

# 恒久排水補強パイプ

( Permanent Drain Reinforcement )

< 技術資料 >





# 技術資料目次

1. 工法の概要
2. 適用範囲
3. 構造規格
4. 崩壊防止機能の概説
5. 調査・解析・設計フロー
6. 補強土としての機能検討
7. 設計計算例



## 1. 工法の概要

土砂部における斜面の表層崩壊は、以下のケースで発生する。

- ・ 豪雨による雨滴で地表面が侵食を受ける
- ・ 地下水位が上昇し、飽和状態となって土塊が流動化する
- ・ 土砂の間隙は不均一であり、間隙水圧の高い箇所が崩壊する
- ・ 地震等の強震動により飽和地下水帯が液状化を起し崩壊する

PDR 工法 ( Permanent Drain Reinforcement ) は、これらのような表層崩壊の発生要因となる表流水や浅層地下水を速やかに地表へ排出し、土塊の間隙圧の上昇を抑える工法である。

また、地震時に発生する過剰間隙水圧により、液状化した部分のせん断抵抗力が失われ崩壊を発生させることがあるが、PDR 工法は「地下水排除」および「過剰間隙水圧の消散」の両効果により、地盤内の液状化（フリクシオン・レス状態を発生させる）を防止することができる。

さらに、このパイプは鋼材でできているため、大きなせん断強度と曲げ強度を有するとともに、打込みにより地盤の締め固め効果をもつ。このため、地盤全体の剛性を高め、地盤強度の増加や変形拘束効果により崩壊に対する抑止効果を持つ。

鋼材表面は、高耐食性メッキ ZAM（亜鉛-アルミニウム-マグネシウムめっき；日新製鋼株式会社の製品）により防錆され、切断面は ZAM の犠牲紡織作用により錆から保護される。耐用年数は、暴露試験結果から 80～100 年とされている（財団法人土木研究センター建設技術審査証明報告書 第 0122 号 平成 14 年 3 月、および財団法人日本建築センター建築施工技術・技術審査証明報告書 第 0004 号 平成 12 年 10 月）。

PDR 工法の特徴は、以下のとおりである。

排水機能と抑止機能の両方の効果を見込むことができる。

土砂部であれば、切土法面・盛土法面および自然斜面のいずれにも対応が可能である。

打込み工法であるため、プレボーリングは必要ない。

工事費が非常に安価である。

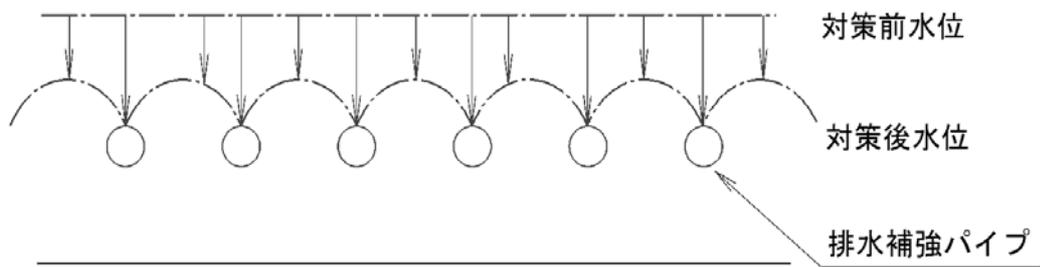
足場が不要である。

既設法面工の有無など地表の状況に影響を受けない。

施工機械が簡易である（軽量の架台とレッグハンマ用のコンプレッサー程度）、施工が早い。

高耐食性メッキにより長寿命である。

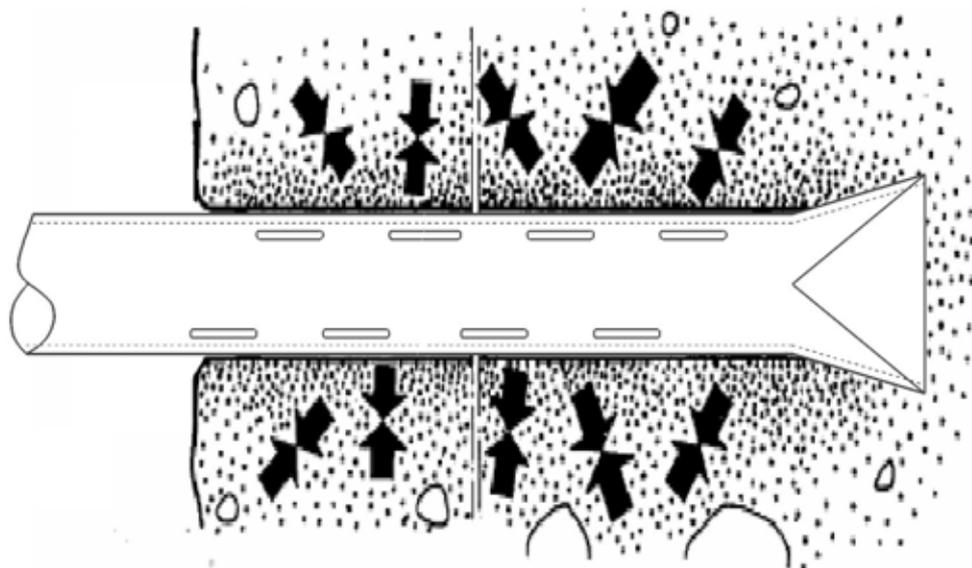
以上の特徴を活かし、工法の持つ機能を最大限に発揮させることを目的とし、技術的な検討資料として本資料を作成した。



正面図

排水効果

- 1) 常時の地下水排除効果
- 2) 豪雨時の浸透水の早期排除効果
- 3) 地震時の過剰間隙水圧消散効果



打撃挿入による地盤の締め固め効果

- 1) 地盤の締め固めによる強度増加
- 2) 地盤を拘束することによる変形抑制効果（疑似擁壁化）

## 2. 適用範囲

PDR 工法の適用可能な範囲は、「土砂部(土砂状強風化岩も含む)の地盤」全てであり、切土法面、盛土法面を問わない。

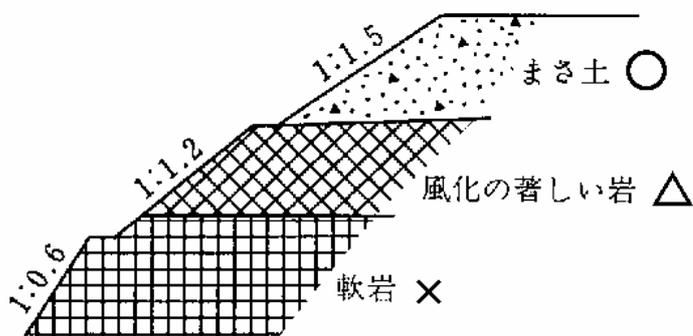
### 2.1 地質・法面条件

本工法は、プレボーリングせず、パイプそのものを打撃によって打ち込んでいく工法である。このことが、パイプ周辺の周面摩擦を発生させ、補強材としての効果を発揮する要因である。

