

# 社会資本の維持管理に思うこと



技術顧問  
(東京都立大学名誉教授)

今田 徹

## 1 はじめに

社会基盤で最も基幹的な要素である道路、河川、鉄道、上下水道などの構造物は、戦後、急速かつ大量に整備され、建設から30年、50年を経過し、老朽化が目立つようになった。安全性に対する余裕が減少したり、本来の機能を果たせなくなったりする事例が増加している。2012年の暮れに起きた痛ましい笹子トンネルの天井版崩落事故を契機に社会資本の安全性に対する懸念を惹起し、構造物の維持管理の重要性が改めて認識されることとなった。そして、法的、行政的な整備が進められている状況にある。

社会資本の機能が低下することは、安全性は勿論、直接的に社会経済活動に悪影響を与えることになり、社会資本は健全な状態に保たなければならないのは当たり前のことである。我が国はすでに人口減少社会となっていることから、社会基盤施設を健全に保ち、変化に合わせて充実させることは社会の活力を保ち発展させるために不可欠な要素である。また、自然災害が多発する我が国にあっては健全な社会資本は社会の安全の前提である。

社会資本の維持管理が順調に進められていないことに関しては、関係者の間で危機意識を持って認識されていたところではあるが、厳しい経済状態の中、一般の社会の関心を得ることができない状況にあったといえるであろう。また、限られた資源の中で建設が優先されてきたため、その惰性で保全への関心が高まらなかったという側面もあるかもしれない。

如何にして構造物の機能を保全していくかは保全技術的な点だけではなく、構造物の計画、設計、建設、維持管理の全過程を含めて考えなければならない問題である。また、発注の仕方など社会制度との関連も非常に重要である。

社会資本の維持管理の問題は、ともすると、現場での末端の技術議論になりがちである。しかし、維持管理は非常に幅の広い領域と関連するものであり、維持管理に対する理念を整理しておくことも必要である。

また、維持管理の実務的なことに関しては、多くのところで議論されており、研究成果も多く発表されている。したがって、ここで触れるのは避け、維持管理に関わる総合的な視点、構造物の計画、設計及び維持管理に関わる姿勢など感じていることを述べてみたい。

## 2 社会資本の耐久性

トンネルの歴史を紹介した文献には紀元前を含めた多くのトンネルが記載されているが、中には現在でも使われていると紹介されているものがある<sup>1)</sup>。イタリアのPosillipoにある凝灰岩に掘られたローマの道の1Kmのトンネルは現在でも使われ、ローマの道Flaminia 街道Furlo峠の長さ40mのPetra-Pertusaトンネルは現在でも交通に供用されている<sup>2)</sup>。実に2000年以上の耐用年数を持っていることになる。トンネルだけではなくローマ時代に造られた橋梁、水路など現在でも使用されているものがあると聞く。我が国でも17世紀中葉に建設された辰巳用水、箱根用水は400年余の時を経て現在でも使用されている。2000年は別格としても土木構造物には数百年の耐久性が求められるのではないだろうか。

産業革命までの交通手段は舟運が中心であった。ルネッサンスを経て産業が発展すると、交通需要が高まり17-18世紀には多くの運河が建設される。構造物としてはフランスLanguedoc(Canal du Midi)運河のMalpas トンネル(長さ157m)、イギリス Thames-Severn 運河のSapperton トンネル(長さ3490m)など近代的なトンネルが建設された。しかし、鉄道が普及するとその多くは役目を終え、レジャーや観光目的のツアーなどに利用され本来の目的では使用されていない。技術の革新により社会資本として寿命を失った。しかし、構造物としてみれば、耐久性は残存しているものも多いと考えられる。構造物を計画設計するとき用途としての必要な寿命を予測することは非常に困難であろう。

一方、当時の技術水準、ニーズあるいは経済的な状況に基



写真1 ローマの道の橋（スイスアルプス）

づいて建設され、後に時代の要請に合わなくなり、機能不全となる場合が多くある。狭小な幅員のトンネルや橋梁、断面の小さな水路など多くの事例が存在する。社会の発展を予測することそれ自体が容易でないが、予測できたとしても主として経済的な理由から計画に組み込むのは難しい。

