

## フライアッシュモルタルの耐酸性について

## Study on Acid Resistance of FlyAsh Mortar

北電総合設計(株) ○正 員 齋藤敏樹 (Toshiki Saito)  
 北海道電力(株) 正 員 山城洋一 (Yoichi Yamashiro)  
 北電興業(株) 正 員 坂本久宣 (Hisanobu Sakamoto)  
 北電総合設計(株) 森大祐 (Daisuke Mori)

## 1. はじめに

近年、バンカーサイロ等の酪農施設において、各種有機酸によるコンクリートの劣化が報告され、プレキャスト製品工場ではコンクリートの耐酸性向上が課題となっている。これは、牧草などの貯蔵における発酵作用により有機酸が生成されたり、発酵飼料の製造にギ酸を使用する影響と考えらる。

そこで本研究では、ギ酸、乳酸および硫酸を用いてフライアッシュモルタルの有機酸に対する抵抗性について室内促進試験により確認した。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および実験ケース

本実験で使用した材料を表-1に、実験ケースを表-2に

表-1 使用材料

種類	諸元
セメント	OPC 普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup> 、比表面積:3260cm <sup>2</sup> /g
	BB 高炉セメントB種 密度:3.05g/cm <sup>3</sup> 、比表面積:3800cm <sup>2</sup> /g
フライアッシュ	FA JIS II種灰 強熱減量:1.8%、SiO <sub>2</sub> :65.2%、密度:2.29g/cm <sup>3</sup> ブレン比表面積:4010cm <sup>2</sup> /g、フロー値比:106% 活性度(28日):95%、活性度(91日):95%
細骨材	S 幕別町産陸砂
AE減水剤	Ad ポリカルボン酸系化合物とリグニンスルホン酸塩および変性ポリオール
高性能AE減水剤	SP ポリカルボン酸系化合物
消泡剤	DF ポリアルキレングリコール誘導体
練混ぜ水	W 上水道水
ギ酸	JIS K 8264
乳酸	JIS K 8726
硫酸	JIS K 8951

表-2 実験ケース

実験ケース	水結合材比 W/B (%)	初期値	圧縮強度			質量変化		
			ギ酸 5%	乳酸 5%	硫酸 5%	ギ酸 5%	乳酸 5%	硫酸 5%
1 OPC+BB	35.1	材齢 14日	—	—	—	—	—	—
2 FA高流動	31.8		浸せき後 4, 8, 13週	—	—	浸せき後 4, 8, 13週	—	—
3 FA15%	34.0		—	—	—	—	—	—
4 3成分	31.8		—	—	—	—	—	—
5 OPC	35.1		—	浸せき後 4, 8, 13週	—	浸せき後 4, 8, 13週	—	—
6 FA15%	35.1		—	—	4, 8, 13週	—	—	4, 8, 13週
7 FA30%	35.1		—	—	—	—	—	—
8 OPC+BB	35.1		—	—	—	—	—	—

示す。使用セメントは、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種とし、フライアッシュはJIS II種を使用した。実験ケースは、シリーズ1(No.1~4)とシリーズ2(No.5~8)の8ケースとした。No.1はプレキャスト工場で使用している基本配合(OPC30%+ BB70%)とし、No.2はFA置換率25%の高流動コンクリート、No.3はFA置換率15%のスランブ18cmコンクリート、No.4は3成分(OPC27%、FA9.5%、BB63.5%)の高流動コンクリートとした。シリーズ2では、水結合材比35.1%として、No.5のOPC、No.6のFA置換率15%、No.7のFA置換率30%、No.8のプレキャスト工場の基本配合(OPC30%、BB70%)とした。

対象とするコンクリートはスランブ18cmとスランブフロー65cmの高流動コンクリートのため、混和剤はAE減水剤と高性能AE減水剤とした。なお本実験では、コンクリート配合から粗骨材を差し引いたモルタル配合によって供試体を作製し各実験を行った。コンクリート配合をモルタル配合に修正した場合、空気量が多くなるため、消泡剤を使用して空気量を2%以下に調整した。

## 2.2 実験項目および方法

## (1) 配合

検討した配合を表-3に示す。コンクリートの単位量からモルタル配合に修正し、供試体を作製した。

## (2) 供試体作製

供試体の作製は、JSCE-F 506「モルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方」に準拠した。なお、混和剤は練混ぜ水に予め入れてから練り混ぜた。供試体は、直径50mm、高さ100mmとし、1組当たり5本とした。

