

PC 橋の維持管理

上東 泰*

1. はじめに

21世紀を迎え、コンクリート構造物は社会資本を形成する主要な要素として膨大なストック量となり、国民生活に欠くことのできない存在となっている。一方、世界一の高齢化社会を迎え、ストックされたインフラの良好な維持管理と新しいインフラの建設に対して、コスト・セービングが社会的な使命となってきている。JH日本道路公団（以下、「JH」という）の管理する高速道路を例にとると、名神高速道路の尼崎IC～栗東IC間、約71kmの開通以来約40年を経過しており、平成14年10月1日現在で延長7040km、開通後の平均経過年数は約18年となっている。このうち、橋梁構造物は約1000km（延長比14.5%）を占め、そのうちの約4割がPC構造であり、構造物の内的要因、環境条件や使用条件などの外的要因等により、PC構造を含めたコンクリート構造物の変状が顕在化してきている。このため、コンクリート構造物のさらなる効率的・効果的な維持管理が求められており、コンクリート構造物の耐久性能を供用期間中を通して確保するための維持管理技術の確立が急務となっている。

このような情勢のなか、土木学会では、21世紀の時代的なキーワードとなる「持続可能な発展（sustainable development）」を目指して、「安全性能」、「使用性能」、「第三者影響度に関する性能」、「美観・景観」およびこれらの「耐久性能」の点検による評価・判定に基づいた性能照査型の規準として、「土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕」（以下「〔維持管理編〕」）を制定^{1)~5)}している。また、日本コンクリート工学協会では、良質な社会インフラを次世代に残していくべく、コンクリートの診断・補修に関わる専門技術者として「コンクリート診断士」を創設し、社会に送り出している。

本文では、コンクリート構造物の主な劣化機構である中性化、塩害、凍害、化学的侵食（腐食）、アルカリ骨材などを概説のうえ、主にPC構造を対象として、変状と原因、およびJHで取り組んでいるコンクリート構造物の維持管

理の現状と課題について述べるものとする。

2. コンクリート構造物の変状と原因

ここでは、コンクリート構造物の変状と原因について、具体的な変状を挙げ、その原因と特徴を概説することとする。なお、本文における用語の概念は、〔維持管理編〕に準じ以下のとおり定義する。

初期欠陥：施工時に発生するひび割れ、豆板、コールドジョイントなど。

損傷：地震や衝突等によるひび割れやはく離など、短時間のうちに発生し、その変状が時間の経過によっても進行しないもの。

劣化：時間の経過に伴って進行するもの。

変状：初期欠陥、損傷、劣化の総称。

2.1 コンクリート構造物の変状の種類と特徴

コンクリート構造物に現れる変状には、建設時の初期欠陥等、明らかに原因が特定できるものもあるが、一般に同じ種類の変状に対して複数の劣化機構が存在したり、複数の変状が重複して現れたり、あるいは複数の劣化機構が同時に作用して複合劣化を生じさせるなど、変状の種類と原因は非常に複雑である。このため、コンクリート構造物に発生した表面的な変状だけで原因を特定することは容易でなく、複数の調査により変状の原因を特定することとなる。

コンクリート構造物の変状は、

- ①主にコンクリートに作用して劣化を生じさせる原因となる凍害、化学的侵食（腐食）、アルカリ骨材反応
- ②主に鋼材に作用して鋼材を腐食させ劣化を生じさせる原因となる中性化、塩害
- ③主に構造物に作用して変状を生じさせる原因となる、荷重の繰返し載荷による疲労、設計時の想定を超える外的荷重、初期欠陥

などに分類できる。このうち荷重によるものは主に力学的に解明できる現象であり、初期欠陥は主に施工上の問題と考えられる。それ以外の劣化機構である中性化、塩害、凍害、化学的侵食（腐食）、アルカリ骨材反応は、鉄筋コンクリート材料の特質として化学的、鉱物学的な特徴と密接に関係している。なお、疲労については、鋼橋RC床版に見られる特徴的な劣化であるため、ここでは説明を省略する。以下にそれらの概要について述べる⁶⁾。

(1) 中性化

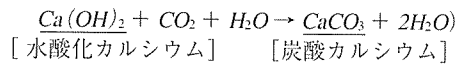
健全なコンクリートは強アルカリ性で、pH値は12～13である。コンクリート表面から大気中に含まれる二酸化炭素（CO₂）が浸入すると、次式に示すように、コンクリート中の水酸化カルシウムと反応し、炭酸カルシウムを生成



* Yasushi KAMIHIGASHI

日本道路公団 試験研究所
橋梁研究室 主任研究員

する。このような反応を中性化（Carbonation）と呼んでいる。



中性化がコンクリート内部へと進展し、鉄筋位置での pH が 11 以下になると、鉄筋の不動態被膜が破壊され、鋼材は酸化し錆びを発生させる。鋼材は錆びると約 2~3 倍の体積膨張を起し、これによる膨張圧がコンクリート表面のひび割れやはく離の原因となる。

(2) 塩 害

塩害とは、コンクリート中に浸入した塩化物イオンが鋼材に作用して不動態皮膜を破壊し、酸素と水の供給によって腐食した鋼材の膨張圧によりひび割れが発生することをいう。塩害による鉄筋の腐食メカニズムを図-1 に示す。

