

もりや けんいち

氏 名 守谷謙一

授与学位 博士(工学)

学位授与年月日 平成12年3月23日

学位授与の根拠法規 学位規則第4条第1項

研究科, 専攻の名称 東北大学大学院工学研究科(博士課程) 都市・建築学専攻

学位論文題目 LCCからみた建物の長期的修繕計画策定手法に関する研究

論文審査委員 主査 東北大学教授 近江 隆 東北大学教授 吉野 博
東北大学教授 三橋 博三 東北大学助教授 石坂 公一

論文内容要旨

第1章

現在わが国では、高度経済成長期に建設された膨大な建物に対する維持管理・機能更新需要の増大、良好な社会資本の蓄積、地球環境の保全等に関する社会的要請の高まりを背景として、建築のロングライフ化の実現が求められており、これを可能とするための合理的な修繕計画の策定手法の開発が必要となっている。

本研究では、建築の企画・設計から建設、維持保全、廃棄、再利用に至る建物の全ライフサイクルにわたる LCC (Life Cycle Cost) の考え方を積極的に導入し、総合的な建物の修繕計画を検討するため、建物の劣化・修繕過程に関する数学的モデルを設定し、これに遺伝的アルゴリズムを適用することで、最適な修繕計画を立案する手法を提案することを目的としている。

建物の LCC 分析に関する既往の研究を見ると、それらのほとんどは実際の資料をもとに維持管理方式が建物の寿命・コストにどれだけ影響を与えるかを実証的に明らかにしたものであるといえる。LCC 分析を実際の建設・維持管理計画の立案に適用していく場合には、何らかの意味で「最適」という概念を導入したうえで計画を立案することが必要である。しかし、既往の研究の中にはこのような「戦略的視点」に立って維持管理方式の選択や建物及び部材設備の耐用年数の選択等を初期コスト・維持管理コストと関係づけて検討を行った研究は見られない。そこで、本研究では建物の長期的な「最適な維持管理戦略」を立案するという視点から修繕計画の分析を行った。

第2章

本章では、劣化・修繕についての基本モデルの作成を行い、あわせてそのシミュレーション方法の検討を行う。そのため、最初に劣化・修繕・評価のそれぞれの数式モデルを作成し、次に修繕計画を時間ごとの修繕量の関数と見なすときの最適関数探索問題の取り扱いとして、遺伝的アルゴリズム (GA: Generic Algorithm) を提案した。

作成したモデルは、①劣化については時間に対して指数関数的に性能が低下すると考え、耐久性を評価する「耐久性指数」という概念を導入し、②建物の運用・管理者によって性能が「効用」として評価されると仮定し、性能の最低レベルを「効用基準値」として性能と効用の変換式をたて、③修繕計画の「最適性」を「総効用/総費用」による利益率として、Value Index (VI) で表すものとした。

最適な修繕計画を求める方法をいくつか検討したが、全候補についての探索を行うことは、計算量が膨大になることから困難であり、最適性の算出式が分数型でありかつ非線形であることから数理的な解法をとることも困難であることから、各年の修繕量に対して GA により、適切な評価を得られる修繕計画の作成方法を検討した。

作成した基本モデルをシミュレーションによりパラメトリックに分析することによって、このモ

デルの特性の把握を行った。その結果、①基本モデルに対する適切な修繕計画は、「修繕」と「取替」を数年ごとに繰り返すといった固定的な周期性を持ったものではなく、②ある一定の性能を保ちつつ修繕を行う「予防修繕」型の修繕計画と、メンテナンスをあまりせず性能が一定以下になったときに取り替えを行う「事後修繕」型の修繕計画を耐久性指数に対応して得られるという結果となった。また、部材性能の開発方向としては、より耐用年数を長くすることによる耐久性の確保より、性能を長期間保持できるように耐久性指数を向上させる方向を目指す方が経済的には効率性が高いという結果が得られた。

第3章

基本モデルを実際の建物に対して適用しようとする場合、基本モデルは単数の部材を対象としたモデルであるため、これを複数の部材に拡張する必要がある。本章では、複数部材間の重要度評価についての分析を行った。

組み合わせた場合の評価について、AHP (Analytic Hierarchy Process:階層化意志決定法) の構造を作成し、それに従った調査、分析を行った。調査の設問としては、AHP の各階層を構成する項目間の重要度評価を二項比較法及び評価点方式によって行い、ビル管理者に対する配布 300 件に対して 107 件の回答を得た。

