

# 報告 鉄道コンクリート橋りょうの維持管理について

廣田 元嗣\*1・築嶋 大輔\*2・堀澤 誠\*3

**要旨：**JR 東日本は新幹線と在来線を合わせて約 7,500km の営業線を有している。鉄道の運行を支えるコンクリート構造物の健全性を保持することは、鉄道の安全・安定輸送を確保するために非常に重要である。これらの土木構造物の健全性を確保するために、検査を行い必要に応じて補修・補強を行っている。今後は、「鉄道土木構造物を 100 年以上使い続けること」を目標に、JR 東日本のアセットマネジメントの仕組みのレベルアップを目指し、現在各種課題に取り組んでいる。ここでは、JR 東日本で行っているコンクリート橋りょうの維持管理についてとアセットマネジメントの一つとして取組む大規模改修の概要について報告する。

**キーワード：**鉄道コンクリート橋りょうの維持管理, 検査, 人材育成, 新幹線大規模改修

## 1. はじめに

鉄道土木構造物の維持管理は、取替や部材交換などの大規模な工事を必要とする場合となると、代替輸送の確保が難しく、費用も莫大となることが多いことから、変状の早期発見と適切な修繕により長寿命化を図って来た。JR 東日本では新幹線と在来線を合わせて約 7,500km の営業線を有し、コンクリート構造物（橋りょう、高架橋）の設備延長は、新幹線約 790km、在来線約 680km に及ぶ。JR 東日本の土木構造物種別割合を図-1 に示す。全線で見ると、コンクリート構造物が占める割合は 10%程度であるが、新幹線においては、約 55%と、半分以上の比率を占めている。新幹線構造物のうち、1982 年 6 月に開業した東北新幹線と 1982 年 11 月に開業した上越新幹線は、営業を開始してから約 35 年が経過しており、経年による様々な影響や高速走行等の影響を鑑み、新幹線の安全・安定輸送確保のため、早期対処の一つの方法として、大規模改修工事を計画している。

ここでは、これらコンクリート構造物（橋りょう、高架橋）について、JR 東日本における検査と維持管理の取組、新幹線大規模改修の概要について述べる。

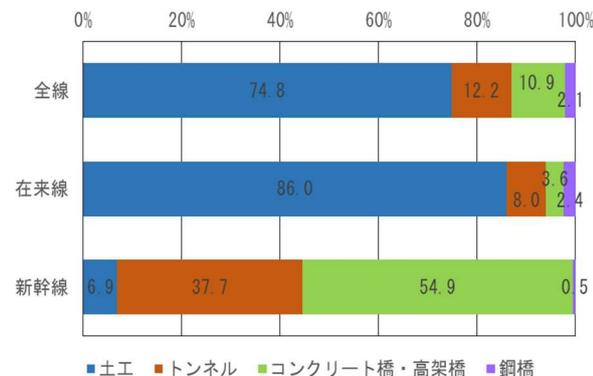


図-1 JR 東日本における土木構造物の種別割合

## 2. 土木構造物の種別

土木構造物は図-1 に示すとおり土工等設備、トンネル、橋りょうに大別される。コンクリート橋りょうの内、弊社では、RC 桁、PC 桁、PRC 桁、H 形鋼埋込桁、ラーメン高架橋、アーチ橋、函きよ（門型・アーチ型・ボックス型・単版型）などをコンクリート構造として管理している。

## 3. コンクリート構造物の経年と延長

コンクリート構造物の建設年代別の数量を図-2 に示す。在来線は 60 年未満の構造物が全体の 95%となっているものの、経年 120 年を超える橋りょうもあり、経年 40 から 49 年の構造物が多く全体の 44%を占めている。また、新幹線は経年 30 から 39 年の構造物が多く全体の 88%となっている。

