

# 補強土工法の基礎から応用まで

## － RRR工法の歴史と特徴 －

(全編12回) No.5

1. 地盤・盛土の強化改良の必要性和補強土工法の概説
2. 盛土補強土工法による土構造物の復権と発展  
－ 補強土の原理と40年の経験 －
3. 地山補強土工法による斜面の安定化

東京大学・東京理科大学名誉教授  
龍岡文夫

2. 盛土補強土工法による土構造物の復権と発展の続きです。

## 補強土工法のメカニズムのまとめ

無補強の盛土・地山の中で破壊時に発生するひずみを、補強によって抑制  
⇒無補強盛土・地山の破壊時にひずみが発生する領域と最小ひずみの方向  
が重要な情報

### ・補強による支持力の向上

補強した盛土は、良く締固めることができる

軟質地盤(許容変位が大きい、ハンモック効果)

硬質水平地盤の鉛直荷重に対する引張補強効果

許容変位が小さい場合: PL工法、あるいはPL+PS工法が有効

### ・補強による斜面の安定

引張り補強材とのり面工の役割

### ・抗土圧 — 補強土擁壁

従来形式の擁壁は片持ち梁構造、補強土壁は非片持ち梁構造

引張り補強による擁壁の安定化のメカニズム

補強土擁壁の、補強材と壁面工の剛性による分類

補強材の素材の剛性だけが、補強土壁の安定性の重要な要因ではない

壁面工の剛性・一体性も、補強土壁の安定には非常に重要

段階施工による剛な一体壁面工の建設

「補強土工法のメカニズムのまとめ」の確認です。

補強土工法は、「無補強盛土・地山内に破壊時に発生するひずみを、補強によって抑制する」工法です。

従って、その設計には「無補強盛土の破壊時にひずみが発生する領域と最小ひずみの方向」が重要な情報となります。

このことを、「補強による支持力の向上」と「補強による斜面の安定」の二つのテーマで説明しました。

今回は、「抗土圧 — 補強土擁壁」がテーマです。ここに書いてある項目を順

次説明します。

## 盛土補強土工法による土構造物の復権と発展

### 1) 擁壁の力学的原理と補強土擁壁

- a) 従来形式の擁壁は片持ち梁！補強土擁壁は？
- b) ジオテキスタイル補強土擁壁の施工例

### 2) 補強土工法のメカニズム

### 3) 剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁

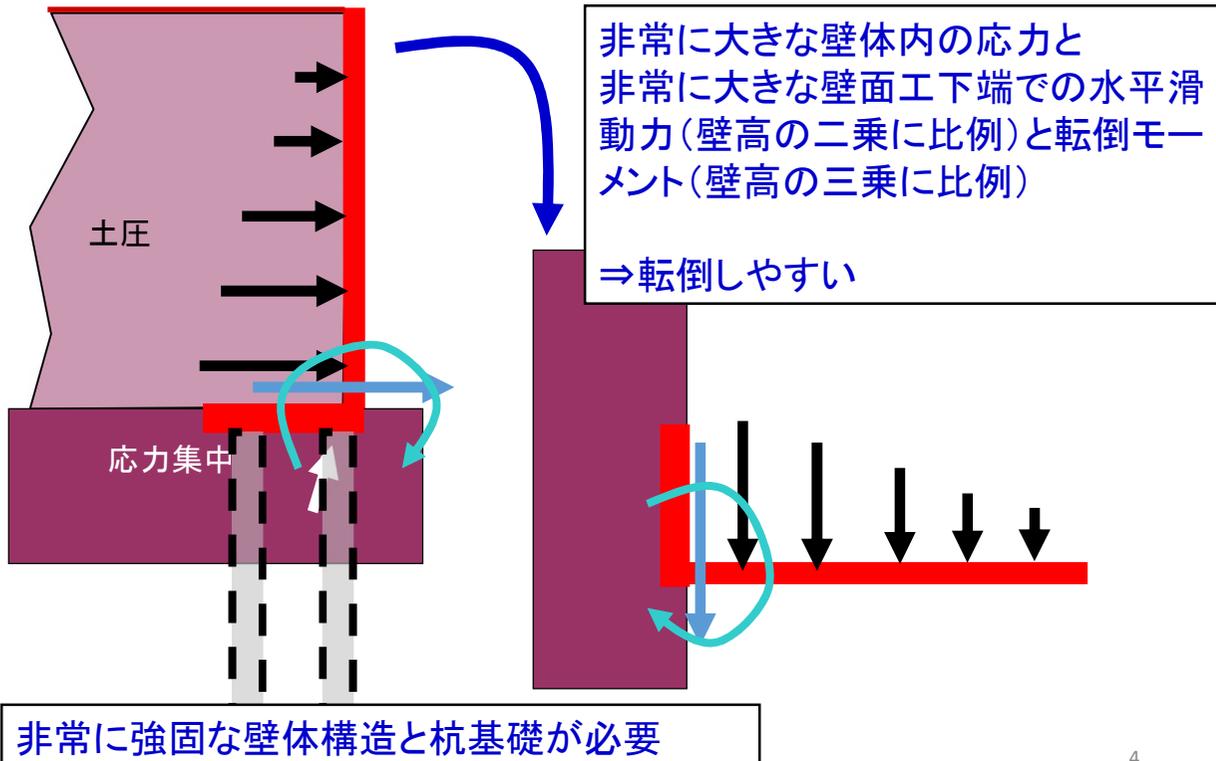
- a) 剛な一体壁面工の効用
- b) 段階施工の効用
- c) 洪水・豪雨・津波と補強土およびレベル2地震動を考慮した耐震設計

### 4) GRS橋台とGRS一体橋梁

- a) 従来形式の橋梁の諸問題を解決
- b) 低い建設費、高い維持管理性・耐震性/耐津波性
- c) 施工例

今回は、青の字で書かれた3-a)の部分の説明をします。

## 従来型擁壁は片持ち梁構造物



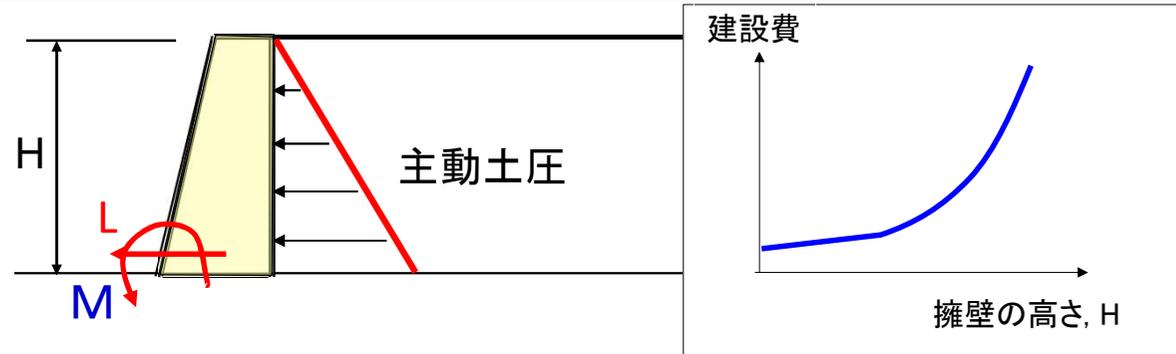
従来形式の擁壁は、力学的には片持ち梁構造であることは、すでに説明しました。

このため、非常に大きな壁体内の応力、また非常に大きな壁面工下端での水平滑動力(壁高の二乗に比例)と転倒モーメント(壁高の三乗に比例)が生じます。

従って、転倒しやすい構造となります。

従来型擁壁:

壁高が大きくなると、土圧による壁下端での滑動荷重Lと転倒モーメント荷重Mは急激に増加



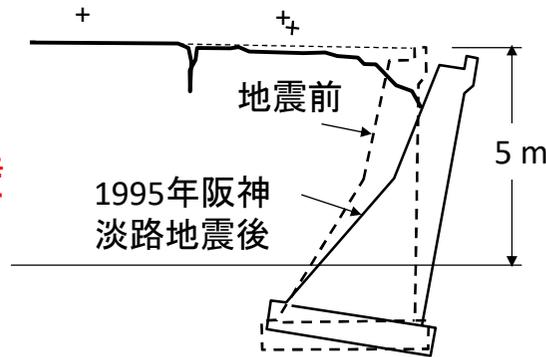
滑動荷重L: 壁面に加わる総主動土圧 =  $(1/2) \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2$  に等しい  
( $\gamma$ : 盛土の単位体積重量;  $K_A$ : 主動土圧係数 =  $(1 - \sin\phi)/(1 + \sin\phi)$ ; H: 壁高)  
Lは、壁高Hのほぼ二乗に比例

転倒モーメントM =  $(1/2) \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \times (H/3) = (1/6) \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^3$ : 壁高Hのほぼ三乗に比例

⇒ Hが5 m 程度以上高くなると、急速に大型構造物になる  
山岳地帯の擁壁は、非常に高くなり建設費が増大する傾向

この頁は、壁面工下端での水平滑動力が壁高の二乗に比例し、転倒モーメント壁高の三乗に比例すること説明したものです。

1995年阪神淡路地震  
多数の重力式やL型擁壁  
壁体破壊, 転倒



石屋川駅付近重力式  
擁壁の被災状況

これは、1995年阪神淡路地震で崩壊した非常に多数の重力式擁壁の一つです。

右の奥側の黄色のヘルメットを被っているのが私です。

この擁壁の前の道路は通勤通学路ですが、地震は朝6時前に生じたので、幸い死者はありませんでした。不幸中の幸い、でした。

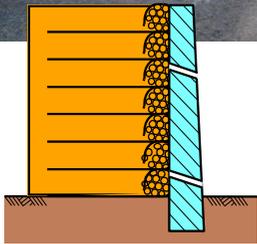
このような事例を多数見て、転倒しやすい擁壁は非常に危険である、と強く認識しました。

1992年7月(建設直後)

JR神戸線, 東灘区  
ジオテキスタイル補強土擁壁



1995年1月  
(地震後1週間)



剛な一体壁面工を持つジ  
オテキスタイル補強土擁壁  
⇒非常に高い耐震性!

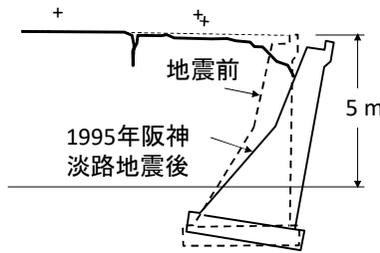
一方、これは先ほど説明した、崩壊した重力式擁壁の近くに1992年に建設された「剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁」です。

この擁壁は、1995年の神戸地震で崩壊せず、壁の前の崩壊した日本家屋と比較しても、非常に高い耐震性を示しました。

設計時では、このような強烈な地震がこの擁壁を襲うとは、全く想定しておらず、設計に関与した私としては、肝を冷やしました。

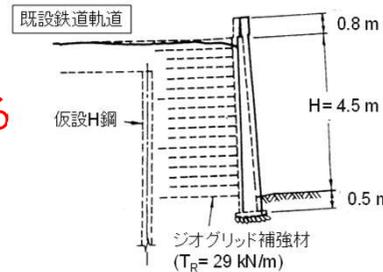
# 1995年1月阪神淡路大震災

重力式擁壁：  
⇒耐震性が低い  
片持ち梁構造だから



剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁：  
⇒非常に高い耐震性！

- ①何故？
- ②耐震性をより向上する方法は？



剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁が非常に高い耐震性を示したことは、大変心強いことであった。

しかし、

- ①何故想定を超える地震でも崩壊しなかったのか、キチンとした定量的な理解と、
- ②この擁壁は若干変形したことから、耐震性をもっと向上させる方法の確認と開発、が研究課題となった。

これらを、補強土擁壁の原理・メカニズムの基本に立ち戻って検討しましょう。

## 補強土擁壁の三大構成要素：

- 盛土
- 補強材
- 壁面工  
(排水設備)

「剛性・形状が異なる補強材」と「剛性・形状が異なる壁面工」を組み合わせた各種補強土擁壁：

これらの性能、コストの評価は？

### 論点1:

従来の「土圧悪玉論に基づく、剛性がある壁面工は不要」という意見に対する

「土圧善玉論に基づく、壁面工の剛性と一体性の重視」

のり面・壁面の勾配が急なほど、盛土材の粘着力係数 $c$ が小さいほど、

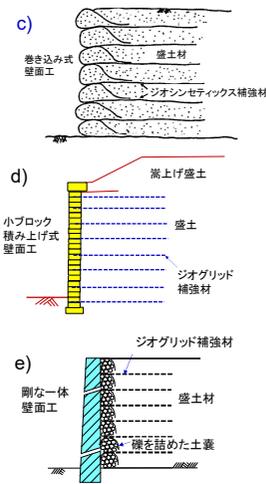
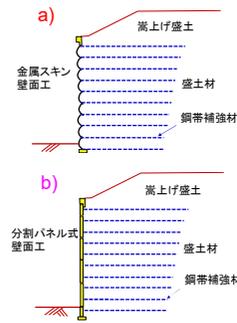
許容変形が小さいほど、長期安定性・耐震性・施工性などの要求安定性が高いほど、維持管理性を高くしたいほど、壁面工の剛性と一体性は、より重要になる、という意見(これが正しい)。

### 論点2:

従来の「剛性が高く非延伸性の金属製の補強材が必須」という主張に対する

「剛性が相対的に低く比較的延伸性のジオテキスタイルでも十分」という事実

異なる剛性の補強材と壁面工を組み合わせた各種補強土擁壁



補強土擁壁の構成要素は、以下の三つです。

- 盛土
- 補強材
- 壁面工  
(排水設備)

補強土擁壁の安定には、盛土の排水性が良いことが必要なので、排水設備を追記しておきました。

右の図に示すように、「剛性・形状が異なる補強材」と「剛性・形状が異なる壁面工」を組み合わせた各種補強土擁壁があります。

これらの異なる工法の性能、コストの評価が課題になりますが、論点はこの二

つです。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮でき ない)	剛(大きな土圧を發揮でき る)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)		
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)		

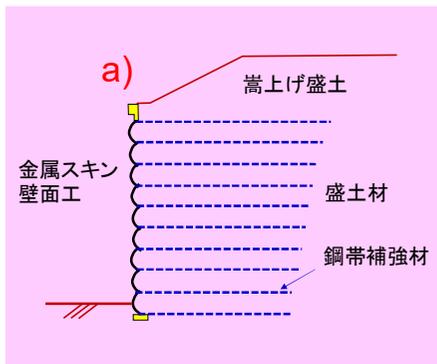
補強材⇒基本的に2種類(非延伸性と延伸性)  
壁面工⇒基本的に2種類(柔と剛)

⇒4種類の補強材と壁面工の組み合わせ

補強材は基本的に2種類(非延伸性と延伸性)あり、壁面工は基本的に2種類(柔と剛)ありますので、補強土擁壁には、4種類の補強材と壁面工の組み合わせがあります。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁 (図a)	
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)		



1963年にフランスのアンリー・ビダール(H. Vidal)氏により考案された補強土壁工法。日本では1972年に日本道路公団の中央自動車道で初めて採用。補強土擁壁工法の先駆け

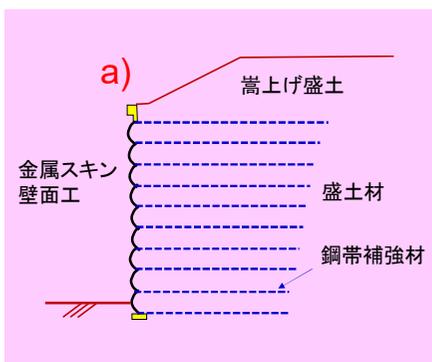
ここに示す図a)は、初期のテールアルメ擁壁であり、補強材は金属製の帯状のものであり、壁面工はskinと呼んでいる曲面を持つ薄い金属膜であり、変形性に富んだ柔らかいものです。

Terre Armeeとは、フランス語で補強土のことです。

この工法は、1963年にフランスのアンリー・ビダール(H. Vidal)氏により考案された補強土壁工法であり、日本では1972年に日本道路公団の中央自動車道で初めて採用されました。補強土擁壁工法の先駆けです。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を発揮できない)	剛(大きな土圧を発揮できる)
带状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁 (図a)	
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)		



- ・土圧は補強材で抵抗し、壁面に土圧が働かず、壁面工は盛土のこぼれ出しを防ぐ程度で十分で、支持地盤と盛土の変形に追従できる柔なもの、とした
- ⇒従来形式の擁壁での重厚な壁構造が不要
- ⇒非常に革新的、革命的に見える France 的、smart で original

この工法の特徴は、以下の様に説明されていました。

- ・土圧は補強材で抵抗し、壁面には土圧が働かず、壁面工は盛土のこぼれ出しを防ぐ程度で十分であり、支持地盤と盛土の変形に追従できるように変形性に富んでいなければならない。

- ・その結果、従来形式の擁壁での重厚な壁構造が不要となる。

この補強土擁壁は、非常に革新的革命的に見えて、フランス的で smart で original です。

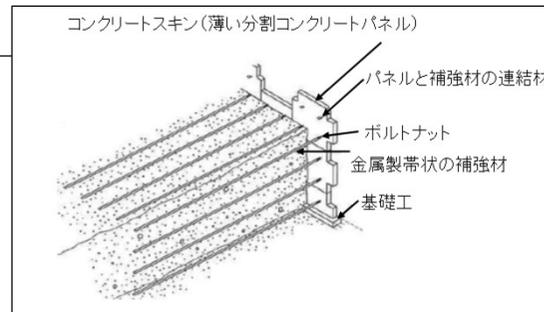
しかし、この説明が補強土擁壁の原理とメカニズムの理解に混乱を招きました。

私も混乱して、その克服には5年以上に亘る研究が必要でした。

従来の説明：①高剛性の金属製補強材は剛性が低いジオグリッド補強材よりも優れていて、②壁面に土圧は作用しないので剛性のある壁面工は不要  
この説明は、次の三点で、補強土工法の原理の理解に混乱をもたらした

**混乱1：** 実際は、この説明と異なり、ジオグリッドは優れた補強材となりうる。  
・面状で、盛土との一体性が高い。グリッド状は、特に一体性が高い。  
・ジオグリッドの剛性は相対的に低いが、そのために建設中に盛土変形が生じても通常は問題とならない。実際の問題は建設後の残留変形であり、盛土のクリープ変形が主因 → 盛土を十分に締固めれば解決

**混乱2：** 実際は、この説明とは異なり、下図に示すように補強材が**金属製の帯材**である補強材では各種の問題が生じる  
①引張りに対する剛性と破断強度は大きい、帯状であるため引き抜け易い  
→ かなり長い補強材が必要(腹付盛土で不利)  
②腐食問題



つまり、従来の説明の①と②によって三つの混乱が生じました。

混乱2の、金属製帯状補強材の腐食問題を次に説明します。

2002年9月パリから東のランスに向かう高速道路にて  
観光バスの中から撮影



14

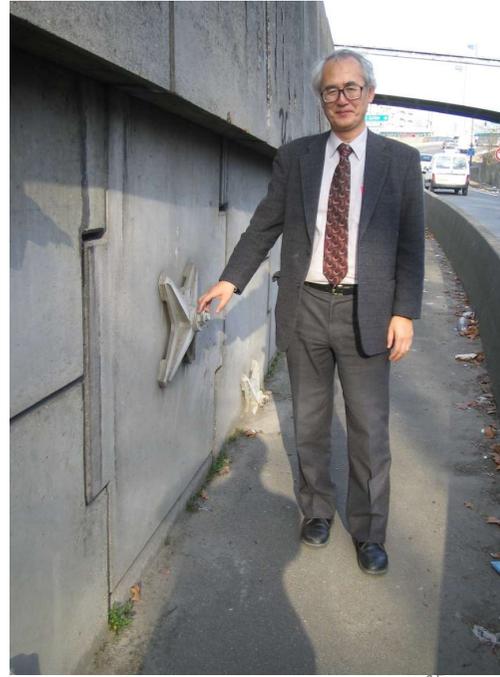
2002年9月パリから東の  
ランスに向かう高速道路  
にて観光バスの中から撮  
影した写真です。

青の矢印の先に注目し  
て下さい。全ての分割パ  
ネルの中央に星形の部材  
が見えます。

この時は、これが何であ  
るのか分かりませんでした。

答： 金属带状補強材が腐食、  
パネル崩落事故⇒  
全てのパネルをnailingで補強

2005年3月パリ市内にて



15

3年後、再びパリを訪れた時、フランスの技術者が説明してくれました。

ある現場で、金属製带状補強材が腐食してパネルが落下した事故があった。そこで、建設したテールアルメ擁壁を調べた所、多数の現場で補強材が腐食していることが発見された。

そこで、全てのパネルの中心から盛土に鉄筋補強材を挿入するnailing工法によって擁壁の安定化を図った。

皆様もパリに行く機会があれば、このように補修したテールアルメ擁壁を見ることができます。

従来の説明：①高剛性の金属製補強材は剛性が低いジオググリッド補強材よりも優れていて、②壁面に土圧は作用しないので剛性のある壁面工は不要  
この説明は、次の三点で、補強土工法の原理の理解に混乱をもたらした

