

洗浄、水簸廃滓(含粘土微粒珪砂)を主原料としたオートクレーブ硬化体 (産業廃棄物のコンクリート製品化のための基礎研究)

愛知工業大学 正員 久保 直志

正員○森野 奎二

1 まえがき

最近まで、河川に放流されていた珪砂産業廃棄物(水洗、フル分け、水簸によって生じる廃滓で、粘土混じりの微粒珪砂)の活用に関する実験である。

この公害廃棄物の主成分がシリカであることに着目して、オートクレーブ硬化体を作成した。この廃棄物をそのままの状態で使用しても、その中に含まれているシリカがカルシウム・シリケート水和物の生成に有効であることはすでに判明している。¹⁾

オートクレーブ養生製品にシリカを使用する場合、カルシウム・シリケート建材(気泡コンクリート製品)の原料として用いるときのように、それ自体が主役をなす場合と、コンクリート製品の品質を改良するために混和する(高強度パイル等)場合との二通りの使い方がある。この廃棄物が、それぞれの活用面で、どの程度有効なものであるかを知るための、 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系の実験を行った。一方、コンクリート混和材として使用する以外に、この廃棄物が一般に使われているシリカ微粉末よりは、はるかに粗い粒子よりなることから、砂の代わりに、あるいはその一部として利用するとどうなるか、最適混合比率はどれほどか、等を調べた。

2 使用材料

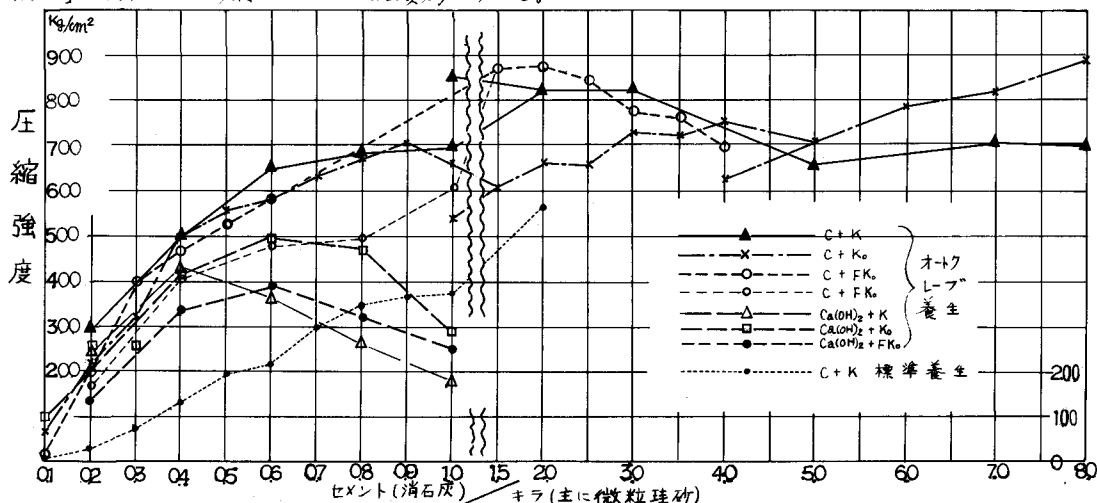
廃棄物：(通称、キラ) 粒度、粉末度、化学成分を1表に示す。

セメント：普通ポルトランドセメントおよびJIS A 6902の左
消石灰：官用消石灰(上塗り)。

砂：矢作川砂；母岩は花崗岩で主に石英、長石よりなる。

砂利：瀬戸地方山砂利；主にグニート(珪質岩)よりなる。

1表 粒度分布および化学成分							
粒度分布 (残留百分率 %)							粉末度 ^{cm²/g}
廃棄物	7149	105	74	53	5	57	
キラ微砂	9 ~20	10 12	13 15	10 20	30 43	4 5	800 ~1200
キラ粘土			0 2	0 2	65 70	30 33	2000 ~2200
化学成分 (%)							
キラ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K ₂ O	R ₂ O	I _g loss
キラ微砂	91.5±	5.0±	0.2±	1.2±	-	2.6±	0.6±
キラ粘土	88.81	8.14	0.46	0.2	0.04	2.0	2.5-3.4



1図 セメント(あるいは消石灰)、珪砂の比率と強度との関係

3使用器具

型枠：4×4×16cm (キラとセメントあるいは消石灰と水の比)

φ10×20cm (砂利、砂、キラおよびセメントのとき)