## (3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JSCE-G 505「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠した。供試体は、材齢1日で脱型し材齢14日まで水中養生(温度20±2℃)を行った後、圧縮強度を実施し初期値とした。材齢14日まで水中養生が終わった供試体をギ酸(濃度5%)、乳酸(濃度5%)および硫酸(濃度5%)に浸せきし、浸せき後4、8、13週において供試体を取り出し、水洗い後、圧縮強度試験を実施した。

## (4) 質量変化測定

質量変化測定は、作製した供試体を材齢1日で脱型し材齢14日まで水中養生(温度20±2℃)を行った後、質量および寸法を測定し初期値とした。その後、供試体をギ酸(濃度5%)、乳酸(濃度5%)および硫酸(濃度5%)に浸せき

表-3 検討配合

実験ケース	スランブ・スランブフロー (cm)	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								モルタル配合 (Vol%)				
				水 W	セメント C	フライアッシュ F	高炉セメント BB	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 (%)	水 W	セメント C	フライアッシュ F	高炉セメント BB	細骨材 S	
1	OPC+BB	18±2.5	35.1	41.2	163	139	—	326	692	995	1.20	28.2	7.6	—	18.5	45.7
2	FA高流動	65±10	31.8	53.9	173	407	137	—	841	718	0.90	25.4	18.9	8.8	—	46.9
3	FA15%	18±2.5	34.0	41.2	158	395	70	—	694	995	1.20	27.3	21.6	5.3	—	45.8
4	3成分	65±10	31.8	54.7	173	148	51	345	859	718	0.90	25.3	6.9	3.2	16.6	48.0
5	OPC	—	35.1	41.2	163	465	—	—	697	1001	1.20	28.3	25.6	—	—	46.1
6	FA15%	—	35.1	41.2	163	395	70	—	691	994	1.20	28.1	21.5	5.2	—	45.2
7	FA30%	—	35.1	41.2	163	325	140	—	678	975	1.20	27.8	17.6	10.4	—	44.2
8	OPC+BB	—	35.1	41.2	163	139	—	326	692	995	1.20	28.2	7.6	—	18.5	45.7

し、浸せき後4、8、13週において供試体を取り出し、水洗い後、質量および寸法を測定した。

### (5) 溶液管理

供試体を浸せき中のギ酸(濃度5%)、乳酸(濃度5%)および硫酸(濃度5%)は、1週間に1回pH測定を行い、1ヶ月に1回全量交換を行った。溶液は、内寸縦46cm、横30.5cm、高さ16cmのコンテナに13L入れ、そこに供試体を浸せきした。溶液の作成には蒸留水を使用した。

## 3. 実験結果

### 3.1 溶液管理

pHの測定結果を図-1に示す。図-1より、ギ酸(濃度5%)のpHは1.8程度で、浸せき期間の経過にしたがいpHは高くなり4週で4程度まで上昇した。全量交換を行った後は、8週および13週では3程度までの上昇となった。乳酸(濃度5%)のpHは2程度で、浸せき期間の経過にしたがいpHは高くなり4週で4.5程度まで上昇した。全量交換を行った後は、8週では3.5程度、13週では3程度までの上昇となった。硫酸(濃度5%)のpHは0.9程度で、浸せき期間の経過にしたがいpHは高くなり4週で2程度まで上昇した。全量交換を行った後は、8週で1.5程度、13週で1.3

程度までの上昇となった。

これらpHの変化は、モルタル供試体中のC-S-HおよびCHなどが酸により分解、溶脱するためと推察される。

### 3.2 圧縮強度

材齢14日の酸に浸せき前の圧縮強度を100%として、浸せき後4、8および13週の圧縮強度を浸せき前の圧縮強度で除して、圧縮強度残存率を算出した。圧縮強度残存率の経時変化を図-2に示す。

図-2より、ギ酸(濃度5%)では浸せき4週まではNo.3(FA15%)およびNo.4(3成分)が他のケースより圧縮強度の減少は小さかったが、浸せき後8週では30%程度、13週では15%程度の圧縮強度残存率となった。乳酸(濃度5%)では実験ケースによる相違が認められ、浸せき後13週における圧縮強度残存率はNo.4(3成分)が最も大きく、次いでNo.2(FA高流動)、No.5(OPC)、No.1(OPC+BB)となり、No.2(FA15%)が最も小さくなった。硫酸(濃度5%)では、実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で29%程度の圧縮強度残存率であった。

