

土木構造物の補修・補強の優先順位決定方法に関する検討

日本工営(株) 正会員 金本 康宏
 政策研究大学院大学 正会員 森地 茂
 政策研究大学院大学 正会員 西野 文雄

1. 目的

少子化社会・高齢化社会による財政の圧迫，社会資本の維持更新ピークへの準備不足，地球温暖化・地震などによる災害の増加に対し，土木構造物は効率的な維持管理（補修・補強）が求められる．そこで，老朽化した土木施設の補修・補強の優先順位の決定方法について，降雨災害に対する道路の防災を対象に検討を行った．優先順位を決定するために期待被害軽減便益や費用便益費の考え方を適用し，定式化を行った．

2. 優先順位決定のための指標の決定

土木構造物の維持管理に関する優先順位決定方法について既往の文献を調査した結果，優先順位決定に用いる指標には，評点化された交通量や構造物の健全度，リスクの算定，LCCの改善度，構造物の健全度（危険度）などがあつた．本稿では，柴崎らの論文¹⁾の鉄道の降雨災害に対する斜面投資における意思決定行動分析を行う際に定義された期待被害軽減便益の考え方を道路に適用して検討を行った．期待被害軽減便益とは，防災投資前後における災害による被害額 D とその発生頻度 f_r の積で得られる期待損失 $D \cdot f_r$ の差で定義される．

3. 指標の定式化

災害が発生する確率を日降水量 Q_r (mm/day) の関数として $P(Q_r)$ とする．ここでは，日降水量以外の災害要因と考えられる地盤の性状，対策工の健全度（老朽化程度，補修・補強の残存効果），周辺の災害履歴などの諸条件による災害発生確率への影響はパラメータ w に代表させる．補修前，基準年 X 年における災害発生確率を $P^0(Q_r)$ ， $X+X$ 年の災害発生確率を $w^0 P^0(Q_r)$ とする．基準年の場合， $w^0=1.0$ とすれば，発生確率は $w^0 P^0(Q_r)$ として一般化できる．ここで w は X 年経過することによる地盤の風化，対策工の健全度（老朽化，補修・補強の残存効果），周辺の災害履歴など影響に対する重み付けである．補修後，基準年 X 年に補修・補強を実施した場合の基準年 X 年の災害発生確率を $P^W(Q_r)$ ，補修・補強を実施して $X+X$ 年の後の災害発生確率を $w^W P^W(Q_r)$ とする．基準年の場合， $w^W=1.0$ とすれば，発生確率は $w^W P^W(Q_r)$ として一般化できる．以上をまとめると，補修（対策）前の災害の発生確率 P^0 ，補修（対策）後の災害の発生確率 P^W は，それぞれ式（1），式（2）で表すことができる．被害損失の種類には以下の5項目を考慮した．

土砂の除去・復旧による損失： D_1

補修前の災害発生確率

災害発生時の事故による人身・車両損失： D_2

$$P^0 = w^0 P^0(Q_r) \quad (1)$$

不通による時間損失： D_3

補修後の災害発生確率

迂回による走行経費損失： D_4

$$P^W = w^W P^W(Q_r) \quad (2)$$

迂回による交通事故増加による損失： D_5

補修（対策）前の被害損失を D_n^0 ，補修（対策）後の被害損失を D_n^W ($n=1 \sim 5$) とすると，各被害損失における期待被害軽減便益 B_n ($n=1 \sim 5$) は表1により計算することができる．

初期建設費用を C_i ，運用費用を C_d ，維持管理費用を C_m ，解体撤去費用を C_f とすると LCC は式（3）となる．

式（3）でコスト C_r のリスクを考慮すると LCC は式（4）表すことができる．

$$LCC = C_i + C_d + C_m + C_f \quad (3)$$

$$LCC = C_i + C_d + C_m + C_f + C_r \quad (4)$$

$$C_r = \sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i \quad (5)$$

リスクのコスト C_r は，災害発生時の被害損失 D と災害の発生確率 P で式（5）として表すことができる． n は被害損失の種類を示す．リスクを軽減するため費用 C_a の対策を実施した場合，対策前の LCC^0 と対策後の LCC^W を式（6），式（7）と表すことができる．

