

地域道路網における舗装維持管理水準と 維持管理予算について

岩手大学 南 正昭^{*1}

福山コンサルタント(株) 鈴木 天^{*2}

By Masaaki MINAMI and Takashi SUZUKI

本研究では、岩手県において収集された路面性状調査データをもとに、舗装維持管理システムを作成し、道路網の長期的な舗装サービス水準と、その確保に必要な年間補修費用の関係を調べた。道路の維持管理予算の縮減に伴い、維持が不可能になる路線がどの程度生じるかについて、地理情報システム上に表現するとともに、維持停止路線延長として明示的に評価する手順の開発を試みたものである。舗装サービス水準ならびにその経年劣化をMCI（維持管理指数）で表し、所与の年間補修予算の下で、劣化状態に応じた補修工法ならびに補修対象とする道路リンクを選定し、道路舗装補修のシミュレーションを実施した。年間補修予算が一定額を下回ることで、道路網全体の舗装サービス水準の維持が困難になること、それにより道路網の部分的な舗装サービス水準の確保を断念し、残りの道路網について舗装サービス水準を保持する必要が生じることを示した。将来に渡り確保すべき舗装サービス水準の決定や、必要となる維持管理投資予算等に関わる地域道路網の維持管理計画の立案に資することを目的としたものである。

【キーワード】舗装維持管理、舗装サービス水準、年間補修予算

1. はじめに

近年、公共投資予算の縮減が進められ、維持管理関連予算についてもその確保が課題となっている。道路等の社会基盤施設の提供するサービス水準を長期的にどの程度に設定するのか、またそのためにどの程度の投資予算を確保する必要があるのかについて、必ずしも十分な議論が進んでいるとはいえない。

地方自治体レベルにおいても、財政の緊縮や人口減少に伴い、都市のコンパクト化や社会基盤投資の抑制・重点化の検討が進められるとともに、橋梁の長寿命化基本計画の作成が進められるなど、より計画的な維持管理計画の立案への実務的な要請が高まってきている。

道路網の舗装の維持管理については、これまで建設マネジメントに関わる領域で多くの研究が続けられてきている。たとえば、内田・召田¹⁾は、地方道

^{*1} 工学部建設環境工学科 019-621-6454, minami@

iwate-u. ac. jp

^{*2} 東北事業部 022-262-0118

の舗装について劣化予測式、補修箇所、優先順位、維持管理基準等を設定し、シミュレーションに基づく長期の補修計画の立案手法について提案している。補修計画を最適化問題としてその解法を開発しようとする研究として、原田・呉・吉田・岩松²⁾や寺島・内田・加賀屋・萩原³⁾によるアプローチが行われている。また、将来に渡る舗装維持管理のために、長期的に最適な補修ルールを求めようとする研究として、田村・小林⁴⁾、田村・慈道・小林⁵⁾などがみられる。このように舗装維持管理システムの開発、補修計画の解法や舗装劣化のモデル化、補修ルールの決定などに関して、既に多くの研究が蓄積されてきている。しかし、自治体レベルの道路網について、サービス水準と費用の関係を実データの利用に基づいて分析し、路線の維持の可否に関わる道路評価に言及した研究はあまりみられない。

本研究では、岩手県において収集された路面性状調査データをもとに、舗装サービス水準と補修費用の関係を調べるとともに、維持管理予算の縮減によって維持が不可能になる路線がどの程度生じるかの

分析を試みたものである。維持管理予算が一定額を下回ること、道路網全体の舗装サービス水準が減少すること、また、維持停止路線を設定することで維持管理予算に応じて道路網の部分的なサービス水準の確保が可能になるものの維持を断念せざるを得ない路線が生じることを明示した。将来に渡って確保すべき舗装サービス水準、投資予算、道路投資の重点化等の地域道路網の道路維持管理計画の立案に資することを目的としたものである。

2. 研究の方法

本研究では、岩手県において収集された路面性状調査データを投入し、道路リンクごとの投資費用とそれによって実現される舗装サービス水準との関係を、将来に渡ってシミュレートできる積算型の舗装維持管理システムを作成した。また、その出力結果を地理情報システムに取り込み、各道路リンクの舗装サービス水準を空間的に把握できるように工夫したものである。

このシステムを用いて、所与の単年度予算下で達成される将来に渡っての各道路リンクの舗装サービス水準を算出し、投資予算と舗装サービス水準の関係をグラフ化するとともに、地図上に空間分布を明示できることを示した。また、投資予算の減少に対応し、道路網全体の舗装サービス水準が低下することを回避するため、維持停止路線を設定した場合について、投資予算と維持停止路線ならびに維持路線の舗装サービス水準の関係を算出し、その空間分布を提示した。

