

東京大学生産技術研究所 正員 三木五三郎
 同上 正員 下田 一雄
 同上 正員 佐藤 剛司

1. まえがき

シールドを含めた各種トンネルの裏込め、あるいは空洞充填等にエアモルタルが、施工性にすぐれ、経済的な注入材料として実用化されている。しかし、このエアモルタルは起泡剤を用いて多量の気泡を導入しているため、硬化するまでの性質として耐水性並びに耐荷性に問題点が指摘されており、特に湧水や溜水の多い場所への注入は不適とされている。そこで我々はこれらの欠点である耐水性並びに耐荷性についても安定なエアモルタルの研究に取り組み、その結果、セメントにシリカゾルを作用させることにより、セメント粒子を凝集化させ、気泡の安定と材料(セメント並びに砂)の分離を防止して全くユニークなエアモルタル(フロックゴン)を開発した。以下にこの基礎的研究結果を報告する。

2. 実験概要

この実験は、エアモルタルグラウトとしての基礎的諸特性を明らかにするものとして、シリカゾルの物性、エアミルク(セメントのみ)、エアモルタル(セメント+砂)の基本配合とその性質及び、荷重に対する性状をシリカゾル無添加のものと比較しながら行った。実験に用いた材料は、シリカゾル、セメント、起泡剤(国産、動物性蛋白質系)及び砂(標準砂)である。シリカゾルの調整は、表-1に示すようにアルカリ硅酸塩に酸性剤を加えて作る。エアモルタルの調合は、所定量のシリカゾル液(または水)と起泡剤をミキサー(高速ミキサー)に投入、約1分間かく拌し、多量の気泡液を作った後、砂、セメントの順に投入して均一になるまでかく拌して得た。測定項目としては空気量(アルコール法)、フロー値(エアモルタルはプレパクトコーン、エアミルクは中8×8cmの円筒コーンに入れ、それを引き上げた時の直径)、圧縮強さ(4×4×16cm三連型棒)、耐荷重(図1に示すような装置で測定)をとり上げた。耐水試験ははっきりした試験法がないため、エアモルタルは水中に注入した時、エアミルクは水面に浮べて軽く振動を与えた場合の状態を目で観察し、写真で示した。

3. 試験結果と考察

シリカゾルは非常に低濃度で中性を示す溶液であるため、水とほとんど変わらないが、安定性はシリカゾル濃度により大きく異なることが特徴である。このシリカゾルを用いた気泡の発生量は無添加の場合と同じであり、起泡剤に何ら影響を与えないことが判った。次に気泡液にセメントを混ぜると、シリカゾルとセメントとの間に強力な反応(シリカゲルがセメント粒子の表面に析出、吸着しセメントをフ

表-1. シリカゾルの物性

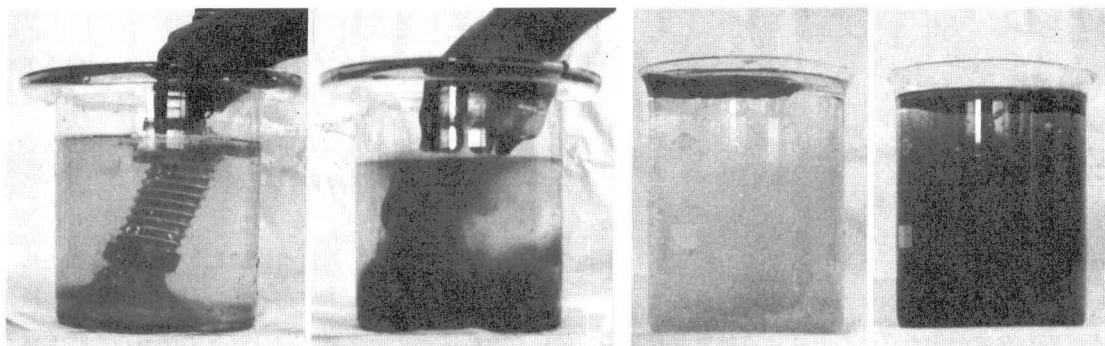
シリカゾル濃度 (容量%)	pH	粘性 (初期)	比重	安定性 (90分後の時間)
1.0	6~8	1.05~1.10	1.01~1.03	3~4
2.0	6~8	1.05~1.10	1.01~1.03	15~20
4.0	6~8	1.05~1.10	1.01~1.03	100

