

令和 2 年度

**一般社団法人 新潟県建設技術センター研究助成事業
報告書**

**RC 構造物の劣化の実態調査に関する事業
(県下、気候風土の視点から)**

2021 年 3 月

新潟工科大学 地濃茂雄

1. まえがき

新潟県民の安全・安心および地域社会の健全な発展を支える社会資本整備において、RC 構造物の維持管理および耐久性向上の技術開発は課題の一つである。

そこで、本事業は特異な気候風土の本県を対象に、その代表的地域環境下にある RC 構造物の劣化の実態を目視で調査し、その結果を総体的に取りまとめて、社会資本整備への資料に供することを目的としたものである。

ところで、コンクリートや鉄筋コンクリートの基礎的研究や知見はこれまでに数多くみられ、その成果は、日本建築学会・土木学会・コンクリート工学会等の設計・施工指針類に活かされている。

翻って、RC 構造物は地産地消の一生産品である。つまり、様々な環境下に生まれ育ち、やがて朽ち果てていく。このように見ると、RC 構造物の耐久性や劣化の程度は、立地する気候風土に大きく支配されるものと考えられる。

しかしながら、気候風土下の RC 構造物の劣化現象を実態調査から明らかにした、言わば地域に根差した研究例は国内でも数少なく、また本県においても同様なことが言える。

このような考えの下に取り組んできた本事業の結果の概要を以下に報告する。

2. 新潟県の地理等概要

新潟県の地理情報等を図 1 に示す。

日本海に浮かぶ佐渡島、331Km に及ぶ海岸延長、また広大な越後平野・高田平野、朝日山地・飯山山地・越後山脈 [谷川岳 (1977m)、苗場山 (2145m)、妙高山 (2454)]・魚沼丘陵・東頸城丘陵。そして荒川・阿賀野川・信濃川・関川・姫川を有し、海拔 0m から 2500m の形的形態にある。

