

擁壁工指針 補強土壁の設計

設計・施工における留意点

2010.10.22

(株)第一コンサルタンツ 水田 勝也

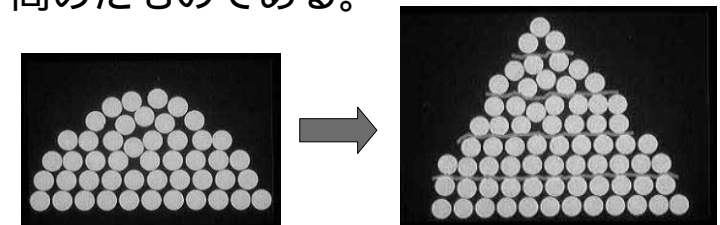
目次

- 1 . 補強土壁について
- 2 . 補強土壁の設計概要
- 3 . 盛土材と壁面変位
- 4 . 補強土壁の施工
- 5 . 維持管理について
- 6 . 工法の選定について

1 . 補強土壁について

補強土とは

- 土質材料中に、帯鋼や鉄筋または高分子系材料等の引張り抵抗力および摩擦抵抗力を有する補強材を挿入することによって、せん断抵抗における粘着力項の欠如をおぎない、盛土全体としての安定性を高めたものである。



補強土壁の特徴

- 用地制限がある場所において、垂直な壁面を持つ盛土を構築できる。
- 柔軟な構造であるため、大きな支持力を必要としないため、比較的軟弱な地盤においても適用できる。
- 補強効果を発揮するためには、ある程度の変形を要する。

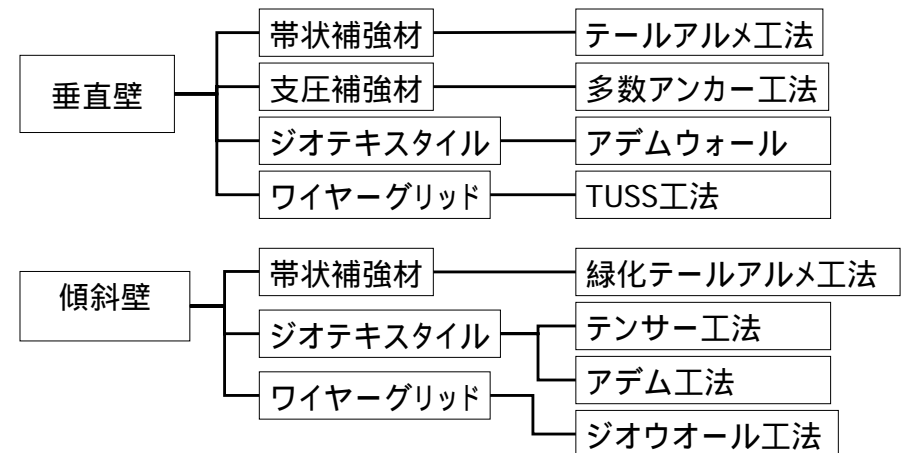
補強土壁の長所

- 養生の必要がないので施工期間が短い。
- 盛高が大きいほど経済性で有利である。
- 鉄筋工や型枠工などの熟練作業員が不要。
- 部材が細分化されており、比較的狭い場所での施工が可能。
- 補強土壁と盛土が一体となって動くために、地震に対して強い。

補強土壁の短所

- 補強土壁の盛土材としては使用できない土質がある。
- 施工後の掘り返しが難しい。
- 盛土材の管理(品質管理、施工管理)が重要。
- 長期間にわたる使用実績がまだない。
- 補修が難しい。

補強土壁工法



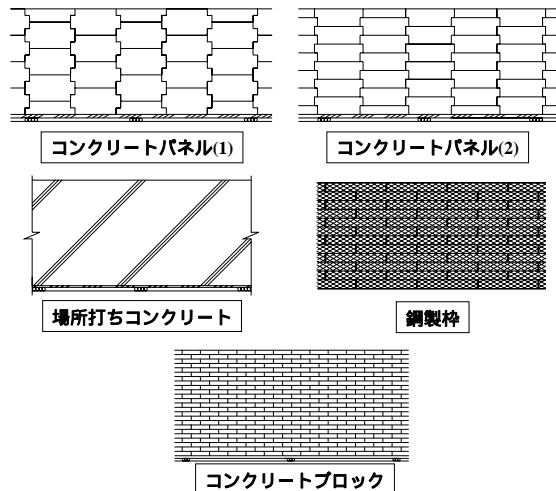
補強土壁の種類（約30工法）

壁面材	補強材	工法名
コンクリートパネル	帯状鋼製補強材(スリップ)	テールアルメ
	アカープレート及びタイバー	多数アンカー, TUSS
	格子状鉄筋	TUSS
	ジオテキスタイル	ハイビーウォール
	帯状ジオテキスタイル	ウェブソル
現場打ちコンクリート	面状ジオテキスタイル	RRR
鋼製枠	帯状鋼製補強材(スリップ)	テラトレール
	格子状鉄筋	ワイヤーウォール
	鋼製チェーン	スリットウォール
	面状ジオテキスタイル	テンサー, アダム, フォートラック, コスモグリッド, ネステム, トレグリッド, セルフォース, スーパーGグリッド, パラグリッド, パワーグリッド, スパイクグリッド, テキストムアー, レクサー, テナックス
コンクリートブロック	面状ジオテキスタイル	ジオブロック, アダムウォール, キーストン, セレクトストーン, ab擁壁
	アカープレート及びタイバー 格子状鉄筋	レコウォール

壁面材の種類と特性

壁面材	特性	問題点及び対策
コンクリートパネル	<ul style="list-style-type: none"> 安定感 重要構造物 垂直壁 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面変形（前倒れ） 盛土材圧縮沈下時の連結部 良質な盛土材, 連結部改良
鋼製枠	<ul style="list-style-type: none"> 壁面緑化 安定感に乏しい 壁勾配 1 : 0.2 ~ 0.5 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面変形（圧縮） 良質な盛土材, 壁面接続の改良
現場打コンクリート	<ul style="list-style-type: none"> 変形少ない どんな盛土材の使用可 壁勾配は 1 : 0.05 	<ul style="list-style-type: none"> 施工性は悪い 割高
コンクリートブロック	<ul style="list-style-type: none"> 外観は良好 壁勾配は垂直 ~ 1 : 0.1 	<ul style="list-style-type: none"> Cパネルと同じ問題 海外実績多く今後に期待

