

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月27日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560479

研究課題名（和文）酸性環境における既設コンクリートの異常劣化に関する研究

研究課題名（英文）Study on unusual deterioration of concrete servicing in acid environment

研究代表者

松尾 栄治（MATSUO EIJI）

九州産業大学・工学部・准教授

研究者番号：10284267

研究成果の概要（和文）：本研究では、既設コンクリートに見られる異常劣化の調査を行った。まず、様々なコンクリート構造物の劣化現場の現地視察を行い、その中から劣化現象が特異なものとしてTダムとSダムを選定した。特にTダムの導水路およびSダムの監査廊における種々の調査結果から劣化メカニズムを推定した。その結果、一般的なダムコンクリートにおいても硫酸劣化が否定できず、ダム湖水に面する上流面などに対しては、温泉地や下水道と同様に耐硫酸性のコンクリートを採用することが望ましい場合があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：In this study, unusual deterioration of concrete servicing in acid environment was investigated. The deterioration sites of various kind of concrete were inspected at first. Then T dam and S dam were selected as the representation of unusual deterioration site. Especially, the deterioration mechanism was presumed from the results of an investigation in the corridor of S dam and the watering way of T dam. As the results, the followings were revealed. Some sulfuric acid deteriorations could arise in common dam concrete. On upper side of dam which faces the dam lake, the sulphate reisting cement should be better to be used in the same way as the concrete in drain and hot spring area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：コンクリート工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学，地震工学，維持管理工学

キーワード：ダムコンクリート，硫酸劣化，エトリンガイト

1. 研究開始当初の背景

縮小する社会における社会資本整備の在り方については様々な論議がなされており、結果的に公共工事予算は削減の一途を辿っている。今後もその傾向は継続すると予想さ

れ、コンクリート構造物は既存のものを如何に効率よく維持管理していくかが益々重要となる。適切な維持管理を行うためにはコンクリートの劣化現象を正確に捉える必要がある。

劣化は「物理的劣化」と「化学的劣化」に大別され、両者は根本的に異なるにもかかわらず、劣化現場によってはそれらの区別・判断が難しい場合もある。それは両者が同時に作用していることが多いことも原因の一つであるが、化学的劣化において未解明な劣化現象が存在することが大きな原因である。化学的劣化については既に膨大な研究が実施され、おおよそのメカニズムが明らかにされた感がある。しかしながら実際は不明な点も多く、新たな劣化現象の解明も含んだ包括的な定量化が必要である。写真-1～3は申請者が予備的に調査した劣化事例であり、いずれも既往の概念では説明が困難なものである。

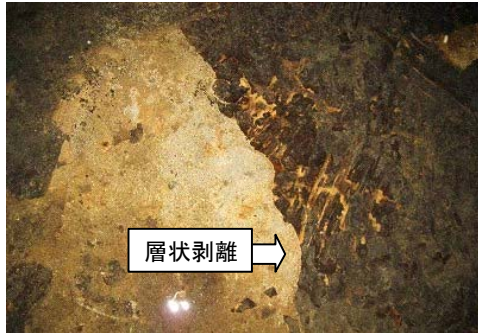


写真-1 水路床版の著しい劣化



写真-2 ダム表面に生じた変状



写真-3 水路側壁の劣化

また、化学的劣化を定量化するためには、キャピテーション、アブレイジョン、表面疲労摩耗、結晶成長圧などに代表される物理的劣化との区別・判別方法を明確にする必要がある。なぜなら物理現象による劣化事例は意外と多く、しかも前述のように外観からは判別が困難な事例があるためである。それにもかかわらず、教科書や参考書においても混同されていることが多く、その体系的な整理は最適な維持管理手法の構築に関する重要な課題である。

