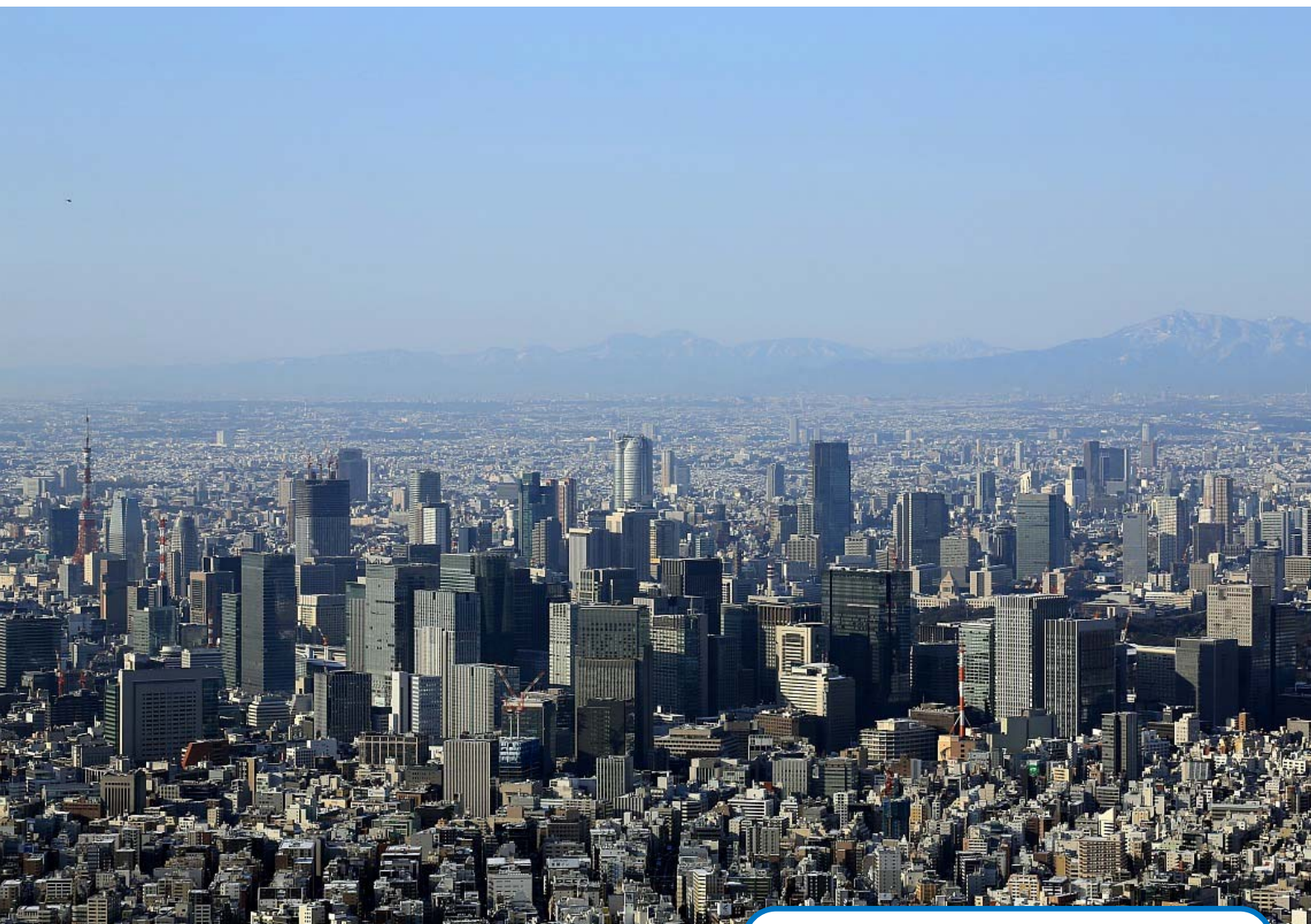


# 三協Mirai News



2013年夏号 No. 2

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



- シリーズ「歴史」 混和剤の歴史
- 特集 アルカリ骨材反応
- 技術ニュース 関連JISの動向
- 日本のコンクリート構造物

# 混和剤の歴史

## ■混和剤とは

コンクリートはセメント、水、細骨材、粗骨材から構成されていますが、現在のコンクリートにはそのほとんどに混和剤が添加されています。つまり混和剤はコンクリートを構成する第5番目の成分として、コンクリートの品質改善に必要不可欠な存在になっているといえます。

