

# コンクリート構造物の耐久性向上技術

河野 広隆\*

## 1. 構造物の耐久性向上・長寿命化の重要性

日本ではこれまでに莫大な数の土木用コンクリート構造物が造られてきた。たとえば道路についてみると、道路統計年報 2002 に、これまでに建設されてきた道路資産は、道路の総延長は約 116 万 km で、橋梁数は約 14 万橋と示されている。橋梁上部工の箇所数では約 6 割、延長では約 5 割がコンクリートであり、床版や大多数の下部工にはコンクリートが用いられている。トンネルや擁壁などもコンクリート製である。このように膨大なコンクリート構造物の健全性やサービス水準を保つことは、安全かつ快適な道路交通の確保のために不可欠である。道路以外の公共構造物でも多くのコンクリート構造物が用いられている。そして、今後これらの構造物に対する維持管理費が急増するのではないかと懸念されている<sup>1)</sup>。

これらの膨大な社会資本の維持管理に関する問題は、先進国に共通の課題であるが、さらに、わが国特有の問題としては、高度成長期に集中して構造物が整備されたことがある。もし、この頃に造られた構造物が均一な寿命をもつとすると、ある時期に集中的に更新の時期がやってくることになり、現在の社会情勢や経済事情を考えると、とても対応ができないことが想像される。実際には更新時期は分散するものの、維持管理費の増大は避けられない<sup>2)</sup>。

2001 年 3 月内閣府公表の「社会資本ストック推計調査報告書」は、1995 年度には社会資本ストックへの投資全体（新規+維持+更新）に対する維持・更新費の割合が 16 % であったものが、2015 年度には 4 割から 5 割に達すると推計している。

こうした状況に対応するには、既設構造物の更新の時期を分散させるとともに、維持管理費を抑えながら長寿命化を図ることが不可欠である。新設構造物に対してはなるべく維持管理費用のかからず、さらなる長寿命を可能とする設計体系が要望される。

ここでは、橋梁を主体にして、構造物の耐久性向上技術

の課題と現状、将来展望を行ってみたい。

## 2. 耐久性問題は何故起こる

四半世紀前までは、コンクリート構造物はメンテナンスフリーといわれていた。橋梁上部工を選定する際も、鋼では塗装の塗替えが必要だが、PC 桁を使うと維持費が要らない、という理由でコンクリートが選定されることが多かったし、現在でも多い。1980 年代始めのいわゆる「コンクリートクライシス」は、それまでのコンクリート構造物の耐久性神話に終止符を打ち、大きな衝撃をもたらした。この時コンクリート技術者には、塩害や ASR が突然降って湧いたように感じられた。その後、1999 年のコールドジョイント問題<sup>2)</sup> や一昨年のアルカリ骨材反応（以下、アル骨）の骨材問題、今年度のアル骨構造物の鉄筋破断問題<sup>3)</sup> など、何度かコンクリートの耐久性問題が発生し、あわてて対応する事態が起こっている。

コンクリート構造物で耐久性問題が断続的に生じているのには、それなりの理由があると思う。その原因は多岐にわたる。大きく分類すると表 - 1 のようになるのではないかと思われる。

少し、話が脱線するが、学会などの発表を聞いてみると、「古いコンクリート構造物は非常に丁寧に造られていて、耐久性がよく長持ちしている。それに比べると、ここ 30 ~ 40 年くらいのコンクリート構造物はどうも耐久性が良くない」という趣旨の発言をよく聞く。この手の発言を聞くと、筆者は少し首をひねる。確かに古い構造物で、非常に丁寧に造られている有名なものがいくつもある。以前、長持ちしているコンクリート橋の事例を調べたことがあるが、長持ちしているのはアーチ橋であり、基本的には無筋であった。われわれが目にする古い構造物は、耐久性がよく、長期にわたって生き残ったものであることに注意をしなければならない。

また、構造物のおかれていた環境の変化も重要である。

先日、関西に出張の折に数時間の余裕ができたので、ある橋を見に行った。幹線国道にかかる、かなり長い跨河橋梁であるが、筆者が 20 年ほど前にアル骨によるコンクリート構造物の劣化を勉強し出した頃に、「どうも、下部工にアル骨らしいひび割れがある」と報告を受けた橋である。その後、どうなったかを知りたかった。