2. 研究の目的

従来の劣化メカニズムでは説明が困難なコンクリートの劣化事例について、その原因が酸性環境にあると考えており、本研究の中で仮説を証明することを主目的としている。その結果として有効な対策が取れるようになれば社会的かつ工学的にも極めて有益となる。本研究では、特に石灰岩を骨材とした既設コンクリートに見られる硫酸塩、炭酸塩などの酸性環境における異常な劣化に着目することを基本とする。これまでの調査結果から、沖縄県のTダムと山口県内のSダムを対象を絞りつつ、コンクリートの現物のみならず周辺環境にも考慮した劣化現象の考察を行う。すなわち、現地調査の下に劣化の詳細を具体的に把握し、分析を行うことによって化学的侵食による劣化のメカニズムについて明らかにする。また、劣化の過程や原因を推定することで、予防保全的な対策についても新たに提案することを目的とする。

3. 研究の方法

平成23年度は水質調査とコンクリートの成分いずれにおいても予想通りの分析結果が得られなかった。すなわち、調査したダムコンクリートについては、極めて浸食が激しい異常劣化には該当するものの、これまでの劣化生成物に対する分析結果からは、特異な劣化事例に該当するわけではないことがわかった。いわば、従来の劣化が異常なスピードで進行していることになる。しかしながら、その理由については未だ不透明であるため、劣化を進行させている別の理由があると思われる。その確証となる物質、いわゆる酸性環境下で生成されるカルシウム化合物は存在期間が短いことが予想されるため、多くの追加分析が必要となる可能性が高い。そこで最終年度においては是が非でもそれらの存在を確認できるよう、分析回数に重点を置き、最終目的としての室内実験で再現性を確認し、総括することとする。

(1) 劣化因子の推定と仮説の構築
前年度のマクロ的及びミクロ的劣化を総括的に評価し、また劣化の進行状態の部位による差や分布状況と環境条件の相関を明らか

にし、劣化因子を推定して整合性のある劣化メカニズムを明らかにする。

(2) 実験室における再現実験の実施

上記仮説に基づき室内での再現実験を行う。化学的劣化は長時間を要するケースが多いため、必要に応じて促進試験とする。なお、促進試験には①高温環境によるもの、②高濃度によるもの、③触媒によるもの、等がある。本研究で想定している劣化メカニズムは、低温環境での進行(=固定化)が顕著であると考えられるため、②と③による劣化促進を想定している。

(3) 劣化特性の定量化

まず、新しい劣化の進行を予測するための劣化曲線を提案する。劣化の進行度は化学反応の程度のみならず、材料強度及び部材強度を指標とする。次に、物理的劣化も含めた複合劣化に対する劣化曲線の提案を行う。複合劣化における考察のポイントを「ひび割れ幅」とし、これを1次要因とする。劣化因子の侵入度、反応生成物の副作用を2次要因として、総括的に定量化する。

4. 研究成果

ここでは、Sダムの劣化調査について報告する。

(1) 外観調査

図-1にSダム監査廊の断面図を示す。写真-4にダム提体下流面の状況を示すが、手前側の白華には赤みが見られる点が特徴的である。場所的に試料の採取は困難であったが、酸化鉄の成分を含んでいるものと推察される。写真-5にダム本体下流部の減勢工付近の状況を示すが、放水されてくる水が極めて濁っている状況を確認できる。本来は下流への放水はなされていない期間であったが、上流のゲートが破損していることから漏水が生じ、それが下流へ放水される状態になっている。減勢工付近ではこの時期(秋期)特有のわずかな硫黄臭が発生しており、ダム湖の中間層付近で堆積物が腐食して硫酸が発生していることが予測される。写真-6にダム提体下流面に排出されるダム湖水の状況を示す。上流部のゲートが破損しており、そこからの漏水分がこちらに放出されている。