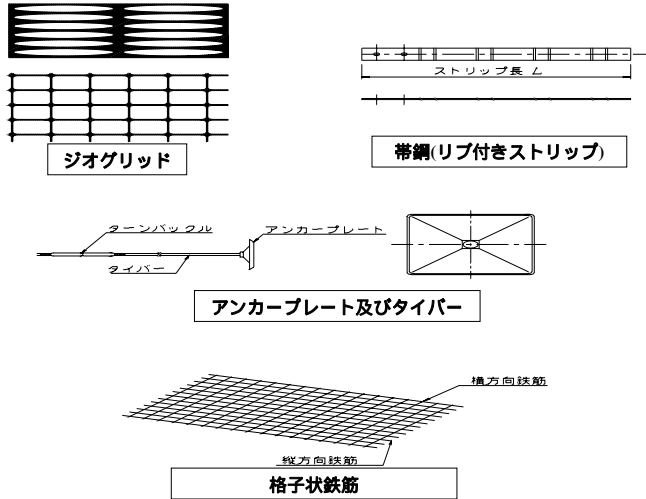
代表的な壁面材



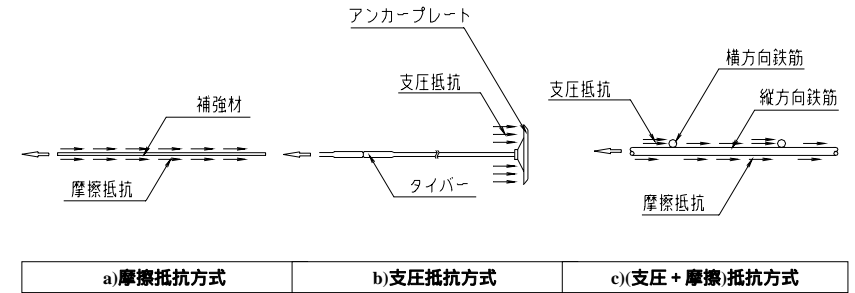
補強材の種類と特性

補強材	材質	形状	補強方式	定着方式
帯鋼(スリップ)	鋼材	帯状	摩擦抵抗	線状定着 (連続した長さで定着)
ジオテキスタイル	合成高分子材	面状 (帯状)	摩擦抵抗	面状定着
アカープレート及びタイバー	鋼材	棒鋼 + 支圧板	支圧抵抗	先端定着 (点で定着)
格子状鉄筋	鋼材	面状	(支圧 + 摩擦) 抵抗	線状定着

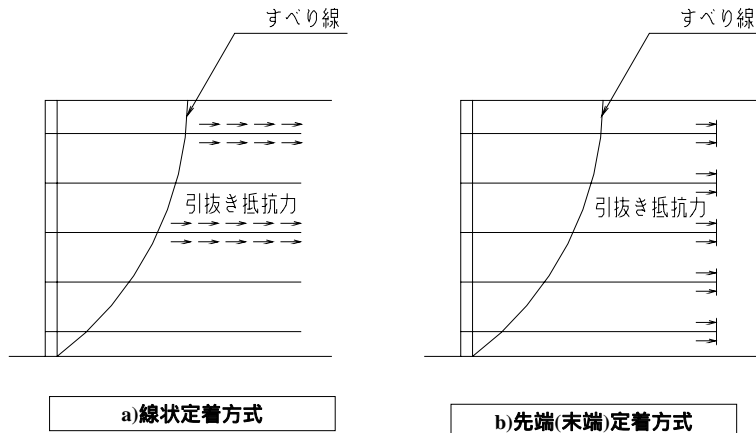
代表的な補強材



補強材の補強方式



補強材の定着方式

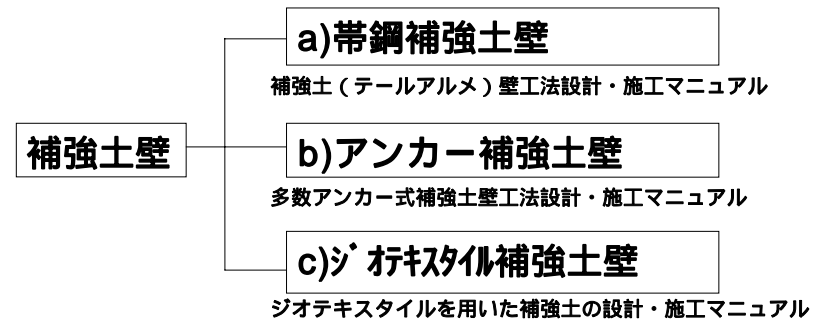


補強土壁の分類

定義：盛土中に補強材を敷設することで垂直に近い壁面を構築する土留め構造物

道路土工 - 擁壁工指針，H11.3，pp132～149

3種類の補強土壁工法が記載



帯鋼補強土壁(テールアルメ工法)

- テールアルメ工法は、壁面を構成するコンクリートスキンと、盛土中に敷設された細長い鉄板のストリップとで構成される。
- 工法の原理は、土が滑ろうとする力をストリップの引張力に変えて土の動きを拘束し、垂直盛土を構築するものである。

長所：使用実績が多数あり、信頼性が高い。
短所：使用盛土材は、壁面の変形を抑制する目的で他の工法に比べて制約を受ける。

アンカー補強土壁 (多数アンカー工法)

- 多数アンカー工法は、補強材と土との摩擦抵抗力で土の側方変位を拘束する。
- 他の工法と異なり、アンカープレートの引き抜き抵抗による支圧力で土の側方変位を拘束することによって土を補強するものである。

長所：摩擦力を必要としないので使用可能な盛土材の適用範囲が広い。
短所：壁面に土圧が作用する構造のため、壁面材が破損した場合は土砂が抜け出しやすい。

ジオテキスタイル補強土壁

- ジオテキスタイル工法は、補強材(主にジオグリッド)と壁面材で構成される。
- 工法の原理はテールアルメと同じく、補強材と土との摩擦抵抗力により壁面を構成するものである。
- 補強材はテールアルメや多数アンカーと違い、種々の材料が開発されている。

