

橋梁の劣化過程の地域性の解明と地域アセット マネジメント手法の提案

全 邦釘¹・大窪 和明²・浅本 晋吾³・岡崎 慎一郎⁴

¹正会員 愛媛大学准教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 番)
E-mail: chun@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 愛媛大学准教授 防災情報研究センター (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 番)
E-mail: okubo@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 埼玉大学大学院准教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)
E-mail: asamoto@mail.saitama-u.ac.jp

²正会員 香川大学准教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)
E-mail: okazaki@eng.kagawa-u.ac.jp

橋梁の劣化や損傷は、海岸との距離や地形など地域によって異なる環境条件、管理者の道路予算、橋種を含む構造条件、施工の良否など様々な要因に影響を受けるということが多く報告されている。しかし、これらの影響について、維持管理が進んでおらず劣化が深刻と言われる市町村の橋梁の点検データまで含めて網羅的に検討した研究は少なく、特に四国全域を対象としたものについては存在しない。そこで本研究では、蓄積されている四国内の国、県、および市町村が管理する橋梁の点検データを用いて、どのような要因が、どの程度橋梁の劣化に影響を与えているか実態の分析を行った。またこれらの結果から、地域で有効となる橋梁維持管理について考察を行った。

Key Words: bridge, maintenance, regional asset management, ordered logit model, Shikoku region

1. はじめに

近年、高度経済成長期に多く建設された橋梁の劣化や損傷が顕在化しており問題となっている。これらの適切な点検、維持管理のために平成 26 年 6 月に国土交通省より橋梁定期点検要領¹⁾や道路橋定期点検要領²⁾が策定された。そして、平成 26 年 7 月より道路法施行規則の一部を改正する省令が施行され、2m以上の道路橋を 5 年に 1 回の頻度で近接目視点検することが義務化された。また、これらの点検結果などをもとに劣化予測を行い、ライフサイクルでの費用を評価し、予算獲得を含む維持管理戦略を策定している自治体も多くある。

自治体での劣化予測にあたっては、海岸からの距離などの周辺環境や、橋種などによって橋梁群をグループ分けして行っている事例も多い。こういったグループ分けは、飛来塩分は腐食を急速に進行させるといった物理的な現象や、材料ごとに劣化メカニズムが違うということなどを考慮したものである。しかし、そういった周辺環境などの変数の説明力については共有されている知見はなく、各自自治体でそれぞれ苦心してパラメータを設定し

劣化予測を行っている。例えば当該自治体の管理する、海岸からの距離が 100m 以下の RC 橋の点検結果からパラメータを定めるなどしているが、橋梁の劣化は個体差が大きく、点検結果のばらつきに比してデータ数が少ないため、過剰適合となり、適切な精度となっていないことが多い。例えばデータ群から一つの橋梁を除けばパラメータが大きく変わってしまったりする。すなわち、データ量を確保した上で周辺環境などの影響力について検討することが必要となる。そのような試みとしては、全国の直轄国道の橋梁点検データから道路橋の劣化特性を定量的に評価した研究³⁾⁴⁾などがあるが、維持管理が進んでおらず劣化が深刻と言われる市町村の橋梁まで含めて網羅的に検討した研究は少なく、貝戸らの研究、小池らの研究、南らの研究など数が限られる。貝戸らは、ニューヨーク市の 829 橋の目視点検結果に着目し、マルコフ過程に基づいた劣化予測手法を提案している⁵⁾。また、小林、貝戸らによる一連の劣化予測に関する研究⁶⁾⁷⁾などにより様々な理論、知見が蓄積されている。小池らは、新潟県の市町村管理下橋梁で架橋年次がわかる 4141 橋の点検データを用い、橋種や橋長が劣化に及ぼす影響につ

