

港湾施設の維持補修費の推計モデル構築 および将来動向の推計

高橋 宏直¹・横田 弘²

¹正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部港湾計画研究室長(〒239-0836 横須賀市長瀬 3-1-1)

²正会員 工博 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部構造強度研究室長(〒239-0836 横須賀市長瀬 3-1-1)

本論文では、港湾の係留施設を対象として将来の維持補修費の推計を試みた。まず、全国を対象とした係留施設の維持補修に関するアンケート結果等から維持補修費率モデルを構築した。次に、このモデルにより更新費をも考慮した維持補修費の将来動向を定量的に推計した。その結果、係留施設については総事業費に占める維持補修費の比率が2010年度には約10%、2025年度には約20%と推計され、また、更新費も考慮した場合にはそれぞれ30%以上、50%以上と推計された。これにより、維持補修・更新に対する早期の対応の必要性が明らかになった。

Key Words : quaywall, port construction, regular maintenace cost, renewal cost, regular maintenace cost function

1. はじめに

港湾には、防波堤等の外郭施設、岸壁等の係留施設、航路・泊地等の水域施設等の施設があり、これらの施設が個別に機能を発揮しかつ有機的に連携することで港湾自体もその機能を十分に発揮する。そのためには、構成する施設の劣化状況を効率的に確認し、これを合理的に評価し、効果的な対策を施すという一連の維持補修が重要である。特に、今後のわが国での社会資本形成においては、新規に構造物を整備することよりも既存施設の維持補修等を中心とする既存ストックの有効活用がますます重要になってくる。その場合、将来の維持補修に係る費用を推定しておくことは、今後の効率的な公共事業実施の観点から非常に重要である。

しかしながら、港湾施設のみならず個別の土木施設について、将来の維持補修費の推計は十分には行われていない。これは、その推計手法が十分に確立されていないためと考えられる。この結果、維持補修の今後の課題についての定性的な議論や、現状の劣化状況把握およびこれに基づくマネジメントシステム等の検討が積極的に進められているのに対して、将来動向に対する定量的な検討は十分になされてはいない。そこで、本研究では係留施設を対象として維持補修費率モデルを構築し、さらに更新費をも考慮した維持補修費の定量的な将来推計を行い、その結果を踏まえて今後の維持補修および更新への早期対応の重要性を明らかにする。

また、本研究で用いる維持補修、新設、改良、更新は下記の行為であると定義し、維持補修費に対して、新設・改良・更新を合わせて用いる場合には新規改良と表現する。

- ・維持補修：物理的的老朽化を許容限界以内にとどめるため、構造物を部分的に作り替えることで新設時点に有していた機能まで回復させる行為、もしくは必要最低機能が失われる時期を延伸させるための行為
- ・新設：新たな整備計画に基づき全く新規に構造物を建設する行為
- ・改良：新たな機能増進要求により、もしくは新たな整備計画により、既存の構造物を利用して当初よりもさらに施設の機能を向上、強化させるための行為
- ・更新：物理的に老朽化した構造物を全面的に作り替えることで、新設時に有していた機能まで回復させる行為

