお、透水性の悪い盛土材料を使用する場合の補強領域内に設ける水平排水層は、背面排水層と接続し、補強領域内に浸入した水を基盤排水層等から速やかに排水できる構造とする。また、碎石等による背面排水層は、寒冷地に見られる壁面材の表面からの凍結による凍上現象の抑制に有効な対策となることが知られており、現地条件に応じて背面排水層の厚さを設定するのがよい。

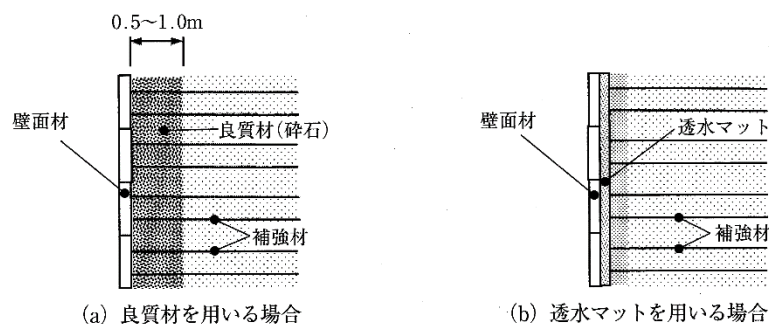
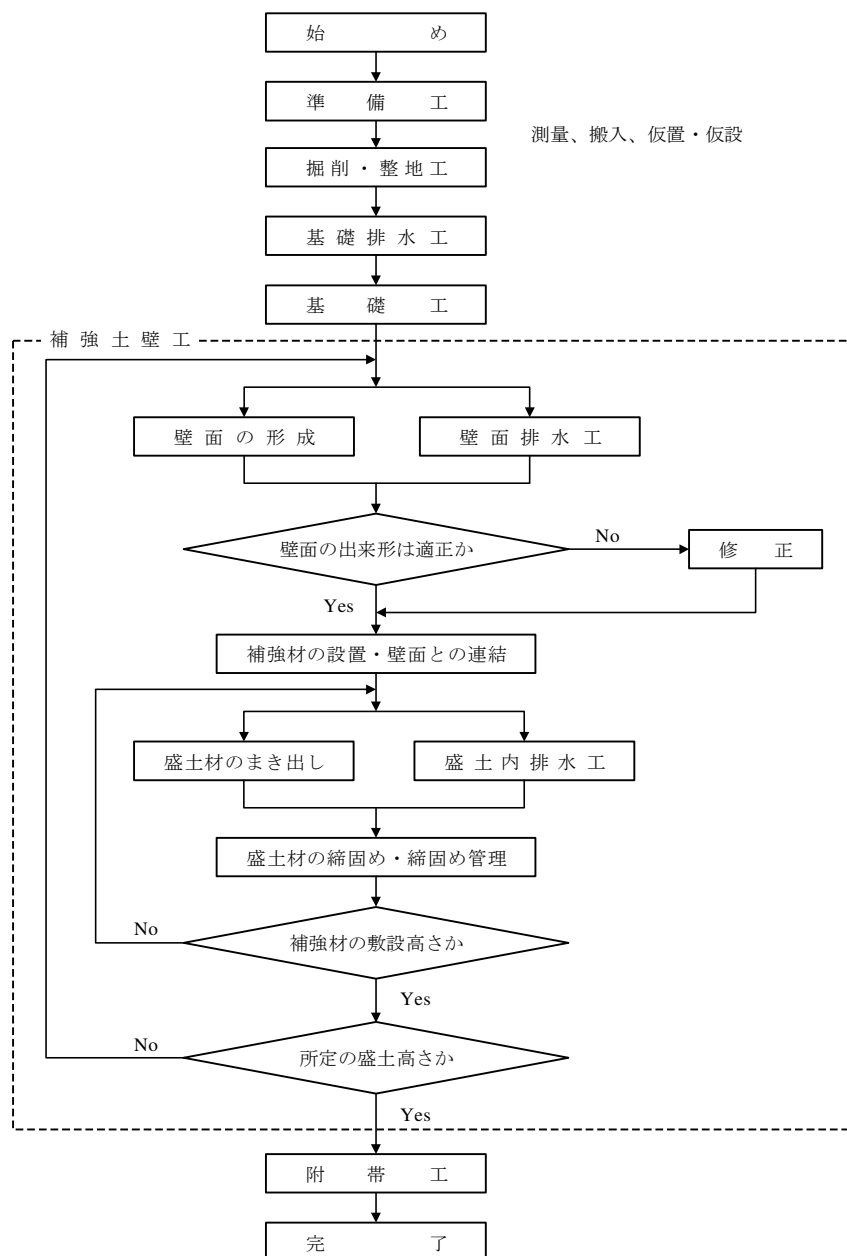


図-10.1.100 壁面背面排水層の例⁸⁾

(8) 施工時の留意点

ア 施工手順

補強土壁は図-10.1.101に示すように、排水工や基礎工等の施工後に、補強土壁工として壁面の形成と補強材の敷設、盛土材のまき出し・締固めが繰り返される。それぞれの施工工程においては、壁面材の鉛直性の確保、不陸のない補強材の敷設、盛土材の締固め等の確実な作業と品質・出来形管理を行い、その積み重ねによって安定性と出来上がり精度が確保された補強土壁を構築することができる。

図-10.1.101 補強土壁の施工手順⁸⁾

イ 基礎工

補強土壁の基礎工は、対象となる原地盤の地形、補強土壁の用途、構造、施工方法に関わらず、水平となるように施工する必要がある。また、基礎地盤面の仕上がりの良否は補強土壁の出来形や全体的な安定性に影響を及ぼすため、現場条件に応じた適切な管理基準を設けて、丁寧かつ慎重に施工する必要がある。また、基礎地盤の支持力特性が補強土壁の縦断方向で異なることが想定される場合は、施工時に基礎地盤の状態を確認し、基礎工の設置計画の見直しや、基礎地盤の改良、壁面材の目地の設置等、基礎地盤の状況に応じた適切な対策を行う。

