

## Ⅱ-609 焼却灰の炭酸ガス吸収特性と浸出液pHの変化

北海道大学 (正)松藤敏彦 宮脇健太郎 (正)田中信寿  
(正)松尾孝之 増田 剛 後藤紀子

### 1. はじめに

焼却灰のカラム実験を行うと初期の浸出水pHは11~12と高いが、埋立地での測定値は中性域にあり、模擬実験においても降雨を続けていくと、ある時期に低下すると報告がある。pHは埋立層内の微生物活動、重金属の挙動を左右する重要な要因であるが、筆者らは炭酸ガスとの反応がpHを低下させると考えている<sup>1)2)</sup>。埋立地の模擬としては、カラムやモデル槽を用いたライシメーター実験が多いが、深さ方向に分布が生じ、浸出液が内部のpHを代表するかどうかには疑問が残る。また、溶出試験は、固液比、振とう方法の点で、埋立地内部の現象と大いに異なる。そこで、短いカラムを用いてパッチ的に実験を行うことにした。カラムが短いと内部はほぼ均一と考えられ、炭酸ガスの吸収量測定も容易に行える。

### 2. 実験方法

試料とした焼却灰は、札幌市内の清掃工場灰ピットより採取した。これまでは、取扱い・保存の容易さのため一旦乾燥したものを使っていたが、乾燥により特性が変化する可能性があり、実際の埋立地に投入される状況とも異なる。そこで、採取後16mmふるいをかけ、ふるい下を水分の蒸発を防ぐためビニール袋に密閉して保存し、試料とした。試料の含水率は22%、熱灼減量は2.8%、粒径分布（乾ベース）は0.25以下8.1%、0.25-0.5:8.3%、0.5-1.0:10.8%、1.0-2.0:15.3%、2.0-5.6:26.4%、5.6-16.0mm:31.1%である。

試料は長さ5cmのアクリルカラム（内径5cm、金網で支える）に入れ、内容量1100mLの広口びんにCO<sub>2</sub>:30%、N<sub>2</sub>:70%のガスを通気したのち密栓した。焼却灰の充填量は、ガス濃度の変化が適当になるよう、20gとした。灰は軽く詰める程度とし、層厚は約1cmである。また、炭酸ガスが吸収されるに従い内部が陰圧となり、外部から空気が侵入するのを避けるため、窒素ガスを充填したガスパックを接続した。これにより、内部の炭酸ガス濃度の変化を、そのまま吸収量と見ることができる。

降雨は、炭酸ガス吸収後、カラムをびんから取り出し、メスピペットで蒸留水を20mL、表面に均等に与えた。埋立地の層厚を10mとすれば、単位体積あたりの降雨量は1.5m/年÷10m=0.15(m<sup>3</sup>水)/(m<sup>3</sup>灰)/年程度だが、今回の実験では一度に数年分を与えたことになる。

### 3. 実験結果

表1 実験パターンと試料番号

実験は、表1に示すパターンで行った。例えばB<sub>3</sub>とは、採取後の試料に炭酸ガスを24時間吸収させたもので、経時変化を示す場合はその間の変化を、分析値は炭酸ガス吸収後の値を示す。B<sub>3</sub>'とは、B<sub>3</sub>に降雨を与え、さらに炭酸ガスを吸収させたものである。

|            |          | 炭酸ガス吸収 | →              | 降雨   | → | 炭酸ガス吸収                 |
|------------|----------|--------|----------------|------|---|------------------------|
| 採取焼却灰<br>A |          | 96時間→  | B <sub>0</sub> | 20mL |   | 24時間→ B <sub>0</sub> ' |
|            |          | 0.5時間→ | B <sub>1</sub> | 20mL |   | 24時間→ B <sub>1</sub> ' |
|            |          | 3時間→   | B <sub>2</sub> | 20mL |   | 24時間→ B <sub>2</sub> ' |
|            |          | 24時間→  | B <sub>3</sub> | 20mL |   | 24時間→ B <sub>3</sub> ' |
|            | 洗出し 20mL | 24時間→  | C <sub>1</sub> | 20mL |   | 24時間→ C <sub>1</sub> ' |
|            | 洗出し 50mL | 24時間→  | C <sub>2</sub> | 20mL |   | 24時間→ C <sub>2</sub> ' |

