

フィンランドにおける道路性状測定及び舗装管理

維持管理研究室

はじめに

本稿はフィンランド国家道路庁レポート52号を翻訳および抜粋したものである。原典は1993年に発行されたものであるが、舗装マネジメントの教科書的内容であり、また10年以上も前にこのようなアセットマネジメントが実践されている事は注目に値すると考え広く紹介したい。本資料は(社)道路協会による海外管理基準調査の一環として収集されたものである。資料入手に際しては、北海道開発局から在フィンランド日本国大使館に出向している渡邊正義氏の多大なるご協力を頂いたことをここに記して謝意を表す。

概要

道路構造は、路床土の永久変形を避ける、もしくは最小化するような方法で、路床土に加わる様々な応力を分散するように設計されている。維持管理の役割は、道路構造がこの目標を達成するよう対処することである。構造上の問題がないのに道路のサービス水準に影響する事象もあれば、その逆の場合もある。サービスの観点のみから維持管理を計画し、構造的問題をないがしろにすると、道路維持は長期的に非常に高くつくことになる。一方、道路品質を必要以上に良くすることも経済的ではない。

全ての道路に関して、これら全ての側面を考慮し、同時に将来の状況や維持管理の効果を検討するのは、たいへんな仕事である。

フィンランド国家道路庁は、戦略的計画づくりから維持修繕計画にいたる維持管理手続きを網羅する舗装管理システム（以下PMS）を開発した。同庁はまた、これらのシステムのための重要な舗装性状データを測定し記録するツールも開発した。

本稿は、PMSで使用されるデータとその測定方法、また、PMSを構成する各パーツと、それらがデータをどのように利用し、このシステムが意思決定者をどのように支援するかについても説明するものである。

1 舗装性状指標

舗装の性能を記述する項目として、わだち掘れ、平坦性、損傷、支持力の4種類の指標が使用されている。これらの指標は、それぞれが様々な手法で測定される。わだち掘れ、平坦性、損傷からは視覚的に舗装の性状を読み取る一方で、構造的問題の兆候とみることもできる。特に損傷は、凍結の影響や支持力減少を示すものである。

表1は、各性状指標が道路利用者と道路管理者に及ぼす影響を示している。維持管理計画を立案する際は、利用者と管理者の双方の立場を考慮する必要がある。

表1 指標とそれらが道路利用者および道路管理者に及ぼす影響

指標	道路利用者	道路管理者
わだち掘れ	*交通安全性の変化 *走行快適性の低下 *費用(時間)の増加	*水の層⇄摩耗 *冬期管理の問題
ラフネス	*走行快適性の低下 *費用の増加(車両、燃料)	*道路構造に対する力学的負荷の増加
損傷	*管理が行き届いていないという印象 *極度な場合、走行快適性の低下	*水漏れ *損傷箇所の増加 *支持力低下
支持力	—	*劣化率増加

(1) わだち掘れ

ア) 測定装置

わだち掘れは、RSM(路面監視車両、図1)と呼ばれる特殊車両で測定される。わだちは、RSM車の前バンパーに取付けられた15個の超音波距離センサーによって、走行速度(40-90km/h)で計測される。