現在、ロンドンでCross Railと呼ばれるヨーロッパで最大とされる工事が進められている。この工事はロンドンの中心部の地下に新線を建設し既設線を東西に結ぶものである。ロンドンの地下鉄は世界で初めて19世紀末に建設され、Tubeと呼ばれて親しまれているが、トンネルの内径は3.9m、Cross Railでは6.2mである。Tubeは明らかに機能的に時代と合わなくなっていると考えることが出来るであろう。これらは、増設や改築によって問題の解決を図らなければならないことになるが、多くの場合、最初に建設された位置はその施設にとって適地にあることが少なくなく、また、その施設が基となって社会が発展するという特性を持っている。別の位置を求めるのは難しいことが多く、また、効率が劣った施設が存在し続けるのも問題である。社会資本は時代のニーズに応じて適合させなければならないという本質を持っており、これが可能なように都市の構造から個々の構造物の細部に至るまで配慮が必要であろう。

橋梁で主構造を含めた部分での不具合が少なからず報告されているが、建設当時の荷重や交通の質などの設計条件と現在の条件とが異なってきており、ある意味では時代のニーズに機能が対応できなくなっていると見ることもできよう。老朽化だけでとらえることが出来ない側面を持ち、改築が必要な要素が含まれている。

社会資本の維持管理においては改築が容易なシステムを組

み込むことが必要である。重要なのは、改築のため一部の機能が停止しても全体として機能低下が著しくならないようなリダンダンシーを備えた社会資本にすることである。たとえば、道路など路線系の社会資本ではネットワークが密になっていれば、一部が停止しても全体として機能を補完できる。これは、災害に強い社会資本であることに直結する。

時代の変化は我儘である。日本橋川の上に首都高速道路が通っているが、これが景観的に問題であると指摘されている。豊かさなど時代の変化とともに判断基準は変わる。建設当時は景観に配慮することの考えはあっても難しかったであろうことは容易に理解できる。しかし、同じ都心環状線の三宅坂、霞が関付近は高架構造ではなくトンネル構造が採用された。これは皇居の景観に配慮したものだと聞いたことがある。現在の時点で考えてみると景観に配慮した計画が合理的で重要であることを理解させてくれる。ボストンで行われた高架道路の地下化(Big Dig)は景観問題が地域分断、土地利用の問題とともに計画のインセンティブとなっている。また、シアトルで耐震性に問題のあるAlaskan Viaductと呼ばれる高架道路を改築する際、高架構造で改築するという選択は行わず、ここでもトンネル構造が採用され、現在工事が行われている。

社会資本に対して要求される機能は技術革新、豊かさ、人々の考え方などによって時代とともに変化する。社会資本はこれに応じて行かなくてはならない。近年、時代は速い速度で変化するようになっている。こういう中で、社会資本の維持管理を構造物の老朽化としてのみとらえるのではなく、社会資本が社会のニーズにどのように応えるかという視点を含めて考えることが必要である。

しかし、構造物の不具合は多く発生するようになっておりこれに対応することが当面の重要課題である。

### 3 構造物の耐久性

構造物はすべからず建設が完了した時点から劣化が始まる。構造物の機能を維持していくためには維持管理が必要であり、完成直後から維持管理が始められなければならない。土木構造物で生ずる問題を一般の工業製品と同じように考えるのは適切でないかもしれないが、似ているものと考えてみる。不具合はバスタブを縦に切った時に現れる切断面の形状に似たバスタブ曲線と呼ばれる状況で発生するといわれている。初

期の不具合を処理した後は、不具合の少ない安定した状態が続く。ある時期を過ぎると不具合が急に多くなり、頻繁な対応が必要になる。対応が出来なくなれば交換を行うと言うことになる。構造物も30年50年で問題が顕在化するものが多くなるという事実を考えると、構造物のバスタブ曲線の安定期はこの程度の期間となる。これは社会資本としての構造物に期待される耐久性の考え方と乖離しているように感じられる。明示的に耐用年数を意識して設計することは殆どなかったと考えられるが、意外と短いと感じられないだろうか。耐久性は構造物の種類によって大きく違うことになるであろうが、社会資本は長期間の使用に耐えられるものでなければならないことを考えるとこの乖離を何とかしなければならない。

