論文　舗装面の劣化抽出システムの自動化に関する研究

市坪　誠[*1]・Masanobu SHINOZUKA[*2]

要旨：舗装の表層剥離やひびわれといった損傷（劣化）は道路の安全運転上支障となる。本研究ではアスファルトやコンクリート舗装の劣化を抽出するシステムの研究開発を行った。ビデオカメラ単体による検査データをシステム制御する本方法は，舗装面の劣化の性状と位置を自動的に検知するだけでなく，一般の操作者でも容易に迅速に活用できるものとなった。本システムを踏まえたデータベースの構築により，高規格幹線道路および一般道路の管理者は維持補修の時期や規模，対策方法の選定を容易に判断する資料を得ることとなった。

キーワード：舗装，劣化，維持管理，検査，劣化評価

１．はじめに

近年，トンネル内のライニングの剥離，高架橋における下部コンクリート片の落下など，コンクリート構造物の早期劣化が顕在化し，その耐久性，使用性および永続性が大きく取上げられるようになった。このことは，建設構造物が社会基盤の根幹をなすことから，要求される性能低下の程度よりむしろ社会全体に与える不安がより顕著となることを意味し，コンクリート構造物の保全といった観点からの維持管理は非常に重要であることが理解できる。一般に，コンクリート構造物の点検（検査）は，まず目視を主体とした定期検査が行われ，劣化程度に応じて詳細検査が行われる。ここで，コンクリート構造物に対する最近の非破壊検査の技術向上はめざましく，赤外線サーモグラフィー，エックス線，弾性波および超音波など特徴を生かした方法が用いられ，これらを総合的に用いる場合もある。

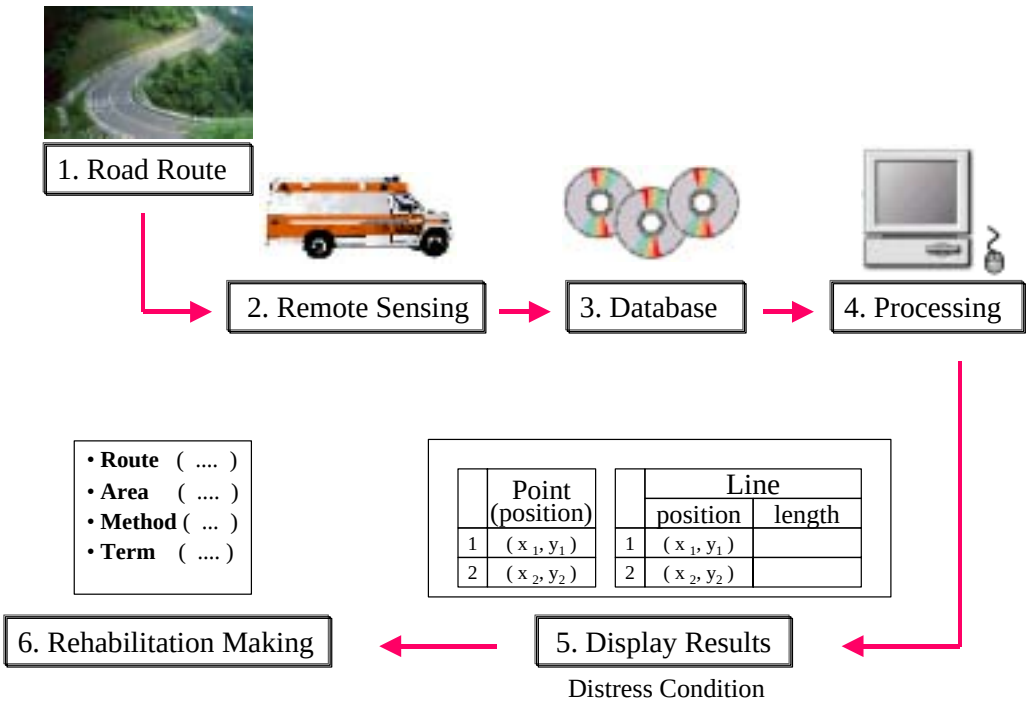
しかし実際，検査機器の性能が高度になるにつれ，天候や気温，設備設置の可否といった検査条件の複雑さが顕在化し，定期的かつ日常的な検査での活用を考慮するとその適用性や使用性から十分な配慮が求められる。つまり，既設コンクリート構造物の膨大なストックを鑑み，表層から内部に至る劣化を包括的に把握する機会ばかりでなく，構造物の要求性能から劣化性状を限定して容易かつ迅速に照査することも併せて求められる。