しかし、打撃貫入できる地盤条件は限られており、風化岩や硬質な岩盤では施工困難である。

このため、打撃工法で施工可能な現場条件であることが必要である。現状で考えられる地盤と施工の可否は概ね下表のようになる。

地盤	地層名	施工の可否
人工地盤	盛土地盤	施工可能。施工実績多数(JR)
切土法面 自然地盤	崖錐層	施工可能
	強風化岩層	浅層であれば施工可能
	風化岩層・軟岩	施工困難
	中硬岩・硬岩	施工不可能



## 2.2 施工条件

- ・ 逆巻施工が必要な、不安定な法面の対策が必要な場合。
  - ・ 不安定化した既設法面の補強工法として利用する場合。
  - ・ 他の工法では施工スペースが不足するような狭あい部での施工の場合。
  - ・ 排水機能と抑止機能の両効果を同時に求める場合。他の工法では複数の工種を施工する必要があるが、本工法では単独で効果を発揮する。
  - ・ 宅地擁壁背面の盛土や道路・鉄道盛土の耐震化対策が必要な場合
- 
- ・ パイプの定尺は 3.6m (1.8m) であるが、接続することにより延長させて使用することができるため、土砂が比較的深い場合にも対応できる。
  - ・ 受注生産により、任意の長さのパイプの製造をおこなうことも可能である。

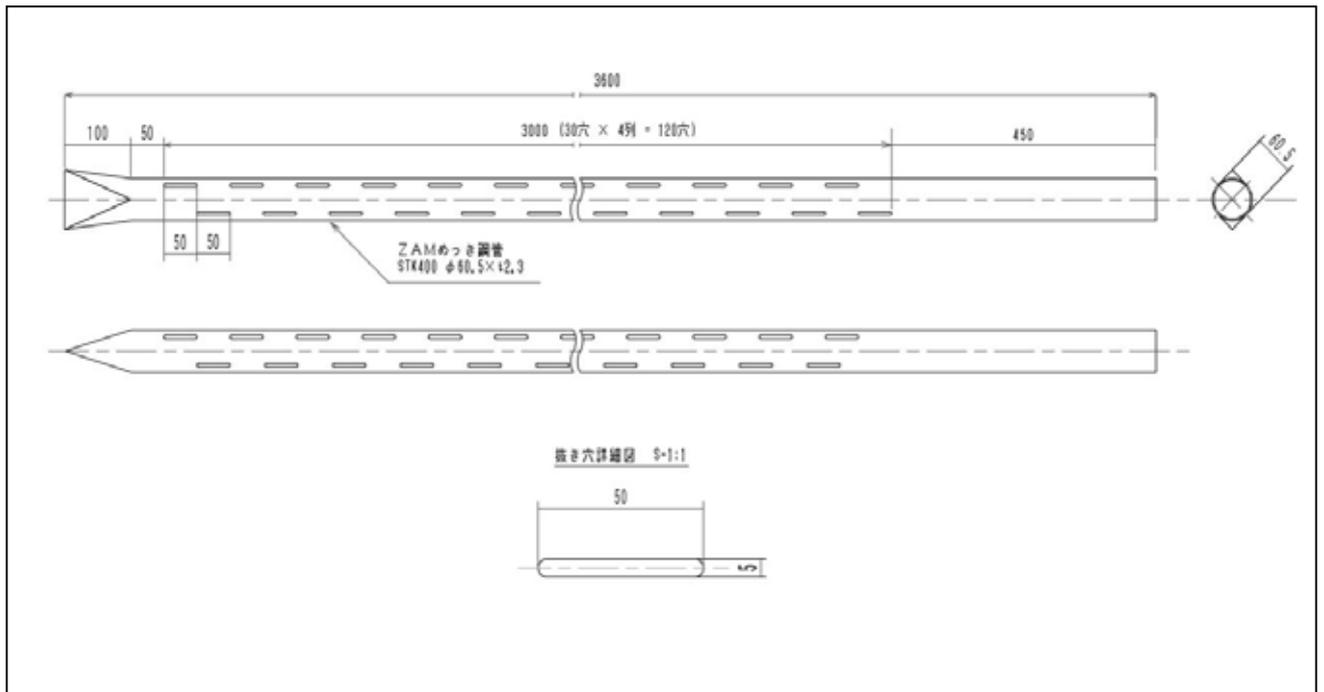
### 施工方法



標準的な施工架台



### 3 . 構造規格



#### 4. 崩壊防止機能の概説

土砂部における斜面の表層崩壊は、以下の場合に発生することが多い。

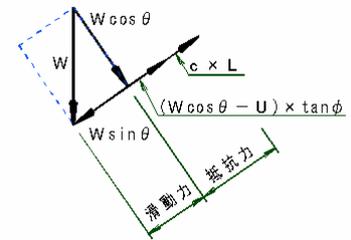
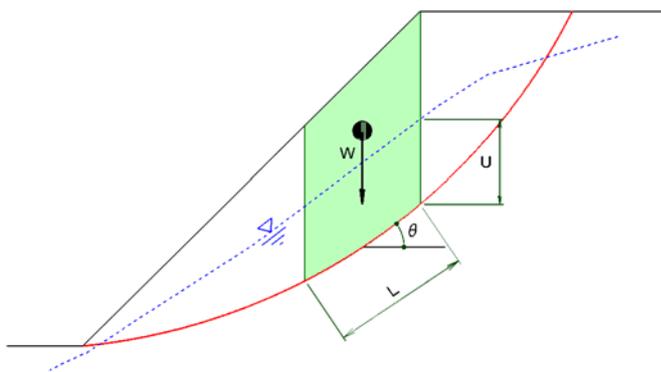
- ・ 豪雨による雨滴で地表面が侵食を受ける
- ・ 地下水位が上昇し、飽和状態となって土塊が流動化する
- ・ 土砂の間隙は不均一であるため、相対的に間隙水圧の高い箇所が崩壊する

