

土木構造物の維持管理データベースに於ける劣化基準見直しに関する基礎的考察

秀島 栄三¹

¹正会員 名古屋工業大学教授 大学院工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)

E-mail:hideshima.eizo@nitech.ac.jp

高度経済成長期に建設された土木構造物が大量に老朽化を迎える一方で厳しい財政制約下で維持管理を効率的に行う必要がある。アセットマネジメントに基づく維持管理では構造物の健全度を評価し、蓄積されたデータを用いて劣化予測を行なうこととなるが、評価結果が積み上がるにつれ、評価基準を見直す必要性が生じる。見直しの前後でデータを照らし合わせる、あるいは過去のデータを適切に読み替える必要がある。そこで本研究では共同溝を事例対象として「台帳からのデータ照合」と「変化率算出によるデータ照合」の2種類の方法について作業量とデータ不整合による損失を貨幣換算したコスト指標値を用い、両方法の効率性を比較し、膨大となるデータに対して合理的な基準の見直しの進め方についてまとめた。

Key Words : database, deterioration, asset management, conversion, efficiency

1. はじめに

我が国では高度経済成長期までに建設された土木構造物が大量に老朽化を迎える一方で厳しい財政制約があることから維持管理を効率的に進める必要がある。アセットマネジメントに基づいた維持管理では、構造物の健全度を評価し、蓄積されたデータを用いて劣化予測を行なうこととなるが、評価結果が積み上がるにつれ、評価基準を見直す必要性が生じる。同じ劣化状態でも評価基準の見直し前と後で評価結果が異なることから前後でデータを照らし合わせなければならない。あるいは過去のデータを適切に読み替える必要がある。以上の問題意識を背景として本研究では、共同溝の維持管理を対象として点検結果の評価基準見直しを伴うデータベースの更新のあり方について考察する。以下、2.では土木構造物のアセットマネジメントにおいて構造物の状態を客観的に判定するための評価基準の見直しの必要性と、評価基準を見直す場合のデータベースの更新について説明する。3.では「愛知共同溝維持管理システム」を事例として取り上げ、評価基準の見直しの可能性、見直しに伴うデータベース更新について考察し、既往データの照合方法を検討する。4.ではデータ照合の各方法について効率性を比較検証する。最後に5.で結論を述べる。

2. データベース更新と評価基準見直し

土木構造物のアセットマネジメントではライフサイクルコスト(以降LCCと記す)最小化に基づく維持管理計画の策定に加え、適切な維持管理を常時行うことが要求される。LCC最小化に向けて劣化予測を行わなければならない。劣化予測は一般に構造物(または部材)の状態を健全度等の評価基準に基づいてランク分けし、定期的な点検の結果から健全度等の分布の既往の推移から将来の状態(の分布)を推定する。本稿ではマルコフ過程を用いた基本的な方法を取り上げる。数回にわたる点検結果より得た健全度の分布から式(1)に示す遷移マトリクス T を求める。ここに t_{ij} は健全度 i の構造物(または部材)が一定期間後に健全度 j になる確率を表す。

$$T = \{t_{ij}\} \quad (i = A \sim E, j = A \sim E) \quad (1)$$

N 期の状態 S_N と初期の状態 S_0 の関係は式(2)のように表される。ここで $S_p = \{s_{ij}^p\}$ ($i=A \sim E$) は p 期における構造物群全体のうち健全度 i の構造物が占める割合を表す。

