

コンクリート構造物のマネージメントシステム

縦山 好幸*

1. はじめに

従来、漠然と永久構造物と考えられていたコンクリート構造物も、1999年6月の福岡トンネル覆工コンクリート片の落下事故以来、コンクリートの剥落が立て続きに生じ、建設・運輸・農林水産三省の土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言（以下、三省提言）が出されるなど、改めてコンクリートの耐久性が問題とされている。

土木学会では「コンクリート標準示方書」（以下、示方書）において、性能照査型の示方書体系への転換や、設計・計画におけるライフサイクルコスト（以下、LCC）の導入が図られており、耐久性照査型の「施工編」が平成12年1月に示された。引続き平成13年1月に「維持管理編」が示される予定であり、平成15年に向けて性能照査型設計への全面改訂を計画しているなど、合理的で耐久性能を有するコンクリート構造物を構築するための考え方と手法に関する整備が鋭意進んでいる。

耐久性能を有するコンクリート構造物を造り管理していくためには、LCCに基づく適切な設計、丁寧で心のこもった施工、そのような施工を確保するための検査体制、適切な点検・評価と時期を逃さない適切なメンテナンスが必要であり、施工・検査・点検・補修等の履歴をデータベース（以下、DB）化し、全体のコストの最小化を図るマネジメントシステムが求められている。

2. コンクリート構造物の課題と対策

2.1 概 要

三省提言では、コンクリート構造物の劣化要因として、豆板や遊離石灰などのコンクリート低品質、かぶり不足などの配筋不良が多くを占め、アルカリ骨材反応、塩害、凍害などの劣化は少数であったことが示されている。よって、適切な配筋と正確な配合、丁寧な打設、念入りの養生が、コンクリート構造物の耐久性確保の第一歩であると言える。そのうえで、塩害、中性化、アルカリ骨材反応、そして、それらの複合的な劣化に対する適切な対応が必要と

なる。これらの劣化は、塩害であれば海砂、凍結防止剤、飛来塩分などと原因に関して地域性をもっている。また、アルカリ骨材反応も同様に地域性がある。

これらの劣化（損傷）対策としては、骨材など使用材料の選定、コンクリート塗装や防水工、電気防食などの予防保全と、維持管理における点検・評価・補修の実施が挙げられる。それらは適切に記録され、次の建設や維持管理にフィードバックされなければならない。この積重ねがLCCを最小化するマネジメントシステムに繋がる（図-1）。

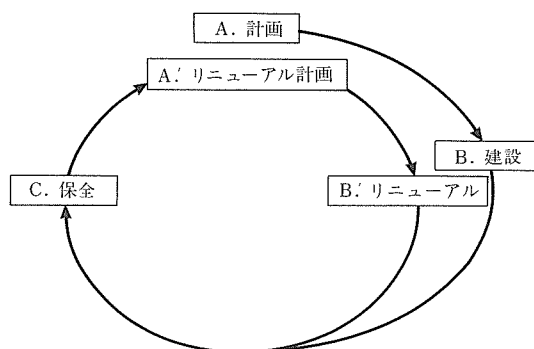


図-1 土木構造物のライフサイクル¹⁾

図中、「リニューアル」は補修、補強、更新のすべてを表しており、過去の実績から補修方法や建設方法を改善し、経年劣化の評価を明確にして劣化予測の精度を高めていくことで、構造物のライフサイクルマネジメントシステムが改善されていくことを示す。

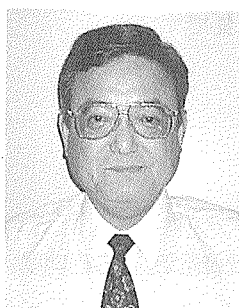
ここでLCCは、当初の建設費からその後の保全費用（ここに更新が含まれる場合もある）と耐用期間が終わったの撤去費用までにかかる費用の総和であるが、このライフサイクルを何年とするかは、維持管理・点検・補修をする立場からは大きな問題である。

設計耐用期間は、JHにおいて耐久性能を検討した事例では、40年～50年として考えていたが、東京湾横断道路を含め、現在では100年を基準に検討が進められている。

2.2 新設構造物

構造物を新設する場合には、供用期間（あるいは設計耐用期間）とその間の要求性能を明確化し、構造物の重要性や特性に応じて維持管理の区分（予防保全やモニタリングの有無、点検の頻度など）を定め、LCCを最小化するように、設計、施工、維持管理を整合させる。

ここで問題となる要求性能としては、一般に安全性能、使用性能、第三者影響度に関する性能、美観・景観、およびそれぞれの耐久性能である。



* Yoshiyuki MOMIYAMA

日本道路公団
試験研究所 橋梁研究主幹

(1) 耐久設計

設計に関しては、劣化予測に基づくかぶり厚とW/Cの設定を基本として、塗装や防食型枠による劣化因子の遮断、亜硝酸塩をコンクリートに混入する化学的防食、エポキシ塗装鉄筋などの防食した鉄筋の使用、電気防食、防水工などの各種対策²⁾を検討し、適切な維持管理計画のもとにLCCを最小化するような設計を行う必要がある。LCCを最小化するには、複数のシナリオ（初期投資と保全パターンの組合せによる劣化予測）を想定し、それぞれにLCCを算出して最小の方法を選ぶ。よって、まずどのような選択肢があるかを知ることが重要である。

