

## 外来アルカリにより ASR 膨張したモルタルの力学特性

太平洋セメント（株） 正会員 ○黒野 承太郎 正会員 安田 瑛紀 正会員 河野 克哉  
神戸大学 正会員 三木 朋広

### 1. はじめに

本研究では、外来アルカリによるアルカリシリカ反応 (ASR) がモルタルの力学特性に与える影響を検討するため、膨張量ならびに内部拘束の有無をパラメータとした切欠きはりの曲げ試験を実施した。

### 2. 試験概要

#### 2. 1 使用材料ならびに配合

細骨材 (S) として化学法により無害でないとは判定された反応性骨材 (安山岩砕砂, 表乾密度  $2.58 \text{ g/cm}^3$ ,  $Sc=569 \text{ mmol/L}$ ,  $Rc=150 \text{ mmol/L}$ ) を, 結合材 (B) として普通ポルトランドセメント (C, 密度  $3.16 \text{ g/cm}^3$ , 比表面積  $3100 \text{ cm}^2/\text{g}$ ), フライアッシュ (FA, 密度  $2.19 \text{ g/cm}^3$ , 比表面積  $3490 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) および高炉スラグ微粉末 (BS, 密度  $2.91 \text{ g/cm}^3$ , 比表面積  $4210 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) を用意した。モルタルの配合は JIS A 1146 を参考に,  $W : B : S = 0.5 : 1 : 2.25$  とし, ASR 膨張量を変化させる目的で B の種類が異なる 3 配合を用意した。C のみを使用した配合として OPC を, C に対して FA を 15% 置換した配合として FA-15 を, C に対して BS を 45% 置換した配合として BS-45 をそれぞれ用意した。配合を表-1 に示す。なお, 既往の検討を参考に, 反応性骨材は ASR 膨張量が最も大きくなる粒度になるよう, 粒径を  $0.15\text{-}0.30 \text{ mm}$  の範囲内に調整した。

#### 2. 2 試験項目ならびに試験方法

外来アルカリ環境下における評価法としてデンマーク法による反応促進試験を行った。供試体は所定の型枠に打込み, 材齢 28 日まで型枠内で封緘養生 ( $20^\circ\text{C}$ ) した後に脱型した。脱型後は飽和 NaCl 水溶液 ( $50^\circ\text{C}$ ) に浸漬し, アルカリを供試体に供給した。圧縮強度試験ならびに切欠きはりの曲げ試験は, 促進開始時点なら

びに促進期間 8 週時点で実施した。膨張量の測定は, 促進期間 21 週まで実施した。

圧縮強度と膨張量の測定には寸法  $\phi 50 \times 100 \text{ mm}$  の供試体を使用した。膨張量の測定では, 脱型直後にプラグ付ステンレス製バンドを取り付けて, コンタクトゲージ法 (JCI-S-001) により長さ変化率を測定した。また, 基長は促進開始直前に測定した。

切欠きはりの曲げ試験では, 拘束の有無が異なる寸法  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  の供試体を用いて, 破壊エネルギーならびにひび割れ発生強度を測定した。供試体の切欠きは載荷直前に導入した。試験の概要図を図-1 ならびに図-2 に示す。拘束がある供試体は, 供試体断面中央に  $\phi 3 \text{ mm}$  のねじ切り加工済のステンレス鋼棒を, 供試体端部にステンレス拘束板をそれぞれ設置した。破壊エネルギーの測定は, JCI-S-001-2003 を参考に, 拘束がない供試体に対する切欠きはりの曲げ試験より得られた荷重-開口変位曲線から算出した。なお, 破断による急激な破壊を防止する目的で, 最大荷重以降は繰返し載荷を行った。ひび割れ発生強度は, 切欠きはりの曲げ試験中の切欠き先端をマイクロスコープにより観察し, ひび割れを確認した時点での荷重から算出した。

### 3. 試験結果

促進期間 0 週, 8 週における試験結果を表-2 に示す。

#### 3. 1 膨張量

ひずみの測定結果を図-3 に示す。ひずみの値は膨張

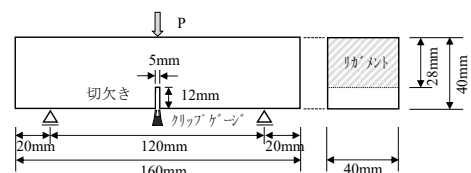


図-1 切欠きはりの曲げ試験の概要 (拘束無し)

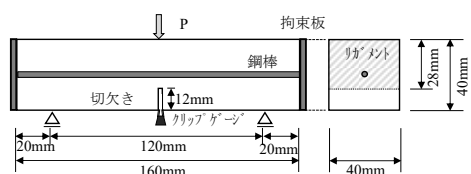


図-2 切欠きはりの曲げ試験の概要 (拘束有り)

表-1 配合表

配合名	細骨材の種類	C:FA:BS (質量%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
			W	B	S
OPC	反応性骨材 (安山岩)	100: 0: 0	290	580	1304
FA-15		85:15: 0	286	486	1287
BS-45		55: 0:45	288	316	1294

キーワード アルカリシリカ反応, デンマーク法, 外来アルカリ, 拘束, 破壊エネルギー, ひび割れ発生荷重  
連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント (株) 中央研究所 TEL 043-498-3893

表-2 試験結果（促進期間0週，8週）

配合名	圧縮強度試験		切欠きはりの曲げ試験				
	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )		拘束	$G_f$ (N/m)		$f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	促進0週	8週		0週	8週	0週	8週
OPC	43.6	17.9	無し	53.3	65.5	1.6	1.6
			有り	—	—	1.3	4.4
FA-15	59.6	58.0	無し	52.3	59.0	1.7	2.8
			有り	—	—	1.2	2.1
BS-45	46.7	44.7	無し	53.8	59.1	1.6	1.8
			有り	—	—	0.9	1.4

