

## ◆ 報 文 ◆

## デジタル写真による鋼橋塗膜診断システムの開発

守屋 進\* 山崎 孝\*\* 遠藤正彦\*\*\* 志賀さおり\*\*\*\*

## はじめに

現在、鋼道路橋は、70,000 橋近くありその大多数が塗装で防食されている。鋼道路橋の塗装は、鋼道路橋塗装便覧の A 塗装系（鉛系さび止め～フタル酸樹脂塗料）が 70% 前後と最も多く適用されている。塗替え塗装は、おおよそ 10 数年周期で行われているが、塗替え塗装を効率的に行うためのシステムが確立されていないため、必ずしも塗膜の劣化程度に応じた適切な塗替え塗装が行われていないのが現状である。鋼橋塗装の LCC を低減するため、塗膜劣化程度に応じた合理的かつ効率的な塗替え塗装を行うことが求められている。

このため、簡便に塗膜劣化程度を診断する技術および塗膜の残存寿命を予測する技術を開発するとともに鋼道路橋塗装データベースを構築し、鋼道路橋塗装の合理的な維持管理システムを確立することを目的として、旧建設省土木研究所化学研究室（現；独立行政法人土木研究所新材料チーム）と財団法人土木研究センターは、共同研究で平成 2 年に鋼橋塗膜診断システム（COMS）を開発した。このシステムは、塗膜劣化程度を標準写真と対比して目視観察によって 5 段階で評価し、そのデータをコンピュータに入力して、塗膜劣化程度診断（COMS I）、塗膜寿命予測（COMS II）、塗替え塗装仕様の選定（COMS III）を行うシステムである<sup>1, 2)</sup>。COMS は、MS-DOS 上で動作する dBASE - III Plus を用いて開発したものである。

本研究は、現在のコンピュータ技術に適合させるため、Windows98 以降で動作するように移植するとともに、データベースをマイクロソフト社製アクセス 2000 に移行させ、鋼橋塗膜のデジタル写真を画像処理ソフトで処理して取り込み、塗膜の劣化面積率から塗膜劣化程度を診断し、塗替え時期の判定及び塗替え塗装仕様を選定するとともに鋼橋塗装データベースを備えたデジタル写真に

よる鋼橋塗膜診断システム（COMS IV）として再構築するための検討を行ったものである。

## 1. 塗膜劣化程度診断システム

## 1.1 画像処理ソフトの選定

画像処理ソフトには、以下の機能が要求される。

- ①画像ファイル形式の TIFF, BMP, JPEG に対応
  - ②画像処理対象の範囲指定は、矩形・楕円・自由曲線および多角形の範囲指定が可能
  - ③塗膜劣化部を白黒写真の明度の差で抽出する二値化だけでなく、カラー画像のまま抽出する二値化も可能
  - ④面積計算は、画像から実寸面積の算出が可能であるとともに二値化面積率も算出可能
- 以上の機能を有している画像処理ソフトを選定した。

## 1.2 デジタル写真撮影条件の検討

図-1 に示すような塗膜劣化を模擬したさびモデル（200 × 100cm）を作成し、デジタルカメラで写真撮影して画像処理ソフトで画像処理を行い、デジタルカメラの画素数の選定、撮影角度、撮影距離等について検討した。

## 1.2.1 画素数の影響

さび面積 2, 3, 4, 5, 6% のさびモデルを撮影距離 10m、撮影角度 0 度（正対）、200 万、300 万、400 万画素のデジタルカメラで撮影し画像解析した結

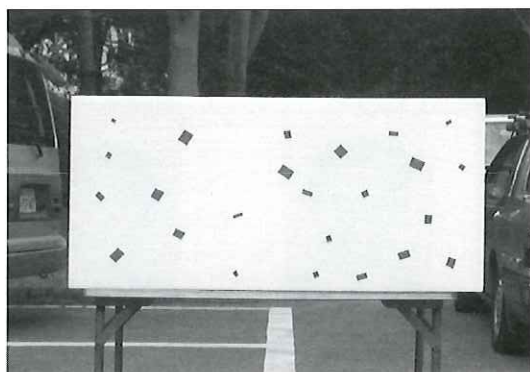


図-1 さびモデルの例（さび面積 3%）

果を表-1 (1) に示す。

その結果、撮影距離 10m では、デジタルカメラの画素数によるさびの判別に顕著な差は認められなかった。ただし、400 万画素の画像は、200 万、300 万画素の画像よりもさびが明確になるため、その判別は容易で個人差は少なかった。

