

平成 23 年度「重点研究課題」調査研究報告書

研究課題名：社会基盤施設の設計と維持管理の連携システムの構築に関する研究

研究代表者：横田 弘（北海道大学大学院工学研究院教授）

（推薦委員会：コンクリート委員会）

1. はじめに

持続的社会的構築を実現するため、所要の性能（機能）を長期間保持できる良質な社会基盤施設の整備および維持が強く求められている。特にコンクリート構造物は、これまでメンテナンスフリーであるという誤った認識の下でその多くが整備されてきており、必要な耐久性が付与されていなかったり、場当たりの補修等を繰り返したりして、結果的に性能が十分でない構造物や、機能維持のために多大なエネルギーとコストを要している事例が多く見られる。

これに対して、長期間に亘り構造物が所要の性能を確保するためには、これまで分断されてきた設計、施工、維持管理の強固な連携を図り、これらが一体となって機能するような優れたシステムの構築が必要である。設計と施工の連携については、既に現行のコンクリート標準示方書においてその枠組みが示されつつあるが、設計と維持管理の連携あるいは施工と維持管理の連携は十分な検討がなされておらず、世界的に見ても設計基準あるいは維持管理基準として両者の連携が陽に示されたものは存在しない。

構造物の設計では、当該構造物が置かれる諸条件、構造・材料特性、点検診断および維持工事等の難易度等を勘案し、その性能確保の基本理念（「性能確保シナリオ」という）が示されなければならない。一方、仮定を積み重ねた設計の結果と実際の構造物の状態や保持している性能には乖離が生じることが通常であり、維持管理行為の中で性能確保シナリオの妥当性を検証・評価し、修正を繰り返して、最適なスキームで構造物の性能維持を図るとともに、設計へのフィードバックが行われなければならない。

本研究では、コンクリート構造物の整備プロセスにおいて、設計と維持管理の連携のあり方を検討し、実務に比較的容易に適用できるような連携システムを構築する方策について検討する。道路、鉄道等の各事業体における設計と維持管理の連携の実情を概観し、実行可能な枠組みを維持しつつ効率的な連携の方法について検討する。また、維持管理と設計の連携システムを確立するには、維持管理において構造物の保有性能を定量的に評価することが不可欠である。その手法を構築するための方法について検討する。

2. 各事業体等での設計と維持管理の連携実態分析

2.1 道路における連携

(1) はじめに

ここでは、東・中・西日本高速道路 3 会社（以下、NEXCO）が維持管理する道路構造物のうち、コンクリート構造物を中心に、設計・施工と維持管理のリンクに関する実施例について調べた。

NEXCO が維持管理する道路構造物は、1963 年の名神高速道路の開通以来 50 年近くが経過し、現在の営業路線の延長は 8,700km 余りとなっている。これらの道路構造物では、経年劣化に加えて、環境条件、荷重条件などがあいまって耐久性や耐荷性に影響が生じる構造物が増加しており、従来よりも効率的で効果的な維持管理が求められている。一方で、NEXCO には 50 年近くの道路維持管理の実績を持っており、これまでの経験を新設構造物の設計、施工に反映することで、より耐久的な道路構造物の構築に取り組んでいる。

(2) 設計

構造物の維持管理の経験を生かして設計時より耐久性や維持管理の容易さを考慮した構造細目を設けておくことは非常に有効である。NEXCO では、耐久性の向上等を目的とした構造細目を定めている。主な項目を示すと次のようであり、水の影響と点検のし易さを意識したものとなっている。

① かぶりは道路橋示方書の耐久性を考慮した厚さに施工誤差等を加える。

かぶりは耐久性を確保するうえで基本的な細目であるが、施工誤差などにより必ずしも必要な厚さが確保できていない場合がある。そこで、場所打ちコンクリートの場合、道路橋示方書の規定厚さに 10mm を加えた厚さをかぶりの設計値としている。

② コンクリート床版には、床版防水を設ける。

高速道路の場合、冬期に凍結防止剤を散布することから、コンクリート床版では塩害が発生することが多い。そこで、すべてのコンクリート床版には、耐久性に優れた高機能防水層¹⁾を設置し、床版上に滞水がない構造を設けることとしている。

③ コンクリート片の剥落を防止する必要がある個所では、剥落防止対策を実施する。

経年劣化により鉄筋の腐食膨張などが原因となってコンクリート片が落下することがあり、第三者が影響する個所では社会問題となることから、建設時より対策を実施することとしている。対策方法としては、短繊維を混入した繊維補強コンクリートを用いる方法²⁾と、連続繊維シートをコンクリート表面付近に埋め込む方法³⁾がある。

④ 橋梁の桁端部には、表面被覆を施す。

桁端部は伸縮装置からの水漏れなどにより、劣化が著しく進行する場合が多い。PC 構造物の場合には PC 鋼材の定着部の重要個所である。そこで、劣化因子の侵入を確実に防止できるよう、桁端部には表面被覆を設置している。

⑤ 橋台、橋脚の頂面は水が溜まらないよう傾斜を付けるなどする。

橋台、橋脚の頂面に適切な導水勾配がない場合、滞水などが生じ、劣化が著しく進行する。図 1 に示すような頂部に水がたまらない構造を推奨している。

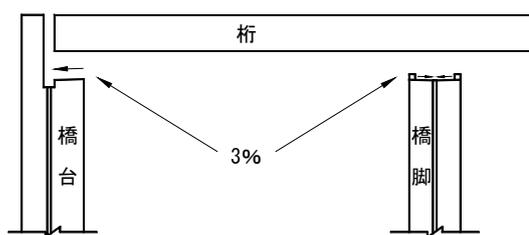


図 1 頂面の勾配の例

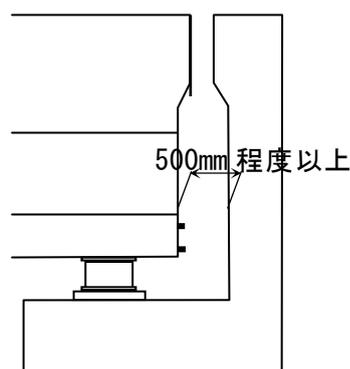


図 2 けた遊間検査通路例

⑥ 橋梁検査路は点検の導線を考慮して、すべてに設置する。

従前は、検査路がすべての構造物に設置されていない場合もあり、そこでは、点検が十分に行えないことが多く、劣化の進行に気付かず、変状を発見した時には、著しく劣化している場合がある。箱桁形式は、箱内で点検は実施できるものの、照明設備がなく、手元のライトの届く範囲の点検にとどまる場合が多い。さらに、桁高が高い場合には、近接して点検ができない。そこで、橋梁検査路は、本線、または橋梁下から進入可能な構造とし、点検の順序を考慮して、上部構造検査路、下部構造検査路、および昇降設備を相互に連結することとしている。外ケーブル構造では、PC鋼材定着部等の点検用検査路を設置している。箱桁内は、照明設備を設置することを推奨している。橋台検査路では、PC鋼材の定着部があることなどを考慮して、図2に示すような橋台部けた遊間検査通路を設けることとしている。

(3) 施工

設計から引き継いで実施する施工においても、維持管理で課題となった事項を解決するため、次のような取り組みを行っている。

① コンクリート構造物の完成後に、強度、かぶりの検査を実施する。

従来のコンクリート構造物の強度、かぶりの品質管理は、コンクリート打設前のスランプ、空気量、型枠の検査であり、完成物に対しては行っていなかった。そこで、非破壊検査機器を利用して、完成したコンクリート構造物の強度、かぶりの検査を行い⁴⁾、間接的に耐久性の評価を行うこととした。コンクリート表面の品質を検査することにより、耐久性をより直接的に評価できないか模索中である。

② ポストテンション方式のPC構造に関連するすべての材料を高耐久なものとする。

従来のグラウトシステムでは、PCグラウトのブリーディングや、排気、排出口の位置、ダクトの形状などにより、充填不足を招きやすかった。金属シースを使用していたため、完成後のダクト内の非破壊検査が非常に困難であった。そこで、PCグラウトシステムを全面的に見直すこととした。PCグラウトはブリーディングが生じないノンブリーディング型を、シースには非金属性のシースを用いることとした。実物大の実験などにより、排気、排出口の適切な位置を検討している。これに応じて、品質管理体制も大幅に改善を図っている⁵⁾。

(4) 建設から管理への引継ぎ

構造物を維持管理するうえで、建設時の工事情報を得ることは非常に重要なことである。また、構造物を管理している地域において課題となっている事項については、建設時から対応しておくこと、効率的な維持管理が実施しやすい。NEXCOにおいても、従前は、建設と管理が縦割りの組織体系に起因して、構造物の引継ぎに際していろいろとトラブルが生じていた。そのため、改善案が提案され、実行されている。

① 建管（建設と管理の）立会い

供用に向けて構造物の完成してしまう以前の建設工事終盤期に、建設と維持管理の双方の担当者が新たに管理することとなる道路構造物を同じ視線で確認することで、供用開始後よりスムーズな維持管理ができるよう目指している。建設の立場では、構造物の設計のコンセプトや、維持管理に配慮していることなどを直接伝えることが可能となる。管理の立場では、すでに供用している構造物の維持管理で課題となっている事項などが、建設時より対応できているかを確認することができ、場合によっては、引継ぎ前に修正などの対処も要求することが可能となる。特に会社として決められた規則、方法はないが、現在ではよい慣例としてほとんどの組織で実行されて

いる。

② 初期点検の導入

建設から管理への構造物の引き渡し時には、初期の構造物の状態を示した記録を示すものはなかった。このため、維持管理段階の点検で確認した変状を判定する際に、初期欠陥の原因も含めた判定をする必要があり、大きな負担となっていた。そこで、構造物の完成時（管理に引き渡す以前）に、建設側で最初の構造物の状態を把握する初期点検を導入することとした。構造物に発生する変状の要因を一つ排除できることから、維持管理における構造物の健全性を判定するうえで、効率的になったと考えられる。参考までに点検の流れを図3に示す。

