

積雪寒冷地におけるコンクリート構造物の複合劣化要因に関する調査報告-橋梁点検-

中大実業(株)

北海道大学大学院

(独)土木研究所寒地土木研究所

○花田 眞吉

正会員 杉山 隆文

馬場 道隆

1. はじめに

積雪寒冷地では、一般環境よりも厳しい気象条件に配慮した形でコンクリートが施工され、耐久性のあるコンクリート構造物が利活用されているものの、現在では多くの構造物においてコンクリート自身の劣化や鋼材の腐食によって耐久性が低下し、補修あるいは補強が必要とされ始めている。一方、これまでのコンクリートの耐久性に関連する研究は、ほとんどが単一の劣化機構に起因する単独劣化を対象として進められてきた。しかしながら、単独の劣化機構のみでは対応できない実構造物の劣化事例が次第に明らかになってきており、複合劣化に対する関心が高まりつつある。そのため、多くの研究者および技術者は、単一の劣化現象のみならず複合して作用する劣化現象の原因についても解明して、今後の維持管理や新設構造物への更なる適用に繋げることが重要である。

このような背景の下、日本コンクリート工学協会北海道支部では「積雪寒冷地コンクリート複合劣化要因研究委員会」を設置し、複合して作用する劣化要因を把握することを目的として、橋梁点検結果から積雪寒冷地において顕在化した損傷の劣化要因を整理するとともに、各管理者の橋梁点検要領の分析等を行った¹⁾。本稿では、橋梁点検に着目した調査結果の概要の一部について報告する。

なお、複合劣化は複数の劣化作用が複合して生じる劣化を扱うものとし、劣化以外の初期欠陥や損傷に起因する複合劣化については実態を把握することが困難であるためこれに含めないものとした。また、ここでの各管理者とは、北海道内における維持管理者（北海道開発局、NEXCO東日本、JR北海道、北海道、札幌市、市町村）を対象としており、コンクリート構造物は道路橋に着目して整理している。

2. 各管理者における橋梁点検等の概要

2.1 代表的な劣化機構

コンクリート部材に生じる変状の定義として、構造物の維持管理者の用いる呼称は様々であり、コンクリート標準示方書【維持管理編】²⁾ および鉄道構造物維持管理標準³⁾ では初期欠陥、損傷、劣化の総称を「変状」としているが、道路橋の要領等ではこれらの総称を「損傷」として使用している。一方、コンクリート部材で想定されている代表的な劣化機構は表-1に示すとおりであり、各管理者

表-1 各管理者の要領等における代表的な劣化機構

要領, 管理橋等	劣化機構									初期欠陥
	中性化	塩害	凍害	化学的侵食	ASR	疲労	すり減り	鋼材腐食	複合劣化	品質不良
示方書[維持管理編]	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—
国道橋	○	○	○	○	○	○	—	—	○	—
高速道路橋	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
鉄道構造物	○	○	○	○	○	—	—	○	—	—
道道橋	○	○	○	○	○	○	—	—	—	○
札幌市道橋	○	○	○	○	○	○	—	—	○	—
市町村道橋	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
備考	← 共通する劣化機構 →					← 共通しない劣化機構 →				

の要領等において、中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリシリカ反応（以下、ASR）は共通する劣化機構であるものの、共通していない劣化機構もそれぞれ記載されており、中には複合劣化に着目している要領も見受けられる。なお、複合劣化について、コンクリート標準示方書や鉄道構造物維持管理標準では、代表的な劣化機構として扱われていないものの、「複合劣化が生じている場合、実際に生じている劣化現象に対応する劣化指標を1つあるいは複数選定し、その劣化指標に着目して詳細調査を行い、その結果から劣化機構の推定を行う」²⁾等の複合劣化に関する留意事項が示されている。

2.2 橋梁点検の資格要件

前節において、各管理者で変状の呼称や着目している劣化機構が異なることを示したが、本節では各管理者における橋梁点検の資格要件について概説する。表-2は、橋梁点検および検査実施者の資格要件を一覧に示しており、JRは直営、道路橋は委託業務のH19～H22年度の特記仕様書を基に整理したものである。これより、道路橋に着目すると、国道橋では点検および診断ともに責任者には技術士あるいはRCCM等の資格が必要とされているが、担当者レベルでは必要とする資格は定められておらず、実務経験や橋梁技術全般の知識を有することが規定されている。一方、国道橋以外の道路橋では、責任者および担当者ともに必要とされる資格は定められていないものの、経験と専門知識を有することが規定されている場合があり、橋梁点検に関わる技術研修機関が講習会等を実施している場合もある。


