

## 第4回 調査・計画

講師：塩畑 英俊\*1・広瀬 泰之\*2

### 1. はじめに

今回は、道路橋床版の更新に関する計画（以降、「更新計画」と呼ぶことにします。）と更新計画に必要な調査について説明します。更新計画では工事中でも高速道路に求められる機能を踏まえて検討することがポイントになります。ここでは、床版取替を主に進めている鋼橋のRC床版に的を絞って説明を進めたいと思います。

その前に計画の大切さについて皆さんの理解を深めてもらいたいと思います。一般には計画と設計は切り離して議論されることが多いですが、計画も設計の一部<sup>1)</sup>という考え方もあります。人間のあらゆる創造的行為が設計だと考えると計画も設計に含まれるといえるからです。何も計算を行ったり、図面を描いたりするだけが設計ではないからです。さらに、設計はあとの施工や維持管理のことをも考えておかないとい設計は行えません。このように考えると、計画段階で先のことまであたまを働かせて考えておかないとその後の設計や施工、さらには維持管理に負の影響を及ぼしかねません。

### 2. 更新計画に必要な調査

それでは、まず調査について説明して行きたいと思います。更新計画のための調査には大きく分けて2つの側面があります。既設構造物の変状状況を詳細に把握するための調査と道路橋床版の更新に関する工事（以降、「更新工事」と呼ぶことにします。）を実施する際に想定される交通影響を検討するための調査の2つです。それぞれ、以下に説明します。ちなみに、変状とは、何らかの原因でコンクリート構造物に発生している本来あるべき姿で無い状態のことであり、初期欠陥、損傷、劣化などの総称のことです。これらの用語の定義は土木学会コンクリート標準示方書・維持管理編<sup>2)</sup>に示されておりましてそちらを参考して下さい。

#### 2.1 変状状況を詳細に把握するための調査

図-1は、本講座第1回でも説明した床版の大規模更新・大規模修繕の判定フロー<sup>3)</sup>について、RC床版の部分を抜粋したものです。このフローに記載されている5つの劣化要因、すなわち、凍結防止剤の影響、大型車交通の影響、内在塩分の影響、アルカリシリカ反応の影響、飛来塩分の

影響（以降、これらの5つの劣化要因を「5要因」と呼ぶことにします。）が、RC床版の劣化を進行させる主な要因であることは本講座第1回でも説明したとおりです。ただし、構造物の劣化現象は複雑な環境作用や荷重作用を受けて徐々に進行するものであり、この5要因だけがRC床版にダメージを与えるものではないこともあたまに置いておく必要があります。したがって、本節で説明する調査は必ずしも5要因だけに的を絞って行うものではないことに留意が必要です。

NEXCO 東日本では定期的に行う詳細点検とこれから説明する調査によってRC床版の変状を詳細に把握します。それらの情報から次章で説明する更新計画を検討します。ここでは、RC床版の変状を詳細に把握する大まかな流れとポイントを以下に説明します。

詳細点検では外観目視、触診または打音を行い、主にコンクリート表面付近の変状を詳細に把握します。図-2は、詳細点検で把握した変状をモデル化して記録した状況<sup>4)</sup>

