

1. 序論

鉄筋コンクリート構造物に様々の原因により生じたひび割れの補修には樹脂注入が適用される場合が多い。しかし、ASR によって生じたコンクリート内部のひび割れへの樹脂注入に関する研究があまり行われていない。近年問題視されている ASR 劣化において、ひび割れ補修に適用されることが多い樹脂注入による力学性能の変化を明らかにすることは重要である。また、劣化しひび割れが生じるまで数カ月から数年かかる ASR ひび割れを早期に再現できれば、今後の ASR 抑止に関する研究に役立つ。

本研究においては、ASR ひび割れが生じたコンクリートへの樹脂注入の有無による力学性能の変化を明らかにすることと、ASR ひび割れを短期間で再現することを目的としている。反応性骨材を用い、ASR 劣化供試体と静的破砕剤を添加し作製した膨張性模擬骨材を用い、模擬 ASR 供試体を作製した。各供試体について各種試験を行い、比較を行った。

2. 実験概要

2.1 研究の流れ

本研究の簡単な流れを図-1 に示す。

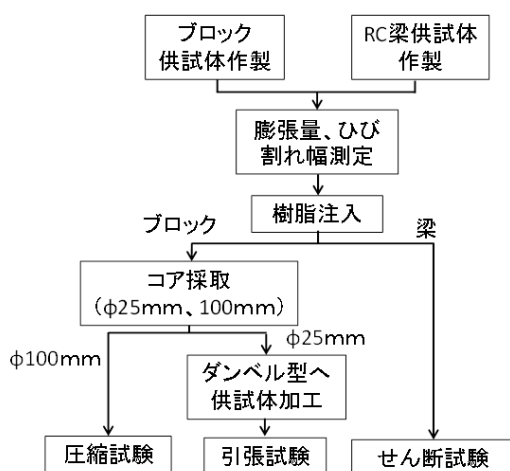


図-1 研究の流れ

2.2 供試体概要

ASR 劣化によるひび割れを導入するため、反応性骨材を用いた ASR 供試体を作製した。また、反応性骨材周りの生成物が吸水膨張することでひび割れが発生する ASR のメカニズムに近づけるため、静的破砕剤を添加して作製した膨張性模擬骨材を用い、模擬 ASR 供試体を作製した。写真-1、写真-2 に模擬骨材の作製様子と完成例を示す。なお、ASR、模擬 ASR 供試体の両方に関して、圧縮試験供試体採取用ブロック (150×200×400mm)、引張試験供試体採取用ブロック (150×200×250mm) を 2 体ずつ作製した。それに加え、ASR は梁供試体 (100×200×1100mm) を作製した。作製後、供試体を各条件で養生し、膨張量およびひび割れ幅の測定を行った。

既定の膨張量およびひび割れ幅に達したところで、樹脂注入を行った。

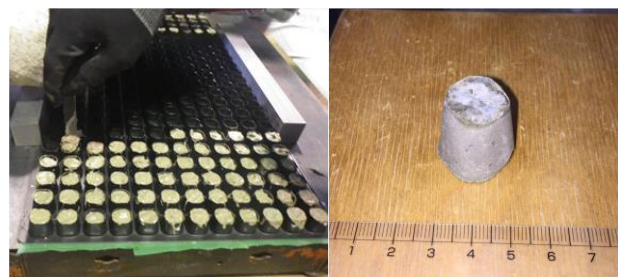


写真-1 打設様子 写真-2 模擬骨材一例

2.3 力学性能試験

ASR、模擬 ASR とともにブロック 1 体だけに樹脂注入を行い、そこから圧縮試験に用いるコア供試体 (Φ100×200mm) を採取し、圧縮試験にてひずみ、荷重を計測することで樹脂注入の有無でどのような力学性能の変化があるかを確認した。

引張試験も圧縮試験同様に樹脂注入あり、樹脂注入なしのブロックを用意し、引張試験用コア供試体

(Φ25×250mm) を採取した。採取したコア供試体を写真-3 に示すようにダンベル型供試体に後成形し、一軸引張試験を行った。引張強度と破壊挙動から樹脂注入の有無での引張性能の変化を確認する。



写真-3 ダンベル型供試体への後成形の例

ASR 梁供試体において、せん断試験を行った。樹脂注入あり、樹脂注入なしの供試体を各3体用意し、たわみ、荷重を計測することで、樹脂注入の有無によるせん断耐力の変化を確認した。せん断試験条件は、図-2 に示す通りである。

