

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13844

研究課題名（和文）画一的維持管理ルールに基づくインフラマネジメント手法の開発

研究課題名（英文）Development of infrastructure management methodologies with consistent intervention rules

研究代表者

水谷 大二郎（Mizutani, Daijiro）

東北大学・災害科学国際研究所・助教

研究者番号：30813414

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：社会基盤施設の公共性を考えると、管理者はその価値を最大化するようにアセットマネジメントを行ってゆく必要がある。一般的に、社会基盤施設は複数の部材などの要素により複合的に構成されている。本研究では、これらの要素に対する補修行為において、隣接した要素の同時補修を考慮し、ライフサイクル費用の更なる低減を図るための方法論を開発した。具体的には、劣化が進展し必ず補修すべき要素からどの程度離れていてどの程度劣化している要素を同時補修すべきかという問題を考え、補修意思決定の基準を導出するための方法論を提案し、実在の規模の社会基盤施設においても、提案方法論が有用となることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会基盤施設を構成する複数の隣接要素の同時補修決定問題は、組合せ爆発が問題となる最適化問題となることが知られていた。本研究では、このような問題に対して、簡便的な補修・規制ルールに基づき補修・規制施策を導出するための方法論を提案している。このように簡便的なルールを用いるという点は、従来の関連研究と一線を画し、また、導出された結果が煩雑でなく実務における意思決定の基準としても有用となると考える。

研究成果の概要（英文）：For public infrastructure, the managers need to conduct appropriate asset management to maximise the value of the infrastructure. In general, the infrastructure is composed of multiple elements (e.g., bridge members, pavement sections). In this study, to determine repair and work zone policies for the infrastructure, we have developed a methodology to consider simultaneous repair of adjacent elements in a single work zone to further reduce the life cycle costs. Specifically, we considered problems of how many elements should be repaired within a single work zone, how far those elements should be located each other, and how much deteriorated an element should be to be identified as an element to repair, and then proposed a methodology to derive the decision-making criteria. The proposed methodology is demonstrated by applying it to a determination problem of repair and work zone policies of real-scale pavement systems.

研究分野：アセットマネジメント

キーワード：アセットマネジメント インフラマネジメント 最適化 補修・規制施策 補修同期化 簡便的ルール  
動的計画法 維持管理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

### 1. 研究開始当初の背景

道路舗装や橋梁、上下水道などの社会基盤施設の公共性を考えると、管理者はそれらの価値を最大化するようなアセットマネジメントを実施してゆく必要がある。また、高度経済成長期に建設された膨大な量の社会基盤施設の老朽化も問題となっている。これに対し、社会基盤施設の価値を適切に評価し、それに応じて効率的に維持管理を行ってゆくことが、今後、さらに重要となり、学術的にも研究対象となってきている。

ライフサイクル費用低減のための社会基盤施設の補修・規制施策を導出するにあたり、隣接施設の同時補修を考慮することが望ましい。図-1には、道路舗装を例に舗装区間の同時補修の概念を示す。同図の Case A では、赤色で示した補修すべき区間が別々の規制 (work zone) で補修されている。一方、Case B ではそれらの補修すべき区間が単一の規制により同時補修されており、規模の経済性による補修・規制費用の低減が期待できる。このように、どの舗装区間を補修・規制するかを決定するためには、個々の舗装区間に対する維持管理アクションを同時決定する必要があるが、実在のスケールの舗装区間においては、組合せ爆発に起因して最適解を解析的に求めることが極めて困難であった。

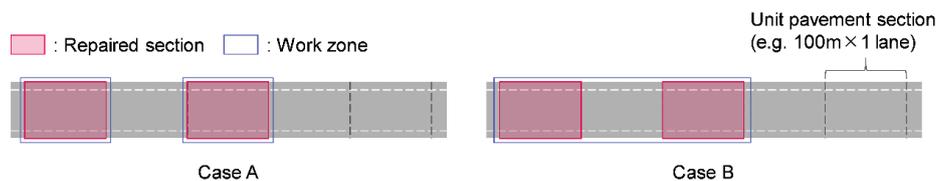


図-1 道路舗装の補修・規制における規模の経済性

### 2. 研究の目的

上記のような研究背景に対して、本研究は、道路舗装を対象として簡便的规则に基づき最適補修・規制施策を近似的に求めることを目的とする。その際、舗装の劣化も考慮し、劣化過程に応じた補修・規制施策を導出する。まず、補修・規制施策の最適解が解析的に求まる程度の小規模の舗装システムにおいて、提案方法論と解析解を比較し提案方法論の有用性を示し、最終的には、実在の規模の舗装システムにおける補修・規制施策の導出においても、提案方法論が有用となることを実証することを具体的な目的とする。

### 3. 研究の方法

補修・規制施策を決定するための簡便的规则を、

“i) 健全度  $X$  以上の舗装区間 (要補修区間) を補修する, ii) 要補修区間から  $Z$  区間以内の健全度  $Y$  以上の舗装区間も同一の規制においてに補修する.”

