

タイトル	道道のためのBMS検討におけるLCC計算モデルについて
著者	杉本，博之；渡辺，忠朋；赤泊，和幸
引用	北海学園大学工学部研究報告，31：33-53
発行日	2004-02-20

道道のための BMS 検討における LCC 計算モデルについて

杉本博之*・渡辺忠朋**・赤泊和幸***

On LCC Calculation Model for the Study on BMS of the Bridges of Hokkaido

Hiroyuki SUGIMOTO*, Tadatomo WATANABE** and Kazuhiro AKADOMARI***

1. ま え が き

高度経済成長期をピークとして、社会基盤整備のため多くの土木構造物が造られたが、それらの構造物も耐用年数を迎つつある。一方で公共事業費に占める公共投資額が削減傾向にある現在では、多くの社会基盤施設を維持していくためにもより効率的な維持管理が、必要不可欠の問題として挙げられる。先の兵庫県南部地震において、社会基盤施設の破壊が社会にいかにも多大な影響を及ぼすことが証明された。また、最近ではトンネルなどでのコンクリートの剥落等により大惨事になりかねない事件もおき、土木構造物全体を通じて早急に維持管理戦略を立てなくてはならない時期にきていると考えられる。

橋梁に関しても同様のことが言え、ライフサイクルコスト（以下、LCC）をいかに少なく抑えるかということが重要な課題となる。そのため、限られた予算を有効に活用する橋梁維持管理システム（以下、BMS）に関する研究が多くなされている。^{1)~4)}

本研究は、北海道の道々に架かる橋梁の維持管理に関する提言を目的とし、LCC 計算のためのモデルの構築を試みた。しかし、今全国の地方公共団体で問題になっているように、現存する橋梁のデータベースは極めて貧弱な状態にあり、かなりのデータが欠損している。そこで、本研究では、札幌土木現業所（以下、札土）管轄の橋梁を対象とし、不足するデータを既存のデータから補充することを試み、その上で補修費用計算のモデルを作成し、今後 50 年間に要す

* 北海学園大学

** 北武コンサルタント株式会社

*** 北海学園大学 大学院工学研究科修士課程

る橋梁の補修費用の推定を試みた。⁵⁾⁶⁾

本報告では、その中の補修費用算定のためのコストモデルについて詳細に説明する。本研究において補修費の定義は、材料費等の直接工事費、仮設や現場の管理費用等の間接工事費、および工事を施工する企業の運営に必要な一般管理費を加えたものとしている⁷⁾。

直接工事費は、各部材毎に劣化度に応じて損傷領域の推定を行い、それに対応する対策工法を定めて計算を行った⁸⁾。

2. 床版の直接工事費の算定

北海道の橋梁にはほとんど鋼床版がないため、すべてコンクリート床版としてコストモデルの作成を行っている。床版のコストモデルについては、劣化度2と劣化度1においては構造形式により計算方法が異なる。鋼橋の単純桁（合成）、単純桁（非合成）、連続桁（非合成）の床版のコストモデルを表-1、プレテン、ポステンT桁橋の床版のコストモデルを表-2に示す。プレテン、ポステン中空床版橋は床版と主桁を一体と考え主桁で計算を行っている。

(1)劣化度4での床版の直接工事費

劣化度4では損傷領域は主桁長さの10%にひび割れが入ったことを想定し、樹脂系の注入を施すとした。本研究では主桁長さのデータがないため、橋長に置き換えて計算を行った。ひび割れの数量は、(主桁本数+1)本に橋長の10%を乗じた長さとした。図-1は例として鋼橋I桁の断面図であり、主桁本数が3本の橋梁であり、ひび割れは、橋長の10%の長さのひび割れ

表-1 鋼橋の床版のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	ひび割れ	注入	主桁長さの10%	橋長×(主桁本数+1)×0.1	m	6,500円/m
3	ひび割れ、剝離	注入	主桁長さの20%	橋長×(主桁本数+1)×0.2	m	6,500円/m
		断面修復	0.1m ² ×10cm(厚さ)	0.1m ² ×0.1m	m ³	1,010,000円/m ³
2	ひび割れ、剝離 鉄筋腐食	注入	主桁長さの30%	橋長×(主桁本数+1)×0.3	m	6,500円/m
		断面修復	床版下面面積の10%	床版下面面積×0.1×0.1	m ³	1,010,000円/m ³
1	—	床版打ち替え	橋面積全体	橋面積	m ²	75,000円/m ²

表-2 プレテン、ポステンT桁橋の床版のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	ひび割れ	注入	主桁長さの10%	橋長×(主桁本数+1)×0.1	m	6,500円/m
3	ひび割れ、剝離	注入	主桁長さの20%	橋長×(主桁本数+1)×0.2	m	6,500円/m
		断面修復	0.1m ² ×10cm(厚さ)	0.1m ² ×0.1m	m ³	1,010,000円/m ³
2	ひび割れ、剝離 鉄筋腐食	注入	主桁長さの30%	橋長×(主桁本数+1)×0.3	m	6,500円/m
		断面修復	床版下面面積の10%	床版下面面積×0.1×0.1	m ³	1,010,000円/m ³
1	—	床版打ち替え	床版下面面積	床版下面面積	m ²	37,000円/m ²

