

機械開発による維持管理の合理化

湾岸管理部 前川 順道
保全施設部 保全技術課 川村 勝
保全施設部 保全技術課 林田 充弘

.....

要 約

高速道路における日常点検および小規模補修工事などの維持管理作業に起因する工事渋滞回数の低減および維持管理費の削減を行うことを目的として、路面点検システムおよび路面補修車について、機械開発を行った。路面点検システムにおいては、高速巡回で路面点検が可能な路面点検車およびデータ処理支援システムの開発を行い、路面のデジタル画像から舗装の損傷を検出するアルゴリズムの手法について検討を加えた。この結果、実用に耐えうるだけの損傷検知精度を確保することができ、点検の機械化に寄与できた。また舗装補修部の耐久性を向上させることにより、工事渋滞回数の低減と同時に、維持管理コストの削減を図るために、小型のアスファルト混合設備を搭載し、加熱アスファルト混合物を現場で製造できる舗装路面補修車を開発した。

キーワード：機械開発、画像処理、路面点検、舗装補修

まえがき

高速道路の快適な走行性を確保するためには、舗装路面を良好な状態に維持管理する必要がある。阪神高速道路公団では、路面に生じる「ひびわれ」「ポットホール」「わだち掘れ」などの損傷を早期に発見するため、本線部は週に5回、ランプ部は週に1回の頻度を標準として、路面の日常点検を行っている。また日常点検結果の内、交通安全上緊急を要すると考えられる路面損傷については、補修工事を即時に実施してきた。

現在の日常点検方法は、点検員が巡回車を低速度(約20km/h)走行させて路面性状を目視確認するものである。また、必要に応じて巡回車を停車させ、点検員が車外に出て接近確認を行うこともある。この作業は、交通渋滞の原因になると同時に、点検員の熟練を要する。

また一方、補修材料である加熱アスファルト混

合物は、加熱混合に時間を要すると同時に現場搬入までの温度管理が困難であることから、緊急の路面補修時においては、常温アスファルト混合物を用いた補修を行わざるをえない。常温材料は耐久性に乏しいことから、これまでも一度補修した箇所における損傷の再発が問題視されてきた。

このような諸問題を背景に、阪神高速道路公団では、高速で路面を巡回点検できる路面点検車とデータ処理支援システムや、加熱アスファルト混合物を現場で確保できる路面補修車などの機械開発を積極的に行い、工事渋滞回数の低減と同時に管理コストの削減を図っている。本稿は、前述の機械開発に関する報告を行うものである。

1. 路面点検システムの開発

1-1 システムの概要

本システムのご概念としては、デジタルカメラを

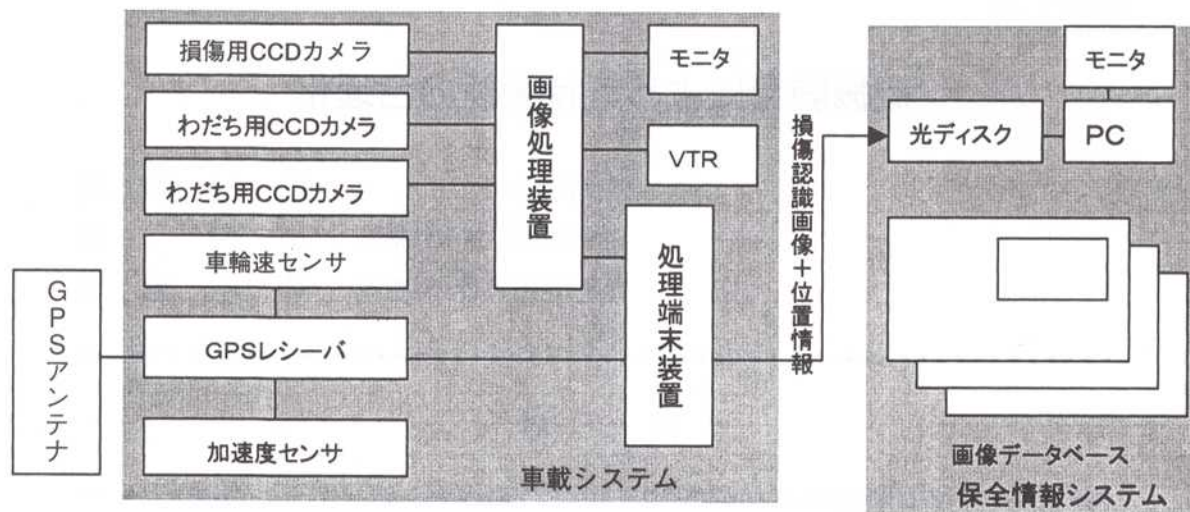


図-1 路面点検システムの構成

搭載した路面点検車（図-2）が撮像した路面画像を、画像処理により損傷の有無を判定し、その結果をデータベースとして保管するものである。路面点検システム全体の構成を図-1に示す。ここで、路面点検車の開発にあたっては、以下の条件を満たすべく検討を行った。

