

論文

[1133] 反応性骨材を使用したモルタルの電気抵抗特性

正会員 ○田代忠一（山口大学工学部）

安久憲一（山口大学大学院）

正会員 上田 満（山口大学工業短期大学部）

1. まえがき

最近、セメント・コンクリートの性質を電気抵抗との関係から調べることが行われている。すなわち、McCarterら [1] は、セメントの水和やセメントゲル空隙との関連、Tashiroら [2] は、セメントの種類と蒸発水分との関係、また、Hanssonら [3] は、微細構造、液相中のイオン濃度などとの関係、鎌田ら [4] はコンクリートの蒸発水分との関係など多くの研究者によって多方面から研究されており、電気抵抗は、セメント・コンクリートの特性に密接に関係していることが確かめられている。そこで筆者らは、アルカリ骨材反応が電気抵抗とどのような関係があるか、また、その結果によっては、アルカリ骨材反応の早期判定に適用出来るのではなかろうかと考えた。そのような目的から、一般に、反応性骨材とされているバイレックスガラス砂、メノウ砂を使用した高アルカリモルタルを作製し、それらの電気抵抗を測定したほか、それら骨材と高アルカリセメントとの界面の剝離面を走査電子顕微鏡にて観察し、反応状態を調べたので報告する。

2. 実験方法

(1) 使用材料

細骨材として、バイレックスガラス砂 ($SiO_2=80.7$ 、 $Al_2O_3=3.6$ 、 $CaO=0.7$ 、 $MgO=0.6$ 、 $R_2O=4.14$ 、 $B_2O_3=10.5$ %)、メノウ砂($SiO_2=96$ %)及び豊浦標準砂、セメントとしては、市販普通セメント($R_2O=0.56$ %)並びに Na_2SO_4 を5Wt.%(Na_2O 当量2.18%)添加した普通セメント($R_2O=2.74$ %,以下高アルカリセメント)を使用した。

(2) 骨材の反応性の観察

上記バイレックスガラス、メノウ砂及び豊浦標準砂のアルカリ骨材反応に対する反応性を調べるため、また、反応機構解明の一助とするために、 $W/C=0.32$ の普通セメントまたは高アルカリセメントペーストにバイレックスガラス、メノウ小片板並びに豊浦標準砂に相当すると考えられる石英の小片板を各々接触させて、 $23^\circ C$ 、28日養生した後、それらを界面から剝離し、骨材に相当する側を走査電子顕微鏡にて調べた。

(3) 電気抵抗の測定

セメント：砂=1：2、 $W/C=0.8$ のモルタルを $\phi 28 \times 10$ mmの型枠に入れ、次いで図-1に示すアクリル樹脂板で固定したステンレス製の電極を挿入し、 $23^\circ C$ 、湿空中にて成形直後から材令28日までの電気抵抗を測定した。測定は、10ないし20分間隔で、マイコンを組み合わせた機器を使用し、自動的に測定した。測定には、LCRメータを使用し、周波数は、

1.02kHzで行った。また、測定電圧は、1.02Vである。

3. 実験結果及び考察

(1) 骨材の反応性の観察

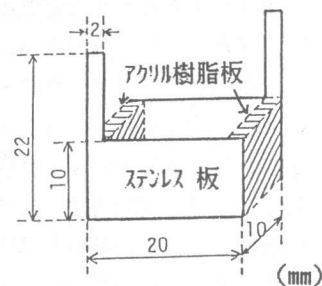


図-1 使用電極

普通セメントまたは高アルカリセメントペーストから剝離した各骨材表面の走査型電子顕微鏡写真を、図-2に示した。図から明らかなように、高アルカリセメントペーストから剝離したバイレックスガラスには、50 μm 程度以上のセル状集合組織を示すゲル物質、また、メノウ表面には、セメント水和物を一面に覆うゲル物質が見られる。これに反して、石英表面では、水酸化カルシウム、CSHなどの水和物がみられ、ゲル物質はみられない。一方、普通セメントペーストから剝離したバイレックスガラス表面には不規則塊状集合組織を示すゲル状物質が観察される。しかしながら、メノウ表面には、水酸化カルシウムとCSH、また、石英には、おもに水酸化カルシウムなどがみられる。以上の結果から、本実験で使用した高アルカリセメント中では、バイレックスガラスは高い反応性を有する骨材、また、メノウもそれに次ぐ反応性骨材と考えられる。

