

愛知工業大学 正員 ○森野 奎二  
株式会社キョウフス 松本 修身  
白木 大

## (1) まえがき

筆者らは数年前より、珪砂洗淨廃泥(キラ)とセメントとの混合物をオートフレーブ処理する方法によって、その活用化実験を続けているが、この混合物の中に重金属類を添加した場合には、かなりのものが硬化体中に封入されたり、あるいは化学的に結合したりして固着するのではないかと考えた。

まず予備実験として、個々の重金属がセメント、珪砂廃泥の中でどのように作用するかを調べるために、鉛系の重金属類を用いて実験を行い、固化体の強度・pHおよび溶出について検討した。

使用した重金属類の中でも、Hg, Cd,  $Cu^{2+}$ , Pbおよびそれらの化合物については、特に有害物質として厳しい規制が定められており、それらを含んだ汚泥は無害化した後に埋立および海洋投入処分することになっている。この無害化処理技術としては、コンクリート密閉処理およびコンクリート固型化処理が有効な方法とされているが、オートフレーブ硬化骨材化による処理は、一層有効な方法ではなかろうか。骨材に固化したものを更にセメントあるいはアスファルトによって固型化すれば、二重に安全となる。また、この骨材を埋立地域の工事に使用するなど、使用地域を限定すれば有害物質拡散の心配もなく、有効利用できるのではないかと考えられる。

## (2) 実験方法

セメント(c)：普通ポルトランドセメントで、その化学組成を表-1に示した。

珪砂洗淨廃泥(s)：瀬戸市の珪砂工場のセリで、その粒度・粉末度および化学組成を表-2に示した。

重金属類(M)：表-3に示す11種類の重金属の酸化物、水酸化物、塩化物、その他にMgの希土化合物の合計35種類配合：s:c:w(水)=1:0.3:0.4の一定で、金属添加量をセメントの1.0%と10%（一部の金属で50%まで増加）とした。養生条件：オートフレーブ養生条件は図-1に示した。水中養生は20℃、28日で、凝結が遅い場合には凝結するまで湿空養生した。

強度試験：供試体寸法は主として4×4×16cmで、一部φ5×10cmを用いた。

溶出試験：昭和48年環境庁告示第13号に準拠した。ただし、%>10%以上の試料については、試料液の6時間の連続攪拌をマグネチックスターラーから、容量50ℓの可傾式ミキサーに変更した。1ℓポリ容器の中に試料(粒度0.5~5mm)100gと600kℓとを水入れ密封し、水を張ったミキサー内に一度に12~19個入れ、6時間回転した。分析方法は、原子吸光光度法による。

pH測定：6時間攪拌終了後、ろ紙5種を用いてろ過したろ液のpHを測定した。6時間の攪拌以外に、攪拌枚数各5分による短時間のpHも求めた。測定の間隔が州によって、重金属の吸着の程度を推定しようとした。

## (3) 試験結果および考察

セメントと洗淨廃泥との混合物中に重金属類を添加した供試体の強度、pHおよび溶出量を表-3に示した。

強度：水中養生よりもオートフレーブ養生による方が重金属無添加のベースにおいて約3.5倍高い強度を示すが、重金属添加によっても、この基本的な傾向は変わらない。水中養生では、凝結遅延( $Ca(OH)_2$ ,  $CaCl_2$ , PbO,  $PbO(OH)_2$ )したり、硬化不能( $ZnO$ ,  $Zn(OH)_2$ ,  $ZnCl_2$ )となつて、セメントの硬化性に悪影響を及ぼしている金属化合物であっても、オートフレーブ養生では添加量の限度はあるが、短時間で硬化する。(同様のことは砂糖についても言える。)

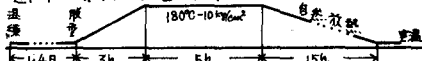
表-1 普通ポルトランドセメントの化学成分(%)

| SiO <sub>2</sub> | Insol | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | SO <sub>3</sub> | Total |
|------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|-------|
| 0.6              | 0.5   | 22.1             | 5.4                            | 3.2                            | 64.1 | 1.3 | 1.9             | 99.1  |