と設定し、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  の値を最適化することを考える。最適補修・規制施策を厳密に求めようとすると、個々の補修区間に対して i) 規制・補修を行う, ii) 規制のみを行う, iii) 何も行わない、という3種類のアクションを同時に選択する必要があり、現実規模の舗装システムで厳密解を求めることは困難である。一方、提案方法論では、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  の3つの変数のみを最適化するため、シミュレーションを用いて容易に最適な  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  が求まる。その際、劣化過程をマルコフ連鎖モデルにより確率的に表現し、動的計画法の枠組みで最適化問題の定式化を行う。なお、健全度は離散的な状態空間を持ち、値が大きくなる程劣化が進展しているとする。

提案方法論をまず区間数  $N=5$  の小規模な舗装システムに適用し、提案方法論により求まる補修・規制施策と厳密解である最適補修・規制施策の差異、それぞれの方法論の計算時間を比較する。その後、提案方法論を現実的な区間数  $N=100$  の舗装システムに適用し、提案方法論の有用性を議論するとともに、費用や劣化過程に関する感度分析を行う。

### 4. 研究成果

ここでは、本研究の主題である簡便的规则に基づく補修・規制施策決定手法に関する研究成果を説明する。なお、当該研究テーマの実施を通じて災害時の被害を考慮したアセットマネジメント手法の開発や劣化予測モデルの高度化も行っている。

#### (1) 小規模な舗装システム

提案方法論を小規模な舗装システム ( $N=5$ ) に適用した結果を表-1 に示す。同表では、3種類

の劣化パターンにおいて、簡便的ルールを用いた提案方法論 (Approximation), 価値反復法を用いた厳密解 (Exact solution) の比較を行っている. いずれの劣化パターンにおいても, 提案方法論により計算時間が格段に短縮され, 提案方法論では厳密解と類似の期待ライフサイクル費用を持つ補修・規制施策が求められていることが確認できる.

表-1 小規模舗装システムにおける結果

		Computational time	Expected life cycle cost
Pattern 1	Exact solution	649.79 seconds	106.20 [m.u.]
	Approximation	0.92 seconds	106.96 [m.u.]
Pattern 2	Exact solution	642.39 seconds	111.61 [m.u.]
	Approximation	0.91 seconds	113.60 [m.u.]
Pattern 3	Exact solution	637.52 seconds	102.20 [m.u.]
	Approximation	1.14 seconds	104.98 [m.u.]

### (2) 現実的な規模の舗装システム

提案方法論を現実的な規模の舗装システム (N=100) に適用した結果を表-2 に示す. N が 10 以上になると, 最適補修・規制施策の厳密解を求めることは到底不可能である. 提案方法論により, N=100 程度の大規模な問題に対しても, 現実的な計算時間で補修・規制施策を近似的に求めることができることが確認できる. 同表の結果に基づき, 補修・規制施策を決定するための簡便的ルールは, “i) 健全度 4 以上の舗装区間 (要補修区間) を補修する, ii) 要補修区間から 3 区間以内の健全度 3 以上の舗装区間も同一の規制においてに補修する.” と表され, このような簡潔な情報が実務者の実際の補修・規制の意思決定を支援するために有用となると考える.

表-2 現実的な規模の舗装システムにおける結果

Computational time	447 seconds
Repair and work zone policy	Policy with $X^* = 4$ , $Y^* = 3$ , and $Z^* = 3$
Expected life cycle cost	1,785.90 [m.u.]

### (3) 費用, 劣化過程, 社会的費用と管理者費用の重みに関する感度分析

提案方法を多様な条件に適用し, 3つの変数 X, Y, Z の最適化を行った. 図-2~図-4 には個々の劣化パターン, 補修単価, 規制単価ごとに求めた最適な Y, Z の値を示す (最適な X は全て 4 となった). また, 図-5 には, 社会的費用と管理者費用の重みに応じた最適な X, Y, Z の変化を示す. これらの図より, 費用, 劣化過程, 社会的費用と管理者費用の重みといった多様な条件に応じて, とるべき補修・規制施策が変化し, これらの条件に応じず一律に補修・規制施策を決定していた既往研究 1) の方法論では不十分であることが示唆された.

