

集中豪雨による 盛土の崩壊を防ぐのり面工



渡邊 諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室長



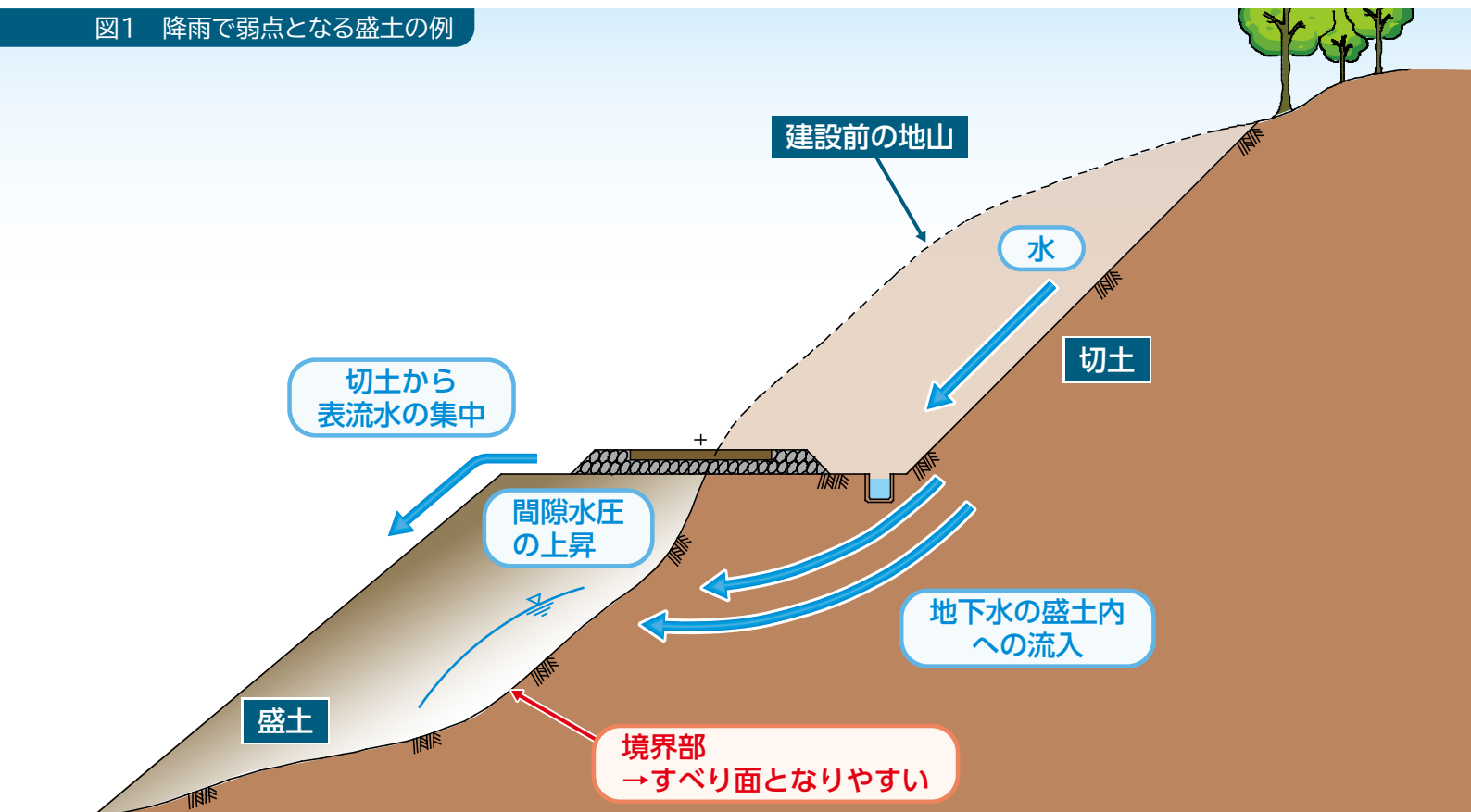
布川 修
Osamu Nunokawa
防災技術研究部長

はじめに

近年、短時間に集中して大雨が降る「短時間豪雨」の観測事例が増加しているといわれています。鉄道では、この短時間豪雨が多くなる夏において、土を盛って軌道を敷設した「盛

