

係留施設の利用実態を考慮した補修優先度の決定方法に関する考察

北海道大学大学院 工学院 学生会員○谷 拓歩 古谷 宏一
 北海道大学大学院 工学研究院 フェロー 横田 弘
 港湾空港建設技術サービスセンター 正会員 北里新一郎
 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 橋本 勝文

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に整備された大量の社会基盤施設を適切に維持していくことが社会経済の持続可能な発展において非常に重要な課題となっている。しかしながら、公共事業関係費は年々削減されており、これらの膨大な施設群を短期間で全て補修・更新するのは困難であると考えられる。

そのため、本研究では、係留施設を対象とした効率的かつ合理的な維持管理手法の構築に資する知見を得ることを目的として、施設の補修優先度に関する考察を行った。複数の施設の劣化状況および利用実態から純現在価値（以下、 NPV ）を算出し、その結果に基づいて補修優先度を決定する方法を提案した。

2. 劣化進行予測手法と補修時期設定条件

目視による点検結果を元に式(1)のマルコフ連鎖モデルを用いて施設の劣化進行予測を行った。

$$\begin{pmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-P_x & 0 & 0 & 0 \\ P_x & 1-P_x & 0 & 0 \\ 0 & P_x & 1-P_x & 0 \\ 0 & 0 & P_x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $d \sim a$ は劣化度毎にその劣化度にある部材の割合、 P_x は遷移率、 t は経過年数である。

本研究では、各施設の実際の劣化度部材割合から算出した遷移率 P_x （ケース 1）を用いて劣化進行予測を行った。また、劣化速度の違いによる補修優先度の挙動を評価するため、 $P_x=0.076$ （ケース 2）あるいは $P_x=0.116$ （ケース 3）と設定した場合の計算も行った。なお、ケース 2 およびケース 3 の P_x の設定値は、既往の調査事例¹⁾を参考に設定した。さらに、施設の代表的な劣化指標として DP を式(2)のように定義した。

$$DP = 4 \times a + 3 \times b + 2 \times c + 1 \times d \quad (2)$$

3. 補修費用・便益の計算

各施設に対してケース 1, 2 および 3 の条件下で劣化進行予測を行い、予定供用期間 50 年間で発生する補修・更新費を算出した。その際、劣化の進行程度によって 1 回あたりの補修費用が異なると考え、補修が必要であると判定される DP （以下、管理限界 DP ）により補修工法を決定した。表-1 に、本研究で仮定した補修工法などを示す。

本研究では既定の手順²⁾に従って便益を計算した。表-2 に補修費用と便益を計算する際に用いた各施設の主要なデータおよび便益を示す。

4. NPV の計算と考察

上記の計算により得られた費用と便益から NPV を計算した。 NPV の算出式は式(3)で表される。

$$NPV = \sum_{n=1}^{50} \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (3)$$

ここで、 n は経過年数、 B_n は n 年後の便益、 C_n は n 年後の補修等の費用、 r は社会的割引率（本研究では $r=4\%$ ）である。

表-3 に各管理限界 DP での施設群全体の補修費用と NPV を示す。ケース 1 では $DP=2.9$, 3.4 および 3.9 において、ケース 2 では $DP=3.9$ において全ての施設で補修を要しない結果となった。そのため補修費用が発生せず NPV が最大となった。ケース 3 では、補修費用が最小になる管理限界 DP と、 NPV が最大になる管理限界 DP は異なる結果となった。これは大規模補修を行う場合には、供用中止により便益が発生しないと仮定したためである。

以上の結果より、補修費用を最小化する管理限界 DP と NPV を最大化する管理限界 DP は異なる場合があることがわかった。すなわち、効率的かつ合理的な維持管理を行うためには、施設の利用実態を考慮し、 NPV を最大化する管理限界 DP を検討する必要があると言える。

キーワード 維持管理, 補修優先度, 予算制約, 利用実態, NPV

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL 011-706-6204

表－1 各補修工法の適用範囲

補修工法	補修対象面積	適用範囲	管理限界 DP
予防保全	表面被覆:100%	$1.7 < DP \leq 1.9$	1.9
事後保全(1)	断面修復:小80%, 大0%	$1.9 < DP \leq 2.2$	2.2
事後保全(2)	断面修復:小60%, 大20%	$2.2 < DP \leq 2.5$	2.5
事後保全(3)	断面修復:小20%, 大60%	$2.5 < DP \leq 2.9$	2.9
事後保全(4)	断面修復:小0%, 大80%	$2.9 < DP \leq 3.4$	3.4
大規模補修	撤去・新設:100%	$3.4 < DP \leq 3.9$	3.9

