

山口大学大学院 学生会員 ○森 優太  
 山口大学工学部 正会員 河村 圭  
 山口大学工学部 フェロー会員 宮本 文穂  
 山口県土木建築部 正会員 石田 純一

### 1. 序論

わが国の橋梁の多くは、高度経済成長期に集中して建設されており、これらの橋梁の多くが老朽化しつつある。このため、今後数十年の間に大規模な維持管理対策を行う必要があり、必要な予算も大きく増加する。

本研究では、合理的な維持管理計画の策定を支援するシステムとして、橋梁維持管理計画策定支援システムを研究した<sup>1)</sup>。また、以下橋梁維持管理策定支援システムを本システムと記す。ここでは「長寿命化機能」を考慮した橋梁更新計画策定支援システムの基礎研究について述べる。

### 2. 橋梁維持管理計画策定支援システムについて

橋梁維持管理計画策定支援システムは、橋梁の維持管理計画の立案を目的としている。橋梁の維持管理にかかる費用の中で、更新対策にかかる費用が最も大きく、更新対策の時期を調整することで、更新に必要な費用の一時期への集中を防ぐことができる。しかし、橋梁は供用限界である寿命を迎えた場合は必ず更新対策を行う必要があり、寿命を考慮することなく、更新時期の調整を行うことは不可能である。そこで、本システムでは、まず長寿命化機能を用いて橋梁の寿命について最大限に延長を行い、その後で更新費用平滑化機能で更新費用の調整を行う。本システムのフローについて、図1に示す。

### 3. 橋梁劣化についての仮定条件

本システムでは、橋梁の劣化状態を表す値として健全度を用いた。健全度は0~100の範囲であり、値が大きいほど状態がよいものとし、0が劣化して供用不能の状態としている。架設直後の健全度である $b_0$ は、Step0-2 初期設定において、ユーザの任意で決定することが可能である。

本システムにおける健全度の変化は、式(1)で示される。また、橋梁の状態をシステムに反映するために、通常点検結果を導入する。通常点検結果は、Step0-1 データの読み込みで読み込まれる。通常点検を行った年度 $t_x$ と、点検結果 $b_x$ 、これら通常点検結果 $b_0$ と劣化曲線の次数 $c$ から、式(2)を用い、劣化曲線の初期係

数 $a_0$ を求める。 $a_0$ が求められたことにより、劣化曲線を描くことが可能となる。これを図2に示す。



図1 計画のフロー

$$h(t_n) = b_n - a_n(t - t_n)^c \tag{1}$$

- $t$ : 西暦 (年)
- $n$ :  $t$ 年までに対策を行った回数
- $h(t)$ :  $t$ 年の健全度
- $t_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した年
- $a_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した時点での劣化曲線の係数
- $b_n$ :  $n$ 回目の対策を実施した時点での健全度
- $c$ : 劣化曲線の次数

$$a_0 = \frac{(b_0 - h(t_x))}{(t - t_0)^c} \tag{2}$$

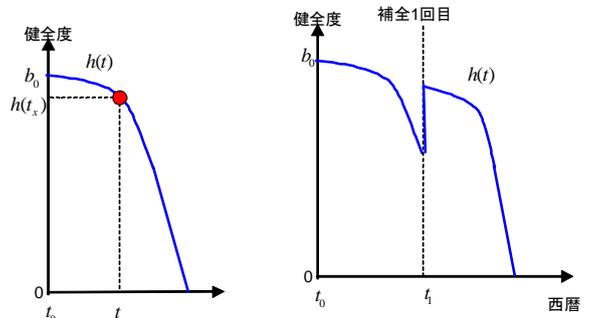


図2 橋梁の劣化曲線

図3 保全対策を行った劣化曲線

また、橋梁の健全度は保全対策を行うことで回復させることができる。これを、図3に示す。図3では $t_1$ 年に保全対策を行い、健全度を回復させている。保全対

策を行うことで橋梁の健全度は回復するが、完全に回復するわけではなく、橋梁劣化速度も増加するとしている。

#### 4. 長寿命化機能

Step1 長寿命化では、全ての橋梁に対して橋梁の寿命を最も延長する保全対策年の組み合わせを求める(以下、単に対策と述べた場合は、保全対策とする)。対策は部材ごとに個別に行い、本システムにおいて対象とする部材は「主桁」、「床板」とする。

