2018年

被災事例から学ぶ補強土壁の設計・施工上の留意点

REECOM

株式会社　補強土エンジニアリング

被災事例から学ぶ補強土壁の設計・施工上の留意点

- 補強土壁工法の概要
- 現場で発生する問題点と設計・施工上の留意点

■ 補強土壁工法の概要

1. 補強土壁工法とは？

Reinforced　Concrete（RC）
鉄筋コンクリート

↕

Reinforced　Earth　（RE）
補強土

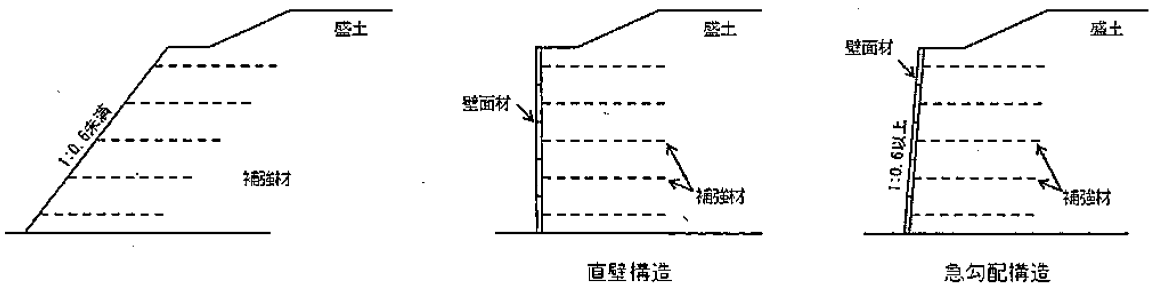
補強土壁は擁壁の一種

- ●コンクリート擁壁
- ●**補強土壁**
- ●軽量材を用いた擁壁
- ●その他の擁壁

※道路土工　擁壁工指針より

- **補強土**とは，盛土内に敷設された補強材と盛土材との間の引抜き抵抗力によって盛土の安定性を補い，標準ののり面勾配より急な盛土・擁壁構造を作る構造物である（擁壁工指針）。
  - 補強土壁：のり面勾配が**1：0.6**より急なもの
  - 補強盛土：のり面勾配が1：0.6とそれより緩いもの

補強土＝補強土壁＋補強盛土

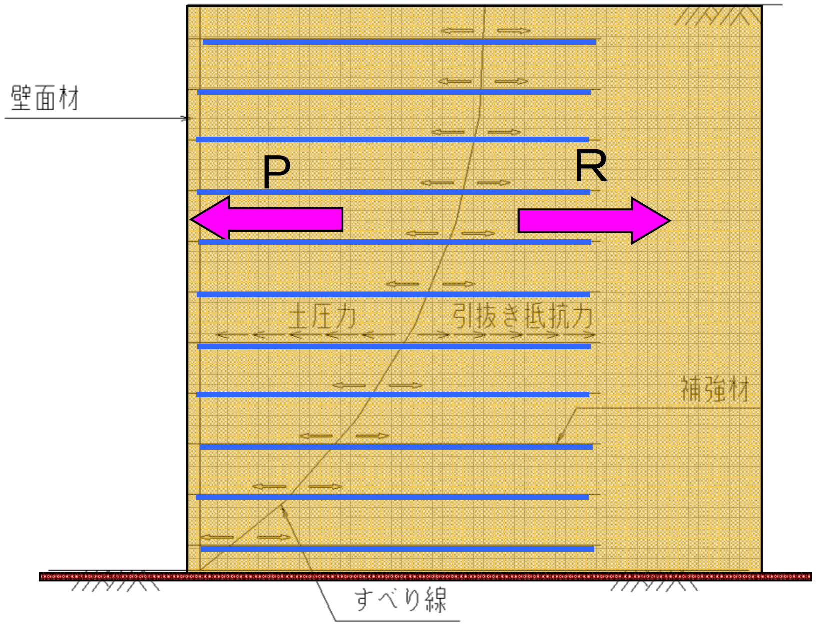


(a) 補強盛土　　(b) 補強土壁

- ## メカニズム

壁面材に作用する土圧力P
補強材の引抜き抵抗力R

土圧力P＜抵抗力R
補強材の引抜けに対する安全率＝R／P

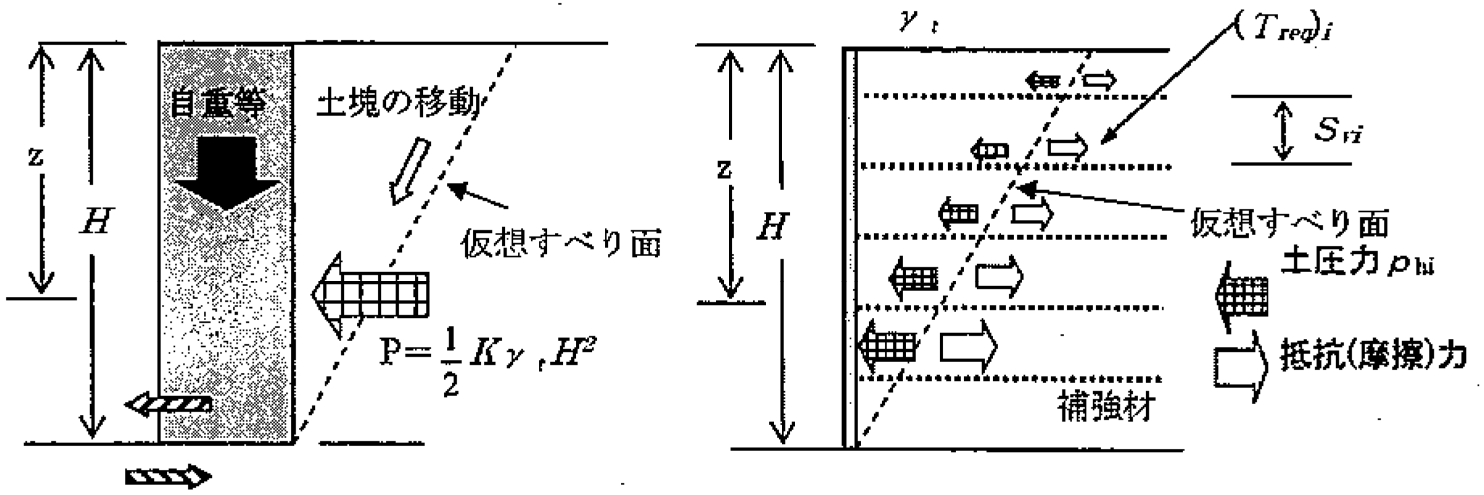


- ## 構成部材

壁面材＋補強材＋盛土材⇒補強土壁

■ 補強土壁とコンクリート擁壁の比較

- **補強土壁**：裏込め部に敷設された補強材と裏込め材との間の引抜き抵抗力によって，補強領域の安定を保つ形式の擁壁
- **コンクリート擁壁**：躯体自重または底版上部の土砂の重量などにより，土圧などの外力に対し抵抗する擁壁



（a）コンクリート擁壁　　（b）補強土壁

擁壁重量で土圧に抵抗

補強材引抜き抵抗力で土圧に抵抗

2. 補強土壁工法の特性

（コンクリート擁壁と比較して）

■ 長　所

- 垂直もしくは垂直に近い壁面を有する高い盛土が構築できる。
- 柔構造
  - ⇒基礎地盤の多少の不同沈下にも追随できる
- 部材は工場製品
  - 品質面での信頼性は高い。また，プレハブ工法であるので，工期短縮と省力化が可能である。
- 施工は簡単
  - 特殊技術は必要でない。
- 壁面緑化が可能である。
- 耐震性に優れている。
- 経済的である。

■ 短　所

- 壁背面盛土中に補強材が敷設されるため，用途は制限される。
- 使用できる盛土材は限定される。
- （柔構造であるため）壁面が変形しやすく，外観上不安定感を与える場合がある。
- 長期間による使用実績がない。
- 補修が難しい。

3. 補強土壁工法の歴史

※ 1300年前に造成された奈良県明日香村の高松塚古墳は，補強材にムシロを使用した補強盛土であった。（当時としては大陸から渡来した最先端技術であった）。

- 国内導入前（～1971年）
  - 1963年：フランスでテールアルメ工法が開発
  - 1967年：テールアルメ工法が国内に紹介される。
- 国内導入期（1972年～1982年）
  - 1972年：テールアルメ工法の国内初施工（山梨）
  - 補強土壁工法＝テールアルメ工法の時代
- 国内発展期（1983年～現在）
  - 1983年：多数アンカーが初施工（山口）
  - 1984年：ジオテキスタイル補強土壁が初施工（鹿児島）
  - 1987年：RRR工法が初施工（大阪）
  - 1990年：ワイヤーウォール工法が初施工（兵庫）
  - 現在，40種類近くの補強土壁が開発・施工されている。

4. 補強土壁工法の種類

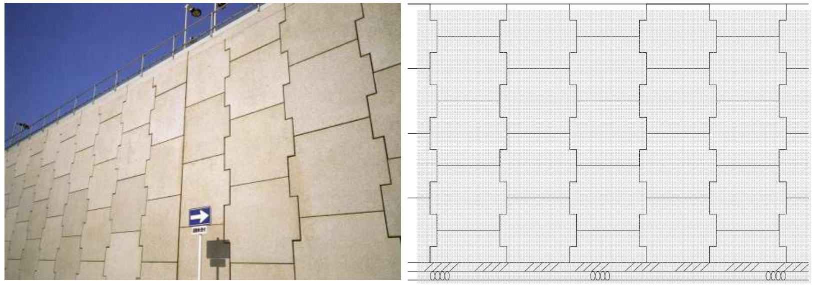
壁面材		補強材	工法名
コンクリート製	コンクリートパネル	帯状鋼製補強材(ｽﾄﾘｯﾌﾟ)	テールアルメ，テールアルメA3，スーパーテールアルメ
		アンカープレート及びタイバー	多数アンカー，TUSS，FILL WALL工法，アーチウォール，バーチカルウォール
		ジオテキスタイル	アデムウォール，ジオパネル，PF，ハイビーウォール，テンサーVIG，**テールアルメGS**
		鋼製チェーン	VWC
	現場打ちｺﾝｸﾘｰﾄ	ジオテキスタイル	RRR（スリーアール）
	コンクリートブロック	ジオテキスタイル	ジオブロック，キーストーン，セレクトストーン，ab擁壁
		アンカープレート及びタイバー	レコウォール
鋼製	鋼製枠	帯状鋼製補強材(ｽﾄﾘｯﾌﾟ)	緑化テールアルメ（テラトレール，テラヴェール）
		格子状鉄筋	ワイヤーウォール
		アンカープレート及びタイバー	スーパーレクサー
		鋼製チェーン	スリットウォール，チェーンウォール
		エキスパンドメタル	スーパーブロック･イン
		ジオテキスタイル	テンサー，アデム，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，パラグリッド，パワーグリッド，テナックス

5. 壁面材の種類と特性

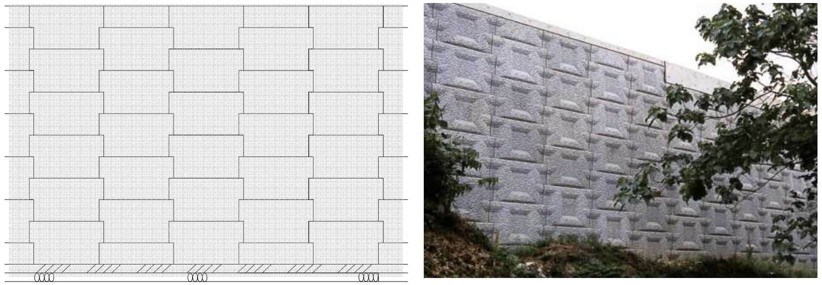
■ **壁面材**は，裏込め材の崩落･こぼれ出しを防ぐとともに，土中に敷設された補強材と連結することにより，補強材と一体となって裏込め材を拘束し，補強効果を発揮する役割を果たしている。