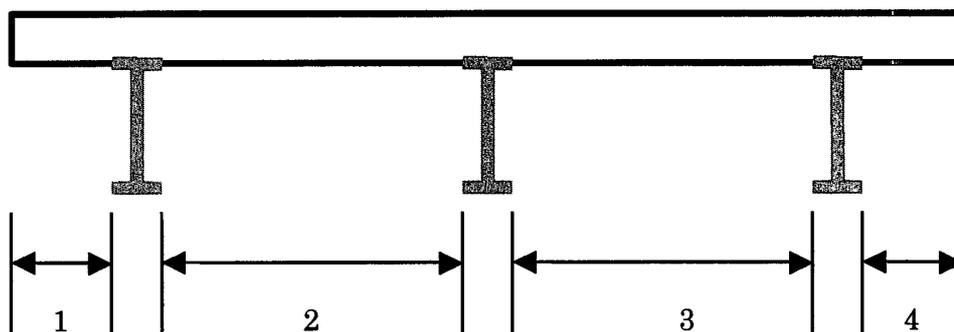


図-1 ひび割れ本数

が図-1の数字で示されている範囲にそれぞれ1本、合計4本入ることを想定している。単価は1mあたり6500円とした。床版の劣化度4の直接工事費は式(1)から得られる。

$$C_{st4} = B_l \times 0.1 \times (N_g + 1) \times 6500 \quad (1)$$

ここで、 C_{st4} は劣化度4での床版の直接工事費(円)、 B_l は橋長(m)、 N_g は主桁本数(本)である。

(2)劣化度3での床版の直接工事費

劣化度3では、損傷領域は主桁長さの20%にひび割れと、床版の断面 0.1m^2 に深さ 0.1m の剝離があったことを想定し、ひび割れには劣化度4の対策と同じく樹脂系の注入を施し、剝離の断面修復には、ポリマー系の断面復旧工を施すとした。数量はそれぞれ、ひび割れが(主桁本数+1)本に橋長の20%を乗じた長さとし、剝離は 0.1m^2 に 0.1m を乗じた値とした。単価は、ひび割れが1mあたり6500円、剝離の断面修復は 1m^3 あたり1010000円とした。床版の劣化度3の直接工事費は式(2)から得られる。

$$C_{st3} = B_l \times 0.2 \times (N_g + 1) \times 6500 + 0.1 \times 0.1 \times 1010000 \quad (2)$$

ここで、 C_{st3} は劣化度3での床版の直接工事費(円)である。

(3)劣化度2での床版の直接工事費

劣化度2では、損傷領域は主桁長さの30%にひび割れと、床版下面面積の10%に剝離または鉄筋腐食があったことを想定し、ひび割れには樹脂系の注入を施し、剝離、鉄筋腐食の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。数量については、ひび割れが(主桁本数+1)本に橋長の30%を乗じた長さとし、剝離については床版下面面積に深さ 0.1m を乗じた値とした。しかし床版下面面積の求め方は鋼橋とプレテン、ポステンT桁では異なる。鋼橋とプレテン、ポステンT桁橋の床版下面面積の基本的な概念をそれぞれ図-2、図-3に示す。

本研究では床版下面面積のデータがないため、床版下面面積は点線で示す長さに橋長を乗じ

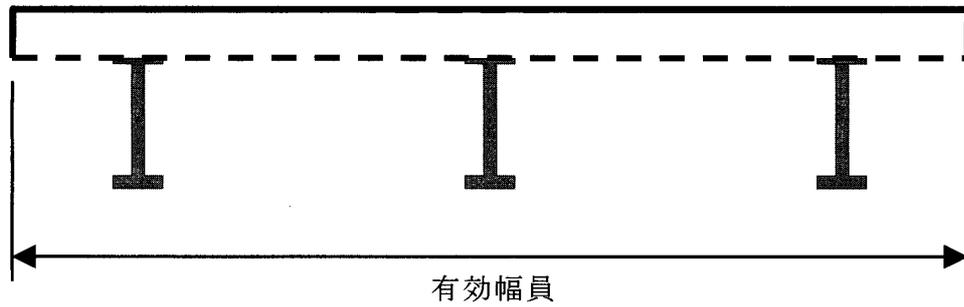


図-2 鋼橋の床版下面面積

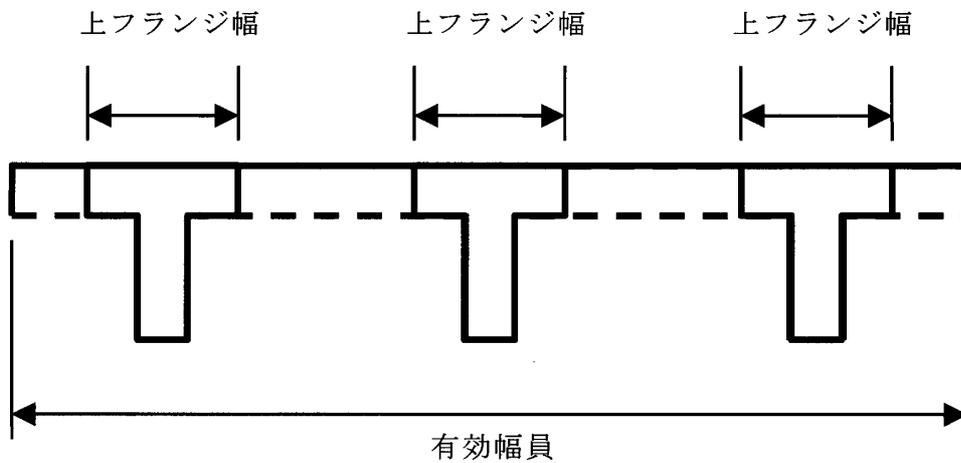


図-3 プレテン、ポステンT桁橋の床版下面面積

た値とした。プレテン、ポステンT桁の上フランジ幅は、式(3)から得られる。

$$\begin{aligned} \frac{B_l}{N_s} < 38 & \quad F_u = 1.50 \\ \frac{B_l}{N_s} \geq 38 & \quad F_u = 1.75 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 N_s は径間数、 F_u は上フランジ幅 (m) である。