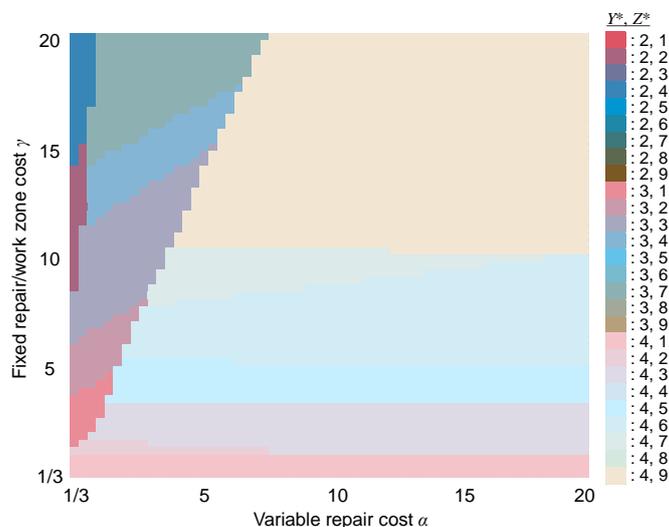


図-2 劣化パターン 1 における感度分析結果 (N=100)

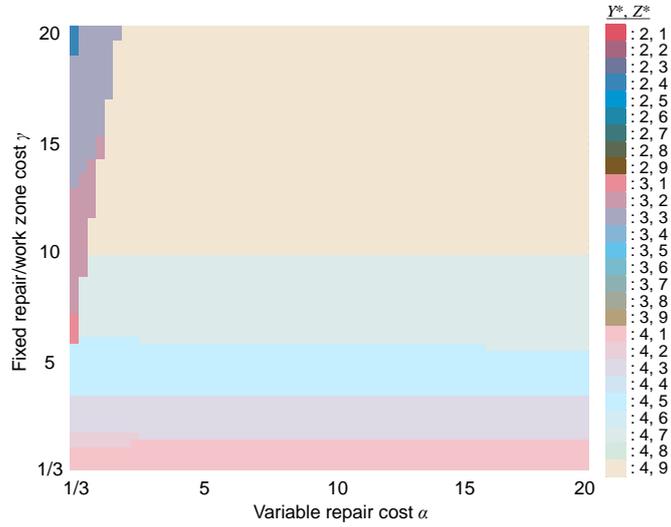


図-3 劣化パターン 2 における感度分析結果 (N=100)

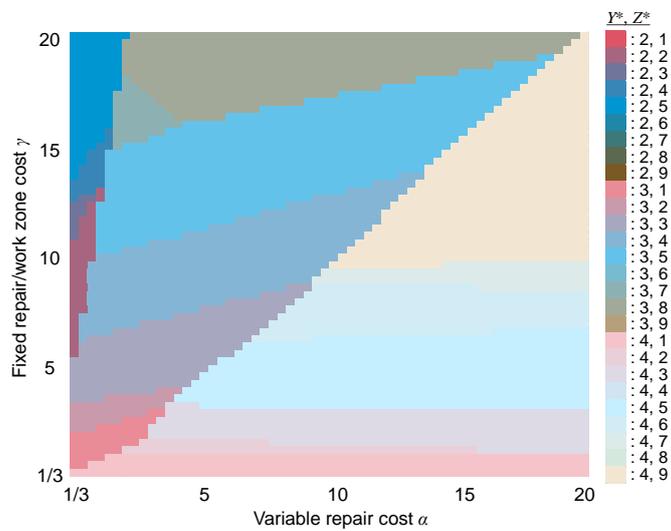


図-4 劣化パターン 2 における感度分析結果 (N=100)

