

き裂が生じた鉄道盛土の降雨時盛土内水位を再現する解析モデルの検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○宮下 優也 正会員 布川 修
正会員 湯浅 友輝 正会員 太田 直之

1. はじめに

大規模地震が発生した場合、鉄道沿線に数多く存在する盛土には大小様々な変状が生じる。大規模な変状が発生した場合は盛土を再構築することとなるが、き裂などの中小規模の変状の場合にはき裂を埋め戻すなどの簡易な対策を講じることが多い。しかし、このような復旧方法により盛土の降雨耐力が地震発生前まで回復しているかは不明である。本稿では、き裂部分の埋め戻し効果を解析的に把握するための前段として実施した、模型盛土の散水実験における盛土内の水位上昇を浸透流解析にて再現するき裂のモデル化について述べる。

2. 人工き裂を有する模型盛土の散水実験¹⁾

散水実験に用いた模型盛土を図1に示す。模型盛土は、高さ750mm、幅1000mm、奥行き1525mm、天端の奥行き500mm、のり面勾配1:1.5の諸元を有する単純鉄道盛土の半断面模型であり、縮尺は1/10を想定している。境界条件は、図1中の盛土下端と右端は不透水条件である。

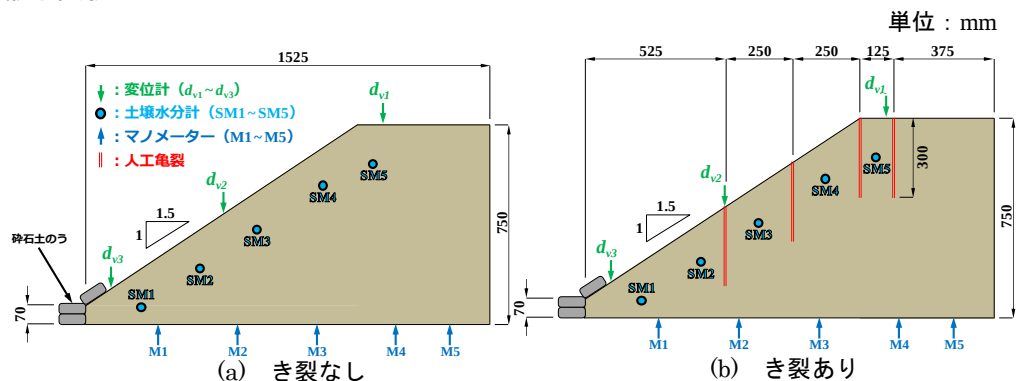


図1 模型盛土の概要図

模型盛土の底面には盛土内水位を把握するためにマノメーター等を設置した。散水時の降雨強度は、両ケースとも時間雨量 $r = 30\text{mm/h}$ である。実験結果については後述する再現解析の部分にて一部を示す。

3. き裂のモデル化の考え方

上述の模型実験によって、き裂がある盛土の方がき裂のない盛土よりも盛土内水位が上昇することを確認した。また、散水実験中の盛土のり面にはのり面上に達した散水がのり面表面を流れき裂に浸透する様子が観察された。これらのことから、降雨の盛土への作用は図2に示すように、①盛土内部には浸透しない表面流と②内部への浸透水に分けられ、③表面流はき裂から盛土内部へ流入すると考えた。そこで、浸透流解析上では、き裂を構成する要素の透水係数を盛土の透水係数より大きく設定し、実験結果の再現解析によりその妥当性を検証した。

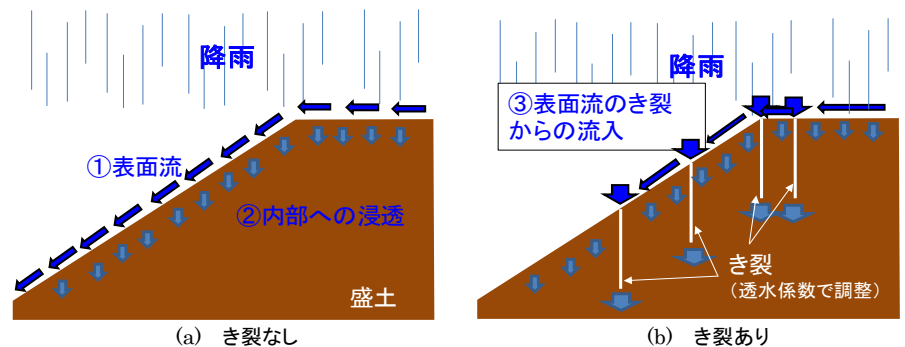


図2 浸透流解析におけるき裂モデルの検討方針

4. 散水実験の再現解析

浸透流解析には3次元飽和-不飽和浸透流解析ソフトウェア 3D-Flow (地層科学研究所) を用いた。本ソフトウェアは岡山大学西垣名誉教授らによって開発された数値解析ソルバーUNSAF3D³⁾を搭載している。解析パラメータの一覧を表1に示す。解析パラメータは、実験で用いた土試料の各種土質試験結果と実験条件から設定した。水分特性曲線は van Genuchten モデル⁴⁾、比透水係数は Mualem モデル⁵⁾を用いた。

キーワード 地震動 盛土 浸透流解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL042-573-7263