鋼橋とプレテン、ポステンT桁橋の床版下面面積はそれぞれ式(4)、式(5)で得られる。

$$S_s = B_w \times B_l \quad (4)$$

$$S_c = (B_w - N_g \times F_u) \times B_l \quad (5)$$

ここで、 S_s は鋼橋の床版下面面積(m²)、 S_c はプレテン、ポステンT桁橋の床版下面面積(m²)、 B_w は有効幅員 (m) である。

単価は、ひび割れが1mあたり6500円、剝離の断面修復は1m³あたり1010000円とした。

床版の劣化度 2 の鋼橋とプレテン，ポステン T 桁橋の直接工事費はそれぞれ式(6)，式(7)から得られる。

$$C_{st2} = B_l \times 0.3 \times (N_g + 1) \times 6500 + S_s \times 0.1 \times 0.1 \times 1010000 \quad (6)$$

$$C_{st2} = B_l \times 0.3 \times (N_g + 1) \times 6500 + S_c \times 0.1 \times 0.1 \times 1010000 \quad (7)$$

ここで， C_{st2} は劣化度 2 での床版の直接工事費（円）である。

(4)劣化度 1 での床版の直接工事費

劣化度 1 では，床版の打ち替えを想定した。鋼橋では橋面積全体の打ち替え，プレテン，ポステン T 桁橋では床版下面面積の打ち替えを施すこととした。本研究では橋面積のデータがないため橋長と有効幅員を乗じた値を橋面積に置き換えて計算した。鋼橋の単価は 75000 円，プレテン，ポステン T 桁の単価は 37000 円とした。床版の劣化度 1 の鋼橋とプレテン，ポステン T 桁橋の直接工事費はそれぞれ式(8)，式(9)から得られる。

$$C_{st1} = S_s \times 75000 \quad (8)$$

$$C_{st1} = S_c \times 37000 \quad (9)$$

ここで， C_{st1} は劣化度 1 での床版の直接工事費（円）である。

3. 主桁の直接工事費の算定

主桁に関しては構造形式によって計算方法が異なる。鋼橋の単純（合成），単純（非合成），連続（非合成）の主桁のコストモデルを表-3，プレテン，ポステン T 桁橋の主桁のコストモ

表-3 鋼橋の主桁のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	-	-	-	-	-	-
4	-	塗装	全体面積の10%	橋長×桁高×2×主桁本数×1.3×0.1	m ²	5,000円/m ²
3	局部的腐食	塗装	全体面積の25%	橋長×桁高×2×主桁本数×1.3×0.25	m ²	5,000円/m ²
2	鉄筋腐食	塗装	全体面積の50%	橋長×桁高×2×主桁本数×1.3×0.5	m ²	5,000円/m ²
1	-	部材取り替え	主桁全体	鋼重の計算式	t	1,100,000円/t

表-4 プレテン，ポステン T 桁橋の主桁のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	-	-	-	-	-	-
4	ひび割れ	注入	主桁長さの10%	橋長×主桁本数×0.1	m	6,500円/m
3	ひび割れ・剥離	注入	主桁長さの20%	橋長×主桁本数×0.2	m	6,500円/m
		断面修復	0.1m ² ×10cm(厚さ)	0.1m ² ×0.1m	m ³	1,010,000円/m ³
2	ひび割れ・剥離・鉄筋腐食	注入	主桁長さの30%	橋長×主桁本数×0.3	m	6,500円/m
		断面修復	桁下面積の10%	桁下面積×0.1×0.1	m ³	1,010,000円/m ³
1	-	シート貼り付け	桁下面積	桁下面積×2	m ²	50,000円/m ²

ここで、 C_{g1} は劣化度1での鋼橋の主桁の直接工事費（円）である。

3. 2 プレテン，ポステン T 桁橋

(1)劣化度4でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費

劣化度4では損傷領域は主桁長さの10%にひび割れを想定し，樹脂系の注入を施した。数量は主桁本数に橋長の10%を乗じた長さとした。単価は1mあたり6500円とした。プレテン，ポステン T 桁の主桁の劣化度4の直接工事費は式(17)から得られる。

$$C_{g4} = B_l \times N_g \times 0.1 \times 6500 \quad (17)$$

ここで、 C_{g4} は劣化度4でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費（円）である。

(2)劣化度3でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費

劣化度3では，損傷領域は主桁長さの20%にひび割れと，床版の断面 0.1 m^2 に深さ 0.1 m の剝離があったことを想定し，ひび割れには劣化度4の対策と同じく樹脂系の注入を施し，剝離の断面修復には，ポリマー系の断面復旧工を施すとした。数量はそれぞれ，ひび割れが主桁本数に橋長の20%を乗じた長さとし，剝離は 0.1 m^2 に 0.1 m を乗じた値とした。単価は，ひび割れが1mあたり6500円，剝離の断面修復は 1 m^3 あたり1010000円とした。プレテン，ポステン T 桁の主桁の劣化度3の直接工事費は式(18)から得られる。

$$C_{g3} = B_l \times N_g \times 0.2 \times 6500 + 0.1 \times 0.1 \times 1010000 \quad (18)$$

