

橋梁長寿命化修繕計画における劣化曲線の補修費用への影響

Influence on repair expense of the deterioration curve in repair plan for the prolongation of bridge life

○鳥海 隆一* 岩崎 正二** 大西 弘志*** 出戸 秀明**** 飯田 雄亮*****
Ryuichi TORIUMI Shoji IWASAKI Hiroshi ONISHI Hideaki DETO Yusuke HANDA

ABSTRACT Due to scattering of inspection data, deterioration model used for life-extending repair plan contains uncertainty and can be varied. The variation of the model affect the repair plan. This report outlines the result of a case study on effect of variation of deterioration model on repair plan and required budget. It shows, when deterioration speed of a type of damage whose repair cost is not dominant in total repair cost, can affect required budget through changing repair timing and repair cost of types of damages other than itself. The effect of consideration of regularly replaced members also is shown.

Keywords: 橋梁長寿命化修繕計画, 劣化モデルの変動, 必要予算, 定期交換部材
Life-extending repair plan of bridges, Variation of Deterioration model, Required budget, Members of regularly replaced

1. はじめに

老朽化する道路橋の増大に対応するため、平成19年度に長寿命化修繕計画策定事業費補助制度が創設され、橋梁維持管理費の縮減に向けた取り組みが進められている。橋梁長寿命化修繕計画を策定するには、各種損傷の劣化速度を劣化曲線としてモデル化する必要がある。この劣化曲線の設定においては、計画策定対象とする橋梁の点検結果を参考として、これを概ね説明できる劣化曲線を使用することが一般的ではないかと考えられる。しかし、実際には点検結果のばらつきは大きいこと、点検結果を反映した劣化曲線の設定手法も確立されたものではないことから、現時点で用いられている劣化曲線は曖昧さを含んだものと考えられる。この曖昧さは、劣化曲線の変動可能性を意味する。本報告は、この劣化曲線の変動が、最終的に算出される必要補修費用に与える影響について、実際の自治体データを利用させていただきケーススタディを行ったものである。

2. 検討対象

ケーススタディ対象の橋梁群に含まれている橋梁の諸元を表-1に示す。点検データも当該橋梁の道路橋に関する基礎データ収集要領(案)¹⁾を基本(一部追加)とした点検結果を参考とした。

表-1 対象橋梁群諸元

項目	特性値
橋梁数	44 橋 (鋼橋 8 橋、コンクリート橋 26 橋)
径間数	61 径間
橋長	合計 1,156m (15~134m)
有効幅員	平均 5.8m

3. 検討方法

本検討で用いた計算手法に概要について以下に示す。

3.1 対象損傷種類の劣化曲線

修繕計画を策定する対象損傷種類は、道路橋に関する基礎データ収集要領(案)による調査結果で

* (株)昭和土木設計 (020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南 4-1-23)
 ** 博(工) 岩手大学工学部社会環境工学科教授 (020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5) 第2種正会員
 *** 博(工) 岩手大学工学部社会環境工学科准教授 (同 上) 第2種正会員
 **** 博(工) 岩手大学工学部社会環境工学科教授 (同 上)
 ***** (株)復建技術コンサルタント (980-0012 宮城県仙台市青葉区錦町一丁目 7-25)