対象とした部材の中で、最も短かった部材の寿命を橋梁全体の寿命として採用し、寿命となる年に全ての部材を対象に更新対策を行う。長寿命化式について、式(3)から式(5)に示す。

##### [目的関数]

$$F_1 = Life \rightarrow \max \quad (3)$$

$F_1$ は以下の2式へ分割される

$$F_{1\_Girder} = LifeGirder \rightarrow \max \quad (4)$$

$$F_{1\_Slab} = LifeSlab \rightarrow \max \quad (5)$$

$Life$ : 寿命(年)

$LifeGirder$ : 主桁の寿命(年)

$LifeSlab$ : 床版の寿命(年)

$LifeGirder \leq LifeSlab$ の時  $Life = LifeGirder$

$LifeGirder > LifeSlab$ の時  $Life = LifeSlab$

橋梁の状態を健全ごとに5つに分割したものを状態区分とし、図4に示す。英数字のV~Iが各状態区分である。本機能の制約条件は、架設から寿命までの、状態区分ごとの対策回数、設定した対策回数上限を超過しないことである。初期設定の内容により、制約条件は異なる。また、対策を行うタイミングは計算時間短縮のために状態区分の変わり目となる橋齢とした。図4に示すように、状態区分が変わる年を対策実施のタイミングとして設定する。本図では、状態区分V→IVとなるタイミングを④、同様に状態区分の変わり目となるタイミングを③、②、①とする。

##### [制約条件]

$$\sum_{t=0}^{Life} x_{t,r} \leq n_{\max,r} \quad (6)$$

$$\sum_{r=II}^V \sum_{t=0}^{Life} x_{t,r} \leq n\_All_{\max} \quad (7)$$

$$x_{t,r} = \begin{cases} 0 & \text{橋齢}t\text{年に状態区分}r\text{での} \\ & \text{対策を対象部材に行わない場合} \\ 1 & \text{橋齢}t\text{年に状態区分}r\text{での} \\ & \text{対策を対象部材に行う場合} \end{cases}$$

$x_{t,r}$ : 橋齢 $t$ 年における状態区分 $r$ の

対象部材への対策の有無

$n_{\max,r}$ : 状態区分 $r$ における対策回数上限

$n\_All_{\max}$ : 状態区分全体での対策回数上限

状態区分ごとに対策回数を設定した場合の制約は式(6)に示し、状態区分全体で対策回数を設定した場合の制約は式(7)に示す。なお、状態区分Iで行う対策は更新対策とするため、制約条件には含めないものとする。

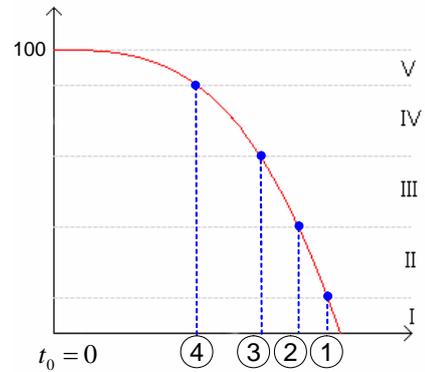


図4 対策実施のタイミング

本機能で決定された寿命は、Step2 更新費用平滑化に用いられる。

#### 5. 更新費用平滑化

Step2 更新費用平滑化では、橋梁の更新年を、長寿命化で求められた橋梁の寿命とし、年度ごとの更新費用を計算する。更新費用が更新予算を超過していた場合は、優先順位の低い橋梁から橋梁の更新時期を前倒しすることで更新費用を平滑化し、更新費用を予算内に納めるようにする。

#### 6. 今後の予定

現在本システムは、Step3RLCC 最小化までの開発を行っている。今後は、Step4以降の開発を行う予定である。

##### <参考文献>

- 1) 仁木京子：更新費用の平滑化を考慮した橋梁維持管理計画策定支援システムの実用化，山口大学修士論文，2006