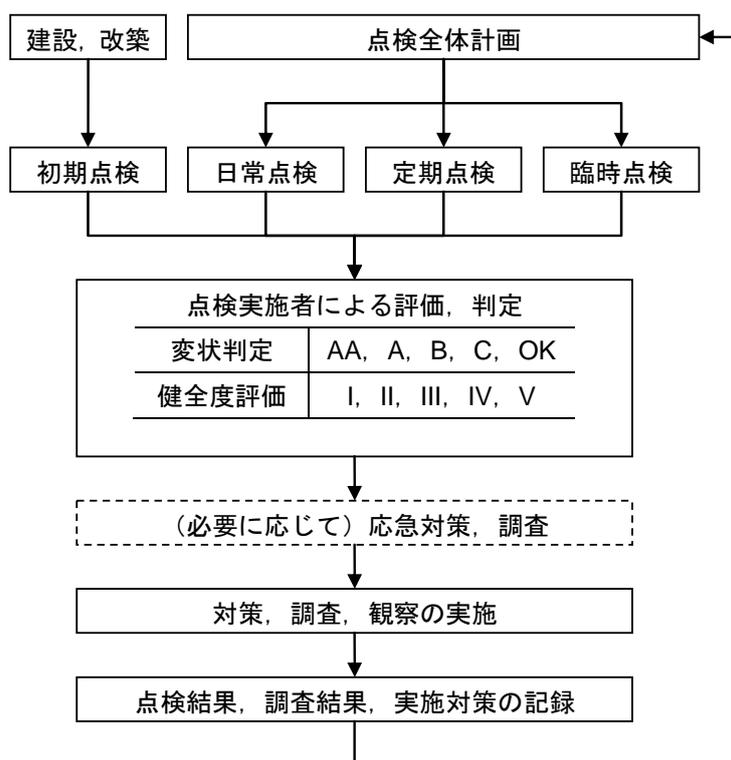


図3 点検の流れ（概要）

以上、NEXCOでの取り組みを例に、設計・施工と維持管理のリンクに関する実施例を述べた。このように、重要構造物を管理する技術力の備わった組織では、設計・施工と維持管理のリンクの意義を理解し、合理的かつ効率的な取り組みが進められつつあるが、市町村をはじめとする自治体では、財政力と技術力に乏しく、また構造物の重要度も高速道路に比して高くはないため、こうした取り組みがほとんど進められていないのが実状である。しかしながら設計・施工と維持管理のリンクを意識し、各行為を行うことは、結果的に耐久性に優れた構造物をLCC最小で実現することにつながるため、今後自治体で管理する構造物においても、NEXCOでの実施例を参考に、できることから積極的に導入する必要があると思われる。

2.2 鉄道における関係

鉄道では、経年50～100年以上の古い構造物を多く有するという特徴があり、これらの構造物では設計や施工の情報がわからないものもあるので、維持管理の現場では設計との詳細なリンクはと

れないことが多いというのが実情である。これらの構造物では、調査による現場状況の把握を主体とした上で、その構造物が建設された時代における設計や施工の一般的特徴を踏まえることにより、間接的なリンクを図りつつ維持管理を行うこととなる。したがって、設計と維持管理とをリンクさせるにあたっては、今後建設される構造物と、既に建設され設計や施工の十分な情報が残されている構造物、既に建設されこれらの情報がほとんどない構造物とに分けて考える必要がある。

鉄道構造物の設計は、鉄道構造物等設計標準やコンクリート標準示方書設計編、各種の指針や手引き類などをもとに実施されている。維持管理は国の告示に基づき、2年に1回全般検査が行われている。この全般検査で健全度判定A（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）になると、個別検査（または緊急に措置）を行い、必要があれば措置を講じる。全般検査は主に目視にて行われるので、変状発生後に対処する体系が基本になっているが、変状箇所周辺を調査して対策範囲を広げたり、類似の構造物に対して優先的に対策をしたりしているため、その点では変状発生前の予防的な維持管理も行っていることになる。RC構造物では、変状の発生から力学的性能の低下に至るまでの時間が一般に長いので、その特性を活用した管理方法でもある。この時間差を活用できない地震や降雨災害、コンクリート片のはく落などに対しては、変状が発生していなくても耐震補強などの各種補修補強やはく落対策などが必要により実施され、予防的な維持管理が進められている。

構造物の建設と維持管理は、それぞれを同一機関で実施する場合（例えば、同じ社内の建設工事部などが建設を担当し、設備部・施設部・工務部などが維持管理を担当するようなケース）と、異なる機関で実施する場合（例えば、鉄道・運輸機構が建設し、鉄道事業者が維持管理をするようなケース）とがある。前者では、ほとんどの場合、建設部隊と管理部隊とが別系統になっており、両者の交流が比較的少ない例もしばしばみられるので、設計と維持管理とをリンクさせるには、このような組織上の課題を解決していくことが求められる。なお、旧国鉄や一部のJR会社などでは、両者を技術的に繋げる組織を立ち上げて対処している例もみられる。後者では、構造物の設計思想や維持管理に対する認識を共有し、十分な引き継ぎがなされれば良いが、そうでない場合には設計と維持管理とのリンクが図れなくなる恐れがある。

近年、各鉄道会社ともそれぞれの分野での技術継承を重視している。若返りが急速に進んでいる会社も多く、土木分野に限らず経営の重要課題になっている。昔に比べて外注が多くなり現場経験を積みにくくなっていることもあるので、現場サイドでは、設計と維持管理とのリンクを重視するよりも前の段階として、設計、維持管理それぞれの専門家を育てることが重要になっている。

維持管理において設計時の情報が欲しいケースとして、各種の設計値などの数字を知りたい時と、設計思想を知りたい時とがあり、数字については設計図面や設計計算書などから得ることになる。一方、設計思想については論文、報告、工事誌等に記載されていたり、これらを後世に伝承できる組織形態になっていたりすれば良いが、これらが無いと設計思想が維持管理側に伝わらない。数字は残されていることも多いが、思想の伝え方にはまだ曖昧さが残っており、今後の課題であろう。

近年では、中性化深さや塩化物イオン浸透深さを測定して将来予測を行うといった取り組みも増えている。ただ、かぶりや中性化深さのばらつきが大きいことも多く、必ずしも簡単にはいかない。維持管理の予算が必要であることの説明に役立つ情報と、ある構造物をいつどの方法で補修するかを選定に役立つ情報との整理についても進みつつあるが、まだ確立されているとはいえない。従来は、劣化予測をしてもそれが対策には良くも悪くも直結していなかったが、最近では直結する方向に向かっているので、実態に合わない劣化予測をすると補修を誤って構造物に実害が及ぶこととな

り、これを早く良い形にすることが求められる。

設計時の耐久性照査と維持管理に関して、中性化を例にあげると、中性化が鋼材位置に達しても鋼材がほとんど腐食していない例は多い。鋼材腐食が問題になる箇所のは多くは、かぶり不足でかつ水（特に上部工からの漏水）がかかる箇所である。このため、水切り設置によって対象箇所を乾燥させるのが有効な対策になることもある。中性化残り以外の第二の軸が必要になってきており、鉄道構造物を見ると、維持管理では水の影響を陽な形で取り込むことが実態に合っていると考えられる。

その一方で、設計では水のかかり方の有無などで照査を細かく分けないのが良いであろう。設計に水の影響を詳細に取り込むと、乾燥すべき箇所に水がかかっただけで設計時の想定外になり、維持管理に多大な負担をかける。コンクリート構造物は屋外で100年以上使うことも多いので、水のかかり方に翻弄されないのがあるべき姿といえる。設計と維持管理とで一見矛盾するが、それぞれの思想を整理すればこれもリンクしたことになる。なお、中性化を照査に取り入れた大きな意義として、全てのコンクリート構造物に耐久性の概念を与えたことがあると考えられるので、各論でのリンクよりも視野を広げたリンクが良いといえる。

設計時の設定（例えば中性化残り10mm以上）を満たすように維持管理することは勿論重要だが、これを満たさなくなった時にどう対処するかは維持管理に携わる技術者の頭の使いどころである。ただちに補修することは必ずしも必要ではなく、設計時の設定とリンクしすぎると維持管理段階でのミスリードに繋がるので、要求性能に立ち戻ってリンクさせることが必要である。

鉄道構造物は、全体的にみれば多くのコンクリート構造物が健全で、劣化するのはいく一部である。したがって、一部の劣化する部材や部位を見極める感性やシステムが大事になる。これらをどのように進めていくかは、設計や維持管理の技術体系や組織の在り方を含めて今後の課題となろう。

このように、設計と維持管理とは可能な限りリンクしていくことが好ましいが、既設構造物ではリンクができないという現実がしばしばあるほか、単純なリンクが必ずしも良い結果になるとは限らない。設計と維持管理それぞれの思想（哲学）をはじめにリンクさせ、その上で必要な諸数値のリンクを必要に応じて図ることが求められる。

2.3 港湾施設における連係

(1) 設計とのリンクの観点からの港湾施設の維持管理上の特徴

港湾には、多くの土木構造物が建設され、それぞれが所要の機能を発揮しているが、これらが置かれる環境は極めて苛酷である。海水の作用により、鋼構造物の鋼材腐食や鉄筋コンクリート構造物の塩害が不可避であるだけでなく、作用する荷重レベルも大きく、かつ、ばらつきも大きい。防波堤ケーソンの穴あき事例のように、偶発荷重による構造物の損傷が発生しやすい。このような苛酷な環境下にある港湾施設の安全性を確保し、その機能を如何なく発揮させるためには、適切な維持管理が重要であることは言うまでもないが、施設の計画・設計時点から劣化や損傷といった変状の発生・進行による構造物の性能低下を直接的に考慮しておくことが望ましく、施工時においても配慮が必要である。

港湾施設の維持管理を行おうとした場合、施設を構成する構造物のほとんどが海中や土中に没しており、点検や補修が容易に行える環境にないことが特徴の1つである。土木構造物の維持管理の第一歩である目視調査をとってみても、港湾施設の場合、目視可能な部分は施設のごく一部分に過ぎない。また、沖合にある第一線防波堤のような施設では、船舶を利用しなければアクセスできな

いだけでなく、波浪や潮汐などの海象条件の制約から点検診断を実施できないこともある。したがって、施設の計画・設計時点から供用後の維持管理について省力化や合理化のための配慮を施しておくことが望ましい。

