

6. ばらつきを含めた劣化の特徴とアセットマネジメントにおける留意点の考察

6.1 はじめに

橋梁の劣化過程は本来ばらつきが大きく、本資料の2章から4章で示したとおり、点検結果から得られる劣化傾向、状態遷移確率又は劣化曲線は、非常にばらつきが大きいなかでの期待値に過ぎない。すなわち、既設の道路橋の維持管理計画などを立てるにあたって状態変化の将来予測、補修時期の試算を行うことは、マネジメントの参考にする資料の1つにはなっても、実際の劣化、実際の補修時期を予測したものであると扱うことは避けるべきである。

しかし、橋梁定期点検結果を用いて損傷程度の遷移確率や劣化曲線を整理してきた結果からは、ばらつきが大きいながらも、損傷種類、部材種類や位置、要素位置、設計基準や防食仕様の種類ごとに劣化の特徴が異なる様子も見取れる。したがって、将来状態等の試算目的に応じた結果の解釈が行いやすいように、劣化曲線の仮定に必ずしも期待値を用いずに試算結果を安全側に予測するための劣化曲線を設定したり、維持修繕が必要な時を試算上便宜的に判定するアルゴリズムにそれぞれの劣化の特徴やばらつきを反映させたりすることも、今後検討していく必要があると考えられる。

そこで、以下では、劣化の特徴を将来状態予測などに反映するために必要な研究の方向性を考察する。

6.2 劣化の特徴の整理方法

橋梁定期点検結果から部材種別毎、損傷種類毎の状態遷移確率や劣化曲線を整理してきた結果、それぞれの要素や部材の劣化がたどる過程には大きなばらつきがあること、同じ部材種別、同じ損傷種類であっても、母集団の条件毎に、劣化の特徴が異なること、また、劣化の進行が早くばらつきの小さい特徴を有する部材種別や損傷種類、劣化の進行が遅くばらつきが大きい特徴を有する部材種別や損傷種類もあることが明らかになった。

劣化特性を1つの期待値曲線で代表させると、これらの劣化のばらつきに関する情報は失われる。一方で、状態確率分布のような表現は、ばらつきの傾向を含む劣化傾向の相違を定性的には理解しやすいものの、平均特性の定量的な評価は難しい。そこで、状態確率分布において、5段階の損傷程度を「a」,「b」～「d」,「e」の3区分に再編（図6.1）した上で、各区分の比率の変化に着目した指標を求めて相互比較を行うことにする。劣化の特徴の相違を表現するための指標として、式（6.1）及び式（6.2）で計算される T_w 、 T_c を設定してみる。指標値の算出方法の概念を図6.1に示す。

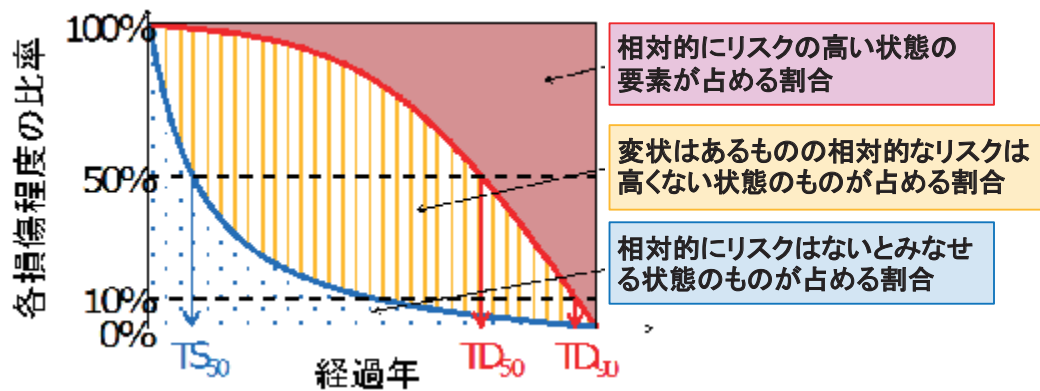


図 6.1 状態確率分布の指標化

$$Tw = (TD_{50} - TS_{50}) / TD_{90} \quad (6.1)$$

$$Tc = (1/2) \cdot (TD_{50} + TS_{50}) / TD_{90} \quad (6.2)$$

式 (6.1) および式 (6.2) について、 TD_{50} 、 TD_{90} は損傷を放置するリスクが相対的に高いとみなす要素（本資料では損傷程度 e）の割合が 50%、90% 超える時点、 TS_{50} は健全とみなす要素（本資料では損傷程度 a）の割合が 50% を下回る時点である。 Tw は、健全とみなす要素の割合が全体の 50% を下回ってから、損傷を放置するリスクが相対的に高いとみなす要素の割合が 50% を超えるまでの期間を TD_{90} により無次元化したものである。この値が小さいほど、健全な要素から損傷を放置するリスクが相対的に高い状態に移る期間が比較的短くなるため、母集団全体として、健全な要素と損傷を放置するリスクが高い状態とが 2 極化する傾向を示すと考えた。一方で、 Tc は、健全とみなす要素の割合が全体の 50% を下回るまでの期間と、損傷を放置するリスクが相対的に高いとみなす要素の割合が 50% を超えるまでの期間の平均値の TD_{90} に対する相対的な位置を示す。この値が小さいほど、健全な状態の要素の割合が早期に減少する傾向や、損傷を放置するリスクが相対的に高い状態となる割合が増加する傾向を示すと考えた。2 つの指標を軸に状態確率分布の傾向と指標の値との関連のイメージを図 6.2 に示す。

