

コンクリートの中性化を防ぐには

班員 鍋島 琴美、秦 咲空、羽多 麻尋、松田 愛加
担当教諭 高橋 潤哉

キーワード：セメント、供試体、中性化、pH

We researched how to prevent the deterioration of concrete through neutralization. We made mortar spread with oil or ethanol, and no spread. After that, we put them in an air or desiccator filled with carbon dioxide and observed the progress of neutralization. As a result, only mortar spread ethanol neutralized, so we found that it is possible to prevent neutralization by protecting concrete from contact with volatile substances.

1 はじめに

近年、地球温暖化抑制に向けて二酸化炭素排出量の削減が目標に掲げられている。セメント産業では、1トンのセメントを作る度に770kgの二酸化炭素が排出される。私たちは、セメント産業における二酸化炭素排出量の削減は、コンクリートの劣化を抑え、コンクリート自体の生産量を抑えることで実現できると考えた。

コンクリートの劣化原因には凍害、塩害、アルカリシリカ反応、中性化の4つがあげられる。塩害については、先行研究からCaClなどの塩化物イオンを含む塩のセメントの強度が低いことが分かっている。そこで私たちは、残りの3つの原因のうち自分たちで実験が可能だと考えた中性化について研究を始めた。現在、コンクリートの中性化を抑制する方法としてシラン系表面含浸材が開発されているがまだまだ実用性は低い。そこで私たちは、身近なものでコンクリートの中性化を抑制する方法について研究を進めた。

コンクリートの中性化については、コンクリートに含まれる水酸化カルシウムが二酸化炭素と反応することで炭酸カルシウムが生成され、コンクリートのpHが下がることで中性化が進む。現在、多くの建造物では鉄筋コンクリートが主流となっている。その鉄筋コンクリートにおいて中性化が進むことで強アルカリ性により生成されていた鉄筋の不動態被膜と呼ば

れる保護膜が破壊され、鉄筋が活性状態になる。これにより鉄筋腐食が始まり体積が膨張することで、内側からコンクリートがおされ。コンクリートがひび割れ、劣化する。

2 本研究において

セメントと練り混ぜ水の比率はメーカーの指定量に従い、100：17とした

耐久性は乾燥に伴う質量減少（以降乾燥収縮）を指標とした

セメントペーストとはセメントと水を混ぜたものである。

モルタルとはセメント、水、細骨材（砂）を混ぜたものである。

コンクリートとはセメント、水、細骨材、粗骨材（砂利）を混ぜたものである。

湛水養生とは周囲の型枠をあらかじめ高くしコンクリートの上面に水を張る方法であり、非常に養生効果が高い。

水中養生とは20±3℃に保った水中または湿度100%に近い湿潤状態で行う方法であり、空气中で養生するよりも温度変化が小さく精度が高い

3 実験

〈 実験1 〉 耐久性比較実験

（ 1 ） 使用材料

・日曜セメント（家庭化学工業株式会社）

・練り混ぜ水

純水

pH4に調整した硫酸水溶液

pH11に調整した水酸化ナトリウム水溶液

(2) 供試体の作成

200gのセメントに34mLの練り混ぜ水3種類をそれぞれ別のセメントに加えて練り混ぜ、8×8×1.5cmの型枠に打ち込み、空气中で16時間硬化させたのちに、練り混ぜ水と同じ水溶液を供試体の上1cmまで注いで32時間湛水養生した後、脱型し20時間乾燥させた。供試体は1枚ずつ作成した。

(3) 耐久性確認方法

コンクリートの耐久性は乾燥収縮、凍結融解作用、表面の摩耗及び衝撃によって低下する。乾燥収縮とは乾燥に伴う質量減少のことである。本実験では乾燥収縮を耐久性の指標として用いた。

供試体の質量を、精密はかりを用いて1週間毎日計測し、初日の質量を基準とした質量比の変化を求め、グラフにした。

(4) 実験結果

どの練り混ぜ水を加えた供試体もpHによる質量比の変化に違いは見られなかった(図1)。

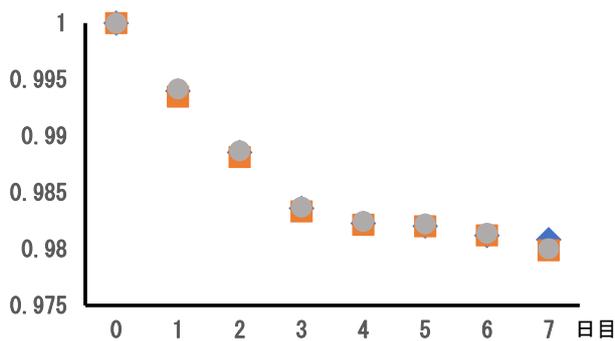


図1 異なる練り混ぜ水で作った供試体の質量比の変化

〈実験2〉強度比較実験

(1) 使用材料

- ・日曜セメント (実験1と同様)
- ・練り混ぜ水 (実験1と同様)