地名的に見れば、県北東部に村上市、県中部に新潟・三条・長岡市、県南部に上越・糸魚川・十日町・妙高市、津南町、湯沢町などに区分されている。

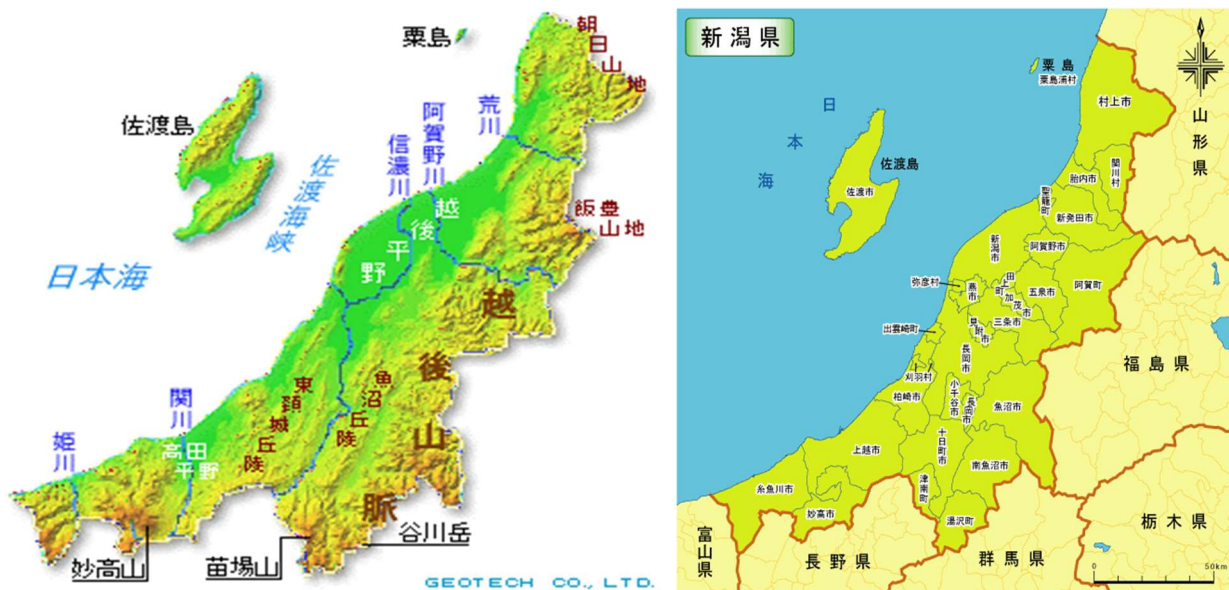


図 1 新潟県の地理概要

3. 新潟県の気候概観

代表的地域の新潟・長岡・湯沢・妙高関山・糸魚川・佐渡相川の月別気温と降水量を図2に示す。本図は1981年～2010年の平均値であり、新潟県HP(新潟地方気象台)から引用したものである。

新潟県の年平均気温は山沿いでは11～12℃、海岸・平野部で13～14℃。相対的に上越で高く、下越で低い。夏季最高気温の平均値は全域30℃程度。これに対して冬季最低気温の平均値は、新潟・佐渡相川を除き、長岡・湯沢・妙高関山・糸魚川では0℃を下回っている。

ちなみに、東京の年平均気温は16.3℃である。東京の気温と県内地域の気温を比べれば、夏季で大差はないものの、冬季で大きな差が見て取れる。また、新潟と東京で大きな違いがみられるのは冬季の降水量と日照時間。新潟では冬季に降水量が多く、日照時間が少ない。これは冬型の気圧配置となって曇りや雨または雪の日が多いためと言える。