キーワード 補修・補強，優先順位，ライフサイクルコスト，費用便益比

連絡先 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 日本工営株式会社インフラマネジメント部 TEL 03-3238-8116

$$LCC^O = C_i + C_d^O + C_m^O + C_f^O + C_r^O \quad (6)$$

$$LCC^W = C_i + C_d^W + C_m^W + C_f^W + C_r^W + C_a \quad (7)$$

初期建設費用の C_i は対策前後で変わらない。ここで、対策前後で運用費用 C_d 、維持管理費用 C_m 、解体撤去費用 C_f は変わらないと仮定すると式(6)、(7)は式(8)、(9)と書き換えることができる。

$$LCC^O = C_i + C_d + C_m + C_f + C_r^O \quad (8)$$

$$LCC^W = C_i + C_d + C_m + C_f + C_r^W + C_a \quad (9)$$

対策前後のLCCの差 ΔLCC は式(10)となる。

$$\Delta LCC = LCC^O - LCC^W = C_r^O - C_r^W - C_a \quad (10)$$

期待被害軽減便益 OB は式(10)における $C_r^O - C_r^W$ に等しい。従って、式(10)は期待被害軽減便益 OB を用いて式(11)と表すことができる。

$$\Delta LCC = LCC^O - LCC^W = C_r^O - C_r^W - C_a = \Delta OB - C_a \quad (11)$$

以上より、式(11)と表1中の B_n ($N=1 \sim 5$) から対策(補修・補強)前後のライフサイクルコストの差 LCC は式(12)となる。

$$\Delta LCC = \Delta OB - C_a = \sum_{n=1}^5 \Delta B_n - C_a = \left\{ w^W P^W(Q_r) \sum_{n=1}^5 D_n^W - w^O P^O(Q_r) \sum_{n=1}^5 D_n^O \right\} - C_a \quad (12)$$

また、費用便益比は式(13)となる。

$$【費用便益比】 = \Delta OB / C_a = \left(\sum_{n=1}^5 \Delta B_n \right) / C_a \quad (13)$$

4. 優先順位決定の方法

優先順位の決定は期待被害軽減便益の差から求めた式(12)や、費用便益比式(13)を指標として決定する事が考えられる。

5. まとめ

本稿では道路における降雨災害を対象に期待被害軽減便益や費用便益比の算定方法を検討し、優先順位決定方法への適用を考えた。式中には、特定できていないパラメータ(w)が残ってはいるが、道路災害の事例の分析などを行うことにより、今後、これらのパラメータが推定されるものと考えられることができる。

参考文献

- 1) 鉄道の降雨災害に対する斜面投資における意思決定行動分析, 柴崎隆一他, 土木学会第56回年次学術講演会 IV-189 平成13年9月
- 2) 費用便益分析マニュアル 国土交通省 道路局 都市・地域整備局 平成15年8月
- 3) 開発政策プログラム政策課題研究 論文概要集 政策研究大学院大学政策研究科 2007年3月