1.2.2 撮影角度の影響

さび面積 2, 3, 4, 5, 6% のさびモデルを撮影距離 10m で撮影角度 0 (正対), 30, 45, 60 度で撮影し画像解析した結果を表-1 (2) に示す。

その結果、撮影距離 10m では画像解析結果は理論値より小さくなる傾向であった。撮影角度ごとの誤差は、0 度 (正対) では 5% 以下、30 度では 3% 以下、45 度では 5% 以下、60 度では 14% 以下であった。さびが均等に分布していないさびモデルの場合でも、撮影角度 45 度までは誤差はほとんどない。撮影角度 60 度ではやや誤差が大きかった。ただし、この程度の誤差は塗膜劣化程度の評価に大きな影響はないと考えられる。

1.2.3 撮影距離と角度の影響

さび面積 5% のさびモデルで、20, 30, 40, 50m から正面に対して 0 度 (正対), 30, 45, 60 度で 400 万画素のデジタルカメラで望遠撮影して画像解析を行いさび面積を求めた。その結果を表-1 (3) に示す。

その結果、撮影角度が 0 度 (正対) の場合では、

表-1 (1) さびモデルによる検討 (画素数の影響)

デジタルカメラ画素数	さび面積モデル (%)	撮影位置		画像解析結果 (%)	
		角度	距離	画像処理面積	誤差
400 万画素	2%	0°	10m	2.10	5
	3%	0°	10m	2.82	6
	4%	0°	10m	3.93	2
	5%	0°	10m	5.02	0
	6%	0°	10m	5.95	1
	5% 均等	0°	10m	4.87	3
300 万画素	2%	0°	10m	2.03	1
	3%	0°	10m	3.07	2
	4%	0°	10m	4.13	3
	5%	0°	10m	5.01	0
	6%	0°	10m	5.84	3
	5% 均等	0°	10m	4.99	0
200 万画素	2%	0°	10m	2.01	0
	3%	0°	10m	2.98	1
	4%	0°	10m	4.04	1
	5%	0°	10m	5.12	2
	6%	0°	10m	5.69	5
	5% 均等	0°	10m	5.17	3

撮影距離が長くなることにより画像解析結果は理論値より小さくなり、50m で誤差は 13% であった。撮影距離 30m では、撮影角度 0, 30, 45, 60 度のいずれの場合でも誤差は 5% 以下であった。

1.3 実大桁による検討

朝霧環境材料観測施設 (静岡県富士宮市) の実大桁を利用して、図-2 のようにさびモデル (全

表-1 (2) さびモデルによる検討 (撮影距離と角度の影響)

さび面積モデル (%)	撮影位置		画像解析結果 (%)	
	角度	距離	画像処理面積	誤差
2%	0°	10m	2.10	5
3%	0°	10m	2.82	6
4%	0°	10m	3.93	2
5%	0°	10m	5.02	0
6%	0°	10m	5.95	1
5% 均等	0°	10m	4.87	3
2%	30°	10m	2.06	3
3%	30°	10m	2.78	7
4%	30°	10m	3.94	1
5%	30°	10m	4.85	3
6%	30°	10m	5.79	3
5% 均等	30°	10m	4.95	1
2%	45°	10m	1.97	2
3%	45°	10m	2.76	8
4%	45°	10m	3.78	5
5%	45°	10m	4.74	5
6%	45°	10m	5.64	6
5% 均等	45°	10m	4.75	5
2%	60°	10m	1.96	2
3%	60°	10m	2.48	17
4%	60°	10m	3.44	14
5%	60°	10m	4.38	12
6%	60°	10m	5.15	14
5% 均等	60°	10m	4.76	5

