

植生周辺の飛砂と風の特性

金沢大学大学院 学生員 西澤謙二
名古屋大学大学院 正 員 辻本哲郎

1. まえがき 近年、海岸の利用目的の多様化や海岸部のリゾート開発が進み、台風や冬季の強風による海水浴場の駐車場や砂浜に面した自転車道等への飛砂侵入が問題となっている。従来より用いられてきた飛砂防止柵は効果が曖昧であり、必ずしも環境整備に適したものではないため、デザインの的に優れたものや自然的なものの精度の良い飛砂制御が望まれている。本研究では植生の持つ飛砂防止機能に着目し、植生モデル付近の流れと飛砂の堆積状況について実験と数値解析により検討する。

2. 数値解析 解析を行うにあたり、飛砂の運動をsaltation運動する砂粒子に限定して議論を進める。飛砂層内での砂粒子と風の相互作用をモデル化して、個々のsaltationの解析と飛砂を含む風の解析を繰り返し計算する¹⁾。個々のsaltationの砂面との反発は、簡単のため砂粒子の初速度を鉛直方向のみとし、ある期待値の周りに分布する確率変数として、その期待値は河村のモデル²⁾で用いられている次式で与える。

$$E[v_{p0}] = K_0(u_* + u_{*c}); \text{ここで, } u_* = \sqrt{\tau_0/\rho}, \quad u_{*c}: \text{移動限界摩擦速度, } K_0: \text{実験定数である.}$$

飛砂層での風の解析は空間平均されたk-εモデルを用い、粒子の存在を実体ではなく形状抵抗に置き換えて考慮する。植生周辺において飛砂は非平衡状態であるためにいきなり解くことは困難である。そこで飛砂と風との運動量交換が落ち着いた平衡状態の解析を先に行う。平衡状態では、底面掃流力が移動限界 τ_c に達していることを考慮して、平衡飛砂数密度 v_{be} を求め、次式で平衡飛砂量 q_{se} を求める。

$$q_{se} = v_{be} \alpha A_s d^3 \int_0^\infty f_B(y) u_p(y) dy$$

ここで、 f_B ：存在確率密度、 u_p ：砂粒子平均移動速度である。

非平衡状態の数値解析は、飛砂の特性値や風速値を逐次更新する逐次近似法で行う³⁾。この方法では f_B 、 u_p の平衡状態の分布形と、飛砂量の分布形の仮定から求めた飛砂数密度を第0次近似として、解が安定するまで繰り返し近似計算する。ここでの非平衡状態は、飛砂が平衡状態に達するまでの遷移過程とし、飛砂量が指数関数的に増加すると仮定する。図1は飛砂量の仮定値と更新値である。図2は飛砂数密度、図3は底面掃流力の流下方向変化である。底面掃流力は平衡状態に近づくにつれ、移動限界 τ_c に近づいていくことがわかる。

飛砂と植生を伴う流れ場においては、飛砂が停止する可能性があり飛砂量分布形の仮定が困難であるため、新たに、次式で与えられる単位時間・単位面積当たりの飛砂数密度変化量 $N_e(x)$ を考慮する。

$$N_e(x) = dv_B/dx$$

図4は底面掃流力に対する飛砂数密度変化量 $N_e(x)$ を示している。これより飛砂数密度変化量は次式の底面掃流力との関数で記述できる。

$$N_e(x) = K_N(\tau_b - \tau_c); \text{ここで, } K_N: \text{定数}(=13.1) \text{とした.}$$

シミュレーションの手順は、まず砂を含まない流れ場をk-εモデルより求め、底面掃流力を評価し、新たな砂の飛び出しを考慮しsaltationを追跡する。これを統計処理して飛砂の特性値を見積もり、付加項を評価して砂を含んだ流れ場として、再びk-εモデルより非平衡状態の流れ場を計算する。

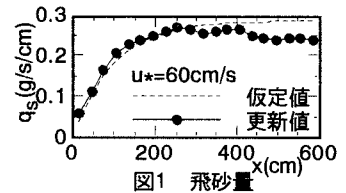


図1 飛砂量

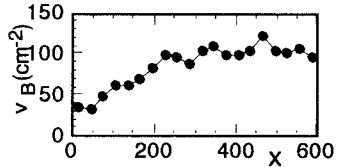


図2 飛砂数密度

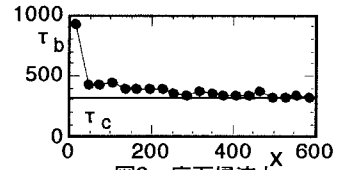


図3 底面掃流力

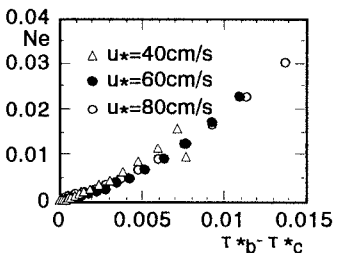


図4 飛砂数密度変化量

3. 風洞実験 植生付近の現象を知る

ために、金沢大学工学部に設置されゲッチンゲン型風洞(断面80cm×80cm)を用いて実験を行った。固定床として粗度付けした厚さ3.0cmの亚克力板を敷き、その固定床に続けて下流側に充分乾燥

