

都市高速道路の舗裝修繕における同時施工の有効性検証

坂井康人 阪神高速道路㈱ 保全交通部 保全企画グループ アシスタントマネージャ
小林潔司 京都大学経営管理大学院 経営管理講座 教授

合理的な修繕を行うためには適切な修繕範囲を設定する必要がある。舗装は箇所毎に劣化速度が異なるため修繕費用のみに着目すれば劣化箇所のみを修繕する個別施工が有利となる。しかし、舗装の修繕では交通規制を伴うことから、渋滞を抑えるために、ある範囲を同時に修繕する同時施工が通常行われる。

今回、阪神高速道路を対象に、個別施工と同時施工を実施したときに発生するトータル費用の比較を通じて同時施工の有効性を検証した。その結果、渋滞損失が大きい場所では同時施工によってトータル費用が大幅に低下することが判明した。

キーワード：都市高速道路，舗裝修繕，同時施工，コスト縮減，LCC

1. はじめに

阪神高速道路は1964年（昭和39年）の供用開始以来、大阪・神戸を中心に整備が進められ、2007年（平成19年）現在、供用延長は233.8km、通行台数は約90万台/日に達し、地域経済に大きく貢献している。しかし、供用開始以来すでに40年以上が経過し、既存施設の高齢化に加えて、供用延長の約80%が橋梁構造であることや大型車混入率が約20%に達する等の都市高速道路特有の厳しい条件を有しており、今後、維持修繕費の増大やサービス水準の低下が懸念されている。

一方、維持修繕費は、平成5年度をピークに減少に転じており、さらに平成15年12月の政府・与党の申し合わせを踏まえて維持修繕費の大幅な削減に取り込んでいる。このような背景から、従来と同様のサービスを継続的に提供するためには、より一層の効率化・合理化が不可欠となっている。

阪神高速では、修繕費の中で舗装の占める割合が高く、舗装は車両の走行性や安全性、周辺への騒音や振動等に直接影響することから、舗裝修繕の効率化は維持管理の合理化を図る上で最も重要な課題の一つである。

合理的な舗裝修繕の課題の一つに「修繕範囲」の問題がある。舗装は使用環境等の違いによって箇所毎に劣化速度が異なる。そのため、打ち換え費用のみに着目すれば、傷んだ箇所のみをその都度修繕す

る「個別施工」が効率的となる。しかし、実際にはこのような手法は採用されず、劣化が進行していない箇所も含めてある程度の範囲を同時に修繕する「同時施工」が行われる。これは、舗裝修繕では交通規制が必要となり、打ち換え費用の他に渋滞損失費用等の外部コスト（社会的損失）や規制費用が発生するためである。特に、都市高速では渋滞等の社会損失が大きいことから、これらを抑えるために阪神高速ではロング規制や通行止めによる大規模な同時施工を実施している。同時施工の有効性は、劣化が進行していない箇所を早期に修繕することによるデメリット（過剰投資）と外部コストを抑制できるメリット（コスト縮減）との大小関係によって決定すると考えられる。

今回、阪神高速を対象に個別施工を行った場合と同時施工を行った場合のトータル費用を算出し、それらの比較を通じて同時施工の有効性を検証した。また、検証結果を踏まえて、阪神高速の全路線の中で同時施工が有利となる区間を選定すると共に、同時施工によるコスト縮減効果を算出した。本稿では、今回の検討内容とその結果を報告する。

2. 舗装の維持管理の概要

本章では、まず、阪神高速における舗装の維持管理の現状として、点検、修繕、マネジメントシステムの内容を概説する。

(1) 点検

阪神高速では、土木構造物を対象に点検要領¹⁾を策定しており、本要領に準じて定期的に舗装(路面)状態を点検している。近年では点検車両によって2～3年毎に路面のわだち掘れ量、ひび割れ密度、縦断凸凹量を自動計測しており、計測された点検記録は舗装の管理単位である径間毎、車線毎にデータベースシステムである保全情報管理システム²⁾に蓄積している。

(2) 修繕

点検と同様、補修も標準的な手法を定めた補修要領³⁾を策定しており、舗装のわだち掘れとひび割れ(応急補修を除く)に対しては打ち換え補修を標準としている。

また、舗裝修繕は交通規制を伴うため、阪神高速では警察協議によって修繕に伴う規制延長は最大2kmと定められている。さらに、大阪管理部内では規制に伴う渋滞損失が非常に大きいことを踏まえて全線通行止めによる集中工事を行っており、舗裝修繕(打ち換え)は基本的にこの時に合わせて集中的に実施している。

