

論文 複数の橋梁定期点検調書データを用いたコンクリート構造物における早期劣化および施工時の不具合傾向の分析

長部 拓海*1・井林 康*2・陽田 修*3

要旨：本研究は、複数の道路管理者グループの計 21000 橋あまりの橋梁の定期点検調書を用いて、コンクリート構造物の早期劣化や、施工時から存在すると思われる不具合の傾向の分析を行うことにより、今後のコンクリート構造物の新設および維持管理コストの低減に役立てることを目的とした。結果として、施工時から存在すると思われる損傷は、おおよそ半数前後の非常に高い割合で存在していることが判明した。これらの結果より、不具合の事例に留意した施工を行うことで、初期品質の高いコンクリート構造物を増やすことで、将来の維持管理コストの低減や、長寿命化ができる可能性があると考えられる。

キーワード：橋梁定期点検調書, コンクリート構造物, 早期劣化, 不具合, コンクリート施工

1. はじめに

平成 11 年に発生した山陽新幹線福岡トンネルコンクリート塊落下事故は、高度成長期に建設されたトンネルや高架橋などのコンクリート構造物が、数十年程度で重大事故を起こす可能性を示し、また施工時から存在したコールドジョイントやひび割れ、うきは、後年重大な事故を起こす可能性があること、また、構造物の維持管理費を考慮すると、建設時の施工管理等がライフサイクルコストに大きな影響を与えるものと認められることを示したり。

それから 13 年後の平成 24 年に発生した、中央自動車道笹子トンネル天井版落下事故は、インフラの点検の重要性を再確認する大きな契機²⁾となり、国土交通省は翌年を「社会資本メンテナンス元年」と定め、平成 26 年より道路構造物の 5 年に 1 度の点検が義務化されるようになった。

点検義務化より以前から、道路管理者は構造物の定期点検を行い、調書を蓄積してきたが、調書を精査し、コンクリート部材の損傷の傾向に着目すると、経年劣化というよりも早期劣化や施工の不具合が比較的多いように見受けられる。比較的新しい橋梁でも、早急に補修の必要な損傷がある程度の割合存在すると思われる。

また、山口県で平成 19 年から運用しているコンクリート構造物のひび割れ抑制システムは、コンクリートの打込み時期による抑制、材料等による抑制、施工の基本事項の遵守の三点を柱とした産学官が協働する取組みであるが、この中で、施工の基本事項の遵守の徹底については、チェックシートを活用した発注者による施工状況把握を実施しており、ひび割れ抑制に加えて表層品質の向上効果も得られている³⁾。

表-1 使用した橋梁定期点検調書データ

	全橋梁数	平均橋長	データサイズ
データ a	約 4000 橋	約 31m	30GB
データ b	約 2000 橋	約 52m	12.9GB
データ c	約 3000 橋	約 58m	21.5GB
データ d	約 4000 橋	約 14m	9.4GB
データ e	約 8000 橋	約 12m	390.3GB
計	約 21000 橋	約 27m	464.1GB

構造物の維持管理が重要視されている近年、新設構造物の施工時に、留意した施工を行うことが改めて重要であると考えられ、既存構造物の点検調書を詳細に分析し、損傷の実態を調査し、新設構造物に役立てることは非常に重要であると考えられる。

こうした背景から、本研究では、本州の道路管理者の管理する、合計約 21000 橋の橋梁定期点検調書を用いて、架設から 20 年以内で対策区分が C, E 判定を受けたコンクリート構造物を対象に、早期劣化および施工時の不具合に起因する劣化の傾向を検討し、今後新設されるコンクリート構造物の維持管理コストの低減に役立てること、また、道路管理者の違いによる劣化傾向の違いの把握を目的とした。

なお、本検討の趣旨は、既存のコンクリート構造物の建設時の関係者の責任を問う目的ではなく、今後の新設コンクリート構造物の品質を向上させるための方向性を検討するための、基礎的な検討という位置づけである。

*1 長岡工業高等専門学校 専攻科環境都市工学専攻 (学生会員)