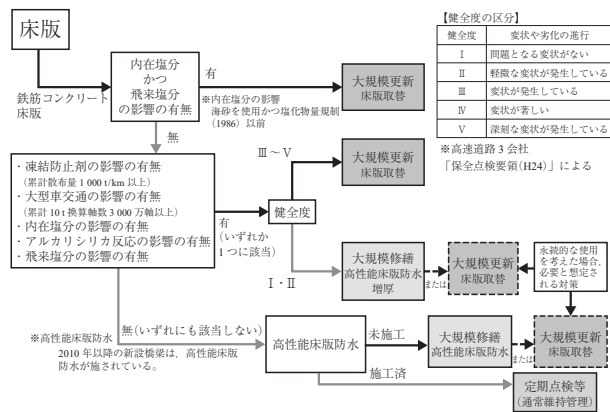


図-1 RC床版の大規模更新・大規模修繕の判定フロー

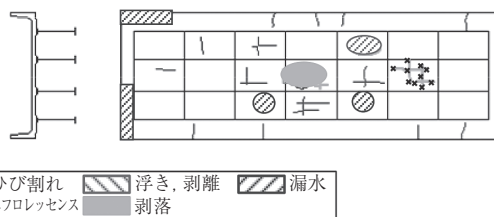


図-2 RC床版の変状の記録(例)

\*1 Hidetoshi SHIOHATA：東日本高速道路(株) 技術本部 技術・環境部 構造技術課 課長代理

\*2 Yasuyuki HIROSE：東日本高速道路(株) 技術本部 技術・環境部 構造技術課 係長

を示したものです。実際にはそれぞれの変状に対する寸法、すなわち、たとえばひび割れ幅や浮き、剥離の範囲を計測してその状況をスケッチするとともに、写真を撮影して記

表 - 1 外的要因および内的要因から推定される劣化の原因<sup>5)</sup>

| 変状の原因 |      | 推定される劣化の原因 |                  |
|-------|------|------------|------------------|
| 外的要因  | 環境条件 | ① 海岸地域     | 塩害 (飛来塩分)        |
|       |      | ② 寒冷地域     | 凍害, 塩害 (凍結防止剤)   |
|       |      | ③ 温泉地域     | 化学的侵食            |
|       |      | ④ 都市・工業地帯  | 中性化              |
|       |      | ⑤ 工場排水など   | 化学的侵食            |
| 内的要因  | 使用条件 | ⑥ 乾湿繰り返し   | アルカリ骨材反応, 凍害, 塩害 |
|       |      | ⑦ 凍結防止剤使用  | 塩害, アルカリ骨材反応, 凍害 |
|       |      | ⑧ 除塩不足の海砂  | 塩害 (内部塩分)        |
|       |      | ⑨ 低品質な骨材   | 凍害               |
|       |      | ⑩ 反応性骨材    | アルカリ骨材反応         |

表 - 2 コンクリート床版の劣化の外観上の特徴と原因<sup>5)</sup>

| 外観上の特徴         | 劣化の種類 |    |    |       |          |    |
|----------------|-------|----|----|-------|----------|----|
|                | 中性化   | 塩害 | 凍害 | 化学的侵食 | アルカリ骨材反応 | 疲労 |
| ひび割れ           | 規則性   | ○  | ○  |       | ○        |    |
|                | 格子状   |    |    |       |          | ○  |
|                | 膨張性   |    |    |       | ○        |    |
|                | 不規則性  |    |    | ○     | ○        |    |
| 微細ひび割れ         |       |    | ○  |       |          |    |
| 遊離石灰           |       |    |    |       |          | ○  |
| はく離, 浮き, 鉄筋露出  | ○     | ○  |    | ○     |          |    |
| 錆汁             | △     | ○  |    |       |          |    |
| 変色             |       |    |    | ○     | ○        |    |
| 鋼材の破断, 突出      |       | △  |    |       | ○        |    |
| 鋼材の断面欠損        | ○     | ○  |    | ○     |          |    |
| スケーリング, ポップアウト |       |    | ○  |       |          |    |
| ゲル             |       |    |    |       | ○        |    |
| 角落ち            |       |    | ○  |       |          |    |