現場へ行くと、下部工にアル骨の症状はなく、ひび割れの原因は施工に起因するものと推測した。したがって、ひび割れは進行しておらず、下部工は比較的健全であった。

この橋は、昭和 20 年代末に造られたもので、上部工は T 型断面の RC 桁であった。たまたま、筆者とほぼ同年齢で



\* Hiroataka KAWANO

(独)土木研究所  
構造物マネジメント技術チーム  
主席研究員

ある。よく観察すると、下部工や上部工のいたるところにジャンカがある。場所によっては内部の鉄筋が見えている。コールドジョイントも目立つ。しかし、ほとんど劣化らしい劣化が見られない。内陸部の穏やかな気候のところなので、中性化以外の劣化因子はあまり考えられないのだが、それにしても劣化が進んでいない。

一部例外なのが、両端の橋台部分である。堤防側から水が供給されるためか、橋台の上部の桁端部分と、橋台の一部が補修されていた。水が来る部分では、さすがになんらかの劣化が進んだようである。

この橋梁をもし塩害地域にもって行けば、劣化が早急に進行してしまうであろう。現在、塩害が問題になっている海岸付近などのように厳しい環境にまで、コンクリート構造物を造らざるを得なくなった状況なども、劣化問題の拡大の原因であると思う。

さて、そうはいつでも厳しい環境でも長持ちする構造物を造って行かなければならないのは当然であるから、表-1に示す原因の中で、技術的には対応できないものは仕方がないとしても、技術的に改善できる部分は積極的に対応して行かなければならない。

表-1 劣化問題の表面化の原因

構造物の絶対数の増加
構造物の供用年数の全体的な伸び（高齢化）
設計時に想定していなかった事象の出現
これまでにない種々の環境条件下での供用
荷重条件／設置環境／利用者意識
施工の不完全さなどの人為的なもの
維持管理の不徹底

表-2 コンクリート標準示方書の耐久性照査項目

○中性化
◎塩化物イオンの浸透に伴う鋼材腐食
○凍結融解作用
化学的侵食
○アルカリ骨材反応
水密性
耐火性

### 3. 要望される技術体系

図-1はコンクリート構造物の長寿命化に必要な技術の全体像である。現状では、「更新技術」を除いて、どの要素技術が抜けてもコンクリート構造物の長寿命化は達成できない。もちろん、新設の段階で、完全なメンテナンスフリーの構造物ができれば話はべつであるが、コストのことを考えると、十分な耐久設計をして、ある程度の維持管理をする、というのがライフサイクルコストを抑えるのには良いようである。以下に、個別の要素技術の現状を見てみる。

### 4. 設計技術

コンクリート構造物で耐久性が低下する原因は、数多くある。現実には、耐久性問題は実に幅広い原因で生じている。たとえば、土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕に示されているコンクリート構造物で照査する耐久性項目は、表-2に示すものである。しかし、構造物の種類を特定すると、必ずしも全部の項目を照査しなければならないわけではなく、また、重点的に照査すべき項目も浮かび上がってくる。

たとえば、一般の道路橋で重点的に照査すべき項目は、この内の一部である。種々の調査で、コンクリート道路橋では注目すべき2つの劣化事例があることが明らかになってきている<sup>4)</sup>。その2つの写真を示す。

写真-1は塩害である。塩害は絶対数は少ないものの、ひとたび劣化が表面化すると深刻な状態になりやすい。また、効果的な補修も難しく、維持管理費が膨大となるというやっかいな劣化である<sup>5)</sup>。

写真-2はかぶり不足部の中性化による鉄筋腐食である。深刻な劣化にいたることは少ないが、数が多い。また、第3者被害に結びつきやすいのが維持管理上の問題である。

後者については、どちらかという施工時の品質管理の影響が大きいので、後述する。前者の塩害についてはこのところ大いに設計法が進展した。

平成11年版の土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕で「耐久性照査法」が初めて示された。照査する耐久性の項目は、表-2に示すものである。