化学混和剤については、JIS A 0203（コンクリート用語）で「主として、その界面活性作用によって、コンクリートの諸性質を改善するために用いる混和剤」と定義されています。また、JIS A 6204（コンクリート用化学混和剤）では、AE 剤、高性能減水剤、硬化促進剤、減水剤、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤、流動化剤が、JIS A 6205 では鉄筋コンクリート用防せい剤が規定されています。JIS に規定されているもの以外にも、凝結遅延剤、収縮低減剤、起泡剤、水中不分離性混和剤など多くの混和剤が使用されています。

## ■混和剤の歴史

混和剤の歴史を調べると、ローマ時代のコンクリートに鉱油、牛の血、牛乳、牛脂などが添加されていたという記述がみられます。しかしこれらを添加した目的は明らかではなく、これをもって混和剤の起源と言えるのかどうかはよくわかっていないようです。

現在使われている混和剤の始まりは偶然からでした。1930年代の米国北部ではコンクリート舗装の凍結融解による損傷が問題になっていました。この解決のため、凍結融解によ

る損傷の調査を行ったところ、ニューヨーク州の道路局が使用したコンクリートは凍結融解にたいして著しい耐久性があることが判りました。調べたところこのコンクリートには、ポルトランドセメントと天然セメントを混合して使用していました。分析したところ、天然セメントには粉砕助剤として脂肪や油などが使われており、この粉砕助剤が空気連行剤（AE 剤）の役目を果たしていたわけです。

この AE 剤は 1938 年に米国特許を取得しています。



コンクリートの凍結融解による損傷

日本では 1948 年に松材を原料にした樹脂を主成分にした AE 剤が導入され、1950 年には日本発送電・平岡発電所、国鉄・信濃川発電所に使用されています。1950 年にはリグニンスルホン酸塩を主成分とする AE 減水剤が販売され、1954 年ごろから上田・本名ダム、黒四ダム、名神高速道路、東海道新幹線など多くの公共事業や民間工事に広く使われるようになっていきました。

その後も各種の混和剤が開発・販売されていきましたが、1960 年代には、高性能減水剤

が開発されています。1970年代には流動化剤が開発されて、流動化コンクリートが広く普及するようになりました。1980年代には高性能 AE 減水剤や耐寒用特殊混和剤、水中不分離性混和剤などが開発されています。

このように、混和剤が普及していく中で1970年代に、塩化物イオンによるコンクリート中の鉄筋の腐食が問題となり、また1980年代には塩害とアルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化が問題となりました。これを期に、混和剤の無アルカリ化、無塩化物化が進められることになりました。現在ではほとんどの混和剤が無アルカリ化、無塩化物化されたものになっています。

## ■高性能コンクリート

建設技術の高度化に伴い、コンクリートにはより高度な性能が要求されるようになりました。そのような要求を実現するために、種々の特殊な混和剤を用いた高性能コンクリートが開発されました。ここではその中から、高流動コンクリートと水中不分離性コンクリートについてご紹介します。

### ・高流動コンクリート

高流動コンクリートは、「フレッシュ時の材料分離抵抗性を損なうことなく流動性を著しく高めたコンクリート」と定義されています。高流動コンクリートを用いることで、コンクリートを打ち込む際に、締固めをすることなく密実な充填性が得られ、コンクリート構造物の信頼性の向上を図ることができます。

高流動コンクリートは、セメント、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなどの紛体を比較的多く使用し、高性能 AE 減水剤により高流動性を確保し、材料分離抵抗性を付与するために増粘剤を少量添加する、などの方法で製造されます。

高流動コンクリートは、橋梁の橋台・橋脚やトンネル、建築構造物などあらゆる構造物に使用されています。



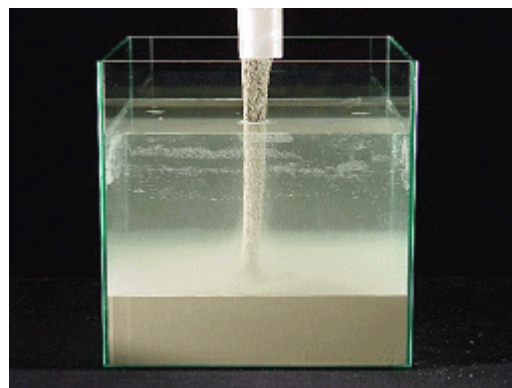
高流動コンクリートのスランプフロー

### ・水中不分離性コンクリート

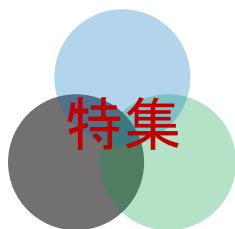
水中不分離性コンクリートは、水中不分離性混和剤を添加することにより以下のような特徴を有しています。

