

オートクレーブ硬化骨材の性質について

森 野 奎 二 *

A Study of the Properties of Aggregates Hardened by Autoclave Treatment

Keiji MORINO

要 旨 本報文は廃泥の活用のために製造した人工骨材について述べたものである。人工骨材の大勢を占めるのは焼成により製造する人工軽量骨材であるが、本報文の骨材はオートクレーブ硬化による人工骨材である。従って、原料、製造方法および骨材の性質等が市販の人工骨材とは異なるものである。現在のところ、研究途上にあるから不明確な点が多いが、判明した性質の一部を紹介する。

1. まえがき

骨材不足については、最近の物不足に先駆けて数年前より問題となっており、その対策が検討されて来たが、現在でも不足は一層深刻である。

特に砂利、砂の河川骨材の枯渇は著しく、各地で採取規制されるようになり、砕石、山砂利、山砂、海砂および人工骨材等への転換が急速になされた。

しかし、開発に伴う自然破壊、工場の振動、騒音、粉塵および洗浄廃泥、また、大量輸送に伴う交通公害等、環境破壊が著しく進展し、大きな社会問題となった。

一方、骨材の需要は、公共事業が抑制される趨勢であっても、増加の一途をたどる見通しにある。

昭和48年度では約7億トン、50年度に8億トン、55年度には10億トンと見込まれている。

これだけの骨材の確保は容易なことではなく、骨材資源の開発については、やはり無尽蔵な資源である岩石にたよらざるを得なく、砕石に重点を置いた検討がなされている。が、前記のように、自然破壊との兼合いがあり、この点の調整が難かしい。

ここにおいて産業廃棄物による骨材の製造は、自然破壊を伴わないのみならず、一方では廃棄物の処理にもなるので、その期待は大きい。

すでに、かなりの産業廃棄物で人工骨材の開発、研究がなされているが、それらはほとんどのものが焼成による軽量骨材の研究である。

本研究のものは、焼成による骨材よりは数段製造が容易であるオートクレーブ養生による骨材の製造である。

2. オートクレーブ硬化骨材の原料

原料はシリカを含んだ廃泥とセメントである。

廃泥は、岩盤から粘土に至るまでの自然界の構成物質の一部分であるから、砂利、砂、砕石等と同様、地殻の

主要鉱物である珪酸塩鉱物からなる場合が多く、中でも、常温で安定な石英粒子を含有する場合が多い。勿論、石灰岩などのように、 SiO_2 を含まないものもあるが、この種の廃泥はオートクレーブ硬化骨材の原料には使用できない。なぜなら、この骨材の硬化原理は、昨年の本研究報告¹⁾で述べたブロック類の製造原理と同様であって、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系の水熱反応硬化によるからである。

従って、原料としての性質を決定する基本的な要因は、廃泥中に含まれているシリカ粒子の含有量と粒子寸法（粒度、粉末度）である。大部分の廃泥には、シリカ粒子以外に、粘土、岩石粉末、その他微量成分が含まれており、これらは不純物として働くことになるが、この不純物の影響によっても骨材の性質が異なる。従って、ある程度のシリカを含有した廃泥であれば、骨材原料として使用することは出来るが、十分な強度その他の性質を持った骨材を製造するためには、使用できる廃泥は限られてくる。

本報告に記載した骨材の原料は瀬戸地方の珪砂洗浄廃泥（愛工大研究報告¹⁾参照）であって、 SiO_2 成分を80%以上含んだものである。

セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。なお、オートクレーブ硬化原理からは石灰の使用が考えられるが、石灰使用では造粒後の取扱いが難かしい。例えば、オートクレーブ養生温度上昇中に骨材が膨張したりする。また、骨材強度がセメント使用に比べて弱いなど欠点が多い。従って今回はセメントのみを使用し、セメントにカルシウム成分原料としての役目をも持たせた。

3. 骨材の製造方法

3-1. 造粒について

骨材製造方法には、造粒型と破碎型の二通りがある

が、本実験では造粒方式を採用した。

骨材の造粒は写真-1のパン型ペレタイザー(造粒機)によった。ペレタイザーのパンの寸法は直径80cm、深さ20cmであり、回転速度は11~70rpm、傾斜角度は35°~55°まで調整できるものである。