2. 維持補修費の推計手法に関する分析および検討方向

(1) 既往の推計手法に対する分析

社会資本の主要施設に対する維持補修費の既往の推計手法は、大きく次の3手法に整理される。

- ① 社会資本ストックと維持補修費との回帰式から推計する手法^{1), 2)}
- ② 個別施設ごとに構築される標準劣化曲線等から推計する手法³⁾

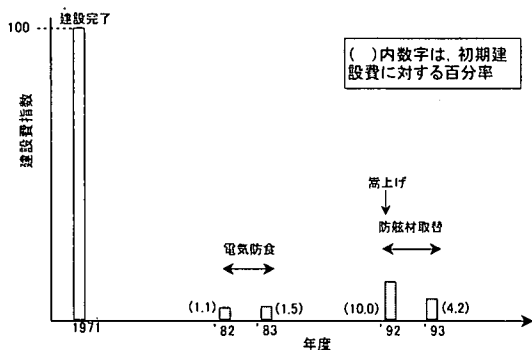


図-1 維持補修の実施例

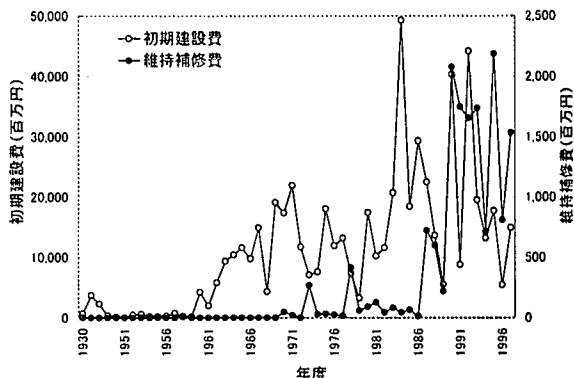


図-2 基本データにおける初期建設費と維持補修費の推移

③ 初期建設費に対する維持補修費率関数から推計する手法^{4)・5)}

ここで、社会資本ストック形成と維持補修との間の時間的位相差は重要な要素と考えられるのに対して、①の手法による同一時点での回帰式構築には課題があると考えられる。さらに、維持補修費の推計に先立ち必要となる社会資本ストックの将来推計が容易ではないと考えられる。また、②の手法からは有意な結果が得られるものの、そのための標準劣化曲線を個別に構築することが難しく、施設全てについて算定することは容易ではない。

したがって、本研究では手法としての妥当性および他の手法との比較においても優れていると判断される③の手法による維持補修費率関数の構築を基本とする。ただし、既往の研究^{4)・5)}では、対象が30施設と少なく、モデルが単純な回帰式で構築されていること等の課題がある。そこで、本研究ではより多くの施設を対象とするとともに、より精緻な回帰式を適用したモデルの構築を目指す。

(2) 基本データの概要および検討方向

本研究においてモデル構築に用いたデータは、1998年度に運輸省港湾局が全国の港湾の国有施設を対象に実施したアンケート調査結果から得ている。この結果の中から地域性、精度等から有意と判定された187施設のデータを採用した。このうち維持補修が実施されたのは131施設である。このデータから、港湾名、施設名、施設の種類・規模、建設年度、建設事業費、維持補修履歴・費用等が得られる。

データの一例を図-1に示す。この図では、初期建設、維持補修に要した費用について港湾事業費デフレータにより実質値化(1990年価格)するとともに、建設完了年度に初期建設費の全てを計上している。図-1は、水深-8mの矢板式係船岸の事例であり、この施設は1971年度に建設が完了して供用開始されている。供用開始から11~12年経過した1982~1983年度に電気防食を実施し、また21

年後の1992年度に嵩上げを、同じく1992~1993年度に防舷材の取り替えを実施している。電気防食に要した費用は、2年間の合計で初期建設費の2.6%程度であるのに対して嵩上げおよび防舷材の取り替えで合計14.2%に達している。

この基本データに関して、1930年度から1997年度までの初期建設費と維持補修費の推移を図-2に示す。ここでも完成年度に初期建設費のすべてを計上している。さらに港湾事業費デフレータにより実質値化(1990年価格)の処理を行っている。この処理は以下においても実施しており、本研究での価格は全て1990年(平成2年)価格で表示する。ここでは建設事業費を最終年度に計上した結果、経年的な変動が著しいほか、現在建設中の事業費計上がされないために近年の初期建設費が減少している。ただし、概略的には初期建設の時点から材料の劣化が顕在化する十数年程度遅れて、維持補修費が初期建設費と同様の傾向で生じていることがみられる。この傾向からも、2.(1)で検討した初期建設費に対する維持補修費率関数を構築する手法の有意性が確認される。

本研究では、この結果を用いて維持補修費率関数の再現性の確認を行う。すなわち、ここでの毎年の初期建設費を入力値として、これを維持補修費率関数に入力して得られる結果がこの維持補修費を再現できるかどうかにより関数の妥当性の評価を行うこととする。

