

橋梁の補修履歴データによる補修率曲線の同定

原田隆郎¹・横山功一²

¹正会員 博(工) 茨城大学助手 都市システム工学科 (〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1)

²フェロー会員 博(工) 茨城大学教授 都市システム工学科 (〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1)

橋梁台帳に記録されている補修歴は過去の補修実績を記録したものであるが、データの蓄積が十分に行われていないなどの問題からマネジメントシステムにおいて有効に使われていない。しかしながら、補修歴は地域ごとの維持管理方針が反映されており、長期的な維持管理策定のためには有益な情報となる。本研究では、維持管理計画の策定を支援する長期供用性予測手法を開発することを目的とし、補修歴をもとに過去の補修実績に基づく補修の必要度を表現する曲線を提案した。各橋梁の補修履歴データを分析し、各地域、各部材、各対策の補修実績の傾向を把握するとともに、累積大型車交通量と補修件数の関係より補修率曲線を同定した。そして、補修率曲線を用いた長期的な維持管理計画の策定手法を提案した。

Key Words : *repair hysteretic data, repair rate curve, logistic curve, maintenance strategies, accumulated track traffic volume*

1. はじめに

高度経済成長期以降に建設された多くの橋梁の老朽化に伴い、今後、維持管理・更新費用が増大することが社会の共通認識となっている。これに対し、予算の有効活用を目的とする橋梁マネジメントシステム(BMS)の研究開発^{1),2)}が進められており、個々の橋梁の点検データ等を用いて健全性を診断するとともに、最適な維持管理計画の策定を支援するシステムの開発も活発に行われている^{3)~6)}。ところで、このような維持管理計画を立案するためには個々の橋梁の性能劣化を長期的に表現する劣化曲線が必要であるものの、部材レベルで劣化要因が異なることや補修・補強対策とそれによる耐久性や耐荷性の性能回復が十分に定量化されていないことなどから、未だ実用的な表現手法とはなっていない。

一方、橋梁を維持管理する際に必要なデータは多岐に渡り、構造形式や設計・施工図書、周辺状況、交通量、点検結果、補修歴などが総合的に必要とされる。この内、橋梁の点検結果は劣化状態を把握するために重要なデータであり、この点検結果を統計的に利用して個々の橋梁の性能劣化を表現する劣化曲線^{6)~8)}が開発されている。これに対して、補修歴は過去の補修実績を記録したものであるが、データの蓄積が十分に行われていないなどの問題から

BMS においてはあまり有効に使われているとは言いがたい。しかしながら、補修歴として橋梁台帳に記録されている補修時期とその補修内容は地域ごとの維持管理方針が反映されており、地域別の長期的な維持管理政策を立案するためには有効な情報となる。

そこで本研究では、点検結果等をもとに構造物の耐久性や耐荷性の経年変化を表現した劣化曲線とは異なり、補修歴をもとに過去の補修実績に基づく橋梁の補修の必要度を長期的に表現する曲線を提案し、管理区域内の橋梁群に対する長期的補修計画を策定することを目的とする。具体的には、各橋梁の過去の補修履歴データを分析し、各地域、各部材、各対策ごとの補修実績の傾向を、経年数や累積大型車交通量の変化によって把握するとともに、累積大型車交通量と補修件数の関係より補修率曲線を同定する。そして、この補修率曲線を用いることにより、長期的な維持管理計画を策定するための手法について提案する。

2. 補修履歴データの分析

(1) データの収集と分類

現在、国土交通省の管理する橋梁台帳等のデータは、道路管理データベースシステム「MACHI (Ministry

表-1 地域別、部材別、補修内容別の補修件数

部 材		工事事務所 A			工事事務所 B			工事事務所 C		
		性能※1	機能※2	計	性能※1	機能※2	計	性能※1	機能※2	計
上部工	桁部材	15	9	24	14	7	21	15	3	18
	床版	36	15	51	6	9	15	3	5	8
	舗装	70	0	70	158	0	158	14	0	14
	伸縮装置	72	0	72	81	0	81	27	0	27
	支承	14	0	14	18	0	18	6	2	8
計		207	24	231	277	16	293	66	10	76

(※1：性能的な劣化に対する対策，※2：機能的な劣化に対する対策)

of Construction Highway Information Data Base System)」に保管されており、橋梁の定期点検結果⁹⁾と併せて、橋梁保全支援システム(財団法人道路保全技術センター)によって運用¹⁰⁾されている。各地方整備局の管理事務所は、このシステムを利用して、管理区域内の橋梁に関する図面、周辺状況、道路状況、構造物、付属物、点検結果、補修歴などのデータから維持管理業務を実施している。

本研究では、過去の補修実績を地域別、部材別に分析するため、3つの地方整備局に属する工事事務所(工事事務所A～C)が管理する橋梁を対象に、「MICH」に蓄積されている橋梁台帳のデータより、各部材ごとの補修歴(各橋梁の部材径間番号ごとの補修年月日とその補修内容)を抽出した。また、補修歴を抽出した部材は上部工の桁部材、床版、支承、舗装、伸縮装置の5部材である。

部材ごとに抽出された補修歴の件数(補修件数)を表-1に示す。補修件数は、原則として部材径間ごとに記録されている補修内容単位でカウントするが、複数の部材径間番号に同様の補修内容が記録されている場合は1回の対策と見なすこととした。また本研究では、各部材ごとの補修内容を大きく①交通荷重や使用環境等によって耐久性が低下していく性能的な劣化に対する対策と、②設計荷重等の改訂による拡幅や補強、社会的ニーズによる耐震補強などに対する機能的な対策とに分けた。具体的には、表-1に示す本研究で抽出された補修歴の中で、機能的な対策として分類したものは、桁部材については「主桁・主構・横桁・横構・対傾構の増設」、床版については「増厚、縦桁増設、床版張出工」、支承については「沓座拡幅」である。逆に、舗装および伸縮装置については、すべてを性能的な劣化に対する対策として扱った。本研究では、以下において経年数や大型車交通量などのパラメータとの関連性を考えることから、表-1に示す性能的な劣化に対する対策のみを取り扱うこととした。