AHP の構造としては、上位に破損・汚損などの「物理的要因」、陳腐化・快適性などの「機能的要因」、社会変動や経営体制などの「社会的要因」を設定し、中位にそれぞれの要因に基づく修繕項目、下位にその項目に対する部位といった形を設定した。

調査の結果、物理的要因を重視するタイプでは、過去には大規模修繕がほとんど行われていないのに対し、社会的要因を重視するタイプでは大規模修繕を多く行っているなど、過去の修繕履歴との関連が深いことが明らかになった。

建築本体について、AHP の各階層における重要度の評価を AIC (AKAIKE Information Criteria) によって分類した結果、①物理要因重視型、②平均型、③維持管理費重視型、④経営方針重視型の 4 タイプがあることがわかった。これらは、順に後者になるにつれてが経営的な視点がより重視されて意志決定が行われるタイプであり、建物用途が商業系から事務系、規模が中規模から大規模へとなると経営的観点重視型のタイプとなる傾向がある。

設備部分についても同様の分類を行った結果、①物理劣化重視型、②美観考慮型、③照明重視型、④平均型、⑤維持管理費重視型、⑥経営方針重視型に分類された。建築本体と同様、後になる方が経営的な視点が重視されるタイプであり、建物規模が中規模から大規模へ、経年が古いものから新しいものほど後のタイプとなる傾向がみられた。

以上の結果から、建物の修繕に関する意志決定の構造が異なっていることが得られた。すなわち、実際に建物の修繕にあたって手がけられる部位が同じ場合でも、その決定要因には様々な場合がある。このことは、現在行われている修繕のパターンは、その部位の特性の変化だけではなく、意志決定にあたる上位の要因に対する外的・内的な変動があったときに大幅に変化する可能性を持つといえる。

第4章

本章では、平均的な建物（事務所ビル）を取り上げ、そこに成立する部材等の組み合わせる及びその場合の数量および部材の性能について、資料を基に設定を行った。さらにその設定を用いて GA による最適修繕計画の検討を行った。なお、本研究で用いた部材構成について実際の建物における部材構成と、建設費用から比較を行った結果、建築本体では 0.91、設備部分では 0.84 の相関が得られた。性能については、標準的に使われる部材について、修繕を適宜行った場合の修繕履歴と平均使用年数から、部材ごとの劣化指数と耐用年数を導出した。

最適修繕計画の検討の結果、①重要度の配分において重視される部位に対する修繕計画は、そうでない部位に比較して予防修繕的な修繕が行われ、重要視されている部位の効用をある程度高めに保つことで、全体の効用を高める傾向があること、②面積が大きくなると、メンテナンスを頻繁に行うことが効率的となること、③利子率が高くなると経営期間の後期における修繕・取替量などが

多くなる傾向があることがわかった。

以上の結果から、基本モデルの複数部材への拡張によって、複雑性は高くなるが、きめの細かい修繕計画を得ることができた。このことは、VIを評価指標とした場合における効率性が、工法、管理方法などの工夫による、各部材に対応したきめ細かい修繕によって実現できることを示す。

また、シミュレーションを同条件下で20回行った結果、最適と考えられるVI値をもつ修繕計画を、ある範囲の総費用・総効用に対して複数得ることができた。このことは、利益率を低下させずに総費用の低下や総効用の向上、CO2排出量の低減などの別指標に基づく修繕計画を得ることができると示唆しているといえよう。

第5章

一般に、長期間の修繕計画を行う場合には社会状況の変化等への対応のため、数年ごとに計画の再検討が行われる。本章ではこの方法を「ローリングプラン型修繕計画探索手法」（以下ローリングプラン型探索）と名付け、全経営期間に対して一括して修繕計画を行った場合との比較検討を行った。

最初に基本モデルに対してローリングプラン型探索を行った結果、①5年未満の予測を行う場合には、全経営期間予測型に比較して、評価値が低くなる傾向がみられ、②5年以上の予測を行う場合には、全経営期間予測型の場合にかなり近い評価値を得られることがわかった。このことから、ローリングプランを採用する場合には5年程度の予測を繰り返し行って修繕計画の策定を行うのが適当であると考えられる。