原地盤が補強土壁の縦断方向に傾斜している場合の補強土壁の基礎工は、図-10.1.102に示すような階段式の基礎形状となる。その際、掘削時において上段の基礎地盤を乱すことが多く、その状態で壁面工の基礎を設置すると不同沈下の原因にもなるため、時間を置かずにコン

クリートを打設するか、乱された部分を粗粒材で置き換える等の対処が必要となる。また、壁面工の基礎が重力式基礎の場合は、背面は狭隘となるため、締固めが難しい。このため、碎石等粗粒材で埋め戻すとともに、人力により確実に締固めを行う。

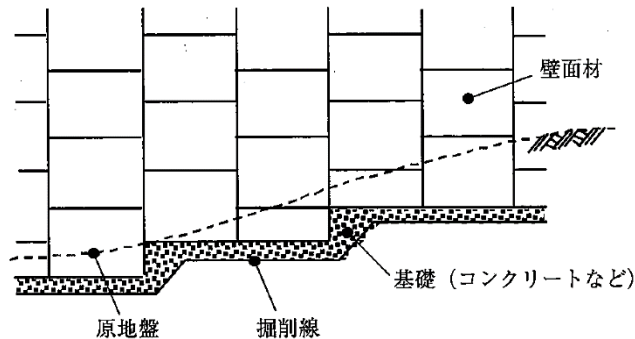


図-10.1.102 階段式の基礎工の例⁸⁾

ウ 壁面材の設置

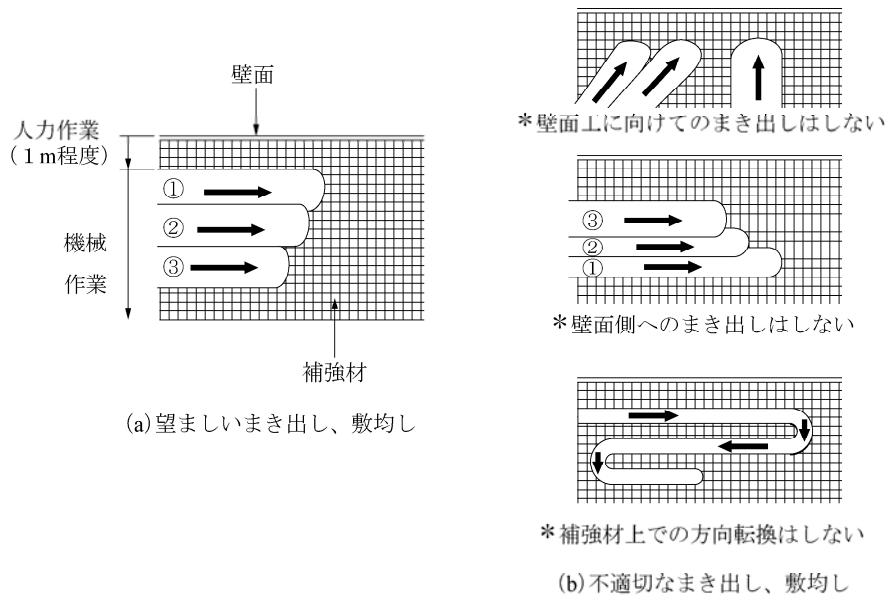
壁面材の組立ては、計画する壁面勾配、高さの施工精度を確保するため、壁面材を設置するごとに直線性を確認し、壁面の勾配を調整しながら行う。特に鉛直な壁面を施工する場合は、壁面の変形（沈下や傾斜）に留意し、盛土材の締固めによる押し出しを考慮し、設置の際には壁面材を盛土側にある程度の傾斜を持たせる等の処置をするとよい。

壁面の近傍における不適切な盛土材料の敷均しや締固めは、壁面の変形の要因となるため、丁寧かつ慎重な施工を行う。また、壁面の近傍の盛土材の締固め不足は、盛り立てに伴う盛土材の圧縮沈下により、壁面材のはらみだし等の変形・変状の原因となるほか、壁面材と補強材との間に高低差が生じ、連結部において補強材に過度な引張力が発生する原因となるため、丁寧な締固めを行う必要がある。

エ 盛土工

搬入された盛土材は、既に締め固められた土や補強材の上に仮置きし、ブルドーザ等で敷き均す。一層の敷均し厚さは、仕上がり厚さを考慮して事前の試験施工により定めるのが望ましい。その際、1層当たりの仕上がり厚さは20～30cm以下となるように敷均し厚さを設定する。また、壁面の近傍や補強材の上での敷均しでは、図-10.1.103に示す敷均しの考え方に基づいて行う。特に壁面の近傍における敷均しは、壁面工の施工精度にも影響するため、ブルドーザ等の建設機械は壁面から1.0m程度以上離して走行し、敷均しは壁面側から行うことを原則とする。

なお、盛土材料に大きな岩や木の根等が含まれる場合は、締固め不足の原因にもなるため、敷均しの際に必ず除去する。

図-10.1.103 まき出し、敷均しの考え方⁸⁾

オ 補強材の敷設

補強材の敷設時の緩みは、施工時の壁面工の変位に影響を及ぼす原因となる。したがって、できるだけ水平にかつ緩みが生じないように施工するとともに、特に、ジオテキスタイルでは、壁面工との連結部で緩みが生じないように留意する。

10.1.17 その他の特殊な擁壁

地形、地質・土質、環境等の各種制約条件によって、「10.1.15 各種コンクリート擁壁の設計方法」、「10.1.16 補強土壁」で示された擁壁を採用することが適切でない場合に、その他の特殊な工夫を施した擁壁が必要となる。その他の特殊な擁壁には、山留め式擁壁、深礎杭式擁壁等のほか、軽量材による土圧軽減工法をコンクリート擁壁等と組み合わせる場合もある。

(1) 山留め式擁壁

山留め式擁壁には、アンカー付き山留め式擁壁と自立山留め式擁壁等がある。アンカー付き山留め式擁壁とは、図-10.1.104(a)に示すように壁背面の安定した地盤にアンカー体を造成し、あらかじめPC鋼棒やPC鋼線等の引張り材に緊張力を与えることにより、アンカーの引張り抵抗と山留め壁の根入れ部の土の横抵抗で背面土圧を支える形式の擁壁である。