図-1 Sダム監査廊の断面図



写真-4 ダム提体下流面



写真-5 ダム提体下流側の越流部および減勢工



写真-6 ダム提体下流面に排出されるダム湖水

写真-7~8に監査廊内の劣化状況を示す。地点Eにおける上流側の側溝は鐘乳石化しているところがあり、地点Aにおける遊離石灰の発生量は極めて多く、特に側壁の遊離石灰には赤みがあり、鉄分もしくは鉄分由来の細菌と推察される。地点Fから地点Aまで昇る階段側溝にも赤色に変色した部分がある。鉄もしくは鉄由来の細菌が原因と推察される。地点Cの階段コンクリートにおいては激しい層状剥離が確認された。地点Eの階段そのものは打ち直されており、鐘乳石化した溝部と比較すると劣化の激しさが確認できる。地点Aの天井からはつらら状の遊離石灰が発生している。



写真-7 監査廊内部 (その1)



写真-8 監査廊内部 (その2)

(2) リバウンドハンマー試験

リバウンドハンマーによる推定圧縮強度は、地点Aのダム湖側の側壁が19.7~31.6 N/mm²、床面は30.5N/mm²であり、強度面ではほぼ健全な状態であった。なお、固有振動数の測定結果からは特徴的な傾向は確認できなかった。

(3) 水質試験

表-1に水質検査結果を示す。監査廊にて採取した水はコンクリート中を浸透してきたものであり、アルカリ性を示しているが、極端な強アルカリ性ではなく、浸入した水が酸性を帯びていた可能性があり、硫酸による劣化が否定できない。減勢工の水は写真-5からもわかるように濁度が大きかった。

表-1 水質検査結果

採取地点	A		A		D		減勢工	
	直後	直後	10分後	直後	10分後	直後	10分後	
水温	16.42	14.03	14.17	13.23	12.88	12.37	12.19	
水素イオン濃度	pH 7.70	9.43	11.09	9.83	9.38	9.86	7.48	
水素イオン濃度	pHmV -56	-154	-249	-177	-151	-178	-43	
酸化還元電位	ORPmV 242	82	22	21	-9	88	187	
電気伝導率	mS/cm 0.155	0.162	0.161	0.112	0.114	0.091	0.091	
濁度	NTU 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.1	20.9	
溶存酸素	mg/L 21.99	19.86	15.57	33.54	19.53	42.13	33.90	
全溶存固形物量	g/L TDS 0.101	0.105	0.105	0.073	0.074	0.059	0.059	
塩分	PPT 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	
海水比重	σ_t 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

(4) 化学分析試験

写真-9(a)~(d)に地点Cの階段床コンクリートにおける劣化部のSEM写真を示す。ごく一部には針状結晶が確認され、エトリンガイトが発生している可能性があり、このことから硫酸が発生した懸念がある。

化学分析結果を表-2に示す。またピーク強度の結果を図-2に示す。蛍光X線による定性分析結果は、地点Bの試料はCaが71.5%、Si

が14.6%、Feが5.9%、Alが4.1%であり、硫黄Sは微量であった。地点Cの試料はCaが44.3%、Siが30.7%、Feが8.9%、Alが7.7%であり、ここでも硫黄Sは微量であった。

以上より、硫酸劣化が生じたと仮定した場合、中間生成物であるエトリンガイトのほとんどは消滅しており、その後に風化現象を伴って硫黄成分が移動したことになることから、対象部分の劣化現象はある程度過去に生じたことになる。ただし、現在も硫黄臭の発生があることから、劣化が進行する場合も想定される。

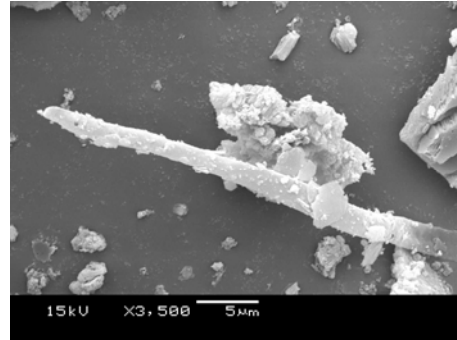


写真-9(a)