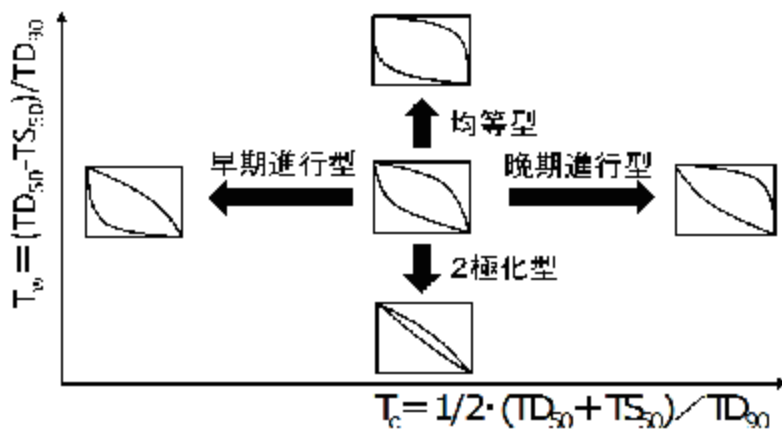


図 6.2 設定した指標と劣化特性の関係

縦軸の「Tw」は、早期に劣化するものと健全なまま推移するものに2極化する「2極化型」と、健全なものが早期に減少する一方で、劣化が進むものも少なく平均化される「均等型」といった傾向の相違を示す。横軸の「Tc」は、状態が悪いものの比率が早くから支配的となる「早期進行型」か、健全を維持するものが多く、若齢では状態の悪いものは少ない「晩期進行型」か、といった劣化速度の偏りの相違を示す。

劣化傾向が図 6.2 における2極化型の場合には、個々の要素の多くが期待値とは乖離して、長い期間比較的良好な状態が継続するか、もしくは早い段階から比較悪状態となるかの両極端な劣化過程をたどるため、期待値曲線では個々の要素の予測に高い信頼性は期待できない。すなわち、期待値の劣化曲線を用いて将来状態等を予測したときに、計算上は損傷程度 c や d の状態に留まっても、実際にはいずれの状態にも留まっていない可能性が高く、また、同じ劣化環境にある要素で一斉に急激に劣化が進むことも考えられる。そこで、このような特徴を有する劣化に対して将来予測や維持修繕時期の試算を行ったときの解釈については、以下の留意事項や対応方法を念頭に置くのがよく、これらについて、具体的な留意点を明らかにできるように今後の研究を進めるべきと考えられる。

- ・現実の劣化特性と用いる劣化曲線の違いを踏まえて、劣化の将来予測の試算結果を扱うための留意事項の具体化。
- ・劣化曲線でなく遷移確率行列を用いて劣化のモンテカルロシミュレーションを行い、劣化の将来予測の試算結果を解釈するための留意事項の具体化。2極化型のときには、ある要素で劣化が進んだときに、隣接する要素や異なる部材や径間の要素も同時期に一気に状態が悪くなる可能性があるため、劣化のばらつきが大きいことを安全側に扱うためには、部材や部位の維持修繕の必要性の判定を工夫することが考えられる。たとえば、一つの要素が判定閾値に達したときに、他の要素もまとめて補修を行うと判定する方が、劣化予測のばらつきが目的とする計算結果のばらつきに与える影響を小さくできるとも考えられ、今後の検討の候補となりえる。なお、同じ部材中でも、部材の中央部付近と桁端部付近で劣化速度又は Tc に顕著に差が見られる劣化の特徴を有する場合には、同じ劣化曲線を適用する要素の範囲や維持修繕の判定で一体的に扱う要素の範囲を劣化の特徴に応じて設定することも肝要である。
- ・劣化曲線を用いて安全側の試算結果を得るためには、期待値ではなく、必ずしも損傷程度 a-e の5段階評価にかかわらず、例えば、状態が良い、状態が悪いという2極化を表す劣化曲線を用い、また、これに見合う維持修繕時期の試算上の判定閾値を検討することも考えられる。たとえば、玉越⁷⁾は、橋梁の各部の状態の悪化が橋の構造信頼性の変化に与える影響を分析するにあたって、損傷程度 e の割合のみに着目した将来予測を行っている。なお、本資料でも、付録-2 には、損傷程度 d や e の割合の推移を表す劣化曲線を整理した。これについても、今後、検討の候補となりえる。