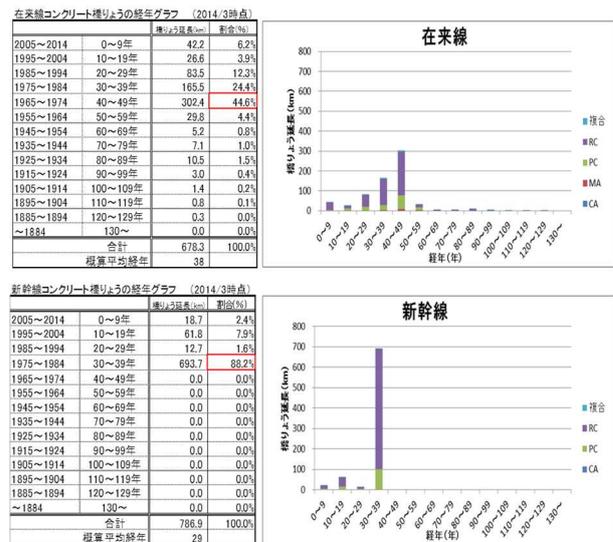


図-2 コンクリート構造物の経年と設備数量

\*1 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センターコンクリート構造 G 副課長 (正会員)  
 \*2 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センターコンクリート構造 G 課長 (正会員)  
 \*3 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センターコンクリート構造 G (正会員)

#### 4. コンクリート構造物の維持管理体制

##### 4.1 検査の体系、枠組み

鉄道土木構造物は「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」をはじめとした各種規程類にもとづき維持管理が行われている。

民営化から10年程度までは、国鉄時代と同様に2年毎に行う全般検査、全般検査で健全度がAと判定された箇所を詳細に検査する個別検査を維持管理の検査として行っていた。しかし、1999年に山陽新幹線のトンネルでのコンクリート塊落下事象が発生し、その後も高架橋等からの剥落事象が多く発生したことから、現在のJR東日本では、初期品質の確認を維持管理部門も行う初回検査と災害時等に行う随時検査、10年を超えない期間に行う特別全般検査（鉄道構造物等維持管理標準に書かれている特別検査とは違う）を加えた検査を維持管理の検査として行っている（図-3、4）。

初回検査は施工部門とダブルチェックを行うことによる品質の確保を、特別全般検査は構造物の健全度の判定の精度を高める目的で行っている。



図-3 JR東日本における検査体系

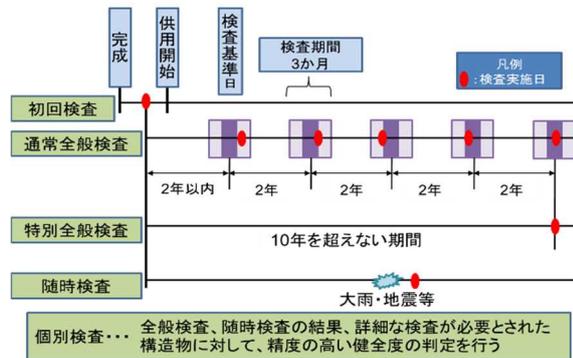


図-4 検査周期

##### 4.2 コンクリート橋りょうに関する検査

コンクリート構造物の維持管理において、例えば引張側のかぶりコンクリートが剥離している場面に遭遇した場合、検査者は鉄道の安全・安定輸送と言う観点からは、早急な対策は必要ないと判断しても問題ないと思われるが、旅客公衆等の安全確保と言う観点からは、早急な叩き落とし等の対応が望ましい。

JR東日本では、構造物を効果的に把握することを目的に、健全度に関する検査とコンクリートの剥離・剥落に関する検査を区分して管理している。

##### (1) 健全度(列車運行の安全性確保)に関する検査<sup>1)</sup>

検査は通常、JR東日本の現業機関社員が直轄で行い、検査対象となる設備の状態に応じて健全度ランクを付して管理している。健全度ランクは運転保安、旅客および公衆などの安全に対する影響や設備の変状の程度、更に措置等の健全度と変状の程度等を基にA～Sの4段階で設定している（表-1）。

表-1 健全度ランク

判定区分	土木構造物の状態
A	AA 運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはそのおそれのある変状等があるもの
	A1 進行している変状等があり、土木構造物の性能が低下しつつあるもの、または大雨、出水、地震等により、土木構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2 変状等があり、将来それが土木構造物の性能を低下させるおそれがあるもの
B	将来、健全度Aになるおそれのある変状等があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

##### (2) コンクリート剥離・剥落に関する検査<sup>2)</sup>

構造物の健全度の検査とは別に、コンクリート構造物からのコンクリートの剥離・剥落から旅客公衆等の安全を確保することを目的に、実施する検査であり、まず検査の前に、検査箇所の分類を行う。旅客公衆等が立ち入らない箇所については、検査不要箇所として、剥離・剥落の検査は行わない（表-2）。

