

汚泥の風乾燥のモデルについて

大阪工業大 正員 木原 敏

はじめに： 浄水場から発生する汚泥の取扱いは、一般に濃縮・脱水・乾燥の過程を経て処分される。脱水の手法については、薬品無注加・注加、機械脱水、凍結融解・天日乾燥等の方法があるが、それぞれの地域・事業所の事情によって採用される方式は異なる。天日乾燥は施設、取扱い共に簡単であるが、長時間を要すること、したがって乾燥床に広い面積を要すること、その結果、汚泥の内容によっては臭気を発生すること、搬出に人力を要すること等から、処理汚泥量の大きい浄水場では用いられることが少なかった。

しかし、機械脱水や凍結融解法は種々の工夫にもかかわらず、ランニングコストが高いこと、操作が複雑で、メンテナンスにも手がかかるところから、最近、天日乾燥を見直す傾向が、小規模の浄水場で現われつつある。この傾向は省エネルギー化の風潮と相俟つて広がりつつあるが、一方、床面積の改善や、人力に頼るところに対しては、相変わらず、ネックになつてしまつてある。これらの改善は今後の検討にゆだねるが、今回は天日乾燥を設計するのに必要な諸元について基礎的な考察を行うことにした。

一口に、天日乾燥といつても作用するプロセスには色々ある。天日であるから太陽熱が対象エネルギーであるが、乾燥床の作用は要は蒸発であるので、熱による乾燥より、風による乾燥・蒸発の方が卓越している。汚泥潤表面よりの蒸発は、大気中に拡散してゆく、蒸気圧差によって定まること、蒸発面積に比例することである。

1. 乾燥床よりの蒸発の一般的パターン

乾燥床に導入された汚泥は含水率が高いので、一定時間、静置、圧密沈降させて、上澄液を排除し、蒸発過程に入るための予備処理を行なう。この表面からの蒸発量 E_s は、一般に水田や塩田からの蒸発量と同様、水面からの蒸発と類似しているとし、表面蒸気圧 e_w (飽和蒸気圧) として、大気中の蒸気圧 e_a との差圧に比例、風による移送と、汚泥床表面に発生する境界層によるものとして、Satton や山本等の解を準用することができる。このように蒸発パターンが適用されるのは、初期から、ある限界までの過程であるが、通常、この過程で含水率 95% から、80% 程度にまで乾燥させることができる。これによって、汚泥深さは $\frac{1}{4}$ (当初 30 cm 汚泥深さが 7.5 cm になる) になり、搬出用具にかかる硬さになるので、この程度で乾燥床から搬出してよいが、さらに乾燥を続けると、表層とその内部との間の水分の移動に勾配を生じ、含水率は深さ方向で傾斜をもち、その差異は次第に大きくなって、表層面からの蒸発は乾燥床表面積より小さくなる。すなわち、水面一杯からの蒸発が、次第に汚泥間隙の通気面よりの蒸発に移行してゆく。この過程では蒸発速度は低下する。このときの表面蒸気圧は、まだ飽和蒸気圧 e_w を保っている。この過程がさら

Satoshi KIHARA

に進むと、汚泥の性状によって異なるが、表面空隙内に蒸気が侵入し、飽和蒸気圧 e_w は汚泥空隙内に入り、表面蒸気圧 e_s は、 e_w より小さい値をもつようになる。 e_s/e_w は汚泥空隙内毛管中の水圧面から表面までの距離の関数で、一応指数法則をとると考えてよい。

しかし、このような脱水状態からは、表層と中・深層との間に含水率の差異が増大し、これによって水平方向に引張力が働くので、亀裂が表面に発生する。亀裂の発生時機は、汚泥の性状、垂直方向の含水率分布によって異なるが、含水率分布の勾配が大きいく程、早く亀裂を生じる。亀裂が発生すると、その亀裂部分からの蒸発が表面蒸発と併行して生じ、乾燥速度は増大する。その結果、亀裂はさらに多くなり、乾燥も底部に達する。

風乾燥と常温下で行った結果は最終的には 50~70 日で含水率 60% 以下に達する。風速を増加させると、さらに乾燥期間を短縮させ得る。

2. 乾燥床よりの初期段階の蒸発

汚泥床での初期の蒸発はほぼ水面からの蒸発と同じであるとしてよい。蒸発面より、風下側に単位幅当り、風下方向に l_x の距離をもつ乾燥床での蒸発量 E_r は、乾燥床のマサツによる境界層による風速分布を考慮して、Sutton, 山本等の式として

$$E_r = C l_x^{0.89} \cdot U_0^{0.78} \quad (\text{Sutton}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_r = C (e_w - e_0) l_x^{0.5} U_0^{0.5} \quad (\text{層流の場合、山本}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$E_r = C' (e_w - e_0) l_x^{0.8} U_0^{0.8} \quad (\text{乱流の場合、山本}) \quad \dots\dots\dots (2')$$

U_0 : 境界層外の気流速, e_w : 飽和水蒸気圧, e_0 : 境界層外大気水蒸気圧。

e_w は汚泥潤表面での水蒸気圧として飽和圧をとっている。

乾燥床単位面積当り蒸発量 (速度) E_r の水分が汚泥中より減少するので、 ∂t 中の減少量 ∂E

$$\partial E = C \cdot \Delta e \cdot l_x^{n+1} \cdot U_0^m \partial t \quad \dots\dots\dots (3)$$

m, n は、指数値、層流、乱流により異なる定数。

蒸発開始よりの経過時間 t により、含水率 E_t は

$$E_t = (E_0 Z_0 - \int_0^t E_r dt) / (Z_0 - E_t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

E_0 : 当初含水率, Z_0 : 当初汚泥深さ。

汚泥深さ $Z(t)$ は、空隙内の余剰水分 (空隙も過飽和に充満している水分) を蒸発させる段階を考えると、

$$Z(t) = Z_0 - \int_0^t E dt = Z_0 - \int_0^t C \cdot \Delta e \cdot l_x^{n+1} U dt. \quad \dots\dots\dots (5)$$

表面は波を打つと蒸発面積が一層増大する。

(4) より、 $E_t = E_c$ (搬出可能含水率) とし、乾燥時間を設計する。

3. 乾燥床の合理化

乾燥面積が大きい欠点に対する対策としては、多段床で対応、風速を大きくすることは乾燥能力に大きく影響するので、上屋によってシールドし、通風筒より吸気すると効果がある。乾燥汚泥を多段床より搬出するには機械方式を導入することが可能である。

