

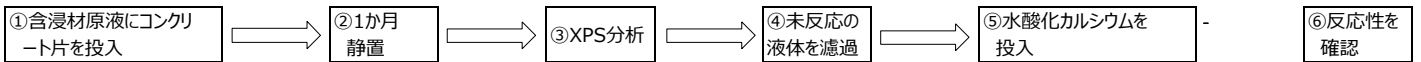
1. 実験目的

コンクリートライブラリー137(土木学会)において、けい酸塩系表面含浸材を塗布することで、水酸化カルシウムと反応し、コンクリート中にC-S-Hゲルを生成し、内部の空隙や微細ひび割れ(0.2mm未満)を充填し、劣化因子の侵入を抑制し、耐久性の向上に寄与するものとされています。

実際、コンクリート内部で何が起きているのか理解しにくいので、見える化するために実験を行いました。

2. 実験方法

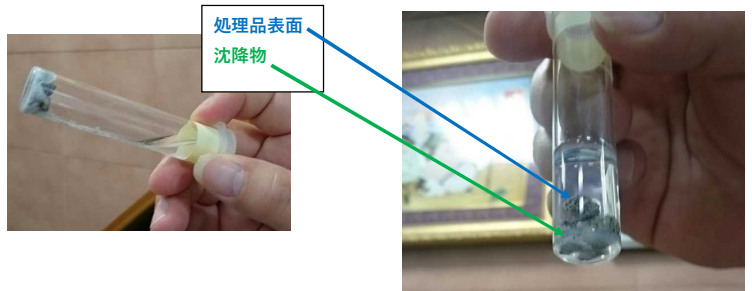
- (1) 容器にけい酸塩系表面含浸材(けい酸カルシウム主成分)の原液(5g)にコンクリート片(0.3g×5個)を投入し、1か月静置する。(試験体は2個作成)
- (2) 1か月後に試験機関へXPS分析を依頼する。
- (3) 残った透明の液体に、水酸化カルシウムを投入し、反応試験を行う。



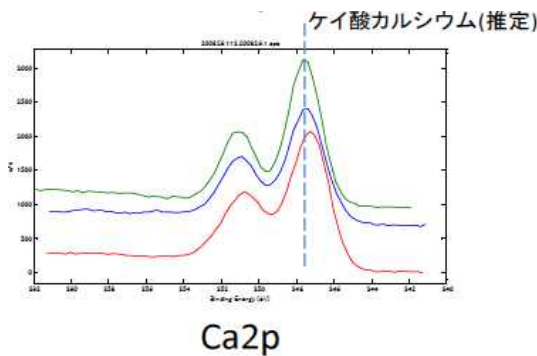
3. 実験結果

(1) 1か月後の状態

- ・ コンクリート表面に析出物、下部に沈降物(ゲル)が発生している。
- ・ 試験管を傾斜させてもコンクリート片は転がらないが、沈降物は一部流動化



(2) XPS分析による結果



試料

- ①未処理品 ②処理品(原液に投入したコンクリート片) ③沈降物(下部に沈降した物)

分析方法

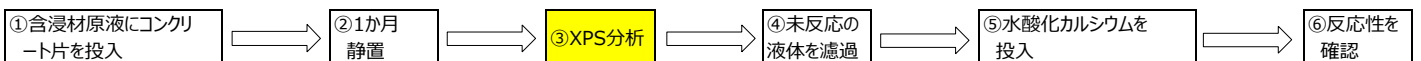
XPS(X線光電子分光装置)

装置

アルバック・ファイ製 PHI 5000 Versa Probe II

結果

未処理品に比べ処理品のけい酸カルシウム量が多く生成されている。  
沈降物にもけい酸カルシウムが多く生成されている。



(3) 反応試験

- ・ 沈降物は反応しない。
- ・ 未反応と思われる原液に水酸化カルシウムを投入すると再び反応する。



#### 4. 考察

- (1) けい酸塩系表面含浸材は、コンクリートの水酸化カルシウムと反応し、「けい酸カルシウム」となる。
- (2) 沈降物は、溶け出した水酸化カルシウムと反応し「けい酸カルシウム」となる。（現実的には、乾燥して水に溶けだしにくい「けい酸カルシウム」として空隙を充填する）
- (3) 未反応の原液は、再度反応し、「けい酸カルシウム」となる。（現実的には、未反応の原液は、析出して待機し、水と触れると再度反応する）

