

九州におけるコンクリート構造物の凍害に関する調査：その1 外観調査結果

阿武, 稔也
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻：修士課程

小山, 智幸
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門：准教授

湯浅, 昇
日本大学

濱, 幸雄
室蘭工業大学

他

<https://doi.org/10.15017/1854983>

出版情報：都市・建築学研究. 32, pp.37-43, 2016-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：



九州におけるコンクリート構造物の凍害に関する調査 その1 外観調査結果

Investigation of Frost Damage of Concrete Structures in Kyushu Part 1 Results of Appearance Research

阿武稔也^{*1}, 小山智幸^{*2}, 湯浅 昇^{*3}, 濱 幸雄^{*4}, 伊藤是清^{*5}, 大谷俊浩^{*6}

Toshinari ANNO, Tomoyuki KOYAMA, Noboru YUASA, Yukio HAMA, Korekiyo ITO and Toshihiro OTANI

In temperate areas like Kyushu, the interest in frost damage of concrete is low, and deterioration situation is not sufficiently grasped. Although the degree of risk of frost damage is rank 1 in the vicinity of Aso and Unzen in Kyushu, frost damage occurs in other inland areas and mountainous areas. In cold areas, frost damage is likely to occur on the south side because the maximum temperature is often below freezing, and once concrete is frozen it must require the action of solar radiation to melt. However, in Kyushu, the lowest temperature rarely is below freezing, and concrete can be melted without the action of solar radiation. Therefore, in order to know the characteristics of frost damage in Kyushu, we made visual investigation of concrete structures. As a result, we found that the frost damage in Kyushu has characteristics different from those in cold areas such as deterioration seen in all directions.

Keywords : Frost Damage, Weather factors, Visual Investigation, Existing Structure

凍害, 気象因子, 外観調査, 実構造物

1. はじめに

コンクリートに生じる劣化現象の一つに凍害がある。寒冷地における凍害は、コンクリート構造物に致命的な損傷を与える劣化として認識され、長年にわたり研究がなされてきた。得られた成果は設計面および材料・調合面で対策として適切に取り入れられ実施されてきた結果、近年では凍害を生じたコンクリート構造物はほとんど見られなくなっている。

一方、九州を中心とする温暖地域では凍害は生じにくいと考えられてきた。日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事 第26節「凍結融解作用を受けるコンクリート」に示される凍害危険度の分布図¹⁾

においても、抜粋を表1に示すように、阿蘇・雲仙周辺の、標高が高い山岳上部に限られた範囲において凍害危険度は危険度1「ごく軽微」とされるほか、内陸部の広い範囲において、「品質の悪い骨材を用いプレーンコンクリートとした場合の凍害発生危険地域」とされている。しかし、「ごく軽微」以下の危険度であるにもかかわらず、凍害を生じた事例は現在でも多く確認され、また、上記危険地域以外の場所においても凍害事例は散見される。九州のような温暖地域においては凍害に対する知識は十分ではなく、適切な対策が施されていないことも一因と考えられる。同様に、凍害に対する関心のレベルも高くないため、劣化の状況や特性も十分には把握されていない。こうした背景を踏まえ、本研究では、九州におけるコンクリート構造物の凍害の全体像を把握すること、また、九州で生じる凍害が寒冷地で見られる一般的な凍害と比較して、どのような特徴を有するかなど明らかにすることを目的とする。本稿は、これまでに行った、気象条件の検討、および外観の目視観察を中心とした調査から得られた結果の概要をまとめたものである。

^{*1} 空間システム専攻修士課程

^{*2} 都市・建築学部門

^{*3} 日本大学

^{*4} 室蘭工業大学

^{*5} 東海大学

^{*6} 大分大学

2. 冬季における九州の気候特性

2.1 外気温上の凍結融解作用

九州における冬季の気候特性を寒冷地と比較するため、気象庁が公開する気象観測データ²⁾として、観測地点「札幌」、「日田」、「福岡」における冬季の日最高気温と日最低気温の例（縦軸の値が各地点の図で異なることに注意）を図1に示す。