構造物の耐久設計や維持管理計画には劣化進行予測が不

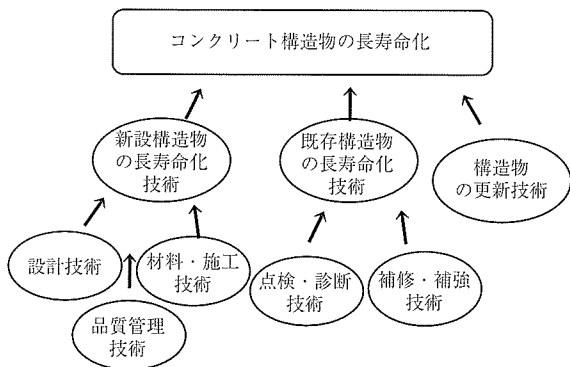


図-1 コンクリート構造物の長寿命化に必要な技術

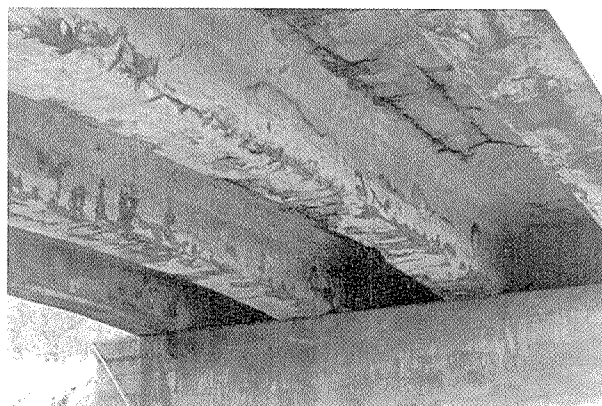


写真-1 重傷になりやすい塩害



写真-2 事例の多い「かぶり不足十中性化」

可欠で、そのためには精度の高い劣化モデルの構築が必要である。しかし、さまざまな劣化要因がある中で、実用的な劣化モデルが提示されているのは、まだ「塩害」と「中性化」だけである。それでも、こうした設計体系が示されたこと自体は大変に大きな意義があり、道路橋示方書・同解説Ⅲ「コンクリート橋編」（平成14年3月）（以下「道示Ⅲ」）もこの考え方に基づいて改訂されている。つまり、平成11年版のコンクリート標準示方書〔施工編〕で塩化物イオンの拡散方程式をもとにした基本的な劣化予測式が示されたのを受け、これをもとに、全国の飛来塩分の状況やコンクリート中の塩分拡散係数の実測例をもとにして精度を高めたモデル<sup>6)</sup>が、道示Ⅲで使われ、設計の実務に反映されているのである。

しかし、比較的良好に説明されていると思われる塩害対策でも、発錆限界塩化物イオン量、かぶりと発錆限界塩化物イオン量の関係、拡散係数への湿度などの影響、Fickの拡散方程式の適用の限界、ひび割れの影響、塩化物イオン濃度の不均一性の影響、などの不明な点は多い。劣化予測の精度を高めるためには、これらの問題をひとつひとつ解明していかなければならない。

さらに、アルカリ骨材反応や凍害などの劣化要因については、未だ劣化予測式がない。これから検討をしていかなければならない。また、塩分の浸透と凍結融解、中性化と塩害、などの複合劣化の現象解明も新たな課題としてあがってきている。

もうひとつ、設計技術として改善すべきものとして、構造細目的なものがあると感じている。前述の関西の橋梁では、上部工では高欄下部の張出し床版先端に、樹脂のパテのようなもので水切りが後施工で付けられていて、これが実に良く効いていて、桁本体には水がかかっていなかった。水が来ているところが補修されているのに対し、水切りのある部分は健全であった。コンクリート構造物の劣化に対する、周りの環境と水の影響の大きさを再認識した次第であるが、水が来ないようにするための工夫が大事である。とくに、道路に凍結防止剤を撒くようなところでは、排水の善し悪しは橋梁本体の寿命を決定することにもなりかねない。