(3) 橋梁マネジメントシステム(H-BMS)

阪神高速では構造物の維持管理の効率化を図るための様々な開発に取り組んでいる。これらの一つとして阪神高速道路橋梁マネジメントシステム(H-BMS: Hanshin expressway Bridge Management System)の開発を進めており、すでに舗装、塗装、伸縮継手の3工種の計算機能を有するH-BMS ver. 1.0を構築し、一部で運用を開始している⁴⁾⁵⁾。

H-BMSは、ライフサイクルコスト(LCC)が最小となる最適管理水準の算出や将来における費用と状態(機能水準)の推移をシミュレーションできる機能を有しており、必要予算の把握や優先順位の判断、説明資料の作成等に活用している。

3. 同時施工の有効性検証

3.1 検証方法

同時施工の有効性は、以下の手順で検証する。まず、阪神高速の実態に即したモデル路線を設定する。次に、モデル路線に対して個別施工と同時施工を行

った場合に発生する費用をH-BMSによってシミュレーションする。最後に、それぞれのケースにおいて発生する今後100年間の費用総額(トータル費用)を比較することで同時施工の有効性を検証する。

(1) 検証ケース

検証ケースを表-1に示す。検証ケースは、1回の規制長が最大2kmであることと、大阪管理部の路線では毎年通行止めによる集中工事を実施していることを考慮し、1径間・1車線毎に規制を行う1径間規制(ケース1)、2km毎に1車線規制を行う2km規制(ケース2)、全線にわたって1車線規制を行う全線1車線規制(ケース3)の3ケースとした。なお、ケース3は全線通行止めと異なるが、全線通行止めの条件では渋滞損失費用の算出に用いる交通流シミュレーションシステム(HEROINE)の計算精度が低下し、実態との乖離が大きくなることから上記のように設定した。

表-1 検証ケース

	ケース1 1径間規制	ケース2 2km規制	ケース3 全線1車線規制
区間数	2080	32	4
規制日数	1日	2日	4日

(2) モデル路線の設定

モデル路線は、阪神高速の実態を反映するために、実際の路線の中から代表路線を選定し、それを基に設定した。代表路線は、中心部と末端部の交通量の差が大きく交通量や渋滞損失の変化に伴う傾向が把握し易いこと、現時点でのMCIのバラツキが全線とほぼ同じ傾向を示すこと、前年度に点検が行われており点検データが充実していること等の理由から池田(空)線(環状分岐～池田、蛍池線含む)を選定した。また、傾向を分析し易くするために、代表路線に対して車線は全て2車線、床版は全てコンクリート床版とし、本線・車道以外の非常駐車帯等は除外するとの補正を施し、モデル路線を単純化した。設定したモデル路線の区間数を表-1に示す。

(3) 劣化曲線の設定

同時施工では、施工範囲内に複数の区間(径間・車線)が含まれるため、修繕タイミングは同時施工範囲内に含まれるある区間が最適管理水準に達した

段階で実行される。そのため、同時施工を考慮するケース2とケース3では、同時施工範囲の中で最も低い機能水準を当該施工範囲の機能水準とした。

また、前年度に実施した池田（空）線における路面点検データを基に、施工範囲の違いが修繕タイミングに与える影響を調べたところ、劣化の不確実性によって修繕タイミングに達するまでの劣化速度はケース1に対してケース2が1.56、ケース3が1.80倍となった。よって、ケース2とケース3ではケース1の劣化曲線を上記の比率で補正した曲線を用いた。ケース1～3の劣化曲線を図-1に示す。なお、ケース1の劣化曲線は池田（空）のRC床版に対する過去の点検結果を集計し、最尤推定法によって各MCI値に到達するまでの年数を算出して設定したものである。

