

リアルオプションによる道路網の最適維持管理

Development of Real Options for the Optimal maintenance of Road

室蘭工業大学 ○学生員 佐藤貴浩 (Takahiro SATO)
 室蘭工業大学 学生員 安彦清人 (Kiyohito ABIKO)
 室蘭工業大学 学生員 村井祐太 (Yuta MURAI)
 (株)ドーコン 正員 有村幹治 (Mikiharu ARIMURA)
 室蘭工業大学 フェロー 田村 亨 (Tohru TAMURA)

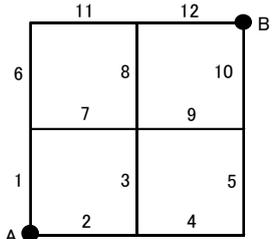
1. はじめに

リアルオプション (以下 RO と記す) とは、不確実性を考慮した意思決定手法である。不確実性を考慮できるという点で、伝統的な意思決定手法である DCF (Discounted Cash Flow) 法などと異なる。道路を取り巻く環境には、将来の交通需要や舗装路面の劣化過程などの不確実性が存在する。そこで、これら不確実性を意思決定の要素に組み込むことができる RO は、維持管理問題においても有効であると考えられる。また、道路の維持管理は単一路線のみを対象としたものではなく、限られた予算の中で多数の路線にその予算を配分し、最適な維持管理を実施するというネットワークレベルの問題としても捉える必要がある。ネットワークレベルで維持管理問題を考えた場合、不確実性はプロジェクトレベルと比較して、さらに増加することが予想される。

本研究の目的は、道路ネットワークを考慮した道路維持管理問題への RO アプローチの適用概念を示し、現存する一路線について実際に RO 価値を算出する事である。

2. 道路間ネットワークを考慮した最適修繕

2. 1 最適修繕ルールとは



例として左図のような 12 リンクで構成されている田形の道路網を考える。図-1 のように始点 A と終点 B をおき、交通は A から B への最短ルートを通るものとする。

ここでは、仮定として補修方法による工期の差は考えず、どの方法でも 1 リンクの補修には確実に 1 年かかるものとする。その場合、道路網を対象とした最適修繕ルールの問題は、どの順番で 12 リンクの修繕をし終われば利用者にとっての便益が最大になるかを計算することである。これらの最適修繕ルールに関しては遺伝的アルゴリズム (以下 GA と記す) 等で計算された例がある。具体的には図-2 のように表現される。

図-2 に示すような 12 の箱を用意し、リンク番号の 1

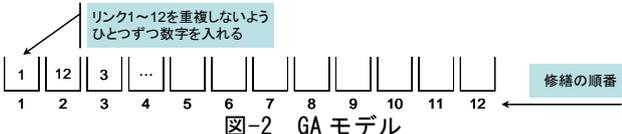


図-2 GA モデル

から 12 を重複しないというルールのもと箱に入れていく問題がある。その組み合わせ数は 12! で表され、全 479,001,600 通りの組み合わせが存在する。それら全通りについて計算を行い、最も利用者便益が大きいものが解となる。現在ではネットワーク数が数万リンクという大規模なものでも、解析には既に GA を用いて解く手法が開発済みであるが、存在するすべてのパターンを計算することは解析時間も含め事実上不可能である。

2. 2 リアルオプションと道路網の最適修繕ルール

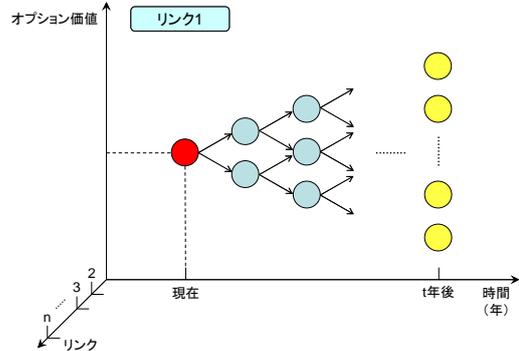


図-3 RO イメージ図

劣化曲線のもと t 年で管理限界に達する道路を考える。この道路の場合、いつ修繕を実施するか若しくは実施しないかについて、そのオプション価値を図-3 のように表現することができる。あるリンクの 1 区間を切り取った路線の場合、考慮すべきはオプション価値と時間のみであるが、複数のリンクで構成される道路網に関しては空間についても考慮しなければならない。よって、ネットワークを考慮する上で、オプション価値と時間の他に空間という軸が必要となる。図-1 で示した田形の 12 リンクで構成される道路網に関しては、1 から 12 の箱となっている部分が空間の軸として加わる。そしてこの空間軸と時間軸の組み合わせによって最適なオプション価値を算出することが、RO を用いた道路ネットワークの最適修繕方法と言える。

しかし、全組み合わせについて計算を行うとすると膨大な量の組み合わせ数となり、計算の工夫をしなければ GA を用いても解析不可能な組み合わせ数になる可能性がある。これをどのように解くかについては RO で設定する修繕工事の工費、工期といった「工事」に関わることや「予算」の制約、この 2 点について考える。例えば一般の道路について簡便な修繕を実施するとすれば、一度に数箇所修繕が可能である。このように現実に近い制

約条件を設けることにより、計算を省けるケースが存在する可能性がある。これらの計算結果については発表時に述べることにする。次章では、あるリンクの1区間を切り取った路線について RO 計算過程と算出結果を示す。