そして、 T_c について、これが小さい場合、健全な要素の占める割合が相対的に早期に少なくなる一方で、深刻な状態の要素の比率が早くから大きくなる傾向がある（早期劣化型）。早期から深刻な状態となる要素が多くなるということは、より T_c が大きい場合（晚期劣化型）との相対比較において、さらなる劣化によって致命的な状態に至る要素に遷移するというリスクがより大きい状態が続くことを意味する。すなわち、早期劣化型では致命的な状態の出現リスクが大きく、それらを回避するための予防保全的な管理がより重要となりえる。すなわち、2 極化型のときに同様の観点で研究を進めていくのがよいと考えられる。

一方で、母集団の状態確率分布が図 6.2 における均等型の傾向を有する場合には、2 極化するというよりも、a から b, b から c, c から d, d から e へと、段階的に、徐々に状態が推移していく傾向が高い。また、各要素は、期待値曲線に近い劣化過程を辿る確率が高くなる。そこで、集団の平均的な傾向を捉えるにあたっては、期待値の劣化曲線を適用できる可能性が高い。また、劣化のばらつきが大きいことも考えると、一つの要素で状態が悪くなったとしても、他の要素の状態やその遷移過程は区々であることが想定される。このような特徴を有する劣化に対して、将来予測や維持修繕時期の試算を行うときには、以下の留意事項や対応方法を念頭に置きながら今後の研究を進めるべきと考えられる。

- ・一つの要素で状態が悪くなったとしても、他の要素の状態や遷移過程は区々であり、他の多くの要素は損傷がないか軽微な損傷状態にあり、部材内において時間を掛けて劣化が広がることも想定される。そこで、アセットマネジメントの参考とするためのシミュレーション上は、一つ一つの要素単位で補修の必要性を判定するサブルーチンを設定するという考え方もある。この他にも、着目する部位や部材、径間内において、一定割合の要素面積で状態が悪くなったとき、着目単位全体で補修の必要性を判定するサブルーチンを設定するという考え方もありえるので、今後の検討の候補となり得る。
- ・部材や径間に対して期待値の劣化曲線を用い、着目部材や径間全体について一括で状態を予想し、ある損傷程度に達したときにその着目部材や径間全体を一括で維持修繕すると仮定したときには、見ようによっては、着目部材や経験においてその損傷程度に達している要素の比率が 50% に達したときに維持修繕を行うと判定する試算を行っているとも言えなくもない。このときの試算結果の解釈を行うときの具体的な留意事項については、今後、確率的な試算と比較検討していくことが期待される。

そして T_c について、これが大きい場合（晚期劣化型）では、長期にわたって相対的に健全な要素が多く、深刻な状態の要素の比率が小さい傾向にある。長い期間深刻な状態となる要素が少ないということは、早期に状態の悪い要素が発生していても、さらなる劣化によって致命的な状態となる要素が多くなるというリスクが低く、それが長期間続くことを意味する。すなわち、致命的な状態の出現リスクが相対的に小さいと捉えることができ、それらを回避するための予防保全的な管理をする場合には、時間的猶予がある可能性が高い。また、一つの要素の状態が悪くなったとしても、他の要素の状態は区々であるか、損

傷がないもしくは軽微な損傷状態であることを踏まえると、劣化の進行やその拡がり方の特徴は、均等型の傾向と類似しているため、これらと同じ観点で研究を進めていくことが良いと考えられる。

6.3 劣化の特徴の算出例

付録-2 で整理した 272 通りの劣化パターンで、劣化の特徴を示す指標 (T_c, T_w) を算出した。式 (6.1)、式 (6.2) に用いる TS_{50} 、 TD_{50} 、 TD_{90} は、状態確率分布の損傷程度 a~b の境界及び損傷程度 d~e の境界を定式化すれば求めることができる。状態確率分布の各境界は、複数の関数形を用いて回帰し、その曲線式を付録-2 に収録しており、本資料では、指数関数を用いて回帰した曲線式を用いて、 TS_{50} 、 TD_{50} 、 TD_{90} を求めた。 TS_{50} を求めるときに 1000 年以上経過しても損傷程度 a が 50%未満にならない場合や、 TD_{50} または TD_{90} を求めるときに 1000 年以上経過しても損傷程度 e が 50%または 90%を超えない場合には、 TS_{50} 、 TD_{50} 、 TD_{90} を一律に 1000 年として (T_c, T_w) を求めた。算出した (T_c, T_w) の中でも、劣化特徴が顕著に表れている鋼主桁の防食機能の劣化、鋼主桁の腐食、コンクリート主桁のひびわれ、床版ひびわれについて、 T_c と T_w の関係を図 6.3 にまとめた。損傷の種類毎に T_c, T_w の座標が同じような位置にある損傷種類（鋼主桁の防食機能の劣化、床版ひびわれ）がある一方で、損傷種類であっても同じ損傷種類によっても劣化の特徴がその他の条件に応じて異なる損傷種類もある（鋼主桁の腐食、コンクリート主桁のひびわれ）。