土」が崩壊する事象が発生することがあります。ここでは、短時間豪雨に特有な盛土の崩壊のメカニズムと、その対策である「のり面工」について実験で明らかにした崩壊防止効果を紹介합니다。

図1 降雨で弱点となる盛土の例



降雨時に弱点箇所となる盛土

全国の主な鉄道網は明治末期にほぼ整備されています。当時は、橋りょうやトンネルの設計・施工技術が未発達であったこと、できるだけ低コストかつ短期間での建設を進めていたこと、などからトンネルや橋りょうの区間を短くし、主に盛土あるいは自然斜面を切り取って線路を整備していました。現在の在来線の土木構造物の約90%は、このようにして構築された盛土や切土です。現在では土木工学に基づいた

設計の基準が整備され、降雨や地震、列車荷重などの外力を考慮して盛土や切土が構築されていますが、当時はこうした基準がなく、断面形状のみが規定していました。そのため、降雨に弱い盛土や切土が多く、過去には数多くの盛土崩壊や切土崩壊が発生しています。

過去に発生した盛土や切土での崩壊事例から、降雨で弱点となりやすい盛土や切土の特徴を調べると、主に地形的に水が集まりやすいところが弱点箇所となっていることがわかりました(図1)¹⁾。これらの特徴については、切土の場合の弱点箇所と合わせて整理されています¹⁾。この知見は、盛土の崩壊から鉄道を守るために、鉄道沿線に数多く存在する盛土の中から降雨で弱点となりやすい盛土を抽出し、これらの箇所に対して構造を強化する、あるいは降雨時の点検を強化するなどの取り組みに活用されています。

