

アルカリシリカ反応が生じたコンクリートのメゾスケールでのひび割れ進展と破壊力学特性の関係

市民工学専攻：塚原 宏樹

指導教員：三木 朋広

1. 研究背景と目的

ASRにより劣化した構造物の補修・補強対策の確立は急務であり、そのためにASR劣化したコンクリート(以下、ASRコンクリートと称す)の力学的特性に関するデータが必要であるが不足しているのが現状である。ASRによるひび割れ(以下、ASRひび割れと称す)が破壊現象に与える影響について検討するため、本研究では、ASRコンクリートの引張軟化挙動を実験的に評価することを試みた。供試体全体をマクロスケール、リガメント部分のみに着目した場合をメゾスケールの検討として定義し、実験ではデジタルカメラを用いて撮影した画像を画像解析することによってひずみ分布を算出し、ASRひび割れとASRコンクリートの破壊挙動との関係について調べた。また、ASRコンクリートの引張軟化特性を実験的に求めた。

2. 実験概要

本研究では、ASRコンクリートはりと健全コンクリートはりを対象として、切欠きを有するはりの3点曲げ試験を行った。使用した供試体は、図-1に示すような断面が100mm×100mmで長さが840mm、切欠き高さが50mmのコンクリートはりであり、スパン長を800mmとした。ASRコンクリートはりは、曝露期間が約3年のものをASR3-1~3-10、約5年のものをASR5-1~5-3、健全コンクリートはりをN-1~3とした。

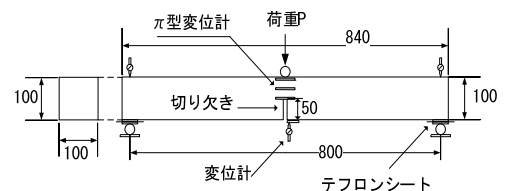


図-1 供試体ならびに荷重状況

測定項目は荷重、中央たわみ、ひび割れ開口変位(切欠き先端(CTOD)、リガメント部2カ所)、ひび割れ肩口開口変位(CMOD)、画像解析用デジタル画像とした。なお、引張軟化曲線は拡張J積分法で求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 破壊エネルギー

図-2に各供試体の破壊エネルギーをそれぞれ示す。破壊エネルギー G_F (N/mm)は式(1)に従って求めた。

$$G_F = (W_0 + mg\delta_0) / A_{lig} \quad (1)$$

ここで、 W_0 ：実測された荷重-変位曲線下の面積(N・mm)、 mg ：供試体重量(N)、 δ_0 ：破断時の変位(mm)、 A_{lig} ：リガメント部の面積(mm²)である。

図-2をみると、ASR供試体は健全供試体に比べ、破壊エネルギー G_F が大きくなる傾向がみられる。また、標準偏差はASR3-シリーズでは0.0612、ASR5-シリーズでは0.0267、N-シリーズは0.0066であった。このことからASR供試体は健全供試体に比べ、各供試体のばらつきが大きいことがわかる。この要因として供試体表面に生じているASRひび割れの影響が考えられ、次節にて画像解析の結果とともに検討する。

3.2 最大主ひずみ分布

図-3、図-4、図-5、図-6にN-1、ASR3-3、ASR3-1、ASR3-2の画像解析の結果から得られた最大主ひずみ分布を示す。画像の撮影にはデジタルカメラを用いており、赤枠内の領域を解析の対象としている。各画像にはその画像を撮影した際の仮想ひび割れ幅 w の値を示してあり、この w は図中の引張軟化曲線における w と対応している。

図-3、図-4より、健全供試体とASR供試体を比べると、N-1では鉛直方向へとひずみが増加している一方、ASR3-3

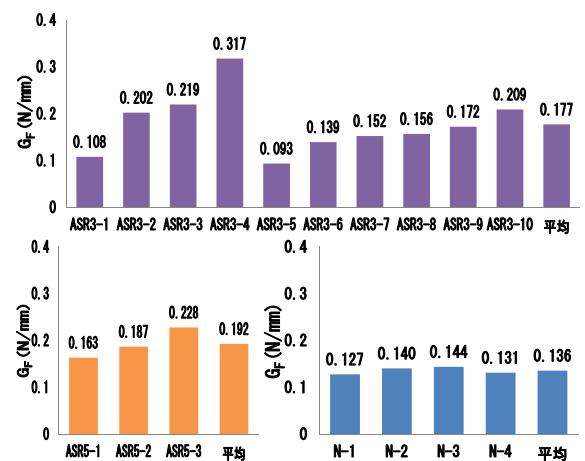


図-2 各供試体の破壊エネルギー

ではひずみの大きい領域が湾曲しながら上方へと拡大している。つまり、荷重によるひび割れの進展に違いがあり、破断面の面積が異なることが考えられる。しかし、式(1)ではリガメント部の面積 A_{lig} は全供試体で一定値と仮定しているため、ASR 供試体では算出された破壊エネルギーが健全供試体と比較して総じて大きな値を示したものとする。

著者²⁾らの研究では、ASR 供試体ではリガメント部に生じている ASR ひび割れの状態の違いによって破壊挙動が異なることが確認されている。そこで、リガメント部に生じている ASR ひび割れの状態を以下のように分類し、本稿では(2)について考察を行った。