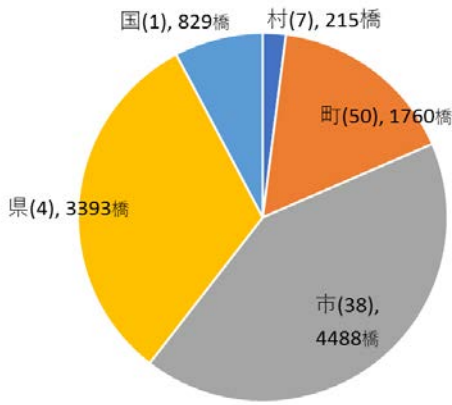


図-1 管理者ごとの橋梁数の内訳 (括弧内の数字は自治体数)

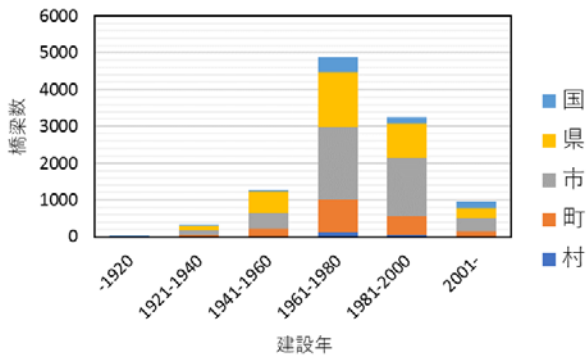


図-2 橋梁の建設年の分布

いて考察をしている⁷⁾。その中で、橋長が短いほど経年劣化に強い傾向があること、RC橋やPC橋は鋼橋と比較して経年劣化に強いこと、ボックスカルバートは中でも更に経年劣化に強いことなどが示されている。南らは、石川県の管理する橋梁のうち位置情報がわかる2086橋について、橋梁定期点検結果を用いて、環境条件が劣化速度に与える影響について検討している⁸⁾。

これらの知見は重要であるが、橋梁の劣化には地域性があるため、様々な地域でデータを収集し分析することが必要である。そういった問題意識の下、本研究では四国内の国、県、および市町村が管理する橋梁のうち、平成26年度、27年度に点検が終わった橋梁について、どのような要因がどの程度橋梁の劣化に影響を与えているか、実態の分析を行った。またその結果から、地域で有効となる橋梁維持管理について考察を行った。

2. 分析したデータの概要

本研究では、四国内の国、県、および市町村が管理する橋梁のうち、平成26年度、27年度に点検が終わった橋梁のうち、架設年次がわかっている10,406橋梁について分析を行った。なお架設年次がはっきりとはわからない場合でも、例えば1920年～1930年というように大ま

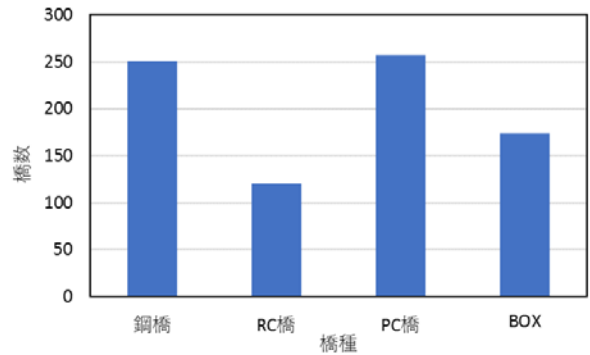


図-3 直轄国道の橋種の分布 (BOXはボックスカルバートを意味している)

区分		状態
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

図-4 判定区分とその状態の説明 (文献(2)より引用)

かに年代がわかっている場合はその中央値を架設年次とした。管理者ごとの橋梁数の内訳を図-1に、年代ごとの内訳を図-2に示す。他地域と同様に高度経済成長期に多くの橋梁が建てられていることがわかる。なお、それぞれの区分ごとの自治体数については図-1の括弧内に示している。橋種については内訳を図-3に示す。一般的には鋼橋、RC橋、PC橋という区分で分けられると考えられるが、小池らの研究ではボックスカルバートについては経年劣化に強いという傾向が見出されており、また経験的にも合致しているため、本研究でもボックスカルバートについては分けることとした。

点検結果は各管理者がそれぞれのフォーマットで記録・蓄積していることが多いが、それに加えて道路橋定期点検要領の「7. 記録」および「別紙3 点検表記録様式」において定められている様式に従って記録もしており、この統一的基準で作成されているデータを用いることとした。