$$S_N = T^N S_0 \quad (2)$$

マルコフ過程を用いた捉え方では劣化過程が図1のような状態遷移図で表現される。現在(原点)は全体の約55%が最も良い健全度Aと判定されているが10年後

には全体の約20%に減少するといったプロセスを予測している。補修などの措置を行わなければ図1のように劣化は拡大進行する。

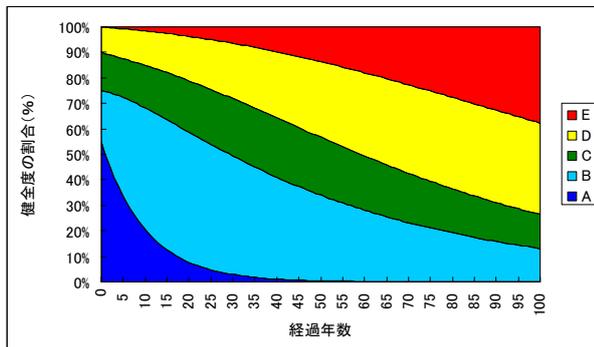


図1 土木構造物の劣化過程を示す状態遷移図

従来の土木構造物の維持管理では、補修の必要性を判断するために現時点の状況把握は行われてきたが、将来予測まではあまり行われてこなかった。劣化過程を評価するための評価基準も設けていなかった。建設時の状態や点検・補修結果がデータとして残されていないことも多く、また定期的な点検も行われていないこともあり、構造物が現在までにどのように劣化してきたかを示すデータが整っていなかったのが実状である。アセットマネジメントの考え方を導入し、構造物の劣化予測を行なうにはまず評価基準を設けることが必要となる。例えば一つの小さなひび割れは維持管理の対象となる構造物にとっては無視できるか否かというように損傷の状態をどの程度の劣化と評価するかが定義できなければならない。そのためには、小さなひび割れが今までに構造物全体にどれだけの影響を与えたかがわかるような履歴的なデータの蓄積がなければならない。

すなわち劣化状況の評価する基準を設定するには一定以上のデータの蓄積が必要である。その一方で、データを蓄積するためには評価基準が暫定的であっても設定されていなければならない。図2に示すようにデータの蓄積と評価基準の設定は循環的なプロセスを続けていくことになる。データの蓄積が無い初期段階ではきわめて暫定的な評価基準をもとにしてデータを整理して保存するよりほかない。データが蓄積されるうちに劣化のメカニズムが徐々に判明する。その結果として損傷の状態がかなり重大な劣化を招いているにもかかわらず、従来の評価基準では過小評価している、逆に重大な劣化ではないにもかかわらず、従来の評価基準では過大評価している、これらの事実が判明した場合には評価基準を見直すべきであろう。

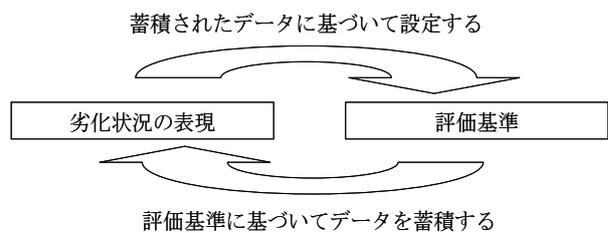


図2 データベース更新と基準設定の循環プロセス

評価基準の見直しが行なわれた場合、今まで蓄積してきたデータを新しい評価基準に照合し置き換えるというデータ更新が必要となる。ひとつの方法として「台帳から構造物の損傷状態を見直し、新しい基準に照合してデータベースに再入力する方法」（以降「台帳からのデータ照合」と呼ぶこととする）が考えられる。点検台帳は一般に紙媒体であるためこの方法ではすべての台帳の情報をデジタル化するコストを要する。また、台帳が増えれば増えるほど、すなわち管理期間が長ければ長いほどその作業量は増えコストも増大する。結果としてデータ照合が行われないか、膨大な作業を伴わない他の方法が適当となる。データ照合を行わない場合、前述したように不整合が生じ、LCCの算出が正確に行われなくなる。反面、作業量が少ないままで済む。

3. 共同溝維持管理を例とした評価基準見直し

共同溝を対象事例として維持管理の評価基準見直しで生じる課題とその対処方針について考察する。国土交通省中部地方整備局名古屋国道事務所が管理する愛知共同溝¹⁾は名古屋都心部の国道下に構築されており、延長81.3 kmに達している。建設から約35年経過した共同溝延長は2 km（全体の2%）、20年以上経過した共同溝延長は17 km（全体の20%）に及ぶ。これら既設共同溝の一部で経年による劣化・損傷が確認された。躯体の高齢化に伴い今後も各部で順次補修が必要となることが予想される。このため平成18-19年に実際に今後の維持管理の効率化に向けた「愛知共同溝維持管理システム」の構築が検討された²⁾。従来とは異なる形式で試験的に点検が実施され、その体験をもとに点検要領・管理要領が作成された。

従来は維持管理の管理水準、点検方法、劣化損傷の評価等は明確に規定されておらず、実際に行われる点検は、占用企業者による損傷報告や電気通信設備点検者の設備と並行した区間の躯体目視点検にとどまり、コンクリート躯体の専門家による詳細な点検が実施されたことはなかった。そのため構造物の状態に対する