維持管理の制度上にも大きな特徴がある。港湾施設を国の直轄事業で整備したとしても、港湾法の規定により、一部の例外はあるものの、一般的にはその国有港湾施設の管理は港湾管理者に委託されなければならない。このような制度上の特殊性から、維持管理の責任の所在が曖昧となり、これまで維持管理が十分に実施されずに劣化が顕在化した事例もあると推察される。

以上のように、港湾施設の維持管理上の特徴から、施設の設計と維持管理を直接的にリンクさせることで、供用後の維持管理が確実に行われるようになるだけでなく、維持管理の作業の省力化・合理化が図られることが期待される。これにより、結果的にライフサイクルコストの低減や安全・安心の確保を実現できるものと考えられる。

(2) 設計時の維持管理への配慮

2007年に施行された「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」において、施設の設計と維持管理のリンクについて、「技術基準対象施設の設計に当たっては、施工及び維持を適切に行えるよう、必要な措置を講ずるものとする。」と規定されている。また、同年に発行された「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」においても、「効率的な維持管理を行うためには、構造物の設計・施工時において点検・調査方法、補修方法等をあらかじめ想定し、維持管理が容易に行えるように配慮することが望ましい。」と規定されている。これを具現化するための基本的な考え方として、維持管理レベルが導入されている。維持管理レベルは、レベルⅠ、レベルⅡおよびレベルⅢの3段階があり、表1のように定義されている。維持管理レベルの設定にあたっては、当該施設の設置目的、供用期間及び要求性能を踏まえて、自然環境条件や利用条件といった当該施設を取り巻く諸条件、施設の構造形式やこれを構成する部材の構造特性等、使用材料の種類や品質等から、当該施設の有する性能の経時変化を予測して設定する。つまり、維持管理レベルは本来、施設全体に対して設定されるものであるが、施設全体の性能の経時変化を予測することが難しい場合やすべての部材や附帯設備等に対して同一の維持管理レベルを設定することが合理的でない場合がほとんどである。したがって、当該施設を構成する部材の保有性能の経時変化に関する検討を実施し、この結果に加えて、点検診断及び維持工事等の難易度、当該施設の重要度等についても勘案しながら、当該施設全体としての維持管理のシナリオを描きつつ、施設を構成する部材ごとに適切な維持管理レベルを設定する。

この維持管理レベルを適切に設定し、それに応じた設計が適切に行われることにより、設計と維持管理の両方で、設計供用期間中にわたって要求性能を満足させることができる。また、設計が適切に行われることに加えて、港湾施設の維持管理を効率的に行うためには、施設の設計時において点検・調査方法や補修方法をあらかじめ想定し、これらの作業が容易に行えるよう配慮しておくことが望ましい。港湾施設は部材の大部分が海水中あるいは飛沫帯に位置している。このため、供用期間中の点検診断が確実に実施できるよう、また、維持管理が容易に行えるよう、設計段階からあらかじめ構造形式や構造細目を工夫しておくことが有効である。施設の建設時にセンサを埋設しておけば、供用後の維持管理において船上からの目視や足場の設置といったコストや労力のかかる作業を省略することができる。他にも、栈橋上部工コンクリートを対象とした工夫として、点検孔や点検足場などの設置が挙げられる。

表 1 港湾における維持管理レベル

分 類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベル I (事前対策型)	高い水準の損傷劣化対策をあらかじめ行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベル II (予防保全型)	損傷劣化が軽微な段階で、比較的小規模な対策を繰り返し行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベル III (事後保全型)	要求性能が満たされる範囲内である程度の損傷劣化を許容し、設計供用期間に 1~2 回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

(3) 港湾施設の維持管理計画

施設の設計時に設定した維持管理レベルやそれに応じた設計の基本的な考え方に応じて、供用後の点検診断や維持補修といった維持管理の計画を適切に定める必要がある。したがって、維持管理計画は、施設の設計と維持管理を結ぶ重要な資料である。

このような背景から、2007年に改訂された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において、基本的にすべての港湾施設で維持管理計画の策定が求められることとなった。維持管理計画は、当該施設の設置者が定めることが標準となっている。これは、将来の維持管理に配慮しつつ施設が保有すべき当初の性能レベルを設定し、それに応じた維持管理を実現するには、設置者が主体的な役割を果たすべきであるという考えに基づいたものである。施設の設計段階で、施設にどのような性能を付与するかは、将来それをどのように保持していくかということに大いに関係する。したがって、設計段階には設計のみを、維持管理段階には維持管理のみをそれぞれ独立に考えることは得策ではない。つまり、非常に耐久性の高い材料を用いた施設では、そのことを考慮した維持管理の方法が求められ、初期建設費の低減を目的として耐久性が必ずしも高くない施設を建設した場合には、維持管理に要する費用の増加や様々なリスクを考慮した維持管理計画が必要である。これらは、施設の設計と維持管理のリンクを強く意識した結果である。

さらに、前述のように、国有港湾施設の場合、施設の設置者と管理者が異なることが一般的である。施設の管理者は、そもそもその施設がどのような考え方で設計され、どのように施工されたのかを知っておかなければ、要求性能に着目した維持管理はできないと考えられる。したがって、施設の管理委託が行われる際には、当初設計で施設に付与された性能レベルとそれを保持するために必要な維持管理計画が施設の管理者に引き継がれることになる。

この考え方を広く浸透・普及させるために、「港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き」が刊行されている。港湾施設の維持管理計画は、ライフサイクルマネジメント（LCM）の概念に基づいて策定される。すなわち、定期的な点検診断により変状を効率的かつ早期に発見し、変状が構造物の保有性能に及ぼす影響を定量的に評価し、さらに将来の性能低下を予測した上で、適時適切な対策を計画・実施していく。このような考え方に基づいて作成される維持管理計画書の基本的な構成は、LCMに基づく維持管理の概念を取り込んだものとなっている。

2.4 土木学会コンクリート標準示方書における関係

(1) まえがき

示方書においては、近年、示方書各編の記載事項が多くなり、その内容もより専門的になってきた。したがって、示方書の利用形態についても、「示方書を使用する最近の技術者は、必要とする当該分野の編しか見ていない傾向がある」と、指摘されている。このような状況に鑑み、2012年制定コンクリート標準示方書の改訂作業では、示方書全体の枠組みを示して示方書各編の内容が見通せる新たな編の必要性が議論され、このような位置付けの編として、「コンクリート標準示方書〔共通編（仮題）〕」（以下、〔共通編〕と略す）の作成が進められている。そして、その〔共通編〕として現在検討中の素案では、以下の3つの項目を章として取り上げ、それぞれについて示方書における考え方を示すことが検討されている。

- ① コンクリート標準示方書の役割と体系
- ② コンクリート構造物の性能確保の仕組み
- ③ コンクリート構造物の構築における環境影響とその配慮

本項では、このうち②に関連するものを中心として、コンクリート構造物の性能を長期にわたって確保していくために必要となる構造物の「設計」と「維持管理」の連携に関して〔共通編〕素案で検討中の内容を抜粋し、紹介する。

(2) コンクリート構造物の性能確保のための基本的な仕組みとその流れ

〔共通編〕素案の中では、コンクリート構造物の性能を確保するための仕組みについて、各作業段階での役割の基本として、以下のような条文案を示すことが考えられている。

性能確保の仕組みと流れ

- (1) 性能確保のために諸条件を総合的に考慮した構造計画を行い、構造計画で採用した構造形式、設計方法、施工方法、維持管理方法を取りまとめ、以降の各段階への情報伝達を行わなくてはならない。
- (2) 設計段階では、計画から受け渡された情報に基づいて適切な設計作業を行うとともに、独立した他の組織による照査が行われなければならない。
- (3) 施工段階では、計画および設計から受け渡された情報に基づいて適切な施工計画を立案するとともに、確実な施工を実施し適切な品質管理および検査が行われなければならない。
- (4) 維持管理段階では、計画、設計、および施工から受け渡された情報に基づいて、維持管理計画を策定し、維持管理計画に則った点検、診断、評価を行うとともに、必要に応じた補修、補強を適切に行わなければならない。

このうち、維持管理段階への情報伝達については、図4に示すように、設計計画書、設計図書、施工記録および竣工図書が情報として伝達されることになる。これらに基づきコンクリート専門技術者の下で、詳細な維持管理計画が策定される。

また、図5に示すように、構造物が、計画、設計、施工を経て建設され、さらに維持管理段階にいたり、これら全ての段階で得られた様々な情報を客観的、科学的な見地から検証を行うことで、そこから得られた知見を新規に建設される別の構造物にフィードバックすることは、信頼性の高い構造物を実現するうえで非常に重要となる。