3. 維持補修比率関数の構築

(1) 関数構築の基本的な考え方

将来における係留施設の維持補修費を推計するための維持補修費率関数を、基本データの分析から構築する。関数構築の目的はわが国の係留施設全体の維持補修費用であり、個別の施設を対象とするものではないことから以下の仮定に基づくこととした。すなわち、

- ① 維持補修の実施時期は必ずしも計画的あるいは機能

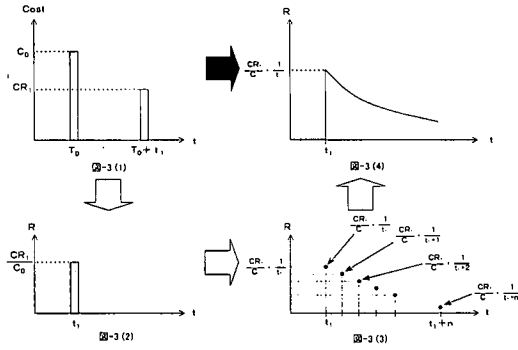


図-3 維持補修費率関数の考え方(維持補修1回の場合)

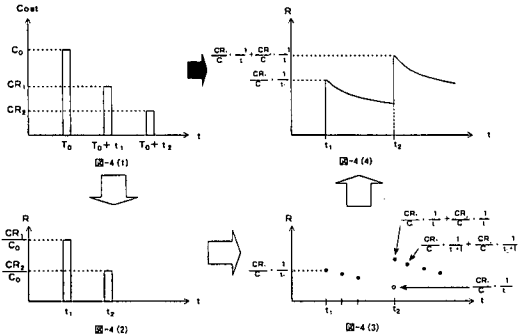


図-4 維持補修費率関数の考え方(維持補修2回の場合)

上最適な時期に行われてはいない。

- ② 当該施設の維持補修は毎年継続的に行われてきたわけではない。

このようなことから、維持補修時期と維持補修費とに直接に着目せず、維持補修については図-3に示すように年平均値に置き換えて整理をした。図-3(1)において、 T_0 年に総費用 C_0 を要してある施設が建設完了し、その後 t_1 年経過した時点(T_0+t_1)年に CR_1 の費用で補修が行われたとする。これを初期建設からの経過年および初期建設に対する比率 CR_1/C_0 に着目して整理した結果が図-3(2)である。個別の維持補修費率に関してはこのような整理ができるものの、わが国の施設全体を対象とする場合には先の仮定を踏まえて年平均化した維持補修費率に換算する。この方法を図-3(3)に示す。同図に示すように(t_1)年の値を供用開始後1年目から毎年均等に費用を要して補修した場合の比率と考える。これが本論文で設定する年平均化する維持補修費率である。すなわち、 t_1 年後には一度に補修をしたものと等価になるように毎年の均等費用により軽微な補修を継続する、あるいは t_1 年後の維持補修に対応するために毎年に費用を積み立てる場合の比率としても考えることができる。ただし、その開始年を(t_1)年と考える。そして次年の(t_1+1)年の比率は同

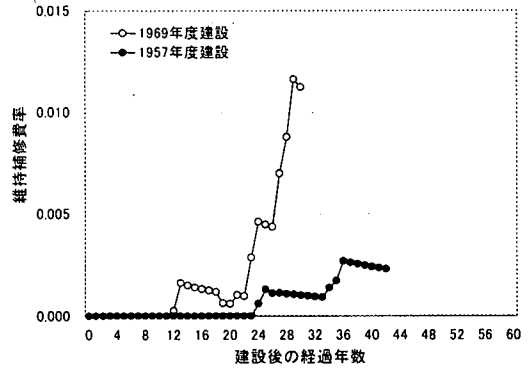


図-5 維持補修費率関数の事例

様の算定により $CR_1/C_0/(t_1+1)$ となり、さらに、この計算処理を現時点と設定する(t_1+n)年まで実施した結果を連続的に表示した結果が図-3(4)のようになる。これが当該施設についての維持補修費率関数となる。