*2 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科准教授 (正会員)

表-2 対策区分判定

対策区分	判定内容
A	損傷が軽微で、補修を行う必要がない
M	維持工事に対応する必要がある
B	状況に応じて補修を行う必要がある
C	速やかに補修を行う必要がある
E	安全性の観点から、緊急対策が必要である
S	詳細調査が必要である

表-3 検討対象とした橋梁数

データ	うち 架設後 20 年 以内(X)	うち C,E 判定あ り(Y)	Y/X
データ a (約 4000 橋)	500 (12.5%)	57 (1.4%)	11.4%
データ b (約 2000 橋)	333 (16.7%)	48 (2.4%)	14.4%
データ c (約 3000 橋)	610 (20.3%)	95 (3.2%)	15.6%
データ d (約 4000 橋)	104 (2.6%)	7 (0.2%)	6.7%
データ e (約 8000 橋)	545 (6.8%)	25 (0.3%)	4.6%

2. 検討対象

2.1 使用した橋梁点検調査データと検討方法

今回用いたデータは、5 つの道路管理者の管理する橋梁の定期点検調査のデータを用いた。表-1 にそれぞれのデータ数と平均橋長を、参考として、使用した調査の PDF ファイルのデータサイズを示す。

今回はこのうち、「架設後 20 年以内のコンクリート橋」を対象に、「定期点検結果の対策区分 C または E 判定となっているもの」を対象とした。具体的には、コンクリート橋（PC 橋、RC 橋）では、上部工（主桁、横桁、床版）と下部工（橋台、橋脚）を、また鋼橋では下部工のみとして、橋梁のコンクリート部材を対象とした。なお、混合橋およびボックスカルバートも対象とした。

対象の範囲として、定期点検の時点で架設から 20 年以内とした理由は、10 年以内とした場合、対象橋梁数が結果として少なかったこと、また、架設から 20 年以内の橋梁の建設状況は、もっとも古いものでも平成 1 桁年代後期であり、現在と似た状況にあると考えたためである。これらの検討対象橋梁に対して、表-2 に示す対策区分の C または E 判定の損傷が 1 つでも存在する橋梁を対象に検討を行った。

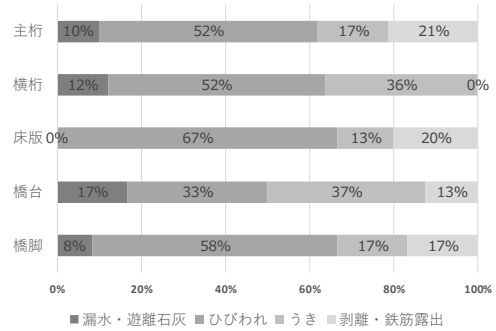


図-1 データ a の部材別の損傷割合

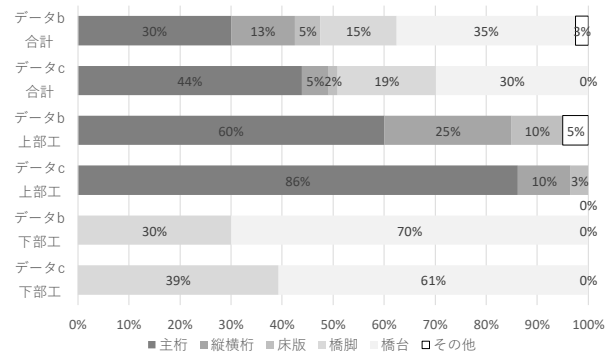


図-2 データ b および c における損傷部材割合

表-1 に記載のデータのうち、実際に検討対象となった対象橋梁数を表-3 に示す。検討対象としたのは全体のうち、4.6~15.6%であった。

これ以降、5 つの道路管理者のデータは区別して検討を行う場合があるが、その理由としては、点検要領の詳細が異なることや、管理している地域の違い、また管理している橋梁の橋長などの特性が異なるためである。

