

論文の内容の要旨

論文題目 建築外壁材料の性能指向型選定手法に関する研究

氏名 長井 宏憲

現在、建築物の設計手法は性能による規定とその実現という新たな課題への対応の途上であり、建築法規の体系は「性能規定化」を導入するための基盤を整備している。性能規定においては、消費者の要求を的確に拾い上げ、それを実現可能な技術に翻訳することで建築物の品質を保証する体系づくりが必要である。構築される空間に対して目標とすべき性能項目の基準が明確に示され、その予測と検証をおこなうことにより、技術的背景に裏付けられた「性能」という指針が与えられる。建築設計における性能規定化によって、建築物が満たすべき性能とその限界値が提示され、それさえ満足すれば、多様で自由な構法・材料の選定が認められるようになって期待されている。しかし、建築空間に関わる全ての性能について、品質を保証することができる基準・規格として十分に体系化され統合されたシステムの構築は現在なされていない。与えられた条件のもとで要求された機能を満たす最適な構法と材料を選定して、建築物全体や内部空間の性能を実現するためには、その構成材料の保証すべき性能が如何なるものか、組み合わせられた材料が性能を発揮するメカニズムはどのようなものかを予測し把握する必要がある。

本論文の目的は、性能規定型の設計体系において、使用者の要求を建築物の特性と性能限界値として定量化する手法を検討し、設計過程において合理的に建築物の構成材料を選定するための支援システムを構築することである。建築物の構成要素の階層化、建築材料の性能と特性の関係、要求事項の定量的記述などの課題を解決し、複数の材料選定のための基準を満たす最適解を導くための手法を開発することが目的である。したがって、本論文では性能規定化によって構築されるであろう材料選定のあり方を体系的に検証して、多基準最適化問題として記述しなおし、数理的最適化手法として遺伝的アルゴリズムを適用することで最適解の導出をおこなった。選定材料の対象範囲を、多種多様な材料の組み合わせ論として取り扱うことのできる外壁に限定し、その層構成を合理的に組み合わせるシステムを構築した。

性能を規定する対象となる建築物の構成要素である「もの」の体系は、階層的に表現することができ、それらの組み合わせが建築物全体を構成することになる。各階層において要求される性能には、なんらかの評価基準が与えられるため、性能の種類に応じて階層間を行き来しながら要求を満たしている。その階層間の性能変換のプロセスが性能自体の一つの分類手法となり、性能にも階層的な要素が加えられ、建築物、空間または部位やその構成材料に様々な選定基準が設定されることになる。本論文中では、各種性能評価のための規格や研究成果を検討するとともに、性能規定をより広範に行うために視覚的な性能の指

標化における基礎的な試みもおこなった。

外壁材料の選定では、複数の異なる要求性能に対して、その要求のレベルを最もバランス良く満たす材料の組み合わせを選定することが目的である。このような組み合わせ計画の問題は、有限個の要素からなる実行可能領域のなかで複数の目的関数が最小または最大となる解を見つける問題に変換することができる。その目的関数値を計算し比較することで、最適解を導くことができ、個体群を用いて探索を進めるのことで、各目的に対して色々なバランスでより良い評価値を持つ各個体を、全て同時に残しながら最適化を進められる。しかし、このような多目的最適化問題においては、実行可能領域の指数関数的増加や、多基準によるトレードオフの問題が生じるため、問題の性質と構造に応じた効率的なアルゴリズムを適用する必要がある。広域的・発見的探索に優れている遺伝的アルゴリズムは、個体評価における多目的性を扱うことができるため、本研究における外壁材料の組み合わせ最適化問題において有効である。また、妥当な材料選定をおこなうためには、多基準の要求性能を、各材料の物性値の組み合わせとして予測する関数系が必要となる。本論文では、外壁に要求される基本的な性能のうち、定量的評価の指標が扱いやすく、各種材料の物性データが網羅的に入手できるかどうかを選定の判断基準として、14項目を要求項目として採用した。

