

研究展望

舗装管理システムに関する研究の動向

THE CURRENT STATE OF PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS

阿部 頼政*

By Yorimasa ABE

1. まえがき

舗装管理システム (Pavement Management Systems ……以下PSMと略す) は、技術面を重視してきた従来の設計法に対し、建設費、維持修繕費、利用者便益などからなるトータルコストを考慮して舗装を設計しようとするものである。

このように、設計の重要因子として経済性が取り入れられるようになった理由は、先進諸国の不況感、そして度重なる公共事業費の抑制にあるといっても過言ではなからう。先に「荒廃するアメリカ」¹⁾が話題になったが、そのアメリカを中心としてPSMが発展してきていることは、この間の事情を伺わせる。

PSMが広く研究対象となったのは、1970年代後半である。W.R.HudsonとR. Haasが中心となってまとめたNCHRP (National Cooperative Highway Research Program) のプロジェクト²⁾、および両者の著書である“Pavement Management Systems”³⁾は、以後の研究の大きな原動力になったといってよい。現在では、アメリカの各州はもとより、イギリス⁴⁾、カナダ⁵⁾、オランダ⁶⁾、西ドイツ⁷⁾、日本⁸⁾などもそれぞれPSMを開発中であり、本年9月、イギリスで開催される国際会議“The 2nd International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields”においてもPSMが主要テーマとなっている。

しかしながら、PSMの解釈、研究の方向、最終目的など、研究機関によってPSMに対する見解はさまざまであり、必ずしも統一がとれているとはいえない。ま

た、多くの研究成果が発表されているものの、実用性には欠けるものが大部分である。

以上のような実情に鑑み、本論文ではPMSの基本的考え方とその構成を整理することに重点を置いて述べることにする。

2. 舗装管理システムの定義

広辞典⁹⁾によれば、システム (System) とは、①組織、仕組み、制度、②順序、③系統と記載されており、きわめて広い意味に使われている。工学の分野におけるシステムの定義は、「多数の構成要素が有機的な秩序を保ち、同一目的に向かって行動するもの」¹⁰⁾であり、システム工学 (System Engineering) は、「システムの目的を最もよく達成するために、対象となるシステムの構成要素、組織構造、情報の流れ、制御機構などを分析し設計する技術」¹⁰⁾となっている。このように、工学に限ってみてもシステムという言葉の意味はとらえにくい。この理由は、システムには多くの種類があって、全体像をまとめるにあたっては抽象的な表現をとらざるを得ないためであろう。

システムズエンジニア・ハンドブック¹¹⁾には、現在機能しているシステムの例として次のようなものが紹介されている。

① 科学技術分野のシステム

天気予報、大気循環の仕組み解明などを目的とした気象衛星システム、原子力エネルギー開発のための原子力開発・支援システムなど。

② 行政システム

行政データベースシステム、住民感情システムなど。

③ 製造システム

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部
(〒101 千代田区神田駿河台1-8)

注文住宅設計システム、自動車エンジン開発用実験システムなど。

④ 流通システム

消費者の購売動向を知るための店舗情報システムなど。

⑤ 金融システム

銀行業務のオンラインシステムなど。

⑥ 社会システム

ごみ焼却プラントシステム、道路や鉄道のための交通システム、競馬・競輪等各種競技の発券・配当を処理するトータリゼータシステムなど。

⑦ 報道システム

新聞作製にあたって活字を使用するHTS (Hot Type System) や、写真植字によるCTS (Cold Type System) など。

⑧ 鉄道システム

指定券の予約・発売を取り扱うMARS (Magnetic-electronic Automatic Reservation System) など。

以上のように、多くの分野でシステムという用語が使われており、その内容・目的もさまざまである。しかし、そこには共通点が存在することも確かであろう。その共通点がシステムという用語の定義となっているわけである。ここでシステムの定義をあらためて考えてみると、システムは次の要件を備えたものであるといえる。

- ① 構成要素が多い。
- ② 構成要素が有機的な秩序を保っている。
- ③ 構成要素が同一の目的に向かって行動する。

本論文で取り扱う「舗装管理システム」も①～③の要件を満足していることはいうまでもない。

W. R. Hudsonら¹⁾によれば、「舗装管理 (Pavement Management) の定義は以下のとおりである。

「舗装管理とは、あらゆる管理レベルにおける最適手法の認識とその実行を意味する。それは、舗装を適当な供用水準におくための建設、維持に関するあらゆる行動の工程をすべて包含するものである。それらは、初期の情報収集から、新設、維持、修繕の計画、さらには個々のプロジェクトの設計・施工の詳細、供用中の舗装の定期的な監視にいたるまで広い範囲に分布する。」

この定義で明らかのように、舗装管理とはわが国の建設省をはじめ、日本道路公団、都道府県、市町村など、舗装の管理者が従来行ってきたことである。すなわち、舗装管理そのものには新しい概念は入っていない。

舗装管理システムの定義は以下のとおりである。

「舗装管理システム (Pavement Management System)」は、あらゆる管理レベルの決定者に、合理的手法によって導かれた最適計画を与える道具である。PMSは、あらかじめ定められた基準や制約に従って数

量化された供用性の予測値をもとに、特定の期間における各種の代替案を評価する。PMSは管理対象となるすべての部分を総合的に取り扱うものであり、最適化の段階で含まれた種々の供用性、基準、制約に関するフィードバックを組み込んだ動的過程 (dynamic process) である。」

以上の定義はかなり抽象的であるが、具体的には次のような内容にまとめられる。

- ① PMSは管理者に最適計画を提供するものである。
 - ② PMSでは供用性の予測が必要不可欠である。
 - ③ PMSは各種の代替案を評価する。
 - ④ PMSは実行した結果をフィードバックし、刻々と改良を加えられるべきものである。
- 以上のうち、①がPMSの主要目的であり、②、③、④はその目的を達成するために具備すべき機能であるといえよう。

