

V-23

動的計画法に基づくアスファルト舗装の最適設計

東北大学大学院情報科学研究科 学生員 孔 永健
東北大学大学院情報科学研究科 正会員 福田 正

1. はじめに

舗装の設計は新設時の建設費だけでなく、その供用後における維持、修繕の費用及び利用者費用をも含めて検討する必要がある。本研究では、動的計画法(dynamic programming)を用いたプロジェクトレベルの舗装管理システムを構築することによって、ライフサイクルコストを考慮したアスファルト舗装の最適設計を決定する方法を検討した。

2. アスファルト舗装のパフォーマンス式

本研究は、次の米国のAASHTO指針¹⁾の構造設計式をパフォーマンス式に適用することを検討した。

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9.36 \cdot \log_{10}(SN+1) - 0.2 - 8.07 \\ + 2.32 \cdot \log_{10}(M_R) + \frac{\log_{10}[\Delta PSI / (4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094 / (SN+1)^{5.19}} \quad (1)$$

ここで

W_{18} : 18kip(=8.2tf)の等価単軸荷重の予測数, Z_R : 信頼性確率に関する係数で、信頼性確率50%の場合 $Z_R=0$ となる。 S_0 : 交通量とパフォーマンスの予測の標準偏差, ΔPSI : 初期供用性指数 PSI_0 と終局供用性指数 PSI_t との差, M_R : 路床土のレジリエント係数(psi), SN : 構造厚指数。

アスファルト舗装要綱の諸量に対応するため、式(1)の(SN, M_R, W_{18})を次の諸関係式を用いて、(T_A, CBR, N)に変換する。

$$SN \approx T_A \cdot 0.35 / 2.54 = T_A / 7.26 \quad \dots\dots\dots(2)-1$$

$$M_R \approx 100 \cdot CBR / 0.0703 = 1422 \cdot CBR \quad \dots\dots\dots(2)-2$$

$$N = (4.1/5)^4 \cdot W_{18} = 0.452 \cdot W_{18} \quad \dots\dots\dots(2)-3$$

これらを式(1)に代入し、信頼性確率50%とした場合、 $Z_R=0$ であることから、式(1)は次のようになる。

$$\log_{10}(N/0.452) = 9.36 \cdot \log_{10}(T_A/7.26+1) - 0.96 \\ + 2.32 \cdot \log_{10}(CBR) + \frac{\log_{10}[\Delta PSI / (4.2 - 1.5)]}{0.4 + 1094 / (T_A/7.26+1)^{5.19}} \quad \dots\dots\dots(3)$$

厚さ d_0 のアスファルト混合物によるオーバーレイを施工した後のパフォーマンスについては、式(3)の T_A の代わりに次式の T_{AR} を用いることによって表す。

$$T_{AR} = d_0 + T_{A0} = d_0 + \alpha \cdot T_A \quad \dots\dots\dots(4)$$

T_{A0} : 修繕時における既設舗装の残存等値換算厚

α : その舗装の新設時の等値換算厚に対する有効度

を示し、ここでは文献²⁾より $\alpha=0.80$ とした。

3. 動的計画法による最適設計

動的計画法の最適性原理³⁾に基づいて、舗装の最適修繕計画を定式化すると、次のようになる。

$$f_n[P(t)] = \min \left[\begin{array}{l} R + C[P(0)] + f_{n+1}[P(1)], \\ C[P(t)] + f_{n+1}[P(t+1)] \end{array} \right] \quad \dots\dots(5)$$

ここで

t : 舗装の供用年数, $P(t)$: 供用年数 t 年後の供用性指数 PSI , $f_n[P(t)]$: 状態 $P(t)$ の舗装を最適に管理するのに必要な n 年目以降の費用, R : 修繕を行った場合の費用(オーバーレイ費用), $C[P(t)]$: 舗装が状態 $P(t)$ の場合の利用者費用と管理者費用の合計。

ライフサイクルコストとして初期建設費、維持費、修繕費、利用者費用を対象とし、現在価値法に基づいた解析を行なう。図-1に本システムのフローチャートを示す。

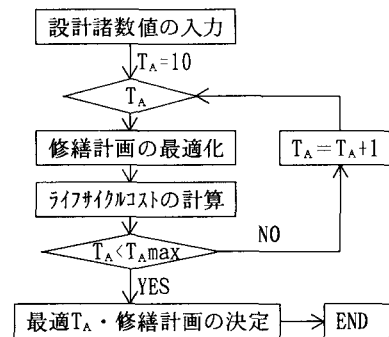


図-1 フローチャート

4. 解析事例

4-1 設計諸数値

(1) 初期建設費 I (円/㎡)と T_A (cm)との関係
実際に施工された50箇所のアスファルト舗装の設計例を選び、施工面積は5000㎡を対象とし、初期建設費を積算した。その結果は(6)式となる。

$$IC = 356.64 \cdot T_A - 382.20 \quad \dots\dots\dots(6)$$

初期建設費と T_A との関係は図-2のようになる。

(2) 管理者費用(円/㎡・年)と利用者費用(円/km・台)

管理者費用は舗装の状態と管理費用の関係に関する建設省の研究⁴⁾により、また、利用者費用は車両の走行費用に関する安崎らの研究⁵⁾により、図-3に示される計算式を用いる。