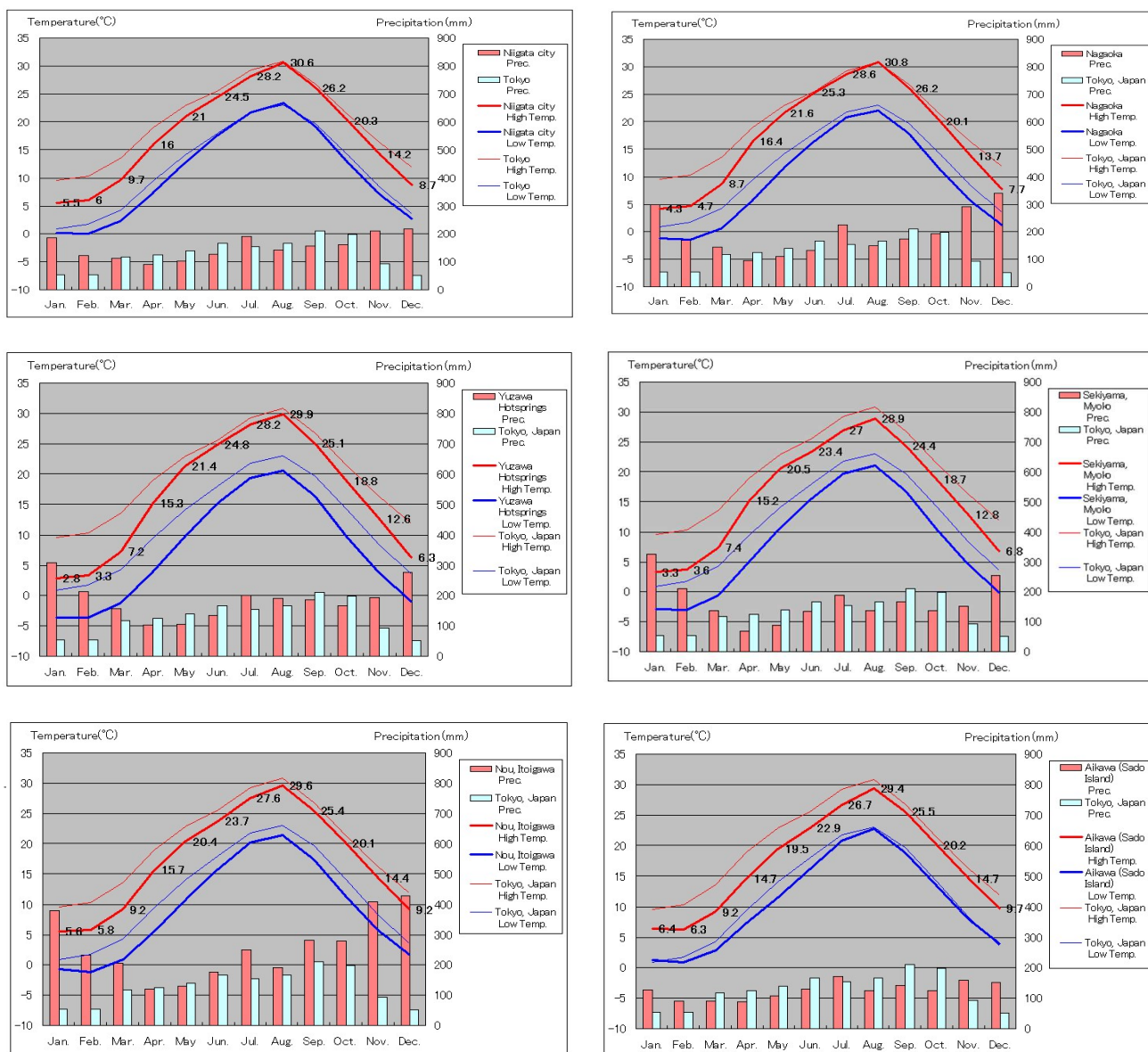


図2 代表的地域における月別気温と降水量（含む・東京）

4. 調査対象地域

2章および3章から、大まかな気候・風土の地域性を選定して、主に3つの地域とした。その代表的地域を下記 A～C に示す。

- A 海沿いの地域（村上市・新潟市・長岡市・糸魚川市）
- B 内陸部の地域（新潟市・三条市・長岡市）
- C 山沿いの地域（関川村・十日町市・妙高市）

5. 実態調査方法

劣化の実態を総体的に把握するためは、出来る限り多く、かつ効率的に調査することが賢明である。このことから視覚によることとし、またRC構造物だけでなく、鋼材などの変状についても目配りすることとした。

つまり、劣化や変状の実態を撮影し、7章の考察に資することとした。なお、考察をより深めるため、必要に応じて構造物表面の塩分の有無や色差も測定することにした。また、新潟市内・海沿いの3階建て屋上に、コンクリート供試体および鉄板供試体を暴露し、付着塩分の経時変化を参考までに捉えることとした。

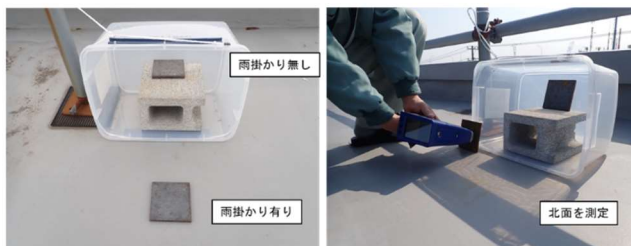
塩分測定器(蛍光X線分析計)と屋上での供試体暴露試験状況を写真に示す。



コンクリート供試体 測定状況写真（東西南北上の5面を、月に数回頻度で測定）

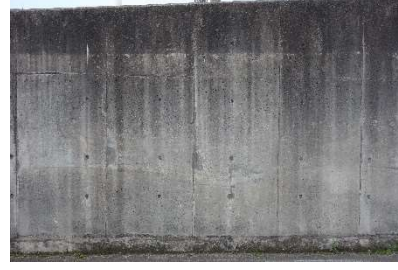


鉄板供試体 測定状況写真（雨掛かり有りと無しの2箇所を、月に数回頻度で測定）



6. 調査結果

劣化事象の実態を約 2000 枚の写真に収めた。その一部を以下の写真に示す。





7. 考察

数々の基礎的研究に基づき、要因別に分類された劣化の種類やメカニズムは、定説的な知見として公表されている¹⁾。そこで、観察された RC 構造物の劣化を定説的な種類に当てはめて考察することとした。

つまり約 2000 枚の写真を ①アルカリ骨材反応 ②温・湿度の変化(ひび割れ) ③凍結融解(凍害) ④二酸化炭素の侵入(中性化) ⑤塩化物の侵入(塩害) ⑥汚れ ⑦ひび割れ ⑧エフロレッセンス ⑨複合劣化 ⑩その他に区分けして考察した。考察概要を以下に示す。

