

目視点検データの統計解析に基づくRC床版を有する港湾栈橋構造物の劣化要因分析

北澤 周作¹・大竹 雄²・兵頭 武志³・林田 秀樹⁴・本城 勇介⁵

¹正会員 株式会社キタック (〒950-0965 新潟市中央区新光町10-2)

E-mail: kitazawa_su@kitac.co.jp

²正会員 新潟大学准教授 自然科学系(工学部)建設学科 (〒950-2101 新潟市西区五十嵐2の町8050)

E-mail: y_ohtake@eng.niigata-u.ac.jp

³正会員 (財)港湾空港総合技術センター (〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-3-1 尚友会館3F)

E-mail: hyoudou@scopenet.or.jp

⁴正会員 (財)港湾空港総合技術センター北陸支部 (〒950-0965 新潟県新潟市中央区新光町11-7)

E-mail: ni-hayashida@scopenet.or.jp

⁵正会員 岐阜大学名誉教授 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail: honjo@gifu-u.ac.jp

本報告は日本全国の港湾栈橋を対象に作成された維持管理計画書と港湾計画図などの既存資料から目視点検、環境条件、構造条件等の諸データを抽出し、統計解析に基づいて今後の維持管理の効率化に向けた基礎的考察を行った。その結果、港湾栈橋の劣化傾向は、気温、乾湿、風向などの環境条件に強く支配され、強い地域性を示すことが分かった。さらに、環境条件によりグルーピングを行い、それぞれに栈橋の構造条件との関連を分析することにより、地域別の劣化要因を抽出することができた。本報告の成果は、今後の効率的な維持管理計画の立案を支援するものと考えられる。

Key Words : port structures, inspection data, maintenance, deterioration prediction, statistical analysis

1. 研究背景と既往研究との位置づけ

(1) 研究の背景

我が国では、高度経済成長期に建設された社会基盤施設の老朽化が問題となっている。本報告で対象とする港湾施設の栈橋も例外ではなく、栈橋の梁、床版、杭等に顕著な劣化が生じて、施設の利用に支障をきたしている事例が報告されている(例えば¹⁾)。栈橋は、海底地盤に打ち込まれた杭の頭部に鉄筋コンクリート製の梁と床版を設置して一体化した構造となっている。そのため、点検診断については、上部工の上部側(舗装面側)はアクセス良く容易に行えるが、下面側(水面側)は潮位の影響を受けてアクセスが容易ではない場合が多い。また、劣化が進行した場合の補修・補強工事が技術的に困難で、かつ経済的な負担が大きくなることから、予防保全の考えに基づく、より効率的な維持管理が求められている。

港湾施設の適切な維持管理の推進を図るため、国土交通省では、2007年に「港湾の施設の技術上の基準を定め

る省令」の改訂と「技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示」の施行を機に戦略的な維持管理に向けた取り組みを開始した。その後、「港湾の施設の点検診断ガイドライン(2014.7)」²⁾や「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン(2015.4)」³⁾などを策定・公表することで、全国の港湾施設で点検診断の実施や維持管理計画策定などを推進した。この取り組みにより、現在では、ほぼすべての国有港湾施設において維持管理計画書の作成が完了している。

維持管理計画書は、施設を適切に維持するための標準的な方法を定めた計画書で、施設の基本情報(施設の諸元や設計条件等)のほか、点検診断計画や点検診断結果による総合評価、維持補修に係る情報等が収録されたものである。本報告では、全国の港湾施設の栈橋の維持管理計画書に記されている点検診断結果と各施設の置かれる環境条件等を統計解析することにより、予防保全に基づく維持管理の効率化に向けた基礎的な考察を行うものである。

表-1 各部位・部材の劣化状態に対する評価及び判断基準

評価	部位部材の状態
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	部材の性能低下はないが、変状が発生している状態
d	変状が認められない状態

表-2 総合評価の判断基準

評価	施設の状態
A	施設の性能が低下している状態
B	放置した場合に、施設の性能が低下する恐れがある状態
C	施設の性能にかかわる変状は認められないが、継続して観測する必要がある状態
D	以上は認められず、十分な性能を保持している状態

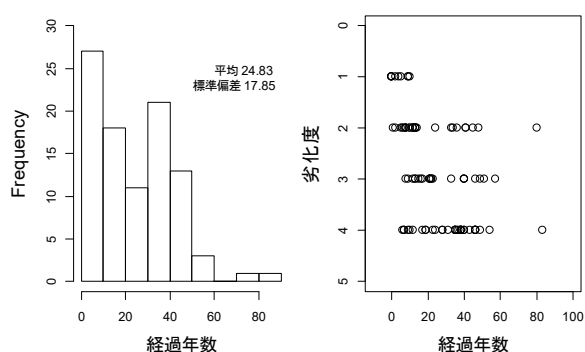


図-1 対象栈橋の経過年数と劣化度

(2) 既往の研究と本報告の位置づけ

予防保全に基づく維持管理を行うには、適切な劣化予測が必要となる。代表的な港湾施設における劣化予測については、「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン 参考資料 参考 1：比較的簡易な更新・修繕費用の推計方法」に示されている。ここでは、国有港湾施設の点検の実績による部材ごとの平均的な劣化速度に着目したマルコフ連鎖モデルが採用されている。簡易な劣化予測法としては汎用性が高いが、施設が置かれている環境条件や材料特性を考慮した手法ではない。