このような計画から、設計、施工、維持管理に至る情報の受け渡しの重要性については、〔共通

編] 素案の中で、適切に記述することになっている。

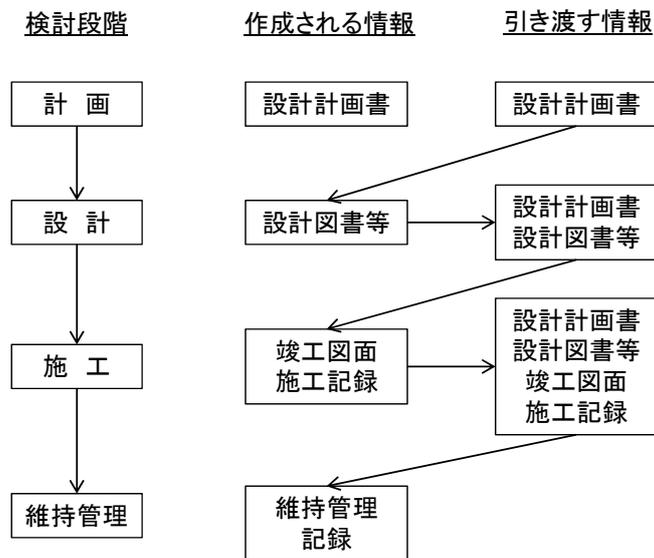


図 4 各段階での情報の受け渡し

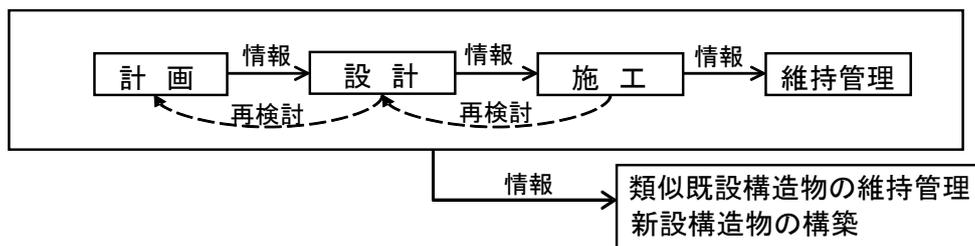


図 5 構造物の計画，設計，施工，維持管理の各段階間での情報の流れ

(3) 性能確保のための関係

各作業段階における情報の伝達が確実かつ適切に行われたとしても、それだけでコンクリート構造物の性能を確保できるわけではなく、実際には作業の状況に応じて様々な問題が生じ、高度な技術的判断が必要となる場合がある。このように、作業の難易度に応じてそれぞれに必要な技術的能力を有するコンクリート専門技術者を配置し、様々な問題に適切な技術的判断を行って対策を講じる必要がある。技術書としての示方書、情報伝達、およびコンクリート専門技術者の3つがそろって、コンクリート構造物の性能を確保することができる。なお、技術的判断をおこなうコンクリート専門技術者には、業務の遂行にあたって、責任および権限と、それにふさわしい対価を与えることも必要となる。

また、上流の段階から受け取った情報が、実際の構造物が置かれる環境などを考えると合理的でない場合も考えられる。この場合は、上流段階に関与した技術者を交えた協議を行い、合理的に問題を解決する必要もある。すなわち、実際の構造物が設計から供用を終えるまでには、各段階の技術者が連携し、上流の段階の再検討を含めた対応が必要となる。従って、要求性能を満足する構造物を効果的に供用するには、各段階で作業を行う技術者が、自分の立場のみにとらわれることなく、各段階の状況を理解したうえで、最善の技術的解決策を見出すように努力するとともに、発注者は

各段階の技術者が協議できる体制を整えるよう努力することが必要となる。

〔共通編〕素案の中では、この性能確保のための技術者の関係について、以下のような条文案を設け、その重要性を明確にすることを考えている。

性能確保のための関係

設計、施工、維持管理の各段階において適切な技術的判断を行うと同時に、必要に応じて他の段階を担当する専門技術者と協議を行い、コンクリート構造物の性能確保に努めなければならない。

(4) 既設構造物の性能確保に対する考え方

コンクリート構造物は、供用期間中、その機能を発揮するために、設計時に要求された性能を保有し続けることが重要となる。ただし、実際の供用期間中には、長期にわたる荷重および環境による様々な作用を受けるため、構造物を構成する材料の劣化が進む場合がある。このような状況下においては、適宜、対策の要否を判定するための診断や評価を行い、必要に応じて補修・補強などの対策を行わなければならない。

一方、新たな知見の獲得や技術の進歩、あるいは想定する作用の変化等によって性能照査の方法や基準が変わった場合には、新たな方法で既設構造物の性能を再度把握し、構造物の重要度、緊急性、経済性などに応じて適切な対策をとる必要もある。

〔共通編〕素案では、このような既存構造物の維持管理段階に性能確保を適切に行うための基本的な考え方についても、設計段階と関連付けた以下の条文案を設けて示すことを検討している。

既設構造物の性能確保に対する考え方

(1) 既設構造物は、供用中のあらゆる段階において、要求される全ての性能を有しなければならない。

(2) 材料劣化が無視できる既設構造物の性能を把握する場合は、[設計編]に基づき性能検討を行い、現時点での性能を照査することを原則とする。材料劣化がある場合には、劣化による性能低下を考慮した適切な方法により、構造物の性能を照査しなければならない。

(3) 性能照査の方法や基準が変わった場合には、既設構造物の重要度、緊急性、経済性などを考慮し、既設構造物が有する性能を把握し、対策の要否を判定するための診断・評価を行うことを原則とする。

(4) 既設構造物における補修・補強などの検討は、診断・評価の結果に基づき、構造物の重要度、緊急性、経済性などを考慮し、適切に対策を検討する。

(5) 変更された性能照査方法や照査基準で示される要求性能を満足するように性能を向上させる場合の対策は、維持管理編に基づき実施するものとする。

(5) 設計耐用期間の考え方について

「共通編」素案では、設計耐用期間の考え方についても言及し、下記の条文案に示すように、設計耐用期間の設定にあたっては、維持管理計画を事前に策定しておくことが必要である旨、示すことにしている。

設計耐用期間

コンクリート構造物の設計にあたっては、構造物の重要度、要求性能、予定供用期間、環境条件、維持管理の容易さ、経済性などを考慮し、維持管理計画を策定したうえで、構造物あるいは部位・部材の設計耐用期間を定めなければならない。

コンクリート構造物の設計耐用期間は、一般的には図 6 に示すように、構造物あるいは部位・部材の設計耐用期間は、予定供用期間より長く設定することが重要となる。特に、重要度が高く、維持管理が困難な構造物や部位・部材では、設計段階では初期の性能を上げるような設計を行い、維持管理段階では、供用期間中に補修・補強対策を行わない予防保全を前提とした維持管理計画を設定することが望ましい。これは、供用中に繰り返し補修・補強を実施するよりも、初期性能を上げることでライフサイクルコスト(LCC)が減少することが多いためである。

ただし、港湾の栈橋などのように過酷な環境条件下に設置される構造物の場合には、図 7 に示すように、設計耐用期間を予定供用期間よりも短く設定し、予定供用期間中に更新や補修・補強を行うことを前提とした維持管理計画を設定することが合理的となる場合もある。したがって、〔共通編〕素案ではこのような設計耐用期間の考え方についても併記することを考えている。

さらに、設計段階で維持管理計画を設定する場合には、施工段階における材料や施工の良否、あるいは供用中の維持管理段階における劣化外力の予測値と実測値の相違等により、維持管理段階において計画の見直しが必要となってくる場合がある。その場合には、施工検査結果等をもとに、構造物あるいは部位・部材の耐用期間も見直す必要が生じる。このような維持管理計画の見直しに伴う耐用期間の見直しと、予定供用期間を確保するための補修あるいは補強計画の設定に関しても、図 8 のような一例を示し、説明することになっている。