この状態とは、図に示すように、地表水や地下水によって土の間隙水圧が上昇し、土が持っているせん断強度を低下させ、抵抗力が滑動力を下回ったときである。

$$F_s = \frac{(W \cos \theta - U) \times \tan \phi + c L}{W \sin \theta} \quad \dots\dots \text{抵抗力}$$

$$\dots\dots \text{滑動力}$$

- $F_s$  : 斜面の安全率
- $W$  : 土塊重量
- $\theta$  : すべり面の勾配
- $U$  : 土中の間隙水圧
- $\phi$  : 土塊の内部摩擦角
- $c$  : 土塊の粘着力
- $L$  : すべり面の長さ



豪雨時に、抵抗力 > 滑動力 ( $F_s > 1$ ) とするためには、上式において、豪雨時の  $U$  (間隙水圧) を減少させたり、抵抗力を付加させることなどが必要となる。

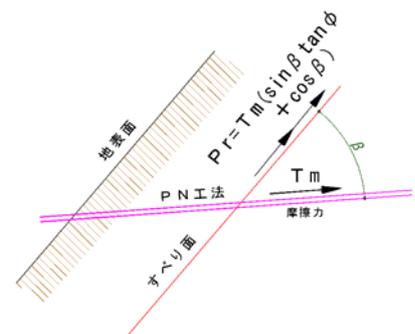
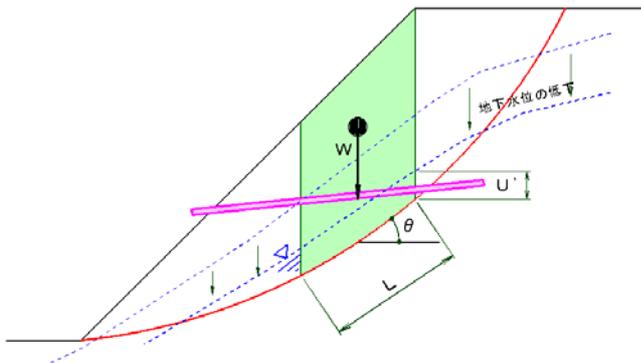
P N工法は、排水機能によって上式の  $U$  を減少させ、さらには補強機能によって上式の分子に付加抑止力を増加させることができる。

すなわち、斜面に P N工法を配置することにより、上式を以下のように変形させることができる。

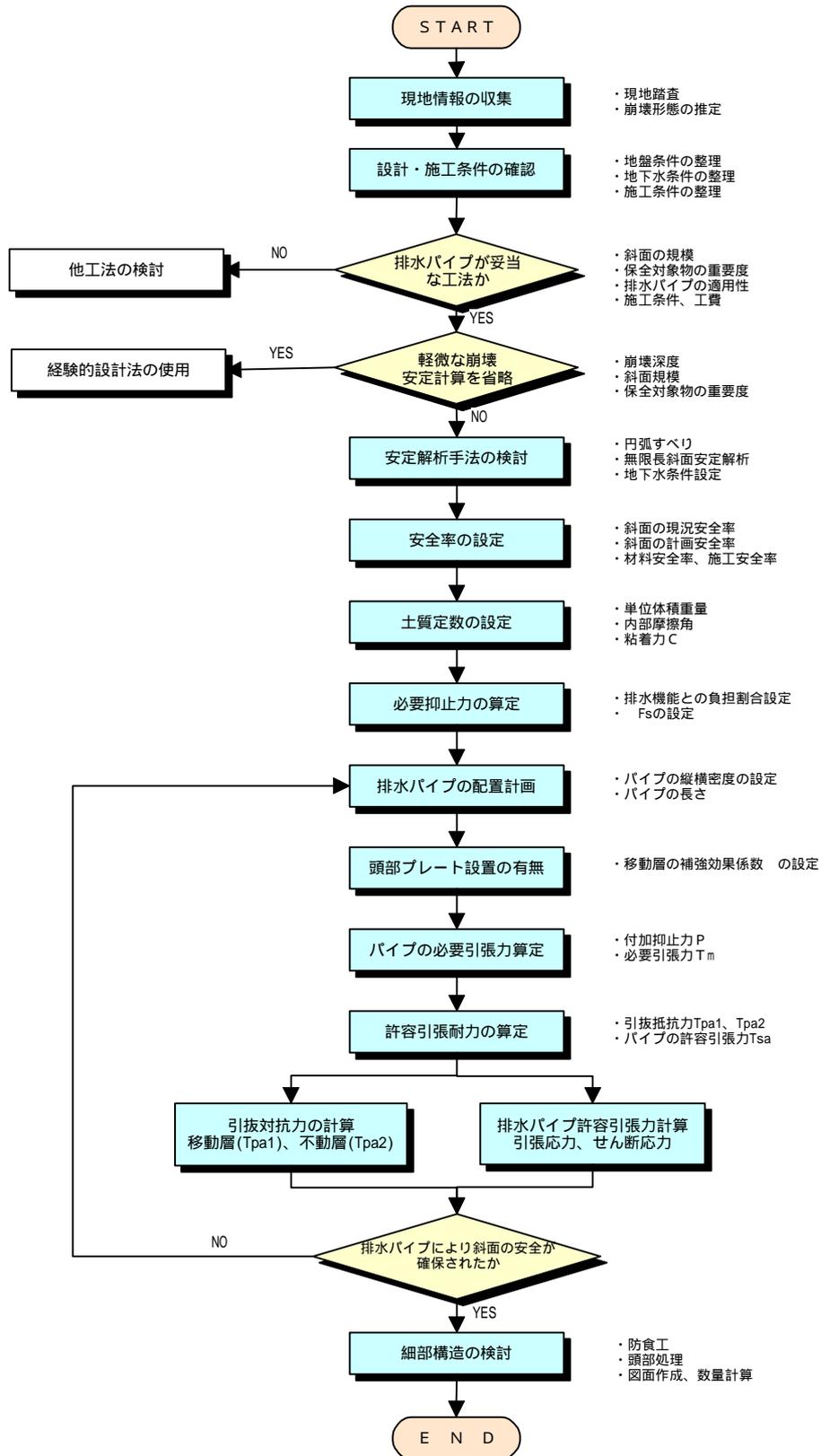
$$F_s' = \frac{(W \cos \theta - U') \times \tan \phi + c L + P r}{W \sin \theta} \quad \dots\dots \text{抵抗力}$$

$$\dots\dots \text{滑動力}$$

- $F_s'$  : P N工法配置後の斜面の安全率
- $U'$  : P N工法によって低減された間隙水圧
- $P r$  : P N工法によって付加された抑止力