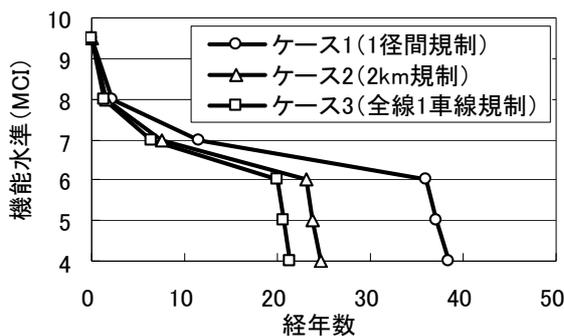


図-1 劣化曲線

(4) 渋滞損失費用の設定

阪神高速では任意の場所を規制したときに発生する渋滞を予測できる交通流シミュレーションシステム (HEROINE) を開発しており⁶⁾、渋滞損失費用は本システムによって算出された損失時間に時間評価値 (原単位) を乗じることによって算出した。

ケース1～3の規制日数はそれぞれ1日、2日、4日とし、基本的に休日の昼間に行う条件とした。また、渋滞損失費用を算出するための原単位は、平成15年度の経済統計より国民総所得を就業者数で割った1人当たりの所得を年間労働時間で割った時間評価値に、阪神高速の平均乗車率1.4人を掛けた76.7円/台・分とした。

HEROINEによるシミュレーションの結果、交通量の多い環状線付近では渋滞損失時間が大きく末端部に

向かって減少すること、下り線では他路線まで渋滞が影響するため上り線より渋滞損失が大きくなること等、実態に近い現象が再現できたことから、本シミュレーション結果を基に渋滞損失費用を設定した。

(5) 修繕費用、維持費用、車両走行費用の設定

本検証では、渋滞損失費用の他に、修繕費用、維持費用、車両走行費用の4つの費用を考慮する。修繕費用は、過去における舗装の打ち換え実績を踏まえて平均的な修繕費用を設定した。突発的なポットホールやひび割れ等の対策のために日常的に費やされる維持費用は、旧建設省が一般国道を対象に行った調査結果⁷⁾をデフレータ補正した値を用いた。車両走行費用は、旧建設省において実施されたMCIと車両走行費用の関係を定量的に調査した事例⁸⁾を参考に設定した。なお、車両走行費用で考慮されている費用は、燃費、車両の維持費、減価償却費の3つである。

(6) トータル費用の算出

以上の条件から、H-BMSによってケース1～3に対するトータル費用を算出する。H-BMSでは、無限遠方までに発生する費用の割引現在価値 (社会的割引率4%) の累計額をLCCと定義し、LCCが最小となる最適管理水準を計算することができる。本検証では舗装の機能水準 (MCI) が最適管理水準に達した時点で直ちに修繕が実行されるものとし、今後100年間に発生する修繕費用、維持費用、渋滞損失費用、車両走行費用の合計をトータル費用として算出する。

なお、H-BMSではLCCで考慮されていない事故や騒音等を便宜的に考慮するために管理下限値を設定している。H-BMSにおけるシミュレーションでは舗装の機能水準が管理下限値に達すると、管理下限値を最適管理水準として直ちに修繕が実行される。管理下限値は点検要領における判定区分に準じて、最大わだち掘れ量又は平均ひび割れ率のどちらかがA判定に達する水準としてMCI=5.6に設定している。

3. 2 検証結果

(1) モデル路線におけるトータル費用

ケース1～3に対して算出された今後100年間のトータル費用 (修繕費用+維持費用+車両走行費用+渋滞損失費用) の年平均を表-2に示す。表-2より、

トータル費用に占める割合は渋滞損失費用が圧倒的に大きく、同時施工を行うケース2とケース3では規制回数減少に伴って渋滞損失費用が大幅に低下した。一方、修繕費用はトータル費用の合計期間を100年としたことによって多少の誤差が発生しているが、若干増加する傾向を示した。これは同時施工によって修繕タイミングが早まるためと考えられる。ただし、修繕費用の増加量は渋滞損失費用の減少量と比べると非常に小さい。

以上の結果から、モデル路線では同時施工によってトータル費用の大部分を占める渋滞損失費用が大幅に低減することが確認できた。

表-2 トータル費用の年平均(億円/年)

		ケース1	ケース2	ケース3
直接費用	修繕費用	0.20	0.19	0.31
	維持費用	0.16	0.16	0.16
外部コスト	渋滞損失費用	47.23	8.31	3.57
	車両走行費用	0.43	0.48	0.28
トータル費用		48.02	9.15	4.32