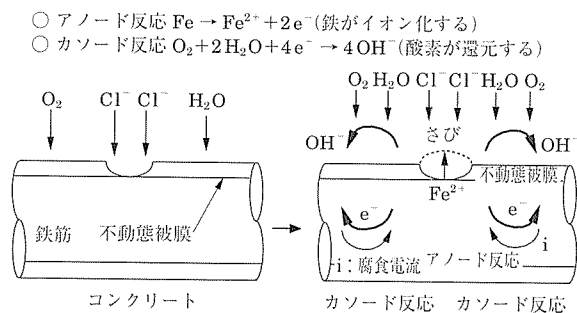


図-1 塩害による鉄筋の腐食メカニズム

コンクリート中の塩化物イオン量と鉄筋腐食の関係は、宮川^{7),8)}によると、水セメント比によって異なるが「約 2.5 kg/m³ 以上で確実に腐食し、1.2 kg/m³ 以下では発錆が少ない」との報告がある。また、建設省土木研究所⁹⁾の実験では、W/C = 70 % のコンクリートで塩化物イオン量 0.5 kg/m³、W/C = 55 % では 1.0 kg/m³ となると、鋼材の腐食率が急激に高くなるとされている。JH においても、過去の実橋調査や試験研究結果から同様な知見を得ており、塩害による補修の要否の判断を 1.0 kg/m³ としている。

塩害の劣化要因となる塩化物イオンのコンクリート構造物への浸入は、従来、建設時における除塩不足の海砂の使用や混和剤(材)に含まれる塩化物、または海岸近くに位置する場合の飛来塩分などが主な供給源と考えられていた。最近では、これに加え凍結防止剤の散布に伴う桁端部や床版上面の塩害が顕在化してきている。

(3) 凍害（凍結融解）

凍害とは、コンクリート中の水分が凍結融解を繰り返すと、凍結するときの体積膨張（約 9 %）によって、ひび割れが生じたり表面がはく離して劣化する現象をいう¹⁰⁾。凍結融解が繰り返し発生すると、コンクリートの劣化は表面から次第に内部へと進む。

劣化形態は①ポップアウト（膨張による破壊で表面に発生するクレーター状のくぼみ）、②ひび割れ、③スケーリング（コンクリートの表面がフレーク状にはく離）に分類される。図-2 に凍害のメカニズムを示す。

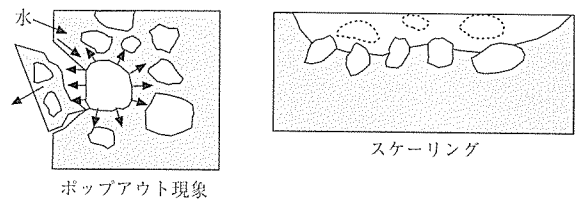


図-2 凍害のメカニズム

(4) 化学的侵食（腐食）

化学的侵食には、コンクリート中のセメント水和物が化学反応し、セメント水和物が可溶性物質に変えられてコンクリートが劣化する場合と、化学反応により新たな化合物を作る際に膨張を伴い、その膨張圧によりコンクリートを劣化させる場合がある¹¹⁾。

強アルカリ性を呈しているコンクリートに酸性の強い物質が作用すると、イオン反応によりコンクリートの中性化を促進し、鋼材の不動態皮膜を破壊させ鋼材の腐食を助長する。とくに、強い酸性をもつ温泉水は、コンクリートの劣化に対し、大きな問題¹²⁾ となることが知られている。

(5) アルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応とは、コンクリート骨材中の反応性鉱物とセメントペースト中のアルカリとが反応して反応生成物（アルカリシリカゲル）が作られ、その膨張圧によってコンクリートにひび割れを発生させる現象をいう。

アルカリ骨材反応は、①アルカリ・シリカ反応、②アルカリ炭酸塩岩反応（骨材中のドロマイト CaMg (CO₃)₂ と水酸化アルカリとの間に生じる化学反応）、③アルカリ・シリケート反応（パーミキュライト吸水膨張）の 3 種類に分類される¹³⁾。

アルカリ骨材反応は、①反応性骨材の使用、②水の存在、③セメントによる高アルカリの 3 つの条件がすべてそろって発生する。劣化の特徴として、亀甲状のひび割れがみられ、ひび割れに白色のシリカゲルを伴っていることが多い。なお、PC 構造物などのように、ひび割れが鋼材によって拘束を受ける場合には、鋼材に直行するひび割れが抑制され、鋼材と平行にひび割れが発生することが知られている。

2.2 PC 橋の特有の変状と原因

ここでは、コンクリート構造物の一般的な変状のなかから、PC 橋における特徴的な変状を抽出し、その原因について概説する。

(1) 初期欠陥

ポストテンション方式の PC 構造においては、シースを介して PC 鋼材をコンクリート中に設置し、緊張作業の完了した PC 鋼材とシースの間の狭隘な空間を数十 m にわたって片押しでグラウト注入することで、PC 鋼材の保護と部材コンクリートと一体化させることが、RC 構造と大きく異なる点である。

PC 橋の特有の初期欠陥は、「シース（PC 鋼材）」に起因するもの、「グラウト」に起因するもの、および「その他」の要因に分類される。

「シース（PC 鋼材）」に起因するもの

写真-1 は、不適切な鋼材配置により生じたジャンカの



写真-1 不適切なケーブル配置により生じたジャンカ

例である。設計上の配慮が欠けると、継手位置などはシース間の水平あきが確保されにくくなることや、施工においてもシースの剛性や保持の方法によっては、PC鋼材の挿入時やコンクリート打設に伴って、ずれなどが生じる場合がある。