3. PMSの構成

(1) 概要

PMSの主な構成要素は図-1のように大別されている。これらは、それぞれPMSを構成するサブシステムとよばれるが、内容は以下のとおりである。

- ① 計画：建設に対する要望を受けて、予算措置、優先順位の決定を行う。
- ② 設計：設計条件に従って各種の代替案を作成し、それぞれの供用性を予測して経済評価を行う。
- ③ 施工：設計書、仕様書に沿って施工する。
- ④ 維持修繕：必要に応じて維持修繕を実施する。
- ⑤ 評価：設計・施工後の舗装の供用性を評価する。
- ⑥ データバンク：以上の行為を記録保存し、フィードバックシステムとしての機能を果たす。
- ⑦ 研究：フィードバックシステムと一体化してシステムの改善をはかる。

以上のような分類は別に新しい概念ではないが、PMSの特徴とするところはそれぞれが連動している点にある。すなわち、サブシステムの末端の小さな変更でも、計画、設計などの重要な部分に直接反映されるわけ

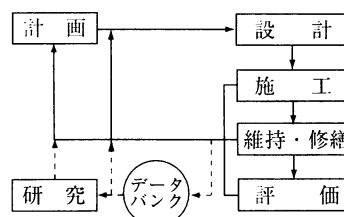


図-1 PMSの構成³⁾

である。また、①～⑦の中では、①計画、②設計がPMSの中心となる。

以下、この兩者について考察する。

(2) 計 画

わが国の道路予算を例にとればその流れは、建設省→都道府県→市町村となる一方、建設省→地方建設局→工事事務所という流れもある。そして、それぞれのレベルで予算配分の決定が必要であり、数多くある要望の中から優先順位が定められる。PMSは定義の項で述べたように、あらゆる管理レベルの決定者に最適計画を与えるものであるが、その計画策定にあたっては合理的な手法によることが重要な条件となっている。

(3) 設 計

ここでいう設計とは、これから舗装を建設しようとする特定の区間に対する構造設計、供用性の予測、維持修繕、経済評価をすべて包括するものである。一般に、以下の手順によって設計は実行される。

- ① 与えられた設計条件を満足する舗装構造の候補を n 個提起する。
- ② それぞれの候補に対して、あらかじめ定められた供用性予測式により供用性の推移を計算する。
- ③ 供用性のレベルが限界に達したら修繕を実施する。修繕の工種等も m 個の代替案を設ける。
- ④ 所定の解析期間に達するまで修繕を繰り返す。
- ⑤ 各候補に対し、解析期間中にかかったすべての費用を算出する。

この設計によって得られた各候補の経済性と、道路管理者の行政的判断により採用断面が決定される。

(4) ネットワークレベルとプロジェクトレベル

PMSはネットワークレベルとプロジェクトレベルに分けて考えられている。前者は「計画」、後者は「設計」に相当する。プロジェクトレベルのPMSは個々の区間の最適設計を与えるシステムであり、ネットワークレベルのPMSは、管理区間内におけるそれぞれのプロジェクトレベルで最適化された設計に対し優先順位を決定するシステムであるといえよう。

PMSの主眼はネットワークレベルでの運用にあるが、今日までの研究はまだプロジェクトレベルの段階であり、それも、確立されたとはいいがたい面が多い。以下、プロジェクトレベルに限定して考察することにする。

4. システムの基本的な考え方

(1) 概 要

図-2の概念図によってPMS（プロジェクトレベル）の基本的考え方を考察する。まず、横軸の解析期間(ZF)は、システムが対象とする期間であり、この範囲内でシステムの最適化が行われるものである。通常20年

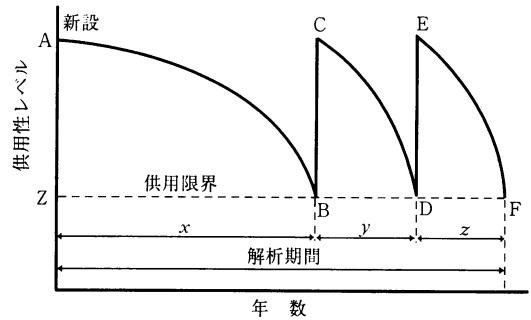


図-2 システムの概念図(1)

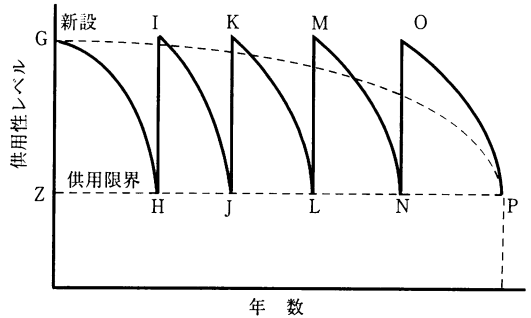


図-3 システムの概念図(2)

～30年程度に設定されることが多い。図の実験(A-B-C-D-E-F)は、舗装の供用性の履歴である。すなわち、新設のときAにあった供用性レベルは、交通開放によって徐々に低下し、 x 年(新設舗装の設計期間)後には、Bの供用限界に達する。この時点で修繕されると供用性はCに回復し、その後Dに至るまで交通荷重を通すことができる。この間の y 年は、修繕工法の設計期間である。Dでさらに修繕が行われ、 y 年間の供用後、Fに到達する。

以上の期間中、舗装管理者が負担する経費は以下のとおりである。

- ① 新設工事費(A)
- ② 維持費(A→B)
- ③ 修繕工事費(B, Dの2回)
- ④ 維持費(C→D, E→F)
- ⑤ 修繕工事中の減益(B, D…有料道路など)

