

地下構造物の維持・再生に関する技術的手法について

On the technical method for maintenance and renewal of underground structures

岡村光政*, 亀村勝美**, 岡田正之***, 安藤慎一郎****

Mitsumasa Okamura, Katsumi Kamemura, Masayuki Okada, Shinitiro Ando

Underground structures such as the tunnel, was built rapidly from the high economic growth since the 1960's. Currently the deterioration of these structures are going on. Furthermore the renewal of these is becoming needed by the change of the society and environment condition. However, the inspection and diagnosis of underground structures are not easy. The maintenance and renewal sub-committee under the committee on underground space research of Japan Society of Civil Engineers are studying the rational maintenance and renewal method of underground structures. With this research, we paid attention to the life cycle cost of underground structures. It became clear that LCC is studied prosperously in each field as a result of the survey. Here we are examining the fundamental flow of the maintenance and renewal method of underground structures.

Key words; underground structures, maintenance and renewal, life cycle cost

1. はじめに

昭和30年代からの高度経済成長期を境に、わが国の社会資本は急速に整備され、それと共にトンネルや上下水道、地下街といった地下構造物のストックも増大した。初期に建設されたものは、すでに40年以上経ており、構造物の老朽化が進んでいる。また、社会状況の変化に伴う機能の拡充や、環境変化に伴う補強などが必要になってきている。しかし、これらの構造物は地下空間という特異な環境下におかれているため、点検や補修も容易には行えず、ましてやその全面的な改築には大きな困難が伴うことになる。

今後の社会、経済情勢から、社会資本ストックの経済的維持・更新が重要な課題であり、土木学会地下空間研究委員会維持・再生小委員会再生法検討WGでは、地下構造物の合理的な維持・再生法を研究する一環として、構造物のライフサイクルコスト(LCC)に着目した。現状把握と診断結果から将来を予測し、対策法の選定や実施時期を、費用対効果の観点から合理的に決定することがねらいである。今回の報告では、まず各分野における維持・再生法の実態を調査し、LCCによる経済評価の試みや研究が盛んであることを紹介する。次に、地下構造物を対象とした場合の維持・再生法の基本的な流れを検討し、LCCを含めた、今後解決を図るべき課題を抽出している。

キーワード; 地下構造物, 維持再生, ライフサイクルコスト

- * フェロー 戸田建設(株)技術統轄部
- ** 正会員 大成建設(株)土木本部
- *** 正会員 北海道開発コンサルタント交通施設部
- **** 正会員 ㈱竹中土木技術本部

2. 各分野における維持・再生法の動向

ここでは、各分野において議論、構築されつつある維持・再生法を紹介し、その基本思想と手法について整理した。

2・1 維持・再生の基本プログラム

1) 舗装

舗装には多くの外力が直接作用するので、舗装は他の構造物と比較して、寿命が短い。そのため、投資費用と寿命の関係、すなわちライフサイクルコストの算定が容易であることから、舗装マネジメントシステム（PMS）が北米を中心にして1970年代初期に導入された。PMSは、舗装に関わる総ての行為、すなわち計画・調査・設計・建設・維持・修繕・評価・データバンク・研究などを体系づけるものである。ある期間内において舗装利用者に対するサービスをあるレベルに保つために必要な総費用を最小化する経済解析が主体となっており、現在、PMSは、世界的に国家の施策とされている状況にある。

PMSを稼働させるためにはサービスアビリティ（供用性能：舗装が利用者に与えるサービスの程度）の評価指標の決定とパフォーマンスの把握が不可欠である。パフォーマンス（供用性：時間経過と共に変化するサービスアビリティ）はサービスアビリティの評価指標（供用性能指数）と5トン換算累積輪数または供用年数の関係を表現するものである。

サービスアビリティの評価指標は乗り心地、路面損傷、滑り抵抗、支持力の関数として捉えることができる。乗り心地は世界的に国際ラフネス指数（IRI）で評価される傾向にある。このラフネスは縦断方向の形状特性（凹凸）を意味する。また、路面損傷の測定項目は、アスファルト舗装の場合、亀甲状ひび割れ、わだち掘れ、ポットホール、パッチングなどである。路面性状自動測定装置により、ひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸の三要素を測定し、MC I（路面損傷を重視した評価指標）を算出し、データバンクに蓄積している。