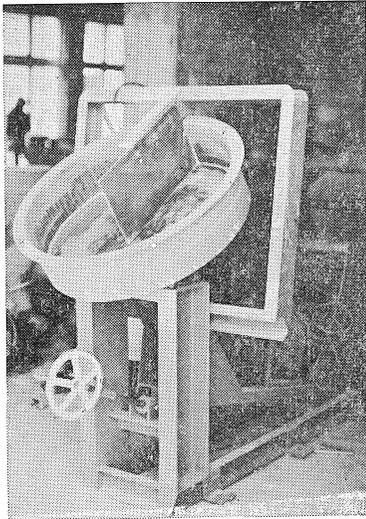


写真1 ペレタイザー

バラバラの状態の混合物をペレタイザーに入れ、スプレーで水を噴霧しながら回転させる。粒子に転動作用が加えられると圧密が進行し、小さな核が生ずる。混合物を供給しながら更に回転を続けると、核を中心に混合物が附着して、大きな粒子へと成長していく。混合物の供給を止め、回転のみを続けると粒子は締めめられて球形を呈する一方、余剰水分が表面に浸出してくる。成長する粒子の大きさは、混合物の供給速度、ペレタイザーのパンの回転速度、傾斜角度、パンの深さ、水の噴霧量等によって変化する。また、混合物の水分、可塑性(粘土分の影響が大きい)、粒度分布によっても異なる。

造粒はこのような多くの要因の組合せによってなされるので、常に一定の条件を保つことはかなり困難であった。特に、供給混合物の含水状態の調整は困難で、14~25%のものを使用した。

その他の造粒条件は、作成する骨材の粒径によって変更する必要があった。例えば約20mm骨材を作成するときには、パンの傾斜角度を約35°、回転速度を約12rpm、約10mm骨材では、約45°および、15rpm、5mm以下の細骨材では、約50°および約30rpmとした。

最も造粒が容易である粒径は、10mm前後であり、粗骨材より細骨材の造粒が難かしく、0.3mm以下の造粒が特に難しい。焼成骨材では製造できないような25~40mm、あるいはそれ以上の骨材の製造も可能である。

3-2、オートクレーブ養生条件

上記のように造粒した骨材を約1日室内に放置した

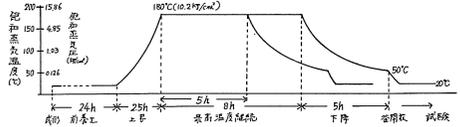


図-1 オートクレーブ養生条件

後、オートクレーブ養生を行なった。養生条件は図1に示すようである。図1で、最高温度継続時間が5時間と8時間の2通りになっているのは、2種類の条件を一つの図で表わしたからである。

4. オートクレーブ硬化骨材の性質について

骨材を写真-2に示す。

骨材の比重、吸水量および強度(BS-812規格による破砕試験)等を表1に示す。

表1の値は、概して、普通天然骨材と焼成人工軽量骨材との中間的な値を示しているが、吸水量はそれらとは異なる値を示している。

表-1 オートクレーブ硬化骨材の性質

| 骨材の種類 番号 | セメント量 | 粒 径 mm | 比 重 | | 吸水量 % | ※実積率 % | 10% 破砕値 TON |
|----------------|-------|-----------|---------|---------|----------|-----------|-------------------|
| | | | 絶乾 | 表乾 | | | |
| 1 | 0.15 | 10-16 | 1.79 | 2.07 | 15.5 | 62.5 | 12.0 |
| | | 5以下 | 1.66 | 2.02 | 22.1 | | |
| 2 | 0.20 | 10-15 | 1.69 | 2.04 | 20.5 | 64.5 | 6.3 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 3 | 0.20 | 10-15 | 1.81 | 2.11 | 16.5 | 64.6 | 9.0 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 4 | 0.25 | 10-15 | 1.79 | 2.06 | 15.2 | 63.7 | 13.5 |
| | | 5以下 | 1.70 | 2.05 | 20.3 | | |
| 5 | 0.25 | 10-15 | 1.69 | 2.02 | 20.6 | 64.5 | 6.6 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 6 | 0.30 | 10-15 | 1.71 | 2.04 | 14.7 | 63.3 | 14.6 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 7 | 0.30 | 10-15 | 1.89 | 2.09 | 17.0 | 64.1 | 11.2 |
| | | 5以下 | 1.84 | 2.12 | 15.4 | | |
| 8 | 0.30 | 10-15 | 1.72 | 2.06 | 19.7 | 63.3 | 8.7 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 9 | 0.30 | 10-15 | 1.86 | 2.13 | 14.6 | 61.8 | 12.3 |
| | | 5以下 | 1.74 | 2.08 | 19.5 | | |
| 10 | 0.30 | 10-15 | 1.88 | 2.08 | 12.4 | 58.1 | 15.5 |
| | | 5以下 | 1.74 | 2.09 | 19.6 | | |
| 11 | 0.30 | 10-15 | 1.91 | 2.04 | 9.2 | 64.8 | 17.0 |
| | | 5以下 | 1.78 | 2.11 | 18.8 | | |
| 12 | 0.30 | 10-15 | 1.99 | 2.21 | 11.1 | 64.0 | 25.0 |
| | | 5以下 | | | | | |
| 市販焼成人工 軽量骨材 | 10-15 | 10-15 | 1.2~1.7 | 1.2~1.4 | 2~8 | 60~65 | 5~12 |
| | | 5以下 | 1.4~1.8 | 1.8~1.9 | 2~10 | 62~65 | |
| 川砂利 | 10-15 | 10-15 | 2.5~2.7 | 2.5~2.7 | 0.2~2 | 60~64 | 20~35 |
| | | 5以下 | // | // | | | |