所定の解析期間における新設と修繕のパターンは、図-2のほかに数多く考えられることはいうまでもない。修繕なしですまそうとするもの(図-3GP)、初期の舗装厚を薄くして修繕を繰り返すもの(図-3GHIJKLMNOP)などさまざまである。前者は新設工事費が大きくなり、後者は修繕費がかさむ。この中から、「最も経済的な方法を決定すること」これがシステムの最適化(Optimization)の一例である。

以上の考察は舗装管理者の経費だけをとりえたものであった。しかし、舗装の目的はそもそも利用者に快適な走行性を提供することであるから、利用者側からみた以

下のような得失を考慮する必要がある。

① 走行速度

路面性状が悪化すれば、走行速度が遅くなる。これは、利用者の時間的損失を意味し、図-2、図-3の供用性レベルと解析期間中の交通量に左右される。

② 燃料消費量

供用性レベルによって、燃料消費量が異なる。

③ 車両の減価償却

供用性レベルが低くなると、車両の傷みが促進される。

④ 修繕工事による時間の損失

解析期間中に修繕工事があれば、この間の車線閉鎖による渋滞、迂回などのため利用者に時間的損失がでる。

利用者側からみたこのような各種の損失は、解析期間中の舗装設計に直接影響を受けるものである。したがって、システムの最適化にあたっては利用者側の得失も計算に含めるのが理想的であろう。なお、このほかに沿道住民の騒音、振動などが重要な要素となる場合もある。

(2) システムを構成する要素

解析期間における一連の設計にあたり、考慮すべき主要な要素は以下のとおりである。

- (1) 表層……材料の種類 a 個、厚さ b 個
 - (2) 上層路盤…材料の種類 c 個、厚さ d 個
 - (3) 下層路盤…材料の種類 e 個、厚さ f 個
 - (4) 修繕……工法の種類 g 個、厚さ h 個
- (1 回目と n 回目で異なればその分増加)

検討対象となる候補の数 N は、単純計算すれば、

$$N = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (1)$$

となり、それぞれに対して新設費、修繕費を求め、維持費、修繕工事中の減益を加味することになる。

次いで利用者便益（損失）の計算がある。走行速度、燃料消費量、車両の減価償却などは供用例レベルに直接影響を受ける因子なので次のように考えればよからう。図-4で、供用性レベルが限界に至るまでの期間を n 個に分割し、 i 番目（累積通過軸数で N 軸）の供用性レベルを P_i 、 $(i+1)$ 番目のそれを P_{i+1} とすれば、 i から

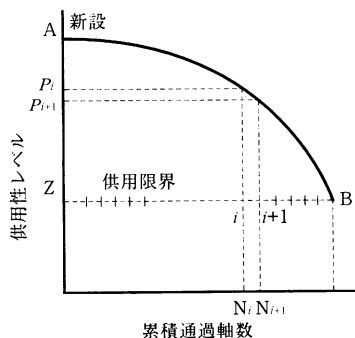


図-4 利用者便益の計算例

$(i+1)$ の間の通過軸数は $N_{i+1} - N_i$ であり、平均的な供用性レベルは $(P_i - P_{i+1}) / 2$ となる。これに対する車両1台当たりの便益（損失）を、実測値などの別資料から求めて k 円とすれば、 i から $(i+1)$ においては次の式でこの間の便益（損失） k_i 円が得られる。

$$K_i = k_i (N_{i+1} - N_i) \dots\dots\dots (2)$$

図-4の供用期間中における便益（損失）の合計を K 円とすれば

$$K = \sum_{i=1}^n K_i = \sum_{i=1}^n k_i (N_{i+1} - N_i) \dots\dots\dots (3)$$

となる。これを修繕後の舗装にも適用して、さらに修繕工事中の損失を加味すれば、利用者の便益（損失）がほぼ計算できる。

以上のような管理者側の経費と利用者側の便益をすべての候補 N 個に対してそれぞれ計算することになる。膨大な量に達することはいうまでもない。コンピュータを利用するゆえんである。

各候補の中から何を最適として選択するかという点では種々の考え方がある。

- ① 道路管理者側の費用を最小にする。
- ② 利用者側の便益を最大にする。
- ③ ①、②の両者を考慮して判断する。
- ④ (利用者便益) / (道路管理者費用) の最大をとる。

このほかにもいろいろ考えられるが、根本的には、行政、道路管理者など、システムを運用する機関が何を重視するか、いかなる哲学を有するかという点に帰着する。

(3) 構造設計

従来の構造設計法は、供用年数あるいは累積交通量などの寿命を設定し、これに対する必要舗装厚を設計するというものであった。すなわち、設計期間は一種の定数であり、最終段階に至ったときに打換えをするのかオーバーレイですむのかも明確ではなく、途中のプロセスも重視されなかった。

図-5において、A/Bという経路をたどった舗装と AmBという経路をたどった舗装は、最終的にBに至ったということで設計期間（横軸）からみれば等価値とみなされていた。しかし、この間、自動車を受けた便益

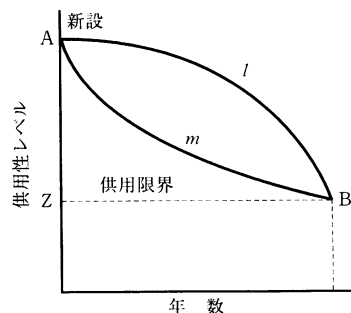


図-5 利用者便益の相違

(乗心地、ガソリン消費など)には大きな差があることは明らかであり、これを重視すれば両者には格段の差が生ずることになる。また、Bの段階で、クラックが卓越しているか、わだち掘れが卓越しているかによってこの舗装がまだ有している価値(残存価値)は異なってくる。