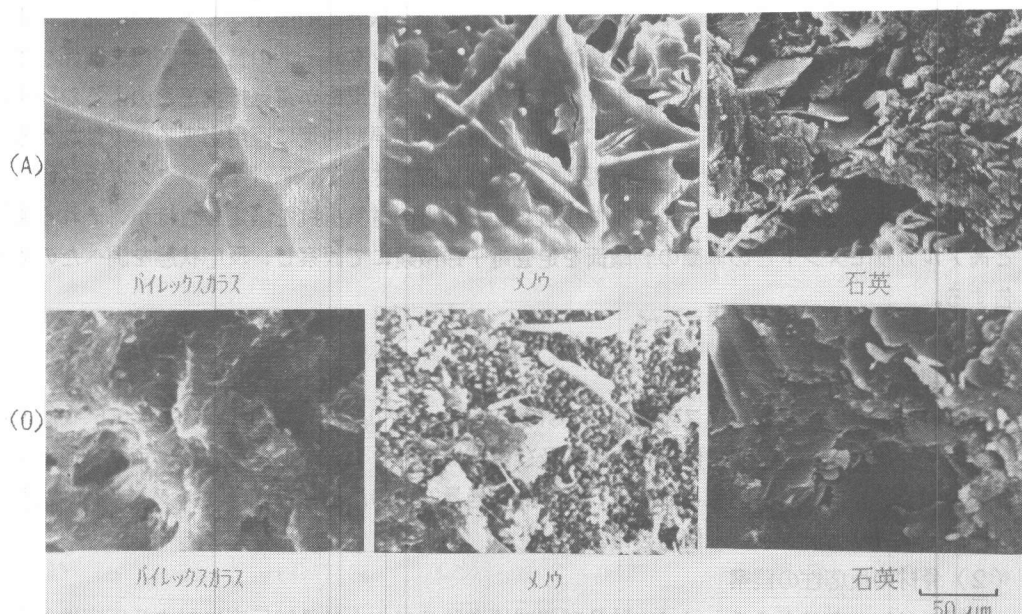


図-2 高アルカリセメント(A)と普通セメント(B)から剝離した骨材面の走査電子顕微鏡写真

(2) 電気抵抗

各モルタルの電気抵抗を図-3に示した。高い反応性を示すバイレックスガラス砂・高アルカリセメントモルタルの電気抵抗は、混練後は70 Ωcm と低いが、材令の経過と共に急激に上昇し、7日では500 Ωcm 、28日では6,000 Ωcm にも達する。次に、これよりも反応性が小と考えられるメノウ砂・高アルカリセメントモルタルの電気抵抗は、値そのものがやや低いが、全体的にはバイレックスガラス砂・高アルカリセメントモルタルのそれと類似の上昇傾向を示し、材令28日で4,000 Ωcm を示す。一方、豊浦標準砂・高アルカリセメントモルタルについては、混練後は、バイレックスガラス砂・高アルカリセメントモルタルと同様に70 Ωcm と低いが、その後の上昇は緩やかで、材令7日では200 Ωcm 、以後さらに緩やかに上昇し、28日では400 Ωcm を示す。以上のように、高アルカリセメントを使用したバイレックスガラス砂及びメノウ砂モルタルと豊浦標準砂を使用したモルタルの電気抵抗の違いは、材令の経過につれ大きくなり、その判別は、材令3日程度で十分可能と考えられる。