酸の種類により圧縮強度残存率が相違するのは、モルタル中のC-S-HおよびCHなどの水和生成物との化学反

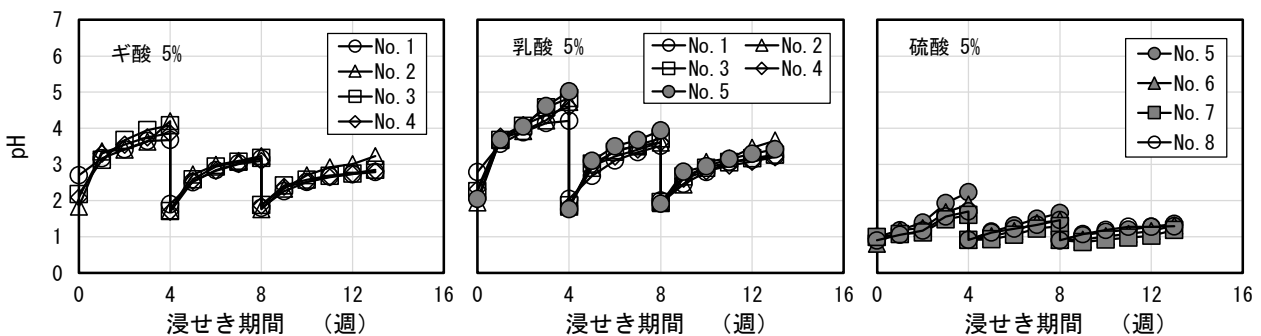


図-1 溶液管理結果 (pHの経時変化)