表-1 (3) さびモデルによる検討 (撮影距離と角度の影響)

さび面積モデル (%)	撮影位置		画像解析結果 (%)	
	角度	距離	画像処理面積	誤差
5% 均等	0°	4.3m	5.05	1
5% 均等	0°	20m	4.86	3
5% 均等	0°	30m	4.74	5
5% 均等	0°	40m	4.59	8
5% 均等	0°	50m	4.34	13
5% 均等	30°	30m	4.78	4
5% 均等	30°	50m	4.66	7
5% 均等	45°	30m	4.78	4
5% 均等	45°	50m	4.86	3
5% 均等	60°	30m	4.73	5
5% 均等	60°	50m	4.46	11

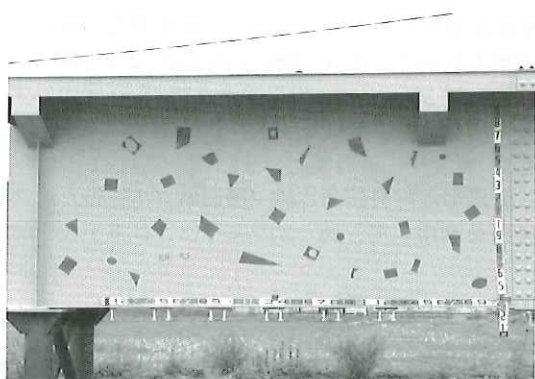


図-2 実大桁のさびモデル (さび面積 5%)

面積に対して面積率を算出し、その面積分に劣化部に見立てた赤テープを貼り付けた) による検討を行った。

その結果、繰返し測定の精度は高く、さびモデルの発生面積による誤差はほとんどない。さびモデルの色相差 (赤と青) の違いもほとんどない。撮影距離 10m 程度では問題ないが、距離が長くなると (20m 以上) やや誤差が生じる。対象物に対する撮影角度は、左右、仰角による誤差はほとんどなかった。400 万画素のほうがさびの判別が容易で正確な解析ができることが明らかとなった。

#### 1.4 デジタル写真撮影マニュアル

さびモデルによる検討結果を検証するため、土木研究所構内の横断橋 (鉸桁) と利根川に架かる芽吹橋 (トラス) で、撮影距離、撮影角度、撮影範囲等の撮影条件を変えてデジタル写真を撮影し、その画像を処理してさび面積を求めた。

さびモデルと実橋における検討結果に基づいて、デジタル写真撮影マニュアルを作成した。マニュアルの主な記述内容は以下のとおりである。

①橋梁塗膜の撮影は 400 万画素以上のカメラを用いる。②撮影部位は、起点側と終点側の径間で塗膜劣化の平均的な部分とする。③撮影範囲は、正対して  $2 \times 3\text{m}$  程度で光学ズームを使用し 10m 以内で撮影する。④撮影は鮮明な画像が得られる時間、日当たりを選択する。⑤撮影部材は橋の形状別に定める。鉸桁の場合は、腹板外面、下フランジ下面、対傾構、横桁下面とする。

#### 1.5 画像処理マニュアル

撮影したデジタル画像の塗膜劣化面積率を正確に求めて、画像処理の個人差をできるだけ少なくするため、以下の内容を具体的に記述した画像処理マニュアルを作成した。

①画像処理前の準備、②画像の取り込み、③画像処理対象エリアの範囲指定、④画像処理の前処理、⑤画像処理

#### 1.6 現場適用性試験

デジタル写真撮影マニュアルと画像処理マニュアルの実橋への適用性を検証するため、中部地方整備局管内の 60 橋を調査した。その結果、写真撮影マニュアルに基づいて撮影対象部位のすべてが撮影できた橋梁は 34 橋、起点側または終点側のどちらか一方が撮影可能な橋梁は 8 橋、部分的に撮影可能な橋梁は 12 橋、まったく撮影できなかった橋梁は 5 橋あった。ただし、部分的に撮影できた橋梁でも、その撮影箇所が橋梁の平均的な劣化状況を示しており、塗膜診断上問題はなかった。すなわち、60 橋中 54 橋はデジタルカメラによる塗膜調査が可能であった。なお、調査ができなかった橋梁の理由は『跨線橋』、『橋梁下環境が谷間で降りられない』などの理由であった。また、調査デジタル写真を図-3 に示す画像処理の例のように画像処理を行った。