3. リアルオプションの計算過程とその結果

3.1 インプット項目の定義と計算結果

維持管理問題へ応用した RO を金融工学的変数と対応させると表-1 のようになる。

表-1 金融資産と維持管理問題の対応

金融資産	維持管理問題
株価	維持修繕効果による社会的便益の現在価値
行使価格	維持修繕に投じる費用
期限	維持修繕を行うまでの期間
リスクフリーレート	社会的割引率
株式収益の不確実性	社会的便益の不確実性

(1) 維持修繕に投じる費用

本研究では、維持修繕工事として打換工、オーバーレイ（以下 OL と記す）、表面処理の3つを考える。工事単価と修繕日数は次のように設定する。

- ・ 打換工…20,000 円/m²、174 日
- ・ OL…5,000 円/m²、10 日
- ・ 表面処理…2,000 円/m²、2.9 日

利用者費用として、燃費と維持修繕工事実施に伴う待ち時間損失の2つを考慮する¹⁾。さらに、維持修繕とは既存舗装がまだ発揮できたであろう効果を廃棄する行為といえるので、その廃棄した既存舗装の効果分を費用として含める。

(2) 維持修繕の効果による社会的便益の現在価値

維持修繕の効果とは、無補修により破壊的ダメージを負った場合の復旧費に対する、維持管理を行うことで軽減される費用と定義する。この費用には、管理者費用の軽減分の他に利用者費用の軽減分も含める。

(3) 維持修繕を行うまでの期間

維持修繕を行う管理レベルとその対応工法は、既往研究¹⁾より次のように設定する。

- ・ 3.8 ≤ MCI < 5.7…表面処理
- ・ 2.4 ≤ MCI < 3.8…OL
- ・ MCI < 2.4…打換工

管理限界レベルは、打換工の必要性が生じる 2.4 未満とする。モンテカルロシミュレーションにより劣化予測を行った結果、18年目に MCI は管理限界レベル 2.4 を下回った。よって、維持修繕工事を最大限延期できる期間は 18 年となる。

(4) 社会的便益の不確実性（ボラティリティ）

本研究では道路を取り巻く主要な不確実性は、MCI 変化量と交通需要変動であるとし、維持修繕の効果はこれらに依存すると仮定する。MCI のボラティリティは、劣化予測結果から得られる変動係数から 5.38% となる。一方、交通需要のボラティリティはヒストリカルデータにより推定すると 4.59% となる。よって、これら 2 つのファクターを考慮したボラティリティは 9.98% となる²⁾。

3.2 状況設定

ここでは、修繕工事として OL を実施した後、何年後に再び維持修繕工事を実施するのが最適なのかという問

題を検討する。当該道路状況を表-2 に示す。

表-2 状況設定

対象区間	国道37号(虻田郡虻田町高砂町19)
年平均日交通量	13,228台/日
維持修繕工事の規模	7,000m ² (2,000m×3.5m)
管理限界に達する期間	18年
社会的割引率r	4%
上昇乗率u	1.105
下落乗率d	0.905
リスク中立確率p	0.635

3.3 オプション計算

本研究では、RO 価値をバイノミアルモデルにより算出する。例えば、5 年後に補修工事を実施した場合のオプション価値の算出を考える。この場合、上記のような設定条件の下でバイノミアルツリーを作成すると図-4 のようになる。そして、式 (1) を用いて期待ペイオフをひとつずつロールバックしていくことで、オプション価値を求めることができる。なお、式 (1) の t は年、k はバイノミアル・シナリオ数を表している。その結果、5 年後に補修工事を実施するというオプション価値は、約 4.6 億円と算出される（図-4）。同様に各年でのオプション価値を計算したものを図-5 に示す。

$$V_{t,k} = \max\left[V_{t+1,k}P + V_{t+1,k+1}(1-P)e^{-r}, 0\right] \quad (1)$$



図-4 5 期間のバイノミアルツリー（左図）と 5 年後補修工事を行うというオプション価値算出結果（右図）

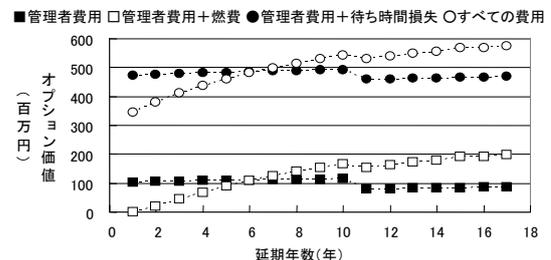


図-5 オプション価値の変化

4. おわりに

本研究による主な結果を以下に示す。

- 1) 道路間ネットワークを考慮した道路維持管理問題への RO アプローチの適用概念を示した
- 2) 道路網の 1 つの路線を取り上げ、実際に RO 計算を行った

今後の課題を以下に示す。

- 1) 道路ネットワークを考慮した RO 計算を行う
- 2) 制約条件等の状況設定の仕方について考える
- 3) 他のオプションを考慮する

参考文献

- 1) 渡大輔、三澤勉、田村亨：ライフサイクルコストを考慮した道路の最適修繕ルール、土木学会北海道支部、第 59 号、pp566-567、2003
- 2) 石原克治：建設マネジメントへのリアルオプションアプローチの適用、建設マネジメント勉強会サマースクール、pp109-120、2002