

道路舗装の維持修繕計画支援技術

井原 務・中村 博 康

道路の舗装ストックが増大し、その補修にはコスト縮減の対応策等を考慮した効率的で経済的な維持修繕が求められている。また、これは地方道においても社会的な要請となっており、限られた予算で効果的な維持修繕を実施するため、地域特性にあった舗装管理システムが構築されつつある。本報文では道路舗装の維持修繕計画の支援技術として、舗装の現況調査から破損した舗装の最適な補修工法を提案する技術について述べる。現況調査に用いる路面性状測定車と構造評価を行う Falling Weight Deflectometer, FWD の概要とそれらを用いて修繕工法を提案した事例について記述し、さらに、最近話題となっているアセットマネジメントに関して、舗装におけるそのマネジメントシステムの構築に向けた支援技術についても概説する。

キーワード：舗装，路面性状，FWD，構造評価，維持修繕，アセットマネジメント

1. はじめに

道路ストックの増加とともに、道路利用者の良好な道路交通サービスの提供に対する強い要望を背景に、舗装の維持修繕を中心とする道路保全の役割はますます重要なものとなってきている。一方、維持修繕計画では、社会的な要請となっている工事のコスト縮減対応や補修工事の根拠付けともなる定量的な評価が求められている。

このようなことから株式会社 NIPPO コーポレーションでは、道路舗装の現況調査から破損した舗装の最適な補修工法を提案する維持修繕計画の支援技術を開発した。この技術は、現況調査に非破壊の自動計測装置を導入して迅速化を図り、システム化により補修箇所を選定や優先順位および最適な修繕工法や維持工法等が路面性状や構造的な強さの評価値によって定量的に検討するようになってきている。

本報文は、この支援技術に用いる路面性状測定車と構造評価に用いる FWD (Falling Weight Deflectometer) の概要とそれらを用いて修繕工法を提案した事例について述べる。さらに、最近話題となっているアセットマネジメントに関して、舗装におけるそのマネジメントシステム構築に向けた支援技術についても概説する。

2. 路面性状測定車

(1) 測定車の概要

測定車 (Road Scan: ロードスキャン) はひび割れ、わだち掘れ、縦断凹凸が同時にあるいは個別に測定でき、その主な仕様を表-1 に示す。測定装置は写真-1 に示すように 4t ベース車両に搭載されており、車線幅員が 2.7 m 以上の道路で測定が可能となっている。

測定車の 1 回の走行で測定できる距離は、記録媒体

表-1 測定車の主な仕様

項目	方式	測定範囲	測定間隔	測定精度	計測時の速度	記録媒体
ひび割れ	レーザスキャン法	幅員 4 m	進行方向 4 mm	ひび割れ幅 1 mm 以上を識別	0~85 km/h	ハードディスクへの電子ファイル化
わだち掘れ	レーザ光切断法	幅員 4 m	進行方向 25 cm 横断方向 10 mm	±3 mm (横断プロファイルメータに対して)		
平坦性	レーザ光変位法	外側車輪 1 測線	進行方向 50 mm	±30% (3 m プロファイルメータに対して)		
距離	タイヤ接触式距離計	前進 1 方向	1 mm	±0.5% (鋼尺テープに対して)		
前方映像	カメラによる両像取込み	前方 30 m 前後	10 m	—		
GPS	カーナビタイプ	計測車の位置情報	10 m	10+23 m		



写真-1 測定車の概観

の容量にもよるが、通常、連続測定で180 km程度までとなっている。また、測定車は一般交通車両に混じって測定できる。測定の時間帯としては昼夜間の測定が可能となっている。測定車の人員は運転手（中型免許）と測定装置のオペレータの2名が最小人員であるが、測定区間の起終点の指示や測定区間が複数ある場合などは助手を加えた3名が基本となる。

(2) 測定および評価方法

ひび割れ測定装置は、走行しながら路面にレーザ光線を照射し、その反射光を光センサの検出によって路面の画像をハードディスクに記録する。その記録された路面画像の一例を写真-2に示す。記録されたデータの解析は屋内のひび割れ画像処理装置によりひび割れ率を計算する。