写真-3と写真-4に事例を示す。いずれも水仕舞いが支



写真-3 水仕舞いの問題例（アル骨と凍害を受けた橋台）

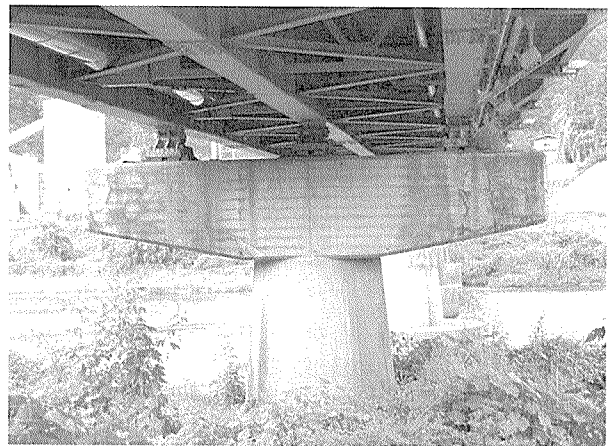


写真-4 水仕舞いの問題例（アル骨と沓の錆を発生した橋脚）

障をきたし、上部からの水が下部にかかって劣化を促進した例である。写真-3では水がかかることにより、アル骨の劣化が進むと同時に凍害も生じている。写真-4では同じく水がかかった部分だけアル骨が生じていて、しかも凍結防止剤のためか、沓が錆びている。このように水仕舞いの構造細目なども、耐久性向上のためにはきわめて重要であると考えられる。

## 5. 材料の選定・品質管理

写真-2のかぶり不足による鉄筋腐食に代表されるような、施工管理・品質管理が徹底していれば防げる劣化は、非常に数が多い<sup>4)</sup>。

国土交通省では『建設省、運輸省、農林水産省「コンクリート構造物耐久性検討委員会」の提言<sup>7)</sup>を受けて、2001年3月に「土木コンクリート構造物の品質確保について」という通達を出し、コンクリート構造物の品質向上を目指している。通達の中身は、次のようである。

- ①水セメント比の制限値の明示
- ②鉄筋のスペーサの単位面積あたりの個数の明示
- ③重要構造物に対するテストハンマーによるコンクリート強度の推定
- ④重要構造物に対する竣工時のひび割れ調査

## ⑤工事関係者の名前を示した構造物の銘板の設置

このうち①は材料による耐久性向上を、③と④はコンクリート構造物の性能に対する施工の影響の重要性を意識したものである。テストハンマーの使用については、精度の問題などまだまだ議論すべき点もある<sup>8)</sup>が、これまで竣工時には、せいぜい表面の状況を見るくらいであったコンクリート構造物の検査を、一歩進めようとするものである。こうした項目の導入によって、施工管理がより向上することが期待されている。

実態調査<sup>4)</sup>の結果を見ると、鉄筋のかぶりの確保がきわめて重要であり、またかぶり部分の品質、すなわち水セメント比が低いことも重要である。このため、「水セメント比」と「鉄筋のかぶり」の正確な検査のための試験方法が望まれているが、なかなか決定打がないのが実情である。

コンクリートは、品質管理・検査がやりにくい材料である。コンクリートは「生もの」であり、プラントで練り混ぜられてから、時間とともに変化していく。もっとも基本になる材料特性の圧縮強度が28日経たないと確認できない。また、その施工には多くの工種で多くの人が携わっている。分業化の著しい現在、関係者の連携は良くなく、コンクリートの品質管理・検査を困難なものにしている。従来の圧縮強度による管理ではなく、フレッシュコンクリートの水セメント比で管理すると、打設前に確認ができ、問題があればすぐにフィードバックをかけられるため、本来の品質管理に近くなる。しかし、コンクリートではその特性を大きく左右する水の量が、ひとたび練り混ぜられると把握するのがきわめて難しくなる。フレッシュコンクリートの単位水量試験は迅速にできる方法ではまだまだ精度が悪かったり、精度がよいと時間やコストがかかるなど、技術的に解決すべき課題は多い<sup>9)</sup>が、現場適用が増える方向にある。

できあがったコンクリート構造物の品質を左右する施工の工程では、その程度を定量化することすら現状では難しい。カンに頼るところも少なくない。

もし、コンクリートが高価な材料であれば、難しいコストのかかる検査も可能である。しかし、安価で大量に用いられ、刻々と品質の変化するコンクリートに対しては、迅速で安価な試験方法が必要である。しかも専門家を必要としないで、人による差が少ない方法が必要で、精度もそこそこ要求される。現場で使うことを考えれば、機器は頑強でなければならぬ。コンクリートの検査試験方法には大変な要求がされているわけである。