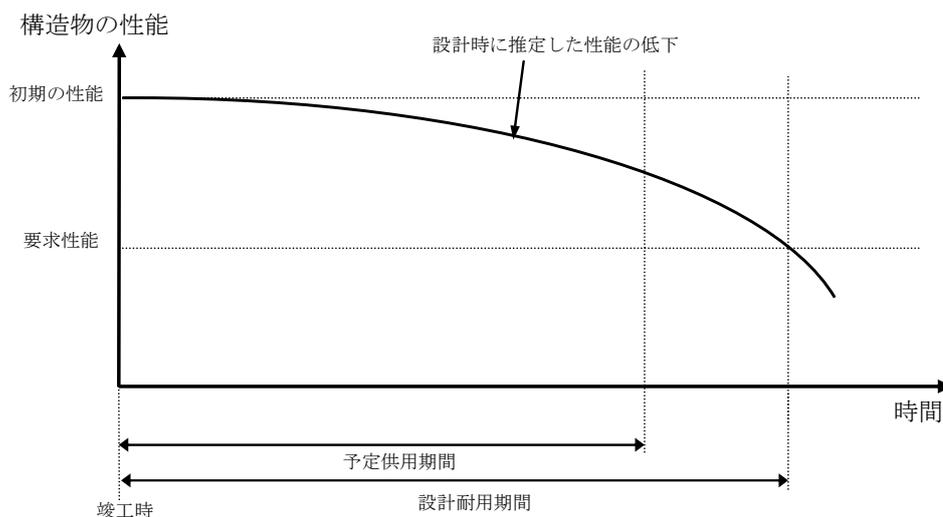


図 6 予防維持管理を前提とした設計耐用期間設定のイメージ

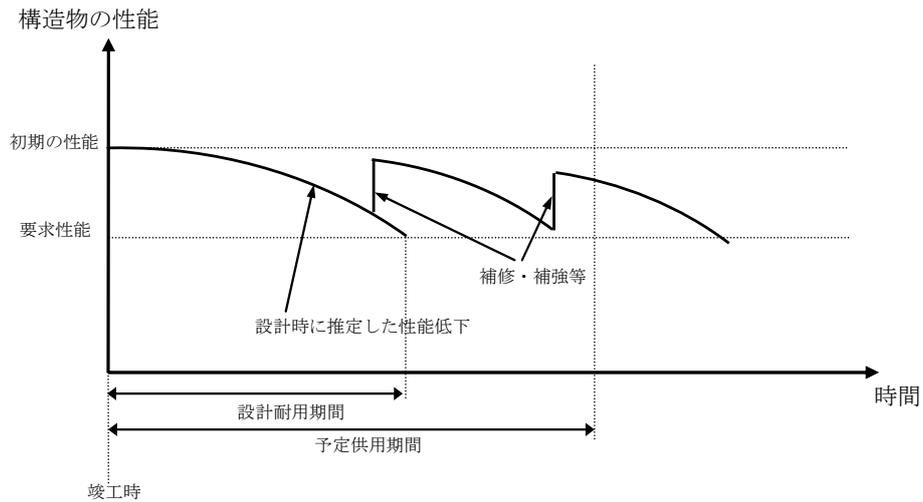


図 7 更新を前提とした構造物の設計耐用期間設定のイメージ

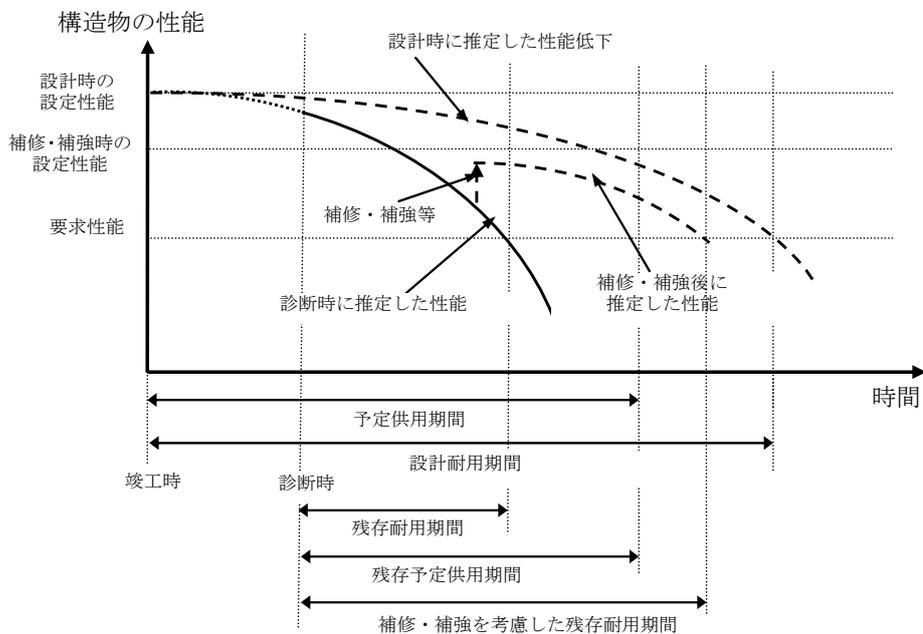


図 8 維持管理段階における耐用期間の設定のイメージ図

2.5 海外における連係

ここでは、設計と維持管理のリンクに関して、工事契約に示される内容から、海外における現状を考察する。

世界各国の国内工事においては、それぞれの政府機関や私企業独自の契約書式があるが、それらの調査は容易では無いことから、まずは FIDIC において示される契約条件について考察する。FIDIC とは、国際コンサルティング・エンジニア連盟 (International Federation of Consulting Engineers) が発行している国際工事のための契約条件書であり、国際建設市場では非常に多くのプロジェクトに使用されている。プロジェクトの形態によって FIDIC の種類は様々であるが、その FIDIC の契約書群の中から土木工事で比較的良好に用いられる Red Book, Yellow Book, Silver Book について、維持管理に関わる部分を抜き出したものを表 2 に示す。

表 2 FIDIC における維持管理に関わる表記

FIDIC 約款種別	Title	Design	項目	記述内容
Red Book	Conditions of Contract for Construction for building and engineering works designed by the Employer	Employer	記述なし	記述なし
Yellow Book	Conditions of Contract for Plant and Design-Build for Electrical and Mechanical plant, and for building and engineering works, designed by the Contractor	Contractor	5.Design 5.7 Operation and Maintenance Manuals	Prior to commencement of the Tests on Completion, the Contractor shall supply to the Engineer provisional operation and maintenance manuals in sufficient detail for the Employer to operate, maintain, dismantle, reassemble, adjust and repair the Plant. The Works shall not be considered to be completed for the purposes of taking-over under Sub-Clause 10.1 [Taking Over of the Works and Sections] until the Engineer has received final operation and maintenance manuals in such detail, and any other manuals specified in the Employer's Requirements for these purposes.
Silver Book	Conditions of Contract for EPC/Turnkey Project	Contractor	5.Design 5.7 Operation and Maintenance Manuals	Prior to commencement of the Tests on Completion, the Contractor shall supply to the Employer provisional operation and maintenance manuals in sufficient detail for the Employer to operate, maintain, dismantle, reassemble, adjust and repair the Plant. The Works shall not be considered to be completed for the purposes of taking-over under Sub-Clause 10.1 [Taking Over of the Works and Sections] until the Employer has received final operation and maintenance manuals in such detail, and any other manuals specified in the Employer's Requirements for these purposes.

Red Book は設計を含まない契約であり、設計は発注者によるものであることから、維持管理に関する記述はない。Yellow Book や Silver Book は請負者による設計であり、維持管理マニュアルの提出が求められている。しかし、プラントを対象としているものであり、主に機器や設備等の維持管理であり、コンクリート構造物は含まれないという解釈もある。また、FIDIC は、基本的には一般条件書(General Conditions)であり、プロジェクト毎に発注者の意向を踏まえたユニークな条件が示された特別条件書(Particular Conditions)が付属されるのが普通であるため、プロジェクト毎にどのような維持管理の要求事項になっているのかは、個別に調査する必要がある。

そこで、日本の建設業者が実施した海外案件における契約内容や実際の対応について、いくつかのケースを調査した。契約内容等の詳細をここに記述することはできないため、以下に調査結果から伺える現状を示す。

- Red Book の様に設計を含まない契約については、維持管理に関する要求事項はない。
- 機械や設備を含む設計施工の契約の場合、維持管理マニュアルの提出は求められているが、機械や設備に関する維持管理と解釈される場合が多く、土木構造物に関してはほとんど提出していない。
- 橋梁に関しては、沓に対する維持管理マニュアルの提出が求められている場合がある。
- 最近のプロジェクトでは、橋梁や地下駅の構造に対する維持管理マニュアルの提出を求めているものもある。

今回の調査では、明確な結論を得ることはできないが、土木構造物の維持管理マニュアルの提出を求めるプロジェクトも実際に出現していることから、維持管理に関する意識の高い国や発注者からは、今後益々求められてくる可能性が高いと思われる。

3. 設計と維持管理の係に關する具体項目とその方策

3.1 維持管理時の性能照査（新設設計との整合性の観点から）

(1) はじめに

現状の構造物の維持管理は、設計、施工とは、独立した行為として執行されている場合が多い。これは、作業の効率化や、これまで新たに構造物を構築することを主体とした執行体制が基本であったことが影響していると考えられる。維持管理段階では、執行体制が独立していることが起因して、新設構造物の設計とは異なる視点での判断指標など生まれており、構造性能評価の視点が希薄に感じられる現状がある。

元来、構造物の維持管理は、構造性能を持続的に維持することであることから、これらの状況を改善して、効率的な維持管理システムを構築する必要があると考えることもできる。

そのためには、執行体制は独立したものであっても、新設設計から維持管理まで、同一の考え方や価値基準によって構造性能の持続性が維持される重要であり、そのための基本理念を共有する必要があると考えられる。そのような観点から、以下にひとつの考えを示す。

(2) 維持管理における性能照査

維持管理における性能照査の概念を明確にする、そのために、構造物の実際の作用や境界条件を考慮して、構造性能を照査することを原則とする。また、維持管理時の性能照査は、新設構造物と同様に、限界状態および設計限界値を設定して行うものとする。具体的には、表 3 に示す設計時に想定した照査指標を用いて照査することを原則とする。ただし、必要に応じて、設計時の想定した照査指標と関連する指標で照査してもよいこととする。

(3) 性能照査の基本

照査は、設計供用期間中の社会的環境などの変化を考慮して、照査時点における照査に用いる全ての要因を設定し、構造物の力学特性に影響を及ぼす全ての要因を考慮して行うこととする。

そのために、照査は、設計供用期間中のすべての作用による性能の変化を考慮して、検討時点において限界状態に至らないことを式 (1) で照査しなければならないこととする。

$$\gamma_{it} S_d / {}_t R_d \leq 1.0 \quad (1)$$

$${}_t S_d = \gamma_{at} S(F_d) \quad (2)$$

$${}_t R_d = {}_t R(f_d) / \gamma_b \quad (3)$$

ここに、

${}_t S_d$: 式 (2) による構造物または部材の応答値

${}_t R_d$: 式 (3) による構造物または部材の性能限界値

${}_t S(F_d)$: 時間 t における設計荷重 F_d に対する構造物または部材の応答値

${}_t R(f_d)$: 時間 t における設計材料強度 f_d に対する構造物または部材の性能限界値

γ_i : 構造物係数

γ_a : 構造物解析係数

γ_b : 部材係数

これは、維持管理時の構造性能の照査は、新設の設計段階から同一の時間軸上にあることを明確にすることを意図したものである。

表 3 構造性能の照査指標と調査項目

要求性能	性能項目	限界状態	照査指標	調査項目
安全性	構造物または部材の破壊・崩壊	断面破壊	断面力	(材料特性, 損傷状態)
		疲労破壊	応力度・断面力	応力度 (たわみ, ひび割れ)
		構造物の安定 の限界	変形・基礎構造による変形	変位
	機能上の安全性	走行性の限界	加速度・振動・変形	加速度・振動・変形
第三者影響度 の限界		コンクリートの剥落 (中性化深さ, 塩化物イオン)	たたき点検 (ひびわれ状況)	
使用性	快適性	走行性・歩行性 の限界	加速度・振動・変形	加速度・振動・変形
		外観の阻害	ひび割れ幅, 応力度	ひび割れ幅, ひびわれ状況
		騒音・振動数 の限界	騒音・振動レベル	騒音・振動レベル
	機能性	水密性の限界	構造体の透水量 ひび割れ幅	構造体の透水量 ひび割れ幅
		気密性の限界	構造体の透気量 ひび割れ幅	構造体の透気量 ひび割れ幅
		遮蔽性の限界	物質・エネルギーの漏洩量	物質・エネルギーの 漏洩量
復旧性	修復性	損傷	変形・ひずみ・応力等	損傷状態 (残留)

* 調査項目の () 内は, 構造性能の照査指標を間接的に表す調査項目

なお, 照査には, 検討時点の, 材料特性や作用のばらつき, 限界値や応答解析の不確実性, 構造物の重要度, 限界状態に達したときの社会的経済的影響を安全係数などで考慮する必要がある. 維持管理時には, 新設構造物の設計段階と異なり, 不確実性は, 調査点検結果に基づいて除去される部分もあることから, 新設構造物の性能用に用いる値を緩和してよいことになる.

(4) 構造性能の照査方法

構造性能は, 設計供用期間中の社会的環境などの変化を考慮して, 照査時点での初期損傷, 作用(荷重, 環境)による損傷や境界条件などが, 力学特性に及ぼす全ての要因の影響を考慮できる方法を用いて行うことを原則とする.