なお、この他の劣化パターンにおける (T_c, T_w) の算出結果については、表 6.1~6.3 に示した。

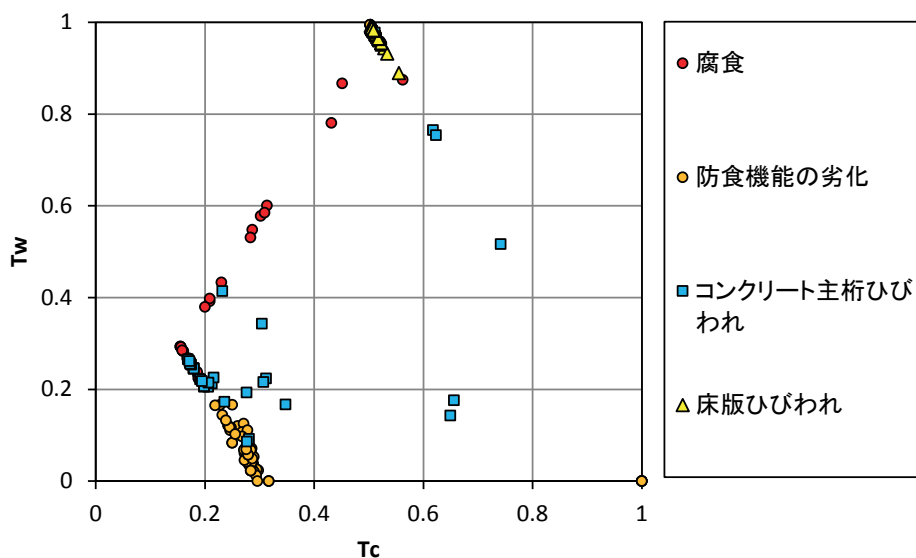


図 6.3 劣化特性を示す指標 (T_c, T_w) の分布

鋼主桁の防食機能の劣化では、 T_c, T_w は他の部材・損傷種類と比較して、狭い範囲に分布しており、全体的に 2 極化型の傾向が強い。表 6.1 とあわせてみると防食機能の劣化の中でもより 2 極化傾向が強い条件は、概ね共通しており、「鈑桁」かつ「C 塗装系」の条件を有するパターンであることがわかる。同様に、鋼主桁の腐食は、2 極化型かつ早期に劣化が進行する $0.1 \leq T_c \leq 0.2$ 、 $0.2 \leq T_w \leq 0.3$ の範囲に着目してみると、「C 塗装系」もしくは「鈑桁」かつ「端部」を条件として有するパターンが多い。一方、腐食の中でも均等型かつ晩期に劣化が進行する $T_c=0.5\sim0.55$ 、 $T_w=0.9\sim1.0$ に着目してみると、全体的に「箱桁」を条件として有するパターンが多い。「箱桁」の条件を有するパターンであっても塗装系の条件の違いで 2 極化型となるものもある（例えば、劣化曲線 ID0136 と ID0139 の場合）。このような例は、腐食の中では、「鈑桁」かつ「中間部」における塗装系の違いでも見られており、「A・B 塗装系」では均等型、「C 塗装系」では 2 極化型となっており、塗装仕様の属性情報が 1 つ異なるだけで対極的な特徴が表れるものもある（例えば、劣化曲線 ID0127 と ID0130 の場合）。6.2 で考察した結果に従えば、同じ損傷種類であっても、防食仕様、環境条件、部位毎に、劣化曲線の設定方法や将来状態予測試算上の維持修繕の判定アルゴリズムを変えるべきかどうかなど、今後、将来状態予測に係わる留意事項の具体化を図っていく必要がある。

コンクリート主桁のひびわれについて、 T_c, T_w は比較的広範囲に分布しており、条件の違いが、劣化の特徴の違いとして表れている。表 6.2 とあわせてみると T_c は、 $0.1\sim0.7$ 程度と広く分布しており、 $T_c < 0.4$ の範囲に収まるパターンが多い。それ以外のパターンは、全て $T_c > 0.6$ の範囲に収まっており、劣化の進行について、顕著に特徴が分かれている。「RC」は全てこの範囲に該当している。対して、コンクリート主桁のひびわれの中で、比較的晩期に劣化が進行する $T_c > 0.4$ に着目してみると、「PC」かつ「塩害環境」（劣化曲線 ID0316,0319,0322,0332）、「プレテン床版」（劣化曲線 ID0317-0319）の条件を有するパターンが多い。6.2 で考察したとおり、同じ損傷種類であっても、構造形式や環境条件毎に、劣化曲線の設定方法や将来状態予測試算上の維持修繕の判定アルゴリズムを変えていくべきかどうかなど、今後、将来状態予測に係わる留意事項の具体化を図っていく必要がある。

床版ひびわれについて、 T_c, T_w は、狭い範囲に分布しており、他の損傷と比較して T_w が高いことから均等型の傾向が強い。しがたって、期待値の劣化曲線を用いるのがよい可能性が高い。しかし、前章までみたとおり、設計基準の違いや、浸水・遊離石灰の発生とのクロス集計での結果をみても劣化速度が異なるので、劣化の将来予測を行うにあたっては、期待値の劣化曲線を用いつつ設計基準の違い等に応じた期待値劣化曲線の使い分けをすることが合理的である可能性が高く、今後、検討を進めていく必要がある。

表 6.1 指標値 (Tc,Tw) の一覧 (鋼主桁の腐食、防食機能の劣化)