現在のところさまざまな工法が試みられているが、その評価が定まっておらず、建設段階で試行錯誤が続いている状態にある。表-1に北陸自動車道で飛来塩分に対する塩害対策として、橋梁で試験的に施工された工法の一覧を示す。現在JHでは、各地ですで行われた各種工法の追跡調査を実施し、評価・検討を行い、データの蓄積を図りつつある。

今後、新しい示方書に基づいて設計・施工された構造物は、設計耐用期間中には劣化が顕在化しないように耐久性の照査がなされているため、目視点検を主体とした簡易な管理で維持できるはずであるが、劣化予測の精度向上はこれからの管理における急務である。

(2) 新設時の劣化対策

耐久性の照査は、環境条件から考えられる劣化機構それぞれに対して行う必要がある。以下、JHで実施した各種対策について簡単に述べる。

沖縄道那覇一石川間（1987年開通）では、海砂と飛来塩分が問題であった。海砂による塩分については当時のJHの規定はNaCl換算で砂の絶乾重量の0.5%以下であったが、飛来塩分の浸透を考慮して0.4%以下になるよう制限した。

また、上部構造として塩分の内桁への付着を避けるためコンクリート箱桁橋とホロスラブの閉断面を基本的に採用し、PC箱桁では広幅員でも多主桁とせず多室箱桁とするなど、構造上の配慮を行った³⁾。

橋梁上部構造では最小セメント量を350 kg/m³とし、W/Cを1ランク高い品質のコンクリートとして施工した。かぶりも外気に触れる箇所は上部構造で5 cm、下部構造で7 cm

とし、通常より2 cm程度増加させている。また、周囲の損傷事例から、配筋の施工不良が損傷原因として大きいことに留意し、スパーサーについて鋼製およびプラスチック製を禁止し、コンクリートまたはモルタル製のものを使用したうえで、十分な量を配置させ、かぶり不足を防止した。

北陸道親不知高架橋（1988年開通）は、海岸に建設計画されたため、過去の実績から塩化物の拡散係数を $2.7 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、発錆限界を塩化物イオン量で 3.4 kg/m^3 と仮定して、飛来塩分量から鉄筋腐食開始までの期間が50年間となるよう最小かぶりを設計した。これにより、海中部に施工される下部構造のかぶりは、日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針(案)」による7 cmよりも厚い10 cmで計画した。また、上部構造の純かぶりは7 cmとし、これに伴い、脚長の長い特注のセパレーターを使用した。さらに中空床版橋を逆台形にするなど、損傷事例の多い隅角部を作らない形状となるように構造上の配慮を行った。なお、RC部の鉄筋でも許容応力を $1\,200 \text{ kgf/cm}^2$ 程度に抑え、応力によるひび割れを抑制した。W/Cの上限を上部構造で50%、下部構造で55%に抑えた。ブロック施工を行うPC橋の打継目にポリエステル樹脂系およびビニル樹脂エステル系の含浸式塗装を行うとともに（含浸式の塗装は工期的に有利だが、これらは現在、塩分の浸透が見られ遮塩効果が不十分である。ただし、シラン系浸透型防水材料で塩分浸透速度が1/3に抑制できるという海外の研究⁴⁾もあり、かぶりを厚くすると同様の効果は期待できる）、PCシースおよび円筒型枠は亜鉛メッキを施した。ランプ橋においては、鉄筋応力が $1\,800 \text{ kgf/cm}^2$ に及び、コンクリートのひび割れが懸念される一方、高度が低く飛沫塩分の影響が大きいため、全面的にエポキシ塗装鉄筋を採用した。また、ポリマーセメントモルタルを使用した防食パネル型枠により、遮塩・遮水性を高めている（ただし、プレキャスト型枠の継目から少ないながら塩分が浸透するのでシール工に注意を要する）。また、このランプ橋では試験的に9種類のコンクリート塗装を施している（塗装の場合にはピンホールなどの初期欠陥やひび割れ追従性、塗替えの必要性などに注意を要する）。また、RC床版橋および海中部の橋梁には橋面防水工を実施している^{5), 6)}。この橋梁は冬季の波浪が激しく、非常に過酷な環境にあり、建設当初から橋脚は鋼板とゴムによって磨耗に

表-1 新設時における防食工法の例

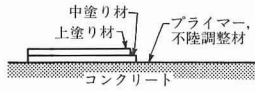
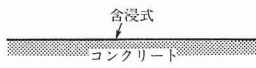

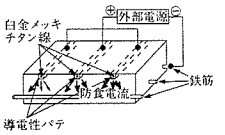
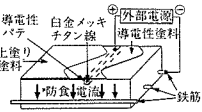
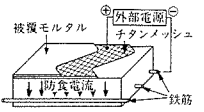
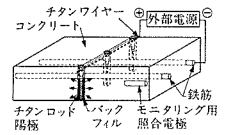
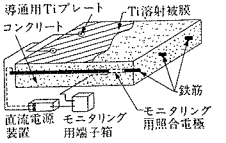
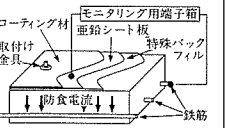
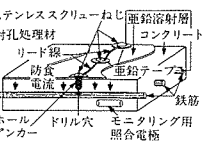
工 法	コンクリート塗装	含浸式塗装	防食型枠工法	電気防食工法
概 要	<p>コンクリート表面を塗装材で被覆することにより、炭酸ガス、塩化物イオン、水の浸透を防止する。</p> 	<p>コンクリート表面に遮水層を作り、外部からの塩化物イオン等の浸透を抑制する。</p> 	<p>塩化物イオンと酸素の遮断効果の優れたポリマー系の材料で製作したパネルを本体コンクリートと一体化する。</p> 	<p>コンクリート表面と鉄筋に電極を配置し、2V～3Vの直流電圧でコンクリート表面に$10 \text{ mA/m}^2 \sim 20 \text{ mA/m}^2$の電流を流し、鉄筋の自然電位を人為的に不活性領域に導き、腐食を抑制する。</p>
材 料	<p>エポキシ樹脂系 ポリマーセメント系 アクリル樹脂系</p>	<p>ポリエステル樹脂系 ビニル樹脂エステル系</p>	<p>ポリマーセメントモルタル系</p>	<p>表-2 参照</p>

