

変動空気圧による地盤の動的応答特性

愛媛大学大学院連合農学研究科 学生員 ○桑原久実
高知大学農学部 正員 玉井佐一

1. はじめに： 風による砂の流送現象を飛砂と言い、主に海岸工学、農業工学の立場からその機構の解明と災害の防止について研究されてきた。風による砂の移動形態は、浮遊、跳躍、掃流であり、その中でも跳躍によるものが多く表れる。また、砂の初期移動機構は、Bagnold(1954)、河村(1951)の衝突論、Ishihara and Iwagaki(1952)の掃流論、内田(1948)の揚力論によるものが提案されている。飛砂量の算定についても、Bagnold(1954)、河村(1951)及びHorikawa et al.(1984)など数多く提案されている。これらは、いずれも水平地盤上を吹く風による砂粒子の移動を研究したものである。ここでは、従来の研究の観点を变えて、風速、風向の変動により地表面に生じる変動空気圧が、地盤の安定性に与える影響について、土質力学的な面から検討する。すなわち、変動空気圧により地盤内の間隙空気圧、有効応力が変動し、有効応力がゼロになる場合、砂粒子は空気中に浮いた状態になり、わずかな外力によって容易に移動すると考えられる。

2. 実験の方法： 図-1は実験装置の概要を示している。実験は高さ82.4cm、幅49.8cm、奥行き21.7cmの片面透明塩ビ板による木製の箱を、図のように内部を上下から仕切り板を設け3槽に分けたものを使用している。右槽は高さ50cmまで砂を入れ、背面には圧力センサーを設置し、間隙空気圧を測定できるようにしてある。圧力センサー受圧面に直接土圧が作用しないようにフィルターを設けている。中央と左槽はU字管に成っており、左槽にピストンを挿入し、空気出入孔を開けた状態で水を入れ水深 h_1 にする。その後、空気出入孔を閉め、ピストンを上昇させると左槽の水位が h_2 となり、この水位差による圧力は中央と右槽の空気を介して砂地盤表面に作用することになる。この際、急速にピストンを上昇させると中央と左槽の水に振動が生じ、砂地盤表面の変動空気圧は減圧、加圧を繰り返して減衰を伴いながら一定圧力となる。

3. 解析手法の概要： 図-2は、解析に使用した鉛直1次元地盤モデルである。不透水性地盤上に深さDの均一地盤があり、その表面に変動空気圧が作用するものとする。地盤骨格はHookの法則、間隙空気はBoyleの法則に従い圧縮性であり、空気の密度、間隙率及び地盤の厚さは変化するものとする。また、間隙は空気のみで占めており、間隙空気の移動はDarcyの法則に従うものとする。連続式にそれぞれの状態方程式を代入し整理すると、変動空気圧による地盤の応答を示す基礎式が得られる。

$$\frac{\rho_a k_a}{\rho_w g} \frac{\partial^2 h_a}{\partial Y^2} = \left(\frac{n_a \rho_{a0}}{P_0} + \rho_a m_v \right) \frac{\partial h_a}{\partial t} + \frac{n_a \rho_{a0}}{P_0} \frac{\partial h_a}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 n_a :間隙率(=空気含有率)、 ρ_w :水の密度、 g :重力加速度、 h_a, h_{a0} :変動空気圧、変動過剰間隙空気圧の水頭表示、 m_v :地盤骨格の圧縮率、 ρ_a :空気の密度、 ρ_{a0} :標準大気圧での空気の密度、 P_0 :標準大気圧、 k_a :透気係数(= $\mu_w k_w / \mu_a$)、 k_w :透水係数、 μ_a, μ_w :空気、水の粘性係数)である。また、地盤の流動化は、 $\sigma_v' + \rho_w g h_a \leq 0$ (ここに、 σ_v' :変動有効応力、 σ_{v0}' :初期有効応力)で示す。

(1)式は、初期、境界条件として $t=0$ で $h_a=0$ 、 $Y=0$ で $h_a=0$ 、 $Y=D$ で $\partial h_a / \partial Y=0$ 。また、地盤表面の変動空気圧 h_a は実験より得られたものを使用し、差分法により解を求めている。表-1は、解析をする際に使用した地盤の物性値を示している。※は実験により得られた値である。

4. 結果及び考察： 図-3は変動空気圧による地盤の応答特性を示している。(a)は変動間隙空気圧を示し縦軸に $h_a (=h_a - h_{a0})$ 。(b)は変動有効応力を示し、縦軸は σ_v をとり0以下であると流動化していることを示す。横軸は共に経過時間 t である。それぞれの図の左図は実験値、右図は計算値を示している。(a)から、地盤表面の変動空気圧は上述したように振動を伴いながら減衰していることがわかる。地盤内の間隙空気圧も地表面空気圧の変動と同様な傾向を示しているが、地盤内に入るに従い減衰し位相差を増加していることがわかる。(b)から、変動有効応力は地盤表面の空気圧が間隙空気圧より低いと地盤内の有効応力は減少しており、