表-2 珪砂洗淨廃泥の粉末度と化学成分

| 篩目の寸法 mm                       | 0.21      | 0.15      | 0.11      | 0.075     | 0.053     | 0.044     | 100%      |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 各篩残留百分%                        | 27-26     | 22-42     | 27-26.1   | 91-50     | 53-26.7   | 26-13     | 26-26.7   |
| フーレン指数 cm <sup>2</sup> /g      | 14.9      | 14.9      | 14.9      | 14.9      | 14.9      | 14.9      | 14.9      |
| SiO <sub>2</sub>               | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 | 91.1-91.2 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   | 5.7-6.9   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   | 3.2-4.7   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 | 0.26-0.28 |
| Sp. loss                       | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   | 1.0-1.5   |

図-1 オートフレーブ養生条件



**溶出量:** Pb化合物において、特に顕著な差が認められる。オートクレーフ養生では、表-4の基準値とほぼ等しいが、水中養生では大きな値を示している。Hgは養生水にさえ基準値を相対するものの値が検出された。他の金属については両養生共、水中・蒸気中およびドレン水への溶出は少ない。

**PH:** オートクレーフ養生のオガ、PHが約2.1小さい。攪拌時間を6時間から5分に短縮した場合のPHの差は約0.1である。強度とPHとの関係を見ると、図-2のように化合物別にグループ分けができる。

(4)まとめ  
①強度の点からは、オートクレーフ処理による硬化は効果的である。骨材の製造では、更に使用水量を少なくして、バレイザーにより締固めるので更に強くなる。

②溶出量の点から、Hgはセメントによる水中およびオートクレーフ処理、共に適さないようである。その他の金属類については問題はない。

③オートクレーフ処理するとPHは小さくなる。養生時間を長くすれば、より小さくなるものと思われる。

以上、重金属試験を用いて初歩的なデータを得たが、このデータに基づいて、更に内容を深めて行くとともに、また実際の重金属含有汚泥を用いて実験を行う予定である。

なお、本研究での溶出試験は愛工大、環境工学研究所で行っていた。また同研究所、太田洋講師および大矢公彦講師には多くの助言と御協力をいただいた。厚く感謝の意を表します。

(1) 腐泥によるオートクレーフ硬化骨材の性質について、森野土木学院中部支部研究発表会講演概要集 昭和49年2月1日

表-3 各種重金属類に添加した固化体の強度・PH・溶出量

| 金属 | 化合物                                               | PH   | 溶出量 (mg/l) |      | 強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |    | 無添加の強度を1.0とした場合の溶出率(オートクレーフ/水中) |      |      |     |     |     |
|----|---------------------------------------------------|------|------------|------|--------------------------|----|---------------------------------|------|------|-----|-----|-----|
|    |                                                   |      | 水中         | 蒸気   | 水中                       | 蒸気 | 0.2                             | 0.4  | 0.6  | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| Pb | PbO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | PbO <sub>2</sub>                                  | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | PbO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | HgO                                               | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | HgO <sub>2</sub>                                  | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | SnO                                               | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | SnO <sub>2</sub>                                  | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CdO                                               | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CdO <sub>2</sub>                                  | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | Ag <sub>2</sub> O                                 | 10.9 | 12.9       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
| Cu | CuO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CuO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CuO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NiO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NiO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NiO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CoO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CoO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CoO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | FeO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
| Fe | FeO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | FeO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | FeO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CrO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CrO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CrO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | GrO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | GrO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | GrO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | K <sub>2</sub> O                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
| Mg | MgO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | MgO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | MgO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CaO                                               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CaO <sub>2</sub>                                  | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | CaO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)               | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NaOH                                              | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NaOH <sub>2</sub>                                 | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NaOH <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)              | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |
|    | NaOH <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> | 10.7 | 12.7       | 0.05 | 1.85                     | 75 | 32                              | 38.4 | 11.1 |     |     |     |

※ オートクレーフ養生で供試体制作。強度試験不可  
溶出試験: 添加率 1.0% 濃縮した。  
配合: 腐泥物 1.0 : セメント 0.3 : 水 0.4  
注: 水量は溶出されたオートクレーフ養生水に0.0165ppm溶出された

表-4 有害重金属類に依り判定基準

| 総重量百分率第5号の判定基準(昭和48年) (mg/l) | Hg    | Cd  | Pb | Cr <sup>++</sup> |
|------------------------------|-------|-----|----|------------------|
| 埋立                           | 0.005 | 0.3 | 3  | 1.5              |
| 海洋投入                         | 0.005 | 0.1 | 1  | 0.5              |

