



活かす 衛る 水資源

2008年 初夏号

大広技術レポ

【 下水道長寿命化支援制度への対応 】

— 高耐酸性コンクリートの開発 —

〈 示差熱分析装置 〉



〈 モルタルミキサー 〉



〈 中性化深さ試験 〉



普通モルタル
(I)

FA+BFF
(II)

BFS+BFF
(III)

〈 5%希硫酸浸漬試験（浸漬6ヶ月） 〉

～ 技術レポート NO.8 ～

下水道管渠の寿命を伸ばす 「高耐酸性コンクリートの開発研究」-No.2



技術開発部部長 山本 修照

1. 硫酸に強いコンクリートの特許取得を目指して

1960年代の高度経済成長期を境にして、大量に敷設されてきたコンクリート管渠は、相次いで耐用年数を迎え老朽化が進むと共に、一方で硫酸による早期劣化が顕在化し、樹脂材料に代わる安価で耐酸性能の高い無機系補修材の開発が切望されている。

このような現状から、国土交通省においても、平成20年度下水道予算の新規事項として「下水道長寿命化支援制度」を創設し、推進することになった。

表題については、平成19年1月「大広技術レポ・第5号」において、高炉フェームに注目し、セメント+フライアッシュ（又は高炉スラグ微粉末）+高炉フェームという三成分系の配合で高い耐酸性モルタルが得られた。という報告をした。この試験において高炉フェーム（中国の小型溶鉱炉の炉頂で集塵される産業廃棄物）は、材齢3日～7日の圧縮強度が急激に上昇する性質を示したことから、耐酸性コンクリートに必要な、早期強度発現に重要な役割を果たすポゾラン材（水酸化カルシウムと反応して不溶性の化合物を生成）であることが解かった。しかし、高炉フェームは、中国の鉄鋼技術が近代化するにしたがって生産中止となる恐れが懸念される。

そこで広島工業大学と企業8社は、高炉フェームに匹敵する耐酸性能の高い材料を新しく国内の産業廃棄物に求めて、広島工業大学プロジェクト研究センター事業「高耐酸性コンクリートの開発研究会」を立ち上げた。

なお、平成18年度と19年度の2年間の研究については、弊社が企業の代表として広島市産業振興センターから助成金を得て実験を行った。

2. 研究テーマ

本会は、平成17年に設立、上記の主旨のもと下記の研究テーマを設定した。

- ① 高炉フェームの耐酸機構に対する化学的解明
- ② 高炉フェームの代替材の開発



3. 高炉フェームの材料特性（化学的解明）

高炉フェームを使った「耐酸性コンクリート」は、広島工業大学が本会設立前年（平成16年）に{発明の名称：耐酸性コンクリート}として共同出願していた。本会は、この特許に続く更に実用的な「耐酸性コンクリート」の特許取得を目標に結成したもので、開発のスタートは、高炉フェームの化学的特性を把握することから始めた。なお、{発明の名称：耐酸性コンクリート}は、本会が稼働中の平成19年5月に特許認定を得られた。

3-1) 高炉フュームの材料特性

高炉フュームは粒径が小さくボゾランを多く含んでいるため、水和初期からボゾラン反応性が高く、著しい強度発現性を示す。下記は、成分分析の結果である。

① 粉末 X 線回折結果 含有率 (%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl
26.6	4.4	15.1	24.1	8.6	7.0	1.2	11.4	0.7

SiO₂、CaO の他に、Al₂O₃ 及びアルカリ含有量 (K₂O) が非常に高い。

② 物理的性質

密度	ブレン値	平均粒径
2.62 (g/cm ³)	11,600 (cm ² /g)	3μm

3-2) 供試体の配合と耐酸性能

① 配合

表-1 供試体の配合

	結合材料	セメント (OPC)	高炉フューム (BFF)	フライアッシュ (FA)	高炉スラグ微粉末 (BFS)
I	OPC100	100	—	—	—
II	BFF+ FA	○	○	○	—
III	BFF+BFS	○	○	—	○