壁面材	特　性	問題点及び対策
コンクリートパネル	･安定感がある ･重要構造物に使用される ･垂直壁が多い ･施工実績が多い	･壁面変形（前倒れ） ･盛土材圧縮沈下時の連結部破断 ･良質な盛土材の使用
現場打ちコンクリート	･鉄道での実績がほとんど ･壁面変形は少ない ･壁面勾配は1:0.05	･二重壁構造 ･施工性は悪い ･割高のため道路での実績が少ない
コンクリートブロック	･外観は良好 ･壁面勾配は垂直～1:0.1 ･海外実績は多いが，国内実績は少ない	･コンクリートパネルと同じ問題
鋼製枠	･**壁面緑化が可能** ･安定感に乏しい ･**壁面勾配1：0.2～0.5**	･壁面変形（圧縮） ･耐久性に乏しい ･良質な盛土材の使用

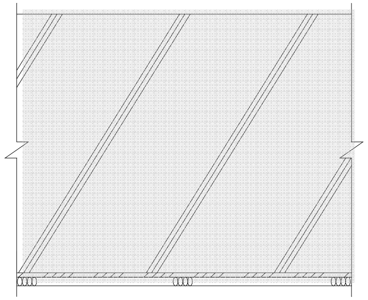
代表的な壁面材



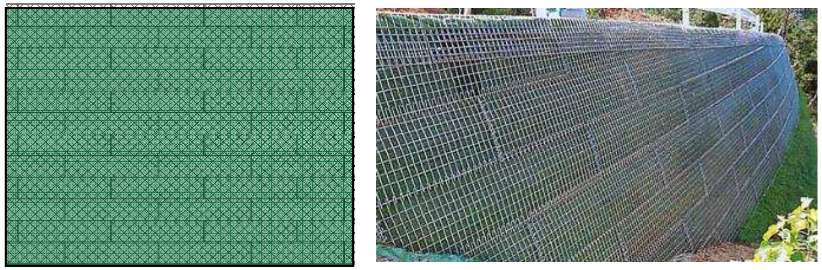
ａ）コンクリートパネル（１）



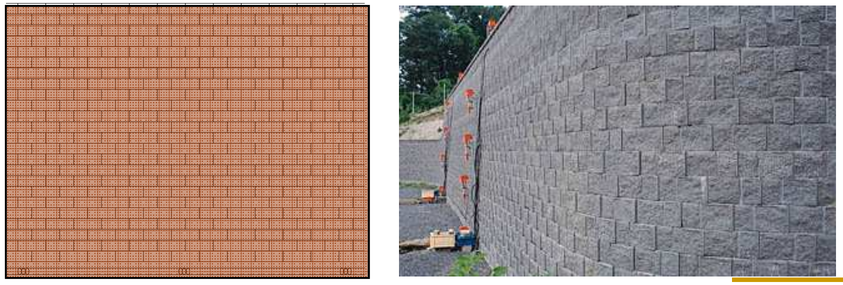
ｂ）コンクリートパネル（２）



ｃ）現場打ちコンクリート



ｄ）鋼製枠



ｅ）コンクリートブロック

6. 補強材の種類と特性

■ 補強材は，十分な引張り強度と高い伸び剛性，施工性，一般的な土中環境下における長期間の耐久性，環境適合性などの性能を満足する品質，並びに裏込め材との間で十分な引抜き抵抗力を発揮できる寸法・形状を有していなければならない。

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

注）上記の他に鋼製チェーン補強材もあるが施工実績は少ない。

代表的な補強材 ―リブ付ストリップ

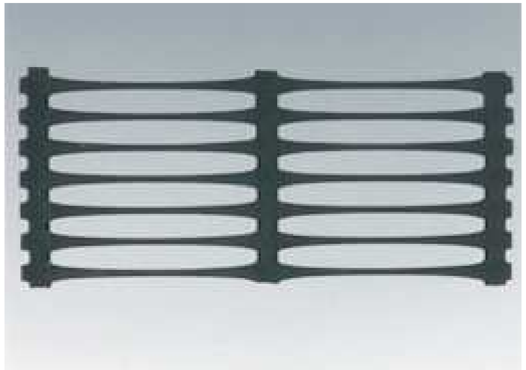
幅:6cm, 8cm

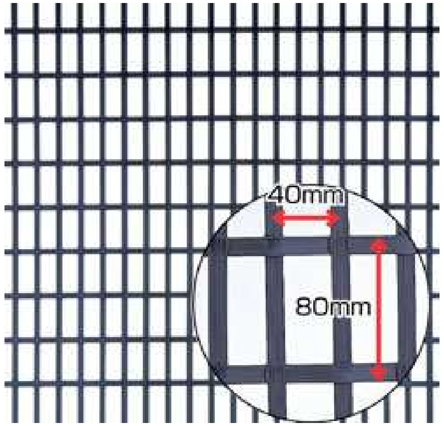
厚:0.5cm, 0.4cm

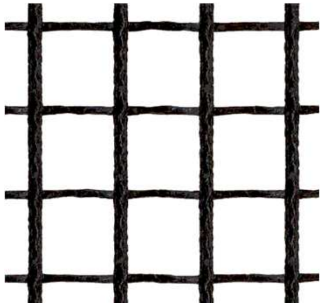
代表的な補強材ーアンカープレート及びタイバー

支圧板:0.3m×0.3m(標準)