劣化に関する情報については、I～IVの4段階で評価される判定区分を用いることとした。それぞれの判定区分の定義について、道路橋定期点検要領より引用したものを図-4に示す。一般的には、判定区分は構造物の性能に影響を及ぼす主要な部材のうち、最も厳しい健全性の診断結果で代表させることができるとされている。直轄国道の橋梁や、愛媛県のような自治体ではより細かく部材ごとに点検・診断を行っており、より綿密に橋梁の健全度を表現することも可能であるが、必ずしも全ての

表-1 分析のために収集したデータ

要因	入手元または計算方法
橋齢	点検調書中の点検年次から架設年次を引くことで計算
橋長	点検調書, 橋梁台帳
橋面積	点検調書, 橋梁台帳
橋種	点検調書, 橋梁台帳 (国のみ)
海岸線からの距離	点検調書の緯度経度, および国土数値情報の海岸線データより ArcGIS により計算
標高	国土地理院マップシートより取得
年降水量	国土数値情報より取得
年平均気温	国土数値情報より取得
年最低気温	国土数値情報より取得
年合計日照時間	国土数値情報より取得
自治体の道路関係経費のうち, 道路橋りょう費	総務省の地方財政状況調査の統計表「道路関係経費の状況」 ⁹⁾ (市町村のみ)
単位橋面積あたりの道路橋りょう費	道路橋りょう費/橋梁台帳よりわかる自治体の橋梁数橋梁数として計算 (市町村のみ)

自治体でそのような取り組みをしているわけでもなく, またその評価基準も統一されていない. そこで今回は全ての管理者に共通する指標である判定区分をもって健全度・劣化度を代表させることとした.

そして, 表-1 に示すデータについても収集し, これらの要因が劣化に与える影響について分析した. 次章よりその結果を示す. なお, 既往の研究では劣化速度を目的変数としているものが多いが, 本研究では橋齢についても説明変数とし, 劣化度そのものを目的変数とした. これは, 点検がまだ1巡しか終わっていないため, 劣化速度を適切に点検データから導出することが期待できないためである.

3. 順序ロジットモデルによる分析結果および影響度の検討

(1) 順序ロジットモデルによる分析

橋梁に限った話ではないが構造物は経年で劣化する. まず全体的な傾向を明らかにするため, 図-5 に全橋梁の判定区分と橋齢をプロットしたバブルチャートを示す. 図-5 より平均的には経年劣化している様子はわかるものの, 一方でばらつきが非常に大きいということもわかる. ばらつきの原因としては構造形式, 環境要因, 管理者の違い, 施工の良否による個体差などが考えられるが, 本研究では構造形式および環境要因に着目し, これらがどの程度劣化に影響を与えるか分析を行うこととした.

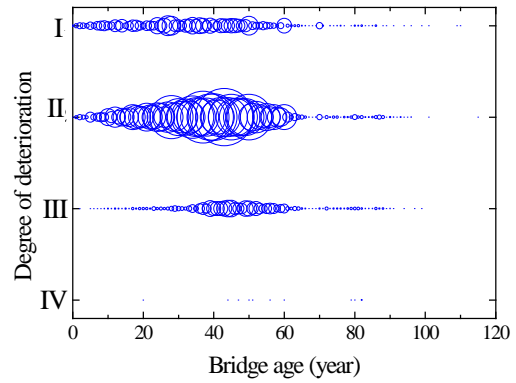


図-5 判定区分と橋齢の関係

ここでは橋梁の判定区分が I から IV までの順序を持った 4 段階で評価されていることを考慮し, 順序ロジットモデルを用いて判定区分に影響を与える要因を把握する. 具体的には, 橋梁 i の判定区分を y_i として表したときに, 潜在変数 y_i^* と判定区分 k から l への閾値 $m_{k,l}$ を用いて次の様に定式化する.