アンカー付き山留め式擁壁は、主に山岳道路等において、通常の擁壁形式では切土が大規模となる場合や切土に伴う地山の緩みを防ぐ必要がある場合、斜面安定化工事と兼用される場合等に計画される擁壁形式の一つである。この擁壁の構造形式には矢板や地下連続壁等を用いた壁式と、鋼管杭や場所打ち杭等を用いた杭式とがある。

一方、自立山留め式擁壁とは図-10.1.104(b)に示すように、山留め壁の曲げ剛性とその根入れ部の土の横抵抗のみによって背面土圧を支える形式の擁壁である。この擁壁は、通常の擁壁の設置が困難な箇所の代替形式として、用地に余裕がない場合や地山掘削が困難な場合、近接施工や現況交通・周辺環境への影響等から施工条件の厳しい箇所で選定される擁壁形式である。この擁壁の構造形式にはアンカー付き山留め式擁壁と同様に、矢板や地下連続壁等を用いた壁式と、鋼管杭や場所打ち杭等を用いた杭式とがある。

なお、自立山留め式擁壁は、その支持力機構を根入れ地盤に依存していることから、壁高は4 m程度以下で、比較的締まった砂質土や硬質粘性土の地盤に適用されることが多い。

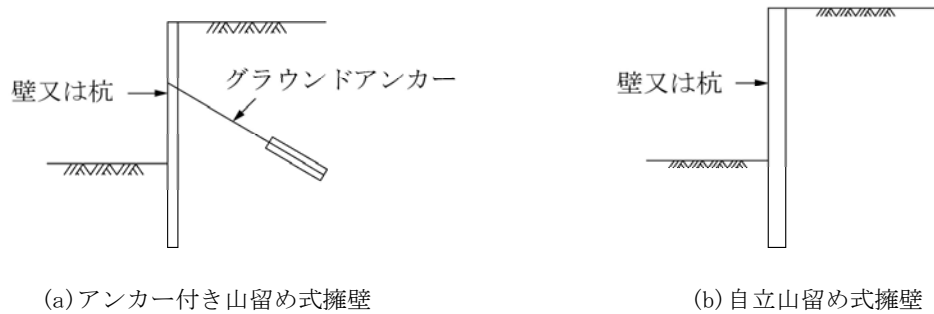


図-10.1.104 山留め式擁壁⁸⁾

山留め式擁壁の設計には、以下の点に留意する必要がある。

ア 擁壁に作用する土圧

擁壁に作用する土圧は、計画地点の地形、地質・土質条件やアンカーの導入張力の影響によって、主動土圧より大きくなる場合も考えられ、その決定に当たっては慎重な検討が必要である。

イ 擁壁の根入れ、応力、変位、鉛直支持力

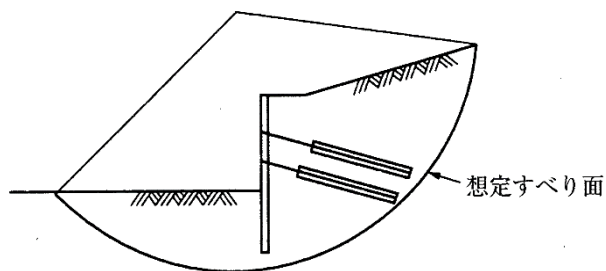
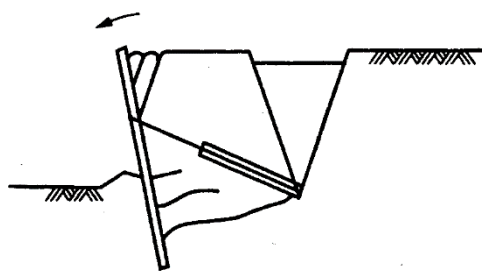
擁壁の挙動は作用する土圧と、山留め壁の根入れ長や曲げ剛性、アンカーの剛性、根入れ部の土の横抵抗等との相互関係に支配される。したがって、解析モデルや解析条件の設定、根入れ地盤の評価及び施工時の地盤の乱れに対して留意する等、設計・施工に当たり慎重な検討が必要である。また、アンカー付き山留め式擁壁の根入れ長の検討に当たっては、アンカー張力の鉛直方向分力が壁体に鉛直荷重として作用するため、これに対して十分な支持力を確保しておくことも必要である。

ウ アンカー力の引張等

アンカーの定着地盤は長期的に安定していることが前提条件となる。また、アンカーの長期安定性、腐食に対する安全性を十分に検討するとともに、供用中においてもアンカーの張力減少や腐食等に対し、維持管理を十分に行う必要がある。

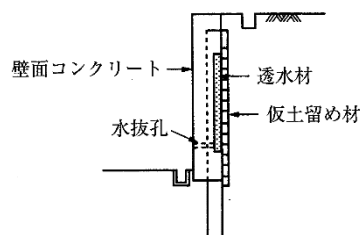
エ アンカーも含めた構造全体の安定

アンカー付き山留め式擁壁は、擁壁本体の設計のほかに外的安定性、及び内的安定性について検討を行わなければならない。外的安定性の検討とは、図-10.1.105に示すようにアンカー体と構造物とを含む地盤全体の崩壊に対する安定性の検討である。内的安定性の検討とは、図-10.1.106に示すように想定されるすべり線の外側にアンカー体を設置した場合に、地盤がアンカー体とともに過大な変位を生じさせないための検討である。アンカーの配置、長さ、アンカー体、アンカーも含めた構造全体の安定等のアンカーに関する計画、調査、設計、施工は「道路土工一切土工・斜面安定工指針」（平成21年6月）や「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説」等を参照のこと。

図-10.1.105 外的安定⁸⁾図-10.1.106 内的安定⁸⁾

オ 排水工

原地盤上から地下連続壁等を施工し、前面を掘削して壁式の山留め式擁壁を構築する場合は、排水工の設計・施工が不十分となりやすい。したがって、地下水の影響を受ける場所や湧水のある場所、集水地形となっている場所等で採用する場合は、慎重な検討が必要である。杭式の場合は図-10.1.107 に示すように、仮土留め材と壁面コンクリートとの間に透水層を設け集水し、水抜孔を通じて排水させる等、適切に排水工を設計・施工しなければならない。