② 試験結果

表-2 耐酸性能

試験項目		配合		
		I	II	III
標準養生 圧縮強度 (N/mm ²)	材齢 3 日	43.8	35.5	46.8
	材齢 7 日	49.5	41.0	41.8
	材齢 28 日	61.2	48.6	61.1
水中 3 日、5%希硫酸 圧縮強度 (N/mm ²)	材齢 3 日	31.4	31.2	42.4
	材齢 28 日	27.8	16.8	24.4
重量残存率 (%) 水中 3 日養生	5%希硫酸浸漬 28 日	63.4	99.8	102.0
硫酸浸透深さ (mm) 水中 3 日養生	5%希硫酸浸漬 28 日	4.1	3.9	3.8

モルタル及びコンクリートの耐酸性能は、基本的特性として圧縮強度、重量残存率及び硫酸浸透深さの三要素を満足させなければならない。しかし、今のところ、耐酸性モルタルに関する規定を設けているのは東京都下水道局の「コンクリート改修マニュアル(案)」しかなく、この規定に従い新しい材料の耐酸性能を評価する。

表一 3 東京都下水道局の要求性能

要求性能	性能指標	備 考
圧縮特性	材齢 3 日 : 25N/mm ² 以上 材齢 28 日 : 45N/mm ² 以上	JIS R5201
浸透拡散抵抗性	硫酸浸透深さ : 3.0mm 以下	5%硫酸水溶液 28 日浸漬後フェノールフタレイン非呈色深さ
耐硫酸性	重量変化率 : ±10%以内	5%硫酸水溶液 28 日浸漬後

この規定に対し上記試験結果は、圧縮特性、耐硫酸性の要求性能を満足するが、浸透拡散抵抗性において若干規格値を超える。この対処方法としては、高炉フェュームの混入比率を減らすことで、圧縮強度は減少するが改善させることができる。

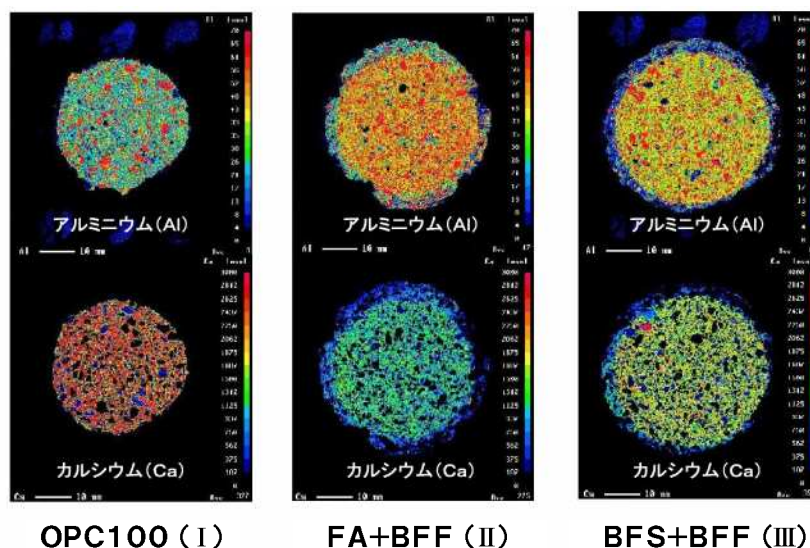
3-3) EPMA (電子線マイクロアナライザー) 分析

前項 3 種類の供試体を試料とし、希硫酸浸漬後の経時変化による元素の構成及び特定する 5 元素 (Ca、Si、Al、Fe、S) の濃度を測定した。

① 試料採取位置

供試体中央部を切断 (Φ50mm×20mm) して研磨する。

② 分析結果



図一 1 水中 3 日養生・硫酸濃度 10%溶液に 24 日浸漬後抽出

図一 1 は測定した 5 元素の内、特に含有量の差が顕著なアルミニウムとカルシウムを選び比較したものである。ここで、右端にある縦軸の色棒は元素濃度を表し、上端から赤色、黄色、緑色、青色の順に含有量が少なくなることを示している。