鋼主桁-腐食							鋼主桁-防食機能の劣化						
劣化曲線ID	構造形式	部位	塗装系	環境条件	Tc	Tw	劣化曲線ID	構造形式	部位	塗装系	環境条件	Tc	Tw
0101	—	—	—	—	0.231	0.433	0201	—	—	—	—	0.286	0.057
0102	鋼板桁橋	—	—	—	0.209	0.392	0202	鋼板桁橋	—	—	—	0.281	0.063
0103	鋼板桁橋	端部	—	—	0.160	0.284	0203	鋼板桁橋	端部	—	—	0.288	0.038
0104	鋼板桁橋	端部	外桁	—	0.160	0.283	0204	鋼板桁橋	端部	外桁	—	0.280	0.080
0105	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系	0.155	0.293	0205	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系	0.263	0.105
0106	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系 一般環境	0.155	0.293	0206	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系 一般環境	0.263	0.105
0107	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系 塩害環境	0.505	0.990	0207	鋼板桁橋	端部	外桁	A・B系 塩害環境	0.317	0.000
0108	鋼板桁橋	端部	外桁	C系	0.188	0.231	0208	鋼板桁橋	端部	外桁	C系	0.298	0.024
0109	鋼板桁橋	端部	外桁	C系 一般環境	0.188	0.224	0209	鋼板桁橋	端部	外桁	C系 一般環境	0.284	0.023
0110	鋼板桁橋	端部	外桁	C系 塩害環境	0.171	0.267	0210	鋼板桁橋	端部	外桁	C系 塩害環境	0.288	0.030
0111	鋼板桁橋	端部	内桁	—	0.160	0.284	0211	鋼板桁橋	端部	内桁	—	0.286	0.071
0112	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系	0.209	0.398	0212	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系	0.250	0.083
0113	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系 一般環境	0.200	0.380	0213	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系 一般環境	0.250	0.083
0114	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系 塩害環境	0.505	0.990	0214	鋼板桁橋	端部	内桁	A・B系 塩害環境	0.317	0.000
0115	鋼板桁橋	端部	内桁	C系	0.186	0.238	0215	鋼板桁橋	端部	内桁	C系	0.295	0.026
0116	鋼板桁橋	端部	内桁	C系 一般環境	0.179	0.247	0216	鋼板桁橋	端部	内桁	C系 一般環境	0.288	0.025
0117	鋼板桁橋	端部	内桁	C系 塩害環境	0.194	0.223	0217	鋼板桁橋	端部	内桁	C系 塩害環境	0.278	0.056
0118	鋼板桁橋	中間部	—	—	0.302	0.578	0218	鋼板桁橋	中間部	—	—	0.273	0.061
0119	鋼板桁橋	中間部	外桁	—	0.287	0.548	0219	鋼板桁橋	中間部	外桁	—	0.281	0.063
0120	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系	0.506	0.989	0220	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系	0.260	0.120
0121	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系 一般環境	0.506	0.989	0221	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系 一般環境	0.271	0.125
0122	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系 塩害環境	0.509	0.983	0222	鋼板桁橋	中間部	外桁	A・B系 塩害環境	0.278	0.044
0123	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系	0.170	0.263	0223	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系	0.290	0.020
0124	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系 一般環境	0.169	0.265	0224	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系 一般環境	0.281	0.035
0125	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系 塩害環境	0.156	0.292	0225	鋼板桁橋	中間部	外桁	C系 塩害環境	0.283	0.043
0126	鋼板桁橋	中間部	内桁	—	0.314	0.601	0226	鋼板桁橋	中間部	内桁	—	0.279	0.088
0127	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系	0.507	0.987	0227	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系	0.268	0.107
0128	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系 一般環境	0.507	0.987	0228	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系 一般環境	0.278	0.111
0129	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系 塩害環境	0.507	0.987	0229	鋼板桁橋	中間部	内桁	A・B系 塩害環境	0.294	0.013
0130	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系	0.168	0.268	0230	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系	0.286	0.041
0131	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系 一般環境	0.310	0.585	0231	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系 一般環境	0.282	0.055
0132	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系 塩害環境	0.158	0.285	0232	鋼板桁橋	中間部	内桁	C系 塩害環境	0.296	0.000
0133	鋼箱桁橋	—	—	—	0.513	0.975	0233	鋼箱桁橋	—	—	—	0.276	0.069
0134	鋼箱桁橋	端部	—	—	0.452	0.867	0234	鋼箱桁橋	端部	—	—	0.284	0.068
