

農業用開水路のLCC算定システムの構築と活用方策

本間新哉*・森 丈久*・西原正彦*

目 次

I 緒 言	45	1 環境影響評価への取組み	53
II LCC算定システムの構成	46	2 施工単価に対応した面積当たり CO ₂ 排出量の算定	54
1 LCC算定システムの構成と特徴	46	3 LCCO ₂ の算定結果	54
2 システムへの入力と出力	47	4 LCCO ₂ 算定における課題	55
III LCC算定の試行と結果	50	V 結 言	55
1 検討に用いたLCC算定条件例	50	参考文献	55
2 LCC算定結果	51	Summary	57
3 考察	52		
IV LCC算定システムの活用	53		

I 緒 言

農業水利施設の施設劣化状態の診断から対策工事の実施までを一貫してできる「基幹水利施設ストックマネジメント事業」が平成19年度に創設され、また併せて、国が造成した施設の劣化状況の診断を全国的に実施する制度整備が行われた。さらに平成21年度からは「地域農業水利施設ストックマネジメント事業」により団体営事業等で造成された農業水利施設を対象とする事業が実施されるなどストックマネジメントは国・県・市町村といった多様なレベルで取り組みが進んでいる。そして農林水産省では、マニュアルの整備を進め、現在「農業水利施設の機能保全の手引き」（以下、「手引き」と記す）として、総論編、開水路編、パイプライン編、頭首工、頭首工（ゲート整備）編を整え、ストックマネジメント技術の体系化が進められている。ストックマネジメントの取組みの目的は、農業水利施設の適切な機能保全とライフサイクルコスト（LCC：施設の建設・維持管理等に係る全てのコスト）の低減を図ることにある。このため水利施設の将来状態の劣化予測を行い、またLCCを算定することは非常に重要な工程と位置づけられる。これまで橋梁分野においては、パソコン上で作動するLCC算定ソフトが作成されていたが、橋梁の構成要素が複雑であることなどから、農業水利施設への適用には課題が

あった。このような背景の下、筆者らは、施設の診断手法や劣化予測手法等の研究成果を踏まえ、今後のLCC研究や研究成果の社会還元に資するため、広く普及している計算ソフト（Excel 2003）上で作動する農業用水路を対象としたプロトタイプのLCC算定のためのシステム（以下、「LCC算定システム」と記す）を2009年に作成した（Excel 2010対応は開発中）。

手引きの総論編では、施設の建設に要する経費のみならず、供用期間中の維持保全コストや、廃棄にかかる経費に至るまでのすべての経費の総額をライフサイクルコスト（LCC）としている。一方、LCC算定システムは、既存の現場打ち鉄筋コンクリート製農業用開水路（以下、「農業用水路」と記す）を対象として、施設の維持、補修・補強、更新に係る費用を算定するシステムで、初期建設費を含まない簡便なLCCともいえるが、本報告では、以下これをLCCとして取り扱う。なお、恒久的に使用する公共施設を対象として、更新費用を維持管理に取り込み、初期建設、損失のみが生じるリスクを考慮し、LCC = 初期建設費 + 維持管理費用 + リスク（既存施設の場合、初期建設の項については特に設ける必要はない）、として評価するという考え方の例がある（日本コンクリート工学協会、2006）。

システム作成後、より実用的なシステムの構築を目的として、現地の点検・診断データを基にLCC算定システムの検証を重ねた。更に、低炭素社会を目指す社会の動向に対応したストックマネジメントへの活用について検討を加えた。

本報告は、構築されたプロトタイプのLCC算定システムの改良を目的として、現時点でのシステム構築の考

* 農村総合研究部地域資源保全管理研究チーム

平成23年1月18日受理

キーワード：農業用開水路（RC）、LCC、単一劣化予測モデル、マルコフ連鎖モデル、CO₂排出量

え方や改善方向について検討するとともに、環境影響評価への活用方策について検討を行うものである。

II LCC 算定システムの構成

1 LCC 算定システムの構成と特徴

LCC 算定システムは、農業用水路を対象としたものである。そして、現場での施設の点検・診断データ蓄積を基に、劣化予測グラフを作成し、適時に応じた補修・補強・更新費用の算定を行うとともに、年度事業予算に応じた施工時期の調整までの一連の作業が一つのパッケージとして構成されている。

LCC を算定する概略の流れは以下の様に示すことができる。

- ① 既存施設の状態の点検・診断調査を行い、データの蓄積を行う。
- ② 蓄積されたデータに基づき劣化予測を行う。
- ③ 劣化のレベルに応じた対応策の設定を行う。
- ④ 劣化予測と対応策を用い、社会的割引率を考慮した LCC 算定を行う。

なお、ストックマネジメントでは、複数のケースの LCC 算定結果について総合的に比較検討し、採用する工事計画を決定することとなる。

a LCC 算定システムが対象とする農業用水路の構成

LCC 算定システムの対象としている水路は、①水路壁面、②水路底版、③継目で構成される構造物で、最小構成単位としては1バレル（継目から継目まで）としている。このことにより、扱う対象施設の構成が単純になるという利点がある (Fig.1 ~ Fig.3)。複数の水路からなる1つの水路系を対象に LCC 算定の実施ができる。

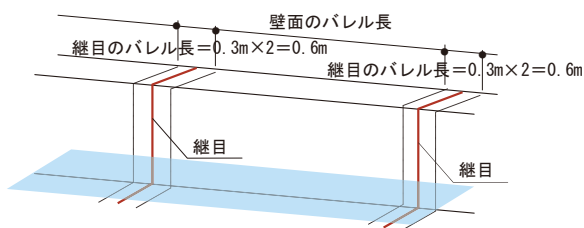


Fig. 1 壁面のバレルと継目
Wall and Joint

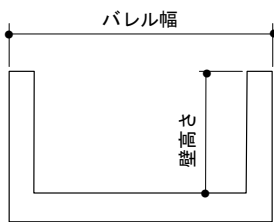


Fig. 2 水路幅と壁高さ
Width of canal and wall height

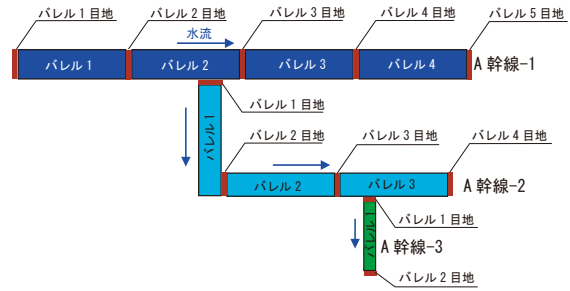


Fig. 3 水路番号とバレル番号の考え方の例
Canal number and Barrel number

b LCC 算定システムの全体構成

LCC 算定システムは

- ① 「点検情報入力ファイル」：農業用水路のサイズ情報や点検・診断結果を蓄積するファイル
- ② 「劣化予測ファイル」：診断結果を基に将来の劣化予測グラフを作成するファイル
- ③ 「維持管理シナリオファイル」：健全度に応じた補修・補強・更新対策工法を設定するファイル
- ④ 「LCC 評価システムファイル」：①～③を統合的に管理して LCC を算定するファイル

