

土木施設の維持管理システム構成に関する一考察

大阪市立大学 工学部 正員 日野 泰雄
大阪市立大学 工学部 正員 西村 昂

1. はじめに

土木施設の維持・補修は、その施設のライフ・サイクルと非常に密接な関係があることは言うまでもない。また、ライフ・サイクル自体、施設の持つ特性によって様々であり、たとえばダム、橋梁などが安全性から比較的長いサイクルで考えられているのに対し、土木施設の中でもっとも消耗品的要素の強い道路舗装の場合、構造設計の時点ですでに維持補修（打ち換えを含む）によって機能を持続させることが前提となっている。しかも、これらの耐用年数についても物理的・機能的・社会的・経済的等の各方面からの考え方が必要とされている。従って、単純に施設の供用年数や機能低下の状況だけで補修や新設等の方策を考えることは望ましくなく、場合によっては施設計画の段階から補修までを含めた全体的なシステムの中で考えていくことが必要になる。さらに、それらのシステムが合理的なものであるためには、そのシステムを構成する要因を正確に把握し、評価することが重要となる。

以上のようなことから、本研究は、土木施設の維持管理システムがその施設のライフ・サイクルの中でどのように構成されるべきか、すなわち、土木施設が真に効率的に機能するためには維持管理システムがどういう状態であるのが望ましいのかを考えるために、各施設の特性と維持管理上の各種費用、施設の効用、故障（機能低下）による損失等の評価によって構成される維持管理システムについての基礎的な考え方を考察したものである。

2. 維持管理システム問題

土木施設は、社会の必要性に応じてなされる投資によって一定の機能を有し、それによって利用者らに間接的には一般市民（たとえば道路の沿道住民）に対して効用（便益）をもたらしものであるが、その施設をとりまく数々の要因によって、供用を続けるとその機能は低下し（同時に効用も減少し）、遂にマイナスの効用（非効用）が発生することもあり、補修が必要

となるわけである。

さらに、効用、非効用以外に建設に要する費用、補修費用等の費用をはじめ補修時の制約（損失）等の関係から補修の時期や規模が決定され、それにもとづいて補修が実施され、再び一定の機能を回復する。これらのサイクルを管理し、常に最適な維持管理をするためのシステムを構成することが維持管理システム問題である。（図-1. 参照）

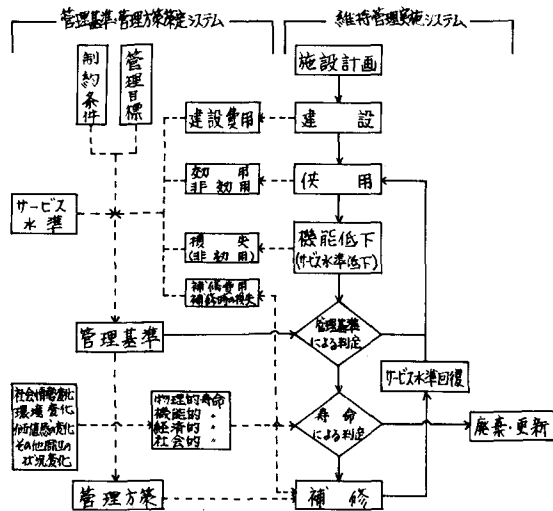


図-1. 維持管理システムの一般的な考え方

そこで、合理的なシステムをつくるのが問題となるが、それを考えるためには、施設そのものの特性及び先に述べた関連する要因をどのように評価するかということが重要となる。いかにいえば、管理システムの目標、管理パターンによって問題の性格は変わるといえる。

ここでは、管理目標を次の3つの場合に分け、各々について考えてみた。

① 効用をできるだけ大きくする方式（非効用をできるだけ小さくする方式）---土木施設は、供用されるに従って時間とともに様々な要因によって、そのサービス（機能）が低下する。そこで、この水準がある程度まで低下した所（限界サービス水準）でサービスの

回復のための補修を実施し、常にサービスを一定の状態以上に保とうとするわけであるが、その限界サービス水準に対応した効用をできるだけ大きく、あるいは非効用をできるだけ小さくしようとするのがこの考え方である。これには、費用制約が加えられる。