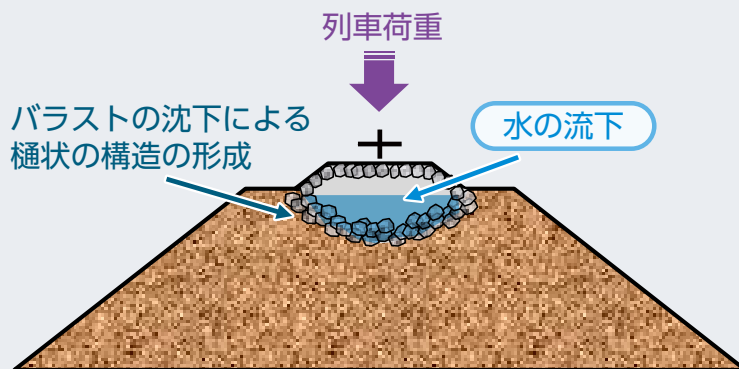


図2 水が流下しやすい盛土構造の形成

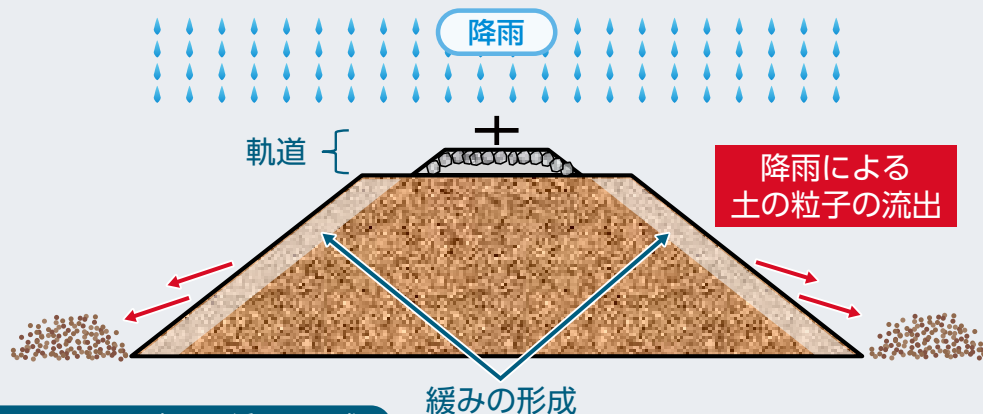


図3 のり面表面の緩みの形成

短時間豪雨による盛土崩壊のメカニズム

上で述べたように、通常の降雨で弱点となりやすい盛土の多くは、谷あい部など地形的に水が集まりやすい箇所となる山間部に多く存在します。一方、平野部に位置する盛土は、周囲の地形が平坦なため水が集中することはなく、降雨時には相対的に弱点となりにくいといえます。しかしながら、こうした弱点と判断されない盛土でも、時間雨量(1時間当たりの降水量)が100mmにも達する短時間豪雨が観測されたときに崩壊が発生した事例があります。原因を調査すると、このような崩壊事例には以下の特徴があります。

①水が流下しやすい盛土構造

軌道の直下付近が樋のよう^{とい}にくぼんだ構造となっていました(図2)。盛土の上面には列車の荷重が直接作用して締め固められるため、設計の基準がなかった古い盛土では、列車荷重の繰り返しにより沈下が生じやすい条件となります。

一方、線路の高さは一定に保つ必要があるため、沈下が生じた部分にはバラストが投入されます。この一連の作業を長年繰り返すことにより、古い盛土では軌道直下付近が樋のようなくぼんだ構造になり、その上に水を通しやすいバラストが堆積した形状となる場合があります。この部分には、軌道面から浸透した水が流れやすくなります。

②のり面表面の緩み

盛土の傾斜しているのり面^{ぜい}の表面部分の土がそれより深い部分と比較して締まっていない状態（土が緩い状態）になっていました（図3）。経年により、のり面の深い部分は、過去からの長年の降雨によって徐々に締め固まって強度が高まりますが、逆に、表面部分は降雨の繰り返し作