3. データごとの損傷種別および損傷傾向の調査

比較的特性の似ているデータ a、データ b および c、データ d および e の 3 つに区分し、それぞれに対して、特徴的な損傷を中心に、傾向の検討を行った。なお、これ以降、結果として出てくる損傷割合は、対象の全橋梁に対して発見された、損傷箇所の総数をカウントしている。

3.1 データ a での損傷の傾向

データ a に関しては、表-3 に示す対象の 57 橋について、C 判定は 51 橋、また E 判定は 6 橋であった。対象橋梁の損傷を抽出し、損傷の種類とその損傷の集計を行った。C 判定の各部材ごとの損傷割合を図-1 に示す。全 5 つの部材種類のうち、橋台を除いた各部材において、ひびわれが損傷の 5 割以上を占め、最も多くを占めていた。また、詳細な統計は取っていないが、ひびわれの多くは乾燥収縮によりできたものが多いように見受けられた。また、E 判定の損傷については、「豆板」「うき」「剥離・

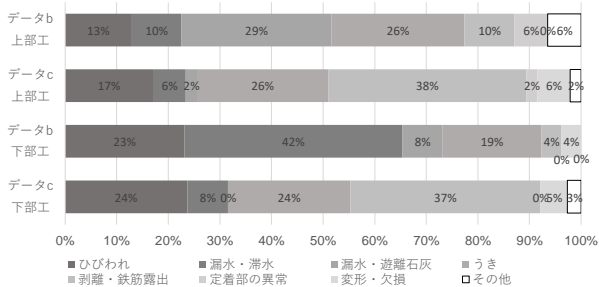


図-3 データ b および c における損傷種類割合

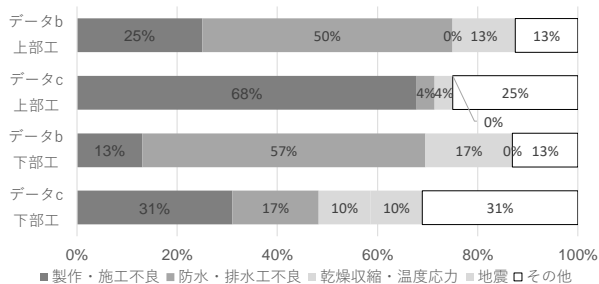


図-4 データ b および c における損傷原因の割合

鉄筋露出」といった損傷が存在したが、橋梁数が少ないため、明確な傾向は見られなかった。

3.2 データ b および c での損傷の傾向

データ b および c に関して、データ全体、そして上部工と下部工それぞれの損傷部材の割合は、図-2 のようになった。データ b および c とともに、上部工は主桁に損傷が多く、下部工は橋台に損傷が多い傾向であった。また、データ b および c とともに同様の傾向であった。

調書に記載されている損傷種類について、上部工と下部工それぞれの割合を図-3 に示す。データ b は、上部工では「漏水・遊離石灰」が多い割合でみられ、下部工は「漏水・滞水」が多い割合でみられた。データ c では上部工、下部工どちらも「剥離・鉄筋露出」が多く見られた。ひびわれ、うきはどちらのデータにも同様の割合でみられた。

また、点検調書に記載されている、損傷原因の割合を図-4 に示す。損傷原因の割合とは、点検調書に記載されているすべての損傷原因の中から同じ損傷原因の割合をまとめたものである。データ b の上部工では、「防水・排水工不良」が 50% と多く存在しており、またデータ c の上部工では「製作・施工不良」が約 68% 程度で、同じ上部工でも損傷原因は大きく異なっていた。データ b の下部工は、上部工と同じく「防水・排水工不良」が多く存在しており、約 57% 存在していた。またデータ c の下部工は様々な原因が存在しており、最も多い原因は「製作・施工不良」で約 31% であった。