の4つのファイルにより構成されている。4つのファイルを用いた LCC の算定の流れを Fig.4 に示す。

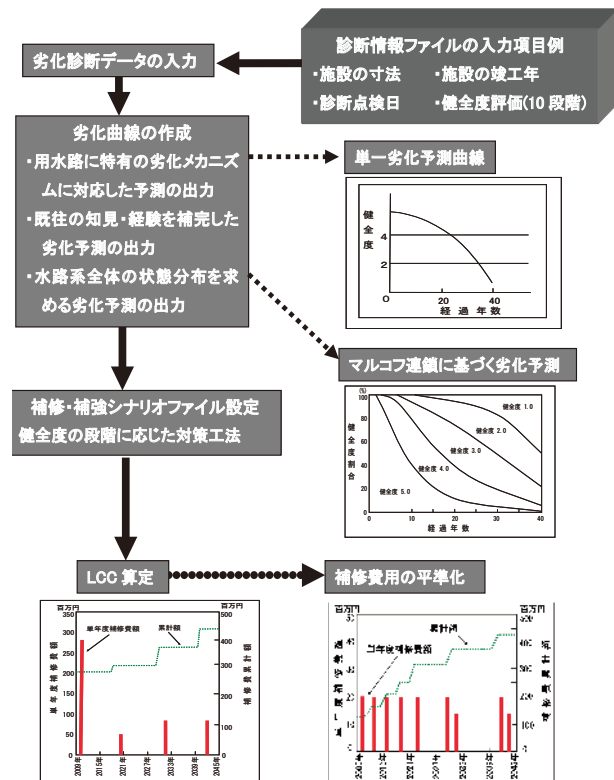


Fig. 4 LCC 算定システムの全体の流れ
LCC calculation system flow

Table 1 点検診断情報の入力例
Information of Check and Deterioration Estimation

バレル番号	バレル長(m)	バレル寸法		部 位	主たる劣化機構		完成年月日	健全度を判定した日	
		幅(m)	壁高さ(m)		健全度評価	劣化機構			
1	0.6	1.5	1	継目	右	4.5	継目劣化	1995/3/31	2008/11/13
					左	4.5	継目劣化	1995/3/31	2008/11/13
					底	4.5	継目劣化	1995/3/31	2008/11/13
	9.0	1.5	1	壁面	右	3.5	壁面摩耗	1995/3/31	2008/11/13
					左	3.5	壁面摩耗	1995/3/31	2008/11/13
					底	3.5	壁面摩耗	1995/3/31	2008/11/13

2 システムへの入力と出力

システムを構成する各ファイルのデータ入力項目および LCC 算定の条件等を以下に述べる。

a 点検情報入力ファイル

このファイルは、LCC を計算する農業用水路のサイズ情報や点検・診断情報を入力するファイルとなる。

水路網をなす農業用水路を、複数の水路から構成される 1 つの水路として区分し、Excel の一つのワークシートに、一つの水路名（水路番号）に対応した点検・診断情報を入力する。同一の水路系内に複数の水路がある場合は、複数のワークシートを使い入力する。ワークシート毎に水路名を設定して、情報を入力することにより一つの基本情報・点検情報ファイルを構成する。サイズ情報としては、バレル毎に、バレル番号、施設のサイズ（バレル長、高さ、幅）、部位区分（目地の左・右・底、壁面の左・右・底）を入力する。点検情報としては、主たる劣化機構（継目劣化や壁面劣化）、健全度評価結果（5.5, 5.0, 4.5・・・1.0 の 0.5 刻み）、工事完成年月日、健全度を判定した日（点検日）の項目がある（Table 1）。

主たる劣化機構に対する健全度評価は、健全度の調査結果を入力する項目で、統計的手法による劣化予測を用いた LCC を算定する場合に必要となる。健全度は、5.5, 5.0, 4.5, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 の 10 段階で判定し、健全度 5.5 は、完成時の健全度としている。健全度 5.0, 4.0, 3.0, 2.0, 1.0 は、コンクリート標準示方書 [維持管理編] (土木学会, 2000 年) で示されている劣化の進行過程である潜伏期, 進展期, 加速期前期, 加速期後期, 劣化期にある健全度を示すものであり、健全度 4.5, 3.5, 2.5, 1.5 は、劣化の進行過程の境を表す健全度で、例えば健全度が 4.0 と 3.0 の中間にあると判断された場合、3.5 と記入するものである。健全度評価では、北村ら (2008) が水路の診断に 10 段階の健全度評価を用い、劣化予測を行った例がある。

なお、主たる劣化機構には、例えば、ある施設が中性化と塩害の両方により劣化が進行していた場合におい

て、劣化の進行の関与が大きいと判断される劣化機構を選定することとした。

b 劣化予測ファイル

劣化予測のモデルは、大きく 2 つに分類される。一つは、中性化に代表されるコンクリート構造物の劣化機構について、既往の研究や知見から求められた経験式を活用する個別劣化現象モデル、もう一つは、既往の劣化機構では予測モデルの作成が困難な場合で（水路壁面の凹凸進行や継目の劣化等）、点検データを基に統計手法を用いて劣化予測を行う統計モデルである。統計モデルはさらに二つに分かれ、壁面等バレル毎の劣化に対応して個別の劣化予測を行うことができる単一劣化曲線モデルと、水路系全体の劣化の割合を基に劣化進行を予測するマルコフ連鎖モデルに分かれる（農業土木事業協会, 2007）。

個別劣化現象モデルとしてはコンクリートの代表的な劣化機構のうち、中性化, 塩害, 凍害, 化学的侵食, アルカリシリカ反応, ひび割れ（初期ひび割れ）について、コンクリート標準示方書 [維持管理編] (土木学会, 2001) 等の既往文献から求まる式や経験則に、水利施設の材料や部材厚等の設計条件（水セメント比や鉄筋のかぶり値等）、地域の気象条件（凍結融解サイクル等）の諸元、を入力することにより劣化予測式を作成する。

統計モデルについては、上記以外の劣化機構に対し、施設の完成からの経過年と劣化状態を評価した健全度評価結果を入力したファイルを用いて、単一劣化予測モデル（単一劣化曲線モデルを基にシステムのために設定した予測モデル）、マルコフ連鎖モデルによる劣化予測状態を計算する。

単一劣化予測モデルの場合、点検結果（完成時または補修時から点検時までの経過年数と健全度）を用いて行う。具体的な単一劣化予測モデルの作成には、農林水産省で公表している「農業水利施設の機能保全の手引き」（総論編）で示されている、2 次関数による劣化曲線を準用した。そして、まず経過年（X 軸）と健全度評価（Y

軸)の点検結果データを用い、この関係を上に凸で切片5.5を通る二次放物線で曲線近似して求める。得られた二次曲線近似のY座標5.5, 4.5, 3.5, 2.5, 1.5の交点を直線で結び、この直線を劣化予測に用いるモデルとした(Fig.5)。