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } m_{I,II} \geq y_i^* \\ 2 & \text{if } m_{I,II} < y_i^* \leq m_{II,III} \\ 3 & \text{if } m_{II,III} < y_i^* \leq m_{III,IV} \\ 4 & \text{if } m_{III,IV} < y_i^* \end{cases} \quad (1)$$

ただし, 潜在変数 y_i^* は

$$y_i^* = \mathbf{x}_i \boldsymbol{\beta} + e \quad e \sim N(0,1) \quad (2)$$

で表され, \mathbf{x}_i は橋梁 i に関する説明変数を表す $1 \times K$ のベクトル (K は説明変数の数), $\boldsymbol{\beta}$ は $K \times 1$ の係数ベクトルである. 各説明変数として, 表-1 に示すデータを用いた. ただし, 海岸線からの距離は, 道路橋示方書¹⁰⁾ に従い, 海岸からの距離が 0m~20m, 20m~50m, 50m~100m, 100m~200m, 200m 以上の 5 つの階級に分けて, ダミー変数として表した. また, 各橋梁の管理者については, 市町村, 県および国の 5 種類の管理者の中で該当する管理者についてだけ 1 をとるようなダミー変数を考えた.

推定は, まず橋梁の判定区分にもたらす要因を把握するために, 表-1 に示した説明変数を全て考慮したモデルを考えて要因の定量的な評価を行った. 次に, これまでに得られた表-1 のデータを用いて, 将来の橋梁の劣化を予測することを考え, AIC を使ったステップワイズ法を適用し, 予測モデルを作成する.

以下, 市町村, 県および国管理の全橋梁について順序ロジットモデルを推定した結果を表-2 に示す. 国, 県および市町村が管理する全橋梁について推定した結果から, 橋齢, 橋長, 年降水量のパラメータは正で

表-2 推定結果

ステップワイズ法	全橋梁				国管理の橋梁				市町村管理の橋梁			
	適用前		適用後		適用前		適用後		適用前		適用後	
被説明変数	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
橋齢	0.028	22.4	0.028	22.5	0.035	6.53	0.034	6.56	0.033	19.8	0.033	19.8
橋長	0.008	17.1	0.008	17.3	0.004	5.01	0.004	5.04	0.014	13.4	0.014	13.4
年降水量	0.142	5.78	0.139	6.7	0.031	0.36			0.107	3.24	0.119	3.67
年合計日照時間	-0.240	-8.13	-0.222	-10.9	0.076	0.73			-0.215	-5.83	-0.208	-5.31
年最低気温	0.001	0.48			0.143	1.32			-0.362	-6.89	-0.356	-4.43
年平均気温	-0.002	-2.10			-0.041	-6.88	-0.023	-2.77	0.031	29.3	0.029	3.96
標高	-0.040	-0.98			0.057	0.76			0.000	0.32		
ダミー変数 (海岸からの距離0-20m)	0.548	2.15	0.550	2.2	-0.040	-0.08			1.047	2.63	1.033	2.60
ダミー変数 (海岸からの距離20-50m)	0.373	1.51	0.384	1.6	0.924	1.54	0.939	1.60	0.301	0.76		
ダミー変数 (海岸からの距離50-100m)	0.139	0.73			-1.060	-1.74	-1.020	-1.69	0.627	2.27	0.619	2.24
ダミー変数 (海岸からの距離100-200m)	-0.016	-0.10			-0.147	-0.37			-0.018	-0.09		
ダミー変数 (管理者 町)	-0.393	-2.62	-0.153	-2.8					-0.333	-2.19	-0.195	-3.11
ダミー変数 (管理者 市)	-0.272	-1.86							-0.148	-0.98		
ダミー変数 (管理者 県)	-0.217	-1.49										
ダミー変数 (管理者 国)	-2.065	-12.6	-1.820	-21.5								
ダミー変数 (鋼橋)					0.118	0.16						
ダミー変数 (RC橋)					-1.642	-2.12	-1.772	-6.74				
ダミー変数 (ボックスカルバート)					-1.844	-2.37	-1.969	-7.53				
ダミー変数 (PC橋)					-1.005	-1.34	-1.118	-5.92				
橋梁単位面積当たりの予算									-0.043	-1.613	-0.043	-1.62
閾値 1 2	-0.75	-56.31	-0.16	-3.05	-5.44	-29.4	-2.72	-2.09	4.77	843.7	4.61	4.09
閾値 2 3	2.40	62.32	2.98	47.1	-3.52	-15.7	-0.80	-0.62	7.90	173.1	7.74	6.85
閾値 3 4	7.43	27.64	8.01	29.2					12.5	47.1	12.3	10.6
Residual Deviance	18237.2		18242.6		1217.4		1218.9		11336.2		11337.8	
AIC	18273.2		18264.6		1251.4		1238.9		11370.2		11363.8	
的中率	0.63		0.63		0.67		0.66		0.60		0.61	
N	10406				788				6380			