7.1 アルカリ骨材反応

セメント中のアルカリと、骨材中のある種のシリカが反応し、吸水膨張によりコンクリートがひ割れる現象である。このようなひび割れは、一部の地域を除き散見された。一例を写真に示す。

特に降雨に晒される個所でのひび割れは著しいものであった。進行性のひび割れゆえに、いずれコンクリートの剥離剥落が生じ、RC 構造物の耐力が低下するものと考えられる。



7.2 温・湿度の変化(ひび割れ)

使用環境条件に関係したひび割れが一部の建物に見られた。属に逆八の字形のひび割れと呼ばれるもので、屋上部が低温あるいは乾燥状態になった場合、基礎部分の拘束によりひび割れが発生する。



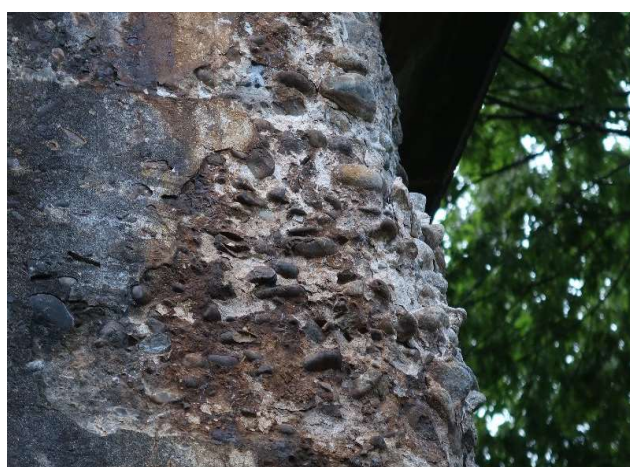
7.3 凍結融解(凍害)

コンクリート内部に含まれる水の凍結と融解の繰り返しにより起きる劣化現象である。つまり、コンクリート中の水の凍結膨張圧によりコンクリートにひび割れが生じ、組織はぜい弱化する。

このような劣化は山間地域の幾つかの構造物に観察された。その一例を写真に示す。

コンクリート中の水の凍結膨張により生じたひび割れが観察され、またひび割れ伸展後の表層部コンクリートの剥落の実態が手に取れる。

凍害が観察された地域は概して、前述した図2の月別気温が 0°C を下回る地域とも言える。こうした地域における冬季コンクリート工事において、コンクリート混和剤(AE剤やAE減水剤)の使用とともに適切な養生等、対策が必須である。



7.4 二酸化炭素の侵入(中性化)

コンクリートは高アルカリ性(PH13)である。そのコンクリートに大気中の二酸化炭素が表面から侵入すると、侵入個所のコンクリートはpH7の中性に移行する(中性化)。

中性化が鉄筋の個所に達すると、鉄筋は酸素・水分の下に腐食し始め、その膨張圧でコンクリートにひび割れが発生して、次いで鉄筋の腐食の進行に伴いコンクリート表層部が剥離・剥落する。

こうした劣化は各地域において観察された。いずれも、かぶり不足に起因したものである。その一例を写真に示す。設計・施工段階で所定のぶり厚さを確保することが極めて重要であると言える。



7.5 塩化物の侵入(塩害)

劣化を促進する塩化物イオンは、海水・潮風・凍結防止剤のように外部から供給される場合とコンクリート製造時に材料から供給される場合とがある。この塩化物イオンにより、コンクリート内部の鉄筋の腐食が促進し、腐食生成物の(錆)の体積膨張によってコンクリートにひび割れや剥落あるいは鉄筋の断面欠損が生じる。塩害と呼ばれる劣化の程度は、地域の環境や経年数により相違するものと考えられるが、海岸から内陸 10Km 程度の範囲で調査した全ての地域で塩害の現象が見られた。このことは外部から侵入した塩化物イオンの影響と考えられる。一方、佐渡地域において、材料供給に起因した塩害も散見された。