この関数は、個別施設に発生した(あるいは個別施設で必要とする)維持補修費の状況を厳密に示すものではない。しかしながら、この処理をわが国のすべての施設について行うことでわが国の維持補修費の全体的傾向を把握することが可能となると考える。この妥当性については後述する。図-3では維持補修が1回の場合であったが、2回行った場合には図-4に示すようにピークが2箇所発生する。ただし、計算処理手法は1回の場合と同様である。なお、図-3および図-4での白い矢印は上記の計算処理の流れを示しており、最終結果への流れは黒い矢印で示している。

(2) 基本データに基づく維持補修費率関数

3. (1)で述べた考え方に基づき、基本データの解析結果の1例として1969年度に建設された11施設の維持補修費率関数の平均結果を図-5の○で示す。なお、ここでは現在時点として1999年度としているので、経過年数は30年となる。個別の施設ではそれぞれの特徴があるものの、11施設の平均結果としては建設後20数年を経過した後に顕著な右上がりの傾向がみられる。これは、供用年数が長くなるにつれて維持補修費が増大するという定性的な事実と一致する。しかし、一方でこのような顕著な右上がり傾向を示さないデータも存在する。その具体例として、1957年度に建設された3施設の平均結果を図-5の●で示す。全体的な傾向として若干右上りであるものの、両者を比較するとその差異は明らかである。

このため、基本データのうち右上がりの傾向を示すデータを1つの集団とし、その平均結果を図-6(1)として、右上がり傾向を示さないもう1つの集団の平均結果を図-6(2)として示す。ここで、1956年度の1データを除き初期建設時期が1958年度以前あるいは1959年度以降であ

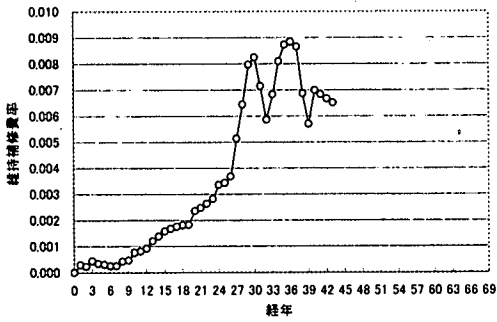


図-6(1) 維持補修費率関数 (右上り傾向有り)

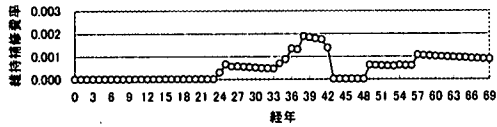


図-6(2) 維持補修費率関数 (右上り傾向無し)

るかにより右上がりの傾向の有無が明確に区分された。

(3) 維持補修費率関数に対する評価

2. (2) で示した基本データによりこの関数の評価を行う。すなわち、1959 年度以降に建設された施設に対しては図-6(1)で、また 1958 年度以前に建設された施設に対しては図-6(2)で示される維持補修費率関数をそれぞれに各年度当初から適用する。その結果得られる各年度の維持補修費の算定結果の合計値と基本データを図-7 示す。図-7 では近年において傾向に多少の差異が見られるものの、実際に発生した維持補修費をおおむね再現していると判断できる。したがって、わが国の係留施設全体を対象とする場合への適用に本研究で提案するこの維持補修費率関数は妥当であると評価する。

4. 将来動向の推計

(1) 維持補修費率モデルの構築

図-6(1)(2)で示される維持補修費率関数は、実際のデータの解析結果であることから変動が著しいこと、また右上がり傾向がある場合には値として40 数年間しか得られていないことから、将来動向の推計に適用するためにはこれをモデル化する必要がある。まず、このうち 1959 年度以降に建設された施設が対象となる図-6(1)での右上がり傾向を有する関数に関しては、その傾向および施設の履歴等から成長曲線の適用を試みる。複数の成長曲線の中から安定した結果が得られたのは、上限値の設定について変数を対数化した差分から与えるロジスティック曲線(決定係数 $R^2=0.812$)であり、その結果を図-8(1)に示す。このロジスティック曲線の関数を以下に示す。

