

論文 鋼鉄道橋維持管理における優先度評価

阿部 雅人¹・杉崎 光一²

¹正会員 株式会社BMC 研究開発部 (〒261-7125 千葉県美浜区中瀬2-6-1WBGマリブウエスト25階)
E-mail: masato@hashimori.jp

²正会員 株式会社BMC 研究開発部 (〒261-7125 千葉県美浜区中瀬2-6-1WBGマリブウエスト25階)
E-mail: sugisaki@hashimori.jp

既設構造物の高経年化に伴う老朽化や不適合化が進む中で、限られた資源で効果的かつ効率的に維持管理を行うためには、優先度を評価して計画的に実施することが求められる。本研究では、直近の検査における判定に加え、検査や措置の履歴、不適合度、維持管理性の評価等を踏まえて、総合的に優先度を求める枠組みを構築した。また、検査履歴から構造物の状態を可視化するモデルにおいて、既存に提案している、検査で要対策となった構造物に措置をする日常的な維持管理における回復効果に対し、施策的に行う予防的な対策の効果として、構造物の劣化の発生率を減らす効果、および回復率を上げる効果をモデルに導入した。優先度評価によって選定した措置計画にモデルを適用することで、対策効果を踏まえた劣化ストック率の見える化が可能となった。

Key Words : asset management, inspection data, statistic, hazard, recovery

1. はじめに

社会インフラの維持管理においてアセットマネジメントの重要性が言われている¹⁾。アセットマネジメントは、限られた資源で効果的かつ効率的に維持管理を行うためのツールであり、優先度を評価して計画的に実施することが求められる。従来は、検査によって要措置と判断されたものから対策を行う事後保全的な対応が主流であったが、アセットマネジメントにおいて構造物の状態を可視化することで予防的な対策を実施していくこと、またその対策効果を評価することが課題となっている^{2,3)}。

筆者らは、検査履歴から構造物の状態を可視化する方法を提案している⁴⁾。提案手法では、ストックの損傷の進展だけでなく、対策等による回復に着目したモデル化を行っている。本論文では、構造物の維持管理における優先度をつける方法を提案するとともに、対策の有効性を比較するために、動態モデルの改良を提案する。モデルの改良において、検査で要対策となった構造物に措置をする日常的な維持管理における回復効果に対して、施策的に行う予防的な対策の効果として、構造物の劣化の発生率を減らす効果、および回復率を上げる効果をモデル化する。

本研究の構成は、2. において鋼橋を対象として、構造物の対策における優先度評価方法を提案する。3. において動態モデルの改良を提案し、優先度をつけた対策

を比較するための枠組みを提案し、4. で結論を述べる。

2. 優先度評価

一般的には直近の構造物の検査判定を利用して措置が検討されているが、より予防保全的な観点から、総合的に維持管理優先度を求める枠組みとして、検査や措置の履歴、設計荷重や構造ディテールなど現在の基準に対する不適合度⁵⁾、検査や施工環境などの維持管理性等による分類方法（カテゴリー化³⁾）を提案する。

(1) マクロ的な優先順位

構造物の経年は、長いものが一概に悪いとは言えず、技術の変遷、また、設計当時の考え方（基準の変遷）や外力、環境条件などにより構造物の状態は相違する。表-1は諸元などを利用してマクロ的に構造物の状態を評価して（カテゴリー化）、維持管理における優先順位をつける方法である^{8,9)}。例えば、斜角桁などでは、鈍角部の支点反力が相対的に大きくなるため、斜角が小さい桁の方が支点変位の発生率が高いと考えられている。特に60°以下のものは、適合度が低いと考えられ、さらに過去には45°以下の、より適合度が低い橋もある。また、都市部など桁下空頭を確保するために、下路式の桁橋が多く作られてきたが、床組を有しているために、縦桁と