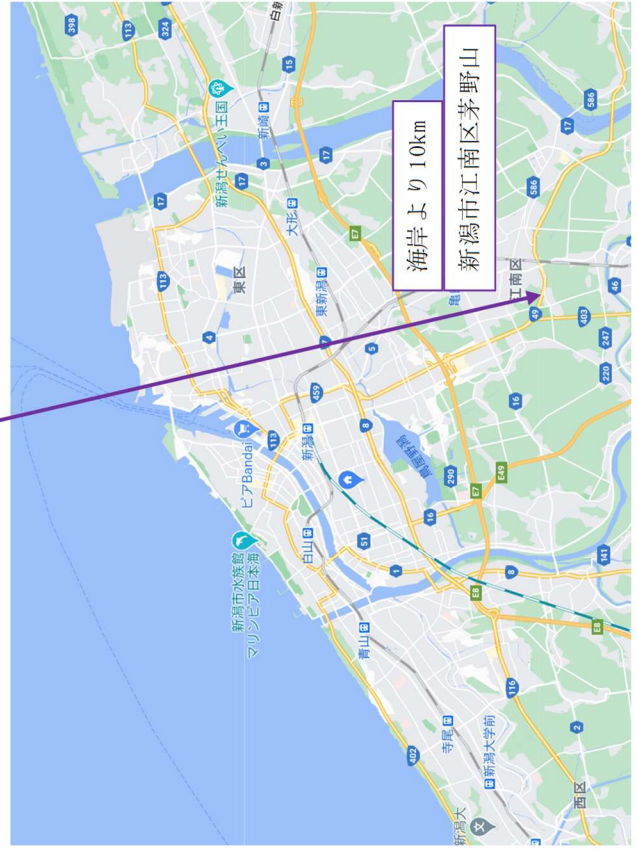
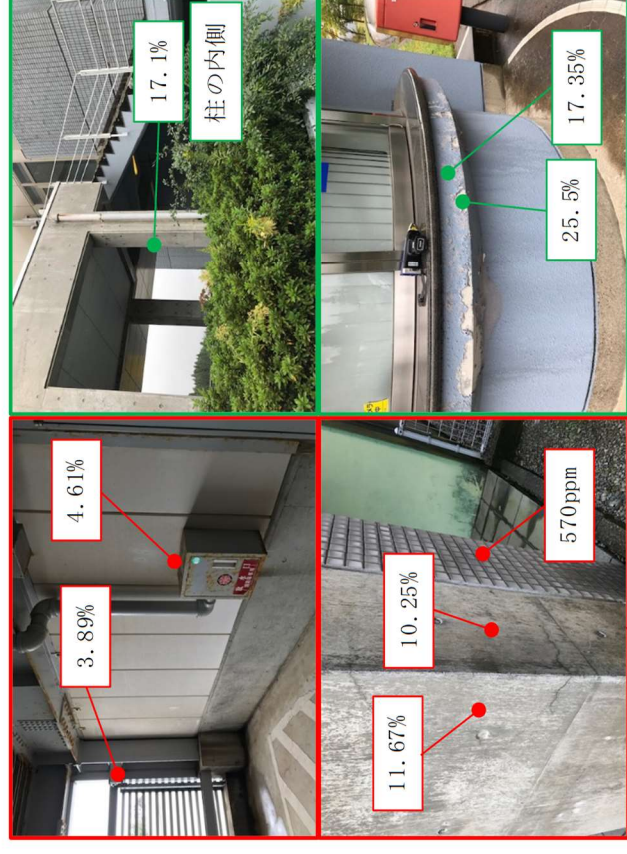
以下、実態調査結果の一部を写真と図に示す。また、外部から供給される場合の考察を深めるため、新潟市における風向の傾向を捉えてみると、12 月から 2 月の期間、北西の風や西の風が多いことが指摘できる。