代表的な補強材ージオテキスタイル

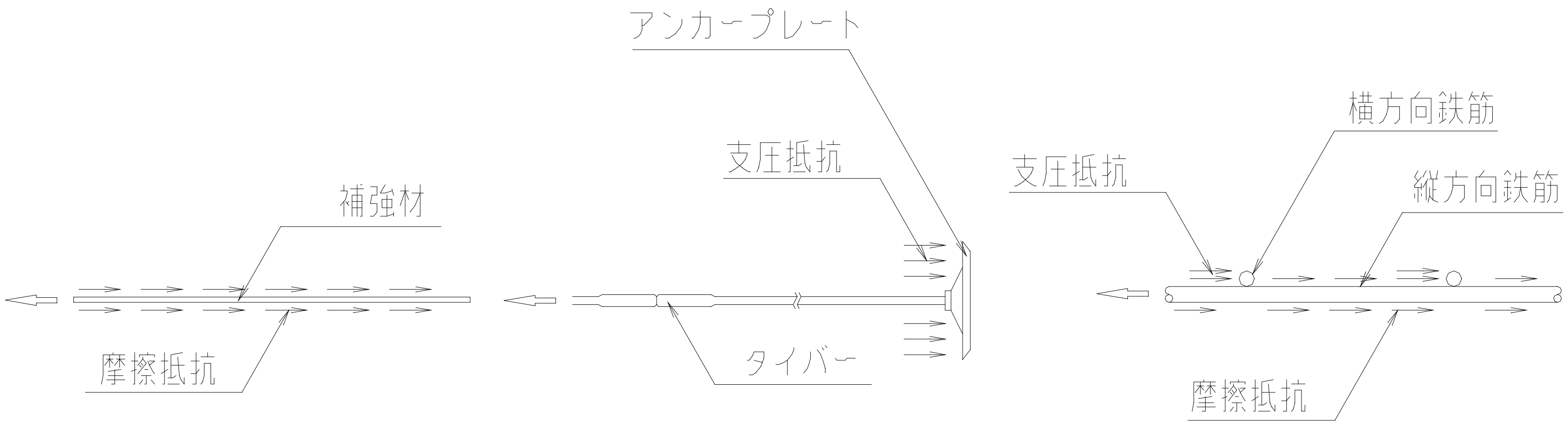






代表的な補強材ー格子状鉄筋

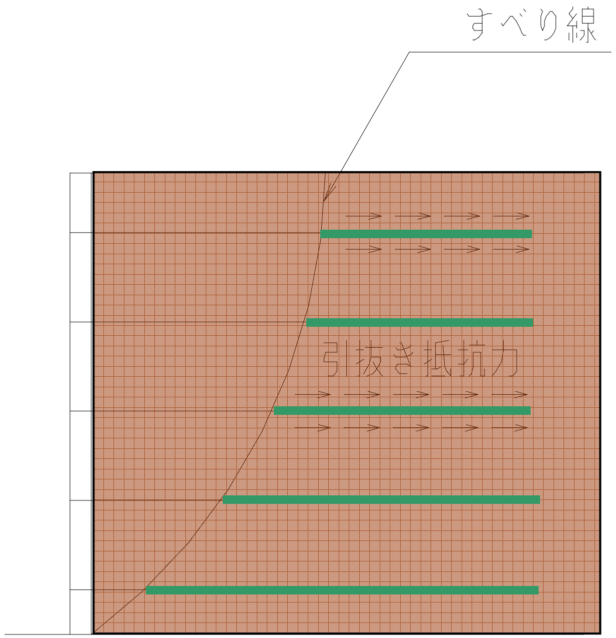
補強材の補強方式

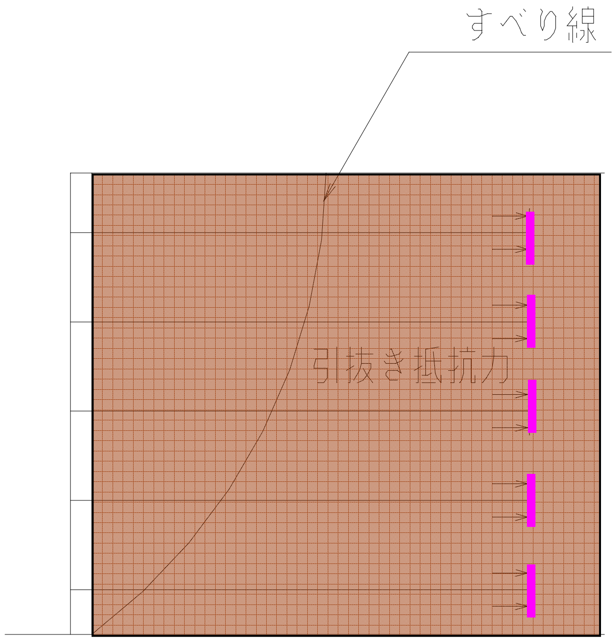


a)摩擦抵抗方式	b)支圧抵抗方式	c)（支圧＋摩擦）抵抗方式

（ストリップ，ジオテキスタイル）　（アンカープレート）　（格子状鉄筋）

補強材の定着方式





a)線状定着方式	b)先端（末端）定着方式
★抵抗力は定着長に比例する	★抵抗力は支圧板面積に比例 定着長には関係ない

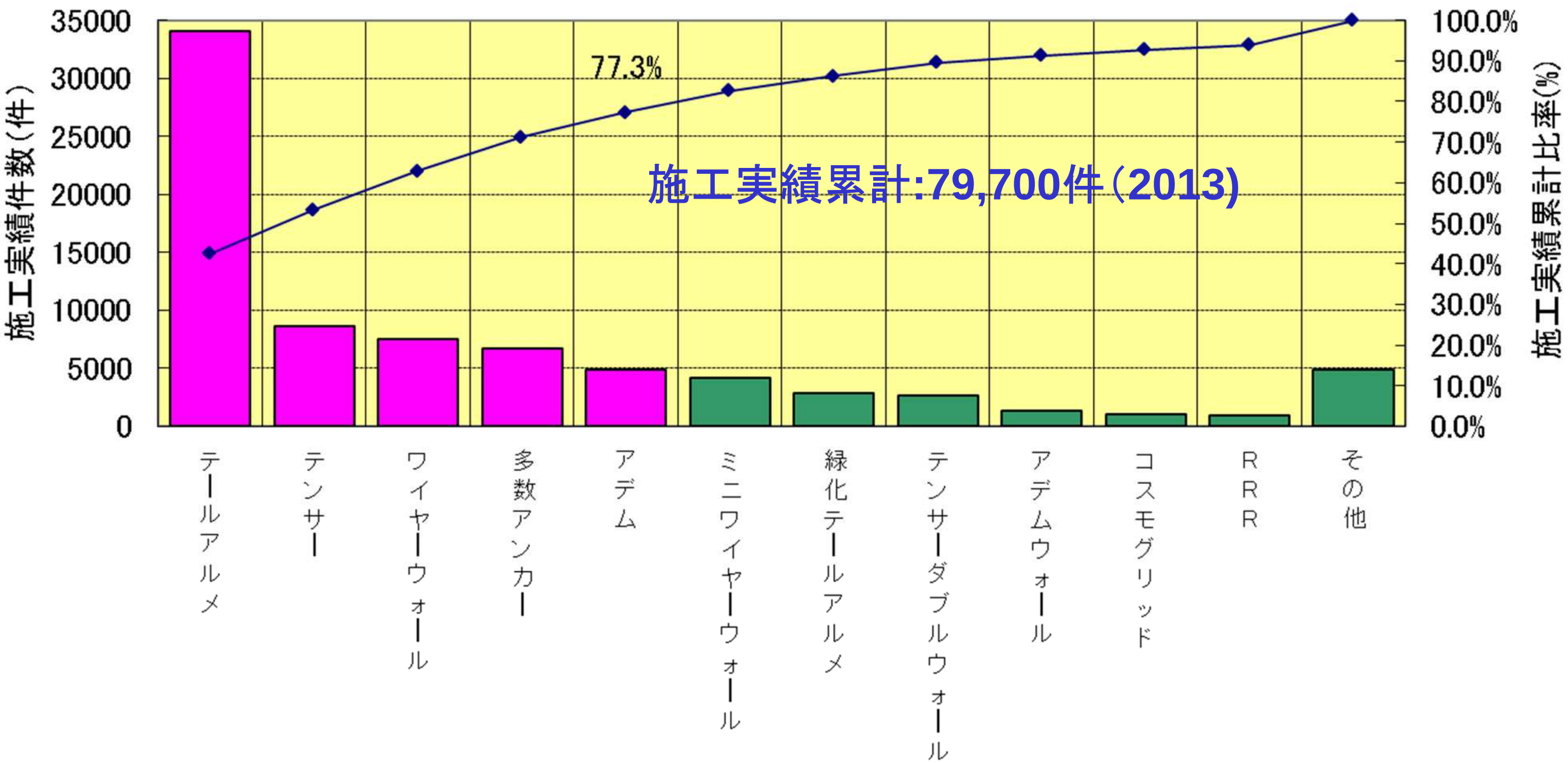
補強材別盛土材の適用範囲

（設計・施工マニュアルによる）

補強材	工法名	盛土材適用範囲	
		土質材料	岩石質材料
帯鋼（ストリップ）	テールアルメ，A3，スーパーテールアルメ，緑化テールアルメ	細粒分含有量は**25%**以下	最大粒径25cm以下，かつスレーキング率30%以下
ジオテキスタイル	ジオテキスタイルを用いた補強土壁	細粒分含有量は**50%**未満	基本的には使用できるが，スレーキング，最大粒径，補強材の損傷に留意
アンカープレート及びタイバー	多数アンカー	細粒分含有量は**50%**未満	最大粒径は25cm以下，かつスレーキング率や破砕率が高い材料は使用しない
格子状鉄筋	ワイヤーウォール	細粒分含有量は**35%**以下	最大粒径30cm以下，かつスレーキング率30%以下

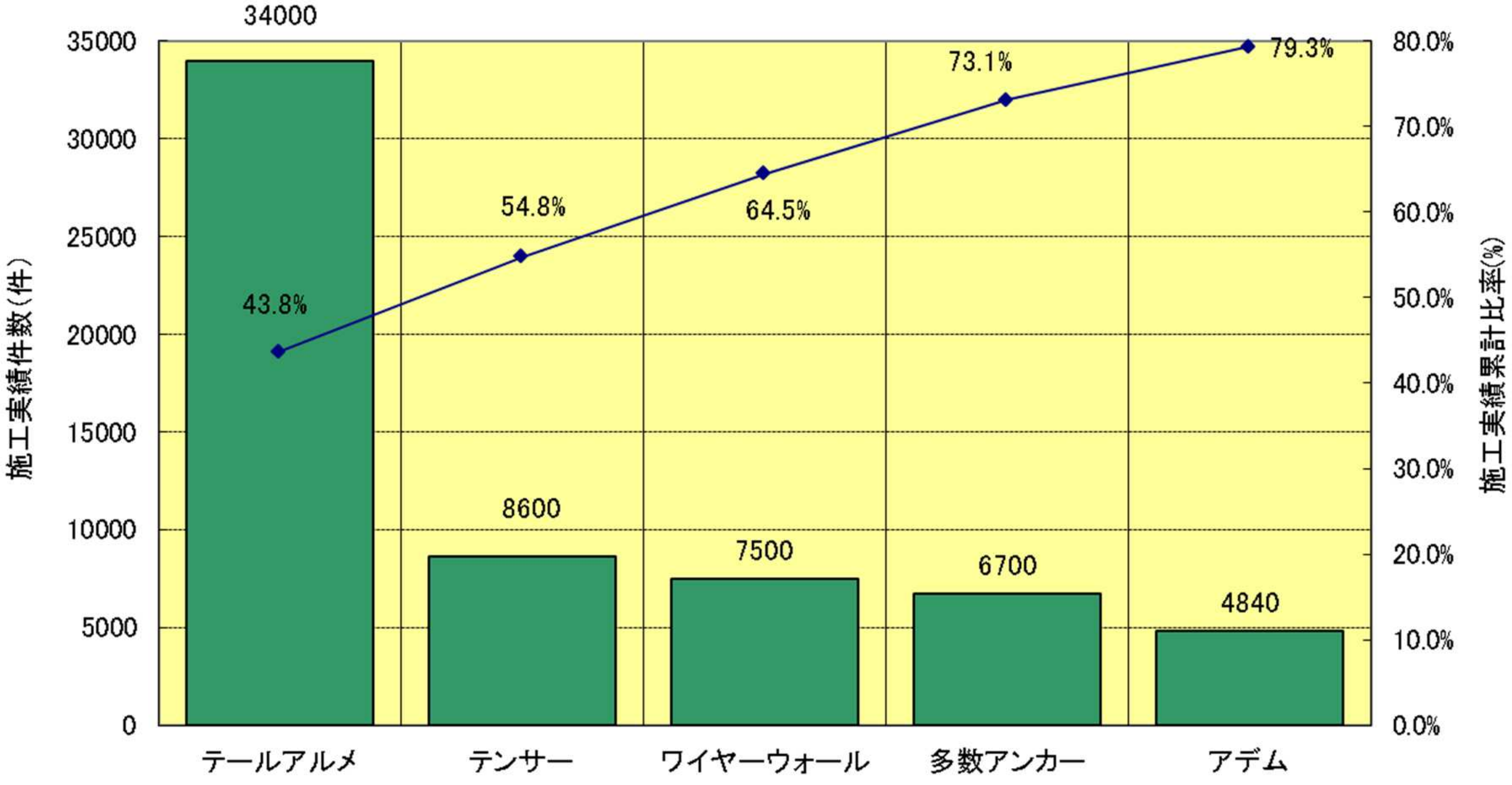
★ジオテキスタイル補強土壁や多数アンカーでは，マニュアルに定められた盛土材適用範囲内でも細粒分含有量が多い盛土材を使用すると，大きな壁面変位が発生するので注意が必要である。

7. 補強土壁工法の施工実績件数



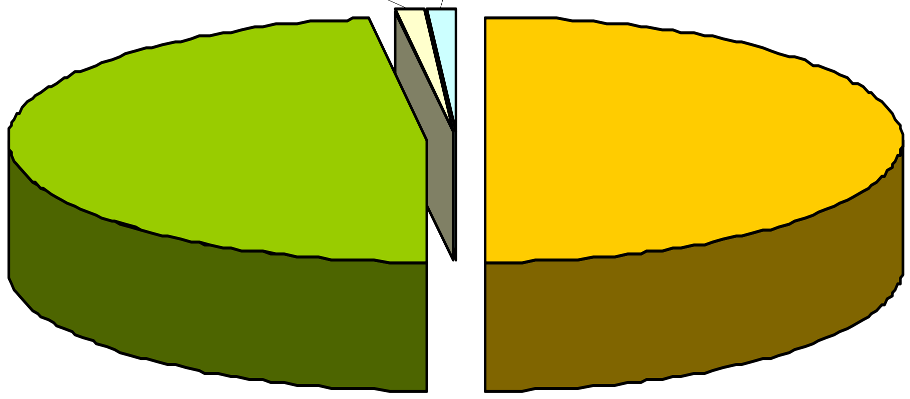
※補強土壁の施工実績壁面積は累計で約2,000万m²(2014年現在)

上位５工法の施工実績件数

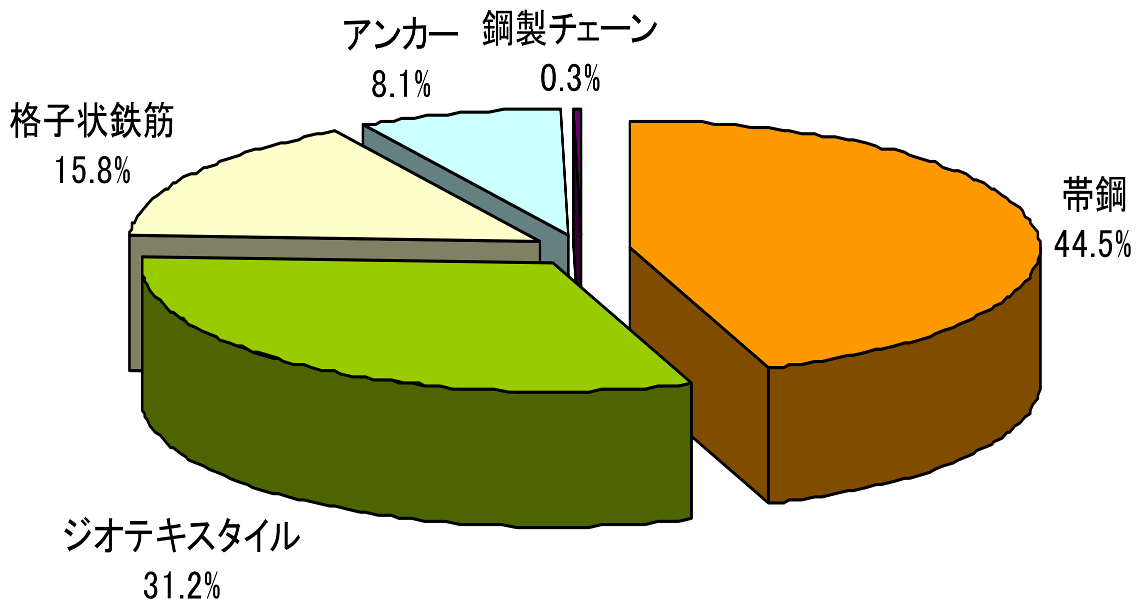


★上位5工法の施工実績累計は全体の77.3%を占める。（総計79,700件）

壁面材別施工実績比率



補強材別施工実績比率



■ 補強土壁工法の施工写真

テールアルメ工法（2段積）　東海北陸道飛騨河合PA

テールアルメ工法 （高知県）

多数アンカー工法　第二京阪道路(大阪府)

多数アンカー工法（岡山県）

アデムウォール（福岡県）

アデムウォール（斜壁）（沖縄科学技術大学院大学）

タス工法（岐阜県）

ジオパネル（鹿児島県）

ジオテキスタイル補強土壁工法（テンサー）

ジオテキスタイル補強土壁工法（アデム）

ワイヤーウォール工法（H=30m）（愛知県）

テールアルメ橋台（フランス　ニース）

テールアルメ工法（アメリカ　シアトル　タコマ国際空港)

現場での問題点と
設計・施工上の留意点

REECOM

株式会社　補強土エンジニアリング

1. 現場で発生する問題点(変状)

- 補強土壁は,施工中はもちろん完成後もある程度の変形を伴うことがある。
  - **補強効果を発揮するためにはある程度の変形が必要**
- 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を生じることはない。
- 大きな変形・変状が発生すると問題となる。