0135	鋼箱桁橋	端部	外桁	—	0.284	0.531	0235	鋼箱桁橋	端部	外桁	—	0.274	0.071
0136	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系	0.507	0.986	0236	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系	0.286	0.057
0137	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系 一般環境	0.507	0.986	0237	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系 一般環境	0.286	0.057
0138	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系 塩害環境	0.503	0.995	0238	鋼箱桁橋	端部	外桁	A・B系 塩害環境	0.268	0.098
0139	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系	0.174	0.256	0239	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系	0.246	0.111
0140	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系 一般環境	0.176	0.250	0240	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系 一般環境	0.242	0.121
0141	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系 塩害環境	0.511	0.979	0241	鋼箱桁橋	端部	外桁	C系 塩害環境	0.289	0.053
0142	鋼箱桁橋	端部	内桁	—	0.509	0.982	0242	鋼箱桁橋	端部	内桁	—	0.277	0.043
0143	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系	0.508	0.985	0243	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系	0.284	0.023
0144	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系 一般環境	0.508	0.985	0244	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系 一般環境	0.284	0.023
0145	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系 塩害環境	1.000	0.000	0245	鋼箱桁橋	端部	内桁	A・B系 塩害環境	1.000	0.000
0146	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系	0.512	0.976	0246	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系	0.228	0.167
0147	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系 一般環境	0.514	0.973	0247	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系 一般環境	0.218	0.165
0148	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系 塩害環境	0.503	0.994	0248	鋼箱桁橋	端部	内桁	C系 塩害環境	0.503	0.995
0149	鋼箱桁橋	中間部	—	—	0.514	0.973	0249	鋼箱桁橋	中間部	—	—	0.275	0.050
0150	鋼箱桁橋	中間部	外桁	—	0.514	0.973	0250	鋼箱桁橋	中間部	外桁	—	0.271	0.068
0151	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系	0.510	0.980	0251	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系	0.273	0.045
0152	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系 一般環境	0.510	0.980	0252	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系 一般環境	0.284	0.068
0153	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系 塩害環境	0.503	0.994	0253	鋼箱桁橋	中間部	外桁	A・B系 塩害環境	0.250	0.167
0154	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系	0.524	0.953	0254	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系	0.248	0.117
0155	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系 一般環境	0.432	0.781	0255	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系 一般環境	0.245	0.118
0156	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系 塩害環境	0.563	0.875	0256	鋼箱桁橋	中間部	外桁	C系 塩害環境	0.255	0.102
0157	鋼箱桁橋	中間部	内桁	—	0.514	0.973	0257	鋼箱桁橋	中間部	内桁	—	0.287	0.049
0158	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系	0.511	0.979	0258	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系	0.279	0.058
0159	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系 一般環境	0.511	0.979	0259	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系 一般環境	0.279	0.058
0160	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系 塩害環境	1.000	0.000	0260	鋼箱桁橋	中間部	内桁	A・B系 塩害環境	1.000	0.000
0161	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系	0.521	0.959	0261	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系	0.232	0.144
0162	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系 一般環境	0.522	0.956	0262	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系 一般環境	0.238	0.133
0163	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系 塩害環境	0.507	0.986	0263	鋼箱桁橋	中間部	内桁	C系 塩害環境	0.276	0.069