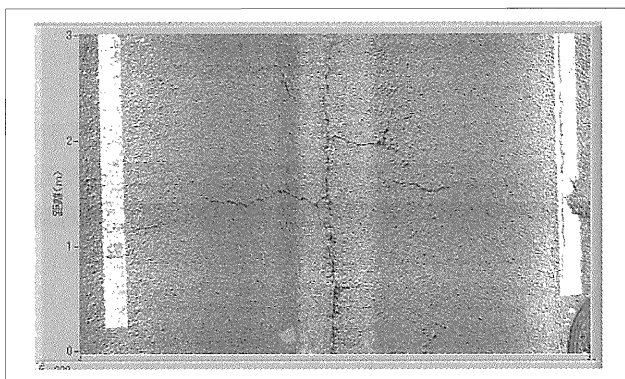


写真-2 路面画像の一例

わだち掘れ測定装置は、図-1の測定原理に示すように走行しながら路面にレーザ光線を照射し、路面に写る反射線をカメラによって、その線の映像を記録する。記録されたデータの解析は屋内のわだち掘れデータ処理装置によりわだち掘れ量を計算する。

平坦性（縦断凹凸）測定装置は、図-2の測定原理に示すように車両の左タイヤの走行位置線上に3個のレーザ変位計によって、路面の高さを記録する。記録

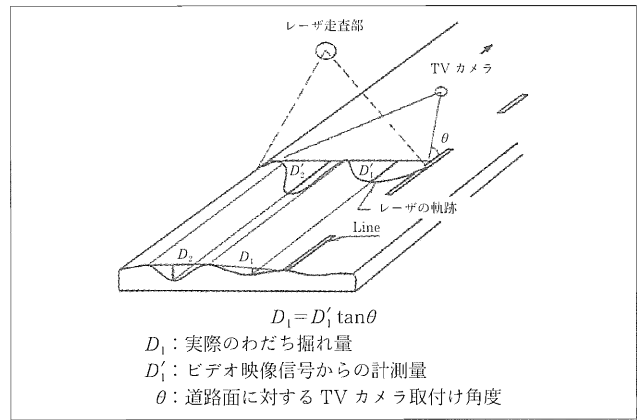


図-1 わだち掘れの測定原理

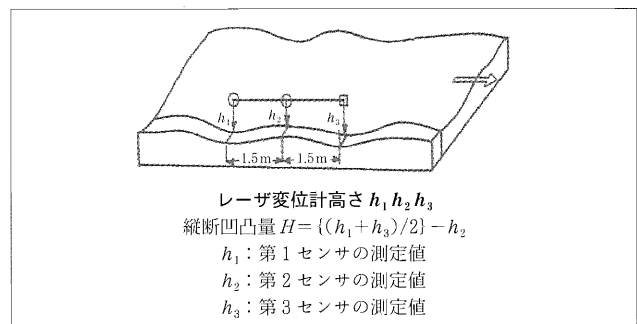


図-2 縦断凹凸量の測定原理

されたデータの解析は屋内の平坦性データ処理装置により縦断凹凸量とその標準偏差を計算する。

路面性状の評価はひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の個別評価の他に総合的評価として、MCI（維持管理指数: Maintenance Control Index)¹⁾あるいはPSI（供用性指数: Present Serviceability Index)²⁾で評価する。

次に、MCIに対しては、表-2の維持修繕基準¹⁾によって修繕の必要な箇所を、PSIに対しては、表-3の対応工法²⁾によっておおよその補修工法を提示している。表-4は、路面性状の測定結果から維持修繕基準および、おおよその補修工法を提示した例である。

表-2 維持修繕基準

MCI	維持修繕基準
3以下	早急に修繕が必要
4以下	修繕が必要である
5以上	望ましい管理水準

表-3 対応工法

PSI	対応工法
3~2.1	表面処理工法
2~1.1	オーバーレイ工法
1~0	打換え工法

表-4 維持修繕基準および補修工法の適用一覧表 (例)