目視点検に基づく劣化予測に関連して、多くの研究が行われている。ここでは、関連する主なものに絞って整理する。例えば、大竹ら^{4,5)}は、橋梁構造物に着目して、目視点検によって得られた多数の点検項目に主成分分析を行うことで、劣化を合理的に評価できる指標が作成できることを示した。主成分分析結果にクラスター分析を適用することで、劣化機構の違いによる橋梁群の分類が図れることを示唆している。提案手法により分類されたグループは、劣化に対する影響因子に違いがあることについても明らかにしている。

吉田ら⁶⁾は、大竹ら^{4,5)}と同じデータベースを用いて、複数の劣化特性が混在するデータに対し、EM アルゴリズムと情報量基準を用いることにより、橋梁群の分類と劣化曲線を同時に求める手法を提案している。提案によ

って分類されるグループは、それぞれ物理的な劣化要因の特徴があることを見出すことができることを示している。

貝戸らの研究グループ^{7,8)}は、マルコフ推移確率を用いた劣化予測手法を確立している。多くの研究報告があるが、ここでは、その基本的な考え方を提案した研究のみを紹介する。貝戸らは、ニューヨーク市が管理する橋梁の点検における目視検査データを用いて劣化予測を行った⁷⁾。さらに時間経過により劣化が進展する過程をハザードモデルで表現し、このハザードモデルに基づいたマルコフ推移確率を推定した⁸⁾。また、専門技術者の先験情報により予測結果を与え、データの蓄積とともに逐次予測結果を更新することが可能な方法論を開発し、実際の橋梁の目視検査データへの適用による有効性も検証している⁹⁾。

先述のとおり、関連する研究は多くあるが、本報告では、これまで研究の対象となっていない RC 床版を有する栈橋構造物に着目し、RC 床版の劣化要因を工学的に考察する。手法は、大竹ら^{4,5)}と同様に目視点検結果と施設の構造条件、環境条件に関する指標との関連性を考察し、栈橋構造物の RC 床版の劣化傾向の地域性、劣化因子について議論を行うこととする。

2. 解析方法

(1) 解析に用いるデータ

解析では、国有港湾施設の栈橋のうち、1) 建造年がわかっているもの、2) 各港湾が策定する「維持管理計画書」内で栈橋の目視点検結果について記載があるものを抽出し、95施設を対象とした。また、それぞれの栈橋に対して、以下に示す3種類のデータ（点検データ、環境条件データ、構造条件データと名付けている）を整理した。なお、床版上のクレーン設置位置などの使用条件等も劣化要因として考えられるが、施設群で統一的な情報を入手することができなかったため、解析には用いないこととした。なお、ここで抽出した、それぞれのデータ項目は、対象施設の劣化に関連する可能性があると考えられる因子を抽出したものである。入手した資料の中で可能な範囲でできるだけ多くの項目を抽出した。

a) 点検データ

点検データとは、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に基づいて判定された目視点検のデータである。本ガイドラインでは、まず定期点検時に目視で各部位・部材の劣化状態についてa~dの4段階で判定する（表-1）。次に施設管理者が点検結果を総括し、財政面、重要性といった現場・行政的判断を考慮した上で、性能基準に基づきA, B, C, Dの4段階で判定する（表-2）。このグレ

表-3 棧橋の環境条件一覧

記号	データ名	引用先
A	干満差	維持管理計画書
B	強風風向(≥10m/s)	港湾計画図
C	平均風速	気象庁HP
D	平均気温	気象庁HP
E	年降水量	気象庁HP
F	日照時間	気象庁HP
G	相対湿度	気象庁HP
Y	海側から陸側を見た方角	港湾計画図
Z	風速10m/s以上となる風の最多風向	港湾計画図

表-4 棧橋の構造条件一覧

記号	データ名	引用先
H	棧橋幅	維持管理計画書
I	張り出し長	維持管理計画書
J	スラブ径間数	維持管理計画書
K	スラブ径間幅	維持管理計画書
L	H.W.Lからスラブ天端までの距離	維持管理計画書
M	経過年数	維持管理計画書

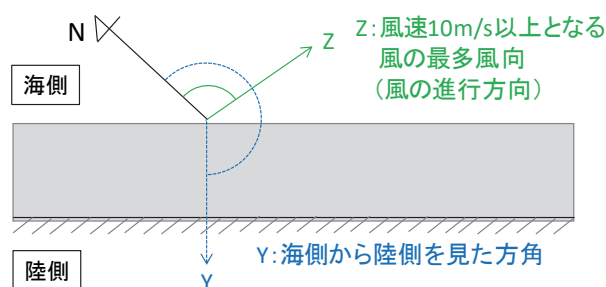


図-2 強風風向Bの考え方

ーディングは、本来的にはカテゴリー分類であるが、ここでは、統計解析に用いるため、劣化度a, b, c, dに対してそれぞれ1, 2, 3, 4と点数表示することにする。