(2) 同時施工の有効性判断

モデル路線は、環状線合流部から末端部に向かって交通量が減少し、渋滞損失が低下する特徴を有している。そのため、ケース1とケース2を対象に2キロポスト毎におけるトータル費用を比較し、同時施工が有効となる条件について考察した。

両ケースにおいて、今後100年間におけるトータル費用を2キロポスト毎に算出した結果(年平均費用)とその差を表-3に示す。これより、10.0キロポストを境にケース1とケース2でトータル費用が逆転していることが分かる。つまり、0.0~10.0キロポストでは1径間規制より2km規制の方が効率的となり、10.0~14.2キロポストでは反対に2km規制より1径間規制の方が効率的となった。このように、個別施工のケース1と同時施工のケース2で傾向が逆転する理由は、キロポストの増加に伴って交通量の減少し、同時施

工による渋滞損失費用の抑制効果が低下するためと考えられる。

個別施工と同時施工でトータル費用が逆転する8.0キロポストと10.0キロポストの1径間規制時の渋滞損失費用から個別施工が有利となる条件を求めた。その結果、1径間・1車線規制1回当たりに発生する渋

表-3 キロポスト毎のトータル費用とその差(億円/年)

キロポスト	ケース1 1径間規制	ケース2 2km規制	差
0.0-2.0	1.25	0.48	0.78
2.0-4.0	2.94	0.41	2.57
4.0-6.0	1.86	0.35	1.51
6.0-8.0	1.49	0.28	1.21
8.0-10.0	0.46	0.23	0.23
10.0-12.0	0.10	0.16	-0.06
12.0-13.4	0.05	0.11	-0.06
13.4-14.2	0.03	0.08	-0.05

滞損失費用が300万円以下になると同時施工より個別施工の方が有利となる結果となった。なお、この渋滞損失費用が発生するときの2車線当たりの断面交通量は、概ね2万台/日であった。

上記の条件にしたがって、阪神高速の全路線を同時施工(2km規制)が有利となる範囲と個別施工(1径間規制)が有利となる範囲に分類した結果を図-2示す。これより、同時施工が有利となる範囲は渋滞の発生しやすい大阪中心部からの放射路線となり、個別施工が有利となる範囲は交通量の少ない放射路線の末端部や北神戸線、車線数の多い湾岸線等となった。

4. コスト縮減額の算出

阪神高速の全路線を径間・車線毎に個別施工する場合と図-2示した範囲毎に同時施工と個別施工を使い分ける場合のトータル費用を算出し、同時施工を考慮することによるコスト縮減効果を算出した。

