

一度水和したセメントの再水和挙動とその特性の把握

芝浦工業大学大学院 建設工学専攻理工学研究科
 芝浦工業大学 工学部土木工学科
 三和石産株式会社 テスティング事業部
 芝浦工業大学 工学部土木工学科

○中西縁
 宮崎幹太
 大川憲
 伊代田岳史

1. 研究背景および目的

近年、建設現場で余剰となり、製造工場に返却された戻りコンクリートの処理量の増加が問題となっている。洗浄処理を施した後のスラッジ水、回収骨材は再利用されるものの、スラッジケーキは産業廃棄物として処分されている現状に際し、対策としてスラッジケーキを原材料とした「乾燥スラッジ微粉末（以下：DSP）」をセメントの代替品として利用する試みが進められている。

本研究では DSP の製造工程に着目し、一度生コンクリートとして接水したセメントが脱水・乾燥の工程を経て再び接水する（再水和する）ことによる諸特性を把握したい。また、既往研究¹⁾において、DSP を用いたモルタルの内部構造は複雑化することがわかっているが、その構造を決定する具体的な水とメカニズムについては不明な点が多い。

本研究は、初期水和時間や乾燥温度が異なる場合、硬化体に与える影響に変化があるか比較・検討することを目的として研究を行った。特に、残存している未水和物量、接水による未水和物の反応、一度目の水和による生成物（以下：初期水和物）の接水による影響などについて着目している。

2. 実験概要

2. 1 使用材料・配合

表1に本研究で作製したセメントペーストの配合を示す。材料は実験室で作製した既水和セメント、比較のために普通ポルトランドセメント（OPC）と生成過程の所要時間が8、24時間のDSPを用い、それぞれA、Bとしている。ここで、試料名の「3h_40」とは、3時間水和させたセメントを40℃環境下において乾燥したことを意味している。なお、初期水和と24時間の試料とDSP_Bにおいて、W/C50%でのペースト作製は水分吸着力が高く練混ぜが困難だったため、W/C80%とした。

2. 2 既水和セメントの作製

図1に既水和セメントの作製手順を示す。初期水和時間を3、8、24時間、乾燥温度を40、105、300、500℃として、それぞれ粉体を作製した。作製方法は、スターラーにて水と攪拌したセメントペーストを各時間で水和停

表1 セメントペーストの配合

試料名	W/C [%]	練混ぜ時間
3h 40/105/300/500	50	2min.
8h 40/105/300/500		
24h 40/105/300/500	80	
OPC	50	
DSP_A	50	
DSP_B	80	

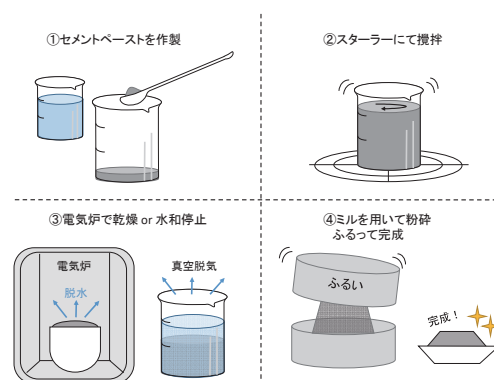


図1 既水和セメント作製手順

止し、105～500℃環境下において水分蒸発による質量減少量が恒量となるまで乾燥処理を施した。乾燥温度が40℃の既水和セメントについては、脱水完了後のペーストをアセトンに浸漬後、真空脱気処理を施すことで水和停止させた。水和停止したそれぞれのセメントは150μmふるいを通るまでボールミルを用いて粉碎し、既水和セメントの完成とした。

2. 3 示差熱重量分析（TG-DTA）

水和経過時間ごとの水和物や水和進行度を測定するため、TG-DTAを用いた。既水和セメントペーストバーは所定の材齢まで封かん養生した。所定の材齢にて、試験体を粗砕した後にアセトンに浸漬させ、真空脱気を施し水和停止処理とした。メノウ乳鉢とアセトンを用いて微粉碎し分析試料とした。測定は室温～1000℃まで、昇温速度20℃/min、N₂フロー環境下にて実施した。試料のW/Cが50%、80%と異なるが、水和停止処理により自由水が消失していること、測定した生成量や強熱減量の値が±0.5%程度であることから、W/Cが水和へ与える影響

は少ないものとして結果を比較している。

2. 4 粉末 X 線回折 (XRD)

水和生成物の定性分析を行うために、XRD を用いて測定を行った。測定はブルカー・エイエックス株式会社製の卓上型 X 線回折装置 (D2PHASER) を使用し、管電圧 250mA、スキャン速度 0.025deg/min、走査範囲 $2\theta=5\sim60^\circ$ 、サンプリング間隔 0.025deg とした。試料は上記 TG-DTA と同様の事前処理方法を施したものを使用した。

