

道路舗装の維持管理計画案の評価へのリアルオプション導入の試み

茨城大学工学部 正会員 原田隆郎
 鉏路市役所 濱野祐樹
 茨城大学工学部 フェロー 横山功一

1. はじめに

道路舗装に限らず都市インフラの維持管理業務全般において、将来の管理状況は確定的ではなく、維持管理・運営コスト、インフラの劣化、予算、制度変更、技術革新などの様々な不確実要因により変化する¹⁾。一方、効果的な維持管理を目指して策定された計画案の中には、将来の不確実性が減少または状況が確定した時点で対応を判断できるという柔軟性を持つケースがあるにも係わらず、現在最もよく利用されている計画案の評価法である DCF 法 (Discount Cash Flow 法) では、このような状況の変化に対応する計画案の「柔軟性」を評価できていない。そこで、将来が不確実な状況下で計画案の柔軟性の価値を評価し、最適な投資行動やタイミングを検討することのできるリアルオプションを導入した評価法が注目を集めている^{2),3)}。本研究では、道路舗装の維持管理計画案の策定を対象とし、将来の補修時期や対策を選択する上で考えられるいくつかのオプション (将来の施策を変更できる選択権) を適切に評価するために、道路舗装の劣化の不確実性をモデル化し、対策時期の延期と対策工の変更に伴う維持管理計画案の持つ柔軟性をリアルオプションによって定量化した。そして、道路舗装の維持管理計画の策定におけるリアルオプション導入の影響について検討した。

2. 不確実性を考慮した道路舗装の維持管理のモデル化

道路舗装の維持管理業務では、路面性状 3 特性 (ひび割れ率 (%), わだち掘れ量 (cm), 縦断方向凹凸量 (以下、平坦性と呼ぶ) (mm)) による管理が行われている。本研究では、これらの各特性値の不確実性 (劣化の不確実性) を図-1 に示すように劣化増加率による将来の期待値とその変動率 γ (%) で表現し、劣化の進行も簡略的に線形に仮定した。なお、路面性状 3 特性それぞれの劣化増加率の期待値、変動率は過去の路面性状調査結果 (実データ) より統計的に求めた。また、道路舗装の維持管理計画立案の際には、路面性状データを元に適切な対策工が選択される。道路維持修繕要綱 (日本道路協会) では、路面性状 3 特性から算出される供用性指数 (PSI) により、おおよその対策工が決められており、本モデルでも供用性指数 (PSI) を対策工の選択に用いることとした。なお、維持修繕を行った場合、路面性状 3 特性の値は 0 へ戻り、その後一定の劣化増加率で劣化が進行することとした。ただし、評価すべき計画案が、劣化の状態に対して適切な工法ではない下位工法を選択していた場合は、将来の劣化進行がより加速すると考えた (図-1)。

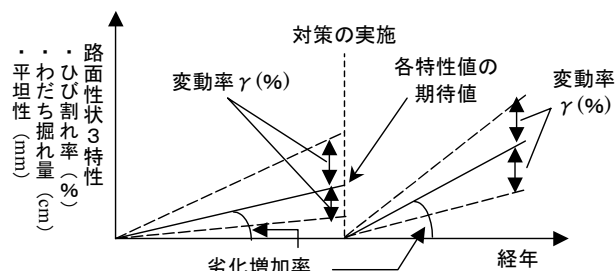


図-1 路面性状 3 特性の劣化と対策後の劣化増加率の仮定

3. リアルオプションを導入した道路舗装の維持管理計画案の評価手法

前述のモデル化を前提として、本研究で対象とする道路舗装の維持管理計画案の評価方法を以下のように提案した。評価の流れを図-3 に示す。評価したい計画案が入力されたら、まず、計画の柔軟性を考慮しない従来の評価方法 (DCF 法) により計画案の評価を行う。本研究では、計画案の評価値として、次式に示す純現在価値 NPV (Net Present Value) を定義した。

