



引張り補強の原理と実際	
   第2章 補強メカニズム	
2.1 引張り補強メカニズム	
2.1.1 補強土工法の目的	
2.1.2 補強メカニズムによる補強土工法の分類	
2.1.3 平面ひずみ圧縮試験による引張りメカニズムの考察	
2.1.4 模型支持力実験による引張りメカニズムの考察	
2.2 土圧と壁面工	
2.2.1 従来形式擁壁の問題点	
2.2.2 補強土擁壁の基本メカニズム	
2.2.3 補強土壁の破壊メカニズムと壁面工の力学的役割	
2.3 壁面工の剛性と役割	
2.3.1 壁面工の分類	
2.3.2 壁面剛性の効果	
2.3.3 多数の支点で支持された連続梁としての剛で一体な壁面工	
第3章 補強土擁壁と地山補強の施工原理	
3.1 本章の内容	
3.2 補強土擁壁	
3.2.1 補強土擁壁の段階施工	
3.2.2 補強土擁壁による腹付け盛土	
3.2.3 補強土擁壁の特長(まとめ)	
3.2.4 補強土擁壁による橋台の建設	
3.2.5 その他の代表的工事例	
3.3 地山補強	
3.3.1 地山補強土の特長	
3.3.2 地山補強土工法における段階施工	

土だって強くなれる

土は、なぜ弱いのか?柔らかいのか?

鉄筋コンクリート構造物 対 盛土・地盤・斜面 1)空隙が多い。 2)拘束圧が低いと、弱く、柔らかい。 3)粒子間の噛み合わせが不完全で、 塑性変形が大きい。

口補強土工法の目的:

1)空隙をなるべく小さくする: 粒度分布が良く粒径が大きな\*盛土材を、

良く締め固める。

2) 拘束圧をなるべく高くする: 盛土の水平方向の伸び変形を補強材で

拘束する。

3)補強土の高い圧縮強度を利用して、大きなプレロードを加える。



#### 図2.1-1 土の変形強度特性に対する乾燥密度の影響



#### 図2.1-2 土の変形強度特性に対する拘束圧の影響



図2.1-3 土の変形強度特性に対する載荷履歴の影響



#### 図2.1-5 補強していない盛土の締固めの模式図



#### 図2.1-5 補強盛土の締固めの模式図

図2.1-6 ジオテキスタイル補強土擁壁の例(筆者撮影)



図2.1-7 ジオテキスタイル補強土擁壁の構造



ジオグリッドGeogrid





補強領域は、土圧により 1)前方に押し出され、 2)水平方向に伸びる。





図2.1-9 排水機能がある補強材による粘性土盛土の補強の模式図

土だって強くなれる

土は、なぜ弱いのか?柔らかいのか?

鉄筋コンクリート構造物 対 盛土・地盤・斜面 1)空隙が多い。 2)拘束圧が低いと、弱く、柔らかい。 3)粒子間の噛み合わせが不完全で、 塑性変形が大きい。

口補強土工法の目的:

1)空隙をなるべく小さくする: 粒度分布が良く粒径が大きな\*盛土材を、

良く締め固める。

2) 拘束圧をなるべく高くする: 盛土の水平方向の伸び変形を補強材で

拘束する。

3)補強土の高い圧縮強度を利用して、大きなプレロードを加える。

図2.2-10 プレロード・プレストレス工法の概要

1) 十分に大きなプレロード *PL*を加える。
2) 初期プレストレス *PS*に荷重を低下する。
3) 構造部供用中は高いプレストレス *PS* を維持する。



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>;a)模型実験の概要



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>;b)プレロードの効果



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>;b)プレロードの効果



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>; c)プレロードとプレストレスの効果



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>; c)プレロードとプレストレスの効果



図2.1-11 補強土橋脚の繰返し載荷変形に対するプレロード・プレストレスの効果を 確認するための模型実験<sup>1)</sup>; c)プレロードとプレストレスの効果







