

(27) 遺伝的アルゴリズムを用いた人工地盤の設計

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO DESIGN OF ARTIFICIAL GROUND

廣瀬 彰則* 古田 均** 中谷 武弘***
Akinori HIROSE Hitoshi FURUTA Takehiro NAKATANI

Recently Genetic Algorithm has gained attention as one of the powerful methods for solving combinatorial problems with discrete variables and discontinuous functions. The ability of treating discrete variables and complex functions without derivatives seems to be advantageous and promising to apply various practical problems, because most of real planning, design and construction problems include discrete variables and quite complex and ambiguous evaluation functions.

In this paper, it is attempted to apply the genetic algorithm for the design problem of "artificial ground". A design problem of determining the plane shape and the allocation of columns is presented to demonstrate the efficiency of the method developed in this paper.

Key Words : genetic algorithm, artificial ground, combinational problem

はじめに

離散変数・非連続関数から成る組み合わせ最適化問題の一解法として、遺伝的アルゴリズム（以下GAと略す）と呼ばれる手法が注目されている。この手法は、設計変数に離散数値をとりうることはもちろんのこと、目的関数が必ずしも連続関数でなくてもよいため、構設計画・設計・施工面への実務的応用範囲が広いものと期待されている。建設分野において人工地盤を計画・設計する際には、周辺建築物との接続性、トータルデザイン、下層空間の用途などに配慮した制約条件が多く、柱配置、上部工構造形式などの選択に際しても非常に多くの構造解析を伴う試行が要求される。また、目的関数の考え方も多面的であるため、多大な労力を必要としているのが実情である。本研究では、特に人工地盤の平面形状と柱配置決定問題に着目し、これをGAによって迅速かつ合理的に取り扱うためのシステム作りを試みるものである。

1. 人工地盤

都市における土地は大別すると建築のための用地と広義のオープンスペースに分けられる。広義のオープンスペースとは、道路、河川、公園等の公共施設のための用地である。我が国では、このオープンスペ

* 中央復建コンサルタンツ株式会社 第三設計部（〒532 大阪市淀川区東三国3-5-26）

** 工博 関西大学 総合情報学部教授（〒569 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1）

*** 中央復建コンサルタンツ株式会社 第三設計部（〒532 大阪市淀川区東三国3-5-26）

表－１ 構造決定要因

構造部材等	構 造 決 定 要 因
橋 面	橋面形状、高欄、ベンチ等休憩施設の形状・位置・個数、植栽の位置・個数、排水装置、照明、開孔部の形状・位置など
上 部 工	デッキの形式・形状、横梁の形状・材質・化粧板など
下 部 工	柱の形状・位置・本数・間隔・材質など
ア プ ロ ー チ	階段、エレベータ、エスカレータの形状・位置・個数など
基 礎 工	形式、形状
そ の 他	建築限界など空間的制約、経済性、施工期間など

ースの占める面積が割合低い。都市においては土地利用を高度化して、市街地再開発が行われている。

このような状況の中で現在高度な土地利用で安全かつ快適な都市を整備する方法として人工地盤が脚光を浴び、各地で形成され、また計画されている。

人工地盤は都市に何をもたらすのか、また、人工地盤に何が求められているのかを以下に列挙する。

① 都市の核を形成する。

魅力的な都市は、多様な情報を自由に選択でき、人々と接し、能率的で快適な環境で生活できる街であると考えられる。そのために都市の様々な施設が複合機能として構成されることが必要であり、この点において人工地盤は都市機能を集約することによって、密度の高い魅力的な立体都市環境をつくる。

② 都市を秩序づける。

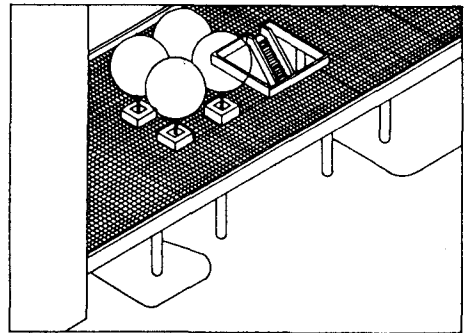
人工地盤によって、コンパクトな都市環境をつくり、自然の保全や、街の発展に対して都市軸や核を構成して街に秩序を与える。

