

[論文]

保全情報精緻化を目指した舗装支援システムの提案

草野成一[†], 山崎元也[‡], 堀 隆一^{††}, 保田敬一^{‡‡}

要旨

突発的な損傷対応の増加に対応していくためには、現在の保全計画を更に精緻化して、改良計画の精度を向上していく必要がある。本研究では、定期的な路面性状調査結果から現状分析を行い、保全計画精緻化のためのフレームワークを構築した。そして、道路構造体やその他損傷要因となりうるデータを JHDM に準拠した舗装保全情報データモデルとして検討した。そのデータを用いて舗装支援システムを構築し、従来の路面損傷評価手法（管理水準）による修繕計画箇所以外で、日常点検において発見される構造的な路面損傷箇所についての損傷原因究明やデータ分析を行うための機能を検討・検証する。

Abstract

In this study, we performed present conditions analysis from periodical road surface property findings and built a framework for minute maintenance plan. And we examined a road structure body and the data which, in addition, could become the damage factor as pavement maintenance information data model based on JHDM. We developed a pavement support system with the data, and any place other than a repair place of maintenance plan by the conventional road surface damage evaluation technique of management standard, examination inspects a function to perform the damage cause investigation about a structural road surface damage place discovered in check every day and data analysis.

1 はじめに

現在、新道路会社では、道路の保全事業を効率的かつ計画的に実施するために、道路保全情報システム（Road Maintenance Information Management System:以下、RIMS と略す）をデータ基盤として、総合保全マネジメント（Advanced Road Maintenance Management Method : 以下、ARM3 と略す）を構築中であ

る。すなわち、新道路会社では、道路保全データを用いて保全業務を効率化するシステムである RIMS を構築し、ARM3 を用いて効果的かつ効率的な道路事業運営を行うことを目指している（図 1 参照^[1]）。一方、老朽化路線を抱える各保全サービスセンターでは、日々の道路管理において突発的な道路損傷の対応が年々増加する傾向にあり、保全サービスセンターは安全を最優先とした緊急対応を実施せざるをえない状況である。このため、計画的に策定された事業費を前倒して補修を実施しており、計画的な事業執行に与える影響も増大している。特に舗装事業に関しては、日常点検により発見する突発的な路面陥没やポットホールが発生により、計画的な舗装改良費が緊急舗装補修費に圧迫されており、予算と実績に計画不整合を生じてしまい、事業の平準化を目指すためには大きな課題となっている。

これらの状況を踏まえ、道路構造物の状況と整合した計画的な保全管理を実現していくために、現状を把握し、既存データ及び過去データ

Pavement Supporting System for Minute Maintenance Information

Seiichi Kusano[†], Motoya Yamasaki[‡],

Ryuichi Hori³, Keiichi Yasuda⁴

[†] Central Nippon Expressway Co., Ltd.

[‡] Tokyo University of Agriculture

^{††} Central Nippon Highway Engineering

Tokyo Co., Ltd.

^{‡‡} NEWJEC Inc., Road Group

[論文] 2008 年 08 月 15 日受付

© 情報システム学会

総合保全マネジメント (ARM3)

道路保全情報システム (RIMS)

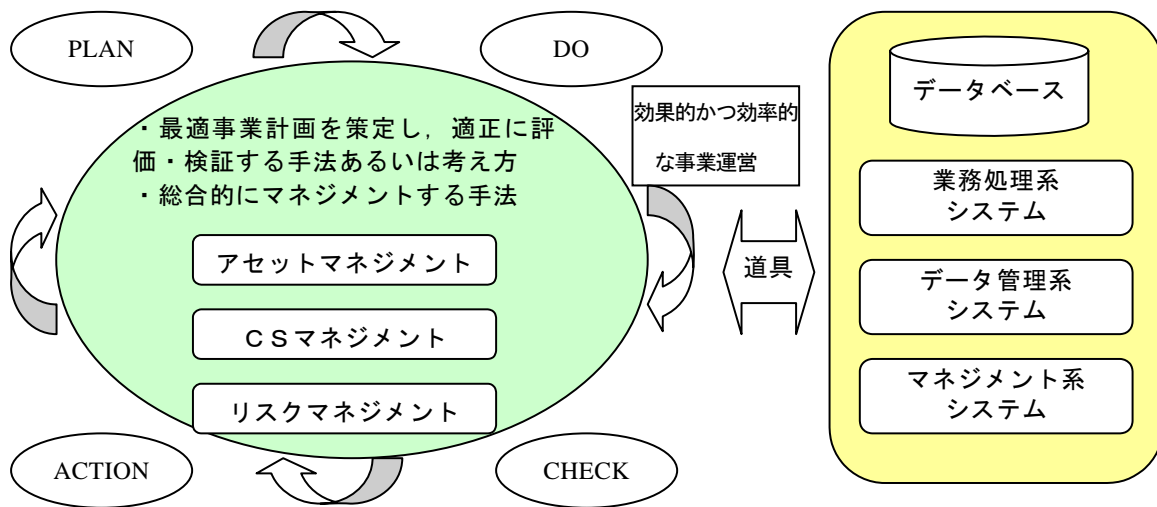


図1 ARM3概念図とRIMSの関係

を用いて分析し、現在の保全計画、すなわち、RIMSをデータ基盤としたARM3の考え方をさらに精緻化して、改良計画の精度を向上することを検討した。

道路管理平面図に保全情報である属性情報や付帯情報などをリンクさせて業務支援に有効なプロトタイプシステムを構築した事例はこれまでに数例あるが^{[2][3]}、後述するJHDMなどの既往データモデルとの連携不足、急増する突発損傷への対応遅れ、道路構造物の管理を評価するための評価指標 (Key Performance Indicator : 以下、KPIと略す) などへの対応遅れ、損傷原因の究明、様々な解析を可能にするための図面管理・運用による維持管理業務の効率化のための機能向上、単体の路面プロファイルの比較だけでは発見できないような複合的な要因の損傷発見などには対応ができていなかった。

そこで、本研究では、まず定期的な路面性状調査結果から現状分析を行った結果をもとに、保全計画精緻化のフレームワーク (RIMSとARM3との関係) を分析・提案する。次に、道路構造物やその他損傷要因となりうるデータをJHDM (Japan-Highway Data Model) ^[4]に準拠した舗装保全情報データモデルとして検討する。ここで、道路保全情報データモデルとは、