表-2 電気防食工法（北陸道大慶寺川橋および大川橋の施工例）

項目	外部電源方式				流電陽極方式			
	部分電極方式	導電性塗料方式	チタンメッシュ方式	内部挿入型陽極方式	チタン溶射方式	亜鉛シート方式	亜鉛溶射方式	
概念図								
工法概要	コンクリート表面に一定の間隔の細い溝を切り、その溝に白金メッキチタン線を導電性樹脂（パテ）で埋め込み設置し、この線だけでコンクリート中の鋼材に外部電源を使用し、強制的に電流を流し込む。	コンクリート表面に間隔を置いた細い溝を切り、1次電極としてその溝に白金メッキチタン線を導電性樹脂（パテ）で埋め込み、2次電極としてコンクリート全面に導電性塗料を塗布し、外部電源から2次電極を経由してコンクリート中の鋼材へ強制的に電流を流し込む。	コンクリート表面にチタンメッシュを固定し、その上を被覆モルタルで覆い、一定の間隔の細い溝を切り、その溝に白金メッキチタン線を導電性樹脂（パテ）で埋め込み設置し、外部電源を使用し、チタンメッシュからコンクリート中の鋼材に電流を流し込む。	コンクリートにφ12mmの孔をあけ、チタン陽極棒を専用バックフィルとともに挿入後、外部電源装置の(+)側に各陽極を結束したチタンワイヤー、(-)側に鉄筋を繋ぎ、所定の電流を流す。	コンクリート表面に高純度のチタンをアーク溶射により吹き付け、形成した溶射被膜上に触媒液を塗布することにより、電極体を形成する。このチタン溶射被膜電極から直流電源装置を用いて、鉄筋に防食電流を供給する。	外部電源を必要とせず、コンクリート表面に亜鉛シート板を取付け金具で固定し、この亜鉛と鉄の金属的性質の違いにより、亜鉛シート板からコンクリート中の鋼材に電流を流し込む。なお、コンクリートと亜鉛シート板間の密着性と保水性を保持し、長期間電流を安定供給するバックフィル材を亜鉛シートに塗布する。	溶射ガンにより亜鉛微粒子をコンクリート表面に噴射して形成する亜鉛溶射被膜を犠牲陽極として使用する。ここで施工したのは、常温の亜鉛溶射であり、本被覆を2次陽極として、部分的に亜鉛板を1次陽極としパターンを変えて取り付けた。	
施工年（規模）	平成元年（18m ² ）	平成元年（9m ² ）	平成元年（9m ² ）	平成8年（9m ² ）	平成10年（42m ² ）	平成元年（17m ² ）	平成9年（23m ² ）	
調査結果	現況	導電性パテとコンクリート境界面が黒く変色し、また通電することによって白濁色の物質が発生し、美観を損ねている。	上塗り塗料の劣化が経過年数に伴って進行している。しかし、導電性塗料を保護する機能は満足されており、今後10年間は使用可能と推察される。	被覆モルタルの浮きが経時的に進行し、剥離する恐れがある。			内部鋼材の密度ならびに塩害環境の厳しい箇所での亜鉛の消耗が激しい。	
	復極量	100 mV以上 (通電量が多く必要とされ、復極量のばらつきが大きい)	100 mV以上 (復極量のばらつきが小さい)	100 mV以上 (時間の経過とともに復極量のばらつきが小さくなった)	100 mV以上	100 mV以上	100 mV以上	100 mV以上
	陽極材の耐久性（推定）	40年以上	20年程度（塗料） 40年以上（チタン線）	40年以上	—	—	15年程度	—
	内部鋼材の腐食調査	腐食進行停止	腐食進行停止	腐食進行停止	—	—	腐食進行停止	—

対する防護がなされていたが、予想を遥かに超える自然の力によって、防護が破られ、躯体の鉄筋が露出したため、平成9年から、鋼板とゴムを再建したうえで、鋼繊維を入れポリマーを含浸させた高強度プレキャストコンクリートパネル（PICフォーム）と炭素繊維のグリッドを補強材とした水中不分離性コンクリートによる根巻きを行って補強した。

北陸道小松地区の大川橋も塩害による損傷が著しく、平成9年に架替えを行った。このとき、W/Cを35%とし、かぶり厚7cmを確保し、コンクリート塗装を実施し、さらに、一部の桁で亜硝酸カルシウム（10 l/m³）を添加した。亜硝酸イオンは塩素に対抗して鉄筋の不動態被膜を再生し安定させる効果がある。亜硝酸リチウムの方が高濃度で添加できる利点があり、よく用いられるが、亜硝酸カルシウムの方が遥かに安価である（ちなみに、亜硝酸ヒドロカルマイトは塩化物イオンと反応し、これを吸着して亜硝酸イオンを放出するので塩素吸着剤と呼ばれ、東北道の片岡第一橋の補修工事で使用された）。なお、亜硝酸リチウムには、リチウムによるアルカリ骨材膨張抑制効果も期待されている²⁰⁾。

