

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性が損なわれる原因のひとつにアルカリ骨材反応 (ASR) がある。ASR 劣化構造物は、北海道から沖縄までのすべての地域で、また様々な形態での ASR の発生が新たに確認されている。鉄筋破断にいたるような、重大な損傷事例が発見されるなど、ASR 抑制対策の導入以後にも ASR の発生が無くなったわけではなく、ASR 劣化構造物の診断法や抑制対策の改善など、まだまだ解決すべき課題が残されている。

昨年度までの研究により、ガラス骨材を混入して蒸気養生した場合、養生温度が高温かつ養生時間が長時間であるほど抑制傾向があること、また代表的な反応性骨材であるオパール石のペシマム混入率は 5% 付近であることがわかった。本研究では、オパール石を骨材として 5% 混入して蒸気養生し、養生の温度と時間を変化させることで、蒸気養生の一般的反応性骨材に対する ASR 抑制効果を検討した。

また昨年度の研究では蒸気養生のほかに、オートクレーブ養生にもガラス骨材に対する ASR 抑制効果があることが明らかになった。本研究では、オパール石を用いて、オートクレーブ養生の一般的反応性骨材に対する ASR 抑制効果を検討した。

さらに、昨年度行ったガラスパウダーの研究では、オパール石を 5% 混入し、ガラスパウダーの混入率を変化させて比較したところ、25% 以上混入すると抑制効果があることがわかった。本研究では、オパール石を 5% とガラスパウダーを 25% 以下混入し、蒸気養生することで、促進養生の ASR 抑制効果を検討した。

2. 研究概要

各種の検討にあたっては、骨材のアルカリシリカ反応性試験方法のモルタルバー法 (JIS A 1146-2001) に準じて試験を行った。蒸気養生の養生条件は、養生温度を 60、80 の 2 種類、養生時間を 4、6、8、10、12、14 時間の 6 水準とした。オートクレーブ養生は 1.2 気圧、120 で行い、養生時間を 4、6 時間の 2 水準とした。ガラスパウダーを混入し、蒸気養生した場合の養生条件は、養生温度を 60、ガラスパウダーのセメントに対する混入率を 10%、20% の 2 種類、養生時間を 4、6、8 時間の 3 水準とした。また、同一条件の試験に対して、供試体を 3 本ずつ作製した。なお、オパール石の混入率はベース骨材である ISO 標準砂に対して 5% とし、全ての供試体に混入した。

以上、合計 60 本の供試体について試験を行った。

3. 結果および考察

3.1 蒸気養生による ASR 抑制効果の検討

初期養生方法が ASR 膨張抑制に及ぼす影響についての検討として蒸気養生を行った。初期養生の温度を 60 とし、養生時間を変化させたときの長さ変化率を図 - 1 に示す。昨年度のガラス骨材に対する ASR 抑制効果の検討では、12~14 時間の初期蒸気養生において 6 ヶ月を過ぎた時点で基準値となる 0.1% 以下の値を示し、ASR 膨張抑制効果が見られた。今回の試験では、4 時間の初期蒸気養生以外で十分な膨張抑制効果が見られた。

次に、初期養生温度を 80 とし、養生時間を変化させたときの長さ変化率を図 - 2 に示す。昨年度のガラス骨材を用いた試験では、4~14 時間の初期蒸気養生の全てにおいて抑制効果が見られなかった。今回の試験では、10 時間の初期養生にだけ膨張抑制効果が見られ、その他の養生時間では効果が見られなかった。

昨年度までの結果では、初期蒸気養生時間が長いほど ASR 膨張抑制の傾向はあるが、十分な抑制効果がないことが明らかとなっており、ガラス骨材において初期蒸気養生では十分な ASR 膨張抑制効果が得られないとの結果がでた。しかし今回の試験結果より、一般的反応性骨材であるオパール石においては、ASR 膨張抑制効果がみられる養生条件が存在することがわかった。このため、蒸気養生はオパール

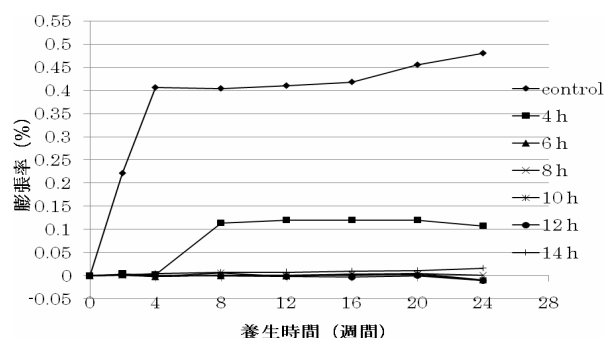


図 - 1 長さ変化率 (60)

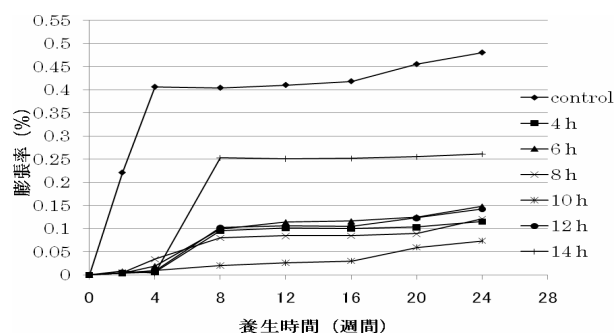


図 - 2 長さ変化率 (80)

石による ASR 膨張に有効であると言える。図 - 1 と図 - 2 の長さ変化率を比較した場合、60 養生の方が ASR 抑制に効果的であることがわかる。これにより、反応性骨材の種類によって効果的な促進養生温度と養生時間が存在すると考えられる。