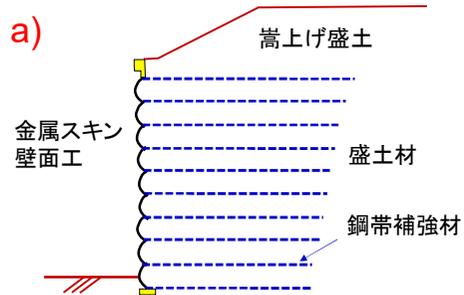
**混乱1:** 実際は、この説明と異なり、ジオグリッドは優れた補強材となりうる。  
・面状で、盛土との一体性が高い。グリッド状は、特に一体性が高い。  
・ジオグリッドの剛性は相対的に低いですが、そのために建設中に盛土変形が生じても通常は問題とならない。実際の問題は建設後の残留変形であり、盛土のクリープ変形が主因 → 盛土を十分に締固めれば解決

**混乱2:** 実際は、この説明とは異なり、補強材が金属製である補強材では各種の問題が生じる  
①引張りに対する剛性と破断強度は大きいですが、帯状であるため引き抜け易い  
→ かなり長い補強材が必要(腹付盛土で不利)  
②腐食問題

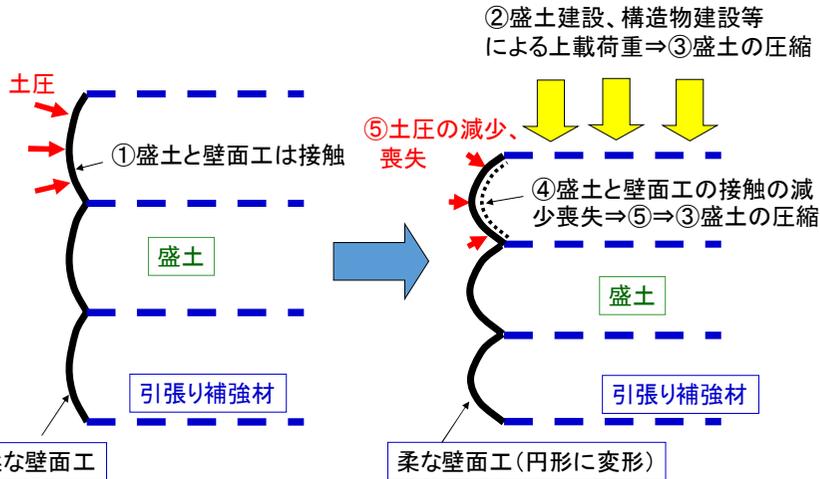
**混乱3:** 初期のテールアルメ擁壁での大きな問題は、壁面工の剛性不足による壁面の過大な変形 → RCパネル形式の壁面工に変更。  
・しかし、「この変更は、壁面工の剛性を向上して壁面の変形を抑制するため」とは説明されず、「施工性と美観のため」と説明 → 更に混乱  
■ジオテキスタイル補強土擁壁でも、壁面の剛性・一体性の重要性を見過ごす傾向が強かった

次の混乱3について説明します。

# 柔な壁面工の盛土の圧縮変形に伴う変形⇔土圧の喪失



1995年阪神淡路地震での  
テールアルメ擁壁の変状



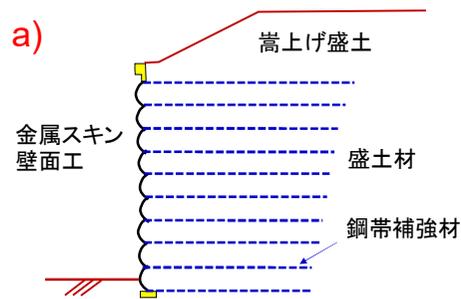
これは、壁面工が曲面の金属膜からなるアコーディオンのような構造の初期のテールアルメ擁壁です。

この擁壁は、壁面工が1995年阪神淡路地震によって写真のように圧縮変形して擁壁は沈下しました。

そのメカニズムを図で説明してあります。

曲面の膜構造では、壁面の位置で盛土を有効に拘束できないことを示しています。

## 柔な壁面工の盛土の圧縮変形に伴う変形↔土圧の喪失



1995年阪神淡路地震での  
テールアルメ擁壁の変状



剛性が高く非延伸性の金属製帯材の補強材を用いても、壁面の変形、それに伴う盛土全体の変形は小さい。

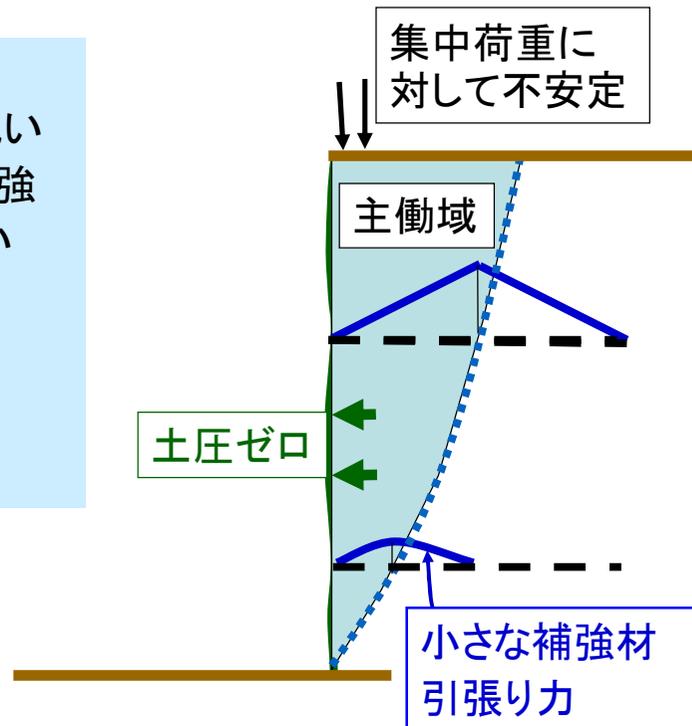
⇒「壁面に土圧が働かず、壁面工は土のこぼれ出しを防ぐ程度のもので良い」という考え方は間違っていることを示している！

つまり、剛性が高く非延伸性の金属製帯材の補強材を用いても、壁面工が柔であると、壁面の変形、それに伴う盛土全体の変形は小さいことを示しています。

すなわち、「壁面に土圧が働かず、壁面工は土のこぼれ出しを防ぐ程度のもので良い」という考え方は、間違っていることを示しています。

壁面工が柔軟なため、壁面工に土圧が発生しない場合

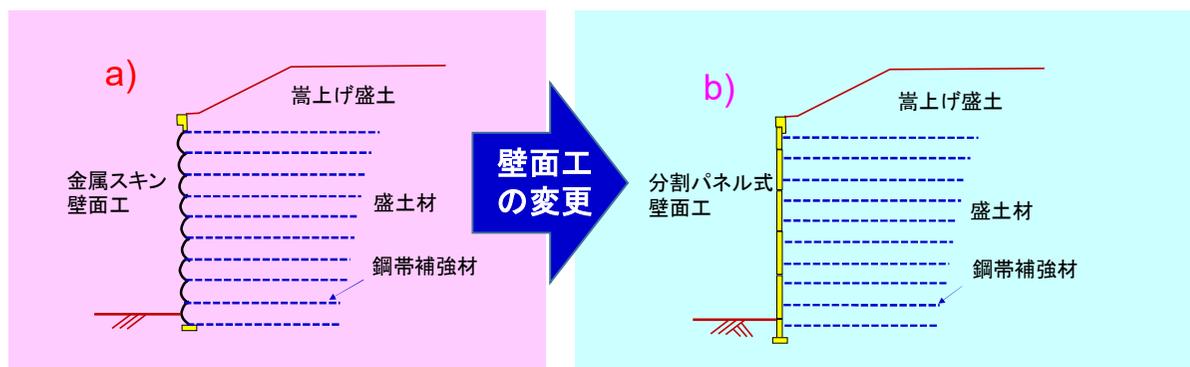
壁面での土圧がゼロ⇒  
①主働域内の拘束圧が低い  
②盛土下部では十分な補強材引張り力が発生しない  
⇒主働域の剛性が低い  
⇒盛土の変形が大きい  
  
好ましくない不安定状態



これは、壁面工が柔軟なため壁面工に土圧が発生しない場合は、擁壁の安定性は低くなり変形が大きくなることを説明しています。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
带状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁 (図a)	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁(図b)
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイルス補強土擁壁 (図c)	RCパネル壁面工や剛な一 体壁面工を持つジオテキス タイルス補強土壁(図d)



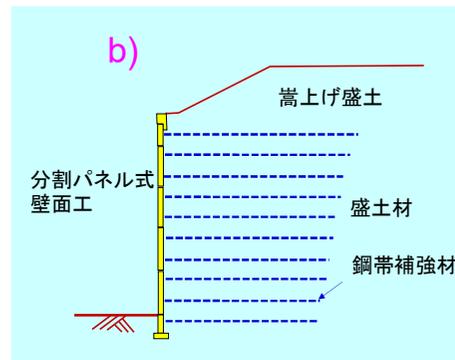
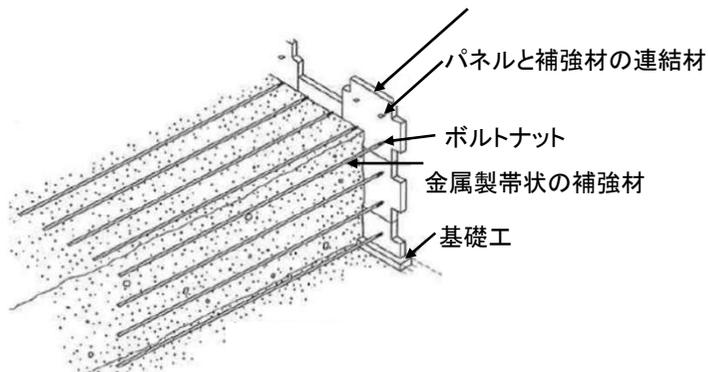
初期のテールアルメ擁壁での大きな実務的な問題は、壁面工の剛性不足による壁面の過大な変形でした。

そこで、壁面工をRC分割パネル形式に変更しました(図b)

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を発揮できない)	剛(大きな土圧を発揮できる)
带状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁 (図a)	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁(図b)
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイルス補強土擁壁 (図c)	RCパネル壁面工や剛な一 体壁面工を持つジオテキス スタイルス補強土壁(図d)

コンクリートスキン(薄い分割コンクリートパネル)



壁面工を分割コンクリートパネル形式に変更したテールアルメ擁壁が図bです。現在のテールアルメ擁壁の壁面工は、基本的にこの形式です。

しかし、「この変更は、壁面工の剛性を向上して壁面の变形を抑制するため」とは説明されず、「施工性と美観のため」と説明されました。

⇒更に混乱をもたらした。

ジオテキスタイル補強土擁壁でも、壁面の剛性・一体性の重要性を見過ごす傾向が強かった。

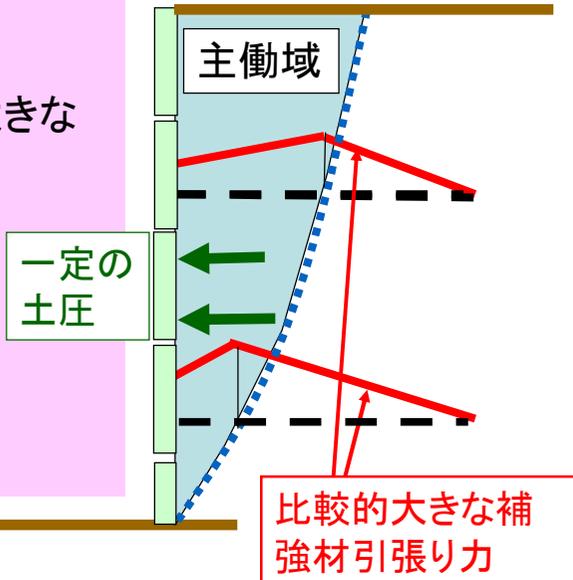
一定の剛性がある壁面工に補強材が連結されていて、  
壁面工背面に一定程度大きな土圧が発揮される場合

壁面に一定の土圧が作用⇒

- ①主働域に一定の拘束圧が作用
- ②盛土下部の補強材でも、比較的大きな引張り力が発生

⇒主働域の剛性は比較的大きくなる  
⇒盛土の変形は比較的小さくなる

安定で好ましい状態



この図は、壁面工を一定の剛性がある分割コンクリートパネル形式に変更した結果、擁壁が安定化し変形が抑制されることを説明しています。

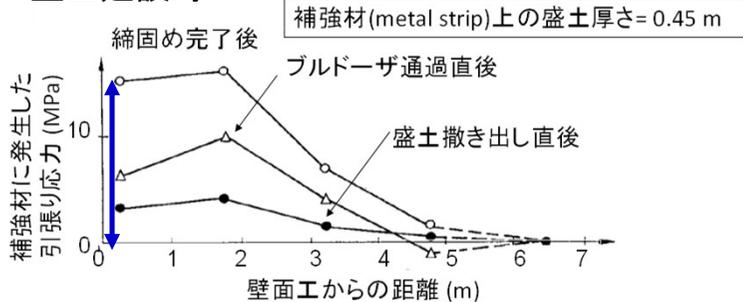
## 壁面工がRCパネルである標準的テールアルメ擁壁での補強材引張り力の分布

Schlosser, F. (1990): Mechanically stabilized earth retaining structures in Europe, *Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publications No.25, ASCE* (Lambe and Hansen eds.), pp.347-378.

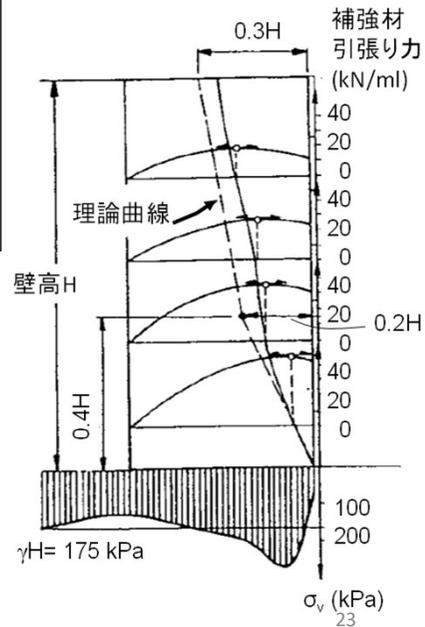
「壁面工は土のこぼれだしを防ぐ程度の剛性のない構造で十分であり、大きな土圧は作用しない」と説明していた。

しかし、実際には、パネル式で一定の剛性がある壁面工と補強材連結部には引張り力が発生  
⇒壁面工背面には土圧が生じている

### 盛土建設時



### 高さ6mの実物大試験擁壁



この図は、壁面工を一定の剛性があるRC分割パネル形式に変更した結果、壁面工の背後に一定の土圧が発生することを示した実測結果です。

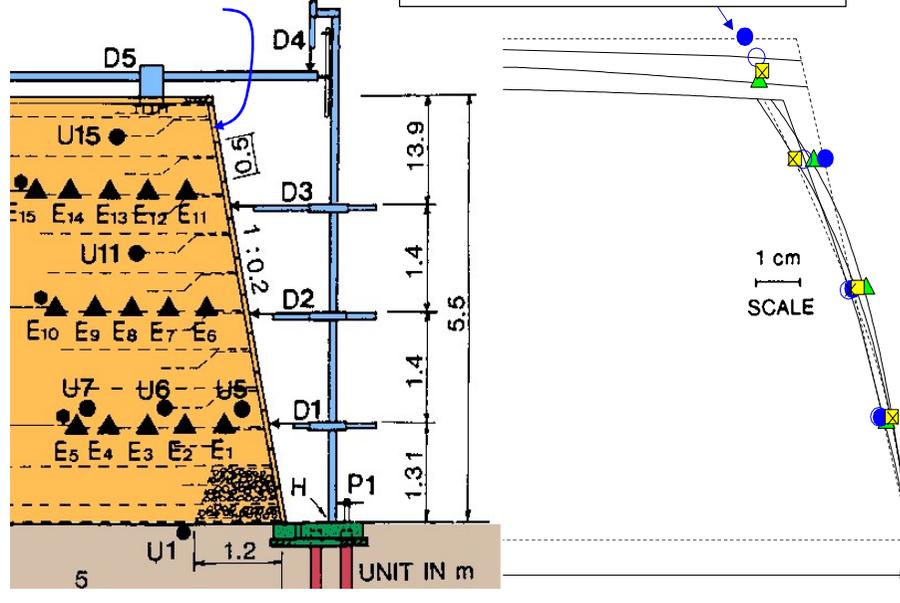
つまり、説明と実測は矛盾している訳です。

# 関東ロームを不織布のジオテキスタイルで補強した試験盛土

(東京大学生産技術研究所)

分割パネル壁面工

- 初期(1886年12月25日)
- 1987年12月17日地震直前
- ▲ 地震直後

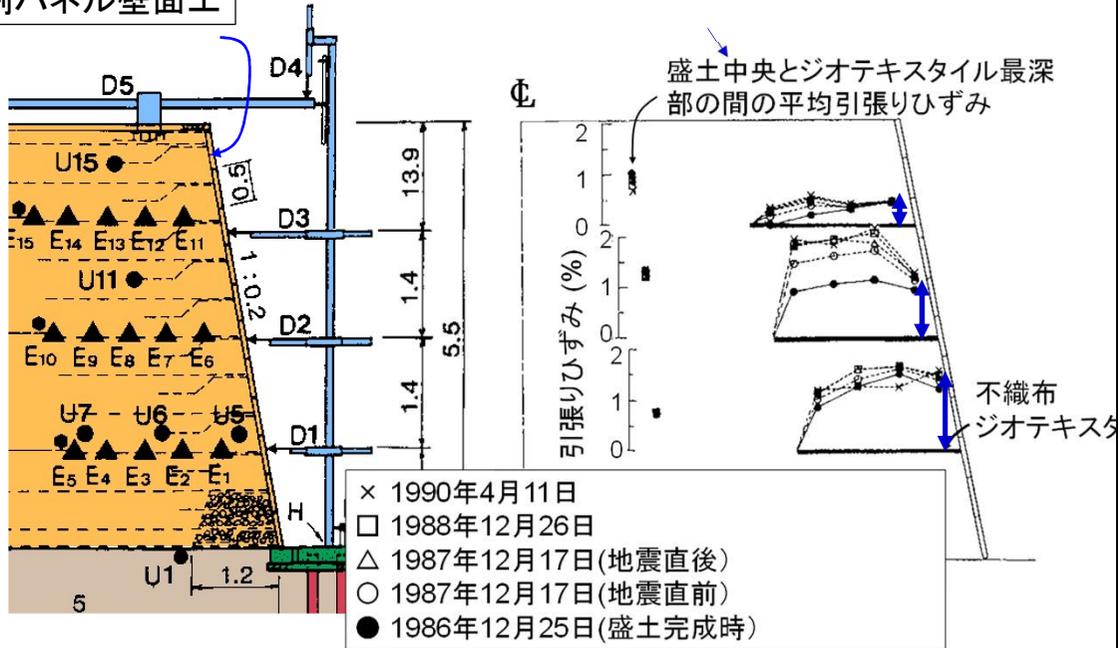


この図は、粘性土盛土を不織布と言うジオテキスタイルで補強した試験盛土です。

# 関東ローンを不織布のジオテキスタイルで補強した試験盛土

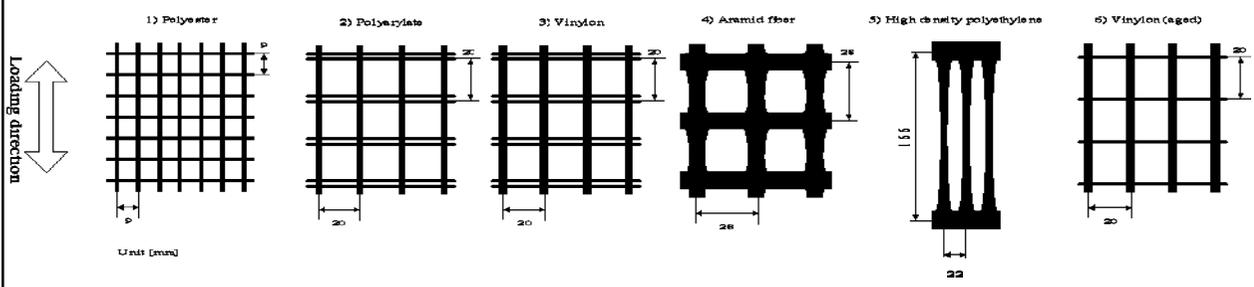
壁面工と補強材連結部には引張力が発生  
 ⇒壁面工背面には土圧が生じている

分割パネル壁面工



この場合も、一定の剛性がある分割パネル形式の壁面工の背後には一定の土圧が発生することを示した実測結果です。

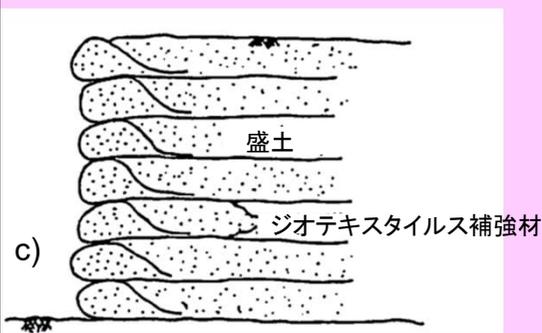
# 石油高分子材料による各種ジオテキスタイル補強材(ジオグリッド)