PMSの導入によって、構造設計に対する考え方は根本的に変わり、以下の特徴を有するようになった。

① 設計期間を変数とする。すなわち、任意の期間に対する断面の設計、逆に任意の断面に対する寿命の推定が可能でなければならない。

② 設計期間中の任意の時点における供用性を予測できなければならない。

③ 構造設計は技術的な観点から一義的に決定されるのではなく、最終判断は解析期間全体における経済性に委ねられる。

このため、構造設計は従来に比べて独立性を失ったが、技術的にはさらにきめ細かい対応が必要となった。

(4) 構造設計法の具体例

前節で述べたような新しい構造設計法を確立するには、室内試験と現場試験の膨大なデータを必要とするため、各機関とも種々の工夫と努力を続けてきている。ここでは、比較的考え方の簡単なVESYS^{(12), (13)}を例にとり考察する。

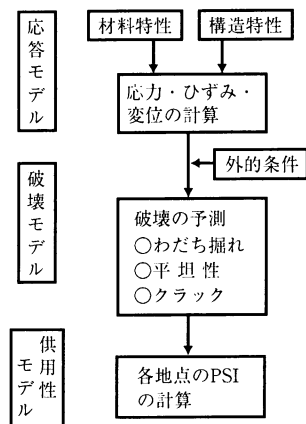


図-6 VESYSのフローチャート⁽¹²⁾

VESYS (Viscoelastic System) は、舗装体の解析に粘弾性論をはじめ弾性論、塑性論を導入した構造設計法で、全体の舗装管理システムは開発中であるものの、この構造設計サブシステムには多くのみるべきものがある。VESYSは、もともと構造設計用のプログラムであった PADS II⁽¹⁴⁾ を FHWA (Federal Highway Administration) の監修のもとにMITが開発したもので、VESYS I⁽¹⁵⁾ からVESYS II⁽¹⁶⁾ へ、さらにVESYS II M⁽¹⁷⁾ へと順次改善されて現在に至っている。

VESYSの計算手順は図-6のとおりであり、以下この図をもとにその内容を検討する。

① 応答モデル

ここでは、粘弾性論に基づいて後の解析に必要な応力、ひずみ、変位等を計算する。従来、舗装設計に利用されてきた多層弾性論プログラムと同種のものである。ただし、インプットに必要な材料特性は、表-1に示すような各種の実験による。

② 破壊モデル

これは、わだち掘れ、疲労破壊、平坦性を予測する3個のプログラムからできている。すなわち、①応答モデルで計算された応力、ひずみ、変位とすでに入力されている交通荷重特性、温度、材料の破壊特性をもとに、それぞれの破壊モデルによって供用年数と破壊の関係を予測するものである。したがって、ここでは任意の時点におけるわだち掘れ、クラック、平坦性の破壊程度が明らかとなる。なお、各モデルの詳細は省略するが、それぞれ数多くの研究を背景に有していることはいうまでもない。

③ 供用性モデル

ここでは、AASHOによる下記の計算式を採用して任意の時点における供用性指数 PSI (Present Serviceability Index) を求める。

$$PSI = 5.03 - 0.01 \log (1 + SV) - 1.91 \sqrt{C+P} - 1.38 R^2 \dots \dots \dots (4)$$

ここに、SV: 縦断方向の凹凸度の分散

C+P: クラックとポットホール率 (%)

表-1 VESYS II Mに入力する材料特性試験方法⁽¹³⁾

| 試験条件 | | 各層の材料特性 | | |
|----------|------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 境界条件 | 载荷方法 | クリープコンプライアンス $D(t)$ | 永久変形 (μ, a) | 疲労特性 (K_1, K_2) |
| 直接圧縮 | 動的 | | ○ | |
| シリンダー | 静・動的 | ○ | ○ | |
| 間接引張 | 動的 | | ○ | ○ |
| シリンダー、コア | 静・動的 | ○ | ○ | ○ |
| はり | 動的 | | | ○ |

R：わだち掘れ

以上、①、②、③の各モデルにより、任意の舗装構造、材料、交通荷重、温度などに対する任意の時点の供用性を求められることになる。すなわち、舗装管理システムにおいて構造設計法に要求される条件を満足していることは明らかであろう。

(5) 破壊の予測と供用性

舗装の主な破壊は以下のとおりである。

- ① 交通荷重による疲労クラック
- ② わだち掘れ（路床の沈下、表層の流動、摩耗）
- ③ 低温クラック
- ④ 凍上
- ⑤ 剥離、ポットホール

このほか、目視では判断できないが重要な問題として⑥すべり抵抗性、⑦縦断方向の凹凸がある。PMSの構造設計にあたっては、これらの破壊の経時変化を予測できることが望ましいが、今日の舗装技術はまだそこまで到達していないといえる。VESYSでは上記のうち、①、②、⑦を取り上げて予測モデルを開発したものであり、ほかにも数多くの予測法が提案されているものの、いずれもまだ普遍的であるとはいえない。破壊の予測はPMSの心臓部に相当し、今後、最も研究が必要な分野となっている。

一方、破壊を路面性状で総合的にとらえた供用性は、AASHOのPSIに代表されるようにかなりの実績があるため、それをもとに経験式を作成してシステムに組み込んでいるところが多い。次に述べるSAMP-5もその例である。

5. 実用システムSAMPの考察

これまで述べてきたシステム（プロジェクトレベル）の目的は、主として最も経済的な舗装の設計をすることにあるが、目的が同一であっても手段には種々の方法がある。すなわち、次のような項目をいかなる実績に基づいて数量化するかによってシステムの設計は大いに異なってくる。

- ① 交通条件……大型車交通量
- ② 環境条件……気象、温度、凍上の有無
- ③ 路床の強度…CBR試験、弾性係数
- ④ 構造設計法…理論的設計法、経験的設計法
- ⑤ 舗装の構成…フルデプス舗装、2層、3層、4層
- ⑥ 材料と工法…粒状材、安定処理
- ⑦ 維持修繕……工法、材料とその厚さ、寿命など
- ⑧ 供用性……破壊の予測式、供用性の評価
- ⑨ 利用者便益…時間遅れ、渋滞などの経済評価