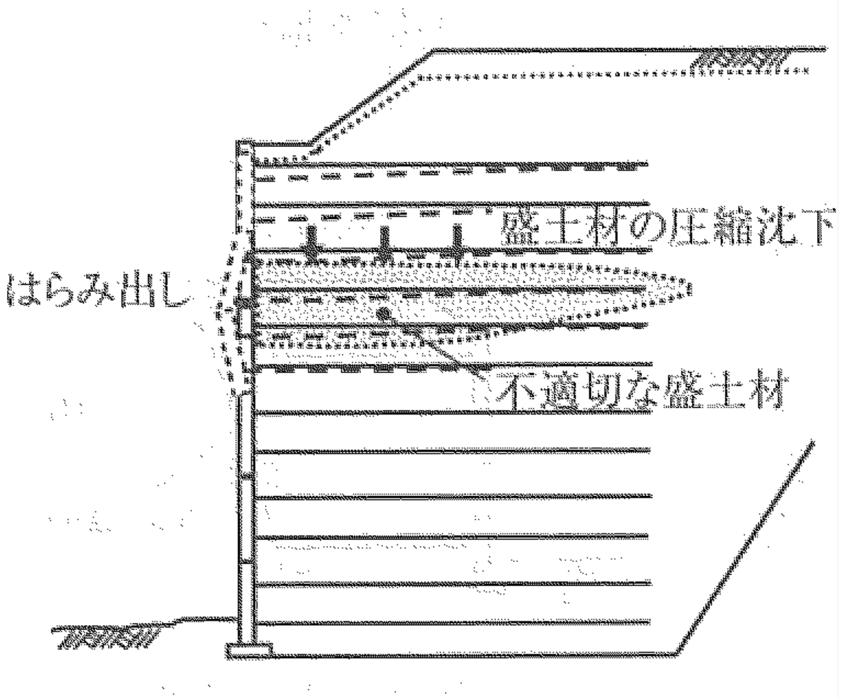
補強土壁の変状要因

(1)使用盛土材に起因する変状
(2)盛土材の締固め不足に起因する変状
(3)基礎地盤に起因する変状
(4)水に起因する変状
(5)地震動に起因する変状
(6)凍上による変状

(1)使用盛土材に起因する変状

- 細粒分が少なく，せん断強度の高い盛土材
  ⇒変状は小さい。

- 細粒分が多く，せん断強度の低い盛土材
  ⇒変状は大きい。



マニュアルに定められた盛土材適用範囲

工法名	補強材	盛土材適用範囲	
		土質材料	岩石質材料
テールアルメ	帯鋼(ｽﾄﾘｯﾌﾟ)	細粒分含有量は25%以下	最大粒径25cm以下，かつｽﾚｰｷﾝｸﾞ率30%以下
ジオテキスタイル補強土壁	ｼﾞｵﾃｷｽﾀｲﾙ	細粒分含有量は50%未満	基本的には使用できるが，スレーキング，最大粒径，補強材の損傷に留意
多数アンカー	ｱﾝｶｰﾌﾟﾚｰﾄ及びﾀｲﾊﾞｰ	細粒分含有量は50%未満	最大粒径は25cm以下，かつスレーキング率や破砕率が高い材料は使用しない

