

コンクリート製開水路内に生成するエトリンガイトと中性化の関係 Relationship between ettringite and neutralization in the concrete open channel

○兵頭正浩* 緒方英彦* 杉川もゑ** 新 大軌*** 石神暁郎****

HYODO Masahiro* OGATA Hidehiko* SUGIKAWA Moe**

ATARASHI Daiki*** and ISHIGAMI Akio****

1. はじめに

著者らはコンクリート製開水路の全国調査を実施しており、対象とした3地域（北海道，鳥取県，宮崎県）全てにおいて，供用中の開水路内にエトリンガイト（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ）が生成することを確認している。しかしながら，これまでに開水路内部にエトリンガイトの生成が確認された事例はなく¹⁾，現場打ちかつ薄肉部材であるため「材齢初期の熱履歴」を受けていないことから遅延性エトリンガイト（DEF：Delayed Ettringite Formation）である可能性も低い。つまり，供用中の開水路内部に確認されたエトリンガイトは，生成メカニズムについて言及することが困難となっている。

そこで本研究では，エトリンガイトの生成メカニズムに関して中性化の観点から調査を実施した結果を報告する。なお，中性化をエトリンガイトの生成要因の一つとした理由は，中性化フロントの形成に伴って硫酸イオンがフロント（境界域）に濃縮するためである。この濃縮層からセメント内部に硫酸イオンが供給されると，硫酸イオンがモノサルフェート（ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ）および間隙水（ H_2O ）と反応する²⁾ことで，開水路内部にエトリンガイトの二次生成が生じたことを想定したためである。

2. 実験概要

2.1 採取したコアについて

対象としたコンクリート製開水路は，鳥取県鳥取市で供用中であり，農繁期には通水環境下にあるが農閑期は雨水のみが流れる環境にある。また，開水路の背面は地盤などが存在していない置樋型である。なお，正確な施工時期については不明であるが，施設管理を行う土地改良区への聞き取り調査の結果，施工は昭和40年代であることを確認している。コアの採取場所は，開水路内面に1.0mm幅のひび割れが発生している箇所を無作為に抽出し，側壁厚約20cmに対して外径φ80mmのコアビットで貫通コアを採取した。採取後のコアは，外気との接触を避けるためにビニルフィルムにて周囲を保護した。

2.2 評価項目について

評価項目は，中性化深さ，微視的観察，元素分析である。なお，微視的観察には走査電子顕微鏡（SEM：HITACH社製、SU-8020），元素分析には点分析としてエネルギー分散型X線分析装置（EDX：HORIBA社製、E-MAX Evolution）を用いた。なお，微視的観察および元素分析を計測した位置は，中性化深さ試験より可視化した中性化フロントを境界とし，未中性化領域，中性化フロント，中性化領域の3領域とした。

*鳥取大学農学部，Faculty of Agriculture, Tottori University, **元鳥取大学農学部，Faculty of Agriculture, Former Tottori University, ***島根大学学術研究院 Academic Assembly, Shimane University, ****土木研究所 寒地土木研究所，Civil engineering research institute for cold region, Public works research institute
エトリンガイト，二次生成，中性化フロント，DEF，硫酸イオン，SEM，EDX

3. 結果と考察

3.1 中性化深さ

中性化深さと、評価対象とした領域を図1に示す。中性化深さの16.5mmを境界として、中性化領域、中性化フロント、未中性化領域のそれぞれ四角で塗りつぶした個所に対して微視的観察および成分分析を実施した。

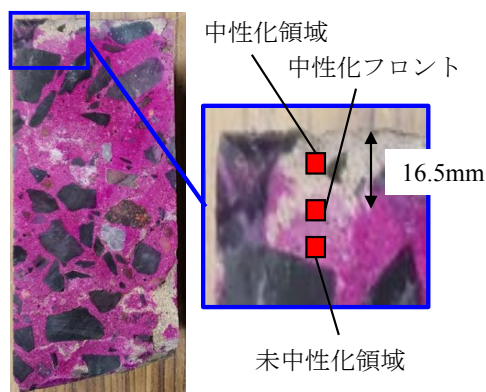


図1 中性化深さと評価対象領域

3.2 各領域における微視的観察と成分分析

未中性化領域、中性化フロント、中性化領域のそれぞれの領域で観察された白色析出物を図2に、原子数濃度(%)を表1に示す。図2の赤丸で囲ったように、すべての領域で白色析出物が確認された。白色析出物の元素分析結果を表1に示すが、中性化領域での元素濃度比はCa:S:Al=50.3:20.0:14.8=6:2.4:1.8, 中性化フロントではCa:S:Al=56.3:22.2:13.4=6:2.4:1.4, 未中性化領域ではCa:S:Al=51.1:22.8:14.2=6:2.7:1.7となった。これはエトリンガイト($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)の元素濃度比(Ca:S:Al=6:3:2)と近い値であること、既往の研究¹⁾で白色析出物をXRD分析した結果を考慮するとエトリンガイトである可能性が非常に高いといえる。



図2 各領域に発生した白色析出物

表1 各領域における原子数濃度(%)

領域/元素	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
中性化領域	1.1	0.0	14.8	13.0	20.0	0.5	50.3	0.2
中性化フロント	0.1	0.0	13.4	7.7	22.2	0.2	56.3	0.0
未中性化	1.4	0.3	14.2	7.6	22.8	0.9	51.1	1.8

4. まとめ

本研究では、中性化とエトリンガイトの関係性について評価したが、全ての領域でエトリンガイトの析出が確認された。しかしながら、本研究はあくまで定性的な評価であることから、今後はそれぞれの領域においてエトリンガイトの生成量及び分布を定量的に評価する。

謝辞：本研究は上田記念財団の助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：1) 緒方英彦ほか(2020)：寒冷地で長期供用された開水路コンクリートの気泡およびひび割れ中の析出物に関する一考察，コンクリート工学論文集，第31巻，pp.23-32, 2)吉田夏樹(2021)：エトリンガイトの遅延生成(DEF)によるコンクリートの劣化現象，GBRC, Vol.16, No.1, pp.31-40