

神戸大学 学生会員 ○松谷幸一郎
神戸大学大学院 正会員 三木 朋広

1. はじめに

アルカリシリカ反応（ASR）は、骨材中の鉱物とセメント中のアルカリ成分が反応し、骨材周辺にゲルが生じる現象である。このゲルによって、コンクリートが体積膨張し、コンクリートにひび割れが生じる場合がある。ASR の膨張が生じたコンクリートは健全なコンクリートと比較して、静弾性係数の低下など、力学特性の変化が知られている¹⁾。また、ASR に起因するひび割れが荷重により生じるひび割れに影響するため、その基礎的データが必要である。そこで本研究では、ASR によってひび割れが生じた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る。実験では、画像解析によってひずみ分布を算出し、ASR ひび割れと破壊挙動との関係について明らかにし、ASR コンクリートの引張軟化特性を検討した。なお、引張軟化曲線は、二羽ら²⁾が提案した拡張 J 積分法で求めた。

2. 実験概要

本研究で使用した供試体は、断面が 100mm×100mm で長さが 840mm、切欠き長さが 50mm の ASR コンクリートはりであり、スパン長を 800mm として 3 点曲げ試験を行った。また、試験後の供試体を加工し、約 20mm の切欠きを有する ASR コンクリートはりを作成し、スパン長を 360mm として 3 点曲げ試験を行った（図-1）。測定項目は荷重、中央たわみ、ひび割れ開口変位、画像解析用デジタル画像とした。また、供試体を切り欠きの位置によって次の 3 つに分類した。つまり、①切欠き部における ASR ひび割れの有無、②リガメント部における ASR ひび割れの有無、③リガメント部の ASR ひび割れの切欠きに対する方向（鉛直・水平）である。表-1 に供試体シリーズ、図-2 に各供試体の ASR ひび割れ状況を示す。本稿では、スパン長 800mm の供試体について考察していく。

3. 画像解析

本研究では、デジタル画像相関法を用いて、コンクリートの表面ひずみ分布を計測した。この手法では、載荷前後の供試体対象面をデジタルカメラで撮影し、それぞれ最も類似した（相関の高い）領域を検出し、その領域の代表点を有限要素の節点とすることで、その移動量から領域内のひずみ分布を内挿することで求めることができる。本研究では、ひび割れ進展挙動を評価するために、各荷重レベルの最大主ひずみについて見ていく。

4. 実験結果と考察

ASR ひび割れの状況を図-2 に示す。また、スパン長 800mm の引張軟化曲線と得られた破壊エネルギーを図-3 と表-1 にそれぞれ示す。以降では、次の 3 つの観点について考察していく。

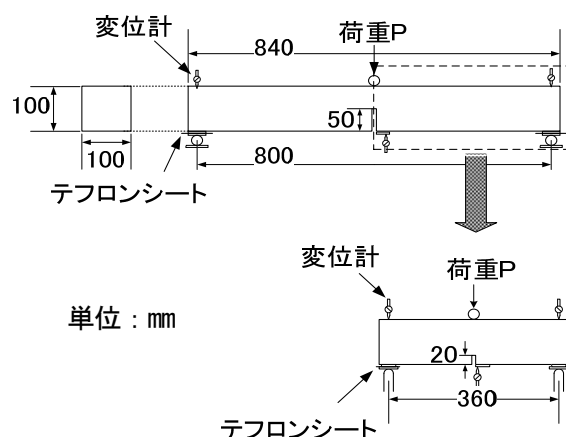


図-1 載荷試験状況

表-1 供試体シリーズ

供試体 No	スパン長	①	②	③
供試体 1	800 mm	×	○	鉛直
供試体 2	800 mm	×	○	両方
供試体 3	800 mm	×	×	×

供試体 1
(鉛直ひび割れ)



供試体 2
(両方向ひび割れ)



供試体 3
(ひび割れなし)



図-2 ASR ひび割れ状況

4.1 健全コンクリートと ASR コンクリートの違い

図-3 より、健全コンクリートと ASR コンクリートでは引張軟化曲線の初期応力が明らかに異なっていることがわかる。しかし、表-1 を見ると、破壊エネルギーは健全コンクリートと ASR コンクリートは同程度の値を示している。これは、引張軟化応力が 0 となるときの仮想ひび割れ幅が、健全コンクリートより ASR コンクリートの方が大きくなるためである。

4.2 リガメント部に鉛直 ASR ひび割れ有（供試体 1）と ASR ひび割れ無（供試体 3）の違い

図-3 を見ると、供試体 1 と 3 では、引張軟化曲線の初期応力が明らかに異なっているものの、破壊エネルギー G_F は近い値を示していることがわかる。ここで、 G_F は式(1)のように求めた。

$$G_F = (W_0 + mg \cdot \delta_{\max}) / A_{\text{lig}} \quad (1)$$

ただし、 W_0 ：荷重変位曲線下の面積 (N/mm) mg ：供試体重量

(N) $\delta_{\max}$ ：最大変位 (mm) A_{lig} ：リガメント部の断面積 (mm²)