「グラウト」に起因するもの

写真-2は、グラウトの充填不良によって主桁ウェブ側面に発生したひび割れの特徴的な例である。写真に示すように、シース(PC鋼材)位置に沿って、遊離石灰を伴ったひび割れの発生が確認できる。このようなひび割れが発生する原因としては、①施工時のPC鋼材の挿入時やコンクリート打設に伴ってシースに変形や破損が生じ、コンクリートの「のろ」がシース内に浸入・硬化することなどでシースが閉塞しグラウトの注入が阻害されるため、シース内に水道となる空隙(ダクト)が生じる。②ここに定着端部の後打ち部分等から雨水等が空隙を通じて浸入し、水の凍結膨張などによりひび割れが発生する。なお、グラウトの充填不良によって生じるひび割れには、遊離石灰や錆汁を伴わないものも存在しているので、目視による点検では、ひび割れとシース位置との相関で判断するとよい。

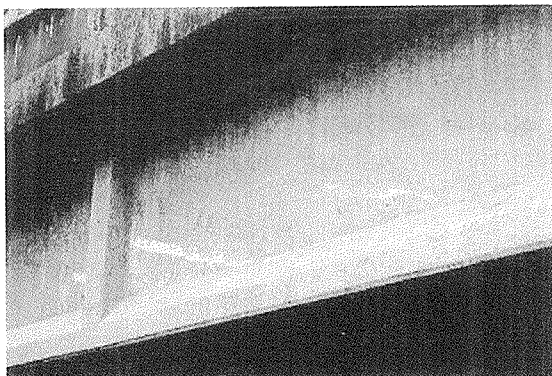


写真-2 グラウト不良に伴い発生した主桁ウェブ側面のひび割れ

「その他」の要因

写真-3は、ポストテンション方式のPCT桁橋の間詰め部から、錆汁を伴った遊離石灰が発生した特徴的な例であ

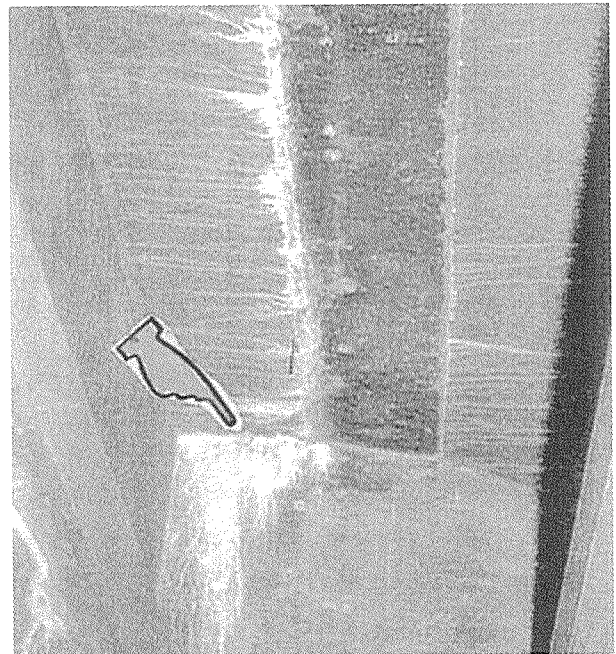


写真-3 場所打ち(間詰め部)および横桁部からの漏水, 遊離石灰

る。間詰め部はT桁の架設後、現場打ちで新旧コンクリートの一体化を行うため付着不良が生じやすく、橋面防水が施されない場合は、このような変状が生じやすい。また、写真からわかるように、とくに横桁近傍の遊離石灰が著しいものとなっている。これは、床版横締めにより橋軸直角方向のプレストレスを導入する際に横桁が変形を拘束するため、プレストレスの導入が阻害されることに起因する。このため、新道路橋示方書では、解析により床版で中間横桁の機能が代用できれば、中間横桁を省略することができるものとした¹⁴⁾。また、この変状は橋軸直角方向にPC鋼材(床版横締め)が配置されているため、グラウトの充填不良を伴うと耐久性能の低下が危惧されるため、変状の程度により橋面防水を行うなどの処置が必要である。

写真-4は、桁内に配置した排水管の機能不良により、下床版面に塩害による劣化が生じた例である。架橋地点では、冬期に凍結防止剤(NaCl)を散布するため、凍結による排水管の破損に伴い、床版下面に溜水した塩水が劣化を促進させたものである。この劣化を初期欠陥に分類した理由は、設計がこの変状の発生の最大要因と判断されるからである。設計時において、排水管の材質や排水勾配、さらには排水管が破損した場合に備え、床版下面に導水や排水孔を設けていれば、未然に防止もしくは被害を最小にできるものと考えられる。このくらいの配慮は、是非とも設計

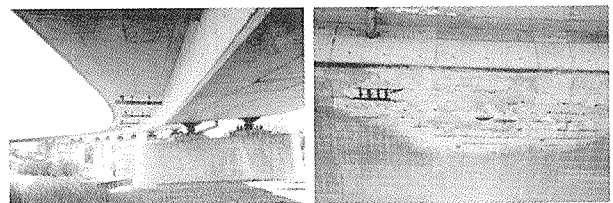


写真-4 排水管の機能不良(漏水)による主桁の劣化

者（事業者を含む）に求めたい。

写真 - 5 は、PC 箱桁のウェブ側面と下床版下面に、カブラシースの配置不良により発生したひび割れの例である¹⁵⁾。この変状は、昭和 50 年代後半から 60 年代にかけて発生したため、透明カブラシースを使うことで防止策は講じられていた。初心に返って、施工時に十分照査して頂きたいものである。

