

都市高速道路の各部材の劣化を考慮した修繕の規模と間隔に関する考察

名古屋工業大学 学生員 森山裕汰
西日本電信電話 非会員 石橋遼一
名古屋工業大学 正会員 秀島栄三

表1 一般的な健全度区分

区分	定義
D	損傷及び劣化がない場合、または、非常に警備で特にその程度を記録する必要がない場合.
C	損傷及び劣化があり、その程度を記録する必要がある場合.
B	補修または補強が必要な損傷及び劣化がある場合
A	損傷及び劣化が著しく、放置すれば、早い時期に重大な損傷及び劣化の進展や、二次損傷を誘発する可能性があり、早急に対応する必要がある場合.

1. はじめに

近年、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、財政状況の悪化などから、維持管理をこれまで以上に効率的に行う必要性がある。これを受けて土木構造物を資産と捉え、計画的かつ効率的に管理を行うアセットマネジメントの考え方が各方面で導入されてきている。アセットマネジメントは、土木構造物の長期的な維持管理を目的に、劣化した施設を逐次補強、修繕することによって Life Cycle Cost (以下 LCC とする) を最小化することができると考えられているが、実際の現場では、様々な要因から、劣化した施設の逐次修繕を行うことが困難な現場が多い。そこで本研究では逐次修繕を必ずしも行えない場合を想定し、損傷部材や各部材の劣化度をみて修繕を一度に行う、大規模修繕に着目し、実際の高速道路を対象に逐次修繕と大規模修繕について複数のシナリオを用意し、それぞれの LCC を算出する。その結果からシナリオ毎の違いや優位性を考察する。

2. 土木構造物の維持管理と劣化予測

本研究では、都市高速道路の修繕規模と時期により LCC がどのように変化するかを確かめる。そこで、名古屋高速道路公社の高速3号大高線の堀田工区400m区間を対象路線区間として、平成21年から平成26年までの、対象区間の点検データをもとに LCC 算出を行う。LCC 算出を行うに当たり、実際の点検データと既知の劣化メカニズムにもとづいて計算をし、構造物の劣化予測を行う必要がある。一般的には表1のように、劣化の状態を健全度 A~D など、段階別に区分した健全度という評価基準を設け、この健全度の現在までの推移を参考にし、将来の健全度の変化を推測することによって劣化予測を行う。劣化予測方法は、劣化過程を二次曲線に最小二乗法で近似する方法と、劣化が単純マルコフ過程に従うと考え、遷移確率を推定する方法の2つに大別される。本研究では劣化予測を行う場合、劣化過程が単純マルコフ過程に従うとみなす。

3. ライフサイクルコストの算出

土木構造物に対して調査計画から設計、建設、運用、維持管理、更新、廃棄までの一連の過程をライフサイクルといい、この期間に必要な全ての費用を LCC と呼ぶ。一般的に次式で表すことができる。

$$C_{ET} = C_I + C_{PM} + C_{INS} + C_{REP} + C_F \quad (1)$$

ここで、 C_{ET} : 期待総費用 (LCC)、 C_I : 初期建設費用、 C_{PM} : 日常的な維持費、 C_{INS} : 検査コスト、 C_{REP} : 修理コスト、 C_F : 期待損失費用である。

しかし、本研究では、同一構造物を取り扱うため初期建設費用などは含めず、式(2)とする。

$$LCC = C_R + \sum_{i=1}^N P_{fi} C_{fi} \quad (2)$$

$\sum_{i=1}^N P_{fi} C_{fi}$: (損傷確率×損傷時コスト) とする。

床版1パネルを1部材として扱い、損傷の種類ごとではなくパネルごとに健全度を追い、劣化予測を行い、それにより求めた各健全度の割合と、各損傷の補修費用の実データをもとに、各損傷の補修費用の実データをもとに、部材毎の健全度のレベルに応じてかかる補修費用の算出をおこない部材毎の各健全度にかかる費用の算出を行った。

表 2 LCC 算定結果

修繕間隔	LCC(100年)	修繕回数(100年)
ケース1 逐次修繕	¥2,237,362,804	7回
ケース2 大規模修繕(35年)	¥2,466,988,025	3回
ケース3 大規模修繕(50年)	¥3,303,963,012	2回