図-10.1.107 排水工の例（杭式の場合）⁸⁾

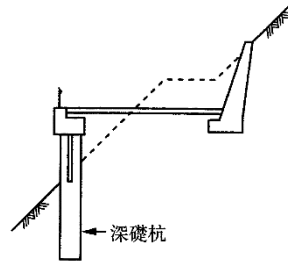
カ 周辺地盤・構造物への影響

自立山留め式擁壁は、構造特性上、水平変位が大きくなりやすいため、背後地に重要構造物がある場合や他の構造物と近接施工となる場合等においては、擁壁背面地盤の沈下予測等を行い、周辺地盤や構造物への影響を十分検討し安全性を確認する必要がある。

(2) 深礎杭式擁壁

深礎杭式擁壁は、設置場所の各種条件や施工性等に配慮して、適切な形式を選定して設計しなければならない。深礎杭式擁壁とは、「道路橋示方書・同解説（IV下部構造編）」において設計上深礎基礎として区分される基礎で、地表面の傾斜角が 10° 以上の斜面上に杭間をコンクリート壁等で土留めした擁壁をいう。その形式は、「山留め式擁壁」と同様に、水平方向の安定機構としてアンカー併用式と自立式とがある。

深礎杭式擁壁は、図-10.1.108 に示すように急峻な山岳道路等において、通常の擁壁では土工規模が大きくなり施工が困難な場合や不経済となる場合、大型重機の搬入が困難な場合等に計画される。

図-10.1.108 斜面上に設けられた深礎杭擁壁の例⁸⁾

斜面上の杭基礎は、地盤の傾斜により杭前面の被りが減少するため、杭の水平抵抗や全体安定には慎重な検討が必要である。また、設計地盤面をどの位置に設定するかによって構造規模が大きく異なるため、十分な検討を行い、長期的に安定した地盤に支持させなければならない。

深礎杭の設計に当たっては、「道路橋示方書・同解説（IV下部構造編）」や「杭基礎設計便覧」等を参考として設計する。

(3) 繊維補強土擁壁

繊維補強土とは、砂に繊維を混入することで擬似的な粘着力と変形抵抗性を持たせたものであり、植生が容易なことから法面の緑化に用いられることが多い。繊維補強土には比較的短い繊維を補強材として用いる短繊維補強土工法と、連続した長繊維を補強材として混入する連続繊維補強土工法が広く使われている。主に法面の保護に用いられることが多く、背面の地山が締まっている場合、盛土部では比較的良好な裏込め土が十分締め固められている場合等、土圧が比較的小さい場合に適用される。

連続繊維補強土による擁壁の断面の例を図-10.1.109に示す。通常、擁壁の天端幅は50cmとし、擁壁前面の勾配は1:0.5よりも緩勾配としている。擁壁の高さは、これまでの施工例では5m程度までのものが多い。擁壁の表面に表流水が直接流出しないよう天端部に排水溝を設けたり、擁壁背面に水圧が加わらないよう背面排水材を設けたりする等、排水工についての十分な検討を行う必要がある。連続繊維補強土の主材料の土としては、特に施工性の面から、細粒分を余り含まない砂質土が適している。また、繊維については、ポリエステル等の化学繊維が通常用いられる。

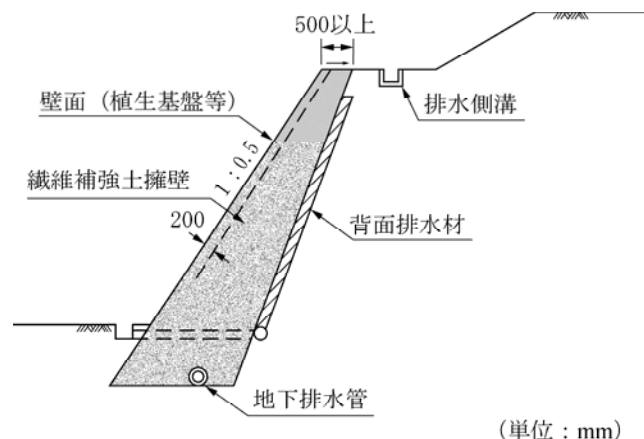


図-10.1.109 連続繊維補強土による擁壁の断面の例

施工においては、図-10.1.110 に示すように、現場において砂と繊維を直接噴射混合し、一定の層厚ごとに逐次締固めを行う。また、施工完了後は、通常、適当な緑化工法による法面への植生が行われる。

なお、設計・施工に当たっては、これまでの施工例を参考に検討を行うのがよい。

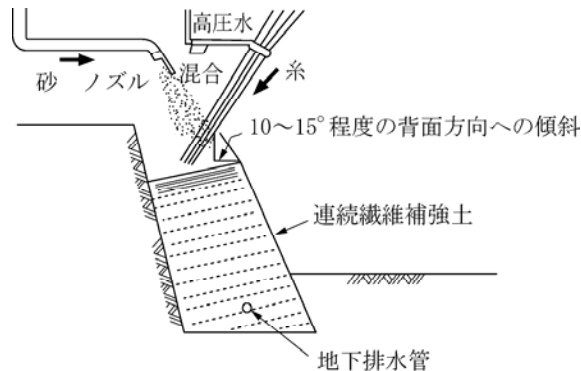


図-10.1.110 連続繊維補強土の施工概念図

(4) 軽量材を用いた擁壁

軽量材を用いた擁壁とは、擁壁の裏込め材に発泡スチロールブロックのように軽量材自体が自立性を有するものや気泡混合軽量土等のように自硬性を有するものを用いて、壁面材を表面保護壁程度に簡略化し、この壁面材と軽量材が一体で擁壁としての機能を発揮する土工構造物をいう。代表的な適用例を図-10.1.111 に示す。