用途や機能は時代遅れになっても、古い時代に造られた構造物には2000年の時を経ても使用可能な性能を有しているものがある。これに比べ現在の構造物の耐久性は短いとの印象は否定できない。何故だろうか。古い時代の構造物は使用されている材料が自然の材料だからであると考えたと理解しやすい。石材など自然の材料は風化作用などの材料を劣化させる長年の影響から生き残った材料である。また、構造物の立地地点も良好な場所が選ばれている。構造形式としてみてもアーチを主体とした構造で、圧縮力が構造を支える主要な力となっている。勿論、規模は小さい。

一方、産業革命以降の構造物は高強度の鉄という材料と使い易いコンクリートという人工の材料を主体として構成されている。これによって大規模かつ高機能な構造物を建設することが可能となった。しかし、これらの材料は自然の環境に晒されると気象作用、水、酸素などの影響を受ける可能性のある材料で、自然界で時間の洗礼を受けたものに比べると安定性の低い材料である。鉄は純粋の鉄の状態では自然に存在することは稀で、鉱石を精錬することによって利用可能な鋼のような材料になる。この点で、古い時代の構造物とは異なり、近代の構造物は工業製品である。盛土や切土のような土構造物と呼ばれる構造物でも人工材料の利用は進んでいる。

しかし、工業製品であるという認識は曖昧である。工業製品であれば使用に限界がある時期を必ず迎える。一定期間使用に耐えればよいという暗黙の了解がある。その期間、すなわち寿命は、大型船でも30年ぐらいたそう、一般にはそれほど長くはない。しかし、社会基盤施設に期待される耐用年数は漠然としてではあるが一般の工業製品と比べるとはるかに長い。長期にわたる挙動の予測は非常に難しく、長期耐久性を設計に

反映させるのは容易ではない。むしろ困難であると認識した方が良いかもしれない。最近では見られなくなったと思うが、発注の仕様の性能規定化が進む中で耐久性を具体的な数字で求めるものがあつたが、無理な話である。耐久性に関する我々の知見は極めて限られている。そもそもどのような環境にさらされるのかを予測することも難しいのが実情のように思える。また、試作を繰り返して性能確かめるということもできない。したがって、社会基盤施設は工業製品ではあるが特別な存在であるといえるであろう。言い換えれば、社会資本としての構造物に求められる耐久性に対する期待と現実の間には乖離があり、これを認識して特別な配慮をしなければならないことは自明である。

しかし、一方で工業製品であることは間違いないことであり、工業製品としてのアプローチで検討することが必要であろう。こうすることによって工業製品としての構造物の限界や備えるべき性能を明確に位置づけることができるものと考えられる。一般の工業製品であれば、取り扱いが容易なように様々な工夫がなされ、不具合が発生した時の修理に対する用意をしなければならない。維持管理の条件が明確になるし、また、最終的には船舶や航空機のように退役させることを前提とした計画とする必要もある。

社会資本として期待される耐久性と工業製品としての耐久性の乖離を埋める手段は維持管理しかない。維持管理はその重要性を認識して、計画的に行う必要があり、設計の段階で構造に組み込んでおく必要がある。しかし、漠然とした長期の使用を前提に設計が行われ、このような検討がなされていることは少ないのではないだろうか。したがって、一般的には専門家が管理するという前提のもとに、維持管理についての配慮や検討が不十分のまま曖昧な状態で管理が行われているというのが実情のようである。そこには、設計技術者がとりがちな行動あるいは設計に求められる暗黙的な目標が関係していると思われる。

## 4 設計に関すること

現在行われている構造物の設計は、社会資本としての構造物の最適化というよりも、構造物自体の建設に要する費用の最適化に重点が置かれたものになっていることが多いと思われる。

社会資本としての構造物は長期の利用に耐えなければならぬとすれば、そのような設計にしなければならない。工業製品である限り、機能低下は避けることはできない。これに対応するためには、生物のように、機能が低下した部分は新陳代謝によって機能を回復し、全体としての機能が維持されるようなシステムが必要であろう。すなわち、構造物の構成要素を細胞化(部品化)して新陳代謝(部品交換)が容易な構造としておくような配慮が必要である。構造物の構成要素のユニット化のような思想を持ち込むことが考えられる。このためには一つの部品が外されても、その影響を他の部分で負担できるような構造、すなわち、リダンダンシーのある構造とすることが必要である。