これらの変数を具体的に数量化してインプットとし、最適設計をアウトプットしている好例がSAMPである。

る。

SAMP (Systems Analysis Method for Pavements) は、最初、HudsonとMcCulloughによって開発されたものであるが、その後次々と改善が加えられNCHRPレポート139^[7]に初めてプログラムが公開された(SAMP5)。ここでは、SAMP5の概要を簡単に紹介し^[8]、インプットとアウトプットの実例を考察することにする。

(1) システムの構成

システムは、新設時の舗装設計、その供用性の予測、オーバーレイの設計、その供用性の予測、費用計算、設計断面の順位決定から構成される。このうち、設計と供用性予測はAASHO Interim Guideを準用しているので、基本的には同基準のシステム化されたものとみてよい。しかし、費用計算ではインプットの例で後にみるように、細かい配慮がなされている。

(2) インプット

SAMP5のプログラム実行に必要なインプットは表-2～表-8に示すとおり7種に大別できる。なお、表中の数値は原著のヤード・ポンド表示をメートル法に換算してある。またコストは当時のアスファルトコンクリートの単価を現在の単価(7200円/t)に置き換え、そのドル・円の関係に応じて、他のコストを現在価値にシフトした。

① 材料特性(表-2)

舗装の構成を3層とし、各層の最小厚、最大厚を定めている。ただし、碎石、砂利は必ずしも使用する必要はなく、アスファルトコンクリートだけによるフルデプス舗装も可能である。オーバーレイが必要な時点における残存価値を0.50としているのは興味深い。

② プログラム制御(表-3)

解析期間20年、金利を年5%としている。

③ 環境変数とサービス性変数(表-4)

AASHO Interim Guideを準用しているため、地域係数が必要であり、またサービス指数の限界値は2.5となる。交通によらない破壊因子の項目を取り入れているが、感度分析(Sensitivity Analysis)によれば、この影響はかなり小さいとのことである。

④ 荷重および交通変数(表-5)

交通荷重の予測式はSAMPの母体であるFPS(Flexible Pavement Design Systems)の段階ですでに定められたものをそのまま使用している。この中で、18Kip(8.2t)換算軸数が設計の中心となることはいうまでもない。なお、表-5から明らかなように、この設計は地方道を対象としている。

⑤ 拘束変数(表-6)

これは、設計の対象とする範囲を制限するための条件

表-2 材料特性¹⁷⁾

| 層 | コード | 材 料 名 | 単 価 | 等値換算係数 | 最小値 | 最大値 | 残 存 値 |
|---|-----|--------------|------------------|--------|------|------|-------|
| | | | 円/m ³ | a_v | cm | cm | % |
| 1 | A | アスファルトコンクリート | 10000 | 1.00 | 15.2 | 20.3 | 50 |
| 2 | B | 砕 石 | 5000 | 0.32 | 12.7 | 20.3 | 50 |
| 3 | C | 砂 利 | 2000 | 0.25 | 12.7 | 25.4 | 50 |

表-3 プログラム制御¹⁷⁾

| 変 数 | インプット | |
|--------------|-------|----------|
| アウトプットのページ数 | 3 | 10設計/ページ |
| 層の合計数 | 3 | 層 |
| 解析期間の長さ | 20 | 年 |
| 各車線の幅 | 3.66 | m |
| 利率または金の時間的価値 | 5.5 | % |

表-4 環境変数およびサービス変数¹⁷⁾

| 変 数 | インプット |
|------------------------------|-------|
| 地域係数: R | 1.7 |
| 新設直後のサービス指数: PSI | 4.2 |
| オーバーレイ直後のサービス指数 | 4.2 |
| サービス指数の最低限界 | 2.5 |
| 交通によらない破損因子による最終のサービス指数の最低限界 | 1.5 |
| 交通によらない破損因子がサービス指数を減ずる場合 | 0.12 |

表-5 荷重および交通変数¹⁷⁾

| 変 数 | インプット | |
|-----------------------------|---------|--------|
| 解析期間初期の平均日交通量: ADT | 10000 | 台/日・方向 |
| 解析期間最終の平均日交通量: ADT | 20000 | 台/日・方向 |
| 解析期間に通過する18Kip換算軸荷重の累積: N | 5000000 | 回 |
| オーバーレイ区間を時間当たり通過するADTの率 | 6.1 | % |
| 道路のタイプ (1-地方, 2-都市) | 1 | |

表-6 拘束変数¹⁷⁾

| 変 数 | インプット | |
|-------------------------|-------|----|
| 最初のオーバーレイまでの最小期間 | 2.0 | 年 |
| オーバーレイから次のオーバーレイに至る最小期間 | 3.0 | 年 |
| 新設に必要な最大費用 | 5000 | 円 |
| 新設に必要な最小合計厚 | 80 | cm |
| 個々のオーバーレイの最小厚 | 1.27 | cm |
| 全オーバーレイのうちの最大厚 | 6.35 | cm |

を定めたものである。新設舗装は2年以上、オーバーレイは3年以上もつものを対象とし、新設費用は5000円/m³以内、オーバーレイ厚は1.3cm~6.4cm等に制限されている。単なる計算に陥らないように現実性を加味したものであろう。

⑥ 交通渋滞変数 (表-7)

これは、主としてオーバーレイ工事中における利用者

の損失を計算するためのインプットである。交通渋滞による時間のロスが種々の角度から検討されている。

⑦ 維持変数 (表-8)

新設からオーバーレイまで、あるいはオーバーレイからオーバーレイまでの間、舗装を維持するための費用計算である。労働賃金、設備の賃借料は当然のことであるが、0℃以下の日数(路面凍結、降雪に係る)も

