

IV-37

岸壁の維持管理・更新計画に関する一考察

京都大学工学部 正会員 黒田勝彦
 京都大学工学部 正会員 鈴木雅人

1. はじめに

わが国では戦後整備されてきた社会資本ストックの維持管理・更新が今後ますます重要になると考えられるが、特に公共施設の維持・更新計画法については未だ充分な研究がなされていない。港湾においても近年、船舶の大型化、多様化や荷役機械の発達に伴ってその建設が増加、複雑化し、施設の維持管理費用は年々増加している。また技術革新の著しい現在においては今後も施設の建設改良の必要性が予想される。

本研究では岸壁施設を例に、物理的耐用年数と維持管理費用および需要予測の不確実性を考慮に入れた維持管理・更新計画の考え方を費用便益理論を基に提案し、数値計算例でその妥当性を示す。

2. 最適更新計画の決定モデル

プロジェクトは純便益の現在価値または毎年等価価値で評価することができる(費用便益分析)。本研究では成長する需要下において既存の土木公共施設の廃止時期と新たに建設する施設の建設時期の決定(投資時系列の決定)について検討する。最適な更新計画決定とは純便益を最大にする投資時系列の決定である。

評価の基準となる便益は消費者余剰としてとらえるものとする。図-1において便益は斜線部分で表される。

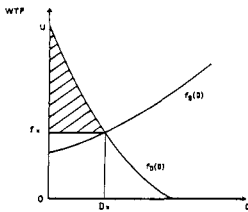


図-1 弾力性需要曲線の基礎での便益

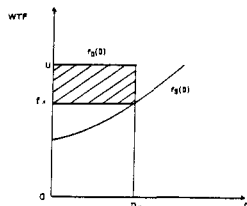


図-2 非弾力性需要曲線の基礎での便益

ここに D_x 、 f_x は需要曲線 $f_D(D)$ と平均利用費用曲線 $f_s(D)$ の交点、すなわち均衡状態における需要量と費用を表す。図-1では需要曲線は右下がりになっているが、本研究では図-2のように対象となる需要は費用に対して非弾力的であり、需要量は費用の大小には無関係であると仮定する。 t 期における施設規模を S_t 、

需要量を D_t 、施設提供者の費用(建設費用、維持補修費用)を I_t とし、また U を公共的な支払い許容価格(WTP)とすると、 t 期に発生する純便益 NB_t は、

$$NB_t(S_t, D_t) = D_t \{U - f_s(D_t)\} - I_t$$

となる。

評価モデルを定式化するにあたり、以下の諸前提が必要である。

- (1) 評価基準は単位需要当りの毎年等価純便益最大とする。各年次の単位需要当りの純便益は、純便益 NB_t を需要量 D_t で割ることにより求められる。
- (2) 施設には耐用年数があり、便益を提供する期間には有限である。本研究では耐用年数は物理的耐用年数を用い、その値は予め解っているものとする。
- (3) 計画目標期以後、施設が耐用年数に至るまでの期間は計画目標期における需要量に対してサービスを供与する。これは計画が繰り返し連続的に行われることを前提としている。
- (4) 初期建設投資額は耐用年数にわたって毎年等価に償還されるものとする。
- (5) プロジェクトは施設計画を対象として施設の規模について最小の分割単位が存在している。従ってプロジェクトを数多くの単位として一括して建設することもでき、また一部単位の建設投資を遅らせることもできる。しかし分割を多くすることにより手戻り費用が増加する。
- (6) 需要は時間と共に変動し一般に増加する。その予測に当たっては不確実性が存在する。すなわち将来の需要の実現値 D_t は、需要予測モデルによる予測値 $\bar{D}_t$ の周辺に分布する確率密度関数 $P(D_t)$ を持ち、本研究ではこの確率密度関数との期待値計算により各年次の単位需要当りの純便益の期待値をもとめている。(1)
- (7) 資本は増殖する。従って異なる時期の価値の比較においては社会的割引率で割引引かねばならない。
- (8) 需要が施設的能力を上回れば供給不足による費用が生ずる(混雑費用)。
- (9) 需要が施設的能力を下回れば供給過剰による費用が生ずる(遊休費用)。

以上の前提条件から、計画目標期 n において単位需要当りの毎年等価純便益を最大にする投資パターン($I_1, I_2, \dots, I_n$)および最大値 R を求める式は、

$$B = \sum_{t=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} P(D_t) \cdot \frac{NB_t(S_t, D_t)}{D_t} \cdot \left(\frac{1}{1+p}\right)^t dD_t \\ + \sum_{t=n+1}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(D_n) \cdot \frac{NB_t(S_t, D_n)}{D_n} \cdot \left(\frac{1}{1+p}\right)^t dD_n \\ R = \text{MAX}_{I_1, I_2, \dots, I_n} [B \cdot \text{crf}] \\ \text{crf} = \frac{P(1+p)^l}{(1+p)^l - 1}$$