(1) 路面性状調査データ

本研究では、岩手県が2005年度に県道および県管轄の国道を対象に実施した舗装路面性状調査結果を用いて分析を行った。本稿には、岩手県内のある範囲の地域道路網を対象とし、1リンク約100mとして、約6500リンク、総延長約620kmを取扱った場合を示した。ただし、舗装サービス水準の低下や維持停止路線の設定など、当該地域や路線沿線にとって、必ずしも望ましくない問題を扱っているため、対象とした地域や路線名等は明記していない。使用した路面性状調査データは、各道路リンクについて、大型車交通量、道路長、道路幅員、路面性状情報（ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性）、MCIなどの特性

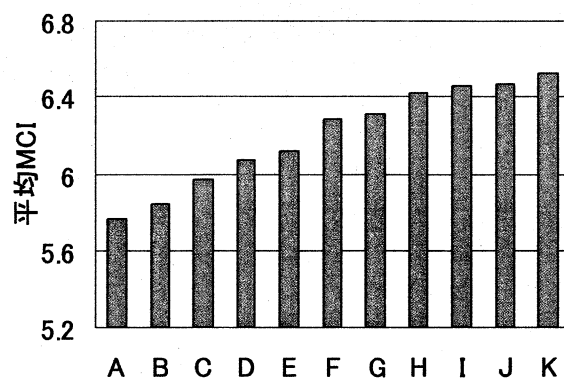


図-1 市町村毎の平均 MCI の計算値

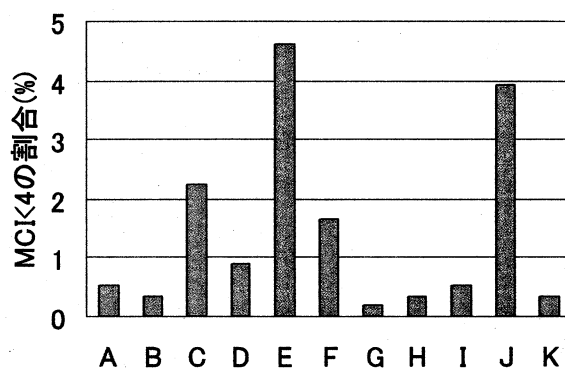


図-2 市町村毎の道路網に占める MCI < 4 の道路リンクの割合

値が対応しているものである。

通常 MCI は、6 程度で欠陥はみられるが補修は要しない程度、4 以下になれば修繕が必要、3 以下になると早急に修繕が必要といわれている。本研究で分析対象とする約 6,500 の道路リンクによって形成される道路網について、市町村ごとに MCI の平均値（以下、平均 MCI とよぶ）を算出した結果が図-1 である。対象地域全体での平均 MCI は 6.20 であり、現状の舗装サービス水準は比較的良好であると判断できる。また、全道路リンクに占める MCI が 4 未満の割合は 1.5% 程度だが、図-2 に示すように市町村によっては 4% を超えるところもみられる。各道路リンクの MCI から、早急な補修を要する道路リンクが県内に分布していることを見て取ることができた。

(2) 舗装維持管理システムの概要

舗装の設計・施工の実務については「舗装設計施工指針」⁶⁾等にとめられている。本研究では、岩手県の路面性状調査データをデータベースとして実装した舗装維持管理システムを作成した。このシステムの構成は、以下のようである。

- a) 舗装サービス水準の評価指標としては、以下に示す MCI (維持管理指数) を用いた。

$$MCI = \min(MCI_i)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$$

$$MCI_1 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7}$$

$$MCI_2 = 10 - 2.23C^{0.3}$$

$$MCI_3 = 10 - 0.54D^{0.7}$$

ただし、C：ひび割れ率(%), D：わだち掘れ量(mm), σ ：平坦性(mm)

- b) 舗装の劣化予測式は、内田らの研究¹⁾に基づいて設定した。

ひび割れ率(%)

$$C_{i+1} = 1.13C_i + 0.65 \quad [C_i = 0.00\%]$$

わだち掘れ量(mm)