その結果、すべての写真が画像処理可能であったが、①小さな点さびは、拡大画像でないと確認しにくく見落とす可能性がある。ただし、コントラスト、濃度変換処理を行えば、拡大しなくても確認可能である。②夕暮れ時に撮影すると写真のピントがぼけてしまい画像処理しづらい。③オート測光モードでは太陽光の影響により適切な露出が得られないが、スポット測光モードで撮影すれば適切な露出で撮影可能である。④さびと汚れの区別がつきにくいなどの問題点が確認された。

#### 1.7 橋梁塗膜調査要領 (案)

これらの検討結果に基づいて、デジタル写真撮影マニュアルおよび画像処理マニュアルを一体化して橋梁塗膜調査要領 (案) を作成した。本要領 (案) の実用性を検証する目的で、中部地方整備局の道路管理担当職員への 23 名に橋梁塗膜調査

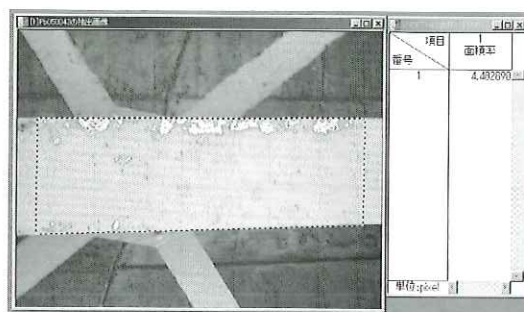


図-3 画像処理の例

要領(案)に従って、塗膜調査を行ってもらい、その使い勝手等について意見を聴取して一部修正した。また、調査者が塗膜調査時に現場に持ち込んで使用しやすく写真を撮影方法だけを記載した簡易版橋梁塗膜調査要領(案)を作成した。

## 2. 塗膜寿命予測システム

### 2.1 塗替え時期の判定

塗替え時期の判定は、塗膜劣化面積(%)に基づいて判定を行う。COMS IIでは、目視で橋梁各部位毎にさび、はがれの評価を行い、その劣化度の平均値が、2.3以上の橋梁を「塗替え」と判定した。この塗替え判定基準値は、全国の鋼橋254橋で調査を行った中で、一般環境にある油性さび止め~フタル酸樹脂塗料の塗装系163橋のデータから寿命予測式(下式)を作成し、2.3の数値を算出したものである。

$$Y_1 = 0.00184X^3 - 0.054X^2 + 0.623X + 0.07189$$

Y: 塗膜の劣化程度、X: 塗装後の経過年数

この塗替え判定基準および劣化曲線をCOMS IVに適用できるかどうかを検討するために、中部地方整備局管内の橋梁75橋の塗装後年数と塗膜劣化度の関係をCOMS IとIVで調査した。

図-4(1)は、各橋梁の塗装後年数を横軸、目視評価点の平均値(COMSI)を縦軸にプロットしたものであり、図-4(2)は、各橋梁の塗装後年数を横軸、画像処理劣化%の平均値(COMS