図-1は、対象棧橋の建造年から点検時までの経過年数と劣化度について示した図である。図-1(a)は、経過年数のヒストグラムで、対象棧橋は経過年数が20年を下回る棧橋や30-40年のものが多くを占める。図-1(b)は、経過年数と劣化度の関係を示した図である。経過年数に応じ劣化度の大きい棧橋が増加することが分かる。ただし、同じ劣化度に対して経過年数のばらつきは大きく、対策優先度を判断する指標としては不十分であることが読み取れる。

b) 環境条件データ

環境条件データとは、棧橋の自然環境条件に関連するデータである。収集した項目は表-3に示す通りで、干満差A（干潮時、満潮時の潮位差）、強風風向B、平均風速C、平均気温D、年降水量E、日照時間F、相対湿度Gで

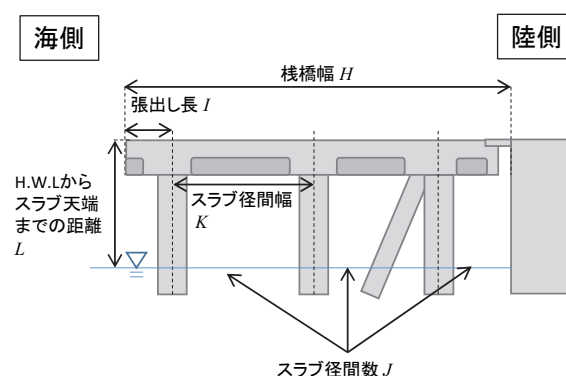


図-3 棧橋構造図と構造条件に関する項目

ある。それぞれの出典は、表中に示す通りで、Aは、維持管理計画書で記載されるデータ化し、C～Gは気象庁¹⁰⁾の公開情報である。ここで、強風風向Bは、本報告で独自に設定した指標であり、下式で定義した（図-2）。

$$B = \begin{cases} 180 - [Y - Z] & \text{for } [Y - Z] < 180 \\ [Y - Z] - 180 & \text{for } [Y - Z] \geq 180 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、Yは棧橋海側から陸側を見た方角である。また、Zは風速10m/s以上の風の最頻風向の方角である。Bの値が大きいほど風が棧橋法面に対して直角方向で陸側に向かうことを意味し、劣化の進行と関連する可能性がある指標である。風向の情報は、各港湾の港湾計画図から読み取るによりデータ化した。

c) 構造条件データ

構造条件データとは、維持管理計画書に収録されている構造図等を参考に抽出した。具体的には表-4に示す棧橋幅H、張り出し長I、スラブ径間数J、スラブ径間幅K、H.W.Lからスラブ天端までの距離L、経過年数Mである。

棧橋幅H、張り出し長I、スラブ径間数J、スラブ径間幅Kは、図-3に示すように、棧橋の横断方向の構造寸法を表し、H.W.Lからスラブ天端までの距離Lは、満潮時の海水面の高さから床版の上面までの距離を意味する。

なお、同一棧橋内で構造条件が変化する場合には、棧橋上部工の面積が最も大きい方を支配的な形状で代表させた。同じ面積の棧橋が複数ある場合には、劣化の程度の大きいと思われる形状の値を用いている。対象地点の形状が重力式、矢板式など棧橋式でないもの、形状データが不明のものは構造条件を用いた解析から除いた。以上の準備に基づいて構造条件を整理できた棧橋は85箇所である。なお、経過年数Mは、建造された年から総合評価を判定した年までの年数とした。

(2) 解析手法

多変量データを扱う場合の基本的な統計解析手法を用いる。本報告では、主成分分析とクラスター分析の併用によるグループ化の検討、重回帰分析とAIC最小モデルの選択による要因分析を行った。以下で、使用する統計

手法の概要について記述する．なお，解析の実装にあたっては，オープンソースのプログラム言語である R 言語を用いている．

a) 主成分分析

各項目のデータの関係性は，データが少ない場合には相関係数から把握できることが多い．しかし項目が多い場合には，変数間の構造が複雑になり相関係数のみでの解釈は難しくなる．主成分分析は各変数の代わりに，それらを縮約した合成変数を用いてデータの関係性を解釈する統計手法で，多変量の構造を把握する際によく用いられる．この合成変数は主成分と呼び，主成分で各サンプルを評価した値を主成分得点と呼ぶ．

主成分の軸は，各データ点が軸に直交射影したとき，分散が最大となるように求められる．射影された分散の大きさは，データのばらつきを表しており，分散が最大となるように軸が求められることは，その軸で評価できる情報量が最大といえる．これは，主成分軸では評価できない情報量の損失(射影誤差)を最小に抑えることを意味する．

この主成分軸への変換作業は，データの共分散もしくは相関係数の固有値分解の問題となる．最大固有値を λ_1 とすると，この固有値に対応する固有ベクトルで表せられる α_1 は，データの分散最大値をとる．これは第一主成分とよび，以下大きな固有値から順に $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_p$ と表し，これらの軸を第二主成分，第三主成分…第 p 主成分と呼ばれる．また作成される各主成分軸は互いに直交関係にある．軸同士が直交であることは，互いに独立した情報を集約することを意味する．

なお，本解析では，データ項目ごとの単位が異なることを考慮し，主成分分析では，相関行列を用いることとする．変数 P 個の分散和は，共分散行列 R の対角成分である．これらは，全主成分の固有値の総和と一致する．また，主成分がどの程度の説明力があるかを把握する指標として寄与率がある．寄与率は，ある主成分の分散を全体の分散で除した値であり，第 k 番目の寄与率は以下 c_k と定義される．

$$c_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (2)$$

b) クラスタ分析

クラスタ分析とは，データの類似・非類似度から似たもの同士を複数のクラスター(かたまり・集合体)にグルーピングする手法である．クラスタ分析は，主に階層的手法と非階層的手法に大別される．非階層的手法は，階層的手法の樹形図を作成し最適な分類数を検討していく方法とは異なり，初めに任意の分類数を決めてからクラスターを作成する．データ間の類似度の計算は行わなくて済むため，データが多い場合等に用いられる．本解析で使用するサンプル数は95であり，階層的手法を適用