補修工法の適用一覧表														
計測番号		計測距離				計測年月日 2005年 4月 日								
計測場所		計測区間 ○交差点～△交差点				測定者 NIPPOコーポレーション								
路線名 主要地方道○○線														
距離(km)		区間距離 (m)	路面種類	構造物	平坦性 (mm)	わだち掘れ量 (mm)		ひび割れ率 (%)		MCI	維持修繕基準 (MCI)	PSI	補修工法 (PSI)	備考
自	至					平均値	ひび割れ							
0.000	0.100	100.0	AS	B	2.35	2.3	2.4	7.0	望ましい管理水準	3.8	維持	○○橋		
0.100	0.125	25.0	AS	B	1.90	3.3	5.6	6.3	望ましい管理水準	3.5	維持	○○橋		
0.125	0.200	75.0	AS		4.51	14.7	64.8	2.2	早急に修繕が必要	0.8	打換え			
0.200	0.300	100.0	AS		4.39	19.5	53.8	2.2	早急に修繕が必要	0.8	打換え			
0.300	0.400	100.0	AS		4.61	11.3	22.6	4.0	修繕が必要である	2.2	表面処理			
0.400	0.500	100.0	AS		6.05	15.4	11.6	4.3	供用性改善の維持	2.4	表面処理			
0.500	0.600	100.0	AS		5.06	14.5	7.5	4.8	供用性改善の維持	2.8	表面処理			
0.600	0.700	100.0	AS		5.00	17.7	12.9	4.0	修繕が必要である	2.3	表面処理			
0.700	0.750	50.0	AS	B	2.33	5.7	4.9	6.1	望ましい管理水準	3.5	維持	△△橋		
0.750	0.800	50.0	AS		4.71	23.6	13.9	3.4	修繕が必要である	1.8	オーバーレイ			
0.800	0.900	100.0	AS		4.41	19.5	16.3	3.6	修繕が必要である	2.0	表面処理			
0.900	1.000	100.0	AS		4.11	23.9	35.5	2.4	早急に修繕が必要	1.0	打換え			
1.000	1.100	100.0	AS		4.50	18.8	13.9	3.8	修繕が必要である	2.2	表面処理			
1.100	1.200	100.0	AS		3.84	13.8	55.0	2.6	早急に修繕が必要	1.1	オーバーレイ			
1.200	1.300	100.0	AS		3.98	15.5	49.0	2.8	早急に修繕が必要	1.2	オーバーレイ			
1.300	1.400	100.0	AS		4.23	11.6	45.8	3.0	早急に修繕が必要	1.5	オーバーレイ			
1.400	1.500	100.0	AS		4.16	12.8	29.7	3.6	修繕が必要である	1.9	オーバーレイ			
全 区 間					4.13	14.3	26.2	3.9	修繕が必要である	2.0	オーバーレイ			

注) ※印の欄は最後のデータシートのみ記載

3. FWD (Falling Weight Deflectometer)

(1) FWD の概要

FWDは重錘を平板に自由落下させ、このとき路面のたわみ形状を変位計により測定するものである。FWDの構成を図-3に示す。

測定装置は写真-3に示すように車載されており、一連の測定はパソコンの信号により制御される。

たわみ形状の測定は測定位置に停車して行われ、その測定位置の間隔にもよるが、1日8時間稼働で40～50点程度である。また、この測定では交通規制あるいは移動規制が必要である。FWDの人員は運転手(普通免許)と装置のオペレータと測定位置での誘導員の3名である。