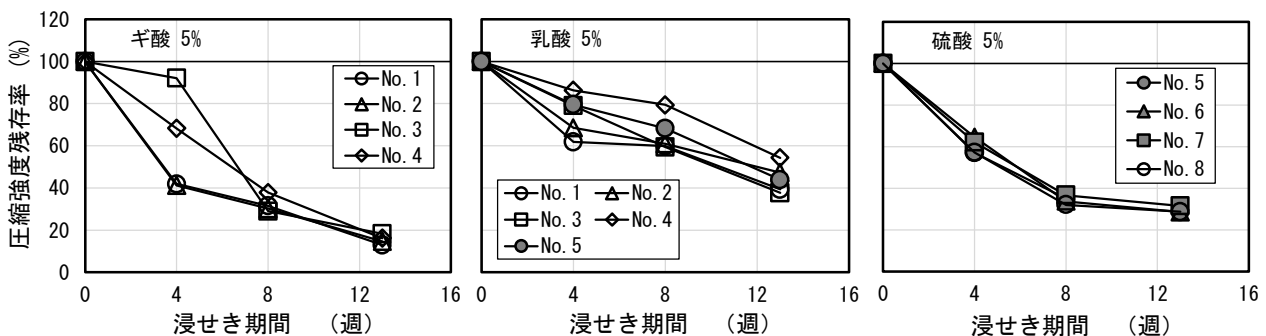


図-2 圧縮強度残存率の経時変化

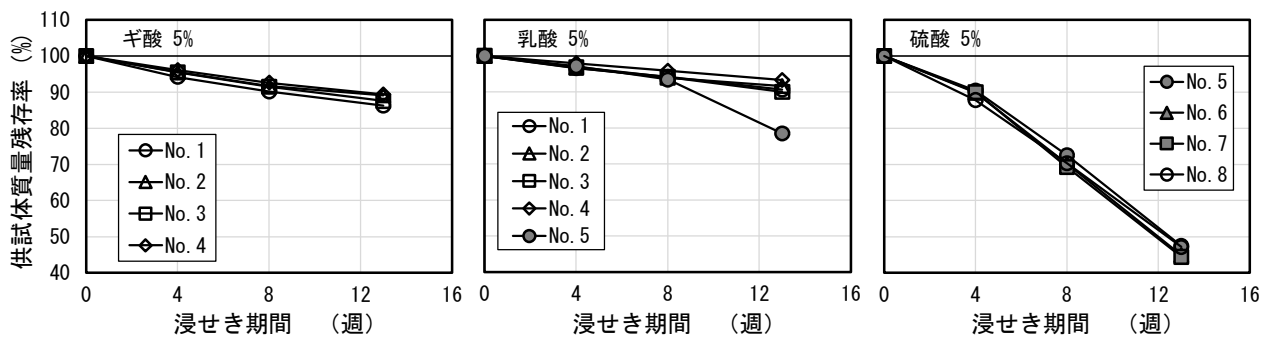


図-3 供試体質量残存率の経時変化

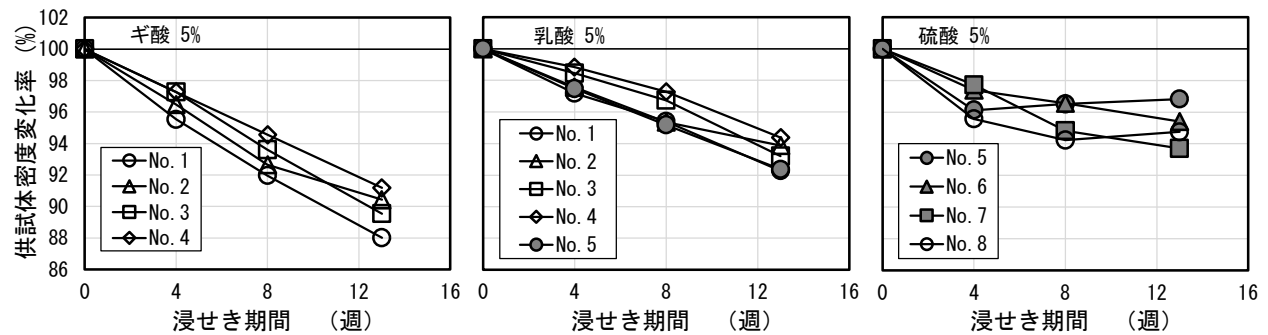


図-4 供試体密度変化率の経時変化

応が異なるためと考えられる<sup>1)2)3)</sup>。

### 3.3 供試体質量

材齢14日の酸に浸せき前の供試体質量を100%として、浸せき後4、8および13週の質量を浸せき前の質量で除して、供試体質量残存率を算出した。質量と同時に測定した供試体寸法から密度を求め、浸せき前の供試体密度で除して供試体密度変化率を算出した。供試体質量残存率の経時変化を図-3に、供試体密度変化率の経時変化を図-4に示す。

図-3より、ギ酸(濃度5%)では実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で供試体質量残存率は88%程度であった。乳酸(濃度5%)では、No.1~No.4が浸せき後13週で供試体質量残存率が90%程度であったが、No.5(OPC)は80%程度と他のケースより質量減少が大きい結果であった。硫酸(濃度5%)では、実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で供試体質量残存率は45%程度であり、ギ酸(濃度5%)および乳酸(濃度5%)より質量減少が大きい結果であった。

図-4より、ギ酸(濃度5%)では実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で供試体密度変化率は90%程度であった。乳酸(濃度5%)では、実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で供試体密度変化率は93%程度であった。硫酸(濃度5%)では、実験ケースによる明瞭な相違は認められず、浸せき後13週で供試体密度変化率は95%程度であった。

供試体質量残存率は、モルタル供試体中のC-S-HおよびCHなどが酸により分解、溶脱し、供試体表面から崩れ落ちる割合を示したもので、供試体密度変化率は、崩れ落ちずに残った供試体の内部について、酸の影響による化学変化を示したものと考えられる。

酸の種類による供試体劣化の相違は、ギ酸と乳酸では

ギ酸の方が質量残存率が小さく、供試体の密度変化が大きい(密度変化率が小さい)ことから、ギ酸の方が供試体に浸透し易く劣化現象が大きいと考えられる。硫酸は、最も供試体質量残存率が小さいことから、ギ酸および乳酸より反応性が高いことが分かる。しかし、供試体密度の変化が小さい(密度変化率が大きい)ことから、見かけ上、残存している供試体への影響は小さいと推察される。ギ酸は、硫酸より質量変化が少なく、見かけ上劣化が小さいように見えるが、劣化は進行しているため圧縮強度残存率は硫酸より小さくなったと考えられる。

圧縮強度試験後の供試体を割裂し、酸による劣化部分を確認した写真の例(実験ケースNo.1(OPC+BB)、浸せき13週)を写真-1に示す。

写真-1より、ギ酸(濃度5%)は、酸により劣化した部分が大いだが、水洗い程度では崩れ落ちないため圧縮強度残存率が最も小さくなったものと考えられる。乳酸(濃度5%)は、酸により劣化した部分がギ酸より少ないが認

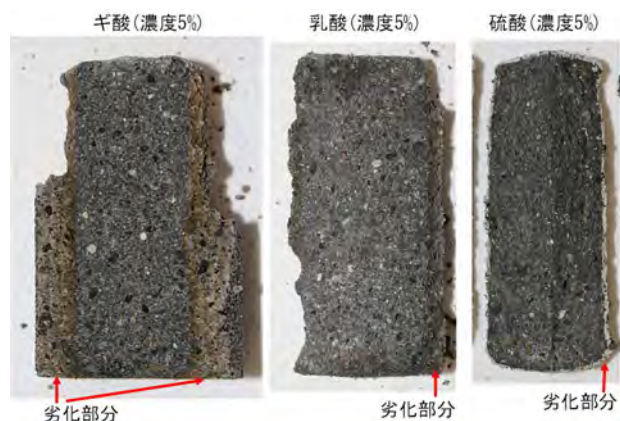


写真-1 圧縮強度試験後の供試体断面の例(浸せき13週)