(2) 補修件数の経年数による分析

各事務所の性能的な劣化に対する補修履歴データを用いて、部材別の補修件数と経年数(架設後ある

表-2 舗装、伸縮装置の主な補修内容と補修件数

部材名	補修内容	工事事務所		
		A	B	C
舗装	打換え	18	69	8
	オーバーレイ	39	89	6
伸縮装置	取り替え	45	63	24

いは前回の対策からの年数)の関係性について調べた。なお、表-2に示すように舗装と伸縮装置については、具体的な補修内容(舗装については打換えとオーバーレイ、伸縮装置については取り替え)のデータが十分収集できたため、個別の補修内容ごとに分類して分析を行った。各部材ごとの経年数と補修件数の分布を図-1～3に示す。まず、全部材を通して工事事務所Cのデータが十分に得られなかった。これは補修内容については記載されているものの補修年月日のデータが不足していたためであり、今後のデータ整備が期待される。また、各部材ごとの経年数と補修件数の分布を見ると、データが十分に得られた舗装の打換えやオーバーレイ、伸縮装置の取り替えについては補修件数のピークになる経年数が読みとれた。さらに、工事事務所別の補修が行われた経年数の平均値を見ると、どの部材も一般的に言われている更新時期と概ね合致していると考えられるが、舗装については経年数の平均値が若干大きい値を示しているようであり、これは表面処理のような舗装の応急対策のデータが分析において考慮されていないことが理由と考えられる。各分布図ともばらつきの多い結果となり、データが十分にあれば経年数のピークや傾向が特定できるものの、データが得られない場合は経年数と補修件数の傾向を把握することは難しいことが分かった。

(3) 補修件数の累積大型車交通量による分析

本研究で対象とした上部工の5部材のうち、床版、舗装、伸縮装置に施されている対策は、その要因が交通量(特に大型車交通量)の繰返し作用によると考えられるものが多い。例えば、床版のひび割れや剥離・鉄筋露出などは交通荷重の繰返し载荷が原因と考えられるし、舗装や伸縮装置に至っては、交通量の多さによって損傷も激しくなる。よって、これ