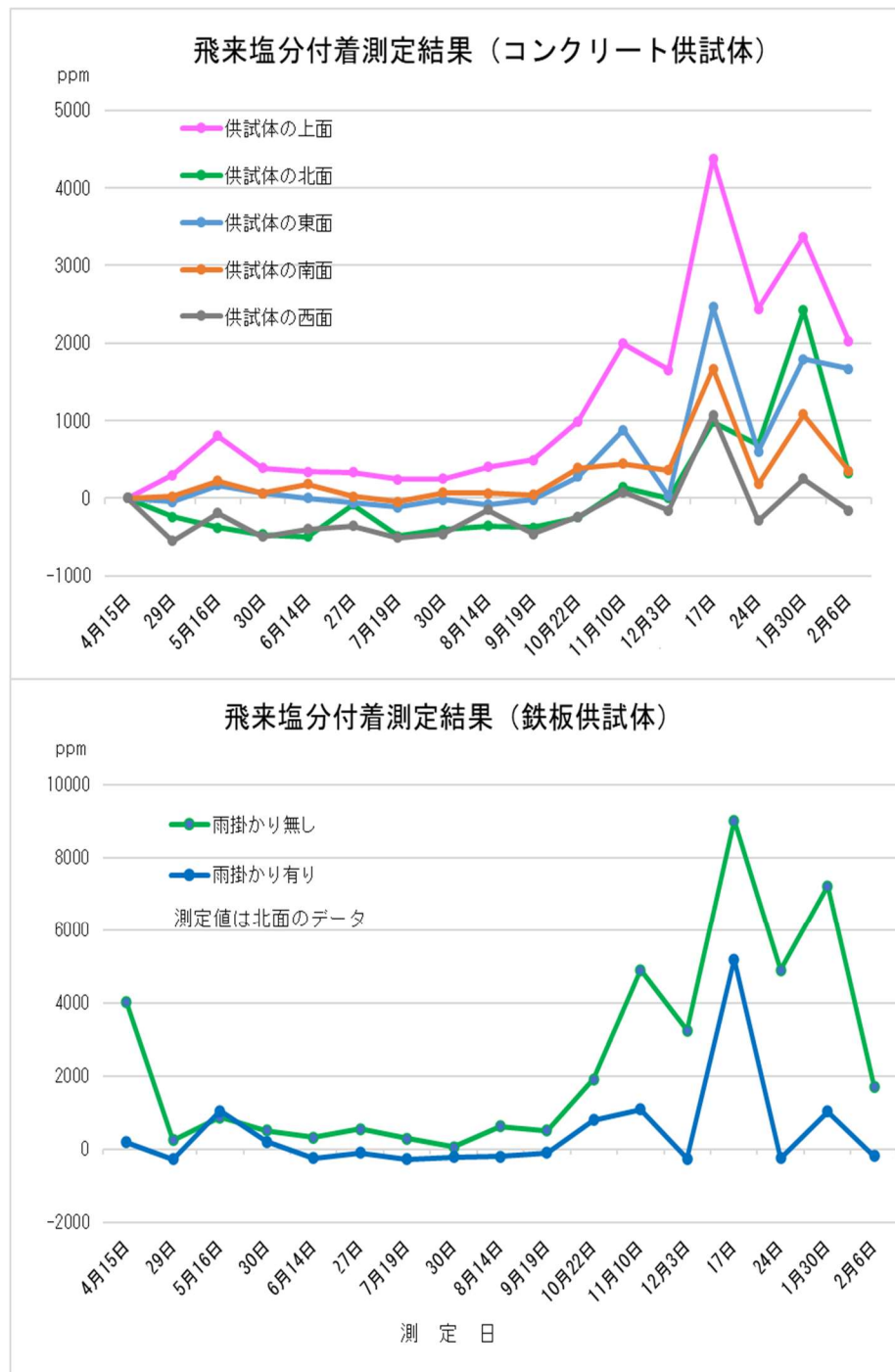
こうした考察から、塩害の多くは日本海からの海塩粒子によるものと推察される。この推察は、屋上の暴露実験における塩分付着の経時変化の結果からも読み解ける。

なお実態調査を通して、自転車小屋など、鋼構造物の雨の掛からない箇所(例えば天井等)を見ることで海塩粒子の飛来地域かどうかを容易に判断できるように思えた。



測定日：2020年10月13日 測定装置：蛍光X線分析計VANTA





7.6 汚れ

汚れは「きたない」というマイナスイメージの事象とともに、コンクリート表面状態の変化と言う客観的な現象としても捉えられる。こうしたことを踏まえて、実態調査した結果の一部を写真に示す。