一方、金属製帯状補強材は最善ではないことが次第に明らかになってきて、石油高分子材料による各種ジオテキスタイル補強材が開発されてきました。図に示すのは、各所のジオグリッド(geogrid)補強材です。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイル補強土擁壁 (図c)	



- ・低建設費、仮設構造物として出発
- ⇒壁面を、安価な巻き込み式
- ・巻き込み式壁面工：
  - 剛性は無い⇒壁面の土圧が小さい
  - ⇒壁面・盛土の変形が大きい
  - 外力・火災・UVに対する耐久性が低い
- ⇒盛土の締固め管理が不十分になりがち

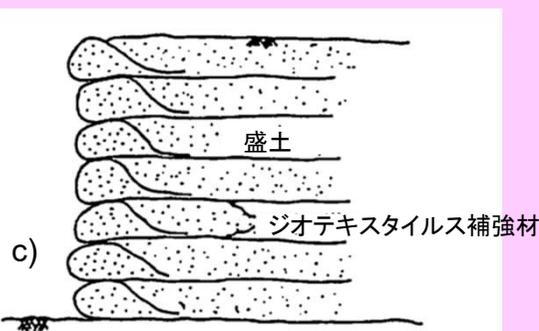
図cの「盛土材を面状のジオテキスタイル補強材で補強し、壁面は安価な巻き込み式の補強土擁壁」です。

この形式は、低建設費の仮設構造物として採用されました。

巻き込み式壁面工は剛性が無いため、壁面に土圧が発生しません。このため、壁面・盛土の変形が大きく、また、外力・火災・UVに対する耐久性も低い。さらに、仮設構造物なので、盛土の締固め管理が不十分になりがちで、これも擁壁の変形が大きい要因になります。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイル補強土擁壁 (図c)	



- ・低建設費、仮設構造物として出発
- ⇒壁面を、安価な巻き込み式
- ・巻き込み式壁面工:
  - 剛性は無い⇒壁面の土圧が小さい
  - ⇒壁面・盛土の変形が大きい
  - 外力・火災・UVに対する耐久性が低い
- ⇒盛土の締固め管理が不十分になりがち

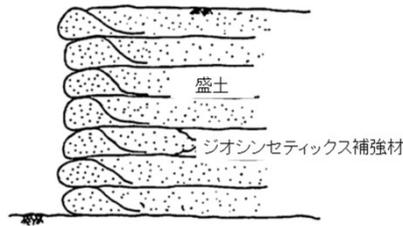
図cの「盛土材を面状のジオテキスタイル補強材で補強し、壁面は安価な巻き込み式の補強土擁壁」です。

この形式は、低建設費の仮設構造物として採用されました。

巻き込み式壁面工は剛性が無いため、壁面に土圧が発生しません。このため、壁面・盛土の変形が大きく、また、外力・火災・UVに対する耐久性も低い。さらに、仮設構造物なので、盛土の締固め管理が不十分になりがちで、これも擁壁の変形が大きい要因になります。

## 初期のジオテキスタイル補強土擁壁

- ・壁面：巻き込み式
- ・低建設費、仮設構造物として出発



・従来、「GRS擁壁は、本設永久重要構造物として不適」という意見

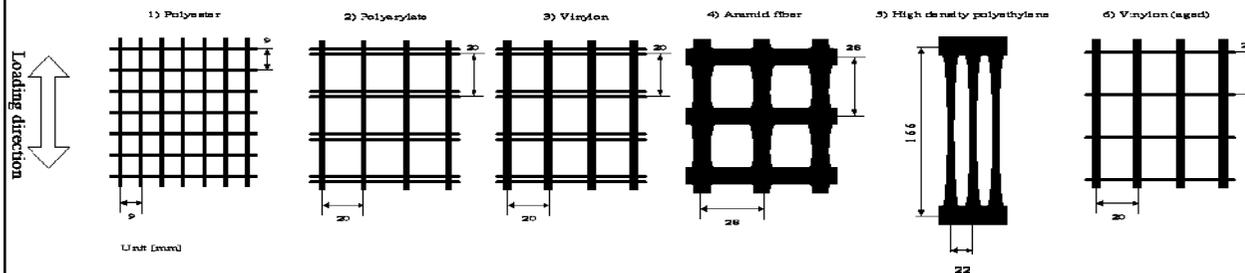
- 1) 実務的な問題：①変形が大きすぎる(特に壁面の孕み出し盛土自体の沈下)  
②壁面工の各種耐力、耐久性が低すぎる
- 2) 問題①の理由として、「金属補強材と比較すると、ジオテキスタイル補強材の剛性は低く延伸的でクリープしやすく、その為長期的に時間が経過するほど強度は低下する」という説明も多かった。しかし、これは俗説であり、正しくない。
- 3) 実際は、補強材の剛性が低いと建設中の変形は若干大きくなるが、これは通常は問題ならない。また、クリープ変形によって最終強度は低下しない。本当は、  
問題①は、ジオテキスタイル補強材を用いても、一定の剛性・一体性がある壁面工を用いて、盛土を良く締固めれば解決。  
逆に、金属製の帯状補強材を用いても、剛性・一体性がない壁面工を用いた場合や盛土の締固めが不十分な場合は、問題①は深刻になる。  
問題②も、一定の剛性がある壁面工を用いれば解決

これが、初期のジオテキスタイル補強土(GRS)擁壁の問題点と解決策を纏めたものです。

結局、主要な問題は、ジオテキスタイル補強材を用いても、剛性・一体性と耐久性がある壁面工を用いれば解決できる、ということでした。

ここで、2)での下線の部分は一見もったもらしいのですが、間違っています。その説明を次にします。

## 石油高分子材料による各種ジオテキスタイル補強材(ジオグリッド)



「金属補強材と比較すると、ジオテキスタイル補強材の剛性は低くクリープしやすいために、長期的に時間が経過するほどクリープによって強度は低下するため、通常の引張試験で測定した引張強度は、クリープ低減係数で減じて設計値とする必要がある(つまり、クリープは劣化現象)」という意見

しかし、下線の部分は俗説である。

- ・金属補強材と比較すると、ジオテキスタイル補強材は剛性が低くクリープしやすいが、長期クリープによって強度は低下しない(つまり、クリープは劣化現象ではない)
- ・従って、通常の引張試験で測定した引張強度を、クリープ低減係数で減じて、設計値とする必要はない(特に耐震設計において)

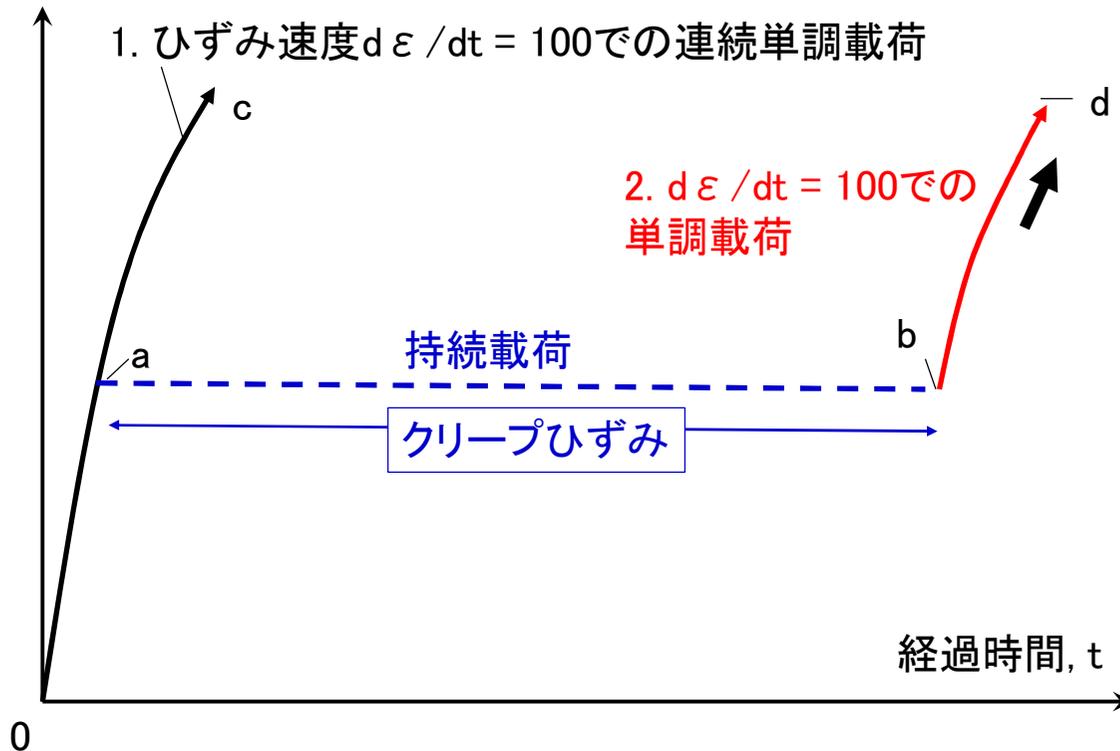
従来は、「ジオテキスタイル補強材の剛性は低く延伸的でクリープしやすく、その為長期的に時間が経過するほど強度低下する」という考え方が、かなり広く信じられていました。

もし、この考え方が本当ならば、ジオテキスタイル補強材は、供用期間が100年と非常に長い土木構造物としての補強土擁壁には用いることはできないこととなります。

しかし、下線の部分は俗説であり、間違っています。

持続载荷でのクリープひずみによって、最終強度は低下するのか？

引張り力, T

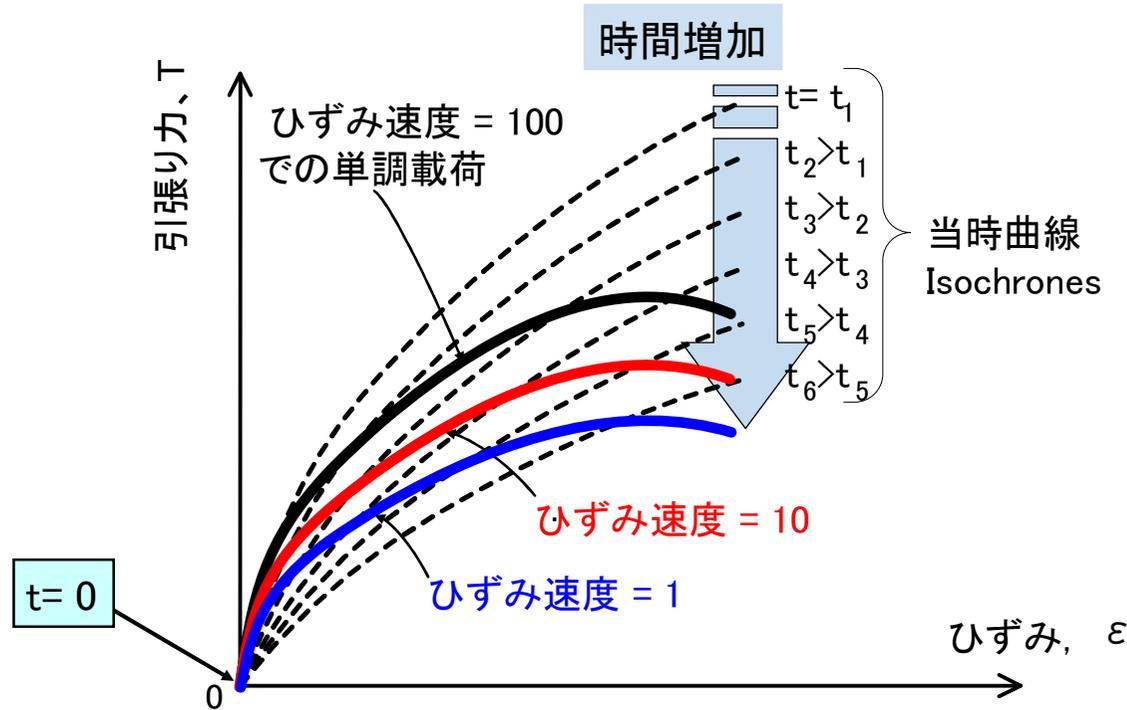


やや高度な内容ですが、「ジオテキスタイル補強材は、長期クリープによって強度は低下するのか？」という質問を、検討します。

ジオテキスタイル補強材の引張り試験1として「ひずみ速度一定(仮に100)で連続単調载荷を実施し、引張り力Tの時刻歴0→a→cを得たとします。

試験2では、载荷途中の点aでT一定の持続载荷a→bを開始してクリープひずみが生じたとします。その後b→dのようにひずみ速度100の単調载荷試験を再開した場合、強度(点dの引張り力T)は、試験1での強度(点cでのTの値)よりも小さくなり、強度低下はクリープひずみが大きいほど大きいでしょうか？

「クリープ変形により強度は下がる」という俗説の基礎としての等時理論  
Isochronous concept: 「補強材張力 $T$ は、引張ひずみ $\varepsilon$ と载荷開始時からの経過時間 $t$ の関数であり、载荷経路に関わらず同一 $t$ で同一の $(T, \varepsilon)$ 状態に達する。この場合、 $t$ が大きいほど同一の $\varepsilon$ での $T$ は小さくなる」と、言う理論

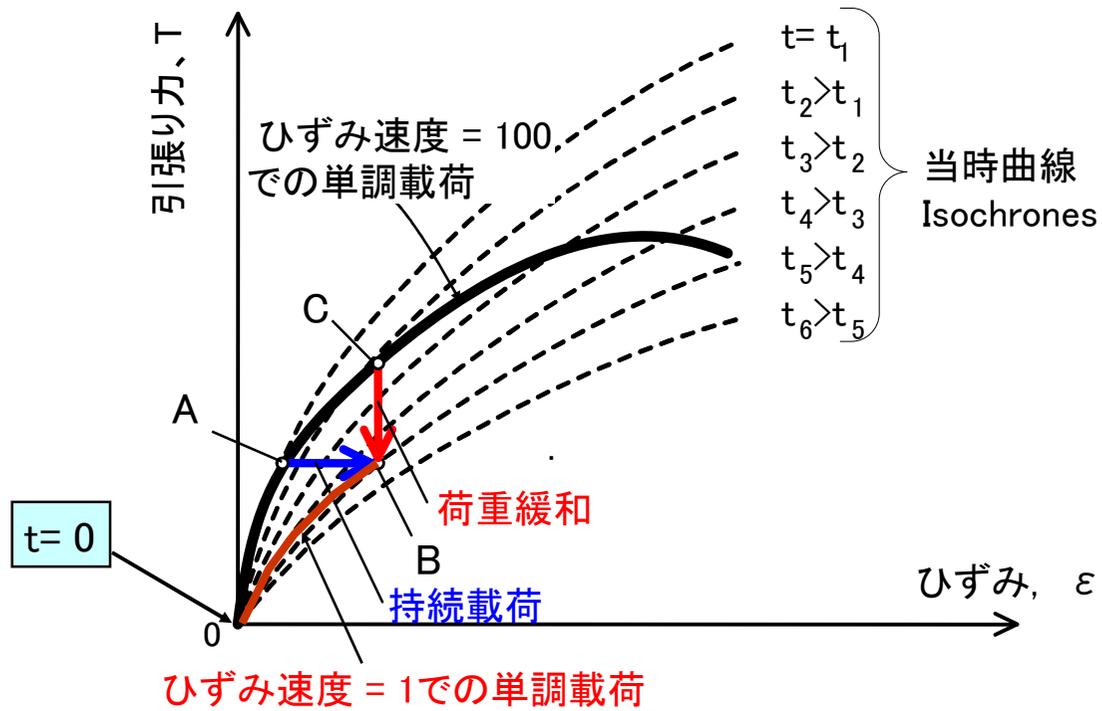


かって、全頁の間に対して、「クリープ変形によって最終引張り強度は低下する」と考えた研究者と技術者が多かった。また、その理論として、ここに説明する等時理論が提唱されていました。

この理論は、東大と理科大等での研究によって間違っていることが証明されました。その説明をします。

等時理論 Isochronous concept:

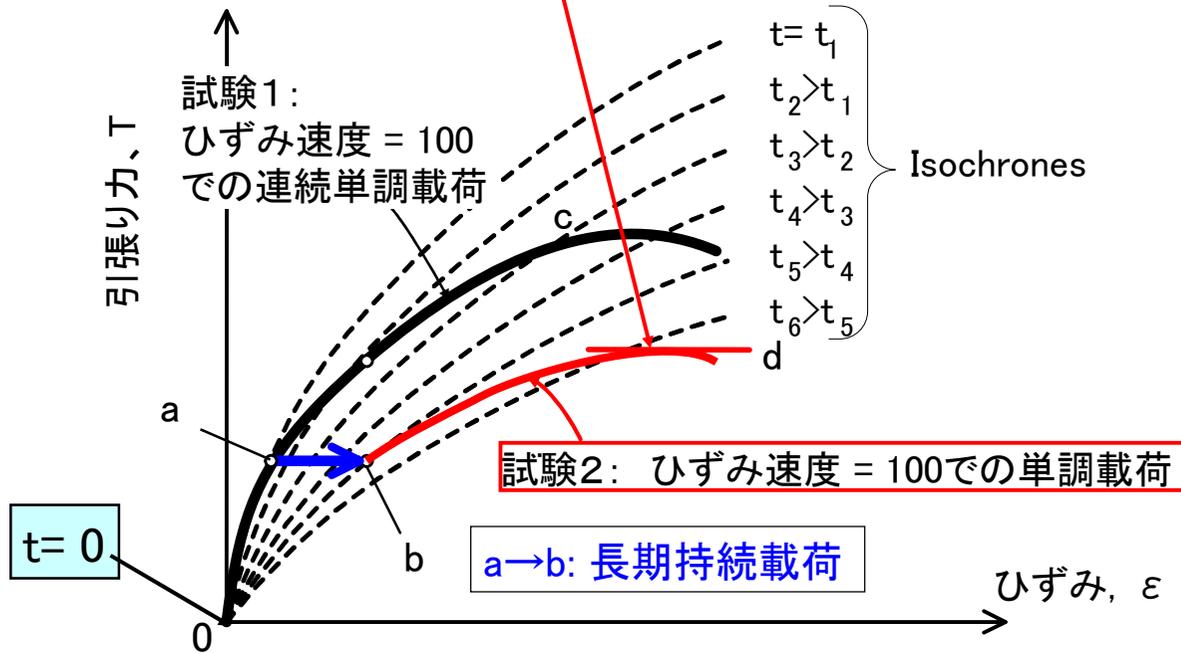
载荷経路に依らず、点Bに達するまでの時間は同じである(つまり、isochronous): **しかし、正しくは、 $\Delta t_{0CB} < \Delta t_{0AB} < \Delta t_{0B}$**