次に普通セメントと組み合わせたバイレックスガラス砂、メノウ砂及び豊浦標準砂モルタルなどの電気抵抗は、混練直後は、いずれも180 Ωcm 程度であるが、材令7日ではそれぞれ70

0、600及び450Ωcm、材令28日では、2,000、1,800及び1,200Ωcmと、材令の経過と共に、反応性に依りて大となり、それら間の差も大となる。しかしながら、これら電気抵抗の上昇パターンは、いずれも類似しており、抵抗値の差はあるが、豊浦標準砂・高アルカリセメントモルタルの抵抗値のそれと類似している。以上のように、材令の経過による電気抵抗値の増大とそのパターンは、骨材の反応性と密接な関係があることが解る。また、混練後の抵抗値そのものも、モルタル中のアルカリ量を半定量的に示しているものと考えられる。

以上の事柄をアルカリ骨材反応の早期判定の可能性に関連させて考察を進めてみよう。まず、アルカリ骨材反応をおこす有害骨材の判定には、対象骨材と高アルカリセメントを使用したモルタルの電気抵抗の挙動を豊浦標準砂・高アルカリセメントモルタルの電気抵抗と比較することによって、その反応性を半定量的に調べることが可能であろう。また、アルカリ骨材反応の判定には、対象骨材と対象セメントから製造されたモルタル並びに比較モルタルとしての

豊浦標準砂・普通セメントモルタルの両者の電気抵抗を比較することによって骨材同様に半定量的に調べることが出来よう。なお、これらの場合、配合条件や測定条件などを同一条件にすることが必要である。

(3) 考察

以上のように、モルタルの電気抵抗は、骨材の有害性及びアルカリ骨材反応性さらにはモルタルの混練直後のアルカリ濃度などを半定量的に指示しているものと考えられる。しかも、電気抵抗値の差の判別に要する時間も、3日以内で可能で、その上、操作も非常に簡便であり、十分にアルカリ骨材の早期判定方法として利用出来るものと考えられる。また、促進養生を適用すれば、強度発現から推測して、1日程度で判定が可能とも考えられる。

次に、セメントモルタルの電気抵抗の機構について考察してみよう。一般に、セメントペーストの電気抵抗は、ペースト中の蒸発水分の減少すなわち水和水や強度発現の進展に伴って増大することが確かめられている[2]。また、モルタル中の骨材比の増大及び液相中のアルカリ濃度の減少につれて増大する傾向を有する。したがって、本研究によって得られた電気抵抗値の材令の経過に伴う上昇は、いずれも上記要因に関与しているものと考えられる。また、それぞれの違いは、骨材の性質に起因するものであろう。次に、アルカリ骨材反応に伴う抵抗値の急激な上昇による高抵抗化について、考察を進めてみる。一般に、アルカリ・シリカゲルの電気抵抗は、アルカリ・シリカ・水比などによって異なるが、数百Ωcmと考えられる。したがって、アルカリ・シリカゲルの高抵抗化にはSiO₂の増大や含水比の減少、さらにはCaO及びその他の成分の置換などが必要である。CaO置換の影響を無水のソーダガラスに例を取ってみると、CaOが