鉛直方向の ASR ひび割れが生じている供試体 1 では、実際はリガメント部の面積が小さくなっていることが考えられるが、破壊エネルギーの算出の際にはリガメント部の面積 A_{lig} は各供試体で一定 (500 mm²) と仮定しているために、式(1)にて算出された破壊エネルギーが大きくなったものとする。

4.3 リガメント部に両方向 ASR ひび割れ有（供試体 2）と ASR ひび割れ無（供試体 3）の違い

供試体 2 と 3 では、引張軟化曲線の初期応力は同じであるが、0.02mm 以降の挙動が異なっていることがわかる。荷重-変位曲線のピーク以降の挙動も同様に異なっている（図-4）。また、図-5 より、供試体 3 では鉛直方向にひび割れが進展しているが、供試体 2 では鉛直方向 ASR ひび割れに沿って、荷重によるひび割れが進展しているとともに、水平方向の ASR ひび割れも開口していることが分かる。これより、水平方向の ASR ひび割れが鉛直方向のひび割れ進展を妨げるため、引張軟化曲線の 0.02mm 以降の挙動が異なったものとする。

5. まとめ

ASR コンクリートの引張軟化曲線と破壊エネルギーを求めた。画像解析を用いて、ひび割れ進展挙動を評価した。ASR ひび割れが載荷時に発生・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) 久保善司, 上田隆雄, 黒田保, 野村倫一; アルカリ骨材反応による膨張がコンクリートの力学的性能に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1691-1696, 2006
- 2) 二羽淳一郎, Taweechai SUMRANWANICH, 松尾豊史: コンクリートの引張軟化曲線決定に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.666/V-41, pp.75-88, 1998.11

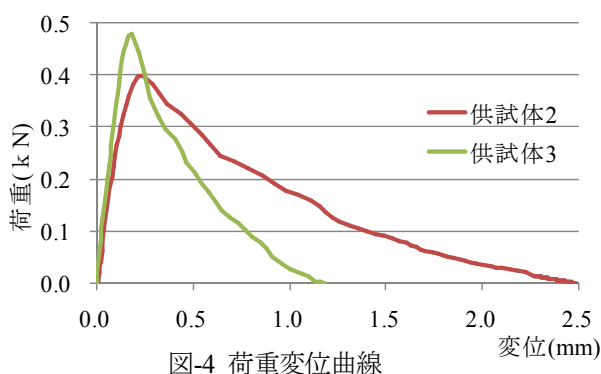


図-4 荷重変位曲線

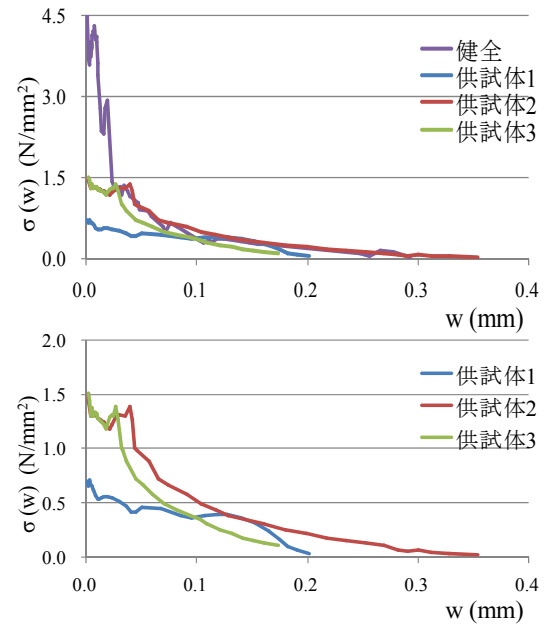


図-3 引張軟化曲線(800mm)

表-2 破壊エネルギー G_F

供試体 No.	G_F (N/mm)
供試体 1	0.088
供試体 2	0.163
供試体 3	0.090
健全	0.104

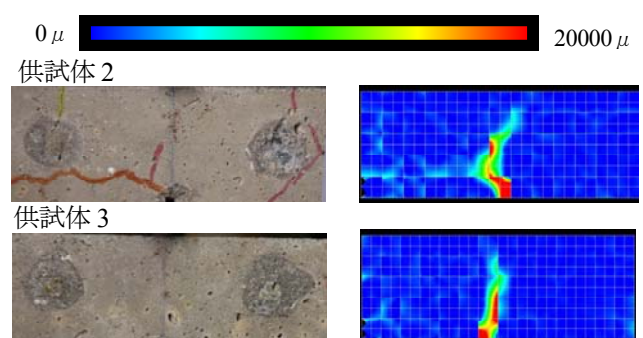


図-5 ひずみ分布