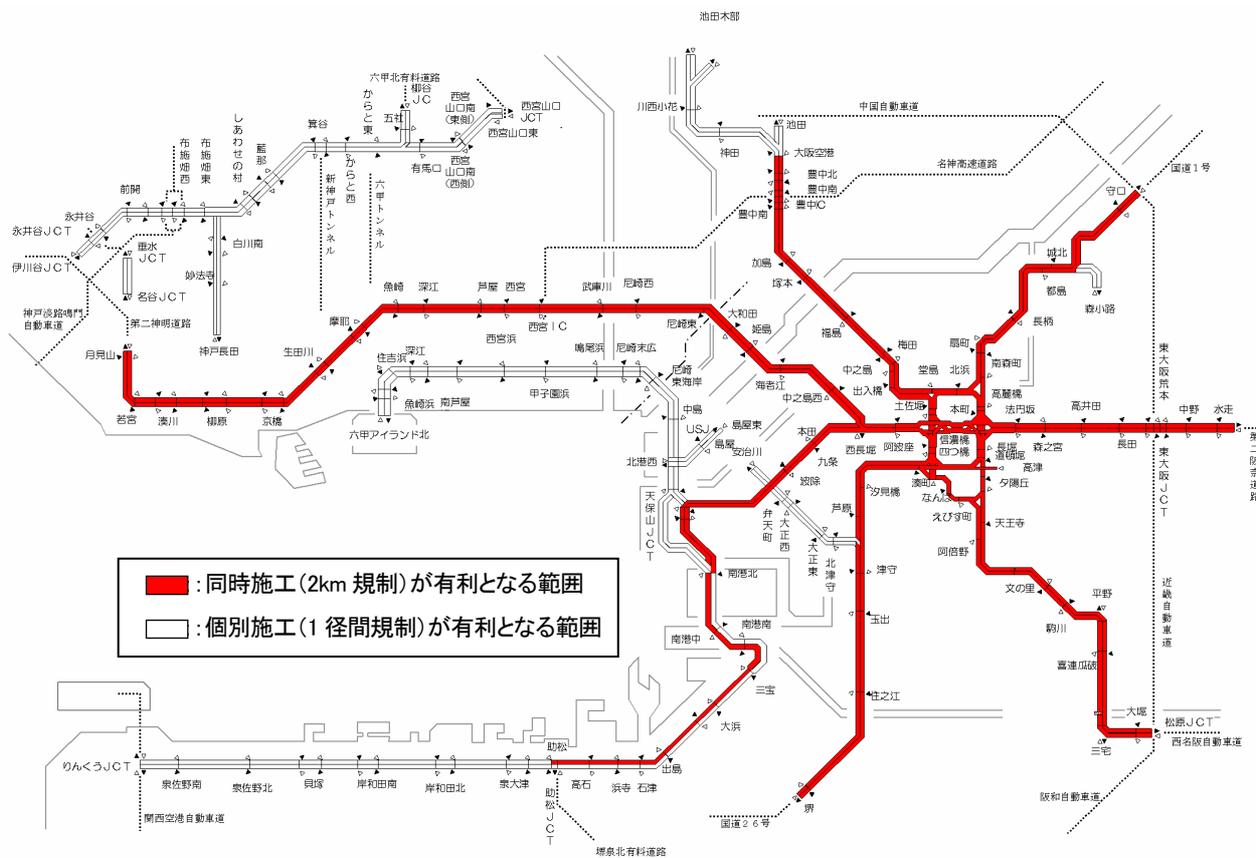


図-2 同時施工が有利となる範囲と個別施工が有利となる範囲

同時施工を考慮しないケース（個別施工）と同時施工を考慮するケース（同時施工考慮）の今後100年間におけるトータル費用（年平均費用）の算出結果を表-4に示す。表-4より、同時施工を考慮することによって1年当たりの渋滞損失費用は392億円/年から20億円/年に大幅に低下した。直接費用では、修繕タイミングが早まるために修繕費用が1.4億円/年増加したが、早期の修繕によって路面の状態が良好な水準に保たれることから維持費用が0.6億円/年減少し、この2つを合わせた支出は0.8億円/年の増加となった。一方、外部コストは、上記の渋滞損失費用に加えて、路面が良好な水準で維持されるために車両走行費用が3.3億円/年縮減され、渋滞損失費用と合わせた外部コストのコスト縮減額は376億円/年となった。直接費用と外部コストを合計したトータル費用では、個別施工の412億円/年に対して、同時施工考慮は37億円/年となり、2kmの同時施工を考慮す

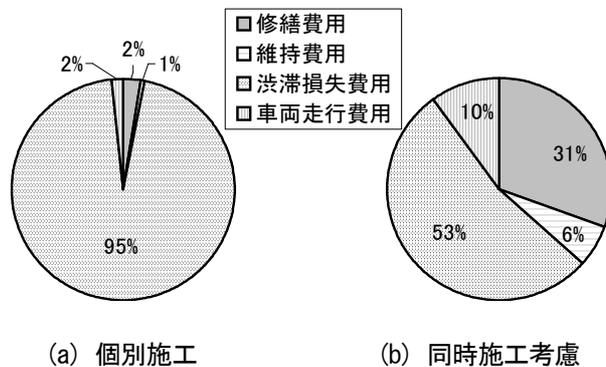


図-3 トータル費用に占める各費用の割合（全線）

ることによるコスト縮減額は375億円/年に達する結果となった。

また、各費用のトータル費用に占める割合を図-3に示す。図-3より、個別施工を行った場合ではトータル費用の95%が渋滞損失費用で占められるが、同時施工を考慮した場合には渋滞損失費用が低下する一方、修繕費用が増加するため、トータル費用に占める割合は渋滞損失費用が53%、修繕費用が31%と比較的

均衡する結果となった。

修繕時機能水準に対するLCCの一例を図-4に示す。これより、個別施工では渋滞損失費用の割合が大きいため可能な限り修繕を遅らせることが有利となるが、同時施工では渋滞損失費用が低下するため、最適管理水準が高い水準に移行していることが分かる。これより、同時施工によって渋滞損失費用を軽減することは、結果的に舗装の水準を高く維持することが有利となり、この点からも望ましい結果となった。