幾何構造および道路構造情報、付帯する属性情報を統合したデータモデルを指し、JHDMはその一例である。そして、そのデータを本研究にて構築する舗装支援システム (Pavement Supporting System ; 以下、PSSと略す) に用いて、日常点検において発見される構造的な路面損傷箇所についての損傷原因究明やデータ分析を行う機能を検討・検証する。さらに、損傷予測の可能性を追及し、新たな管理水準等で補修工法の選択、補修計画の立案を実施することによる保全計画の高度な現地支援を提案する。

2 保全計画の精緻化

保全計画の精緻化は、次の2.1から2.3に示す考え方に立脚して実施した。

2.1 評価指標の設定

KPIは路線特性や建設条件、経年数、改良前の状態 (点検・調査) 等構造物により異なる。このため、個々の道路構造物の管理単位ごとに標準のKPIによる評価に加え、新たなKPIを設定し、各KPI評価の度合いについて重み付けのシミュレーションを行って、その道路構造物に最も適した計画となるようデータマイニングを行っていく評価手法を採用する。

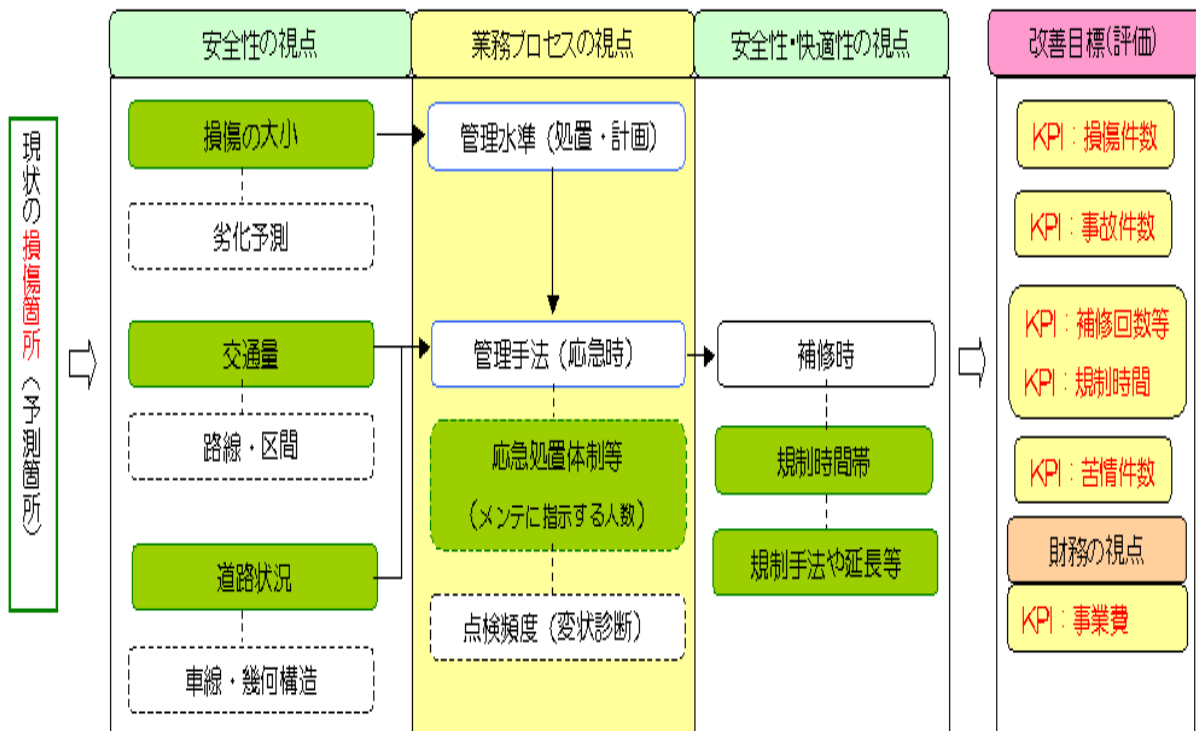


図2 改善目標を評価する KPI の検討

2.2 システム支援

舗装をはじめ、道路構造物の補修についても、新工法を含む採用可能な補修工法を検討し、工法毎の中長期的ライフサイクルコスト (Life Cycle Cost : 以下、LCC と略す) について一時的なコストパフォーマンスよりもより恒久的なコストパフォーマンスを視野に入れたトータルの計画を実施できるようにシステム支援する。

2.3 改善目標の達成状況を評価する KPI の検討

年度単位で計画不整合となった損傷箇所について応急処置に要した回数や路面緊急補修に伴う交通規制回数及び事業費を把握し、これらを数値化することによって、改善目標の達成状況を評価する KPI を設定する。最適な舗装の KPI は、単純に数値化した指標値を個々に評価するだけではなく、安全性の視点、業務プロセスの視点、快適性の視点から路線・区間における路面損傷状況、補修状況、現在及び過去の調査結果、道路保全環境 (縦横断線形、勾配、気象特性等) の分析等から得られた現在の路面状況と複数の指標と組み合わせたパターンを作成し、指標値を左右する各要素 (効果的な箇所) を把

表 1 日常点検による車線別路面損傷件数

損傷項目	ボンピング	ひびわれ	ポットホール	陥没	わだち掘れ	車線別計
車線区分						
上り第一(走行)	24	54	7	77	12	174
上り第二(走行)	2	8	3	53	12	78
上り(追越)	0	23	1	14	5	43
下り第一(走行)	2	74	133	1	30	240
下り第二(走行)	0	0	3	9	3	15
下り(追越)	0	20	0	9	9	38
下り走行(別ルート)	0	6	3	0	9	18
下り追越(別ルート)	0	2	1	0	1	4
合計	28	187	151	163	81	610

表 2 路面管理水準

PMS路面損傷評価項目(単位)	管理水準
わだち (mm)	25mm以上
ひびわれ (%)	20%以上
* IRI (mm)	3.5mm/m以上
すべり μ (V)	0.25以下

* IRI(International Roughness Index): 舗装路面における平坦性の管理指標として世界銀行が開発した国際ラフネス指数

握し、事業効果を予測し計画を立案できるようにする。改善目標の達成状況を評価する KPI の検討を図 2 に示す。

3 舗装計画の精緻化に向けた検討の事例

日本の高速道路のうち供用から 30 年以上を経過した老朽化路線の舗装では、供用中の施工条件の悪中で繰り返される補修改良工事により、舗装計画の精緻化が必要となってきた。また、密粒舗装から高機能舗装への施工に伴い、突発的な路面陥没、ポットホール、局部わだちなどの損傷発生が増加しており、問題となっている。これらの問題点に関して具体的に損傷分