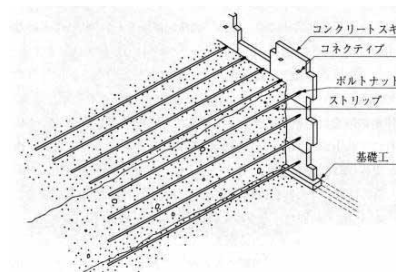
長所：面的な補強材のため、敷設長が短くできる。
短所：柔構造の壁面材料のため、盛土が変形しやすい。

a) テールアルメ

補強方式：摩擦抵抗方式

補強材：帯鋼(リップ付ストリップ)

壁面材：コンクリートスキン(パネル)、メッシュパネルなど

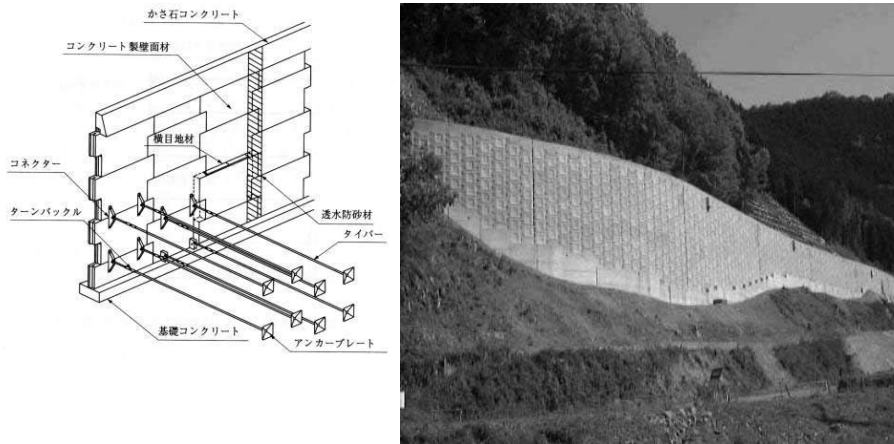


b) 多数アンカー

補強方式：支圧抵抗方式

補強材：アンカープレート及びタイバー

壁面材：コンクリートパネル

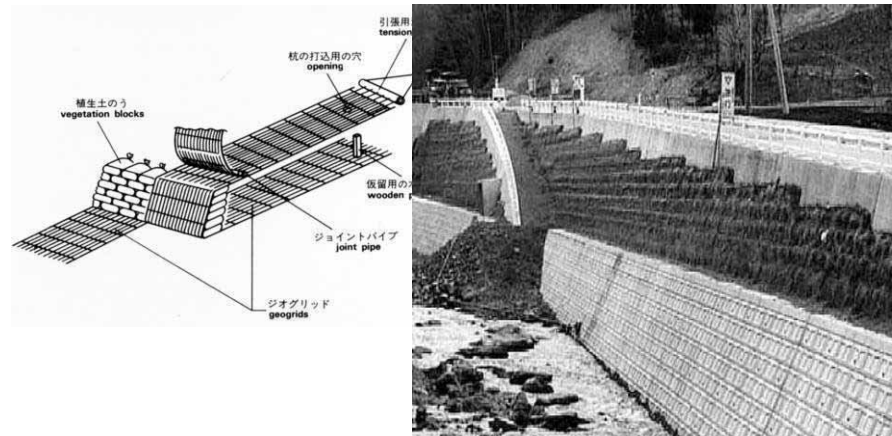


c) ジオテキスタイル補強土壁

補強方式：摩擦抵抗方式

補強材：ジオグリッド

壁面材：鋼製枠、コンクリートパネル、コンクリートブロックなど

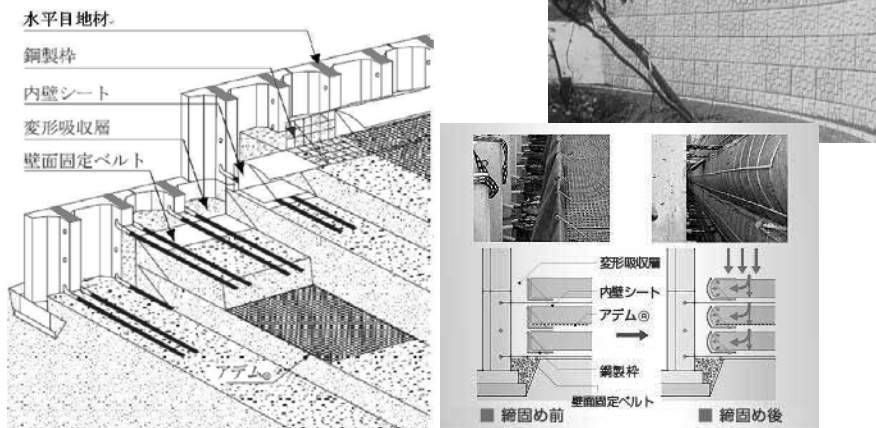


(参考) 二重壁構造の補強土壁

補強方式：摩擦抵抗方式

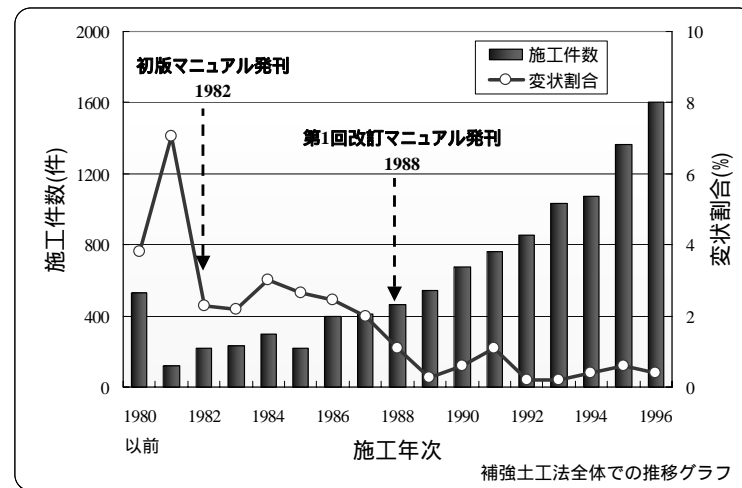
補強材：ジオグリッド

壁面材：鋼製枠、コンクリートブロック



マニュアルの信頼性

施工実績推移と変状割合推移

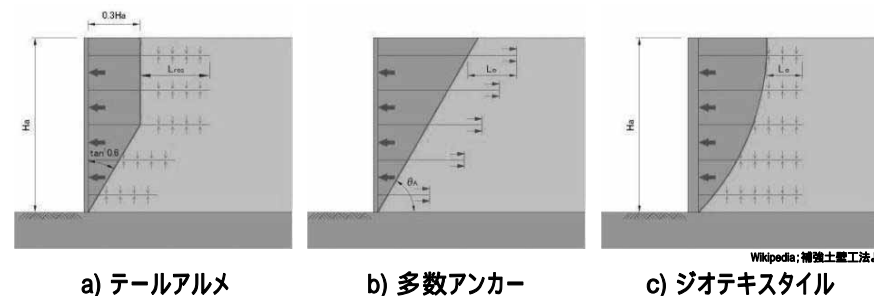


(財) 高速道路調査会，補強土工法の適用に関する調査研究

2 . 補強土壁の設計概要

各工法の構造原理

工法名	すべり線の形状	補強方式
a) テールアルメ工法	2 直線	摩擦抵抗
b) 多数アンカー工法	主動崩壊線	支圧抵抗
c) ジオテキスタイル補強土壁工法	円弧すべり線	摩擦抵抗

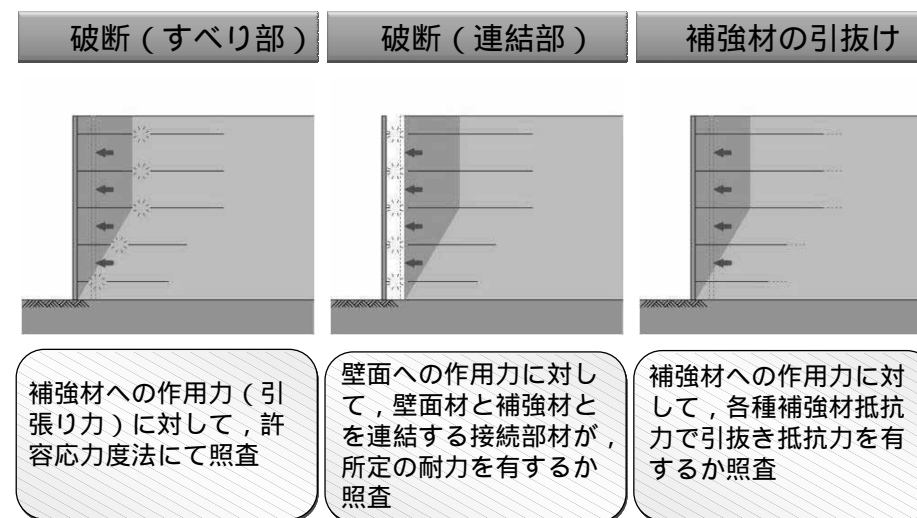


検討項目と安全率

検討内容・項目		テールアルメ工法	多数アンカー工法	ジオテキスタイル補強土壁工法	
内的安定	内的円弧すべり検討	-	-	常時: 1.2 地震時: 1.0	
