

道路構造物の長寿命化について

松浦 弘・真下英人

1. はじめに

50年後の我が国の将来像は、そのスタンスによって様々なものが描けようが、人口が減っているということは共通の予測であろう。平成26年7月に公表された国土交通省の国土のグランドデザイン2050¹⁾ (以下、グランドデザイン) では、人口の減少した社会への基本戦略として「国土の細胞としての「小さな拠点」と、高次地方都市連合等の構築」を第一に挙げられており、その上で「インフラを賢く使う」とされている。「インフラの管理レベルを考慮し、効率的・効果的な維持管理を行いつつ、インフラの特性や利用状況等を踏まえ、必要に応じ、更新等を行うほか、機能連携、用途変更、統廃合等を実施」とあり、将来にわたって必要な道路ネットワークを確保していくが重要である。

本稿では、道路ネットワークの確保のため、道路構造物のうち、主として橋梁とトンネル、カルバートなどの地中構造物についてなすべき長寿命化の取り組みを展望する。

2. 橋梁の長寿命化について

人口が減り、社会資本への投資余力が小さいと想定される将来にあって、優先しなければならないことは、メンテナンスに要するマンパワーとライフサイクルコストの最小化であり、端的に言えば長寿命化である。本来、橋を構成する鋼やコンクリート等に一定の寿命があるわけではない。英国のコールブルックデール橋 (写真-1) のように数多くの橋梁が世界遺産ともなっている。しかしながら、現実には、過大な外力や厳しい気象の下、塩害、ASR (アルカリ骨材反応)、中性化、腐食、疲労、凍害等の損傷により長寿命化が妨げられている。このため、供用中の橋梁にあっては、それら損傷を防止・回復する対策が、新規に整備あるいは更新される場合にあっては、予め耐久力を持

つような材料、設計の両面での対策が望まれる。以下、これらの取り組みについて論ずる。

2.1 既設橋梁のメンテナンス技術

・点検

平成26年7月から5年毎の近接点検が全橋で行われることとなった。点検を効率的に見逃しなく行うことは今後も課題である。点検部位までのアクセス性と検査の省力化、精度向上の点から改善を図っていく必要がある。戦略的イノベーション創造プログラム²⁾ (以下、SIP) に「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が位置づけられており、目視困難な箇所へのアクセス性の改善を図るマルチコプター (小型無人ヘリ) 等の開発や画像処理、応力発光材料による構造物状態の可視化、人手による打音検査等を補うロボット機器の開発が取り組まれている。また、高出力レーザーや中性子線による深部の損傷 (シース内PCケーブルの腐食等) 調査の技術開発も始まっている。将来的には、我々が人間ドックで検査を受けるような体制がとられるようになることが望まれる。

・モニタリング

上記点検を補完するもの、また、安全確保の面から構造物の状況を常時把握するものとして強い期待がある。グランドデザインにも「インフラのスマート化」の中で「ビッグデータを活用して、潜在的な危険箇所を改善」とあり、構造物についても常時観測による損傷の把握、補修等の対応の是非の判断につなげていくことが望まれる。損傷をどのような事象で観測し、どのような閾値をもって状態を判断すべきか等課題は多いが、これもSIPで研究に取り組まれている。センサー機器自体の長寿命化も合わせて取り組む必要がある。

・補修技術

対処療法的な補修では、ランニングコストの点において問題があり、原因療法 (根治療法) が望まれる。例えばコンクリート橋の損傷では、鉄筋の発錆に伴う体積膨張によるものが多いことから、表面被覆等で防ぐのみならず、内部で発錆の化学

反応そのものを抑制する対策が考えられる。また、腐食等により減肉した部材の補修については、当て板等の措置がなされているが、SIPで新溶射材による補修技術の研究開発も始まっており、防護のみならず、失った断面を回復するといった対策への拡大も期待される。



写真-1 コールブルックデール橋

2.2 新設、更新の技術

これからの50年を考えた場合、既設の劣化した橋梁については更新する機会が増してくる。道路橋示方書は平成14年に耐久性向上、平成24年に維持管理を重視した設計基準に改訂されており、今後、適所に新材料等の耐久性向上技術を取り入れていくことも可能となっている。しかしながら、それらの新材料もまた別の損傷を起こしうるとした場合、それのみに頼ることなく設計、施工、製作等の総合力で劣化を防ぎ、超寿命化を図っていくことが必要である。その観点を以下に列挙する。

- ・劣化しない材料や腐食の進行させない防食技術

革新的イノベーション創出プログラム³⁾では、炭素繊維複合材料(CFRP)を構造部材として使用すべく研究が進められている。材料、製造、加工技術の開発の観点から進められている。

- ・構造的配慮による劣化要因の撲滅

ジョイント部からの漏水により、桁端部や支承部に損傷が多いことから、これを防ぐため、ジョイントレス構造(インテグラルアバット構造、門型ラーメン構造)を比較的支間の短い橋梁に採用していくといった対応が考えられる。