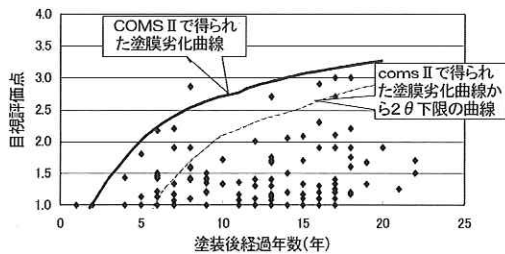


図-4(1) 目視評価点と塗装後年数の関係

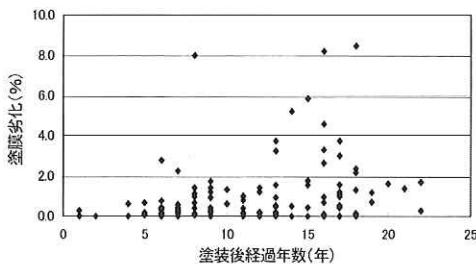


図-4(2) 画像処理劣化%と塗装後年数の関係

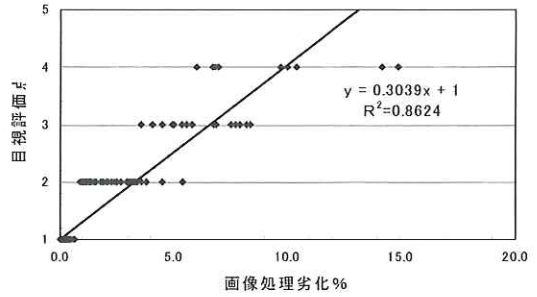


図-5 目視評価点と画像処理面積の対比

IV)を縦軸にプロットしたものである。この結果から、中部地方整備局管内の橋梁75橋の塗膜は、COMS IIの塗膜劣化曲線よりも下限値側の橋梁が多く、塗膜劣化の進行が遅いことが判明した。

本来、COMS IVの塗膜劣化曲線は、今回調査した中部地方整備局管内の橋梁塗膜調査結果から求めることが望ましいが、調査橋梁数が75と少ないこと、また、塗膜劣化曲線の形状は、COMS IIの3次曲線に似ていることから、当面COMS IIの塗膜劣化曲線を適用することとした。

### 2.2 画像処理劣化%による塗替え時期

COMS IVでは、塗膜の劣化した面積率を画像処理劣化%で算出するが、COMS IIの5段階目視評価点の塗替え判定基準(劣化度2.3)を適用するためには、目視評価点5段階とデジタル画像処理による劣化%の対比を行い、劣化度=2.3に相当する劣化%を決定する必要がある。

橋梁調査したデータから目視評価点と画像処理劣化%を対比した結果を図-5に示す。 $R^2 = 0.86$  ( $n = 255$ )と高い相関を示しており、この相関式  $y = 0.3039x + 1$  からCOMS IIの塗替え判定基準の劣化度2.3を画像処理劣化%に換算すると4.27%となる。この結果より、COMS IVの塗替え判定基準は4.00%とした。また、塗膜劣化曲線も相関式  $y = 0.3039x + 1$  (ここで、 $y$ は塗膜劣化面積、 $x$ は経過年数)から換算したものを採用した。

なお、上記の劣化曲線および塗替え判定基準は暫定的に定めたものであり、今後、COMS IVによるデータを蓄積することにより、中部地方整備局管内橋梁の塗膜劣化状況を反映した劣化曲線を作成することとした。

### 2.3 塗膜劣化診断

#### 2.3.1 塗膜劣化曲線

COMS IIではA塗装系の塗膜劣化曲線は、上限、下限を含めて図-6に示すような3次曲線になる。

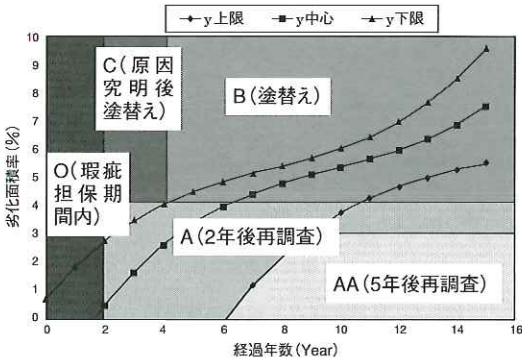


図-6 塗装後の経過年数と塗膜の劣化面積率に対する塗膜劣化診断判定図

### 2.3.2 塗替え時期および再調査時期の判断

塗装後の経過年数と塗膜の劣化面積率を入力して塗膜の劣化程度を診断し、塗膜の劣化程度と経過年数から塗替え時期および再調査時期を判定する。塗装後の経過年数と塗膜の劣化面積率に対する塗膜劣化診断判定図を図-6に示す。