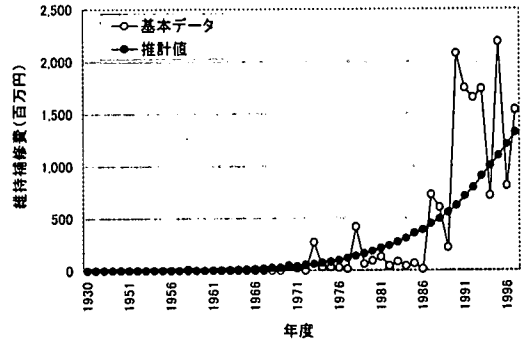


図-7 維持補修費の推計結果の再現性

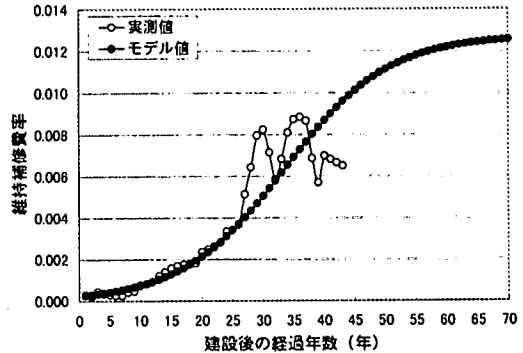


図-8(1) 維持補修費率モデル1

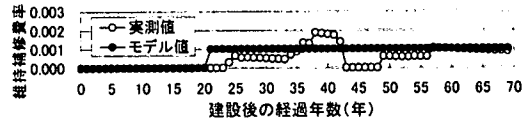


図-8(2) 維持補修費率モデル2

$$y = \frac{k}{1 + ae^{-bx}} \quad (1)$$

ここで y = 維持補修費率

x = 建設後の経過年数(年)

$k = 1.2702 \times 10^{-2}$

$a = 53.159$

$b = 0.11865$

図-8(1)に示すように、維持補修費率は建設後から10 年を経過した時期から50 年後までは急増し、それ以降はほぼ初期建設費の1%を越える値で推移する。次に、1958 年度以前に建設された施設を対象とする図-6(2)での右上がり傾向の無い関数についてもモデル化する。ここでは、経年的傾向から建設完了後20 年までは0.0とし、21 年以降は0.001の一定値とする。その結果を図-8(2)に示し、これ以降このモデル化した維持補修費率関数について、前者を維持補修費率モデル1、後者を維持補修費率モデル2とする(以下、それぞれモデル1およびモデル2と記述する)。

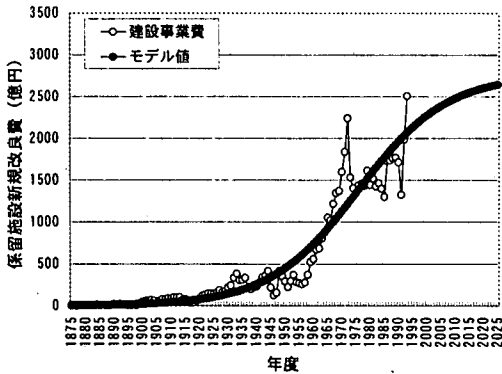


図-9 係留施設新規改良費モデル

(2) 係留施設新規改良費の推計およびモデル化

モデル1, 2を用いて維持補修費の将来推計を実施するためには、その入力値としての係留施設新規改良費が必要となる。ここで、港湾整備事業費データは1875年度(明治8年度)から得られるものの、係留施設事業費として明らかになっているのは1955年度以降でしかない。このため、1955年度以降の10年間の港湾整備事業費に対する係留施設事業費のシェアを算定し、その動向から1955年度以前の係留施設事業費割合を推定した。さらに、その結果を港湾整備事業費に乗じることで係留施設事業費を算定した。しかしながら、この係留施設事業費には新規改良費のみならず既に維持補修費が含まれた事業費となっている。入力値として必要になるのは新規改良費であるため、基本データにおける初期建設費と維持補修費の合計値に対する初期建設費の比率を新規改良費率として求め、これをここで得られた係留施設事業費に乗じることで新規改良費を再度算定した。なお、基本データにおいて、維持補修費が発生するまでの新規改良費率は100%とした。