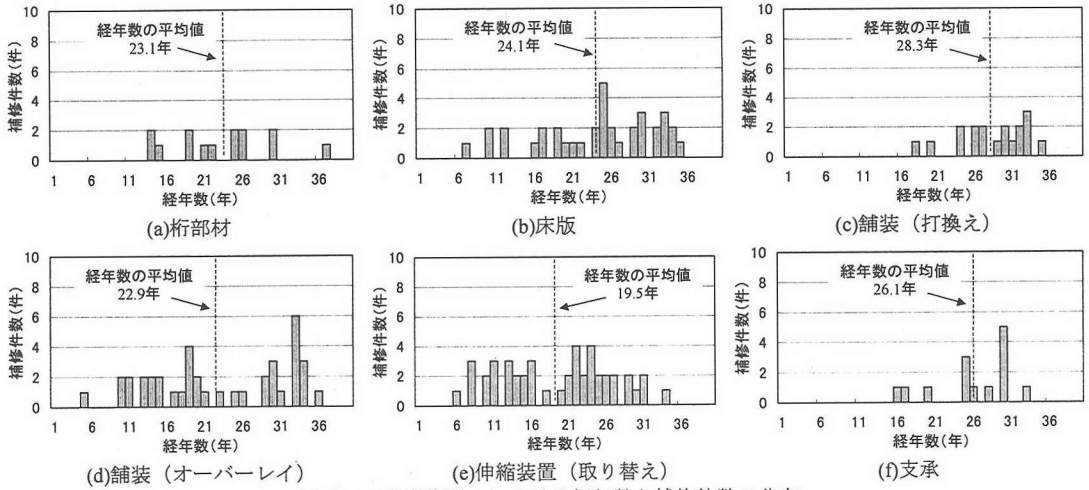


図-1 工事事務所 A における経年数と補修件数の分布

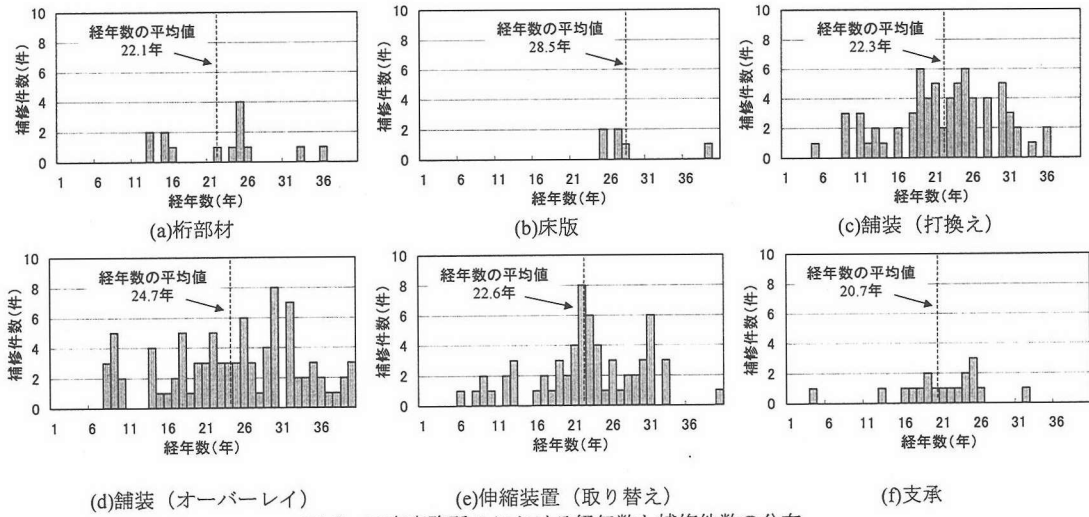


図-2 工事事務所 B における経年数と補修件数の分布

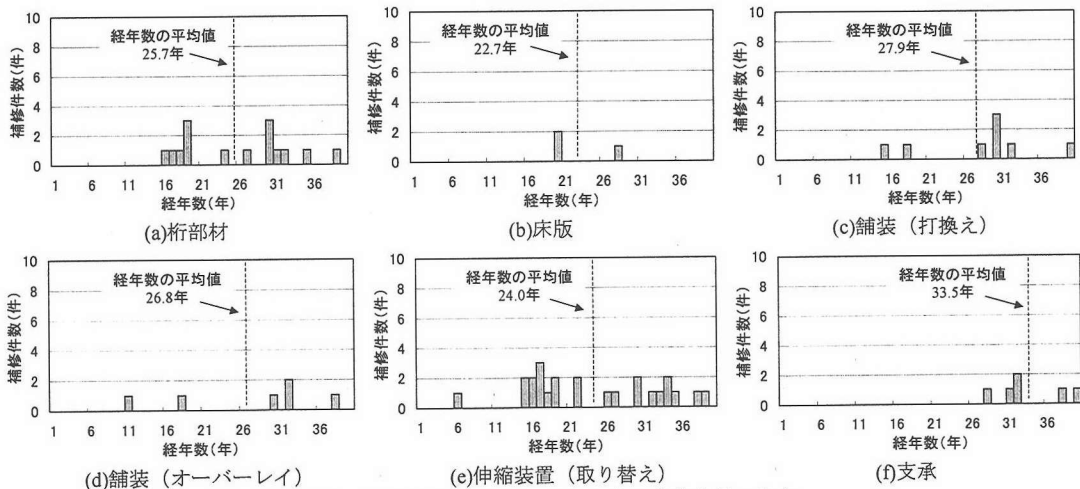
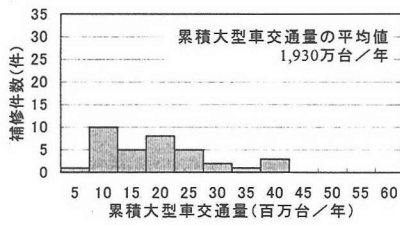
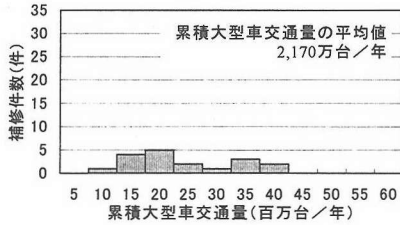


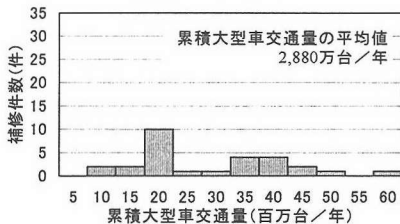
図-3 工事事務所 C における経年数と補修件数の分布



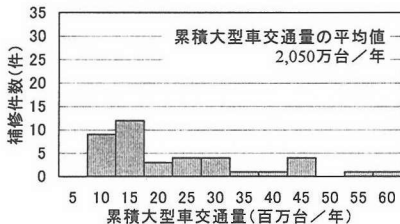
(a)床版



(b)舗装 (打換え)

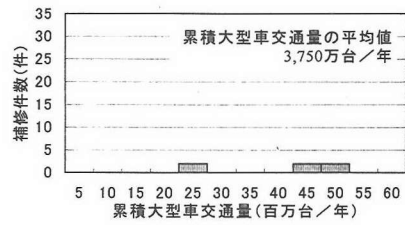


(c)舗装 (オーバーレイ)

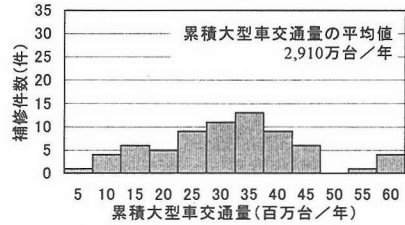


(d)伸縮装置 (取り替え)

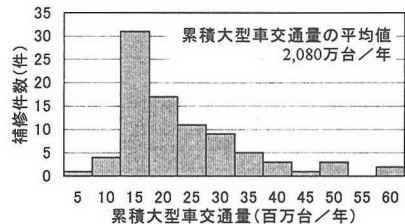
図-4 工事事務所 A における累積大型車交通量と補修件数の分布



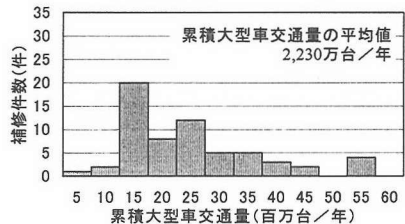
(a)床版



(b)舗装 (打換え)



(c)舗装 (オーバーレイ)



(d)伸縮装置 (取り替え)

図-5 工事事務所 B における累積大型車交通量と補修件数の分布

表-3 累積大型車交通量による分析で用いた補修件数

部材名	工事事務所	
	A	B
床版	36	6
舗装	打換え	69
	オーバーレイ	89
伸縮装置	45	63

らの部材については累積大型車交通量と補修件数の関係を検討することで、経年数が同じ橋梁であっても、大型車交通量が異なる場合は、交通量の影響を分析結果に反映させることができる。そこで、前節で取り纏めた経年数と補修件数の関係に対して大型車交通量の影響を加味し、累積大型車交通量と補修件数の関係性について調べた。累積大型車交通量に

よる分析で用いたデータは表-3 に示すとおりである。また、工事事務所 C については、データが少なかつたことから分析対象より外した。

分析においては、累積大型車交通量の範囲を年間 6,000 万台までとし、年間 500 万台ごとの範囲で補修履歴データを整理した。本分析で対象とする 3 部材(床版、舗装、伸縮装置)の累積大型車交通量と補修件数の分布を図-4~5 に示す。

ここで、累積大型車交通量を計算するために、過去の大型車交通量のデータが必要であるが、これについては全国の交通量の推移¹¹⁾の割合を求め、その割合と橋梁台帳に記載されている大型車交通量の実データから過去の大型車交通量を換算した。なお、橋梁台帳に記載されている大型車交通量には、バス、普通貨物車、特殊車が含まれており、これらの車種

の中には部材へ与えるダメージが小さいものもあると考えられるが、橋梁台帳のデータからは車種ごとの交通量を把握することが困難であったため、今回の分析では、バス、普通貨物車、特殊車を一括に大型車としてまとめて考えることとした。

また、橋梁台帳に記載されている大型車交通量は断面交通量であることから、大型車が走行した車線によって各部材に与える影響が異なるケースまでは分析対象とできなかった。さらに、車線数の異なる橋梁の補修歴についても、車線数の違いをそのまま分析し、全体的な傾向のみを把握することとした。

さらに、今回分析対象として選定した工事事務所の中には、寒冷地の工事事務所も一部あり、今回取り上げた部材の中の舗装（打換え、オーバーレイ）については、1990年6月に施行された「スパイクタイヤ粉じんの発生防止に関する法律」によって、補修履歴が変化している可能性がある。つまり、厳密な分析を行うのであれば、1990年前後の補修履歴データを区別して分析することが必要であるが、当該工事事務所において、今回得られた補修履歴データはすべてが1990年を跨ぐ補修履歴となっており、スパイクタイヤ禁止前後の舗装における補修歴の違いを確認することはできなかった。ただし、すべての補修歴データが同じ条件（法律が施行された1990年を跨ぐ補修履歴）であることを考慮すると、少なくとも当該事務所における分析データの均一性は確保できていると考える。