また、サービス水準と効用（非効用）との関係は、たとえば図-2のように表わされるが、効用（非効用）としてとりあげられる要素さらにそれらとサービス水準の関係は一定のパターンで表わされるとは限らないため、これらの条件によってはシステムも異なったものとなる。

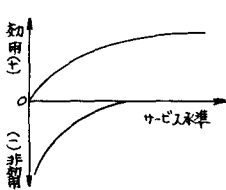


図-2. サービス水準と効用および非効用

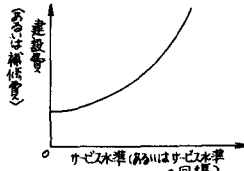


図-3. サービス水準と費用

b) 費用をできるだけ小さくする方式----ここでは、一定のサービス水準を保ちながら、それに要する費用を最小にしようとするもので、この場合の費用として何を含めるかによって、また問題の細分化ができる。たとえば費用として考えられるものには、管理者側の維持管理費、補修費、利用者側のサービス低下にともなう経費（たとえば、道路舗装のひび割れ、凹凸による車両損失費、事故費等）等が考えられる。ただし、この場合にも、ある一定のサービス水準は満足される必要があり、費用との関係も図-3のように表わされる。さらに、一定の費用でできるだけ長く機能を持続させる（すなわち寿命をできるだけ延ばす）方法も費用最小化方式の一つと考えられる。

c) 費用及び効用（非効用）の関係を最適化する考え方----一定のサービス水準制約下での費用と効用の関係から最適なサービス水準の回復の程度と時期が決められることになる。また、評価の方法としては、いわゆる費用便益分析で用いられる効用と費用の比を最大にする方法が考えられる。

以上の他にも、これらの基本的な考え方をもとに変形した考え方（たとえば、建設段階を含める方法など）も考えられるが、本研究では以下、この3つの基本的なケースについて維持管理システムのあり方を考えることにする。

3. 維持管理システムに影響を与える主たる要因

前章では維持管理システムの考え方をいくつか示したが、いずれの場合についてもそれらを構成する基礎的評価要因について考察する必要がある。ここでは、主に施設の機能の状態を中心にそれらの要因を考えてみる。

a) 施設の有する機能及び機能低下による効用と非効用----施設が供用され、ある機能を維持すると、その利用者に対して効用が発生する。さらに供用を続けることによって施設の機能が低下し、それによって非効用が発生する。（図-4参照）これらの要因は、費用とともに維持管理システムを構成するための評価に大きな影響を与えることは言うまでもない。

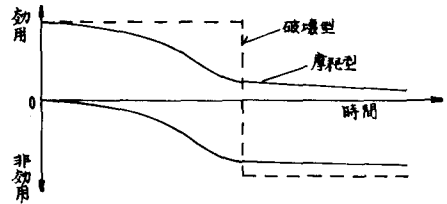


図-4. 供用に伴う効用と非効用

b) 機能低下及び破壊のパターン----これは、その施設の有する機能が低下することあるいは破壊によって機能が消失することによって損失（非効用）をもたらす。さらに、施設のサービス水準に変化を及ぼすものであり、図-5, 6のように2通りのパターンが考えられる。

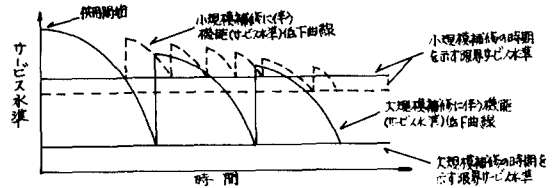


図-5. 摩耗型機能低下パターンと補修時期

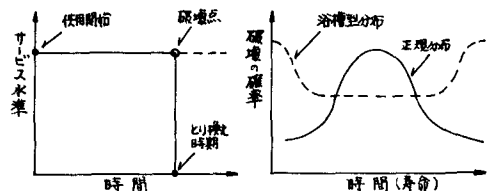


図-6. 破壊型機能低下パターンと破壊確率分布

図-5で示される場合は、使用が続くにつれてその施設の状態が悪化する（サービス水準が低下する）もので摩耗型機能低下とよばれ、道路舗装などがこれにあたる。また、図-6の場合は、いわゆる破壊型とよばれるもので、街灯などのように機能するか否かのいずれかが極端な状態だけを有するものがこれである。