表-1 諸元による優先度指標

項目	評価ランク
輸送量	路線等級1級を優先とする
経年	a : 100年以上 b : 80年以上～100年未満 c : 60年以上～80年未満 ※以下のものはランクアップする。 製作1930年以前のトラス
斜角	a : 45°以下 b : 45より大きく～60°未満 c : 60°以上
曲線	a : $R \leq 500\text{m}$ b : $500\text{m} < R < 1000$ c : $R \geq 1000\text{m}$
形式	スルーガーダー a : 溶接構造 a : 縦桁Iビーム構造である c : リベット構造 ※開床式の場合ランクアップする。
	デッキガーダー a : スパン10m未満 b : スパン10～20m c : スパン20以上
	下路トラス a : 製作1930年より前 a : 1960～1980年に製作されたもの c : それ以外のもの
公称応力	主要部材の公称応力が50Mpaを超えた場合。
損傷歴	①安全性の面 ・疲労き裂 ・基準不適合の桁 ②経済性の面 ・シュール座の損傷 ・ボルト・リベットの弛み ・一旦壊れると復旧に手間取るもの： 長大橋、二線橋など

横桁の交差部などに疲労き裂が発生して破断した事例があり、破断した場合の走行車両に対する影響が大きいなど、上路式に対して相対的に冗長性が劣ると考えられている。上路桁では短支間のものでは衝撃の影響が大きいことから、スパンにより分類ができ、下路トラス橋においては、ガセットの設計が確立していない時期や溶接初期の構造物などで疲労上問題となるものがあり、維持管理上の優先順位は大きくなる。カテゴリごとの要注意項目は、a, b, cでランク分けされ、a:5点, b:3点, c:1点で配点して合計の点数で優先度をつける。

(2) ミクロ的な優先順位

マクロ的な観点から大まかな優先順位をつけるには(1)の方法が適用できるが、建設年代や環境条件が同一のような箇所において、より構造や環境の特徴を考慮したミクロ的に優先順位をつける方法を検討した。ミクロ的な優先順位の選定は、カルテ（検査のための着目箇所

と検査記録を反映した措置を実行するための処方箋）を活用する方法であり、カルテに基づいた日々の維持管理と合わせて、処方箋を実際に実行するための選択と集中の方法である¹⁰⁾¹¹⁾。

(1)と同様のカテゴリ化による優先順位付けの観点からは、施工上の困難さが指標として挙げられる。例えば、都市部では、立体交差などの交通機関が交差しているような構造物が多く、特に、一般道路との交差に対して、線路や高速道路との交差などでは足場の仮設などが困難であり、点検や施工の条件が厳しいと考えられる¹²⁾¹³⁾。また、特殊な構造として、長支間の桁を架設することができなかった時代では、鋼脚を利用したゲルバー構造（架違い）などが多用されている箇所もあり、耐震性やリダンダンシー（空頭や鋼脚への車両衝突）などで要注意となるものがある。また、騒音を抑えるための道床式の構造として活荷重を受けることを想定したバックルプレートを利用したものがあり、バックルプレートに発生する腐食やき裂からの漏水に対する対策方法の回復率が低いことが知られている。バックルプレートに対しては、大掛かりな対策が厳しい箇所では、対処療法的な対策に対して繰り返し変状が発生しているものがある。また、下路桁でも、縦桁に支点を有するようなディテールが過去の基準では利用されている。また、設計荷重の変遷により、同一路線においていわゆる設計荷重の小さい弱小桁と言われる桁がある、また、小スパンの桁橋で、ベッドプレートを利用した支点構造を有しているものがあり、地盤の悪さを伴って、再変状を繰り返すようなものがある¹⁴⁾。