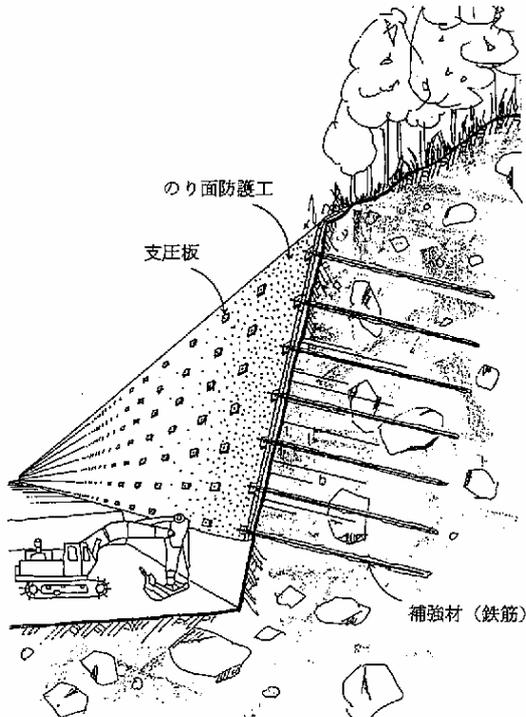
## 5. 調査・解析・設計フロー



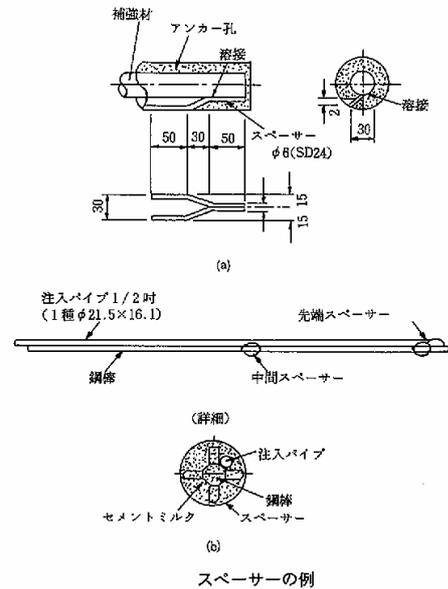
## 6 . 補強土としての機能検討

### 6.1 既存補強土工法との比較

切土法面の補強土工法としては「鉄筋補強土工法」が最も普及している工法である。工法の概要を下図に示す。



切土地山補強土工法の概念図



鉄筋補強土工の構造例

鉄筋補強土工法の特徴は、補強材（鉄筋）の外周にグラウト注入し、グラウトと地山の摩擦抵抗（引張抵抗）により小規模なすべりを防止する、ということである。

一方 PDR 工法は、打込み型となるため、外周にグラウト注入はできない。またグラウトした場合には排水効果がなくなるので無意味となる。

盛土補強土工においてジオテキスタイルを用いた補強土工や、テールアルメ工法などでは、補強材と土の摩擦で補強効果をもたせているので、PDR 工法が、土とパイプの摩擦を利用すること自体に機能的な問題はないものと考えられる。ただし、横方向へのパイプ打込みに関して、パイプと土との摩擦算定法が確立されていないことから、設計上どの程度の摩擦力を見込むことができるのかを、実証実験により N 値との換算式を求めた（太田・柏熊・橋高 2004、第 43 回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.543-546）。

