

# ASR 環境下における短繊維補強コンクリートの力学特性

Mechanical properties of short fiber reinforced concrete under ASR environment

北海道大学大学院工学院 学生会員 ○東河 竜平  
北海道大学大学院工学研究院 フェロー 横田 弘

## 1. はじめに

コンクリート構造物を劣化させる要因の一つとしてアルカリシリカ反応（以下、ASR）がある。我が国では 1980 年代に ASR の問題が深刻化したことを機に研究が進められ、その予防対策が確立された。現在行われている予防対策として、コンクリート中のアルカリ総量を  $3\text{kg/m}^3$  以下にする、抑制効果のある混和材（フライアッシュや高炉スラグ微粉末）を使用する、試験により無害と判定された骨材を使用することの3つが示されている<sup>1)</sup>。

しかし近年になり、これらの対策を講じて建設された構造物においても、ASR による劣化や構造物の損傷が報告されている。このように、構造物に発生する ASR の膨張については未解明な部分が多く、さらなるメカニズムの解明や対策方法の確立が急務となっている。

また、コンクリートのひび割れ進行を制御するのに効果的な方法として、短繊維による補強がある。短繊維補強コンクリートには、一般的に鋼繊維が用いられることが多いが、近年では軽量で耐食性に優れた有機繊維が用いられるようになった。しかし、ASR 環境下における短繊維補強コンクリートの膨張挙動および力学特性について検討された事例は少ない。

そこで本研究では、鋼繊維、PVA 繊維および PET 繊維を混入させたコンクリート供試体を NaOH 浸漬試験に供し、膨張率抑制効果の比較を行った。さらに曲げ試験を行い、力学特性を比較した。また ASR 膨張抑制効果があるとされているフライアッシュを混入したコンクリート供試体も作製し、比較した。

## 2. 実験概要

作製したコンクリートの配合は W/C を 0.50、S/C を 2.71 とし、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材として川砂を、粗骨材は反応性骨材である砕石と非反応性骨材である川砂利を混合して用いた。反応性骨材と非反応性骨材の比であるペシマム比は 6 : 4 とした。混入する繊維には、図-1 に示すような超高強度鋼繊維（UHSF）、PET 繊維、PVA 繊維の3種類を用いた。これら3種類の繊維の物性値を表-1 に示す。繊維の混入量は3種類とも外割りの体積比で 1% とした。また、フライアッシュはセメントに対する質量置換率を 16% とした。供試体の寸法は  $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$  とし、各種 5 本ずつ合計 25 本作製した。打込み終了後、乾燥を防ぐために湿った布で型枠ごと覆い、24 時間後に脱型した。各供試体には膨張率計測のためのコンタクトチップを供試体 1 本につき 3 つ

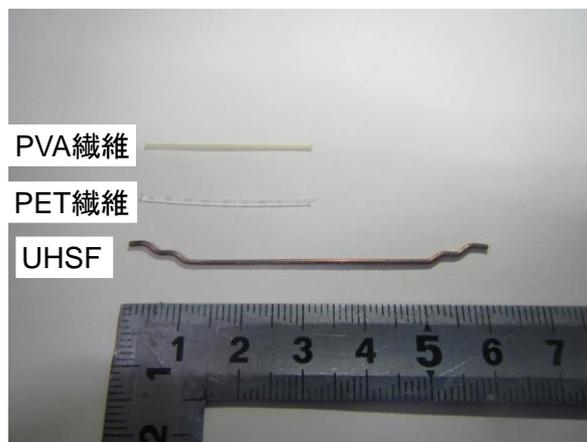


図-1 3種類の繊維

表-1 繊維の物性値

	UHSF	PVA繊維	PET繊維
直径 (mm)	0.5	0.66	0.7
繊維長 (mm)	60	30	30
引張強度 (MPa)	2300	900	450
弾性率 (GPa)	210	23	20

基長 10 cm 間隔で取り付けられた。その後、供試体を  $80^\circ\text{C}$  の水中で 24 時間養生を行った。

養生終了後、初期長さを計測した後に、各供試体を同温度の NaOH 水溶液（濃度  $1 \text{ mol/L}$ ）に浸漬し、所定日数経過毎に膨張率の測定を行った。そして、60 日間浸漬を行った後、曲げ強度試験（JIS A 1106）を行った。

## 3. 試験結果とその考察

### 3.1 膨張率

60 日間の膨張率の推移を図-2 に示す。プレーンのコンクリート供試体（PC）は、最も高い膨張率を示したが、特に 50 日を過ぎたあたりから急激に膨張を始めており、浸漬を終了させた供試体の表面には亀甲状のひび割れが見られた。本研究では 60 日間と短い浸漬期間であったが、浸漬を 60 日以降も継続して行った場合においても PC が最も高い膨張率を示すと考えられる。次にフライアッシュ混入供試体（FA）は、24 日経過後から、膨張が抑制されており、膨張抑制のための混和材としての効果が再確認された。これは、フライアッシュによるポゾラン反応により

キーワード アルカリシリカ反応、短繊維補強コンクリート、有機繊維、鋼繊維、膨張率  
連絡先 札幌市北区北 12 条西 3 丁目 1-6-427 電話番号 080-9386-6335