	補強材の破断に対する検討	ストリップ, ボルト	タイバー, 接続ロッド, アイボルト, アンカープレート, ボルト, 取付けコネクタ	ジオテキスタイル, 剛な壁面では連結部の検討必要	
	補強材の引抜けに対する検討	常時: 2.0 地震時: 1.2	常時: 3.0 地震時: 2.0	常時: 2.0 地震時: 1.2	
外的安定	円弧すべり検討	常時: 1.2 地震時: 1.0	常時: 1.2 地震時: 1.0	常時: 1.2 地震時: 1.0	
	仮想擁壁としての検討	滑動	常時: 1.5 地震時: 1.2	常時: 1.5 地震時: 1.2	常時: 1.5 地震時: 1.2
		転倒	常時: $e L/6$ 地震時: $e L/3$	常時: $e L/6$ 地震時: $e L/3$	常時: $e L/6$ 地震時: $e L/3$
		支持力	常時: 2.0 地震時: 1.5	常時: 2.0 地震時: 1.5	常時: 2.0 地震時: 1.5

鋼材を使用するものは腐食代を考慮

内部安定



補強材の間隔と長さ

工法		テールアルメ	多数アンカー	ジオテキスタイル
長さ	計算	ストリップの周面摩擦により引抜抵抗を確保できる長さ	すべり線 + 1.2m以上	ジオテキスタイルの摩擦により引抜抵抗を確保できる長さ
	構造細目	4m以上 0.4Ha以上	内部安定・外部安定を満足する	全同長3m以上 0.4H以上
鉛直間隔		H=0.75m	H=1.0m	H=1.0m
水平間隔		B=0.75m	B=0.75m	全敷設

鉛直間隔は、計算上で満足しても壁面の変形に対する懸念から、盛土材の選定とともに慎重に計画するよう留意が必要。

外部安定

滑動

背面土圧による水平力に対し、所定の安全率を確保できるか照査

転倒

補強領域に作用する外力に対して、合力の作用位置の偏心距離が許容値を満足するか照査

支持力

補強領域の底面および、壁面直下の支持力について照査

円弧すべりの検討方法

多数アンカー

疑似二重壁内の盛土材には、補強せん断強度増分 τ を考慮する

テールアルメ

補強領域内に見かけの粘着力 c' が存在するものとして評価する
(補強材先端 0.5~1.0m の範囲を除く)