あり、これらの値が大きいほど判定区分が大きくなる傾向にあることがわかる。すなわち、古い、橋長が長い、降水量が多い所に建設された橋梁ほど状態が悪く、補修が必要な可能性が高いことが示唆された。逆に、年合計日照時間が長い橋梁ほど、判定区分は低くなることわかる。管理者の違いによる判定区分については、町、市、県、国のそれぞれのダミー変数のどれもが負のパラメータとなっており、有意な結果となった。すなわち、村が管理している橋梁に比べて、これらの管理者が管理している橋梁は、判定区分が低く、状態の良いものが多いことを意味している。特に、国管理の橋梁を表すダミー変数の係数の絶対値は最も大きく、状態の良いものが多い。また、海岸線からの距離については、0-20m に関しては200m 以上と比較して有意水準 5% で有意であると言える。

また、表-2 中には、橋種の影響を調べることを目的として、橋種が記録されている国管理の橋梁に絞って同様の解析を行った結果を示している。国管理の橋梁には、鋼橋、RC 橋、RC 橋 (ボックスカルバート) PC 橋、その他の橋種が見られたため、その他の橋種を除く 4 種類の橋種について、ダミー変数を設定し、順序ロジットモデルを推定した。その結果、推定されたパラメータの係数から、ボックスカルバート、RC 橋、PC 橋、鋼橋の順に悪くなっていることがわかる。

さらに、自治体が橋梁の維持管理に使用することのできる予算が、橋梁の状態にもたらす影響を把握する。ここでは、比較的、予算が限られており、状態の悪い橋梁も多いと考えられていることから、市町村管理の橋梁に着目する。各市町村が管理する橋梁の単位面積当たりの予算が判定区分にもたらす影響は、表-2 中の第 4 列目に示したように有意水準 10% に近い水準で有意であり、負の影響をもたらしている。すなわち、橋梁単位面積当たりの予算が少なくなるほど、判定区分は大きな値をとり、状態が悪くなる傾向にあることがわかった。

(2) 劣化度に影響を与える要因

a) 橋種と劣化度の関係

本節では橋種ごとの経年劣化の傾向を比較する。しかし図-5 のようなバブルチャートでは図-5 と同様にばらつきが大きく、橋種ごとの経年劣化の傾向をつかみづらいため、ここでは文献 (7) に倣い 3 年平均判定区分と橋齢の関係を次ページの図-6 のようにプロットした。3 年平均判定区分は、橋齢 0 年~2 年、3 年~5 年というように橋齢 3 年ごとに橋梁を分け、その橋梁群の判定区分の平均値として定義する。

図よりわかるように、RC 橋や PC 橋は鋼橋と比較して経年劣化に強く、ボックスカルバートは更に経年劣化に強いという、文献 (7) で述べられている知見は本研

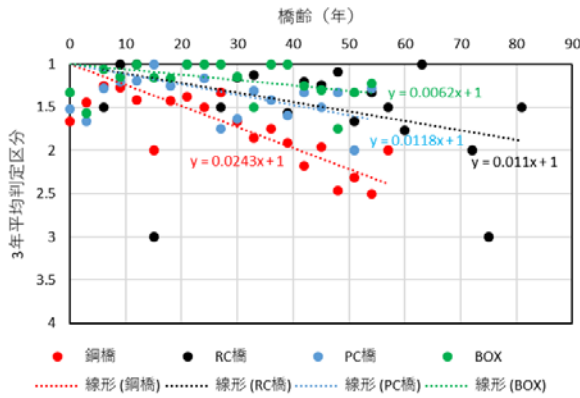


図-6 橋種ごとの3年平均判定区分の経年推移

究のデータ群でも確認できた。原因は様々に考えられるが、その1つとして RC 橋や PC 橋の初期損傷と比較して鋼橋の損傷は防食機能の劣化というわかりやすい（点検者が目視で確認しやすい）形で出てくるため、判定区分 I の橋梁が相対的に少なくなるという点が挙げられる。