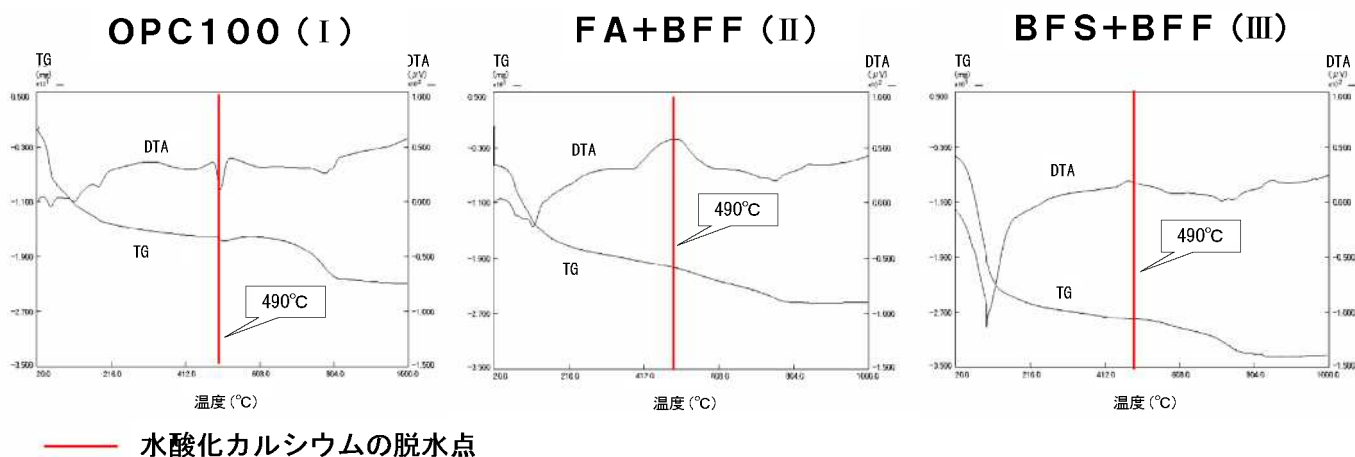
この分析結果から、アルミニウムの元素濃度は、配合 I を基準 1.0 とすれば、II は 1.3

倍、Ⅲは 1.2 倍程度多い。また、カルシウムの元素濃度は、配合 I を 1.0 とすれば、Ⅱは 0.7 倍、Ⅲは 0.8 倍程度であることが解かる。

3-4) 示差熱分析

この分析は、希硫酸浸漬後の経時変化による水酸化カルシウム生成量の変化を測定したもので、焼成温度を最高 1000℃まで上げた。

水酸化カルシウムは、450～500℃で熱分解し酸化カルシウムと水になる。TG 曲線は、加熱された試料が熱的に何の変化も生じなければ曲線関係で表示されるが、I (OPC100) では 490℃近辺に重量減少 (凹部) が見られ、脱水していることが解かる。一方、Ⅱ、Ⅲの配合ではほぼ直線的に変化しており、水酸化カルシウムの生成量が少ないことを示している。耐酸性モルタルは、水和反応で生成する水酸化カルシウムを極力消費するよう材料選定をしており、下記の三配合を比較したグラフから生成量の違いが証明できた。



3-5) 高炉フェームの材料特性のまとめ

- ① 可溶性成分の分析結果は、アルカリ (カリウム、ナトリウム) 含有量が多い。
- ② 成分分析、EPMA 分析の結果は、 Al_2O_3 含有量が多い。
- ③ 示差熱分析の結果は、OPC (セメント 100%) に対して 2 種類の耐酸性材料とも水酸化カルシウム生成量が非常に少ない。