評価基準も無く、点検データの蓄積もなく、検討過程において実施されたモデル点検の結果のみによって評価基準が暫定的に設定された。

愛知共同溝維持管理システムでは劣化度および健全度という評価基準が設けられている。劣化度は表1に示すように5段階で表現される変状箇所（局所的部分）ごとの劣化状況（躯体部のひび割れや鉄筋露出など）に対応する。健全度は共同溝の一定区間（ブロック）内の複数種の劣化度の組合せによってA～Eの5段階で評価される。

劣化度は表1に示すように構造部材ごとに規定される一元的な指標であり、ほぼ点検結果に応じて一意にランクを与えている。健全度は表2、表3に示すように諸々の劣化度の集計結果に基づいて決まる。

表1 劣化度評価基準²⁾

		1	2	3	4	5
躯体部	ひび割れ	横 なし	0.2mm以下	0.5 (0.3) mm未満	0.5 (0.3) mm以上、漏 水を伴う	0.5 (0.3) mm以上、錆 汁を伴う
	鉄筋露出・ 剥離	なし	骨材剥離 (点)	主鉄筋以外 の露出	剥離・剥落 (面的)	主鉄筋露出
	遊離石灰	なし	遊離石灰	錆汁を伴う	—	—
	漏水	なし	水が滲む	表面が湿 る	漏水あり	土砂混じ り・錆汁あ り
	滞水	なし	漏水の跡	5cm以下	5cm以上	躯体の変形
目地部	目地の開き・段 差	なし	1cm以内	2cm以内	4cm以内	4cm以上
	目地の損傷	なし	劣化	断裂	損傷	占有物に 影響あり

表2 劣化度ランクによる得点²⁾

健全度 ランク	A	B	C	D	E
劣化度 得点合計	2未満	2以上 5未満	5以上 8未満	8以上 10未満	10以上

表3 健全度評価基準²⁾

損傷種別	劣化度ランク				
	1	2	3	4	5
横ひび割れ	0	1	2	3	8
縦ひび割れ	0	1	1	1	8
鉄筋露出	0	1	1	5	8
遊離石灰	0	1	1	—	—
漏水	0	1	1	4	8
滞水	0	1	5	5	8

点検データが蓄積されれば評価基準を変える方が望ましくなる可能性がある。実際、本検討におけるモデル点検だけではデータが少なく、ひび割れのランク付け

は「縦方向のひび割れ」と「横方向のひび割れ」とを区別せずに行われた。また、劣化度と健全度の対応関係もデータ蓄積により劣化過程（メカニズム）が明らかになれば将来的には見直しを行うこととされた。この評価基準見直しについて考察すると、およそ下記の3つのタイプがあると言える。

i)数値尺度の見直し

表2、表3では劣化度と健全度は全てにおいて数値尺度によって評価されている。表1でも一部は数値尺度によって評価されている。見直しによってこれらの数値が変更される場合がある。ひび割れ「2」と判定される基準が0.2mm以下から0.3mm以下に引き上げられるといった場合である。

ii)文章記述の見直し

表1には定量化が困難なため文章により基準を設けているものがある。記載内容が変更する、または定量可能となり数値尺度に変更することが想定される。

iii)ランク数、項目などの見直し

健全度等のランクの分割数が増える場合や、ひび割れや鉄筋露出といった損傷種項目で追加または削除が行われる場合が想定される。例えば劣化が想定するほど顕著でない場合、ランクを細分化しなければ劣化過程が正確に把握できなくなるという問題がある。

次に基準見直しを行う場合に、先述のデータ照合をどのように行うかを考察する。以下に述べるようにいくつかの方法が考えられる。

(a)データベース上でのデータ照合

「愛知共同溝維持管理システム」（ソフトウェア）では劣化度ランクごとに損傷件数を入力すると自動的に健全度が算出されるようになっている。評価基準見直しによって数値が変更された場合、計算システム上に設定されている数値を変更するだけで新しい評価基準による健全度も自動的に算出され、データの照合が行なわれる。

(b)台帳からのデータ照合

台帳より損傷の状況を見直し、その損傷の劣化状況を新しい基準によって再評価し、データベースに再入力する方法でデータの照合を行う。しかし例えば図3の点検報告書はその時点での劣化度を記すものとなっており、劣化度の評価基準見直しが行なわれるとこれだけでは利用できなくなるデータである。これに対して図4の点検報告書は損傷状況が図として記録されて