損傷原因に着目すると、データ b はデータ c に比べ、

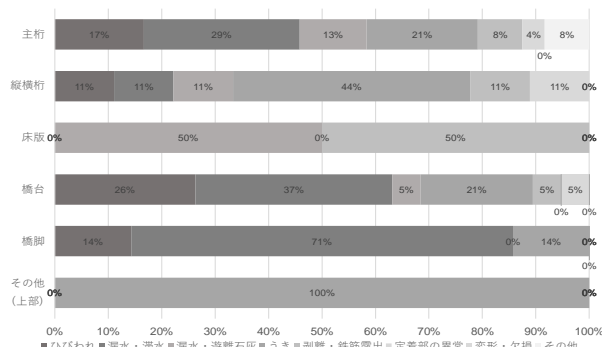


図-5 データ b における部材別損傷種類の割合

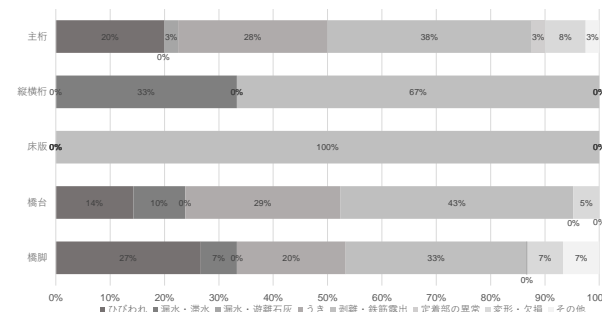


図-6 データ c における部材別損傷種類の割合

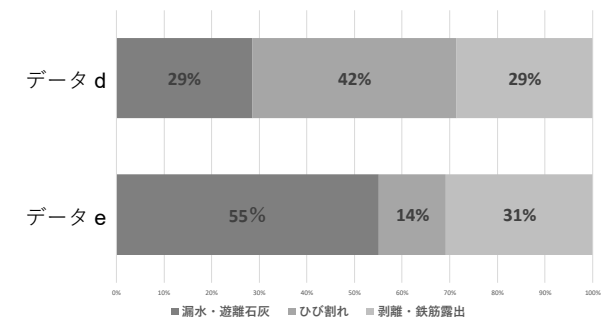


図-7 データ d および e における損傷割合

「防水・排水工不良」が多く見られた。データ c には上部工では「うき」「剥離・鉄筋露出」を、下部工では「剥離・鉄筋露出」を「製作・施工不良」として判定していたため、結果として「防水・排水工不良」の割合が小さくなった可能性も考えられる。

また、データ b および c で、上部工と下部工を比較すると、損傷原因の「乾燥収縮・温度応力」が上部工ではあまり見られず、下部工の方で多く見られる傾向があった。

また、データ b および c について、部材別の損傷種類を、それぞれ図-5 および図-6 に示す。このうち、床版は損傷数が少なく、あまり傾向を把握できなかった。これらの部材ごとによる損傷の割合の結果からは、損傷の割合は上部工、下部工に分けてみた傾向とそれほど大きな違いは少ないと考えられた。

表-4 損傷原因判定記号とその内容

記号	内容
◎	点検調査書に施工時の損傷と記載があるもの
○	施工時に起因する損傷と判断できるもの
△	点検調査書からは判断できないもの
×	損傷が施工時の不具合によるものではない

3.3 データ d および e での損傷の傾向

データ d での C 判定の橋梁は 7 橋であり、E 判定の橋梁は存在しなかった。また、データ e での C 判定の橋梁は 25 橋、E 判定の橋梁は存在しなかった。

対象としたデータのうち、C 判定の損傷割合を図-7 に示す。結果として、2 つの道路管理者で異なる傾向がみられた。データ d ではひび割れが最も大きい割合を占めたのに対し、データ e では漏水・遊離石灰が最も大きい割合を占めた。なお、データ d については表-3 に示すように、対象橋梁数が 7 橋と非常に少なく、統計結果としては、あまり信頼性が低いデータであった。