という特性が判明した。

4. 今後の対応

下水道管の劣化は、都市圏から地方都市へと波及しつつある。硫酸劣化は早期に起こるために予期し難いところがあるが、車道下で発生すれば人身事故の恐れが高い。

現状で、本工法を含め安価な無機系補修材が市販され始めているので、管理者の皆様にはこまめな点検と早期補修をお願いしたい。

なお、この続きは、「高耐酸性コンクリートの開発」—No. 3で報告する。

構造計算のエラーが招いた悲劇？

～ 50年前の思い出～



顧問 石井 康隆
(元広島開発事業局長)
(技術士)

私は時間待ちなどの時間潰しによく図書館に行く。

広島の場合は中央図書館に行くことが多い。そこには自習室があり、自分の本を持ち込んで読んだり、原稿を書いたりすることが自由に出来るからである。

昨年暮、3時間ぐらい時間があつたので図書館に行こうと思い、入り口に歩を進めていると、いつもの雰囲気と違い、やけに多くの人々が急いでいるのが見られた。何事かと思ったら、併設された映像文化ライブラリーに行く人達だとわかった。

広島市映像文化ライブラリーは地方自治体初の映像文化保存専門施設で、ここでは名作映画が鑑賞できる。さては何かいい映画でも上映しているのではないかと覗いてみれば、あにはからんや昔の懐かしい名画「驟雨^{しゅうう}」がかかっていた。

十分後ぐらいで始まりそうなので、図書館は辞めにして映像文化ライブラリーに乗り換えた。

若い人はご存知ないだろうが、「驟雨」は、成瀬巳喜男監督による、原節子、佐野周二、香川京子、小林桂樹主演の、倦怠期の夫婦の感情を描いた昭和三十一年初期の名画である。

私にとっては懐かしい作品だが、それもさることながら、同時上映された当時の朝日のニュースが更に懐かしいものだった。そこには、昭和三十一年二月頃の、大雪に見舞われた日本各地の雪の被害が写し出されていた。私が大学を卒業する一ヶ月前のものである。

広島のごときは出ていなかったが、広島ではあの大雪で、本通りのアーケードがものの見事に全部倒れた。構造計算のエラーが様々に取り沙汰され、聞くところによると、アンデルセンの東側、広い通りのスパンの取り間違いだったのであると言った話もあった。

構造力学を学んだ者にとっては、卒業後もこれが飯の種になるものとして頭の中に残っている。

改めて本通りのアーケードを見に行ったら、今のアーケードは前に比べてがっちりしているようで、「任しときなさい」と言う顔をしていた。

—土木技術に挑む—
微生物よもやまばなし(その8)

微生物の生命力



顧問 田澤 榮一
(広島大学名誉教授)

連続地中壁は短く連壁とも呼ばれるが、アメリカではダイヤフラムウォールまたはスラリーウォールと呼ぶ。ビルの地下建設ではこの工法をよく用いるので、都市部で施工現場をよく見かける。この工法にはベントナイト泥水が使われる。スラリーはその英語である。ベントナイトは学名をモンモリロナイトと呼ぶ粘土鉱物で、その商品名がベントナイトである。もともとは天然の地層がある米国の地名がその由来である。

地中に掘ったスペースにベントナイト泥水を置き換えると、土の崩れ落ちを防ぐことができる。壁の形をした穴（トレンチと呼ぶ）に、かご状に組建てた鉄筋を落とし込んで、泥水の下から上部にむかって水中コンクリートを打ち込むと地中連続壁ができる。大規模な掘削の前に連結した壁ができるので、土留めや矢板などの仮設が省略でき、経済的な工法となる。ベントナイト泥水は下水本管のシールド工法にも用いる。機械で削り取った土砂をこの泥水を使って坑外に運び出し、土砂を分離して循環させる。泥水シールドという工法だ。