引張り補強の原理と実際
第2章 補強メカニズム
2.1 引張り補強メカニズム
2.1.1 補強土工法の目的
2.1.2 補強メカニズムによる補強土工法の分類
2.1.3 平面ひずみ圧縮試験による引張りメカニズムの考察
2.1.4 模型支持力実験による引張りメカニズムの考察
2.2 土圧と壁面工
2.2.1 従来形式擁壁の問題点
2.2.2 補強土擁壁の基本メカニズム
2.2.3 補強土壁の破壊メカニズムと壁面工の力学的役割
2.3 壁面工の剛性と役割
2.3.1 壁面工の分類
2.3.2 壁面剛性の効果
2.3.3 多数の支点で支持された連続梁としての剛で一体な壁面工
第3章 補強土擁壁と地山補強の施工原理
3.1 本章の内容
3.2 補強土擁壁
3.2,1 補強土擁壁の段階施工
3.2.2 補強土擁壁による腹付け盛土
3.2.3 補強土擁壁の特長(まとめ)
3.2.4 補強土擁壁による橋台の建設
3.2.5 その他の代表的工事例
3.3 地山補強
3.3.1 地山補強土の特長
3.3.2 地山補強土工法における段階施工









図2-1.14 地山補強土工法での潜在すべり面に沿った要素A



図2-1.15 地山補強土工法での潜在すべり面に沿った要素Aの応力・ひずみ状態



図2.1-16a 地山補強土工法での潜在すべり面に沿った要素Aの引張り補強



図2.1-16b 地山補強土工法での潜在すべり面に沿った要素Aのせん断補強





図2.1-17a 引張り補強土工法における補強材に発生する力







図2.1-17c 圧縮補強土工法における補強材に発生するカ

## なぜ、引張り補強が最も 普及しているのか?

三つの理由 !

1)せん断補強と比較すると、 相対的に小さい変位で発揮。

軟らかい土の内部では、曲げ補 強・せん断補強は大きな変位が必 要であり、有効な工法とはならな い。



2) 土を抵抗増幅器として利用

引張り補強により生じた $\Delta \sigma_3$ によって 土の圧縮強度は、

 $\Delta \sigma_1 = \mathbf{K} \mathbf{p} \cdot \Delta \sigma_3$ 

だけ増幅する。

 $Kp = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ (  $\phi$  は内部摩擦角)

図2.1-18 引張り補強土工法における 応力増幅メカニズム



(f) 引張り補強工法における振幅メカニズム

2) 土を抵抗増幅器として利用

引張り補強により生じた $\Delta \sigma_3$ によって、 土の圧縮強度は、

 $\Delta \sigma_1 = \mathbf{K} \mathbf{p} \cdot \Delta \sigma_3$ 

だけ増幅する。

 $Kp = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi)$ (  $\phi$  は内部摩擦角)

*圧縮補強では、補強材が圧縮荷重 Δ σ₁を直接受けるが、 土のせん断強度は減少する。* 



(f) 引張り補強工法における振幅メカニズム

3) 盛土地盤の内部では、
水平方向が ε<sub>3</sub>の方向で、補
強材を配置しやすい。

地山斜面では、斜面に
直角な方向がほぼ ε<sub>3</sub>の方向で
あり、施工しやすい。









図2.1-19 引張り補強土工法における補強材配置方向



#### 図2.1-20 地山補強土工法とアンカー工法の併用



図2.1-21 無補強の地山における潜在すべり面における力の釣り合いと安全率

## 無補強土の安定計算



 $T \cdot \cos \theta$ :拘束圧  $\sigma$ を増加、従ってせん断強度  $\tau_{f}$ を増加 (締付け効果)

 $T \cdot \sin \theta$ : 作用せん断応力  $\tau_w$ を減少(吊り上げ効果)