このようなカテゴリ化による優先順位と合わせて、表-2に示す損傷歴のような点検の判定履歴による指標（検査履歴指標）が考えられる。検査における判定指標として鉄道構造物の全般検査（A, B, C, S）¹⁵⁾や道路橋の定期点検（IV, III, II, I）¹⁶⁾などが実務では利用されているが、ここでは、要措置の状態である構造物をD判定として、また措置の時期が特定されていない構造物をS判定としてモデル化する。判定履歴からは、検査において要措置の状態であったものが、次の検査においてもD判定が続いているようなDランク継続構造物（高滞留と呼ぶ）だけでなく、D判定から要措置ではない状態（S判定）に回復して、その後またD判定の状態になるような構造物、いわゆる再変状と言われているものが要注意な構造物として挙げられる。このような高滞留や再変状が発生する要因としては、上記に述べたような施工上の問題や変状の種類が影響していると考えられるが、維持管理上は以下のような問題が挙げられる。

- ・その損傷自体が確実に治るかどう（対処療法：事後保全）。例えば、バックルプレートのき裂や腐食による漏水に対して下支え工法を実施する¹⁷⁾、疲労き裂に

表-2 鋼桁の優先度指標

	分類項目	項目	指標
	エリア	対象地域	色分け
横軸	諸元	経年	(平均経年－経年) / 平均値
		交差条件	河川 -1 店舗 -1 高速道路 -1 線路 -1
		保安条件	高圧線 -1
		設計荷重	(設計荷重－基準荷重) / 基準荷重
	基準不適合度 (余裕度)	ベッドプレート	有り-1, 無し0
		斜角	60°以下-1 それ以外0
		床組に縦桁	有り-1, 無し0
		バックルプレート	有り-1, 無し0
		ゲルバー構造	有り-1, 無し0
		地盤条件	(180m/s－せん断波速度) / 180m/s
		桁下空頭	(空頭値－4.5m) / 4.5m
縦軸	検査履歴指標 (橋りょうID)	滞留率	D判定数 / 検査判定数
		発生数 (2回以上は再変状)	同一橋梁のSDの数
		回復数	同一橋梁のDSの数
		疲労き裂	有り1 無し0

対して当板補修のみを行う、支点のアオリなどに対してライナー等を挿入するなどの対策である¹⁷⁾¹⁸⁾。

- ・類似損傷の再発も抑えられるかどうか (原因除去: 予防的)。例えば、バックルプレートの変状に対して工事桁方式で¹⁹⁾荷重を受けてき裂などの進行を防ぐ、疲労き裂発生箇所ではシュー座補修や当板を合わせて行い局部応力を低下させてき裂発生の原因を断つ。
- ・損傷しにくい構造にできているかどうか (大改修: 性能向上)。例えば、不適合度の高いディテールを改良もしくは施工条件によっては架替えを行う。支点部の改良と合わせてシュー座補修を行うなど。

D判定の発生は、健全な部材に変状が発生するだけでなく、変状が発生した部材を修繕したが、再度同一の変状が発生する、他の部材に類似の変状が発生する、他の部材に別の変状が発生するなどが考えられる。いずれにしても同一橋梁で複数D判定が発生するような場合は発生率が大きくなる傾向があり、注意が必要となる。一度回復した橋が別の原因、もしくは同じ原因で再度劣化する場合で発生率が上がる場合は、完全に回復していないなど解釈が可能である。また、特定の年代のディテールや材料において何度もD判定になるなどの傾向もあること、また、AA判定などのFCM的観点なども優先順位の選定において考慮する必要がある。

以上のような観点から表-2のように優先順位付けを行

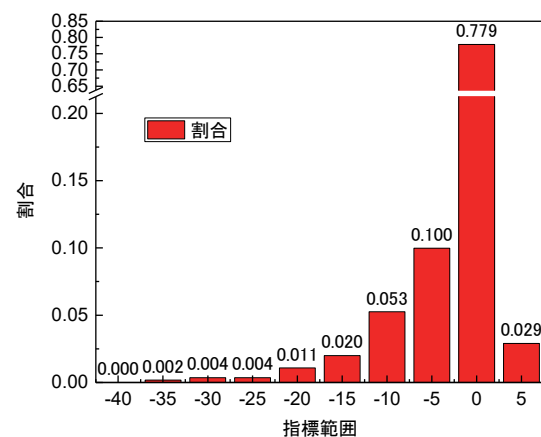
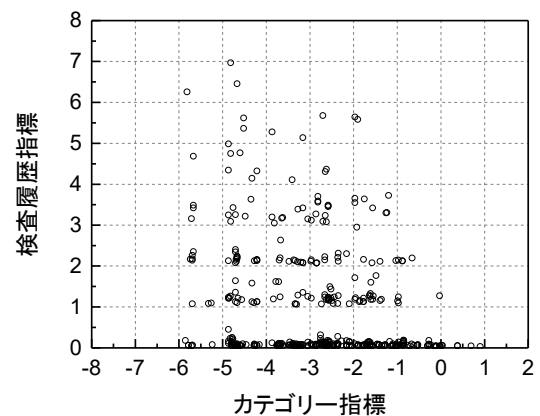