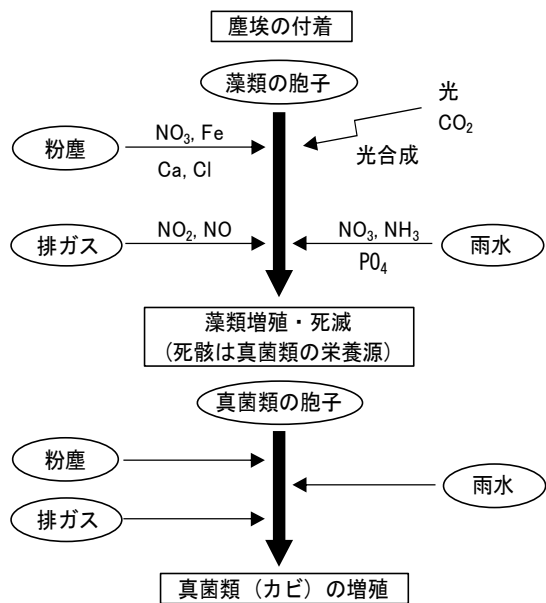
コンクリート表面には様々な汚れが観察された。とりわけ、大気中の自動車の排ガス・風で運ばれてくる土粒子。海岸地帯では海塩粒子などの塵埃がコンクリート表面に付着し、次いで雨滴および壁面の流下水により塵埃が移動することで特異な汚れ形状(例えば、よだれ状)を呈するものと考えられる。

一方、筆者らのこれまでの研究²⁾で、コンクリート面でのカビ・藻類などの生態系と汚れの関係につ

いて明らかにした。また、雨水に濡れた部分と濡れていない部分における降雨時と晴天時の色差も明らかにするとともに、多湿な環境下の壁面が汚れやすいこと、カビ・藻類の汚れは北面が他の面に比べて多いことなどを突き止めている。

こうしたこと現象も加味して考察すると、コンクリート上部(笠木)の水切り処理、窓からの流下水処理、壁面形状、撥水剤塗布などの対策を設計・施工段階において留意すべきことと言える。

いずれにせよ、酸性雨等の外力は汚れを誘発し、汚れの進展とともに構造物に劣化を招く。したがって、実態調査時の汚れ観察も肝要で診断技法の一つと言えよう。



種別	物件	明度 (L)				色差*	
		20	40	60	80	降雨時	晴天時
コンクリート壁体	1					34.3	5.4
	2					40.6	19.1
	3					49.8	27.5
	4					22.7	0.7
	5					21.3	2.0
	7					42.3	13.5

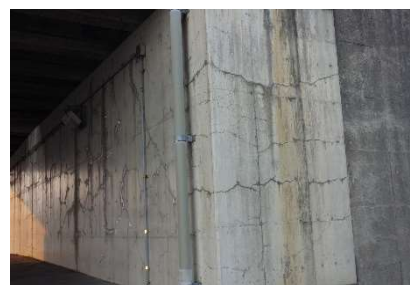
注) * 雨水に濡れた部分と濡れない部分との色差
● : 雨水に濡れた部分
○ : 雨水に濡れない部分
実線は降雨時、点線は晴天時の結果

7.7 ひび割れ

コンクリートの基本的な特性の一つとして、引張強度が小さく、また伸び能力が小さいことが挙げられる。このことから構造物にはひび割れが発生しやすい。特に、ひび割れ原因は多岐にわたり、原因が複合することも珍しくない。ひび割れ原因は、材料・施工・環境・構造・外力に大分類³⁾されている。

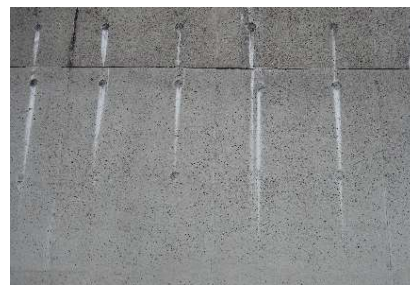
こうしたひび割れは、地域に限らず把握できた。その一例を写真に示す。なお、アルカリ骨材反応・凍害・中性化・塩害に関係したひび割れについては前述した通りである。

