ASR 膨張率の予測精度向上のための溶出試験方法の検討

（一財）日本建築総合試験所　　正会員　○澁井　雄斗
（一財）日本建築総合試験所　　正会員　　吉田　夏樹

１．はじめに

ASR によるコンクリート構造物の劣化の進行を予測することは，長期的な維持管理を行ううえで有用である．ASR 膨張の予測モデルとして，古澤，魚本らによる U.F.O.モデル[1)2)]がある．本検討では，U.F.O モデルによる ASR 膨張率の予測精度を向上させることを目的とし，同モデル中の「反応速度定数」に着目した検討を行った．反応速度定数は，JIS A 1145（化学法）を参考とした溶出試験の結果を基に算出されるが，対象の骨材によって異なる固有値であり，溶出試験の条件によって算出結果が大きく異なる．

本稿では，異なる試料質量で行った溶出試験から算出した反応速度定数を用いて，U.F.O.モデルによる解析を行い，JIS A 1146（モルタルバー法）に準じて製作したモルタル供試体の実測値との比較を行った。また，溶出試験に用いる反応性骨材の質量と反応速度定数の関係から，実際のモルタル供試体の膨張率の予測精度を向上させるための検討を行った．

２．実験方法

反応性骨材として，安山岩質川砂利を用いて溶出試験を行った．JIS A 1145（化学法）を参考とし，試験温度 80 ℃，NaOH 溶液濃度 1 N，骨材粒径 0.15-0.30 mm とした．試料質量の影響を検討するため，NaOH 溶液 25 mL に対し，化学法に示す試料質量 25 g のほか，鈴木らによる溶出試験[3)]を参考に 2 g のものを用意した．

また，同じ試料を用いて，JIS A 1146（モルタルバー法）に準じてモルタル供試体を製作・養生（温度 40 ℃，相対湿度 95 %以上で貯蔵）し，膨張が収束するまで長さ変化の測定を行った．

３．係数の算出方法および膨張率の解析条件

溶出試験の結果から，反応速度定数 k は，式(1)を用いて算出した[1)2)]．

$$x = (2\times k\times C\times t)^{1/2} \quad (1)$$

x:骨材表面の反応層の厚さ，k:反応速度定数，
C:アルカリ濃度，t:時間

さらに，溶出試験により得た 80 ℃の反応速度定数 k_{80} から，式(2)に示すアレニウスの式を用いて定数 A を算出し，40 ℃の反応速度定数 k_{40} へ変換した．なお，気体定数 Ra=1.9862 cal/K/mol，活性化エネルギー Ea=16000 cal/mol とした[4)]．

$$k = A\times exp(-Ea/(Ra\times T)) \quad (2)$$

k:反応速度定数，A:温度に依存しない定数，
T:絶対温度

また，解析値が，実際のモルタル供試体の材齢 26 週までの膨張率の実測値にフィッテングするように，他の係数も設定した．

解析による膨張率は，ASR 発生限界アルカリ濃度を 0.25 mol/L と設定[5)]し，ペースト部のアルカリ濃度がこれを下回った時点で，膨張率は収束するとした．

４．結果および考察

４．１ 反応速度定数 k の算出結果

溶出試験の結果を**図-1** に，それぞれの試料質量における反応速度定数の算出結果を**表-1** に示す．反応速度定数 k は試料質量 25 g のほうが 2 g に比べて大きかった．なお，解析は，モルタル供試体の養生温度 40 ℃と

表-1 各温度における反応速度定数

試料質量 (g)	80℃（溶出試験の温度）の反応速度定数 k_{80}(cm²/hr)	40℃（モルタル供試体の養生温度）の反応速度定数 k_{40}(cm²/hr)
2	6.69×10^{-14}	3.63×10^{-15}
25	2.97×10^{-12}	1.61×10^{-13}

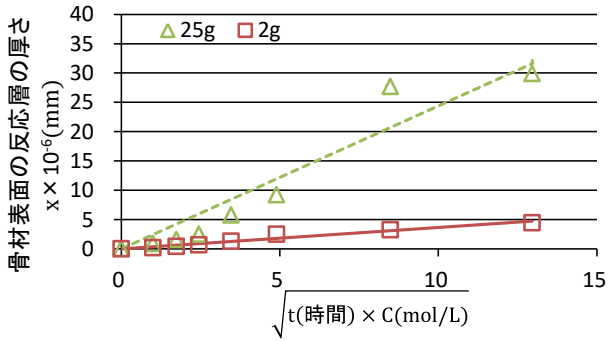

図-1 試料質量の違いによる溶出試験の結果

キーワード　ASR，膨張予測，U.F.O.モデル，反応速度定数，溶出試験
連絡先　〒565-0873　大阪府吹田市藤白台五丁目 8 番 1 号　（一財）日本建築総合試験所　ＴＥＬ06-6834-0271