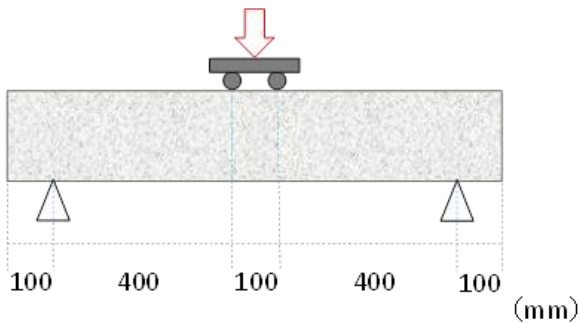


図-2 せん断試験条件

2.4 ASR 再現性の評価方法

模擬 ASR 供試体について、実際の ASR 劣化をどの程度再現できているかを定量的に示す方法はない。そこで、本研究では、「ひび割れ幅および膨張量」「樹脂注入による比較」「力学試験結果」「X 線 CT スキャン画像」の4項目について ASR 供試体と膨張性模擬骨材を用いた模擬 ASR 供試体を比較することで再現性についての評価を行うこととする。図-3

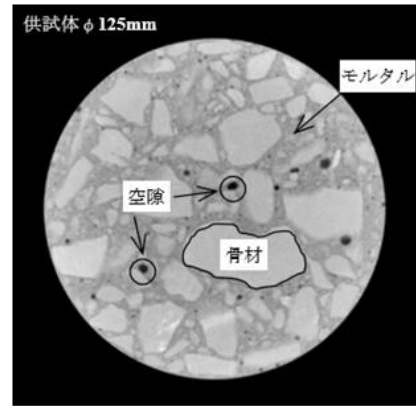


図-3 X線CTスキャンによる画像の例

連続性、ひび割れ分布状況を比較、評価する。X 線 CT 画像からひび割れ部、樹脂充填部、生成ゲル部が視覚化できれば、断面積当たりのひび割れ面積など、模擬 ASR による ASR 再現性の評価が可能となる。

3.実験結果

3.1 力学性能試験

圧縮試験の結果を図-4 に示す。また、圧縮強度の回復率を次のように定義して考察する。

$$\text{回復率} = \frac{\text{樹脂注入後の圧縮強度}}{\text{樹脂注入前の圧縮強度}} \times 100 (\%)$$

上式を用いて回復率を計算すると、ASR 供試体は102%、模擬 ASR 供試体は254%となった。回復率からもわかるように、ASR 供試体について注入後の圧縮強度は、僅かに大きな値を示したものの、樹脂注入前後で大きな違いは見られなかった。模擬 ASR 供試体は、回復率254%と樹脂注入による大きな補

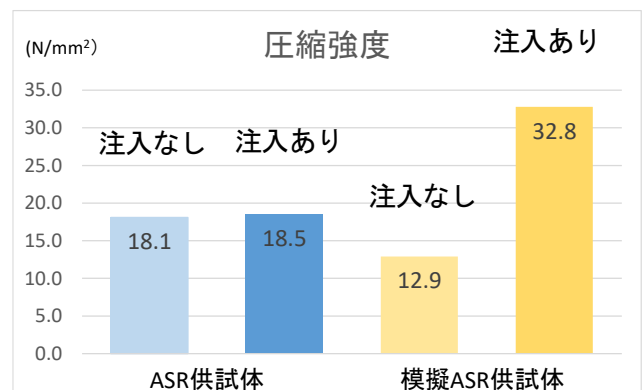


図-4 圧縮強度結果

修効果を示す結果が得られた。圧縮試験の樹脂注入による回復率から、模擬 ASR 供試体のようにひび割れが連続で樹脂が十分に充填されていれば、圧縮強度は回復することが分かった。