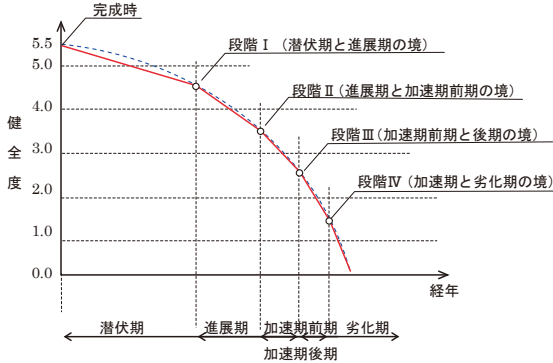


Fig. 5 単一劣化予測モデル
Regression prediction model

マルコフ連鎖モデルは、各健全度の割合の経年変化を予測するモデルで、点検結果(完成時または補修時から点検時までの経過年数と健全度)を用いて劣化予測を行うこととなる。劣化予測ファイルでは、マルコフ連鎖(マルコフ過程)によるLCCを算定するための推移確率x

を点検結果から求めた。

推移確率xは、状態を健全度(5.5~1.0の10段階)とし、各状態から次の状態に推移する確率をx1~x9とすると、各健全度のt年後の割合は式(1)のように表すことができる(Fig.6)。

推移確率を求める場合、計算を簡単にするため推移確率x1 = x2 = ... = x9とする方法があるが、劣化予測ファイルではそれぞれの推移確率は劣化進行過程によって異なると考え、推移確率を以下の方法で個々に求めるものとした。

点検結果から健全度5.5のt1年後、t2年後、...の割合を求め、これに合致するx1を最小二乗法で求める。次に、点検結果から健全度5.0のt1年後、t2年後、...の割合を求め、x1を既知としてこれに合致するx2を最小二乗法で求める。同様に、順次x3~x9を求めることとした。推移確率は、データを基にマクロを用いて上記に示した手順で自動計算されるが、実測された健全度割合を参考にしつつ、推移確率を再設定することができる。

壁面摩耗を対象とし、マルコフ連鎖モデルを用いて算定された経過年別(10年, 20年, 30年, 40年経過)の健全度割合表示の例をFig.7(左:自動計算)に示す。LCC算定システムでは、実測された健全度割合(Fig.7(右:実測))を併せて表示する。実際の点検では、十分な量の観測データの収集が困難または、収集しても、観

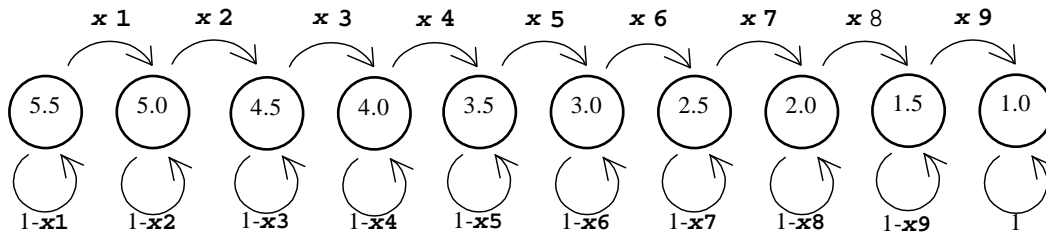


Fig. 6 健全度と推移確率
Sound degree and transition probability

健全度の割合

$$\begin{pmatrix} P_{5.5} \\ P_{5.0} \\ P_{4.5} \\ P_{4.0} \\ P_{3.5} \\ P_{3.0} \\ P_{2.5} \\ P_{2.0} \\ P_{1.5} \\ P_{1.0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-x_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & 1-x_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 1-x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & 1-x_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & 1-x_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_5 & 1-x_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_6 & 1-x_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_7 & 1-x_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_8 & 1-x_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_9 & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

x: 推移確率 t: 施設の経過年数

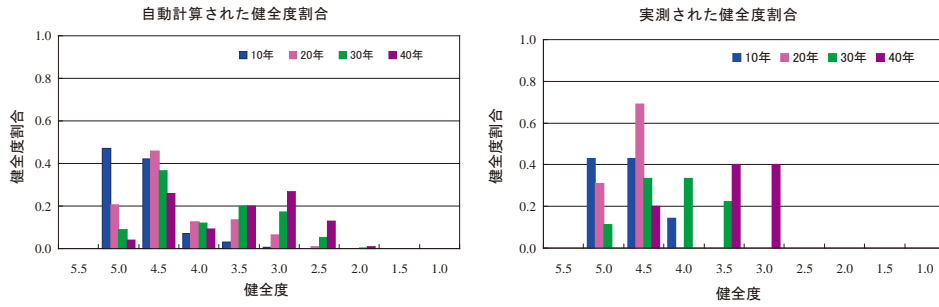


Fig. 7 経過年別健全度割合 (左：自動計算, 右：実測)
Sound degree ratio by elapse years (L: Computation, R: observation)

Table 2 維持管理シナリオ入力例
Setting of measures construction

実施時期 (シナリオ名)		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
対策を実施する健全度		4.5	3.5	2.5
加速期前期 (3.5 ≧ 健全度 > 2.5)	対策工法	壁面清掃 表面被覆	はつり除去 (10mm) 断面修復 (10mm) 表面被覆	はつり除去 (20mm) 断面修復 (20mm) 防錆 表面被覆
	補修数量	壁面100%	壁面100%	壁面100%
	補修費	補修費単価 × 壁面積	補修費単価 × 壁面積	補修費単価 × 壁面積
	回復レベル (健全度)	5	5	5
	補修費単価 (円/m ²)	10,200	24,200	34,100

測されない健全度があるデータとなる場合が多い。LCC 算定システム使用者は、実測と自動計算された結果を見比べ、実測された健全度割合の特徴をよく示す推移確率を試行錯誤により設定し、劣化予測に用いるマルコフ連鎖モデルを定めることができる。

c 維持管理シナリオファイル

維持管理シナリオファイルは、農業用水路の LCC を算定する際の、維持管理方針 (対策実施の健全度) と対策工法 (対策工の種類等) を関係付けたファイルである (Table 2)。一番左の枠に対策を実施する健全度を設定し、その横枠に健全度に応じた対策工法、補修数量、補修後の回復レベル、補修費単価を設定する。補修費単価は、面積 (m²) 当たりを共通単位としている。シナリオは、自由に 100 のケースまで設定が可能となっている。対策を実施する健全度は、進展期 (4.5 ≧ 健全度 > 3.5)、加速期前期 (3.5 ≧ 健全度 > 2.5)、加速期後期 (2.5 ≧ 健全度 > 1.5)、劣化期 (1.5 ≧ 健全度) の 4 つの区分となっている。維持管理シナリオは、水路単位で設定が可能である。

