

# 有害鉱物による劣化コンクリートの健全度評価に関する調査

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 2

担当チーム：地質チーム

研究担当者：阿南修司、昆周作、松尾達也

## 【要旨】

コンクリートの劣化をもたらす有害鉱物である濁沸石を含む骨材を用いた供試体の相対動弾性係数による強度評価と、各種顕微鏡を用いたコンクリート劣化部における微細構造の観察を行った。その結果、濁沸石の結晶間の空隙をCSHゲルが充填することで、濁沸石の膨張圧が周囲のコンクリートに効率よく伝達してしまう可能性を見出した。また、コンクリート表面には、コンクリートの外縁と平行し、濁沸石によって発生した亀裂が密集する箇所が認められたが、コンクリートの表面の脆弱帯で劣化が顕著であることが確認された。これらから、濁沸石による劣化が内部コンクリートに進行する可能性は低く、進行する場合も非常に遅い速度と考えられる。

キーワード：コンクリート骨材、濁沸石、走査型電子顕微鏡観察、スケーリング

## 1. はじめに

コンクリート骨材の有効利用や既設構造物の長寿命化のためには、コンクリートの品質に問題を生じさせるような鉱物への対応が必要である。このような鉱物の1つに沸石族の濁沸石が知られている。濁沸石の基本的な化学式が  $[\text{Ca}_4(\text{H}_2\text{O})_{12-18}][\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}]$  で表される含水鉱物である。濁沸石は乾燥と湿潤にともなって、収縮から膨張の可逆的な体積変化が発生することが知られている<sup>1)</sup>。Wakizaka and Anan (2003)<sup>2)</sup> は、この可逆的な体積変化が周囲のコンクリートに対して疲労破壊をもたらすこと、濁沸石を含む骨材の粒径が大きいモルタル供試体の劣化が著しいことを明らかにしている。一方、濁沸石が原因で劣化した実際のコンクリ

ート構造物では、深さ数センチメートル程度の表面劣化が顕著だが、内部では劣化の程度が著しくない事が確認されており、構造物の長寿命化においては、劣化が内部へ進行するメカニズムに基づいた対策が重要となる。

そのため本研究では、濁沸石によるコンクリートの劣化とその内部への進行メカニズムを把握するために、曝露試験を行った供試体および既設構造物に対する分析を行った。これらの結果を踏まえ、濁沸石によって発生するコンクリート表面における劣化機構および内部への劣化の進行性について検討した。

## 2. 研究方法

### 2.1 モルタル供試体の曝露試験

モルタル供試体には、濁沸石含有骨材として脈状の濁沸石または斜長石を置換した濁沸石を含有する熊本県産の閃緑岩を、濁沸石非含有骨材として広島県産の花崗岩を使用した。この2種類の骨材について配合量の調整を行い、表-1に示すような濁沸石含有骨材の粒度と濁沸石の含有率を変えた供試体を用意し、劣化の違いについて観察した。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は50%、S/Cは2.0（重量比）でモルタル供試体を作製した<sup>2)</sup>。曝露試験は1994年から土木研究所地質実験棟の屋外曝露試験場で行っており、現在9,000日を経過している(図-1)。

この曝露試験で用いた供試体のMR-1からMR-5は、過去の論文<sup>2)</sup>等におけるL-1からL-5と表記した供試

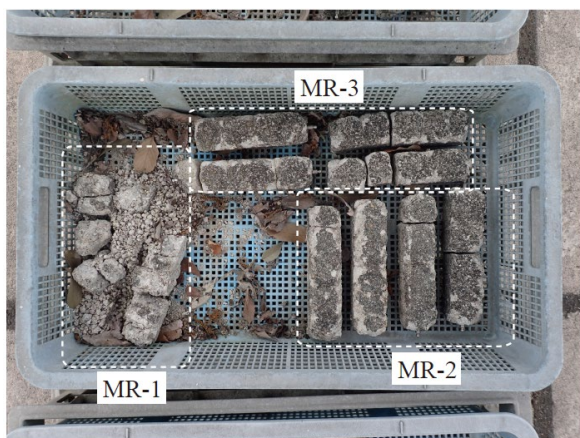


図-1 濁沸石を含有した骨材を使用したモルタル供試体（曝露開始から9,430日）

表-1 モルタル供試体の骨材粒径と濁沸石の含有量

試料名	濁沸石含有骨材の粒度 (mm)	濁沸石含有率 (%)
MR-1	5.0 ~ 1.2	10.00
MR-2	1.2 ~ 0.3	8.50
MR-3	0.6 ~ 0.3	10.00
MR-4	0.6 ~ 0.15	10.75
MR-5	0.15 以下	3.38

体と同じである。また、過去の研究では降雨に曝される降雨条件と非降雨条件でモルタル供試体の曝露を行っており、非降雨条件の供試体では劣化しない結果を得ている<sup>2)</sup>。