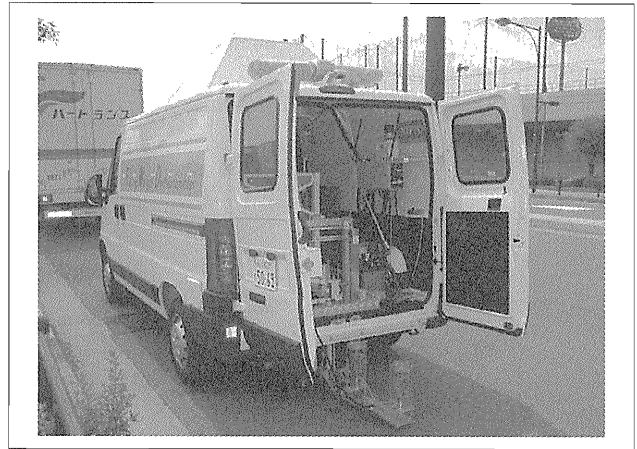


写真-3 FWDの外観

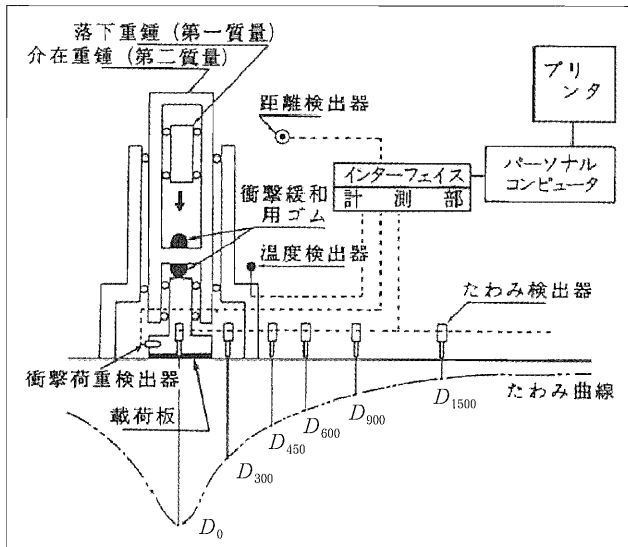


図-3 FWDの構成

(2) 測定および評価方法

路床を含めた舗装各層の支持力(強さ)を評価するには、図-4に示すように載荷荷重に対して、その周辺の路面のたわみ形状を測定することで可能となる。

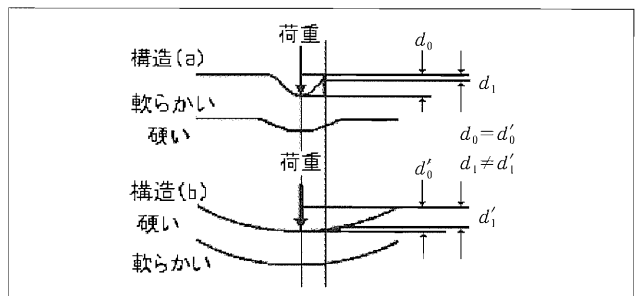


図-4 構造的な強さが異なる舗装のたわみ形状

FWDは、路面上にセットされた直径30cmの平板に重錘落下による荷重(49kN)が載荷され、その載荷によって路面が変形した最大のたわみを測定する。その載荷された荷重は平板上に組込まれた荷重計によ

て測定し、たわみは路面に設置した差動トランスタイプの変位計によって測定する。これらの測定データはフロッピーディスクに記録する。

アスファルト舗装の構造評価は、設計時の等値換算厚 T_A に対応した現況の等値換算厚（残存 T_A ）と路床の支持力指数の CBR（California Bearing Ratio）およびアスファルト層の弾性係数を基本としている。それらの評価は、測定データのたわみから計算式³⁾によって行っている。残存 T_A と路床の CBR の計算式を以下に示す。

$$\text{残存 } T_A \text{ (cm)} = -25.8 \log \{ (D_0 - D_{150}) / 1000 \} + 11.1$$

$$\text{路床 CBR (\%)} = 1000 / D_{150}$$

ここに、 D_0 ：荷重板中心（荷重直下）のたわみ（ μm ）

D_{150} ：荷重板中心（荷重直下）から 150 cm 離れた点のたわみ（ μm ）

構造評価の結果から図-5 に示す補修工法選定例³⁾に従って、構造評価した区間の補修工を提示している。

区間内の MCI を一定のレベル以上に保つための最適な修繕工法を提案した。

(2) 調査結果

路面性状の結果を図-6 に示す。調査区間は、路面性状が不良となっている箇所が 1.6~6 km の区間に多く点在し、MCI の平均が 4.6 となっていた。

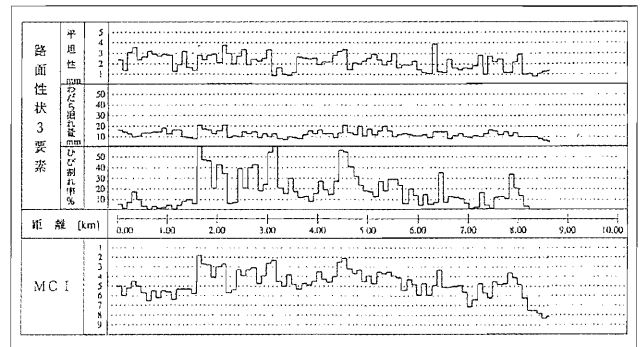


図-6 路面性状の評価結果

路面性状評価の MCI と構造評価の残存 T_A との関係は、図-7 に示すように相関が高い結果となった。この結果は、路面性状が不良で構造評価を行っていない区間についても、MCI から残存 T_A の推定が可能と考えられた。