凡例) ○: 可能性が高い  
△: 疑わしい

表 - 3 劣化機構の主な調査項目の選択例<sup>5)</sup>

| 調査方法                       | 原理<br>試験項目等            | 劣化機構 |    |    |       |           |    |
|----------------------------|------------------------|------|----|----|-------|-----------|----|
|                            |                        | 中性化  | 塩害 | 凍害 | 化学的侵食 | アルカリシリカ反応 | 疲労 |
| 目視, 写真撮影                   | 双眼鏡, カメラ, 変形           | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 打音法                        | 打撃音                    | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 反発硬度法                      | テストハンマ強度               | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 赤外線法                       | 表面の赤外線映像               | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 電磁波を利用する方法                 | 鋼材配置                   | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | レーダ法                   |      |    |    |       |           | ○  |
|                            | 空 隙                    |      |    |    |       |           | ○  |
| X線法                        | 鋼材位置・径                 | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | 空隙, ひび割れ               |      |    |    |       |           | ○  |
| 磁気を利用する方法                  | 鋼材位置・径                 | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 弾性波を利用する方法                 | 超音波法, 衝撃弾性波法           | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | AE法                    |      |    |    |       |           | ○  |
| 応力測定法                      | 載荷時のひずみ応力測定<br>死荷重応力測定 | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 変形測定法                      | 載荷時の変形測定               | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 振動測定法                      | 固有振動数, 振動モード           | ○    | ○  |    |       | ○         | ○  |
| 電気化学的方法                    | 自然電位法                  |      |    |    | ○     | ○         |    |
|                            | 分極抵抗法                  | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         |    |
| はつり試験                      | 鋼材腐食状況                 | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | 鋼材引張強度                 | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
| 採取したコアによる試験<br>ドリル削孔粉による試験 | 中性化深さ                  | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         |    |
|                            | 外観検査・ひび割れ深さ<br>錆等の目視   | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | 圧縮強度・引張強度・弾性係数         | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | 配合分析                   | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | 塩化物イオン含有量              | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         | ○  |
|                            | アルカリ量分析                |      |    |    |       | ○         |    |
|                            | 骨材の反応性                 |      |    |    |       | ○         |    |
|                            | 膨張量測定                  |      |    |    |       | ○         |    |
|                            | 細孔径分布                  | ○    | ○  | ○  | ○     |           |    |
|                            | 気泡分布                   |      |    |    | ○     |           |    |
|                            | 透気(水)性試験               | ○    | ○  | ○  | ○     |           |    |
|                            | 熱分析(TG・DTA)            | ○    |    |    | ○     |           |    |
|                            | X線回折                   | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         |    |
|                            | EPMA                   | ○    | ○  | ○  | ○     | ○         |    |
| 走査型電子顕微鏡観察                 |                        |      |    | ○  | ○     |           |    |

凡例) ○: 劣化の程度にかかわらず重要なデータが得られる  
○: 劣化の程度によっては重要なデータが得られる  
無印: 参考になることもある

録として残します。

表 - 1 は、NEXCO の調査要領<sup>5)</sup> で RC 床版の変状と推定される劣化要因との関係を示したものです。前述したコンクリート表面付近で把握された変状に対して、マクロ的に環境作用などの外的要因やコンクリートに用いられた材料などの内的要因からその劣化要因について推定するという思考の流れになります。具体的には、たとえば山間部の寒冷な地域でコンクリート構造物に変状が見られる場合には、その劣化要因としては、冬季の路面確保に用いる凍結防止剤の影響による塩害が推定されるといった感じです。なお、先に述べた 5 要因のうち大型車交通の影響については、供用してからの経過年数と大型車交通量の関係から推定ができますし、内在塩分の影響については、1986 年以前の塩分総量規制前に海砂を用いたコンクリートであると説明する塩化物イオン含有量調査を行うことで劣化要因を推定することができます。