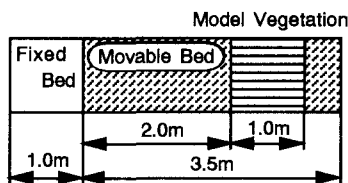


図5 実験概略図

表1 実験条件

	U_{in} (cm/s)	λ (cm ⁻¹)
U14	782.188	0.04
U24	857.438	0.04
U34	1002.190	0.04
U22	919.750	0.02
U28	900.000	0.08

した砂(石川県松任海岸で採取、中央粒径約0.35mm)を厚さ3.0cm、長さ3.5mに

亘って敷いて移動床とした。高さ13cm、直径4mmの円柱木材を等間隔の格子状に配置した植生モデルを、図5のように設置した。流入部の断面平均風速 U_0 と密生度 λ を変化させ、表1のような条件で実験を行った。そして植生モデル内と境界の風速分布を熱線式風速計を用い測定し、送風後に砂面の高さ y_b を測定した。

移動床上流端の風速分布より断面平均風速 U_0 を求め、実験値とこれを流入条件とした計算値を比較する。

条件U24での風速分布を図6に示す。実験値と計算値はほぼ一致しており、ともに植生帯に入ると飛砂の停止により、植生層内の風速分布が徐々に直立していくことがわかる。図7には異なる密生度ごとの風速分布を示す。密生度が小さいと植生層内での減速が小さいため、砂面近傍で飛砂による減速が見られる。図8は植生帯内でのレイノルズ応力分布の計算値である。密生度が大きいと植生境界付近で、密生度が小さいと飛砂の影響により砂面近傍で大きくなる。図9は底面掃流力変化である。密生度が小さいほど

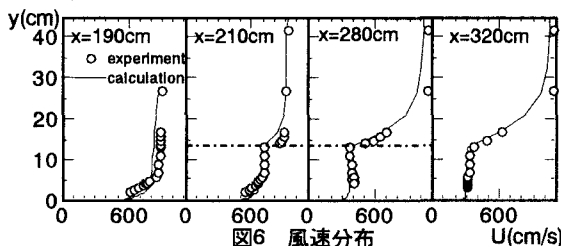


図6 風速分布

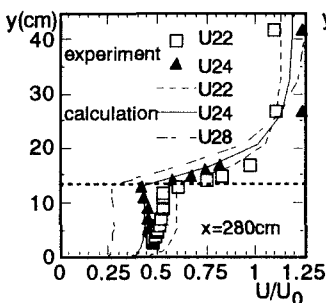


図7 風速分布

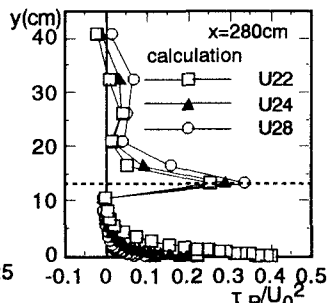


図8 レイノルズ応力分布

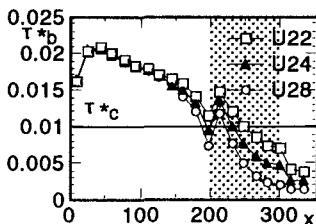


図9 底面掃流力

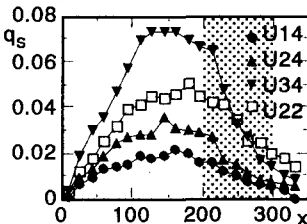


図10 飛砂量

限界掃流力以下となる位置が遅れる。図10は飛砂量の流下方向変化の計算値である。密生度0.04では植生帯侵入直後から、0.02では植生帯後部から飛砂量が減少しており、この付近から飛砂が堆積し始めると考えられる。図11は実験での30分後の砂面の高さである。密生度0.04では植生帯の後部に、0.02では通過後に堆積する傾向がある。これらから密生度が大きくなれば、植生帯前で飛砂が堆積することが予測できる。

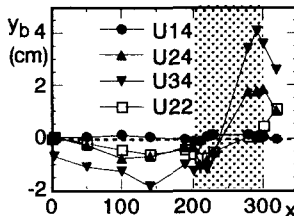


図11 砂面高さ

4. あとがき 実験と数値解析により植生が飛砂と風に及ぼす影響を把握できた。今後は、地形変化過程を考慮した植生付近の飛砂を含む風の解析を進め、植生による飛砂制御能力について検討する必要がある。

参考文献: 1)辻本・赤城: 飛砂層におけるサルテーション運動と風速分布, 水工学論文集, 第38巻, 1994, 2)河村: 飛砂の研究, 東大理工学研究所報, 第5巻, 1951, 3)辻本・渡辺: 非平衡状態の飛砂と風の数値解析, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, 第2部, 1996