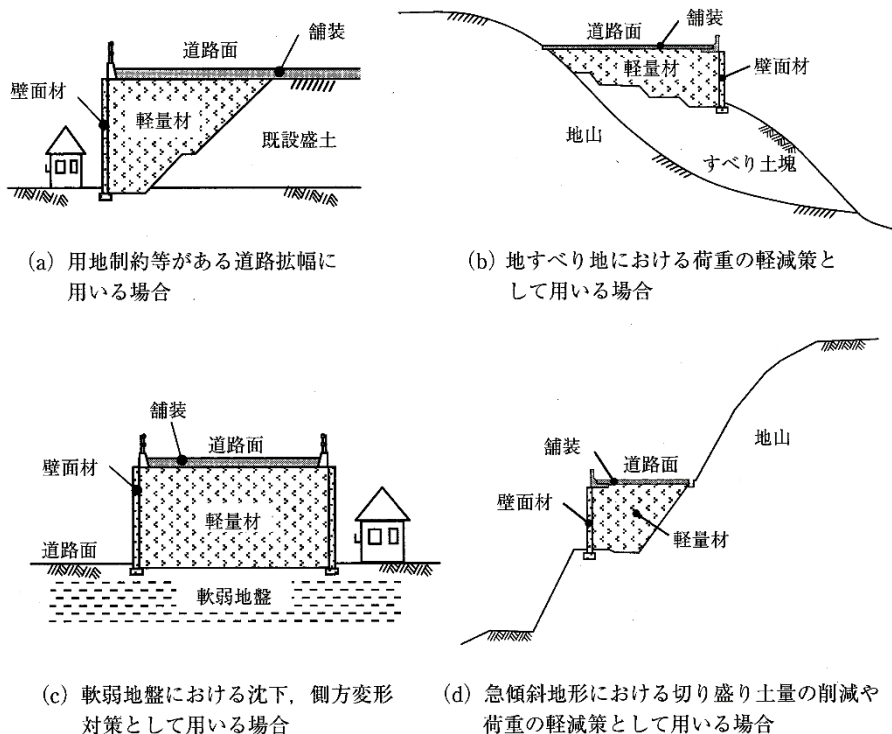


図-10.1.111 軽量材用いた擁壁の適用例⁸⁾

擁壁に用いられる主な軽量材の種類と単位体積重量を表-10.1.39に示す。軽量材は、軽量材自体が自立性や自硬性を有し鉛直な壁面を形成できるものと、自立性や自硬性がなくコンクリート擁壁等の裏込め材料として使用されるものの2種類に分類できる。

コンクリート擁壁の背面盛土に代えて、自立性や自硬性を有しない軽量材を用いて擁壁に作用する土圧や地盤への荷重負担を軽減する場合は、「10.1.11 安定計算」に従い設計を行うのがよい。

表-10.1.39 主な軽量材の種類と単位体積重量⁸⁾

軽量材の種類	単位体積重量	軽量材の自立性や自硬性		特徴
		自立性や自硬性を有するもの	自立性や自硬性を有さないもの	
発泡スチロールブロック	0.12～0.3	○		超軽量性、合成樹脂発泡体
気泡混合軽量土	5～12 程度	○		密度調整可、流動性、自硬性、発生土利用可
発泡ウレタン	0.3～0.4	○		形状の可変性、自硬性
発泡ビーズ混合軽量土	7 程度		○	密度調整可、土に近い締固め・変形特性、発生土利用可
水砕スラグ等	10～15 程度		○	粒状材、自硬性はあるが自立性はない
火山灰土	12～15		○	天然材料（シラス等）
コンクリート二次製品	4 程度	○		プレキャストコンクリート、軽量性、空隙率が高い

ア 発泡スチロールブロックを用いた擁壁

軽量材として用いる発泡スチロールブロックは、通常、2m×1m×0.5m 程度の直方体で、単位体積重量は0.12～0.3kN/m³である。発泡スチロールブロックは極めて軽量で人力での運搬や設置が可能であることから、大型の建設機械が進入できない場所や、一般的な擁壁では支持力が不足する軟弱地盤等でも施工することができる。

発泡スチロールブロックは、紫外線の照射による劣化が生じ、ガソリンや重油等の有機溶剤により溶解する性質をもつ。また、火気については難燃性ではあるが、不燃性ではない。このため、長期間の紫外線の照射、ガソリンや重油等の溶剤との接触、火気を避けるため保護壁やコンクリート床版で覆う対策をとる必要がある。また、発泡スチロールブロックの長期的な荷重によるクリープ変形やそれに伴う盛土の沈下への影響も留意する必要がある。

(ア)設計の考え方

ここでは、設計に用いる荷重について、発泡スチロールを用いた土圧軽減工法に特有なものについて述べることにし、それ以外についてはコンクリート擁壁の設計法に準ずる。

a 土圧

擁壁に作用する土圧は、発泡スチロールブロック背面に作用する土圧と上載荷重に起因する側圧を考慮する。ただし、背面の勾配が盛土の安定勾配以下の場合、発泡スチロールブロック背面に作用する土圧は作用しないものと考えてよい。図-10.1.112(b)に示すように、発泡スチロールブロック背面の勾配が盛土の安定勾配よりも大きい場合には、試行くさび法等により土圧を求め、発泡スチロールブロック背面に水平に作用するものと

考える。なお、発泡スチロールブロック背面に作用する土圧は、発泡スチロールブロックの許容圧縮応力内に収める必要がある。

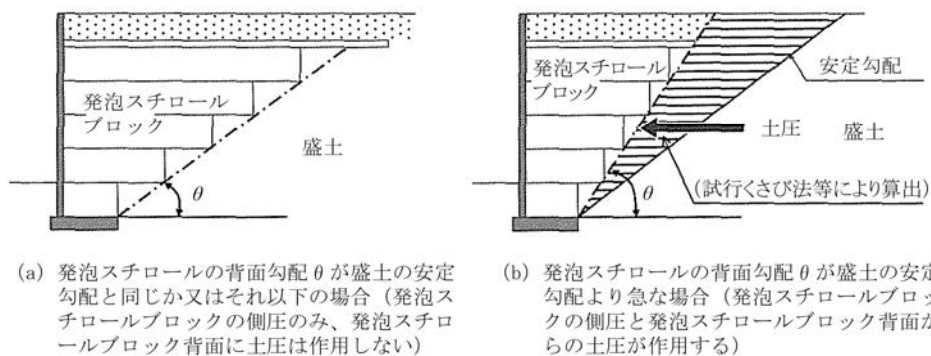


図-10.1.112 発泡スチロールブロック背面の勾配と土圧⁸⁾

発泡スチロールブロックの側圧は、発泡スチロールブロックに作用する鉛直方向の荷重によって発泡スチロールブロックが側方に膨らむことで生じる。設計においては、発泡スチロールブロックより上部の荷重（発泡スチロールブロックより上の舗装やコンクリート床版等の自重と載荷重）の 0.1 倍の荷重が側圧として深度方向に一樣に作用すると考えてよい。