③ 土地の有効利用を図る。

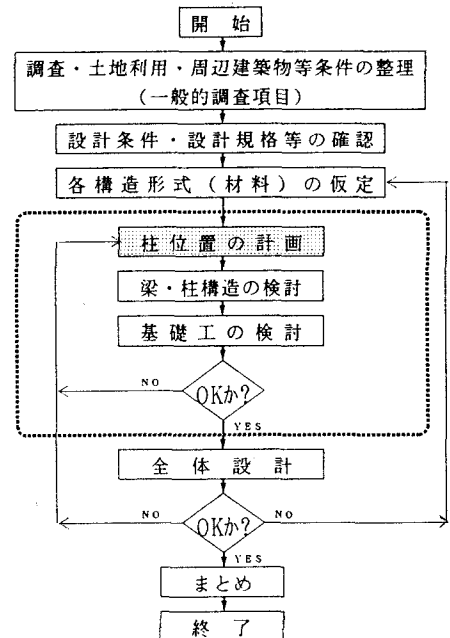
人工地盤の経済性・効率性の側面として、土地の有効利用がある。広義のオープンスペースや建築間や湿地などのデッドスペースに人工地盤を設けることによって、立体的かつ合理的に利用するとともに、公共空間を確保する。

2. 平面形状と柱配置決定問題の定式化

土地の有効利用を考えると、平面形状や柱配置については数多くの制約条件がある。ここでは図－３



図－１ 人工地盤



図－２ 設計フロー

に示すような人工地盤の設置区域を設定し、この地上部（1階）に対して車道等により柱の設置が出来ない箇所や階段部、またデッキ部（2階）に対して連絡施設への出入りに必要となるデッキ面や地上部への採光のための開孔部などの初期条件を設定するものとする。

人工地盤の利用者にとって最適な人工地盤形状とは、機能面から目的地へ迅速に移動出来る形状、あるいはゆとりある快適な空間として利用できる形状であると考えられる。また下層空間の利用者は、機能的な利用目的のほかにも明るさや、柱の配置など美観的な面を重要視することも考えられる。このようなことから、本研究では人工地盤形状を目的地間の最短径路と、均等な間隔で柱が配置されるように柱間隔の標準偏差とで評価しようとするものであり、これらを目的関数として扱っている。

人工地盤を設計する際には、構造的にもいくつかの制約を受ける。これまでに建設された多くの人工地盤を調査すると、概ね表－2に示すような支間（柱間隔）で上部工形式が選定されている。²⁾ この調査結果より比較的採用実績の多い支間6m～15mを最適支間と想定し、この範囲外のものについてはペナルティーを与えるものとした。また、人工地盤のデッキ形状に対する制約条件として、連続的な開孔部の形成や下層空間の採光に配慮し単独開孔部が形成された場合には、ペナルティーを与えるものとした。

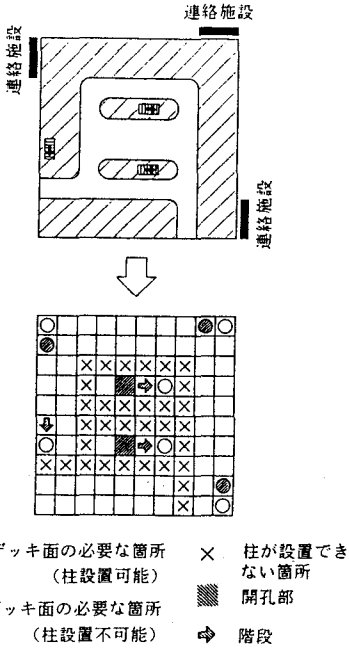
表－2 適用支間

上 部 工 形 式	適用支間 (m)
鉄筋コンクリート構造	6 ～ 9
鉄骨鉄筋コンクリート構造	10 ～ 13
プレストレスト鉄筋コンクリート構造	12 ～ 15
プレストレストコンクリート構造	5 ～ 40
鋼 構 造	10 ～