表-7 交通渋滞変数¹⁷⁾

| 変数 | インプット | |
|------------------------------------|-------|------------------|
| イ) オーバーレイによる交通渋滞変数 | | |
| アスコンの生産率 | 75.0 | t/時 |
| アスコンの密度 | 1.80 | t/m ³ |
| オーバーレイ区間において交通が速度低下する距離 | 0.966 | km |
| オーバーレイ区間外において交通が速度低下する距離 | 0.966 | km |
| オーバーレイ区間を迂回する距離 | 0 | km |
| オーバーレイの1日当たり施工時間 | 8.00 | 時間 |
| ロ) 交通スピードと渋滞による交通渋滞変数 | | |
| 作業員(職員)や施工機械のためにストップする車の全交通量に対する比率 | | |
| ・オーバーレイ区間 | 5.00 | % |
| ・非オーバーレイ区間 | 5.00 | % |
| 作業員(職員)や施工機械のために起こる平均渋滞距離と車速の比率 | | |
| ・オーバーレイ区間 | 0.15 | 時 |
| ・非オーバーレイ区間 | 0.15 | 時 |
| オーバーレイ区間への平均到達スピード | 80.45 | km/時 |
| オーバーレイ区間を通過する平均スピード | | |
| ・オーバーレイ区間 | 48.27 | km/時 |
| ・非オーバーレイ区間 | 80.45 | km/時 |

表-8 維持変数¹⁷⁾

| 変数 | インプット | |
|-------------------|-------|---|
| 年間当たり気温が0℃以下になる日数 | 60 | 日 |
| 労働賃金 | 2050 | 円 |
| 設備の賃借料 | 2500 | 円 |
| 地域特性を考慮した材料単価 | 1000 | 円 |

考慮されている。

(3) アウトプット

前記のインプットに対するアウトプットは、表-9のとおりである。合計費用が小さいものから順に表示される。

① 費用計算

ここでは、新設費用、オーバーレイ費用、利用者費用、維持費用、残存価値(最終段階で舗装がまだ保有している価値……費用計算では貸方勘定、つまりマイナスで表示される)がそれぞれ計算されている。

② 新設時の舗装厚設計

フルデプス舗装がこの例では経済的のようである。しかし、No.1(フルデプスタイプ)とNo.5(3層タイプ)

の差は、79円/m³とあまり大きくない。

③ 供用履歴の予測

地方道路とはいえ、新設舗装の供用期間は、最小2.0年(No.3)、最高4.8年(No.6)ときわめて短い。むしろ、オーバーレイの方が供用期間は長いようである。No.1とNo.6の供用性履歴を図-7、図-8に示す。

④ オーバーレイの設計

各回のオーバーレイ厚は3.8cm~6.4cmと比較的薄い。そのため、供用期間(20年)に4回もオーバーレイするところがある。

以上のようなアウトプットから、いずれの断面を選ぶかの最終決定はやはり道路管理者の行政的判断によるものと思われる。システムが、すべての因子を網羅しているわけではなく、あくまで参考資料の域を出ないからである。

(4) SAMP-5の改善

基本的な考え方や、インプット、アウトプットが明確なためSAMP-5の例を示してきたが、これを改善したSAMP-6もすでに発表され¹⁹⁾、さらにその後も研究が継続されている。実体に近づけようとするほど、モデルも複雑化していくようである。

表-9 アウトプット¹⁷⁾

| 設 計 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 材料の組合せ | | A | A | A | A | ABC | ABC | ABC | ABC | ABC | AB |
| 費 用 計 算 | 新 設 費 用 | 1968 | 2031 | 1841 | 1904 | 2412 | 2666 | 2666 | 2475 | 2475 | 2412 |
| | オーバーレイ費用 | 1030 | 998 | 1196 | 1153 | 754 | 510 | 521 | 733 | 733 | 789 |
| | 利用者費用 | 248 | 230 | 277 | 271 | 186 | 119 | 126 | 184 | 185 | 190 |
| | 日常維持費用 | 537 | 579 | 543 | 541 | 570 | 649 | 653 | 577 | 579 | 573 |
| | 残 存 価 値 | -466 | -503 | -466 | -478 | -526 | -550 | -550 | -538 | -538 | -526 |
| 合 計 費 用 (円) | | 3317 | 3335 | 3391 | 3391 | 3396 | 3394 | 3416 | 3431 | 3434 | 3438 |
| 新設時の 舗装厚設計 | 層 数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| | 層 厚 (cm) | 19.69A | 20.32A | 18.42A | 19.05A | 15.24A | 15.24A | 15.88A | 15.88A | 15.24A | 17.78A |
| | (1) | | | | | 15.24B | 12.70B | 12.70B | 12.70B | 12.70B | 12.70B |
| | (2) | | | | | 15.24C | 25.40C | 22.23C | 12.70C | 20.96C | |
| 供用履歴の 予測 | 供 用 回 数 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| | 供 用 期 間 (年) | | | | | | | | | | |
| | 新 設 | 2.563 | 2.813 | 2.031 | 2.281 | 3.688 | 4.781 | 4.688 | 3.806 | 3.938 | 3.438 |
| | オーバーレイ(1) | 5.797 | 7.734 | 5.266 | 5.844 | 8.469 | 11.625 | 11.344 | 9.063 | 9.234 | 7.844 |
| | 〃 (2) | 9.828 | 14.016 | 9.297 | 10.250 | 14.516 | 20.531 | 20.062 | 15.672 | 15.891 | 13.375 |
| 〃 (3) | 14.750 | 21.750 | 14.219 | 15.594 | 21.875 | | | 23.641 | 24.047 | 20.031 | |
| 〃 (4) | 20.656 | | 20.125 | 22.062 | | | | | | | |
| オー バー レイ の 設 計 | オーバーレイ厚 (cm) | | | | | | | | | | |
| | (1) | 3.81 | 6.35 | 5.08 | 5.08 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 |
| | (2) | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 |
| | (3) | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | 3.81 | | | 3.81 | 3.81 | 3.81 |
| (4) | 3.81 | | 3.81 | 3.81 | | | | | | | |