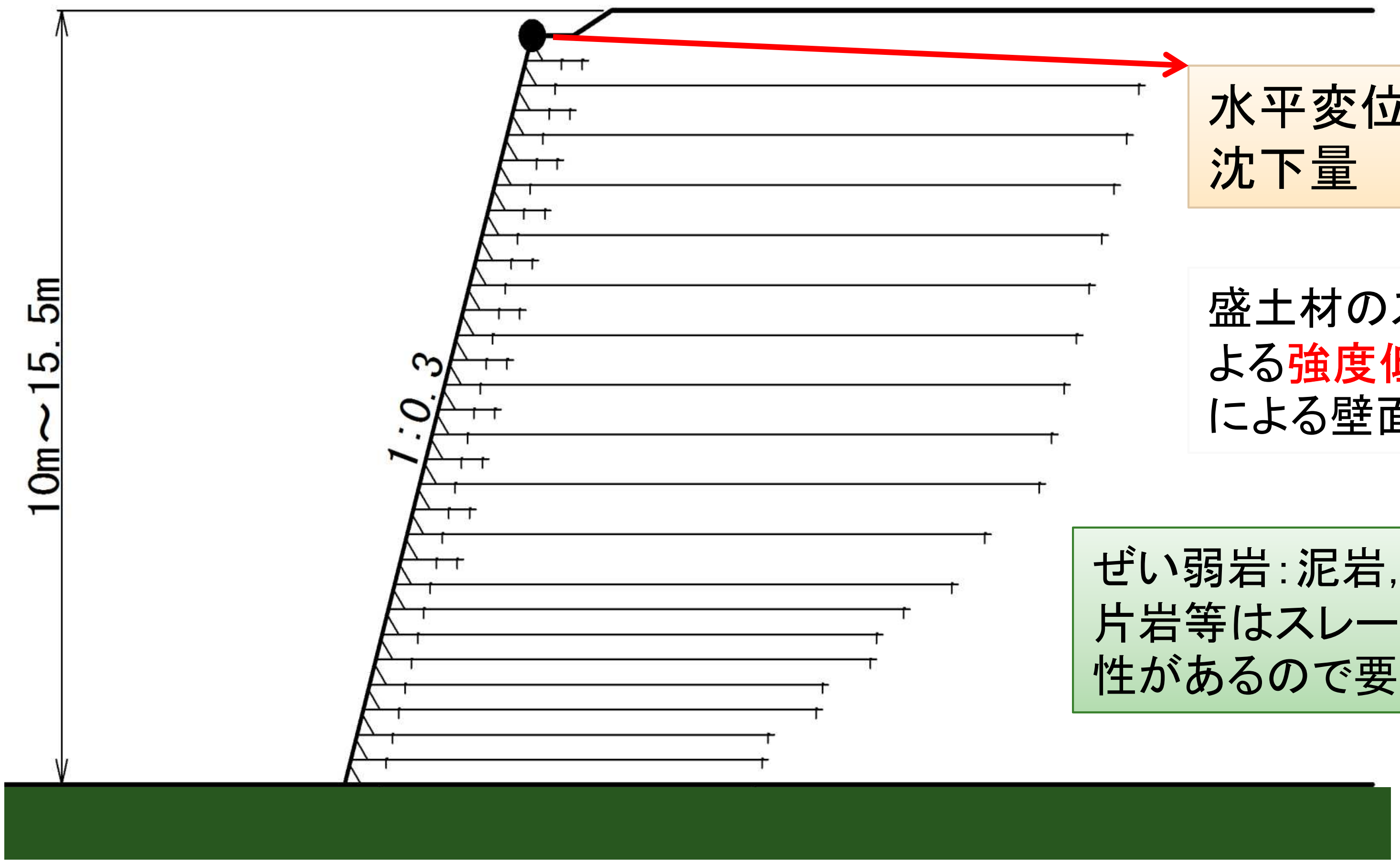
★盛土材適用範囲と壁面変位の関係は明確になっていない。

★マニュアルに定められた盛土材適用範囲は，壁面変位を考慮すると広すぎる。

細粒分含有量が多い盛土材を使用すると壁面変位は大きくなる。

スレーキングする盛土材を使用した補強土壁の壁面変位

※スレーキング率100%の泥岩を使用した補強土壁の完成後4年半後の壁面変位



水平変位：**52～63cm**
沈下量　：**32～40cm**

盛土材のスレーキングによる**強度低下と圧縮沈下**による壁面変位

ぜい弱岩：泥岩，頁岩，凝灰岩，片岩等はスレーキングする可能性があるので要注意

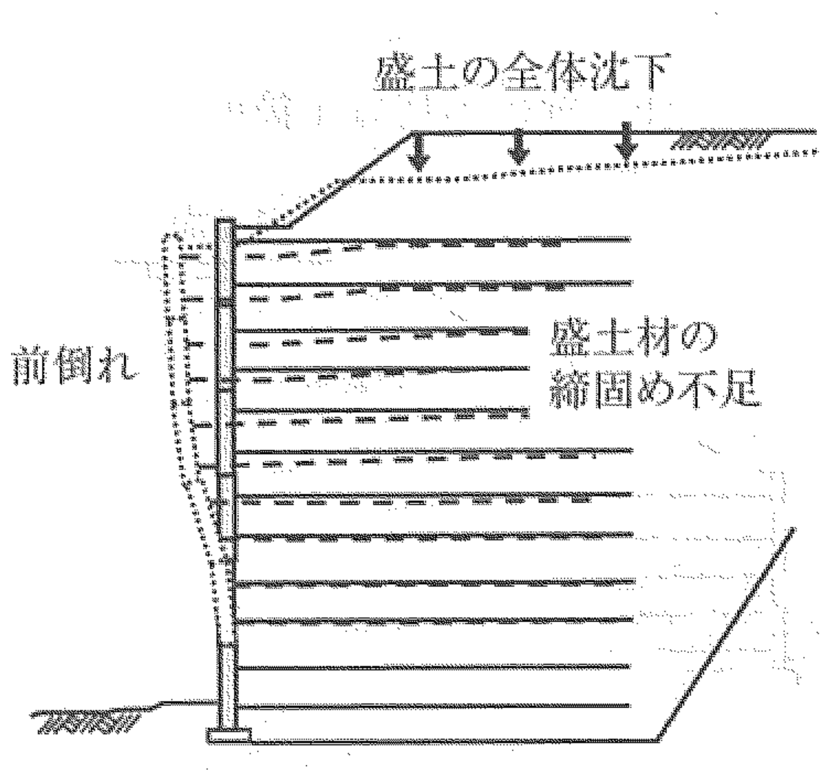
(2)盛土材の締固め不足に起因する変状

- 盛土材の締固め不足のような不適切な施工

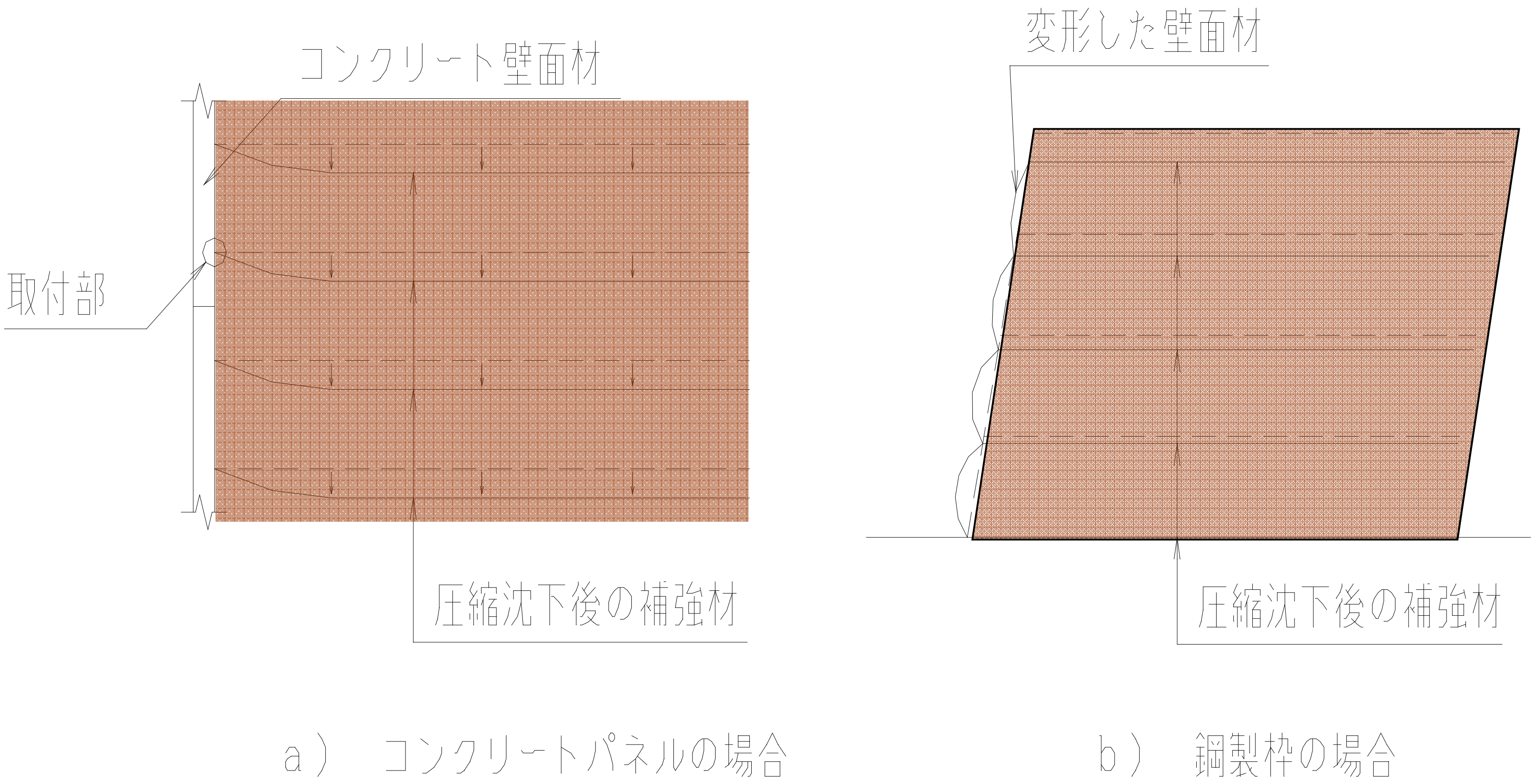
  ⇒補強材の引抜き抵抗力不足や圧縮変形

  ⇒壁面の前倒れや盛土の沈下

  ⇒壁面材の破損，補強材の破断等により補強土壁が崩壊することもある。



盛土材の圧縮沈下が大きい場合

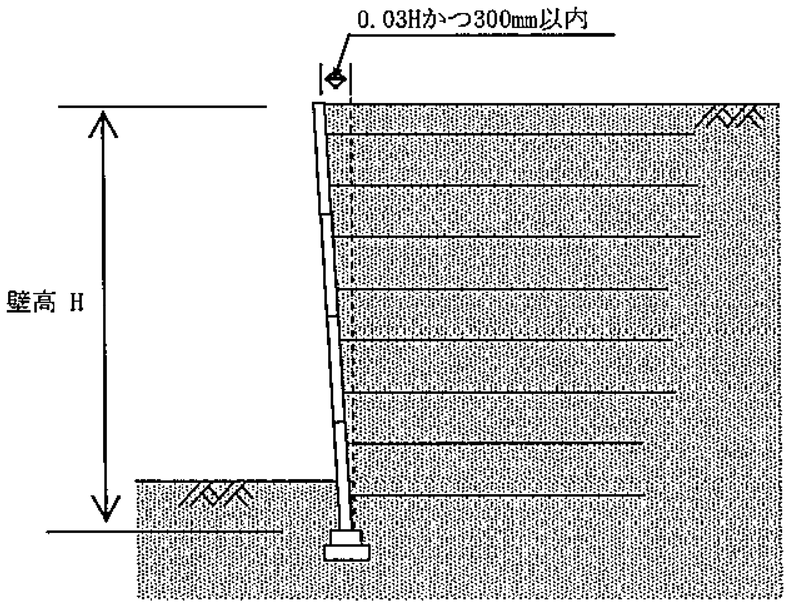


★壁面材と補強材との連結部が破断するおそれがある

★壁面材の圧縮変形により見栄えが悪くなる

壁面工の出来型管理基準値
（マニュアルによる）

鉛直の壁面工の場合	勾配を有する壁面工の場合
・鉛直度±0.03H （H：補強土壁高さ） もしくは30cm以内 ・パネル相互間の目違い1cm以内	・鉛直度±0.03H （H：補強土壁高さ） もしくは30cm以内