さらに大川橋ではチタン溶射方式の電気防食が試験施工された。電気防食は非常に有力な防食方法であるが、設計・施工に特殊な知識と経験を必要とするのが難点であり、どのような陽極を使用するかなど、課題が多い。

九州横断自動車道の湯布院一大分間（1989年一部開通）では、日本有数の温泉地帯を通るため、土壌や水に含まれる硫酸イオンなどの影響による化学的腐食が懸念され、7年間の暴露試験の結果に基づき、「温泉腐食対策指針」を作成した⁷⁾。この指針ではW/Cを50%以下とし、最も厳しい腐食環境においては、下部構造の空中部のかぶりを8cm、地表50cm以下を13cm、場所打ち杭では18cmと定めた。空中部でもかぶりを増加させているのは、硫化水素ガスの浸透を懸念したものである。また、躯体を守るためにコンクリート巻立てとライニングを併用した防食を腐食環境に応じて追加している（図-2）。この指針は、別府明礬橋などで使われた⁸⁾。

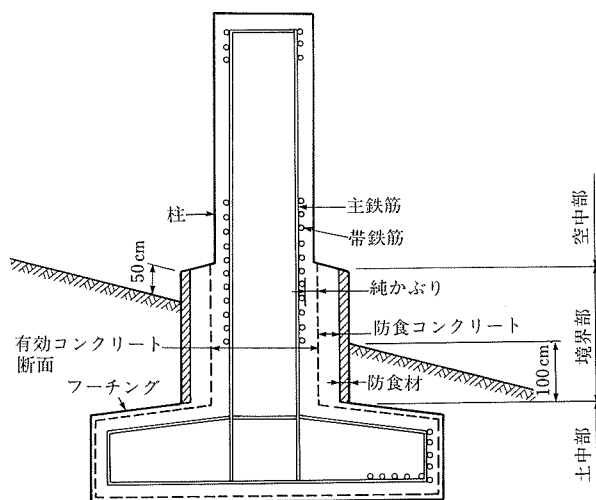


図-2 温泉腐食対策

中性化に対する対策の多くは、塩害対策と重複する。さらに、中性化の進行によって、フリーデル氏塩などのかたちで固定されていた塩素がイオン化し、中性化部分の境界付近に塩化物イオンが濃縮される現象が認められ、また中性化すると塩分浸透速度が格段に大きくなるとの意見もあり、塩害と中性化の複合劣化については、更なる研究が必要である⁹⁾。

アルカリ骨材反応については、無害でない骨材の使用を抑制することが基本である。とくにJISの試験法では無害と判断されるが、実際には損傷を引き起こす遅延膨張性の骨材が問題である。これはカナダのロッキーレーク産の骨材が有名でありカナダ法¹⁰⁾により異常膨張を示すが、日本にも同様の骨材は存在する。アルカリ骨材反応の試験法には、JISのほかデンマーク法やカナダ法などがあるが、日本の骨材の実情を踏まえた適切な試験法の開発が必要である。今のところ反応性の高い骨材の産地は限られているので、過去の実績がある地域では、JISの試験結果にとらわれず予防保全を考えるべきである。よって、これらの損傷事例は、全国的に情報を共有する必要がある。対策としては、防水が基本である。すなわち、凍結防止剤のアルカリによるアルカリ骨材反応の促進や水分の供給が問題であり、伸縮装置の非排水化、桁端や沓座のある橋台天端など水のかかりやすい所からの水の浸入を防ぐ防水工を当初から考えるべきである。

凍害については、適切なエントレインドエアを確保したコンクリートを施工することが基本であるが、凍結防止剤の塩分によって、劣化が促進される事例があり、場合によっては防水を考える必要がある。

(3) 施工管理

設計が正しくとも、施工が悪ければ耐久性は期待できない。コンクリートの品質管理として、現在一般的に行われているのは、コンクリート打設前の型枠寸法と鉄筋配筋の検査、生コンクリートのスランプと空気量の検査、標準養生したテストピースによる強度確認程度であり、あとは目視による監視に頼っている状態である。これらの川上管理と呼ばれる施工中あるいは施工前の検査だけでは、打設された構造物が本当に設計どおりにできたかどうかは不明であり、配筋検査の後で型枠や鉄筋が移動することもあり、また、不適切な養生や使用材料の変動によって、期待した密実性が得られず、中性化や塩分の浸透が予想以上に早く、早期に劣化することも考えられる。また、打継目部の処理や養生も大きな問題と考える。よって、契約条項の見直しも踏まえて、出来上がった構造物の検査、いわゆる川下管理が求められる。型枠については出来形寸法の測定（これは現在行われている）、鉄筋については電磁誘導や電磁波を用いた鉄筋探査機による配筋検査、シュミットハンマーや超音波を使った強度検査、現地透気試験などによる密実性の検査などの非破壊検査法の整備が求められる（施工管理に限らず、維持管理に使用し得る主な非破壊検査法を表-3に示す）。