PMSにはネットワークレベルとプロジェクトレベルがあり、道路の役割および交通量によって必要とされるデータの量と質が異なる。ネットワークレベルは行政区内におけるすべての路面舗装の平均的供用性能を捉え、それが年数と共にどのように変化していくかを合理的に予測し、その平均供用性能をあるレベル以上に保つために必要な最小費用を求めるものである。一方、プロジェクトレベルはある路線のある区間の舗装を対象にするものである。

JHのPMSは、舗装工事の施工データや路面性状データを蓄積するデータバンク、供用道路の路面性状の実態を把握した上で将来の路面性状を予測し、より効果的な予算の使用を目指して合理的な維持修繕計画の策定を行うメンテナンスサブシステム等から構成されている。現在のシステムでは道路利用者の便益を算出する機能はなく、建設・維持修繕コストのみで舗装を評価している。走行快適性、工事渋滞の減少による定時性などの道路利用者便益も算出できるシステムの開発が必要であり、便益を算出することで高速道路建設や高機能舗装の施工の必要性が明確になると考えられている。

2) 橋 梁

建設省ではパソコンを用いた橋梁マネジメントシステム（BMS）を開発しており、以下にその内容について紹介する¹⁾。

(1) 目的と特徴

BMSは建設省が管理する道路橋の維持管理をコンピュータにより支援するシステムを構築し、最終的に橋梁のライフサイクルコストを最小にすることを目的としている。その特徴は以下のとおりである。

- ① パソコン（C言語）による比較的簡便なシステムである。
- ② 既存の点検結果や橋梁諸元などのデータを用いることができる。

BMSは「健全度評価モジュール」と「補修計画作成モジュール」で構成され、道路管理データベースシス

テム（MICHI）の点検データから健全度評価モジュールが橋梁毎の評価を行い、それを利用して補修計画作成モジュールが、事務所等で管理する橋梁群の補修計画を立案し、補修に役立てるという流れである。

ここでMICHIとは、建設省所管の道路に関するデータを蓄積、活用できるデータベースである。

(2) 健全度評価モジュール

MICHIに蓄積されている橋梁の諸元、履歴、点検データを使用し、橋梁の現在の状況を評価する。腐食やクラックなどの欠陥が、橋梁の各部材毎の損傷度として蓄積されている。橋梁の健全度は、それぞれ各部材の損傷度を減点数として変換し、この減点数を合計して満点から差し引きすることにより計算される。

(3) 補修計画作成モジュール

それぞれの橋梁の健全度とその他の情報から複数の補修計画を立案し、予算計画に合わせ、どの橋梁を補修するかなどを最適化し、補修計画を作成する。その際、補修計画作成時点での健全度だけでなく、将来の健全度の低下、補修費用、架け替え費用などを勘案する。補修の優先順位の評価は、標準劣化曲線を用いて、橋梁群の中のすべての橋梁のすべて補修案について補修費（C）と利得（B）を計算し、限界効用（ $\Delta B / \Delta C$ ）の大きい順に補修案を選択する。

(4) 今後の課題

現在、BMSの実用化が進められているが、今後に向けて以下の課題が考えられる。

- ① 専門家による健全度の評価結果とBMSによる結果との整合を図る。
- ② 補修費算出に関するデータおよび情報を収集し、補修費算出の精度を向上させる。

3) 建築

建築分野におけるLCCは、欧米、特にこの手法を開発したアメリカでは、1970年代より多くの連邦州政府が公共プロジェクト調達時の適用を法制化しており実績も多い。我が国においては、建築物のうち設備部分への適用が先行し、建築部分（仕上げ、下地、躯体等の非設備部分）への適用を主眼とした試みは、総プロ「建築物の耐久性向上技術の開発」（1981～84年度）が初めてであった¹⁾。

(1) 計画、設計段階におけるLCCの活用

LCCの適用には、建築物の企画、基本設計、実施設計、建設および運用管理、運用処分の

1)各段階におけるLCC代替案の比較・検討、および2)全体LCCの算定による全体代替案の検討が考えられる。評価モデルとしては概算法、略算法、精算法がある。図-1は、各段階が建築物の性能およびコストの決定に与える影響を示すが、企画・設計段階終了時でのコスト低減の可能性は極端に少なく、建築におけるLCCは企画・設計段階において活用されている事例が多い。この場合、図-2に示す新築および改善