ここで、 C_{g3} は劣化度3でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費（円）である。

(3)劣化度2でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費

劣化度2では，損傷領域は主桁長さの30%にひび割れと，桁下面積の10%に剝離または鉄筋腐食があったことを想定し，ひび割れには樹脂系の注入を施し，剝離，鉄筋腐食の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。数量については，ひび割れが主桁本数に橋長の30%を乗じた長さとし，剝離については桁下面積に深さ 0.1 m を乗じた値とした。プレテン，ポステン T 桁橋の桁下面積の基本的な概念を図-5に示す。

本研究では桁下面積のデータがないため，桁下面積は点線で示す長さの合計と橋長を乗じた値とした。プレテン，ポステン T 桁の下フランジは，式(19)から得られる。

$$\begin{aligned} \frac{B_l}{N_s} < 38 & \quad F_u = 0.34 \\ \frac{B_l}{N_s} \geq 38 & \quad F_u = 0.36 \end{aligned} \quad (19)$$

ここで、 F_l は下フランジ幅（m）である。

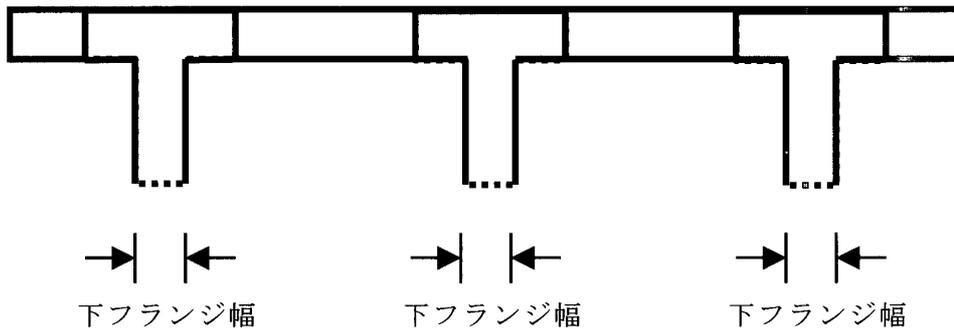


図-5 プレテン，ポステン T 桁橋の桁下面積

プレテン，ポステン T 桁橋の桁下面積は式(20)で得られる。

$$A_t = F_t \times B_t \times N_g \tag{20}$$

ここで、 A_t はプレテン，ポステン T 桁橋の桁下面積 (m^2) である。

単価は、ひび割れが 1 m あたり 6500 円，剝離の断面修復は 1 m^3 あたり 1010000 円とした。劣化度 2 のプレテン，ポステン T 桁の主桁の直接工事費は式(21)から得られる。

$$C_{g2} = B_t \times N_g \times 0.3 \times 6500 + A_t \times 0.1 \times 0.1 \times 1010000 \tag{21}$$

ここで、 C_{g2} は劣化度 2 でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費 (円) である。

(4)劣化度 1 でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費

劣化度 1 では桁下面積全体の劣化を想定し，炭素繊維シート接着工を施すこととした。単価は 1 m^2 あたり 50000 円とした。プレテン，ポステン T 桁橋の直接工事費は式(22)から得られる。

$$C_{g1} = A_t \times 2 \times 50000 \tag{22}$$

ここで、 C_{g1} は劣化度 1 でのプレテン，ポステン T 桁橋の主桁の直接工事費 (円) である。

3. 3 プレテン，ポステン中空床版橋

(1)劣化度 4 でのプレテン，ポステン中空床版の主桁の直接工事費

劣化度 4 では損傷領域は主桁長さの 10% にひび割れを想定し，樹脂系の注入を施した。本研究ではプレテン，ポステン中空床版橋は主桁本数を 1 本と考えている。ひび割れの本数は 70 cm 間隔でひび割れが発生することを想定した。ひび割れ本数は式(23)より得られる。

$$C_r = B_w \times 1.5 \tag{23}$$

ここで、 C_r はひび割れ本数 (本) である。

劣化度3では損傷領域は橋脚の外周にひび割れが入ったことと、 1.0 m^2 未満の剝離があったことを想定し、ひび割れには樹脂系の注入工、剝離の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。ひび割れの数量については有効幅員の長さのひび割れ2本を想定し、剝離は断面 0.1 m^2 に深さ 0.15 m を乗じた値とした。単価は、ひび割れは 1 m あたり 6500 円、剝離の断面修復は 1 m^3 あたり 1010000 円とした。橋脚の劣化度3の直接工事費は式(30)から得られる。

$$C_{p3} = B_w \times 2 \times 6500 + 1.0 \times 0.15 \times 1010000 \quad (30)$$