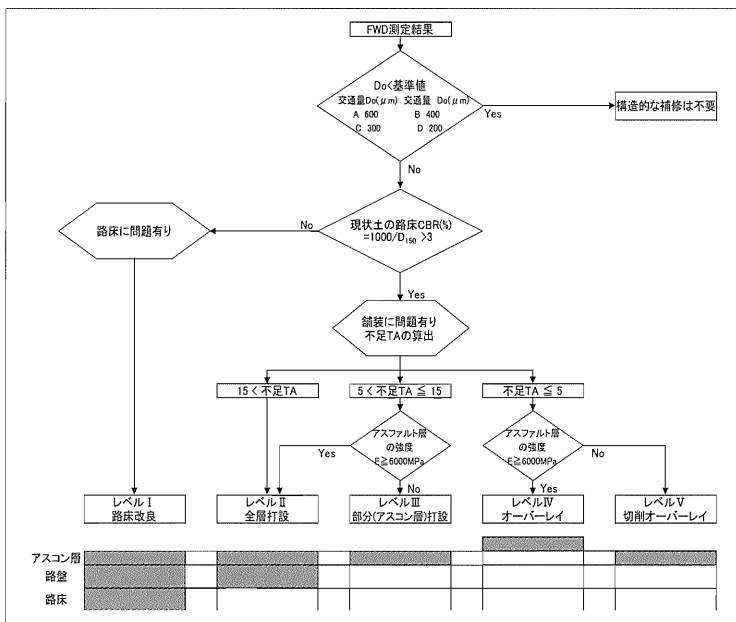


図-5 FWD による補修工法選定例

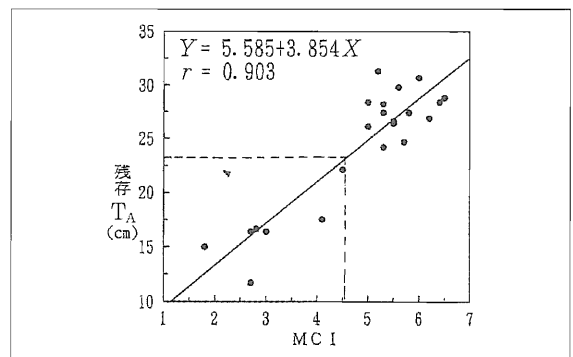


図-7 MCI と残存 T_A の関係

4. 調査事例

(1) 調査概要

調査区間は路線管理延長の 8.6 km の下り走行車線で、大型車交通量が約 2,000 台/日のアスファルト舗装である。

調査は、路面性状測定車により調査区間の路面性状を全線にわたって評価し、その評価結果から選定した 22 区間（1 区間：100 m）を FWD により構造評価を行った。それらの結果から補修工法を提示し、また、舗装のライフサイクルを考慮した経済解析⁴⁾から調査

構造評価から推定した路床の設計 CBR は 12% 程度で、その設計 CBR 12% に対する必要 T_A は 23 cm である。図-7 の結果より修繕が必要となる区間は MCI が 4.5 以下の箇所とした。この値は、一般に用いられている管理水準とほぼ同じ値であることから修繕の判断基準値として妥当なものと判断した。

修繕は、必要 T_A と構造評価の残存 T_A の差から求まる不足 T_A も考慮して提示した。MCI が 3 未満の区間では亀甲状ひび割れの発生と不足 T_A が 6 cm 以上となることから打換え工法を、MCI が 3 以上 4 未満では不足 T_A が約 3 cm 以上となることからオーバーレイ工法を、MCI が 4 以上 4.5 以下では表面処理を補修工法とした。

これらの修繕箇所は調査区間長の30%以上あり、工事コストのかかる打換え工法の箇所はその内の40%となった。本調査では、より効率的な修繕とするため、通常の見直し、入換え等の打換え工法に比べ、建設副産物の発生量や処理費等を低減することができる路上再生路盤工法(Field Recycling Base, FRB)を用いた打換えを提案した。その打換えの断面を図-8に示す。