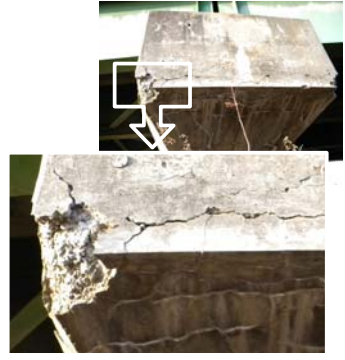
表-2 各管理者における橋梁点検および検査実施者の資格要件

維持管理者	業務	責任者	担当者	備考
北海道開発局 (国道橋)	橋梁定期点検業務	<ul style="list-style-type: none"> ■管理技術者 ・技術士 ・RCCM ・工学博士 ・技術士同等の規定なし 	<ul style="list-style-type: none"> ■橋梁点検者 ・橋梁に関する実務経験 ・橋梁設計、施工に関する基礎知識 ・点検に関わる技術と実務経験 	(財)海洋架橋・橋梁調査会「橋梁点検技術研修」受講制度有
	橋梁診断業務	<ul style="list-style-type: none"> ■管理技術者 ・技術士 ・RCCM ・工学博士 ・技術士同等の規定なし 	<ul style="list-style-type: none"> ■橋梁診断員 ・橋梁技術全般に関する高度な知識と豊富な経験 ・橋梁保全業務、5年以上の実務経験 	
NEXCO 東日本 (高速道路橋)	保全点検業務	<ul style="list-style-type: none"> ■責任者 ・資格の定めはない 	<ul style="list-style-type: none"> ■担当者 ・資格の定めはない 	グループ内子会社による業務実施体制
北海道 (道道橋)	橋梁点検業務	<ul style="list-style-type: none"> ■管理技術者 ・道路橋に関する経験と専門知識を有する 	<ul style="list-style-type: none"> ■点検担当者 ・北海道主催の橋梁点検講習会の受講証を有する者が実施 	北海道「橋梁点検に関する講習会」受講制度有
札幌市 (札幌市道橋)	道路構造物点検調査業務	<ul style="list-style-type: none"> ■管理技術者 ・資格の定めはない 	<ul style="list-style-type: none"> ■点検担当者 ・(財)海洋架橋・橋梁調査会または道路保全技術センターが主催する橋梁点検技術研修を受講し、修了証を交付された者を1名以上配置 	
市町村 (市町村道橋)	長寿命化修繕計画策定橋梁点検業務	<ul style="list-style-type: none"> ■管理技術者 ・資格の定めはない 	<ul style="list-style-type: none"> ■橋梁点検者 ・道路橋に関する経験と専門知識を有する者が実施 	
JR 北海道 (鉄道構造物)	直営	<ul style="list-style-type: none"> ■検査責任者 ・構造物の検査は事業者である JR 社員が実施 	<ul style="list-style-type: none"> ■検査実施者 ・検査実施者は外注委託が可能であるものの、JR 北海道での実績はない (H21 現在) 	

3. 外観調査による劣化機構の推定

劣化機構を推定する場合は、構造物に生じた変状に対して、設計図書、使用材料、施工管理および検査の記録、構造物の環境条件および使用条件を検討し、点検結果に基づいて推定を行う。具体的には、1)点検で把握した変状の特徴と劣化に着目した外観上の特徴（劣化現象）に照らして推定、2)構造物の環境条件や使用条件を中心とした外的要因から推定、3)使用材料や施工の不具合等を中心とした内的要因から推定、最後にこれらの外観上の特徴、外的要因や内的要因を考慮した劣化機構の推定結果を劣化現象の特徴と比較してその妥当性を検討する。なお、複合劣化についても、同様の検討を行って総合的に推定する必要がある。ここで、外観上の特徴、外的および内的要因から劣化機構を推定した事例を紹介する。表-3に、複合した劣化機構に対応した事例の解説および写真の一例を示す。