分析の結果、工事事務所Bの床版についてはデータ数が少なく分布傾向は把握できなかったものの、その他の部材に対する累積大型車交通量と補修件数の関係からは、累積大型車交通量のピーク値と山型の分布形状が確認でき、これは経年数による分析結果よりもはっきり確認できた。また、舗装や伸縮装置については、どちらの工事事務所の分布形状も累積大型車交通量の少ない段階から多い段階まで補修が広範囲に及んでおり、ピーク値はあるものの、累積大型車交通量による補修を実施するための有効な範囲を特定することはできなかった。さらに、伸縮装置の取り替えについては、工事事務所AおよびBとも同様の分布傾向が見られた。

また、図-4(b)および図-5(b)に示す工事事務所Aと工事事務所Bの舗装（打換え）の分布形状を比較すると、工事事務所Aの累積大型車交通量の平均値は2,170万台であるのに対し、工事事務所Bについては2,910万台であり、明らかに前節で分析した経年数と補修件数の関係（図-1(c)、図-2(c)参照）とは逆の特徴があることが分かった。これは、大型車交通量を考慮したことによる影響であり、経年数だけでは考慮できない橋梁の供用環境の地域性が表現されていると考えられる。

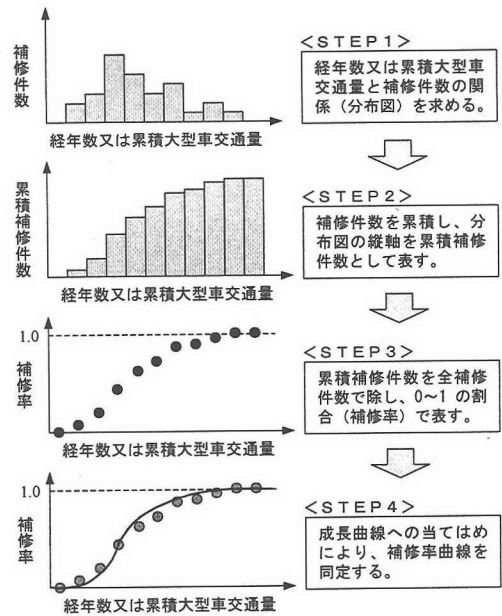


図-6 補修率曲線の同定手順

3. 補修率曲線の同定

(1) 補修率曲線の定義

本研究では、管理区域内の橋梁群に対する長期的補修計画の策定を目的とし、補修歴をもとに過去の補修実績に基づく橋梁の補修の必要度を長期的に表現する曲線を開発するため、図-6に示すような「補修率曲線」を定義した。

まず、経年数もしくは累積大型車交通量と補修件数の関係を表した分布図において、縦軸の補修件数を累積補修件数として表す。そして、この累積補修件数を全補修件数で割り、0.0～1.0までの割合として表現し直したものを補修率と定義し、経年数もしくは累積大型車交通量と補修率の関係を表したものを補修率曲線と定義した。このことより、補修率曲線は「ある地域における部材別の過去の補修実績を表現した曲線」となる。

ここで、一般的な劣化曲線と補修率曲線の違いについて考えてみると、もっとも大きな違いは補修履歴データを利用する点である。過去の補修実績を利用することで、その地域の補修方針をふまえた長期予測が可能となる。また、補修率曲線では橋梁群全体を対象としていることから、橋梁全体の維持管理計画を策定する場合の長期的な補修の必要度の予測を支援することが可能である。

本研究では、前章で分析した累積大型車交通量と補修件数の関係から補修率曲線を同定することとした。ただし、工事事務所Bの床版については補修件

表-4 補修率曲線同定のための累積大型車交通量と補修率のデータ

累積大型車 交通量 (百万台/年)	舗装 (打換え)			舗装 (オーバーレイ)		伸縮装置 (取り替え)	
	工事事務所 A	工事事務所 A	工事事務所 B	工事事務所 A	工事事務所 B	工事事務所 A	工事事務所 B
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.029	0.000	0.014	0.000	0.011	0.000	0.016
10	0.324	0.056	0.072	0.071	0.057	0.225	0.048
15	0.471	0.278	0.159	0.143	0.414	0.525	0.371
20	0.706	0.556	0.232	0.500	0.609	0.600	0.500
25	0.853	0.667	0.362	0.536	0.736	0.700	0.694
30	0.912	0.722	0.522	0.571	0.839	0.800	0.774
35	1.000	0.889	0.710	0.714	0.897	0.825	0.855
40	1.000	1.000	0.841	0.857	0.931	0.850	0.903
45	1.000	1.000	0.928	0.929	0.943	0.950	0.935
50	1.000	1.000	0.928	0.964	0.977	0.950	0.935
55	1.000	1.000	0.942	0.964	0.977	0.975	1.000
60	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表-5 補修率曲線における係数の同定結果

部材および補修内容		工事事務所	a	b	c	d
床版		A	0.1567	1.6115	1.1996	-0.1996
舗装	打換え	A	0.1472	2.5245	1.0801	-0.0801
		B	0.1309	3.3464	1.0352	-0.0352
	オーバーレイ	A	0.1057	2.1402	1.1176	-0.1176
		B	0.1483	2.1611	1.1152	-0.1152
伸縮装置	取り替え	A	0.0812	0.1905	1.8266	-0.8266
		B	0.1239	1.9507	1.1422	-0.1422

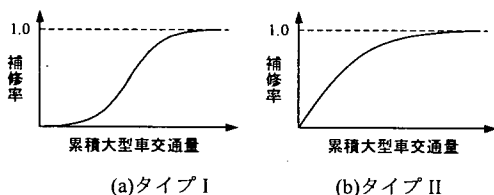


図-7 大型車累積交通量と補修率の形状

た工事事務所 B の床版についても、補修履歴データが十分に収集できれば成長曲線と同様な形状となると思われる、成長曲線への当てはめにより補修率曲線を同定することは十分可能と考えられる。

$$y(x) = \frac{c}{1 + \exp(ax + b)} + d \quad (1)$$

数が極端に少ないことから補修率曲線を同定することは難しいと判断し、工事事務所 A の床版、工事事務所 A および B の舗装 (打換え、オーバーレイ) 伸縮装置 (取り替え) について補修率曲線を同定した。

