

鉄道盛土モデルにおける斜面安定性の一比較

鉄道総研 ○外狩麻子
 鉄道総研 杉山友康

鉄道総研 村石 尚
 鉄道総研 奈良利孝

1. はじめに

鉄道では、危険と判断される雨量値の設定によって運転規制を実施しており、これによって降雨時における安全な輸送を確保している。現在この運転規制に採用されている雨量指標では、時間雨量と連続雨量が主であり、この2指標値の組み合わせによって規制が実施されている。一方で、先行降雨の影響を考慮した実効雨量の提案などに示されるように、降雨の降り方によって土構造物や斜面の安定性の推移する傾向が画的でないことが推測されている。すなわち、斜面の安定性と雨量指標との整合性について検証する必要があると考えられる。

そこで、本研究では、パターン化した降雨に対する斜面安定性の経時変化を数値解析によって求め、雨量指標の推移との比較を実施した。ここでは、4つの降雨パターンに関する結果について報告する。

2. 解析の概要

解析の手法として、設定したパターン化降雨による雨水浸透の現象をサーチする浸透流解析と、斜面の安定性をサーチする安定解析の2つを用いる。浸透流解析としては、飽和・不飽和浸透流解析を有限要素法により離散化する方法を採用し、また、安定解析としては、極限平衡法のうち Janbu 簡便法を採用する。不飽和状態での土のせん断強さを導入することで、浸透流解析によって得られた任意の時間ステップ毎の不飽和領域の湿潤状態を、これに続く安定解析に反映させることが可能となる。したがって、本解析では、不飽和領域を考慮した斜面安定性の検証を実施する。

2.1. 盛土モデルの構築

鉄道沿線盛土を解析の対象とし、現在までに分っているデータをできる限り反映させたパラメータを設定することによって盛土モデルを構築する。

盛土モデル断面は鉄道の設計標準¹⁾を参考に設定し、盛土高6m、勾配1:1.5の均一な砂質土の純盛土とした。実際の鉄道沿線盛土より採取した19サンプルの pF 試験結果から代表値を算出し、Brooks & Corey 提案式²⁾にて図1に示すようなフィッティングを行い、土壌水分特性のパラメータを設定した(表1)。不飽和透水特性については Irmay 式³⁾に西垣⁴⁾の提案式からパラメータ： n を算出して表1に示すように設定した。土のせん断強さである内部摩擦角： ϕ' は、乾湿による増減の関係が不明確なため、ここでは $\phi'=30^\circ$ の一定値とする。粘着力： c' は、砂質土という設定を踏まえて、現地採取した7サンプルの飽和・不飽和三軸試験結果及び稲城砂の飽和三軸試験結果を基に、これらの下限値をとるように $c' \sim w$ 関係を設定した(図2)。土質定数も19のサンプル・データを基に設定し、土粒子の密度： $\rho_s=2.65g/cm^3$ 、乾燥密度： $\rho_d=1.30g/cm^3$ とし、含水比： w によって湿潤密度： $\rho_i=f(w)$ は決定される。

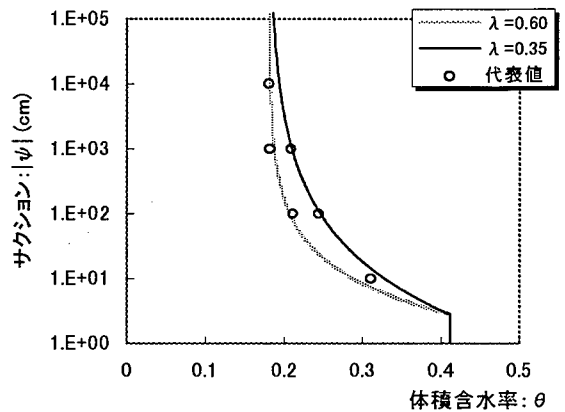


図1 土壌水分特性曲線

表1 パラメーター一覧

最小体積含水率(θ_r)	0.180
飽和体積含水率(θ_s)	0.411
限界吸引圧力水頭(ψ_c)	-2.80cm
λ (drying)	0.35
λ (wetting)	0.60
飽和透水係数(k_s)	$5 \times 10^{-3} cm/s$
n	3.7

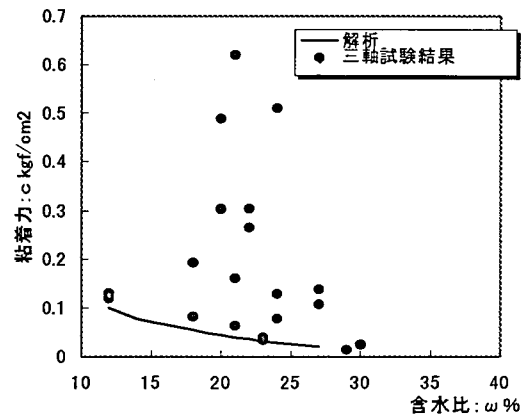


図2 $c' \sim w$ 関係

2.2. 降雨パターンの設定

盛土モデルに対してパターン化した擬似雨を降らせ、その降雨パターンに依存して変化する盛土モデルの安定性を把握する。すべてのパターンに共通して、総雨量は東海道新幹線沿線での70年確率最大日雨量⁵⁾とされている400mmとし、時間雨量はパターンにより0~100mm/hに設定する。