札幌をはじめとする北日本の厳冬期には、日最低気温が氷点下となる日には日最高気温も氷点下となることが多く、コンクリートは一度凍結すると日射が当たらない限り融解しにくい。このため、北日本のような寒冷地では、日射の影響を受けやすい建物南側で凍結融解の累積数が多くなり、凍害による変状が生じやすいとされる³⁾。長谷川らが算定した「日射による融解を加えた全凍結融解日数の分布」⁴⁾を抜粋して表2に示しているが、寒冷地の凍結融解の繰返し回数は、日射による融解を含めると、年に100回を超える地域が多く見られる。

一方、九州のような温暖地域では、北日本と比較して日最低気温が氷点下となる日数は少ない。またそのような日においても日最高気温が氷点下となることはごく稀であり、夜間にコンクリートが凍結した場合、日射が当たらない箇所でも、その日のうちに容易に融解することが多いと予想される。また、凍結融解の繰返し回数は、山岳部のごく限られた地域でも年に80回程度、内陸部で年に40～60回程度である⁴⁾。

2.2 降水による水分供給

コンクリートの凍害は、降雨・降雪や積雪などから供給される水分の凍結融解によって生じる。

一般に寒冷地では、冬季に継続的に積雪が観測されるが、積雪からの融雪はコンクリートへの継続的な水分供給源となり⁵⁾、寒冷地において凍害を促進する主因となる。

一方、九州では、標高の高い山岳部を除けば、降雪量は少なく、積雪が継続的に残存することはまれである。しかし、寒波の到来により気温が氷点下となる際には積雪を伴うことが多く、コンクリートの凍結・融解時には融

表1 各地の凍害危険度^{1)より}

地域	危険度	地域の例
九州	危険度1 (ごく軽微)	阿蘇山頂部
		雲仙山頂部
九州以外の例	品質の悪い骨材を用い プレーンコンクリート とした場合の凍害発生 危険地域	日田から霧島に至る 内陸部および山地群
	危険度5 (極めて大きい)	北海道道東および 道北の内陸部
	危険度4 (大きい)	危険度5の外縁や、 北海道羊蹄山周辺など
	危険度3 (やや大きい)	危険度4の外縁や、栃木県 から長野県に至る内陸部、岐 阜県飛騨地方など
	危険度2 (軽微)	危険度3の外縁や、 東北北部、富士山周辺、 徳島県剣山頂部など
	危険度1 (ごく軽微)	危険度2の外縁や 中国四国地方の内陸部 および山地群など

表2 日射による融解を加えた全凍結融解日数^{4)より}

地域	凍結融解日数	地域の例
九州	80～	阿蘇山頂部
	60～80	日田からえびのに至る内陸部お よび山地群
	40～60	朝倉から都城に至る内陸部の広 い範囲や雲仙山頂部
九州以外の例	140～	北海道道東の内陸部など
	120～140	北海道道東の沿岸部を含む広い 範囲、那須や軽井沢などの本州 の高原地域
	100～120	北海道の日本海沿岸部を除く全 域、東北北部や福島から岐阜に 至る内陸部など
	80～100	北海道や東北の沿岸部や福島か ら岐阜に至る内陸部、三重県や 徳島県の一部など

※表中の日田は、図1に示す気象観測地点である「日田」（標高約83mの日田市内では低所に位置する）を含み、より標高の高い地域が包含されるため、図1の気温よりも更に低温となることに注意が必要。