安定液とも呼ばれるこのベントナイト泥水には、掘削面の保護効果や土粒子の保持効果を高めるため、CMC（カルボキシメチルセルローズ）という有機物質と表面活性剤を加える。ところがこの混和材料には泣き所がある。ある期間使用していると、劣化して本来の効能を発揮できなくなってしまうのだ。劣化の原因を突き止め、対策を講ずる必要がある。そこで、まず微生物の影響を調べることになった。メチルセルローズがバクテリアの餌になっているか否かを実験した。

CMCの濃度と酸素の供給条件を変化させた試験体の上部に、炭酸ガスの検出センサーを設置して、経時変化を観察するのだ。微生物がCMCを食べると炭酸ガスにまで分解するはずだとの想定である。固唾を飲んで見守っていると、案の定センサーが作動するではないか。犯人は微生物なのである。さて対策をどうするか？

CMCがバクテリアの餌にならなければいいはずである。微生物が食べ難いCMCに改質することを試みた。架橋反応によって分子量を増加させ、バクテリアが食べ難いCMCを造ることに成功した。もちろんCMCのメーカーとの共同作戦で特許も共願となった。

自然界では、生分解が物質循環に極めて重要な働きをしている。活性汚泥による下水処理はまさにそのものである。しかしこの事例のように、生分解性がかえって仇になることもある。工業材料としての有用性を第一義に考え、生分解性の乏しい有機物質を多量に合成することが、将来に禍根を残さないかどうか、よく考えるべき時にきている。フロンガスは製造中止になっているが、合成洗剤でも石鹼のような生分解性がないことが議論の対象になっている。



ニシヤマ ジュンサク
西山 淳作

【経歴】

昭和46年4月 広島県庁入庁
平成20年3月
公営企業部広島水道事務所を最後に広島県庁退職

【配属】 技術監理部長

広島県庁には昭和46年4月に入庁、以来37年間、上水道・下水道・道路改良・河川改良・砂防ダム・急傾斜・港湾・漁港改良事業等々に携わってまいりました。

特に印象深かったものは、まず昭和63年の加計災害があげられます。3時間で200ミリを越す猛烈な雨による土石流が発生し、20名余の尊い命が奪われました。

私は当時主任として災害関連改良復旧事業を担当し、2.5kmの河川を1年間で復旧、地元住民から喜ばれたことが懐かしく思い出されます。

次は、なんとといっても平成18年8月25日に発生した送水トンネル崩落事故です。事故発生により、断水の影響は32,000世帯、72,000人に及びました。現在思い出してもまだまだ夏の暑い時期、本当に計り知れないご迷惑をおかけしたと深く反省いたしております。

当時、私は水道技術管理者として、すべての水道事業の技術的な部門の責任者であり、早期復旧、早期通水が至上命令でした。

職員の皆様をはじめ受水団体の方々の不眠不休の努力により、9月11日には通水することが出来ました。当初想定していた時期より早く復旧し、危機管理のあり方等について多くの皆様からお褒めのお言葉をいただき、技術者冥利に尽きる経験でございました。

こうした私のつたない経験が、少しでも皆様のお役に立てるよう日々頑張ってきていると考えておりますので、どうぞよろしく願いいたします。

入社及び新組織の紹介

平成20年新年度にあたり、環境課を新設しました。

「水に関する環境保全技術、処理システムなどの開発及びコンサルティング」を目標に、新しい事業の拡大に努めます。

よろしく願い致します。

通算第10号：平成20年4月発行

〒733-0035 広島市西区南観音7丁目13-14 株式会社 大広エンジニアリング

TEL：082-291-1313 FAX：082-231-3171

HP <http://www.daiko-eng.co.jp/>

編集責任者／山本 修照、副責任者／井上 真由美、編集委員／久留島 雄三 松宮 康之