写真－１　フリーウェイ

ここで，膨大なストックを有する道路（一般道路の実延長：1,155,438.6㎞，平成 11 年 4 月 1 日現在）の路上点検は主に検査員の目視および車上感覚により実施されており，将来の熟練した検査員の不足や点検車両の低速走行での事故・渋滞の解消のためには検査のシステム化が必要とされる。

そこで本研究は，アスファルトおよびコンクリート舗装の剥離やひびわれといった表面劣化を抽出し自動的に判定するシステムの開発

＊１　呉工業高等専門学校助教授　環境都市工学科　工博（正会員）
＊２　Professor, Civil Eng., University of Southern California　Ph. D



図－１　舗装面の劣化抽出の概念図

を行った。特に，検査機器（ビデオカメラ）を搭載した走行車両による非接触の検査手法を活用し，舗装面の劣化の長さ（劣化状況）やその中心位置（図化）を瞬時に把握するものとする。まず，取得した舗装表面の画像処理，劣化抽出といった一連のシステム構築からシミュレーション実験を行い，その自動化の適用を検討した。続いて，得られた路面性状を画像情報として保存（データベース化）し，一定期間経過後に新たに取得した路面画像と保存された画像との差異から経時変化を検討した。

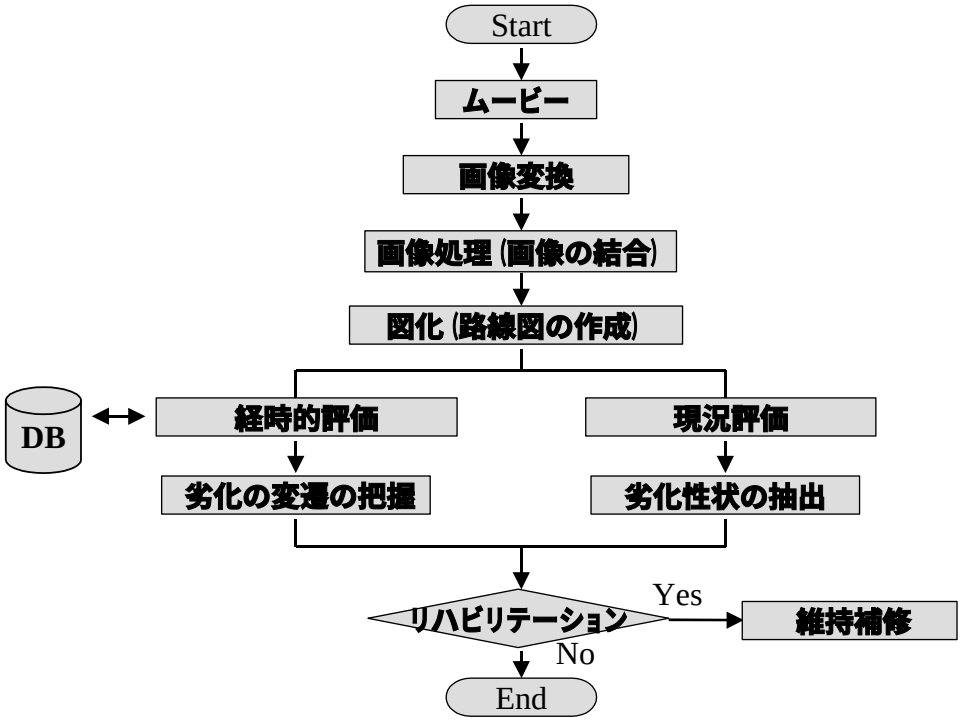
２．システム概要

既存の舗装面の劣化抽出技術および研究成果[1)]を考慮し，システム自体が安価で拡張性があり，操作者が容易かつ迅速に扱えるシステム構築を目的としている。

2.1　検査対象と手法

道路を安全に運転する上で支障となるのは舗装表面の剥離やひびわれである。日本における道路の舗装は一般にアスファルト舗装であるのに対し，時速 65 マイル（約 104km/h：制限速度）で車が走行する合衆国都市部のフリーウェイは，主にコンクリート舗装である（**写真－１**）。そこで，社会的な影響を考慮して道路利用者の安全性を図ることから，本研究の検査対象をアスファルトおよびコンクリートの“表面劣化”とした。つまり，材質によらず劣化の長さ（劣化状況）やその中心座標（位置，分布）を把握することにより，舗装面の評価を行うための資料を得るものである。