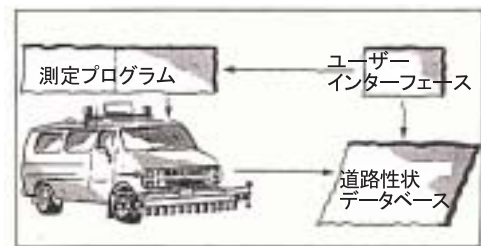


図1 RSM車によるわだち掘れ測定

イ) 測定値

交通量の多い道路では、毎年測定が行われる。横断方向の測定は2m間隔で、次に10mおよび100m区間で集計する(図2)。

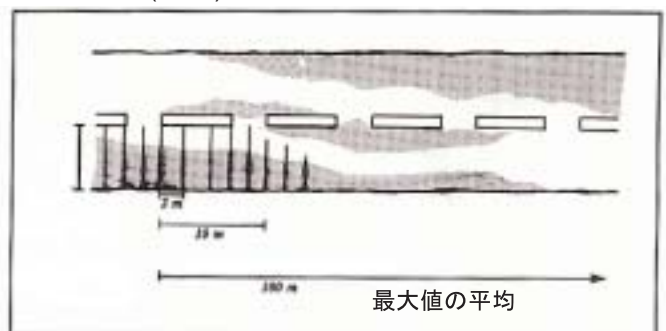


図2 わだち掘れ深さの測定値処理

測定値から以下のデータが得られる。

- ・わだち掘れの平均深さ
- ・100m当たりの異なるわだち掘れ断面の数
- ・100m当たりの最大わだち掘れ深さ
- ・わだち断面のわだち部分断面積
- ・わだちの縁と中心部の平均および差

ウ) 指標値とその活用、予測モデル

最大わだち掘れ深さの平均値がPMSで利用される。図3は、わだち掘れ深さの増加に関する線形予測モデルである。本モデルは舗装路面の測定値と供用年数に基づいている。

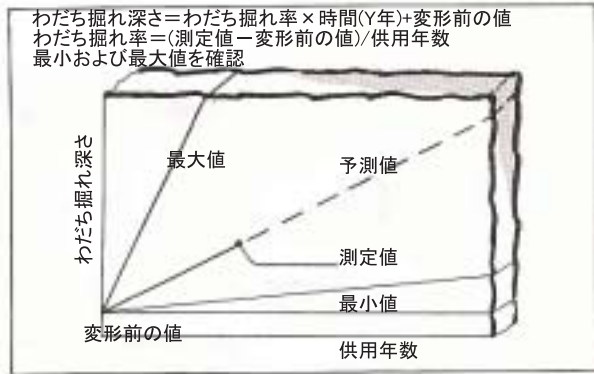


図3 わだち掘れ深さ増加の予測モデル

(2) 平坦性

ア) 測定装置

RSM車でわだち掘れ測定と同時に平坦性も測定される(図1)。RSM車の前バンパーに装備されたレーザーセンサーが、車体と路面との距離を測定する。搭載されている加速度計から、隆起および沈下箇所に関する情報も得られる。

イ) 測定値

測定は、同一の道路区間で1年おきに実施される。車体と路面との距離を4cm間隔で測定し、シミュレーションによりIRI値に変換する(図4)。

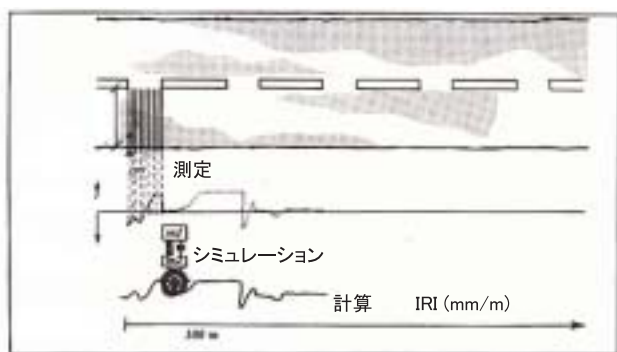


図4 IRI値の求め方

平坦性の測定から、以下の値が求められる。

- ・ 100m当たりのIRI(mm/m)
- ・ 加速度値および波長に基づき8つに分類された隆起の数
- ・ 最大垂直加速度値(m/s²)とその位置

- ・ IRI-4-インデックス、4 m以上の波長を持つ不陸
- ・ DFI(動的疲労指数)