いるため、評価基準が変わっても利用可能である。評価基準が変わった場合は図4の報告書をもとにデータ照合を行っていくことになる。

(c)変化率算出によるデータ照合

評価基準見直しによる状態評価の変化率を算出し、計算によってデータを照合させる方法が考えられる。例えば劣化度のひび割れ幅の数値尺度が0.2mmから0.5mmで劣化度ランク「3」と評価されていたものが0.2mmから0.4mmで劣化度ランク「3」と評価されるように見直されるとすると、数値尺度の幅が0.3mmから0.2mmに変化することからランク「3」は現状の2/3に減ると想定するものである。

データ照合が不可能な場合もある。例えば文章による記述を定量評価に変更した場合、過去の文章記述は整合させることができない。

方法(a)が最も作業量が少ないと考えられる。方法(b)は台帳が増えるほど、すなわち維持管理期間が長いほどその作業量が増大する。

方法(a)はデータ整合度が悪くなることもなく、作業量もほとんど無いため、データ照合の方法として最適であるが、適用できるのは上記 i)~iii)のうち i)に限られる。方法(b)は評価基準見直しの種類の全ての場合で適用できる。方法(c)は変化率の算定が妥当かつ可能な場合に適用できる。

方法(a)が可能か否かはデータベースにデータがその都度どのように入力されているかにも依る。例えばひび割れ幅の劣化度ランクが1~5までの5区分となっており、それぞれ0~2mm, 2mm~5mm, 5mm以上として、それぞれの損傷数がデータとして入力されている場合、これをあらかじめ0~1mm, 1mm~2mm, 2mm~3mm, …と5以上に細かく区分して入力しておけば評価基準が変わってもデータを再度入力する必要はない。しかし入力作業の作業量が膨大となる可能性があり最善とは言い切れない。方法(c)は、方法(b)に比べて作業量は少ないが、理論的に求めた変化率に従っているため、実際のデータとの整合性が悪くなる可能性がある。

4. データ照合方法の効率性の検証

データ照合方法の効率性を比較検討するための考え方を整理する。まず各種のデータ照合方法がどれだけ正確であるかを考慮する。劣化予測では健全度を用いている。その整合度の良し悪しは劣化予測に、そしてLCCの算出に影響を与える。そこで愛知共同溝の全範囲において健全度がどれだけ正確に評価できているか

を検証する。各方法による結果が実際にどれだけ一致しているかを示す指標を「データ整合度」と呼ぶこととする。データ整合度 x (%) を式(7)のように定義する。共同溝はブロックによって区分され、そのブロックごとに健全度が評価される。

$$X = \frac{\text{台帳から照合したデータと健全度が一致するブロック数}}{\text{共同溝の総ブロック数}} \times 100(\%) \quad (3)$$

次にデータ照合に要する労力を作業量として指標化する。各方法によるデータ照合を実際に試み、所要時間、所要人員(人件費)を推測する。点検時に劣化度を評価する作業の作業量を W_a 、1項目の数値データをデータベースに入力する作業の作業量を W_b として「台帳からのデータ照合」の作業量 W を式(4)のように定義する。

$$W = W_a + \alpha W_b \quad (4)$$

α ; W_a に対する W_b の重み (> 0)

愛知共同溝のモデル点検において「台帳からのデータ照合」を行なったところ、1種類の損傷に対応する劣化度を評価する作業は、1項目の数値データをデータベースに入力する作業よりも時間がかかった。すなわち $\alpha < 1$ と考えられる。しかし W_b は作業の慣れにより小さくなり、大差がなくなるものと考えられるため本分析では $\alpha = 1$ とする。また「変化率算出によるデータ照合」は計算が主な作業であり「台帳からのデータ照合」に比べて無視できるほど作業量が少ない。よって「変化率算出によるデータ照合」の作業量を0として分析する。

以上に説明した「データ整合度」と「作業量」の単位を統一するため両値を貨幣単位へと換算する。

データ整合度の貨幣換算はデータ照合方法の違いによって生じるLCCの違いに着目して行なう。まず評価基準見直しによって「台帳からのデータ照合」を行なったデータを用いた $LCC_{\text{台帳}}$ と「変化率算出によるデータ照合」を行なったデータを用いた $LCC_{\text{変化率}}$ を求める。この2つのLCCの差をデータ整合度が悪くなったために生じた差 ΔLCC とし、式(5)を用いてデータ整合度の貨幣換算値とする。

$$\Delta LCC = \left| LCC_{\text{台帳}} - LCC_{\text{変化率}} \right| \quad (5)$$

$LCC_{台帳}$ に対して $LCC_{変化率}$ は大きくも小さくもなる。 $LCC_{変化率}$ が大きくなる場合、データ整合度が悪くなった分、余計に LCC を算出することとなる。一方、 $LCC_{変化率}$ が小さくなる場合、 LCC が小さいという都合の良い結果から一見損失が分かりにくい但实际上は LCC を適切に算出しないことによるリスクがある。どちらの場合にもデータ整合度が低下するという損失があることを絶対値を用いて表現している。