※実積率 10-12mm骨材のみにて測定した。

オートクレーブ養生条件 180°C-5h

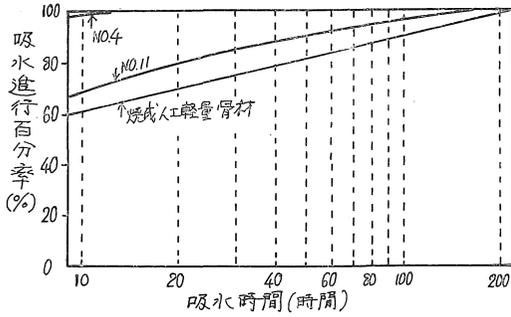


図-2 骨材の吸水状態

この骨材の吸水傾向は、図2に示すように市販の焼成人工軽量骨材とはかなり異なったものである。焼成骨材の場合は、飽水状態となるのに長時間かかるが、オートクレーブ骨材の場合は吸水量が多いにもかかわらず、短時間で吸水は終了する。この性質はコンクリートに使用する場合、1日程度の散水で、コンクリート混練後のスランプ低下を防ぐことができ、焼成骨材に比べ好ましい傾向であると思われる。

5. コンクリート実験

表1の一部の骨材を用いてコンクリートを作成した。配合は表2に示すように W/Cを40%から65%まで変化させた。軽量骨材の強度試験としては W/C=40%、スランプ8cmの配合の試験方法によればよいが、今回は最も基礎的なデータを得たいために広く W/Cを変化させ、また川砂利、砕石、および市販の人工軽量骨材との比較

表-2 配 合

| 粗骨材の種類 | 水セメント比 (%) | 細骨材の最大寸法 (mm) | 粗骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | |
|----------|------------|---------------|----------|--------------------------|------|------|
| | | | | 水 | セメント | 粗骨材 |
| 川砂利・砕石 | 40 | | | | | 1053 |
| 人工軽量骨材 R | | | | | | 425 |
| 人工軽量骨材 | 45 | | | | | 834 |
| 人工軽量骨材 | | | | | | 378 |
| 川砂利・砕石 | 50 | | | | | 1095 |
| 人工軽量骨材 R | | | | | | 340 |
| 人工軽量骨材 | 55 | | | | | 887 |
| 人工軽量骨材 | | | | | | 309 |
| 川砂利・砕石 | 60 | | | | | 1123 |
| 人工軽量骨材 R | | | | | | 283 |
| 人工軽量骨材 | 65 | | | | | 890 |
| 人工軽量骨材 | | | | | | 262 |
| 川砂利・砕石 | | | | | | 1134 |
| 人工軽量骨材 R | | | | | | |
| 人工軽量骨材 | | | | | | 898 |

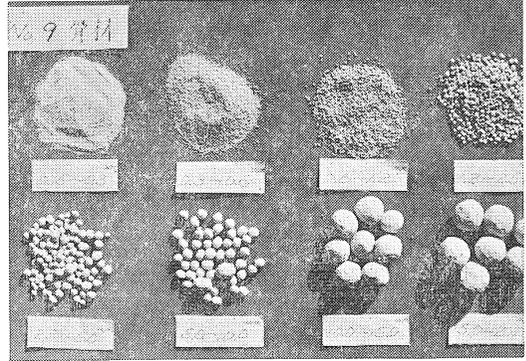


写真2 オートクレーブ硬化骨材

を行なった、細骨材はどの配合の場合も一定で、川砂（愛知県矢作川産）を使用した。

28日水中養生後の圧縮強度試験結果を3図に示した。3図で砕石コンクリートの値が予想外に低いのは砕石用の配合を用いずにすべて一定の配合で供試体を作成したため、砕石としては細骨材率および単位水量が少なく、充分な締固めが行なわれなかったことによると思われる。