このように健全度に応じた対策工法の組合せをシナリオとして複数設定することが可能で、また異なるシナリオの比較が一覧できる。

LCC 算定システムでの劣化予測は、当初に劣化予測ファイルで設定した劣化予測モデルを全てのシナリオで

使用する事としている。シナリオファイルで設定する対策工法の劣化進行が予測モデルと大きく異なる、あるいは耐用年数が明らかに小さいような場合等については、「回復レベル」の項目設定で対応が可能である。

「回復レベル」には、0.0 ~ 5.5 までの数値設定を入力する。補修・補強の場合は 5.0、更新の場合は 5.5 の設定を標準としている。ここで、回復レベル 0.0 とは、健全度が「対策を実施する健全度」に達した時、対策を実施するが、「健全度の回復を行わない」場合に使用することとしている。回復レベルの設定により補修・補強の想定される耐用年数の補正が可能と考える。なお、耐用年数 100 年が想定される対策工法についての補正対応は困難である。

d LCC 評価システムファイル

LCC 評価システムファイルでは、上記 a ~ c のファイルと共に、LCC 算定開始年、LCC の算定期間 (最大 100 年)、マルコフ連鎖モデルによる劣化予測に必要な対策開始の健全度割合 (%), 社会的割引率 (%), 水路毎に対応する対策シナリオ名を入力することにより (Table 3), LCC 算定結果が表データとグラフで出力される。また、年度の実施予算に制約が生じた場合、LCC 算定結果を基に、目標年度予算、先送り許容年数、集約期間を入力することにより、対策工法の実施時期の調整 (平準化) を行うことを可能としている。平準化により

各年度の補修に係る予算配分が均等化され、現実的な補修計画を立案するための資料となる。なお、集約期間とは、補修工事の効率化を図るため、複数の期間に散らばっている補修等の対策を同一年度を実施するように設定するものであり、先送り許容年数とは、平準化を実施する場合に、対策を先送りして良いと考える先送りが許容できる年数をいう。

現在、公共事業における社会的割引率の適用は4%であるが、任意の社会的割引率を設定することができる。

単一劣化予測モデルの場合、補修の時期は、要素（壁面と継目の各バレル）が維持管理シナリオの対策を実施する健全度に達した時となる。

マルコフ連鎖モデルの場合、補修の時期は、水路毎の要素（壁面、継目）の健全度割合が設定値以上に達した時となる。また補修は、シナリオで設定した対策を実施する健全度以下の水路を対象として実施することを基本とするが、水路毎のシナリオ選定の際に、「健全度4.5以下の全ての要素」を含めて対策工法を実施するという選択が可能である。

III LCC算定の試行と結果

LCC算定システムを用いて、5つの水路を一つの水路系とする水路網（総延長4,435 m、総バレル数545）を対象としたLCC算定を行った。

1 検討に用いたLCC算定条件例

LCC算定の基本的な条件はII章で示した通りであるが、検討に用いたLCC算定の例について設定条件を以下に述べる。

a 共通事項

- ① 維持管理の考え方として、4つのシナリオを設定した（Table 4）。シナリオ1は軽微な補修による維持管理、シナリオ4は施設の更新に相当する。
- ② LCC算定期間は、LCC算定システムの最大算定期間である100年とした。
- ③ 社会的割引率を4%としてLCC算定を行った。

b 予測に使うモデルの主な特徴

LCC算定システムで用いる予測に使うモデルの主な特徴をTable 5に示した。

Table 3 LCC評価システムファイル入力項目
Input item to LCC calculation system file

入力項目	入力作業
1. 基本情報・点検情報ファイルの選択	作成した情報ファイルを選択
2. 劣化予測ファイルの選択 ①単一劣化予測モデル ②マルコフ連鎖モデル	単一劣化またはマルコフ連鎖を選択した後、作成した予測ファイルを選択
3. 維持管理シナリオファイルの選択	作成したシナリオファイルを選択
4. LCCの算定 ①LCC開始年 ②LCC算定期間 ③マルコフ対策実施割合 ④社会的割引率 ⑤水路毎のシナリオファイル	LCC開始年を西暦で入力 LCC算定期間を年単位で入力 マルコフ対策の実施割合を%単位で入力 社会的割引率を%単位で入力 水路毎のシナリオファイルを選択
5. 補修費用の平準化計算 ①目標年度予算 ②先送り許容年数 ③集約期間（3～5年が目安）	目標年度予算を円単位で入力 許容年数を年単位で入力 集約期間を年単位で入力

Table 4 維持管理シナリオの区分
Section of maintenance scenario

シナリオ区分	維持管理の考え方	管理レベル	回復レベル
シナリオ1	維持管理レベルを高く設定して、大がかりな補修・改修工事を行わないような水路の維持管理を実施	健全度4.5	健全度5.0
シナリオ2	水路躯体の軽微な劣化は許容し、所定の劣化段階に至った後に補修工事を実施	健全度3.5	健全度5.0
シナリオ3	水路の損傷を許容し、鉄筋の露出や目地からの漏水など、水路としての機能が保たれない状態になった段階で補修・補強を実施	健全度2.5	健全度5.0
シナリオ4	水路を更新することを前提に、水路機能が満足しなくなるまで使用	健全度1.5	健全度5.5

Table 5 LCC 算定システムの予測に使うモデルの主な特徴
Characteristics of predictive models

劣化予測モデル	マルコフ連鎖モデル
・ LCC 計算は、点検情報入力ファイルの主たる劣化機構に単一点検結果が記載された要素（パレル単位での壁面・継目）ごとに計算を行う。	・ LCC 計算は、点検情報入力ファイルに記載された一つの水路毎の継目、壁面、底版それぞれを一つの単位として計算を行う。
・ 補修の時期は、要素が維持管理シナリオの管理の対策を実施する健全度に達した時とする。	・ 補修の時期は、水路単位の目地、壁面、底版の健全度割合が設定値（%）以上に達した時とする。
・ 各水路の LCC は、水路を構成する要素の LCC の合計とし、水路系の LCC は、水路系を構成する水路の LCC の合計とする。	・ 補修の対象を、対策を実施する健全度以下の水路に限定、あるいは健全度 4.5 以下の全ての水路の 2 通りを選定できる。

c 単一劣化予測モデルによる LCC 算定

LCC 算定の試行における単一劣化予測モデルは、筆者らが収集した水路の壁面の点検結果事例から、劣化予測ファイルにて算定された式を用いた（式 (2)）。

この式では、初年度の健全度 5.5 から 55 年経過すると、おおむね健全度 1 に達する。また単一劣化予測モデルは、壁面摩耗、継目劣化それぞれに設定する事ができるが、ここでの検討では同じ式 (2) を用いた。

$$Y = -0.0014 \times X^2 + 5.5 \tag{2}$$

Y：健全度 X：供用年数

平準化は LCC 計算で得られた各年度に発生する補修費が目標年度予算に収まるようにピークカットを行い、各年度の予算を均等化し、現実的な補修計画を立案することを目的としている。このための基本的条件として、集約期間の設定や、先送り許容年数を設定している。集約期間内にある複数の水路を補修する場合、補修工事の効率化を図るために同一水路毎に補修等の対策を行うよう対策を集約する。集約期間内に補修等の対策が必要な複数水路が存在する場合、集約期間内での補修等の対策費の合計が高い水路を優先とする。なお、使用者は、自動平準化の結果を参考にして補修等の対策時期の変更が可能である。

d マルコフ連鎖モデルによる LCC 算定

マルコフ連鎖モデルにおいては、対策を実施する時期を各健全度割合が 30% となるときとした（農業水利施設の機能保全の手引き(2007)を参考にして設定）。また、推移確率 (x1 ~ x9) は、北村ら (2009) がマルコフモデルの検討で用いた推移確率 $x = 0.12$ を援用して計算を行った。