4. 損傷原因判定記号による分類結果

4.1 損傷原因判定記号の定義

橋梁定期点検調査の中には、「橋梁概略諸元」「総合調査結果」「図面」「現地状況写真」「損傷図」「損傷写真」「所見・見解」「点検結果」「診断・健全度評価」「概略対策計画」などの各項目について記載されている。検討対象とした橋梁について、その点検調査内の「損傷写真」の図と「総合調査結果」「所見・見解」のテキストを照らし合わせ、どういった損傷状況であるのかを、図とテキストから橋梁の諸元及び点検結果をまとめ、1 橋につき 1 ページの資料を各橋梁について作成し、加えて、表-4 に示すように、各橋梁に記号を与えて分類した。

作成した損傷判定用の資料の例を、図-8 から図-10 に示す。作成した資料には、「橋梁名」「架設年次」「点検日時」「全体写真」「場所」「損傷写真」「損傷種類」「損傷原因」「損傷に対するコメント」などが記載されている。

表-4 に示す各記号を与える場合の判断としては、例として図-8 のように、調査書に「乾燥収縮及び水和熱と打設不良による初期欠陥」と記載があった場合は「◎」、図-9 のように、点検調査書から鉄筋露出が見られ、鉄筋露出付近が空洞となっており、充填不足が原因と思われる損傷が複数見られ「打設の不具合」と判断した場合は「○」、図-10 のように、亀甲状のひび割れが複数見られるが、損傷原因が「よくわからない」と記載があった場合は「△」とした。例えば調査書に、「塩害と特定」と記載があった場合は、環境条件による損傷として「×」とした。



図-8 「◎」と判定した例



図-9 「○」と判定した例

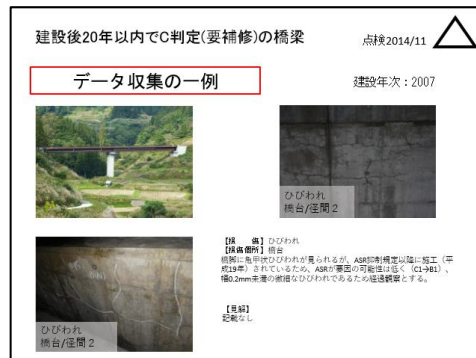


図-10 「△」と判定した例

これらの「◎～×」の数をそれぞれ集計することにより、施工の不具合に起因すると思われる損傷の傾向の検討を行った。

4.2 損傷原因判定記号の検討結果

今回検討を行った、5 つの道路管理者の検討結果について、上部工および下部工ごとに判定結果を図-11 に示す。点検調査書に施工時の不具合と記載がある「◎」については、最も高いものがデータ c 上部工の 68%、次いでデータ c 下部工の 36%と非常に高い値を示している。反対に、データ e の上部工は 5%であり、データ d の上部工と下部工、データ e の下部工では 0%であった。

