

Ⅲ-A304

鉄道盛土の降雨浸透流・安定解析手法の検証

中央開発（株）

正会員 ○井上孝則 西原聡

東日本旅客鉄道（株）

正会員 香川英司 中村宏 狭田彰二

1. はじめに

降雨時の盛土の崩壊は、盛土材の不均質性、浸潤経路、降雨条件や流入条件等が複雑に影響して発生すると考えられる。筆者らは、この複雑な崩壊機構を解析的に検討する手法の開発を実施している。本報告では、平成10年8月末の栃木県北部における集中豪雨により実際に発生した東北本線の鉄道盛土の大崩壊を事例とし、降雨浸透解析と極限安定解析を連成した解析を行い、解析手法の妥当性を検討したので、その結果について報告する。

2. 事例解析の概要

事例解析に用いた断面モデルは、既存資料、現地踏査、測量及び調査ボーリング結果から得られた想定地質断面図に基づき作成した。崩壊前の断面モデルを用い、崩壊時の実降雨を与えて浸透流解析を行い、降雨による盛土内の浸潤状況及び地下水位を推定するとともに、盛土の透水性、盛土形状、降雨強度などが盛土の浸潤状況に及ぼす影響を調べた。さらに、この解析で得られた盛土内の浸潤状況及び地下水位を考慮した安定解析を実施し、崩壊時刻のすべり安全率を求めた。ここで、浸透流・安定解析の透水係数及び強度定数のパラメータを変化させ、崩壊時の状況を再現できる定数を試行的に求めた。解析フローを図-1に示す。

3. 降雨浸透流解析

浸透解析では現状の盛土の自然状態での飽和度を初期状態とし、初期状態に対して崩壊時降雨を与え、降雨終了直後の盛土内の浸潤状況を求めた。解析は有限要素法（FEM）による飽和・不飽和降雨浸透解析による非定常解析を行った。このとき飽和・不飽和領域の浸透を支配する基礎方程式は、式（1）で表される。

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \phi}{\partial z} + k \right) = (C + \alpha \cdot S_s) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha=0$ ：不飽和領域、 $\alpha=1$ ：飽和領域

であり、 k ：透水係数、 ϕ ：圧力水頭、 S_s ：比貯留係数、

$C = d\theta/d\phi$ ：比水分容量である。

(1) 浸透に関する定数

調査結果より、盛土材はロームを主体としており、現場透水試験より、透水係数は $k=2.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ が得られた。この値をもとに試行的に透水係数を10倍～100倍に変化させた。また、不飽和水分特性曲線はpF試験結果より θ と ϕ の関係を Brooks-Corey の関係式に近似するようにパラメータを設定した。図-2に解析に用いた不飽和水分特性曲線を示す。

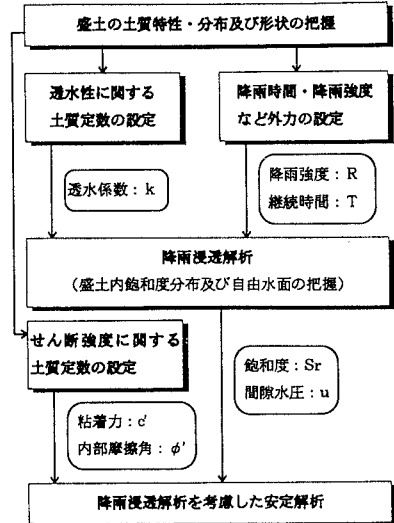


図-1 解析フロー

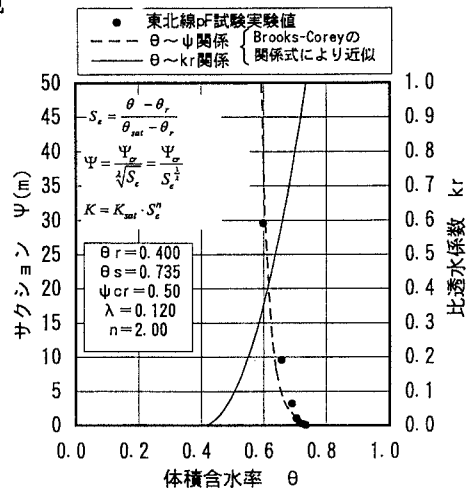


図-2 水分特性曲線（盛土：那須ローム）

キーワード：有限要素法 降雨浸透 安定解析

東京都新宿区西早稲田 3-13-5 TEL 03-3208-3541 FAX 03-3208-9915

（２）解析条件

境界条件として盛土下部の粘性土層及び張りブロック施工のり面を不透水境界とし、天端及び崩壊のり面を降雨浸透境界とした。また、崩壊時の条件として想定される路盤下部とのり尻に湛水条件を設けた。