Φ25×250mm のコア採取できた場合のみ、ダンベル型供試体へと後成形を行い、引張試験を行った。引張試験についての結果を図-5 に示す。

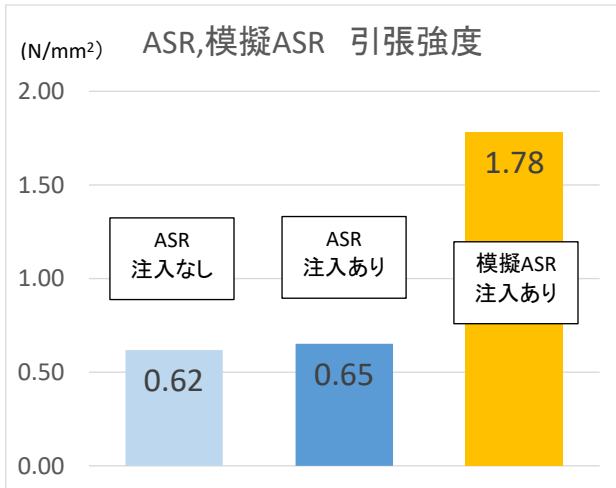


図-5 ASR、模擬 ASR 供試体 引張試験結果

圧縮試験同様、引張試験でも ASR 供試体はわずかに引張強度が回復した。一方、模擬 ASR では、注入なしの場合ではコア採取不能であったが、注入ありのブロックではコア採取可能で引張試験も問題なく行えるほどに強度回復が確認できた。引張試験結果より、ひび割れに樹脂が十分に充填されていれば、引張試験できない程劣化が進んだ供試体でも引

表-1 せん断試験結果

| 注入なし | 最大荷重(kN) | 平均(kN) |
|------|----------|--------|
| ①梁 2 | 70.0 | 67.3 |
| ②梁 3 | 72.1 | |
| ③梁 6 | 63.7 | |
| 注入あり | 最大荷重(kN) | 平均(kN) |
| ①梁 1 | 60.6 | 69.1 |
| ②梁 4 | 77.9 | |
| ③梁 5 | 68.9 | |

張試験可能となり、引張性能の回復が見られた。

ASR 供試体で行った梁のせん断試験の結果を表-1 に示す。表-1 からわかるように、僅かに最大荷重はあがったものの、注入あり、注入なしでせん断耐力、破壊挙動に大きな違いはなかった。

3.2 ASR ひび割れ再現結果

ASR と模擬 ASR 供試体の膨張量を比較したものを図-7 に示す。また、樹脂注入直前での各供試体のひび割れの状態を写真-4、写真-5 に示す。図-7 からわかるように ASR 供試体の膨張量は、促進材齢 80 日程度で、約 6000 μ に達した。一方、模擬 ASR 供試体は、促進材齢 20 日程度で 18000 μ と大きな膨張量を示し、それ以降あまり膨張傾向を示すことはなかった。模擬 ASR 供試体は、早期に大きな膨張挙動を示し、膨張量が ASR の約 3 倍の値となったことから、膨張量の観点から膨張性模擬骨材を用いた模擬 ASR 供試体は、ASR の再現性は低いと言える。また、写真-4、写真-5 からわかるように模擬 ASR ひび割れの方が ASR ひび割れに比べ、ひび割れ幅が大きく、最大ひび割れ幅は、模擬 ASR ひび割れが 1.10mm、ASR ひび割れが 0.60mm と 2 倍程度大きい結果となった。ひび割れ分布に関しては、ASR 特有の亀甲状のひび割れを再現できており、膨張性模擬骨材を用いた模擬 ASR 劣化が ASR のメカニズムをよく再現できていることがわかる。