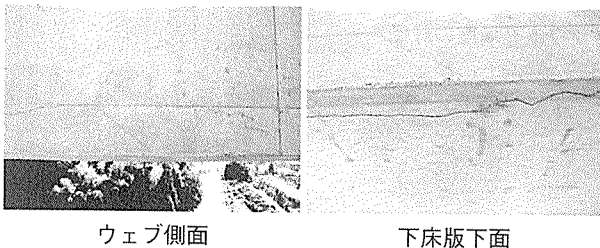


写真 - 5 カブラシースの配置不良により発生したひび割れ

(2) 劣化

PC 橋の劣化現象については、一般的なコンクリート構造物の劣化と同様な劣化進行過程をたどる。図 - 3 に塩害によるコンクリート構造物の劣化進行過程を示す。

PC 橋と一般のコンクリート構造物との違いは、鋼材が腐食してから耐荷力の低下が始まる「加速期」以降の劣化の進行速度が速いことが挙げられる。すなわち、主鋼材が高張力化に置かれているため、鋼材の腐食量の増加により[劣化期]においては脆性的な破壊につながる恐れがある点

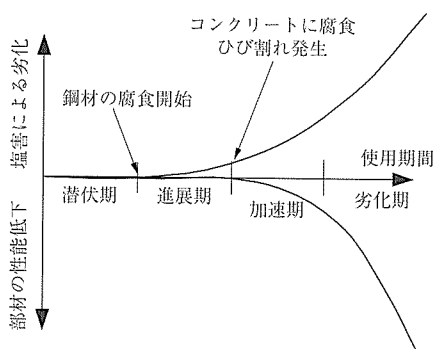


図 - 3 塩害による劣化進行過程¹⁾

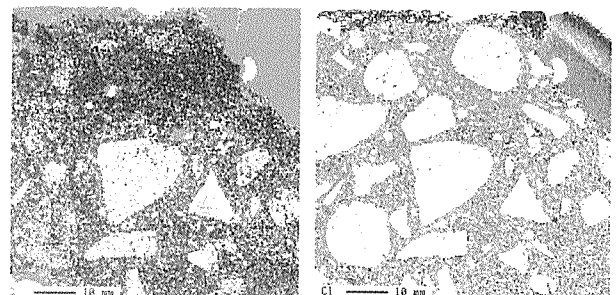
に留意する必要がある。

また、この他の違いとしてコンクリートの材料的な差から生じる劣化機構に対する抵抗性の差が挙げられ、ここでは材料の差が顕著に現れる中性化について説明を加える。中性化は、PC 橋においては、一般に W/C が 50 % 以下となり、上部工においても 30 mm 以上のかぶり確保されているため、示方書に沿って良好な施工がなされれば設計耐用期間を 100 年としても供用期間中に中性化が問題で劣化が顕在化する心配はない。

このため、PC 橋の場合、中性化に対する劣化については一般に無視できるが、中性化と塩害が同時に起こりうる環境条件においては、中性化と塩害の複合劣化の場合は大きな問題となる。周知のようにコンクリートに浸入した塩化物

イオンは、一旦フリーデル氏塩として固着されるが、中性化の進行とともに固着されていたフリーデル氏塩は遊離し、塩化物イオンが中性化領域の以深に濃縮される¹⁶⁾。

図 - 4 に EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) による炭素 (中性化領域) と塩化物イオンの分析結果を示す。赤色が高濃度を、青色が低濃度を示している。図の上側がコンクリート表面で炭素 (二酸化炭素)、塩化物イオンが浸入した位置である。図から、明瞭に中性化による塩化物イオンの濃縮が確認できる。このため、橋梁の立地条件 (外的要因) によっては、中性化の進行に伴う塩化物イオンの濃縮を考慮して、構造物の維持管理を行う必要がある。



炭素の濃度分布 塩素の濃度分布

図 - 4 中性化による塩素の濃縮

3. 維持管理の現状と課題

3.1 概要

コンクリート構造物の一般的な維持管理の手順を図 - 5 に示す。図に示すように[維持管理編]では、「初期点検」の実施および「点検」に基づいて劣化原因を特定のうえ劣化予測により、対策の要否を評価および判定することを基本としている。また、劣化予測は、定量的に行うことが望ましいが、困難な場合は半定量的なグレーディングにより判定を行うこととしている。なお、点検において初期欠陥、損傷が発見された場合にはすみやかに処置することとされている。