ジオテキスタイル

ジオテキスタイルの引張力 T_{avail} (設計引張強さ T_A と引抜抵抗 T_P の最小値) で評価する

円弧すべりのモデル化にあたって

水位上昇しない事を前提
排水計画が重要

盛土材の評価が重要

小段排水部 1:1.5

法面整形部 1:2.0

路伴盛土部 1:2.0

観測部(現況) 1:1.8

補強土壁の外を通る円弧すべり

補強土壁を横切る円弧すべり

上層盛土内での円弧すべり

46.14m

38.940

31.250

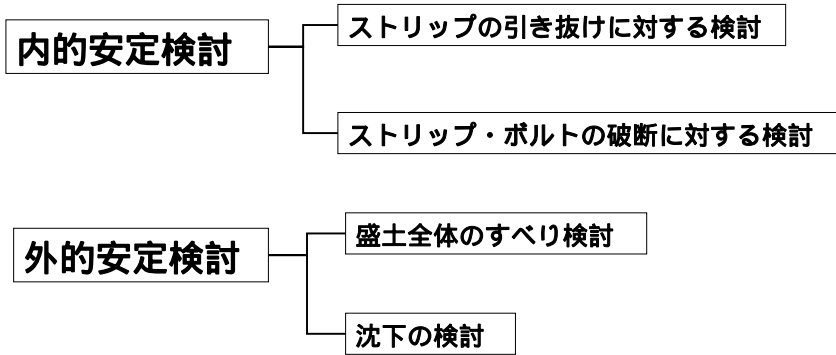
65.170

90

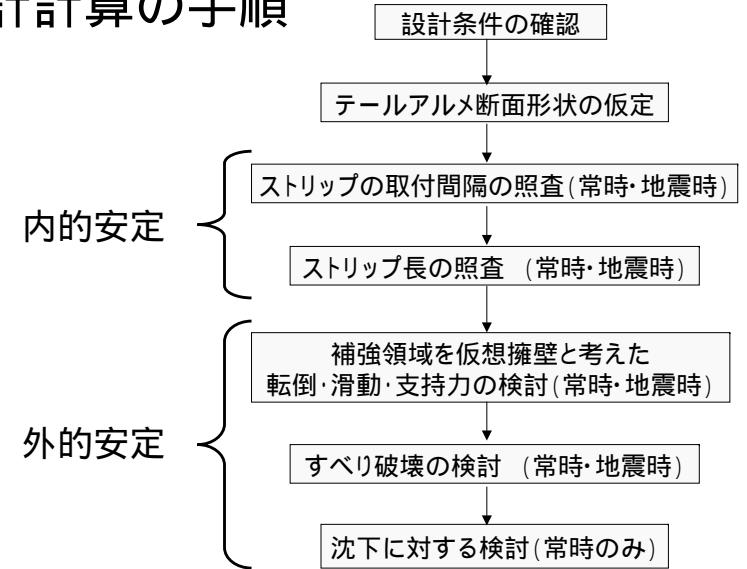
計算上ではすべりが侵入しない

岩の場合などは F_s が高くなる

配置間隔が大きいとすべり線が水平に横切る懸念がある

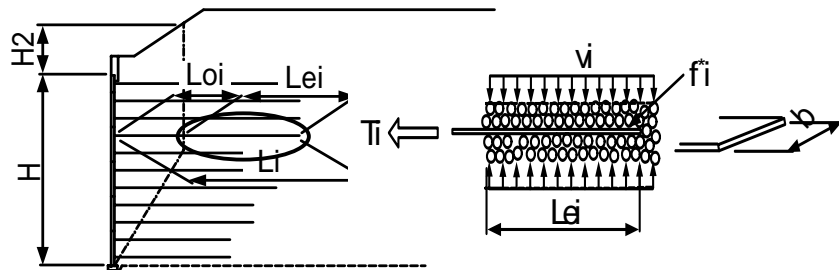


設計計算の手順



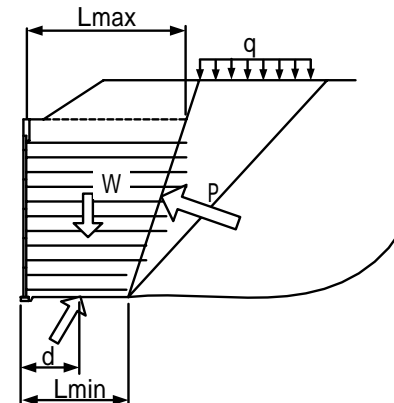
内的安定：ストリップ長

ストリップに作用する引張力に対して、ストリップが引抜けない所要ストリップ長を算出する。



外的安定：転倒

仮想的擁壁の背面から作用する土圧に対する転倒の検討を行う。



偏心距離の算出式

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

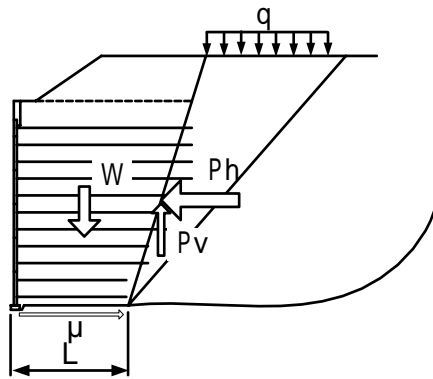
合力作用点算出式

$$d = \frac{\sum M_x - \sum M_y}{\sum V}$$

安定条件 常時 $e \leq L/6$
地震時 $e' \leq L/3$

基礎地盤が良好な場合は合力の作用位置が盛土側に生じることを許容する。

外的安定：滑動



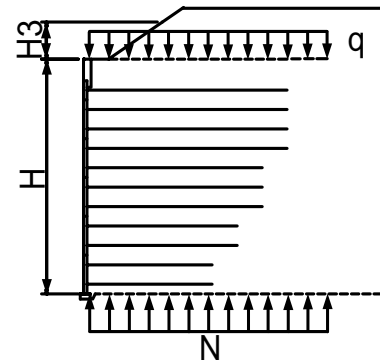
仮想的擁壁の背面から作用する土圧に対して、補強領域底面におけるせん断抵抗力との釣り合いを考慮して、所定の安全率を算出する。