記録されている損傷種類の中で、予防保全の効果が期待できるものとして下記4種類とした。

表-2 対象損傷種類

対象部材	対象損傷種類
鋼部材	腐食
コンクリート部材	ひびわれ、鉄筋露出、床版ひびわれ

これら4種類の損傷種類に対して、各々の劣化速度モデルと劣化曲線は、点検結果（経過年は建設年から起算）との整合を考慮して、図-1のように設定した。

3.2 補修方法モデル

修繕計画策定には、各損傷種類に対して、補修時健全度ごとに補修工法をモデル化する必要がある。健全度が低くなってからの補修工事は大が

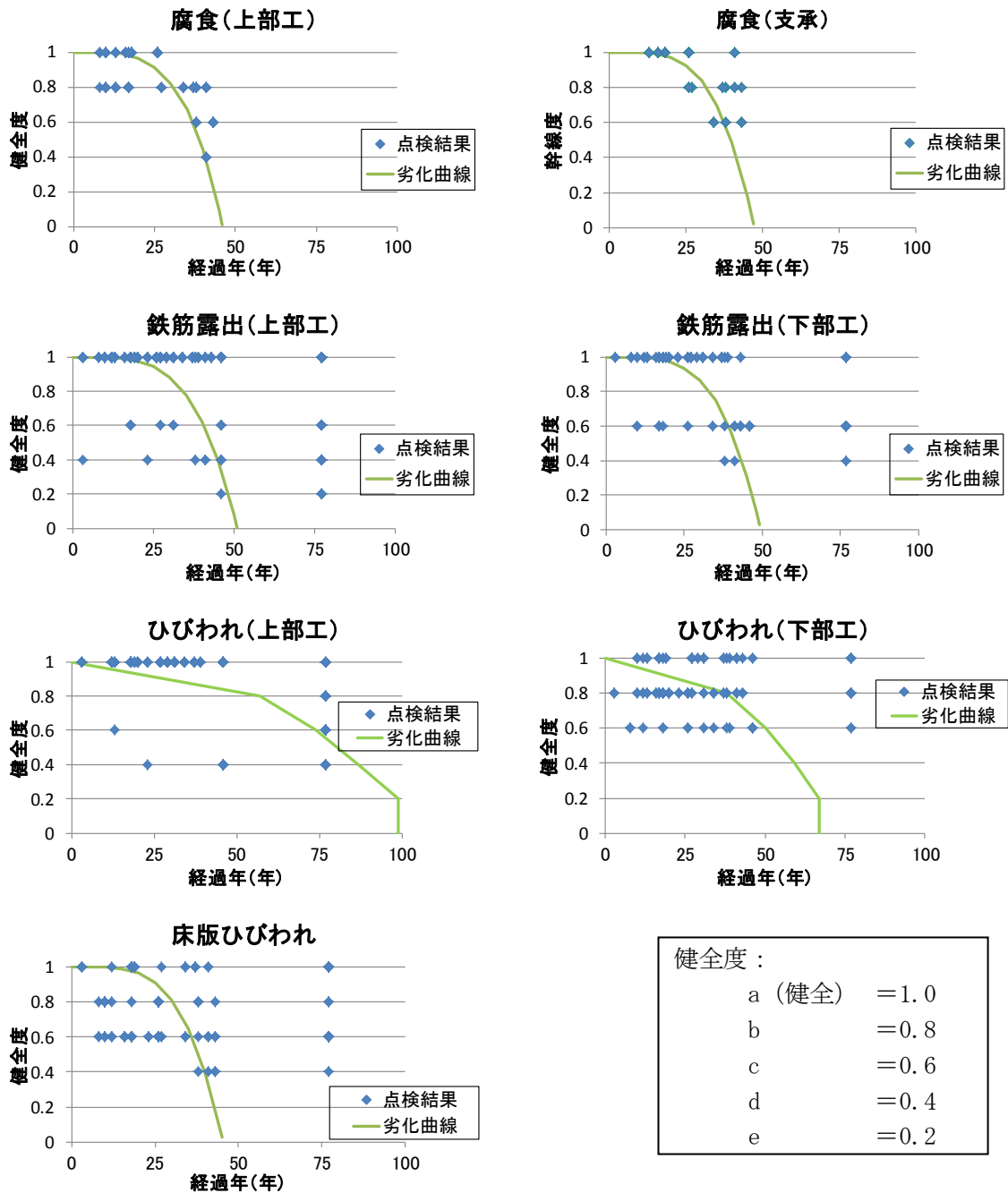


図-1 点検結果と劣化曲線

りとなり、補修費用も高くなる。腐食（上部工）補修方法モデルを例として表-3に示す。これら補修工事を念頭に、補修工事費を概算した。

表-3 補修工法モデル（例：腐食（上部工））

補修健全度	補修工法
b	3種ケレン+再塗装（鋼材面積の2割）
c	3種ケレン+再塗装（全鋼材面積）
d	2種ケレン+再塗装（全鋼材面積） 当て板（主桁の場合）
e	1種ケレン+再塗装（主桁、全鋼材面積） 部材交換（主桁以外） 当て板（主桁の場合）

なお、床版ひびわれの補修工法には橋面防水工の実施を含んでいる。これは、後述する定期交換部材と重複するが、床版ひび割れ対応で橋面防水工の設置は、定期交換を兼ねることとして、過度に頻繁な橋面防水工設置は抑制している。

3.3 補修実施健全度

予防保全を行う時には、劣化が著しくなる前に補修を行うことにより、補修頻度は高くなるが1回あたりの単価を軽減することにより、長期間の維持管理費の低減を目指すこととなる。

ここでは、補修実施健全度を変化させながら50年、100年に要する補修費用を各損傷種類ごとに単独で計算し、経済的となる補修健全度を求め、得られた健全度（表-4）を予防保全時の補修健全度とした。