オートクレーブ：縦型内径φ40×70cm、横型内径φ70×100cm

テーブル型バイブレーター：90×90cm 振動数6000VPM

4実験方法

キラとセメントあるいは消石灰との混合物では、フロー値195±10程度の軟練りで実験を行ない、砂利、砂およびキラとセメントとの混合物では、スランプ0の硬練りで実験を行なった。オートクレーブ養生条件は実験目的によって、適時変更したが、代表的な条件は、前養生1、2日、上昇時間2～2.5時間、最高温度は180℃、その継続時間は8、10、14時間、

下降時間は5時間である。

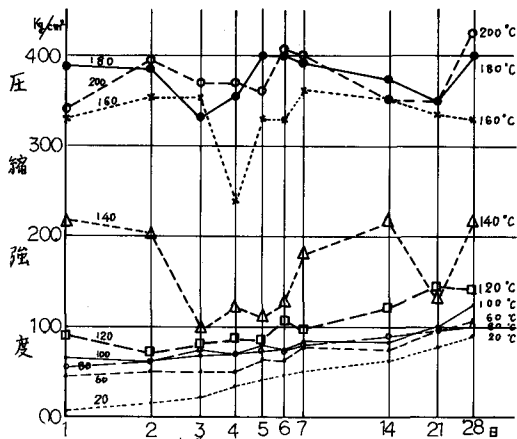
5実験結果および考察

(1)セメント(消石灰)、キラの比率と強度との関係

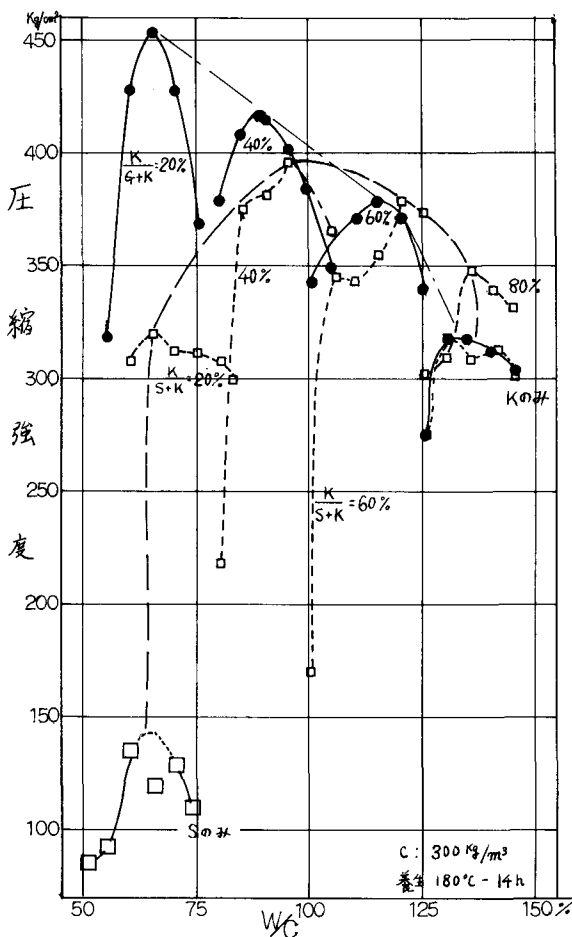
キラ、セメントの混合比を1:0.1から1:8まで変えて、それぞれの混合比率での強度を求めた。圧同様に、キラと消石灰の混合比を、最高値を示す前後の比率、1:0.1から1:1までの強度を求めた。それらの結果を1図に示す。

1図には3種類のキラを使用している。即ち、水洗、フルイ分けの工程から生じた廃棄物で、やや粗い粒子から成り、粘土含有率(4～5%)の低いもの(キラ微砂、記号、K)、キラ微砂から粘土分を取り除いたもの(記号、K₀)、水簸の工程から生じた廃棄物で、細かい粒子から成り、粘土含有率(約30%)が高いもの(キラ粘土、記号、FK) キラ粘土から粘土分を取り除いたもの(記号、FK₀)であって、1図では、K、K₀、FK₀の3種である。

セメント使用の場合の養生条件は前述のようであるが、消石灰使用の場合は、キラと消石灰が常温ではほとんど反応しないので、前養生を無視した。上昇時間は、供試体が沸騰して膨張しないよう1時間15℃以下に押えた。最高温度継続時間は8時間とした。