表－2 各施設の主要なデータと便益

	W1	W2	W3	W4	W5
実際の遷移率 P_x (ケース1)	0.027	0.017	0.013	0.005	0.015
初期 DP	1.63	1.52	1.48	1.09	1.11
主な取扱貨物	石炭	コイル	自動車	コンテナ	コンテナ
取扱貨物量 (千トン/年)	2,774	175	1,329	1,230	1,274
便益(億円/年)	57	2	8	28	41

表－3 施設群全体の補修費用と NPV (億円)

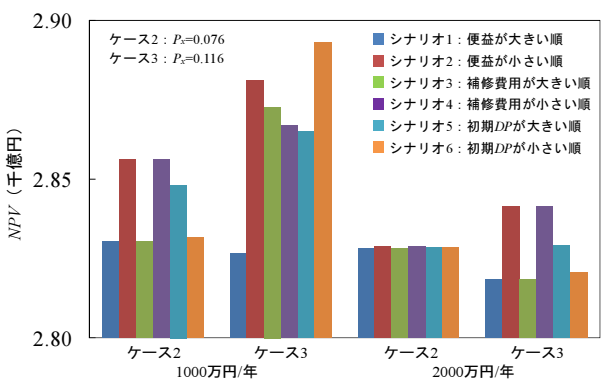
	ケース1(実際の P_x)		ケース2($P_x=0.076$)		ケース3($P_x=0.116$)	
管理限界 DP	補修費用	NPV	補修費用	NPV	補修費用	NPV
1.9	0.18	2928.76	0.96	2927.98	1.40	2927.54
2.2	0.26	2928.68	3.31	2925.63	5.48	2923.46
2.5	0.10	2928.83	2.67	2926.27	4.41	2924.53
2.9	0.00	2928.94	1.73	2927.21	3.37	2925.57
3.4	0.00	2928.94	1.08	2927.86	1.88	2927.06
3.9	0.00	2928.94	0.00	2928.94	1.00	2904.63

5. 予算制約条件下での補修優先度の決定

前述の NPV 計算では、補修は1年で終了し、大規模補修以外では補修期間中にも便益は発生すると仮定した。しかしながら、実際には補修規模が大きくなると予算の制約による補修工事の長期化や補修期間中の便益の低減が懸念される。そこで、予防保全的な維持管理を行う場合の補修優先度に及ぼす上記の影響を検討した。

本研究では、対象とした5つの施設の便益、補修費用、初期 DP の大小によって補修優先度を事前に6つ仮定し、 $DP=1.9$ と設定して各施設の補修を行うが、補修時期年が重なった場合には優先度の高い施設から補修するとした。さらに、予算の制約条件の下、各シナリオの施設群全体の NPV を算出した。その結果から、 NPV が最大になるシナリオを最適な補修優先度とした。

図－1 に予算が1000万円/年および2000万円/年と仮定した場合におけるケース2 ($P_x=0.076$) とケース3 ($P_x=0.116$) の各シナリオの NPV を示す。これより、予算が1000万円/年の場合には、ケー



図－1 各シナリオでの施設群全体の NPV

スごとに NPV が最大になるシナリオが異なることがわかった。また、予算が2000万円/年の場合には、いずれのケースにおいても、便益が小さい施設から補修するシナリオと予防保全のための補修費用が小さい施設から補修するシナリオの NPV は同じ大きさとなり、最適なシナリオが2とおりの結果になった。

本研究で仮定した6つのシナリオの中では、補修費用が小さい施設の補修優先度が高いシナリオにおいて施設群全体の NPV が最大になることが多い結果となった。しかしながら、予算が1000万円/年でのケース3においては、初期 DP が小さい施設を優先的に補修するシナリオで NPV が最大になった。すなわち遷移率 P_x や予算の大小によって最適なシナリオが異なることが確認された。

以上の結果のように、仮に複数の施設の補修時期が重なっても、どの施設を優先的に補修するかを決定する方法を示すことができた。

6. まとめ

- (1) 補修費用が最小になる管理限界 DP と NPV 最大になる管理限界 DP は異なる。
- (2) 予算の大小により補修優先度が異なるため、施設群の遷移率 P_x を把握し、適切な予算の制約条件の下、優先度を評価しなければならない。

7. 参考文献

- 1) 古谷宏一、横田弘、橋本勝文、花田祥一：マルコフ連鎖モデルを用いた係留施設の劣化進行予測の信頼性評価、土木学会論文集 F4, Vol.67, No.4, pp.I_159-I_168, 2011
- 2) 港湾事業評価手法に関する研究委員会：港湾投資の評価に関する報告書 2011【第2版】、一般財団法人みなと総合研究財団、2012