

凍上現象による土砂の生産および流出に関する実験的研究

京都府立大学 日浦浩全 久保伊佐男 水原邦夫 大寺桂二
建設省木津川上流工事事務所 堤 泰夫 高橋 一

京都府立大学砂防研究室では建設省木津川上流工事事務所の協力を得て、これまでに山腹斜面における土砂生産についての種々の調査を行ってきた。土砂生産については種々のプロセスを考える事が可能であろう。これまでの現地での観察を通じて認められた木津川上流地域の山地における土砂生産の特徴として、冬期から春期にかけて多量の不安定土砂量が生産され、それが梅雨や台風に伴う豪雨により下流へ移動させられる事が挙げられる。この期間の土壤の不安定化に大きく影響を持つ営力として土壤の凍結—融解のプロセスを考え、これを室内実験により現出させ土壤の不安定化の際の定性的な挙動を観察したので以下に明らかとなった事実についてのべる。

1 凍上現象のシミュレーション 本実験ではアラスカ等で見られるような年間を通じて土が凍結状態を保つ永久凍土と呼ばれるものではなく、冬期に凍結状態にあっても春には融解する、もうろうん冬期にあっても気象条件の変化によって凍結—融解のサイクルがくり返されていると考えられる、季節的凍土と呼ばれるものである。凍上現象は、(i) 0°C 以下の温度が継続する条件下で土の表層と下層の間に温度勾配が生じる必要がある。この時、地表の温度は最低で地下へ行くほど温度は上る。この温度差のため熱は地下から地表へ向って移動する。この時に土中水を表面に向って動かす働きをする。(ii) この水分の移動は源である地下水が無くなり他の領域と隔離されている場合(closed system)には乾燥過程をたどり全水分が凍結すると終了するが、供給源の存在下(opensystem)では温度差によって水分はいつまでも上昇を続ける。(iii) 土の温度が凍結温度以下になると土中水分が液体相から氷の結晶、氷の粒子、氷のレンズ、氷の層を作り、土中の間隙の一部または全部がこれらの色々の氷の層で満たされる。その結果、土の体積、密度に変化を生じると考えられる。実験はclosed systemで行なった。

2 実験方法 2.1 凍上のシミュレーション：表に示す因子に従い土槽($L=50\text{cm}$, $B=35\text{cm}$, $H=15\text{cm}$)内に土を詰め、温度幅 -10°C へ 20°C を与えて熱サイクルをかけ(平均20回)、48時間後に取り出し、隆起量を測定する。2.2 土槽の不安定化と耐食性の検討：熱サイクルを終った土槽に 1000 g/sec の sheet flow を流下させ、下流端より流出する土砂量を採取し、その経時変化と実験因子との関連を考察した。

表 実験因子と水準

斜面条件	凍結、未凍結
乾燥密度	1.2 1.3 g/cm^3
含水比	0.1, 0.15, 0.2
斜面傾斜角	25° 30° 35°

3 実験結果

3.1 隆起量：凍上作用に関しては土層内の空隙の水分量を適確に表現できる因子が必要である。検討の結果、飽和度を採用したが隆起量 h との間に高い相関が認められた($r=0.907$)。なお回帰直線は $h = -9.9 + 56.8 \cdot S_r$ ($0.2 < S_r < 0.6$) で与えられる(図-1)。

3.2 斜面の不安定化と耐食性：図-2は流出土砂量を1秒あたりの乾燥重量に換算したものの経時変化の一部を示す。全般的に凍結土、未凍結土共、時間の経過に伴い土砂量のピークが現われ、その後、漸次減少していく。流出に大きな影響を持つ因子は含水比であり、相対的に大きい程流出量は多く、しかもピークは早く出現するが、絶対量は未凍結斜面のものが多く、含水比が小さくなると凍結斜面の方が多くなる。又乾燥密度が大きくなるとピークが不明瞭で偏平な形を呈する。傾斜角については