しかし、従来の設計は構成要素すべてに荷重を負担させるモノコック的な構造を指向した設計が行われる例が多かったのではないだろうか。リダンダンシーを求めるよりも、むしろ、リダンダンシーを排して最少必要な部材を用いて軽量化し、計画時点で最も経済的な設計となるような選択が行われるのが普通であったように思われる。全体が一つのユニットになっており、問題が生じた部分のみを取り換えることが難しく、維持管理を困難にしていることはないだろうか。

力学の進歩によって、構造物の境界条件を与えれば構造物に生ずる状態を精度よく予測できるようになった。このことが維持管理という局面での弱点を作る原因になる可能性がある。精度が上がれば与えた境界条件に対して、最も合理的なあるいは必要最低限の構造、部材断面を選定でき経済化を図ることが出来る。しかし、従来持っていた余裕をそぎ落とす結果になることもあり得るといふ皮肉なことが起こりがちである。構造物の境界条件を決めることはそう容易なことではない。精緻な結果は、全体がバランスのとれた計画になっているかなど、多面的な視点から判断していくことが重要であり、将来起こり得る可能性も含めた多様な条件で検討する必要があるのではないだろうか。

設計基準の整備も進められた。その結果、計算の結果が基準の中に入っていれば設計はそれでよいと考えることが多くなる。建設コスト重視の風潮が強い中であっては、如何に部材を節約し設計基準を満たす設計をするかが設計者の腕の見せ所という側面がある。設計者は自身の経験に照らし合わせて、バランスの良いものになっているかという点で判断する必要があり、基準に適合すれば良いと云うことではないはずである。また、設計の発注者は設計結果をコスト中心に判断するの

ではなく、構造の頑強性や余裕、環境との調和を含めて総合的に判断することが求められる。しかし、発注者には社会に対する説明責任が課せられているのが普通で、コストは説明の容易な指標である。根本的には、社会がコストのみで判断する風潮、余裕を無駄と見る一部の考え方を排除することが必要であろう。応力中心主義的な考え方は、1970年代に応力的にもつからということでも薄い床板が多く用いられ、問題となったことに繋がることになる。

材料の進歩も著しい。高強度の部材を使用すれば軽量の設計とすることができ経済化を図ることもできる。また、従来出来なかったような規模の構造物の建設も可能になる。しかし、その材料がどのような特性、特に時間経過に対する特性を持っているのかを知ることは容易ではない。新材用の利用、特に構造技術者にとって不慣れな有機質材用の使用にあたっては慎重な検討が必要である。

技術者は常に新しいものを求め、新しい領域を切り拓きたいという情熱を持っている。最新の設計技術、材料技術、施工技術を駆使して良いものを作ろうとする特性、'さが'を持っている。これは、技術の発展進歩の源泉であり大切にしなければならない。しかし、維持管理という点でこのことが妥当な結果となるかどうかは吟味が必要であり、耐久性の向上に繋がる場合もあれば、リスクを伴っている場合もある。最新のものよりも実績のある技術が維持管理では妥当な場合もある。常に、社会資本は長期に亘ってその役目を果たさなければならないものであるという意識を持って計画、設計にあたる必要がある。

構造物は主構造物と二次的な構造、設備から構成される。技術者の心理として、主構造物には細心の注意を払うが、二次的な構造、設備に関しては関心が薄くなる傾向があるように思われる。しかし、維持管理上の問題は二次構造、設備で生ずるものが少なくない。分野が変わるため設計者が変わることも普通である。また、主構造でも全体としての安定性には問題がない状態でも、局所的な劣化によって問題が起こることが多い。コンクリート片の落下問題などがこれにあたる。局所的な問題であっても、材料の選択や、形状の選定、劣化予防対策等の検討が必要であり、計画、設計時点で細部に対しても維持管理の視点が重要であることを意味する。これは当たり前のことではあるが、実際にはなかなか難しい。細部に関することは特定の検討手法がないことが多く、技術者の経験によることが多いためである。構造細目については基準類で規定が設けられているが、すべてを基準化することは難しい。また、基準化すればた