マルコフ連鎖モデルにおける平準化は、一つの水路毎の継目、壁面、底版それぞれを一つの単位として扱う点に注意が必要である。このため、マルコフ連鎖モデルでの平準化は、単一劣化予測モデルの様な平準結果とはならない。なお、マルコフ連鎖モデルによる LCC 算定での平準化は 1 水路を 1 つの要素として取り扱うため、平準化して検討する意味は低いと考える。

2 LCC 算定結果

シナリオ 2 を対象とした単一劣化予測モデルによる LCC の算定と平準化の算定結果を Fig.8, 4 つのシナリオの LCC 算定結果を Fig.9 に示す。マルコフ連鎖モデルによる LCC の算定と平準化の算定結果を Fig.10, 4 つのシナリオの LCC 算定結果を Fig.11 に示す。

単一劣化予測モデルを用いた LCC 算定結果の 100 年経過時点で大きい順に並べると、シナリオ 4, シナリオ 2, シナリオ 3, シナリオ 1 という順になり、この結果からは施設更新による維持管理の LCC が一番大きいものとなった。それ以外のシナリオに若干の差が見られるもののほぼ同じ値を示す結果となり、シナリオ間の大きな差は見られなかった。表データのチェックにおいても、大きなデータミスは見つかっていないため、順調にシステムが動作したと考えられた。

マルコフ連鎖モデルを用いた LCC 算定結果の 100 年経過時点で大きい順に並べると、シナリオ 4, シナリオ 1, シナリオ 2, シナリオ 3, という順になり、この結果からは施設更新による維持管理の LCC が一番大きいものとなった。

算定に用いる劣化予測モデルが異なる点や、算出単位が異なることから、算出結果に違いが出るのは当然であるが、今回の計算結果の累積補修費額を比較すると、概ね近い結果が算定されたと判断される。単一劣化予測モデルは水路パレル単位での補修計画検討に活用が望まれ、マルコフ連鎖モデルは、水路系全体を対象とした補修計画検討での活用が望まれる。これらの特徴を使い分けることが適切な補修計画立案につながるものと考えられる。

一定の検討期間に要する費用の合計を LCC として検討する場合、例えば検討期間が 10 年、40 年、100 年の場合で、シナリオ別の LCC の大小関係が異なる事がある。手引きの総論編では、検討の対象期間を 40 年としているが、この場合においても、検討期間終了時点の施設の残存価値を控除するなどの操作を行い比較することとされている。LCC 算定システムでは、長期に使用する農業用水路を対象とするという考え方、また、LCC の特徴である理解のしやすさという観点から、標準耐用年数（水路 40 年）の 2 倍より長い期間として 100 年ま

でのLCC算定を行い、その期間内で比較することを想定した。基幹的な水利施設の補修・補強の場合、地方行政財務担当部局では、施設が全面更新された場合と比較が容易にできる算定期間(2サイクル程度)での説明を求められる場合もある。このため、LCC算定システムを用いる検討では40年以上の60年から80年程度の算定期間を基準に比較検討を行うことが適当と考える。また、行政で示されている残存価値控除計算機能はないが、40年より長い期間(最大80年)のLCC比較を行うことで、残存価値控除に準じた評価が行えると考える。この場合具体的な検討期間の設定は、算出されたLCC結果を基に、担当者が判断すべきものと考えている。

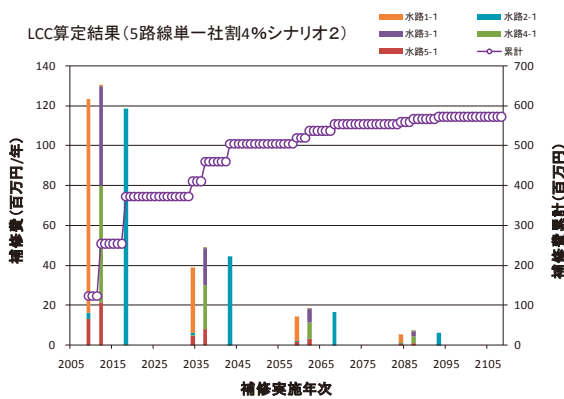


Fig. 8 単一劣化予測モデルを用いたLCC算定結果と平準化例(5路線)
Result of LCC with Regression prediction model and Estimate adjustment (5 canals)

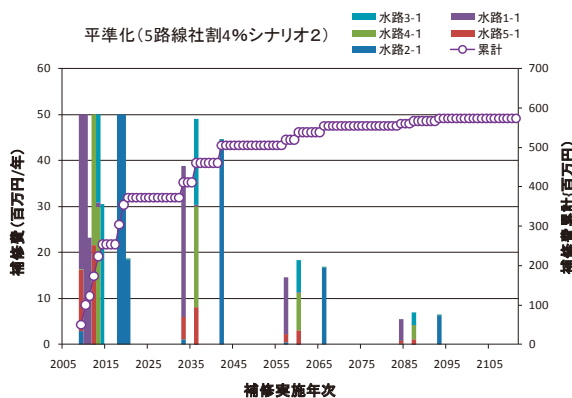


Fig. 9 単一劣化予測モデルを用いたシナリオ別LCC(5路線)
LCC with Regression prediction model by Maintenance scenario (5 canals)

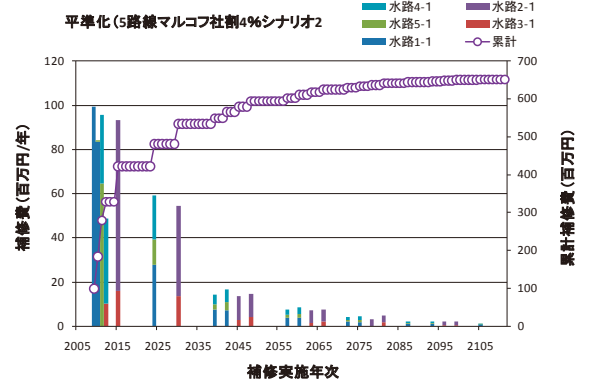
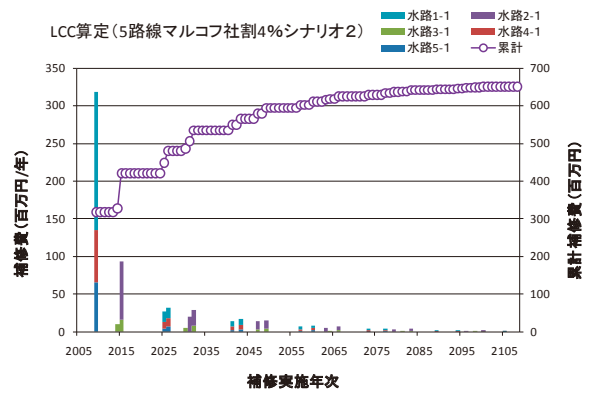