表1 期待被害軽減便益

土砂の除去・復旧による損失における期待被害軽減便益 B_1
$D_1 = D_{removal} + D_{retrieval}$ $\Delta B_1 = w^O P^O(Q_r) \cdot D_1^O - w^W P^W(Q_r) \cdot D_1^W$
災害が発生した際の土砂の除去費: $D_{removal}$ 復旧費: $D_{retrieval}$ 土砂の除去・復旧による損失: D_1 期待被害軽減便益: B_1
災害発生時の事故による人身・車両損失における期待被害軽減便益 B_2
$D_2 = \sum_{j=1}^n D_{2j} = \sum_{j=1}^n [P_{jcol} \{ D_{2jcar} + n_j \{ (P_{jdeath} \cdot D_{2jdeath}) + (1 - P_{jdeath}) \cdot D_{2jinj} \} \}]$ $\Delta B_2 = w^O P^O(Q_r) \cdot D_2^O - w^W P^W(Q_r) \cdot D_2^W$
車両損失: D_{2car} 災害による死亡損失: D_{2death} 災害による負傷損失: D_{2inj} 車両事故の発生確率: P_{col} (災害が発生した際に自動車が被害範囲に存在する確率) 災害が発生した際の事故により乗車した人が死亡する確率: P_{death} 被災した自動車に乗っている人の人数: n 普通乗用車、バスなどの車種の区別: j ($j=1 \sim 1$) 災害発生時の事故による人身・車両損失: D_2 災害発生時の事故による人身・車両損失における期待被害軽減便益 B_2
不通による時間損失における期待被害軽減便益 B_3
$D^O_3 = \sum_i \sum_j Q_{ij} \cdot T^O \cdot t_{ij} \cdot \alpha_j$ $D^W_3 = \sum_i \sum_j Q_{ij} \cdot T^W \cdot t_{ij} \cdot \alpha_j$ $\Delta B_3 = w^W P^W(Q_r) D^W_3 - w^O P^O(Q_r) D^O_3$
対策をしていない場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^O 対策をした場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^W リンクiにおける車種jの交通量(台/日): Q_{ij} リンクiにおける車種jの走行時間(分): t_{ij} 車種jの時間価値原単位(円/分・台): α_j 対策をしていない場合の不通による時間損失: D^O_3 対策をした場合の不通による時間損失: D^W_3 不通による時間損失における期待被害軽減便益: B_3
迂回による走行経費損失における期待被害軽減便益 B_4
$D^O_4 = \sum_i \sum_j Q_{ij} \cdot T^O \cdot L_i \cdot \beta_j$ $D^W_4 = \sum_i \sum_j Q_{ij} \cdot T^W \cdot L_i \cdot \beta_j$ $\Delta B_4 = w^W P^W(Q_r) D^W_4 - w^O P^O(Q_r) D^O_4$
対策をしていない場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^O 対策をした場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^W リンクiにおける車種jの交通量(台/日): Q_{ij} リンクiの延長(km): L_i 車種jの走行経費原単位(円/台・km): β_j 対策をしていない場合の迂回による走行経費損失: D^O_4 対策をした場合の迂回による走行経費損失: D^W_4 迂回による走行経費損失における期待被害軽減便益: B_4
迂回による交通事故増加による損失における期待被害軽減便益 B_5
$D^O_5 = \sum_j AA^O_j \cdot \frac{T^O}{365}$ $D^W_5 = \sum_j AA^W_j \cdot \frac{T^W}{365}$ $\Delta B_5 = w^W P^W(Q_r) T^W AA^W - w^O P^O(Q_r) T^O AA^O$
対策をしていない場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^O 対策をした場合に災害が発生した際の不通期間(日): T^W リンクiにおける交通事故の社会的損失(千円/年): AA_{ii} リンクiにおける走行台キロ(千台km/日): $X_{ii} = Q_{ii} \cdot L_i$ リンクiにおける走行台箇所(千台箇所/日): $X_{2ii} = Q_{ii} \cdot Z_i$ リンクiにおける交通量(千台/日): Q_{ii} リンクiの延長(km): L_i リンクiの主要交差点数(箇所): Z_i 対策有の場合W、無しの場合O:i 対策をしていない場合の迂回による交通事故増加による損失: D^O_5 対策をした場合の迂回による交通事故増加による損失: D^W_5 迂回による走行経費損失における期待被害軽減便益: B_5

$\alpha_j, \beta_j, AA_{ii}$ 算定式は文献2)を参考