土木構造物の健全度ランクとは別に、コンクリートの剥離・剥落に関する判定区分を設け、 $\alpha\alpha\sim\gamma$ の4段階を設定し、検査を行っている（表-3）。

表-2 検査箇所区分の具体例

重点検査箇所 旅客公衆等の利用頻度が高い箇所	一般検査箇所 旅客公衆等の利用頻度が低い箇所	検査不要箇所 旅客公衆等が立ち入らない箇所
・構造物の下部がホーム、コンコースの箇所 ・線路、公道等との交差点、並行部の箇所 ・構造物の下部を駐車場、公園、広場等として利用している箇所 ・その他、上記類似箇所	・利用頻度が低い私道との交差点、並行部の箇所 ・構造物の下部と周辺を田んぼ、畑等として利用している箇所 ・民家や庭等が近接している箇所 ・その他、上記類似箇所	・構造物の下部が欄干等で囲われている箇所 ・構造物の下部を河川が流れている箇所 ・その他、上記類似箇所

表-3 コンクリートの剥離・剥落の健全度判定区分

判定区分	土木構造物の状態	変状事例
$\alpha\alpha$	コンクリートに浮きなどがみられ、直ちに措置を要するもの	・コンクリートに浮きがあるもの ・角の部分のコンクリートにひび割れがあるもの
$\alpha$	剥離跡が連続的にみられるなど、早急な剥落が発生する恐れがあり、早急に措置を要するもの	・剥離跡の露出した鉄筋から発錆している箇所 ・一つの部位に連続的にみられるもの ・鉄筋の裏側のコンクリートまで剥離したもの
$\beta$	剥離跡が散見されるなど、将来剥落が発生する恐れがあり、必要に応じて措置を要するもの	・剥離跡の露出した鉄筋から発錆している箇所 ・部分的にみられるもの
$\gamma$	健全なもの	・剥離の恐れのないもの

### 4.3 検査者の人材育成

構造物の維持管理では社員の検査スキルの向上が重要であり、計画的な育成を心がけている。社員は、育成段階に応じた研修、社内外の資格制度等を通じて技能習得を図っている。現在、特に重要と考えて取り組んでいるのが、実構造物の現地調査による勉強会である。実際の変状等と対峙して各人に考えることを促し、その上でディスカッションをする方法を取ることで、効果的な技術習得を目指している（図-6）。



図-6 現場勉強会状況

### 4.4 専門機関の特別全般検査への参画

JR 東日本では、鉄道構造物の設計・施工から検査・補修まで一連の技術を扱い、技術力の蓄積や社内相談・技術基準の整備を担当する専門機関がある。

1993年2月に発足してからこれまでも、現場からの要請を受けて現場確認や個別検査等に同行し、対策工や維持管理方針に関するコンサルティング業務などにも関わってきた。

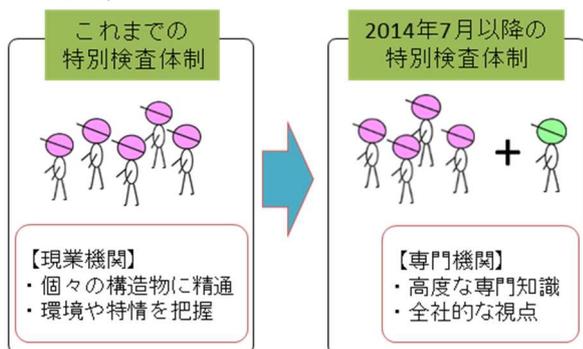


図-8 従来の検査体制と近年の体制

2014年7月からは現業機関がそれまで単独で実施してきた全般検査のうち、特別全般検査に専門機関が同行することとし、現場勉強会同様の形を取ることで、検査における着眼点の共有などを行うことで、現業社員の技術力向上を図っている（図-8）。

### 4.5 維持管理の基本的な考え方

既に述べたように、JR 東日本の抱えているコンクリート構造物のストック量は膨大であり、構造物の全面取替えは、コスト面や工事に伴う列車運行の影響等の観点か

らも例外的な対策と考え、通常は早期発見と早期対応により構造物の長寿命化を図っていくことを維持管理の基本的な考え方としている。そのため、

- (a) 構造物の状態把握（検査・調査）
- (b) 評価・診断（健全度判定）
- (c) 対策・措置（補修・補強、改良、取替え、使用制限、監視）
- (d) 記録