三省提言で提唱されたフレッシュコンクリートの単位水量測定は川上管理ではあるが、施工業者が行う生コンク

表-3 非破壊検査法

手 法	検査対象
目視 (ファイバースコープ、CCDカメラなど)	ひび割れ、剥離、剥落、漏水、遊離石灰、変色など
打 音	剥 離
衝撃弾性波	空隙、厚さ、グラウト充填など
赤 外 線	空隙、ひび割れ、剥離など
超 音 波	鉄筋位置、かぶり、径、空隙、ひび割れ深さ、強度など
電磁波レーダー	鉄筋位置、かぶり、径、空隙、ひび割れ、剥離、厚さなど
放射線透過	鉄筋位置、かぶり、径、空隙、グラウト充填など
電磁誘導	鉄筋位置、かぶり、径
静電容量、比抵抗	含水率
反発硬度	強 度
A E	ひび割れ発生、荷重履歴推定
自然電位、分極抵抗	鉄筋腐食傾向、腐食速度
透気、透水、水分吸着	密実性

リートの受入れ検査として、実用化される価値は高い。機能的な検査手法の開発が望まれる。

なお、自己充填型ハイパフォーマンスコンクリートにおける受入れ検査では、U型充填試験による抜取り検査だけでなく、アジテーターからポンプに投入する間に鉄筋柵を通過させる全数検査でワーカビリティを確認するなどの新たな検査手法が岡村らによって提唱されており¹¹⁾、今後、性能設計に移行したときには有効な方法と考えられる。

(4) 初期点検と記録

LCCに基づく設計を行うためには、各種工法の費用と効果の明確化、正確な劣化予測、交通量や金利の予測など、越えねばならないハードルが数多く存在する。これらのハードルをクリアするためには、施工記録を整備して点検・補修履歴のデータベース化を行い、予測精度を向上させる必要がある。よって、出来上がった構造物の施工記録を蓄積・整備し、初期欠陥や損傷の確認をしておかなければならない。

すなわち、建設から管理に移行する際に、初期点検を行い、電磁誘導法、電磁波、衝撃弾性波などによる非破壊検査、CCDカメラによるデジタル画像を使った外観検査、ブルアウト法、ウォータージェットはつりなどの一部破壊検査を適切に実施し詳細な初期データを蓄積することや、その後の点検・調査・補修データの蓄積も有用である。

2.3 既設構造物

既設構造物のマネジメントは、維持管理が中心となる。維持管理の手順は、設計時の管理区分の設定、供用前の初期点検、初期状態からの劣化予測と維持管理計画の決定、点検、点検結果の評価および判定、劣化・損傷対策、これらの記録である(図-3)。

(1) 点検の現況

点検には、最初に行われる初期点検、日々行われる日常点検、定期的に行う定期点検、地震時など不定期に行われる臨時点検、これらの点検結果から必要に応じて行われる詳細点検がある(JHでは示方書でいう定期点検のうち、年に1回行う維持管理対象全体を目視点検するものを定期(全

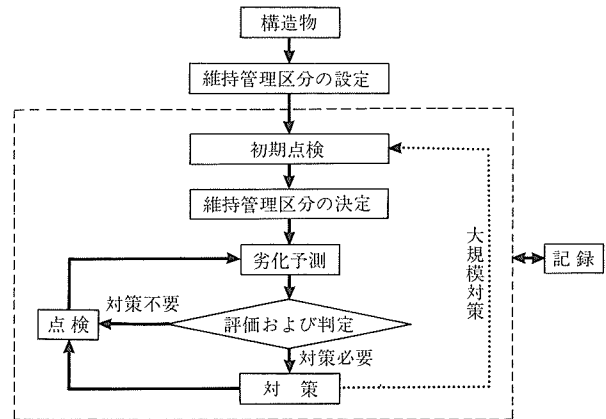


図-3 一般的な維持管理の手順¹²⁾

体)点検、特定箇所を数年に1度、近接して検査するものを(定期)詳細点検と呼んでいる)。

初期点検とは維持管理計画の基礎となるコンクリート構造物の初期状態を把握するもので、供用前の点検が基本であるが、これがなされていない構造物の場合には、保全計画を立てる最初の点検が初期点検となる。また、大規模な補修・補強直後の点検なども初期点検となる。さらに、建設時点の情報が整理されていない既設構造物では、建設記録を遡って必要なデータを掘り出して、デジタル化してDBに登録し、現状の構造物の劣化・損傷状況を調査、記録するところから、維持管理が始まる。

初期点検の結果から劣化予測を行い、以後の点検頻度や点検方法を計画することとなる。

点検手法は、目視が中心となるが、第三者被害の予防を目的としてコンクリートの剥離を検査する場合、目視だけでは十分な点検とは言えず、打音検査が必要であることも多い。しかし、近接することが容易でない場合も多く、赤外線撮影(アクティブまたはパッシブ法による)、電磁波レーダー、弾性波検査などの非破壊検査が注目されている。赤外線検査は、ひび割れや剥離、空隙によって、コンクリートの熱伝導が阻害されることを利用して、損傷部と周囲との温度差を検出するものである。離れた所から広範囲を検査できる有力な手法だが、日照の程度やコンクリート表面の汚れなどに影響を受けるなどの課題がある。

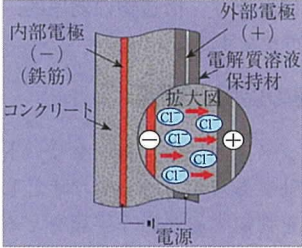
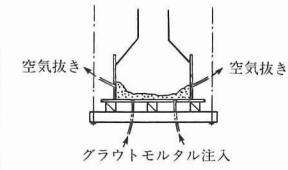
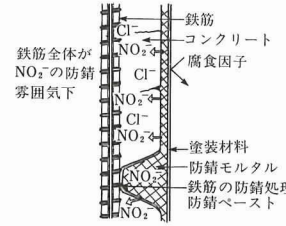
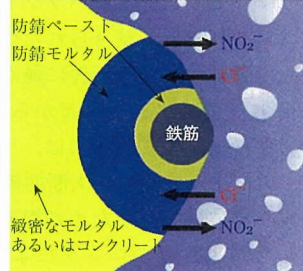
JHにおいては、現状の単純な目視だけでなく、前記の赤外線撮影や、橋梁上部工検査路の代わりにレールまたはワイヤーを張り渡して、点検ロボットに搭載したCCDビデオカメラにより遠隔でひび割れの進展状況を検査するなど、点検手法の改良、省力化が進められている¹³⁾。