樹脂注入に用いた樹脂は、紫外線を照射することで白く発光する。このことを利用し、コア供試体の撮影を行った。写真-6 に各供試体の紫外線照射写

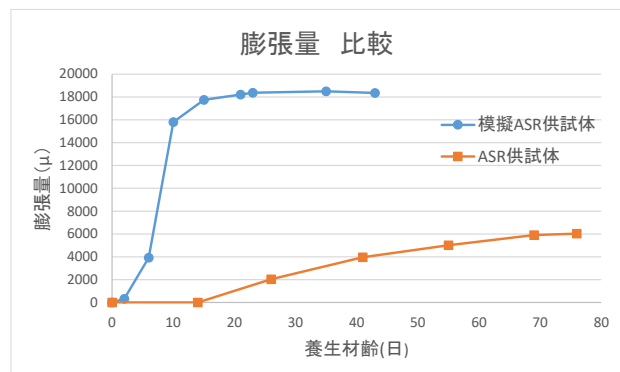


図-7 ASR、模擬 ASR 供試体膨張量 比較



写真-4 ASR 供試体ひび割れ様子

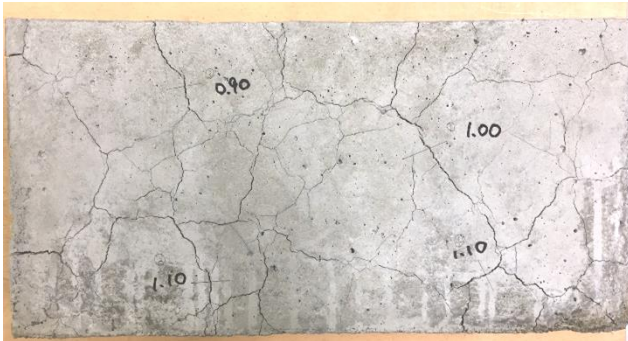


写真-5 模擬 ASR 供試体ひび割れ様子

真を示す。写真-6 からわかるように、ASR 供試体のコア供試体には、樹脂の発光部はほとんどなく、模擬 ASR 供試体は、亀甲状のひび割れに沿って白く発光していることが確認できた。これは、膨張量からもわかるように内部のひび割れ幅の違いにより生じた樹脂注入程度の違い、または、ASR による析出物がひび割れを塞いでいるからだと考えられる。

ASR、模擬 ASR 供試体の X 線 CT スキャン画像を図-8 に示す。図からもわかるように、模擬 ASR

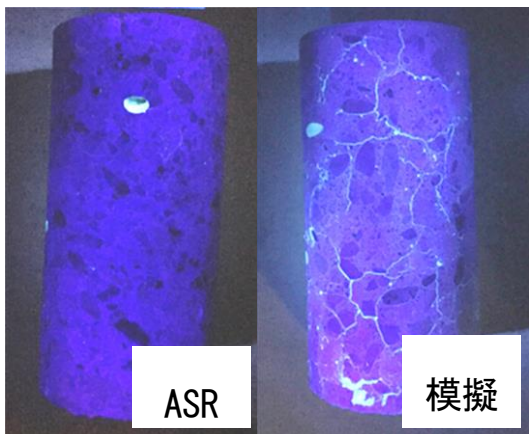


写真-6 コア供試体 紫外線照射

供試体の内部は ASR 供試体と比べ、連続的で大きなひび割れとなっている。

以上より、模擬 ASR による ASR の再現性は、あまり高い結果とは言えない。

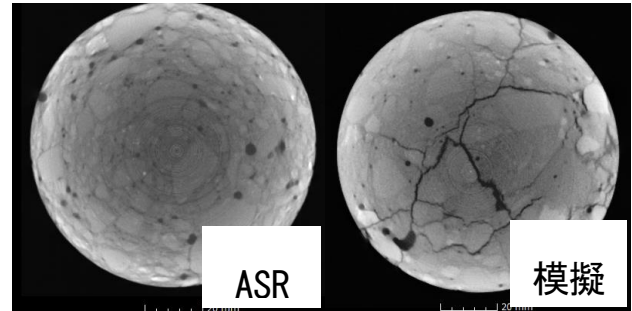


図-8 X線 CT スキャン画像による比較

4.結論

本研究で ASR および模擬 ASR 供試体について各種試験を行った結果を以下に示す。

1. 樹脂注入の有無での力学性能の変化について
 - 1) 圧縮試験、引張試験、せん断試験から ASR 供試体は、樹脂注入によって僅かに強度回復した。
 - 2) 圧縮試験において模擬 ASR 供試体は、回復率 254%と大きな補修効果が確認できた。
2. 模擬 ASR による ASR 再現について
 - 1) 膨張量について、ASR 供試体は促進養生 80 日程度で約 6000 μ の膨張量を示した。一方、模擬 ASR 供試体は、養生材齢 20 日程度で約 18000 μ の膨張量を示した。
 - 2) X 線 CT スキャン画像から、ASR 供試体の内部ひび割れに対して、模擬 ASR の内部ひび割れの方が大きいことが確認できた。
 - 3) 本研究の範囲では、膨張性模擬骨材を用いた模擬 ASR による ASR の供試体内部のひび割れ再現性は、高い結果とは言えなかった。

参考文献

- 1) 天明 敏行・伊藤 剛・濱崎 大志・尾原 祐三：X 線 CT 法を用いたコンクリートの材料構成定量化法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.2, 2008