ここで、本研究で同定する補修率曲線では、累積大型車交通量 x が 0 台のとき補修率 $y(x)$ が 0.0 となること、累積大型車交通量 x が無限大 (∞) のとき補修率 $y(x)$ には最大値 1.0 が存在することから、式(1)の制約条件式として式(2)、(3)を設定した¹²⁾。

(2) 成長曲線への当てはめによる補修率曲線の同定

$$y(0) = \frac{c}{1 + \exp(b)} + d = 0 \quad (2)$$

前述の補修率曲線を同定する各部材について、累積大型車交通量と補修件数の関係 (図-4, 5) より累積大型車交通量と累積補修件数の関係を求め、さらに累積大型車交通量と補修率の関係を求めたところ、分布形状が図-7 に示すような 2 タイプの成長曲線のいずれかと、同じ形状をしていることが確認できた。よって本研究では、成長曲線の基本式として上記の 2 タイプの曲線を同定できるように、式(1)に示す関数を用い¹²⁾、累積大型車交通量と累積補修件数の分布データを非線形最小二乗近似により成長曲線へ当てはめ、補修率曲線を同定した。なお、今回データ数が少なかったため補修率曲線の同定を行えなかつ

$$\lim_{x \rightarrow \infty} y(x) = c + d = y_{\max} = 1 \quad (3)$$

ここで、式中の a, b, c, d は補修率曲線の係数であり、Newton-Raphson 法による非線形最小二乗近似によって決定した¹³⁾。

表-4 に示す累積大型車交通量と補修率のデータを用いて、工事事務所 A の床版、工事事務所 A および B の舗装 (打換え、オーバーレイ) と伸縮装置 (取り替え) の補修率曲線を同定した。同定された各補修率曲線の係数を表-5 に、同定された補修率曲線と

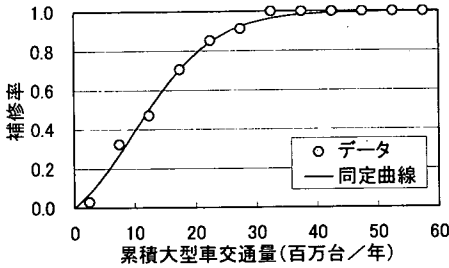
分布データを図-8~9に示す。

(3) 同定結果に関する考察

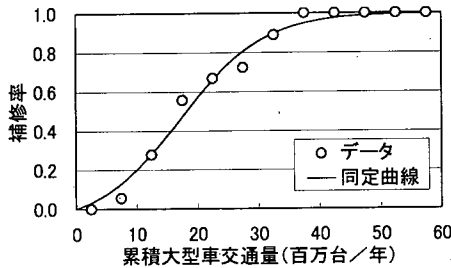
同定された補修率曲線を見ると、どの曲線も累積大型車交通量と補修率の分布を適切に近似していることが分かる。曲線の形状から、ほとんどの曲線は図-7(a)に示すタイプ I が採用されているが、図-8(d)に示す工事事務所 A の伸縮装置 (取り替え) については図-7(b)に示すタイプ II の形状をしており、本研究の成長曲線として定義した式(1)が有効に

反映されている。

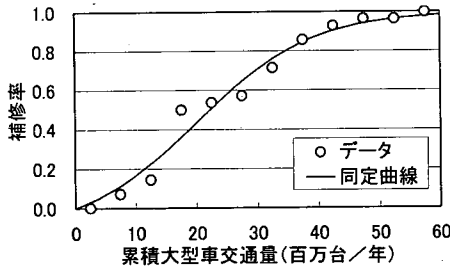
また、部材ごとの補修率曲線についても工事事務所別の特徴が見られる。舗装の打換えについては、工事事務所 B よりも工事事務所 A の方が累積大型車交通量の少ない段階で補修率が上昇する曲線となっている (図-8(b)と図-9(a)) のに対し、舗装のオーバーレイについては、工事事務所 A よりも工事事務所 B の方が累積大型車交通量の少ない段階で補修率が上昇する曲線となっている (図-8(c)と図-9(b))。伸縮装置の取り替えについては、工事事務所 A の方が累積大型車交通量の少ない段階で補修率が上昇する曲線となっており (図-8(d))、工事事務所 B とは曲線のタイプが異なる補修率の変化が表現されている。また、工事事務所 A の床版 (図-8(a)) については、比較的累積大型車交通量の少ない段階で補修率が 0.5 を越えるような傾向が見られ、全体を通して各補修率曲線に地域および補修内容ごとの特徴が現れている。



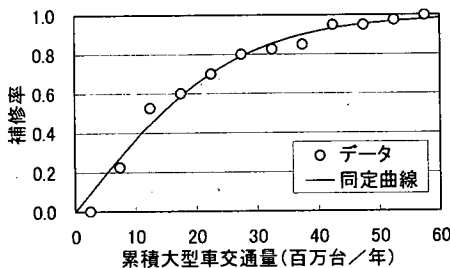
(a)床版



(b)舗装 (打換え)

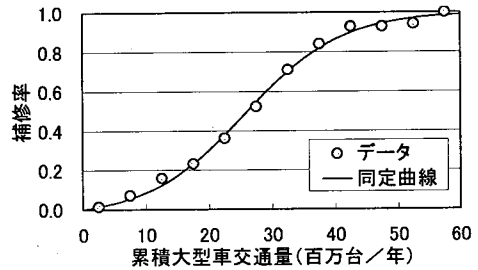


(c)舗装 (オーバーレイ)

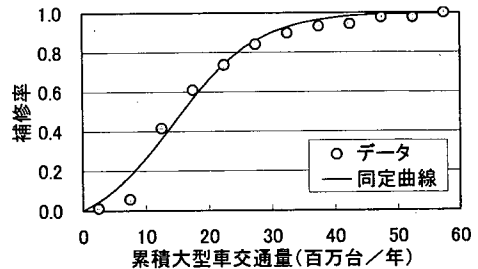


(d)伸縮装置 (取り替え)

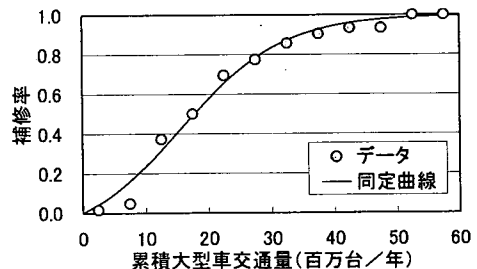
図-8 工事事務所 A における補修率曲線の同定結果



(a)舗装 (打換え)