- ・劣化進展に係る弱点を無くした構造部材

部材の接続部が疲労亀裂等に見られるように脆弱部であることを考えると、部材の一体化を図る加工技術も考えられる。3Dプリンターが製品の製造プロセスを変革するとも言われているが、橋梁の製作においてもそのような革新技術について

期待したい。

- ・壊す部位を制御できる構造

長寿命化を目指すには、当該橋梁のネットワーク上の位置づけにもよるが、超過外力への対応も必要となる。事後修復が容易なよう、塑性変形を特定箇所に誘導する設計も採用されていくだろう。

- ・維持管理しやすい構造

メンテナンスフリーの下、施工された橋梁であっても、定期的な点検は必須である。点検ロボットの運用がしやすいよう、一定の空間を確保する構造設計も必要となる。

- ・制限された空間の下での施工技術

更新にあたっては、大規模に仮設の構造物及び用地を用意することは難しいものとなる。そのため、制約された環境のもとでの施工技術及びその設計が必要となる。

3. 地中構造物の長寿命化について

トンネルでは、建設後50年以上経過しても何の問題もなく使われているものがある一方、コンクリートにひび割れなどの変状が生じて補修・補強あるいは改築を必要とするものも現れている。これまでの調査研究や経験を通じて、50年後も健全な状態で使用できる地中構造物を構築するには、計画、調査、設計、施工、維持管理の各段階で何を考えておくべきか、あるいはどのような技術が必要かについて論じる。

3.1 計画・調査

地中構造物に作用する荷重の主たるものは土圧であり、土圧の大きさは地盤条件によって大きく異なるため、地中構造物の耐久性も地盤条件の影響を大きく受ける。特にトンネルの場合、地質が悪くて掘削中に何らかのトラブルに遭遇した箇所においては、供用後も変状が発生し易いことが経験的に分かっている。また、地震の影響についても、地中構造物は地震による周辺地盤の変形が大きい場合に被害が発生し易いため、地盤条件の良いところに構造物を建設すれば被害を受けにくくなる。したがって、寿命の長い地中構造物を構築するには、まず計画段階において、地盤条件の良い場所を選定することが重要となる。現在の道路計画のプロセスでは、トンネルなどの地中構造物をどこに計画するかは、前後の線形により決まり、地盤条件によって構造物の計画位置を大きく変え

ることができない場合が多い。現在の技術であれば、地中構造物は地盤条件が悪い箇所に計画されてもほとんどの場合は建設することは可能であるが、計画段階から地中構造物の位置についても少し配慮することにより、供用後の維持管理が楽になる場合が多くなると思われる。地盤条件の良い位置の選定には、トンネルでは坑口部だけではなく、全線にわたっての地質情報が必要となるが、近年ではボーリングの掘削技術も進んでおり、数kmのボーリングが可能となれば延長が長いトンネルでも全線の地質状態を事前に把握することが可能となる。なお、道路計画においては、構造物は橋梁、トンネル、切土・盛土の何れかの選択となることが多いが、その選択には建設コストだけではなく維持管理のし易さの視点も必要と思われる。例えば、土被りが薄い丘陵に道路を計画する場合、トンネルか切土かの選択が考えられる。建設コストはトンネルの方が高いが、地質が崩れやすい場合には、将来の維持管理や豪雨などの自然災害のことを考えるとトンネルの方が合理的になる場合もある。

3.2 設計

地中構造物の長寿命化を図るには、設計段階から長寿命化を意識した設計を行うことが不可欠である。設計段階で、検討すべき項目は、大きくは、使用材料、形状・構造が挙げられる。使用材料については、現在はコンクリートと鉄が構造物を構築するための主な材料となっているが、これらは人工物であるため、劣化が生じやすく、何れ寿命が来る。一方、自然物（土、岩石など）は風雪にさらされた過酷な自然環境の中で残ってきた物質であり、耐久性に優れている。例えば大分県中津市に位置する青の洞門（写真-2）は18世紀に建設されているが、支保は非常に軽微でトンネルはほとんど地山自体（岩石）が支えており、現在も問題なく使用されている。コンクリートや鉄を全て自然物に置き換えることは現実的でないが、設計の工夫により構造の一部に自然物を活用することができないかと思われる。

構造物の形状については、地中構造物のコンクリートのひび割れは、漏水、凍結融解などの原因となって耐久性を害する他、コンクリートのはく落の原因にもなるため、できる限りひび割れの発生につながる曲げが発生しにくく、圧縮力が卓越