ただし、後述する予算制限を考慮した場合には、必ずしもこの健全度での補修が実施できる訳ではない。

表-4 予防保全時の補修実施健全度

損傷種類	補修実施健全度
腐食	0.7
鉄筋露出	0.5
ひびわれ	0.5
床版ひびわれ	0.7

3.4 定期交換部材について

3.1~3.3で対象とした橋梁本体の補修の他に、伸縮装置など橋梁付属物についても維持管理が必

要と考えられる。これらについては、点検記録もないことなどから、設置から一定期間経過した時点で補修（交換）を検討対象とすることとした（表-5）。

なお、予算制限が厳しく橋梁本体の補修が十分に行えない時に、橋梁付属物を交換時期を理由に交換することは不合理であると考えられることから、図-2のような見なし健全度を設定して、一般の損傷と同様に補修の実施有無を判定させることとした。

表-5 定期交換部材

対象部材	交換サイクル
ゴム沓	100年
伸縮装置	20年
地覆・防護柵	38年
舗装（防水層）	30年

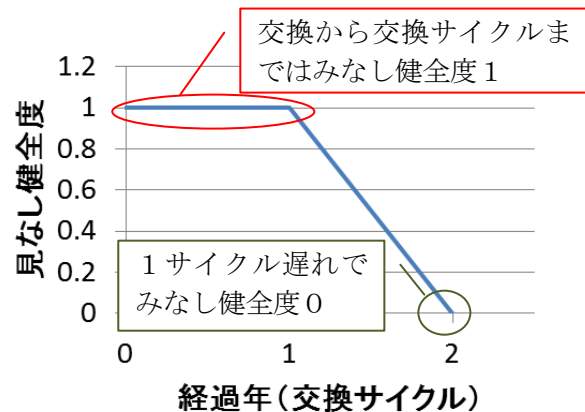


図-2 定期交換部材のみなし健全度

3.5 予算制限の考え方

後述する予算制限を考慮した計算においては、各橋の最低健全度（見なし健全度を含む）と橋梁重要度を参考にして、どの橋梁（径間）の補修工事を優先するかを決定した。優先度の高い橋梁（径間）から順に補修の実施を確定して、必要予算を積み上げてゆく。これが予算限度を超えた時点で補修対象橋梁（径間）を確定する。

残された橋梁（径間）については補修は行わず、次年度に1年分の劣化が進展した状態で補修候補となる。

なお、各橋（径間）の補修実施を行う時には、劣化が著しく最低健全度となっている損傷種類だけではなく、その他の補修候補（補修実施健全度

を下回っている損傷種類)の全ての補修を実施する。これは、同一橋梁(径間)の頻繁な補修を防ぐことを目的とした。

3.6 計算フロー

上記の考え方にに基づき、本検討に用いた計算フローの概念を図-3に示す。

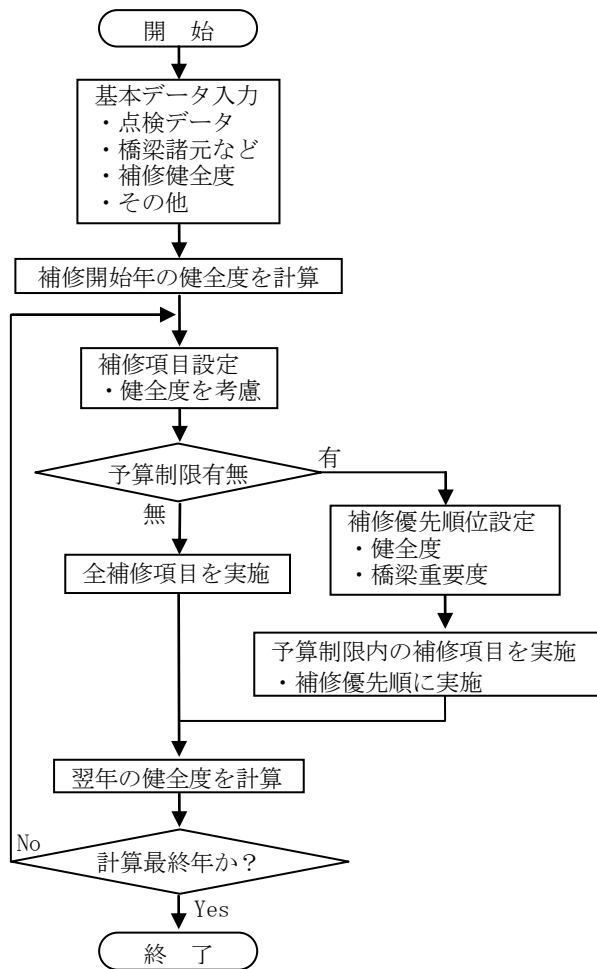


図-3 計算フロー(概念)

4. 計算結果と考察

4.1 予算制限を考慮しない場合

予算制限を設けずに計算を行うと、3.3で設定した補修実施健全度まで健全度が低下すると、即座に補修が実施される。頻繁に補修が行われることとなるが、工費としては最低限に抑えられる。