## 2.2 コンクリート供試体の曝露試験

2018年度に表-2に示す条件でコンクリート供試体を作製し、屋外曝露試験を開始した。現在(2021年3月)、曝露開始から約600日が経過している。コンクリート供試体に用いた濁沸石含有骨材は、脈状に濁沸石が分布する高知県産の砂岩を用いた。この骨材用岩石を粗粉碎したのちに水洗いを行い、粗骨材と細骨材を作製した。骨材の各粒度について、粉末X線回折(XRD)装置(PANalytical社製)を用いて測定した結果、供試体中の骨材の濁沸石の含有量は約7%となっている。セメントは高炉B種セメントを使用し、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」

表-2 コンクリート供試体の作製条件

供試体名	濁沸石C含有率 (%)	WC (%)	s/a (%)	水中養生開始時期 (日)
H30-1	6.95	50	50.8	脱型後(材齢1日)
H30-2	6.95	50	50.8	7日後(材齢7日)
H30-3	6.99	60	52.8	脱型後(材齢1日)
H30-4	6.99	60	52.8	7日後(材齢7日)
H30-5	7.04	70	54.8	脱型後(材齢1日)
H30-6	7.04	70	54.8	7日後(材齢7日)
WC50-1	6.95	50	50.8	3日後(材齢3日)
WC60-1	6.99	60	52.8	3日後(材齢3日)
WC70-1	7.04	70	54.8	3日後(材齢3日)



図-2 既設構造物における劣化部

に準拠し供試体を作製した。曝露用コンクリート供試体は10×10×40cmの直方体とし、水中養生開始時期を材齢1日と7日の2通りを用意し、材齢28日まで水中養生を行った。破壊試験用試料としてφ10×20cmの円柱コンクリート供試体(水中養生開始時期材齢3日)を作製し、後述の蛍光塗料を添加した樹脂を用いた亀裂分布観察を行った。

## 2.3 供試体の相対動弾性係数

モルタルおよびコンクリート供試体について、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」に準拠した一次共鳴振動数を測定し、供試体の強度を評価する指標の1つである相対動弾性係数を算出した。

## 2.4 既設構造物および使用骨材の採取

濁沸石によって表面劣化を起こしている既設構造物からサンプリングを行った。さらにサンプリングを行った既設構造物の骨材として使用された原石を採石場にて採取した。

この既設構造物の表面劣化は、降雨に曝される箇所では著しく認められ(図-2)、降雨に曝されない箇所ではほとんど確認できなかった。表面劣化は主にスクレーピングであり、劣化箇所は剥離していた。この剥がれ落ちそうな箇所について、筆を用いて試料を採取したほか、後述の亀裂分布の観察用にボーリングコアを採取した。このボーリングコアを採取する際の振動等によって、表面劣化部の大半は剥がれ落ちてしまい欠損した。既設構造物で使用された骨材の原石は、やや青みを帯びた灰色の砂岩で、非常に堅硬である。節理と並行方向に、30mm以下の白色鉱物脈が認められた(図-3)。

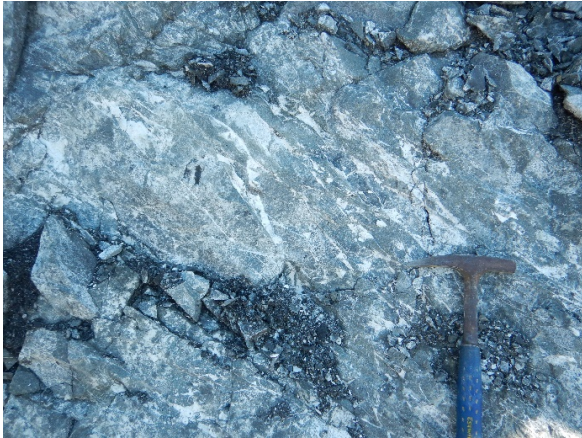


図-3 原石に分布する白色鉍物脈

## 2.5 走査型電子顕微鏡を用いた各種試料の観察

実際に表面劣化を起こした既設コンクリートの表面劣化部および原石の白色鉍物脈について、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて形態観察と、SEM 付属のエネルギー分散型分析装置（EDS）を用いて元素分析を行った。SEM は日立ハイテクノロジー製 SU3500、EDS はオックスフォード・インストゥルメンツ製 X-Max<sup>N</sup> 20、解析はオックスフォード・インストゥルメンツ製 Aztec 3.4 を使用した。鉍物の同定は、鉍物の形状と化学組成を基に行った。