これも、等時理論の内容の説明です。

等時理論は、持続载荷後の挙動を全く説明できない

等時理論では「試験2でのピーク強度dは、クリープ変形a→bが大きいのほど低下する(クリープは劣化現象である)」⇒これは誤っている

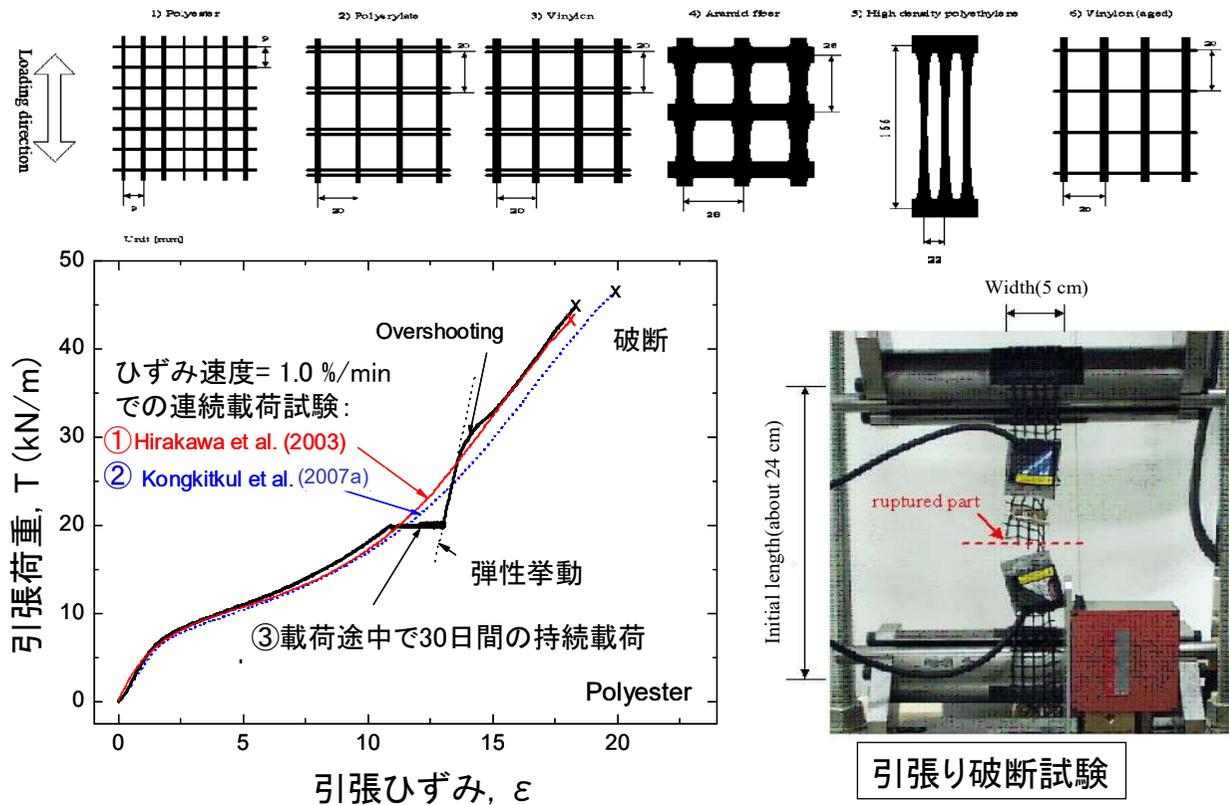


等時理論は、「载荷開始後の経過時間tが大きくなるほど、同一のεでの引張り力Tは小さくなる」と言う理論です。

従って、この理論に従うと、単調载荷の途中でa→bのように持続载荷を長くする実施するほど、単調载荷b→dの強度(点dでの引張り力T)は小さくなります。

では事実はどうなのでしょう？

## 持続荷重によってピーク強度は低下しないことを示した実験



平川大貴氏、Kongkitkul, S.氏の博士論文研究による

これがジオテキスタイル補強材の代表的な引張試験の結果です。

①と②は連続単調荷重試験で、ほぼ同じ引張り強度が発揮されています。

③では荷重途中で30日間の持続荷重をしています。しかし、持続荷重以後に単調荷重を再開すると、引張り力～ひずみ曲線は試験①と②の曲線に直ちに復帰して、最終引張り強度は、試験①と②と殆ど同じです。

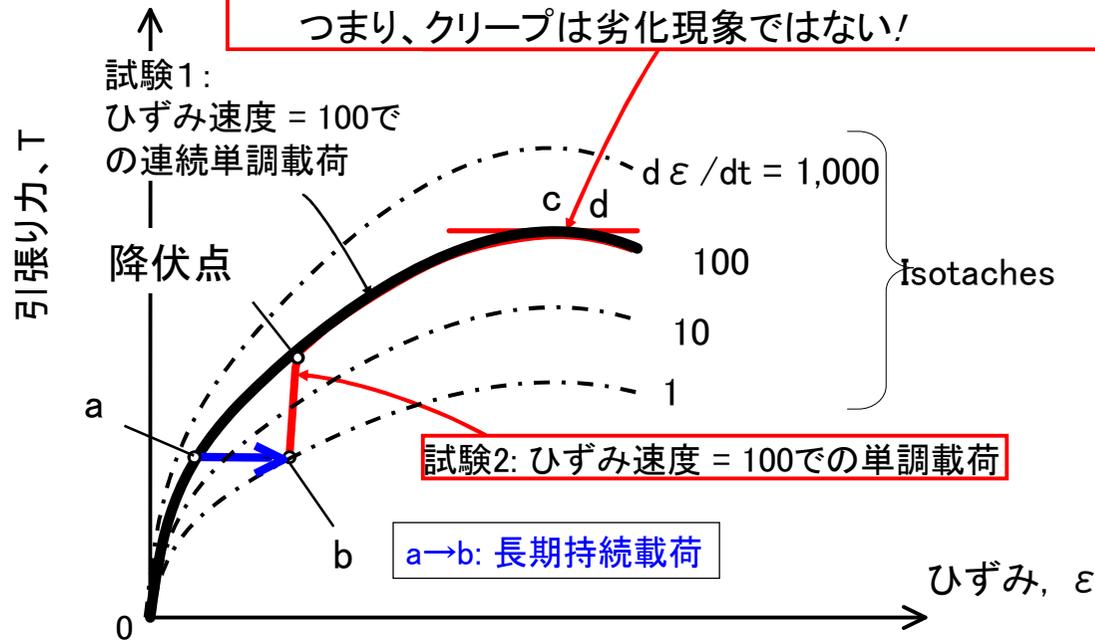
つまり、クリープ変形によって強度は低下していません。



実際は、持続载荷によってピーク強度は低下しない

試験2での実際のピーク強度d:

- 途中の持続载荷によるクリープ変形a→bの履歴の影響を受けないで、試験1での強度cと同じ！
- つまり、クリープは劣化現象ではない！



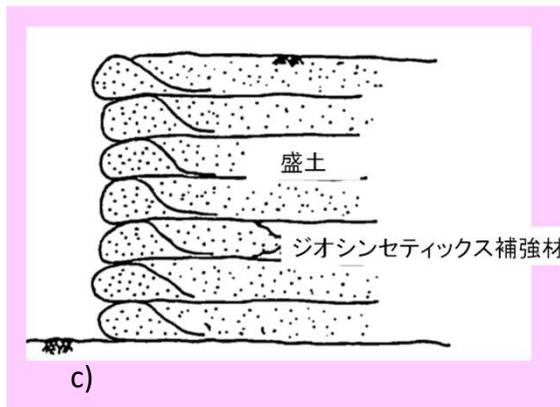
これは、全頁に示した実験結果を模式的に表したものであり、クリープ変形によって最終強度は低下しないことを説明しています。

この現象は、ジオテキスタイル補強材に特有な現象ではなく、土、岩、コンクリートでも生じる一般的な現象です。

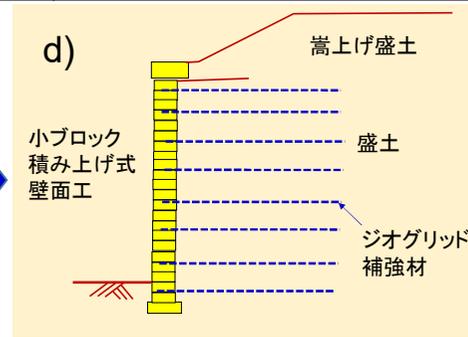
この事実は、「補強土擁壁の盛土内に配置したジオテキスタイル補強材には、長期に亘ってクリープ変形が生じますが、そのことによって長期強度が低下することではなく、将来生じる地震時などの急速载荷に対する最終強度は低下していない」、ことを示しています。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイル補強土擁壁 (図c)	ブロック式壁面工を持つジ オテキスタイル補強土壁 (図d)



壁面工  
の変更



壁面工は建設しやすいが、  
一体性が不十分

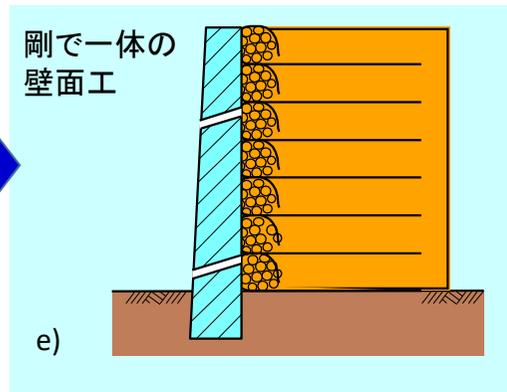
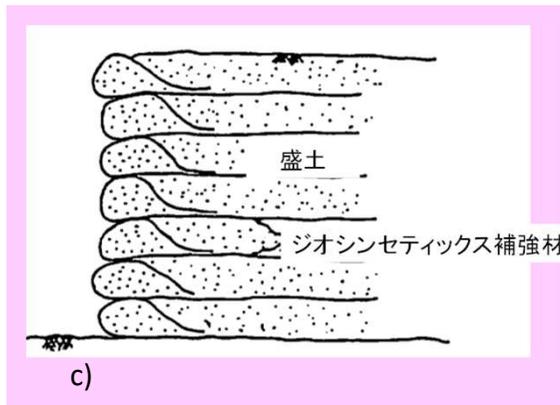
ジオテキスタイル補強材は供用期間が長期に亘る永久構造物としての補強土構造物に使用できますが、壁面が巻き込み式では、問題が多い訳です。

その解決法の一つは、小型のブロックを積み重ねて壁面工を形成する工法です。この工法は人力でも作業できます。

しかし、壁面工としての一体性が低く、地震に対する擁壁の安定性を保証できない、などの問題があり、我が国では重要性が低い補強土擁壁には利用できませんが、重要な永久構造物には用いられていません。

## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を発揮できない)	剛(大きな土圧を発揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイル補強土擁壁 (図c)	剛な一体壁面工を持つジオ テキスタイル補強土壁(図 e)



c)の巻き込み式土ジオテキスタイル補強土擁壁の主要な問題は、剛性・一体性と耐久性がある壁面工を用いれば解決できます。このことから、e)に示す剛な一体壁面工を用いた補強土擁壁が提案され、その後実用化されて、今日広く用いられている次第です。

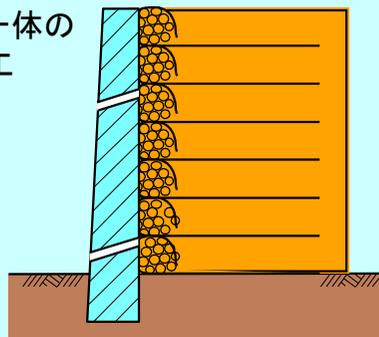
## 補強材と壁面工の剛性・形状による補強土擁壁の分類

壁面工の剛性 補強材 の形状(材質)	柔(大きな土圧を發揮できない)	剛(大きな土圧を發揮できる)
帯状(金属で比較的 に非延伸性)	金属製膜構造の壁面工 初期テールアルメ擁壁	RCパネルの壁面工を持つ 現在の標準的テールアルメ 擁壁
面状で膜/グリッド(主 に石油高分子材料で 比較的延伸性)	巻き込み式壁面のジオテ キスタイル補強土擁壁 (図c)	RCパネル壁面工や剛な一 体壁面工を持つジオテキス タイル補強土壁(図d)

・ジオテキスタイル補強土擁壁は、以下の条件を満足すれば永久重要構造物として成立する！

- a) 補強材の適切な配置(後で説明)
- b) 盛土の十分な締固め
- c) 十分な排水設備
- d) 剛性と一体性が高い壁面工の背面に補強材を連結 → 様々な効用

剛で一体の  
壁面工



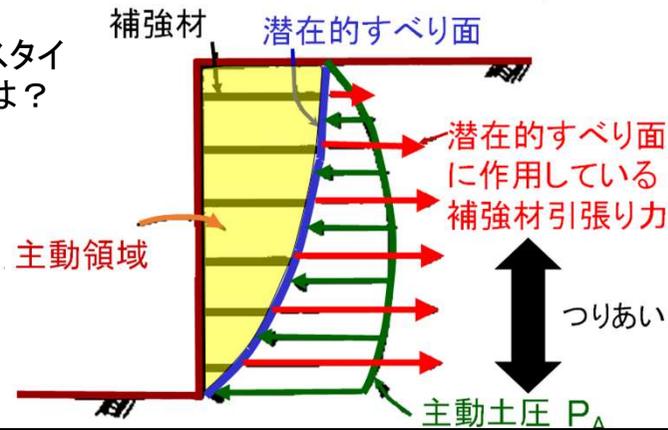
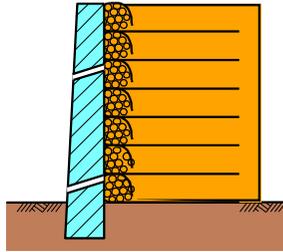
d)

これが、e)に示す剛な一体壁面工を用いた補強土擁壁の説明です。

では、この補強土擁壁の安定性は、どのように検討する必要がありますのでしょうか？

## 補強土擁壁の安定を支配する2種類の力の釣り合い

剛な一体壁面工を持つジオテキスタイル補強土擁壁での力の釣り合いは？



### (a) 潜在すべり面における力の釣り合い

潜在すべり面で、各高さに作用する主動土圧に、各高さでの補強材引張り力が抵抗。

⇒ 片持ち梁の構造ではないから、基礎地盤に大きな滑動せん断力と転倒モーメントが作用しない。

⇒ 従って、擁壁が高くなっても特に大規模構造物にはならない。

これらから、従来型の重厚な擁壁構造物が不要のように思える。しかし、

### (b) 壁面工における力の釣り合いによる主動領域の安定性の確保：

これには壁面工の剛性・一体性が重要⇒忘れがちになる！

この図は、補強土擁壁の安定を支配する2種類の力の釣り合いa)とb)を説明しています。

テールアルメ工法や他の多くの補強土壁工法では、釣り合いb)を考慮しなかったため、壁面工の剛性・一体性の重要な機能を見逃し、壁面工を活用していません。

## 剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-1

剛な壁面工に補強材が連結されていて、  
壁面工背面に高い土圧が作用する場合

壁面に作用する土圧は大きい⇒

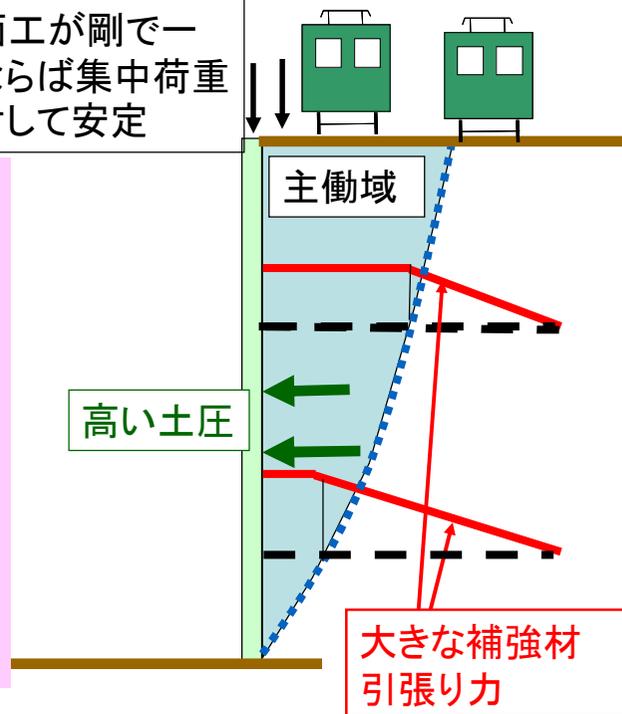
- ①主働域の拘束圧は高い
- ②盛土下部でも補強材に十分大きな引張りが発生

⇒主働域の剛性は高い

⇒盛土の変形は小さい

安定で好ましい状態

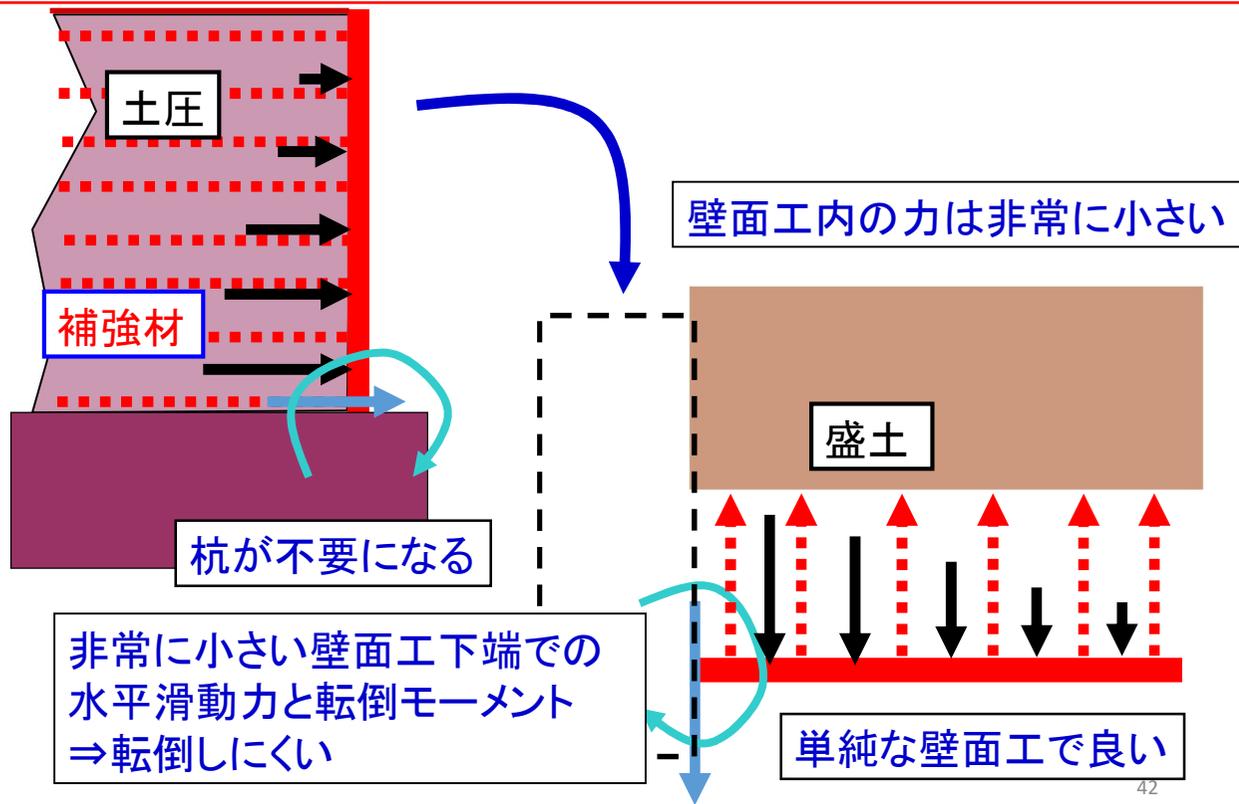
壁面工が剛で一  
体ならば集中荷重  
に対して安定



これは、釣り合いb)に基づいた「剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-1」を説明したものです。