Fig. 10 マルコフ連鎖モデルを用いたLCC算定と平準化(5路線)
Result of LCC with Markoff chain model and Estimate adjustment (5 canals)

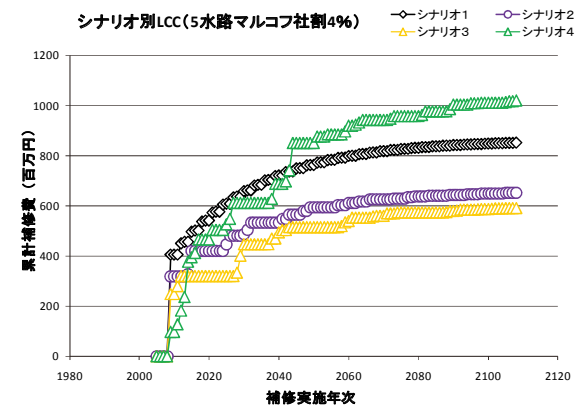


Fig. 11 マルコフ連鎖モデルによるシナリオ別LCC結果(5路線)
LCC with Markoff chain model by Maintenance scenario (5 canals)

3 考察

単一劣化予測モデルを用いた、LCC算定においては、LCC算定、平準化ともに想定通りの結果が得られた。一方、補修後の劣化予測には、補修前と同じ予測式を用いている。軽微な補修と強固な補強とは、耐用年数が異なると考えられる。これについては、維持管理シナリオファイルの回復レベルの設定によりある程度の対応

は可能と考えている。しかし、この LCC 算定システムでは対策後の劣化予測モデルを個別に設定していない。このため、LCC 算定の精度向上を図るためには、初期の劣化進行、補修後の対策工法の劣化進行に対応した LCC 算定システムの構築を図ることが求められる。

また、現時点では、単一劣化予測モデルとして、原点 5.5 を通過する上に凸の 2 次曲線を取り入れているが、劣化機構によっては、直線的近似を用いた方がより近似的に表される場合（北村ら，2006）や、あるいはそれ以外の高次で近似される劣化進行過程も必要な場合がある。更に、現場においては、統計的手法による予測分析には十分なデータが収集されない場合もある。このため、劣化予測ファイルを更に数種類の予測手法に対応したファイルに改善していく必要がある。

平準化については、単一劣化予測モデルを用いた LCC 算定の場合では有効であることが確認された。しかしながら、現場では、様々なケースに対応した平準化計算が必要とされる。本 LCC 算定システムで提示した算定方法は、その第一歩と考えており、今後様々な平準化ケースに対応したシステム構築を図ることが必要となる。

IV LCC 算定システムの活用

1 環境影響評価への取組み

LCC の低減を目指したストックマネジメントは、主として経済的視点からのアプローチとなるが、近年の環境問題への取り組みの高まりとともに、土木事業の環境影響評価への意識も高まっている。千葉ら（2010）は、農業農村整備の温室効果ガスについて評価を行っている。また、平成 22 年 3 月に閣議決定された「食料・農業・農村基本計画」においては、低炭素型の産業構造への転換等が謳われており、温室効果ガス排出削減の目標達成に貢献することが掲げられている。このような環境問題の流れの中、低炭素社会を目指す社会の動向に対応した

ストックマネジメントのあり方について考える必要がある。土木分野においては、ライフサイクルにおける二酸化炭素の排出量の算定、すなわち生涯二酸化炭素放出量（LCCO₂：Life Cycle CO₂）による評価が一つの環境指標として挙げられている。

建物の環境影響評価としては、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment: LCA）がある。LCA とはひとつの製品等が、その原料採取から製造、最終的廃棄に至るまでのライフサイクルの全ての段階において発生している環境への様々な負荷をそのライフサイクル全体にわたり評価する手法であり、評価のため、算出される指標として、LCCO₂、LCW（ライフサイクル廃棄物最終処分量）、LCR（ライフサイクル資源投入量）が示されている。（グリーン庁舎基準及び同解説 平成 17 年版，2005）（以下「庁舎基準」と記す）庁舎基準では、LCCO₂ の算出として、①新営、修繕、改修、撤去・廃棄、②設計管理、③運用エネルギー、④維持管理の段階に大きく分類し、それぞれに係る CO₂ 排出量を算定することとしている。特に LCCO₂ は低炭素社会に向けた環境影響を評価する指標として着目されるものと考えられる。

LCC 算定システムを用いて CO₂ 排出量を指標とした環境影響評価を試みたが、LCC 算定システムが既存の施設の補修・補強等費用算定を対象としたものであるため、システム設計上、修繕、改修、撤去・廃棄を対象とした CO₂ 排出量を LCCO₂ として取り扱い評価を行うこととした。具体的には、構築された LCC 算定システムにおける、維持管理シナリオファイルの単価設定部分（円/m²）を単位 CO₂ 排出量（kg/m²）に組み換えることにより、LCCO₂ 算定を行う手法を検討することとした。

土木資材や使用燃料ごとの CO₂ 排出量の直接の設定は、実際には容易でないため、産業連関表を用いた種々の環境分析用産業連関表（データベース）が、慶應義塾大学、日本建築学会、(独)建築研究所、電力中央研究所、(独)国立環境研究所等から公表されている（日本建築学

Table 6 財・サービス需要 1 単位当たり CO₂ 排出量
CO₂ emission per unit

		(kg-CO ₂ /100万円 (2000年生産者消費価格))		
区 分	部門名	生産過程	消費過程	合 計
	可塑剤	9,641	0	9,641
	熱硬化性樹脂	9,335	0	9,335
	熱可塑性樹脂	7,034	0	7,034
	その他の合成樹脂	11,791	0	11,791
燃 料	ガソリン	3,273	26,579	29,852
	セメント	114,300	0	114,300
	熱間圧延鋼材	32,612	0	32,612
公共事業費	農林関係公共事業	3,671	0	3,671
処理費	廃棄物処理 (産業)	10,153	0	10,153

会, 2006)。本報告では、生産過程とともに消費過程の排出原単位が示されている慶應義塾大学のデータベース(中野ら, 2008)を用いてLCCO₂の計算を行った。対策工法の面積当たりのCO₂排出量算定に用いた単位CO₂排出量をTable 6に示す。