## 2.6 蛍光塗料を用いた亀裂分布の観察

蛍光塗料を添加した樹脂を用いてコンクリートの亀裂分布を観察した。この観察では、コンクリート曝露供試体（表-2）のうち円柱供試体である WC50-1 と WC60-1、WC70-1 と、既設構造物から採取したボーリングコアを整形して用いた。コンクリート曝露供試体については、屋外曝露と屋内曝露を行った円柱供試体をそれぞれ用意し、曝露から 706 日目に整形を行い、コアの中心に沿って縦割りにし、観察する面を #3,000 まで研磨を行った。その後、蛍光塗料を添加した超低粘度エポキシ樹脂を真空引きで含浸させ、観察面において目視で確認できる全ての気泡や亀裂に樹脂が浸透するまで研磨と浸透作業を繰り返した（図-4）。整形した観察面は、ブラックライト（ピーク波長 395 nm）で試料を照射しながら実体鏡（ライカ製 MZ12s）を用いて観察を行った。また WC50-1 および WC70-1 については、外縁から 15 mm と 50 mm に基線を設け、基線と重なる亀裂の本数を数えた（以下、本方法を「基線調査」という）。既設構造物のコンクリートコアについても、コアの中心に沿って縦割りにし、曝露供試体と同様に蛍光塗料を添加したエポキシ樹脂を含浸させ、実体鏡による亀裂観察を行った。

## 3. 結果

### 3.1 モルタル曝露試験結果

曝露開始 9,000 日を経過した時点では、モルタル供試体のうち濁沸石を 1.2~5mm の粒度に混入した MR-1 は完全に粉砕しており、供試体の原形をとどめていなかった。MR-3（0.3~0.6mm に混入）は供試体が複数の亀裂によって割れてしまっており、粉砕化が進んでいた。MR-2（0.3~1.2mm に混入）および MR-4（0.15~0.6mm に混入）の供試体のうち数本が割れてしまっており、供試体の縁は丸みを帯びていた。これらの濁沸石の混入率は 10%前後であった。これらに対し、濁沸石を 0.15mm 以下の粒度に混入した MR-5 の供試体では劣化はほとんど認められなかったが、濁沸石混入率は 3.38%と他に比べ低い。

モルタル供試体の一次共鳴振動数測定は 1994 年 10 月の初回から 2020 年 8 月まで合計 30 回の測定を実施してきた（2007 年度から 2018 年度は計測を実施していない）。図-5 に示すように曝露 1,000 日時点では、

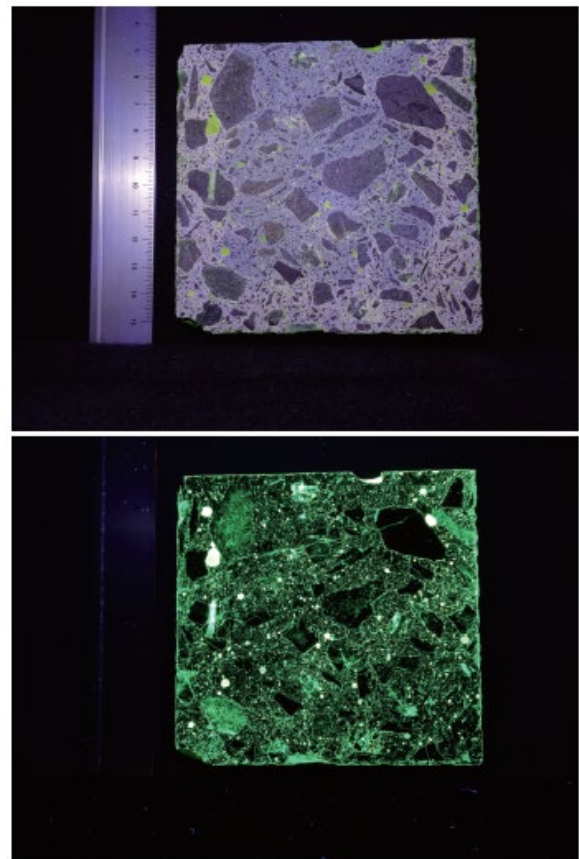


図-4 蛍光塗料を添加した樹脂で固定した供試体（WC50-1、屋外曝露）

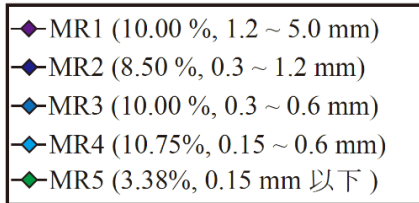
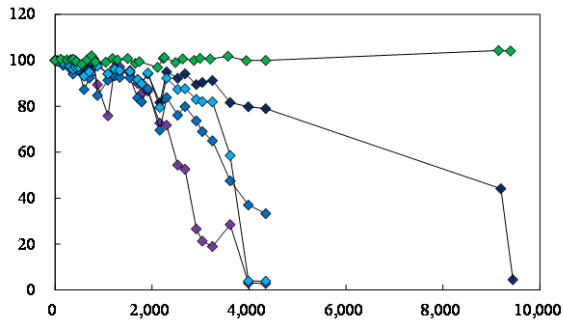


図-5 モルタル供試体の相対動弾性係数

濁沸石の含有率が高く、使用した骨材粒径が最も大きいMR-1の相対動弾性係数は80%以下を示し、その後も急激に減少した。その他の供試体は、MR-3、MR-4、MR-2の順で低下を示した。0.15 mm以下の粒径に混