ウ) 指標値とその活用、予測モデル

IRIは路面の縦断方向の分析に使用される指標値である。PMSには、IRIの変化の予測モデルがある。

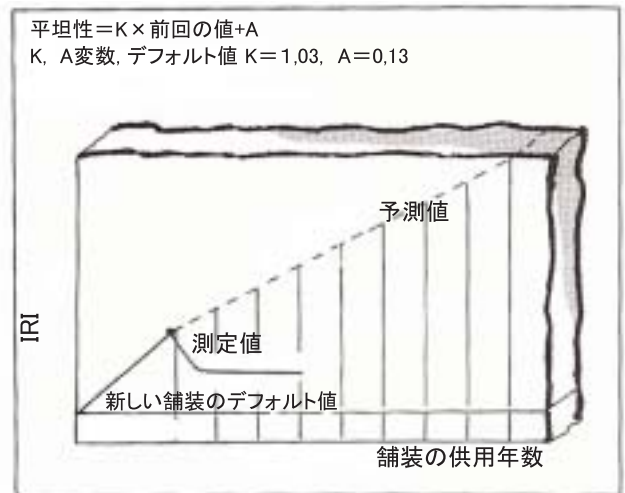


図5 IRI変化の予測モデル

IRIが1.3mm/m以下ならば道路状態は良好で、IRIが5.6を超えれば運転はかなり不快になる。また、鉛直加速度値が2.0 m/s²以下の隆起は小さく、3.5 m/s²を超えれば大きいと見なされる。また、IRIは、新設舗装の平坦性が所定の基準を満たしているか評価する際にも使用される。

(3) 損傷

ア) 測定装置

路面の損傷は、低速走行(3~4 km/h)する車両から目視で測定する。測定は融雪期の初め(4~5月)に、雪氷が残っていない舗装上で行う。損傷は専用に関発されたデジタルボードで記録される。測定要員は2人で、ドライバーが視覚的に損傷の種類や量を評価し、もう一人が記録する。走行マイル計を使って道路区間で測定区間の位置特定とひび割れの長さの測定を両方向なう。一定区間の損傷は全て100m水準で統合される。

イ) 測定値

損傷は、同一の道路区間で3年目毎に測定される。新設舗装については、必ずしも舗装工事から3、4年以内に最初の調査資料を作成する必要は無い。図6に示すように、8種類の損傷が測定され、一覧は表2に示される。

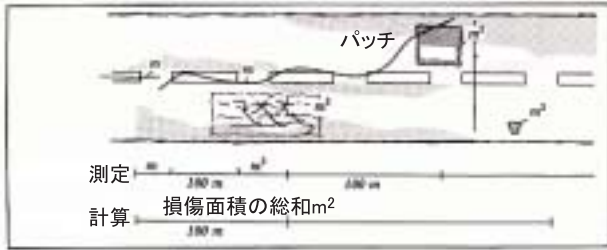


図6 100m区間の損傷測定

表2 損傷の説明

損傷種類	説明	測定
横断ひび割れ	低温、工事区間の断層、凍上による応力が原因	個数、長さが2m以上のひび割れのみ
縦断ひび割れ	不規則な凍上または沈下が主な原因：道路線に対し平行または斜め	m単位
接合部ひび割れ	凍上または接合部の断層が原因；舗装の継ぎ目に縦断または横断のひび割れ、通常は道路中央に発生	m単位
亀甲ひび割れ	舗装の支持力低下または老朽化が原因で発生する多角形のひび割れ	m ² 単位
ポットホール	剥離/ラベリング現象が原因、凍結・融解作用の繰り返しで悪化	m ² 単位、最低でも1m ²
ラベリング	舗装混合材の剥離が原因、骨材の分離部分が経年変化でポットホールへと成長	m ² 単位、最低でも1m ²
パッチ	応急措置としての小型パッチ、適切な修復作業と見なされるものは記録されない	m ² 単位、最低でも1m ²
沈下	道路端が縦断方向に沈下；支持力低下が原因で狭い道路に発生	m ² 単位、最低でも1m ² 舗装前に均しが必要な場合にのみ記録

ウ) 指標値とその活用、予測モデル

全ての損傷データの詳細な記録により、その舗装の外観に関する情報が得られる。質が異なる損傷の複合作用は、個々の亀裂に加重係数を乗じこれらを合算して求める。この結果を損傷の総和と呼び、損傷した舗装の面積を表す。

表3 損傷の総和を算出するための加重係数

損傷の種類	測定単位	加重係数
亀甲ひび割れ	m ²	1.0
縦断ひび割れ	M	0.5
横断ひび割れ	個数、4m以上	0.1
接合部ひび割れ	M	0.1
ポットホール	m ²	1.0
パッチ	m ²	1.0