この結果から得られる係留施設新規改良費も経年的に大きく変動している。本研究では将来の維持補修費のマクロ的な動向把握を主眼としているため、この係留施設新規改良費についてもモデル化を行う。具体的には、これからの日本が確実に迎える少子高齢化の時代では公共事業費は今までの増加傾向から安定化傾向になると想定されることから、ここでも成長曲線を適用した。複数の成長曲線の中から上限値の設定について変数を対数化した差分から与えるロジスティック曲線(決定係数 $R^2 = 0.908$)が安定した結果が得られ、この係留施設新規改良費モデルの結果および推計された係留施設新規改良費を図-9に示す。ここで、このモデルは過去の傾向および今後の動向を概ね適切に反映していると判断される。

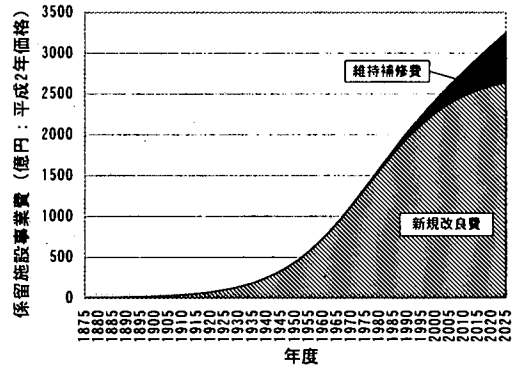


図-10 ケース1：維持補修費の将来動向

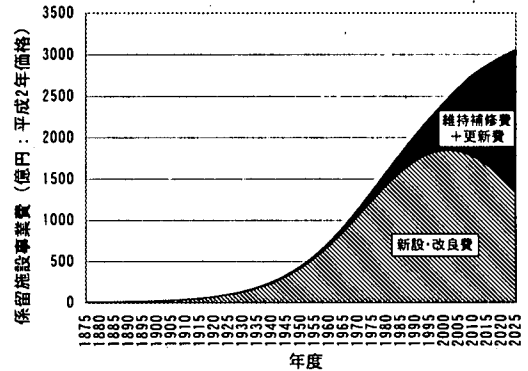


図-11 ケース2：維持補修費および更新費の将来動向

(3) 将来動向の推計

a) 維持補修費の将来動向の推計

維持補修費率モデルおよび係留施設新規改良費モデルを用いて2025年度までの維持補修費の将来動向をケース1として推計する。

ケース1：1959年度以降の新規改良費に対してはモデル1を、1958年度以前の新規改良費に対してはモデル2を適用する。ここでは、建設した施設は継続的な維持補修を行うことにより2025年度まで活用すると考える。この結果を図-10に示す。この結果、次式により定義される総事業費に占める維持補修費の割合を示す維持補修費率は、2010年度で11%、2025年度で19%と推計される。

$$\text{維持補修費率} = \frac{\text{維持補修費}}{(\text{維持補修費} + \text{新規改良費})} \quad (2)$$

b) 更新費を考慮した将来動向の推計

ケース1では、建設された施設は維持補修を行うことで半永久的に活用するとしている。しかしながら、実際には供用開始後の耐用年数が過ぎた時点で更新が実施される。ここでは更新費を別途に推計し、維持補修費および更新費の両者を合わせた将来動向をケース2として推計する。

ケース2：係留施設の耐用年数を50年間とし、耐用年数の期間は維持補修が実施されると考える。しかしながら、50年間を経過した施設はそれでも機能を完全に失うものとして51年目に施設は更新されるとする。この推計の考え方は、「日本の社会資本」²⁾の維持更新費の将来推計手法と同様である。具体的には、各年次の事業に対してケース1と同様に維持補修費をモデル1およびモデル2を適用して推計するもののその期間を50年間に限定し、51年目には初期建設費を更新費として計上する。なお、この更新費は新規改良費に含まれるため、新規改良費から更新費を差し引いた値を新設・改良費とする。この推計の結果、維持補修費と更新費を合わせて図-11に示す。この結果から、「日本の社会資本」²⁾において式(3)により定義される維持補修・更新費率は、2010年度で35%、2025年度で56%と推計される。