$$F_s = 1.5(\text{常時}) \cdot 1.2(\text{地震時})$$

$$F_s = \frac{\mu \times (W1 + Pv1)}{H1}$$

外的安定：支持

盛土直下における支持力検討は、盛土荷重が均等に分布するものとして盛土自重と同程度の地盤反力に対して安定であることを確認する。

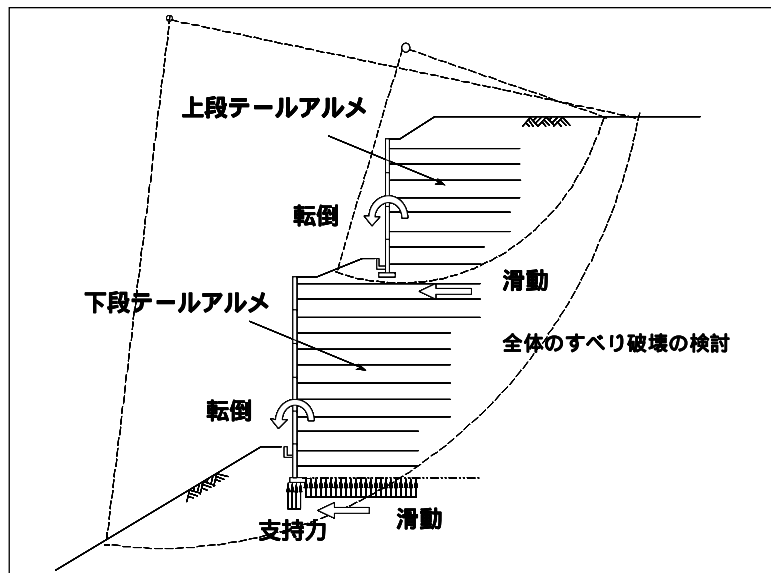


盛土直下に作用する地盤反力度の算出式

$$N_a = \gamma \times (H + H^3) + q \leq Q / F_s$$

$$F_s = 2.0(\text{常時}) \cdot 1.5(\text{地震時})$$

外的安定：全体すべり



3 . 盛土材と壁面変位

各種補強土壁工の盛土材規定

工法名	補強材	盛土材適用範囲	
		土質材料	岩石質材料
a) テールアルメ	帯鋼(ストリップ)	細粒分含有量 25%以下	最大粒径30cm以下, かつスレーキグ 率30%以下
b) 多数アンカー	アンカプレート 及びタイバ	細粒分含有量 50%未満, 及び シルト(ML)(MH), 粘性土(CL)	最大粒径は30cm 以下
c) ジオテキスタイル 補強土壁	ジオテキスタイル	細粒分含有量 50%未満	補強材が損傷する 恐れがあるので注 意が必要

盛土材の種類と壁面変位の関係



盛土材不良による
壁面の変状例
施工途中で5%の
前傾が発生

細粒分含有率が規
定外であった

各工法特性の確認

3種類の補強土壁の載荷試験

独立行政法人土木研究所; 第40回地盤工学研究発表会

目的: 補強土壁3工法を, 同条件の載荷試験により壁体の挙動を確認する。

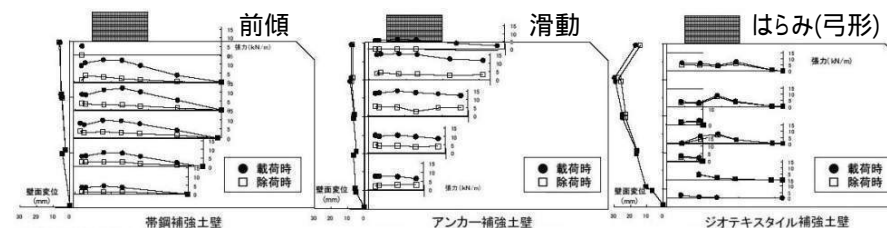


- ・補強土高さ: 4.5m, 幅: 3.0m
- ・壁面材: 同一壁面(3.2mm鋼板)
- ・設計: 各種設計・施工マニュアル
- ・盛土材料: 同一材料, 同一規格

各工法特性の確認

結果 : 壁面変位および補強材張力

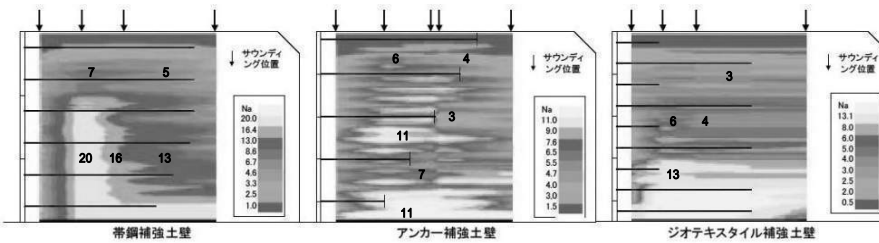
補強形式	変位	張力
帯鋼補強(鋼材)	小(6~8mm)	山形の増加傾向 除荷後張力増分減少
アンカー(鋼材)	小(6~8mm)	一様に増加傾向 除荷後張力増分減少
ジオテキスタイル	大(30mm程度)	山形の増加傾向 除荷後張力増分残留



各工法特性の確認

結果：補強効果増分の整理

補強形式	貫入抵抗（地盤硬度）	効果（載荷除荷後）
帯鋼	全般にわたり貫入抵抗大	補強材残留張力により補強材周辺の拘束効果増加
アンカー	支圧板の前後で差	補強材残留張力によりアンカープレート前後の拘束効果増加
ジオテキ	変形の大きな上部：小	補強材残留張力により変形の少ない下部の拘束効果増加