- (1) 切欠き先端から ASR ひび割れが生じている場合
- (2) 切欠き先端から ASR ひび割れが複数本生じている場合
- (3) 切欠き先端から離れた位置に ASR ひび割れが生じている場合

ASR ひび割れの先端と切欠きとのなす角度をひび割れ角度として定義し、45° (ASR3-1)、60° (ASR3-3)、90° (ASR3-2)と分類し、比較、検討をした。

図-4 と図-5 をみると、どちらも ASR ひび割れに沿ってひずみが増加しているのが確認できる。また、図-4 に示す ASR3-3 の引張軟化曲線を見ると、 $w=0.1\text{mm}$ を境に結合応力が低下しており、ひずみ分布をみても $w=0.1\text{mm}$ を境にひずみが増加しているのが確認できる。一方、図-5 に示す ASR3-1 の結果では結合応力は軟化初期の段階で低下しており、ひずみ分布でも $w<0.1\text{mm}$ の範囲でひずみが増加している。また、破壊エネルギーをみると、ひび割れ角度の小さい ASR3-1 の方が小さな値を示している。このことからひび割れ角度が小さく、より鉛直方向に近い ASR ひび割れが生じている供試体は、荷重によるひび割れの進展にその影響を受けやすいものとする。

図-6 をみると、ASR3-2 は前述の 2 体と異なり、ASR ひび割れにほとんど沿うことなく、ほぼ鉛直方向にひずみが増加しているため、破壊エネルギーは ASR3-3 よりも小さい値となった。つまり、より水平に近い ASR ひび割れは、荷重によるひび割れの進展に影響を及ぼしにくいものとする。

4. まとめ

ASR コンクリートの引張軟化曲線を求め、画像解析を用いて、ひび割れ進展挙動を評価した。ASR ひび割れが荷重時に発生・進展するひび割れに与える影響を明らかにするとともに、ASR ひび割れを有するコンクリートの引張軟化挙動を実験的に評価することができた。

参考文献

- 1) 松谷幸一郎, 宮川侑大, 三木朋広: アルカリシリカ反応によりひび割れが生じたコンクリートの引張軟化挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.91-96, 2013.7
- 2) 塚原宏樹, 三木朋広: ASR により微細ひび割れが生じたコンクリートの引張軟化特性に関する実験的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文集, Vol.15, pp523-528, 2015

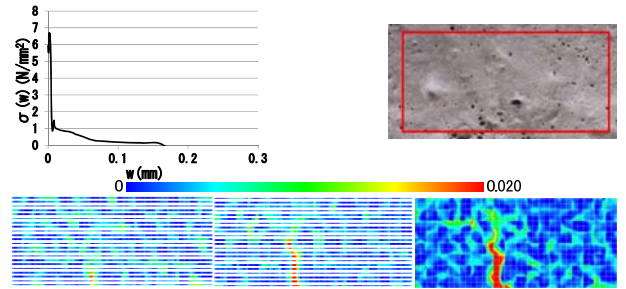


図-3 最大主ひずみ分布 (N-1)

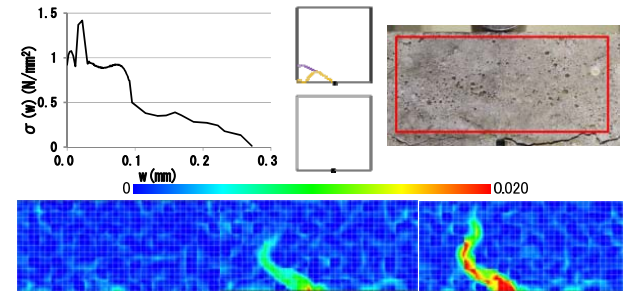


図-4 最大主ひずみ分布 (ASR3-3)

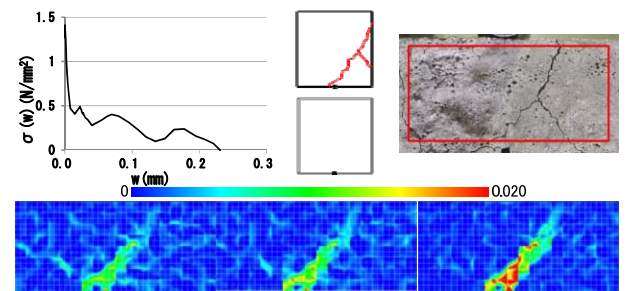


図-5 最大主ひずみ分布 (ASR3-1)

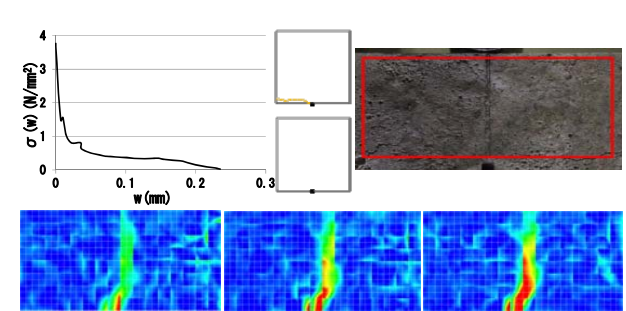


図-6 最大主ひずみ分布 (ASR3-2)