

浚渫土の空気圧送工法における管内抵抗係数

九州工業大学・工学部 浦 勝・木下 久司

三井不動産建設KK・九州支店工事部 寒河江久也・別府 道郎・阿部 聖

1. はじめに 浚渫土砂の空気圧送工法はパイプライン系に圧縮空気を注入することによって、土と水と空気からなる混相流体を輸送しようとするものである。この工法の特徴は、(1) 浚渫土砂の連続的、大量かつ長距離輸送を可能とし、(2) 低含水比の状態で作送するため、余水処理が簡易で済み、埋立地の表面乾燥が早く表面処理の早期着工が可能、(3) 超軟泥土から砂質土まで幅広い土質に対して作送が可能、ということである。本報告は、現地(K港)において航路浚渫土砂を空気圧送船から空気排砂管で作送した時の圧力変化をもとに管内抵抗係数について検討し、輸送能力と土砂の性質との関係を調べたものである。

2. 空気圧送系統 空気圧送船MATS-600¹⁾は幅30m、深さ2.5m(吃水1.5m)、全長は50mである。土砂は、船舷に横付けされた土運船よりバックホウを用いて、船体中央上部のホッパーに投入される。土砂は図-1に示すように、スクリーフィーダーにより、取入弁が開いているタンクに送入される。タンク内に設置されたセンサーにより取入弁が閉塞されると、タンクが加圧され、同時にタンク下端の吐出弁が開き、作送用圧縮空気がノズルから注入され、土砂が作送される。圧送タンクT1、T2の有効容量は14.2m³、作送管径は0.34m、管長は304、442、616mの3系列で実験を行ったが、今回は最長の616mの資料について報告する。

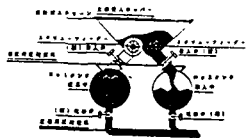


図-1 圧送システム概要

第3系統の概略を図-2に示す。圧力測定点は空気溜タンク(AR)、圧送タンク(T1、及びT2)の出口、及び管入口からの距離7m(Y点)、237m(C点)、543m(D点)である。輸送土砂はシルト質、密度は1.50~1.59(g/cm³)であった。本実験では含水比w(%)を変化させて作送を行い、15分間にわたり前記の点において圧力を10秒間隔で測定した。

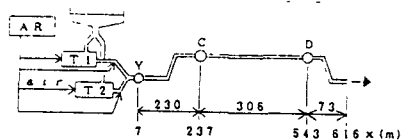


図-2 第3系統概略図

3. 実験結果 図-3に、圧力変動の時系列の一例を示す。同図よりPRは4±1(kgf/cm²)に制御されている。タンクT1に圧力が加えられることにより、土砂がパイプに作送され、タンクT1の出口圧力PT1(◇)が上昇し始める。これと同時にY点の圧力PY(細実線)が上昇する。土砂混相流がC点に達すると圧力PC(点線)が上昇し始め(T=20sec)、混相流がD点に達して圧力PD(太実線)が増加し始める(T=60sec)。タンクT1内の土砂が排出し終わると、PT1は減圧し(T=100sec)、次にタンクT2の圧力PT2(□)が上昇し、これに応じてPY、PC、PDも変化する。タンクの土砂が排出し終わるころ(T=260s)全体の圧力は下がり、2個のタンクの土砂を排出する1サイクルの輸送が終る。図-3では第2サイクルはT=340sに開始され660sに終わっている。

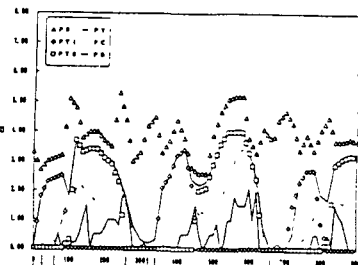


図-3 圧送管内の圧力変動の時系列

4. 管内抵抗係数の評価

4.1 管内空気速度の評価 管内混相流体の平均密度と平均流速を見積るためには管内に流入した空気の体積(又は流速)を評価する必要がある。ここでは空気の混入速度が空気溜圧力PRとY管の圧力PYの差によって、空気注入ノズル径d=65.9mmよりY管に作送されると考えZeunerの式より次式を誘導し

$$U_{ay} = 28.85 \left[1 - \left(\frac{PY + P_o}{PR + P_o} \right)^{0.286} \right]^{1/2} \quad (1)$$

Y点における時刻tの空気速度 $U_{ay}(t)$ を求め、 U_{ay} より求めたCD間の平均流速 U_{mco} の時系列を図-4に示す。

4.2 混相流の管内流速について U_{mc} の平均値とその変動幅を圧送土砂の含水比との関係として図-5に示す。同図には、 $x=260\sim 290\text{mm}$ 間の土砂の通過音から測定した混相流の速度を v_{so} として、また、図-3の圧力変動よりY, C, D点の圧力が上昇始める時刻より先端移動速度を見積りこの値も v_e として示している。同図より空気速度 U_{mc} は、土砂の管内速度としての v_{so} , v_e とほぼ同一の値を示していると判断される。