（改善とは、建築物を使用している中で、技術や社会の発展に合わせて、当初の性能レベル以上のレベルに改修すること）の各段階における検討方法が考えられている。

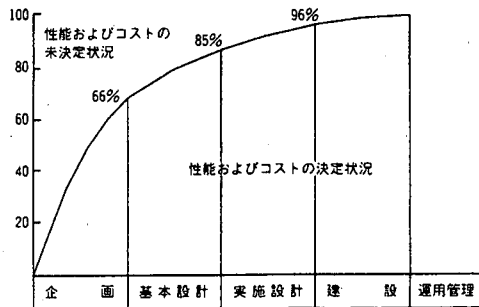


図-1 建築物の検討段階と性能及びコストの決定状況²⁾

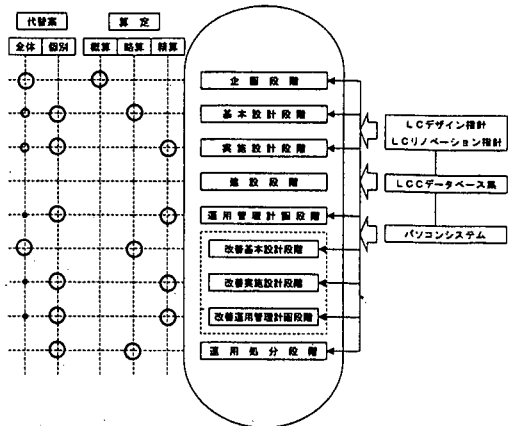


図-2 建築物の各段階におけるLCC利用方法²⁾

(2) 評価LCC項目の重点的選定

建築物の各段階におけるLCCの評価項目は数多くあるが、効率的な検討のためには項目相互間の関連度合いを分析し、重要度の高いコスト項目に絞った重点的検討が必要である。

(3) 我が国におけるLCCの将来の展望

我が国においてLCC手法が定着するためには欧米からの導入技術のままではなく、日本的に変化させることが必要であると考えられる。特に、FMやVEにおける経済的分析方法として使用されることがLCCの高度化、普及に有効であり、新築時・改善時におけるLCC方法論の開発やLCCデータベースの整備がポイントである。また、さらなる利用展開としては計画・設計時および契約時の利用が考えられ、個別プロジェクト対応としての会計データとしても活用検討が始まっている。

4) 下水道

(1) 下水道の現状

平成11年度末の全国の下水道普及率は60%となっている¹⁾。しかし、下水道事業は地方公共団体が事業主体であり、大都市と中小市町村では大きな格差がある。例えば、東京都では平成8年度末に、区部で100%、普及率に達しているのに対し、平成11年度末における人口5万人未満の市町村での普及率は24%にすぎない。

(2) 下水道の耐用年数

下水道設備は主に、管路、ポンプ所、処理場から成り立っているが、施設により耐用年数が異なっている。管路施設は耐用年数が50年を目途としているが、処理場やポンプ場等の機械・電気設備の耐用年数は10～20年である。このことから下水道事業のLCCを考える場合、笹部²⁾は下水道施設をいくつかのサブシステムに分割して、各々のLCCを考える必要があると述べている。

(3) 下水道の維持・管理に関わる主な取り組み

LCCの概念を広く公共工事に適用させる契機となった「社会資本の維持・機能向上技術の開発」³⁾では、①下水管路施設の実態調査 ②硫化水素に対する維持・更新費低減手法の検討 ③アンケート調査によって管路施設のLCCを試算するとともに、硫化水素対策技術を用いた場合のLCCによる評価検討を行っている。

東京都下水道局では、都区部の管路全体のライフサイクルコスト分析に基づく経済的耐用年数を試算したところ、概ね75年という結果を得ている(図-3)。これは、健全な管路や軽微な損傷の管路は補修などで延命化を図り、90年・100年でも使用するが、重大な損傷が発生している管路は50年でも更新することとした場合、管路全体の経済的な更新年齢が概ね75年前後であるということを示している。今後はこの年数も参考にして、計画的な再構築を実施していくとしている。また、川崎市では、下水道のポンプ施設を取り上げ、減価償却の算定方法を定額法や定率法でLCCを試算している。図-4には定額法を用いてLCCを試算したものであり、経済的耐用年数は10年となっている。しかし実状は、設備の老朽度により維持管理費の増加が明確にみられないことや、古い設備が大規模な補修を必要とする故障を起こすとは限らないことなど、LCCの算定が極めて難しく、LCCは施設更新時期決定の目安であると述べている。