図-1 優先度付け結果

う項目を指標化した。諸元や基準不適合度 (余裕度) を表すような項目を立て、それぞれ指標化したものをカテゴリ指標と呼ぶ。基準不適合度は、例えばそれぞれの指標ごとに基準値と比較して、相対的な良し悪しを評価する値として、不適合度の見える化²⁰⁾を以下のような余裕度として求める。

$$\text{余裕度} = (\text{現有値} - \text{基準値}) / \text{基準値} \quad (1a)$$

これは、マイナスで小さい場合に不適合度大となるが、逆に大きい方がよい場合は以下の式を利用する。

$$\text{余裕度} = (\text{基準値} - \text{現有値}) / \text{基準値} \quad (1b)$$

これらの指標について点数付けをして、単純和を行うことで、優先順位を算出した結果が図-1である。対象としては、表-2に示すような項目が重要となる都市部の路線をイメージしているが、対象とする路線ごとに項目が変わることに注意が必要である。また、ここでは単純和を利用したが、指標によって重みを付けて加算することも考えられる。図-1の上図では、カテゴリ指標と検査履歴指標と2軸でプロットしているが、下図では、それぞれの指標の絶対値を単純に足し合わせて優先度指標としてヒストグラムを求めている。ヒストグラムにおいては、ほとんどの構造物は0点付近に分布しており、優先度の高い構造物の割合は小さいことがわかる。

3. 対策効果を考慮したストック動態モデル

(1) 発生率と回復率による動態モデル

検査データにおける判定などを利用して劣化の発生率や回復率を求める方法を提案している⁹⁾。発生率と回復率は連続する2時点での判定を利用して、以下の式で定義される。

$$\text{発生率} = \text{SD数} / (\text{SS数} + \text{SD数}) \quad (2a)$$

$$\text{回復率} = \text{DS数} / (\text{DS数} + \text{DD数}) \quad (2b)$$

ここで、S：健全ストック D：劣化ストックであり、直近の2回の検査における判定の組としてSS, SD, DD, DSとしている。

発生率や回復率は2点の検査判定が必要となるが、1回目の検査判定に対して2回目の判定の率で算出するため、分母に大きく依存せずに算出可能であり、構造物の状態や、維持管理の実行状況の把握が可能となる。

動態モデルは、建設に対する経年分布や検査データ等から求められる初期のストックの状態に対して、現状の維持管理資源でのストックの動態変化や、将来予測としては、維持管理の程度を変えるなどでストック動態への影響がどのように変化するかを把握することになる。モデルでは、初期分布（経年と劣化の有無）と経年に応じた劣化ストックの発生率と、回復率があるとして、 i を経年、 j を計算時点として、全ストック数 $x(i, j)$ 、劣化ストック数 $d(i, j)$ とすれば、将来の劣化ストックの予測式は以下のように求めることができる。

$$d(i+1, j+1) = d(i, j) + p_i[x(i, j) - d(i, j)] + q_i[d(i, j)] \quad (3)$$

ここで、発生率 $p(i)$ 、回復率 $q(i)$ であり、 $0 < p(i) \leq 1$ 、 $0 < q(i) \leq 1$ である。

(2) モデルへの対策効果の導入

日常的な維持管理によって回復する効果は回復率に含まれているが、発生率を抑制する効果や回復率を上げるための施策を行う想定で、予防的対策をモデルに導入する。対策効果は、対策の対象となる発生変状について、過去の履歴における発生サンプルが、対策によって減少すると考えて計算する。つまり、対象期間において、対策対象となる変状のSD推移のサンプルを集計し、その比率で案分して、現在のハザード率を調整する。これにより、将来の構造物の状態を、現在における発生率と回復率により調整して予測することができる。