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

ここで、 B_t : t 年目の便益 (円), C_t : t 年目のコスト (円), i : 社会的割引率, n : 計画年数である。また、 t 年目の便益 (B_t) は、本研究では対策実施後の供用性指数 (PSI) の差であると考えるとともに、 t 年目のコスト (C_t) は維持管理対策に要する費用のみを計上し、計画案の対象となる道路舗装の面積と対策工の単位面積当りの単価により算出した。算出式を以下に示す。

$$B_t = (PSI_{wt} - PSI_{nt}) \times T_{vt} \times T_{ct} \quad (2)$$

$$C_t = M \times A \quad (3)$$

ここで、 T_{vt} : t 年目の年間交通量 (台), T_{ct} : t 年目の走行経費原単位 (円/台・km), PSI_{wt} : t 年目に対策を行った場合の供用性指数, PSI_{nt} : t 年目に対策を行わなかった場合の供用性指数, M : 維持修繕工法の単価 (円/㎡), A : 計画対象の道路舗装面積 (㎡) である。

次に、対象とする計画案にオプションがあるかどうかを判定し、オプションがある場合はリアルオプション法による評価値の計算を行う。本研究では、将

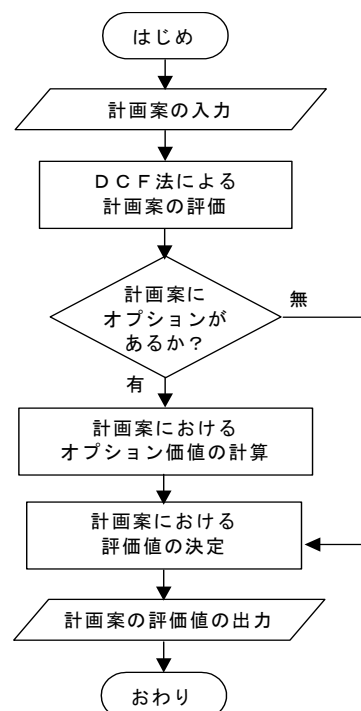


図-2 リアルオプションを導入した計画案の評価の流れ

キーワード：道路舗装，維持管理計画，不確実性，柔軟性，リアルオプション

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 TEL：0294-38-5172 FAX：0294-38-5268

来の劣化状況の変動により対策時期の延期や工法の変更が行われる場合が考えられるため、計画案の持つ柔軟性として①対策時期の延期（タイミングオプション）、②工法変更（柔軟性オプション）の2つのオプションを取り上げ評価した。なお、計画案にオプションが存在するかどうかは、それぞれのオプションを行使した場合の路面性状3特性の各値が供用限界値を超えないことと設定した。次にオプション価値 E_0 の計算を示す。

$$E_0 = P \times V_+ + (1-P) \times V_- - S_0 \quad (4)$$

ここで、 P ：リスク中立確率（変動率 γ の実現する確立）、 V_+ ：変動率 γ が+の場合のオプション行使後の価値、 V_- ：変動率 γ が-の場合のオプション行使後の価値、 S_0 ：変動を考えた場合の総便益（PSI）の現在価値であり、それぞれ次式で計算される。

$$P = \frac{S_0 - S_-}{S_+ - S_-}, \quad V_+ = \max(S_+ - C, S_0), \quad V_- = \max(S_- - C, S_0) \quad (5)$$

なお、 S_+ ：変動率 γ が+の場合の総便益（PSI）の現在価値、 S_- ：変動率 γ が-の場合の総便益（PSI）の現在価値、 C ：計画案の総コストである。

最後に、DCF法による価値にオプション価値 E_0 を合わせたものを最終的な計画案の評価値（NPV）とする。このNPVは拡張NPV³⁾とも呼ばれる。

4. 数値シミュレーション及び考察

維持管理計画案のリアルオプションによる評価の影響を確認するために数値シミュレーションを行った。シミュレーションでは、ある道路舗装の1区間を選定し、5年間の維持管理計画について、対策工法と時期を変化させた。道路舗装の対策工法として「打ち換え」「オーバーレイ」「表面処理」の3工法を選択し、計画期間中の対策回数は1回のみとして、すべての組合せの15ケースを計算した。そして、DCF法とリアルオプション法の2つの評価法による価値の違いを考察した。運用条件である路面性状3特性の劣化増加率と変動率を表-1に、