4.1.1 補修費に占める損傷種類毎の割合

定期交換部材を除いて計算した結果、10年毎に、それまでの損傷種類毎の補修費用を図-4に示す。損傷種類の中では床版ひびわれ(橋面防水含む)

の占める割合が大きいことがわかる。

これに、定期交換部材を加えて同様の計算をしたものを図-5に示す。この計算結果では、20年以降まで考慮すると、定期交換部材、特に伸縮装置交換の費用の占める割合が大きく、その後、地覆・防護柵に要する補修費用も大きくなること

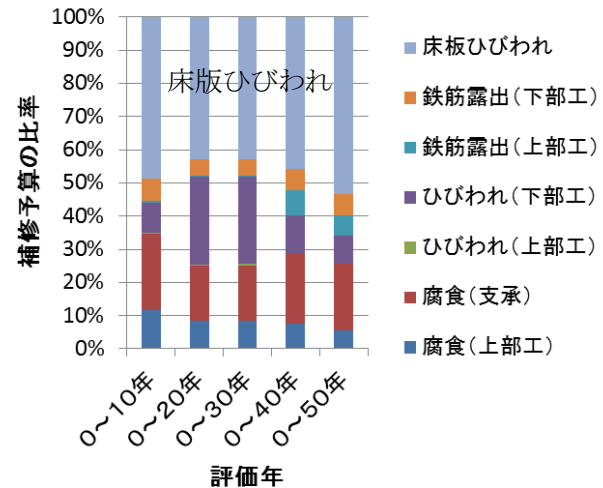


図-4 補修予算に占める
損傷種類毎の比率(予算制限なし)

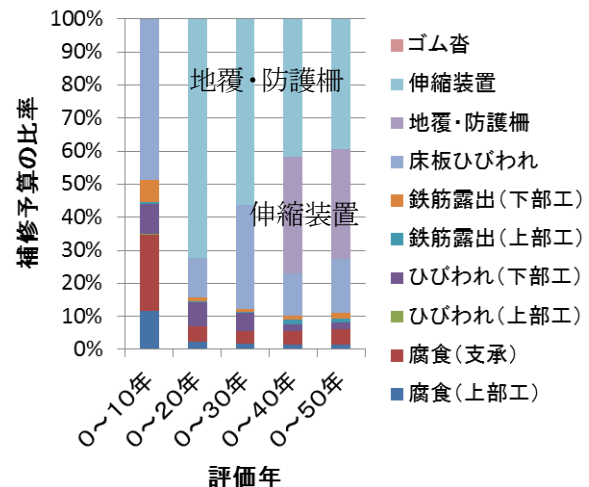


図-5 補修予算に占める
損傷種類毎の比率(予算制限なし)

4.1.2 劣化速度が変化した時の影響

予算制限のない状態で、各損傷種類の劣化速度が変化した時の補修工費の変化を計算した。ここで用いた劣化速度の変化率の説明を図-6に示す。また、計算結果として得られる必要予算への影響は、表-5に示す予算変化率として整理した。

なお、この計算においては、補修費に占める割合の大きい定期交換部材を考慮すると、影響が見

えにくくなることから、定期交換部材を考慮しない条件で計算を行った。

想定される結果としては、概ね、下記の結果が考えられた。

- A) 劣化速度を速くすると補修費用が増える。
- B) 劣化速度が変化して、健全な状態から一定の健全度まで劣化するまでの期間が $(1 - R)$ 倍となった時、劣化速度変化率が $+R$ (正は劣化が速いことを示す) と呼ぶこととする。この時、補修費用は $\{1 / (1 - R)\}$ 倍となる。
- C) 当該損傷種類の補修費用が全体補修費用に占める割合を P (予算支配率と呼ぶ) とすると、全体補修費用の変化率は $P \times \{R / (1 - R)\}$ となる。予算支配率は劣化速度変化前の状態で求める。

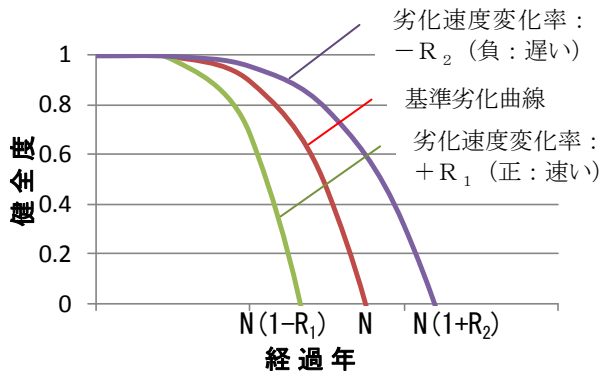


図-6 劣化速度変化率の説明図

表-5 予算変化率の定義

$\text{予算変化率} = \frac{B_c - B_o}{B_o}$ <p>Bo: 劣化速度変化前の必要予算額 Bc: 劣化速度変化後の必要予算額</p>

