

# 三協Mirai News

2013年春号 No. 1

三協Miraiからお届けする、技術情報ニュースです



- 発刊にあたって
- シリーズ「歴史」セメントの歴史
- 特集 コンクリートの中性化
- 技術ニュース 関連JISの動向
- 日本のコンクリート構造物



# 発刊にあたって

三協M i r a i 株式会社 取締役社長 高木千介

このたび、「三協M i r a i News」を発刊いたしました。

このNewsは、皆様にさまざまな技術情報をお届けして、何かのお役にたっていただければという気持ちから企画したものです。Newsの内容としては、コンクリートに関連するさまざまな事柄を取り上げて情報発信していきたいと考えています。発行は年4回の季刊です。「三協M i r a i News」が皆様のお役にたち、今後末永く、本Newsの愛読者となっただけの事を祈念いたしております。

## シリーズ「歴史」

# セメントの歴史

## ■セメントの種類 (気硬性、水硬性)

セメントには気硬性セメントと水硬性セメントがあります。

### 気硬性セメント

気硬性セメントは空気中の炭酸ガスと反応して硬化するものでセメントのルーツといえます。気硬性セメントの歴史は石器時代にまでさかのぼります。気硬性セメントはおそらくこんな風にして発見されたと考えられています。まず石器時代人が石灰岩の上で焚き火をして、石灰石が生石灰に変化し、その生石灰が雨で溶解して消石灰に変化する。溶解した消石灰をそのままにしておくと、炭酸ガスを吸い再び固化して炭酸カルシウムになるというものです。

現在知られている最古の気硬性セメントを使用した構造物は、イスラエルの南ガレリア

にあるイフタフの遺跡です。この遺跡はBC7000年（今から9000年前）に造られたものです。気硬性セメントは床に使われていて、面積が180m<sup>2</sup>、厚さが6~8cmです。コンクリートの圧縮強度は40N/mm<sup>2</sup>と推定されており、現在のコンクリートと比べても遜色のない強度となっています。



9000年前のイフタフの遺跡

その他にも、5000年前の中国の大地湾遺跡などが残っています。日本では気硬性セメントとして、漆喰（しっくい）やたたき（三和土）が知られています。

## 水硬性セメント

水硬性セメントは水と反応して硬化するため、このように呼ばれています。水硬性セメントがいつごろ発見されたのかは分かっていませんが、古代ギリシャや古代ローマの時代には使われていたことがわかっています。

ローマ時代の水硬性セメントは火山灰（ポゾラン）に石灰を混ぜたものが使われていました。BC2 世紀ごろには道路、城壁、水道、住居、殿堂にまでセメントやコンクリートの使用が試みられています。



建造は紀元前 27 年、イタリアのローマ

## ■セメント（コンクリート）の消滅 —1300 年の空白—

ローマ時代にはよく使われていたセメント（コンクリート）ですが、西ローマ帝国の滅亡(476 年)から 19 世紀初頭までについては、コンクリート構造物がつくられた形跡は見つかりません。まさにコンクリートが姿を消した空白の 1300 年間なのです。セメント（コンクリート）が使われなくなった理由としては、建築様式が石造物に変化していったことが主因と言われています。なぜ石造物に変化していったのかというと、コンクリート構造物に比べて、石造物は細かな加工が施し易く、当時の教会建築になじみが良かったことが挙げられています。

## ■現在のセメントへ

イギリスの産業革命と共に現在のセメントに至る発見、発明がなされていきます。まず 1756 年、イギリスのエディストン灯台の建設にあたり、スミートンが石灰石に粘土を加えて焼くと水硬性セメントになることを発見します。

この時期、産業革命による急成長により、石材の価格が高騰します。そのため高級な建物でもレンガ造りにして、表面に漆喰を塗り固めて石のように見せかけるのが一般的になりました。しかし漆喰は固まるまでに時間が掛かるため、新たなセメントの開発が促進されました。

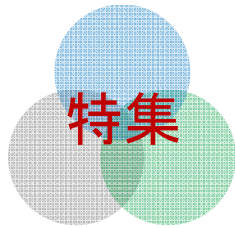
1780 年代にパーカーがローマンセメントを発明し、1796 年に特許を取得しています。1824 年にはイギリスのレンガ職人アспデインが石灰、粘土を焼成（1000℃程度）、粉碎してセメントを製造する特許を取得し、1825 年から製造を開始しています。アспデインはこのセメントがイングランドのポルトランド島の石灰石に色調が似ていることから、「ポルトランドセメント」と名付けています。このポルトランドセメントは現在のセメントの主流となっていきます。