L, A 交通のとき

$$D_{i+1} = 0.81D_i + 1.36 \quad [D_i = 4.40\text{mm}]$$

$$(D_{i+1} - D_i \leq 0.1 \text{ ならば } D_{i+1} = D_i + 0.1)$$

B₁, B₂ 交通のとき

$$D_{i+1} = 0.97D_i + 0.60 \quad [D_i = 4.40\text{mm}]$$

$$(D_{i+1} - D_i \leq 0.1 \text{ ならば } D_{i+1} = D_i + 0.1)$$

C₁, C₂, D 交通のとき

$$D_{i+1} = 1.02D_i + 0.63 \quad [D_i = 4.40\text{mm}]$$

$$(D_{i+1} - D_i \leq 0.1 \text{ ならば } D_{i+1} = D_i + 0.1)$$

平坦性(mm)

$$\sigma_{i+1} = 0.92\sigma_i + 0.26 \quad [\sigma_i = 2.45\text{mm}]$$

$$(\sigma_{i+1} - \sigma_i \leq 0.01 \text{ ならば } \sigma_{i+1} = \sigma_i + 0.01)$$

ただし、[]内は初年度のデータを示す。また、L, A, B, C, D 交通は、1日1方向の大型車交通量を意味しており、L=100 台未満、A=100~250 台、B=250~1000 台、C=1000~3000 台、D=3000 台としている。

- c) 補修工法ならびに補修費用は、内田・召田¹⁾らの研究を参考に、ひび割れ率の値のみを判断材料とすることとし、天野ら⁷⁾の研究に基づいて表-1のように選定した。補修費用は、単位面積当たりの原単位をもとに、道路幅員と道路延長を乗じることで求めた。

表-1 ひび割れ率と補修工法および補修費用

ひび割れ率(%)	補修工法	補修費用(千円/100m ²)
C>40	打換え工法	893.3
20<C≤40	切削オーバーレイ	185.0
C≤20	表層再生工法	102.1

- d) 単年度予算とし、予算額は将来に渡って一定とした上で、50 年間に渡る MCI の経年変化、補修の実施、補修費用を、道路リンクごとに算出し集計した。現在価値換算による比較を目的とするものではないため、計算に当たっては社会的割引率を考慮していない。

- e) 出力結果を地理情報システムに取り込み、各道路リンクの舗装サービス水準を電子地図上に空間表示した。

さらに詳細な計算プロセスについては、後述する。

3. 予算制約下での年間予算と整備水準

(1) 予算制約下での MCI の算出手順

本章では、第2章に述べた舗装維持管理システムを用いて、毎年一定の年間補修予算を与えたときに、それにより達成される舗装サービス水準を算出し空間表示した結果を例示する。ここでは、予算制約下での補修において、対象道路網の中での当該道路リンクの補修の優先順位ならびに予算の配分ルールを以下のように設定してシミュレーションを実施したものである。