客観的情報は、道路網全体に対しても同様に入手可能である。舗装補修や舗装打換などの区分や閾値は、

損傷の総和と個々の損傷の量を活用すれば正確な数値が求められる。損傷の総和の変化を予測するモデルはあるが、個々のひび割れの増加のモデルはない。

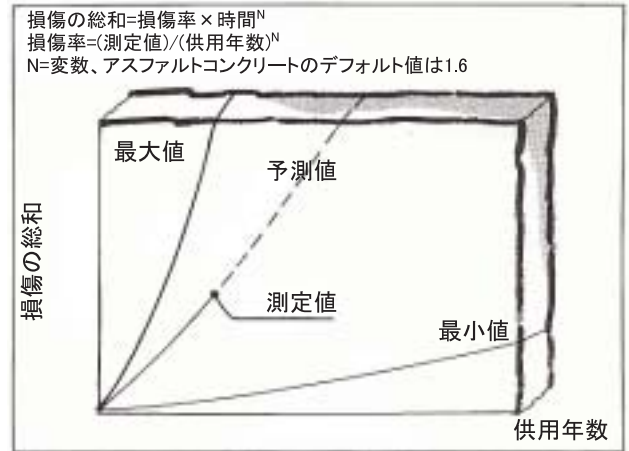


図7 損傷の総和の変化予測モデル

(4) 支持力

ア) 測定装置

フォーリングウェイトデフレクトメーター (FWD) が、主要な支持力測定装置である(図8)。道路構造に落錘で負荷をかけ、発生したたわみを負荷地点から位置を変えて測定する。

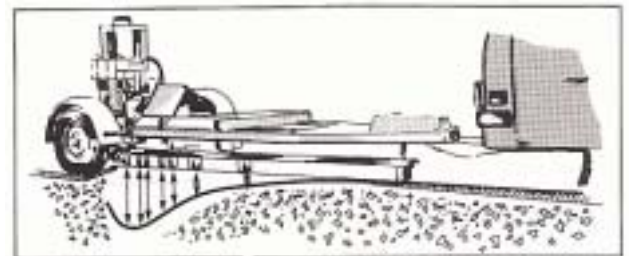


図8 道路構造の支持力を測定するFWD

イ) 測定値

支持力の測定は5年目毎に行われる。1道路区間に対し10箇所の測定地点を決め、それらの平均値を道路データバンクに記録する。舗装打換の場合、通常は設計に先立ち50m毎に補足測定を行う。

載荷地点から位置を変えて測定したたわみ値を記録、グラフ化し、たわみ曲線を作成する(図9)。更に、舗装温度や気温が記録され、測定値を道路構造の支持力に変換する際の情報となる。

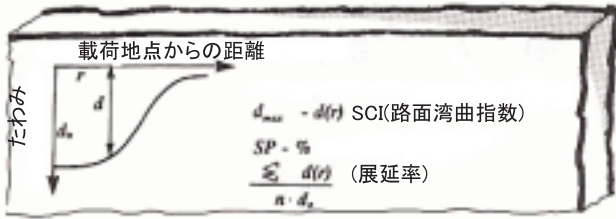


図9 層構造に関する情報を提供するたわみ曲線

ウ) 指標値とその活用、予測モデル

測定データから算出され主に活用される数値は、道路構造の支持力である。たわみ曲線の形状から、各構造層の状態および路床土の支持力が読み取れる(図9)。

路面湾曲指数(SCI)は、最大たわみと載荷地点からある距離のたわみとの差で、舗装層の下部表面における引張応力を示している。また、たわみ値から各層の弾性率(MN/m²)が逆算できる。

支持力低下に関するモデルはないが、支持力の測定値は累積された等価軸荷重に基づき算出された理論値と比較される(図10)。その比(測定値/理論値)が1.00未満ならば、支持力が失われていることを意味する。