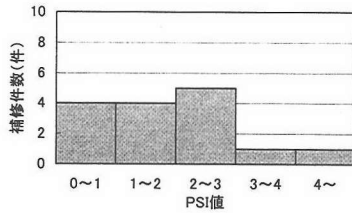


(b)舗装 (オーバーレイ)

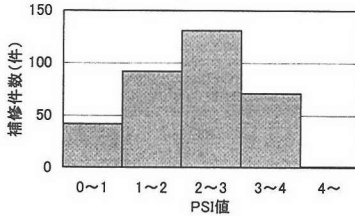


(c)伸縮装置 (取り替え)

図-9 工事事務所 B における補修率曲線の同定結果

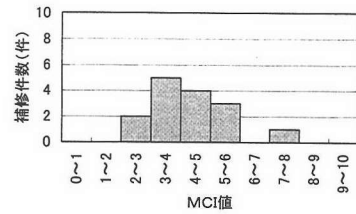


(a)打換え

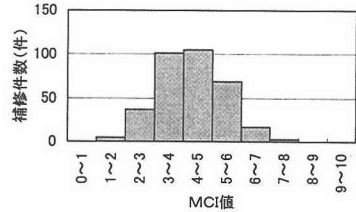


(b)オーバーレイ

図-10 工事事務所 A における PSI 値と補修件数の関係



(a)打換え



(b)オーバーレイ

図-11 工事事務所 A における MCI 値と補修件数の関係

ここで、工事事務所 A について同定された舗装の打換えとオーバーレイの補修率曲線(図-8(b)と(c))の傾向を見ると、オーバーレイより打換えの方が累積大型車交通量の少ない段階で補修率が高くなる傾向がある。一般に、舗装路面の対策として実施されているオーバーレイは、比較的劣化の進んでいない段階で、打換えよりも先に行われる対策と考えられており、工事事務所 A について同定された打換えとオーバーレイの補修率曲線の関係は、これとは逆の関係となっている。そこで、本研究で収集した橋梁台帳の補修歴以外のデータから、この補修率曲線の傾向を分析し、本研究で同定された補修率曲線と工事事務所 A における補修実績との関係を考察した。補修歴以外のデータとしては、工事事務所 A が属する地方整備局管内の一般国道における舗装の路面性状¹⁴⁾を利用した。具体的には、路面性状データと打換えおよびオーバーレイに関する過去の補修状況をセットにして、各対策(打換えおよびオーバーレイ)直前の PSI 値¹⁵⁾(供用性指数)と MCI 値¹⁴⁾(維持管理指数)を調べた。そして、それぞれの対策を実施したときの PSI 値および MCI 値の傾向より、工事事務所 A が属する地方整備局管内の一般国道に関する打換えおよびオーバーレイの実施状況と、補修履歴データより同定された補修率曲線による補修の傾向を定性的に比較した。

工事事務所 A が属する地方整備局管内の一般国道に関する路面性状と過去の補修状況のデータは、打換えについては 15 件、オーバーレイについては 337 件を抽出できた。PSI 値と補修件数の関係を図-10 に示す。まず、PSI 値と補修(打換えとオーバーレイ)の関係については、PSI 値が 0~1 の場合に打換

え、PSI 値が 1~2 の場合にオーバーレイというおおよその対応工法が提案されている¹⁵⁾。しかしながら、図-10 に示されるようにどちらの対策も PSI 値が低い範囲で補修が実施されている。打換えについては、対策を施すべき元々の範囲であると考えられるが、オーバーレイについては、実際には打換えをすべき段階でありながら補修を実施している様子を読み取れた。次に、MCI 値と補修件数の関係を図-11 に示す。MCI 値と補修件数の関係についても、PSI 値で検討した場合とほぼ同様の傾向が見られた。MCI 値は、値が高いほど路面状態が良いことを表しており、図-11(b)では MCI 値が 1~3 までの範囲でもオーバーレイが行われていた。そして、本来は打換えを行うべき路面状態の比較的悪い段階で、オーバーレイを施しているケースもいくつか見られた。このことより、工事事務所 A では、PSI や MCI の低い範囲でもオーバーレイを実施していること、また打換えは比較的路面状態の良い段階でも行われていることが確認でき、最終的に、工事事務所 A では打換えがオーバーレイよりも早めに行われる傾向があることがわかった。本研究で同定された舗装についての補修率曲線は、このような工事事務所 A の補修実績の傾向を示していると推察できる。

4. 補修率曲線を利用した維持管理計画の考え方

(1) 補修率曲線の個々の橋梁への展開

前章で同定された各部材の補修率曲線は管轄内の補修実績の全体的な傾向を表現したものである。本

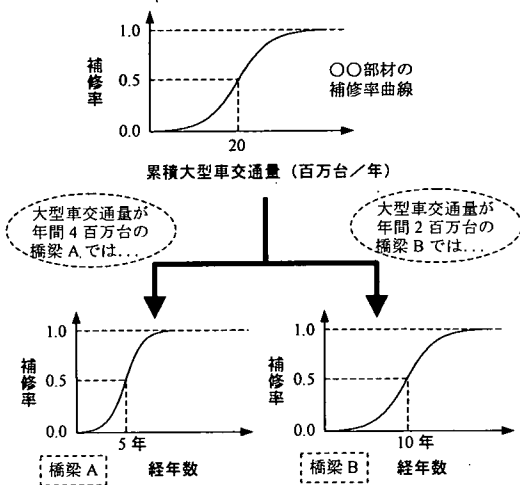


図-12 補修率曲線の各橋梁への展開

表-6 計画対象橋梁の基本データ

橋梁番号	架設年	普通車交通量 (台/12hr)	大型車交通量 (台/12hr)	有効幅員 (m)	伸縮装置個数
B-1	1983	11,535	2,812	10.8	3
B-2	1982	21,997	5,672	8.3	6
B-3	1985	23,794	6,401	12.3	9
B-4	1991	25,692	5,602	5.5	2
B-5	1989	4,417	2,627	16.0	2

研究では、この各部材の補修率曲線を利用した維持管理計画の考え方について提案する。

図-12 に示すように、本研究で提案した各部材の補修率曲線は累積大型車交通量と補修率の関係を表していることから、横軸の累積大型車交通量は現時点での大型車交通量を考慮することで、経年数に変換することができる。そして、個々の橋梁の大型車交通量は異なることから、補修率曲線を各橋梁の補修率曲線（部材単位）へと展開できる。補修率曲線を利用して複数の橋梁の補修計画を策定する際には、このような橋梁ごとの部材別補修率曲線を設定し、補修率と補修費用の関係から長期的な維持管理計画を策定する。

