

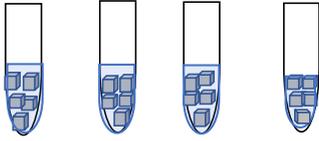
1. 目的

試験管を利用しWater Guardと他社製品の含浸材の反応性を観察する。

得られる結果（予想）

28日後のWater Guardの反応固化物に重量 > 他社ナトリウム系含浸材の反応固化物重量

2. 対比実験



■ コンクリート片0.3g/個×5個×4試験管



①水、②CS21ネオ、③RCガーデックス土木用、④WaterGuard を 各5g

【STEP1】 各試験管投入用に、コンクリート片を0.3g × 5=1.5g/試験管×4試験管=6gを用意

【STEP2】 試験管にコンクリート片を0.3g×5=1.5gずつ投入し、水と含浸材3種類を各5gずつ投入する。

【STEP3】 直後、3日、7日、14日、28日の反応性を観察する。

【STEP4】 28日後、試験管から試験体を取り出し、3日間清水に浸ける。

【STEP5】 1日屋内で自然乾燥する。

【STEP6】 反応物の重量を計測し、試験機関に試験を依頼する。

（試験の流れ）

	日、曜日	時刻	
【STEP1】			
① コンクリート片 0.30 g (5mm×5mm×5mm相当) を20個作製	5月4日 (月)	10:00	(変更) 5m ³ = 125mm ³ 125mm ³ × 0.0024g/mm ³ = 0.30g 粉碎して固形分を利用する。
【STEP2】			
① 試験管にコンクリート片 (0.3g/個×5個) と含浸材 (5g) を投入	5月4日 (月)	11:25	①水、②CS21ネオ、③ガーデックス土木用、④WaterGuard
【STEP3】			
① 反応状態の観察 (3日目)	5月7日 (木)	10:00	
① 反応状態の観察 (7日目)	5月11日 (月)	10:00	
① 反応状態の観察 (14日目)	5月18日 (月)	10:00	
① 反応状態の観察 (28日目)	6月1日 (月)	10:00	
【STEP4】			
① X線光電子分光分析 (XPS) を依頼	6月18日 (木)		④のみ分析を依頼した。
② 試験体を取り出し、3日間清水に浸ける	6月1日 (月)		↓ 以下、省略。XPS分析を優先し、試験管ごと提出したため実施できず
【STEP5】			
① 1日屋内で、自然乾燥する	6月4日 (木)		
【STEP6】			
① 各重量を計測する	6月5日 (金)		当初0.3g×5=1.5gに対して、どれくらい増加したか？



- ①一番左側： 真水(5g)にコンクリート片 (0.3g×5個) を投入
- ②左側から2番目： 含浸材 A (5g)にコンクリート片 (0.3g×5個) を投入
- ③左側から3番目： 含浸材 B (5g)にコンクリート片 (0.3g×5個) を投入
- ④一番右側： けい酸カリウムを主成分の含浸材(5g)にコンクリート片 (0.3g×5個) を投入

(1か月後)
左写真は、20200617現在の写真

- ①は、変化なし
- ②は、下部に少々反応固化物が沈降、弱い固着
- ③は、ゲル状の反応物が発生しているが、試験管を傾けると流動化
- ④は、下部に反応物が沈降、固着、試験管を傾けても流動しない、液体が少し白濁