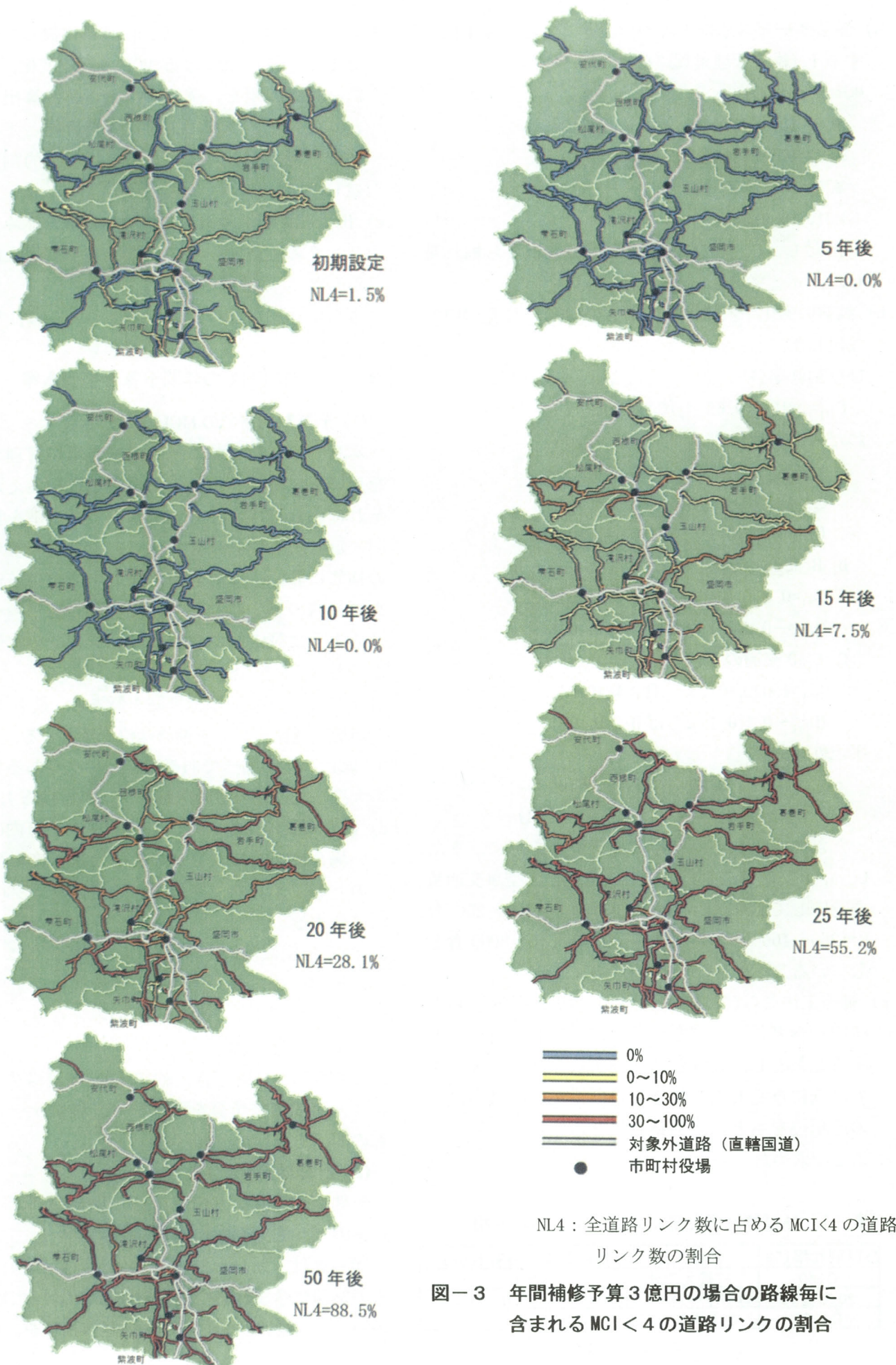
- a) MCI の値が低い順に補修を優先し、最も MCI の値が低い道路リンクを補修順位1番とする。
- b) MCI の値が同一である道路リンクがある場合は、大型車交通量の多い道路リンクから補修する。
- c) MCI が低くても、その補修費用が予算内に入らない場合は、当該リンクの補修は次年度に見送るものとし、予算内で補修できる道路リンクの補修を実施する。
- d) 当該年度に消化できなかった予算残高については、次年度に持ち越さない。予算残高は、道路リンクを一つも補修できない金額のみとなり、それ以外はすべて投入額となる。