(2) 評価および判定

点検の結果、変状が見られた場合には、劣化の原因を適切に推定し、劣化予測を行って必要な対策を行う必要がある。

JHでは劣化の程度を構造物の機能から要観察(B)、要補修(A)、要緊急補修(AA)の3段階に分類し、さらに第三者被害(E)の有無を判断するシステムの構築を図っている。AAとEの評価がなされる変状が見られた場合には、直ちに対策を検討し、応急処置または恒久対策を速やかに行う。

表-4 補修工法

脱塩工法	断面修復	浸透性防錆剤防食工法	塩素吸着剤工法
<p>コンクリート表面に陽極を鉄筋に陰極を配置し、5V～10Vの直流電圧でコンクリート表面に1A/m²の電流を通じコンクリート中の塩化物イオンを電気泳動によってコンクリート表面から排出する。</p> 	<p>コンクリートの劣化部分を除去し、ポリマーセメントモルタルあるいはエポキシ樹脂系の材料で置き換える。</p> 	<p>硬化コンクリートの表面に亜硝酸塩を塗布することや断面修復材に添加することにより、鉄筋周辺に亜硝酸イオンを浸透・拡散させ、腐食を抑制しようとする。</p> 	<p>硬化コンクリートの表面に吸着機能（コンクリート中の塩化物イオンを吸着すると同時に亜硝酸イオンを放出する機能）を有する材料を貼り付け、コンクリート中の鋼材の腐食環境を改善させる。</p> 
チタン亜鉛系陽極材	ポリマーセメントモルタル エポキシ樹脂 コンクリート等	亜硝酸リチウム 亜硝酸カルシウム (混和剤)	亜硝酸ハイドロカルマイト

緊急を要しない補修は個別に補修せず、集中工事などでまとめて対策を行うことで、利用者への不便や交通規制の費用を抑制できる。損傷箇所を事後的、個別に対処する事後保全は、不経済なことも多い。損傷が定期的にかかるならば、損傷頻度に応じて定期的に予防保全を行うことを考え、さらに根本的な原因を取り除くことを考える。事後保全と予防保全のバランスをとる保全方法を計画保全と呼び、損傷原因の排除（構造形式の変更などを含む。初期性能向上技術と呼ぶ）、耐久性の高い製品の使用や群管理など予防保全の導入（保全性能向上技術）、点検頻度や補修・補強の程度の最適化（管理性能適正化技術）を駆使して、保全費用の最適化を図ることが望まれる。

(3) 対策

劣化の対策としては、点検強化、補修、補強、修景、使用性回復、機能性向上、使用制限、解体・撤去などがある。対策は、劣化機構、維持管理の区分、構造物の重要度、残存供用期間、経済性や施工性などの要因を考慮して、適切な水準の対策を行う（表-4）。

補修は第三者への影響の除去および耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策であり、断面修復、ひび割れ注入、表面処理、電気防食など、劣化機構に応じた適切な補修工法を選定する。

劣化機構を無視した対策、たとえば塩害を受けた部材に対して剥離したかぶりコンクリートだけを除去して断面修復し、表面を塗装して遮塩した場合には、内部に残留した塩分によって再損傷を繰り返すことになる（図-4）。このような事例をもとにして、塗装や断面修復材料の評価を行うことは危険である。補修に使用した材料の性能に問題があって再損傷を起しているのか、根本的な補修計画に問題があるのか、十分な検討が必要である。

補強は、耐荷性や剛性などの力学的な性能の回復あるいは向上を目的とした維持管理対策と定義されている。補強工法としては、橋梁上部構造では床版打換えなどの部材交換、床版増厚などの断面増加、桁の増設など部材の追加、

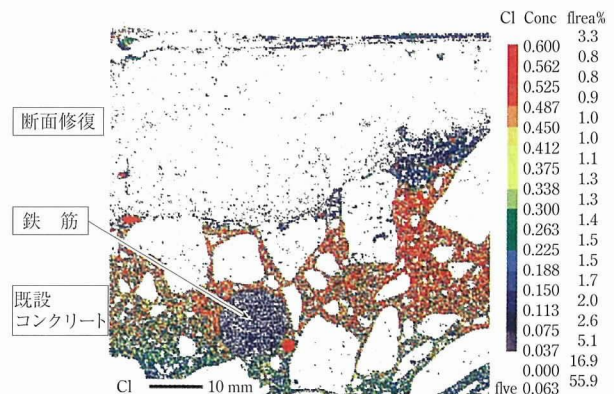


図-4 断面修復部のEPMA写真
着色部分に塩素原子が存在している。

支点増設など支持点の増加、外ケーブルによるプレストレスの導入、FRP接着などの補強材の追加などがある。

北陸道大慶寺川橋は、河口から80 mの位置にある単純ボステンT桁橋である。昭和47年に上部工事が竣工したが、昭和56年頃から沿線で塩害が顕在化し、昭和58年に部分的な断面修復とライニングを行った（一次補修）。