だ基準を満たせば良いと考えがちであり、かえって視点を狭くする危険がある。全体をしっかりと把握し、多面的な判断が必要である。

## 5 施工に関すること

構造物は施工の良否が耐久性に影響を与え、維持管理に直接影響を与える。従って、施工は細心の注意を払って設計の通りにしなければならない。これは、当たり前過ぎることである。しかし、現実には施工が原因で不具合を生じる場合が少なくない。社会基盤としての構造物は即地的であり、一品生産である。また、工場で生産される部分もあるが、多くは現場で生産され組み立てられる。試作を繰り返して生産過程を改善する余地はほとんどない。地盤と関わりを持つ構造物では地盤の状況が設計時と異なることがあるのは普通で、自然の地盤そのものが構造物の一部である。施工不良の原因一つとなる材料の品質、形状などは検査や試験によって不良なものを排除することが出来る。しかし、掘削やコンクリート打設など現場で行う作業に依存するものは、地盤や気象条件など現場条件の変化の影響を受け、日々適切な対応が求められる。常に良好な条件を保つことができる訳ではなく、多様な判断がある中で、良好な品質のものを造る最大限の努力が求められる。常に完璧な施工が可能であるとは限らない。この点で日々の施工過程の管理が非常に重要である。現場で作る一品生産の構造物は出来形管理のみならず、プロセス管理が施工不良を避けるための要であるといえる。

一方、施工管理の合理化が進められている。責任施工という言葉のもとに施工者に判断を委ねる方向にある。構造物の管理者となる発注者の関与を少なくする傾向に進んでいるように思われる。定員削減という流れの中でやむを得ないところはある。しかし、社会資本としての構造物は即地的であり、それぞれ個性を持っている。維持管理は構造物の個性を理解して進めなければならない。その個性は立地する条件と施工過程を通して形成されるもので、管理者は施工時の状況を肌で感じる必要があり、施工にもっと深く関わるべきではないだろうか。完成した外形からは分からない事柄が多く存在し、それが維持管理に役立つことが多い。施工過程は資料として残されればよいというものではなく、生きた情報として活用しなければならない。また、資料は散逸しやすく、今までは残されてないこと

も少なくない。維持管理上の要点は施工時の状況に多くが含まれている。発注者は施工に積極的に関与し、維持管理者として情報を得て、それを生きた情報として管理実務者に引き継ぐことが必要である。

また、地盤に関わる構造物では、現場で発生する問題は多様であり、設計を見直すなどの最大限の努力をしても、施工に難渋することもある。施工時の問題は完成までに問題の解消に努めなければならないが、十分な条件把握が困難で、挙動を十分監視するなど、施工期間を超えて対応しなければならないこともある。構造物によってはすべての部分で様な品質を求めるのは現実的ではなく、不完全性を内包している場合もあることを理解しておかなければならない。また、完成時に不具合が潜在していることに気付かない場合もあり得る。

## 6 維持管理に関すること

維持管理の上でまず問題になるのが、構造物の状態をいかに把握するか、すなわち、点検である。点検は機能を健全に維持するためには欠かすことの出来ない重要なことである。また、事故が起きた時、点検が適正におこなわれていたかどうかですぐ問題になる。しかし、構造物の状態を把握するのはそう容易なことではない。特に構造物が大規模化、複雑化している状況の中では、専門知識と多くの労力を必要とする。如何に合理的に点検を行うかが課題である。

そこで、点検作業を機械化、自動化し合理化を図りたいという考え方が出てきている。構造物の種類によって当然、機械化や合理化の手法は異なる。コンクリートのひび割れの状態をレーザー等によって定期的に収集するものから、部材にセンサーを取り付け、常時状態を監視するものまでさまざまな試みが行われている。得られたデータはICTを最大限利用して処理して、維持管理上必要な情報として整理し、必要な対策を講ずることが出来るようにすることを指向するものである。当然この方向での研究は大切であるし、可能なものから実施に移していくことが必要である。将来はICTを駆使した管理も可能となると考えられるが、それなりの費用が必要であり、センサーを多用した管理を行うのであればセンサーの寿命は一般に短いので、管理システムそのものの維持管理が必要になることも考えられる。