④の下部に反応物が沈降し、固着している。



④を傾けても沈降物とコンクリート片が固着しており、流動化しない。



※XPS試験時には、ゲルである報告を受けている。

③ゲル状の反応物は流動化する。



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

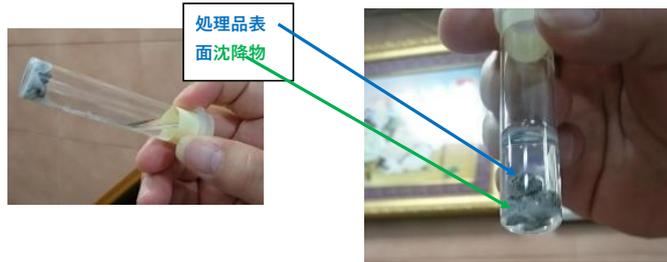
- (1) 容器にけい酸塩系表面含浸材(けい酸カルシウム主成分)の原液(5g)にコンクリート片(0.3g×5個)を投入し、1か月静置する。(試験体は2個作成)
- (2) 1か月後に試験機関へXPS分析を依頼する。
- (3) 残った透明の液体に、水酸化カルシウムを投入し、反応試験を行う。



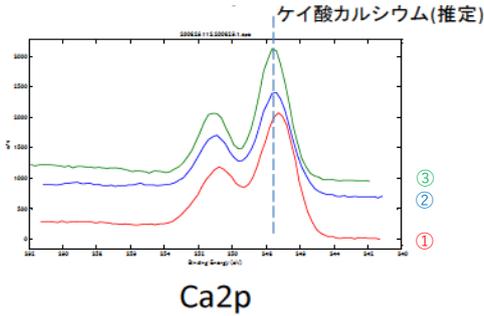
3. 実験結果

(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には多くのけい酸カルシウムが生成されている。
沈降物にもけい酸カルシウムが多く生成されている。

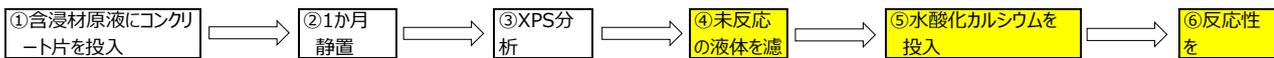


(3) 反応試験

- ・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未反応の原液を濾過 ⑤水酸化カルシウムを投入 ⑤投入直後 ⑤投入攪拌直後 ⑥固化を確認(未反応も含浸材が再度反応)



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さにくい「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ケイ酸カルシウム化する。
2. C-S-Hゲル状態のケイ酸カルシウムは、水に溶けださにくいので、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。

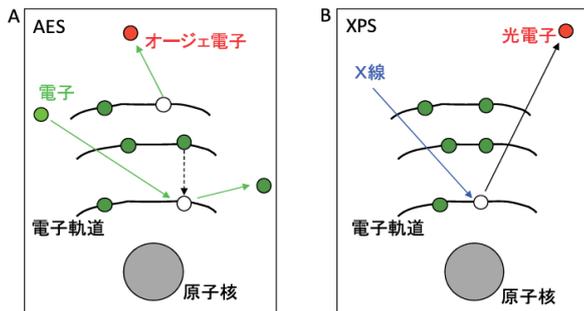


図1 電子放出過程

- A: オージェ電子の放出過程。(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。

オージェ電子、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
$$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + x\text{Ca}(\text{OH})_2 + y\text{H}_2\text{O} \rightarrow x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + z\text{H}_2\text{O} + 2\text{LiOH} + (x+y-z-1)\text{H}_2\text{O}$$

(けい酸リチウム) (水酸化カルシウム) (C-S-Hゲル)
- 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
$$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + x\text{Ca}(\text{OH})_2 + y\text{H}_2\text{O} \rightarrow x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + z\text{H}_2\text{O} + 2\text{NaOH} + (x+y-z-1)\text{H}_2\text{O}$$

(けい酸ナトリウム) (水酸化カルシウム) (C-S-Hゲル)
- 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
$$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 + x\text{Ca}(\text{OH})_2 + y\text{H}_2\text{O} \rightarrow x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + z\text{H}_2\text{O} + 2\text{KOH} + (x+y-z-1)\text{H}_2\text{O}$$

(けい酸カリウム) (水酸化カルシウム) (C-S-Hゲル)

(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、SiO₂、H₂O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。

C-S-Hゲルが生成されても、けい酸カルシウム化しないで、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。