2図 養生条件が強度に及ぼす影響



3図 廃棄物(キラ)に砂利および砂を混合したときの強度変化

1 図から、フロー195程度の軟練りでも、 300 kg/cm^2 以上の強度を容易に得ることが出来、最高強度は 900 kg/cm^2 を得る。ここで使用した珪砂粉末は、一般にカルシウム・シリケート建材で使われている微粉末(ブレン値で $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以上)よりは粗いので、最高強度を示す混合比が、トバモライトの生成する理論値よりはづれている。このづれ分は、珪砂が反応していない分であって砂として働いているものと思われる。なお、プレスして水を絞り取り、供試体を密実にした所、キヤ:セメント = 1:0.3の配合で 700 kg/cm^2 の強度を得た。

(2) 養生条件が強度に及ぼす影響

養生温度を $60^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ まで変えて、それぞれの温度(継続時間は一定、14時間)での強度を求めた。また材令1日から28日までの期間を標準養生した供試体をオートクレーブ養生あるいは常圧蒸気養生して、前養生期間が強度に及ぼす影響を調べた。

(2)-1 養生温度と強度との関係(2 図)

前養生時間を無視した大略の傾向では、 180°C (10.2 kg/cm^2)までは養生温度が高いほど、硬化体の強度は高くなる。 200°C (15.9 kg/cm^2)では、 180°C 養生と殆んど差はない。 100°C 以下の常圧蒸気養生では、圧縮強度が 100 kg/cm^2 以下で著しく強度が低い。 140°C で初めて高压蒸気養生の効果が現われて、急に強度が高くなる。 160°C になると、更に一段と強度の伸びが大きい。 $160^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 養生が1つのグループをなし、 140°C が中間で 100°C 以下が1グループをなし、 120°C 養生は、どちらかといえば常圧蒸気養生のグループの傾向に近い。

(2)-2 前養生時間が強度に及ぼす影響(2 図)

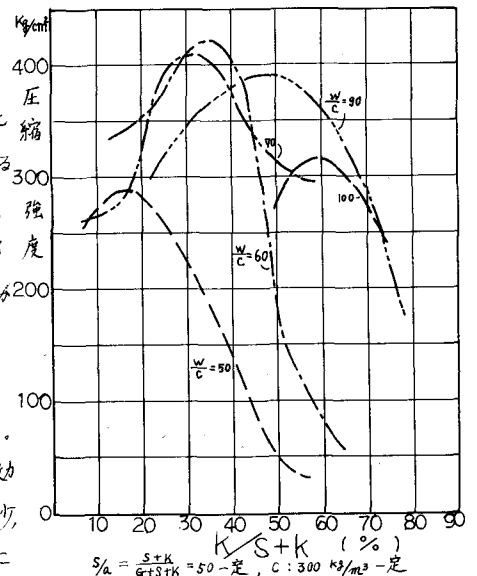
オートクレーブ養生では、前養生3日、4日付近に、概して強度が低くなる。前養生が1日、2回および1週間以後では、前養生時間の影響はあまりないようであり、それぞれの材令までのセメントの水和反応は無視されたような結果となっている。

常圧蒸気養生では、材令3日までに蒸気養生を行うのが効果的であり、それ以降では徐々に強度の伸びが少なくなる。しかし、オートクレーブ養生のように、蒸気養生を行う材令によって強度が低下することとはなく、材令と共に進行した水和反応による強度は蒸気養生によって促進された強度が追加された形となる。

(3) キヤに砂・砂利を混合した場合の水量変化と強度変化

砂利(S)とキヤ(K)、砂(s)とキヤの混合比を $\frac{K}{S+K} = 20 \sim 100\%$ 、 $\frac{K}{S+K} = 0 \sim 100\%$ で実験を行った(3 図)。それぞれの混合比に対して、最もよく締め固まる水量をピークとして、硬すぎる場合から、軟わ過ぎて分離するまでの水量を使用した。強度混合比率の違いによって、締固めに必要な水量が変化し、強度が、 $\frac{W}{C}$ よりも締固めの状態に影響される。 $\frac{W}{C}$ が大きくなって締固め効果が良い水量を使ったとき、最も高い強度を示した。

キヤに砂、あるいは砂利を混入すると強度が増加する。この強度の増加の原因は、水量の減少および締固め効果ばかりでなく、キヤのオートクレーブ硬化体よりは強い砂、砂利粒子(キヤが数個~数十個結合して、この大きさとなる)を混入したことによるのであろう。砂利は多いほど強くなるが、砂ではモル