ただし p は社会的割引率、 l は物理的耐用年数、 crf は資本回収係数である。また施設規模 S_t は t 期における新施設規模と t 期まで残されている旧施設規模の合計である。

3. 港湾計画への適用

本研究では前述したモデルを港湾の雑貨埠頭計画に適用した。

港湾の利用者の費用 $f_s(D_t)$ は港湾諸掛かり費用、本船荷役費用、貨物金利、在港時船舶費用から貨物1トン当りの費用として定義した。そのうち港湾諸掛かり費用と本船荷役費用は需要量に関係しない固定費用であるが、貨物金利および在港時船舶費用は入港する船舶のバース待ち時間によって変化するものである。いわゆる混雑費用を考慮しなければならず、それは需要量 D_t と施設規模 S_t が影響する。本研究では平均バース待ち時間を待ち行列理論(ランダム到着、指数サービス、複数窓口)によってバース数 S_t と需要量 D_t の関数として求めた。なお供給過剰により生ずる遊休費用についてはバースの償却費 I_t の一部として考慮することができる。

需要予測モデルは次の指数型モデルを用いた。(2)

$$\bar{D}_t = D_0 (1 + r_0)^t$$

ここで D_0 は初期需要、 r_0 は需要の成長率である。また前述した確率密度関数 $P(D_t)$ は平均値 $\bar{D}_t$ の正規分布に従うとした。(3)

施設提供者の費用 I_t は新施設建設費用と維持補修費用からなり、本研究ではバースの物理的耐用年数50年にわたって毎年等価に償還されるものとする。

新施設の建設方法は一括型建設と二段階型建設の2種類を考慮した。二段階型建設では手戻り費用が生じる。

港湾施設は大部分がコンクリート構造物であるため、設計上、耐用年数内には維持補修費用は必要ないと考えられている。しかし現実的には港湾施設は波力、地震力といった極めて予測しにくい外力条件の下にさら

されており、実際に港湾施設の増加、複雑化にともない年々維持補修費用は増加してきている。本研究では新施設に対しては維持補修費用は考慮しないが、既存施設に対してはその劣化を考慮し維持補修費用が必要であると考えている。今回、既存施設についてその余寿命と維持補修費の関係を概念モデルで表現した(維持補修費用関数)。図-3はそれらの関係を表したグラフである。

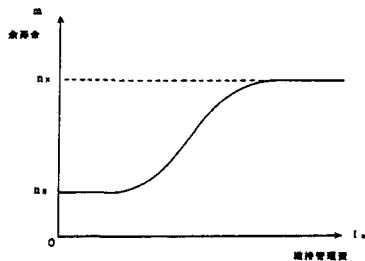


図-3 維持管理費用-余寿命の関係

4. 計算結果と考察

本研究では旧バース数、維持補修費用の相対的な大きさ(維持補修費用関数)、社会的割引率 p 、手戻り費用、および確率密度関数 $P(D_t)$ の標準偏差をパラメータに取り上げ、それらの最適計画案に対する影響を検討した。

計算結果の一部が図-4である。

本研究は不確実な要素を多く含んでおり、モデルの訂正が今後の研究課題となるであろう。

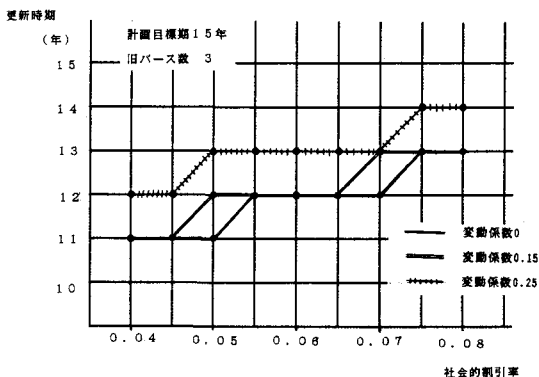


図-4 社会的割引率の大きさと更新時期

【参考文献】

- (1)長尾義三、笠島勝治(1983): 不確実な需要下における計画目標期の設定、土木学会論文報告集第336号／
- (2)長尾、森杉、吉田(1976): 非弾力性需要のもとにおける段階計画、土木学会論文報告集第250号／
- (3)長尾、浅岡、西田(1977): 第32回土木学術講演概要集No.4