このルールに基づき、約 6,500 の道路リンクについて、年間補修予算を所与とし、舗装サービス水準との関係を導いた。

(2) 計算結果および考察

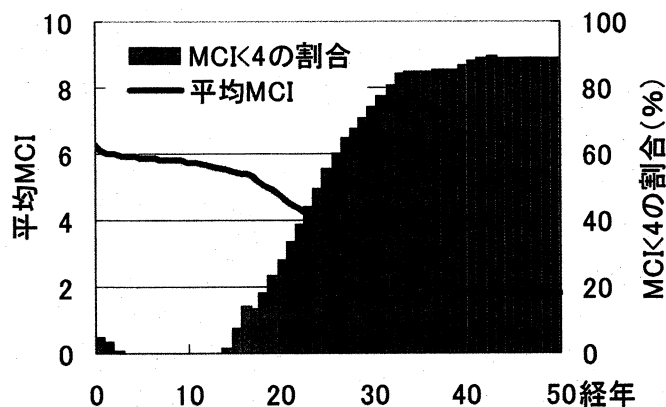
年間補修予算を3億円とした場合の計算結果は、以下のようである。

図-3は、対象道路網に含まれる各路線について、その路線に含まれる全道路リンクのなかで、MCI が4未満となる道路リンクの割合の経年推移を、色別で

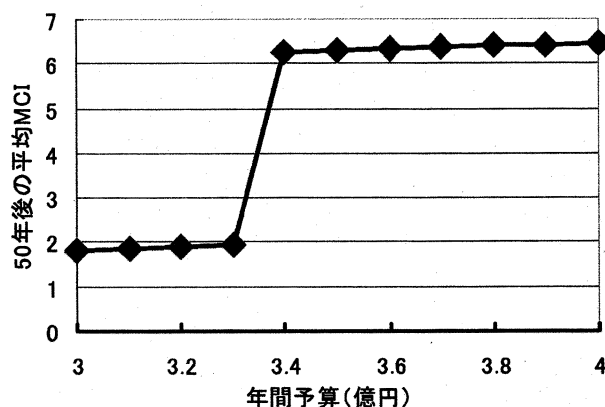


図一 3 年間補修予算3億円の場合の路線毎に含まれる MCI < 4 の道路リンクの割合

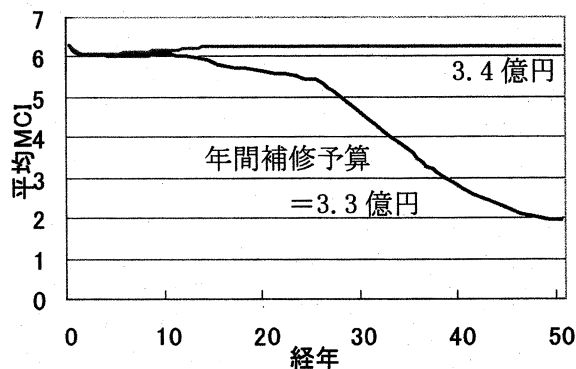
表わしたものである。初期の状態では、半数程度の路線は MCI が4未満の道路リンクを含まない青色を示し、その他の多くの路線についても MCI が4未満の割合が0～10%であることが示されている。5年経過後には、全路線において MCI が4未満の割合は0%と算出された。また、10年後においても全ての路線について0%の状態を保持しており、舗装サービス水準は良好な状態を維持しているといえる。しかし、15年後をみると MCI が4未満の道路リンクがみられるようになり、その後徐々に増加している。20年後、25年後と年数が経過すると MCI が4未満の道路リンクの割合が30%を超える路線も現われ、25年後にはほとんどの路線において30%を超えることが示された。最終的には50年後において MCI が4未満の道路リンクの割合が30%を超える路線が大多数を占める結果が示された。ほとんどの道路リンクにおいて簡単な維持を要するとされる MCI が4未満となり、年間補修予算3億円では対象道路網の劣化の進行に対して補修の追いつかないことが示されている。



図－4 年間補修予算3億円の場合の平均 MCI と対象道路網内での MCI < 4 の道路リンクの割合



図－5 年間補修予算と50年後の平均 MCI の関係



図－6 年間補修予算が3.3億円と3.4億円の場合の平均 MCI の経年変化

図－4は、年間補修予算を3億円で設定した場合の、平均 MCI の推移と MCI が4未満となる道路リンクの割合の推移を示したものである。平均 MCI は経年とともに徐々に低下し、15年ほど経過すると低下の度合が大きくなっている。最終的には平均 MCI は2を下回る結果となった。また、初期の段階では、MCI が4未満の道路リンクが短期的に解消される様子がみられる。これは、年間補修予算3億円で、初期の時点で補修を必要とする道路リンク、劣化の傾向がみられる道路リンクの全ての補修が実施されたためである。その後、MCI が4未満の道路リンクが存在しない状態が続き、15年ほど経過すると MCI が4未満の道路リンクが現れはじめ、経年とともに増加し50年後には約88%の道路リンクについて MCI が4未満となることが示される。

図－5は、縦軸を50年後の平均 MCI、横軸を年間補修予算とし、年間補修予算の設定により達成される50年後の平均 MCI を示したものである。年間補修予算を3億円から3.3億円で設定した場合、ある年度から平均 MCI の値が急激に減少する傾向がみられる。これらの予算では、対象道路網の一定の舗装サービス水準が保持できないことが示され、年間補修

予算が一定額を下回った場合に、道路網全体の舗装サービス水準が大幅に低下する可能性のあることを示しているといえる。また、3.4億円から4億円に設定した場合では、平均 MCI は初期値である6.20とほとんど相違がみられず、整備水準の維持が可能になる様子が示されている。3.4億円と4億円では、予算

額に差があるにも拘らず平均 MCI の推移はほぼ同様なものになった。年間補修予算を必要以上に与えても、舗装の劣化が深刻でない段階での補修が増加することになり、予算額に見合った効果として発現しないことが示されている。

図-6 は、年間補修予算が 3.3 億円と 3.4 億円の場合の平均 MCI の経年変化を示したものである。年間補修予算が比較的安く設定された場合に起こり得る舗装サービス水準の大幅な低下は、次のように解釈できるものと考えられる。MCI の低い道路リンクから補修することになるため、初期の段階で補修単価が高い打ち換え工法を採用しなければならない道路リンクを補修することとなり、道路リンク単体の補修に比較的多くの費用が必要となる。それらの補修によって、年間補修予算を大きく割かれることになる。そのため、それら以外の道路リンクの補修のための費用が不足することになり、平均 MCI の値は低下する。数年後には、初期の補修によって MCI が 4 未満の道路リンクはなくなるが、対象道路網を構成する全ての道路リンクについて、舗装サービス水準を維持するためには年間 3 億円から 3.3 億円では少ないため、徐々に平均 MCI は低下し続けることになる。

