

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# 降雨時の盛土崩壊対策を評価する

近年、「観測史上最大の雨量」といわれる豪雨が各地で観測されることが多くなっています。これらの豪雨による盛土崩壊を防止するために、鉄道ではさまざまな対策が講じられており、その一つに、排水パイプを盛土に打設して浸透した水を積極的に排水する方法があります。ここでは、降雨時の盛土の崩壊メカニズムを概説するとともに、排水パイプの排水能力を定量的に評価するための模型実験と、実験結果を基に作成した排水パイプの簡易な浸透流解析(☞参照)モデルの提案、そのモデルを適用した盛土の安定性評価例について紹介します。



**西田 幹嗣**  
Mototsugu Nishida  
前 防災技術研究部  
地盤防災研究室  
研究員  
【専門分野】 鉄道構造物  
の保守



**渡邊 諭**  
Satoshi Watanabe  
防災技術研究部  
地盤防災研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 河川防災



**太田 直之**  
Naoyuki Ohta  
防災技術研究部  
地盤防災研究室  
室長  
【専門分野】 斜面防災



**浅野 嘉文**  
Yoshifumi Asano  
防災技術研究部  
地盤防災研究室  
研究員  
【専門分野】 鉄道構造物  
の保守

## はじめに

降雨や地下水が浸透することにより、**図1**に示すように盛土が崩壊することで、列車の運行が阻害されることがあります。こうした盛土崩壊を防ぎ、列車の安全・安定輸送を確保するために、雨水が盛土内に浸透するのを防止する対策(張ブロックなどのり面工)や、盛土内部に浸透した水を積極的に排水する対策(排水パイプや水抜きボーリングなどの排水工)などが実施されています。このうち、高い排水効果が期待され施工実績も多い**図2**のような排水パイプについては、その効果が定量的に評価されておらず、施工仕様も経験に基づいて決定されているのがほとんどです。

## 盛土の崩壊メカニズム

盛土の崩壊は、崩壊する部分がある一定のかたまりとなってすべるように崩れます。このすべった地盤とすべらずに残った地盤の境界をすべり面と呼んでいます。すべり面に作用する力には、**図3**に示すように、すべりに抵抗する力とすべりを起そうとする力があります。盛土の破壊は、このすべり面に働く力のつり合いによって支配され