調査書に施工時の不具合と記載があった「◎」に加え、施工時に起因する損傷と判断できた「○」を併せ、「◎」と「○」の合計に着目すると、最も高いのはデータ c 上

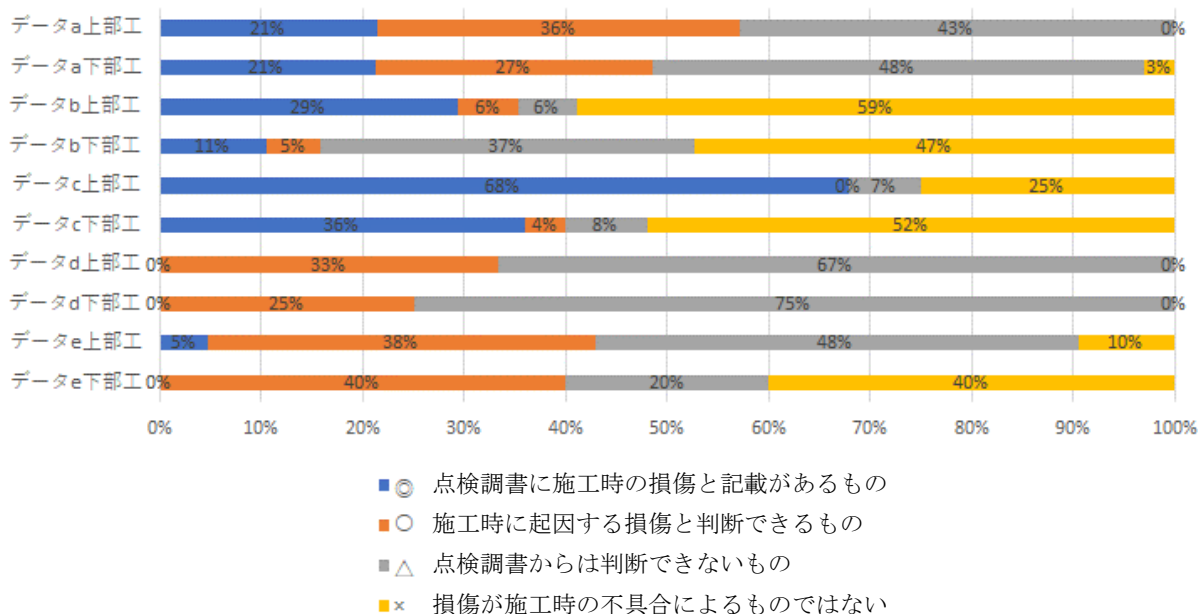


図-11 損傷原因判定記号による損傷割合

表-5 施工時からの不具合の可能性の割合

データ	不具合の可能性の割合
データ a	48~79%
データ b	16~38%
データ c	40~71%
データ d	25~67%
データ e	40~67%

部工の68%、次いでデータ a 上部工の57%と、非常に高い値を示していた。

逆に、低い方に着目すると、最低のデータ b 下部工でも16%であり、次いでデータ d 下部工の25%となった。この「◎」と「○」の合計に着目した結果では、全体として、16~68%の割合で損傷が存在することが判明した。

ここで、点検調査からは判断できないとされたものが「△」であるが、例えば下部工の温度応力ひび割れの一部など、施工時にそれなりの可能性で防げたであろう損傷も、多くの割合が存在するように見受けられた。ここでは仮定として、「△」のうち半数が施工時に由来すると仮定した場合の比率の検討を行った。

その結果、データ b の上部工および下部工では、それぞれ38%、35%と比較的低いものの、他の4つのデータについては、データ c 下部工の44%が最低であり、最高がデータ a 上部工の79%と、非常に高い値となった。「△」のうち半数を施工由来とすること自体、非常に大胆な仮定ではあるが、この仮定が成り立つ場合、可能性として8割近くが、施工時の不具合に由来した損傷である可能

性が示唆されることになる。

また、これらの結果を、データ a~データ e のそれぞれに対して上部工と下部工の結果を総合して、「◎」と「○」の合計を下限とし、「△」の半数まで含めた場合を上限とした、施工時の不具合の可能性が含まれる割合をまとめたものを表-5 に示す。5つの道路管理者の中で、16~79%の範囲で、施工時の不具合に由来すると思われる損傷が含まれていると考えられる。

5. データ b に関する再検討

5.1 検討対象データ

前節までの検討により、計5つの橋梁定期点検調査データによる検討を比較した結果、不具合の可能性の割合は表-5 に示すように、データ b が非常に低く、データ d の範囲が広いことが判明した。そもそもデータ d は、検討対象にできた橋梁数が少なかったため、ここでの検討から除外し、データ b に着目して、データ a, c および e との傾向の違いの検討を行った。

ここではデータ b を対象に、点検調査の損傷写真と対策区分判定結果のうち、表-2 での B 判定に該当する橋梁点検調査に記載されているテキストを用いて、それぞれの損傷傾向を調べた。検討対象としたのは、データ b のデータのうち、事務所1および事務所2の2つの管理事務所が管理するデータを用いた。対象とする B 判定の129橋の内訳は、PC橋83橋、RC橋1橋、鋼橋45橋である。比較対象としてデータ d を用いた。データ b の事務所1と事務所2を選んだ理由としては、比較対象とし