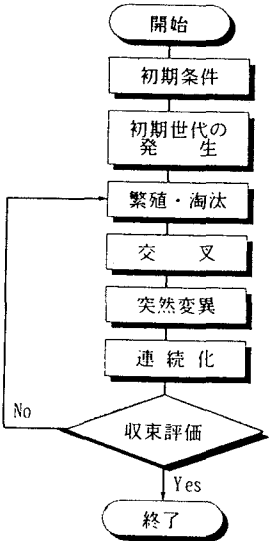
3. 遺伝的アルゴリズム

G Aは、ダーウィンの「自然淘汰による進化」を基本概念としたものであり、その基本的なプロセス（単純G A）は繁殖・淘汰，交叉，突然変異の3つのプロセスからなっている（図－4）。これらの基本的プロセスについて以下に簡単にまとめる。

G Aでは、生物の染色体に対応して、ある文字（遺伝子）でコーディングされた線列があり、この線列が生物の染色体の役割と同じように個体情報を持つと考える。最初にある決められたN個（人口サイズ）



図－3 モデル図



図－4 単純G A

の線列を確率的に任意に定めて、これを初期世代とする。繁殖・淘汰のプロセスは、個体を次世代に残したり（繁殖）、残さなかったり（淘汰）する操作である。ここでは、設定された環境に高い適応値を示す個体を次世代に残し、低い適応値を示す個体を消滅させる処理を行っている。

交叉プロセスは、確率的に選ばれた2つの個体についてその線列を入れ換えるプロセスである。線列の分断箇所を一樣乱数を発生させて決め、線列の分断箇所から後半部を入れ換え新しい線列を作成する（図-5）。基本的には、このプロセスの繰り返しにより最適化が進められる。

突然変異のプロセスは、交叉や淘汰の繰り返しては、ある位置の線列の値が同じようなものとなり、偏った解に収束してしまうことを避ける方法である。ここでは一樣乱数を発生させ、線列の中にある文字（遺伝子）列を決め、この部分の文字列を機械的に入れ換えることとする（図-6）。

このようなGA操作により、人工地盤の形状を求める場合、一樣乱数により交叉や突然変異を発生させると、目的地間を結ばないような意味のないデッキ形状が数多く発生し、最適な形状を得るには数多くの人口数と世代数が必要となることが考えられる。そのため発生した線列に対してあらかじめデッキ部が連続するように、図-7に示すように四隅がデッキの場合少なくとも1方向に、またその他の設計位置については少なくとも2方向に、それぞれに一樣乱数によりデッキを追加することで行き止まりとなる箇所をなくし、目的地間の径路を確保する方法を用いている。

4. 数 値 解 析

図-3に示した10×10の設計変数からなる30m×30mの正方形の人工地盤形状をモデルとして平面形状と柱配置の最適解を求める。ここで10×10の設計変数に対して組み合わせ数は初期条件を考慮しても 1.60×10^{37} 存在することになる。人口数は設計変数の8～10倍程度が妥当であると言われている。本例では設計変数が100であるため、妥当な人口数は1000程度となる。しかしながら計算時間が多大となることが考えられることと、デッキ面を連続化する手法を用いているため比較的まとまった解が得られることが考えられることから、ここでは、50, 100の2種類の比較的少ない人口数を設定して解析を実施し、人口数の影響についても評価を行う。本解析に用いたGAパラメータを表-3に示す。なお、計算機はEWS4800/320VX (198Mips)を使用した。

人口数を100とした場合の300世代までの探索に対する収束状況を図-8に示す。最も適応度の高かったものは240世代で現れている。また、人口数を100とした場合の最も適応度の高い平面形状を図-9(a)に、人口数を50とした場合の平面形状を図-9(b)に示す。ここで図内の“-”は人工

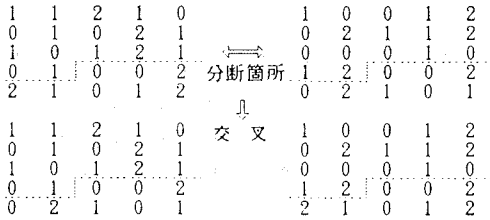


図-5 一点交叉

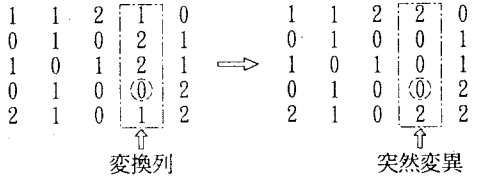


図-6 突然変異

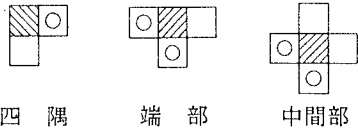


図-7 平面の連続化

表-3 パラメーター	
人 口 数	100 , 50
要 素 数	100(10×10)
交 叉 確 率	0.6
突 然 変 異 確 率	0.2
劣性個体の淘汰確率	0.1