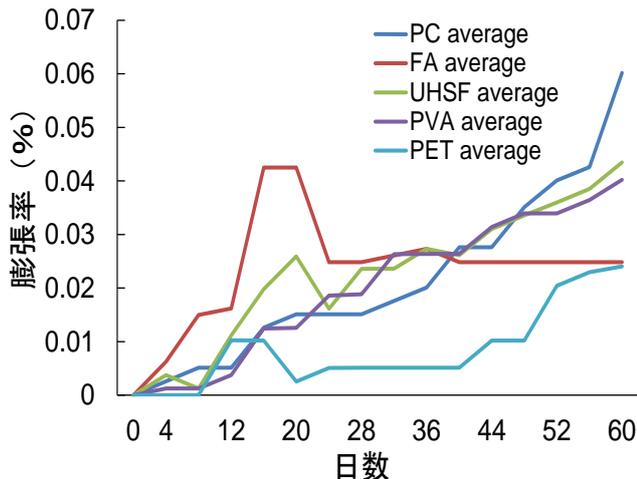


図-2 供試体の膨張率（平均値）の推移

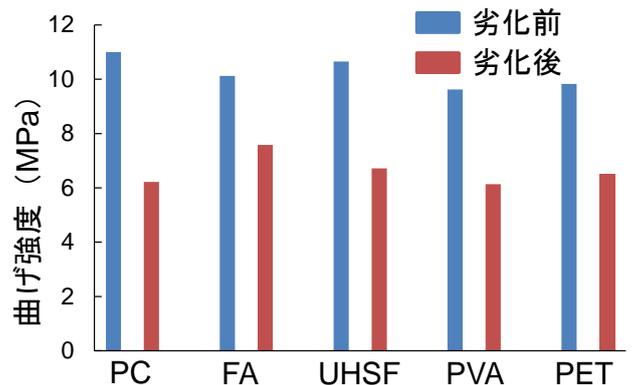


図-3 曲げ強度

内部液相の pH が下がり、ASR の反応性が抑制されたためであると考えられる<sup>2)</sup>。一方、FA は、養生早期に膨張を起こしている。この理由としては、ポゾラン反応の開始時期が 28 日前後であり早期の段階では抑制効果が十分ではなかったことや、フライアッシュ置換によるセメント中の C<sub>3</sub>S の水和が促進され、内部液相の pH が早期に上昇したことなどが考えられる<sup>3)</sup>。繊維補強コンクリートでは、PET が最も低い膨張率で推移し、PVA と UHSF は同様の膨張推移率の推移となった。いずれの供試体においても、PC と比較して ASR による膨張を抑制しており、短繊維補強による ASR の抑制効果があったと考えられる。しかし FA に比べて、膨張抑制効果は暴露 60 日までは高くなかった。PET が PVA および UHSF に比べ高い膨張抑制効果を発揮した要因として、PET は付着強度を高めるために表面に凹凸加工がされており、これが膨張圧に対して抵抗力を発揮したことが考えられる。UHSFRC に関しては繊維の引張強度が高く、優れた膨張抑制効果が発生すると思われたが、今回の実験では繊維の混入率を体積比で 1%としたため、分散性が悪くなり、供試体中の繊維分布に偏りが生じ、今回のような結果になったと考えられる。また PVA 繊維のようにセメントマトリクスと化学的な付着の強い繊維の場合、ASR 環境下という特殊な環境下においては付着強度があまり高まらず、今回のような結果となったと思われる。

### 3.2 曲げ強度

3 点曲げ戴荷試験により得られた各供試体での ASR による劣化前（浸漬開始時）および劣化後（浸漬 60 日終了後）の曲げ強度を図-3 に示す。劣化後の曲げ強度について比較すると、FA が最も高い強度を発現している。これは FA では ASR による劣化があまり進まなかったためであると考えられる。また、最も高い膨張率となった PC については、強度低下が一番進んでおり、劣化後には劣化前に比べ 44%ほど強度が低下した。繊維を混入させたものに関しては、劣化後に最も高い強度を発現しているのは、

UHSF となった。これは、UHSF の繊維長が一番長く、戴荷時において、繊維とセメントマトリクス間の摩擦力が大きくなり、繊維の引抜け抵抗力が増したためと思われる。しかし、強度低下率という観点からみると PET が 33%と最も小さくなった。このことの原因として、PET は浸漬後 40 日までは高い膨張抑制効果を維持していることから、UHSF や PVA と比較して内部のひび割れが進行していなかったことが考えられる。また、全体を通じて膨張率が大きくなるにつれ、強度低下が進む傾向が見られた。

### 4. まとめ

60 日間の暴露試験の範囲において、本研究で得られた主要な結論は次のとおりである。

- 1) 短繊維の混入は無混和のものに比べ ASR に対する膨張抑制効果および劣化後の強度低下の進行を抑制する。しかしその効果は、FA ほど高くなかった。
- 2) 短繊維の膨張抑制効果は繊維表面の形状および繊維長に依存する。
- 3) 繊維の種類に関わらず、ASR による膨張率が大きくなるにつれ、曲げ強度の低下が進行する。

今後は浸漬期間をさらに伸ばした場合の長期的な反応性について、また繊維の混入条件および種類、形状についての検討を続ける予定である。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：アルカリ骨材反応抑制対策について、[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/130801/130801\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha02/13/130801/130801_1.pdf)
- 2) 鳥居和之・山田一夫：コンクリート診断，ASR の的確な診断/抑制対策/岩石的評価，森北出版株式会社，2017。
- 3) 川端雄一郎・松下博通：アルカリシリカ反応抑制の観点からのフライアッシュの品質評価に関する研究，土木学会論文集，E，63 (3)，379-395，2007