するには比較的多いことから非階層的手法を採用し，その中でも代表的なk-means法を用いる．本報告では，主成分分析によって新たに得られる各主成分を軸とする座標空間上でクラスター分析を利用する．

c) 重回帰分析とモデル選択

AIC (赤池情報量基準) が最小となる変数を組み合わせたモデルを作成し，その回帰係数の意味を考察する．AICは，モデルのあてはまりのよさとパラメータの数を調整した指標で，指標の数が最小となるモデルが最良とされる．以下にAICの式を示す．

$$AIC = -2 \ln L + 2k \quad (3)$$

ここに， L ：最大対数尤度， k ：パラメータ数である．

なお，本解析では，変数選択の組み合わせ方法に「変数増減法」を用いる．

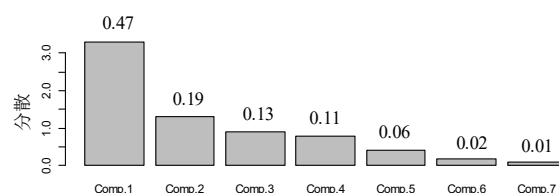
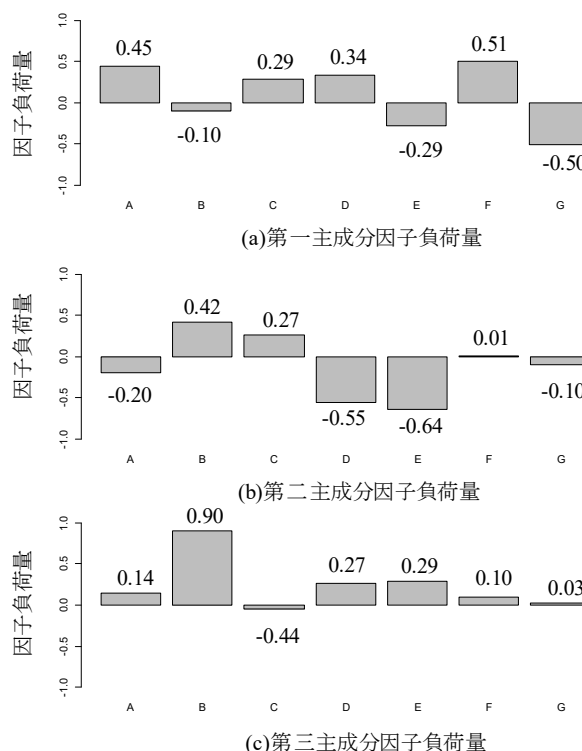


図4 環境条件の主成分の分散および寄与率



(ここに，A：干満差，B：強風風向，C：平均風速，D：平均気温，E：年降水量，F：日照時間，G：相対湿度)