地盤デッキ面の外縁，“+”は柱の設置位置“○”は目的地，“=”は階段を示す。なお、目的関数として扱った最短経路は図内“○”の目的地間の径路である。

図-8の結果から、初期の段階で適応度の高いものが現れていることがわかる。しかしながら、平均値との差が大きいことや最大値のばらつきが大きいことから収束したとは考えにくい。人工地盤の形状に着目すると目的地間の径路は最短となる形状となっていないが、柱の設置できない位置には開孔部がまとまって現れていることや、階段等を含めた通行径路は確保されており、比較的有效な解が得られたといえる。

人口数の影響については、人口数が少ない場合適応度がかなり低く、また最大値のばらつきも大きくなる結果が得られた。人口数を50とした場合の最大値は人口数を100とした場合の最大値の82%程度であった。

おわりに

このシステムの有効性を確認するために、モデルケースとして計算時間の軽減を図るため、ストリング長の短い簡易なモデルを対象に数値解析を実施した。その結果、発生する離散変数が比較的小さな範囲に偏ることとなり、ペナルティ関数を種々検討したにもかかわらず最適解に近い結果が初期の段階で現れてしまった。

しかしながら、得られた解は十分に制約条件を満足させているものであり、有効な結果が得られたものと評価している。

問題点としては、ストリング長が短いこと、GA操作において行単位の交叉、1列まとめた突然変異を発生させていることにより、離散状況があまりよくない一定の方向に偏ったものが多く発生してしまうことが挙げられる。

今後の課題として、人工地盤の分割要素数を出来るだけ大きく取り扱えるようソフトウェアの改良を図るとともに交叉、突然変異の考え方を研究し、出来るだけ分散のよいユニークな個体が発生できるよう工夫していく必要がある。

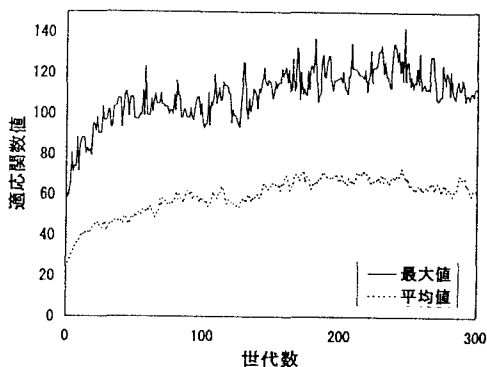
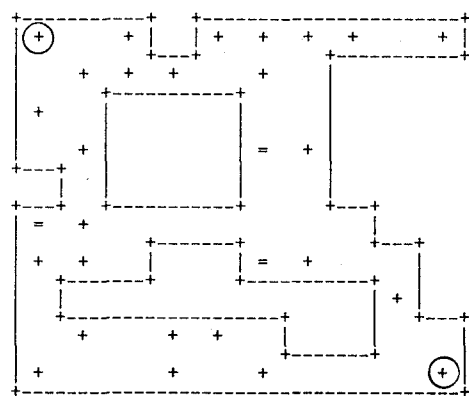
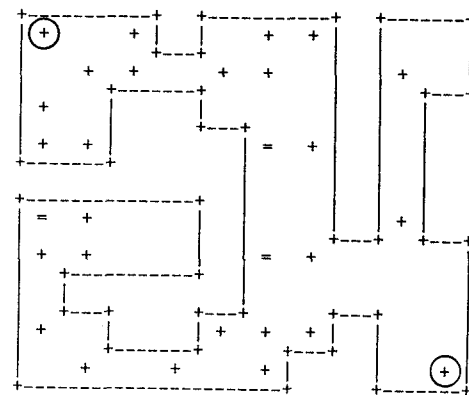


図-8 収束状況(人口数100)



(a) 人口数を100とした場合(240世代)



(b) 人口数を50とした場合(180世代)

図-9 平面形状

参考文献

- 1) Goldberg, D.E., Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, AddisonWesley Publishing Company, Inc., 1989.
- 2) 『都市開発と人工地盤』(株)鋼材倶楽部