(注) シリカゾルは「フロックゴン」主剤(アルカリ硅酸塩)を表記の濃度にした後、これに酸性剤を加えて pH 6~8 に調整する。

表-2. エアモルタルの配合と測定結果

実験 NO.	材料の 種類	材料 比	セメント (Kg)	砂 (Kg)	水 (l)	シリカゾル 濃度 (%)	起泡剤 (Kg)	空気量 (%)	W/C	70°値	圧縮強さ 28日 (Kg/cm ²)
1	エア ミルク	1:0	380	—	240	0	1.5	68.5	63.5	22.5 ^{cm}	20.5
2		1:0	380	—	250	1.0	1.5	73.0	66.0	20.0 ^{cm}	21.0
3		1:0	380	—	250	2.0	1.5	63.5	66.0	18.5 ^{cm}	19.0
4		1:0	380	—	250	4.0	1.5	65.0	66.0	16.0 ^{cm}	10.5
5	エア モルタル	1:4	200	850	210	0	2.0	43.0	—	24 ^s	23.0
6		1:4	200	850	210	1.0	2.0	40.0	—	27 ^s	25.5

ロック化させる)を起し、セメントを凝集させるため、表-2に示すようにフロー値(流動性)は無添加の場合に比較して大となり、また、この傾向はシリカゾル濃度が濃い程大きくなる。圧縮強度は、シリカゾル濃度2%までは無添加とほぼ同じであるが、2%を越えると強度が低下する。このため、2%以下



シリカゾル2% (NO.6)

無添加 (NO.5)

シリカゾル2% (NO.3)

無添加 (NO.1)

写真-1. エアモルタル

写真-2. エアミルク

で使用するようになる。

耐水試験については、エアモルタルの場合、水中に注入すると無添加では、写真で示すように水に接触すると激しく崩壊し、気泡、セメント、砂に分離するが、シリカゾル(2%液)を添加すると、崩壊も少なくなり、崩壊した部分についても気泡は分離するが、セメントと砂は分離しにく

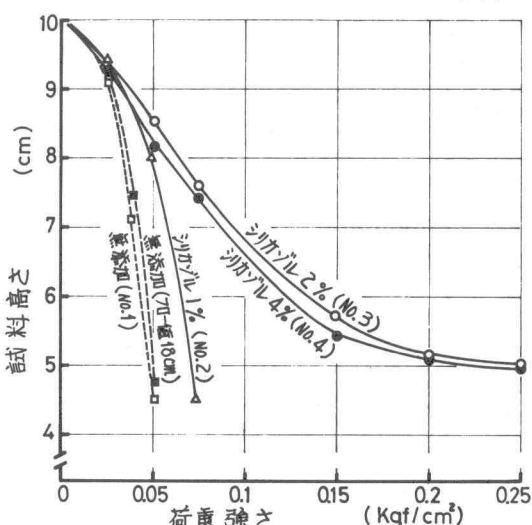


図-2. エアミルクの荷重と容積変化

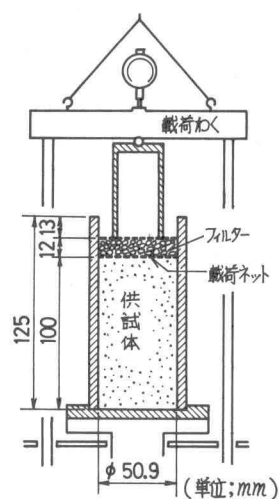


図-1. 耐荷重試験装置

くなる特性を示す。一方、エアミルクは、水の表面に浮いたエアミルクが無添加の場合、軽い振動で激しくセメントと気泡に分離し、セメント粒子は沈降する。これに対してシリカゾル添加の場合は、分離も少なく、またセメントの沈降も少ない。エアミルクの耐荷重試験結果を図-2に示すが、無添加の場合は、少量の荷重(0.05 Kgf/cm²)で気泡並びに水が多量に遊離し、グラウト量は50%以下となる。これに対してシリカゾルを添加した場合は、荷重強さは大幅に改良され、例えば、2%添加では0.25 Kgf/cm²の荷重でもグラウト量は50%前後である。

4. シリカゾル系エアモルタル「フロックコン」の反応機構とその効用

シリカゾル液は難溶性であって水中においてアリカリを示すセメント等の物質と激しく反応し1~2分でシリカゲルを析出すると同時にセメント粒子を凝集させる特性を有している。これに気泡、砂等を混合させエアモルタルは気泡がセメントフロックで包含されるため、荷重(加圧)に耐えることができ、また、水と接触してもグラウトが分離しにくくなると同時に、気泡が拡散してもセメントフロックが砂のバインダーとして働くため、分離が極端に改良される等すぐれた物性を持っている。

5. あとがき

今回は、エアモルタルにシリカゾルを導入した新しいタイプのエアモルタル「フロックコン」の基礎的研究を述べたが、今後は数多くのデータを得、さらに現場実験を重ねて実用化に取り組みたいと予定である。