

積雪寒冷地におけるコンクリート構造の劣化と健全度評価の適正化に関する調査委員会 平成 28 年度 委員会活動報告

委員長 金沢大学理工研究域 環境デザイン学系 久保 善司
副委員長 金沢大学理工研究域 環境デザイン学系 梶谷 浩
幹 事 大日本コンサルタント(株)インフラ技術研究所 ○横山 広

1. 研究の目的

高齢化橋梁の増加にともない、今後橋梁の維持管理コストが増大することが見込まれるものの、北陸地方で問題となっている飛来塩分や凍結防止剤散布による塩害や反応性骨材による ASR が原因となる劣化に関して実際の維持管理、特に劣化度評価に解りやすく組み込まれているとは言いがたい。これは、劣化進行が構造物毎に異なることが要因と想定されるが、メンテナンスサイクルを考えた場合には、劣化原因ごとの特性を反映させた健全度評価と将来のパフォーマンスの低下を把握することが必要となる。そこで本委員会では平成 27 年度から継続した活動より、劣化構造物の維持管理で実施される点検、調査の際に確認すべき項目の抽出・整理とその結果を活用した着目点を提案するものとした。他に床版に関する輪荷重走行試験により疲労劣化過程における損傷度評価に関する検討を実施したので、それらの結果を報告する。

2. 委員会運営

本委員会の運営では金沢大学が SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）で取り組む「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」での研究課題である「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発」との連携による検討を行っており、維持管理の現場に社会実装されるための情報発信を目指すものとした。具体的な活動記録を表-1 に示す。本年度の活動では、金沢大学の SIP との共催による研究成果の報告会を実施している。

表-1 具体的な活動記録

委員会	開催日時	議 事
第一回	平成 27 年 4 月 24 日	今後の活動計画、SIP の状況報告
第二回	5 月 22 日	輪荷重走行試験に関する審議、床版補修工法の選定
第三回	7 月 13 日	輪荷重走行試験見学、途中経過の報告
第四回	9 月 4 日	輪荷重走行試験結果報告、劣化床版の補修補強
第五回	10 月 30 日	石川県点検データの整理状況報告
第六回	平成 28 年 1 月 22 日	次年度輪荷重試験の計画、石川県点検データ整理状況報告
第七回	4 月 8 日	成果の公表、輪荷重走行試験予定、衝撃荷重載荷試験報告
報告会	6 月 3 日	点検・調査を進化させ効率良く維持管理するための取り組み（劣化床版・下部構造）参加者約 70 名
第八回	9 月 1 日	試験見学（寒地土木研究所）、試験経過報告
現場試験	10 月 18 日	実橋試験、石川県山間部の ASR 損傷床版
第九回	12 月 16 日	輪荷重走行試験結果報告、実橋試験状況報告

※網掛けは初年度（継続で 2 年の活動を実施）

3. 北陸地方（石川県）の橋梁点検データに着目した整理

3.1 橋梁数と健全度

塩害と ASR を対象とし、北陸の地域ごとに特徴的な劣化を調査するものとして、石川県に着目し橋梁点検データによる傾向を把握するものとした。同県が管理する橋梁内訳を表-1 に示す。整理に当たってはコンクリート部材に着目し、主桁は PC・RC 橋、下部工は全橋梁を対象とした。図-1 は架設年代と建設数を示したもので、1955 年から架設数、ストックが増大しピークは 1970 年代であることが分かる。

PC・RC 主桁と RC 床版、下部工の橋梁点検の結果による健全度を図-2 に示す。建設年次が新しくなると健全な橋梁が多くなるが、2000 年以前で早急の対策が必要になる橋梁が出現する。これらの点検データに ASR の有無、凍結防止剤散布の有無による傾向を観察したところ、ASR は下部工で健全度を低下させる要因になっていることが認められ、凍結防止剤に関しては顕著な傾向はなかった。この理由として、凍結防止剤はスパイクタイヤが禁止されて以降の 1990 年代から散布量が増加していることから、現状では影響が出ていないことが推察される。