する形状が望ましい。元来、トンネルはアーチを主体とする構造で、曲げが発生しにくく、圧縮力が構造物を支える主要な力となっており、構造的には理想的な形状に近いと言える。しかし、近年では経済性の観点から少しでも掘削断面積を小さくしようと扁平な形状が採用されることが多い。建設コストの面では多少劣っても、長期の耐久性を考えれば、形状はできる限り円形に近づけて、曲げが発生しにくくすることが望まれる。構造については、近年では解析技術が進んでおり、強度が非常に高い材料を採用すれば、部材の厚さを薄くしても構造全体の安定性が確認された、経済的な構造が得られる。建設コストが重視される風潮が強い中では、部材の厚さに関係なく、構造物の安定性が確認できれば経済性が良いものが採用される。しかし、地中構造物の場合は、作用する土圧そのものが十分に解明されていないことや、将来的な地山の劣化など不確定な要素が残るため、長く使用しているうちに設計の前提条件が満足されなくなる場合がある。解析で安定性が確認できたからと言ってぎりぎりの設計を行うと、これまで不確定要素をカバーしていた余裕をそぎ落とすことになり、何か不具合が生じるとたちまち構造物の安定性が損なわれるおそれがあるため、設計にはある程度の余裕を持たせておくことが必要である。また、設計の段階から維持管理の視点を取り入れることも重要である。例えば、構造物が幾つかのパーツにより構成されるようにして、一つのパーツに損傷が発生してもその影響を他のパーツが負担するようにできれば、全体を取り替えなくても損傷が発生したパーツだけを交換すれば良いことになる。なお、構造物は、構造物全体の安定性を確保する主部材とそうではない二次部材から構成されることが多い。一般に二次部材への関心が薄くなりがちであるが、二次部材についても将来的な耐久性について十分な配慮が必要なことは言うまでもないことである。

3.3 施工

構造物の耐久性は、施工の良否によって大きく受けるため、地中構造物の場合は、掘削、コンクリートの打設を適切に行い、コンクリートの品質を確保することが、長寿命化につながる。例えば昭和の30年代に開通した関門道路トンネルは海底下にもかかわらず、コンクリートの品質が非常

に高いため、大きな漏水の発生も無く、現在も健全に使用されている。現場で品質の高いコンクリートを打設するには、施工管理が重要であり、使用材料については、品質、形状、寸法、強度などの点で不適格なものを検査・試験により排除し、施工不良の要因を取り除かなければならない。しかし、掘削、コンクリート打設は現場での作業に依存するものであり、地盤条件が予測と異なるなど当初の計画通りの施工ができないこともある。このため、コンクリートの充填性の確認、十分な締固め、良好な養生環境と十分な養生時間の確保、計測による構造物の挙動監視、所用の形状・寸法が得られていることの確認など個々の作業の管理が非常に重要となる。また、地中構造物の場合、コンクリートの打ち継ぎ目は漏水の発生原因となるため、打ち継ぎ目の止水性の確保は長寿命化を図る上で大きな課題である。なお、コンクリートの品質確保の観点からは、コスト面での課題は残るものの、プレキャスト部材を活用した施工も有効と思われる。



写真・2 青の洞門 ④

3.4 維持管理

維持管理は、点検→診断→措置→記録といったメンテナンスサイクルをうまく回すことが基本であり、まず、点検でいかに構造物の状態を把握するかが課題となる。現状の点検作業は、目視が基本となっているが、現在、効率化を図るために機械化、非破壊試験の技術開発が進んでおり、経済的で必要とされる性能が満足されるものは現場での活用が期待される。また、構造物によっては部材にセンサーを取り付けて常時、状態を監視する試みも行われているが、センサーにも寿命があるので導入に際してはセンサー自体の維持管理についても考慮する必要がある。診断においては、単に変状が有るとか無いとかではなく、構造物がこのままで使えるのか、何年使えるかの判断、性能評価を行うことが重要である。これらは、技術者

の経験に頼る部分が多いが、既存の変状事例や補修履歴が検索できるデータベースを構築し、変状の発生原因の推定、対策の必要性の判断、対策工の選定などに活用していくことも必要である。対策は、損傷箇所を修繕することにより構造物の寿命を延ばすことが期待されるが、そのためには対策工自体の耐久性の確保も重要であり、地中構造物の場合は、特に確実に耐久性に優れた漏水対策の技術開発が課題である。また、山岳トンネルに限れば、構造は地山自体が支えているという特性があるため、老朽化した覆工コンクリートを新しいものに打ち替えることは技術的に可能である。しかし、作業空間に制約があるために、現在は、施工に当たっては通行規制が必要であり、コストも高いものとなっている。通行規制が不要で安価に覆工コンクリートを打ち替える技術は、断面が狭小なために機能不全となったトンネルを拡幅する場合にも必要な技術であり、技術開発が望まれる。

4. おわりに

紹介した取り組みのいくつかは国土技術政策総合研究所と土木研究所が主体的に関わる研究である。これら研究を着実に進めるとともに、その成果の普及に努め、50年後の我が国の活力の基盤となるインフラの確保に寄与したいと考えている。

参考文献

- 1) 国土のグランドデザイン2050
http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html
- 2) 戦略的イノベーション創造プログラム
<http://sip-cao.jp/>
- 3) 革新的イノベーション創出プログラム
<http://www.jst.go.jp/coi/>
- 4) 大分県中津市ホームページ：
(<http://www.city-nakatsu.jp/>)

松浦 弘



(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター
橋梁構造研究グループ長
Hiroshi MATSUURA

真下英人



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部長、工博
Dr.Hideto MASHIMO