用で細かい土の粒子が流出することにより緩い状態、すなわち降雨に対して脆弱になります。また、緩い状態の土は雨水を通しやすくなります。

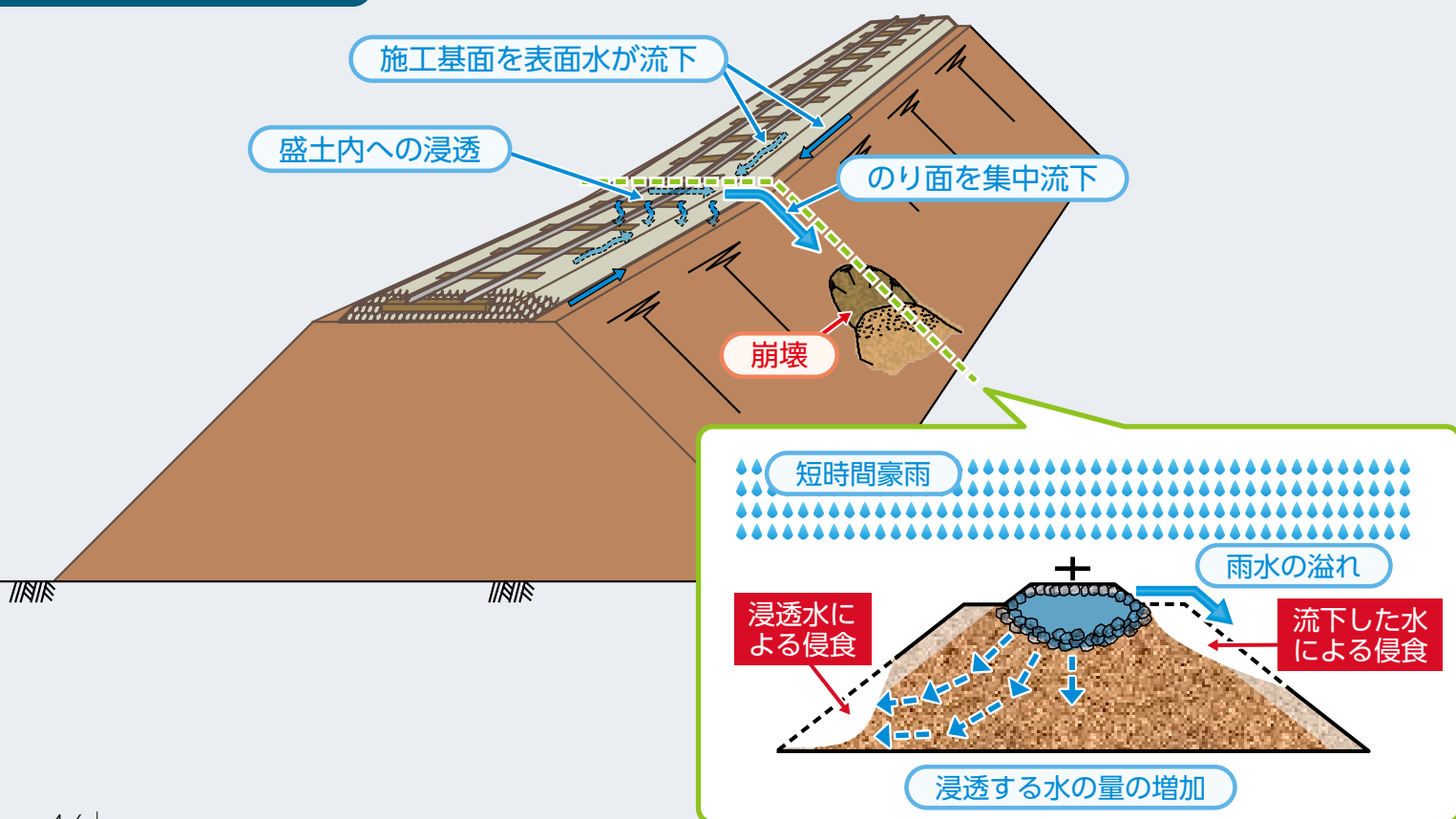
これら①②の特徴は、過去の崩壊事例や調査結果から多数の盛土で認められています。調査結果や過去の実験結果など^{例えば2)}から、短時間豪雨による盛土崩壊メカニズムは次のとおりと考えられます。

盛土の軌道直下に形成された樋の低面（土の部分）は締め固められているため水が浸透しにくく、短時間豪雨時には雨樋のように水が集まります。さらに、集まった雨水は線路の勾配に沿って流れ、盛土の高さが低い箇所に集中します（図4左）¹⁾。流れた水の行き場がなくなると樋からあふれ、あふれた水が経年により緩んだ盛土のり面上を集中して流下することでのり面が侵食され盛土が崩壊します（図4右）。また、水が集中した部分から盛土内に浸透する水の量が増えることにより、水を通しやすいのり面表

のり面

盛土や切土による人工的な斜面で、ここでは斜めに傾斜した部分をいいます。

図4 被災メカニズム



面部分の下方から水が湧出してのり面の侵食崩壊が発生し、時間とともに上方に崩壊が拡大します(図4右)。これらの崩壊はそれぞれ単独で発生する場合もあれば、複合して生じる場合もあります。