ここで、 C_{p3} は劣化度3での橋脚の直接工事費（円）である。

(3)劣化度2での橋脚の直接工事費

劣化度2では損傷領域は橋脚の外周にひび割れが入ったことと、 1.0 m^2 以上の剝離があったことを想定し、ひび割れには樹脂系の注入工、剝離の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。ひび割れの数量については有効幅員の長さのひび割れ2本を想定し、剝離は断面が有効幅員に 1 m を乗じた面積に深さ 0.15 m を乗じた領域が2カ所あったことを想定した。単価は、ひび割れは 1 m あたり 6500 円、剝離の断面修復は 1 m^3 あたり 1010000 円とした。橋脚の劣化度2の直接工事費は式(31)から得られる。

$$C_{p2} = B_w \times 2 \times 6500 + B_w \times 1.0 \times 0.15 \times 2 \times 1010000 \quad (31)$$

ここで、 C_{p2} は劣化度2での橋脚の直接工事費（円）である。

(4)劣化度1での橋脚の直接工事費

劣化度1では損傷領域は橋脚全体の面積を想定し、コンクリート巻き立てを施すこととした。数量は有効幅員と橋脚高さを乗じた面積が2カ所を想定した。単価は 1 m^2 あたり 80000 円とした。橋脚の劣化度1の直接工事費は式(32)から得られる。

$$C_{p1} = B_w \times H_s \times 2 \times 80000 \quad (32)$$

ここで、 C_{p1} は劣化度1での橋脚の直接工事費（円）、 H_s は橋脚・橋台高さ（m）である。

5. 橋台の直接工事費の算定

橋台のコストモデルを表-7に示す。

(1)劣化度4での橋台の直接工事費

劣化度4では損傷領域は橋台の外周にひび割れが入ったことを想定し、樹脂系の注入を施すこととした。ひび割れの数量については有効幅員の長さのひび割れ2本を想定した。単価は 1 m あたり 6500 円とした。橋台の劣化度4の直接工事費は式(33)から得られる。

表-7 橋台のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	ひび割れ	注入	橋台外周	有効幅員×2	m	6,500円/m
3	ひび割れ, 剥離	注入	橋台外周	有効幅員×2	m	6,500円/m
		断面修復	1 m ² 未満	1.0m ² ×0.15m	m ³	1,010,000円/m ³
2	ひび割れ, 剥離, 鉄筋腐食	注入	橋台外周	有効幅員×2	m	6,500円/m
		断面修復	1 m ² 以上	有効幅員×2×1.0m ² ×0.15m	m ³	1,010,000円/m ³
1	—	コンクリート巻立て	橋台全体面積	有効幅員×橋台高さ×2	m ²	80,000円/m ²

$$C_{a4} = B_w \times 2 \times 6500 \tag{33}$$

ここで、 C_{a4} は劣化度4での橋台の直接工事費（円）である。

(2)劣化度3での橋台の直接工事費

劣化度3では損傷領域は橋台の外周にひび割れが入ったことと、1.0 m²未満の剥離があったことを想定し、ひび割れには樹脂系の注入工、剥離の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。ひび割れの数量については有効幅員の長さのひび割れ2本を想定し、剥離は断面0.1 m²に深さ0.15 mを乗じた値とした。単価は、ひび割れは1 mあたり6500円、剥離の断面修復は1 m³あたり1010000円とした。橋台の劣化度3の直接工事費は式(34)から得られる。

$$C_{a3} = B_w \times 2 \times 6500 + 1.0 \times 0.15 \times 1010000 \tag{34}$$

ここで、 C_{a3} は劣化度3での橋台の直接工事費（円）である。

(3)劣化度2での橋台の直接工事費

劣化度2では損傷領域は橋台の外周にひび割れが入ったことと、1.0 m²以上の剥離があったことを想定し、ひび割れには樹脂系の注入工、剥離の断面修復にはポリマー系の断面復旧工を施すこととした。ひび割れの数量については有効幅員の長さのひび割れ2本を想定し、剥離は断面が有効幅員に1 mを乗じた面積に深さ0.15 mを乗じた領域が2カ所あったことを想定した。単価は、ひび割れは1 mあたり6500円、剥離の断面修復は1 m³あたり1010000円とした。橋台の劣化度2の直接工事費は式(35)から得られる。

$$C_{a2} = B_w \times 2 \times 6500 + B_w \times 1.0 \times 0.15 \times 2 \times 1010000 \tag{35}$$

ここで、 C_{a2} は劣化度2での橋台の直接工事費（円）である。

(4)劣化度1での橋台の直接工事費

劣化度1では損傷領域は橋台全体の面積を想定し、コンクリート巻き立てを施すこととした。数量は有効幅員と橋台高さを乗じた面積が2カ所を想定した。単価は1 m²あたり80000円とした。橋台の劣化度1の直接工事費は式(36)から得られる。

$$C_{a1} = B_w \times H \times 2 \times 80000 \quad (36)$$

ここで、 C_{a1} は劣化度1での橋台の直接工事費(円)である。

6. 伸縮装置の直接工事費の算定

伸縮装置のコストモデルを表-8に示す。伸縮装置に関しては劣化度4では無補修である。

(1)劣化度3での伸縮装置の直接工事費

表-8 伸縮装置のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—
3	—	取り替え	1/4取り替え	有効幅員×0.25(径間数+1)	m	170,000円/m
2	—	取り替え	1/2取り替え	有効幅員×0.50(径間数+1)	m	170,000円/m
1	—	取り替え	全取り替え	有効幅員×1.00(径間数+1)	m	170,000円/m