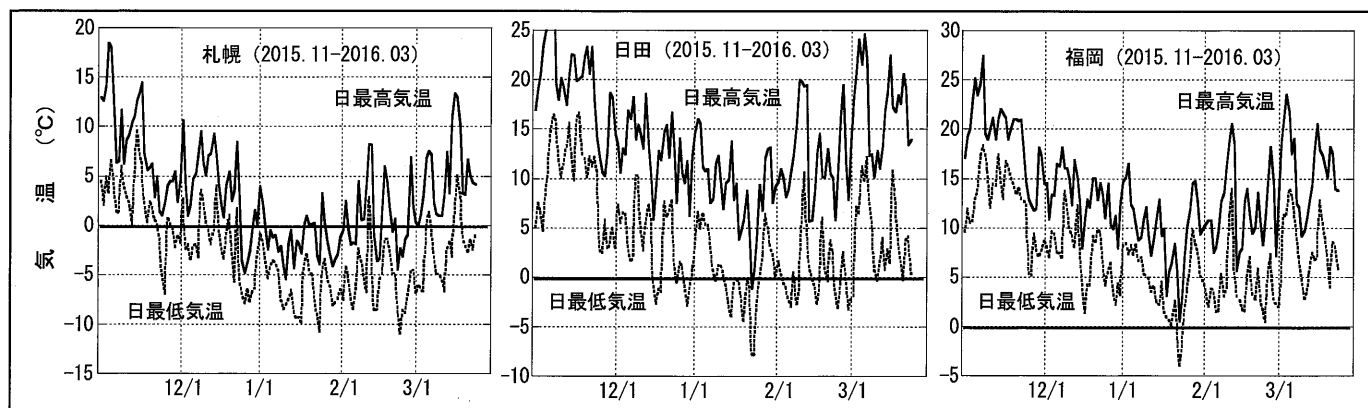


図1 各地の冬季における日最高気温・最低気温

雪による水分の供給がかなりの確率で生じる。また、図2に示すように、内陸部では冬期に湿度が高いことが多く、このことがコンクリートを湿潤状態に保ち、凍害発生のリスクを高めているものと考えられる。

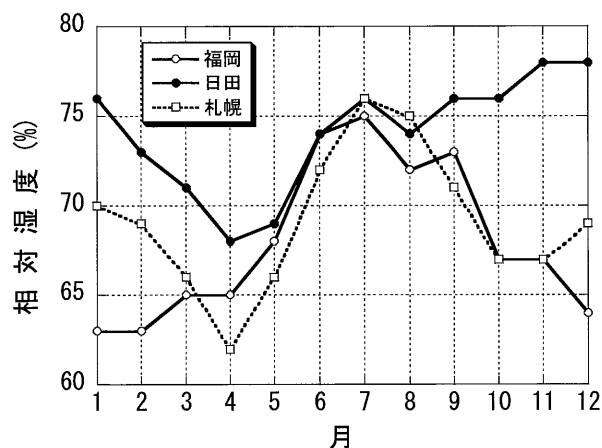


図2 年間の相対湿度（平年値）の比較

3. 調査の概要および結果

3.1 調査の概要

本研究の調査では、九州内において凍害が疑われる変状を生じたコンクリート構造物を対象として、筆者らが把握していたもの、ならびに新たに情報提供頂いたものを中心に、外観調査を行った。

3.2 調査結果

凍害が疑われる変状を生じた構造物の概要ならびに調査結果を表3に、構造物の所在地を図3に示す。

3.2.1 凍害を生じた構造物の立地・標高

凍害が疑われる変状を生じた構造物は、すべて内陸部に位置する。気候が温暖であるために、変状が生じた構造物は標高500mを超える高所に位置するものも多い。しかし、内陸部の盆地である日田周辺では標高150～300m程度の比較的標高の低い場所でも凍害と思われる変状が多く見られた。これは内陸であるため図1に示したように冬期に気温が低下しやすいこと（観測地の標高は約83m）、図2に示したように冬期に湿度が高くコンクリートが湿潤な状態を維持しやすいことなどが要因として考えられる。また、雲仙、阿蘇、霧島、えびのなどの火山・温泉地の近隣に位置する地域では酸性ガスの影響を受けやすく、凍害と化学劣化との複合劣化が疑われる事例も多い。同様に、土木構造物の一部では周辺での凍結防止剤の使用の影響を受けている可能性があり、塩害との複合劣化が想定される。なお、ほとんどの事例が、従来の凍害危険度マップにおいて、表1に示したように、コンクリートの品質が低い場合に凍害を生じる可能性のある地域または凍害の危険度が1の地域に含まれていたが、福岡市内の山間部や屋久島中腹など、これら以外の地域においても凍害と思われる劣化事例が散見された。