図5 環境条件の各主成分の因子負荷量

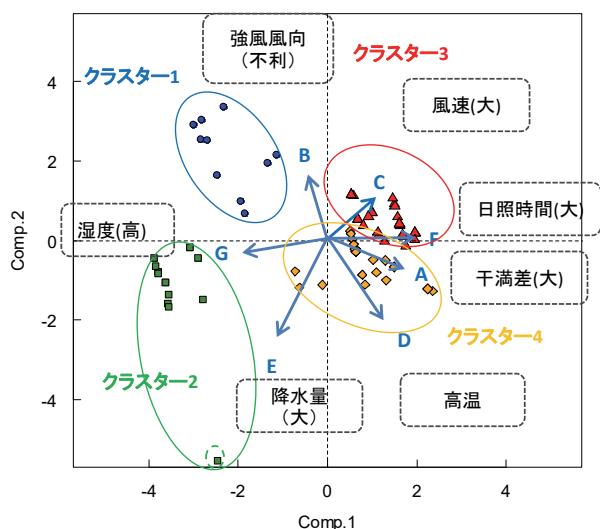


図-6 環境条件の主成分分析およびクラスター分析結果

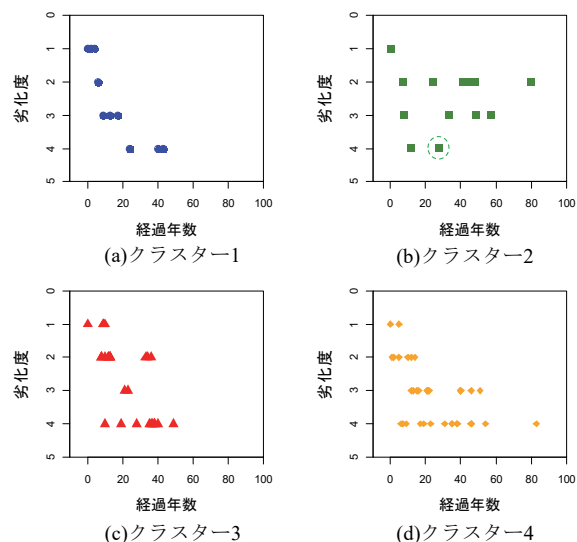


図-8 各クラスターの劣化度と経過年数の散布図

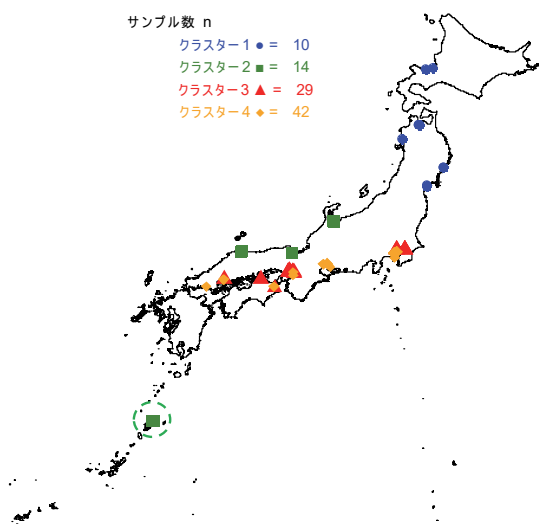


図-7 各クラスターと位置図

3. 解析結果と考察

(1) 主成分分析とクラスター分析

a) 環境条件データを用いた分析

図-4は各主成分の分散を示し、棒グラフの上記に示される数値は寄与率を示している。図-5は、主成分の因子負荷量を表しており、各主成分内で環境条件の項目の寄与率を示している。図-5の因子負荷量から、第一主成分、第二主成分の工学的な意味（軸の意味）を見出すことは難しかったが、図-4に示されている2つの主成分の寄与率（棒グラフ上の数値）の合計が65%程度（第一主成分0.47、第二主成分0.19）の説明力を有していることから、この2変量に着目して分析を行うこととした。

図-6は、第一主成分と第二主成分で評価した主成分得点のプロット図（バイプロット）である。ここで、図の矢印は各項目の因子負荷量をベクトルで表したものであ

る。図-6のバイプロットには、クラスター数を4とした場合の結果を着色してプロットしたものである。また、図-7には、このグルーピングと同様の着色で日本地図に栈橋位置をプロットしている。ここで、クラスター2としてグルーピングされている栈橋群のうち、他と大きく外れてるものは、点線で印を付けた。図-7を見ると、グルーピングの意味は明確であり、環境条件によるグルーピングは地域性を表していることが分かる。以下、図-6と図-7から分類されたクラスターの特徴を考察する。

クラスター1は、東北・北海道に位置する栈橋群である。これらの栈橋群は、図-6の第二象限の位置に分類され、ベクトルの向きから干満差A、強風風向B、平均気温D、相対湿度Gが関連していることが分かる。このうち、正の向きを示すベクトルは、強風風向B、相対湿度Gであった。これらの地域は、湿度が高く、直接海側から栈橋方向へ強風が吹きこむ特徴を有している。反対に、ベクトルが負の向きとなる項目は、干満差A、平均気温Dで、これらの栈橋群は潮汐による海面水位の変化が小さく、寒冷な地域に立地しているといえる。クラスター2は、主に日本海に面した地域に設置された栈橋群である。ただし、統計解析の結果より、点線の丸印で示された九州南方地域の栈橋についても同じクラスターに分類している。クラスター2は、第三象限の位置に分類し、ベクトルが正の向きとなる項目は年降水量E、相対湿度Gであった。これらの栈橋群の立地地域は降水量が多く、湿度の高い特徴を有す。クラスター3は、東京湾、大阪湾に面した栈橋群である。図-6では第一象限の位置に分類し、平均風速Cと日照時間Fの項目のベクトルが正の向きを示す施設が選ばれている。クラスター4は、関東、中部地域の太平洋側と瀬戸内海に面した栈橋群である。地域はクラスター3と類似しているものの、主に第4象限に位置している。ベクトルが正の向きを示すものとし

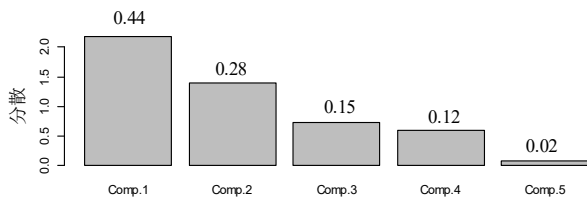
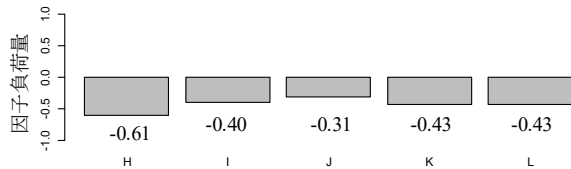
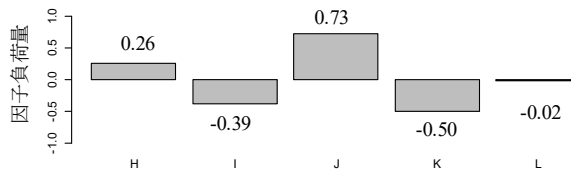