ポルトランドセメントがイギリスで 1825 年に製造開始された後、フランスでは 1848 年、ドイツ 1850 年、アメリカ 1871 年にそれぞれ製造が開始されていきます。

日本では 1875 年に深川にセメント工場が創設され、セメントの製造が始まります。

### 〈参考文献〉

- 1) コンクリートの文明史：岩波書店
- 2) セメントの常識：セメント協会



# コンクリートの中性化

## 中性化のメカニズム

コンクリートの中性化は、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)がコンクリート内部に侵入し、水酸化カルシウム(Ca(OH)<sub>2</sub>)と反応し、炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)が生成されることによりコンクリートのpHが低下する現象をいいます。コンクリートはpHが12以上の高アルカリですが、炭酸カルシウムになった部分のpHは8.5~10程度に低下します。中性化の速さは、環境条件やコンクリートの使用材料・配合によって異なります。それらをまとめると以下のようになります。

- **屋内の中性化速度は屋外より速い**  
屋内は屋外より炭酸ガス濃度が高く湿度が低いいため、中性化速度が速くなる。
- **温度が高いほど中性化速度は速い**  
温度が高いほど炭酸反応速度が速くなる。
- **湿度が50%程度で中性化速度が最も速くなる**  
二酸化炭素の侵入と炭酸反応の両者が同時に起こりやすい湿度で中性化が最大となる。
- **雨がかからない箇所の方が雨がかかる箇所より中性化速度は速い**  
降雨などにより水分の供給を受けるとコンクリートの水分逸散が少なく、水和が初期以降も継続するため、組織が緻密になる。
- **混合セメントは普通ポルトランドセメントより中性化速度が速い**  
水和反応が遅いセメントほど中性化速度が速い。混合セメントでは混合物の分量が多いものほど中性化速度が速い。

- **水セメント比が大きいほど中性化速度は速くなる**

水セメント比が大きいほどセメントペースト部の空隙が大きくなるため、中性化速度が速くなる。

- **透気性が大きい骨材ほど中性化速度は速くなる**

人工軽量骨材を用いた場合は、普通コンクリートの1.1~1.5倍となる。

## 中性化はなぜコンクリートの劣化につながるのか

中性化によってコンクリートの物理的な劣化が進行するわけではありません。

中性化がコンクリート自体に与える影響はコンクリートの収縮のみで、強度低下など構造物に重大な劣化が生じた事例はありません。

ではなぜコンクリートの中性化が問題になるのでしょうか。それは中性化がコンクリート表面から内部に進行し、鉄筋付近まで達すると、鉄筋を腐食から護っていた不動態被膜が破壊されて腐食が始まるからです。腐食が進むと鉄筋の腐食部分は2~4倍の体積膨張を起こします。その膨張圧力でコンクリートにひび割れ、剥離・剥落の損傷が生じ、このことにより、さらに鉄筋の腐食が促進されることとなります。

そのためコンクリートの中性化をなるべく遅くして、鉄筋を保護してやる必要があります。

## 中性化深さの測定方法

中性化深さの測定は、以下の四つの方法があります。

- ① フェノールフタレイン法
- ② 示差熱質量分析
- ③ X線回折・電子線マイクロアナライザ (EPMA)
- ④ ドリル法

## フェノールフタレイン法による中性化深さの測定方法 (JIS A 1152)

ここでは、一番多用されており、JIS にも測定方法が規定されているフェノールフタレイン法についてご説明します。

フェノールフタレイン法は、フェノールフタレイン溶液が pH10 以上で赤紫色に呈色することを利用した試験方法です。

一般的な中性は pH7 ですが、この試験では pH10 を下回ると中性化と判断されます (炭酸カルシウムの pH は 8.5~10)。

JIS ではコンクリートコアやはつり面での中性化深さの測定方法を規定していますが、基本的には同じ方法なので、ここではコンクリートコアを用いた測定法について述べていきます。

最初に、中性化深さを測定したい構造体の部位からコア供試体を採取します。コア供試体はコンクリートの粉やのろを取り除き、フェノールフタレイン溶液を噴霧器で液が滴らない程度に噴霧します。