ボックスカルバートが経年劣化に強い理由は、通気性が良いため湿潤環境になりづらいこと、プレキャスト BOX は品質が安定しており耐久性が高いこと、常時土中にあり温度変動が少ないことなどが挙げられる。

b) 橋長と劣化度の関係

上述の解析で、橋長が長くなれば判定区分が悪くなる傾向にあることが示されている。判定区分が概ね良いボックスカルバートは橋長が短いこと、判定区分が悪い傾向がある鋼橋は橋長が長いことを鑑みれば、(1)で示した橋種と劣化度の関係がそのまま橋長と劣化度の関係に反映されている可能性がある。橋種ごとの橋長と劣化度の関係についてはまだデータ整理が進行中でサンプルが揃っていないため、次稿で述べることにしたい。

c) 年降水量・年合計日照時間と劣化度の関係

表-2の全橋梁および市町村を対象とした推定結果より、年降水量が多くなると判定区分が悪くなる傾向があることが示されている。排水まわりの悪い橋梁の場合、降雨量が多いと劣化が進行すると想定されるが、それを表した結果であると言える。

また年合計日照時間については、湿潤環境は劣化を進行させることを考慮すれば、年合計日照時間は劣化進行を妨げる方向に働いていることは理にかなっている。

d) 気温・標高と劣化度の関係

山間部など標高が高く、気温が低い場所に位置する橋梁では、凍結防止剤を撒布するため劣化を促進する方向に働く。表-2の結果からも、その傾向が確かめられているといえる。特に年平均気温が強く効いている。

e) 単位橋面積あたりの道路橋りょう費および管理者の行政区分と劣化度の関係

道路橋りょう費は、維持管理に限らず、道路・橋りよ

うの新設、改良等に要する経費であるが、維持管理にかけることのできる費用の目安にはなる。同一基準で集計されたデータは市町村単位の自治体のみであるが、一定の相関があることが表-2の市町村管理の橋梁を対象とした推定結果よりわかる。

また、村、町、市、県、国といった管理者の行政区分の違いが橋梁の劣化度に及ぼす影響についても調べている。その結果、国が管理する直轄国道の橋梁については明らかに他の管理者が管理する橋梁よりも状態がよいことがわかった。筆者は、これまでの経験より直轄国道の橋梁は劣化の初期段階で予防保全的な補修を迅速に行うケースが明らかに多いと認識しており、それとも合致している。一方で、県については予算規模が大きいため、市町村と国の中間的な劣化度と想定していたが、必ずしもそのような結果は得られておらず、むしろ悪い。これは、県の場合に管理する面積が市町村と比較してはるかに大きいため、目が届かなくなっていることが原因の1つであると考えられる。

f) 海岸線からの距離と劣化度の関係

海岸線からの距離は塩害に強く影響を及ぼすため、非常に重要なパラメータである。一般的に、近ければ近いほど橋梁の劣化を進行させるとされる。本研究では、海岸線からの距離を 0m~20m, 20m~50m, 50m~100m, 100m~200m, 200m 以上という区分に分け、影響度の検討を行った。ここでは橋長が 200m 以上の橋梁以外についてダミー変数を設定したところ表-2のような結果が得られた。0m~20m, 20m~50m, 50m~100mを表すダミー変数の係数の符号はプラスであり、海岸から遠い(200m 以上)の橋梁に比べて、判定区分が高い傾向にあることがわかった。したがって、海岸線からの距離が 0m~20m, 20m~50m, 50m~100m の場合は劣化しやすいといえる。