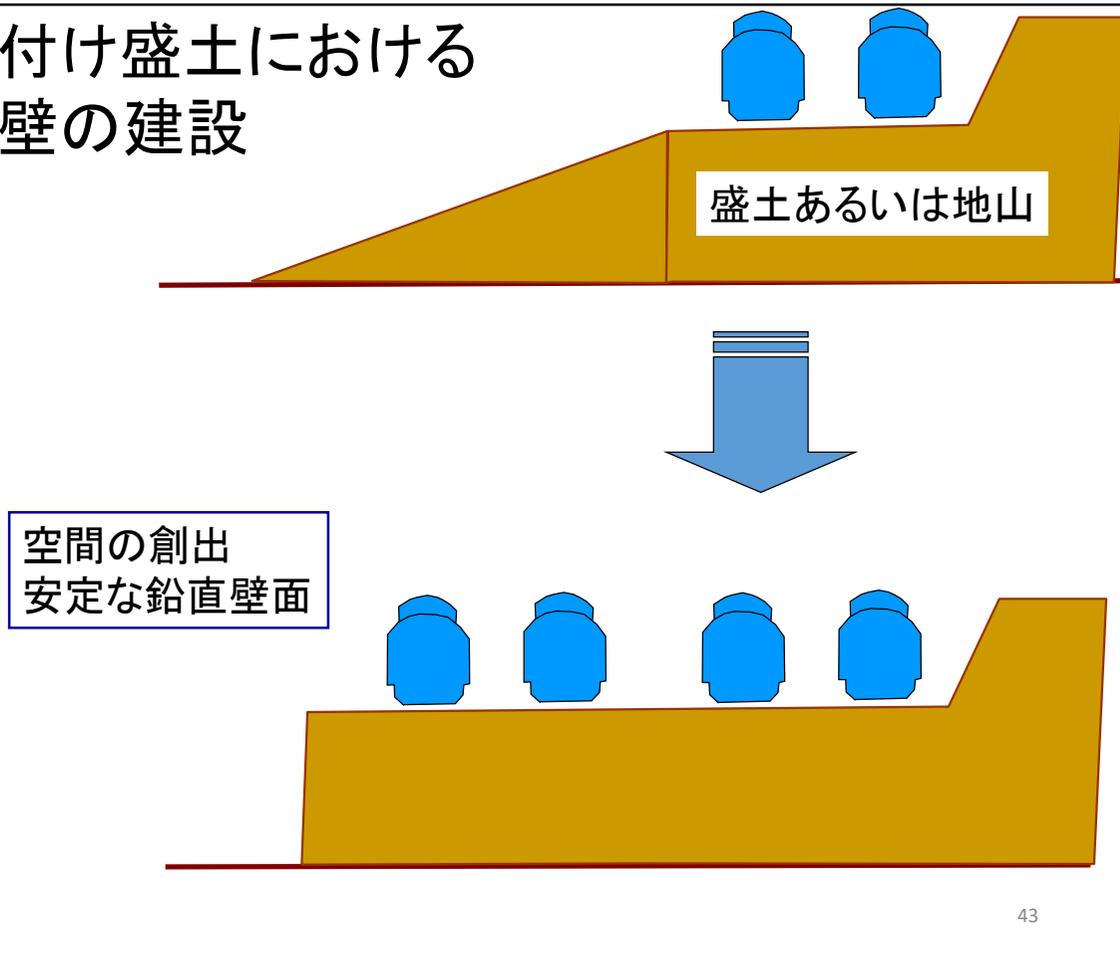
この機能は5まであり、順次説明します。

補強土擁壁に用いる剛な一体壁面工： 支点間距離が小さく支点数が多い連続梁なので、壁面に土圧が作用しても・・・



これは、剛で一体の壁面工は片持ち梁構造ではなく、「支点数の多い連続梁構造」であることを説明したものです。

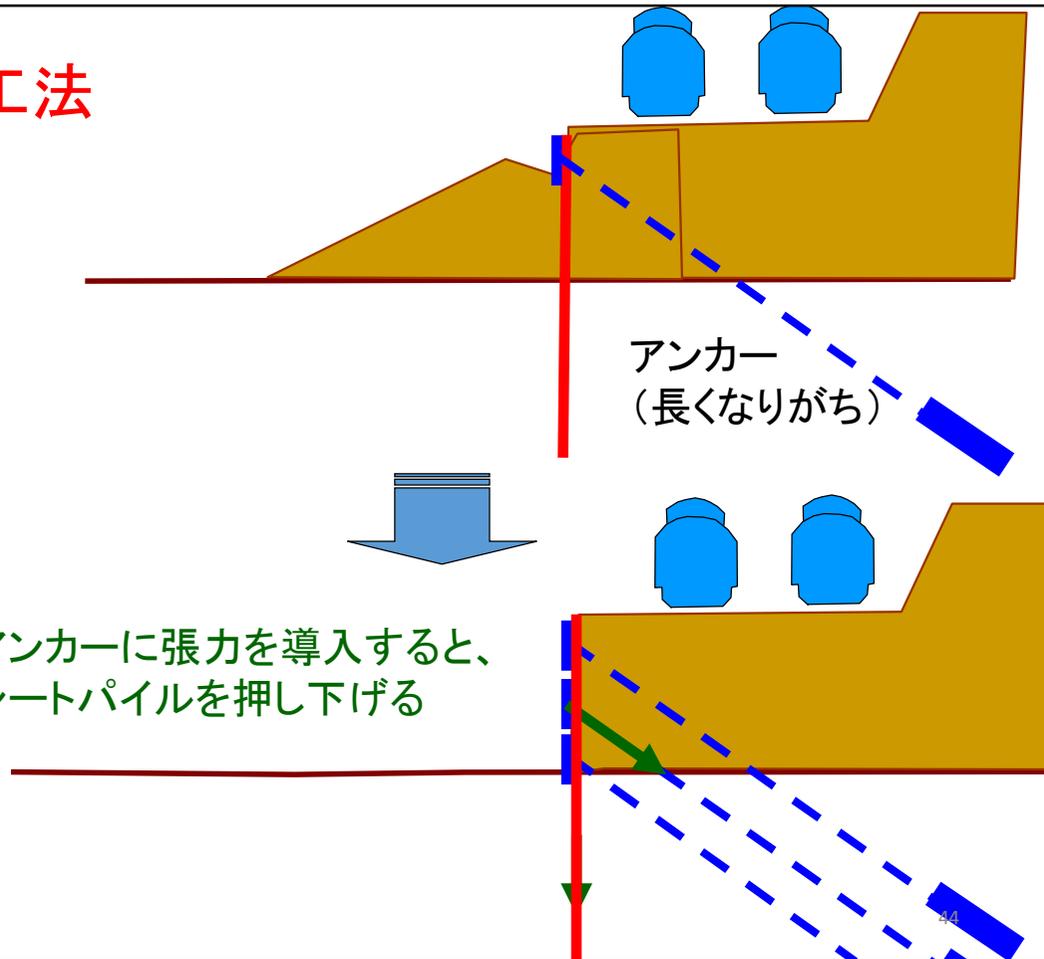
## 腹付け盛土における 擁壁の建設



次に、既設の盛土斜面や自然斜面に擁壁で腹付け盛土を建設する場合の課題を検討します。

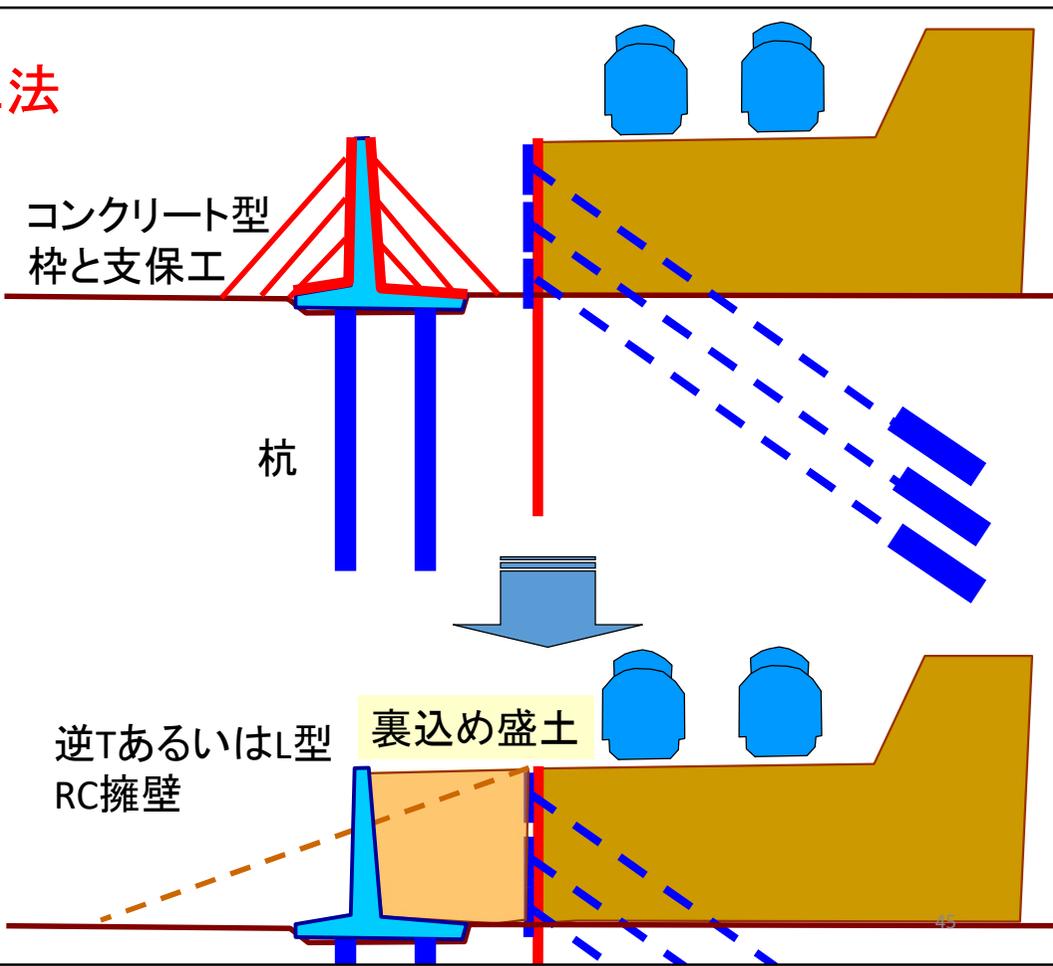
我国など先進国では、古い時代に建設された鉄道や道路の盛土に腹付け盛土をして線路・車線を増加するケースは非常に多い。

## 従来工法



しかし、従来工法では各種の問題があります。

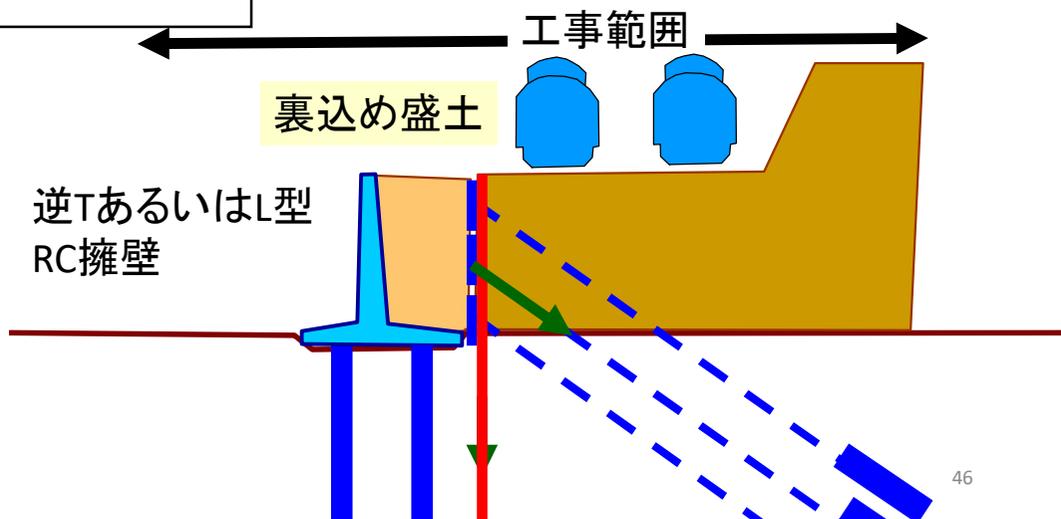
# 従来工法



## 従来工法の諸問題

1. 多い工程数
2. 広い工事面積
3. 多くの仮設構造物
4. 片持ち梁としての抗土圧構造物

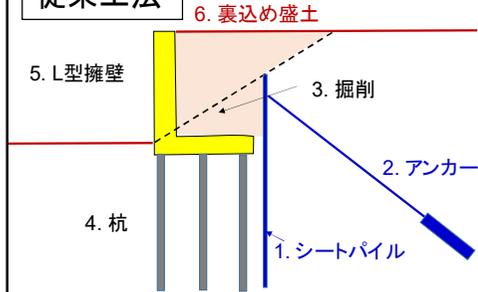
結局、  
・コンクリート支保工、  
・アンカー、  
・シートパイル  
は仮設、もったいない。



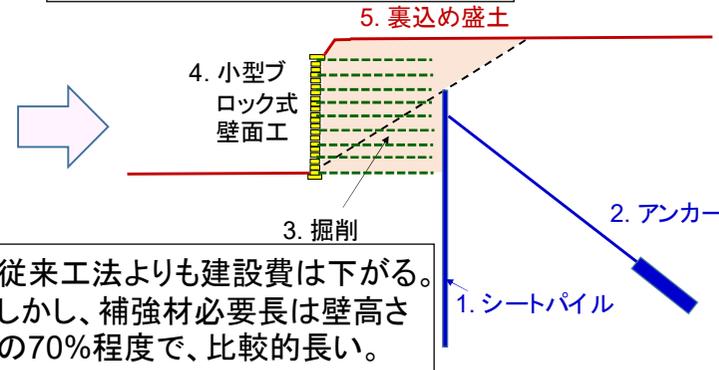
これが、従来工法の諸問題のまとめです。

## 腹付け盛土での課題....

### 従来工法



### 欧米で普及しているGRS擁壁



斜面掘削量が多くなり、大掛かりな仮設構造物(アンカー、シートパイル等)が必要となる場合が多い

この問題が解決しない

左上が従来工法です。

右上は、補強土擁壁を用いて腹付け盛土をする場合ですが、壁面工の一体性が低いために、補強材をL/H=0.7程度に長くしている場合です。テールアルメ工法では、補強材は金属製の帯材で引き抜けやすいため、同様に長くする必要があります。

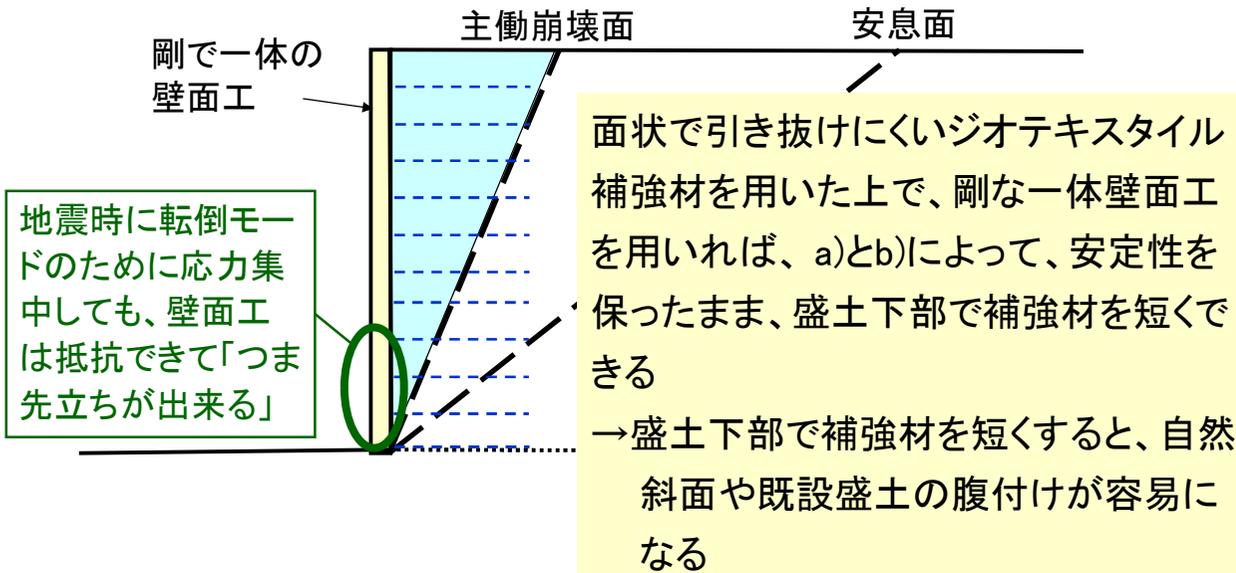
このように補強材が長い補強土擁壁の場合も、従来工法と同じく、斜面掘削量が多くなり、大掛かりな仮設構造物(アンカー、シートパイル等)が必要となる場合が多い

## 剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-2a

壁面工が剛で一体であれば、

- a) すべり面が壁面工下端から出発することが強制され、
- b) 主働領域の一体性が確保される。

⇒ 転倒・滑動・せん断変形が抑制される！

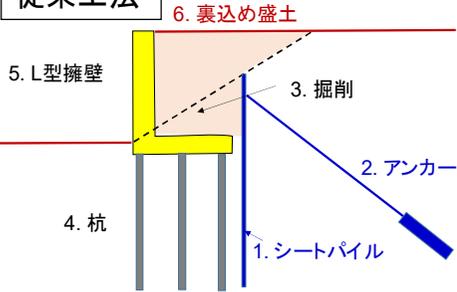


一方、

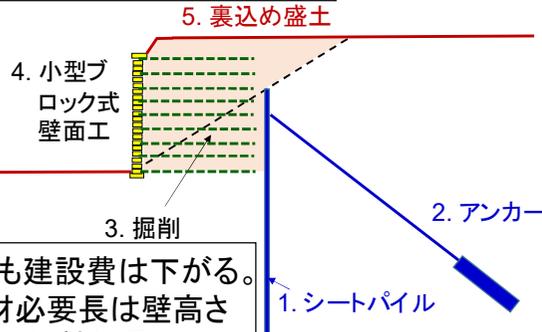
- ① 面状で引き抜けにくいジオテキスタイル補強材を用いた上で、
- ② 図で説明するように、剛で一体の壁面工を用いることによって、腹付けの補強土擁壁が不安定化することなく補強材長を短くできます。その結果、補強材を短くして腹付け盛土の建設が容易になります。

## 腹付け盛土での課題....

### 従来工法



### 欧米で普及しているGRS擁壁



従来工法よりも建設費は下がる。しかし、補強材必要長は壁高さの70%程度で、比較的長い。

斜面掘削量が多くなり、大掛かりな仮設構造物(アンカー、シートパイル等)が必要となる場合が多い

この問題が解決しない

### 剛な一体壁面工を段階施工するGRS擁壁

#### 2. 剛な壁面工無しでGRS壁の建設

#### 3. 剛な一体壁面工

1. 比較的小規模な掘削

面状ジオテキスタイル補強材を用いて、剛な一体壁面工によって、安定性を失うことなく盛土下部の補強材層を短くできる

斜面掘削量が低減し、アンカーとシートパイルが不要となる

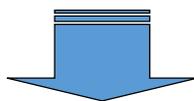
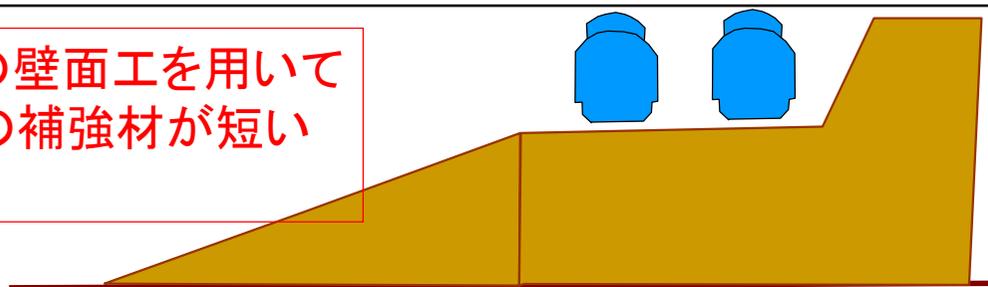
⇒ C/Pが低くなる

下段の図は、補強土擁壁でも、引き抜けにくい面状のジオテキスタイル補強材を用いた上に、剛で一体の壁面工を用いることによって、安定性を失うことなく、補強材長を短くした場合は。

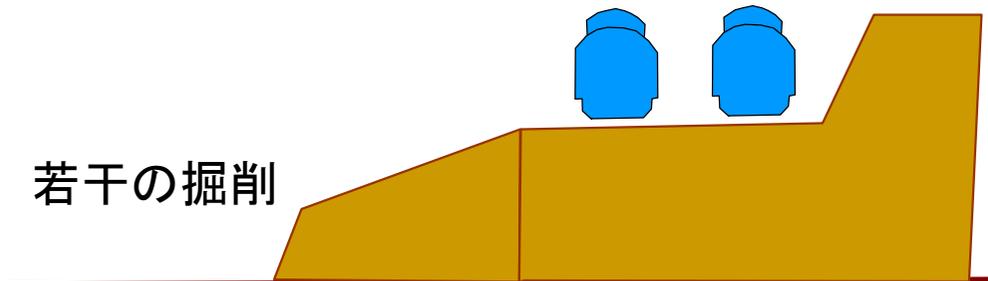
このように盛土下部の補強材層を短くした場合は、斜面掘削量が低減し、アンカーとシートパイルが不要となります。

⇒ CostのPerformanceに対する比が低くなる(コスパが良くなる)

剛で一体の壁面工を用いて  
盛土下部の補強材が短い  
GRS擁壁



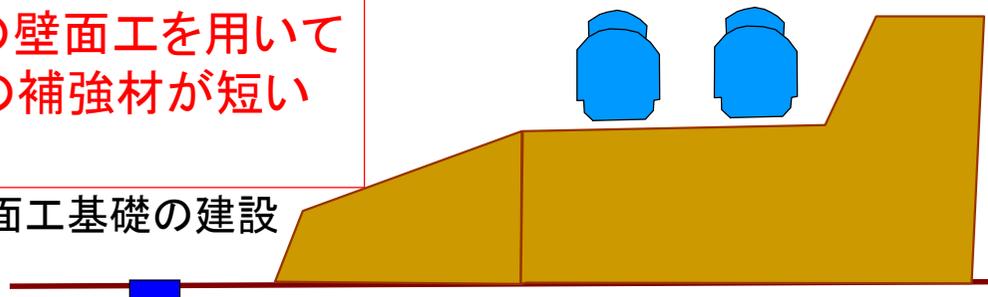
若干の掘削



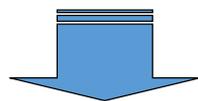
この頁と引き続く2頁では、面状のジオテキスタイル補強材と剛で一体の壁面工を用いることによって盛土下部の補強材を短くすることによって、腹付け盛土の建設を合理化できることを説明しています。