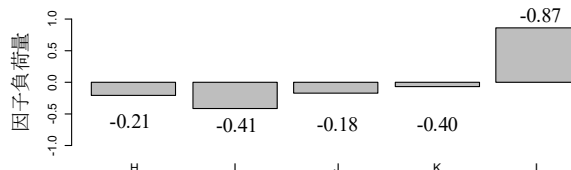
図-9 構造条件の主成分の分散および寄与率



(a)第一主成分因子負荷量



(b)第二主成分因子負荷量



(c)第三主成分因子負荷量

(ここに、H：栈橋幅、I：張出し長、J：スラブ系関数、
K：スラブ景観幅、L：HWLからスラブ天端までの距離)

図-10 構造条件の各主成分の因子負荷量

で干満差 A 、平均気温 D が挙げられ、この2項目から高温かつ潮汐による海面水位の変化が大きい地域と考えられる。一方で、強風風向 B のベクトルは負の向きを示しており、この地域は強風が海側から栈橋へ向う頻度が少ない特徴を持つことをも示している。

次に、これら4つのクラスターの経年劣化傾向について考察する。先に示した図-2(b)は、グルーピングを行わず、経年劣化の傾向を示したものであるが、劣化傾向には大きなばらつきがあることがわかる。これに対して、グルーピングを行った図-8では、クラスター毎の劣化傾向のばらつきは小さく、クラスター毎に劣化傾向に特徴がみられることが分かる。特にクラスター1の栈橋群の劣化速度は速く、ばらつきも極めて小さいことがわかる。

以上のように、環境条件データに基づくグルーピングは、1) 栈橋群の地域性と関連していること、2) 経年劣化の傾向が明瞭に区別されていることから、維持管理計画

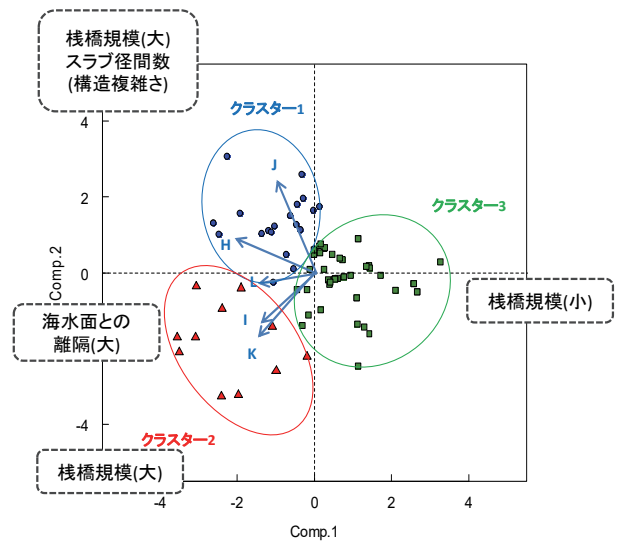
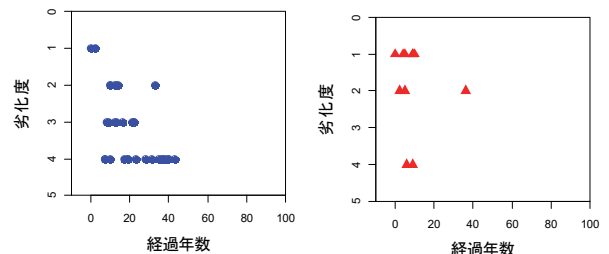
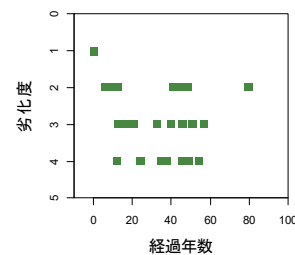


図-11 構造条件の主成分分析およびクラスター分析結果



(a)クラスター1

(b)クラスター2



(c)クラスター3

図-12 構造条件で分類した際の各クラスターの劣化度と経過年数の散布図

を立案する上で重要な分類になっていると考えられる。

b) 構造条件データを用いた分析

環境条件データの分析と同様に、構造条件データ（経過年数 M を除く）で主成分分析およびクラスター分析を行い、図-9-図-12に解析結果を示している。図-9は、主成分の寄与率が示されているが、第一、第二主成分の寄与率（棒グラフ上の数値）の合計が70%程度（第一主成分 0.44、第二主成分 0.28）の説明力を有していることから、この2変量に着目して分析を行うこととした。

図-10は、構造条件データを主成分分析した際の因子負荷量を表しているが、環境条件データの場合と同様に、第一主成分、第二主成分の意味を見出すことは難しい結果となった。図-11は、第一主成分と第二主成分を軸に対象栈橋をプロットした図（パイプロット）であり、ク

ラスタ分析結果により着色を変えてプロットしている。図-12 は、クラスター別の劣化度と経過年数の関係を表している。なお、クラスター数を変えて複数の試行を行ったが、ここではクラスター数を3とした場合を示している。

クラスター1は矢印の向きから栈橋幅 H とスラブ径間数 J の値が大きいグループであり、比較的規模の大きい栈橋群である。クラスター2は、クラスター1と同様に栈橋の規模が大きい、スラブ径間幅 K の値が大きく、スラブ径間数 J の値が小さい特徴の栈橋群であることから単純な構造形式が採用されているグループであると考えられる。クラスター3は、全項目の矢印の向きと逆に位置していることから、栈橋の規模が小さい群である。

図-12は、クラスター別に、劣化度と経過年数の関係を示した図である。クラスター1は比較的データのばらつきが小さく、他クラスターと比べて劣化の速度が速い傾向が読み取れる。しかし、クラスター2、3については、劣化速度に大きなばらつきがあることが分かる。