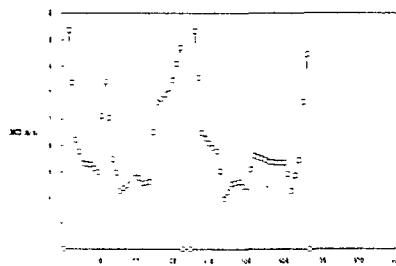


図-4 圧送管内の空気速度の変化

4.3 混送流体の平均単位体積重量の評価 混送流体の平均単位体積重量 w_m は次式により求めた。

$$w_m = \frac{W_s + W_w + W_a}{V_s + V_w + V_a} \quad (2)$$

ここに、W, Vは重量と体積を示し、下ツキ添字s, w, aはそれぞれ土砂、水、空気を表す。いま、圧送1サイクルの時間を T_c として、この間土砂は一様に運ばれたと仮定すると、C点における混相流体の w_{mc} は次式で求められる。

$$w_{mc} = \frac{(W_s + W_w)/T_c + \rho_{ac} g U_{ac} \cdot A p}{(V_s + V_w)/T_c + U_{ac} \cdot A p} \quad (3)$$

ここに、 $\rho_{ac} = (P_C + P_0)/RT$, $U_{ac}(t) = U_{av}(t - \Delta t_1)$, 図-5管内空気速度と圧送土砂の含水比 $A p = \pi D^2/4$, D: 圧送管径, P_0 : 大気圧, R: 空気定数, T (°K), g: 重力加速度。

w_{mc} , w_{md} の平均値は約 $0.2\text{tf}/\text{m}^3$ であった。

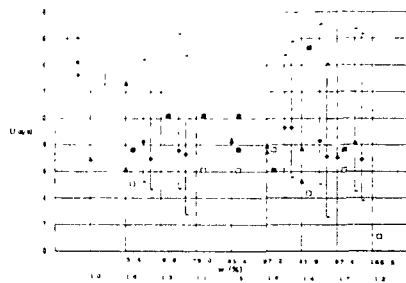


図-5 管内空気速度と圧送土砂の含水比

5. 抵抗係数と含水比との関係 測点CD間は直線区間であるので、この間で摩擦抵抗係数 f を式(4)より求めた。管内の平均流速は空気速度を用いた。

$$\left(\frac{U_{ac}^2}{2g} + \frac{PC}{w_{mc}} + Z_c \right)_t = \left(\frac{U_{ad}^2}{2g} + \frac{PD}{w_{md}} + Z_d \right)_{t+\tau} + \left(f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{U_{ac}^2}{2g} \right)_t \quad (4)$$

但し、 τ はCD間の距離 l の移送距離で、 $U_{ad}(t+\tau) = U_{ac}(t)$ とした。

式(4)と(3)を用いて求めた f はレイノルズ数 $Re = U_{ad} \cdot D / \nu_a$ (ν_a : 空気の動粘性係数) $= (0.8 \sim 2.5) \times 10^5$ の範囲で $f = 0.02 \sim 0.05$ であり相当粗度は平均 $k_s/D = 0.004$ とみなせる。抵抗係数の平均値 f_m と含水比 $w(\%)$ との関係を図-6に示す。同図より、抵抗係数は含水比により差があり、 $w=87\%$ で最低の抵抗係数が得られる。このことは低含水比で圧送する本工法の有利性を示しているものと考えられる。

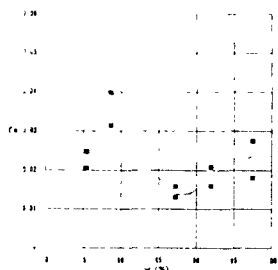


図-6 平均抵抗係数と含水比との関係

6. 圧送圧力の大きさに対する評価 前節までで直線区間の抵抗係数を評価したがパイプ系全体の性能を評価してみる。各実験Caseごとの圧送土砂流量 Q とその時の平均圧送圧力 P (PYMで代表)との関係は、 $Q \approx k P Y^{1/2}$ となると予想される。これより各Caseごとの k を求め含水比 w との関係をみたものが図-7であり、これより $w=88\%$ 程度の時に k が最大となることがわかる。図-6, 7より今回行ったシルト土をPYMが $2.4\text{kg}/\text{cm}^2$ として圧送するときは、含水比を 88% 程度にすることが最適と考えられる。最適のPYについては今後タンク圧力、及び含水比を変えて調べたいと考えている。

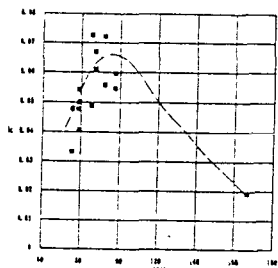


図-7 土砂流量係数と含水比との関係

<参考文献> 1)三井造船(株), 三井不動産建設(株): 600(m^3/h)土砂空気圧送船「MATS-600」, 作業船, 第196号, P3~8, 1991.7