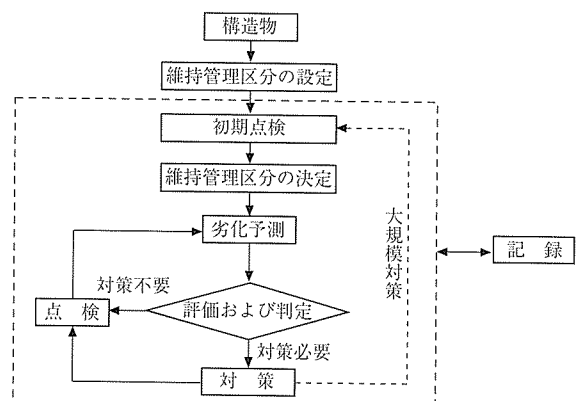


図 - 5 一般的な維持管理の手順¹⁾

この点からもわかるように維持管理の基本は、「点検」である。JH においても平成 13 年度から、点検要領を改訂し、

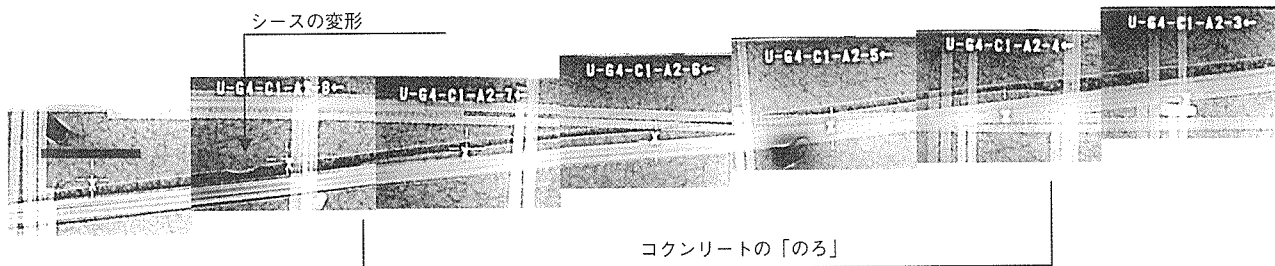


写真-6 X線透過法によるグラウト充填度の評価

維持管理の第一歩として「初期点検」を実施することとしている。また、点検に基づく「判定」をできるだけ定量的に行うため、目視による外観点検に加え、非破壊検査の導入を図っている。ここでは、主にPC橋に関する点検調査技術、補修補強技術の現状と課題について概説する。

3.2 維持管理の現状と課題

(1) 点検調査技術

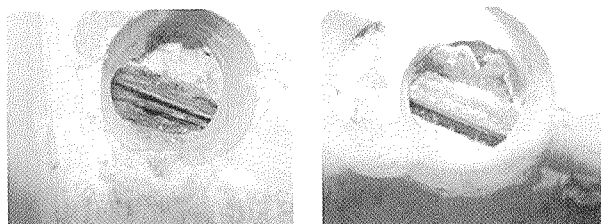
初期欠陥

初期欠陥のうち、PC 構造物の耐久性能に悪影響を与える最大の要因は、グラウトの充填不良である。グラウト不良は、前述したようにシーソ位置に沿ったひび割れ（写真-2参照）で顕在化することが多く、X線透過法や打音法（衝撃弾性波法）で検出することが可能となる^{17),18)}。写真-6は、塩害で撤去したPC桁をX線透過法（IP法）により、撮影したものである。写真に示す黒色部分（X線が透過）がグラウト充填不良の箇所であるが、一部にシーソの変形と部分的に鋼材を覆った物体が確認できる。この物体は、事後の調査でコンクリートの「のろ」であることが確認され、コンクリートの打設中にシーソが破損し、「のろ」がシーソ内へ流れ込み硬化したため、グラウト充填不良とつながったものと考察される。なお、X線透過法（IP法）は、非破壊検査のうちもっとも信頼度が高い方法であるが、コンクリート厚の検出限界はせいぜい60cm程度であるため、PC箱桁の柱頭部近傍などのコンクリート厚が厚い部分では、削孔によるCCDカメラ等を利用してグラウトの充填度やPC鋼材の状態を評価する必要がある。写真-7、写真-8にそれぞれ削孔によるPC鋼材の腐食状態、CCDカメラによるグラウト充填度の評価の例を示す。

グラウトの充填不良に対する点検調査手法は、床版や横桁横締めなど直線配置され、かつ定着部の打撃が可能なものには打音法（衝撃弾性波法）、その他のものには、コンクリート厚さに応じて、X線透過法（IP法）、CCDカメラによる削孔調査等が挙げられる。ところが、打音法（衝撃弾性波法）は、グラウトの有無の判定は可能であるが不良位置の特定が困難なこと、X線透過法（IP法）、CCDカメラによる削孔調査は、不良位置の特定は可能であるが、効率性に欠けるなど、より現場において作業しやすい効率的な点検調査方法の開発が望まれる。

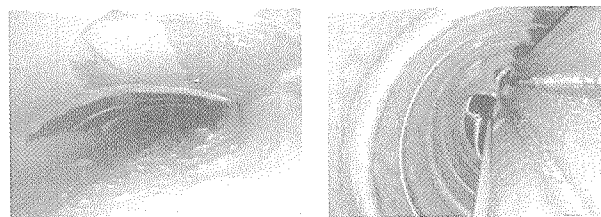
劣化

一般的な構造物の維持管理は、目視主体の点検により、変状が顕在化してから対策を実施する所謂「事後維持管理（事後保全）」である。前述した劣化機構のうち、中性化、



著しく腐食している例 比較的健全な例

写真-7 グラウト不良箇所のPC鋼材の状況



グラウト部分の充填 グラウト未充填

写真-8 CCDカメラによるグラウト充填度の評価

凍害、化学的侵食（腐食）、アルカリ骨材反応では、事後維持管理でも比較的効率的な維持管理は可能と思慮されるが、「塩害」については、コンクリートに腐食ひび割れが発生した段階はすでに「加速期」（図-3参照）に入っており、架替えを含めた大規模な対策を取る必要が生じることが多い。