3.2 オートクレープ養生による ASR 抑制効果の検討

初期養生方法が ASR 膨張抑制に及ぼす影響についての検討として、オートクレープ養生を行った。養生時間を変化させたときの長さ変化率を図 - 3 に示す。図 - 3 より 4 時間と 6 時間ともに、養生期間が 1 ヶ月までと 6 ヶ月時において著しい ASR 膨張が見られ、全ての供試体が 6 ヶ月を過ぎた時点で基準値となる 0.1% 以上の値を示した。また、オートクレープ養生は 80 の蒸気養生と同じような膨張傾向を示していることも確認できる。昨年度のガラス骨材を用いた試験では、オートクレープ養生は ASR 膨張抑制効果があることが明らかになったが、今回の試験結果により、オートクレープ養生のオパール石に対する ASR 抑制効果は少ないことがわかった。

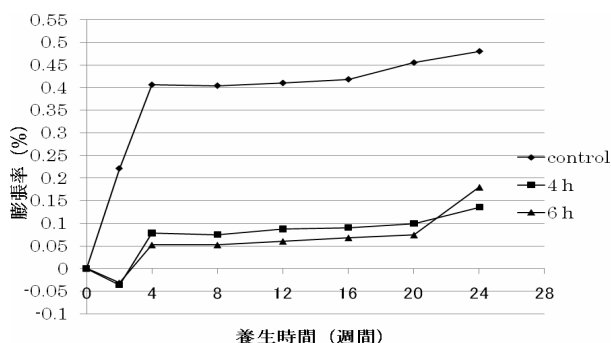


図 - 3 長さ変化率 (オートクレープ養生)

3.3 蒸気養生 (ガラスパウダー混入) による ASR 抑制効果の検討

オパール石をペシマム混入率である 5% 混入し、それに対してガラスパウダーを混和材として 10%、および 20% 混入した場合の長さ変化率の結果を図 - 4 と図 - 5 に示す。昨年度の試験により、ガラスパウダーを混和材として 25% 以上混入すると ASR 膨張抑制効果があることが明らかになった。そこで今回は、ガラスパウダーの混入率を 10% と 20% として、養生温度 60 の蒸気養生を行い、ASR 膨張傾向をみた。2 つの図を見てわかるように、10% と 20% ともに 6 ヶ月の基準値となる 0.1% 以下を示し、十分な ASR 膨張抑制効果を示した。

一般に混和材の利用は ASR 抑制に効果的であることが認められている。本研究により、混和材の使用と促進養生を併用することにより、より効果的であることが明らかとなった。これは、混和材の反応性の違いにもよると考えられる。ガラスパウダーはアモルファスシリカであるので、化学反応性が高い。

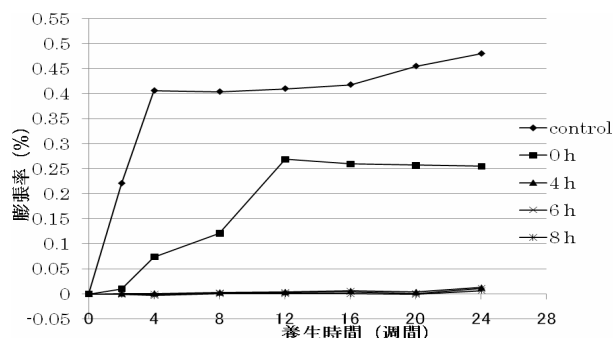


図 - 4 長さ変化率 (10%)
(『0h』は標準養生)

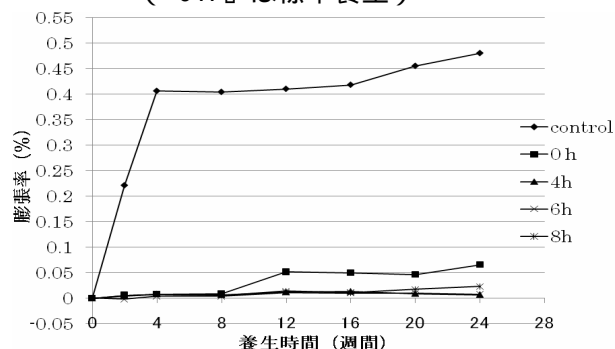


図 - 5 長さ変化率 (20%)
(『0h』標準養生)

このため、水熱反応により、より C-S-H 形成が高まったと考えられる。今後、強度発現と養生条件の関係をを用いることにより、C-S-H 形成を確認することも必要である。また、高炉スラグやフライアッシュ、シリカヒュームといった混和材との違いを明らかにすることも必要であると考ええる。

4. まとめ

一般的反応性骨材としてオパール石を用いて蒸気養生した場合に、十分な ASR 抑制効果がみられたのは、養生温度 60、養生時間 6 時間以上とした場合、またガラスパウダーを混和材として併用した場合であった。オートクレープ養生においては、十分な抑制効果を得ることはできなかった。一般的反応性骨材に対する促進養生の ASR 抑制効果を検討した結果、必ずしも初期養生を促進することが効果的とは言えず、抑制効果において、限られた養生条件が存在することが明らかとなった。しかし、本研究結果により、蒸気養生によって早期生成された C-S-H や一定量以上のガラスパウダーの混入によって起きたポゾラン反応によって形成された C-S-H は、アルカリを物理的、化学的に固定し、ASR 抑制に効果的であることは明白であると考えられる。

今後の課題としては、特に抑制効果が高かったガラスパウダーの ASR 抑制効果を詳細に検討することであると考ええる。

<参考文献>

[1] セメント協会: コンクリート技術者のためのセメント化学雑論, 1991