実際の埋立地では炭酸ガス吸収が連続的に行われるのに対し、降雨による洗い出しは相対的に短時間に起こるが、表1のパターンは、炭酸ガス吸収も短時間に行わせたことに相当する。また、炭酸ガス吸収も1回の降雨量も、現実と較べれば非常に大きい、各種の要因の影響を知るためである。

図1に、焼却灰単位重量(実験開始時の湿重量)あたりの炭酸ガス累積吸収量を示す。図は48時間までしか描いていないが、B<sub>0</sub>はその後吸収が続き、96時間後には0.64mmol/gとなった。厨芥を含む模擬ごみを用いた実験における最大炭酸ガス発生量0.5mol/m<sup>3</sup>日<sup>3)</sup>を目安として引用すると、これは3.5年分もの量となり、炭酸ガス吸収能は非常に大きい。この間、容器内の炭酸ガス濃度は、29.1%から3.44%に減少した。試料灰中の水分は4mL程度であるが、Aの浸出液10mL(pH12.2)をビーカーに入れて同様に炭酸ガス吸収を行わせても24時間で29.7→26.9%までしか低下せず、焼却灰中では液相よりも固相への吸収量が卓越していると思われる。灰の充填量を10g、30gとしたときの吸収量も図1に破線、一点鎖線で示した。10gのときはB<sub>0</sub>と変

わからないが、充填量を増すと吸収量が減少し、層厚が増すことで内部へ炭酸ガスが十分に到達しなかったためと考えている。また、図1には、炭酸ガス吸収時間を変えた $B_1, B_2, B_3$ （図中に吸収量を示している）に降雨を与え、再度炭酸ガス吸収を行った結果を $B_1', B_2', B_3'$ として示している。1度目の吸収量が大きいほど2度目の吸収量は小さくなっており、いずれもさらに吸収が続く傾向にある（吸収速度が遅いとも言える）。

実際の埋立地では、炭酸ガスの吸収より、降雨による洗い出しが先行する。そこで、最初に降雨を与えて洗い出しを行い、その後炭酸ガス吸収、降雨を繰り返した結果を図2に示す。図のスケールは図1と同じとし、比較のため $B_0$ を破線で示した。炭酸ガス吸収量は $B_0 > C_1 > C_2$ であり、最初の洗い出し量が多いほど減少している。

図3は、各試料の炭酸ガス累積吸収量を横軸にとり、浸出液のpHを示す。浸出液の分析結果は、表2に示している。まず $A-B_1-B_2-B_3$ を見ると、炭酸ガス吸収が多くなるに従ってpHが低下している。 $B_1', B_2', B_3'$ のpHは中性となった。2度の累積吸収量は $B_3'$ が高いが、図1を見ると $B_1', B_2'$ は時間さえかければ吸収量が増え、 $B_3'$ との差は小さくなると思われる。一方、洗い出しを行った $C$ は、炭酸ガス吸収量が少なくなると予想したが、吸収量は $B$ と同程度であり、2度の累積吸収量にも差がなく、洗い出しにより炭酸ガス吸収量が減少するとは言えない。また、pHは $B$ よりも高く（特に2度の吸収後）、これも予想に反する結果であった。

表2の溶出濃度について見ると、易溶性のNa、K、Clに相関がある以外は、傾向が見いだせない。単に洗い出しを繰り返すと $A \rightarrow A' \rightarrow A''$ に示されるように溶出濃度は次第に低下するが、炭酸ガス吸収した $B$ は溶出量が少なく、むしろ $B'$ の方が濃度が高くなる傾向がある。固相表面に炭酸カルシウムの被膜ができ、それが降雨で流されたためではないかと考えている。最初に炭酸ガス吸収させた $B, B'$ の溶出液は、 $A, C$ に較べて濁りが少なかった。しかし、洗い出しのみの場合に較べて、 $B', C_1, C_1'$ （それぞれの累積降雨量は $A', A', A''$ と同じ）の濃度が高いことは、まだ解釈できない。

#### 4. おわりに

今回行った実験には、炭酸ガスの吸収と洗い出しのタイミング、炭酸ガス吸収量、降雨量、炭酸ガス濃度、静置時間（溶出の時間遅れが影響）、気液接触面積（充填密度）、含水率など、考えるべき要因が多くある。今後は、それらの要因の影響を調べ、解釈を確かめるための再実験も含めて検討を継続する。