年間補修予算が 3.3 億円以下では、全ての道路リンクを補修することができないため、ある時点から補修単価の高い打ち換え工法を必要とする道路リンクが出現する。それらの道路リンクに補修予算を充当することになり、他の道路リンクの補修に要する予算を確保できず、さらに打ち換え工法を採用せざるを得ない道路リンクが増加することになる。その結果として、図-4 と図-6 にみられるように、年間補修予算を比較的安く設定した場合には、舗装サービス水準の大幅な低下がみられることになる。

以上より、対象道路網の全道路リンクを補修しようとする場合は、本稿に示した計算条件の下では、年間予算 3.4 億円程度が、補修費用を抑えつつ舗装サービス水準を保持するのに適当であろうことが見て取られる。

4. 低予算下における維持停止路線の設定と舗装サービス水準の関係

(1) 維持路線と維持停止路線の設定

第 3 章の結果から、本稿での計算条件の下では、

舗装サービス水準を維持するために、3.4 億円以上の年間補修予算を確保する必要があることが示された。また、その確保が困難なときは、対象道路網全体を維持しようとする、大幅な舗装サービス水準の低下を招く結果になることが示された。

年間補修予算が一定額を下回るときは、道路網全体の舗装サービス水準の維持は困難になることから、一部の道路網の維持を断念し、残りの道路網に補修予算を重点化することにより、それらの舗装サービス水準を長期的に確保するという維持管理計画を立てざるを得なくなるものと考えられる。維持補修を停止する路線を設けるということは、道路網の縮小を意味し、それまで道路網が地域に果たしてきた役割を果たせなくなることになる。交通利便性の低下、地域間交流の縮小、災害時緊急道路網への影響、医療交通確保への影響など、地域間の所要時間の増加や経済的な損失が見込まれる。

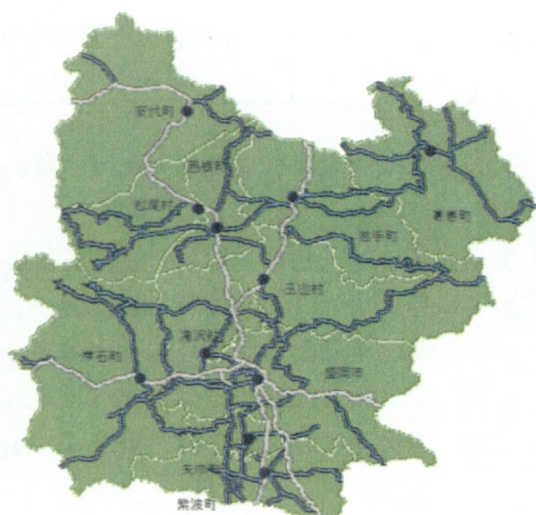
本研究では、道路網の長期的なマネジメントのための補修予算に関する合意形成には、補修予算の縮小の帰結として生じる維持停止路線を明示的に取り扱う必要があるとの観点から、年間補修予算と維持停止路線延長との関係性を評価することを試みた。

維持管理を停止する維持停止路線の選定は、既存の道路網が当該地域における交通機能を担っていることから、慎重な議論を要するものと考えられるが、ここでは次のようなルールに基づき選定するものとした。所与とした年間補修予算に対して、道路網全体の舗装サービス水準の確保が不可能であるとき、大型車交通量の少ない路線から順に維持補修を停止する維持停止路線を設定する。維持停止路線を一路線ずつ増加する繰返し計算を行い、その年間補修予算で、舗装サービス水準の確保が可能になる維持継続路線ならびに維持停止路線を確定した。

これにより、予算縮小に伴い発生する維持管理を停止する路線の増加として、道路網のサービス水準の低下を明示的に評価し、年間補修予算を含めた道路網維持管理計画の立案のための基礎資料とすることができると考えた。

(2) 計算結果及び考察

図-7 (a) は、年間補修予算を 3.4 億円に設定した場合であり、50 年後の道路網の路線毎について、MCI が 4 未満となる道路リンクの割合を示したものであ