という維持管理サイクルを適切に実施することが重要なポイントになる。

構造物に従来と異なる兆候が出現した際には、その変化に気づき、まず変状状況の把握を行い、変状原因を推定することが重要である。変状原因を取り除かないまま、現況復旧の対策を行った場合、再変状を起す可能性が高くなることから、対策案の策定は、要求性能の確認（安全性の確保）と変状の進行性の有無の確認をした上で、確実に実施することが必要だと考えている。

## 5 新幹線大規模改修制度<sup>3)</sup>

新幹線大規模改修制度は、新幹線の開業からの経過期間、車両の走行実績、財務状況等を勘案して、大規模改修引当金の積立ての必要がある新幹線鉄道の所有営業主体を国土交通大臣が指定し、指定された営業主体が引当金積立計画の申請・承認を受け、その計画にしたがって大規模改修工事を進めるものである。当社が所有する東北新幹線盛岡以南および上越新幹線については、2015年12月に全国新幹線鉄道整備法第15条第1項の規定に基づき所有営業主体として国土交通大臣から指定された。

これを受け、2016年2月に全国新幹線鉄道整備法第16条第1項の規定に基づき、国土交通大臣に新幹線鉄道大規模改修引当金積立計画の申請を行い、2016年3月に承認された。

大規模改修工事の施工期間と総額、並びに引当金積立の期間と総額を表-4に示す。

表-4 新幹線大規模改修

	期間	総額(億円)
新幹線大規模改修	2031年4月～2041年3月 (10年間)	10,406
引当金積立	2016年4月～2031年3月 (15年間)	3,600

### 5.1 東北・上越新幹線の土木構造物の特徴

東北新幹線の東京～盛岡間（以下、東北新幹線盛岡以南）と上越新幹線は供用年数が長く、一方でそれ以外の整備新幹線区間は比較的供用年数が短い構造物で構成されている（表-5）。

表-5 JR 東日本の新幹線開業年度

名称	区間	開業年月 (供用年数)
東北新幹線	東京～上野	1991年 6月 (27年)
	上野～大宮	1985年 3月 (33年)
	大宮～盛岡	1982年 6月 (36年)
	盛岡～八戸	2002年12月 (16年)
	八戸～新青森	2010年12月 (8年)
上越新幹線	大宮～新潟	1982年11月 (36年)
北陸新幹線	高崎～長野	1997年10月 (21年)
	長野～上越妙高	2015年 3月 (3年)

東北新幹線盛岡以南および上越新幹線は、全国新幹線鉄道網の一環として、1971年に着工し、1982年に大宮以北で、1985年に上野～大宮間で営業を開始した。その後、1987年の国鉄分割民営化を経て、1991年に東京～上野間が開業しており、現在、両新幹線を所有・営業している。

列車最高速度は開業当初の210km/hから、東北新幹線(宇都宮～盛岡間)では320km/hへと高速化が図られている。また、1日あたりの列車本数は、両新幹線合わせて上下線で102本(上越新幹線開業時)から257本(2017年3月31日時点)へと2倍以上に増加している。東京～高崎間に関しては北陸新幹線82本(2017年3月31日時点)が走行しておりこの区間では3倍以上に増加しているなど、開業時に比べて列車荷重が作用する回数が大幅に増加している。

当該区間の構造物構成を表-6に示す。概ね7割の区間は、橋りょうで構成されている。この大半はコンクリート高架橋およびコンクリート橋である。

表-6 東北新幹線盛岡以南と上越新幹線の構造物構成

	橋りょう	トンネル	土工	合計
線路延長(km)	526	223	29	778
割合(%)	67	29	4	100

### 5.2 コンクリート橋りょうの大規模改修工事

大規模改修工事は、前述の通り東北新幹線盛岡以南および上越新幹線を対象範囲としている。

コンクリート橋りょうでは、全体的に、経年による鉄筋腐食に伴う変状が懸念されている。東北新幹線盛岡以南では凍害による剥離・剥落や部材耐力の低下が懸念される。また、構造物は限定されるが、アルカリシリカ反応が発生している構造物の改修方法について検討する必要があると考えている。加えて、支点部付近では、列車の繰返し荷重に加え水が関与することで一部の支承構造で桁座の変状が発生する恐れがある。