現在、塩害の発生が危惧される場合、コア採取によるコンクリート中の深さ方向の全塩化物量、中性化深さおよび鋼材の自然電位等を計測し、構造物の劣化予測を行っているが、①供給される塩化物イオン量の把握が困難な（一樣でない）こと、②グラウト充填不良の場合、不良位置の特定が困難で、不良があると塩化物イオンが直接PC鋼材に作用すること、かつ、③調査箇所も限られることなどから、効率的な構造物の耐久性能の評価にはつながり難い状況である。また、コンクリート中の塩化物イオン濃度から、鋼材の発錆までは比較的精度良く予測可能であるが、鋼材発錆後の耐荷力低下については、評価が困難な現状がある。

そのため、PC鋼材の破断による最悪の事態を防ぐことを目的に「音響モニタリング」技術の確立と実用化を目指して、研究を行っているところである。

(2) 補修補強技術

JHでは、劣化因子の浸入を防ぐ目的で、橋面防水の性能規定化に伴う高耐久性能化¹⁹⁾とコンクリート塗装の規準の見直し⁶⁾、およびプレストレス導入工法による上部工の連

続化²⁰⁾などを行っているが誌面の都合で割愛し、ここでは、劣化要因の除去を目的とした「ウォータージェット工法（以下「WJ工法」）によるコンクリートのはつり処理」、はつり後の「吹付けによる断面修復」、および現在検討中の「グラウトの再注入工法」について概説する。

WJ工法によるコンクリートのはつり処理技術

塩害により劣化したコンクリート構造物の補修においては、高濃度の塩化物イオンを含有したコンクリートを鉄筋の裏側まで確実にのはつり取り除去する能力が求められるが、既存のWJ工法ではこれらに関する能力が十分でなかった。このため、WJ工法によるコンクリートのはつりに関する要求性能を以下のとおり明確にし、研究開発を行った²¹⁾。

- ①既設部材と新材料との良好な一体化性状が得られる。
- ②鋼材の有無に関わらず不要なコンクリートを確実に除去し、補修補強に影響のない形状が得られる。PC橋は、シースが露出しないよう平坦性が重要。
- ③劣化等により脆弱化したコンクリートを確実に除去。

研究開発の結果、ノズルタイプ、ノズル角度、アタック角、水圧、水量などの条件により、鉄筋裏側の完全な除去と脆弱部分の除去が行えることが可能となった。また、現状では、コンクリートをはつり取る性能がWJ施工機械とオペレータの能力に左右されるため、性能評価試験を定め、これに合格したWJ施工機械とオペレータの組合せのみが、現場で工事を行えることとしている。写真-9にWJ工法により現場で高濃度の塩化物イオンを含有したコンクリートのはつり取っている状況を示す。

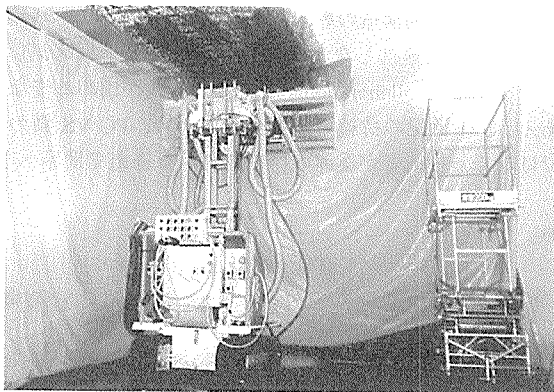


写真-9 WJ工法によるのはつり処置

WJ工法によるコンクリートのはつり処理の今後の課題としては、工事中の騒音（風切り音）の低減、効率的な水の処理方法等が挙げられる。

吹付けによる断面修復

WJ工法によるコンクリートのはつり後、断面修復が必要となるが、既存の工法であるプレバックド工法やモルタル注入工法では、床版下面の凹凸に対して確実な一体化が困難²²⁾であり、左官工法では、作業効率と経済性の点から塩害等で大断面に渡って修復を行う場合には適していない。このため、JHでは吹付け工法による大断面修復の研究を実施している。吹付け工法は、乾式と湿式に分類されるが、過去の実績では超速硬繊維補強モルタルによる乾式吹付け

が多い状況である。写真-10に超速硬繊維補強モルタルによる乾式吹付けの施工状況を示す。近年、ポリマーモルタルによる湿式吹付けも施工性が改善されてきており、実用化のレベルに達してきているものもある。

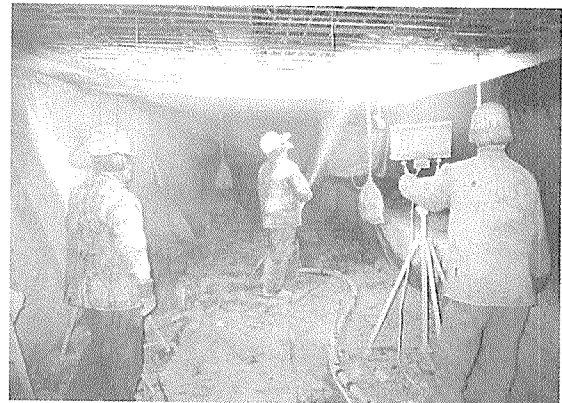


写真-10 吹付け工法による断面修復

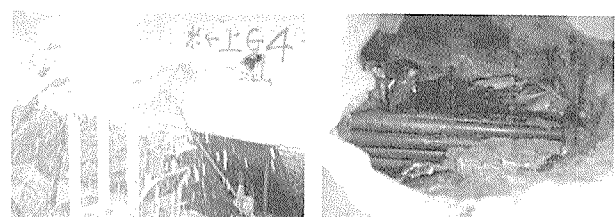
吹付けによる断面修復の今後の課題は、吹付けられたモルタルの耐久性能の確保である。JHでは、吹付けによる断面修復の性能照査型規準の早期確立を目指して、検討を行っているところである。