表-3 複合した劣化機構に対応した事例

事例解説 (劣化機構の推定と対策判定他)	事例写真
<p><事例1>塩害+凍害</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部 位：橋台の堅壁側面 ・変 状：鋼材腐食によるコンクリートのはく離、鉄筋露出箇所の断面欠損。また、壁面では凍害によるスケーリングが見られる。 ・環 境：海岸擁壁に連続する橋台であり、飛沫や飛来塩分環境下。 ・劣化機構：塩害環境下にあること、孔食による断面欠損が激しく進行していることから塩害と推定される。同時に、スケーリング(凍害)によるかぶり減少も見られることから、塩害と凍害との複合劣化と推定する。 ・対策判定：橋台の耐久性確保を目的として、調査・対策検討を要する。 	
<p><事例2>ASR+凍害+塩害</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部 位：橋脚張出し梁 ・変 状：梁先端の下面の隅角部では幅の広い水平方向のひび割れと断面欠損が見られる。また、梁下面の全面には不規則なひび割れが広がり、ひび割れは析出物で埋められている。 ・環 境：張出し梁先端は雨掛り部であり、水分の供給を常に受ける環境下にあるとともに、桁遊間から路面排水が流下し凍結防止剤の影響を受ける環境下にある。 ・劣化機構：不規則なひび割れや白色の析出物の外観から ASR と推定する。また、ひび割れ開口部から侵入した水分が凍結膨張し、ひび割れを拡大させた可能性がある。さらに、凍結防止剤を含む路面排水の供給は ASR の促進要因となるとともに、塩害による鋼材腐食の可能性もある。このため、ASR と凍害、塩害との複合劣化と推定した。 ・対策判定：橋脚の耐久性確保を目的として、調査・対策検討を要する。 	

4. 橋梁点検結果から見た積雪寒冷地の劣化機構の特徴

本章では、北海道内の国道橋を対象とした定期点検結果に着目して、積雪寒冷地における劣化機構の特徴について概説する。具体的には、単独劣化や複合劣化の発生割合、劣化のある橋梁に単独や複合して作用している劣化機構の数、劣化機構に着目した損傷橋梁の地域分布を整理して、劣化機構の特徴を把握した。なお、対象の定期点検結果は平成18年度に限定している。

4.1 調査対象橋梁および集計方法

図-1には、対象とした橋梁数を地域毎に示している。図より、調査した橋梁は全地域で695橋を対象としており、このうち函館および札幌管内の橋梁が多く占めている。一方、劣化機構に着目した橋梁の集計方法については、対象部材は点検結果に記録されるコンクリートの主要部材(橋面工である地覆や縁石は除く)に着目し、劣化機構は塩害、凍害、中性化、ASR、疲労の5つの劣化機構に着目して集計するものとした。

4.2 劣化機構の特徴

図-2には、複合する劣化機構に着目した橋梁数を示している。図より、単独または複合劣化のある橋梁は、劣化機構に着目すると合計で231橋と対象橋梁の約3割を占めている、すなわち3割程度の橋梁においてコンクリート部材が劣化していることが明らかとなった。