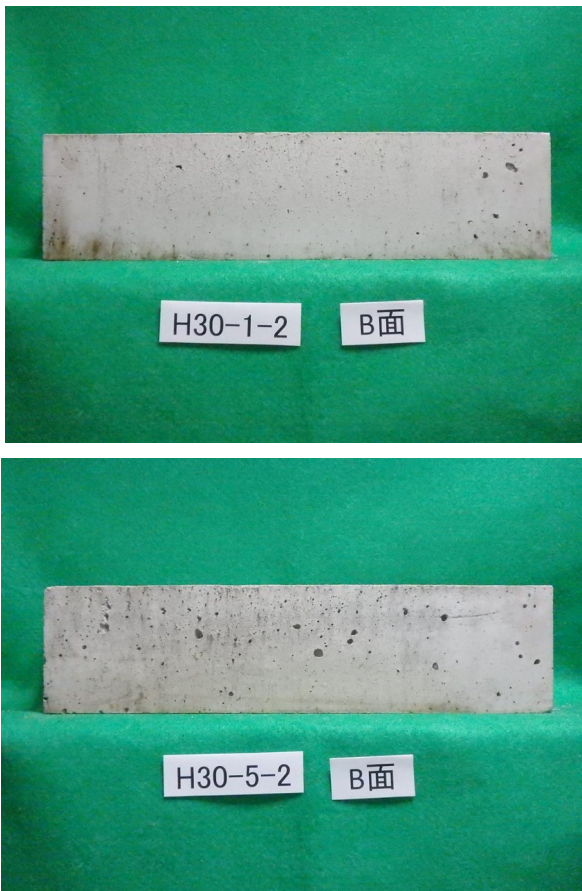


図-6 屋外曝露524日経過のコンクリート供試体

入し、濁沸石の含有量が3.38%と最も少ないMR-5の相対動弾性係数は100%より低下することなく緩やかに上昇している。

9,000日以上経過した時点では、MR-1、MR-3、MR-4の全て、およびMR-2の数本は粉砕と亀裂により測定ができなかったがMR-2は10%を下回り、モルタル供試体の強度はほとんど残っていない結果となった。一方、MR-5については、濁沸石を3.38%含有しているが相対動弾性係数は100%以上を保ち、供試体作製時よりも高い強度を保っていることが示された。

### 3.2 コンクリートの曝露試験結果

図-6は屋外曝露524日が経過したコンクリート供試体を示している。曝露期間が400日を経過したあたりから、供試体側面に染みのようなものが発生し、気泡を繋ぐような幅1 mm程度の亀裂が複数発生し、供試体の角が剥がれ落ちるようになってきた。この劣化と進行の程度は、水セメント比が高い供試体ほど著しく、水セメント比が50%の供試体では目立った劣化は認められなかった。

コンクリート供試体の一次共鳴振動数測定は2019年3月に開始し、令和2年8月まで3回の測定を行っている(図-7)。曝露開始より279日の2回目の測定では、H30-5以外は相対動弾性係数が100%を超えており、最新の測定(曝露開始より524日)でもH30-1、H30-2およびH30-4は100%を超えている。一方、H30-3、H30-5およびH30-6は、最新の測定で相対動弾性係数100%より低下する傾向が見られた。特に水セメント比が70%の供試体の相対動弾性係数の低下

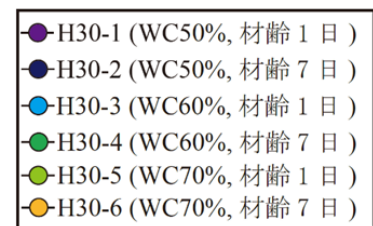
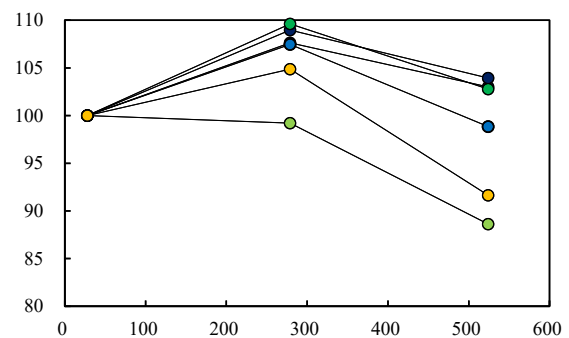


図-7 コンクリート供試体の相対動弾性係数

が著しい。

### 3.3 走査型電子顕微鏡による微細構造の観察結果

既設構造物で使用した骨材の原石に分布する白色鋇物脈について SEM で観察を行った。図-8は白色鋇物脈の元素マップと点分析の一例である。複数の点分析から、カルシウムイオンが主体のアルミネートケイ酸塩鋇物が分布しており、元素マップではこの鋇物が全体的に分布することを示している。このことから、図-8の大部分を占める 100  $\mu\text{m}$  程度の針状～矩形状を呈する結晶は濁沸石と判断した。濁沸石の結晶間には 10  $\mu\text{m}$  以下の空隙が確認できる。