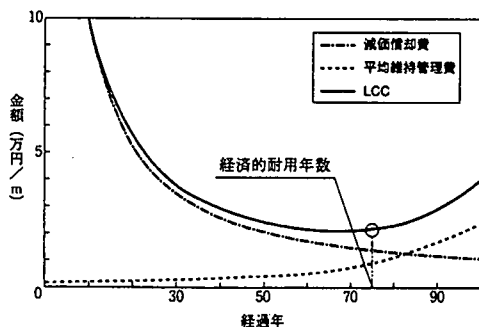


図-3 東京都における管路LCC試算例⁴⁾

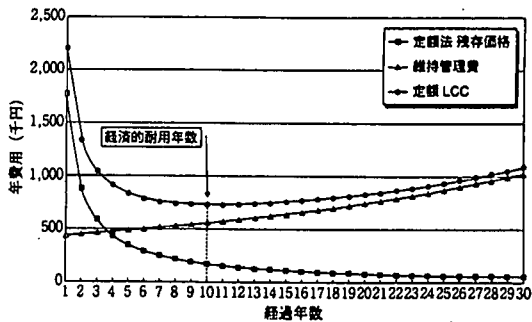


図-4 川崎市におけるポンプのLCC試算例⁵⁾

5) 電力土木施設

電力施設についてもLCCを評価した上で、発電コストを下げる試みが成されている。以下は、文献1)及び維持再生小委員会における東京電力㈱の安田氏による講演に基づきまとめた電力土木構造物へのLCC適用の現状である。

電力施設の特徴は、発電から送電に至る様々な機能を持つ設備(電気、機械)、構造物(土木、建築)から構成されていることにある。従って個々の構造物およびその構造物を含む設備(サブシステム)が全施設の中でどのような役割を果たしているのか、また現状がどのようになっているのかを明確にする必要がある。

ここでのLCCの定義は、 $LCC = C_i + C_d + C_m + C_f$

ここに C_i :初期建設費用 C_d :運用費用 C_m :維持管理費用

C_f :破壊時の期待費用(リスク) $C_f = C_f \cdot P_f$ C_f :破壊時の費用 P_f :破壊確率

である。そして、LCCの最適化の方法として、

- 1) C_i を抑えつつも、 P_f を小さくする。
- 2) P_f を大きくならないようにして、 C_i を大幅に低減する。
- 3) 品質向上や高耐久化によって C_m を低減する。

などがあるとしている。LCCにリスク(C_f)を含めるかどうかは議論のあるところであるが、何よりも大事なことは意思決定に有用であると理解されることであり、リスクを評価する信頼性理論の合理性を強調した議論などだけで論じるべきではない。

講演の中で安田氏は、「現在我々に求められていることは、 C_i も下げた上で C_m も下げること」であり、この矛盾した要求を満たすには「仕様設計から性能設計への転換」が必要と述べている。

具体的な方策はこれからの検討に待つ必要があるが、現時点での戦略としては以下のことが示されている。

- ・水力施設:「予防保全」から「事後補修」への転換
- ・地中線設備:メンテ可能な洞道形式のものについて、
 - ・RCの鉄筋腐食を中心とする劣化を対象とし、RC構造としての多少の損傷は許容する、内空維持を性能とした補修の繰り延べ。
- ・火力:30年以上のものが多く、設備更新が進行中。この時RC既存構造物は、出来るだけ再利用する。
- ・原子力:劣化したRCの安全性などから維持管理