析を行った事例を示すと共に、現在、修繕計画に用いられている舗装マネジメントシステム (Pavement management System: 以下、PMS と略す) は、前述の RIMS の持っている機能の一部であり、定期的な路面性状調査の結果より増加量を算出し、予測係数を用いてシミュレーションすることで年度修繕箇所を抽出している。更に有効活用することによって損傷予測が可能かどうかを検討した。

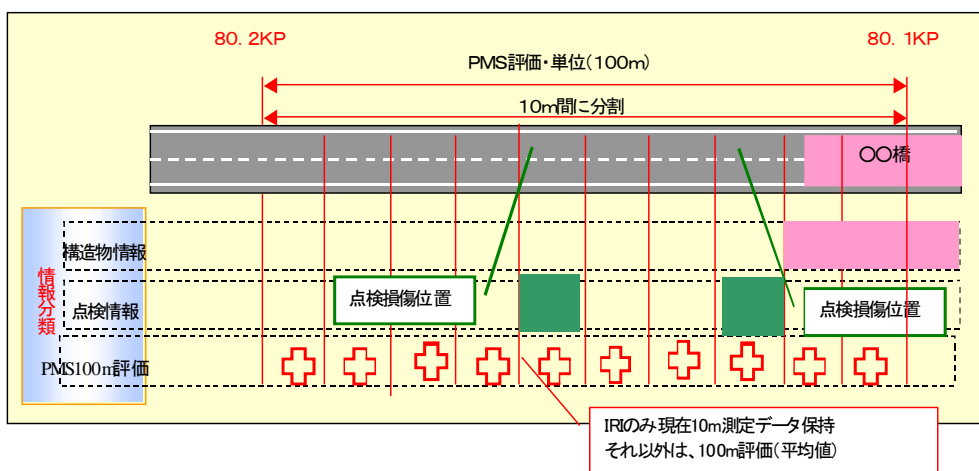


図3 点検損傷位置と路面性状測定評価の突合せ

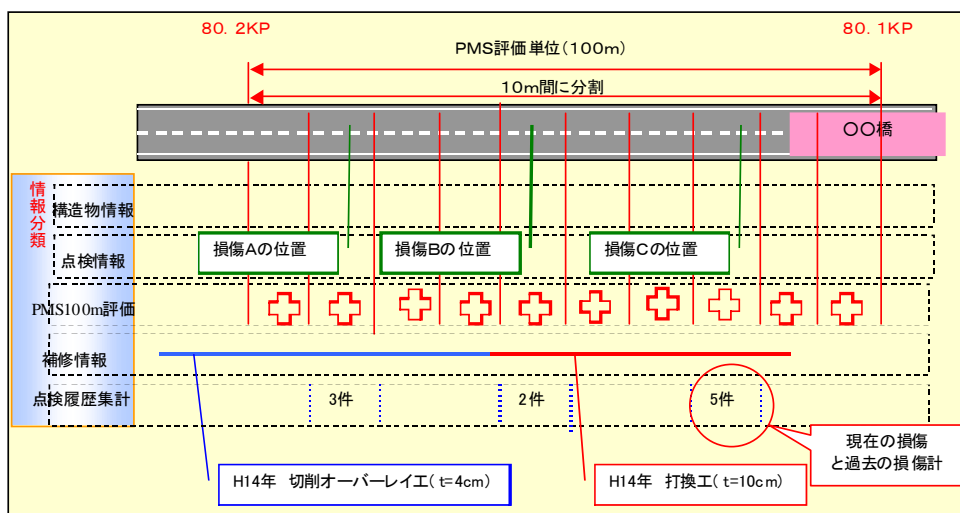


図4 点検損傷履歴による FWD 調査選定

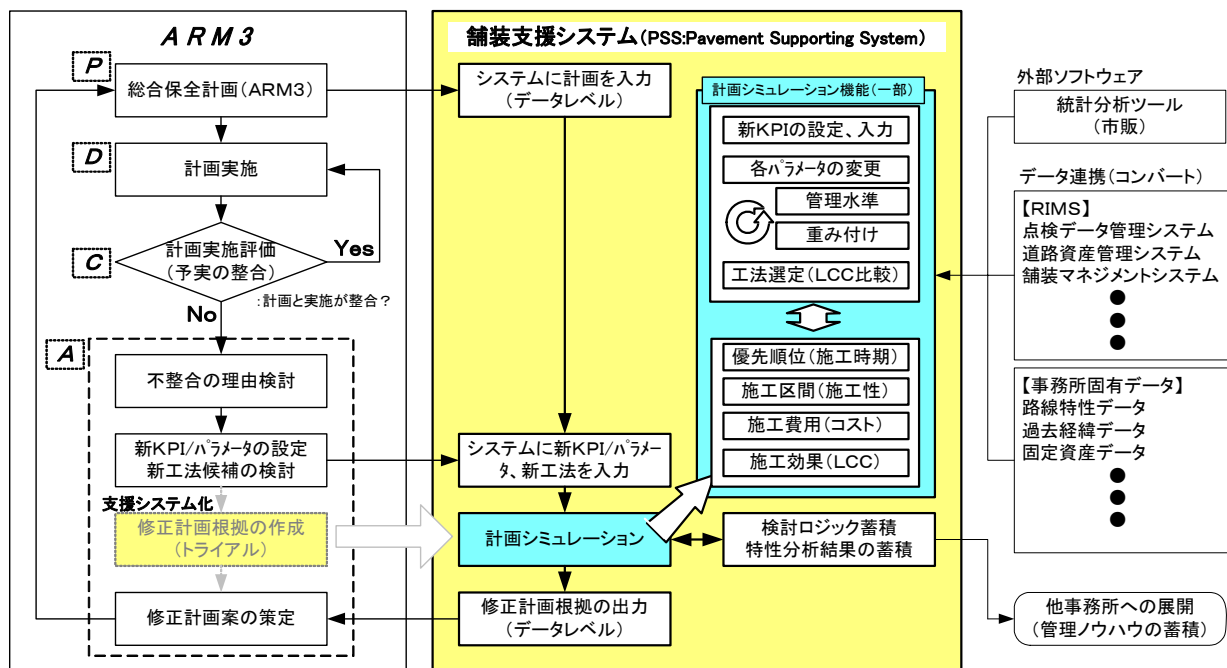


図5 舗装支援システムによる保全計画精緻化 (PDCA サイクル) のフレームワーク

3.1 損傷分類における路面状況の把握

平成 16 年度の点検結果より、どのような損傷が発生しているか分類を行った。また、変状診断 (経歴関連データ) から損傷の変化などが掴めるか整理を行ったところ、突発的な損傷において、構造的損傷 (陥没) に起因する損傷分類はポンピング, ポットホール, ひびわれ, 陥没, わだち掘れであった。その他のはがれや段差などの損傷分類は今のところ陥没まで至っていない。表 1 に構造的損傷に起因する損傷件数を車線別にとりまとめた。