4. 降雨浸透を考慮した安定解析

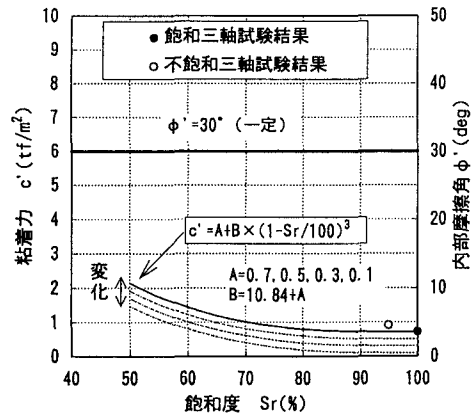
安定解析では、降雨浸透解析結果から盛土内の飽和度及び圧力水頭に基いてすべり面上の強度定数及び間隙水圧を設定した。この値を用いて式（２）により、崩壊時のすべり安全率を求めた。

$$F_s = \frac{\sum (c' + (W \cdot \cos \theta - u \cdot l) \tan \phi')}{\sum W \cdot \sin \theta} \quad (2)$$

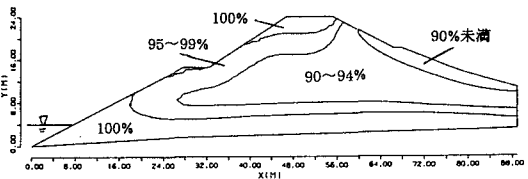
ここで、 u ：分割片に作用する間隙水圧、 c' 、 ϕ' ：有効粘着力、有効せん断抵抗角。なお、土塊重量（ W ）は盛土内の飽和度に応じた単位体積重量より設定する。

（１）強度に関する定数

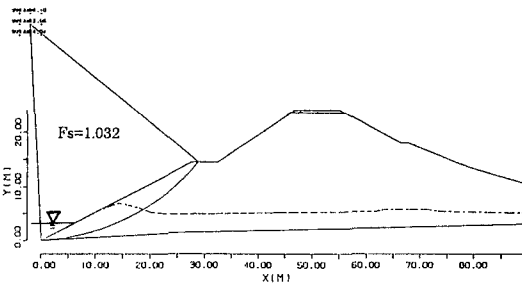
盛土材の粘着力（ c' ）は、室内土質試験結果の内、飽和状態の三軸（CU 条件）試験結果と自然状態の不飽和三軸試験結果を用い、文献 2) の曲線の傾きを引用し、飽和度と粘着力の関係を設定した。なお、崩壊時強度を試行的に求めるために飽和時の粘着力を 4 通り変化させた。内部摩擦角 ϕ' については、飽和度に依存しない一定値とした。図－３に飽和度と強度定数の関係を示す。



図－３ 強度定数と飽和度の関係



図－４ 解析結果例
（飽和度コンター図、 $k=2 \times 10^{-4}$ cm/s）



図－５ 解析結果例
（安定計算結果図、 $\phi'=30^\circ$ 、 $c'=0.5$ tf/m²）

5. 解析結果

図－４及び図－５の浸透流・安定解析結果を示す。その結果、盛土の透水係数を現場透水試験からの設定値の 10 倍程度とし、粘着力を室内試験の設定値から 2 割程度低下させると、のり尻ですべり破壊の可能性がある結果が得られた。詳細な検討結果は、文献 3) 及び 4) に示す。

6. まとめ

実際の盛土の崩壊事例に対する検討により、崩壊をある程度説明できる結果が得られた。したがって、本検討に用いた解析手法は、降雨時の盛土崩壊の予測手法として有用であることが確認された。今後は、様々な条件における事例解析を行うことにより、さらに解析精度の向上を図る必要があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 西垣・楠見：不飽和土の浸透特性の評価に関する考察，不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム，土質工学会，1987.12, PP179-186
- 2) 建設省土木研究所：盛土構造物の崩壊と対策に関する研究，土木研究所資料第 2017 号，1983.8
- 3) 香川ら：浸透流解析を併用した崩壊盛土の安定解析，第 34 回地盤工学会研究発表会，1999.7
- 4) 香川ら：鉄道盛土の降雨浸透流・安定解析，第 54 回年次学術講演会（投稿中）