予算変化率と劣化速度変化率 (%表示) で整理した計算結果 (図-7) を見ると、50 年後において A) の傾向が見られた。一方、C) の傾向を確認するために、横軸を予算支配率 \times 劣化速度変化率 / $(1 - \text{劣化速度変化率})$ の %表示とした図-8 を見ると、想定通りの線 (右上がり 45 度の赤線) に沿った傾向も見られたが、一部、ズレが出ている。同様の整理を 40 年後の結果で行うと図-9 に示すように、ズレが大きくなる傾向がある。

この理由としては、劣化曲線は図-1 に示したように劣化が著しく (e レベル) なるのに少なくとも 40 年程度必要であるのに対して、評価年が 40 ~ 50 年程度では、補修回数が 0 回となるか 1 回と

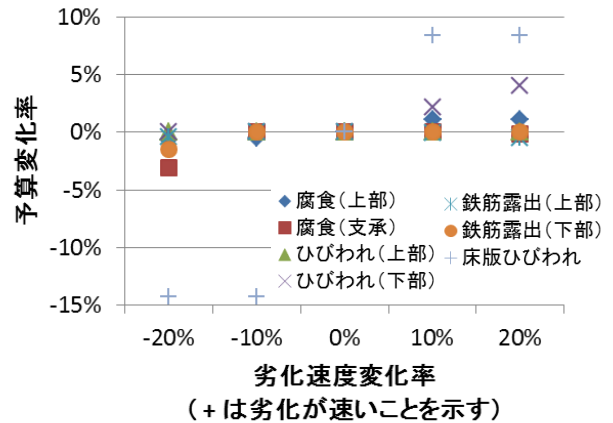


図-7 予算変化率と劣化速度変化率の関係 (50 年後、予算制限なし)

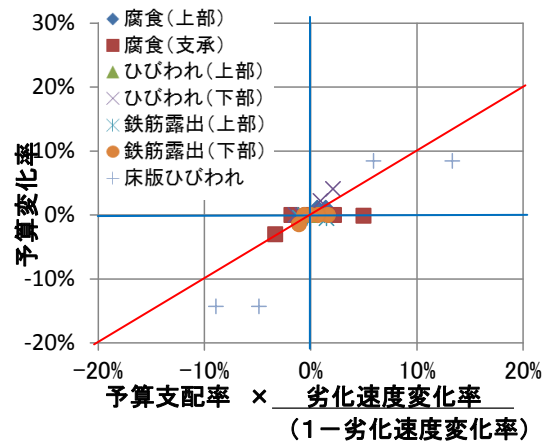


図-8 予算変化率と 予算支配率 \times 劣化速度変化率 / $(1 - \text{劣化速度変化率})$ の関係 (50 年後、予算制限なし)

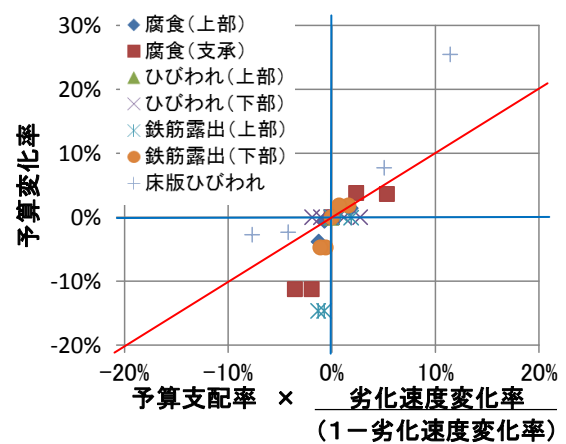


図-9 予算変化率と 予算支配率 \times 劣化速度変化率 / $(1 - \text{劣化速度変化率})$ の関係 (40 年後、予算制限なし)

なるか必要予算が大きく変わり階段状に変化が起き、その影響でバラつきや想定とのズレになるものと考えられた。

このことから50年程度の通常の修繕計画策定時の計算範囲では、劣化速度の変化の影響は、単純に劣化速度変化率と予算支配率だけでは十分に予測できないものと考えられる。

4.2 予算制限を考慮した場合

次に、実際の修繕計画策定時に行われているように、予算制限を考慮した場合の検討を行った。この時、目標健全度レベルを確保できる予算を求めるとしたが、この目標健全度レベルとして、ここでは各々の径間の最小健全度（当該径間にある全ての損傷の健全度の中で、最も劣化が進んで健全度の低い値）を全径間で平均し、この値が0.5を確保できる状態とした。なお、この時の平均健全度には、定期交換部材の見なし健全度は含まないものとした。これは、定期交換部材の交換が遅れても、橋梁本体の健全度に直接は影響しないと考えたことによる。