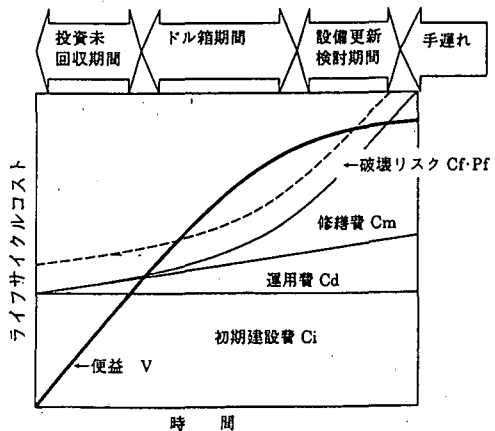


図-5 ライフサイクルコストの検討期間

2.2 基本思想と技術的手法の比較整理

前節で紹介した各分野でのLCCの取り組みを整理すると、設計段階から総合的にLCCの活用を考慮している建築をのぞき、体系的な取り扱いを行っているのは、舗装と橋梁の維持補修分野である。これらは、現状把握と将来予測のためのDB構築、対象性能の明確化と定量化を実施し、維持・対策の実施順位や計画案の優先順位を決定している。一方、下水道施設については、各事業者ごとに個々検討している段階で、対象施設のLCCに基づく経済的耐用年数を算定し、維持補修の実施計画立案の参考にしている。また電力土木施設については、LCCの算定項目の選定を含めた研究段階であり、対象施設の目的や性能から合理的な維持・再生の判定基準と対策方法を定めようとしている。なお、建築分野と土木分野でのLCCの取り組みの差異は、建築では、「資金回収のため構造物の寿命という概念が明確」「解体～リサイクルへの意識が強い」などがあげられる。

このように維持・再生段階でのLCCの活用に、分野ごとの温度差がある。これは、各施設の目的に応じ

て、管理の対象とすべき性能を特定、定量化できるか、またそれらの情報がどの程度蓄積されているか、そして明確な判断基準を定められるか、といった施設自体の基本事項に維持・再生が関わっているためである。

わが国で実用化されつつある舗装、橋梁および建築での維持・再生法の基本事項を比較すると、表-1のようである。

表-1 わが国で実用化されつつある維持・再生法の比較一覧

		舗装 (PMS)	橋梁 (BMS)	建 築
基本事項		・ データバンク ・ 施工情報、路面性状 ・ メンテナンスシステム ・ 将来予測 ・ 効果的な予算使用	・ 健全度評価M J ・ 道路管理D B (MICH) ・ 補修計画作成M J ・ 複数の補修計画 ・ 限界効用に着目	・ LC段階でのLCC代替案比較 ・ 全体や部位別LCC代替案比較 ・ 評価モデル； ・ 概算法、精算法
対象性能	基本	路面の健全度	各部材ごとの健全度	・ 建物全体、部位別機能
	評価項目	・ 車両走行時の乗り心地 ・ 路面縦断の凹凸 ・ 路面損傷；ひび割れ等	・ 腐食、クラック ・ 部材ごとの損傷度 (減点数)	・ 環境負荷(CO₂等)発生量 ・ 資源投入量、再生資源利用量 ・ エネルギー消費量 ・ D D
	評価基準	路面損傷評価指標	評価点 = (満点) - Σ (減点数)	・ 省エネ法(PAL/DEC 基準) ・ ライフサイクルチェックリスト評価点
経済性評価		・ 道路管理者負担費用 ・ 建設、維持修繕コスト	・ 限界効用 α ・ 標準劣化曲線 ・ $\alpha = \Delta B / \Delta C$ ・ B ; 利得 ・ C ; 補修費	・ 建物の水光熱エネルギー費用 ・ 維持更新費、改修費、保守人件費 ・ 破棄物処理、廃水処理費等
運用		建設・維持修繕コスト (舗装評価) による優先順位の決定	A max となる補修計画案の採択	・ E S C O , D Dなどで診断、提案で対応

これから、土木分野における維持・再生法の要点と流れを整理すると、次のようになる。

- ① 対象物の維持すべき機能を明確にし、定量化した情報として扱う。
- ② 機能情報 (データ) を健全度 (損傷度) で評価する。
- ③ 機能情報の現状と履歴を蓄積するD Bを構築し、点検と診断によりD B情報を更新していく。
- ④ 標準劣化曲線を設定する。
- ⑤ 健全度等の評価基準に則った診断を行い、必要な対応策やその実施部位を定める (またはメニュー化する)。
- ⑥ 標準劣化曲線に基づき対応策の費用対効果を検討し、最適な対応策および着目部位を特定する。