具体的な計算方法を以下に示す。対策項目 k を考えれば、 k に該当する過去のSDのサンプル数に対して、ハザード式としてはSS+SDは前後で変わらないと考えられるので、係数 α_k として対策項目の組み合わせを施策として以下の α を算出し、

$$\alpha = \sum_{k=1}^K \alpha_k \text{SD}_k / \sum_{k=1}^K \text{SD}_k \quad (4)$$

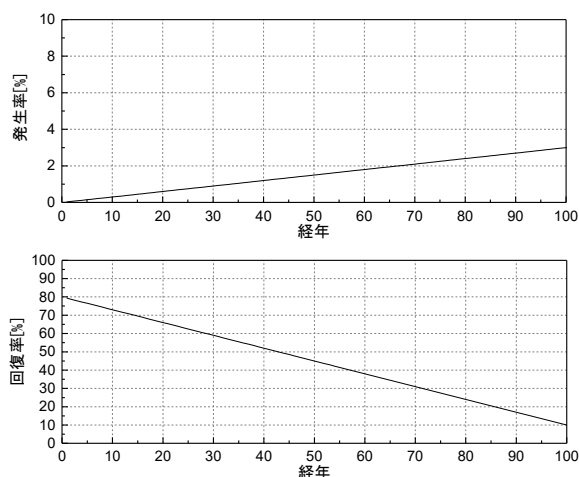


図-2 発生率と回復率

これを、現在の発生率にかけることによって計算をする。対策項目 k については、特定の変状に対して「補修・補強・改良」を行うことや、「取替」などが挙げられる。「補修・補強・改良」効果については、理想的には、（全SD数－対策箇所におけるSD数）が毎期の期待発生数となるが、対策箇所におけるSD数を100%減じてよいか検討が必要である。このため係数については、技術的な観点から検討した場合の「対策効果」と検査履歴から求められるハザード率を比べて妥当な係数を決めることになる。取替における係数についても、架け替え後のハザード率がゼロにならないと考えて係数を決める。

次に、回復に対する効果であるが、回復率は、マクロには、全DS／全SDなので、回復資源が一定であって回復数がおおむね保持されるとして、 α に反比例して回復率の切片が上昇すると考える。つまり、現行回復率が経年 t に対して線形で与えられるとして $c - bt$ は $c/a - bt$ （ただし、 $c/a \leq 1$ ）とする。傾き b は未対策率（ $= \text{DD} / (\text{DD} + \text{DS})$ ）を表すので、対策項目 k の対策後の傾きを β_k として、対策項目の組み合わせの施策について以下の β を求め、

$$\beta = (\text{DD}_{\text{all}} - \sum_{k=1}^K b_k \text{DD}_k) / \text{DD}_{\text{all}} \quad (5)$$

これを現在の回復率に掛けることになる。

(3) モデル計算

本分析では発生率と回復率を図-2のように設定している⁹⁾。これは、本モデルの前提条件となるが、パラメータの発生率が経年に対して大きくなり、また線形で表すことができるとして、劣化率の値については、経年100年で3%程度のストックが劣化ストックになるような設定とした。回復率については、古い構造物では構造ディテールや材料など現在のものと相違するなど対応に時間がかかるなど、経年に対して低下すると考え、ここでは線形性を仮定して、経年0では80%回復するが、経年が経つ毎に回復率が下がり、100年で10%程度の回復率