本研究では、工事事務所 B の伸縮装置（取り替え）に対して同定した補修率曲線（図-9(c)）を利用して、伸縮装置の取り替えに関する個々の橋梁の補修率曲線を展開し、この曲線をもとに維持管理計画を検討した。

(2) 計算例および考察

計画対象とした工事事務所 B の橋梁（5 橋）に関する基本データを表-6 に示す。そして、各橋梁の大型車交通量（年間）を利用して展開した橋梁ごとの補修率曲線を図-13 に示す。なお、計画策定の基準年は 2000 年とした。

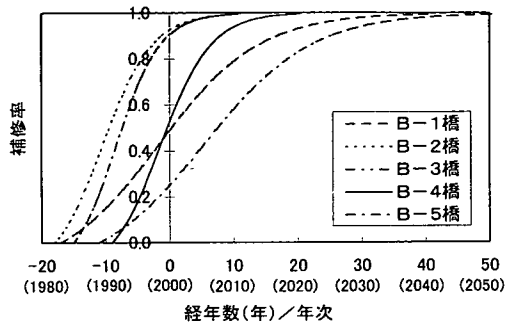


図-13 年間大型車交通量により展開した工事事務所 B の橋梁ごとの補修率曲線（伸縮装置（取り替え））

表-7 伸縮装置の取り替えにかかる 1 回分のコスト

橋梁番号	工事費用 (万円)	渋滞損失費用 (万円)
B-1	3,110	2,148
B-2	4,781	4,168
B-3	10,627	4,570
B-4	1,056	4,631
B-5	3,072	1,181

図-13 で展開された 5 橋梁の伸縮装置（取り替え）の補修率曲線を利用して、基準年（2000 年）から 100 年間の補修計画について検討した。具体的には、補修を実施することによって補修率が 0.0 に回復する代わりに、相応のコストが発生するとして、計画策定の 100 年間を通して、複数橋梁の補修率の合計値と総補修費用を計算する。ただし、社会的割引率による将来コストの現在価値への換算は行わなかった。このとき、補修率の上限 y_{limit} を 0.2~0.8 まで 0.1 刻みで変化させ、合計 7 パターンの長期補修計画について検討した。なお、基準年において設定した補修率の上限 y_{limit} を上回っていた場合には、その年に伸縮装置の取り替えを行うこととした。

伸縮装置の取り替えにかかる費用は文献 (16) を参考に設定した。対象とした 5 橋の伸縮装置がすべて鋼製の伸縮装置であったことから、昼間施工としての 1 日当たりの材料（製作）費および現場設置費は 480 千円/m とし、1 回の工事の工期は 2 日と考えた。また、今回は社会的損失費用として、工事のための交通規制による普通車および大型車の渋滞損失費用も計上した。1 台当たりの渋滞損失費用は、普通車で 649 円、大型車で 1,157 円として計算した。以上をまとめると、各橋梁の伸縮装置の取り替えにかかる 1 回分の工事費用および渋滞損失費用は表-7 の金額となった。具体的には、取り替え単価に表-6 に示される各橋梁のデータ（伸縮装置個数および長さ）を乗じて工事費用とし、渋滞損失費用についても、普通車および大型車の各交通量データを単価に乗じて見積もった。

表-8 5橋梁の100年間の総補修費用と補修率の合計

補修率の上限 y_{limit}	総補修費用 (億円)	補修率の合計値
0.2	64.12	126.43
0.3	46.05	122.93
0.4	37.80	132.93
0.5	33.41	146.47
0.6	29.32	164.12
0.7	25.26	188.40
0.8	20.95	214.42

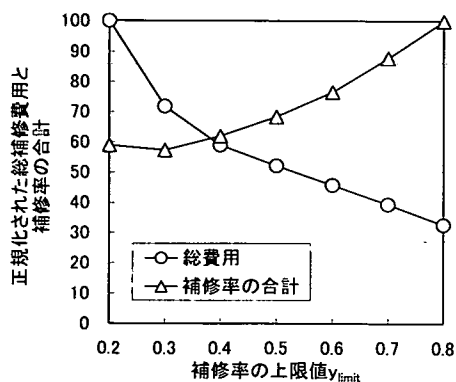


図-14 正規化された総補修費用と補修率の合計の変化

補修率の上限 y_{limit} を 0.2~0.8 まで 0.1 刻みで変化させた場合の合計 7 パターンの長期補修計画について、5 橋梁の総補修費用および補修率の合計値を表-8 に示す。補修率の上限 y_{limit} を 0.2 として計算した場合は、5 橋梁の 100 年間の総補修費用は約 64 億円となったが、同じく 5 橋梁の 100 年間を通しての補修率の合計は 126.43 と低く抑えられている。そして、補修率の上限 y_{limit} を上げていくことで、総補修費用は抑えられるが、逆に補修率の合計は上がっていき、5 橋梁を総合的に見た場合の供用レベルは下がることになる。複数橋梁の長期的な維持管理を実施する上で、この補修率の上限 y_{limit} をどのように設定するかがポイントとなるが、総補修費用と補修率の合計はスケールが異なることから、単純に比較できない。

そこで、本研究では補修率の上限 y_{limit} ごとに求められている各値について、総補修費用と補修率の合計の最大値をそれぞれ 100 として正規化し、各値を換算した。その結果をグラフ化したものが図-14 である。グラフより、総補修費用については補修率の上限 y_{limit} の値が 0.2~0.4 付近で大きく減少するのに対し、補修率の合計の上昇は緩やかであり、補修率の上限 y_{limit} の値が 0.4 近くで交差することが確認できた。このことより、伸縮装置の取り替えに関する長期的な維持管理計画では、補修率の上限 y_{limit} の値を補修率曲線の 0.4 程度に設定し、個々の橋梁の維持管理を実施していけばよいことが分かる。

このように、本研究では補修率曲線を利用した長

期維持管理計画の策定方法の一例として、複数橋梁の総補修費用および補修率の合計値より、適切な補修率の上限 y_{limit} を見い出せることを示した。伸縮装置（取り替え）についてのみの計算例であるが、他の補修率曲線についても同様の検討が可能と考えられ、さらに部材ごとの補修率曲線を複数組み合わせることにより、橋梁全体としての維持管理計画も策定できる。また、橋梁の維持管理計画の策定においては、年度予算が将来的にほぼ決まっている中で、如何に橋梁の供用レベルを高く保てるかという長期的な計画策定も必要である。これについては著者らが実施している維持管理計画の最適化システム³⁾によって実行できると考えられ、今後、補修率曲線を導入した最適化システムの運用を行っていきたいと考えている。