実験の結果、N 値と最大摩擦力度の換算式が以下のように求められた。

$$= 14N - 31 \quad (\text{kN/m}^2; \text{ただし } N \geq 3)$$

PDR 工法を補強土工法として利用する場合、既存の他工法（鉄筋補強土工）と比較して、下表のような違いがある。

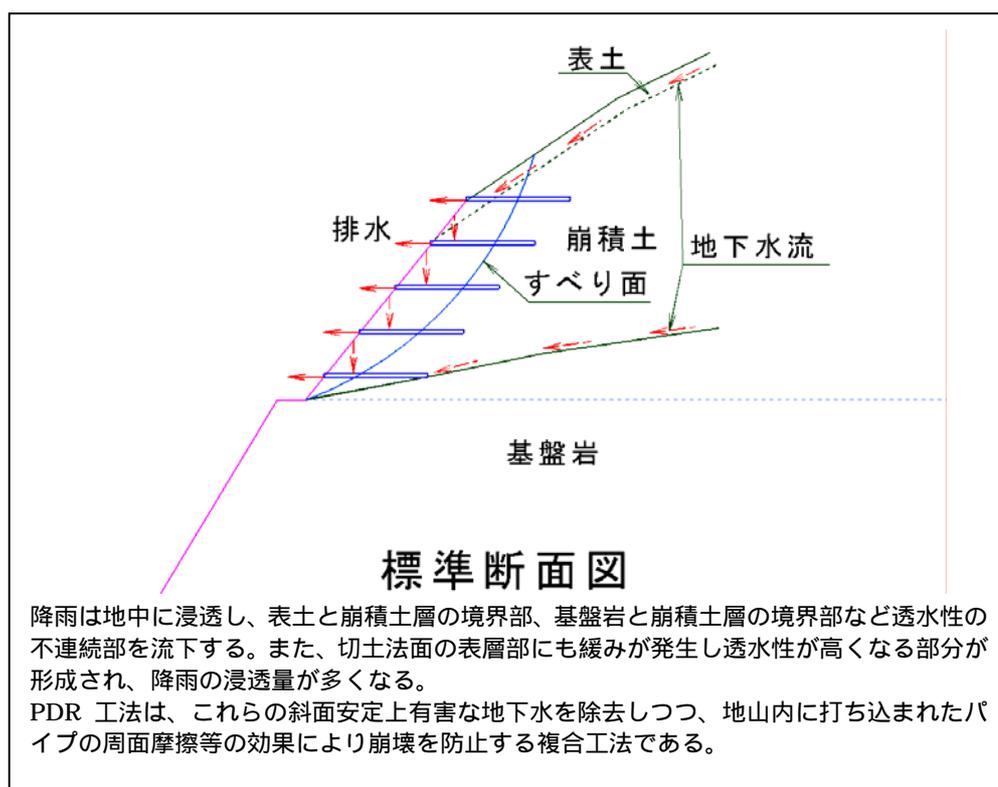
鉄筋補強土工法との違い

	既存工法 鉄筋補強土工	PDR 工法	PDR 工法の 優位点等
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレボーリングを行い、鉄筋を挿入し、外周をグラウト注入する。</li> <li>・L=2～7m程度</li> <li>・施工機械は多種有り。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易である。</li> <li>・足場不要</li> <li>・振動で圧入する</li> <li>・グラウト注入を必要としない。</li> <li>・L 10m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工の簡易さ</li> <li>・材料を常備できる（安価なため）</li> <li>・施工機械の簡易さ</li> <li>・グラウトを使用しないため環境に優しい</li> </ul>
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グラウトと地盤との引張摩擦抵抗により土塊の滑動を抑制する。確実性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土と排水パイプとの摩擦抵抗で土塊の滑動を抑制。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・抑止効果と同時に地下水排水効果も発揮できる</li> </ul>
施工価格 (直接工事費)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10～20千円/m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4～5千円/m (16千円/3.6m) 施工条件により異なる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存工法の30%の施工費用で済む(最大の優位点)</li> </ul>
対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高規格道路の法面恒久対策工</li> <li>・急傾斜地の崩壊防止恒久対策工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事中の土砂・岩境界部の崩壊防止(工事中)</li> <li>・一般道や林道などの法面崩壊防止工</li> <li>・急傾斜地崩壊防止に関する対策工</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対策工事費安価であるため「予防工」に使用できる。</li> <li>・ジオテキスタイル以外では唯一の盛土耐震補強工である。</li> </ul>
実績	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1990年代から恒久対策工として採用されるようになった。</li> <li>・1998年のJH設計基準策定後普及が促進された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JRの盛土に対して施工実績有り</li> <li>・JHの切土に対して施工実績あり</li> <li>・施工後、震度6弱の強震動でも変状なしの実績</li> <li>・施工後、台風の豪雨でも施工箇所のみ変状なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・理論のみならず、昭和40年代に降雨実験・振動大実験等による実証実験が行われている</li> <li>・他工法よりも圧倒的に長寿命であり、インシャルコストのみならず、ライフサイクルコストが安価である。</li> </ul>

## 6.2 補強土工法としての機能検討

PDR 工法は、排水機能と地山補強機能を併せ持つものである。したがって本工法において補強土工法としての機能を考えた場合、他工法には見られないような排水機能を考慮することができる。

本工法を用いて斜面の安定検討を行う際には、排水機能による抑制効果（斜面の地形や地表水、地下水などの影響を受けないようにする）と補強土による抑止効果（構造物によって斜面崩壊に抵抗する）の両効果を期待できるものと考えられる。両者の効果が安定にどのような割合で寄与するかということは、現場状況により異なるものと考えられる。



抑止効果は、

- パイプ打込みによる地盤の締め固め効果
- 地盤を拘束することによる変形抑制効果（疑似擁壁化）
- パイプのせん断抵抗によるすべりの抑止効果
- パイプの引抜抵抗によるすべりの抑止効果

が考えられる。は崩壊拡大防止のために鉄筋を打ち込むなどの方法で経験的に知られている効果である。は鉄筋補強土工の第一義的效果と考えられるが、設計・解析手法に確立されたものがなく経験的に用いられているものである。およびは、現行の鉄筋補強土工設計要領で想定される抑止効果と同様である。

本検討では、JHの切土補強土工設計施工要領（平成10年10月）の手法に準じて設計を行うものとする。

### 6.3 解析方法の検討と標準仕様の設定

本節では PDR 工法を用いた安定解析ならびに設計例、標準仕様案を示す。

#### 6.3.1 解析方法

PDR 工法を補強土工として用いる場合の解析方法を検討した。検討結果は、「設計指針」あるいは「設計マニュアル」の形式で示すものとした。

以下に解析、設計方法について示す。

#### < 経験的設計法 >

PDR 工法を用いた場合、標準的な切土勾配で切土したときの比較的浅い崩壊などには標準的な設計法で設計できる。

経験的設計手法

項目	諸元
削孔径 (パイプ外径)	60.5mm
肉厚	t=2.3mm (ZAM メッキ)
パイプ長さ	L=1.8m(3.6m) ただし、口元を 10cm 程度地表部に出す場合が多い。また任意の長さのパイプの製造、あるいはネジ継手の加工も可能である。
打設密度	2 ~ 4 m <sup>2</sup> 当たり 1 本
打設角度	水平打設または上向き 5° を標準とする (水平 ~ 水平上向き 10°)

#### < 補強効果 >

PDR 工法を用いる場合、排水機能による抑制効果と補強土による抑止効果を見込むことができる。

#### 【解説】

PDR 工法は、排水機能と地山補強機能を併せ持つものである。本工法を用いて斜面の安定検討を行う際には、排水機能による抑制効果（斜面の地形や地表水、地下水などの影響を受けないようにする）と補強土による抑止効果（構造物によって斜面崩壊に抵抗する）の両効果を期待できるものと考えられる。

ただし、排水効果は土質（透水性）、後背地の集水面積（地下水供給量）などにより異なるため、基準類で一律に決めるのは合理的ではなく、現場状況に応じて適宜決定するのが適切である。

<安全率>

PDR 工法を打設することにより増加させる斜面の安全率は、現状安全率( $F_0$ )と計画安全率( $F_{sp}$ )の差分とする。  
周面摩擦抵抗に関する安全率は、永久:2.0、仮設:1.5 とする。