表 - 2 は、NEXCO の調査要領で RC 床版の外観上の変状と想定される劣化要因との関係を示したものです。具体的には、コンクリート表面付近で把握された変状について、何が原因でその変状が生じているのかを推定するといった思考の流れになります。表 - 3 は、NEXCO の調査要領に示す劣化機構を特定するための詳細調査について示したものです。表 - 2 で推定した劣化要因について、表 - 3 に示す、はつり試験や塩化物イオン含有量調査などの詳細調査を劣化要因に応じて実施して劣化機構を特定します。ちなみに、劣化機構とは、簡単に説明すれば劣化のメカニズムのことです。劣化機構を特定するための診断技術については、既往の文献<sup>6)</sup> で詳しく説明されておりますのでそちらを参考にさせていただきます。ここで皆さんの関心が高まるのは表 - 3 に示す各種の調査をどのような頻度で行うのかということだと思います。網羅的に説明することは難しいですが、たとえば、塩害が疑われるケースでは、平面的にスパンの範囲で床版の劣化部と健全部とを代表する複数の箇所ですべて試料を採取して、塩化物イオン含有量の調査を行うことが多いです。コアで試料を採取する場合には直径 50 mm のコアを使うことが多く、深さ方向にはコンクリート表面から 80 mm の範囲の試料を採取するのが一般的です。ちなみに、最近では深さ 80 mm にこだわらず床版下面から床版上側鉄筋付近まで試料を採取する場合があります。ここで、表 - 1 ~ 3 でアルカリ骨材反応とアルカリシリカ反応を使い分けておりますが、その説明は本稿の主旨から外れますので皆さんはいずれもアルカリシリカ反応と考えて下さい。

床版上面の変状状況を把握することもポイントの一つです。アスファルト舗装を撤去すると、たとえば写真 - 1 に示すような床版コンクリートの土砂化が見られる場合があります。NEXCO 東日本の管内では、冬季の路面確保に凍結防止剤を使用する地域が多く、これらを含んだ路面排水が床版上面のコンクリート表面から浸入することに起因する塩害が主な要因でこのような劣化が発生します。床版上面は舗装で覆われており、劣化状況を把握しようとすると交通規制を実施したうえで、舗装を撤去する必要があり多大



写真 - 1 RC床版上面の土砂化

な労力と時間を要してしまいます。そこで、有効と考えられるのが非破壊調査です。舗装を撤去せずに床版上面の劣化状況を把握することで、調査に要する労力自体もそうですが、通行規制によるお客様への影響も減少させることが可能となります。代表的な調査手法として、電磁波レーダ<sup>7)</sup>を用いた手法が提案されており、車両に計測機を搭載して通常走行しながら調査することが可能となっております。

### 2.2 交通影響を検討するための調査

更新工事は、一般に図 - 3 に示すように施工車線の交通を反対車線の対面通行で運用する方法がこれまで多く取られてきた方法となっております。しかしながら、この方法の場合、対面通行区間が交通ボトルネック箇所となり、交通渋滞が発生するリスクが高まってしまいます。したがって、工事による交通影響を最小限とするための工事期間の設定、工事期間中の交通動向に基づく交通マネジメント（混雑時間を避けた高速道路利用のご案内、迂回のご案内など）が重要となります。

その検討を行うために、更新工事を実施する箇所の交通影響を評価します。活用するのは高速道路インターチェンジ区間の交通量のデータです。高速道路ではつねに交通量を計測しておりそのデータが役に立ちます。さらに、高速道路の利用者の迂回行動などが、工事区間に接続・平行する一般道に影響しないか検討することもポイントとなります。そのために、これらの道路の交通量調査も必要となります。これらの調査は道路交通センサデータの検索が主となりますが、道路交通センサデータが無い場合には、一般道の道路管理者による交通量調査やそれでも不足する場合には、自ら通行台数計測機を設置して交通量調査を行う場合もあります。

## 3. 更新計画

次に更新計画について説明したいと思います。前章で説明した RC 床版の変状状況について詳細に把握した情報から、一般には傷んだ構造物から優先的に更新工事を計画します。しかしながら、その条件だけでは工事箇所が離散的に広がってしまうので、路線単位で更新計画を検討したり、傷んだ構造物の近傍の構造物も更新計画に含めたり、最適化を目指しながら検討を行う必要があります。考慮すべき事項が多く、数理計画問題を解くような感じであり、社内のベテラン技術者のノウハウも引き出しながら検討の熟度を高めます。今後はこれらを形式知化することが重要です。