3.2 点検損傷分類 (損傷発生箇所) と PMS ひびわれ評価との関係

16 年度路面性状測定調査以降の点検損傷データと PMS 測定評価データ及び構造物位置情報を 10m 範囲で整理し、データ突合せを行い、点検による路面損傷発見箇所と PMS ひびわれ評価との関係を把握した。なお、損傷データの内、橋梁真上の損傷 (段差及びポットホールなど床版との因果関係がある損傷), トンネル内のコンクリート舗装損傷は分析データより除外し一般土工部を対象とした。

PMS での修繕計画策定可能な箇所は、表 2 の路面管理水準により、100m 単位の面的評価

であるため、局所的な損傷の評価はできない。よって、現状では、点検の損傷箇所に対して約 30%しか修繕計画の策定が出来ていないのが問題であることが判明した。将来的には、点検損傷箇所から、図 3 のように 100m 平均評価単位を算出する前の 10m 単位または 1m 単位で管理し、過年度路面性状実測データと劣化進行量等が把握できる仕組みも必要であると考え。

3.3 FWD(Falling Weight Deflect meters)調査箇所選定 (案) と情報活用

前項において、路面性状測定の結果が問題ない箇所でも構造的損傷が発生しているため、路面性状測定調査の他、舗装健全度調査 (FWD 調査) を実施している。例えば、ある 100m 間隔 (キロポスト [Kilometers Post : 以下 KP と略す] 間) の中で発見した損傷が複数点に在している場合、その場所を含む前回の補修範囲と対策工を把握し、その 100m ブロック内の過去の点検損傷履歴件数、路面性状調査値と前述で把握すべき劣化量、補修対策 (施工年月日, 施工厚さ) を調べ、これらの情報から調査地点の選定をする必要があるといえる。将来的には図 4 に示す新たな管理水準の追求が必要であると考え。

4 保全計画精緻化のフレームワーク

舗装計画の精緻化を行い、検討の事例のような損傷分析を継続的にまた効率的に行うためには、以下に示す取り組みが必要であると考えた。

4.1 保全計画精緻化のためのシステム導入

精度の高い保全計画の立案は、長期的な視点でかつ日々変化する現地状況に対しても計画の修正に即時に対応していくことが求められる。しかし、精度の高い計画の立案は非常に労力と時間を要し、また、わずかな変更も計画全体に影響するため人的対応には限界がある。このため、データの作成・蓄積・管理から分析の支援までを行う舗装支援システム（PSS）の導入が有効であると考えた。

4.2 組織連携を踏まえた PDCA サイクルの確立

ARM3 においては、総合的な保全計画を策定し、計画の実施及びその評価を行い、評価に基づく修正計画の策定を実施する PDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを確立して継続的な保全管理を実施していくとしている。その中で特に損傷分析からの修正計画の策定は多くの担当組織のデータをもとに多面的な分析が必要であることから非常に労力を要するところである。また、検討で得られた貴重な損傷メカニズム等は他の事務所においても活用可能であると考えられ、情報共有の観点も必要となると考えられる。

以上、PDCA サイクルを踏まえた保全計画精緻化のフレームワークを図5に示す。図5において、左側の実線で囲った新フレームワークが ARM3 であり、中央部分の実線で囲って着色している部分が本研究で構築した PSS のシステム構成（機能）で、お互いの関係を示している。図1に示すように、これまでは ARM3 と RIMS との関係であったが、RIMS 中の PMS を改良するよりも中間に新しく PSS を構築する方が効率的との判断で、結果、上位計画の ARM3 とのやりとりも容易になった。また、RIMS からのデータ変換や各管理事務所が固有で保有しているデータとの連携も可能になっている。図5中、検討ロジック蓄積や特性分析結果の蓄積

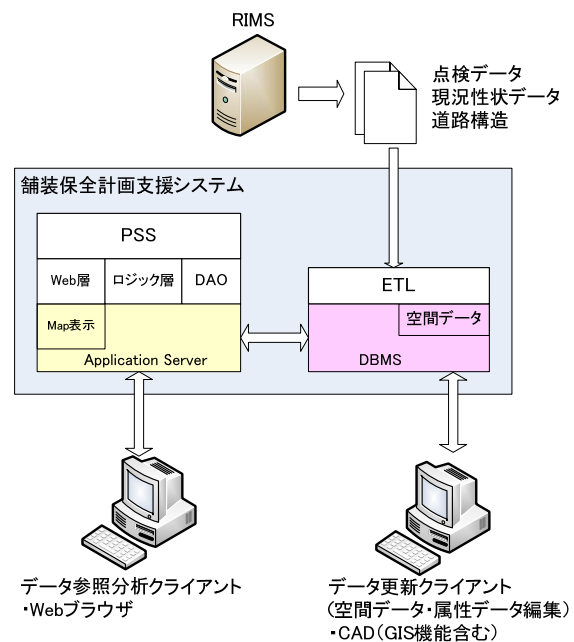


図6 システム構成図

は条件を変えるだけで他の事務所への展開が容易になるため、PSS の必要機能としてサポートしている。本研究で構築した PSS の特徴は、ARM3 と連動したシステムという点であり、また、KPI を変更することによる計画シミュレーションが可能になった点である。

5 舗装支援システムの構築

5.1 舗装支援システムの要件

これまでに述べてきた保全計画の精緻化を実施するためには、RIMS に格納されている点検データや路面性状データなどを用いて表計算などにより計算する手法では多大な労力と時間を要し、計画の修正等を手作業で実施することには限界がある。このため、道路構造物（オブジェクト）単位でのデータ管理を行い、計画の修正及び新たな KPI の設定、統計分析、重み付け、シミュレーション等の機能を有するシステムが要求される。ここで必要となるデータベースには、道路構造物単位に関係するすべての種類のデータを活用可能なオブジェクト指向型データベース構造が求められる。また、データベースは業務に特化した構造とせず、道路構造そのものをモデル化したオブジェクト指向の再利用性の高いデータベース構造モデルの採用が不可欠