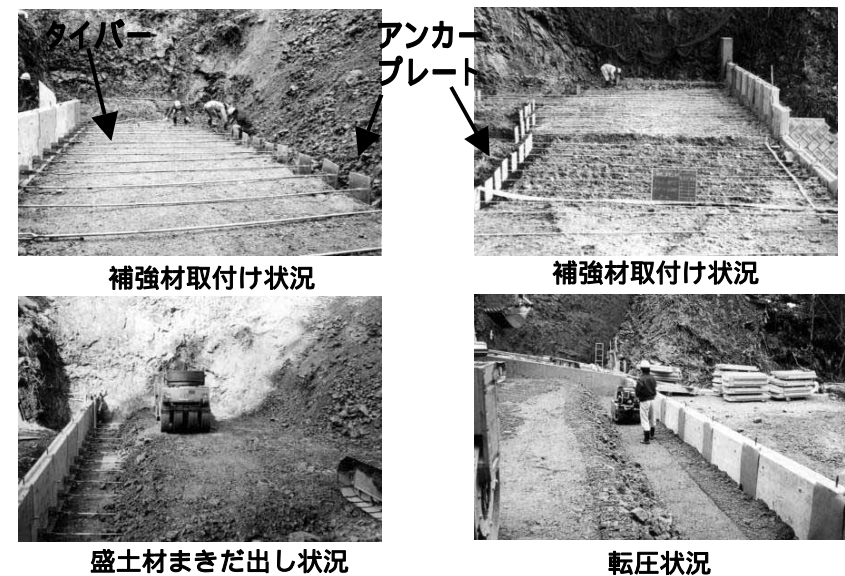


4. 補強土壁の施工

テールアルメの施工手順



多数アンカーの施工手順



ジオテキスタイルの施工手順



壁面材組立て状況



ジオグリッド取付け状況



仮止め杭施工状況



植生マット設置状況



検測状況



転圧状況



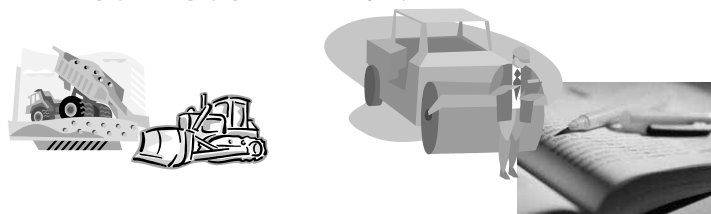
盛土材敷き均し状況



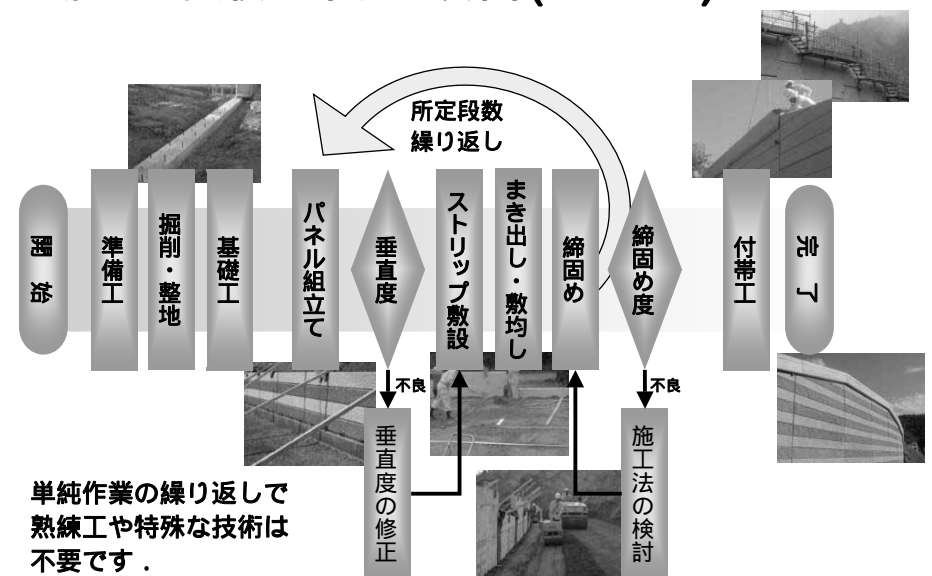
壁背面付近転圧状況

補強土壁では締固めが重要

- 基本は“盛土工事”である
- 盛土転圧の良否により出来形や安定性が左右される
- 盛土材の特性も重要



施工手順と管理項目(テルアルム)



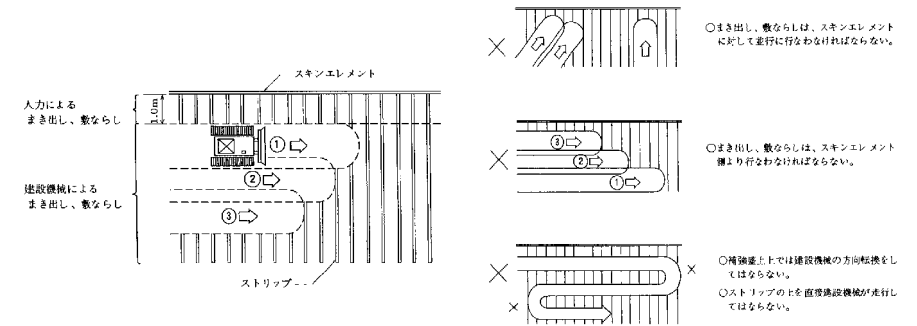
管理基準

品質および出来形管理

対象	項目	検査方法	許容差または管理値	頻度	備考
盛土材	締固め度	RI計器，または，砂置換 (JIS A 1214)により土の密度測定を行う。	JIS A 1210のA,B法による最大乾燥密度90%以上	盛土材 500m ³ に1回	現場単位体積重量試験による
壁面材	垂直度	トランシット，丁張り+水系，下げ振り，水準器などの器具を用いて垂直度を確認する。	±0.03H および 30cm以内	延長 30m毎	H：パネル部高さ

施工方法の遵守

まき出し・敷ならしの原則と禁止事項



壁面側からの施工が原則

禁止事項

マニュアルP165 ~ 168

盛土材のまき出し・敷ならし

Point ; ストリップ上に直接重機を走行させない



締固め・転圧

Point ; 壁面に影響が出ないように

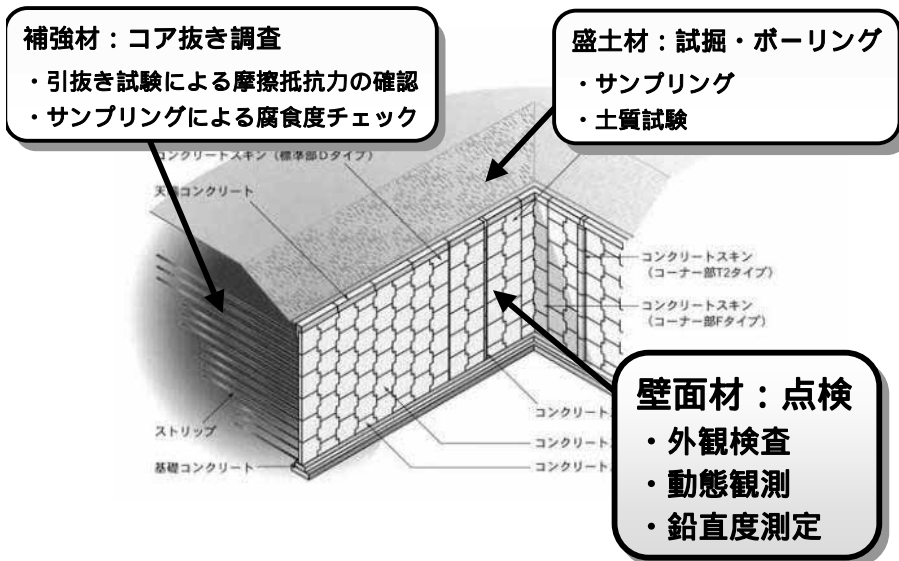


補強土壁の施工のまとめ

- 補強土壁は変形することにより安定する土構造物である。
- 締固めの良否が出来形に影響するため、細粒分の多い盛土材の使用は慎重に検討しなければならない。
- 変形量は盛土材の特性の他、補強材の材料特性も影響する。
- 各工法の特性を理解した上で、現地条件、施工条件に配慮した設計が重要。