0以下となる場合もあり流動化していることがわかる。(a)。(b)はいずれも実験値と計算値はよく一致しており、本解析手法は変動空気圧作用下にある地盤の挙動を良く表していると考えられる。

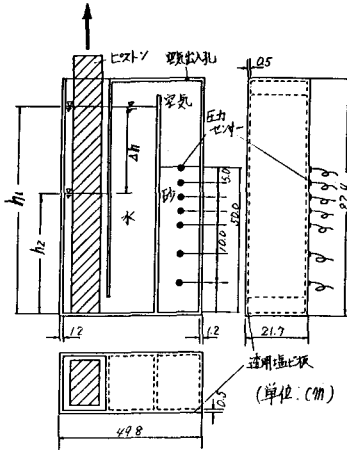


図-1 実験装置

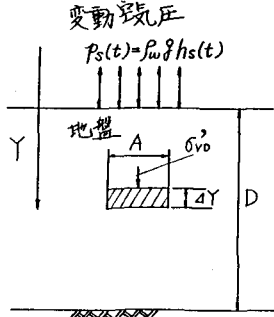
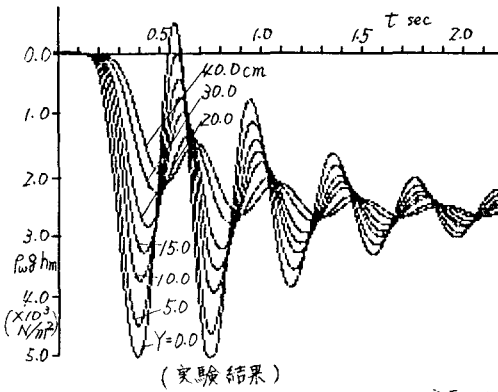


図-2. 解析モデル

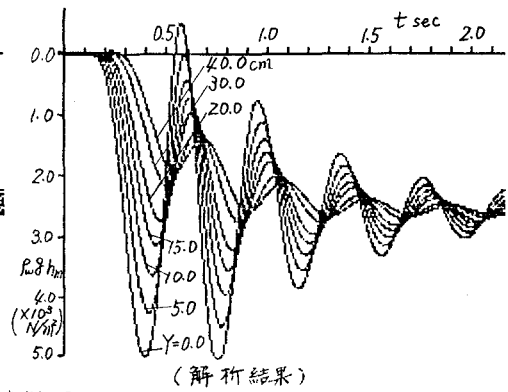
表-1. 地盤の物性値

* 中央粒径 (d_{50})	0.025mm
* 土粒子の密度 (ρ_s)	$2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
水の密度 (ρ_w)	$1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
空気密度 (ρ_{a0})	1.21 kg/m^3
* 透水係数 (k_w)	0.00025m/sec
水の粘性係数 (μ_w)	$1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$
空気の粘性係数 (μ_a)	$1.81 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$
透気係数 (k_a)	0.014m/sec
* 間隙率 n (= 空気含有率 n_a)	0.45
地盤の圧縮率 (m_v)	$1.0 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{N}$
大気圧 (P_0)	760mmHg

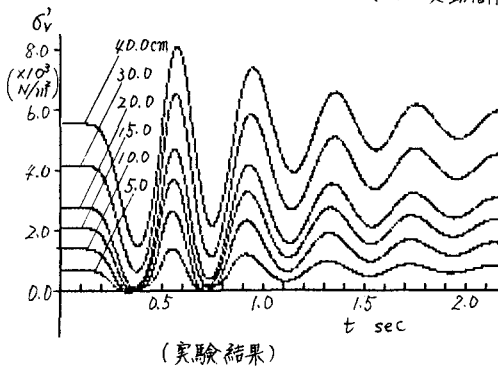


(実験結果)

(a) 変動間隙空気圧

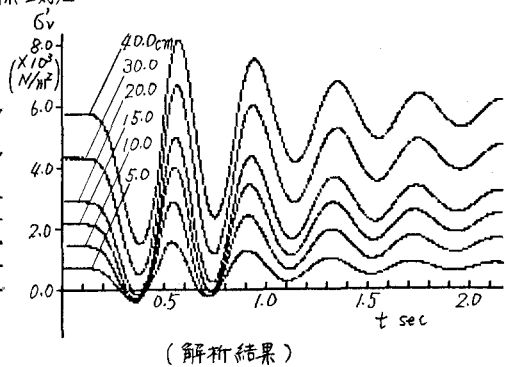


(解析結果)



(実験結果)

(b) 変動有効応力



(解析結果)

図-3 変動空気圧による地盤の一般的な応答特性