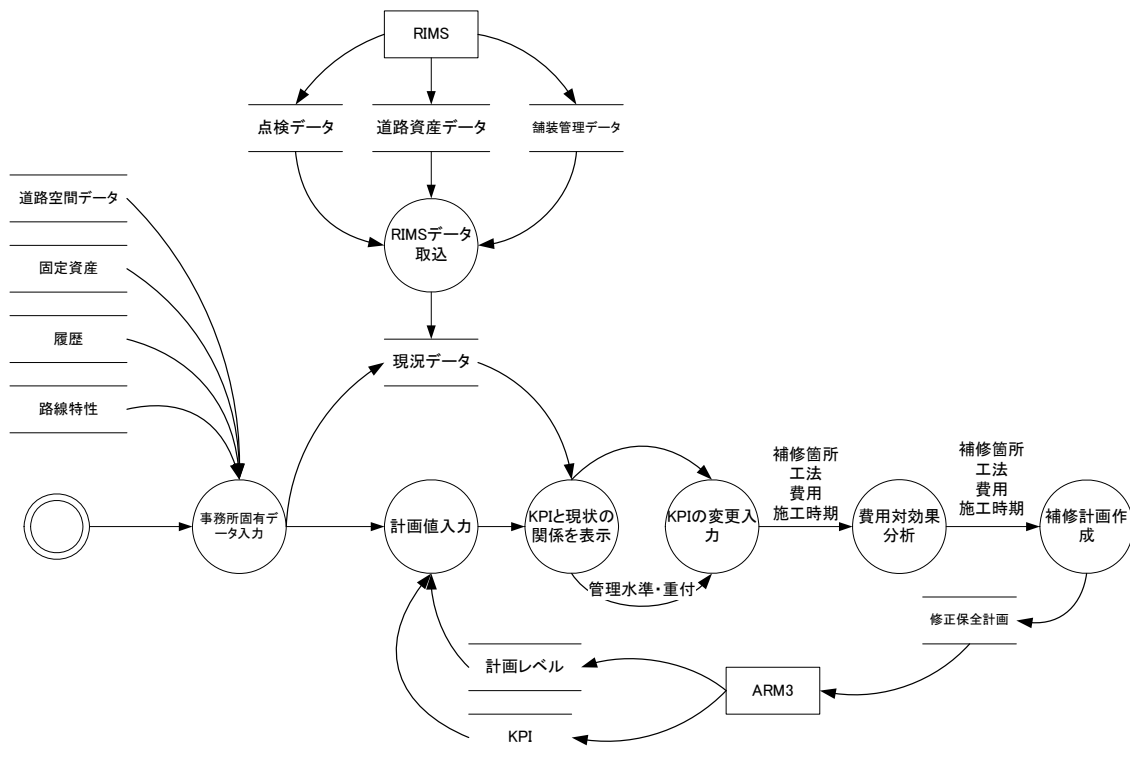


図7 論理的データ構造とプロセス

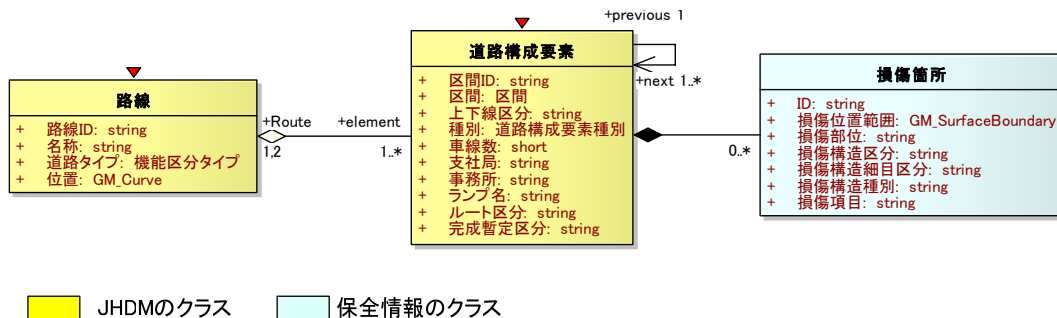


図8 拡張クラスの例

である。現在、道路構造をモデルとしたオブジェクト指向型データベースとして、JHDMを提案している。

本研究で舗装支援システムの要件として取り上げたのは、(a)複数の路面プロファイル表示と比較ができる機能で、複合的要因による損傷発見に効果があること、(b)修繕計画シミュレーション機能（年度ごとの補修区間表示）、(c)損傷の分析に使用したデータは条件を変えれば他の管理事務所での使用が可能となるため、分析に関わるパラメータ等の履歴管理機能、(d)データの加工・編集機能（損傷の傾向や相関図等の作成に使用するためにデータの出力ができること）である。

5.2 舗装支援システムの概要

舗装支援システムの概要は以下のとおりである。

5.2.1 全体システム構成

主なシステムの構成は、モデル化したデータを格納するための「データ蓄積基盤」と、そのデータを閲覧するための「情報表示手段」からなる。

舗装支援システムでは、路面プロファイル(路面損傷、FWD、すべり等)の判定基準値を変更したときの補修対象箇所の計算を自動で行う仕組みを備え、シミュレーション結果から、補修で使用される工法と作業単価により総事業費が計算可能である。すなわち、アウトプットとし