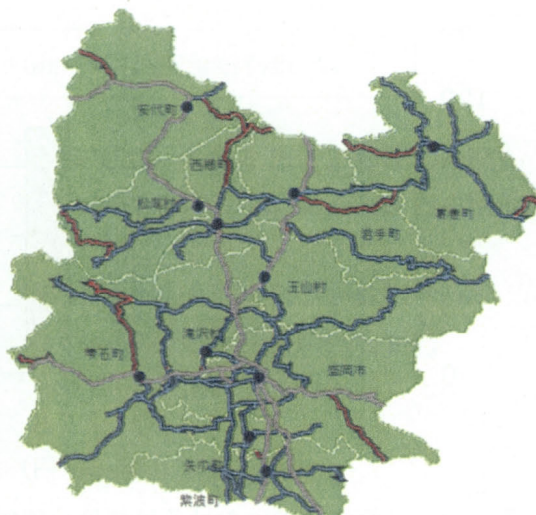
維持停止路線数=0

(a) 年間補修予算 3.4 億円の場合



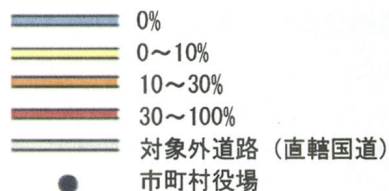
維持停止路線数=3

(b) 年間補修予算 3.0 億円の場合



維持停止路線数=11

(c) 年間補修予算 2.6 億円の場合



図一 7 年間補修予算が 3.4 億円, 3.0 億円, 2.6 億円の場合の 50 年後における MCI < 4 の道路リンクの割合

る。年間予算 3.4 億円では、舗装サービス水準の確保が可能であったため、維持停止路線は現れず、道路網全体にわたり良好な整備水準が保持されている様子が見て取られる。

また、年間補修予算を 3 億円に設定した場合、50 年後の道路網の舗装サービス水準の状態は、図一 7 (b) のように算出された。維持停止路線として 3 路線が設定される結果となり、これらの維持停止路線においては、MCI が 4 未満となる道路リンクの割合が 30% から 100% となっており舗装サービス水準は大きく低下している。しかし、その他のすべて路線については、MCI が 4 未満となる道路リンクの割合が 0% となること示され、維持停止路線を設定することで、それ以外の路線のサービス水準の保持は可能に

なることが確認された。

年間補修予算を 2.6 億円に設定した場合について、50 年後の道路網の舗装サービス水準の状態を図一 7 (c) に示した。この場合、維持停止路線に設定される路線は 11 路線と算出された。道路網の舗装サービス水準を長期的に保持するには、11 路線の補修の継続を断念せざるを得ないことが示されている。

図一 8 は、年間補修予算を 3 億円に設定した場合について、維持停止路線ならびに維持路線の平均 MCI の推移を示したものである。年間補修予算 3 億円では、3 路線が維持停止路線に設定され、これらの維持停止路線の平均 MCI は経年とともに大幅に低下する。25 年ほど経過すると、計算上で MCI が取り得る値の最小値まで低下している。これは、維持停止路

線に含まれるすべての道路リンクの MCI の値が、最小値に達したことを意味しており、当該道路の舗装サービス水準が劣悪なものとなっていることを表している。その一方で、維持路線について、50 年間に渡って MCI の平均値の値は高く保持されており、維持停止路線を設定することによって、道路網全体の舗装サービス水準の低下を防ぐことが可能になることが示されている。

図-9 は、年間補修予算の縮減に伴う舗装サービス水準の低下を、維持停止路線延長の増加によって表現したものである。年間補修予算を一定額よりも低く設定した場合には、維持停止路線にならざるを得ない道路延長は増加する結果になる。本稿での計算条件によると、年間補修予算を 2.8 億円にすると維持停止路線延長は 100km を越え、2.6 億円とすると維持停止路線延長が対象道路網の約 20% を占めることが示された。

5. おわりに

本稿では、路面性状データを用いた舗装維持管理システムを作成し、長期に渡る維持管理をシミュレートすることで、設定した計算条件の下で年間補修予算と舗装サービス水準の関係を定量的、視覚的に明らかにした。また、年間補修予算を抑えて舗装サービス水準を保持するためには、維持停止路線を設けざるを得なくなることを明示した。維持管理予算の縮減が、道路網のサービス水準に直接的に与える影響を、維持停止路線延長の増加を指標として評価できることを示した。

地方部において道路網の果たす役割は、道路交通の確保、地域間交流の促進、緊急時の安全性確保など多岐にわたる。維持停止路線を明示的に取り扱うことで、維持可能な地域道路網が縮小せざるを得ないときの影響を、路線毎に評価することが可能になる。維持を継続すべき路線の決定や、それに要する維持管理予算の確保等、地域道路網の維持管理計画の立案に有用と考えられる。

今後は、舗装劣化や補修費用の算出等のシミュレーションを、岩手県の気候条件を考慮したものへと精緻化を進めるとともに、維持停止の影響の評価等の研究を進める必要がある。