- ①舗装路面の損傷を、点検員の目視と同程度に認識・判断できること。
- ②点検車を規制速度（60km/h）で走行させ、また停止せずに損傷の検出が可能なこと。
- ③損傷の検出・判定処理を自動で行うこと。
- ④点検情報・損傷画像が将来的なデータベース化に対応可能であること。

1-2 画像処理技術

路面点検車が60km/hで走行しても舗装の路面画像にブレが生じないように、車載CCDカメラ（デジタルビデオカメラ）のシャッター動作は、1/10,000秒とした。撮像した舗装路面画像は、横320画素×縦256画素、モノクロ256階調のデジタル画像に変換後、画像処理により損傷の有無が判別され、点検データとなる。基本的な画像処理の過程を、図-3のフローに示す。

なお、画像においては、ジョイント・日影・レーンマーク・補修跡・落下物などが疑似損傷として認識されることから、画像処理アルゴリズムの損傷検出精度が重要である。そこで疑似損傷を削除するため、フロー中に示した様々な画像処理手法



図-2 路面点検車の外観

の検討を行った。その概要について、以下に述べる。

(1) 画像の平滑化処理

画素の値を隣接画素の平均値で置換し、ノイズを除き全体画像をクリアにする。

(2) 微分処理

コンピューターで損傷の画像を認識させるため、画像の輝度分布を微分処理し、画像の輪郭のみを抽出する。

図-4に原画像と微分処理結果との例を示す。微分処理によりポットホールは輪郭が抽出されていることがわかる。

(3) 白線成分の除去

一般的には、健全な舗装表面の輝度値に対して、レーンマーク等は輝度値が高く、ひび割れ・影等は輝度値が低い。そこで、浮動しきい値法により

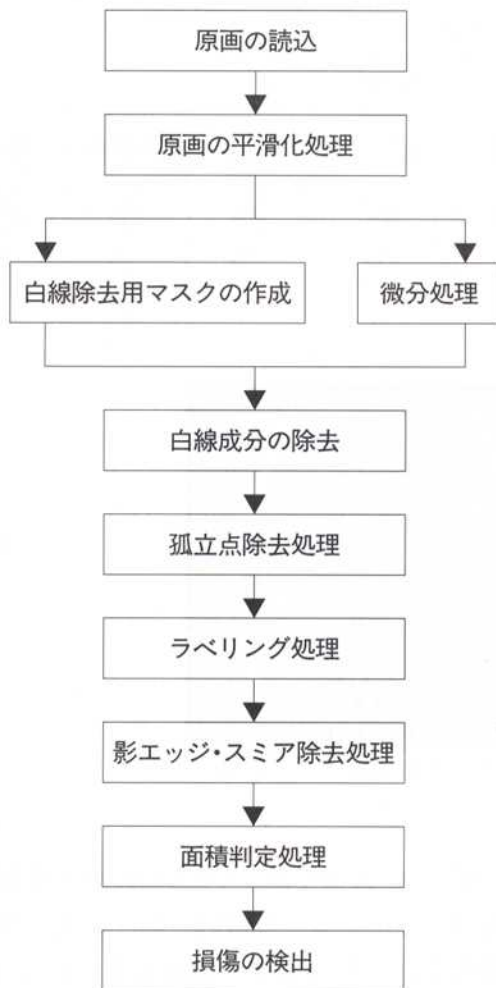


図-3 損傷検出アルゴリズムのフロー

画像輝度にしきい値を設定し、レーンマーク等の画像を検出対象から削除する。

(4) ラベリング処理

微分処理により個々に分離した画素の集合について、その集合体の大きさを画素の数から求める。

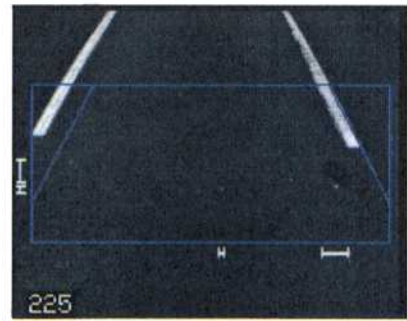
(5) 影エッジ・スミア除去処理

路面に落ちた構造物の影は、形状特徴として直線部分が多い。そこで、エッジの強い（明暗の境界が顕著な）画素の周辺領域20画素×20画素の領域について、平均輝度差15以上のものは影であると考えることにより、影と損傷を判別する。