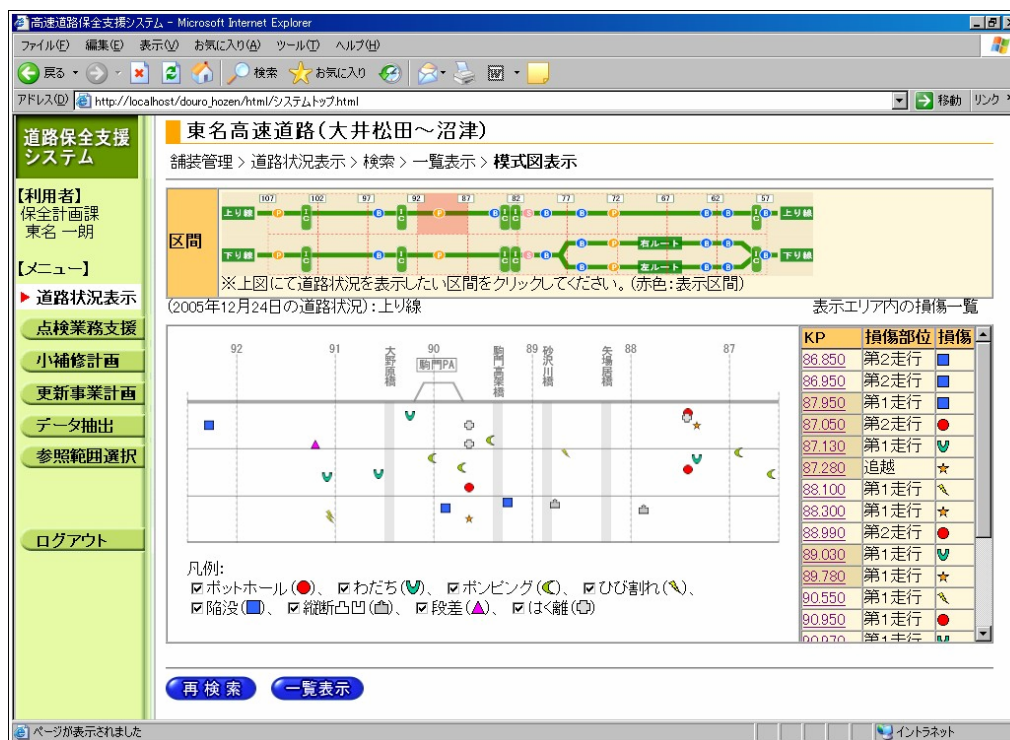


図9 複数の路面プロファイル表示および点検損傷データ道路模式図への取り込み例

て必要な修繕範囲が明示されるため、工法を指定すれば作業単価をかけることで事業費が算定される。このシミュレーションによって、どんな評価指標と関連しているか、また、その評価指標の基準値の策定が行える。また、コスト最適化の観点から、評価指標の基準値を変えて複数のシミュレーションを行うことで、限られた予算内での適切な事業費の執行を実現する。

システム構成図を図6に示す。図6に示すように、システム構成としてはWeb方式による3階層構造とし、データベースには、上位システムとのデータ連携及び空間情報を扱えるDBMSを採用した。また、論理的データ構造やデータとプロセスとの関係を図7に示す。

5.2.2 データ蓄積基盤の定義

舗装計画支援のためには、既存のJHDMとして定義されたデータモデル（道路設計時の道路幾何構造を表現したモデル；以後「幾何構造モデル」と表現する）とは別に、「保全情報」に関するデータモデルを集めたパッケージ群「保全情報パッケージ」を新たに定義した。「保全情報パッケージ」とは、舗装だけでなく、保全業

務全般で通用する考え方に基づきモデル化を行い、各種の構造物や舗装の現況、修繕情報、点検情報や、保全業務そのものの情報等のモデル化を行ったパッケージ群である。その他に、保全での情報管理の基準となるKPのデータを格納する拡張クラスを定義した。これにより、情報のKPとのリンクを可能とした。図8に拡張クラスの例を載せる。

5.2.3 情報表示手段

舗装計画支援のために、図9に示すような複数の路面プロファイルの比較ができるインターフェースを備えることで、単体の路面プロファイルの比較からはなかなか気づきにくいような複合的な要因の損傷発見に効果を発揮する。