「水セメント比」と「鉄筋のかぶり」以外にもいろいろな非破壊あるいは高精度・迅速・安価な検査方法が要求されており、さなざまな検討がなされている。

## 6. 点検と診断

構造物の維持管理の基本となるのは点検である。通常は目視による日常点検となんらかの試験を取り入れた定期点検や臨時点検などが行われる。とくに後者は多くの費用も要するため、いかに点検作業を合理化しながら構造物の状況に関する精度の高い情報を得るかが重要となる。さらに、

その情報の蓄積と評価法も重要な課題である。

コンクリート構造物では塩害問題が生じてから、初めて維持管理の必要性が痛感されたといっても過大ではない。そして、これからも塩害はもっとも注意を要する劣化現象であると思う。塩害はひとたび起こると制御が難しい。コンクリート表面に塩害の兆候が出てきたときにはすでに手遅れで、いかに早期に鉄筋の錆が始まったかを検知する必要がある。このためには鉄筋の自然電位法や分極抵抗法により鉄筋の腐食状況や腐食速度を把握するのが有効である<sup>10)</sup>。

1999年のコンクリート耐久性問題で初めてだいたいの取り上げられたのが第3者被害である。それまでの耐久性問題は構造物本体の問題であった。第3者被害で問題となるのはコンクリート片の落下などで、構造物本体の健全度とは一対一には対応しない。数が多いのはかぶり不足による鉄筋の錆で浮いたコンクリート片などである。これらの検知にはもっとも確実な方法として「たたき」検査が行われている。検査の際に浮いた片はたたき落とすので対策も自動的にとられる。しかし、これは人海戦術的な手法で手間暇がかかる。そこで注目されているのが非破壊検査である。一部、赤外線による浮きや空洞の検知は実用化している。さらに、超音波やレーダなどの方法が検討されている。

塩害や第3者被害に共通する重要な検査項目に、鉄筋のかぶり厚さの検査がある。かぶりが薄い塩害を早期に生じやすくなるし、中性化によってもたらされる錆びによるかぶり部の浮きも発生しやすくなる。鉄筋のかぶり厚さの検査方法についてはずいぶん長い間研究がなされてきているがまだまだ真に実用化には到っていない。

さて、構造物の点検と診断は人間でいえば健康診断である。人の健康診断では、診断機器の改良は非常に重要であるが、それに劣らず重要なのがカルテの整備である。あるときのひとつのデータでは病気についてはっきりしなくても、毎年人間ドックに入って昨年のデータと比較することによって、病気がはっきりするし対応も明確になる。構造物でもカルテを整備するのが有効である。平成12年に新たにつくられたコンクリート標準示方書〔維持管理編〕では、構造物の劣化を特定することと同時に、点検のデータを記録・蓄積することの重要性を指摘している。しかし、実際にはカルテに載せる項目、構造物と劣化位置の特定方法、データ記録の永続性など検討すべき課題は多い<sup>11)</sup>。

カルテの次は診断である。以前、診断などのエキスパートシステムが脚光を浴びた。構造物の状況を入力すると、診断結果や対処法が出力されるというものである。しかし、構造物の劣化は今のところエキスパートシステムを構築するには複雑すぎるようである。もちろんこうした研究は必要ではあるが、現状ではこうしたシステムで専門家に診せるべきかどうかを判断させるくらいがよいのではないかと考える。

上記のような点検技術やカルテに関する研究は、現在多くの研究者によって検討されているため、年々レベルアップが図られることを期待している。

## 7. 補修補強

1999年の建設省の調査<sup>4)</sup>では、竣工後60年経過すると、半分のコンクリート構造物はなんらかの補修を経験していた。既存の構造物では竣工後100年後にはほとんどの構造物がなんらかの補修を受けると予測された。そのため、補修補強技術の開発・改良は重要な課題である。