b 発泡スチロールの自重

発泡スチロールブロックの自重は、乾燥状態にある場合（地下水位以上）には、発泡スチロールブロックの単位体積重量とする。また、発泡スチロールブロックが長期間地下水位以下に設置された場合、発泡スチロールの吸水によりその単位体積重量が増加するので、吸水による単位体積重量の増加を見込む必要がある。一般的に、発泡スチロールブロックを地下水位以下に使用する場合には、単位体積重量を 1.0kN/m^3 として沈下に対する検討や背面盛土及び基礎地盤を含む全体としての安定性の検討を行っている。

c 浮力

発泡スチロールブロックは極めて軽量であるため、地下水の影響による浮き上がりが問題となるため地下水位以下に設置しないことを原則とする。しかし、地形、使用条件等により、やむを得ず地下水位以下に設置する場合には、発泡スチロールブロックに作用する浮力を考慮しなくてはならない。この場合、浮力は擁壁の安定性に最も不利になるように作用させ、転倒や滑動に対する照査では浮力を考慮し、支持に対する照査では浮力を無視するのがよい。

d 地震の影響

地震の影響は、発泡スチロールブロックを用いた擁壁の自重による地震時慣性力を考慮する。発泡スチロールブロック背面に土圧が作用する場合は、背面に作用する地震時土圧を考慮する。地震動の作用に対する照査は、震度法等の静的照査法が用いられることがあるが、発泡スチロールブロックを用いた擁壁は、上部が重い構造体になりやすいので、既往の実験結果等を参考に地震動の応答特性や用いる設計水平震度を適切に設定する必要がある。

(イ) 構造細目

構造細目の検討に当たっては、発泡スチロールブロックを用いた擁壁の用途及び目的に応じて検討しなければならない。

a 壁面工

基礎地盤への荷重の軽減対策として発泡スチロールブロックを用いる場合、壁面材の主部材として H 鋼等を支柱とし、表面保護壁としてパネル材を取り付ける方式を採用するのが一般的である。このときの壁面材は、発泡スチロールブロックを紫外線による劣化と、周辺火災による溶融から防護する性能を有するものでなければならない。

支柱の設置方法としては、コンクリート基礎上に固定する場合と杭方式とする場合がある。

b 排水工

発泡スチロールブロックを用いた擁壁においては、施工中及び施工後を通じて排水対策に十分留意する必要がある。図-10.1.114 に示すように段切り部と発泡スチロールブロックの境界部には、湧水や浸透水の排水ができるよう砕石や砂等により排水層を設置する。また、湧水等が多い場合には、段切り面に沿って排水用ジオテキスタイル等を設置するとよい。

排水工の設計においては、地下水の状態はもとより、季節的な降雨や洪水の有無等についても考慮する必要がある。降雨や洪水により内水が生じる可能性のある箇所では、発泡スチロールブロックの適用を避けることが望ましいが、やむを得ず適用する場合には、排水系統を十分に調査し、浮き上がり等に対して適切な排水対策をとる必要がある。

c コンクリート床版工

発泡スチロールブロックの天端や発泡スチロールブロックの設置段数の多い場合の中間部には、コンクリート床版を設けるのが一般的である。これは、車両による載荷重や上載荷重等の分散、発泡スチロールブロック設置時の不陸や段差の修正、発泡スチロールブロックの一体化、発泡スチロールブロックに有害な物質の浸入防止等を図るためであり、中間部では通常、発泡スチロールブロック高さ 2～3m ごとに 1 か所設ける。

d 水平力抑止工

発泡スチロールブロックを用いた擁壁は、コンクリート床版や舗装等により上部構造が重い構造になりやすいため、地震時の安定性に対する検討において水平力抑止工が必要になる場合がある。水平力抑止工を設けると地震時の応答の増幅を抑えることができ、かつ、地山との開き・ずれを防止することができる。斜面上に擁壁を構築する場合には、水平力抑止工としてコンクリート床版部から背面地山へアンカー工等を設けるのがよい。水平力抑止工は最上部のコンクリート床版部に設けるのが効果的である。

(e) 附属施設の設置

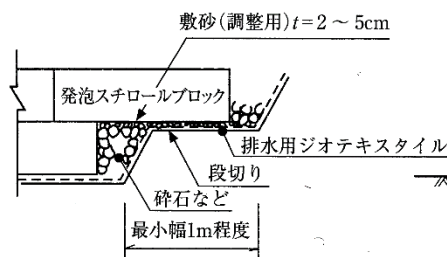
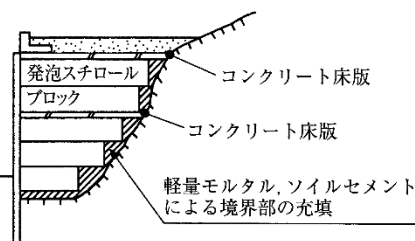
発泡スチロールブロックを用いた擁壁の上に防護柵、遮音壁等の道路附属物を設置する場合には、附属施設からの荷重がコンクリート床版及び発泡スチロールブロックに与える影響を十分に検討した上で、適切な設置方法を採用する必要がある。

(ウ) 施工上の留意点

a 掘削工

斜面上において拡幅盛土等を行う場合には、図-10.1.113 に示すように地山の段切りを行い、発泡スチロールブロックをできるだけ各小段に配置する等、安定を保つための配慮が必要である。なお、段切り部に碎石を用いる場合、地震時に碎石が揺すり込み沈下を生じないように碎石にセメント等を加えポーラスコンクリート状にするとよい。斜面が岩盤の場合には、地形の状況によって段切りの幅及び高さは適宜縮小することができる。