一般に, 詳細解析による方法, マクロ式による方法および損傷区分による方法のいずれかを用いるものとする. これは, 維持管理段階では, 必ずしも新設設計段階で想定した状態とならないことがあるが, その場合は, 設計段階での構造性能の照査方法を適用することが妥当ではない場合を想定したものである. なお, 現状でいわゆるグレーディングによって構造物の維持管理を行う手法は, ここでは損傷区分による方法に該当する, ただし, 現状のグレーディングは, 主として材料劣化に着目したものであると考えられ, 必ずしも構造物や部材の性能評価と直接結びつき難いとも考えられる. したがって, ここでいう損傷区分は, 材料劣化の部位に応じた構造物または部材の構造性能に対する損傷区分を念頭においたものである. なお, これは, 構造物の機能や形態に応じて, 異なることに留意する必要がある.

3.2 既存構造物の構造性能評価

(1) はじめに

コンクリート構造物に生じる劣化現象は塩害や中性化による鉄筋腐食、アルカリ骨材反応、凍害、化学的侵食など様々あるが、日本海沿岸に位置する地域では、海からの飛来塩分に加えて路面凍結防止を目的とした高塩分濃度の凍結防止剤の散布などによる塩害で、鉄筋腐食劣化したコンクリート構造物が多く見受けられる。

ここでは、塩害により腐食劣化を生じた既存構造物の構造性能評価の事例として、日本海沿岸において約35年間塩害環境に晒されたプレテンションPC桁橋の外観変状、鋼材腐食性状調査および曲げ載荷試験結果について述べる。

(2) U橋の概要

U橋の全景と劣化状態の外観を図9に示す。対象橋梁は海岸から約15mという過酷な塩害環境条件であり、冬季季節風による海からの飛来塩分が著しい塩害地域である。そのため、鋼材の腐食が進行し、多数の腐食ひび割れ、浮き、剥離が確認された。

U橋は、自転車道の一部として供用されていたもので、図10に示すように橋長10.4m、支間長9.8m、幅員3.6mのPCプレテンション式のI型の主桁4本で構成される橋梁である。

図11に主桁の断面図を示す。PC鋼線には $\phi 2.9$ の2本より線（一部単線）、スターラップには $\phi 6$ mmの丸鋼が約380mm間隔で使用されていた。



(a) 全景



(b) 劣化状況

図9 U橋の外観

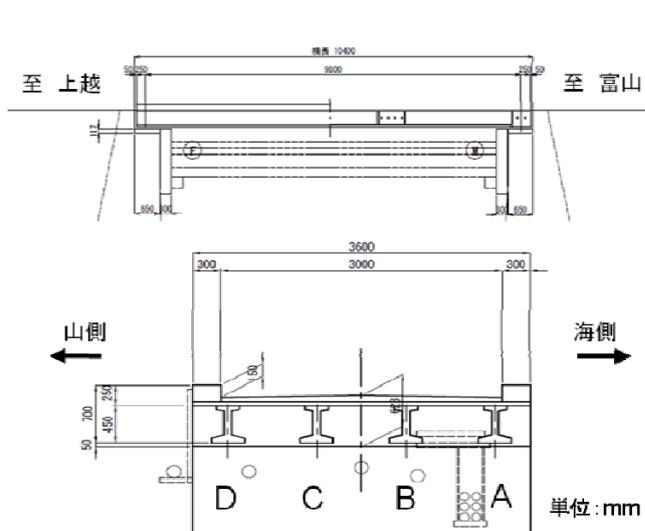


図10 U橋の断面図，側面図

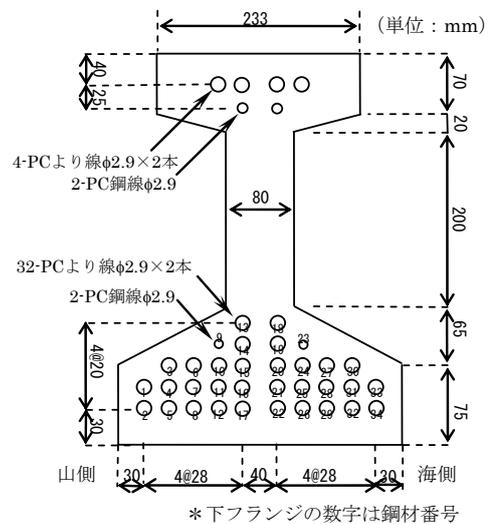


図11 主桁の断面図

(3) 塩害による損傷状況

図 12 および図 13 にかぶりコンクリートの損傷状況の展開図を示す。A 桁は上面に多数のひび割れが認められたが、目視観察より錆汁の漏出は確認されなかった。ひび割れ間隔や本数から判断すると、供用中の荷重の作用によって発生したひび割れではないと考えられるが原因の特定までには至っていない。下フランジ部分では海側より山側に多数の腐食ひび割れが確認された。また、両支点付近のウェブで錆汁の漏出を伴う斜めひび割れが観測された。

図 14 に PC 鋼材の平均腐食率分布を示す。腐食率は 500mm 間隔に鋼材を切断し計測した。まず、A 桁は海側の PC 鋼材（鋼材番号 18～34）は、ほとんど腐食しておらず、山側の PC 鋼材（鋼材番号 1～17）のみ腐食が生じていた。

次に B 桁であるが、A 桁と同様、場所によって PC 鋼材の腐食程度は大きく異なっている。また、B 桁の PC 鋼材の腐食量の全体平均は 18.7% と、A 桁(7.9%)に比べて大きかった。