劣化構造物に対し、適切な補修を行うには劣化原因を特定することが重要である。これは、劣化の進行を防止するための適切な処置方法が、それぞれの劣化原因で異なるためである。人間の病気に対する治療と同じである。また、現実には公共構造物の場合には、劣化が見つかったりもすぐに大規模な補修に取りかかるのは難しい。この際、劣化の進行が早いのか遅いのかを見極めることも、実務的には重要である。さらに、ひとつの構造物で複数の劣化が見つかったときや、ひとつの路線で複数の構造物が劣化している、補修の優先順位を決めるようなときにも、劣化原因を特定し、劣化速度を推定し、補修のコストや効果、効果の持続性などを把握しておくことが重要となる。つまり、補修を考えると、個別構造物の補修と、同一路線にある複数の構造物の補修の両面から検討が必要である。最近では、こうした課題を「維持管理戦略」などとよんで検討が進められている。さらに、道路などでは道路構造物全体を資産として捉え、それらを有効かつ経済的に運用する「アセットマネジメント」の考え方も導入されつつある。

コンクリート構造物の補修は、本格化してからまだ20年しかたっていない比較的新しい技術である。その分、材料も工法も日進月歩といつてよいと思われる。初期の段階では、いってみれば万能薬で種々のコンクリート構造物の補修をしていた時期があった。さすがに、現在は補修も多様化してきている。今後ますます、劣化原因や症状ごとに特化した補修材料や工法が開発されてくると期待される。しかし、まだまだ試行錯誤の段階である。筆者自身、現場から構造物の補修の相談を受けても、自信をもってこれがよいという判断が下せない状況にある。それは、データが圧倒的に不足しているためである。

こうした背景から、いくつものマニュアルや資料集が造られてきている<sup>12)</sup>が、そのとおりに補修すれば補修が完了するという状況とはほど遠いのが現状である。早急な整備が望まれる。

## 8. データベースと技術者の養成

図-2は個別に必要な技術と、それをサポートする技術

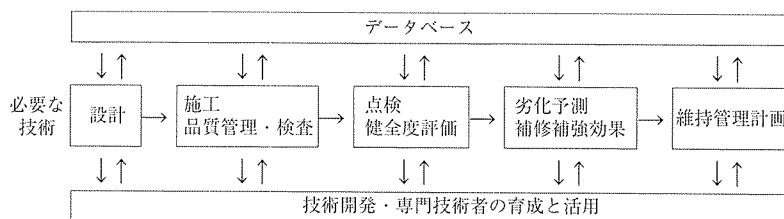


図-2 コンクリート構造物の長寿命化に必要な技術と体系

の全体イメージ図である。

どの個別技術要素を取り出しても、それを確立し、使いこなすためには、データベースと技術者の養成が必要であると感じる。

コンクリート構造物の耐久性設計法の体系を構築し、さらにその精度を上げるため、あるいは合理的な維持管理を目指して構造物の劣化曲線を示すためには、データベースの構築が不可欠である。しかし、そこにはふたつの大きな問題があると感じる。

まず、一つ目は耐久性問題の複雑さである。ここ20年ほどのコンクリート関係の学会などの発表を見ると、耐久性関連の論文が実に多い。「耐久性」はもともと関心をもたれている分野のひとつであるが、研究の活発さとその実務への反映が必ずしもリンクしていない。耐久性問題は要素が複雑で、研究をなかなか体系化できず、得られたデータも試験条件の違いなどから相互の利用が難しい。単純にデータを集めても使えない。このため、土木学会コンクリート委員会では耐久性に関するデータベース構築を目指して、その第1段階としてデータベースフォーマットの提案のための検討を行った<sup>13)</sup>。

ふたつ目は、とくに実構造物に関するデータ収集の困難さがある。構造物の維持管理関連データは、そのものが貴重な耐久性のデータである。しかし、とくに劣化を生じた構造物のデータは、管理者責任などの問題があり、共有されることは難しかった<sup>14)</sup>。こうしたデータが豊富にあれば、正確な劣化モデルが構築できなくても、統計的に劣化進行を把握することも可能である。補修の効果に関する資料なども、維持管理戦略には不可欠なものである。