図-9に既設構造物の表面劣化部の元素マッピング像である。濁沸石は骨材の外縁部に多く分布し、単結晶の粒径は数 10  $\mu\text{m}$  程度であり、骨材原石の白色鋇物脈に分布する濁沸石（図-8）と比べて粒度が小さい。濁沸石の結晶間には CSH ゲルが析出しており、濁沸石の結晶間の空隙を充填していた。この濁沸石と CSH ゲル集合体に接するモルタルでは亀裂が発達し空隙化した領域が認められた。また、Wakizaka and Anan (2003) <sup>2)</sup>は濁沸石を起点に亀裂が放射状に分布することを報告しているが、本研究でも矢印の箇所で見られる亀裂を確認した（図-9）。

### 3.4 基線調査による亀裂の観察

供試体の切断面に露出した屋外曝露供試体の中心部

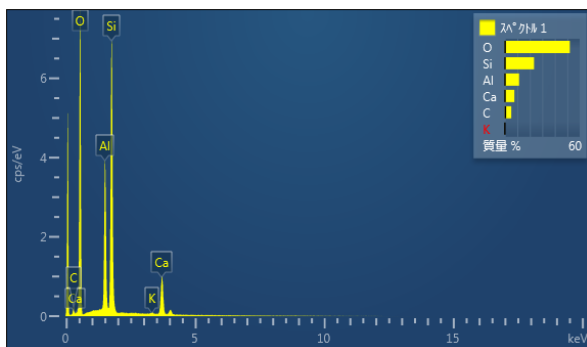
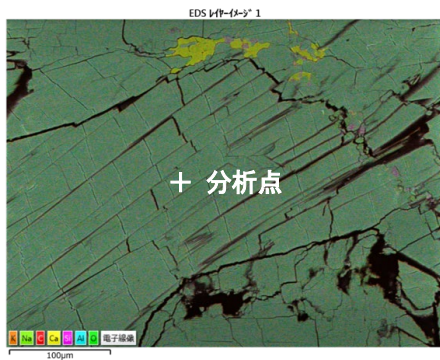


図-8 白色鋇物脈の元素マップ（上）と濁沸石の化学組成分析（下）

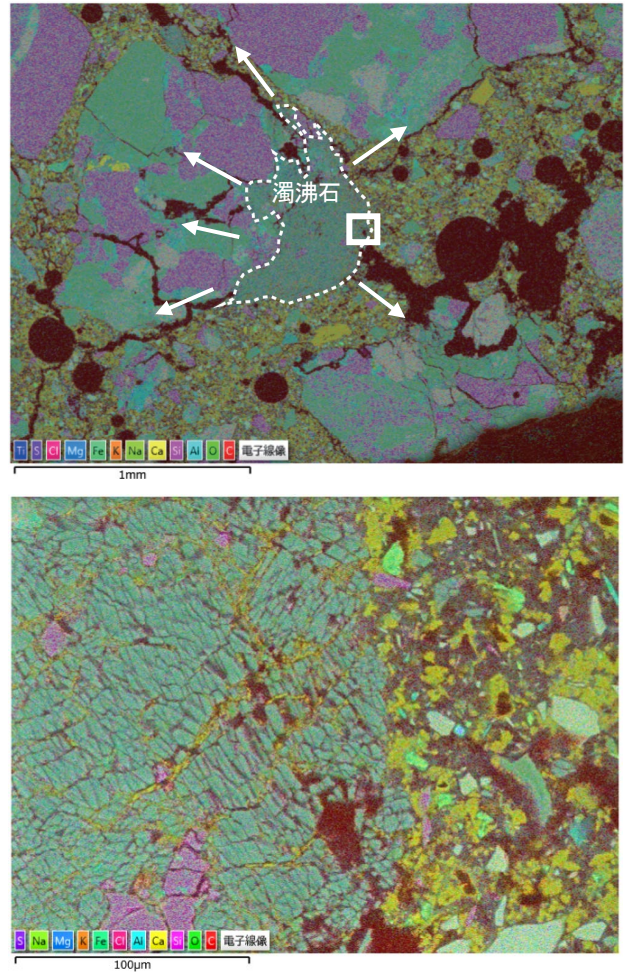


図-9 既設構造物における劣化部試料の元素マッピング+BSE 画像（上）と白線部の拡大（下）

を観察した際、供試体の外縁より内側約 15 から 20 mm より内側にかけて暗青色を呈していることを確認した（図-4 上）。水セメント比が低い供試体ほどその範囲が広く色合いが濃い傾向が見られ、屋内曝露供試体では全く確認できなかった。

蛍光塗料を添加した樹脂は亀裂や気泡が分布する箇所へ浸透しており、これらの箇所はブラックライトで照射すると黄緑色に発光することが確認できた。亀裂分布について実施した基線調査の結果について表-3 に示す。なお、基線の設定箇所は、WC50-1 における上述の暗青色を呈する境界線（15 mm）と供試体の中心線（50 mm）とした。水セメント比 70 %の供試体は、50 %の供試体と比べて 2 倍以上の数の亀裂が分布していた。また屋外と屋内で曝露した供試体を比較すると、亀裂の数に大きな違いはなかった。さらにすべての供試体において、外縁から 15 mm に分布する亀裂の大半は供試体の中心（50 mm）にも分布（到達）