このため、コンクリートに起こりうる変状のうち、今後比較的多くの変状発生が懸念されるこれらの変状に対

して、「表面改修工(表面保護工など)」と「支点部改修工(桁座打替など)」の検討を行っている(図-8)。

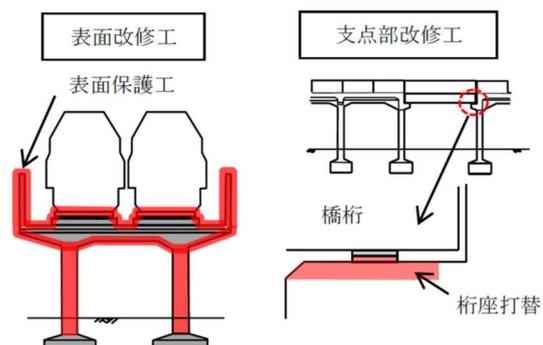


図-8 コンクリート橋りょう改修工の概要

### 5.3 大規模改修に向けた現在の取組

表-4に示した通り、大規模改修工事は約12年後の2031年から実施する計画であり、現在、主に2つの課題に対する調査・研究開発等に取り組む、大規模改修に向けた準備を進めているところである。課題の1つは「改修内容の個別具体化」であり、もう1つは「長期耐久性を有する改修工法の確立」である。以下にコンクリート橋りょうに関する現在の取組の一部を紹介する。

#### (1) 凍害による変状

東北新幹線は寒冷地区間も走行しており、一部エリアで凍害が原因と推定される変状が発生している。現在は発生した変状に対して優先順位を付け計画的に補修工事を行うことで構造物の健全性を確保しているが、大規模改修では将来凍害が発生する可能性のあるエリアに位置するコンクリート橋を対象に、全面的な凍害対策を計画している。そこで、凍害発生状況を踏まえた対策優先順位等を明確にするために、蓄積された検査データを用いて凍害が原因と推定される過去の発生変状数を集約し、気象データとの相関関係に関する分析を行った。当初、発生変状数との相関関係については、凍結融解日数や降水量で見られるのではないかと想定していたが、相関は見られなかった(図-9)。その後、真冬日や日射による融解等、各種気象データとの相関について検討したところ、発生変状数と日平均気温に相関があり、気温が低くなるほど発生変状数が多くなることが確認された(図-10)。

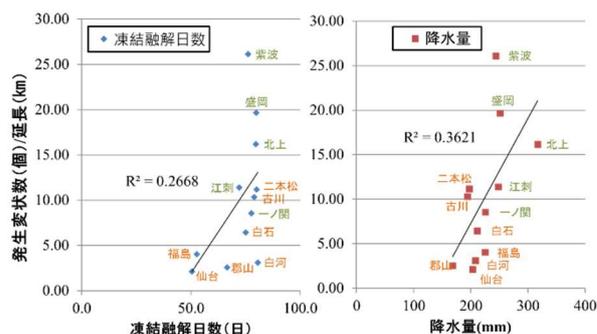


図-9 変状発生数と凍結融解日数等の関係

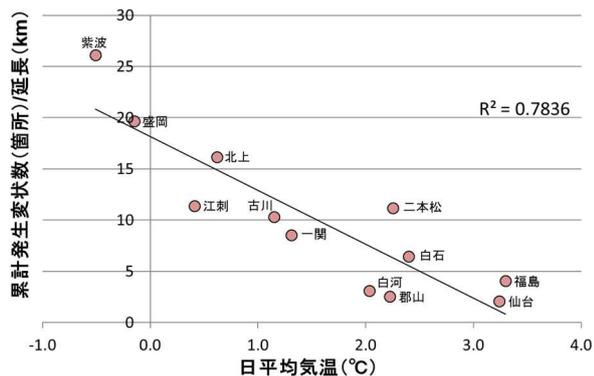


図-10 変状発生数と日平均気温の関係

積雪地を走行する上越新幹線においては、検査データの確認や現地調査を実施したところ、凍害が原因と考えられる変状は非常に少ないことが確認されたので、その他の劣化要因対策を中心とした改修工の実施を考えている。