劣化度3では伸縮装置の25%の損傷を想定し、25%の取り替えとした。数量については、すべて単径間と仮定し、(径間数+1)本とした。単価は170000円とした。伸縮装置の劣化度3の直接工事費は式(37)から得られる。

$$C_{e3} = B_w \times 0.25 \times (N_s + 1) \times 170000 \quad (37)$$

ここで、 C_{e3} は劣化度3での伸縮装置の直接工事費(円)である。

(2)劣化度2での伸縮装置の直接工事費

劣化度2では伸縮装置の50%の損傷を想定し、50%の取り替えとした。数量については、(径間数+1)本とした。単価は170000円とした。伸縮装置の劣化度2の直接工事費は式(38)から得られる。

$$C_{e2} = B_w \times 0.5 \times (N_s + 1) \times 170000 \quad (38)$$

ここで、 C_{e2} は劣化度2での伸縮装置の直接工事費(円)である。

(3)劣化度1での伸縮装置の直接工事費

劣化度1では伸縮装置の全損傷を想定し、全取り替えとした。数量については、(径間数+1)本とした。単価は170000円とした。伸縮装置の劣化度1の直接工事費は式(39)から得られる。

$$C_{e1} = B_w \times 1.0 \times (N_s + 1) \times 170000 \quad (39)$$

ここで、 C_{e1} は劣化度 1 での伸縮装置の直接工事費（円）である。

7. 支承の直接工事費の算定

支承のコストモデルを表-9に示す。支承に関しては劣化度 4 では無補修である。

表-9 支承のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—
3	局部的腐食	塗装	全基数	主桁本数	基	10,000円/基
2	局部的腐食, 亀裂	取り替え	半基数	主桁本数×0.5	基	支間により分類
1	全面的腐食, 亀裂	取り替え	全基数	主桁本数×2.0	基	支間により分類

(1)劣化度 3 での支承の直接工事費

劣化度 3 では損傷領域は局部的腐食を想定し、支承の防錆を施すため全基数の塗装とした。数量については主桁本数とした。単価は 1 基につき 10000 円とした。支承の劣化度 3 の直接工事費は式(40)から得られる。

$$C_{sh3} = N_g \times 10000 \tag{40}$$

ここで、 C_{sh3} は劣化度 3 での支承の直接工事費（円）である。

(2)劣化度 2 での支承の直接工事費

劣化度 2 では損傷領域は局部的腐食, 亀裂を想定し、半基数の取り替えを施すこととした。数量は主桁本数の 50%とした。単価については式(41)により分類される

$$\begin{aligned} \frac{B_l}{N_s} < 20 & \quad P = 500000 \\ 20 \leq \frac{B_l}{N_s} < 50 & \quad P = 750000 \\ \frac{B_l}{N_s} \geq 50 & \quad P = 1000000 \end{aligned} \tag{41}$$

ここで、P は支承 1 基あたりの単価（円）である。

支承の劣化度 2 の直接工事費は式(42)から得られる。

$$C_{sh2} = N_g \times 0.5 \times P \tag{42}$$

ここで、 C_{sh2} は劣化度 2 での支承の直接工事費（円）である。

(3)劣化度 1 での支承の直接工事費

劣化度1では損傷領域は全面的腐食、亀裂を想定し、全基数の取り替えを施すこととした。数量は主桁本数とした。支承の劣化度1の直接工事費は式(43)から得られる。

$$C_{sh1} = N_g \times 2 \times P \quad (43)$$

ここで、 C_{sh1} は劣化度1での支承の直接工事費（円）である。

8. 橋面工の直接工事費の算定

橋面工のコストモデルを表-10に示す。

表-10 橋面工のコストモデル

劣化度	損傷状態	対策工法	損傷領域	数量	単位	単価
5	—	—	—	—	—	—
4	—	取り替え	1/10取り替え	橋長×有効幅員×0.10	m ²	5,000円/m ²
3	—	取り替え	1/4取り替え	橋長×有効幅員×0.25	m ²	5,000円/m ²
2	—	取り替え	1/2取り替え	橋長×有効幅員×0.50	m ²	5,000円/m ²
1	—	取り替え	全取り替え	橋長×有効幅員×1.00	m ²	5,000円/m ²

(1)劣化度4での橋面工の直接工事費

劣化度4では損傷領域は橋面積の10%の劣化を想定し、アスファルトの舗装を施した。数量は橋面積（橋長×有効幅員）の10%とした。単価は1 m²あたり5000円とした。橋面工の劣化度4の直接工事費は式(44)から得られる。

$$C_{pa4} = B_l \times B_w \times 0.1 \times 5000 \quad (44)$$

ここで C_{pa4} は劣化度4での橋面工の直接工事費（円）である。

(2)劣化度3での橋面工の直接工事費

劣化度3では損傷領域は橋面積の25%の劣化を想定し、アスファルトの舗装を施した。数量は橋面積（橋長×有効幅員）の25%とした。単価は1 m²あたり5000円とした。橋面工の劣化度3の直接工事費は式(45)から得られる。

$$C_{pa3} = B_l \times B_w \times 0.25 \times 5000 \quad (45)$$

ここで、 C_{pa3} は劣化度3での橋面工の直接工事費（円）である。

(3)劣化度2での橋面工の直接工事費

劣化度2では損傷領域は橋面積の50%の劣化を想定し、アスファルトの舗装を施した。数量は橋面積（橋長×有効幅員）の50%とした。単価は1 m²あたり5000円とした。橋面工の劣化