5 . 維持管理について

点検項目と調査法

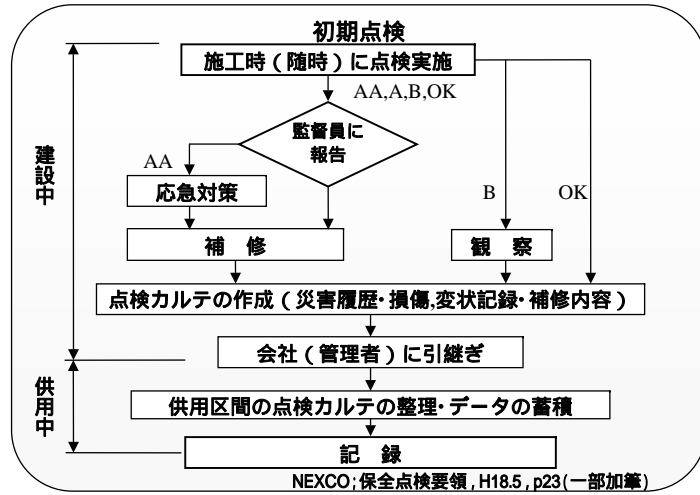


補強材（ストリップ）の点検



初期点検の重要性

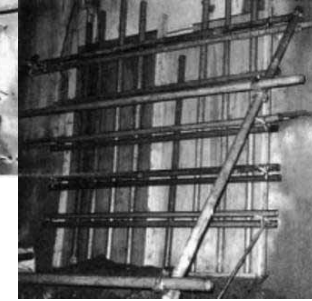
変位・変状はいつの時点のものか？



スキン補修事例 (中央自動車道上野原IC)



配筋状況

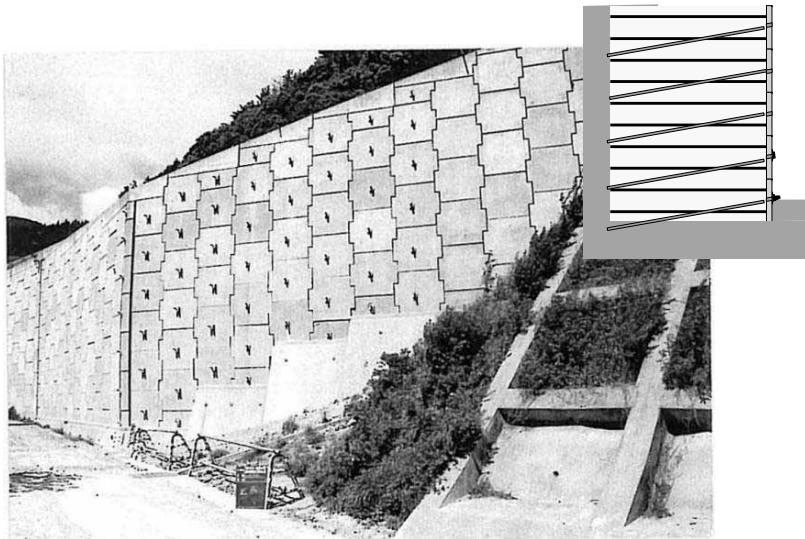


型枠設置状況



修復完了

地山補強土工による補強事例



アンカー工による補強事例



6. 工法の選定について

工法の選定のポイント

- 現場に適した工法
- 直接工事費の比較
- 維持管理の容易さ
- 施工実績
- 設計法，マニュアル遵守の確認

現場条件の整理

- 補強土壁が求められる機能
安全性，耐久性，耐震性，使用性，
景観性，環境性等
- 基礎地盤条件
- 盛土材条件
- 湧水，地下水等の条件
- 気象条件

壁面材の選定

- 現行設計法では壁面材は設計上反映されない。
- 耐久性からの選定
- 緑化 or シンボル性
- 維持管理からの選定
- 施工条件からの選定
- 重要度からの選定
- 経済性からの選定

補強材の選定

- 盛土材特性からの選定
 - 物理的特性, 電気化学的特性
- ジオグリッドの中での選定
 - 寸法, 強度特性, 伸びひずみ特性, 耐衝撃耐久性, 摩擦特性, 壁面材との接続部強度
- 耐久性, 施工性, 信頼性, 経済性からの選定

工法の絞込み

- 壁面材
 - コンクリートパネル, コンクリートブロック, 現場打ち, 鋼製枠
- 補強材
 - 帯鋼, アンカープレート, 格子状鉄筋, チェーン, ジオグリッド
- 壁面材 + 補強材

工法選定における技術上の問題点

- 発注者が何を重視しているかが重要であるが, コストのみになっている傾向が強い。
- 技術上の問題点
 - 現場での機能が明確になっていない
 - 工法毎に設計法が異なっている (= 安定性が異なる)
 - ライフサイクルコストの算出法が確立されていない
 - 工法を採用する立場の人が, 補強土壁全体の得失を把握していない。

本来あるべき工法選定のために

- 補強土壁工法を良く知ること
 - どのような工法があり, どのような特性を有するか?
- 補強土壁が現場で求められる機能を明確にする
 - 安全性 : 耐久性, 耐荷重性, 耐震性, 対火性等
 - 使用性 : 機能性, 快適性, 維持管理の容易性等
 - 施工性 : 生産性, 工事の安全性等
 - 景観性 : 周辺環境との調和, シンボル性等
 - 環境負荷低減性 : 消費性, 再利用性, 公害等
- 設置される現場条件の把握
 - 求められる機能の重要度 (高速道路と林道)
 - 調査の重要性
 - 基礎地盤状況, 盛土材状況, 周辺環境状況等

まとめ

- 補強土壁工法を大別すると3種類
 - テールアルメ工法
 - 多数アンカー工法
 - ジオテキスタイル工法
- 設計法は各々のマニュアルに従う
- 設置される現場条件を把握し、適性の高い工法を選定する事が重要

ご清聴ありがとうございました