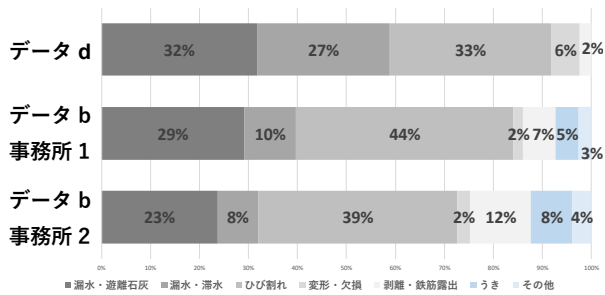


図-12 データ d とデータ b の損傷割合の比較

たデータ d の近隣に位置しているため、近い条件で比較できると考えたためである。

5.2 データ b に関する再検討結果

データ b の事務所 1 および事務所 2 での B 判定の損傷傾向と、近隣に位置するデータ d を比較したものを図-12 に示す。2 つの事務所を見てみると、ひび割れが 40% を超え、割合として最も大きいなど類似の傾向があることが分かった。しかし、データ d とデータ b の事務所 1 では漏水・滞水とひび割れで差が 10% 以上見られるなど、違う傾向が得られたが、それ以外については点検要領に若干違いはあるものの、同様の傾向がみられた。

写真-1 にデータ b の B 判定の損傷写真を、写真-2 にデータ d の C 判定の損傷写真を示す。比較してみると、2 つの損傷程度にそれほど大きな差はないように思われる。この程度の損傷でもデータ b で B 判定となっているのは、データ b の道路管理者での対策区分判定の基準は、他とは差があった可能性が考えられる。

なお、C 判定と B 判定の損傷種別の割合を比較した場合、データ b でもデータ d のいずれも、それぞれ違う傾向が見られており、C 判定と B 判定で損傷割合に差があることは類似の傾向を示していた。

6. まとめ

本検討で得られた結果を次に示す。

- (1) 5 つの道路管理者の、合計 21000 橋あまりの橋梁点検調査の結果を対象に、建設後 20 年以内のコンクリート部材に対して 5 つの道路管理者のデータを 3 つのグループに分け、それぞれの損傷傾向の比較検討を行った。
- (2) 損傷原因判定記号を定義し、施工時の不具合に由来すると思われる損傷の割合を検討し、その割合は 5 つの道路管理者の中で、15~70%程度存在することが判明した。
- (3) 5 つのデータのうち、施工時の不具合の割合の傾向が違うデータ b について、他の道路管理者のデータとの比較検討を行ったところ、他の道路管理者に比較して、損傷判定が緩めに出ていることが原因であ



写真-1 データ b での B 判定の鉄筋露出の写真



写真-2 データ d での C 判定の鉄筋露出の写真

る可能性があると考えられる。

今回の研究で対象とした橋梁は局所的な損傷が多く、近いうちに橋梁の構造そのものに影響を及ぼすと思われる損傷は少ないが、施工時の不具合による損傷を有する橋梁が、かなり高い割合で存在すると考えられることが判明した。また、局所的な損傷であっても、将来的には橋梁の深刻な劣化をもたらす可能性が考えられ、これらの損傷のある割合については、施工時の不具合を改善することで、ある程度は避けられる可能性があると考えられる。

これから新設されるコンクリート構造物に対して、不具合を避けることに改めて留意した施工を行うことにより、早期劣化する構造物を減少させ、長寿命化を進めることができると考えられ、さらに、今後さらに課題となってくる維持管理コストの低減につなげられるであろうと考えられる。

参考文献

- 1) 会計検査院：山陽新幹線におけるトンネル、高架橋等のコンクリート構造物について、平成 11 年度決算検査報告
<http://report.jbaudit.go.jp/org/h11/1999-h11-0642-0.htm>
(閲覧日：2020 年 1 月 14 日)
- 2) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会：委員会報告書、2015.6
- 3) 森岡弘道・二宮純・細田暁・田村隆弘：地方自治体におけるコンクリート構造物のチェックシートを活用した品質確保の取組み、コンクリート工学年次論文集、Vol.35, No.1, pp.1327-1332, 2013.7
- 4) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領、2019.3