さらに重要なことは、工事中でも高速道路に求められる機能を考慮することです。すなわち、道路にはさまざまな機能があり、そのうちの一つに通行機能があります。通行機能に求められる性能<sup>8)</sup>には、円滑性、安全性、信頼性、快適性があります。NEXCO 東日本が管理する高速道路では、たとえ工事中であってもこれらの性能を高い水準で確保することが求められます。さらに、工事規制の影響の最小化については、高速道路における安全・安心基本計画<sup>9)</sup>の一つにもなっております。更新工事は、一般に1ヵ月とか2ヵ月といった一定の時間スパンが必要となり、この期間にできるだけ渋滞などの交通影響を与えないように工事を進めることが望ましいですが、仮に交通に影響を与えることが分かっている場合には対策を検討する必要があります。そのための手段としては、ハード的な側面の対応とソフト的な側面の対応が考えられます。また、更新工事後に再び更新が必要とならないような配慮も重要となります。それぞれ、以下に説明します。

### 3.1 工事規制の最小化に配慮した更新計画

まずは、ハード的な側面の対応について説明します。図 - 3 に示した施工車線の交通を反対車線の対面通行で運用する方法では明らかに渋滞が発生してしまうような場合には、物理的な交通容量を確保する計画を検討することがポイントとなります。