補強斜面の計画安全率： $F_{sp}$

永久（長期） $F_{sp}$  1.20

仮設（短期） $F_{sp}$  1.05 ~ 1.10

現状安全率： $F_0$

$F_0=0.95 \sim 1.05$

周面摩擦抵抗の安全率

永久（長期） $F_{sa}$  2.0

仮設（短期） $F_{sa}$  1.5

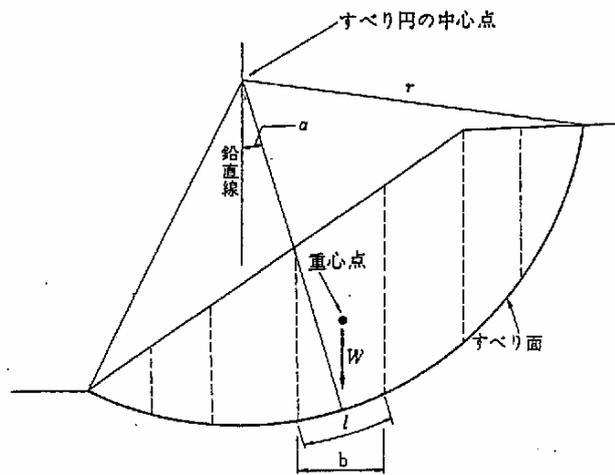
< 斜面の安定検討 >

PDR 工法を配置する斜面の安定計算は、簡便分割法（円弧すべり法、無限長斜面安定解析法など）にて行い、計算された安全率が計画安全率を満足するか否か検討する。

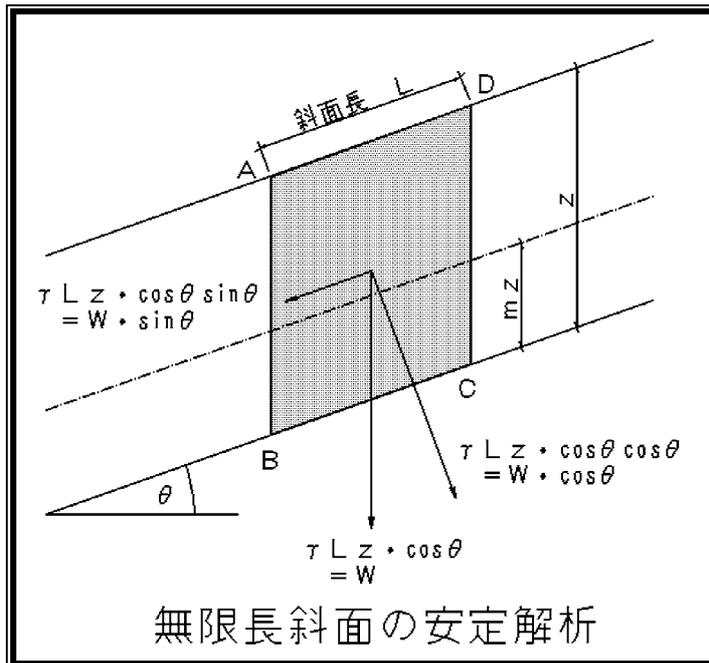
(1)円弧すべり法による安定計算式

$$F_s = \frac{\tan \phi \cdot \Sigma(N - U) + c \cdot \Sigma l}{\Sigma T} \dots \dots \dots (A 式)$$

- $F_s$  : すべり安全率
- $N$  : 分割片の重力による法線力 (tf/m) ( $W \cos \alpha$ )
- $T$  : 分割片の重力による接線力 (tf/m) ( $W \sin \alpha$ )
- $U$  : 分割片に働く間隙水圧 (tf/m)
- $l$  : 分割片のすべり面長 (m)
- $\phi$  : すべり面の内部摩擦角 ( $^{\circ}$ )
- $c$  : すべり面の粘着力 (tf/m<sup>2</sup>)
- $W$  : 単位巾あたりの分割片重量 (tf/m)
- $\theta$  : すべり面の傾斜角 ( $^{\circ}$ )



(2)無限長斜面安定解析による安定計算



表層の浅い滑りを解析するのに良く用いられる方法で、斜面を無限に続く平面と考え、それと平行のすべり面を想定するものである。実際には斜面は有限であるが、滑りの発生する深さに比べて十分に長い斜面には適用可能と考えられている（『災害地質学入門』1998、千木良より抜粋）。実際のフィールドでは、ある深さに物性のコントラストがあるとか、弱い層があるといった場合に適用される。

上図のような斜面を考える。今、斜面の中にA B C Dで囲んだ要素を考え、その底面での応力を計算する。

このとき、

$$\begin{aligned} \text{滑動力 (せん断力)} T &= W \cdot \sin \theta \\ &= L z \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

抵抗力 =  $(N - U) \tan \phi = L c + ( \gamma - \gamma_w m ) L z \cos \theta \cos \theta \tan \phi$   
となる。

抵抗力と滑動力の比を「安全率F」とすると、斜面長Lの項は消えて、次式の関係となる。

$$F = \frac{c + ( \gamma - \gamma_w m ) z \cos \theta \cos \theta \tan \phi}{z \cos \theta \sin \theta}$$

ここで、W : 土塊重量、T : せん断力、N : 法線力、U : 間隙水圧  
 $\gamma$  : 土塊・岩塊の単位重量、 $\gamma_w$  : 水の単位重量  
 Z : 滑り厚さ (鉛直厚)

現況安全率Fを、計画安全率F<sub>p</sub>まで引き上げるための必要抑止力P<sub>r</sub>は、

$$\begin{aligned} P_r &= (F_p - F) \times T \\ &= (F_p - F) \times L z \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

で求めることができる。

< 必要抑止力 >

斜面の計画安全率を確保するのに必要な、PDR 工法の必要抑止力を求める。

【解説】

PDR 工法を用いる場合、排水効果による抑制効果と、補強効果による抑止効果を期待することができる。

先に示した無限長斜面の場合では、必要抑止力  $P_r$  は、以下のように示される。

$$P_r = (F_{sp} - F_1) \times T \\ = F_s \times L_z \cdot \cos \cdot \sin$$

ただし、 $F_{sp}$ ：計画安全率（恒久対策の場合通常 1.20、仮設の場合 1.05）

$F_1$ ：地下水排除後の安全率（地下水排除前の現況安全率  $F_0$  が地下水排除効果により  $F_1$  まで改善される）

< パイプの必要引張力の算定 >

必要抑止力を満足させるために、PDR 工法の 1 本当たりの必要引張力を求めるものとする。

【解説】

パイプによる付加抑止力  $P$

$$P = P_r \times Sh / n$$

ここに、 $P$ ：付加抑止力(kN / 本)

$P_r$ ：斜面安定計算より求まる必要抑止力(kN / m)

$Sh$ ：パイプの横方向ピッチ(m)

$n$ ：斜面に配置する排水パイプの段数(段)

パイプの必要引張力  $T_m$

$$T_m = P / (\sin \cdot \tan + \cos )$$

ここに、 $\alpha$ ：排水パイプとすべり面との角度(deg)

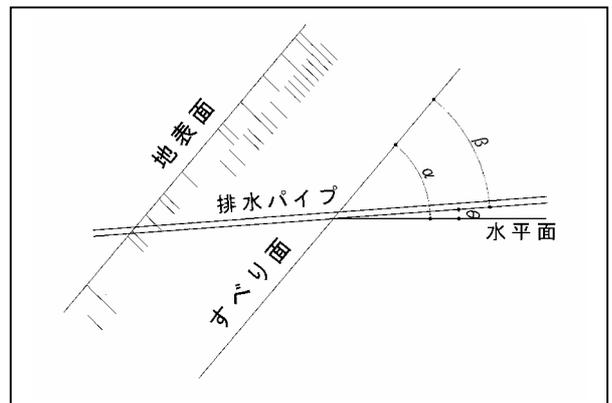
$$= \beta + \phi$$

$\beta$ ：排水パイプの傾斜角(deg)

上向きは負の値となる

$\theta$ ：すべり面の角度(deg)

$\phi$ ：すべり面の内部摩擦角(deg)



必要引張力の概念図

< 許容引張耐力の算定 >

PDR工法の許容引張耐力  $T_{pa}$  は、パイプが移動土塊から受ける許容引抜抵抗力  $T_{pa1}$ 、定着層から受ける許容引抜抵抗力  $T_{pa2}$ 、および補強材の許容引張力  $T_{sa}$  のうち最小のものを用いる。この最小値は先に求めた必要引張力  $T_m$  より大きくなければならない。