3.2 カテゴリ別検討

影響度を把握するための劣化要因として飛来塩分・ASR・凍結防止剤の 3

表-2 石川県が管理する橋梁数の内訳

橋種	PC 橋	RC 橋	鋼橋	鋼と PC (RC) の混合橋	その他橋	PC ボックス	RC ボックス	合計
橋数	657	916	288	26	167	33	227	2314
座標情報あり	628 (620)	726 (694)	278 (274)	26 (26)	128 (120)	12 (10)	160 (143)	1958 (1887)

※括弧内は架設年次が確認された数

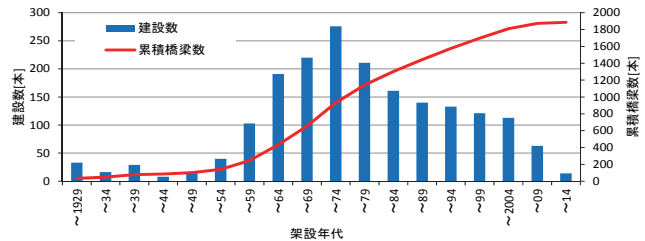


図-1 架設年代と建設数

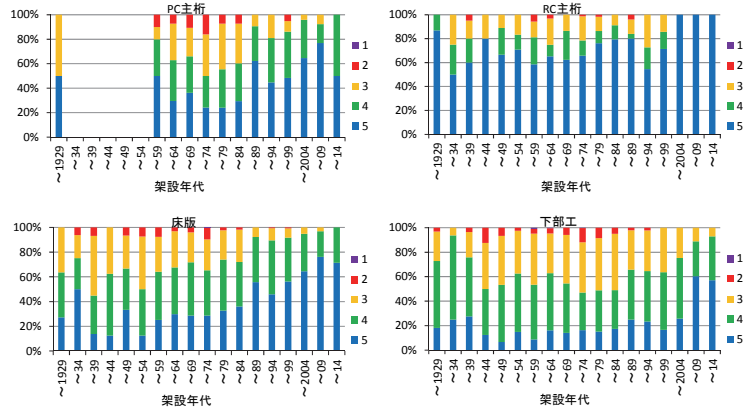


図-2 架設年代と健全度

5 損傷無し 4 些細な劣化損傷
3 軽度の損傷 2 早急の対策
1 緊急対策要

表-3 カテゴリ分類毎の橋梁数

飛来塩分	有				無			
	ASR		凍結防止剤		ASR		凍結防止剤	
カテゴリ	A	B	C	D	E	F	G	H
主桁	2	4	11	25	17	28	307	226
RC	3	9	24	39	14	36	213	356
下部工	13	24	102	103	72	114	764	700