図1 降雨により盛土が崩壊した事例

### ☞ 浸透流解析

浸透流解析とは、土中の水の流れをシミュレートする解析のことです。

### ☞ 安全率

安全率とは、安全の程度を表す尺度のことです。安全率は、すべり面に作用するすべりに抵抗する力をすべりを起そうとする力で除した値で表されます。

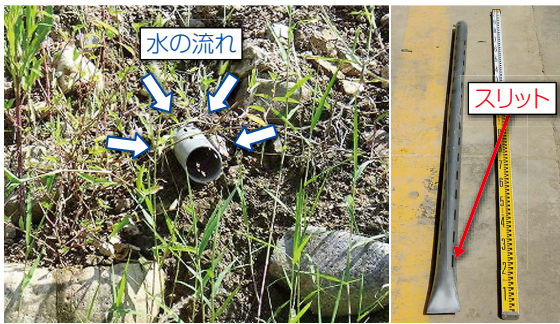


図2 盛土に打設される排水パイプ

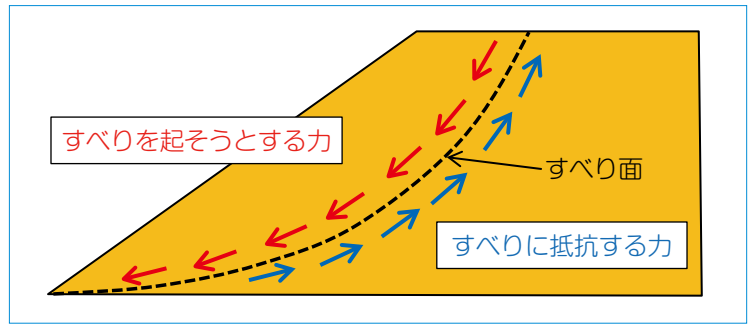


図3 すべり線に作用する力

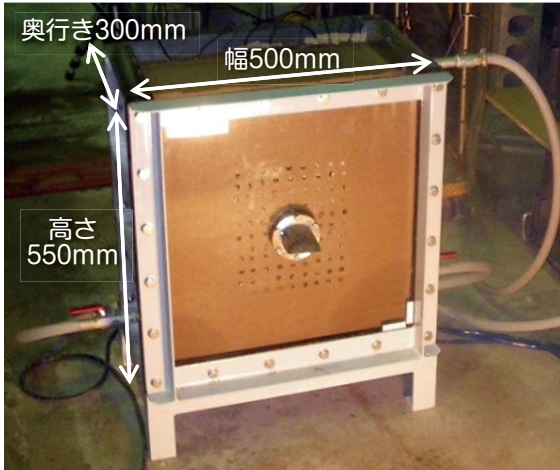


図4 実験に用いた土槽

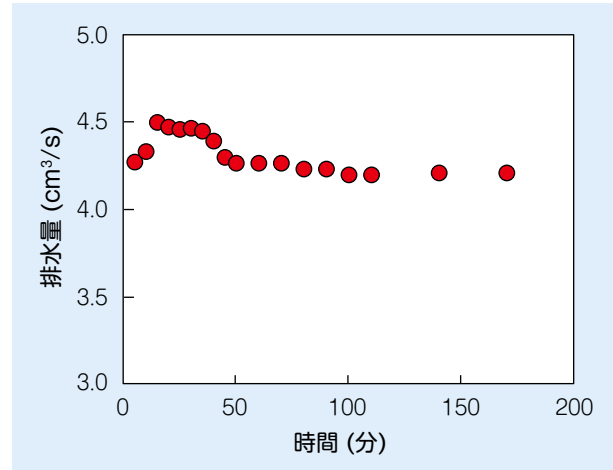


図5 排水量の経時変化

ます。この力のつり合いの大小は、安全率(☞参照)と呼ばれる数値で表されており、盛土の安定性を評価するのに用いられています。

降雨が盛土に作用すると土塊の重量が徐々に増加し、それともなつてすべりを起そうとする力も徐々に増加します。また、すべりに抵抗する力は、すべり面上に摩擦力として働いていますが、盛土に雨水が浸透して地下水位がすべり面よりも上昇すると、すべり面付近の土に浮力が働き、その部分の摩擦力が低下します。徐々に地下水位が上昇して、すべりを起そうとする力がすべりに抵抗する力よりも大きくなった時点で盛土が崩壊することになります。このようなことから、降雨時の盛土の崩壊を防止するためには盛土内の水位を上昇させないことが重要です。

☞ 飽和化

土粒子間の空隙を全て水で満たすことです。

排水パイプからの排水量を  
確認する模型実験

(a) 実験概要

排水パイプの排水機能を明らかにするために図4に示すような土槽を用いて模型実験を行いました。土槽の前面はアクリル製になっています。排水パイプは直径60.5mmの鋼製円管で幅5mm、長さ50mmのスリットが円周上の4箇所には設けられています。実験手順は、①模型地盤構築後に排水パイプを打設、②模型地盤の飽和化(☞参照)、③排水パイプからの排水量の計測、の順です。なお、飽和化の際には、排水パイプを止水し、排水されないようにしています。模型地盤を飽和させた後、排水パイプの止水を開放し、排水量を計測しました。

(b) 実験結果

図5に排水量の経時変化を示します。排水パイプ開放直後に4.5cm³/s程度の水が排水されて、その後、排水量は徐々に減少して、経過時間3時間程度

までに排水量は4.2cm³/s程度に落ち着いています。経過時間の初期段階で排水量が多いのは、排水パイプの止水を開放したと同時に急激な圧力の変化が発生して、排水パイプ周りの地盤材料に乱れが生じ、この乱れた土粒子の再配列などが収束するまで時間を要するためと考えられます。