【解説】

PDR工法が地山の変形、滑動などによって受ける引張力は、下図に示すように、

- 移動層から受ける引抜抵抗力（抜け出し抵抗力） ...  $T_{pa1}$
- 定着層から受ける引抜抵抗力（引抜抵抗力） ...  $T_{pa2}$
- パイプの許容引張力 ...  $T_{sa}$

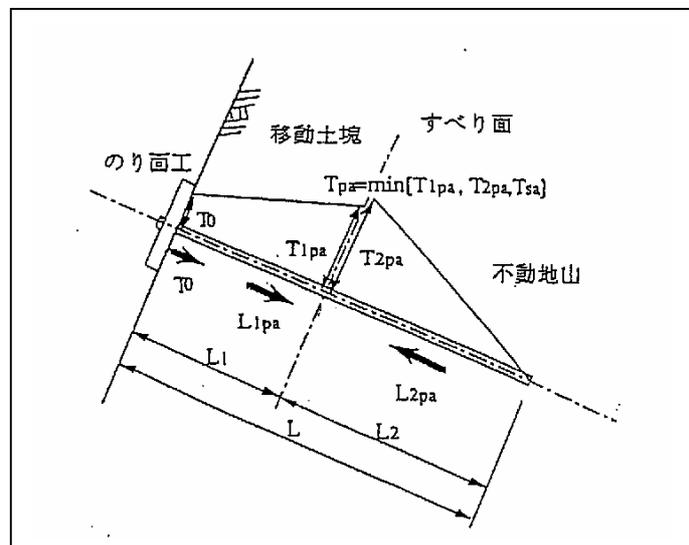
を考慮することができる。安定性の検討に使用される排水パイプの許容引張耐力はこれらのうち最も小さなものを示す。すなわち、

$$T_{pa} = \min[T_{pa1}, T_{pa2}, T_{sa}]$$

ここに、

$T_{pa}$ :パイプの許容引張耐力

なお、パイプの頭部に受圧板などの法面工を設けた場合には、右図のように法面工とパイプとの補強効果が高まるため、移動層における引抜抵抗力を増すことができる（次表参照）。



補強材の引張耐力

頭部プレートを施した場合の補強効果係数

内部摩擦角	移動層の周面摩擦抵抗	補強効果係数
25°	> 3kgf / c m <sup>2</sup>	1.50
	1.5 ~ 3kgf / c m <sup>2</sup>	1.55
< 25°	1kgf / c m <sup>2</sup> 程度	1.70
	1kgf / c m <sup>2</sup> 以下	1.80 ~ 2.10

ただし、施工例では受圧板を設けている例はほとんどない

<引抜抵抗力の計算>

PDR 工法を用いて、移動層および定着層における引抜抵抗力は、パイプ外縁の周面摩擦により決まるものとする。

【解説】

PDR 工法は、ロックボルトやグラウンドアンカーのようにプレボーリングやグラウトなどを行わず、斜面に水平に打ち込む工法である。

したがってパイプの引抜抵抗力は、パイプと地山との摩擦抵抗力である。

周面摩擦抵抗

地盤の種類 \ 施工法	極限周面摩擦力度	根拠
砂質土	14 N-31(kN / m <sup>2</sup> ) ただし N 3	現場及び室内による引抜試験結果より(太田・柏熊・橋高, 2004)
粘性土	10 C または 10 N (kN / m <sup>2</sup> )	(道路橋示方書の打込み杭の周面摩擦力より)

PRD 工法は排水効果を期待する工法であるため、通常は粘性土には用いない

移動層および定着層における引抜抵抗力は以下の式で求められる。

移動層の引抜抵抗力 : Tpa1(kN / m)

$$Tpa1 = \quad \times \quad \times D / Fs$$

ここに、

：移動層の周面摩擦抵抗(kN / m<sup>2</sup>)

D : PDR 工法の外形 = 0.0605(m)

Fs : 周面摩擦抵抗の安全率(永久 : 2.0、仮設 : 1.5)

定着層の引抜抵抗力 : Tpa2(kN / m)

$$Tpa2 = \quad \times \quad \times D / Fs$$

ここに、

：不動層の周面摩擦抵抗(kN / m<sup>2</sup>)

D : PDR 工法の外形 = 0.0605(m)

Fs : 周面摩擦抵抗の安全率(永久 : 2.0、仮設 : 1.5)

<パイプの許容引張力（応力度照査）>

PDR 工法の補強材としての応力度照査は、以下の条件を満たすものでなければならない。  
曲げ引張に対して構造上安定することが必要である。  
せん断力に対して構造上安定することが必要である。

【解説】

PDR 工法の構造寸法

- ・ 外径 60.5mm
- ・ 内径 55.9mm
- ・ 肉厚 2.3mm
- ・ 断面積：A

$$\begin{aligned} A &= D^2 / 4 \\ &= (6.05^2 - 5.59^2) / 4 \\ &= 4.205 \text{ c m}^2 \end{aligned}$$

PDR 工法の許容応力度

母材の材質	STK400 (一般構造用炭素鋼鋼管)
許容曲げ引張応力度	sa=1400kgf / c m <sup>2</sup>
許容せん断応力度	sa=800kgf / c m <sup>2</sup>

(1)曲げ引張に対する検討方法

排水パイプの許容引張力は以下の式で示される。

$$\begin{aligned} T_{sa} &= sa \times A_s \\ &= 1400 \times 4.205 \\ &= 5587 \text{ kgf / c m}^2 \quad T_m \text{ ならば安定} \end{aligned}$$

(2)せん断力に対する検討方法

排水パイプのせん断力は以下の式で示される。

$$\begin{aligned} s &= P / A_s \\ &= P / 4.205 \text{ kgf / c m}^2 \quad sa = 800 \text{ kgf / c m}^2 \text{ ならば安定} \end{aligned}$$

## 7 . 設計計算例

前章で作成した設計指針案に基づき、計算例を示す。

計算条件は以下の通りである。

- 1 ) 移動層のN値は 8、定着層のN値は 15
- 2 ) 必要抑止力  $Pr=5.0t/m$  (  $50kN/m$  )
- 3 ) 1 列当たりの打設段数 5 段 ( 縦 1.5m、横 1.5m ピッチ ; 通常千鳥配置とする )
- 4 ) 打設角度 水平
- 5 ) すべり面までの距離 2.5m