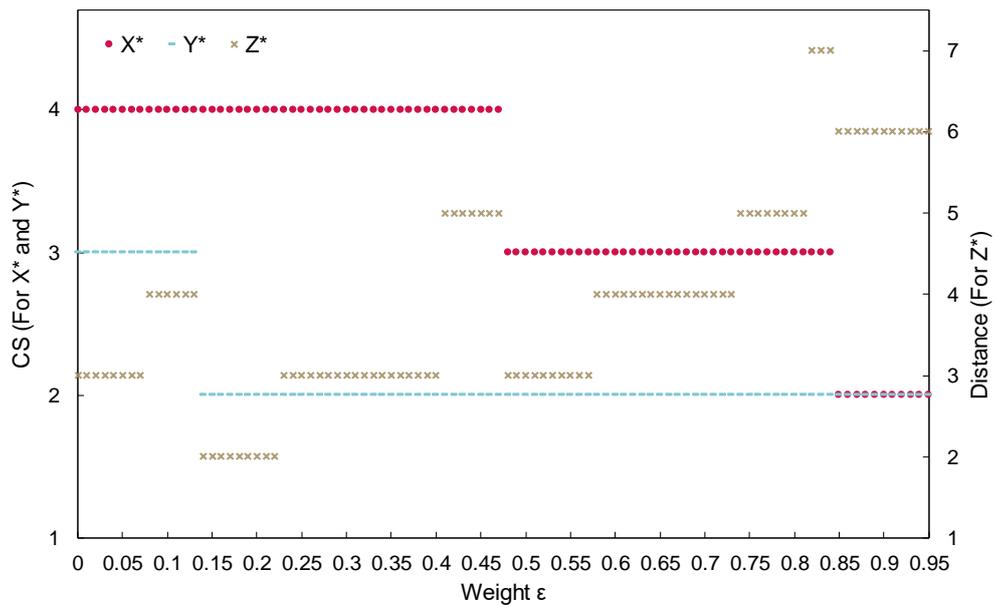


図-5 社会的費用と管理者費用の重みに関する感度分析結果 (N=100)

参考文献

- 1) Lethanh, N., Adey, B. T. and Burkhalter, M.: Determining an optimal set of work zones on large infrastructure networks in a GIS framework, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.24, Issue 1, 04017048, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 水谷大二郎, 上野 渉	4. 巻 76巻2号
2. 論文標題 階層的隠れマルコフ劣化モデルの状態推移確率の解析解について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 196-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejipm.76.2_196">https://doi.org/10.2208/jscejipm.76.2_196</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小林潔司, 貝戸清之, 水谷大二郎, 坂井康人	4. 巻 75巻4号
2. 論文標題 長期記憶性を考慮した時系列データによる構造物劣化過程のモデル化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 233-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejipm.75.233">https://doi.org/10.2208/jscejipm.75.233</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daijiro Mizutani	4. 巻 Vol.13, No.6
2. 論文標題 Variability in an optimal infrastructure management policy by internalization of seismic risk	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 1062-1071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2018.p1062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 水谷 大二郎, 上野 渉, 奥村 誠
2. 発表標題 インフラ廃棄問題における需要制御効果
3. 学会等名 第2回JAAM研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野 渉, 水谷 大二郎, 奥村 誠
2. 発表標題 社会基盤ネットワークの最適更新・廃棄方策における需要制御効果
3. 学会等名 第58回土木計画学研究・講演集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野 渉, 水谷 大二郎, 奥村 誠
2. 発表標題 社会基盤ネットワークの最適更新・廃棄施策と需要制御効果
3. 学会等名 平成30年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daijiro Mizutani
2. 発表標題 Reduction of seismic risk of infrastructure via daily management works
3. 学会等名 International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Nakazato, Daijiro Mizutani and Jinwoo Lee
2. 発表標題 Determination of repair and work zone policies for road sections by optimizing a simplified rule
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daijiro Mizutani
2. 発表標題 Optimal intervention policy of bridges considering earthquake occurrence probability increasing over time
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wataru Ueno, Daijiro Mizutani and Makoto Okumura
2. 発表標題 Benefit of traffic control in maintenance /disposal decision of substitutable bridges
3. 学会等名 The 7th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daijiro Mizutani, Kiyoyuki Kaito, Kiyoshi Kobayashi and Yohei Ninomiya
2. 発表標題 Effect of preventive maintenance for bridge expansion joints against corrosion at steel girder ends
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Infrastructure Asset Management (SIAM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水谷大二郎, 中里悠人
2. 発表標題 画一的ルールによる道路舗装ネットワークの補修意思決定
3. 学会等名 第3回JAAM研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野渉, 水谷大二郎
2. 発表標題 状態推移確率の解析解を用いた階層的隠れマルコフ劣化モデルの効率的推定方法
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中里悠人, 水谷大二郎
2. 発表標題 画一的ルールによる道路舗装の次善補修施策
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中里悠人, 水谷大二郎
2. 発表標題 状況依存型点検施策による予防保全効果：舗装耐荷力における検証
3. 学会等名 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水谷大二郎
2. 発表標題 アセットマネジメント研究の最先端：統計的劣化予測と維持管理施策最適化
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----