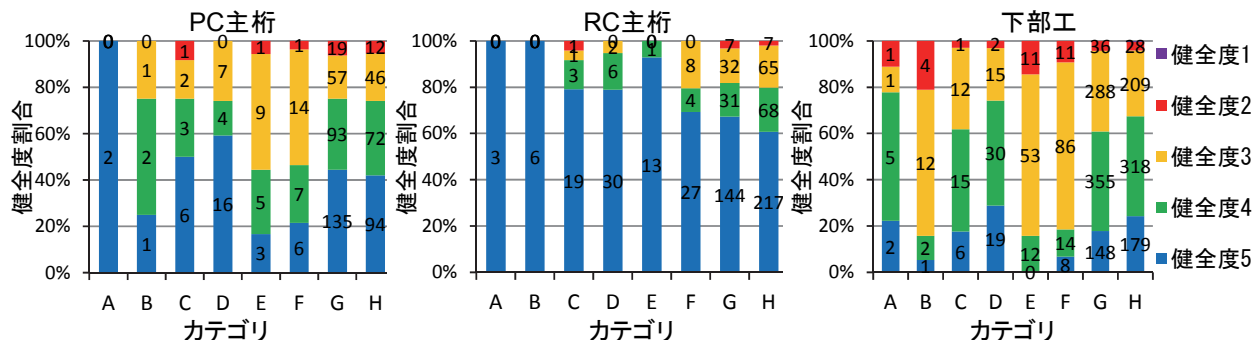


図-3 カテゴリ別健全度（部材別）

つに着目した。橋梁には、これらのすべての要因の影響を受けるものからその全てに影響を受けないものまで存在する。そこで、各劣化要因の有無によってカテゴリを 8 つに分類した。カテゴリごとの橋梁数を表-3 に示す。他のカテゴリの橋梁数に比較し、カテゴリ G とカテゴリ H の橋梁数がきわめて多い。劣化原因が複合している橋梁数は全体の中でそれほど大きな割合ではなかった。きわめて厳しい条件にあり（劣化要因が複数存在するもの）、かつ、重要度の高い橋梁から点検強化やモニタリングを実施するものを選び、それらの結果から最もリスクの高いものを効率的に維持管理するための情報を得ることで効率的かつ合理的な維持管理を支援することが可能となると考えられる。また、それらのカテゴリにおいて健全度の推移を注視することも同様の効果が得られるものと考えられる。なお、今回はカテゴリごとの健全度の推移の分析までには至っていないため、これについては今後の検討によって明らかにする必要がある。

部材ごとのカテゴリ別健全度割合を図-3 に示す。ASR の影響を受けるカテゴリ A, B, E, F の健全度が低い傾向にあった。当該地域における ASR の影響が大きいことの証左であるものと考えられる。顕著に劣化が生じたものには既に対策が実施されている。その上でもなお、他の原因に比べて健全度が低い傾向にあるため、維持管理において留意する必要がある。なお、同自治体では、対策等の優先度において塩害および ASR を生じているものについては通常のものとは区別し、維持管理を行うこととしており、これまでの調査等の実績が維持管理に活用されている。

また、下部工は上部工（PC 橋、RC 橋）と比較して、健全度が低い傾向にあった。補修等の対策が構造安全性の観点から上部工を優先的に実施している可能性が高く、そのため下部工の健全度が相対的に低くなったものと考えられる。

4. 輪荷重走行試験による床版劣化

橋梁の維持管理では、床版劣化の及ぼす影響が大きいことから、輪荷重走行試験を実施して劣化過程を把握し、それを評価するための新たな試験方法や補修補強工法等の検討を行った。具体的な試験方法としては衝撃荷重載荷試験に着目し、繰り返し走行環境下での床版の劣化過程でたわみの経時変化を調査し、維持管理の効率化に繋げるものとした。

4.1 輪荷重走行試験による床版劣化の評価

劣化床版の過去の道路橋示方書に準じて製作した実物大床版供試体 4 体で輪荷重走行試験により疲労劣化を促進させ、たわみの経時変化を観察して衝撃荷重載荷のたわみ増加傾向と比較した。輪荷重は旅客機用のゴムタイヤとし 160kN 一定荷重の条件下で約 20 万回走行させている（写真-1）。衝撃荷重は小型 FWD で床版中央に載荷し、加速度計で得られた波形を積分処理することで変位に変換した。図-4 は昭和 39 年道示に準拠した供試体のたわみの経時変化を示したもので、実線の輪荷重による載荷と点の衝撃荷重による載荷では同様の傾向となっており、実橋での劣化が衝撃荷重試験によるたわみ計測で確認できることが分かった。



写真-1 輪荷重走行試験
(大阪工業大学)

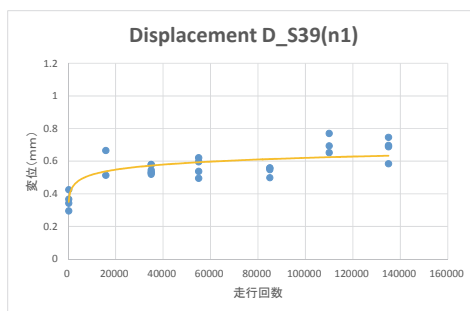


図-4 走行回数と変位
(静的:実線、衝撃:点)