- ① Oゾーン：塗装後の経過年数が2年以下の場合。塗装工事の瑕疵担保期間内のため塗膜劣化診断は行わない。
- ② AAゾーン：塗膜の劣化面積率が3%以下で、劣化曲線の上限式よりも遅い劣化のときは、塗膜の劣化進行が遅く2年後に塗膜の劣化面積率が4%には達しないと想定されるため、5年後に再調査する。
- ③ Aゾーン：塗膜の劣化面積率が4%以下でゾーンAAを除いたところは、塗膜の劣化進行が通常の劣化と考えられ2年後に塗膜の劣化面積率が4%に達する可能性があると考えられるため2年後に再調査する。
- ④ Bゾーン：塗膜の劣化面積率が4%以上で劣化曲線の下限式で4%に達する時期よりも遅い劣化であるものは塗替えを実施するとした。
- ⑤ Cゾーン：塗装後4年以内に塗膜の劣化面積率が4%以上に達している場合は、早期劣化の原因を究明して対策を施した後、塗替え塗装する。

COMS IVの寿命予測曲線は、とりあえずCOMS IIの寿命曲線を採用しているが、より合理的な鋼橋塗膜の維持管理を行うためには、管内の鋼橋塗膜調査を行い、塗膜診断データを集積して中部地方整備局管内の橋梁塗膜の劣化傾向を反映した寿命予測曲線を求めて置き換えることが必要である。また、この塗膜診断システムの診断結果は鋼橋塗装データベースに自動的に蓄積される

機能が付加されているので全橋の塗膜診断結果が入力されると地域特性を反映した橋梁塗膜の維持管理システムが構築されて鋼橋塗装の合理的な維持管理が可能となる。

### 3. 塗替え塗装仕様選定システム

塗膜診断の結果、塗替えが必要と診断された場合に塗替え塗装仕様を選定する。塗装仕様の選定に当たっては、対話形式で、①塗装の塗替え間隔は計画通りか、計画よりも短かったか、②塗替え間隔が計画通りではあるが塗装間隔をより長くしたいか、計画より短いときは間隔を長くしたいか、③現場プラストによる素地調整が可能か不可能か、④景観を配慮するか（塗膜の紫外線劣化による光沢や色調を変化を許容するか）、の設問に対する回答に基づいて、グリーン調達や塗装のライフサイクルコストを考慮して塗装仕様を選択するシステムである。旧塗膜がA、a塗装系の塗り替え塗装仕様の選定フローを図-7に示す。

### 4. まとめ

塗膜劣化程度を標準写真と対比して目視観察した結果から塗膜劣化程度を診断して塗膜寿命を予測し、塗替え塗装仕様の選定を行う鋼橋塗膜診断システムCOMSは、最新のコンピュータ技術を適用するため、Windows98以降で動作するように移植するとともに、データベースをアクセス2000に移行させ、鋼橋塗膜のデジタル写真を画像処理ソフトで処理して取り込み、塗膜の劣化面積率から塗膜劣化程度を診断し、塗替え時期の判定及び塗替え塗装仕様を選定するとともに鋼橋塗装データベースを備えたデジタル写真による鋼橋塗膜診断システム（COMS IV）として再構築された。

本システムを用いて鋼橋塗膜を診断すると、塗膜点検結果は、データベースとして蓄積されるので、管内の鋼橋塗膜を劣化順位付けすることができ、塗膜寿命予測式の確度が向上するので、より適切な鋼橋塗膜の維持管理が可能となる。

### あとがき

本研究は、旧建設省土木研究所が開発したコンピュータを用いた塗膜診断システムを、中部地方整備局が最新のデジタル写真と画像処理ソフトを用いた汎用のシステムに改良したものである。この検討は、財団法人土木研究センターに設置された塗膜診断技術検討ワーキングで行ったものであ