段切りによってかえって地山の安定性を損なう場合や、湧水等がみられず、かつ安定した地山等に発泡スチロールブロックを腹付けする場合には、図-10.1.114 に示すように発泡スチロールブロックと地山との境界部にモルタル等を施して地山と一体化することもある。

図-10.1.113 斜面での段切り⁸⁾図-10.1.114 岩盤斜面へのすり付け方法の例⁸⁾

b 発泡スチロールの設置工

発泡スチロールブロックの設置は、人力等で各層ごとに積み上げて施工する。設置に当たっては、特に第1層目（最下層）の施工精度が全体の施工精度に影響するので、段差等が生じないようにする。また、発泡スチロールブロックの目地はできるだけ各層ごとに千鳥配置になるように配置し、ブロックどうしは緊結金具を用いて連結する。

施工中は発泡スチロールブロック上に直接、重機や工事用車両が載らないように工事用道路の配置等について検討する必要がある。

発泡スチロールブロックは、紫外線により劣化する性質を持っているため、日光に暴露することを避ける必要があり、施工中においてもできるだけ短期間に施工することが望ましい。また、極めて軽量であるため、施工時の強風や豪雨への備えとして土のうやネット等による飛散防止が必要である。

発泡スチロールブロックの施工中の現場保管においても、火気や石油類から遠ざけ、紫外線対策や飛散防止対策としてネットやシート等で養生するのが望ましい。

c コンクリート床版工

コンクリート床版は、上部からの荷重分散と発泡スチロールブロックの結束及び不陸を吸収する目的で設けるので、打設下面で調整は行わず、仕上り面で整形すればよい。また、配筋は番線結線とするか網筋を用い、発泡スチロールブロック上での溶接は極力避けるなければならない。

コンクリート床版上に道路舗装を行う場合には、床版のコンクリートを十分養生してから施工する必要がある。

イ 気泡混合軽量土を用いた擁壁

気泡混合軽量土（気泡モルタルを含む。）は、土に水とセメント等の固化材を混ぜてスラリー化したものに、起泡剤を発泡させてできる気泡を混合して製造される軽量材である。気泡混合軽量土は、軽量性や流動性に優れ、固化後は自立する特徴を持ち、変形特性はコンクリート材料に類似した挙動を示す。また、原料土として現地発生材を利用できるため、建設発生土の有効利用が図れる等の利点がある。一般的に気泡混合軽量土の単位体積重量は、 $5 \sim 12 \text{ kN/m}^3$ 程度、一軸圧縮強さは 10 MN/m^2 程度まで調整可能である。気泡混合軽量土の主な特性を表-10.1.40 に示す。

表-10.1.40 気泡混合軽量土の特性⁸⁾

軽 量 性	単位体積重量を任意に調整することができるため荷重の軽減が図れる
流 動 性	流動性に優れるため敷均し、締固め作業が省力化できる 狭小箇所の埋め戻しや充填が可能である
硬化後の自立性	硬化後は自立することから鉛直壁の構築が容易で、強度も任意に調節できる
施 工 性	大規模な施工機械を必要としないため工事用機械の進入が困難な箇所の施工が可能となる 気泡が大部分を占めるため材料運搬が軽減される

(ア) 設計の考え方

気泡混合軽量土の設計方法について確立されたものはないため、気泡混合軽量土の設計に当たっては、過去の設計・施工事例等を参考に十分な検討を行う必要がある。

ここでは、気泡混合軽量土の設計について基本的な事項を述べるものとし、それ以外については、コンクリート擁壁の設計法に準ずるものとする。

a 土圧

気泡混合軽量土を用いた擁壁に作用する土圧は、気泡混合軽量土背面に作用する土圧と施工時の未固結気泡混合軽量土の側圧を考慮する。気泡混合軽量土背面には、発泡スチロールブロック背面に作用する土圧と同様に、気泡混合軽量土背面の勾配が盛土の安定勾配以下であるときは、土圧は作用しないと考えてよい。また、壁面材に作用する側圧は、気泡混合軽量土が未固結の状態が最大となる。したがって、気泡混合軽量土の打設時一層分の圧力を、壁面材に作用する側圧とする。

b 強度及び密度の設定

気泡混合軽量土は、セメント量や水セメント比、気泡量の配合を調整することにより任意の強度や単位体積重量とすることができる。気泡混合軽量土の強度や密度設定は、構造物の機能を維持し、かつ、自重や車両による載荷重、自立に必要な強度等に対する部材の安全性と、擁壁としての安定性を満足するように設定する。また、構造物の条件に応じては、路床では CBR を、盛土では繰返し荷重の影響等を考慮して設定する。

気泡混合軽量土の一軸圧縮強さは、 $0.3 \sim 10 \text{ MN/m}^2$ 程度までが可能であるが、一般的には $0.3 \sim 2.0 \text{ MN/m}^2$ 程度の配合とすることが多い。また、単位体積重量は $5 \sim 12 \text{ kN/m}^3$ 程度を用いることが多い。気泡混合軽量土の密度は混練り時の気泡混合軽量土の密度で評価するものとし、一般に 1 層を 1 m 以下の打設厚さで施工すれば、密度の変化はないと考

えてよい。

c 浮力

気泡混合軽量土は、長期間地下水位以下に置かれる場合、吸水により単位体積重量が増加し、その影響は、気泡混合軽量土の単位体積重量が小さいほど大きい。したがって、気泡混合軽量土を地下水位のある箇所に施工する場合は、浮力の影響が小さくなるように、地下水位以下となる部分の気泡混合軽量土の単位体積重量をできるだけ重い配合とすることが望ましい。

d 地震の影響

地震の影響は、気泡混合軽量土を用いた擁壁の自重に起因する地震時慣性力と、気泡混合軽量土背面に土圧が作用する場合は、背面に作用する地震時土圧を考慮する。地震動の作用に対する照査は、震度法等の静的照査法が用いられることがあるが、いまだ十分には確立していない。斜面上に構築された擁壁を例にとれば、地震時に特に問題となるのは、転倒モードによる底面部の特につま先部の応力集中による圧縮破壊や、形状変化部からの亀裂発生等である。したがって、気泡混合軽量土下部の強度設定や、十分な底版幅の確保等の考慮が必要である。