排水パイプのスリット形状を  
忠実に再現した解析

(a) 解析モデルの考え方

排水パイプの排水能力を再現する浸透流解析モデルを構築するため、浸透実験で用いた排水パイプの水抜き用スリット形状を忠実に再現したモデル(図6、以下、スリットモデルと呼びます)を作成し、浸透実験で得られた排水量(以下、実験値と呼びます)と浸透流解析で得られた排水量(以下、解析値と呼びます)を比較しました。

再現の対象とした実験値は、排水試験開始から3時間後のほぼ定常となつ

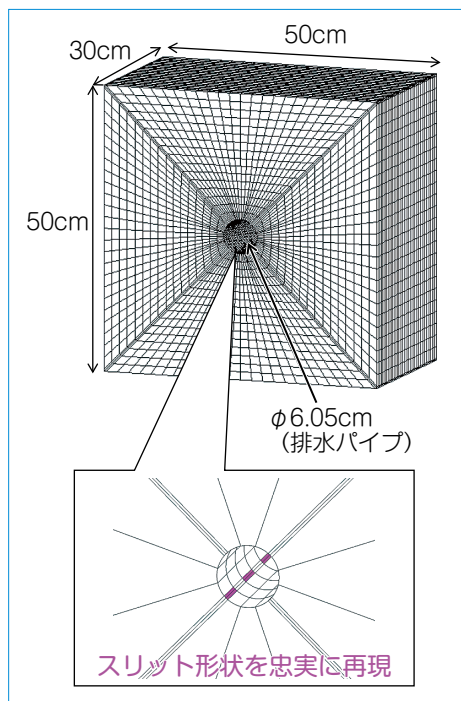


図6 解析モデル

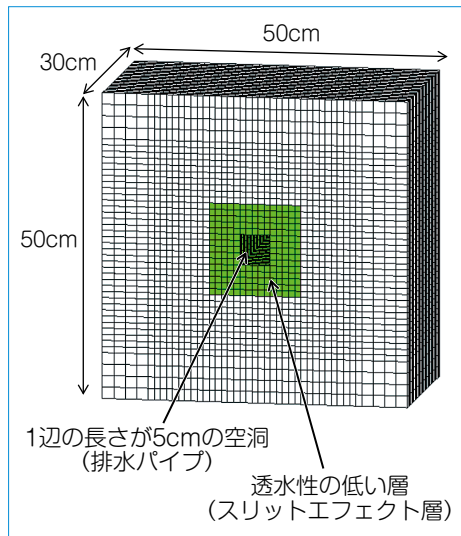


図8 解析モデル

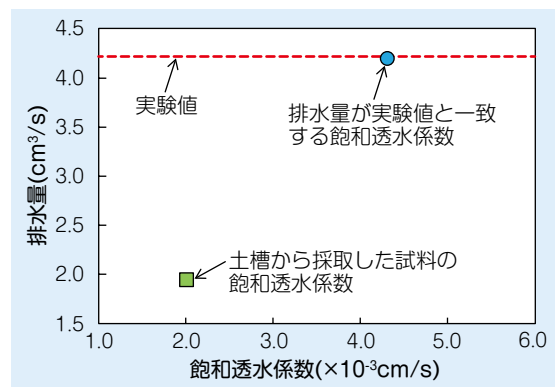


図7 飽和透水係数と排水量の関係

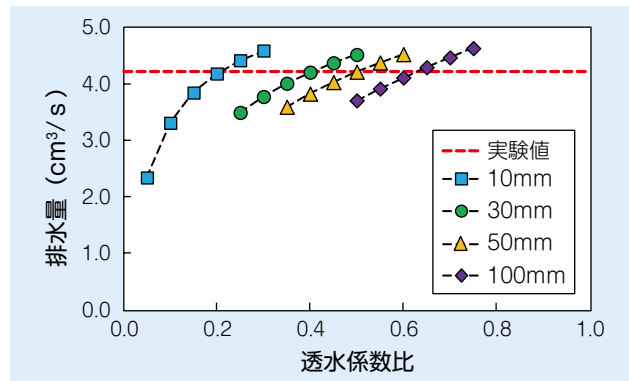


図9 透水係数比と排水量の関係

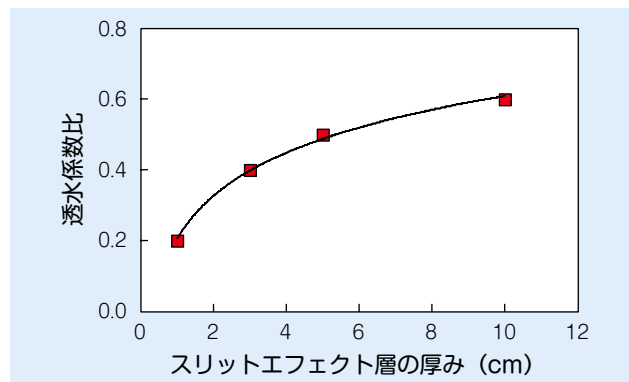


図10 スリットエフェクト層の厚みと透水係数比の関係

た排水量の値 ( $4.2\text{cm}^3/\text{s}$ ) としました。

### (b) 解析結果

図7は実験値と解析値の排水量を示したものです。土槽から試料を採取して室内試験を行い、得られた飽和透水係数(☞参照)を用いて解析を行った

#### ☞ 飽和透水係数

飽和透水係数とは、飽和した土中における水の移動のしやすさを表します。この値が大きいほど、土中の水は移動しやすくなります。

結果、排水量は実験値の半分程度でした。そこで、実験値と良く一致する飽和透水係数を求めたところ、その値は室内試験から得られた値の約2倍でした。これは、室内試験に用いた供試体サイズが小さい(直径50cm、高さ51cm)ことと、排水パイプ打設による模型地盤内の密度変化が影響していることが原因と考えられます。

以上のことから、スリットモデルにより排水パイプの排水能力を定量的に評価するためには模型地盤に適切な飽

和透水係数を設定しなければならないことがわかりました。また、盛土のスケールに比べて非常に微小なスリットをモデル化するのは、モデルが複雑となり計算ができなくなります。そこで、排水パイプの排水能力をスリットモデルと同様に再現できる簡易な排水パイプの浸透流解析モデルについて検討しました。