またCCDカメラ特有の現象として、スミアと呼ばれる画像の上下方向に白く線が滲む現象がある。そこでスミア条件のしきい値を設定して、影除去と同様の手法でスミア除去を行った。

(7) 面積判定処理

本処理では(4)の処理で求められる画素集合



(a) 原画像



(b) 微分処理後

図-4 微分処理による画像例

体の大きさから、対象画像が損傷であるか、疑似損傷であるかについて判別を行う。

本検討では、45画素以下の小さなデータは棄却し、4500画素以上の大きな領域を占めるデータは、ジョイントと判断できた。

1-3 損傷認識結果

図-5および表-1に、ポットホールが存在する舗装路面画像の画像処理結果例を示す。

表-1は各検出物が写った画像1897枚について、検討した画像処理アルゴリズムの損傷検出精度を評価したものである。ここでは、疑似損傷画像データについて約60%程度を削除することができた。また一方で、約20%の損傷データが検出できなかった。

検出できなかった損傷は、総じて損傷ランクが低く緊急性を要しないものであったことから、今回検討した画像処理アルゴリズムで、実用に際して必要とされる精度は確保できたと考えた。

今後、この検出精度を向上させるには、機械に立体的な情報を与える手法等が考えられる。

1-4 路面点検車の運用

路面点検車は、既存の路面の日常点検システム

表-1 損傷検出結果（試験例）

カテゴリ	損傷		非損傷						
	ひび	ポットホール	ジョイント	影	白線	白線はがれ	まだら路面	補修跡	汚れ
総数	123	189	225	242	247	223	204	223	221
検出率[%]	80	78	40	45	26	35	29	73	44
削除率[%]	20	22	60	55	74	65	71	27	56



(a) 原画像 (b) 損傷の検出 (□部分)

図-5 検出処理結果例（ポットホール）

に取り入れられ、平成9年度より実運用を行っている。当初は前述のアルゴリズムが未成熟であったことから、疑似損傷の誤認識が多く、車載のハードウェアに保存されたデータファイルを事務所のパソコンに移すために約1時間を要するものであった。システム上ではデータベース化に対応できる電子ファイル形式で保存されているが、現在は従来型の点検員による巡回目視と併用していることから、点検結果はプリントアウトした帳票を以て報告されている。また一方で、点検車の巡回計画および稼働率は点検員の作業ローテーションから決まっているため、平成9年度の実績においては、一日の平均稼働率が3.89時間、平均点検距離は79.4kmと、運用効率にロスが生じている。こうしたことから将来的には、損傷検出精度を向上させるとともに、運用効率を上げるための検討が必要であると考えている。

2. 路面補修車の開発

2-1 開発の背景

平成8年度における阪神高速道路全線（3号神

戸線を除く）の実績では、年間約500回の小規模舗装補修を行っている。この内、同一箇所における補修回数を調査した結果、鋼床版部では平均2.8回、RC床版部では平均1.2回の補修が行われていた。調査路線の鋼床版比率は約14%であることから、鋼床版・RC床版部を合わせると、平均的に同一箇所の補修回数は約1.4回である。

つまり、同一の補修箇所ですら一年以上損傷が再発しないと仮定した場合、単純に1.4回の補修が1回ですむことから、補修時の交通規制による渋滞回数が70%程度に減少できると考えられる。そこで、耐久性に優れた加熱アスファルト材料を、舗装の補修現場に供給するシステムが求められた。