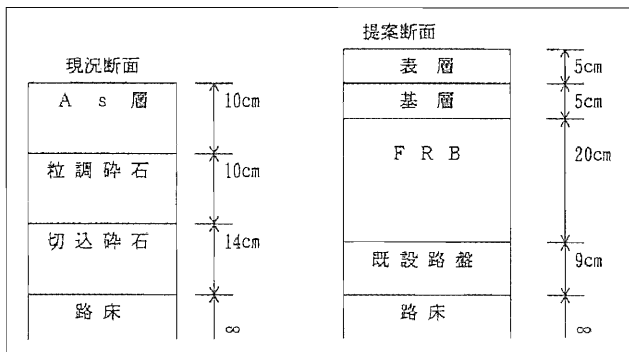


図-8 提案した打換え断面

図-9は、年度毎の補修費用を仮定して、その違いによる経済解析から調査区間内の平均MCIの経年変化で比較したものである。図は年度毎の補修費用を2,000万円あるいは2,500万円として、年度毎に打換えが必要となる箇所を通常の工法で施工した場合とその補修費用を2,000万円として、FRBの打換えで施

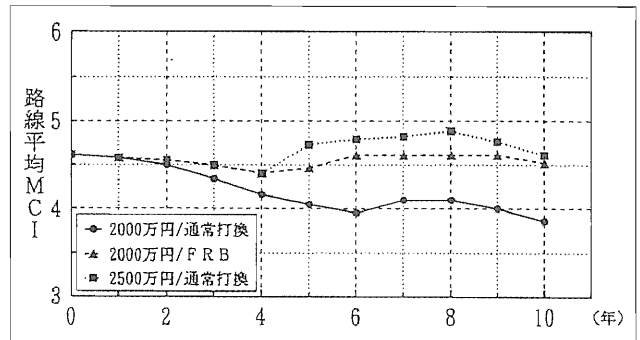


図-9 調査区間内の平均MCIの経年変化

工した場合の結果である。

FRBの打換えを採用する修繕は、年度毎の補修費用が2,000万円調査区間内の平均MCIを4.5で維持管理していくことが可能となる。

一方、その補修費用が同額で通常の打換えによる修繕では3年目以降、平均のMCIが4.5以下になり、補修費用が不足する結果となり、提案したFRBを用いた打換え工法の妥当性を示すことができた。