剛で一体の壁面工を用いて  
盛土下部の補強材が短い  
GRS擁壁

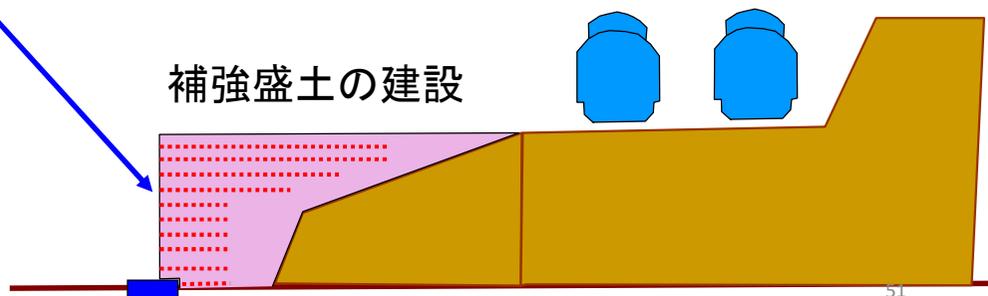
壁面工基礎の建設



剛で一体の壁面工を用いること  
によって、全体安定性を保ちながら  
補強材を短くできる



補強盛土の建設

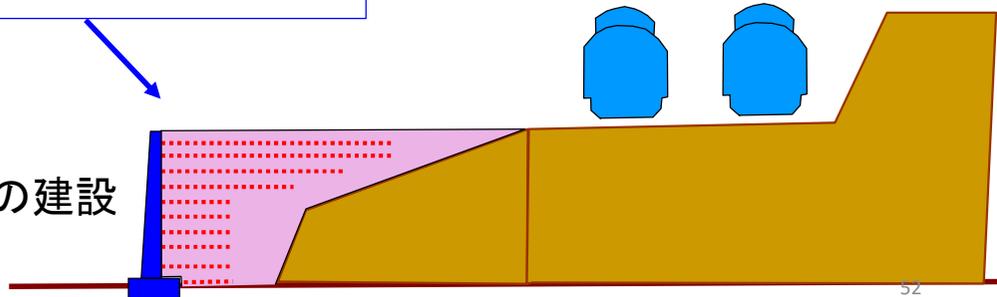


**剛で一体の壁面工を用いて  
盛土下部の補強材が短いGRS擁壁**

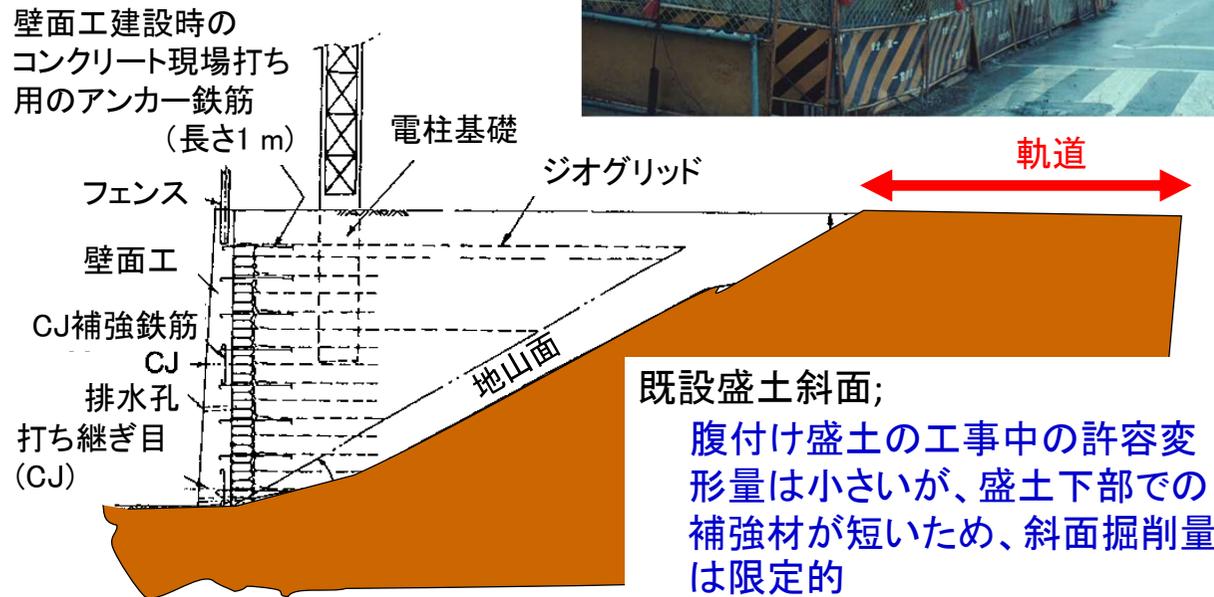
1. 工程数が少ない
2. 工事中工事後、占有面積が狭い
3. 仮設構造物が無い
4. 盛土は自立構造物(壁面工に杭は不要)

剛で一体の壁面工を用いること  
によって、全体安定性を保ちながら  
補強材を短くできる

壁面工の建設



JR東海名古屋市枇杷島  
 \* 最初の大規模工事  
 \* 建設期間; 1990 ~ 1991年

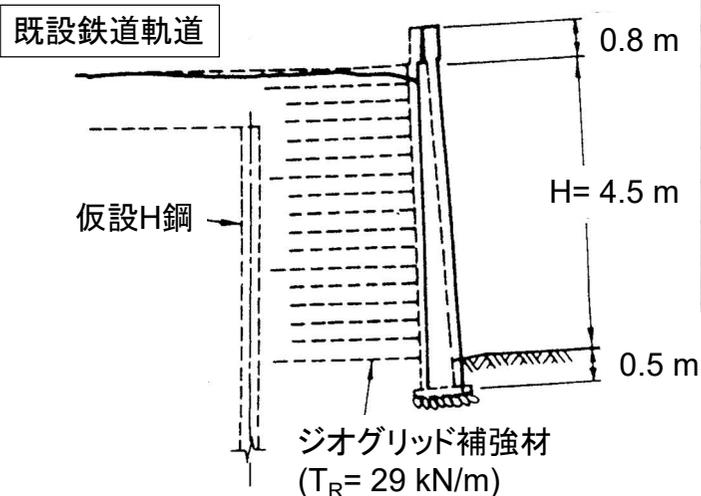


これは、再度示す図ですが、1995年阪神淡路地震の前でも、殆ど現場では、この例の様に、既設の盛土斜面に腹付けして補強土擁壁を建設する場合、盛土下部では補強材を短くしていますが、盛土上部では複数のジオテキスタイル補強材の層を安息面まで伸ばして、擁壁の安定性に余裕を持たせていました。

注) 設計における余裕の確保は、想定外の災害に備えるために有効であるが、経済性のとの兼ね合いが常に難しい問題となる。

1995年神戸地震で崩壊しなかったJR西日本神戸線の  
「たなた地区での剛な一体壁面工を持つジオグリッド補強土擁壁」

- この現場では、JR西日本神戸線が運行したまま擁壁を建設する必要があった。このため、この擁壁だけ例外的に補強材の長さが一定で $L/H=0.4$ と短かくした(関西地方では、強烈な地震は生じない、と勝手に想定した)
- 旧耐震設計法で設計( $k_h = 0.2$ )では、全補強材層が $L/H= 0.4$ と短くても耐震性は十分であると判定された



一方、1995年神戸地震で崩壊しなかったJR西日本神戸線の「たなた地区での剛な一体壁面工を持つジオグリッド補強土擁壁」では、例外的に補強材は長さが一定で $L/H= 0.4$ と短くしていました。

これは、この現場では、JR西日本神戸線が運行したまま擁壁を建設する必要と言う、補強材を長くできない事情があったからです。

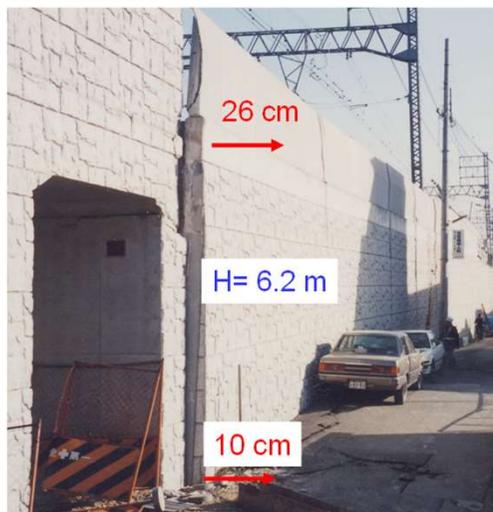
また、関西地方では強烈な地震は生じない、と勝手に想定して、余裕を確保しませんでした。

さらに、旧耐震設計( $k_h = 0.2$ )では、全補強材層が $L/H= 0.4$ と短くても耐震性

は十分である、と判定されました。

1995年神戸地震で崩壊しなかったJR西日本神戸線の  
「たなた地区での剛な一体壁面工を持つジオグリッド補強土擁壁」

- この現場では、JR西日本神戸線が運行したまま擁壁を建設する必要があった。このため、この擁壁だけ例外的に補強材の長さが一定で $L/H=0.4$ と短かくした(関西地方では、強烈な地震は生じない、と勝手に想定した)
- 旧耐震設計法で設計( $k_h = 0.2$ )では、全補強材層が $L/H = 0.4$ と短くても耐震性は十分であると判定された



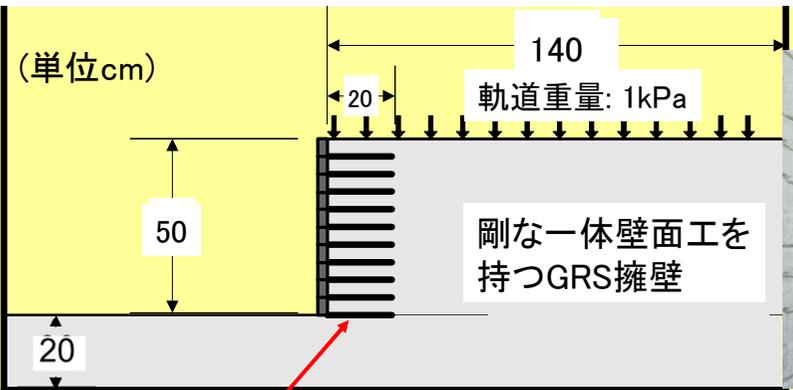
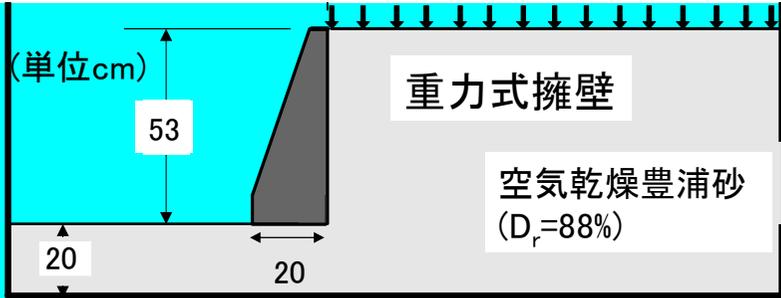
しかし、実際の強烈な地震動によって、補強土擁壁は若干変位・変形  
⇒盛土下部の補強材は短いままで、耐震性を向上する方法は？

しかし、実際の強烈な地震動によって、この補強土擁壁は崩壊はしなかったけれど、若干変形・変形しました。ただし、この被害は、若干の補修によって復旧できるレベルでした。

それでも、盛土下部の補強材は短いままで、耐震性を向上して十分な余裕を確保できる方法を確認する必要が生じました。

# 1995年阪神淡路地震での重力式擁壁とGRS擁壁の挙動の 模型振動台実験による検討

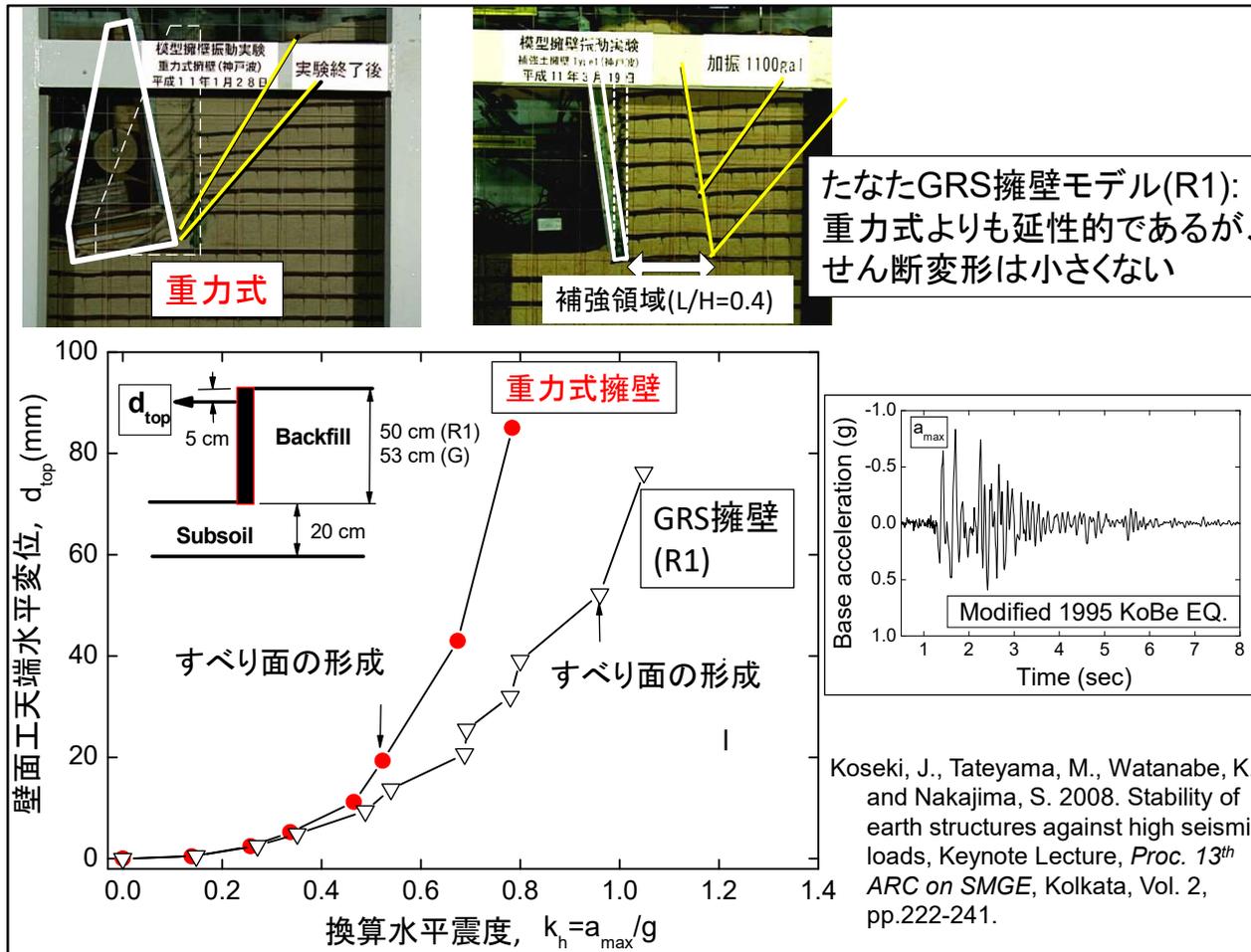
(Koseki et al., 2008)



補強材(格子状のリン青銅帯材:  
 $t=0.2\text{mm}$ )

旧耐震設計法で設計 ( $k_h = 0.2$ ) では、  
全補強材層が  $L/H = 0.4$  と短くても成立

そこで、多数の従来形式の重量式擁壁等が崩壊したことからGRS擁壁が高い耐震性を示した理由を検討するために、模型振動台実験が行われました。

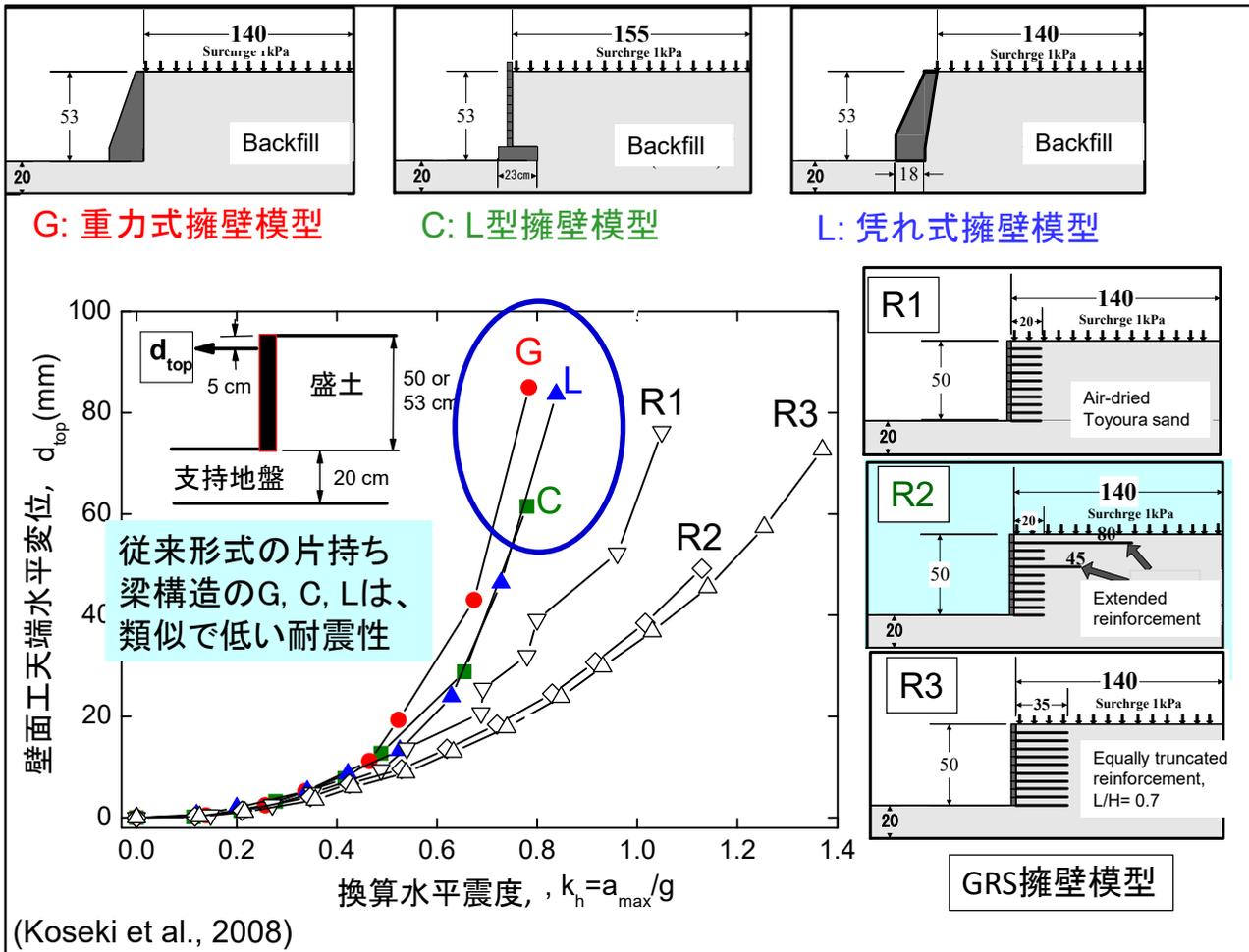


これは、模型振動台実験の結果です。

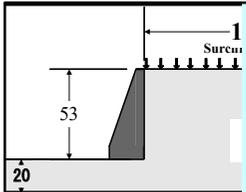
実際の地震動の加速度記録を用いて、最大加速度  $a_{max}$  を段階的に増加させながら加振を繰り返しています。

$a_{max}$  を地球の重力加速度  $g$  で除した換算水平震度  $k_h$  に対して、模型擁壁の天端の水平変位  $d_{top}$  をプロットしています。

GRS擁壁の変位は重力式擁壁の変位よりも小さく、より安定であり、実際の挙動と対応しています。しかし、GRS擁壁のせん断変形は小さくありません。



従来形式の片持ち梁構造である重力式擁壁(G)に加えRC逆T擁壁(C), もたれ式RW(L)の結果が比較してありますが、三者の耐震性は類似で低いことが分かります。

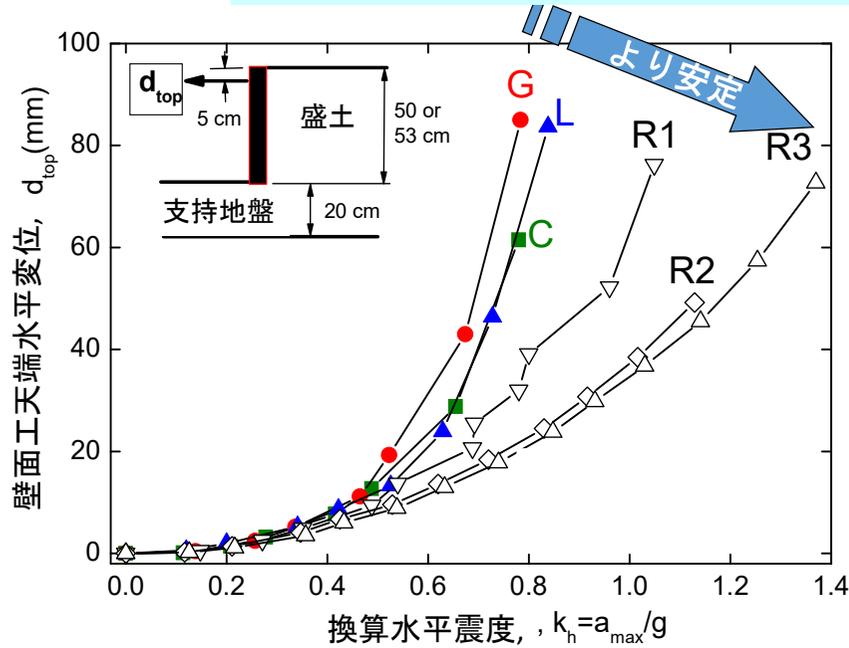


R2: 1995年以前から、たなた擁壁以外では採用していた形式

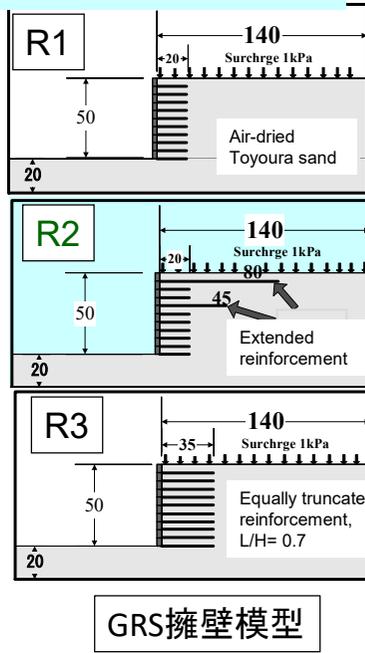
- ・R1よりも安定であり、R3と類似の高い耐震性
- ・補強材量はR3よりも少ない
- ・盛土下部で補強材を短いままにできる