になっている。

対策項目 $k=1$ を修繕として、 $\alpha_1=0.5$ 、対策項目2を架替えとして $\alpha_2=0.9$ として、以下のように劣化ストック率を計算した。

$d(i+1, j+1)$

$$= d(i, j) + \alpha \times p_i[x(i, j) - d(i, j)] + \beta \times q_i[d(i, j)] \quad (6)$$

式(4)の α と式(5)の β を設定する上で、シミュレーションにおいては、補修対象として以下のケースを検討する。

- ① 施策的な修繕なし（現状）
- ② 施策的な修繕なしで回復も無し
- ③ 優先度を検討しない計画（経年100年以上のものは順次架替え、現状判定Dのものをすべて修繕するような対策）
- ④ 優先度を考慮した計画（表-2における基準不適合度や繰り返し変状が発生しているものは取替、取替ができない優先度の高いものは抜本的な修繕を行う。それにより、優先度をつけない場合の3分の1程度に対策数量を圧縮した場合）
- ⑤ ④に対して、優先度を考慮した計画でさらに対策数量を半分程度にした場合
- ⑥ 優先度を考慮した計画を行うが回復無し

それぞれの係数は表-3のように設定した。モデルの前提として、回復無しの条件以外は、施策を行った場合でも、今の維持管理数量等を維持すると考えていることに注意が必要である。

それぞれの係数を設定することで経年に応じた回復率は図-3のようになる。図-3における現状が①に相当し、②が回復無しに相当する。対象とする構造物群は初期分布として、平均経年80年、劣化ストック率10%として、モデルを適用した結果を図-4に示す。現状の劣化ストック率1割に対して、④の優先度をつけた大規模な施策を行うことで100年後も1割以下にすることができている。③の優先度を考慮しない修繕を行った場合は、数量が多い分費用は高くなるが④ほどの効果を得られない。⑤については、優先度をつけているため、費用が大きくなっても③と同程度の劣化ストック率に抑えられる結果となっている。図-5には回復連数の推移も図化している。現状では、経年が高くなることで回復率が低下した結果回復連数がほぼゼロになっていることがわかる。

表-3 シミュレーション検討

分類	比較する施策	係数 α (発生)	係数 β (回復)
-	修繕（回復）なし	-	-
①, ②	修繕なし	-	-
③	優先順位を付けない老朽対策	0.6	0.6
④	優先順位を付けた対策	0.5	0.5
⑤	優先順位を付けた対策 (資源半分)	0.7	0.6

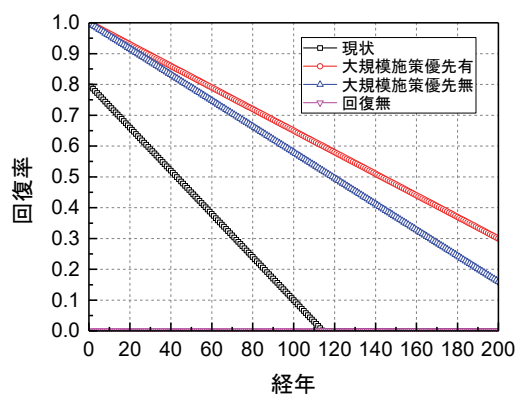


図-3 大規模施策と回復率

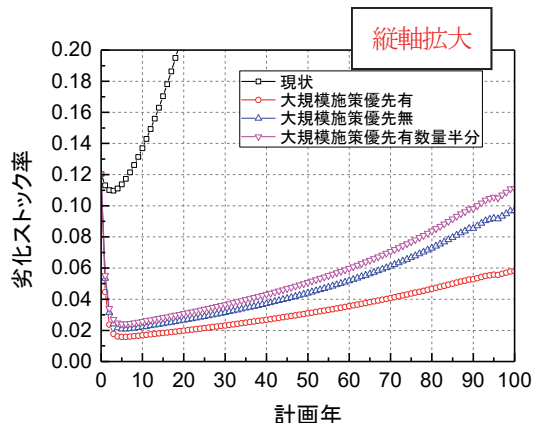
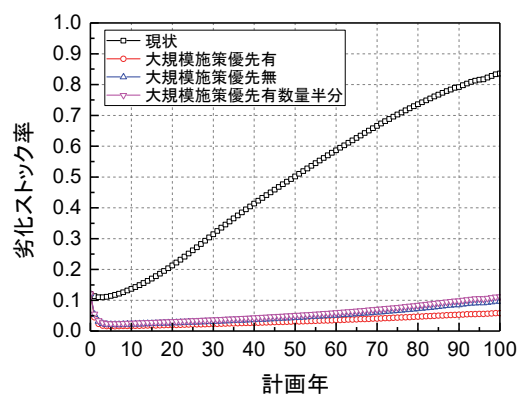