今後は、これらの調査・分析結果等を考慮して、コンクリート橋の凍害に対する具体的な改修計画を策定していく予定である。

### (2) 鉄筋腐食による変状<sup>4)</sup>

コンクリート橋では鉄筋腐食による多くの変状が顕在化することが懸念されており、新幹線の一部の構造物においても過去に鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥離・剥落事象が発生している。そこで、東北新幹線盛岡以南および上越新幹線のコンクリート高架橋等において、鉄筋腐食が発生している箇所とその箇所の条件（部位、水掛かりの有無、かぶりの大小等）の調査を実施した。調査は、高欄、張出スラブ、縦梁、横梁、床版下面、中層張りを対象部位とし、東北・上越新幹線合わせて、48径間に渡って調査を行った。調査の結果、水掛かりが大きい部位ではかぶり厚が20mm以下となると比較的多く

の変状があり、水掛かりが小さい部位では、かぶり厚が11mm以上だと変状はごく少量であった(図-11)。鉄筋腐食の発生には「水掛かりがある」「かぶりが小さい」の2条件が支配的な影響を与えていることが分かった。図-8に示す通り、大規模改修ではコンクリート構造物の全面的な鉄筋腐食対策の実施を計画していることから、さらなる検討を継続・深度化することで、劣化原因や変状部位および構造といった各種条件を踏まえた適切な表面改修工の実施を検討していく。

### (3) 支承部の変状

支承部の変状は、東北新幹線盛岡以南と上越新幹線において急速施工を意識して採用された鋼板沓の沈下による変状が大半を占めた。

鋼板沓は、事前に下沓を設置してからのコンクリート打込みとなることから、下沓の下側にコンクリート充填不良等による内部欠損が発生しやすい状況となり、水が浸透しやすい状況となる可能性が考えられる。更に、沓座が無いことから、桁座に接合部等から供給・滞水した水の影響を受けやすい構造となっており、列車荷重が繰返し載荷されることにより、脆弱化、沈下、噴泥化等の変状が起きているものと考えている。(図-12)。

