

下水汚泥流動床炉の燃焼解析

清水 治, 田崎光雄, 野島智之
(株)クボタ 上下水プラント事業部
汚泥焼却溶融技術部
大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号

概 要

現在、下水汚泥の焼却炉は、プロセスの安定性、省エネ性、操作性、排ガス性状等の点で優れている流動床炉が主流機種となっている。

流動床炉は古くからある技術であり、諸々の分野で活用され、また解析もかなり進んでいるが、下水汚泥の焼却分野では処理対象物の変動が大であることより経験的要素が多く、十分に特性の解明が進んでいない。汚泥を焼却する場合、砂層部の熱、水分、固形物の負荷をどの様にとるかが、設計のポイントになり、運転制御についても砂層温度を何度にするかがポイントになる。今回、砂層部の汚泥燃焼率に着目し砂層燃焼率を上げるには、砂層温度・砂層静置層高を高く、砂水分負荷を低くする方法が有効で、砂層燃焼率を上げることにより発生するNOxも低くなる事を実験により確認したので報告する。

1. 諸 元

燃焼する汚泥が、砂層とフリーボードでどの様な割合で燃焼するのか、また、その燃焼割合をいかにして変化させる事ができるのかという問題は、炉の設計、制御、操炉の上で重要な課題である。

従来より炉の温度管理は、空気量やオイル量の増減により行われているが、意識的に、砂層とフリーボードの燃焼率を増減させることにより、各々の温度を各々の目標値に近づける制御や管理を行っている例は聞かない。

砂層とフリーボードの温度のアンバランス、つまり一方の温度が高く、他方が低い場合等は、燃焼の割合を変化させる事は、極めて有用であると考えられる。

今回、その点に着目して、実験を行い、いくつかの知見を得たので報告する。

2. 実験方法

流動床炉は、図-1に示す砂層がテーパ形状の特徴をもつ炉を用いて行った。

(1) 予備実験

条件を極端に変化させるのは、実稼働の炉で実施できないので、10t/日規模のテストプラントを用いた。下水汚泥は、石灰系のフィルタプレス脱水ケーキ（含水率約65%）で、砂中バーナを停止させて、ウィンドボックスに設置しているバーナで砂層へ供給している熱風温度を変化させる事によって、諸々の砂層温度を作り出し、各ポイントの温度、NOx等のデータを収集した。

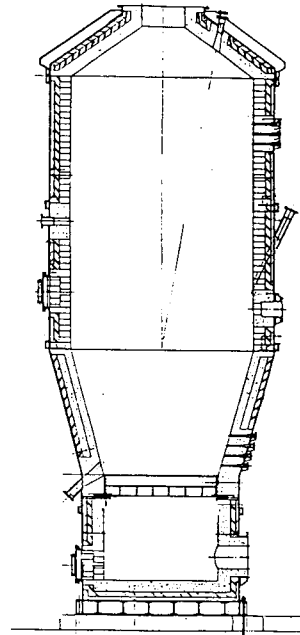


図-1 流動床炉形状

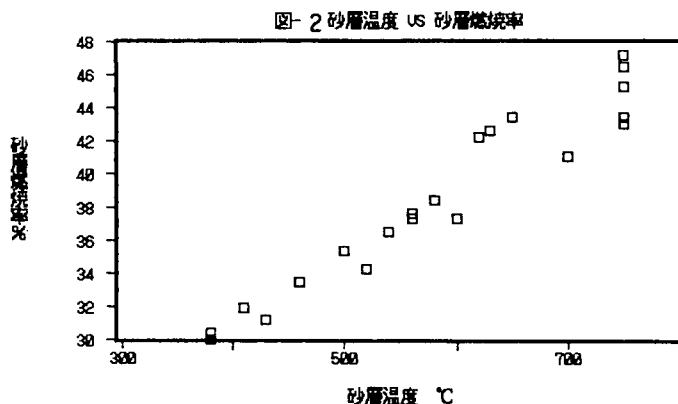
(2) 実プラントでの実験

前述の通り、処理優先の為、大幅な条件変更が出来なかったが、砂層温度を一定温度になる様に制御しながら、砂層高さ、汚泥投入量、空気過剰率を変化させて45t/日の規模の炉でデータを収集した。汚泥は、高分子系遠心脱水ケーキで平均含水率78%で、砂中バーナで、14~20ℓ/hrの少量のオイルを供給しながら、砂層温度をコントロールした。砂層温度は、砂層中上下方向3ヶ所の温度の平均値、フリーボード温度は、フリーボード上下方向3ヶ所と炉出口1ヶ所の計4ヶ所の温度の平均値を用いた。NO_x等は、フリーボード2ヶ所と炉出口1ヶ所の平均値を採用した。