められる。硫酸(濃度5%)は、最も酸により崩れ落ちる部分が多く、劣化した部分が供試体に若干残っているのが認められる。

### 3.4 モルタル中セメント容積と圧縮強度残存率

モルタル中のセメントのうち、普通ポルトランドセメントが占める容積割合を算出し、浸せき後13週の圧縮強度残存率との関係を求めた。ただし、高炉セメントは普通ポルトランドセメントが占める質量割合を55%と仮定した。ギ酸(濃度5%)と乳酸(濃度5%)における関係を図-5に、硫酸(5%)における関係を図-6に示す。

図-5、図-6より、ギ酸(濃度5%)では明瞭ではないものの、乳酸(濃度5%)および硫酸(濃度5%)では、モルタル中の普通ポルトランドセメント容積が多くなるほど圧縮強度残存率が小さくなる傾向が認められた。図-5の乳酸(濃度5%)では、フライアッシュを使用したNo.2(FA高流動)およびNo.3(FA15%)の方が高炉セメントB種を混合したNo.1(OPC+BB)より圧縮強度残存率が大きいことが認められる。すなわち、乳酸に対する抵抗性向上には、モルタル中のセメント容積が同一の場合、フライアッシュの使用が高炉セメント(高炉スラグ)より効果的であると考えられる。図-6の硫酸(濃度5%)では、フライアッシュを30%置換したNo.7(FA30%)より、高炉セメントB種を混合したNo.8(OPC+BB)の方が圧縮強度残存率が大きいことが認められる。

### 4. まとめ

本研究では、コンクリート配合をモルタル配合に修正してモルタル供試体を作製し、濃度5%のギ酸、乳酸、硫酸に13週間浸せきさせ、圧縮強度試験など室内促進試験を実施した。以下に得られたことをまとめる。

- (1) 結合材中の普通ポルトランドセメントが少ない配合は、耐酸性に優れていることが明らかになった。
- (2) コンクリートの耐酸性を向上させるためには、コンクリート中に含まれる普通ポルトランドセメントの単位量を減少させ、フライアッシュおよび高炉スラグを混合使用することが重要であることが明らかになり、本条件では、3成分のセメント使用が最も効果的であると考えられた。

### 参考文献

- 1) 山下弘樹、山田一夫、平尾宙、二戸信和：普通ポ

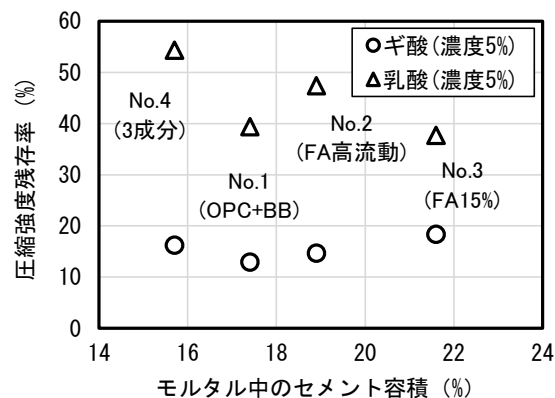


図-5 モルタル中のセメント容積と圧縮強度残存率 (ギ酸濃度5%、乳酸濃度5%)

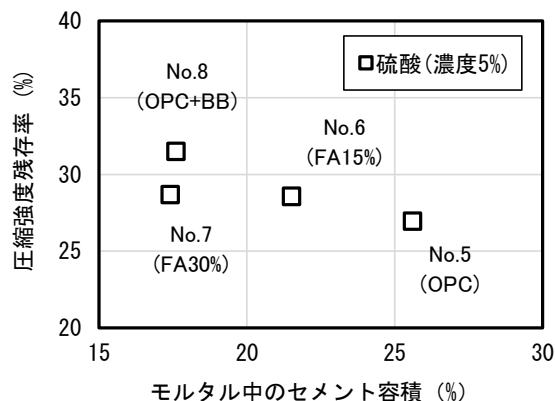


図-6 モルタル中のセメント容積と圧縮強度残存率 (硫酸濃度5%)

ルトランドセメントの耐硫酸塩性に及ぼす混和材の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.29、No.1、pp.213-218、2007

- 2) 山下弘樹、野崎隆人、平尾宙、山田一夫：セメントの耐硫酸塩性におよぼす混和材の複合効果、コンクリート工学ネジ論文集、Vol.30、No.1、pp.621-626、2008
- 3) セメント協会：C&C エンサイクロペディアーセメント・コンクリート化学の基礎解説、1996