⇒C/Pが良い  
R2形式の合理性の確認

G: 重力式擁壁



(Koseki et al., 2008)



GRS擁壁模型

たなたのGRS擁壁はR1形式です

盛土上部で複数の補強材層を長くしたのがR2形式です。R2は、1995年以前から、たなた擁壁以外では採用していた形式です。R1よりも安定であり、補強材層が全て長いR3形式と類似の高い耐震性を示しています。

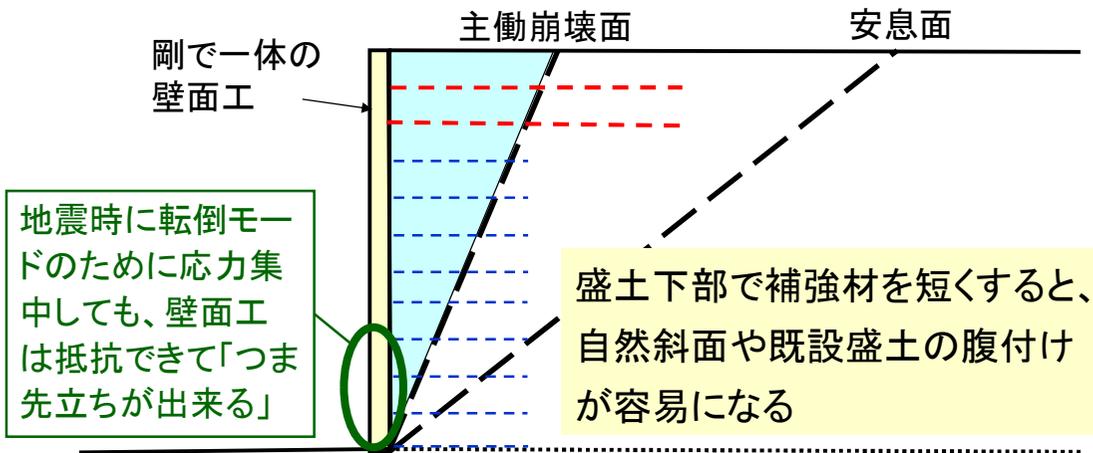
つまり、R2は「補強材量はR3よりも少ないが耐震性は類似であり」、同時に「盛土下部で補強材を短いままにできます」。従って、特に腹付け擁壁の建設では、C/Pが良いことが分かります。

この実験結果によって、

R2形式の合理性が確認できました。

## 剛で一体な壁面工のメカニズムと機能-2b

- 1) 面状で引き抜けにくいジオテキスタイル補強材を用いて、
- 2) 壁面工が剛で一体であれば、
  - a) すべり面が壁面工下端から出発することが強制され、
  - b) 主働領域の一体性が確保され、
- 3) さらに、盛土上部の補強材層を数層長くすれば、  
⇒ 盛土下部の補強材が短い場合でも、強烈な地震動に対しても、転倒・滑動・せん断変形を十分に抑制できる！



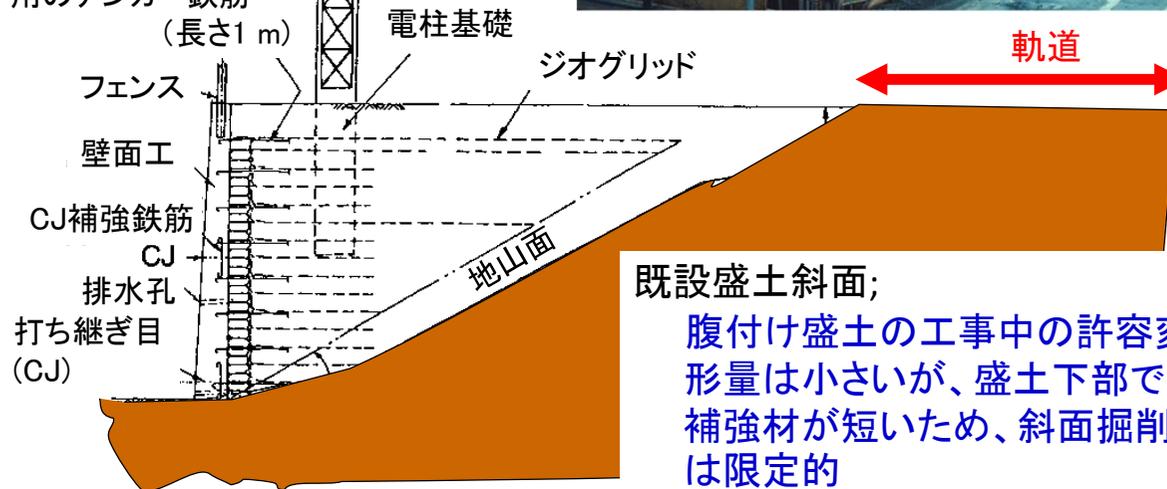
これは、盛土下部の補強材が短くしても擁壁の安定を確保できるようにするための三つの方法を纏めたものです。

JR東海名古屋市枇杷島  
\* 最初の大規模工事  
\* 建設期間; 1990 ~ 1991年



再度ですがこれが、既設の盛土斜面に腹付けしたGRS擁壁の例です。1990～1991年に建設されています。

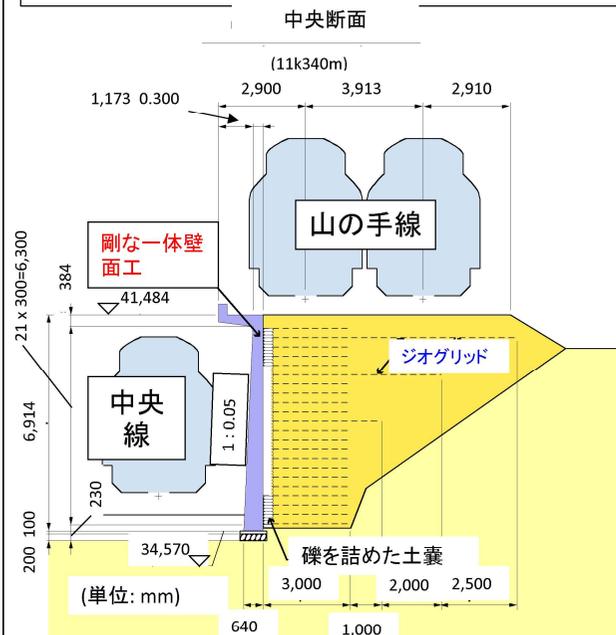
壁面工建設時の  
コンクリート現場打ち  
用のアンカー鉄筋  
(長さ1 m)



既設盛土斜面;

腹付け盛土の工事の許容変  
形量は小さいが、盛土下部での  
補強材が短いため、斜面掘削量  
は限定的

# ジオテキスタイ補強土擁壁の最も重要な工事の一つ (1995年～2000年、新宿)



従来形式の擁壁⇒10m以上長い杭が必要  
盛土下部での補強材が短いGRS擁壁  
⇒既設盛土斜面の掘削量は限定的



見かけは、普通のRC擁壁  
-しかし、全く新しい形式の擁壁

これは都内新宿駅に隣接する現場です。

## 剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-3

### 三次元効果

一部での破壊が全体破壊とはならない

- 設計では考慮していない要因であり、パネル式・ブロック式等の全体剛性が無い壁面工と比較して、隠れた余裕となっている

一部での破壊が全体破壊となった場合



剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能として、三次元効果を説明したものです。

一体性のない分割パネル式の壁面工では、一部のパネルが崩壊すると、擁壁全体の崩壊に発展する危険があります。

## 米国テネシー州山間部高速道路で四つのテールアルメ 擁壁の崩壊(1986年)



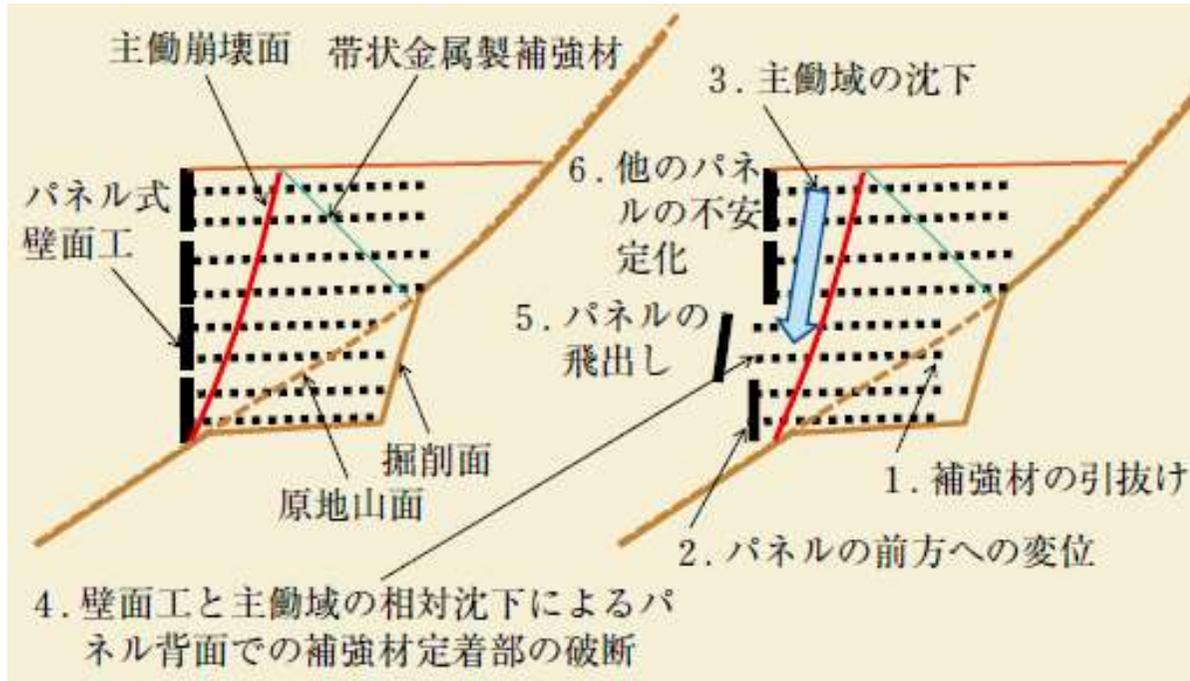
(Colin JFP Jones提供)

自然地山での腹付けの擁壁  
→補強材の長さが不足する設計  
→補強材の引き抜け



一部のパネルが崩壊が  
擁壁全体の崩壊に発展し  
た事例です。

## 带状金属製補強材の引きぬけによるパネル式壁面工の崩壊のメカニズム（数字は生起順序）



一部のパネルが崩壊すると、擁壁全体の崩壊に発展した事例での崩壊メカニズムを説明したものです。

自然斜面に腹付けした擁壁であり、地山の掘削を大きくしなかったため擁壁下部で補強材が短くなり、そのため引き抜けて分割パネルが押し出されたのがきっかけでした。

## 日本でのテールアルメ擁壁の崩壊例

青森県南郷村付近，農水ダム取付け道路工事

2001年2月竣工，2001年8月崩壊

沢渡りの盛土工事，発生土(粘土混じり礫)使用、支持地盤は岩盤

- 構築中から壁面沈下→緩衝材(リサイクルゴム)が過大に圧縮
- 壁面クラック順次進行(崩壊直前に最終的には50枚程度損傷)
- 崩壊直前、盛土圧縮沈下量50cm程度，水平変位10cm程度



これは、日本での、一部のパネルが崩壊すると、擁壁全体の崩壊に発展した事例です。

①排水性の悪い盛土材と排水不良→②補強材引き抜け  
→③主働領域の沈下→④壁面工が軸圧縮、⑤壁面工背面で  
の補強材定着ボルトのせん断破壊→⑥一部パネル(厚さ14cm)  
の押し出し→⑦全体の崩壊



これは、一部のパネルが崩壊すると、擁壁全体の崩壊に発展した事例での崩壊メカニズムを説明したものです。

運河沿い橋梁取り付け道路のテールアルメ擁壁  
2010年6月、ハリケーンで崩壊、メキシコ（Leshchinsky教授による）

擁壁前面の支持地盤の洗掘と波浪により崩壊  
パネル式壁面工の不安定性を示した例



これも、壁面工が分割パネルであったため、壁面工の支持地盤の洗掘によって一部のパネルの不安定化し、それが全体の崩壊に発達した例です。



擁壁の崩壊が、壁面工の基礎地盤の洗堀から始まっていることが分かります。



2015年6月4日、米国Wyoming州、Luskでの道路IS-85のテールアルメ擁壁を橋台にした桁の落橋(Chadrad. com. KCSR):

■ 推定メカニズム: 付近の河川の氾濫による洪水⇒壁面工下端の洗掘⇒壁面工の不安定化⇒壁面工上端の小橋台の不安定化⇒桁の落橋



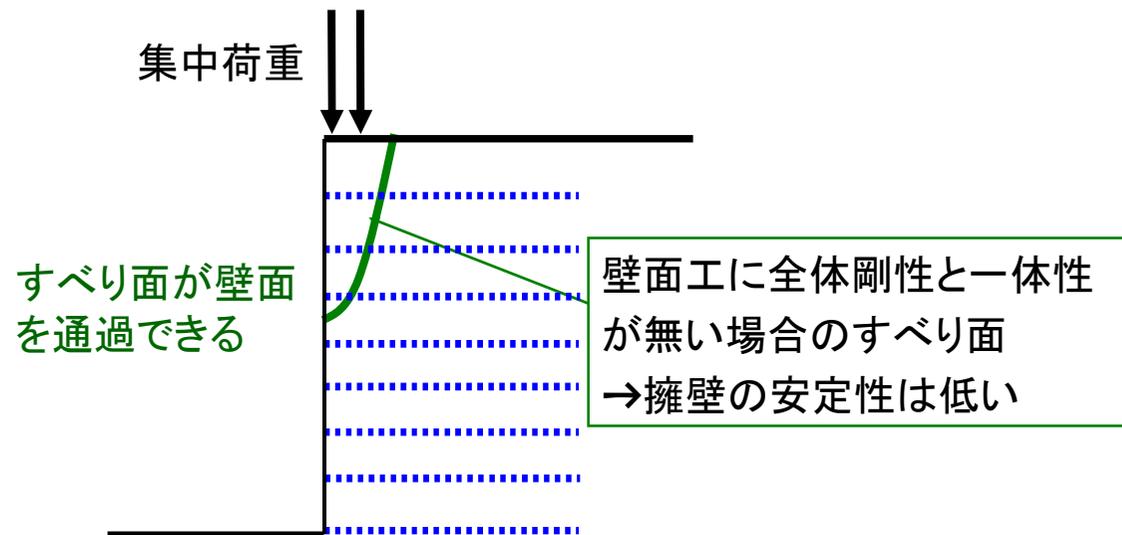
これは、洪水による洗堀によって壁面工の基礎の支持地盤が洗堀されて、橋桁を支持していた壁面工が不安定化したことによって生じた崩壊です。

これも、壁面工が分割パネルであったため、一部のパネルの不安定化が全体の崩壊に発達した例です。

## 剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-4

壁面工に剛性と一体性が無い場合

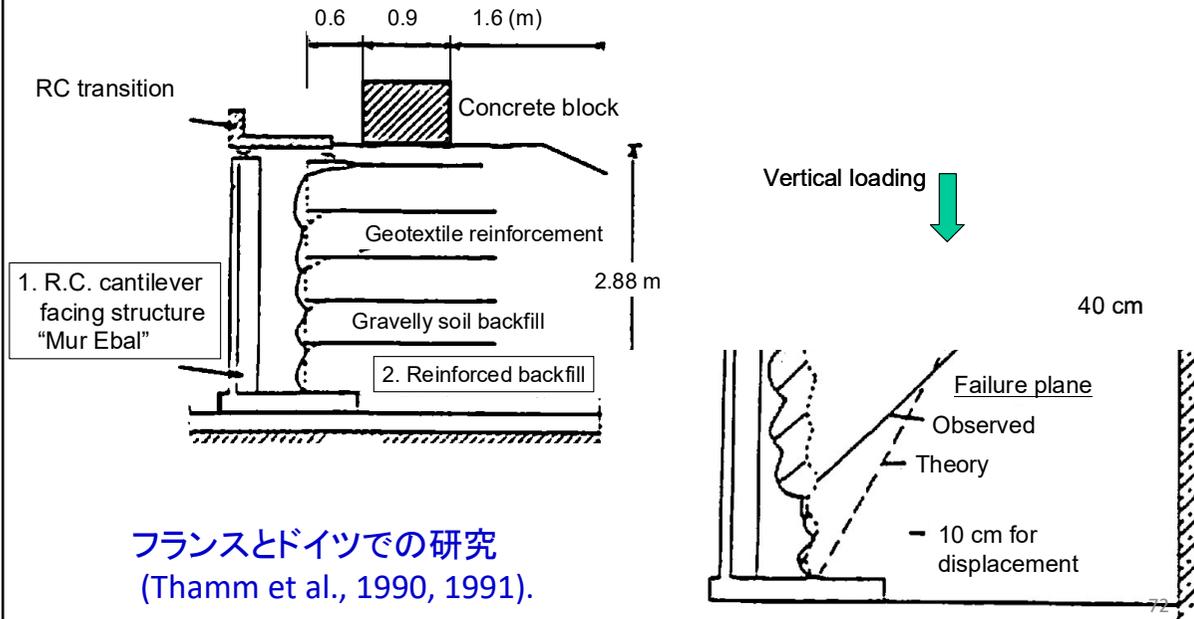
天端での壁面近くの集中荷重に対する抵抗力は小さい



壁面工に一体性がないと、天端での壁面近くに加わる集中荷重に抵抗できません。

# ジオシンセティック巻き込み壁面と接触していない化粧壁面 工を持つGRS擁壁の载荷実験

→壁面にすべり面が容易に到達→非常に低い安定性



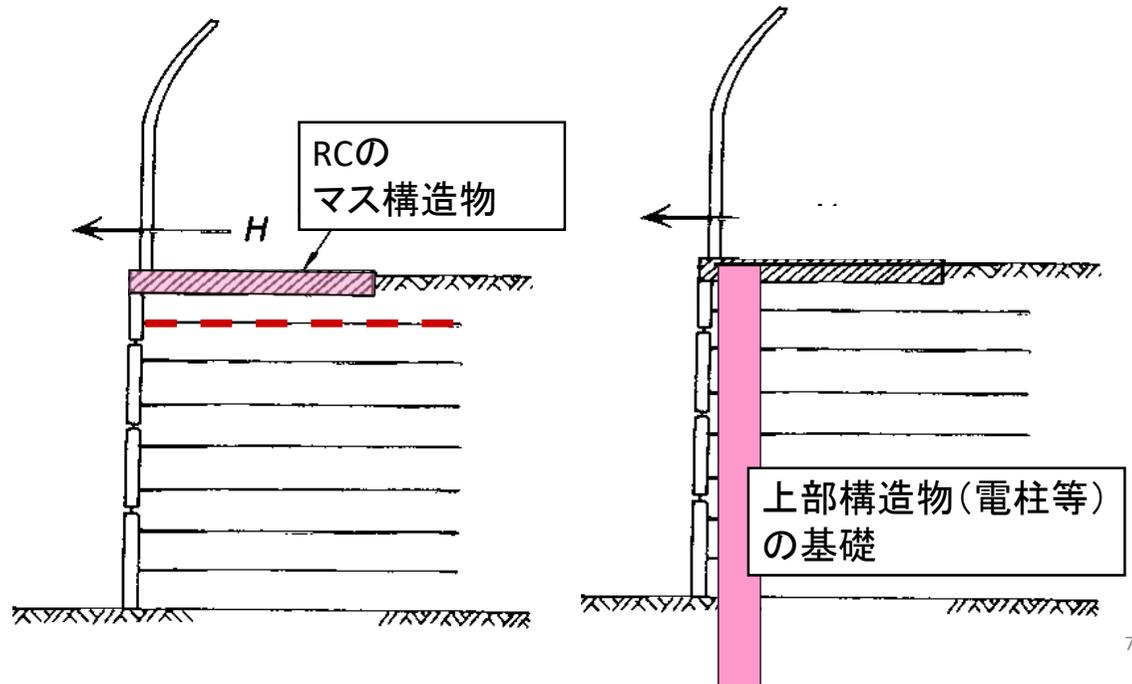
フランスとドイツでの研究  
(Thamm et al., 1990, 1991).