図-4 劣化ストック率の変化（下：縦軸拡大）

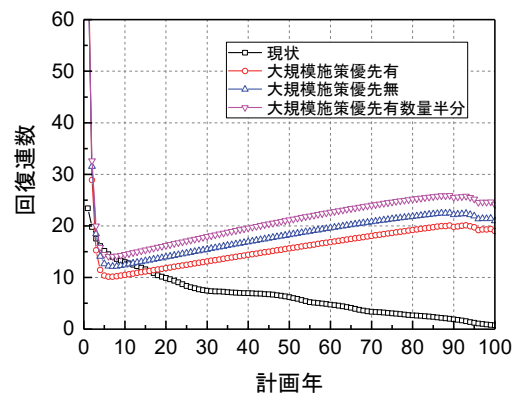


図-5 回復連数

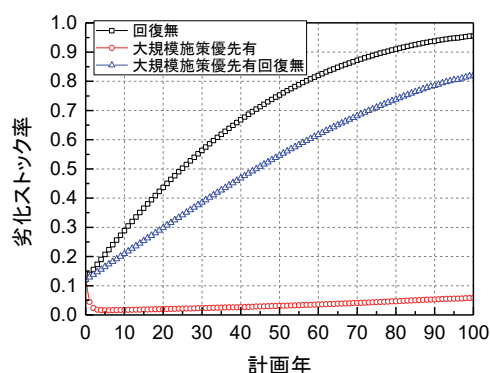


図-6 回復無しのモデル結果

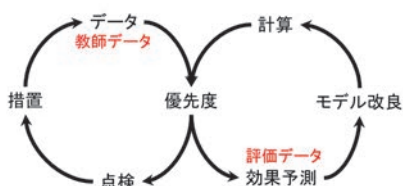


図-7 優先度付けとモデルによるフィードバックループ

また、維持管理水準を低下する極端なケースとして回復が全く無くなった場合の劣化ストック率の計算結果を図-6に示している。急速に劣化ストック率が高くなるのがわかる。施策を行ったとしても回復がない場合は図-4の現状の維持管理と同程度の劣化ストック率になることがわかる。この他の効果としては、取替橋の経年がゼロになる効果もあるが本シミュレーションでは考えていない。本モデルで利用した係数の値については、対策を行うことにより発生率が増加するような対策も考えられ、対策個別に数値を設定するなど、今後さらなる検討が必要である。また、補修の場合は、補修対象ごとに係数を決めることもでき、様々な路線を対象にして本モデルの妥当性を検証することが今後の課題であるが、本動態モデルは費用対効果に優れた対策を検討する枠組みとして利用でき、2章で示した優先度評価方法と合わせて、図-7に示すようなフィードバックループを利用することで、維持管理の改善が期待できる。

4. 結論

本研究では、対策において優先度を選定する方法と、検査データを利用した動態モデルに対して対策効果を考慮する改良を行った。以下に結論を整理する。

- ・諸元などのカテゴリー化によるマクロ的な優先順位を選定方法に対し、特殊な構造条件や対象構造物の検査履歴を含めたミクロ的な優先順位選定方法を提案した。
- ・検査履歴を利用した劣化ストックの動態モデルに対して、日々の維持管理における回復効果に追加して、施策的な対策を行うことで経年に応じた劣化発生率と回