現在、いくつかの機関で耐久性関係のデータベース構築の動きがあり、今後期待したい。

もうひとつのサポート技術は技術者の養成である。

コンクリート構造物の設計・維持管理は総合技術である。図-1のいずれの技術が欠落しても、合理的な設計・維持管理はできない。しかし、とくに維持管理についてみると、これまで土木分野では「新規の建設」があくまで主流の技術であり、維持管理は「付け足しの技術」的なイメージがあったことは否定できない。新設の構造物は、場合によっては標準設計的なルーチンワークでも実施可能であるが、維持管理は構造物の設計や劣化状況、その置かれている供用条件・環境などがすべて異なり、おのずと性能規定的な対応が迫られる。つまり、技術的には新設よりはるかに難しいのである。現状は、そうした認識がやっと芽生え始めたといったところであろうか。つまり、合理的な維持管理

を遂行するには優秀な技術者が多数必要である。

もちろん、ハードの技術である程度カバーできる場所はあるが、それを過信してはならない。よく「構造物の検査に非破壊検査を導入すべきだ。そうすると定量的な記録が残り、個人差による診断のバラツキも少なくなる」というようなご意見を聞く。しかし、たとえば、人間の健康診断で、聴診器で胸の音を聞くだけよりは、X線写真を撮った方が情報量は格段に増える。それでも同じ写真を見て優秀な医者とそうでない医者の所見は異なる。つまり、コンクリート構造物でも、構造物の挙動と診断法の両方の知識を豊富に有する技術者の育成は不可欠である。3年前にコンクリート工学協会では「コンクリート診断士」制度をスタートさせたが、こうした人材の活用と増強、レベルアップが望まれる。

## 9. おわりに

コンクリート構造物を長持ちさせるためには、新設構造物の設計・施工・品質管理・検査、既設構造物の点検・診断・補修などの総合的な技術が必要である。こうした中で、たとえば、新設構造物に新材料や高性能材料を用いると耐久性が向上することはわかってはいても、初期コストが割高となり、土木構造物への導入が難しかった。そこに、ライフサイクルコスト評価の導入などの新たな価値観も生まれていて、従来にない新しいアプローチも可能となりつつある。また、維持管理についても個々の技術の向上はもとより、維持管理体制や技術者の養成など多面的な検討が必要である。コンクリート構造物の耐久性向上には、ハードの技術開発はもとより、それを使いこなすソフトの技術開発など、やるべきことは山積している。各方面での活発で継続的な技術開発を期待したい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言  
<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/index.html>
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー 103「コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策」, 2000.07
- 3) 宮川：委員会報告 アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価, 土木学会誌 Vol.88, No.9 2003.9, p. 83-84
- 4) 古賀ほか：コンクリート構造物の健全度に関する実態調査, 土木技術資料 42-12, 2000.12
- 5) 渡辺博志ほか：コンクリート構造物の補修時期選定について, 第20回道路会議論文集 1993.10
- 6) 土木研究所：ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書(Ⅱ)ーコンクリート道路橋の必要かぶりに関する検討ー, 土木研究所共同研究報告書第258号, 2000.12
- 7) 建設省, 運輸省, 農林水産省「コンクリート構造物耐久性検討委員会」の提言  
<http://www.mlit.go.jp/kisha/oldmot/kisha00/koho00/doboku.htm>
- 8) 例えば, 古賀ほか：テストハンマーによるコンクリート強度推定調査について, コンクリート工学, Vol. 40, No. 2 p. 3-7, 2002.02
- 9) 例えば, 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の高信頼性施工システム研究委員会報告書, 2002.07
- 10) 土木研究所他：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル, 技報堂出版, 2003.10
- 11) 田中ほか：コンクリート構造物の診断支援システムの開発ーデータの収集・蓄積・利用の効率化ー  
コンクリート工学誌, Vol. 39, No. 2, pp. 8-13 2001-02
- 12) 例えば土工協土木工事技術委員会コンクリート専門部会：「実務者のためのコンクリート構造物の維持管理マニュアル(案)」, 2000.03
- 13) 土木学会：コンクリートライブラリー 109「コンクリートの耐久性に関する研究の状況とデータベース構築のためのフォーマットの提案」, 2002.12
- 14) 例えば, 幸左：橋梁メンテナンスの課題, 土木学会誌 Vol. 86, 2001.12, p. 36-37

【2003年9月29日受付】