検査手法のスキームを**図－１**に示した。まず，検査機器（ビデオカメラ）を搭載した車両（検査車）が対象となる道路を走行する。光源を有するデジタルカメラは非接触にて路面劣化（ひびわれ）を撮影することを意図しており，日照，天候や気温などといった検査条件に左右されないシステム開発を目指している。続いて，撮影された舗装面は搭載されたハードディスクに画像データとして記録される。構築されたソ



図－２　劣化抽出システムのフロー図

フトウェア上で，この画像データは画像処理および劣化抽出などといった演算加工が行われ，舗装面の劣化状況やその位置を瞬時に出力することとなる。最後に，道路管理者はこの劣化データを踏まえて補修すべき路線の優先順位や規模を決定することとなる。

2.2　劣化抽出システムの構成

本システムは既存の GIS（地理情報システム）ソフトを用いて[2)]，画像処理／図化／劣化抽出／経時評価の４つのサブシステムから構成されている（**図－２**）。

(1)　画像処理サブシステム

まず路線図を作製するために，ビデオカメラで撮影された画像の結合を行う。車両の走行スピードに対応して画像を切断し，隣接する画像同士の結合を行う。本システムでは，オペレーター（操作者）が撮影範囲を指定し走行スピードを入力するよう設定している。

(2)　図化サブシステム

GIS 機能の特徴の一つとして，画像情報に地理情報を付加することにより空間情報とすることが挙げられる。本サブシステムは上記で作成された画像に座標を付加し，路線地図を作成する。

(3)　劣化抽出サブシステム

地図内の画像情報を特定の閾値で分割することにより，舗装面を健全部と劣化部とに分割する。地図内の座標情報をもとに，劣化中心部の座標と長さを定量的に抽出する。

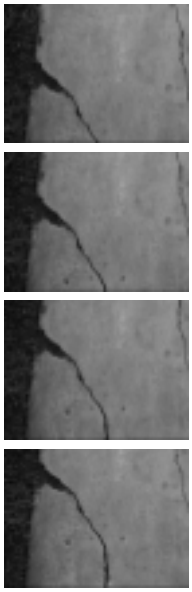
(4)　経時評価サブシステム

舗装面を定期的に検査することを前提とし，データベースに蓄積された既存の情報と新規情報との比較から経時変化の把握を行う。その結果，経時変化を劣化として捉え舗装評価の資料を得ることとなる。

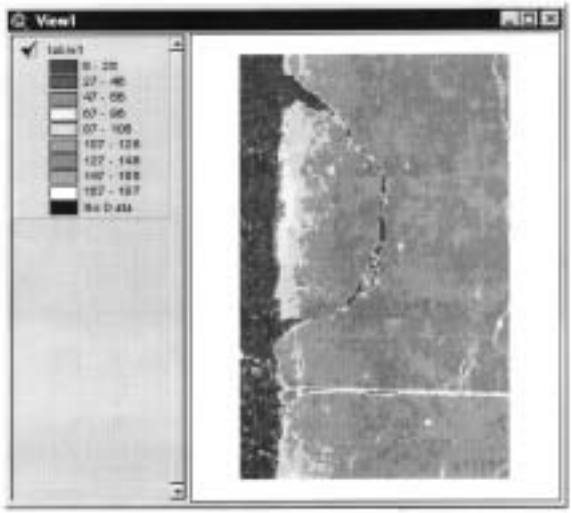
３．結果及び考察

3.1　舗装面の図化

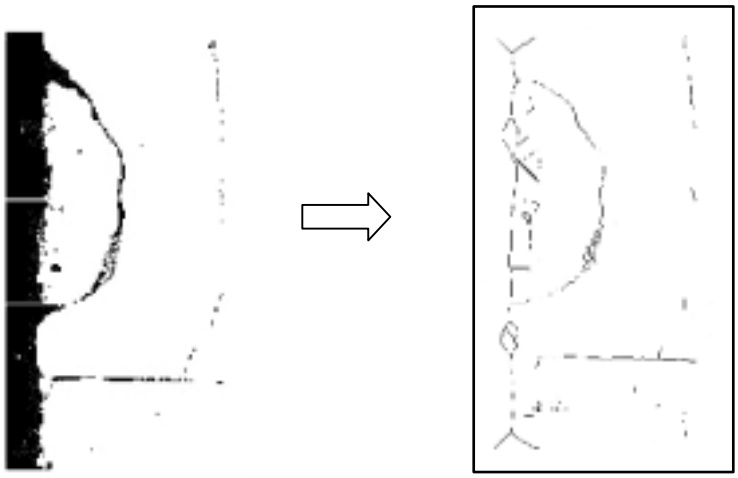
舗装面のビデオ画像を**図－３**に示した。一般家庭用のビデオカメラは１秒間に 30 コマの