具体的な計算手法としては、年間予算の制限額をパラメータとして変化させて計算を行い、50年後の平均健全度が0.5以上となる最低予算額を、目標健全度確保に必要な予算額と考えた。本節で用いる予算変化率は、このようにして求めた必要予算額を表-5の式に代入して求めたものである。

4.2.1 定期交換部材なしの場合

必要予算額の変化率を縦軸とし、予算制限なしの場合の図-7、8と同様の整理をしたものを図-10、11に示す。

図-10を見ると、劣化速度の変化と予算の変化が、想定された正の相関にない部分が見られた。

図-11においても、劣化速度は遅くなっても必要予算が増額となっているケースが見られる。

この例として、図-10において床版ひびわれの劣化速度を20%遅くしたケースで、必要予算が増加傾向にある場合の計画内容を確認したところ、以下のような流れが見られた。

- 1) A橋（鋼鈹桁橋、橋長40m）の補修時期は床版ひびわれの劣化により決定されていた。
- 2) 床版ひびわれの劣化速度が遅くなったことにより、A橋の補修時期も遅くなった。

- 3) この時、床版ひびわれの補修費は変化しないが、同時に補修している他の損傷（腐食など）は、補修時期が遅れたことで健全度が下がった状態で補修することとなった。
- 4) その結果、その他の補修費用が増加した。
- 5) 一方、A橋の補修時期が遅くなったことで、B橋（鋼鈹桁橋、橋長30m）の補修時期は早まった。
- 6) B橋の補修時の健全度はいくらか向上したことから、B橋の補修費は低減された。
- 7) A橋の補修費増加が、B橋の補修費低減より大きかったことから、全体として工費増となった。
- 8) この影響が他橋にもおよび、また、他橋でも同様の流れが発生し、床版ひびわれの劣化速度が遅くなったにもかかわらず、必要補修費は増加する結果となった。

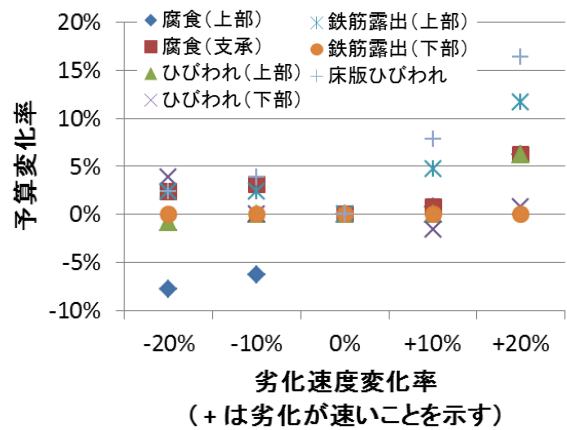


図-10 予算変化率と劣化速度変化率の関係（50年後、予算制限あり、定期交換部材なし）

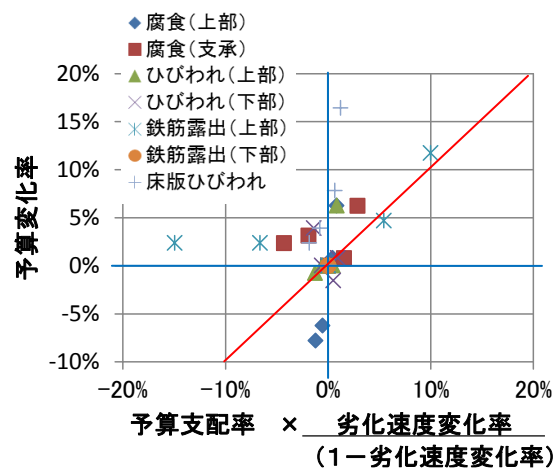


図-11 予算変化率と
 $\frac{\text{予算支配率} \times \text{劣化速度変化率}}{1 - \text{劣化速度変化率}}$ の関係（50年後、予算制限あり、定期交換部材なし）

4. 2. 2 定期交換部材ありの場合

定期交換部材なしの場合と同様の整理を、定期交換部材ありの場合において行った結果を、図-12、13に示す。

図-12を見ると、定期交換部材なしの図-10と同様に、正の相関にないデータも見られた。この例として、鉄筋露出(下部)の劣化速度を20%速くしたケースで、必要予算が低減されている場合の計画内容を確認したところ、以下のような流れが見られた。

