

曝露による濁沸石含有モルタルの劣化と劣化機構の推定

独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ 正会員 脇坂安彦
独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループ 阿南修司

1. はじめに

濁沸石がコンクリートにとって有害であることを初めて報告したのは、Pearson & Loughlinで、1923年のことである。我が国では、1979年に有泉がPearson & Loughlinの報告を引用し、劣化の原因は濁沸石 - レオンハルダイト間の転移時の1.5%の体積変化であると推定しているが、実験的には確認されていない。そこで、筆者らは濁沸石がコンクリートにどのような劣化現象を引き起こし、その劣化現象の機構は、濁沸石 - レオンハルダイト転移に伴う体積変化に基づくものなのかどうかを実験的に検証することにした。ここに、その中間段階の結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 実験用骨材

実験用骨材は、濁沸石を含んだ熊本県産閃緑岩（濁沸石含有骨材：L）および濁沸石を含まない広島県産花崗岩（濁沸石非含有骨材：S）である。これらの岩石を5mm以下に粉砕し、細骨材を調製した。濁沸石含有骨材は濁沸石非含有骨材と特定の割合で混合した。

2.2 モルタルの曝露試験

曝露試験は土木研究所構内で行った。曝露に当たっては各モルタルを2群に分け、一方は降雨に当たる条件（降雨条件）、残りは蓋付きのプラスチック製のコンテナに入れ、降雨があたらない条件（非降雨条件）となるようにした。任意の材令時にたわみ振動法による共鳴振動数、長さ変化、質量の計測を行った。

2.3 劣化モルタルのSEMによる分析

曝露試験によって劣化したモルタルについて、走査型電子顕微鏡（SEM; JSE 5310LV）により形態観察とSEM付属のエネルギー分散型分析装置（JED2140）により元素分析を行った。元素分析はL骨材原石中の濁沸石と劣化モルタル（L1）について行った。劣化モルタルについては、濁沸石の結晶および濁沸石とセメントペーストの境界部付近の分析を行った。

3. 実験結果

3.1 曝露による劣化

曝露開始から平成14年4月1日現在で、L0は3,035日、L1～L5は2,733日、経過している。降雨条件下にあるL0モルタルでは、曝露開始後約50日から、モルタル表面の亀裂、剥離、ポップアウトの劣化が認められるようになった。

降雨条件下のL0モルタルでは、相対動弾性係数は急速に低下し、材令500日以前にモルタルは崩壊し、測定不可能になっている。一方、非降雨条件下のL0モルタルでは、材令1,000～1,500日位までは相対動弾性係数は、80%以上であるが、その後、徐々に低下している。L1～L5モルタルでは、降雨条件下での相対動弾性係数の低下が若干認められ、他方、非降雨条件下では全く変化が認められない。このように劣化の程度は、降雨条件と非降雨条件とで大きく異なっている。L0モルタルとL1～L5モルタルの相対動弾性係数の低下度の違いは、L0モルタルが全粒径にわたって、約30%の濁沸石を含んでいるのに対し、L1～L5モルタルでは特定粒径に約10%以下の濁沸石しか混合していないことに起因していると思われる。すなわち、濁沸石によるモルタルの