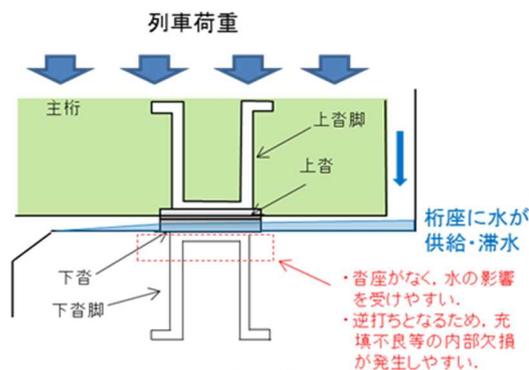


図-12 鋼板沓変状のメカニズム

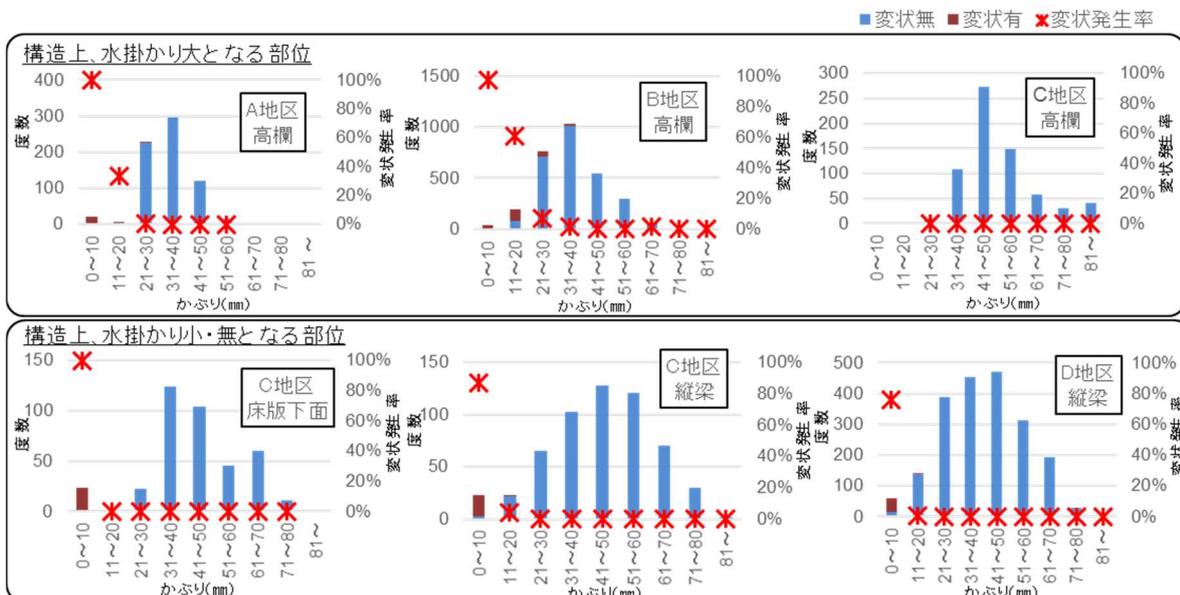


図-11 かぶりとばらつきと変状の有無

沈下箇所ではこれまで「桁座打替え工法：下沓下方の桁座をはつり、プレパッドコンクリート等で打替することで支承の安定性を確保する工法」または「樹脂注入工法：沓下部分に生じた内部欠損部にアクリル樹脂を注入することで支承の安定性を確保する工法」で補修してきた。大規模改修で使用する補修工については、工法の耐久性（補修効果を持続している期間）を確認することが重要であることから、2工法の耐久性（施工後経過年数と再劣化の有無）をそれぞれ調査した。結果、数か所で再変状しており、原因究明をしたところ、桁座打替え工法は4箇所で既設と新設の接合面に対する配慮不足、樹脂注入工法については、20箇所で洗浄方法に対する配慮不足、による不具合があることが分かった。いずれの工法も適切に施工されていれば再変状も無く、現時点では、概ね20年程度の耐久性は十分保持できるものと考えている(表-7)。

表-7 鋼板沓沈下対策後の耐久性調査結果

	調査支点数 (支承)	再劣化箇所数 (支承)	状況	原因	最大経過 年数
桁座打替え工法	50箇所	4箇所	打継界面の 漏水	打継界面の 肌別れ	18年
樹脂注入工法	99箇所	20箇所	下沓沈下	削孔後の 洗浄不足	19年



図-13 桁座打替え工法と樹脂注入工法の再変状

#### (4) 材料・工法の公募

新幹線大規模改修では、経年劣化が数多く顕在化する前に予防保全を実施することで、構造物の性能を抜本的に回復もしくは向上し、構造物の長寿命化を図ることを目的としている。具体的には「概ね50年程度の構造物の延命化を目指す」という高い目標を掲げており、工事

着手までに一定の準備期間があることから、前述したような既存補修工の耐久性確認と並行して、幅広い分野のかつ最新の技術を取入れた改修工の開発に挑戦することとした。これまでに活用した補修技術だけにとらわれないオープンイノベーションを推進することが重要と考え、使用する材料・工法の公募を行った。

公募は2017年8月から2018年3月まで行われ、建設会社や建材メーカー、商社などの幅広く約80社の企業から合計220を超える材料・工法が応募された。今後、共同研究等を通じて、効果・耐久性・施工性・経済性等を総合的に判断し、大規模改修に使用する改修工法の確立を目指して行く。

## 6. おわりに

以上、JR東日本のコンクリート橋りょう構造物の検査・維持管理の取組と新幹線大規模改修の概要について述べた。

東北・上越新幹線が開業35年を超える等、構造物の経年が増し、技術者の世代交代など様々な課題がある中で、引続き安全性を確保し続けるためには、検査業務の精度向上や人材育成、効果的な補修計画等が欠かせないと考えている。今回の報告が他社の参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 土木構造物等全般検査マニュアル，東日本旅客鉄道株式会社，2004年12月
- 2) コンクリート構造物の剥離・剥落に関する検査マニュアル，東日本旅客鉄道株式会社，2004年12月
- 3) 佐藤大輔，脇山勘治，下山貴史：東北・上越新幹線土木構造物の大規模改修工事，土木施工 2016 Jul VOL.57 No.7
- 4) 3) 関玲子外：コンクリート橋の鉄筋かぶり厚さと変状の関係性把握について，第24回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2017)