近年の降雨の状況

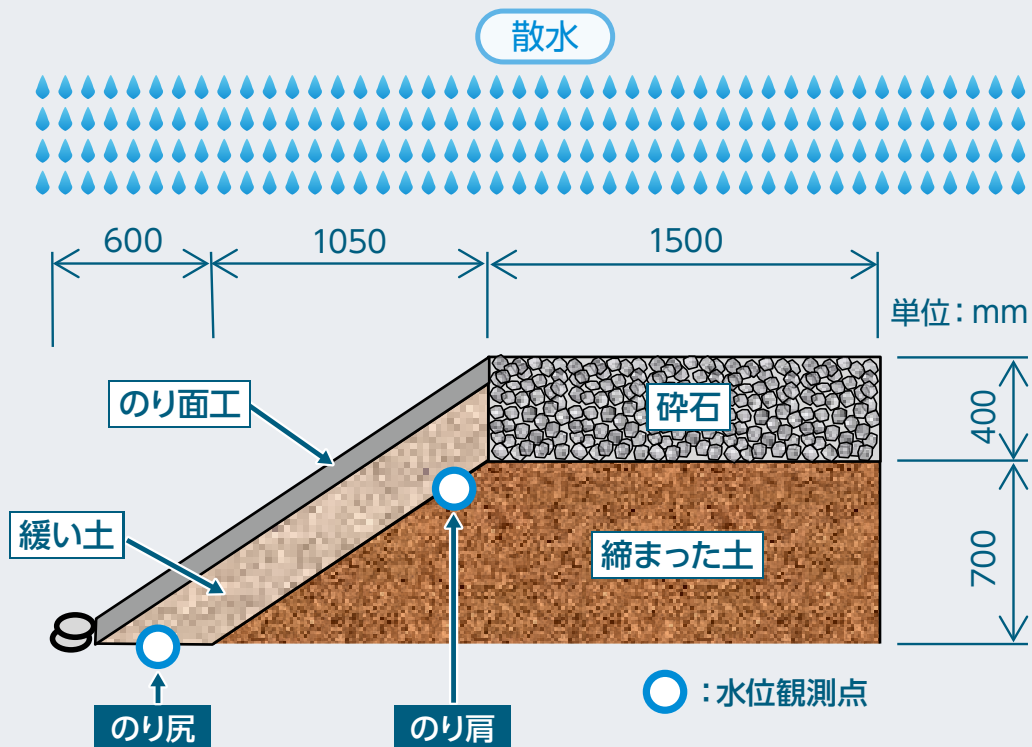
気象庁の資料によれば、雨量を記録するアメダス観測点において1時間当たりの時間雨量が80mm以上を記録した回数は増加傾向にあり、1時間降水量80mm以上、3時間降水量150mm以上、日降水量300mm以上など強度の強い雨は、1980年頃と比較して、おおむね2倍程度に頻度が増加しています³⁾。すなわち、近年増加傾向にある短時間豪雨に盛土がさらされる頻度が増加するおそれがあり、そのような降雨に対して盛土の崩壊を防ぐ対策の重要性が今後も高まると考えられます。

のり面工の効果の検証

降雨に対する盛土の崩壊防止対策として、盛土のり面に「のり面工」が施工されることがあります。のり面工には数多くの種類がありますが、一般的には、のり面の侵食防止やのり面からの雨水の浸透防止などにより、降雨時に盛土を崩壊し難くする機能があります。こうしたのり面工の効果は、通常観測される降雨に対しては把握されていますが、短時間豪雨に対する効果については検証されていませんでした。

そこで、鉄道盛土において多くの実績があるコンクリート製のり面工を対象として、その効果を明らかにするために模型盛土を用いた散水実験を行いました。散水実験では(図5)、崩壊しやすい盛土(樋の構造と緩いのり面表面を有する条件)を模擬した模型盛土を作製し、のり面工を施工する部分と未施工の部分とを設けました。この模型盛土に時間雨量100mmの散水を与えた際の崩壊状況や地下水の状況から、