4.2 炭素繊維による補修工法の検討

本研究では、炭素繊維を補強材料とし、耐荷性能を向上させるための補強と、耐荷性能の向上は見込めなくても延命化が期待できる工法を提供するため、輪荷重走行試験による実験的な検討を実施した。供試体は床版の劣化を評価した図-4のものを使用し、補強後は破壊まで走行させるものとした。なお、輪荷重走行試験機は鉄輪が往復運動するクランク式を用いた(写真-2)。鉄輪では接触面が線状となるため、走行方向×直角方向が120×300mmの鋼製ブロックを敷設して面的な荷重作用となるようにしている。

補強工法は床版下面に溝切りしてエポキシ樹脂を含浸した炭素繊維の束を挿入するもので、エポキシ樹脂硬化後は棒材として作用荷重に抵抗する。溝切り箇所に入ることによって、補強後の劣化進展が確認できることに加え、防水層の欠陥による漏水が発生した際にも、床版内部に滞水することはない(写真-3)。

試験結果によるたわみの経時変化を図-5に示す。補強後の10万回走行までは160kNの載荷荷重とし、たわみ増加が停滞していることを確認して荷重を190kNまで増加させている。図中の載荷時たわみは一定走行回数毎に静的に供試体中央を載荷した際のたわみであり、除荷時は無負荷での残留成分で載荷時たわみから除荷時たわみを減ずることによって弾性成分が得られることになる。

図-5によれば、10万回走行後の荷重増加によりたわみは増加傾向となり、最終は43.62万回の走行回数で押抜きせん断破壊と想定される下面側の広範囲の段差が生じたため試験を終了した。使用した輪荷重走行試験機で過去にS39年道示に準拠した供試体による試験結果より得られているS-N曲線を用いて、補強効果を把握するものとし160kN

の同一荷重による等価走行回数を算出するものとした。計算式は松井によるはり化を考慮した押し抜きせん断耐力 P_{sx} によるもので、炭素繊維による補強層は考慮していない。計算の結果では、無補強に対して9.13倍の補強効果が得られており、十分な補強効果が期待できることが認められた、

5. おわりに

本研究により、橋梁の健全度に影響する劣化要因の関係から、今後の維持管理の支援に役立つ知見が得られた。また床版関連の試験からは劣化度の調査手法や効果的な補修工法が得られており、十分な成果を残したと考えている。今後は、劣化が進行した際の使用できる限界の設定が課題となることが想定され、さらに維持管理分野への人工知能の活用も急務となっている。今回の研究成果を活用して維持管理の高度化に関する研究を進めたいと考えている。



写真-2 クランク式輪荷重走行試験機
(寒地土木研究所)

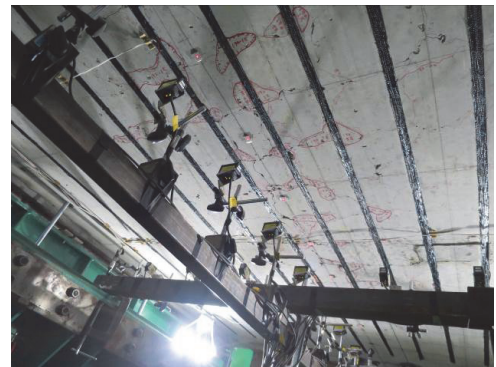


写真-3 補強後の供試体

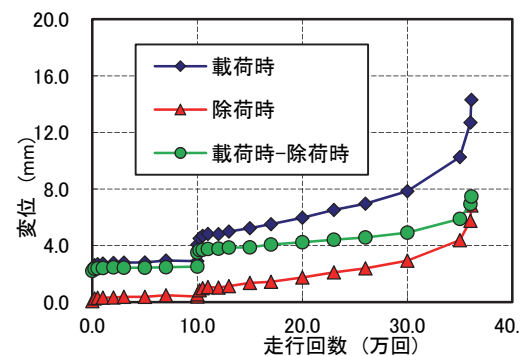


図-5 たわみの経時変化