表 6.2 指標値 (Tc,Tw) の一覧 (コンクリート主桁のひびわれ、剥離鉄筋露出)

コンクリート主桁ひびわれ						コンクリート主桁 剥離・鉄筋露出							
劣化曲線ID	構造形式			環境条件	Tc	Tw	劣化曲線ID	構造形式			環境条件	Tc	Tw
0301	—	—	—	—	0.236	0.173	0401	—	—	—	—	0.251	0.249
0302	RC	—	—	—	0.200	0.208	0402	RC	—	—	—	0.211	0.180
0303	RC	—	RCT桁	—	0.169	0.266	0403	RC	—	RCT桁	—	0.218	0.169
0304	RC	—	RCT桁	一般環境	0.232	0.414	0404	RC	—	RCT桁	一般環境	0.219	0.167
0305	RC	—	RCT桁	塩害環境	0.179	0.245	0405	RC	—	RCT桁	塩害環境	0.202	0.201
0306	RC	—	RC中実床版	—	0.179	0.247	0406	RC	—	RC中実床版	—	0.207	0.187
0307	RC	—	RC中実床版	一般環境	0.180	0.245	0407	RC	—	RC中実床版	一般環境	0.205	0.195
0308	RC	—	RC中実床版	塩害環境	0.175	0.254	0408	RC	—	RC中実床版	塩害環境	0.236	0.132
0309	RC	—	RC中空床版	—	0.206	0.206	0409	RC	—	RC中空床版	—	0.174	0.255
0310	RC	—	RC中空床版	一般環境	0.199	0.205	0410	RC	—	RC中空床版	一般環境	0.177	0.249
0311	RC	—	RC中空床版	塩害環境	0.213	0.213	0411	RC	—	RC中空床版	塩害環境	0.513	0.975
0312	PC	—	—	—	0.277	0.193	0412	PC	—	—	—	0.349	0.413
0313	PC	プレテン	—	—	0.348	0.167	0413	PC	プレテン	—	—	0.499	0.645
0314	PC	プレテン	プレテンT桁	—	0.312	0.224	0414	PC	プレテン	プレテンT桁	—	0.393	0.493
0315	PC	プレテン	プレテンT桁	一般環境	0.307	0.216	0415	PC	プレテン	プレテンT桁	一般環境	0.432	0.562
0316	PC	プレテン	プレテンT桁	塩害環境	0.618	0.765	0416	PC	プレテン	プレテンT桁	塩害環境	0.532	0.937
0317	PC	プレテン	プレテン床版	—	0.656	0.176	0417	PC	プレテン	プレテン床版	—	0.614	0.773
0318	PC	プレテン	プレテン床版	一般環境	0.650	0.143	0418	PC	プレテン	プレテン床版	一般環境	0.613	0.774
0319	PC	プレテン	プレテン床版	塩害環境	0.742	0.517	0419	PC	プレテン	プレテン床版	塩害環境	0.478	0.468
0320	PC	プレテン	プレテン中空床版	—	0.281	0.092	0420	PC	プレテン	プレテン中空床版	—	0.614	0.772
0321	PC	プレテン	プレテン中空床版	一般環境	0.277	0.086	0421	PC	プレテン	プレテン中空床版	一般環境	0.623	0.754
0322	PC	プレテン	プレテン中空床版	塩害環境	0.623	0.754	0422	PC	プレテン	プレテン中空床版	塩害環境	0.500	0.743
0323	PC	ボステン	—	—	0.199	0.207	0423	PC	ボステン	—	—	0.197	0.210
0324	PC	ボステン	ボステンT桁	—	0.216	0.226	0424	PC	ボステン	ボステンT桁	—	0.224	0.272
0325	PC	ボステン	ボステンT桁	一般環境	0.207	0.215	0425	PC	ボステン	ボステンT桁	一般環境	0.340	0.502
0326	PC	ボステン	ボステンT桁	塩害環境	0.305	0.343	0426	PC	ボステン	ボステンT桁	塩害環境	0.255	0.091
0327	PC	ボステン	ボステン箱桁	—	0.172	0.257	0427	PC	ボステン	ボステン箱桁	—	0.224	0.157
0328	PC	ボステン	ボステン箱桁	一般環境	0.173	0.256	0428	PC	ボステン	ボステン箱桁	一般環境	0.190	0.224
0329	PC	ボステン	ボステン箱桁	塩害環境	0.171	0.262	0429	PC	ボステン	ボステン箱桁	塩害環境	0.228	0.150
0330	PC	ボステン	ボステン中空床版	—	0.192	0.222	0430	PC	ボステン	ボステン中空床版	—	0.197	0.210
0331	PC	ボステン	ボステン中空床版	一般環境	0.194	0.218	0431	PC	ボステン	ボステン中空床版	一般環境	0.203	0.289
0332	PC	ボステン	ボステン中空床版	塩害環境	0.511	0.978	0432	PC	ボステン	ボステン中空床版	塩害環境	0.253	0.097

表 6.3 指標値 (Tc,Tw) の一覧
(コンクリート床版 床版ひびわれ、下部構造 ひびわれ)