図－３　ビデオによる連続画像



図－４　画像のピクセル分類



２値データ　　ラインデータ

図－５　２値データからライン変換

撮影が可能であり，撮影範囲の一辺を１ｍとすると車両の運行速度は理論上約110㎞/hでも路線図の作成が可能となる。このことは検査車両が通常の交通流を乱すことなく，舗装面の点検および検査を行うことが可能となることを意味している。

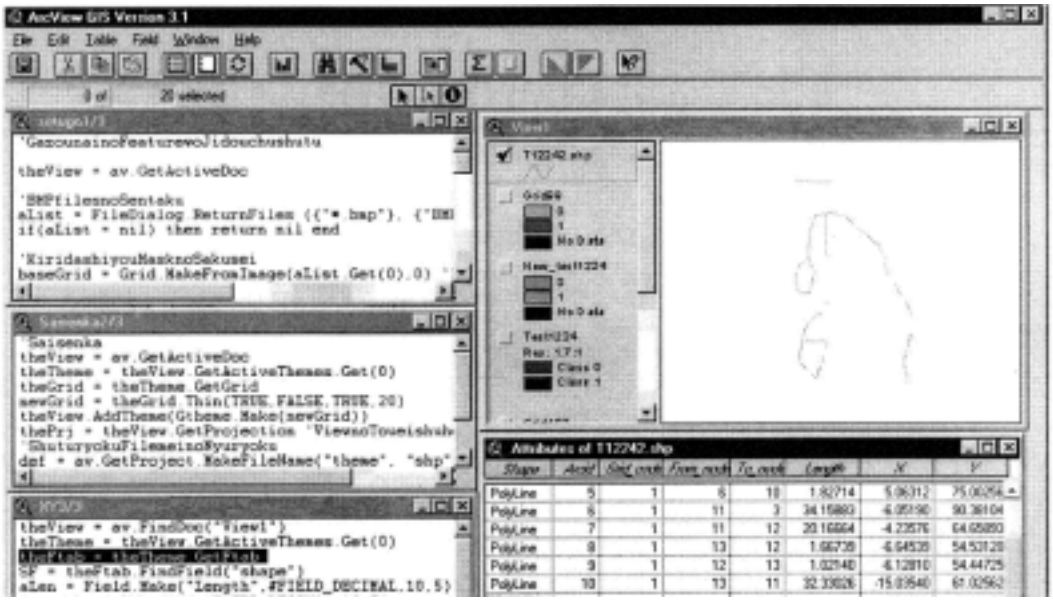
撮影範囲が全て舗装面となる通常の実験では，表面劣化を概ね正確に表すことが把握された。本論文では不具合を生じた事例として，画像左部に芝生（路肩）を含んで撮影した結果を**図－３～５**に示した。システムは光源に対する舗装面の反射と劣化部分の反射性状との差異を取得するよう構築してあり，舗装面と差異のある部分は劣化として判断される可能性がある。出力データは入力データに大きく依存することから，入力画像のチェックが重要と判断された。

連続するビデオ画像の結合結果を**図－４**に

Attributes of T12242.shp

Shape	Arcid	Grid_code	From_node	To_node	Length	X	Y
PolyLine	1	1	1	2	23.30049	-3.84418	121.36619
PolyLine	2	1	4	5	1.82714	7.34705	87.33574
PolyLine	3	1	7	8	0.45678	123.59872	75.91613
PolyLine	4	1	3	9	25.57994	3.23599	87.79253
PolyLine	5	1	6	10	1.82714	5.06312	75.00256
PolyLine	6	1	11	3	34.15883	-6.05190	90.38104
PolyLine	7	1	11	12	20.16664	-4.23576	64.65893
PolyLine	8	1	13	12	1.66739	-6.64539	54.53120

図－6　自動抽出された属性データ（劣化長さと座標）



図－7　画像および属性データの並列表示例

示した。劣化部分の抽出手法は，この結合画像のピクセル値を等間隔に分類し，その結果を操作者が劣化判断するようシステム構成されている。なお，路線画像への座標入力にも操作者を介在することとし，検査する路線長の自由度を高めている。

