

港湾施設の構造性能曲線および寿命に関する研究

ー港湾施設のアセットマネジメントの実用化に向けてー

国土交通省 国土技術政策総合研究所 ○高橋宏直

独立行政法人 港湾空港技術研究所 横田 弘

国土交通省 国土技術政策総合研究所 後藤文子

By Hironao TAKAHASHI, Hiroshi YOKOTA and Ayako GOTO

近年、社会資本における適切な維持管理が強く求められている。このため、本研究では、港湾施設のアセットマネジメントの実用化に際して必要となる構造性能曲線と構造物の寿命に関して、栈橋式係留施設を対象として検討を行う。

【キーワード】アセットマネジメント，構造性能曲線，構造物の寿命

1. はじめに

わが国の産業と生活の根幹を支える社会資本について、今後に想定される財政状況を踏まえて適切に維持管理することが強く求められている。この具体的な手法として、アセットマネジメント、メンテナンス工学等の研究が進められている。

しかしながら、これらの研究において適切な維持管理の有効性を示す構造物の健全度の推移（例えば図-1）に関する具体的な数値モデル化は実施されていない。また、事前の設計段階での耐用年数あるいは供用期間に対して、結果として評価される構造物の寿命についての分析もなされていない。

このため、本研究では個別施設のみならずアセットマネジメントでのマクロマネジメントを対象とした構造物の健全度の推移曲線（本研究では 構造性能曲線と定義する）を構築する。具体的には、港湾の栈橋式係留施設を対象とした構造性能曲線の構築を行う。さらに、この構造性能曲線を踏まえて、栈橋式係留施設の寿命について検討する。

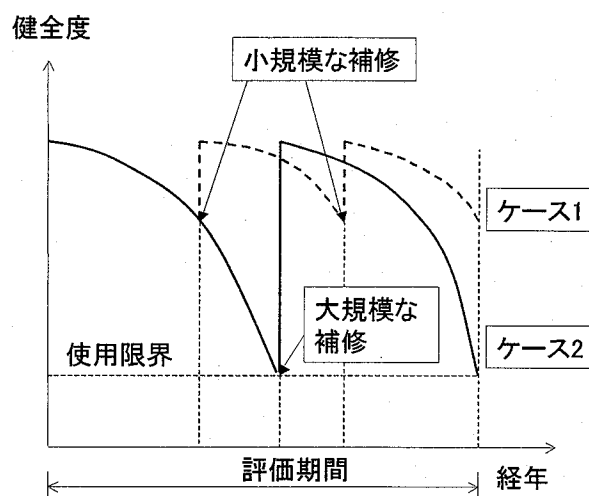


図-1 健全度の推移

2. 港湾施設の劣化度判定

(1) 評価対象とする施設区分

アセットマネジメントにおけるマクロマネジメントとミクロマネジメントの概念は一般的に図-2に示される。ここで、港湾分野におけるマクロマネジメントの対象としては、港湾施設を水域施設、外郭施設、係留施設他の主要施設に区分した上で、構造形式別の主要施設とする。