- 1) C橋(PC床版橋、橋長15m)下部工の鉄筋露出補修時期は、鉄筋露出の劣化速度を速くすると、早くなった。
- 2) C橋下部工の補修は、他の損傷と同時に行われるものではなかったことから、補修時期は早くなっても、補修費用は変化しなかった。
- 3) 早くなったC橋の補修時期は、比較的、予算の余裕がある時期で、C橋補修費が追加となった影響は、橋梁付属物交換時期が遅れるだけとなった。
- 4) 橋梁付属物交換時期は遅くなったが、橋梁本体の健全度には影響しない。また、交換時期が遅くなっても交換費用は変化しないので、予算増加も発生しない。
- 5) 一方、C橋の元の補修時期においては、C橋の補修費がなくなった分、他橋(例えば プレテンT桁橋、橋長18m)の補修が前倒しとなり、全体の平均健全度が向上した。
- 6) 上記の影響で、目標健全度に必要な予算規模は、いくらか減少した。
- 7) その結果として、鉄筋露出(下部)の劣化速度が速くなったにもかかわらず、必要予算は少なくなる計算結果となった。

上記のような要因で、定期交換部材を考慮した場合でも、必ずしも正の相関だけとはならなかった。しかし、図-13において予算支配率の大きい床版ひびわれのデータに着目すると、想定された関係(図中の赤線)に比較的近い傾向を示している。一方、予算支配率の小さいその他の損傷のプロットを見ると、赤線から離れて、劣化速度の変化率×予算支配率の絶対値が小さい範囲でも、想定された予算変化率より大きな変化を与えているものがあることがわかる。これは、予算支配率の

大きな損傷の場合、当該損傷の補修費用の増減が全体予算増減に直接影響しているのに対して、予算支配率の小さな損傷の場合、当該損傷の補修費増減より、他損傷の補修時期を変化させる影響が大きく出ると考えられる。この傾向は、定期交換部材なしのケース(図-11)においては、あまり、明確には見られない。

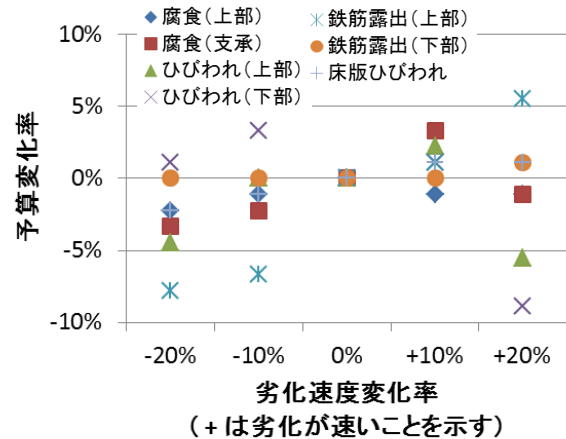


図-12 予算変化率と劣化速度変化率の関係 (50年後、予算制限あり、定期交換部材あり)

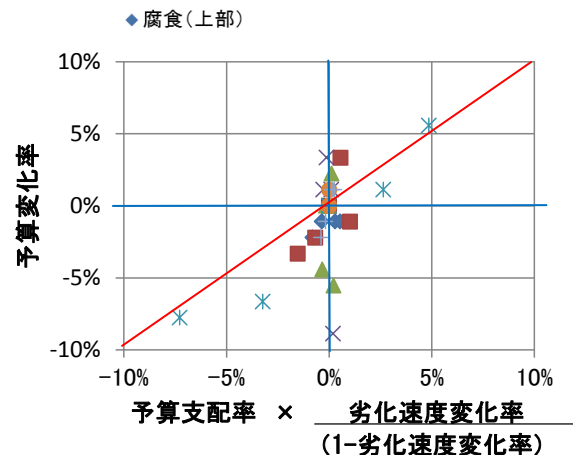


図-13 予算変化率と
 $\text{予算支配率} \times \frac{\text{劣化速度変化率}}{(1-\text{劣化速度変化率})}$
 の関係 (50年後、予算制限あり、定期交換部材あり)

4. 2. 3 定期交換部材有無の影響

劣化速度を変化させていない時の、予算規模による健全度年次変化を定期交換部材ありとなして図-14、15に示す。定期交換部材なしでは予算規模をわずかに変化させると計画初期の時期から平均健全度が変化するのに対して、定期交換部材ありでは健全度の変化が少ない。

また、劣化速度の変化に対する平均健全度の変化も、定期交換部材を考慮に入れることにより安

定したものとなっている（図-16, 17）。これは、予算の過不足に対して、定期交換部材の補修の採否で対応できるため、健全度が安定したと考えられる。実際の補修予算運用においても、定期交換部材の交換時期を適切に調整できれば、予算の有効な利用ができることを示唆していることが考えられる。

5. まとめ

本検討の結果得られた劣化速度の影響などを以下にまとめる。

- 1) 劣化速度の変化の必要予算額への影響は、比較的、予算の支配率が高い損傷の場合は正の相関が見られる。
- 2) 予算の支配率の低い損傷種類の劣化速度が変化すると、他の損傷の補修時期への影響を通じた必要予算額への影響が大きい場合がある。
- 3) 定期交換部材に要する補修費は比較的大きい。一方、これを考慮することにより、劣化速度や