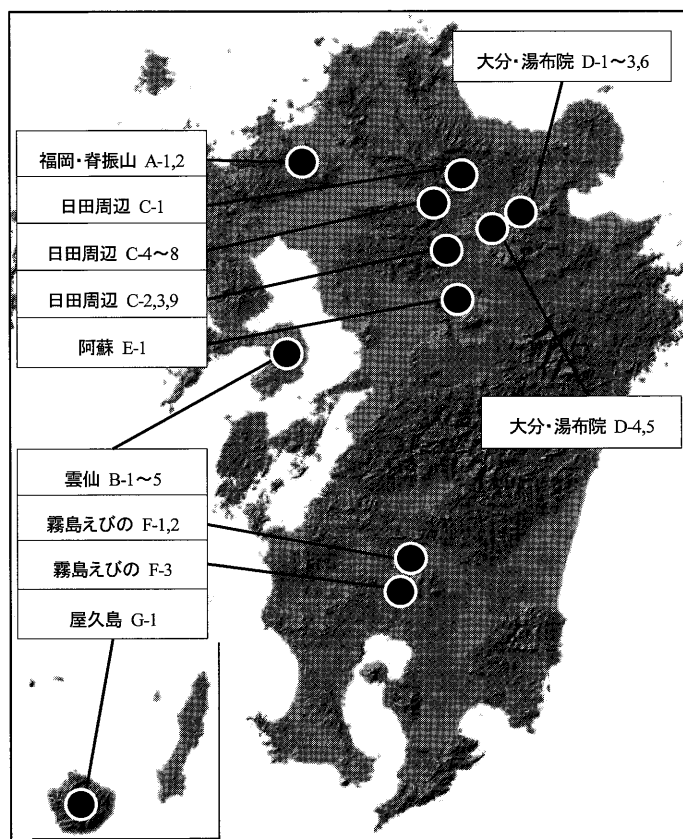


図3 構造物の所在地

地理院地図（国土地理院）より作成

3.2.2 竣工年等

今回調査を行った構造物の竣工年は昭和30年から40年代のものが多いが、これより古い構造物は取り壊されたものも多いと考えられる。表3に示した事例中にも近年取り壊されたものや、改修された構造物が含まれている。竣工年が不明なものも多い。最も築年数の短いものは30年未満であった。表2に示したように、九州における年間の凍結融解の回数は寒冷地と比較して1/2～1/4程度である。寒冷地においては早ければ10年程度で劣化を生じる⁵⁾（九州ではこのような事例は報告されていない）のと比較し、九州では、凍害が生じる場合でも、より長い年月を経過して変状が顕在化するものと考えられる。これらのことが上記年代の構造物に劣化事例が多いことと関連している可能性がある。ただし、少なくともこの30年は温暖地域においても主としてワーカビリティ向上の目的からAE剤の使用と確実な空気連行がなされていること、また全国的な傾向として、構造物コンクリートの高強度化に伴って使用されるコンクリートの水セメント比が全体として低くなる傾向にあることなど、材料・調合面から、間接的にコンクリートの耐凍結融解性が向上する傾向にある。また、九州における凍害による変状の程度が寒冷地における場合と比較して軽微であることも、現存事例が多い理由と考えられる。これらについてさら