コンクリート床版 床版ひびわれ							下部構造 ひびわれ					
劣化曲線ID	構造形式	部位	適用示方書	大型車両	Tc	Tw	劣化曲線ID	部材	部位	環境条件	Tc	Tw
0501	—	—	—	—	0.508	0.985	0601	—	—	—	0.171	0.262
0502	鋼板桁橋	—	—	—	0.507	0.986	0602	コンクリート橋脚	—	—	0.171	0.260
0503	鋼板桁橋	一般部	—	—	0.508	0.985	0603	コンクリート橋脚	梁部	—	0.168	0.271
0504	鋼板桁橋	一般部 中間部	—	—	0.508	0.985	0604	コンクリート橋脚	梁部	一般環境	0.166	0.275
0505	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示前	—	0.516	0.969	0605	コンクリート橋脚	梁部	塩害環境	0.192	0.223
0506	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示前	大型車交通量大	0.523	0.955	0606	コンクリート橋脚	柱部	—	0.170	0.262
0507	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示前	大型車交通量小	0.513	0.974	0607	コンクリート橋脚	柱部	一般環境	0.172	0.263
0508	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示後	—	0.506	0.989	0608	コンクリート橋脚	柱部	塩害環境	0.163	0.277
0509	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示後	大型車交通量大	0.505	0.991	0609	コンクリート橋脚	隅角部	—	0.743	0.514
0510	鋼板桁橋	一般部 中間部	S48道示後	大型車交通量小	0.506	0.988	0610	コンクリート橋脚	隅角部	一般環境	0.746	0.508
0511	鋼板桁橋	一般部 端部	—	—	0.509	0.983	0611	コンクリート橋脚	隅角部	塩害環境	0.719	0.563
0512	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示前	—	0.513	0.975	0612	橋台	—	—	0.175	0.276
0513	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示前	大型車交通量大	0.520	0.961	0613	橋台	堅壁	—	0.163	0.276
0514	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示前	大型車交通量小	0.511	0.978	0614	橋台	堅壁	一般環境	0.163	0.278
0515	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示後	—	0.506	0.988	0615	橋台	堅壁	塩害環境	0.168	0.267
0516	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示後	大型車交通量大	0.506	0.989	0616	橋台	胸壁	—	0.184	0.265
0517	鋼板桁橋	一般部 端部	S48道示後	大型車交通量小	0.507	0.987	0617	橋台	胸壁	一般環境	0.183	0.266
0518	鋼板桁橋	一般部 支点部	—	—	0.507	0.987	0618	橋台	胸壁	塩害環境	0.197	0.264
0519	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示前	—	0.519	0.962	0619	橋台	翼壁	—	0.198	0.222
0520	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示前	大型車交通量大	0.528	0.944	0620	橋台	翼壁	一般環境	0.210	0.242
0521	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示前	大型車交通量小	0.514	0.973	0621	橋台	翼壁	塩害環境	0.536	0.928
0522	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示後	—	0.505	0.991						
0523	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示後	大型車交通量大	0.504	0.993						
0524	鋼板桁橋	一般部 支点部	S48道示後	大型車交通量小	0.507	0.987						
0525	鋼板桁橋	張出部	—	—	0.508	0.985						
0526	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示前	—	0.516	0.969					
0527	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示前	大型車交通量大	0.524	0.952					
0528	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示前	大型車交通量小	0.513	0.974					
0529	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示後	—	0.505	0.991					
0530	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示後	大型車交通量大	0.505	0.990					
0531	鋼板桁橋	張出部	—	S48道示後	大型車交通量小	0.505	0.991					
0532	鋼箱桁橋	—	—	—	0.507	0.986						
0533	鋼箱桁橋	一般部	—	—	0.507	0.986						
0534	鋼箱桁橋	一般部 中間部	—	—	0.507	0.987						
0535	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示前	—	0.514	0.972						
0536	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示前	大型車交通量大	0.509	0.982						
0537	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示前	大型車交通量小	0.534	0.932						
0538	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示後	—	0.506	0.989						
0539	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示後	大型車交通量大	0.505	0.990						
0540	鋼箱桁橋	一般部 中間部	S48道示後	大型車交通量小	0.506	0.989						
0541	鋼箱桁橋	一般部 端部	—	—	0.509	0.982						
0542	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示前	—	0.513	0.975						
0543	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示前	大型車交通量大	0.510	0.981						
0544	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示前	大型車交通量小	0.523	0.955						
0545	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示後	—	0.508	0.985						
0546	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示後	大型車交通量大	0.508	0.984						
0547	鋼箱桁橋	一般部 端部	S48道示後	大型車交通量小	0.508	0.985						
0548	鋼箱桁橋	一般部 支点部	—	—	0.506	0.989						
0549	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示前	—	0.510	0.980						
0550	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示前	大型車交通量大	0.507	0.987						
0551	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示前	大型車交通量小	0.518	0.964						
0552	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示後	—	0.505	0.990						
0553	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示後	大型車交通量大	0.506	0.989						
0554	鋼箱桁橋	一般部 支点部	S48道示後	大型車交通量小	0.505	0.990						
0555	鋼箱桁橋	張出部	—	—	0.510	0.981						
0556	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示前	—	0.518	0.965					
0557	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示前	大型車交通量大	0.509	0.982					
0558	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示前	大型車交通量小	0.555	0.890					
0559	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示後	—	0.508	0.984					
0560	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示後	大型車交通量大	0.506	0.988					
0561	鋼箱桁橋	張出部	—	S48道示後	大型車交通量小	0.509	0.983					

6.4 まとめ

橋梁定期点検で得られる状態記録を統計的に整理することで、劣化特性の把握並びに状態遷移確率モデルや劣化曲線モデルをデータなりには作成できる。また、補修を行うと判定するための指標、補修を行う範囲、補修単価を仮定しさえすれば、将来の状態、維持修繕行為の必要時期、費用について何らかの計算値は得られる。しかし、橋梁の劣化過程は、本来ばらつきが大きい。すなわち、将来状態や修繕の必要時期の計算結果をそのまま鵜呑みにすることはできず、計算結果を維持修繕計画策定の参考にするためには、計算結果の取り扱いに注意を要する可能性が高い。また、実際の補修判断は、その時々で工学的に行うが、計算上の維持修繕行為の判定サブルーチンは、維持修繕を行うと判定する指標や劣化モデルなどの仮定の産物であって、実際とは常に異なる。仮定方法には正解がなく、正解がそもそも定義できないことも想定される。

そこで、本章では、劣化の特徴を、2 極型と均等型、並びに、早期劣化型と晚期劣化型の組みあわせで分類し、それぞれの分類に対して将来予測の計算に結果の解釈を行うにあたっての留意すべき点や今後の研究の方向性、維持修繕行為の必要の判定アルゴリズム構築における問題点と解決の方向性を考察した。今後は、劣化のばらつきと維持修繕補修を行う状態判定アルゴリズムの違いが個々の橋梁や管理橋梁の集合としての将来状態予測結果に与える影響を検討するなどし、本章で考察した留意点の具体化を図っていく研究が必要と考えられる。

なお、5 章で、比較的軽微な損傷程度の範囲であれば平均的な劣化特性はどんなモデル化をしてもほぼ似通ってくるが、より状態が悪い損傷程度では劣化特性はモデル次第で区々となる傾向があることがわかった。劣化モデルの作成方法や処理の仕方については、正解がなく、利用目的によっても異なると考えられる。また、この検討は遷移確率から得た状態確率分布を基にしていることから、5.2.1 で考察したように、状態遷移確率を作成するためのサンプルデータの扱い方も重要である。