遺伝的アルゴリズムにおける遺伝子型を設計するため、外壁を8つの層の構成材料からなるモデルとし表現し、各材料の種類をあらわす識別子 (ID) を遺伝子情報としている。この遺伝子は最終世代まで交差を繰り返し、進化したのち、表現形 (Phenotype) である材料の組み合わせとしての壁体に変換される。遺伝子型によって表現された壁の発揮する性能を予測するためには、構成要素となる材料の性能または基本物性をデータベース化して情報を参照できるようにしておく必要がある。実際に流通している外壁を構成する材料について、建材メーカーに無作為に問い合わせることで、塗材・張材、湿式・乾式を問わず様々な種類の材料の資料を参照し、およそ300近くの外装材・下地材・機能材・内装材のデータを得てデータベースを構築した。

外壁材料のモデル化において、各材料に与えられた ID 番号のみによる遺伝子の交叉としているため、その材料自体の優劣が遺伝子列に情報として含まれていないという離散的なデータ構造ゆえの問題がある。そのため、ランダムな解探索と比較しても、遺伝的アルゴリズムを適用する効果が現れにくくなる可能性がある。そのため本論文では、離散的なデータの組み合わせから、効率的に多基準の最適解集合へと収束させるために、材料に与えられた ID を、評価基準となる各性能予測関数に対して影響のある物性値の組み合わせの優劣であらかじめ並べ替え、その順位に従って新たに ID を与え直すことで、データベースにおける各材料の ID が、ある性能に対して連続した情報として評価することができるような手法を提案し適用した。交叉終了後に、性能に関係する要素によって順位付けし直した ID を、元のデータベース上で与えられていた材料 ID に戻すことで、表現型として矛盾のない状態とする。以上のような、材料 ID の性能影響要素による並べ替えを、すべての性能評価

項目に対しておこなうことで、あたかも各性能について連続的にデータベースが並んでいるように遺伝子情報が並び替えられることになる。この手法によって、連続的なデータを得ることが困難な外壁材料の組み合わせ最適化問題においても、離散的なデータを連続的に評価することが可能となった。

この最適化システムにより、要求性能に対して高い評価値をもった解集合を導出することができた。最適解集合内には、材料の組み合わせが実際には施工困難な解も含まれるが、要求された性能を満たす評価値が上位の解については、最終的な選定はシステムの使用者がおこなうことになる。しかし、構造体からの制約条件による性能の変化についてもシステムに関数系として組み込んでゆくことで、より妥当な解が得られると考えられ、材料の層の接合方法についても、その良否または影響因子等を考慮した値をあらかじめ設定しておけば、物理的に不可能な解を除くことができるだろう。進化の過程で制約するのか、材料の組み合わせを制約せずに最適解集団を生成し、最後に何らかの判断基準を適用して選別するのは、今後の設計支援ツールとしてのシステムの利用法によって柔軟に対応できるようにするべきであると考えられる。また、壁の厚さについて要求との誤差が見られたが、これは今後のデータベースの充実によって改善することができると考えられる。

要求性能に対して評価の高い解集合を得られたことから、性能評価を連続的におこなうIDによる順位交叉戦略を導入することで、離散的な材料データから各予測関数に対して材料の持つ優劣を遺伝子の進化に形質として引き継ぐことが可能であることが立証された。この最適化システムによる解の導出の効率について考察するために、他分野における多基準最適化で用いられるパレート戦略を採用したアルゴリズムと、全個体群から無作為に同等数の個体を選定して評価した場合の、二つの手法との比較をおこない検証した。遺伝的アルゴリズムによって最適化を図った探索手法では、全個体群からのランダム検索に比べて、平均評価値の平均が初期世代において大きく向上することが確認された。また、その平均評価値の平均は、ランダム検索では少なくとも100世代目まではほぼ変化しないため解集団全体としての評価は向上しないと考えられる。これに対して、パレート最適戦略とID順位戦略を採用した最適化手法では、平均評価値が初期世代の段階で大きく向上し収束した。同様の結果が、各世代における平均評価値の最大値の比較においても確認されたことから、多基準の組み合わせ最適化問題に対して、遺伝的アルゴリズムによる解探索の効率の良さが認められた。

建築外壁を構成する材料を、複数の要求性能が与えられた中で合理的に選定するという本研究の目的は、遺伝的アルゴリズムを適用した「外壁材料の選定支援システム」において、最適解集合と考えられる解を効率的に導出したことで、その成果が確認された。今後は、要求性能の体系化を進めるとともに、導出解の妥当性をさらに向上させるために、予測関数の精度の向上、施工、構法による性能への影響を最適化システムに含めることが重要である。