作業量については、作業に費やされる人件費 C_w を式(6)を用いて算出する。

$$C_w = \beta W \quad (6)$$

ここに β は作業量1単位にかかる人件費である。愛知共同溝のモデル点検の実績に基づき $\beta=65,292$ (円) を算出し、これを用いる。具体的には LCC を計算する上で点検速度 150m/日、点検員 3人、人件費 25,000円/日、点検業務にはデータ整理も含まれることから点検速度の2倍の時間を要することとし、結果としてモデル点検にかかる経費は約 261万円と推察された。データ整理のデータ項目は 40項目あるので、約 261万円で作業量 $W=40$ に相当する分として人件費を算出し、 $\beta=65,292$ (円) を導出した。

以上より、式(7)に不整合の損失と作業量を足し合わせた総コスト K (円) を表す。

$$K = \Delta LCC + C_w \quad (7)$$

ここでは「台帳からの照合」のデータ整合度は100%とし、よって ΔLCC は0とする。「変化率算出によるデータ照合」の作業量は0としたため、人件費が発生しない。「台帳からのデータ照合」のデータ整合度、「変化率算出によるデータ照合」の作業量それぞれについて貨幣換算した値は0円となる。すなわち貨幣換算されたデータ整合度と作業量の総和は「台帳からのデータ照合」では作業量のみ、「変化率算出によるデータ照合」ではデータ整合度のみが考慮の対象となる。

分析結果とそれに対する考察については発表会当日に公表する。

維持管理を継続する上で評価基準見直しは避けられない。その際に従前データをどのように照合するか、その検討の手順をまとめると以下ようになる。

- 1) 評価基準見直しに対して、どのようなデータ照合方法があるか模索する。
- 2) 上記 1) で模索したデータ照合方法においてデータ整合度、作業量の目安をつける。

3) 明らかに最適なデータ照合方法がある場合を除き、データ整合度と作業量の算定を行なう。

4) データ照合方法において整合度を重視するか、作業量を重視するか、両者を総合的に考慮するかの判断を要する。

5) 検討に使用するデータに誤差があるか調べる。誤差がある場合、要因を模索する。その要因を考慮しながらデータの整理を行ない、データ照合を行なっても誤差が生じないように注意する。

6) データ整合度と作業量の算定を行なう際、パラメータ (α , β 等) の推定を行なう。

7) データ整合度と作業量を算定する過程において算出方法は適しているか、より適切な方法はないか検討する。経年による変化にも注意する。

8) データ整合度と作業量の算定を行ない、データ照合方法の効率性を検討する。最も効率の良いデータ照合方法を採用し、実施する。

ライフサイクルコストの最小化において建設費・修繕費の効率化は不可欠だが、このようにデータベースの更新を効率化することも有効であると考える。

5. おわりに

アセットマネジメントの考え方に基づく維持管理の普及を見据え、共同溝を対象に、点検を行うにつれ構造物の状態評価を行うための基準見直しが生じることに着目し、これに伴う課題と対処方針について示した。とりわけ共同溝は多様な事業者が関係していることから管理業務の透明性、効率性が問われる。加えて構造物として比較的単純であることから、点検要領、管理要領の作成上からも、本研究の主題である基準見直しについても、道路などの複雑な構造システムを題材とするよりも明確な結論を導けると言えるだろう。

謝辞：本研究では、国土交通省中部地方整備局(名古屋国道事務所) 愛知共同溝保全管理検討委員会の資料を活用させていただいた。また研究の遂行に際して松永英哲氏(当時名古屋工業大学大学院、現清水建設(株))の協力を得た。記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 国土交通省中部地方整備局 愛知共同溝保全管理検討委員会：愛知共同溝管理要領(案)・点検要領(案)【躯体編】2008.
- 2) 国土交通省中部地方整備局,共同溝パンフレット

(2014. 4. 25 受付)

DATA CONVERSION AT DETERIORATION LEVEL REVISION OF
MAINTENANCE DATABASE FOR CIVIL ENGINEERING STRUCTURE

Eizo HIDESHIMA