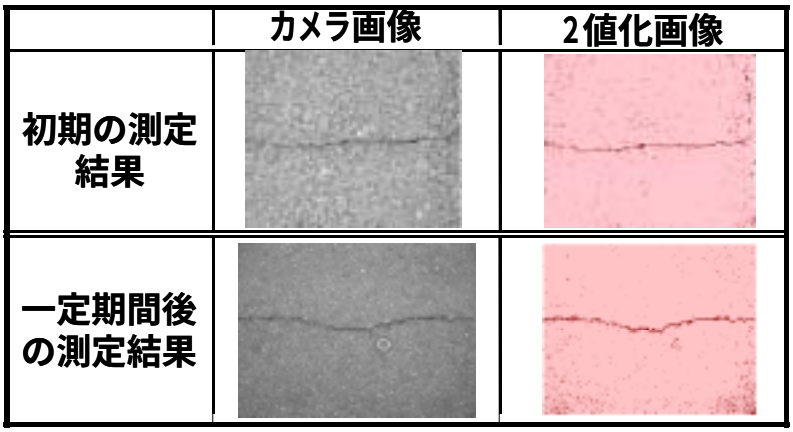
上記の結果，座標値を含む路面図（地図）を得ることとなった。

3.2　劣化抽出の自動化

舗装面において，ライン化するデータ（劣化部）とそれ以外のデータ（健全な舗装面）の分類を行い劣化抽出を行った。劣化のライン化の例を**図－5**に示した。これより，表面の劣化の性状と位置が理解され[3)]，劣化の分布状況を図示し，定性的に評価した。この劣化の定量評価となる属性データを図－**6**に示した。図中のLength が劣化長さを，X 値と Y 値とで中心座標の位置を示している。この結果，劣化抽出システムの構築とその自動化が確認された（**図－7**）。このことは，舗装面のひびわれを検出し自動的に判定するだけでなく，安全性診断の資料を得たことを意味する。

3.3　劣化の経時変化の取得

上記結果をもとに，道路舗装面の定期検査から検査データベースを構築した。データベースは，路線ごとに整理され，検査情報（日時，天候），検査箇所，画像情報，劣化情報（劣化位置，劣化長さ），判定などが登録されている。ここで判定とは，自動抽出された劣化情報に対し，検査者が画像情報との比較から劣化程度を



図－８　アスファルトにおける経時変化（ひびわれ形状および幅）の抽出事例

判断し追記するものである。前記された**図－３～５**内の左側の部分（芝生）は，検査者が劣化情報をもとに画像を照査し，劣化でないことを判断して判定項目内にこれを付記することとなる。

続いて，この蓄積された路線情報と新規情報との比較から経時変化の把握を行った。具体的な手順として，同一路線同一区間の新旧画像を取り出して重ね合わせ，その変化（ひびわれの位置，長さ，幅）を自動的に抽出し，差異を理解した。**図－８**ではひびわれ形状および幅の変化により自動抽出された事例を示した。これより，劣化進行度を判断する資料を得た。

以上の結果より，アスファルトおよびコンクリート舗装面におけるひびわれを自動的に検知し，専門知識を有さない一般の操作者でも容易に活用できるシステムが開発された。検査データベースを構築することにより，道路管理者は補修路線の優先順位，補修の時期や規模，対策方法などの判断を行う資料が得られた。

４．結論

舗装面の劣化抽出システムを開発し，その自動化を検討した結果を下記に示した。

(1) 一般のビデオカメラを入力装置とする本システムは，検査車両が通常の交通流を乱すことなく路面検査が可能となる。

(2)舗装面の反射と差異のある部分を劣化として判断した。

(3)舗装面の路面図作成後，劣化の長さおよび座標がシステム制御によって自動的に抽出されることが確認された。

(4)出力データは路面劣化の図や表で示され，舗装面の安全性を定量および定性の両面から判断する資料を得た。

舗装面の劣化抽出システムの開発は緒についたばかりであり，今後入力データの適否の判断や撮影条件等の検討を行うことにより，さらに安定的で迅速なシステム構築が図れるようになる。

謝辞

本研究のシステム構築に際し，株式会社パスコの名和裕司氏にご助力を頂きました。ここに付記して感謝の意を表します。

参考文献

1) K. C. Wang：Designs and Implementations of Automated Systems for Pavement Surface Distress Survey, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, Vol. 6, No. 1, pp. 24-32, March, 2000.

2) Environmental Systems Research Institute (ESRI), Using ArcView Image Analysis, Manual of ArcView Image Analysis Extension, ESRI, 1998.

3) M. Shinozuka, H. C. Chung, M. Ichitsubo, J. Liang：System Identification by Video Image Processing, Smart Structures and Materials 2001: Smart Systems for Bridges, Structures, and Highways, S.C. Liu(ed.), SPIE Vol. 4330