次に複数部材に拡張したモデルに対するローリングプラン型探索についても検討を行った。この結果、①5年間の予測による修繕計画の結果が、全経営期間予測型による修繕計画と比較してあまり劣らない結果が得られ、②一般に行われる10ヶ年計画などでは、計画期間の半分程度を経過した時点で計画の見直しを行うことが多いが、10年先を予測する修繕計画を5年ずつ更新する計画策定手法についての検討を行った結果についても、前述の結果と同程度の結果を得られた。

LCCを考慮した経営のことを一般にLCM（Life Cycle Management: ライフサイクルマネジメント）という。本章で行ったローリングプラン型探索による最適解の探索法は、計画を行う際に必要とする情報を予測年数分だけ確保すればよいこと、社会状況の変化に対応した計画変更を行いやすいことなどの点から、LCMに適した方法であると考えられる。

分析の結果、5年程度の予測を行うローリングプラン型探索を行うことで、全経営期間予測型とさほど変わらない利益率が確保できることがわかった。このことは、LCMをビル管理者が採用する際に躊躇する原因となっている、社会状況への変化の対応に対する不安や、充分な事前調査を実行するための負担を解消する一助となるのではないかと考えられる。

第6章

本章では、これまでの各章のまとめを要約し、今後の課題について述べている。

今後の課題として、本研究で検討した修繕計画の策定手法を現実の建物経営に適用するために、①効用を評価する基準となるデータの収集、②耐久性以外の性能に関するモデル化、③火災、地震による被災等の確率的事象のモデル化等が必要になると考えられる。

近年、大手建設会社などでLCC事業部を発足させるなど、LCCが実際の建物に対して応用される段階へと至っている。またその対象も、新規着工の建物に対する計画段階からの適用から、既に使用されている建物に対するコンサルティングまで、幅広くなるとともに、関連する業界も建設業界のみではなく、各種経営コンサルティング業界まで広がっている。

こうしたコンサルティングにおける提案を行うための基礎として、本研究に示すような計画策定手法は有効性を持つものであり、今後、上記のような検討を行うことにより、モデルの精度の向上が図られれば、戦略的な長期的修繕計画の策定が可能となり、建物のロングライフ化に資することが期待できる。

論文審査結果の要旨

建物のロングライフ化の社会的要請の中、長期的なライフサイクルコストの低減のためには、戦略的視点にたって維持管理方式の選択や建物及び部材設備の選択や修繕計画の策定を行うことが必要である。著者は建物を構成する部材の劣化や修繕の過程、建物管理者の評価指標を数式モデル化し、遺伝的アルゴリズムを用いた修繕計画策定手法の提案を行った。計画の評価指標として、VI(Value Index)：(総効用/総費用)を定義し、その最大化を最適性の指標とした戦略的な修繕計画の策定手法を検討した結果、最適性が高い修繕計画を複数とることができることを明らかにした。また計画策定手法についてローリングプラン型的手法と全経営期間対象的手法を比較し、ローリングプラン型の場合にも最適性が確保できることを示した。本論文はこの研究成果についてまとめたもので、全文6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では、建物の部材の劣化・修繕、計画全体の評価指標について単数部材を仮定した基本的な数式モデルを作成し、パラメトリックに修繕計画の分析を行った結果について述べている。部材の性能の大幅な劣化が耐用年数のどの段階で生じるかによって、修繕が事後的に行われるか予防的に行われるかが変化することを見出している。

第3章では、建物の各部位相互間の重要度について建物管理者による評価をアンケート調査し、AHPに基づき分析を行った結果、過去の修繕履歴と重要度の評価との間に密接な関係があること、また評価がいくつかのパターンに分類できることを明らかにしている。このことから、第4章で複数部材を組み合わせるために必要となる部材相互間の重要度の関係が明らかになった。

第4章では、建物を構成する部材の構成および性能・価格について調べ、第3章の知見を基に基本の数式モデルを複数部材に対応するように拡張し、そのモデルについてパラメトリックに分析を行った。その結果、VIの面から最適な評価指標を得られる修繕計画が複数得られることが明らかになった。このことは、VIを高めることと総費用の軽減、総CO2排出量の削減といった他の指標が両立することを示唆している。

第5章では、通常の長期的計画策定手法において用いられるローリングプラン型の計画策定手法が本研究のモデルにおいても適用できることを明らかにしている。このことは、ライフサイクルコストを経営に応用する際に、課題となっている長期計画の不確実性に対する不安解消への重要な指針を与えるものである。

第6章は結論である。

以上、要するに本論文は、ライフサイクルコストを実際の建物に応用するための基礎としての有効性を持つものであり、建物のロングライフ化の要請に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。