以上のように、環境条件を用いた分析と比較して、顕著な傾向を読み取ることはできなかった。クラスター数を2~5の範囲で変化させて同様の検討を行ったが、明瞭な劣化傾向の分類には至らなかった。

(2) クラスター別劣化要因分析

グルーピングに意味を見出すことができた環境条件に基づくグルーピング結果から、構造条件データ（表-4）を用いた重回帰分析を行い、構造条件が経年劣化に及ぼす影響を考察する。具体的には、クラスター毎にAICが最小となるモデルを選択した結果（回帰係数、 t 値、AIC等）を表-5に示し、回帰係数の棒グラフを図-13に示す。

クラスター1は、経過年数 M とスラブ径間数 J の係数が正值（劣化：大）となっている。スラブ径間数は、栈橋床版下面の複雑さ、部材の多さを意味していると考えられることから、劣化を促進する指標としては理解できる。一方、張出し長 I の係数は負値（劣化：小）を示している。本報告のようなマクロ的な分析では十分な考察はできないが、張出し長は、栈橋下面の岸壁部へ向かう風の影響を低減させている可能性も考えられる。環境条件の分析結果とも総合すると、クラスター1は劣化環境が厳しい条件にあり、劣化速度も他グループに比べて顕著に早い傾向がある。点検頻度を多くするなどして、予防保全的な対応の必要性がうかがえる。

クラスター2は、H.W.Lからスラブ天端までの距離 L の項目のみが選択された。ただし、この項目についても表-5(b)から t 値は1.65、モデルの補正決定係数は0.14と小さく、有意項であるとは考えにくい。また、クラスター2は、経過年数が劣化因子として抽出していない点も興味深い。日本海に面する地域および九州南方地域では、

表-5 クラスター別重回帰分析結果

(a) クラスター1

	係数	t 値
切片	2.86	19.58
張出し長 I	-0.63	-4.80
スラブ径間数 J	0.38	2.17
経過年数 M	0.78	4.69
残差の標準誤差	0.34	
補正決定係数	0.93	
AIC	11.88	

(b) クラスター2

	係数	t 値
切片	2.66	10.15
H.W.Lからスラブ天端までの距離 L	0.34	1.65
残差の標準誤差	0.84	
補正決定係数	0.14	
AIC	33.71	

(c) クラスター3

	係数	t 値
切片	2.76	18.37
張出し長 I	-0.25	-1.40
スラブ径間数 J	0.19	1.61
スラブ径間幅 K	-0.28	-1.34
経過年数 M	0.93	5.15
残差の標準誤差	0.69	
補正決定係数	0.65	
AIC	56.65	

(d) クラスター4

	係数	t 値
切片	3.35	30.88
栈橋幅 H	-0.28	-2.04
H.W.Lからスラブ天端までの距離 L	-0.57	-3.17
残差誤差	0.67	
補正決定係数	0.43	
AIC	84.26	

風の特徴が地域毎に大きく異なることが考えられる。日本海に面する地域では冬季に、九州南方地域では台風時期に集中的に強い風が観測される。また、その特性は、同じ地域であっても大きく異なっていることが考えられる。これらの地域では、施設個別の維持管理計画の立案が重要であることを示唆していると考えられた。

クラスター3は、経過年数 M およびスラブ径間数 J の係数が正值となっている。スラブ径間数 J は、クラスター1と同様の考察ができるであろう。一方で、張出し長 I 、スラブ径間幅 K が負値となった。クラスター3は平均風

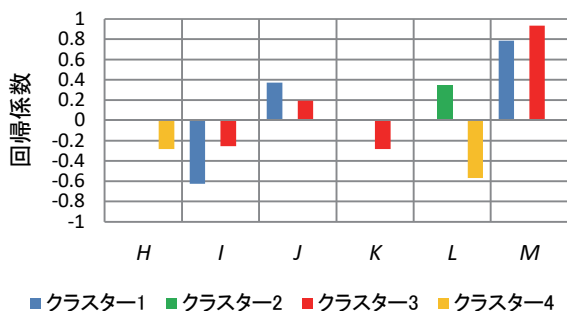


図-13 クラスター別の回帰係数

速が他クラスターよりも強い地域である。クラスター1で抽出された張出し長 I の効果と同様、スラブ径間幅 K が大きければ、岸壁へ波が到達する速度が幾分弱まり、塩分の飛来が少なくなる可能性がある。クラスター4は、栈橋幅 H とH.W.L.からスラブ天端までの距離 L が負値をとる。栈橋幅 H は、張出し長 I 、スラブ径間幅 K の考察と同様、栈橋下面での風の低減に影響をもたらす因子ではないかと考えられる。また、H.W.L.からスラブ天端までの距離が負値を与えるのは海面の位置が栈橋の床版や桁と離れており、塩害による劣化を遅らせていると考えられる。クラスター4は、クラスター3と同様の傾向があるが、干満差などの環境条件に劣化が支配されていると考えられる。