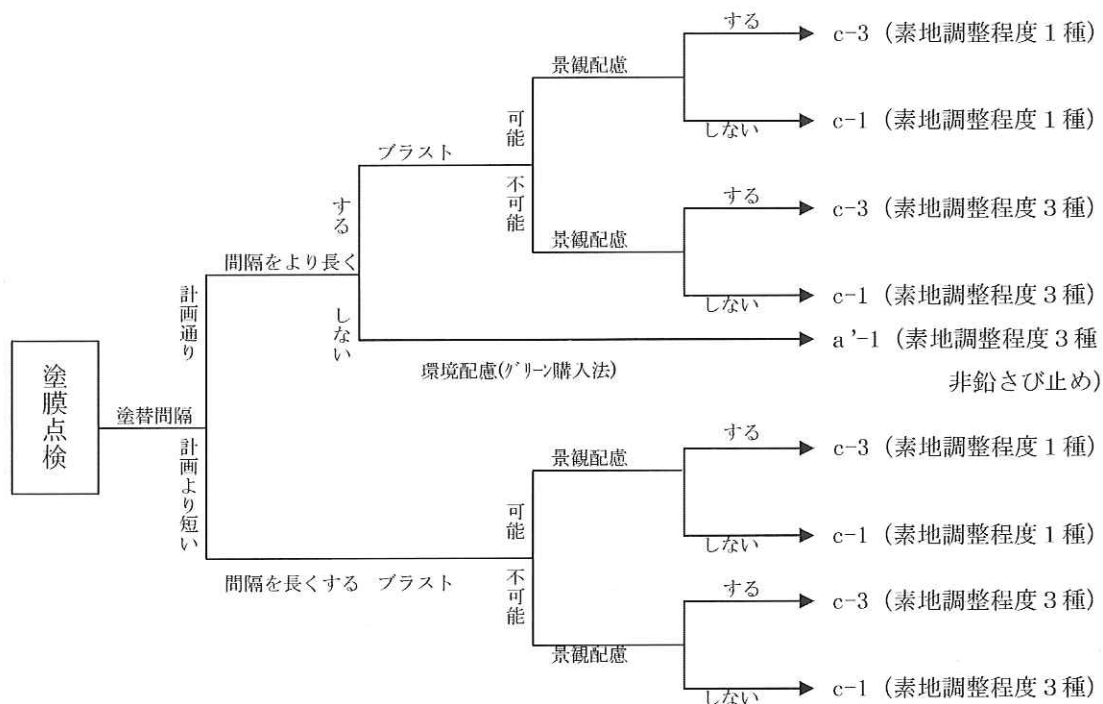


図-7 旧塗膜 A, a 塗装系時の塗替え塗装仕様の選定フロー

る。実橋塗膜調査は、中部地方整備局道路部道路管理課はじめ各事務所関係者の協力を得て実施した。ここに、本検討に参画いただきました塗膜診断技術検討ワーキング委員、及び同ワーキング幹事各位並びに多大なるご協力いただきました中部地方整備局各事務所関係者に謝意を表します。

- 建設省土木研究所化学研究室, (財)土木研究センター: 塗膜診断技術に関する共同研究報告書(Ⅱ); 共同研究報告書第 59 号, 平成 3 年 3 月

参 考 文 献

- 建設省土木研究所化学研究室, (財)土木研究センター: 塗膜診断技術に関する共同研究報告書(Ⅰ); 共同研究報告書第 45 号, 平成 2 年 7 月

守屋 進\*



独立行政法人土木研究所  
材料地盤研究グループ新  
材料チーム主任研究員  
Susumu MORIYA

山崎 孝\*\*



国土交通省中部地方整備  
局紀勢国道事務所副所長  
(前国土交通省中部地方  
整備局中部技術事務所調  
査試験課長)  
Takashi YAMAZAKI

遠藤正彦\*\*\*



国土交通省中部地方整備  
局中部技術事務所環境共  
生課環境調査係長(前  
同事務所調査試験課材料  
試験係長)  
Masahiko ENDO

志賀さおり\*\*\*\*



国土交通省中部地方整備  
局名古屋国道技術管理第  
二課修繕係(前国土交通  
省中部地方整備局中部技  
術事務所調査試験課材料  
試験係)  
Saori SHIGA