参考文献 1) 松藤、田中ほか、第48回土木学会年講、1152/1153(1993) 2) 松藤、田中ほか、第49回土木学会年講、1264/1265(1994) 3) 田中、神山、衛生工学研究論文集、Vol.24、189/196(1988)

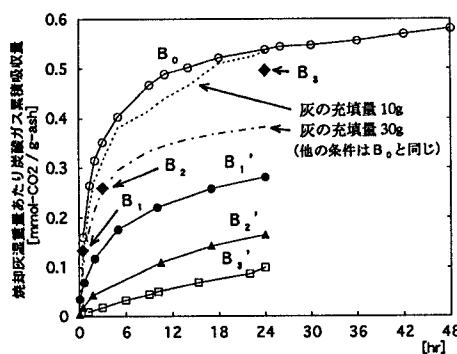


図1 焼却灰の炭酸ガス吸収量変化

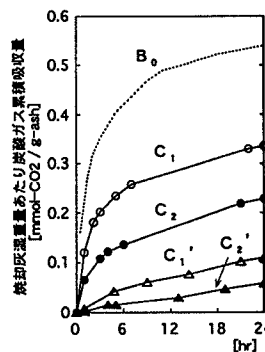


図2 焼却灰の炭酸ガス吸収量変化（最初に洗い出しを行った場合）

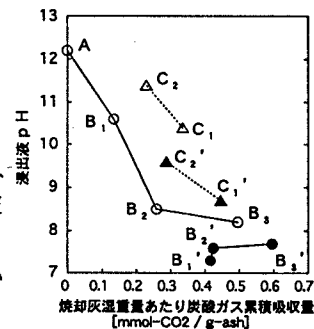


図3 炭酸ガス累積吸収量と浸出液 pH の関係

表2 浸出液の分析結果

| Run              | pH   | Na   | K     | Ca   | Cl   | SO <sub>4</sub> | TOC   | CO <sub>2</sub> 吸収量 |
|------------------|------|------|-------|------|------|-----------------|-------|---------------------|
| B <sub>1</sub>   | 10.6 | 45.6 | 13.97 | 6.65 | 68.7 | 3.09            | 278.5 | 0.134               |
| B <sub>2</sub>   | 8.5  | 28.7 | 8.82  | 5.25 | 53.2 | 6.01            | 184.2 | 0.259               |
| B <sub>3</sub>   | 8.2  | 19.1 | 7.34  | 9.43 | 15.5 | 1.82            | 239.7 | 0.496               |
| B <sub>1</sub> ' | 7.3  | 37.8 | 8.82  | 8.69 | 77.8 | 14.5            | 437.8 | 0.282               |
| B <sub>2</sub> ' | 7.6  | 43.9 | 11.8  | 15.2 | 96.7 | 20.3            | 644.4 | 0.165               |
| B <sub>3</sub> ' | 7.7  | 28.4 | 8.77  | 5.36 | 27.9 | 5.05            | 519.8 | 0.1                 |
| C <sub>1</sub>   | 10.4 | 44.4 | 14.4  | 10.9 | 43.7 | 4.24            | 669.7 | 0.336               |
| C <sub>2</sub>   | 11.4 | 26.5 | 7.35  | 7.98 | 19.1 | 3.44            | 410.6 | 0.229               |
| C <sub>1</sub> ' | 8.7  | 31.5 | 8.16  | 7.76 | 22.1 | 0.55            | 596.1 | 0.11                |
| C <sub>2</sub> ' | 9.6  | 21.1 | 7.44  | 5.06 | 22.0 | 0.38            | 649.3 | 0.059               |
| A                | 12.2 | 56.8 | 16.4  | 26.4 | 50.2 | 0.632           | 518.8 | —                   |
| A'               | 12.3 | 33.2 | 8.16  | 18.9 | 29.4 | 0.483           | 376.1 | —                   |
| A''              | 12.2 | 16.6 | 4.22  | 12.8 | 8.51 | 0.253           | 376.1 | —                   |
| A(50)            | 12.0 | 49.4 | 15.5  | 26.9 | 37.4 | 0.372           | 410.6 | —                   |

A(50): Aに降雨50mLを与えたもの  
 A'およびA'': Aに降雨を与えたもの、降雨を繰り返したもの  
 単位 Na, K, Ca, Cl, SO<sub>4</sub>: mmol/L TOC: mg/L  
 CO<sub>2</sub>吸収量: mmol-CO<sub>2</sub>/焼却灰-g(湿重量)