図-14 は、劣化度（実測値、点検結果）と回帰式からの推定劣化度（推定値）の散布図である。クラスター1は、AIC 最小となる回帰モデルから高い精度で劣化度を推定できることが分かった。クラスター3、4 は、多少のばらつきはあるものの、得られた回帰モデルは劣化傾向を捉えていると考えられる。しかし、クラスター2 は、実測値と予測値が離れているものが多く、回帰モデルの精度は悪いといえる。クラスター2 は同じクラスター内で複数の特徴を持つグループが存在する、もしくは、本報告で用いた構造条件の項目では説明できない因子が劣化を支配していると考えられる。先に示した重回帰分析結果における考察と同様に、クラスター2 の栈橋群については、個々の現場に適した現地観測等により個別対応の必要性が指摘できる。

4. 結論

本報告では、港湾栈橋における環境条件および構造条件に関するデータベースを構築し、目視点検結果との関連性について基礎的な統計分析を行った。その結果、劣化傾向は、構造条件よりも環境条件が支配的であり、地域性と密接な関係があることが分かった。栈橋群の維持管理計画を考える上では、環境条件によりグルーピング

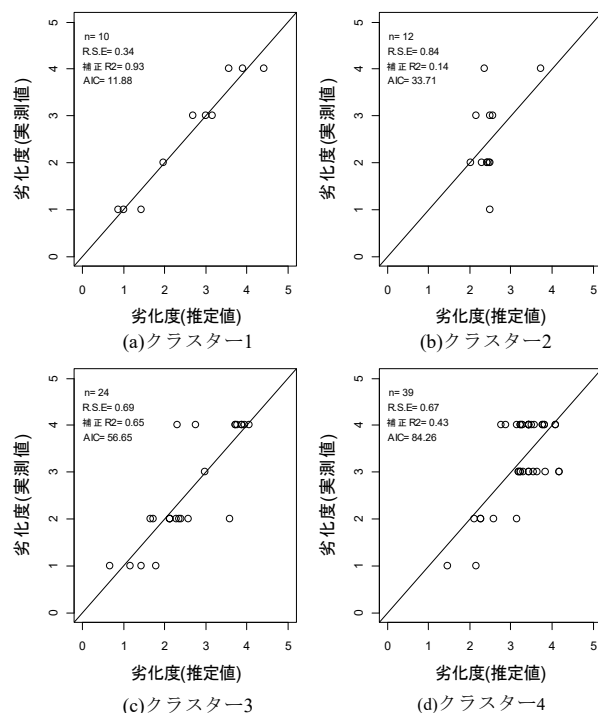


図-14 各クラスターの回帰精度

を行うことが必要であると考えられる。また、それぞれの劣化傾向と構造条件および経過年数との関連性を分析した。その結果、グループ毎に劣化速度や劣化に起因する構造条件に違いがあることが分かった。本報告の成果は、全国の港湾栈橋群に対して効率的な維持管理を実施するための基礎資料を提示しているものと考えられる。今後は、維持管理計画の立案や予防保全対策時期の判断を支援するために、本報告の成果を踏まえて、地域性や主要な構造条件を考慮した劣化予測モデルの構築を目指す予定である。

参考文献

- 1) 佐藤敬：港湾施設の維持管理に関する取り組みについて、第624回建設技術講習会資料、2016.9.7.
- 2) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン 2014.07, <http://www.mlit.go.jp/common/001037855.pdf> (参照 2016-08-13)
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策ガイドライン 2015.04, <http://www.mlit.go.jp/common/001087609.pdf> (参照 2016-09-28)
- 4) 大竹雄, 流石堯, 小林孝一, 本城勇介, 村上茂之, 小林孝一：統計的手法を用いた橋梁点検データベースに基づく橋梁健全度評価に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.67, No.2 (応用力学論文集 Vol.14), pp.1_813-1_824, 2011.
- 5) 大竹雄, 流石堯, 小林孝一, 本城勇介：橋梁点検データベースの統計解析に基づく劣化機構を考慮した鋼橋 RC 床版の健全度評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.3, pp.683-695, 2012.
- 6) 吉田郁政, 本城勇介, 大竹雄：EM アルゴリズムを用いた劣化曲線群の同定法, 土木学会論文集 A1 (構

- 造・地震工学) , Vol.69, No.2, pp.174-185, 2013.
- 7) 貝戸清之, 阿部允, 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/IV-61, pp.29-38, 2003.
- 8) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.69-82, 2005.
- 9) 貝戸清之, 小林潔司: マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.336-355, 2007.
- 10) 国土交通省気象庁, 気象観測データ, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (アクセス 2016-04-04)
- (2018. 12. 3 受付)

CHARACTERIZATION OF THE DETERIORATION FACTORS OF HARBOR PIERS BASED ON STATISTICAL ANALYSIS

Syusaku KITAZAWA, Yu OTAKE, Takeshi HYODO, Hideki HAYASHIDA
and Yusuke HONJO

This report provides extracts of various data, including the data obtained from visual inspections as well as the environmental and structural conditions, based on the maintenance plan of the harbor piers along with the existing materials, including the harbor plan map. These data are utilized for conducting statistical analysis and are examined to improve the efficiency of maintenance management in the harbor piers. The analysis reveals that the deterioration tendency of a harbor pier is strongly controlled by the environmental conditions, such as the temperature, humidity, and wind direction, and is strongly associated with the regionality. Further, the deterioration factors are extracted and classified based on the region according to the relation between the environmental and structural conditions of the harbor pier. The observations of this report are expected to support the development of efficient management plans for harbor piers in the future.