5.3 舗装支援システムの機能

舗装の保全計画の精緻化を行うために、舗装支援システムに必要な機能は以下のとおりである。

5.3.1 データ入出力機能

舗装支援システムに必要なほとんどのデータはRIMSにより生成される。このため、RIMS

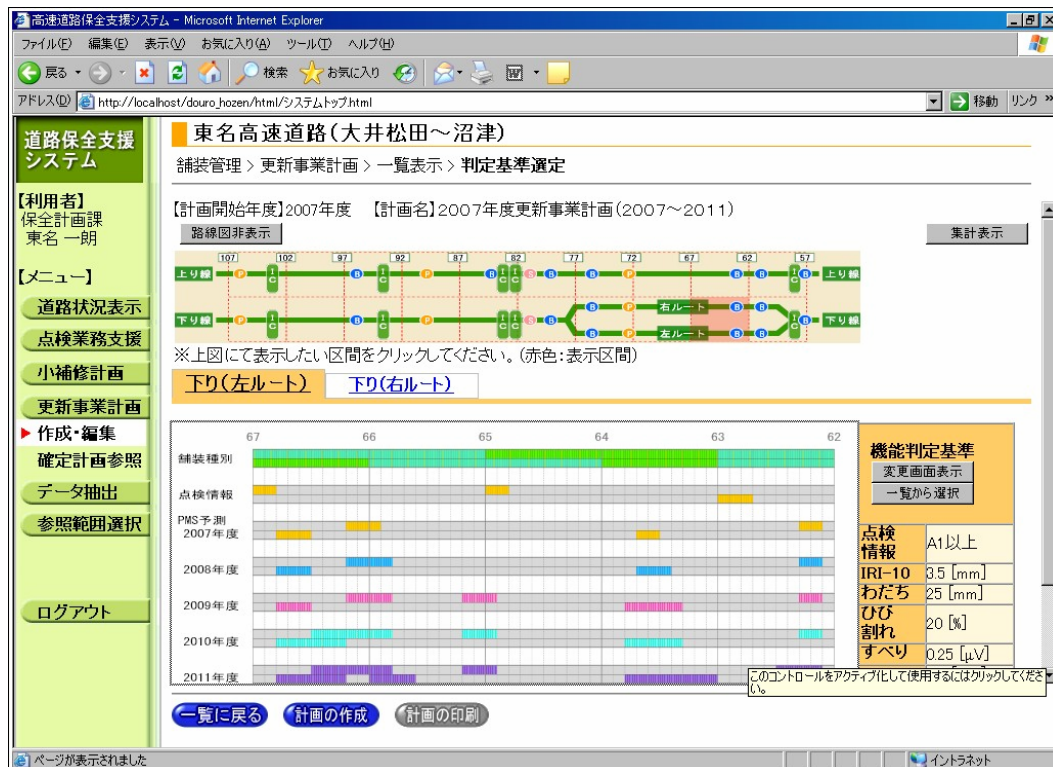


図 10 管理水準による点検損傷箇所と PMS 舗装修繕 5 ヶ年計画例

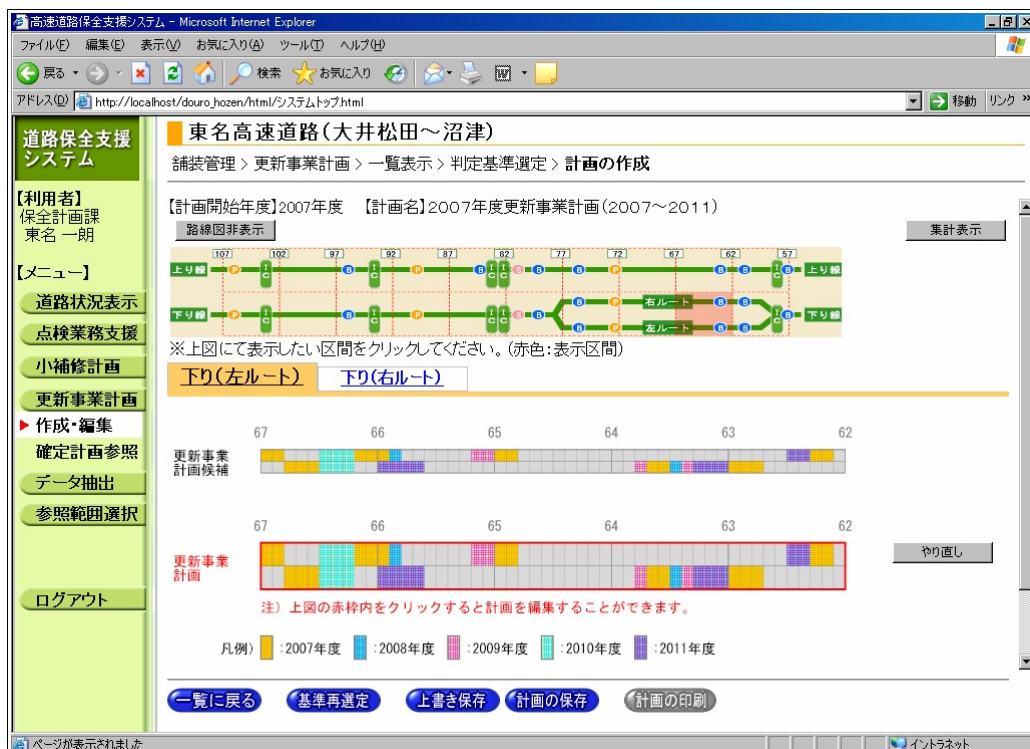


図 11 舗装修繕 5 ヶ年計画平面表示例

から PSS へのデータ移行を行う機能を実現した。

5.3.2 データ管理機能

データは継続的に管理されなければならない。このため、RIMS から移行されたデータや損傷

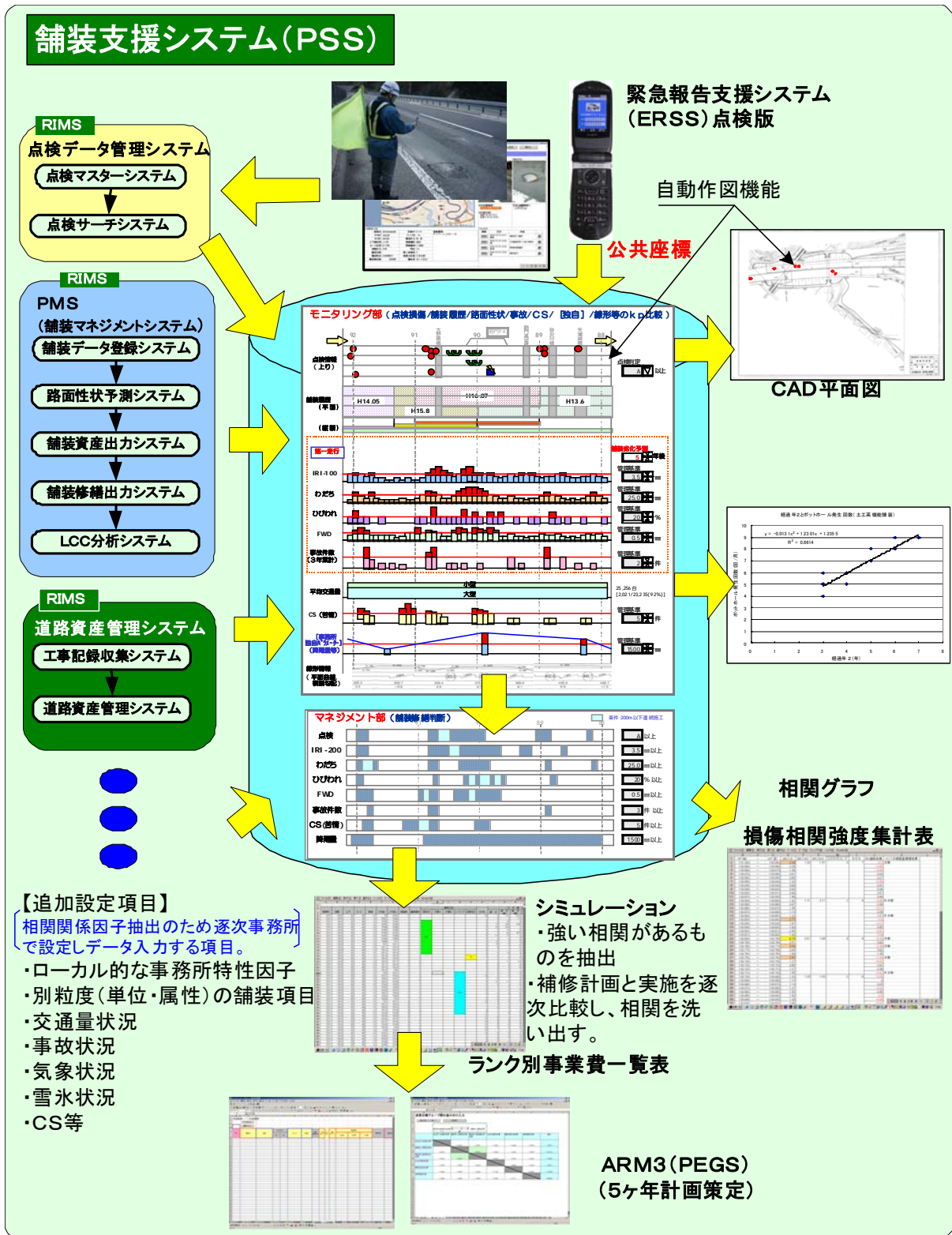


図 12 舗装支援システムの機能

分析に使用したパラメータなどのログを管理する機能を実現した (図 10, 図 11 参照)。図 10 および図 11 は舗装修繕 5 年計画の表示例であるが、パラメータを変更した場合の計画の保