図 - 4 は、道央自動車道 島松川橋（上り線）の床版取替え<sup>10)</sup>で行った交通運用の概要図です。また、写真 - 2

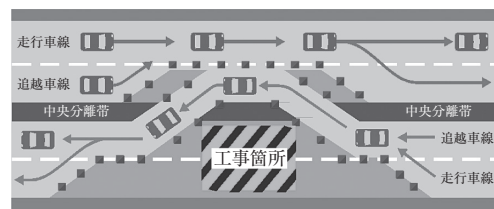


図 - 3 対面通行規制の概要図

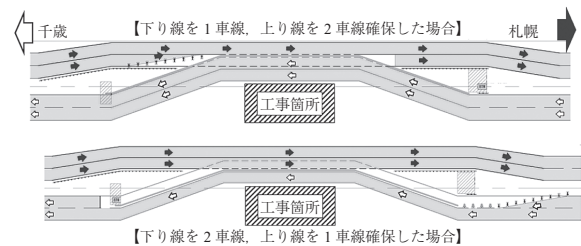


図 - 4 島松川橋床版取替工事での交通運用概要図



写真 - 2 島松川橋床版取替工事の状況

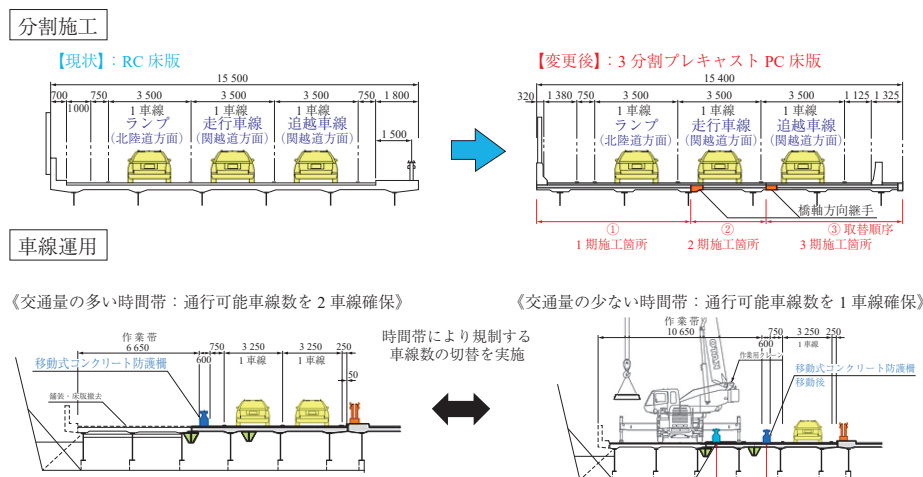


図 - 5 高瀬橋床版取替工事での交通運用概要図



図 - 6 更新工事のお知らせの例

は工事の状況です。本橋の施工では、渋滞緩和対策として対面通行規制となる下り線を一時的に3車線確保し、その中で時間帯別に車線数を変更して交通運用することによって渋滞発生リスクを低減させる対応を図りました。

図 - 5は、北陸自動車道 高瀬橋(上り線)の床版取替え<sup>11)</sup>で行った交通運用の概要図です。本橋の施工では、床版取替えを3分割施工とすることで、交通量の多い時間帯には、通行可能車線を2車線確保することにより渋滞をほとんど発生させることなく工事を行う対応を図りました。

これらの事例は、工事規制の影響の最小化を目指した事例であり、今後の更新計画を立案するにあたって有益な情報となります。今後はさらに工夫や改良を重ねながら更新計画を立案する必要があります。

### 3.2 工事広報による渋滞発生リスクの低減

次にソフト的な対策として、交通マネジメントとして種々の媒体を活用した工事広報によって、交通分散を図り、渋滞発生リスクを減らす方策があります。図 - 6は最近行った工事広報の事例です。訴求力向上および親しみ醸成を図るため、同一タレントを起用し、お客様にお知らせ内容を見ていただけるように配慮しております。

### 3.3 品質確保の配慮

更新工事は、工事に伴う交通規制などの社会的影響が大

きく、新設床版や壁高欄の品質確保が重要です。そのため、更新工事に用いる新設床版および壁高欄にはプレキャストを標準として用います。これは、現場打ちコンクリートと比べて工場ですっきりと管理して製作されるため、品質が高いと考えるためです。また、場所打ちとなる床版の接合部には繊維補強コンクリートを用いるなどしてさらなる品質向上を図る場合もあります。

## 4. おわりに

計画は自由度が高く、技術者の手腕の見せどころです。やりがいがある一方で、創造力を働かせてあらゆる角度から検討の熟度を高めて取り組まないとその後の設計や施工に影響を与えてしまうおそれがあります。設計や施工が主流に見えがちですが、調査・計画段階も重要であることを理解していただく一助となれば幸いです。

### 参考文献

- (公社) 土木学会：コンクリート技術シリーズ95 鉄筋コンクリート構造物の設計システム - Back to the Future-, 2011.5.
- (公社) 土木学会：2018年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編, 2018.10.
- 高速道路資産の長期保全および更新のあり方に関する技術検討委員会報告書, 2014.1.22.
- 東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領 構造物編, 2012.4.
- 東・中・西日本高速道路株式会社：調査要領, 2017.7.
- たとえば、(公社) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'20
- (公社) 土木学会：鋼構造シリーズ27 道路橋床版の維持管理マニュアル 2016, 2016.10.
- (公社) 日本道路協会：道路構造令の運用と解説, 2015.6.
- 国土交通省 道路局：高速道路における安全・安心基本計画, 2019.9.10.
- 三浦照史, 高橋宏明, 池添昌樹, 齋藤強希：道央自動車道 鳥松川橋床版取替工事の設計・施工ークレーン2台を用いた両開き施工による工期短縮 - プレストレストコンクリート Vol.62, No.1, pp.42-46, 2020.
- 成嶋晋一, 小池 保, 榊原正志, 豊島秀明, 前川 勉：幅員方向に3分割した床版取替工事 - 北陸自動車道 高瀬橋(上り線) -, 橋梁と基礎, pp.12-18, 2019.9.

【2020年7月3日受付】