3. 汚泥の砂層燃焼率

(1) 砂層温度の影響

図-2に予備実験で得られた砂層温度と汚泥の砂層燃焼率の関係を示す。自然条件にある石灰系汚泥でのデータであるが、砂層温度と汚泥燃焼率の関係をよく表わしている。予備実験では、 $Hl=2500\text{kcal/kgds}$ と低い発熱量の汚泥を用いたが、 Hl の高い汚泥では、砂層燃焼率がさらに高くなるが、砂層温度と燃焼率は全く同様に、砂層温度が高い程、砂層での汚泥燃焼率が上がる傾向にある。これは、汚泥の砂層内での乾燥-熱分解-燃焼の速度上昇が、砂層温度の上昇により、増大し、砂層内での燃焼が瞬時に行われるためであると推察される。



(2) 砂層高さの影響

表-1に、実プラントの実験で行った結果をもとに、汚泥投入量が同じ条件で、砂層静止高さごとの燃焼率を平均した値を示す。砂層温度は、砂層中に設置しているが砂中バーナで制御しているが、700~720℃のバラツキがある。しかし、そのバラツキはランダムであり、無視できる。オイル使用量は、砂層高さが、1100mmのケースが若干少なかったが明確な差は出てない。

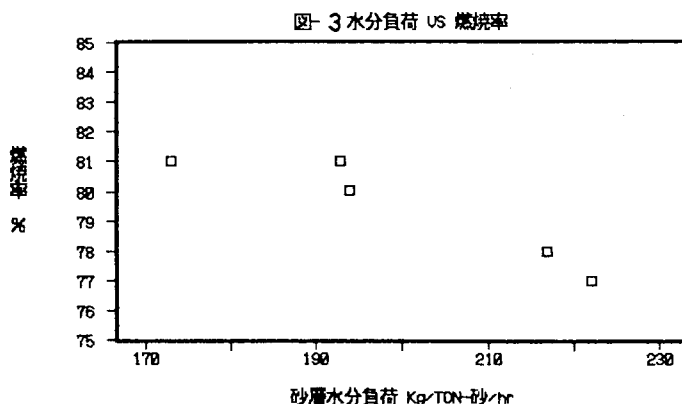
砂層静止高	砂の重量	燃焼率
900mm	6.3t	77%
1000	7.2	80
1100	8.1	81

表-1 砂層高さとの燃焼率

砂層高さが、900~1100mmと砂層の管理高さの範囲であり、燃焼率の差が少ない。極端に砂層高さを変化させればもっと差が出たと考えられる。

(3) 砂水分負荷の影響

投入汚泥の蒸発水分量を、砂の量で割った値である砂水分負荷 (kg-水/ton砂/hr) と砂層燃焼負荷との関係は、図-3



に示す通りであり、砂層高さでみるより傾向はより明確になる。砂層内での熱風流速との相関についても解析したが、燃焼率との関係は明確に出てこなかった。

予備実験と異なり、砂層燃焼率の割合が非常に高くなっている。これは、予備実験で用いた汚泥の発熱量が $Hl=2500\text{kcal/kgds}$ の石灰系汚泥であったのに対して、実プラントでの汚泥の発熱量が、 $Hl=4200\text{kcal/kgds}$ と高い高分子系汚泥のため、燃焼速度が早かったためと考える。

尚、砂層燃焼率は、次の様にして求めた。

- ① 砂中バーナより、噴霧されたオイルは全て砂層中で燃焼する
- ② 汚泥中の水分は、砂層中で蒸発し、砂層温度まで上昇する
- ③ ウィンドボックスからの熱風温度は、砂層出口では砂層温度まで上昇している。(次項で検討)
- ④ 放熱損失を、表面温度より逆算して砂層部、フリーボード部別々に算出
- ⑤ 以上の条件で、汚泥の砂層、フリーボードでの燃焼割合と砂層出口での排ガス量等を未知数として、別々の熱収支計算を行い最も誤算の少ない砂層部での燃焼割合を砂層燃焼率とした。

(4) 熱風と砂との熱移動

ウィンドボックスより供給される燃焼用空気温度は、砂中バーナを燃焼させる場合は、その影響が少ないが、汚泥の自然の場合は、その影響が大きい事が予想されるので、熱風と砂との熱移動が、砂層の中でどの程度で終了するか、下記の式を用いて試算した。