$f'_c$ :圧縮強度,  $G_f$ :破壊エネルギー,  $f_{cr}$ :ひび割れ発生強度

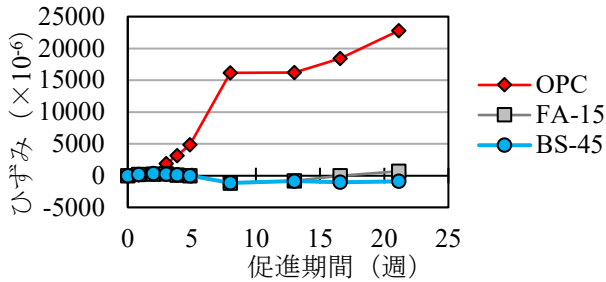


図-3 ひずみと促進期間の関係

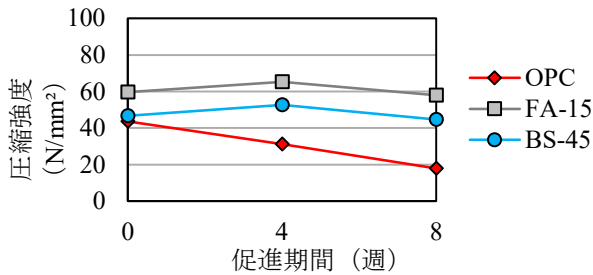


図-4 圧縮強度と促進期間の関係

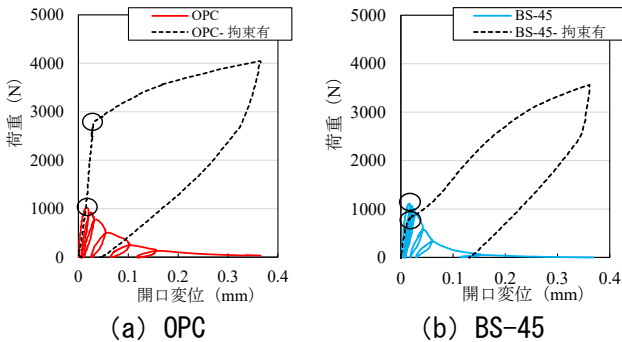


図-5 促進期間8週の荷重-開口変位の関係

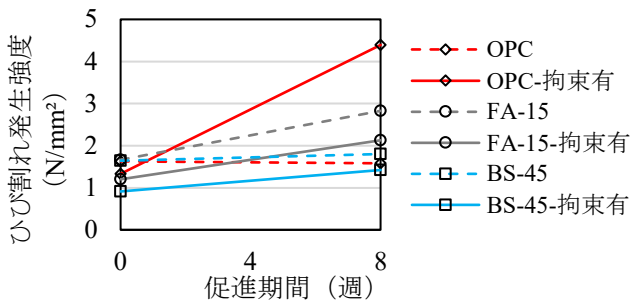


図-6 ひび割れ発生強度と促進期間の関係

を正 (+), 収縮を負 (-) として示す。促進期間8週におけるひずみは, OPCでは約  $16000 \times 10^{-6}$  の大きな膨張を示したものの, 混和材を使用した配合では, 約  $1200$

$\times 10^{-6}$  の収縮を生じた。このように, 混和材として FA ならびに BS を使用することで, 膨張が抑制された。ただし, FA-15 は促進期間8週までは収縮していたものの, 以降は膨張に転じ, 促進期間17週時点で表面ひび割れの発生を確認した。BS-45では膨張は確認されず, BS-45はFA-15よりも膨張の抑制効果が高いといえる。

### 3. 2 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を図-4に示す。OPCは, 促進期間0週から8週にかけて圧縮強度が59%低下しており, ASRによる圧縮強度の低下を確認した。一方, 混和材としてFAならびにBSを使用した場合は促進期間8週における圧縮強度の低下が極めて小さいことがわかる。

### 3. 3 切欠きはりの曲げ試験

破壊エネルギーの測定結果を表-2に示す。促進期間0週と比較して, 促進期間8週の破壊エネルギーは, OPCで23%増加した。ここで, 促進期間8週におけるOPCの供試体表面にASR膨張によるひび割れの発生を確認している。これらのひび割れによって, 切欠きの先端以外においてもエネルギーが消費され, ASR膨張により圧縮強度が著しく低下したにもかかわらず, 破壊エネルギーは増加したものと考えられる。

つづいて, 膨張が顕著であったOPCならびに膨張抑制効果が高かったBS-45について, 促進期間8週における荷重-開口変位の関係を図-5に, ひび割れ発生強度と促進期間の関係を図-6に示す。図-5中の○印はひび割れ発生荷重を示す。図-5(a)によると, 拘束条件におけるOPCのひび割れ発生強度は向上した。一方, 図-5(b)によると, BSを混和材として使用した場合は, 拘束下でのひび割れ発生強度の向上は確認されなかった。これは, OPCではASRによる膨張を鋼棒ならびに両端板が拘束したことで, その反力として生じた拘束応力がひび割れ発生強度を増加させたものと考えられる。

### 4. まとめ

本研究では, 外来アルカリによりASR膨張を促進させたモルタルの力学特性を検討した。その結果, 無拘束下でASRにより膨張したモルタルは膨張前と比較して圧縮強度が59%低下すること, ASRによる膨張が拘束された場合にはひび割れ発生強度が増加することを確認した。

#### 【参考文献】

- 1) 林建佑, 河野克哉, 山田一夫: 反応性骨材の粒径とASR膨張の関係, セメント技術大会要旨, 2009