維持補修・更新費率

$$= \frac{(\text{維持補修費} + \text{更新費})}{(\text{維持補修費} + \text{更新費} + \text{新設} \cdot \text{改良事業費})} \quad (3)$$

(4) 推計結果に対する評価

「日本の社会資本」²⁾では、2010年度における公的社会資本全体に対する維持補修・更新費率は31~36%と推計されている。港湾の係留施設に限定した本研究のケース2では、35%と推計されており、ほぼ同様の結果が得られている。

ここで、本研究の目的である維持補修費率では、10年後には約10%、25年後には約20%と非常に大きな割合になることが想定される。さらに、更新費を考慮した推計では、10年後には30%以上、25年後には50%以上という結果になる。もちろん、現状動向を踏まえた推計結果であり、今後の社会資本形成を取り巻く環境の変化によりその値の変動が想定されるものの、施設の維持補修・更新に関わる将来のコストを出来るだけ低減するために早期の積極的な対応の必要性を定量的に明らかにすることができた。

5. おわりに

本研究では、維持補修費の定量的な将来動向が十分に把握されていないという現状を踏まえ、アンケート結果等をもとに係留施設に関する類似補修比率モデルの構築を行った。このモデルの妥当性を検証し、2025年度までの維持補修費の将来動向および更新費を考慮した場合の将来動向の推計を実施した。その結果、2025年度には維持補修費だけで約20%にも達し、更新費も合わせると50%を越えると推計され、係留施設の維持補修・更新に対する早期対応の重要性を明確に示すことができた。

今後はさらに港湾分野の他の施設、他分野の施設における維持補修費率モデルの構築が必要であると考えられる。また、これからの将来動向の不確実性に対処するために定期的なモデルの修正、再推計等が必要であると考えられる。

謝辞：本論文をとりまとめるにあたって、旧運輸省港湾技術研究所システム研究室佐藤光子研究員のご協力を賜りました。また、維持補修等に関するデータ収集に関しては旧運輸省港湾局関係部局から多大なご支援を頂きました。ここに感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 経済企画庁総合計画局：日本の社会資本、ぎょうせい、1986.9.
- 2) 経済企画庁総合計画局：日本社会資本、東洋経済新報社、1998.3.
- 3) 特集「社会基盤の維持管理と再生を考える」、橋梁マネージメントシステム、土木学会誌、2000.2.
- 4) 松瀨 知、横田 弘：係留施設のライフサイクルコスト発生と維持管理意志決定支援システムの構築に関する基礎的研究、港湾技術研究所報告、第38巻、第2号、1999.6.
- 5) Yokota, H., Tanabe, T. and Iwanami, M.: Life-Cycle Cost Analysis of Berthing Facilities in Japan. Proceedings of the RILEM/CIB/ISO International Symposium on Integrated Life-Cycle Design of Materials and Structures, LCDES 2000, Helsinki, pp.123-128, 2000.5. (2000.6.19 受付)

MODELING AND ESTIMATION OF FUTURE MAINTENANCE COSTS FOR QUAYWALLS IN JAPANESE PORTS

Hironao TAKAHASHI and Hiroshi YOKOTA

This paper is trying to estimate prospective future costs relating maintenance and repair work of existing quaywalls in Japanese ports. Firstly, current condition and past records of maintenance work of quaywalls including costs have been collected through nationwide surveys and interviews to port maintenance engineers.

Using the acquired data, a function to estimate regular maintenance costs (RMC function) was established and its applicability was verified. Finally, the maintenance and repair cost was estimated with the RMC function in the years of 2010 and 2025, which might be approximately 10% and 20% respectively of total investment to port construction by government bodies.