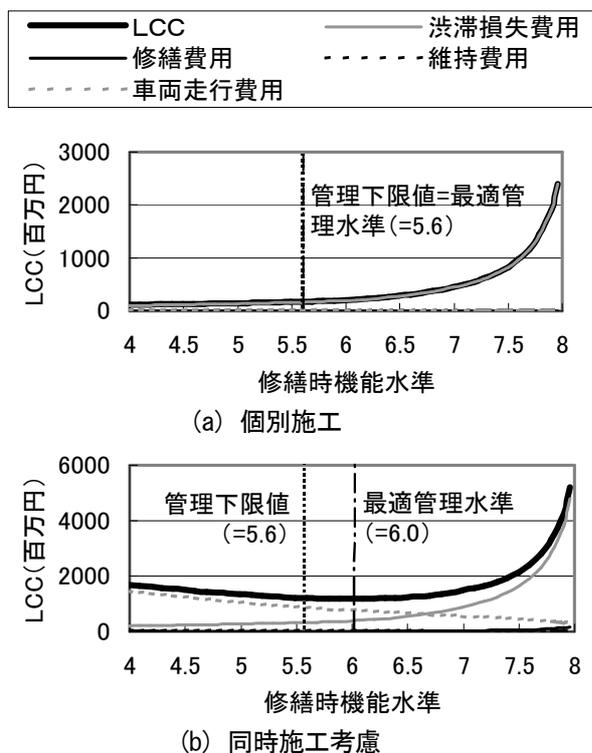


図-4 トータル費用に占める各費用の割合 (全線)

5. まとめ

阪神高速を対象に、舗装を1径間・1車線毎に最適なタイミングで修繕する「個別施工」と複数箇所を同時に修繕する「同時施工」を実施したときに発生するトータル費用の比較を通じて、舗装修繕における同時施工の有効性を検証した。その結果、都市高速では渋滞損失費用が非常に大きいため、同時施工による規制回数の減少に伴って大幅に渋滞損失費用が低下することが判明した。また、モデル路線での

検証結果から1径間・1車線規制1回当たりに発生する渋滞損失費用が300万円以下であれば同時施工より個別施工の方が有利となることを踏まえて、阪神高速の全線を個別施工と同時施工の範囲に分類し、同時施工を考慮することによるコスト削減効果を調べたところ、阪神高速全線でのコスト削減額は年間375億円に達する結果となった。各費用に着目すると、0.8億円/年の直接費用の増加で376億円/年もの外部コストを削減する結果となり、今回の検証によって同時施工の有効性を確認することができた。

阪神高速では、交通量の多い大阪の路線を中心に通行止めによる大規模な集中工事を実施している。今回の検証では、渋滞の予測精度の問題から集中工事の有効性を直接計算することができなかったが、大阪中心部では渋滞損失が非常に大きいことから、可能な限り広範囲で同時施工を行うことで規制回数を減らすことが有効と考えられ、現在行っている集中工事の有効性を定性的に裏付ける結果が得られた。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領 共通編 土木構造物編，2005. 10.
- 2) 有馬ほか：「保全情報管理システム」の開発と運用，阪神高速道路公団 技報第22号，pp. 141-148, 2005.
- 3) 阪神高速道路：道路構造物の補修要領 第3部 舗装・伸縮継手・塗装，2005. 4.
- 4) 閉上，西林，片山：阪神高速道路における橋梁マネジメントシステムの検討について，土木学会第60回年次学術講演会概要集，6-196, 2005. 9, pp391-392.
- 5) 片山，西林，閉上：阪神高速道路における橋梁マネジメントシステムについて，第26回日本道路会議論文集，No. 11007, 2005. 10.
- 6) 石井，田名部：阪神高速道路における交通流シミュレーションの開発と運用，第25回日本道路会議論文集，No. 12950, 2005. 11.
- 7) 安崎，片倉，伊佐：舗装の供用性と車両走行費用に関する検討，第18回日本道路会議論文集，pp710-711, 1989.
- 8) 建設省道路局，建設省土木研究所：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，第41回建設省技術研究報告，pp362-381, 1987.