存ができるようになっている。

5.3.3 データ編集加工機能

シミュレーションの実施など、データそのものを編集加工し、利用する場合があるため、編

集加工の機能を実現した。

5.3.4 データ出力機能

データ出力は、損傷分析における CAD (Computer Aided Design) 損傷位置図から、相関図等のシミュレーション結果、あるいは ARM3 そのものを編集加工し利用する場合があるため、データ出力機能を実現した (図 12 参照)。

図 12「舗装支援システムの機能」の表示内容については、日常点検による路面損傷箇所を点検損傷判定ランクにより損傷箇所の抽出が可能であり、路面性状測定調査におけるわだち、ひびわれ、IRI 等の損傷項目の管理水準による損傷箇所や損傷予測箇所及び損傷値を表示することによって、路面状況を把握することが可能である。また、点検によるポットホールやポンピングや局部わだちなどの損傷データと路面性状測定による各損傷値や道路資産データにおける道路構造区分データを用いて、路面損傷の要因を相関グラフなどによって、追究するとともに管理基準の検証を行っていくことが可能となる。

5.4 システム機能の検証

RIMS からのデータ移行を行うことで、図 9 に示すように、複数の路面プロファイルの表示が可能になった。この機能は管理者からのニーズにも合致しており、各 KP をクリックしてうまく表示することを確認している。

また、データを再利用する場合の表示画面を使ったり、別途構築したデータ出力機能を用いることでシミュレーションや集計、相関グラフ作成へのデータ移行などがスムーズにできるようになる (図 12 参照)。

相関グラフや集計表、シミュレーション用データ出力もうまく機能することを確認している。さらに、KP ごとの点検損傷箇所および修繕計画も図 10 および図 11 のように、うまく表示されることを確認している。これらの画面はプロトタイプ構築手法により、利用者意見を反映して数回修正を行っている。

6 おわりに

本研究は、舗装を対象にして保全計画の精緻化に向けた検討方法や運用方法及びシステム化

について検討・整理した。具体的には、保全計画精緻化のためのフレームワークの構築、JHDM に準拠した舗装保全情報データモデルの検討、舗装支援システムの機能検討およびプロトタイプの構築・検証である。

ARM3 ではその他橋梁やトンネルといった構造物の管理や維持作業についても計画的な保全管理の実施を検討している。これらについても、舗装支援システムと同様に新たなデータとの相関や KPI の設定による精緻化が必要であると考えられる。保全管理の現場では、舗装に見られるようにそれぞれの構造物固有の条件 (施工方法、時期、線形や勾配、気候、過去の補修や等) による損傷ロジックが存在し、一つとして同様な構造物はない。このため標準的なロジックでの計画では誤差が大きく適正な管理が難しい。

今後は、高機能舗装の損傷特徴を考慮した縦横断線形の把握を含むデータの定義管理や継続的なデータ蓄積管理、支援システムの効率的な改善を実施する継続的な運用体制を整えつつ、個々の保全管理対象に対し技術的な根拠を追求し、新たな保全計画立案技術を確立していく事が重要であると考えられる。

また、本研究で用いた舗装関連データは、一部の現場事務所から収集し損傷状況を把握したが、今後は、全ての事務所データを収集し、供用年数や交通量及びデータ蓄積量を考慮し、同様に整理した上、地域特性を考慮した管理手法や管理水準の追求を行う必要があると考える。謝辞：今回の研究にあたり、NEXCO (Nippon Expressway Company Limited) 中日本高速道路株式会社御殿場保全サービスセンターからデータ等の提供を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 東日本高速道路株式会社：高速自動車国道北海道縦貫自動車道函館名寄線等 (他 1 路線) に関する維持、修繕その他の管理の報告書, p.27, 2007.7.
- [2] 保田敬一, 追野京哉, 山崎元也, “属性図面付道路管理図面の電子プロトタイプシステムの構築”, 土木学会, 土木情報利用技術論

- 文集, Vol.12, I-9, pp.79-86, 2003.10.
- [3] 山崎元也, 吉田眞純, 遠藤 実, 保田敬一,
“属性情報付 GIS 管理システムにおける機能向上に関する研究”, 土木学会, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, I-16, pp.135-142, 2004-10.
- [4] 山崎元也, 本郷廷悦, 千葉洋一郎, “Japan Highway Data Model 構築の基礎研究”, 土木学会, 土木情報システム論文集, Vol.10, pp.33-42, 2001.10.

著者略歴

[1] 草野成一

1977 年日本道路公団（現中日本高速道路（株））入社。主に高速道路の構造物の設計・施工・補修工法の指導に携わる。1994 年から 1996 年にかけて（財）高速道路調査会に出向し、土木技術者の海外派遣の開発、支援、技術協力、海外技術調査団の派遣等を企画。横浜支社にて高速道路の運営・維持管理の総括、点検技術の向上について担当し、現在は、本社にて新事業の開発に従事。

[2] 山崎元也

1982 年日本道路公団入社。2007 年から東京農業大学造園科学科准教授。日本道路公団試験研究所にて国内初となるプロダクトモデル JHDM の開発を行った。現在、ソフトコンピューティング(遺伝的アルゴリズム, プロダクトモデル, バーチャルリアリティ)の

道路計画・設計・道路管理への応用について研究を進めており、最適線形探索システム OHPASS の開発研究, VR を用いた 3 次元景観設計支援システムの構築を試みている。

[3] 堀隆一

1979 年東京道路エンジニア(株)（現中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株)）入社。高速道路の建設・保全管理に携わる。1992 年同社情報システム部に移籍。1998 年より（財）高速道路技術センターに出向し全国の日本道路公団技術関連システムの運用管理を統括する業務を行う他、保全管理の基幹システムである道路保全情報システム(RIMS)の構想・構築を実施、現在は RIMS の運用を支援している。

[4] 保田敬一

1989 年(株)新日本技術コンサルタント（現(株)ニュージェック）入社。橋梁の計画・設計・解析・維持管理業務及び研究開発に携わる。土木第二部および情報技術部において、橋梁を対象としてソフトコンピューティング技術を用いた各種設計および解析システム開発を行う。現在は、道路橋梁全般におけるインフラマネジメントのための意思決定支援システムの開発を行っている。