(2) 港湾施設における劣化度判定方法

劣化度判定では構造形式別の主要施設を主要部材、副部材および附属施設の構造部材ごとに、さらに構造部材を要素部材に区分して実施する。

*1 港湾研究部港湾計画研究室長 046-844-5027

*2 港湾研究部港湾計画研究室 046-844-5027

*3 LCM研究センター長 046-844-5059

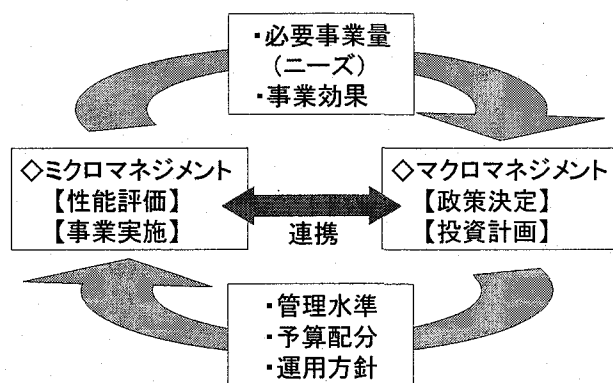


図-2 マクロとミクロのマネジメント

例えば、栈橋式係留施設は、主要部材としてコンクリートの上部工、鋼管杭の下部工等に区分され、さらに、上部工は床版、梁等の要素部材に区分される。

具体的な劣化度判定は、個々の要素部材ごとに a, b, c, d の 4 段階での点検診断を実施している。ここで、a は重度の変状、d は変状の無い場合である。これらの要素部材の結果から、主要部材としての総合評価、さらに施設としての総合評価を実施する。総合評価では、A：性能上の問題があることから緊急の対策が必要、B：計画的な対策が必要、C：軽微な劣化・変状がみられることから継続的観察が必要、D：劣化・変状がみられない、として 4 段階区分が設定されている。なお、これらの評価において、完全な定量的評価は困難であり、定性的評価への依存度が大きい。

3. マルコフ連鎖モデルを用いた構造性能曲線の構築

(1) マルコフ連鎖モデルの適用

一つの主要部材を構成する要素部材数は非常に多数であり、例えば、栈橋の上部工を構成する要素部材は 100 を超える場合がある。これらの要素部材は環境が大きく異なるために、同一の劣化度判定となることは極めて少ない。建設直後は、当然に全てが d 判定されるものの、その後の時間経過とともに c, b, a の占める比率が高くなるのが一般的である。

これらの要素部材全体の劣化特性は、マルコ

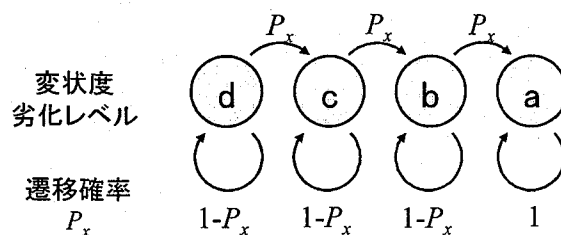


図-3 マルコフ連鎖モデルのイメージ

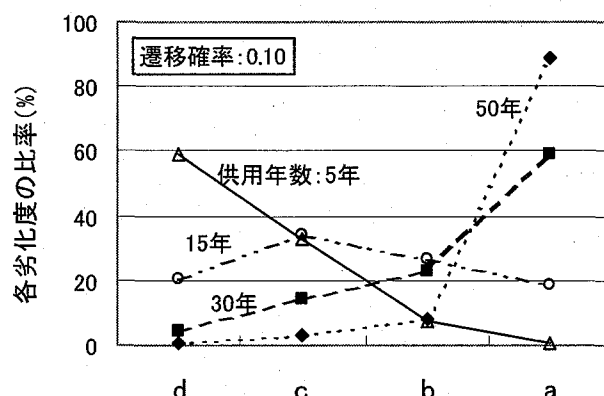


図-4 マルコフ連鎖モデルによる劣化進行モデルの挙動

フ連鎖モデル（図-3）により説明されている¹⁾。ここで、要素部材の最初の判定は全て d であるものの 1 年後に遷移確率 P_x で変状度が 1 ランク進行し、残りは同じ変状度に留まると考える。図-4 に遷移確率を 0.1 とした場合の要素部材の d, c, b, a の比率の推移を示す。

ここでは、要素部材の劣化度判定結果の比率が明らかになるものの、主要部材全体としての全体的な構造性能としての時系列的評価はなされていない。このため、a, b, c, d の変状度とそれぞれに対応した構造性能としての一定値を与えて、要素部材全体の平均値を主要部材における構造性能の値とすることが提案されている²⁾。具体的には、栈橋上部工の梁の暴露試験体での変状度と耐力との試験結果から、d : 100, c : 99, b : 95, a : 80 を設定している。この値を用いて遷移確率が、0.04, 0.06, 0.08 の場合で解析結果を図-5 に示す。しかしながら、縦軸で示されている構造性能指標の具体的な意味づけが明確にはなっていない。