2 施工単価に対応した面積当たりCO₂排出量の算定

施工単位面積当たりのCO₂排出量算定には、施工単価表を基に、ガソリン等の燃料や、補修・補強に使用する資材を対象として、これに該当する項目に対しCO₂排出量の計算を行った。計算手順は、施工単価の基本単位となる単価表を基に、CO₂排出量算定のガソリン等の対象項目を選定する。次に産業連関表に対応した対象項目の生産者価格(2000年)を選定する。本報告においては、生産者価格は、南斉ら(2000)の作成した、環境負荷原単位と品目別国内生産額との対応表の単価(円/単位)を用いた。具体的には、工事施工単価表の数量(単位:kg等表示)に該当する生産者価格(単位:円/t等表示)を掛け対象金額(単位:百万円)を算定した。この値に単位CO₂(kg-CO₂/百万円)を掛けて、対象項目ごとのCO₂(kg)排出量を算定した。施工単価(円/m²)は、基準となる施工量(例えば、30m²/日)を求めて、その合計を面積当たりに割り戻すことで単位面積当たりの施工単価を求めた。

本来すべての単価を産業連関表の対象年次と同じ2000年の生産者価格表示に統一することが望ましいが、対策工法すべての構成単価を2000年の生産者価格で構成する事は難しい。本報告では、単価構成上、生産者価格に依り難い場合は、工事施工単価項目で算出された金額に対し、単位CO₂(kg-CO₂/百万円)を掛けてCO₂排出量を算定した。単価構成(歩掛)は、LCC算定システムの検討で作成したものを使用した。

3 LCCO₂の算定結果

CO₂排出量は社会的割引率の影響を受けない。このため、本報告ではLCC算定およびLCCO₂の算定に当たっては、社会的割引率を0として、検討を行った。劣化予測には単一劣化予測モデルを用い、算定期間はLCC算定と同じ100年間とした。シナリオ区分は、Table 4と同じものである。

5つの路線のLCC(シナリオ2)(Fig.12)とLCCO₂(シナリオ2)(Fig.13)の算定結果を比較すると、単位は異なるが同じ形を示す。これは、CO₂排出量が、産業連関表を基に作成されたものであり、かつCO₂排出量算定は、金額にCO₂排出量換算係数をかけて算定したためと考えられる。LCC算定システムにおいては同一シナリオの場合、補修費用とCO₂排出量のグラフの形状は同じ傾向を示す。このため一つのシナリオのみを対象としたLCCO₂算定結果については、環境影響評価指標としての意味を持たないことが懸念された。

一方、シナリオ別のLCC算定とLCCO₂算定を比較すると、シナリオの有利な順位が異なることがわかる(Fig.14, Fig.15)。特にシナリオ1とシナリオ4の相対的な順位関係(累計額・量)が異なっている。このことは、LCCO₂が対策工法の選択により、LCCと異なる順位を表すことを示している。すなわち、環境影響評価指標としてLCC算定システムで算出された、LCCO₂が環境影響評価指標として検討が可能なことを示唆するものであると考える。

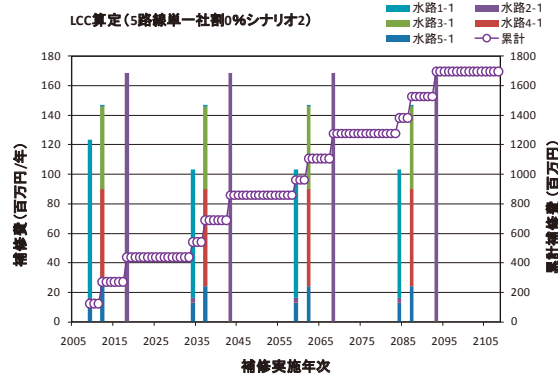


Fig. 12 LCC算定結果 (5路線)
Result of LCC (5 canals)

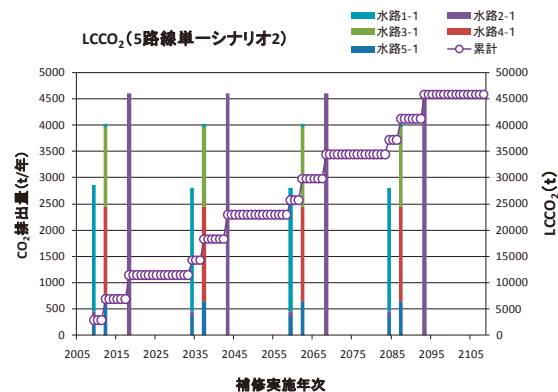


Fig. 13 LCCO₂算定結果 (5路線)
Result of LCCO₂ (5 canals)

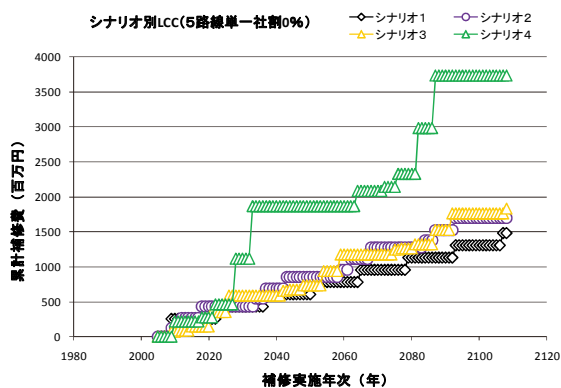


Fig. 14 5路線を対象としたシナリオ別LCC算定結果
Result of LCC Maintenance scenario (5 canals)

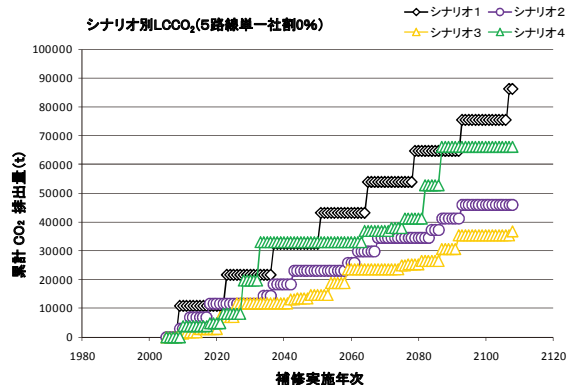


Fig. 15 5路線を対象としたシナリオ別 LCCO₂ 算定結果
Result of LCCO₂ Maintenance scenario (5 canals)