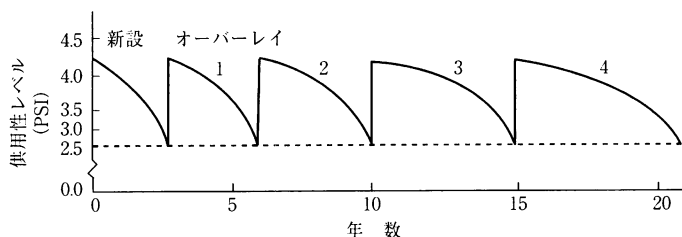


図-7 設計No. 1の供用性¹⁸⁾

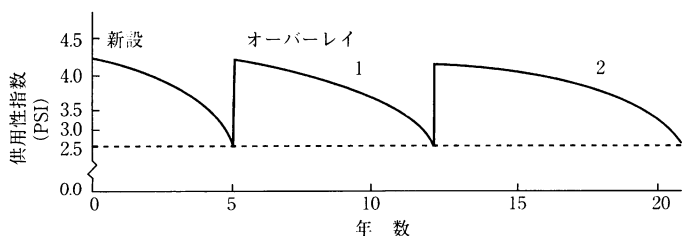


図-8 設計No. 6の供用性¹⁸⁾

6. 維持管理システム

維持・修繕をシステムとしてとらえる場合、以下のよ
うに2つの異なった見方がある。

- ① 新設舗装を主としたPMSの一環として位置づけるもの。この場合、維持・修繕はPMSのプロジェクトレベルにおける1つのサブシステムとなる。
- ② 維持・修繕そのものを1つの独立したシステムとしてとらえるもの。「舗装の維持管理システム」である。

前者においては、SAMPの例で明らかなように、新設舗装の設計にあたってトータルコストを計算するための部分的な役割を担っている。PMSのネットワークレベルから抽出された1本のプロジェクト、その中のさらに一部という位置づけである。ここでは、維持修繕工法を選択とその設計、維持修繕後の供用性評価など技術的貢献が主となる。

一方、後者の維持管理システムは、前者を1本の縦糸とすれば、面的な広がりをもつ横糸の集合を取り扱うものといえる。すなわち、管理区間内の維持修繕計画をいかにするかというシステムである。ネットワー

クレベル、プロジェクトレベル双方のシステム化が要求される。

欧米先進国、特にヨーロッパではほとんどの国の舗装

表-10 路面調査の例⁴⁾

| | |
|---|-------------|
| ① | わだち掘れ |
| ② | ひびわれ |
| ③ | 車道部全体の大きな破損 |
| ④ | 車道部全体の小さな破損 |
| ⑤ | 逆勾配 |
| ⑥ | 道路端部の破損 |
| ⑦ | 排水 |
| ⑧ | パッチング |
| ⑨ | 歩道部の破損 |
| ⑩ | 縁石の破損 |
| ⑪ | 縁石の高さ |

表-11 データバンク内容⁸⁾

I. 道路管理データ

- (1) 路線番号
- (2) 管理担当工事々務所、出張所
- (3) 都道府県・市区町村
- (4) キロポスト間距離

II. 道路特性データ

- (1) 車線数
- (2) 大型車交通量による道路区分
- (3) 路床土のCBR
- (4) T_A
- (5) 一般、雪寒地域の別
- (6) DID, 市街地、平地、山地の別
- (7) 道路構造物
- (8) 舗装年月
- (9) 交差点の有無

III. 路面性状データ

- (1) ひびわれ率
- (2) わだち掘れ量
- (3) 縦断凹凸量
- (4) 路面種別

IV. 施工・補修データ

- (1) 施工法
- (2) 施工厚
- (3) 施工材料
- (4) 舗装構成
- (5) 路床改良の有無
- (6) 路床土の実測CBR
- (7) 実測T_A

率が90%以上に達し、新設舗装の設計よりはむしろ既設舗装の維持修繕に苦慮しているところが多い。そのため、当初PMSのサブシステムとして位置づけられていた維持管理システムに関心が集中し、現在ではむしろPMSを凌駕する勢いとなってきている。

(1) 実態調査

維持管理システムでは、管理対象とする既設舗装の実態調査が最初の重要テーマとなる。実態調査は、一般に①路面性状調査と②力学的調査に分類できるが、前者は車両に対する供用性を重視したものであり、後者は舗装体の力学的健全度を判定しようとするものである。

① 路面性状調査では、表-10の例¹⁾のように数多くの調査項目を設けているところはあるものの、一般には、わだち掘れ、クラック、縦断方向の凹凸の3項目が重要視されている。AASHOのPSIの影響である。従来、これらの調査は目視あるいは手動の簡単な器機を用いて行ってきたが、最近になって、通常のスPEED (50km/h以上) で自動的に測定できる機械が開発された²⁰⁾。

② 力学的調査は、舗装のたわみ測定が主である。デフレクトグラフ²¹⁾、フォーリングウェイトデフレクトメーター⁶⁾などが使用されている。

(2) データバンク

各路線、区間の調査データは、ネットワークレベルでは膨大な量に達する。そのため、維持管理システムを志向している機関では最初にデータバンクシステムを開発するケースが多い。表-11は、わが国のデータバンクに収納されている項目である。