3図で、W/C=40%の結果によると、市販の人工軽量骨材は完全に破壊しているが、オートクレーブ骨材はほとんど破壊していない。しかし、強度は前者の方が高い。同様に他の W/Cでも、オートクレーブ硬化骨材の強度は他の骨材に比べて低いが、骨材自体は破壊していない。このことは骨材の付着力に問題があるものと思われる。微粒子を結合して作成した骨材であるから、骨材表面に多量の微粒子が存在していて付着状態を悪くするのも知れない。更に実験を重ねて、弱度低下の原因を確かめる必要があるが、付着性に原因があるとなれば骨材を改良する必要がある。

強度以外の性質でも、次のような点は注意する必要があると考えられる。

前記のように、この骨材は吸水量が多いので、この骨材を使用したコンクリートは、凍結融解に対する抵抗性が小さいのではないと思われる。

また、骨材の原料の主成分がシリカであることから、アルカリ骨材反応の心配もある。

更にまた、未反応の石英粒子が骨材中に多く残存していると、骨材自体は珪酸石灰製品と同様に耐火性が高くても、コンクリートに使用した場合には、耐火性が低くなる可能性が高い。なぜなら、セメントペーストは100℃までは膨張（(15~18)×10⁻⁶/℃）するが、それ以上では収縮に転じ、温度と共にかなり大きく収縮する。一方、骨材中の石英は、573℃でα型からβ型に転移し、長さで0.45%、容積で1.35%増加する。この膨張、収縮の熱的性質の違いは、骨材とセメントペーストとの付着力

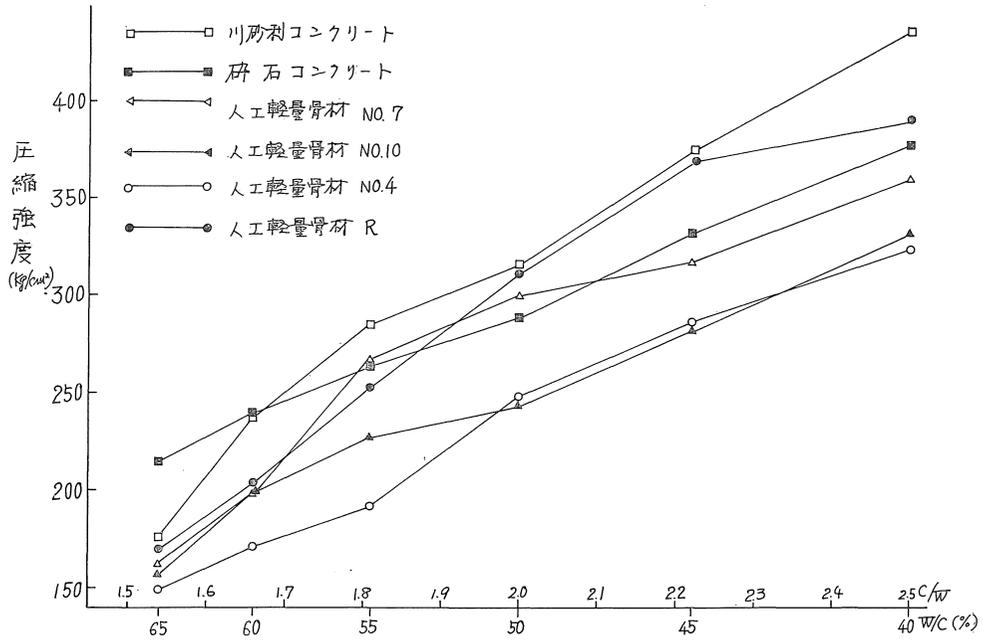


図-3 圧縮強度とセメント水比との関係

を著しく低下せしめるものと思われるからである。これらの点については、目下実験中である。

6. ま と め

1. 大量に生ずる産業廃棄物を活用して処理するためには、需要量の多いものへの活用を考えなければならないが、骨材製造はこの条件を満たす筆頭のものであると考えられる。

2. 骨材の製造方法は、シリカを含有した廃泥にセメントを混合し、造粒した後、オートクレーブ養生を行なうものであり、極めて容易である。また、原料として採用できる廃泥の範囲もブロック類の製造よりは広い。

3. 珪砂洗浄廃泥により製造した骨材の比重、強度等の性質は、天然骨材（砂利、碎石）と人工軽量骨材（構造用）との中間的な値を示し、コンクリート骨材として使用可能のようである。

4. しかし、この骨材の原料を考えると、アルカリ骨材反応、耐火性および付着性等が心配されるが、この点については目下実験中である。

参 考 文 献

1) 森野奎二 1973, “産業廃棄物のオートクレーブ処理” 愛工大研究報告 No.8, pp79~88