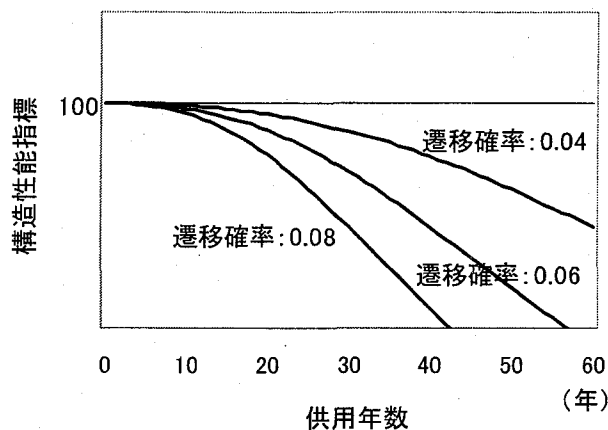


図-5 マルコフ連鎖モデルを用いた構造性能曲線

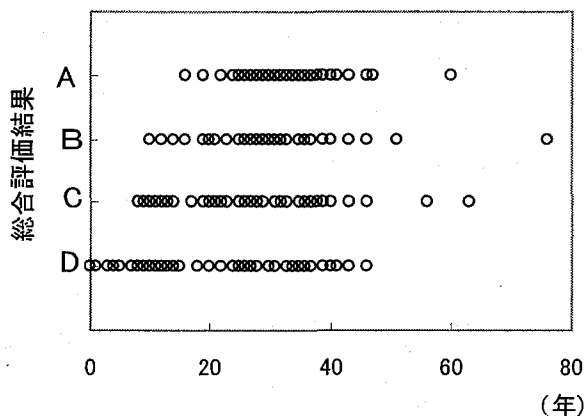


図-6 点検・診断時点での供用

このため、本研究ではこの構造性能指標の値の意味づけを明確にすることで構造性能曲線を構築する。

(2) 構造性能曲線の構築

近年、国有港湾施設の点検・診断が実施され、主要部材ごとにA、B、C、Dでの総合評価結果が明らかになった。例えば、栈橋式係留施設の上部工については252施設に関して総合評価結果のデータが建設後の経過年数とともに得られており、その結果を図-6に示す。しかしながら、ここでは要素部材に関する個別の劣化度判定結果は整理されていないために、遷移確率を具体的に算定することができない。

ただし、以下の2つの仮定を置くことにより劣化速度を算定することができ、さらにこの劣化速度は要素部材を同一のレベル区分数とした場合の遷移確率の近似値にできるとする¹⁾。

①点検・診断時点において各劣化度のレベルに達している。

②劣化速度を算定するために必要な、要素部材

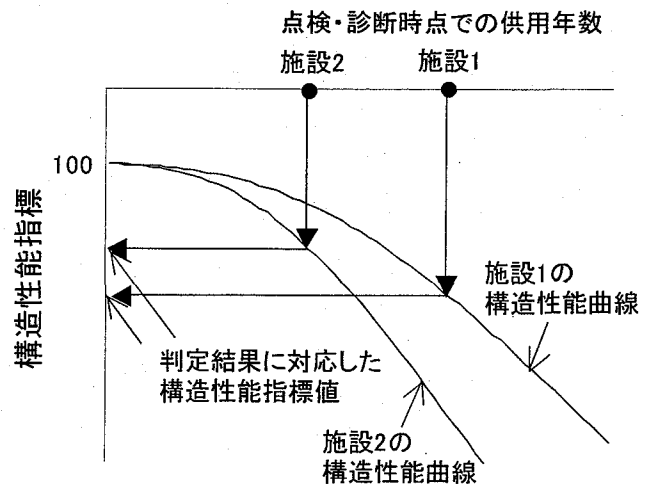


図-7 構造性能指標の意味づけ

ごとの $a (=3)$ 、 $b (=2)$ 、 $c (=1)$ 、 $d (=0)$ による劣化度判定結果の算術平均値は、総合評価結果 $A (=3)$ 、 $B (=2)$ 、 $C (=1)$ 、 $D (=0)$ に置換できるとする。

ここで、劣化速度は、総合評価結果の値を経過年数で除することで得られる。

これにより、栈橋式係留施設の上部工の252施設について、D判定とされた84施設を除いた168施設に関して近似的な遷移確率を得ることができる。次に、C判定(69施設)、B判定(44施設)、A判定(55施設)ごとに施設を区分し、各区分された施設について上記で整理した構造性能曲線を作成し、図-7で示すように点検・診断した時点での構造性能指標の値を整理する。その結果、各判定に対応する構造性能指標は概ね次の値となることが確認される。