- ① 水中に打設しても分離しない。
- ② 流動性と充填性に優れている。
- ③ 鉄筋との付着性に優れている
- ④ 水質汚染を最小限にできる

水中不分離性混和剤はセルローズ系、アクリル系などの種類があり、コンクリートの分離抵抗性を高めます。また高性能減水剤により、高い流動性を確保します。



水中不分離性コンクリートの水中打設



# アルカリ骨材反応

## アルカリ骨材反応とは

アルカリ骨材反応は、反応性骨材がコンクリート中の高アルカリ性水溶液と反応し、骨材が膨張し、その膨張圧力によってコンクリートにひび割れを発生させる現象です。アルカリ骨材反応(AAR)には①アルカリシリカ反応(ASR)、②アルカリ炭酸塩岩反応(ACR)、③アルカリケイ酸塩反応の3種類があると考えられてきました。しかし2008年の国際会議において、①～③のすべてのケースにおいて、反応しているのはシリカ鉱物またはガラスであることが確認されました。そのため、アルカリ骨材反応(AAR)はすべてアルカリシリカ反応(ASR)であることが明らかになりました。

## アルカリ骨材反応のメカニズム

アルカリ骨材反応を引き起こす反応性骨材はシリカ( $\text{SiO}_2$ )を含む骨材で、反応性骨材に含まれる鉱物としては火山ガラス、クリストパライト、トリジマイト、オパール、微小石英、結晶構造のひずんだ石英などがあります。

アルカリ骨材反応は、次の3条件がすべてそろった場合に進行します。

- ① 反応性骨材（反応性シリカ鉱物）の存在
- ② 限界値以上のアルカリの存在
- ③ 十分な水の供給

アルカリ骨材反応による膨張は、反応性骨材の量とともに増大しますが、骨材中の反応性分の割合がある含有量以上になると膨張量が減少する傾向を示します。このときの最大膨張を示す反応性分の含有量をペシマム量

といいます。ペシマム量は反応性骨材の種類によって大きく異なってきます。たとえば安山岩のようにペシマム量をもたない岩石もあります。また、反応性骨材の粒径が非常に大きいか、微粉末の場合には膨張量は小さくなり、中間の粒度における膨張量は大きくなる性質をもっています。温湿度の影響は、高温であるほど、高湿度であるほど膨張量は大きくなります。

## アルカリ骨材反応による コンクリートの劣化

アルカリ骨材反応による劣化はコンクリートのひび割れとして現れますが、その特徴的な形態としては次の二つがあります。

- ・鉄筋量が少なく部材の拘束を受けにくい部材や無筋コンクリート

この場合は下の写真に示すように、 $120^\circ$ に交差する亀甲状または網の目状のひび割れが発生します。



亀甲状のひび割れ

・鉄筋量が多く、一方向の拘束が大きい場合

この場合は、下の写真に示すように、拘束に沿った方向性のあるひび割れが発生します。RC構造物の柱や梁ではこのようなひび割れが生じることが多くなります。



柱、梁に発生した軸方向のひび割れ

## アルカリ骨材反応の判定

### ●アルカリシリカ反応性試験

骨材のアルカリシリカ反応性試験には、化学法とモルタルバー法があります。

#### ・化学法

化学法は骨材中の溶解シリカ量とアルカリ濃度減少量を化学分析によって求め、この値をもとに骨材が「無害」であるか「無害でない」かを判定する試験です。化学法で「無害でない」と判定された骨材でも、モルタルバー法の試験結果が「無害」と判定された場合は、その骨材は「無害」と判定されます。

#### ・モルタルバー法

モルタルバー法は粉砕した骨材を用いてモルタルバーを作製し、貯蔵槽で反応を促進させて、材齢 26 週の膨張量によって「無害」または「無害でない」を判定する試験です。材齢 26 週の平均膨張率が 0.100%未満の場合は「無害」、0.100%以上の場合は「無害でない」と判定されます。なお、「無害でない」とは潜在的に反応性を持っているという意味です。

## アルカリ骨材反応対策

新設構造物に対するアルカリ骨材反応の抑制対策としては

- ① コンクリート中のアルカリ総量を抑制する。
  - ② 高炉セメントなどの、抑制効果のある混合セメントを使用する。
  - ③ 安全と認められる骨材を使用する。
- などがあります。

一方、すでにアルカリ骨材反応による劣化がみられる構造物では、補修・補強が必要になってきます。補修・補強方法はアルカリ骨材反応による劣化が潜伏期なのか、進展期、加速期、劣化期なのかによって異なってきますが、目的に応じて以下のような方法が行われています。