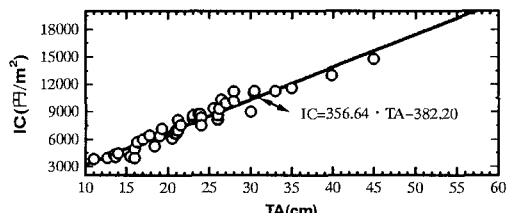


図-2 初期建設費ICとTA

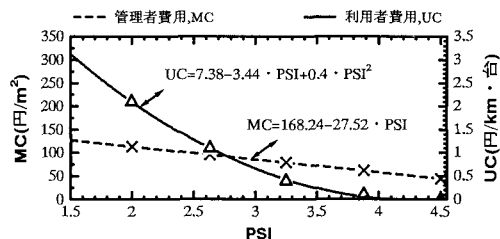


図-3 管理者費用と利用者費用

(3) その他の入力数値

解析期間：30年，道路延長：1km，車線数：2，車線の幅員：3.5m，路床土の設計CBR(%)：3，交通量：C交通を対象に，全交通量は8000台/1日・1車線・1方向，またその5tf輪荷重換算輪数は700000回/年とする²⁾。交通増加率：0，舗装の管理水準：PSI=2.5を修繕(オーバーレイ)実施の管理水準とした。初期供用性指数：PSI=4.5，修繕後の供用性指数：PSI=4.5，割引率：公共土木計画における割引率であって，金利及び修繕計画の不確実性を考慮して8%とした。解析で対象とする T_A の範囲： $T_A=10\text{cm} \sim 70\text{cm}$ ，修繕費用(オーバーレイ厚さ $d_0=5\text{cm}$)：4000円/㎡。

4-2 解析結果

(1) 最適 T_A

舗装構造の初期 T_A とそのライフサイクルコストとの関係は図-4のようになる。ライフサイクルコストのわずかな変動は解析の精度上意味がないので，ここでは変動範囲千円内における最小 $T_A=42\text{cm}$ 値を最適 T_A として決定した。なお，通常の設計の場合である舗装要綱によれば， $T_A=35\text{cm}$ である。

(2) ライフサイクルコストの年間推移

PMSによる最適 $T_A=42\text{cm}$ とアスファルト舗装要綱による $T_A=35\text{cm}$ を用いた場合の30年間のライフサイクルコストの推移を図-5で示した。解析期間の30年間で両者は5000円/㎡の差が生じることがわかる。

(3) 最適修繕時期

図-6にはPMSによる最適 $T_A=42\text{cm}$ の場合と舗装要綱による $T_A=35\text{cm}$ の場合の供用性指数PSIの遷移過程を示した。ここで，供用性指数PSIの上昇はオーバーレイ施工を意味する。

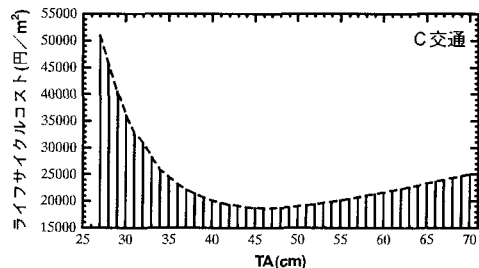


図-4 TAとライフサイクルコストの関係

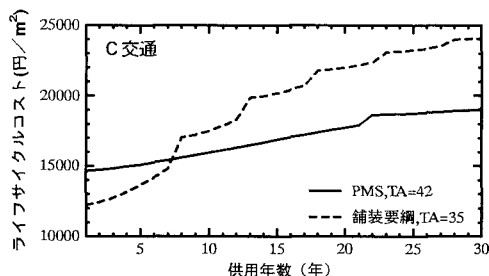


図-5 供用年数に伴うライフサイクルコストの変化

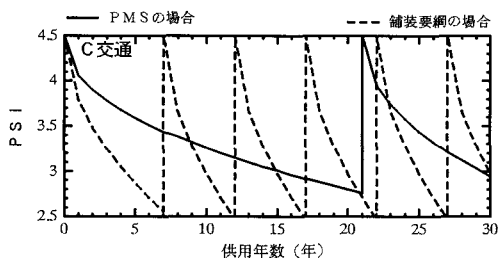


図-6 供用年数に伴うPSIの変化

5. むすび

アスファルト舗装のパフォーマンスにAASHTOモデルを適用し，動的計画法によってアスファルト舗装に関するプロジェクトレベルの舗装管理システムを構築した。そして，このシステムを用いてライフサイクルコストを最小とするアスファルト舗装の最適設計を試みた。その結果，ライフサイクルコストを考慮した場合の舗装構造は，通常の設計で決定された舗装の等価換算厚では不足する事が判明した。

参考文献

- 1) AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986.
- 2) 日本道路協会，アスファルト舗装要綱，平成4年11月
- 3) 鍋島一郎：動的計画法，森北出版，1973.7
- 4) 建設省：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，第41回建設省技術研究会報告，1987.
- 5) 安崎裕，片倉弘美，伊佐真秋：舗装の供用性と車両走行費用に関する検討，舗装，Vol. 25, No. 3, 1990.