C判定=95 B判定=80 A判定=60

ここで各判定の定義からA判定の時期を終局限界とすることで、構造性能指標値の特性を明確にした各主要部材の構造性能曲線の構築が可能となる。

4. マクロマネジメントにおける構造性能曲線の構築と寿命に関する分析

(1) 主要施設の構造性能曲線の構築

マクロマネジメントの観点からは、構造形式別の主要施設ごとの構造性能曲線を構築することが必要となる。このためには、まず、主要部材のうち本体の機能を大きく制約する主要部材

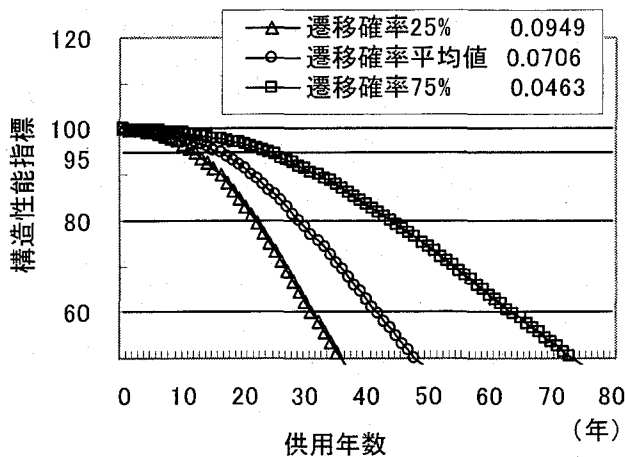


図-8 栈橋式係留施設—構造性能曲線

を選択し、それぞれの代表的な遷移確率を分析する。栈橋式係留施設を対象とした場合には、機能を大きく制約する主要部材としてコンクリートの上部工、鋼管杭の下部工が選択される。ここで、それぞれのD判定の施設を除いた平均値を代表的な遷移確率とする。その結果、上部工の遷移確率は 0.0706、下部工の遷移確率は 0.0665 となることから、大きな値となった上部工の遷移確率を用いて栈橋式係留施設としての構造性能曲線を示す。さらに、上部工に関してはD判定施設を除いた 162 施設のデータが得られていることから標準偏差を得ることができ、信頼度分布に応じた構造性能曲線を表示することが可能となる。図-8 には、25%値、平均値、75%値での構造性能曲線を示している。

(2) 構造性能曲線からの主要施設の寿命に関する分析

主要施設の寿命を定義することは容易でないものの、本研究では終局限界に達した時点（A

判定の時点）を寿命と考える。これにより、構造性能指標において終局限界とした 60 に達した年数を構造性能曲線から算定することができる。この結果、上部工により規定される栈橋式係留施設では、平均値の 0.0706 の遷移確率における寿命は 42 年と算定される。なお、25%値の場合には 32 年、75%値の場合には 64 年と算定される。この結果は、栈橋式係留施設の劣化進行の実態と感覚的に大きく外れていない。

5. おわりに

本研究では栈橋式係留施設を対象として、構造性能曲線の構築を行うとともに、この構造性能曲線を踏まえた寿命に関する分析を実施した。今後は、他の主要施設に関しても分析を進める予定である。

【参考文献】

- 1)小牟禮健一他:RC 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発,港湾空港技術研究所報告, Vol.41, No.4, 2002
- 2)Hiroshi Yokota and Kenichi Komure: Estimation of Structural Deterioration Process by Markov Chain and Costs for Rehabilitation, Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures, ASCE, 2003

Performance Deterioration and Lifespan of Harbor Structures

—Toward the Application of Asset Management to Harbor Facilities—

By Hironao TAKAHASHI, Hiroshi YOKOTA and Ayako GOTO

Abstract: Proper maintenance of civil infrastructures is now strongly demanded for efficient utilization. The asset management technique now receives much attention for this purpose. Predicting the change in performance with time is one of the most important parts in the technique. This paper presents the result of determination of the structural performance deterioration curve as well as prediction of the lifespan of an open-type wharf during the service life.