このときの断面修復は、浮いたかぶりコンクリートを除去し、サンドブラストの後、エポキシ樹脂パテまたはポリマーセメントモルタルを左官工法で埋めるものである。当時、大規模な断面修復にはエポキシ樹脂プレパックドコンクリートが試みられていたが、骨材の充填が十分できない部分で樹脂の硬化収縮によるひび割れの発生や、無機系塗装被膜との付着が弱いエポキシ樹脂とコンクリートの熱膨張係数の違いから境界にひび割れが発生するなどの理由から、昭和58年以降は使用しなくなった。エポキシ樹脂パテも比較的充填量が多い場合に同様の問題があり、材料価格が高いこともあって、昭和63年以降はポリマーセメントモルタルに取って代わられた。ライニングは、中塗りに厚膜型ポリブタジエン樹脂塗装を中心に5種類の工法を試行した。しかし、昭和63年には早くも再損傷により応急的な

断面修復を行い、翌平成元年から大規模な補修を行った（二次補修）。このときには、張出し床版の打換え、PC鋼材にも発錆が見られたため、一部の桁をPC外ケーブルによる補強も行い、さらに、1本の桁で電気防食の試験施工を行った（表-2）。この橋梁では、平成8年と9年にも電気防食の試験施工を行っている。この当時、大規模な断面修復には、ポリマーセメントプレバッドコンクリートや無収縮流動性コンクリートが試みられたが、充填性が悪いことや現場練りで骨材の表面水管理に難がある、投入口を最後に断面修復する必要があるなどから、現在では採用されていない。さらに、平成11年には、ウォータージェット工法（以下、WJ工法）を用いた大断面補修を行った（三次補修）¹⁴⁾。平成9年に架替えのために撤去した大川橋の桁を詳細に調査した結果、ライニングによる飛来塩分の遮断だけでなく、コンクリート内部に存在する塩分の除去をしなければ再損傷を防げないことが確認された。また、新旧コンクリートの一体化に関する研究から、ブレーカー等による手はつりでは旧コンクリート内部に微細なひび割れを発生させて付着強度が低下することが分かり、鉄筋の裏側まで一定した深さまではつるのに適した工法として、JHではWJ工法に注目している。このときの断面修復は、WJ工法による劣化部の除去の後、浸透性防錆剤入りのモルタルで断面修復を行った。これは亜硝酸イオンを高濃度で混入したモルタルであり、コンクリート表面から、濃度差によりコンクリート内部に亜硝酸イオンを浸透させることをねらったものであり、平成2年に北陸道の堂尻川橋で試験施工され、追跡調査がなされている。

堂尻川橋は海岸から120 mに位置するRC3 径間連続中空床版橋であり、大慶寺川橋と同様に損傷と補修を繰り返していたものである。亜硝酸イオンと塩素イオンのモル比が0.6倍以上であれば、鉄筋の不動態被膜が安定すると考えられることから、表面から7 cmまでのモル比が0.8以上となるように設計され、施工後7年目の調査では、表面から8 cmの所まで設計モル比0.8が確保できる程度に亜硝酸イオンが浸透していることが確認された。また、この大慶寺川橋の三次補修は車両大型化対策を同時に行ったため、炭素繊維補強と外ケーブルによる補強が全面的に行われた。

北陸道手取川橋は、PC8 径間連続ポストテンション有ヒンジ箱桁ラーメン橋で現在は海から30 m足らずにある。昭和56年から58年の一次補修の後、平成6年に二次補修工事が行われた。このとき、全面的にWJ工法によるはつりが行われ、亜硝酸リチウム入りのポリマーセメントモルタルで断面修復が行われた。このとき、8種類の塗装材が試験施工されている。この補修も、車両大型化対策を兼ねており、ヒンジを廃止して外ケーブルによりプレストレスを導入し連続化し、併せて炭素繊維による補強が行われた^{15)、16)}。

今後、コンクリート構造物の補修システムとしては、構造物の点検を実施し、その経緯の把握、損傷原因の究明、非破壊検査による健全度評価、そして劣化原因に対応した電気防食工のほか、WJ工法による損傷劣化部の選択的除去¹⁷⁾、ショットクリートまたは自己充填型コンクリートとプレキャスト永久型枠を用いた断面修復、さらに塩酸効

果、中性化対策としての塗装を行えばよいと考えている。このような点検、健全度評価、劣化部除去、断面修復、ライニングという一連の流れを間違いなく行えるシステムを構築する必要がある。

(4) 記 録

点検の結果や対策などは、初期データと合わせてDB化して容易に参照できるよう整備しておく必要がある。これらの記録は、LCCを判断する基礎となり、構造物の効率的、合理的な維持管理のために不可欠である。

3. コンクリート構造物の展望と課題

コンクリート構造物のマネジメントには、コンクリート構造物の時空間内における挙動をあらかじめシナリオとして設定し、達成可能かどうかを判定するという手順をとるのが最も分かりやすい。そのためには、コンクリート構造物の計画から管理までのデータの蓄積が不可欠かつ急務である。

JHでは、これらの要求に対応すべく、橋梁におけるブリッジマネジメントシステム（BMS）の構築を行っているところである。これは、JH内の各組織が、橋梁台帳、点検データ、補修・補強データなど、個別に保存しているデータを統合し、維持管理を支援し、新設橋梁の計画にもフィードバックする情報システムである（図-5）。