図2.1-22 地山を引張り補強土工法で安定化させるメカニズム

## 補強土の安定計算



$$F_{s} = Min. \left[ \frac{\sum (\sigma \cdot \tan \phi \cdot l + T \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi)}{\sum (\tau_{w} \cdot l - T \cdot \sin \theta)} \right]$$

口補強効果の総計:  $T \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi + T \cdot \sin \theta$ 

ロ同一のTに対する補強効果:  $h(\theta) = \cos \theta \cdot \tan \phi + \sin \theta$ 



### 補強材の方向 $\theta$ が異なっても、補強効果 $h(\theta) = \cos \theta \cdot \tan \phi + \sin \theta$ は大して異ならない。 本当か?



口補強効果の総計:

## $T \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi + T \cdot \sin \theta$

□ θ 方向の補強材引張り力Tは、直ひずみ ε<sub>n</sub>(θ)
に比例するので、

$$\frac{\varepsilon_n(\theta)}{\varepsilon_3} = \frac{2 \cdot \cos^2(\theta - \eta) - (1 - \sin \nu)}{1 + \sin \nu} \qquad \eta = 45^o - \phi/2$$

に比例。  $\nu$ は破壊時のダイレタンシー角。

図2.1-24 地山を引張り補強土工法における補強効果と配置角度の関係



$$\varepsilon_n(\theta) = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} - \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2} \cdot \cos\{2(\theta - \eta)\}$$
  
$$\sin \nu = -\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \rightarrow \varepsilon_1 = -\varepsilon_3 \cdot \frac{1 - \sin \nu}{1 + \sin \nu}$$

図2.1-24 地山を引張り補強土工法における補強効果と配置角度の関係

## 口実質的補強効果は積 $h(\theta) \cdot f(\theta)$ に比例。 補強効果、 $\theta$ に著しく依存する。



図2.1-25 f(θ), h(θ) 及び補強効果f(θ) h(θ)とθの関係

潜在的補強効果を表す関係 $f(\theta)$ , ひずみ方向の関係, $h(\theta)$ との実際の補強 効果 $f(\theta) \cdot h(\theta)$ の関係

## 口実質的補強効果は積 $h(\theta) \cdot f(\theta)$ に比例。 補強効果は、 $\theta$ に著しく依存する。





#### 図1.1.3.14 引張り補強された砂地盤の平面ひずみ支持力実験5)



図1.1.3.15 引張り補強された砂地盤の平面ひずみ支持力実験による正規化された基礎圧力~基礎沈下量関係<sup>5)</sup>: q:基礎平均圧力、 $\gamma_d$ :砂地盤の乾燥単位体積重量、B:基礎幅= 10 cm, S:基礎沈下量



図1.1.3.16 無補強と引 張り補強された砂地盤 の平面ひずみ支持力 実験において基礎沈下 S= 0.7Bの時に観察さ れた地盤内のせん断 ひずみ分布<sup>5)</sup>

### 1.4.3 水平補強地盤の模型支持力実験-3



### 1.4.3 水平補強地盤の模型支持力実験-2



1.4.3 水平補強地盤の模型支持力実験-4



図1.1.3.17 引張り補強 された砂地盤の平面ひ ずみ支持力実験にお ける代表的補強材引 張りカ分布5)



圧縮力



#### 図1.1.3.18 古典的支持力理論における地盤内のすべり線

## 補強した砂地盤の支持力



FEM 解析









# FEM解析による応力分布











補強



# せん断層の発達(1)

## 模型実験





短い補強材



# せん断層の発達(2)

模型実験





長い補強材



a)

-10

-25

-35

L/B=2, n=3, S/B=0, 06



20 20

20 25





-25

-30

-35

0 5 10 15

FEM 解析

## 引張り曲げ剛性

ď

d

ď

L=3.5B

引張り力

曲げモーメント **FEM** 



模型実験



![](_page_67_Figure_5.jpeg)