なお現状での経済性評価は、管理者負担費用のみに着目したものになっており、受益者の便益や負担までは考慮されていない。また、設備が破壊された場合のリスクについても、舗装や橋梁分野では考慮されていない。社会基盤としての各施設の公共性を考えた場合、今後、これらの課題についても取り扱う総合的な検討が必要になるものと考えられる

3. 地下構造物の維持・再生法と課題

ここでは、前述の各分野における維持・再生法の動向を踏まえ、地下構造物を対象とした場合の維持・再生法について考察を加えた。

地下構造物は、地上施設と異なり地中という特異な環境内に建設されている。対象となるものとしては、都市域における地下街や地下鉄道を始め、山岳地に建設される各種トンネルや地下空洞など、その目的によって多岐にわたり、それぞれの事業主体によって計画、建設されている。そしてそれらの維持管理も、各事業主体の個別の思想に基づいて実施されている状況にある。

構造物の維持・再生を考える場合、現象としての構造物の劣化や変状は、その適用分野によらない普遍的なものであり、その変化が許容できるのか否かの判定が、構造物の種別 (目的) によって異なってくると考えられる。一方、地下構造物に関わる各事業主体において、点検・診断マニュアルと対策工のメニューまでは整備しているものの、その実施の優先順位の決定や実施効果に対する経済性評価に、L C Cの概念を明確

に導入しているところは、まだ見あたらないのが実情である。

以上の観点や現状を踏まえ、各種地下構造物を対象とした場合の、LCC分析を念頭に入れた原則的な維持・再生法についてまとめると、おおむね以下のA～Eの事項に整理される。

A. 地下構造物の機能（目的）に関する評価データ

対象構造物の維持・再生を考えるに当たって、もっとも基本となるデータであり、その構造物の本来の目的つまり機能を定量的に記述することのできる項目を選定する必要がある。これはまた、構造物の健全度の評価対象データになるものである。それを概念的にまとめると、表-2のようである。

これらの評価データは現象系のデータであるが、地下構造物の場合、その要因に不確定要素が多く、それらについても考察、記述しておくことが、健全度判定のために重要であると思われる。

表-2 地下構造物機能の評価データの例（概念）

構造物の機能（目的）	評価内容	評価データ	要 因
・内空断面の保持	・構造物（地山）の安定性等	・内空断面の変位量 ・縦断勾配 等	・地質不良 ・覆工構造の不適合 等
・供用性の確保 EX) 通行車両の安全性確保 収容設備の保持 計画水量の確保 等	・漏水の有無 ・部材の損傷 ・部材の劣化 等	・ひび割れ ・剥落 ・漏水量 ・材料の物理的、科学的性状 等	・地山、地下水条件の変化 ・背面空洞（施工法） ・コーラシメント、乾燥収縮 （施工の不具合） ・材料劣化 （環境条件・施工法） 等

B. 評価データのDB化と標準劣化曲線

点検・計測方法とそのサイクルを定めた中で、対象とするデータを計画的に収集蓄積し、その経時変化を追跡するとともに、たとえば管路系の地下構造物の場合、不具合の進行している部位が把握されることで、その全体系に及ぼす影響のシミュレーションが可能となる。また各種データの経時変化から、対象物の機能変化の進行状況が把握され、部材などの理論的な標準劣化曲線の实情に即した修正を行うことができる。

標準劣化曲線は、修繕等の対策により機能回復の程度を明確にして、対策の費用対効果を算定するに当たっての基礎的根拠となるもので、単に材料の物理的、力学的性状の変化のみに着目すべきではなく、機能性の評価を反映したものにすることが理想であると言える。

地下構造物の場合、地下という特異な環境下に置かれるため、材料変化や構造物の変状などの十分なデータが蓄積されていない。また、各種データはあまり公開されていないのが実情である。現象系のデータは普遍的なものと考えられるので、情報の共有化が今後は是非とも望まれるところである。

C. 健全度評価

点検データに基づく構造物の健全度評価は、基本的には、構造物の維持すべき機能レベルとの関係で論ずるべきものと思われる。たとえば、道路トンネルの漏水は、路面を濡らし通行車両のスリップ事故につながるものなので、その発生部位と漏水量については厳しい評価基準が設けられることになる。