図5 模型盛土の概要



未施工



のり面工施工

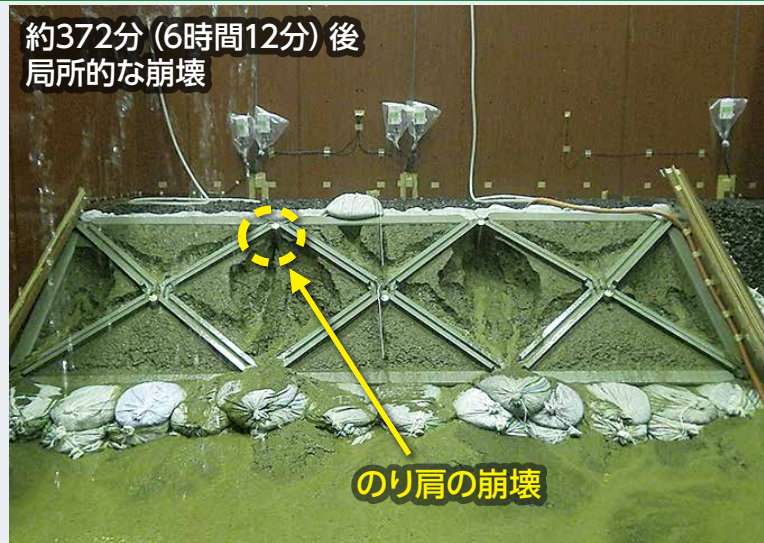


図6 盛土崩壊実験結果（崩壊の形状）

対策の効果を検証しています（図6～図8）。

まず、崩壊の形状を見てみます（図6）。未施工の模型盛土は実験開始約54分後にのり尻の土砂流出が発生し、最終的に崩壊に至った約289分後では、のり面前面にわたる大規模な崩壊が生じています。一方、のり面工を施工した模型盛土では、実験開始約128分後経過時点で一部の侵食が発生し、最終的に崩壊に至った約372分後でも格子枠の侵食はあるものの局所的な崩壊にとどまり盛土の形状を保っていること

がわかります。

次に盛土内の地下水位をみると（図7）、実験開始約60分後から、のり肩とのり尻の両方で未施工に比べて水位の上昇を抑制していることがわかります。図8に示すように、最終的な崩壊に至るまでの累積降雨量はのり面工を施工することで未施工の盛土と比較して1.35倍の降雨に耐えられたことがわかります。この結果から、のり面工は、短時間豪雨に対しても崩壊を局所的な範囲にとどめ、盛土全体の崩壊を抑え

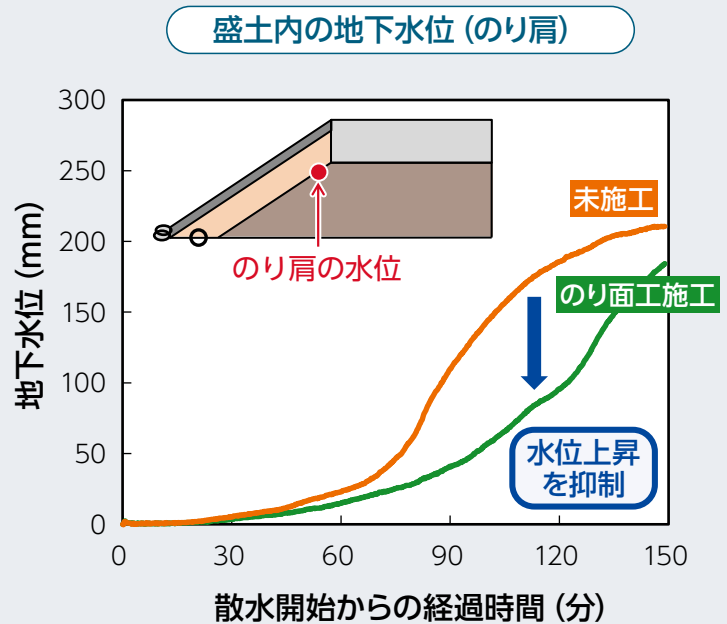
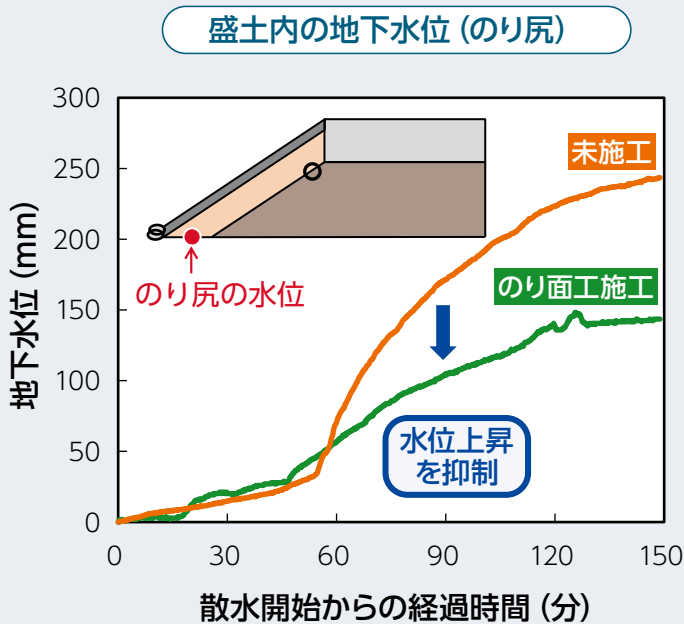