表-3 基線調査で得られた亀裂の本数（本）

試料名	曝露場所	外縁から基線までの距離	
		15 mm	50 mm
WC50-1	屋外	13	13
	屋内	11	8
WC70-1	屋外	29	23
	屋内	27	23

する亀裂であった。

### 3.5 供試体外縁部に分布する亀裂の観察

図-10は屋外曝露を行ったWC50-1の左側外縁（上）、および屋外曝露を行ったWC70-1の右側外縁（下）における亀裂の状態である。屋外曝露の試料は全て外縁付近に微細な亀裂が密集する箇所が確認できた。この密集する亀裂は、屋内曝露の供試体では一切認められなかった。この亀裂は細骨材に含まれる濁沸石が起点になっているか、もしくは濁沸石に接していた。また、水セメント比が高い供試体ほど外縁に亀裂が密集する深さが増す傾向があった（図-10の矢印の

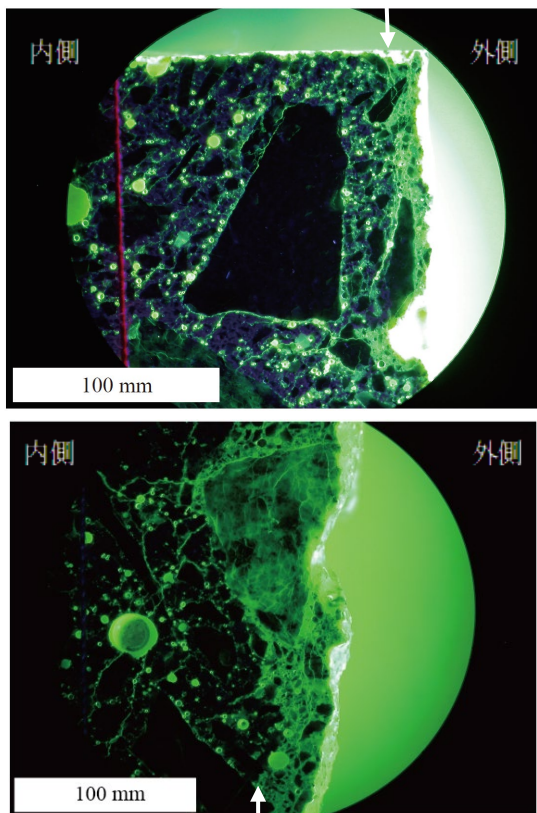


図-10 屋外曝露供試体のWC50-1(上)とWC70-1(下)の亀裂分布

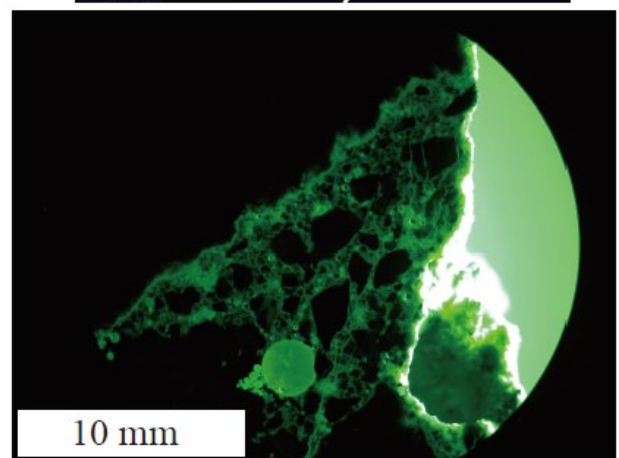
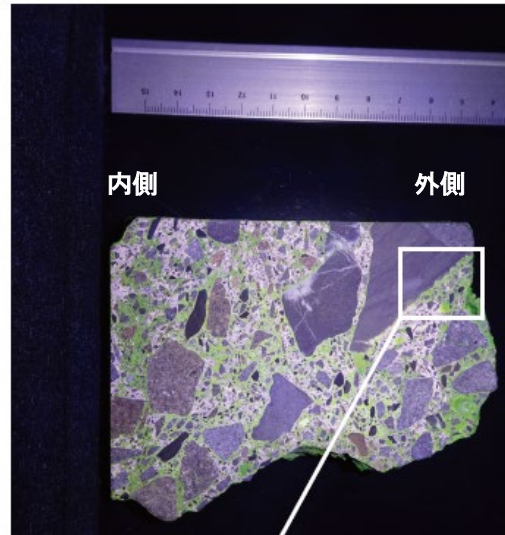