表3 劣化の事例

記号	場所	標高	用途等	構造規模	竣工年 (補修歴等)	変状の生じた部位	凍害が疑われる変状	変状の生じた方位	複合劣化の 可能性
A-1	背振山頂付近	1000	展望台	RC3F	不明 (解体済み)	建物全体	モルタルにひび割れ 角の欠損	全方位 (特に日陰部分)	なし
A-2	福岡市山間部	580	橋梁	RC 1 径間	不明 (S40 代か)	北側の橋台 および橋桁	スケーリング ポップアウト	とくに南面 (上側)	なし
B-1	雲仙温泉	680	公民館的施設	RC2F	1982 (補修歴有)	外階段 バルコニーの壁 外壁等 (打ち放し)	ひび割れ(ⅠⅡ・つらら)	北面・東面	噴気の影響?
B-2	雲仙温泉	680	社員寮	RC3F	不明	外壁 パラペット (全て塗装)	ひび割れ(ⅠⅡ・つらら)、 塗装の膨れ。降水等が劣 化した塗膜から浸入、塗 膜内側に滞留。	西面	噴気の影響?
B-3	雲仙温泉	670	旧社員寮	RC2F	不明	屋根スラブの軒先	コンクリート脱落 鉄筋露出	北東・北西面 (反対側は未確認)	噴気の影響?
B-4	雲仙温泉	660	不明	RC2F +木造 3F	不明	屋根スラブの軒先	コンクリート脱落 鉄筋露出	北西面 (他の部分は未確 認)	噴気の影響?
B-5	雲仙温泉	680	旅館	RC5F	不明	底のパラペット 部分	ひび割れ、 スケーリング、つらら	東面・南面	噴気の影響 (雲仙地獄に隣接)
C-1	中津市山国町	200	中学校	RC4F	1990 (2003 外壁補修)	4F 外柱頂部 突出部	ひび割れ(ⅠⅡ)	北東面、南西面	なし
C-2	日田市上津江町	610	橋梁	RC 1 径間	不明	橋桁両側面、上面	側面はひび割れ (ⅠⅡ・つらら) 上面はスケーリング	北東・南西面	融雪剤の影響
C-3	日田市上津江町	520	橋梁	RC 1 径間	不明	橋台および 床板側面	スケーリング	北西・南東面(橋 台) 北東面(床板)	融雪剤の影響
C-4	日田市前津江町	630	橋梁	鋼 2 径間	不明 (2016 補修)	橋台	スケーリング	南面	融雪剤の影響
C-5	日田市花月	160	橋梁	RC 1 径間	1933	橋桁および 床板の側面と下面	スケーリング 鉄筋露出	南面および 下面	融雪剤の影響
C-6	日田市花月	320	橋梁	RC 1 径間	1967	主桁および 床板下面	スケーリング 鉄筋露出	(下面)	融雪剤の影響
C-7	日田市花月	140	橋梁	RC 2 径間	1933 (流失)	橋脚および 床板下面	スケーリング 鉄筋露出	(下面)	融雪剤の影響
C-8	日田市天瀬町	150	橋梁	RC 2 径間	1965	橋脚・橋台 主桁・床板	スケーリング 鉄筋露出	北西および 南東	融雪剤の影響
C-9	日田市中津江村	530	橋梁	RC 1 径間	1956	橋台・高欄および 高欄下部	スケーリング	東側橋台の南側	融雪剤の影響
D-1	大分県由布市 湯布院町川上	472	不明	RC2F?	不明	モルタル仕上げ 全体	ひび割れ(ⅠⅡ・つらら) および剥落 コンクリートひび割れ	全方位	
D-2	大分県由布市 湯布院町川上	465	公民館	RC2F	不明	庇、テラス	ひび割れ (ⅠⅡ・つらら)	全方位 (北側の方が 劣化の程度大)	
D-3	大分県由布市 湯布院町川上	459	民家	RC2F	不明	庇、テラス	ひび割れ(ⅠⅡ)	北面、西面	
D-4	大分県九重町右田	438	公民館	RC2F	不明	庇	ひび割れおよび剥落	南面、西面	
D-5	大分県九重町野上	443	民家	RC2F	不明	庇	ひび割れおよび剥落		
D-6	大分県由布市 湯布院町川上	472	不明	RC2F?	不明	モルタル仕上げ 全体	ひび割れ(ⅠⅡ・つらら) および剥落 コンクリートひび割れ	全方位	
E-1	阿蘇市	570	公共施設	RC1F	1953	屋内外のコンクリ ート全面 (特に隅角部)	ひび割れ(ⅠⅡ) スケーリング	全方位	火山活動によっ ては影響の可能性
F-1	えびの高原	1200	ガソリン スタンド	RC1F	不明 (解体済み)	屋根スラブの軒先	コンクリート脱落 鉄筋露出	南東側他	火山の影響 (霧島硫黄山火口 から西側約 700m)
F-2	えびの高原	1200	橋梁高欄	RC	不明	橋梁親柱 高欄上面	スケーリング 鉄筋露出	上面	火山の影響 (霧島硫黄山火口 から西側約 500m)
F-3	霧島林田温泉	770	社員寮	RC3F	不明	外壁、3F 側柱 バルコニー壁	ひび割れ	北面	温泉の影響?
G-1	淀川登山口手前	1300	道路擁壁	RC	不明	上面	スケーリングか	上面	降り始めの酸性雨 とその後の純度の 高い雨