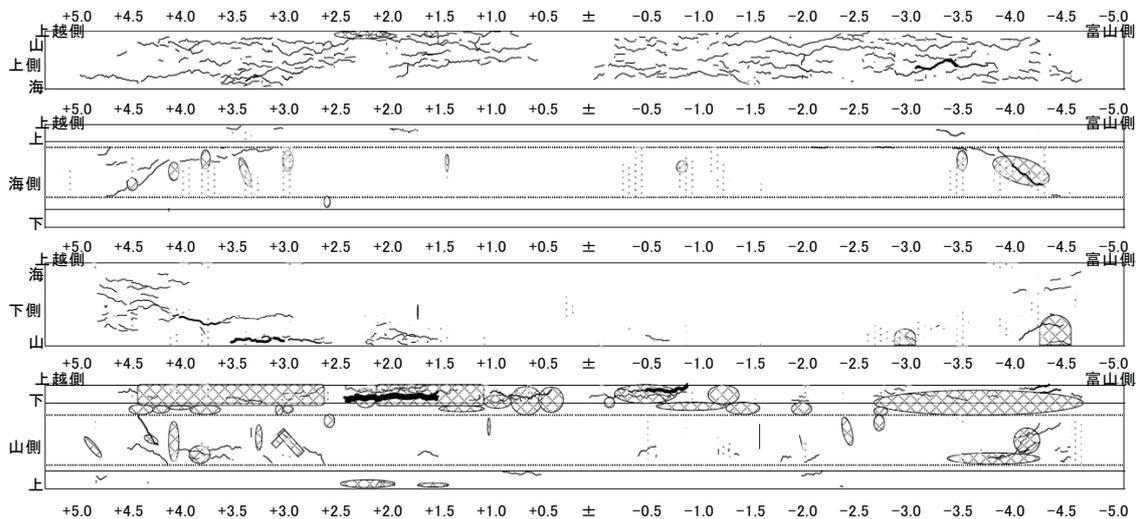


図 12 A 桁の載荷前のひび割れ性状（網掛け：浮き・剥離，ドット：錆汁）

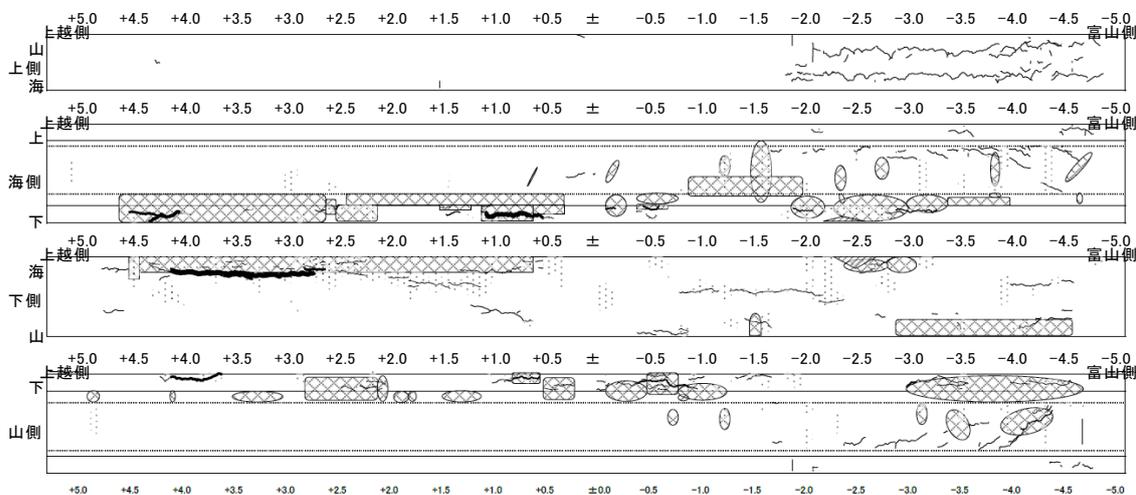


図 13 B 桁の載荷前のひび割れ性状（網掛け：浮き・剥離，ドット：錆汁）

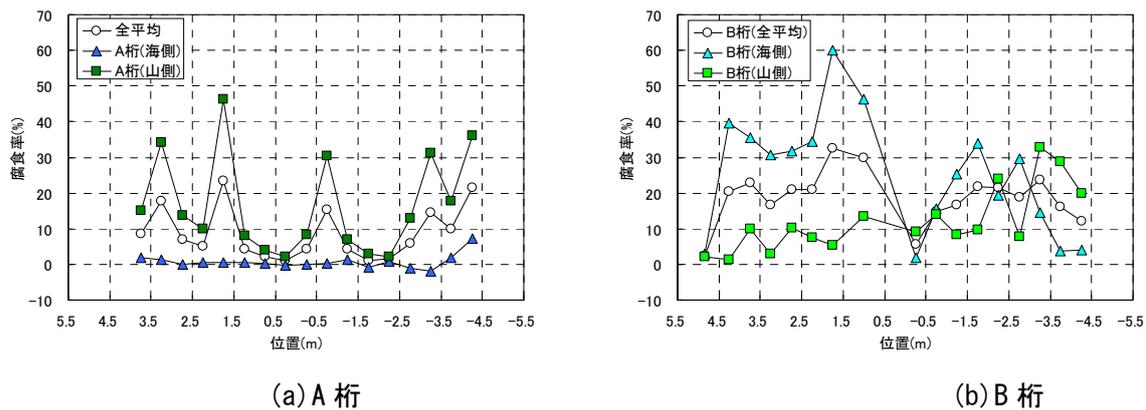


図 14 腐食率分布

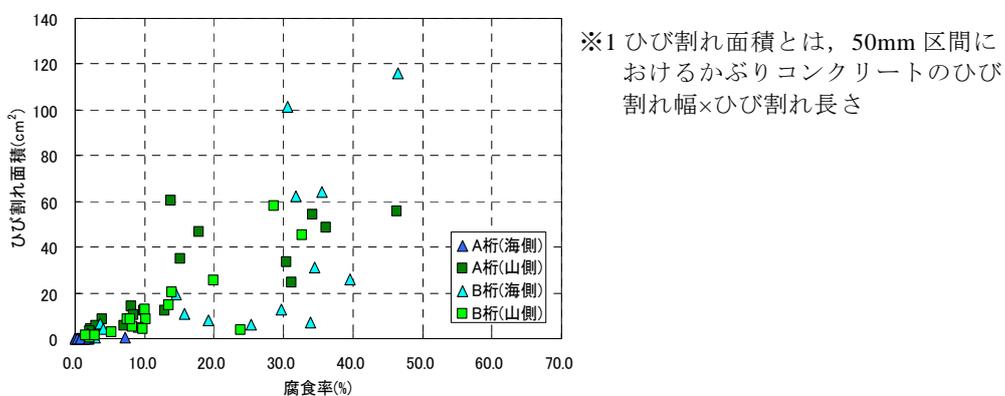


図 15 PC 腐食率とひび割れ面積※1

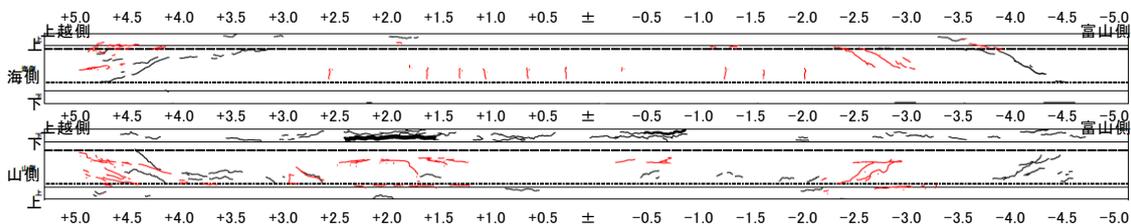


図 16 A 桁の破壊ひび割れ性状

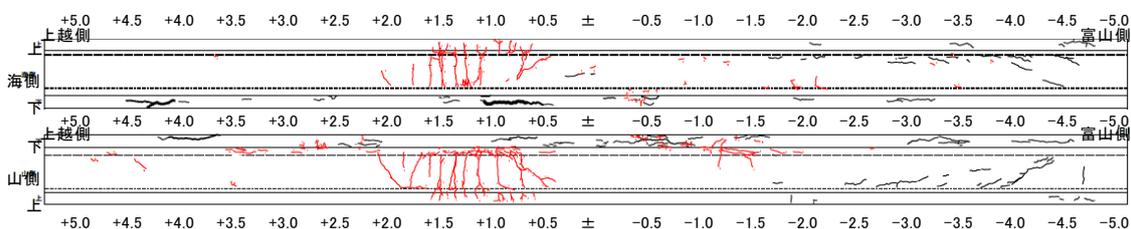


図 17 B 桁の破壊ひび割れ性状

図 15 に各試験体の 500mm 間隔毎の腐食率とかぶり面のひび割れ面積の関係を示す。鋼材腐食率とひび割れ面積は比較的良好な正の相関性が確認される。

(4) 構造性能評価

載荷方法は単純支持，二点集中載荷を行い，支間は供用時と同じ 9800mm とした。加力位置は設

計荷重作用状態（自重+雪荷重(2m)）になるべく近くなるように設定した。

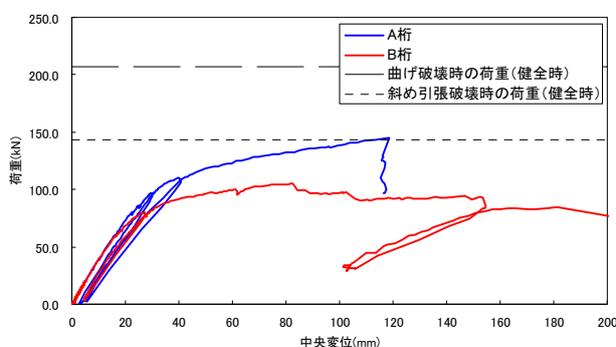
図 16 および図 17 に載荷後のひび割れ状況を示す。また、図 18 に荷重と中央変位の関係を示す。A 桁では、斜め引張破壊、B 桁では、+0.5~+1.5m 内で全鋼材が破断して梁は破壊に至った。本桁は限界状態設計法に基づき曲げ耐力およびせん断耐力を算出した場合、せん断破壊が先行する断面諸元であったが、B 桁のように腐食性状によっては、設計時と破壊形式が異なる場合がある。

図 19 に破壊荷重と腐食率の関係を示す。各試験体の腐食率は破壊近傍の領域の平均腐食率であり、A 桁は+3.0~+3.5m、B 桁は+0.5~+1.5m の領域である。また、これらの領域において、破断を生じている鋼材は機能しないものとし、破断した鋼材の腐食率を 100%とした場合についても整理を行った。

まず、A 桁については、当該断面内で部分的に破断を生じていた鋼材は 1 本のみであったことから、平均腐食率と破断を考慮した腐食率にほとんど差異はない。また、算定値と実験値を比較すると比較的良好な一致を示しているが、示方書によるせん断耐力算定は安全側の評価になるよう設計されていることを鑑みると、A 桁は鉄筋腐食に伴い、残存せん断耐力が若干低下しているものと判断される。この原因としては、ウェブ部に斜め方向に発生していた腐食ひび割れにより、斜めひび割れ破壊が誘発されたためであると考えられる。はつり調査の結果、このひび割れは、荷重によるせん断ひび割れではなく、この桁を橋台に設置するための吊り具が腐食膨張したことによるひび割れであった。このように、構造体としては有意に作用しない鋼材が残存耐荷性能に影響を及ぼす場合がある。

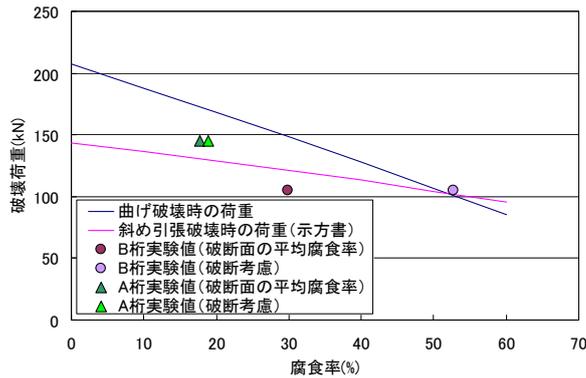
次に鋼材破断により破壊を生じた B 桁については、鋼材破断を考慮した腐食率を用いた場合、曲げ耐力計算値と良好な一致を示した。一方、平均腐食率を用いた場合には、耐力を危険側の評価する結果となった。これは腐食に伴う付着劣化により、鋼材破断位置周辺では、鋼材に十分な引張力が伝達されないことがその主な原因であると考えられ、今後検討が必要である。

以上、日本海沿岸において約 35 年間塩害環境に晒されたプレテンション PC 桁橋載荷実験を例に既存構造物の構造性能評価について述べた。このように、現状では、部材全体の鋼材腐食状況を把握することは困難であるが、かぶりコンクリートの腐食ひび割れ性状と一定の相関性を有することが確認された。また、鋼材腐食状況が明らかであれば、現有の耐荷性能をある程度評価することが可能であると考えられる。



※2 断面耐力算出に際し、コンクリートの圧縮強度は圧縮試験結果の最小値である 49.8N/mm²、PC 鋼材の降伏強度は引張強度の規格値の 93% (1712N/mm²)とした。スターラップの降伏強度は引張試験の結果より 285N/mm²とした。また、デコンプレッションモーメントを算出する際の PC 鋼材のプレストレス導入応力は道路橋示方書の許容限界値である 1170N/mm²と仮定した..