グラウトの再注入工法

グラウトの充填不良は、前述したようにPC橋の耐久性の低下に対する大きな要因となる。このため、当研究室では、グラウトの充填不良箇所に対する「グラウト再注入工法」の研究開発を鋭意進めている。

グラウト再注入工法は、①グラウト充填不良の特定、②グラウト充填不良箇所への削孔、③グラウトの再注入、という工程となる。①の不良箇所の特定は、前述したX線透過法により特定可能であるが、作業性とコンクリート厚の制約条件から、現在は、WJ工法により、再注入用の削孔を兼ねて調査することを考えている。②の削孔方法については、昨年までの研究の結果、WJ工法により条件としてノズルと水圧を制限することで、PC鋼材とコンクリートに悪影響を与えないで、削孔可能なことが確認できている。

写真-11にWJ工法による撤去術を用いた削孔の状況を示す。なお、グラウトが充填されている場合は、シースが健全な状態で残ることを確認している。③のグラウト再注入は、実験の結果、グラウトの種類よりも注入方法により、再注入の充填度が決定されることが判明した。図-6は、現在考えているグラウト再注入の概念図を示す。図に示すように真空ポンプの使用を考えている。現在、撤去術を用



削孔処理状況

削孔孔からのPCグラウトの観察

写真-11 WJ工法による削孔処理

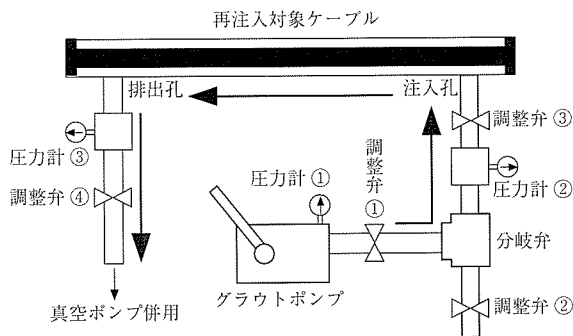


図-6 グラウト再注入の概念図

いたグラウトの再注入実験を行っているところであり、効率性など検討すべき点も残っているが、今年度末をめどにマニュアルをまとめていきたいと考えている。

3.3 まとめ

構造物の維持管理においては、前述したように経費削減や効率性が求められており、各方面で維持管理技術の研究開発が精力的に行われている。構造物の効率的な維持管理を行うためには、個別の要素技術も必要となるが、『維持管理システム』としての体系的な仕組み作りがきわめて重要である。ところが、構造物の維持管理システムに関する仕組み作りは、緒に就いたばかりで体系的なものとなっていない状況であり、一日も早い維持管理システムの体系化が望まれる。

JHにおいては、構造物の維持管理のより一層の経費削減や効率性を目指し、LCCを最適化するための維持管理システムとして、ブリッジマネジメントシステム（以下「JH-BMS」）の構築を行っているところである。JH-BMSでは、構造物の部位・部材ごとに維持管理区分を設定し、点検結果に基づく劣化予測により維持管理を行う部位・部材と、排水設備のように更新前提の部材を区分し、維持管理水準を設定のうえ構造物の維持管理シナリオを作成して、計画的に構造物の維持管理を行うこととしている。当然のことながら、構造物の諸元、工事データ、点検データ、補修補強データ等はデジタル化し、他のシステムとの連携が可能のように、JH-BMSとは独立した道路資産DBシステムに一括保存することとしている。

ここで大切なことは、維持管理のマネジメントシステムであるたとえばJH-BMSにしても、維持管理のための一つのツールにすぎないことである。換言すれば、劣化予測に必要な点検データ等のinputデータの精度やoutputデータの使い方などにより、頭書の目的を達成できないため、非破壊検査の利用による点検の高度化や点検員の資質の向上、およびシステムの利用者の教育などを継続して行う必要がある。また、たとえどんなに完璧なシステムを構築してもその時点のstate of the artであり、研究開発に伴う新しい知見、時代や国民のニーズの変化などにより、システムを継続的に見直すことも重要である。

JH-BMSの構築にあたって課題となったものは、複合劣化の劣化予測、鋼材の腐食進行に伴う耐荷力低下の評価、および補修補強対策の効果である。とくに、劣化のグレー

ドと対策工法の効果の評価は、今後の研究の待たれるところである。

4. おわりに

本文は、主にPC構造物を対象として、変状と原因およびJHで取り組んでいるコンクリート構造物の維持管理の現状と課題について述べてきた。コンクリートの維持管理は、まだまだ未解明な点が多く、官・民・学が一体となってこれらの問題について早急に取り組む必要がある。また、これらの研究開発の成果を広く、海外へ向け発信していくことも重要である。