測定面を空気中に長時間放置しておくとも測定面が中性化して、正確な測定ができなくなるので、測定まで時間がかかる場合はラッピングフィルムなどで密封しておきます。

また、コンクリートが乾燥していて発色が不鮮明な場合は、試薬を噴霧した面に水を少量噴霧するか、試薬を再度噴霧するなどして、発色が鮮明になってから測定を行います。



フェノールフタレイン溶液の噴霧

中性化深さは、コンクリート表面から、鮮明な赤紫色の部分までの距離を 0.5mm 単位で測定します。鮮明な赤紫色の部分より浅いところに薄赤紫色の部分が見られる場合がありますが、あくまでも鮮明な赤紫色の部分までの距離を中性化深さとして測定します。測定箇所はコア供試体の円周上の 5 か所以上で行います。測定位置に粗骨材がある場合または粗骨材の抜けたくぼみがある場合は、その両端の中性化位置を結んだ直線上で測定します。



中性化深さの測定

平均中性化深さは、測定値の合計を測定箇所数で除して求め、四捨五入によって小数点以下 1 桁に丸めて求めます。

## 関連 J I S の動向

平成 24 年に改正された関連 J I S の、技術上重要な改正点をお知らせします。

(( ) 内は改正年月日)

番号	名称	技術上重要な改正点
A1107 (H24. 3. 1)	コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>粗骨材最大寸法の 3 倍以下の直径の供試体は採用できなかったが、3 倍の直径のものは採用できることに変更</li> <li>補正係数の適用範囲として、補正後の圧縮強度が 40N/mm<sup>2</sup> 以下から、100N/mm<sup>2</sup> 以下に変更</li> </ul>
A1112 (H24. 3. 1)	フレッシュコンクリートの洗い分析試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>セメントの密度は、セメント生産者が提示する試験成績書の値を用いてもよいことに変更</li> <li>消泡剤はイソプロピルアルコールが特定されていたが、特定が外れ、消泡作用のあるアルコール、消泡剤が使用できることに変更</li> <li>計算における質量補正で、セメント、細骨材に、粗骨材が追加</li> </ul>
A1123 (H24. 3. 1)	コンクリートのブリーディング試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>試料は 1 バッチのコンクリートから 2 回分の試料を採取することになっていたが、「1 バッチのコンクリートから」を削除</li> <li>必要に応じて報告する事項に、スランプ、スランプフロー、空気量を追加</li> </ul>
A1153 (H24. 3. 1)	コンクリートの促進中性化試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>引用規格に JIS B 7516 を追加</li> <li>測定用器具に金属製直尺を追加</li> <li>中性化促進を一時中断した場合の規定を追加</li> <li>中性化深さの平均値を 0.5mm 単位に丸めるを、四捨五入により小数点以下一桁に丸めるに変更</li> </ul>
A1154 (H24. 3. 1)	硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>試験方法として、イオンクロマトグラフ法を、サプレッサ方式のイオンクロマトグラフ法に変更</li> <li>電位差滴定法において、0.1mol/l 硝酸銀溶液で滴定を、0.005mol/l, 0.01mol/l 若しくは 0.1mol/l 硝酸銀溶液で滴定に変更</li> <li>塩化物イオン標準液について、校正事業者によって校正された塩化物イオン標準液を追記</li> </ul>
A1155 (H24. 3. 1)	コンクリートの反発度の測定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定の準備で、測定面に浮き水がある場合の処置を追加</li> </ul>
Q1011 (H24. 3. 21)	適合性評価－日本工業規格への適合性の認証－分野別認証指針（レディーミクストコンクリート）	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境ラベル表示における管理方法及び検査方法を追加</li> <li>スラッジ水管理におけるスラッジ固形分率の測定頻度の見直し</li> <li>運搬時間における確認方法の明確化</li> <li>化学混和剤の受入検査方法で、品質確認の頻度を 1 回以上/3 か月から、1 回以上/6 か月に変更</li> </ul>

# 日本のコンクリート構造物

## 日本最古のコンクリート構造物 —鞍埼灯台—

宮崎県日南市日南海岸の鞍埼灯台は1887年（明治17年）に造られた、日本で49番目の西洋式灯台です。この灯台は日本最古の無筋コンクリート造で、灯塔部は十二角形という珍しい形をしています。平成20年度には「近代化産業遺産」に指定されています。1965年（昭和40年）までは「鞍埼航路標識事務所」として職員が家族と共に滞在していましたが、この年に電化・無人化され、現在も船の安全を守っています。

灯台の塔内は閉鎖されており内部の見学はできませんが、職員の定期巡回などにあわせて見学することは可能だそうです。



出典：宮崎海上保安部一灯台写真館

### 【アクセス】

JR日南線「南郷駅」～（徒歩約15分）～目井津港  
目井津港～（連絡船約10分：6便/日）～大島竹ノ尻港  
竹ノ尻港～（徒歩約40分）～鞍埼灯台

# 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>