建設時の構造データや点検・補修データは、現在、ローカルデータベースとしてDB化されているが、これに劣化予測に必要なデータを加えて再構築し、劣化予測を行い、評価を支援してLCCの試算を行って、予算制約のもとでの補修補強の優先順位の提示や補修・補強工法の推奨を行うなど、最適な維持管理を計画的に遂行するためのプロフェッ

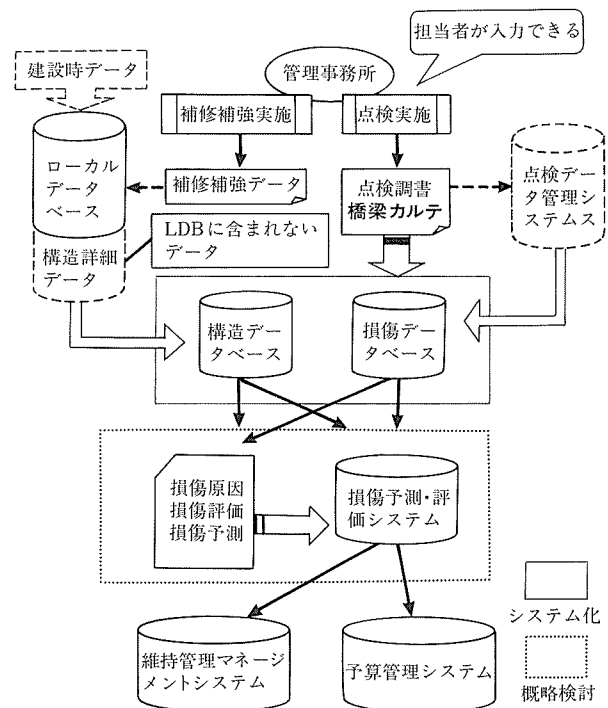


図-5 BMSの構想図

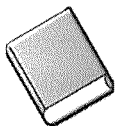
シヨナルシステムを目指している。もちろん、この完全な実装には、各種工法に関するコストや効果のデータの蓄積、劣化予測の精度向上、構造物の性能を評価できる検査方法の開発など、課題は多い。

維持管理対象となるコンクリート構造物の数量は増加を続けており、その維持管理にかかる費用は、それ以上のペースで増えてきている。さらに将来は、橋梁の架替えなどの更替的維持管理が重い負担となって、のしかかってくる。限られた資本を有効に活用するために、維持管理のコスト削減は、最も重要な課題の一つである。その解決には、BMSなどのマネジメントシステムの構築が急務となっているのである^{18), 19)}。

参考文献

- 1) 金氏：土木構造物の維持管理とライフサイクルエンジニアリング，土木学会誌，Vol.85，pp.7～9，2000.2
- 2) 東京湾横断道路(株)：東京湾横断道路コンクリート構造物の防食基準(案)，1989.3
- 3) 細田，笹田：沖縄自動車道におけるコンクリート構造物の塩害対策，コンクリート工学，Vol.23，No.12，pp.21～27，1985
- 4) 建設機械化研究所：'99欧州土木構造物補修・補強調査報告書，p.95，2000.2
- 5) 青山，平山：北陸自動車道親不知海岸高架橋の設計と施工(上)，橋梁と基礎，Vol.22，No.4，pp.2～9，1988.4
- 6) 青山，平山：北陸自動車道親不知海岸高架橋の設計と施工(下)，橋梁と基礎，Vol.22，No.5，pp.30～37，1988.5
- 7) 高速道路技術センター：九州横断自動車道湯布院～大分間コンクリート構造物の温泉腐食対策調査研究(昭和58年度)報告書，1984.3
- 8) 伊藤，一瀬，上東：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，Vol.27，No.16，pp.65～76，1986.12
- 9) 小林，白木，河合：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，硫酸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，Vol.1，Vol.2，1990.7
- 10) CAN/CSA A23.2-25A，Canadian Standard Association. Ottawa.
- 11) 岡村，前川，小澤：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993.9
- 12) 土木学会：コンクリート標準示方書 維持管理編，p.12，2001
- 13) 堀江：点検ロボットによる橋梁点検—作業効率の向上を目指して—，EXTEC，高速道路技術センター，Vol.14，No.2，pp.48～50，2000.9
- 14) 石村，山口，渡辺，穂崎：塩害を受けたPC単純Tげた橋の断面修復—北陸自動車道 大慶寺川橋—，コンクリート工学，Vol.38，No.7，pp.34～40，2000.7
- 15) 佐々木，森山：最新技術を融合した塩害橋梁の大規模補修補強，土木学会誌，pp.10～13，1995.11
- 16) 岡井，森山，登坂，小澤：塩害を受けた橋りょう上部工の全面修復，コンクリート工学，Vol.34，No.1，pp.33～42，1996.2
- 17) 紫桃，上東，野島，吉田：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，pp.40～54，2000.8
- 18) 宮川：リハビリテーションのすすめ—コンクリート構造物のシナリオ・デザイン—，コンクリート工学，Vol.36，No.7，pp.4～5，1998.7
- 19) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書，1998.10
- 20) たとえば，Stokes，Thomas，Shashiprakash：Development of a lithium-based material for decreasing asr-induced expansion in hardened concrete，Proc. of 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete，pp.1 079～1 087，2000.6

【2000年11月13日受付】



刊行物案内

- 複合橋設計施工規準(案)
- PC構造耐震設計規準(案)
- PC斜張橋・エクストラローズド橋設計施工規準(案)—抜粋—

(平成11年12月)

頒布価格：3点セット 5 000円(送料600円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会