図 18 荷重と中央変位※2



※3 図中には限界状態設計法に基づき算出した曲げ破壊およびせん断破壊時の荷重を実線で示した。各断面耐力は、鉄筋腐食率に応じて鉄筋の断面積を減少させた。その際、スターラップによるトラス効果は、PC鋼材と同程度腐食が生じているものと仮定して算出した。

図 19 腐食率と破壊荷重の相関性※3

今後、部材内部の鋼材腐食評価やそれに基づく構造性能評価手法が確立され、維持管理活動の中に体系的に取り組みられることが望まれる。また、いずれの評価手法にせよ、かぶり厚や配筋状況、コンクリートの品質など、設計・施工時の情報は必要不可欠であり、設計・施工と維持管理のリンクを設計段階から意識し、将来の合理的かつ効率的な維持管理活動を見据えて設計図などの記録や情報を確実に保存することが必要である。

3.3 示方書維持管理編における設計との連係

コンクリート構造物の維持管理に関しては、平成7年にコンクリート・ライブラリー81として「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」が発行され、さらに2001年に標準示方書の中に「維持管理編」が制定された。

「維持管理編」は、他の「設計編」や「施工編」と同様、性能照査型の示方書となっており、要求性能を安全性、使用性、第三者影響度、美観・景観、耐久性に分類している。第三者影響度は、「設計編」においては、機能上の安全性に相当するものとして安全性に含んでいるが、「維持管理編」では維持管理上の重要な要求性能の一つとして安全性とは区別して分類している。また、美観・景観については、「設計編」において、構造計画の中で、コンクリート構造物が自然や社会等の環境および景観に与える影響を考慮しなければならないとしているが、要求性能としては必要に応じて適切に設定するものと位置付けている。すなわち、「設計編」と「維持管理編」では、第三者影響度や美観・景観に関する要求性能としての位置づけに、若干の食い違いが見られる。本来、コンクリート構造物が「設計編」によって設計された後に施工され、供用開始とともに「維持管理編」に従って維持管理がなされていくものとすれば、設計時の要求性能と維持管理時の要求性能は同一のものであり、「設計編」と「維持管理編」における要求性能の内容も一致したものでなければならない。2012年版の示方書改訂では、「維持管理編」で設定される要求性能は、「設計編」で設定された要求性能とすべく、両者の統一が図られる予定である。なお、現状では、第三者影響度を要求性能として安全性に含むべきものか、使用性に含むべきものかで議論が分かれている。本質的な相違ではないが、要求性能を整理する上で明確な位置づけ(定義)を行っておく必要があると考える。

「維持管理編」における構造物の維持管理では、点検によって構造物の状態に異常がないかが調べられ、異常がある場合にはその原因(劣化機構)を推定するとともに点検結果に基づいて劣化予測を行い、予定供用期間終了時に要求性能を満足するか否かで対策の要否が判断される。ここで、

異常を引き起こす要因の主たる対象は材料の劣化とされ、中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリシリカ反応、疲労、すり減りが〔維持管理編〕では取り上げられている。このため、〔維持管理編〕の主眼は、いわゆる耐久性の照査にあり、構造的な側面の記述が比較的薄い。2007年制定の〔維持管理編〕において、第二部の劣化機構別維持管理の中に「耐震補強の基本」が加えられ、既設構造物の耐震補強に対する考え方が盛り込まれた。中性化の進行の予測や塩化物イオンの拡散の予測など、耐久性に関連する事項については予測方法等の詳述がある一方、耐久性の低下に伴う耐荷力・じん性の低下や剛性の低下などについては定量的な取扱い方が詳述されていない。外力としての荷重作用等について、〔設計編〕と同じ考え方をするのか否かについても触れられていない。例えば、具体的には、〔維持管理編〕に従って要求性能の低下を予測する場合に、荷重作用として設計荷重を対象とするのか、実荷重を対象とするのかといった点である。2012年版の示方書改訂では、〔設計編〕との整合性を図る観点から、この辺に関する記述を〔維持管理編〕の中でも充実させ、安全性や使用性に関する要求性能の照査が十分に行えるよう改善される予定である。

先述の「耐震補強の基本」に関しても、各種規準類等の改正によって建造後の要求性能に変化が生じて、現行の規準類等に照らしてこれを満足しない構造物（従来、「既存不適格の構造物」と呼ばれてきた類の構造物）の中でも、耐震性能に限定して補強の基本的考え方を示すに留まっている。この点についても、構造性能に関する具体的な性能照査の方法を、〔設計編〕における考え方を踏襲して、〔維持管理編〕の中で記述していく必要がある。ただし、〔設計編〕の場合と異なるのは、そこに現に構造物が存在しており、その構造物の特性について調査が可能なことであり、調査結果を踏まえた性能照査方法としていくことが重要となってくる。

3.4 設計と維持管理の係に関する課題とその対応

前述のように、コンクリート構造物の性能の確保という観点からのみ考えても、現時点では設計と維持管理の係は、両示方書あるいは指針等において十分ではない。少なくとも、両段階で共通の性能およびその照査の枠組みを構築することができれば、それに基づいて情報伝達と情報フィードバックのシステムを構築すればよいと思われる。このような観点から係が特に必要と考えられる項目およびその対応について簡単にまとめてみる。

① 設計で考える性能と維持管理で考える性能が同じでない

例えば設計で考慮される景観については、維持管理では扱うことが難しい。一方で、設計で美観について照査する枠組みは構築されているが、実際には美観の照査の実施は難しいことが多い。一方で、維持管理上は美観が大きな問題になることが多い。また、かぶりコンクリートのはく落という現象で現れる第三者影響度について、設計では直接照査する方法が示されていないが、維持管理では、これが大きな問題と捉えられていることが多い。このようなケースでは、設計で積極的に照査対象としていなかった項目が、維持管理段階で急に生じることになり、係がほとんどされていないと言える。

② 設計で考える限界状態と維持管理上の限界状態とが異なる

設計における耐久性照査では、設計耐用期間中に材料劣化（鉄筋腐食や中性化の鉄筋位置への到達等）が生じないことを前提にしている。しかし、実際上は、種々の設計時の仮定の相違により、予定より早く劣化が進行し、何らかの対応が迫られることが多い。健全であることを前提とする設計と、損傷があることを前提とする維持管理との意識の差を小さくし、設計と維持管理の連続性を図ることが必要である。

③ 既存構造物の構造性能評価

3.1 で述べたように、既存構造物の性能を数値指標で行うには、今後の技術の進展が必要である。理想的に必要なデータが現地での点検・調査時に取得できれば、理論的には、マクロ式あるいは詳細な数値解析をもって構造物の現有性能を照査することができる。しかし、実際には、必要とするデータが取得できることは事実上不可能であり、何らかの仮定をもって対応せざるを得ない。荷重を含む作用と応答値の見積もり、材料強度を含む抵抗側の限界値の見積もりに関して、架空の構造物を対象とした設計と実際の構造物を対象とした維持管理とを結びつけるための「壁」を破壊する必要がある。

④ 設計で安全側に想定していることと実現象との乖離

設計の際には、必要な安全マージンを考慮するため、実際の現象よりもかなり安全側に限界値が設定されることになる。このことが、設計をよくわからない維持管理者に混乱と誤解を生みだしている事実が散見される。維持管理者も設計の手法や照査式の精度等を理解しておくことが必要であるとともに、設計の技術情報を維持管理者に伝達する仕組みが必要である。

⑤ 維持管理区分はどこで決めるのか

現状では、維持管理の考え方（いわゆる維持管理区分）は、維持管理開始時点で管理者によって決められることが多い。したがって、設計の際に、当該構造物がどのように耐久性を考えられて設計されたのかに関する情報が十分に維持管理者に伝わらない。2.3 で述べた港湾構造物に見られるように、設計者が維持管理の考え方を設計時に同時に作成し、維持管理者に伝達するような仕組みを考える必要がある。

4. まとめ

長期間に亘りコンクリート構造物が所要の性能を確保するためには、これまで分断されてきた設計、施工、維持管理の強固な連係を図り、これらが一体となって機能するような優れたシステムの構築が必要である。設計と施工の連係については、既にいくつかの基準類でその枠組みが示されつつあるが、設計と維持管理の連係あるいは施工と維持管理の連係は未熟である。

本研究では、まず各事業体における設計と維持管理の連係の実態を調査し、分析した。その結果、道路や鉄道においては、設計から建設を経て維持管理に至る作業の流れにおいてある程度必要な情報は伝達されているものの、維持管理から設計へフィードバックする確立されたシステムはない。港湾施設においても、施設設置者が維持管理計画書を立案して施設管理者に伝達する先進的なシステムが義務化されているものの、同様に設計へのフィードバックシステムは存在しない。設計と維持管理のそれぞれの技術者あるいは組織が構造物の設計思想や維持管理に対する認識を共有し、連携システムが構築されねばならない状況にあることが再認識された。

維持管理と設計の連係システムを確立するには、維持管理において構造物の保有性能を定量的に評価することが不可欠である。その結果、設計時の仮定、構造モデルや設計式が真に適用できるかどうかを明確にでき、設計式等の妥当性が評価できることになる。その手法を構築するため、コンクリート標準示方書改訂小委員会メンバー等とも議論を重ね、性能評価方法について検討した。

ただし、研究で取り扱った難題に対して1年間で十分に満足できる結果が得られたわけではない。今後も引き続きコンクリート委員会の中に3種委員会を組織して研究を継続し、新たなシステムの

導入をコンクリート標準示方書等の基準・指針類に導入することを目指す予定である。

最後に、本研究を遂行するため、コンクリート委員会に II 種小委員会として「社会基盤施設の設計と維持管理の連係システムの構築に関する研究小委員会（220 委員会）」を設置し、議論を重ねてきた。委員会の設置をお認めいただきました二羽淳一郎コンクリート委員会委員長に厚くお礼申し上げます。また、小委員会に参加し、情報収集・提供および熱心な議論をしていただきました次の小委員会委員各位に深甚の謝意を表します：佐藤靖彦氏（幹事，北海道大学），服部篤史氏（幹事，京都大学），岩城一郎氏（日本大学），岩波光保氏（港湾空港技術研究所），上田 洋氏（鉄道総合技術研究所），大下英吉氏（中央大学），河合研至氏（広島大学），木村嘉富氏（土木研究所），島 弘氏（高知工科大学），武若耕司氏（鹿児島大学），野島昭二氏（高速道路総合技術研究所），信田佳延氏（鹿島建設），村上祐貴氏（長岡工業高等専門学校），山本 平氏（大成建設），渡辺忠朋氏（北武コンサルタント（株））。

参考文献

- 1) 松井隆行：新東名（静岡）高性能床版防水工の開発，橋梁と基礎，Vol.45, No.8, pp.50-51, 2011.8
- 2) 野島昭二・寺田典夫：繊維補強コンクリートを用いたコンクリート片の剥落防止対策，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，Vol.20, pp.171-174, 2011.10
- 3) 寺田典生・中井裕司・青木圭一：繊維シート工法によるコンクリート剥落防止対策の開発，橋梁と基礎，Vol.37, No.11, pp.27-32, 2003.11
- 4) 井ヶ瀬良則・小野聖久：非破壊検査によるコンクリートの品質管理の取り組み，ハイウェイ技術，No.23, pp.88-93, 2002.10
- 5) 野島昭二：PC グラウトの充てん確認技術，橋梁と基礎，Vol.44, No.8, pp.60-64, 2010.8