ただし、国が管理する橋梁にでの推定結果から、海岸からの距離は有意水準 5%では有意でないという結果が得られている。むしろ海岸線からの距離が 0m~20m, 50m~100m では判定区分を良くする方向に働く。要因としては、施工や完了検査が適切に行われておりコンクリートのかぶり厚をしっかりと確保できていることや、ひび割れ注入や塗替え塗装が迅速に行われていることなどにより塩害による損傷が抑えられているという点が考えられる。

また、全ての橋梁を対象とした解析において、100m~200m と 200m 以上を比較した場合、200m 以上のほうが少し劣化が速いという結果が得られている。これは、海岸線からの距離が遠い山間部では融雪防止剤を撒布し、それも劣化を進行させるため、単純に遠ければ遠いほど劣化が遅いわけではないということを反映していると考えられる。

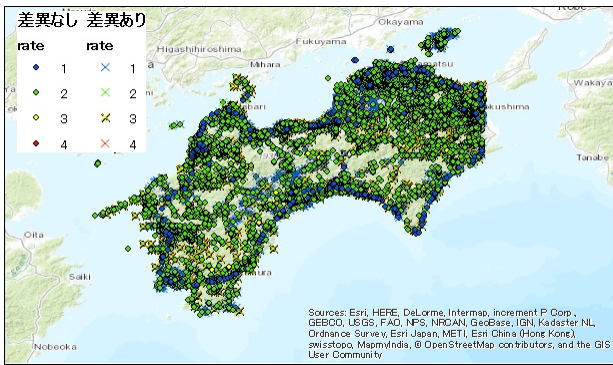


図-7 橋種ごとの3年平均判定区分の経年推移

表-3 予測値と観測値の点検結果比較

観測 \ 予測	1	2	3	4	合計
1	457	2052	9	0	2518
2	167	6029	67	0	6263
3	41	1527	41	1	1610
4	0	14	1	0	15
合計	665	9622	118	1	10406

(3) 要因が劣化度に及ぼす影響の度合い

(1), (2) で述べたように、様々な要因が有意に橋梁の劣化に影響を与えていることを示すことができ、また因果関係についても説明することができた。ただし、有意とはいへども説明力は大きいとはいえない。例えば、潜在変数の値が判定区分ⅠとⅡの閾値(-0.75)にあるような橋梁が、判定区分Ⅲになるために必要な年数を考えた場合、潜在変数の値は、 $2.40 - (-0.75) = 3.15$ だけ増加する必要がある。年降水量など、その他の要因が一定であるという条件の下で、年数だけが增加すると考えると、潜在変数が 3.15 だけ増加するためには、100 年分よりも更に大きい値が必要になる。

また、推定結果から導き出された判定区分と観測値を比較した的中率は、どのモデルでも 0.6 付近の値である。そこから導き出される必然的な結果であるが、これら因子をもとに劣化度を予測しようとしても現状では予測精度は上がらない。図-7 および表-3 に式(1), (2)をもとに予測した結果を示すが、的中率は 63%となっている。表-3 を詳しく見ると、非常に多くの橋梁を判定区分の平均値である 1.92 に近いⅡと予測してしまっており、判定区分Ⅰ, Ⅲ, Ⅳと観測されている多くの橋梁についても、予測値では判定区分Ⅱになっており、ほぼ外してしまっているという結果になっている。これらの結果から、図-5 に示すような大きなばらつきが、表-1 に挙げたような要因では説明しきれないということが言える。

4. 考察および今後の課題

3 章までで示したように、今回扱ったデータの範囲では、橋齢や橋長、海岸線からの距離、年降水量、日照量について統計的に有意な結果が得られたものの、モデル全体としての説明力は低かった。その結果、判定区分については、点検結果が持つばらつきを表-2 に挙げたような要因では説明できず、例えば施工の良否や、水回りの状態などといった個体差が大きくなっていると想定される。これらを踏まえて、地域での橋梁の有効なアセットマネジメントのために、以下のような指針が考えられる。