過去に行われた模型実験によれば、高さ 15m 程度以内の気泡混合軽量土を用いた擁壁では、気泡混合軽量土の一軸圧縮強度が 300kN/m^2 程度を確保していればレベル 2 地震動に対しても上に述べたような損傷が生じないことが示されている。したがって、このような実験的知見に基づき設計することもできる。なお、斜面上の擁壁では、上に述べた高さの制約に加えて、底面幅を最低でも 2 m 以上は確保する。

(4) 構造細目

a 壁面工

気泡混合軽量土の長期的な耐久性は未解明な部分があり、打設後、気泡混合軽量土の表面を暴露しておくと劣化するおそれがある。このため、気泡混合軽量土の表面は適切な方法で保護する必要がある。一般的には、打設時の型枠と表面保護を兼ねた壁面材とすることが多い。したがって、打設時の型枠を壁面材として兼用する場合には、型枠材としての機能のほか、固化後においては壁面材として気泡混合軽量土を保護する十分な耐久性が必要である。

b 排水工、防水工、敷網材

表面及び背面の盛土又は地山からの地下水の浸透等の水の影響により、気泡混合軽量土が強度低下を引き起こすおそれがあるため、図-10.1.115、図-10.1.116 施工例のように、不透水シートにより遮水するとともに背面地山の排水に留意する必要がある。また、気泡混合軽量土のひび割れを抑制するために、図-10.1.115 のように、敷網材を設置する場合がある。

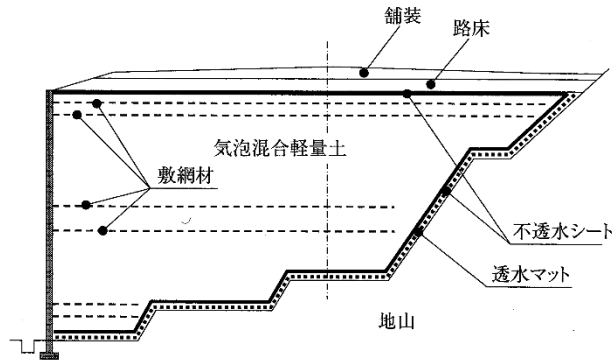


図-10.1.115 不透水シート、敷網材の施工例⁸⁾

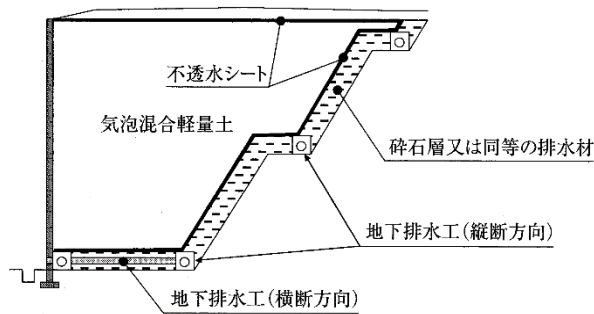


図-10.1.116 排水工の施工例⁸⁾

c 附属施設

気泡混合軽量土はひび割れ等の損傷に対して補修が困難である。したがって、気泡混合軽量土を用いた擁壁の上に防護柵、遮音壁等の道路附属物を設置する場合には、図-10.1.117 に示す防護柵の設置例のように附属施設の基礎は、コンクリート基礎とすることが望ましい。また、コンクリート基礎と壁面材は分離した構造にするのがよい。

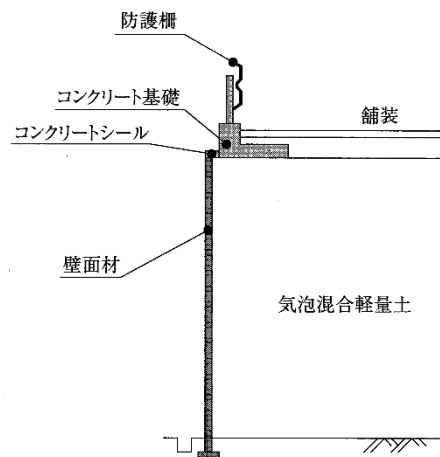


図-10.1.117 防護柵の設置例⁸⁾

(ウ) 施工上の留意点

a 製造方法

気泡混合軽量土の気泡の製造方法は、起泡剤の種類や気泡の混合方式によりポストフォーム方式、ミックスフォーム方式、プレフォーム方式に分類されるが、気泡の分布・分散性に優れ、気泡量の調整が容易なプレフォーム方式が適している。

気泡混合軽量土の製造方法は、打設量が少ない場合には発泡装置や混合機械を搭載した車両が用いられるが、打設量が多い場合には仮設プラントを設けることが多い。また、打設量が極めて少ない場合には、生コン工場から購入したセメントモルタルやセメントミルクにアジテータ車内で気泡を混合する場合もある。

b 掘削工

斜面上に気泡混合軽量土を用いた擁壁を施工する場合には、段切り等を行い地山とのなじみを良くする。また、滑動が問題となる場合には、すべりに抵抗できる抑止杭等を用いて、地山との一体化を図るものとする。

c 打設工

気泡混合軽量土は、軽量土内の気泡が消泡しない程度の打設厚さで施工するものとする。一般に、一層の打設厚さが厚くなると自重により気泡が破壊し、材料分離を生じ、強度のばらつきが生じるおそれがある。このため、気泡混合軽量土の施工は打設後に消泡による沈降等が生じないよう1 m 程度以下の打設厚さで行う必要がある。

d 養生

気泡混合軽量土では、急激な乾燥によるひび割れ等の防止や、降雨等による気泡の消泡や品質低下を防止するためシート等による養生を行う。また、配合によっては強度発現までの養生に時間を要する場合があるので、上層の施工に当たっては、下層が施工に必要な強度を有していることを確認する必要がある。

e その他

気泡混合軽量土の気泡は、降雨や地下水等の影響により消泡してしまうため、降雨時や施工直後に降雨が予想される場合には施工してはならない。また、地下水や湧水等の水の影響がある場合には、適切に処理を行った上で施工するものとする。気泡混合軽量土の打ち継目は、鉄筋等による特別な処理をする必要がないが、著しいレイタンス等は除去して打ち継ぐものとする。