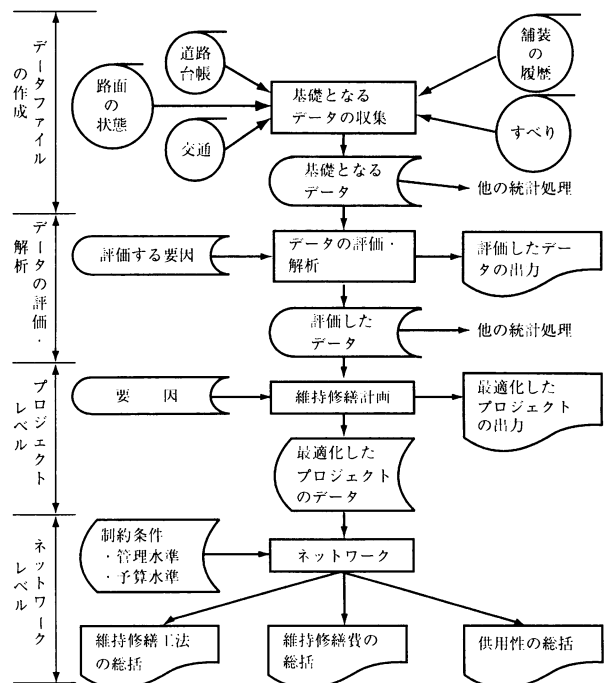


図-9 ワシントン州の舗装維持管理システム²²⁾

(3) 供用性モデルの作成

データバンクに蓄積された各種の調査結果をもとに、維持修繕後の供用性を表わすモデルの作成が次のステップとなる。PMSの場合も同様であったが、この供用性モデルの良否によってシステム全体の信頼性が大きく左右される。実際には、必要データの不備、破壊の確率論的性質、環境条件の相違などがあって、このモデル化は非常に困難な課題となっている。

(4) プロジェクトレベルの最適化

供用性モデルができればプロジェクトレベルでの最適化はPMSと同様である。各種の代替案を作成してそれぞれの維持修繕費、利用者費用等を計算することになる。

(5) ネットワークレベルの最適化

ここでは、各プロジェクトから提供されたデータをもとに、予算と調整をとりながら管理区域内の維持修繕に関する優先順位を策定する。なお、予算折衝の段階では、このデータをさらに上部のネットワークレベルに提供することになる。

以上のような流れに沿ったシステムの構成の例として、ワシントン州の舗装維持管理システム²³⁾を図-9に示す。

7. あとがき

以上、PMSの基本的考え方とその構成を一覧した。PMSが掲げる理想と現実のギャップはまだかなり大きいものがあるといえよう。今後の研究において最も重要なポイントは、新設・修繕にかかわらずやはりその後の「供用性予測」であると思われる。この予測が不備であればプロジェクトレベルの設計は無理であり、当然ネットワークレベルの最適化も曖昧なものになってしまうからである。アメリカの大型プロジェクトSHRP (Strategic Highway Reserach Program)²³⁾において「長期供用性」の研究に重点を置いているのも、PMSのこのポイントの充実を計っているためであろう。

なお、本レポートをまとめるにあたって、日本アスファルト協会、アスファルト舗装技術研究グループによる一連の研究報告^{13)・18)・24)}を大いに参考にさせていただいた。末筆ながらここに感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 岡野行秀監修：荒廃するアメリカ，開発問題研究所，1982。
- 2) Hudson, W.R. et al. : Pavement Management System

- Development, NCHRP Report 215, 1979.
- 3) Haas, R. et al. : Pavement Management Systems, McGraw-Hill, 1978.
- 4) Thompson, P.D. et al. : The Development and Use of a Pavement Management System in the United Kingdom. The 5th Intern. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, 1982.
- 5) Karan, N.A. et al. : Implementation and Verification Examples of Successful Pavement, 同上。
- 6) Molenaar, A.A.A. et al. : A Pavement Management System for Provincial Roads in the Netherlands, 同上。
- 7) Knoll, E. : Road Maintenance Management in the Federal Republic of Germany, TRR951.
- 8) 岡村 真；維持管理・補修へのエレクトロニクスの利用，アスファルト，No.135, 1983.
- 9) 宇野哲人：新修広辞典，集英社，1973.
- 10) 近藤次郎：システム工学，丸善，1981.
- 11) 中原啓一ほか：システムズエンジニアハンドブック，オーム社，1982.
- 12) Kennis, W.J. : Predictive Design Procedure—A Design Method for Flexible Pavements Using the VESYS Structural Subsystems, the 4th Intern. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement, 1977.
- 13) 阿部忠行：舗装設計システム—VESYS II Mについて，アスファルト，No.118, 1979.
- 14) Moavenzadeh, F. : Stochastic Model for Prediction of Pavement Performance. TRR575, 1976.
- 15) Kennis, W.J. : Response Behavior of Flexible Pavements, AAPT, Vol.43, 1973.
- 16) Sharma, M.G. et al. : Evaluation of Flexible Pavement Design Methodology, AAPT, Vol.45, 1975.
- 17) Hudson, W.R. et al. : Flexible Pavement Design and Management Systems Formulation, NCHRP Report 139, 1973.
- 18) 竹田敏恵：舗装管理システムについて—SAMP-5, アスファルト，No.126, 1981.
- 19) Lytton, R.L. et al. : Flexible Pavement Design and Management, NCHRP Report 160, 1975.
- 20) 丹治和裕：供用性調査とエレクトロニクス，アスファルト，No.135, 1983.
- 21) Snaith, M.S. et al. : An Integrated Maintenance System for the Assessment Diagnosis and Treatment of Flexible Pavements, The 5th Intern. Conf. of Structural Design of Asphalt Pavement, 1982.
- 22) Le Clere, R.V. et al. : Washington's State's Pavement Management System, 同上。
- 23) 舗装委員会：アメリカの新道路研究計画 (SHRP) について，道路，No.7, 1986.
- 24) 大坪義治：セッションIV：舗装管理システム，アスファルト，No.140, 1984.

(1986.7.17・受付)