- ・新設橋梁については完了検査を適切に行うこと。

施工の良否は完了検査で一定程度確かめることが可能である。特に、かぶり厚は鉄筋腐食などに大きな影響を及ぼすため、厳密に検査することが望ましい。

- ・排水枡などの清掃をこまめに行い、また、排水管が損傷している場合は早急に修繕することで、適切な水回りを確保すること。

排水不良が橋梁の劣化に及ぼす影響は大きい。特に、鋼部材に水がかかっている状態や、コンクリートの表面が常に濡れているような状態は望ましくない。清掃や排水枡、排水管の修繕はコストと比較して大きなメリットがあると考えられる。

- ・遊離石灰などの損傷が出ている橋梁については、強く警戒すること。

遊離石灰が出ているということは、橋梁内部で水の通り道があるということを意味している。その場合、相対的に劣化が速い個体である可能性が高いため、可能であれば早めに修繕する。

他にも様々な有効的な指針があろうと考えられるが、発表時に議論できればと考えている。

今後の課題を以下に述べる。第一に、現状では点検が 1 巡しか終わっていないため、経時変化の追跡ができていないという点が挙げられる。点検が 2 巡、3 巡と進み点検データが経年的に蓄積されていけば、劣化速度の適切な評価が可能となるため、本研究のような橋齢を説明変数にするような手法ではなく、多くの関連研究で提示されているように劣化速度そのものを目的変数にすることが可能となる。また前回点検結果からの推移という形での予測も可能となるため、予測精度という観点では大きく向上することが期待できる。

第二に、損傷の種類は多くあり、それぞれ発生原因が異なるにも関わらず、現状では判定区分といった大まかな指標を劣化度としているという点が挙げられる。部材(あるいは部材を細分化した要素)ごとにどのような損傷が発生しているかを詳細に評価すれば、種々の因子が

もたらす影響について現状より詳しい知見が得られると期待できる。どの程度まで細分化して記録していけば必要な情報が得られるか（例えば、橋梁定期点検要領の付録3の形式で十分なのかどうか）、今後の分析で明らかにしていきたいと考えている。

謝辞：本研究で用いたデータは四国地方整備局より提供を受けました。また、本研究の解析は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理法人：JST）によって実施されました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局 国道・防災課：橋梁定期点検要領，2014. <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo3_1_6.pdf>, (accessed 2017.4.24).
- 2) 国土交通省道路局 国道・防災課：道路橋定期点検要領，2014. <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo4_1.pdf>, (accessed 2017.4.24).
- 3) 玉越隆史，横井芳輝，石尾真理：全国規模の点検データに基づく道路橋のコンクリート部材の劣化の特徴，コンクリート工学論文集，Vol.25，pp.167-180，2014.
- 4) 松村裕樹，玉越隆史，星隈順一，白戸真大，河野晴彦：道路橋維持管理費の不確実性を考慮した将来推計，第71回土木学会年次学術講演会，I-094，2016.
- 5) 貝戸清之，阿部允，本間仁，藤野陽三：実測データに基づく構造物の劣化予測，土木学会論文集，No.744，pp.29-38，2003.
- 6) 小林潔司，水谷大二郎，松島格也，山本浩司，貝戸清之，坂口創：2次元混合ワイブル劣化ハザードモデル，土木学会論文集F4，Vol.72，No.2，pp.47-62，2016.
- 7) 小池真登，長井宏平：新潟市市町村における橋梁点検データを用いた経年劣化傾向分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.1339-1344，2015.
- 8) 南貴大，藤生慎，中山晶一郎，高山純一，近田康夫：環境要因が橋梁の健全度に与える影響の分析—石川県の橋梁定期点検データを用いて—，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.72，No.5，pp.L251-L260，2016.
- 9) 総務省統計局：地方財政状況調査：道路関係経費の状況，2015. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020103.do?_toGL08020103_&listID=000001141894>, (accessed 2017.4.24).
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説I,III,共通編・コンクリート橋編，2012.

(2017.4.28 受付)

REGIONAL CHARACTERISTICS OF BRIDGE DETERIORATION FOR INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT

Pang-jo CHUN, Kazuaki OKUBO, Shingo ASAMOTO, and Shinichiro OKAZAKI