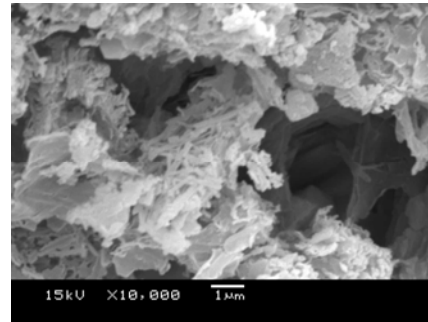


写真-9(b)

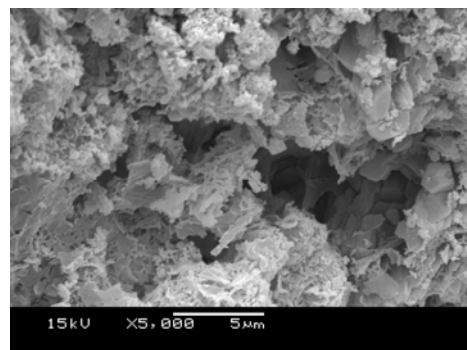


写真-9(c)

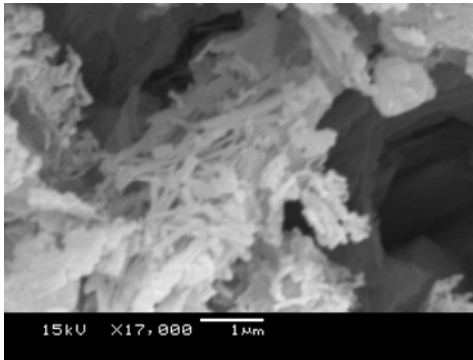


写真-9(d)

表-2 化学分析結果

スペクトル	X線強度 (kcps)	分析結果 (mass%)
Ca-KA	494.3256	44.3
Si-KA	22.7316	30.7
Fe-KB1	3.6589	8.87
Al-KA	5.9115	7.68
K-KA	36.1409	3.91
Mg-KA	0.5315	1.32
Ti-KA	4.4806	1.03
Na-KA	0.0968	0.854
S-KA	0.4135	0.356
Mn-KA	0.3338	0.301
Zn-KA	1.5146	0.221
P-KA	0.0922	0.162
Sr-KA	1.5277	0.0953
Rd-KA	0.8555	0.0566
Ni-KA	0.2215	0.0544
Pd-LA	0.2017	0.0463
Cu-KA	0.2408	0.0456
Cl-KA	0.0228	0.0234

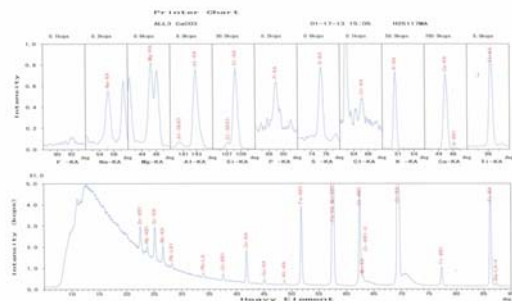


図-2 ピーク強度の分析結果

(5) まとめ

一般的なダムコンクリートにおいても硫酸劣化が否定できず、ダム湖水に面する上流面などに対しては、温泉地や下水道と同様に耐硫酸性のコンクリートを採用することが望ましい場合がある。なお、本研究と同じような劣化現象は、日本各地に散見するが、硫黄の存在が最も高いと思われる箇所はSダムであり、今後も調査を継続する必要がある。ただし、研究室における硫酸劣化の再現実験は硫化水素の発生を伴い危険であるため、工夫が必要である。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]
○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 栄治 (MATSUO EIJI)
九州産業大学・工学部・准教授
研究者番号：10284267

(2) 研究分担者

川崎 秀明 (KAWASAKI HIDEAKI)
山口大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：50355963
※2011年度まで