#### 5. まとめ

本実験は含浸材を塗布した場合に、コンクリート内部でおきていることを模擬的に検証したのですが、

1. コンクリート中の水酸化カルシウムと反応しけい酸カルシウム化する。
2. C-S-Hゲル状態のけい酸カルシウムは、水に溶けだしにくいので、空隙を充填した後も、内部に残り効果を継続できる。  
容易に水に洗い流されるゲル状態に留まっていたら、空隙の充填効果を継続できない。
3. 未反応の含浸材は再度水が加わることで、再度反応を繰り返す。

以上、本実験をとおして、コンクリート内部でおきていることは、コンクリートライブラリー137に記述されていることを満足していることが確認できました。

#### ① XPS分析（X線光電子分光法）とは

X線光電子分光法は、表面数nmに存在する元素（Li～U）に対し、定性・定量分析のみならず、材料の特性を決める化学結合状態分析ができる手法として広く普及。

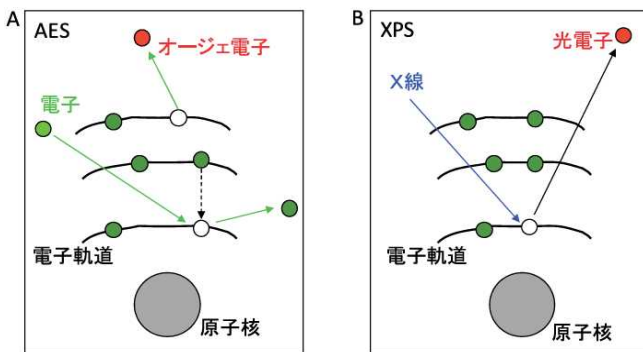


図1 電子放出過程

- A: オーজে電子の放出過程。(i) 照射電子が内殻電子を励起して原子の外に放出、(ii) 放出された電子よりも外の軌道にいる電子が内殻軌道に移る、(iii) その際、余分となったエネルギーによって外殻軌道の別の電子が励起され放出される。
- B: 光電子の放出過程。X線により電子が励起され原子の外に放出される。

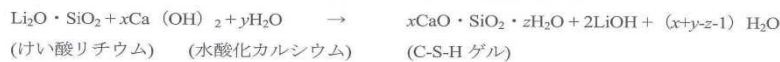
オーজে電子、光電子のエネルギーは元素固有の値を持っているため、それらの電子を検出することによって測定試料の組成分析が出来る。AESでは原理的に原子番号がリチウム以上の原子が測定対象元素になる。XPSでは原理的には水素、ヘリウムも測定対象になるが、これらは感度が極めて低く実質観測にかからない。従ってリチウム以上の原子が対象となる。

(XPS試験の特徴)  
化学結合状態の区別が可能である事

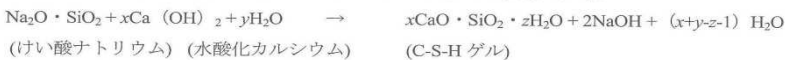
#### ② コンクリートライブラリー137の記述

けい酸塩系表面含浸材の主成分は、以下に示すように水酸化カルシウムと反応し、コンクリート中にC-S-Hゲルを生成させるものでなければならない。

- ・主成分としてのけい酸リチウムと水酸化カルシウムの反応式の例



- ・主成分としてのけい酸ナトリウムと水酸化カルシウムの反応式の例



- ・主成分としてのけい酸カリウムと水酸化カルシウムの反応式の例



#### (C-S-Hゲルとは)

文献 「まんがでわかるコンクリート (石田哲也著)

カルシウムシリケート水和物 (C-S-H) は生成する条件によってCaO、SiO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oそれぞれの構成比率が変化するとともに、結晶性の乏しい物質であることが知られている。特定の決まった化学組成を持っていないので、一般に「C-S-H」あるいは「C-S-Hゲル」と呼ばれている。

**C-S-Hゲルが生成されても、けい酸カルシウム化して、雨水で流れ出る（内部に留まらない）ようでは、含浸材の効果を継続できません。**