4 図 廃棄物(キヤ)混入率と水量と強度との関係

タルの水知反応強度とトモライト生成による強度とのつり合いがある。使用した砂利は珪酸質の岩石であるから、その表面でも反応している可能性が高く、他の岩質の骨材よりは付着力が大きいのではないかとされる。なお、砂のみ使用の場合は、この砂が石英をかなり含んでいるものであっても、著しく強度が低下しており、オートクレーブ養生ではシリカ微粉末を混入しなければいけないことを物語っている。

(4) 砂の一部としてキラを使用した場合

単位セメント量 300 kg/m^3 、 $\%a=47\sim50\%$ のコンクリートで、砂の $10\sim80\%$ をキラと置き換えて実験を行った(4図)。置き換え率 $\frac{K}{S+K}=30\sim50\%$ のとき、最も高い強度 ($390\sim420 \text{ kg/cm}^2$) を示す。この同じ混合比率であっても、締固め方法によって著しく強度が変動する。少ない水量のとき、キラの混合量を増加すると、充分な締固めが行なわれないので、強度は低下する。勿論、水量が多過ぎても強度は低下する。水量と混合率との間には、最適条件が存在する。例えば、 $\%a=50\%$ のときは、 $\frac{K}{S+K}=15\%$ が最高強度 (280 kg/cm^2) を示すが、 $\%a=100\%$ では、 $\frac{K}{S+K}=60\%$ (310 kg/m^3) でピークとなる。 $\frac{K}{S+K}=60\%$ では $\%a=90\%$ が最も強くなるが、 $\%a=90\%$ では $\frac{K}{S+K}=50$ のときが、さらに高い強度を示す。

キラが増加すると、多くの水量を必要とするが強度が低下するわけではなく、一般のコンクリートのような $\%a$ と強度との比例関係はない。これはキラが砂として働く以外に反応成分として働いているからであろう。

(5) キラの最適混合比率

砂利、砂、キラの混合比を三角図表に表示し、その図上に強度をプロットしたものが5図である(単位セメント量 300 kg/m^3)。高い強度を示す値を曲線で結ぶと図示のような比率の所となり、全骨材に対して、 $15\sim40\%$ のキラの混入が適当となる。同じ混合比率であっても、著しく強度が異なっている張があるが、これは $\%a$ の変化によるというよりも、振動締固めがうまく行われる水量を使用するかどうかにかかっており、また締固め時間が適当であるかどうかによるようである。

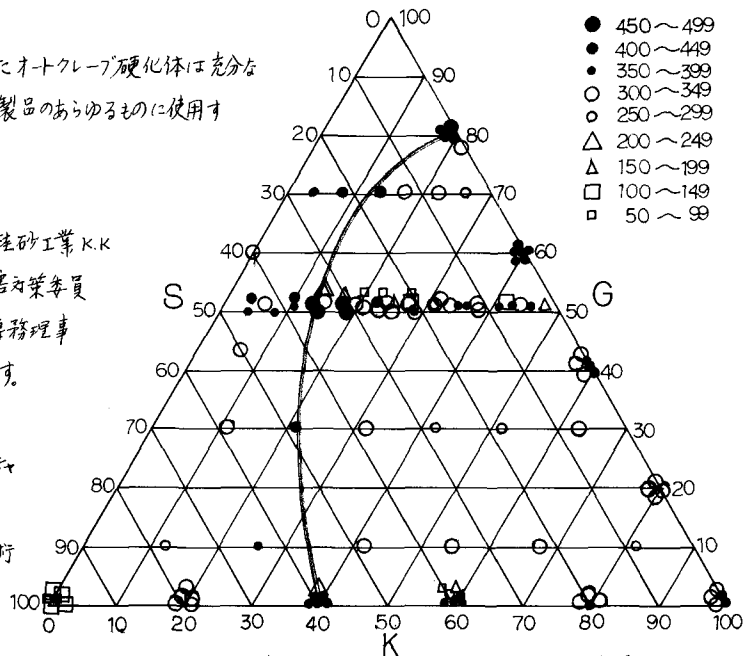
6 結論

珪砂産業廃棄物とシリカ原料としたオートクレーブ硬化体は充分な強度を発現する。従ってオートクレーブ養生製品のあらゆるものに使用することが可能である。

謝辞

本研究に御協力戴いた、日豊珪砂工業 K.K. 専務取締役、松本顕治氏、同社、公害対策委員 佐久間大治氏、珪砂産業協同組合 専務理事 宇谷正氏に厚くお礼申し上げます。

1) 公害廃棄物を使用したプレキャストコンクリートに関する基礎的研究
昭和47年度土木学会年次学術講演会



5 図 砂利、砂、廃棄物(キラ)の混合比と強度との関係