© Japan Society of Civil Engineers

合わせて，k_{40} を用いることとした．

４．２ 膨張率の解析値と実測値の比較

図-2 にモルタル供試体の膨張率の実測値と解析値の経時変化を示す．実測値より，膨張率は約 0.790 %程度で収束した．それに対し，解析値は試料質量 2 g，25 g ともに，膨張率が収束せずに伸び続ける結果となった．これは，ASR によるアルカリの消費速度が，実際のモルタル供試体中に比べて，低い解析結果になったためと考えられる．なお，試料質量 25 g のほうが，2 g に比べてアルカリ量の減少が速く，反応速度定数も大きかった．以上より，実際のモルタル供試体中では，より大きな反応速度で ASR が進行していると推測できる．本研究では，試料質量 2 g および 25 g の条件で溶出試験を行ったが，より試料質量を高くして溶出試験を行い，反応速度定数をはじめとした解析に必要なパラメータを得ることで，実際のモルタル供試体中で生じる ASR 膨張率の経時変化を，より正確に再現できる可能性が示唆された．

４．３ 溶出試験条件の検討

試料質量 2 g，25 g の溶出試験の結果を基に直線近似して，試料質量を高くした場合の溶出試験の結果を推定し，解析に必要な各パラメータを算出した．その結果，試料質量 93 g で溶出試験を行ったと仮定した場合に，実際のモルタル供試体とおおよそ同程度の材齢において，膨張率 0.704 %に収束した．試料質量 93 g で溶出試験を行ったと仮定した場合の膨張率の解析結果を**図-3** に示す．実際のモルタル供試体の膨張率 0.790 %と比較して最終的な膨張率は小さいが，溶出試験に用いる試料質量を高くすることで，膨張率は同程度の材齢において一定の値に収束し，より精度の高い膨張率の予測を行える可能性が示された．

今後は，ASR 反応性骨材の種類やモルタル供試体中の ASR の化学的な反応機構を考慮したうえで，溶出試験の最適条件を検討したいと考えている．

５．まとめ

本研究において，得られた知見を以下に示す．

・溶出試験に用いる試料質量が高くなると，反応速度定数は大きくなった．

・溶出試験に用いる試料質量は，JIS A 1145（化学法）に準じた 25 g では小さく，より高い試料質量で試験を行うことで，実際のモルタル供試体の膨張率の経時変化をより精度よく再現できる可能性が示された．

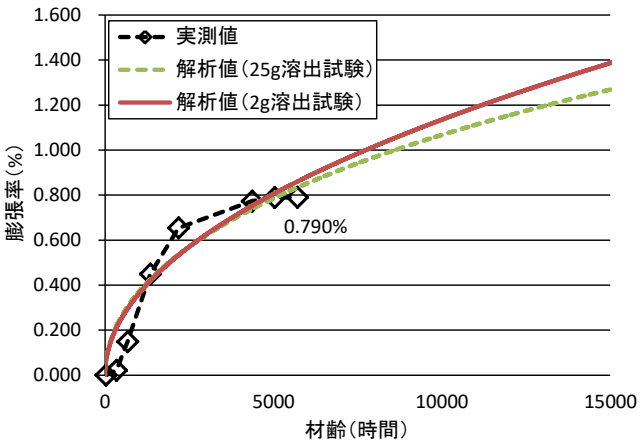

図-2 膨張率の解析結果（2 g，25 g 溶出試験）

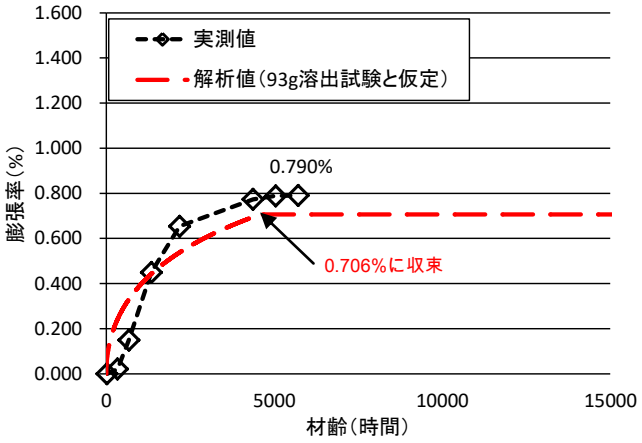

図-3 膨張率の解析結果（93 g 溶出試験と仮定）

参考文献

1)古澤靖彦ほか：アルカリ・シリカ反応の進行を定量的に予測する新しい判定システム，コンクリート工学論文集第 3 巻第 2 号，pp.15-25，1992.7

2)魚本健人ほか：アルカリ・シリカ反応によるモルタルバーの膨張挙動を予測するモデルの構築，コンクリート工学論文集第 3 巻第 1 号，pp109-119，1992.1

3)鈴木一孝ほか：石英粉末を用いたアルカリ・シリカ反応の速度論的検討，セメント技術年報，Vol.39，pp.336-339，1985

4)中村成春ほか：JIS モルタルバー法の膨張率に対するアルカリシリカ反応速度論に基づく既存予測手法の適用性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，2012

5)Yuichiro Kawabata et al.:The mechanism of limited inhibition by fly ash on expansion due to alkali-silica reaction at the pessimum proportion, Cement and Concrete Research, Vol.92, pp.1-15, 2017

© Japan Society of Civil Engineers