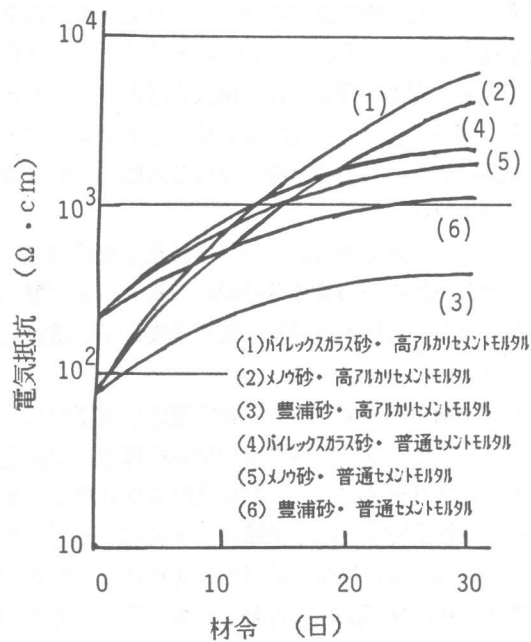


図-3 電気抵抗値と材令との関係

ガラス中のSiO₂を約20%置換した場合には、電気抵抗が10⁵倍増大することが確かめられている[5]。したがって、本実験で得られたアルカリ骨材反応に伴う電気抵抗の高抵抗化は、これらの要因に強く関与しているものと考えられる。実際に、Regourd [6]は、アルカリ骨材反応によって生成したアルカリ・シリカゲルの水を除いた成分分析を行い0.72 Na₂O・CaO・1.64SiO₂と報告をしている。また、川村ら [7]は、高CaO含有アルカリ・シリカゲルについて言及している。以上のほか、電気抵抗の増大は、アルカリ骨材反応に伴う生成ゲルによる蒸発水分の減少、微小クラックの発生及び骨材とセメントペースト間の反応による骨材表面の水膜の破壊などに関係しているものと考えられるが明らかではない。

4. むすび

バイレックスガラス砂、メノウ砂及び豊浦標準砂などの細骨材と高アルカリセメント及び普通セメントを組み合わせて6種類のモルタルを作製して、それぞれの電気抵抗を測定した。このほか各セメントと接する骨材表面を走査電子顕微鏡にて調べた。それらの結果、次のことが明らかになった。

- 1) 電子顕微鏡下でアルカリ骨材反応が確認されたバイレックスガラス砂とメノウ砂を使用した高アルカリセメントモルタルの電気抵抗は、混練後は約70Ωcmを示すが、材令と共に急激に増大し、28日では6,000及び4000Ωcmにも達する。
- 2) 安定細骨材である豊浦標準砂を使用した高アルカリセメントモルタルの電気抵抗は、混練後は約70Ωcm、材令28日では400Ωcmを示し、反応性骨材を使用した高アルカリセメントモルタルの電気抵抗値と著しい差を示す。それらの差は、材令3日以内で判別可能である。
- 3) バイレックスガラス砂、メノウ砂及び豊浦標準砂などを使用した普通セメントモルタルの電気抵抗は、材令の経過に伴って反応性に応じてそれぞれ上昇し、材令28日で、2,000、1,800及び1,200Ωcmを示す。
- 4) モルタルの電気抵抗の測定は、アルカリ骨材及び反応性有害骨材の早期判定に利用可能と考えられる。

参考文献

- 1) McCarter, W.J. and Afshar A.B.: Some Aspects of the Electrical Properties of Cement Paste, *Journal of Materials Science Letters*, 4, No4, 1985, pp.405-408
- 2) Tashiro C. Ishida H. and Shimamura S.: Dependence of the Electrical Resistivity on Evaporable Water Content in Hardened Cement, *Journal of Materials Science Letters*, Vol.6, No12, 1987, pp.1379-1381
- 3) 鎌田英治、田畑雅幸、中野陽一郎: コンクリト内部の含水量の測定、*セメント技術年報*、Vol.30、1976、pp.288-292
- 4) Hansson, I.L., Hansson, C.M.: Electrical Resistivity Measurements of Portland Cement Based Material, *Cement and Concrete Research*, Vol.13, 1983, pp.675-683
- 5) 功刀雅長、加藤悦郎、長坂克巳: 無機材料、共立出版、1980、pp.32-33
- 6) Regourd, M.M.: Products of Reaction and Petrographic Examination, Proc. 8th Inter.Cong. on Alkali-Aggregate Reaction, 1989, pp.445-447
- 7) 川村満紀、伽場重正: アルカリ・シリカ反応のメカニズム、*コンクリト工学*、Vol.22、No2、1984、pp.6-14