5. 舗装のアセットマネジメント構築に向けた支援技術

道路舗装では、これまで路面性状を中心としたデータベース等の整備によって維持管理されてきた。近年、

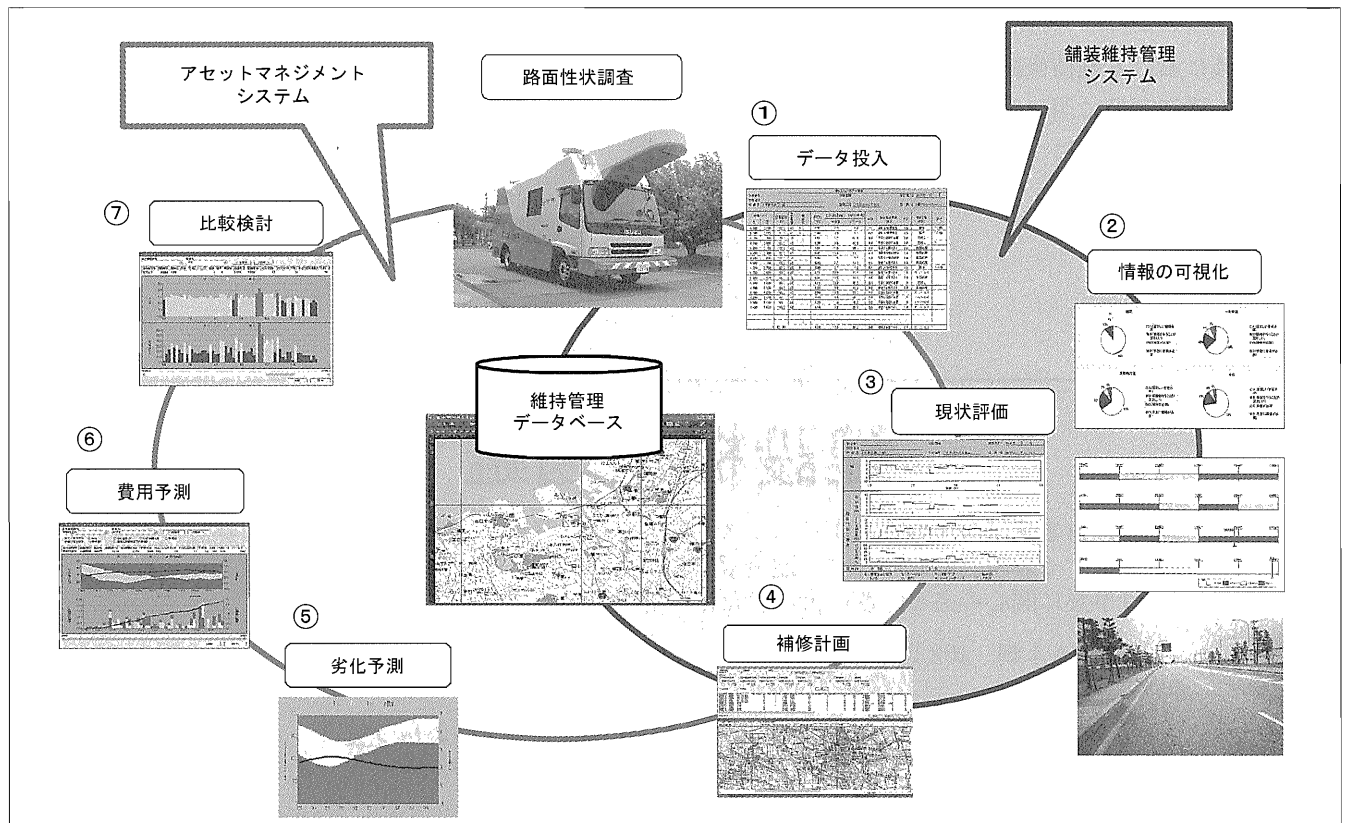


図-10 路面性状データを主なデータとした舗装のアセットマネジメントの構成イメージ

これに加えて健全度評価、ライフサイクルコストの計算、管理目標等の具体的なシステムづくりが、アセットマネジメントの概念の整理と併行して進められている。

図-10は、路面性状調査を主なデータとして舗装のアセットマネジメントの構成イメージを、これまで行われている舗装維持管理システムの構成も含めて示したものである。このアセットマネジメントは、現状の破損した舗装の問題を解決する舗装維持管理（図中の①～④）と、将来の舗装の予測や補修・更新費用の最小化の要素を含めた予防保全型の管理と考えられる。

本支援技術は、このアセットマネジメントシステムの構築あるいは構築後のデータ収集、健全度の評価・予測等に寄与できるものと考えている。路面性状に関しては、測定結果や評価等を地図情報にリンクさせ、データベース化が可能となるマッピング技術を開発した。また、そのデータは汎用ソフトで稼働し、マウスのクリックによりその路線の路面性状結果や概略の補修工法が検索できるものとなっている。

また、FWDによる構造評価と経済解析は、舗装の健全度評価あるいは補修費用予測に用いることで、最適な修繕工法が提示でき、効率的な維持修繕計画を支援することが可能と考えられる。

6. おわりに

道路舗装における維持修繕計画の支援技術として、路面性状と構造評価に用いる測定装置の概要と最適な修繕工を提案した事例について紹介した。

道路舗装を取巻く環境は、道路予算の漸減と共に厳しい状況にあり、より効率的な維持修繕が望まれている。短期的には舗装の延命策としての予防的な補修が、中期的には前述したアセットマネジメントシステム構築が検討されている。

本支援技術においては、時代のニーズにあったものに改良して行く必要があると考えている。今後は、アセットマネジメントシステムを考慮して、その構成要素毎に対応した具体的な技術を開発整備する予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 社団法人土木学会「舗装工学」編集委員会：舗装工学，pp.302-307，丸善，1995.2
- 2) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱，社団法人日本道路協会，p.67，1982.7
- 3) 財団法人道路保全技術センター：活用しよう！FWD，財団法人道路保全技術センター，pp.19-36，2005.3
- 4) 井原 務，田中俊弘，村上 浩：最適修繕工法提案システムの開発，道路建設，No.600，1月号，pp.58-63，1998.1

【筆者紹介】



井原 務（いはら つとむ）
株式会社 NIPPO コーポレーション
技術研究所
研究第三室長



中村 博康（なかむら ひろやす）
株式会社 NIPPO コーポレーション
技術研究所
研究第三グループ
研究員

建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館） Tel.03(3433)1501 Fax.03(3432)0289