予算規模の変動に対して、平均健全度の変化が安定する。この特性は、実際の補修計画に有効に生かせる可能性も考えられる。

なお、これらは1ケーススタディーの結果である。今後、ケース数を増やしていくことにより、より一般的な特性としての整理が期待できる。

また、劣化速度以外のパラメータ（橋梁重要度、補修健全度、補修単価など）の全体補修費用に与える影響についても、その特性を把握することにより、合理的な橋梁長寿命化修繕計画策定に資する理解が可能となると考えられる。

【参考文献】

- 1) 国土交通省・国技術政策総合研究所：道路橋の健全度に関する基礎的調査に関する研究—道路橋に関する基礎データ収集要領(案)—、国総研資料 第381号、2007

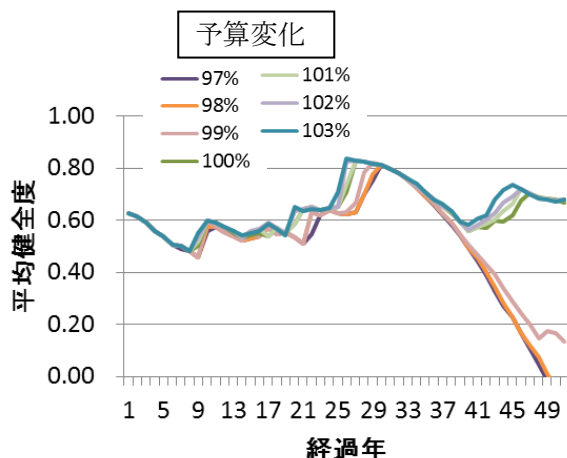


図-14 平均健全度の予算規模毎の年次変化
(定期交換部材なし)

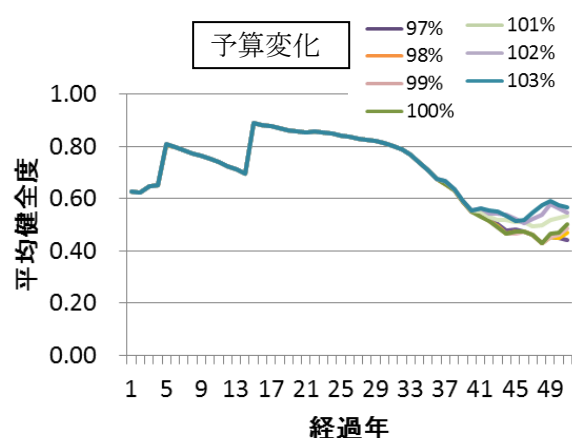


図-15 平均健全度の予算規模毎の年次変化
(定期交換部材あり)

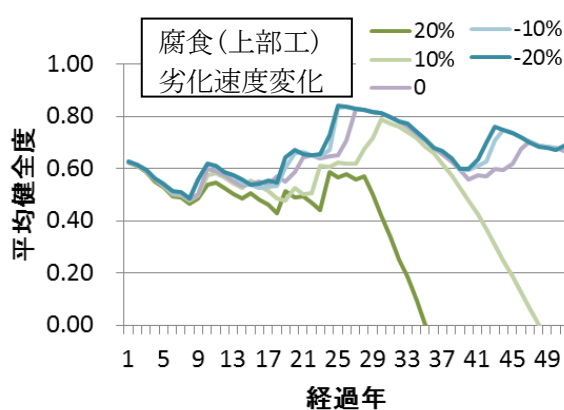


図-16 平均健全度の劣化速度毎の年次変化
(定期交換部材なし、腐食(上部工)の劣化速度変化)

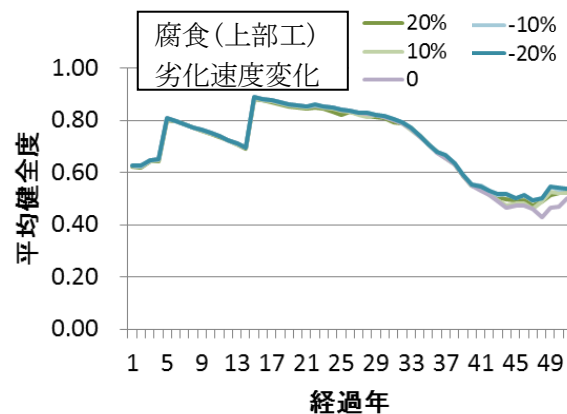


図-17 平均健全度の劣化速度毎の年次変化
(定期交換部材あり、腐食(上部工)の劣化速度変化)