表-1 路面性状3特性の劣化増加率と変動率

	初期値	劣化増加率	変動率+	変動率-
ひび割れ率 (%)	1.00	1.00	1.10	0.95
わだち掘れ量 (cm)	1.00	0.50	1.10	0.95
平坦性 (mm)	1.00	1.00	1.10	0.95

表-2 計画案による対策工法の劣化増加率と各対策費用単価

	計画案による対策		
	表面処理	オーバーレイ	打ち換え
劣化状況をふまえた適正な対策	1.00	1.00	1.00
	1.50	1.00	1.00
	2.00	1.50	1.00
対策費用単価 (円/区間)	250,000	500,000	1,200,000

計画案による対策工法の劣化増加率と各対策費用単価を表-2に示す。また、今回シミュレーション対象とした道路の24時間交通量は、乗用車1,194台、バス114台、小型貨物136台、普通貨物80台であり、それぞれの車種における走行経費原単位は、国土交通省の費用便益分析マニュアル（案）より、1日1区間あたり乗用車1,635円、バス6,571円、小型貨物3,139円、普通貨物3.8円と設定した。また、社会的割引率 i は4%として計算した。

図-3にDCF法、図-4にリアルオプション法による評価結果を示す。DCF法による評価結果では、打ち換え工法の補修単価が高いため、どの年に対策を実施しても、表面処理工法やオーバーレイ工法のNPVの方が高い結果となった。しかしながら、リアルオプション法の場合では、打ち換え工法の場合のオプション価値が大きく影響して、NPVが逆転する結果となった。このことは、一面的には不経済であるように思われる高コストな打ち換え工法が、実は変更可能な柔軟性を高く保持していることを表しており、リアルオプション法による価値が正しく計算されていることを示している。また、対策時期の延期による柔軟性の価値は、いずれの対策工法においてもほとんど生じないことから、維持管理においては対策を遅らせること（タイミングオプション）は有効ではないことが確認できた。

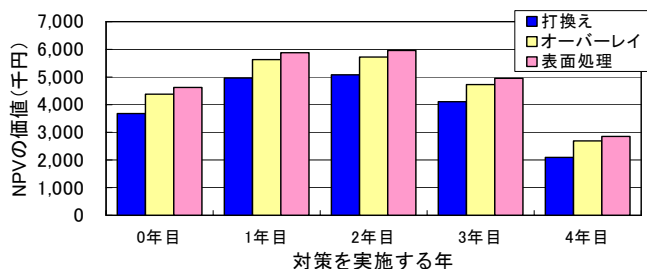


図-3 DCF法による評価結果

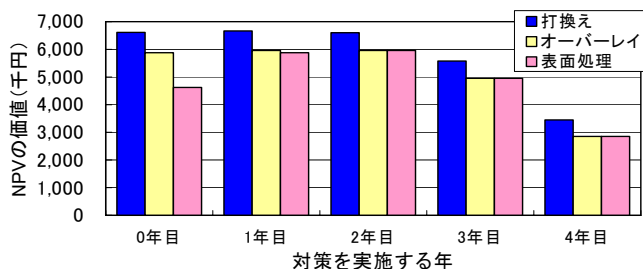


図-4 リアルオプション法による評価結果

5. おわりに

本研究では、リアルオプションを導入した道路舗装の維持管理計画案の評価モデルを提案し、維持管理計画案の柔軟性（工法の延期と変更）を数値シミュレーションによって評価した。その結果、①維持管理においては対策時期の延期は有効ではないこと、②一面的には不経済であるように思われる高コストな対策工法が、実は変更可能な柔軟性を高く保持していることを確認できた。今後は、道路・交通条件の違いによるオプション価値の変化について確認し、道路ネットワークとしての維持管理計画へと適用の拡大を行う必要がある。

【謝辞】本研究は、平成14年度茨城大学工学部長裁量経費の補助によって実施されたものである。ここに謝意を表します。

【参考文献】1)大谷 悟, 安達 豊: 社会資本整備におけるリスクに関する研究, 国土交通政策研究 第4号, 2001.6 2)吉田 二郎: 社会資本ライフサイクルマネジメントとリアルオプション, 土木学会誌, Vol.86, pp.30-31, 2001.12 3)刈屋武昭監修, 山本大輔著: 入門リアル・オプション—新しい企業価値評価の技術—, 東洋経済新報社, 2001.6