4 LCCO₂ 算定における課題

LCC 算定システムを用い LCCO₂ 算定が可能なが示された。これにより LCC 算定における異なる対策工法シナリオに対する CO₂ 排出量の比較が可能となった。かなり簡略化された形ではあるが、環境影響評価の一つの指標である CO₂ 排出量比較の目安を得ることが可能となったと考える。しかし、いくつかの課題も明らかになった。その一つは、CO₂ 排出原単位の LCA データベースの選定である。LCA データベースは、いくつか公表されているが、工事単価構成項目に対応した CO₂ 排出量項目をより多く設定されているデータベースを用いることが望ましい。しかしながら、細かい項目の排出原単位が公表されることは、産業連関表の性質から今後も期待されない。品目別単価内訳が、より細かく設定してあるのでこれを使用していくことが、当面の現実的対応となると考える。二つ目は、対策工法の単価構成の作成である。農業農村整備事業の場合、工事単価作成は、公表されている「農林水産省土地改良工事積算基準」により積算されることとなるが、補修・補強工事の工法は、日々新工法の開発と既存工法の改良が進められているため、標準的な歩掛のみでは、対応が困難なことが多い。標準歩掛では、例えば「コンクリートはつり」において空気圧縮機の運転については、諸雑費(%)で計上され CO₂ 排出量算定に必要な燃料消費量が計上できない場合もある。工法によっては施工業者が CO₂ 排出量算定に利用可能な積算資料を公表している場合もあるが、一部の工法に限られており、一般化されているとは言い難い。一方、平成 21 年 3 月には経済産業省によりカーボンフットプリント制度(商品の原材料調達から廃棄・リサイクルまでで排出される温室効果ガスを CO₂ に換算し商品に表示する制度)の基本ルールが示された。カーボンフットプリント制度の普及が進み、材料ごとの CO₂ 排出量が明らかになることにより、補修・補強工事毎の CO₂ 排出量の算定が容易になることが期待される。この場合、LCC 算定システムは、容易に LCCO₂ 算定の手法として

活用されると考える。

V 結 言

本報告では、既存の現場打ち鉄筋コンクリート製農業用開水路を対象とした LCC 算定システムについて、システムの構築の考え方を整理するとともに、今後の改善方向について取りまとめを行った。更に LCC 算定システムの環境評価への利用可能性について検討を行った。

LCC 算定システムは、例えば、劣化予測グラフの作成については、点検・診断結果を入力すれば、単一劣化曲線やマルコフ連鎖モデルに対応した劣化予測グラフを自動で作成する。また、複数の健全度に応じた対策工法の組み合わせに対して、容易に LCC の試算を繰り返して行うことができることから、予算上有利な対策工法の組合せを見出すことが容易となる。これら作業を通じて劣化予測が LCC 算定結果へ及ぼす影響度の理解を深めることと併せ、予測に必要な診断情報・健全度評価基準とは何か、或いはどのような診断情報がより有効かつ効率的であるのかについて理解を深めることができる。また、このソフトウェアは、一般に普及している表計算ソフト(Excel 2003)を用いていることから、不慣れなキー操作を学ぶ煩わしさはなく直ちに使用することができる。LCC 算定の流れおよび LCC の低減に資する考え方の理解を容易にするものとする。更に、施設補修工事で排出される CO₂ 量を把握するためのツールになりうることを示唆された。一方、それぞれの対策工法に対応した劣化予測モデルがないことや、優先水路を指定したい等の現場の要請状況に対応した標準化機能が整備されていない点等への対応が課題としてあげられる。このため、今後、1次・2次・3次式や指数関数等で表される劣化予測モデルの設定や、対策工法毎の複数の劣化パターンに対応するシステムを構築するとともに、標準化機能の拡充を図る必要があると考える。

LCC 算定システムの課題を改善することにより、ストックマネジメントに更なる貢献をするシステムの構築が可能と考える。

参考文献

- 1) 千葉住彦(2010): 農業農村整備の温室効果ガスに係る LCA について, 平成 21 年度農村工学研究所研究会農村計画研究会, 3-22
- 2) 土木学会(2001): 2001 年制定コンクリート標準示方書(維持管理編), 81-156
- 3) 環境省(参照 2010.11.24): 平成 21 年 12 月 21 日気候変動枠組条約第 15 回締約国会議(COP15/CMP5, デンマーク・コペンハーゲン)の結果, (オンライン), 入手先<<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>
- 4) 経済産業省(参照 2010.12.13) カーボンフットプ

- リント制度の基本的ルールが決定 (CO₂ 排出量の算定・表示方法の等のルールの策定), (オンライン) 入手先 <http://www.meti.go.jp/press/20090303004/20090303004.html>
- 5) 北村浩二・本間新哉・今泉眞之・加藤敬 (2008) : 農業用水路の壁面の摩耗劣化と継目劣化の予測, 農業農村工学会論文集, 254, 123-134
 - 6) 北村浩二・本間新哉・加藤敬 (2009) : マルコフ連鎖モデルによる農業用水路の壁面摩耗の劣化予測, 農業農村工学会誌, 77(7), 19-23
 - 7) LCA 実務入門編集委員会 (1998) : LCA 実務入門, 9-12
 - 8) 見手蔵幸雄, 古崎康哲, 石川宗孝 (2002) : ゼロエミッション型農業集落排水施設への更新と LCA 手法, 農土誌, 70(12), 7-10
 - 9) 南斉規介・森口祐一 (2006) : 環境負荷原単位と品目別国内生産額との対応表 (2000) (参照 2010.12.06)
 - 10) 日本建築学会 (2006) : 建物の LCA 指針 (温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール), 13
 - 11) 農林水産省 (参照 2010.11.24) : 食料・農業・農村基本計画 (平成 22 年 3 月 30 日閣議決定), (オンライン), 入手先 http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/index.html, 34-35
 - 12) (社) 農業土木事業協会 (2007) : 農業水利施設の機能保全の手引き
 - 13) (社) 農業農村整備情報総合センター : 平成 22 年度農林水産省土地改良工事積算基準 (土木工事), 651
 - 14) (社) 日本コンクリート工学協会 (2006) : コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム
 - 15) (社) 公共建築協会 (2005) : グリーン庁舎基準及び同解説 (官庁施設の環境保全性に関する基準及び同解説) 平成 17 年版

Construction and Practical Use of the LCC Calculation System of Irrigation Open Channel

HONMA Shinya, MORI Takehisa and NISHIHARA Masahiko

Summary

This report shows the architectural thought of the LCC calculation system and future improvement. In addition, the report shows use possibility to the environmental estimation of the LCC calculation system. This LCC calculation system calculates timely repair expense about existing agriculture open channel made by reinforced concrete. This system carries out LCC calculation with measures method corresponding to the degree of a deterioration prediction and the deterioration. For example, the LCC calculation system automatically makes a deterioration prediction graph using a single deterioration prediction model and Markoff chain model from check information. Moreover, LCC calculation system can set plural measures method of construction scenarios. Therefore, a comparison of LCC of the different measures method of construction becomes easy. Furthermore, LCC calculation system was shown to be applicable to simple CO₂ emission calculation. From these, it may be said that this system is a simple tool performing LCC calculation and CO₂ emission calculation.

On the other hand, the problems of the LCC calculation system are as follows.

1. There is not the deterioration prediction model corresponding to each countermeasures method of construction. Therefore, it is necessary to prepare the deterioration prediction model corresponding to plural deterioration patterns.
2. There is not a budget adjustment function corresponding to various situations. Thus, it is necessary to plan the improvement of the budget adjustment function.

Keywords : irrigation open channel, LCC, regression prediction model, Markoff chain model, CO₂ emission