キーワード：骨材、濁沸石、モルタル、曝露、相対動弾性係数

〒305-8516 つくば市南原1-6、Tel.0298-79-6768、Fax.0298-79-6734

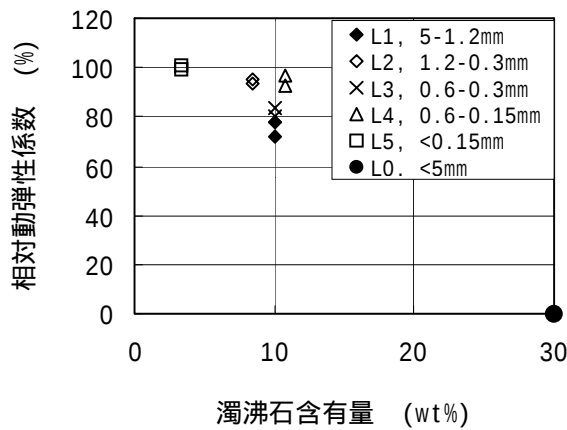


図-1 濁沸石の含有量と相対動弾性係数との関係

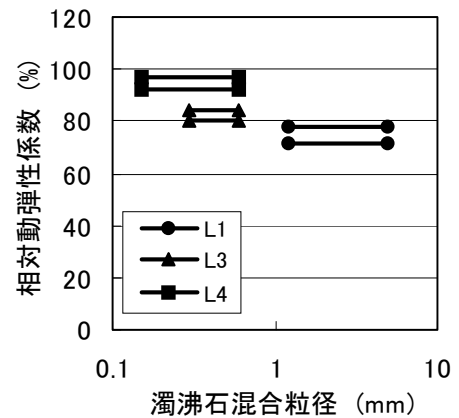


図-2 濁沸石の混合粒径と相対動弾性係数との関係

劣化の程度は、濁沸石の含有量と混合粒径が関係していると考えられる。

図-1は濁沸石含有量と降雨条件下曝露2,600日（L0）および2,300日（L1～5）における相対動弾性係数との関係を示したものである。L4モルタルを除くと、相対動弾性係数は濁沸石含有量の増加によって減少する傾向がある。図-2は濁沸石含有量が約10%であるL1、L3、L4モルタルの濁沸石混合粒径と図-1と同材令における相対動弾性係数との関係を示したものである。粒径が大きいものほど、相対動弾性係数の減少も大きいことがわかる。したがって、図-1でL4モルタルの傾向が他のモルタルと異なっていたのは、粒径が小さかったためであると考えられる。

3.2 劣化モルタルの形態・構成物および化学組成

元素分析の結果、骨材原石中の濁沸石の化学式は、 $(Ca_{0.96-0.98}, K_{0-0.02}, Na_{0-0.03})(Al_{1.00-1.01}, Fe_{0-0.04})_2 \cdot Si_4O_{12} \cdot 5H_2O$ で表すことができ、理想組成（ $CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$ ）に比べ、水が1分子多いが、その他の元素はよく一致している。L1モルタル中の濁沸石の化学組成は、原石中のものに比べ、カルシウムとカリウムが増加する傾向にある。これは濁沸石がセメントペーストと化学反応しているためと考えられる。

劣化モルタル中の濁沸石との境界部付近のセメントペースト部の主要な成分は、 SiO_2 と CaO であり、SEM観察によっても結晶質物質は確認されていないことから、これらはCSH（ $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ ）ゲルであると思われる。このように、濁沸石の周辺には、特に膨張性のある水和物（アルカリシリカゲルやエトリンガイトなど）は確認されなかった。

4. 考 察

濁沸石含有骨材を用いてモルタルを作製し、曝露試験を行ったところ、亀裂、剥離、ポップアウト発生などの劣化が生じた。この劣化は、降雨条件下の曝露試験において認められたが、非降雨条件下での劣化現象はL0モルタルを除くと認められていない。非降雨条件下のL0モルタルで材令1,000日以降に劣化が始まったのは、毎年の台風時に蓋が取れて、降雨に曝されたことと、蓋をしていても湿度変化があったためであると考えられる。このように、劣化は乾燥湿潤の繰り返しが生じる場合に起こるものと考えられる。また、劣化は濁沸石含有量が多いものほど、濁沸石の混合粒径が大きいものほど顕著であった。さらに、SEMによる元素分析では劣化モルタル中の濁沸石の周囲には、CSHゲルが認められるのみで、膨張性の水和物は確認されなかった。

以上のことから劣化の機構は、次のように考えられる。

劣化には膨張性の水和物を生成するような濁沸石とセメントペースト間の化学反応は関与していない。

劣化は濁沸石の粒径が大きい場合ほど顕著であるので、物理的な作用が関与していると考えられる。物理的な作用としては、有泉が述べているような濁沸石-レオンハルダイト転移の際の体積変化が推定される。