$$q_F = v \cdot a \cdot h_F (\Delta t)$$

$$h_F \cdot D_F / k_F = 0.015 \cdot Re^{1.6} \cdot Pr^{0.67}$$

q_F : 伝熱量, V : 砂層小容積, a : 比表面積

h_F : 伝達係数, Re : レイノルズ数, Pr : プラントル数

k_F : 空気熱伝導度, D_F : 砂粒径

今回の実プラントでの測定値を用いた結果では、砂の容量で約13%程度で砂と熱風との熱移動が完了している事になり、砂層燃焼率にはあまり大きな影響を与えない。

4. 窒素酸化物の生成

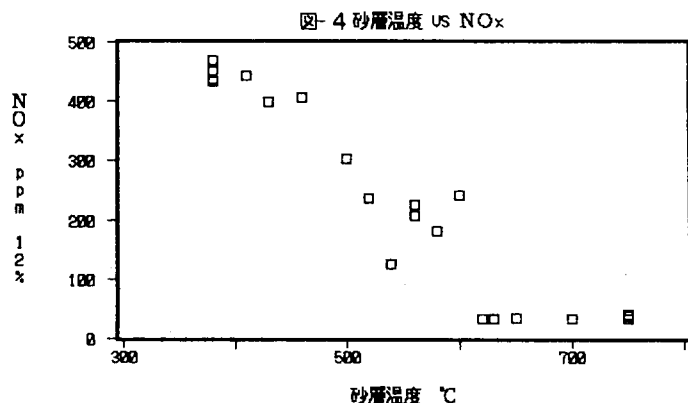
(1) 砂層温度の影響

図-4 に砂層温度と NO_x 濃度 (12% O_2 換算値) の関係を示す。

NO_x 濃度は、砂層温度のみによって変化するものではないが、定性的には砂層温度の影響、砂層燃焼率の影響が顕微に表われている。

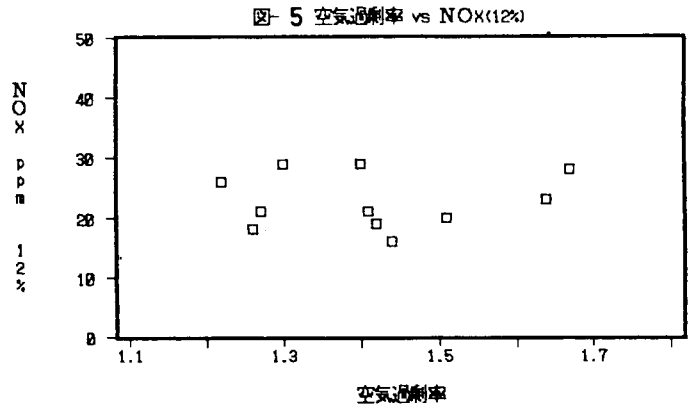
Fuel- NO_x を低減化するには、第1段階で汚泥中の有機物を分解し(熱分解段階)、第2段階で気相反応によって焼却(焼却段階)する方がよ

いとされるが、砂層温度が高いと、この様な2段階燃焼が起こり易いのかどうかの解明は次の機会に行いたい。



(2) 空気過剰率の影響

図-5に、砂層温度を700~720℃に制御して、空気過剰率を変化した時のNO_x濃度(12%換算値)を示している。砂層温度が、700~720℃では、NO_x濃度が最大でも30ppm程度であり、空気過剰率の影響は少ない。又、予備実験でも砂層温度の影響に比して、空気過剰率の影響は少なかった。



5. 結果

(1) 砂層燃焼率を上げるには、下記の条件を(一定範囲で)満足させることが必要である。

- ① 砂層温度を上昇させる
- ② 砂水分負荷を下げる
- ③ 砂層高さを高くする
- ④ 汚泥の発熱量が高い

(2) 砂層温度を高くするのは、低NO_x化にも、つながる事が判明した。

(3) 従って、汚泥の燃焼制御は、従来から行っている砂層温度による制御が有効である。

汚泥の発熱量や砂水分負荷は、設計時の値を大幅に変更するのは困難であるが、ある程度まで、砂層高さを高くする事により、砂層燃焼率を上昇させる事は可能である。

それでも、フリーボード部の温度上昇が起こる場合は、空気過剰率を上げて空気量を増加させる必要がある。

その場合のNO_xの発生は、一定以上の砂層温度が保たれている限り影響は少ないことが判明した。

(4) フリーボードの燃焼状況を把握するため、上下方向3ヶ所で、O₂、CO、CO₂、NO_x等を同時測定したが、変動幅が誤算範囲内であり、有意差は認められなかった。

今後、石灰系汚泥、高分子系汚泥に対する砂層温度等による制御方式を確立し、流動床炉の高効率燃焼と低NO_x燃焼を確実なものとして行きたい。

— 参考文献 —

- (1) 「流動化法」, 国井大蔵著, 日刊工業新聞社
- (2) 「流動層」, 白井隆著, 科学技術社
- (3) 「汚泥焼却に伴う窒素酸化物対策」, 平岡正勝, 公害と対策 '78, Vol 14