に検証するため、管理台帳の精査や暴露実験を含めたさらなる検討が必要である。

3.2.3 変状の種類

凍害によりコンクリートに生じる代表的な変状が、ス

ケーリング(写真1、タイトル中のF-2などの記号は、表3最左欄の記号に相当、以下同じ)やひび割れである。これらの劣化が進行し、鉄筋露出(写真2)に達している事例も見られた。そのほか多く見られた事例として、ひび

割れからのエフロレッセンスがある。ひび割れの内部から染み出していたものや、ひび割れの直下につらら状に析出していたもの（写真3）があった。これらは、ひび割れ部位に水分の供給が継続し、ひびわれが水の通過経路となっていること、溶出により内部の硬化体組織が粗大

化していることなどを示しており、劣化の更なる進行が懸念される。なお、今回の事例中、ポップアウトは1件のみであった。ポップアウトは粗骨材の品質が悪いことに起因するが、この点についても検討が必要である。



写真1 スケーリング (F-2)



写真2 鉄筋露出 (C-5)



写真3 エフロレッセンス (C-2)



写真4 屋根スラブ軒先の変状 (F-1)



写真5 柱頂部の変状 (C-1)



写真6 外壁の変状 (E-1)



写真7 橋梁の変状 (A-2)



写真8 仕上げの剥落 (D-5)



写真9 塗膜の膨れ (C-7)



写真10 雲仙で見られた変状 (B-5)

3.2.4 変状の生じた部位

凍害による変状は、一般に、融雪水の供給量が多い屋上周辺や庇などで生じやすく、とくに温度変化が大きくなる突出部や隅角部で顕著になるとされる。今回の調査においても同様な傾向が見られ、屋根スラブの軒先（写真4）や庇、パラペットなどにおいて劣化が多く見られたほか、外柱頂部の突出部（写真5）においても劣化が生じていた。そのほか外壁に全面にひび割れがみられるものもあったが、その場合でも隅角部にひび割れが集中し、3面が露出した角に円弧状のひび割れが生じる、いわゆる「Dクラック」も見られた（写真6）。

また、水の滞留する場所や水の供給を受けやすい場所で特に劣化が顕著に生じる事例も多く見られた。福岡市内の山間部の橋梁（写真7）では、北側の橋台でスケーリングが生じていた。そのほかの部位での劣化は軽微であった。この橋梁を含む道路は、北側から南側に向けて下り坂になっており、北側の橋台で背面からの水の供給が多かったものと考えられる。写真中赤枠で示した、橋台上部の張出し部分から滴下した水滴がちょうど当たる部分で顕著な変状が見られた。水分の少ない箇所では変状は生じていない。

建築物においては、躯体コンクリートの劣化に先立って仕上りの劣化が進行し、そこから水分が侵入して凍害が生じている事例（写真8など）が多く見られた。仕上りの塗膜の内側に水が滞留している事例もあった（写真9）。降水等が劣化した防水層から浸入し、コンクリートのひび割れや剥離した塗膜とコンクリートの界面などを伝って剥離していない箇所でせき止められて塗膜の内側に留まっているものと考えられる。この場合、通常は凍害を生じにくい部位で変状を生じてしまう可能性がある。