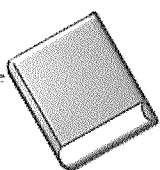
構造物の維持管理は、建設段階における計画段階から始まっており、設計、施工を通して、初期点検、劣化予測、点検、評価および判定、対策、記録などの一連の維持管理行為を適切に行い、その結果を建設にフィードバックする所謂「PDCAを回す」ことが重要である。このPDCAサイクルを継続的に行える体制（システム）を構築することで、PC橋は重要な社会インフラとして、次世代以降に確実に引渡せるものと確信している。

最後に、私の好きな言葉「コラボレーション (collaboration)」で結びとしたい。これは、慶応大学の村田昭治先生がその著書²³⁾で、「意思が疎通し合い、理解し合って連携しながら何かをつくりあげていこうとする気持ち」と述べられているものであるが、この言葉からたとえばコンクリートと鋼構造の両者の長所を融合した新しい構造形式である複合構造橋梁が理想させられる。当研究室では波形ウェブPC橋の拡大に向けた共同研究を行っているが、コンクリートと鋼構造の専門家が一つのテーブルについて、業界の枠を超え連携しながら新しい構造にチャレンジしている。まさに“collaboration”であり、時代が求める姿なのである。『21世紀の持続可能な発展のため、PC VS 鋼の図式ではなく、技術者が業界の枠を超え手を携えて世界へ！』

参考文献

- 1) 土木学会：2001年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2001.1
- 2) 土木学会：2001年制定 コンクリート標準示方書 [維持管理編] 制定資料，コンクリートライブラリー 104，2001.1
- 3) 宮川豊章：土木学会・コンクリート標準示方書 [維持管理編] の制定。2001年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編] の全体像，セメント・コンクリート，No.656，2001.10
- 4) 森川英典，上東泰：土木学会・コンクリート標準示方書 [維持管理編] の制定 II. 「維持管理」，セメント・コンクリート，No.656，2001.10
- 5) 守分敦郎，佐伯竜彦：土木学会・コンクリート標準示方書 [維持管理編] の制定 II. 「維持管理標準」，セメント・コンクリート，No.656，2001.10
- 6) 上東泰：コンクリートの劣化と維持管理，防錆管理，Vol.44，No.10，2000
- 7) 宮川豊章：Early chloride corrosion of reinforcing steel in concrete，京都大学博士論文，1985.2
- 8) 岸谷孝一，西澤紀昭他編：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 塩害 (I) (II)，技報堂出版，1986.1991
- 9) 片脇，坂本，守屋：コンクリート中の塩分規制値に関する研究，

- 土木研究所資料,1985
- 10) 岸谷孝一, 西澤紀昭他編: コンクリート構造物の耐久性シリーズ凍害, 技報堂出版, 1986
 - 11) 岸谷孝一, 西澤紀昭他編: コンクリート構造物の耐久性シリーズ化学的腐食, 技報堂出版, 1986
 - 12) 伊藤野彦, 一瀬久光, 上東泰: 温泉地帯におけるコンクリート構造物の腐食対策—九州横断自動車道 別府橋 (仮称) の例—, 土木施工 27 卷 16 号, 1986.12
 - 13) 岸谷孝一, 西澤紀昭他編: コンクリート構造物の耐久性シリーズアルカリ骨材反応, 技報堂出版, 1986
 - 14) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編, 2002.3
 - 15) 横山好幸: コンクリート構造物の健全度評価と補修システムに関する研究, 京都大学博士論文, 2001.8
 - 16) 小林一輔, 白木亮司, 河合研至: 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物, 硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮, コンクリート工学論文集, 第 1 巻第 2 号, 1990.7
 - 17) 望月秀次, 本間淳史, 上東泰: 非破壊検査を用いた PC グラウトの点検と補修, プレストレストコンクリート, Vol.37, No.6, 1995.12
 - 18) 石田博, 上東泰, 菅野匡: PC 桁の非破壊検査, 非破壊検査協会平成 10 年度春季大会講演概要集, 1998.5
 - 19) 紫桃孝一郎, 上東泰, 鹿野善則, 大橋岳: 橋梁構造物の防水システムの要求性能とその照査方法, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 日本材料学会論文報告集, 第 2 巻, 2002.10
 - 20) 岡井賢一, 森山守, 登坂知平, 小澤郁夫: 塩害を受けた橋りょう上部工の全面修復—北陸自動車道手取川橋—, コンクリート工学, Vol.34, No.2, 1996.2
 - 21) 紫桃孝一郎, 上東泰, 野島昭二, 吉田敦: ウォータージェット技術を利用した新旧コンクリート構造物の一体化処理, コンクリート工学, Vol.38, No.8, 2000.8
 - 22) 本荘清司, 井手上文雄, 奥田和浩, 谷口秀明, 古江隆朗, 丸屋剛: 塩害を受けた RC 中空床版橋の床版下面に対する断面修復工法の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 日本材料学会論文報告集, 第 1 巻, 2001.10
 - 23) 村田昭治毛: 心ときめくマーケティング, 国元書房, 1995.11
- 【2002 年 10 月 29 日受付】



●関連書籍のご案内

●PC建築 —計画から監理まで—

平成14年11月発行

社団法人日本建築構造技術者協会編／技報堂出版刊

B5判・178頁・本体価格4,800円(税別)

技報堂出版

〒102-0075 東京都千代田区三番町8-7 第25興和ビル

TEL03(5215)3165 FAX 03(5215)3233