6.9 Wrapped-around wall face ( ) after loading from the crest of st wall (Thamm et al., 1990, see F r the wall dimensions before loa

ブロック式やパネル式壁面工では……

壁面工上端の集中荷重に、「最上部のパネルとそれに連結した補強材層」しか抵抗できない

⇒別途、基礎構造物が必要

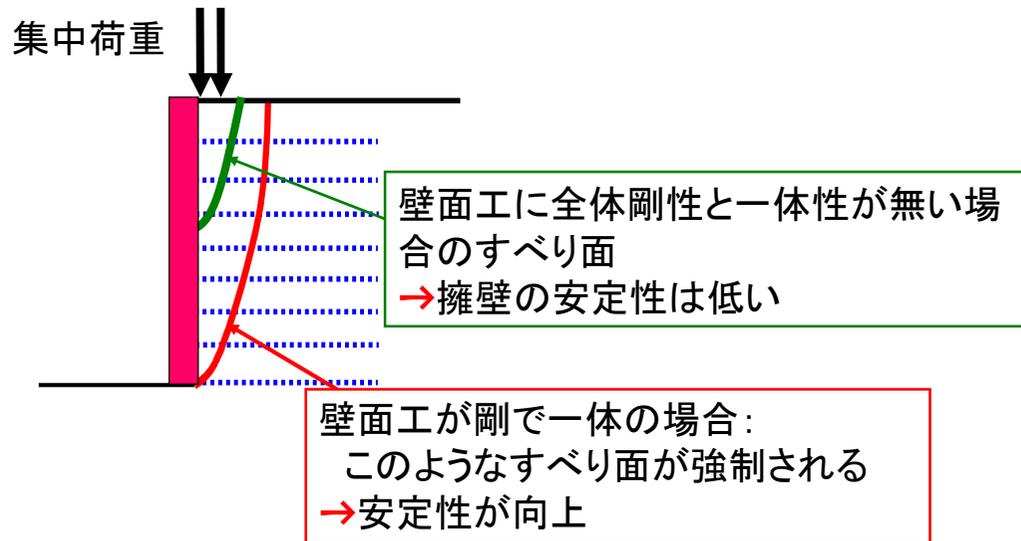


高速道路等では遮音壁やガードレールが、鉄道では電柱等が必要になりますが、壁面工に一体性が無ければ、別途基礎が必要になります。

剛で一体な壁面工による

壁面工上端及びその背後での集中荷重に対する抵抗力の増加

- a) 壁面工を基礎構造物としての活用
- b) 橋台としての利用 (⇒GRS一体橋梁)



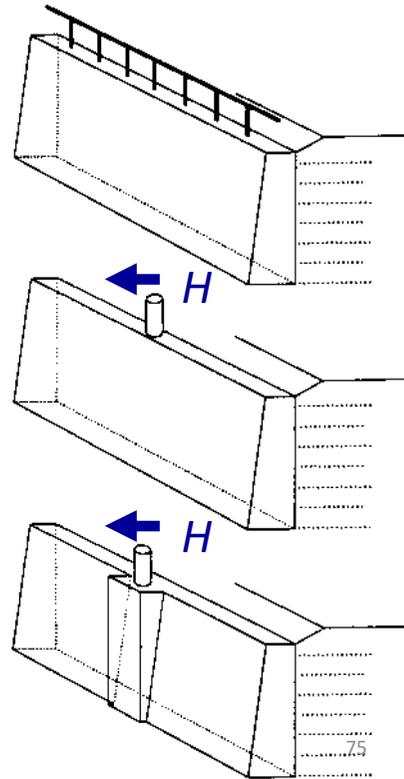
補強材と連結されていて剛性・一体性がある壁面工のGRS擁壁の安定性に対する貢献を、設計での安定解析で考慮することが重要

一方、剛で一体の壁面工は、その頂部やその背後の盛土天端に作用する集中荷重を支持することができます。

## 剛で一体な壁面工のメカニズムと機能-4

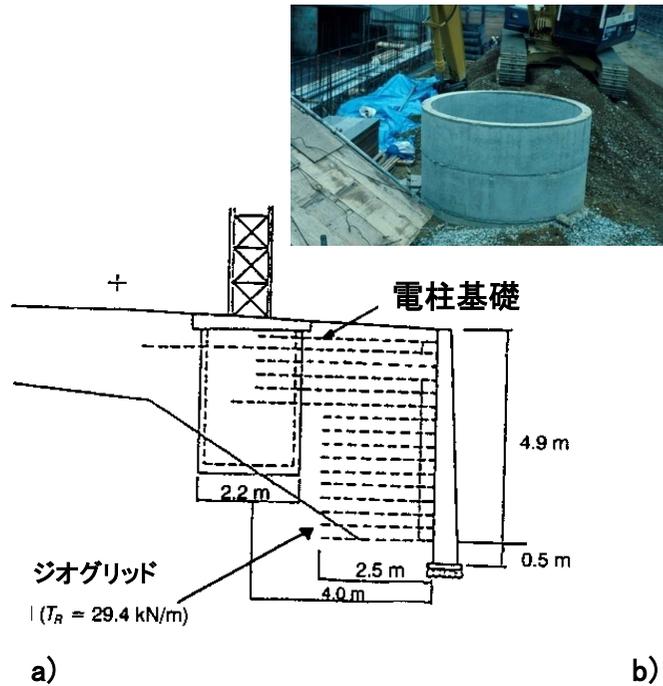
### 三次元効果！

打ち継ぎ目の間の長さ20m区間：  
補強盛土全体と壁面工は、一体として  
集中荷重  $H$  に抵抗  
→剛な一体壁面工は、電柱・防音壁等の  
上部構造物の安定した基礎となる



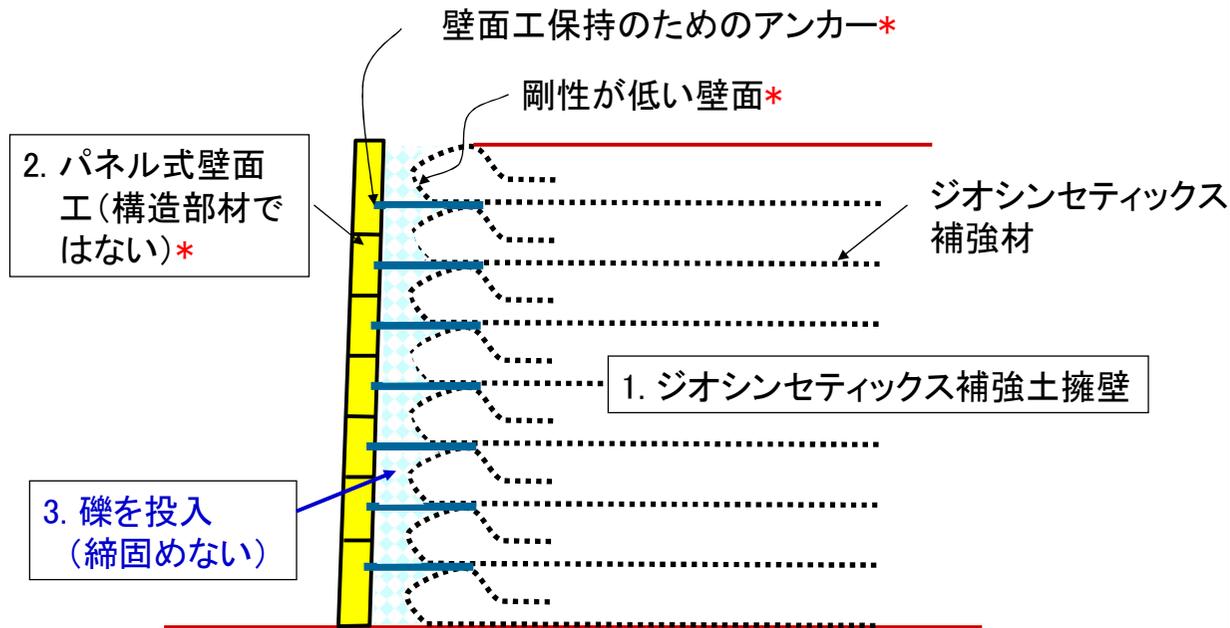
剛な一体壁面には、  
20m間隔に打ち継ぎ目が  
ありますが、その間の壁  
面工と背後の盛土は一体  
で挙動するため、壁面工  
の一部にかなり大きな集  
中荷重が加わっても、容  
易に支持することができます。

剛で一体の壁面工を持つ補強土擁壁の段階施工による腹付け盛土工事における電柱基礎 (JR西日本神戸線、尼崎近辺): a)断面図: b) 工事完成後 (筆者撮影)



これは、大型の電柱基礎を杭基礎を用いずに補強土擁壁で支持した例です。

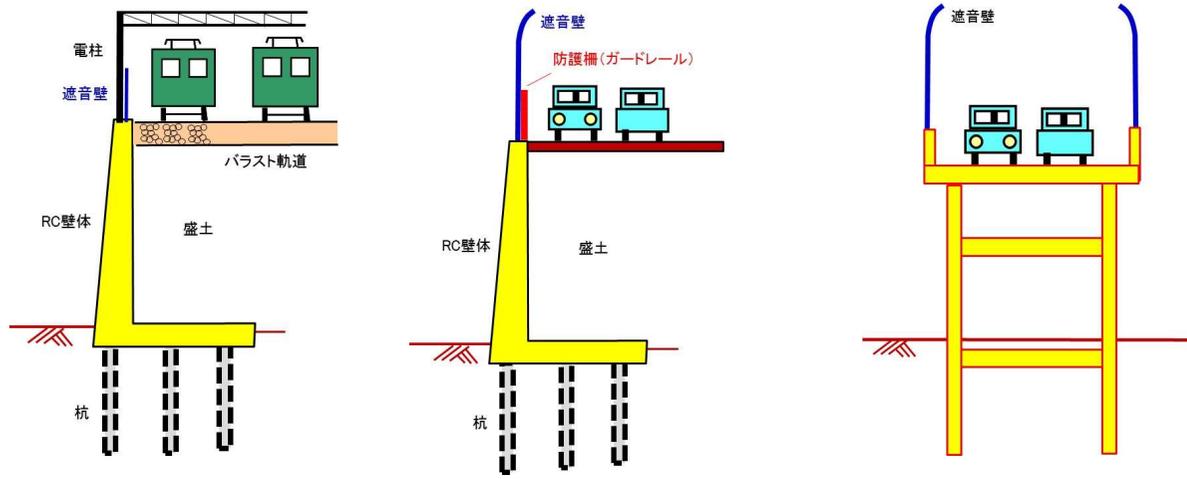
# 壁面工が非構造部材であるGRS擁壁の例



\*壁面に土圧が作用しないことが前提  
⇒ 壁面工を擁壁の安定化に活用しない工法

そもそも、従来形式の擁壁には**短所①,②**と**長所③,④**がある

	基本構造	壁体	杭基礎	施工	盛土天端の使用	壁面工を防護工・遮音工等の基礎や橋台としての利用
従来形式 L型擁壁	盛土は無補強、壁面工は片持ち梁	堅牢な 一体RC	① <b>通常必要</b>	② <b>壁体建設後に盛土施工</b>	③ <b>壁面真際まで可</b> →敷地面積小	④ <b>可</b>
RC高架			① <b>通常必要</b>		③ <b>敷地面積小</b>	④ <b>可</b>

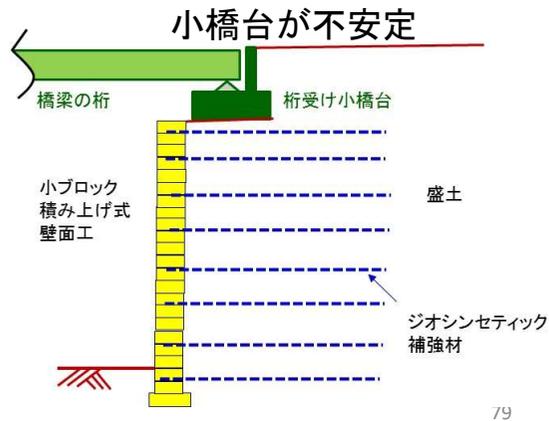
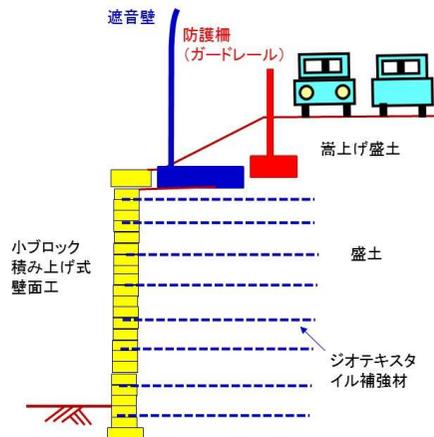


各種補強土擁壁は、従来形式の擁壁の**短所①&②**を改善？ **長所③&④**を維持？

そもそも、都市部で従来形式の擁壁やRCラーメン構造の高架構造物を建設するのは、①や②の理由のためにコストが掛かって、  
③敷地面積を小さくできて、  
④壁面工等で防護工等の付帯設備を直接支持できる、  
という利点があるからです。

	基本構造	壁体	杭基礎	施工	盛土天端の使用	壁面工を防護工・遮音工等の基礎や橋台としての利用
従来形式L型擁壁	盛土は無補強、壁面工は片持ち梁	堅牢な一体RC	①通常必要	②壁体建設後に盛土施工	③壁面真際まで可 →敷地面積小	④可
剛性、一体性が低い壁面工を持つ補強土擁壁	盛土補強、片持ち梁構造ではない	一体性が無い	①通常不要	②壁体建設後に盛土施工	壁面真際までは不可 →敷地面積大	不可 →別途基礎が必要、桁が長くなる

従来形式L型擁壁の短所①を改善、しかし、長所③&④を喪失



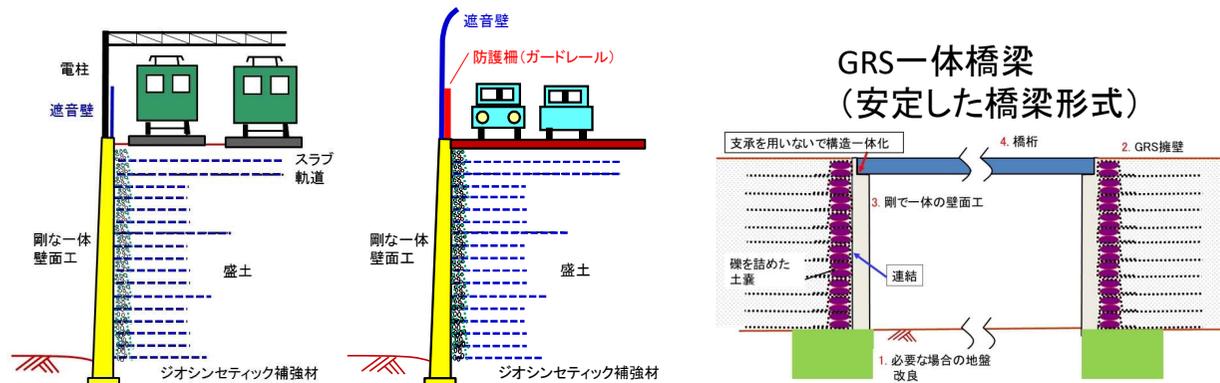
補強土擁壁は、壁面工構造が簡素になり、また①杭が不要になるためにコストが下がる利点があります。

しかし、壁面工に一体性が無いと、従来形式の擁壁やRC高架構造物と異なり、

- ③壁面から一定程度離さないと道路・鉄道を敷設できないことから敷地面積を最小にはできず、
  - ④壁面工等は防護工等の付帯設備を支持できず別途基礎構造が必要となる、
- と言う欠点がある。

	基本構造	壁体	杭基礎	施工	盛土天端の使用	壁面工を防護工・遮音工等の基礎や橋台としての利用
従来形式 L型擁壁	盛土は無補強、 壁面工は片持ち梁	堅牢な 一体RC	①通常 必要	②壁体建設後に盛土 施工	③壁面真際まで可 →敷地面積小	④可
剛な一体 壁面工を持つGRS 擁壁	盛土補強、壁面工は 支点間距離が短い連続梁		①通常 不要	②盛土建設後に壁体建設	③壁面真際まで可 →敷地面積小	④可

従来形式L型擁壁の短所①&②を改善、長所③&④を保全



剛で一体の壁面工を用いた補強土擁壁では、壁面工構造が簡素になり、また①杭が不要になるためにコストが下がる利点がある。

さらに、壁面工は剛で一体性があるので、従来形式の擁壁やRC高架構造物と同様に、

③壁面に近接して道路・鉄道を敷設できることから敷地面積を最小にできて、  
④壁面工等は防護工等の付帯設備を直接支持できる、  
という利点があります。

## 剛で一体的な壁面工のメカニズムと機能-5

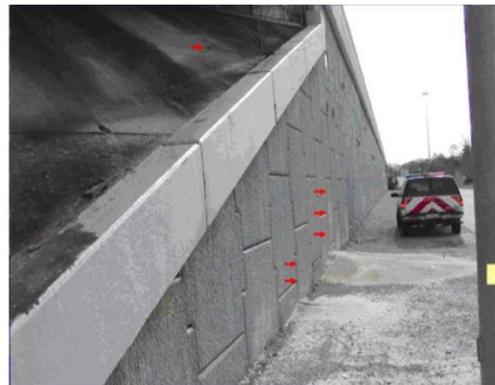
一体の壁面工では、盛土材がこぼれ出ることはない



パネル式壁面工では、盛土材がこぼれ出ることがある



Transportation research board of the national academics  
(2012): Assessing the long-term performance of  
mechanically stabilized earth walls, NCHRP Synthesis  
437



Texas Department of Transportation:  
<http://www.txdot.gov/business/resources/specifications/retaining-wall.html>

11

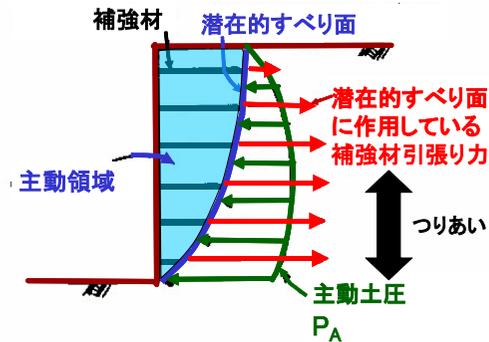
この機能も重要です。降雨が強い地域では、盛土材の細粒分が浸透水によってパネルから流失する事例もあります。

## まとめ

### 壁面工の役割の説明 (かつての土圧悪玉論) :

- 1) 補強土壁工法は、土圧軽減工法である。
- 2) 壁面工自体は盛土のこぼれ出しを防ぐ程度のもので十分。
- 3) 壁面工には、支持地盤と盛土の変形に対応できるような変形性能が必要である。  
⇒2)と3)から、柔な壁面工で十分であり、その方が良い

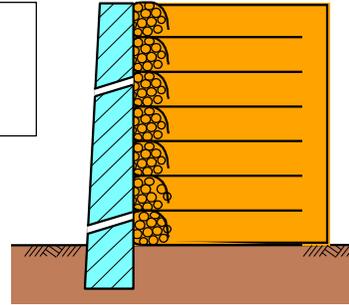
この説明は、正しくない。



これは、補強土擁壁が開発された初期の段階での「壁面工の役割の説明」です。

## 剛な一体壁面工を段階施工する ジオテキスタイル補強土擁壁

### 適切な壁面工の役割の説明 (土圧善玉論):



- 1) 補強土壁工法は、土圧軽減工法でなく、土圧を軽減することなく、引張り補強によって盛土を安定化する工法。
- 2) 壁面工は盛土のこぼれ出しを防ぐ程度のものでなく、擁壁の安定にとって必須の構造体である。また、各種構造物の基礎になる。従って、壁面工には剛性と一体性が重要。
- 3) 壁面工には、建設中は支持地盤と盛土の変形に対応できるような変形性能が必要。しかし、完成後は高い剛性と一体性が必要。  
⇒これは矛盾 ⇒段階施工で解決  
⇒1), 2) & 3)を擁壁の安定計算で考慮することが必須。

一方、これは現在の段階で正しいと考えられている「壁面工の役割の説明」です。

段階施工は、次回説明します。