3.2.5 変状の見られた方位

先に述べたように、寒冷地では、一度凍結したコンクリート中の水分は日射が当たらない限り融解しにくいいため、日射の当たる建物南側で凍結融解を繰り返し、変状を生じやすいとされる³⁾。一方、九州では、最低気温が氷点下になった日でも日中には零度より高い気温となることが多く、特に日射が作用しなくてもコンクリート中の凍結水は融解しやすい。このような九州の気候特性を反映し、今回の調査結果からも凍害を生じた構造物で特に劣化を生じやすい方位は存在せず、あらゆる方位で劣化が生じている。むしろ、隅角部や突出部のように、気温低下時に最も温度低下しやすく、逆に気温上昇時には温度上昇しやすい部位を中心に、融雪水・雨水・結露水など水の供給がなされた場合に凍害が生じているように思われる。北海道では現在ほとんど見られないコンクリート製の庇などが凍害危険地域でも多用されるなど、設計上の配慮がなされていないことを含め、九州の凍害における特徴であるといえる。

3.2.6 複合劣化の可能性

九州では、火山・温泉地の近隣では酸性ガスによる化学劣化、内陸部の道路橋などでは凍結防止剤の散布による塩害との複合劣化の可能性がある。また、島原半島など ASR の原因となる反応性骨材を使用したコンクリートの見られる地域が存在することが、従来から知られている⁶⁾。

例えば先に示した霧島の例（写真4）は、化学劣化との複合劣化を引き起こした可能性のある事例である。建物全体に凍結融解による典型的な変状が見られたが、現在も活発に活動続ける硫黄山噴気口側の劣化が特に激しく生じていた。同様に雲仙の例（写真10）においても、雲仙地獄側の庇でスケーリングが顕著に生じていた。

また、雲仙では、先に示した事例（写真9）のように、凍害などの劣化からコンクリートを保護するための仕上げ材にまず噴気中の成分による化学劣化が生じ、浸入した水分を健全部分がせき止めることにより滞留させるなど、仕上げ材がむしろ凍害を助長する役割を果たした事例もしばしば見られた。このような事例は、化学劣化と凍害がほぼ同時に生じる、一般的な複合劣化とは状況が異なるが、広義の複合劣化に位置づけることができる。

このように、凍害と他の劣化との複合劣化が多いことも九州の凍害の特徴と言える。いずれにしても、複合劣化は複雑な現象であり、これに関する研究も乏しいのが実情であり、上記の実例を含めさらなる事例の蓄積、および検討が重要である。

4. まとめ

今回の調査から、九州におけるコンクリート構造物の凍害の特徴として、寒冷地で見られる一般的な凍害の特長と同様に、以下のことが確認された。

- ① 温度変化が大きく凍結融解を起こしやすい突出部、隅角部で生じやすい。
- ② 水の滞留しやすい部分で生じやすい。
- また、九州の凍害の特有の特徴として、以下のことが明らかになった。
- ③ 南面が生じやすいなどの方向性が見られず全ての方位で生じている。
- ④ 温暖な地域であるため凍害に対する関心が相対的に高くなく、設計上の配慮がなされていないことが多く、温暖な割に凍害が生じる一因になっている可能性がある。
- ⑤ 九州において凍害の多い地域は比較的標高が高く、火山や温泉など厳しい周辺環境の影響を併せて受けやすく、化学劣化との複合劣化が見られる。

また、塗装が劣化して水が浸入し凍害を生じた事例がしばしば見られた。今後更に詳細な検討を行う必要がある。

謝辞 今回の調査では、福岡県コンクリート主任技士・診断士会（理事長大和竹史福岡大学名誉教授）を通じ、メック(株)高瀬義晴氏（同会）、(株)アーテック彌永穂高氏（大分県診断士会）をはじめ、地元の技術者の方々に貴重な情報提供を頂きました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2015
- 2) 気象庁ホームページ，過去の気象データ検索，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3) 松村光太郎，浜幸雄，千歩修，富坂崇：コンクリートの凍害を対象とした自然環境下におけるコンクリート温度に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.793-798，2000
- 4) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案，セメント技術年報，No.29，248-253，1975
- 5) 湯浅昇：自然環境下のコンクリート劣化 ―暴露のすゝめ―，コンクリート工学，Vol.55，No.3，pp.222-231，2017
- 6) 土木研究センター：「建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果）報告書」，pp.293-294，1998

（受理：平成29年 6 月 7 日）