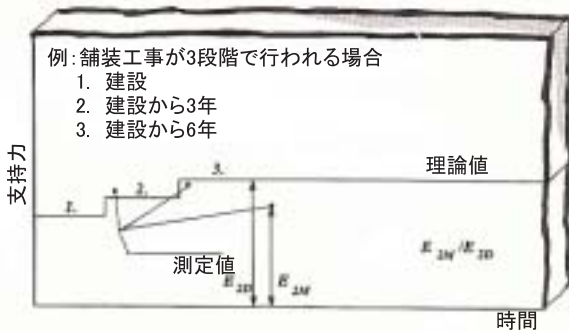


図10 支持力の測定値と理論値の比較

更新の場合は、FWDから得たデータを損傷データ、凍結被害評価、層構造の試料データ、地中探知レーダーからの情報などと合わせて分析し、道路構造の改修に最も適した手法を検討する。

(5) 性状指標の管理目標

フィンランド国家道路庁では、舗装の性状指標の管理目標を定めている。これらの値は、特別な実験プロジェクトの結果に基づく1993年における有効データであり、経験や今後の研究によって変化し得るものである。

表4 舗装性状の管理目標 (100m当り平均値)

等級 変数	ラフネス IRI mm/m	わだち掘れ深さ mm (制限速度 80km/h)	損傷の総和 m ²
優	~1.3		~5
良	1.4~2.6	~18	6~20
可	2.7~4.1	19~24	21~40
不可	4.2~5.5	25~	41~80
劣悪	5.6~		81~

2 舗装管理システム (PMS)

(1) システムの構成

PMSは以下を行うためのツールである。

- ・ 道路網の現状の評価
- ・ 性状の変化の予測
- ・ 将来の目標の設定
- ・ 維持管理方針並びに行動の計画策定

PMSは2つのデータベース(道路データベース(RDB)及び性状データベース(KURRE))、並びに2つのエキスパート・システム(ネットワーク・レベル(HIPS)及びプロジェクト・レベル(PMS91))から成り立つ。

これら全てのシステムは国家道路庁により開発・維持管理されており、地区事務所はデータ更新の責任を有する。

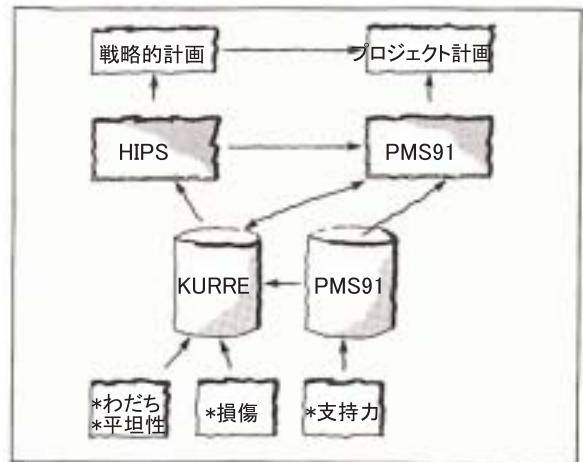


図11 PMSの構成

(2) 道路データベース (RDB)

RDBは道路及び交通の基本データ、並びにこれらのデータ全てを特定の道路区域に当てはめるシステム(道路アドレス参照システム)をもつ。PMSで使用する主たるデータは舗装及び交通量に関する情報である。データの正確性が重要であるため、地区事務所には毎年の測定を担当する専門グループがおかれている。

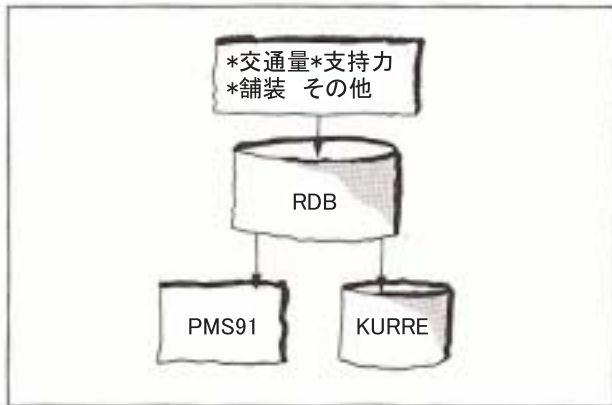


図12 PMSの一部としてのRDB

(3) 性状データバンク (KURRE)