- ① 進行を抑制する：表面塗布、ひび割れ注入などにより水分供給を制限する
- ② 膨張を拘束する：プレストレスの導入、鋼板・PC・FRP巻き立て
- ③ 劣化部の除去：断面修復
- ④ 耐荷力の向上：鋼板・FRP接着、プレストレスの導入、増厚、鋼板・PC・FRP巻き立て、外ケーブル工法

日本では、昭和 50 年代に主として安山岩砕石を使用したコンクリート構造物で、アルカリ骨材反応による劣化が発見されました。その後全国の幅広い地域でアルカリ骨材反応による劣化が存在することがわかってきました。これを受けて昭和 61 年に「アルカリ骨材反応抑制対策の方法」が規定されました。しかし昭和 61 年以降に建設された構造物でもアルカリ骨材反応による劣化が生じる場合があります。これは、現行の試験法では判定できない種類の骨材があることや抑制対策が想定していない作用機構があるためと考えられています。今後もこの分野の研究が進むことが望まれています。

## 関連 J I S の動向（平成 2 5 年度）

### ・ JIS A5308 レディーミクストコンクリート 改正原案の検討

JIS A5308 改正原案作成委員会では 2014 年 3 月の JIS 改正公示を目指して原案作成に取り組んでいる。主な検討項目として以下の 5 点が挙げられている。

- ① 回収骨材の活用
- ② スラッジ水の高度利用
- ③ 電子媒体を活用した生コン製造のトレーサビリティに関する検討
- ④ 乾燥収縮試験の迅速法の開発
- ⑤ 国際整合化の検討

### ・ スラグ骨材に関する、改正を検討中の J I S

スラグ骨材に関する J I S 策定指針を基に、以下の J I S の改正を検討中。

JIS 規格番号	規格名称	状況
JIS A 5011-1	コンクリート用スラグ骨材－第 1 部：高炉スラグ骨材	2012. 12. 11 JISC 土木技術専門委審議
JIS A 5011-2	コンクリート用スラグ骨材－第 2 部：フェロニッケルスラグ骨材	改正原案作成中
JIS A 5011-3	コンクリート用スラグ骨材－第 3 部：銅スラグ骨材	改正原案作成中
JIS A 5011-4	コンクリート用スラグ骨材－第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材	2012. 12. 11 JISC 土木技術専門委審議
JIS A 5015	道路用溶融スラグ	2012. 12. 11 JISC 土木技術専門委審議
JIS A 5031	一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材	改正原案準備中
JIS A 5032	一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化した道路用溶融スラグ	改正原案準備中

### ・ 再生骨材を用いたコンクリートの改正

以下の二つの J I S の改正が 2012 年 7 月 20 日に公示されました。

- ・ JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート
- ・ JIS A 5023 再生骨材 L を用いたコンクリート

# 日本のコンクリート構造物

## 日本初の外洋型防波堤 —小樽港北防波堤—

港湾都市小樽の心臓部ともいべき小樽港を風浪から守る防波堤は、札幌農学校第二期生の廣井勇博士が、小樽築港事務所初代所長として1897年（明治30年）に第一期工事に着手しました。廣井博士はコンクリートの耐海水性向上のために火山灰を混入したり、堤体にコンクリートブロックを斜めに積む傾斜ブロックを採用するなどして、日本人技師として初めて本格的な外洋防波堤の建設に成功しました。また、廣井博士は防波堤に使うコンクリートの供試体を六万個以上作り、その経年変化を確認する耐久性試験は現在でも継続されています。小樽港北防波堤は2000年に土木遺産に指定され、2001年には北海道遺産に選定されています。



小樽港北防波堤  
(上部、真ん中は島防波堤、下部は南防波堤)



防波堤本体の傾斜ブロック  
(下部の斜めに積まれたブロック)



傾斜ブロック単体



現在も残っている供試体  
(モルタル・ブリケット)  
60,000個制作され4,300個が現存

# 三協M i r a i 株式会社

本 社	〒105-0013	東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル) Tel. 03(3431)8266/Fax. 03(3434)5422
大阪支店	〒532-0011	大阪市淀川区西中島 4-11-21 (新大阪コパービル) Tel. 06(6885)7575/Fax. 06(6885)7581
仙台営業所	〒980-0023	仙台市青葉区北目町 2-39 (東北中心ビル) Tel. 022(266)4662/Fax. 022(266)4663
福岡営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東 2-4-17 (第六岡部ビル) Tel. 092(481)3265/Fax. 092(481)3266



発行 三協M i r a i 株式会社  
東京都港区浜松町 1-9-10 (DaiwaA 浜松町ビル)  
U R L : <http://www.sankyomirai.co.jp>