(2) 供試体の作成

367gのセメントと62mLの練り混ぜ水3種類を

それぞれ練り混ぜφ50×95mmの円柱状型枠に打ち込み、16時間硬化させたのちに脱型し、28日間水中養生を行った。供試体は3本ずつ作成した。養生時はセメントからカルシウムイオンが溶け出さないように飽和石灰水を用いた。

(3) 実験方法

土木学会基準により0.4~0.6[kN/s]で圧縮強度試験機を用いて供試体を圧縮し(図2)、強度[N/mm²]の平均値を求めた。



図2 圧縮強度実験の様子

(4) 実験結果

pH4の練り混ぜ水で作成した供試体のみ著しく強度が低下した(図3)。

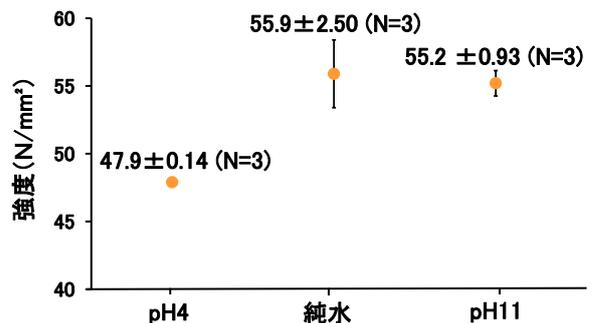


図3 異なる練り混ぜ水で作った供試体の強度の平均値

〈実験3〉中性化確認実験

(1) 使用材料

- ・日曜セメント (実験1と同様)
- ・練り混ぜ水 (純水)
- ・サラダ油

- ・エタノール
- ・フェノールフタレイン溶液

(2) 供試体の作成

実験1と同様の方法で作成した。供試体は3枚ずつ作成した。

(3) 実験方法

条件1：高濃度二酸化炭素環境下

塩酸と石灰石を反応させ発生した二酸化炭素で充満させたデシケータ内にサラダ油またはエタノールを塗布したもの、何も塗布しなかったものをそれぞれ1枚ずつ供試体を入れて5日間放置した。

条件2：空气中

条件1と同様の供試体を用意し、空气中に約1か月間放置した。

両条件の供試体の中性化を確認するために一定期間ごとに上面と側面にフェノールフタレイン溶液を垂らし、呈色の有無を確認した。

(4) 実験結果

二酸化炭素で充満させたデシケータに入れたものについて、3種類の供試体の上面及び側面は5日後には呈色が見られず中性化していた。供試体の内部まで中性化が進んでいるかを確認するために半分に割り、断面にもフェノールフタレイン溶液を垂らし色の変化を確認したところ、断面では呈色が見られた(表1)。よって内部まで中性化は進んでいなかった。

表1 二酸化炭素高濃度の環境下での中性化の影響

	なし	サラダ油	エタノール
上面	×	×	×
側面	×	×	×
断面	○	○	○

○：呈色した
×：呈色しなかった

空气中にさらしておいたものについて、上面はエタノールを塗布したもののみ5日後の時点で呈色が見られず、側面はすべて呈色した(表2,

3)。よって上面のみ中性化した。

表2 空气中にさらしておいたものの上面の結果

	なし	サラダ油	エタノール
5日後	○	○	×
12日後	○	○	×
19日後	○	○	×
26日後	○	○	×

表3 空气中にさらしておいたものの側面の結果

	なし	サラダ油	エタノール
5日後	○	○	○
12日後	○	○	○
19日後	○	○	○
26日後	○	○	○

4 考察

pH4の供試体に実験1,2で結果に違いが見られた原因として、養生の時間と方法が異なったことに加え、実験1の供試体の水和反応が十分に進んでいなかったことが考えられる。

水和反応とは、セメントを水に混ぜたときにその成分が溶けだし、棘状のエトリンガイトと微細なC-S-Hが発生することで粒子間の隙間が埋まり、強度を発現する反応である。つまり、エトリンガイトとC-S-Hはコンクリートの強度を発現する上で最も重要な物質だと言える。