KURREは、100m区間毎の舗装性状指標の過去、現在、将来値を格納するデータベースである。それぞれの予測モデルを使用することで、最新の性状分布を把握することができる。

KURREはHIPSおよびPMS91で利用される性状データの情報源となる。維持管理の生産性や道路維持補修プロジェクトの計画に利用される重要なレポート(最悪の状態にある道路区間や、それぞれの道路区間の性状履歴をリスト化)を提供する。さらに、KURREはこれらの情報をより具体化して提供するためのマップインターフェースも有している。

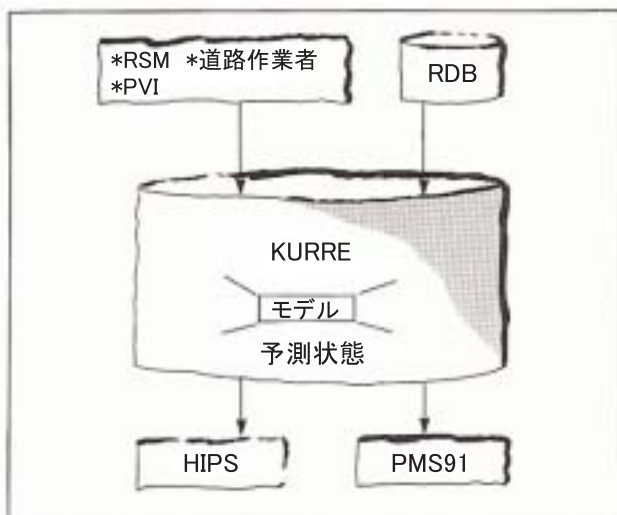


図13 PMSの一部としてのKURRE

(4) HIPS

HIPSはKURREの性状データを利用してネットワーク・レベルでの最適化を行う。わだち掘れ、平坦性、損傷及び支持力を4等級に区分し、道路網全体の性状

分布マトリックスを作成する。その後マルコフ過程に従った遷移確率を用いて分布の変化を予測する。

長期最適化では、管理者と利用者のコストの合計を最小化する性状分布を探し出す。短期最適化では、現在の性状を最適なものにするための改良手法を探し出す。予算制約下で、長期目標達成のために必要な時間や様々な行動水準が与えられる。HIPSは道路網全体の維持管理の戦略的計画に利用される。

(5) PMS91

PMS91はRDB、KURRE、及びHIPSからのデータを使用してプロジェクト・レベルの最適化を行う。道路管理者は性状指標に閾値を設定し、PMS91は区間ごと、年ごとの性状の変化を予測、予測された性状と閾値を比較する。与えられた閾値を超えたときは意思決定規則に合致する補修行動が推奨される。道路管理者はPMS91で年間の舗装プログラムを計画し、また長期の修復の必要性を検証することができる。PMS91はさまざまな行動や時期の効果を検証し、計画が現状の目標にどのように合致するかを評価する手段である。

3 維持管理計画におけるPMSの使用

(1) 目標の設定

維持管理目標は、道路等級別にわだち掘れ、平坦性、損傷を数値化して設定する。これらの数値は、現在の舗装性状と最適な性状、および既知の予算の枠組みに基づいて設定される。

中央官庁は、道路網の最大延長を指定して翌年の目標を定める。年度目標は長期の最適化にあうように設定する。KURREとHIPSはこれらの数値を設定するためのツールである。

地区事務所は所与の制約内で維持管理の目標と対策を設定する。翌年の舗装工事の詳細な事業計画を組み立て、また今後4年間の維持管理の基本計画をまとめる。

(2) 便益

PMSを導入することで、大量の正確な舗装性状データを維持管理・計画業務に使用できるようになる。予測モデルと様々な維持管理効果の評価は正確さを増しており、最適化も有用性の高いものとなってきている。

PMSは、戦略的計画と目標値を設定するための客観的なツールである。これは維持管理スタッフの費用便益意識を高め、それとともに舗装維持管理業務の有効性と費用対効果をも増している。

(文責 石田 樹)