度 2 の直接工事費は式(46)から得られる。

$$C_{pa2} = B_l \times B_w \times 0.5 \times 5000 \quad (46)$$

ここで、は劣化度 2 での橋面工の直接工事費 (円) である。

(4)劣化度 1 での橋面工の直接工事費

劣化度 1 では損傷領域は橋面積の全体の劣化を想定し、アスファルトの舗装を施した。数量は橋面積(橋長×有効幅員)全体とした。単価は 1 m²あたり 5000 円とした。橋面工の劣化度 1 の直接工事費は式(47)から得られる。

$$C_{pa1} = B_l \times B_w \times 1 \times 5000 \quad (47)$$

ここで、 C_{pa1} は劣化度 1 での橋面工の直接工事費 (円) である。

9. 足場工の算定

本研究では間接工事費の一部分である仮設費として、橋梁の補修の際に仮設する足場工を補修費に加えた。足場工設置に関しては、必ずしも損傷領域が同一カ所にあるとは限らないので仮設場所を橋面積全体とし、それに単位面積あたりの単価を乗じて計算を行っている。足場工の設置する部材については床版、主桁とした。床版の足場工の単価は 1 m²あたり 2099 円、主桁に関しては鋼橋とコンクリート橋により分類される。鋼橋は劣化度 4, 3 及び 2 は塗装であり、塗装足場工の単価は 1 m²あたり 1472 円、劣化度 1 は部材の取り替えであり、鋼橋架設工の単価は 1 m²あたり 2370 円とした。コンクリート橋の主桁の足場工は 1 m²あたり 2099 円とした。床版の足場工費を式(48)～式(51)に示す。

$$S_{cas4} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (48)$$

$$S_{cas3} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (49)$$

$$S_{cas2} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (50)$$

$$S_{cas1} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (51)$$

ここで、 S_{cas4} , S_{cas3} , S_{cas2} , および S_{cas1} はそれぞれ劣化度 4, 3, 2, 1 での床版の足場工費 (円) である。

鋼橋の主桁の足場工費を式(52)～式(55)に示す。

$$S_{cags4} = B_l \times B_w \times 1472 \quad (52)$$

$$S_{cags3} = B_l \times B_w \times 1472 \quad (53)$$

$$S_{cags2} = B_l \times B_w \times 1472 \quad (54)$$

$$S_{cags1} = B_l \times B_w \times 2370 \quad (55)$$

ここで、 S_{cags4} 、 S_{cags3} 、 S_{cags2} 、および S_{cags1} はそれぞれ劣化度4、3、2、1での鋼橋の主桁の足場工費（円）である。

コンクリート橋の主桁の足場工費を式(56)～式(59)に示す。

$$S_{cagc4} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (56)$$

$$S_{cagc3} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (57)$$

$$S_{cagc2} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (58)$$

$$S_{cagc1} = B_l \times B_w \times 2099 \quad (59)$$

ここで、 S_{cagc4} 、 S_{cagc3} 、 S_{cagc2} 、および S_{cagc1} はそれぞれ劣化度4、3、2、1でのコンクリート橋の主桁の足場工費（円）である。

10. 一般管理費の算定

一般管理費は工事を施工する企業の継続運営に必要な費用であり、一般的には、会社の運営管理上必要な本支店経費である。一般管理費は、2.～8.で計算された直接工事費と、9.で計算した足場工費を足した対象額を元にして率計算により図-7に示すように順に算定される。