LCC 算出に当たり、本研究の調査対象の実際の修繕にかかった費用のデータをもとに、劣化予測と合わせ、修繕期間別の LCC 算出を行った。修繕期間を 15 年、35 年、50 年の 3 ケースを想定し、LCC 算出を行った。LCC 算出の期間は 100 年間とした。算定結果を表 2 に示す。

LCC の算定結果、ケース 3 は他ケースに比べ高くなっている。さらに、劣化予測において、本研究で扱った点検データでは健全度の低い A・B の損傷数が少ないことから、実際には、これ以上の費用がかかると想定される。逆に、ケース 1 は最も LCC を抑えることができた。この要因として健全度の高い損傷を修繕することで修繕にかかる費用が抑えられたことが考えられる。しかし、足場、技術管理費、その他諸経費などが発生し、他ケースと比べ修繕回数が 7 回と多く、ケース 2 と比べ、229,625,221 円の差しか出なかった。そこで、諸経費や調査費用などを抑える事ができた場合、修繕回数の多いケース 1 に比べ LCC の低減の可能性があることが考えられるため、劣化精度の向上や修繕技術の向上により諸経費が抑えられると想定し、表 2 での LCC 算定時にかかった諸経費に対し 1 割、3 割、5 割削減した場合の LCC を算定し、結果を表 3 に示す。表 2 で算定された LCC は全ての損傷の損傷レベルを健全度 D まで補修することを前提としているので、健全度 B 及び健全度 A のみを補修し、健全度 C は補修しないとした場合の LCC も算定し、他のシナリオと比較する。結果を表 4 に示す。表 3 から、諸経費が 5 割削減できるようになるとケース 1 よりケース 2 の方が LCC を低く抑えられることがわかる。表 4 からは、ケース 1 及びケース 2 の LCC の値は、表 2 の LCC 算定結果との差が小さくなった。また、ケース 3 は修繕回数がケース 1、ケース 2 に比べ少ないため健全性の低い損傷の数が多くなり、表 2 と比べ 5 億ほど LCC が増加した。

表 3 諸経費削減を想定した LCC 算出結果

修繕間隔	諸経費1割削減	諸経費3割削減	諸経費5割削減
ケース1 逐次修繕	¥2,224,692,804	¥2,199,352,804	¥2,174,012,804
ケース2 大規模修繕(35年)	¥2,405,548,025	¥2,282,668,025	¥2,159,788,025
ケース3 大規模修繕(50年)	¥3,263,003,012	¥3,181,083,012	¥2,689,583,012

表 4 修繕する健全度を限定した LCC 算定結果

修繕間隔	すべての健全度を修繕 (健全度 A・B・C)	修繕する健全度を限定 (健全度 A・B のみ修繕)
ケース1 逐次修繕	¥2,237,362,804	¥2,317,018,023
ケース2 大規模修繕(35年)	¥2,466,988,025	¥2,764,790,279
ケース3 大規模修繕(50年)	¥3,303,963,012	¥3,841,082,731

4. 考察

3 つのシナリオの LCC の算定の結果から、大規模修繕においては、健全度 C 以下の損傷のみ修繕するなどをして修繕する健全度を制限すると、修繕期間が長くなり、健全性の低い損傷の数が多くなるため修繕費用は増加する。よって表 4 のような場合では LCC の低減は見込めない。修繕間隔 35 年の大規模修繕を行った場合、現状では逐次修繕をおこなうケース 1 と、同等の LCC がかかる可能性を示せた。ただし、劣化精度の向上や修繕技術の向上により諸経費が現状より 5 割削減可能になった場合、逐次修繕の LCC よりも修繕期間 35 年の大規模修繕の LCC が低く抑えられた。今後、劣化予測の向上や点検の効率化、修繕技術の向上が図れた場合、諸経費が低減されることから、実際にケース 2 が採用される可能性があると考えられる。

5. おわりに

高速道路の点検結果の実データをもとに劣化予測を行うことでより現実的な劣化予測を行えたと考える。また、今後、劣化予測の向上や点検の効率化、修繕技術の向上が図れた場合、諸経費が低減されることから、修繕を計画する際に、予防保全として大規模修繕を検討する必要性を示せた。

謝辞：データを提供いただいた名古屋高速道路公社に記して謝意を表する。