図7 盛土崩壊実験結果（盛土内地下水位）

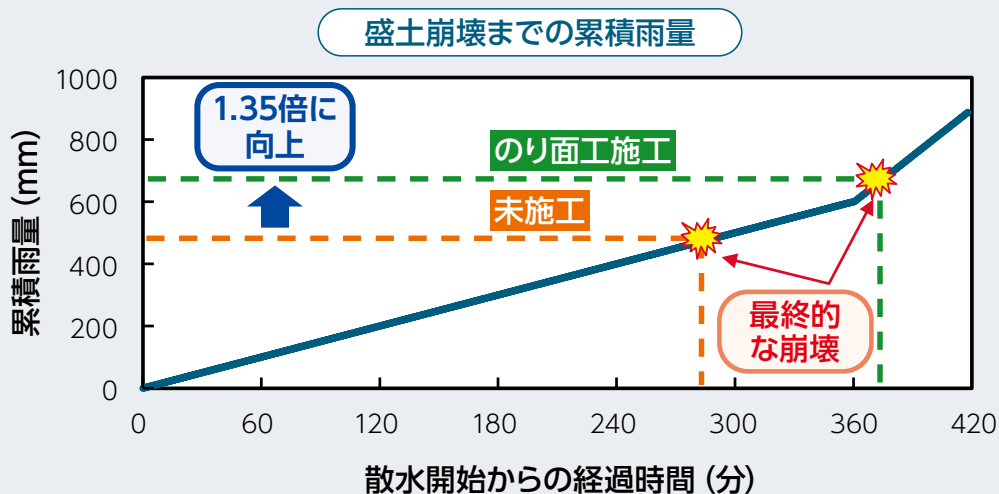


図8 盛土崩壊実験結果（盛土崩壊までの累積雨量）

る効果があることがわかりました。この結果は、例えば短時間豪雨時に列車を停止する降雨量を今までよりも大きくし、豪雨時の列車の運行を確保することなどに利用することができます。

おわりに

短時間豪雨による盛土の崩壊メカニズムと、盛土のり面工の効果について実験により検証した内容について紹介しました。今後も、短時間豪雨が増加することを想定して、引き続きさら

なる安全性の向上に貢献できる研究開発を行っていきます。RRR

文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土），丸善出版，2007
- 2) 西田幹嗣，太田直之，渡邊諭，杉山友康：雨による盛土の不安定化傾向と立地条件との関係を探る，RRR，Vol.69，No.11，pp.8-11，2012
- 3) 気象庁：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化，https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html（入手日：2023年2月16日）