始めに図-7より対象額を求める。対象額は直接工事費と足場工費の和により求められる。対象額は式(60)より得られる。

$$P = C + S \quad (60)$$

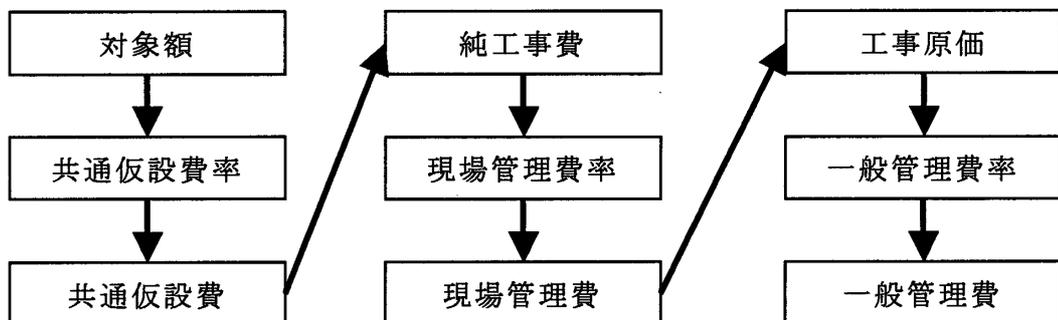


図-7 一般管理費算定までの流れ

ここで、 P は対象額（円）、 C は直接工事費（円）、 S は足場工費（円）である。

対象額より共通仮設費率を求める。共通仮設費率は式(61)より得られる。

$$Kr = 843.9 \times P^{-0.2393} \quad (61)$$

ここで、 Kr は共通仮設費率（%）である。

共通仮設費は対象額と共通仮設費率の積により求められる。共通仮設費は式(62)から得られる。

$$K = P \times \frac{Kr}{100} \quad (62)$$

ここで、 K は共通仮設費（円）である。

純工事費は、対象額と共通仮設費の和により求められる。純工事費は式(63)から得られる。

$$Np = P + K \quad (63)$$

ここで、 Np は純工事費（円）である。

純工事費より現場管理費率を求める。現場管理費率は式(64)から得られる。

$$J_0 = 61.9 \times Np^{-0.0571} \quad (64)$$

ここで、 J_0 は現場管理費率（%）である。

現場管理費は純工事費と現場管理費率の積により求められる。現場管理費は式(65)から得られる。

$$J = Np \times \frac{J_0}{100} \quad (65)$$

ここで、 J は現場管理費（円）である。

工事原価は純工事費と現場管理費の和により求められる。工事原価は式(66)から得られる。

$$Cp = Np + J \quad (66)$$

ここで、 Cp は工事原価（円）である。

工事原価より一般管理費率を求める。一般管理費率は式(67)から得られる。

$$Gp = -2.57651 \times \text{Log}(Cp) + 31.63531 \quad (67)$$

ここで、 Gp は一般管理費率（%）である。

一般管理費は工事原価と一般管理費率の積により求められる。一般管理費は式(68)から得られる。

$$G = Cp \times \frac{Gp}{100} \quad (68)$$

ここで、 G は一般管理費（円）である。

これらの過程により一般管理費は求められる。最終的には本研究では工事価格（一般管理費と直接工事費と間接工事費の和）を補修費としている。工事価格は工事原価（直接工事費＋間接工事費）と一般管理費の和により求められる。工事価格は式(69)から得られる。

$$C = Cp + G \quad (69)$$

ここで、 C は工事価格（円）である。

11. 通行止め日数の設定

本研究では補修が行われる部材、あるいは損傷の程度によっては通行止め、あるいは交通に何らかの制限が加わることがある。それらによる損失を UC として評価し LCC に加えた。通行止め日数を表-11 に示す。床版では劣化度 2 で 1 日、劣化度 1 では 3 日間通行止めであり、主桁は劣化度 1 で 7 日間の通行止め、伸縮装置は劣化度 2 では 1 日、劣化度 1 では 3 日間の通行止め、橋面工では劣化度 2 で 1 日、劣化度 1 で 2 日間の通行止めとした。

表-11 通行止め日数

部材劣化度	5	4	3	2	1
床版	0	0	0	1	3
主桁	0	0	0	0	7
橋脚	0	0	0	0	0
橋台	0	0	0	0	0
伸縮装置	0	0	0	1	3
支承	0	0	0	0	0
橋面工	0	0	0	1	2

通行止め日数は橋梁毎に計算され、橋梁のデータベースから得られる 1 日あたりの UC と通行止め日数を乗じることにより、各橋梁の UC が算出される。UC は式(70)から得られる。

$$Uc = Uc_0 \times C_0 \times D \quad (70)$$

ここで、 Uc はユーザーコスト（円）、 Uc_0 は橋梁の 1 日あたりのユーザーコスト（円/日）、 C_0 は時間係数であり本研究では 1 時間あたり 1800 円としている、 D は通行止め日数（日）である。

12. 考察と結論

将来の北海道の橋梁における維持管理の今後の展望を考え、札幌土木現業所管轄の橋梁を対象とし、LCC 計算のための橋梁群モデルを作成し検討した。

本報告では特に、補修費用算定のためのコストモデルの詳細な説明を行った。より現実的な補修費算定のために、直接工事費の他に間接工事費と一般管理費の算定を試みた。直接工事費の算定は、各部材毎に劣化度に応じて損傷領域の仮定を行い、それに対応した対策工法を定めて計算式の作成を行った。劣化度毎に損傷領域の推定を行ったが、損傷領域については様々な議論があるため、今後、検討が必要であり、多種多様な対策工法の検討も必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Hudson, W.R., Haas, R. & Uddin, W.: Infrastructure Management, McGraw-Hill, 1997.
- 2) Ryall, M.J.: Bridge Management, Planta Tree, 2001.
- 3) 夏秋・向台・保田・古田：連続桁 RC 床版の打設順序決定問題への遺伝的アルゴリズムの応用，構造工学論文集，Vol. 41 A, pp. 627-633, 1995.
- 4) 近田・橘・城戸・小堀：GA による既存橋梁の補修計画支援の試み，土木学会論文集，No. 513/I-35, pp. 151-159, 1995.
- 5) 杉本・赤泊・中野・渡邊：北海道の橋梁の LCC モデルの構築と補修費の推定について，土木学会北海道支部論文集，第 59 号，pp. 84-87, 2003.
- 6) 杉本・赤泊・中野・渡邊：北海道の橋梁の補修費計算モデルの構築と最適維持管理計画について，応用力学論文集，Vol. 6, pp. 1121-1130, 2003.
- 7) (財)建設物価調査会：道路維持修繕の施工と積算，道路維持修繕積算研究会編，1994.
- 8) 札幌土木現業所橋梁補修委員会：橋梁維持管理マニュアル(案)，(財)北海道建設技術センター，2002.