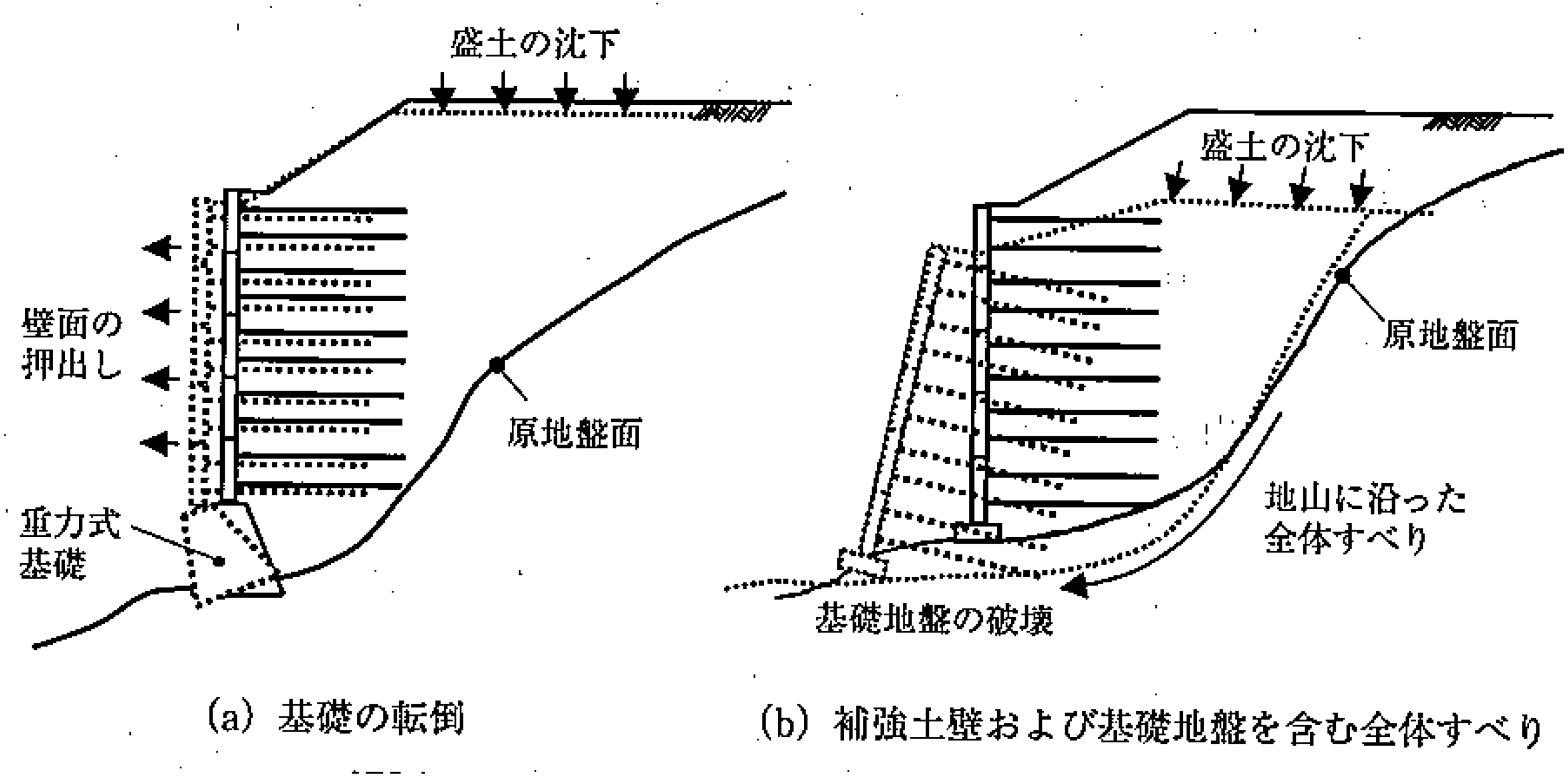


(3)基礎地盤に起因する変状

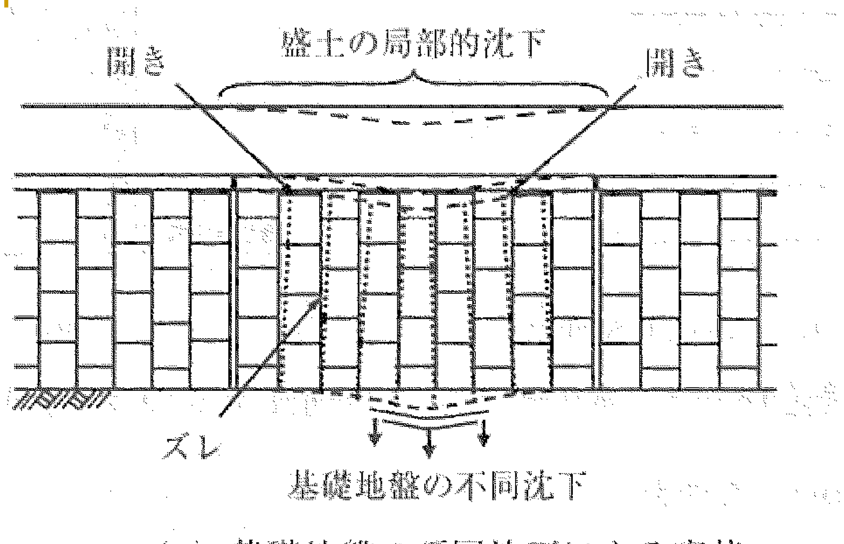
- 地盤調査や施工時の基礎地盤の確認が不十分な場合

⇒基礎地盤の支持力やせん断強さの不足

⇒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が生じることがある。



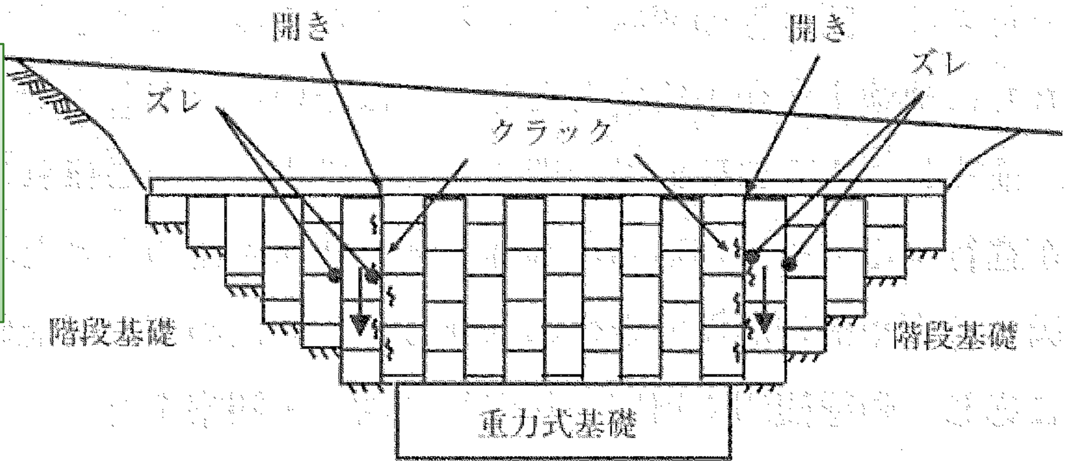
基礎地盤に起因する変状



(a) 基礎地盤の不同沈下による変状

また，基礎形式の違いにより，不同沈下に対応できず，壁面材の開きやズレ及びクラック等の変状を伴うことがある。

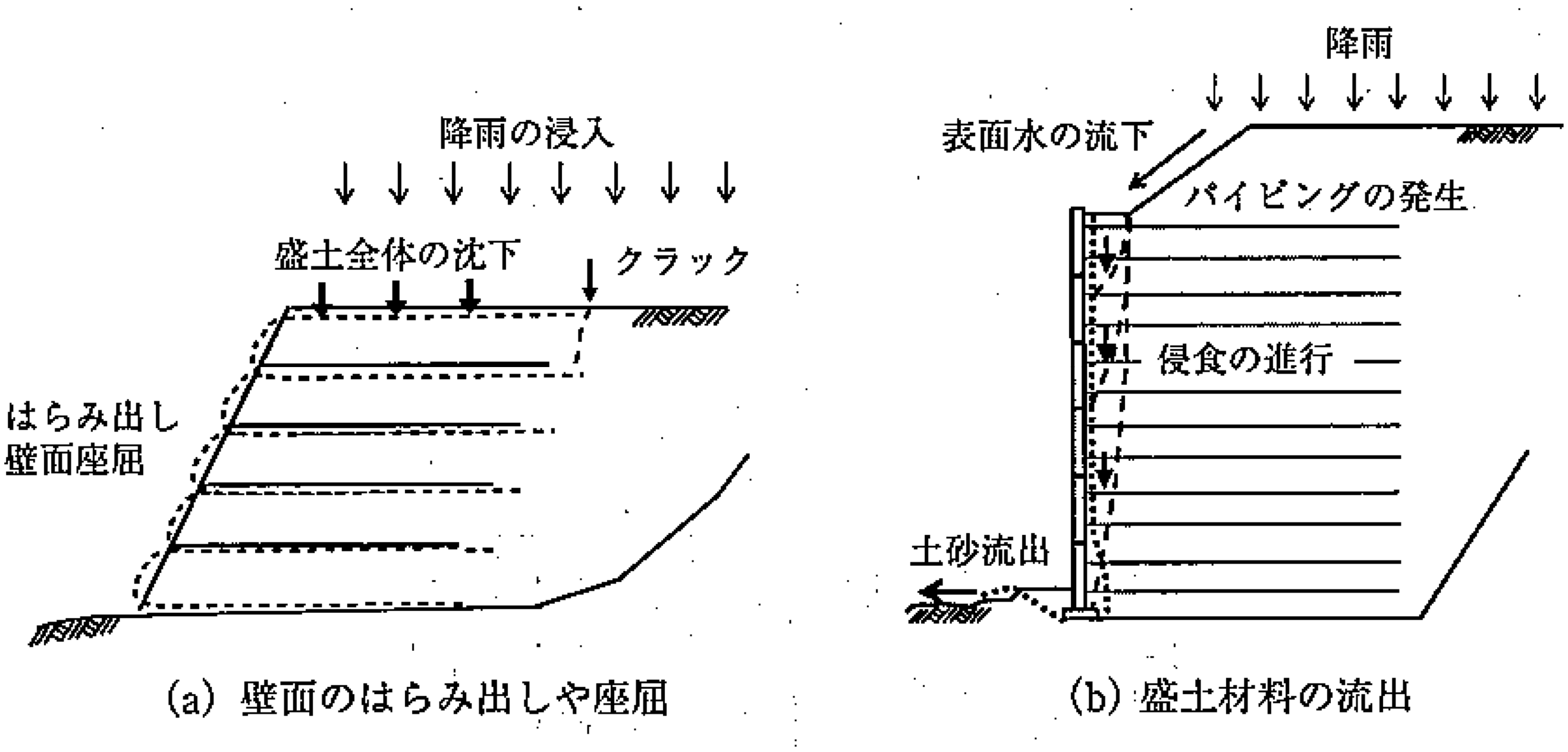
大きな変状に至らないまでも，基礎地盤の不同沈下に伴う壁面材の開きやズレ，前倒れ等が生じることがある。



(b) 基礎形式の違いによる変状

(4)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，盛土材の流出が生じる。
  - 特にまさ土・山砂・シラスの場合
- その結果，壁面のはらみ出しや座屈等の変状が生じたり，崩壊に至ることがある。
- **水に起因する変状・崩壊が最も多い。**



水の浸入による補強土壁の変状事例

水の浸入により崩壊や盛土材が流失した補強土壁

崩 壊 年月日	場 所	崩壊前の日降水量	備 考	崩壊形態
1993.7.29	広島県	170mm	過去40年で1位 前日に127mm	まさ土＋水の浸入⇒盛土材流出
1993.8.6	鹿児島県	260mm	過去133年で3位	シラス＋基礎の洗掘⇒盛土材流出・崩壊
1995.7.4	熊本県	224mm	過去40年で6位。スレーキング材。	水の浸入⇒すべり破壊
1995.7.5	滋賀県	231mm	過去40年で1位	地すべり地＋水の浸入⇒崩壊
2004.10.21	兵庫県	226mm	過去40年で2位	水の浸入（集中的）⇒崩壊
2006.7.18	石川県	170mm	過去40年で4位 前日に100mm	水の浸入⇒崩壊

記録的な大雨について

●毎年のように各地で記録的な大雨による風水害が発生

⬇

その要因の一つは**地球温暖化**の影響と言われている

⬇

2016年の日本の年平均気温は過去最高　⇒　今後も記録的な大雨が発生しやすい状況が続く

●気象官署における気象観測記録は，長くても**140年**。

全国に展開されているアメダス観測点の記録は**40年程度**しかない。

過去の最大雨量を超える大雨があったとしても，それがその地域で想定すべき最大雨量とは言えない場合が多い。

ex.滋賀県彦根市で1896年9月7日に記録した日雨量596.9mmは，2位の記録の3倍に達する極めて異常な大雨であった。この大雨は数千年に一度起こる程度の異常なものと言える。

★過去の最大雨量の2倍程度の大雨への対応は必要では？

平成２９年７月九州北部豪雨の場合

平成29年7月5日から6日にかけて，福岡県と大分県を中心とした九州北部で発生した集中豪雨。
その結果，多くの土砂災害とともに40名近くが犠牲となった。

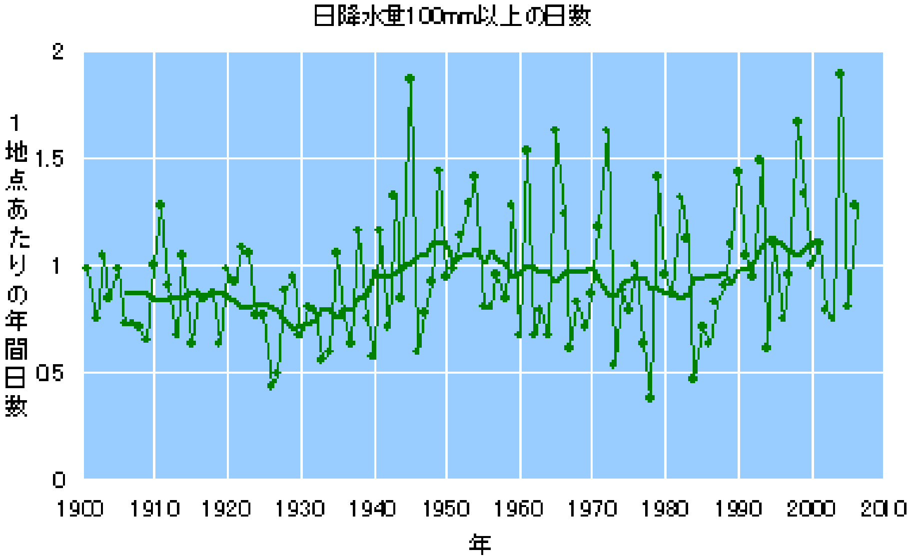
福岡県朝倉市における７月５日の日降水量は516.0mm（観測史上最大）。

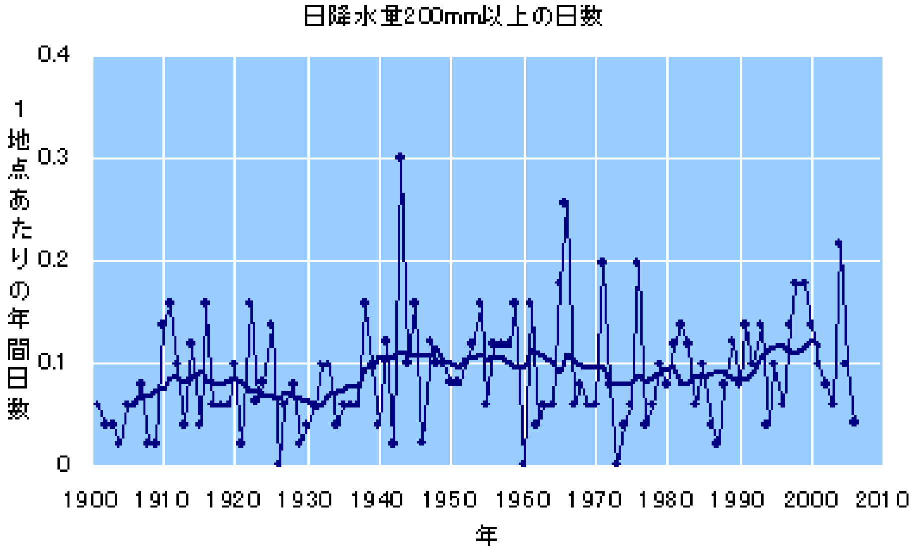
これは過去41年の

第2位の記録214.5mmの2.4倍に達する極めて異常な大雨であった。

★地盤が**まさ土**であったことも被害を大きくしている要因！

日降水量100mm以上および200mm以上の年間日数





最近30年間（1977～2006年）と20世紀初頭の30年間（1901～1930)を比較すると,
100mm以上日数は約1.2倍，200mm以上日数は約1.4倍の出現頻度となっている。
**　こうした長期的な大雨日数の増加に，地球温暖化が関係している可能性がある。**

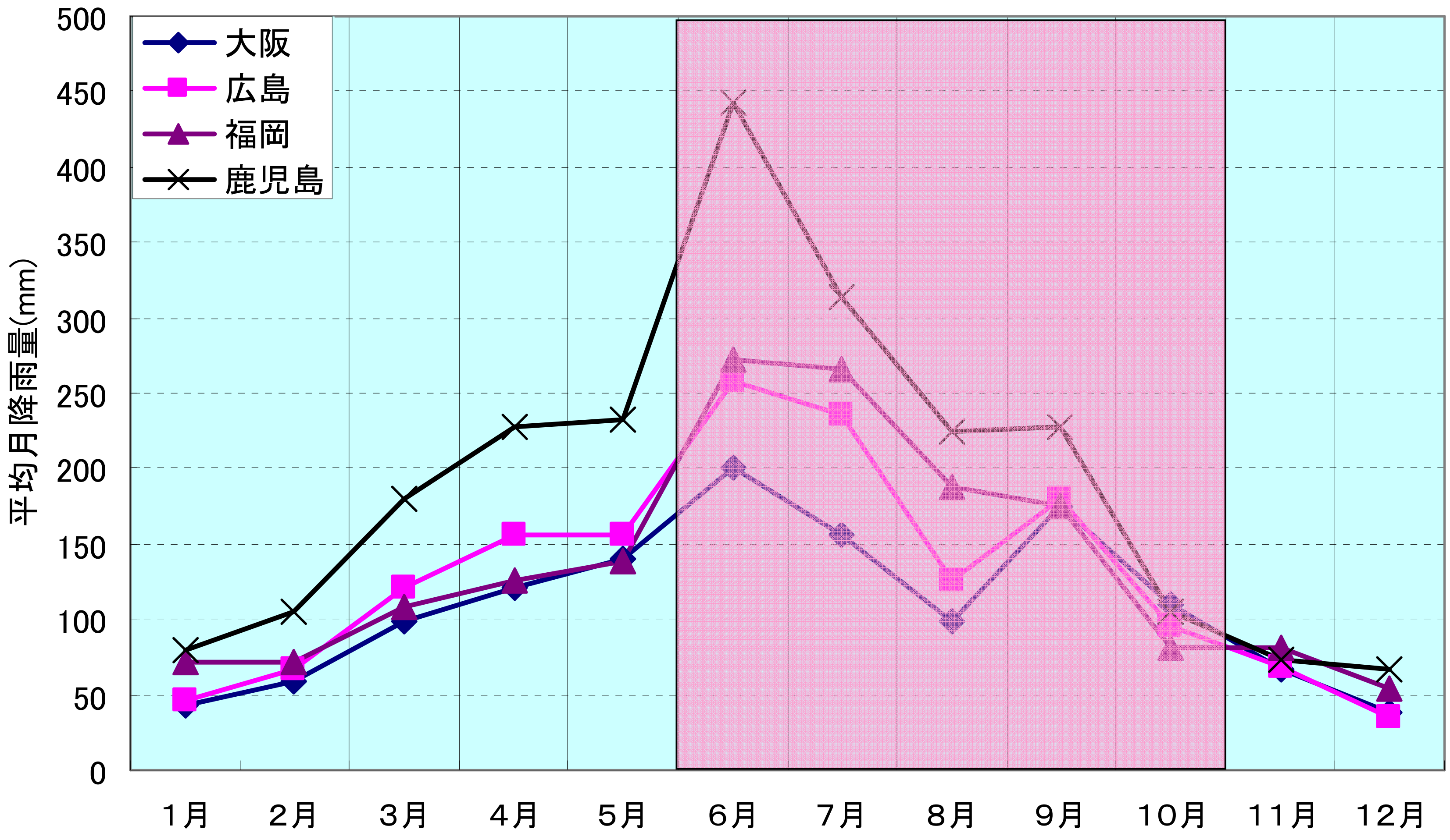
再現期間30年の確率降雨量

●30年に1回の降雨量（24時間降水量）

●30年に1回の確率で降る可能性のある24時間降水量は，
北日本では概ね100～200mmで多いところでは300mm以上
西日本の太平洋側では概ね200～400mmで多いところでは600mm以上となっている。奈良県や三重県，宮崎県では700mm以上の地点もあります。