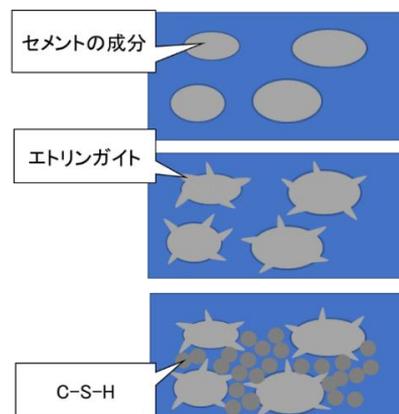


図4 コンクリートの水和反応の仕組み

次に実験2においてpH4の練り混ぜ水で作った供試体のみ強度が低かった原因についてはコンクリートの強度発現に必要であるエトリンガイトとケイ酸カルシウム (C-S-H) の生成に、練り混ぜ水の中の硫酸が影響を及ぼしたことだと考えた。エトリンガイトの生成に関わるアルミネート相に含まれるCaO(塩基性酸化物)と Al_2O_3 (両性酸化物)とC-S-Hの生成に関わるエーライトに含まれるCaO(塩基性酸化物)に加えた硫酸の酸(H^+)が反応することでそれぞれの物質の生成に影響があったのではないかと考えた。

また、実験3において、エタノールは表面張力が弱いため供試体上面の微細な穴に入り込む。加えて、エタノールは揮発性が高いため上面が乾燥する。本来、供試体上面の微細な穴は水があるためほとんど空気に触れていないが、エタノールの影響で表面の水が蒸発し乾燥してしまうと、二酸化炭素に触れる面積が大きくなる。その結果、エタノールを塗布した供試体では中性化が促進されたのではないかと考えた(図5, 6)。

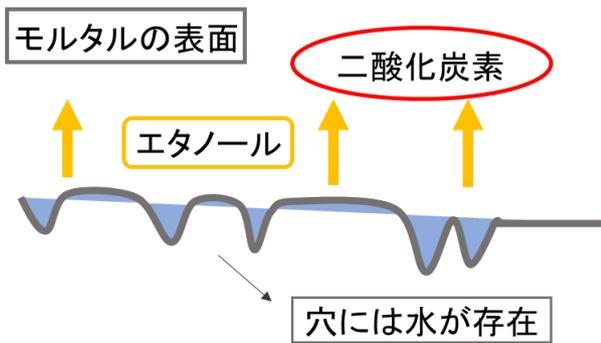


図5 エタノールによる上面の乾燥前の供試体への影響

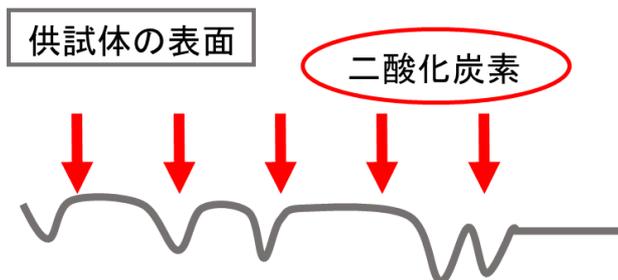


図6 上面が乾燥し中性化が進む供試体

5 結論

酸性の練り混ぜ水でモルタルを作ると強度が低下すること、また上面に揮発性の高い物質を塗布すると上面の中性化が進みやすくなる可能性があると言える。これらの点に注意することにより、モルタルの劣化を防げるかもしれない。

6 謝辞

金沢大学理工学域地球社会基盤学系の五十嵐心一教授と柳田龍平助教、株式会社ピーエス三菱七尾工場の方々には多くのご助言をいただき、実験器具や測定機器をお借りしました。ありがとうございました。

7 参考文献

浦田 憲杜, 今野 秀輝, 佐藤 華花, 原田 麻央, 三保 璃胡, 由利 一樹, 2022, セメントと塩の関係, 秋田県立横手高等学校

佐々木謙二, 佐伯竜彦, 2007, C-S-Hの組成がコンクリートの耐久性に及ぼす影響, 日本材料科学会誌, 56, 699-706.

伊藤義也, 山口晋, 鵜澤正美, 2012, 真空凍結乾燥法とD-dry法を用いて乾燥したセメント硬化体の水銀圧入法による細孔性状, 一般社団法人セメント協会, 66, 135-142