図-11 既設構造物から採取したボーリングコアの亀裂密集部の

領域)。これらの亀裂は外縁と平行方向に連続するものが主体であり、この亀裂は骨材を切るものも多く認められた。

図-11は既設構造物から採取したボーリングコアを整形した試料に分布する亀裂を示している。ボーリングコア全体を跨ぐような大きな亀裂は確認できず、蛍光箇所のはほとんどは気泡であった。また、外縁付近に亀裂が密集する箇所は供試体試料と比べて狭い範囲に認められ、その深度は2 mm以下であった。この密集する亀裂も供試体試料と同様、図-11の矢印で示すように、骨材を切りながら外縁と平行方向に連続するものが主体であった。

## 4. 考察

### 4.1 濁沸石による劣化条件について

モルタル供試体の曝露試験では、濁沸石の含有骨材の粒径が0.15mm以下で、濁沸石の含有量を3.38%

の供試体の MR-5 では、亀裂の進展は認められず、相対動弾性係数も緩やかに上昇していることから、9,000 日を経過したモルタルにおいても劣化が進行していないことを示している。一方、相対動弾性係数の変化を見ると、含有骨材の粒径が最も大きな MR-1 で劣化が著しいものの 10%前後の濁沸石を混入したものは何れも劣化が進行しており濁沸石のモルタル劣化に及ぼす影響は、骨材粒径よりも含有率がモルタルの劣化に寄与していると考えられる。

コンクリート供試体の屋外曝露試験において、279 日目の測定では、すべての供試体の相対動弾性係数が上昇しており、水和による強度発現が起きているためと考えられる。一方、524 日目の計測では、水セメント比が高い供試体である H30-5、H30-6 は、相対動弾性係数が大きく低下し始めることから、これらの供試体ではコンクリートの劣化が始まったことを示している。実際、曝露開始より 400 日を経過した頃に、これらの供試体では亀裂等の表面劣化が目視で確認されたことから、相対動弾性係数が示す劣化の開始と整合している。このことは、水セメント比が高い供試体ほど強度が低いため、濁沸石による疲労破壊の影響を受けやすいためと考えられる。

#### 4.2 濁沸石の結晶間を充填する CSH ゲルの影響

既設構造物から採取した表面劣化部の試料観察では、濁沸石を起点とした亀裂が放射状に広がっていることから、濁沸石の体積膨張によって周囲のモルタルに疲労破壊が発生していると考えられる。

一方、濁沸石の結晶間を充填するように CSH ゲルが析出している現象も確認された。このような CSH ゲルの充填は、初生的に細片化している濁沸石の結晶間の空隙、あるいはコンクリート表面の乾燥によって濁沸石結晶が収縮することで生じた空隙に CSH ゲルが浸入したものである。コンクリートの含水率について椎名 (1969) <sup>3)</sup> は、打設・脱型からコンクリート表面は急速な乾燥に曝され、851 日を経過する頃には相対湿度が 45 % まで低下し、外気と同程度となる一方で、表面から 6 cm 内側の相対湿度は 70 % を保つとしている。また、コンクリート劣化部で確認できる濁沸石の単結晶が約 10  $\mu\text{m}$  であるのに対し、白色鉱物脈の観察で確認した濁沸石の単結晶が 100  $\mu\text{m}$  程度であるため、乾湿繰り返しにより空隙が生じている可能性がある (図-8、9)。このことから、コンクリート表面付近の濁沸石は乾燥による収縮で結晶間の空隙が拡大する可能性が高く、雨水の浸透などによる CSH 溶液の浸入と析出が生じた可能性が高い。

どちらにせよ濁沸石の空隙間を CSH ゲルが充填することによって、濁沸石の膨張圧が結晶間の空隙で吸収されることがなくなるため、濁沸石と CSH ゲルが一体化した集合体では、濁沸石の膨張圧が周囲のコンクリートに効率よく伝達してしまう可能性がある。

#### 4.3 コンクリート供試体の水分の貯留

曝露供試体の外縁から約 15 ~ 20 mm より内側にかけて深青色を呈する現象について、屋内曝露供試体からは確認できないことから、降雨によって供給された水分が供試体内部に保たれているためと考えられる。また、WC50-1 のほうが比較的深い色を呈しており、広範囲で認められる点については、水セメント比が低い供試体のほうが、広範囲で相対湿度が高く保たれている可能性を示唆している。

#### 4.4 濁沸石によって生じる劣化部について

基線調査で確認した、供試体に広範囲に分布する亀裂は、屋外・屋内曝露供試体の双方で亀裂が確認されることから、コンクリート供試体全体の乾燥収縮に伴うひび割れと考えられる。

一方、供試体外縁部に分布する亀裂の密集する箇所 (図-10) について、屋内曝露供試体では確認できないことに加え、細骨材に含まれる濁沸石が亀裂の起点になっているか、もしくは濁沸石と接する機会が多いことから、この密集する亀裂部は濁沸石が原因で発現した劣化部と考えられる。水セメント比が高い供試体ほど亀裂の密集する範囲が深くなるのは、水セメント比が高いコンクリートは内部に至っても強度が低いことを反映していると考えられる。さらに、水セメント比が低い供試体のほうが比較的広範囲で相対湿度が保たれることで (4.3 参照)、濁沸石の体積変化を生じる範囲が小さく劣化が比較的小範囲となっている可能性がある。