D. 経済性評価

補修や改築といった対応策の費用対効果を評価するための重要な経済分析であり、LCCが対象となる。一般的にLCC算定のための構成要素には、①初期建設費用 ②運用費用 ③維持管理費用 ④受益者便益や負担 ⑤破壊時のリスク等、多くのものがある。

各種構造物で同じ構成要素を用いるにしても、構造物の目的と維持すべき機能レベルなどによって、各要素の全体に占める比率が変わってくると考えられる。さらに将来予測においては、金利の設定、将来的な技術革新の可能性など、多くの不確定要素を含むために、LCC算定精度がどの程度のものかを把握したい

面もある。このようなことから、ＬＣＣの構成要素は事業主体ごとに変化し、一律に示されるものではないと言える。将来的には、受益者の便益や負担も考慮したＬＣＣ分析が社会基盤施設には必要と思われる。

E. 運用

現在の維持管理の考え方は、ほとんどの場合、不具合の発生をあるレベルで未然に防ぐという予防保全の思想に立脚している。一方、先に紹介した電力の水力施設では、「構造物を含む全体システムの機能が一定レベルを保つならば、部材や部品といったものについては不具合が生じた後に修繕する」という事後補修の考え方を取り入れる方向が示されている。施設の廃棄、完全な更新を行うまでのトータルコストを勘案した場合、影響の少ない部品まで、こまめに維持する必要はないとの判断であると思われる。すべてのシステムに事後補修の考え方が成立するとは限らないが、対象構造物やシステムの目的とによっては、この考え方を取り入れる検討も、今後必要になるものと思われる。

4. おわりに

社会基盤の合理的な維持・再生法の確立は、今後の経済・社会情勢から急務の課題である。ここでは、地下構造物という特異性に配慮しながら、その考え方を整理してみたが、解決すべき課題が実に多いと言える。今後、各論で示した課題についてさらに議論を深めると共に、代表的な地下構造物を想定してシミュレーションを行い、合理的な維持・再生法の研究を進めていきたい。

最後に、本報告は、本小委員会のメンバーである粕谷太郎氏（鉄建建設㈱）、梨本裕氏（前田建設工業㈱）、藤原康政氏（清水建設㈱）との共同研究成果である。またWG活動の一環として、丸山暉彦氏（長岡技術大学教授）、笠原篤氏（北海道工業大学教授）をはじめ、多くの方々に特別講義を実施していただいた。ここに記して各氏に謝意を表する。

（参考文献）

1) 舗装；以下の文献を総合的に参考にした

- 笠原篤：舗装マネジメントシステム（研究展望），土木学会論文集 No. 478/V-21, pp. 1-12, 1993. 11
- 笠原篤：舗装マネジメントからインフラストラクチャ・マネジメントへ（展望），道路，pp. 4-5, 1998. 9
- 丸山暉彦：舗装マネジメントシステム（PMS）の最適化，土木技術 54 巻 2 号，pp. 48-53, 1999. 2
- 織茂直樹・七五三野茂：舗装建設技術の変遷と今後の展望，ハイウェイ技術，No. 15, pp. 34-47, 1999. 12

2) 橋梁

- 1) 佐藤弘史・荻原勝也：橋梁マネジメントシステム，土木技術資料，38-1, 1966

3) 建築

- 1) 「保全・耐久性向上技術の経済性評価手法」建設大臣官房技術調査室監修 1986.7
- 2) 「改訂建築物のライフサイクルコスト」建設大臣官房官庁営繕部監修 2000.5

4) 下水道

- 1) 建設省：建設省HP
- 2) 笹部薫：ＬＣＣを最小にする技術開発の展望，月刊下水道，1998. 3, Vol. 21 No. 3
- 3) 建設省：社会資本の維持交信・機能向上技術の開発－建設省総合技術開発プロジェクト，1996. 10
- 4) 東京都下水道局：下水道施設の再構築－老朽化施設のリニューアル－
- 5) 大川昌俊：川崎市の改築・更新計画，月刊下水道，1998. 3, Vol. 21 No. 3

5) 電力土木施設

- 1) 安田 登：電力土木構造物へのライフサイクルコストに関する検討の現状
土木学会「ライフサイクルコストに関するワークショップ」（平成 11 年 12 月）