$\theta = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ の二つのグループに分けられ、緩勾配の方が流出は遅く、ピークは明瞭でない。流出の発生時にピークとなっており、急斜面では流出土砂量が多くなる。図-2に認められるように時間の経過と共に斜面条件の相異が流出土砂量に明確には反映されなくなる。そのため斜面条件の対比の明瞭な初期(通水後5分まで)の土砂量を対象として水量との関係を観察した。解析にあたってはリカンスキー・ブラウン式 2) M.P.M 式の二つの流砂量公式を $q_b / \sqrt{k_d s_0} = a \left\{ \frac{u_*^2}{(\rho_f - 1) g d_{50}} \right\}^b$, $\frac{q_b}{(\rho_f - 1) g d_m^3} = a' (y_e - 0.047)^{b'}$ の形に導き、 q_b には実測値を、他の水理量は実験時に撮映した写真より判読した値を用いて a, b, a', b' を計算した。図-3には一例を示すが、同一の実験因子ごとに整理して a, b, a', b' の値を回帰した。 b, b' は図-3中の直線の傾きを表わす。すなわち横軸の一定値に対して b, b' が相対的に大きい事は流砂量の多い事を意味する。また掃流力の僅かな増加に対して流出土砂量が大きく変動するとも言える。逆に b, b' が低下すると斜面はより安定化するとも言える。図-3からはいずれの因子についても、凍結土の方が未凍結土に比べて直線の傾きは大きく、したがって定性的には凍結斜面の方が不安定である事が認められた。図4, 5には乾燥密度および飽和度と b, b' の関係を示すが同様の傾向が認められる。なお a, a' については b, b' が一定値を持つ時に大小を比較する意味はあるが、すでに見たように b, b' は大きく変動する。そこでここでは図6, 7のように b, b' を縦軸、 a, a' を横軸に取ってプロットしてみた。これより a, a' は定性的には未凍結土の方が大きい値を持つ。これは M.P.M 式により回帰した時にその傾向が明らかとなる。一テブrawn式では凍結土、未凍結土のグループ分けが明瞭となる。

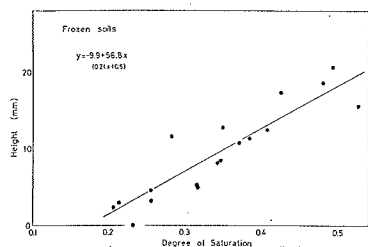


図-1 飽和度と隆起量の関係

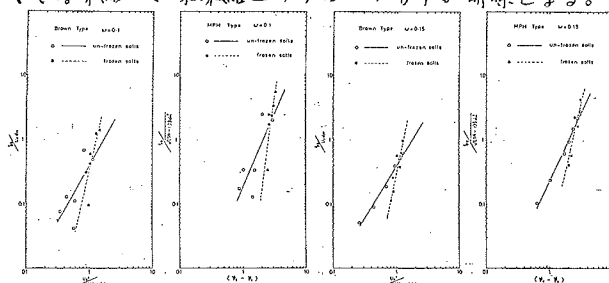


図-3 無次元表示した流砂量と掃流力の関係

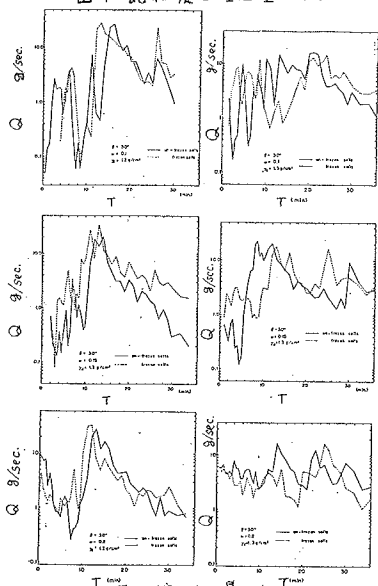


図-2 流出土砂量の経時変化

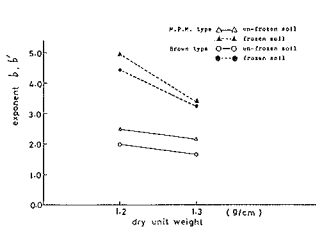


図-4 b, b' と乾燥密度の関係

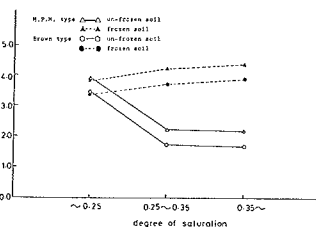


図-5 b, b' と飽和度との関係

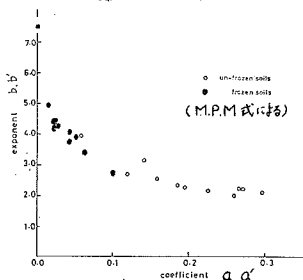


図-6 b, b' と a, a' の関係

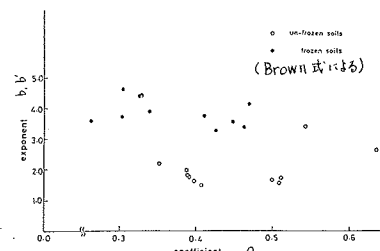


図-7 b, b' と a, a' の関係