総体的に、ひび割れ幅 0.2mm あるいは 0.4mm を超える有害なひび割れ³⁾、また進行性のひび割れに対して、適切な対策を講ずることが賢明と言える。



7.8 エフロレッセンス

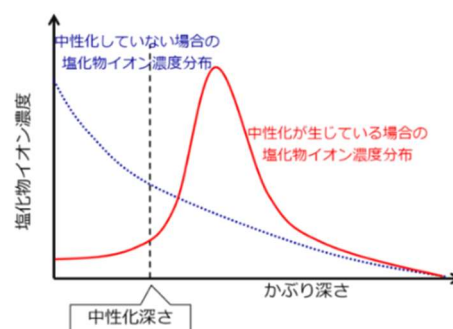
コンクリート中の可溶成分を含んだ溶液が内部から表面に移動し、乾燥に伴って水分が蒸発すると空気中の炭酸ガスと統合してコンクリート表面に白色の物質が発生する。その形態は様々で、塊状に固化したもの、綿状にふわふわしたものなど、至る所で観察された。一例を写真に示す。何れもコンクリートの美観を損なうもので、また不衛生と感じられた。特に、ひび割れと降雨時の流下水に影響されている。



7.9 複合劣化

前節まで、RC 構造物の劣化事象を単独劣化としての知見に基づき考察してきた。

発生要因をより深く考察すれば、複合劣化に起因した現象も推測された。例えば、「塩害と中性化」⁴⁾「塩害と凍害」⁴⁾「塩害とアルカリ骨材反応」⁴⁾「凍害とアルカリ骨材反応」⁴⁾ 等の複合劣化の実態の解明については今後、取り組むべき課題の一つと言えよう。



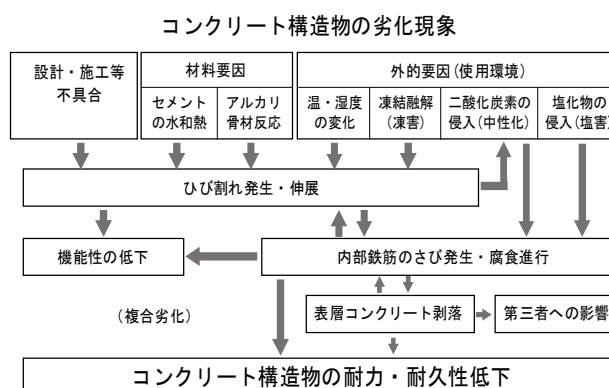
7.10 その他

コールドジョイント・豆板・打ち継ぎ箇所において、施工不具合に起因した RC 構造物の劣化が観察された。こうした箇所は降雨時の濡れ具合から容易に手に取れ、診断手法に役立つものと言える。



7.11 まとめ

以上の考察から、RC 構造物の劣化の引き金にはひび割れの発生が大きく関与し、その進展で構造物は次第に劣化していくものと言える。こうしたことを踏まえ、「構造物の劣化現象」を下図に提示する。



8. むすび

新潟県の社会資本整備において、RC 構造物の維持管理および耐久性向上に資するため、特異な気候・風環境下にある RC 構造物の劣化の実態を調査した。言わば、地域に根差した取り組みである。

調査の結果、地域特性が認められたこと、特に塩害やアルカリ骨材反応による劣化が散見されたこと、目視判断は降雨時が適していること、複合劣化は今後の課題であること、などを明らかにした。

なお、ここでの結果を関係者間で共有することが賢明であると考え、産官学の研修会等で広く知識普及を図りたい。終わりに、助成して下さった新潟県建設技術センター、ならびに実態調査に協力頂いた診断技術株式会社・大倉英敏氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 岸谷「コンクリート構造物の耐久性シリーズ」技報堂
- 2) 仕入・地濃・橋高「セメント・コンクリート」No.461 1985
- 3) 日本コンクリート工学協会「ひび割れ調査・補修指針」
- 4) 複合劣化研究委員会「コンクリート工学」Vol.58 No.4 2020