図-6 路面補修車の外観

2-2 路面補修車の概要

本補修車の外観を図-6に示す。この路面補修車は、発電機および貯蔵した材料を加熱、計量、混合するための各ユニットをコンパクトにまとめた小型混合設備を4.0tトラックに搭載したものである。加熱アスファルト混合物の供給が、作業員1人の操作で行うことができ、貯蔵タンクに積載しておく骨材種やバインダー種によって、密粒度アスコンから排水性舗装までの多種の舗装工法に対応可能である。本補修車の積載能力は、材料の状態で700kg程度、一回あたりのバッチ能力は100kgである。すなわち、舗装厚4cmの場合、一回の練り混ぜにより約1m²のバッチワークが可能である。練り混ぜに要する所要時間は加熱ヒーターの性能および外気温の影響が大きいが、一回あたり30～60分程度であり、補修現場への移動時間を利用することにより、スムーズな材料供給ができるものと考えられる。練り混ぜ所要時間は、骨材の加熱時間に支配されるため、熱効率の高い大型ヒーターを用いることが望ましいが、トラックの全積載能力から、今回は軽量のオイルヒーターを採用した。

2-3 混合物の品質確認

本小型混合設備における品質管理項目としては、骨材およびアスファルトの温度、各材料の投入重量、攪拌ミキサ回転数および練り混ぜ時間である。これらについては制御盤上で集中管理を行うことにより、良好な品質の加熱アスファルト混合物を製造することができた。

本小型混合設備にて、ストレートアスファルト(St-As 60-80)および改質II型アスファルトをバインダーとして用いた混合物の製品性能試験結果例を、表-2および表-3に示す。この結果から、本小型混合設備により製造された加熱アスファルト混合物は、通常プラントで製造された混合物と同等の性能を有することが確認できた。

まとめ

今回の機械開発により、路面点検車および路面

表-2 マーシャル試験の結果例

バインダー種別	St-As 60-80		改質II型	
	突き固め回数	50	75	50
アスファルト量 (%)	5.7	5.7	5.7	5.7
見かけ密度 (g/mm ³)	2,377	2,386	2,383	2,392
空隙率 (%)	3.6	3.2	3.3	3.0
骨材間隙率 (%)	16.8	16.4	16.5	16.3
飽和度 (%)	78.6	80.5	80.0	81.6
安定度 (kgf)	922	938	1,234	1,323

表-3 ホイールトラッキング試験
およびすべり抵抗試験の結果例

バインダー種別	St-As 60-80	改質II型
ホイールトラッキング試験		
平均動的安定度(回/mm)	698	2,493
平均変形率(×10 ⁻² mm/分)	6.00	1.69
すべり抵抗試験 (BPN)		
湿潤時 (()=補正值)	69(64)	72(67)
乾燥時 (()=補正值)	72(67)	73(70)

補修車が実用化された。これらの性能については現在のところ、例えば路面点検車における損傷検知精度や路面補修車における加熱アスファルト混合物の供給量や供給時間といった、種々の制約を受けているが、人間が適切に作業を補うといった運用方法でカバーできるものと考えている。これは、ハイテク技術の進歩とともに、保全システムのあり方も改善されなければならないことを意味する。本報告における成果を以下に簡易に記す。

- (1) 機械的に路面損傷を認識するアルゴリズムを検討した。その結果、平面的な画像から損傷を抽出することが可能となったが、そのためには、多くの画像処理過程が必要となることが判明した。
- (2) 加熱アスファルト混合物の小型混合設備を車載することができた。積載能力により材料の供給性能が制約されるものの、通常プラントと同等の品質の材料を製造することができた。

あとがき

近年のコンピューターおよび周辺機器の性能向上は、様々な作業の機械化を可能にしてきた。特に路面点検車の開発は、熟練された点検員の作業を機械で代替するための試みである。その一方で、コンピューターが熟練された人間の認識能力には及ばない領域が見えてきた。機械開発によって、より良い構造物保全を行うことは重要であるが、機械に性能を与えるのは技術者であることも認識しなければならない。

将来的には、こうした機械の実運用方法を検討することにより、機械と人間の関わり方を踏まえた社会システムとしての機械開発を考えることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 杉山, 桃澤, 杉江, 安藤他: 路上点検のシステム化に関する検討; 土木学会第49回 年次学術講演会, c-316
- 2) 山口, 関, 桃澤, 堀江: “路上点検のシステム化に関する検討 (その2)”, 土木学会第50回 年次学術講演会, c-341
- 3) 石崎, 関, 桃澤, 足立他: “路上点検のシステム化に関する検討 (その3)”, 土木学会第51回 年次学術講演会
- 4) 森, 坂倉: 画像認識の基礎確固〔II〕 オーム社, pp.103~110 (1990) (ソベール)
- 5) 舟久保: 視覚パターンの処理と認識, 啓学出版, pp.85~87 (1990) (平滑化)
- 6) 安居院, 長橋: 知的画像処理, 昭晃堂, pp.44~45 (1994) ラベリング