

## 試行錯誤による実験的検証の視点

国内外を問わず、しばしば、「このコンクリート橋はあと何年使えますか?」、また、「補修したらさらにあと何年使えますか?」と聞かれることがある。20年以上コンクリートに関する研究に携わってきたが、その答えに窮する。それはなぜなのか。私の限られた能力ではまだ越えられない壁が存在する。構造物の性能評価という大きな壁を乗り越えられない。

周知のように、ものづくりの考え方が大きく変化してきた。すなわち、細部を定める仕様規定から創意工夫が可能な性能規定へのパラダイムシフトである。性能規定の魅力は、やはり、価値を高められることに対する期待感にある。しかし、性能を規定する場合、土木構造物特有の難しさがある。

自動車を例にすると、安全性、快適性、操縦性、強度耐久性、環境性といった性能が設けられ、設定したレベルに到達するための試作と評価が繰り返された後に製品が製造され販売される。しかし、厳しい自然環境に晒される単一かつ大型の生産物である土木構造物は、種々の制約から試作と評価という試行錯誤の過程を経ることができない。また、自動車のようにユーザーからの性能レビューを短期間で得ることもできない。性能規定のもとでの創意工夫の果実を早く収穫したいのだがそれが叶わない。造る者、受け取る者、使う者の誰一

人として真の性能を把握できていないという現実がある。

土木構造物の性能には、耐久性、安全性、使用性、復旧性、環境性などがある。どの性能も重要ではあるが、ヒエラルキーの最上位にあるのが安全性である。構造物の安全性は、構造物というシステムをいくつかの部位・部材に分け、すべての部位・部材が破壊しないことで確保されている。個々の部位・部材の安全性の確認には、ある程度の余裕しろを加味している。その際、鉄筋の腐食やコンクリートの凍害といった使用材料の劣化を許さず、設計時に想定する力学および環境作用下で変状が起こらないように材料の種類や特性を決定する。すなわち、設計の想定通りであれば材料は劣化しないのだから、構造物としての不具合が顕在化することもなく、維持管理という行為の重要性は極めて小さくなる。設計という仮想の世界と維持管理という現実の世界は大きく異なる。

構造物を何十年か使用しその性能が低下したのなら、性能を引き上げたり性能の低下速度を遅くしたりする必要がある。しかし、新設時と同じように、供用中の構造物の性能をどのように把握するのかという壁がここにも立ちはだかる。

一般に、既設構造物の性能評価には、構造物の外観上の状態観察に基づく方法、設計で用いた評

早稲田大学 理工学術院創造理工学部 社会環境工学科 教授 佐藤 靖彦



価式に基づく方法、そして、有限要素解析などの精緻な数値計算法を用いる方法の3つがある。それぞれに長所、短所、そして、課題がある。現在、それら手法の信頼性の向上を目指した検討が世界的に進められている。3つの方法の問題を端的に言うと、目視により構造物内部を透視できないこと、劣化を想定していない設計評価式を劣化した場合にそのまま適用できないこと、数十メートルもの大きさを有する構造物から数値計算で必要とする数センチメートル単位での詳細な情報を得ることができないこと、となる。

いずれかもしくは複数の方法を組み合わせることで性能が把握され、もし性能が不足すると判断されたならば何らかの補修を施すことになる。近年は、多機能、高性能な補修材料が数多く開発されており現場での選択肢が広がっている。ただし、材料の性能は実験室での促進試験により確認された性能であり、構造物と同一の環境・条件下で確認された性能ではない。材料の促進試験における耐久性（材料の耐久性）と材料の構造物中での耐久性（構造物の耐久性）は異なり、その差を理解するために必要な促進試験における設定環境と構造物が置かれる実環境の変換方法も存在しない。材料の性能評価も極めて難しい。

我々は、構造物をできるだけ長い期間使いたい

と思っている。文明の基盤を支える構造物を50年程度で作り替えるような社会を目指してはいない。一方で、材料および構造物の耐久性が意識されるようになってからまだ60年程度しか経っておらず、国内に目を向けると、モデルコードとしての役割を持つ土木学会コンクリート標準示方書に、時間を考慮した耐久設計法が導入されてから、また、維持管理編が加わってから、たった20年しか経っていないという事実を認識しなければならない。

この事実を鑑みれば、構造物の性能を今は正しく把握できないのもある意味当然なのかもしれない。もしそうならば、だからこそ今は、構造物を用いた実環境下での試行錯誤による実験的検証を通じて技術を研ぎ澄ませている過程にあると考えられるのではないだろうか。今後必要となるセンシングやモニタリングに関わる設備・装置の性能確認や耐久性の評価に関しても同じ思考を持ち込むことができよう。

世界的に構造物の大きな事故が続いている。我々は今、それらの事故から多くのことを学んでいる。眼前の予算や人材確保の問題解決に取り組みつつも、数百年単位での維持管理技術の向上のために我々は何をすべきなのか、議論を始める時期にあると強く感じている。