3. 安全率の経時変化と雨量指標との比較

豪雨型(40mm/h×10hr)、長雨型(10mm/h×40hr)、単調増加型(26.33hrs内で0→30mm/h)、単調減少型(26.33hrs内で30→0mm/h)の4つのパターンについて、解析によって得られた安全率と雨量指標の推移を図3に示す。連続雨量: R 、24時間雨量: R_{24} 及び半減期24時間と72時間の実効雨量: Rc_{24}, Rc_{72} を雨量指標として安全率: F と比較する。ここでの連続雨量は、鉄道の在来線で採用されている12時間の降雨中断により0クリアされる算出方法であり、24時間雨量は新幹線で採用されている24時間内の累積雨量である。

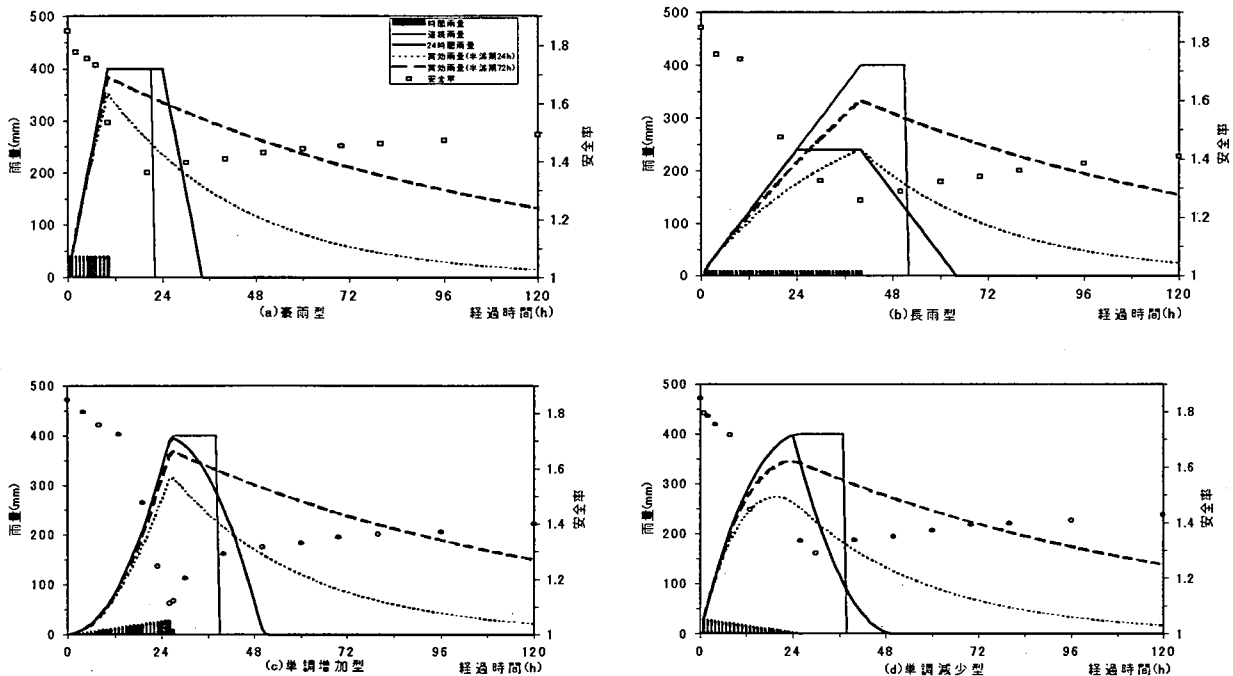


図3 4つの降雨パターンでの安全率と雨量指標の推移

上記4つのパターンでは、降雨開始とともに安全率は低下し各雨量値は上昇する。安全率が最小となる時刻と雨量値がピークとなる時刻を比較すると、豪雨型での Rc_{24} と Rc_{72} 及び単調減少型の R_{24}, Rc_{24}, Rc_{72} では6時間以上のずれが生じ、降雨に対して遅れて発生する危険性を表現し難い。特に単調減少型の降雨に対して実効雨量は半減期が短くなる程ピーク発生が早くなり、安全率の最小時とのずれが大きくなる傾向を示している。連続雨量はこういったずれを包括する形のピークを示すが、安全率が最小となった後の安全性の緩やかな回復に対して適正に表現することはできない。一方、ピーク後に低減曲線を示す実効雨量では回復の速度を追従する可能性を示している。

4. おわりに

解析結果とあわせて運転規制の解除という実用的観点から、半減期の適正な設定により実効雨量が雨量指標として斜面安定性との整合性が高いと判断される。今後引き続き、実際の降雨データを用いて同様に一連の解析を実施し検証を進める。

参考文献:(1) 鉄道構造物等設計標準・同解説-土構造(1992)運輸省監修鉄道総研編,丸善,(2) Brooks, R.H., and Corey, A.T. (1966): Properties of porous media affecting fluid flow, ASCE, IR(92), pp.61-88., (3) Irmay, S. (1954): On the hydraulic conductivity of unsaturated soil, Trans. ASCE, vol.10, pp.400-404., (4) 西垣誠(1983):飽和・不飽和領域内の土中水の浸透特性に関する2,3の考察,土質工学論文報告集, vol.23,no.3,pp.165-176. (5)池田俊雄(1961):盛土の崩壊とその対策について,第6回新幹線施工技術討論会記録,国鉄新幹線総局, pp.4-20.