点検や維持管理手法の機械化、合理化の研究は重点的に進

めなければならないが、現実には厳しい。点検作業は多くを人手によって行わなければならないし、維持管理に当たって不可欠な設計図、施工記録などの資料が散逸していることも多いと聞く。点検によってすぐ対処しなければならない自明な異常が見出されることもあるが、多くの場合は自明なものは少なく総合的に状況を評価し対策が必要であるかを検討しなければならない。この検討には過去の補修履歴を含む資料が不可欠である。また、点検では完全な点検を望むのは難しいと考えなければならない。見落としのリスクは常にある。これを避けるためには対象の構造物の個性を理解することである。過去の履歴と着目点をしっかり把握して点検に当たることが大切である。この点で資料の保存は点検の基礎である。

そこで、構造物に関する資料のデータベースの構築が試みられ、実際に運用されているものもある。しかし、データベースは、フォーマットに合わせて入力する作業が必要であり、手間がかかる。また、同じ種類の構造物でもそれぞれ個性を持っているから、すべてをフォーマット化するのは難しい。データベースは検索によって効率的に情報を引き出すことにその価値があると考えられるが、特定の構造物の維持管理の観点で見ると検索によって情報を取り出す必要性は多くはない。むしろ、資料の散逸を防ぎ、簡単に資料を閲覧できることに意味がある。従って、データベースはフォーマット化する部分は目的に応じて最小限に留め、そのタグのもとに資料を電子化して保存し、資料の散逸を防ぐことと資料へのアクセスを容易にすることを主な目的とすべきであろう。データを加工する必要が無ければ点検補修履歴の追加も容易である。

点検を含む構造物の維持管理の機械化、合理化は必要で、ICTなどの最新の技術の導入は負担の軽減に有効であると考えられる。しかし、構造物の維持管理はアナログ的な要素が多く、人の果たすべき役割が多い分野であると考えられる。点検作業一つとっても、過去の状況を熟知した人が行うのと、業務委託によって毎回異なる人が行うのでは結果や効率に大きな差が出てくるのは明らかである。

400年以上の歴史を持つ辰巳用水の管理を長く勤められた畦地実氏は「土木の工芸品・辰巳用水」で次のように記している。「土地改良区の前身辰巳用水普通水利組合に入ったのが16歳でした。そのころ72歳のじいさんが一人働いていて、「なんちゅう年よりや」と思っていました。気づいたら、私もその年齢以上になりました。63年の間、大雨や濁水のたびに水門にゴミがかかってないか、どこか壊れていないかと気をも

んできたので、今じゃ辰巳用水は自分の体の一部のように思っています。」

ここに記されていることは、維持管理の本質を表しているように思われる。畦地氏のような方が何代にもわたって辰巳用水を守って来たのだと云える。構造物を守るには愛情が必要であり、長年にわたって愛情を持って維持管理に携われるような体制が必要である。しかし、構造物が大規模、複雑化した現在においてはこのような体制の構築は非常に難しいと考えなければならない。大きな組織ではインハウスで維持管理の組織を設けることもできるが、実作業を外部に委託していることも多いように見受けられる。組織となると人の異動が常に伴う。特定の構造物を長年にわたって担当することは現実的ではないかもしれない。一方、小さな組織では外部に依存しなければならない状況にある。しかし、愛情を持って維持管理を担当することが出来る専門の組織はないのが実情である。現在の社会環境、風潮の中で、維持管理を任せられる組織をどのように構築するかが、構造物の維持管理に関わる問題を解決するための最も重要な課題であると云えるであろう。

## 7 おわりに

社会資本の維持管理は、単に構造物の維持管理という狭い範囲で考えるのは適当でない。社会資本の計画、設計施工を含む全体の中で考える必要があり、現在起きている問題は全体にフィードバックされなければならない。技術的な問題だけでなく、社会の制度、あるいは、風潮にも関係する面も大きい。現在の維持管理に関わる問題は社会資本を供給する側の問題もあるが、社会そのものが持っている問題を反映している。社会資本を社会の中でどのように位置付けて行くかである。経済効率優先のみの社会から脱却し、必要な余裕を認める社会になることが必要であろう。また、それが出来る時代になっていると考えたい。

### 参考文献

- 1) Societa Italiana Gallerie "Tunnelling in Italy : 1990"
- 2) "The World longest Tunnel Page" [www.lotsberg.net](http://www.lotsberg.net)  
(Petra-Pertusaトンネル写真にアクセスできる)
- 3) 畦地実「土木の工芸品・辰巳用水」ダム技術 NO.274 (2009.7)