5. まとめ

本研究では、橋梁の補修履歴データを利用して、経年数や累積大型車交通量の変化による各地域、各部材、各対策ごとの補修実績の傾向を分析するとともに、累積大型車交通量と補修件数の関係より地域別、部材別の補修率曲線を同定した。そして、この補修率曲線を利用した長期的な維持管理計画の策定方法について、伸縮装置の取り替えを例に提案した。以下に、本研究の結論を取り纏める。

- 3 工事事務所の補修履歴データを収集・分析することにより、データが十分にある場合は、補修を行ってきた経年数および累積大型車交通量のピークが特定でき、補修時期の平均値に地域および部材別の違いがあることが確認できた。しかしながら、データが十分得られない場合は補修件数との関係を把握することは難しいことが分かった。
- 2 工事事務所の床版、舗装（打換えとオーバーレイ）、伸縮装置（取り替え）の 3 部材について、累積大型車交通量と補修件数の関係を分析した結果、経年数と補修件数の関係よりも分布形状がより山型になり、ピークも特定しやすくなった。また、大型車交通量を指標にしたことから、経年数だけでは考慮できない橋梁の供用環境の地域性が表現できた。
- 3 工事事務所の床版（工事事務所 A のみ）、舗装（打換えとオーバーレイ）、伸縮装置（取り替え）の 3 部材について、累積大型車交通量と累積補修件数の関係から、成長曲線へ当てはめを行ない、地域別、部材別（一部は対策別）の補修率曲線を同定することができた。そして、工事事務所 A の舗装に関して同定した補修率曲線から、

舗装の打換えとオーバーレイに関する地域の補修政策の傾向を把握することができた。

- 4) 工事事務所 B の伸縮装置 (取り替え) に関して同定した累積大型車交通量による補修率曲線に対して、横軸の累積大型車交通量を経年数に換算することで、同じく工事事務所 B より抽出した 5 橋梁の補修率曲線に展開できた。
- 5) 展開された 5 橋梁分の伸縮装置 (取り替え) に関する補修率曲線を利用し、補修率の上限 y_{limit} を 0.2~0.8 まで 0.1 刻みで変化させた場合の 5 橋梁の 100 年間を通しての補修率の合計値と総補修費用を計算した。その結果、伸縮装置の取り替えに関する長期的な維持管理計画では、補修率の上限 y_{limit} の値を 0.4 程度に設定して維持管理を実施すればよいことが分かった。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、新潟国道工事事務所、岐阜国道工事事務所、山口工事事務所には、補修歴を含む橋梁台帳全般を提供していただきました。また、(財)道路保全技術センターには、橋梁保全支援システムについてご提供いただきました。さらに、飯田隼弘氏にはデータ分析に協力いただきました。心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：橋梁マネジメントシステムの開発に関する調査研究報告書，土木研究所資料，第 3633 号，1999.3.
- 2) 宮本文穂，串田守可，足立幸郎，松本正人：Bridge Management System (BMS) の開発，土木学会論文集，No.560/VI-34，pp.91-106，1997.3.
- 3) 宮本文穂，河村 圭，中村秀明：Bridge Management System (BMS) を利用した既存橋梁の最適維持管理計画の策定，土木学会論文集，No.588/VI-38，pp.191-208，1998.3.
- 4) 近田康夫，橋 謙二，城戸隆良，小堀為雄：GA による既存橋梁の補修計画支援の試み，土木学会論文集，No.513/I-31，pp.151-159，1995.4.
- 5) 原田隆郎，富田義紀，横山功一：遺伝的アルゴリズムの階層化による橋梁の維持管理計画モデルの開発，土木情報システム論文集，Vol.10，pp.147-156，2001.10.
- 6) 古田 均，金森敦司，堂垣正博：ライフサイクルコストを考慮した橋梁群の R C 床版の最適維持管理計画支援システムに関する研究，材料，Vol.47，No.12，pp.1245-1250，1998.12.
- 7) Ohya, T., Mizutani, M., Adachi, Y. and Kozuka, M. : On optimization of maintenance strategy for highway bridge slab panels, *International Conference on Structural Safety and Reliability*, ICOSSAR '97, Kyoto, 1997.
- 8) 関 惟忠，前川順道，田坂 広，足立幸郎：道路構造物の維持管理の最適化手法に関する検討，阪神高速道路公団技報，第 15 号，pp.147-156，1996.
- 9) 建設省土木研究所：橋梁点検要領 (案)，土木研究所資料，第 2651 号，1988.7.
- 10) 社団法人道路保全技術センター：橋梁保全支援システム・操作説明書，1998.12.
- 11) 建設省道路局企画課：道路統計年報—2000 年版—，全国道路利用者会議，2000.10.
- 12) 有馬博人，松井繁之，田中成典：鋼橋の塗装劣化曲線の同定方法，構造工学論文集，Vol.44A，pp.529-536，1998.3.
- 13) 土木学会土木情報システム委員会：土木情報処理の基礎—FORTRAN 77 に即して—，土木学会，1987.3.
- 14) 土木学会：土木工学ハンドブック，第 32 編 舗装，第 5 章，pp.1393-1398，技報堂，1989.
- 15) 社団法人日本道路協会：道路維持修繕要綱—II 各論編，p.67，1990.7.
- 16) 土木学会鋼構造委員会鋼構造物の維持管理研究小委員会：第 2 回社会資本のメンテナンスに関するシンポジウム資料集，pp.40-43，2001.12.

(2002. 6. 14 受付)

IDENTIFICATION OF REPAIR RATE CURVE OF HIGHWAY BRIDGES USING REPAIR HYSTERETIC DATA

Takao HARADA and Koichi YOKOYAMA

Repair hysteretic data of the highway bridges is not effectively used in management system for the reason that repair hysteretic data is not accumulated enough. However, repair hysteretic data is effective information for planning of maintenance strategies. This study analyzed the relationship of repair frequency to the accumulated track traffic volume by using repair hysteretic data. Moreover, repair rate curve was identified by applying analytical results to logistic curve. In addition, long-term maintenance strategies were suggested by using the repair rate curves.