復率を改善する効果をモデル化した。それにより、優先順位を考慮した施策に対して経年が高くなっても劣化ストック率を低減する効果を組み込んだモデルを構築することができた。

参考文献

- 1) 小林潔司：アセットマネジメント研究のフロンティア，土木学会論文集，No.744/IV-61，pp.11-13，2003.
- 2) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言，2008.5
- 3) 杉崎光一，家入正隆，北原武嗣，長山智則，河村圭，松田浩：維持管理のイノベーションのためのモニタリング実装方法に関する研究，土木学会論文集 F3，Vol.73，No.2，pp. II_17-II_32，2018.
- 4) 水谷大二郎，貝戸清之，小林潔司：階層ベイズ法による補修効果の事後評価，土木学会論文集 F4，Vol.69，No.3，pp.204-221，2013.
- 5) インフラメンテナンス国民会議 HP，<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/im/index.html>（入手2017.12.19）
- 6) 阿部雅人，杉崎光一：劣化と回復に着目した橋梁ストックの動態分析，鉄道工学シンポジウム論文集，第21号，2017.7
- 7) 土木学会：社会インフラメンテナンス学-1. 総論編，2. 工学編，2016.2
- 8) 阿部允：予防保全重視で検査はどう変わるか検査の強化でリスクの低減を，日本鉄道施設協会誌，2010.2
- 9) 小林敬一，小林俊夫，小泉正人：鋼鉄道橋の目視検査手法について，第52回年次学術講演会，1997.9
- 10) 下山貴史，三宅浩一郎：鉄道土木構造物の維持管理マネジメントについて，建設マネジメント技術，2010.1
- 11) 三宅浩一郎，丹羽雄一郎：これからの鋼橋検査への取り組み，日本鉄道施設協会誌，2008.2.
- 12) 阿部雅人，杉崎光一，阿部允：鋼鉄道橋のストックマネジメント支援のための情報化と利活用，鉄道工学シンポジウム論文集，第19号，2015.7
- 13) 阿部雅人，杉崎光一，阿部允：リスクを考慮した鋼橋マネジメントの体系，第22回鋼構造年次論文報告集，2014.11
- 14) 阿部雅人，阿部允，藤野陽三：我国の維持管理の展開とその特徴－橋梁を中心として－，土木学会論文集 F，Vol. 63，No.2，pp.190-199，2007.
- 15) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編) 鋼・合成構造物，丸善，2007.1
- 16) 道路橋定期点検要領，国土交通省 道路局 国道・防災課，2015.6
- 17) 鉄道総合技術研究所編：鋼構造物補修・補強・改造の手引き，研友社，1992.7
- 18) 日本道路協会：道路橋補修・補強事例集（2012年版），2012.3
- 19) 工藤伸司：工事桁工法，日本鉄道施設協会誌，2007.7
- 20) 吉本一穂，斎藤文，三原康司，丹後成貴，大久保寛基，鈴木広人，山口真知：サービスの見える化技術，電子情報通信学会誌，Vol.96，No.8，pp.610-615，2013.8

(2018.4.6 受付)

PRIORITIZATION IN MAINTENANCE MANAGEMENT OF STEEL RAILWAY BRIDGES

Masato ABE and Koichi SUGISAKI

Prioritization is essential for effective and efficient maintenance management to optimizing allocation of limited resource, as number of existing structures which require care due to aging or substandard conditions is increasing. Conventionally, repair of structures is sequenced by “first-come-first-served bases,” i.e., structures categorized “require measure” by the last inspection is repaired correctively. In this paper, rational prioritization method based not only the last but also history of inspection, and history of repair, substandard features, maintainability, and so on. The authors also developed prediction model for infrastructure stock dynamics, which include recovery of condition due to repairs in addition to progress of damage and deterioration. The efficacy of the proposed prioritization is demonstrated using this stock dynamics simulation and optimization of maintenance planning is discussed.