●50年に1回の確率で降る可能性のある24時間降水量は，多くの地点で30年に1回の値より10～30mm，比率にして5～10%多くなる。

地区別平均月降雨量



★平均年間降雨量　大阪:1306mm, 広島:1546mm, 福岡:1632mm, 鹿児島:2279mm

降雨による補強土壁崩壊の原因要素

- 補強土壁を設置する**土質・地質・地形**（**崩壊の素因**）
- 季節：6月～10月
- 日降雨量：200mm程度以上
  - 補強土壁が構築されてから最大の降雨量が多い
- 盛土材：シラス，まさ土，山砂
- 排水設備の不備

（工事完成前の仮設排水設備の不備）

⇒**「補強材敷設範囲への水の浸入を防ぐ」**
適切な排水対策

(5)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，その変状を放置すると，変状が進行するおそれがある。

⇒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。

(6)凍上に起因する変状

- 盛土内の水分が凍り，体積が膨張する圧力（＝凍上圧）により連結部が破断して壁面材と盛土材が滑落する。
  - 少なくとも1m^{2}当り200kN以上の圧力が加わることが確認されている。

  北海道・東北・本州の内陸部では注意が必要。

- 凍上の発生⇔温度（低温）＋水＋土質（細粒分が多い）

- 対策：擁壁の背後の土を砕石に置き換え，そのすき間で凍上圧は吸収され，壁面に作用するのを防ぐことができる。

2. 設計・施工上の留意点（まとめ）

① 基礎地盤と盛土材の調査

- 調査結果を設計に反映させれば，施工中のすべり破壊，大きな壁面変位を防ぐことが可能

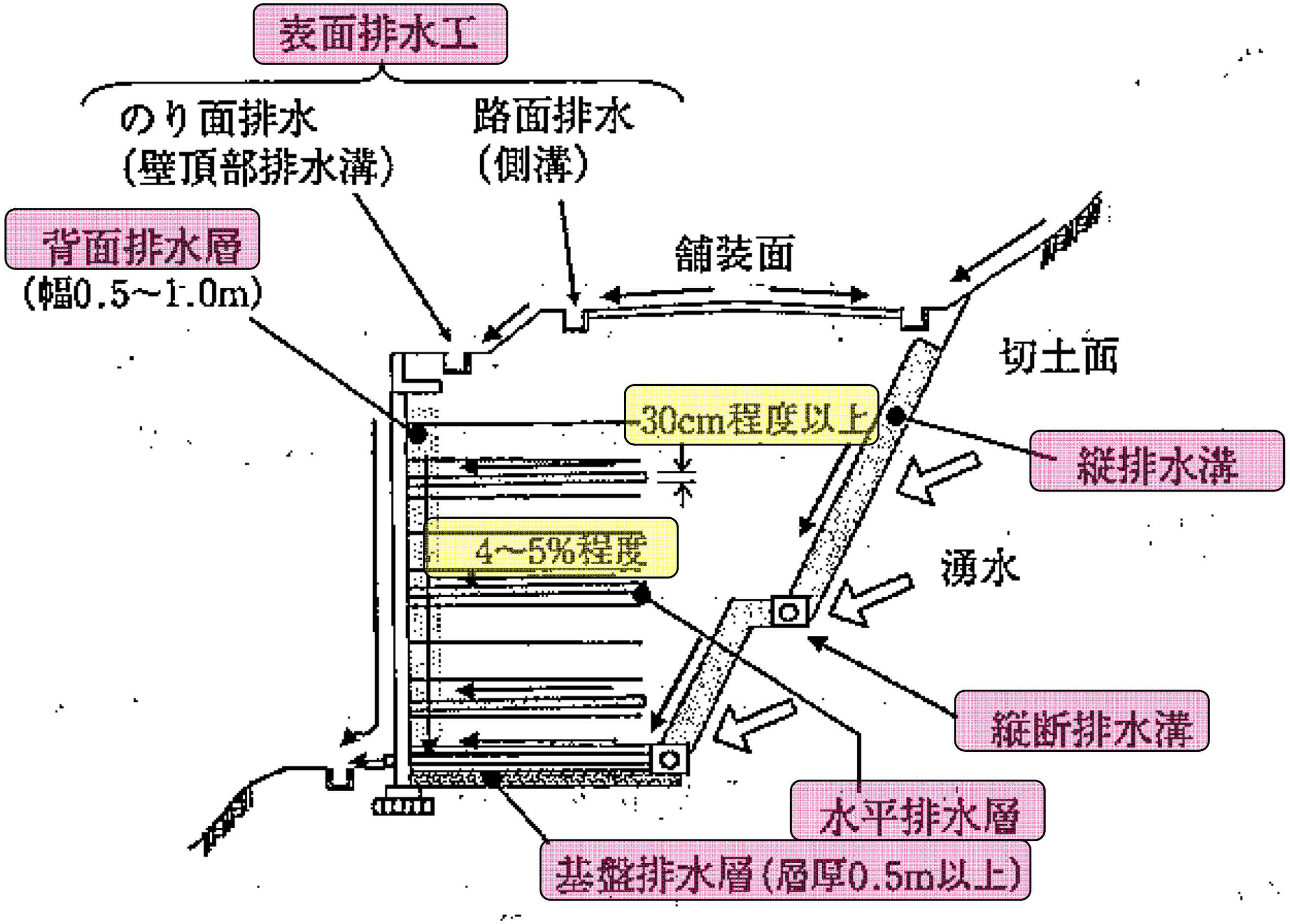
②（表面・地下）排水工の適切な設置

- 補強材敷設範囲に水が浸入しないように，地下排水工を設置すれば，完成後に発生する水による問題は防ぐことができる。
- 特に水が集まりやすい地形での現場や，盛土材がまさ土・山砂・シラス等の場合には特に注意が必要。

③ 良質な盛土材の使用と十分な転圧

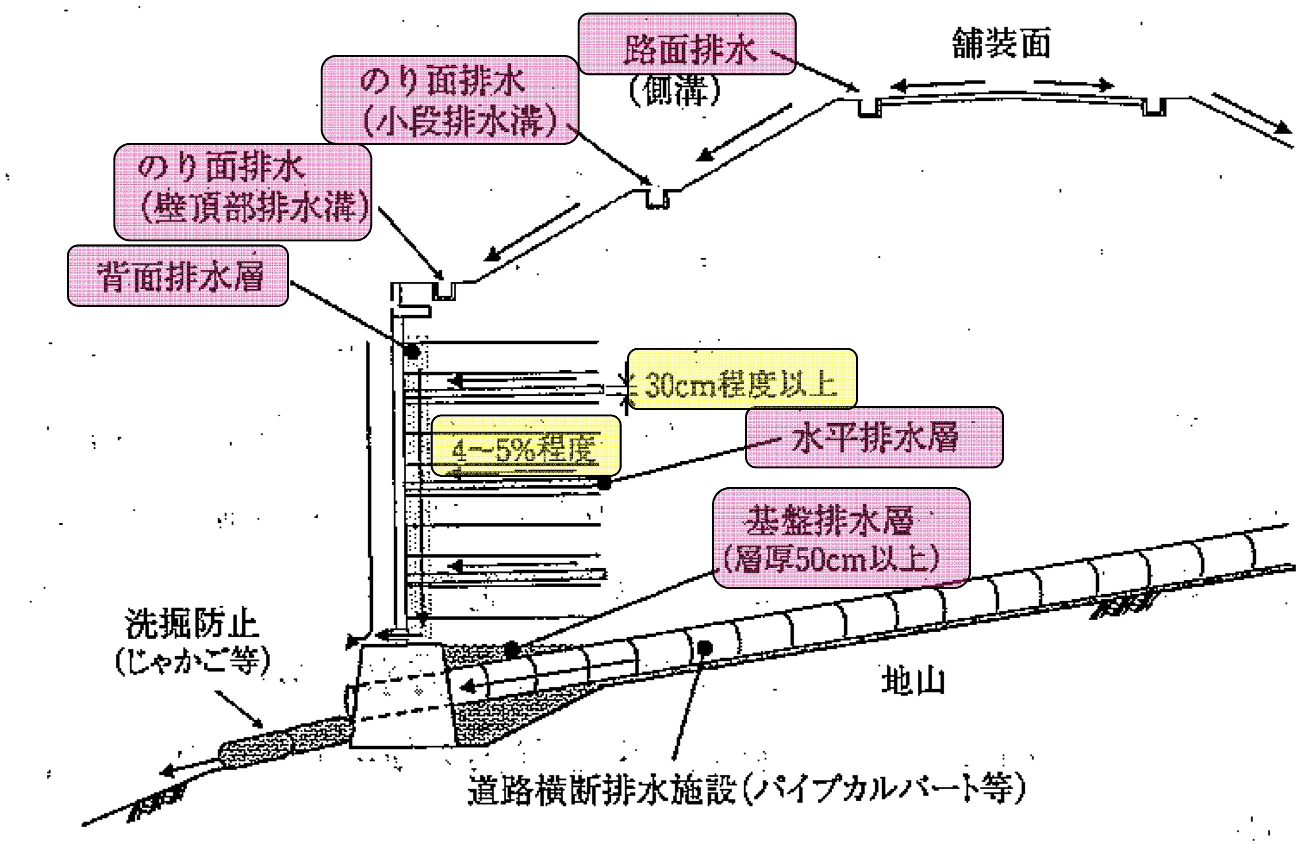
- 良質な盛土材
  - 細粒分が少なく，せん断強度が大きい砂質土・礫質土
  - スレーキングしない岩石質材料
  - 細粒分が少ないまさ土・山砂・シラス（ただし水の浸入がないような対策を施すことが条件）
  - 軽量盛土材，改良土
- 十分な転圧：**A,B法の95%以上，C,D,E法の90%以上**