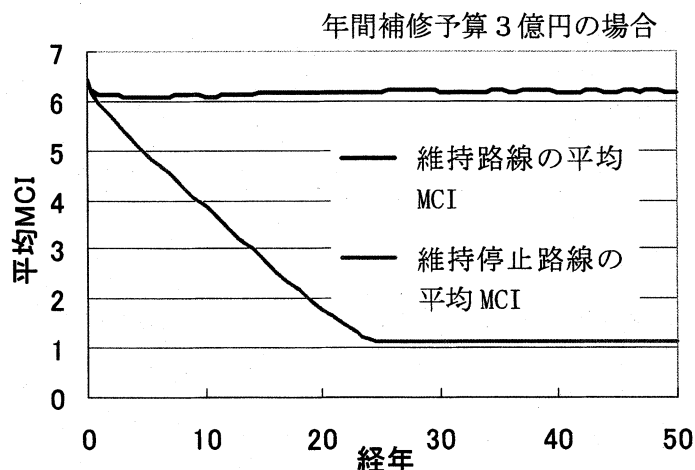


図-8 維持路線と維持停止路線の平均 MCI の推移

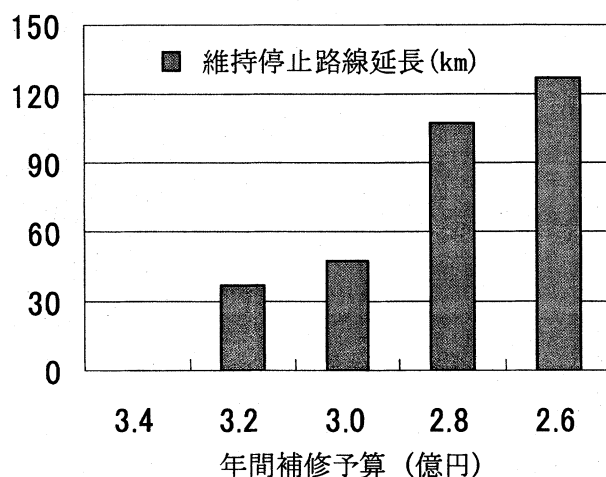


図-9 予算縮減下における維持停止路線延長

【参考文献】

- 1) 内田弘・召田紀雄：地方道における長期補修計画の立案，土木学会論文集，No. 597/IV-40，pp. 21-31，1998.
- 2) 原田 隆郎，呉 智深，吉田 典史，岩松 幸雄：ニューラルネットワークによる道路舗装の補修計画最適化モデル，土木学会論文集，No. 700/VI-54，pp. 145-157，2002.
- 3) 寺島 令，内田 賢悦，加賀屋 誠一，萩原 亨：Genetic Algorithm を用いた道路舗装における効率的維持管理評価に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol. 32，pp. 356-359，2005.
- 4) 田村 謙介，小林 潔司：不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol. 18，pp. 97-107，2001.

- 5) 田村 謙介, 慈道 充, 小林 潔司 : 予算制約を考慮した道路舗装の修繕ルール, 土木計画学研究・論文集, Vol. 19, pp. 71-82, 2002.
- 6) 日本道路協会 : 舗装設計施工指針〈平成 18 年版〉, 2006.
- 7) 天野 耕二, 牧田 和也 : 舗装道路の建設と維持修繕に伴う環境負荷とコストのライフサイクル評価, 土木学会論文集, Vol. 657/VII-16, pp. 57-64, 2000.

Pavement Maintenance Level and Annual Budget over the Regional Road Network

By Masaaki MINAMI and Takashi SUZUKI

In this study, a pavement management system was developed by use of pavement performance data collected by local government of Iwate prefecture. We analyzed the relationship between long term levels of service for a road pavement and annual budget for its maintenance and repair. According to a reduction of an annual budget for road maintenance and repair in recent years, it would be impossible to continue to maintain whole road network in the near future. The roads which would be impossible to continue to maintain was calculated under the conditions including an annual budget given and was depicted on GIS. The MCI was used as the index of the level of service of a road pavement and the deterioration of it. A long term simulation of pavement maintenance over the road network was executed. The calculation included the selection of a method of pavement maintenance on each road link and totalized the cost under an annual budget. It was confirmed quantitatively and visually that it became impossible to continue to maintain whole road network, after an annual budget was extremely decreased. We need to abandon the maintenance of whole road network and choose the road continuing to perform. This paper aimed to make a consensus for a long term planning of maintenance and repair of the regional road network that contains a determination of level of service for the network and a required annual budget.