c) 補修時の損失……の述べたようにサービス水準が一歩の所まで低下すると、その水準によっては利用者や一般市民に非効用をもたらしことが考えられる。ところが、その施設自体の機能低下による非効用だけを考えることは必ずしも合理的であるとはいえない。すなわち、その施設を含む全体としての施設の初用を考慮しなければならない場合がある。いいかえれば、その施設の機能回復のための補修によって、逆にその施設を含む全体としての施設により大きな機能低下（非効用）をもたらしことも考えられるのである。さらに、たとえば、道路舗装の場合を例にとってみると、機能回復のために一時完全にその機能を止め（全面車両通行禁止にシ）短期間で補修を行う場合と、ある程度の機能は持続させ（一部車両通行を制限し）比較的長期間で補修を行う場合とでは、その補修による損失も異なることから、施設によって異なる補修時の損失の大きさが、初用、非効用の関係にも係わると考えられる。

d) 管理目標と管理基準……サービス水準及びa)～c)に述べた各要因あるいはその他の各種要因の関係から設定されるのが管理目標であり、これを満足するような一定の基準が管理基準である。これによって、補修の要、不要あるいはその具体的な管理計画についての判断が下されることになる。

管理目標としては、2.の問題の分類の中で触れたように基本的には3つの考え方がありと思われる。

また、これらの目標を満足するような各要因の定量的（あるいは定性的）状態によって設定された管理基準にもとづいて、さらに具体的に補修の時期や規模が決められるが、これがいわゆる管理方針となる。

4. 簡単な計算例

理論的には前述のような管理目標に従って管理基準を設定するための問題が定式化されるが、これらは、各々の施設によって考慮されるべき要因、その要因を構成する要素などが異なるため、それらを総括した形の

具体的な定式化は難しい。そこで、本章では1つのモデル計算例を通して定式化の一例を示すことにする。

計算モデルの基礎的要素間の関係を図-7～9、表-1に示す。又、実用耐用年数をほぼ10年の目標とし、その間の補修可能回数を3回とする。このモデルの管理目標を費用最小としたときの結果を表-2に示す。

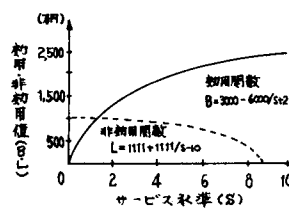


図-7 サービス水準と初用・非効用

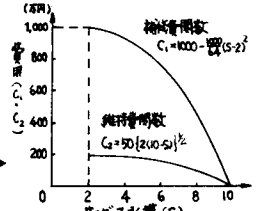


図-8 サービス水準と費用

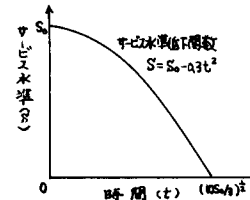


図-9 時間とサービス水準

表-1. 補修年次による回復可能サービス水準

補修年次	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1回目	10.0	9.8	9.6						
2回目		10.0	9.8	9.6	9.0	8.5			
3回目			10.0	9.8	9.6	9.0	8.5	8.0	7.0

表-2. 計算結果

耐用年数	年平均費用	年平均初用	年平均非効用	1回目補修年次	2回目補修年次	3回目補修年次
9	212.3	2422	318.4	2	4	7
10	250.8	2,395	429.5	2	5	8

但し、費用は(C₁+C₂)と示してある。

5. あとがき

以上述べてきたことをまとめてみると、維持管理システムとは、管理目標を達成するためにある制約条件下で管理基準及び管理方針を設定することであり、このとき、施設の状態を表わす変数としてのサービス指標及びそれによって表わされる効果指標（初用、非効用、費用等）さらに管理目標を変数とする場合の目標指標からなる管理指標を施設にあわせていかに適切に選択するかのポイントとなる。また、本計算例では、耐用年数1年の違いが入りこみ反映された結果になったが、これは費用関数の設定の仕方によるもので、このことから効果指標とサービス指標の関係についても適切な推定が必要となる。

さらに、上記のようなプロセスから遂に管理目標をどのように設定するのが適切かということも考えなければならぬ問題であろう。