まず、のり面とき裂から盛土内部へ浸透する降雨の割合を決定するため、き裂なしのケースで時間雨量 $r=30$ 、27、24、21mm/h の降雨を作用させたときに実験 ($r=30\text{mm/h}$) における散水時間 310 分の地下水位を再現する雨量を求めた。解析結果の一例として、図 3 に $r=21\text{mm/h}$ を与えた解析で得られる地下水位の、散水開始から 280 分、300 分、310 分のそれぞれについて、実験結果と比較した結果を示す。図に示す $r=21\text{mm/h}$ の場合に最も実験結果を再現できたことから、 $r=30\text{mm/h}$ の降雨時における盛土内部の地下水位を解析で再現するには、7 割程度の $r=21\text{mm/h}$ の降雨がのり面から浸透し、残りの 9mm/h がき裂より盛土内に浸透する量として配分されることとした。

表 1 解析パラメーター

土質	飽和透水係数	飽和体積含水率	残留体積含水率	V-Gモデル定数		比貯留係数
				α	n	
稲城砂	$2.55 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ (0.153cm/min)	0.50771	0.16713	0.038738(1/cm)	1.6022	$1.0 \times 10^{-5}(1/\text{cm})$

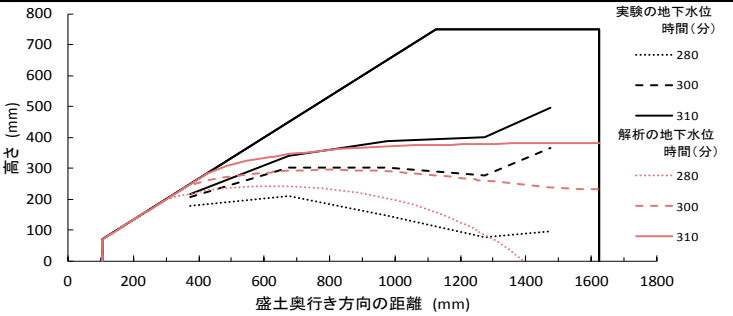


図 3 降雨開始から 280、300、310 分のそれぞれにおける地下水位分布の比較結果 (き裂なし 時間雨量 $r=21\text{ mm/h}$)

次に、き裂部分の透水係数を決定するため、き裂ありの実験ケースにおいて散水を停止した 210 分までの地下水位を解析で再現した。盛土に浸透させる降雨量は、前述した結果を踏まえて時間雨量 $r=21\text{mm/h}$ とした。き裂へ流入する表面水については、図 4 に示すようにそれぞれのき裂に流入する部分を定め、これらの範囲(長さ)と実験での時間雨量 $r=30\text{mm/h}$ との差分である $r=9\text{mm/h}$ から表面水を計算し、これらの表面水をき裂表面に流入水(流量)として与えた。実験を再現させるための解析条件のパラメーターはき裂部分の透水係数 k であり、 k を盛土本体の 5 倍、10 倍、30 倍とした解析を実施した。一例として、 k を盛土本体の 30 倍とした地下水位の経時変化を実験結果と比較したものを図 5 に示す。210 分より前の時間では実験結果よりも解析結果の地下水位が高い結果となったが、210 分における解析による地下水位は実験結果を概ね再現できている。以上の結果より、浸透流解析におけるき裂モデルの考え方は概ね妥当であることが示された。

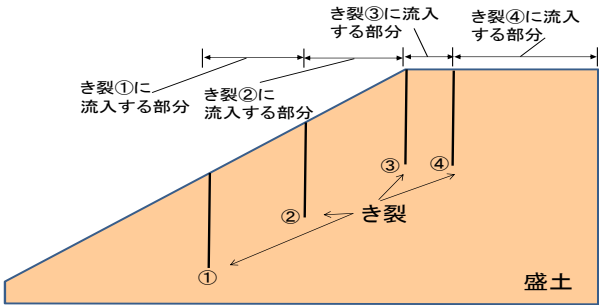


図 4 き裂への流入水の考え方

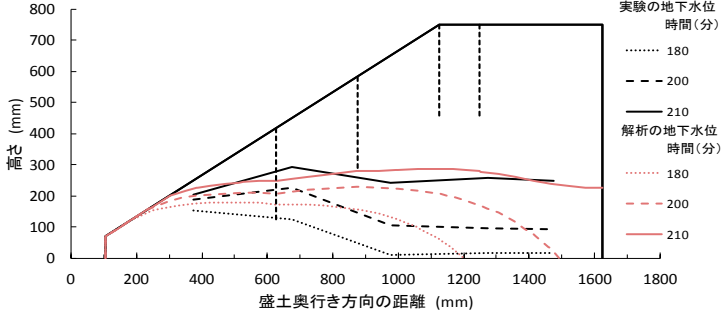


図 5 き裂ありの実験結果と解析結果の地下水位比較

5. まとめ

本稿では、地震動により盛土にき裂が生じた場合のき裂の有無が降雨時における盛土内の水位上昇に与える影響を飽和・不飽和浸透流解析にて再現する方法について述べた。今回は模型実験結果の再現解析について述べたが、今後は実物大盛土に本モデルを適用し、埋め戻し等の対策工の効果を把握する予定である。

参考文献

1) 川尻峻三、布川修、太田直之：亀裂が散水時の模型盛土内の水分挙動に及ぼす影響、土木学会論文集 C (地圏工学)、Vol.71、No.3、pp.204-217、2015
2) 西田幹嗣、川尻峻三、布川修、伊藤賀章、太田直之：加振履歴を有する盛土の散水時における水位上昇に関する解析的検討、第 32 回日本自然災害学会学術講演会要旨集、pp. 113-114
3) 地盤工学会中国支部：数値解析講習会テキスト AC-UNSAF3D、第 4 回地下水コロキウム in OKAYAMA、2002
4) M. T. van Genuchten: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils、Soil Science Society American Journal、Vol.44、pp.892-898、1980
5) Y. Maulem: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media、Water Resources Research、Vol.12、pp.513-522、1976