排水工の例(1)（擁壁工指針）



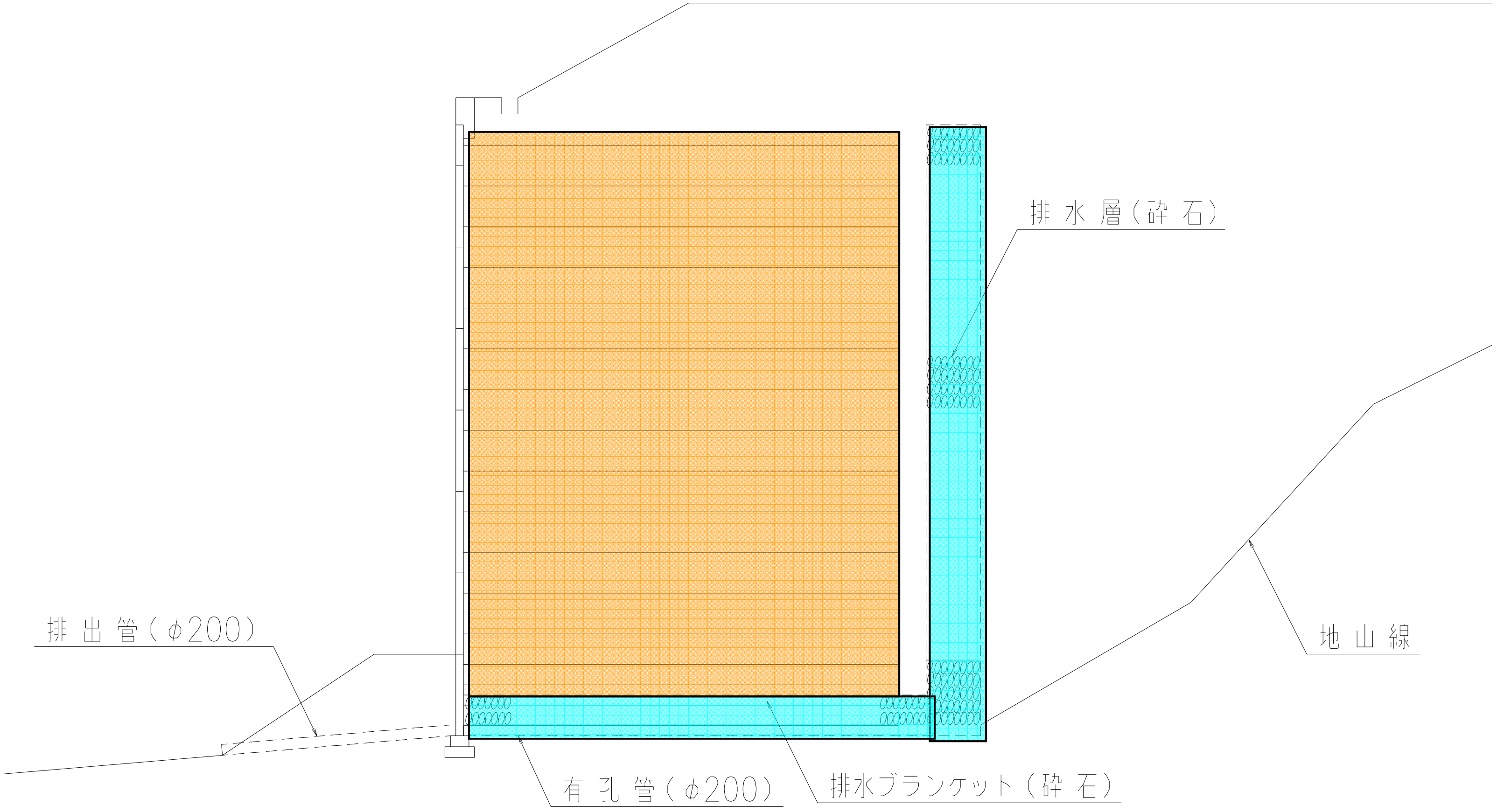
切土を伴う急傾斜地における排水工

排水工の例(2)（擁壁工指針）



谷部（集水地形）における排水工

排水工の例(3)



フェイスブックページで
補強土に関する最新情報をお届けします。
https://www.facebook.com/reecom.osaka

無料

いいね！ ボタンを押して頂くとニュースフィードへ最新情報をお届けします。

「補強土壁工法FAQ50」
補強土壁工法に関するよくある質問と回答50題

本書は補強土壁工法に関するよくある質問と回答50題をまとめたもので，補強土壁工法の設計・施工に携わっている技術者の方を対象に執筆されています。是非ご活用ください。

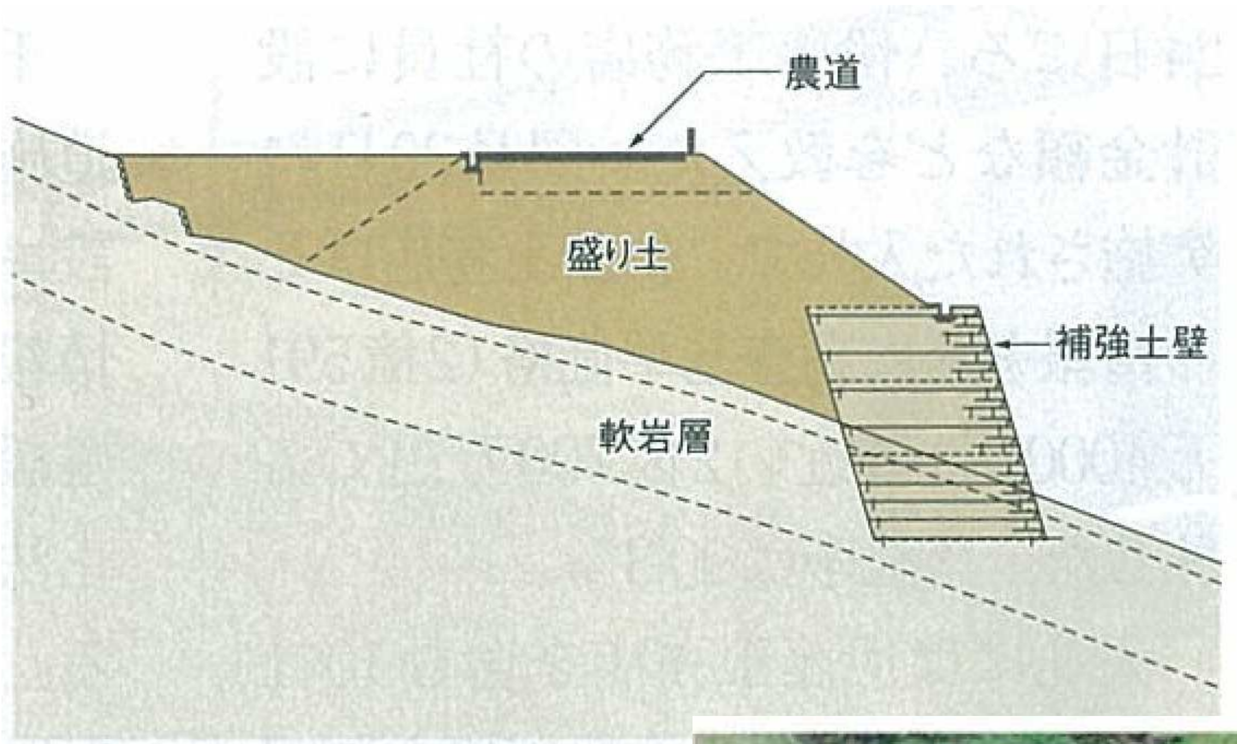
タイトル：補強土壁工法FAQ50
著者名：小川憲保 出版社：理工図書
出版年月：2004年12月
ページ数：191ページ（A5判）
価格：2,800円＋税

補強土壁崩壊の実例
（日経コンストラクション2018.2.26.号より）

1. 概　要

・和歌山県紀の川市で2017年10月22日，豪雨で崩れた斜面の土砂が民家を直撃して男性1名が死亡。
・農道は地山の斜面を掘削し，補強土壁を土留めとする構造。補強土壁の上部に現地発生土を盛土して農道を整備。
・基礎地盤の支持力⇒十分であった。
・すべり面⇒盛土下の原地盤内を通過
・設計前の調査ボーリングで地下水が確認されなかった⇒底面と背面で原地盤と接する箇所には**排水設備なし**。
・崩壊当日(2017.10.22.)は，観測史上最大となる**219mmの日降水量**を記録。
・浸透流解析を実施した結果，地下水と降雨によって，地下水位が農道の盛土表面部まで上昇する可能性があることが判明。

農道の断面図



（資料:和歌山県）

2. 崩壊の原因

(1) 観測史上最大の大雨が降ったこと。

・気象庁のデータ(アメダス)によると，10月22日に観測史上(1979～2017までの38年間)最大となる日降水量219mmを記録

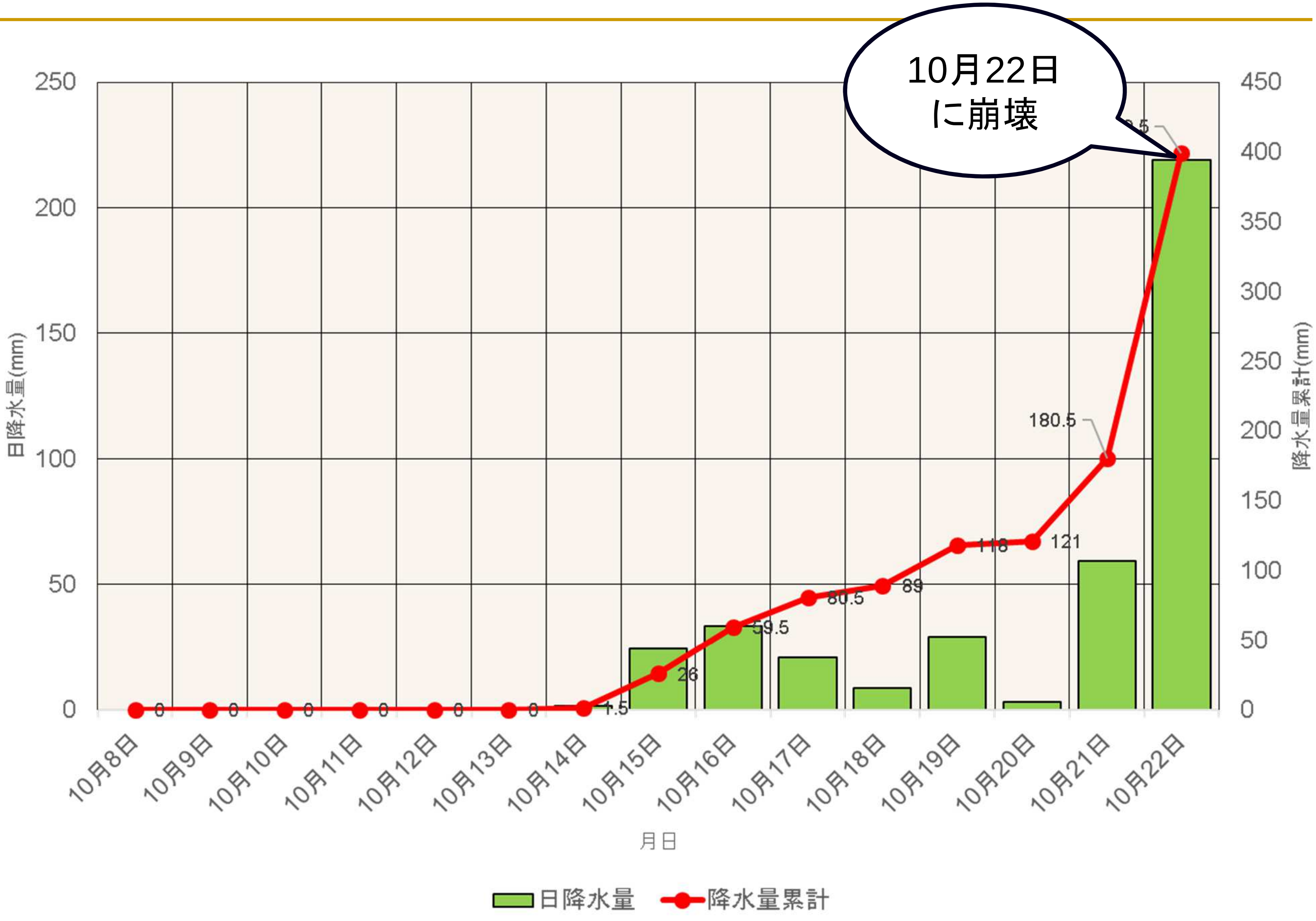
・10月14日から21日まで連続降雨があり，21日までに総降水量180.5mmが記録されており，22日の日降水量を合計すると399.5mmの降水量があった。

(2) 補強土壁の補強材敷設範囲に水が入らないような排水対策は施されていなかった。

↓

上記の原因により，

補強土壁を含む盛土内に水が浸入して，盛土材の強度が低下して，盛土のすべりが発生したと考えられる。



現場付近の降水量記録(和歌山県かつらぎ)

3. 当該現場の問題点

『この現場では設計前の調査ボーリングで地下水が確認されなかったことから，底面と背面で原地盤と接する箇所には排水設備を設けなかった』

問題点

・地下水位は季節によって変化する。雨季には水位は上昇する。
・地下水位は降雨量によっても変化する。大雨では水位は上昇する。
・当該現場の**問題点は季節や降雨によって地下水位は上昇する可能性があるのに，調査時に地下水が確認できなかった理由で，補強土壁を含む盛土の排水工を省いたこと**。

今回のような場合でも，確実に排水対策を施しておけば崩壊を免れた可能性は高い！