3. 実験結果および考察

3. 1 示差熱重量分析 (TG-DTA)

図2～3にTG-DTAの結果を示す。図1は再水和0日、28日における $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成割合である。再水和0日において、初期水和時間が3、8、24時間と増加するごとに水和進行によって $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が増加していることがわかる。40℃環境下で乾燥した試料は他の乾燥温度試料と比較すると、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量が若干少ない。これは、水和停止にアセトン処理を施したため、高温環境下にて水を蒸発させた試料と比較して水和時間が短くなったことが影響していると考ええる。再水和28日のグラフにおいて、総じて $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 割合が増加しているが、初期水和時間が短いもののほど生成割合が多くなることがわかる。このグラフからは乾燥温度が $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成割合に与える影響は見受けられず、乾燥温度は再水和に対して大きな影響がない可能性が示唆された。再水和0日、28日を比較すると、初期水和時間に関わらず再水和したセメントは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量が同程度まで増加していることがわかる。

図2に、材齢0、28日における水和物の割合を示す。これは、TG-DTAで得られた強熱減量の値から、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の脱水量、 CaCO_3 の脱炭酸量を分子量を考慮して除した値であり、再水和0日での割合は「初期水和物量の割合」と仮定することができる。再水和0日とは既水和セメントの原粉であり、この結果においては初期水和の時間が長くなるほど水和物量が増加しているが、再水和28日では同程度の割合を示している。

また、ここで材齢0日から28日への伸び率が、既水和セメントの再水和に対するポテンシャルを示していると考えた。初期水和時間や乾燥温度によらず、材齢28日での水和物割合が横ばいになるという点から、材料としているセメントがすべて同じOPCを用いたために、最終的な水和に対するポテンシャルが同等であることが考えられる。しかしながら伸び率には差があるため、今後さらに

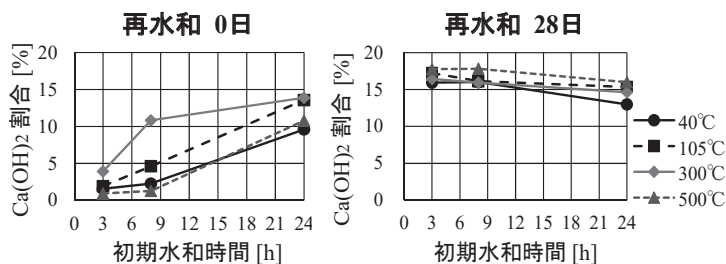


図2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成割合 [%]

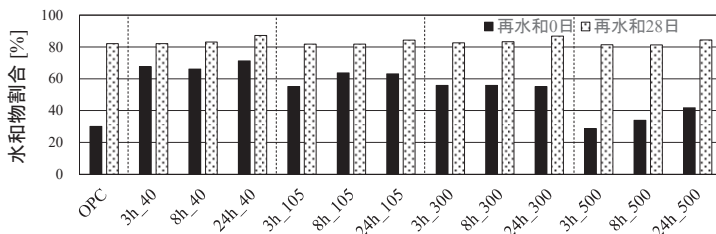


図3 水和物の割合 [%]

追加実験を行い、メカニズムを解明していきたいと考えている。

3. 2 粉末 X 線回折 (XRD)

XRDによる測定結果から、初期水和の時間や乾燥温度によって、生成される水和物に傾向が見られる可能性が示された。初期水和における生成物が、既往研究¹⁾において挙げられた内部構造の複雑化などの影響を与えている可能性があると考えられる。今後、生成物を定性分析し水和生成物の同定を行っていききたいと考えている。

4. まとめ

本研究で得られた知見と今後の課題を以下に示す。

- (1) TG-DTAの結果において、強熱減量や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 の生成量から、初期水和物の割合や再水和に対するポテンシャルを表すことができる可能性が示された。
- (2) 再水和に対するポテンシャルについて、初期水和時間や乾燥温度によらず、再水和28日の段階では水和物の割合が同程度になる。今後の課題として、OPCの水和ポテンシャルについて検討を行い、再水和セメントとの総水和時間を同一にしたOPCにおける水和物量について考察が必要であると考えられる。
- (3) XRDによる測定から、水和時間や乾燥温度が同じ場合、生成される水和物にも同様な傾向がある可能性が示された。今後定量評価を行い、水和物の具体的な成分の分析や評価を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 荒木萌、大川憲、伊代田岳史：乾燥スラッジ微粉末を使用したモルタルの耐久性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1 (2018)