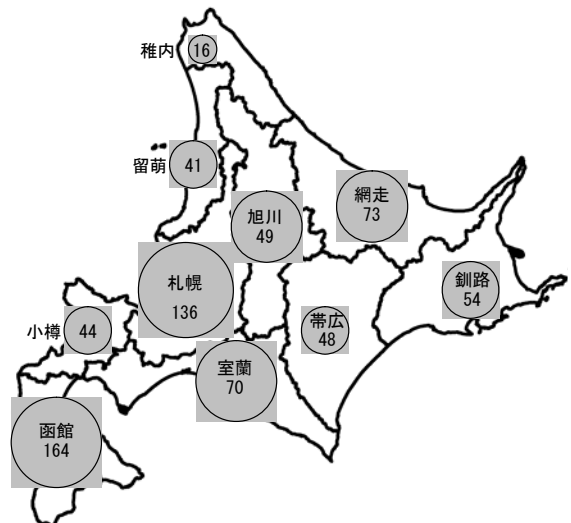


図-1 対象橋梁の地域毎の橋梁数

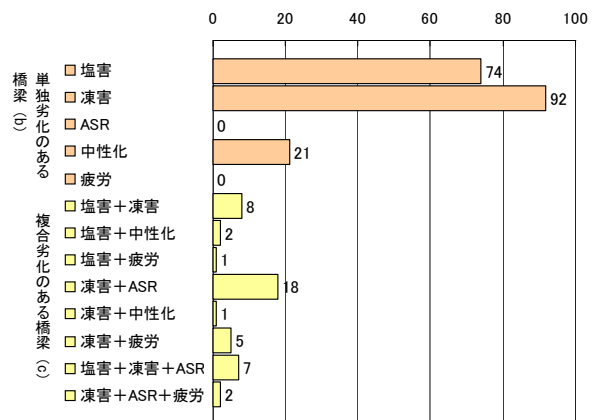


図-2 複合する劣化機構に着目した橋梁数

また、この231橋のうち、単独劣化が見られたのは187橋、複合劣化が見られたのは44橋と、2割程度が複合劣化であることも確認された。これらの劣化原因を順位付けすると、凍害>塩害>中性化>凍害+ASR>塩害+凍害となり、積雪寒冷地特有の凍害による劣化が最も影響を与えていることが分かった。なお、ASRによる変状については、単独としては計上されておらず、凍害等と複合して顕在化している。

次に、凍害による劣化が大きく影響していることが明らかとなったため、凍害に着目した損傷橋梁の地域分布について記述する。図-3には、損傷橋梁の地域分布を凍害危険度とともに図表にして示している。図より、調査橋梁に対する凍害損傷橋梁は、単独劣化のある橋梁は13% (92橋)、凍害または凍害との複合劣化のある橋梁は17% (120橋) であり、いずれも海岸線および山間部を問わず広く分布している。また、凍害単独劣化のある橋梁においては凍害危険度⁴⁾が高いほど劣化発生率 (b/a) も高い傾向にあるものの、凍害または凍害との複合劣化のある橋梁においては凍害危険度の低い2地域 (凍害危険度1および2) の損傷橋梁が増加しているだけで、凍害危険度と劣化発生率とに明確な相関は見られなかった。これより、実構造物における凍害劣化は、凍害危険度の高い地域ほど顕在化する可能性が高いものの、他の劣化機構と複合すると関係が複雑となる傾向にあることが明らかとなった。

凍害危険度	調査橋数	凍害単独劣化のある橋数		凍害または凍害との複合劣化のある橋数	
	a(橋)	b(橋)	b/a(%)	b(橋)	b/a(%)
1: 凍害はごく軽微と予想される地域	81	5	6.2	11	13.6
2: 凍害は軽微と予想される地域	192	16	8.3	33	17.2
3: 凍害はやや大きいと予想される地域	176	26	14.8	27	15.3
4: 凍害は大きいと予想される地域	184	33	17.9	37	20.1
5: 凍害は極めて大きいと予想される地域	62	12	19.4	12	19.4
合計	695	92	13.2	120	17.3

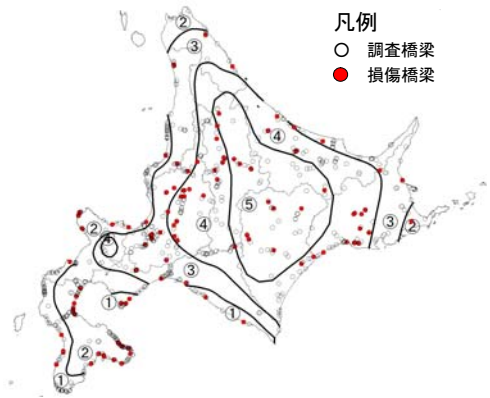


図-3 損傷橋梁と凍害危険度分布 (右図: 凍害または凍害との複合劣化に着目)

5. おわりに

本委員会では、積雪寒冷地における劣化機構の特徴を把握するために、維持管理者の橋梁点検要領を分析するとともに、橋梁点検結果から複合劣化を含む劣化要因について整理および集計を行った。その結果、複合劣化の多くは凍害が大きく関与しており、凍害劣化は他の劣化機構と複合すると関係が複雑になる傾向を示した。今後の課題として、単独のみならず複合劣化の進行予測や評価する技術を構築することが必要と考えられる。また、コンクリート構造物を適切に維持管理していく上で、維持管理者は維持管理水準を定め、早期点検による維持補修費の平準化など、厳しい財政状況の中でも計画をもった持続可能な維持管理をするために、定期的な点検を行うことは非常に重要である。

参考文献:

- 1) 日本コンクリート工学協会, 北海道支部: 積雪寒冷地コンクリート複合劣化要因研究委員会, 報告書, 2010. 3
- 2) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書【維持管理編】, 2008. 3
- 3) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) コンクリート構造物, 2007. 1
- 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 XXIX, 1975.