### 排水パイプの簡易モデル化

#### (a) 解析モデルの考え方

簡易な排水パイプの浸透流解析モデ

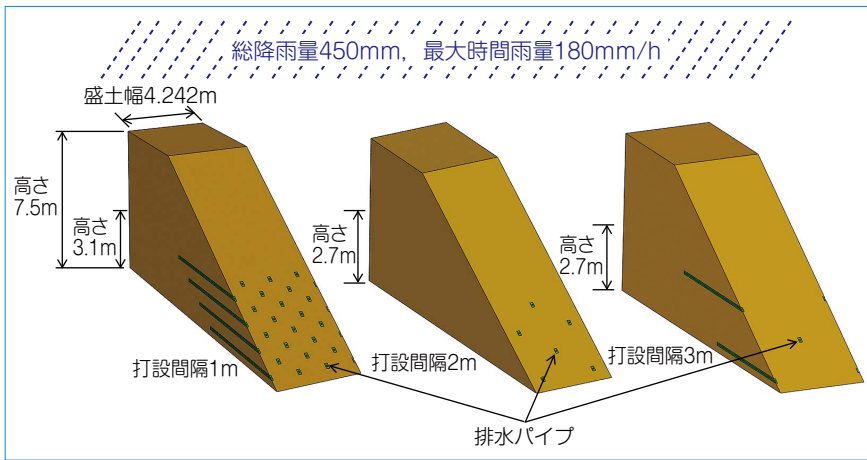


図11 解析モデル

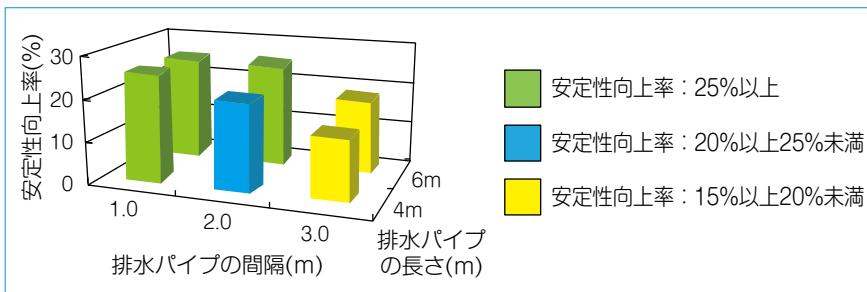


図12 排水パイプの打設仕様と盛土の安定性向上率の関係

るを図8に示します。排水パイプは一辺の長さが5cmの正方形の空洞とし、空洞の内側すべてを水が浸出する面としました。そのため、スリットモデルよりも水が浸出する面積が20倍大きくなるため、排水パイプからの排水量が実験値と一致するように、排水パイプの断面形状に相似な形で排水パイプ周囲に透水性の低い層（以下、スリットエフェクト層と呼びます）を設定しました<sup>1)</sup>。スリットエフェクト層の厚さを1cm, 3cm, 5cm, 10cmの4種類とし、実験値を再現できるスリットエフェクト層の飽和透水係数を検討しました。

### (b) 解析結果

スリットエフェクト層の各厚さに対する透水係数比と排水量の関係を図9に示します。スリットエフェクト層の厚さが1cmの場合にはスリットエフェクト層の飽和透水係数は模型地盤の飽和透水係数を0.2倍すると実験値が再現できました。同様に、スリットエフェクト層の厚さが3cmの場合は0.4倍、

5cmの場合は0.5倍、10cmの場合は0.6倍した値を設定すると実験値を再現できることがわかりました。この倍率を透水係数比と呼ぶこととします。

スリットエフェクト層の厚みと透水係数比の関係を図10に示します。同図から、任意のスリットエフェクト層の厚みに対応した透水係数比を求めることができます。

### 排水パイプの打設仕様の違いが盛土の安定性に及ぼす影響

#### (a) 解析モデルの考え方

ここでは、前述の簡易な排水パイプの浸透流解析モデルを用いて、排水パイプの打設仕様の違いが盛土の安定性に及ぼす影響について検討した例を示します。

図11は解析モデルの概要です。解

#### 安定性向上率

排水パイプがない盛土の安全率に対して排水パイプがある盛土の安全率の向上割合を百分率で表したものです。

析に用いた盛土材の浸透特性に関するパラメータは文献<sup>2)</sup>を参考にしました。降雨条件は、鉄道構造物等設計標準に示されている短時間型降雨（作用II）<sup>3)</sup>の値を用いました。このような盛土に長さ4m, 6mの排水パイプを1m, 2m, 3m間隔の千鳥配置で打設する6ケースに、排水パイプを打設しない場合の1ケースを加えた7ケースについて数値解析を行いました。

### (b) 解析結果

図12は排水パイプを打設しない条件の安定性を基準として、排水パイプを打設した場合の盛土の安定性向上率（参照）を表しています。なお、評価した時間はいずれも降雨降り止み後1時間が経過した時です。同図から同じ安定性向上率を得る場合でも異なる長さ・打設間隔の組み合わせが存在することがわかります。

### おわりに

本稿では、降雨時の盛土崩壊対策として多くの施工実績を有する排水パイプについて、その効果を評価する手法について紹介しました。

今後、降雨や盛土形状のパターンを増やして解析を行い、その結果を基にして、排水対策の最適化について検討する予定です。

なお、本文に記載した実験にはJR西日本の多大な協力を得ました。ここに、深く感謝の意を表します。[RRR]

### 文献

- 1) 太田直之, 杉山友康, 渡邊諭, 高馬太一, 西田幹嗣, 石川智史: 盛土に用いる排水パイプの浸透流解析モデル, 鉄道総研報告, pp.35-40, Vol.26, No.9, 2012
- 2) 杉山友康: 降雨時の鉄道斜面災害防止のための危険度評価手法に関する研究, 鉄道総研報告, 特別第19号, 1997
- 3) 国土交通省鉄道局監修: 鉄道構造物等設計標準・同解析土構造物, 2013