以下に計算結果を示す。

## 排水補強パイプを用いた補強土工法の構造計算書

現場名	サンプル
断面名	
その他条件	

### 1) 許容応力度

補強土工法計画に伴う各種許容応力度は以下の通りである。

#### 各種許容応力度等

項目	数値	備考
鋼材の腐食環境条件	1	一般環境
パイプの許容応力度 $\sigma_{sa}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	1400	STK400
排水パイプと地盤の周面摩擦抵抗 $\tau$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	移動層	N値=8.0
	定着層	N値=15.0
※ N値と周面摩擦の関係式 $\tau = 14N - 31$ (kN/m <sup>2</sup> ) = $0.14N - 0.31$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
周面摩擦抵抗の計画安全率 $F_{sa}$	2.0	永久
法面工に十分剛性のある法枠工を用いるか	用いない	
法面から想定すべり面までの距離	2.50m	

### 2) 安定解析およびパイプの諸元

必要抑止力 $Pr$ (t/m)	すべり面角度 $\alpha$ (°)	排水パイプ	鋼管外径 $D$ (mm)	断面積 $As$ (cm <sup>2</sup> )	周長 $u$ (cm)	肉厚 (mm)
5.00	30.00	$\phi 60.5$	60.5	4.205	19.00	2.300
すべり面の $\phi$ (°)		定着長 $L_2$ (m)	パイプ打設段数 $n$	打設角度 $\theta$ (°)	縦ピッチ $S_v$ (m)	横ピッチ $S_h$ (m)
15.00		1.0	5	0.0	1.5	1.5

引張力の照査	必要引張力 $T_m$	移動層の摩擦 $T_{pa1}$	不動層の摩擦 $T_{pa2}$	補強材の引張耐力 $T_{sa}$	Minimum	排水パイプ長 (m)	
	1.50 tf/本	1.924 tf	1.701 tf	5.887 tf	1.701 tf		L=3.5m
		128.29%	113.41%	392.50%	113.41%		
OK		OK	OK	OK			
せん断力の照査	発生せん断力 $P$	せん断応力度 $kgf/cm^2$	許容応力度 $kgf/cm^2$	判定	L=移動層+1m		
	1.50 tf/本	357	800	ok			

3) 排水パイプの引張抵抗力

[移動層] N値=8.0

$$\begin{aligned} T_{pa1} &= \tau \cdot \pi \cdot D / F_s \cdot L1 = 1 \times \pi \times 6.05 / 2.0 \times 250 \\ &= 1924 \text{ kgf} \\ &= 1.92 \text{ tf} \end{aligned}$$

[定着層] N値=15.0

$$\begin{aligned} T_{pa2} &= \tau \cdot \pi \cdot D / F_s \cdot L2 = 2 \times \pi \times 6.05 / 2.0 \times 100 \\ &= 1701 \text{ kgf} \\ &= 1.70 \text{ tf} \end{aligned}$$

[排水パイプ]  $\phi 60.5$

排水パイプの許容引張力  $T_{sa}$  は

$$\begin{aligned} T_{sa} &= \sigma_{sa} \cdot A_s = 1,400 \times 4.205 \\ &= 5887.4703 \\ &= \underline{5.887 \text{ tf}} \end{aligned}$$

したがって、安定性の検討に使用される補強材の許容引張力  $T_{pa}$  は

$$\begin{aligned} T_{pa} &= \min[T_{pa1}, T_{pa2}, T_{sa}] \\ &= 1.70 \text{ tf} \end{aligned}$$

なお、 $L1$ は移動層中の定着長、 $L2$ は不動層内の定着長である。

4) 安定性の検討

負荷抑止力

$$\begin{aligned} P &= Pr \times Sh / n \\ &= 5.00 \times 1.5 / 5 \\ &= 1.50 \text{ t/本} \end{aligned}$$

Sh: 排水パイプ水平ピッチ 1.50 m  
n: 排水パイプ設置段数 5 段  
Pr: 必要抑止力 5.00 t/m

排水パイプの必要引張力

$$\begin{aligned} T_m &= P / (\sin \beta \cdot \tan \phi + \cos \beta) \\ &= 1.50 / (\sin 30.0 \cdot \tan 15.0 + \cos 30.0) \\ &= 1.50 \text{ t/本} \end{aligned}$$

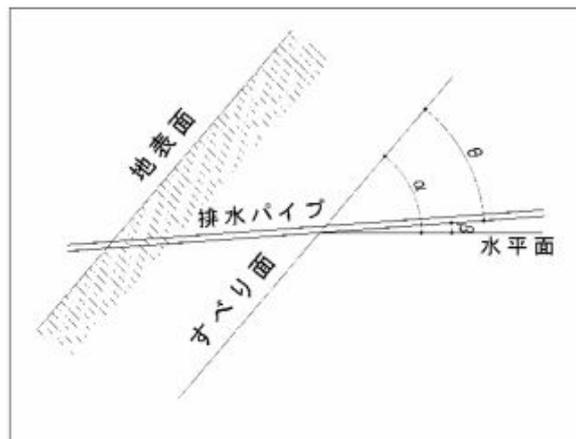
$\beta$ : 排水パイプとすべり面の角度

$$\beta = \theta + \alpha \quad 30.00 \text{ (deg)}$$

$\theta$ : 排水パイプ傾斜角 0.00 (deg)

$\alpha$ : すべり面角度 30.00 (deg)

$\phi$ : すべり面の内部摩擦角 15.00 (deg)



### 排水パイプのせん断応力度の照査

$$\begin{aligned} A_s &= 4.205 \text{ cm}^2 \\ \tau_s &= P / A_s \\ &= 1,500 / 4.205 \\ &= 357 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_{sa} = 800 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

### 排水パイプの引張応力度の照査

$$\begin{aligned} \sigma_s &= T_m / A_s \\ &= 1.5 \times 1000 / 4.20533592 \\ &= 357 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 1,400 \text{ kgf/cm}^2 \cdots \text{OK} \end{aligned}$$

### 排水パイプの引張抵抗力の照査

必要引張力と排水パイプの引張抵抗力とを比較する。

$$\begin{aligned} T_{pa} &= \min[T_{pa1}, T_{pa2}, T_{sa}] \\ &= 1.70 \text{ tf/本} > T_m = 1.50 \text{ tf/本} \cdots \text{O.K.} \end{aligned}$$

恒久排水補強パイプ 技術資料

編集 / 発行 千代田器材株式会社

平成 1 3 年 1 0 月発行

平成 1 7 年 1 月改訂

〒140-0004 東京都品川区南品川 4-13-7

T E L (03) 3474-1511(代表)

F A X (03) 3474-0062

*<http://www.chiyoda-kizai.co.jp>*