権代ほか (2010) <sup>4)</sup> は、コンクリート打設時のブリーディング水の挙動が影響し、表層部に脆弱層が形成されるとしている。このような箇所において濁沸石を起点とした亀裂が外縁と平行に連続しながら発達することによって、コンクリート表面ではスケーリングといった劣化現象が認められるようになると考えられる。

図-11 では既設構造物から採取したボーリングコアにおいて、亀裂が密集する範囲が狭いのは、ボーリングコアを採取する際に表面の劣化部が欠損したためと思われる。欠損した表面の劣化部は、本研究や Wakizaka and Anan (2003) <sup>2)</sup> で観察した、濁沸石と CSH ゲル集合体を起点とした放射状の亀裂が発達していたと思われる。この放射状の亀裂は、コンクリー

ト表面を正面から見た場合の形状であり、側面から観察すると外縁と平行方向に連続する形状を呈する。この密集する亀裂の発達とスケーリングといった劣化現象が起こること、これまで露出していなかった内部コンクリートが乾燥湿潤の環境になることで、濁沸石による劣化が内部に進行する可能性が考えられる。しかし、表面劣化部が欠損したコアで確認できる亀裂の密集部はせいぜい 2 mm 程度の小規模であった (図-11)。これはコンクリートの弱部である表面部では濁沸石の膨張圧の影響は大きい一方、コンクリートの内部は強度が高いため、コンクリート表面ほど著しい劣化は起きないと考えられる。それに加え、コンクリートの内部の相対湿度は比較的長い期間高く保たれることから<sup>3)</sup>、濁沸石が体積膨張を起こすような外気と同程度の環境に至るまで長い時間を要すると考えられる。

## 5. まとめ

コンクリート表面の劣化機構を再現したモルタル供試体曝露試験では、濁沸石の含有量を 3.38 %、濁沸石含有量の骨材粒度を 0.15 mm 以下として作製した供試体は、曝露開始後 9,000 日を経過した現在でも強度が保たれるという結果を得た。また、コンクリート表面では、濁沸石含有の骨材粒度よりもその含有量が劣化に寄与する傾向が認められた。

濁沸石はコンクリート製造時の水によって体積膨張を起こし、脱型時の乾燥による体積収縮によって結晶間の空隙が拡大するが、そこで水和反応が起きることで充填するように CSH ゲルが析出する。この CSH ゲルの充填によって「あそび」がなくなった分、濁沸石の膨張圧が周囲のコンクリートに効率よく伝達してしまう可能性がある。

コンクリート打設時において、型枠沿いは多くの水によって満たされるため、局所的な高水セメント比のコンクリートが生じてしまい強度が著しく低くなる。濁沸石によって発生する亀裂は、水セメント比が高く強度の低い箇所を連続するため、外縁に平行方向の亀裂が形成され、スケーリングといった表面劣化が確認できるようになる。この劣化は内部コンクリートに進行する可能性は低く、進行する場合も非常に遅い速度と考えられる。

## 参考文献

- 1) A. Yamazaki, T. Shiraki, H. Nishido, R. Otsuka: Phase change of laumontite under relative humidity-controlled condition. Clay Sci. 8, pp.79-86,

1991

- 2) Y. Wakizaka and S. Anan: Deterioration of concrete due to laumontite and its mechanism, Proc. Int. Symposium on Industrial Minerals and Building Stones , IAEG, pp.647~654, 2003
- 3) 椎名国雄. コンクリートの内部湿度と変形、コンクリートジャーナル、vol.7, no.6, p.1-11、1969
- 4) 権代由範、月永洋一、庄谷征美、阿波稔：コンクリート部材の断面厚さの相違が表層部脆弱層の形成に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、No. 64, pp. 391-397、2010.



# A STUDY FOR SOUNDNESS EVALUATION OF DETERIORATED CONCRETE CAUSING BY SOME MINERALS (A CASE OF LAUMONTITE)

Research Period: 2016 - 2020

Research Team: Geology and Geotechnical  
Engineering Group (Geology)

Author: ANAN Shuji

KON Shusaku

MATSUO Tatsuya

**Abstract:** In this study, we measure the relative dynamic elastic modulus for evaluate the strength of mortar and concrete specimen using aggregates containing laumontite, which is well known that causes concrete deterioration. In addition, we observe the microstructure in the deteriorated part of concrete using several microscopes. From the observations, it was found that the void of laumontite crystals are filling with CSH gel around themselves, and expansion pressure of the structures might well be effective to the surrounding concrete. Moreover, tremendous tiny cracks, having parallel orientation to the outer edge of the concrete, are concentrated on the concrete surface that is considering as remarkably weaker zone. From the results, we conclude the surface deterioration causing by laumontite can be considered that is hard to progress or significantly slower progress toward the inner side concrete.

**Key words:** concrete aggregate, laumontite, SEM observation, scaling